ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος

ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ & ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ»



ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

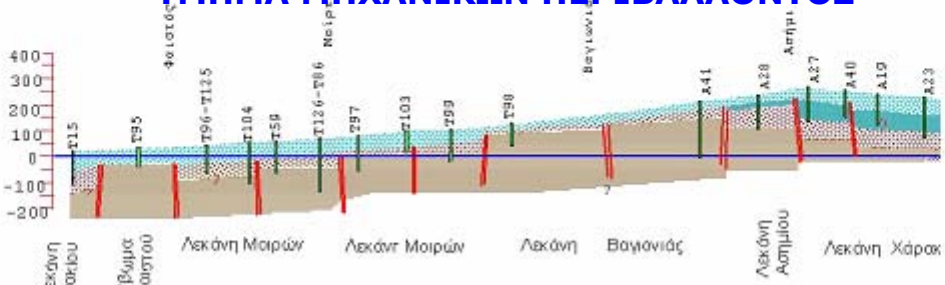
ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΜΕΣΑΡΑΣ ΚΡΗΤΗΣ

ΜΑΡΙΝΟΣ Ν. ΚΡΙΤΣΩΤΑΚΗΣ



ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ

ΙΩΑΝΝΗΣ ΤΣΑΝΗΣ, ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ



ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

- **ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ ΤΣΑΝΗΣ (ΤΡΙΜΕΛΗΣ)**
- **ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΚΑΡΑΤΖΑΣ (ΤΡΙΜΕΛΗΣ)**
- **ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΔΙΟΝΥΣΙΟΣ ΧΡΙΣΤΟΠΟΥΛΟΣ**
- **ΑΝ. ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ ΜΑΝΟΥΤΣΟΓΛΟΥ**
  ΛΕΚΤΟΡΑΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΠΑΡΑΝΥΧΙΑΝΑΚΗΣ (ΤΡΙΜΕΛΗΣ)
- **ΛΕΚΤΟΡΑΣ ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ ΣΤΕΙΑΚΑΚΗΣ**
- **ΛΕΚΤΟΡΑΣ ΑΝΔΡΟΝΙΚΗ ΤΣΟΥΧΛΑΡΑΚΗ**

ΧΑΝΙΑ 20-05-2009

στις θυγατέρες μου

Ευαγγελία

και Ευανθία

Ευχαριστίες

Το έναυσμα για την εργασία αυτή μου δόθηκε από ζητήματα και ερωτήματα που προέκυπταν, λόγω της ενασχόλησής μου στο τέως τμήμα Διαχείρισης Υδατικών Πόρων και τη νυν Διεύθυνση Υδάτων της Περιφέρειας Κρήτης, σχετικά με τη διαχείριση και προστασία των υδάτων στην Κρήτη και το βαθμό που μπορούμε να επιτύχουμε μια «ρεαλιστική» προσέγγιση της κατάστασης των υδάτων στηριζόμενοι σε περιορισμένα δεδομένα, που δυστυχώς είναι ο κανόνας στη χώρας μας.
Επιπλέον, η ανάγκη εμβάθυνσης στα θέματα αυτά και ειδικότερα η ανάλυση των δεδομένων (υδρολογικά, υδρογεωλογικά, χρήσεις νερού, περιβαλλοντικά κλπ), η δυνατότητα προσομοίωση των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων στις ιδιαίτερες κλιματολογικές συνθήκες της Κρήτης και η διερεύνηση των πρακτικών χρήσης νερού με τις συνεπακόλουθες περιβαλλοντικές επιπτώσεις αποτέλεσαν πραγματική πρόκληση. Η περιοχή μελέτης είναι η μεγαλύτερη λεκάνη της Κρήτης η Μεσαρά που τα νερά της έχουν δεχθεί σημαντικές πιέσεις προερχόμενες αφενός από το ευμετάβλητο μεσογειακό περιβάλλον και αφετέρου από τη διαφορετική πολιτική αντίληψη της έννοιας της διαχείρισης των υδάτων τα τελευταία 30 χρόνια.

Για την ενθάρρυνση να εκπονήσω την εργασία, την υποστήριξη στην ολοκλήρωσή της, τις εποικοδομητικές συζητήσεις και την παρακολούθηση της προόδου των εργασιών σε όλα τα στάδιά της ευχαριστώ βαθύτατα τον καθηγητή του Πολυτεχνείου Κρήτης κ. Ιωάννη Τσάνη.

Θερμές ευχαριστίες εκφράζω επίσης στο Διδακτικό και Ερευνητικό Προσωπικό του τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πολυτεχνείου Κρήτης και ιδιαίτερα στα Μέλη του Εργαστηρίου Διαχείρισης Υδατικών Πόρων: Αριστείδη Κουτρούλη, Κωνσταντίνο Σειραδάκη και Ιωάννη Δαλιακόπουλο.

Επίσης, Θερμές ευχαριστίες θα ήθελα να εκφράσω στα Μέλη της τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής καθηγητή κ. Γεώργιο Καρατζά και λέκτορα κ. Νικόλαο Παρανυχιανάκη, ιδιαίτερα για τη συμβολή τους στην ολοκλήρωση της εργασίας.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες εκφράζω, για τις εκτενείς συζητήσεις και παρατηρήσεις, στον Δρ. Χαράλαμπο Φασουλά σε θέματα γεωλογίας και τεκτονικής της Μεσαράς και στον Δρ. Σάββα Παρίτση για θέματα υδρογεωλογίας και προσομοίωσης των υδροφορέων.

Στο προσωπικό των Υπηρεσιών: Δ/νση Εγγείων Βελτιώσεων, Δ/νση Υδάτων, ΙΓΜΕ, ΕΜΥ που υπηρέτησαν τα 35 τελευταία έτη, πολλές ευχαριστίες χωρίς τη συμβολή τους στην παρακολούθηση και την καταγραφή των υδρο-μετεωρολογικών δεδομένων θα ήταν αδύνατη η εκπόνηση της εργασίας.

Πολυτεχνειούπολη Χανιά, Μάιος 2009

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΚΕΦΑΛΑΙΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ Αντικείμενο Εργασίας
Μεθοδολογική Προσέγγιση- Νέα Στοιχεία
Διάρθρωση Εργασίας

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 Επεξεργασία Σημειακής Βροχομετρικής Πληροφορίας-
Στατιστική Ανάλυση

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 Επεξεργασία και Διαχείριση Μετεωρολογικών Δεδομένων–
Δυνητική Εξατμισοδιαπνοή

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 Επιφανειακή Απορροή-
Υδατικό Ισοζύγιο

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 Γεωλογία

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 Υδρογεωλογία

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 Ομοίωμα Υπόγειων Νερών Λεκάνης Μεσαράς

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 Προστασία Υδάτων και
Σενάρια Ανάπτυξης των Υδατικών Πόρων
της Λεκάνης Μεσαράς

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ

ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΣΥΝΕΧΙΣΗ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ 1

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ 5

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ 6

Περίληψη

Η διαχείριση και η προστασία των υδάτων στην Κρήτη λόγω των ξηροθερμικών κλιματικών συνθηκών που επικρατούν, της χρονικής και γεωγραφικής άνισης κατανομής των υδατικών πόρων σε συνδυασμό με τη μέχρι σήμερα υπερεκμετάλλευσή των, που πραγματοποιείται χωρίς κανένα κεντρικό σχεδιασμό, απαιτεί ολιστική προσέγγιση.

Η παρούσα εργασία έχει ως αντικείμενο τη διαχείριση και την προστασία των υδάτων της μεγαλύτερης προσχωματικής λεκάνης του νησιού, της Μεσαράς, η οποία, παρότι έχει δεχθεί σοβαρές ποσοτικές και ποιοτικές πιέσεις τις τελευταίες δεκαετίες, έχει μελετηθεί αποσπασματικά.
Η μεθοδολογία που εφαρμόσθηκε για την προσέγγιση του υδατικού ισοζυγίου του συστήματος της Μεσαράς, η οποία περιχαρακώνεται από τις ιδιαίτερες συνθήκες της Κρήτης και κύρια τα περιορισμένα υδρολογικά δεδομένα, περιλαμβάνει τη λεπτομερή υδρογεωλογική ανάλυση και αξιολόγηση όλων των δεδομένων χρονοσειράς 32 ετών με τη χρήση γεωγραφικού συστήματος πληροφοριών (ΓΣΠ), την εφαρμογή κατάλληλων μεθόδων υπολογισμού των επί μέρους συνιστωσών του ισοζυγίου και την προσαρμογή/εφαρμογή κατάλληλων ομοιωμάτων, σε μηνιαία χρονική κλίματα και στη χωρική διάσταση της υδατικής περιοχής τα όρια της οποίας ταυτίζονται με τα όρια των επιφανειακών και των υπόγειων λεκανών, ώστε τα αποτελέσματά της να συμβάλουν στη κατά το δυνατόν ρεαλιστική προσέγγιση της χωροχρονικής κατάστασης των υδάτων.
Οι κύριες συνιστώσες του υδατικού ισοζυγίου υπολογίσθηκαν ως εξής: Η δυνητική εξατμισοδιαπνοή εκτιμήθηκε με τη μέθοδο τροποποιημένη Penman-Monteith η οποία έδωσε, συγκριτικά με άλλες μεθόδους, τα πλέον αξιόπιστα αποτελέσματα με βάση τα κριτήρια που θέσπισε ο FAO. Η επιφανειακή βροχόπτωση και δυνητική εξατμισοδιαπνοή υπολογίσθηκαν με μεθόδους ολοκλήρωσης της επιφάνειας (kriging, IDW, splines) σε ΓΣΠ. Το υδρολογικό ισοζύγιο και οι μεταβολές του υπολογίσθηκαν με κατάλληλη εφαρμογή του ομοιώματος Sacramento και αναλυτικότερα υπολογίσθηκε ανά υπολεκάνη η πραγματική εξατμισοδιαπνοή, η απορροή και η συνολική κατείσδυση στα υπόγεια νερά. Η υδροδυναμική λειτουργία του συστήματος των υπόγειων νερών προσομοιώθηκε με εφαρμογή του κώδικα Modflow με τα πραγματικά γεωμετρικά και υδραυλικά χαρακτηριστικά του συστήματος της Μεσαράς που προέκυψαν από τη λεπτομερή κατασκευή της υδρογεωλογικής δομής στηριζόμενη σε μεγάλο αριθμό δεδομένων και στο γεωδυναμικό μοντέλο της περιοχής.
Η κατάσταση του υδατικού ισοζυγίου προσφοράς – ζήτησης υπολογίσθηκε με την εφαρμογή του ομοιώματος RIBASIM. Από τις παραπάνω προσομοιώσεις υπολογίσθηκαν σε μηνιαίο βήμα οι διαχρονικές αντλήσεις των υδροφορέων, η επιφανειακή απορροή, το ισοζύγιο εισροών- εκροών στα υπόγεια νερά, τα ρυθμιστικά αποθέματα, η υπόγεια ροή και ο υπόγειος υδροκρίτης, η μέγιστη διαρκής απόδοση του υδροφορέα, η ποσοτικοποίηση των διαχρονικών ανθρωπογενών επιπτώσεων και οι παράμετροι για την προτεινόμενη συνδυασμένη χρήση επιφανειακών – υπόγειων νερών.
Τέλος, συζητώνται εναλλακτικές προτάσεις για την αντιστροφή των τάσεων που προκλήθηκαν από τις ανθρώπινες δραστηριότητες, αξιολογείται η λειτουργία/αστοχίες των υφιστάμενων τεχνικών έργων, αξιολογούνται τα

προτεινόμενα νέα έργα και δράσεις, και γενικότερα τεκμηριώνονται εναλλακτικές προτάσεις για την προστασία και την αειφόρο ανάπτυξη των υδάτων μέσα στο υφιστάμενο θεσμικό πλαίσιο.

Επιπρόσθετα, η παραπάνω μεθοδολογική προσέγγιση της διαχείρισης και της προστασίας των υδάτων δύναται να εφαρμοσθεί, σε κλίμακα υδρολογικής λεκάνης και σε μηνιαίο βήμα ανάλυσης, σε οποιοδήποτε περιοχή της Κρήτης καθώς και σε νησιωτικό μεσογειακό περιβάλλον, τα αποτελέσματα της οποίας θα συμβάλουν στην ολιστική προσέγγιση και στην τεκμηριωμένη λήψη απόφασης.

Τέλος, η μεθοδολογική αυτή προσέγγιση αποτελεί τη ραχοκοκαλιά εφαρμογής της οδηγίας πλαίσιο 2000/60/ΕΚ για τα ύδατα και ειδικότερα για τις περιοχές που τα υπόγεια νερά είναι ο σημαντικότερος πόρος, όπως οι νησιωτικές Μεσογειακές περιοχές.

Πολυτεχνειούπολη-Χανιά, Μάιος 2009

Εισαγωγή

Αντικείμενο εργασίας

Η Μεσαρά είναι η μεγαλύτερη πεδιάδα της Κρήτης η οποία βρίσκεται στο νότιο-κεντρικό τμήμα της. Η οικονομία και η ανάπτυξη της περιοχής στηρίζεται κυρίως στον πρωτογενή (αγροτικό) τομέα με την καλλιέργεια εντατικών υδροβόρων καλλιεργειών ενώ στην παραλιακή ζώνη αναπτύσσεται, με αργούς ρυθμούς συγκριτικά με τη βόρεια Κρήτη, ο τουριστικός τομέας. Οι ξηροθερμικές κλιματικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή δημιουργούν από τις δραστηριότητες αυτές κλιμακούμενη ζήτηση σε νερό κυρίως κατά τη διάρκεια της θερινής-καλοκαιρινής περιόδου, οι οποίες μέχρι σήμερα καλύπτονται αποκλειστικά και μόνο από το υπόγειο υδατικό δυναμικό του υδροφορέα της ομώνυμης λεκάνης, η εκμετάλλευση του οποίου άρχισε από την δεκαετία του 1980 με την ανόρυξη κατά το πλείστον ιδιωτικών υδρογεωτρήσεων.

Σήμερα τα νερά στη λεκάνη Μεσαράς έχουν υποστεί πιέσεις, με σοβαρότερη την ποσοτική (υπερεκμετάλλευση) έναντι της ποιοτικής (ρύπανση), και τις συνεπακόλουθες επιπτώσεις στο περιβάλλον και στην οικονομία της περιοχής. Επιπλέον με βάση το θεσμικό πλαίσιο που διέπει τα ύδατα (οδηγία 2000/60/ΕΚ), επιβάλλεται να εφαρμοσθούν άμεσα μέτρα που να αποσκοπούν στην αντιστροφή των τάσεων τόσο της ποσοτικής όσο και της ποιοτικής αρνητικής κατάστασης ώστε να επιτευχθεί η «καλή κατάσταση των υδάτων» της Μεσαράς. Τα μέτρα αυτά θα στοχεύουν: (1) στην αναβάθμιση και αποκατάσταση των υπογείων υδάτων ήτοι διασφάλιση του υπερετήσιου ισοζυγίου εισροών – εκροών, λαμβανομένου υπόψη και της κατάστασης των ρυθμιστικών αποθεμάτων και (2) την αντιστροφή κάθε ανοδικής τάσης συγκέντρωσης οιουδήποτε ρύπου που οφείλεται σε ανθρώπινη δραστηριότητα, προκειμένου να μειωθεί προοδευτικά η ρύπανση των υπόγειων υδάτων.

Η περιοχή μελέτης οριοθετείτε βάσει του σημαντικότερου υδροφορέα της Μεσαράς που είναι ο τεταρτογενής του πεδινού τμήματος, από Φαιστό (δυτικά) μέχρι Χάρακα (ανατολικά) συμπεριλαμβάνοντας τις υδρολογικές λεκάνες που απορρέουν σ' αυτόν. Η εκμετάλλευση του τεταρτογενή υδροφορέα της λεκάνης της Μεσαράς αν και βασίστηκε σε ενδελεχή υδρολογική έρευνα υποστηριζόμενη από τον FAO στις αρχές της δεκαετίας του 1970, δεν έτυχε της ανάλογου συνέχισης με αποτέλεσμα η μετέπειτα εκμετάλλευσή του να πραγματοποιείται αφενός χωρίς κανένα κεντρικό σχεδιασμό που να εξασφαλίσει την αειφορία των υδατικών πόρων και αφετέρου της απαιτούμενης υδρογεωλογικής έρευνας, αλλά μόνο από την περιστασιακή και περιχαρακωμένη διερεύνηση για την ανεύρεση υδατικών πόρων και την επίλυση ελάσσονος σημασίας τοπικά προβλήματα.

Η σημερινή αντιμετώπιση της αρνητικής κατάστασης (ποιοτική και ποσοτική) που έχει επέλθει στα ύδατα της περιοχής απαιτεί ολιστική προσέγγιση και τη συντονισμένη δράση στο επίπεδο το τεχνολογικό, το θεσμικό, το κοινωνικοοικονομικό και το περιβαλλοντικό και με γνώμονα την αειφόρο χρήση.

Το αντικείμενο της διατριβής είναι η λεπτομερής διερεύνηση των υδρογεωλογικών συνθηκών της λεκάνης της Μεσαράς καθώς και η αξιολόγηση κατάλληλων μεθόδων και ομοιωμάτων που δύναται να εφαρμοσθούν στις επιμέρους συνιστώσες της διαχείρισης και της προστασίας των υδάτων ώστε να έχουμε μια ρεαλιστική προσέγγιση της διαχρονικής κατάστασής των η οποία θα συμβάλλει στη λήψη τεκμηριωμένης απόφασης και με τους στόχους που ορίζονται (εναρμόνιση) με τις απαιτήσεις της οδηγίας 2000/60/ΕΚ. Επιπλέον, η μεθοδολογική προσέγγιση που πραγματοποιείται για τη λεκάνη της Μεσαράς, καθώς αξιολογούνται μεθοδολογίες και ομοιώματα που δύναται να εφαρμοσθούν στο περιβάλλον της Κρήτης στηριζόμενη στα υφιστάμενα περιορισμένα δεδομένα, μπορεί να εφαρμοσθεί σε όλες τις λεκάνες του νησιού όπως επίσης και σε λεκάνες του Μεσογειακού χώρου.

Μεθοδολογική προσέγγιση- νέα στοιχεία

Η μεθοδολογική προσέγγιση για την επίτευξη του στόχου της διατριβής περιλαμβάνει τα παρακάτω πέντε στάδια στα οποία συνοπτικά αναφέρονται οι ερευνητικές εργασίες που πραγματοποιήθηκαν, τα νέα στοιχεία που ανευρεθήκαν, η αξιολόγηση των μεθόδων που εφαρμόσθηκαν και η προσαρμογή των ομοιωμάτων που επιτεύχθηκε:

(1) ΒΑΣΗ ΥΔΡΟΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ (ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ-ΔΙΟΡΘΩΣΗ), ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ, ΔΥΝΗΤΙΚΗ ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗ ΚΑΙ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΟΛΟΚΛΗΡΩΣΗ.

Διερευνήθηκε η αξιοπιστία των δεδομένων 29 μετεωρολογικών και 6 υδρομετρικών σταθμών της ευρύτερης περιοχής, χρονοσειράς 32 ετών και αξιολογήθηκαν οι μέθοδοι συμπλήρωσης των ελλιπών μετρήσεων καθώς και της ομογενοποίησης των χρονοσειρών. Από την ανάλυση των βροχοπτώσεων ευρέθει ότι αυτές εμφανίζουν σκέδαση που συσχετίζεται με την αλληλουχία ξηρών – υγρών ετών, η οποία ερμηνεύτηκε από τις υφιστάμενες μελέτες ως ασυνέπεια λόγω σφάλματος μέτρησης, κύρια λόγω χρήσης μικρότερων διαστημάτων, με τις συνεπακόλουθες επιπτώσεις στο υπολογιζόμενο υδατικό ισοζύγιο.
Αξιολογήθηκε το υφιστάμενο σύστημα μέτρησης των απορροών του χειμαρρώδους τύπου υδρορευμάτων και ελέγχθηκε η αξιοπιστία των χρονοσειρών. Λόγω της ποιότητας των δεδομένων, που είναι αποτέλεσμα των εγγενών δυσκολιών μέτρησης χειμαρρώδους απορροής σε συνδυασμό με τα υφιστάμενα μέσα, είναι αδύνατον να προσδιοριστεί η ασυνέπεια της χρονοσειράς απορροής. Εφαρμόσθηκε μέθοδος, με βάση τη διπλή αθροιστική καμπύλη μεταξύ παραγόμενης απορροής από την επιφανειακή βροχόπτωση, μετρήσεις με μικρότερη αβεβαιότητα, και της παρατηρημένης απορροής της υδρολογικής λεκάνης, με την οποία επιτεύχθηκε ο χρονικός εντοπισμός και η ποσοτικοποίηση των ανθρωπογενών επιδράσεων στην απορροή αλλά και γενικότερα ο έλεγχος της (α)συνέπειας της χρονοσειράς.
Πραγματοποιήθηκε στατιστική ανάλυση των βροχοπτώσεων, λόγω των μεγάλων διαχρονικών μεταβολών τους σε αντίθεση με τις άλλες μετεωρολογικές παραμέτρους, και υιοθετήθηκε συγκεκριμένο πιθανοτικό μοντέλο για τις στατιστικές προγνώσεις. Αναλυτικότερα, ευρέθει ότι τα ετήσια ύψη βροχής

ακολουθούν το πιθανοτικό ομοίωμα της κανονικής κατανομής (normal distribution) σε όλους τους σταθμούς 29ετούς διάρκειας επιτυγχάνοντας πολύ καλή προσαρμογή σε όλα τα κριτήρια και στον έλεγχο χ^2 και kolmogorov-Smirnov. Επίσης, η κατανομή Γάμμα τριών παραμέτρων (Pearson III) για διάστημα εμπιστοσύνης 95% έδωσε την καλύτερη προσαρμογή στα μηνιαία ύψη βροχής για τους χειμερινούς μήνες, ενώ τους καλοκαιρινούς μήνες δεν ευρέθει καλή προσαρμογή κατανομής που οφείλεται στη σποραδικότητα των μικρών υψών βροχής.

Λόγω της έντονης τοπογραφίας και των ιδιαιτέρων κλιματικών συνθηκών που επικρατούν στην Κρήτη, η επιφανειακή ολοκλήρωση της βροχόπτωσης πραγματοποιήθηκε εφαρμόζοντας, σε Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών (ΓΣΠ), τις μεθόδους της αντίστροφης απόστασης (IDW), της προσαρμογής (splines) και της βέλτιστης παρεμβολής (kriging) οι οποίες έδωσαν παραπλήσιες τιμές. Η χάραξη, όμως, των ισοϋέτων καμπυλών με τη μέθοδο της προσαρμογής θεωρείται ότι αντιπροσωπεύει καλύτερα τις χωρικές μεταβολές της βροχόπτωσης, σε αντίθεση με τις άλλες δυο μεθόδους που δεν ερμηνεύονται, με βάση το υφιστάμενο δίκτυο παρακολούθησης, οι έντονες μεταβολές που απεικονίζονται.

Αξιολογήθηκαν οι μέθοδοι υπολογισμού της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής (ΕΤ) που δύναται να εφαρμοσθούν με βάση τα υφιστάμενα δεδομένα των μετεωρολογικών σταθμών (άνεμος, ηλιοφάνεια, υγρασία, θερμοκρασία) και συγκεκριμένα οι μέθοδοι: η Penman κατά FAO, η τροποποιημένη Penman-Monteith και το εξατμισίμετρο λεκάνης (class A, pan)κατά FAO. Από τη συγκριτική ανάλυση των τριών παραπάνω μεθόδων, που σημειωτέον τα αποτελέσματά τους διαφέρουν σημαντικά, επαληθεύτηκε ότι η μέθοδος τροποποιημένη Penman- Monteith δίνει τα πλέον αξιόπιστα αποτελέσματα με βάση τα κριτήρια που θέσπισε ο FAO. Για τη συμπλήρωση και επέκταση της χρονοσειράς της ΕΤ εφαρμόσθηκε εμπειρική σχέση με δεδομένο μόνο τη θερμοκρασία, η οποία έδωσε αξιόπιστα αποτελέσματα.

Η επιφανειακή ολοκλήρωση της ΕΤ πραγματοποιήθηκε εφαρμόζοντας σε ΓΣΠ τις μεθόδους του αλγορίθμου χωρικής παρεμβολής Kriging και της αντίστροφης απόστασης, που επιβλήθηκαν από την έντονη τοπογραφία, τη μεγάλη διαφορά των σημειακών υψών ΕΤ και τη μικρή πυκνότητα και ανομοιόμορφη κατανομή του δικτύου των σταθμών.

(2) ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟΥ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ, ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΟΜΟΙΩΜΑ ΒΡΟΧΗΣ-ΑΠΟΡΡΟΗΣ, ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ.

Η στατιστικά μη «σημαντική» συσχέτιση βροχής-απορροής, σε μηνιαίο βήμα, που οφείλεται στο χειμαρρώδη εφήμερο χαρακτήρα των υδατορευμάτων και στα ιδιαίτερα έντονα χαρακτηριστικά των λεκανών απορροής, οδηγεί σε μεγάλη αβεβαιότητα τις μέχρι σήμερα προσεγγίσεις. Από την άλλη μεριά η προσομοίωση των λεκανών απορροής με τα υφιστάμενα μοντέλα εμφανίζει δυσκολίες στην εφαρμογή τους κύρια λόγω της εφήμερης πλημμυρικού τύπου ροής, της έντονης μεταβολής της υγρασίας του εδάφους και της πολύπλοκης υδρογεωλογικής δομής.

Η επιτευχθείσα προσομοίωση με το μοντέλο sacramento σε μηνιαίο βήμα, η οποία στηρίχθηκε σε λεπτομερή ανάλυση όλων των παραμέτρων που επηρεάζουν την απορροή, μας έδωσε «σημαντικούς» συντελεστές στα κριτήρια καλής προσαρμογής τόσο στο υδρογράφημα όσο και στην αθροιστική καμπύλη

απορροής. Η επιβεβαίωση εφαρμογής του sacramento μας εξασφαλίζει την καλλίτερη προσέγγιση του υδρολογικού ισοζυγίου της λεκάνης (απορροή, κατείσδυση, πραγματική εξατμισοδιαπνοή) και επιπλέον μας παρέχει παραγόμενες χρονοσειρές απορροής σε λεκάνες με παρόμοια χαρακτηριστικά που δεν διαθέτουν παρατηρημένες απορροές.
Επίσης, με την επιτευχθείσα προσομοίωση ποσοτικοποιούνται οι μεταβολές στο υδρολογικό ισοζύγιο για τις περιόδους που έχουν εντοπιστεί ανθρωπογενείς επιδράσεις στην υδρολογική δίαιτα και οι οποίες συνέβαλαν στη μεταβολή της κατείσδυσης ή και στη δέσμευση ποσοτήτων των επιφανειακών απορροών.

(3) ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ – ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ, ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΔΟΜΗ ΛΕΚΑΝΗΣ, ΥΠΟΓΕΙΟ ΥΔΑΤΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ

Αξιολογήθηκε μεγάλος αριθμός γεωλογικών τομών υδρογεωτρήσεων (>400) καθώς και γεωφυσικών διασκοπήσεων οι οποίες συνέβαλαν στη λεπτομερή κατασκευή της υδρογεωλογικής δομής της λεκάνης της Μεσαράς που έγινε σε Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών (ΓΣΠ) και ειδικότερα στον καθορισμό της γεωμετρίας των στρωμάτων και στον υπολογισμό των υδραυλικών χαρακτηριστικών των υδροφορέων. Επιπλέον, αξιολογήθηκαν τα δεδομένα 52 πιεζομέτρων παρακολούθησης της υπόγειας στάθμης νερού, μετρήθηκαν οι ακριβείς συντεταγμένες τους, και κατασκευάσθηκαν οι πιεζομετρικοί χάρτες σε ΓΣΠ με τη μέθοδο Kriging.
Πραγματοποιήθηκαν επίσης διαφορικές μετρήσεις απορροής κατά μήκος των χειμάρρων και υπολογίσθηκε η αγωγιμότητα της κοίτης των.
Τη μεγαλύτερη αβεβαιότητα μεταξύ των δεδομένων εμφανίζουν οι αντλήσεις, που στην πραγματικότητα δεν υφίστανται. Εφαρμόσθηκαν δύο μέθοδοι εκτίμησης των πραγματικών αντλήσεων. Με την πρώτη, οι ετήσιες αντλήσεις υπολογίσθηκαν με βάση την κατανάλωση ενέργειας (μετρήσεις παροχής ηλεκτρικού ΔΕΗ) και τη σχέση μεταξύ ποσότητας άντλησης-ενέργειας που προέκυψε από δειγματοληπτικό έλεγχο γεωτρήσεων (εύρος τιμών 1,75-2,15 m3/KWh). Η δεύτερη μέθοδος εκτίμησης περιλαμβάνει τρία στάδια: στο 1^{ο} στάδιο, υπολογίσθηκε η θεωρητική ζήτηση ανά λεκάνη που διακρίθηκε το υδρογεωλογικό σύστημα με βάση την απογραφείσα έκταση, το είδος των αρδευόμενων καλλιεργειών και τη βέλτιστη αρδευτική δόση. Στο 2^{ο} στάδιο υπολογίσθηκε η συνολική ωριαία άντληση ανά επιμέρους λεκάνη, που διακρίθηκε το υδρογεωλογικό σύστημα της Μεσαράς, με βάση τη μέση αντλητική ικανότητά των 848 απογραφέντων υδρογεωτρήσεων. Από την προκύπτων σημαντική συσχέτιση μεταξύ της ωριαίας παροχής άντλησης και της κατανάλωσης της ηλεκτρικής ενέργειας οι τιμές που εμφάνιζαν απόκλιση διερευνήθηκαν και διορθώθηκαν μετά τον εντοπισμό των σφαλμάτων. Στο 3^{ο} στάδιο η πραγματική μηνιαία κατανάλωση εκτιμήθηκε από την ωριαία άντληση του 2^{ου} σταδίου και με σενάρια μηνιαίων ωρών άντλησης. Τα αποτελέσματα με τις δυο μεθόδους συγκλίνουν ικανοποιητικά.

Τα έντονα τεκτονικά φαινόμενα, που έχουν λάβει χώρα κατά τη διάρκεια του νεογενούς στην Κρήτη, έχουν σχηματίσει πολλαπλές ρηξιγενείς ζώνες και τα ρηξιτεμάχη μετακινήθηκαν περίπου κατακόρυφα σχηματίζοντας λεκάνες μέσα στις οποίες εναποτέθηκαν οι σύγχρονες αποθέσεις δημιουργώντας συστήματα υδροφορέων με πολύπλοκη δομή, διαφορετική κοκκομετρική σύσταση και υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά. Συνεπακόλουθα, η λεπτομερής κατασκευή της

γεωλογικής και υδρογεωλογικής δομής της περιοχής μελέτης που πραγματοποιήθηκε στηριζόμενη σε μεγάλο αριθμό γεωτρητικών και γεωφυσικών δεδομένων σε συνδυασμό με το γεωδυναμικό μοντέλο της ευρύτερης περιοχής, αποτελεί το βασικό και αναγκαίο υπόβαθρο για την ελάττωση της αβεβαιότητας όσο αφορά τον υπολογισμό του όγκου της υπόγειας αποθήκευσης, της χωρικής μεταβολής των υδραυλικών χαρακτηριστικών, τον υπολογισμό των ρυθμιστικών αποθεμάτων και γενικότερα τον προσδιορισμό της υδροδυναμικής λειτουργίας του συστήματος.
Επιπρόσθετα, η λεπτομερής υδρογεωλογική δομή αποτελεί το υπόβαθρο για τη ρεαλιστική προσομοίωση του συστήματος της Μεσαράς και συνεπακόλουθα την εξαγωγή ορθών συμπερασμάτων για τη διαχείριση και την προστασία των υπόγειων υδάτων.

(4) ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΟ ΟΜΟΙΩΜΑ, ΧΩΡΟΧΡΟΝΙΚΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ, ΣΥΝΔΥΑΣΜΕΝΗ ΧΡΗΣΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΩΝ- ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΥΔΑΤΩΝ

Η εννοιολογική προσέγγιση της προσομοίωσης του υδρογεωλογικού συστήματος της Μεσαράς καθώς και η επιλογή των οριακών συνθηκών, στηριζόμενη στη λεπτομερή υδρογεωλογική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε, μας εξασφαλίζει τη δυνατότητα να κατανοήσουμε την υδροδυναμική λειτουργία του και να ποσοτικοποιήσουμε τη διαχρονική μεταβολή της κατάστασής του από τις ανθρώπινες παρεμβάσεις.
Η λεκάνη της Μεσαράς προσομοιώθηκε ως ενιαίο σύστημα σε συνθήκες σταθερής και μεταβατικής ροής, με τις πραγματικές διαστάσεις των υδροφορέων και τη διάκρισή της στην οριζόντια διάσταση σε 22 ζώνες και στην κατακόρυφη σε δύο στρώματα. Τα υδραυλικά χαρακτηριστικά (K,S) των παραπάνω ζωνών υπολογίσθηκαν από τα αντλητικά δεδομένα των γεωτρήσεων της κάθε ζώνης. Ο κάναβος αποτελείται από 89 X 28 X 2 = 4984 στοιχειώδεις κυψελίδες και η βασική διάστασή των στο οριζόντιο επίπεδο είναι 500X500m ενώ στο κατακόρυφο είναι μεταβλητή και ισούται με την πραγματική διάσταση των δύο υδροφορέων.
Για την προσομοίωση εφαρμόσθηκε ο κώδικας MODFLOW (USGS)και χρησιμοποιήθηκαν τα εξής πακέτα: Recharge για την προσομοίωση της βαθιάς διήθησης από την επιφανειακή βροχόπτωση, τις επιστροφές των αντλήσεων, τον εμπλουτισμό από τα υγρά απόβλητα των οικισμών και την κατείσδυση από τα «μικρά» υδρορεύματα. Drain για τις υπόγειες διαφυγές εκτός λεκάνης από τη Φαιστό και το Χάρακα καθώς και τις εκροές των πηγών Πετροκεφαλίου. Well για τις αντλήσεις. Stream για την προσομοίωση της αλληλεπίδρασης μεταξύ χειμάρρου - υδροφορέα για τον κύριο ρου του Γεροποτάμου και του Αναποδάρη. Η χρήση του πακέτου Stream, που είναι η πλέον πολύπλοκη συνθήκη, εφαρμόσθηκε με περιορισμένα δεδομένα κύρια της χρονοσειράς διαφορικών μετρήσεων απορροών με τις οποίες υπολογίζεται η αγωγιμότητα της κοίτης. Όμως, για τη ρεαλιστική προσομοίωση, το εύρος τιμών της αγωγιμότητα της κοίτης των υδρορευμάτων υπολογίσθηκε με την πραγματοποίηση διαφορικών μετρήσεων κατά μήκος των χειμάρρων (2004-2005) σε συνδυασμό με τις αντίστοιχες μετρήσεις του FAO (1970).
Η βαθμονόμηση σε συνθήκες σταθερής ροής πραγματοποιήθηκε για δύο περιόδους, της μικρής και της έντονης εκμετάλλευσης. Επίσης, η κατανομή των υδραυλικών φορτίων στις συνθήκες σταθερής ροής της περιόδου μικρής

εκμετάλλευσης εισήχθηκε ως αρχικό υδραυλικό φορτίο (starting head) στην προσομοίωση της μεταβατικής ροής.
Με την επιτευχθείσα βαθμονόμησή του ομοιώματος σε συνθήκες μεταβατικής ροής που πραγματοποιήθηκε για περίοδο 25ετίας (1980-2005), σε μηνιαίο βήμα, υπολογίσθηκαν, μεταξύ των άλλων, ανά λεκάνη που έχει διακριθεί το υδρογεωλογικό σύστημα της Μεσαράς: τα μόνιμα και τα ρυθμιστικά αποθέματα του υδροφορέα, οι πραγματικές διαχρονικές αντλήσεις, οι περιοχές που έχουν υποστεί πιέσεις, η μεταβολή της ροής των υπόγειων υδάτων και η αλληλεπίδραση των επιφανειακών και των υπογείων υδάτων.
Επιπλέον, προσδιορίσθηκαν και ποσοτικοποιήθηκαν οι διαχρονικές ανθρωπογενείς πιέσεις στον υδροφορέα, προσδιορίστηκαν οι ζώνες επικινδυνότητας για ρύπανση και αξιολογήθηκε η αποτελεσματικότητα (αστοχία) των υφισταμένων έργων καθώς και οι επιπτώσεις των προτεινόμενων επιφανειακών έργων ταμίευσης.

(5) ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΤΩΝ ΥΔΑΤΩΝ ΤΗΣ ΜΕΣΑΡΑΣ, ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΕ ΑΛΛΕΣ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΕΣ ΛΕΚΑΝΕΣ.

Η γενικότερη μεθοδολογία που εφαρμόσθηκε στην παρούσα εργασία για την προσέγγιση του υδατικού ισοζυγίου του συστήματος της Μεσαράς, η οποία περιχαρακώνεται από τις ιδιαίτερες συνθήκες της Κρήτης και τα περιορισμένα δεδομένα, περιλαμβάνει την αξιολόγηση- αξιοποίηση όλων των δεδομένων με τη χρήση ΓΣΠ, την εφαρμογή κατάλληλων μεθόδων και την προσαρμογή/εφαρμογή κατάλληλων ομοιωμάτων, σε μηνιαία χρονική κλίματα και στη χωρική διάσταση της υδατικής περιοχής τα όρια της οποίας ταυτίζονται με τα όρια των επιφανειακών και των υπόγειων λεκανών, όπως αναλυτικά αναφέρονται στις προηγούμενες παραγράφους.
Συνοπτικά, οι κύριες συνιστώσες του υδατικού ισοζυγίου υπολογίσθηκαν ως εξής: Η επιφανειακή βροχόπτωση και η δυνητική εξατμισοδιαπνοή υπολογίσθηκαν με μεθόδους ολοκλήρωσης της επιφάνειας σε ΓΣΠ. Το υδρολογικό ισοζύγιο και οι μεταβολές του υπολογίσθηκαν από το ομοίωμα Sacramento και αναλυτικότερα υπολογίσθηκε ανά λεκάνη η πραγματική εξατμισοδιαπνοή, η απορροή και η συνολική κατείσδυση στα υπόγεια νερά. Η υδροδυναμική λειτουργία του συστήματος των υπόγειων νερών προσομοιώθηκε με εφαρμογή του κώδικα Modflow και από αυτή υπολογίσθηκαν οι διαχρονικές αντλήσεις, οι εισροές από τα υδρορεύματα, τα ρυθμιστικά αποθέματα, η μέγιστη διαρκής απόδοση του υδροφορέα, η ποσοτικοποίηση των ανθρωπογενών επιπτώσεων και οι παράμετροι για την προτεινόμενη συνδυασμένη χρήση επιφανειακών – υπόγειων νερών. Τέλος, με την εφαρμογή του ομοιώματος RIBASIM υπολογίζεται η κατάσταση του ισοζυγίου προσφοράς – ζήτησης και προτείνονται εναλλακτικά σενάρια προστασίας και ανάπτυξής των υδάτων.

Η προσέγγιση του υδρολογικού συστήματος της Μεσαράς με την παραπάνω μεθοδολογία τεκμηριώνει μεταξύ των άλλων τις εναλλακτικές προτάσεις που γίνονται για τη βέλτιστη αξιοποίηση και προστασία των υδάτων της περιοχής μελέτης, την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των υφισταμένων και των προτεινομένων έργων, τον προσδιορισμό (ποιοτικό και ποσοτικό) των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από τα έργα και τις διάφορες δράσεις, τον υπολογισμό του κόστους ανάκτησης των χρήσεων νερού (οικονομική ανάλυση).

Επιπρόσθετα, η παραπάνω ανάλυση μας δίνει τη δυνατότητα να εντοπισθεί το μείγμα της πολιτικής που θα εξασφαλίσει κίνητρα αποτελεσματικότερης διαχείρισης των υδάτινων πόρων με το μικρότερο δυνατό κόστος, την εξέταση εναλλακτικών εργαλείων οικονομικής πολιτικής (π.χ. ποσοτικοί περιορισμοί, φόροι ρύπανσης, επιδοτήσεις, μέτρα ευαισθητοποίησης κοινού με στόχο τη δημιουργία υδατικής συνείδησης, αγρο-περιβαλλοντικά προγράμματα για την παροχή οικονομικής και τεχνικής βοήθειας) και να αξιολογηθεί η δυνατότητά τους να συμβάλλουν στην κατεύθυνση της επαρκούς ανάκτησης του κόστους υπηρεσιών νερού.

Γενικότερα, η μεθοδολογική αυτή προσέγγιση μπορεί να εφαρμοσθεί για οποιαδήποτε περιοχή στη Κρήτη ή σε νησιωτικό περιβάλλον με περιορισμένα δεδομένα και αποτελεί τη ραχοκοκαλιά εφαρμογής της οδηγίας πλαίσιο που διέπει τα ύδατα (2000/60/ΕΚ). Θα πρέπει όμως να τονιστεί ότι το κλειδί για την ρεαλιστική προσέγγιση αποτελεί η λεπτομερής ανάλυση όλων των δεδομένων που υπεισέρχονται στις παραμέτρους των ομοιωμάτων.

Διάρθρωση εργασίας

Στο κεφάλαιο 1 γίνεται η επεξεργασία των χρονοσειρών της σημειακής βροχομετρικής πληροφορίας και υπολογίζεται η επιφανειακή βροχόπτωση σε ΓΣΠ. Επίσης πραγματοποιείται στατιστική ανάλυση των ετήσιων και των μηνιαίων βροχοπτώσεων.
Στο κεφάλαιο 2 γίνεται επεξεργασία των χρονοσειρών της θερμοκρασίας, της σχετικής υγρασίας, της ηλιοφάνειας και της ταχύτητας του ανέμου. Υπολογίζεται η δυνητική εξατμισοδιαπνοή με τρεις μεθόδους που μπορούσαν να εφαρμοσθούν με βάση τα υφιστάμενα δεδομένα και πραγματοποιείται συγκριτική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων τους. Τέλος υπολογίζεται η επιφανειακή ολοκλήρωση της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής σε ΓΣΠ.
Στο κεφάλαιο 3 γίνεται επεξεργασία των χρονοσειρών της απορροής, πραγματοποιείται υδρολογική ανάλυση των λεκανών απορροής και προτείνεται μέθοδος εντοπισμού της (α)συνέπειας των μετρήσεων. Εφαρμόζεται κατάλληλα το μοντέλο sacramento και από την επιτευχθείσα προσομοίωση υπολογίζεται το υδρολογικό ισοζύγιο των υπολεκανών.
Στο κεφάλαιο 4 οι γεωλογικές συνθήκες της περιοχής αναλύονται και κατασκευάζεται η γεωλογική δομή της περιοχής μελέτης καθώς και χαρακτηριστικές γεωλογικές τομές στηριζόμενα σε μεγάλο αριθμό γεωτρητικών και γεωφυσικών δεδομένων.
Στο κεφάλαιο 5 οι υδρογεωλογικές συνθήκες της περιοχής αναλύονται, με βάση τη γεωλογική δομή (κεφ. 3) και τα δεδομένα των γεωτρήσεων και κατασκευάζεται η υδρογεωλογική δομή του συστήματος της Μεσαράς η οποία διακρίνεται σε λεκάνες με βάση γεωμετρικά και υδραυλικά χαρακτηριστικά των στρωμάτων. Υπολογίζεται η γεωμετρία και ο όγκος αποθήκευσης νερού του υδροφόρου σχηματισμού της κάθε λεκάνης. Εξάγονται συμπεράσματα για τις υδρογεωλογικές συνθήκες στηριζόμενα στους πιεζομετρικούς χάρτες των λεκανών που κατασκευάσθηκαν με τα δεδομένα των χρονοσειρών 52 πιεζομέτρων παρακολούθησης.
Στο κεφάλαιο 6 πραγματοποιείται η εννοιολογική προσέγγιση του υδρογεωλογικού συστήματος της Μεσαράς και αναλύονται οι εξωτερικές και εσωτερικές συνθήκες του εννοιολογικού μοντέλου. Το υδρογεωλογικό σύστημα προσομοιώνεται σε συνθήκες σταθερής και μεταβατικής ροής για διάστημα 25ετίας και σε μηνιαίο βήμα. Με την επιτευχθείσα ρύθμιση του ομοιώματος υπολογίζεται το διαχρονικό υδατικό ισοζύγιο των υπόγειων λεκανών που διακρίθηκε το σύστημα καθώς και τα αποθέματά των για τις δυο παραπάνω συνθήκες. Επίσης εξάγονται συμπεράσματα για την υδροδυναμική λειτουργία του συστήματος.
Στο κεφάλαιο 7 υπολογίζεται το ισοζύγιο προσφοράς – ζήτησης για την υφιστάμενη κατάσταση και με βάση αυτό γίνονται προτάσεις για την προστασία των υδάτων και την αειφορική διαχείριση των υδατικών πόρων. Εξετάζεται η βέλτιστη ανάπτυξη των υδατικών πόρων με την συνδυασμένη χρήση επιφανειακών και υπόγειων υδάτων και προτείνονται εναλλακτικά σενάρια και μέτρα προστασίας των υδάτων με βάση το υφιστάμενο θεσμικό πλαίσιο και την κατάσταση όπως έχει διαμορφωθεί μέχρι σήμερα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΗΜΕΙΑΚΗΣ ΒΡΟΧΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ-ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ..... 4

1.1.1 Βάση Δεδομένων - Σύστημα Υδρολογικής Πληροφορίας HYMOS 4.0 4
1.1.2 Υδρομετεωρολογικά δεδομένα 5
1.1.3 Υδρολογικά – υδρομετρικά δεδομένα 5
1.2.1 Έλεγχος και αποκατάσταση της συνέπειας του βροχομετρικού δείγματος 12
1.2.1.1 Μεθοδολογία 12
1.2.1.2 Ανάλυση με την μέθοδο της διπλής αθροιστικής καμπύλης. 13
1.2.1.3 Η δοκιμή Buishand 13
1.2.1.4 Συμπεράσματα για την (α)συνέπεια των βροχομετρικών σταθμών 14
1.2.2 Μεγιστοποίηση βροχομετρικού δείγματος 19
1.2.2.1 Μέθοδοι συμπλήρωσης χρονοσειρών 19
1.2.2.1.1 Μέθοδος αριθμητικού μέσου 19
1.2.2.1.2 Μέθοδος κανονικών λόγων 19
1.2.2.1.3 Μέθοδος αντίστροφης απόστασης 19
1.2.2.1.4 Μέθοδος της γραμμικής παλινδρόμησης 20
1.2.2.1.5 Μέθοδος της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης 20
1.2.2.1.6 Μέθοδος της ομογενής ευθείας 21
1.2.2.1.7 Μέθοδος της οργανικής συσχέτισης 21
1.2.2.2 Συμπλήρωση των χρονοσειρών σταθμών Μεσαράς. 21
1.2.3 Γεωγραφική κατανομή βροχοπτώσεων - Βροχομετρική βαθμίδα 26
1.2.4 Επιφανειακή ολοκλήρωση σημειακών βροχοπτώσεων. 34
1.2.4.1 Μεθοδολογίες υπολογισμού επιφανειακής βροχόπτωσης 34
1.2.4.1.1 Μέθοδος Thiessen. 34
1.2.4.1.2 Μέθοδος ψηφιδωτής διαμέρισης (grid – point method) 35
1.2.4.1.3 Η μέθοδος των Ισοϋετών καμπυλών(isohyetal method). 35
1.2.4.1.4 Μέθοδοι προσδιορισμού επιφανειακού ύψους βροχής 36
1.2.4.1.5 Αλγόριθμος Χωρικής Παρεμβολής Kriging 37
1.2.5 Επιφανειακή βροχόπτωση 39
1.2.5.1 Επιφανειακή βροχόπτωση στη λεκάνη Μεσαράς 39
1.2.5.2 Ισοϋέτιες καμπύλες Μεσαράς. 39
1.2.5.3 Υπολογισμός μέσης επιφανειακής βροχόπτωση με ολοκλήρωση ισοϋετών καμπυλών 40
1.2.5.4 Υπολογισμός μέσης επιφανειακής βροχόπτωσης με τη μέθοδο Thiessen 40
1.2.5.5 Επιφανειακή βροχόπτωση στις υπολεκάνες Μεσαράς 51
1.3.1 Συμπύκνωση του δείγματος 54
1.3.1.1 Στατιστικά χαρακτηριστικά του δείγματος 54
1.3.1.2 Συνοπτική παράσταση δείγματος (Box Plot). 55
1.3.1.3 Ιστογράμματα 56
1.3.1.4 Εμπειρική συνάρτηση κατανομής 56
1.3.2 Επιλογή και προσαρμογή θεωρητικής συνάρτησης κατανομής 57
1.3.2.1 Ενδείξεις καταλληλότητας κανονικής κατανομής 58
1.3.2.2 Έλεγχος καταλληλότητας της θεωρητικής κατανομής πιθανότητας 59
1.3.2.2.1 Έλεγχος χ^2 59
1.3.2.2.2 Έλεγχος kolmogorov-Smirnov 59
1.3.3 Στατιστική πρόγνωση 60
1.3.3.1 Όρια εμπιστοσύνης 61
1.3.4 Στατιστική ανάλυση βροχοπτώσεων περιοχής Μεσαράς 61
1.3.4.1 Στατιστική ανάλυση ετήσιων βροχοπτώσεων 62
1.3.4.1.1 Συμπύκνωση του δείγματος 62
1.3.4.1.2 Συνοπτική παράσταση δείγματος (Box Plot) 62
1.3.4.1.3 Ιστογράμματα 62
1.3.4.1.4 Εμπειρική συνάρτηση κατανομής 62
1.3.4.1.5 Έλεγχος καταλληλότητας της θεωρητικής κατανομής πιθανότητας 63
1.3.4.2 Συχνότητα εμφάνισης ετήσιας επιφανειακής βροχόπτωσης 69
1.3.4.3 Στατιστική ανάλυση μηνιαίων βροχοπτώσεων 74
1.3.4.4 Συχνότητα εμφάνισης μηνιαίας επιφανειακής βροχόπτωσης 75

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

ΠΙΝΑΚ. 1- 1 ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟΙ ΚΑΙ ΒΡΟΧΟΜΕΤΡΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ. . 8
ΠΙΝΑΚ. 1- 2 ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ 9
ΠΙΝΑΚ. 1- 3 ΥΔΡΟΜΕΤΡΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ ΜΕΣΑΡΑΣ -ΠΗΓΕΣ 10
ΠΙΝΑΚ. 1- 4 ΥΔΡΟΜΕΤΡΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ ΜΕΣΑΡΑΣ -ΥΔΑΤΟΡΕΥΜΑΤΑ 11
ΠΙΝΑΚ. 1- 5 ΥΔΡΟΜΕΤΡΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ ΜΕΣΑΡΑΣ (ΥΔΑΤΟΡΕΥΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΗΓΕΣ) ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ 11
ΠΙΝΑΚ. 1- 6 ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΗΜΕΡΗΣΙΩΝ ΒΡΟΧΟΜΕΤΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ (ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ R - ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ) 16
ΠΙΝΑΚ. 1- 7 ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΜΗΝΙΑΙΩΝ ΒΡΟΧΟΜΕΤΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ (ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ R - ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ) 17
ΠΙΝΑΚ. 1- 8 ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΕΤΗΣΙΩΝ ΒΡΟΧΟΜΕΤΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ (ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ R - ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ) 18
ΠΙΝΑΚ. 1- 9 ΥΠΕΡΕΤΗΣΙΟ ΥΨΟΣ ΒΡΟΧΗΣ ΚΑΙ ΥΨΟΜΕΤΡΟ ΒΡΟΧΟΜΕΤΡΙΚΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ 28
ΠΙΝΑΚ. 1- 10 ΥΨΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΣΧΕΣΕΙΣ ΚΑΙ ΒΡΟΧΟΜΕΤΡΙΚΕΣ ΒΑΘΜΙΔΕΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΜΕΣΑΡΑΣ..... 29
ΠΙΝΑΚ. 1- 11 ΌΡΙΑ ΕΜΠΙΣΤΟΣΥΝΗΣ ΤΩΝ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ ΓΡΑΜΜΙΚΗΣ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗΣ ΥΨΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΣΧΕΣΕΩΝ..... 29
ΠΙΝΑΚ. 1- 12 ΒΡΟΧΟΜΕΤΡΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ ΝΟΤΙΟ- ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΚΡΗΤΗΣ 41
ΠΙΝΑΚ. 1- 13 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΟΥ ΥΠΕΡΕΤΗΣΙΟΥ ΥΨΟΥΣ ΒΡΟΧΗΣ (KRIGING)..... 41
ΠΙΝΑΚ. 1- 14 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΟΥ ΥΠΕΡΕΤΗΣΙΟΥ ΥΨΟΥΣ ΒΡΟΧΗΣ (SPLINES)..... 42
ΠΙΝΑΚ. 1- 15 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΟΥ ΥΨΟΥΣ ΒΡΟΧΗΣ ΞΗΡΟΥ ΕΤΟΥΣ (1989-1990) (SPLINES) 42
ΠΙΝΑΚ. 1- 16 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΟΥ ΥΨΟΥΣ ΒΡΟΧΗΣ ΥΓΡΟΥ ΕΤΟΥΣ (2002-2003) (SPLINES) 43
ΠΙΝΑΚ. 1- 17 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΟΥ ΥΠΕΡΕΤΗΣΙΟΥ ΥΨΟΥΣ ΒΡΟΧΗΣ (THIESSEN) 43
ΠΙΝΑΚ. 1- 18 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΟΥ ΥΨΟΥΣ ΒΡΟΧΗΣ ΞΗΡΟΥ ΕΤΟΥΣ (1989-1990) (THIESSEN)..... 44
ΠΙΝΑΚ. 1- 19 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΟΥ ΥΨΟΥΣ ΒΡΟΧΗΣ ΥΓΡΟΥ ΕΤΟΥΣ (2002-2003) (THIESSEN)..... 44
ΠΙΝΑΚ. 1- 20 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΑΝΑΓΩΓΗΣ ΣΤΙΣ ΥΠΟΛΕΚΑΝΕΣ ΜΕΣΑΡΑΣ 52
ΠΙΝΑΚ. 1- 21 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΤΗΣΙΩΝ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΕΩΝ ΒΡΟΧΟΜΕΤΡΙΚΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ (ΤΙΜΕΣ ΣΕ ΜΜ ΥΨΟΥΣ ΒΡΟΧΗΣ) 64
ΠΙΝΑΚ. 1- 22 ΔΕΙΓΜΑΤΙΚΕΣ ΡΟΠΕΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΗ ΒΡΟΧΟΜΕΤΡΙΚΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ. 65
ΠΙΝΑΚ. 1- 23 ΔΕΙΓΜΑΤΙΚΕΣ ΡΟΠΕΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ . 66
ΠΙΝΑΚ. 1- 24 ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑ ΕΜΦΑΝΙΣΗΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ ΕΤΗΣΙΑΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ ΛΕΚΑΝΩΝ ΜΕΣΑΡΑΣ. 71
ΠΙΝΑΚ. 1- 25 ΔΕΙΓΜΑΤΙΚΕΣ ΡΟΠΕΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΗΝΙΑΙΩΝ ΤΙΜΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ ΛΕΚΑΝΩΝ ΜΕΣΑΡΑΣ 77

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

ΕΙΚΟΝΑ 1- 1 ΥΔΡΟΜΕΤΡΙΚΟΙ ΚΑΙ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ 6
ΕΙΚΟΝΑ 1- 2 ΥΔΡΟΜΕΤΡΙΚΟΙ ΚΑΙ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ 7
ΕΙΚΟΝΑ 1- 3 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΣΥΜΠΛΗΡΩΣΗΣ ΤΙΜΩΝ (ΑΝΑΓΩΓΗ ΣΕ ΕΤΗΣΙΟ ΥΨΟΣ ΒΡΟΧΗΣ) 24
ΕΙΚΟΝΑ 1- 4 ΣΥΜΠΛΗΡΩΣΗ ΣΤΑΘΜΟΥ MT45 (PH ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΑ, PF ΣΥΜΠΛΗΡΩΜΕΝΗ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΑ) 25
ΕΙΚΟΝΑ 1- 5 ΓΡΑΦΗΜΑ ΥΠΕΡΕΤΗΣΙΟΥ ΥΨΟΥΣ ΒΡΟΧΗΣ ΚΑΙ ΥΨΟΜΕΤΡΟΥ ΒΡΟΧΟΜΕΤΡΙΚΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ ΛΕΚΑΝΗΣ ΜΕΣΑΡΑΣ 30
ΕΙΚΟΝΑ 1- 6 ΥΨΟΓΡΑΦΙΚΗ ΣΧΕΣΗ ΣΤΗ ΛΕΚΑΝΗ ΜΕΣΑΡΑΣ 31
ΕΙΚΟΝΑ 1- 7 ΥΨΟΓΡΑΦΙΚΗ ΣΧΕΣΗ ΣΤΗ ΛΕΚΑΝΗ ΜΕΣΑΡΑΣ ΧΩΡΙΣ ΤΑ ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΑ ΒΡΟΧΟΜΕΤΡΑ 31
ΕΙΚΟΝΑ 1- 8 ΥΨΟΓΡΑΦΙΚΗ ΣΧΕΣΗ ΣΤΟ ΒΟΡΕΙΟ ΤΜΗΜΑ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΜΕΣΑΡΑΣ 32
ΕΙΚΟΝΑ 1- 9 ΥΨΟΓΡΑΦΙΚΗ ΣΧΕΣΗ ΣΤΟ ΝΟΤΙΟ ΤΜΗΜΑ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΜΕΣΑΡΑΣ 32
ΕΙΚΟΝΑ 1- 10 ΥΨΟΓΡΑΦΙΚΗ ΣΧΕΣΗ ΣΤΟ ΒΟΡΕΙΟ ΤΜΗΜΑ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΜΕΣΑΡΑΣ 33
ΕΙΚΟΝΑ 1- 11 ΥΨΟΓΡΑΦΙΚΗ ΣΧΕΣΗ ΣΤΟ ΚΕΝΤΡΙΚΟ ΤΜΗΜΑ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΜΕΣΑΡΑΣ 33
ΕΙΚΟΝΑ 1- 12 ΙΣΟΫΕΤΙΕΣ ΜΕΣΑΡΑΣ (ΥΠΕΡΕΤΗΣΙΑ ΥΨΗ ΒΡΟΧΗΣ) KRIGING 46
ΕΙΚΟΝΑ 1- 13 ΙΣΟΫΕΤΙΕΣ ΜΕΣΑΡΑΣ 25 Μ (ΥΠΕΡΕΤΗΣΙΑ ΥΨΗ ΒΡΟΧΗΣ) SPLINES 47
ΕΙΚΟΝΑ 1- 14 ΙΣΟΫΕΤΙΕΣ 25 Μ ΜΕΣΑΡΑΣ ΞΗΡΟ ΕΤΟΣ (1989-1990) SPLINES 48
ΕΙΚΟΝΑ 1- 15 ΙΣΟΫΕΤΙΕΣ ΜΕΣΑΡΑΣ 25Μ ΥΓΡΟ ΕΤΟΣ (2002-2003) SPLINES 49
ΕΙΚΟΝΑ 1- 16 ΠΟΛΥΓΩΝΑ THIESSEN ΛΕΚΑΝΗΣ ΜΕΣΑΡΑΣ. 50
ΕΙΚΟΝΑ 1- 17 ΥΠΟΛΕΚΑΝΕΣ ΜΕΣΑΡΑΣ ΚΑΙ ΠΟΛΥΓΩΝΑ THIESSEN 53
ΕΙΚΟΝΑ 1- 18 ΕΤΗΣΙΑ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ ΒΡΟΧΟΜΕΤΡΙΚΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΣΑΡΑΣ – BOX PLOT 67
ΕΙΚΟΝΑ 1- 19 ΕΤΗΣΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ ΛΕΚΑΝΩΝ ΜΕΣΑΡΑΣ – BOX PLOT 68
ΕΙΚΟΝΑ 1- 20 ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ ΕΜΦΑΝΙΣΗΣ ΤΗΣ ΕΤΗΣΙΑΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ (ΚΑΝΟΝΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ) ΛΕΚΑΝΩΝ ΜΕΣΑΡΑΣ 72
ΕΙΚΟΝΑ 1- 21 ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ ΤΗΣ ΕΤΗΣΙΑΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ (ΚΑΝΟΝΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ) ΛΕΚΑΝΩΝ ΜΕΣΑΡΑΣ 73
ΕΙΚΟΝΑ 1- 22 ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΕΜΦΑΝΙΣΗΣ ΜΗΝΙΑΙΑΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ A50-0 (ΠΕΔΙΝΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΜΕΣΑΡΑΣ) 78

Κεφάλαιο 1 Επεξεργασία σημειακής βροχομετρικής πληροφορίας- στατιστική ανάλυση

1.1 Υδρολογικά Στοιχεία - Πηγές

Τα υδρομετεωρολογικά δεδομένα τα οποία χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα μελέτη προέρχονται από τους παρακάτω φορείς:

- Από το τηλεμετρικό σύστημα της Διεύθυνσης Υδάτων της Περιφέρειας Κρήτης.
- Από το σύστημα παρακολούθησης της Υπηρεσία Εγγείων Βελτιώσεων (ΥΕΒ)/ πρώην ΥΠ.ΓΕ και νυν Περιφέρεια Κρήτης
- Από την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (ΕΜΥ)
- Πρωτογενή δεδομένα από τη Μελέτη του FAO.
- Πρωτογενή δεδομένα σχετικών μελετών που αναφέρονται στην περιοχή μελέτης (ΙΓΜΕ, ΟΑΝΑΚ, διάφοροι άλλοι φορείς και μελετητές).
- Από τη συλλογή δεδομένων από τον υπογράφοντα κατά την διάρκεια εκπόνησης της διατριβής.

Στο κείμενο και τους πίνακες προσδιορίζεται εκτός των άλλων και η πηγή των δεδομένων.

1.1.1 Βάση Δεδομένων - Σύστημα Υδρολογικής Πληροφορίας HYMOS 4.0

Ως βάση δεδομένων καθώς και για την ανάλυση και την επεξεργασία των υδρολογικών δεδομένων χρησιμοποιήθηκε κατά κύριο λόγο το σύστημα υδρολογικής πληροφορίας HYMOS 4.0. Ενίοτε και επικουρικά χρησιμοποιήθηκε η access και το excel της Microsoft καθώς και η βάση του ArcGIS 9.1. Το HYMOS είναι ένα σύστημα πληροφοριών για την αποθήκευση, επεξεργασία και παρουσίαση υδρολογικών και περιβαλλοντικών δεδομένων, έχει αναπτυχθεί από το ινστιτούτο WL|DELFT HYDRAULICS της Ολλανδίας και έχει χρησιμοποιηθεί παγκοσμίως σε πάνω από τριάντα χώρες. Στην Ελλάδα χρησιμοποιείται από το εργαστήριο Διαχείρισης Υδατικών Πόρων και Παράκτιας Μηχανικής του Πολυτεχνείου Κρήτης, τη διεύθυνση Υδάτων της Περιφέρειας Κρήτης, το υπουργείο ανάπτυξης καθώς και άλλες περιφερειακές υπηρεσίες. Συνδυάζει μια αποτελεσματική βάση δεδομένων με κατάλληλα εργαλεία για την εισαγωγή στοιχείων και επιτρέπει τον έλεγχο της αξιοπιστίας τους, την συμπλήρωσή τους, την ανάλυσή τους, την ανάκτησή τους και την παρουσίασή τους. Αποτελεί έτσι, ένα ευέλικτο και πολύ-λειτουργικό σύστημα υδρολογικής πληροφορίας. Η γραφική και βασιζόμενη σε χάρτη διεπιφάνεια χρήστη του, προσφέρει ένα αποτελεσματικό περιβάλλον εργασίας.

Τα πεδία εφαρμογής του HYMOS περιλαμβάνουν:

- Επιφανειακή υδρολογία και υδρολογία υπογείων νερών
- Μετεωρολογία
- Ποιότητα υδάτων και οικολογία
- Διαχείριση υδατικών πόρων.

Η βασική μονάδα αποθήκευσης δεδομένων είναι με τη μορφή χρονοσειράς, ενώ παράλληλα διαθέτει δυνατότητα χωρικής ανάλυσης. Σε συνδυασμό με ένα σύστημα γεωγραφικών πληροφοριών καλύπτει όλες τις απαιτήσεις για την αποθήκευση και επεξεργασία δεδομένων με εφαρμογή στη μελέτη, στον σχεδιασμό και στη λειτουργία συστημάτων διαχείρισης υδάτων.

1.1.2 Υδρομετεωρολογικά δεδομένα

Τα χαρακτηριστικά των βροχομετρικών και μετεωρολογικών σταθμών της ευρύτερης περιοχής μελέτης παρουσιάζονται αναλυτικά στον Πίνακ. 1- 1. Οι αντίστοιχες χρονοσειρές, που περιλαμβάνουν βροχοπτώσεις, μέση θερμοκρασία, ηλιοφάνεια, μέση σχετική υγρασία, ταχύτητα ανέμου και εξάτμιση, παρουσιάζονται αναλυτικά στον Πίνακ. 1- 2. Από το σύνολο των σταθμών της ευρύτερης περιοχής (Εικόνα 1- 1) που αναφέρονται στους πίνακες, οι 21 πρώτοι ευρίσκονται στην περιοχή μελέτης (Εικόνα 1- 2) και τα δεδομένα τους αξιοποιήθηκαν στους υπολογισμούς του υδατικού ισοζυγίου, ενίοτε όμως χρησιμοποιήθηκαν και οι υπόλοιποι σταθμοί οι ευρισκόμενοι στην ευρύτερη περιοχή της κεντρικής Κρήτης. Στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1-Ι παρατίθενται τα διαγράμματα διαθεσιμότητας των ιστορικών στοιχείων για κάθε σταθμό.

Η κωδικοποίηση που χρησιμοποιήθηκε εδώ είναι η ίδια που χρησιμοποιεί η διεύθυνση υδάτων της Περιφέρειας Κρήτης για εύλογους λόγους. Σύμφωνα με αυτή, η κωδικοποίηση των στοιχείων, όπως φαίνεται από τους παραπάνω πίνακες, έχει ως εξής:

- Οι βροχομετρικοί σταθμοί και οι αντίστοιχες χρονοσειρές έχουν λάβει κωδικούς RG1, RG2, …
- Οι μετεωρολογικοί σταθμοί και οι αντίστοιχες χρονοσειρές έχουν κωδικούς MT1. MT2, …

Η καταχώρηση των υδρομετεωρολογικών και υδρομετρικών δεδομένων στη βάση έγινε, όπως υπάρχουν καταγραμμένα στα αντίστοιχα βιβλία των υπηρεσιών, σε χρονικό βήμα ημερήσιο με εξαίρεση τα δεδομένων των ολοκληρωτικών χιονοβροχομέτρων που έγινε σε ετήσιο βήμα. Ολοκληρωτικοί χιονοβροχομετρικοί σταθμοί είναι οι παρακάτω: RG3, RG7, RG30, RG34, RG35 οι οποίοι ευρίσκονται στην ευρύτερη περιοχή μελέτης.
Στην Εικόνα 1- 1 και την Εικόνα 1- 2 παρουσιάζεται το δίκτυο υδρομετεωρολογικών και υδρομετρικών σταθμών της Κεντρικής Κρήτης και της περιοχής έρευνας αντίστοιχα.

1.1.3 Υδρολογικά – υδρομετρικά δεδομένα

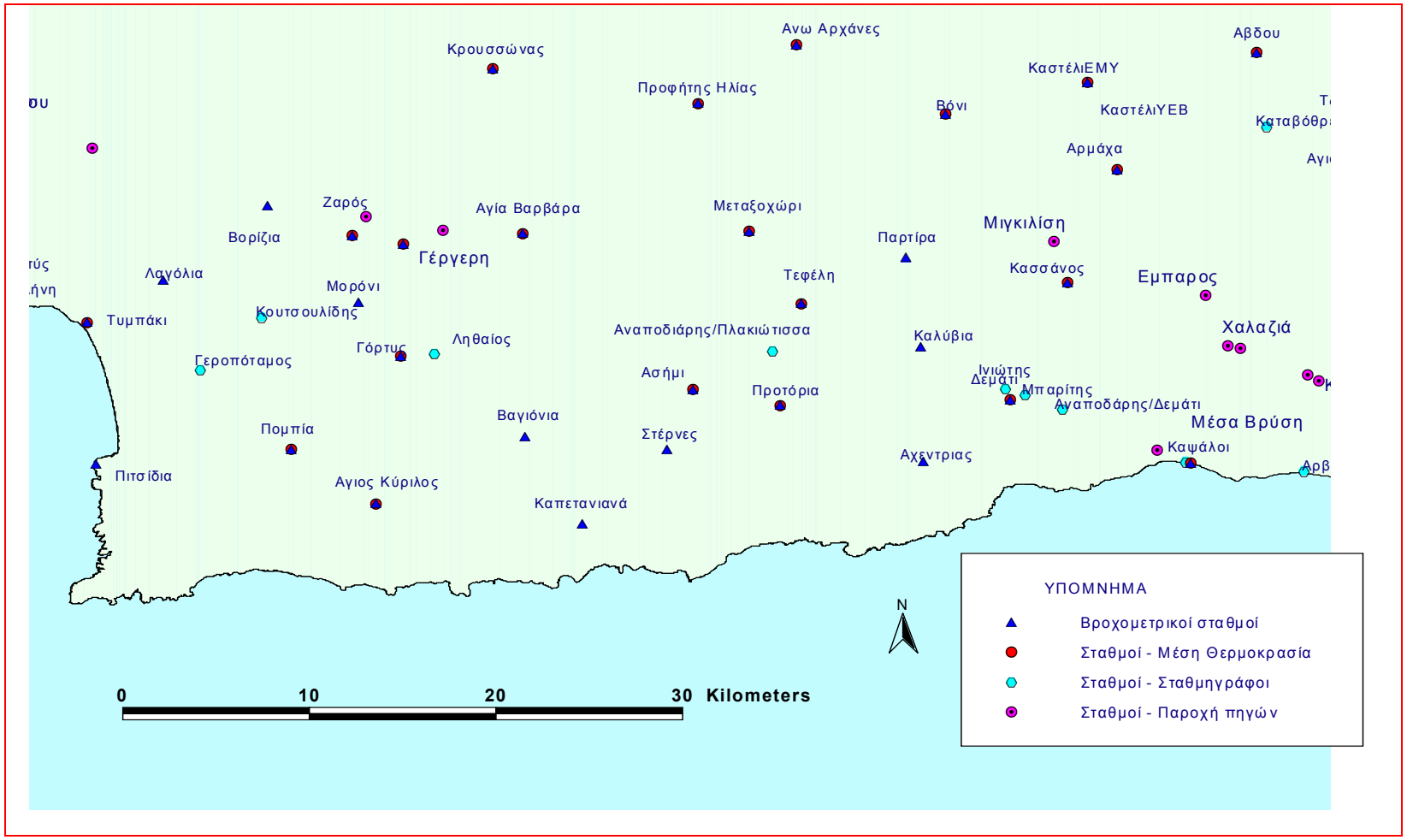
Τα χαρακτηριστικά των υδρομετρικών σταθμών, των πηγών και των υδατορευμάτων παρατίθενται στους Πίνακ. 1- 3 και Πίνακ. 1- 4 αντίστοιχα. Οι χρονοσειρές των απορροών, παρουσιάζονται αναλυτικά στον Πίνακ. 1- 5. Όμοια και εδώ η κωδικοποίηση των σταθμών και των χαρακτηριστικών των χρησιμοποιήθηκε η ίδια της διεύθυνσης υδάτων και έχει ως εξής:

- Οι υδρομετρικοί σταθμοί σε υδατορεύματα και οι αντίστοιχες χρονοσειρές έχουν κωδικούς STR1, STR2, …
- Οι υδρομετρικοί σταθμοί σε πηγές και οι αντίστοιχες χρονοσειρές έχουν κωδικούς SP1, SP2, …

Στην Εικόνα 1- 2 παρουσιάζεται το δίκτυο υδρομετεωρολογικών και υδρομετρικών σταθμών της περιοχής μελέτης.



Εικόνα 1- 1 Υδρομετρικοί και μετεωρολογικοί σταθμοί ευρύτερης περιοχής



Εικόνα 1- 2 Υδρομετρικοί και μετεωρολογικοί σταθμοί περιοχής μελέτης

Πίνακ. 1- 1 Μετεωρολογικοί και βροχομετρικοί σταθμοί της ευρύτερης περιοχής μελέτης.

Κωδικός Σταθμού	Ονομασία	Νομός	Τοποθεσία				Υψό-μετρο	Φορέας
			Γ. Μήκος	Γ. Πλάτος	ΕΓΣΑ 87 - Χ	ΕΓΣΑ 87 - Υ	[m]	
MT1	Αγία Βαρβάρα	Ηρακλείου	025:00:00E	35:08:00N	590910.3	3887874	570	ΥΕΒ/ΑΜ 204
MT10	Δεμάτι	Ηρακλείου	025:17:00E	35:02:00N	617026.3	3877270	210	ΥΕΒ/ΑΜ 56
MT15	Γέργερη	Ηρακλείου	024:56:00E	35:08:00N	584536.3	3887230	450	ΥΕΒ/ΑΜ 51
MT16	Γόρτυς	Ηρακλείου	024:58:00E	35:03:00N	584386.3	3880120	182	ΕΜΥ/ΑΜ 753
MT2	Άγιος Κύριλλος	Ηρακλείου	024:55:00E	34:59:00N	583036.3	3870700	450	ΥΕΒ/ΑΜ 59
MT24	Κασάνοι	Ηρακλείου	025:19:00E	35:06:00N	620116.3	3884740	320	ΥΕΒ/ΑΜ 57
MT31	Μεταξοχώρι	Ηρακλείου	025:08:00E	35:08:00N	603058.3	3888005	430	ΥΕΒ/ΑΜ 366
MT35	Πόμπια	Ηρακλείου	024:52:00E	35:01:00N	578536.3	3874150	150	ΥΕΒ/ΑΜ 60
MT37	Πραιτώρια	Ηρακλείου	025:09:00E	35:02:00N	604704.6	3876931	225	ΥΕΒ/ΑΜ 359
MT42	Τεφέλη	Ηρακλείου	025:10:00E	35:06:00N	605866.3	3883420	360	ΥΕΒ/ΑΜ 54
MT45	Ζαρός	Ηρακλείου	024:54:00E	35:08:00N	581798.6	3887788	500	ΥΕΒ/ΑΜ 634
MT8	Ασήμι	Ηρακλείου	025:06:00E	35:03:00N	600049.1	3877943	200	ΥΕΒ/ΑΜ 58
RG12	Καλύβια	Ηρακλείου	025:14:00E	35:04:00N	612261.3	3880719	200	ΥΕΒ/ΑΜ 378
RG13	Καπετανιανά	Ηρακλείου	025:02:00E	34:58:00N	594138.4	3869421	800	ΥΕΒ/ΑΜ 376
RG15	Λαγόλιο	Ηρακλείου	024:47:00E	35:06:00N	571666.3	3884860	140	ΥΕΒ/ΑΜ 374
RG17	Μορώνι	Ηρακλείου	024:54:00E	35:06:00N	582134.0	3883486	400	ΥΕΒ/ΑΜ 382
RG21	Πάρτηρα	Ηρακλείου	025:14:00E	35:07:00N	611476.3	3886360	400	ΥΕΒ/ΑΜ 379
RG23	Στέρνες	Ηρακλείου	025:05:00E	35:00:00N	598636.3	3874150	300	ΥΕΒ
RG24	Βαγιονιά	Ηρακλείου	025:00:00E	35:01:00N	591039.6	3874936	190	ΥΕΒ/ΑΜ 375
RG27	Βορίζια	Ηρακλείου	024:51:00E	34:09:00N	577227.7	3889597	520	ΥΕΒ/ΑΜ 50
RG5	Αχεντριάς	Ηρακλείου	025:14:00E	35:00:00N	612351.9	3873325	680	ΥΕΒ/ΑΜ 377
RG2	Άγιος Γεώργιος	Λασιθίου	025:28:59E	35:10:00N	634893.1	3892121	850	ΥΡΕΗΟΔΕ
RG3	Ιδη-1 (ΟΛΟ)	Ρεθύμνης	024:53:16E	35:15:00N	579806.0	3903383	1150	ΥΕΒ
RG7	Ιδη-2 (ΟΛΟ)	Ρεθύμνης	024:52:20E	35:13:08N	578283.9	3899729	1450	ΥΕΒ
RG30	Ιδη-3 (ΟΛΟ)	Ρεθύμνης	024:50:26E	35:12:15N	575225.0	3897969	1350	ΥΕΒ
MT50	Καστέλι-ΕΜΥ	Ηρακλείου	025:20:00E	35:12:00N	621157.8	3897473	335	ΕΜΥ/ΑΜ 760
MT23	Καστέλι-ΥΕΒ	Ηρακλείου	025:20:00E	35:13:00N	621157.8	3897473	350	ΥΕΒ/ΑΜ 61
RG39	Κάτω Μετόχι (ΟΛΟ)	Λασιθίου	025:25:08E	35:11:16N	627845.8	3895997	1150	ΥΕΒ
MT22	Καψάλη	Ηρακλείου	025:24:00E	35:00:00N	626716.3	3873280	10	ΥΕΒ/ΑΜ 633
RG34	Ομαλός-1 (ΟΛΟ)	Ηρακλείου	025:27:14E	35:04:40N	630904.6	3883076	1350	ΥΕΒ
RG35	Ομαλός-2 (ΟΛΟ)	Ηρακλείου	025:26:00E	35:04:00N	629393.6	3883076	1300	ΥΕΒ
MT57	Τζερμιάδο	Λασιθίου	025:29:00E	35:12:00N	634838.0	3895822	820	ΕΜΥ/ΑΜ763
MT43	Τυμπάκι	Ηρακλείου	024:46:00E	35:00:00N	567556.3	3882220	6.7	ΕΜΥ/ΑΜ 759
Φορείς:	ΥΕΒ: Υπηρεσία Εγγείων Βελτιώσεων							
	ΕΜΥ: Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία							
	ΙΥΕ: Ινστιτούτο Υποτροπικών και Ελαίας							
	Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε.: Υπουργείο Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων							

Πίνακ. 1- 2 περίοδος μετρήσεων και παράμετροι

Κωδικός Σταθμού	Ονομασία	Κωδικός Παραμέτρων	Περίοδος Μετρήσεων	
			Έναρξη	Λήξη
MT1	Αγία Βαρβάρα	PH	1/9/1965	1/8/2005
		EH	1/9/1969	1/8/2005
MT10	Δεμάτι	PH	1/9/1964	1/8/2005
MT15	Γέργερη	PH	1/9/1963	1/8/2005
		EH	1/9/1963	1/8/2005
		TH	1/9/1977	1/8/2005
MT16	Γόρτυς	PH	1/1/1977	1/12/2005
		WH	1/1/1977	1/11/2005
		TH	1/1/1977	1/11/2005
		RH	1/1/1977	1/12/2005
MT2	Άγιος Κύριλλος	PH	1/9/1961	1/8/2005
MT24	Κασάνοι	PH	1/9/1962	1/8/2005
MT31	Μεταξοχώρι	PH	1/9/1968	1/8/2005
		EH	1/9/1969	1/8/2005
MT35	Πόμπια	PH	1/9/1945	1/8/2005
		EH	1/9/1977	1/8/2005
		TH	1/9/1976	1/8/2005
MT37	Πραιτώρια	PH	1/9/1967	1/8/2005
		EH	1/9/1969	1/8/2005
		TH	1/9/1967	1/8/2005
MT42	Τεφέλη	PH	1/9/1962	1/8/2005
MT45	Ζαρός	PH	1/9/1952	1/8/2005
		WH	1/1/1977	1/12/2005
		TH	1/1/1977	1/12/2005
		RH	1/1/1977	1/12/2005
MT8	Ασήμι	PH	1/9/1961	1/8/2005
		EH	1/9/1961	1/8/2005
RG12	Καλύβια	PH	1/9/1969	1/8/2005
RG13	Καπετανιανά	PH	1/9/1969	1/8/2005
RG15	Λαγόλιο	PH	1/9/1969	1/8/2005
RG17	Μορώνι	PH	1/9/1969	1/8/2005
RG21	Πάρτηρα	PH	1/9/1969	1/8/2005
RG23	Στέρνες	PH	1/9/1968	1/8/1995
RG24	Βαγιονιά	PH	1/9/1969	1/8/2005
RG27	Βορίζια	PH	1/9/1963	1/8/2005
MT43	Τυμπάκι	PH	1/1/1980	1/12/2005
		SH	1/1/1977	1/12/2005
		WH	1/1/1977	1/11/2005
		TH	1/1/1992	1/12/2005
		RH	1/1/1977	1/12/2005
		EH	1/9/1977	1/8/2005
		RH	1/1/1977	1/12/2005
		TH	1/1/1977	1/12/2005
		WH	1/1/1977	1/12/2005
		EH	1/9/1969	1/8/2005

RG5	Αχεντριάς	PH	1/9/1969	1/8/2005
RG3	Ιδη-1 (ΟΛΟ)	PH	1/1/1968	1/1/2005
RG7	Ιδη-2 (ΟΛΟ)	PH	1/1/1968	1/1/2005
RG30	Ιδη-3 (ΟΛΟ)	PH	1/1/1968	1/1/2005
MT50	Καστέλι-ΕΜΥ	PH SH WH RH	1/1/1977 1/1/1981 1/1/1977 1/1/1977	1/8/2005 1/12/1998 1/8/2005 1/12/2005
MT23	Καστέλι-ΥΕΒ	PH EH TH	1/9/1931 1/9/1968 1/9/1977	1/8/2005 1/8/2005 1/8/2005
MT22	Καψάλη	PH EH TH SH	1/9/1966 1/9/1977 1/9/1987 1/9/1995	1/8/2005 1/8/2005 1/8/2005 1/8/2005
MT27	Κρουσσώνας	PH	1/9/1964	1/8/2005
		EH TH	1/9/1991 1/9/1991	1/8/2005 1/8/2005
RG34	Ομαλός-1 (ΟΛΟ)	PH	1/1/1968	1/1/2005
RG35	Ομαλός-2 (ΟΛΟ)	PH	1/1/1995	1/1/2005
MT57	Τζερμιάδο	RH TH PH	1/9/1977 1/9/1977 1/9/1962	1/8/2005 1/8/2005 1/8/1992

Κωδικοί Παραμέτρων

PH	Βροχόπτωση
EH	Εξάτμιση
SH	Ηλιοφάνεια
WH	Ταχύτητα Ανέμου
RH	Σχετική Υγρασία
TH	Θερμοκρασία

Πίνακ. 1- 3 υδρομετρικοί σταθμοί Μεσαράς -πηγές

Κωδικός Σταθμού	Ονομασία	Νομός	Τοποθεσία		Φορέας
			Γ. Μήκος	Γ. Πλάτος	
SP21	Γέργερη	Ηρακλείου	024:55:48E	35:07:48N	ΥΕΒ
SP20	Βότομος	Ηρακλείου	024:54:00E	35:07:48N	ΥΕΒ
SP14	Αυλή Μιγγιλίση	Ηρακλείου	025:19:12E	35:07:12N	ΥΕΒ
SP25	Έμπαρος	Ηρακλείου	025:03:00E	35:06:00N	ΥΕΒ

Πίνακ. 1- 4 υδρομετρικοί σταθμοί Μεσαράς -υδατορέματα

Κωδικός Σταθμού	Ονομασία	Νομός	Τοποθεσία				Φορέας
			Γ. Μήκος	Γ. Πλάτος	ΕΓΣΑ 87 - Χ	ΕΓΣΑ 87 - Υ	
STR9	Γεροπόταμος	Ηρακλείου	024:47:00E	35:03:00N	573612.2	3879192	YEB/AM 282
STR11	Αναποδάρης/ Πλακιώτισσα	Ηρακλείου	025:09:00E	35:04:00N	604333.7	3880456	YEB/AM 278
STR8	Ληθαίος	Ηρακλείου	024:57:00E	35:04:00N	586195.6	3880215	YEB/AM 281
STR7	Αναποδάρης/ Δεμάτι	Ηρακλείου	025:18:00E	35:01:00N	619823.1	3876715	YEB/AM 280

Πίνακ. 1- 5 υδρομετρικοί σταθμοί Μεσαράς (υδατορέματα και πηγές) περίοδος μετρήσεων και παράμετροι

Κωδικός Σταθμού	Ονομασία	Κωδικός Παραμέτρων	Περίοδος Μετρήσεων	
			Έναρξη	Λήξη
STR9	Γεροπόταμος	QH	1/9/1967	1/8/2005
STR11	Αναποδάρης/ Πλακιώτισσα	QH	1/9/1967	1/8/1995
STR8	Ληθαίος	QH	1/9/1967	1/8/2005
STR7	Αναποδάρης/ Δεμάτι	QH	1/9/1967	1/8/2005
SP21	Γέργερη	QH	1/9/1968	1/8/1987
SP20	Βότομος	QH	1/9/1968	1/8/1993
SP25	Έμπαρος	QH	1/9/1968	1/8/2005
SP14	Αυλή Μιγγιλίση	QH	1/9/1968	1/8/1985

Κωδικοί Παραμέτρων

QH Παροχή

1.2 Επεξεργασία σημειακής βροχομετρικής πληροφορίας.

1.2.1 Έλεγχος και αποκατάσταση της συνέπειας του βροχομετρικού δείγματος

1.2.1.1 Μεθοδολογία

Αλλαγές των συνθηκών μέτρησης μιας χρονοσειράς ενός σταθμού όπως η θέση του σταθμού, η έκθεσής του, τα όργανα μέτρησης ή η διαδικασία παρατήρησης δύναται να προκαλέσει σχετικές αλλαγές στις μετρήσεις (ασυνέπεια). Οι πηγές των ασυνεπειών στις χρονοσειρές συστηματικών μετρήσεων ενός σταθμού είναι πολλές. Ανάλογα με την πηγή των ασυνεπειών τις διακρίνουμε σε: α) ασυνέπειες που είναι επιβεβλημένες (π.χ. η καταστροφή του μετρητικού οργάνου, η μετακίνηση του σε νέα πιο πρόσφορη θέση), β) ασυνέπειες που οφείλονται σε επιδράσεις αλλαγής περιβάλλοντος (π.χ. μεγάλωμα δένδρου πλησίον σταθμού) και γ) ασυνέπειες που οφείλονται σε ανθρώπινους παράγοντες (όπως κακή εκπαίδευση παρατηρητών, κακή συντήρηση οργάνων κλπ).

Για τον έλεγχο της συνέπειας των χρονοσειρών ακολουθήθηκαν δύο διαδικασίες:

- Αρχικά, οι χρονοσειρές ελέχθησαν στη χρονική κλίμακα των μετρήσεων (ημερήσια) και ειδικότερα τον έλεγχο: α) των ακραίων τιμών (αν μια τιμή ευρίσκεται σε λογικά όρια), β) της εσωτερικής συνέπειας (συσχετισμός διαφορετικών μεταβλητών πχ βροχόπτωση – ηλιοφάνεια), γ) της χρονικής συνέπειας (ταυτόχρονες μετρήσεις να είναι εύλογες) και δ) χωρική συνέπεια (μετρήσεις σε γειτονικούς σταθμούς να είναι συμβατές). Με τον έλεγχο αυτό εντοπίσθηκαν ελάχιστες τιμές στις χρονοσειρές που εμφάνισαν ασυνέπεια και διορθώθηκαν με τον επανέλεγχο στα δελτία που βρίσκονται στην αρμόδια υπηρεσία. Θα πρέπει όμως να σημειωθεί ότι αυτός ο έλεγχος βοήθησε στα μέγιστα στον εντοπισμό των σφαλμάτων που προέκυψαν λόγω της μεταφοράς (πληκτρολόγηση) των μετρήσεων στη βάση δεδομένων (οι περισσότερες μετρήσεις δεν είναι σε ηλεκτρονική μορφή αλλά βρίσκονται σε βιβλία- παρατηρήσεων των υπηρεσιών).

- Έπειτα, οι χρονοσειρές ελέχθησαν για την ύπαρξη συστηματικών ασυνεπειών με την συσχέτιση κάθε χρονοσειράς με τις χρονοσειρές γειτονικών σταθμών (χωρική συνέπεια), αξιοποιώντας την ισχυρή συσχέτιση των υψών βροχής των. Οι συσχετίσεις των χρονοσειρών των βροχομετρικών σταθμών με γραμμική παλινδρόμηση με βήμα ημερήσιο, μηνιαίο και ετήσιο δίνονται στον Πίνακ. 1- 6, στον Πίνακ. 1- 7και στον Πίνακ. 1- 8 αντίστοιχα. Με βάση την ισχυρή συσχέτιση των σταθμών εφαρμόσθηκε η τεχνική της διπλής αθροιστική καμπύλης (double mass curve) για την ύπαρξη ασυνεπειών.

1.2.1.2 Ανάλυση με την μέθοδο της διπλής αθροιστικής καμπύλης.

Για το σύνολο των βροχομετρικών δειγμάτων έγινε έλεγχος συνέπειας με τη μέθοδο της διπλής αθροιστικής καμπύλης. Για κάθε σταθμό συγκρίθηκε το αθροιστικό του ετήσιο ύψος βροχής (Y_i) με τις αντίστοιχες χρονικά αθροιστικές τιμές της μέσης βροχής (X_i) για ένα σύνολο γειτονικών αξιόπιστων σταθμών, με τους οποίους ο υπό έλεγχο σταθμός είχε συντελεστή γραμμικής συσχέτισης r μεγαλύτερο του 0.9 (ο κρίσιμος συντελεστής συσχέτισης r_c για τις 32 ετήσιες τιμές που αποτελείται το δείγμα, υπολογίζεται: $r_c = \frac{2}{\sqrt{32}}$ =0.35- βλέπε παράγραφο 1.2.2.1.4). Η μέθοδος αυτή εφαρμόσθηκε εκτός από τα ετήσια ύψη βροχής και για τα μηνιαία ύψη.

Ανάλογα με τη μορφή της καμπύλης που θα κατασκευασθεί εντοπίζεται και το σφάλμα των μετρήσεων, ειδικότερα:

- Η αλλαγή στην κλίση της διπλής αθροιστικής καμπύλης υποδηλώνει αλλαγές στο βροχομετρικό δείγμα που μπορεί να οφείλονται σε εσφαλμένα πρωτογενή δεδομένα (κακές παρατηρήσεις, φανταστικές συμπληρώσεις δεδομένων, κακή συντήρηση του οργάνου), σε μετάθεση των μετρητικών οργάνων ή σε αλλαγή του περιβάλλοντος του οργάνου.
- Οι αποκλίσεις από την ευθυγραμμία που περνά από την αρχή των αξόνων ερμηνεύονται ως ασυνέπειες των μετρήσεων και συγκεκριμένα:
  - ✓ Η θλάση στη σημειοσειρά ερμηνεύεται ως συστηματική ασυνέπεια που καλύπτει μια από τις δύο περιόδους των διαφορετικών κλίσεων.
  - ✓ Το άλμα στη σημειοσειρά ερμηνεύεται ως μεμονωμένο σφάλμα μιας περιόδου στο οποίο αντιστοιχεί το άλμα. Όμοια ερμηνεύεται και όταν σχηματίζεται μια ευθεία η οποία δεν περνά από την αρχή των αξόνων.
- Είναι δυνατόν να συνυπάρχουν και οι δύο παραπάνω περιπτώσεις πράγμα που ισοδυναμεί σε διαφορετικές πηγές σφαλμάτων.

Οι διπλές αθροιστικές καμπύλες όλων των σταθμών δίνονται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1-ΙΙ καθώς και οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν στους υπολογισμούς.

1.2.1.3 Η δοκιμή Buishand

Για να υπερκεραστεί το βασικό μειονεκτήματα αυτής της μεθόδου της διπλής αθροιστικής καμπύλης , που είναι η αδυναμία της να ξεχωρίσει την πραγματική αλλαγή στη συμπεριφορά των σημείων από την τυχαία σκέδαση των σημείων γύρω από την γραμμή χρησιμοποιήθηκε και ο έλεγχος των αθροιστικών αποκλίσεων από το μέσο όρο κατά Buishand (1982) για εκείνες τις χρονοσειρές που η διπλή αθροιστική καμπύλη υπέδειξε ως ανομοιογενείς.

Η δοκιμή Buishand έχει ως ακολούθως:

$$S_k = \sum_{1}^{k} (y_i - y_{mean}), k = 1,2,...,n$$

$Q = \max |S_k^*|$

$S_k^* = S_k / \sigma_y$

$$\sigma_{y^2} = \sum (y_i - y_{mean})^2 / n$$

Σύμφωνα με τη δοκιμή αυτή, σειρές για τις οποίες το Q είναι πολύ μεγάλο για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%, χρήζουν ομογενοποίησης.

1.2.1.4 Συμπεράσματα για την (α)συνέπεια των βροχομετρικών σταθμών

Από τον έλεγχο και την ανάλυση που πραγματοποιήθηκε για τη συνέπεια των χρονοσειρών των βροχοπτώσεων των μετεωρολογικών σταθμών παρατηρούνται τα παρακάτω:

- Οι χρονοσειρές εμφανίζουν ελάχιστα σφάλματα όσο αφορά τις τιμές στην κλίμακα μέτρησης.

- Οι συσχετίσεις των γειτονικών σταθμών με γραμμική παλινδρόμηση έδωσε υψηλό συντελεστή συσχέτισης σε μηνιαίο και σε ετήσιο βήμα και επομένως συμπεραίνουμε ότι υπάρχει στατιστικά σημαντική γραμμική συσχέτιση. Αναλυτικότερα σε μηνιαίες τιμές ο συντελεστής συσχέτισης (r) κυμαίνεται από 0,70, στους πλέον απομακρυσμένους σταθμούς και με μεγάλες διαφορές υψομέτρου, μέχρι 0,99 για τους γειτονικούς σταθμούς και με μικρές διαφορές υψομέτρου. Η μέση τιμή όλων των σταθμών είναι 0,91. Αντίστοιχα για τις ετήσιες τιμές οι συντελεστές συσχέτισης κυμαίνονται από 0,62 μέχρι 0,99 και με μέση τιμή 0,87.

- Σε αντίθεση, όπως άλλωστε αναμενόταν και εμπειρικά έχει παρατηρηθεί, δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική γραμμική συσχέτιση στις ημερήσιες τιμές παρά μόνο στους σταθμούς που απέχουν μικρή απόσταση και ευρίσκονται στο ίδιο περίπου υψόμετρο. Ανάλογα οι συντελεστές συσχέτισης έχουν εύρος από 0,13 μέχρι 0,86 και μέση τιμή 0,59.

- Ο έλεγχος των συστηματικών ασυνεπειών έγινε με την τεχνική της διπλής αθροιστικής καμπύλης στα ετήσια και μηνιαία ύψη βροχής για τους σταθμούς που εμφανίζουν σημαντική στατιστική συσχέτιση (r>0,90). Στα διαγράμματα (ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1-ΙΙ) παρατηρείται ότι δεν υπάρχει εμφανής κλίση στην ευθεία αλλά αποκλίσεις γύρω από τη μέση γραμμή (σκέδαση). Επιπλέον η διακύμανση αυτή εμφανίζεται αναλόγως

στις περισσότερες καμπύλες και συσχετίζεται με την αλληλουχία ξηρών – κανονικών και υγρών υδρολογικών ετών.

- Μόνο η καμπύλη του γραφήματος του σταθμού Δεματίου ΜΤ10 εμφάνισε ευδιάκριτα δύο κλίσεις.

Στη βιβλιογραφία αναφέρεται ότι οι σταθμοί Δεμάτι (ΜΤ10) , Γέργερη (ΜΤ15) (Παπαγρηγορίου Σ. κα 2001) , Βαγιωνιά (RG24) , Βορίζα (RG27) και Τεφέλι (ΜΤ42) (Καλέργης Γ. 1995) παρουσίαζαν «ανομοιογενές» δείγμα. Οι παραπάνω μελέτες χρησιμοποίησαν ετήσιες και μηνιαίες τιμές αλλά μικρότερη χρονοσειρά. Η κλίση όμως που «εμφανίζεται» στη μικρότερη χρονική κλίμακα των παραπάνω μελετών, είναι περιοδική γύρω από μια ευθεία όταν το δείγμα προβληθεί σε μεγαλύτερη χρονική κλίμακα όπως της παρούσας μελέτης με εξαίρεση τον ΜΤ10 όπως προαναφέρθηκε.

Η αποδοχή ασυνεπειών θα πρέπει να τεκμηριώνεται από συγκεκριμένες αιτίες. Η έλλειψη μητρώου βροχομετρικών σταθμών στις αρμόδιες υπηρεσίες καθιστά δύσκολη την ανεύρεση τεκμηριωμένων αιτίων. Κατόπιν επίσκεψης και συζήτηση με τους παρατηρητές (οι περισσότεροι από αυτούς σήμερα ευρίσκονται σε σύνταξη) προκύπτει ότι: α) τα όργανα των σταθμών δεν έχουν αντικατασταθεί από την εγκατάσταση τους μέχρι σήμερα, παρά μόνο ελάχιστα τμήματα λόγω καταστροφής των, β) δεν άλλαξε θέση κάποιος σταθμός, γ) δεν άλλαξε ο τρόπος μέτρησης και δ) δεν υπάρχουν εμφανείς μεταβολές στον περιβάλλον χώρο (πχ κατασκευή κάποιου κτιρίου, δεντροφύτευση κλπ).

Με βάση τα προαναφερόμενα και με κριτήρια: α) την πληροφορία ότι στον σταθμό ΜΤ10 έχει αλλάξει ένα τμήμα του, β) έχει αλλάξει ο παρατηρητής του την περίοδο που εμφανίζει μεταβολές και γ) εμφανίζει ευδιάκριτα δυο κλίσεις και όχι τη σχετική σκέδαση των γραφημάτων των άλλων σταθμών θεωρήθηκε ότι το η χρονοσειρά έχει συστηματική ασυνέπεια και χρήζει διόρθωσης.

Επιπρόσθετα, εκτιμώντας τα αποτελέσματα της δοκιμής Buishand κρίθηκε ότι ο σταθμός ΜΤ10 έχει ασυνεπές δείγμα βροχών. Ο σταθμός με τη χρήση της διπλής αθροιστικής καμπύλης διορθώθηκαν οι νεότερες μετρήσεις σε σχέση με τις παλαιότερες με κριτήρια το μεγαλύτερο εύρος των παλαιοτέρων μετρήσεων, την αλλαγή του παρατηρητή και τις δυο διαφορετικές κλίσεις στις νεότερες. Οι συντελεστές της διόρθωσης της χρονοσειράς ΜΤ10 παρουσιάζονται στο (ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1-ΙΙ).

Πίνακ. 1- 6 συσχέτιση ημερήσιων βροχομετρικών δεδομένων σταθμών (συντελεστής R - γραμμική συσχέτιση)

		MT1	MT10	MT15	MT16	MT2	MT24	MT31	MT35	MT37	MT42	MT45	MT8	RG12	RG13	RG15	RG17	RG21	RG23	RG24	RG27	RG5
ΑΓ. ΒΑΡΒΑΡΑ	MT1	1.00	0.49	0.78	0.76	0.65	0.63	0.76	0.51	0.66	0.62	0.67	0.63	0.67	0.62	0.27	0.17	0.57	……..	0.51	0.82	0.71
ΔΕΜΑΤΙ	MT10	0.49	1.00	0.60	0.55	0.52	0.54	0.53	0.57	0.55	0.54	0.63	0.50	0.60	0.50	0.35	0.33	0.59	……..	0.44	0.50	0.64
ΓΕΡΓΕΡΗ	MT15	0.78	0.60	1.00	0.76	0.64	0.54	0.68	0.56	0.66	0.58	0.84	0.58	0.61	0.62	0.43	0.31	0.62	……..	0.58	0.83	0.68
ΓΟΡΤΥΝΑ	MT16	0.76	0.55	0.76	1.00	0.74	0.59	0.71	0.65	0.68	0.58	0.71	0.67	0.66	0.70	0.38	0.24	0.55	……..	0.69	0.74	0.71
ΑΓ. ΚΥΡΙΛΟΣ	MT2	0.67	.54	0.54	0.79	1.00	0.60	0.63	0.69	0.60	0.56	0.71	0.58	0.66	0.72	0.40	0.28	0.48	……..	0.65	0.64	0.65
ΚΑΣΑΝΟΙ	MT24	0.63	0.54	0.54	0.59	0.51	1.00	0.73	0.45	0.65	0.62	0.52	0.61	0.70	0.61	0.18	0.15	0.64	……..	0.52	0.60	0.70
ΜΕΤΑΞΟΧΩΡΙ	MT31	0.76	0.53	0.68	0.71	0.60	0.73	1.00	0.51	0.83	0.83	0.64	0.82	0.79	0.71	0.20	0.13	0.82	……..	0.65	0.75	0.70
ΠΟΜΠΙΑ	MT35	0.51	0.57	0.56	0.65	0.60	0.45	0.51	1.00	0.52	0.46	0.61	0.52	0.54	0.56	0.31	0.37	0.48	……..	0.57	0.52	0.57
ΠΡΑΙΤΩΡΙΑ	MT37	0.66	0.55	0.66	0.68	0.57	0.65	0.83	0.52	1.00	0.81	0.61	0.86	0.83	0.76	0.27	0.19	0.80	……..	0.64	0.66	0.75
ΤΕΦΕΛΙ	MT42	0.62	0.54	0.58	0.58	0.57	0.62	0.83	0.46	0.81	1.00	0.57	0.80	0.73	0.72	0.20	0.16	0.78	……..	0.62	0.59	0.62
ΖΑΡΟΣ	MT45	0.67	0.63	0.84	0.71	0.63	0.52	0.64	0.61	0.61	0.57	1.00	0.56	0.59	0.63	0.47	0.41	0.64	……..	0.58	0.74	0.64
ΑΣΗΜΙ	MT8	0.63	0.50	0.58	0.67	0.58	0.61	0.82	0.52	0.86	0.80	0.56	1.00	0.78	0.74	0.20	0.15	0.74	……..	0.65	0.62	0.67
ΚΑΛΥΒΙΑ	RG12	0.67	0.60	0.61	0.66	0.61	0.70	0.79	0.54	0.83	0.73	0.59	0.78	1.00	0.69	0.27	0.21	0.76	……..	0.61	0.66	0.80
ΚΑΠΕΤΑΝΙΑΝΑ	RG13	0.62	0.50	0.62	0.70	0.71	0.61	0.71	0.56	0.76	0.72	0.63	0.74	0.69	1.00	0.29	0.23	0.66	……..	0.71	0.66	0.70
ΛΑΓΟΛΙΟ	RG15	0.27	0.35	0.43	0.38	0.31	0.18	0.20	0.31	0.27	0.20	0.47	0.20	0.27	0.29	1.00	0.70	0.24	……..	0.28	0.31	0.31
ΜΟΡΟΝΙ	RG17	0.17	0.33	0.31	0.24	0.22	0.15	0.13	0.37	0.19	0.16	0.41	0.15	0.21	0.23	0.70	1.00	0.21	……..	0.24	0.19	0.21
ΠΑΡΤΗΡΑ	RG21	0.57	0.59	0.62	0.55	0.46	0.64	0.82	0.48	0.80	0.78	0.64	0.74	0.76	0.66	0.24	0.21	1.00	……..	0.56	0.59	0.63
ΣΤΕΡΝΕΣ	RG23	……..	……..	……..	……..	……..	……..	……..	……..	……..	……..	……..	……..	……..	……..	……..	……..	……..	……..	……..	……..	……..
ΒΑΓΙΩΝΙΑ	RG24	0.51	0.44	0.58	0.69	0.65	0.52	0.65	0.57	0.64	0.62	0.58	0.65	0.61	0.71	0.28	0.24	0.56	……..	1.00	0.55	0.57
ΒΟΡΙΖΑ	RG27	0.82	.50	0.83	0.74	0.64	0.60	0.75	0.52	0.66	0.59	0.74	0.62	0.66	0.66	0.31	0.19	0.59	……..	0.55	1.00	0.70
ΑΧΕΝΤΡΙΑΣ	RG5	0.71	0.64	0.68	0.71	0.65	0.70	0.70	0.57	0.75	0.62	0.64	0.67	0.80	0.70	0.31	0.21	0.63	……..	0.57	0.70	1.00

Πίνακ. 1- 7 συσχέτιση μηνιαίων βροχομετρικών δεδομένων σταθμών (συντελεστής R - γραμμική συσχέτιση)

		MT1	MT10	MT15	MT16	MT2	MT24	MT31	MT35	MT37	MT42	MT45	MT8	RG12	RG13	RG15	RG17	RG21	RG23	RG24	RG27	RG5
ΑΓ. ΒΑΡΒΑΡΑ	MT1	1.00	0.86	0.96	0.95	0.87	0.88	0.92	0.89	0.91	0.90	0.95	0.91	0.90	0.87	0.91	0.92	0.89	0.96	0.87	0.94	0.90
ΔΕΜΑΤΙ	MT10	0.86	1.00	0.86	0.90	0.86	0.90	0.87	0.87	0.91	0.87	0.87	0.90	0.93	0.86	0.88	0.87	0.89	0.98	0.94	0.95	0.97
ΓΕΡΓΕΡΗ	MT15	0.96	0.86	1.00	0.87	0.88	0.88	0.89	0.89	0.91	0.90	0.97	0.90	0.90	0.87	0.91	0.94	0.89	0.94	0.88	0.95	0.90
ΓΟΡΤΥΝΑ	MT16	0.95	0.90	0.87	1.00	0.97	0.90	0.92	0.97	0.89	0.90	0.96	0.90	0.88	0.91	0.98	0.98	0.85	-------	-------	-------	-------
ΑΓ. ΚΥΡΙΛΟΣ	MT2	0.87	0.86	0.88	0.97	1.00	0.84	0.82	0.95	0.89	0.84	0.89	0.90	0.88	0.88	0.92	0.93	0.82	0.94	0.94	0.86	0.89
ΚΑΣΑΝΟΙ	MT24	0.88	0.90	0.88	0.90	0.84	1.00	0.92	0.82	0.92	0.92	0.88	0.91	0.94	0.85	0.85	0.92	0.98	0.95	0.85	0.86	0.90
ΜΕΤΑΞΟΧΩΡΙ	MT31	0.92	0.87	0.89	0.92	0.82	0.92	1.00	0.83	0.93	0.93	0.91	0.92	0.93	0.86	0.86	0.87	0.97	0.95	0.91	0.88	0.90
ΠΟΜΠΙΑ	MT35	0.89	0.87	0.89	0.97	0.95	0.82	0.83	1.00	0.89	0.85	0.85	0.90	0.88	0.88	0.93	0.94	0.83	0.91	0.88	0.88	0.93
ΠΡΑΙΤΩΡΙΑ	MT37	0.91	0.91	0.91	0.89	0.89	0.92	0.93	0.89	1.00	0.94	0.91	0.98	0.97	0.92	0.90	0.95	0.98	0.98	0.91	0.87	0.95
ΤΕΦΕΛΙ	MT42	0.90	0.87	0.90	0.90	0.84	0.92	0.93	0.85	0.94	1.00	0.89	0.93	0.93	0.86	0.85	0.88	0.98	0.95	0.91	0.87	0.91
ΖΑΡΟΣ	MT45	0.95	0.87	0.97	0.96	0.89	0.88	0.91	0.85	0.91	0.89	1.00	0.91	0.90	0.87	0.93	0.94	0.90	0.92	0.91	0.96	0.90
ΑΣΗΜΙ	MT8	0.91	0.90	0.90	0.90	0.90	0.91	0.92	0.90	0.98	0.93	0.91	1.00	0.96	0.93	0.90	0.95	0.96	0.97	0.92	0.88	0.94
ΚΑΛΥΒΙΑ	RG12	0.90	0.93	0.90	0.88	0.88	0.94	0.93	0.88	0.97	0.93	0.90	0.96	1.00	0.91	0.89	0.89	0.98	0.96	0.93	0.86	0.95
ΚΑΠΕΤΑΝΙΑΝΑ	RG13	0.87	0.86	0.87	0.91	0.88	0.85	0.86	0.88	0.92	0.86	0.87	0.93	0.91	1.00	0.89	0.87	0.85	0.77	0.70	0.78	0.88
ΛΑΓΟΛΙΟ	RG15	0.91	0.88	0.91	0.98	0.92	0.85	0.86	0.93	0.90	0.85	0.93	0.90	0.89	0.89	1.00	0.96	0.91	0.92	0.92	0.89	0.90
ΜΟΡΟΝΙ	RG17	0.92	0.87	0.94	0.98	0.93	0.92	0.87	0.94	0.95	0.88	0.94	0.95	0.89	0.87	0.96	1.00	0.91	0.96	0.97	0.89	0.91
ΠΑΡΤΗΡΑ	RG21	0.89	0.89	0.89	0.85	0.82	0.98	0.97	0.83	0.98	0.98	0.90	0.96	0.98	0.85	0.91	0.91	1.00	0.96	0.92	0.97	0.93
ΣΤΕΡΝΕΣ	RG23	0.96	0.98	0.94	-------	0.94	0.95	0.95	0.91	0.98	0.95	0.92	0.97	0.96	0.77	0.92	0.96	0.96	1.00	0.98	0.97	0.99
ΒΑΓΙΩΝΙΑ	RG24	0.87	0.94	0.88	-------	0.94	0.85	0.91	0.88	0.91	0.91	0.91	0.92	0.93	0.70	0.92	0.97	0.92	0.98	1.00	0.85	0.90
ΒΟΡΙΖΑ	RG27	0.94	0.95	0.95	-------	0.86	0.86	0.88	0.88	0.87	0.87	0.96	0.88	0.86	0.78	0.89	0.89	0.97	0.97	0.85	1.00	0.87
ΑΧΕΝΤΡΙΑΣ	RG5	0.90	0.97	0.90	-------	0.89	0.90	0.90	0.93	0.95	0.91	0.90	0.94	0.95	0.88	0.90	0.91	0.93	0.99	0.90	0.87	1.00

Πίνακ. 1- 8 συσχέτιση ετήσιων βροχομετρικών δεδομένων σταθμών (συντελεστής R - γραμμική συσχέτιση)

		MT1	MT10	MT15	MT16	MT2	MT24	MT31	MT35	MT37	MT42	MT45	MT8	RG12	RG13	RG15	RG17	RG21	RG23	RG24	RG27	RG5
ΑΓ. ΒΑΡΒΑΡΑ	MT1	1.00	0.96	0.97	0.97	0.91	0.74	0.79	0.77	0.86	0.70	0.83	0.80	0.78	0.72	0.80	0.84	0.77	----	0.72	0.76	0.77
ΔΕΜΑΤΙ	MT10	0.96	1.00	0.96	0.98	0.94	0.94	0.97	0.85	0.78	0.70	0.84	0.80	0.87	0.79	0.89	0.82	0.82	----	0.83	0.62	0.81
ΓΕΡΓΕΡΗ	MT15	0.97	0.96	1.00	0.97	0.88	0.91	0.94	0.92	0.92	0.83	0.96	0.87	0.84	0.74	0.86	0.93	0.89	----	0.76	0.80	0.88
ΓΟΡΤΥΝΑ	MT16	0.97	0.98	0.97	1.00	0.95	0.97	0.99	0.95	0.97	0.93	0.97	0.95	0.97	0.90	0.98	0.98	0.92	----	0.93	0.97	0.94
ΑΓ. ΚΥΡΙΛΟΣ	MT2	0.91	0.94	0.88	0.95	1.00	0.80	0.78	0.96	0.85	0.76	0.84	0.86	0.89	0.85	0.91	0.86	0.82	----	0.94	0.77	0.90
ΚΑΣΑΝΟΙ	MT24	0.74	0.94	0.91	0.97	0.80	1.00	0.84	0.79	0.93	0.82	0.82	0.91	0.90	0.84	0.82	0.79	0.87	----	0.80	0.74	0.83
ΜΕΤΑΞΟΧΩΡΙ	MT31	0.79	0.97	0.94	0.99	0.78	0.84	1.00	0.81	0.90	0.91	0.91	0.85	0.87	0.80	0.83	0.85	0.94	----	0.78	0.72	0.85
ΠΟΜΠΙΑ	MT35	0.77	0.85	0.92	0.95	0.96	0.79	0.81	1.00	0.85	0.80	0.89	0.85	0.88	0.81	0.92	0.92	0.82	----	0.92	0.75	0.94
ΠΡΑΙΤΩΡΙΑ	MT37	0.86	0.78	0.92	0.97	0.85	0.93	0.90	0.85	1.00	0.87	0.87	0.96	0.96	0.91	0.88	0.86	0.91	----	0.88	0.78	0.90
ΤΕΦΕΛΙ	MT42	0.70	0.70	0.83	0.93	0.76	0.82	0.91	0.80	0.87	1.00	0.85	0.83	0.85	0.76	0.79	0.85	0.87	----	0.80	0.73	0.85
ΖΑΡΟΣ	MT45	0.83	0.84	0.96	0.97	0.84	0.82	0.91	0.89	0.87	0.85	1.00	0.83	0.88	0.79	0.90	0.94	0.91	----	0.83	0.83	0.90
ΑΣΗΜΙ	MT8	0.80	0.80	0.87	0.95	0.86	0.91	0.85	0.85	0.96	0.83	0.83	1.00	0.95	0.93	0.86	0.83	0.87	----	0.91	0.72	0.87
ΚΑΛΥΒΙΑ	RG12	0.78	0.87	0.84	0.97	0.89	0.90	0.87	0.88	0.96	0.85	0.88	0.95	1.00	0.89	0.91	0.87	0.92	----	0.90	0.72	0.92
ΚΑΠΕΤΑΝΙΑΝΑ	RG13	0.72	0.79	0.74	0.90	0.85	0.84	0.80	0.81	0.91	0.76	0.79	0.93	0.89	1.00	0.85	0.77	0.83	----	0.86	0.74	0.82
ΛΑΓΟΛΙΟ	RG15	0.80	0.89	0.86	0.98	0.91	0.82	0.83	0.92	0.88	0.79	0.90	0.86	0.91	0.85	1.00	0.90	0.87	----	0.90	0.80	0.89
ΜΟΡΟΝΙ	RG17	0.84	0.82	0.93	0.98	0.86	0.79	0.85	0.92	0.86	0.85	0.94	0.83	0.87	0.77	0.90	1.00	0.86	----	0.86	0.78	0.91
ΠΑΡΤΗΡΑ	RG21	0.77	0.82	0.89	0.92	0.82	0.87	0.94	0.82	0.91	0.87	0.91	0.87	0.92	0.83	0.87	0.86	1.00	----	0.80	0.74	0.87
ΣΤΕΡΝΕΣ	RG23	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
ΒΑΓΙΩΝΙΑ	RG24	0.72	0.83	0.76	0.93	0.94	0.80	0.78	0.92	0.88	0.80	0.83	0.91	0.90	0.86	0.90	0.86	0.80	----	1.00	0.74	0.87
ΒΟΡΙΖΑ	RG27	0.76	0.62	0.81	0.97	0.77	0.74	0.72	0.75	0.78	0.73	0.83	0.72	0.72	0.74	0.80	0.78	0.74	----	0.74	1.00	0.79
ΑΧΕΝΤΡΙΑΣ	RG5	0.77	0.81	0.89	0.94	0.90	0.83	0.85	0.94	0.90	0.85	0.90	0.87	0.92	0.82	0.89	0.91	0.87	----	0.87	0.79	1.00

1.2.2 Μεγιστοποίηση βροχομετρικού δείγματος

Οι χρονοσειρές των σταθμών της περιοχής μελέτης εμφανίζουν μικρά «κενά» στις μετρήσεις των (έλλειψη παρατηρήσεων), λόγω είτε απουσίας παρατηρητών είτε λόγω καταστροφής των οργάνων των.
Για την συμπλήρωση των κενών εφαρμόσθηκαν οι μέθοδοι που περιγράφονται συνοπτικά στην επόμενη παράγραφο.

1.2.2.1 Μέθοδοι συμπλήρωσης χρονοσειρών

1.2.2.1.1 *Μέθοδος αριθμητικού μέσου*

Είναι εμπειρική μέθοδο και εφαρμόζεται σε χρονοσειρές που οι ελλείψεις είναι σποραδικές και αφορούν μικρές χρονικές περιόδους. Με την μεθοδολογία αυτή, όπως χρησιμοποιείται από την U.S Environmental data Service, (Linsley et al. , 1988) η τιμή του ύψους βροχής (h_Y) που λείπει εκτιμάται ως ο μέσος όρος των αντιστοίχων υψών (h_i) τριών γειτονικών σταθμών (k) κανονικά διατεταγμένων γύρω του. $h_Y = \frac{1}{k}\sum_{i=1}^{k} h_i$.

Προϋπόθεση εφαρμογής αυτής της μεθοδολογίας είναι ότι η μέσες ετήσιες βροχοπτώσεις των γειτονικών σταθμών δεν διαφέρουν πάνω από 10% από την αντίστοιχη του προς συμπλήρωση σταθμού.

1.2.2.1.2 *Μέθοδος κανονικών λόγων*

Πρόκειται για γενίκευση της μεθόδου του αριθμητικού μέσου και εφαρμόζεται όταν το ύψος της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης του προς συμπλήρωση σταθμού (Y) διαφέρει περισσότερο από 10% από τους γειτονικούς σταθμούς. Με αυτή τη μέθοδο, τα ύψη βροχής των γειτονικών σταθμών (h_i)σταθμίζονται με βάση τις αναλογίες των μέσων ετήσιων βροχοπτώσεων (H) (αποκαλούμενες και κανονικές βροχοπτώσεις) : $h_Y = \frac{1}{k}\sum_{i=1}^{k} \frac{H_Y}{H_i} h_i$

1.2.2.1.3 *Μέθοδος αντίστροφης απόστασης*

Είναι και αυτή εμπειρική μέθοδος η οποία χρησιμοποιείται από την U.S National Weather Service (for river forecasting), (Linsley et al. , 1988). Η τιμή του ύψους βροχής (h_Y) που λείπει εκτιμάται ως ο μέσος όρος των αντιστοίχων υψών (h_i) τριών γειτονικών σταθμών (k) σταθμισμένων (w_i) με τα αντίστροφα των αποστάσεων (d_i) υψωμένα σε κατάλληλη δύναμη (b) που κατά κανόνα λαμβάνεται ίση με 2. Συνήθως χρησιμοποιούνται τέσσερις σταθμοί ένας σε κάθε τεταρτομόριο σχηματιζόμενο με γραμμές που διέρχονται από το σταθμό διεύθυνσης βοράς- νότος και ανατολή - δύση.

$h_Y = \frac{1}{k}\sum_{i=1}^{k} w_i h_i$ και $w_i = \frac{d_i^{-b}}{\sum_{i=1}^{k} d_i^{-b}}$

Απόρροια της μεθόδου είναι ότι οι τιμή που προκύπτει είναι μικρότερη από την μεγαλύτερη παρατηρούμενη και μεγαλύτερη από την μικρότερη παρατηρούμενη.

1.2.2.1.4 *Μέθοδος της γραμμικής παλινδρόμησης*

Η μέθοδος της γραμμικής παλινδρόμησης, όπως και της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης, υπάγεται στη κατηγορία των στατιστικών μεθόδων οι οποίες αξιοποιούν τα δεδομένα ενός ή περισσοτέρων γειτονικών σταθμών παίρνοντας υπόψη τις πλήρεις σειρές μετρήσεων στον υπό συμπλήρωση σταθμό και τους γειτονικούς και εκτιμούν την κάθε τιμή με τρόπο ώστε να ελαχιστοποιήσουν το σφάλμα εκτίμησης. Σύμφωνα με την μέθοδο της απλής γραμμικής παλινδρόμησης η προς συμπλήρωση τιμή του ύψους βροχής ($y=h_Y$) του προς συμπλήρωση Υ σταθμού εκτιμάται από την αντίστοιχη τιμή ($x=h_X$) του σταθμού Χ με βάση τη γραμμική σχέση $y = \alpha + bx$ όπου α και b παράμετροι που εκτιμώνται σε τρόπο ώστε να ελαχιστοποιηθεί το τετραγωνικό σφάλμα της εκτίμησης. Αν x_i και y_i είναι ταυτόχρονες μετρήσεις στους σταθμού Χ και Υ τότε:

$$b = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2} \quad , \quad a = \bar{y} - b\,\bar{x} \ , \quad \bar{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i \quad \text{και} \quad \bar{y} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} y_i$$

Ο συντελεστής (γραμμικής) συσχέτισης (r), ο οποίος μας δείχνει την καταλληλότητα της μεθόδου για τα συγκεκριμένα δεδομένα, υπολογίζεται από τη σχέση:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^{n}(y_i - \bar{y})^2}}$$

Οι τιμές του συντελεστής συσχέτισης κυμαίνονται στο διάστημα [-1, 1] και όσο πιο κοντά στα όρια του διαστήματος αυτού βρίσκεται η τιμή του τόσο ισχυρότερη είναι η συσχέτιση, ενώ η μηδενική τιμή του εκφράζει ανυπαρξία συσχέτισης. Για να είναι στατικά σημαντική η συσχέτιση θα πρέπει ο συντελεστής συσχέτισης να είναι σε απόλυτη τιμή μεγαλύτερος από την κρίσιμη τιμή (r_c): $r_c = \frac{2}{\sqrt{n}}$ (Κουτσογιάνης, 1999) . Στην καθημερινή πρακτική του μηχανικού έχει επικρατήσει η τιμή r_c =0,7

1.2.2.1.5 *Μέθοδος της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης*

Η γραμμική παλινδρόμηση δύο μεταβλητών της παραγράφου 1.2.2.1.4 γενικεύεται για περισσότερες από δυο μεταβλητές. Σύμφωνα με την μέθοδο της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης η προς συμπλήρωση τιμή του ύψους βροχής ($y=h_Y$) του προς συμπλήρωση Υ σταθμού εκτιμάται από τις αντίστοιχες τιμές ($x=h_{Xl}$) X_l σταθμών με βάση τη γραμμική σχέση:

$y = \alpha + b_i x_i + ... + b_m x_m$, όπου m το πλήθος των σταθμών που συνδέονται με γραμμικό νόμο. (Για τις εξισώσεις επίλυσης βλέπε σελίδα 207 Κουτσογιάννης,1997)

1.2.2.1.6 *Μέθοδος της ομογενής ευθείας*

Η ομογενής ευθεία προκύπτει από την αγνόηση του σταθερού όρου α της γραμμικής παλινδρόμησης οπότε οι εξισώσεις παίρνουν την μορφή:

$$y = bx \text{ και } b = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i y_i}{\sum_{i=1}^{n} x_i^{\,2}}$$

Αποτελεί απλούστερη μορφή της γραμμικής παλινδρόμησης και δε διατηρεί ούτε τη μέση τιμή ούτε τη διασπορά.

1.2.2.1.7 *Μέθοδος της οργανικής συσχέτισης*

Η μέθοδος της οργανικής συσχέτισης (MOVE.1) (Hirsch κ.α., 1993) αποτελεί παραλλαγή της γραμμικής παλινδρόμησης:

$$\tilde{Y} = \alpha * X + b$$

Οι συντελεστές α και b προσδιορίζονται από τις εξισώσεις:

$$\alpha = \sqrt{\frac{S_Y}{S_X}}\,\mathrm{sgn}(r_{XY}), \quad b = \tilde{y} - \alpha * \tilde{\chi}$$

όπου $\tilde{y}, \tilde{\chi}$ οι μέσες τιμές των X και Y αντίστοιχα, S_Y και S_X οι τυπικές αποκλίσεις τους, και $\mathrm{sgn}(r_{XY})$ το πρόσημο του συντελεστή συσχέτισής τους.

Βασικό πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου ως προς την γραμμική παλινδρόμηση είναι ότι ενώ παρέχει αμερόληπτη εκτίμηση της τιμής που λείπει συγχρόνως οδηγεί σε αμερόληπτες εκτιμήσεις της μέσης τιμής και της διασποράς. Όμως το μέσο τετραγωνικό σφάλμα είναι γενικά μεγαλύτερο από αυτό της γραμμικής συσχέτισης. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται κυρίως στην επέκταση των δειγμάτων που είναι επιθυμητή η διατήρηση της διασποράς.

1.2.2.2 Συμπλήρωση των χρονοσειρών σταθμών Μεσαράς.

Εννέα από τους εικοσιένα βροχομετρικούς σταθμούς (MT1, MT10, MT16, MT2, MT24, MT45, MT8, RG24 και RG12) που βρίσκονται στην περιοχή μελέτης έχουν ελλείψεις στις χρονοσειρές τους (ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1-Ι). Όλοι οι σταθμοί, με εξαίρεση τον MT1, έχουν ελλείψεις το χρονικό διάστημα από 1/1/1999 μέχρι 31/8/1999 (μη πραγματοποίησης μετρήσεων λόγω έλλειψης σχετικών πόρων) και επιπρόσθετα ο MT10 το διάστημα από 1/9/1985 μέχρι 31/3/1986 και ο MT16 από την ημερομηνία 1/9/1981 μέχρι σήμερα. Ο σταθμός MT1 έχει ελλείψεις το χρονικό διάστημα από 1/9/2002 μέχρι 31/8/2003.

Για τη συμπλήρωση των χρονοσειρών χρησιμοποιήθηκαν όλες οι παραπάνω μέθοδοι προκειμένου να συγκριθούν τα αποτελέσματα τους και να εξαχθούν συμπεράσματα που αφορούν τις υδρολογικές συνθήκες της περιοχής. Οι συμπληρώσεις πραγματοποιήθηκαν σε ετήσιο, μηνιαίο και ημερήσιο βήμα και τα γενικά συμπεράσματα είναι τα ακόλουθα:

- οι σταθμοί ακόμη και οι πλησιέστεροι εμφανίζουν διαφορές μεγαλύτερες από 10% στις ετήσιες τιμές βροχοπτώσεων, οπότε η συμπλήρωση των ελλιπών τιμών με τη μέθοδο του αριθμητικού μέσου παράγραφος 1.2.2.1.1 απορρίπτεται.

- Η μέθοδος της οργανικής συσχέτισης εφαρμόζεται κυρίως στην επέκταση των δειγμάτων που είναι επιθυμητή η διατήρηση της διασποράς. Μόνο ο σταθμός ΜΤ16 έχει αναστείλει τη λειτουργία του από το 1981. Η συμπλήρωση - επέκταση της χρονοσειράς των υψών βροχής του δεν έγινε επειδή η επέκταση αφορά υπερδιπλάσιο διάστημα του μετρημένου και επιπρόσθετα η περιοχή καλύπτεται από γειτονικούς σταθμούς.

- Η γραμμική συσχέτιση μεταξύ των σταθμών σε μηνιαίο και ετήσιο βήμα είναι στατιστικά σημαντική (βλέπε Πίνακ. 1- 7 και Πίνακ. 1- 8). Η συμπλήρωση των ελλιπών υψών βροχής έγινε με απλή γραμμική συσχέτιση με το σταθμό που έχει το μεγαλύτερο συντελεστή συσχέτισης (r) και με πολλαπλή γραμμική συσχέτιση με τους πλησιέστερους σταθμούς με r μεγαλύτερο του 0.92. Βασικό πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι παρέχει αμερόληπτη εκτίμηση της τιμής που λείπει.

- Σε αντίθεση η γραμμική συσχέτιση σε ημερήσιο βήμα, για την πλειονότητα των σταθμών, δεν είναι σημαντική (βλέπε Πίνακ. 1- 6). Οι ελλιπείς τιμές υψών βροχής συμπληρώθηκαν με απλή και πολλαπλή γραμμική συσχέτιση χρησιμοποιώντας τις τιμές γειτονικών σταθμών κατά το δυνατόν κανονικά διατεταγμένοι γύρω του και με υψηλό συντελεστή συσχέτισης.

- Οι ελλιπείς τιμές υψών βροχής συμπληρώθηκαν επίσης και με τη μέθοδο της αντίστροφης απόστασης σε ημερήσιο, μηνιαίο και ετήσιο βήμα.

Οι υπολογιζόμενες τιμές ανηγμένες σε ετήσιο ύψος βροχής (βλέπε

- Εικόνα 1- 3) εμφάνισαν μεταξύ τους διαφορές της τάξης από 2% μέχρι 70%.

- Η απλή γραμμική συσχέτιση δίνει συντελεστή «α» όχι κοντά στο μηδέν σε αντίθεση με την πολλαπλή γραμμική συσχέτιση και κατά συνέπεια η πολλαπλή υπερτερεί της γραμμικής.

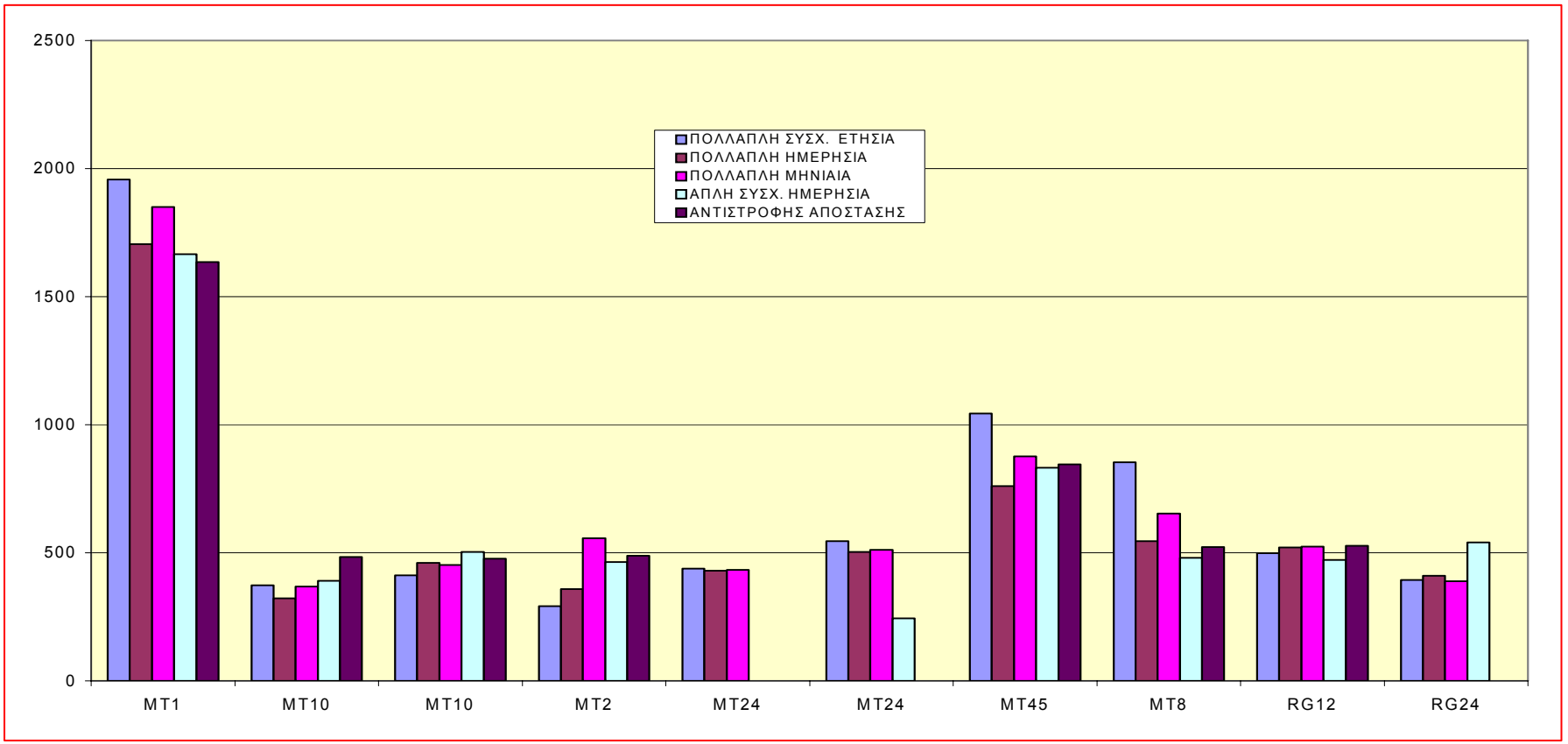
- Η περιοχή μελέτης και διασποράς των βροχομετρικών σταθμών με εξαίρεση το μεσαίο τμήμα της (πεδινό) χαρακτηρίζεται από έντονο ανάγλυφο. Η χρήση της μεθόδου των κανονικών λόγων και της

πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης δίνει περισσότερο αξιόπιστα αποτελέσματα σε αντίθεση με τη μέθοδο της αντίστροφης απόστασης (Linsley et al 1988).

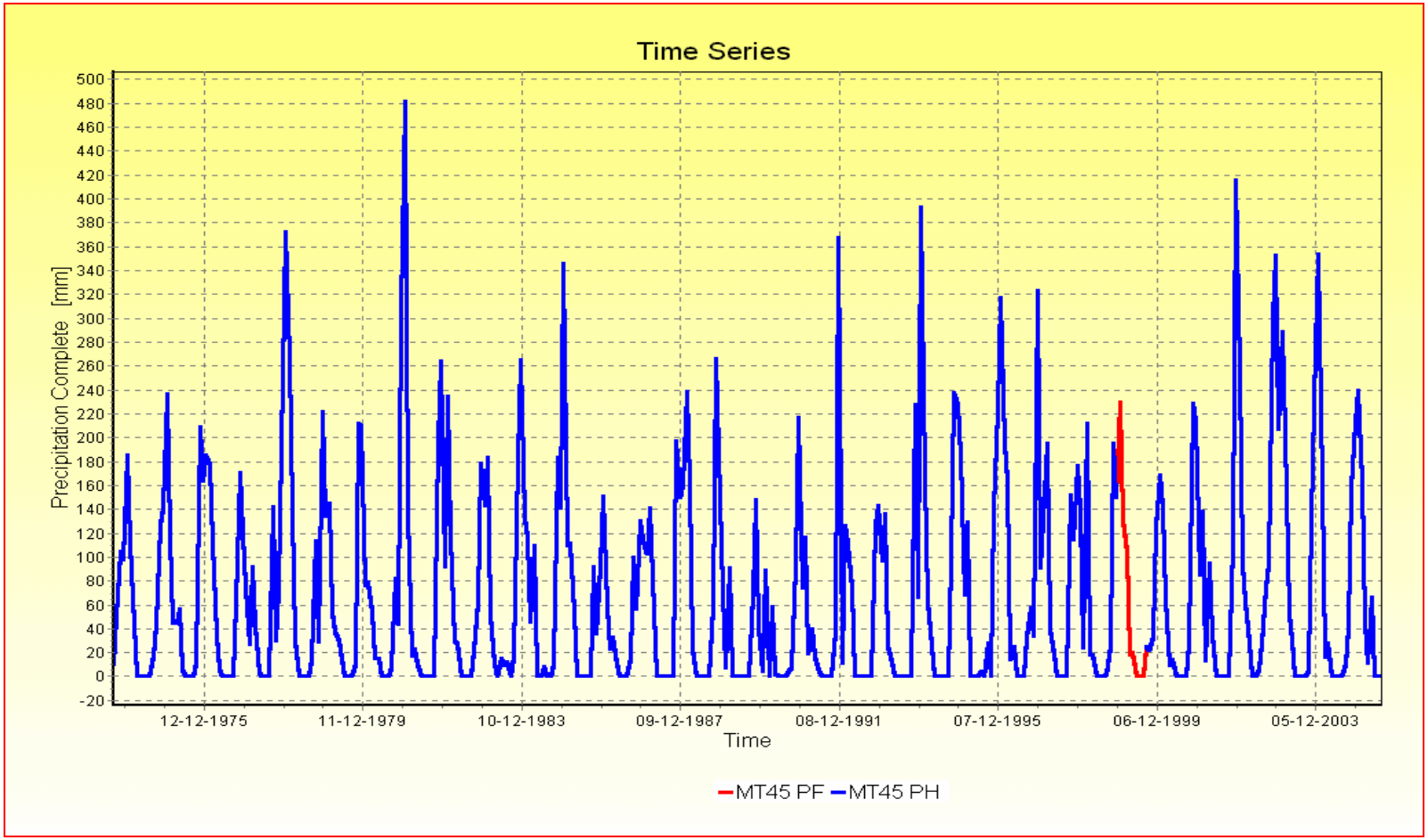
Απόρροια των παραπάνω, και ειδικότερα η παράμετρος για τα γεωφυσικά χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης, η μέθοδος της πολλαπλής γραμμικής συσχέτισης με μηνιαίο βήμα δίνει περισσότερο αξιόπιστους υπολογισμούς για την συμπλήρωση των ελλιπών υψών βροχής.

Οι υπολογισμοί δίνονται στο (ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1-ΙΙΙ). Ειδικότερα, η συμπλήρωση των ημερήσιων τιμών έγινε με τη χρήση της πολλαπλής γραμμικής συσχέτισης με ημερήσιο βήμα και στη συνέχεια οι υπολογιζόμενες τιμές ανήχθηκαν με συντελεστές ανά μήνα διόρθωσης που προέκυψαν από το λόγο των υψών υπολογιζόμενο με μηνιαίο βήμα προς το μηνιαίο άθροισμα υψών υπολογιζόμενο με ημερήσιο βήμα. Παρόλα αυτά θα πρέπει να σημειωθεί ότι η διαφορά των υπολογιζόμενων υψών με ημερήσιο και μηνιαίο βήμα είναι μικρότερη από 10% με εξαίρεση τους σταθμούς ΜΤ2, ΜΤ45 και ΜΤ8.

Οι συμπληρωμένες βροχομετρικές σειρές παρατίθενται στο (ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1-ΙΙΙ). Παράδειγμα συμπλήρωσης βροχομετρικού σταθμού δίνεται στην Εικόνα 1- 1 που ακολουθεί.



Εικόνα 1- 3 σύγκριση μεθόδων συμπλήρωσης τιμών (αναγωγή σε ετήσιο ύψος βροχής)
(τα ύψη αναφέρονται στο έτος 1998-1999 και ο MT10 και MT2 στο έτος 1985-86 και ο MT1 στο 2002-2003



Εικόνα 1- 4 Συμπλήρωση σταθμού MT45 (PH ιστορική χρονοσειρά, PF συμπληρωμένη χρονοσειρά)

1.2.3 Γεωγραφική κατανομή βροχοπτώσεων - Βροχομετρική βαθμίδα

Η χωρική κατανομή των βροχοπτώσεων σε σχέση με το υψόμετρο και άλλους τοπογραφικούς παράγοντες έχει ερευνηθεί από αριθμό ερευνητών με κάπως ποικίλα συμπεράσματα. Οι κύριοι παράγοντες που καθορίζουν τη χωρική κατανομή των βροχοπτώσεων είναι το υψόμετρο, η κλίση, ο προσανατολισμός και η έκθεση σε σχέση με τη διεύθυνση μετακίνησης των κυριότερων και συχνότερων ατμοσφαιρικών διαταραχών. Σε ορεινές περιοχές με σχετικά ομογενή γεωγραφικά χαρακτηριστικά, το υψόμετρο γενικά είναι ο κυριότερος παράγοντας της μεταβολής της κανονικής ετήσιας βροχόπτωσης (Linsley et al 1988). Για τις ανάγκες της παρούσας μελέτης υπολογίσθηκε η σχέση βροχόπτωσης- υψομέτρου.

Γενικά, οι βροχοπτώσεις στην Κρήτη ελαττώνονται από τα δυτικά προς τα ανατολικά και από το βορά προς το νότο ενώ αυξάνονται με το υψόμετρο με τη σχέση: 61mm ανά 100 m υψομέτρου (Παπαγρηγορίου κα 2001).

Για τη λεκάνη της Μεσαράς τα υπερετήσια ύψη βροχής 23 σταθμών (Πίνακ. 1-9) για την περίοδο που εξετάζουμε (9ος 1973- 9ος 2005) χρησιμοποιήθηκαν προκειμένου να εξαχθούν συμπεράσματα για τη γεωγραφική μεταβολή τους. Για το λόγο αυτό κατασκευάσθηκε η «ορογραφική σχέση» δηλαδή η καμπύλη μεταβολής του ύψους βροχής με το υψόμετρο, και προσαρμόσθηκε η γραμμική παλινδρόμηση δεδομένου ότι η καμπύλη αυτή ερμηνεύει με τον καλύτερο τρόπο το φαινόμενο στη συγκεκριμένη περιοχή. Στον Πίνακ. 1-10 δίνονται στοιχεία της γραμμικής παλινδρόμησης για τη λεκάνη της Μεσαράς καθώς και τμημάτων αυτής. Επιπρόσθετα υπολογίσθηκαν τα όρια εμπιστοσύνης των συντελεστών των εξισώσεων παλινδρόμησης τα οποία δίνονται στον Πίνακ. 1- 11.

Από την επεξεργασία των παραπάνω χρονοσειρών των 23 σταθμών της Μεσαράς προκύπτουν τα παρακάτω:

- Το ύψος των βροχοπτώσεων μεταβάλλεται έντονα και συγκεκριμένα σε οριζόντια απόσταση της τάξης των 20 Km και σε υψομετρική διαφορά της τάξης των 1,5 Km, περίπου τετραπλασιάζεται από 472 mm (ΜΤ10) στα 1647 mm, (ΙΔΗ 2) (βλέπε Εικόνα 1- 5).

- Στην Εικόνα 1- 5 δίνεται το γράφημα του υψομέτρου και του ύψους βροχής των σταθμών της Μεσαράς. Τα ύψη βροχής των σταθμών που ευρίσκονται στο νότιο τμήμα (οροσειρά Αστερουσίων) είναι μικρότερα από τα αντίστοιχα ύψη των σταθμών του βόρειου τμήματος (όρος Ψηλορείτης). Παρατηρείται λοιπόν μείωση των βροχοπτώσεων από βορρά προς νότο.

- Η γραμμική παλινδρόμηση εφαρμόσθηκε σε όλους του σταθμούς συμπεριλαμβάνοντας και τα αθροιστικά βροχόμετρα (ΙΔΗ1,2,3) τα οποία ευρίσκονται σε μεγάλο υψόμετρο. Για τη διερεύνηση και την

καλύτερη προσαρμογή της γραμμικής παλινδρόμησης, με βάση και τις παρατηρήσεις της προηγούμενης παραγράφου, η περιοχή χωρίσθηκε στη βόρεια που περιλαμβάνει τους σταθμούς από την πεδιάδα της Μεσαράς προς βορά του όρους Ψηλορείτη και στη νότια περιοχή που περιλαμβάνει τους σταθμούς από τη πεδιάδα της Μεσαράς προς νότο των Αστερουσίων ορέων. Στον Πίνακ. 1- 10 δίνονται οι υψογραφικές σχέσεις για τις παραπάνω περιοχές της λεκάνης της Μεσαράς. Επίσης στην Εικόνα 1- 6, Εικόνα 1- 7, Εικόνα 1- 8, Εικόνα 1- 9 , Εικόνα 1- 10, και Εικόνα 1- 11 δίνονται τα αντίστοιχα του παραπάνω πίνακα γραφήματα υπολογισμού των υψογραφικών σχέσεων.

- Ο συντελεστής συσχέτισης (r) όλων των γραφημάτων των υψογραφικών σχέσεων είναι υψηλός (βλέπε Πίνακ. 1- 10) και η συσχέτιση χαρακτηρίζεται στατιστικά σημαντική.

- Τα όρια εμπιστοσύνης των συντελεστών των εξισώσεων παλινδρόμησης ($y = a*x + b$) κυμαίνονται : για τον συντελεστή b από $\pm b*17\%$ μέχρι $\pm b*35\%$ και για το συντελεστή a από $\pm a*14\%$ μέχρι $\pm a*69\%$ (βλέπε Πίνακ. 1- 11).

- Ο χωρισμός της λεκάνης Μεσαράς σε δυο υποπεριοχές, τη βόρεια και τη νότια, περιγράφει λεπτομερέστερα και ακριβέστερα την υψογραφική σχέση. Τα κριτήρια που στηρίχθηκε η διάκριση των δυο υποπεριοχών είναι: α) ο υψηλότερος συντελεστής συσχέτισης, β) τα μικρότερα όρια εμπιστοσύνης των συντελεστών της εξίσωσης της παλινδρόμησης και γ) την εμφανή παρατηρούμενη διαφορά των υψών βροχής των δύο περιοχών σε σχέση με το υψόμετρο.

Επομένως, για την ανάλυση που θα εφαρμοσθεί στους υδρολογικούς υπολογισμούς της παρούσας μελέτης θα χρησιμοποιηθεί για το βόρειο-κεντρικό τμήμα η Βροχομετρική βαθμίδα 91 mm ύψους βροχής/ 100 m υψομετρικής διαφοράς, ενώ για το νότιο- κεντρικό τμήμα 25 mm ύψους βροχής / 100 m υψομετρικής διαφοράς.

Πίνακ. 1- 9 Υπερετήσιο ύψος βροχής και υψόμετρο βροχομετρικών σταθμών

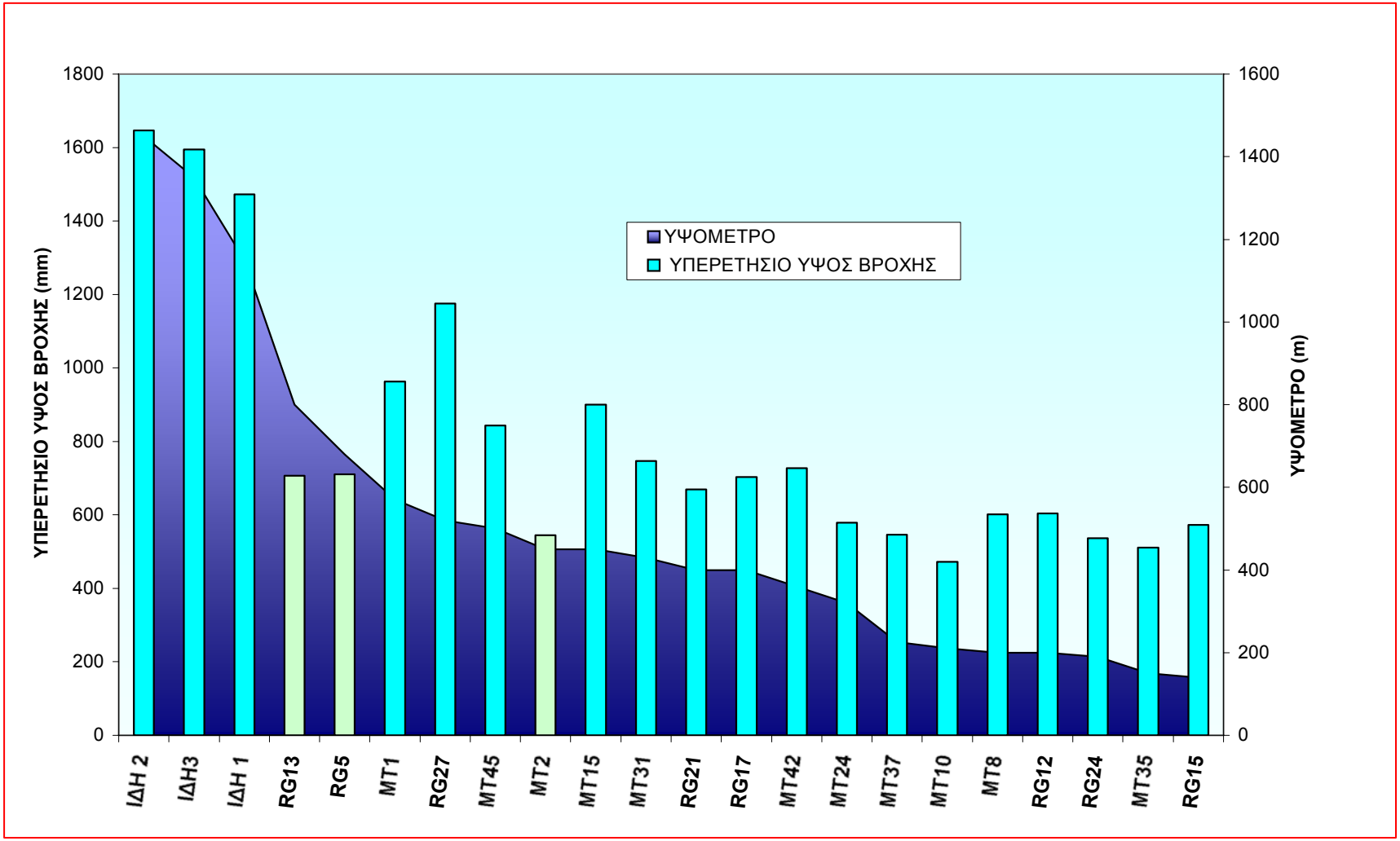
Α/Α	ΣΤΑΘΜΟΣ	ΚΩΔΙΚΟΣ	ΜΕΣΟ ΥΠΕΡΕΤΗΣΙΟ ΥΨΟΣ ΒΡΟΧΗΣ (mm)	ΥΨΟΜΕΤΡΟ (m asl)
1	ΙΔΗ 2 (ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΟ)	ΙΔΗ 2	1647.0	1450
2	ΙΔΗ3 (ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΟ)	ΙΔΗ3	1595.0	1350
3	ΙΔΗ 1 (ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΟ)	ΙΔΗ 1	1473.0	1150
4	ΚΑΠΕΤΑΝΙΑΝΑ	RG13	706.5	800
5	ΑΧΕΝΤΡΙΑΣ	RG5	710.3	680
6	ΑΓ. ΒΑΡΒΑΡΑ	MT1	962.6	570
7	ΒΟΡΙΖΑ	RG27	1175.6	520
9	ΖΑΡΟΣ	MT45	843.1	500
10	ΑΓ. ΚΥΡΙΛΟΣ	MT2	545.4	450
11	ΓΕΡΓΕΡΗ	MT15	899.6	450
12	ΜΕΤΑΞΟΧΩΡΙ	MT31	747.0	430
13	ΠΑΡΤΗΡΑ	RG21	668.9	400
14	ΜΟΡΟΝΙ	RG17	702.9	400
15	ΤΕΦΕΛΙ	MT42	727.7	360
16	ΚΑΣΑΝΟΙ	MT24	579.1	320
17	ΠΡΟΤΟΡΙΑ	MT37	546.1	225
18	ΔΕΜΑΤΙ	MT10	472.5	210
19	ΑΣΗΜΙ	MT8	601.8	200
20	ΚΑΛΥΒΙΑ	RG12	603.7	200
21	ΒΑΓΙΩΝΙΑ	RG24	536.6	190
22	ΠΟΜΠΙΑ	MT35	511.1	150
23	ΛΑΓΟΛΙΟ	RG15	572.2	140

Πίνακ. 1- 10 Υψογραφικές σχέσεις και Βροχομετρικές βαθμίδες λεκάνης Μεσαράς

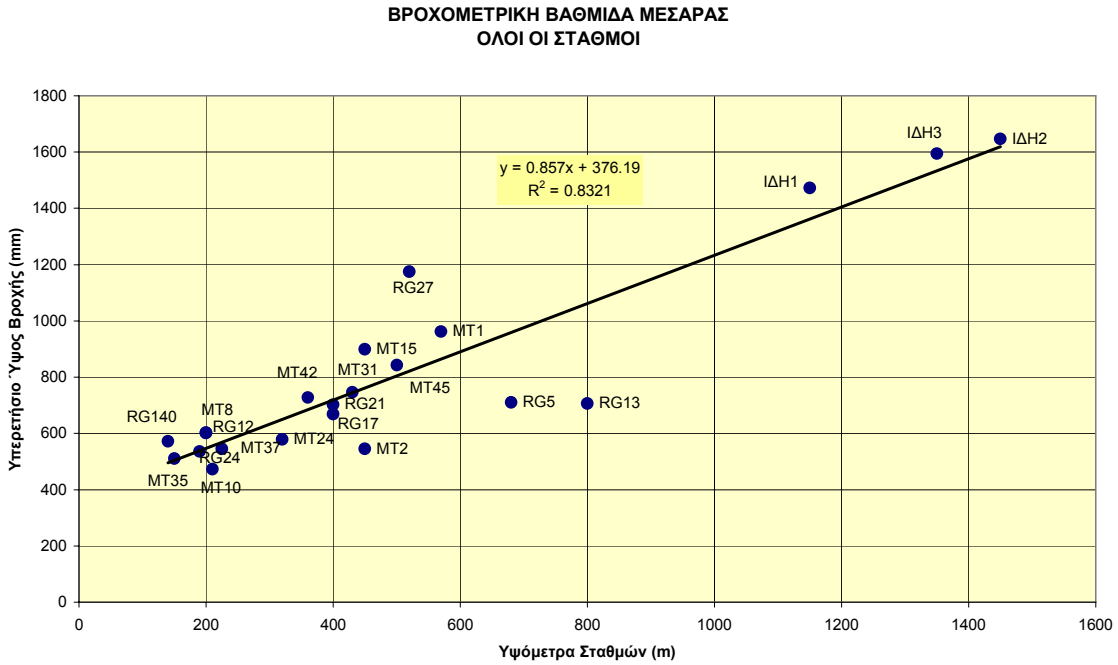
α/α	ΚΑΜΠΥΛΗ	Κλίση α	συντελεστής β	r^2	r	$r_{κρίσιμος}$	Αριθμός σταθμών	ΒΡΟΧΟΜΕΤΡΙΚΗ ΒΑΘΜΙΔΑ (mm/100m)
		$y = ax + b$				$r_c = \frac{2}{\sqrt{n}}$	n	
1	ΟΛΟΙ ΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ	0.857	376.19	0.83	0.91	0.43	22	**86**
2	ΟΛΟΙ ΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ ΧΩΡΙΣ ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΑ	0.572	473.46	0.36	0.60	0.46	19	**57**
3	ΣΤΑΘΜΟΙ ΒΟΡΕΙΟΙ	0.908	396.39	0.93	0.97	0.49	17	**91**
4	ΠΕΔΙΝΟ ΤΜΗΜΑ (Ζσ<450 m)	0.540	444.35	0.44	0.66	0.55	13	**54**
5	ΣΤΑΘΜΟΙ ΒΟΡΕΙΟΙ ΧΩΡΙΣ ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΑ & RG27	0.972	357.48	0.83	0.91	0.53	14	**97**
6	ΣΤΑΘΜΟΙ ΝΟΤΙΟΙ	0.248	507.55	0.68	0.83	0.82	6	**25**

Πίνακ. 1- 11 Όρια εμπιστοσύνης των συντελεστών γραμμικής παλινδρόμησης υψογραφικών σχέσεων

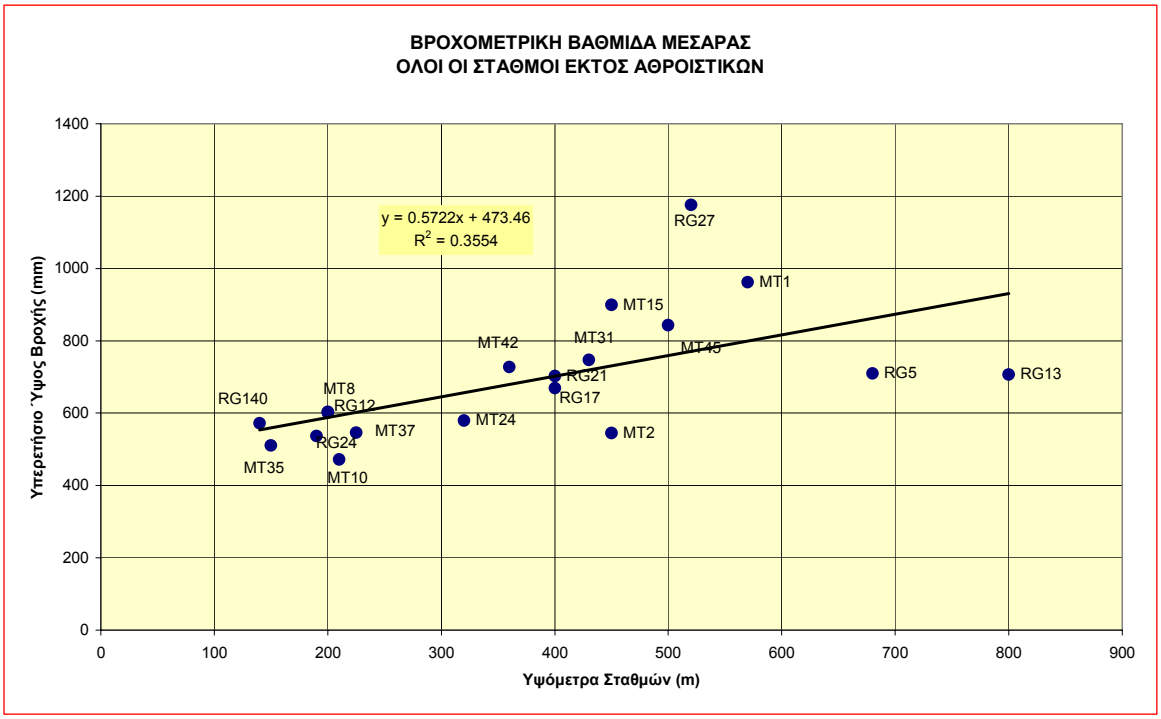
α/α	ΚΑΜΠΥΛΗ	$y=ax+b$	Συντελεστές	Τυπικό σφάλμα	t	τιμή-P	Κατώτερο 95%	Υψηλότερο 95%	Κατώτερο 98.0%	Υψηλότερο 98.0%
1	ΟΛΟΙ ΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ	**b**	376.19	53.79	6.994	8.699E-07	264.00	488.38	240.22	512.16
		a	0.857	0.086	9.957	3.403E-09	0.677	1.037	0.639	1.075
2	ΟΛΟΙ ΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ ΧΩΡΙΣ ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΑ	**b**	473.46	78.40	6.039	1.328E-05	308.05	638.86	272.21	674.70
		a	0.572	0.187	3.061	0.007067	0.178	0.967	0.092	1.052
3	ΣΤΑΘΜΟΙ ΒΟΡΕΙΟΙ	**b**	396.39	38.04	10.42	1.547E-08	315.74	477.04	298.10	494.67
		a	0.908	0.060	15.14	6.616E-11	0.781	1.035	0.753	1.063
4	ΣΤΑΘΜΟΙ ΒΟΡΕΙΟΙ ΧΩΡΙΣ ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΑ & RG27	**b**	358.87	45.89	7.819	4.746E-06	258.87	458.87	235.83	481.91
		a	0.969	0.131	7.425	8.001E-06	0.685	1.253	0.619	1.319
5	ΣΤΑΘΜΟΙ ΝΟΤΙΟΙ	**b**	507.55	34.44	14.74	2.599E-05	419.03	596.07	391.68	623.43
		a	0.248	0.076	3.272	0.0221449	0.053	0.443	-0.007	0.503



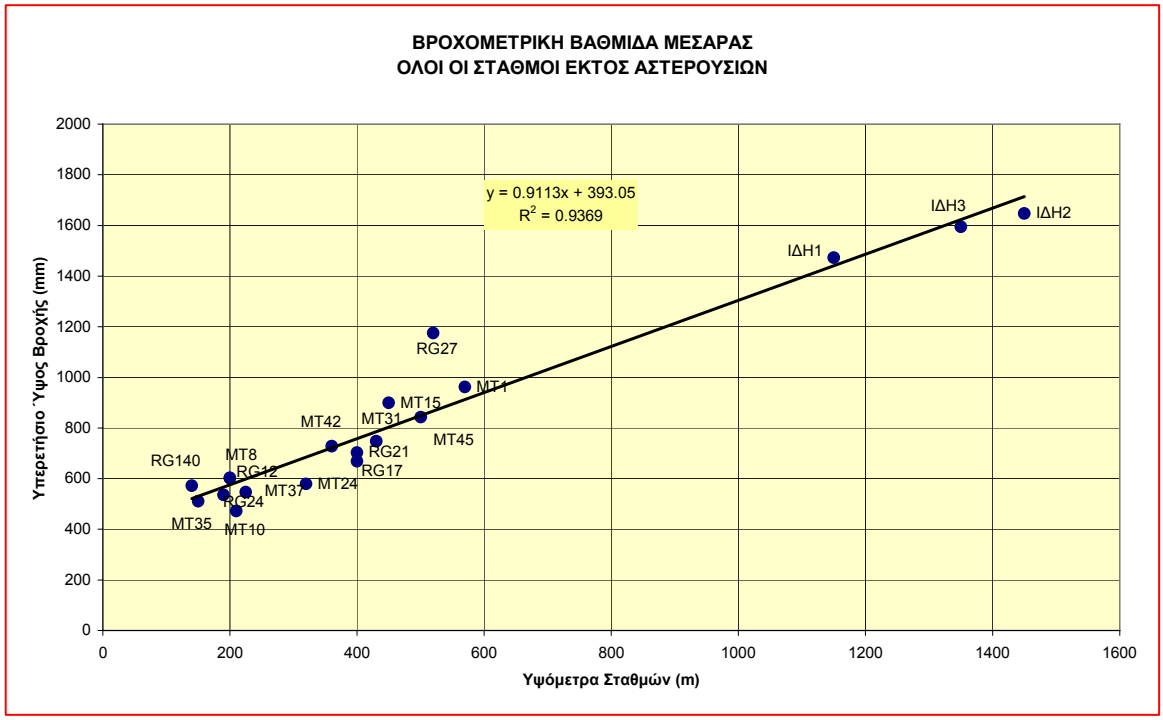
Εικόνα 1- 5 Γράφημα υπερετήσιου ύψους βροχής και υψόμετρου βροχομετρικών σταθμών λεκάνης Μεσαράς



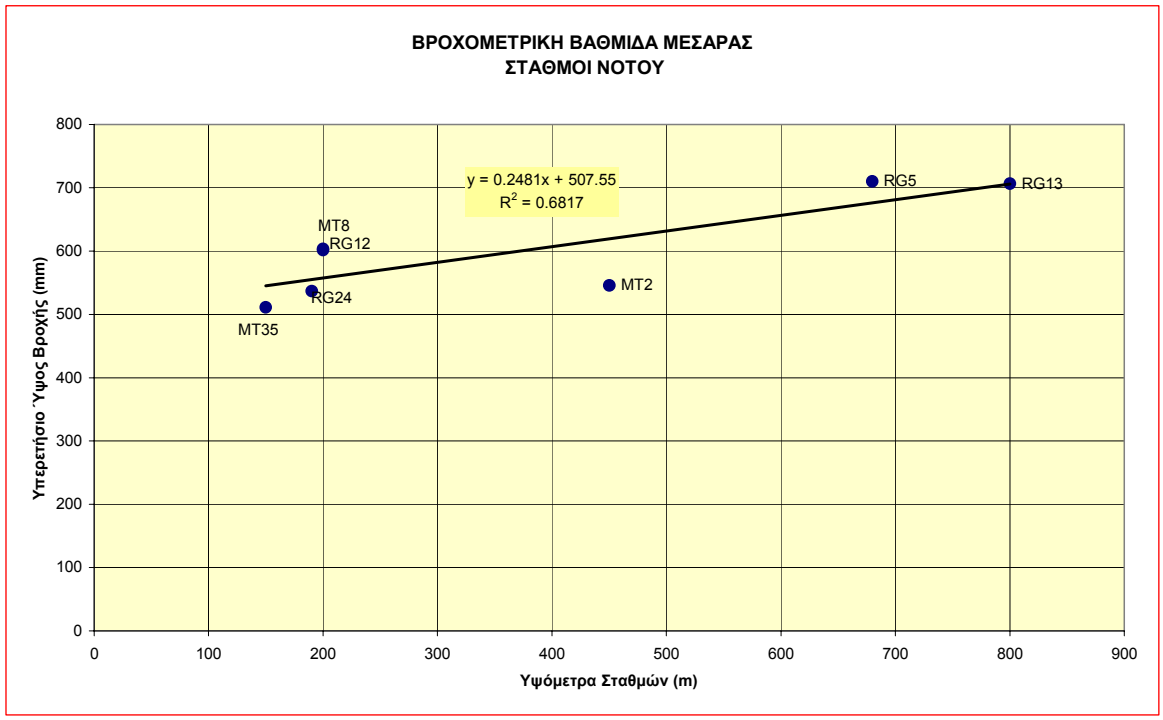
Εικόνα 1- 6 Υψογραφική σχέση στη λεκάνη Μεσαράς



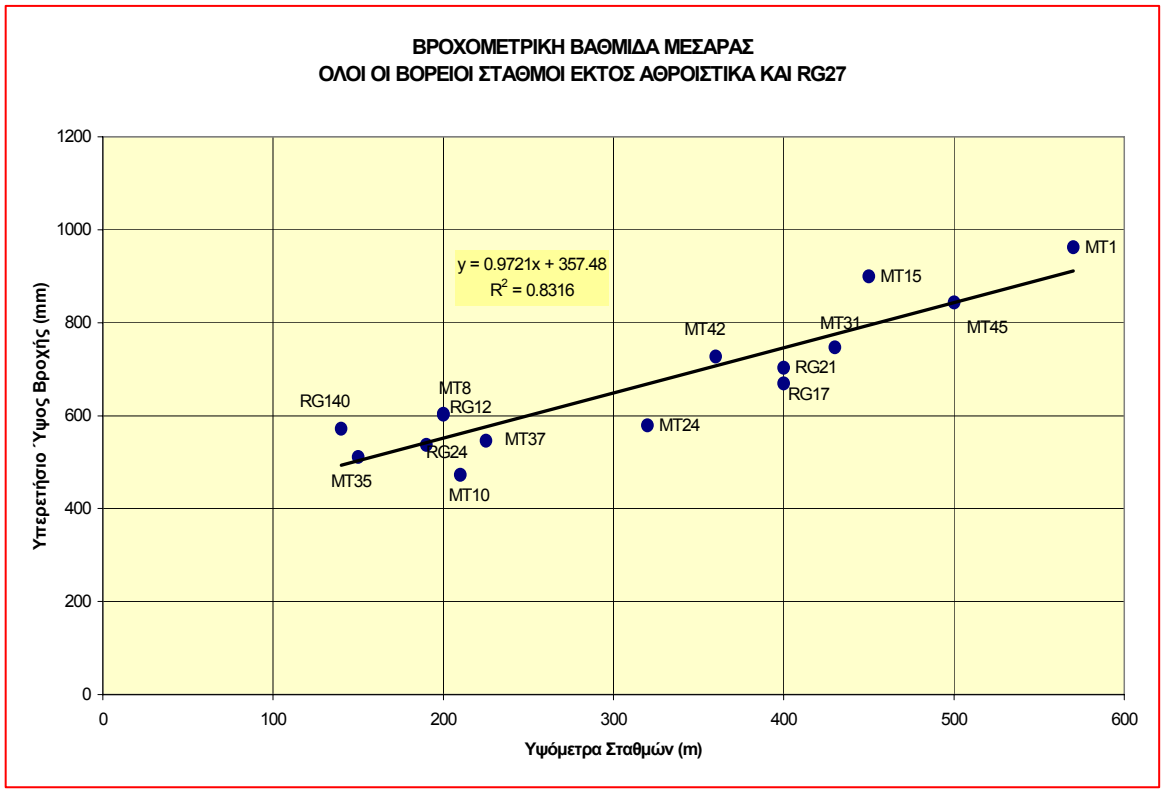
Εικόνα 1- 7 Υψογραφική σχέση στη λεκάνη Μεσαράς χωρίς τα αθροιστικά βροχόμετρα



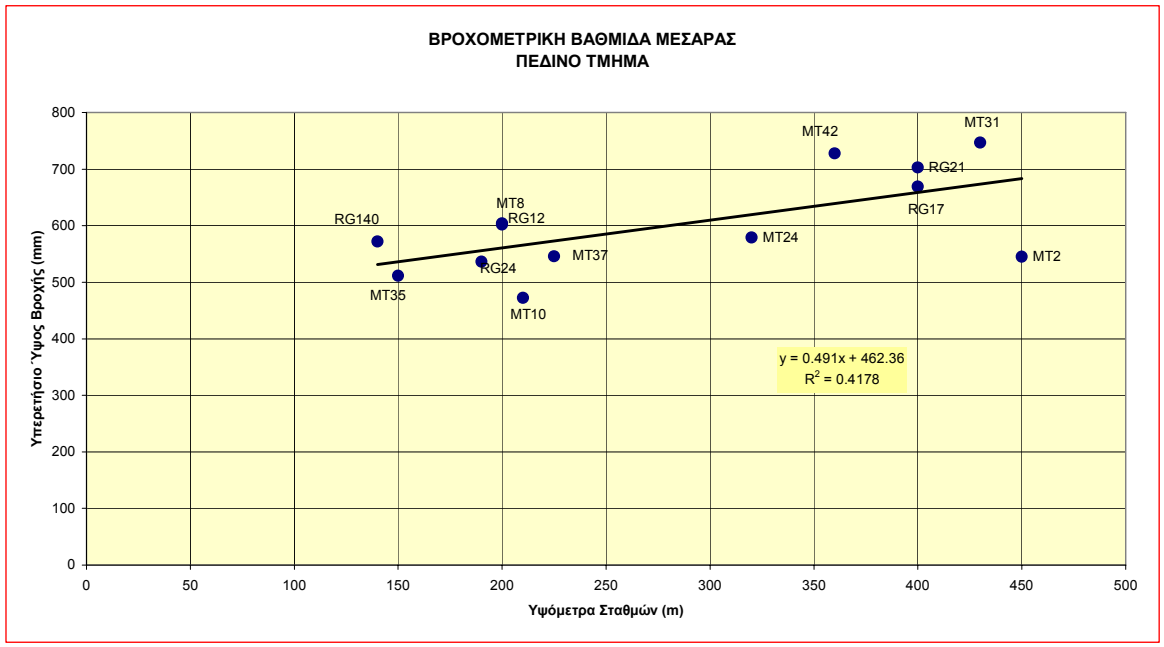
Εικόνα 1- 8 Υψογραφική σχέση στο βόρειο τμήμα της λεκάνης Μεσαράς



Εικόνα 1- 9 Υψογραφική σχέση στο νότιο τμήμα της λεκάνης Μεσαράς



Εικόνα 1- 10 Υψογραφική σχέση στο βόρειο τμήμα της λεκάνης Μεσαράς



Εικόνα 1- 11 Υψογραφική σχέση στο κεντρικό τμήμα της λεκάνης Μεσαράς

1.2.4 Επιφανειακή ολοκλήρωση σημειακών βροχοπτώσεων.

1.2.4.1 Μεθοδολογίες υπολογισμού επιφανειακής βροχόπτωσης

Ο υπολογισμός του ύψους βροχόπτωση στην επιφάνεια της λεκάνης ή σε υπολεκάνες της Μεσαράς, από τις σημειακές μετρήσεις των σταθμών, απαιτείται από την υδρολογική ανάλυση που θα ακολουθήσει (εκτίμηση υδατικού ισοζυγίου). Οι μεθοδολογίες υπολογισμού του επιφανειακού ύψους βροχόπτωσης ταξινομούνται σε δυο γενικές κατηγορίες: α) της «άμεσης ολοκλήρωσης» στις οποίες γίνεται άμεση χρήση των σημειακών μετρήσεων και β) της «προσαρμογής της επιφάνειας» στις οποίες πριν την επιφανειακή ολοκλήρωση γίνεται αναπαράσταση της γεωγραφικής μεταβολής της βροχόπτωσης.

Τα τοπογραφικά χαρακτηριστικά της λεκάνης, η μεγάλη διαφορά των σημειακών υψών βροχής, η πυκνότητα του δικτύου των βροχομετρικών σταθμών και η ανομοιόμορφη κατανομή των σταθμών επιβάλει την εφαρμογή των παρακάτω μεθόδων:

1.2.4.1.1 *Μέθοδος Thiessen.*

Η μέθοδος Thiessen, ανήκει στην κατηγορία της άμεσης ολοκλήρωσης, υπολογίζει τη μέση επιφανειακή βροχή για ανομοιόμορφη κατανομή σταθμών και μη επίπεδες επιφάνειες. Σύμφωνα με την μέθοδο αυτή, οι σταθμοί εντός και περί τη λεκάνη τοποθετούνται σε χάρτη και συνδέονται με ευθείες γραμμές. Στη συνέχεια σύρονται οι μεσοκάθετοι σε αυτές τις συνδετικές γραμμές οι οποίες σχηματίζουν πολύγωνα γύρω από κάθε σταθμό. Η επιφάνεια επιρροής του κάθε σταθμού είναι η επιφάνεια του αντιστοίχου πολυγώνου και ορίζεται σαν ποσοστό α_j της συνολικής έκτασης της λεκάνης. Η ζυγισμένη μέση τιμή (στο χρόνο t) βροχής $\widetilde{P}_t$ των σταθμών j=1,….,n υπολογίζεται στην συνέχεια ως:

$$\widetilde{P}_t = \sum_{j=1}^{n} \alpha_j * P_{t,j}$$

όπου $P_{t,j}$ η σημειακή βροχή στον σταθμό J.

Στη συνέχεια η τιμή $\widetilde{P}_t$ διορθώνεται για τη μεταβολή της βροχής με το υψόμετρο. Η τιμή $\widetilde{P}_t$ αναφέρεται στο μέσο υψόμετρο των σταθμών (ζυγισμένος μέσος των υψομέτρων των σταθμών με βάρος το α_j) και πρέπει να μεταφερθεί στο υψομετρικό κέντρο βάρους της λεκάνης. Πολλαπλασιάζετε με τον παρακάτω συντελεστή:

$$\lambda = \frac{\tilde{P}_t + \mu \Delta h}{\tilde{P}_t}$$

όπου *μ* η βροχομετρική βαθμίδα και *Δh* η διαφορά μεταξύ του ζυγισμένου μέσου υψομέτρου των σταθμών (μέσο υψόμετρο καταγραφής) και του πραγματικού μέσου υψομέτρου της λεκάνης. Για την αναγωγή της επιφανειακής βροχόπτωσης από το μέσο υψόμετρο των σταθμών στο μέσο υψόμετρο της λεκάνης χρησιμοποιήθηκε η βροχομετρική βαθμίδα που υπολογίστηκε στην παράγραφο 1.2.3 (0,91 mm/m για το βόρειο-κεντρικό τμήμα και 0,25 mm/m για το νότιο- κεντρικό τμήμα). Το μέσο υψόμετρο της λεκάνης προκύπτει από το Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους με τη χρήση των εργαλείων του πακέτου ArcGIS 3.2.

Ο μεγαλύτερος περιορισμός της μεθόδου του Thiessen διαγράμματος είναι ότι κάθε φορά που αλλάζει ένα σταθμός απαιτούνται υπολογισμοί από την αρχή. Επίσης, δεν υπολογίζει την ορεογραφική επίδραση αλλά απλά θεωρεί ανάλογη μεταβολή της βροχόπτωσης και καθορίζει ύψος βροχής σε κάθε πολύγωνο το ύψος του πλησιέστερου σταθμού.

1.2.4.1.2 *Μέθοδος ψηφιδωτής διαμέρισης (grid – point method)*

Η μέθοδος της ψηφιδωτής διαμέρισης ταξινομείται στη κατηγορία της προσαρμογής της επιφάνειας. Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή η περιοχή διαμερίζεται σε ισομεγέθη κύτταρα (ψηφίδες- cells) με την εφαρμογή ορθογωνικού κάναβου με δεδομένη ισοπαχή των οριζόντιων και κατακόρυφων γραμμών του. Η βροχόπτωση σε κάθε κύτταρο θεωρείται σταθερή και η συνολική επιφανειακή βροχόπτωση υπολογίζεται από τη μέση τιμή όλων των σημείων του κάναβου (βλέπε παράγραφο1.2.4.1.4.)
Η αξιοπιστία της μεθόδου αυτής εξαρτάται από τη μεθοδολογία που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του ύψους βροχής στα κύτταρα του κάναβου.

1.2.4.1.3 *Η μέθοδος των Ισοϋετών καμπυλών(isohyetal method).*

Η μέθοδος των ισοϋετών καμπυλών για τον υπολογισμό της μέσης επιφανειακή βροχόπτωσης, ταξινομείται στη κατηγορία της προσαρμογής της επιφάνειας, και είναι η πλέον ακριβής από όλες, όταν χρησιμοποιείται από έμπειρο ερευνητή. Κατά τη μέθοδο αυτή οι θέσεις των σταθμών και τα ύψη βροχής τοποθετούνται σε κατάλληλο χάρτη και καμπύλες ίσης βροχόπτωσης (ισοϋέτιες) σχεδιάζονται (βλέπε παράγραφο1.2.4.1.4.). Η μέση επιφανειακή βροχόπτωση ($\tilde{P}_s$) μεταξύ δυο διαδοχικών ισοϋετών (h_r , h_{r-1}) υπολογίζεται από το ζυγισμένο (ποσοστό της επιφάνειας (S_r). που περικλείεται μεταξύ των ισοϋετών) μέσο ύψος βροχής . Το άθροισμα όλων είναι η επιφανειακή βροχόπτωση:

$$\tilde{P}_s = \sum_r \frac{h_r - h_{r-1}}{2} \frac{Sr}{S}$$

Η μέθοδος αυτή επιτρέπει τη χρήση και την ερμηνεία όλων των διαθέσιμων δεδομένων και προσαρμόζονται καλύτερα για απεικόνιση και συζήτηση. Στην κατασκευή των ισοϋετών καμπυλών ο αναλυτής μπορεί να κάνει χρήση της γνώσης του για τις ορεογραφικές επιδράσεις και επομένως ο τελικός χάρτης απεικονίζει μια πλέον αξιόπιστη απεικόνιση σε σχέση με όλες τις άλλες μεθόδους. Στην περίπτωση που χρησιμοποιηθεί γραμμική συσχέτιση μεταξύ των σταθμών το αποτέλεσμα θα είναι περίπου το ίδιο που υπολογίζεται από τη μέθοδο Thiessen.

1.2.4.1.4 *Μέθοδοι προσδιορισμού επιφανειακού ύψους βροχής*

Ανεξάρτητα από τον τρόπο παρουσίασης του τελικού πεδίου μεταβολών της βροχόπτωσης με τις μεθόδους προσαρμογής της επιφάνειας, ο προσδιορισμός του ύψους σε τυχόν σημείο γίνεται με διάφορους μεθόδους «παρεμβολής» (interpolation) ή «εξομάλυνσης» (smoothing). Οι μέθοδοι παρεμβολής προσαρμόζουν μια επιφάνεια η οποία διέρχεται ακριβώς από τα σημεία γνωστού ύψους βροχής (θέσεις σταθμών) αντιθέτως οι μέθοδοι της εξομάλυνσης προσαρμόζουν την επιφάνεια ώστε να προσεγγίζει τα γνωστά ύψη αποκτώντας έτσι πιο ομαλό σχήμα το οποίο έχει δεδομένη μαθηματική έκφραση.
Συνοπτικά, ορισμένες από αυτές τις μεθόδου είναι (βλέπε Κουτσογιάννης 1986, Shaw 1994):

1.2.4.1.4.1 Μέθοδος γραφικής χάραξης των ισοϋετών.

Πρόκειται για την απλούστερη μέθοδο με την οποία ο μελετητής χαράζει τις καμπύλες με το μάτι πάνω σε ένα κατάλληλο χάρτη αφού πρώτα τοποθετήσει τα σημειακά ύψη βροχής.

1.2.4.1.4.2 Μέθοδος υπολογιστικής γραμμικής παρεμβολής

Για τη χάραξη των καμπυλών πάνω στο χάρτη χρησιμοποιείται η γραμμική παρεμβολή πάνω στα ευθύγραμμα τμήματα που ορίζονται από γειτονικούς σταθμούς.

1.2.4.1.4.3 Μέθοδος της αντίστροφης απόστασης

Η μέθοδος, όπως αναπτύσσεται στη παράγραφο 1.2.2.1.3 μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για τον υπολογισμό του ύψους βροχής σε οποιαδήποτε σημείο της επιφανείας από γνωστό σημειακό ύψος βροχής.

1.2.4.1.4.4 Μέθοδος πολυτετραγωνικής παρεμβολής

Ανάλογη μέθοδος της μεθόδου της αντίστροφης απόστασης, και σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή ο υπολογισμός του ύψους βροχής σε οποιαδήποτε σημείο της επιφανείας χρησιμοποιούνται οι αποστάσεις του σημείου αυτού από τους γειτονικούς σταθμούς.

1.2.4.1.4.5 Μέθοδος ελαχίστων τετραγώνων με πολυώνυμα

Η μέθοδος στηρίζεται στην επιλογή ενός πολυωνύμου δεδομένου βαθμού το οποίο εκφράζει το ύψος βροχής σε συνάρτηση των τοπογραφικών συντεταγμένων (χ,ψ) των σημείων της περιοχής. Η εκτίμηση των συντελεστών

του πολυωνύμου γίνεται έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθεί το σφάλμα προσαρμογής στα σημεία γνωστού βροχής.

1.2.4.1.4.6 Μέθοδος πολυωνύμων Lagrange

Μέθοδος παραπλήσια της προηγουμένης αλλά ο αριθμός των πολυωνυμικών όρων είναι ίσος με τον αριθμό των βροχομετρικών σταθμών, οπότε η πολυωνυμική έκφραση διέρχεται ακριβώς από τα σημεία γνωστού ύψους.

1.2.4.1.4.7 Μέθοδος προσαρμογής splines

Αντί της προσαρμογής μια ενιαίας πολυωνυμικής έκφρασης σε όλη την περιοχή της μελέτης προσαρμόζονται τοπικές πολυωνυμικές εκφράσεις μικρού βαθμού, αποφεύγοντας έτσι το πρόβλημα των πολύ υψηλών διακυμάνσεων της επιφάνειας.

1.2.4.1.4.8 Μέθοδος βέλτιστης παρεμβολής (kriging)

Η μέθοδος ανήκει στην κατηγορία των γεωστατιστικών μεθόδων και είναι ίσως η πιο αξιόπιστη από όλες. Σε αντίθεση με το ντετερμινιστικό χαρακτήρα των άλλων, η μέθοδος της βέλτιστης παρεμβολής θεωρεί τη μεταβολή του ύψους βροχής ως τυχαία και εκφράζει το άγνωστο ύψος βροχής στο τυχαίο σημείο ως γραμμική έκφραση των γνωστών υψών βροχής στις θέσεις των βροχομετρικών σταθμών και χρησιμοποιεί τη στατιστική μεθοδολογία προκειμένου να εκτιμήσει τους συντελεστές της γραμμικής έκφρασης. Λόγω των πολλών εφαρμογών της μεθόδου αυτής, στην εκπόνηση της εργασίας, ο αλγόριθμος χωρικής παρεμβολής Kriging αναφέρεται λεπτομερέστερα στην επόμενη παράγραφο 1.2.4.1.5

1.2.4.1.5 *Αλγόριθμος Χωρικής Παρεμβολής Kriging*

Οι αλγόριθμοι χωρικής παρεμβολής υποθέτουν ότι η απόσταση μεταξύ σημειακών μετρήσεων εμφανίζουν χωρική συσχέτιση η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί ώστε να επεξηγήσει τις μεταβολές στην επιφάνεια. Οι αλγόριθμοι αυτοί στηρίζονται στην πολύ απλή διαπίστωση ότι συσχέτιση ανάμεσα σε μετρούμενα μεγέθη πρέπει να είναι μεγαλύτερη όσο η απόσταση μεταξύ των σημείων μέτρησης μικραίνει. Η διαπίστωση αυτή έχει διατυπωθεί ως ο «πρώτος νόμος της Γεωγραφίας» από τον Tobler: «όλα τα πράγματα σχετίζονται μεταξύ τους αλλά τα πλησιέστερα σχετίζονται περισσότερο μεταξύ τους από τα πιο απομακρυσμένα». Η χωρική παρεμβολή βασίζεται εν πολλοίς σε αυτή την διαπίστωση και μπορεί να ορισθεί ως η διαδικασία δια της οποίας διενεργείται μια εκτίμηση της τιμής ή των ιδιοτήτων μιας μεταβλητής σε σημεία άνευ μετρήσεων μέσα σε μια περιοχή, βάσει των υπαρχόντων παρατηρήσεων σε άλλα σημεία της αυτής περιοχής. Με άλλα λόγια, η χωρική παρεμβολή αποτελεί μια διαδικασία «πληρώσεως των κενών» υπό την βασική παραδοχή ότι η πληροφορία που διατίθεται σε ένα σημείο μιας περιοχής μπορεί να μας δώσει εκτιμήσεις για κοντινά σημεία της ίδιας περιοχής όπου δεν υπάρχει διαθέσιμη η αντίστοιχη πληροφορία.

Οι αλγόριθμοι χωρικής παρεμβολής διακρίνονται σε σημειακούς και επιφανειακούς, ανάλογα με τις «διαστάσεις» των πληροφοριών εισόδου και εξόδου, που μπορεί να είναι σημεία, γραμμές ή επιφάνειες. Οι σημειακοί αλγόριθμοι διακρίνονται περαιτέρω σε ακριβείς και προσεγγιστικούς, ανάλογα με το εάν διατηρούν τις τιμές των σημείων του δείγματος εισόδου ή όχι. Οι επιφανειακοί αλγόριθμοι προϋποθέτουν ότι υπάρχει μια καθολική τάση μικρής μεταβλητότητας στην διακύμανση της παραμέτρου υπό εξέταση, στην οποία υπερτίθενται τοπικές ανομοιομορφίες μεγάλης μεταβλητότητας. Οι ανομοιομορφίες αυτές προκαλούν σφάλματα δειγματοληψίας και αβεβαιότητες στις σημειακές μετρήσεις και έτσι οι αλγόριθμοι αυτοί χρησιμεύουν για την αναγνώριση τάσεων και την αφαίρεση των σφαλμάτων μέσω εξομάλυνσης της παραμετρικής επιφάνειας. Στην περίπτωση των βασικών υδρολογικών μεταβλητών οι συχνότερα χρησιμοποιούμενοι είναι οι σημειακοί αλγόριθμοι.

Ο αλγόριθμος Kriging είναι ακριβής σημειακός αλγόριθμος, που βασίζεται στη θεωρία των περιοχοποιημένων μεταβλητών του Matheron. Η θεωρία προσαρμόσθηκε αρχικά από τον D. Krige (απ' όπου και η ονομασία της μεθόδου) για τη διερεύνηση περιοχών μεταλλευτικού ενδιαφέροντος. Ο αλγόριθμος Kriging βασίζεται στη μεταβολή της διασποράς της παραμέτρου υπό εξέταση με την απόσταση από τα σημεία μέτρησης. Από τη μεταβολή αυτή εξάγονται βάρη με τα οποία ζυγίζονται οι παρατηρημένες τιμές και το άθροισμα αυτών σε κάθε παρεμβαλλόμενο σημείο αποτελεί την εκτίμηση της τιμής της υπό εξέταση παραμέτρου. Η μεταβολή αυτή περιγράφεται με το διασπορόγραμμα (variogram) το οποίο πρέπει να προσδιορισθεί πριν την εφαρμογή της μεθόδου από τα υφιστάμενα δεδομένα. Ο αλγόριθμος διακρίνεται σε απλό (ordinary) Kriging και σε καθολικό (universal) Kriging, ανάλογα με το εάν η παραμετρική επιφάνεια θεωρείται ότι χαρακτηρίζεται από μονιμότητα (stationarity) ή όχι. Στην περίπτωση φυσικών μεγεθών, σπανίως υπάρχει μονιμότητα στην παραμετρική επιφάνεια, αλλά οι διαφορές μεταξύ των δύο εκδοχών μειώνονται όσο αυξάνει ο αριθμός των σημείων παρατήρησης. Ακόμα, εάν είναι γνωστό το σφάλμα δειγματοληψίας σε κάθε σημειακή μέτρηση, η διασπορά των σφαλμάτων μπορεί να εισαχθεί στον αλγόριθμο ώστε τα βάρη που αντιστοιχούν σε κάθε σημείο μέτρησης να εξάγονται με πιθανοτικό τρόπο, δίνοντας έτσι ένα μέτρο της αβεβαιότητας και του σφάλματος σε κάθε παρεμβαλλόμενο σημείο.

Ανάμεσα στα μεγαλύτερα πλεονεκτήματα της μεθόδου συγκαταλέγεται το γεγονός ότι ο αλγόριθμος Kriging δίνει ένα μέτρο του σφάλματος πρόβλεψης σε κάθε σημείο της παραμετρικής επιφάνειας. Το σφάλμα αυτό αντανακλά την πυκνότητα και την κατανομή στο χώρο των σημείων μέτρησης και το βαθμό χωρικής αυτοσυσχέτισης εντός της επιφάνειας. Με τον τρόπο αυτό μπορούμε να διαπιστώσουμε εύκολα τις περιοχές της επιφάνειας όπου η πυκνότητα της πληροφορίας είναι μικρή και επομένως απαιτείται η διενέργεια μετρήσεων ή η ίδρυση νέων σημείων μέτρησης. Γι' αυτό το λόγο, ο αλγόριθμος Kriging χρησιμοποιείται ευρύτατα στην αξιολόγηση, τον σχεδιασμό και την βελτιστοποίηση δικτύων σταθμών μέτρησης χωρικών μεταβλητών.

1.2.5 Επιφανειακή βροχόπτωση

Η σημειακή υδρολογική πληροφορία ολοκληρώθηκε σε επιφανειακή αφ' ενός για το σύνολο της λεκάνης της Μεσαράς (υδρολογικές λεκάνες Γεροπόταμου, στον σταθμό Φαιστός, και Αναποδάρη, στο σταθμό Δεμάτι) και αφ' ετέρου για υπολεκάνες της περιοχής μελέτης που απαιτούνται για την ανάλυση του υδατικού ισοζυγίου.

1.2.5.1 Επιφανειακή βροχόπτωση στη λεκάνη Μεσαράς

Για τον υπολογισμό της επιφανειακής βροχόπτωσης στη λεκάνη της Μεσαράς χρησιμοποιήθηκαν τα υπερετήσια ύψη βροχής όλων των σταθμών που βρίσκονται επί και περί της λεκάνης (βλέπε Πίνακ. 1- 1), τα χαρακτηριστικά των οποίων δίνονται στον Πίνακ. 1- 2.
Χρησιμοποιήθηκαν δυο μέθοδοι για τον υπολογισμό της επιφανειακής βροχόπτωσης, η ολοκλήρωση με την κατασκευή ισοϋέτιων καμπυλών και η χρήση της μεθόδου Thiessen.
Υπολογίσθηκαν επίσης τα επιφανειακά ύψη βροχής της λεκάνης για το έτος 1989-1990 που είναι το ξηρότερο καταγεγραμμένο, κατά μέσο όρο της περιοχής, και για το έτος 2002-2003 που είναι το υγρότερο καταγεγραμμένο.

1.2.5.2 Ισοϋέτιες καμπύλες Μεσαράς.

Οι ισοϋέτιες καμπύλες κατασκευάσθηκαν (με τη χρήση Η/Υ και το λογισμικό σύστημα Arc View 3.2) εφαρμόζοντας τις μεθόδους της αντίστροφης απόστασης (IDW), της προσαρμογής (splines) και της βέλτιστης παρεμβολής (kriging) (βλέπε παράγραφο 1.2.4.1.4).
Οι ισοϋέτιες που κατασκευάσθηκαν με τη μέθοδο της προσαρμογής απεικονίζουν ομαλά τις χωρικές μεταβολές της βροχής και θεωρούνται αντιπροσωπευτικές με δεδομένο ότι ομαλές μεταβολές συμβαίνουν κατά τη διεύθυνση ανατολή – δύση, ενώ κατά διεύθυνση βορά-νότο, που οι μεταβολές είναι εντονότερες (ορεογραφική επίδραση). Η σχετικά μεγάλη πυκνότητα των σημειακών μετρήσεων, έχει ως συνέπεια οι "ομαλές" καμπύλες να απεικονίζουν και τις «έντονες» μεταβολές. Για τις περιοχές στα νότια άκρα της λεκάνης (Αστερούσια) καθώς και στο κέντρο της σχηματιζόντουσαν ισοϋέτιες καμπύλες, λόγω της κατανομής των σταθμών, που δεν συνάδουν με την ορεογραφία της περιοχής αλλά ούτε και με τις εμπειρικές παρατηρήσεις. Για να αντιμετωπισθεί το πρόβλημα αυτό και να ομαλοποιηθούν οι καμπύλες τοποθετήθηκαν πέντε εικονικοί σταθμοί (βλέπε ψευδοσταθμός1,…,6 (Πίνακ. 1- 12) με ετήσια ύψη βροχής όπως υπολογίσθηκαν με τη μέθοδο kriging.

Οι άλλες δυο μέθοδοι δημιουργούν έντονες μεταβολές που δεν είναι εύκολο να ερμηνευτούν ούτε να πιστοποιηθούν σε τέτοιες μικρές αποστάσεις. Επιπρόσθετα το επιφανειακό ύψος βροχής όπως υπολογίζεται με τις τρεις μεθόδου διαφέρει ελάχιστα.

Στα γράφημα Εικόνα 1- 12, Εικόνα 1- 12 και Εικόνα 1- 13 απεικονίζονται οι υσοϋέτιες καμπύλες όπως υπολογίσθηκαν με βάση τα υπερετήσια ύψη βροχής των σταθμών. Επίσης στα γραφήματα της Εικόνα 1- 14 και της Εικόνα 1- 15 δίνονται αντίστοιχα οι ισοϋέτιες καμπύλες όπως υπολογίσθηκαν με βάση τα ετήσια ύψη βροχής του έτους 1989-1990 (ξηρό) και του έτους 2002-2003 (υγρό) αντίστοιχα.

1.2.5.3 Υπολογισμός μέσης επιφανειακής βροχόπτωση με ολοκλήρωση ισοϋετών καμπυλών

Ο υπολογισμός της μέσης υπερετήσιας βροχόπτωσης, καθώς και για ξηρό και υγρό υδρολογικό έτος, έγινε με εμβαδομέτρηση των περιοχών που περιλαμβάνονται μεταξύ των ισοϋετών (και πάλι με τη χρήση του λογισμικού ArcView 3.2). Τα εμβαδά όπως υπολογίσθηκαν δίνονται στον Πίνακ. 1- 13, Πίνακ. 1- 14, Πίνακ. 1- 15 και Πίνακ. 1- 16 όπου γίνεται και ο υπολογισμός της μέσης επιφανειακής βροχόπτωσης για το υπερετήσιο ύψος βροχής (kriging – splines), και για το ύψος βροχής σε ξηρό και υγρό έτος αντίστοιχα, κατ' εφαρμογή της παραγράφου 1.2.4.1.3 .

Η επιφανειακή βροχόπτωση είναι: μέση ετήσια 669,1 με τη μέθοδο kriging ή 681,4 mm με μέθοδο splines, ξηρό έτος 397,6 mm και υγρό έτος 1196,0 mm που καταδεικνύει το μεγάλο εύρος διακύμανσης της.

1.2.5.4 Υπολογισμός μέσης επιφανειακής βροχόπτωσης με τη μέθοδο Thiessen

Ανάλογα, με τη μέθοδο των ισοϋέτιων καμπυλών, το επιφανειακό υπερετήσιο ύψος βροχής, καθώς και το ύψος βροχής για ξηρό και υγρό έτος υπολογίσθηκε και με τη μέθοδο Thiessen. Τα πολύγωνα Thiessen χαράχτηκαν (με τη χρήση Η/Υ και του λογισμικού HYMOS) για τους ίδιους βροχομετρικούς σταθμούς (Πίνακ. 1- 12).

Το μέσο επιφανειακό ύψος βροχής (βλέπε Πίνακ. 1- 17, Πίνακ. 1- 18 και Πίνακ. 1- 19) υπολογίσθηκε αντίστοιχα σε 669 mm, 390 mm, και 1201 mm για το υπερετήσιο, το ξηρό, και υγρό υδρολογικό έτος αντίστοιχα.

Πίνακ. 1- 12 Βροχομετρικοί σταθμοί νότιο- κεντρικής Κρήτης

Α/Α	ΟΝΟΜΑ ΣΤΑΘΜΟΥ	ΚΩΔΙΚΟΣ	ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ (ΕΓΣΑ 87)			ΥΠΕΡΕΤΗΣΙΟ ΥΨΟΣ ΒΡΟΧΗΣ (mm)
			X	Y	Z	
1	Αγία Βαρβάρα	MT1	590910.2	3887874	570	963
2	Δεμάτι	MT10	617026.3	3877270	210	473
3	Γέργερη	MT15	584536.3	3887230	450	886
4	Γόρτυς	MT16	584386.5	3880120	182	602
5	Αγιος Κύριλος	MT2	583036.3	3870700	450	545
6	Καψάλοι	MT22	626716.3	3873280	10	446
7	Κασσάνος	MT24	620116.2	3884740	320	579
8	Κρουσσώνας	MT27	589276.3	3898390	500	1002
9	Μεταξοχώρι	MT31	603058.3	3888005	430	747
10	Πομπία	MT35	578536.4	3874150	150	511
11	Προφήτης Ηλίας	MT36	600316.3	3896140	380	801
12	Προτόρια	MT37	604704.6	3876931	225	546
13	Τεφέλη	MT42	605866.3	3883420	360	728
14	Τυμπάκι	MT43	567556.3	3882220	6.7	474
15	Βόνι	MT44	613595.2	3895526	330	744
16	Ζάρος	MT45	581798.6	3887788	500	843
17	Αρμάχα	MT6	622749.8	3891949	450	820
18	Ασήμι	MT8	600049.1	3877943	200	602
19	Πιτσίδια	RG10	568006.3	3873190	1	452
20	Καλύβια	RG12	612261.3	3880719	200	604
21	Καπετανιανά	RG13	594138.4	3869421	800	707
22	Λαγόλια	RG15	571666.3	3884860	140	572
23	Μορόνι	RG17	582134.0	3883486	400	703
24	Αγιος Γεώργιος	RG2	634893.1	3892121	850	1040
25	Παρτίρα	RG21	611476.3	3886360	400	669
26	Βαγιόνια	RG24	591039.6	3874936	190	537
27	Βορίζια	RG27	577227.7	3889597	520	537
28	Ομαλός-1 (ΟΛΟ)	RG34	630904.6	3883076	1350	927
29	Αχεντριας	RG5	612351.9	3873325	680	710
30	Ψευδοσταθμός1	RG9	623721.0	3881968	----	650
31	Ψευδοσταθμός2	RG91	637477.0	3872770	----	446
32	Ψευδοσταθμός3	RG92	601050.0	3875907	----	541
33	Ψευδοσταθμός4	RG93	571492.0	3877559	----	463
34	Ψευδοσταθμός5	RG94	602355.0	3871299	----	708
35	Ψευδοσταθμός6	RG95	595922.0	3875299	----	539
ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΟ ΜΕΣΟ ΥΨΟΣ ΒΡΟΧΗΣ (χωρίς ψευδοσταθμούς)						**681.7**

Πίνακ. 1- 13 Υπολογισμός επιφανειακού υπερετήσιου ύψους βροχής (Kriging)

Α/Α	Ορια κλάσεων ύψους (mm)		Επιφάνεια κλάσης		Μέσο ύψος κλάσης $\frac{h_r - h_{r-1}}{2}$	$\frac{h_r - h_{r-1}}{2} \frac{F_r}{S}$
	Ισοϋέτια (h_{r-1})	Ισοϋέτια (h_r)	F_r m^2	F_r Km^2	$\frac{h_r - h_{r-1}}{2}$	mm
1	450	500	33,287,196	33.29	475	17.4
2	500	600	263,330,344	263.33	550	159.0
3	600	700	306,486,002	306.49	650	218.7
4	700	800	178,674,147	178.67	750	147.1
5	800	900	70,069,372	70.07	850	65.4
6	900	1000	58,941,552	58.94	950	61.5
ΣΥΝΟΛΟ			**S =**	**910.79**	**h_s =**	**669.1**

Πίνακ. 1- 14 Υπολογισμός επιφανειακού υπερετήσιου ύψους βροχής (Splines)

A/A	Ορια κλάσεων ύψους (mm)		Επιφάνεια κλάσης		Μέσο ύψος κλάσης	$\frac{h_r - h_{r-1}}{2} \frac{F_r}{S}$
	Ισοϋέτια (h_{r-1})	Ισοϋέτια (h_r)	F_r m^2	F_r Km^2	$\frac{h_r - h_{r-1}}{2}$	mm
1	425	450	2,899,103	2.90	437.5	1.4
2	450	475	9,913,061	9.91	462.5	5.0
3	475	500	19,732,602	19.73	487.5	10.6
4	500	525	26,933,600	26.93	512.5	15.2
5	525	550	67,614,559	67.61	537.5	39.9
6	550	575	71,916,450	71.92	562.5	44.4
7	575	600	72,851,646	72.85	587.5	47.0
8	600	625	72,009,973	72.01	612.5	48.4
9	625	650	69,204,384	69.20	637.5	48.4
10	650	675	67,848,359	67.85	662.5	49.4
11	675	700	67,474,276	67.47	687.5	50.9
12	700	725	61,629,311	61.63	712.5	48.2
13	725	750	53,352,840	53.35	737.5	43.2
14	750	775	40,867,998	40.87	762.5	34.2
15	775	800	39,658,446	39.66	787.5	34.3
16	800	825	36,098,505	36.10	812.5	32.2
17	825	850	30,113,260	30.11	837.5	27.7
18	850	875	21,322,432	21.32	862.5	20.2
19	875	900	22,023,829	22.02	887.5	21.5
20	900	925	20,808,076	20.81	912.5	20.8
21	925	950	15,524,227	15.52	937.5	16.0
22	950	975	12,110,768	12.11	962.5	12.8
23	975	1000	6,032,004	6.03	987.5	6.5
24	1000	1025	2,852,343	2.85	1012.5	3.2
ΣΥΝΟΛΟ			**S =**	**910.79**	**h_s =**	**681.4**

Πίνακ. 1- 15 Υπολογισμός επιφανειακού ύψους βροχής ξηρού έτους (1989-1990) (Splines)

A/A	Ορια κλάσεων ύψους (mm)		Επιφάνεια κλάσης		Μέσο ύψος κλάσης	$\frac{h_r - h_{r-1}}{2} \frac{F_r}{S}$
	Ισοϋέτια (h_{r-1})	Ισοϋέτια (h_r)	F_r m^2	F_r Km^2	$\frac{h_r - h_{r-1}}{2}$	mm
1	200	300	119,873,034	119.87	250	32.9
2	300	400	400,685,920	400.69	350	154.0
3	400	500	253,701,550	253.70	450	125.3
4	500	600	109,463,932	109.46	550	66.1
5	600	700	27,067,717	27.07	650	19.3
ΣΥΝΟΛΟ			**S =**	**910.79**	**h_s =**	**397.6**

Πίνακ. 1- 16 Υπολογισμός επιφανειακού ύψους βροχής υγρού έτους (2002-2003) (Splines)

Α/Α	Ορια κλάσεων ύψους (mm)		Επιφάνεια κλάσης		Μέσο ύψος κλάσης	$\frac{h_r - h_{r-1}}{2} \frac{F_r}{S}$
	Ισοϋέτια (h_{r-1})	Ισοϋέτια (h_r)	F_r m^2	F_r Km^2	$\frac{h_r - h_{r-1}}{2}$	mm
1	700	800	30,513,245	30.51	750	25.1
2	800	900	31,754,250	31.75	850	29.6
3	900	1000	77,346,006	77.35	950	80.7
4	1000	1100	178,281,219	178.28	1050	205.5
5	1100	1200	197,625,388	197.63	1150	249.5
6	1200	1300	143,298,179	143.30	1250	196.7
7	1300	1400	115,563,364	115.56	1350	171.3
8	1400	1500	64,012,688	64.01	1450	101.9
9	1500	1600	22,042,320	22.04	1550	37.5
10	1600	1700	17,764,598	17.76	1650	32.2
11	1700	1800	14,155,615	14.16	1750	27.2
12	1800	1900	9,389,471	9.39	1850	19.1
13	1900	2000	6,410,470	6.41	1950	13.7
14	2000	2100	2,635,257	2.64	2050	5.9
ΣΥΝΟΛΟ			**S =**	**910.79**	**h_s =**	**1196.0**

Πίνακ. 1- 17 Υπολογισμός επιφανειακού υπερετήσιου ύψους βροχής (Thiessen)

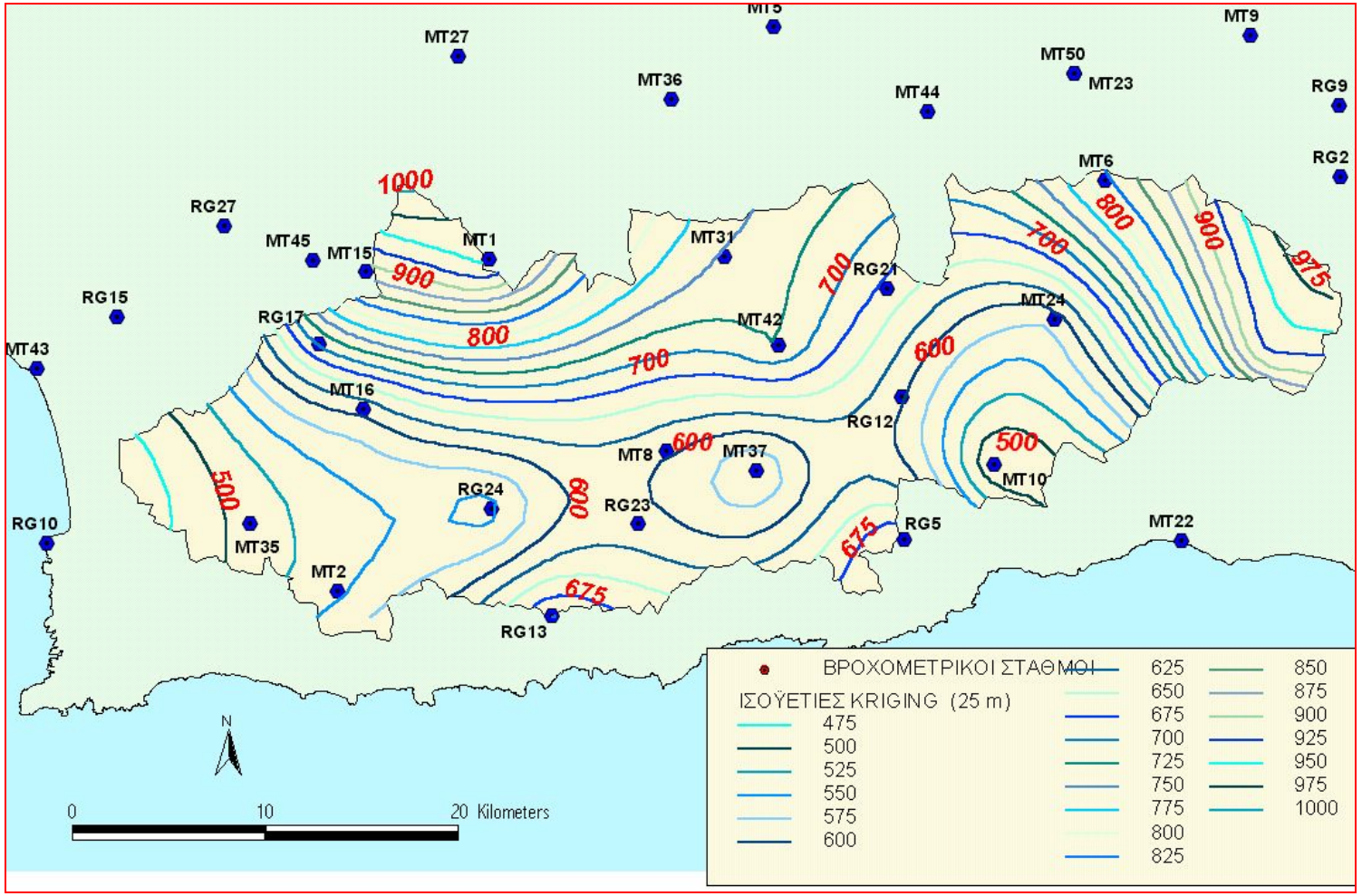
α/α	ΣΤΑΘΜΟΣ		ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ (ΕΓΣΑ 87)			S_i (Km^2)	ΒΑΡΗ ΚΑΤΑ THIESSEN Wi	ΥΠΕΡΕΤΗΣΙΟ ΥΨΟΣ ΒΡΟΧΗΣ hi (mm)	h_{is} = Wi * hi
	ΟΝΟΜΑ	ΚΩΔΙΚΟΣ	X	Y	Z				
1	Αγία Βαρβάρα	MT1	590910.3	3887874	570	56.72	0.062	963	60.0
2	Δεμάτι	MT10	617026.3	3877270	210	36.04	0.040	473	18.7
3	Γέργερη	MT15	584536.3	3887230	450	22.18	0.024	886	21.6
4	Αγιος Κύριλος	MT2	583036.3	3870700	450	37.07	0.041	545	22.2
5	Κασσάνος	MT24	620116.3	3884740	320	77.36	0.085	579	49.2
6	Μεταξοχώρι	MT31	603058.3	3888005	430	50.70	0.056	747	41.6
7	Πομπία	MT35	578536.3	3874150	150	66.60	0.073	511	37.4
8	Προτόρια	MT37	604704.6	3876931	225	56.13	0.062	546	33.6
9	Τεφέλη	MT42	605866.3	3883420	360	41.20	0.045	728	32.9
10	Βόνι	MT44	613595.2	3895526	330	4.17	0.005	744	3.4
11	Αρμάχα	MT6	622749.8	3891949	450	43.52	0.048	820	39.2
12	Ασήμι	MT8	600049.1	3877943	200	68.03	0.075	602	45.0
13	Καλύβια	RG12	612261.3	3880719	200	43.29	0.048	604	28.7
14	Καπετανιανά	RG13	594138.4	3869421	800	28.74	0.032	707	22.3
15	Μορόνι	RG17	582134	3883486	400	56.83	0.062	703	43.9
16	Αγ. Γεώργιος	RG2	634893.1	3892121	850	4.92	0.005	1040	5.6
17	Παρτίρα	RG21	611476.3	3886360	400	52.81	0.058	669	38.8
18	Βαγιόνια	RG24	591039.6	3874936	190	87.24	0.096	537	51.4
19	Ομαλός 1	RG34	630905	3883076	1350	57.23	0.063	927	58.2
20	Αχεντριας	RG5	612351.9	3873325	680	20.30	0.022	710	15.8
					ΣΥΝΟΛΑ	**911.09**	**1.000**	**702.05**	**669.3**

Πίνακ. 1- 18 Υπολογισμός επιφανειακού ύψους βροχής ξηρού έτους (1989-1990) (THIESSEN)

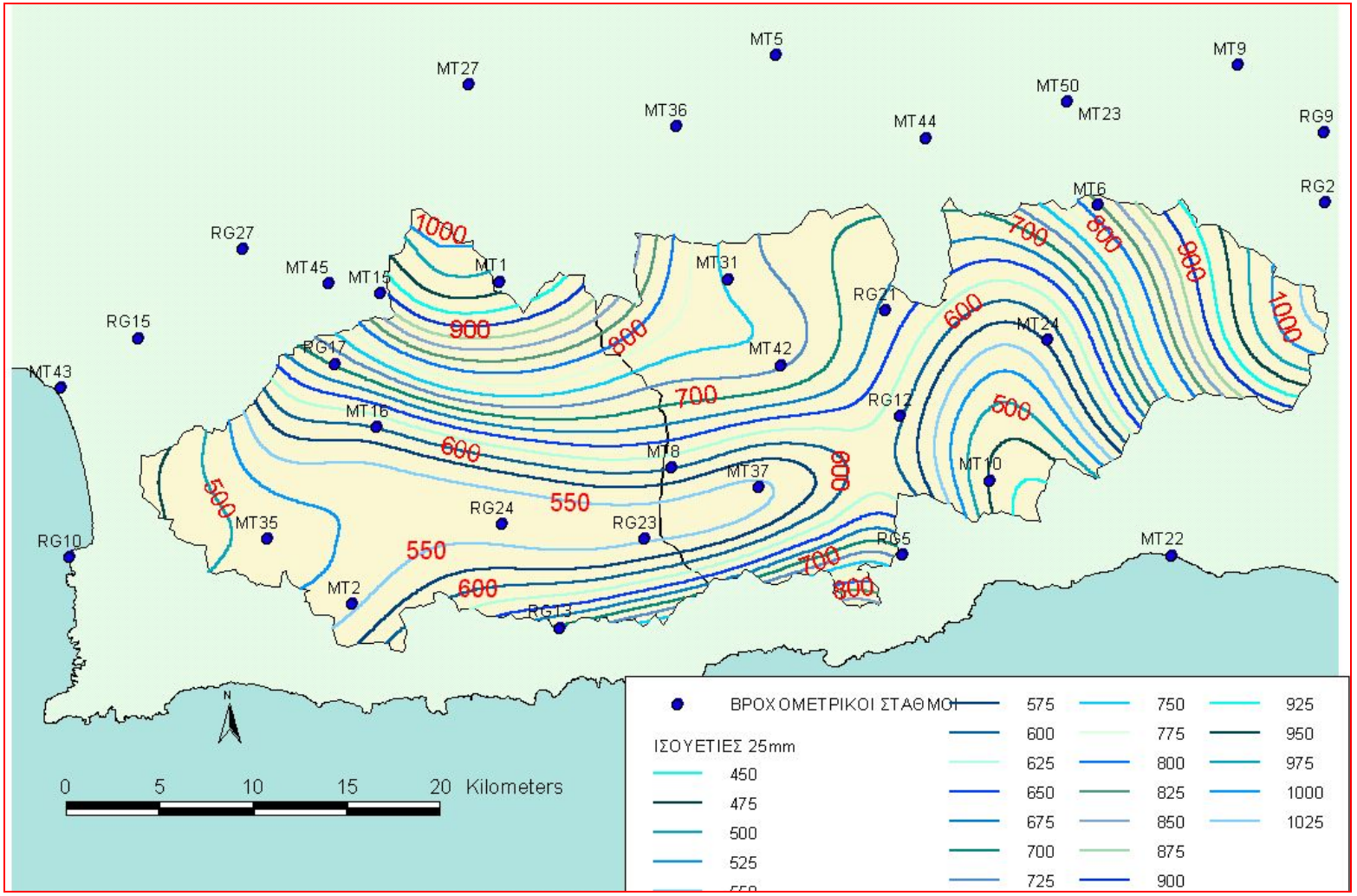
α/α	ΣΤΑΘΜΟΣ		ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ (ΕΓΣΑ 87)			Si (Km^2)	ΒΑΡΗ ΚΑΤΑ THIESSEN Wi	ΥΨΟΣ ΒΡΟΧΗΣ ΞΗΡΟ ΕΤΟΣ (1989-1990) hi (mm)	h_{is} = Wi * hi
	ΟΝΟΜΑ	ΚΩΔΙΚΟΣ	X	Y	Z				
1	Αγία Βαρβάρα	MT1	590910.3	3887874	570	56.72	0.062	557.6	34.7
2	Δεμάτι	MT10	617026.3	3877270	210	36.04	0.040	271.2	10.7
3	Γέργερη	MT15	584536.3	3887230	450	22.18	0.024	465.0	11.3
4	Αγιος Κύριλος	MT2	583036.3	3870700	450	37.07	0.041	251.1	10.2
5	Κασσάνος	MT24	620116.3	3884740	320	77.36	0.085	379.1	32.2
6	Μεταξοχώρι	MT31	603058.3	3888005	430	50.70	0.056	486.2	27.1
7	Πομπία	MT35	578536.3	3874150	150	66.60	0.073	255.0	18.6
8	Προτόρια	MT37	604704.6	3876931	225	56.13	0.062	324.6	20.0
9	Τεφέλη	MT42	605866.3	3883420	360	41.20	0.045	433.0	19.6
10	Βόνι	MT44	613595.2	3895526	330	4.17	0.005	603.0	2.8
11	Αρμάχα	MT6	622749.8	3891949	450	43.52	0.048	514.0	24.6
12	Ασήμι	MT8	600049.1	3877943	200	68.03	0.075	349.5	26.1
13	Καλύβια	RG12	612261.3	3880719	200	43.29	0.048	356.9	17.0
14	Καπετανιανά	RG13	594138.4	3869421	800	28.74	0.032	352.0	11.1
15	Μορόνι	RG17	582134	3883486	400	56.83	0.062	363.0	22.6
16	Αγ. Γεώργιος	RG2	634893.1	3892121	850	4.92	0.005	700.0	3.8
17	Παρτίρα	RG21	611476.3	3886360	400	52.81	0.058	390.6	22.6
18	Βαγιόνια	RG24	591039.6	3874936	190	87.24	0.096	310.8	29.8
19	Ομαλός 1	RG34	630905	3883076	1350	57.23	0.063	560.0	35.2
20	Αχεντριας	RG5	612351.9	3873325	680	20.30	0.022	458.9	10.2
					ΣΥΝΟΛΑ	**911.09**	**1.000**	**419.1**	**390.1**

Πίνακ. 1- 19 Υπολογισμός επιφανειακού ύψους βροχής υγρού έτους (2002-2003) (THIESSEN)

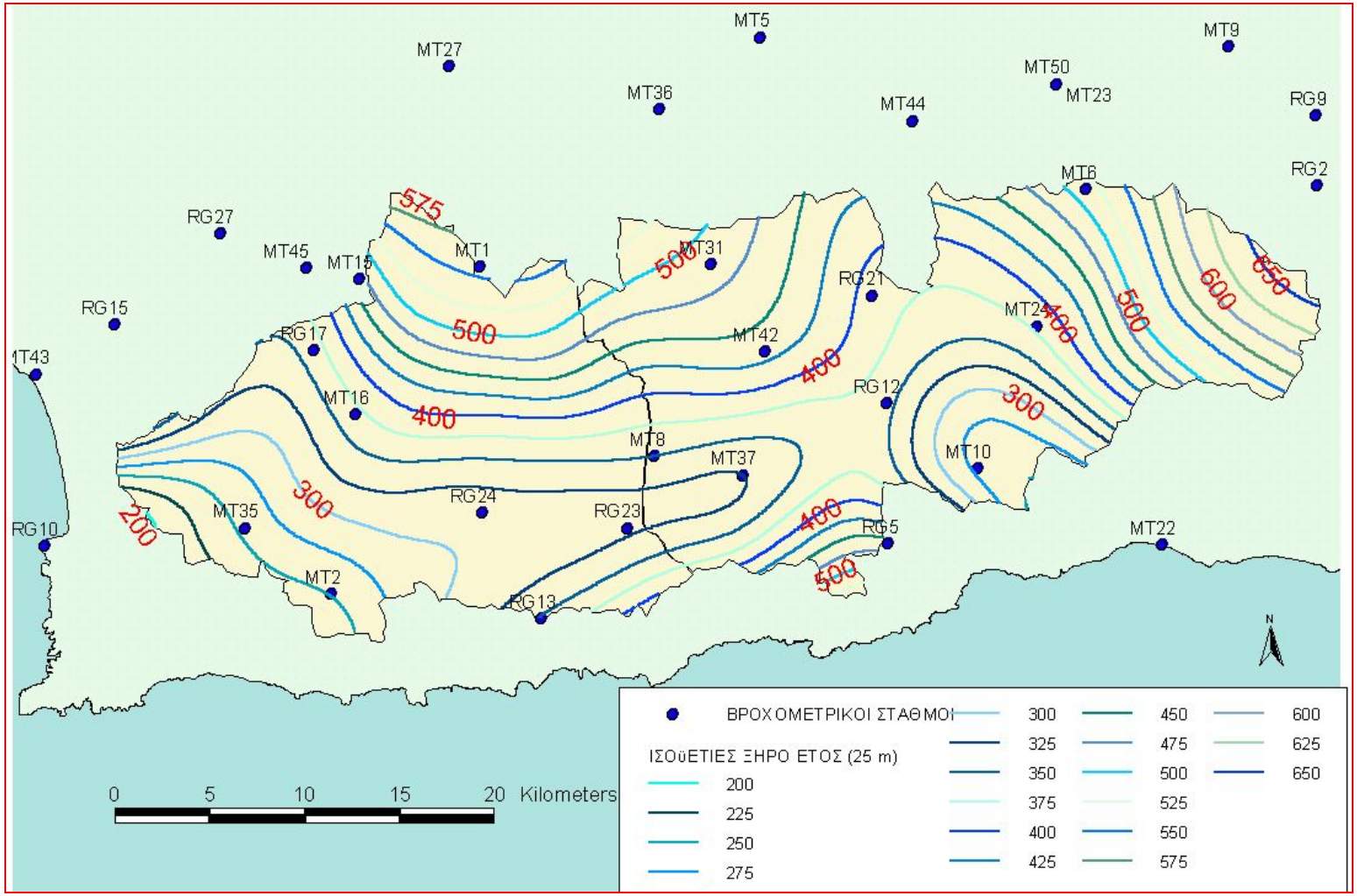
α/α	ΣΤΑΘΜΟΣ		ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ (ΕΓΣΑ 87)			Si (Km^2)	ΒΑΡΗ ΚΑΤΑ THIESSEN Wi	ΥΨΟΣ ΒΡΟΧΗΣ ΥΓΡΟΥ ΕΤΟΥΣ hi (mm)	h_{is} = Wi * hi
	ΟΝΟΜΑ	ΚΩΔΙΚΟΣ	X	Y	Z				
1	Αγία Βαρβάρα	MT1	590910.3	3887874	570	56.72	0.062	1849.1	115.1
2	Δεμάτι	MT10	617026.3	3877270	210	36.04	0.040	804.9	31.8
3	Γέργερη	MT15	584536.3	3887230	450	22.18	0.024	1696.9	41.3
4	Αγιος Κύριλος	MT2	583036.3	3870700	450	37.07	0.041	1230.8	50.1
5	Κασσάνος	MT24	620116.3	3884740	320	77.36	0.085	892.1	75.7
6	Μεταξοχώρι	MT31	603058.3	3888005	430	50.70	0.056	1389.6	77.3
7	Πομπία	MT35	578536.3	3874150	150	66.60	0.073	1135.4	83.0
8	Προτόρια	MT37	604704.6	3876931	225	56.13	0.062	914.9	56.4
9	Τεφέλη	MT42	605866.3	3883420	360	41.20	0.045	1332.6	60.3
10	Βόνι	MT44	613595.2	3895526	330	4.17	0.005	1256.0	5.7
11	Αρμάχα	MT6	622749.8	3891949	450	43.52	0.048	1290.0	61.6
12	Ασήμι	MT8	600049.1	3877943	200	68.03	0.075	971.8	72.6
13	Καλύβια	RG12	612261.3	3880719	200	43.29	0.048	1043.0	49.6
14	Καπετανιανά	RG13	594138.4	3869421	800	28.74	0.032	1442.0	45.5
15	Μορόνι	RG17	582134	3883486	400	56.83	0.062	1339.1	83.5
16	Αγ. Γεώργιος	RG2	634893.1	3892121	850	4.92	0.005	1550.0	8.4
17	Παρτίρα	RG21	611476.3	3886360	400	52.81	0.058	1155.8	67.0
18	Βαγιόνια	RG24	591039.6	3874936	190	87.24	0.096	1094.1	104.8
19	Ομαλός 1	RG34	630905	3883076	1350	57.23	0.063	1335.0	83.9
20	Αχεντριας	RG5	612351.9	3873325	680	20.30	0.022	1232.0	27.5
					ΣΥΝΟΛΑ	**911.09**	**1.000**	**1247.8**	**1201.0**



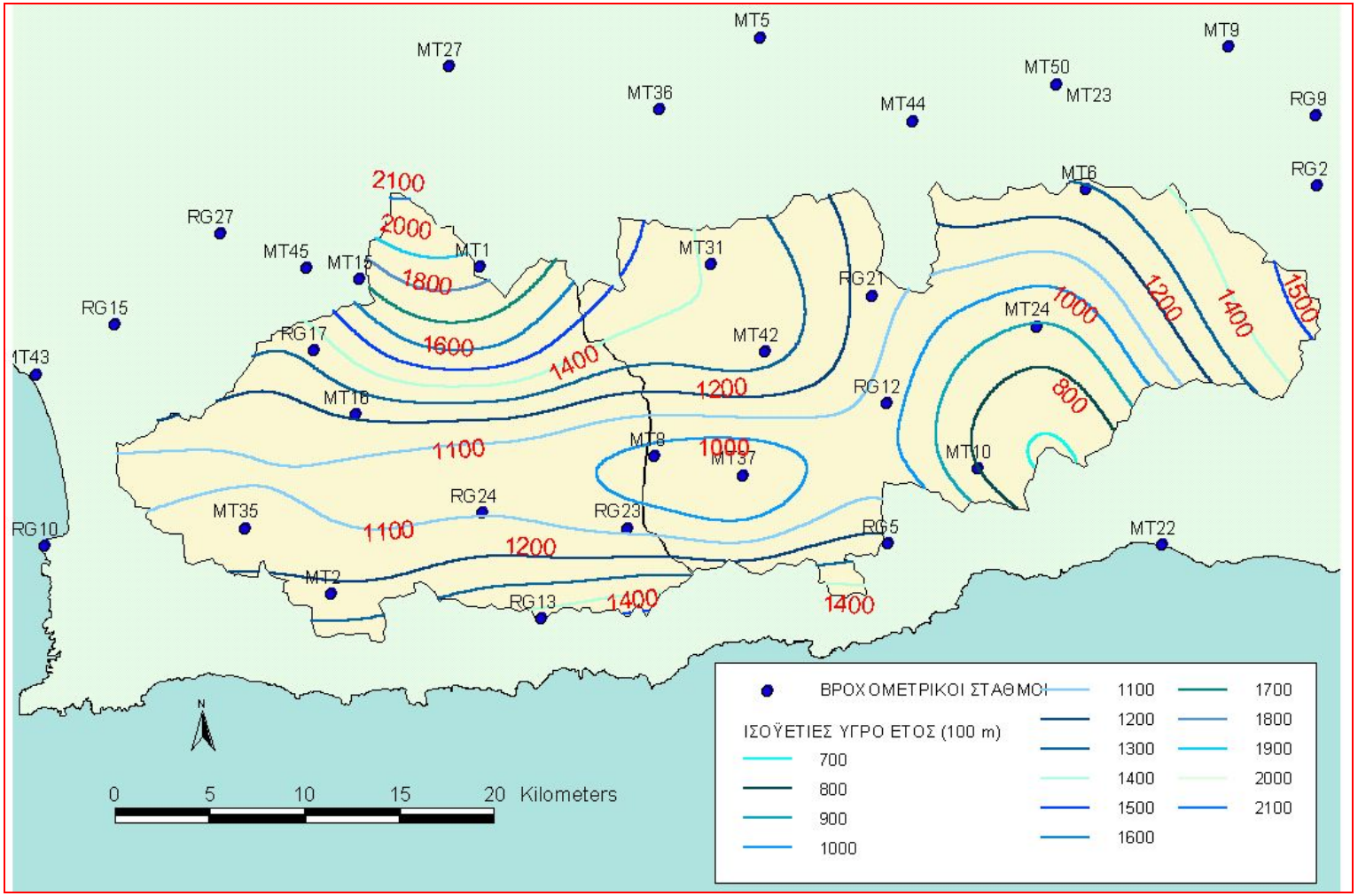
Εικόνα 1- 12 Ισοϋέτιες Μεσαράς (υπερετήσια ύψη βροχής) Kriging



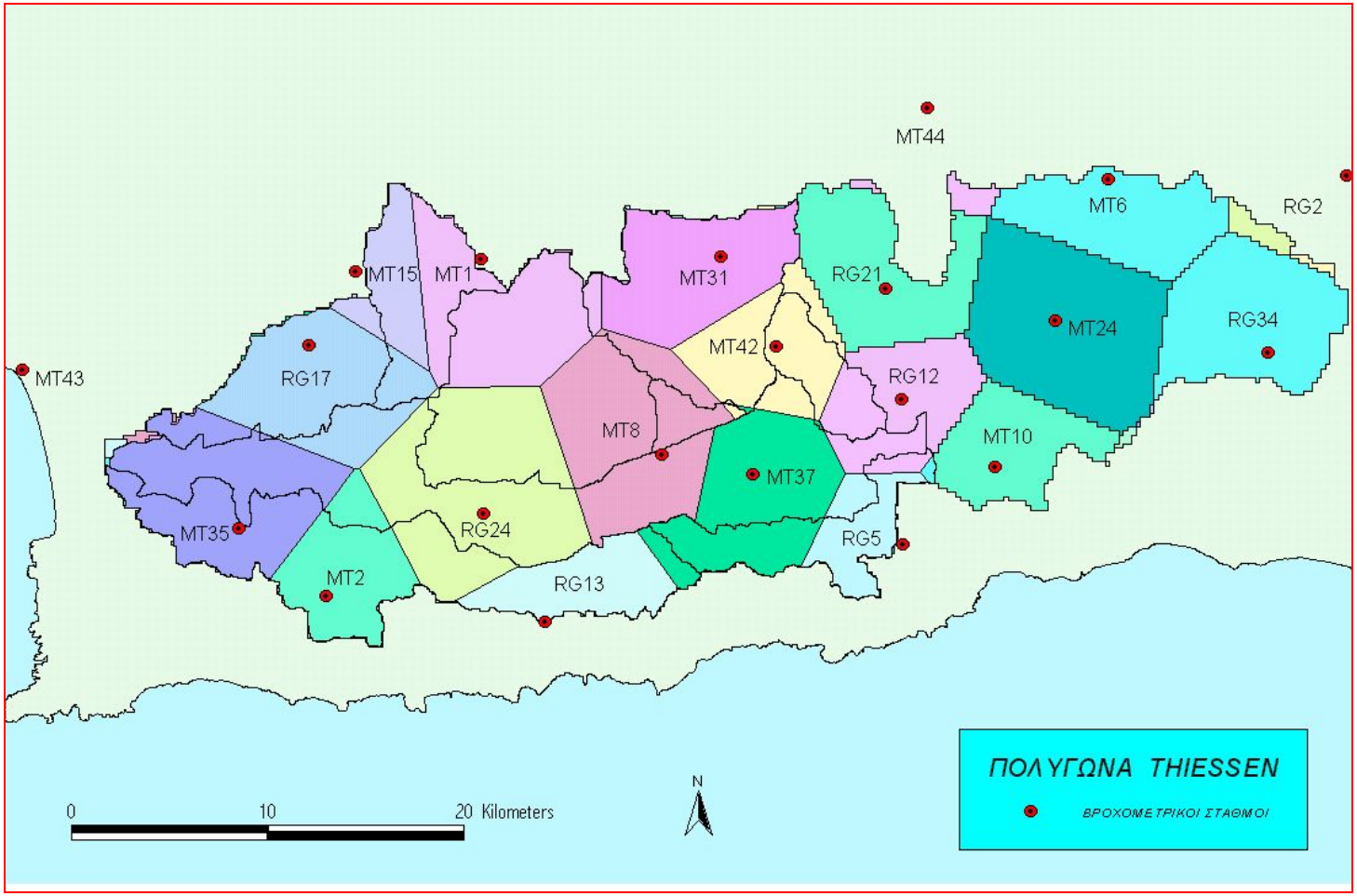
Εικόνα 1- 13 Ισοϋέτιες Μεσαράς 25 m (υπερετήσια ύψη βροχής) splines



Εικόνα 1- 14 Ισοϋέτιες 25 m Μεσαράς ξηρό έτος (1989-1990) splines



Εικόνα 1- 15 Ισοϋέτιες Μεσαράς 25m υγρό έτος (2002-2003) splines



Εικόνα 1- 16 Πολύγωνα Thiessen λεκάνης Μεσαράς.

1.2.5.5 Επιφανειακή βροχόπτωση στις υπολεκάνες Μεσαράς

Για τις ανάγκες της μελέτης και ειδικότερα για την καλύτερη προσέγγιση του υδατικού ισοζυγίου της λεκάνης Μεσαράς η περιοχή χωρίστηκε σε επί μέρους (υπο)λεκάνες. Τα κριτήρια οριοθέτησης των υπολεκανών είναι κυρίως: α) η ανάγκη εφαρμογής κατάλληλου προσομοιώματος των υπόγειων νερών του αλλουβιακού – πλειστοκαινικού υδροφορέα, β) οι υδρολογικές λεκάνες των κυριότερων χείμαρρων, παραπόταμοι του Γεροποτάμου και του Αναποδάρη, που εμπλουτίζουν τον υδροφορέα, γ) η ύπαρξη υδρομετρικών σταθμών για βαθμονόμηση των προσομοιωμάτων βροχής - απορροής και δ) οι κατά το δυνατόν σχετικά ομοιόμορφες υδρολογικές συνθήκες σε κάθε υπολεκάνη .

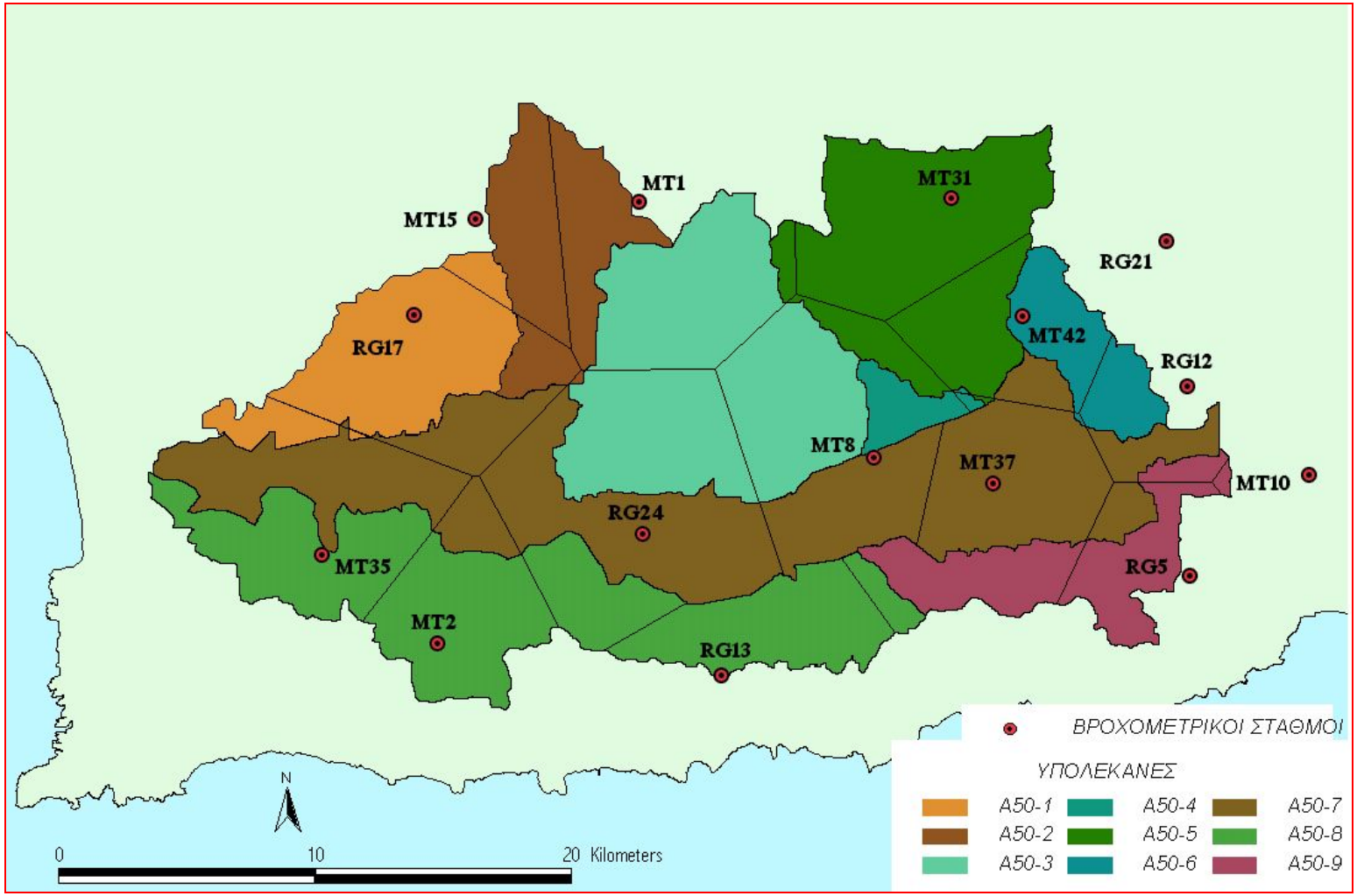
Με βάση τα παραπάνω κριτήρια η περιοχή μελέτης χωρίστηκε στην κεντρική υπολεκάνη που περιλαμβάνει τον κύριο υδροφορέα της Μεσαράς (Γεροποτάμου και Αναποδάρη), έξι υπολεκάνες βόρεια της κεντρικής και 2 υπολεκάνες νότια της κεντρικής (βλέπε Εικόνα 1- 17).

Η μέση επιφανειακή βροχόπτωση των υπολεκανών υπολογίσθηκε με την μέθοδο Thiessen. Στην Εικόνα 1- 17 απεικονίζονται οι υπολεκάνες καθώς και τα πολύγωνα Thiessen. Στον Πίνακ. 1- 20 δίνονται οι συντελεστές βάρους των πολυγώνων Thiessen και υπολογίζεται η μέση επιφανειακή βροχόπτωση. Στον ίδιο πίνακα υπολογίζεται και ο συντελεστής της υψομετρικής αναγωγής, με βάση το μέσο υψόμετρο των υπολεκανών, το σταθμημένο υψόμετρο των βροχομετρικών σταθμών και τη βροχομετρική βαθμίδα.

Ο συντελεστής υψομετρικής αναγωγής υπολογίσθηκε από τα μέσα ετήσια ύψη βροχής και ο ίδιος συντελεστής δύναται να εφαρμοσθεί και για τις ετήσιες τιμές καθώς και για τις μηνιαίες, όπως έχει υιοθετηθεί στην πράξη (Κουτσογιάννης, 1999 σελ. 142). Οι χρονοσειρές της επιφανειακής βροχόπτωση των υπολεκανών, σε μηνιαίο βήμα, υπολογίσθηκαν με το λογισμικό HYMOS για τη χρονική περίοδο 9^{ος} 1973 - 9^{ος} 2005 και στη συνέχεια διορθώθηκαν με τον συντελεστή υψομετρικής αναγωγής (Πίνακ. 1-10).

Πίνακ. 1- 20 Υπολογισμός επιφανειακής βροχόπτωσης και του συντελεστή υψομετρικής αναγωγής στις υπολεκάνες Μεσαράς

Α/Α	ΥΠΟΛΕΚΑΝΗ	ΚΩΔΙΚΟΣ ΗΜΟΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ	ΒΡΟΧΟ-ΜΕΤΡΙΚΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ	ΒΑΡΗ THIESSEN Wi	ΥΨΟΜΕΤΡΟ ΣΤΑΘΜΟΥ Zi	ΣΤΑΘΜΙΣΜΕΝΟ ΥΨΟΜΕΤΡΟ ΣΤΑΘΜΩΝ Wi * Zi	ΥΠΕΡΕΤΗΣΙΟ ΥΨΟΣ ΒΡΟΧΗΣ ΣΤΑΘΜΟΥ $h_{i\,(mm)}$	ΜΕΣΟ ΕΤΗΣΙΟ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΟ ΥΨΟΣ ΒΡΟΧΗΣ h_s = Wi*hi (mm)	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΕΚΤΑΣΗ (Km^2)	ΜΕΣΟ ΥΨΟΜΕΤΡΟ ΛΕΚΑΝΗΣ Zs (m)	ΜΕΣΗ ΚΛΙΣΗ	ΒΡΟΧΟ-ΜΕΤΡΙΚΗ ΒΑΘΜΙΔΑ β	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΑΝΑΓΩΓΗΣ (λ) $\lambda = 1 + \beta \frac{Z_s - Z_\sigma}{h_s}$
1	ΒΔ ΓΕΡΟΠΟΤΑΜΟΥ	*A50-1*	RG17	0.802	400	320.85	703.00	563.89					
			MT15	0.062	450	27.97	886.00	55.07					
			MT35	0.136	150	20.37	511.00	69.38					
			ΑΘΡΟΙΣΜΑ Wi	***1.000***	***ΜΕΣΟ Ζσ***	***369.18***	***ΜΕΣΟ hs***	***688.34***	49.61	265.61	6.67	0.91	**0.863**
2	ΛΙΘΑΙΟΥ	*A50-2*	MT1	0.4209	570	239.90	963.00	405.31					
			MT15	0.4376	450	196.93	886.00	387.74					
			RG17	0.1374	400	54.97	703.00	96.62					
			RG24	0.0041	190	0.77	537.00	2.18					
			ΑΘΡΟΙΣΜΑ Wi	***1.0000***	***ΜΕΣΟ Ζσ***	***492.58***	***ΜΕΣΟ hs***	***891.84***	43.64	525.28	12.97	0.91	**1.033**
3	ΒΑ ΓΕΡΟΠΟΤΑΜΟΥ	*A50-3*	MT1	0.3635	570	207.21	963.00	350.07					
			RG24	0.3294	190	62.59	537.00	176.91					
			MT8	0.3070	200	61.41	602.00	184.84					
			ΑΘΡΟΙΣΜΑ Wi	***1.0000***	***ΜΕΣΟ Ζσ***	***331.21***	***ΜΕΣΟ hs***	***711.82***	99.25	325.19	5.53	0.91	**1.033**
4	ΒΔ ΑΝΑΠΟΔΑΡΗ	*A50-4*	MT8	0.9359	200	187.17	602.00	563.39					
			MT42	0.0641	360	23.08	728.00	46.68					
			ΑΘΡΟΙΣΜΑ Wi	***1.0000***	***ΜΕΣΟ Ζσ***	***210.26***	***ΜΕΣΟ hs***	***610.07***	8.50	367.58	5.90	0.91	**1.235**
5	ΠΛΑΚΙΩΤΙΣΑ	*A50-5*	MT31	0.6372	430	273.99	747.00	475.98					
			MT42	0.2350	360	84.60	728.00	171.07					
			MT8	0.0949	200	18.98	602.00	57.11					
			MT37	0.0030	225	0.68	546.00	1.64					
			MT1	0.0299	570	17.04	963.00	28.79					
			ΑΘΡΟΙΣΜΑ Wi	***1.0000***	***ΜΕΣΟ Ζσ***	***395.28***	***ΜΕΣΟ hs***	***734.60***	78.59	420	7.43	0.91	**1.031**
6	ΒΑ ΑΝΑΠΟΔΑΡΗ	*A50-6*	MT42	0.6096	360	219.46	728.00	443.79					
			RG12	0.3843	200	76.86	604.00	232.11					
			MT37	0.0062	225	1.38	546.00	3.36					
			ΑΘΡΟΙΣΜΑ Wi	***1.0000***	***ΜΕΣΟ Ζσ***	***297.70***	***ΜΕΣΟ hs***	***679.26***	22.18	289	4.92	0.91	**0.988**
7	ΠΕΔΙΝΟ ΓΕΡΟΠΟΤΑΜΟΥ-ΑΝΑΠΟΔΑΡΗ	*A50-7*	RG12	0.0428	200	8.56	604.00	25.86					
			MT37	0.2146	225	48.29	546.00	117.19					
			RG5	0.0258	680	17.54	710.00	18.32					
			MT42	0.0271	360	9.77	728.00	19.75					
			MT8	0.1385	200	27.71	602.00	83.40					
			RG24	0.2642	190	50.20	537.00	141.88					
			MT35	0.1790	150	26.86	511.00	91.49					
			RG17	0.0704	400	28.15	703.00	49.48					
			MT2	0.0374	450	16.83	545.00	20.38					
			ΑΘΡΟΙΣΜΑ Wi	***1.0000***	***ΜΕΣΟ Ζσ***	***233.91***	***ΜΕΣΟ hs***	***567.75***	162.66	184.85	2.29	0.54	**0.953**
8	ΔΥΤΙΚΗ ΑΣΤΕΡΟΥΣΙΩΝ (ΝΟΤΙΑ ΓΕΡΟΠΟΤΑΜΟΥ)	*A50-8*	MT35	0.2855	150	42.83	511.00	145.89					
			MT2	0.2850	450	128.25	545.00	155.33					
			RG24	0.1333	190	25.33	537.00	71.58					
			RG13	0.2619	800	209.52	707.00	185.16					
			MT37	0.0343	225	7.72	546.00	18.73					
			ΑΘΡΟΙΣΜΑ Wi	***1.0000***	***ΜΕΣΟ Ζσ***	***413.64***	***ΜΕΣΟ hs***	***576.69***	109.75	368.74	10.52	0.25	**0.981**
9	ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΑΣΤΕΡΟΥΣΙΩΝ (ΝΟΤΙΑ ΑΝΑΠΟΔΑΡΗ)	*A50-9*	MT37	0.4686	225	105.43	546.00	255.85					
			RG5	0.4391	680	298.60	710.00	311.77					
			MT10	0.0173	210	3.63	473.00	8.18					
			RG12	0.0750	200	15.00	604.00	45.29					
			ΑΘΡΟΙΣΜΑ Wi	***1.0000***	***ΜΕΣΟ Ζσ***	***422.66***	***ΜΕΣΟ hs***	***621.09***	36.87	481.97	13.46	0.25	**1.024**
						ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΕΚΤΑΣΗ (Km2)			611.05				



Εικόνα 1- 17 Υπολεκάνες Μεσαράς και πολύγωνα Thiessen

1.3 Στατιστική ανάλυση υδρολογικής πληροφορίας

Η ανάλυση της συχνότητας της υδρολογικής πληροφορίας, εκτός του ότι συμβάλλει ουσιαστικά στον ορθολογικό σχεδιασμό των έργων, συνεισφέρει στον αποδοτικό σχεδιασμό των έργων και στην ανάλυση των συνολικών επιπτώσεων (περιβαλλοντικών, κοινωνικών, οικονομικών, αισθητικής τοπίου κλπ) από την κατασκευή του έργου.

Η ανάλυση των υδρολογικών φαινομένων προϋποθέτει ότι οι παρατηρήσεις είναι τυχαίες με τη στατιστική έννοια του όρου και ομογενείς. Η ανάλυση των υδρολογικών μεταβλητών που ακολουθήθηκε περιλαμβάνει τα εξής τρία βήματα:

- συμπύκνωση του δείγματος
- προσαρμογή θεωρητικού μοντέλου
- στατιστική πρόγνωση

1.3.1 Συμπύκνωση του δείγματος

1.3.1.1 Στατιστικά χαρακτηριστικά του δείγματος

Τα στατιστικά χαρακτηριστικά του δείγματος, στατιστικοί δείκτες που συνοψίζουν σε λίγους αριθμούς τις πιο χαρακτηριστικές ιδιότητες του, τα διακρίνουμε σε δύο κατηγορίες:

- Η πρώτη περιλαμβάνει τις ***δειγματικές ροπές*** και τα παράγωγα τους χαρακτηριστικά. Συγκεκριμένα περιλαμβάνει (δίνονται και οι τύποι υπολογισμού):

Μέση τιμή	$\bar{x} = \frac{1}{n}\sum x_i$
Διασπορά	$s_x^2 = \frac{1}{n}\sum x_i^2 - \bar{x}^2$
Τυπική απόκλιση	s_x
Συντελεστής μεταβλητότητας	$\hat{C}_{vx} = \frac{s_x}{\bar{x}}$
Τρίτη κεντρική ροπή	$\hat{\mu}_x^3 = \frac{1}{n}\sum x_i^3 - 3\bar{x}s_x^2 - \bar{x}^3$
Συντελεστής ασυμμετρίας	$\hat{C}_{sx} = \frac{\hat{\mu}_x^3}{s_x^3}$

- Η δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνει απλούστερους στατιστικούς δείκτες και ο υπολογισμός τους προϋποθέτει τη διάταξη τους σε αύξουσα ή φθίνουσα σειρά και αναφέρονται ως ***συνοπτικά χαρακτηριστικά διατεταγμένου δείγματος***. Οι δείκτες αυτοί καθώς και ο τρόπος εύρεσης τους είναι όπως παρακάτω:

Ελάχιστη τιμή	$\hat{x}_{\min} = \min(x_{1,}, x_2, ...x_n)$
Μέγιστη τιμή	$\hat{x}_{\max} = \max(x_{1,}, x_2, ...x_n)$
Διάμεσος	$\hat{x}0_{0.5}$: Ο μεσαίος όρος του διατεταγμένου δείγματος
Κάτω τεταρτομόριο	$\hat{x}0_{0.25}$: η διάμεσος του διατεταγμένου δείγματος που περιλαμβάνει τιμές $x_i \le \hat{x}_{0.5}$
Άνω τεταρτομόριο	$\hat{x}0_{0,75}$: η διάμεσος του διατεταγμένου δείγματος που περιλαμβάνει τιμές $x_i \ge \hat{x}_{0.5}$
Διατεταρτημοριακό εύρος	$\hat{\delta}_x = \hat{x}_{0.75} - \hat{x}_{0.25}$

1.3.1.2 Συνοπτική παράσταση δείγματος (Box Plot)

Τα συνοπτικά χαρακτηριστικά του διατεταγμένου δείγματος απεικονίζονται με την βοήθεια της συνοπτικής παράστασης δείγματος (Box Plot). Η συνοπτική παράσταση δείγματος περιλαμβάνει ένα κεντρικό ορθογώνιο «κουτί» και δύο κατακόρυφες κεραίες πάνω και κάτω από το κουτί. Όλα τα στοιχεία απεικονίζονται σε κατάλληλη κατακόρυφη κλίμακα. Για την σχεδίαση του κουτιού ακολουθούνται οι παρακάτω κανόνες:

-Η μεσαία γραμμή του κουτιού αντιπροσωπεύει τη διάμεσο του δείγματος.
-Η κάτω γραμμή (βάση) του κουτιού αντιπροσωπεύει το κάτω τεταρτημόριο του δείγματος.
-Η πάνω γραμμή (οροφή) του κουτιού αντιπροσωπεύει το άνω τεταρτημόριο του δείγματος.
-Ορίζεται το βοηθητικό μέγεθος *βήμα* το οποίο είναι 1.5 φορές το διατεταρτημοριακό εύρος.
-Η κάτω κεραία εκτείνεται από τη βάση του κουτιού μέχρι τη μικρότερη τιμή του δείγματος που βρίσκεται μέσα στα όρια ενός βήματος από τη βάση του κουτιού.
-Η άνω κεραία εκτείνεται από την οροφή του κουτιού μέχρι τη μεγαλύτερη τιμή του δείγματος που βρίσκεται μέσα στα όρια ενός βήματος από την οροφή του κουτιού.
-Τιμές του δείγματος που βρίσκονται έξω από τα όρια των κεραιών και απέχουν 1-2 βήματα από τη βάση ή την οροφή του κουτιού χαρακτηρίζονται ως *εξωκείμενες (outliers)* και σημειώνονται στο διάγραμμα με το σύμβολο Ο.
-Τιμές του δείγματος που βρίσκονται έξω από τα όρια των κεραιών και απέχουν περισσότερο από 2 βήματα από τη βάση ή την οροφή του

κουτιού χαρακτηρίζονται ως *ακραίες (extremes)* και σημειώνονται στο διάγραμμα με το σύμβολο *.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, η ελάχιστη και η μέγιστη τιμή του δείγματος σημειώνονται στη συνοπτική παράσταση δείγματος είτε ως όρια των κεραιών, εφόσον δεν απέχουν περισσότερο από ένα βήμα από τα όρια του κουτιού, είτε διαφορετικά ως *εξωκείμενες* ή *ακραίες* τιμές.

Η συνοπτική παράσταση ενός δείγματος δίνει με πολύ σαφή τρόπο τη γενική στατιστική εικόνα του, απεικονίζοντας ταυτόχρονα χαρακτηριστικά θέσης (διάμεσος), διασποράς (διατεταρτημοριακό πλάτος) και ασυμμετρίας. Η ασυμμετρία ή η συμμετρία του δείγματος αναγνωρίζεται από τη θέση της μεσαίας γραμμής σε σχέση με τις βάσεις του κουτιού, καθώς και από τη σύγκριση των μηκών των κεραιών.

Ακόμη, το διάγραμμα δίνει πληροφορίες για το πόσο κοντά στην κανονική κατανομή είναι το δείγμα. Αν η μεταβλητή του δείγματος είναι κανονική, τότε αναμένεται συμμετρική εικόνα του δείγματος και επίσης δεν αναμένονται *εξωκείμενες* και *ακραίες* τιμές, παρά μόνο με συχνότητες 1 στα 100 και 1 στα 300.000 σημεία αντίστοιχα (Κουτσογιάννης, Δ., 1997). Στην περίπτωση της συγκεκριμένης μεταβλητής, που είναι οι μηνιαίες βροχοπτώσεις δεν αναμένεται κάτι τέτοιο λόγω της έντονης εποχιακότητάς της.

1.3.1.3 Ιστογράμματα

Ένας άλλος τρόπος γραφικής παράστασης ενός δείγματος, που είναι το εμπειρικό αντίστοιχο της συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας, παρέχουν τα ιστογράμματα, τα οποία προϋποθέτουν την κατάταξη του δείγματος σε *K* διαστήματα μεγέθους *Δ* . Ορίζεται ως ιστόγραμμα η κλιμακωτή συνάρτηση:

$$\varphi(x) = \frac{n_i}{n\Delta} \quad , \qquad c_i \le x \le c_{i+1}, \qquad i=1,\ldots K$$

Όπου n_i ο αριθμός των τιμών του δείγματος που βρίσκονται στο *i* διάστημα το οποίο έχει όρια c_i και $c_{i+1}=c_i+\Delta$. Κατά κανόνα ο αριθμός των διαστημάτων προκύπτει από τη σχέση $K = \frac{\ln n}{\ln 2}$ και η τιμή που προκύπτει τη στρογγυλεύουμε προς τα πάνω.

1.3.1.4 Εμπειρική συνάρτηση κατανομής

Το εμπειρικό αντίστοιχο της συνάρτησης κατανομής ονομάζεται εμπειρική συνάρτηση κατανομής. Η καμπύλη αθροιστικής πιθανότητας κατασκευάζεται σε γραφήματα που με κατάλληλο μετασχηματισμό των αξόνων τους τα γραφήματα συγκεκριμένων συναρτήσεων παριστάνονται ως ευθείες. Τα γραφήματα αυτά ονομάζονται χαρτιά πιθανότητας. Έτσι με την τοποθέτηση των σημείων στο κατάλληλο χαρτί πιθανότητας γίνεται ταυτόχρονα έλεγχος της καταλληλότητας της κατανομής και επέκταση του δείγματος με τη

θεωρητική κατανομή. Η ανάλυση συχνότητας με το χαρτί πιθανότητας γίνεται ακολουθώντας την εξής διαδικασία:

- κατάταξη των δεδομένων σε φθίνουσα σειρά
- υπολογισμό της πιθανότητας υπέρβασης κάθε τιμής με την επιλογή ενός από τους τύπους:

Weibull	$q_i=\frac{i}{n+1}$	α=0
Blom	$q_i=\frac{i-0.375}{n+0.25}$	α=0,375
Cunnane	$q_i=\frac{i-0.4}{n+0.2}$	α=0,4
Grihgorten	$q_i=\frac{i-0.44}{n+0.12}$	α=0,44

- επιλογή του τύπου του χαρτιού πιθανότητας που θα χρησιμοποιηθεί (πχ κανονικής κατανομής, κατανομής ακραίων τιμών τύπου Ι, κλπ)
- εμπειρική χάραξη της ευθείας που προσαρμόζεται καλύτερα στα δεδομένα.

1.3.2 Επιλογή και προσαρμογή θεωρητικής συνάρτησης κατανομής

Αφού εκτελέσουμε τα προηγούμενα που αφορούν την συμπύκνωση του δείγματος μπορούμε να κάνουμε περιορισμένες στατιστικές προγνώσεις στα (χρονικά) όρια του στατιστικού δείγματος. Για να είμαστε σε θέση να κάνουμε προβλέψεις έξω από τα όρια του δείγματος θα πρέπει να υποθέσουμε ένα πιθανοτικό μοντέλο για τον πληθυσμό που προέρχεται το δείγμα.

Με τον όρο πιθανοτικό μοντέλο εννοούμε μια από τις τυπικές συναρτήσεις κατανομής της θεωρίας των πιθανοτήτων που έχουν συγκεκριμένο και απλό μαθηματικό τύπο. Η χρήση βεβαίως ενός πιθανοτικού μοντέλου αποτελεί μια προσέγγιση της πραγματικότητας.

Στην επιλογή του κατάλληλου μοντέλου μας οδηγούν τα εξής:

- Η πιθανοθεωρία. Σε μερικές περιπτώσεις υπάρχουν θεωρητικοί λόγοι για τους οποίους μια υδρολογική μεταβλητή αναμένεται να ακολουθεί συγκεκριμένο τύπο κατανομής. Για παράδειγμα η ετήσια βροχόπτωση περιοχής πλούσιες σε βροχοπτώσεις αναμένεται να ακολουθεί κανονική κατανομή ενώ σε ξηρά κλίματα με λίγες βροχοπτώσεις μια κατανομή όπως η log-Pearson, ή η λογαριθμοκανομική, ή η γάμα δίνει καλύτερη προσαρμογή.

- Η γενική υδρολογική εμπειρία. Η υδρολογική εμπειρία σε πολλές περιπτώσεις έχει δείξει ότι συγκεκριμένες υδρολογικές μεταβλητές ακολουθούν συγκεκριμένους τύπους κατανομής χωρίς να υπάρχουν πιθανοθεωρητικοί λόγοι που να μας οδηγούν. Για παράδειγμα οι

μηνιαίες απορροές πολύ συχνά ακολουθούν κατανομές γάμα ή λογαριθμοκανονικές.

- Η εξέταση του συγκεκριμένου δείγματος. Τα στατιστικά χαρακτηριστικά του διαθέσιμου ιστορικού δείγματος βοηθούν στην επιλογή ή απόρριψη συγκεκριμένου τύπου κατανομής. Για παράδειγμα αν ο συντελεστής ασυμμετρίας είναι κοντά στο μηδέν μπορεί να επιλεγεί η κανονική ή άλλη συμμετρική κατανομή. Αντίθετα αν ο συντελεστής διαφέρει σημαντικά από το μηδέν θα πρέπει να αποκλεισθεί η κανονική κατανομή.

Τα παραπάνω κριτήρια είναι απλώς ενδείξεις καταλληλότητας. Ο ουσιαστικός έλεγχος γίνεται εκ των υστέρων αφού επιλεγεί η θεωρητική συνάρτηση κατανομής (βλέπε παράγραφο 1.3.2.2). Η επιλογή της θεωρητικής κατανομής πιθανότητας που προσαρμόζεται ικανοποιητικά στο δείγμα γίνεται πρακτικά με δύο τρόπους

- Με τη χρήση του χαρτιού πιθανότητας της αντίστοιχης θεωρητικής κατανομής
- Με τη σύγκριση μεταξύ ιστογράμματος σχετικών συχνοτήτων και θεωρητικής καμπύλης πυκνότητας πιθανότητας.

Με το χαρτί πιθανότητας εξετάζεται εμπειρικά αν τα σημεία που προκύπτουν από τις παρατηρήσεις μπορούν ν α παρασταθούν ικανοποιητικά με μια ευθεία γραμμή.

1.3.2.1 Ενδείξεις καταλληλότητας κανονικής κατανομής

Λόγω της καταλληλότητας της κανονικής κατανομής για την περιγραφή πολλών υδρολογικών μεταβλητών, οι ενδείξεις καταλληλότητας (συνοπτικά) είναι οι εξής:

- Αριθμητικός έλεγχος με βάση τον συντελεστή ασυμμετρίας. Αν ο συντελεστής ασυμμετρίας είναι περίπου μηδενικός είναι μια σοβαρή ένδειξη καταλληλότητας .

- Αριθμητικός έλεγχος με βάση τον συντελεστή μεταβλητότητας. Αν ο συντελεστής είναι μικρότερος από 0,25 ($C_{v\chi} \leq 0,25$) είναι μια σοβαρή ένδειξη καταλληλότητας ενώ αν $C_{v\chi} \geq 0,5$ τότε θα πρέπει να αποκλισθεί η χρήση της κανονικής κατανομής.

- Γραφικός έλεγχος με βάση την συνοπτική παράσταση δείγματος. Συμμετρικό διάγραμμα της συνοπτικής παράστασης δείγματος χωρίς αδικαιολόγητα μεγάλο αριθμό εξωτερικών ή μακρινών τιμών αποτελεί ένδειξη καταλληλότητας.

- Γραφικός έλεγχος με βάση την εμπειρική συνάρτηση κατανομής. Η ευθύγραμμη διάταξη των παρατηρήσεων της εμπειρικής συνάρτησης σε χαρτί κανονικής κατανομής αποτελεί σοβαρή ένδειξη καταλληλότητας της.

1.3.2.2 Έλεγχος καταλληλότητας της θεωρητικής κατανομής πιθανότητας

Περισσότερο αξιόπιστοι στατιστικοί έλεγχοι καταλληλότητας της θεωρητικής κατανομής πιθανότητας που εφαρμόζονται στην υδρολογία είναι ο έλεγχος χ^2 και ο έλεγχος *kolmogorov-Smirnov*.

1.3.2.2.1 *Έλεγχος χ^2*

Η δοκιμή χ^2 στηρίζεται στη σύγκριση της θεωρητικής συνάρτηση κατανομής με την κλασική εμπειρική συνάρτηση κατανομής. Ο αλγόριθμος εφαρμογής της δοκιμής περιγράφεται από τα ακόλουθα βήματα:

- Οι παρατηρήσεις εντάσσονται σε *K* κλάσεις με τους εξής δύο κανόνες: α) θα πρέπει K≥r+2 και β) K≤n/5 όπου r είναι ο αριθμός των παραμέτρων και n το μέγεθος του δείγματος.

- Χωρίζουμε το διάστημα πιθανότητας σε *K* υποδιαστήματα με όρια $u_j=j/k$ $(j=0,\ldots K)$.

- Υπολογίζουμε τα όρια x_j των κλάσεων. Στις μικρές κλάσεις θα πρέπει να εξασφαλίζεται ελάχιστος αριθμός παρατηρήσεων ίσος με 3 (κατ' άλλους 5) και στη περίπτωση που η συνθήκη αυτή δεν επαληθεύεται προτείνεται να συμπυκνώνονται οι κλάσεις.

- Υπολογίζουμε τα πραγματικό δυναμικό n_j της κάθε κλάσης.

- Υπολογίζουμε την τιμή της στατιστικής συνάρτηση με τη σχέση (Pearson) $q = \sum_{j=1}^{k} \frac{(n_j - np_j)^2}{np_j}$

- Για ένα αποδεκτό επίπεδο σημαντικότητας *α* υπολογίζουμε την κρίσιμη τιμή της στατιστικής συνάρτησης ελέγχου $q_c = q_{1-a}$ η ποσότητα αυτή βρίσκεται από τον πίνακα της κατανομής χ^2 για πιθανότητα υπέρβασης *α* για *k-r-1* βαθμούς ελευθερίας.

- Η υπόθεση ότι οι παρατηρήσεις προέρχονται από ένα πληθυσμό της θεωρητικής κατανομής που εξετάζεται γίνεται δεκτή για ένα εμπιστοσύνης, (1-α) που συνήθως εκλέγεται μεταξύ 0,75 και 0,99, αν $q<q_c$

1.3.2.2.2 *Έλεγχος kolmogorov-Smirnov*

Κατά τον έλεγχο kolmogorov-Smirnov υπολογίζεται για κάθε παρατήρηση του δείγματος η πραγματική και η θεωρητική αθροιστική πιθανότητα.

Η μεγαλύτερη διαφορά μεταξύ αυτών των δύο πιθανοτήτων D_{max} συγκρίνεται με μια κρίσιμη τιμή D_{cr} για κάθε επίπεδο εμπιστοσύνης που βρίσκεται από τον αντίστοιχο πίνακα.
Αν για το επίπεδο εμπιστοσύνης που επιλέγεται ισχύει $D_{max} < D_{cr}$ τότε γίνεται δεκτή η υπόθεση ότι το ανήκει σε πληθυσμό της αντίστοιχης κατανομής.

1.3.3 Στατιστική πρόγνωση

Τα υδραυλικά συστήματα σχεδιάζονται για μελλοντικά επεισόδια για τα οποία η ακριβής χρονική στιγμή εμφάνισης τους δεν μπορεί να προβλεφθεί. Η στατιστική πρόγνωση στην τεχνική υδρολογία αφορά στην εκτίμηση της τιμής ενός υδρολογικού μεγέθους για δεδομένη πιθανότητα υπέρβασης μιας συγκεκριμένης τιμής (ή περίοδος επαναφοράς). Η πρόγνωση αυτή είναι αρκετά εύκολη από υπολογιστική άποψη, εφόσον έχει υιοθετηθεί και προσαρμοστεί ένα συγκεκριμένο πιθανοτικό μοντέλο για το μέγεθος που μας ενδιαφέρει (βλέπε Τσακίρης 1995).

Η πρόγνωση γίνεται είτε με την μέθοδο των ροπών είτε με την μέθοδο του παράγοντα της συχνότητας.

- Με τη μέθοδο των ροπών εκτιμώνται (αμερόληπτα) από το δείγμα οι βασικές στατιστικές ποσότητες όπως ο μέσος όρος η τυπική απόκλιση και ο συντελεστής ασυμμετρίας. Οι εκτιμήσεις εξισώνονται με τις στατιστικές ποσότητες της αντίστοιχης θεωρητικής κατανομής πιθανότητας και με τη λύση του προκύπτοντος συστήματος γίνεται η εκτίμηση των παραμέτρων της κατανομής πιθανότητας.

- Με τη μέθοδο του παράγοντα της συχνότητας σύμφωνα με τον Chow για πολλές θεωρητικές κατανομές πιθανότητας μπορεί να γραφεί η ακόλουθη σχέση:
  $x_T = \bar{x}(1 + c_v k_T)$, όπου :
  χ_T :το μέγεθος του γεγονότος περιόδου επαναφοράς T
  $\bar{x}$: ο μέσος όρος
  C_v : ο συντελεστής διακύμανσης
  K_T :ο παράγοντας συχνότητας που εξαρτάται από την περίοδο επαναφοράς και τα χαρακτηριστικά της κατανομής. Για τις συνήθεις κατανομές πιθανότητας έχουν προκύψει σχέσεις για τον υπολογισμό του παράγοντα συχνότητας.

Οι θεωρητικές κατανομές πιθανότητας δεν περιγράφονται στην παρούσα εργασία, κανείς μπορεί να ανατρέξει στα σχετικά εγχειρίδια στατιστικής.
Η πρόγνωση μπορεί να είναι είτε σημειακή είτε διαστήματος

1.3.3.1 Όρια εμπιστοσύνης

Η σχέση μεγέθους- περιόδου επαναφοράς, που προκύπτει από τη χρήση των θεωρητικών κατανομών πιθανότητας, είναι αρκετά αξιόπιστη για μεγέθη κοντά στο μέσο όρο. Με την επέκταση των τιμών σε μεγάλες περιόδους επαναφοράς η πιθανότητα του σφάλματος μεγαλώνει. Τα όρια εκατέρωθεν της τιμής χ_T που προκύπτουν από την θεωρητική κατανομή για περίοδο επαναφοράς *T* βρίσκονται με τη θεώρηση ενός επιπέδου εμπιστοσύνης 1-α.

Τα όρια εμπιστοσύνης υπολογίζονται:
$X_{T,max} = X_T + Z_{1-\alpha/2}S_T$
$X_{T,min} = X_T - Z_{1-\alpha/2}S_T$

Όπου $Z_{1-\alpha/2}$ η μεταβλητή της τυποποιημένης κανονικής κατανομής για αθροιστική πιθανότητα μεταξύ των ορίων *1-α* και

S_T η τυπική απόκλιση του X_T που είναι ίση: $S_T = \delta \frac{\bar{s}_x}{\sqrt{n}}$, όπου:

$\bar{s}_x$ η τυπική απόκλιση του δείγματος *n* παρατηρήσεων και

$\delta = \sqrt{1 + \frac{k_T^2}{2}}$, για κανονική κατανομή

$\delta = \sqrt{1 + 1.3k_T + 1.1k_T^2}$ για κατανομή Gumbel

Για την κατανομή Pearson III η τιμή της παραμέτρου δ δίνεται από πίνακα ως συνάρτηση της περιόδου επαναφοράς και του συντελεστή ασυμμετρίας. (K_T ο παράγοντας συχνότητας που είναι συνάρτηση του *T)*

Για τον υπολογισμό των ορίων εμπιστοσύνης άλλων κατανομών *που* δεν περιγράφονται στην παρούσα ενότητα, κανείς μπορεί να ανατρέξει στα σχετικά εγχειρίδια στατιστικής.

1.3.4 Στατιστική ανάλυση βροχοπτώσεων περιοχής Μεσαράς

Η μεθοδολογία όπως συνοπτικά αναφέρθηκε στην προηγούμενη ενότητα εφαρμόσθηκε για την ανάλυση των βροχοπτώσεων της περιοχής της Μεσαράς, περιόδου από 9ος 1973 μέχρι 9ος 2005, για ετήσια και μηνιαία χρονικά βήματα.

Οι τιμές των βροχομετρικών παρατηρήσεων που αναλύθηκαν είναι, όπως προέκυψαν κατόπιν της συμπλήρωσης τους και της ομογενοποίησης τους (βλέπε παρ. 1.2.2), των βροχομετρικών σταθμών καθώς και της επιφανειακής βροχόπτωσης της περιοχής μελέτης.

1.3.4.1 Στατιστική ανάλυση ετήσιων βροχοπτώσεων

1.3.4.1.1 *Συμπύκνωση του δείγματος*

Τα στατιστικά χαρακτηριστικά των ετήσιων βροχοπτώσεων (δειγματικές ροπές και τα παράγωγα τους χαρακτηριστικά και τα συνοπτικά χαρακτηριστικά διατεταγμένου δείγματος) υπολογίσθηκαν για τους βροχομετρικούς σταθμούς καθώς και για τις επιφανειακές βροχοπτώσεις των υπολεκανών της Μεσαράς και δίνονται στον Πίνακ. 1- 21, Πίνακ. 1- 22 και τον Πίνακ. 1- 23. Επίσης στους ίδιους πίνακες δίνονται και τα όρια εμπιστοσύνης 95% (συντελεστής εμπιστοσύνης α=0,05).

Αναμένεται ότι στατιστικά οι ετήσιες βροχοπτώσεις να ακολουθούν κανονική κατανομή (βλέπε παράγραφο 1.3.2). Από τις τιμές των πινάκων των στατιστικών χαρακτηριστικών συμπεραίνουμε ότι οι ετήσιες βροχοπτώσεις εξασφαλίζουν τα κριτήρια καταλληλότητας της κανονικής κατανομής (βλέπε παράγραφο 1.3.2.1) τα οποία όμως όπως προαναφέρθηκε είναι ενδείξεις καταλληλότητας.

1.3.4.1.2 *Συνοπτική παράσταση δείγματος (Box Plot)*

Τα στατιστικά χαρακτηριστικά του διατεταγμένου δείγματος των σημειακών βροχοπτώσεων των σταθμών και της επιφανειακής βροχόπτωσης των υπολεκανών της περιοχής σχεδιάστηκαν στα γραφήματα της Εικόνα 1- 18 και Εικόνα 1- αντίστοιχα, και σύμφωνα με τη διαδικασία που περιγράφηκε στην παράγραφο 1.3.1.2 .

Στα γραφήματα αυτά αναγνωρίζεται η συμμετρία του δείγματος, θέση μεσαίας γραμμής σε σχέση με τις βάσεις των κουτιών, και οι κεραίες αφορούν λίγες τιμές του δείγματος. Η συμμετρική εικόνα των διαγραμμάτων των ετήσιων βροχοπτώσεων αποτελεί ένδειξη καταλληλότητας της κανονική κατανομή.

1.3.4.1.3 *Ιστογράμματα*

Στις εικόνες του ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1- V δίνονται τα γραφήματα των συναρτήσεων πυκνότητας πιθανότητας, των επιφανειακής βροχόπτωσης για το σύνολο της περιοχής μελέτης καθώς και για τις υπολεκάνες. Το δείγμα κατατάχθηκε σε έξι διαστήματα.

Από τα γραφήματα αυτά συμπεραίνουμε ότι οι ετήσιες βροχοπτώσεις εξασφαλίζουν το κριτήριο καταλληλότητας της κανονικής κατανομής.

1.3.4.1.4 *Εμπειρική συνάρτηση κατανομής*

Η καμπύλη αθροιστικής πιθανότητας των ετήσιων βροχοπτώσεων των βροχομετρικών σταθμών και της επιφανειακή βροχόπτωσης των (υπο)λεκανών της περιοχής μελέτης, κατασκευάσθηκαν σε χαρτί πιθανότητας, με την μεθοδολογία όπως περιγράφεται στην παράγραφο 1.3.2 . Δοκιμάστηκαν χαρτιά πιθανότητας διάφορων κατανομών που

προσαρμόζονται στις υδρολογικές παρατηρήσεις και καλλίτερη προσαρμογή έδωσε το χαρτί πιθανότητας κανονικής κατανομής. Τα γραφήματα αυτά δίνονται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1- IV και στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1- VI αντίστοιχα.

Ο υπολογισμός της πιθανότητας υπέρβασης κάθε τιμής έγινε με τον τύπο Blom (α=0,375) ο οποίος δίνει καλύτερα αποτελέσματα για την κανονική κατανομή και όριο εμπιστοσύνης επιλέχθηκε 95% (α=0,05). Στα γραφήματα έχουν σχεδιαστεί η κανονική συνάρτηση κατανομής καθώς και τα όρια εμπιστοσύνης.

Από τα γραφήματα παρατηρούμε ότι οι ετήσιες τιμές βροχοπτώσεων βρίσκονται εντός των ορίων εμπιστοσύνης εκτός της τιμής που αντιστοιχεί στο υδρολογικό έτος 2002-2003 που είχαμε πολύ υψηλές βροχοπτώσεις Επίσης η τιμή του υδρολογικού έτους 1989-1990 εμφανίζει πολύ μικρή τιμή. Όπως γίνεται φανερό από τα γραφήματα προσαρμόζεται ικανοποιητικά η κανονική κατανομή.

1.3.4.1.5 *Έλεγχος καταλληλότητας της θεωρητικής κατανομής πιθανότητας*

Κατόπιν των ενδείξεων περί καταλληλότητας της κανονικής κατανομής για τα ετήσια ύψη βροχής (προηγούμενες παράγραφοι) εφαρμόσθηκαν οι περισσότερο αξιόπιστοι στατιστικοί έλεγχοι καταλληλότητας ο έλεγχος χ^2 και ο έλεγχος *kolmogorov-Smirnov,* όπως περιγράφονται στην παράγραφο 1.3.2.2.11.3.2.2.2.

Ο αλγόριθμος του ελέγχου χ^2 εφαρμόσθηκε και τα αποτελέσματα των υπολογισμών δίνονται στον Πίνακ. 1- 22 και στον Πίνακ. 1- 23 για τις σημειακές και τις επιφανειακές βροχοπτώσεις αντίστοιχα. Για επίπεδο σημαντικότητας που επιλέχθηκε, η κρίσιμη τιμή της στατιστικής συνάρτησης ελέγχου $q_c = q_{1-a}$ για πιθανότητα υπέρβασης *α=0,05* για *k-r-1=5-2-1=2* βαθμούς ελευθερίας βρίσκεται από τον πίνακα της κατανομής χ^2 ίση με 5,992 .

Από τους πίνακες παρατηρούμε ότι $q<q_c$ επομένως η υπόθεση ότι οι παρατηρήσεις προέρχονται από ένα πληθυσμό της κανονικής κατανομής γίνεται δεκτή για διάστημα εμπιστοσύνης 95% . Εξαίρεση αποτελεί ο σταθμός Βορίζιων RG27.

Κατά τον έλεγχο kolmogorov-Smirnov υπολογίσθηκε η μεγαλύτερη διαφορά του δείγματος μεταξύ της πραγματικής και η θεωρητικής αθροιστικής πιθανότητας Dmax και οι τιμές δίνονται στον Πίνακ. 1- 22 και Πίνακ. 1- 23 για τις σημειακές (σταθμών) και τις επιφανειακές βροχοπτώσεις αντίστοιχα. Η κρίσιμη τιμή Dcr για κάθε επίπεδο εμπιστοσύνης (1-α=) 95% βρίσκεται από τον αντίστοιχο πίνακα ίση με 0,24.

Παρατηρούμε ότι για το επίπεδο εμπιστοσύνης 95% που επιλέχθηκε ισχύει Dmax < Dcr , για όλα τα δείγματα, οπότε γίνεται δεκτή η υπόθεση ότι το δείγμα ανήκει σε πληθυσμό της αντίστοιχης κατανομής και συγκεκριμένα της κανονικής κατανομής που επιλέχθηκε.

Πίνακ. 1- 21 στατιστικά χαρακτηριστικά ετήσιων βροχοπτώσεων βροχομετρικών σταθμών (τιμές σε mm ύψους βροχής)

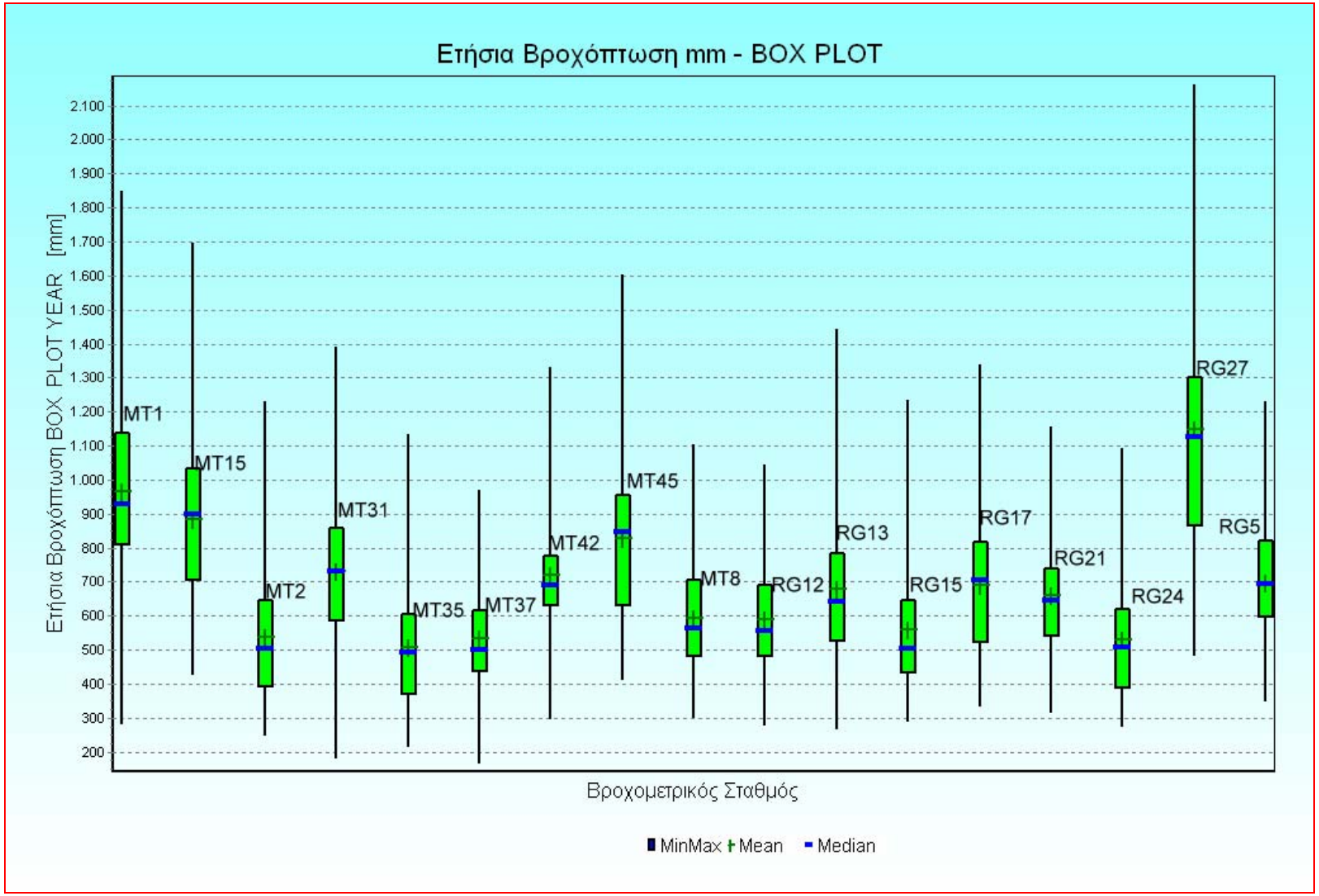
ΣΤΑΘΜΟΣ	ΔΕΙΚΤΗΣ	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ (mean)		ΕΥΡΟΣ		ΔΙΑΜΕΣΟΣ (median)	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ (standard deviation)	ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ (variance)		ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ (coef. of viriation)	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΣΥΜΜΕΤΡΙΑΣ (skewness)	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΚΥΡΤΩΣΗΣ (kurtosis)	ΚΑΤΩ ΤΕΤΑΡΤΟΜΟΡΙΟ (25% Quantile)		ΑΝΩ ΤΕΤΑΡΤΟΜΟΡΙΟ (75% Quantile)	
		ΟΡΙΑ ΕΜΠΙΣΤΟΣΥΝΗΣ 95%		ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΤΙΜΗ (min)	ΜΕΓΙΣΤΗ ΤΙΜΗ (max)			ΟΡΙΑ ΕΜΠΙΣΤΟΣΥΝΗΣ 95%					ΟΡΙΑ ΕΜΠΙΣΤΟΣΥΝΗΣ 95%		ΟΡΙΑ ΕΜΠΙΣΤΟΣΥΝΗΣ 95%	
ΑΓ. ΒΑΡΒΑΡΑ	MT1	961,87						44511,59					810,15		1122,90	
		881,62	*1042,12*	557,60	1305,50	937,00	210,98	*19473,82*	*77895,27*	0,22	0,08	2,20	*0,86*	*912,58*	*1009,36*	*1259,46*
ΔΕΜΑΤΙ	MT10	464,92						14297,79					359,20		537,30	
		419,44	*510,41*	271,20	760,10	468,20	119,57	6255,284	25021,13	0,26	0,31	2,91	*0,86*	*433,14*	*500,90*	*642,38*
ΓΕΡΓΕΡΗ	MT15	873,84						40504,41					705,10		1026,50	
		797,29	*950,40*	465,00	1286,30	915,90	201,26	17720,68	70882,71	0,23	0,02	2,53	*0,86*	*788,64*	*962,43*	*1127,85*
ΑΓ. ΚΥΡΙΛΟΣ	MT2	513,57						20431,15					393,50		642,80	
		459,20	*567,94*	251,10	837,70	504,00	142,94	8938,63	35754,52	0,28	0,08	2,64	*0,86*	*470,53*	*557,83*	*680,09*
ΚΑΣΑΝΟΙ	MT24	560,75						19757,33					472,35		621,10	
		507,28	*614,21*	271,40	936,90	575,60	140,56	8643,831	34575,32	0,25	0,45	3,94	*0,86*	*534,02*	*581,92*	*779,07*
ΜΕΤΑΞΟΧΩΡΙ	MT31	726,74						24411,92					587,55		849,70	
		667,31	*786,17*	470,20	1129,80	731,80	156,24	10680,22	42720,86	0,21	0,29	3,04	*0,86*	*690,26*	*759,60*	*892,08*
ΠΟΜΠΙΑ	MT35	484,32						19342,46					374,00		566,50	
		431,41	*537,22*	218,50	777,00	488,70	139,08	8462,327	33849,31	0,29	0,06	2,62	*0,86*	*466,44*	*512,40*	*678,94*
ΠΡΑΙΤΩΡΙΑ	MT37	531,03						18692,74					441,85		612,10	
		479,02	*583,03*	324,60	970,70	494,00	136,72	8178,073	32712,29	0,26	1,17	5,29	*0,86*	*483,72*	*519,11*	*703,43*
ΤΕΦΕΛΙ	MT42	715,47						29576,29					635,95		767,40	
		650,05	*780,89*	386,00	1114,20	694,10	171,98	12939,63	51758,52	0,24	0,39	3,39	*0,86*	*685,66*	*742,32*	*968,08*
ΖΑΡΟΣ	MT45	811,73						41695,00					635,50		945,50	
		734,06	*889,41*	413,50	1305,00	838,00	204,19	18241,56	72966,26	0,25	0,16	2,94	*0,86*	*745,78*	*877,87*	*1109,00*
ΑΣΗΜΙ	MT8	587,27						24719,49					483,70		697,50	
		527,46	*647,07*	341,60	1105,50	562,10	157,22	10814,78	43259,11	0,27	1,09	5,63	*0,86*	*547,21*	*612,93*	*757,21*
ΚΑΛΥΒΙΑ	RG12	578,88						22350,18					480,90		640,80	
		522,01	*635,75*	327,70	1018,80	548,70	149,50	9778,202	39112,81	0,26	0,86	4,32	*0,86*	*532,28*	*602,16*	*787,16*
ΚΑΠΕΤΑΝΙΑΝΑ	RG13	663,94						49382,68					536,90		781,00	
		579,41	*748,47*	270,60	1441,00	653,50	222,22	21604,92	86419,7	0,33	1,20	6,97	*0,86*	*616,81*	*726,82*	*859,50*
ΛΑΓΟΛΙΟ	RG15	539,61						17992,53					434,60		639,10	
		488,59	*590,64*	344,80	916,40	502,90	134,14	7871,731	31486,92	0,25	0,86	3,63	*0,86*	*475,28*	*555,51*	*690,46*
ΜΟΡΟΝΙ	RG17	678,82						28937,89					533,25		786,00	
		614,11	*743,53*	363,00	1014,00	702,10	170,11	12660,33	50641,32	0,25	0,01	2,46	*0,86*	*660,91*	*721,87*	*947,86*
ΠΑΡΤΗΡΑ	RG21	648,87						22027,05					541,00		721,00	
		592,42	*705,33*	390,60	1032,80	646,40	148,42	9636,833	38547,33	0,23	0,56	3,61	*0,86*	*625,01*	*671,49*	*863,31*
ΒΑΓΙΩΝΙΑ	RG24	511,48						25881,77					392,05		615,40	
		450,28	*572,67*	278,70	926,60	494,50	160,88	11323,28	45293,1	0,31	0,78	3,31	*0,86*	*432,81*	*533,54*	*743,36*
ΒΟΡΙΖΑ	RG27	1132,21						103925,00					917,50		1217,90	
		1009,59	*1254,84*	588,10	2076,80	1116,30	322,37	45467,2	181868,8	0,28	0,83	4,46	*0,86*	*1068,12*	*1174,02*	*1528,59*
ΑΧΕΝΤΡΙΑΣ	RG5	686,57						24352,03					600,50		767,20	
		627,21	*745,93*	361,50	1018,60	690,50	156,05	10654,01	42616,05	0,23	0,12	2,90	*0,86*	*657,47*	*713,06*	*935,53*

Πίνακ. 1- 22 δειγματικές ροπές και παράγωγα χαρακτηριστική βροχομετρικών σταθμών.

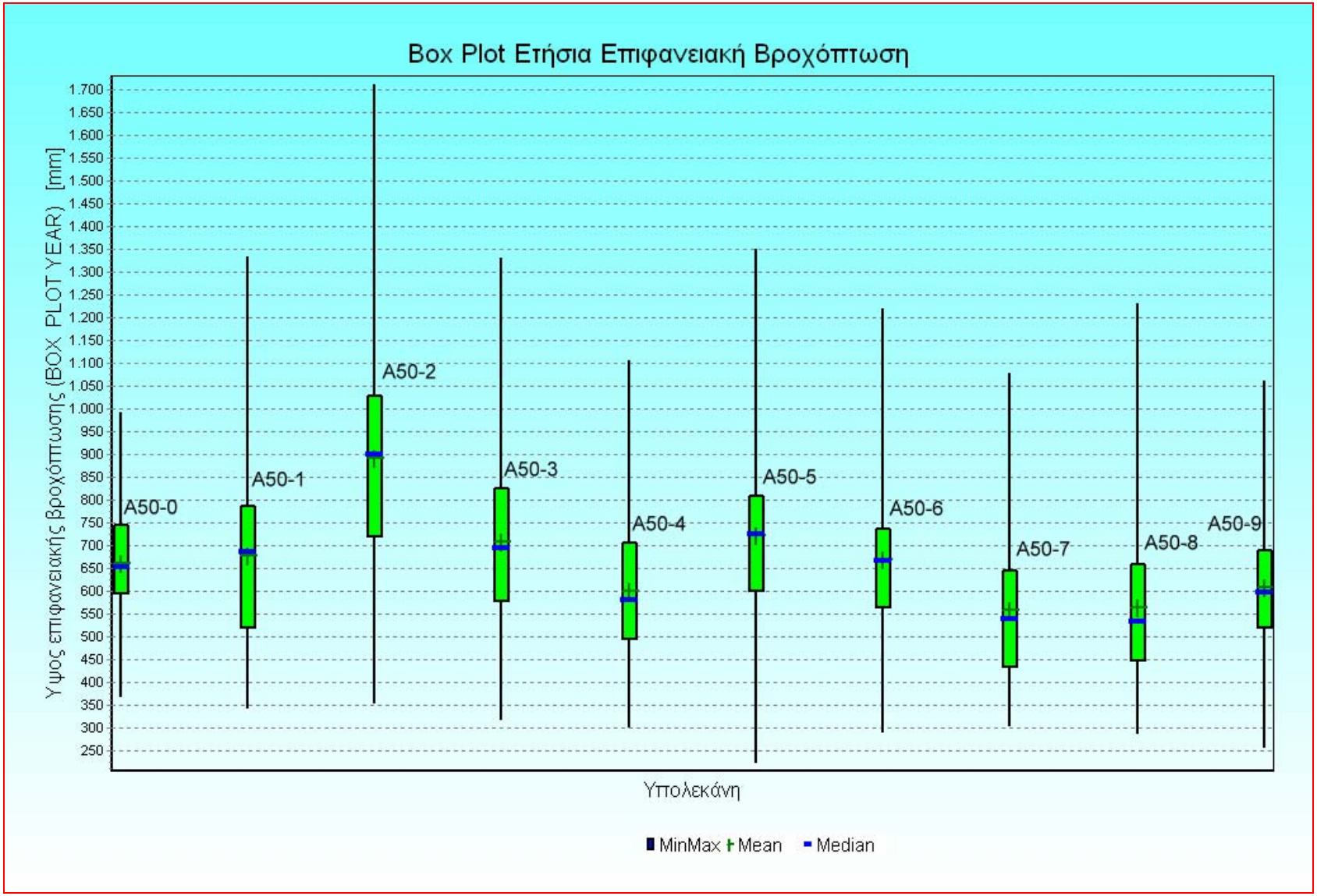
ΣΤΑΘΜΟΣ / ΔΕΙΚΤΗΣ		ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ (mean)	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ (standard deviation)	ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ (variance)	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ (coef. of viriation)	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΞΣ ΑΣΥΜΜΕΤΡΙΑΣ (skewness)	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΞΣ ΚΥΡΤΩΣΗΣ (kurtosis)	ΜΕΓΕΘΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ(n)	ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΛΑΣΕΩΝ	ΕΠΙΠΕΔΟ ΕΜΠΙΣΤΙΣΥΝΗΣ (1- α)=0.95	ΔΟΚΙΜΗ χ^2		ΔΟΚΙΜΗ Kolmogorov-Smirnov (dn)
											ΒΑΘΜΟΙ ΕΛΕΥΘΕΡΙΑΣ	ΤΙΜΗ χ^2	
ΑΓ. ΒΑΡΒΑΡΑ	MT1	961,87	210,98	44511,59	0,22	0,08	2,20	29	5	0,95	2	1,172	0,113
ΔΕΜΑΤΙ	MT10	464,92	119,57	14297,79	0,26	0,31	2,91	29	5	0,95	2	0,828	0,085
ΓΕΡΓΕΡΗ	MT15	873,84	201,26	40504,41	0,23	0,02	2,53	29	5	0,95	2	5,310	0,117
ΑΓ. ΚΥΡΙΛΟΣ	MT2	513,57	142,94	20431,15	0,28	0,08	2,64	29	5	0,95	2	3,586	0,112
ΚΑΣΑΝΟΙ	MT24	560,75	140,56	19757,33	0,25	0,45	3,94	29	5	0,95	2	2,207	0,126
ΜΕΤΑΞΟΧΩΡΙ	MT31	726,74	156,24	24411,92	0,21	0,29	3,04	29	5	0,95	2	3,241	0,086
ΠΟΜΠΙΑ	MT35	484,32	139,08	19342,46	0,29	0,06	2,62	29	5	0,95	2	3,931	0,075
ΠΡΑΙΤΩΡΙΑ	MT37	531,03	136,72	18692,74	0,26	1,17	5,29	29	5	0,95	2	6,000	0,154
ΤΕΦΕΛΙ	MT42	715,47	171,98	29576,29	0,24	0,39	3,39	29	5	0,95	2	2,207	0,153
ΖΑΡΟΣ	MT45	811,73	204,19	41695,00	0,25	0,16	2,94	29	5	0,95	2	3,241	0,098
ΑΣΗΜΙ	MT8	587,27	157,22	24719,49	0,27	1,09	5,63	29	5	0,95	2	1,172	0,115
ΚΑΛΥΒΙΑ	RG12	578,88	149,50	22350,18	0,26	0,86	4,32	29	5	0,95	2	0,828	0,098
ΚΑΠΕΤΑΝΙΑΝΑ	RG13	663,94	222,22	49382,68	0,33	1,20	6,97	29	5	0,95	2	3,241	0,133
ΛΑΓΟΛΙΟ	RG15	539,61	134,14	17992,53	0,25	0,86	3,63	29	5	0,95	2	2,552	0,150
ΜΟΡΟΝΙ	RG17	678,82	170,11	28937,89	0,25	0,01	2,46	29	5	0,95	2	1,172	0,083
ΠΑΡΤΗΡΑ	RG21	648,87	148,42	22027,01	0,23	0,56	3,61	29	5	0,95	2	3,931	0,093
ΒΑΓΙΩΝΙΑ	RG24	511,48	160,88	25881,73	0,31	0,78	3,32	29	5	0,95	2	2,552	0,127
ΒΟΡΙΖΑ	RG27	1132,21	322,37	103925,00	0,28	0,83	4,46	29	5	0,95	2	8,069	0,154
ΑΧΕΝΤΡΙΑΣ	RG5	686,57	156,05	24351,91	0,23	0,12	2,90	29	5	0,95	2	3,241	0,100

Πίνακ. 1- 23 δειγματικές ροπές και παράγωγα χαρακτηριστική επιφανειακής βροχόπτωσης

ΔΕΙΚΤΗΣ / ΣΤΑΘΜΟΣ		ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ (mean)	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ (standard deviation)	ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ (variance)	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ (coef. of viriation)	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΞΣ ΑΣΥΜΜΕΤΡΙΑΣ (skewness)	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΞΣ ΚΥΡΤΩΣΗΣ (kurtosis)	ΜΕΓΕΘΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ n	ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΛΑΣΕΩΝ	ΕΠΙΠΕΔΟ ΕΜΠΙΣΤΙΣΥΝΗΣ (1- α)=0.95	ΔΟΚΙΜΗ χ^2		ΔΟΚΙΜΗ Kolmogorov-Smirnov (dn)
											ΒΑΘΜΟΙ ΕΛΕΥΘΕΡΙΑΣ	ΤΙΜΗ χ^2	
ΒΔ ΓΕΡΟΠΟΤΑΜΟΥ	A50-1	573,49	142,20	20219,42	0,25	0,01	2,51	29	5	0,95	2	1,1724	0,115
ΛΙΘΑΙΟΥ	A50-2	911,74	197,42	38975,85	0,22	0,16	2,35	29	5	0,95	2	1,5172	0,1009
ΒΑ ΓΕΡΟΠΟΤΑΜΟΥ	A50-3	721,43	851,85	29351,19	1,18	0,35	3,11	29	5	0,95	2	0,1379	0,0788
ΒΔ ΑΝΑΠΟΔΑΡΗ	A50-4	735,42	192,39	37013,75	0,26	1,07	5,54	29	5	0,95	2	0,4828	0,0963
ΠΛΑΚΙΩΤΙΣΑ	A50-5	739,51	157,02	24655,39	0,21	0,38	3,41	29	5	0,95	2	0,4828	0,0968
ΒΑ ΑΝΑΠΟΔΑΡΗ	A50-6	653,77	152,69	23313,03	0,23	0,61	3,68	29	5	0,95	2	1,8621	0,1258
ΠΕΔΙΝΟ ΓΕΡΟΠΟΤΑΜΟΥ-ΑΝΑΠΟΔΑΡΗ	A50-7	520,58	135,11	18253,51	0,26	0,69	3,85	29	5	0,95	2	2,5517	0,0923
ΔΥΤΙΚΗ ΑΣΤΕΡΟΥΣΙΩΝ (ΝΟΤΙΑ ΓΕΡΟΠΟΤΑΜΟΥ)	A50-8	534,56	149,46	22339,38	0,28	0,71	4,20	29	5	0,95	2	2,5517	0,0912
ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΑΣΤΕΡΟΥΣΙΩΝ (ΝΟΤΙΑ ΑΝΑΠΟΔΑΡΗ)	A50-9	616,10	143,73	20658,00	0,23	0,65	3,86	29	5	0,95	2	2,5517	0,1402
ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	A50-0	653,15	142,77	20382,93	0,22	0,13	3,15	29	5	0,95	2	3,241	0,133



Εικόνα 1- 18 Ετήσια βροχόπτωση βροχομετρικών σταθμών περιοχής Μεσαράς – Box plot



Εικόνα 1- 19 Ετήσια επιφανειακή βροχόπτωση λεκανών Μεσαράς – Box plot

1.3.4.2 Συχνότητα εμφάνισης ετήσιας επιφανειακής βροχόπτωσης

Οι χρονοσειρές των ετήσιων επιφανειακών βροχοπτώσεων μήκους είκοσι εννέα (29) ετών οι οποίες υπολογίσθηκαν για κάθε μια από τις υδρολογικές υπολεκάνες της περιοχής μελέτης, χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση της συχνότητας εμφάνισης του ετήσιου ύψους βροχόπτωσης. Οι χρονοσειρές αυτές αποτελούν επιφανειακές εκτιμήσεις και έχουν υποστεί αναγωγή στο μέσο υψόμετρο της κάθε λεκάνης, έτσι ώστε να ληφθεί υπόψη η διαφορά ανάμεσα στο μέσο υψόμετρο των βροχομετρικών σταθμών που συμμετείχαν στον υπολογισμό τους (μέσο υψόμετρο καταγραφής) και στο πραγματικό μέσο υψόμετρο της λεκάνης. Οι υδρολογικές υπολεκάνες που συμμετέχουν στην ανάλυση διαθέτουν ικανοποιητική έως πολύ καλή κάλυψη από δίκτυα βροχομετρικών σταθμών.

Για τον προσδιορισμό της συχνότητας εμφάνισης της ετήσιας επιφανειακής βροχόπτωσης εφαρμόσθηκε η ακόλουθη μεθοδολογία:

- Το πιθανοτικό ομοίωμα της κανονικής κατανομής (normal distribution) ρυθμίσθηκε πάνω σε κάθε ένα από τα δείγματα 29-ετούς διάρκειας των ετήσιων επιφανειακών βροχοπτώσεων. Η επιλογή της κανονικής κατανομής έγινε διότι έδωσε πολύ καλά αποτελέσματα για όλα τα δείγματα επιφανειακής βροχόπτωσης της Κρήτης, επιτυγχάνοντας πολύ καλή έως εξαιρετική προσαρμογή (παράγραφος 1.3.4.1.5) .

- Ακολούθως, ελήφθησαν οι εκτιμήσεις του ετήσιου ύψους βροχόπτωσης από τα ρυθμισμένα πιθανοτικά ομοιώματα για χαρακτηριστικές συχνότητες εμφάνισης v = 0.99, 0.90, 0.8, 0.75, 0.5, 0,25, 0.2, 0.1, 0.05, 0.03, 0.02, 0,013, 0.01 (ή αντίστοιχα, περιόδους επαναφοράς T = 1.01, 1.11, 1.25, 1.33, 2, 4, 5, 10, 20, 30, 50, 75 και 100 ετών). Η διακύμανση των μέσων αυτών όρων δίνει μια εκτίμηση του μέσου ετήσιου ύψους επιφανειακής βροχόπτωσης για το σύνολο των υπολεκανών που συμμετείχαν στην ανάλυση.

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στα Γραφήματα της Εικόνα 1- 20 και της Εικόνα 1- 21, όπου οι εκτιμήσεις των ρυθμισμένων κανονικών κατανομών καθώς και οι μέσοι όροι αυτών απεικονίζονται σε σχέση με την συχνότητα εμφάνισης (περίοδος επαναφοράς) και το ποσοστό του χρόνου υπέρβασης (ποσοστό χρόνου εξίσωσης ή υπέρβασης της συγκεκριμένης τιμής) αντίστοιχα.

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι η μέση ετήσια επιφανειακή βροχόπτωση περιόδου επαναφοράς 2 ετών (ή αλλιώς, με πιθανότητα ετήσιας εμφάνισης 50%) σε όλη τη λεκάνη της Μεσαράς, ανέρχεται σε 653 mm περίπου, τιμή που αντιπροσωπεύει το μέσο υδρολογικό έτος, σύμφωνα με τα στοιχεία της περιόδου 1973 – 2003. Η αντίστοιχη τιμή για τις βόρειες υπολεκάνες (Λιθαίος) και Πλακιώτισα (Αναποδάρης) ανέρχεται σε 912 mm και 740 mm αντίστοιχα,

για το πεδινό τμήμα σε 521 mm ενώ για τις νότιες υπολεκάνες (Αστερούσια) σε 535 mm.

Όσο αφορά το μέσο ετήσιο ύψος επιφανειακής βροχόπτωσης για ένα «ξηρό» και «υγρό» υδρολογικό έτος, ο ορισμός της σχετικής ξηρότητας ή υγρότητας είναι ζήτημα επιλογής μιας αντιπροσωπευτικής συχνότητας εμφάνισης.

Από την ανάλυση προκύπτει ότι το μέσο ετήσιο ύψος επιφανειακής βροχόπτωσης με συχνότητα εμφάνισης 99% και 90% ανέρχεται για όλη την λεκάνη Μεσαράς σε 320 και 469 mm και αντίστοιχα για τις βόρειες υπολεκάνες σε 658 και 452mm, για το πεδινό τμήμα σε 206 και 340 mm, και για τις νότιες υπολεκάνες σε 186 και 335 mm.
Με άλλα λόγια, κατά μέσο όρο υπάρχει πιθανότητα εμφάνισης ίσων ή υψηλότερων ετήσιων βροχοπτώσεων από αυτές κάθε υδρολογικό έτος, με πιθανότητα 99% και 90% αντίστοιχα. Εάν επιλέξει κανείς την πιθανότητα υπέρβασης 90% για τον ορισμό του ξηρού υδρολογικού έτους, τότε οι αντίστοιχες τιμές ετήσιας βροχόπτωσης υποδεικνύουν την τάξη μεγέθους με την οποία μπορεί να συγκριθεί το κάθε έτος της περιόδου μετρήσεων για τον προσδιορισμό της σχετικής ξηρότητάς του.

Ανάλογος είναι και ο ορισμός του «υγρού» υδρολογικού έτους: ανάλογα με το αν επιλεγεί η μέση ετήσια επιφανειακή βροχόπτωση με περίοδο επαναφοράς 10 ή 20 ετών (αντίστοιχη συχνότητα εμφάνισης ή υπέρβασης 0.1 και 0.05) οι τιμές της ετήσιας βροχόπτωσης που αντιστοιχούν για το σύνολο της λεκάνης Μεσαράς είναι 836 και 888 mm, για τις βόρειες υπολεκάνες 941 και 998 mm, για το πεδινό τμήμα 694 και 743 και για τις νότιες υπολεκάνες 726 και 780 mm αντίστοιχα.

Η τιμή της ετήσιας επιφανειακής βροχόπτωσης περιόδου επαναφοράς 100 ετών εκτιμάται σε 985 mm για τη λεκάνη Μεσαράς, για τις βόρειες υπολεκάνες σε 1371 mm , για το κεντρικό τμήμα σε 835 mm και για τις νότιες υπολεκάνες σε 882 mm, αλλά λόγω του μικρού μεγέθους του δείγματος ανάλυσης (29 έτη) πρέπει να αντιμετωπίζεται με επιφύλαξη. Εκτιμήσεις για μεγαλύτερες περιόδους επαναφοράς δεν γίνονται, αφ' ενός μεν διότι δεν έχουν ιδιαίτερο νόημα, αφ' ετέρου δε διότι δεν δικαιολογούνται με κανένα τρόπο από το μέγεθος του δείγματος ανάλυσης.

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται συνοπτικά στον Πίνακ. 1- 24 που ακολουθεί.

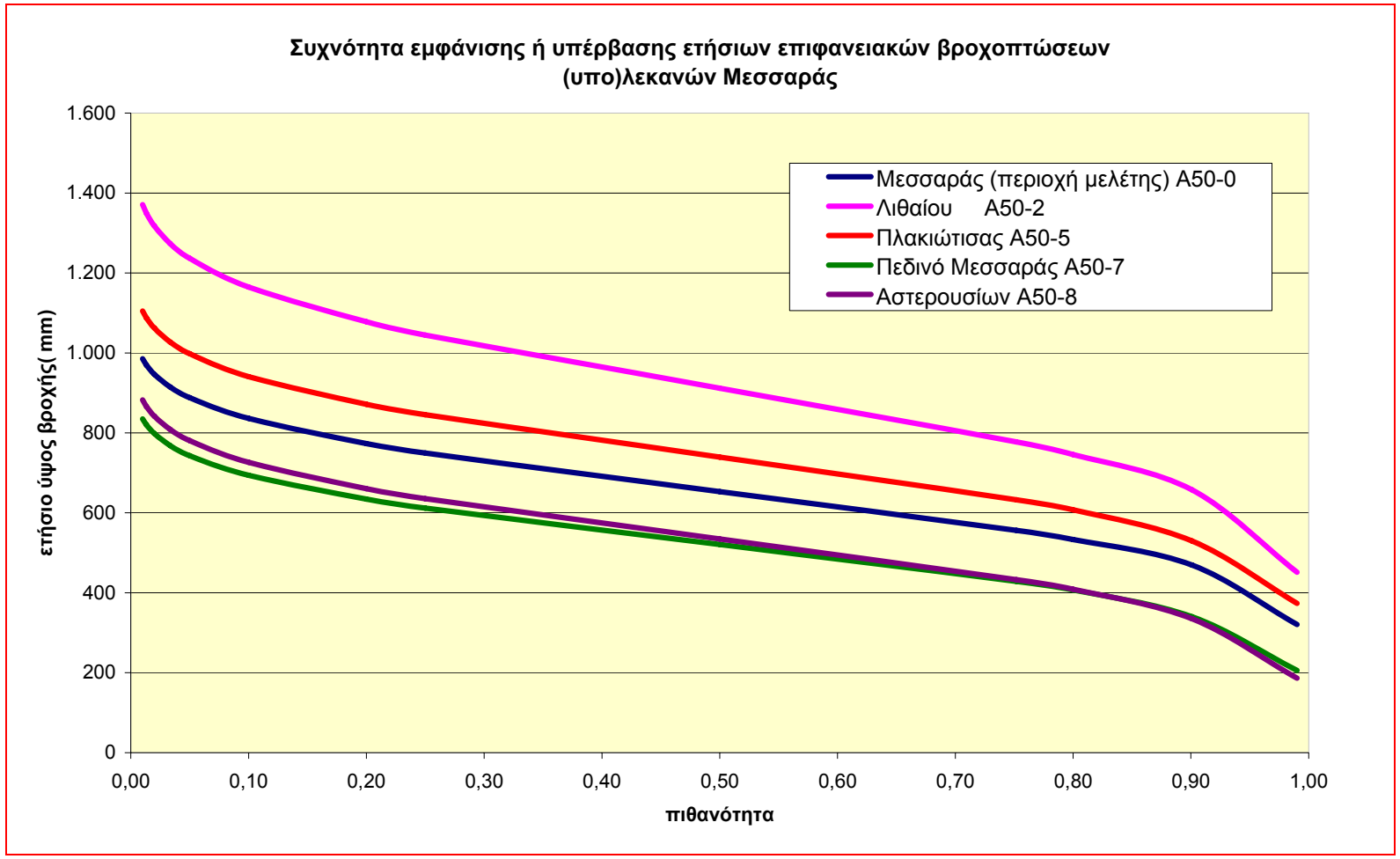
Από την στατιστική ανάλυση παρατηρούμε ότι η μέγιστη και η ελάχιστη επιφανειακή βροχόπτωση για το σύνολο της λεκάνης Α50-01 που έχουν υπολογισθεί βρίσκονται ανάμεσα στα αντίστοιχα όρια εμπιστοσύνης της μέγιστης και της ελάχιστης βροχόπτωσης εκατονταετίας.
Ειδικότερα η μέγιστη βροχόπτωση 990 mm είναι μεγαλύτερη από τη σημειακή πρόγνωση 100-ετίας που δίνει η κανονική κατανομή (985) γεγονός που αντανακλά το μέγεθος υγρού υδρολογικού έτους 2002-2003.

Αντίστοιχα η ελάχιστη υπολογισμένη επιφανειακή βροχόπτωση 370 mm είναι της τάξης 98-ετίας (πιθανότητα $P(X<x)=0,0237$) από τη πρόγνωση που δίνει η

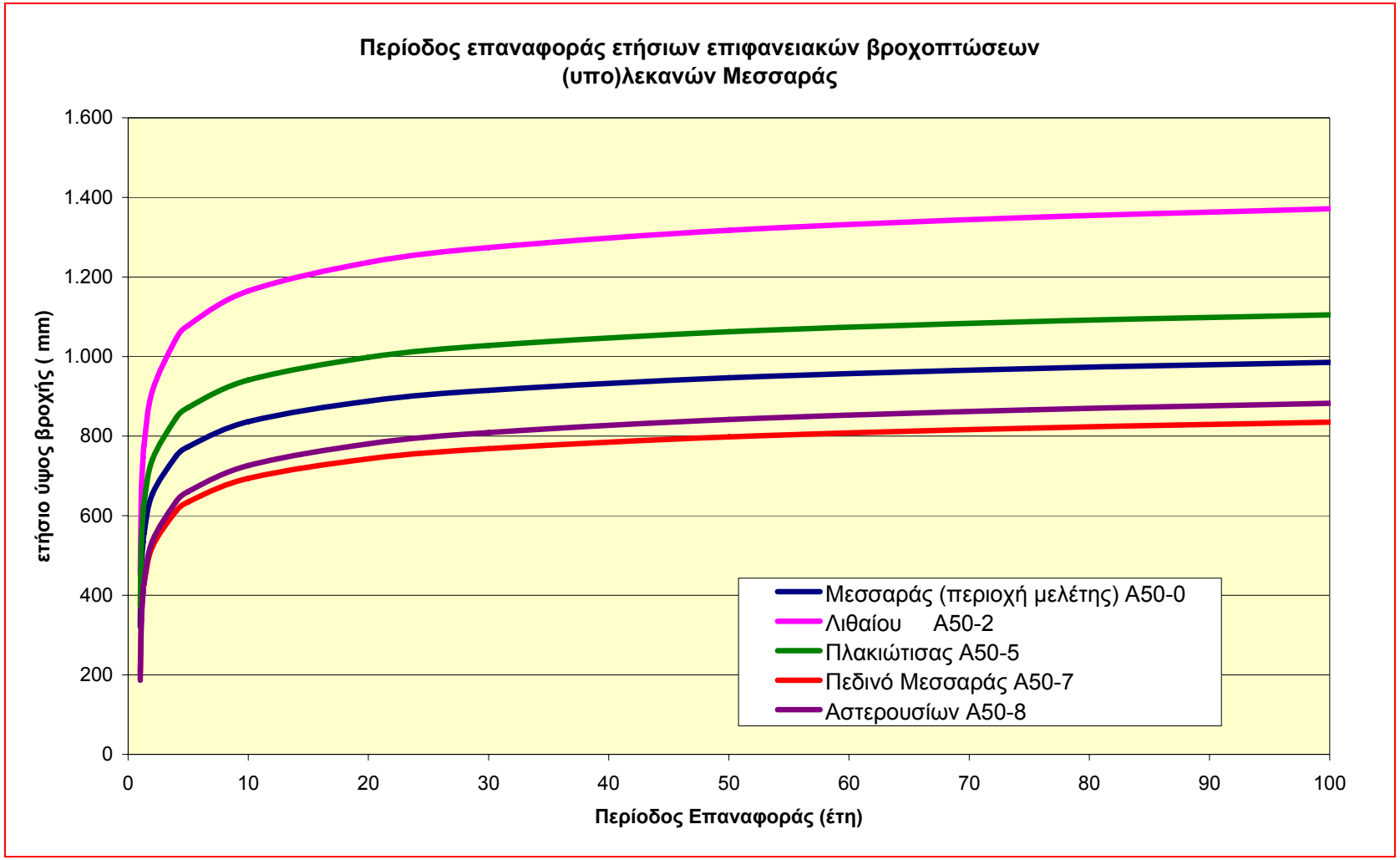
κανονική κατανομή γεγονός που αντανακλά το μέγεθος της ξηρασίας του υδρολογικού έτους 1989-1990.

Πίνακ. 1- 24 Πιθανότητα εμφάνισης και περίοδος επαναφοράς ετήσιας επιφανειακής βροχόπτωσης λεκανών Μεσαράς.

Περίοδος Επαναφοράς Τ	Πιθανότητα Εμφάνισης ή Υπέρβασης Ρ%	ΛΕΚΑΝΗ				
		Μεσσαράς (περιοχή μελέτης) Α50-0	Λιθαίου Α50-2	Πλακιώτισας Α50-5	Πεδινό Μεσσαράς Α50-7	Αστερουσίων Α50-8
1,01	99	320	452	374	206	186
1,11	90	469	658	530	340	335
1,25	80	533	746	607	407	409
1,33	75	556	777	633	429	433
2,00	50	653	912	740	521	535
4,00	25	749	1.045	845	612	635
5,00	20	773	1.078	872	634	660
10,00	10	836	1.165	941	694	726
20,00	5	888	1.237	998	743	780
30,00	3	915	1.274	1.028	768	809
50,00	2	946	1.317	1.062	798	842
75,00	1,3	970	1.349	1.088	820	866
100,00	1	985	1.371	1.105	835	882



Εικόνα 1- 20 συχνότητας εμφάνισης της ετήσιας επιφανειακής βροχόπτωσης (κανονική κατανομή) λεκανών Μεσαράς



Εικόνα 1- 21 περίοδος επαναφοράς της ετήσιας επιφανειακής βροχόπτωσης (κανονική κατανομή) λεκανών Μεσαράς

1.3.4.3 Στατιστική ανάλυση μηνιαίων βροχοπτώσεων

Για την ανάλυση των μηνιαίων βροχοπτώσεων, δημιουργήθηκε χρονοσειρά με τις επιφανειακές βροχοπτώσεις των υπολεκανών της περιοχής μελέτης, για κάθε μήνα περιόδου $9^{ος}$ 1973 - $9^{ος}$ 2005.

Στη συνέχεια εφαρμόσθηκε η μεθοδολογία όπως συνοπτικά περιγράφεται στην παράγραφο 1.3.4.2 για τον υπολογισμό της ετήσιας βροχόπτωσης.
Τα συνοπτικά στατιστικά χαρακτηριστικά της μηνιαίας βροχόπτωσης δίνονται στον Πίνακ. 1- 25 .

Στη συνέχεια η καμπύλη αθροιστικής πιθανότητας της μηνιαίας επιφανειακής βροχόπτωσης των (υπο)λεκανών της περιοχής μελέτης, κατασκευάσθηκε σε χαρτί πιθανότητας, με τη μεθοδολογία όπως περιγράφεται στην παράγραφο 1.3.2 Δοκιμάστηκαν χαρτιά πιθανότητας διάφορων κατανομών που προσαρμόζονται στις υδρολογικές παρατηρήσεις και καλλίτερη προσαρμογή έδωσε η κατανομή Γάμμα τριών παραμέτρων (Pearson III).

Ως γνωστό δεν μπορεί να κατασκευασθεί χαρτί κατανομής γ, τέτοιο που να ευθειοποιεί κάθε συνάρτηση κατανομής Γάμμα και γιαυτό η απεικόνιση της γίνεται σε χαρτί κανονικής κατανομής ή χαρτί κατανομής Weibull. Τα γραφήματα αυτά δίνονται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1- VII κατασκευασμένα σε χαρτί κανονικής κατανομής. Ο υπολογισμός της πιθανότητας υπέρβασης κάθε τιμής έγινε με τον τύπο Chegadayev (α=0,3), ο οποίος ο οποίος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για όλες τις συναρτήσεις κατανομής, και ως όριο εμπιστοσύνης επιλέχθηκε 95% (α=0,05).

Στα γραφήματα έχει σχεδιαστεί (σε χαρτί κανονικής κατανομής) η Γάμμα - Pearson III συνάρτηση κατανομής καθώς και τα όρια εμπιστοσύνης.

Από τα γραφήματα παρατηρούμε ότι οι μηνιαίες τιμές βροχοπτώσεων βρίσκονται εντός των ορίων εμπιστοσύνης για τους μήνες που παρατηρούνται βροχοπτώσεις στην περιοχή μελέτης (Οκτώβριος-Μάιος). Για τον μήνα Μάιο, λόγω των μικρών ή μηδενικών τιμών, στη προσαρμογή χρησιμοποιήθηκε κάτω κατώφλι η τιμή 2 mm και η κατανομή έδωσε καλή προσαρμογή.
Όπως γίνεται φανερό από τα γραφήματα προσαρμόζεται ικανοποιητικά η Γάμα - Pearson III κατανομή για τους Φθινοπωρινούς - χειμερινούς μήνες.

Για τους θερινούς - Καλοκαιρινούς μήνες (Ιούνιος, Ιούλιος, Αύγουστος, Σεπτέμβριος) οι βροχοπτώσεις είναι μηδέν ή σχεδόν μηδενικές πράγμα που δυσχεραίνει την ανάλυση και δεν κατέστη δυνατόν η προσαρμογή κάποιας κατανομής.

Κατόπιν των παραπάνω ενδείξεων περί καταλληλότητας της Γάμμα - Pearson III κατανομής για τα μηνιαία ύψη βροχής εφαρμόσθηκαν οι περισσότερο αξιόπιστοι στατιστικοί έλεγχοι καταλληλότητας ο έλεγχος χ^2 και ο έλεγχος *kolmogorov-Smirnov*.

Ο αλγόριθμος του *ελέγχου* χ^2 εφαρμόσθηκε και τα αποτελέσματα των υπολογισμών δίνονται στον πίνακ. 1-25. Για το επίπεδο σημαντικότητας που

επιλέχθηκε, η κρίσιμη τιμή της στατιστικής συνάρτησης ελέγχου $q_c = q_{1-a}$ για πιθανότητα υπέρβασης *α=0,05* για *k-r-1=6-2-1=3* βαθμούς ελευθερίας βρίσκεται από τον πίνακα της κατανομής χ^2 ίση με 7,81.
Από τον Πίνακ. 1- προκύπτει ότι ισχύει για όλες τους μήνες $q<q_c$ επομένως η υπόθεση ότι οι παρατηρήσεις προέρχονται από ένα πληθυσμό της Γάμμα - Pearson III κατανομής γίνεται δεκτή για διάστημα εμπιστοσύνης 95% .

Κατά τον έλεγχο *kolmogorov-Smirnov* υπολογίσθηκε η μεγαλύτερη διαφορά του δείγματος μεταξύ της πραγματικής και η θεωρητικής αθροιστικής πιθανότητας Dmax και οι τιμές δίνονται στον Πίνακ. 1- 25.
Η κρίσιμη τιμή Dcr για κάθε επίπεδο εμπιστοσύνης (1-α=) 95% βρίσκεται από τον αντίστοιχο πίνακα ίση με:

n (μέγεθος δείγματος)	20	21	24	25	26	31	30	32	35
Dcr	0.29	0.284	0.266	0.25	0.256	0.244	0.24	0.236	0.23

Παρατηρούμε ότι για το επίπεδο εμπιστοσύνης 95% που επιλέχθηκε ισχύει Dmax < Dcr , για όλα τα δείγματα, οπότε γίνεται δεκτή η υπόθεση ότι το δείγμα ανήκει σε πληθυσμό της αντίστοιχης κατανομής που επιλέχθηκε.

1.3.4.4 Συχνότητα εμφάνισης μηνιαίας επιφανειακής βροχόπτωσης

Σε συνέχεια της παραπάνω ανάλυσης, εκτιμήθηκε η συχνότητα εμφάνισης της μηνιαίας επιφανειακής βροχόπτωσης για κάθε μήνα του υδρολογικού έτους (Σεπτέμβριος – Αύγουστος). Ο σκοπός της ανάλυσης αυτής ήταν να προσδιορισθεί η μηνιαία κατανομή της βροχόπτωσης αφ' ενός του μέσου υδρολογικού έτους και αφετέρου των χαρακτηριστικών ξηρών και υγρών υδρολογικών ετών για τη περιοχή μελέτης. Από την ποσοστιαία κατανομή μπορεί κανείς στο μέλλον να αναλύει σε μηνιαίο βήμα το ετήσιο ύψος βροχόπτωσης με αντίστοιχες περιόδους επαναφοράς για μια συγκεκριμένη λεκάνη της Μεσαράς, επιτρέποντας έτσι την ανάλυση σε μηνιαίο βήμα.

Με βάση την κατανομή της επιφανειακής βροχόπτωσης στους μήνες του υδρολογικού έτους είναι δυνατή η σύνθεση υδρολογικών σεναρίων απαρτιζόμενα από διαδοχικά έτη διαφορετικής περιόδου επαναφοράς το καθένα, τα ετήσια ύψη βροχόπτωσης των οποίων μπορούν να αναλυθούν σε μηνιαίο βήμα για την εφαρμογή ομοιωμάτων.

Για το σκοπό αυτό από τις χρονοσειρές επιφανειακής βροχόπτωσης 32-ετούς διάρκειας των υδρολογικών λεκανών που εξετάσθηκαν σε ετήσιο βήμα, απομονώθηκαν οι αντίστοιχες για κάθε λεκάνη ολικές μηνιαίες βροχοπτώσεις για κάθε μήνα του υδρολογικού έτους και ομαδοποιήθηκαν σε ενιαίο δείγμα και προσαρμόσθηκαν όπως περιγράφεται στην προηγούμενη παράγραφο.

Ακολούθως, από το πιθανοτικό ομοίωμα (κατανομή Γάμμα Pearson-III) ελήφθησαν οι εκτιμήσεις του ολικού ύψους μηνιαίας βροχόπτωσης για κάθε

μήνα του υδρολογικού έτους για συχνότητες εμφάνισης v = 0.99, 0.90, 0,5, 0,1 0,05 και 0.01 (ή, αντίστοιχα, περιόδους επαναφοράς T = 1.01, 1.11, 2, 10, 20 και 100 ετών).

Λόγω της ύπαρξης πολλών μηδενικών τιμών στα δείγματα της θερινής περιόδου (μήνες Ιούνιος, Ιούλιος, Αύγουστος και Σεπτέμβριος) δεν ήταν δυνατή η ανάλυση αυτών των μηνών. Οι τιμές που χρησιμοποιήθηκαν για αυτούς τους μήνες προέκυψαν με την εφαρμογή της εμπειρικής κατανομής Weibull, στο ιστορικό δείγμα για όλες τις συχνότητες με εξαίρεση τη συχνότητα 0,01 που υπολογίσθηκε αναλογικά με τις τιμές του πλησιέστερου μήνα.

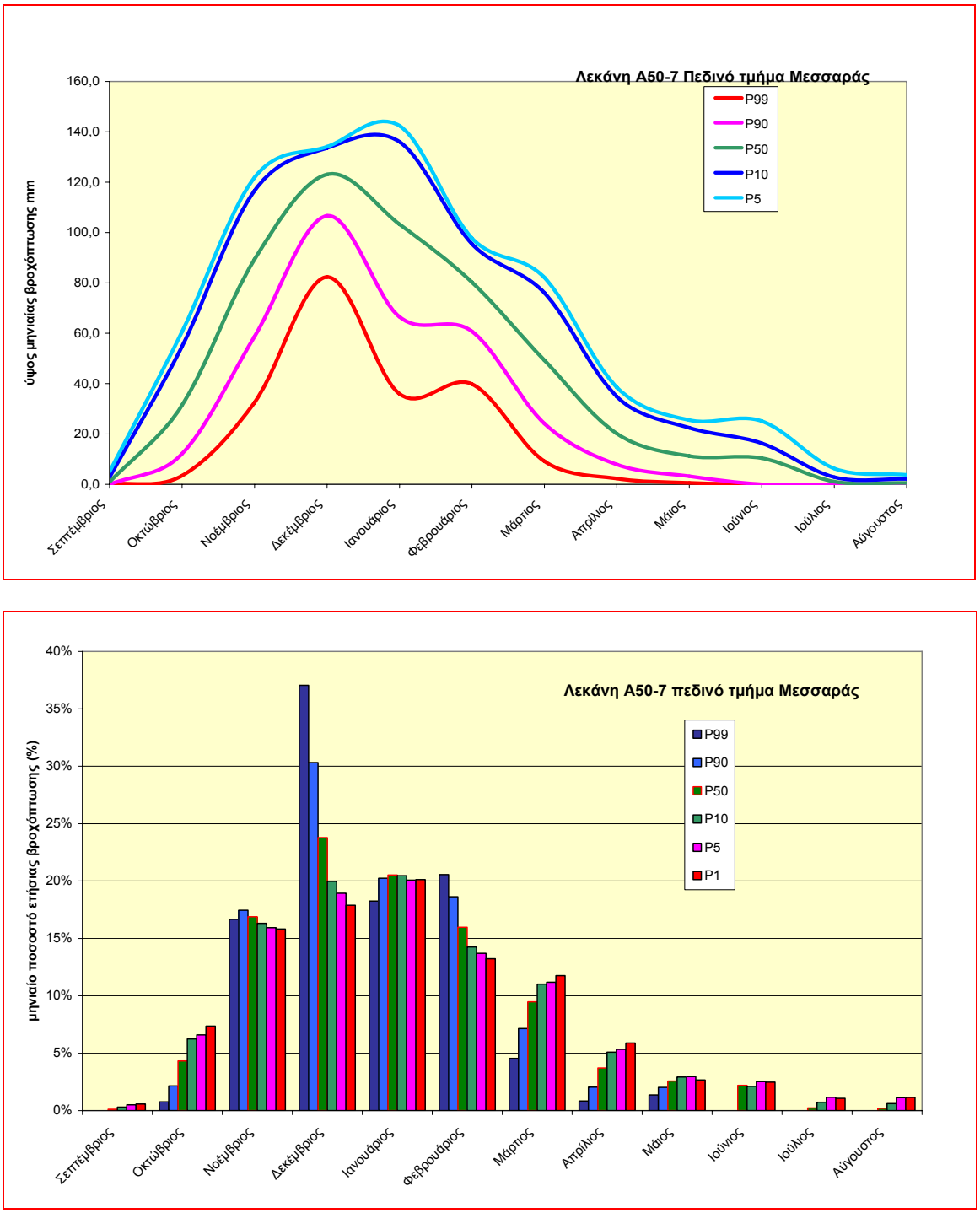
Τα μηνιαία ολικά ύψη βροχόπτωσης με αντίστοιχη περίοδο επαναφοράς συγκροτήθηκαν κατόπιν σε ετήσιες ακολουθίες δώδεκα μηνών. Το άθροισμα των μηνών υπολείπεται του ετήσιου ύψους βροχόπτωσης της αντίστοιχης περιόδου επαναφοράς όπως αυτό είχε υπολογισθεί στην παράγραφο 1.3.4.2 για τα ξηρά έτη ενώ αντίστροφα υπερτερεί για τα υγρά έτη, γεγονός αναμενόμενο αφού η θεωρητική πιθανότητα να εμφανισθούν δώδεκα μηνιαία ύψη βροχόπτωσης ενός υδρολογικού έτους με την ίδια ακριβώς συχνότητα εμφάνισης είναι πολύ μικρή.

Τα ετήσια ύψη βροχόπτωσης που είχαν υπολογισθεί στην παράγραφο 1.3.4.2 για τις αντίστοιχες περιόδους επαναφοράς χρησιμοποιήθηκαν για την αναγωγή των μηνιαίων υψών βροχόπτωσης. Τα αποτελέσματα για υδρολογικά έτη συχνότητας εμφάνισης (ή υπέρβασης) P_{99}, P_{90}, P_{50}, P_{10}, P_5 και P_1 για τη λεκάνη του πεδινού τμήματος της Μεσαράς (Α50-7) παρουσιάζονται στην Εικόνα 1- 22 , ενώ των υπολοίπων λεκανών που έχει διακριθεί η λεκάνη παρουσιάζονται στους πίνακες του ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΟΣ 1- VII,. Στο ίδιο παράρτημα παρουσιάζονται και τα γραφήματα της συχνότητας εμφάνισης της μηνιαίας επιφανειακής βροχόπτωσης των λεκανών απορροής της λεκάνης της Μεσαράς όπως επίσης και η αντίστοιχη ποσοστιαία κατανομή για τα διάφορα υδρολογικά έτη

Από τα στοιχεία των Πινάκων παρατηρείται ότι όσο αυξάνει η συχνότητα εμφάνισης ή υπέρβασης (ξηρότερο υδρολογικό έτος) η συνολική βροχόπτωση τείνει να κατανέμεται σε λιγότερους μήνες του έτους και η σχετική διαφορά στην ποσοστιαία κατανομή μεταξύ των μηνών του έτους αυξάνεται, δηλαδή οι υγρότεροι μήνες του ξηρού έτους τείνουν να εμφανίζουν συνεχώς αυξανόμενη συμμετοχή στην ετήσια βροχόπτωση σε σχέση με τους λιγότερο υγρούς.

Πίνακ. 1- 25 δειγματικές ροπές και παράγωγα χαρακτηριστικά μηνιαίων τιμών επιφανειακής βροχόπτωσης λεκανών Μεσαράς

ΔΕΙΚΤΗΣ / ΛΕΚΑΝΗ		ΜΗΝΑΣ	ΜΕΓΕΘΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ n	ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ ΚΛΙΜΑΚΟΣ ΒΗΤΑ	ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ ΣΧΗΜΑΤΟΣ ΓΑΜΜΑ	ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ ΘΕΣΗΣ X_0	ΑΡΙΘΜΟΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΛΑΣΕΩΝ Κ	ΕΠΙΠΕΔΟ ΕΜΠΙΣΤΙΣΥΝΗΣ (1- α)=0.95	ΔΟΚΙΜΗ χ^2		ΔΟΚΙΜΗ Kolmogorov-Smirnov (dn)
										ΒΑΘΜΟΙ ΕΛΕΥΘΕΡΙΑΣ	ΤΙΜΗ χ^2	
ΛΙΘΑΙΟΥ	Α50-2	ΙΑΝ	32	60,24	3,21	0,00	2	6	0,95	3	1,375	0,0797
		ΦΕΒ	32	31,49	4,62	0,00	2	6	0,95	3	3,625	0,1494
		ΜΑΡ	32	45,34	2,09	0,00	2	6	0,95	3	2,500	0,0636
		ΑΠΡ	32	27,70	1,45	0,00	2	6	0,95	3	3,250	0,115
		ΜΑΥ	25	11,54	2,21	0,00	2	6	0,95	3	4,800	0,1547
		ΟΚΤ	32	36,94	1,32	0,00	2	6	0,95	3	4,375	0,1013
		ΝΟΕ	32	44,76	3,52	0,00	2	6	0,95	3	1,750	0,1011
		ΔΕΚ	32	36,32	5,87	0,00	2	6	0,95	3	6,250	0,1014
ΠΛΑΚΙΩΤΙΣΑ	Α50-5	ΙΑΝ	32	46,53	3,29	0,00	2	6	0,95	3	7,750	0,1229
		ΦΕΒ	32	24,72	4,82	0,00	2	6	0,95	3	1,750	0,1283
		ΜΑΡ	32	50,18	1,67	0,00	2	6	0,95	3	4,000	0,1228
		ΑΠΡ	32	22,91	1,33	0,00	2	6	0,95	3	5,875	0,0961
		ΜΑΥ	25	14,54	1,48	0,00	2	6	0,95	3	2,000	0,0912
		ΟΚΤ	32	50,59	0,96	0,00	2	6	0,95	3	2,125	0,1218
		ΝΟΕ	32	37,64	3,04	0,00	2	6	0,95	3	7,375	0,1467
		ΔΕΚ	32	36,61	4,42	0,00	2	6	0,95	3	2,125	0,0988
ΠΕΔΙΝΟ ΓΕΡΟΠΟΤΑΜΟΥ-ΑΝΑΠΟΔΑΡΗ	Α50-7	ΙΑΝ	32	35,94	3,01	0,00	2	6	0,95	3	3,625	0,099
		ΦΕΒ	32	19,46	4,18	0,00	2	6	0,95	3	2,875	0,1132
		ΜΑΡ	32	27,77	1,98	0,00	2	6	0,95	3	0,625	0,0847
		ΑΠΡ	30	15,41	1,54	0,00	2	6	0,95	3	2,000	0,0614
		ΜΑΥ	24	12,31	1,16	0,00	2	6	0,95	3	0,333	0,121
		ΟΚΤ	26	24,62	1,51	0,00	2	6	0,95	3	2,846	0,1701
		ΝΟΕ	32	30,05	3,11	0,00	2	6	0,95	3	3,250	0,136
		ΔΕΚ	32	20,42	5,96	0,00	2	6	0,95	3	1,750	0,0127
ΔΥΤΙΚΗ ΑΣΤΕΡΟΥΣΙΩΝ (ΝΟΤΙΑ ΓΕΡΟΠΟΤΑΜΟΥ)	Α50-8	ΙΑΝ	32	36,02	3,08	0,00	2	6	0,95	3	2,500	0,0805
		ΦΕΒ	32	26,46	3,16	0,00	2	6	0,95	3	2,500	0,1398
		ΜΑΡ	32	30,55	1,77	0,00	2	6	0,95	3	1,000	0,0972
		ΑΠΡ	28	15,82	1,68	0,00	2	6	0,95	3	0,571	0,0974
		ΜΑΥ	21	13,33	1,28	0,00	2	6	0,95	3	1,667	0,1445
		ΟΚΤ	28	25,26	1,45	0,00	2	6	0,95	3	2,000	0,1053
		ΝΟΕ	32	38,62	2,62	0,00	2	6	0,95	3	5,125	0,164
		ΔΕΚ	32	21,75	5,87	0,00	2	6	0,95	3	1,375	0,109
ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	Α50-0	ΙΑΝ	31	41,66	3,19	0,00	2	6	0,95	3	0,936	0,0849
		ΦΕΒ	31	22,66	4,43	0,00	2	6	0,95	3	1,710	0,1034
		ΜΑΡ	31	34,02	2,01	0,00	2	6	0,95	3	0,936	0,0621
		ΑΠΡ	31	17,67	1,59	0,00	2	6	0,95	3	1,710	0,0774
		ΜΑΥ	25	11,31	1,38	0,00	2	6	0,95	3	6,800	0,1525
		ΟΚΤ	31	29,53	1,17	0,00	2	6	0,95	3	6,742	0,1634
		ΝΟΕ	31	34,77	4,26	0,00	2	6	0,95	3	4,419	0,1417
		ΔΕΚ	31	23,20	6,30	0,00	2	6	0,95	3	2,871	0,085



Εικόνα 1- 22 συχνότητα εμφάνισης μηνιαίας επιφανειακής βροχόπτωσης της λεκάνης Α50-0 (πεδινού τμήματος Μεσαράς)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Κεφάλαιο 2 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 1
2.1 Μετεωρολογικά δεδομένα 3
2.1.1 Θερμοκρασία 3
2.1.2 Σχετική Υγρασία 8
2.1.3 Ηλιοφάνεια 12
2.1.4 Ταχύτητα ανέμου 13
2.2 Δυνητική εξατμισοδιαπνοή 16
2.2.1 Υπολογισμός Δυνητικής Εξατμισοδιαπνοής 16
2.2.2 Μεθοδολογία και δεδομένα 19
2.2.3 Περιγραφή μεθόδων 19
2.2.3.1 Μέθοδος Penman 19
2.2.3.2 Μέθοδος Penman κατά FAO 22
2.2.3.3 Τροποποιημένη μέθοδος Penman- Monteith 22
2.2.3.4 FAO pan evaporation (Μέθοδος Εξατμισιμέτρου λεκάνης, class A pan) 24
2.2.4 Απαιτούμενα Δεδομένα 24
2.2.5 Αποτελέσματα δυνητικής εξατμισοδιαπνοής στη λεκάνη της Μεσαράς 26
2.3 Συμπλήρωση και επέκταση δειγμάτων δυνητικής εξατμισοδιαπνοής 29
2.4 Επιφανειακή ολοκλήρωση σημειακής εξατμισοδιαπνοής 35
2.4.1 Μεθοδολογίες υπολογισμού επιφανειακής εξατμισοδιαπνοής 35
2.4.2 Επιφανειακή εξατμισοδιαπνοή στη λεκάνη της Μεσαράς 35

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακ. 2-1 ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΕΚΤΟΣ ΓΗΙΝΗΣ ΣΦΑΙΡΑΣ (Ra) 21
Πίνακ. 2-2 ΜΕΣΕΣ ΗΜΕΡΗΣΙΕΣ ΤΙΜΕΣ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΠΙΘΑΝΗΣ ΔΙΑΡΚΕΙΑΣ ΗΛΙΟΦΑΝΕΙΑΣ ΣΕ ΩΡΕΣ (N) ΣΤΟ Β. ΗΜΙΣΦΑΙΡΙΟ ΜΕΣΗ 21
Πίνακ. 2-3 Συντελεστές Εξατμισίμετρου (Kpan) για τύπο A Class για διαφορετική κάλυψη εδάφους και επίπεδα μέσης σχετικής υγρασίας και 24ωρης ταχύτητας ανέμου (FAO, 1977) 25
Πίνακ. 2-4 Θέσεις υπολογισμού εξατμισοδιαπνοής αναφοράς και σταθμοί προέλευσης μετεωρολογικών δεδομένων (Penman, Penman-Monteith μέθοδο) 26
Πίνακ. 2-5 Θέσεις εξατμισιμέτρων και σταθμοί προέλευσης κλιματολογικών δεδομένων (FAO-Pan μέθοδος) 26
Πίνακ. 2-6 Χαρακτηριστικά εξατμισιμέτρων και συντελεστές μετατροπής σε Class A (FAO, 1969) 27
Πίνακ. 2-7 παράμετροι εμπειρικής εξίσωσης επέκτασης εξατμισοδιαπνοής 29
Πίνακ. 2-8. Μέσο υπερετήσιο ύψος Εξατμισοδιαπνοής αναφοράς -μέθοδος: τροποποιημένη Penman- Monteith 30
Πίνακ. 2-9. Μέσο υπερετήσιο ύψος Εξατμισοδιαπνοής αναφοράς-μέθοδος: FAO-Pan 30
Πίνακ. 2-10 Μέσο υπερετήσιο ύψος Εξατμισοδιαπνοής αναφοράς -μέθοδος: Penman 31

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 2-1 Διαθεσιμότητα δεδομένων θερμοκρασίας....4
Εικόνα 2-2 Συσχέτιση μηνιαίων θερμοκρασιών σταθμών MT16- MT43....4
Εικόνα 2-3 Συσχέτιση μηνιαίων θερμοκρασιών σταθμών MT35- MT43....4
Εικόνα 2-4 Συσχέτιση μηνιαίων θερμοκρασιών σταθμών MT23- MT37....5
Εικόνα 2-5 Συσχέτιση μηνιαίων θερμοκρασιών σταθμών MT15- MT43....5
Εικόνα 2-6 Συσχέτιση μηνιαίων θερμοκρασιών σταθμών MT45- MT15....5
Εικόνα 2-7 Επέκταση στοιχείων μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας σταθμού MT 15....6
Εικόνα 2-8 Επέκταση στοιχείων μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας σταθμού MT16....6
Εικόνα 2-9 Επέκταση στοιχείων μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας σταθμού MT23....6
Εικόνα 2-10 Επέκταση στοιχείων μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας σταθμού MT35....7
Εικόνα 2-11 Επέκταση στοιχείων μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας σταθμού MT37....7
Εικόνα 2-12 Επέκταση στοιχείων μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας σταθμού MT43....7
Εικόνα 2-13 Επέκταση στοιχείων μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας σταθμού MT45....8
Εικόνα 2-14 Σχέση μέσης ετήσιας Θερμοκρασίας - Υψομέτρου....8
Εικόνα 2-15 Διαθεσιμότητα δεδομένων σχετικής υγρασίας....9
Εικόνα 2-16 Συσχέτιση μηνιαίων τιμών σχετικής υγρασίας MT45- MT16....9
Εικόνα 2-17 Συσχέτιση μηνιαίων τιμών σχετικής υγρασίας MT43- MT16....10
Εικόνα 2-18 Συσχέτιση μηνιαίων τιμών σχετικής υγρασίας MT50- MT16....10
Εικόνα 2-19 Επέκταση στοιχείων μέσης μηνιαίας σχετικής υγρασίας σταθμού MT16....10
Εικόνα 2-20 Επέκταση στοιχείων μέσης μηνιαίας σχετικής υγρασίας σταθμού MT43....11
Εικόνα 2-21 Επέκταση στοιχείων μέσης μηνιαίας σχετικής υγρασίας σταθμού MT45....11
Εικόνα 2-22 Επέκταση στοιχείων μέσης μηνιαίας σχετικής υγρασίας σταθμού MT50....11
Εικόνα 2-23 Διαθεσιμότητα δεδομένων ηλιοφάνειας....12
Εικόνα 2-24 Συσχέτιση μηνιαίων τιμών ηλιοφάνειας σταθμών MT43- MT50....12
Εικόνα 2-25 Διάγραμμα μέσης μηνιαίας ηλιοφάνειας σταθμού MT43....13
Εικόνα 2-26 Επέκταση στοιχείων μέσης μηνιαίας ηλιοφάνειας σταθμού MT50....13
Εικόνα 2-27 Διαθεσιμότητα δεδομένων ταχύτητα ανέμου....14
Εικόνα 2-28 Διάγραμμα μέσης μηνιαίας ταχύτητας ανέμου (km/day) σταθμού MT16....14
Εικόνα 2-29 Διάγραμμα μέσης μηνιαίας ταχύτητας ανέμου (km/day) σταθμού MT43....15
Εικόνα 2-30 Διάγραμμα μέσης μηνιαίας ταχύτητας ανέμου (km/day) σταθμού MT45....15
Εικόνα 2-31 Διάγραμμα μέσης μηνιαίας ταχύτητας ανέμου (km/day) σταθμού MT50....15
Εικόνα 2-32 Σχέση εξατμισοδιαπνοής – υψομέτρου- μέθοδος: τροποποιημένη Penman-Monteith....30
Εικόνα 2-33 ετήσιες τιμές εξατμισοδιαπνοής μεθόδων Penman-Monteith και Penman....31
Εικόνα 2-34 Ετήσια εξατμισοδιαπνοή- μέθοδος Fao-Pan A....32
Εικόνα 2-35 Ετήσια εξατμισοδιαπνοή- μέθοδος Penman....32
Εικόνα 2-36 Ετήσια εξατμισοδιαπνοή- μέθοδος Penman-Monteith....32
Εικόνα 2-37 Μηνιαία δυνητική εξατμισοδιαπνοή σταθμού MT15....33
Εικόνα 2-38 Μηνιαία δυνητική εξατμισοδιαπνοή σταθμού MT16....33
Εικόνα 2-39 Μηνιαία δυνητική εξατμισοδιαπνοή σταθμού MT23....33
Εικόνα 2-40 Μηνιαία δυνητική εξατμισοδιαπνοή σταθμού MT35....34
Εικόνα 2-41 Μηνιαία δυνητική εξατμισοδιαπνοή σταθμού MT37....34
Εικόνα 2-42 Μηνιαία δυνητική εξατμισοδιαπνοή σταθμού MT43....34
Εικόνα 2-43 Μηνιαία δυνητική εξατμισοδιαπνοή σταθμού MT45....35
Εικόνα 2-44 Μέση υπερετήσια δυνητική εξατμισοδιαπνοή (μέθοδος υπολογισμού Kriging, σημειακοί υπολογισμοί με τη μέθοδο Penman-Monteith)....37
Εικόνα 2-45 Μέσες υπερετήσιες ισόποσες τιμές δυνητική εξατμισοδιαπνοής (μέθοδος υπολογισμού Kriging, σημειακοί υπολογισμοί με τη μέθοδο Penman-Monteith)....38
Εικόνα 2-46 ετήσια δυνητική εξατμισοδιαπνοή Ξηρού έτους, 1989-1990. (μέθοδος υπολογισμού Kriging, σημειακοί υπολογισμοί με τη μέθοδο Penman-Monteith)....39
Εικόνα 2-47 ετήσια δυνητική εξατμισοδιαπνοή υγρού έτους, 2002-2003. (μέθοδος υπολογισμού Kriging, σημειακοί υπολογισμοί με τη μέθοδο Penman-Monteith)....40

Κεφάλαιο 2 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

2.1 Μετεωρολογικά δεδομένα

Θερμοκρασία

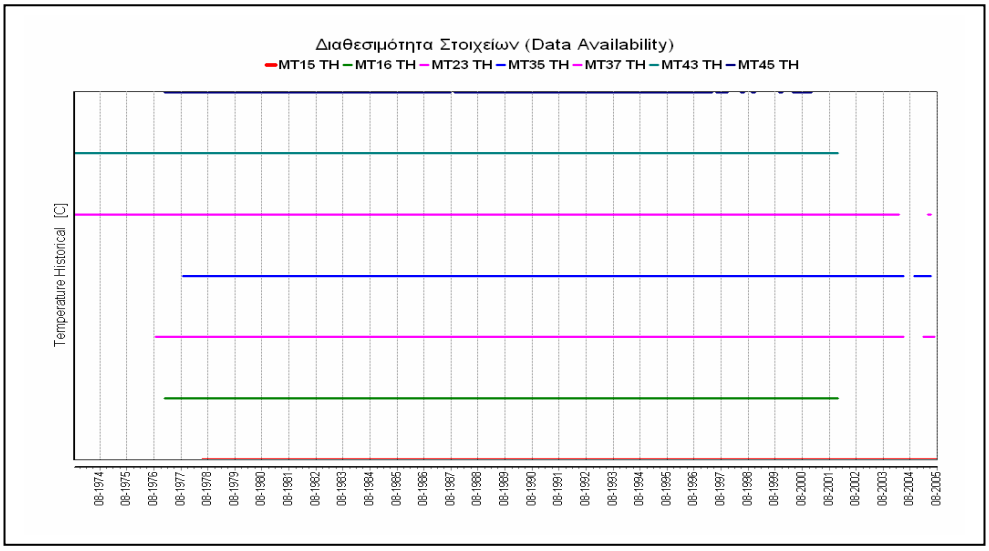
Στην περιοχή μελέτης υπάρχουν 7 σταθμοί μέτρησης της θερμοκρασίας αέρος, οι οποίοι ανήκουν στην ΕΜΥ ή στην ΥΕΒ. Οι σταθμοί αυτοί διαθέτουν μετρήσεις για διαφορετικές περιόδους, δύο όμως εξ' αυτών καλύπτουν την περίοδο μελέτης, (9ος 1973- 8ος 2005 – βλέπε Εικόνα 2-1). Για τους σταθμούς που εμφάνιζαν ελλιπείς μετρήσεις (κενά) στην άνω αναφερόμενη περίοδο ή δεν την κάλυπταν πλήρως επειδή είχε διακοπεί η λειτουργία τους για κάποιο συνήθως μικρό διάστημα, έγιναν οι αναγκαίες συμπληρώσεις και επεκτάσεις σε μηνιαίο βήμα, βήμα που απαιτείται για την υδρολογική ανάλυση που ακολουθεί, ώστε να αποκτηθούν πλήρεις χρονοσειρές. Επειδή η διακύμανση των τιμών της θερμοκρασίας είναι πολύ μικρότερη από αυτή των άλλων μεταβλητών (π.χ. της βροχής), όλοι οι σταθμοί εμφανίζουν υψηλές τιμές συσχέτισης ($r > 0.98$) και η μεταβολή τους επηρεάζεται κυρίως από το υψόμετρο του σταθμού. Η συμπλήρωση και η επέκταση των δεδομένων των σταθμών έγινε με γραμμική παλινδρόμηση με βάση τον πλησιέστερο σταθμό με τον οποίο υπήρχε η καλύτερη συσχέτιση. Στον Πίνακ. 2-1 και στην Εικόνα 2-2, …, Εικόνα 2-6 δίνονται οι συσχετίσεις των σταθμών βάση των οποίων έγινε η συμπλήρωση και η επέκταση των σταθμών σε μηνιαίο βήμα. Στην Εικόνα 2-7, …, Εικόνα 2-13 απεικονίζονται οι συμπληρώσεις – επεκτάσεις των σταθμών.

Πίνακ. 2-1 Γραμμική παλινδρόμηση μηνιαίων τιμών θερμοκρασιών

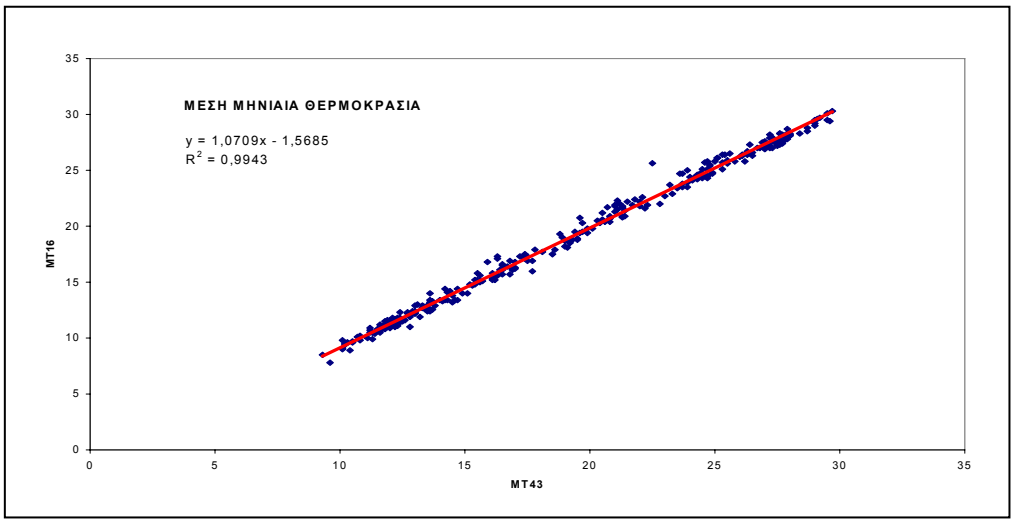
	y=ax+b		
ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΣΤΑΘΜΟΙ	**a**	**b**	**R**
MT16 –MT43	1,0709	-1,5685	0,997
MT35 - MT43	1,0472	-1,7434	0,972
MT23 -MT37	0,9925	0,2537	0,984
MT15 -MT43	0,9750	-1,1096	0,982
MT45 -MT15	1,0151	0,0324	0,977

Για την αναγωγή των τιμών της θερμοκρασίας λόγω υψομετρικής διαφοράς μεταξύ των σταθμών χρησιμοποιήθηκε ενιαία θερμοβαθμίδα για όλη την Μεσαρά, η οποία προέκυψε από την συσχέτιση των μέσων ετήσιων θερμοκρασιών στους 5 σταθμούς καταγραφής (εξαιρέθηκαν δύο σταθμοί ο MT23 και ο MT37) της δυτικής Μεσαράς με το υψόμετρό τους. Η συσχέτιση είναι υψηλή ($r=0,89$) και έδωσε μια μέση ετήσια τιμή -2,6 °C / 1000 m υψομετρική διαφορά που θεωρείται αντιπροσωπευτική για το θερμό και ξηρό κλίμα της Κρήτης (Εικόνα 2-14) .

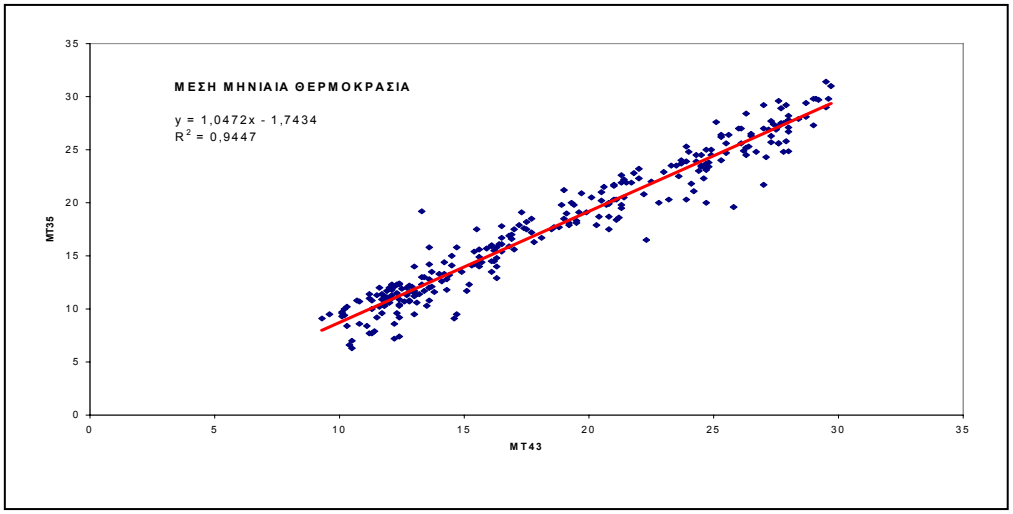
Η συσχέτιση αν χρησιμοποιηθούν όλοι οι σταθμοί είναι μικρή για αυτό και εξαιρέθηκαν οι παραπάνω σταθμοί και ερμηνεύεται στο ότι επικρατούν διαφορετικές κλιματικές στους σταθμούς MT23 (Καστέλλι Πεδιάδος) και MT 37 (Πραιτώρια).



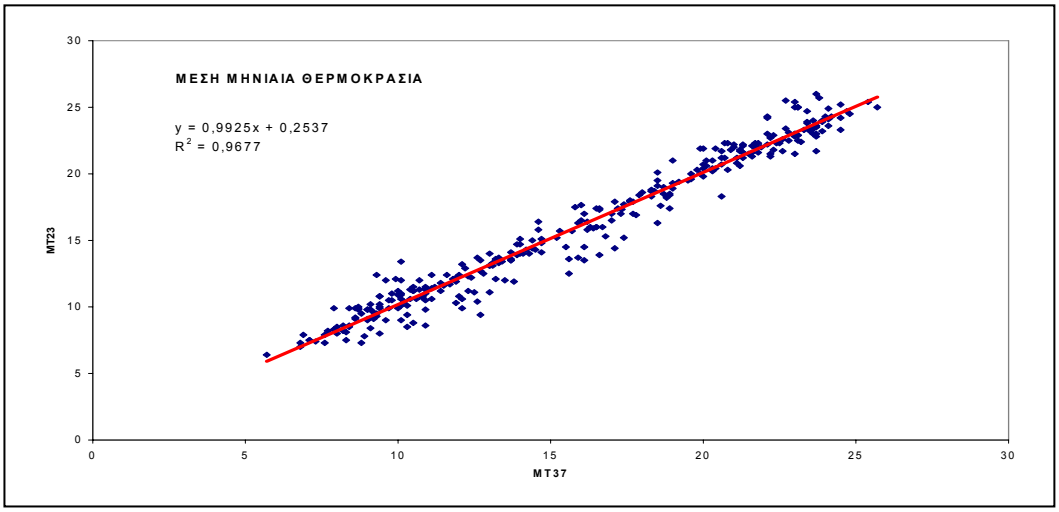
Εικόνα 2-1 Διαθεσιμότητα δεδομένων θερμοκρασίας



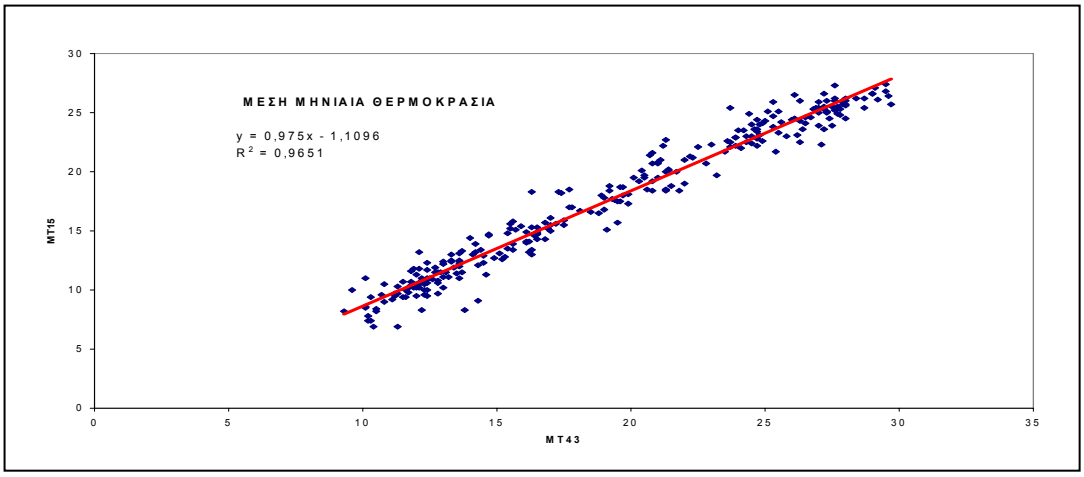
Εικόνα 2-2 Συσχέτιση μηνιαίων θερμοκρασιών σταθμών MT16- MT43



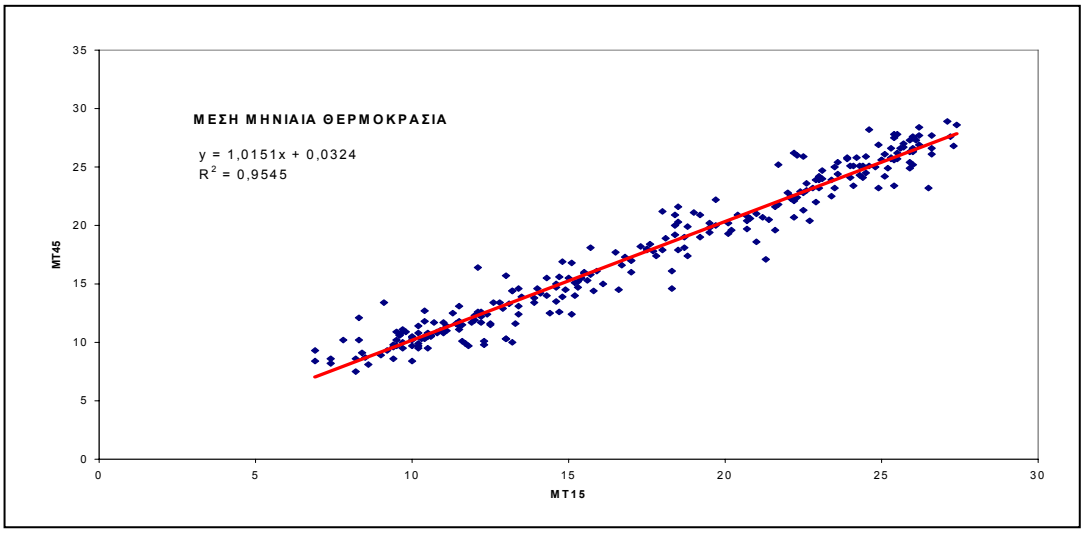
Εικόνα 2-3 Συσχέτιση μηνιαίων θερμοκρασιών σταθμών MT35- MT43



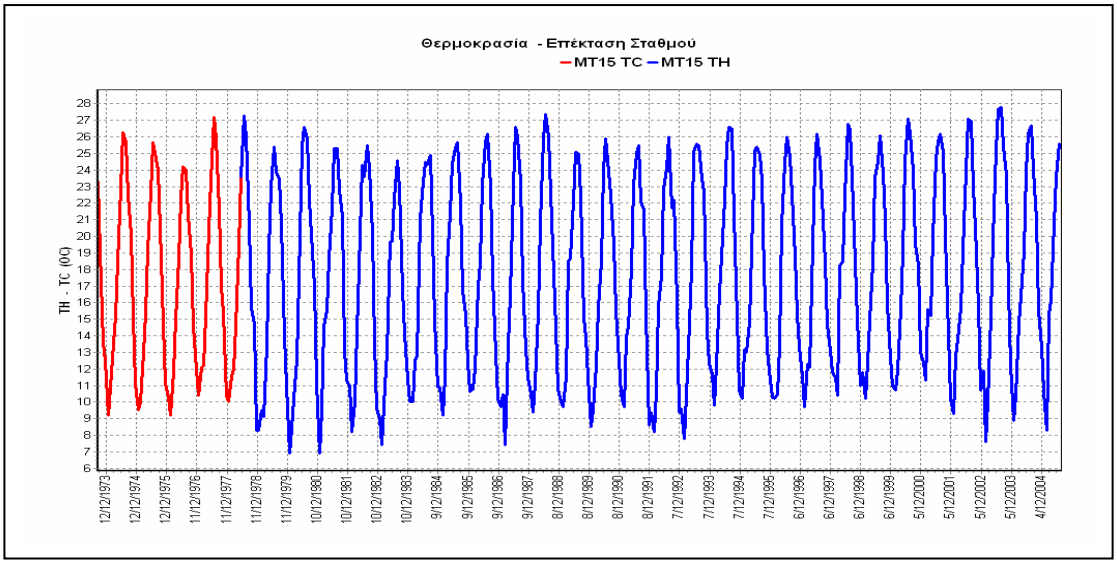
Εικόνα 2-4 Συσχέτιση μηνιαίων θερμοκρασιών σταθμών ΜΤ23- ΜΤ37



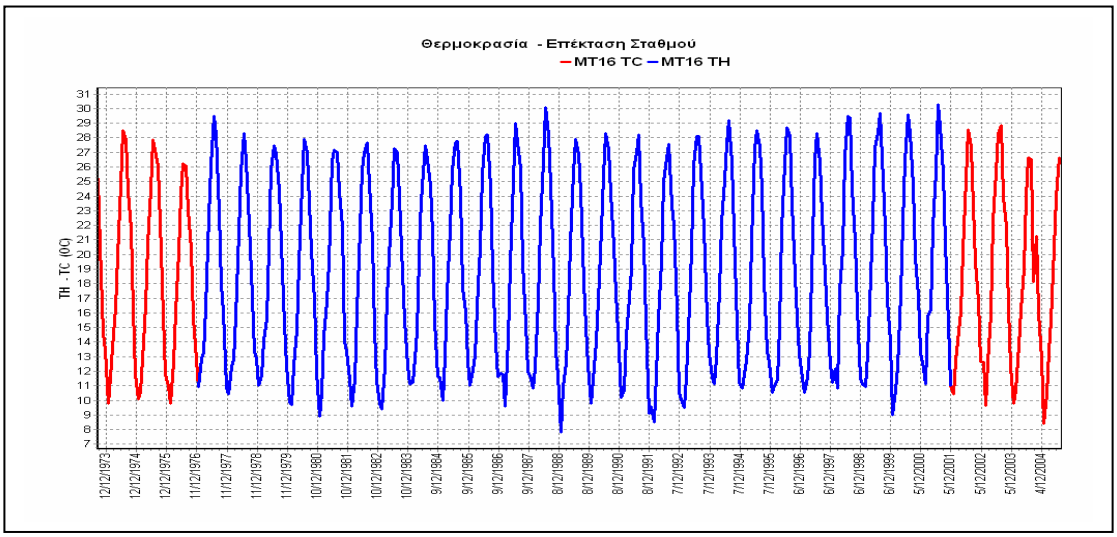
Εικόνα 2-5 Συσχέτιση μηνιαίων θερμοκρασιών σταθμών ΜΤ15- ΜΤ43



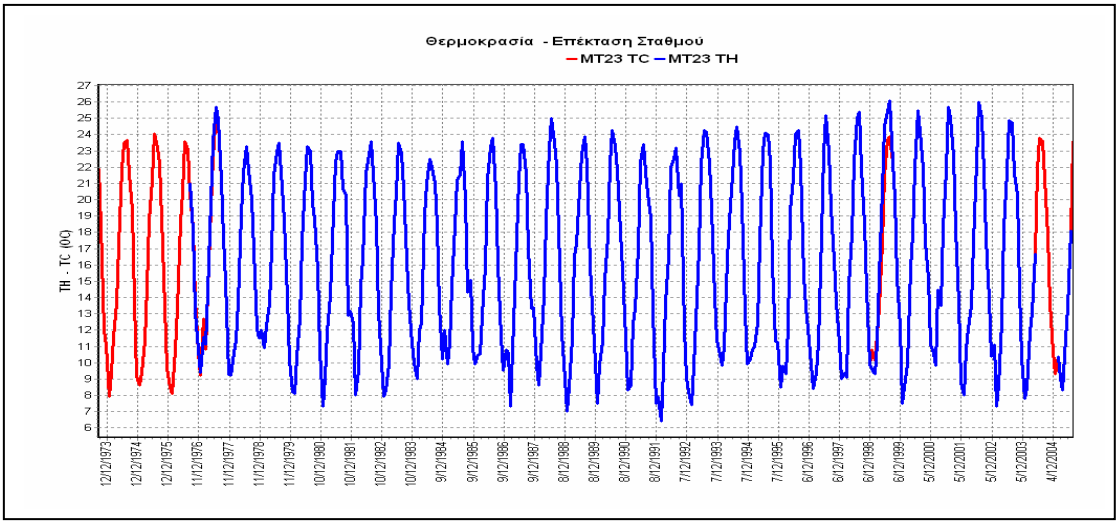
Εικόνα 2-6 Συσχέτιση μηνιαίων θερμοκρασιών σταθμών ΜΤ45- ΜΤ15



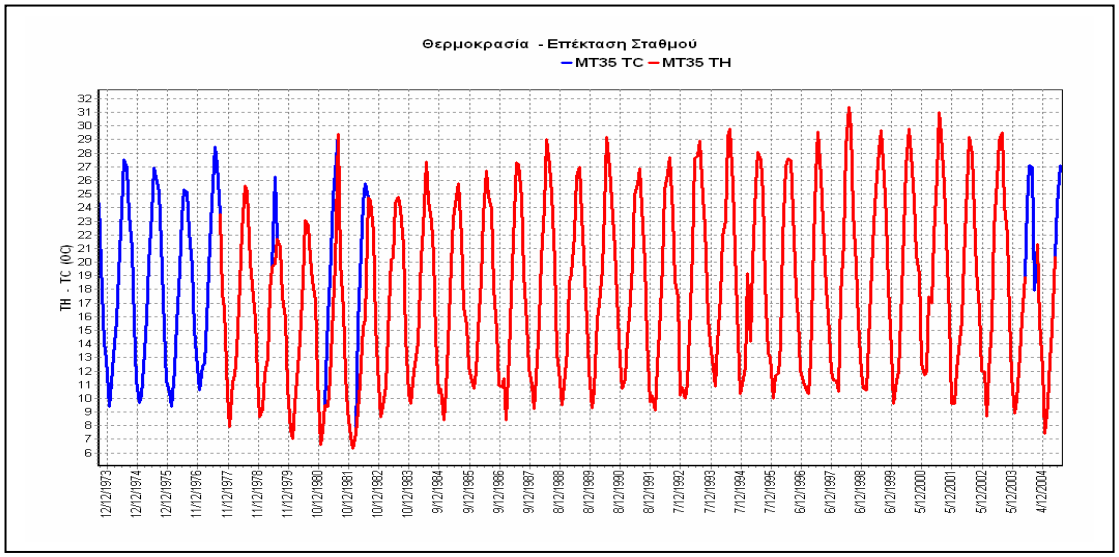
Εικόνα 2-7 Επέκταση στοιχείων μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας σταθμού MT 15



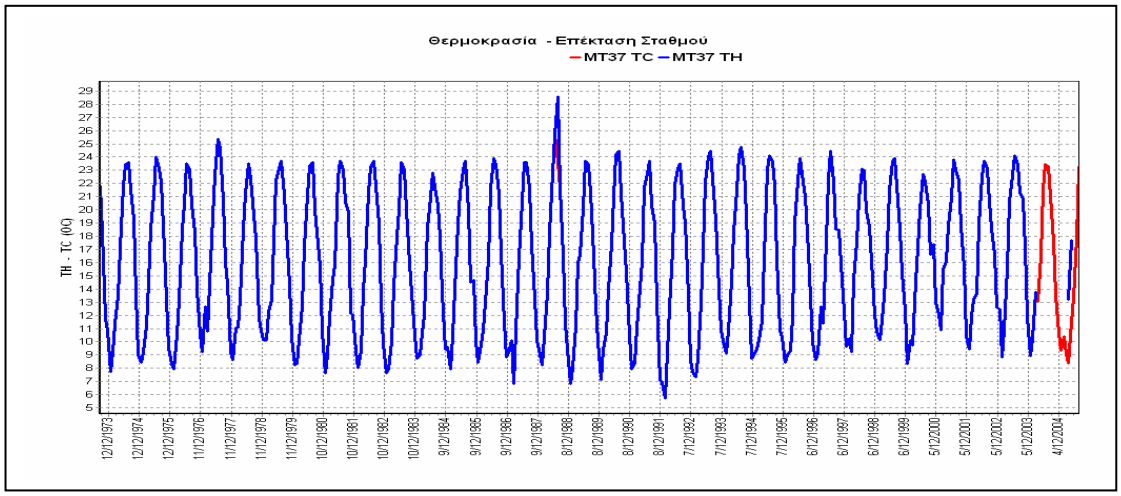
Εικόνα 2-8 Επέκταση στοιχείων μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας σταθμού MT16



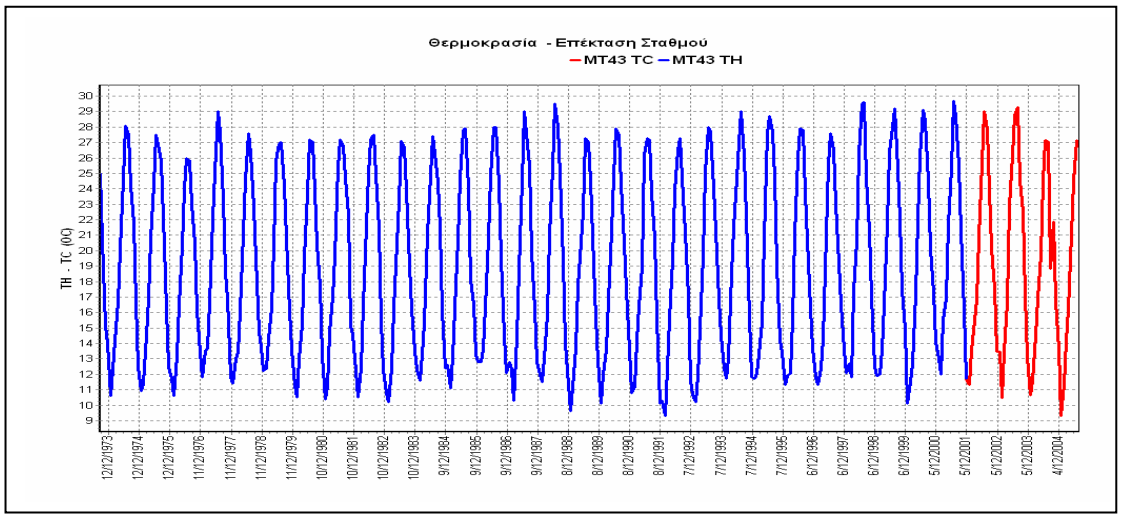
Εικόνα 2-9 Επέκταση στοιχείων μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας σταθμού MT23



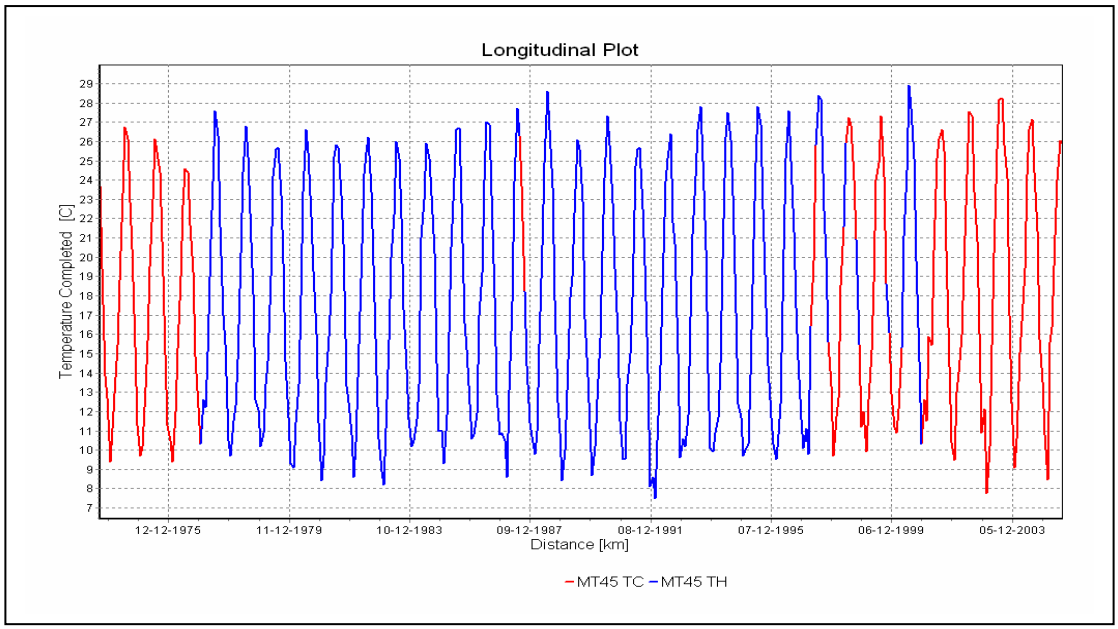
Εικόνα 2-10 Επέκταση στοιχείων μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας σταθμού MT35



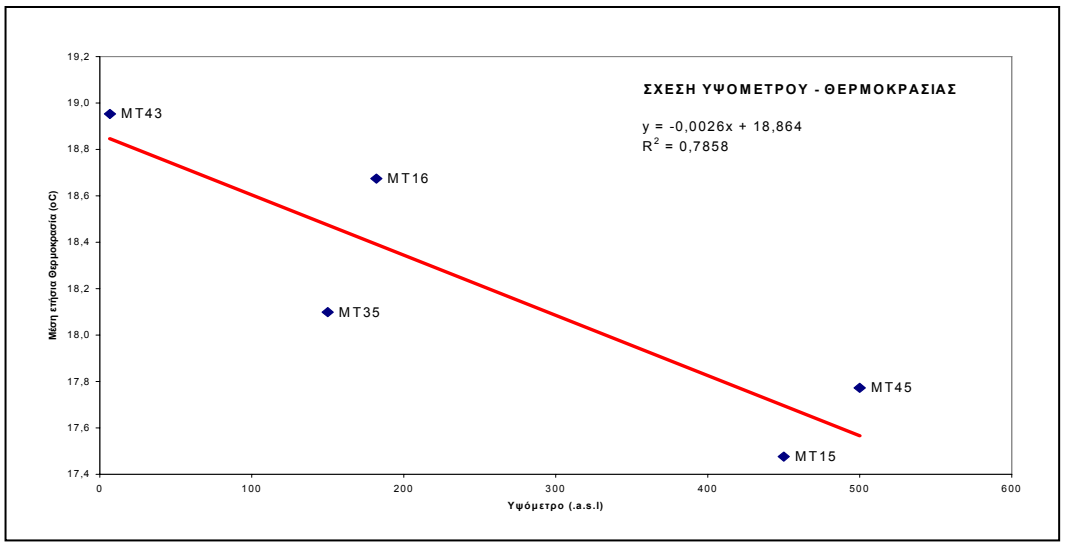
Εικόνα 2-11 Επέκταση στοιχείων μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας σταθμού MT37



Εικόνα 2-12 Επέκταση στοιχείων μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας σταθμού MT43



Εικόνα 2-13 Επέκταση στοιχείων μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας σταθμού MT45

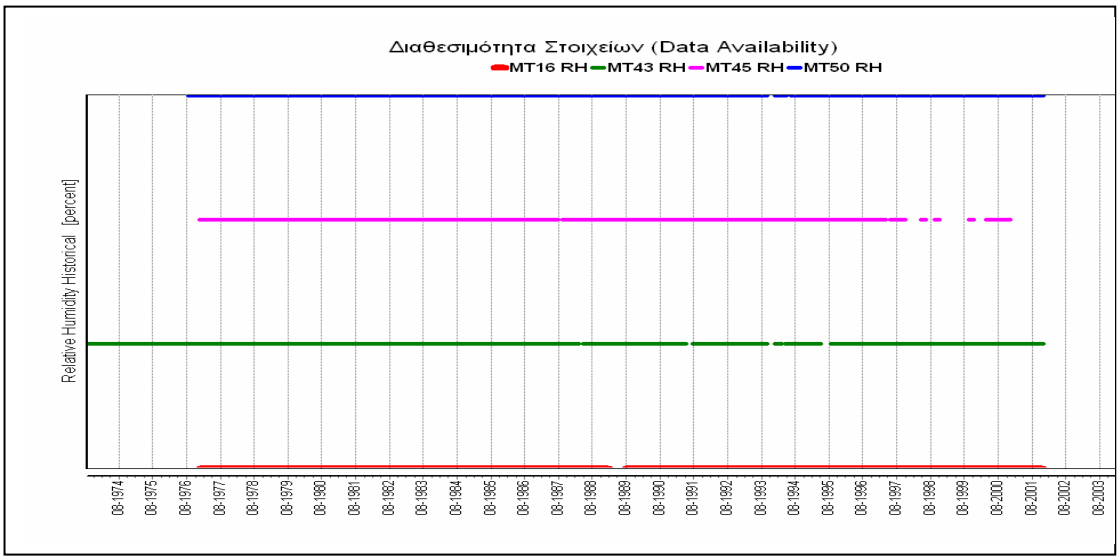


Εικόνα 2-14 Σχέση μέσης ετήσιας Θερμοκρασίας - Υψομέτρου

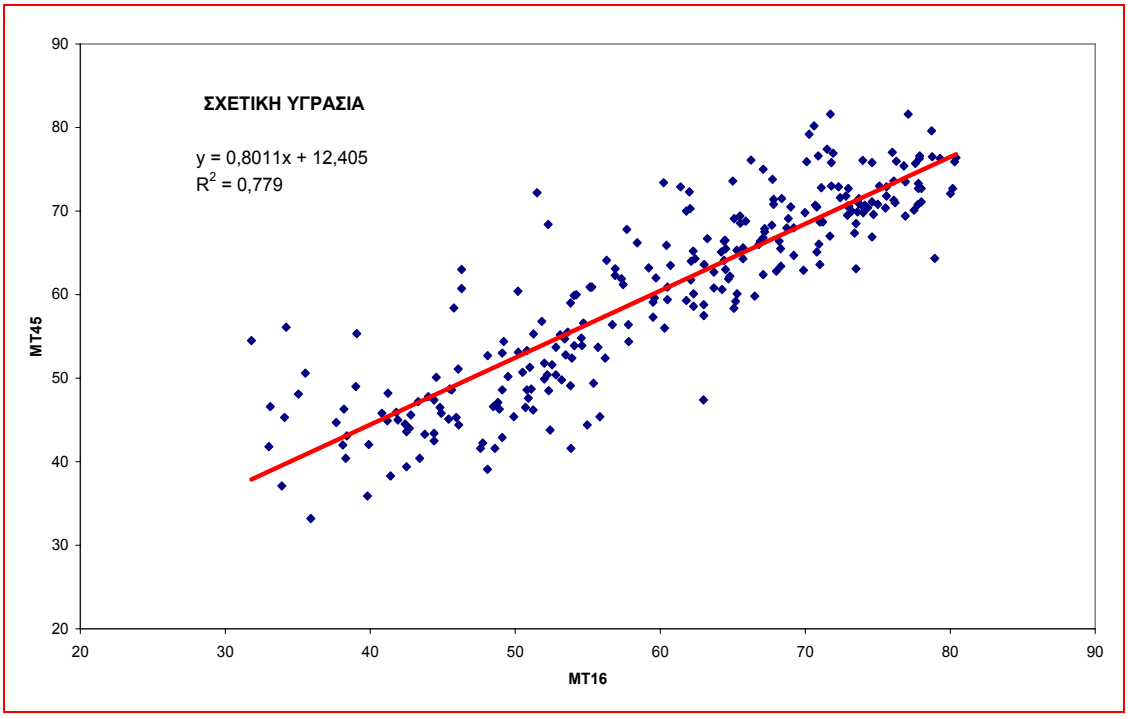
Σχετική Υγρασία

Στην περιοχή μελέτης υπάρχουν 4 σταθμοί καταγραφής της σχετικής υγρασίας (όλοι της ΕΜΥ) και τα αρχεία τους ήσαν πλήρη με μικρές εξαιρέσεις για το διάστημα 1ος 1977 – 12ος 2001. Μόνο ο σταθμός MT43 ήταν πλήρης για το διάστημα 9ος 1973- 12ος 2001 (Εικόνα 2-1). Η σχετική υγρασία εμφανίζει ισχυρή συσχέτιση (r=0.84 - 0.88) και η συμπλήρωση των σταθμών έγινε με γραμμική παλινδρόμηση. Δεν έγινε διόρθωση λόγω υψομετρικής διαφοράς μεταξύ των σταθμών διότι η σχετική υγρασία δεν επηρεάζεται σημαντικά από

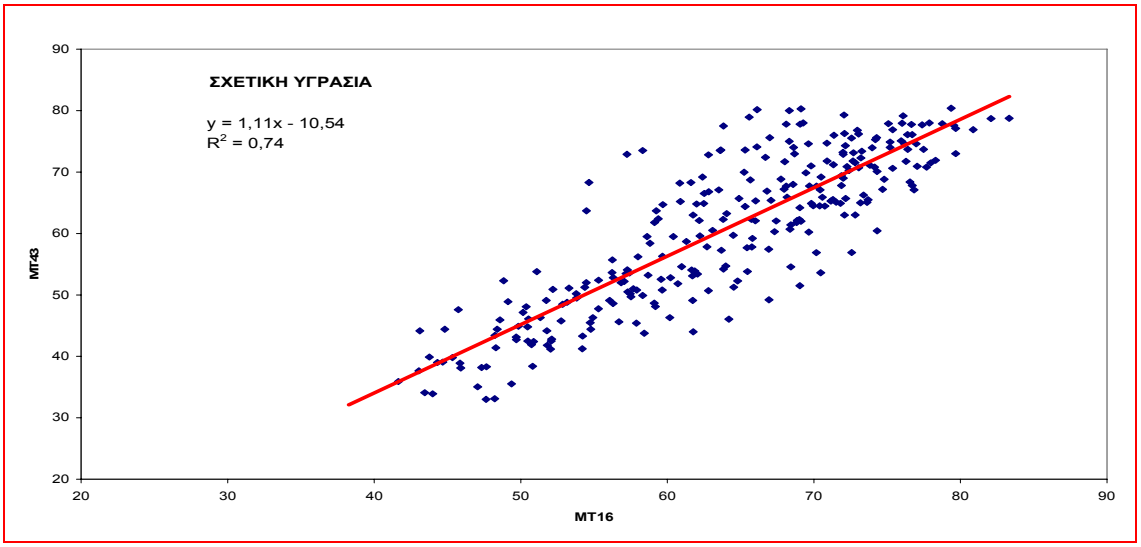
το υψόμετρο. Στις Εικόνα 2-16 μέχρι Εικόνα 2-22 δίνονται οι συσχετίσεις και τα γραφήματα της συμπλήρωσης επέκτασης των στοιχείων σχετικής υγρασίας.



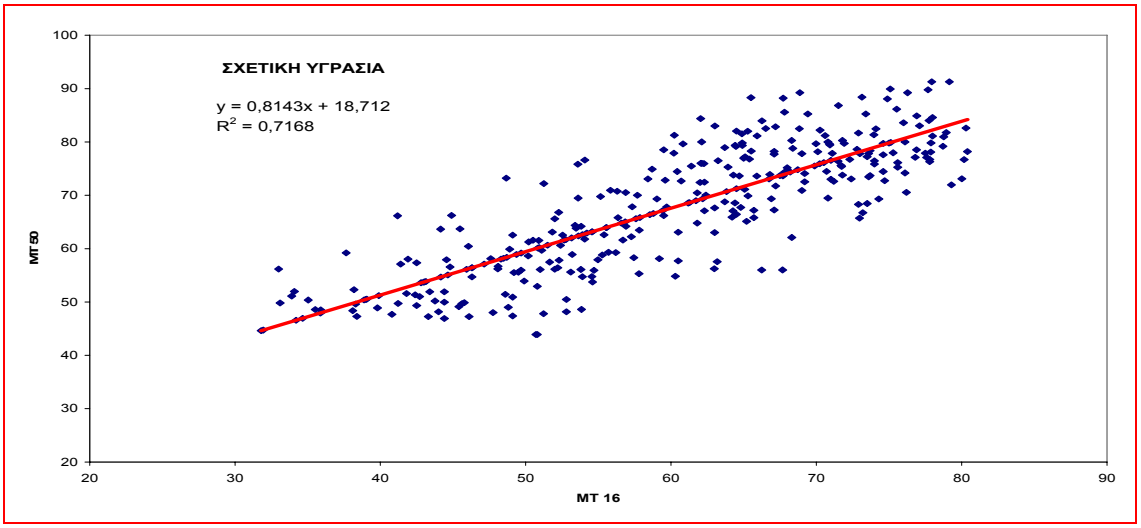
Εικόνα 2-15 Διαθεσιμότητα δεδομένων σχετικής υγρασίας



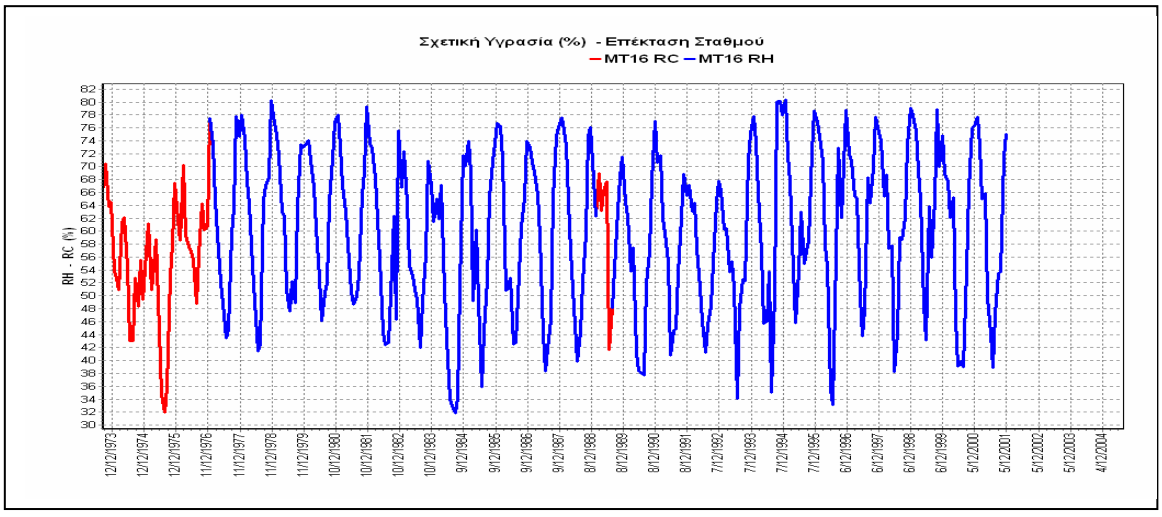
Εικόνα 2-16 Συσχέτιση μηνιαίων τιμών σχετικής υγρασίας MT45- MT16



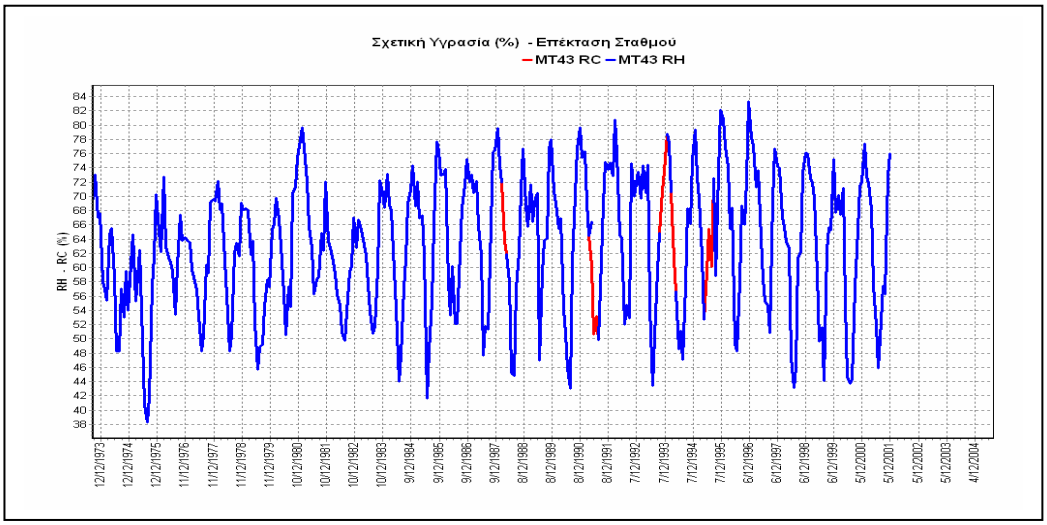
Εικόνα 2-17 Συσχέτιση μηνιαίων τιμών σχετικής υγρασίας MT43- MT16



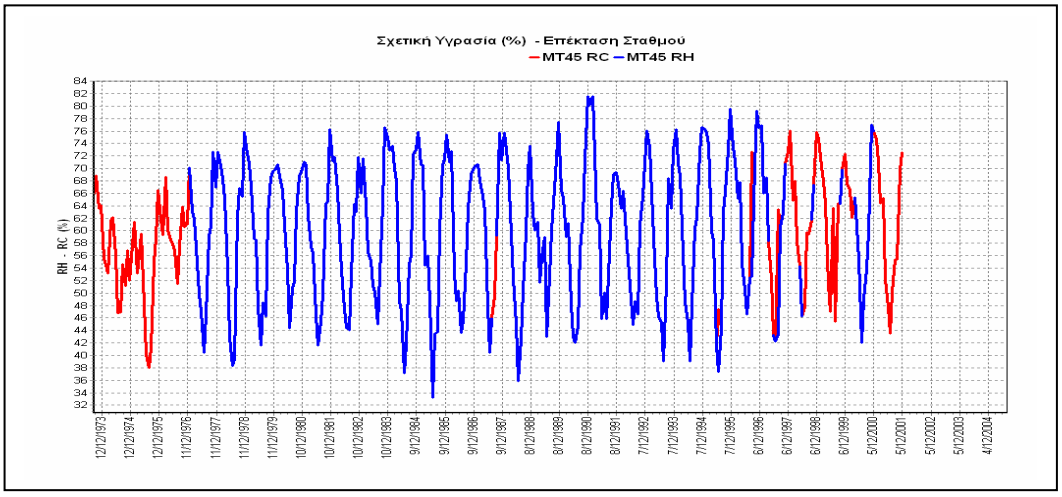
Εικόνα 2-18 Συσχέτιση μηνιαίων τιμών σχετικής υγρασίας MT50- MT16



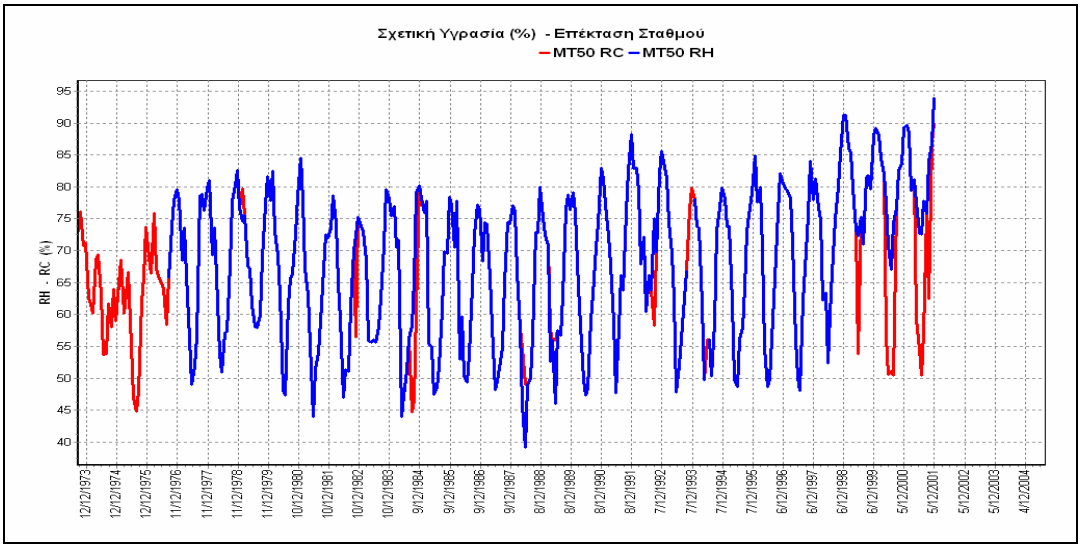
Εικόνα 2-19 Επέκταση στοιχείων μέσης μηνιαίας σχετικής υγρασίας σταθμού MT16



Εικόνα 2-20 Επέκταση στοιχείων μέσης μηνιαίας σχετικής υγρασίας σταθμού MT43



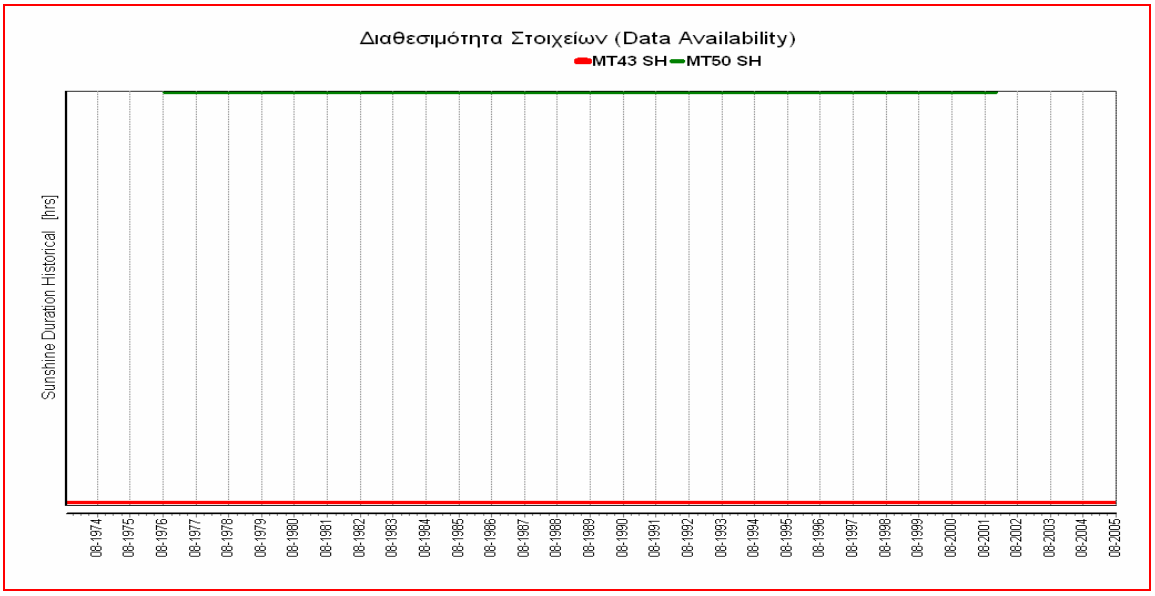
Εικόνα 2-21 Επέκταση στοιχείων μέσης μηνιαίας σχετικής υγρασίας σταθμού MT45



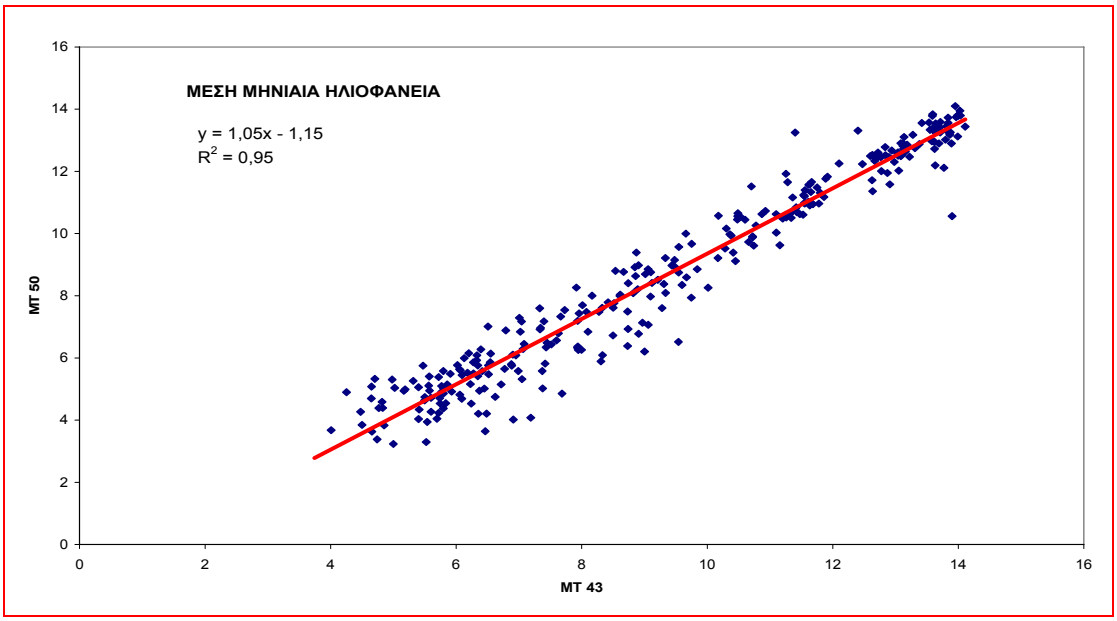
Εικόνα 2-22 Επέκταση στοιχείων μέσης μηνιαίας σχετικής υγρασίας σταθμού MT50

Ηλιοφάνεια

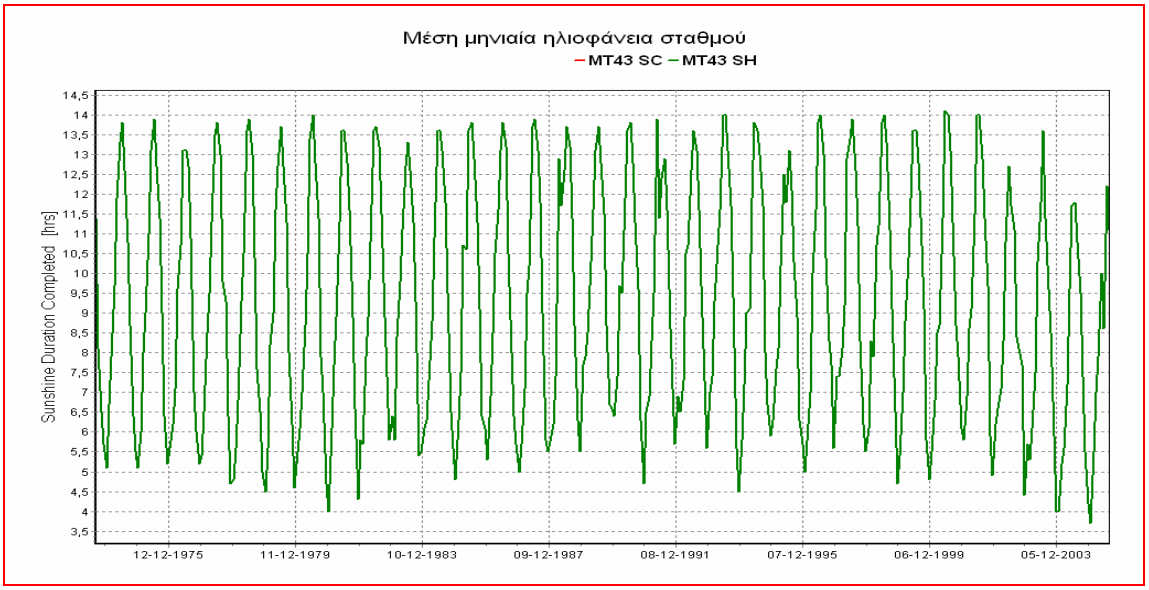
Υπάρχουν 2 σταθμοί (MT43, MT50) με στοιχεία ηλιογράφου από τους οποίους αποκτήθηκαν οι συνολικές ώρες ηλιοφάνειας ανά μήνα. Ο σταθμός MT50 παρουσίαζε κενά κατά την περίοδο 9ος 1973- 1ος 1976 (Εικόνα 2-23) τα οποία συμπληρώθηκαν από τον σταθμό MT43 με γραμμική συσχέτιση . Ο συντελεστής γραμμικής συσχέτισης είναι σημαντικός (r= 0.97) (Εικόνα 2-24). Τα διαγράμματα της μέσης μηνιαίας ηλιοφάνειας δίνονται στην Εικόνα 2-25 και Εικόνα 2-26



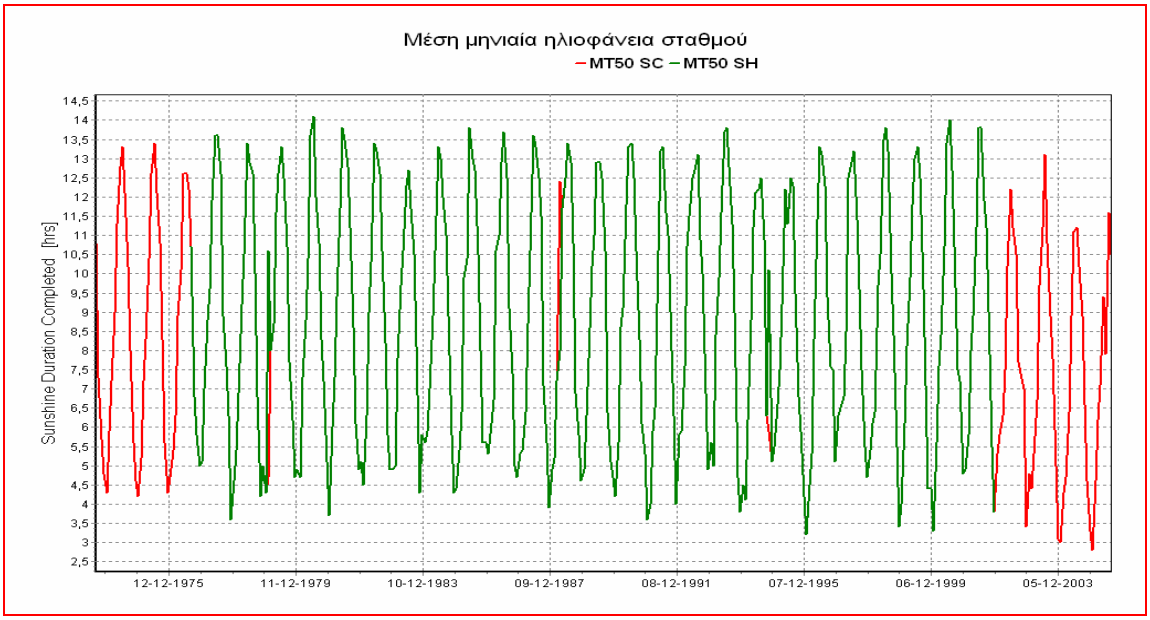
Εικόνα 2-23 Διαθεσιμότητα δεδομένων ηλιοφάνειας



Εικόνα 2-24 Συσχέτιση μηνιαίων τιμών ηλιοφάνειας σταθμών MT43- MT50



Εικόνα 2-25 Διάγραμμα μέσης μηνιαίας ηλιοφάνειας σταθμού MT43

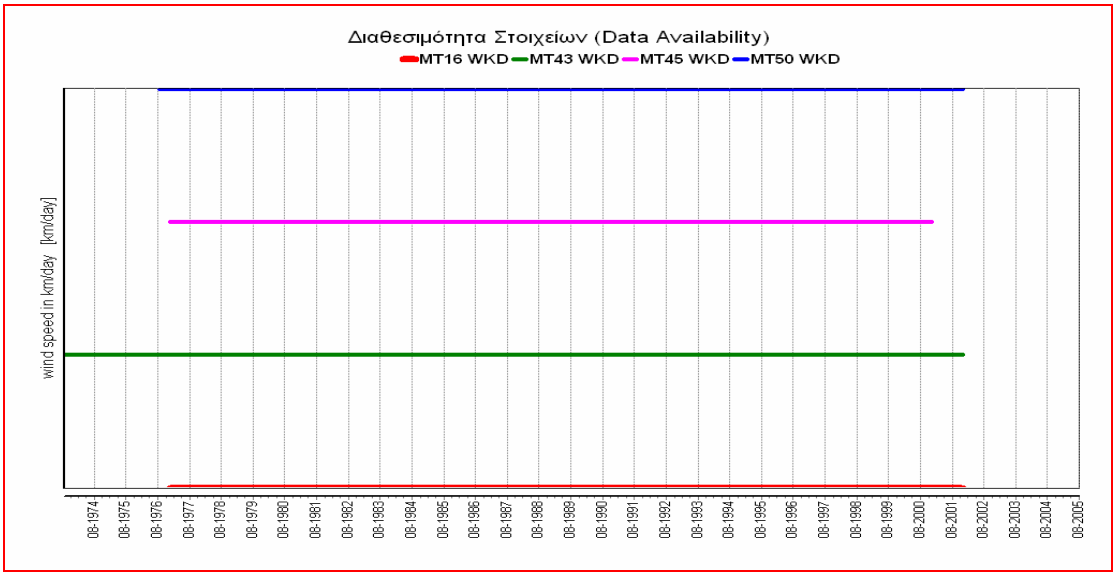


Εικόνα 2-26 Επέκταση στοιχείων μέσης μηνιαίας ηλιοφάνειας σταθμού MT50

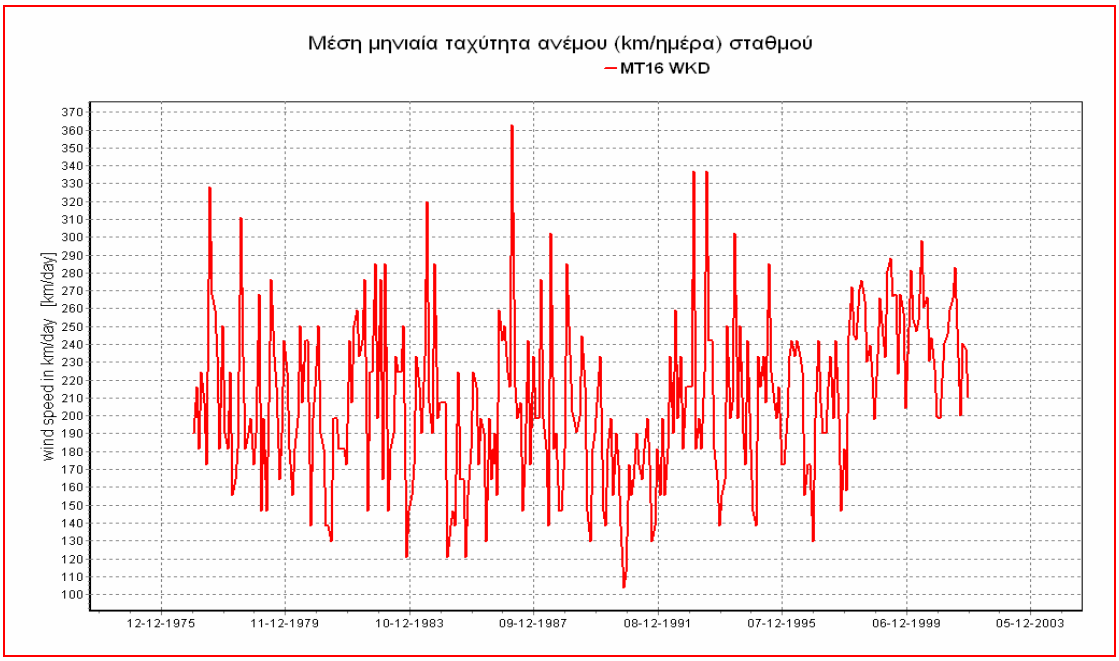
Ταχύτητα ανέμου

Υπάρχουν 4 σταθμοί καταγραφής της ταχύτητας του ανέμου στην περιοχή μελέτης (MT16, MT43, MT45 και MT50). Αντίθετα με τις άλλες μετεωρολογικές μεταβλητές, ο άνεμος επηρεάζεται εξαιρετικά έντονα από τις επικρατούσες τοπικές συνθήκες στην περιοχή του σταθμού (τοπογραφία, θέση σταθμού σε σχέση με το ανάγλυφο και το θαλάσσιο μέτωπο, τοπική κυκλοφορία αερίων μαζών) και η συσχέτιση μεταξύ ακόμα και γειτονικών σταθμών είναι μη ικανοποιητική και κάθε συμπλήρωση βασισμένη σε αυτήν παρακινδυνευμένη. Στα διαθέσιμα δεδομένα, δεν απαιτήθηκαν συμπληρώσεις καθώς τα αρχεία

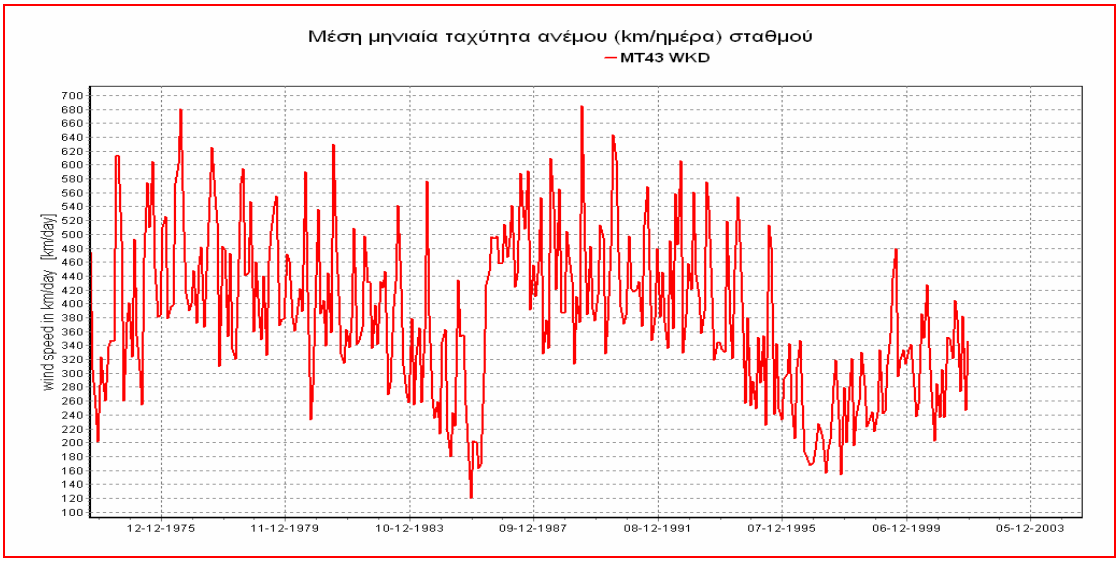
όλων των σταθμών ήταν πλήρη, και καλύπτουν το μεγαλύτερο μέρος της περιόδου μελέτης (βλέπε διαθεσιμότητα στοιχείων (Εικόνα 2-27). Όμως λόγω της μη σημαντικής συσχέτισης του, σε αντίθεση με τις άλλες μετεωρολογικές παραμέτρους, το δείγμα της ταχύτητας του ανέμου δεν επεκτάθηκε. Τα διαγράμματα ταχύτητας του ανέμου παρατίθενται στην Εικόνα 2-28, μέχρι Εικόνα 2-31



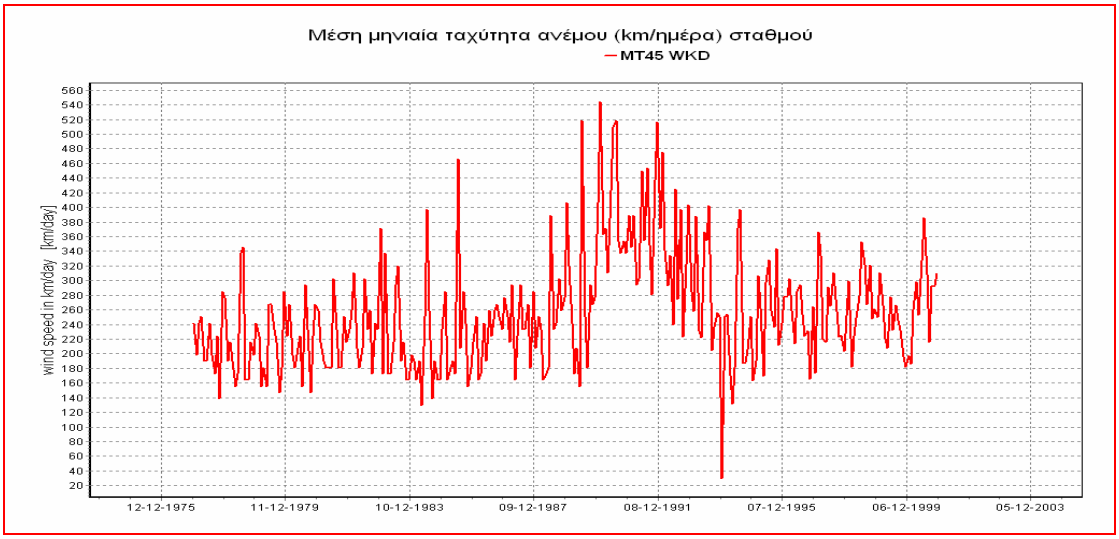
Εικόνα 2-27 Διαθεσιμότητα δεδομένων ταχύτητα ανέμου



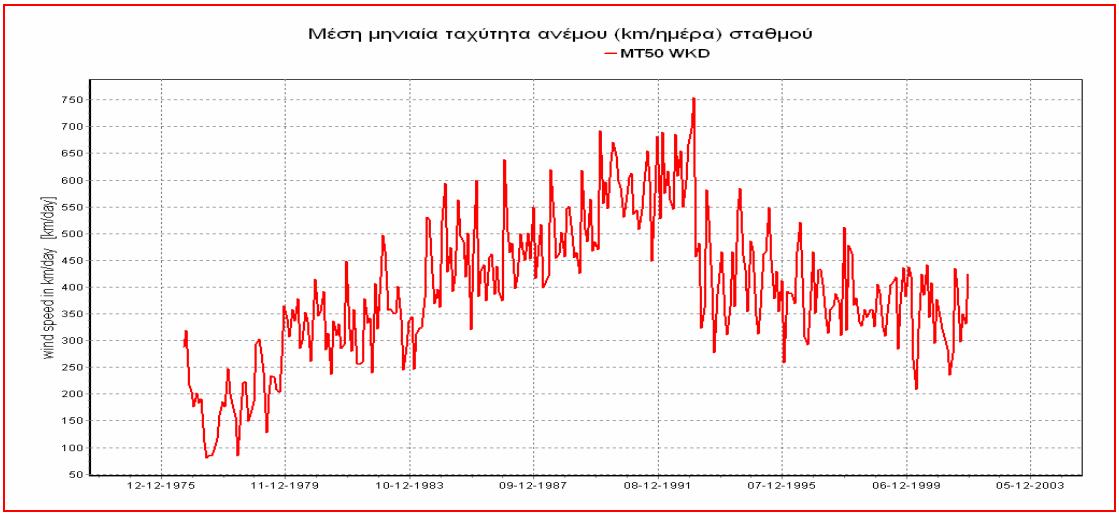
Εικόνα 2-28 Διάγραμμα μέσης μηνιαίας ταχύτητας ανέμου (km/day) σταθμού MT16



Εικόνα 2-29 Διάγραμμα μέσης μηνιαίας ταχύτητας ανέμου (km/day) σταθμού MT43



Εικόνα 2-30 Διάγραμμα μέσης μηνιαίας ταχύτητας ανέμου (km/day) σταθμού MT45



Εικόνα 2-31 Διάγραμμα μέσης μηνιαίας ταχύτητας ανέμου (km/day) σταθμού MT50

2.2 Δυνητική εξατμισοδιαπνοή

Υπολογισμός Δυνητικής Εξατμισοδιαπνοής

Στη μελέτη του υδρολογικού ισοζυγίου σε μια λεκάνη απορροής μας ενδιαφέρει ο υπολογισμός της ολικής εξατμισοδιαπνοής δηλαδή της εξάτμισης από άλλα τα υδάτινα σώματα, το έδαφος, τον πάγος, τη βλάστηση και άλλες επιφάνειες συν τη διαπνοή των φυτών. Η δυνητική εξατμισοδιαπνοή (potential evapotranspiration) ορίζεται ως οι απώλειες σε νερό που πραγματοποιείται κάτω από συνθήκες απεριόριστης διαθεσιμότητας νερού στο έδαφος για τη χρήση του από την βλάστηση ή την εξάτμιση. Υπάρχουν πολλές προσεγγίσεις για τον υπολογισμό της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής και κατά επέκταση της πραγματικής, καμιά όμως από αυτές δεν είναι γενικά εφαρμόσιμη για όλες τους σκοπούς και όλες τις περιοχές.

Η εξάτμιση και η εξατμισοδιαπνοή μιας λεκάνης μπορούν να εκτιμηθούν είτε με απλές εμπειρικές είτε με ημιεμπειρικές σχέσεις και με βάση τις διαθέσιμες κλιματολογικές πληροφορίες. Οι ημιεμπειρικές σχέσεις στηρίζονται στη φυσική ανάλυση και προσδιοριστικές συσχετίσεις μερικών μόνο παραγόντων και συνήθως εφαρμόζουν ισοζύγια μάζας ή ενέργειας.

- Οι σχέσεις μεταφοράς μάζας (αεροδυναμικές) στηρίζονται στο ισοζύγιο μεταξύ εξάτμισης και τυρβώδους ροής μεταφοράς υδρατμών από την εξατμίζουσα επιφάνεια στην ατμόσφαιρα.
- Οι σχέσεις ενεργειακού ισοζυγίου εξετάζουν το ενεργειακό ισοζύγιο στην εξατμίζουσα εδαφική ή υδάτινη επιφάνεια.

Συνδυασμό των δύο αυτών μεθόδων αποτελεί η σχέση Penman, η οποία εκτιμά την εξάτμιση από την ελεύθερη επιφάνεια ύδατος με κλιματολογικές παραμέτρους, μετρημένες σε ύψος 2m από την εξατμίζουσα επιφάνεια.

Η εξάτμιση μπορεί επίσης να εκτιμηθεί απευθείας από τις μετρήσεις των εξατμισιμέτρων.

Διάφοροι τρόποι και μεθοδολογίες έχουν αναπτυχθεί για τον υπολογισμό της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής (εξατμισοδιαπνοή αναφοράς), οι πλέον χρησιμοποιούμενες είναι:

1. Penman
    - Standard
    - Standard κατά FAO
    - Modified (Τροποποιημένη)
2. FAO pan evaporation (Μέθοδος Εξατμισιμέτρου λεκάνης, class A pan)
3. Christiansen
4. FAO radiation

5. Makkink radiation
6. Jensen-Haise
7. Blaney-Criddle
8. Mass Transfer (Μεταφοράς Μάζας)

Οι αποκλίσεις των τιμών μεταξύ των διαφόρων μεθόδων είναι μεγάλες και βρέθηκαν συχνά να υπερβαίνουν τα αποδεκτά ύψη τιμών που υποδείκνυε ο FAO, ήτοι ποσοστά μεγαλύτερα από 20%. Για να αξιολογηθεί η απόδοση αυτών των διαδικασιών εκτίμησης της εξατμισοδιαπνοής κάτω από διαφορετικές κλιματολογικές συνθήκες, μια σημαντική μελέτη ανατέθηκε υπό την επίβλεψη της Committee on Irrigation Water Requirements of the American Society of Civil Engineers. Παράλληλη μελέτη ανατέθηκε από την Ευρωπαϊκή Κοινότητα σε ευρωπαϊκά ερευνητικά ιδρύματα. Και οι δύο μελέτες αξιολόγησαν την απόδοση όλων των μεθόδων με ένα σύνολο επιλεγμένων δεδομένων λυσιμέτρων . Οι συγκριτικές μελέτες μπορούν να συνοψιστούν ως εξής (FAO, 1998. Ch.2:2:):

- Οι μέθοδοι Penman μπορεί να απαιτήσουν τοπική βαθμονόμηση της συνάρτησης του ανέμου για να επιτύχουν ικανοποιητικά αποτελέσματα.
- Οι μέθοδοι ακτινοβολίας εμφανίζουν καλά αποτελέσματα σε υγρά κλίματα, αλλά η απόδοσή τους είναι ακανόνιστη σε ξηρές συνθήκες
- Οι μέθοδοι της θερμοκρασίας παραμένουν εμπειρικές και απαιτούν τοπική βαθμονόμηση για επιτευχθούν ικανοποιητικά αποτελέσματα.
- Οι μέθοδοι της λεκάνης Pan απεικονίζουν σαφώς τις ανεπάρκειες της πρόβλεψης της εξατμισοδιαπνοής καλλιέργειας από την εξάτμιση ελεύθερης επιφάνειας νερού. Η απόδοση τους αποδεικνύεται ακανόνιστη
- Η σχετικά ακριβής και συνεπής απόδοση της προσέγγισης Penman – Monteith και στα ξηρά και στα υγρά κλίματα έχει υποδειχθεί στις παραπάνω μελέτες. Η μέθοδος αυτή συστήνεται ως μόνη πρότυπη μέθοδος.

Από τη δεκαετία του 1970 μέχρι πρόσφατα , η μέθοδος Doorenbos – Pruitt απετέλεσε το διεθνές πρότυπο (πρότυπο FAO) εκτίμησης των υδατικών αναγκών των καλλιεργειών. Στην Ελλάδα θεσμοθετήθηκε από το Υπουργείο Γεωργίας (1992) ως η καθιερωμένη μέθοδος εκτίμησης των υδατικών αναγκών. Στη δεκαετία 1990 έγιναν εκτεταμένες μελέτες υπό τη αιγίδα του FAO και αφού διαπιστώθηκε ότι η μέθοδος υπερεκτιμά την εξατμισοδιαπνοή και το πρότυπο αναθεωρήθηκε. Το νέο αναθεωρημένο πρότυπο στηρίζεται στην εξίσωση Penman – Monteith. Η κλιματολογική εμπειρία στην Ελλάδα δείχνει ότι τα αποτελέσματα της μεθόδου είναι πιο ρεαλιστικά , ενώ αυτό της μεθόδου Doorenbos – Pruitt είναι υπερτιμημένα (Κουτσογιάννης 1999, Τσακίρης 1986).

Επιπλέον, πρόσφατες μελέτες συγκλίνουν ότι για τις κλιματολογικές συνθήκες της Κρήτης, η πλέον ακριβής προσέγγιση υπολογισμού της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής, με βάση τα διαθέσιμα στοιχεία, είναι η μέθοδος τροποποιημένη Penman- Monteith.

Η μέθοδος Penman κατά FAO υπερεκτιμά συστηματικά την εξατμισοδιαπνοή αναφοράς, ενώ τα αποτελέσματα της μεθόδου Εξατμισιμέτρου απεικονίζουν σαφώς τις ανεπάρκειες της παράβλεψης της εξατμισοδιαπνοής καλλιέργειας από την εξάτμιση ελεύθερης επιφάνειας νερού.

Οι μέθοδοι των εξατμισιμέτρων είναι ευαίσθητες στις μικροκλιματικές αλλαγές κάτω από τις οποίες λειτουργούν οι λεκάνες pan καθώς και στην τυποποιημένη συντήρηση του σταθμού. Στην παρούσα εργασία αντιμετωπίζονται με επιφύλαξη και δεν χρησιμοποιούνται περαιτέρω παρά μόνο ενδεικτικά και για διασταύρωση με τα αποτελέσματα της μεθόδου τροποποιημένη Penman- Monteith. Σημαντικοί παράγοντες, που συντελούν σε αυτή την απόφαση είναι ότι ο μη τυποποιημένος τύπος εξατμισιμέτρων (τα εξατμισήμετρα της περιοχής μελέτης δεν είναι όλα τύπου Class A) και επίσης η έλλειψη πλήρους αρχείου για πολλά εξατμισίμετρα.

Τα παραπάνω αναφερόμενα είναι και σε συμφωνία με τεχνική έκθεση του FAO που παρατίθεται στο Irrigation and drainage, paper 56 (1998), όπου η μέθοδος Penman τροποποιημένη κατά FAO εμφανίζεται να παρουσιάζει σημαντικά μειονεκτήματα, καθώς απαιτεί τοπική βαθμονόμηση της συνάρτησης του ανέμου για να εξαχθούν ικανοποιητικά αποτελέσματα, ενώ συχνά υπερεκτιμά την υπολογιζόμενη εξατμισοδιαπνοή αναφοράς. Στην ίδια έκθεση αναφέρεται ότι η μέθοδος Εξατμισιμέτρου λεκάνης, Class A, μειονεκτεί ως μέθοδος υπολογισμού της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς καθώς η φυτική εξατμισοδιαπνοή εκτιμάται μέσω μετρήσεων εξάτμισης, που όμως αναφέρονται σε ελεύθερη επιφάνεια ύδατος. Επιπρόσθετα, σημειώνεται ότι η ακρίβεια των αποτελεσμάτων αυτής της μεθόδου εξαρτάται από τις μικροκλιματικές συνθήκες κάτω από τις οποίες λειτουργεί το εξατμισίμετρο καθώς επίσης και από το καθεστώς συντήρησης του οργάνου. Η ίδια έκθεση αναφέρει ότι η λειτουργία των εξατμισιμέτρων συχνά αποδεικνύεται προβληματική και οι εκτιμήσεις τους ενέχουν σημαντικό ποσοστό λάθους.

Επίσης, η μέθοδος Penman κατά FAO εμφανίζεται να υπερεκτιμά την εξατμισοδιαπνοή αναφοράς και στην μελέτη «Εξατμισοδιαπνοή και ανάγκες σε νερό των κυριότερων καλλιεργειών του Ν.Χανίων» (Μπερτάκη, Μ., Χαρτζουλάκης, Κ., και Κερκίδης, Π., Πρακτικά 8^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου Ελληνικής Υδροτεχνικής Ένωσης, 2000)

Από ανάλυση των αποτελεσμάτων των διαφόρων μεθόδων κρίθηκε ότι η μέθοδος τροποποιημένη Penman - Monteith δίδει τα πιο αξιόπιστα αποτελέσματα για την περιοχή μελέτης και με βάση τα διαθέσιμα στοιχεία.

Μεθοδολογία και δεδομένα

Η εξατμισοδιαπνοή αναφοράς στην περιοχή μελέτης υπολογίστηκε σύμφωνα με την μέθοδο Penman και με την τροποποιημένη μέθοδο Penman - Monteith, ενώ έγινε σύγκριση των αποτελεσμάτων με τις τιμές εξατμισοδιαπνοής που έδωσε η μέθοδος εξατμισιμέτρου λεκάνης, Class A pan, κατά FAO.

Περιγραφή μεθόδων

Μέθοδος Penman

Η εξατμισοδιαπνοή αναφοράς ETo υπολογίζεται από τη σχέση:

$$ETo = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} * Rn + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} * f(u) * (e_s - e_a)$$

όπου:

- ETo= η εξατμισοδιαπνοή αναφοράς σε mm/day
- Δ= η κλίση της καμπύλης κορεσμένων υδρατμών σε θερμοκρασία t (mb/^{o}C)
- γ= η ψυχρομετρική σταθερά (mb/^{o}C)
- Rn= η καθαρή ακτινοβολία (mm/day)
- f(u)= η συνάρτηση ανέμου
- e_s= η πίεση κορεσμού υδρατμών σε μέση θερμοκρασία αέρα (mb)
- e_a= η πραγματική πίεση υδρατμών (mb)

Κλίση της καμπύλης πίεσης υδρατμών – θερμοκρασίας

$$\Delta = \frac{e_s}{T^2}\left(6790.5 - 5.02808 * T + 174209 * 10^{\frac{-1302.88}{T}}\right)$$

όπου:

- T=t+273.16 (^{o}Kelvin)
- t= θερμοκρασία αέρα (^{o}C)

Ψυχρομετρική σταθερά

γ=0.00066*p*(1+0.00115*t)

όπου:

p= η ατμοσφαιρική πίεση (mb)

Πίεση αέρα

$p=1013-0.1152*z+5.44*10^{-6}*z^2$ (mb)

όπου:

- z= το υψόμετρο του σταθμού (m)

Ακτινοβολία

Η καθαρή ακτινοβολία μπορεί να υπολογιστεί από την παρακάτω σχέση:

Rn=Rns-Rnl

όπου:

- Rns= καθαρή μικρού μήκους κύματος ακτινοβολία
- Rnl=καθαρή μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία

Rns= (1-α)*Rs

όπου:

- α= συντελεστής ανάκλασης (0.25)
- Rs= μικρού μήκους κύματος ακτινοβολία ($MJm^{-2}d^{-1}$)

Ο συντελεστής ανάκλασης παίρνει τιμές που παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα.

Είδος Επιφάνειας	**Εύρος**
Ελεύθερη επιφάνεια ύδατος	0.08
Ψηλό δάσος	0.11 - 0.16
Ψηλά καλλιεργούμενα φυτά	0.15 - 0.16
Δημητριακά	0.20 - 0.26
Χαμηλά καλλιεργούμενα φυτά	0.20 - 0.26
Γρασίδια και βοσκοτόπια	0.20 - 0.26
Γυμνό έδαφος	0.10 (υγρό) - 0.35 (ξηρό)
Χιόνι και πάγος	0.20 (παλαιό) - 0.80 (νέο)

$Rs=Ra*(a_1+b_1*n/N)$

όπου:

- Ra= ακτινοβολία εκτός γήινης σφαίρας [$W*m^2$] (Συνάρτηση του γεωγραφικού πλάτους και της χρονικής περιόδου)
- n/N= ο λόγος της πραγματικής προς τη μέγιστη διάρκεια ηλιοφάνειας (Συνάρτηση του γεωγραφικού πλάτους και της χρονικής περιόδου)
- a_1= κλάσμα της έξω-γήινης ακτινοβολίας σε νεφελώδεις μέρες (0.25)
- a_1+b_1= κλάσμα της έξω-γήινης ακτινοβολίας σε διαυγείς μέρες (0.75)

Πίνακ. 2-1 ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΕΚΤΟΣ ΓΗΙΝΗΣ ΣΦΑΙΡΑΣ (Ra) ΕΚΦΡΑΣΜΕΝΗ ΣΕ ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΕΞΑΤΜΙΣΗ mm/ημέρα (Β. ΗΜΙΣΦΑΙΡΙΟ)												
Γ. ΠΛΑΤΟΣ	**ΙΑΝ**	**ΦΕΒ**	**ΜΑΡ**	**ΑΠΡ**	**ΜΙΑ**	**ΙΟΥΝ**	**ΙΟΥΛ**	**ΑΥΓ**	**ΣΕΠ**	**ΟΚΤ**	**ΝΟΕ**	**ΔΕΚ**
35^{O}	7,6	9,6	12,2	14,7	16,4	17,2	16,8	15,5	13,2	10,7	8,2	7,0

Πίνακ. 2-2 ΜΕΣΕΣ ΗΜΕΡΗΣΙΕΣ ΤΙΜΕΣ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΠΙΘΑΝΗΣ ΔΙΑΡΚΕΙΑΣ ΗΛΙΟΦΑΝΕΙΑΣ ΣΕ ΩΡΕΣ (N) ΣΤΟ Β. ΗΜΙΣΦΑΙΡΙΟ ΜΕΣΗ												
Γ. ΠΛΑΤΟΣ	**ΙΑΝ**	**ΦΕΒ**	**ΜΑΡ**	**ΑΠΡ**	**ΜΙΑ**	**ΙΟΥΝ**	**ΙΟΥΛ**	**ΑΥΓ**	**ΣΕΠ**	**ΟΚΤ**	**ΝΟΕ**	**ΔΕΚ**
35^{O}	10,1	11,0	11,9	13,1	14,0	14,5	14,3	13,5	12,4	11,3	10,3	9,8

$Rnl = \sigma*T^4*(a_2-b_2\sqrt{e_a})*(a_3+b_3*n/N)$

όπου:

- σ= η σταθερά Stefan-Boltzman ($\sigma=2*10^{-9}$)
- a_2, b_2= σταθερές στον όρο των υδρατμών με τιμές 0.34 και 0.044 αντίστοιχα κατά Doorenbos and Pruitt (1977), & υπουργείο γεωργίας (1992) (οι αυθεντικές τιμές κατά Penman είναι 0,56 και 0,08 αντίστοιχα.
- a_3, b_3= σταθερές στον όρο της ακτινοβολίας με τιμές 0.10 και 0.90 αντίστοιχα κατά Penman. (προτείνονται επίσης κατά Brutsaert, 1982, οι τιμές 0,2 και 0,80 αντίστοιχα .

Συνάρτηση ανέμου

$f(u)=0.26*(1+U_{24}/100)$

όπου:

- U_{24}= ταχύτητα ανέμου 24ώρου (Km/day), μετρημένη σε ύψος 2 m.

Πίεση υδρατμών (e_s-e_a)

Η πίεση κορεσμού υδρατμών es υπολογίζεται από τον τύπο των Goff-Gratch (e_{gg}), ενώ η πραγματική πίεση υδρατμών μπορεί να υπολογιστεί από τους παρακάτω τύπους ανάλογα με τα διαθέσιμα κλιματολογικά δεδομένα.

- $e_a=e_s*Rh/100$
- $e_a= e_s(t_{wb})-\gamma*(t_{db}-t_{wb})$
- $e_a=e_s*(t_{dew})$

όπου:

- Rh= η μέση σχετική υγρασία (%)
- t_{wb},t_{db}= θερμοκρασία υγρής και ξηρής λυχνίας (wet bulb και dry bulb)(^{o}C)
- t_{dew}= θερμοκρασία σημείου δρόσου (^{o}C)

Μέθοδος Penman κατά FAO

Ένας διορθωτικός συντελεστής έχει προταθεί στη τυπική μέθοδο Penman για την εξισορρόπηση της επίδρασης των ημερησίων και νυκτερινών μετεωρολογικών συνθηκών

$$ETo_corr = c * ETo = c * \left[\frac{\Delta}{\Delta + \gamma} * Rn + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} * f(u) * (e_s - e_a) \right]$$

- c= διορθωτικός συντελεστής για την εξισορρόπηση της επίδρασης των ημερησίων και νυκτερινών συνθηκών
- $ET_{O\ =(}$ τυπική) μέθοδος Penman

Συντελεστής διόρθωσης

Ο συντελεστής διόρθωσης είναι συνάρτηση της μέγιστης σχετικής υγρασίας, της ηλιακής ακτινοβολίας και του λόγου της ημερήσιας προς τη νυκτερινή ταχύτητα ανέμου. Είναι δε, ιδιαίτερα σημαντικός για νεφελώδεις περιοχές με δυνατούς και ξηρούς ανέμους.

Τροποποιημένη μέθοδος Penman- Monteith

Στην μέθοδο αυτή, σε σχέση με τις επιμέρους εξισώσεις της μεθόδου Penman, έχουν τροποποιηθεί οι παρακάτω εξισώσεις:

Κλίση της καμπύλης πίεσης υδρατμών – θερμοκρασίας

$$\Delta = \frac{4098 * e_s}{(237.3 + T)^2}$$

όπου:

T= t + 273.16 (^{o} Kelvin)

t= θερμοκρασία αέρα (^{o}C)

e_s= η πίεση κορεσμού υδρατμών σε μέση θερμοκρασία αέρα T.

Πίεση κορεσμού υδρατμών, e_s

$$e_s(T) = 0.6108 * \exp\left(\frac{17.27 * T}{T + 237.3}\right)$$

Σε σχέση με την εξίσωση Goff-Gratch και για θερμοκρασίες μεταξύ 0 και 50 ^oC, το προκύπτον λάθος από την παραπάνω εξίσωση είναι μικρότερο του 0. 06%.

Ψυχρομετρική σταθερά

$$\gamma = \frac{c_p * P}{\varepsilon * \lambda}$$

όπου:

c_p=ειδική θερμότητα αέρα (=1.013 KJ/kg/^oC)

p= ατμοσφαιρική πίεση (kPa)

ε= λόγος των μοριακών μαζών των υδρατμών και του ξηρού αέρα (ε=0.622)

λ= η λανθάνουσα θερμότητα εξάχνωσης, η οποία προσδιορίζεται από την παρακάτω σχέση:

λ= 2501-2.361*t, t (^oC)

για 20 ^oC λ=2453.78kj/kg = 2.45 Mj/kg))

Πίεση αέρα

$$P = 101.3 * \left(\frac{T - 0.0065 * z}{T}\right)^{5.256}$$

όπου:

P= ατμοσφαιρική πίεση στο υψόμετρο του σταθμού (kPa)

z= το υψόμετρο του σταθμού (m)

T= μέση θερμοκρασία αέρα (K)

FAO pan evaporation (Μέθοδος Εξατμισιμέτρου λεκάνης, class A pan)

Η μέθοδος αυτή υπολογίζει την εξατμισοδιαπνοή αναφοράς από τις μετρήσεις των εξατμισιμέτρων:

ETo=Kp*Epan

όπου:

- ETo= η εξατμισοδιαπνοή αναφοράς σε mm/day
- Kp= συντελεστής εξατμισίμετρου (FAO, pub. No 24, 1977)
- Epan= η μέση ημερήσια εξάτμιση από το εξατμισίμετρο (mm/day)

Οι τιμές του συντελεστή Kp αναφέρονται σε εξατμισίμετρα Class A (μεταλλικά εξατμισίμετρα επιφανείας, διαμέτρου 121,9 cm και ύψους 25,4 cm, τοποθετημένα σε ύψος 10-20 cm πάνω από το έδαφος). Ο συντελεστής του εξατμισιμέτρου αποτελεί συνάρτηση της μέσης σχετικής υγρασίας, της 24ωρης ταχύτητας του ανέμου και των συνθηκών περιβάλλοντος του οργάνου (Μήκος αναπτύγματος – fetch length).

Γενικά διακρίνονται δύο περιπτώσεις ως προς το περιβάλλον του οργάνου:

1. Το εξατμισίμετρο περιβάλλεται από καλλιεργούμενες εκτάσεις

2. Το εξατμισίμετρο είναι τοποθετημένο σε ξηρή / χέρσα περιοχή αλλά περιβάλλεται σε κάποια απόσταση από αρδευόμενες καλλιέργειες ή από ξηρικές καλλιέργειες .

Στην πρώτη περίπτωση το μήκος αναπτύγματος είναι η απόσταση κατά την κατεύθυνση του ανέμου μεταξύ της καλλιεργούμενης εκτάσεως και του οργάνου. Στην δεύτερη περίπτωση, είναι η απόσταση κατά την κατεύθυνση του ανέμου μεταξύ της ξηρής επιφανείας και του οργάνου.

Απαιτούμενα Δεδομένα

Όπως προκύπτει από την περιγραφή των μεθόδων Penman, και τροποποιημένη Penman- Monteith, απαραίτητα (ελάχιστα) κλιματολογικά στοιχεία για τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς σε μηνιαίο βήμα αποτελούν τα παρακάτω:

1. Οι χρονοσειρές μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας (^{o}C)
2. Οι χρονοσειρές μέσης μηνιαίας σχετικής υγρασίας (%)
3. Οι χρονοσειρές ταχύτητας ανέμου σε ύψος 2m από την εξατμίζουσα επιφάνεια (Km/day)
4. Οι χρονοσειρές του λόγου της πραγματικής προς τη μέγιστη διάρκεια ηλιοφάνειας (-)

Για την εφαρμογή της μεθόδου Εξατμισιμέτρου λεκάνης, class A pan, απαραίτητα στοιχεία αποτελούν:

1. Οι χρονοσειρές των μετρήσεων του οργάνου
2. Οι χρονοσειρές μέσης μηνιαίας σχετικής υγρασίας (%)
3. Οι χρονοσειρές ταχύτητας ανέμου σε ύψος 2m από την εξατμίζουσα επιφάνεια (Km/day)
4. Η γνώση των χαρακτηριστικών και του περιβάλλοντος του οργάνου

Με βάση τις χρονοσειρές της μέσης μηνιαίας σχετικής υγρασίας (%), τις χρονοσειρές της ταχύτητας ανέμου σε ύψος 2m από την εξατμίζουσα επιφάνεια (Km/day), το μήκος αναπτύγματος και την περίπτωση (1 ή 2) στην οποία ανήκει το εν λόγω εξατμισίμετρο και τον Πίνακ. 2-1 που ακολουθεί, υπολογίζεται ο συντελεστή Kp. Για τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς με εφαρμογή της μεθόδου Εξατμισιμέτρου λεκάνης, class A pan, το μήκος αναπτύγματος ελήφθη ίσο με 1000m και το περιβάλλον του οργάνου θεωρήθηκε όπως στην 1η περίπτωση.

Πίνακ. 2-3 Συντελεστές Εξατμισίμετρου (Kpan) για τύπο A Class για διαφορετική κάλυψη εδάφους και επίπεδα μέσης σχετικής υγρασίας και 24ωρης ταχύτητας ανέμου (FAO, 1977)

Class A	**1η Περίπτωση: Εξατμισίμετρο σε καλλιεργούμενη έκταση με χαμηλή φυτοκάλυψη**				**2η Περίπτωση: Εξατμισίμετρο σε ξηρή χέρσα περιοχή**			
RH mean %		Χαμηλή (<40)	Μέση (40-70)	Υψηλή (>70)		Χαμηλή (<40)	Μέση (40-70)	Υψηλή (>70)
Ταχύτητα Ανέμου (Km/d)	Ανάπτυγμα κατά την κατεύθυνση του ανέμου της καλλιεργούμενης έκτασης σε m				Ανάπτυγμα κατά την κατεύθυνση του ανέμου της χέρσας έκτασης σε m			
Χαμηλή <175	1	0.55	0.65	0.75	1	0.70	0.80	0.85
	10	0.65	0.75	0.85	10	0.60	0.70	0.80
	100	0.70	0.80	0.85	100	0.55	0.65	0.75
	1000	0.75	0.85	0.85	1000	0.50	0.60	0.70
Μέτρια 175-425	1	0.50	0.60	0.65	1	0.65	0.75	0.80
	10	0.60	0.70	0.75	10	0.55	0.65	0.70
	100	0.65	0.75	0.80	100	0.50	0.60	0.65
	1000	0.70	0.80	0.80	1000	0.45	0.55	0.60
Υψηλή 425-700	1	0.45	0.50	0.60	1	0.60	0.65	0.70
	10	0.55	0.6	0.65	10	0.50	0.55	0.65
	100	0.60	0.65	0.70	100	0.45	0.50	0.60
	1000	0.65	0.70	0.75	1000	0.40	0.45	0.55
Πολύ υψηλή >700	1	0.4	0.45	0.50	1	0.50	0.60	0.65
	10	0.45	0.55	0.60	10	0.45	0.50	0.55
	100	0.50	0.60	0.65	100	0.40	0.45	0.50
	1000	0.55	0.60	0.65	1000	0.35	0.40	0.45

Αποτελέσματα δυνητικής εξατμισοδιαπνοής στη λεκάνη της Μεσαράς

Η εξατμισοδιαπνοή αναφοράς (ETo) υπολογίστηκε στη περιοχή μελέτης, σε 7 σημεία, με μηνιαίο βήμα, με τη χρήση των μεθόδων Penman και την τροποποιημένη Penman-Monteith. Τα σημεία υπολογισμού καθώς και οι χρονοσειρές, που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό της, παρουσιάζονται αναλυτικά στον Πίνακ. 2-4.

Πίνακ. 2-4 Θέσεις υπολογισμού εξατμισοδιαπνοής αναφοράς και σταθμοί προέλευσης μετεωρολογικών δεδομένων (Penman, Penman-Monteith μέθοδο)

	Εξατμισοδιαπνοή Αναφοράς	Θερμοκρασία	Σχετική υγρασία	Ταχύτητα ανέμου	Ηλιοφάνεια
1	Γόρτυς ΕΜΥ (ΜΤ16)	Γόρτυς ΕΜΥ	Γόρτυς ΕΜΥ	Γόρτυς ΕΜΥ	Τυμπάκιον ΕΜΥ
2	Γέργερη (ΜΤ15)	Γέργερη ΥΕΒ	Ζαρός ΕΜΥ	Ζαρός ΕΜΥ	Τυμπάκιον ΕΜΥ
3	Πόμπια (ΜΤ35)	Πόμπια ΥΕΒ	Γόρτυς ΕΜΥ	Γόρτυς ΕΜΥ	Τυμπάκιον ΕΜΥ
4	Πραιτώρια ΥΕΒ (ΜΤ37)	Πραιτώρια ΥΕΒ	Καστέλλι ΕΜΥ	Καστέλλι ΕΜΥ	Καστέλλιον ΕΜΥ
5	Καστέλλι ΥΕΒ/ΕΜΥ (ΜΤ23/ΜΤ50)	Καστέλλιον ΥΕΒ	Καστέλλι ΕΜΥ	Καστέλλι ΕΜΥ	Καστέλλιον ΕΜΥ
6	Τυμπάκι ΕΜΥ (ΜΤ43)	Τυμπάκιον ΕΜΥ	Τυμπάκι ΕΜΥ	Τυμπάκι ΕΜΥ	Τυμπάκιον ΕΜΥ
7	Ζαρός ΕΜΥ (ΜΤ45)	Ζαρός ΕΜΥ	Ζαρός ΕΜΥ	Ζαρός ΕΜΥ	Τυμπάκιον ΕΜΥ

Η εφαρμογή της μεθόδου Εξατμισιμέτρου λεκάνης, class A pan (FAO-Pan μέθοδος), έδωσε 7 εκτιμήσεις σε αντίστοιχες θέσεις οργάνων, που παρουσιάζονται στον Πίνακ. 2-5. Τα χαρακτηριστικά των εξατμισιμέτρων καθώς και οι συντελεστές για την αναγωγή τους σε τύπο Class A παρατίθενται στον Πίνακ. 2-6. Οι συντελεστές αναγωγής ελήφθησαν από την μελέτη "Study of Water Resources and their Exploitation for Irrigation in Eastern Crete", Technical note No 4, Evaporation in Southern Crete, FAO/SF:166/GRE, Ηράκλειον, Μάρτιος 1969.

Πίνακ. 2-5 Θέσεις εξατμισιμέτρων και σταθμοί προέλευσης κλιματολογικών δεδομένων (FAO-Pan μέθοδος)

	Εξάτμιση	Μέση σχετική υγρασία	Ταχύτητα ανέμου
1	Γέργερη (ΜΤ15)	Ζαρός ΕΜΥ	Ζαρός ΕΜΥ
2	Τυμπάκι ΕΜΥ (ΜΤ31)	Καστέλλιον ΕΜΥ	Καστέλλιον ΕΜΥ
3	Πραιτώρια (ΜΤ 37)	Καστέλλιον ΕΜΥ	Καστέλλιον ΕΜΥ
4	Ασήμι (ΜΤ8)	Καστέλλιον ΕΜΥ	Καστέλλιον ΕΜΥ
5	Αγ. Βαρβάρα (ΜΤ1)	Ζαρός ΕΜΥ	Ζαρός ΕΜΥ
6	Καστέλλιον-ΥΕΒ (ΜΤ23)	Καστέλλιον-ΕΜΥ	Καστέλλιον-ΕΜΥ
7	Πόμπια (ΜΤ35)	Γόρτυς	Γόρτυς

Πίνακ. 2-6 Χαρακτηριστικά εξατμισιμέτρων και συντελεστές μετατροπής σε Class A (FAO, 1969)

Σταθμός	Διάμε-τρος	Βά-θος	Τύπος	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ
Αγία Βαρβάρα	0.9	0.3	επιφανειακό	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97
Πόμπια	0.9	0.3	επιφανειακό	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97
Πραιτώρια	0.9	0.3	επιφανειακό	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97
Μεταξοχώρι	0.9	0.3	επιφανειακό	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97
Γέργερη	1,12	0.38	επιφανειακό	1.00	1.00	1.03	1.05	1.07	1.10	1.15	1.18	1.15	1.08	1.05	1.03
Καστέλι	0.9	0.3	επιφανειακό	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97
Ασήμιον	0.6	0.61	βυθισμένο	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97

Η ανάλυση των αποτελεσμάτων των διαφόρων μεθόδων στην περιοχή της Μεσαράς επιβεβαιώνει τις γενικές παρατηρήσεις (παράγραφο 0) για την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων τους, και ειδικότερα:

1. Η μέθοδος Penman υπερεκτιμά συστηματικά την εξατμισοδιαπνοή σε σχέση με την τροποποιημένη Penman-Monteith κατά συνολικό ετήσιο ποσοστό από 43% μέχρι 67%, ενώ η μέθοδος FAO-Pan την υποεκτιμά σε ποσοστό από 10% μέχρι 27% (Εικόνα 2-33).
2. Οι ετήσιες τιμές που υπολογίσθηκαν με τη μέθοδο Penman εμφανίζουν μεταξύ τους, μη αποδεκτές, μεγάλες διαφορές με ποσοστά της τάξης 8%-65% (Εικόνα 2-35).
3. Οι ετήσιες τιμές που υπολογίσθηκαν με την μέθοδο Penman-Monteith εμφανίζουν μεταξύ τους μικρές, αποδεκτές, διαφορές με ποσοστά της τάξης 8%- 12% (Εικόνα 2-36).
4. Οι ετήσιες τιμές που υπολογίσθηκαν με την μέθοδο FAO-Pan εμφανίζουν μεταξύ τους, μη αποδεκτές, μεγάλες διαφορές με ποσοστά μέχρι της τάξης 5%-26% (Εικόνα 2-34).
5. Η σύγκριση και ανάλυση των χρονοσειρών των εξατμισιμέτρων σαφώς δεικνύει την επίδραση των τοπικών συνθηκών και ενίοτε καταγράφονται αντίθετες τάσεις που δεν συνάδουν με τους γειτονικούς σταθμούς (πχ σημαντική αύξηση των της χρονοσειράς ΜΤ35 για τα έτη 1995-2001, ή σημαντική μείωση της χρονοσειράς ΜΤ15) που αποδίδονται σε σφάλματα μέτρησης.
6. Η μη καταγραφή του περιβάλλοντος του οργάνου και των μεταβολών που έχουν γίνει δημιουργεί αδυναμία στον υπολογισμό του συντελεστή Kp . Στις εφαρμογές χρησιμοποιήθηκε ως «σταθερό» το περιβάλλον του οργάνου όπως η 1η Περίπτωση (Πίνακ. 2-3): Εξατμισίμετρο σε καλλιεργούμενη έκταση με χαμηλή φυτοκάλυψη και με μήκος αναπτύγματος 1000 m.

Στο Παράρτημα 3-2 παρατίθεται το πλήρες αρχείο της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς για όλα τα σημεία υπολογισμού με βάση τις μεθόδους Penman, τροποποιημένη Penman- Monteith και εξατμισιμέτρου λεκάνης, Class A. Στους Πίνακ. 2-8, Πίνακ. 2-9 και Πίνακ. 2-10 παρατίθενται τα χαρακτηριστικά των σημείων υπολογισμού της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς καθώς και τα μέσα υπερετήσια μεγέθη.

Με βάση τα αποτελέσματα των παραπάνω μεθόδων υπολογισμού της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής, την ανάλυση που προηγήθηκε για την εφαρμογή των διαφόρων μεθόδων και τις σύγχρονες μελέτες στις κλιματολογικές συνθήκες της Κρήτης κρίθηκε ότι η μέθοδος τροποποιημένη Penman-Monteith δίδει τα πιο αξιόπιστα αποτελέσματα για την περιοχή μελέτης με βάση τα διαθέσιμα στοιχεία.

Οι χρονοσειρές της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής που θα χρησιμοποιηθούν στην υδρολογική ανάλυση που ακολουθεί είναι αυτές που υπολογίσθηκαν με την μέθοδο Penman- Monteith.

Η γραμμική συσχέτιση υπηρετήσιας εξατμισοδιαπνοής - υψομέτρου είναι σημαντική, με συντελεστή συσχέτισης r= 0.95, (Εικόνα 2-32). Με βάση τη συσχέτιση αυτή η δυνητική εξατμισοδιαπνοή ελαττώνεται κατά 42,4 mm ανά 100 m αύξησης του υψομέτρου.

Για την αναγωγή των μηνιαίων τιμών θα χρησιμοποιηθεί η παραπάνω συσχέτιση που προέκυψε από τις υπερετήσιες τιμές.

2.3 Συμπλήρωση και επέκταση δειγμάτων δυνητικής εξατμισοδιαπνοής

Το δείγμα της εξατμισοδιαπνοής όπως προέκυψε έχει σχετικά μεγάλο μήκος, όμως για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας χρειάζεται επέκταση ειδικά για την περίοδο 1ος 2002 – 9ος 2005. Σε αυτή την περίοδο δεν κατέστη δυνατή ο υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής λόγω έλλειψης ταυτόχρονων δεδομένων θερμοκρασίας, σχετικής υγρασίας, ηλιοφάνειας και ταχύτητας του ανέμου. Κατά την περίοδο αυτή, όπως και την περίοδο 9ος 1973-12ος 1996 που επίσης έχουμε έλλειψη δεδομένων υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα θερμοκρασίας. Για την επέκταση του δείγματος εφαρμόσθηκε η εμπειρική σχέση (Κουτσογιάννης, 1999)

$$E = \frac{\alpha R_a - b}{1 - cT_a}$$

Όπου:

1. E η μηνιαία δυνητική εξατμισοδιαπνοή σε mm/day
2. Ra η εξωγήινη ακτινοβολία σε εκφρασμένη σε ισοδύναμη εξάτμιση σε mm/day (δίνεται από πίνακες (Πίνακ. 2-1)
3. Ta η μέση μηνιαία θερμοκρασίας σε ^{o}C
4. α, b και c εμπειρικοί συντελεστές που προσδιορίζονται με την μέθοδο ελάχιστων τετραγώνων χρησιμοποιώντας τα δεδομένα εξάτμισης, θερμοκρασίας και εξωγήινης ακτινοβολίας.

Η εκτίμηση των συντελεστών α, b και c έγινε δίνοντας μια τιμή του c και χρησιμοποιώντας ως εξαρτημένη μεταβλητή την $y = E (1 – c T_a)$ έγινε γραμμική παλινδρόμηση μεταξύ του y και του Ra και υπολογιζόταν οι συντελεστές a και b, καθώς και ο συντελεστής συσχέτισης r. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβανόταν για διάφορες τιμές του c και προσδιορίσθηκε η τιμή που δίνει τη μέγιστη τιμή του r . Τα αποτελέσματα των υπολογισμών ανά σταθμό δίνονται στον

Πίνακ. 2-7. Οι συμπληρώσεις των σταθμών απεικονίζονται στα γραφήματα των

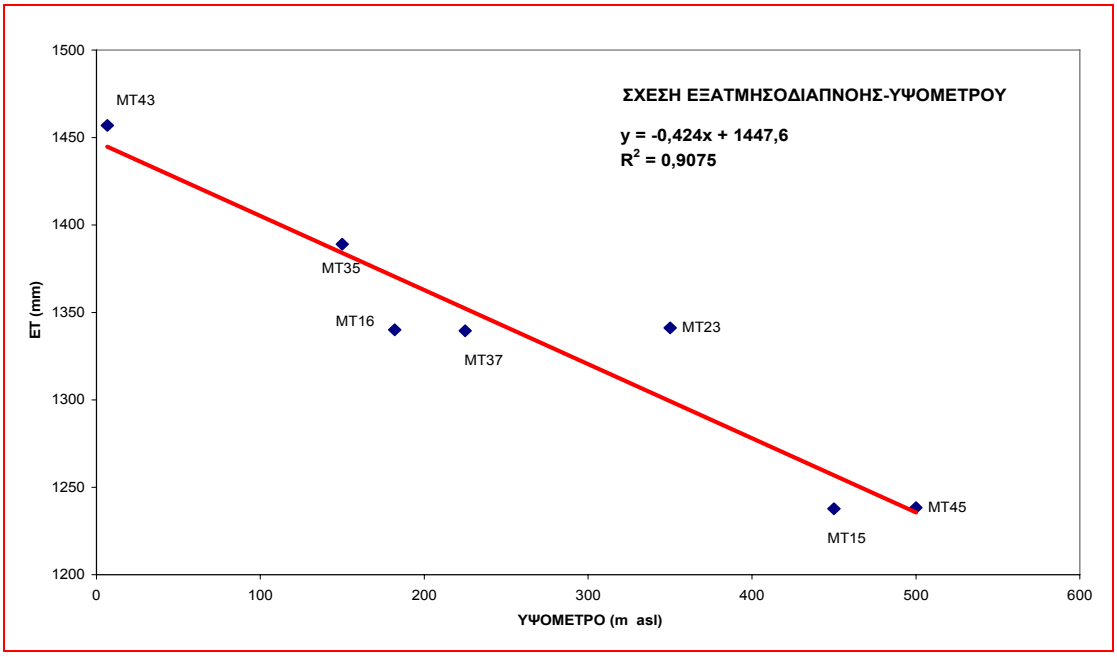
Εικόνα 2-37, … , Εικόνα 2-43. όπου ET η ιστορική χρονοσειρά και ETC η συμπληρωμένη.

Πίνακ. 2-7 παράμετροι εμπειρικής εξίσωσης επέκτασης εξατμισοδιαπνοής

	MT15	MT16	MT35	MT37	MT43	MT45	MT23/MT50
c	0,0165	0,0150	0,0155	0,0185	0,0170	0,0145	0,0186
a	0,334620	0,327133	0,332617	0,307871	0,319583	0,343922	0,305680
b	1,671311	1,610596	1,585209	1,421362	1,472570	1,744047	1,4121849
r	0,991	0,991	0,991	0,994	0,994	0,994	0,994

Πίνακ. 2-8. Μέσο υπερετήσιο ύψος Εξατμισοδιαπνοής αναφοράς -μέθοδος: τροποποιημένη Penman- Monteith

	Σταθμός	Υψόμετρο (m)	Δυναμική Εξατμισοδιαπνοή (mm/έτος)
1	Γόρτυς (ΜΤ16)	182	1340
2	Γέργερη (ΜΤ15)	450	1238
3	Πόμπια (ΜΤ35)	150	1389
4	Πραιτώρια (ΜΤ37)	225	1340
5	Καστέλλιον (Τ23/ΜΤ50)	350	1341
6	Τυμπάκι (ΜΤ43)	6,7	1457
7	Ζαρός (ΜΤ45)	500	1238



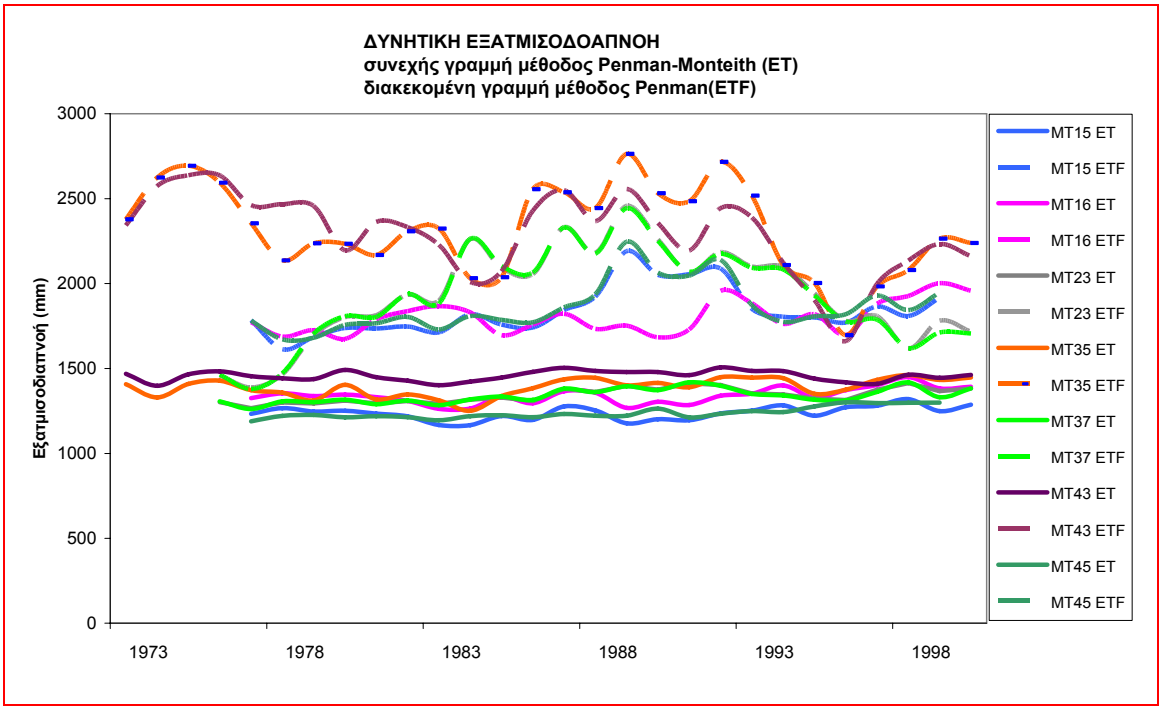
Εικόνα 2-32 Σχέση εξατμισοδιαπνοής – υψομέτρου- μέθοδος: τροποποιημένη Penman-Monteith

Πίνακ. 2-9. Μέσο υπερετήσιο ύψος Εξατμισοδιαπνοής αναφοράς-μέθοδος: FAO-Pan

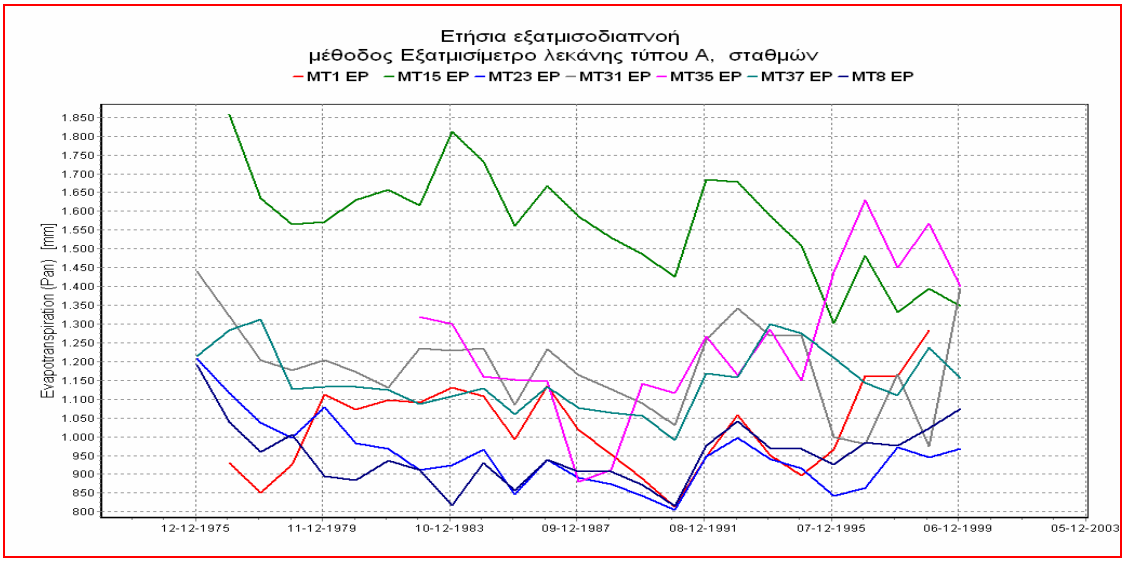
	Σταθμός	Υψόμετρο (m)	Δυναμική Εξατμισοδιαπνοή (mm/έτος)
1	Γέργερη (ΜΤ15)	450	1569
2	Τυμπάκι ΕΜΥ (ΜΤ31)	6,7	1189
3	Πραιτώρια (ΜΤ 37)	225	1152
4	Ασήμι (ΜΤ8)	200	952
5	Αγ. Βαρβάρα (ΜΤ1)	570	1024
6	Καστέλλιον-ΥΕΒ (ΜΤ23)	350	951
7	Πόμπια (ΜΤ35)	150	1249

Πίνακ. 2-10 Μέσο υπερετήσιο ύψος Εξατμισοδιαπνοής αναφοράς -μέθοδος: Penman

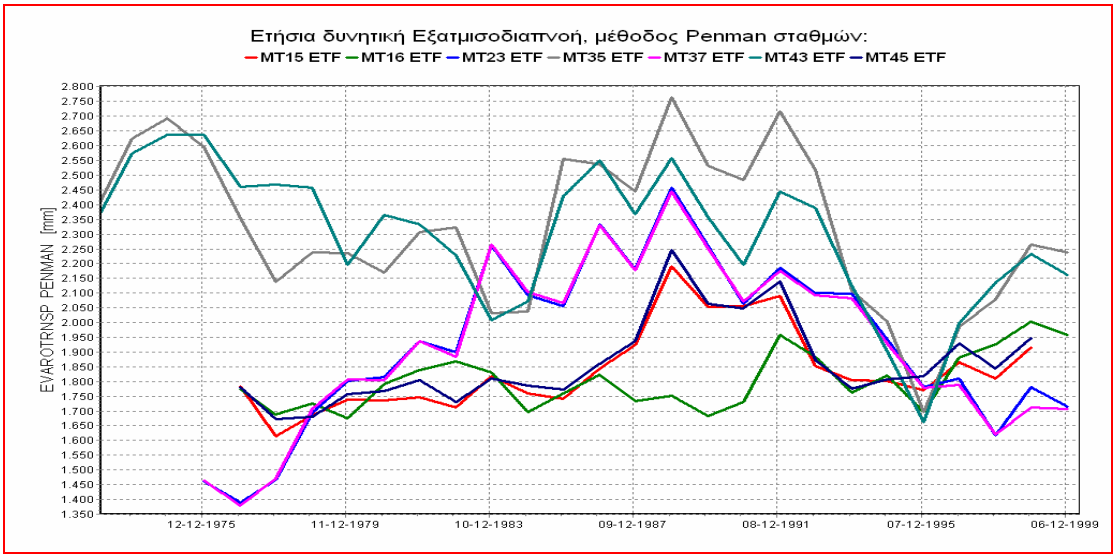
	Σταθμός	Υψόμετρο (m)	Δυναμική Εξατμισοδιαπνοή (mm/έτος)
1	Γόρτυς (MT16)	182	1802
2	Γέργερη (MT15)	450	1839
3	Πόμπια (MT35)	150	2323
4	Πραιτώρια (MT37)	225	1922
5	Καστέλλιον (T23/MT50)	350	1928
6	Τυμπάκι (MT43)	6,7	2296
7	Ζαρός (MT45)	500	1863



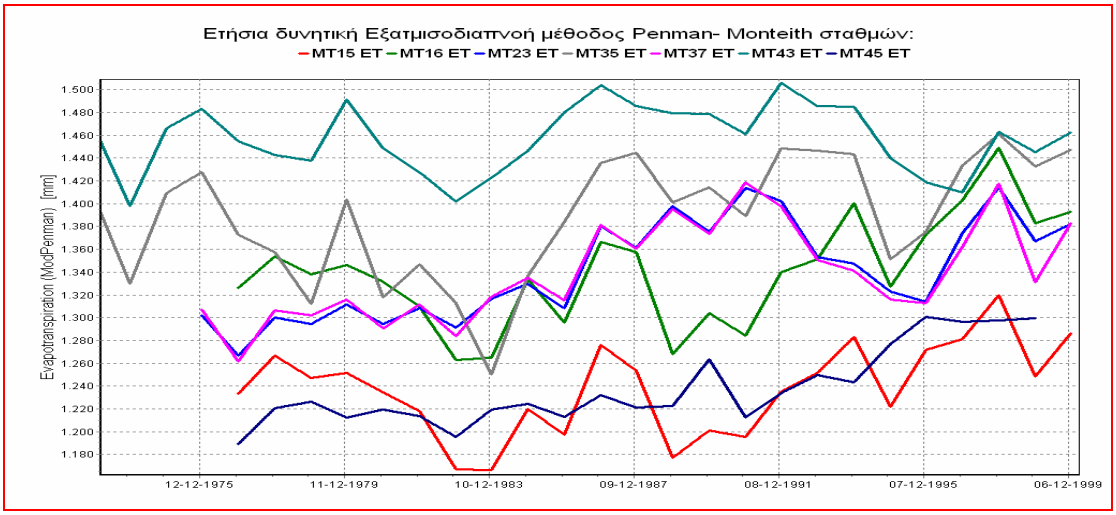
Εικόνα 2-33 ετήσιες τιμές εξατμισοδιαπνοής μεθόδων Penman-Monteith και Penman



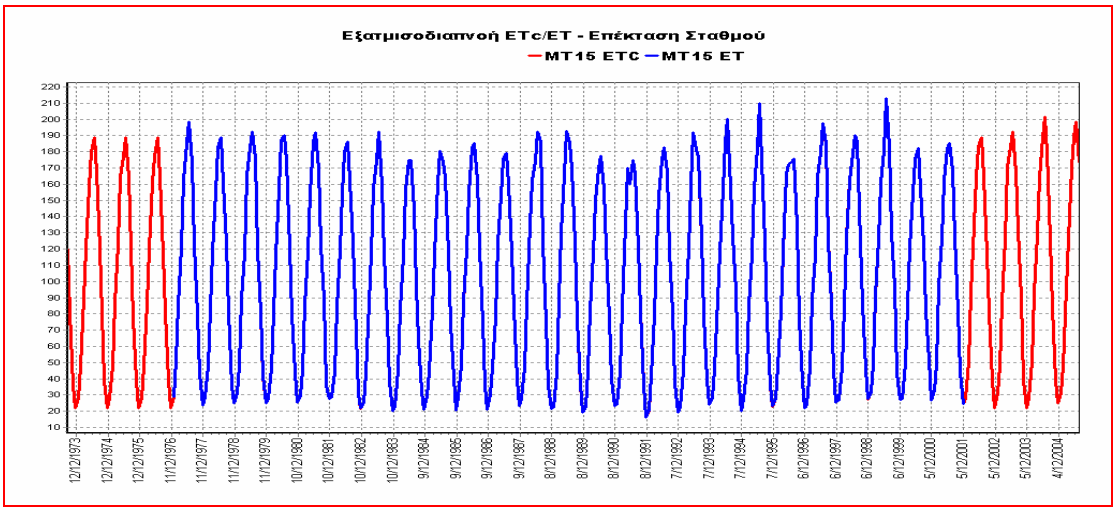
Εικόνα 2-34 Ετήσια εξατμισοδιαπνοή- μέθοδος Fao-Pan A



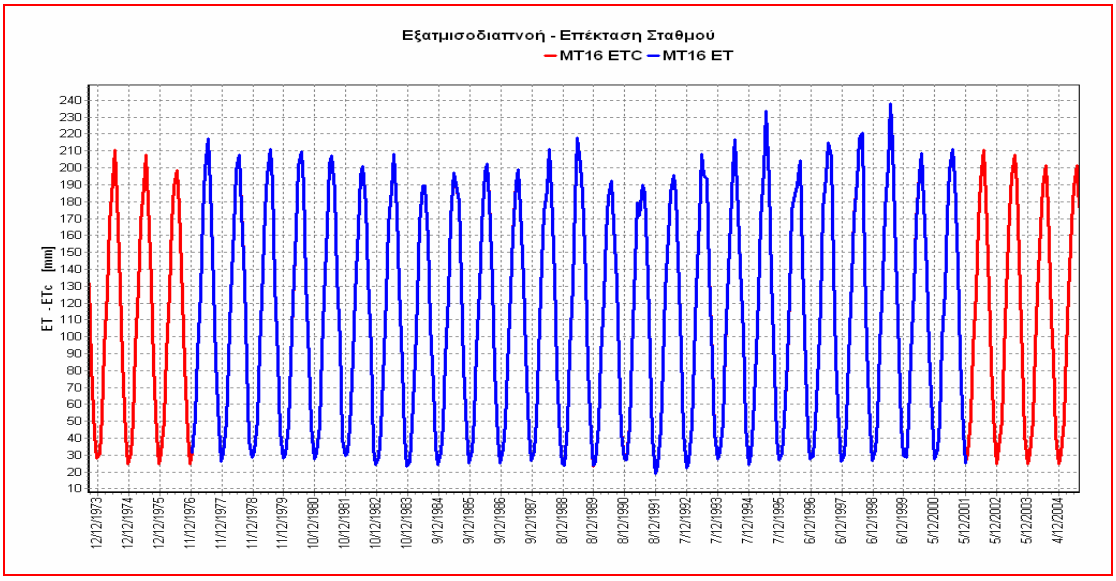
Εικόνα 2-35 Ετήσια εξατμισοδιαπνοή- μέθοδος Penman



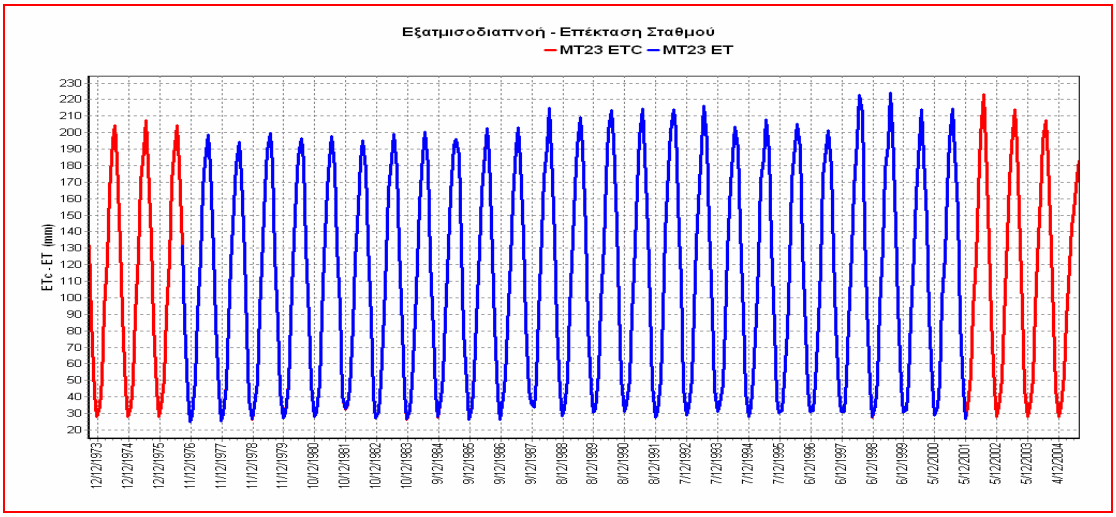
Εικόνα 2-36 Ετήσια εξατμισοδιαπνοή- μέθοδος Penman-Monteith



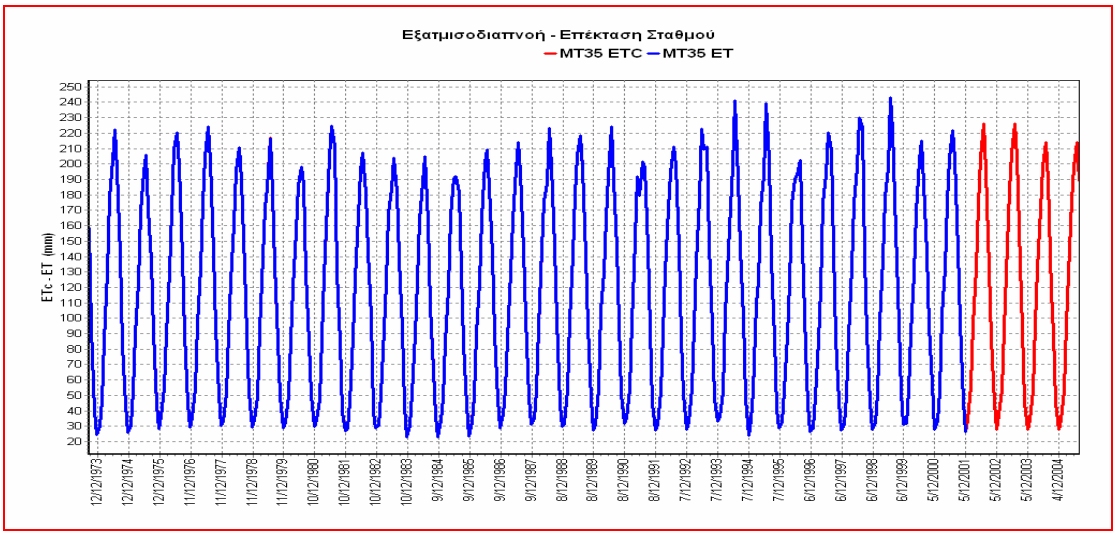
Εικόνα 2-37 Μηνιαία δυνητική εξατμισοδιαπνοή σταθμού MT15



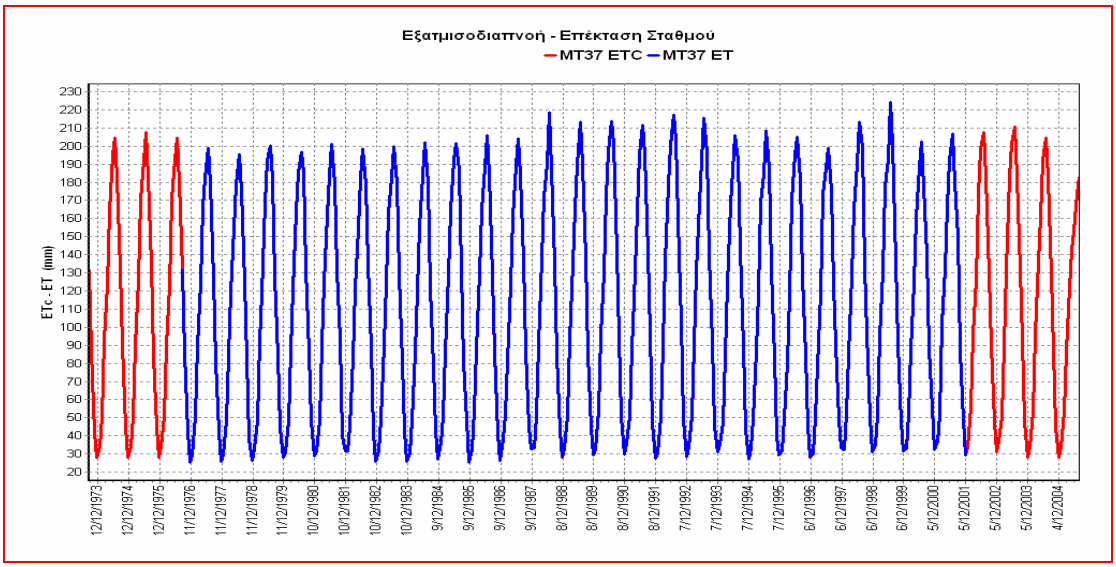
Εικόνα 2-38 Μηνιαία δυνητική εξατμισοδιαπνοή σταθμού MT16



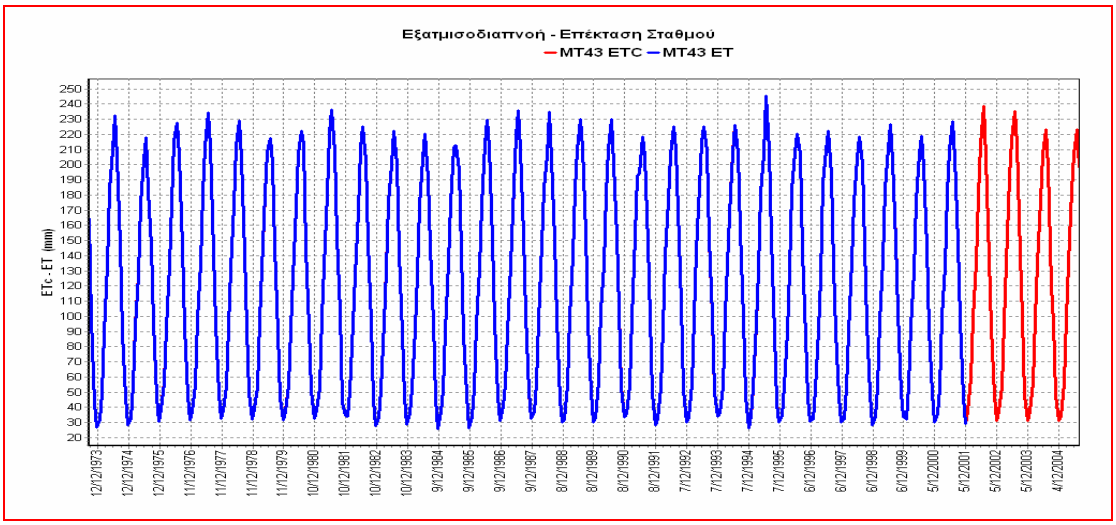
Εικόνα 2-39 Μηνιαία δυνητική εξατμισοδιαπνοή σταθμού MT23



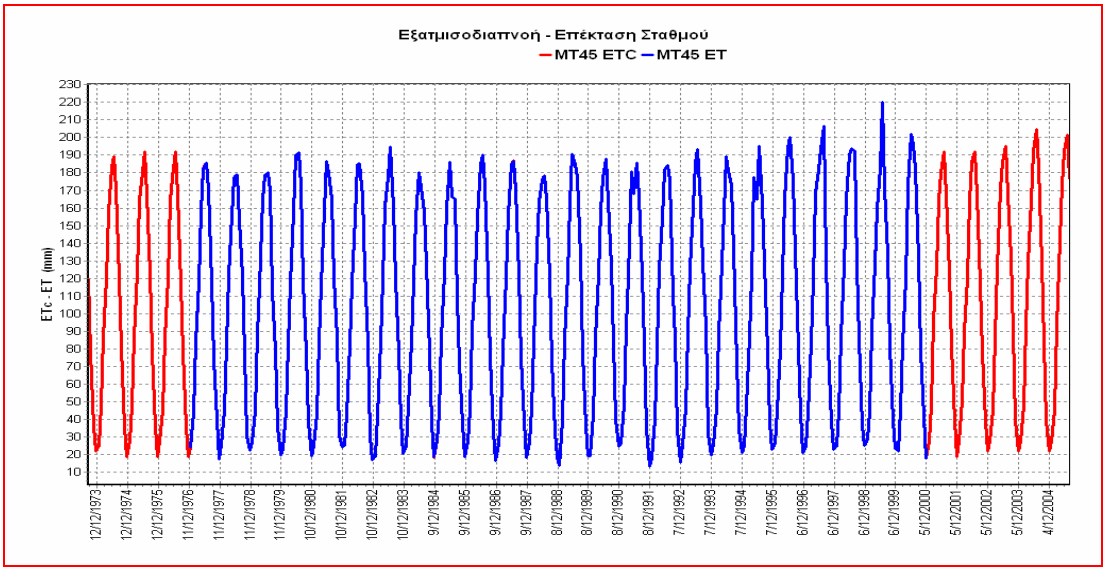
Εικόνα 2-40 Μηνιαία δυνητική εξατμισοδιαπνοή σταθμού MT35



Εικόνα 2-41 Μηνιαία δυνητική εξατμισοδιαπνοή σταθμού MT37



Εικόνα 2-42 Μηνιαία δυνητική εξατμισοδιαπνοή σταθμού MT43



Εικόνα 2-43 Μηνιαία δυνητική εξατμισοδιαπνοή σταθμού MT45

2.4 Επιφανειακή ολοκλήρωση σημειακής εξατμισοδιαπνοής

Μεθοδολογίες υπολογισμού επιφανειακής εξατμισοδιαπνοής

Ο υπολογισμός της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής της λεκάνης ή των υπολεκανών της Μεσαράς από τις σημειακές μετρήσεις, όπως αυτές υπολογίσθηκαν με τα δεδομένα των μετεωρολογικών σταθμών, απαιτείται από την υδρολογική ανάλυση που θα ακολουθήσει (εκτίμηση υδατικού ισοζυγίου). Οι μεθοδολογίες υπολογισμού της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής της λεκάνης δύναται να γίνει με τις μεθόδους που περιγράφονται στο αντίστοιχο κεφάλαιο υπολογισμού της επιφανειακής βροχόπτωσης (βλέπε Κεφάλαιο 1)

Επιφανειακή εξατμισοδιαπνοή στη λεκάνη της Μεσαράς

Η σημειακή υδρολογική πληροφορία ολοκληρώθηκε σε επιφανειακή αφ' ενός για το σύνολο της περιοχής μελέτης (υδρολογική λεκάνη Γεροπόταμου, στον σταθμό Φαιστός, και Αναποδάρη, στο θέση Χάρακα) και αφ' ετέρου σε όλες τις υπολεκάνες της περιοχής μελέτης που απαιτούνται για την ανάλυση του υδατικού ισοζυγίου.

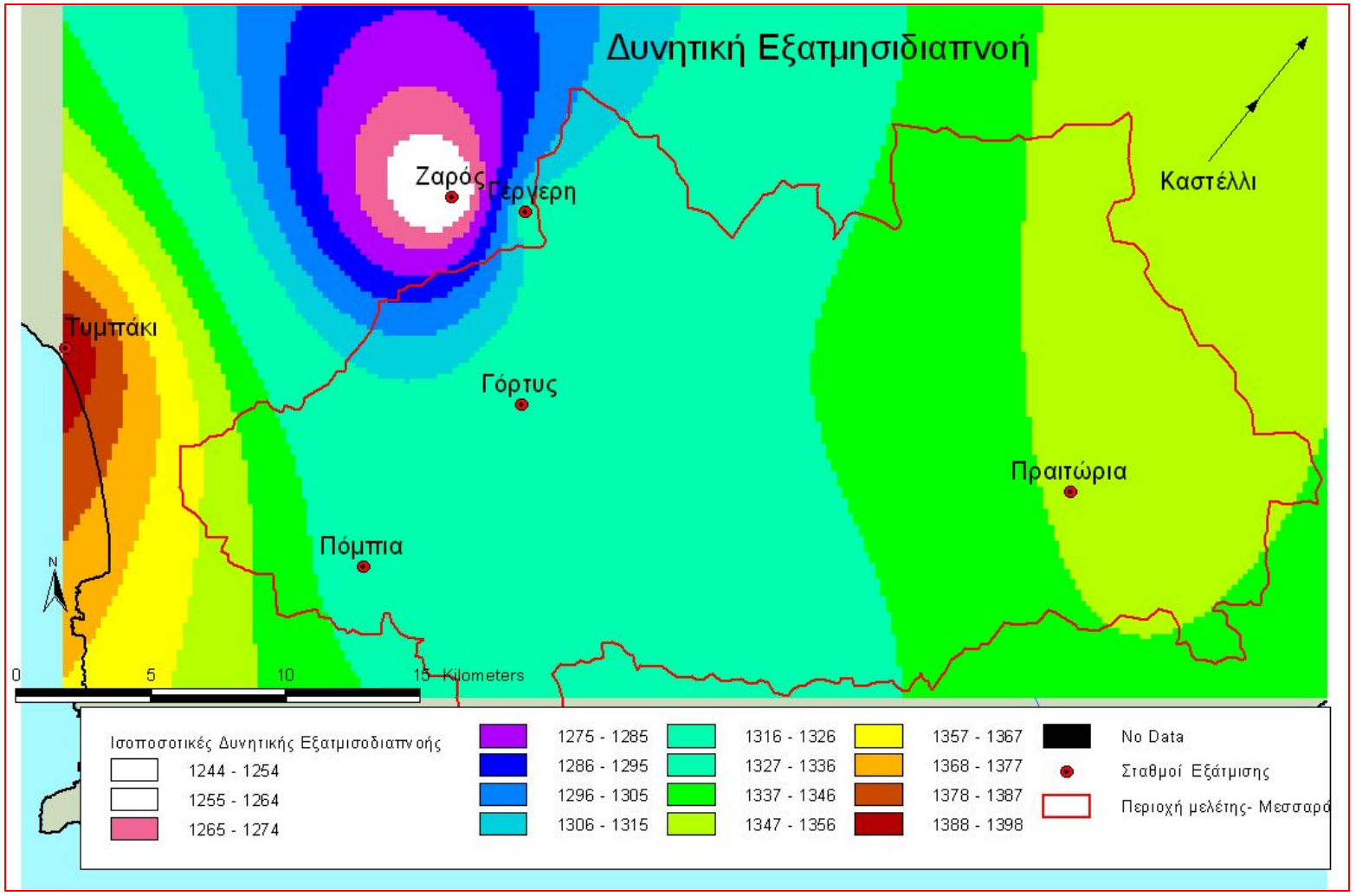
Για τον υπολογισμό της επιφανειακής εξατμισοδιαπνοής στη λεκάνη της Μεσαράς χρησιμοποιήθηκαν τα ετήσια ύψη εξατμισοδιαπνοής όπως αυτά υπολογίσθηκαν με την μέθοδο Penman- Monteith και συμπληρώθηκαν με την συσχέτιση της με τα θερμοκρασιακά δεδομένα και την εξωγήινη ακτινοβολία των μετεωρολογικών σταθμών που βρίσκονται επί και περί της λεκάνης, τα χαρακτηριστικά των οποίων δίνονται στον Πίνακ. 2-10 . Τα τοπογραφικά χαρακτηριστικά της λεκάνης, η μεγάλη διαφορά των σημειακών υψών εξατμισοδιαπνοής, η μικρή πυκνότητα του δικτύου των σταθμών και η

ανομοιόμορφη κατανομή των σταθμών επιβάλει την εφαρμογή της μεθόδου του αλγορίθμου χωρικής παρεμβολής (spatial interpolation) Kriging.

Για την εφαρμογή προσδιορίσθηκε πρώτα το διασπορόγραμμα (variogram) το οποίο έδωσε καλύτερη τιμή προσαρμογής της καμπύλης με συντελεστές Co=0, C=9000 και α= 35 Km Οι συντελεστές αυτοί εισήχθησαν στον αλγόριθμο χωρικής παρεμβολής (Kriging) με κάναβο 300 m και τα αποτελέσματα απεικονίζονται στην Εικόνα 2-44 και Εικόνα 2-45.

Υπολογίσθηκαν επίσης τα επιφανειακά ύψη εξατμισοδιαπνοής της λεκάνης για το έτος 1989-1990 που είναι το ξηρότερο καταγεγραμμένο, κατά μέσο όρο της περιοχής (συντελεστές: Co=0, C=13500, α= 35 Km, με κάναβο 300 m) , και για το έτος 2002-2003 που είναι το υγρότερο καταγεγραμμένο (συντελεστές: Co=0, C=8000, α= 35 Km, με κάναβο 300 m). Τα αποτελέσματα απεικονίζονται στην Εικόνα 2-46 και στην Εικόνα 2-47 αντίστοιχα.

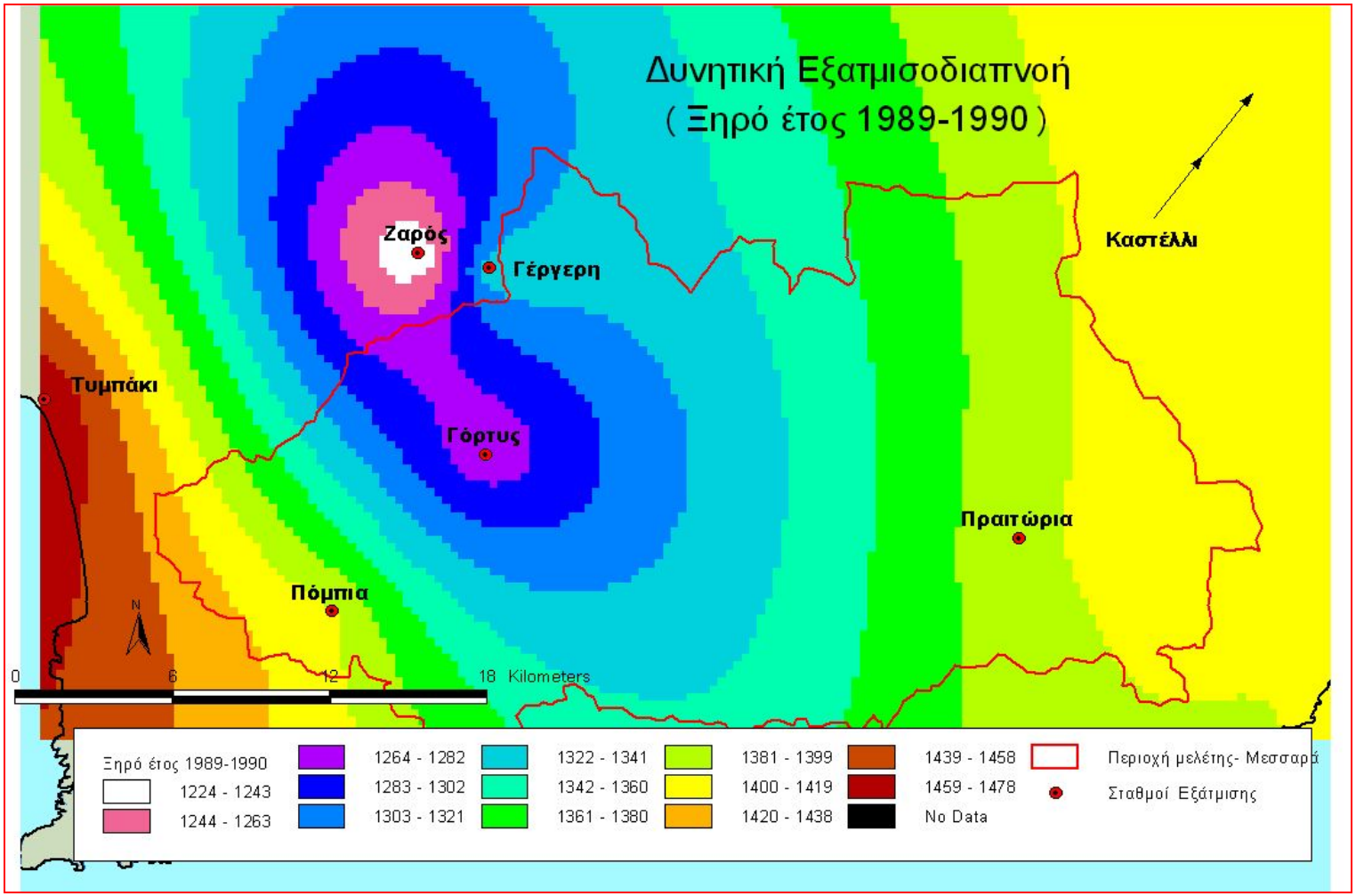
Με τη μέθοδο χωρικής παρεμβολής της αντίστροφης απόστασης των γειτονικών σταθμών υπολογίσθηκαν και τα μηνιαία επιφανειακά ύψη δυνητικής εξατμισοδιαπνοής για το κέντρο βάρους των υπολεκανών όπως αυτές οριοθετήθηκαν στο Κεφάλαιο 1 προκειμένου να χρησιμοποιηθούν στην υδρολογική ανάλυση που ακολουθεί. Οι τιμές δίνονται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3-2



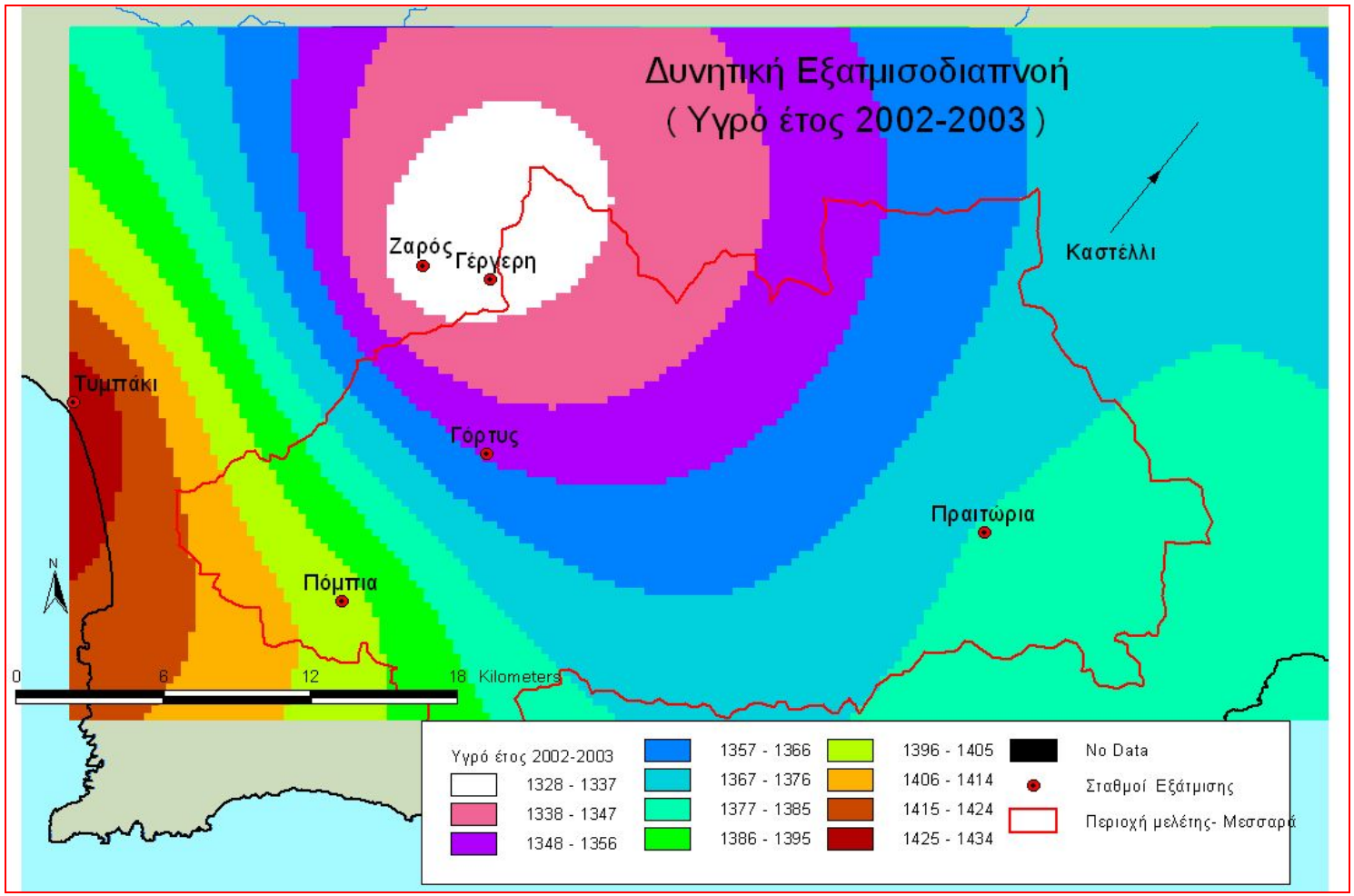
Εικόνα 2-44 Μέση υπερετήσια δυνητική εξατμισοδιαπνοή (μέθοδος υπολογισμού Kriging, σημειακοί υπολογισμοί με τη μέθοδο Penman-Monteith)



Εικόνα 2-45 Μέσες υπερετήσιες ισόποσες τιμές δυνητική εξατμισοδιαπνοής (μέθοδος υπολογισμού Kriging, σημειακοί υπολογισμοί με τη μέθοδο Penman-Monteith)



Εικόνα 2-46 ετήσια δυνητική εξατμισοδιαπνοή Ξηρού έτους, 1989-1990. (μέθοδος υπολογισμού Kriging, σημειακοί υπολογισμοί με τη μέθοδο Penman-Monteith)



Εικόνα 2-47 ετήσια δυνητική εξατμισοδιαπνοή υγρού έτους, 2002-2003. (μέθοδος υπολογισμού Kriging, σημειακοί υπολογισμοί με τη μέθοδο Penman-Monteith)

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΑΠΟΡΡΟΗ..... 4

3.1 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ 4
3.2 ΥΔΡΟΜΕΤΡΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ 9
3.2.1 Σφάλματα μετρήσεων – αβεβαιότητα 10
3.3 ΈΛΕΓΧΟΣ ΥΔΡΟΜΕΤΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ, ΣΧΕΣΗ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ - ΑΠΟΡΡΟΗΣ 11
3.3.1 Σχέση βροχόπτωσης- απορροής 11
3.3.2 Έλεγχος της συνέπειας των υδρομετρικών δεδομένων – προσαρμογή δεδομένων ... 12
3.4 ΕΤΗΣΙΑ ΚΑΙ ΜΗΝΙΑΙΑ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ 21
3.5 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΒΡΟΧΗΣ - ΑΠΟΡΡΟΗΣ 24
3.5.1 Περιγραφή του Μοντέλου Sacramento 24
3.5.2 Γενικά 24
3.5.3 Λειτουργία του μοντέλου 25
3.5.4 Μεταβλητές του μοντέλου 32
3.5.5 Βαθμονόμηση του μοντέλου 36
3.5.6 Αριθμητικά κριτήρια καλής προσαρμογής 38
3.5.7 Αριθμητικά κριτήρια καλής προσαρμογής σε ημερήσια χρονική κλίμακα. 38
3.5.8 Αριθμητικά κριτήρια καλής προσαρμογής σε μηνιαία χρονική κλίμακα. 39
3.5.9 Μέσα ετήσια ισοζυγία της λεκάνης απορροής για την περίοδο προσομοίωσης. 39
3.6 ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΑ ΙΣΟΖΥΓΙΑ 40
3.6.1 Εφαρμογή του μοντέλου sacramento 40
3.6.2 Λεκάνη Πλακιώτισας 41
3.6.3 Λεκάνη Λιθαίου 46
3.6.4 Προσομοίωση λεκάνης Λιθαίου περιόδου 9ος 1973- 9ος 1987 47
3.6.5 Προσομοίωση λεκάνης Λιθαίου περιόδου $9^{ος}$ 1985- $9^{ος}$ 2003. 48
3.6.6 Γεροπόταμος- Φαιστός 54
3.6.7 Προσομοίωση Γεροποτάμου- Φαιστού περιόδου: 9ος 1973- 9ος 1986. 56
3.6.8 Προσομοίωση Γεροποτάμου- Φαιστός περιόδου: $9^{ος}$ 1989- $9^{ος}$ 2003. 57
3.6.9 Λεκάνη Αναποδάρη-Χάρακα 63
3.6.10 Λεκάνες Αστερουσίων (Α50-9) 63
3.6.11 Λεκάνες βορείου τμήματος Αναποδάρη (Α50-4, Α50-5-Πλακιώτισας, Α50-6) 64
3.6.12 Λεκάνες βόρειου τμήματος Γεροποτάμου (Α50-1, Α50-2-Λιθαίου, Α50-3) 64
3.6.13 Λεκάνες νότιου τμήματος Γεροποτάμου (Α50-8) 64
3.7 ΣΥΖΗΤΗΣΗ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ 3 64

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

ΠΙΝΑΚ. 3.1-1 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΛΕΚΑΝΩΝ 4
ΠΙΝΑΚ. 3.1-2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΥΠΟΛΕΚΑΝΩΝ 6
ΠΙΝΑΚ. 3.1-3 ΧΡΗΣΕΙΣ ΓΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ (ΠΗΓΗ CORINE) 6
ΠΙΝΑΚ. 3.3-1 ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗ ΕΤΗΣΙΑΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ - ΑΠΟΡΡΟΗΣ 12
ΠΙΝΑΚ. 3.4-1 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΤΗΣΙΩΝ ΑΠΟΡΡΟΩΝ ΥΔΡΟΡΕΥΜΑΤΩΝ 21
ΠΙΝΑΚ. 3.5-1 ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ LZTWM 35
ΠΙΝΑΚ. 3.6-1 ΤΙΜΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ SACRAMENTO: 44
ΠΙΝΑΚ. 3.6-2 ΜΕΣΑ ΕΤΗΣΙΑ ΥΔΑΤΙΚΑ ΙΣΟΖΥΓΙΑ. 44
ΠΙΝΑΚ. 3.6-3 ΤΙΜΕΣ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ ΚΑΛΗΣ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗΣ ΤΟΥ SACRAMENTO ΣΤΑΘΜΟΥ ΠΛΑΚΙΩΤΙΣΑΣ 45
ΠΙΝΑΚ. 3.6-4 ΤΙΜΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ SACRAMENTO: 50
ΠΙΝΑΚ. 3.6-5 ΜΕΣΟ ΕΤΗΣΙΟ ΥΔΑΤΙΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ. 50
ΠΙΝΑΚ. 3.6-6 ΤΙΜΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ SACRAMENTO: 51
ΠΙΝΑΚ. 3.6-7 ΜΕΣΟ ΕΤΗΣΙΟΟ ΥΔΑΤΙΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ. 51
ΠΙΝΑΚ. 3.6-8 ΤΙΜΕΣ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ ΚΑΛΗΣ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗΣ ΤΟΥ SACRAMENTO ΣΤΑΘΜΟΥ ΛΙΘΑΙΟΥ 52
ΠΙΝΑΚ. 3.6-9 ΤΙΜΕΣ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ ΚΑΛΗΣ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗΣ ΤΟΥ SACRAMENTO ΣΤΑΘΜΟΥ ΛΙΘΑΙΟΥ 53
ΠΙΝΑΚ. 3.6-10 ΤΙΜΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ SACRAMENTO: 59
ΠΙΝΑΚ. 3.6-11 ΜΕΣΟ ΕΤΗΣΙΟ ΥΔΑΤΙΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ ..... .
59
ΠΙΝΑΚ. 3.6-12 ΤΙΜΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ SACRAMENTO: 60
ΠΙΝΑΚ. 3.6-13 ΜΕΣΟ ΕΤΗΣΙΟ ΥΔΑΤΙΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ. 60
ΠΙΝΑΚ. 3.6-14 ΤΙΜΕΣ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ ΚΑΛΗΣ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗΣ ΤΟΥ SACRAMENTO ΣΤΑΘΜΟΥ ΦΑΙΣΤΟΥ 61
ΠΙΝΑΚ. 3.6-15 ΤΙΜΕΣ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ ΚΑΛΗΣ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗΣ ΤΟΥ SACRAMENTO ΣΤΑΘΜΟΥ ΦΑΙΣΤΟΥ 62

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

ΕΙΚΟΝΑ 3.1-1 ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΕΣ ΛΕΚΑΝΕΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ 4
ΕΙΚΟΝΑ 3.1-2 «ΥΠΟΛΕΚΑΝΕΣ» ΠΟΥ ΔΙΑΚΡΙΘΗΚΕ Η ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ 5
ΕΙΚΟΝΑ 3.1-3 ΓΡΑΦΗΜΑ ΧΡΗΣΕΙΣ ΓΗΣ- ΕΚΤΑΣΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ 7
ΕΙΚΟΝΑ 3.1-4 ΠΟΣΟΣΤΟ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ ΣΤΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ 7
ΕΙΚΟΝΑ 3.1-5 ΧΡΗΣΕΙΣ ΓΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ (ΠΗΓΗ CORINE) 8
ΕΙΚΟΝΑ 3.1-6 ΕΔΑΦΟΛΟΓΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΠΕΔΙΝΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ (ΠΗΓΗ BEWARE) 9
ΕΙΚΟΝΑ 3.3-1 ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΕΤΗΣΙΑΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ – ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΣΤΑΘΜΟΥ ΓΕΡΟΠΟΤΑΜΟΥ .. 16
ΕΙΚΟΝΑ 3.3-2 ΔΙΠΛΗ ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΗ ΚΑΜΠΥΛΗ ΑΠΟΡΡΟΩΝ ΣΤΑΘΜΟΥ ΓΕΡΟΠΟΤΑΜΟΥ 16
ΕΙΚΟΝΑ 3.3-3 ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΕΤΗΣΙΑΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ – ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΣΤΑΘΜΟΥ ΛΙΘΑΙΟΥ 17
ΕΙΚΟΝΑ 3.3-4 ΔΙΠΛΗ ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΗ ΚΑΜΠΥΛΗ ΑΠΟΡΡΟΩΝ ΣΤΑΘΜΟΥ ΛΙΘΑΙΟΥ 17
ΕΙΚΟΝΑ 3.3-5 ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΕΤΗΣΙΑΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ – ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΣΤΑΘΜΟΥ ΠΛΑΚΙΩΤΙΣΑΣ 18
ΕΙΚΟΝΑ 3.3-6 ΔΙΠΛΗ ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΗ ΚΑΜΠΥΛΗ ΑΠΟΡΡΟΩΝ ΣΤΑΘΜΟΥ ΠΛΑΚΙΩΤΙΣΑΣ 18
ΕΙΚΟΝΑ 3.3-7 ΔΙΠΛΗ ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΗ ΚΑΜΠΥΛΗ ΑΠΟΡΡΟΩΝ ΣΤΑΘΜΟΥ ΓΕΡΟΠΟΤΑΜΟΥ- Μ.Ο ΛΙΘΑΙΟΥ ΚΑΙ ΠΛΑΚΙΩΤΙΣΑΣ 19
ΕΙΚΟΝΑ 3.3-8 ΔΙΠΛΗ ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΗ ΚΑΜΠΥΛΗ ΑΠΟΡΡΟΩΝ ΣΤΑΘΜΟΥ ΛΙΘΑΙΟΥ - Μ.Ο ΓΕΡΟΠΟΤΑΜΟΥ ΚΑΙ ΠΛΑΚΙΩΤΙΣΑΣ 19
ΕΙΚΟΝΑ 3.3-9 ΔΙΠΛΗ ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΗ ΚΑΜΠΥΛΗ ΑΠΟΡΡΟΩΝ ΣΤΑΘΜΟΥ ΓΕΡΟΠΟΤΑΜΟΥ- ΛΙΘΑΙΟΥ 20
ΕΙΚΟΝΑ 3.3-10 ΔΙΠΛΗ ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΗ ΚΑΜΠΥΛΗ ΑΠΟΡΡΟΩΝ ΣΤΑΘΜΟΥ ΠΛΑΚΙΩΤΙΣΑΣ - Μ.Ο ΓΕΡΟΠΟΤΑΜΟΥ ΚΑΙ ΛΙΘΑΙΟΥ 20
ΕΙΚΟΝΑ 3.4-1 ΕΤΗΣΙΑ ΑΠΟΡΡΟΗ ΥΔΡΟΜΕΤΡΙΚΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ 21
ΕΙΚΟΝΑ 3.4-2 ΜΕΣΗ ΜΗΝΙΑΙΑ ΑΠΟΡΡΟΗ ΣΤΑΘΜΟΥ ΦΑΙΣΤΟΥ ΓΙΑ ΤΡΕΙΣ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥΣ 22
ΕΙΚΟΝΑ 3.4-3 ΜΕΣΗ ΜΗΝΙΑΙΑ ΑΠΟΡΡΟΗ ΣΤΑΘΜΟΥ ΛΙΘΑΙΟΥ 22
ΕΙΚΟΝΑ 3.4-4 ΜΕΣΗ ΜΗΝΙΑΙΑ ΑΠΟΡΡΟΗ ΣΤΑΘΜΟΥ ΠΛΑΚΙΩΤΙΣΑΣ 22
ΕΙΚΟΝΑ 3.4-5 ΓΡΑΦΗΜΑ ΜΕΣΗΣ ΜΗΝΙΑΙΑΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ & ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΓΕΡΟΠΟΤΑΜΟΥ 23
ΕΙΚΟΝΑ 3.4-6 ΓΡΑΦΗΜΑ ΜΕΣΗΣ ΜΗΝΙΑΙΑΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ & ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΛΙΘΑΙΟΥ 23
ΕΙΚΟΝΑ 3.4-7 ΓΡΑΦΗΜΑ ΜΕΣΗΣ ΜΗΝΙΑΙΑΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ & ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΠΛΑΚΙΩΤΙΣΑΣ 23
ΕΙΚΟΝΑ 3.5-1 ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ SACRAMENTO 26
ΕΙΚΟΝΑ 3.5-2 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ SACRAMENTO 26
ΕΙΚΟΝΑ 3.5-3 ΚΑΜΠΥΛΗ ΑΠΟΦΟΡΤΙΣΗΣ ΤΗΣ ΤΑΧΕΙΑΣ ΣΥΝΙΣΤΩΣΑΣ ΤΗΣ ΒΑΣΙΚΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ (HYMOS) 30
ΕΙΚΟΝΑ 3.6-1 ΓΡΑΦΗΜΑ ΠΑΡΑΤΗΡΗΜΕΝΗΣ- ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΕΝΗΣ ΜΗΝΙΑΙΑΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΣΤΗ ΘΕΣΗ ΠΛΑΚΙΩΤΙΣΑ 45
ΕΙΚΟΝΑ 3.6-2 ΓΡΑΦΗΜΑ ΠΑΡΑΤΗΡΗΜΕΝΗΣ- ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΕΝΗΣ ΜΗΝΙΑΙΑΣ ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΣΤΗ ΘΕΣΗ ΠΛΑΚΙΩΤΙΣΑ 45
ΕΙΚΟΝΑ 3.6-3 ΓΡΑΦΗΜΑ ΠΑΡΑΤΗΡΗΜΕΝΗΣ- ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΕΝΗΣ ΜΗΝΙΑΙΑΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΣΤΗ ΘΕΣΗ ΛΙΘΑΙΟΣ 52
ΕΙΚΟΝΑ 3.6-4 ΓΡΑΦΗΜΑ ΠΑΡΑΤΗΡΗΜΕΝΗΣ- ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΕΝΗΣ ΜΗΝΙΑΙΑΣ ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΣΤΗ ΘΕΣΗ ΛΙΘΑΙΟΥ 52
ΕΙΚΟΝΑ 3.6-5 ΓΡΑΦΗΜΑ ΠΑΡΑΤΗΡΗΜΕΝΗΣ- ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΕΝΗΣ ΜΗΝΙΑΙΑΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΣΤΗ ΘΕΣΗ ΛΙΘΑΙΟΣ 53
ΕΙΚΟΝΑ 3.6-6 ΓΡΑΦΗΜΑ ΠΑΡΑΤΗΡΗΜΕΝΗΣ- ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΕΝΗΣ ΜΗΝΙΑΙΑΣ ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΣΤΗ ΘΕΣΗ ΛΙΘΑΙΟΥ 53
ΕΙΚΟΝΑ 3.6-7 ΓΡΑΦΗΜΑ ΠΑΡΑΤΗΡΗΜΕΝΗΣ- ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΕΝΗΣ ΜΗΝΙΑΙΑΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΣΤΗ ΘΕΣΗ ΦΑΙΣΤΟΣ 61
ΕΙΚΟΝΑ 3.6-8 ΓΡΑΦΗΜΑ ΠΑΡΑΤΗΡΗΜΕΝΗΣ- ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΕΝΗΣ ΜΗΝΙΑΙΑΣ ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΣΤΗ ΘΕΣΗ ΦΑΙΣΤΟΣ 61
ΕΙΚΟΝΑ 3.6-9 ΓΡΑΦΗΜΑ ΠΑΡΑΤΗΡΗΜΕΝΗΣ- ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΕΝΗΣ ΜΗΝΙΑΙΑΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΣΤΗ ΘΕΣΗ ΦΑΙΣΤΟΣ 62
ΕΙΚΟΝΑ 3.6-10 ΓΡΑΦΗΜΑ ΠΑΡΑΤΗΡΗΜΕΝΗΣ- ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΕΝΗΣ ΜΗΝΙΑΙΑΣ ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΣΤΗ ΘΕΣΗ ΦΑΙΣΤΟΣ 62
ΕΙΚΟΝΑ 3.8-1 ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΑ ΙΣΟΖΥΓΙΑ ΛΕΚΑΝΩΝ - ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΜΕ ΤΟ SACRAMENTO 67
ΕΙΚΟΝΑ 3.8-2 ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΑ ΙΣΟΖΥΓΙΑ ΛΕΚΑΝΩΝ ΠΟΥ ΑΠΟΡΡΕΟΥΝ ΣΤΟΥΣ ΚΥΡΙΟΥΣ ΥΔΡΟΦΟΡΕΙΣ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΜΕΣΣΑΡΑΣ - ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΜΕ ΤΟ SACRAMENTO 68

Κεφάλαιο 3 Επιφανειακή απορροή

3.1 Χαρακτηριστικά λεκάνης απορροής

Στην περιοχή μελέτης διακρίνονται δύο κύριες υδρολογικές λεκάνες, η λεκάνη του Γεροποτάμου με έξοδο το στένεμα της Φαιστού και τμήμα της λεκάνης του Αναποδάρη με έξοδο τη θέση «Χάρακα». Σε αυτές περικλείονται δύο «σημαντικές» υπολεκάνες, η λεκάνη του Λιθαίου (Γεροπόταμος) και η λεκάνη Πλακιώτισας (Αναποδάρη) οι οποίες απεικονίζονται στον χάρτη της Εικόνα 3.1-1 Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των υδρολογικών λεκανών δίνονται στον Πίνακ. 3.1-1. Η συνολική έκταση της περιοχής μελέτης ανέρχεται σε 611,05 Km^2 . Υδρομετρικοί σταθμοί έχουν εγκατασταθεί στις εξόδους των τριών λεκανών (βλέπε χάρτη Εικόνα 3.1-1)



Εικόνα 3.1-1 Υδρολογικές λεκάνες περιοχής μελέτης

Πίνακ. 3.1-1 Χαρακτηριστικά υδρολογικών λεκανών

Α/Α	ΥΠΟΛΕΚΑΝΗ	ΚΩΔΙΚΟΣ ΗΥΜΟS	ΕΚΤΑΣΗ (Km^2)	ΠΕΡΙ-ΜΕΤΡΟΣ (m)	ΜΕΣΟ ΥΨΟΜΕ-ΤΡΟ (m)	ΜΕΣΗ ΚΛΙΣΗ
1	ΓΕΡΟΠΟΤΑΜΟΣ-ΦΑΙΣΤΟΣ	A9-1	400,41	128.900	307,82	7,01
2	ΛΙΘΑΙΟΥ	A50-2	43,64	44.675	525,28	12,97
3	ΑΝΑΠΟΔΑΡΗΣ-ΧΑΡΑΚΑΣ	A50-10	210,64	95.500	361,85	6,74
4	ΠΛΑΚΙΩΤΙΣΑ	A50-5	72,38	53.761	420,00	7,43
ΣΥΝΟΛΟ ΓΕΡΟΠΟΤΑΜΟΥ-ΑΝΑΠΟΔΑΡΗ			611,05			

Οι συντεταγμένες των θέσεων των σταθμών και η περίοδος λειτουργίας των δίνονται στο Κεφάλαιο 1. Η χάραξη του υδροκρίτη των λεκανών καθώς και ο υπολογισμός των γεωμετρικών χαρακτηριστικών των έγινε με τη χρήση του Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών (ΓΣΠ -λογισμικό ArcGIS) και του ψηφιακού μοντέλου εδάφους

Για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας και της υδρολογική προσέγγισης της περιοχή μελέτης, οι δύο υδρολογικές λεκάνες διακρίθηκαν σε εννέα επιμέρους υπολεκάνες, με κριτήρια κυρίως υδρογεωλογικά και υδρολογικά, οι οποίες απεικονίζονται στο χάρτη της Εικόνα 3.1-2. Ο σημαντικότερος υδροφορέας της περιοχής είναι αυτός που οριοθετείται από τη λεκάνη Α50-7 που είναι και το πεδινό τμήμα της λεκάνης της Μεσαράς. Η επιφανειακή απορροή των υπόλοιπων λεκανών, που βρίσκονται εκατέρωθεν του κύριου υδροφορέα (Α 50-7) τον εμπλουτίζουν με τα νερά της βροχής που απορρέουν σε αυτόν. Επίσης μικρότερης σημασίας υδροφορέας είναι και πλειο-πλειστοκαινικός που απαντάται επιφανειακά στο ήμιση νότιο τμήμα της λεκάνης Α50-3 (βλέπε κεφάλαιο 5)



Εικόνα 3.1-2 «υπολεκάνες» που διακρίθηκε η περιοχής μελέτης

Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των υδρολογικών υπολεκανών, όπως υπολογίσθηκαν με το ΓΣΠ δίνονται στον Πίνακ. 3.1-2 . Από τον πίνακα αυτό και με βάση τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά οι υπολεκάνες μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο ομάδες. Η πρώτη περιλαμβάνει τις δυο υπολεκάνες των Αστερουσίων και του Λιθαίου οι οποίες έχουν μεγάλο μέσο υψόμετρο και μεγάλη μέση κλίση ενώ η δεύτερη ομάδα περιλαμβάνει τις υπόλοιπες οι οποίες έχουν μικρότερο

υψόμετρο και μέση κλίση. Στην πρώτη ομάδα η λεκάνη του Λιθαίου και στη δεύτερη η λεκάνη της Πλακιώτισας διαθέτουν χρονοσειρές απορροής, η δε υδρολογική ανάλυση αυτών θα μας βοηθήσει στην προσομοίωση των υπόλοιπων λεκανών της ομάδας που δεν διαθέτουν χρονοσειρά απορροής.

Πίνακ. 3.1-2 Χαρακτηριστικά υδρολογικών υπολεκανών

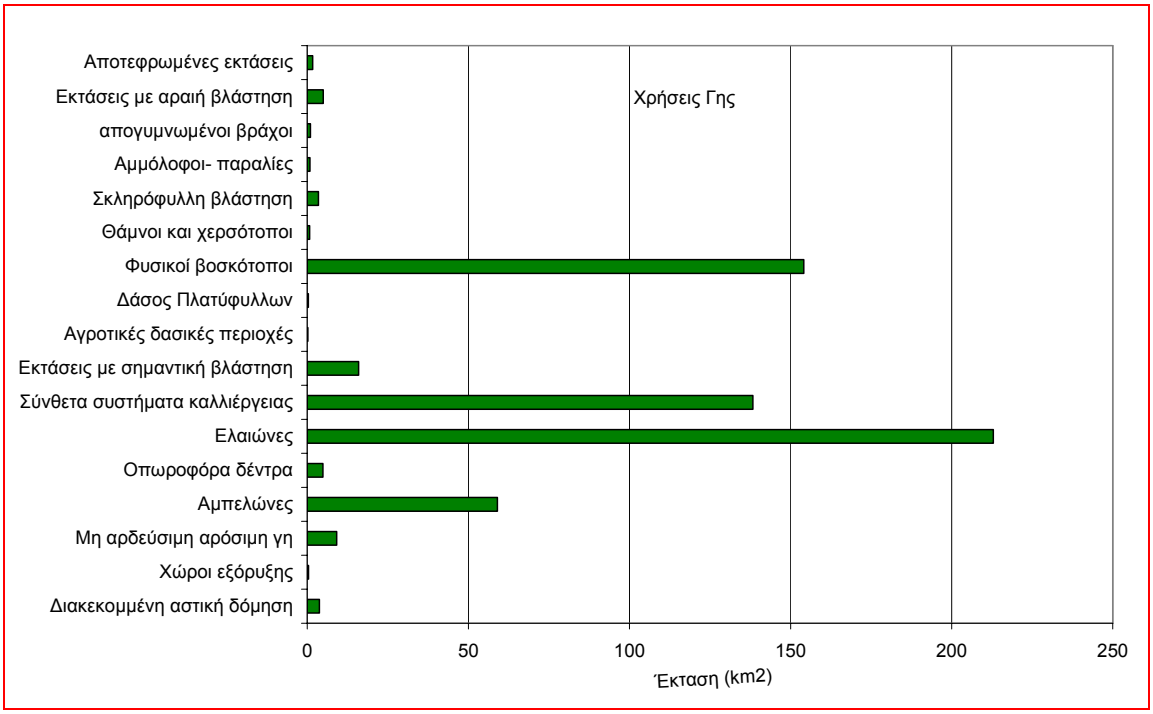
Α/Α	ΥΠΟΛΕΚΑΝΗ	ΚΩΔΙΚΟΣ ΗΥΜΟS	ΕΚΤΑΣΗ (Km^2)	ΠΕΡΙΜΕ-ΤΡΟΣ(m)	ΜΕΣΟ ΥΨΟ-ΜΕΤΡΟ (m)	ΜΕΣΗ ΚΛΙΣΗ
1	ΒΔ ΓΕΡΟΠΟΤΑΜΟΥ	Α50-1	49,61	48.800	265,61	6,67
2	ΛΙΘΑΙΟΥ	Α50-2	43,64	44.675	525,28	12,97
3	ΒΑ ΓΕΡΟΠΟΤΑΜΟΥ	Α50-3	99,25	57.000	325,19	5,53
4	ΒΔ ΑΝΑΠΟΔΑΡΗ	Α50-4	8,50	19.800	367,58	5,90
5	ΠΛΑΚΙΩΤΙΣΑ	Α50-5	72,38	53.761	420,00	7,43
6	ΒΑ ΑΝΑΠΟΔΑΡΗ	Α50-6	22,18	29.700	289,00	4,92
7	ΠΕΔΙΝΟ ΓΕΡΟΠΟΤΑΜΟΥ-ΑΝΑΠΟΔΑΡΗ	Α50-7	162,66	151.700	184,85	2,29
8	ΔΥΤΙΚΗ ΑΣΤΕΡΟΥΣΙΩΝ (ΝΟΤΙΑ ΓΕΡΟΠΟΤΑΜΟΥ)	Α50-8	109,75	111.700	368,74	10,52
9	ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΑΣΤΕΡΟΥΣΙΩΝ (ΝΟΤΙΑ ΑΝΑΠΟΔΑΡΗ)	Α50-9	36,87	59.700	481,97	13,46
		ΣΥΝΟΛΟ	611,05			

Φυτοκάλυψη

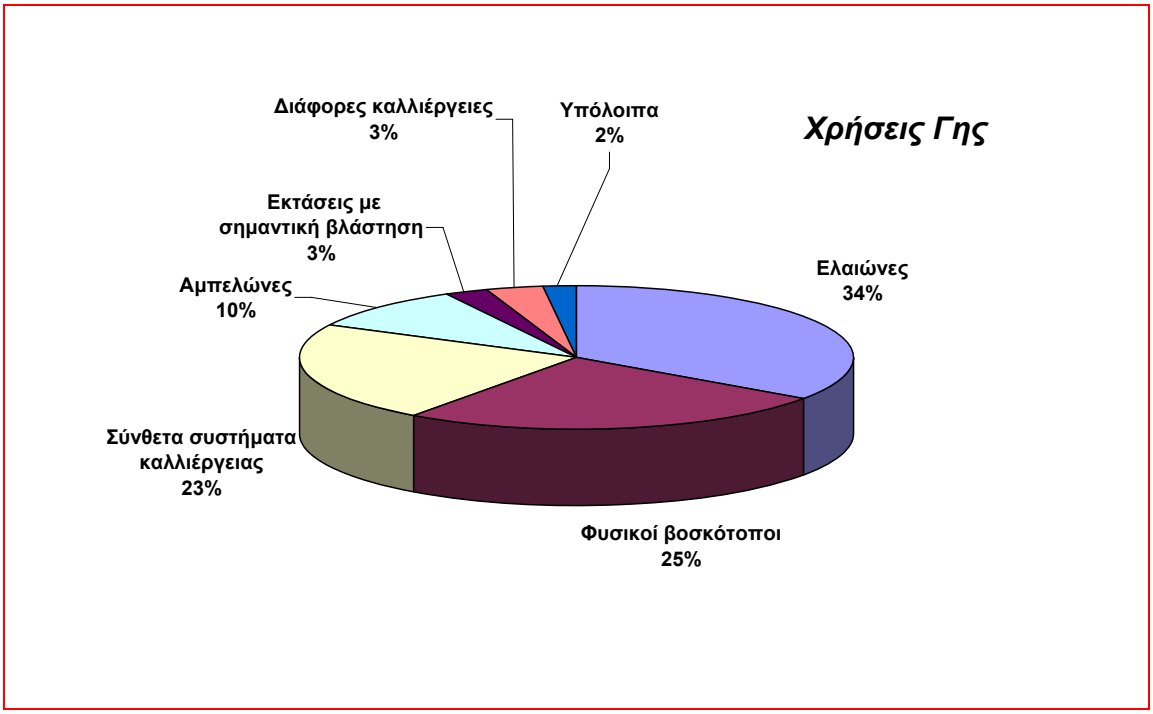
Γενικά, η φυτοκάλυψη δρα προς την κατεύθυνση της μείωσης του όγκου της απορροής και της βράδυνσης των ρυθμών της με τελική συνέπεια την μείωση των αιχμών των πλημμυρών. Στον Πίνακ. 3.1-3 δίνεται η έκταση που

Πίνακ. 3.1-3 Χρήσεις Γης περιοχής μελέτης (πηγή corine)

Κωδικός CORINE	Έκταση (Km^2)	Περιγραφή
112	3,78	Διακεκομμένη αστική δόμηση
131	0,37	Χώροι εξόρυξης
211	9,13	Μη αρδεύσιμη αρόσιμη γη
221	59,00	Αμπελώνες
222	4,88	Οπωροφόρα δέντρα
223	212,94	Ελαιώνες
242	138,31	Σύνθετα συστήματα καλλιέργειας
243	15,94	Σημαντικές εκτάσεις γεωργικής φυτικής βλάστησης
244	0,17	Αγροτικές δασικές περιοχές
311	0,32	Δάσος Πλατύφυλλων
321	154,11	Φυσικοί βοσκότοποι
322	0,73	Θάμνοι και χερσότοποι
323	3,49	Σκληρόφυλλη βλάστηση
331	0,84	Αμμόλοφοι- παραλίες
332	0,99	απογυμνωμένοι βράχοι
333	4,98	Εκτάσεις με αραιή βλάστηση
334	1,67	Αποτεφρωμένες εκτάσεις
1421	0,21	
Σύνολο	611,86	

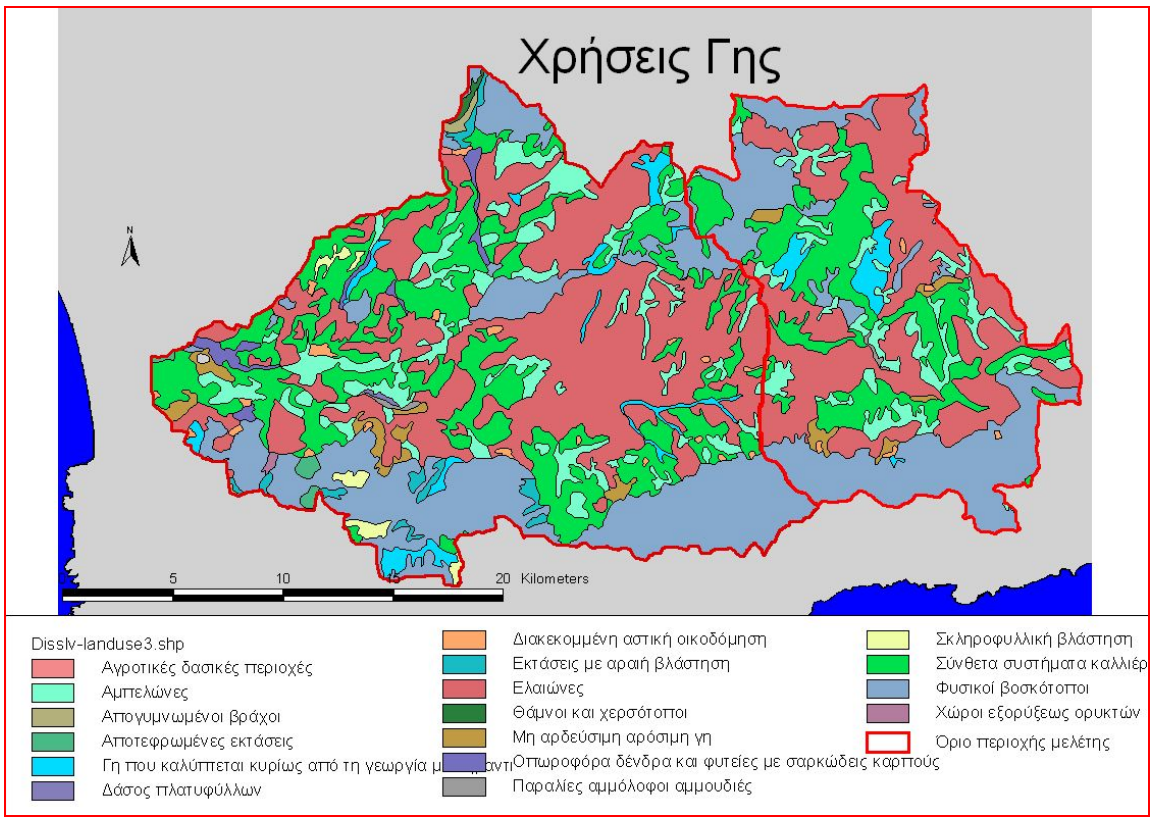


Εικόνα 3.1-3 Γράφημα Χρήσεις γης- έκτασης περιοχής μελέτης



Εικόνα 3.1-4 Ποσοστό καλλιεργειών στη περιοχή μελέτης

καταλαμβάνουν οι διάφορες καλλιέργειες στην περιοχή μελέτης όπως αυτές περιγράφονται στο corine. Στα γραφήματα της Εικόνα 3.1-1 και της Εικόνα 3.1-4 δίνονται το ραβδόγραμμα των χρήσεων γης και το ποσοστό που καταλαμβάνουν οι καλλιέργειες στην περιοχή μελέτης αντίστοιχα. Παρατηρούμε ότι το πεδινό τμήμα της λεκάνης της Μεσαράς καλλιεργείται έντονα ενώ ορεινό της τμήμα (Αστερούσια και Ψηλορείτης) δεν καλλιεργείται αλλά εκεί έχουμε σημαντική κτηνοτροφική δραστηριότητα (Εικόνα 3.1-5). Το κεντρικό πεδινό και το βόρειο ημιορεινό τμήμα καλλιεργείται κυρίως με ελαιόδεντρα τα οποία απαιτούν μικρότερη ποσότητα νερού που δηλώνει και τη μικρότερη διαθεσιμότητα του πόρου σε αντίθεση με το ανατολικό και δυτικό πεδινό τμήμα της περιοχής που καλλιεργούνται με καλλιέργειες απαιτητικές σε νερό που δηλώνει και τη μεγαλύτερη διαθεσιμότητα των υδατικών πόρων.

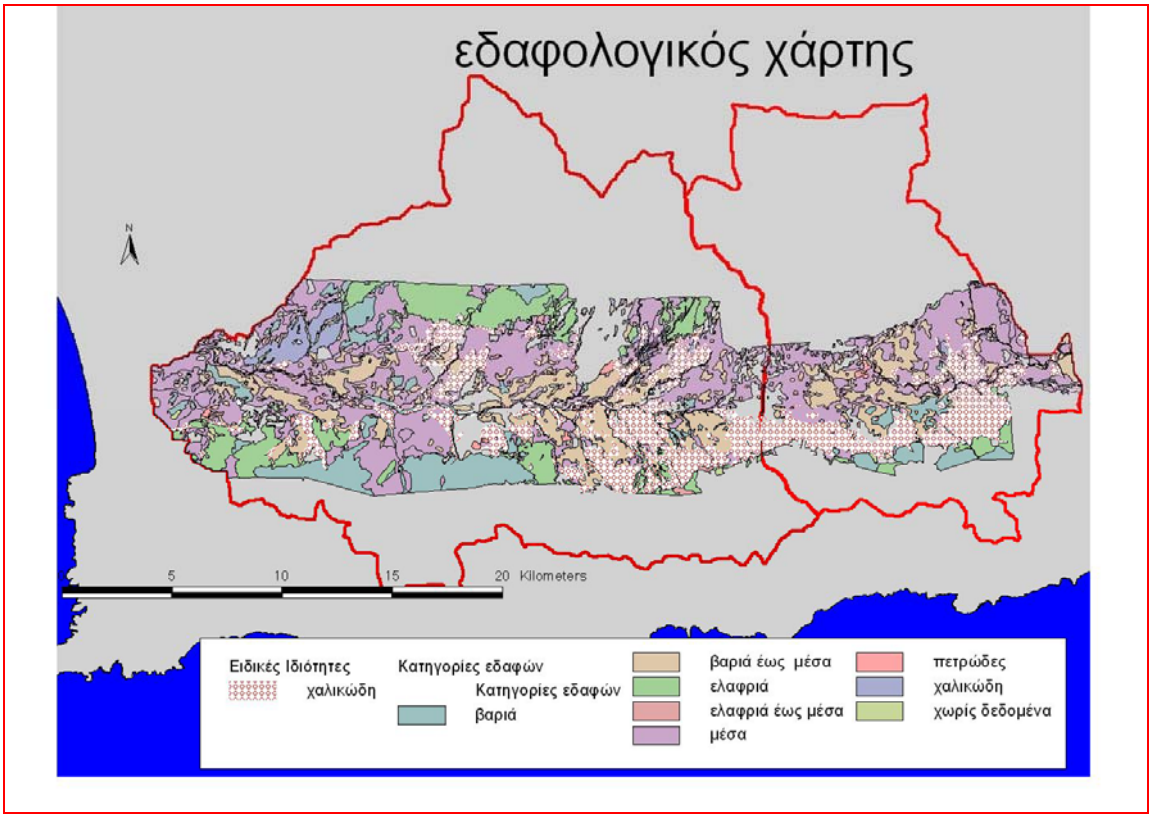


Εικόνα 3.1-5 Χρήσεις γης περιοχής μελέτης (πηγή corine)

Εδαφολογικά χαρακτηριστικά

Άλλος σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει ιδιαίτερα την επιφανειακή απορροή είναι η σύσταση των εδαφών. Ο ρυθμός διήθησης καθορίζεται κύρια από τις μηχανικές ιδιότητες των εδαφών και κατά συνέπεια επηρεάζουν άμεσα την απορροή. Σε μικρότερο βαθμό η χημική σύσταση των εδαφών σε συνδυασμό με τις μηχανικές ιδιότητες τους, καθορίζουν την φυτοκάλυψη και

τους επικρατούντες τύπους της χλωρίδας και κατά συνέπεια επηρεάζουν την απορροή όπως εξηγήθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο. Στο χάρτη της Εικόνα 3.1-6 εμφαίνονται οι κατηγορίες εδαφών του πεδινού τμήματος της περιοχής μελέτης καθώς και οι περιοχές που επικρατούν χαλικώδη εδάφη. Οι μηχανικές ιδιότητες των εδαφών ως πορωδών μέσων εξετάζονται λεπτομερώς στο επόμενα κεφάλαια της γεωλογία και της υδρογεωλογίας.



Εικόνα 3.1-6 Εδαφολογικός Χάρτης πεδινού τμήματος (πηγή BEWARE)

3.2 Υδρομετρικά δεδομένα

Τρεις υδρομετρικοί σταθμοί, του Λιθαίου, της Πλακιώτισας και της Φαιστού, της περιοχή μελέτης διαθέτουν χρονοσειρά όγκου απορροής με ημερήσιο βήμα ο οποίος υπολογίσθηκε, από την ΥΕΒ, με βάση τη στάθμη που καταγραφόταν σε αυτόματο καταγραφικό όργανο (σταθμηγράφο) και την καμπύλη στάθμης – παροχής. Η καμπύλη στάθμης – παροχής κατασκευάσθηκε με μετρήσεις της παροχής και της συσχέτιση της με την στάθμη που καταγραφόταν στο σταθμήμετρο.

Η μέτρηση της παροχής πραγματοποιούταν με τη διαίρεση της διατομής του υδορέματος σε κατακόρυφες διατομές που να απέχουν αποστάσεις (Δw_i) περίπου το 10% της ολικής παροχής της διατομής και οι μετρήσεις της ταχύτητας (u_i) γινόταν σε βάθος (d_i) 0,6 από την επιφάνεια για μικρά βάθη. Όταν το βάθος νερού ήταν μεγάλο τότε σε κάθε διατομή μετριόταν η ταχύτητα σε βάθη 0.2 και 0.8. Η παροχή υπολογιζόταν από τη σχέση:

$$Q = \sum_i q_i = \sum_i u_i d_i \Delta w_i$$

όπου u_i = ταχύτητα σε βάθος 0,60 ή ο μέσος όρος όταν μετριόταν σε βάθη 0.80 και 0,20.
Η μέτρηση της ταχύτητας γινόταν με κατακόρυφο μυλίσκο.
Η καμπύλη στάθμης – παροχής προέκυψε από συστηματικές μετρήσεις για διάφορες δίαιτες και η μαθηματική έκφραση της καμπύλης βέλτιστης προσαρμογής βρέθηκε:

- για τη διατομή στη θέση Φαιστός: $Q= 3,806\ h^{1,6269}$, r=0,8
- για τη διατομή στη θέση Λιθαίος: $Q= 5.6015\ h^{1,8767}$, r=0,975
- για τη διατομή στη θέση Πλακιώτισα: $Q=6,7505\ h^{1,9563}$, r=0,94

Λόγω της χειμαρρώδους ροής η διατομή δεν παρέμεινε σταθερή, κυρίως λόγω της στερεοπαροχής και δευτερευόντως λόγω της διάβρωσης, με αποτέλεσμα οι μετρήσεις της παροχής – στάθμης που πραγματοποιούταν κάθε μήνα, από το υδρολογικό τμήμα της ΥΕΒ, να μην ταυτίζονται με την καμπύλη στάθμης-παροχής. Οι τελικοί υπολογισμοί των απορροών σε ημερήσιο βήμα γινόντουσαν κατόπιν της διόρθωσης της καμπύλης στάθμης – παροχής με βάση τις νέες μετρήσεις για κάθε έτος.

3.2.1 Σφάλματα μετρήσεων – αβεβαιότητα

Τα κυριότερα σφάλματα που υπεισέρχονται στις μετρήσεις των απορροών μπορούν να διακριθούν σε αυτά που:

- προκαλούνται από αλλαγές της διατομής και της κλίσης του υδρορεύματος
- οφείλονται στη δυσλειτουργία των εξαρτημάτων του σταθμού (καταγραφικό, φλοτέρ, μηχανισμό περιστροφής τυμπάνου κα)
- οφείλονται στη μη ομαλή ροή στη διατομή μέτρησης κυρίως κατά τη διάρκεια των πλημμυρικών φαινομένων (πχ η καμπύλη στάθμης – παροχής έχει διαφορετικούς κλάδους ανόδου και καθόδου)
- υπεισέρχονται στην καμπύλη στάθμης – παροχής αφού δεν υπάρχει μια καμπύλη διαχρονική αλλά είναι ένα σύνολο καμπύλων που ισχύει η κάθε μια για ένα περιορισμένο χρονικό διάστημα.
- οφείλονται σε ανθρώπινα σφάλματα

Στους σταθμούς της περιοχής μελέτης τα μεγαλύτερα προβλήματα σε ότι αφορά τις αλλαγές στη διατομή και την κλίση εμφανίζει ο σταθμός του Λιθαίου όπου η διατομή, η οποία κατασκευάσθηκε από τον FAO, βρίσκεται στο χώρο των αρχαιοτήτων της Γόρτυνας και η αρχαιολογική υπηρεσία απαγόρευε την οποιαδήποτε επέμβαση- διόρθωση της κοίτης του χειμάρρου.
Επίσης προβλήματα εμφάνισε η διατομή της Πλακιώτισας λόγω των διαβρώσεων από πλημμυρικά επεισόδια και στερεοπαροχών. Για την αντιμετώπιση των η θέση μέτρησης μεταφέρθηκε μερικές εκατοντάδες μέτρα ανάντη της αρχικής στον υπερχειλιστή του μικρού φράγματος Πλακιώτισσας.
Μικρότερα προβλήματα συγκριτικά με τους άλλους σταθμούς εμφάνισε η διατομή της Φαιστού η οποία είναι στη γέφυρα της επαρχιακής οδού που οδηγεί στις αρχαιότητες Φαιστού και υπήρχε η δυνατότητα επέμβασης στην διατομή.
Σφάλματα μέτρησης εντοπίζονται κυρίως στη μέτρηση των μικρών παροχών που οφείλονται, όπως προαναφέρθηκε, στην αλλαγή της κοίτης των ορθογώνιων διατομών και της δυνατότητας καταγραφής της χαμηλής στάθμης από το όργανο. Επίσης σφάλματα μέτρησης εντοπίζονται και στην καταγραφή

των πλημμυρικών επεισοδίων σε σχέση με τη δυνατότητα της σωστής λειτουργίας των οργάνων των σταθμών σε χειμαρρώδης ροές.
Επιπρόσθετα σφάλματα υπεισέρχονται λόγω της βαθμονόμησης της καμπύλης στάθμης- παροχής. Η βαθμονόμηση της καμπύλης γινόταν με μετρήσεις παροχής που πραγματοποιούντο με μυλίσκο, από το έμπειρο προσωπικό της ΥΕΒ, με συχνότητα, μιας μέτρησης ανά μήνα και η μαθηματική έκφραση της καμπύλης βέλτιστης προσαρμογής αναπροσαρμοζόταν κάθε έτος όπου μετατρεπόταν οι μετρήσεις του σταθμηγράφου σε ημερήσιες παροχές, συνεπακόλουθα εμπεριέχονται σφάλματα λόγω της μικρής (μηνιαίας) συχνότητας μετρήσεων για τη βαθμονόμηση.
Επίσης σφάλματα υπεισέρχονται στις καμπύλες στάθμης – παροχής σε ότι αφορά το πλήθος και την ακρίβεια των μετρήσεων των υψηλών παροχών (πλημμυρικών επεισοδίων). Οι υψηλές παροχές, λόγω της χειμαρρώδους ροής και των χαρακτηριστικών των λεκανών απορροής σε συνδυασμό με τις υψηλές εντάσεις των βροχοπτώσεων εμφανίζουν μικρό χρόνο απόκρισης που συνήθως διαρκεί κάποιες ώρες ή λίγες ημέρες. Οι τακτικές μηνιαίες μετρήσεις των απορροών που πραγματοποιούντο από την ΥΕΒ έχουν καταγράψει λιγοστά πλημμυρικά επεισόδια και επομένως η καμπύλη στάθμης-παροχής προσαρμόσθηκε με μικρό δείγμα τιμών. Επιπλέον οι μετρήσεις των υψηλών πλημμυρικών παροχών στους σταθμούς του Λιθαίου και της Πλακιώτισσας, γινόντουσαν με εκτίμηση, λόγω της δυσκολίας προσπέλασης στη θέση μέτρησης και της μη ύπαρξης εναέριας μόνιμης καλωδίωσης. Σε αντίθεση στον σταθμό της Φαιστού οι μετρήσεις αυτές πραγματοποιούντο με σχετική ευκολία λόγω της γέφυρας που βρίσκεται στη διατομή.
Τα παραπάνω σφάλματα δεν είναι δυνατόν να ποσοτικοποιηθούν λόγω της έλλειψης των απαιτούμενων δεδομένων για αυτόν τον υπολογισμό (πχ έλλειψη διαχρονικών μετρήσεων ενός προτύπου σταθμού που λειτούργησε στη περιοχή, έλλειψη καταγραφής των διαχρονικών μεταβολών της διατομής).
Θα πρέπει όμως να σημειωθεί ότι το υδρολογικό τμήμα της ΥΕΒ που πραγματοποιούσε τις μετρήσεις διέθετε έμπειρο και καταρτισμένο προσωπικό και δεν αναμένονται ανθρώπινα σφάλματα (ή είναι ελάχιστα) να υπεισέρχονται στις μετρήσεις.

3.3 Έλεγχος υδρομετρικών δεδομένων, σχέση βροχόπτωσης - απορροής

3.3.1 Σχέση βροχόπτωσης- απορροής

Γενικά αναμένεται καλή συσχέτιση μεταξύ βροχής και απορροής σε περιοχές όπου η περισσότερη βροχόπτωση πίπτει κατά τη διάρκεια των χειμερινών μηνών. Την περίοδο αυτή έχουμε τις μικρότερες απώλειες λόγω της μικρής εξατμισοδιαπνοής σε αντίθεση με τις εαρινές ή φθινοπωρινές βροχοπτώσεις όπου ένα μεγάλο ποσοστό της βροχόπτωσης κατακρατείται από το έδαφος ή εξατμισοδιαπνέεται. Επομένως η βροχόπτωση η οποία παράγει απορροή εξαρτάται από πότε συμβαίνει και συχνά ενδείκνυται η εφαρμογή μηνιαίων βαρών ώστε να βελτιωθεί η αξιοπιστία της συσχέτισης των.
Η συσχέτιση της βροχόπτωση – απορροής απαιτείται από την υδρολογική ανάλυση της περιοχής μελέτης και συμβάλλει:

- στον έλεγχο της συνέπειας της χρονοσειράς των δεδομένων απορροής για την περίοδο μελέτης.
- στην προσαρμογή της απορροής, εφόσον διαπιστωθεί ασυνέπεια, και απαιτείται για παράδειγμα να υπολογισθεί η αποθήκευση σε ένα φράγμα.
- στη διαπίστωση τυχόν απωλειών (π.χ. λόγω καταναλώσεων από χρήστες, εκτροπή σε άλλη λεκάνη) και του υπολογισμού των απωλειών αυτών.
- στη διερεύνηση των αιτίων που προκάλεσαν τη μεταβολή της δίαιτας της απορροής οι οποίες δεν εξηγούνται από τη μεταβολή της βροχόπτωσης (π.χ αλλαγή της θέσης του σταθμού ή άλλων παραμέτρων, αλλαγή χρήσης γης, κα).

Αναλύοντας τα δεδομένα βροχόπτωσης και απορροής με την μέθοδο της διπλής αθροιστικής καμπύλης δύναται να εντοπιστούν τυχόν ασυνέπειες στη χρονοσειρά και μπορούν να εξαλειφθούν με κατάλληλο προσαρμογή. Θα πρέπει όμως να ληφθεί επίσης υπόψη ότι συχνά υπάρχει μια σημαντική υστέρηση μεταξύ της βροχής και της ακολουθούμενης απορροής στο ποσοστό αυτό που εμπλουτίζει τον υδροφορέα.

Η συσχέτιση μεταξύ βροχόπτωσης και απορροής για την περιοχή μελέτης έγινε σε μηνιαίο και ετήσιο χρονικό βήμα για τις τρεις υδρολογικές υπολεκάνες που διαθέτουν χρονοσειρές απορροών. Ως δεδομένα της βροχόπτωσης χρησιμοποιήθηκε η επιφανειακή βροχόπτωση στο κέντρο βάρος της κάθε υπολεκάνης όπως υπολογίσθηκε στο κεφάλαιο 1. Τα δεδομένα της απορροής ανήχθηκαν σε ύψος (mm). Η συσχέτιση σε μηνιαίο βήμα έδωσε συντελεστές με «μέτρια» συσχέτιση, ενώ σε ετήσιο βήμα έδωσε υψηλούς συντελεστές και «ισχυρή» συσχέτιση (Πίνακ. 3.3-1). Οι καμπύλες συσχέτισης στους σταθμούς Γεροποτάμου, Λιθαίου και Αναποδάρη δίνονται στα γραφήματα της Εικόνα 3.3-1, Εικόνα 3.3-3 και Εικόνα 3.3-5 αντίστοιχα.

Πίνακ. 3.3-1 Γραμμική παλινδρόμηση ετήσιας βροχόπτωσης - απορροής

α/α	Υδρομετρικός σταθμός	y=ax+b		συντελεστής συσχέτισης r
		a	b	
1	Φαιστός	0,1640	-72,003	0,66
2	Λιθαίος	0,3345	-163,41	0,78
3	Πλακιώτισα	0,5009	-218,09	0,86

3.3.2 Έλεγχος της συνέπειας των υδρομετρικών δεδομένων – προσαρμογή δεδομένων

Τα δεδομένα των υδρομετρικών σταθμών, πριν από τη χρήση τους στην υδρολογική ανάλυση επιβάλλεται να ελεγχθούν ως προς τη (α)συνέπεια των, λόγω αλλαγών που μπορεί να προκάλεσαν μεταβολές στον όγκο ή την ταχύτητα απορροής ή και στα δύο. Οι αλλαγές αυτές μπορεί να οφείλονται σε διάφορους παράγοντες όπως η αλλαγή θέσης του σταθμού, η εσφαλμένη λειτουργία των οργάνων, η απόληψη ποσοτήτων νερού από την λεκάνη, η μεταβολή της κατείσδυσης κα.

Για τον έλεγχο της (α)συνέπειας χρησιμοποιείται και εδώ η διπλή αθροιστική καμπύλη (βλέπε κεφάλαιο 1). Για την εφαρμογή της διπλής αθροιστικής καμπύλης η βάση μπορεί να είναι η απορροή σε ένα ή περισσότερους σταθμούς

στους οποίους δεν έχει μεταβληθεί η υδρολογική κατάστασή τους. Συχνά όμως απουσιάζουν αξιόπιστες μετρήσεις για να χρησιμοποιηθούν ως βάση της διπλής αθροιστική καμπύλης ή ακόμα συχνότερα για την κατάσταση στον Ελλαδικό χώρο δεν υφίσταται χρονοσειρές πλέον του ενός σταθμού σε μια υδρολογική λεκάνη. Σε αυτές τις περιπτώσεις ως τιμές βάσης της διπλής αθροιστικής καμπύλης χρησιμοποιούνται συνθετικές απορροές. Οι δύο μέθοδοι παρουσιάζονται παρακάτω.

Διπλή αθροιστική καμπύλη απορροής- συνθετικής απορροής.
Με τη μέθοδο αυτή ως τιμές βάσης της διπλής αθροιστικής καμπύλης χρησιμοποιούνται συνθετικές απορροές οι οποίες παράγονται από τη χρονοσειρά της μέσης βροχόπτωσης του κέντρο βάρους της υπολεκάνης που οροθετείται από τη θέση του σταθμού. Η χρονοσειρά της μέσης βροχόπτωσης, σε ένα αριθμό σταθμών, δεν ενδείκνυται να χρησιμοποιηθεί απευθείας ως βάση της καμπύλης διότι η απορροή (q) συνδέεται με την βροχόπτωση (P) με μια σχέση της μορφής q=kP. Μια περισσότερο αποτελεσματικότερη διαδικασία, η οποία ενδείκνυται σε αυτές τις περιπτώσεις, είναι η εύρεση της μαθηματικής σχέσης μεταξύ βροχόπτωσης και απορροής (βλέπε προηγούμενη παράγραφο) και με βάση τη σχέση αυτή παράγεται συνθετική χρονοσειρά απορροής από την επιφανειακή βροχόπτωση. Η καμπύλη της διπλής αθροιστικής καμπύλης κατασκευάζεται με άξονες την παρατηρούμενη απορροή και την συνθετική (Linsley, ea 1988). Με τη διαδικασία αυτή κατασκευάσθηκαν οι διπλές αθροιστικές καμπύλες με ετήσιες τιμές που εμφανίζουν ισχυρή συσχέτιση για τους τρεις υδρομετρικούς σταθμούς της περιοχής μελέτης (Εικόνα 3.3-2, Εικόνα 3.3-4 και Εικόνα 3.3-6). Από την ανάλυση των γραφημάτων συμπεραίνονται:

- Η διπλή αθροιστική καμπύλη της χρονοσειράς της Φαιστού (Εικόνα 3.3-2) εμφανίζει θλάσεις (ασυνέπειες) κατά τις περιόδους 1985-1989, 1989-1995, και 1995-2001. Όπως αναλύθηκε στην παράγραφο 3.2 στον σταθμό της Φαιστού αναμένονται τα μικρότερα σφάλματα μέτρησης, συνεπακόλουθα αναζητήθηκαν αλλαγές σε άλλους παραμέτρους που συμβάλλουν για την εμφάνιση των θλάσεων αυτών. Από τη διερεύνηση προέκυψε ότι μετά το 1985 έχουμε ελάττωση της απορροής για δύο κυρίως λόγους: α) ποσότητες που νερού που προέρχονται από τις πηγές της Γέργερης και διαμέσου της υπολεκάνης του Λιθαίου στη λεκάνη του Γεροποτάμου δεσμεύτηκαν από το αρδευτικό έργο του ΤΟΕΒ Γέργερης και την πλήρωση της ομώνυμης λιμνοδεξαμενής και β) λόγω καταρχήν του αρδευτικού έργου της Β’ και Γ΄ ζώνης Μεσαράς, που αξιοποιεί το νερό του αλλουβιακού-πλειστοκαινικού υδροφορέα των Μοιρών, και της υπερεκμετάλλευσης του υδροφορέα που επακολούθησε της λειτουργίας του έργου, προκλήθηκε βαθμιαία πτώση της στάθμης κατά μέσο όρο από τα 3 μέτρα στα 45 μέτρα. Το αποτέλεσμα της μεγάλης πτώσης της υδροστατικής στάθμης του υδροφορέα είναι η αύξηση της κατείσδυσης και ταυτόχρονα η μείωση της απορροής. Επιπρόσθετα και λόγω του έργου της εκτροπής του Γεροποτάμου, που είχε ως στόχο την παραπέρα αύξηση του φυσικού εμπλουτισμού του υδροφορέα Μοιρών, αυξήθηκε ακόμη περισσότερο η κατείσδυση και συνεπακόλουθα ελάττωση της

απορροής. Η αύξηση της κατείσδυσης στον υδροφορέα των Μοιρών συζητείται λεπτομερέστερα στα κεφάλαια 5 και 6

- Η διπλή αθροιστική καμπύλη της χρονοσειράς του Λιθαίου (Εικόνα 3.3-4) εμφανίζει θλάσεις (ασυνέπεια) κατά την περίοδο 1985-1994 και 1994-2005. Η ασυνέπεια αυτή ερμηνεύεται, όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη παράγραφο, λόγω της ελάττωσης της απορροής που προκλήθηκε από τη δέσμευση ποσοτήτων νερού από το αρδευτικά έργο του ΤΟΕΒ Γέργερης. Η δέσμευση αυτή γίνεται με την απευθείας χρήση του νερού των πηγών Γέργερης κατά την αρδευτική περίοδο και για την πλήρωση της λιμνοδεξαμενής κατά τη χειμερινή περίοδο.

- Η διπλή αθροιστική καμπύλη της χρονοσειράς της Πλακιώτισας (Εικόνα 3.3-6) δεν εμφανίζει θλάσεις (ασυνέπεια) και από τη διερεύνηση επαληθεύτηκε ότι στην υδρολογική υπολεκάνη της Πλακιώτισας κατά την περίοδο μελέτης δεν συνέβη καμιά σημαντική μεταβολή (πχ κατασκευή λιμνοδεξαμενής, εκτροπή υδάτων, αλλαγή χρήσεων γης κλπ) ώστε να επιφέρει ελάττωση των απορροών.

Διπλή αθροιστική καμπύλη απορροών

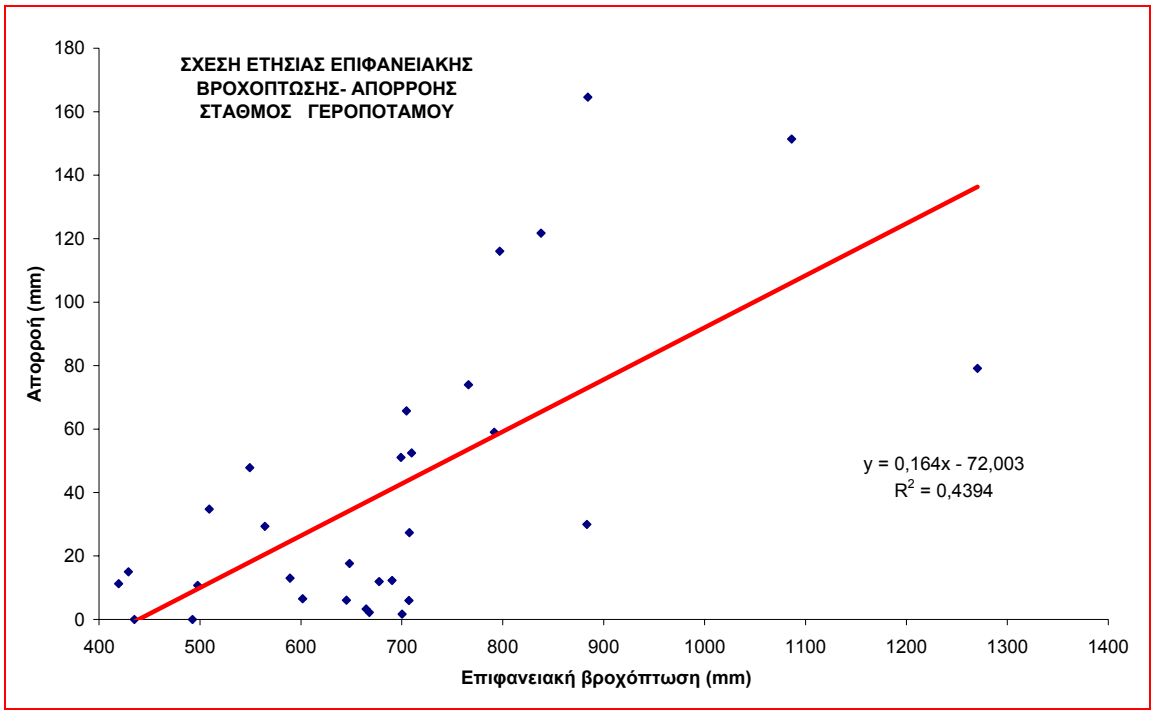
Η διπλή αθροιστική καμπύλη κατασκευάσθηκε επίσης και ανάμεσα στις απορροές των τριών σταθμών της περιοχή μελέτης (Εικόνα 3.3-7, Εικόνα 3.3-8, Εικόνα 3.3-9 και Εικόνα 3.3-10). Το δείγμα σ' αυτή την περίπτωση είναι μικρότερο λόγω του ότι η χρονοσειρά στο σταθμό της Πλακιώτισας σταματά το 1995, με εξαίρεση το γράφημα των σταθμών Φαιστού – Λιθαίου (Εικόνα 3.3-9). Οι καμπύλες απεικονίζουν τις σχετικές μεταβολές των σταθμών επειδή δεν διατίθεται όπως προαναφέρθηκε αξιόπιστες χρονοσειρές σε κάποιο (ή κάποιους) σταθμό σε ότι αφορά τα τυχόν σφάλματα ή μεταβολές της υδρολογικής δίαιτας που έχουν υπεισέρθει σε αυτές και να χρησιμοποιηθεί ως βάση. Από την ανάλυση των καμπυλών παρατηρούμε τα παρακάτω:

- Όλες καμπύλες εμφανίζουν ανάλογες θλάσεις με αυτές των καμπύλων που κατασκευάσθηκαν με την παραγόμενη χρονοσειρά απορροής από την επιφανειακή βροχόπτωση και στα τα ίδια υδρολογικά έτη.

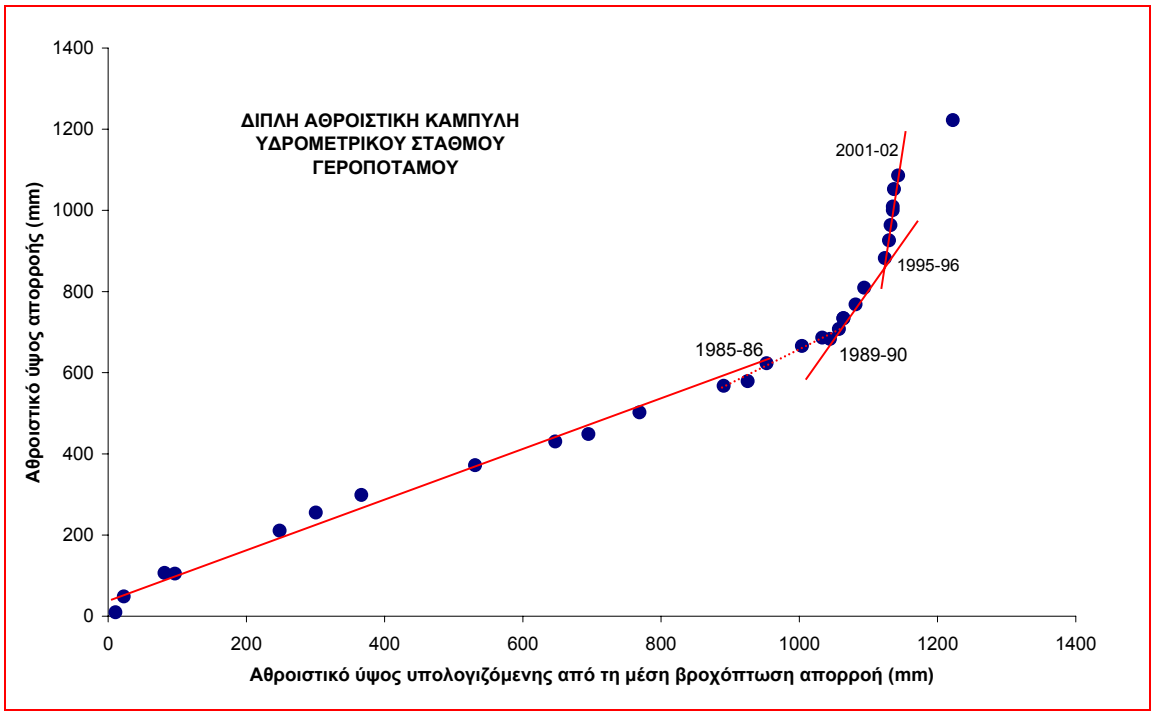
- Οι θλάσεις αυτές δείχνουν την εμφάνιση σχετικής ασυνέπειας των σταθμών που απεικονίζονται χωρίς όμως να μπορεί να διαπιστωθεί ποιος σταθμός εμφανίζει ασυνέπειες και ποιος όχι.

- δεν μπορεί να διαπιστωθεί σε ποιο σταθμό οι μετρήσεις εμφανίζουν συστηματικές μεταβολές, από κάποια περίοδο και μετά, ώστε να διερευνηθούν τα αίτια που τις προκάλεσαν (βλέπε παράγραφο 3.2) λόγω της έλλειψης σταθμού αναφοράς με αξιόπιστες μετρήσεις και επιπλέον του μικρού πλήθους των διατιθέμενων χρονοσειρών στην περιοχή μελέτης.

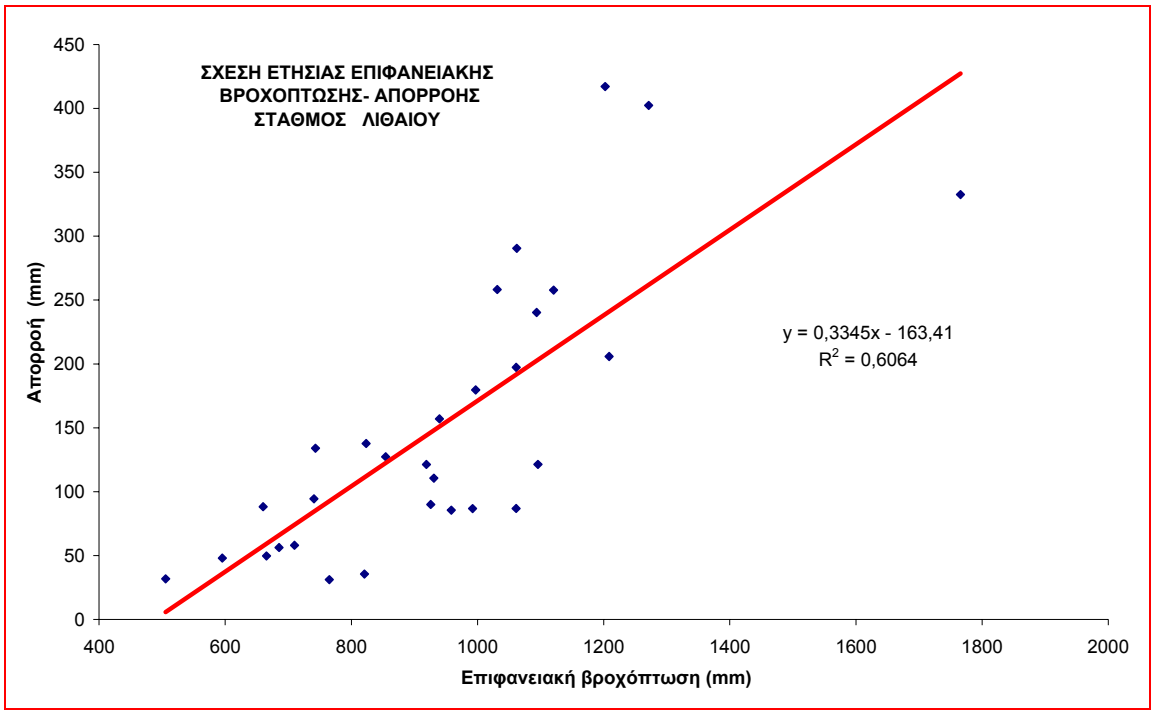
Συμπερασματικά, η ανάλυση με τη μέθοδο της διπλής αθροιστικής καμπύλης μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε ανάμεσα στις απορροές των σταθμών είτε ανάμεσα στην απορροή ενός σταθμού και την παραγόμενη, από την μέση επιφανειακή βροχόπτωση, χρονοσειρά για τον ίδιο σταθμό με την προϋπόθεση ότι υπάρχει ισχυρή συσχέτιση μεταξύ βροχόπτωσης και απορροής. Και με τις δύο μεθόδους απεικονίζεται η ασυνέπεια των μετρήσεων (θλάσεις των καμπυλών) στα ίδια υδρολογικά έτη. Όταν όμως δεν υφίσταται πρότυποι σταθμοί (σταθμοί που οι μετρήσεις του θεωρούνται αξιόπιστες) η ανάλυση της διπλής αθροιστικής καμπύλης η οποία κατασκευάζεται από τις απορροές δεν μας παρέχει τη δυνατότητα να διαπιστώσουμε σε ποιον (ποιους) σταθμούς οφείλεται η ασυνέπεια ώστε να διερευνηθούν τα αίτια που την προκάλεσαν. Αυτό ωστόσο μπορεί να διαπιστωθεί αν χρησιμοποιηθεί η καμπύλη η οποία κατασκευάζεται σε ένα σταθμό μεταξύ απορροής και παραγόμενης χρονοσειράς απορροής από τη βροχόπτωση, με την προϋπόθεση ότι δεν έχουν μεταβληθεί οι βροχοπτώσεις στην περίοδο αυτή λόγω κλιματικών αλλαγών.
Θα πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι συστηματικά ή τυχαία σφάλματα που έχουν υπεισέρθει στις χρονοσειρές λόγω των αιτίων όπως αναφέρονται στην παράγραφο 3.2 δεν δύναται να διαπιστωθούν στην ανάλυση της διπλής αθροιστικής καμπύλης όπως εφαρμόσθηκε εδώ, λόγω της περιορισμένης διαθεσιμότητας των στοιχείων, της έλλειψης μητρώου αλλαγών των σταθμών και κυρίως λόγω της έλλειψης σταθμών με πρότυπες χρονοσειρές .



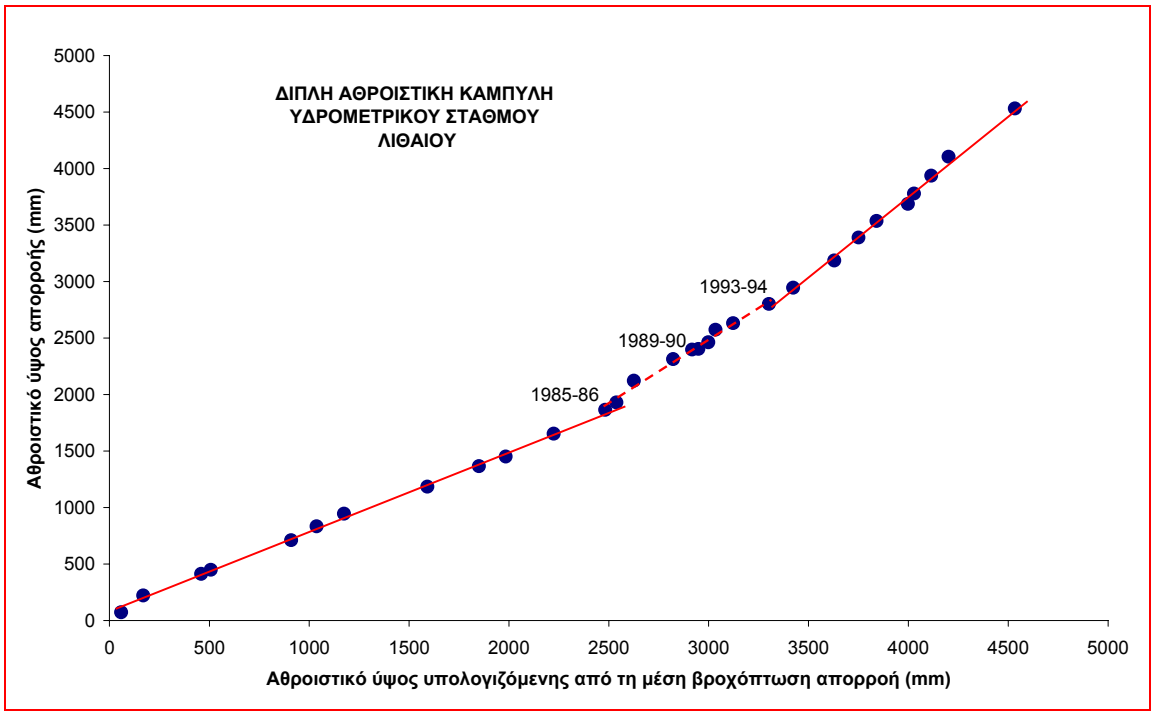
Εικόνα 3.3-1 Συσχέτιση ετήσιας επιφανειακή βροχόπτωσης – απορροής σταθμού Γεροποτάμου



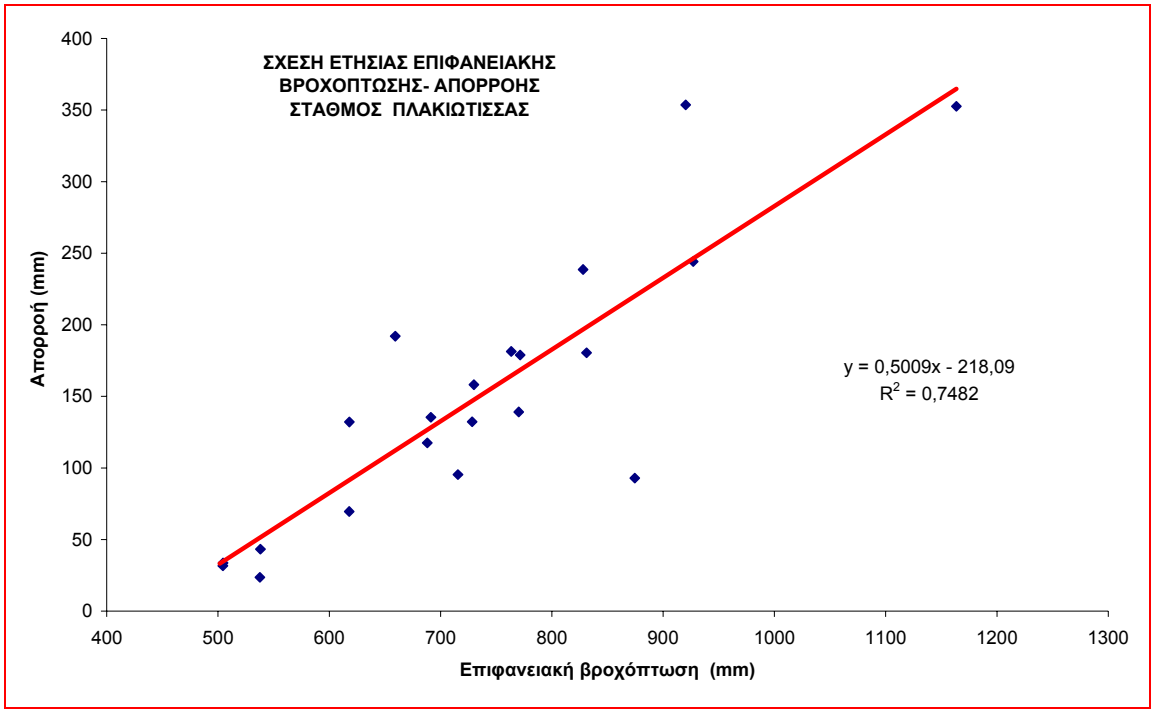
Εικόνα 3.3-2 Διπλή αθροιστική καμπύλη απορροών σταθμού Γεροποτάμου



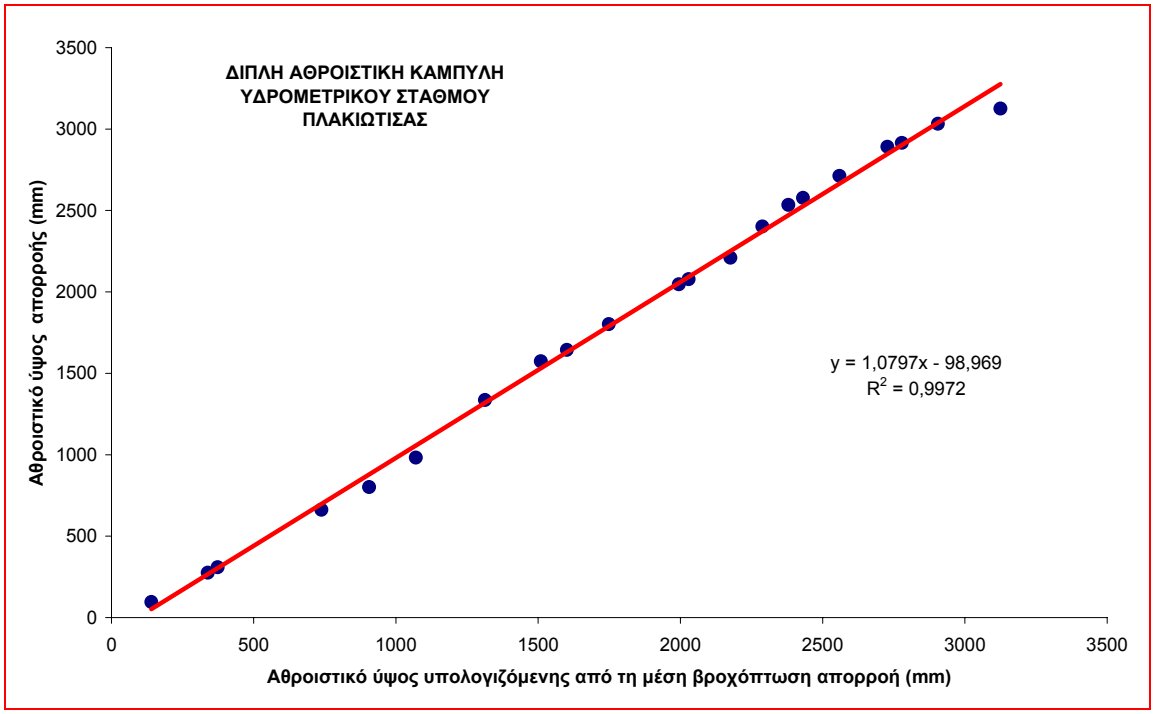
Εικόνα 3.3-3 Συσχέτιση ετήσιας επιφανειακή βροχόπτωσης – απορροής σταθμού Λιθαίου



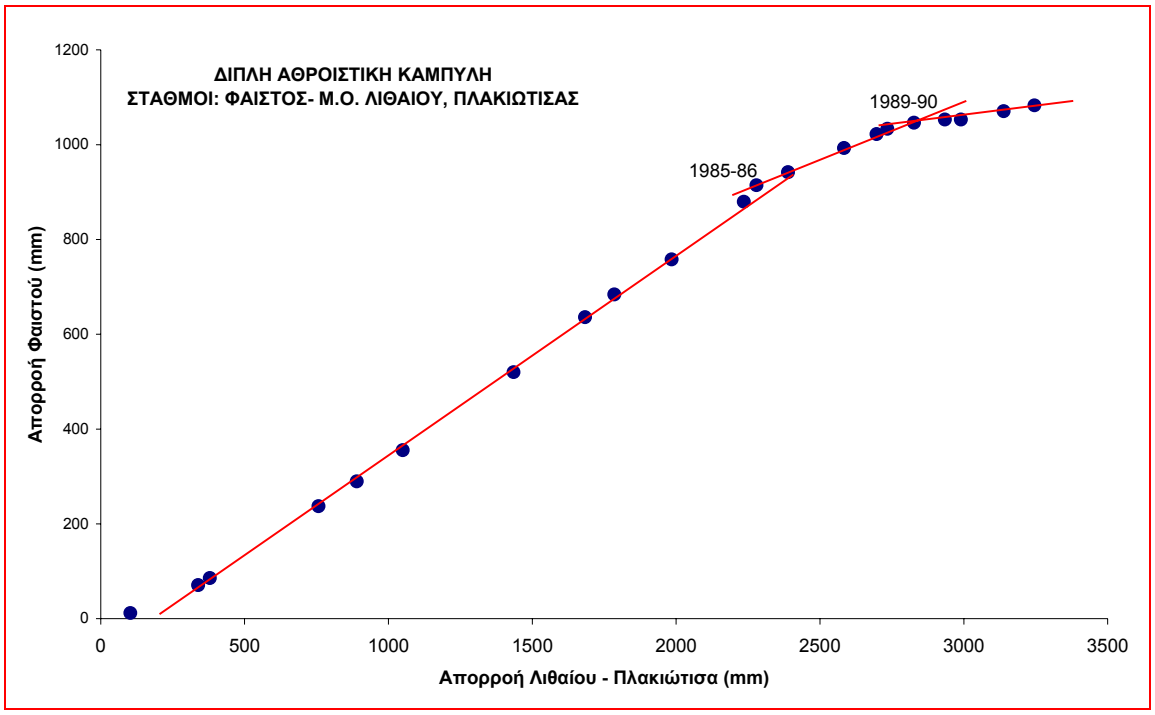
Εικόνα 3.3-4 Διπλή αθροιστική καμπύλη απορροών σταθμού Λιθαίου



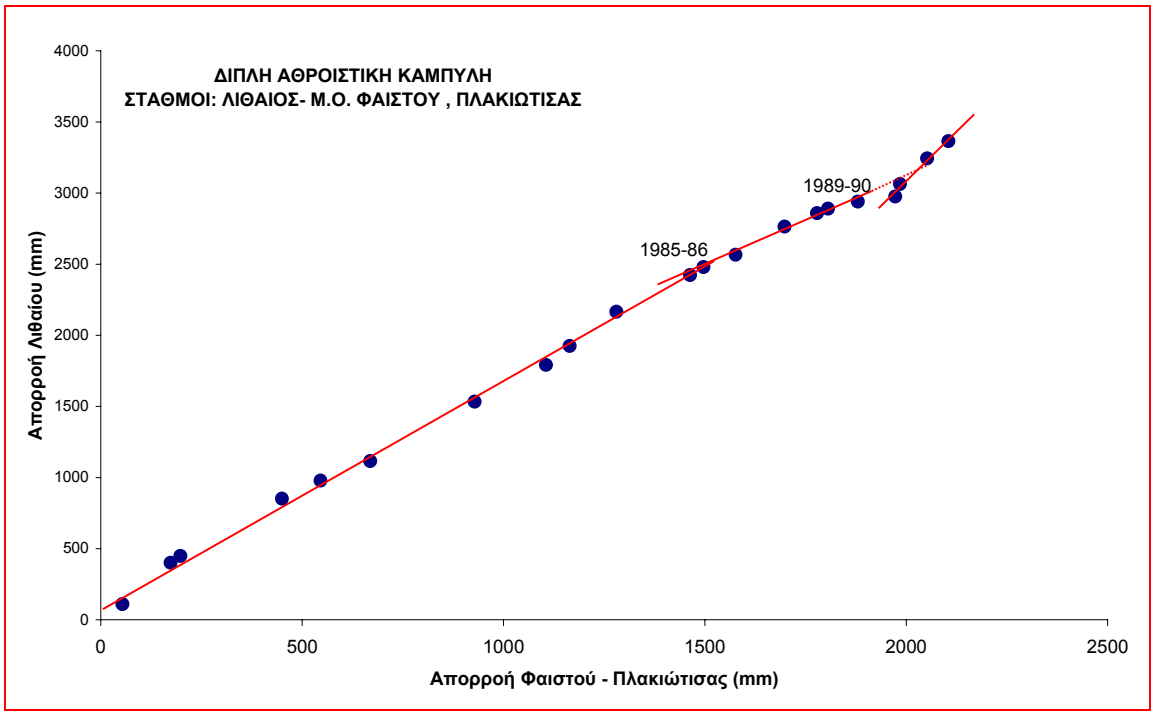
Εικόνα 3.3-5 Συσχέτιση ετήσιας επιφανειακή βροχόπτωσης – απορροής σταθμού Πλακιώτισας



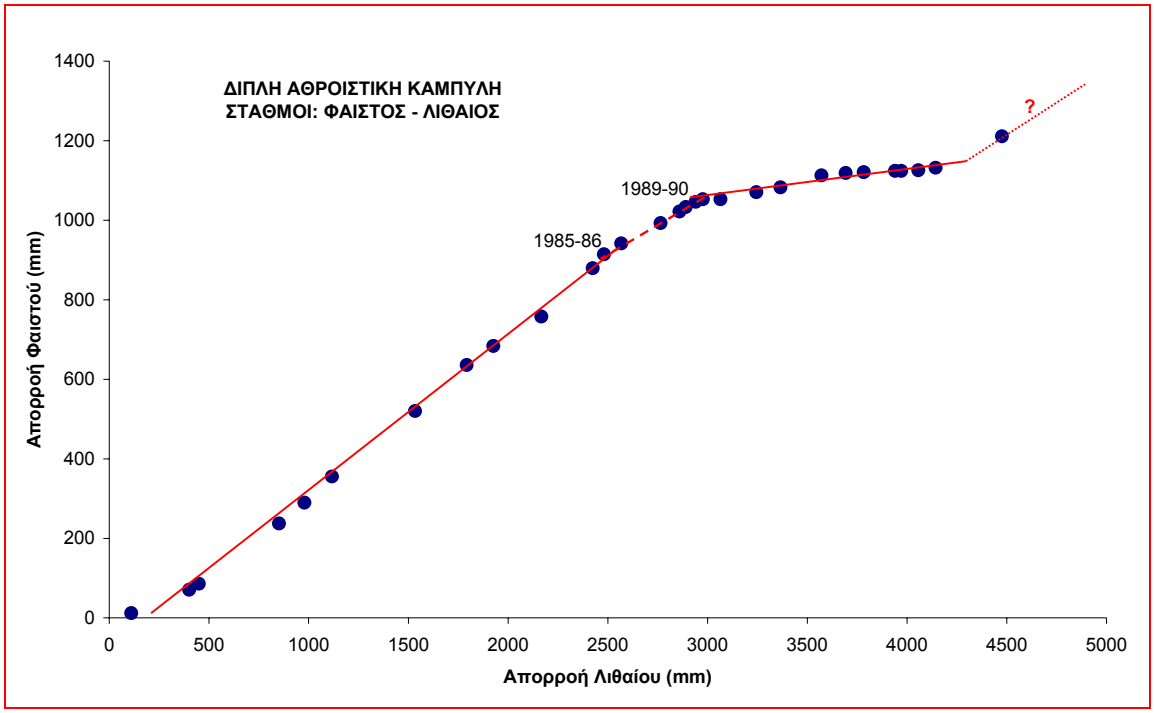
Εικόνα 3.3-6 Διπλή αθροιστική καμπύλη απορροών σταθμού Πλακιώτισας



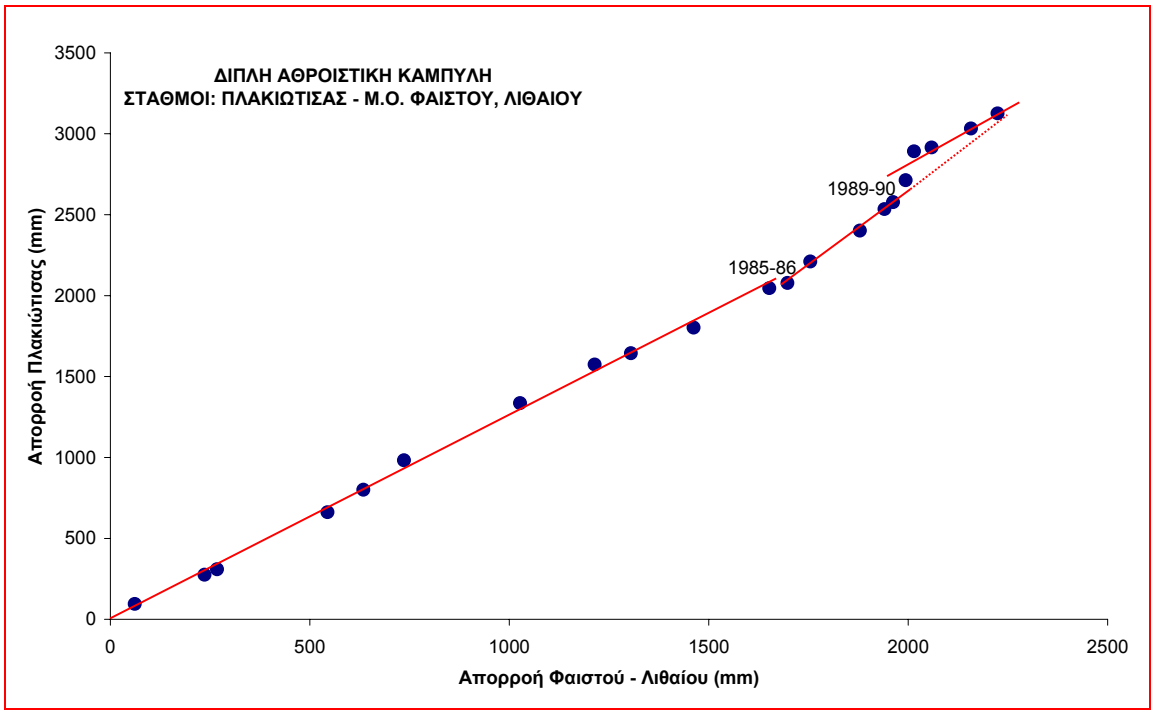
Εικόνα 3.3-7 Διπλή αθροιστική καμπύλη απορροών σταθμού Γεροποτάμου- Μ.Ο Λιθαίου και Πλακιώτισας



Εικόνα 3.3-8 Διπλή αθροιστική καμπύλη απορροών σταθμού Λιθαίου - Μ.Ο Γεροποτάμου και Πλακιώτισας



Εικόνα 3.3-9 Διπλή αθροιστική καμπύλη απορροών σταθμού Γεροποτάμου- Λιθαίου



Εικόνα 3.3-10 Διπλή αθροιστική καμπύλη απορροών σταθμού Πλακιώτισας - Μ.Ο Γεροποτάμου και Λιθαίου

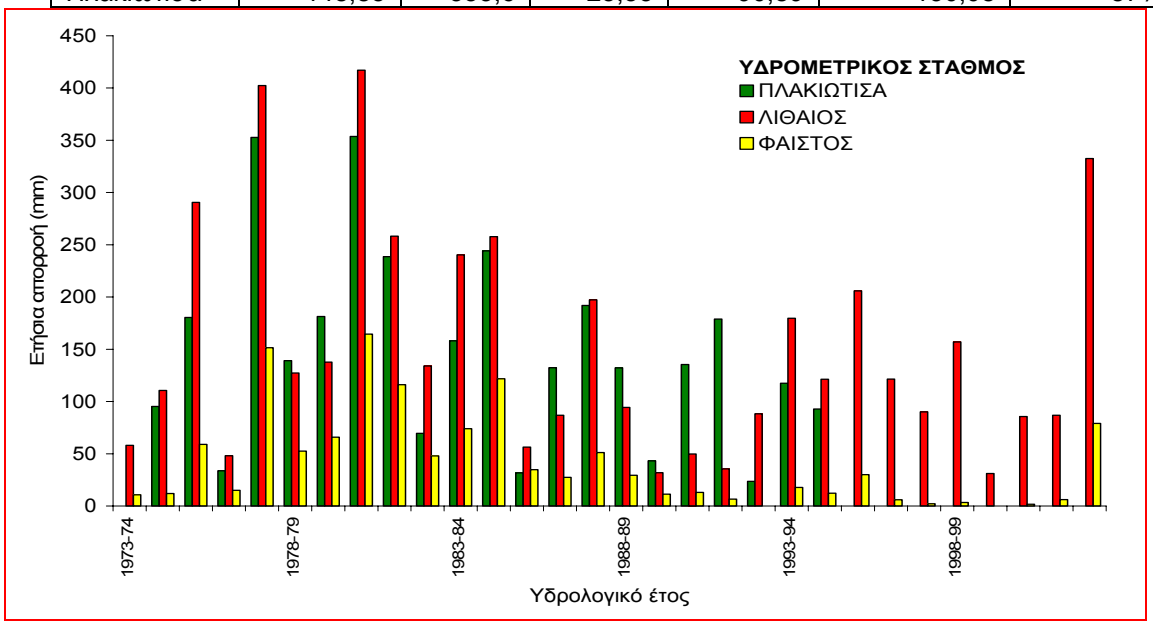
3.4 Ετήσια και μηνιαία κατανομή Απορροής

Σημαντική πληροφορία για τη υδρολογική ανάλυση μιας περιοχής μας παρέχουν οι ετήσιες και οι μηνιαίες μεταβολές των απορροών. Στην Εικόνα 3.4-1 απεικονίζονται οι ετήσιες απορροές των τριών υδρομετρικών σταθμών της περιοχή μελέτης. Οι μέσες μηνιαίες τιμές των απορροών απεικονίζονται στην Εικόνα 3.4-2, Εικόνα 3.4-3 και Εικόνα 3.4-4. Από τα γραφήματα αυτά παρατηρούνται τα παρακάτω:

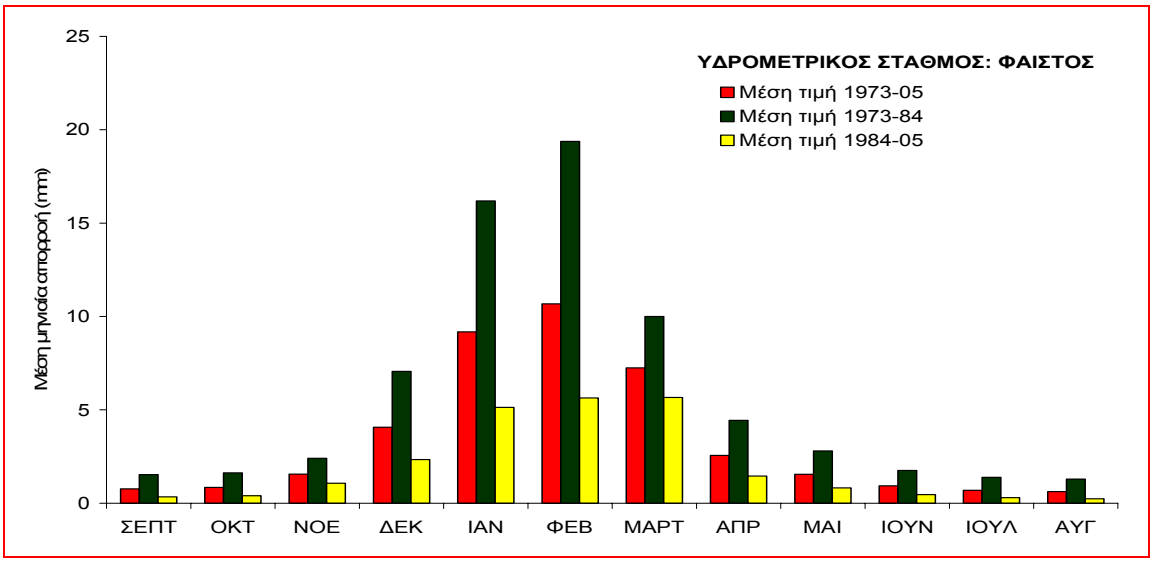
- Οι ετήσιες τιμές των απορροών εμφανίζουν έντονη μεταβολή ανάμεσα στα υδρολογικά έτη, τα συνοπτικά στατιστικά χαρακτηριστικά των χρονοσειρών τους δίνονται στον Πίνακ. 3.4-1.
- Οι ετήσιες απορροές των τριών υδρομετρικών σταθμών εμφανίζουν μεταξύ των σχετική αναλογία κατά τα έτη 1973-1985 ενώ τα υπόλοιπα έτη η αναλογία αντιστρέφεται. Αυτό οφείλεται στην ελάττωση των απορροών στους σταθμούς Φαιστού και Λιθαίου για τους λόγους όπως αναφέρονται στην παράγραφο 3.3.2 .
- Οι μηνιαίες απορροές εμφανίζουν έντονη εποχική μεταβολή με το μεγαλύτερο ποσοστό να απορρέει κατά την περίοδο από Δεκέμβριο μέχρι και Μάρτιο (77%-87%), ενώ την καλοκαιρινή περίοδο οι απορροές μηδενίζονται τις τελευταίες δεκαετίες (Πίνακ. 3.4-1).
- Η μέγιστη μέση μηνιαία απορροή εμφανίζει υστέρηση περίπου δυο μήνες της μέγιστης μέσης μηνιαίας βροχόπτωσης (Εικόνα 3.4-5, Εικόνα 3.4-6 και Εικόνα 3.4-7)

Πίνακ. 3.4-1 Στατιστικά στοιχεία ετήσιων απορροών υδρορευμάτων

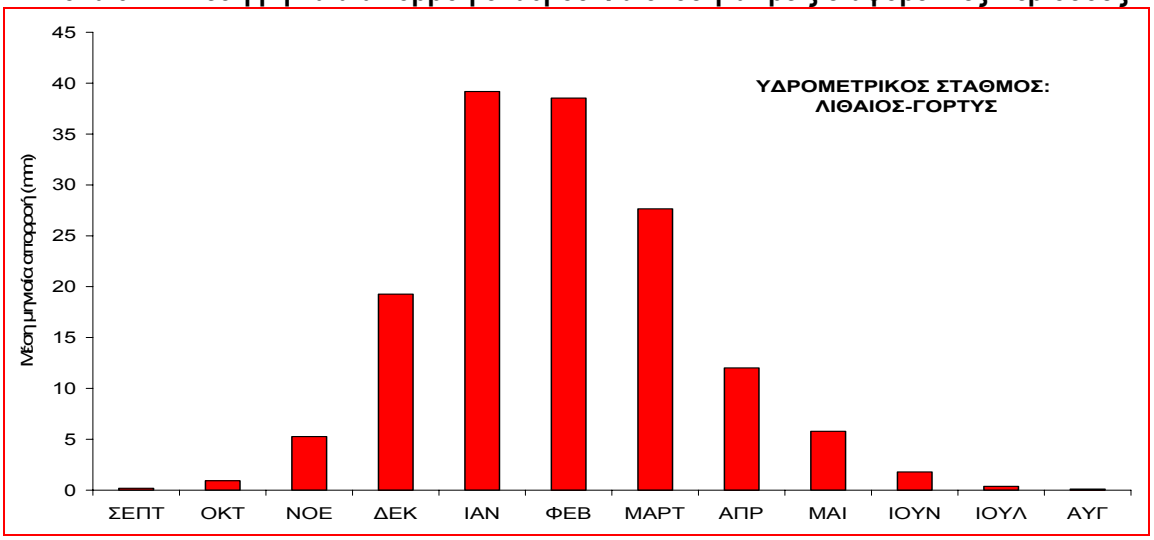
	Ετήσια Απορροή σε mm				Απορροή Δεκ. –Μαρτ.(mm)	
	Μέση τιμή	Μέγιστη	Ελάχιστη	Τυπική απόκλιση	Μέση τιμή	Ετήσιο Ποσοστό
Γεροπόταμος	40,74	164,59	0	45,01	31,18	77%
Λιθαίος	151,12	417,16	31,17	105,12	124,63	82%
Πλακιώτισα	148,85	353,6	23,53	90,89	130,08	87%



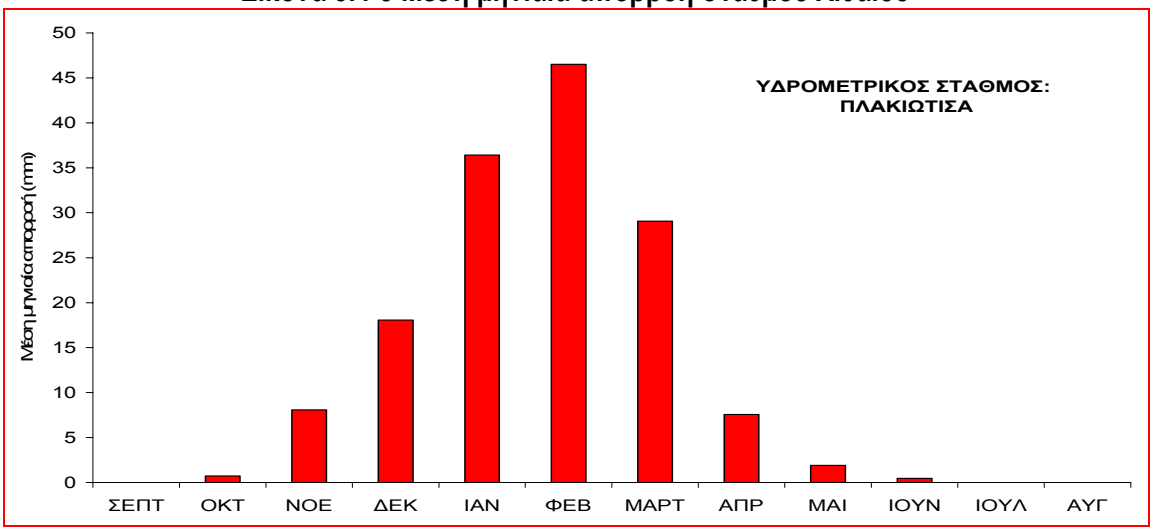
Εικόνα 3.4-1 Ετήσια απορροή υδρομετρικών σταθμών



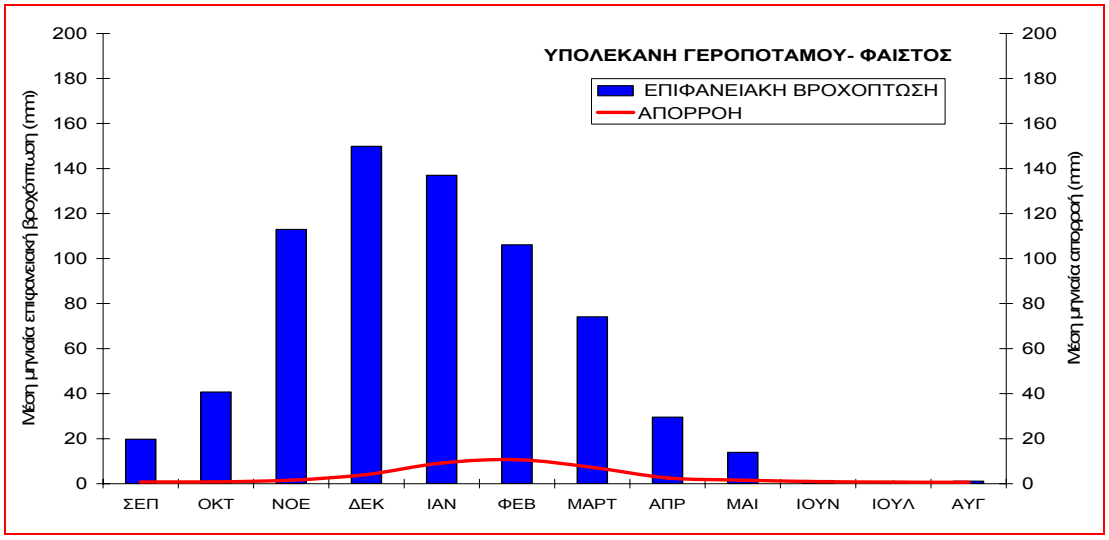
Εικόνα 3.4-2 Μέση μηνιαία απορροή σταθμού Φαιστού για τρεις διαφορετικές περιόδους



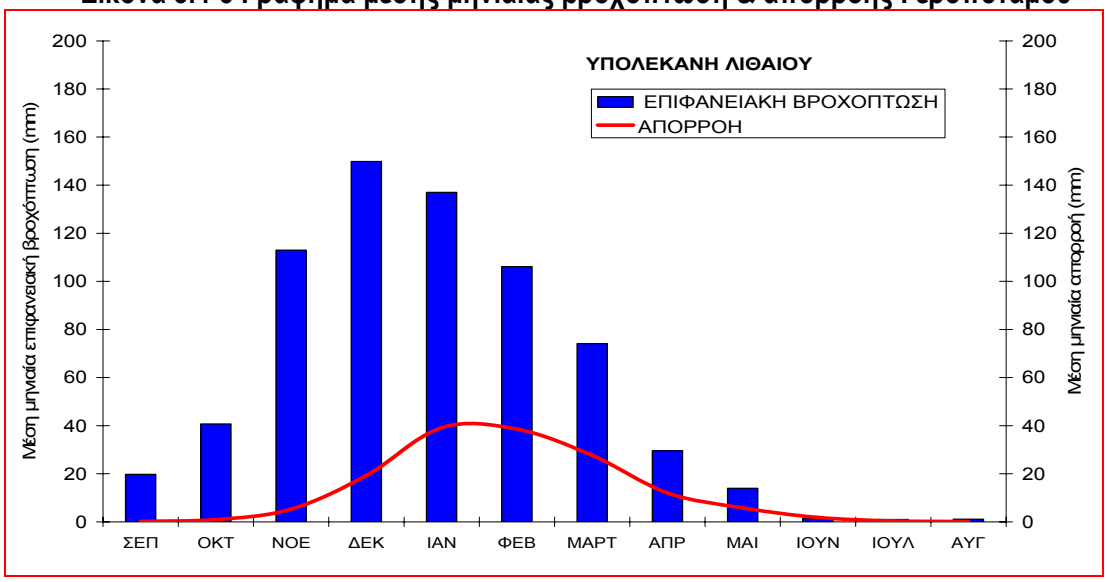
Εικόνα 3.4-3 Μέση μηνιαία απορροή σταθμού Λιθαίου



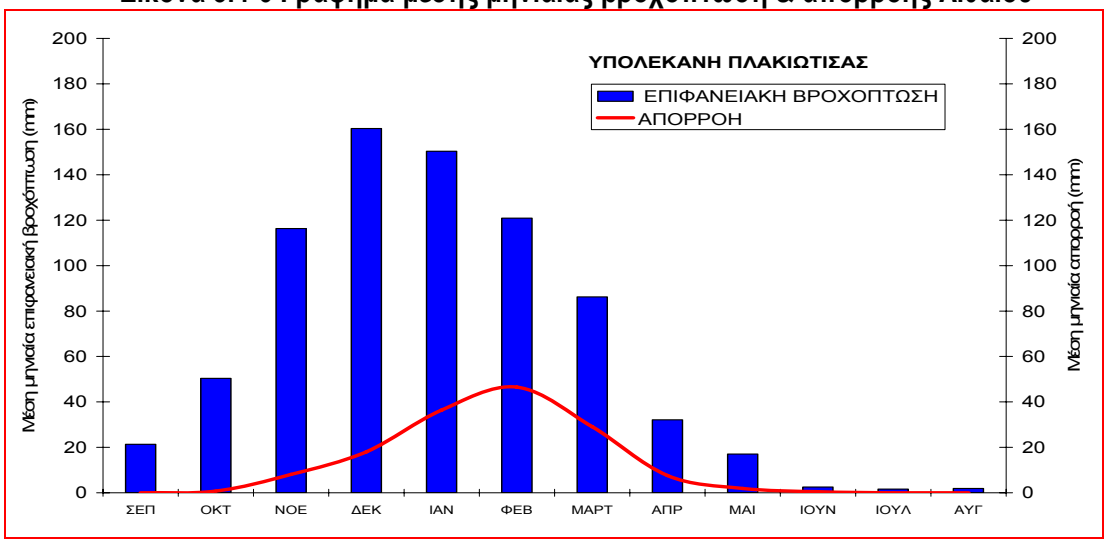
Εικόνα 3.4-4 Μέση μηνιαία απορροή σταθμού Πλακιώτισας



Εικόνα 3.4-5 Γράφημα μέσης μηνιαίας βροχόπτωση & απορροής Γεροποτάμου



Εικόνα 3.4-6 Γράφημα μέσης μηνιαίας βροχόπτωση & απορροής Λιθαίου



Εικόνα 3.4-7 Γράφημα μέσης μηνιαίας βροχόπτωση & απορροής Πλακιώτισας

3.5 Προσομοίωση Βροχής - Απορροής

Η αξιοποίηση και η ορθολογική διαχείριση των υδατικών πόρων προϋποθέτουν την ποσοτική εκτίμηση των διαφόρων φάσεων του υδρολογικού κύκλου, που οδηγεί στην αξιόπιστη αναπαράσταση των σχέσεων βροχής- απορροής. Η καλύτερη προσέγγιση/διερεύνηση των σχέσεων βροχής- απορροής επιτυγχάνεται με την εφαρμογή των υδρολογικών μοντέλων. Τα υδρολογικά μοντέλα είναι κυρίως μοντέλα προσομοίωσης και πρόγνωσης υδρολογικών μεταβλητών που αποτελούν τις εισόδους και εξόδους των υδατικών συστημάτων αλλά και της συμπεριφοράς των ιδίων των υδατικών συστημάτων.

Η προσομοίωση της διαδικασίας της βροχής- απορροής μιας υδρολογικής λεκάνης μας βοηθά:

- στην συμπλήρωση και την επέκταση μιας χρονοσειράς απορροής
- στην παραγωγή απορροών από μια χρονοσειρά βροχής. Η σημασία της εφαρμογής αυτής είναι μεγάλη για την κατάσταση στον Ελλαδικό χώρο καθώς οι εγκαταστημένοι υδρομετρικοί σταθμοί και τα δεδομένα παροχών είναι λίγα. Αντίθετα το δίκτυο των μετεωρολογικών σταθμών είναι αρκετά πυκνό και τα δεδομένα καλύπτουν μεγάλα χρονικά διαστήματα.
- στην πρόβλεψη σε πραγματικό χρόνο των πλημμυρικών επεισοδίων
- στον καθορισμό των επιδράσεων στην υδρολογική δίαιτα μιας περιοχής οι οποίες προέρχονται από αλλαγές στην επιφάνεια ή τη χρήση του νερού ή γενικότερα τον καθορισμό των ανθρώπινων επιδράσεων στη διαδικασία της απορροής όπως αντλήσεις και μεταβολές στους υδροφορείς.
- στην ανάλυση των επιπτώσεων των υδραυλικών έργων στην απορροή μιας υδρολογικής λεκάνης (πχ φράγματα, εκτροπές κλπ) κατά τη φάση του σχεδιασμού των έργων καθώς και κατά τη φάση της διαχείρισης των υδατικών συστημάτων.

Οι τελευταίοι δύο στόχοι επιτυγχάνονται εάν το μοντέλο προσομοιώνει ευδιάκριτα τις διάφορες διεργασίες του φυσικού συστήματος. Η διαδικασία προσομοίωσης της βροχής – απορροής είναι γενικά υπερβολικά πολύπλοκη. Ένα λεπτομερές μοντέλο απαιτεί μεγάλο αριθμό πληροφορίας και μεγάλο υπολογιστικό χρόνο. Η λεπτομερής πληροφορία (δεδομένα) είναι συνήθως μη διαθέσιμη και η σχηματοποίηση της διαδικασίας επομένως είναι μη εφικτή.

Το μοντέλο sacramento, που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα μελέτη για την προσομοίωση της απορροής στην κλίμακα της υδρολογικής λεκάνης, συμβιβάζει: α) τις απαιτήσεις του φυσικού υποβάθρου, β) της διαθέσιμης πληροφορίας και γ) του υπολογιστικού χρόνου για ένα μεγάλο αριθμό ετών. Με το μοντέλο αυτό προσδιορίζεται και ως ένα βαθμό, τουλάχιστο ποιοτικά, η ανθρώπινη επίδραση στην υδρολογική δίαιτα μια λεκάνης απορροής.

3.5.1 Περιγραφή του Μοντέλου Sacramento

3.5.2 Γενικά

Το Γενικευμένο Μοντέλο Υδρολογικής Προσομοίωσης (Burnash et al., 1973) είναι ένα από τα πιο γνωστά μαθηματικά μοντέλα προσομοίωσης της σχέσης βροχής-απορροής. Το μοντέλο αυτό αναπτύχθηκε από το Κοινό Ομοσπονδιακό-Πολιτειακό Κέντρο Πρόγνωσης Πλημμυρών με έδρα την Καλιφόρνια των

Ηνωμένων Πολιτειών και έγινε ευρύτατα γνωστό ως μοντέλο SACRAMENTO για να αποτελέσει στη συνέχεια τη θεωρητική βάση για την ανάπτυξη πολλών άλλων μοντέλων.
Το μοντέλο SACRAMENTO ανήκει στην κατηγορία των εννοιολογικών μοντέλων και προσομοιώνει τις κυριότερες φυσικές διεργασίες του υδρολογικού κύκλου σε λεκάνες απορροής που δε δέχονται εισροές από ανάντη λεκάνες. Όπως όλα τα μοντέλα της κατηγορίας του, το SACRAMENTO έχει ως βάση ένα σύστημα από στοιχειώδεις διεργασίες ή συνιστώσες που αναπαριστούν φυσικές διεργασίες όπως είναι η διήθηση, η μεταβολή της εδαφικής υγρασίας και η εξατμισοδιαπνοή. Το μοντέλο περιλαμβάνει ένα σύστημα διασυνδεδεμένων δεξαμενών δια μέσου των οποίων ρέει το νερό. Η ροή γίνεται σύμφωνα με κατάλληλες εξισώσεις που περιγράφουν τις επιμέρους διεργασίες. Στη μορφή που εφαρμόσαμε το μοντέλο στην παρούσα εργασία θεωρήσαμε τη λεκάνη απορροής ως μια ενότητα χωρίς να πάρουμε υπόψη οποιαδήποτε χωρική μεταβολή των υδρολογικών μεταβλητών. Συνεπώς μπορούμε να χαρακτηρίσουμε το μοντέλο και ως καθολικό (lumped). Ακόμη, οι υδρολογικές μεταβλητές δεν έχουν, κατά τη λειτουργία του μοντέλου, στοχαστικό χαρακτήρα και για το λόγο αυτό μπορούμε να χαρακτηρίσουμε το μοντέλο ως προσδιοριστικό (ντετερμινιστικό).

3.5.3 Λειτουργία του μοντέλου

Θεωρούμε ότι η επιφανειακή βροχόπτωση της λεκάνης πέφτει σε δύο ξεχωριστά τμήματα της λεκάνης (βλέπε Εικόνα 3.5-1και Εικόνα 3.5-2 - Burnash et al, 1973):

- το Υδροπερατό τμήμα που αντιστοιχεί στην εδαφική επιφάνεια της λεκάνης
- το Αδιαπέρατο τμήμα που καλύπτεται από λίμνες, υδατορεύματα, έλη ή αδιαπέρατα εδαφικά υλικά. Η αδιαπέρατη αυτή ζώνη παράγει άμεση επιφανειακή απορροή (direct runoff) ακόμη και για πολύ μικρή ένταση βροχής σε αντίθεση με το υδροπερατό τμήμα που παράγει επιφανειακή απορροή μόνον εφόσον η ένταση της βροχής ξεπερνά τον ρυθμό διείσδυσης (infiltration) του νερού στο έδαφος.

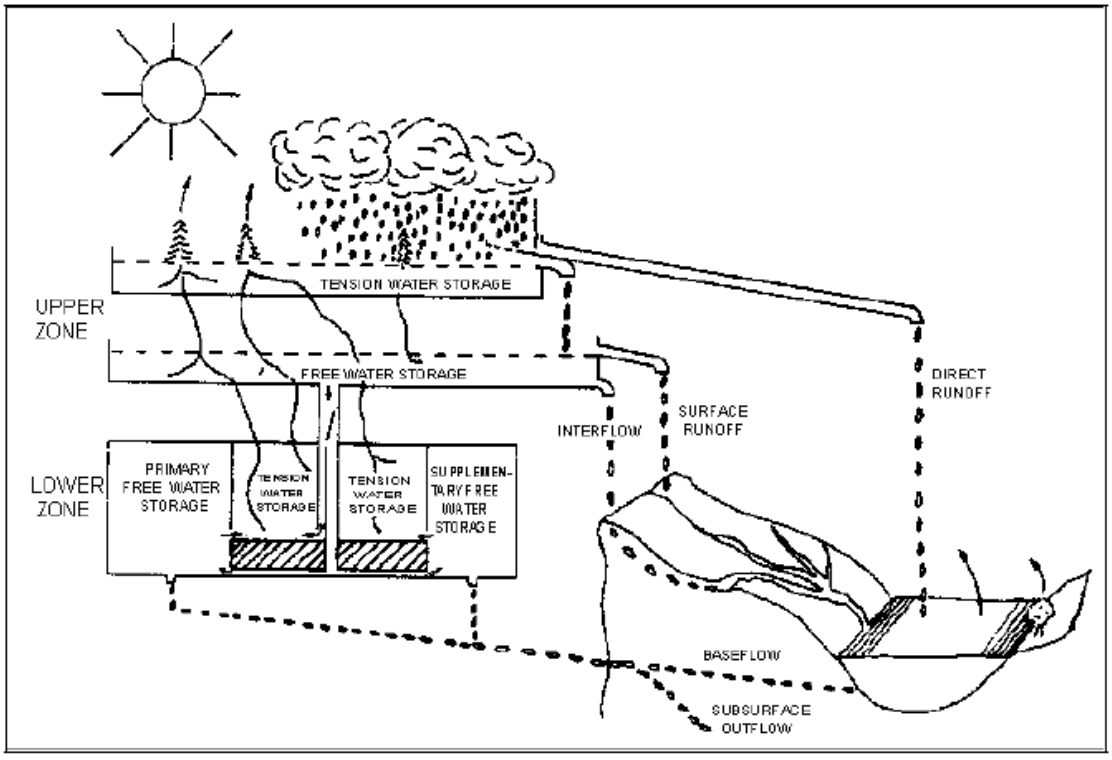
Στο υδροπερατό τμήμα της λεκάνης θεωρούμε τις ακόλουθες δύο ζώνες του εδάφους κατά την κατακόρυφη έννοια:

-Την Ανώτερη Ζώνη (Upper Zone) που περιλαμβάνει την εδαφική υγρασία στα ανώτερα στρώματα του εδάφους και

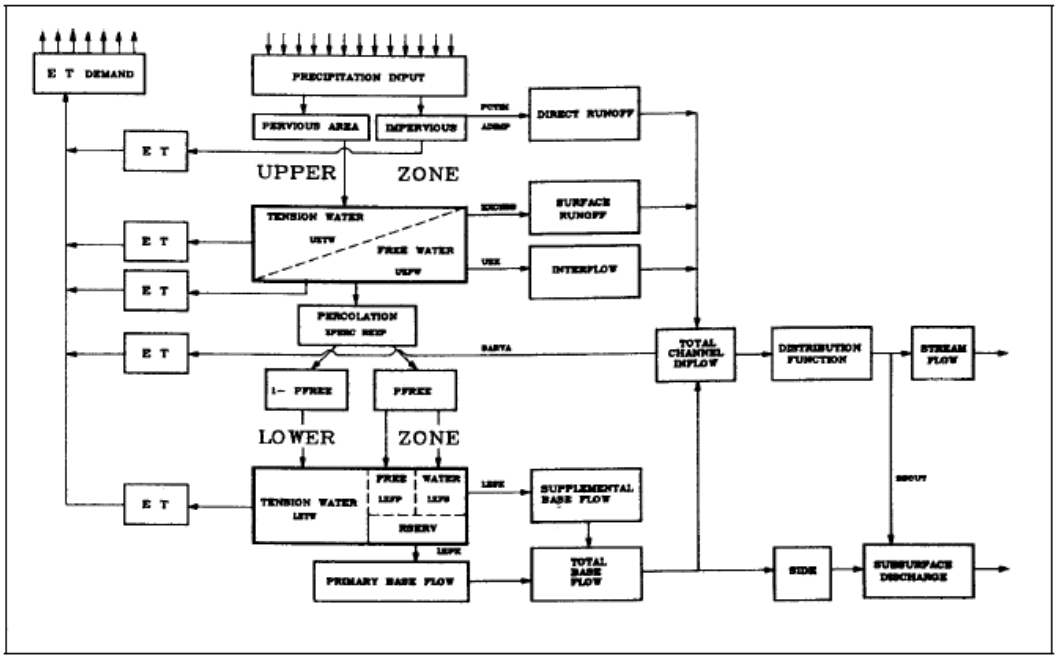
-Την Κατώτερη Ζώνη (Lower Zone) που περιλαμβάνει το υπόγειο νερό από το οποίο τροφοδοτείται η ροή βάσης του υδατορεύματος που εξετάζουμε.

Το νερό των κατακρημνίσεων που φθάνει στην επιφάνεια του εδάφους γεμίζει σε πρώτη προτεραιότητα τη Δεξαμενή Εδαφικής Υγρασίας της Ανώτερης Ζώνης (Upper Zone Tension Water). Στο αντίστοιχο φυσικό φαινόμενο τα μόρια του νερού της εδαφικής υγρασίας είναι προσκολλημένα στην επιφάνεια της εδαφικής μήτρας μέσω δυνάμεων ηλεκτροστατικής φύσης. Μια παρατεταμένη βροχόπτωση που συμβαίνει μετά από μεγάλη περίοδο ξηρασίας συμβάλλει πρώτα στην ικανοποίηση των αναγκών της παρεμπόδισης από τη χλωρίδα (interception) και στη συνέχεια αυξάνει την εδαφική υγρασία σε σημείο ώστε να αρχίσει η διήθηση (percolation) σε βαθύτερες ζώνες του εδάφους. Ακόμη, είναι δυνατό να εμφανιστεί και οριζόντια στράγγιση. Ο όγκος νερού που απαιτείται για την έναρξη της διήθησης ή και της οριζόντιας στράγγισης αποτελεί και τη μέγιστη

αποθηκευτική ικανότητα της ανώτερης ζώνης του εδάφους που αναπαρίσταται από τη χωρητικότητα της Δεξαμενής Εδαφικής Υγρασίας της Ανώτερης Ζώνης.



Εικόνα 3.5-1 Σχηματική αναπαράσταση του μοντέλου SACRAMENTO



Εικόνα 3.5-2 Παράμετροι του μοντέλου SACRAMENTO

Όταν η Δεξαμενή Εδαφικής Υγρασίας της Ανώτερης Ζώνης γεμίσει, η περίσσεια της εδαφικής υγρασίας αποθηκεύεται προσωρινά στη Δεξαμενή του Νερού Βαρύτητας της Ανώτερης Ζώνης (Upper Zone Free Water). Στη φυσική πραγματικότητα ο όρος “νερό βαρύτητας” αναφέρεται στο νερό που δεν είναι προσκολλημένο στο έδαφος αλλά μπορεί να κινηθεί κάτω από την επίδραση δυνάμεων βαρύτητας, είτε κατακόρυφα σε βαθύτερα εδαφικά στρώματα είτε πλευρικά δια μέσου των επιφανειακών εδαφικών στρωμάτων. Στο μοντέλο, η Δεξαμενή του Νερού Βαρύτητας της Ανώτερης Ζώνης τροφοδοτεί με τη διήθηση κατά κύριο λόγο τις κατώτερες εδαφικές ζώνες αλλά και αποστραγγίζεται πλευρικά παράγοντας υποδερμική απορροή (interflow). Ο όγκος νερού της υποδερμικής απορροής INTERFLOW είναι ανάλογος του αποθέματος της Δεξαμενής Νερού Βαρύτητας της Ανώτερης Ζώνης (μετά από την πραγματοποίηση της διήθησης):

INTERFLOW = UZK * UZFWC (1)

Όπου: UZFWC απόθεμα στη Δεξαμενή Νερού Βαρύτητας της Ανώτερης Ζώνης (μονάδες όγκου) και UZK είναι ο συντελεστής εκφόρτισης της Δεξαμενής Νερού Βαρύτητας της Ανώτερης Ζώνης. Εκφράζεται ως ποσοστό του αποθέματος της δεξαμενής (αδιάστατος αριθμός).

Η διήθηση από τη Δεξαμενή Νερού Βαρύτητας της Ανώτερης Ζώνης πραγματοποιείται πριν από κάθε άλλη διεργασία που αφορά τη δεξαμενή αυτή. Ο ρυθμός διήθησης εξαρτάται από το απόθεμα νερού στη Δεξαμενή Νερού Βαρύτητας της Ανώτερης Ζώνης και από το έλλειμμα νερού της κατώτερης ζώνης. Όταν ο ρυθμός τροφοδοσίας της Δεξαμενής του Νερού Βαρύτητας της Ανώτερης Ζώνης από την Δεξαμενή Εδαφικής Υγρασίας της Ανώτερης Ζώνης ξεπεράσει τον ρυθμό της διήθησης, τότε η περίσσεια νερού αποθηκεύεται προσωρινά στη Δεξαμενή του Νερού Βαρύτητας και παράγει υποδερμική ροή σύμφωνα με την σχέση (1).

Εφόσον η Δεξαμενή Νερού Βαρύτητας γεμίσει, τότε η περίσσεια νερού εμφανίζεται ως επιφανειακή απορροή (surface runoff).

Η Κατώτερη Ζώνη του εδάφους περιλαμβάνει τρεις δεξαμενές που είναι οι ακόλουθες:

-Δεξαμενή Εδαφικής Υγρασίας της Κατώτερης Ζώνης (Lower Zone Tension Water) η οποία περιλαμβάνει το τμήμα εκείνο των υπόγειων αποθεμάτων που τροφοδοτεί την εξατμισοδιαπνοή (εξάτμιση και διαπνοή φυτών με ριζικό σύστημα σε αρκετά μεγάλο βάθος).

-Κύρια Δεξαμενή Νερού Βαρύτητας της Κατώτερης Ζώνης (Lower Zone Primary Free Water) και

-Βοηθητική Δεξαμενή Νερού Βαρύτητας της Κατώτερης Ζώνης (Lower Zone Supplementary Free Water).

Οι δύο τελευταίες δεξαμενές τροφοδοτούν τη βασική ροή (base flow) του υδατορέματος καθώς και την υπόγεια διαφυγή (subsurface outflow) εκτός λεκάνης απορροής.

Ο μηχανισμός της μεταφοράς νερού από την Ανώτερη στην Κατώτερη ζώνη του εδάφους έχει ως βάση την εκτίμηση της ζήτησης για διήθηση (percolation demand) από την Κατώτερη Ζώνη. Όταν η Κατώτερη Ζώνη είναι κορεσμένη, η διήθηση είναι ίση με το μέγιστο ρυθμό εκφόρτισης των δεξαμενών του Νερού Βαρύτητας της Κατώτερης Ζώνης PBASE. Σε αναλυτική μορφή ισχύει η ακόλουθη σχέση:

PBASE = (LZFSM * LZSK) + (LZFPM * LZPK) (2)

Όπου: LZFPM, LZFSM είναι αντίστοιχα οι χωρητικότητες της Κύριας και της Βοηθητικής Δεξαμενής Νερού Βαρύτητας της Κατώτερης Ζώνης και LZPK, LZSK είναι αντίστοιχα οι συντελεστές εκφόρτισης της Κύριας και της Βοηθητικής Δεξαμενής Νερού Βαρύτητας της Κατώτερης Ζώνης.

Σε μια ξηρή περίοδο, είναι λογικό να θεωρήσουμε ότι ο ρυθμός διήθησης είναι κατά πολύ μεγαλύτερος από την παραπάνω τιμή PBASE. Κάνουμε την παραδοχή ότι η μέγιστη τιμή της διήθησης υπερβαίνει την τιμή PBASE κατά ZPERC φορές φθάνοντας την τιμή PBASE (1+ZPERC). Η τιμή αυτή επιτυγχάνεται στην εξαιρετικά ασυνήθιστη περίπτωση που οι δεξαμενές της Ανώτερης Ζώνης είναι γεμάτες ενώ εκείνες της Κατώτερης Ζώνης εντελώς άδειες. Έχοντας λοιπόν καθορίσει ένα άνω και ένα κάτω όριο για τη ζήτηση για διήθηση δεχόμαστε ότι στη γενική περίπτωση η ζήτηση για διήθηση LZPD προκύπτει από μη γραμμική παρεμβολή μεταξύ των δύο αυτών ορίων σύμφωνα με τη σχέση:

LZPD = PBASE * [1 + Zf] (3)

Όπου: η συνάρτηση f δίνεται από τη σχέση

$$f = \left[\frac{\Sigma \text{ Ελλείμματα Κατώτερης Ζώνης}}{\Sigma \text{ Χωρητικότητες Κατώτερης Ζώνης}} \right] \text{REXP} \qquad (4)$$

και REXP είναι μία παράμετρος του μοντέλου που εκφράζει το βαθμό της μη γραμμικότητας.

Σημειώνεται ότι στα αθροίσματα που εμφανίζονται στις πιο πάνω εξισώσεις (3) και (4), συνυπολογίζεται και η Δεξαμενή Εδαφικής Υγρασίας της Κατώτερης Ζώνης εκτός από τις δύο δεξαμενές του Νερού Βαρύτητας.

Η πραγματική τιμή της διήθησης PERC εξαρτάται εκτός από την ζήτηση για διήθηση LZPD και από το απόθεμα νερού της Δεξαμενής Νερού Βαρύτητας της Ανώτερης Ζώνης. Πιο συγκεκριμένα ισχύει η σχέση:

PERC = LZPD * UZFWC/ UZFWM (5)

Όπου: UZFWC, UZFWM είναι αντίστοιχα το απόθεμα και η χωρητικότητα της Δεξαμενής Νερού Βαρύτητας της Ανώτερης Ζώνης.

Ο όγκος νερού που διηθείται προς στην Κατώτερη Ζώνη του εδάφους διαχωρίζεται σε 3 μέρη. Το πρώτο μέρος αναπαριστά την εδαφική υγρασία που προσκολλάται στη μήτρα του εδάφους όταν, μετά από ξηρασία, το μέτωπο της υγρασίας φθάνει στο θεωρούμενο βάθος της κατώτερης ζώνης του εδάφους. Στην περίπτωση αυτή, τα μόρια του νερού βρίσκονται κάτω από την επίδραση δυνάμεων μύζησης (suction forces) οι οποίες τείνουν να συγκρατήσουν το σύνολο του όγκου νερού που διηθείται μέχρις ότου μηδενισθεί το έλλειμμα εδαφικής υγρασίας ή αλλιώς να επέλθει κορεσμός των κενών της εδαφικής μήτρας με νερό. Αυτή είναι η εξέλιξη του φυσικού φαινομένου στην κλίμακα μιας κατακόρυφης στήλης εδάφους που, ιδεατά, θα ήταν αντιπροσωπευτική του συνόλου της θεωρούμενης λεκάνης απορροής. Η πλήρης όμως εξομοίωση της λεκάνης απορροής με μία στήλη εδάφους δεν είναι δυνατή, αφού οι ιδιότητες του εδάφους και η επιφανειακή βροχόπτωση παρουσιάζουν έντονη χωρική μεταβλητότητα. Ακριβώς αυτή η χωρική μεταβλητότητα δημιουργεί αποκλίσεις από την παραπάνω ιδεατή συμπεριφορά. Οι αποκλίσεις αυτές προσεγγίζονται με εισαγωγή κάποιας πρόσθετης ευελιξίας στο μοντέλο. Πιο συγκεκριμένα, ένα μέρος του νερού που διηθείται, εκτρέπεται προς τις δεξαμενές Νερού Βαρύτητας

της Κατώτερης Ζώνης. Ο όγκος νερού που διηθείται προς τις δεξαμενές του Νερού Βαρύτητας της Κατώτερης Ζώνης (Κύρια και Βοηθητική) κατανέμεται σε αυτές ανάλογα με το σχετικό έλλειμμα νερού (έλλειμμα / χωρητικότητα) της καθεμιάς. Τέλος οι δεξαμενές Νερού Βαρύτητας της Κατώτερης Ζώνης παράγουν τη βασική ροή του υδατορέματος (base flow).

Η χρήση τριών ξεχωριστών συνιστωσών υπόγειου νερού (δεξαμενές της Κατώτερης Ζώνης) επιτρέπει να προσομοιωθεί ικανοποιητικά μια αρκετά μεγάλη ποικιλία καμπυλών στείρευσης (recession curves) που παρατηρούνται σε μετρημένα υδρογραφήματα.

Οι δεξαμενές του Νερού Βαρύτητας της Κατώτερης Ζώνης (Κύρια και Βοηθητική) θεωρούνται γραμμικές. Η συνολική εκροή από αυτές, που είναι η ροή βάσης, δίνεται από το άθροισμα των γινομένων των αποθεμάτων και των αντίστοιχων συντελεστών εκφόρτισης. Σε αναλυτική μορφή:

$$QBASE = (LZFSC * LZSK) + (LZFPC * LZPK) \quad (6)$$

Όπου: LZFPC, LZFSC είναι αντίστοιχα τα αποθέματα της Κύριας και Βοηθητικής Δεξαμενής Νερού Βαρύτητας της Κατώτερης Ζώνης, LZPK, LZSK είναι αντίστοιχα οι συντελεστές εκφόρτισης της Κύριας και Βοηθητικής Δεξαμενής νερού Βαρύτητας της Κατώτερης Ζώνης και QBASE είναι η συνολική εκροή από τις δεξαμενές Νερού Βαρύτητας της Κατώτερης Ζώνης.

Η εκτίμηση των παραμέτρων των δεξαμενών γίνεται με μελέτη των ιστορικών υδρογραφημάτων όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.5-3 όπου εικονίζεται η καμπύλη αποφόρτισης μιας πλημμύρας σε ημιλογαριθμικό χαρτί (η παροχή είναι σε λογαριθμική κλίμακα).

Σε αναλυτική μορφή και πάντοτε με αναφορά στην Εικόνα 3.5-3 ισχύουν οι παρακάτω εξισώσεις:

$$LZPK = 1 - \{QP_1 / QP_0\}^{\Delta t1} \quad (7)$$

$$LZFPM = Qpmax / LZPK \quad (8)$$

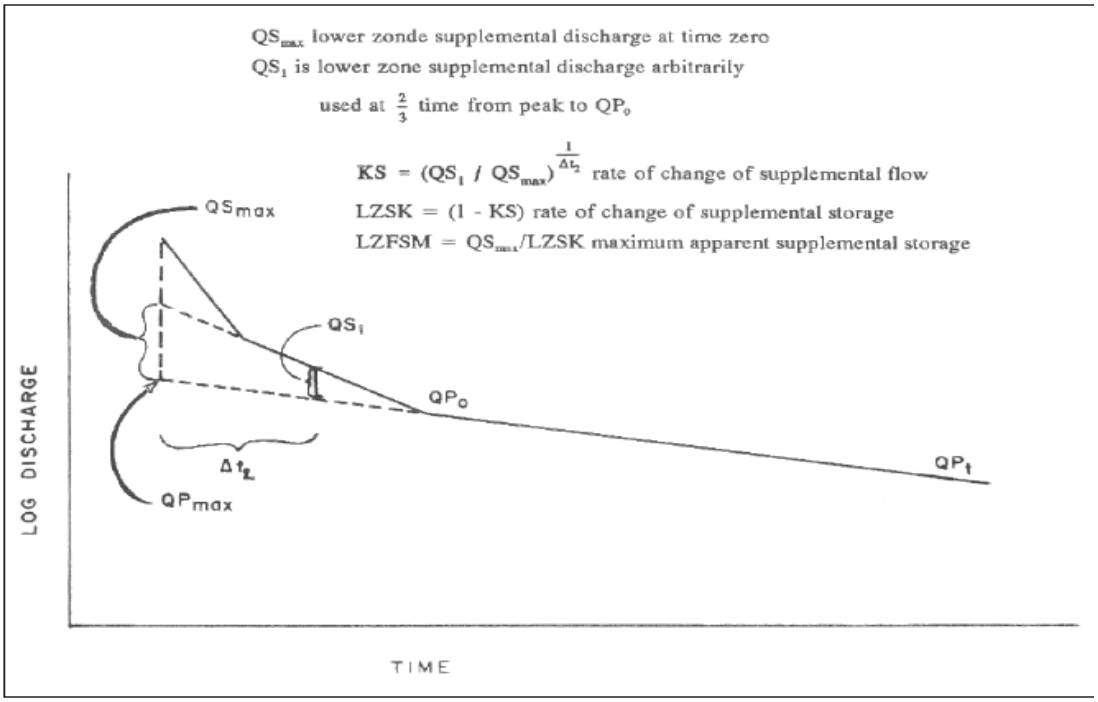
Όπου: LZPK είναι ο συντελεστής εκφόρτισης της Κύριας Δεξαμενής του Νερού Βαρύτητας της Κατώτερης Ζώνης, QP_0, QP_1 είναι αντίστοιχα η παροχή του υδατορεύματος στην αρχή της εκφόρτισης και Δt_1 χρονικά βήματα αργότερα και QPmax είναι η μέγιστη παρατηρημένη κύρια βασική ροή.

Σε ότι αφορά την δευτερεύουσα βασική ροή (εκροή από την Βοηθητική Δεξαμενή Νερού Βαρύτητας της Κατώτερης Ζώνης) ισχύουν οι ακόλουθες σχέσεις:

$$LZSK = 1 - \{QS_2 / QSmax\}^{\Delta t2} \quad (9)$$

$$LZFSM = QSmax / LZSK \quad (10)$$

Όπου: LZSK είναι ο συντελεστής εκφόρτισης της Βοηθητικής Δεξαμενής Νερού Βαρύτητας της Κατώτερης Ζώνης, Δt_2 είναι ο αριθμός των χρονικών βημάτων από τη χρονική στιγμή που θεωρείται ότι η δευτερεύουσα βασική ροή είναι μέγιστη, μέχρι τα 2/3 του χρόνου από τη στιγμή της μέγιστης δευτερεύουσας βασικής ροής μέχρι τη στιγμή που αυτή μηδενίζεται, και QSmax, QS_2 είναι αντίστοιχα η δευτερεύουσα βασική ροή του υδατορεύματος στην αρχή της αποφόρτισης και Δt_2 χρονικά βήματα αργότερα.



Εικόνα 3.5-3 Καμπύλη αποφόρτισης της ταχείας συνιστώσας της βασικής απορροής (HYMOS)

Σε ότι αφορά τις υπόλοιπες δεξαμενές, είναι πρακτικά αδύνατο να γίνει ανάλυση παρόμοια με την παραπάνω εξαιτίας της ανάμειξης πολλών καμπυλών στείρευσης. Υπενθυμίζεται εδώ ότι το μοντέλο λαμβάνει επίσης υπόψη και την υπόγεια διαφυγή εκτός της λεκάνης απορροής. Πρόκειται για την ποσότητα νερού που δεν περνά από τη θέση μέτρησης του κύριου υδατορέματος.
Η απορροή που είναι και η έξοδος του μοντέλου εμφανίζεται με τις ακόλουθες πέντε μορφές:

- Άμεση απορροή (direct runoff) από επιφάνειες που είναι μόνιμα ή προσωρινά αδιαπέρατες από το νερό.
- Επιφανειακή απορροή (surface runoff) στην ανώτερη εδαφική ζώνη που εμφανίζεται όταν η ένταση της βροχής ξεπερνά το άθροισμα του ρυθμού διήθησης και του ρυθμού της υποδερμικής ροής.
- Υποδερμική ροή (interflow) που προκύπτει ως πλευρική αποστράγγιση του νερού βαρύτητας της Ανώτερης Ζώνης.
- Δευτερεύουσα βασική ροή (supplementary base flow).
- Κύρια βασική ροή (primary base flow).

Το μοντέλο δέχεται μία μόνιμα αδιαπέρατη επιφάνεια στην λεκάνη που εξετάζεται (π.χ. πλακόστρωτα πόλεων) και μια προσωρινά αδιαπέρατη επιφάνεια που περιλαμβάνει μικρούς ταμιευτήρες, έλη και επιφάνειες ανάβλυσης (seepage outflow areas). Η εξάτμιση από την επιφάνεια που καλύπτεται από νερά ή υδροχαρή φυτά θεωρείται ίση με τη δυνητική εξατμισοδιαπνοή. Σε αναλυτική μορφή έχουμε:

$$E_3 = ED^* SARVA \qquad (11)$$

Όπου: SARVA είναι το ποσοστό της επιφάνειας που καλύπτεται από νερά ή υδροχαρή φυτά E_3 είναι η εξατμισοδιαπνοή από αυτή την επιφάνεια και ED είναι η δυνητική εξατμισοδιαπνοή.

Στο υπόλοιπο τμήμα της λεκάνης η πραγματική εξατμισοδιαπνοή είναι συνάρτηση της ζήτησης για εξατμισοδιαπνοή. Η ζήτηση αυτή για τα ανώτερα εδαφικά στρώματα που αναπαρίστανται από τις δεξαμενές της Ανώτερης Ζώνης, είναι ίση με την δυνητική εξατμισοδιαπνοή και επί πλέον εξαρτάται και από τη διαθέσιμη ποσότητα εδαφικής υγρασίας. Καθώς το έδαφος ξηραίνεται από την εξατμισοδιαπνοή, η υγρασία αφαιρείται από την ανώτερη ζώνη του με το δυναμικό ρυθμό πολλαπλασιασμένο επί το ποσοστό πλήρωσης της Δεξαμενής Εδαφικής Υγρασίας της Ανώτερης Ζώνης. Σε αναλυτική μορφή έχουμε:

$$E1 = ED * (UZTWC / UZTWM) \quad (12)$$

Όπου: E1 είναι η εξατμισοδιαπνοή από την Ανώτερη Ζώνη, UZTWC είναι το απόθεμα εδαφικής υγρασίας της ανώτερης ζώνης, UZTWM είναι η χωρητικότητα της Δεξαμενής Εδαφικής Υγρασίας της Ανώτερης Ζώνης και ED είναι η δυνητική εξατμισοδιαπνοή.

Στην κατώτερη ζώνη, η εξατμισοδιαπνοή δίνεται από τη ζήτηση για εξατμισοδιαπνοή που δεν ικανοποιήθηκε από το νερό της Ανώτερης Ζώνης, πολλαπλασιασμένη επί το λόγο του αποθέματος της Δεξαμενής Εδαφικής Υγρασίας της Κατώτερης Ζώνης προς το άθροισμα των χωρητικοτήτων και των δύο δεξαμενών Εδαφικής Υγρασίας (Ανώτερη και Κατώτερη Ζώνη). Σε αναλυτική μορφή έχουμε:

$$E_2 = (ED - E_1) * LZTWC / (UZTWM + LZTWM) \quad (13)$$

Όπου: E_2 είναι η εξατμισοδιαπνοή από την Κατώτερη Ζώνη, LZTWC είναι το απόθεμα εδαφικής υγρασίας της Κατώτερης Ζώνης και LZTWM είναι η χωρητικότητα της Δεξαμενής Εδαφικής Υγρασίας της Κατώτερης Ζώνης.

Εάν η αφαίρεση νερού από την Δεξαμενή Εδαφικής Υγρασίας της Κατώτερης Ζώνης μέσω εξατμισοδιαπνοής οδηγήσει σε ποσοστό πλήρωσης του συνόλου των δύο δεξαμενών Νερού Βαρύτητας της Κατώτερης Ζώνης μεγαλύτερο από εκείνο της Δεξαμενής Εδαφικής Υγρασίας της Κατώτερης Ζώνης, το μοντέλο εξισορροπεί τα δύο ποσοστά πλήρωσης μεταφέροντας την κατάλληλη ποσότητα νερού μεταξύ των δεξαμενών. Αυτό είναι σύμφωνο με το φυσικό φαινόμενο όπου δεν είναι δυνατό να αφαιρείται με εξατμισοδιαπνοή ένα μέρος της εδαφικής υγρασίας και ταυτόχρονα να μην επηρεάζεται το νερό βαρύτητας το οποίο θα πρέπει να αναπληρώσει το έλλειμμα. Πάντως ένα τμήμα του νερού βαρύτητας θεωρείται ότι δε διατίθεται για μεταφορές όπως οι παραπάνω καθόσον από ένα βάθος και κάτω δε θεωρείται πιθανή η εμφάνιση συνθηκών ακόρεστης ροής.

Σημειώνεται τέλος ότι σε κάθε ημερήσια χρονική περίοδο στην οποία υπάρχει σημαντική βροχόπτωση θεωρούνται δύο υποπερίοδοι. Η πρώτη υποπερίοδος είναι βροχερή ενώ η δεύτερη είναι ξηρή. Οι διάρκειες των δύο υποπεριόδων είναι ίσες (μισή ημέρα) όταν η βροχόπτωση είναι ίση με τη μέση τιμή των βροχερών περιόδων PDNOR. Στη γενική περίπτωση που η βροχόπτωση R είναι διαφορετική από την παραπάνω τιμή ισχύουν οι ακόλουθες σχέσεις:

$$\text{Εάν } R > PDNOR, \quad FRACT = 1 - 1/2 * (PDNOR / R) \quad (14)$$

$$\text{Εάν } R \leq PDNOR, \quad FRACT = \sqrt{(R / PDNOR)} \quad (15)$$

Όπου: FRACT είναι το τμήμα εκείνο της ημερήσιας χρονικής περιόδου που θεωρείται βροχερό.

Πέραν των εξισώσεων που παρουσιάστηκαν στο παρόν υποκεφάλαιο το μοντέλο περιλαμβάνει ακόμη:

- Εξισώσεις υδατικού ισοζυγίου των 5 δεξαμενών.
- Εξισώσεις που περιγράφουν την εξισορρόπηση των ποσοστών πλήρωσης διαφόρων δεξαμενών και
- Απλές αθροίσεις όγκων νερού ώστε να ληφθούν οι τελικές έξοδοι του μοντέλου.

3.5.4 Μεταβλητές του μοντέλου

Οι μεταβλητές του μοντέλου διακρίνονται σε μεταβλητές εισόδου, μεταβλητές εξόδου και παραμέτρους. Στην αρχή παρουσιάζουμε συνοπτικά τα παραπάνω μεγέθη και στη συνέχεια δίνουμε πιο λεπτομερή στοιχεία για την ποσοτική εκτίμησή τους.

α. Δεδομένα χρονοσειρών εισόδου:

α1. Χρονοσειρά υψών σημειακής βροχόπτωσης R_i σε mm για N σταθμούς μέτρησης (i = 1, 2, 3,....N) που βρίσκονται στο εσωτερικό ή στην άμεση γειτονία της λεκάνης.

α2. Συντελεστές που εφαρμόζονται στις σημειακές βροχοπτώσεις για τον υπολογισμό της επιφανειακής βροχόπτωσης RAWT (αδιάστατοι αριθμοί).

α3. Ή αντί των α1 και α2 χρονοσειρά επιφανειακής βροχόπτωσης, όπως υπολογίσθηκε με κάποια μέθοδο (βλέπε κεφάλαιο 1) από σημειακές βροχοπτώσεις

α3. Χρονοσειρά δυνητικής εξατμισοδιαπνοής ED σε mm από δεδομένα εξατμισομέτρου ή από μία οποιαδήποτε εμπειρική ή ημιεμπειρική μέθοδο (π.χ. Penman).

α4. Μηνιαίοι συντελεστές αναγωγής των δεδομένων εξάτμισης σε τιμές δυνητικής εξατμισοδιαπνοής από την λεκάνη απορροής.

β. Δεδομένα χρήσης γης για τη λεκάνη απορροής:

β1. Ποσοστό επιφάνειας που είναι μόνιμα αδιαπέρατη PCTIM (αδιάστατος αριθμός)

β2. Μέγιστο ποσοστό αδιαπέρατης επιφάνειας του εδάφους ADIMP (αδιάστατος αριθμός) όταν γεμίσουν οι δεξαμενές εδαφικής υγρασίας.

β3. Συνολικό ποσοστό κάλυψης από υδατορεύματα, λίμνες και παρόχθια βλάστηση SARVA (αδιάστατος αριθμός)

γ. Παράμετροι δεξαμενών του μοντέλου:

γ1. Χωρητικότητα Δεξαμενής Εδαφικής Υγρασίας της Ανώτερης Ζώνης UZTWM (mm)

γ2. Χωρητικότητα Δεξαμενής Νερού Βαρύτητας της Ανώτερης Ζώνης UZFWM (mm)

γ3. Συντελεστής εκφόρτισης Δεξαμενής Νερού Βαρύτητας της Ανώτερης Ζώνης UZK (% του αποθέματος ανά χρονικό βήμα)

γ4. Χωρητικότητα Δεξαμενής Εδαφικής Υγρασίας της Κατώτερης Ζώνης LZTWM (mm)

γ5. Χωρητικότητα Κύριας Δεξαμενής Νερού Βαρύτητας της Κατώτερης Ζώνης LZFPM (mm)

γ6. Συντελεστής εκφόρτισης Κύριας Δεξαμενής Νερού Βαρύτητας της Κατώτερης Ζώνης LZPK (% του αποθέματος ανά χρονικό βήμα)
γ7. Χωρητικότητα Βοηθητικής Δεξαμενής Νερού Βαρύτητας της Κατώτερης Ζώνης LZFSM (mm)
γ8. Συντελεστής εκφόρτισης Βοηθητικής Δεξαμενής Νερού Βαρύτητας της Κατώτερης Ζώνης LZSK (% του αποθέματος ανά χρονικό βήμα)

δ. Παράμετροι μηχανισμού διήθησης:
δ1. Ποσοστό επαύξησης της ζήτησης για διήθηση από συνθήκες κορεσμού σε συνθήκες ξηρασίας, Z (αδιάστατος αριθμός)
δ2. Εκθέτης σχέσης (4), REXP (αδιάστατος αριθμός)
δ3. Ποσοστό του όγκου νερού που διηθείται απευθείας στις δεξαμενές Νερού Βαρύτητας της Κατώτερης Ζώνης, PFREE (αδιάστατος αριθμός)
δ4. Ποσοστό του όγκου του νερού βαρύτητας της Κατώτερης Ζώνης που δεν είναι δυνατό να επανατροφοδοτήσει την εδαφική υγρασία της ίδιας ζώνης όταν αυτή μειώνεται λόγω εξατμισοδιαπνοής (αδιάστατος αριθμός)

ε. Παράμετροι υπόγειων διαφυγών:
ε1. Ο λόγος, σε σχέση με την παρατηρημένη βασική ροή, της εκροής από τις δεξαμενές Νερού Βαρύτητας της Κατώτερης Ζώνης που δεν εμφανίζεται ως βασική ροή, SIDE (αδιάστατος αριθμός)
ε2. Απώλειες από το υδατόρεμα, SSOUT (mm)

στ**.** Αδιάστατο Μοναδιαίο Υδρογράφημα, για την άμεση, την επιφανειακή και την υποδερμική ροή.

ζ**.** Χαρακτηριστικά του υδατορέματος που υπεισέρχονται σε μοντέλο διόδευσης πλημμυρικού κύματος από μια θέση σε μια άλλη. Η αρχική έκδοση του μοντέλου (Burnash et al., 1973) προέβλεπε την εφαρμογή της μεθόδου MUSKINGUM κατά στρώσεις (layered Muskingum method). Στην παρούσα μελέτη δε θεωρήσαμε σκόπιμο την εφαρμογή ενός μοντέλου διόδευσης πλημμύρας καθόσον ο στόχος ήταν η χρήση ενός μοντέλου βροχής-απορροής για θέματα διαχείρισης υδατικών πόρων. Σε τέτοια προβλήματα είναι γνωστό ότι σπάνια γίνεται χρήση χρονικής κλίμακας μικρότερης από 1 ημέρα. Στην κλίμακα όμως αυτή για τα περισσότερα ελληνικά ποτάμια δεν τίθεται πρόβλημα διόδευσης λόγω του μικρού χρόνου απόκρισής τους (μερικές ώρες). Τα ίδια ισχύουν και για το Μοναδιαίο Υδρογράφημα (σημείο στ.)

η. Ενδιάμεσες μεταβλητές κατάστασης της λεκάνης απορροής:
η1. Ποσοστό αδιαπέρατης επιφάνειας του εδάφους ACTIM (αδιάστατος αριθμός)
η2. Απόθεμα νερού Δεξαμενής Εδαφικής Υγρασίας της Ανώτερης Ζώνης UZTWC (mm)
η3. Απόθεμα νερού Δεξαμενής Νερού Βαρύτητας της Ανώτερης Ζώνης UZFWC (mm)
η4. Απόθεμα νερού Δεξαμενής Εδαφικής Υγρασίας της Κατώτερης Ζώνης LZTWC (mm)
η5. Απόθεμα νερού Κύριας Δεξαμενής Νερού Βαρύτητας της Κατώτερης Ζώνης LZFPC (mm)
η6. Απόθεμα νερού Βοηθητικής Δεξαμενής Νερού Βαρύτητας της Κατώτερης Ζώνης LZFSC (mm)

Οι παραπάνω μεταβλητές εξετάζονται στη συνέχεια λεπτομερέστερα, με τρόπο που να δίνει στο χρήστη του μοντέλου τη δυνατότητα να πραγματοποιήσει

σχετικά εύκολα τη βαθμονόμηση του μοντέλου και τις προσομοιώσεις που επιθυμεί.

α. Δεδομένα χρονοσειρών εισόδου

RAWT: Βάρη σημειακών βροχοπτώσεων για τον υπολογισμό της επιφανειακής βροχής με ενδεχόμενη συνεκτίμηση του ορογραφικού φαινομένου καθώς και της επιρροής του ανέμου. Πάντως το μοντέλο δέχεται μόνο ένα συντελεστή βάρους για κάθε σταθμό και δεν προτείνει μεθόδους για την άμεση μοντελοποίηση των δύο παραπάνω φαινομένων.

PCTPN: Μηνιαίοι συντελεστές αναγωγής των διαθέσιμων δεδομένων μηνιαίας εξατμισοδιαπνοής (π.χ. από εξατμισίμετρα λεκάνης) σε μέσες μηνιαίες τιμές της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής από το σύνολο της λεκάνης απορροής. Για τις ημερήσιες τιμές θεωρούμε ότι ο κάθε μηνιαίος συντελεστής εφαρμόζεται στο μέσο του μήνα (15 ή 16 του μήνα ανάλογα με τον αριθμό των ημερών του -30 ή 31- και 14 για τον Φεβρουάριο) ενώ για τις υπόλοιπες μέρες κάνουμε γραμμική παρεμβολή μεταξύ των τιμών του μέσου του μήνα που εξετάζουμε και του μέσου του πλησιέστερου χρονικά μήνα.

β. Δεδομένα χρήσης γης για τη λεκάνη απορροής

PCTIM: Το ποσοστό της μόνιμα αδιαπέρατης επιφάνειας της λεκάνης μπορούμε να το εκτιμήσουμε είτε από χάρτες χρήσης γης είτε από υδρολογικά δεδομένα ανεξάρτητα πάντα από την εφαρμογή του μοντέλου. Στη δεύτερη περίπτωση εκτιμούμε το PCTIM ως το ποσοστό της επιφάνειας της λεκάνης απορροής που αποκρίνεται άμεσα κάτω από συνθήκες παρατεταμένης ξηρασίας σε ένα περιστατικό καταιγίδας μικρής έντασης και διάρκειας. Κάτω από τις συνθήκες αυτές μόνο το αδιαπέρατο τμήμα της λεκάνης παράγει απορροή την οποία και παρατηρούμε ως αύξηση της συνολικής απορροής του υδατορεύματος. Έτσι, είναι εύκολο να εκτιμήσουμε το τμήμα της επιφάνειας της λεκάνης που, με συντελεστή απορροής ίσο με 1.0, παράγει την πιο πάνω αύξηση αυτή της απορροής. Το πιο σωστό είναι αντί της εκτίμησης με βάση ένα μεμονωμένο περιστατικό καταιγίδας, να παίρνουμε τη διάμεση τιμή από πολλά περιστατικά. Σε μια καθαρά μη αστική λεκάνη είναι δυνατό, σε πρώτη προσέγγιση, να θεωρηθεί ότι PCTIM = 0.

ADIMP: Για να εκτιμήσουμε το ποσοστό της λεκάνης που γίνεται αδιαπέρατη όταν γεμίσουν οι δεξαμενές εδαφικής υγρασίας, μπορούμε να εφαρμόσουμε τις δύο μεθόδους που περιγράψαμε πιο πάνω για την παράμετρο PCTIM. Σύμφωνα με την δεύτερη μέθοδο που χρησιμοποιεί υδρολογικά δεδομένα, ο υπολογισμός γίνεται με βάση περιστατικά καταιγίδας που συμβαίνουν σε εξαιρετικά υγρές συνθήκες με πολύ χαμηλή εξατμισοδιαπνοή. Κάτω από τις συνθήκες αυτές αποκρίνεται το σύνολο της αδιαπέρατης επιφάνειας της λεκάνης στο οποίο βέβαια συμπεριλαμβάνεται και το ποσοστό PCTIM.

SARVA: Το ποσοστό της λεκάνης που καλύπτεται από υδατορέματα, λίμνες και παρόχθια βλάστηση μπορεί να εκτιμηθεί από χάρτες χρήσης γης. Γενικά κάτω από μέσες υδρολογικές συνθήκες ισχύει SARVA<PCTIM. Η διαφορά των δύο μεταβλητών οφείλεται κυρίως σε πλακόστρωτα κατοικημένων περιοχών. Συνήθως SARVA = 40 ~ 100% PCTIM.

γ. Παράμετροι των δεξαμενών του μοντέλου

UZTWM: Μπορούμε να εκτιμήσουμε την παράμετρο αυτή ως τον όγκο εκείνο της βροχόπτωσης που, μετά από ξηρή περίοδο, φθάνει μόλις να αυξήσει την επιφανειακή απορροή πέραν εκείνης που προέρχεται από το αδιαπέρατο τμήμα της λεκάνης. Συνήθως η τιμή του UZTWM κυμαίνεται από 50 έως 180 mm, ανάλογα με τον τύπο του εδάφους.

UZFWM: Κυμαίνεται από 6 mm έως 90 mm με πιο συνήθη τιμή γύρω στα 25mm και δεν είναι δυνατό να εκτιμηθεί με απλή μελέτη των ιστορικών υδρογραφημάτων.

UZK: Δεν είναι δυνατό να εκτιμηθεί από τα μετρημένα υδρογραφήματα. Παρουσιάζει εύρος τιμών από 0.18 έως 1.0 με πιο συνηθισμένη τιμή το 0.40.

LZTWM: Η παράμετρος αυτή είναι αρκετά δύσκολο να προσδιοριστεί εκ των προτέρων. Αυτό θα απαιτούσε περίοδο μετρήσεων αρκετά ξηρή ώστε να επηρεάσει τη διαπνοή των φυτών με βαθειές ρίζες. Αλλά τέτοια δεδομένα σπάνια είναι διαθέσιμα και η μόνη εκτίμηση της χωρητικότητας LZTWM που μπορεί να γίνει είναι η ταύτιση του LZTWM με το μέγιστο έλλειμμα νερού κατά την περίοδο μετρήσεων. Το έλλειμμα όμως αυτό είναι ενδεχόμενο να είναι σημαντικά μικρότερο από τη μέγιστη τιμή του. Μερικές ενδεικτικές τιμές παρουσιάζονται στον Πίνακ. 3.5-1 που ακολουθεί.

Πίνακ. 3.5-1 ενδεικτικές τιμές συντελεστή LZTWM

Κατάσταση λεκάνης	LZTWM (mm)
Δασοκάλυψη με κωνοφόρα	600
Γρασίδι με βαθιές ρίζες	150
Γρασίδι με ρηχές ρίζες	75

Οι Burnash et al. [1973] δίνουν το διάστημα από 50 έως 600 mm με πιο συνηθισμένη τιμή τα 150mm.

LZFPM: Μπορούμε να υπολογίσουμε ένα κάτω όριο για το μέγεθος αυτό από τα παρατηρημένα υδρογραφήματα της λεκάνης με την προϋπόθεση ότι αυτά αντιπροσωπεύουν τη μέγιστη δυνατή βασική απορροή της λεκάνης. ο υπολογισμός βασίζεται στις εξισώσεις 7 και 8. Υπενθυμίζεται ότι εφόσον υπάρχει υπόγεια διαφυγή τότε πρέπει να τροποποιηθεί κατάλληλα η εκτίμηση του LZFPM όπως θα περιγράφει στα παρακάτω.

LZPK:Ο υπολογισμός γίνεται με μελέτη των παρατηρημένων υδρογραφημάτων

LZFSM: Μπορούμε να υπολογίσουμε ένα κάτω όριο για το μέγεθος αυτό από τα παρατηρημένα υδρογραφήματα της λεκάνης με την προϋπόθεση ότι αυτά αντιπροσωπεύουν τη μέγιστη δυνατή βασική απορροή της λεκάνης. Ο υπολογισμός βασίζεται στις εξισώσεις 9 και 10. Υπενθυμίζεται ότι εφόσον υπάρχει υπόγεια διαφυγή τότε πρέπει να τροποποιηθεί κατάλληλα η εκτίμηση του LZFSM όπως θα περιγραφεί στα παρακάτω.

LZSK:Ο υπολογισμός γίνεται με μελέτη των παρατηρημένων υδρογραφημάτων

δ. Παράμετροι μηχανισμού διήθησης:

ZPERC: Προσδιορίζεται μόνο με δοκιμές

REXP: Προσδιορίζεται επίσης με δοκιμές και γενικά κυμαίνεται από 1.0 έως 3.0 με μια καλή εκτίμηση το 1.8.

PFREE: Δεν είναι δυνατό να εκτιμηθεί με βάση τα ιστορικά υδρογραφήματα. Η ευαισθησία των αποτελεσμάτων στην παράμετρο αυτή είναι μικρή και για το λόγο αυτό η βελτιστοποίηση των άλλων παραμέτρων (βαθμονόμηση του μοντέλου) δε χρειάζεται να περιλάβει και την παράμετρο αυτή. Το σύνηθες διάστημα μεταβολής του PFREE είναι από 0.00 έως 0.40 με το 0.20 ως ικανοποιητική αρχική τιμή. Μετά από την ολοκλήρωση της βελτιστοποίησης ως προς άλλες παραμέτρους είναι δυνατό να βελτιωθούν τα αποτελέσματα με μικρή αλλαγή του PFREE.

RSERV: Το κλάσμα από την κατώτερη ζώνη (LZF) που δεν συνεισφέρει στην εξατμισοδιαπνοή. Το μοντέλο έχει πολύ μικρή ευαισθησία σε αυτή την παράμετρο και γι' αυτό μια τιμή μεταξύ 0.00 και 0.30 ή 0.40 συνήθως αρκεί.

ε. Παράμετροι υπόγειων διαφυγών

SIDE: Σε συνθήκες κορεσμού του εδάφους και εφόσον η διήθηση γίνεται με ρυθμό μεγαλύτερο από την παρατηρημένη βασική ροή τότε η εισαγωγή της παραμέτρου SIDE μας επιτρέπει να εκτιμήσουμε σωστά την ελάχιστη ζήτηση για διήθηση PBASE (βλ. εξίσωση 2). Στις περισσότερες λεκάνες η παράμετρος αυτή έχει μηδενική τιμή. Παρόλα αυτά, σε περίπτωση πολύ μεγάλων υπόγειων διαφυγών μπορεί να φθάνει την τιμή 5.0 ή και μεγαλύτερη.

SSOUT: Η υπόγεια διαφυγή από το υδατόρεμα θεωρείται ότι ικανοποιείται προτού πραγματοποιηθεί η επιφανειακή απορροή. Υπολογίζεται γραφικά ως η σταθερή εκείνη ποσότητα που απαιτείται για τη γραμμικοποίηση της καμπύλης στείρευσης της κύριας βασικής ροής σε ημιλογαριθμική κλίμακα (τετμημένη = χρόνος, τεταγμένη = λογάριθμος παροχής)

στ. Ενδιάμεσες μεταβλητές κατάστασης της λεκάνης απορροής.

PBASE: Υπολογίζεται από την εξίσωση 2. Στην περίπτωση που SIDE $\neq 0$ γίνεται διόρθωση των τιμών των χωρητικοτήτων των δεξαμενών Νερού Βαρύτητας της Κατώτερης Ζώνης που εκτιμώνται από τα παρατηρημένα υδρογραφήματα με πολλαπλασιασμό τους επί (1+SIDE).

Οι άλλες ενδιάμεσες μεταβλητές που αναφέρθηκαν πιο πάνω αποτελούν αποθέματα των δεξαμενών του μοντέλου και έχουν, όπως είναι φυσικό, ως κάτω όριο διακύμανσης το 0.0 και ως άνω όριο την χωρητικότητα της αντίστοιχης δεξαμενής.

3.5.5 Βαθμονόμηση του μοντέλου

Όπως συμβαίνει και με πολλά άλλα μαθηματικά μοντέλα βροχής-απορροής, το sacramento έχει ένα μεγάλο αριθμό παραμέτρων που πρέπει να εκτιμηθούν για κάθε συγκεκριμένη λεκάνη απορροής. Οι παράμετροι του μοντέλου χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με τον τρόπο εκτίμησης τους. Οι κατηγορίες αυτές είναι οι ακόλουθες:

I. Παράμετροι που προσδιορίζονται με βάση τη τοπογραφία, τη γεωλογία και τις χρήσεις γης στη λεκάνη που εξετάζεται.

II. Παράμετροι που προκύπτουν από ανάλυση των παρατηρημένων υδρογραφημάτων στην έξοδο της λεκάνης χωρίς να γίνει χρήση του μοντέλου SACRAMENTO ή άλλου μοντέλου βροχής-απορροής.

III. Παράμετροι για τις οποίες οποιαδήποτε εκτίμηση είναι αδύνατη ή στην καλύτερη περίπτωση, μπορούν να γίνουν μόνο χονδρικές εκτιμήσεις με

βάση τις πηγές πληροφοριών που αναφέρονται για την κατηγορία Ι. Για τις παραμέτρους αυτές είναι απαραίτητο να γίνεται “βαθμονόμηση” έτσι ώστε να επιτυγχάνεται καλή προσαρμογή των τιμών της παροχής που υπολογίζει το μοντέλο προς τις τιμές της παρατηρημένης παροχής.

IV. Μια τελευταία κατηγορία παραμέτρων είναι εκείνες οι παράμετροι που δεν επηρεάζουν ουσιαστικά την επίδοση του μοντέλου ή αλλιώς η παροχή που υπολογίζεται από το μοντέλο δεν είναι ευαίσθητη στις μεταβολές αυτών των παραμέτρων. Υπάρχει βέβαια πάντα η προϋπόθεση οι μεταβλητές αυτές να μεταβάλλονται σε ορισμένο διάστημα που επιβάλλει η λογική της λειτουργίας του μοντέλου αλλά και η μέχρι σήμερα εμπειρία από τη χρήση του.

Οι παράμετροι της κατηγορίας Ι που αποτελούν ουσιαστικά δεδομένα εισόδου του μοντέλου είναι οι ακόλουθες: PCTIM, ADIMP, SARVA. Ειδικά οι παράμετροι PCTIM και ADIMP, όταν αυτές εκτιμώνται από τα παρατηρημένα υδρογραφήματα, θεωρούνται ότι ανήκουν στην κατηγορία ΙΙ. Στην κατηγορία ΙΙ ανήκουν επίσης οι συντελεστές εκφόρτισης των δεξαμενών Νερού Βαρύτητας της Κατώτερης Ζώνης LZSK, LZPK που υπολογίζονται με ικανοποιητική ακρίβεια με βάση τις εξισώσεις 7 και 9 αντίστοιχα. Επίσης στην κατηγορία αυτή υπάγεται και η παράμετρος SSOUT. Στην κατηγορία ΙΙΙ ανήκουν οι παράμετροι UZTWM, UZFWM, UZK, Z, REXP, LZTWM, LZFSM, LZFPM και SIDE. Τέλος στην κατηγορία IV ανήκουν οι παράμετροι PFREE και RSERV. Οι παράμετροι που σχετίζονται με το Μοναδιαίο Υδρογράφημα και το μοντέλο MUSKINGUM δεν υπεισέρχονται στην παρούσα έκδοση του μοντέλου για τους λόγους που εκτέθηκαν παραπάνω.

Η βαθμονόμηση (calibration) του μοντέλου συνίσταται στην πραγματοποίηση δοκιμών με βάση ένα ιστορικό δείγμα των υδρολογικών μεταβλητών βροχόπτωσης, απορροής και εξατμισοδιαπνοής το οποίο ονομάζεται “δείγμα βαθμονόμησης”. Κατά τις δοκιμές αυτές μεταβάλλουμε με συστηματικό τρόπο είτε μία μόνο παράμετρο, είτε μία ομάδα παραμέτρων με στόχο την όσο το δυνατό καλύτερη προσαρμογή των υπολογισμένων από το μοντέλο παροχών στο δείγμα των παρατηρημένων παροχών. Η ποιότητα της προσαρμογής ή αλλιώς η επίδοση του μοντέλου εκφράζεται ποσοτικά με ένα ή περισσότερα αριθμητικά κριτήρια που μετρούν την “απόσταση” μεταξύ των μετρημένων και υπολογισμένων υδρογραφημάτων. Για να έχουμε πληροφόρηση σχετικά με τη συμπεριφορά όλων των συνιστωσών του μοντέλου, ώστε να οδηγηθούμε σωστά και γρήγορα προς ένα ικανοποιητικό συνδυασμό παραμέτρων θα έπρεπε να επινοήσουμε πολλά διαφορετικά αριθμητικά κριτήρια. Πράγματι, στην αρχική έκδοση του μοντέλου (Burnash et al, 1973) υπήρχε ένας σχετικά μεγάλος αριθμός τέτοιων κριτηρίων. Η γνώμη μας είναι ότι η απλή γραφική σύγκριση των παρατηρημένων και των υπολογισμένων υδρογραφημάτων μπορεί να μας δώσει την απαραίτητη πληροφορία σχετικά με τη συμπεριφορά του μοντέλου χωρίς να είναι ανάγκη να εξετάσουμε ένα μεγάλο αριθμό αριθμητικών κριτηρίων καλής προσαρμογής. Στην αμέσως επόμενη παράγραφο παρουσιάζουμε τα κριτήρια της παρούσας έκδοσης του μοντέλου και τα οποία είναι διαφορετικά από εκείνα της αρχικής έκδοσης.

Υπενθυμίζεται ότι μετά τη βαθμονόμηση του μοντέλου κάνουμε την επαλήθευσή του (verification) κατά την οποία εκτιμάται η επίδοση του μοντέλου για ένα ιστορικό δείγμα υδρολογικών μεταβλητών (δείγμα επαλήθευσης) διαφορετικό

από το δείγμα βαθμονόμησης. Τα αριθμητικά κριτήρια που χρησιμοποιούνται για την ποσοτική έκφραση της επίδοσης του μοντέλου είναι τα ίδια με εκείνα της βαθμονόμησης.

3.5.6 Αριθμητικά κριτήρια καλής προσαρμογής

Δεχόμαστε ότι η εφαρμογή του μοντέλου γίνεται αποκλειστικά σε ημερήσια χρονική κλίμακα. Παράλληλα όμως, το μοντέλο θεωρείται ότι χρησιμοποιείται στα πλαίσια μελετών σχεδιασμού και διαχείρισης συστημάτων υδατικών πόρων όπου η χρονική κλίμακα μελέτης είναι σχεδόν πάντα η μηνιαία. Συνεπώς υπάρχει ενδιαφέρον να βελτιστοποιηθεί η επίδοση του μοντέλου τόσο σε ημερήσια χρονική κλίμακα όσο και σε μηνιαία. Αυτό μας οδήγησε στην κατάστρωση δύο ομάδων κριτηρίων, μιας για κάθε χρονική κλίμακα. Τα κριτήρια αυτά περιγράφονται στη συνέχεια.

3.5.7 Αριθμητικά κριτήρια καλής προσαρμογής σε ημερήσια χρονική κλίμακα.

Τα κριτήρια αυτά είναι τα ακόλουθα:

α) Ποσοστό επεξηγούμενης διασποράς (explained variance) EV που εκτιμάται από την ακόλουθη σχέση:

$$EV = 1 - (Var[e] / Var[Q]) \qquad (15)$$

Όπου : Var[e] είναι η διασπορά των σφαλμάτων του μοντέλου και Var[Q] είναι η διασπορά των μετρημένων παροχών.

Το μέγεθος Var[e] δίνεται από την σχέση:

$$Var\{e\} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} (Q_i - \overline{QC}_i) - (\overline{Q} - \overline{QC})^2 \qquad (16)$$

Όπου: Q_i και QC_i είναι αντίστοιχα η μετρημένη και η υπολογισμένη ημερήσια παροχή

$\overline{Q}$ και $\overline{QC}$ είναι αντίστοιχα η μέση τιμή για την μετρημένη και την υπολογισμένη ημερήσια παροχή και

N είναι η περίοδος προσομοίωσης σε ημέρες.

Το μέγεθος Var[Q] δίνεται από την σχέση:

$$Var\{Q\} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} (Q_i - \overline{Q})^2 \qquad (17)$$

β) Αποτελεσματικότητα (efficiency) του μοντέλου EFF που εκτιμάται από την ακόλουθη σχέση:

$$EFF = 1 - (MSE / Var[Q]) \qquad (18)$$

Όπου: MSE είναι το μέσο τετραγωνικό σφάλμα του μοντέλου που δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$MSE = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} (Q_i - \overline{QC}_i)^2 \qquad (19)$$

Όπως προκύπτει εύκολα από τις παραπάνω εξισώσεις, ισχύει γενικά $EFF \leq EV$. Η ισότητα ισχύει μόνον εφόσον τα σφάλματα του μοντέλου έχουν μηδενική μέση τιμή ή αλλιώς όταν δεν υπάρχει μεροληψία (bias). Συνεπώς η συνδυασμένη χρήση και των δύο αριθμητικών κριτηρίων επιτρέπει την ανίχνευση μεροληψίας

του μοντέλου. Ο στατιστικός όρος μεροληψία σημαίνει εδώ την παρουσία ενός συστηματικού σφάλματος υπερεκτίμησης ή υποεκτίμησης των μετρημένων παροχών. Στην περίπτωση που οι τιμές των δύο κριτηρίων είναι πολύ κοντά μεταξύ τους είναι δυνατό να ισχυριστούμε ότι το μοντέλο είναι αμερόληπτο (unbiased).

3.5.8 Αριθμητικά κριτήρια καλής προσαρμογής σε μηνιαία χρονική κλίμακα.

Τα κριτήρια αυτά είναι τα ακόλουθα:

α) Ποσοστό επεξηγούμενης διασποράς (explained variance) EVM που εκτιμάται από την ακόλουθη σχέση:

$$EVM = 1 - (Var[em] / Var[Qm]) \quad (20)$$

Όπου: Var[em] είναι η διασπορά των σφαλμάτων του μοντέλου και
Var[Qm] είναι η διασπορά των μετρημένων παροχών

Το μέγεθος Var[em] δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$Var\{em\} = \frac{1}{M}\sum_{i=1}^{M} (Qm_i - QCm_i) - (\overline{Q}m - \overline{QCm})^2 \quad (21)$$

Όπου: Qm_i και QCm_i είναι αντίστοιχα η μετρημένη και η υπολογισμένη μηνιαία παροχή
είναι αντίστοιχα η μέση τιμή για την μετρημένη και την υπολογισμένη μηνιαία παροχή και
M είναι η περίοδος προσομοίωσης σε μήνες.

Το μέγεθος Var[Qm] δίνεται από τη σχέση:

$$Var\{Qm\} = \frac{1}{M}\sum_{i=1}^{M} (\overline{Q}m_i - \overline{QCm})^2 \quad (22)$$

β) Αποτελεσματικότητα (efficiency) του μοντέλου EFFM που εκτιμάται από την ακόλουθη σχέση:

$$EFFM = 1 – (MSEM / Var[Qm]) \quad (23)$$

Όπου: MSEM είναι το μέσο τετραγωνικό σφάλμα του μοντέλου που δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$MSEM = \frac{1}{M}\sum_{i=1}^{M} (Qm_i - QCm_i)^2 \quad (24)$$

Όπως και στην περίπτωση των ημερήσιων τιμών ισχύει και εδώ $EFFM \leq EVM$ ενώ η διαφορά των δύο κριτηρίων είναι ένα μέτρο της μεροληψίας του μοντέλου σε ότι αφορά στην εκτίμηση των μηνιαίων τιμών. Σημειώνεται επίσης ότι και τα τέσσερα κριτήρια (EFF, EV, EFFM, EVM) παίρνουν τιμές από -1 έως 1 με την τιμή 1 να αντιστοιχεί στη τέλεια προσαρμογή του μοντέλου στο ιστορικό δείγμα.

3.5.9 Μέσα ετήσια ισοζυγία της λεκάνης απορροής για την περίοδο προσομοίωσης.

Με βάση τις (ημερήσιες ή μηνιαίες) τιμές των υδρολογικών μεταβλητών το μοντέλο υπολογίζει τις παρακάτω συνιστώσες του μέσου ετήσιου υδατικού ισοζυγίου της λεκάνης σε mm:

- Επιφανειακή βροχόπτωση από μετρήσεις σημειακής βροχόπτωσης
- Μετρημένη συνολική απορροή στην έξοδο της λεκάνης
- Υπολογισμένη συνολική απορροή στην έξοδο της λεκάνης
- Υπολογισμένη επιφανειακή απορροή στην έξοδο της λεκάνης
- Υπολογισμένη υποδερμική απορροή στην έξοδο της λεκάνης
- Υπολογισμένη βασική ροή στην έξοδο της λεκάνης
- Δυνητική εξατμισοδιαπνοή της λεκάνης από μετρήσεις ή ανεξάρτητες από το μοντέλο εκτιμήσεις.
- Υπολογισμένη από το μοντέλο πραγματική εξατμισοδιαπνοή της λεκάνης.
- Αποθέματα νερού στο έδαφος στο τέλος της θεωρούμενης περιόδου ρύθμισης. Υπενθυμίζεται ότι τα αποθέματα στην αρχή της περιόδου προσομοίωσης εισάγονται από τον χρήστη ως δεδομένα και έτσι είναι γνωστή και η μεταβολή των αποθεμάτων η οποία και συνδέεται άμεσα με το μέσο ετήσιο ισοζύγιο της λεκάνης σύμφωνα με τη γενική σχέση: (εισροές) = (εκροές) + (αύξηση αποθεμάτων) ή (Τελικό απόθεμα)=(αρχικό απόθεμα) + (βροχόπτωση) - (Εξατμισοδιαπνοή πραγματική) – (απορροή) - (υπόγειες διαφυγές).

3.6 Υδρολογικά Ισοζύγια

3.6.1 Εφαρμογή του μοντέλου sacramento

Το μοντέλο sacramento περιλαμβάνεται στο σύστημα υδρολογικής πληροφορίας HYMOS 4.0 και χρησιμοποιήθηκε για την προσομοίωση των επιφανειακών απορροών των υδρολογικών λεκανών της περιοχής μελέτης, οι οποίες παρουσιάσθηκαν στην ενότητα 3.1. Κανονική ρύθμιση του ομοιώματος μπορεί να γίνει βέβαια μόνο στις λεκάνες στις οποίες υπάρχουν σταθμηγράφοι (3 λεκάνες στη περιοχή). Για τις υπόλοιπες λεκάνες θα πρέπει αναγκαστικά να γίνει εκτίμηση της απορροής τους χωρίς δυνατότητα σύγκρισης με παρατηρημένα δεδομένα και δια της μεταφοράς παραμέτρων από κοντινές ή παρόμοιες λεκάνες οι οποίες διαθέτουν παρατηρημένα στοιχεία απορροής.

Διαπιστώθηκε ότι το μοντέλο μπορεί να προσομοιώσει με επιτυχία τις λεκάνες της Κρήτης (Παπαγρηγορίου κα, 2001), δεδομένων μάλιστα των δυσχερειών που παρουσιάζουν αυτές ως φυσικό σύστημα. Στη διεθνή βιβλιογραφία ένα μικρό μόνον ποσοστό των δημοσιευόμενων ερευνών αφορούν λεκάνες ξηρού καθεστώτος και διαλείπουσας απορροής, όπως οι λεκάνες της Κρήτης, ακριβώς γιατί τέτοιου είδους λεκάνες παρουσιάζουν μεγάλες ιδιαιτερότητες στην υδρολογική τους απόκριση. Ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα που συνδέονται με την προσομοίωση παρόμοιων λεκανών είναι ακριβώς το γεγονός ότι για μεγάλα διαστήματα των παρατηρημένων χρονοσειρών τους έχουν μηδενική απορροή. Από την άποψη της προσφερόμενης «πληροφορίας» συνεπώς, οι λεκάνες διαλείπουσας απορροής περιέχουν σημαντικά μικρότερα ποσά πληροφορίας που μπορούν να καθοδηγήσουν τους μηχανισμούς του οποιουδήποτε μοντέλου με αποτέλεσμα εσωτερικές διεργασίες του μοντέλου δεν ενεργοποιούνται πλήρως ή δεν προλαβαίνουν να φθάσουν σε ένα επίπεδο ενεργοποίησης το οποίο επιτυγχάνεται σε άλλες περιπτώσεις.
Ιδιαίτερα στα χειμαρρικού χαρακτήρα υδατορέματα, όπως είναι τα υδατορέματα της Κρήτης, η υδρολογική τους απόκριση διαφέρει από αυτήν που συνήθως έχει

χρησιμοποιηθεί για την μόρφωση των περισσότερο διαδεδομένων ομοιωμάτων βροχής-απορροής, επειδή αφορά σχεδόν κατ' αποκλειστικότητα τη διοχέτευση πλημμυρικών παροχών οι οποίες αποτελούν πάντοτε μικρό ποσοστό του συνολικού χρόνου εμφάνισης της απορροής υπό κανονικές συνθήκες.

Με δεδομένες τις παραπάνω δυσχέρειες που είναι εγγενείς σε λεκάνες παρόμοιας δίαιτας με αυτές της Κρήτης, τα αποτελέσματα από την εφαρμογή του μοντέλου κρίνονται ως πολύ ικανοποιητικά. Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της εφαρμογής του μοντέλου στις λεκάνες της περιοχής μελέτης που διέθεταν στοιχεία παρατηρημένων απορροών μέσω σταθμηγράφου.
Ως πληροφορία εισόδου στο μοντέλο χρησιμοποιήθηκε: α) η επιφανειακή βροχόπτωση όπως έχει υπολογισθεί για τις υπολεκάνες των υδατορευμάτων ανάντη των υδρομετρικών σταθμών (βλέπε κεφάλαιο 1), β) η δυνητική εξατμισοδιαπνοή της λεκάνης όπως έχει υπολογισθεί στο κεφάλαιο 2 και γ) η παρατηρημένη απορροή στους υδρομετρικούς σταθμούς. Η προσομοίωση έγινε για την περίοδο 1973 – 2005 σε μηνιαίο βήμα. Η χρονοσειρά των παρατηρημένων όγκων απορροής μετατράπηκε στην αντίστοιχη χρονοσειρά mm/μήνα έτσι ώστε να είναι άμεση η σύγκριση μεταξύ της προσομοιωμένης χρονοσειράς και της παρατηρημένης.
Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων για τις τρεις λεκάνες που διαθέτουν υδρομετρικά δεδομένα παρουσιάζονται στις επόμενους παραγράφους.

3.6.2 Λεκάνη Πλακιώτισας

Από τη συγκέντρωση δεδομένων και πληροφοριών για τη λεκάνη του Αναποδάρη-Πλακιώτισας αλλά κυρίως και από την ανάλυση της χρονοσειράς απορροής του υδρομετρικού της σταθμού (παράγραφος 3.3) προέκυψε ότι στη λεκάνη αυτή, κατά τη χρονική περίοδο της μελέτης $9^{ος}$ 1973- $9^{ος}$ 2005, δεν έχουν παρατηρηθεί τέτοιες μεταβολές στην υδρολογική δίαιτά της οι οποίες θα την μετέβαλαν και θα οφείλονταν σε ανθρώπινες επεμβάσεις (πχ εκτροπές, κατασκευή φραγμάτων κλπ). Η χρονοσειρά απορροής, με βάση τις επιφυλάξεις που αναπτύχθηκαν στην παρ. 3.3, δεν εμφανίζει ασυνέπεια στην κλίμακα (μηνιαία) που χρησιμοποιείται για την προσομοίωση. Επομένως, η προσομοίωση της λεκάνης έγινε για όλη τη χρονική περίοδο στη οποία έχουμε παρατηρημένη απορροή ($9^{ος}$ 1973- $9^{ος}$ 1994).

Τα δεδομένα της λεκάνης της Πλακιώτισας στα οποία στηρίχθηκε το εννοιολογικό μοντέλο της προσομοίωση είναι:

- Η γεωλογική δομή της λεκάνης συνίσταται από την επιφανειακή εξάπλωση κυρίως των νεογενών σχηματισμών με εξαίρεση τις κοίτες των υδρορευμάτων που απαντώνται μικρού πάχους αλλουβιακές αποθέσεις (βλέπε κεφάλαιο 5)
- Οι σχηματισμοί που δομούν την περιοχή χαρακτηρίζονται ως έχοντας «μικρή» ή «πολύ μικρή» υδροπερατότητα (βλέπε κεφάλαιο 5).
- Στη λεκάνη δεν απαντάται κανείς σημαντικός υδροφορέας και χαρακτηρίζεται από έλλειψη υπόγειων νερών. Αναπτύσσετε μόνο ασθενής υπόγεια υδροφορία σε στρώματα μαργαϊκών ασβεστολίθων και ψαμμιτών, η οποία άρχισε να αξιοποιείται από μικρό αριθμό γεωτρήσεων πολύ μικρής παροχής, μετά το 1995.

- Οι υπόγειες διαφυγές εκτός υδρολογικής λεκάνης αναμένεται να είναι μικρές λόγω της γεωλογικής δομής.
- Δεν καταγράφηκαν ανθρώπινες επεμβάσεις ώστε να προκάλεσαν σημαντικές αλλαγές στην υδρολογική δίαιτα της κατά την περίοδο προσομοίωσης.
- Η αιχμή της επιφανειακής απορροής εμφανίζεται λίγες ώρες μετά από τις έντονες βροχοπτώσεις, αυτό δε είναι συνεπακόλουθο της γεωλογικής δομής, της πυκνότητας του δικτύου των ρευμάτων, της φυτοκάλυψης και των γεωμετρικών χαρακτηριστικών της λεκάνης.
- Η βασική απορροή είναι μικρή σε σχέση με την επιφανειακή απορροή λόγω των γεωλογικών σχηματισμών οι οποίοι οριοθετούνται στα όρια της λεκάνης
- Μέρος της βασικής απορροής συνεισφέρει νερό στα υδατορέματα της λεκάνης ενώ το υπόλοιπο τροφοδοτεί τον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα.
- Η πραγματική εξατμισοδιαπνοή είναι μεγάλη λόγω της υψηλής δυναμικής εξατμισοδιαπνοής (περίπου διπλάσια της μέσης βροχόπτωσης) και των κλιματολογικών συνθηκών που επικρατούν.

Οι τιμές των παραμέτρων του sacramento κατόπιν του εννοιολογικού μοντέλου και μετά τη ρύθμισή του δίνονται στον Πίνακ. 3.6-1 . Στα γραφήματα της Εικόνα 3.6-1 και της Εικόνα 3.6-2 παρουσιάζεται γραφικά η προσαρμογή του μοντέλου στις παρατηρημένες (μηνιαίες) ιστορικές χρονοσειρές της λεκάνης απορροής (Τα αναλυτικά αποτελέσματα της προσομοίωσης παρατίθενται στο Παράρτημα 3-1). Οι τιμές των αριθμητικών κριτηρίων καλής προσαρμογής που επιτεύχθηκαν (παράγραφος 3.5.6) δίνονται στον Πίνακ. 3.6-3. Παρατίθεται επίσης χάριν πληρότητας και ο απλός συντελεστής R της γραμμικής συσχέτισης μεταξύ παρατηρημένων και προσομοιωμένων τιμών.

Παρατηρείται ότι το μοντέλο περιγράφει ικανοποιητικά την ταχεία απόκριση της λεκάνης. Παρουσιάζεται επίσης ξεχωριστά η υπολογιζόμενη και η παρατηρημένη αθροιστική απορροή, κριτήριο το οποίο στο μηνιαίο χρονικό βήμα είναι ίσως το σημαντικότερο από την άποψη της καλής προσαρμογής του ομοιώματος, αφού δείχνει κατά πόσο μπορεί το ομοίωμα να προβλέπει τον όγκο της απορροής στο χρόνο, ανεξάρτητα από την εποχιακότητά της. Οι τιμές των αριθμητικών κριτηρίων που παρουσιάζονται είναι ακόμη υψηλότερες εάν εξαιρεθούν από το δείγμα ορισμένοι μήνες στους οποίους έχουμε την καταγραφή συγκριτικά πολύ υψηλές απορροές. Με δεδομένη την καλή συμπεριφορά του μοντέλου στα περισσότερα από τα υδρολογικά έτη της περιόδου προσομοίωσης, και της αβεβαιότητας των τιμών των παρατηρημένων πλημμυρικών παροχών, όπως συζητήθηκαν στην παράγραφο 3.2.1, δεν πρέπει να αποκλείεται η περίπτωση στους μήνες αυτούς να υπάρχει λανθασμένος υπολογισμός της παρατηρημένης τιμής. Δεν υπήρχαν ωστόσο τέτοιες συγκεκριμένες πληροφορίες ώστε να διορθωθούν οι τιμές αυτές κατά την προσομοίωση.

Το αναλυτικό μέσο ετήσιο υδατικό ισοζύγιο της λεκάνης απορροής της Πλακιώτισας παρουσιάζεται στον Πίνακ. 3.6-2 για την 20ετία 1974 – 1994 σε mm και σε εκατομμύρια κυβικά μέτρα. Η βροχόπτωση που αναγράφεται είναι

ανηγμένη στο μέσο υψόμετρο της λεκάνης. Η μισή περίπου ποσότητα της βασικής απορροής επιστρέφει στο υδρόρευμα πριν την έξοδό της από τη λεκάνη ενώ η υπόλοιπη ποσότητα κατεισδύει και διαφεύγει υπογείως εκτός λεκάνης. Η στήλη της Υπόγειας Αποθήκευσης στον πίνακα αντιπροσωπεύει τη μέση ετήσια ποσότητα που κατεισδύει και εμπλουτίζει την υπόγεια υδροφορία. Ως Υπόγεια Αποθήκευση στο ομοίωμα ορίζεται η ποσότητα του νερού που παραμένει στο σύστημα στο τέλος κάθε περιόδου προσομοίωσης. Γενικά στην προσομοίωση αναγράφει την αλλαγή στην υπόγεια αποθήκευση, που μπορεί να είναι θετική ή αρνητική ή μηδέν. Συνήθως, κατά την κατάρτιση των θεωρητικών ισοζυγίων (δηλ. χωρίς παρατηρημένα στοιχεία απορροής), αυτή η ποσότητα θεωρείται μακροπρόθεσμα ότι τείνει στο μηδέν. Η θεώρηση αυτή βασίζεται στη συχνά μη επιβεβαιούμενη παραδοχή ότι η λεκάνη είναι απολύτως υδατοστεγής (δεν επικοινωνεί υπογείως με άλλες λεκάνες). Στην πράξη όμως αυτό συνήθως δεν συμβαίνει. Θετική υπόγεια αποθήκευση σημαίνει γενικά ότι η λεκάνη παρουσιάζει περίσσεια νερού (το οποίο χάνεται προς γειτονικές λεκάνες), ενώ αρνητική το αντίστροφο. Επίσης, στην ποσότητα αυτή «ενσωματώνεται» και η τυχόν επιρροή στο ισοζύγιο της λεκάνης που προκαλείται από ανθρωπογενείς επεμβάσεις (π.χ., αντλήσεις), αλλά και το σχετικό σφάλμα στον υπολογισμό όλων των επιμέρους παραμέτρων (βροχή, εξατμισοδιαπνοή, σφάλματα της παρατηρημένης χρονοσειράς απορροής, κλπ).

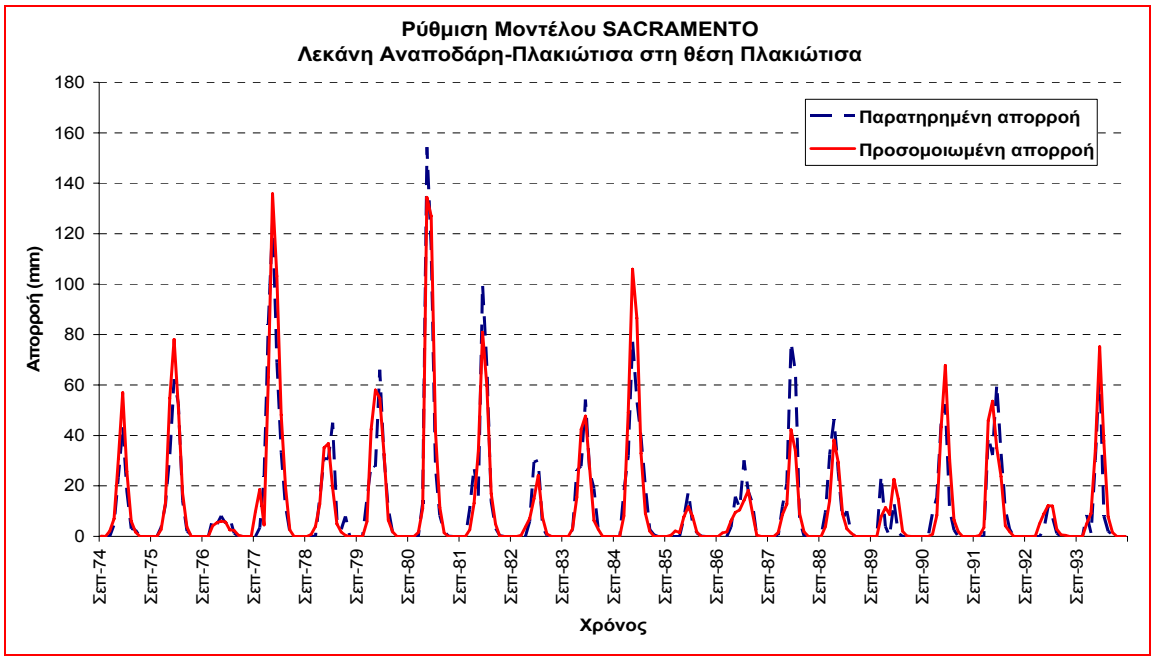
Όπως προκύπτει από τα αποτελέσματα της προσομοίωσης, η μέση ετήσια τιμή της απορροής για την λεκάνη της Πλακιώτισας ανέρχεται σε 11,1 Mcm (153,0 mm περίπου), έναντι 10.7 Mcm, (147.5 mm περίπου), που προκύπτει από τις υδρομετρήσεις, δηλ. μέση σχετική απόκλιση της τάξης του 3,7% (5,5 mm περίπου) . Το μέσο ετήσιο επιφανειακό ύψος βροχής για την υπόψη υδρολογική λεκάνη, ανέρχεται σε 703,6 mm (κεφάλαιο 1) ή 50.9 Mcm .
Με βάση τα παραπάνω ο μέσος ετήσιος συντελεστής απορροής για τη λεκάνη της Πλακιώτισας, προκύπτει ίσος με: C_R= 153/703,6=0,217.
Ο συντελεστής κατείσδυσης, ανάλογα, είναι: C_I = 46,2/703,6 = 0,066.

Πίνακ. 3.6-1 Τιμές παραμέτρων SACRAMENTO:
προσομοίωση λεκάνης Πλακιώτισας (9ος 1974- 9ος 1994)

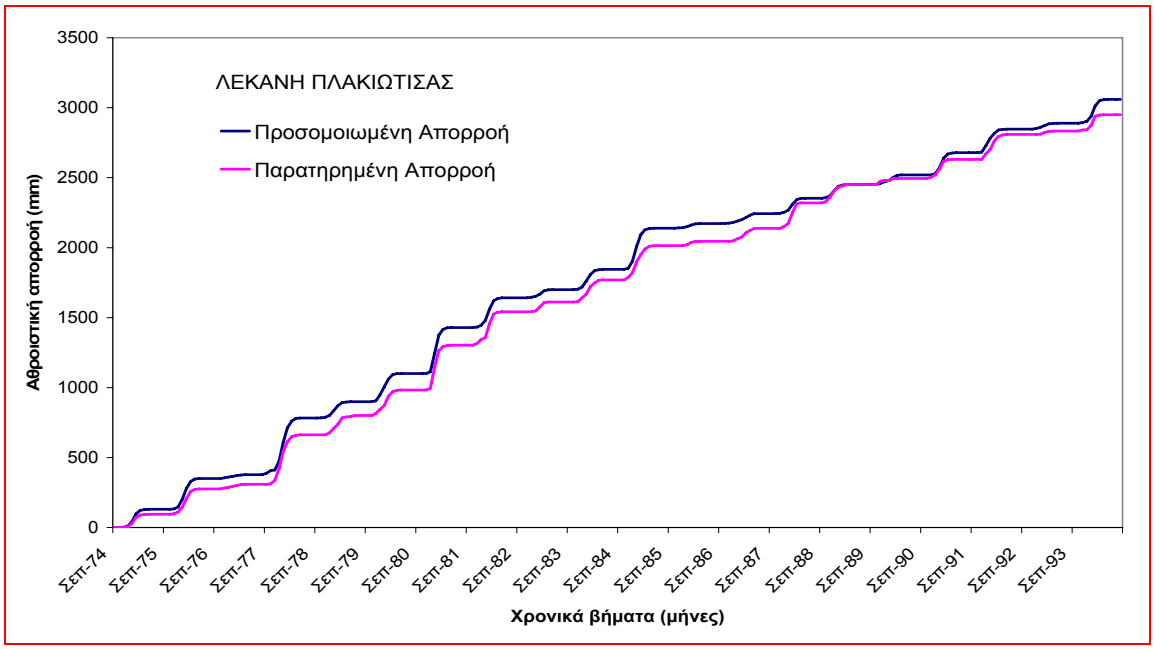
Simulation of rainfall-runoff process: Land Phase							
Catchment name = Anapodaris, Number of segments: 1							
Rainfall-runoff simulation of segment 1							
Catchment: Anapodaris Segment: Plakiotissa (9ος 1974- 9ος 1994)							
Rainfall series	:	A50-5	PG				
Evaporation series:		A50-5	EAC				
Discharge series	:	STR	AN_PL RO				
		UZTW	UZFW	LZTW	LZFSW	LZFPW	
Capacaty	(mm)	100	100	190	70	100	
Initial	content	1	10	20	1	1	
UZK	=	0,03	(1/DAY)	RSERV	=	0,35	(-)
LZSK	=	0,3	(1/DAY)	PCTIM	=	0,05	(-)
LZPK	=	0,8	(1/DAY)	ADIMP	=	0,4	(-)
ZPERC	=	30, 00	(-)	SARVA	=	0,01	(-)
REXP	=	1,80	(-)	SIDE	=	0,95	(-)
PFREE	=	0,1	(-)	SSOUT	=	0	(mm/dt)
Applied unit hydrograph components:							
0,211	0,632	0,105	0,053	0			
Given Rainfall Intensity Components (PM, PT1, PT2):							
0,5	2,00	5,00					

Πίνακ. 3.6-2 Μέσα ετήσια υδατικά ισοζύγια.
Προσομοίωση SACRAMENTO λεκάνης Πλακιώτισας (9ος 1974-9ος 1994)

ΜΕΣΑ ΕΤΗΣΙΑ ΥΔΑΤΙΚΑ ΙΣΟΖΥΓΙΑ (ΤΙΜΕΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ) ΛΕΚΑΝΗΣ ΠΛΑΚΙΩΤΙΣΑΣ								
περίοδος		Βροχόπτωση	Δυνητική Εξατμισο-διαπνοή	Πραγματική Εξατμισο-διαπνοή	Απορροή	Βασική ροή		Υπόγεια Αποθήκευση (μεταβολή)
από	μέχρι					Επιστροφή στο υδρόρευμα	Υπόγειες Διαφυγές	
σε mm								
9ος 1974	9ος 1994	703,6	1320,6	504,4	153,0	49,9		
						25,6	24,3	21,9
σε εκατομμύρια m3								
9ος 1974	9ος 1994	50,9	95,6	36,5	11,1	3,6		
						1,9	1,8	1,6
ποσοστά επί της % βροχόπτωσης			187,7%	71,7%	21,7%	7,1%		
						3,6%	3,5%	3,1%
Κατείσδυση (mm)								46,2
συντελεστής κατείσδυσης (επί της % επί της βροχόπτωσης)								6,6%



Εικόνα 3.6-1 Γράφημα παρατηρημένης- προσομοιωμένης μηνιαίας απορροής στη θέση Πλακιώτισα



Εικόνα 3.6-2 Γράφημα παρατηρημένης- προσομοιωμένης μηνιαίας αθροιστικής απορροής στη θέση Πλακιώτισα

Πίνακ. 3.6-3 Τιμές Κριτήριων Καλής Προσαρμογής του SACRAMENTO σταθμού Πλακιώτισας

Σταθμός Πλακιώτισας έτη 1973-2003			
Τιμές αριθμητικών κριτηρίων καλής προσαρμογής (μηνιαία χρονική κλίμακα)			
EVM	EFFM	Συντελεστή συσχέτισης R Q παρατηρ.- Q προσομοιωμ.	Συντελεστή Αθροιστικής συσχέτισης R Q παρατηρημένης- Q προσομοιωμένης
0,8574	0,8576	0,939	0,999

3.6.3 Λεκάνη Λιθαίου

Από τη συγκέντρωση δεδομένων και πληροφοριών για τη λεκάνη του Γεροποτάμου -Λιθαίου αλλά και κυρίως από την ανάλυση της χρονοσειράς απορροής του υδρομετρικού σταθμού του Λιθαίου (παράγραφος 3.3) προέκυψε ότι στη λεκάνη αυτή, κατά τη χρονική περίοδο της μελέτης $9^{ος}$ 1973- $9^{ος}$ 2005, έχουν παρατηρηθεί μεταβολές στην υδρολογική δίαιτά της οι οποίες οφείλονται σε ανθρώπινες επεμβάσεις. Η κύρια επέμβαση προέρχεται από την κατασκευή του αρδευτικού έργου που δέσμευσε εαρινές και θερινές απορροές των καρστικών πηγών της Γέργερης, το οποίο άρχισε να λειτουργεί μετά το 1987. Επιπρόσθετα, δεσμεύτηκε ποσότητα από τις χειμερινές απορροές των πηγών για την πλήρωση της λιμνοδεξαμενής της Γέργερης, αποθηκευτικού όγκου 0,2 Mcm, και επιπλέον μια μικρότερη ποσότητα από τη βιομηχανία εμφιάλωσης επιτραπέζιου νερού δυναμικότητας 36000 m^3. Ο μέσος ετήσιος όγκος απορροής των πηγών είναι 1,49 Mcm (μέση τιμή απορροών 1973-1987). Η απόληψη των ποσοτήτων αυτών από την υδρολογική λεκάνη είναι ευδιάκριτες στην ανάλυση που έγινε στην χρονοσειρά απορροής (παράγραφος 3.3.2) και η οποία εμφανίζει ασυνέπεια. Με βάση την ανάλυση αυτή η παρατηρημένη χρονοσειρά απορροής διακρίνεται σε δύο επιμέρους διαστήματα στα οποία εμφανίζει ομοιογένεια: α) $9^{ος}$ 1973- $9^{ος}$ 1987 και β) $9^{ος}$ 1985- $9^{ος}$ 2003.

Τα δεδομένα της λεκάνης του Λιθαίου στα οποία στηρίχθηκε το εννοιολογικό μοντέλο της προσομοίωση είναι:

- Η γεωλογική δομή της λεκάνης συνίσταται από την επιφανειακή εξάπλωση: α) στο κεντρικό τμήμα των νεογενών σχηματισμών, με εξαίρεση τις κοίτες των υδρορευμάτων που απαντώνται μικρού πάχους αλλουβιακές αποθέσεις, έκτασης περίπου 30,44 Km^2 , β) στο βόρειο τμήμα των ανθρακικών πετρωμάτων, που καταλαμβάνουν έκταση περίπου 3,7 Km^2, και των Φυλλιτών- Χαλαζιτών, έκτασης 1,9 Km^2 και γ) στο ΒΑ και το ΝΑ τμήμα του φλύσχη συνολικής έκτασης περίπου 7,6 Km^2 (λεπτομερέστερα βλέπε κεφάλαιο 4)
- Οι παραπάνω σχηματισμοί που δομούν την περιοχή ταξινομούνται ως έχοντας «μικρή» ή «πολύ μικρή» υδροπερατότητας (βλέπε κεφάλαιο 5) με εξαίρεση τα ανθρακικά πετρώματα που χαρακτηρίζονται με «υψηλή» υδροπερατότητα και πρακτικά σε αυτά δεν έχουμε επιφανειακή απορροή. Η έκταση των ανθρακικών πετρωμάτων αφαιρέθηκε από την έκταση της λεκάνης στην προσομοίωση.
- Στη λεκάνη δεν απαντάται κανείς σημαντικός υδροφορέας, με εξαίρεση τον καρστικό, και γενικά χαρακτηρίζεται από έλλειψη υπόγειων νερών. Αναπτύσσετε μόνο «μέτρια» - «ασθενής» υπόγεια υδροφορία σε στρώματα μαργαϊκών ασβεστολίθων και ψαμμιτών, η οποία άρχισε να αξιοποιείται με μικρό αριθμό γεωτρήσεων μικρής παροχής, μετά το 1985.
- Οι πηγές Γέργερης εκφορτίζουν τον καρστικό υδροφορέα και το νερό τους προστίθεντο στην απορροή της λεκάνης στο ανάντη τμήμα της μέχρι το 1987.
- Οι υπόγειες διαφυγές εκτός της υδρολογικής λεκάνης αναμένεται να είναι «μέτριες» έως «μικρές» λόγω της γεωλογικής και τεκτονικής δομής. Τα

πετρώματα που επεκτείνονται σε διπλανές λεκάνες είναι τα στρώματα των μαργαϊκών ασβεστόλιθων, των ψαμμιτών και των γύψων που επικάθονται σε μάργες (νεογενείς) καθώς και ο Φλύσχης.

- Οι ανθρώπινες επεμβάσεις είναι σημαντικές στη λεκάνη μετά το 1987, με την απόληψη ποσοτήτων νερού για διάφορες χρήσεις, οι οποίες προκάλεσαν αλλαγές στην υδρολογική της δίαιτα.
- Η αιχμή της επιφανειακής απορροής εμφανίζεται λίγες ώρες μετά από τις έντονες βροχοπτώσεις, και αυτό είναι συνεπακόλουθο της γεωλογικής δομής, της πυκνότητας του δικτύου των ρευμάτων, της φυτοκάλυψης και των γεωμετρικών χαρακτηριστικών της λεκάνης.
- Η βασική απορροή είναι μικρότερη σε σχέση με την επιφανειακή απορροή λόγω των (αδιαπέρατων) γεωλογικών σχηματισμών οι οποίοι οριοθετούνται στα όρια της λεκάνης.
- Η βασική απορροή αναμένεται να είναι μικρότερη μετά το 1987 λόγω α) των ποσοτήτων νερού (πηγών Γέργερης) που άμεσα δεσμεύονται από τα έργα που αναφέρθηκαν παραπάνω και β) της αύξησης της κατείσδυσης που προκάλεσε η πτώση στάθμης στους υδροφορείς από τη λειτουργία των γεωτρήσεων.
- Μέρος της βασικής απορροής συνεισφέρει νερό στα υδρορεύματα της λεκάνης και προσμετράτε στην απορροή ενώ το υπόλοιπο τροφοδοτεί τον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα.
- Η πραγματική εξατμισοδιαπνοή είναι μεγάλη λόγω της υψηλής δυναμικής εξατμισοδιαπνοής (περίπου 1,5 φορά μεγαλύτερη της μέσης βροχόπτωσης) και των κλιματολογικών συνθηκών που επικρατούν.

Με βάση τα δεδομένα εκμετάλλευσης του υδατικού δυναμικού της λεκάνης, την ανάλυσης της χρονοσειράς των απορροών και του εννοιολογικού μοντέλου η προσομοίωση της λεκάνης, για συγκριτικούς και διαχειριστικούς λόγους, έγινε για δυο περιόδους: 1^{η}) 9^{ος} 1973- 9^{ος} 1987 και 2^{η}) 9^{ος} 1985- 9^{ος} 2003.

3.6.4 Προσομοίωση λεκάνης Λιθαίου περιόδου 9ος 1973- 9ος 1987.

Η περίοδος αυτή προσομοιώνει το υδρολογικό ισοζύγιο της λεκάνης του Λιθαίου πριν τις ανθρώπινες επεμβάσεις που προκάλεσαν μεταβολές στο ισοζύγιό της. Οι τιμές των παραμέτρων του sacramento κατόπιν του εννοιολογικού μοντέλου και μετά τη ρύθμιση του δίνονται στον Πίνακ. 3.6-4. Στα γραφήματα της Εικόνα 3.6-3 και της Εικόνα 3.6-4 παρουσιάζεται γραφικά η προσαρμογή του μοντέλου στις παρατηρημένες (μηνιαίες) ιστορικές χρονοσειρές της λεκάνης απορροής. Οι τιμές των αριθμητικών κριτηρίων καλής προσαρμογής που επιτεύχθηκαν (παράγραφος 3.5.6) δίνονται στον Πίνακ. 3.6-8. Παρατίθεται επίσης χάριν πληρότητας και ο απλός συντελεστής R της γραμμικής συσχέτισης μεταξύ παρατηρημένων και προσομοιωμένων τιμών.

Παρατηρείται ότι το μοντέλο περιγράφει ικανοποιητικά την ταχεία απόκριση της λεκάνης. Παρουσιάζεται επίσης ξεχωριστά η υπολογιζόμενη και η παρατηρημένη αθροιστική απορροή, κριτήριο το οποίο στο μηνιαίο χρονικό βήμα είναι ίσως το σημαντικότερο από την άποψη της καλής προσαρμογής του ομοιώματος, αφού δείχνει κατά πόσο μπορεί το ομοίωμα να προβλέπει τον όγκο

της απορροής στο χρόνο, ανεξάρτητα από την εποχιακότητά της. Οι τιμές των αριθμητικών κριτηρίων που παρουσιάζονται είναι ακόμη υψηλότερες εάν εξαιρεθούν από το δείγμα ορισμένοι μήνες στους οποίους έχουμε την καταγραφή υψηλών απορροών. Με δεδομένη την καλή συμπεριφορά του μοντέλου στα περισσότερα από τα υδρολογικά έτη της περιόδου προσομοίωσης, και της αβεβαιότητας των τιμών των παρατηρημένων πλημμυρικών παροχών, όπως συζητήθηκαν στην παράγραφο 3.2.1, δεν πρέπει να αποκλείεται η περίπτωση στους μήνες αυτούς να υπάρχει λανθασμένος υπολογισμός της παρατηρημένης τιμής. Δεν υπήρχαν ωστόσο τέτοιες συγκεκριμένες πληροφορίες, (βλέπε παράγραφο 3.3) ώστε να διορθωθούν οι τιμές αυτές κατά την προσομοίωση.

Το αναλυτικό μέσο ετήσιο υδατικό ισοζύγιο της λεκάνης απορροής του Λιθαίου για την περίοδο 9^{ος} 1973- 9^{ος} 1987 παρουσιάζεται στον Πίνακ. 3.6-5 σε mm και σε εκατομμύρια κυβικά μέτρα (Mm^3). Η βροχόπτωση που αναγράφεται είναι ανηγμένη στο μέσο υψόμετρο της λεκάνης. Το 1/3 περίπου (17,9 mm) της ποσότητας της βασικής απορροής επιστρέφει στο υδρόρευμα πριν την έξοδο της από τη λεκάνη και προσμετράτε στην απορροή ενώ τα 2/3 (35,8 mm) της κατεισδύουν και διαφεύγουν υπογείως εκτός λεκάνης. Η στήλη της Υπόγειας Αποθήκευσης στον πίνακα αντιπροσωπεύει το μέσο ετήσιο ποσό που κατεισδύει και εμπλουτίζει την υπόγεια υδροφορία (βλέπε επεξηγηματικά σχόλια για την υπόγεια αποθήκευση στην παράγραφο 3.6.2) και υπολογίσθηκε σε 72,1 mm.

Όπως προκύπτει από τα αποτελέσματα της προσομοίωσης, η μέση ετήσια τιμή της απορροής για τη λεκάνη του Λιθαίου πριν την εκμετάλλευση της, ανέρχεται σε 8,3 Mcm (189,6 mm περίπου), έναντι 8,1 Mcm, (184,7 mm περίπου), που προκύπτει από τις υδρομετρήσεις, δηλ. μέση σχετική απόκλιση της τάξης του 2,6% (4,9 mm περίπου). Το μέσο ετήσιο επιφανειακό ύψος βροχής για την υπόψη υδρολογική λεκάνη, ανέρχεται σε 912,2 mm (βλέπε κεφάλαιο 1) ή 39,8 Mm^3. Με βάση τα παραπάνω ο μέσος ετήσιος συντελεστής απορροής για τη λεκάνη Λιθαίου, προκύπτει ίσος με: C_R= 189,6/912,2=0.208. Ο συντελεστής κατείσδυσης, ανάλογα, προκύπτει ίσος με C_I = 107,9/912,2 = 0.118.

3.6.5 Προσομοίωση λεκάνης Λιθαίου περιόδου 9^{ος} 1985- 9^{ος} 2003.

Η περίοδος αυτή προσομοιώνει το υδρολογικό ισοζύγιο της λεκάνης του Λιθαίου μετά τις μεταβολές που τις προκάλεσαν οι ανθρώπινες επεμβάσεις. Οι τιμές των παραμέτρων του sacramento κατόπιν του εννοιολογικού μοντέλου και μετά τη ρύθμισή του δίνονται στον Πίνακ. 3.6-6. Στα γραφήματα της Εικόνα 3.6-5 και της Εικόνα 3.6-6 παρουσιάζεται γραφικά η προσαρμογή του μοντέλου στις παρατηρημένες (μηνιαίες) ιστορικές χρονοσειρές της λεκάνης απορροής. Οι τιμές των αριθμητικών κριτηρίων καλής προσαρμογής και ο απλός συντελεστής R της γραμμικής συσχέτισης μεταξύ παρατηρημένων και προσομοιωμένων τιμών που επιτεύχθηκαν (παράγραφος 3.5.6) δίνονται στον Πίνακ. 3.6-9.

Παρατηρείται ότι το μοντέλο περιγράφει ικανοποιητικά την ταχεία απόκριση της λεκάνης. Παρουσιάζεται επίσης ξεχωριστά η υπολογιζόμενη και η

παρατηρημένη αθροιστική απορροή, για τους λόγους που αναφέρθηκαν προηγουμένως. Οι τιμές των αριθμητικών κριτηρίων που παρουσιάζονται είναι ακόμη υψηλότερες εάν εξαιρεθούν από το δείγμα ορισμένοι μήνες στους οποίους έχουμε την καταγραφή υψηλών απορροών. Όμως, για τους λόγους που αναφέρονται στην προηγούμενη παράγραφο, δε δύναται να διορθωθούν οι τιμές αυτές κατά την προσομοίωση.

Το αναλυτικό μέσο ετήσιο υδατικό ισοζύγιο της λεκάνης απορροής του Λιθαίου για την περίοδο 9^{ος} 1985- 9^{ος} 2003 παρουσιάζεται στον Πίνακ. 3.6-7 σε mm και σε εκατομμύρια κυβικά μέτρα. Η βροχόπτωση που αναγράφεται είναι ανηγμένη στο μέσο υψόμετρο της λεκάνης. Το 1/4 περίπου (7,6 mm) της ποσότητας της βασικής απορροής επιστρέφει στο υδρόρευμα πριν την έξοδο της από τη λεκάνη και προσμετράτε στην απορροή ενώ τα 3/4 περίπου (33,5 mm) κατεισδύουν και διαφεύγουν υπογείως εκτός λεκάνης. Η Υπόγεια Αποθήκευση (βλέπε επεξηγηματικά σχόλια για την υπόγεια αποθήκευση στην παράγραφο 3.6.2) υπολογίσθηκε σε 135,2 mm.

Όπως προκύπτει από τα αποτελέσματα της προσομοίωσης, η μέση ετήσια τιμή της απορροής για τη λεκάνη του Λιθαίου μετά την εκμετάλλευση της, ανέρχεται σε 5,6 Mcm (127,6 mm περίπου), έναντι 5,3 Mm^3, (121,5 mm περίπου), που προκύπτει από τις υδρομετρήσεις, δηλ. μέση σχετική απόκλιση της τάξης του 4,9% (5,9 mm περίπου) . Το μέσο ετήσιο επιφανειακό ύψος βροχής για την υπόψη υδρολογική λεκάνη, ανέρχεται σε 912,2 mm (βλέπε κεφάλαιο 1) ή 39,8 Mm^3. Με βάση τα παραπάνω ο μέσος ετήσιος συντελεστής απορροής για τη λεκάνη Λιθαίου, προκύπτει ίσος με: C_R= 127,6/912,2=0,140. Ο συντελεστής κατείσδυσης, ανάλογα, προκύπτει ίσος με C_I = 167,7/912,2 = 0,184.

Από τα αποτελέσματα των δυο προσομοιώσεων παρατηρούμε ότι το sacramento προσομοιώνει την υδρολογική κατάσταση της λεκάνης του Λιθαίου σύμφωνα με το εννοιολογικό μοντέλο για τις δυο καταστάσεις της διαχείρισής της με ικανοποιητική ακρίβεια. Ειδικότερα, η απόκλιση μεταξύ της παρατηρημένης και της προσομοιωμένης απορροής είναι πολύ μικρή (2,6% και 4,9% αντίστοιχα). Επίσης η αύξηση της κατείσδυσης για την 2^η περίοδο, της εκμετάλλευσης της λεκάνης, ανέρχεται σε (59,8 mm) 2,6 Mm^3 ποσότητα που προσεγγίζει τις εκτιμώμενες απολήψιμες ποσότητες από την λεκάνη και ειδικότερα 1,5 Mm^3 από τις πηγές Γέργερης, 0,4 Mm^3 από τους υπόγειους υδροφορείς λόγω αντλήσεων από τις 12 περίπου γεωτρήσεις εντός των νεογενών σχηματισμών της λεκάνης και η υπόλοιπη ποσότητα παραμένει υποθηκευμένη στον υδροφορέα ή αντλήθηκε από γειτονικές της λεκάνης υδρογεωτρήσεις που εκμεταλλεύονται τον ίδιο υδροφορέα.

Πίνακ. 3.6-4 Τιμές παραμέτρων SACRAMENTO: προσομοίωση λεκάνης Λιθαίου (9ος 1973- 9ος 1987)

Rainfall series			A50-2		PG (9ος 1973- 9ος 1987)		
Evaporation series			A50-2		EAC		
Discharge series			STR G_LITH		RO		
		UZTW	UZFW	LZTW	LZFSW	LZFPW	
Capacity	(mm)	150	50	230	70	80	
Initial	content	1	10	20	1	1	
UZK	=	0,010	(1/DAY)	RSERV	=	0,350	(-)
LZSK	=	0,050	(1/DAY)	PCTIM	=	0,030	(-)
LZPK	=	0,020	(1/DAY)	ADIMP	=	0,400	(-)
ZPERC	=	30,000	(-)	SARVA	=	0,010	(-)
REXP	=	1,800	(-)	SIDE	=	2,000	(-)
PFREE	=	0,100	(-)	SSOUT	=	0,000	(mm/dt)
Applied hydrograph components:							
0,7	0,15	0,1	0,05	0			
Given Rainfall Intensity Components (PM, PT1, PT2)							
1.000	10.000	50.000					

Πίνακ. 3.6-5 Μέσο ετήσιο υδατικό ισοζύγιο. Προσομοίωση SACRAMENTO λεκάνης Λιθαίου (9ος 1973-9ος 1987)

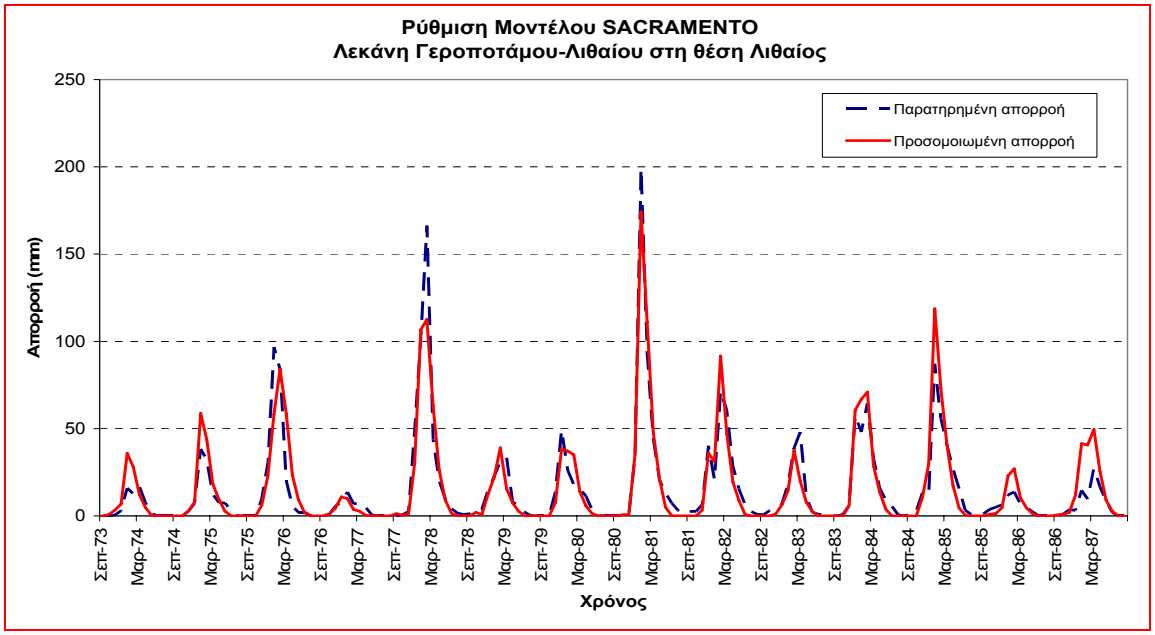
ΜΕΣΟ ΕΤΗΣΙΟ ΥΔΑΤΙΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ (ΤΙΜΕΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ) ΛΕΚΑΝΗΣ ΛΙΘΑΙΟΥ								
περίοδος		Βροχόπτωση	Δυνητική Εξατμισο-διαπνοή	Πραγματική Εξατμισο-διαπνοή	Απορροή	Βασική ροή		Υπόγεια Αποθήκευση (μεταβολή)
από	μέχρι					Επιστροφή στο υδρόρευμα	Υπόγειες Διαφυγές	
σε mm								
9ος 1973	9ος 1987	912,2	1285,1	615,2	189,6	53,7		72,1
						17,9	35,8	
Σε εκατομμύρια m3								
9ος 1973	9ος 1987	39,8	56,1	26,8	8,3	2,3		3,1
						0,8	1,6	
ποσοστά επί της (%)βροχόπτωσης			140,9%	67,4%	20,8%	5,9%		7,9%
						2%	3,9%	
Κατείσδυση (mm)							107,9	
συντελεστής κατείσδυσης (% βροχόπτωση)							11,8%	

Πίνακ. 3.6-6 Τιμές παραμέτρων SACRAMENTO: προσομοίωση λεκάνης Λιθαίου (9ος 1985- 9ος 2003)

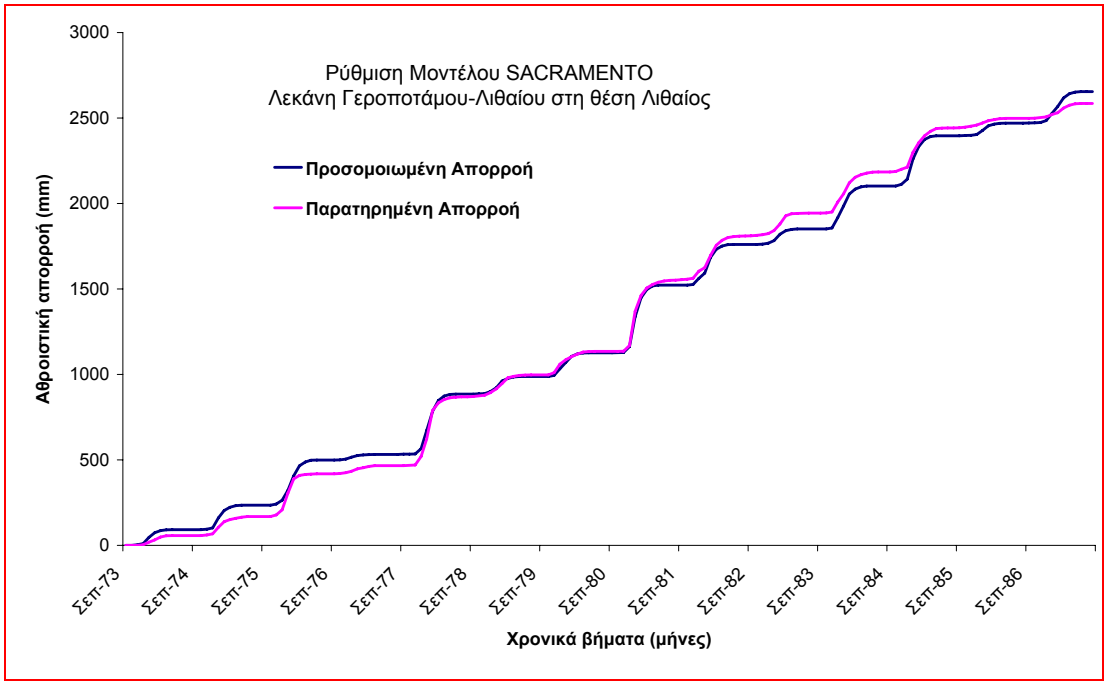
Rainfall-runoff simulation of segment 1							
Catchment: LithaiosXP Segment: LithaiosXP (9os 1985- 9os 2003)							
Rainfall series:			A50-2 PG				
Evaporation series:			A50-2EAC				
Discharge series:			STR G_LITH RO				
		UZTW	UZFW	LZTW	LZFSW	LZFPW	
Capacaty	(mm)	125	50	240	70	250	
Initial	content	10	10	100	1	1	
UZK =	0,01	(1/DAY)	RSERV=	0,38	(-)		
LZSK =	0,02	(1/DAY)	PCTIM=	0,018	(-)		
LZPK =	0,018	(1/DAY)	ADIMP=	0,28	(-)		
ZPERC=	25,00	(-)	SARVA=	0,018	(-)		
REXP=	1,8	(-)	SIDE=	4,30	(-)		
PFREE=	0,18	(-)	SSOUT=	0	(mm/dt)		
Applied unit hydrograph components:							
0,515	0,182	0,121	0,091	0,061	0,03	0	
Given Rainfall Intensity Components (PM, PT1 , PT2):							
1,00	10,00	50,00					

Πίνακ. 3.6-7 Μέσο ετήσιοο υδατικό ισοζύγιο. Προσομοίωση SACRAMENTO λεκάνης Λιθαίου (9ος 1985-9ος 2003)

ΜΕΣΟ ΕΤΗΣΙΟ ΥΔΑΤΙΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ (ΤΙΜΕΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ) ΛΕΚΑΝΗΣ ΛΙΘΑΙΟΥ								
περίοδος		Βροχόπτωση	Δυνητική Εξατμισο-διαπνοή	Πραγματική Εξατμισο-διαπνοή	Απορροή	Βασική ροή		Υπόγεια Αποθήκευση (μεταβολή)
από	μέχρι					Επιστροφή στο υδρόρευμα	Υπόγειες Διαφυγές	
								σε mm
9ος 1985	9ος 2003	912,3	1323,9	617,2	127,4	40,1 7,6	32,5	135,2
								σε εκατομμύρια m3
9ος 1985	9ος 2003	39,8	57,8	26,9	5,6	1,8 0,3	1,4	5,9
ποσοστά επί της % βροχόπτωσης			145,1%	67,7%	14,0%	4,4% 0,8%	3,6%	14,8%
Κατείσδυση (mm)							167,7	
συντελεστής κατείσδυσης (% βροχόπτωση)							18,4%	



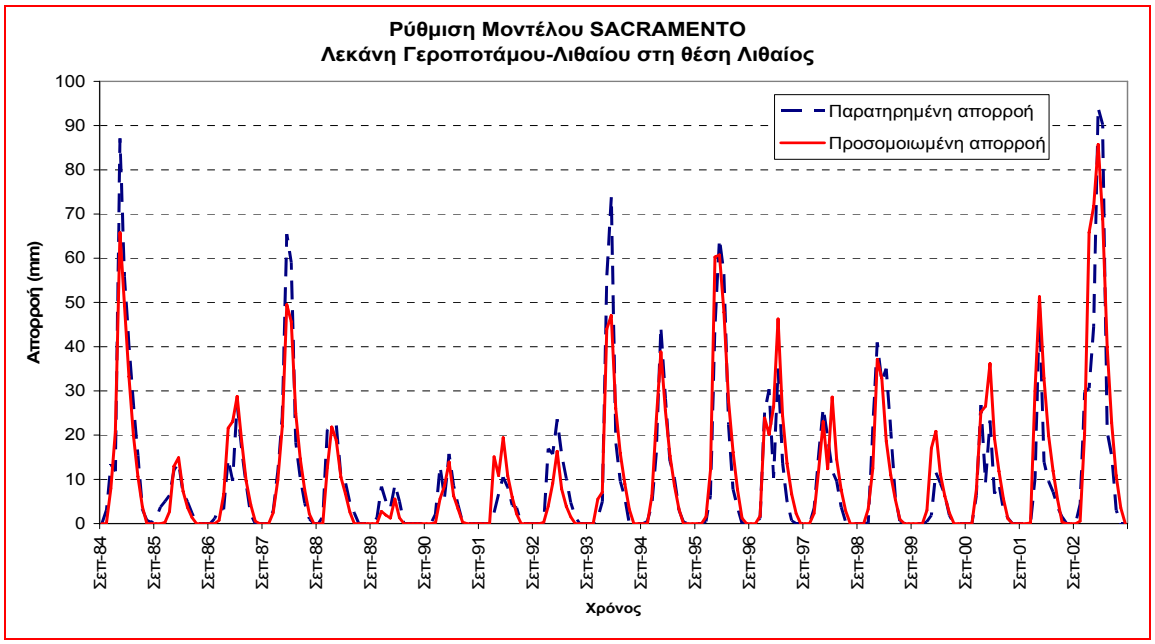
Εικόνα 3.6-3 Γράφημα παρατηρημένης- προσομοιωμένης μηνιαίας απορροής στη θέση Λιθαίος



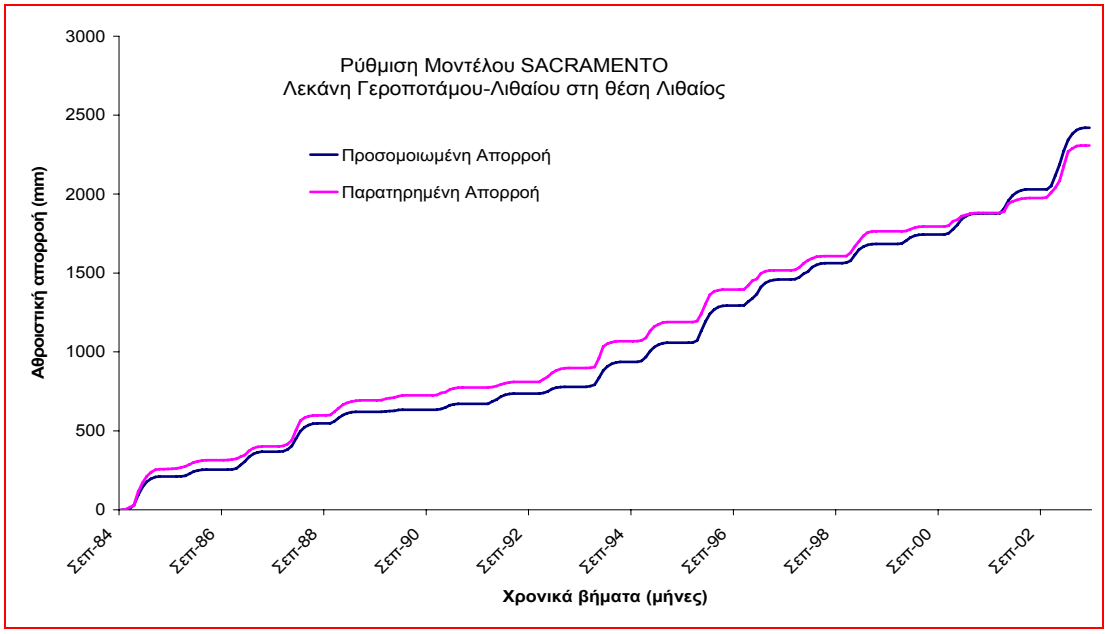
Εικόνα 3.6-4 Γράφημα παρατηρημένης- προσομοιωμένης μηνιαίας αθροιστικής απορροής στη θέση Λιθαίου

Πίνακ. 3.6-8 Τιμές Κριτήριων Καλής Προσαρμογής του SACRAMENTO σταθμού Λιθαίου

Σταθμός Λιθαίου 1973-1987			
Τιμές αριθμητικών κριτηρίων καλής προσαρμογής (μηνιαία χρονική κλίμακα)			
EVM	EFFM	Συντελεστή συσχέτισης R Q παρατηρ.- Q προσομοιωμ.	Συντελεστή Αθροιστικής συσχέτισης R Q παρατηρημένης- Q προσομοιωμένης
0,8645	0,8651	0,932	0,999



Εικόνα 3.6-5 Γράφημα παρατηρημένης- προσομοιωμένης μηνιαίας απορροής στη θέση Λιθαίος



Εικόνα 3.6-6 Γράφημα παρατηρημένης- προσομοιωμένης μηνιαίας αθροιστικής απορροής στη θέση Λιθαίου

Πίνακ. 3.6-9 Τιμές Κριτήριων Καλής Προσαρμογής του SACRAMENTO σταθμού Λιθαίου

Σταθμός Λιθαίου 1985-2003			
Τιμές αριθμητικών κριτηρίων καλής προσαρμογής (μηνιαία χρονική κλίμακα)			
EVM	EFFM	Συντελεστή συσχέτισης R Q παρατηρ.- Q προσομοιωμ.	Συντελεστή Αθροιστικής συσχέτισης R Q παρατηρημένης- Q προσομοιωμένης
0,8326	0,8325	0,914	0,997

3.6.6 Γεροπόταμος- Φαιστός

Από τη συγκέντρωση δεδομένων και πληροφοριών για τη λεκάνη του Γεροποτάμου -Φαιστού αλλά και κυρίως από την ανάλυση της χρονοσειράς απορροής του υδρομετρικού σταθμού της Φαιστού (παράγραφος 3.3) προέκυψε ότι στη λεκάνη αυτή, κατά τη χρονική περίοδο της μελέτης $9^{ος}$ 1973- $9^{ος}$ 2005, έχουν παρατηρηθεί έντονες μεταβολές στην υδρολογική δίαιτά της οι οποίες οφείλονται σε ανθρώπινες επεμβάσεις. Το υδρόρευμα πριν την έξοδο του από τη λεκάνη (στένεμα Φαιστού) διατρέχει τον αλλουβιακό- πλειστοκαινικό υδροφορέα του δυτικού τμήματος της πεδιάδας της Μεσαράς. Ο υδροφορέας αυτός εκμεταλλεύεται από μεγάλο αριθμό υδρογεωτρήσεων που είναι και η μοναδική πηγή σημερινής υδατοπρομήθειας της περιοχής. Ο υδροφορέας άρχισε έντονα να υπερεκμεταλλεύεται από τις γεωτρήσεις που κατασκευάσθηκαν στα πλαίσια των αρδευτικών έργων του Υπουργείου Γεωργίας (Β΄ και Γ΄ ζώνη Μεσαράς) αλλά και από ένα μεγάλο αριθμό ιδιωτικών γεωτρήσεων (βλέπε λεπτομερέστερα στο κεφάλαιο 5 και 6) μετά το 1986. Επιπρόσθετα, στην υδρολογική δίαιτα της λεκάνης Γεροποτάμου- Φαιστού επιδρούν και οι μεταβολές που αναφέρθηκαν στην προηγούμενη παράγραφο στη λεκάνη του Λιθαίου καθώς είναι υπολεκάνη του. Η απόληψη των ποσοτήτων αυτών από την υδρολογική λεκάνη είναι ευδιάκριτες στην ανάλυση που έγινε στην χρονοσειρά απορροής (παράγραφος 3.3.2) και η οποία εμφανίζει ασυνέπεια. Η παρατηρημένη χρονοσειρά απορροής, με βάση την ασυνέπειά της, διακρίνεται σε τρία επιμέρους διαστήματα: α) $9^{ος}$ 1973- $9^{ος}$ 1986, β) $9^{ος}$ 1986- $9^{ος}$ 1995 και γ) $9^{ος}$ 1995- $9^{ος}$ 2003

Τα δεδομένα της λεκάνης του Γεροποτάμου-Φαιστού στα οποία στηρίχθηκε το εννοιολογικό μοντέλο της προσομοίωση είναι:

- Η γεωλογική δομή της λεκάνης συνίσταται από την επιφανειακή εξάπλωση: α) στο πεδινό τμήμα των αλλουβιακών - πλειστοκαινικών αποθέσεων που έχουν μεγάλο πάχος (δυτικό τμήμα) και των νεογενών σχηματισμών (ανατολικό τμήμα), με εξαίρεση τις κοίτες των υδρορευμάτων που απαντώνται μικρού πάχους αλλουβιακές αποθέσεις, έκτασης περίπου 98,2 Km^2, β) στο βόρειο τμήμα των νεογενών σχηματισμών και τη μικρής έκτασης εμφάνιση των ασβεστολίθων, φλύσχη και Φυλλιτών-Χαλαζιτών, που καταλαμβάνουν έκταση περίπου 192,5 Km^2 και γ) στο νότιο τμήμα των προνεογενών πετρωμάτων (κυρίως φλύσχης και ασβεστόλιθοι) έκτασης περίπου 109,7 Km^2 (βλέπε κεφάλαιο 4)
- Υδρολιθικά οι παραπάνω σχηματισμοί που δομούν τη λεκάνη ταξινομούνται ανάλογα με την υδροπερατότητά τους: α) στην «υψηλή» - «μέτρια» υδροπερατότητα κατατάσσονται οι ασβεστόλιθοι και οι αλλουβιακές – πλειστοκαινικές αποθέσεις β) στη «μέτρια» - «μικρή» κατατάσσονται οι μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι, οι ψαμμίτες και οι γύψοι και γ) στη «μικρή» ή «πολύ μικρή» υδροπερατότητα κατατάσσονται οι μάργες και οι άργιλοι των νεογενών - τεταρτογενών σχηματισμών . Η έκταση των ανθρακικών πετρωμάτων αφαιρέθηκε από την έκταση της λεκάνης στην προσομοίωση.

- Στη λεκάνη απαντάται ο σημαντικότερος υδροφορέας της πεδιάδας της δυτικής Μεσαράς, ο υδροφορέας των Μοιρών, και ο Γεροπόταμος τον εμπλουτίζει πριν την έξοδο του από τη λεκάνη. Επίσης μικρότερος σε δυναμικότητα υδροφορέας είναι ο υδροφορέας της «Βαγιονιάς-Γκαγκαλών» που ευρίσκεται στο ανατολικό πεδινό τμήμα της λεκάνης.
- Η υπόλοιπη περιοχή της λεκάνης χαρακτηρίζεται από την έλλειψη υπόγειων νερών με εξαίρεση τους ασβεστολίθους. Αναπτύσσετε μόνο «μέτρια» - «ασθενής» υπόγεια υδροφορία σε στρώματα μαργαϊκών ασβεστολίθων, ψαμμιτών, γύψων και φλύσχη, η οποία άρχισε να αξιοποιείται από αριθμό γεωτρήσεων μικρής παροχής, κυρίως μετά το 1985 και σήμερα ευρίσκεται υπό το καθεστώς της υπερεκμετάλλευσης.
- Στην περιοχή δεν έχει κατασκευασθεί κανένα έργο επιφανειακής αποθήκευσης νερού εκτός της λιμνοδεξαμενής της Γέργερης (όγκου 0,2 $Mm^{3)}$.
- Υδραυλικά έργα εκτροπής του νερού των υδατορευμάτων <u>εκτός</u> υδρολογικής λεκάνης δεν έχουν κατασκευασθεί ούτε αντίστροφα έργα εμπλουτισμού της με τη μεταφορά νερού από άλλη υδρολογική λεκάνη.
- Έχουν κατασκευασθεί δύο έργα εκτροπής υδατορευμάτων <u>εντός</u> υδρολογικής λεκάνης: α) η εκτροπή του Γεροποτάμου (βλέπε κεφάλαιο 6 και 7) που είχε ως στόχο την αύξηση του εμπλουτισμού του αλλουβιακού – πλειστοκαινικού υδροφορέα των «Μοιρών» και β) η εκτροπή των πηγών της Γέργερης όπως προαναφέρθηκε στην παράγραφο 3.6.3 .
- Οι υπόγειες διαφυγές εκτός της υδρολογικής λεκάνης αναμένεται να είναι συγκριτικά πολύ «μικρές» λόγω της γεωλογικής και τεκτονικής δομής της. Η υδρογεωλογική έρευνα έδειξε ότι υπόγειες διαφυγές υφίστανται διαμέσου του «στενέματος» της Φαιστού, από τον υδροφορέα Μοιρών στον υδροφορέα (λεκάνη) του Τυμπακίου, εκτιμώμενες στη τάξη των 1,5-2 Mm^3ανά έτος, πριν την υπερεκμετάλλευση του υδροφορέα των Μοιρών.
- Οι ανθρώπινες επεμβάσεις είναι σημαντικές στη λεκάνη μετά το 1986, με την απόληψη ποσοτήτων νερού για διάφορες χρήσεις, οι οποίες προκάλεσαν αλλαγές στην υδρολογική της δίαιτα ακόμη και το μηδενισμό της ετήσιας απορροής κατά τα «ξηρά» και «κανονικά» υδρολογικά έτη.
- Η αιχμή της επιφανειακής απορροής εμφανίζεται μερικές ώρες μετά από τις έντονες βροχοπτώσεις και δεν διαρκεί περισσότερο από λίγες ημέρες, και αυτό είναι συνεπακόλουθο της γεωλογικής δομής, της πυκνότητας του δικτύου των ρευμάτων, της φυτοκάλυψης και των γεωμετρικών χαρακτηριστικών της λεκάνης.
- Η βασική απορροή είναι μικρότερη σε σχέση με την επιφανειακή απορροή λόγω των γεωλογικών σχηματισμών και της τεκτονικής δομής της λεκάνης.
- Η βασική απορροή αναμένεται να είναι μικρότερη μετά το 1987 λόγω α) των ποσοτήτων νερού που άμεσα δεσμεύονται από τα έργα που αναφέρθηκαν παραπάνω και β) της αύξησης της κατείσδυσης που προκάλεσε η πτώση στάθμης στους υδροφορείς από τη λειτουργία των γεωτρήσεων.
- Μέρος της βασικής απορροής συνεισφέρει νερό στα υδρορεύματα της λεκάνης και προσμετράτε στην απορροή ενώ το υπόλοιπο τροφοδοτεί τον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα. Η συνεισφορά αυτή ήταν συνεχής στον κάτω ρου του Γεροπόταμου (εκφόρτιση του υδροφορέα των Μοιρών)

καθόλη τη διάρκεια του έτους πριν το 1986 και ο Γεροπόταμος είχε μόνιμη ροή.
- Μετά το 1986 οι απολήψιμες ποσότητες από τους υδροφορείς είναι αρκετά υψηλές οι οποίες οδήγησαν σε υπερεκμετάλλευση των υδροφορέων και την ταπείνωση της υδροστατικής των στάθμης.
- Η πραγματική εξατμισοδιαπνοή είναι μεγάλη λόγω της υψηλής δυναμικής εξατμισοδιαπνοής (περίπου διπλάσια της μέσης βροχόπτωσης), της υψηλής υδροστατικής στάθμης (λίγα μέτρα από την επιφάνεια πριν το 1986) των υδροφορέων και των κλιματολογικών συνθηκών που επικρατούν.

Με βάση τα δεδομένα της εκμετάλλευσης του υδατικού δυναμικού της λεκάνης, την ανάλυσης της χρονοσειράς των απορροών και του εννοιολογικού μοντέλου η προσομοίωση της λεκάνης, για συγκριτικούς και διαχειριστικούς λόγους, έγινε για δυο περιόδους: α) 9ος 1973- 9ος 1986 και β) 9ος 1989 - 9ος 2003.

3.6.7 Προσομοίωση Γεροποτάμου- Φαιστού περιόδου: 9ος 1973- 9ος 1986.

Η περίοδος αυτή προσομοιώνει το υδρολογικό ισοζύγιο της λεκάνης του Γεροποτάμου-Φαιστού πριν τις ανθρώπινες επεμβάσεις που προκάλεσαν μεταβολές στο ισοζύγιό της και την υδρολογική δίαιτά της. Οι τιμές των παραμέτρων του sacramento κατόπιν του εννοιολογικού μοντέλου και μετά τη ρύθμιση του δίνονται στον Πίνακ. 3.6-10. Στην προκειμένη περίπτωση σε αντίθεση με τις προσομοιώσεις των άλλων δυο λεκανών χρησιμοποιήθηκε και η παράμετρος SSOUT λόγω των υπόγειων διαφυγών από το στένεμα της Φαιστού και των αντλήσεων οι οποίες εκτιμώνται περί τα 2-3 Mcm και 5-6 Mcm ανά έτος αντίστοιχα. Στα γραφήματα της Εικόνα 3.6-7 και της Εικόνα 3.6-8 παρουσιάζεται γραφικά η προσαρμογή του μοντέλου στις παρατηρημένες (μηνιαίες) ιστορικές χρονοσειρές της λεκάνης απορροής. Οι τιμές των αριθμητικών κριτηρίων καλής προσαρμογής και ο απλός συντελεστής R της γραμμικής συσχέτισης μεταξύ παρατηρημένων και προσομοιωμένων τιμών που επιτεύχθηκαν (παράγραφος 3.5.6) δίνονται στον Πίνακ. 3.6-14.

Παρατηρείται ότι το μοντέλο περιγράφει ικανοποιητικά την ταχεία απόκριση της λεκάνης καθώς και τη βασική της. Περιγράφει επίσης εξίσου ικανοποιητικά και την υπολογιζόμενη και την παρατηρημένη αθροιστική απορροή που είναι ίσως το σημαντικότερο κριτήριο από την άποψη της καλής προσαρμογής του ομοιώματος στο μηνιαίο χρονικό βήμα, αφού δείχνει κατά πόσο μπορεί το ομοίωμα να προβλέπει τον όγκο της απορροής στο χρόνο, ανεξάρτητα από την εποχιακότητά της. Οι τιμές των αριθμητικών κριτηρίων που παρουσιάζονται είναι ακόμη υψηλότερες εάν εξαιρεθούν από το δείγμα ορισμένοι μήνες στους οποίους έχουμε την καταγραφή υψηλών απορροών, όμως, για τους λόγους που συζητήθηκαν στην παράγραφο 3.2.1, δεν μπορεί να γίνει διόρθωση των τιμών.

Το αναλυτικό μέσο ετήσιο υδατικό ισοζύγιο της λεκάνης απορροής του Γεροποτάμου - Φαιστού για την περίοδο 9ος 1973- 9ος 1986 παρουσιάζεται στον

Πίνακ. 3.6-11 σε mm και σε εκατομμύρια κυβικά μέτρα. Η βροχόπτωση που αναγράφεται είναι ανηγμένη στο μέσο υψόμετρο της λεκάνης. Το μισό περίπου (4,9 mm ή 1,9 Mm^3) της ποσότητας της βασικής ροής επιστρέφει στο υδρόρευμα πριν την έξοδο της από τη λεκάνη και προσμετράτε στην απορροή ενώ το υπόλοιπό της (10,7 mm ή 4,3 Mm^3) διαφεύγει υπογείως εκτός λεκάνης.
Οι υπόγειες διαφυγές εκτός της λεκάνης και οι ποσότητες που αντλούνται, πέρα αυτών που καταγράφονται από την βασική ροή, υπολογίσθηκαν από την προσομοίωση (παράμετρος SSOUT) σε 14,6 mm ή 5,8 Mm^3. Η στήλη της Υπόγειας Αποθήκευσης στον πίνακα αντιπροσωπεύει το μέσο ετήσιο ποσό που κατεισδύει και εμπλουτίζει την υπόγεια υδροφορία (βλέπε επεξηγηματικά σχόλια για την υπόγεια αποθήκευση στην παράγραφο 3.6.2) και υπολογίσθηκε σε 19,9 mm ή 8 Mcm.
Όπως προκύπτει από τα αποτελέσματα της προσομοίωσης, η μέση ετήσια τιμή της απορροής για τη λεκάνη του Φαιστού πριν την εκμετάλλευση της, ανέρχεται σε 29,0 Mm^3 (72,4 mm περίπου), έναντι 28,5 Mm^3, (71,2 mm περίπου), που προκύπτει από τις υδρομετρήσεις, δηλ. μέση σχετική απόκλιση της τάξης του 1,7% (1,2 mm περίπου). Το μέσο ετήσιο επιφανειακό ύψος βροχής για την υπόψη υδρολογική λεκάνη, ανέρχεται σε 710,8 mm (κεφάλαιο 1) ή 284,6 Mm^3 .

Με βάση τα παραπάνω ο μέσος ετήσιος συντελεστής απορροής για τη λεκάνη Γεροποτάμου - Φαιστού, προκύπτει ίσος με: CR= 72,4/710,8 = 0,102.
Ο συντελεστής κατείσδυσης, ανάλογα, είναι: C_I = 45,2/710,8 = 0,064.

3.6.8 Προσομοίωση Γεροποτάμου- Φαιστός περιόδου: 9^{ος} 1989- 9^{ος} 2003.

Η περίοδος αυτή προσομοιώνει το υδρολογικό ισοζύγιο της λεκάνης του Γεροποτάμου - Φαιστού μετά τις μεταβολές που τις προκάλεσαν οι ανθρώπινες επεμβάσεις. Οι τιμές των παραμέτρων του sacramento κατόπιν του εννοιολογικού μοντέλου και μετά τη ρύθμιση του δίνονται στον Πίνακ. 3.6-12. Στα γραφήματα της Εικόνα 3.6-9 και της Εικόνα 3.6-10 παρουσιάζεται γραφικά η προσαρμογή του μοντέλου στις παρατηρημένες (μηνιαίες) ιστορικές χρονοσειρές της λεκάνης απορροής. Οι τιμές των αριθμητικών κριτηρίων καλής προσαρμογής και ο απλός συντελεστής R της γραμμικής συσχέτισης μεταξύ παρατηρημένων και προσομοιωμένων τιμών που επιτεύχθηκαν (παράγραφος 3.5.6) δίνονται στον Πίνακ. 3.6-15.

Παρατηρείται ότι το μοντέλο περιγράφει ικανοποιητικά την ταχεία απόκριση της λεκάνης. Παρουσιάζεται επίσης ξεχωριστά η υπολογιζόμενη και η παρατηρημένη αθροιστική απορροή, για τους λόγους που αναφέρθηκαν προηγουμένως. Οι τιμές των αριθμητικών κριτηρίων που παρουσιάζονται είναι ακόμη υψηλότερες εάν εξαιρεθούν από το δείγμα ορισμένοι μήνες στους οποίους έχουμε την καταγραφή υψηλών απορροών όμως για τους λόγους που αναφέρονται στις προηγούμενες παραγράφους δεν δύναται να διορθωθούν οι τιμές αυτές κατά την προσομοίωση. Η δυσκολία για την επίτευξη καλύτερης προσαρμογής οφείλεται και στην κλιμακωτή αύξηση των αντλήσεων στην περίοδο της προσομοίωσης καθώς και στη μεταβολή τους ανάμεσα στα έτη καθώς οι αντλήσεις εξαρτώνται από το υδρολογικό έτος (ξηρό ή κανονικό) και

κυρίως από τις εαρινές και φθινοπωρινές βροχοπτώσεις οι οποίες έχουν ως αποτέλεσμα τη σημαντική ελάττωση των αρδεύσεων.

Το αναλυτικό μέσο ετήσιο υδατικό ισοζύγιο της λεκάνης απορροής του Γεροποτάμου - Φαιστού για την περίοδο που έχουμε υπερεκμετάλλευση των υδροφορέων ($9^{ος}$ 1986- $9^{ος}$ 2003) παρουσιάζεται στον Πίνακ. 3.6-13 σε mm και σε εκατ. κυβικά μέτρα. Η βροχόπτωση που αναγράφεται είναι ανηγμένη στο μέσο υψόμετρο της λεκάνης. Το μισό περίπου (6,8 mm ή 2,7 Mm^3) της ποσότητας της βασικής ροής επιστρέφει στο υδρόρευμα πριν την έξοδο της από τη λεκάνη και προσμετράτε στην απορροή ενώ το υπόλοιπό της (14,9 mm ή 6,0 Mm^3) κατεισδύει και διαφεύγει υπογείως εκτός λεκάνης.
Οι υπόγειες διαφυγές εκτός της λεκάνης και οι ποσότητες λόγω των αντλήσεων, πέρα αυτών που καταγράφονται από την βασική ροή, υπολογίσθηκαν από την προσομοίωση (παράμετρος SSOUT) σε 43,9 mm ή 17,6 Mm^3. Η στήλη της Υπόγειας Αποθήκευσης στον πίνακα αντιπροσωπεύει το μέσο ετήσιο ποσό που κατεισδύει και εμπλουτίζει την υπόγεια υδροφορία (βλέπε επεξηγηματικά σχόλια για την υπόγεια αποθήκευση στην παράγραφο 3.6.2) και υπολογίσθηκε σε 34,6 mm ή 13,8 Mm^3.
Όπως προκύπτει από τα αποτελέσματα της προσομοίωσης, η μέση ετήσια τιμή της απορροής για τη λεκάνη του Γεροποτάμου - Φαιστού υπό τις συνθήκες έντονης εκμετάλλευσης των υπόγειων νερών, ανέρχεται σε 5,4 Mm^3 (13,6 mm περίπου), έναντι 5,3 Mm^3, (13,3 mm περίπου), που προκύπτει από τις υδρομετρήσεις, δηλ. μέση σχετική απόκλιση της τάξης του 2,6% (0,3 mm περίπου) . Το μέσο ετήσιο επιφανειακό ύψος βροχής για την υπόψη υδρολογική λεκάνη, σε αυτή την περίοδο προσομοίωσης ανέρχεται σε 672,5 mm (βλέπε κεφάλαιο 1) ή 269,3 Mm^3.

Με βάση τα παραπάνω ο μέσος ετήσιος συντελεστής απορροής για τη λεκάνη Γεροποτάμου - Φαιστού, προκύπτει ίσος με: CR= 13,6/269,3= 0,02.
Ο συντελεστής κατείσδυσης, ανάλογα, είναι: C_I = 93,3/269,3 = 0,139.
Οι μέσες ετήσιες υπόγειες διαφυγές με βάση την παράμετρο Baseflow υπολογίζονται σε 14,9 mm (ή 6,0 Mm^3), με την παράμετρο SSOUT σε 43,9 mm (ή 17,6 Mm^3) ήτοι συνολικά 58,8 mm (ή 23,6 Mm^3). Ο υπολογισμός αυτός μας δίνει μια πρώτη προσέγγιση για τον απολήψιμο μέσο ετήσιο όγκο σε συνθήκες υπερεκμετάλλευσης της λεκάνης, όμως θα πρέπει να προσθέσουμε σε αυτόν και τον όγκο νερού που αφαιρέθηκε από τα ρυθμιστικά αποθέματα του υδροφορέα λόγω των υπεραντλήσεων για να υπολογίσουμε τον συνολικό όγκο χρήσης.

Από τα αποτελέσματα των δυο προσομοιώσεων παρατηρούμε ότι το sacramento προσομοιώνει την υδρολογική κατάσταση της λεκάνης του Γεροποτάμου - Φαιστού σύμφωνα με το εννοιολογικό μοντέλο για τις δυο καταστάσεις της διαχείρισής της με ικανοποιητική ακρίβεια. Ειδικότερα η μέση ετήσια απόκλιση μεταξύ της παρατηρημένης και της προσομοιωμένης απορροής είναι πολύ μικρή (2,6% και 1,7%) και η μέση ετήσια αύξηση της κατείσδυσης για την περίοδο της εκμετάλλευσης της λεκάνης ανέρχεται σε (48,1 mm) 19,2 Mm^3 ποσότητα που προσεγγίζει τις εκτιμώμενες απολήψιμες ποσότητες από την λεκάνη αν προστεθεί σε αυτές και ο απολήψιμος όγκος των ρυθμιστικών αποθεμάτων.

Πίνακ. 3.6-10 Τιμές παραμέτρων SACRAMENTO:
προσομοίωση λεκάνης Γεροποτάμου - Φαιστός (9ος 1973- 9ος 1986)

Simulation of rainfall-runoff process: Land Phase							
Catchment name =			festos				
Rainfall-runoff simulation of segment 1, Number of segments: 1							
Catchment: LithaiosXP Segment: LithaiosXP					9ος 1973- 9ος 1986		
Rainfall	series	:	A50_GER1	PGC			
Evaporation	series:		A50_GER1	EAC			
Discharge	series	:	STRGER_FES	RO			
		UZTW	UZFW	LZTW	LZFSW	LZFPW	
Capacaty	(mm)	170	130	240	5	400	
Initial	content	10	10	100	1	1	
UZK	=	0,001	(1/DAY)	RSERV	=	0,3	(-)
LZSK	=	0,001	(1/DAY)	PCTIM	=	0,03	(-)
LZPK	=	0,001	(1/DAY)	ADIMP	=	0,395	(-)
ZPERC	=	2,00	(-)	SARVA	=	0,01	(-)
REXP	=	30,00	(-)	SIDE	=	2,20	(-)
PFREE	=	0,2	(-)	SSOUT	=	0,6	(mm/dt)
Applied unit hydrograph components:							
0,46	0,11	0,074	0,064	0,055	0,046		
0,037	0,032	0,028	0,023	0,018	0,014		
0,009	0,009	0,007	0,006	0,005	0,002	0	
Given Rainfall Intensity Components (PM - PT1 - PT2): 1,00 – 10,00 – 20,00							

Πίνακ. 3.6-11 Μέσο ετήσιο υδατικό ισοζύγιο .
Προσομοίωση SACRAMENTO λεκάνης Γεροποτάμου- Φαιστού (9ος 1973-9ος 1986)

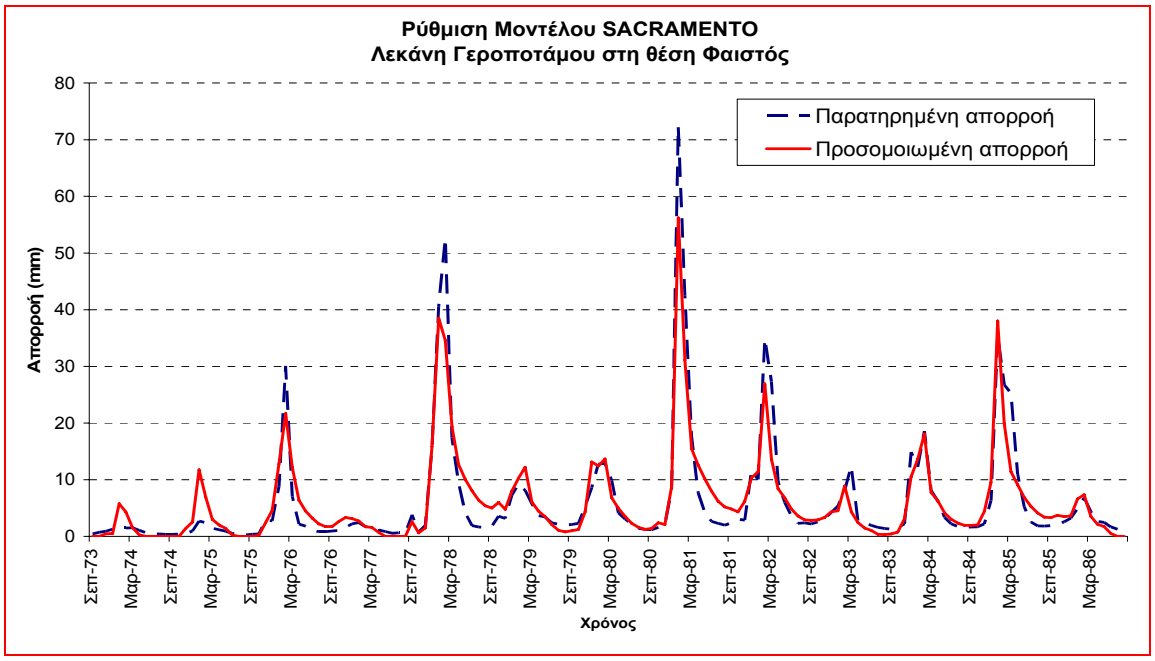
ΜΕΣΟ ΕΤΗΣΙΟ ΥΔΑΤΙΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ (ΤΙΜΕΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ) ΛΕΚΑΝΗΣ ΓΕΡΟΠΟΤΑΜΟΥ- ΦΑΙΣΤΟΥ									
περίοδος		Βροχόπτωση	Δυνητική Εξατμισο-διαπνοή	Πραγματική Εξατμισο-διαπνοή	Απορροή	Βασική ροή		Υπόγεια Αποθήκευση (μεταβολή)	Απώλειες (αντλήσεις)
από	μέχρι					Επιστροφή στο υδρόρευμα	Υπόγειες Διαφυγές		
σε mm									
9ος 1973	9ος 1986	710,8	1308,4	593,1	72,4	15,5 4,9	10,7	19,9	14,6
σε εκατομμύρια m3									
9ος 1973	9ος 1986	284,6	523,9	237,5	29,0	6,2 1,9	4,3	8,0	5,8
ποσοστά επί της % βροχόπτωσης			184,1%	83,5%	10,2%	2,2% 0,7%	1,5%	2,8%	2,1%
Κατείσδυση (mm)							45,2		
συντελεστής κατείσδυσης							6,4%		

Πίνακ. 3.6-12 Τιμές παραμέτρων SACRAMENTO:
προσομοίωση λεκάνης Γεροποτάμου - Φαιστός (9ος 1989- 9ος 2003)

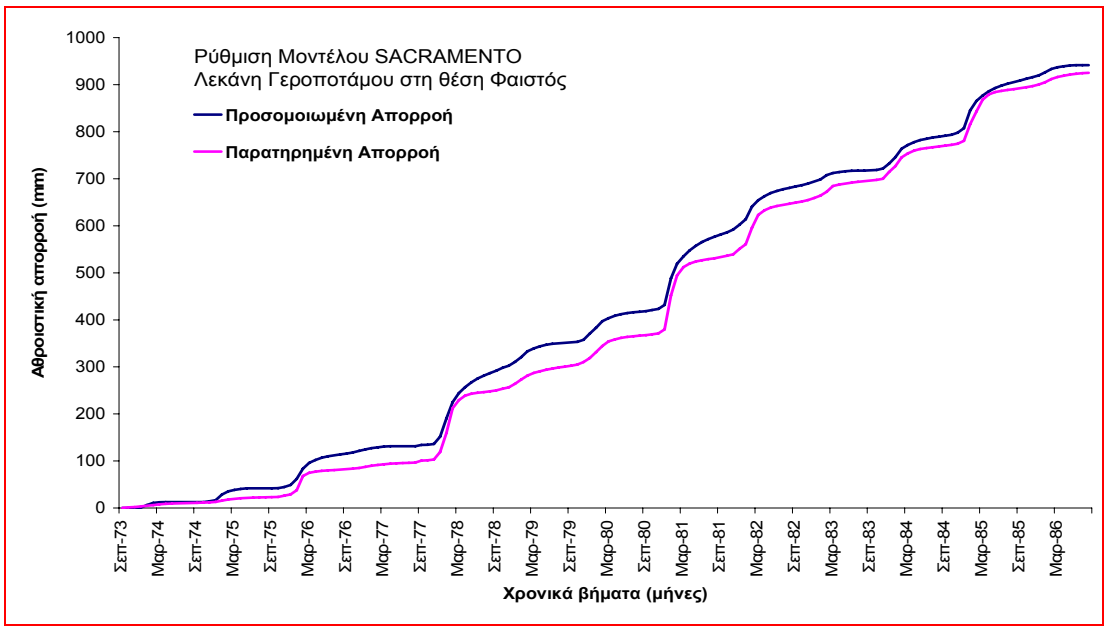
Simulation of rainfall-runoff process:				Land Phase			
Rainfall-runoff simulation of segment: 1				Number of segments:1			
Catchment: LithaiosXP Segment: LithaiosXP				9ος 1989-9ος 2003			
Rainfall	series	:	A50_GER1		PGC		
Evaporation	series:		A50_GER1		EAC		
Discharge	series	:	STR-GER_FES		RO		
		UZTW	UZFW	LZTW	LZFSW	LZFPW	
Capacity	(mm)	190	75	220	100	220	
Initial	content	190	70	220	1	1	
UZK	=	0,45	(1/DAY)	RSERV	=	0,3	(-)
LZSK	=	0,1	(1/DAY)	PCTIM	=	0,042	(-)
LZPK	=	0,025	(1/DAY)	ADIMP	=	0,65	(-)
ZPERC	=	20,00	(-)	SARVA	=	0,024	(-)
REXP	=	2,00	(-)	SIDE	=	0,61	(-)
PFREE	=	0,3	(-)	SSOUT	=	4,40	(mm/dt)
Applied unit hydrograph components:							
0,658	0,158	0,105	0,053	0,026	0		
				(PM	PT1	PT2):	
Given Rainfall Intensity Components				1,00	10,00	50,00	

Πίνακ. 3.6-13 Μέσο ετήσιο υδατικό ισοζύγιο.
Προσομοίωση SACRAMENTO λεκάνης Γεροποτάμου- Φαιστού (9ος 1989-9ος 2003)

ΜΕΣΟ ΕΤΗΣΙΟ ΥΔΑΤΙΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ (ΤΙΜΕΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ) ΛΕΚΑΝΗΣ ΓΕΡΟΠΟΤΑΜΟΥ- ΦΑΙΣΤΟΥ									
περίοδος		Βροχόπτωση	Δυνητική Εξατμισο-διαπνοή	Πραγματική Εξατμισο-διαπνοή	Απορροή	Βασική ροή		Υπόγεια Αποθήκευση (μεταβολή)	Απώλειες (αντλήσεις)
από	μέχρι					Επιστροφή στο υδρόρευμα	Υπόγειες Διαφυγές		
σε mm									
9ος 1989	9ος 2003	672,5	1357,5	565,6	13,6	21,6			
						6,8	14,9	34,6	43,9
σε εκατομμύρια m3									
9ος 1989	9ος 2003	269,3	543,6	226,5	5,4	8,7			
						2,7	6,0	13,8	17,6
ποσοστά επί της % βροχόπτωσης						3,2%			
			201,9%	84,1%	2,0%	1,0%	2,2%	5,1%	6,5%
Κατείσδυση (mm)							93,3		
συντελεστής κατείσδυσης							13,9%		



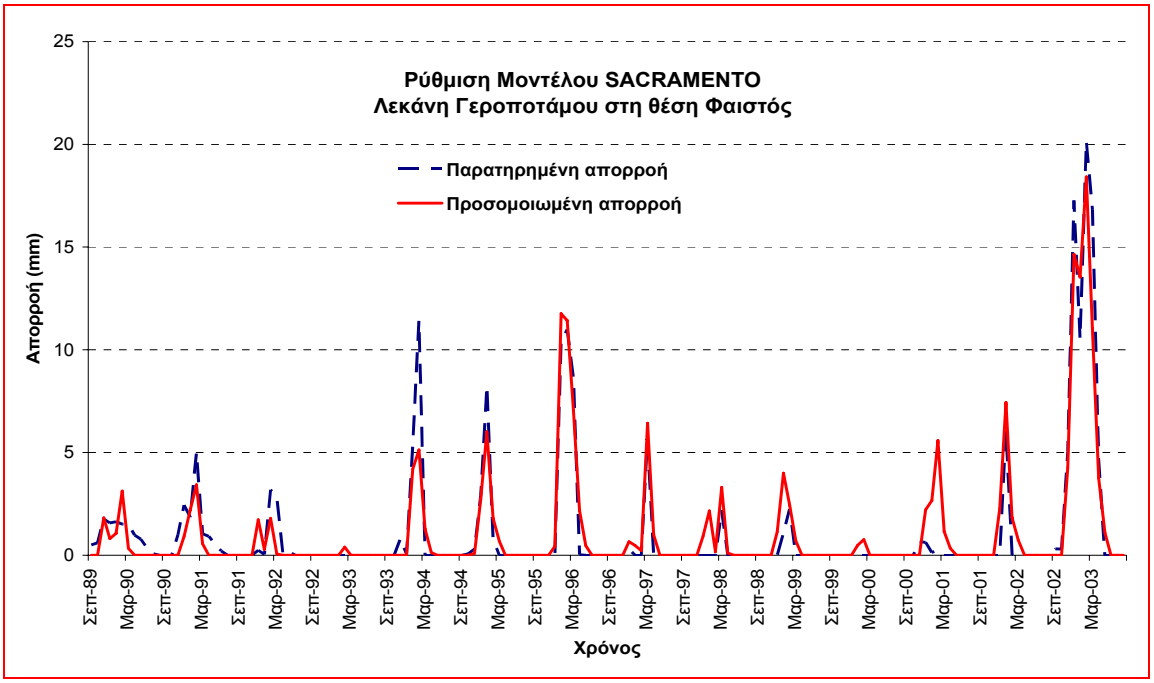
Εικόνα 3.6-7 Γράφημα παρατηρημένης- προσομοιωμένης μηνιαίας απορροής στη θέση Φαιστός



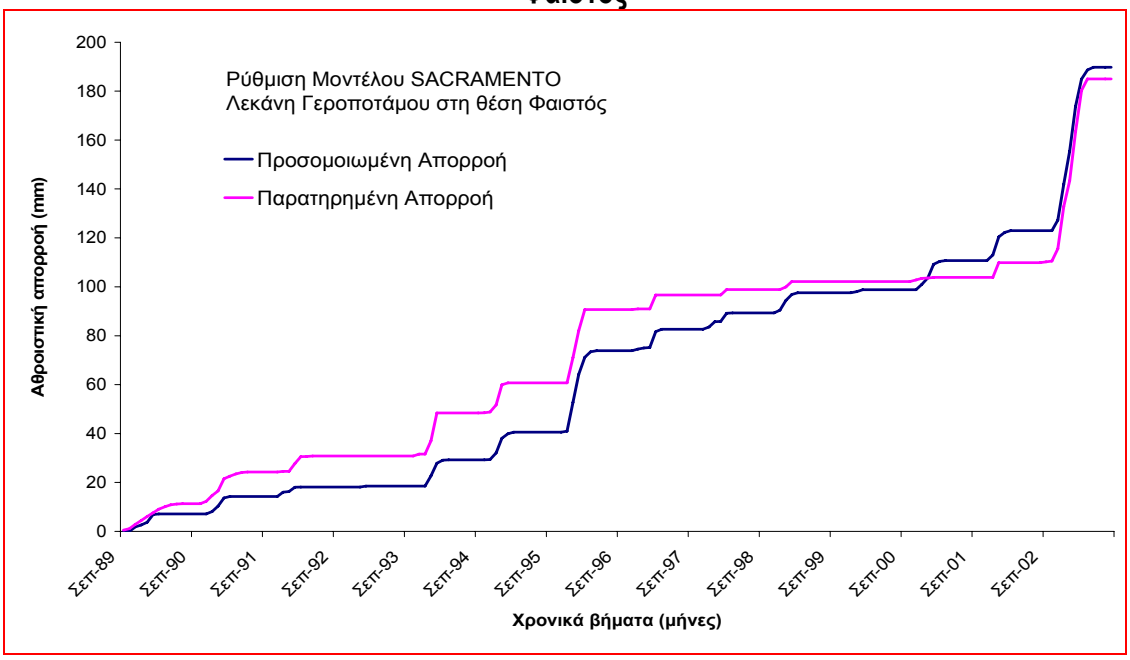
Εικόνα 3.6-8 Γράφημα παρατηρημένης- προσομοιωμένης μηνιαίας αθροιστικής απορροής στη θέση Φαιστός

Πίνακ. 3.6-14 Τιμές Κριτήριων Καλής Προσαρμογής του SACRAMENTO σταθμού Φαιστού

Σταθμός Φαιστός έτη 1973-1986			
Τιμές αριθμητικών κριτηρίων καλής προσαρμογής (μηνιαία χρονική κλίμακα)			
EVM	EFFM	Συντελεστή συσχέτισης R Q παρατηρ.- Q προσομοιωμ.	Συντελεστή Αθροιστικής συσχέτισης R Q παρατηρημένης- Q προσομοιωμένης
0,8715	0,8722	0,945	0,999



Εικόνα 3.6-9 Γράφημα παρατηρημένης- προσομοιωμένης μηνιαίας απορροής στη θέση Φαιστός



Εικόνα 3.6-10 Γράφημα παρατηρημένης- προσομοιωμένης μηνιαίας αθροιστικής απορροής στη θέση Φαιστός

Πίνακ. 3.6-15 Τιμές Κριτήριων Καλής Προσαρμογής του SACRAMENTO σταθμού Φαιστού

Σταθμός Φαιστός έτη 1989-2003			
Τιμές αριθμητικών κριτηρίων καλής προσαρμογής (μηνιαία χρονική κλίμακα)			
EVM	EFFM	Συντελεστή συσχέτισης R Q παρατηρ.- Q προσομοιωμ.	Συντελεστή Αθροιστικής συσχέτισης R Q παρατηρημένης- Q προσομοιωμένης
0,8707	0,8714	0,934	0,984

Παραγόμενες Απορροές Λεκανών Γεροποτάμου και Αναποδάρη

Η επέκταση της χρονοσειράς απορροής των τριών λεκανών (Αναποδάρη-Πλακιώτισας, Γεροποτάμου-Λιθαίου, Γεροποτάμου-Φαιστού) καθώς και ο υπολογισμός της απορροής των υπόλοιπων λεκανών της περιοχής μελέτης που δε διαθέτουν παρατηρημένη απορροή υπολογίσθηκε με τη μεταφορά των τιμών των παραμέτρων του ομοιώματος sacramento, όπως αυτό ρυθμίστηκε στις τρεις λεκάνες. Η παραγόμενη (συνθετική) χρονοσειρά απορροής της κάθε λεκάνης υπολογίσθηκε από την επιφανειακή βροχόπτωση και τη δυνητική εξατμισοδιαπνοή (ο υπολογισμός αυτών κρίνεται ικανοποιητικός λόγω της πυκνότητας του δικτύου των μετεωρολογικών σταθμών) και από τις τιμές των παραμέτρων του ρυθμισμένου ομοιώματος. Η μεταφορά των τιμών των παραμέτρων έγινε με κριτήριο την καλύτερη προσαρμογή των λεκανών σε ότι αφορά: α) τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των (κυρίως την κλίση), β) τις υδρογεωλογικές συνθήκες, γ) τη φυτοκάλυψη και δ) την εκμετάλλευση των υδατικών πόρων. Με βάση τα κριτήρια αυτά στις λεκάνες των Αστερουσίων (Α50-8, Α50-9) καθώς και στην όμορή του Α50-1 εφαρμόσθηκαν οι τιμές των παραμέτρων του Γεροπόταμου-Λιθαίου πριν την εκμετάλλευση του, στις λεκάνες του βόριου τμήματος (Α50-3, Α50-4, Α50-6) εφαρμόσθηκαν οι τιμές των παραμέτρων της Πλακιώτισας και για τη λεκάνη του Αναποδάρη-Χάρακα εφαρμόσθηκαν οι τιμές των παραμέτρων της λεκάνης του Γεροποτάμου – Φαιστού πριν την υπερεκμετάλλευσή της.

Στη συνέχεια δίνονται τα συνοπτικά αποτελέσματα των προσομοιώσεων για τις λεκάνες της περιοχής μελέτης, και ειδικότερα για τη λεκάνη Αναποδάρη-Χάρακα, η οποία δεν διαθέτει παρατηρημένη απορροή, καθώς και για τα συστήματα των λεκανών που οι απορροές τους συμβάλουν στον εμπλουτισμό των κύριων υδροφορέων της πεδιάδας Μεσαράς. Η περίοδος προσομοίωσης είναι 9^{ος} 1973 - 9^{ος} 2005 (χρονοσειρά 32 ετών), καθώς δεν καταγράφησαν σημαντικές ανθρώπινες επεμβάσεις στην υδρολογική δίαιτα των λεκανών αυτών.

3.6.9 Λεκάνη Αναποδάρη-Χάρακα

Όπως προκύπτει από τα αποτελέσματα της προσομοίωσης, η μέση ετήσια τιμή της παραγόμενης απορροής για τη λεκάνη του Αναποδάρη – Χάρακα υπό τις συνθήκες μερικής εκμετάλλευσης των υπόγειων νερών, ανέρχεται σε 11,5 Mm^3 (54,7 mm περίπου), Το μέσο ετήσιο επιφανειακό ύψος βροχής για την υπόψη υδρολογική λεκάνη, σε αυτή την περίοδο προσομοίωσης ανέρχεται σε 657,7 mm ή 138,5 Mm^3 .

Με βάση τα παραπάνω ο μέσος ετήσιος συντελεστής απορροής για τη λεκάνη Αναποδάρη – Χάρακα, προκύπτει ίσος με: C_R= 54,7/657,7=0,083

3.6.10 Λεκάνες Αστερουσίων (Α50-9)

Από τα αποτελέσματα της προσομοίωσης προκύπτει ότι η μέση ετήσια τιμή της παραγόμενης απορροής, από τις λεκάνες του ορεινού τμήματος των Αστερουσίων (Α50-9) που απορρέουν και εμπλουτίζουν τον αλλουβιακό – πλειστοκαινικό υδροφορέα του (Αναποδάρη) Χάρακα, ανέρχεται σε 2,3 Mm^3. Ο μέσος ετήσιος όγκος βροχής για την υπόψη υδρολογική λεκάνη, σε αυτή την περίοδο προσομοίωσης ανέρχεται σε 22,8 Mm^3 .

Με βάση τα παραπάνω ο μέσος ετήσιος συντελεστής απορροής για τη λεκάνη Αναποδάρη – Χάρακα, προκύπτει ίσος με: C_R= 2,3/22,8=0,101

3.6.11 Λεκάνες βορείου τμήματος Αναποδάρη (Α50-4, Α50-5-Πλακιώτισας, Α50-6)

Ανάλογα, η μέση ετήσια τιμή της παραγόμενης απορροής, από τις λεκάνες του βόρειου τμήματος του Αναποδάρη (Α50-4, Α50-5-Πλακιώτισας, Α50-6) που απορρέουν και εμπλουτίζουν τον αλλουβιακό – πλειστοκαινικό υδροφορέα του (Αναποδάρη) Χάρακα, ανέρχεται σε 17,5 Mm^3 περίπου. Ο μέσος ετήσιος όγκος βροχής, για αυτή την περίοδο προσομοίωσης, ανέρχεται σε 77,7 Mm^3 .

Με βάση τα παραπάνω ο μέσος ετήσιος συντελεστής απορροής για τη λεκάνη Αναποδάρη – Χάρακα, προκύπτει ίσος με: C_R= 17,5/77,7=0,225

3.6.12 Λεκάνες βόρειου τμήματος Γεροποτάμου (Α50-1, Α50-2-Λιθαίου, Α50-3)

Η μέση ετήσια τιμή της παραγόμενης απορροής, από τις λεκάνες του βόρειου τμήματος του Γεροποτάμου (Α50-1, Α50-2-Λιθαίου, Α50-3) που απορρέουν και εμπλουτίζουν τον αλλουβιακό – πλειστοκαινικό υδροφορέα του Γεροποτάμου (Μοιρών, Βαγιονιάς), ανέρχεται σε 29,5 Mm^3 περίπου, Ο μέσος ετήσιος όγκος βροχής, για αυτή την περίοδο προσομοίωσης, ανέρχεται σε 145,2 Mm^3 .

Με βάση τα παραπάνω ο μέσος ετήσιος συντελεστής απορροής για τη λεκάνη Αναποδάρη – Χάρακα, προκύπτει ίσος με: C_R= 29,5/145,2=0,203

3.6.13 Λεκάνες νότιου τμήματος Γεροποτάμου (Α50-8)

Η μέση ετήσια τιμή της παραγόμενης απορροής, από τις λεκάνες του νότιου τμήματος του Γεροποτάμου (Α50-8) που απορρέουν στον αλλουβιακό – πλειστοκαινικό υδροφορέα του Γεροποτάμου (Μοιρών, Βαγιονιάς) και τον εμπλουτίζουν, ανέρχεται σε 5,7 Mm^3 περίπου, Ο μέσος ετήσιος όγκος βροχής, για αυτή την περίοδο προσομοίωσης, ανέρχεται σε 62,8 Mm^3 .

Με βάση τα παραπάνω ο μέσος ετήσιος συντελεστής απορροής για τη λεκάνη Αναποδάρη – Χάρακα, προκύπτει ίσος με: C_R= 5,7/62,8=0,09

Οι παραγόμενες χρονοσειρές απορροής θα εισαχθούν στο ομοίωμα της υπόγειας ροής για την προσομοίωση των υπόγειων υδροφορέων και τον υπολογισμό των υπόγειων υδατικών πόρων.

3.7 Συζήτηση – Συμπεράσματα κεφαλαίου 3

Η υδρολογική ανάλυση της περιοχής μελέτης, αλλά και κατ' επέκταση της νησιωτικής Μεσογειακής περιοχής και ειδικότερα η συσχέτιση βροχής - απορροής εμφανίζει εγγενείς δυσκολίες που οφείλονται αφ' ενός στον χειμαρρώδους χαρακτήρα των υδατορευμάτων και αφ' ετέρου στις μικρές λεκάνες απορροής που σχηματίζονται στις οποίες η γεωλογία, η φυτοκάλυψη και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των παίζουν ιδιαίτερο ρόλο στην υδρολογική τους δίαιτα.

Στις εγγενείς δυσκολίες θα πρέπει να προστεθεί κατά αρχή η έλλειψη των απαιτούμενων δεδομένων και δευτερεύοντος η αδυναμία υπολογισμού της αβεβαιότητας (σφάλματος) των δεδομένων. Η μόνη διαθέσιμη χρονοσειρά απορροής στην περιοχή μελέτης είναι οι χρονοσειρές των μετρήσεων της ΥΕΒ,

οι οποίες θεωρούμε ότι στερούνται (ή είναι πολύ μικρά) ανθρώπινων σφαλμάτων, όμως υπεισέρχονται σφάλματα που οφείλονται κυρίως στην έλλειψη κατάλληλων υποδομών μέτρησης και στα πεπαλαιωμένα όργανα. Πέρα των στοιχείων αυτών όλες οι άλλες υφιστάμενες μελέτες χαρακτηρίζονται γενικά από την έλλειψη πρωτογενών δεδομένων ή είναι πολύ περιορισμένα.

Κάτω από αυτές τις αντικειμενικές δυσκολίες η προσέγγιση του υδρολογικού ισοζυγίου, προκειμένου να χρησιμοποιηθεί για τη διαχείριση των υδατικών πόρων της περιοχής, απαιτεί καλή γνώση της περιοχής μελέτης (γεωλογία, υδρογεωλογία, φυτοκάλυψη, γεωμετρία, διαχρονικές μεταβολές) καθώς και της κατάλληλης ανάλυσης των υφιστάμενων δεδομένων.

Η ανάλυση των χρονοσειρών απορροής με τη μέθοδο της διπλής αθροιστικής καμπύλης με άξονες την παρατηρημένη απορροή και την παραγόμενη (συνθετική) απορροή από την επιφανειακή βροχόπτωση της λεκάνης, με βάση την εξίσωση βροχής – απορροής, μας επιτρέπει να ελέγξουμε την (α)συνέπεια της χρονοσειράς. Η ασυνέπεια της χρονοσειράς, εφόσον αποκλειστούν σφάλματα μέτρησης ή αλλαγή θέσης οργάνων, πρέπει να αναζητηθεί στις αλλαγές που συνέβαλλαν στην υδρολογική δίαιτά της. Στην περιοχή της μελέτης οι θλάσεις στην καμπύλη συνέπεσαν με μεταβολές του υδρολογικού καθεστώτος που προκλήθηκαν από ανθρώπινες δραστηριότητες οι οποίες καταγράφηκαν και ποσοτικοποιήθηκαν.

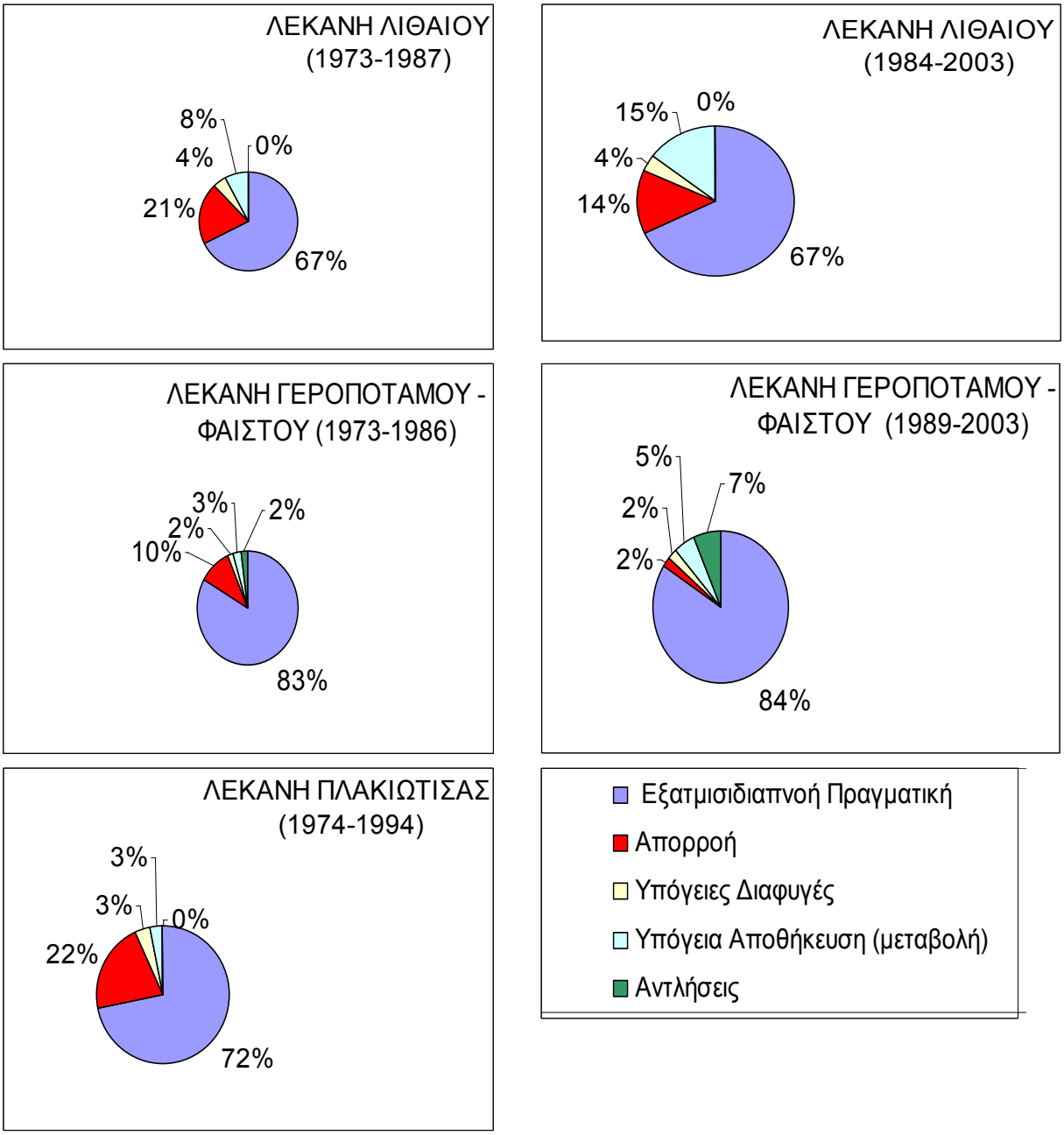
Η συσχέτιση βροχής – απορροής σε μηνιαίο βήμα, χρονικό βήμα που χρησιμοποιείται στις μελέτες διαχείρισης, είναι «μέτρια» στις λεκάνες τέτοιου υδρολογικού καθεστώτος και η συνήθως πρακτική να χρησιμοποιείται για τις μελέτες της προστασίας και της διαχείρισης των νερών εμπεριέχει ανακρίβειες. Για την καλλίτερη προσέγγιση και με βάση τα υφιστάμενα (περιορισμένα) δεδομένα χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία η προσομοίωση των λεκανών, που διέθεταν παρατηρημένη απορροή, με την εφαρμογή του ομοιώματος sacramento.

Το ομοίωμα sacramento δύναται να προσομοιώσει τις λεκάνες απορροής με ικανοποιητική ακρίβεια στο μηνιαίο βήμα με την προϋπόθεση της καλής γνώσης του περιβάλλοντος χώρου (γεωλογικού, υδρογεωλογικού, φυτοκάλυψης, υδραυλικά έργα κλπ) της λεκάνης, η οποία μας βοηθά στην ανάπτυξη του εννοιολογικού μοντέλου της προσομοίωσης. Κριτήρια καλής προσαρμογής του ομοιώματος ορίσθηκαν δύο αριθμητικά κριτήρια α) το ποσοστό επεξηγούμενης διασποράς EVM μεταξύ παρατηρημένης και προσομοιωμένης τιμής και β) αποτελεσματικότητα (efficiency) του μοντέλου EFFM (βλέπε παρ. 3.5.6). Επίσης ορίσθηκε ως κριτήριο και η υπολογιζόμενη - παρατηρημένη αθροιστική απορροή, κριτήριο το οποίο μας δείχνει κατά πόσο μπορεί το ομοίωμα να προβλέπει τον όγκο της απορροής στο χρόνο, ανεξάρτητα από την εποχικότητά της. Οι προσομοιώσεις μετά τη ρύθμιση του ομοιώματος έδωσαν «υψηλούς» συντελεστές σε όλα τα παραπάνω κριτήρια που ορίσθηκαν για την καλή προσαρμογή.

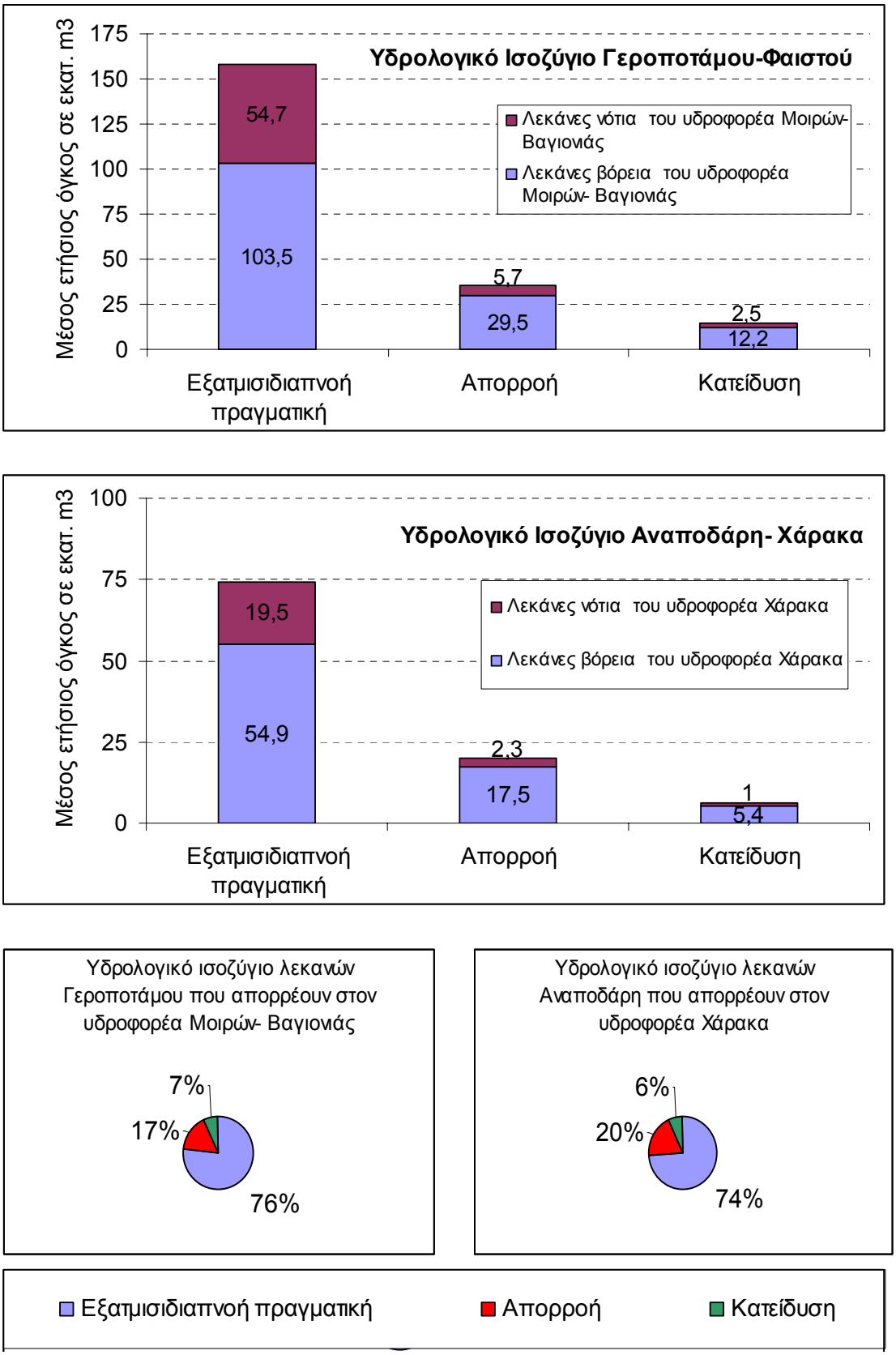
Οι λεκάνες του Γεροποτάμου- Λιθαίου και του Γεροποτάμου- Φαιστού προσομοιώθηκαν για τις δυο διαφορετικές υδρολογικές καταστάσεις, όπως αυτές διαμορφώθηκαν κάτω από την (υπερ)εκμετάλλευση των υδατικών πόρων τους. Το sacramento εκτός από την μικρή απόκλιση μεταξύ (<5%) των προσομοιωμένων – παρατηρημένων απορροών έδωσε και τον υπολογισμό των υπόγειων αποθεμάτων, των υπόγειων διαφυγών και των αντλήσεων με ικανοποιητική προσέγγιση όπως εκτιμήθηκαν από το εννοιολογικό μοντέλο. Επιπρόσθετα υπολόγισε και την πραγματική εξατμισοδιαπνοή των λεκανών. Στην Εικόνα 3.7-1 δίνονται τα γραφήματα των μέσων ετήσιων υδρολογικών ισοζυγίων όπως υπολογίσθηκαν από το ομοίωμα.

Η χρησιμότητα του ομοιώματος sacramento στην παρούσα εφαρμογή εκτός από τον υπολογισμό του υδρολογικού ισοζυγίου σε μηνιαίο βήμα των λεκανών που διαθέτουν παρατηρημένη απορροή μας δίνει τη δυνατότητα καλύτερης προσέγγισης της απορροής των υπόλοιπων λεκανών της περιοχής μελέτης με τη μεταφορά των παραμέτρων όπως ρυθμίστηκαν στις λεκάνες με παρατηρημένη απορροή. Σε αυτό συμβάλλει και η καλύτερη γνώση της βροχόπτωσης (στον Ελλαδικό χώρο η πυκνότητα του δικτύου των μετεωρολογικών σταθμών είναι σαφώς μεγαλύτερη από ότι των υδρομετρικών) και της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής. Με βάση την επιφανειακή βροχόπτωση, τη δυνητική εξατμισοδιαπνοή και τις παραμέτρους ρύθμισης του ομοιώματος παρήχθησαν συνθετικές χρονοσειρές απορροής για όλες τις υπόλοιπες λεκάνες της περιοχής μελέτης. Η μεταφορά των παραμέτρων έγινε με κριτήριο την καλύτερη προσαρμογή των λεκανών στα γεωμετρικά χαρακτηριστικά (κυρίως η κλίση), των υδρογεωλογικών συνθηκών, της φυτοκάλυψης και της εκμετάλλευσης των. Στην Εικόνα 3.7-2 και την Εικόνα 3.7-1 δίνονται τα υδρολογικά ισοζύγια των λεκανών που απορρέουν στους κύριους υδροφορείς της λεκάνης Μεσαράς όπως υπολογίσθηκαν από το ομοίωμα.

Η παραγόμενη απορροή θα εισαχθεί στο ομοίωμα υπόγειων νερών για την καλλίτερη προσέγγιση/ υπολογισμό του υπόγειου υδατικού δυναμικού της περιοχής μελέτης (κεφάλαιο 6).



Εικόνα 3.7-1 Υδρολογικά ισοζύγια λεκανών - προσομοίωση με το SACRAMENTO



Εικόνα 3.7-2 Υδρολογικά ισοζύγια λεκανών που απορρέουν στους κύριους υδροφορείς της λεκάνης Μεσσαράς - προσομοίωση με το SACRAMENTO

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΓΕΩΛΟΓΙΑ 3

4.1 Γεωλογικες συνθηκες της νησου Κρητης 3

4.1.1 Στρωματογραφία 3

4.1.1.1 ΑΥΤΟΧΘΟΝΗ ΣΕΙΡΑ 3

4.1.1.2 ΑΛΛΟΧΘΟΝΕΣ ΣΕΙΡΕΣ 5

4.1.1.3 ΝΕΟΓΕΝΕΙΣ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ 10

4.1.1.4 ΠΛΕΙΟ- ΠΛΕΙΣΤΟΚΑΙΝΙΚΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ 12

4.1.1.5 ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΙΣ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ 12

4.2 Γεωτεκτονικη δομη της Κρητης 14

4.3 Γεωλογικη δομη της περιοχης μελετης 18

4.1.2 Γεωλογικη τομη πεδινου τμηματος Φαιστος- Χαρακας (Α– Δ) 20

4.1.3 Γεωλογικη τομη Φαιστου (ΒΒΑ-ΝΝΔ) 21

4.1.4 Γεωλογικη τομη Πετροκεφαλι - Καλυβιανη (Β-Ν) 21

4.1.5 Γεωλογικη τομη Περι - Καστελι (ΒΒΑ-ΝΝΔ) 21

4.1.6 Γεωλογικη τομη Πλωρα – Χουστουλιανα- Γορτυς (ΒΒΑ-ΝΝΔ) 21

4.1.7 Γεωλογικη τομη Βασιλικη- Βαγιονια- Γκαγκαλες (Β-Ν) λεκανης Βαγιονιας 22

4.1.8 Γεωλογικη τομη Στερνες – Ασημι (Β-Ν) λεκανης Ασημιου 22

4.1.9 Γεωλογικη τομη Πυργος – Πλακιωτισα (Β-Ν) λεκανης Χαρακα 22

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

ΕΙΚΟΝΑ 4-1 ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΣΤΗΛΗ ΑΛΠΙΚΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ (ΦΥΛΛΟ ΜΟΧΟΣ ΙΓΜΕ, 1989).....4
ΕΙΚΟΝΑ 4-2 ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΣΤΗΛΗ ΕΣΩΤΕΡΙΚΩΝ ΖΩΝΩΝ (ΦΥΛΛΟ ΑΝΤΙΣΚΑΡΙ ΙΓΜΕ, 1985).....9
ΕΙΚΟΝΑ 4-3 ΤΕΚΤΟΝΟ- ΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΤΩΝ ΝΕΟΓΕΝΩΝ ΚΑΙ ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΩΝ ΙΖΗΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΚΡΗΤΗΣ (FASSOULAS 2000) 11
ΕΙΚΟΝΑ 4-4 ΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΣΤΗΛΗ ΝΕΟΓΕΝΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ (ΦΥΛΛΟ ΆΝΩ ΑΡΧΑΝΕΣ ΙΓΜΕ, 1994).....13
ΕΙΚΟΝΑ 4-5 Η ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΚΡΗΤΗΣ (FASSOULAS 1999) 15
ΕΙΚΟΝΑ 4-6 Η ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΤΟΥ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ (Α. – C.) ΚΑΙ ΟΙ ΠΡΟΣΦΑΤΕΣ ΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ ΚΙΝΗΣΕΙΣ ΤΟΥ ΝΗΣΙΟΥ (D). ΜΕ ΑΝΟΙΚΤΟ ΓΚΡΙ ΟΙ ΚΑΤΑΒΥΘΙΣΕΙΣ ΚΑΙ ΜΕ ΣΚΟΥΡΟ ΓΚΡΙ ΟΙ ΑΝΥΨΩΣΕΙΣ (FASSOULAS 2000).....17
ΕΙΚΟΝΑ 4-7 : ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ 24
ΕΙΚΟΝΑ 4-8: ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΤΟΜΗ ΦΑΙΣΤΟΣ- ΧΑΡΑΚΑΣ (ΑΝΑΤΟΛΗ – ΔΥΣΗ), Η ΘΕΣΗ ΤΗΣ ΕΝΔΕΙΚΝΥΤΑΙ ΩΣ ΝΟ 1 (ΧΑΡΤΗΣ Π4-7).....26
ΕΙΚΟΝΑ 4-9 : ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΤΟΜΗ ΛΕΚΑΝΗΣ ΜΟΙΡΩΝ (ΑΝΑΤΟΛΗ – ΔΥΣΗ), ΜΕΓΕΘΥΝΣΗ ΤΟΜΗΣ Π4-8 27
ΕΙΚΟΝΑ 4-10 : ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΤΟΜΗ ΛΕΚΑΝΩΝ ΑΣΗΜΙΟΥ - ΧΑΡΑΚΑ (ΑΝΑΤΟΛΗ – ΔΥΣΗ), ΜΕΓΕΘΥΝΣΗ ΤΟΜΗΣ Π4-8 28
ΕΙΚΟΝΑ 4-11 : ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΤΟΜΗ ΦΑΙΣΤΟΣ (ΒΒΑ-ΝΝΔ) , Η ΘΕΣΗ ΤΗΣ ΕΝΔΕΙΚΝΥΤΑΙ ΩΣ ΝΟ 2 (ΧΑΡΤΗΣ Π4-7) 29
ΕΙΚΟΝΑ 4-12 : ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΤΟΜΗ ΠΕΤΡΟΚΕΦΑΛΙ- ΚΑΛΥΒΙΑΝΗ (Β-Ν) , Η ΘΕΣΗ ΤΗΣ ΕΝΔΕΙΚΝΥΤΑΙ ΩΣ ΝΟ 3 (ΧΑΡΤΗΣ Π4-7).....30
ΕΙΚΟΝΑ 4-13 : ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΤΟΜΗ ΠΟΜΠΙΑ – ΜΟΙΡΕΣ (ΒΒΑ-ΝΝΔ) , Η ΘΕΣΗ ΤΗΣ ΕΝΔΕΙΚΝΥΤΑΙ ΩΣ ΝΟ 4 (ΧΑΡΤΗΣ Π4-7) 31
ΕΙΚΟΝΑ 4-14 : ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΤΟΜΗ ΛΕΚΑΝΗΣ ΜΟΙΡΩΝ ΠΕΡΙ- ΚΑΣΤΕΛΙ (ΝΝΔ-ΒΒΑ), Η ΘΕΣΗ ΤΗΣ ΕΝΔΕΙΚΝΥΤΑΙ ΩΣ ΝΟ 5 (ΕΙΚΟΝΑ Π5-7) 32
ΕΙΚΟΝΑ 4-15 : ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΤΟΜΗ ΛΕΚΑΝΗΣ ΜΟΙΡΩΝ ΠΛΩΡΑ- ΧΟΥΣΤΟΥΛΙΑΝΑ- ΓΟΡΤΥΣ (ΝΝΔ-ΒΒΑ), Η ΘΕΣΗ ΤΗΣ ΕΝΔΕΙΚΝΥΤΑΙ ΩΣ ΝΟ 6 (ΕΙΚΟΝΑ Π5-1).....33
ΕΙΚΟΝΑ 4-16 : ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΤΟΜΗ ΒΑΣΙΛΙΚΗ-ΒΑΓΙΟΝΙΑ- ΓΚΑΓΚΑΛΕΣ (Β-Ν), Η ΘΕΣΗ ΤΗΣ ΕΝΔΕΙΚΝΥΤΑΙ ΩΣ ΝΟ 7 (ΧΑΡΤΗΣ Π4-7).....34
ΕΙΚΟΝΑ 4-17 : ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΤΟΜΗ ΣΤΕΡΝΕΣ- ΑΣΗΜΙ (Β-Ν), Η ΘΕΣΗ ΤΗΣ ΕΝΔΕΙΚΝΥΤΑΙ ΩΣ ΝΟ 8 (ΧΑΡΤΗΣ Π4-7) 35
ΕΙΚΟΝΑ 4-18 : ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΤΟΜΗ ΠΥΡΓΟΣ - ΠΛΑΚΙΩΤΙΣΑ (Β-Ν), Η ΘΕΣΗ ΤΗΣ ΕΝΔΕΙΚΝΥΤΑΙ ΩΣ ΝΟ 9 (ΧΑΡΤΗΣ Π4-7) 36

Κεφάλαιο 4 Γεωλογία

4.1 Γεωλογικές συνθήκες της νήσου Κρήτης

4.1.1 Στρωματογραφία

Χαρακτηριστικό γνώρισμα της γεωλογικής δομής της Κρήτης είναι η «λεπιοειδής» ανάπτυξη αλλεπάλληλων τεκτονικών καλυμμάτων (ενοτήτων), που κάθε ένα από αυτά συγκροτείται από διαφορετικούς λιθολογικούς σχηματισμούς με διαφορετική μεταμορφική και παραμορφωτική ιστορία (Αλεξόπουλος 1990).

Η λεπιοειδής αυτή διάταξη είναι αποτέλεσμα τεκτονικών διεργασιών που κορυφώθηκαν στο Τριτογενές και σχετίζονται με την υποβύθιση της αφρικανικής λιθοσφαιρικής πλάκας κάτω από την ευρασιατική.

Η κατώτερη τεκτονική ενότητα στη Κρήτη αποτελείται από ένα αυτόχθονο έως παραυτόχθονο σύστημα πετρωμάτων που περιλαμβάνει την ημιμεταμορφωμένη ενότητα των πλακωδών ασβεστολίθων και τους υποκείμενους ασβεστολίθους, δολομίτες, με παρεμβολές σχιστολίθων. Ακολουθεί ένα αλλόχθονο σύστημα επωθημένο πάνω στο αυτόχθονο και από τα νεότερα ιζήματα του Νεογενούς και του Τεταρτογενούς.

Το αλλόχθονο σύστημα αποτελείται από αλλεπάλληλα τεκτονικά καλύμματα επωθημένα το ένα πάνω στο άλλο με την ακόλουθη σειρά, από το κατώτερο προς το ανώτερο :

- Ανθρακικό κάλυμμα Ομαλού - Τρυπαλίου
- Τεκτονικό κάλυμμα Φυλλιτών – Χαλαζιτών
- Ζώνη Τρίπολης
- Ζώνη Πίνδου
- Πελαγονική ζώνη - Οφιολιθικό κάλυμμα

Παρακάτω, εν συντομία περιγράφεται η γενική γεωλογική δομή της Νήσου Κρήτης, στις παρενθέσεις με λατινικούς χαρακτήρες είναι ο συμβολισμός των πετρωμάτων σύμφωνα με τους γεωλογικούς χάρτες του ΙΓΜΕ. Τυπική τεκτονική στήλη των αλπικών σχηματισμών απεικονίζεται στην Εικόνα 4-1

4.1.1.1 ΑΥΤΟΧΘΟΝΗ ΣΕΙΡΑ

Ασβεστιτικοί σχιστόλιθοι (E.fi)

Ασβεστιτικοί σχιστόλιθοι με λεπτές ενδιαστρώσεις ψαμμιτών και κρυσταλλικών ασβεστολίθων. Είναι τα στρώματα του φλύσχη της Ιονίου που έχουν μεταμορφωθεί.

Ενότητα Πλακωδών ασβεστολίθων (Jm-E.k) (Μ.Ιουρασικό – Ολιγόκαινο)

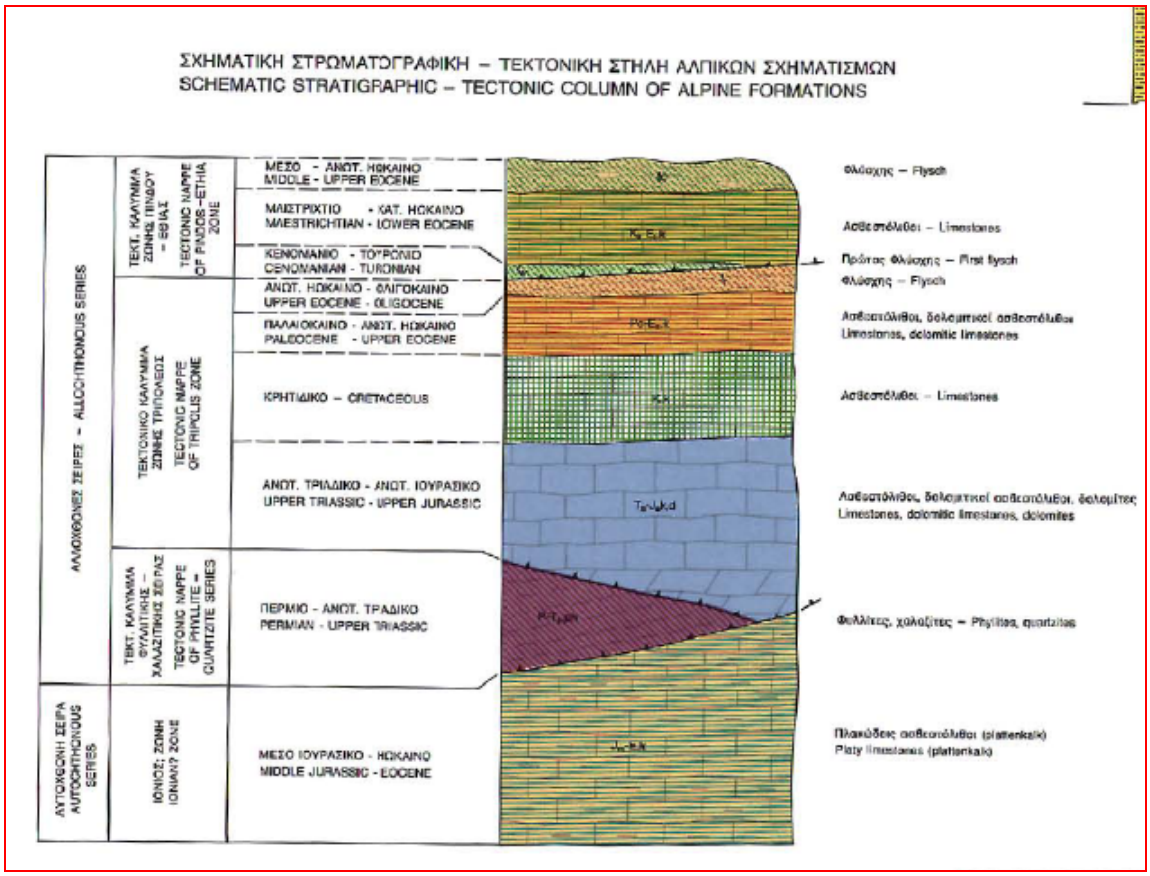
Η ενότητα των πλακωδών ασβεστολίθων χαρακτηρίζεται από την λεπτοστρωματώδη ανάπτυξη ισχυρά ανακρυσταλλωμένων ασβεστολίθων –

μαρμάρων, τεφρών έως τεφρόμαυρων, και της παρεμβολής σ' αυτούς πυριτολίθων με μορφή λεπτών στρώσεων (πάχους μέχρι και 15cm), κονδύλων ή φακών. Το πυριτικό υλικό είναι κυρίως χαλαζίας και λιγότερο χαλκηδόνιος. Κατά τόπους παρουσιάζουν παρεμβολές σερικιτικών φυλλιτών και παρεμβολές μικρολατυποπαγών στρωμάτων μικρού πάχους.

Συχνά παρατηρούνται εσωτερικές λεπιώσεις με αποτέλεσμα να έρχονται σε επαφή στρώματα έντονα τεκτονισμένα με σχετικά αδιατάρακτα με παράλληλη δημιουργία τεκτονικού λατυποπαγούς.

Ο σχηματισμός αυτός έχει μεταμορφωθεί σε συνθήκες υψηλών πιέσεων – χαμηλών θερμοκρασιών.

Η ιζηματογένεση των πελαγικών αυτών ιζημάτων της σειράς αυτής άρχισε κατά το Δογγέριο και έληξε κατά το Ολιγόκαινο (Φυτρολάκης, 1980).



Εικόνα 4-1 Τεκτονική στήλη αλπικών σχηματισμών (Φύλλο Μοχός ΙΓΜΕ, 1989)

Στρώματα Γκιγκίλου - Σχιστόλιθοι (J.sch)

Σχιστόλιθοι κυρίως πυριτικοί, κυψελώδεις, ασβεστιτικοί και λιγότερο αργιλικοί λεπτο -μεσο στρωματώδεις. Κατά θέσεις περιέχουν ανακρυσταλλωμένους ασβεστόλιθους και παρεμβολές σερικιτικών – ασβεστιτικών φυλλιτών.

Βρίσκονται με μορφή ένστρωσης στη βάση των πλακωδών κρυσταλλικών ασβεστολίθων.

Ασβεστόλιθοι έως μάρμαρα και δολομίτες (Ts-Ji.k,d Αν.Τριαδικό - Λιάσιο)

Πρόκειται για ανακρυσταλλωμένους ασβεστόλιθους έως μάρμαρα και δολομίτες, νηριτικής φάσης, που υπόκειται κανονικά των πλακωδών ασβεστολίθων με πυριτόλιθους.

Τα ανώτερα στρώματα αποτελούνται από ανακρυσταλλωμένους ασβεστόλιθους έως μάρμαρα μεσοστρωματώδη με λίγο πυριτικό υλικό που εξελίσσονται προς τα κάτω σε τεφρά έως τεφρόλευκα ασβεστολιθικά και δολομιτικά μάρμαρα με φακούς πυριτικών κονδύλων μέχρι 20 cm. (Ts-Ji.k)

Τα κατώτερα στρώματα αποτελούνται από δολομίτες, λευκότεφρους έως μαύρους, άστρωτους, συχνά λατυποπαγείς, έντονα τεκτονισμένους, και καρστικοποιημένους με μεγάλα έγκοιλα. (Ts-Ji.d)

Οι πλακώδεις ασβεστόλιθοι (ενότητα Κρήτης Μάνης) αναπτύσσονται κυρίως στα κεντρικά τμήματα των ορεινών όγκων (Λευκά όρη, Ψηλορείτης, Τάλαια όρη, Δίκτη, Σελένα και Θριπτή) και σποραδικά σε άλλα τμήματα ιδιαίτερα στο νομό Ρεθύμνου.

4.1.1.2 ΑΛΛΟΧΘΟΝΕΣ ΣΕΙΡΕΣ

4.1.1.2.1 ΤΕΚΤΟΝΙΚΟ ΚΑΛΥΜΜΑ ΟΜΑΛΟΥ – ΤΡΥΠΑΛΙΟΥ

Αποτελεί το κατώτερο τεκτονικό κάλυμμα της νήσου Κρήτης και βρίσκεται επωθημένο επάνω στην αυτόχθονη σειρά των λεπτοπλακωδών κρυσταλλικών ασβεστολίθων. Εμφανίζει μεγάλη εξάπλωση στη Δυτική Κρήτη και αναπτύσσεται σε μεγάλο τμήμα των Λευκών Ορέων.

Ανθρακικά Τρυπαλίου (Αν. Τριαδικό – Λιάσιο)

Αποτελείται από ανακρυσταλλωμένους ασβεστόλιθους έως μάρμαρα, δολομίτες, δολομιτικούς ασβεστόλιθους, ραουβάκες και ανθρακικά κροκαλολατυποπαγή. Συχνά παρατηρούνται λεπτές κερατολιθικές ενστρώσεις. Το πάχος του φτάνει κατά τόπους, τα 400μ.

Η ενότητα χαρακτηρίζεται από μια ισχυρότατη τεκτονική καταπόνηση με αποτέλεσμα τον έντονο κατακερματισμό. Συχνά συναντώνται ανασυγκολλήσεις των πετρωμάτων με ασβεστιτικό συνδετικό υλικό.

4.1.1.2.2 ΤΕΚΤΟΝΙΚΟ ΚΑΛΥΜΜΑ ΦΥΛΛΙΤΩΝ – ΧΑΛΑΖΙΤΩΝ

Φυλλίτες, χαλαζίτες, σχιστόλιθοι (ph) (Πέρμιο - Αν. Τριαδικό)

Ο σχηματισμός αυτός αποτελείται από φυλλίτες, μεταψαμμίτες, χαλαζίτες και σχιστόλιθους, κροκαλοπαγή, ποικίλης σύστασης (π.χ. σερικιτικούς-χλωριτικούς, μαρμαρυγιακούς, χαλαζιακούς με σερικίτη και αιματίτη, γραφιτικούς-μαρμαρυγιακούς) Η μεταμόρφωση έγινε σε συνθήκες υψηλής πίεσης και χαμηλής έως μέσης θερμοκρασίας HP/LT (Seidel 1978, Φασουλάς 1999).

Συχνά παρεμβάλλονται μαύροι λεπτοστρωματώδεις και κατακερματισμένοι κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι (mr), χαλαζιτικές φλέβες (qt), δολομίτες (d),

εναλλαγές φυλλιτών, σχιστολίθων, μαρμάρων (ph/sch/mr). Περιλαμβάνουν επίσης διαβάσες (δ), γύψους (g), ραουβάκες (Rw). Οι παρεμβολές αυτές των μαρμάρων μέσα στο σύστημα των φυλλιτών χαλαζιτών παρουσιάζουν κατά θέσεις ιδιαίτερη ανάπτυξη (μάρμαρα Βασιλικού) και έχουν ιδιαίτερη υδρογεωλογική σημασία.

Το πάχος της σειράς στην περιοχή μελέτης ανέρχεται στα 200 μ περίπου.

Η ηλικία της ενότητας αυτής υπολογίζεται ως Περμοτριαδική (Seidel 1978).

Μεγάλη ανάπτυξη των φυλλιτών χαλαζιτών συναντάται στο δυτικό και νότιο τμήμα του νομού Χανίων, στο βόρειο τμήμα των Τάλεων Ορέων στη περιοχή Θριπτής – Ορνού και σποραδικά σε άλλα τμήματα της Κρήτης. Ο αδιαπέρατος χαρακτήρας των φυλλιτών χαλαζιτών διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην διαμόρφωση επιμέρους υδρογεωλογικών λεκανών είτε ως υπόβαθρο αυτών προκειμένου για τα ανθρακικά πετρώματα της Τρίπολης είτε παρεμποδίζοντας την πλευρική διακίνηση υπογείων νερών άλλων ανθρακικών ενοτήτων (Τρυπάλι, Ιόνιος κλπ).

4.1.1.2.3 ΤΕΚΤΟΝΙΚΟ ΚΑΛΥΜΜΑ ΖΩΝΗΣ ΤΡΙΠΟΛΗΣ

Το τεκτονικό κάλυμμα της ζώνης Τρίπολης συναντάται επωθημένο είτε απευθείας πάνω στους Πλακώδεις ασβεστολίθους της Ιονίου ζώνης, είτε και κυρίως πάνω σε υπολείμματα της φυλλιτικής – χαλαζιτικής σειράς με αποτέλεσμα να παρουσιάζει έντονο κερματισμό στη βάση του.

Περιλαμβάνει δε τους σχηματισμούς:

Φλύσχης (ft) (Ηώκαινο - Ολιγόκαινο)

Εναλλαγές αργιλικών σχιστολίθων και ψαμμιτών με μικρές ενστρώσεις τεφρών ασβεστολιθικών τουρβιδιτών και παρεμβολές ανθρακικών κυρίως ολισθολίθων. Το πάχος του φτάνει κατά θέσεις τα 100 μ.

Ανθρακικά Τρίπολης (Τριαδικό - Ηώκαινο)

Τα κατώτερα μέλη των ανθρακικών σχηματισμών (Μ. Τριαδικό – Αν. Ιουρασικό) αποτελούνται από δολομίτες τεφρούς μέχρι τεφρόλευκους, παχυστρωματώδεις μέχρι άστρωτους, έντονα τεκτονισμένους και καρστικοποιημένους. Προς τα πάνω εξελίσσονται σε δολομιτικούς ασβεστολίθους και στη συνέχεια σε ασβεστολίθους μεσοπαχυστρωματώδεις, τεφρόλευκους και κατά θέσεις μικρολατυποπαγείς.

Τα ανώτερα μέλη των ανθρακικών σχηματισμών (Κρητιδικό – Ηώκαινο) αποτελούνται από ασβεστολίθους μέσο έως παχυστρωματώδεις, κατά θέσεις άστρωτους, τεφρόμαυρους. Είναι ανακρυσταλλωμένοι με μικροσυγκεντρώσεις υδροξειδίων του σιδήρου. Προς τα πάνω είναι δολομιτιωμένοι, μερικές φορές λατυποπαγείς και έντονα διερρηγμένοι.

Τα ανθρακικά πετρώματα της Τρίπολης παρουσιάζουν μεν μεγάλο πάχος, έχουν όμως εξαιτίας των επωθήσεων και των ρηγμάτων κατατμηθεί και συναντώνται πολλές φορές ως τεκτονικά ράκη πάνω στους υποκείμενους τεκτονικά σχηματισμούς. Εξαιτίας της θέσης τους ως υπερκείμενοι των

φυλλιτών και λεπτοπλακωδών ασβεστολίθων διαδραματίζουν ιδιαίτερο ρόλο στη διαμόρφωση των υδρογεωλογικών λεκανών της Κρήτης.

Ραβδούχα στρώματα (Τριαδικό)

Στη βάση των ανθρακικών σχηματισμών εμφανίζεται κατά θέσεις μια κλαστική αργιλοσχιστολιθική – ανθρακική σειρά, γνωστή ως σειρά Ραβδούχων. Συνίσταται από εναλλαγές ιλυολίθων, ψαμμιτών, σχιστής αργίλου και λεπτοστρωματωδών δολομιτών.

Πολλές φορές διαχωρισμός των στρωμάτων αυτών έναντι των υποκείμενων φυλλιτών – χαλαζιτών είναι δύσκολος.

4.1.1.2.4 ΤΕΚΤΟΝΙΚΟ ΚΑΛΥΜΜΑ ΖΩΝΗΣ ΠΙΝΔΟΥ

Το τεκτονικό κάλυμμα της Πίνδου συναντάται με μικρές γενικά ανθρακικές εμφανίσεις και μεγαλύτερα αναπτύγματα του φλύσχη. Η ενότητα της Πίνδου συναντάται κυρίως επωθημένη πάνω στην αντίστοιχη της Τρίπολης. Τοπικά δε συναντάται επωθημένη και πάνω στους φυλλίτες. Πιο συγκεκριμένα διακρίνονται:

Φλύσχης (fo) (Κ.Παλαιόκαινο - Ηώκαινο)

Φλύσχης αποτελούμενος από ψαμμίτες, ασβεστολιθικούς ψαμμίτες και ιλυόλιθους. Στη βάση του φλύσχη οι ψαμμίτες είναι αδρόκοκκοι με κατά θέσεις παρεμβολές αργιλικών σχιστολίθων. Συναντώνται συχνά ολισθόλιθοι κυρίως ασβεστολιθικής σύστασης αλλά συχνά και οφιολιθικής. Αναπτύσσεται σε μεγάλη έκταση κυρίως στις νότιες παρυφές του Ψηλορείτη.

Ασβεστόλιθοι (K.k) (Αν. Κρητιδικό - Ηώκαινο)

Ασβεστόλιθοι πλακώδεις, κυρίως μικριτικοί με κονδύλους και ενστρώσεις πυριτολίθων και λεπτές ενστρώσεις αργιλικών σχιστολίθων χρώματος ερυθρού και πράσινου. Κατά θέσεις μέσα σ' αυτούς συναντώνται στρώματα λατυποπαγών ασβεστολίθων. Τα ανώτερα μέλη είναι λευκότεφρα, ενώ τα κατώτερα το χρώμα γίνεται τεφρόμαυρο έως μαύρο και μεταπίπτουν σε παχυστρωματώδεις. Το πάχος τους φτάνει τα 100 m.

Στα ανώτερα τμήματα συναντώνται τα στρώματα μετάβασης προς το φλύσχη.

Στο ανατολικό τμήμα του νησιού οι Ηωκαινικοί ασβεστόλιθοι αναφέρονται και ως ασβεστόλιθοι Μαγκασά.

1ος Φλύσχης (K.ft) (Κρητιδικό)

Εναλλαγές λεπτών στρωμάτων από ερυθρές μάργες, κερατολίθους, μαργαϊκούς ασβεστολίθους και αργιλομαργαϊκούς σχιστολίθους. Κατά θέσεις είναι πράσινοι και ερυθροί αδρόκοκκοι ψαμμίτες που εναλλάσσονται με μικροκλαστικούς ασβεστολίθους.

Σχιστοκερατόλιθοι (Jo)(Ιουρασικό)

Πολύχρωμοι κερατόλιθοι - ασβεστόλιθοι. Εναλλαγές κυανών, πράσινων, καστανών, ερυθρών και μαύρων κερατολίθων. Κατά θέσεις συναντώνται λεπτές ενστρώσεις αργιλοπυριτικού υλικού και λεπτοστρωματώδεις έως παχυστρωματώδεις ασβεστόλιθοι που κατά θέσεις φέρουν κονδύλους κερατολίθων.

Ασβεστόλιθοι (Ts-Jo) (Τριαδικό – Σενώνιο)

Ασβεστόλιθοι πλακώδεις, πολύχρωμοι με ιάσπιδες, μεσόκοκκοι μαργαϊκοί κατά θεσεις λατυποπαγείς.

4.1.1.2.5 ΤΕΚΤΟΝΙΚΑ ΚΑΛΥΜΜΑΤΑ ΕΣΩΤΕΡΙΚΩΝ ΖΩΝΩΝ

Η ενότητα των οφιολίθων- κρυσταλλοσχιστωδών είναι ένα σύνθετο πολύμεικτο τεκτονικό κάλυμμα με μεγάλη ποικιλία λιθολογικών σχηματισμών διαφόρου ηλικίας. Στην ενότητα αυτή συμμετέχουν οφιόλιιθοι (σερπεντινίτες, βασάλτες, περιδοτίτες, γάβροι κ.α.), μεταμορφωμένα πετρώματα (γνεύσιοι, αμφιβολίτες), ανθρακικά πετρώματα ηλικίας Α. Τριαδικού έως Α. Κρητιδικού, φλυσχοειδή ιζήματα, γρανίτες κ.α. Στο σύνολο της ενότητας αυτής καταγράφονται διάφορες υποενότητες με χαρακτηριστικές ονομασίες όπως Άρβης, Μιαμού, Βάτου, Αστερουσίων, Οφιολιθικό κάλυμμα (βλέπε Εικόνα 4-1).

Παρακάτω περιγράφονται οι λιθολογικοί σχηματισμοί που συναντώνται σε κάθε μια υποενότητα:

ΤΕΚΤΟΝΙΚΟ ΟΦΙΟΛΙΘΙΚΟ ΚΑΛΥΜΜΑ

Περιλαμβάνει :

Οφιολίθους, σερπεντινίτες, περιδοτίτες, διαβάσες, διορίτες και αμφιβολίτες (ο).

Οφιολιθικό melange (me). Πολύμεικτος έντονα τεκτονισμένος σχηματισμός που περιλαμβάνει οφιολιθικά σώματα, μάρμαρα και γνευσιοσχιστόλιθους.

Εναλλαγές πολύχρωμων λεπτοστρωματωδών ασβεστολίθων, μαργών, πηλιτών και ψαμμιτών. (Α. Ιουρασικό - Κ. Κρητιδικό)

ΚΑΛΥΜΜΑ ΑΣΤΕΡΟΥΣΙΩΝ

Περιλαμβάνει κυρίως γνεύσιους, αμφιβολίτες, σχιστολίθους και χαλαζίτες. Συχνά στους σχηματισμούς αυτούς παρεμβάλλονται ενδιαστρώσεις μαρμάρων και σιπολινών. Απαντώνται επίσης κατά θέσεις μεμονωμένα μικρά τεκτονικά ράκη μαρμάρων.

ΚΑΛΥΜΜΑ ΒΑΤΟΥ

Περιλαμβάνει :

Οφιόλιθους (ο). (Α. Ιουρασικό - Κ. Κρητιδικό)

Σχιστολίθους Βάτου (J.fl). Εναλλαγές τεφρών μαργών και πάγκων ψαμμιτικών ασβεστολίθων (Ιουρασικό)

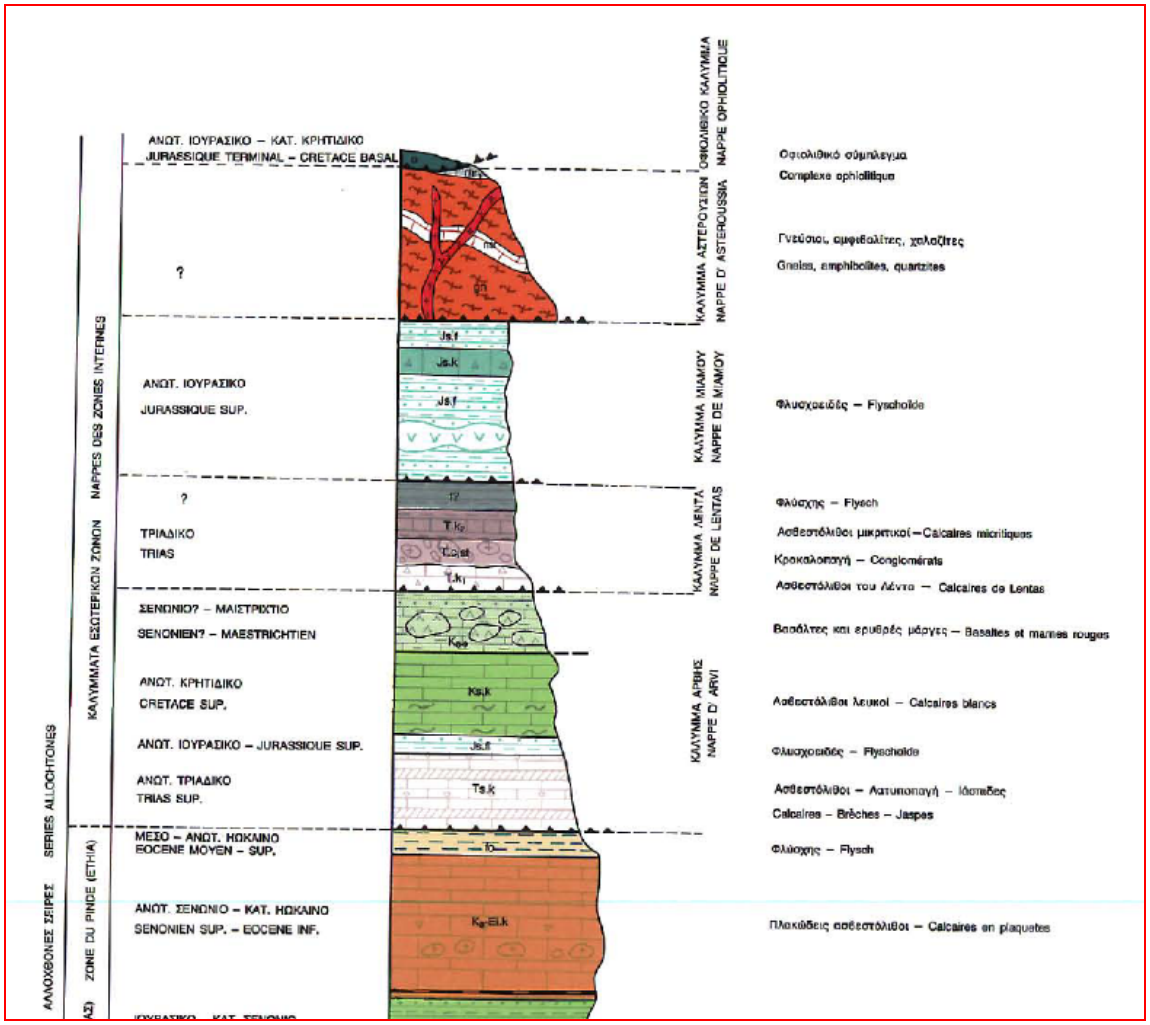
Μετα-ιζήματα (Ps.Js) που περιλαμβάνουν αμφιβολίτες, μικρολατυποπαγή, ραδιολαρίτες, ασβεστόλιθους και χαλαζίτες (Α.Πέρμιο - Ιουρασικό)

ΚΑΛΥΜΜΑ ΜΙΑΜΟΥ

Περιλαμβάνει :

Φλύσχη (Js.f) κυρίως ιλυολιθικός - ψαμμιτικός με ενστρώσεις λατυποπαγών ασβεστολίθων (Α. Ιουρασικό)

Λατυποπαγείς ασβεστολίθους (Js.br) σε ογκώδεις πάγκους σε ενστρώσεις εντός του φλύσχη (Α. Ιουρασικό)



Εικόνα 4-2 Τεκτονική στήλη εσωτερικών ζωνών (Φύλλο Αντισκάρι ΙΓΜΕ, 1985)

ΣΕΙΡΑ ΛΕΝΤΑ

Περιλαμβάνει :

Φλύσχη ψαμμιτοπηλιτικό (Js.f).

Ασβεστόλιθους μικριτικούς, κροκαλοπαγή και ψαμμίτες (T.k,c.st) (Τριαδικό)

ΚΑΛΥΜΜΑ ΑΡΒΗΣ

Περιλαμβάνει :

Ασβεστολίθους μαργαϊκούς και ιλυόλιθους με διαβάσες (Kk.pl). Στη βάση του σχηματισμού συναντώνται λευκοί ασβεστόλιθοι (Α. Κρητιδικό)

Φλυσχοειδή σειρά (Js.fl) που περιλαμβάνει ασβεστολιθικούς φακούς (Α. Ιουρασικό ;)

Μικριτικούς ασβεστολίθους και ενδοκλαστικά λατυποπαγή (T.k.br).

Γρανιτικές Διεισδύσεις (γ)

Περιλαμβάνει γρανίτες και γρανοδιορίτες που έχουν διεισδύσει τόσο σε γνευσίους του καλύμματος Αστερουσίων όσο και σε ανθρακικά της Τρίπολης βορείως της Ιεράπετρας.

4.1.1.3 ΝΕΟΓΕΝΕΙΣ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ

Κατά το κατώτερο Μειόκαινο μετά τις επωθήσεις των διαφόρων ενοτήτων πάνω στα πετρώματα της αυτόχθονης ενότητας δημιουργήθηκαν πεδία τάσεων τα οποία είχαν ως αποτέλεσμα τη δημιουργία μεγάλων ρηγμάτων με κύριες διευθύνσεις Β-Ν και Α-Δ. Με τον τρόπο αυτό δημιουργήθηκαν μεγάλα βυθίσματα στα οποία άρχισαν να αποτίθενται τα υλικά της διάβρωσης των αναδυθέντων πετρωμάτων. Οι κύριες μεγάλες νεογενείς λεκάνες ήταν του Ηρακλείου – Μεσαράς, της Ιεράπετρας – Καλού Χωριού, του βορείου τμήματος του ν. Ρεθύμνου και Χανίων, Σητείας και άλλες μικρότερες οι οποίες καταλαμβάνουν περίπου το 1/3 της έκτασης του νησιού.

Τα νεογενή ιζήματα (Πλειοκαινικά – Μειοκαινικά) αναπτύσσονται σε μεγάλες εκτάσεις στο σύνολο της Κρήτης. Επικάθονται ασύμφωνα στους αλπικούς σχηματισμούς. Αποτελούνται από ιζήματα χερσαίας, ποτάμιας, υφάλμυρης και θαλάσσιας φάσης. Παρουσιάζουν ανομοιομορφία τόσο ως προς την ηλικία τους όσο και ως προς τη λιθολογία τους. Βιβλιογραφικά ανάλογα κυρίως από τη θέση εμφάνισης τους έχουν δοθεί διαφορετικές ονοματολογίες των διαφόρων φάσεων τους (π.χ. σχηματισμοί Αγ. Βαρβάρας, Φοινικιάς κλπ). Η διάκριση που γίνεται εδώ σε διάφορες ενότητες στηρίζεται στους Benda et al. 1974, Meulenkamp et al. 1979, και το Φύλλο ΙΓΜΕ Επάνω Αρχάνες 1994 λαμβάνοντας υπόψη την ηλικία, τη λιθολογία των αποθέσεων και την ονοματολογία της κεντρικής Κρήτης (βλέπε Εικόνα 4-4).

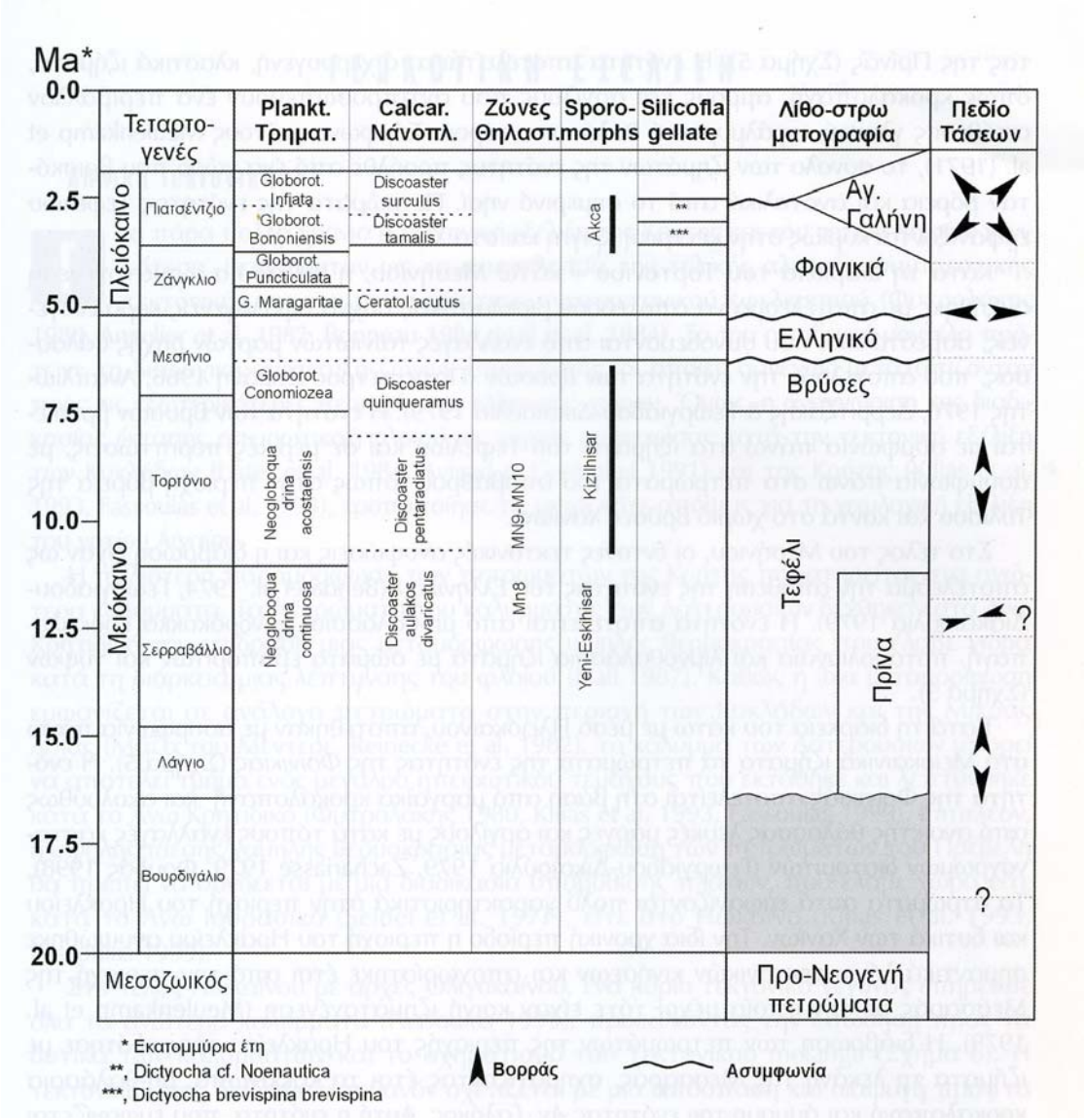
Πλειοκαινικές αποθέσεις

Σχηματισμός Φοινικιάς (Pl)

Αποτελούνται από κυρίως λευκές ανοικτόφαιες μάργες, με παρεμβολές αργίλων και άμμων, αργίλων, μαργαϊκούς ασβεστολίθους και κροκαλοπαγή. Συχνά απαντώνται διαστρώσεις από οργανογενείς ασβεστολίθους, αμμώδεις φακούς και διάσπαρτες προνεογενείς ανθρακικές κροκάλες. Η βάση του σχηματισμού τοπικά συνίσταται από ένα αδιαβάθμητο μαργαϊκό λατυποπαγές με συστατικά λευκών ομοιογενών μαργών, ασβεστολίθων , πρασινωπών αργίλων και προνεογενών πετρωμάτων.

Κατά θέσεις παρατηρείται επικράτηση των μαργών (m) (σχηματισμός Φοινικιάς, Μύρτου στην Αν. Κρήτη), των μαργαϊκών ασβεστολίθων (k), και

των κροκαλοπαγών (c). Στους ανωτέρω σχηματισμούς παρεμβάλλονται στρώματα γύψων ικανού πάχους.



Εικόνα 4-3 Τεκτονο- στρωματογραφικός πίνακας των νεογενών και Τεταρτογενών ιζημάτων της κεντρικής Κρήτης (Φασουλάς 2000)

Μειοκαινικές αποθέσεις

Σχηματισμός Αγ. Βαρβάρας (M-k, M-m)

Ανώτερο-Μειοκαινικοί, Ανώτερο-Τορτόνιοι-Μεσσήνιοι σχηματισμοί αποτελούμενοι από βιοκλαστικούς τοπικά κροκαλοπαγείς ή λατυποπαγείς ασβεστόλιθους, ολισθόλιθους μαργαϊκών ασβεστολίθων και εναλλαγές φυλλωδών - ασβεστιτικών μαργών η μαργαϊκών ασβεστολίθων με παρεμβολές γύψων. Στο ανώτερο τμήμα του σχηματισμού απαντούν ασβεστολιθικοί ψαμμίτες και κροκαλοπαγή.

Σχηματισμός Αμπελούζου

Τορτόνιοι σχηματισμοί αποτελούμενοι από ακανόνιστες εναλλαγές από θαλάσσια υφάλμυρα και ποτάμια κροκαλοπαγή, ψαμμίτες, ιλυόλιθες, τεφροκύανες μάργες, αργίλων και λιγνιτών.

Σχηματισμός Ηλία

Μέσο- ανώτερο Μειόκαινο. Λατυποπαγή και λατυποκροκαλοπαγή, αποτελούμενα κυρίως από λατύπες και κροκάλες. Σε μερικές θέσεις παρατηρείται σαφής στρώση που είναι αποτέλεσμα εναλλαγών αδρομερών και λεπτομερών οριζόντων είτε ασβεστολιθικών και ψαμμιτικών στρωμάτων. Τα λατυποπαγή συχνά συνοδεύονται από σκούρα σώματα προνεογενών ασβεστολίθων που είτε αποτελούν τμήμα του προνεογενούς υποβάθρου είτε απαντούν σαν αλλόχθονα στοιχεία μέσα στη νεογενή σειρά.

Σχηματισμός Σχοινιά

Ανώτερο-Σερραβάλιοι σχηματισμοί αποτελούμενοι από γενικά καλά στρωμένες σκούρες τεφρές ή πρασινοκύανες θαλάσσιες άργιλοι και ιλυώδης άργιλοι με παρεμβολές ψαμμιτών.

Σχηματισμός Βιάννου

Μέσο-Μειοκαινικοί σχηματισμοί αποτελούμενοι από ποταμολιμναίες σκούρες στρωματώδεις αργίλους και ιλυώδης αργίλους, τοπικά λιγνιτοφόρους, με ενδιαστρώσεις ασβεστολίθων και ψαμμιτών. Παρεμβολές πολύμικτων κροκαλοπαγών κυρίως στο κατώτερα τμήματα του σχηματισμού

Λατυποκροκαλοπαγή Τοπολίων (M.br) (Μειόκαινο)

Ισχυρά συγκολλημένες με ασβεστιτικό συνδετικό υλικό ανθρακικές κυρίως λατύπες προερχόμενες μόνο από τους σχηματισμούς των ζωνών Τρίπολης και Πίνδου,. Το πάχος τους φτάνει τα 350 m. Ο σχηματισμός αυτός τοποθετείται στο νότιο τμήμα ανάπτυξης της νεογενούς λεκάνης στην περιοχή Μηθύμνης νομού Χανίων και στα νότια τμήματα του νομού στην περιοχή Παλαιόχωρας - Στομίου.

4.1.1.4 ΠΛΕΙΟ- ΠΛΕΙΣΤΟΚΑΙΝΙΚΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ

Σχηματισμός Αγ. Γαλήνης (Pl-Pt)

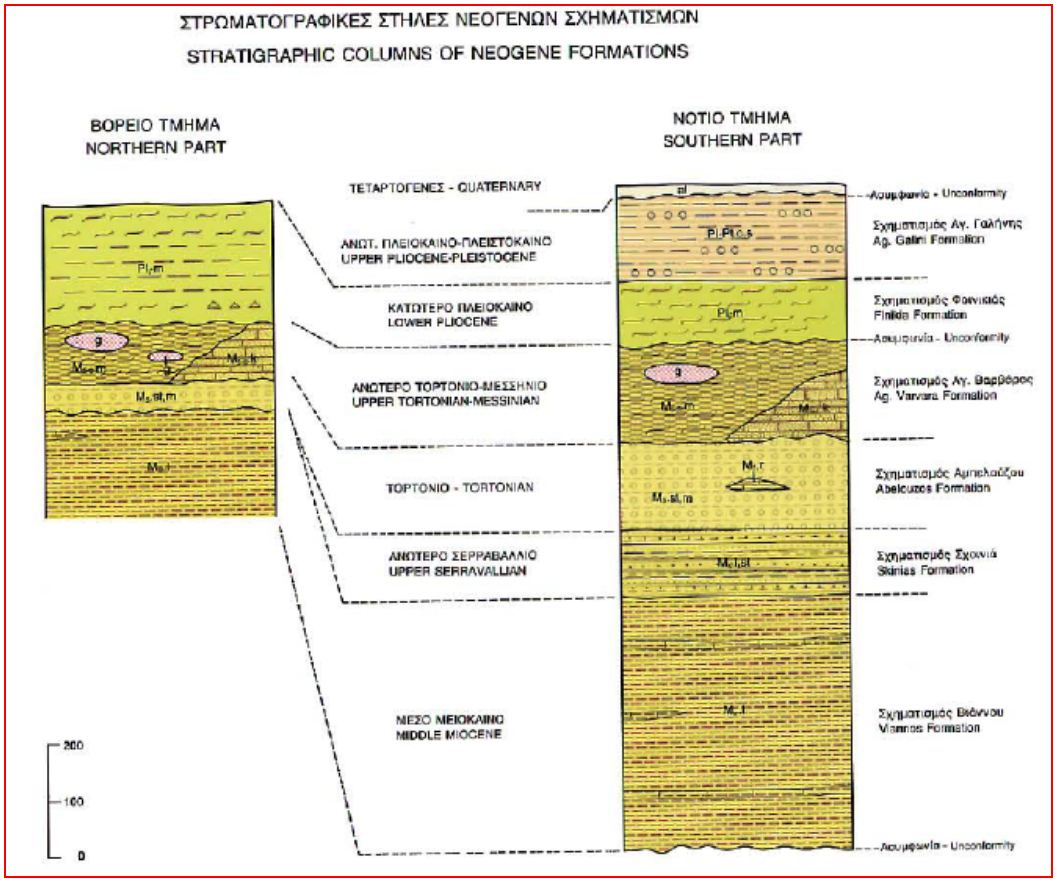
Αποτελούνται από ποτάμια και λιμναία ερυθρά κροκαλοπαγή, ερυθρές και κίτρινες άμμοι, αργίλους, με παρεμβολές λιμναίων μαργαϊκών ασβεστολίθων.

4.1.1.5 ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΙΣ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ

Τα τεταρτογενή ιζήματα είναι τοποθετημένα πάνω σε όλους τους σχηματισμούς τόσο του αλπικού υποβάθρου όσο και των νεογενών αποθέσεων και αποτελούνται από χερσαίες, θαλάσσιες έως λιμνοθαλάσσιες αποθέσεις, άμμων, κροκαλών, αργίλων και χαλίκων ασύνδετων έως ελαφρά συγκολλημένων.

Στα ιζήματα αυτά περιλαμβάνονται οι :

- *Παράκτιες αποθέσεις (cd)*
- *Αλλουβιακές αποθέσεις (al)* που συναντώνται στις παράκτιες πεδιάδες, σε μικρές εσωτερικές λεκάνες και στις κοίτες και τις εκβολές των χειμάρρων
- *Πλευρικά κορήματα και κώνοι κορημάτων (SC-CS)* που αναπτύσσονται στα πρανή των λόφων και των ορεινών όγκων.
- *Αποθέσεις ερυθρογής* (tr) κυρίως εντός των καρστικών εγκοίλων.
- *Υλικά ποτάμιων αναβαθμίδων (Pl.t)* που απαντώνται στην ευρύτερη κοίτη των χειμάρρων και στις εξόδους των φαραγγιών.
- *Χερσαία κοκκινωπά κροκαλοπαγή και άμμοι, εμφανίζονται κυρίως στις νότιες και βόρειες ακτές*
- *Υλικά θαλάσσιων αναβαθμίδων (Pl.tm)* σε διαφορετικά υψόμετρα.



Εικόνα 4-4 Στρωματογραφική στήλη νεογενών σχηματισμών (φύλλο Άνω Αρχάνες ΙΓΜΕ, 1994)

4.2 Γεωτεκτονική δομή της Κρήτης

Από γεωτεκτονική άποψη, η Κρήτη τοποθετείται αφενός μεν στο κέντρο του Ελληνικού Τόξου, αφετέρου δε στο νότιο κλάδο του Αλπικού ορογενούς και μάλιστα στη θέση εκείνη όπου ο ΒΒΔ-ΝΝΑ διεύθυνσης γενικός άξονας της πτύχωσης κάμπτεται προς Α - ΝΑ με συνέπεια η Κρήτη να αποτελεί τη γεωτεκτονική μετάβαση από τις Ελληνίδες στις Ταυρίδες Οροσειρές. Τα τεκτονικά γεγονότα που έλαβαν χώρα στην Κρήτη διακρίνονται στα γεγονότα του Αλπικού κύκλου και στα γεγονότα του μετα- αλπικού κύκλου.

Αλπική τεκτονική

Η γενική τεκτονική εξέλιξη της Κρήτης και του νοτίου Αιγαίου θεωρείται ως αποτέλεσμα της τελικής αλπικής, συμπιεστικής τεκτονικής και του μεταγενέστερου νεοτεκτονικού εφελκυσμού (Φυτρολάκης 1980, Anglier et al. 1982, Bonneau 1984). Πρόσφατες μελέτες τροποποίησαν το μοντέλο εξέλιξης της Κρήτης σε ότι αφορά την τεκτονική εξέλιξη από το Μειόκαινο και μετά θεωρώντας ότι η έκταση (εφελκυσμός) του φλοιού οδήγησε στην τεκτονική ανύψωση των υψηλής πιέσεων πετρωμάτων (Fassoulas et al 1994). Στην Εικόνα 4-5 απεικονίζεται η γεωλογική εξέλιξη της Κρήτης.

Η παλαιότερη παραμόρφωση των πετρωμάτων παρατηρείται στα ανώτερα καλύμματα (κάλυμμα Αστερουσίων). Τα πετρώματα των καλυμμάτων αυτών δέχθηκαν στο Άνω Κρητιδικό την επίδραση μιας μεταμόρφωσης υψηλής θερμοκρασίας που έλαβε χώρα κατά τη διάρκεια μιας λέπτυνσης του φλοιού (Φυτρολάκης 1980, Fassoulas 1999).

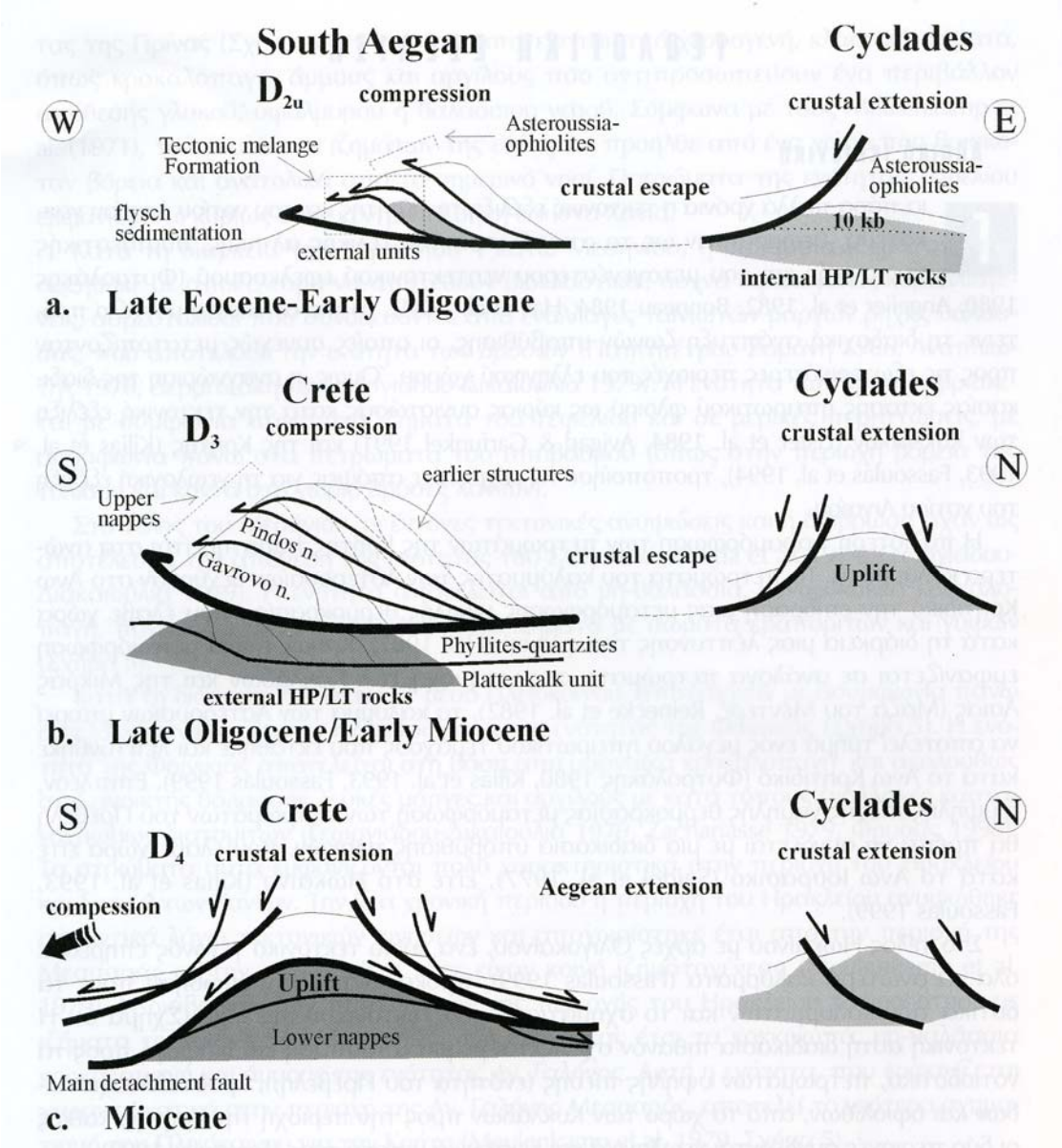
Στο τέλος του Ηωκαίνου με αρχές Ολιγοκαίνου, ένα κύριο τεκτονικό γεγονός επηρέασε όλα τα ανώτερα καλύμματα προκαλώντας την επώθηση προς τα δυτικά των καλυμμάτων και το σχηματισμό του τεκτονικού melage (Fassoulas 1999)

Στο άνω Ολιγόκαινο η φορά τοποθέτησης των καλυμμάτων στράφηκε προς τα νότια. Η τεκτονική του Ολικοκαίνου επηρέασε όλα τα καλύμματα της Κρήτης προκαλώντας υποβύθιση και μεταμόρφωση των κατωτέρω καλυμμάτων και την επανατοποθέτηση, με ανάστροφα ρήγματα, των ανώτερων καλυμμάτων.

Στην αρχή του Μειόκαινου, τα πετρώματα της Κρήτης, επηρεάσθηκαν από μια βορά – νότου ηπειρωτική έκταση (εφελκυσμός), η οποία δημιούργησε κανονικά ρήγματα απόσπασης και προκάλεσε την κατάρρευση του οικοδομήματος των καλυμμάτων της Κρήτης και το σχηματισμό των πρώτων συντεκτονικών λεκανών. Τα ρήγματα απόσπασης διευκόλυναν την απομάκρυνση τουλάχιστο 10 km φλοιού που βρισκόταν ανάμεσα στα ανώτερα και κατώτερα καλύμματα, προκαλώντας ταυτόχρονα και την τεκτονική ανύψωση (Fassoulas et al 1995). Η έκταση του Μειόκαινου οδήγησε στην επανατοποθέτηση όλων των καλυμμάτων της Κρήτης και την

απολέπτυνση όλων των πετρωμάτων που βρίσκονται πάνω από το κάλυμμα των πλακωδών ασβεστολίθων

Με βάση τις παρατηρήσεις στο αυτόχθονο σύστημα και στα καλύμματα αναφέρεται βιβλιογραφικά ότι αυτά έχουν υποστεί πέρα των Αλπικών πτυχώσεων και του Ερκύνιο κύκλο πτυχώσεων



Εικόνα 4-5 Η γεωλογική εξέλιξη της Κρήτης (Fassoulas 1999)

Μετα- αλπική τεκτονική

Κατά τη διάρκεια του νεογενούς η Κρήτη επηρεάστηκε κυρίως από εφελκυστική- εκτατική τεκτονική με πιθανά διαλλείματα συμπιεστικών φάσεων.

Πρόσφατες τεκτονικές μελέτες (Fassoulas 2001, Ten Veen et all 1999) έδειξαν ότι από το μέσο Μειόκαινο μέχρι σήμερα η τεκτονική εξέλιξη της Κρήτης ήταν αποτέλεσμα διαδοχικών εφελκυστικών περιόδων που δημιούργησαν τουλάχιστο τρεις γενεές ρηγμάτων (βλέπε Εικόνα 4-6 και Εικόνα 4-3).

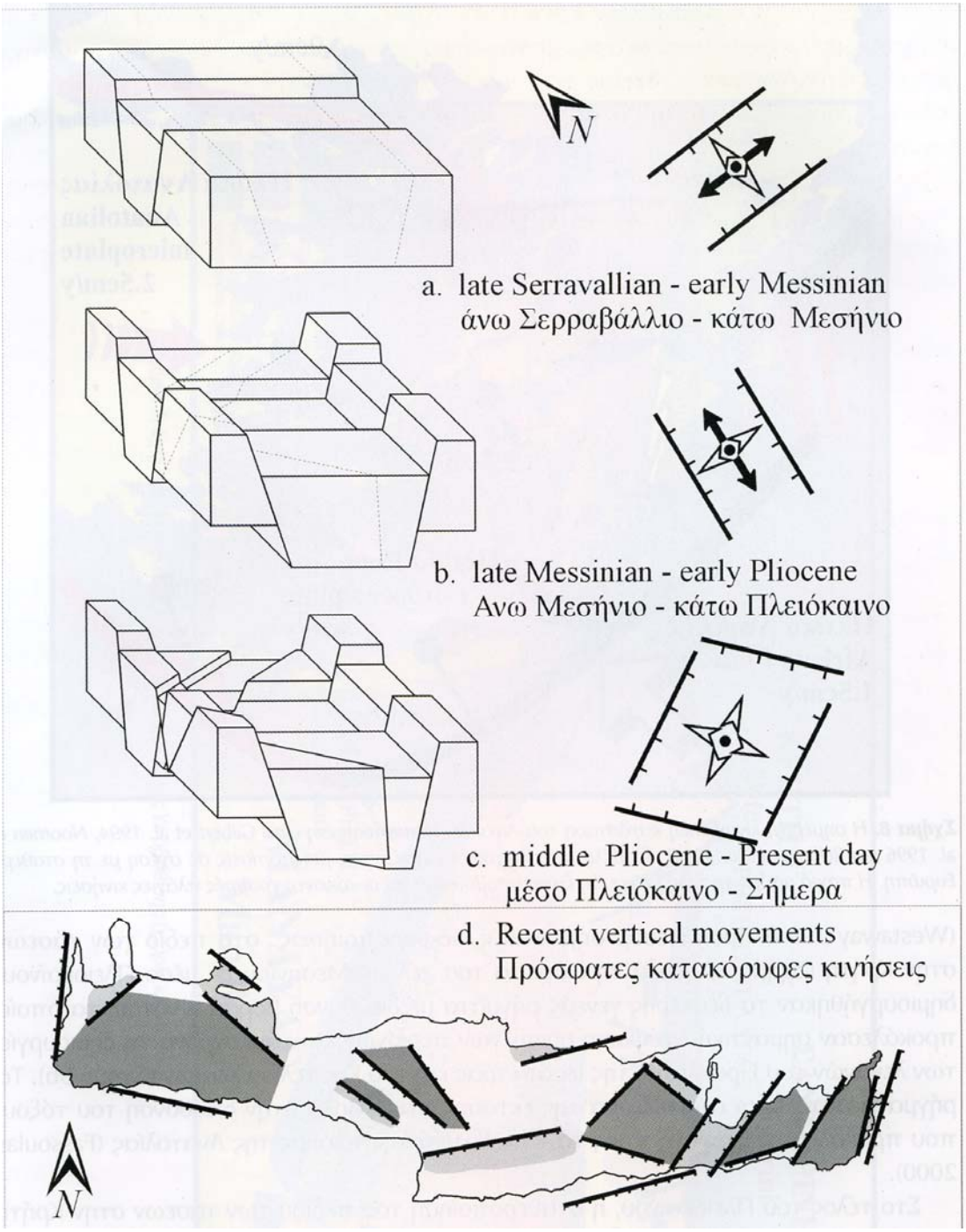
Η πρώτη γενεά αποτελείται από ρήγματα με διεύθυνση Α-Δ λόγω ενός βορά-νότου εφελκυστικού πεδίου τάσεων το οποίο δημιούργησε και τις πρώτες λεκάνες της Κρήτης στη διεύθυνση Α-Δ (Μέσο άνω Μειόκαινο- αρχές Μεσηνίου)

Η δεύτερη γενεά ρηγμάτων (τέλος Μεσηνίου – μέσο Πλειόκαινο) αποτελείται από ρήγματα διεύθυνσης Β-Ν, λόγω της διαφοροποίησης του πεδίου των τάσεων, τα οποία προκάλεσαν σημαντική ανύψωση ορισμένων περιοχών και ταυτόχρονα την δημιουργία των λεκανών του Ηρακλείου, της Ιεράπετρας και του Καστελίου Χανίων.

Η τρίτη γενεά ρηγμάτων (τέλος Πλειοκαίνου) αποτελείται από ρήγματα με διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ και ΒΔ-ΝΑ, η οποία προκλήθηκε μετά τη σταθεροποίηση των τάσεων στην Κρήτη και δημιούργησε το σημερινό ενεργό γεωδυναμικό καθεστώς.

Εξαιτίας των ρηγμάτων αυτών δημιουργήθηκαν μεγάλες ρηξιγενείς ζώνες και βυθίσματα (λεκάνες αύλακες) διαφόρων υψομέτρων στα οποία απετέθησαν τα μετέπειτα ιζήματα του νεογενούς των διαφόρων φάσεων και ταυτόχρονα συνεχίστηκε με μεγάλους ρυθμούς η τεκτονική ανύψωση ορισμένων περιοχών.

Το σημερινό ανάγλυφο της Κρήτης διαμορφώθηκε από τη δράση μεγάλης κλίμακας ρηγμάτων τρίτης γενεάς, ορισμένα από αυτά είναι ακόμα ενεργά.



Εικόνα 4-6 Η τεκτονική εξέλιξη της λεκάνης του Ηρακλείου (a. – c.) και οι πρόσφατες τεκτονικές κινήσεις του νησιού (d). Με ανοικτό γκρι οι καταβυθίσεις και με σκούρο γκρι οι ανυψώσεις (Φασουλάς 2000)

4.3 Γεωλογική δομή της περιοχής μελέτης

Η περιοχή μελέτης, η λεκάνη της Μεσαράς εκτείνεται κατά διεύθυνση Α-Δ και αποτελεί το νότιο τμήμα της λεκάνης του Ηρακλείου. Η λεκάνη αυτή αποτελεί μια τεκτονική τάφρο που ορίζεται από τις ρηξιγενείς ζώνες Μαλεβυζίου - Καμαρών – Γέργερης στα δυτικά από τα ρήγματα Καστελίου – Χερσονήσου-Ξενιάκου (ανατολικά) και των Αστερουσίων ορέων (νότια).

Αναλυτικότερα, η περιοχή μελέτης μπορεί να διακριθεί σε δυο επιμέρους τεκτονικές ενότητες. Στην πρώτη περιλαμβάνονται οι τεταρτογενείς και οι νεογενείς σχηματισμοί της λεκάνης της Μεσαράς και στη δεύτερη ενότητα τοποθετούνται οι προνεογενείς σχηματισμοί των οροσειρών του Ψηλορείτη, της Δίκτης και των Αστερουσίων ορέων, οι οποίες καταλαμβάνουν τα όρια της λεκάνης.

Η γεωλογική δομή των σχηματισμών της περιοχής μελέτης απεικονίζεται στο γεωλογικό χάρτη στην εικόνα Π4-1 (ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 4). Ο γεωλογικός χάρτης κατασκευάσθηκε με βάση τη γεωλογική χαρτογράφηση του ΙΓΜΕ κλίμακας 1:50000 των φύλλων Τυμπακίου, Άνω Αρχάνες, Αντισκαρίου, Αχεντριά και Μοχού.

Στη γεωλογική δομή της περιοχής μελέτης συμμετέχουν από τις νεότερες προς τις παλαιότερες οι παρακάτω στρωματογραφικές και τεκτονικές ενότητες σχηματισμών (η περιγραφή των σχηματισμών κάθε ενότητας δίνεται στην παράγραφο 4.1) :

Ολόκαινο

- αλλουβιακές αποθέσεις οι οποίες αποτελούν προϊόντα αποσάθρωσης και καλύπτουν μικρές εσωτερικές λεκάνες καθώς και τις κοίτες των υδρορεμάτων.
- Κώνοι κορημάτων και πλευρικά κορήματα που αναπτύσσονται κυρίως στις παρυφές των Αστερουσίων (μεγάλες εμφανίσεις στις περιοχές των χωριών Χάρακας, Ροτάσι, Μεσοχωριό και Γέργερης),

Πλειστόκαινο- Ολόκαινο

Κροκαλοπαγή ποταμολιμναίας προέλευσης, άμμοι, υλιόλιθοι και αργιλικά στρώματα αποτελούμενα κυρίως από μεταφερμένα υλικά του σχηματισμού Αγ. Γαλήνης. Καλύπτουν το κεντρικό πεδινό τμήμα της λεκάνης της Μεσαράς.

Ανώτερο Πλειόκαινο- Πλειστόκαινο

Σχηματισμός της «Αγ. Γαλήνης» με κύρια εμφάνιση στην περιοχή του Ασημίου- Καγκάλες- Αγ. Δέκα, και Μοίρες - Καλυβιανή .

Νεογενές

Κατώτερο πλειόκαινο, σχηματισμός της «Φοινικιάς» με μικρές εμφανίσεις σε μια επιμήκη ζώνη βόρεια του Ασημίου - Γκαγκαλών , ΒΑ των Μοιρών, ΒΑ της Φανερωμένης και ΝΑ των Βασιλικών Ανωγείων.

Ανώτερο Τορτόνιο – Μεσσήνιο, σχηματισμός της «Αγ. Βαρβάρας» με μεγάλες εμφανίσεις στη περιοχή Γαλιά- Μορόνι- Άνω Μούλια και με

μικρότερες εμφανίσεις στις περιοχές της Φαιστού, του Καστέλι και των Άνω Άκριων. Στη περιοχή βόρεια του Αμπελούζου και στη περιοχή Άνω Άκρια-Καστέλι έχουμε μικρές εμφανίσεις γύψων.

Τορτόνιο, σχηματισμός Αμπελούζου με μεγάλη ανάπτυξη στις περιοχές Ζαρός- Πανασός και Κάτω Μούλια- Καστέλι- Λιγόρτυνος.

Ανώτερο Σερβάλιο σχηματισμός Σκινιά με μικρές εμφανίσεις στην περιοχή του οικισμού Βοριά

Μέσο Μειόκαινο σχηματισμός Βιάννου που αναπτύσσεται στη περιοχή του Μεταξοχωρίου,

Προνεογενείς σχηματισμοί

στο νότιο τμήμα της λεκάνης της Μεσαράς, τα Αστερούσια όρη, συνίσταται από Μεσοζωικά πετρώματα με κυρίαρχους σχηματισμούς το φλύσχη και τα ανθρακικά της Ζώνης της Τρίπολης. Επίσης υπάρχουν μερικές επιφανειακές εμφανίσεις έντονα ρηγματωμένων, αλλά ελαφρώς καρστικοποιημένων, ασβεστολίθων της ζώνης Πίνδου. Στα μεγαλύτερα υψόμετρα απαντώνται πετρώματα των εσωτερικών ζωνών.

στο ΒΔ τμήμα της λεκάνης της Μεσαράς, τα όρη Ψηλορείτης, συνίστανται από μεσοζωικά πετρώματα της ενότητας της Τρίπολης (ασβεστόλιθοι, φλύσχης), πετρώματα της ενότητας Φυλλιτών – χαλαζιτών και πετρώματα του αυτόχθονου συστήματος (Ιονίου ζώνης) πλακώδης ασβεστόλιθοι και ασβεστιτικοί σχιστόλιθοι. Στα χαμηλότερα υψόμετρα απαντούν πλευρικά κορήματα (λατύπες)

Από υδρογεωλογική άποψη (βλέπε Κεφάλαιο 6) ενδιαφέρον εμφανίζουν οι πλειστοκαινικοί και οι αλλουβιακοί σχηματισμοί του κεντρικού πεδινού τμήματος της λεκάνης της Μεσαράς οι οποίοι είναι και ο κύριος υδροφορέας της περιοχής μελέτης. Θα πρέπει εδώ να αναφερθούν και οι ασθενείς καρστικοί υδροφορείς των Αστερουσίων ορέων και η απορροή της πηγής Γέργερης, του καρστικού συστήματος του Ψηλορείτη, που εμπλουτίζει τη λεκάνη της Μεσαράς. Λόγω της σημαντικότητας και της πολύπλοκης γεωλογικής δομής της περιοχής μελέτης κατασκευάσθηκαν οι γεωλογικές τομές του πεδινού τμήματος που δίνονται στο ΠΑΡΑΤΗΜΑ 5.

Οι γεωλογικές τομές του πεδινού τμήματος της λεκάνης Μεσαράς στηρίχθηκαν στα παρακάτω δεδομένα:

- Στοιχεία του FAO τα οποία είναι και τα πλέον αξιόπιστα παρότι συλλέχθηκαν τα έτη 1969-1972. Στις τομές, οι θέσεις των γεωτρήσεων του FAO, απεικονίζονται με την ίδια κωδικοποίηση (π.χ. Τ99 για τη λεκάνη Μοιρών, με Α45 για τη λεκάνη Βαγιονιάς - Χάρακα).
- Στοιχεία της μελέτης «Μελέτη διαχείρισης υδατικών πόρων του δήμου Κόφινα», Παρίτσης Σ, ΟΑΝΑΚ, 2000.
- Στοιχεία της μελέτης «Γεωηλεκτρική έρευνα ανατολικής Μεσαράς Νομού Ηρακλείου», Σοφού Φ, ΙΓΜΕ, 1994.
- Διαθέσιμες Γεωλογικές τομές (αριθμός της τάξης των 400)

- Στοιχεία που συλλέχθηκαν κατά τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας σε έργα κατασκευής υδρογεωτρήσεων στην περιοχή μελέτης.

Συνολικά κατασκευάσθηκαν 8 γεωλογικές τομές στο πεδινό τμήμα, μία κατά την διεύθυνση ανατολή- δύση και 7 εγκάρσιες σε αυτή (γενική διεύθυνση βορρά – νότο) 4 στη λεκάνη Μοιρών και από μία στις λεκάνες Βαγιωνιάς, Ασημίου, και Χάρακα, οι οποίες συζητούνται στις επόμενους παραγράφους.

4.1.2 *Γεωλογική τομή πεδινού τμήματος Φαιστός- Χάρακας (Α– Δ)*

Η γεωλογική τομή με γενική διεύθυνση ανατολή - δύση δίνεται στην

Εικόνα 4-8 η οποία ακολουθεί την κατεύθυνση των κύριων υδρορευμάτων Γεροποτάμου και Αναποδάρη (βλέπε γεωλογικό χάρτη της Εικόνα 4-7 του ίδιου παραρτήματος τομή Νο1). Από τη γεωλογική τομή και τη γεωτεκτονική εξέλιξη της κεντρικής Κρήτης (βλέπε κεφάλαιο 4.2) συνάγεται ότι η λεκάνη είναι μία σύνθετη αλληλουχία από ρηξιτεμάχη (blockfaults) του Νεογενούς – Μεσοζωϊκού υποβάθρου. Στα ρηξιτεμάχη αυτά δόθηκαν οι ονομασίες, λεκάνη: Τυμπακίου, Μοιρών, Βαγιονιάς, Ασημίου, Χάρακα και Σκινιά. Παρατηρούμε μια βύθιση από το ρηξιτέμαχος (πιθανά να είναι δύο ρηξιτεμάχη) της λεκάνης της Βαγιονιάς που βαθμιαία αυξάνει προς τα δυτικά και τα ανατολικά στις λεκάνες Μοιρών και Ασημίου- Χάρακα αντίστοιχα. Προς τα δυτικά η ανύψωση του υβώματος της Φαιστού απομονώνει την αλλουβιακή- πλειο-πλειστοκαινική λεκάνη της Μεσαράς από την παράκτια λεκάνη του Τυμπακίου. Η μόνη υδραυλική επικοινωνία τους, η οποία γίνεται διαμέσου των αλλουβιακών και πλειστοκαινικών σχηματισμών, είναι στο στένεμα της Φαιστού. Ανάλογα προ τα δυτικά η ανύψωση του προνεογενούς (φλύσχης) και νεογενούς υποβάθρου της λεκάνης του Σκινιά σχηματίζει την αλλουβιακή-πλειστοκαινική λεκάνη του Ασημίου – Χάρακα. Στις εικόνες Π4-8 και Π4-9 δίνονται οι γεωλογικές τομές της λεκάνης των Μοιρών και του Χάρακα αντίστοιχα οι οποίες είναι μεγέθυνση της τομής Π4-7.

Λιθοστρωματογραφικά οι αλλουβιακές αποθέσεις χαρακτηρίζονται από μεγάλη ανομοιογένεια με εναλλαγές τόσο οριζόντια όσο και κάθετα, ιλυωδών και αμμωδών – κροκαλοπαγών στρωμάτων. Οι τομές γεωτρήσεων και γεωφυσικές διασκοπήσεις κατέδειξαν ότι το πάχος των αλλουβιακών σχηματισμών κυμαίνεται μεταξύ 20 m λεκάνη Βαγιονιάς και 75 m στο κέντρο των λεκανών Μοιρών και Χάρακα.

Θα πρέπει όμως να σημειωθεί ότι λόγω απουσίας απολιθωμάτων έχει αποδειχτεί εξαιρετικά δύσκολη έως αδύνατη η στρωματογραφική διάκριση (όριο) των επί μέρους Αλλουβιακών και Πλειστοκαινικών σχηματισμών στους πυρήνες των γεωτρήσεων. Δεδομένης της δυσκολίας αυτής υπάρχει σημαντική σύγχυση στον στρωματογραφικό χαρακτηρισμό των εμφανίσεων των αποθέσεων αυτών με αποτέλεσμα τη δυσκολία καταγραφής του ορίου μετάβασης από τους αλλουβιακούς στους πλειστοκαινικούς σχηματισμούς και κατά επέκταση του υπολογισμού του πάχους των. Η ζώνη αυτή περιγράφεται στη τομή με ερωτηματικό (πλειστόκαινο?). Μικρότερη γενικά δυσκολία εμφανίζει η στρωματογραφική διάκριση μεταξύ των πλειστοκαινικών και νεογενών σχηματισμών.

4.1.3 *Γεωλογική τομή Φαιστού (ΒΒΑ-ΝΝΔ)*

Στην Εικόνα 4-11 δίνεται η γεωλογική τομή στο ύβωμα της Φαιστού με κατεύθυνση (ΒΒΑ-ΝΝΔ). Στην τομή παρατηρούμε ότι απουσιάζουν οι πλειστοκαινικοί σχηματισμοί. Το αλλούβιο καταλαμβάνει μια ζώνη πάχους περίπου 60 m (-31 έως +29 υψόμετρο πάνω από τη θάλασσα) και πλάτους περίπου 250 m.

4.1.4 *Γεωλογική τομή Πετροκεφάλι - Καλυβιανή (Β-Ν)*

Στην Εικόνα 4-12 δίνεται η γεωλογική τομή Πετροκεφάλι - Καλυβιανή στη λεκάνη των Μοιρών με κατεύθυνση (Β-Ν). Το ρηξιτέμαχος της λεκάνης των Μοιρών οριοθετείτε από δύο ρήγματα διεύθυνσης ΔΝΔ-ΑΒΑ και ΔΒΔ-ΑΝΑ όπου έχουν βυθίσει το κεντρικό τμήμα. Νότια απαντά ο σχηματισμός του Φλύσχη και βόρεια οι νεογενείς σχηματισμοί οι οποίοι αποτελούν το όριο της λεκάνης. Το αλλούβιο καταλαμβάνει μια ζώνη πάχους περίπου 70 m (-25 έως +50 υψόμετρο από τη θάλασσα (υ.θ)) και πλάτους περίπου 1,5 Km. Οι πλειστοκαινικοί σχηματισμοί εκτιμώνται (λόγω έλλειψης γεωτρητικών δεδομένων σε αυτό το βάθος) ότι ευρίσκονται στο βάθος από – 75 m έως -25 m (υ.θ) και καταλαμβάνουν πλάτος περίπου 2,7 Km.

4.1.5 *Γεωλογική τομή Πέρι - Καστέλι (ΒΒΑ-ΝΝΔ)*

Στην Εικόνα 4-14 δίνεται η γεωλογική τομή Πέρι– Καστέλι, η 3η στη λεκάνη των Μοιρών, με κατεύθυνση (ΒΒΑ-ΝΝΔ). Το ρηξιτέμαχος της λεκάνης των Μοιρών οριοθετείτε εδώ από τρία ρήγματα στους νεογενείς – προνεογενούς σχηματισμούς διεύθυνσης ΔΝΔ-ΑΒΑ και ΔΒΔ-ΑΝΑ τα οποία έχουν βυθίσει το κεντρικό τμήμα του. Νότια απαντά ο σχηματισμός του Φλύσχη και βόρεια οι νεογενείς σχηματισμοί που αποτελούν τα όρια της λεκάνης. Το τρίτο ρήγμα που βρίσκεται νότια και πλησίον του Γεροποτάμου έχει βυθίσει ακόμα περισσότερο το βόρειο τμήμα της λεκάνης Μοιρών. Το πάχος του αλλούβιου ποικίλει με μέγιστο πάχος στην περιοχή του Γεροποτάμου περίπου 70 m (+5 έως +75 υ.θ) και πλάτους περίπου 1,5 Km.
Το πάχος των πλειστοκαινικών σχηματισμών ποικίλει, στο νότιο τμήμα ευρίσκεται στο βάθος των +4 m (υ.θ.) και έχουν πλάτος περίπου 0,8 Km ενώ στο βόρειο τμήμα ευρίσκεται στο βάθος -50 (υ.θ.) και έχουν πλάτος περίπου 1,45 Km.

4.1.6 *Γεωλογική τομή Πλώρα – Χουστουλιανά- Γόρτυς (ΒΒΑ-ΝΝΔ)*

Στην Εικόνα 4-15 δίνεται η γεωλογική τομή Πλώρα – Χουστουλιανά- Γόρτυς, η 4η που κατασκευάσθηκε στη λεκάνη των Μοιρών, με διεύθυνση (ΒΒΑ-ΝΝΔ). Η επιφανειακή εξάπλωση των αλλουβιακών σχηματισμών είναι η μεγαλύτερη που απαντάται στη λεκάνη της Μεσαράς και περιλαμβάνει τον κατάντη ρου του Ληθαίου πριν ενωθεί με το Γεροπόταμο καθώς και το τμήμα της λεκάνης που οριοθετείται από τους οικισμούς Πέρι, Πλατάνος, Απεσωκάρι και Πλώρα. Τα δεδομένα των λιθολογικών τομών των γεωτρήσεων δείχνουν ότι και κατά

τη διεύθυνση Β-Ν η περιοχή δομείται από διάφορα ρηξιτεμάχη τα οποία εμφανίζουν μια βαθμιαία βύθιση προς το κέντρο της λεκάνης. Νότια και βόρεια απαντά ο σχηματισμός του Φλύσχη. Το πάχος του αλλούβιου ποικίλει με μέγιστο πάχος, στην περιοχή του Γεροποτάμου- Λιθαίου, περίπου 60 m (+55 το κατώτερο υψόμετρο από τη θάλασσα) και πλάτους περίπου 6,5 Km.
Το πάχος των πλειστοκαινικών σχηματισμών ποικίλει και στο βόρειο τμήμα είναι μεγαλύτερο από ότι στο νότιο.

4.1.7 *Γεωλογική τομή Βασιλική- Βαγιονιά- Γκαγκάλες (Β-Ν) λεκάνης Βαγιονιάς*

Στην Εικόνα 4-16 δίνεται η γεωλογική τομή Βασιλική- Βαγιονιά- Γκαγκάλες, της λεκάνης της Βαγιονιάς, με κατεύθυνση (Β-Ν). Τα δεδομένα των λιθολογικών τομών των γεωτρήσεων δείχνουν ότι η λεκάνη της Βαγιονιάς, κατά τη διεύθυνση Β-Ν, δομείται από διάφορα ρηξιτεμάχη τα οποία εμφανίζουν μια βαθμιαία βύθιση προς το βόρειο τμήμα της λεκάνης. Νότια απαντά ο σχηματισμός του Φλύσχη ενώ βόρεια οι νεογενείς σχηματισμοί (Πλειόκαινο) που αποτελούν τα όρια της λεκάνης. Η επιφανειακή εξάπλωση των αλλουβιακών σχηματισμών είναι πολύ μικρή συγκριτικά με τη λεκάνη των Μοιρών και του Χάρακα και οριοθετείτε στο ρηξιτέμαχος νότια του Γεροποτάμου. Επίσης και το πάχος των αλλουβιακών είναι μικρό, της τάξης των 30 m - 50 m. Το πάχος των πλειστοκαινικών σχηματισμών στο ρηξιτέμαχος νότια του Γεροποτάμου είναι πολύ μικρό (10 m - 20 m) ενώ στο βόρειο ρηξιτέμαχος, όπου εμφανίζονται επιφανειακά, το πάχος τους είναι συγκριτικά μεγάλο της τάξης των 100 m - 170 m.

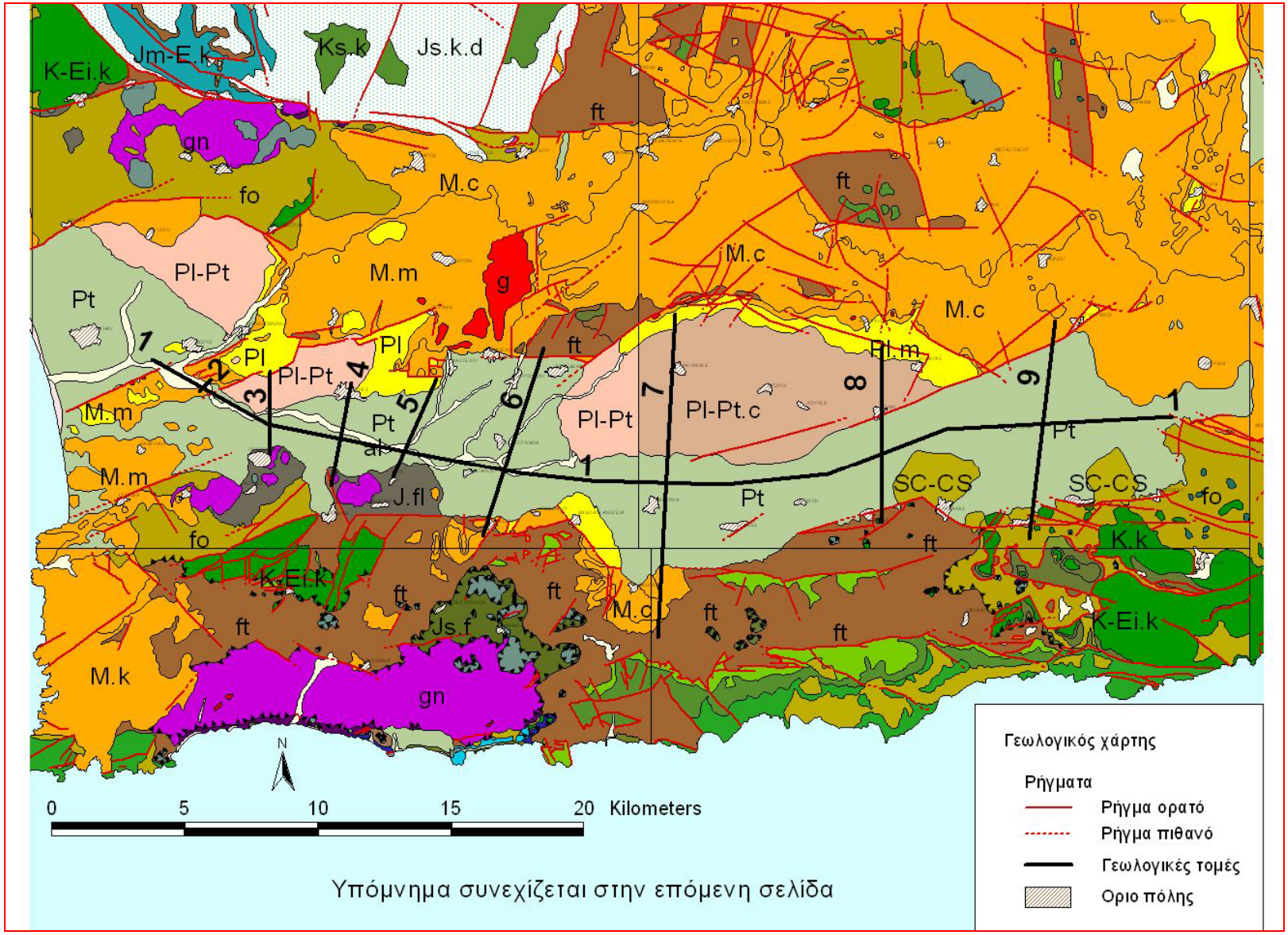
4.1.8 *Γεωλογική τομή Στέρνες – Ασήμι (Β-Ν) λεκάνης Ασημίου*

Στην Εικόνα 4-17 δίνεται η γεωλογική τομή Στέρνες – Ασήμι (Β-Ν) της λεκάνης Ασημίου, με κατεύθυνση Β-Ν. Η λεκάνη του Ασημίου, κατά τη διεύθυνση Β-Ν, δομείται από δύο ρηξιτεμάχη με μεγαλύτερη βύθιση το νότιο. Νότια απαντά ο σχηματισμός του Φλύσχη ενώ βόρεια οι νεογενείς σχηματισμοί (Πλειόκαινο) που αποτελούν τα όρια της λεκάνης. Η επιφανειακή εξάπλωση των αλλουβιακών σχηματισμών οριοθετείτε μόνο στο νότιο ρηξιτέμαχος και το πάχος τους είναι μικρό, της τάξης των 25 m - 40 m. Το πάχος των πλειστοκαινικών σχηματισμών και στα δύο ρηξιτεμάχη είναι μεγάλο της τάξης των 100 m.

4.1.9 *Γεωλογική τομή Πύργος – Πλακιώτισα (Β-Ν) λεκάνης Χάρακα*

Στην Εικόνα 4-18 δίνεται η γεωλογική τομή Πύργος – Πλακιώτισα της λεκάνης του Χάρακα με κατεύθυνση Β-Ν, η οποία είναι η κύρια υδρογεωλογική του Αναποδάρη. Η λεκάνη του Χάρακα, κατά τη διεύθυνση Β-Ν, δομείται από διαδοχικά ρηξιτεμάχη με βαθμιαία βύθιση. Νότια απαντά ο σχηματισμός του Φλύσχη ενώ βόρεια οι νεογενείς σχηματισμοί (Πλειόκαινο) που αποτελούν τα όρια της λεκάνης. Ο κύριος ρους του Αναποδάρη ταυτίζεται με ρήγμα γενικής

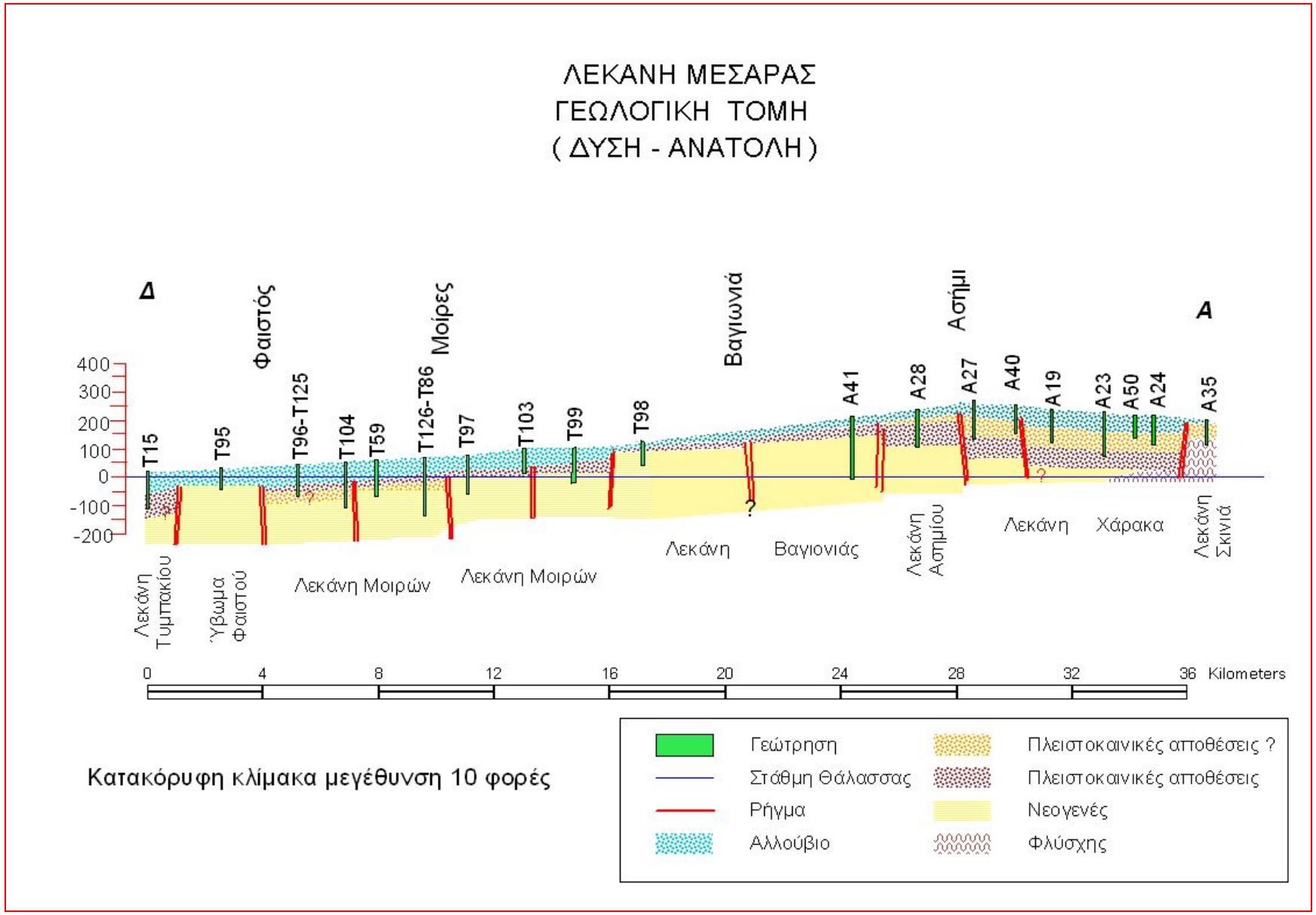
διεύθυνσης Α-Δ. Στα ρηξιτεμάχη νότια του Αναποδάρη υπάρχει μια αναθόλωση του προνεογενούς υποβάθρου και απουσιάζουν οι νεογενείς σχηματισμοί. Ο φλύσχης απαντάται στα βάθη +160 m και +45 m από τη στάθμη της θάλασσας. Οι υποκείμενοι του φλύσχη ασβεστόλιθοι ευρίσκονται σε βάθη από -50 m μέχρι -100 m. Βόρεια του Αναποδάρη οι νεογενείς σχηματισμοί έχουν μεγάλο πάχος, εκτιμώνται από γεωφυσικές διασκοπήσεις μεγαλύτερο των 500 m. Επιφανειακά οι αλλουβιακοί σχηματισμοί εκτείνονται σε όλη τη λεκάνη και έχουν πάχος από 35 m μέχρι 40 m. Το νότιο τμήμα του αλλούβιου συνίσταται από κώνους κορημάτων και πλευρικά κορήματα από λατύπες κυρίως ανθρακικής σύστασης ποικίλου μεγέθους αναμεμειγμένες με ερυθρογή, χαλαρές και κατά θέσεις ελαφρά συγκολλημένες. Το πάχος των πλειστοκαινικών σχηματισμών στο κεντρικό ρηξιτέμαχος είναι περίπου 130 m ενώ στα γειτονικά του ρηξιτεμάχη το πάχος τους είναι από 20 m μέχρι 30 m.



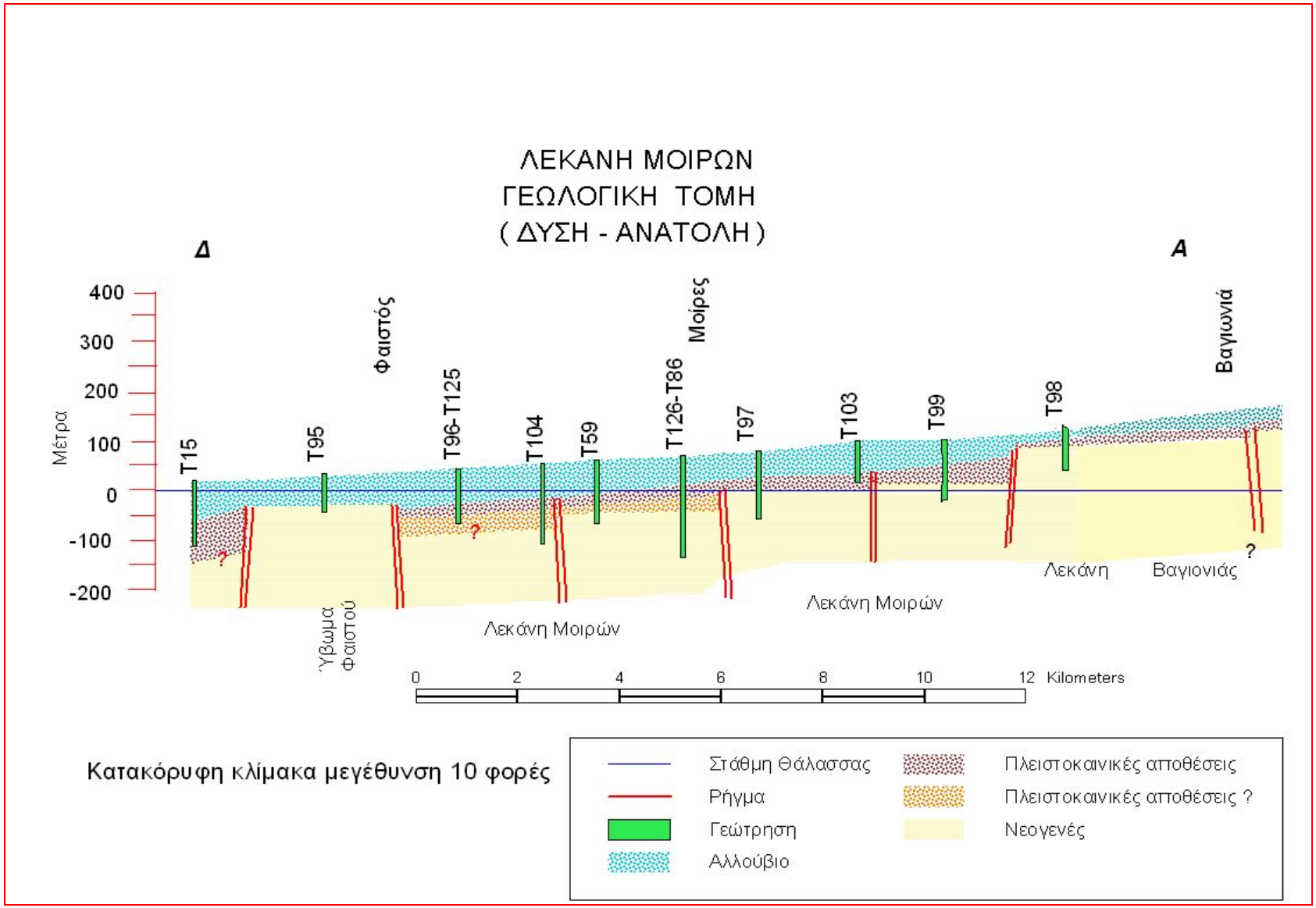
Εικόνα 4-7 : Γεωλογικός Χάρτης ευρύτερης περιοχής μελέτης

Απόσπασμα υπομνήματος γεωλογικού χάρτη	
	ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΣ
cd	Παράκτιες αποθέσεις.
al	Αλλουβιακές αποθέσεις.
SC-CS	Πλευρικά κορήματα και κώνοι κορημάτων.
Pt	Πλειστόκαινο αδιαίρετο (κροκαλολατυποπαγή, άμμοι, μάργες. ψαμμίτες, άργιλοι, βιοκλαστικοί ασβεστόλιθοι)
	ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΣ - ΝΕΟΓΕΝΕΣ
Pl-Pt	Κυρίως μάργες, αλλά και άμμοι, κροκαλοπαγή κλπ.
Pl-Pt.c	Σχηματισμός Αγ. Γαλήνης. Κροκαλοπαγή, άμμοι, ιλυόλιθοι, άργιλοι.
	ΝΕΟΓΕΝΕΣ
Pl	Πλειοκαινικές αποθέσεις. Κατά θέσεις επικράτηση των μαργών (m), των μαργαϊκών ασβεστολίθων (k) και των κροκαλοπαγών (c).
M	Μειοκαινικές αποθέσεις. Κατά θέσεις επικράτηση των μαργών (m), των μαργαϊκών ασβεστολίθων (k) και των κροκαλοπαγών (c).
M.br	Λατυποκροκαλοπαγή Τοπολίων (Μειόκαινο)
	ΑΛΠΙΚΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ
o	Οφιόλιθοι. Σερπεντινίτες, περιδοτίτες, διαβάσες, διορίτες και αμφιβολίτες.
gn	**ΚΑΛΥΜΜΑ ΑΣΤΕΡΟΥΣΙΩΝ** Γνεύσιοι αμφιβολίτες και χαλαζίτες με ενδιαστρώσεις μαρμάρων.
	ΤΕΚΤΟΝΙΚΟ ΚΑΛΥΜΜΑ ΖΩΝΗΣ ΠΙΝΔΟΥ
fo	Φλύσχης.
K-Ei.k	Ασβεστόλιθοι πλακώδεις, με κονδύλους και ενστρώσεις πυριτολίθων και λεπτές ενστρώσεις αργιλικών σχιστολίθων.
	ΤΕΚΤΟΝΙΚΟ ΚΑΛΥΜΜΑ ΖΩΝΗΣ ΤΡΙΠΟΛΗΣ
ft	Φλύσχης.
E.k, P-E.k, Ks-E.k, Ks.k, Js-K.k,d, Js.k, T-E.k,d, T-Js.k, T.d	Ασβεστόλιθοι (k) και δολομίτες (d).
T.sch	Ασβεστιτικοί μαρμαρυγιακοί σχιστόλιθοι σε εναλλαγές με λεπτοστρωματώδεις ασβεστόλιθους.
Ph	**ΤΕΚΤΟΝΙΚΟ ΚΑΛΥΜΜΑ ΦΥΛΛΙΤΩΝ – ΧΑΛΑΖΙΤΩΝ** Φυλλίτες, χαλαζίτες, σχιστόλιθοι.
Ts-Ji.mr,d	**ΤΕΚΤΟΝΙΚΟ ΚΑΛΥΜΜΑ ΟΜΑΛΟΥ – ΤΡΥΠΑΛΙΟΥ** Ανθρακικά Τρυπαλίου. Περιλαμβάνει ανακρυσταλλωμένους ασβεστόλιθους έως μάρμαρα, δολομίτες,
	ΑΥΤΟΧΘΟΝΗ ΣΕΙΡΑ - ΙΟΝΙΟΣ ΖΩΝΗ
E.fi	Ασβεστιτικοί σχιστόλιθοι με λεπτές ενδιαστρώσεις ψαμμιτών και κρυσταλλικών ασβεστολίθων.
Jm-E.k	Πλακώδεις ασβεστόλιθοι (Plattenkalk), ανακρυσταλλωμένοι, κατά θέσεις μάρμαρα.
J.sch	Σχιστόλιθοι, ανθρακικοί, χαλαζιακοί, αργιλικοί.
Ts-Ji.k,d	Ασβεστόλιθοι και δολομίτες με λεπτές φυλλιτικές διαστρώσεις και ορίζοντες συνεκτικών λατυποπαγών.
g	Γύψος.

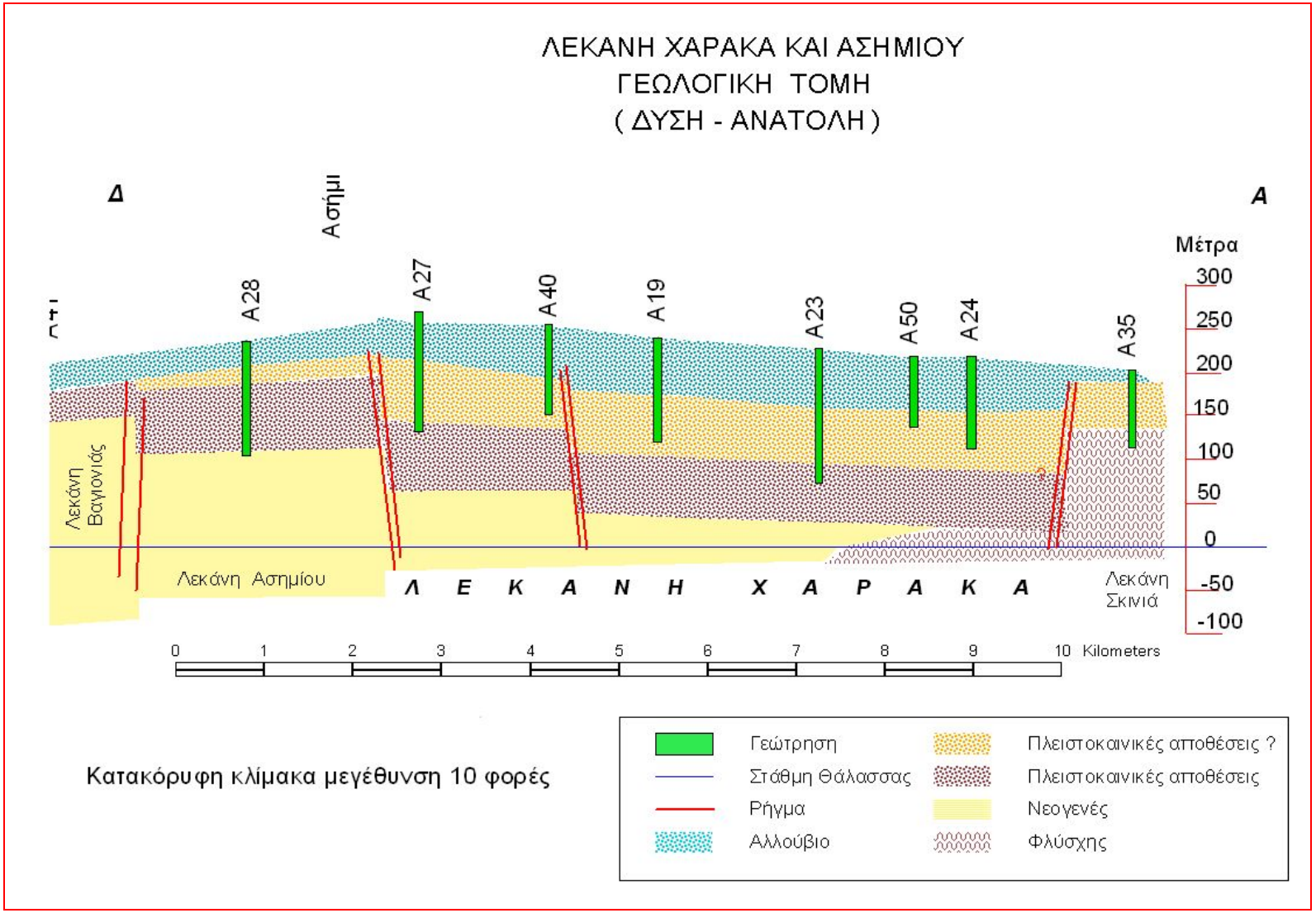
Γεωλογικές Τομές	
Νο 1 : Φαιστός_Βαγιονιά_Χάρακας (Α-Δ)	Νο 6 : Πλώρα-- Γόρτυς (ΒΒΑ-ΝΝΔ)
Νο 2 : Φαιστός (ΒΒΑ-ΝΝΔ)	Νο 7 : Βαγιονιά – Γκαγκάλες (Β-Ν)
Νο 3 : Πετροκεφάλι- Καλυβιανή (Β-Ν)	Νο 8 : Στέρνες – Ασήμι (Β-Ν)
Νο 4 : Πόμπια – Μοίρες (ΒΒΑ-ΝΝΔ)	Νο 9 : Πύργος – Πλακιώτισα (Β-Ν)
Νο 5 : Πέρι – Καστέλι (ΒΒΑ-ΝΝΔ)	



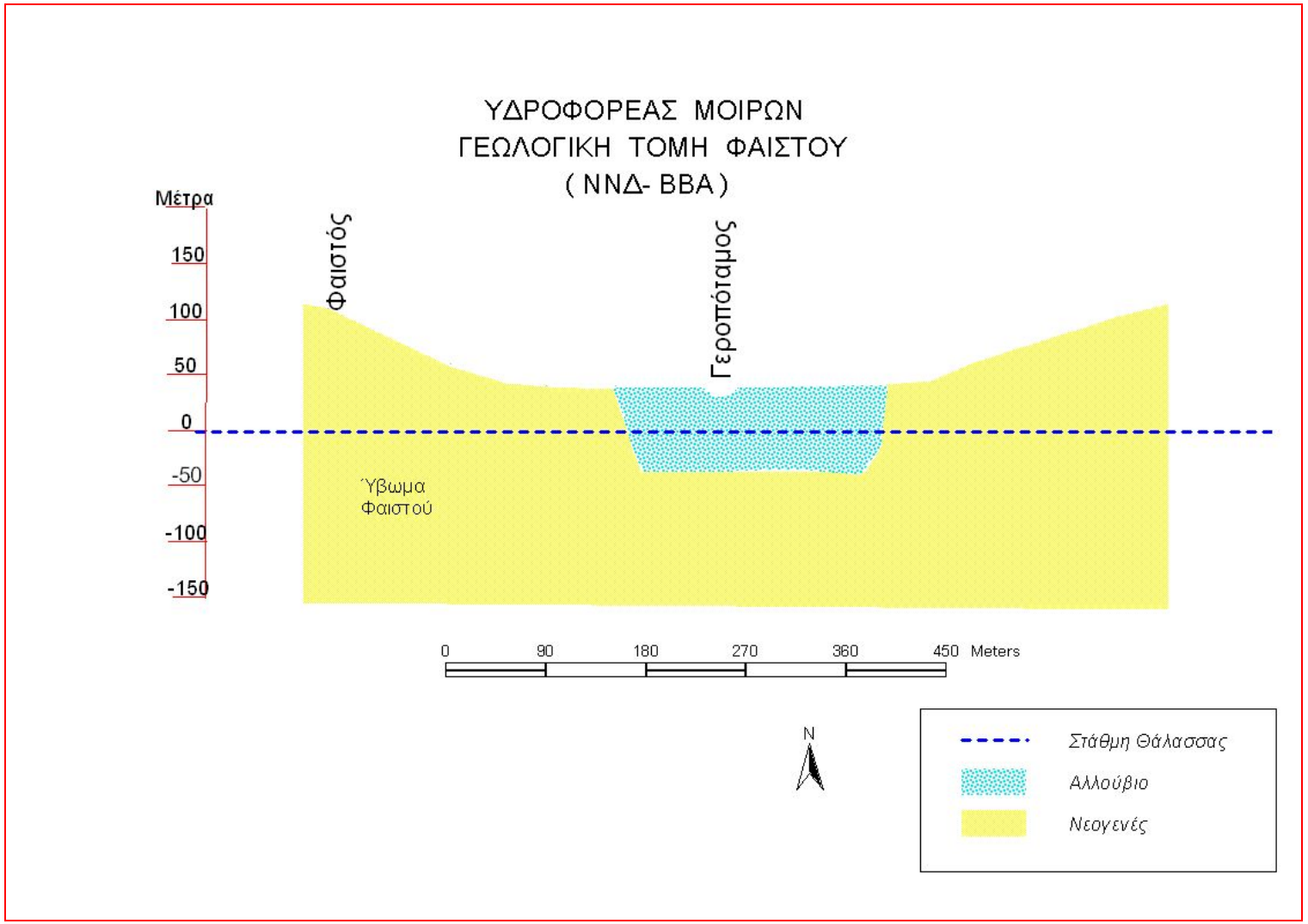
Εικόνα 4-8: Γεωλογική τομή Φαιστός- Χάρακας (Ανατολή – Δύση), η θέση της ενδείκνυται ως Νο 1 (χάρτης Π4-7)



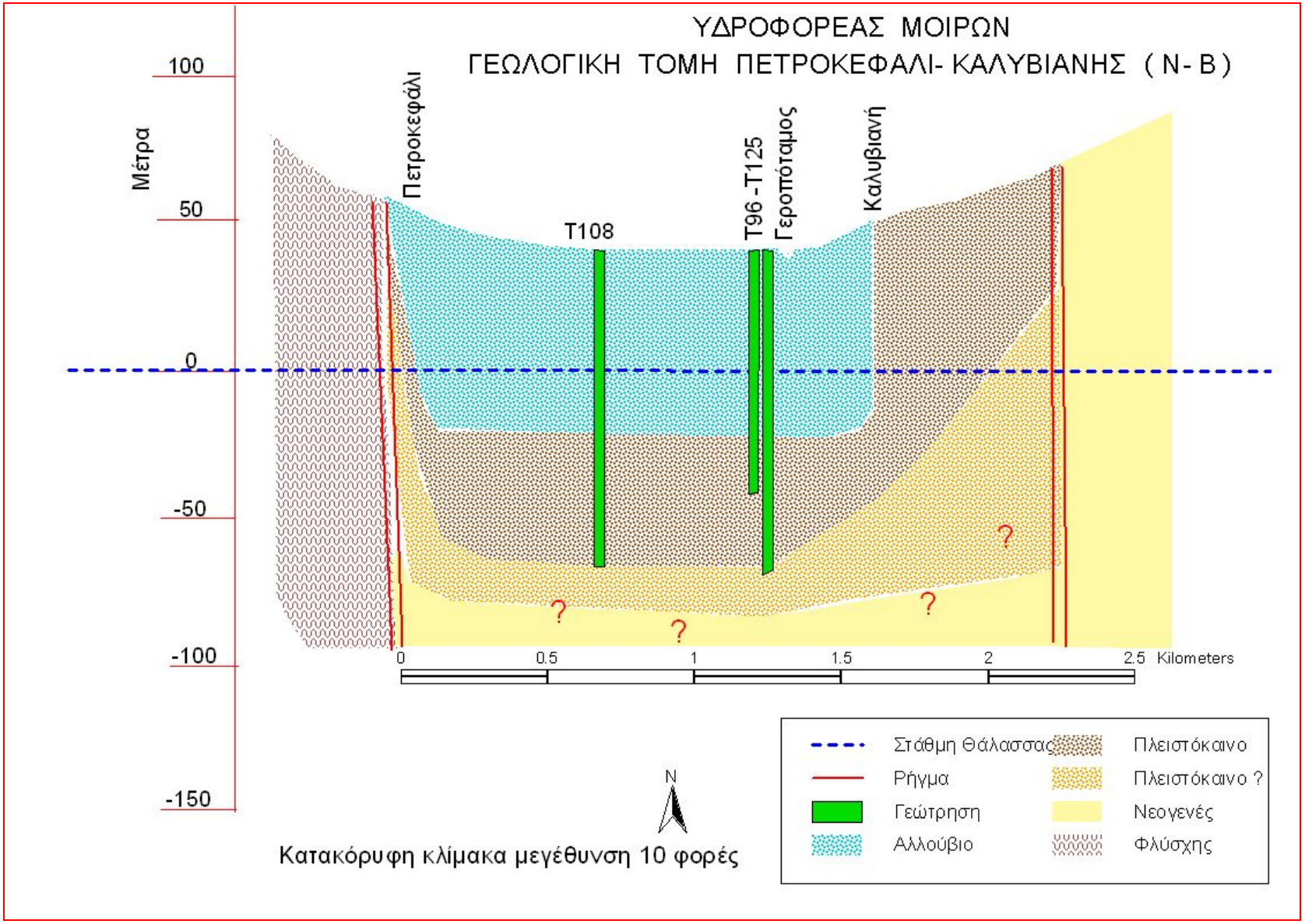
Εικόνα 4-9 : Γεωλογική τομή λεκάνης Μοιρών (Ανατολή – Δύση), μεγέθυνση τομής Π4-8



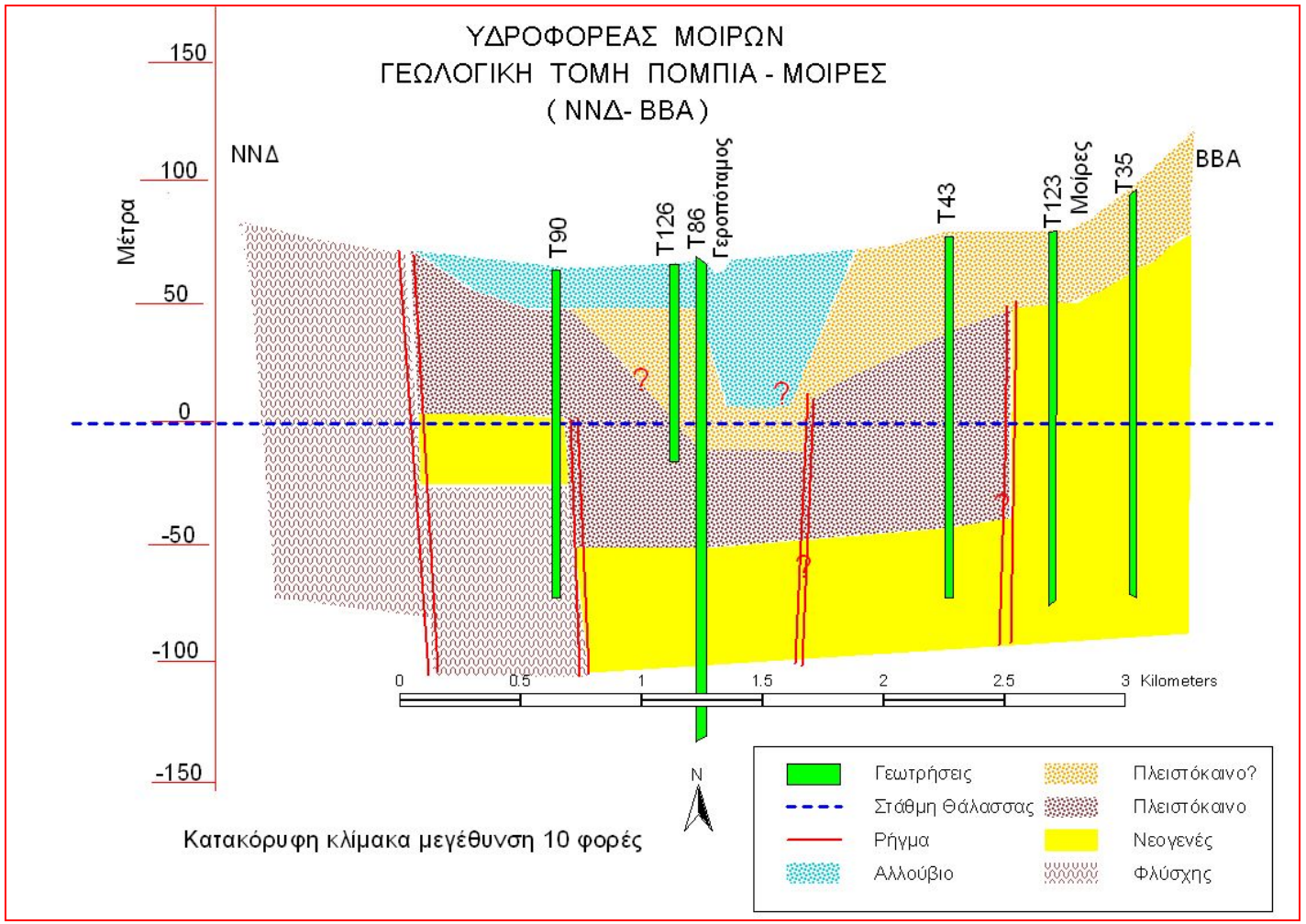
Εικόνα 4-10 : Γεωλογική τομή λεκανών Ασημίου - Χάρακα (Ανατολή – Δύση), μεγέθυνση τομής Π4-8



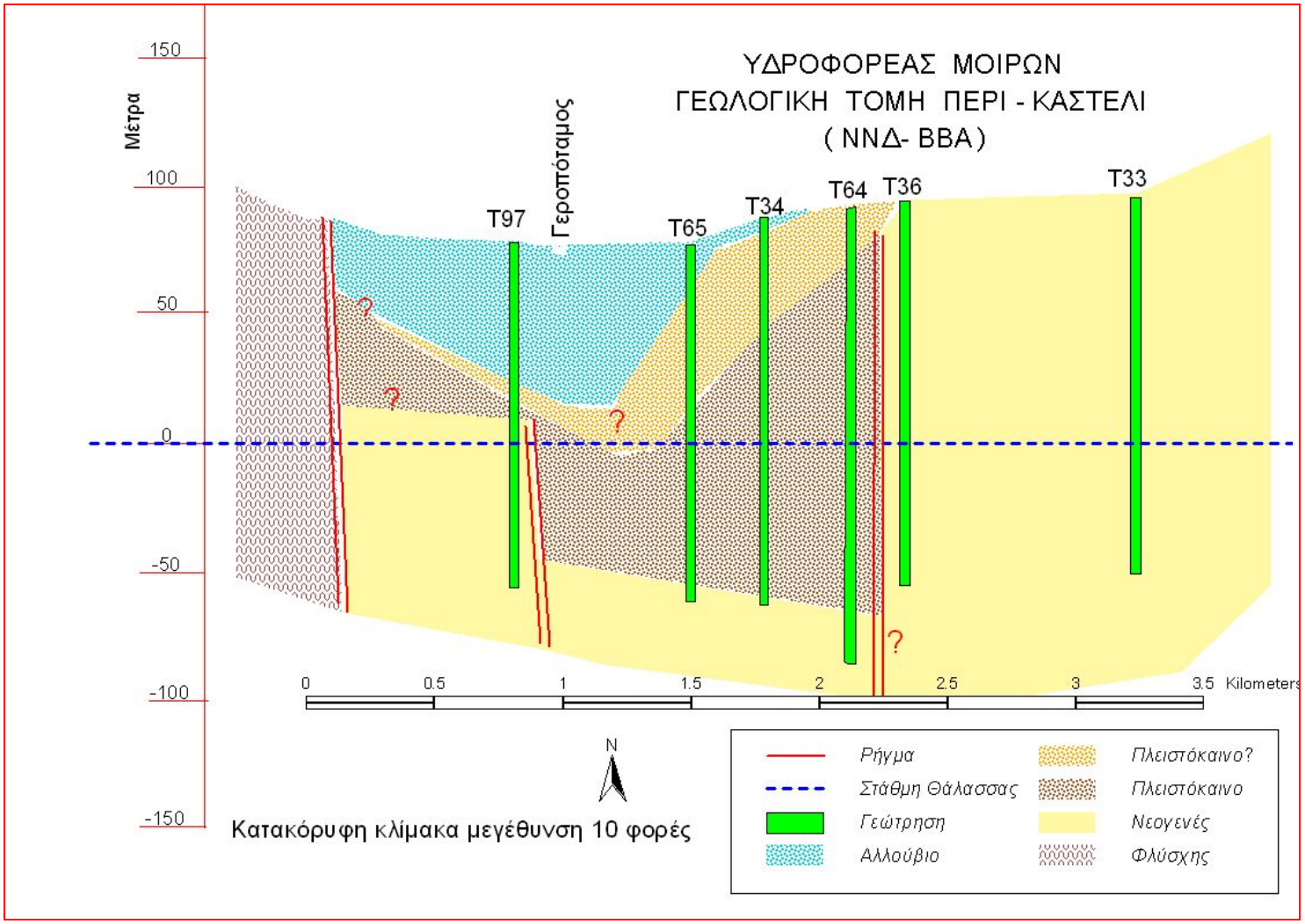
Εικόνα 4-11 : Γεωλογική τομή Φαιστός (ΒΒΑ-ΝΝΔ) , η θέση της ενδείκνυται ως Νο 2 (χάρτης Π4-7)



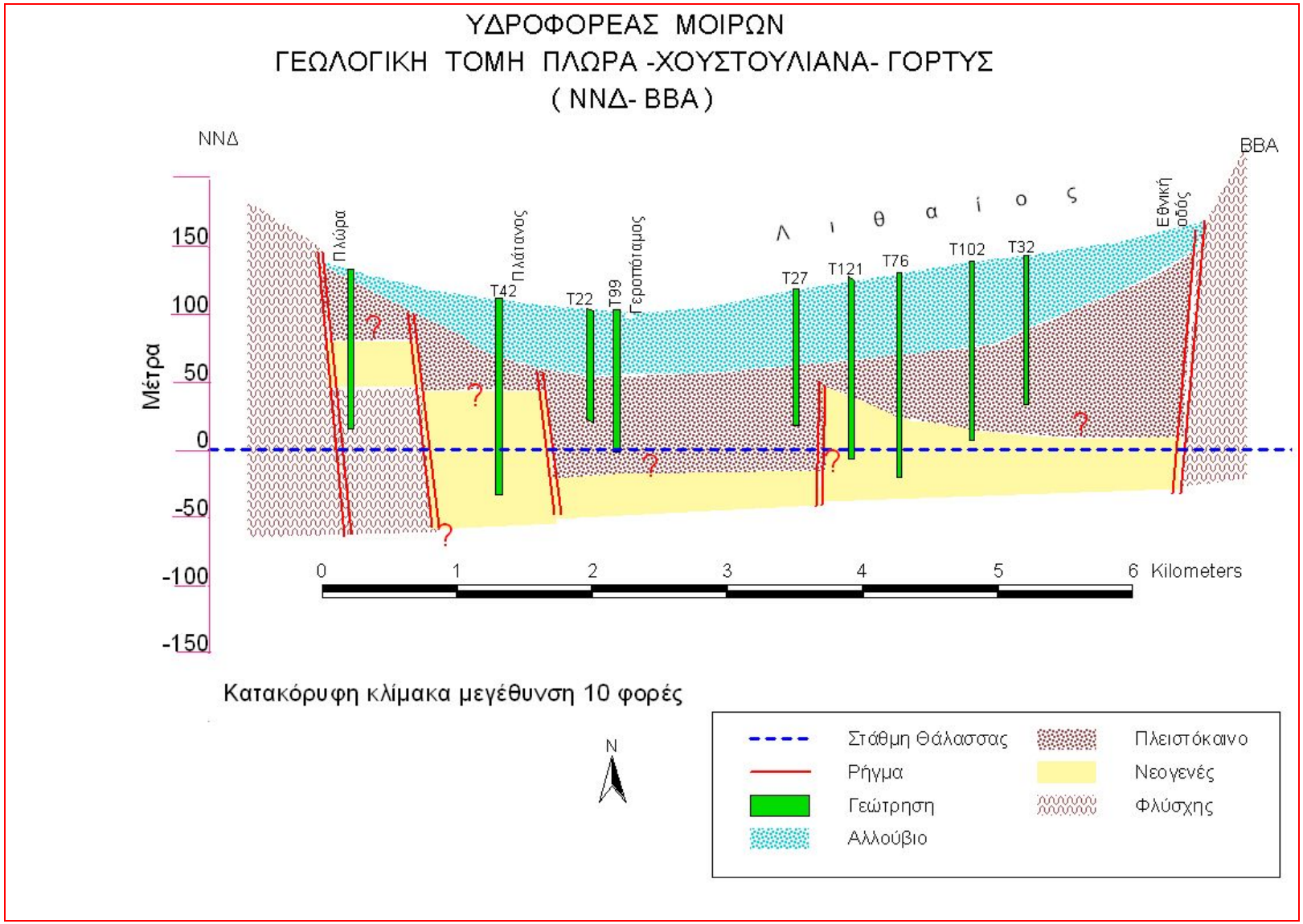
Εικόνα 4-12 : Γεωλογική τομή Πετροκεφάλι- Καλυβιανή (Β-Ν) , η θέση της ενδείκνυται ως Νο 3 (χάρτης Π4-7)



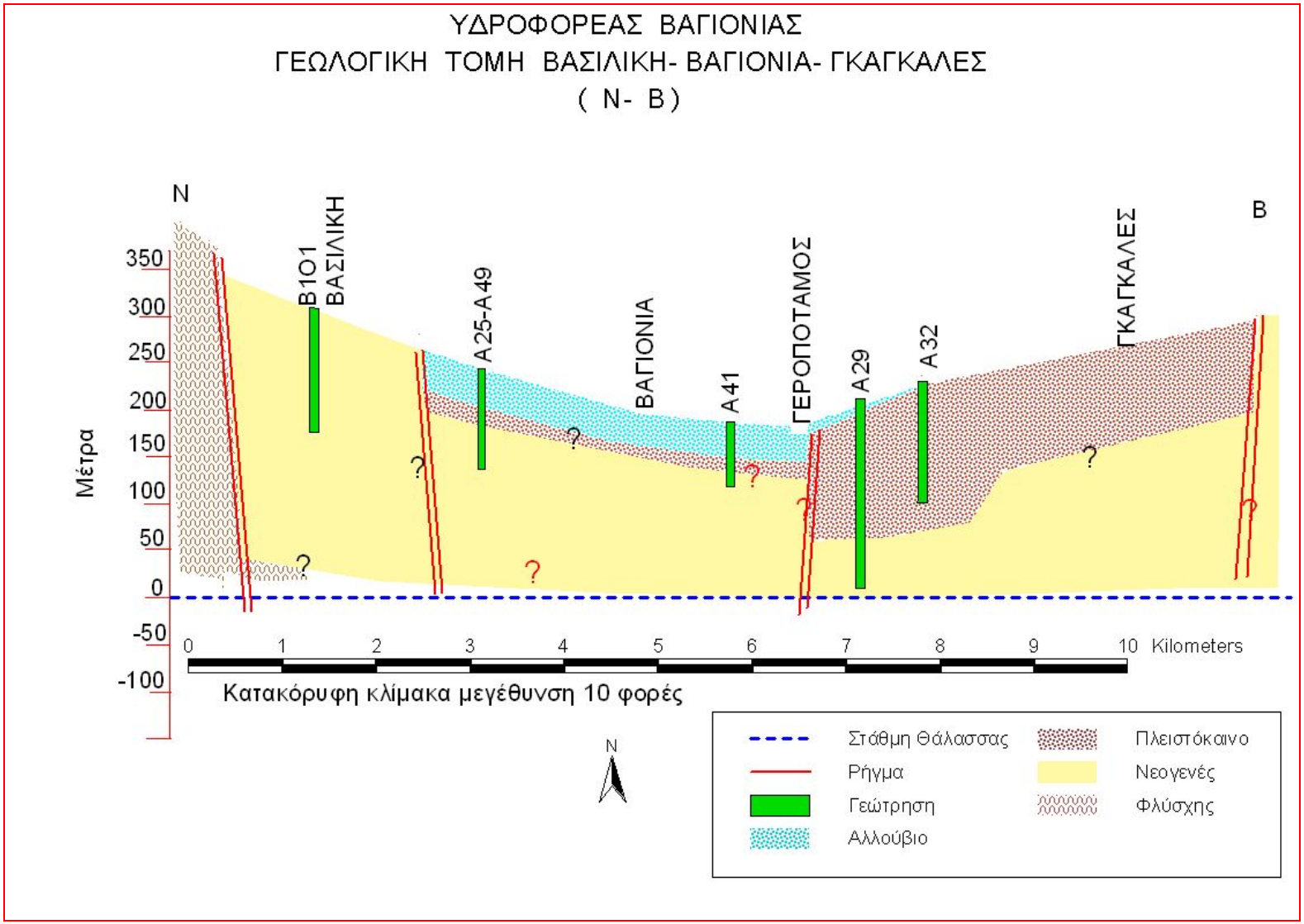
Εικόνα 4-13 : Γεωλογική τομή Πόμπια – Μοίρες (ΒΒΑ-ΝΝΔ) , η θέση της ενδείκνυται ως Νο 4 (χάρτης Π4-7)



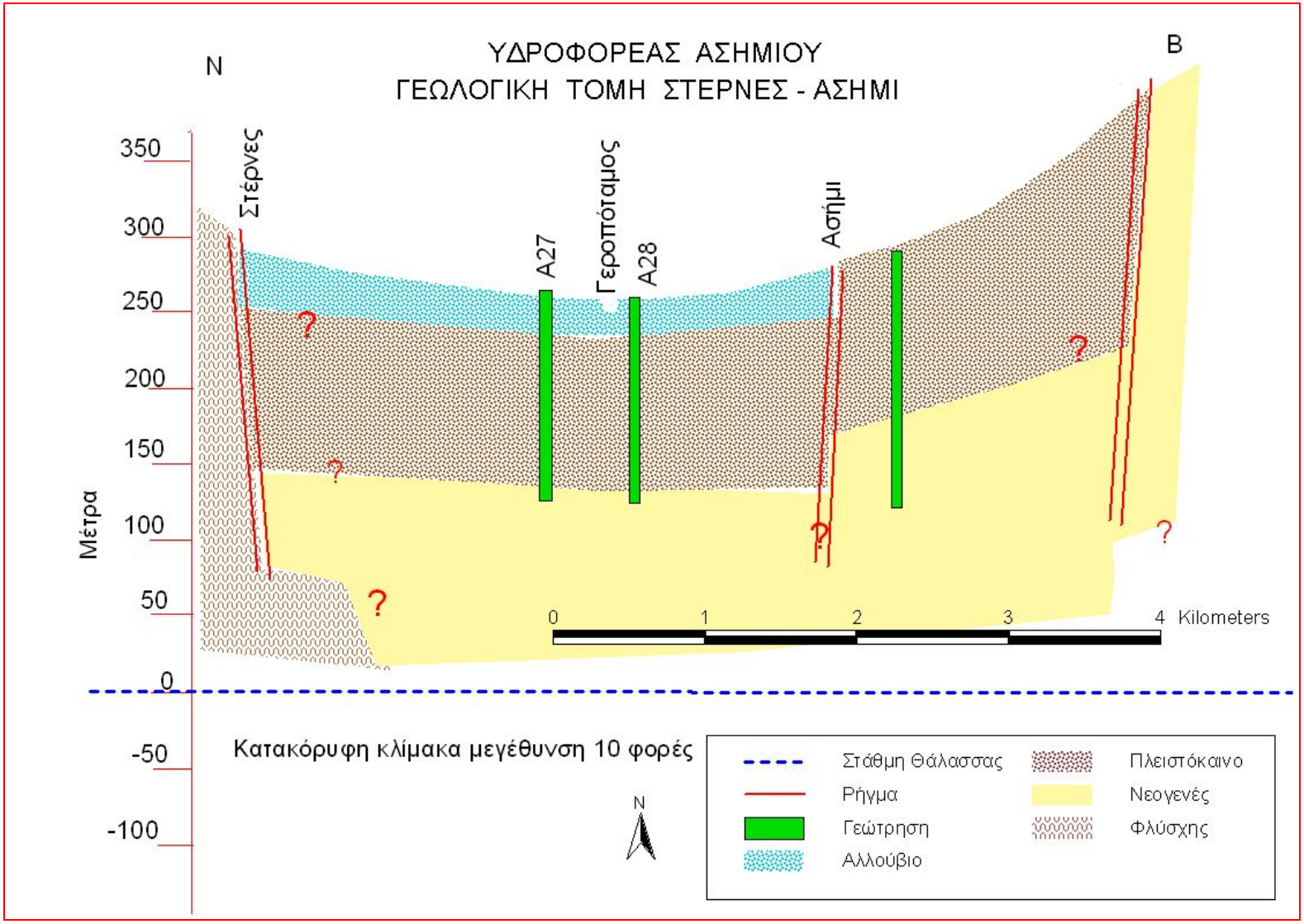
Εικόνα 4-14 : Γεωλογική τομή λεκάνης Μοιρών Πέρι- Καστέλι (ΝΝΔ-ΒΒΑ), η θέση της ενδείκνυται ως Νο 5 (εικόνα Π5-7)



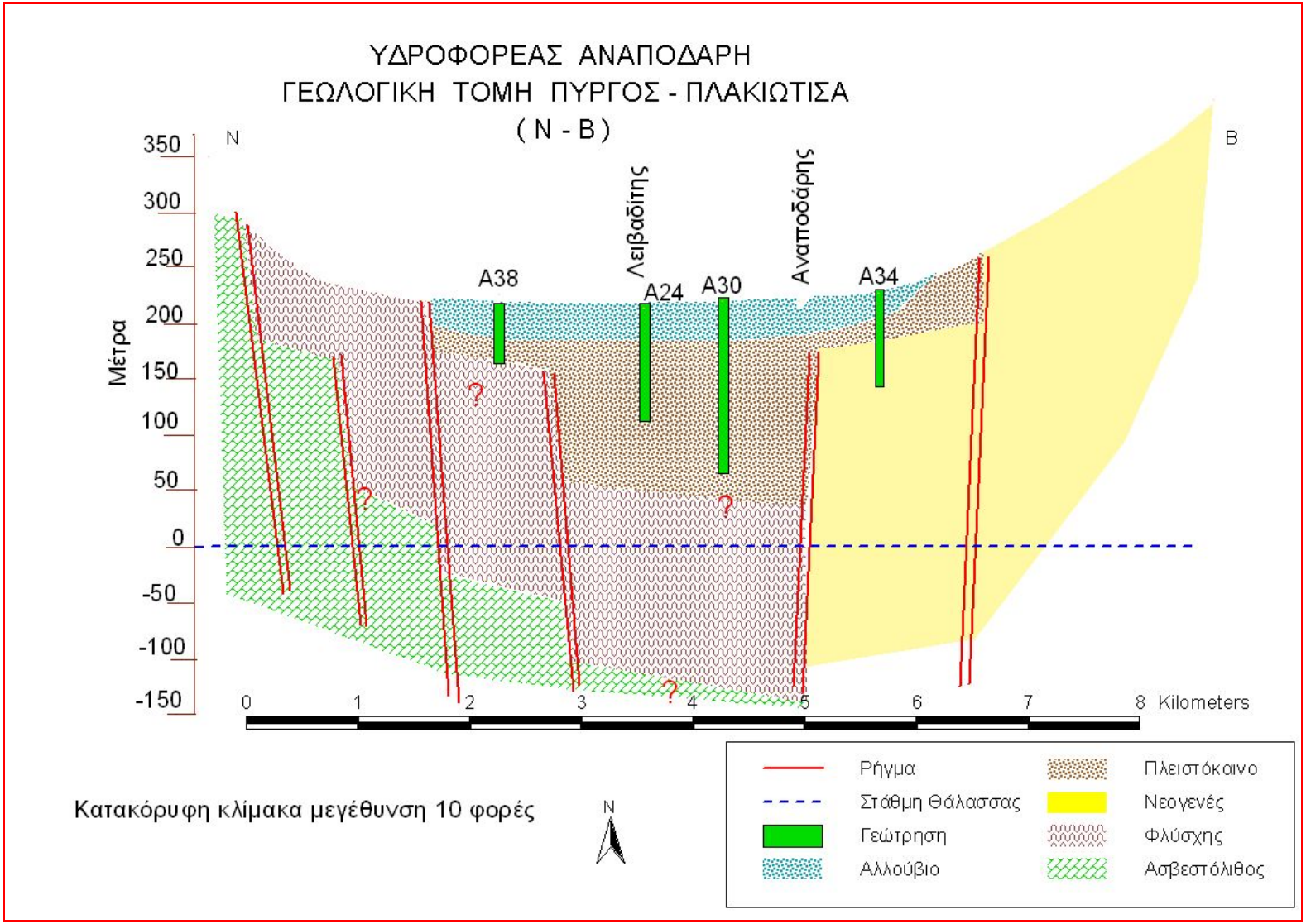
Εικόνα 4-15 : Γεωλογική τομή λεκάνης Μοιρών Πλώρα- Χουστουλιανά- Γόρτυς (ΝΝΔ-ΒΒΑ), η θέση της ενδείκνυται ως Νο 6 (εικόνα Π5-1)



Εικόνα 4-16 : Γεωλογική τομή Βασιλική-Βαγιονιά- Γκαγκάλες (Β-Ν), η θέση της ενδείκνυται ως Νο 7 (χάρτης Π4-7)



Εικόνα 4-17 : Γεωλογική τομή Στέρνες- Ασήμι (Β-Ν), η θέση της ενδείκνυται ως Νο 8 (χάρτης Π4-7)



Εικόνα 4-18 : Γεωλογική τομή Πύργος - Πλακιώτισα (Β-Ν), η θέση της ενδείκνυται ως Νο 9 (χάρτης Π4-7)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ 3

5.1 ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΤΗΣ ΝΗΣΟΥ ΚΡΗΤΗΣ 3
ΛΙΘΟΛΟΓΙΚΗ ΚΑΤΑΤΑΞΗ *5*
5.1.1 ΚΑΡΣΤΙΚΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ 5
5.1.2 ΠΟΡΩΔΕΙΣ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ 7
5.1.3 ΑΔΙΑΠΕΡΑΤΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ 8
5.1.4 ΙΣΟΖΥΓΙΑ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΕΝΟΤΗΤΩΝ ΚΡΗΤΗΣ 9
5.2 ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΜΕΣΑΡΑΣ 10
5.2.1 ΝΕΟΓΕΝΗΣ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑΣ 11
5.2.2 ΠΛΕΙΣΤΟΚΑΙΝΙΚΟΣ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑΣ (ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ Αγ. ΓΑΛΗΝΗ) 12
5.2.3 ΑΛΛΟΥΒΙΑΚΟΣ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑΣ 12
5.3 ΥΠΟΔΙΑΙΡΕΣΗ ΤΗΣ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΤΗΣ ΜΕΣΑΡΑΣ. 13
5.3.1 ΎΒΩΜΑ ΦΑΙΣΤΟΥ 14
5.3.2 ΛΕΚΑΝΗ ΜΟΙΡΩΝ 14
5.3.2.1 ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ, ΟΡΙΑ , ΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΜΟΙΡΩΝ 15
5.3.2.2 ΑΛΛΟΥΒΙΑΚΟΣ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΜΟΙΡΩΝ 16
5.3.2.3 ΠΛΕΙΣΤΟΚΑΙΝΙΚΟΣ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΜΟΙΡΩΝ 19
5.3.2.4 ΝΕΟΓΕΝΗΣ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΜΟΙΡΩΝ 20
5.3.2.5 ΥΔΡΟΣΤΑΤΙΚΗ ΣΤΑΘΜΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΤΩΝ ΜΟΙΡΩΝ- ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΙΑ 20
5.3.2.6 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ ΛΕΚΑΝΗΣ ΜΟΙΡΩΝ 31
5.3.2.6.1 ΠΑΡΟΧΕΣ ΚΑΙ ΒΑΘΗ ΑΝΤΛΗΣΗΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ 31
5.3.2.6.2 ΕΙΔΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ 31
5.3.2.6.3 ΜΕΤΑΒΙΒΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ (T) 31
5.3.2.6.4 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΥΔΡΟΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (S) 31
5.3.3 ΛΕΚΑΝΗ ΒΑΓΙΟΝΙΑΣ ΚΑΙ ΑΣΗΜΙΟΥ 32
5.3.3.1 ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ, ΟΡΙΑ , ΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΒΑΓΙΟΝΙΑΣ ΚΑΙ ΑΣΗΜΙΟΥ 33
5.3.3.2 ΑΛΛΟΥΒΙΑΚΟΣ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑΣ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΒΑΓΙΟΝΙΑΣ 33
5.3.3.3 ΠΛΕΙΣΤΟΚΑΙΝΙΚΟΣ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΒΑΓΙΟΝΙΑΣ 34
5.3.3.4 ΝΕΟΓΕΝΗΣ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΒΑΓΙΟΝΙΑΣ 34
5.3.3.5 ΑΛΛΟΥΒΙΑΚΟΣ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΣΗΜΙΟΥ 35
5.3.3.6 ΠΛΕΙΣΤΟΚΑΙΝΙΚΟΣ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΣΗΜΙΟΥ 35
5.3.3.7 ΥΔΡΟΣΤΑΤΙΚΗ ΣΤΑΘΜΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΒΑΓΙΟΝΙΑΣ- ΑΣΗΜΙΟΥ- ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΙΑ 35
5.3.3.8 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ ΛΕΚΑΝΗΣ ΒΑΓΙΟΝΙΑΣ- ΑΣΗΜΙΟΥ 39
5.3.3.8.1 ΠΑΡΟΧΕΣ ΚΑΙ ΒΑΘΗ ΑΝΤΛΗΣΗΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ 39
5.3.3.8.2 ΕΙΔΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ 40
5.3.3.8.3 ΜΕΤΑΒΙΒΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ (T) 40
5.3.3.8.4 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΥΔΡΟΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (S) 40
5.3.4 ΛΕΚΑΝΗ ΧΑΡΑΚΑ 50
5.3.4.1 ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ, ΟΡΙΑ , ΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ 50
5.3.4.2 ΑΛΛΟΥΒΙΑΚΟΣ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΧΑΡΑΚΑ 51
5.3.4.3 ΠΛΕΙΣΤΟΚΑΙΝΙΚΟΣ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΧΑΡΑΚΑ 53
5.3.4.4 ΥΔΡΟΣΤΑΤΙΚΗ ΣΤΑΘΜΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΤΟΥ ΧΑΡΑΚΑ- ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΙΑ 53
5.3.4.5 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ ΛΕΚΑΝΗΣ ΧΑΡΑΚΑ 56
5.3.4.5.1 ΠΑΡΟΧΕΣ ΚΑΙ ΒΑΘΗ ΑΝΤΛΗΣΗΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ 56
5.3.4.5.2 ΕΙΔΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ 56
5.3.4.5.3 ΜΕΤΑΒΙΒΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ (T) 57
5.3.4.5.4 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΥΔΡΟΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (S) 57

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

ΠΙΝΑΚ. 5-1 ΕΥΡΟΣ ΤΙΜΩΝ ΥΔΡΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ (STRUCKMEIR ET AL 1995).....4
ΠΙΝΑΚ. 5-2 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΕΝΟΤΗΤΩΝ ΤΗΣ ΝΗΣΟΥ ΚΡΗΤΗΣ.....5
ΠΙΝΑΚ. 5-3 ΜΕΣΟ ΕΤΗΣΙΟ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ ΚΥΡΙΩΝ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΝΟΤΗΤΩΝ ΚΡΗΤΗΣ.....10
ΠΙΝΑΚ. 5-4 ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΕΡΙΚΩΝ ΧΑΛΑΡΩΝ ΙΖΗΜΑΤΩΝ (BELL, 1980).....17
ΠΙΝΑΚ. 5-5 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΑΝΤΛΗΤΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΑΣΙΩΝ ΚΑΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΥΔΡΟΦΟΡΕΩΝ(FAO, 1972). 25
ΠΙΝΑΚ. 5-6 ΥΠΟΓΕΙΑ ΥΔΡΟΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΑΛΛΟΥΒΙΑΚΩΝ ΑΠΟΘΕΣΕΩΝ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΤΩΝ ΜΟΙΡΩΝ. 24
ΠΙΝΑΚ. 5-7 ΥΠΟΓΕΙΑ ΥΔΡΟΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΠΛΕΙΣΤΟΚΑΙΝΙΚΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΤΩΝ ΜΟΙΡΩΝ.....25
ΠΙΝΑΚ. 5-8 ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ΚΑΙ ΥΔΡΟΣΤΑΤΙΚΗ ΣΤΑΘΜΗ ΥΓΡΗΣ ΚΑΙ ΞΗΡΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΩΝ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΜΟΙΡΩΝ (1) 30
ΠΙΝΑΚ. 5-9 ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ΚΑΙ ΥΔΡΟΣΤΑΤΙΚΗ ΣΤΑΘΜΗ ΥΓΡΗΣ ΚΑΙ ΞΗΡΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΩΝ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΜΟΙΡΩΝ (2) 31
ΠΙΝΑΚ. 5-10 ΣΥΜΠΛΗΡΩΜΕΝΗ ΥΔΡΟΣΤΑΤΙΚΗ ΣΤΑΘΜΗ ΥΓΡΗΣ ΚΑΙ ΞΗΡΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΩΝ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΜΟΙΡΩΝ (1) 32
ΠΙΝΑΚ. 5-11 ΣΥΜΠΛΗΡΩΜΕΝΗ ΥΔΡΟΣΤΑΤΙΚΗ ΣΤΑΘΜΗ ΥΓΡΗΣ ΚΑΙ ΞΗΡΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΩΝ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΜΟΙΡΩΝ (2) 33
ΠΙΝΑΚ. 5-12. ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΤΗΣ ΠΤΩΣΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΤΩΝ ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΩΝ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ (GM 1,..7) ΚΑΙ ΜΕΤΑΞΥ ΤΗΣ ΠΤΩΣΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ (GM 1,..7)ΚΑΙ ΤΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ (A50-GER1).....30
ΠΙΝΑΚ. 5-13 ΥΠΟΓΕΙΑ ΥΔΡΟΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΑΛΛΟΥΒΙΑΚΩΝ ΑΠΟΘΕΣΕΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΠΛΕΙΣΤΟΚΑΙΝΙΚΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΤΗΣ ΒΑΓΙΟΝΙΑΣ - ΑΣΗΜΙΟΥ 41
ΠΙΝΑΚ. 5-14 ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ΚΑΙ ΑΠΟΛΥΤΗ ΥΔΡΟΣΤΑΤΙΚΗ ΣΤΑΘΜΗ ΥΓΡΗΣ ΚΑΙ ΞΗΡΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΩΝ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΒΑΓΙΟΝΙΑΣ-ΑΣΗΜΙΟΥ (ΣΕ Μ) 42
ΠΙΝΑΚ. 5-15 ΥΔΡΟΣΤΑΤΙΚΗ ΣΤΑΘΜΗ ΥΓΡΗΣ ΚΑΙ ΞΗΡΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΩΝ ΛΕΚΑΝΗΣ ΒΑΓΙΟΝΙΑΣ-ΑΣΗΜΙΟΥ(ΣΕ Μ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ).....43
ΠΙΝΑΚ. 5-16 ΣΥΜΠΛΗΡΩΜΕΝΗ ΑΠΟΛΥΤΗ ΥΔΡΟΣΤΑΤΙΚΗ ΣΤΑΘΜΗ ΥΓΡΗΣ ΚΑΙ ΞΗΡΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΩΝ ΛΕΚΑΝΗΣ ΒΑΓΙΟΝΙΑΣ-ΑΣΗΜΙΟΥ (1) 44
ΠΙΝΑΚ. 5-17 ΣΥΜΠΛΗΡΩΜΕΝΗ ΑΠΟΛΥΤΗ ΥΔΡΟΣΤΑΤΙΚΗ ΣΤΑΘΜΗ ΥΓΡΗΣ ΚΑΙ ΞΗΡΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΩΝ ΛΕΚΑΝΗΣ ΒΑΓΙΟΝΙΑΣ-ΑΣΗΜΙΟΥ (2) 45
ΠΙΝΑΚ. 5-18 ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΤΗΣ ΠΤΩΣΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΤΩΝ ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΩΝ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΒΑΓΙΟΝΙΑΣ- ΑΣΗΜΙΟΥ (GB 1,..14) 46
ΠΙΝΑΚ. 5-19 ΠΑΡΟΧΕΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ ΛΕΚΑΝΗΣ ΒΑΓΙΟΝΙΑΣ – ΑΣΗΜΙΟΥ (ΑΠΟΓΡΑΦΗ 2002) 49
ΠΙΝΑΚ. 5-20 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΑΝΤΛΗΤΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΑΣΙΩΝ ΚΑΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΥΔΡΟΦΟΡΕΩΝ (ΑΝΤΛΗΣΕΙΣ 7ΟΣ 2001).....49
ΠΙΝΑΚ. 5-21 ΥΔΡΑΥΛΙΚΕΣ ΚΛΙΣΕΙΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΧΑΡΑΚΑ.....58
ΠΙΝΑΚ. 5-22 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΩΝ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ ΛΕΚΑΝΗΣ ΧΑΡΑΚΑ 58
ΠΙΝΑΚ. 5-23 ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ΚΑΙ ΑΠΟΛΥΤΗ ΥΔΡΟΣΤΑΤΙΚΗ ΣΤΑΘΜΗ ΥΓΡΗΣ ΚΑΙ ΞΗΡΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΩΝ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΧΑΡΑΚΑ (ΣΕ Μ) (1) 59
ΠΙΝΑΚ. 5-24 ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ΚΑΙ ΑΠΟΛΥΤΗ ΥΔΡΟΣΤΑΤΙΚΗ ΣΤΑΘΜΗ ΥΓΡΗΣ ΚΑΙ ΞΗΡΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΩΝ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΧΑΡΑΚΑ (ΣΕ Μ) (2) 60
ΠΙΝΑΚ. 5-25 ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ΚΑΙ ΥΔΡΟΣΤΑΤΙΚΗ ΣΤΑΘΜΗ ΑΠΟ ΤΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΥΓΡΗΣ ΚΑΙ ΞΗΡΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΩΝ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΧΑΡΑΚΑ (ΣΕ Μ) (1).....61
ΠΙΝΑΚ. 5-26 ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ΚΑΙ ΥΔΡΟΣΤΑΤΙΚΗ ΣΤΑΘΜΗ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΥΓΡΗΣ ΚΑΙ ΞΗΡΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΩΝ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΧΑΡΑΚΑ (ΣΕ Μ) (2).....62
ΠΙΝΑΚ. 5-27 ΣΥΜΠΛΗΡΩΜΕΝΕΣ ΤΙΜΕΣ (HHC) ΑΠΟΛΥΤΗΣ ΥΔΡΟΣΤΑΤΙΚΗ ΣΤΑΘΜΗΣ (HH) ΥΓΡΗΣ ΚΑΙ ΞΗΡΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΩΝ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΧΑΡΑΚΑ (ΣΕ Μ) (1) 63
ΠΙΝΑΚ. 5-28 ΣΥΜΠΛΗΡΩΜΕΝΕΣ ΤΙΜΕΣ (HHC) ΑΠΟΛΥΤΗΣ ΥΔΡΟΣΤΑΤΙΚΗ ΣΤΑΘΜΗΣ (HH) ΥΓΡΗΣ ΚΑΙ ΞΗΡΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΩΝ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΧΑΡΑΚΑ (ΣΕ Μ) (2) 64
ΠΙΝΑΚ. 5-29 ΣΥΜΠΛΗΡΩΜΕΝΕΣ ΤΙΜΕΣ (HHC) ΑΠΟΛΥΤΗΣ ΥΔΡΟΣΤΑΤΙΚΗ ΣΤΑΘΜΗΣ (HH) ΥΓΡΗΣ ΚΑΙ ΞΗΡΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΩΝ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΧΑΡΑΚΑ (ΣΕ Μ) (3) 65
ΠΙΝΑΚ. 5-30 ΛΕΚΑΝΗ ΧΑΡΑΚΑ, ΥΠΟΔΙΑΙΡΕΣΗ ΣΕ ΖΩΝΕΣ – ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΥΔΡΟΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΗΣ 66
ΠΙΝΑΚ. 5-31 ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΤΗΣ ΠΤΩΣΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΤΩΝ ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΩΝ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΒΑΓΙΟΝΙΑΣ- ΑΣΗΜΙΟΥ 67

Κεφάλαιο 5 Υδρογεωλογία

5.1 *Υδρογεωλογικές συνθήκες της νήσου Κρήτης*

Οι υδρογεωλογικές συνθήκες μιας περιοχής εξαρτώνται άμεσα από τις αντίστοιχες γεωλογικές, τεκτονικές και μορφολογικές συνθήκες. Η τεκτονική δομή και η στρωματογραφία (εναλλαγές διαπερατών και αδιαπέρατων σχηματισμών) συμμετέχουν στη διαμόρφωση και στα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των υδρογεωλογικών λεκανών.

Με βάση, αρχικά, την υδρολιθολογική ταξινόμηση των γεωλογικών σχηματισμών και σε συνδυασμό με τους προαναφερόμενους παράγοντες γίνεται ο διαχωρισμός της νήσου Κρήτης σε τρεις κύριες υδρογεωλογικές ενότητες: α) των καρστικών (ανθρακικών) συστημάτων β) των πορωδών σχηματισμών και γ) των αδιαπέρατων πετρωμάτων (Περλέρος κα 2003). Ο υδρολιθολογικός χάρτης της Κρήτης δίνεται στην εικόνα Π5-1 στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 5.

Το μεγαλύτερο ενδιαφέρον από υδρογεωλογική άποψη παρουσιάζουν οι τρεις μεγάλες σε έκταση ανθρακικές ενότητες που αναπτύσσονται στους ορεινούς όγκους των Λευκών Ορέων, του Ψηλορείτη και της Δίκτης – Σελένας και δευτερευόντως οι καρστικές ενότητες Σητείας. Οι ασβεστολιθικοί αυτοί όγκοι τροφοδοτούν μεγάλο αριθμό αξιόλογων πηγών στην περίμετρο τους.

Ιδιαίτερο χαρακτηριστικό στη Κρήτη είναι η ύπαρξη μεγάλων παράκτιων και υποθαλάσσιων υφάλμυρων καρστικών πηγών μαζί με τις αντίστοιχα μεγάλες καρστικές πηγές με καλής ποιότητας υπόγειο νερό. Η ανυπαρξία γεωλογικών φραγμών στις εκτεταμένες ανθρακικές εμφανίσεις προς τη θάλασσα σε συνδυασμό με παλαιογεωγραφικά αίτια έχουν συντελέσει στην υφαλμύρινση σημαντικών καρστικών υδροφορέων.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι ιδιαίτερο ρόλο διαδραματίζουν στην εμφάνιση των πηγών η ύπαρξη των ρηξιγενών ζωνών καθώς οι φυσικές πηγές τόσο των καρστικών συστημάτων όσο και των προσχωματικών υδροφορέων κείνται πάνω σε ρήγματα.

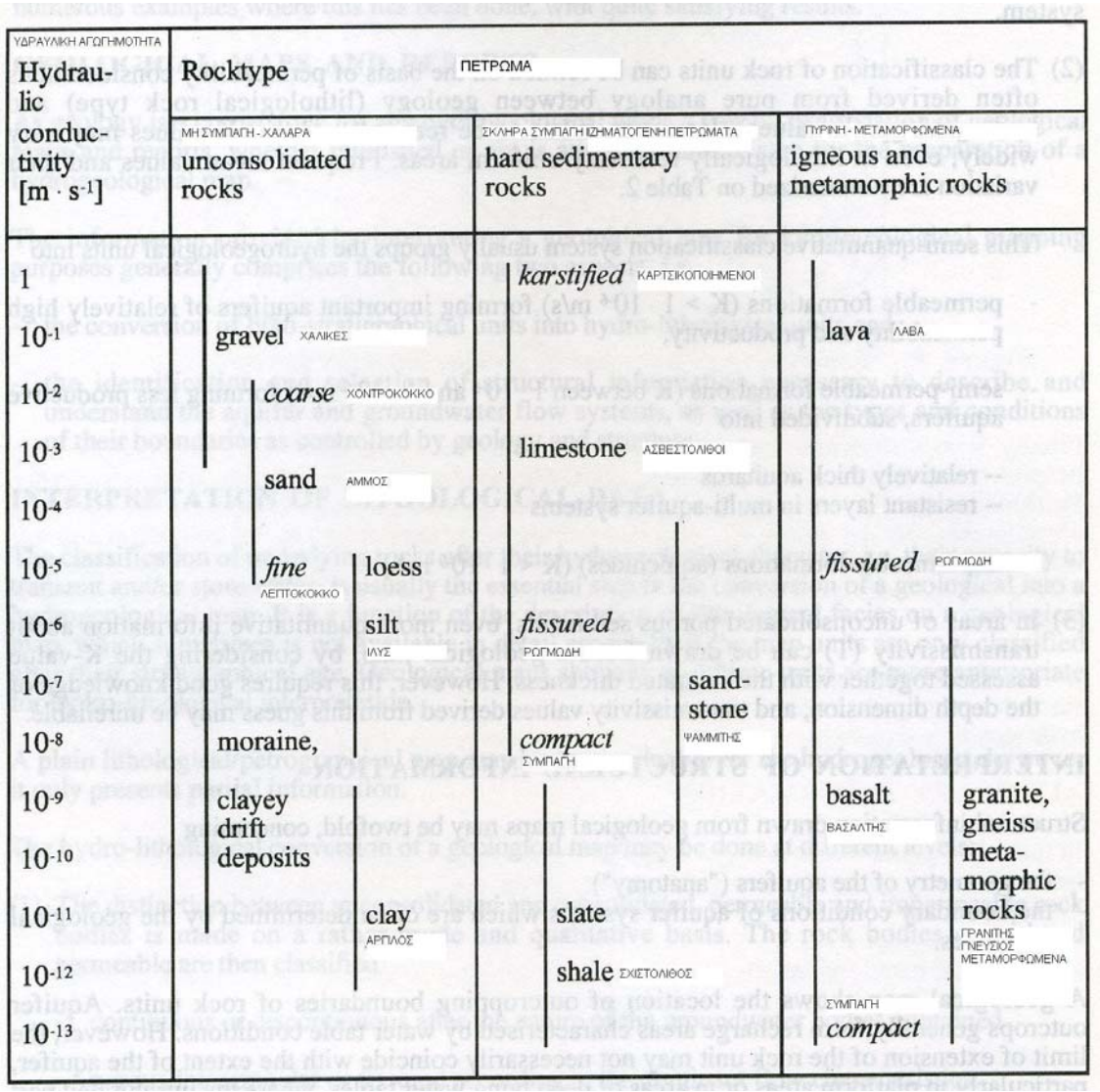
Η ταξινόμηση των διαφόρων σχηματισμών γίνεται με βάση την υδροπερατότητα τους (Κ-τιμές) και τη γεωλογία (τύπο πετρώματος). Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι Κ-τιμές κυμαίνονται ευρέως ακόμη και σε μια «ομοιόμορφη» περιοχή. Οι συχνότερες μέσες τιμές και το εύρος διακύμανσης τους συνοπτικά δίνονται στον Πίνακ. 5-1.

Ανάλογα με την υδροπερατότητα τους (Κ-τιμές) τα πετρώματα ταξινομούνται (Canstany 1963) ως:

- Υψηλής υδροπερατότητας όταν $K>1*10^{-2}$ m/s,
- Μέτριας υδροπερατότητας όταν $1*10^{-2} >K>1*10^{-6}$ m/s,
- Μικρής υδροπερατότητας όταν $1*10^{-6} >K> 1*10^{-9}$ m/s και
- Πρακτικά Στεγανοί σχηματισμοί όταν $K<1*10^{-9}$.

Με βάση το σύστημα αυτό ταξινόμησης δίνεται στον Πίνακ. 5-2 η κατάταξη των διάφορων σχηματισμών, επίσης δίνεται και το εύρος των συντελεστών κατείσδυσης όπως αυτοί έχουν χρησιμοποιηθεί στις διάφορες υδρολογικές μελέτες. Η ταξινόμηση αυτή χρησιμοποιήθηκε και από τη διαχειριστική μελέτη της Κρήτης (Παπαγρηγορίου κα 2001, Περλέρος κα 2003).

Πίνακ. 5-1 Εύρος τιμών υδροπερατότητας διαφόρων πετρωμάτων (Struckmeir et al 1995)



Λόγω μικρότερου ύψους βροχής, και μεγαλύτερης εξάτμισης στην Ανατολική Κρήτη από τις αντίστοιχες τιμές της Δυτικής Κρήτης, λαμβάνεται, για τους ανθρακικούς σχηματισμούς μεγαλύτερος συντελεστής κατείσδυσης στις εμφανίσεις του Δυτικού τμήματος. Για τους υπόλοιπους σχηματισμούς θεωρείται πολύ μικρή έως ασήμαντη η μεταβολή του συντελεστή κατείσδυσης και λαμβάνεται ενιαίος για όλη την Κρήτη. Οι συντελεστές κατείσδυσης στους ανθρακικούς σχηματισμούς διαμορφώθηκαν επίσης λαμβάνοντας υπόψη και τις μετρήσεις παροχών των καρστικών πηγών που πραγματοποιούνται από την Περιφέρεια Κρήτης (παλαιότερα από την ΠΔΕΒ Κρήτης του Υπ. Γεωργίας).

Διαφοροποιήσεις στην ενιαία αυτή αντιμετώπιση έχουμε στις περιπτώσεις των νεογενών σχηματισμών των μαργών (Π3) που περιέχουν γύψους και αυξάνουν τον συντελεστή κατείσδυσης.

Όσον αφορά τους αδιαπέρατους σχηματισμούς, θεωρούμε ότι τα οφιολιθικά καλύμματα παρουσιάζουν έντονο τεκτονισμό που αυξάνει το δευτερογενές πορώδες τους.

Το ίδιο αναμένεται και στην περίπτωση των φυλλιτών – χαλαζιτών που περιέχουν κατά θέσεις ενστρώσεις μαρμάρων οπότε και αυξάνεται ο συντελεστής κατείσδυσης.

Πίνακ. 5-2 Ταξινόμηση υδρογεωλογικών ενοτήτων της νήσου Κρήτης

ΛΙΘΟΛΟΓΙΚΗ ΚΑΤΑΤΑΞΗ	ΚΑΤΕΙΣΔΥΣΗ
ΑΝΘΡΑΚΙΚΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ	
Καρστικοί σχηματισμοί υψηλής έως μέτριας υδροπερατότητας (Κ1)	50% – 55%
Μειοκαινικά ασβεστολιθικά λατυποκροκαλοπαγή, μέτριας έως υψηλής υδροπερατότητας (Κ3)	55%
Καρστικοί σχηματισμοί μέτριας έως μικρής υδροπερατότητας (Κ2)	40% – 45%
ΠΟΡΩΔΕΙΣ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ	
Κοκκώδεις προσχωματικές κυρίως αποθέσεις κυμαινόμενης υδροπερατότητας (Π1)	20%
Μειοκαινικές και πλειοκαινικές αποθέσεις μέτριας έως μικρής υδροπερατότητας (Π2).	25%
Κοκκώδεις μη προσχωματικές αποθέσεις μικρής έως πολύ μικρής υδροπερατότητας (Π3)	10%
ΑΔΙΑΠΕΡΑΤΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ	
Πρακτικά αδιαπέρατοι σχηματισμοί μικρής έως πολύ μικρής υδροπερατότητας (Α1)	5%
Πρακτικά αδιαπερατοί ή εκλεκτικής κυκλοφορίας σχηματισμοί μικρής έως πολύ μικρής διαπερατότητας (Α2)	5%-8%

Αναλυτικότερα οι διάφοροι τύποι πετρωμάτων που απαντούν στην Κρήτη, όπως παρουσιάστηκαν στο Κεφάλαιο 4, ταξινομούνται στις διάφορες κατηγορίες όπως παρακάτω:

5.1.1 *Καρστικοί σχηματισμοί*

Η κυκλοφορία του νερού γίνεται εδώ μέσω του δευτερογενούς πορώδους (ρωγμές, καρστικά κενά).

Υψηλής έως μέτριας υδροπερατότητας (Κ1)

Ασβεστόλιθοι, δολομίτες, κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι, μάρμαρα υψηλής έως μέτριας υδροπερατότητας. Κατατάσσονται εδώ οι έντονα καρστικοποιημένοι ανθρακικοί σχηματισμοί της ζώνης της Τρίπολης, τα ανθρακικά Τριπαλίου και οι Τριαδικοί κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι και δολομίτες της Ιονίου ζώνης. Σε αυτά τα συστήματα αναπτύσσονται υψηλού δυναμικού υπόγειες υδροφορίες που εκφορτίζονται μέσω μεγάλων καρστικών πηγών.

Περιλαμβάνονται εδώ οι παρακάτω ανθρακικοί σχηματισμοί :

ΤΡΙΠΟΛΗ

E.k (ασβεστόλιθοι Ηωκαίνου)

P-E.k (ασβεστόλιθοι Παλαιοκαίνου - Ηωκαίνου)

P-E.k.d (ασβεστόλιθοι, δολομίτες Παλαιοκαίνου - Ηωκαίνου)

Ks-E.k (ασβεστόλιθοι Κρητιδικού - Ηωκαίνου)

Ks-E.k.d (ασβεστόλιθοι, δολομίτες Κρητιδικού - Ηωκαίνου)

Ks.k (ασβεστόλιθοι Κρητιδικού)

Ks.k.d (ασβεστόλιθοι, δολομίτες Κρητιδικού)

Js-K.k.d (ασβεστόλιθοι, δολομίτες Ιουρασικού - Κρητιδικού)

Js.k (ασβεστόλιθοι Ιουρασικού)

Js.k.d (ασβεστόλιθοι, δολομίτες Ιουρασικού)

T-E.k.d (ασβεστόλιθοι, δολομίτες Τριαδικού-Ηωκαίνου)

T-Js.k (ασβεστόλιθοι Τριαδικού-Ιουρασικού)

T-Js.k.d (ασβεστόλιθοι, δολομίτες Τριαδικού-Ιουρασικού)

T.d (Δολομίτες Τριαδικού)

T.d.k (δολομίτες, ασβεστόλιθοι Τριαδικού)

ΤΡΙΠΑΛΙ

Ts-Ji.mr.d (μάρμαρα, δολ/να μάρμαρα Τριαδικού - Ιουρασικού)

ΙΟΝΙΟΣ

Ts-Ji.k.d (ασβεστόλιθοι, δολομίτες Τριαδικού-Ιουρασικού)

Ts-Ji.k (ασβεστόλιθοι, Τριαδικού-Ιουρασικού)

Ts-Ji.d (δολομίτες Τριαδικού-Ιουρασικού)

Ts-Ji.d.k (δολομίτες, ασβεστόλιθοι Τριαδικού-Ιουρασικού)

Μέτριας έως μικρής υδροπερατότητας (K2)

Ασβεστόλιθοι μέτριας έως μικρής υδροπερατότητας. Κατατάσσονται εδώ οι οι ασβεστόλιθοι της ζώνης της Πίνδου, οι κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι Ιουρασικής - Ηωκαινικής ηλικίας της Ιονίου ζώνης και οι μικρότερες ανθρακικές εμφανίσεις των εσωτερικών καλυμμάτων. Η κυκλοφορία του νερού στους σχηματισμούς αυτούς ελέγχεται από τις παρεμβολές πυριτολίθων, κερατολίθων και αργιλικών σχιστολίθων. Σε αυτά τα πετρώματα αναπτύσσονται μέσου έως μικρού δυναμικού υπόγειες υδροφορίες. Εξαιτίας του έντονου τεκτονισμού τους στις περιπτώσεις εκείνες που παρουσιάζουν και σημαντική επιφανειακή ανάπτυξη συμμετέχουν στην τροφοδοσία σημαντικών καρστικών πηγών. Κατά θέσεις οι σχηματισμοί αυτοί αποτελούν το υδρογεωλογικό υπόβαθρο των υψηλής υδροπερατότητας ανθρακικών σχηματισμών, όταν έχουν μικρή υδροπερατότητα και η τεκτονική θέση τους το επιτρέπει.

Περιλαμβάνονται εδώ οι παρακάτω ανθρακικοί σχηματισμοί :

ΙΟΝΙΟΣ	ΜΙΑΜΟΥ
Jm-E.k (ασβεστόλιθοι Ιουρασικού - Ηωκαίνου)	Js.br (λατυποπαγείς ασβεστολίθοι Ιουρασικού)
	ΛΕΝΤΑ
	T.k.c.st (ασβεστόλιθοι, κροκαλοπαγή και ψαμμίτες
ΠΙΝΔΟΥ	Τριαδικού)
K.k (ασβεστόλιθοι Κρητιδικού)	ΑΡΒΗΣ
Ts-Jo (ασβεστόλιθοι Τριαδικού –	K.k.pl (ασβεστόλιθοι μαργαϊκοι ιλυόλιθοι με
Σενωνίου)	διαβάσες Κρητιδικού)
	T.k.br (ασβεστόλιθοι και λατυποπαγή)
ΕΣΩΤΕΡΙΚΑ ΚΑΛΥΜΜΑΤΑ	ΟΦΙΟΛΙΘΙΚΟ ΚΑΛΥΜΜΑ
K.kt (ασβεστόλιθοι Κρητιδικού)	K.kt (ασβεστόλιθοι Κρητιδικού)

Μειοκαινικά ασβεστολιθικά λατυποκροκαλοπαγή (Τοπολίων), μέτριας έως υψηλής υδροπερατότητας (K3)

Παρουσιάζουν τόσο πρωτογενές όσο και δευτερογενές πορώδες. Αναπτύσσονται εδώ σημαντικές υδροφορίες που εκφορτίζονται μέσω αξιόλογων πηγών.

M.br (Μειοκαινικά ασβεστολιθικά λατυποκροκαλοπαγή)

5.1.2 *Πορώδεις σχηματισμοί*

Η κυκλοφορία του νερού στους σχηματισμούς αυτούς γίνεται μέσω του πρωτογενούς πορώδους (πορώδες κόκκων).

Κοκκώδεις προσχωματικές κυρίως αποθέσεις κυμαινόμενης υδροπερατότητας (Π1)

Κατατάσσονται εδώ οι αλλουβιακές αποθέσεις, οι ποτάμιες και θαλάσσιες αναβαθμίδες, τα κροκαλοπαγή ποτάμιας προέλευσης, τα πλευρικά κορήματα και οι κώνοι κορημάτων. Στις περιπτώσεις που οι σχηματισμοί των πλευρικών κορημάτων, των κώνων κορημάτων και των αναβαθμίδων καλύπτουν μικρή έκταση και έχουν μικρό πάχος δεν έχουν ιδιαίτερη υδρογεωλογική σημασία. Στους σχηματισμούς αυτούς και ιδιαίτερα στις σύγχρονες αποθέσεις των ποταμών και χειμάρρων, αναπτύσσονται αξιόλογες φρεάτιες υδροφορίες. Κοντά στη θάλασσα οι υδροφορίες αυτές έχουν υποστεί κατά θέσεις, υποβάθμιση εξαιτίας της υφαλμύρινσης λόγω εισόδου του θαλασσινού νερού.

Περιλαμβάνονται εδώ οι παρακάτω σχηματισμοί :

ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΣ

al (αλλουβιακές αποθέσεις)	cd (παράκτιες αποθέσεις)
SC-CS (πλευρικά κορήματα)	tr (αποθέσεις ερυθρογής)
Pt.t (υλικά ποτάμιων αναβαθμίδων)	
Pt.tm (υλικά θαλάσσιων αναβαθμίδων)	ls (υλικά ολισθήσεων)

Μειοκαινικές και πλειοκαινικές αποθέσεις μέτριας έως μικρής υδροπερατότητας (Π2).

Κατατάσσονται εδώ τα κροκαλοπαγή και οι μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι των νεογενών σχηματισμών. Καταλαμβάνουν τις παρυφές των ορεινών ασβεστολιθικών όγκων και μερικές φορές τροφοδοτούνται πλευρικά από τους ασβεστολίθους όταν η πιεζομετρία το επιτρέπει. Στους σχηματισμούς αυτούς αναπτύσσονται επιμέρους υπόγειες υδροφορίες μέσου έως μικρού δυναμικού.

Περιλαμβάνονται εδώ οι παρακάτω σχηματισμοί :

Pl-Pt (Πλειοπλειστοκαινικοί σχηματισμοί)

Pl-Pt.c (Πλειοπλειστοκαινικά κροκαλοπαγή)

Pl.k (μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι Πλειοκαίνου)

Pl.c (κροκαλοπαγή Πλειοκαίνου)

M.c (κροκαλοπαγή Μειοκαίνου)

M.k (μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι Μειοκαίνου)

Κοκκώδεις μη προσχωματικές αποθέσεις μικρής έως πολύ μικρής υδροπερατότητας (Π3)

Κατατάσσονται εδώ οι πλειοκαινικές και μειοκαινικές μάργες, καθώς και ο αδιαίρετος σχηματισμός του νεογενούς. Τοπικά στον αδιαίρετο σχηματισμό των νεογενών αναμένεται η ανάπτυξη υδροφοριών μέσα σε παρεμβολές κροκαλοπαγών ή μαργαϊκών ασβεστολίθων. Κατά θέσεις στις νεογενείς αποθέσεις αναπτύσσονται στρώματα γύψου που παρουσιάζουν αξιόλογη υδροφορία έντονα υποβαθμισμένη εξαιτίας των θειικών ιόντων.

Περιλαμβάνονται εδώ οι παρακάτω σχηματισμοί :

Ng (Νεογενείς σχηματισμοί)

Pl.m (Πλειοκαινικές μάργες)

M.m (Μειοκαινικές μάργες)

Pl (Πλειοκαινικές αποθέσεις)

M (Μειοκαινικές αποθέσεις)

5.1.3 *Αδιαπέρατοι σχηματισμοί*

Πρακτικά αδιαπέρατοι σχηματισμοί μικρής έως πολύ μικρής υδροπερατότητας (Α1)

Περιλαμβάνονται εδώ οι σχηματισμοί του φλύσχη και τα ελαφρώς μεταμορφωμένα αργιλικά ιζήματα των διαφόρων ζωνών. Κατά θέσεις εντός των στρωμάτων του φλύσχη αναπτύσσονται τοπικού χαρακτήρα υδροφορίες μικρού έως μέσου δυναμικού.

Περιλαμβάνονται εδώ οι παρακάτω σχηματισμοί :

ΠΙΝΔΟΣ
fo (φλύσχης Παλαιοκαίνου – Ηωκαίνου)
K.ft (1ος φλύσχης Κρητιδικού)
Jo (σχιστοκερατόλιθοι Ιουρασικού)
T.ft (κλαστική σειρά Τριαδικού)

ΤΡΙΠΟΛΗ
ft (Φλύσχης Ηωκαίνου - Ολιγοκαίνου)
T.sch (εναλλαγές σχιστολίθων – ασβεστολίθων)
ΙΟΝΙΟΣ
E.fi (Ασβεστιτικοί σχιστόλιθοι Ηωκαίνου)

ΤΕΚΤΟΝΙΚΑ ΚΑΛΥΜΜΑΤΑ
Fb (Βοιωτικός φλύσχης Α. Ιουρασικού - Κ. Κρητιδικού)
ΒΑΤΟΥ
J.fl (Σχιστόλιθοι Ιουρασικού)
Ps-Js (Μετα - ιζήματα Α.Περμίου-Ιουρασικού)

ΜΙΑΜΟΥ
Js.f (Φλύσχης Α. Ιουρασικού)
ΛΕΝΤΑ
f? (φλύσχης)
ΑΡΒΗΣ
Js.fl (Φλυσχοειδής σειρά Α. Ιουρασικού)

Πρακτικά αδιαπέρατοι ή εκλεκτικής κυκλοφορίας σχηματισμοί μικρής έως πολύ μικρής διαπερατότητας (Α2)

Κατατάσσονται εδώ τα μεταμορφωμένα και πυριγενή πετρώματα των διαφόρων ζωνών και καλυμμάτων. Κατά θέσεις στους σχηματισμούς αυτούς, τόσο εξαιτίας του έντονου κερματισμού τους όσο και εξαιτίας της πετρολογικής σύνθεσης τους (π.χ. εναλλαγές χαλαζιτών, μαρμάρων) αναπτύσσονται επιμέρους, τοπικού χαρακτήρα, υδροφορίες.

Περιλαμβάνονται εδώ οι παρακάτω σχηματισμοί :

γ (γρανιτικές διεισδύσεις)
ΙΟΝΙΟΣ
J.sch (σχιστόλιθοι Ιουρασικού)
ΧΑΛΑΖΙΤΕΣ / ΦΥΛΛΙΤΕΣ
Ph (φυλλίτες – χαλαζίτες)

ΤΕΚΤΟΝΙΚΑ ΚΑΛΥΜΜΑΤΑ
o (οφιόλιθοι)
me (Οφιολιθικό melange)
ΑΣΤΕΡΟΥΣΙΑ
gn (γνεύσιους, αμφιβολίτες, σχιστολίθους και χαλαζίτες)
ΒΑΤΟΥ
o (οφιόλιθοι Α.Ιουρασικού – Κ.Κρητιδικού)

ΓΥΨΟΙ *(g)*

Στο σχηματισμό των γύψων αναπτύσσεται υψηλού δυναμικού υπόγεια υδροφορία εξαιτίας της διάλυσης τους (‘ψευδοκαρστ’) με υψηλή περιεκτικότητα σε θειικά ιόντα.

Με βάση το διαχωρισμό αυτό συντάχθηκε ο υδρολιθολογικός χάρτης της Κρήτης και παρουσιάζεται στην εικόνα Π5-1 στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 5

5.1.4 *Ισοζύγια υδρογεωλογικών ενοτήτων Κρήτης*

Με βάση τα επιμέρους ισοζύγια των υδρογεωλογικών ενοτήτων και λεκανών που αναπτύσσονται στην Κρήτη προέκυψε ο συγκεντρωτικός Πίνακ. 5-3 στον

οποίο παρουσιάζονται ανά είδος υδροφορέα ο μέσος όγκος κατακριμνησμάτων και οι μέσες ετήσιες διακινούμενες υπόγειες ποσότητες νερού για το σύνολο των υδρογεωλογικών ενοτήτων της Κρήτης (Περλέρος Β. κα 2003).

Συγκεντρωτικά για το σύνολο της Κρήτης, στις ανωτέρω εμφανίσεις συνολικής έκτασης 6.303 km^2 , διακινούνται υπογείως κατά μέσο όρο περί τα 2.233 $X10^6$ m^3/έτος.

Από τις παράκτιες καρστικές λεκάνες ένα μέρος των ανωτέρω διακινούμενων υπογείως ποσοτήτων αναμειγνύεται στους κατώτερους παράκτιους ορίζοντες με θαλασσινό νερό και απορρέει ως υφάλμυρο. Οι κύριες υφάλμυρες πηγές, των οποίων η παροχή τους παρακολουθείται, διακινούν ετησίως περί τα 450 $\cdot 10^6$ m^3/έτος. Εκτιμάται ότι η συνολική ποσότητα υφάλμυρου νερού μαζί με τις υποθαλάσσιες εκφορτίσεις ανέρχεται σε 800-1.000 $\cdot 10^6$ m^3/έτος (Περλέρος Β. κα 2003).

Πίνακ. 5-3 Μέσο ετήσιο υδρολογικό ισοζύγιο κύριων υδρολογικών ενοτήτων Κρήτης

Καρστικές εμφανίσεις που περιλαμβάνουν τις επιμέρους υδρογεωλογικές ενότητες, έκτασης 2.730 km^2	Δέχονται μέσο ετήσιο ύψος βροχής 1300 mm και διακινούνται υπογείως $1.788 \cdot 10^6$ m^3/έτος με μέσο συντελεστή κατείσδυσης 50%
Νεογενείς – Προσχωματικές εμφανίσεις έκτασης 2.597 km^2	Δέχονται μέσο ετήσιο ύψος βροχής 693 mm και διακινούνται υπογείως $365 \cdot 10^6$ m^3/έτος με μέσο συντελεστή κατείσδυσης 20%
Άλλες πολύμεικτες υδροφορίες (Βιάννου, Αχεντριά, Αντισκάρι, Παλαιόχωρα) έκτασης 976 km^2	Δέχονται μέσο ετήσιο ύψος βροχής 780 mm και διακινούνται υπογείως $80 \cdot 10^6$ m^3/έτος με μέσο συντελεστή κατείσδυσης 10%

Η συνολική έκταση της Κρήτης που περιλαμβάνει και τα μικρά νησιά ανέρχεται σε 8.341,51 km^2. Η υπόλοιπη έκταση των περίπου 2.000 km^2 που υπολείπεται με βάση το άθροισμα των υδρογεωλογικών λεκανών αναφέρεται κυρίως στα αναπτύγματα των φυλλιτών – χαλαζιτών και φλύσχη αλλά και σε μικρές εμφανίσεις ανθρακικών και κοκκωδών σχηματισμών (νεογενή – τεταρτογενή) που δεν συνδέονται με τις ανωτέρω λεκάνες.

5.2 *Υδρογεωλογικές συνθήκες της λεκάνης Μεσαράς*

Με βάση την ταξινόμηση των γεωλογικών σχηματισμών της Κρήτης (παράγραφος 5.1) διακρίνουμε τις παρακάτω υδρολιθολογικές ενότητες στην περιοχή μελέτης (βλέπε χάρτη στην εικόνα Π5-2 στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 5):

- Καρστικοί σχηματισμοί οι οποίοι συνίστανται από τα ανθρακικά πετρώματα των ενοτήτων της Πίνδου, της Τρίπολης και της Αυτόχθονου σειράς και καταλαμβάνουν τα όρια της λεκάνης της Μεσαράς. Βόρεια δομούν την οροσειρά της Ίδης και νότια την οροσειρά των Αστερουσίων ορέων όπου εκεί έχουμε μικρότερες εμφανίσεις. Μικρό ποσοστό του υπόγειου δυναμικού του καρστικού υδροφορέα της Ίδης απορρέει από τις

πηγές της Γέργερης με αποδέκτη την υδρολογική λεκάνη του Ληθαίου-Γεροποτάμου και από τις πηγές του Ζαρού με αποδέκτη την υδρολογική λεκάνη του Τυμπακίου. Το μεγαλύτερο ποσοστό του υπόγειου δυναμικού του καρστικού συστήματος της Ίδης απορρέει βόρεια στην υφάλμυρη πηγή του Αλμυρού Ηρακλείου. Οι καρστικές εμφανίσεις των Αστερουσίων φιλοξενούν περιορισμένους υδροφόρους ορίζοντες με μικρό δυναμικό και το νερό τους χρησιμοποιείται κυρίως για την ύδρευση των οικισμών.

- Προσχωματικές αποθέσεις που καταλαμβάνουν το κεντρικό πεδινό τμήμα της λεκάνης της Μεσαράς και αποτελούν το σημαντικότερο υδροφορέα της περιοχής μελέτης. Συνίστανται από ποταμολιμναίες αλλουβιακές αποθέσεις. Επίσης συναντώνται μικρού πάχους και έκτασης αποθέσεις κατά μήκος των υδρορευμάτων
- Πλειστοκαινικές αποθέσεις που καταλαμβάνουν σημαντική έκταση στο βόρειο τμήμα της πεδινής περιοχής.
- Νεογενείς σχηματισμοί που καταλαμβάνουν ένα μεγάλο τμήμα της περιοχής μελέτης βόρεια των προσχωματικών – πλειστοκαινικών αποθέσεων και σχηματίζουν το λοφώδες ανάγλυφο.

Οι σημαντικότεροι υδροφορείς στην περιοχή μελέτης κατά σειρά δυναμικότητας είναι ο αλλουβιακός, ο πλειστοκαινικός και ο νεογενής. Επίσης στα περιθώρια της λεκάνης απαντούν ανθρακικοί σχηματισμοί που φιλοξενούν καρστικές υδροφορίες. Οι καρστικοί υδροφορείς των Αστερουσίων σχηματίζουν μικρές αποκομμένες λεκάνες, λόγω του έντονου τεκτονισμού και το νερό τους χρησιμοποιείται κυρίως για την ύδρευση των οικισμών. Ποσότητα από το νερό του καρστικού συστήματος του Ψηλορείτη εξέρχεται από τις δύο πηγές της Γέργερης και του Ζαρού. Στην συνέχεια παρουσιάζονται οι υδροφορείς της περιοχής μελέτης.

5.2.1 *Νεογενής υδροφορέας*

Οι νεογενείς σχηματισμοί της λεκάνης της Μεσαράς οι οποίοι λεπτομερώς παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο 4 αποτελούν το υπόβαθρο των τεταρτογενών αποθέσεων και χαρακτηρίζονται από πετρώματα διαφορετικής σύστασης και στρωματογραφίας (βλέπε χάρτη στην εικόνα Π5-2 στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 5). Το χαρακτηριστικό του νεογενούς είναι οι ρηξιγενείς ζώνες οι οποίες μετακίνησαν κατακόρυφα τα ρηξιτεμάχη και σχημάτισαν διάφορες λεκάνες μέσα στις οποίες εναποτέθηκαν οι σύγχρονες αποθέσεις. Το μεγαλύτερο μέρος των νεογενών σχηματισμών συνίστανται από εναλλαγές στρώσεων μεγάλου πάχους ιλυόλιθων, αργίλων και μαργών.

Επίσης απαντούν και ενστρώσεις μικρότερου πάχους αποτελούμενες από άμμο, ψαμμίτες, κροκαλοπαγή και μαργαϊκούς ασβεστολίθους οι οποίες εμφανίζουν μικρό υδρογεωλογικό ενδιαφέρον καθώς φιλοξενούν ασθενείς υδροφορίες που είναι υπό πίεση. Οι υδροφόροι αυτοί εκμεταλλεύονται από αριθμό γεωτρήσεων βάθους 200- 350 μέτρων κυρίως στις περιοχές που έχουμε έλλειψη άλλων υδατικών πόρων (περιοχή Βαγιονιάς). Η παροχή των γεωτρήσεων αυτών είναι μικρή (5- 15 m^3/h) Συχνά όμως διατρήονται στρώσεις οι οποίοι περιέχουν νερό κακής ποιότητας (υψηλή αλατότητα) που το καθιστούν ακατάλληλο για οποιαδήποτε χρήση.

Κατά θέσεις απαντούν μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι (περιοχή βόρεια των Μοιρών) ή και γύψοι (περιοχή βόρεια των Μοιρών και των Γκαγκαλών) πετρώματα που χαρακτηρίζονται από την εμφάνιση μικρής υδροφορίας.
Κατά το τέλος του τριτογενούς έλαβαν χώρα κατακόρυφες κινήσεις (βλέπε κεφάλαιο 4) ανυψώνοντας τα διάφορα ρηξιτεμάχη οποία στη συνέχεια υπέστησαν έντονη διάβρωση σχηματίζοντας τάφρους μέσα στις οποίες εναποτέθηκαν τα ποταμολιμναία στρώματα του Πλειστοκαίνου.

5.2.2 *Πλειστοκαινικός υδροφορέας (σχηματισμός Αγ. Γαλήνη)*

Τα πλειστοκαινικά ιζήματα εναποτέθηκαν στα ρηξιτεμάχη των νεογενών σχηματισμών κάτω από ηπειρωτικές συνθήκες (ποταμολιμναία φάση). Το πλειστόκαινο στα κατώτερα (υψομετρικά) ρηξιτεμάχη, όπως της λεκάνης των Μοιρών και του Χάρακα, διατηρείται σε σχετικά καλή κατάσταση σε αντίθεση με των ανώτερων υψομέτρων που σχεδόν διαβρώθηκε και διατηρείται μόνο μια στρώση πολύ μικρού πάχους (λεκάνη Βαγιονιάς). Επιφανειακά απαντούν στην περιοχή Καλυβιανής και των Γκαγκαλών. (βλέπε χάρτη εικόνα Π5-2 στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 5 και εικόνα Π5-3 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ6). Το επίπεδο της στάθμης της θάλασσας μετά την εναπόθεση των πλειστοκαινικών σχηματισμών ήταν σε κατώτερο υψόμετρο από ότι σήμερα και νέες τάφροι σχηματίσθηκαν από την διάβρωση των κυρίων υδρορευμάτων του Γεροπόταμου, του Λιθαίου και του Αναποδάρη. Το μέγιστο βάθος των τάφρων αυτών καταγράφηκε στα 75 μέτρα κάτω από τη σημερινή στάθμη της θάλασσας στην περιοχή των Μοιρών και το μέγιστο που έχει καταγραφεί στην ευρύτερη περιοχή είναι 80μ στην περιοχή του Πλατύ (όμορη λεκάνη δυτικότερα του Τυμπακίου). Στη έξοδο του Γεροποτάμου στη θάλασσα (Τυμπάκι) το βάθος της τάφρου είναι της τάξης των 100 μέτρων από την επιφάνεια του εδάφους που ελαττώνεται προς τα ανάντη και στο ύβωμα της Φαιστού είναι 60 μέτρα από την επιφάνεια του εδάφους.
Στις τάφρους αυτές εναποτέθηκαν οι τεταρτογενής αλλουβιακές αποθέσεις.

5.2.3 *Αλλουβιακός υδροφορέας*

Ο αλλουβιακός υδροφορέας έχει επίμηκες σχήμα, καταλαμβάνει το κεντρικό πεδινό τμήμα της λεκάνης της Μεσαράς και συνίσταται από σύγχρονες ποταμολιμναίες αποθέσεις κροκαλοπαγών, άμμων, ιλυολίθων και αργίλων (βλέπε χάρτη στην εικόνα Π5-3 στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 5). Ο υδροφορέας αυτός συνίσταται από αποθέσεις διαφορετικής στρωματογραφικής ηλικίας και διαφορετικών τύπων απόθεσης και σύστασης και επομένως διαφορετικών υδρογεωλογικών ιδιοτήτων. Σε όλες σχεδόν τις υδρογεωλογικές μελέτες, λόγω απλοποίησης και προσέγγισης των υδρογεωλογικών συνθηκών της περιοχής αντιμετωπίζεται ως ενιαίος. Στην παρούσα εργασία, βάσει της υδρογεωλογικής ανάλυσης που ακολουθεί διακρίνεται σε μεγάλα τμήματα τα οποία εμφανίζουν σχετική ομοιομορφία και μεταξύ των υπάρχει υδραυλική επικοινωνία.

Ο αλλουβιακός υδροφορέας δύναται να διακριθεί σε τρεις κατηγορίες: αποθέσεις στις τάφρους διάβρωσης οι οποίες καταλαμβάνουν μια ζώνη γύρω από τα κύρια υδρορέματα (Γεροπόταμος, Αναποδάρης και Λιθαίος), κώνοι κορημάτων και πλευρικά κορήματα που καταλαμβάνουν κύρια τις νότιες υπώρειες περιοχές και αποθέσεις που καλύπτουν την υπόλοιπη λεκάνη.

Η ηλικία του αλλουβιακού μανδύα τοποθετείται στο Ολόκαινο- Ανώτερο Πλειστόκαινο και είναι δύσκολο να προσδιορισθεί στα καρότα των γεωτρήσεων η ζώνη μετάβασης από τα Ολοκαινικά ιζήματα στα Άνω Πλειστοκαινικά. Ακόμα κατά θέσεις είναι δυσκολότερο να διακριθεί η μετάβαση στις αποθέσεις του κατώτερου Πλειστοκαίνου επειδή συνίστανται από ίδια υλικά και έχουν το ίδια ανοιχτά κίτρινα και κοκκινωπά χρώματα και στερούνται από απολιθώματα, διάκριση που είναι σημαντική στην υδρογεωλογική ανάλυση καθώς οι αποθέσεις αυτές χαρακτηρίζονται από διαφορετικές ιδιότητες. Οι αποθέσεις κατωτέρου Πλειστοκαίνου αν και αποτελούνται από υλικά της ίδιας σύστασης με τα του Ολοκαίνου- ανώτερου Πλειστοκαίνου συνήθως έχουν μεγαλύτερο βαθμό συμπύκνωσης και τσιμεντοποίησης με αποτέλεσμα να έχουν μικρότερο συντελεστή υδροπερατότητας και συντελεστή αποθηκευτικότητας.

Οι αλλουβιακές αποθέσεις των τάφρων διάβρωσης αποτελούνται από εναλλαγές στρώσεων χαλίκων, αργίλου και ιλύος. Στρώσεις άμμων είναι σπάνιες και συνήθως η άμμος είναι αναμεμιγμένη με τα άλλα υλικά. Το κυρίαρχο χρώμα είναι γκρίζο, καφετί γκρίζο και γκριζόμαυρο.

Οι κώνοι κορημάτων και τα πλευρικά κορήματα ποικίλουν ανάλογα με την προέλευση τους και την θέση τους. Τα υλικά είναι περισσότερο χοντρόκοκκα και λατυποπαγή κοντά στις υπώρειες νότιες περιοχές. Κατά θέσεις τα κενά των χοντρόκοκκων πληρώνονται από λεπτόκοκκα υλικά με αποτέλεσμα να ελαττώνουν τις ιδιότητες του υδροφορέα (υδροπερατότητα, αποθηκευτικότητα). Οι κώνοι κορημάτων που προέρχονται από παλαιότερα πετρώματα των ορεινών όγκων έχουν συνήθως κοκκινωπό χρώμα και είναι δύσκολο να διακριθούν τα νεότερα από τα παλαιότερα (Πλειστόκαινα) ιζήματα και γενικά χαρακτηρίζονται με μεγάλο πορώδες. Τα πλευρικά κορήματα που προέρχονται από νεογενή πετρώματα συνίστανται από λεπτόκοκκα υλικά και γενικά περικλείουν ασθενείς υδροφορίες.

Το αλλουβιακό κάλυμμα του υπόλοιπου πεδινού τμήματος κυμαίνεται σε σύσταση και χαρακτηριστικά ανάλογα με τον τύπο πετρώματος που επικρατεί στα περιθώρια του. Στις περιοχές που επικρατούν Πλειστοκαινικές αποθέσεις (σχηματισμός Αγ. Γαλήνης) υπάρχει ένα λεπτό κάλυμμα από αποσαρθρωμένα Πλειστόκαινα υλικά. Στις περιοχές που επικρατούν οι νεογενείς σχηματισμοί το αλλουβιακό κάλυμμα συνίσταται από μάργες (ιλύς- άργιλος) το οποίο είναι δύσκολο να διακριθεί από το διαβρωμένο Νεογενές. Όμως η διάκριση αυτή δεν έχει ιδιαίτερη σημασία από υδρογεωλογική σκοπιά.

5.3 *Υποδιαίρεση της υδρογεωλογικής λεκάνης της Μεσαράς.*

Η περιοχή μελέτης δεν αποτελεί μια «ομοιόμορφη» υδρογεωλογική ενότητα αλλά κάτω από τον αλλουβιακό μανδύα κρύβει ρηξιτεμάχη με διαφορετικές υδρογεωλογικές ιδιότητες. Το πεδινό τμήμα της Μεσαράς στην παρούσα εργασία υποδιαιρέθηκε σε επιμέρους λεκάνες, οι οποίες υδραυλικά επικοινωνούν μεταξύ τους, σε αντιστοιχία με τις ρηξιγενής ζώνες (block-faults) κατά την επιμήκη διάσταση της λεκάνης (Α-Δ), όπως αυτές παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο 4. Οι ρηξιγενείς αυτές ζώνες διαμόρφωσαν τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά, τη σύσταση και τη στρωματογραφία του προσχωματικού - τεταρτογενή υδροφορέα (αλλουβιακός- πλειστοκαινικός). Διακρίθηκε η λεκάνη

των Μοιρών, της Βαγιονιάς, του Ασημίου και του Χάρακα (βλέπε χάρτη εικόνας Π5-4α και γεωλογική τομή Π5-4β). Η σχετική μεγαλύτερη ανύψωση του ρηξιτέμαχους της Βαγιονιάς ανάγκασε την υπόγεια ροή να ρέει σε αντίθετες κατευθύνσεις (Δύση και Ανατολή) κατά αντιστοιχία περίπου με τα επιφανειακά υδρορεύματα (Γεροπόταμος – Αναποδάρης). Οι υδροφορείς στις λεκάνες αυτές συνίστανται από τον αλλουβιακό σχηματισμό με «πολύ καλές» υδρογεωλογικές ιδιότητες κυρίως κατά μήκος των κύριων υδρορευμάτων και από τους πλειστοκαινικούς σχηματισμούς με σχετικά «μέτριες» ιδιότητες αλλά τοπικά εμφανίζουν και «καλές». Ο κατώτερος ορίζοντας, το νεογενές, έχει μικρή υδρογεωλογική σημαντικότητα ως υδροφορέας και κατά θέσεις εμφανίζει «μέτριες» υδρογεωλογικές ιδιότητες (βλέπε ισοπιεζομετρικό χάρτη εικόνα Π5-5α και Π5-5β).

Η μόνη υπόγεια διαφυγή του νερού του υδροφορέα εκτός λεκάνης είναι από τη στενή και μικρού πάχους ζώνη της Φαιστού προς στη λεκάνη του Τυμπακίου και τελικά εκβάλει στον κόλπο του Τυμπακίου. Τοπικά εμπόδια (ζώνες με μικρή διαπερατότητα) κατά θέσεις αναγκάζουν το υπόγειο νερό να αναβλύζει στην επιφάνεια ως επιφανειακή απορροή, όμως στη συνέχεια είτε κατεισδύει ξανά ή απορρέει επιφανειακά. Αυτή η διασύνδεση μεταξύ επιφανειακού και υπόγειου νερού λάμβανε χώρα σε μεγαλύτερο βαθμό πριν αρχίσει η έντονη εκμετάλλευση του υπόγειου δυναμικού και την συνεπακόλουθη πτώση του υδροφόρου ορίζοντα.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά και οι ιδιότητες των λεκανών του πεδινού τμήματος.

5.3.1 *΄Υβωμα Φαιστού*

Το ρηξιτέμαχος της Φαιστού συνίσταται από νεογενή πετρώματα, ιλιόλιθους και μάργες. Επίσης μικρού πάχους μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι απαντούν στις κορυφές των λόφων. Λόγω της σχετικής ανύψωσής του, από της όμορες λεκάνες του Τυμπακίου και των Μοιρών, τις διαχωρίζει αυτές και τις απομονώνει υδρογεωλογικά. Το στένεμα της Φαιστού, που μοιάζει με φαράγγι, είναι η μόνη διασύνδεση και των επιφανειακών και υπόγειων νερών μεταξύ των δύο λεκανών.
Το ρηξιτέμαχος της Φαιστού οριοθετείτε από παράλληλα ρήγματα (ΒΒΑ-ΝΝΔ) τα οποία διαχωρίζουν τον αλλουβιακό σχηματισμό πάχους 60 μέτρων του στενέματος Φαιστού από αυτό της λεκάνης Μοιρών πάχους μεγαλύτερου των 100 μέτρων.
Υδρογεωλογικά το ρηξιτέμαχος της Φαιστού θεωρείται ως αδιαπέρατος σχηματισμός εμποδίζοντας κάθε υπόγεια διαφυγή εκτός λεκάνης των Μοιρών, με εξαίρεση το στένεμα της Φαιστού.

5.3.2 *Λεκάνη Μοιρών*

Η λεκάνη των Μοιρών σχηματίζεται από βυθισμένα ρηξιτεμάχη της λεκάνης (graben) της Μεσαράς και οριοθετείται μεταξύ του ρηξιτεμάχους της Φαιστού και της Βαγιονιάς. Η λεκάνη των Μοιρών αποτελείται από άλλα μικρότερα ρηξιτεμάχη διαφορετικών επιπέδων πάνω στα οποία κυμαινόμενου πάχους πλειστόκαινοι και αλλουβιακοί σχηματισμοί επικάθενται. Αν και έχει ανορυχθεί εντός της λεκάνης ένας μεγάλος αριθμός γεωτρήσεων, αυτές δεν παρέχουν λεπτομερή στοιχεία προκειμένου να χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή της

γεωλογικής δομής της με εξαίρεση τις γεωτρήσεις του FAO (1969, 1970). Κάτω από αυτά τα δεδομένα η υποδιαίρεση της λεκάνης των Μοιρών έγινε με βάση τα στοιχεία που κρίθηκαν αξιόπιστα και ειδικότερα η διάκριση των επί μέρους λεκανών στηρίχθηκε στην οριοθέτηση μεταξύ των νεογενών- πλειστοκαινικών σχηματισμών και των πλειστοκαινικών -αλλουβιακών αποθέσεων του Γεροπόταμου και του Λιθαίου ποταμού. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι σημαντικό ρόλο στις υδρογεωλογικές συνθήκες της λεκάνης των Μοιρών παίζουν τα ρήγματα που τη διατρέχουν για αυτό έγινε προσπάθεια η κατά το δυνατό χαρτογράφηση τους, τα οποία συζητούνται στην επόμενη παράγραφο.

5.3.2.1 *Γεωμετρία, όρια , έκταση της λεκάνης Μοιρών*

Η λεκάνη των Μοιρών έχει σχήμα ασύμμετρο τριγωνικό με μέσο μήκος ανατολή-δύση περίπου 12 km και πλάτος 600 m στα δυτικά και 4 km στα ανατολικά και η έκτασή της ανέρχεται σε 50,3 km^2 (βλέπε χάρτη εικόνα Π5-6α) Τα όρια της υδρογεωλογικής λεκάνης ταυτίζονται περίπου με τα όρια της πεδινής ζώνης και οριοθετείται από βυθισμένα ρηξιτεμάχη στα οποία οι υδροφόροι πλειστοκαινικοί σχηματισμοί διατηρούνται με ικανοποιητικό πάχος και επικάθεινται σε αυτά αλλουβιακές αποθέσεις με υδρογεωλογικές ιδιότητες «πολύ καλές» σε πολλές ζώνες. Το βόρειο όριο περιγράφεται από τη νοητή γραμμή Αγ. Δέκα- Καστέλι- Μοίρες –στένεμα Φαιστού, το νότιο όριο περίπου ακολουθεί τη νοητή γραμμή Πλάτανος- Πέρι- Πετροκεφάλι- Άγιος Ιωάννης, και το δυτικό όριο περιγράφεται από τη λοφώδη ζώνη της Φαιστού. Το ανατολικό όριο δεν περιγράφεται τόσο ευδιάκριτα και ορίζεται από το ανυψωμένο ρηξιτέμαχος της Βαγιονιάς και ευρίσκεται περίπου στην νοητή γραμμή Αγ. Δέκα- Απεσωκάρι.

Στην εικόνα Π5-6β (ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ6) δίνεται ο χάρτης της λεκάνης των Μοιρών στον οποίο χαράχτηκαν τα ρήγματα (με διακεκομμένη γραμμή) κάτω από τις αλλουβιακές αποθέσεις. Τα ρήγματα αυτά δεν είναι (επιφανειακά) ορατά και κατασκευάσθηκαν στις θέσεις αυτές κατόπιν αξιολόγησης των διατρητικών δεδομένων (καρότα γεωτρήσεων) και της συσχέτισής τους με την τεκτονική δομή της ευρύτερης περιοχής.
Εδώ πρέπει να αναφερθεί ότι έγινε προσπάθεια ανίχνευσης πιθανών ασυνεχειών (γραμμώσεων) με τη χρήση του ψηφιακού μοντέλου εδάφους (shaded relief images DEM). Η μέθοδος αυτή έδωσε πολύ καλή συσχέτιση για ρήγματα εκτός της αλλουβιακής λεκάνης με βάση τη χαρτογράφηση των ρηγμάτων του ΙΓΜΕ όμως κάτω από τις αποθέσεις δεν ήταν δυνατόν να ανιχνευτούν γραμμώσεις που θα μπορούσαν να αποδοθούν σε ρήγματα καθότι η περιοχή καλλιεργείται για πολλούς αιώνες εντατικά και το ανάγλυφο είναι επίπεδο. Επιπλέον αν και συγκεντρώθηκαν διατομές γεωφυσικών (κυρίως ηλεκτρικών) διασκοπήσεων δεν προσέφεραν επιπλέον πληροφορίες για θέσεις ασυνεχειών.
Οι θέσεις των ρηγμάτων αυτών κάτω από τον αλλουβιακό μανδύα δεν πρέπει να θεωρηθούν ακριβείς αλλά είναι κατά προσέγγιση λόγω της κατασκευής των από (αν και μεγάλου αριθμού) περιορισμένα διατρητικά δεδομένα. Όμως θα πρέπει να σημειωθεί ότι περιγράφουν την τεκτονική δομή της περιοχής με βάση το αποδεκτό γεωδυναμικό μοντέλο εξέλιξής της και ερμηνεύουν τα δεδομένα μεγάλου αριθμού γεωτρήσεων. Επιπρόσθετα η κατά «προσέγγιση» θέση των ρηγμάτων δεν έχει καμιά σημαντική επίπτωση στην υδρολογική ανάλυση που ακολουθεί.

Το πλέον βυθισμένα ρηξιτεμάχη είναι αυτά που βρίσκονται στο δυτικό και νότιο τμήμα της λεκάνης και παρατηρείται βαθμιαία ανύψωσή τους προς τα ανατολικά και βόρεια. Στις εικόνες Π5-7,…,Π5-13 (ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 5) δίνονται οι υδρογεωλογικές τομές της λεκάνης των Μοιρών κατά τη διαμήκη και την εγκάρσια διεύθυνσή της. Ο σημαντικότερος υδροφορέας της λεκάνης των Μοιρών είναι οι αλλουβιακές αποθέσεις, οι οποίες καταλαμβάνουν μια ζώνη γύρω από τα κύρια υδρορεύματα του Γεροποτάμου και του Λιθαίου, και επίσης ο μικρότερης σημασίας υδροφορέας των πλειστοκαινικών σχηματισμών, οι οποίοι παρουσιάζονται στη συνέχεια.

5.3.2.2 *Αλλουβιακός υδροφορέας λεκάνης Μοιρών*

Ο αλλουβιακός υδροφορέας της λεκάνης των Μοιρών καλύπτει όλη τη λεκάνη με αποθέσεις κυμαινόμενου πάχους με το μεγαλύτερο πάχος να εμφανίζεται σε μια ζώνη κατά μήκος του Γεροποτάμου και του Λιθαίου η οποία έχει έκταση περίπου 13,6 km^2 και οριοθετεί το σημαντικότερο υδροφορέα όσο αφορά την υπόγεια αποθήκευση και απόδοση. Στο χάρτη της εικόνας Π5-25 διακρίνονται οι περιοχές που υποδιαιρέθηκε η λεκάνη των Μοιρών με βάση το πάχος και τα υδραυλικά χαρακτηριστικά των αλλουβιακών αποθέσεων.

Ο Αλλουβιακός υδροφορέας του Γεροποτάμου απαντά σε μια μάλλον βαθειά και πλατιά τάφρο που κόβει κύρια τους κάτω- πλειστοκαινικούς σχηματισμούς. Η τάφρος αυτή δεν ταυτίζεται με τη σημερινή ροή του Γεροποτάμου, στο ανατολικό τμήμα της λεκάνης ευρίσκεται βόρεια του ποταμού ενώ στο δυτικό τμήμα του νότια. Στο δυτικό όριο της λεκάνης ο αλλουβιακός υδροφορέας διεισδύει στο στένεμα της Φαιστού και ενώνει τη λεκάνη των Μοιρών με του Τυμπακίου.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί στο κεφάλαιο 4 υπάρχει αβεβαιότητα καθορισμού του ορίου μεταξύ των αλλουβιακών αποθέσεων και των πλειστοκαινικών σχηματισμών στα κατώτερα ρηξιτεμάχη (περιοχή δυτικά των Μοιρών) (αναφέρεται στις γεωλογικές τομές «πλειστόκαινο?»). Η ζώνη αυτή εντάχθηκε υδρογεωλογικά στις αλλουβιακές αποθέσεις λόγω των παραπλήσιων ιδιοτήτων του (υδροπερατότητα, υδροχωρητικότητα). Ο συνολικός όγκος των αλλουβιακών αποθέσεων του Γεροποτάμου ανέρχεται σε 692,3 Mm3 (βλέπε Πίνακ. 5-6) ο οποίος αποτελείται, σε συνθήκες μη εκμετάλλευσης του (αναφορά στα δεδομένα του FAO έτος 1972) από: 50,8 Mm^3 ακόρεστης ζώνης και 641,5 Mm^3 κορεσμένης ζώνης από την οποία τα 263,2 Mm^3 συνίσταται από χαλίκια και άμμο αντιπροσωπεύοντας ένα «καλό υδροφόρο» και τα υπόλοιπα 378,3 Mm^3 από άργιλο και ιλύς που αντιπροσωπεύει το ανυδροφόρο της κορεσμένης ζώνης. Εάν υποθέσουμε ότι το ενεργό πορώδες για το υδροφόρο σχηματισμό είναι 10% και για το ανυδροφόρο είναι 3% τότε η υδροχωρητικότητα του αλλουβιακού υδροφορέα του Γεροποτάμου ανέρχεται στο ύψος των 38 Mm^3 (οι υπολογισμοί δίνονται στον Πίνακ. 5-6).

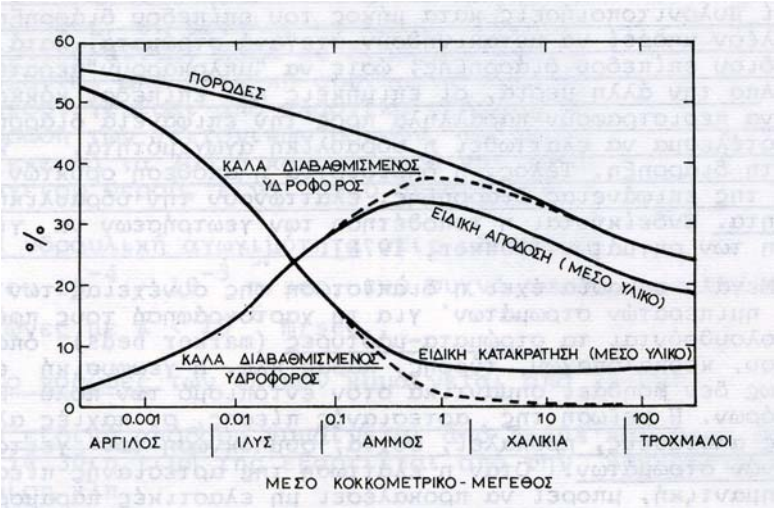
Γενικότερα, το ολικό πορώδες των υλικών σε κοιλάδες τεκτονικής προέλευσης κυμαίνεται από 25% -60%, ενώ η ειδική απόδοση (ενεργό πορώδες) κυμαίνεται από 3% - 40% (Εικόνα 5-1) και η τιμή τους εξαρτάται από την κοκκομετρία τη διαβάθμιση, τη συμπίεση κλπ. Το ενεργό πορώδες για τους διάφορους τύπους σχηματισμού δίνεται στον Πίνακ. 5-4. Γενικά οι ειδικές αποδόσεις για χαλαρούς σχηματισμούς μεγάλου πάχους τείνουν να κατέβουν στο 7-15% (Καλλέργης 1986) πράγμα που οφείλεται στη ανάμειξη υλικών κυμαινόμενης κοκκομετρικής

σύνθεσης. Μείωση επίσης της ειδικής απόδοσης παρατηρείται με το βάθος λόγω συμπύκνωσης των υλικών.

Πίνακ. 5-4 Υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά μερικών χαλαρών ιζημάτων (Bell, 1980)

Τύπος σχηματισμού	Συνολικό πορώδες %	Ενεργό πορώδες %	Υδροπερατότητα (m/sec)
Άργιλος	45	3	<10%
Άμμος	35	25	$10^{-4} – 10^{-6}$
Χαλίκια	25	22	$>10^{-4}$
Σύναγμα (άμμος +χαλίκια	20	16	10^{-5} -10^{-7}

Η σύσταση του αλλουβιακού υδροφορέα του Γεροποτάμου μεταβάλλεται από ανατολικά προς τα δυτικά. Στα ανατολικά τα υλικά των αποθέσεων είναι γενικά περισσότερο χοντρόκοκκα (υδροφόρο) με ενστρώσεις αργιλικών και ιλύος (ανυδροφόρο) πάχους συνήθως μικρότερο από 5 m. Το επιφανειακό στρώμα συνίσταται κυρίως από χαλίκια και άμμο και επιτρέπει υψηλή κατείσδυση.



Εικόνα 5-1 Σχέση ανάμεσα στο μέσο κοκκομετρικό μέγεθος και στην υδροχωρητικότητα σε αλλουβιακές αποθέσεις μεγάλων κοιλάδων (Davis- DeWiest 1966, Καλλέργης 1986)

Στο κατάντη τμήμα, περίπου από το ύψος των Μοιρών και δυτικότερα, το πάχος και το ποσοστό των ανυδροφόρων είναι μεγαλύτερο και το επιφανειακό στρώμα γίνεται περισσότερο αργιλικό το οποίο έχει πάχος από 20-30 m. Στη περιοχή του Πετροκεφάλι ο υδροφορέας είναι υπό πίεση και οι πρώτες γεωτρήσεις που ανορύχθηκαν ήταν αρτεσιανές (βλέπε χάρτη εικόνα Π5-5). Επίσης ΒΑ του Πετροκεφάλι εμφανίζονταν, πριν την έντονη εκμετάλλευση του υδροφορέα, μόνιμες πηγές που το νερό τους απομακρύνονταν με κανάλια και χρησιμοποιούταν για τη λειτουργία υδρόμυλων και την άρδευση ορυζώνων! Τα κανάλια αυτά σήμερα χρησιμοποιούνται για τον τεχνικό εμπλουτισμό του υδροφορέα!. Από την ανάλυση των καρότων των γεωτρήσεων και της γεωτεκτονικής δομής της περιοχής συμπεραίνεται ότι η εμφάνιση των πηγών αυτών συνδέεται με την ύπαρξη ρήγματος (βλέπε χάρτη εικόνα Π5-6). Θα πρέπει να αναφερθεί ότι σχετική μελέτη στην περιοχή των νεογενών πετρωμάτων της λεκάνης του Ηρακλείου έχει δείξει υψηλή συσχέτιση μεταξύ των πηγών και των ρηγμάτων του νεογενούς (Fassoulas & Kritsotakis, 2006).

Η ανύψωση της υπόγειας στάθμης του νερού, που λάμβανε χώρα πριν την υπερεκμετάλλευση του υδροφορέα, τροφοδοτούσε με νερό το Γεροπόταμο ο οποίος είχε μόνιμη ροή από τη γέφυρα του Πετροκεφάλι και κάτω. Ο λόγος που συνέβαινε η ανύψωση της υπόγειας στάθμης ήταν αφενός ο φραγμός από τον αδιαπέρατο σχηματισμό του υβώματος της Φαιστού και αφετέρου το στένεμα της Φαιστού που ελαττώνει την διατομή του αλλουβιακού υδροφορέα περίπου στο 20% της αντίστοιχης διατομής του στο ύψος του Πετροκεφάλι σε συνδυασμό με το αδιαπέρατο επιφανειακό στρώμα. Αυτό έχει ως συνέπεια το νερό να «διαρρέει» (seepage) από το υδροφόρο στην κοίτη κατά μήκος του Γεροποτάμου η οποία ευρίσκεται περίπου 3-4 m βαθύτερα.

Ο Λιθαίος αποτελεί το μόνο σημαντικό παραπόταμο του Γεροποτάμου με μόνιμη ροή κατά το παρελθόν λόγω των καρστικών πηγών της Γέργερης που ευρίσκονται στο βόρειο άκρο της λεκάνης του. Ο Λιθαίος πηγάζει από μια περιοχή με νεογενείς σχηματισμούς και στη συνέχεια διατρέχει μια μεγάλη εμφάνιση φλύσχη και μετά την έξοδο του, αρχαιότητες της Γόρτυνας, έχει αποθέσει χοντρόκοκκα υλικά στη περιοχή μεταξύ της Γόρτυνας και του Γεροποτάμου.

Ανάλογα και εδώ είναι δύσκολο να διακριθούν τα όρια των αλλουβιακών αποθέσεων με των πλειστοκαινικών σχηματισμών. Το πάχος των αλλουβιακών αποθέσεων υπολογίζεται να είναι 50 m κοντά στη συμβολή του Λιθαίου με τον Γεροπόταμο και βάσει, τα λίγα γεωτρητικά δεδομένα εικάζεται ότι έχουν αποτεθεί σε μια διαβρωμένη τάφρο (βλέπε υδρογεωλογική τομή 6 στην εικόνα Π5-13). Η τάφρος αυτή δεν ταυτίζεται με τη σημερινή ροή του Λιθαίου, αλλά ευρίσκεται ανατολικότερα από αυτόν.

Οι αλλουβιακές αποθέσεις της τάφρου του Λιθαίου έχουν σχήμα τριγωνικό με μήκος βάσης περίπου 2 km στο Γεροπόταμο και ύψος περίπου 3,4 km. Το μέσο πάχος υπολογίζεται σε 60 m αλλά το κορεσμένο υδροφόρο είναι μόνο 35 m .
Ο συνολικός όγκος των αλλουβιακών αποθέσεων του Λιθαίου ανέρχεται σε 247,9 Mm3 (βλέπε Πίνακ. 6-6) ο οποίος αποτελείται, σε συνθήκες μη εκμετάλλευσης του (αναφορά στα δεδομένα του FAO έτους 1972) από: 103,3 Mm3 ακόρεστης ζώνης και 144,6 Mm3 κορεσμένης ζώνης από την οποία τα 103,3 Mm^3 συνίσταται από χαλίκια και άμμο αντιπροσωπεύοντας ένα «καλό υδροφόρο» και τα υπόλοιπα 41,3 Mm^3 από άργιλο και ιλύ που αντιπροσωπεύει το ανυδροφόρο της κορεσμένη ζώνη. Εάν υποθέσουμε ότι το ενεργό πορώδες για το υδροφόρο σχηματισμό είναι 10% και για το ανυδροφόρο είναι 3% τότε η υδροχωρητικότητα του αλλουβιακού υδροφορέα του Λιθαίου ανέρχεται στο ύψος των 12 Mm^3 .

Η σύσταση του αλλουβιακού υδροφορέα αποτελείται από υλικά χοντρόκοκκα (υδροφόρο) με ενστρώσεις αργιλικών και ιλύος (ανυδροφόρο) συνήθως μικρού πάχους. Το επιφανειακό στρώμα συνίσταται κυρίως από χαλίκια και άμμο επιτρέποντας την υψηλή κατείσδυση.

Οι αλλουβιακές αποθέσεις της υπόλοιπης λεκάνης των Μοιρών
Οι αλλουβιακές αποθέσεις που δεν ανήκουν στη Τεταρτογενή τάφρο (Γεροποτάμου και Λιθαίου) αλλά συνδέονται με αυτή είναι σχετικά μικρού πάχους (25-30 m). Λόγω του μικρού πάχους του δεν συνιστούν σημαντικό

υδροφορέα, ο ρόλος τους όμως είναι πολύς σημαντικός επειδή λόγω της σύστασής του είναι περιοχές με μεγάλη κατείσδυση και στη συνέχεια το νερό που κατεισδύει εμπλουτίζει τον υδροφορέα της Τεταρτογενούς τάφρου του Γεροποτάμου. Ο συντελεστής κατείσδυσης είναι μεγαλύτερος στο ανατολικό τμήμα και ελαττώνεται προς τα δυτικά λόγω της σύστασής του που γίνεται περισσότερο λεπτόκοκκος. Οι ζώνες που έχουν μεγάλο συντελεστή κατείσδυσης είναι στα νότια η περιοχή στους πρόποδες των Αστερουσίων που οριοθετείται από τους οικισμούς Απεσωκάρι- Φλαθιάκες- Πλώρα- Πέρι, και στα βόρεια η περιοχή του υδρορεύματος του Σκαφουλιέρη (Αγ. Δέκα).

Ο συνολικός όγκος των αλλουβιακών αποθέσεων της λεκάνης των Μοιρών εκτός του Γεροποτάμου και του Λιθαίου ανέρχεται σε 879,3 Mm3 (βλέπε

Πίνακ. 5-6) ο οποίος αποτελείται, σε συνθήκες μη εκμετάλλευσής του (αναφορά στα γεωτρητικά δεδομένα του FAO έτους 1972) από: 199,6 Mm3 ακόρεστης ζώνης και 679,7 Mm3 κορεσμένης ζώνης από την οποία τα 234,4 Mm3 συνίσταται από χαλίκια και άμμο αντιπροσωπεύοντας ένα «καλό υδροφόρο» και τα υπόλοιπα 445,4 Mm3 από άργιλο και ιλύς που αντιπροσωπεύει το ανυδροφόρο της κορεσμένης ζώνης. Εάν υποθέσουμε ότι το ενεργό πορώδες για το υδροφόρο σχηματισμό είναι 10% και για το ανυδροφόρο είναι 3% τότε η υδροχωρητικότητα του αλλουβιακού υδροφορέα της λεκάνης των Μοιρών εκτός του Γεροποτάμου και του Λιθαίου ανέρχεται στο ύψος των 37 Mm3 .
Θα πρέπει να σημειωθεί ότι σήμερα λόγω της εκμετάλλευσης και της πτώσεις του υδροφόρου ορίζοντα δεν «αποθηκεύει» νερό αλλά κύρια αυξάνει την κατείσδυση και τον εμπλουτισμό των βαθύτερων στρωμάτων του αλλουβιακού υδροφορέα του Γεροποτάμου και δευτερευόντως των πλειστοκαινικών σχηματισμών.

Συνοψίζοντας, ο αλλουβιακός υδροφορέας της Λεκάνης των Μοιρών είναι ο σημαντικότερος της Μεσαράς. Το πάχος του είναι κυμαινόμενο και το μεγαλύτερο απαντάται στη τεταρτογενή αποθετική τάφρο που ευρίσκεται περίπου στη σημερινή ροή του Γεροποτάμου και του Λιθαίου. Ο συνολικός όγκος των αποθέσεων υπολογίσθηκε σε 1,820 Mm^3 εκ των οποίων τα 600 Mm^3 αποτελούν το υδροφόρο και τα 865 Mm^3 το ανυδροφόρο μέσα στη κορεσμένη ζώνη. Η υδροχωρητικότητα του υπολογίζεται σε 86 Mm^3 όγκο νερού (60 Mm^3 στον υδροφόρο και 26 Mm^3 στον ανυδροφόρο) που αντιστοιχούν σε συνθήκες μη εκμετάλλευσης του, και με την υπόθεση ότι ο συντελεστής αποθήκευσης στο υδροφόρο είναι 10% (βλέπε Πίνακ. 5-5) και στο ανυδροφόρο είναι 3%.

Θα πρέπει να τονιστεί όμως ότι ο σημερινός πραγματικός όγκος αποθήκευσης του αλλουβιακού υδροφορέα των Μοιρών, λόγω της πτώσης της στάθμης που έχει προέλθει από την εκμετάλλευση του, είναι μικρότερος και εκτιμάται με πρώτη προσέγγιση στο ύψος των 55 Mm^3, ακριβέστερος δε υπολογισμός γίνεται στο κεφάλαιο της προσομοίωσης.

5.3.2.3 *Πλειστοκαινικός υδροφορέας λεκάνης Μοιρών*

Ο πλειστοκαινικός υδροφορέας, σχηματισμός Αγ. Γαλήνης, επιφανειακά απαντάται στη περιοχής που περικλείεται από τους οικισμούς Καλυβιανή, Μοίρες και Γαλιά. Η έκταση του είναι μικρή, ανέρχεται σε 8,6 km^2 και το πάχος του αναφέρεται, στα ελλιπή δεδομένα των γεωλογικών τομών των

υδρογεωτρήσεων που έχουν ανορυχθεί σε αυτόν, από 35 m έως 70 m. Για τους υπολογισμούς που ακολουθούν το μέσο πάχος του εκτιμήθηκε 50 μέτρα και η υδροστατική στάθμη του ευρίσκεται περίπου 45 μέτρα από την επιφάνεια του εδάφους.

Σημαντικότερα πλειστοκαινικά στρώματα ευρίσκονται στη λεκάνη κάτω από τις αλλουβιακές αποθέσεις. Η τεκτονική αρχικά επέδρασε στη γεωμετρία και στο βάθος των αποθέσεων αυτών και στη συνέχεια η διάβρωση που έλαβε χώρα (παράγραφος 5.2.2). Στις υδρογεωλογικές τομές, εικόνες (ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Π5-8, …,Π5-13) εμφαίνονται τα βάθη που συναντώνται οι πλειστοκαινικοί σχηματισμοί καθώς και το πάχος τους.

Με βάση τα ρηξιτεμάχη η λεκάνη των Μοιρών υποδιαιρέθηκε σε 16 περιοχές που δείχνονται στον χάρτη της εικόνας Π5-6. Η συνολική έκτασή τους υπολογίσθηκε σε 58,9 km2 (Πίνακ. 5-7), ο συνολικός όγκος τους σε 2588 Mm^3 και η υδροχωρητικότητα του υδροφορέα στο ύψος των 140 Mm^3 με την υπόθεση ότι το ενεργό πορώδες είναι της τάξης του 5,5% (βλέπε Πίνακ. 5-5). Γενικά το συνολικό πορώδες των πετρωμάτων της κατηγορίας αυτής (ψαμμίτες, κροκαλοπαγή, λατυποπαγή πλευρικά κορήματα κλπ) κυμαίνεται από 0,4% μέχρι 35% (Καλλέργης 1989). Ο συντελεστής αποθήκευσης για τους πλειστοκαινικούς σχηματισμούς που προέρχονται από μητρικά τους πετρώματα νεογενών πετρωμάτων και φλύσχη είναι μικρός λόγω της υψηλής περιεκτικότητας τους σε αργιλικά και μαργαϊκά υλικά και της συμπύκνωσης τους. Προτείνεται από διάφορους μελετητές στο Ελλαδικό χώρο από 5-7%. Αν και ο συνολικός όγκος αποθήκευσης των πλειστοκαινικών σχηματισμών είναι υψηλός η αξιοποίηση του είναι μικρή λόγω της μικρής υδροπερατότητάς τους.

5.3.2.4 *Νεογενής υδροφορέας λεκάνης Μοιρών*

Οι νεογενείς σχηματισμοί υπόκεινται των πλειστοκαινικών στη λεκάνη των Μοιρών με το βάθος τους να κυμαίνεται όπως αναλυτικά παρουσιάσθηκαν στο κεφάλαιο 4. Υδρογεωλογικά ταξινομούνται ως ανυδροφόρος σχηματισμός λόγω της μαργαϊκής αργιλικής σύστασης τους και αποτελούν το υπόβαθρο της λεκάνης. Μεμονωμένες γεωτρήσεις έχουν ανορυχθεί ως το βάθος των 250 m και δεν συναντήθηκαν εντός του σχηματισμού στρώσεις με υδροφόρους σχηματισμούς (ψαμμίτες, κροκαλοπαγή κλπ). Στο ανατολικό τμήμα συναντήθηκαν στρώσεις στο ανώτερο τμήμα των νεογενών με κροκαλοπαγή (χαλίκια ελαφρά τσιμεντωμένα) σε δύο διαφορετικά βάθη πάχους περίπου 5 – 15 m.(υδροφόρο) με υδρογεωλογικές ιδιότητες ανάλογες με τα στρώματα του πλειστοκαίνου.

5.3.2.5 *Υδροστατική στάθμη της λεκάνης των Μοιρών- Πιεζομετρία*

Δεδομένα υδροστατικής στάθμης υπάρχουν από το 1969 τα οποία καταγράφηκαν από το FAO. Την περίοδο αυτή γινόταν πολύ μικρή αξιοποίηση του υδροφορέα με φρέατα μικρού βάθους (<5 m) και μετά το 1972 άρχισε αξιοποίησή του από τις γεωτρήσεις που αρχικά κατασκεύασε ο FAO και στη συνέχεια το Υπουργείο Γεωργίας. Από τα δεδομένα αυτά (1969) συμπεραίνεται

ότι η υδροστατική στάθμη του φρεατίου ορίζοντα και του ορίζοντα του κύριου υδροφορέα (βαθιού) ταυτίζονται ή είναι περίπου η ίδια στην περιοχή ανατολικότερα του Πετροκεφαλίου, ενώ στην περιοχή δυτικότερα του Πετροκεφαλίου η υδροστατική στάθμη του βαθέως ορίζοντα είναι υψηλότερη (αρτεσιανή) του φρεατίου. Στον πιεζομετρικό χάρτη της εικόνας Π5-18 απεικονίζονται οι υδροϊσοϋψείς της λεκάνης των Μοιρών πριν την περίοδο της εκμετάλλευσής της που κατασκευάσθηκαν με τα στοιχεία του FAO. Η εικόνα του πιεζομετρικού χάρτη και των δύο οριζόντων (φρεάτιου και βαθιού) δείχνει ένα μάλλον ομοιόμορφο υδροφορέα σε όλη τη λεκάνη των Μοιρών με εξαίρεση το ανατολικό άκρο του, στην περιοχή κοντά στη λεκάνη της Βαγιονιάς, όπου εμφανίζει ανομοιομορφία λόγω το μικρού κυμαινομένου πάχους του αλλουβιακού υδροφορέα. Η υδραυλική κλίση στον φρεάτιο ορίζοντα του αλλουβιακού υδροφορέα του Γεροποτάμου υπολογίζεται σε $6^{o}/_{oo}$ και οι γραμμές ροής ακολουθούν τη διεύθυνση ΔΝΔ, ενώ του Λιθαίου η υδραυλική κλίση είναι μεγαλύτερη περίπου 13 $^{o}/_{oo}$ και γραμμές ροής ακολουθούν περίπου τη διεύθυνση ροής του Λιθαίου. Στο βαθύ υδροφόρο ορίζοντα, που είναι και ο κύριος υδροφόρος της λεκάνης, η εικόνα είναι ανάλογη. Η υδραυλική κλίση του αλλουβιακού υδροφορέα των Γεροποτάμου υπολογίζεται σε $6,3^{o}/_{oo}$ τον Απρίλιο 1969 και τον Σεπτέμβριο 1969 σε $5,7^{o}/_{oo}$. Η διαφορετική κλίση οφείλεται στο ότι ο εμπλουτισμός από τα ανάντη είναι πολύ μικρότερος το Σεπτέμβριο. Η υδραυλική κλίση του Λιθαίου είναι μεγαλύτερη περίπου 7 $^{o}/_{oo}$.

Οι καταγραφήσες διακυμάνσεις μεταξύ της υγρής και της ξηρής περιόδου της υδροστατικής στάθμης κατά το υδρολογικό έτος 1969-1970 δείχνουν μια ελάττωση προς τα δυτικά . Η μεγαλύτερη διακύμανση περίπου 5 m ήταν δυτικότερα του Πέρι και στο δυτικό (κατάντη τμήμα του Γεροποτάμου) ήταν η μικρότερη, της τάξης 1-2 m.

Μετά το 1981 ο υδροφορέας της λεκάνης των Μοιρών άρχισε βαθμιαία να αξιοποιείται – εκμεταλλεύεται εντατικά με αποτέλεσμα τη συνεχή ταπείνωση της υδροστατικής στάθμης. Η στάθμη παρακολουθείτο από την ΥΕΒ με 14 πιεζόμετρα εντός των αλλουβιακών αποθέσεων και ενός εντός των πλειστοκαινικών σχηματισμών στην περιοχή της Γαλιάς (βλέπε χάρτη εικόνα Π5-14). Επίσης παρακολουθούνται και οι υδροφορείς των καρστικών σχηματισμών των Αστερουσίων. Η χρονοσειρά των μετρήσεων αποτελείται από δύο τιμές ανά έτος, μία την υγρή περίοδο (τέλη Απριλίου- μέσα Μαΐου) και μία τη ξηρή (τέλη Σεπτεμβρίου- μέσα Οκτωβρίου), από το έτος 1981.
Για τις ανάγκες της εργασίας μετρήθηκαν οι συντεταγμένες των σημείων παρακολούθησης με τη χρήση GPS και οι μετρήσεις διορθώθηκαν με το σταθμό εδάφους του Ινστιτούτο Τεχνολογίας Έρευνας /Κρήτης. Οι τιμές εμφανίζουν σφάλμα μέτρησης κατά την οριζόντια διεύθυνση (X,Y) εύρους διακύμανσης 0,19-0,41 m και μέση τιμή 0,30 m, ενώ το εύρος σφάλματος κατά την κατακόρυφο (Z) είναι 0,31-0,90 m και μέση τιμή 0,53 m. Τα σημεία παρακολούθησης δίνονται στην εικόνα Π5-14 και οι συντεταγμένες και μετρήσεις στον Πίνακ. 5-8 και Πίνακ. 5-9 .

Στις εικόνες Π5-15 και Π5-16 δίνονται οι γραφικές παραστάσεις της χρονοσειράς της υδροστατικής στάθμης σε απόλυτο υψόμετρο και σε βάθος από την επιφάνεια του εδάφους αντίστοιχα. Παρατηρούμε ότι έχουμε μια συνεχή πτώση της στάθμης μετά το έτος 1981 και η πτώση αυτή αυξάνεται έντονα μετά το έτος

1987. Η πτώση στάθμης, που προήλθε από την υπερεκμετάλλευση, κυμαίνεται ευρέως στη λεκάνη και εξαρτάται από τα γεωμετρικά (πάχος, έκταση) και τα υδραυλικά (T, S) χαρακτηριστικά της. Η μεγαλύτερη παρατηρούμενη πτώση στάθμης είναι στα ανατολικά της τάξης των 50 m (έτος 2001) και βαθμιαία ελαττώνεται προς τα δυτικά και είναι της τάξης των 39 m. Τα υδρολογικά έτη 2002-2004 παρατηρούμε μια απότομη άνοδο της στάθμης της τάξης των 32 m ή αναπλήρωση της στάθμης 42-50 %.
Στην εικόνα Π5-17 δίνεται η πτώση στάθμης και η εξαμηνιαία επιφανειακή βροχόπτωση της υδρολογικής λεκάνης του Γεροποτάμου, όπως αυτή υπολογίσθηκε στο κεφάλαιο 1 . Παρατηρούμε ότι οι βροχοπτώσεις σε αυτό το υδρολογικό έτος είναι οι υψηλότερες που έχουν καταγραφεί στην περιοχή και έχουν επαληθευτεί από τη στατιστική ανάλυση των βροχοπτώσεων (βλέπε κεφάλαιο 1). Η γραμμική παλινδρόμηση μεταξύ της ετήσια ή της εξαμηνιαίας επιφανειακής βροχόπτωσης και της πτώσης της στάθμης (βλέπε Πίνακ. 5-12) έδωσε πολύ μικρό συντελεστή συσχέτισης (r= 0,2 – 0,35) πράγμα αναμενόμενο επειδή τα δύο μεγέθη δεν συσχετίζονται άμεσα καθώς υπεισέρχονται και άλλοι παράγοντες. Ο συντελεστής συσχέτισης μεταξύ των χρονοσειρών της στάθμης των πιεζομέτρων παρακολούθησης είναι σημαντικός (r=0.85 – 0.99) και δύναται να χρησιμοποιηθεί για την συμπλήρωση και επέκταση των χρονοσειρών. Στον Πίνακ. 5-10 και στον Πίνακ. 5-11 δίνονται οι χρονοσειρές της στάθμης συμπληρωμένες με τη μέθοδο της αντίστροφης απόστασης (ακτίνα επίδρασης <3 km υψωμένης στο τετράγωνο) και με συντελεστή συσχέτισης >0,9.

Με βάση τις μετρήσεις των σημείων παρακολούθησης κατασκευάσθηκαν οι πιεζομετρικοί χάρτες της λεκάνης των Μοιρών για την υγρή και τη ξηρή περίοδο για 5 χαρακτηριστικά έτη εκμετάλλευσής της 1970, 1981, 1987, 1996 και 2002 και δίνονται στις εικόνες Π5-18,…, Π5-22 στο παράρτημα 5.
Η κατασκευή των πιεζομετρικών χαρτών έγινε με συνδυασμό της χρήσης της μεθόδου Kriging και της μετέπειτα διόρθωσής τους, καθώς τα προγράμματα των ηλεκτρονικών υπολογιστών είναι ανίκανα να αναγνωρίσουν την παρουσία των γεωλογικών ορίων, τη μεταβολή του πορώδους μέσου, την αλληλεπίδραση των επιφανειακών και υπόγειων νερών και γενικότερα τις αρχές της υπόγειας ροής. Κατά αρχή κατασκευάσθηκαν οι ισοδυναμικές γραμμές (γραμμές ίσου υδραυλικού φορτίου) με βάση τα σημεία παρακολούθησης και την εφαρμογή της μεθόδου Kriging. Για την εφαρμογή της μεθόδου κατασκευάσθηκε πρώτα το ημιβαριόγραμμα (semi- Variogram, γ) και υπολογίσθηκαν οι τιμές a, C, και C_0 και στη συνέχεια παράχθηκαν οι υδροϊσοϋψείς με γραμμικό μοντέλο Kriging και με τη βοήθεια της υδρολογικής βάσης HYMOS (βλέπε Κεφάλαιο 1). Κατασκευάσθηκαν επίσης για συγκριτικούς λόγους οι υδροϊσοϋψείς με εφαρμογή της μεθόδου αντίστροφης απόστασης και της μεθόδου splines, όμως καλύτερα αποτέλεσμα έδωσε η μέθοδος Kriging.
Λόγω όμως της σχετικά μικρής πυκνότητας του δικτύου παρακολούθησης, της ανισοτροπίας του πορώδους μέσου και της αδυναμίας των προγραμμάτων των ηλεκτρονικών υπολογιστών να αναγνωρίσουν ασυνέχειες, γεωλογικά όρια και γενικά τις μεταβολές του πορώδους μέσου, οι ισοδυναμικές γραμμές διορθώθηκαν, σε λίγα σημεία, με βάση τις αρχές της υπόγειας ροής και της υδρογεωλογικής και τεκτονικής δομής της λεκάνης όπως αυτή παρουσιάστηκε στις προηγούμενες παραγράφους.
Από τους πιεζομετρικούς χάρτες εξάγονται τα παρακάτω συμπεράσματα για τη λεκάνη των Μοιρών:

- Οι γραμμές ροής του υδροφορέα στο ΒΑ τμήμα του, περιοχή του Λιθαίου, ακολουθούν τη κατεύθυνση ΝΝΔ περίπου τη διεύθυνση της ροή του Λιθαίου και στη συνέχεια κάμπτονται ΔΝΔ ακολουθώντας περίπου την διεύθυνση ροής του Γεροποτάμου.
- Σε συνθήκες μη ή μικρής εκμετάλλευσης (1970) ο αλλουβιακός υδροφορέας εμφανίζει ένα μάλλον ομοιόμορφο υδροφορέα με εξαίρεση το ανατολικό τμήμα του στη περιοχή των Χουστουλιανών και του Λιθαίου. Η μέση υδραυλική κλίση του υπολογίσθηκε 6,3$^{o}/_{oo}$ – 5,7$^{o}/_{oo}$ (υγρή και ξηρή περίοδο) για το Γεροπόταμο και 7$^{o}/_{oo}$ για το Λιθαίο.
- Στις συνθήκες της αρχικής εκμετάλλευσής του που ταξινομείται ως μικρή-μέση (1981) ο αλλουβιακός υδροφορέας εμφανίζει ένα λιγότερο ομοιόμορφο υδροφορέα στον οποίο μπορεί να διακριθεί μια ζώνη περίπου κατά μήκος του Γεροποτάμου και του Λιθαίου που οι υδροϊσοϋψείς έχουν μεγαλύτερη απόσταση ή άλλως μικρότερη υδραυλική κλίση συνεπώς η ζώνη αυτή έχει μεγαλύτερη υδραυλική αγωγιμότητα (απόρροια του νόμου Darcy). Επίσης παρατηρούμε μια κάμψη των καμπύλων στο βόρειο και νότιο τμήμα της λεκάνης και αυτό οφείλεται στην ταπείνωση της στάθμης του υδροφόρου. Τα συμπεράσματα αυτά συνάδουν με την γεωμετρία και τα υδραυλικά χαρακτηριστικά του αλλουβιακού υδροφορέα όπως παρουσιάσθηκαν στις προηγούμενες παραγράφους. Οι καμπύλες της υγρής και της ξηρής περιόδου περίπου ταυτίζονται. Η μέση υδραυλική κλίση του υπολογίζεται σε 5,1 $^{o}/_{oo}$ για τον Γεροπόταμο και 9,5$^{o}/_{oo}$ για το Λιθαίο
- Σε συνθήκες εντονότερης εκμετάλλευσης που μπορεί να χαρακτηρισθεί ως μέση- υψηλή (1987) ο αλλουβιακός υδροφορέας εμφανίζει τα χαρακτηριστικά του υδροφορέα του έτους 1981 και επιπλέον ο υδροφορέας του Γεροποτάμου διακρίνεται στο κεντρικό- δυτικό τμήμα του που οι υδροϊσοϋψείς έχουν μεγαλύτερη απόσταση ή άλλως μικρότερη υδραυλική κλίση συνεπώς η ζώνη αυτή έχει μεγαλύτερη υδραυλική αγωγιμότητα. Οι καμπύλες της υγρής και της ξηρής περιόδου διαφέρουν αρκετά. Η μέση υδραυλική κλίση κατά την υγρή περίοδο υπολογίζεται σε 5,1$^{o}/_{oo}$ για τον Γεροπόταμο και 8,3$^{o}/_{oo}$ για το Λιθαίο ενώ κατά την ξηρή περίοδο υπολογίζεται σε 4,5$^{o}/_{oo}$ για τον Γεροπόταμο και 10,7$^{o}/_{oo}$ για το Λιθαίο.
- Σε συνθήκες εντονότερης εκμετάλλευσης, αυτής που αντιστοιχεί στο έτος 1987, που μπορεί να χαρακτηρισθεί ως υψηλή – πολύ υψηλή (έτος 1996) ο αλλουβιακός υδροφορέας εμφανίζει ακόμα εντονότερα τα χαρακτηριστικά του υδροφορέα του έτους 1987 και εδώ διακρίνεται πάλι στο κεντρικό- δυτικό τμήμα του που οι υδροϊσοϋψείς έχουν μεγαλύτερη απόσταση ή άλλως μικρότερη υδραυλική κλίση συνεπώς η ζώνη αυτή έχει μεγαλύτερη υδραυλική αγωγιμότητα. Οι καμπύλες της υγρής και της ξηρής περιόδου διαφέρουν αρκετά στον Γεροπόταμο ενώ στον Λιθαίο είναι η ίδια. Η μέση υδραυλική κλίση κατά την υγρή και ξηρή περίοδο υπολογίζεται σε 4,0 $^{o}/_{oo}$ και 3,6 $^{o}/_{oo}$ αντίστοιχα για τον Γεροπόταμο και σε 11,1 $^{o}/_{oo}$ για το Λιθαίο.
- Σε συνθήκες ακόμα εντονότερης εκμετάλλευσης, της μεγαλύτερης που ιστορικά έχει υποστεί ο υδροφορέας, που χαρακτηρίζεται ως πολύ υψηλή (έτος 2002) ο αλλουβιακός υδροφορέας εμφανίζει ακόμα εντονότερα τα χαρακτηριστικά του υδροφορέα του έτους 1996 και εδώ διακρίνεται πάλι στο κεντρικό- δυτικό τμήμα του που οι υδροϊσοϋψείς έχουν μεγαλύτερη

απόσταση ή άλλως μικρότερη υδραυλική κλίση συνεπώς η ζώνη αυτή έχει μεγαλύτερη υδραυλική αγωγιμότητα. Οι καμπύλες της υγρής και της ξηρής περιόδου διαφέρουν αρκετά. Η μέση υδραυλική κλίση κατά την υγρή περίοδο υπολογίζεται σε 4,0 $^{o}/_{oo}$ για το δυτικό τμήμα του Γεροποτάμου σε 7,2 $^{o}/_{oo}$ για το ανατολικό τμήμα του Γεροποτάμου και κατά τη ξηρή περίοδο σε 1,6 $^{o}/_{oo}$ και 7,2 $^{o}/_{oo}$ αντίστοιχα.

Οι υδροϊσοϋψείς στα διάφορα χαρακτηριστικά στάδια της (υπερ)εκμετάλλευσης της λεκάνης των Μοιρών απεικονίζονται στο χάρτη της εικόνας Π5-23. Παρατηρούμε ότι αρχικά, με βάση την ερμηνεία των υδροϊσοϋψών καμπύλων, εμφανίζεται ένας μάλλον ομοιόμορφος υδροφορέας ενώ βαθμιαία με την ταπείνωση της υδροστατικής στάθμης ο υδροφορέας εμφανίζεται έντονα ανομοιόμορφος. Το εύρος των υδραυλικών κλίσεων κατά την υγρή περίοδο κυμαίνεται μεταξύ 6,3 $^{o}/_{oo}$ και 1,6 $^{o}/_{oo}$ ενώ κατά την ξηρή περίοδο κυμαίνεται 11,1 $^{o}/_{oo}$ και 7,2 $^{o}/_{oo}$. Επιπλέον είναι διακριτές ζώνες με διαφορετικές υδαταγωγιμότητες. Οι ζώνες αυτές ταυτίζονται με τις ζώνες που έχει διακριθεί ο υδροφορέας των Μοιρών με βάση τα γεωμετρικά και υδραυλικά χαρακτηριστικά του (βλέπε παράγραφο 5.3.2.1) .

Αναλυτικότερα, ο υδροφορέας των Μοιρών που αποτελείται κύρια από αλλουβιακές αποθέσεις και καταλαμβάνουν όλη την έκταση της λεκάνης με διαφορετικό πάχος αποθέσεων, αρχικά πριν την εκμετάλλευσή του (1970), είναι πληρωμένος με νερό και η υδροστατική στάθμη ευρίσκεται λίγα μέτρα κάτω από την επιφάνεια και εμφανίζεται περίπου ομοιόμορφος. Αρχόμενης της (υπερ)εκμετάλλευσής του συμβαίνει συνεχή πτώση της στάθμης (μέχρι 50 m) και η πιεζομετρία εμφανίζεται όλο και περισσότερο ανομοιόμορφος.
Εξαντλείται, κατά τη διεύθυνση Β-Ν, βαθμιαία μέχρι μηδενισμού το νότιο και βόρειο τμήμα του αλλουβιακού υδροφορέα του Γεροποτάμου, επειδή εκεί έχει μικρό πάχος, και σε συνδυασμό με τον υποκείμενο πλειστοκαινικό υδροφορέα που έχει μια τάξη μεγέθους μικρότερη υδαταγωγιμότητα, έχει ως συνεπακόλουθο την κάμψη των καμπύλων και την εμφάνιση της ανομοιομορφίας του.
Ανάλογα ερμηνεύεται και κατά τη διεύθυνση Α-Δ η διαχρονική μεταβολή της ανομοιομορφίας που εμφάνισε ο αλλουβιακός υδροφορέας. Το πάχος του είναι μεγαλύτερο στα δυτικά, στο περισσότερο βυθισμένο ρηξιτέμαχος της λεκάνης. Στο ανατολικό τμήμα του βαθμιαία το νερό εξαντλείται με τη συνεχή ταπείνωση της υδροστατικής στάθμης και η υδαταγωγιμότητά του μεταβάλλεται ανάλογα με το ρηξιτέμαχος και τη στάθμη του. Στην εικόνα Π5-24 απεικονίζονται τα ρηξιτεμάχη κατά την διεύθυνση Α-Δ και η υδροστατική στάθμη στα διάφορα στάδια της (υπερ)εκμετάλλευσής του. Παρατηρούμε και εδώ ότι ο αλλουβιακός υδροφορέας κατά το στάδιο της μέγιστης εκμετάλλευσής του (έτος 2002) έχει εξαντληθεί όλος με εξαίρεση το δυτικότερο ρηξιτέμαχος και η υδροστατική στάθμη που εμφανίζει τη μεγαλύτερη κλίση (ξηρή περίοδο - 7,2 $^{o}/_{oo}$) και περίπου ταυτίζεται με το όριο του πλειστοκαινικού υδροφορέα.

Τέλος, θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι πιεζομετρικές καμπύλες, που κατασκευάσθηκαν στα διάφορα στάδια της (υπερ)εκμετάλλευσης της λεκάνης των Μοιρών με βάση τα δεδομένα των πιεζομετρικών σημείων παρακολούθησης, ερμηνεύονται πολύ καλά με το μοντέλο της υδρογεωλογικής δομής της περιοχής που υιοθετήθηκε (βλέπε παράγραφο 5.3.2.1) .

Πίνακ. 5-5 Δεδομένα αντλητικών δοκιμασιών και χαρακτηριστικά των υδροφορέων (FAO, 1972).

α/α	Νο Γεώτρηση FAO	Μεταβιβαστικότητα (T) m2/day	Υδροχωρητικότητα (S)	Ειδική απόδοση (Sy)
ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΜΟΙΡΩΝ				
1	T96	6910	-	10,0%
2	T97	11750	-	
3	T98	800	-	
4	T99	2500	1*10-3	9,0%
5	T101	500	-	
6	T102	3630	2,6*10-3	10,0%
7	T202	1760	-	
8	T103	1815	-	13,0%
9	T104	5700	-	11,0%
10	T108	44000	6,7*10-2	10,0%
11	T109	840	4,2*10-5	
12	T125	7860	-	10,0%
13	T225	7190	5,2*10-3	10,0%
14	T126	11500	-	
15	T130	320	-	10,0%
16	T130	370	3,8*10-5	
Ελάχιστο		***320***	***4,2*10-5***	**9,0%**
Μέγιστο		***44000***	***6,7*10-2***	**13,0%**
Μέσος όρος		***6715***	***1,3*10-2***	**10,3%**
ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΒΑΓΙΟΝΙΑΣ				
1	A25	820	-	6,0%
2	A26	2590	-	10,0%
3	A28	4	-	14,0%
4	A33	2	-	5,5%
5	A40	18	-	7,0%
Ελάχιστο		***2***		***5,5%***
Μέγιστο		***2590***		***14,0%***
Μέσος όρος		***687***		***8,5%***
ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΧΑΡΑΚΑ-ΠΡΑΙΤΩΡΙΑ				
1	A19	2500	9,3*10-4	7,5%
2	A20	5	-	5,7%
3	A21	1040	6,9*10-5	9,5%
4	A22	1670	-	11,0%
5	A23	105	-	10,0%
6	A24	800	-	6,0%
7	A30	9	-	5,0%
8	A30	15	-	
9	A31	3280	-	7,5%
10	A34	9	2,5*10-4	8,0%
11	A34	1685	5,6*10-3	
12	A37	110	2,9*10-3	10,0%
13	A38	1435	3,8*10-2	12,0%
14	A45	230	-	5,7%
15	A46	30	1,8*10-3	4,5%
16	A46α	90	3,4*10-4	
17	A50	425	6,7*10-4	5,0%
18	A52	325	4,6*10-3	12,0%
Ελάχιστο		***5***	***6,9*10-5***	***4,5%***
Μέγιστο		***3280***	***3,8*10-2***	***12,0%***
Μέσος όρος		***765***	***5,5*10-3***	***8,0%***

Πίνακ. 5-6 Υπόγεια υδροχωρητικότητα των αλλουβιακών αποθέσεων της λεκάνης των Μοιρών.

			Πάχος αλλουβιακών αποθέσεων σε m				Όγκος αλλουβιακών αποθέσεων σε Mm^3				Υδροχωρητικότητα σε Mm^3		
α/α	Περιοχή	Έκταση km2	Μέσο συνολικό πάχος	Κορεσμένο πάχος υδροφορέα	Πάχος υδρο-φόρου	Πάχος ανυδρο-φόρου	Συνολικός όγκος	Συνολικός όγκος κορεσμένου υδροφορέα	Όγκος υδρο-φόρου	Όγκος ανυδρο-φόρου	Υδρο-φόρου	Ανυδρο-φόρου	**ΣΥΝΟΛΟ**
		α	β	γ	δ	ε	α*β	α*γ	ζ=α*δ	η=α*ε	θ=ζ*10%	ι=η*3%	θ+ι
1	Γεροπόταμος-Ανατολή	5,0	45	40	20	20	225,4	200,4	100,2	100,2	10	3	13
2	Γεροπόταμος - κέντρο	2,2	23	20	10	10	51,2	44,6	22,3	22,3	2,2	0,7	2,9
3	Γεροπόταμος-Δύση	6,4	65	62	22	40	415,7	396,5	140,7	255,8	14,1	7,7	21,8
ΣΥΝΟΛΟ ΓΕΡΟΠΟΤΑΜΟΥ		***13,6***					***692,3***	***641,5***	***263,2***	***378,3***	***26.3***	***11,3***	***37.6***
4	Λιθαίος	4,13	60	35	25	10	247,9	144,6	103,3	41,3	10,3	1,2	11,5
5	Σκαφουλιέρης	5,35	30	20	10	10	160,4	106,9	53,5	53,5	5,4	1,6	7
6	Πέρι -Πλάτανος	6,51	25	16	8	8	162,8	104,2	52,1	52,1	5,2	1,6	6,8
7	Πετροκεφάλι	7,91	30	27	5	22	237,1	213,4	39,5	173,9	4	5,2	9,2
8	Μοίρες	12,76	25	20	7	13	319	255,2	89,3	165,9	8,9	5	13,9
ΓΕΝΙΚΟ ΣΥΝΟΛΟ		**50,3**					**1819,5**	**1465,8**	**600,9**	**865,0**	**60.1**	**25,9**	**86.0**

Πίνακ. 5-7 Υπόγεια υδροχωρητικότητα των πλειστοκαινικών σχηματισμών της λεκάνης των Μοιρών

α/α	Περιοχή	Έκταση km^2	Πάχος Πλειστοκαινικών σχηματισμών σε m			Όγκος Πλειστοκαινικών σε Mm^3	Υδροχωρητικότητα σε Mm^3
			άνω όριο	κάτω όριο	Πάχος υδροφόρου		
		α	Z1	Z2	β=Z2-Z1	γ=α*β	δ=γ*5,5%
1	M1	6,8	63	125	62	423,5	23,3
2	M2	3,9	20	65	45	173,6	9,5
3	M3	1,9	63	125	62	115,8	6,4
4	M4	1,4	63	120	57	78,0	4,3
5	M5	0,5	28	30	2	1,1	0,1
6	M6	2,8	28	30	2	5,5	0,3
7	M7	0,3	20	65	45	14,6	0,8
8	M8	2,5	45	67	22	54,6	3,0
9	M9	3,4	63	100	37	124,2	6,8
10	M10	5,4	50	130	80	434,5	23,9
11	M11	1,9	15	120	105	194,3	10,7
12	M12	5,2	55	120	65	338,1	18,6
13	M13	2,3	25	50	25	58,6	3,2
14	M14	1,8	45	67	22	39,4	2,2
15	M15	4,6	45	70	25	114,1	6,3
16	M16	5,8	55	120	65	375,4	20,6
ΣΥΝΟΛΟ ΚΑΤΩ ΑΠΟ ΤΙΣ ΑΛΛΟΥΒΙΑΚΕΣ ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ		***50,3***				***2545,2***	***140.0***
17	Γαλιά (επιφανειακή εξάπλωση)	8,6	45	50	5	43,0	2,4
ΓΕΝΙΚΟ ΣΥΝΟΛΟ		**58,9**				**2846,2**	**142,4**

Πίνακ. 5-8 Συντεταγμένες και υδροστατική στάθμη υγρής και ξηρής περιόδου πιεζομέτρων παρακολούθησης λεκάνης Μοιρών (1)

	Πιεζόμετρο/Κωδικός					Υδροστατική Στάθμη πάνω από την θάλασσα σε μέτρα									
Συντεταγμένες/ ήνας- έτος	GM7 (Β2 ή 87)	GM12 (103)	GM6 (104Π - Πόμπια)	GM3 (125Π)	GM14 (Β4 ή 90)	GM8 (26-Γαλιά)	GM4 (89-Κουσές)	GM5 (90-Πιτσίδια)	GM1 (95Π-(Φαιστός)	GM13 (99 ή 74)	GM9 (109)	GM10 (62- Καπαριανά)	GM11 (76-Χουστουλιανά)	GM2 (202-Γ' Ζώνη)	GM15 (207-Μοίρες)
X	578257,9	583925,8	577667,5	576168,3	579990,2	578035,6	575130,3	573539,3	573510,0	585303,1	579568,0	581714,6	585751,0	575338,8	578478,0
Y	3876922,5	3876985,9	3877616,6	3877856,3	3876349,2	3879147,9	3876270,3	3876855,1	3879280,0	3876201,8	3877929,1	3877996,9	3878301,0	3877956,3	3878680,0
Z	57,40	103,10	55,79	45,32	68,35	101,70	48,91	59,28	31,26	105,54	67,98	83,77	137,71	39,51	74,00
5ος 81	56,18	95,62	54,76	43,22	65,85				29,55				110,81	39,01	67,60
10ος 81	54,69	90,85	52,96	41,00	61,95				27,76					36,76	64,60
5ος 82	57,03	95,80	54,91	43,00	66,15				28,71					39,06	67,70
10ος 82	55,40	91,66	52,66	41,94	64,52				28,20					37,01	65,95
5ος 83	56,19	92,68	54,24	42,75	64,85				28,56					37,66	66,32
10ος 83	54,90	88,44	52,40	41,50	60,78				28,10					36,31	64,70
5ος 84	56,83	93,05	54,29	42,87	65,05				28,74					39,01	66,90
10ος 84	53,95	87,92	52,26	40,67	60,90				28,08					36,46	64,60
5ος 85	56,53	95,10	54,56	42,40	64,65				29,42					39,01	67,40
10ος 85	54,83	90,05	52,26	40,72	62,45				28,26					36,51	65,30
5ος 86	55,50	91,12	53,42	43,02	63,40				28,61					37,91	65,90
10ος 86	53,60	85,50	50,64	39,86	57,50				27,81					35,21	63,70
5ος 87	53,50	87,60	52,14	41,92	60,07				28,44					36,61	64,46
10ος 87	50,90	82,80	49,19	39,77	55,55				27,76					34,16	61,55
5ος 88	55,50	89,90	52,74	42,12	62,60				29,21					37,31	64,85
10ος 88	51,92	84,10	50,01	39,87	56,95				28,00					36,16	61,75
5ος 89	54,50	87,73	52,69	42,12	59,95				28,41					37,39	65,00
10ος 89	49,50	81,30	48,59	39,82	52,95				27,96					34,71	60,90
5ος 90	50,10	82,75	49,54	40,92	53,15				28,46					35,61	61,90
10ος 90	40,90	74,40	41,04	35,92	50,95				25,61					32,56	53,55
5ος 91	47,10	78,95	47,49	39,72	53,55				28,36					36,06	60,00
10ος 91	39,44	71,75	39,74	32,52	49,20				26,86					29,51	51,52
5ος 92	45,20	75,15	45,59	39,32	51,80				28,16					35,41	57,65
10ος 92	36,40	66,80	35,89	31,87	46,05				20,46					28,16	48,40

Πίνακ. 5-9 Συντεταγμένες και υδροστατική στάθμη υγρής και ξηρής περιόδου πιεζομέτρων παρακολούθησης λεκάνης Μοιρών (2)

	Πιεζόμετρο/Κωδικός						Υδροστατική Στάθμη πάνω από την θάλασσα σε μέτρα								
Συντεταγμένες/ μήνας-έτος	GM7 (Β2 ή 87)	GM12 (103)	GM6 (104Π - Πόμπια)	GM3 (125Π)	GM14 (Β4 ή 90)	GM8 (26-Γαλιά)	GM4 (89-Κουσές)	GM5 (90-Πιτσίδια)	GM1 (95Π-(Φαιστός)	GM13 (99 ή 74)	GM9 (109)	GM10 (62- Καπαριανά)	GM11 (76-Χουστουλιανά)	GM2 (202-Γ' Ζώνη)	GM15 (207-Μοίρες)
5ος 93	39,70	68,25	40,74	35,82	46,35				25,66					31,91	55,05
10ος 93	30,30	58,10	30,29	26,67	38,95				17,26					23,71	42,30
5ος 94	37,00	66,55	37,29	32,64	39,20				17,26					29,81	49,70
10ος 94	26,70	60,90	26,39	23,02	36,45	32,60	35,11	33,68		64,74	32,28			21,11	38,40
5ος 95	34,00	64,55	34,09	28,62	39,95	51,25	34,36	33,88	24,36	72,19	36,18			26,11	46,20
10ος 95	23,50	58,80	23,54	19,57	34,75	43,10	30,31	32,33	15,91	64,34	28,48			15,81	35,65
5ος 96	36,68	71,53	35,39	28,90	44,83	51,50	38,66	34,23	25,81	81,84	41,48			25,96	47,68
10ος 96	30,88	66,95	30,39	24,12	42,37	45,35	36,86	34,36	20,16	67,44	36,38			21,11	42,80
5ος 97	37,04	69,90	37,31	30,92	43,20	53,85	38,45	17,28	24,51	81,39	41,78			27,69	49,60
10ος 97	27,75	64,30	27,39	23,02	40,15	43,40	35,51	19,48	18,96	69,94	32,88			20,36	39,85
5ος 98	34,60	67,30	34,34	29,52	41,20	51,50	37,96	16,83	25,46	72,14	38,98			26,49	47,10
10ος 98	24,00	59,20	21,89	18,42	35,55		32,16		16,76			32,87		15,71	36,10
5ος 99	32,50	65,58	32,09	27,42	39,53	38,80	35,01		24,26	71,54	34,18	34,62		24,01	44,50
10ος 99	21,40	58,30	20,69	16,22	34,35	24,70	32,31			63,02	25,48	25,97		11,83	33,15
5ος 2000	26,35	60,80	25,89	21,07	33,70	39,30	34,09	19,78		64,54	29,18	27,97		19,51	38,45
10ος 2000	13,20	52,10	13,59	10,02	31,00	22,85	24,91			59,39	16,98	17,82		4,51	25,40
5ος 2001	20,14	55,80	20,74	17,37	33,65	37,10	29,21	14,58		65,64	21,08	26,02		11,71	32,10
10ος 2001	8,60	47,10	10,79	4,32	31,15	22,65	23,26	9,53		23,54	13,78	15,12		1,86	17,70
5ος 2002	16,80	52,40	17,19	14,77	31,75	37,60	24,76	20,48		63,66	21,76	23,42		12,11	29,35
10ος 2002	8,30	47,30	9,24	5,82											
5ος 2003	33,95	72,00	33,14	28,67											
10ος 2003	29,70	66,60	30,19	25,12		37,75	5,16						87,25		
5ος 2004		75,55		35,62		55,80	12,46						93,61		
10ος 2004		69,20		31,22		49,10	6,41						88,79		
5ος 2005		72,75		37,22		55,75	12,51						94,71		

Πίνακ. 5-10 Συμπληρωμένη υδροστατική στάθμη υγρής και ξηρής περιόδου πιεζομέτρων παρακολούθησης λεκάνης Μοιρών (1)

	Πιεζόμετρο/Κωδικός						Υδροστατική Στάθμη πάνω από την θάλασσα σε μέτρα								
Συντεταγμένες/ήνας- έτος	GM7 (Β2 ή 87)	GM12 (103)	GM6 (104Π - Πόμπια)	GM3 (125Π)	GM14 (Β4 ή 90)	GM8 (26-Γαλιά)	GM4 (89-Κουσές)	GM5 (90-Πιτσίδια)	GM1 (95Π-(Φαιστός)	GM13 (99 ή 74)	GM9 (109)	GM10 (62- Καπαριανά)	GM11 (76-Χουστουλιανά)	GM2 (202-Γ' Ζώνη)	GM15 (207-Μοίρες)
X	578257,9	583925,8	577667,5	576168,3	579990,2	578035,6	575130,3	573539,3	573510,0	585303,1	579568,0	581714,6	585751,0	575338,8	578478,0
Y	3876922,5	3876985,9	3877616,6	3877856,3	3876349,2	3879147,9	3876270,3	3876855,1	3879280,0	3876201,8	3877929,1	3877996,9	3878301,0	3877956,3	3878680,0
Z	57,40	103,10	55,79	45,32	68,35	101,70	48,91	59,28	31,26	105,54	67,98	83,77	137,71	39,51	74,00
5ος 81	56,18	95,62	54,76	43,22	65,85	80,74	69,42	56,13	29,55	98,66	55,47	80,74	110,81	39,01	67,60
10ος 81	54,69	90,85	52,96	41,00	61,95	76,40	65,93	53,20	27,76	90,85	53,83	76,40	90,85	36,76	64,60
5ος 82	57,03	95,80	54,91	43,00	66,15	80,98	69,40	55,84	28,71	95,8	55,97	80,98	95,80	39,06	67,70
10ος 82	55,40	91,66	52,66	41,94	64,52	78,09	66,80	53,93	28,20	91,66	54,03	78,09	91,66	37,01	65,95
5ος 83	56,19	92,68	54,24	42,75	64,85	78,77	67,72	54,66	28,56	92,68	55,22	78,77	92,68	37,66	66,32
10ος 83	54,90	88,44	52,40	41,50	60,78	74,61	64,97	52,68	28,10	88,44	53,65	74,61	88,44	36,31	64,70
5ος 84	56,83	93,05	54,29	42,87	65,05	79,05	67,96	54,89	28,74	93,05	55,56	79,05	93,05	39,01	66,90
10ος 84	53,95	87,92	52,26	40,67	60,90	74,41	64,30	52,22	28,08	87,92	53,11	74,41	87,92	36,46	64,60
5ος 85	56,53	95,10	54,56	42,40	64,65	79,88	68,75	55,64	29,42	95,1	55,55	79,88	95,10	39,01	67,40
10ος 85	54,83	90,05	52,26	40,72	62,45	76,25	65,39	53,01	28,26	90,05	53,55	76,25	90,05	36,51	65,30
5ος 86	55,50	91,12	53,42	43,02	63,40	77,26	67,07	54,25	28,61	91,12	54,46	77,26	91,12	37,91	65,90
10ος 86	53,60	85,50	50,64	39,86	57,50	71,50	62,68	51,06	27,81	85,5	52,12	71,50	85,50	35,21	63,70
5ος 87	53,50	87,60	52,14	41,92	60,07	73,84	64,76	52,65	28,44	87,6	52,82	73,84	87,60	36,61	64,46
10ος 87	50,90	82,80	49,19	39,77	55,55	69,18	61,29	50,11	27,76	82,8	50,05	69,18	82,80	34,16	61,55
5ος 88	55,50	89,90	52,74	42,12	62,60	76,25	66,01	53,74	29,21	89,9	54,12	76,25	89,90	37,31	64,85
10ος 88	51,92	84,10	50,01	39,87	56,95	70,53	61,99	50,66	28,00	84,1	50,97	70,53	84,10	36,16	61,75
5ος 89	54,50	87,73	52,69	42,12	59,95	73,84	64,93	52,75	28,41	87,73	53,60	73,84	87,73	37,39	65,00
10ος 89	49,50	81,30	48,59	39,82	52,95	67,13	60,56	49,69	27,96	81,3	49,05	67,13	81,30	34,71	60,90
5ος 90	50,10	82,75	49,54	40,92	53,15	67,95	61,84	50,71	28,46	82,75	49,82	67,95	82,75	35,61	61,90
10ος 90	40,90	74,40	41,04	35,92	50,95	62,68	55,16	45,31	25,61	74,4	40,97	62,68	74,40	32,56	53,55
5ος 91	47,10	78,95	47,49	39,72	53,55	66,25	59,34	49,01	28,36	78,95	47,30	66,25	78,95	36,06	60,00
10ος 91	39,44	71,75	39,74	32,52	49,20	60,48	52,14	43,71	26,86	71,75	39,59	60,48	71,75	29,51	51,52
5ος 92	45,20	75,15	45,59	39,32	51,80	63,48	57,24	47,54	28,16	75,15	45,40	63,48	75,15	35,41	57,65
10ος 92	36,40	66,80	35,89	31,87	46,05	56,43	49,34	39,71	20,46	66,8	36,15	56,43	66,80	28,16	48,40

Πίνακ. 5-11 Συμπληρωμένη υδροστατική στάθμη υγρής και ξηρής περιόδου πιεζομέτρων παρακολούθησης λεκάνης Μοιρών (2)

	Πιεζόμετρο/Κωδικός						Υδροστατική Στάθμη πάνω από την θάλασσα σε μέτρα								
Συντετα-γμένες/ μήνας-έτος	GM7 (Β2 ή 87)	GM12 (103)	GM6 (104Π - Πόμπια)	GM3 (125Π)	GM14 (Β4 ή 90)	GM8 (26-Γαλιά)	GM4 (89-Κουσές)	GM5 (90-Πιτσίδια)	GM1 (95Π-(Φαιστός)	GM13 (99 ή 74)	GM9 (109)	GM10 (62- Κα-παριανά)	GM11 (76-Χου-στουλιανά)	GM2 (202-Γ' Ζώνη)	GM15 (207-Μοίρες)
5ος 93	39,70	68,25	40,74	35,82	46,35	57,30	52,04	43,24	25,66	68,25	48,28	57,30	68,25	68,25	55,05
10ος 93	30,30	58,10	30,29	26,67	38,95	48,53	42,39	34,01	17,26	58,1	38,57	48,53	58,10	58,10	42,30
5ος 94	37,00	66,55	37,29	32,64	39,20	52,88	49,60	38,82	17,26	66,55	43,67	52,88	66,55	66,55	49,70
10ος 94	26,70	60,90	26,39	23,02	36,45	32,60	35,11	33,68	21,11	64,74	32,28	43,21	62,82	60,90	38,40
5ος 95	34,00	64,55	34,09	28,62	39,95	51,25	34,36	33,88	24,36	72,19	36,18	46,89	68,37	64,55	46,20
10ος 95	23,50	58,80	23,54	19,57	34,75	43,10	30,31	32,33	15,91	64,34	28,48	40,68	61,57	58,80	35,65
5ος 96	36,68	71,53	35,39	28,90	44,83	51,50	38,66	34,23	25,81	81,84	41,48	52,61	76,69	71,53	47,68
10ος 96	30,88	66,95	30,39	24,12	42,37	45,35	36,86	34,36	20,16	67,44	36,38	48,57	67,20	66,95	42,80
5ος 97	37,04	69,90	37,31	30,92	43,20	53,85	38,45	17,28	24,51	81,39	41,78	51,63	75,65	69,90	49,60
10ος 97	27,75	64,30	27,39	23,02	40,15	43,40	35,51	19,48	18,96	69,94	32,88	45,78	67,12	64,30	39,85
5ος 98	34,60	67,30	34,34	29,52	41,20	51,50	37,96	16,83	25,46	72,14	38,98	49,16	69,72	67,30	47,10
10ος 98	24,00	59,20	21,89	18,42	35,55	32,87	32,16	31,86	16,76	59,2	30,21	32,87	59,20	59,20	36,10
5ος 99	32,50	65,58	32,09	27,42	39,53	38,80	35,01	36,76	24,26	71,54	34,18	34,62	68,56	65,58	44,50
10ος 99	21,40	58,30	20,69	16,22	34,35	24,70	32,31	33,96	11,83	63,02	25,48	25,97	60,66	58,30	33,15
5ος 2000	26,35	60,80	25,89	21,07	33,70	39,30	34,09	19,78	19,51	64,54	29,18	27,97	62,67	60,80	38,45
10ος 2000	13,20	52,10	13,59	10,02	31,00	22,85	24,91	26,96	4,51	59,39	16,98	17,82	55,75	52,10	25,40
5ος 2001	20,14	55,80	20,74	17,37	33,65	37,10	29,21	14,58	11,71	65,64	21,08	26,02	60,72	55,80	32,10
10ος 2001	8,60	47,10	10,79	4,32	31,15	22,65	23,26	9,53	1,86	23,54	13,78	15,12	35,32	47,10	17,70
5ος 2002	16,80	52,40	17,19	14,77	31,75	37,60	24,76	20,48	12,11	63,66	21,76	23,42	58,03	52,40	29,35
10ος 2002	8,30	47,30	9,24	5,82	21,03	47,30	26,6	26,56	9,24	47,3	27,20	47,30	47,30	47,30	18,82
5ος 2003	33,95	72,00	33,14	28,67	46,15	72,00	50,3	50,34	33,14	72	51,89	72,00	72,00	72,00	43,35
10ος 2003	29,70	66,60	30,19	25,12	39,25	37,75	5,16	18,73	30,19	70,73	41,97	66,60	87,25	66,60	39,45
5ος 2004	62,53	75,55	45,37	35,62	61,17	55,80	12,46	26,84	35,62	79,16	56,23	75,55	93,61	75,55	51,33
10ος 2004	56,63	69,20	39,69	31,22	55,26	49,10	6,41	21,01	31,22	73,12	50,41	69,20	88,79	69,20	46,00
5ος 2005	61,11	72,75	45,71	37,22	59,88	55,75	12,51	26,67	37,22	77,14	55,43	72,75	94,71	72,75	50,96

Πίνακ. 5-12. Γραμμική παλινδρόμηση μεταξύ της πτώσης στάθμης των πιεζομέτρων παρακολούθησης (GM 1,..7) και μεταξύ της πτώσης στάθμης (GM 1,..7)και της επιφανειακής βροχόπτωσης (A50-GER1)

Regression analysis

Series code		Starting date				
A50_GER1	PGC	1980	0	0	0	2
GM1	HH	1980	0	0	0	2
GM12	HH	1980	0	0	0	2
GM14	HH	1980	0	0	0	2
GM2	HH	1980	0	0	0	2
GM3	HH	1980	0	0	0	2
GM6	HH	1980	0	0	0	2
GM7	HH	1980	0	0	0	2

No.	Name	Variable	Mean	Standard Deviation
1	A50_GER1	PGC	.30925E+03	.29035E+03
2	GM1	HH	.25718E+02	.40974E+01
3	GM12	HH	.78945E+02	.12050E+02
4	GM14	HH	.52690E+02	.10131E+02
5	GM2	HH	.78945E+02	.12050E+02
6	GM3	HH	.35958E+02	.73656E+01
7	GM6	HH	.44132E+02	.10080E+02
8	GM7	HH	.45237E+02	.10798E+02

Correlation matrix

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1.0000	-.3606	-.1903	-.1519	-.1903	-.3040	-.2462	-.2157
2	-.3606	1.0000	.8532	.8501	.8532	.8893	.8936	.8824
3	-.1903	.8532	1.0000	.9869	1.0000	.9222	.9644	.9763
4	-.1519	.8501	.9869	1.0000	.9869	.9315	.9652	.9748
5	-.1903	.8532	1.0000	.9869	1.0000	.9222	.9644	.9763
6	-.3040	.8893	.9222	.9315	.9222	1.0000	.9886	.9763
7	-.2462	.8936	.9644	.9652	.9644	.9886	1.0000	.9964
8	-.2157	.8824	.9763	.9748	.9763	.9763	.9964	1.0000

Regression analysis

Series code		Starting date				
GM11	HH	1980	0	0	0	2
GM12	HH	1980	0	0	0	2
GM13	HH	1980	0	0	0	2
GM14	HH	1980	0	0	0	2
GM9	HH	1980	0	0	0	2

No.	Name	Variable	Mean	Standard Deviation
1	GM12	HH	.61087E+02	.70465E+01
2	GM13	HH	.65690E+02	.13304E+02
3	GM14	HH	.37202E+02	.46516E+01
4	GM9	HH	.30059E+02	.87198E+01

Correlation matrix

	1	2	3	4
1	1.0000	.8342	.9552	.9821
2	.8342	1.0000	.7124	.8078
3	.9552	.7124	1.0000	.9432
4	.9821	.8078	.9432	1.0000

5.3.2.6 *Ιδιότητες υπόγειου υδροφορέα λεκάνης Μοιρών*

5.3.2.6.1 Παροχές και βάθη άντλησης γεωτρήσεων

Οι παροχές των γεωτρήσεων στη λεκάνη των Μοιρών ευρέως κυμαίνονται από μικρότερο των 20 m^3/h σε περισσότερο από 400 m^3/h κατά την αρχική περίοδο, πριν την υπερεκμετάλλευση του υδροφορέα (δεδομένα FAO). Το μέσο βάθος των γεωτρήσεων είναι περίπου 150 m. Οι παροχές των γεωτρήσεων συσχετίζονται άμεσα με τον υδροφόρο σχηματισμό. Η μέση παροχή άντληση του αλλουβιακού υδροφορέα του Γεροποτάμου ήταν της τάξης των 200 m^3/h και η στάθμη άντλησης ήταν μικρότερη των 10m . Στον αλλουβιακό υδροφορέα του Λιθαίου η μέση παροχή άντλησης ήταν όμοια με του Γεροποτάμου κυμαινόμενη 150-200 m^3/h όμως τα βάθη άντλησης ήταν μεγαλύτερα, στο νότιο τμήμα κοντά στο Γεροπόταμο της τάξης των 20 m και στο βόρειο τμήμα των 40 m. Τα χαρακτηριστικά του πλειστοκαινικού υδροφορέα είναι κατά μία τάξη μεγέθους μικρότερη του αλλουβιακού.

5.3.2.6.2 Ειδική ικανότητα γεωτρήσεων

Η ειδική ικανότητα των γεωτρήσεων είναι μεγαλύτερη στον αλλουβιακό υδροφορέα του Γεροποτάμου και κυμαίνεται μεταξύ 40 – 100 m^3/h ανά μέτρο πτώσης και του Λιθαίου κυμαίνεται μεταξύ 15- 40 m^3/h/m. Η ειδική ικανότητα του πλειστοκαίνου είναι μια τάξη μεγέθους μικρότερη.

5.3.2.6.3 Μεταβιβαστικότητα (T)

Οι τιμές της μεταβιβαστικότητας αντικατοπτρίζουν τις ιδιότητες του υδροφορέα οι οποίες ευρέως κυμαίνονται (βλέπε Πίνακ. 5-5) για τον αλλουβιακό υδροφορέα από περίπου 320 m^2/day (8 X 10^{-2} m^2/sec) δυτικό τμήμα του Γεροποτάμου μέχρι περίπου 4320 m^2/day (5 X 10^{-2} m^2/sec) για το ανατολικό τμήμα και το Λιθαίο. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι έχουν υπολογισθεί και τιμές της τάξης των 10.000 m^2/day και 13.000 m^2/day στη ζώνη κοντά στη σημερινή ροή του Γεροπόταμου.
Οι τιμές της μεταβιβαστικότητας των αλλουβιακών αποθέσεων της υπόλοιπης λεκάνης καθώς και των πλειστοκαινικών σχηματισμών είναι κατά μια τάξη μικρότερες από τις τιμές του Γεροποτάμου και του Λιθαίου. Στην εικόνα Π5-26 δίνεται ο χάρτης της μεταβιβαστικότητας της λεκάνης των Μοιρών.

5.3.2.6.4 Συντελεστής υδροχωρητικότητας (S)

Οι τιμές του συντελεστή υδροχωρητικότητας που προέκυψαν από αντλητικές δοκιμασίες των γεωτρήσεων κυμαίνονται από 10^{-3} μέχρι 10^{-5} οι οποίες δείχνουν ότι ο υδροφορέας είναι υπό πίεση τουλάχιστο αυτός που βρίσκεται σε μεγαλύτερα σχετικά βάθη (βλέπε Πίνακ. 5-5).

5.3.3 *Λεκάνη Βαγιονιάς και Ασημίου*

Οι λεκάνες της Βαγιονιάς και του Ασημίου σχηματίζονται από τα σχετικά ανυψωμένα ρηξιτεμάχη κατά τη διεύθυνση Α-Δ τα οποία διαχωρίζουν τις εκατέρωθεν υπόγειες λεκάνες των Μοιρών και των Πρωτορίων-Χάρακα (βλέπε χάρτη εικόνα Π5-27). Γενικότερα, η λεκάνη της Μεσαράς διακρίνεται στη δυτική και την ανατολική με βάση την κατεύθυνση της υπόγεια ροής και ο υπόγειος υδροκρίτης των περίπου ταυτίζεται με τον επιφανειακό υδροκρίτη των λεκανών Γεροποτάμου και Αναποδάρη αντίστοιχα. Στην υπόγεια λεκάνη του Γεροποτάμου, που η υπόγεια ροή έχει γενική κατεύθυνση προς τα δυτικά, ανήκει η λεκάνη των Μοιρών, της Βαγιονιάς και το μεγαλύτερο μέρος της λεκάνης του Ασημίου, ενώ στην υπόγεια λεκάνη του Αναποδάρη, με γενική κατεύθυνση υπόγειας ροής προς τα ανατολικά, εντάσσετε η λεκάνη του Χάρακα και το υπόλοιπο της λεκάνης του Ασημίου.

Η λεκάνη της Βαγιονιάς και του Ασημίου αποτελείται από μικρότερα ρηξιτεμάχη και η διάκρισή τους εδώ γίνεται με βάση το πάχος των πλειστοκαινικών σχηματισμών που στο ανατολικό ρηξιτέμαχος (λεκάνη Ασημίου) είναι συγκριτικά μεγαλύτερο από ότι στο δυτικό (λεκάνη Βαγιονιάς). Διακρίνονται επίσης και κατά τη διεύθυνση Β-Ν ρηξιτεμάχη, με διαφορετικές υδρογεωλογικές ιδιότητες ιδιαίτερα αυτά που κείνται εκατέρωθεν περίπου του κύριου ρέματος του Γεροπόταμου. Η διάκριση κατά τη διεύθυνση Β-Ν γίνεται και εδώ με βάση το διαφορετικό πάχος του πλειστόκαινου που στο βόρειο τμήμα είναι πολύ μεγάλο και σχεδόν απουσιάζει ο αλλουβιακός μανδύας σε σχέση με το ρηξιτέμαχος του νότιου τμήματος που το πλειστόκαινο είναι μικρού πάχους και καλύπτεται από αλλουβιακές αποθέσεις πάχους 20-50 μέτρα (βλέπε εικόνα Π5-29 και Π5-30).

Οι αλλουβιακές αποθέσεις συνίστανται από χάλικες και από σύναγμα (χάλικες-ιλύς-άργιλο), ταξινομούνται ως έχοντας «υψηλή» και «μέτρια» υδροπερατότητα αντίστοιχα, αλλά λόγω του μικρού τους πάχους δεν αποτελεί σημαντικό υδροφορέα και σήμερα βρίσκεται σε καθεστώς υπερεκμετάλλευσης. Το νερό της βροχής που κατείσδυε ανάβλυζε εκεί που το πάχος του ήταν μικρό (της τάξης μερικών μέτρων), πριν την περίοδο της υπερεκμετάλλευσης του, και οι πηγές είχαν ροή καθ' όλη τη διάρκεια του έτους οι οποίες τροφοδοτούσαν τον Γεροπόταμο ώστε να έχει μόνιμη ροή. Η απορροή των πηγών αυτών εκτιμήθηκαν από τον FAO (1972) σε μερικά εκατομμύρια m^3 ανά έτος.

Θα πρέπει να αναφερθεί ότι ο FAO τον χαρακτήρισε ως «φτωχό» υδροφορέα και για το λόγο αυτό η διατρητική έρευνά του δεν επεκτάθηκε σε βάθος όπως στον υδροφορέα των Μοιρών και του Χάρακα. Όμως λόγω των μετέπειτα αυξανόμενων αρδευτικών αναγκών αλλά κύρια η συμβολή της εξέλιξης των γεωτρύπανων διανοίχθηκε ένας μεγάλος αριθμός γεωτρήσεων, εκμεταλλευόμενες κατά αρχή τον αλλουβιακό υδροφορέα και μετέπειτα τον υδροφορέα των πλειστοκαινικών σχηματισμών (βόρειο τμήμα) και τον υδροφορέα των τριτογενών νεογενών σχηματισμών (κροκαλοπαγείς, ψαμμιτικές και γυψούχες ενδιαστρώσεις που βρίσκονται σε αργίλους και μάργες). Η μέση παροχή των πλειστοκαινικών και των τριτογενών υδροφορέων είναι μικρή, της τάξης των 5-20 m^3/h και η ειδική παροχή των της τάξης 0,6 -1 $m^3/h/m$. Παρά το μεγάλο αριθμό ανόρυξης αρδευτικών γεωτρήσεων, τα στοιχεία των δεν είναι αξιοποιήσιμα ή απουσιάζουν τελείως αφού σχεδόν στο σύνολο τους οι γεωτρήσεις είναι ιδιωτικές και ο στόχος τους ήταν η

ανεύρεση μικρών ποσοτήτων νερού για την κάλυψη των αρδευτικών αναγκών και όχι η γεωλογική διερεύνηση και η καταγραφή των γεωλογικών σχηματισμών.
Στη συνέχεια δίνονται τα χαρακτηριστικά του υδροφορέα της λεκάνης της Βαγιονιάς και του Ασημίου.

5.3.3.1 *Γεωμετρία, όρια , έκταση της λεκάνης Βαγιονιάς και Ασημίου*

Η λεκάνη της Βαγιονιάς και του Ασημίου έχει σχήμα παραλληλογράμμου με μέσο μήκος ανατολή-δύση περίπου 12 km και πλάτος 9 km (βλέπε χάρτη εικόνα Π5-28). Η έκταση της λεκάνης της Βαγιονιάς ανέρχεται σε 85,5 km^2 (επιφανειακή εξάπλωση 54 km^2 πλειστοκαινικών σχηματισμών και 31,5 km^2 αλλουβιακών αποθέσεων) και της λεκάνης του Ασημίου σε 12 km^2 που δομείται επιφανειακά από αλλουβιακές αποθέσεις. Τα υδρογεωλογικά όρια της λεκάνης ταυτίζονται περίπου με τα όρια της πεδινής ζώνης και οριοθετείται κατά τη διεύθυνση Α-Δ από τα εκατέρωθεν βυθισμένα ρηξιτεμάχη της λεκάνης των Μοιρών και του Χάρακα. Η υδρογεωλογική λεκάνη διακρίνεται στο νότιο και στο βόρειο τμήμα με βάση την επιφανειακή εξάπλωση των αλλουβιακών αποθέσεων και των πλειστοκαινικών σχηματισμών αντίστοιχα. Το βόρειο όριο της λεκάνης ορίζεται με το όριο των πλειστοκαινικών και ευρίσκεται περίπου στη νοητή γραμμή που απέχει περίπου 2 km βόρεια της εθνικής οδού Ασήμι- Γκαγκάλες – Αγ. Δέκα, το νότιο όριο ακολουθεί περίπου το δρόμο Πλώρα- Απεσωκάρι- Βασιλικά Ανώγεια- Βασιλική, το ανατολικό όριο ορίζεται από τα βυθισμένα ρηξιτεμάχη της λεκάνης του Χάρακα και ευρίσκεται περίπου στη νοητή γραμμή Διονύσι – Ασήμι και το δυτικό όριο ορίζεται από το βυθισμένο ρηξιτέμαχος των Μοιρών και ευρίσκεται περίπου στη νοητή γραμμή Αγ. Δέκα- Απεσωκάρι.

Στο γεωλογικό χάρτη της λεκάνης της Βαγιονιάς- Ασημίου (εικόνα Π5-28) χαράχτηκαν τα ρήγματα (με διακεκομμένη γραμμή) κάτω από τις αλλουβιακές αποθέσεις. Τα ρήγματα αυτά δεν είναι (επιφανειακά) ορατά και κατασκευάσθηκαν στις θέσεις αυτές κατόπιν αξιολόγησης των διατρητικών δεδομένων (καρότα γεωτρήσεων) και της συσχέτισής τους με την τεκτονική δομή της ευρύτερης περιοχής. Η διάκριση της λεκάνης του Ασημίου έγινε με βάση το σχετικά βυθισμένο ρηξιτέμαχος στο ανατολικό της τμήμα. Η αξιολόγηση των υφιστάμενων γεωλογικών τομών των υδρογεωτρήσεων και της γεωτεκτονικής δομής της περιοχής μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η λεκάνη αυτή αποτελείται περισσότερα ρηξιτεμάχη που όμως είναι δύσκολα να προσδιορισθούν λόγω της ποιότητας των δεδομένων.

Για την υδρογεωλογική εξέταση της περιοχής, η λεκάνη διακρίνεται σε τρία τμήματα: στη λεκάνη του Ασημίου, στο νότιο τμήμα της λεκάνης της Βαγιονιάς που ορίζεται από την επιφανειακή εξάπλωση των αλλουβιακών αποθέσεων και στο βόρειο τμήμα που ορίζεται από τους πλειστοκαινικούς σχηματισμούς. Στις λεκάνες αυτές σχηματίζονται μικρής δυναμικότητας υδροφορείς οι οποίοι παρουσιάζονται στη συνέχεια.

5.3.3.2 *Αλλουβιακός υδροφορέας της λεκάνης Βαγιονιάς*

Ο αλλουβιακός υδροφορέας της λεκάνης της Βαγιονιάς έχει έκτασης περίπου 31,5 km^2 και καλύπτει την περιοχή νότια του Γεροποτάμου με αποθέσεις μικρού πάχους της τάξης των 40 μέτρων. Ο συνολικός όγκος των αλλουβιακών αποθέσεων της λεκάνης της Βαγιονιάς εκτιμάται σε 1262 Mm^3 (βλέπε Πίνακ. 5-13), από αυτά τα 220 Mm^3 συνίσταται από χαλίκια και άμμο αντιπροσωπεύοντας ένα «καλό υδροφόρο». Εάν υποθέσουμε ότι το ενεργό πορώδες για το υδροφόρο σχηματισμό είναι 8,5%

(βλέπε Πίνακ. 5-5) τότε η υδροχωρητικότητα του αλλουβιακού υδροφορέα της Βαγιονιάς εκτιμάται στο ύψος των 19 Mm^3 (οι υπολογισμοί δίνονται στον Πίνακ. 5-13) .

5.3.3.3 *Πλειστοκαινικός υδροφορέας λεκάνης Βαγιονιάς*

Ο πλειστοκαινικός υδροφορέας, σχηματισμός Αγ. Γαλήνης, επιφανειακά απαντάται βόρεια του Γεροποτάμου έχει έκταση 54 km^2 και μέσος πάχος της τάξης των 120 m. Ο όγκος της επιφανειακής εξάπλωσης των πλειστοκαινικών σχηματισμών στη λεκάνης της Βαγιονιάς εκτιμάται σε 6500 Mm^3 (βλέπε Πίνακ. 5-13), από αυτά τα 2100 Mm^3 εμφανίζουν ενεργό πορώδες αντιπροσωπεύοντας ένα «φτωχό - μέτριο υδροφορέα» που βρίσκεται υπό πίεση. Εάν υποθέσουμε ότι το ενεργό πορώδες για το υδροφόρο σχηματισμό είναι 5% τότε η υδροχωρητικότητα του πλειστοκαινικού υδροφορέα της Βαγιονιάς εκτιμάται στο ύψος των 100 Mm^3 (οι υπολογισμοί δίνονται στον Πίνακ. 5-13)

Τα πλειστοκαινικά στρώματα που ευρίσκονται στη λεκάνη (νότιο τμήμα) κάτω από τις αλλουβιακές αποθέσεις είναι μικρού πάχους της τάξης των 15 μέτρων και η υδροχωρητικότητά τους εκτιμάται, ανάλογα με την μέθοδο της προηγούμενη παραγράφου, στο ύψος των 10 Mm^3 (οι υπολογισμοί δίνονται στον Πίνακ. 5-13).

Αν και ο συνολικός όγκος αποθήκευσης των πλειστοκαινικών σχηματισμών είναι υψηλός η αξιοποίηση του είναι μικρή λόγω της μικρής υδροπερατότητάς τους.

5.3.3.4 *Νεογενής υδροφορέας λεκάνης Βαγιονιάς*

Οι νεογενείς σχηματισμοί υπόκεινται των πλειστοκαινικών στη λεκάνη της Βαγιονιάς με το βάθος που συναντιόνται να κυμαίνεται, όπως αναλυτικά παρουσιάσθηκαν στο κεφάλαιο 4 . Υδρογεωλογικά ταξινομούνται ως ανυδροφόρος σχηματισμός λόγω της μαργαϊκής και αργιλικής σύστασης τους και αποτελούν το στεγανό υπόβαθρο της λεκάνης. Λόγω όμως των αυξημένων αρδευτικών αναγκών και των κλιματικών συνθηκών που επικρατούν έχουν ανορυχθεί γεωτρήσεις στους νεογενείς σχηματισμούς και έχουν ευρεθεί ενδιαστρώσεις μικρού πάχους που συνίστανται από κροκάλες, ψαμμίτες και γύψους. Τοπικά στη περιοχή του οικισμού της Βαγιονιάς διατρήονται σχηματισμοί που έχουν πολύ υψηλή αλατότητα και το νερό τους είναι ακατάλληλο για οποιαδήποτε χρήση.

Η υδροχωρητικότητα των υδροφόρων στρωμάτων που ευρίσκονται μέσα στους νεογενείς σχηματισμούς εκτιμάται, ανάλογα με την μέθοδο της προηγούμενη παραγράφου, στο ύψος των 13 Mm^3 (οι υπολογισμοί δίνονται στον Πίνακ. 5-1) .

Θα πρέπει να αναφερθούν και οι νεογενείς σχηματισμοί που απαντούν νότια στη περιοχή Βασιλική- Βασιλικά Ανώγεια– Απεσωκάρι οι οποίοι συνίστανται από εναλλαγές στρώσεων μαργαϊκών ασβεστολίθων και μαργών, έχουν έκταση 5,6 km^2 και μικρό σχετικά πάχος. Οι νεογενείς αυτοί σχηματισμοί επικάθεινται του φλύσχη. Με βάση τα διαθέσιμα γεωδιατρητικά στοιχεία και λόγω της γεωλογικής δομής ο σχηματισμός αυτός δεν φιλοξενεί κανένα σημαντικά υδροφόρο ορίζοντα, αλλά το νερό που κατεισδύει σε αυτόν είτε αναβλύζει από μικροπηγές είτε εμπλουτίζει τους υποκείμενους (φλύσχης) σχηματισμούς ή μεταβιβάζεται υπόγεια βόρεια στις αλλουβιακές αποθέσεις της λεκάνης της Βαγιονιάς.

5.3.3.5 *Αλλουβιακός υδροφορέας λεκάνης Ασημίου*

Ο αλλουβιακός υδροφορέας της λεκάνης του Ασημίου έχει έκταση περίπου 12 km^2 και οι αποθέσεις έχουν πάχος της τάξης των 30 μέτρων.
Η υδροχωρητικότητά του εκτιμάται, ανάλογα με τη μέθοδο της προηγούμενης παραγράφου, στο ύψος των 7 Mm^3 (οι υπολογισμοί δίνονται στον Πίνακ. 5-13)

5.3.3.6 *Πλειστοκαινικός υδροφορέας λεκάνης Ασημίου*

Τα πλειστοκαινικά στρώματα που ευρίσκονται στη λεκάνη του Ασημίου κάτω από τις αλλουβιακές αποθέσεις είναι σχετικά μεγάλου πάχους της τάξης των 100 μέτρων και η υδροχωρητικότητά των εκτιμάται, ανάλογα με τη μέθοδο της προηγούμενη παραγράφου, στο ύψος των 15 Mm^3(οι υπολογισμοί δίνονται στον Πίνακ. 5-13)

5.3.3.7 *Υδροστατική στάθμη της λεκάνης Βαγιονιάς- Ασημίου- Πιεζομετρία*

Δεδομένα υδροστατικής στάθμης της λεκάνης της Βαγιονιάς – Ασημίου υπάρχουν από τον Οκτώβριο 1990 τα οποία καταγράφηκαν από την ΥΕΒ. Από τη περίοδο αυτή άρχισε η εντατική αξιοποίηση του υδροφορέα της. Δεδομένα από το FAO (1972) δεν ανευρέθηκαν επειδή όπως προαναφέρθηκε χαρακτήρισε τη λεκάνη της Βαγιονιάς ως «μη σημαντικό» υδροφόρο πεδίο και η έρευνα του ήταν περιορισμένη.

Στη λεκάνη της Βαγιονιάς θα πρέπει να διακρίνουμε τρεις υδροφόρους σχηματισμούς: τον προσχωματικό (αλλουβιακό) ο οποίος φιλοξενεί υδροστατική στάθμη λίγα μέτρα από την επιφάνεια και είναι ελεύθερος ή μερικώς υπό πίεση, τον πλειστοκαινικό και τον νεογενή που βρίσκονται υπό πίεση και η υδροστατική των στάθμη είναι μερικές δεκάδες μέτρα από την επιφάνεια.

Μετά το 1990 ο υδροφορέας της λεκάνης της Βαγιονιάς άρχισε βαθμιαία να αξιοποιείται – εκμεταλλεύεται εντατικά με αποτέλεσμα τη συνεχή ταπείνωση της υδροστατικής στάθμης. Η στάθμη παρακολουθείτο από την ΥΕΒ με 14 πιεζόμετρα (βλέπε χάρτη εικόνα Π5-31), ενίοτε λειτούργησαν και άλλα 4 πιεζόμετρα για περιορισμένο χρονικό διάστημα. Επίσης παρακολουθούνται και οι υδροφορείς των καρστικών σχηματισμών των Αστερουσίων. Η χρονοσειρά των μετρήσεων αποτελείται από δύο τιμές ανά έτος, μία την υγρή περίοδο (τέλη Απριλίου- μέσα Μαΐου) και μία τη ξηρή (τέλη Σεπτεμβρίου- μέσα Οκτωβρίου), από το έτος 1990.
Για τις ανάγκες της εργασίας μετρήθηκαν οι συντεταγμένες των σημείων παρακολούθησης που είχαν συμπληρωμένη χρονοσειρά με τη χρήση GPS και οι μετρήσεις διορθώθηκαν με το σταθμό εδάφους του Ινστιτούτο Τεχνολογίας Έρευνας /Κρήτης. Οι τιμές εμφανίζουν σφάλμα μέτρησης κατά την οριζόντια διεύθυνση (X,Y) εύρους διακύμανσης 0,19-0,41 m και μέση τιμή 0,30 m, ενώ το εύρος σφάλματος κατά την κατακόρυφο (Z) είναι 0,31-0,90 m και μέση τιμή 0,53 m. Τα σημεία παρακολούθησης δίνονται στην εικόνα Π5-31 και οι συντεταγμένες και μετρήσεις στον Πίνακ. 5-14 και
Πίνακ. **5-15** .

Στις εικόνες Π5-34,…, Π5-38 δίνονται οι γραφικές παραστάσεις της χρονοσειράς της υδροστατικής στάθμης των πιεζομέτρων παρακολούθησης από την επιφάνεια του εδάφους και σε απόλυτο υψόμετρο. Παρατηρούμε ότι έχουμε μια συνεχή πτώση της στάθμης μετά το έτος 1992 και η πτώση αυτή αυξάνεται έντονα μετά το έτος 1997.

Λόγω της έλλειψης δεδομένων υδροστατικής στάθμης της περιόδου πριν της εκμετάλλευσης του υδροφορέα δεν είναι δυνατόν ο προσδιορισμός της συνολικής πτώσης. Η πτώση στάθμης, που προήλθε από την (υπερ)εκμετάλλευση, μετά το 1990, κυμαίνεται ευρέως στη λεκάνη και εξαρτάται από τον τύπο του υδροφορέα, τα γεωμετρικά (πάχος, έκταση) και τα υδραυλικά (T, S) χαρακτηριστικά του. Οι μεγαλύτερες καταγεγραμμένες πτώσεις στάθμης είναι τις περιόδους Οκτώβριος 2000 και Οκτώβριος 2001 οι οποίες ανά περιοχή και υδροφορέα κατά μέσο όρο είναι:

- Αλλουβιακός-πλειστοκαινικός υδροφορέας της περιοχής των Αγ. Δέκα: πτώση στάθμης της τάξης των 15 m,
- Πλειστοκαινικός υδροφορέας της περιοχής των Γκαγκαλών: πτώση στάθμης της τάξης των 45 m,
- πλειστοκαινικός υδροφορέας της περιοχής Στόλοι- Λούρες: πτώση στάθμης της τάξης των 36 m,
- αλλουβιακός- πλειστοκαινικός υδροφορέας κατά μήκος του Γεροποτάμου: πτώση στάθμης της τάξης των 30 m, και
- αλλουβιακός - πλειστοκαινικός υδροφορέας της περιοχής Διονύσι –Ασήμι: πτώση στάθμης της τάξης των 30 m.

Τα υδρολογικά έτη 2002-2004 παρατηρούμε μια απότομη άνοδο της στάθμης κατά μέσο όρο της τάξης των 32 m ή αναπλήρωση της στάθμης κατά 75-100 %.

Στην εικόνα Π5-41 δίνεται η πτώση στάθμης και η εξαμηνιαία επιφανειακή βροχόπτωση της υδρολογικής λεκάνης της Βαγιονιάς, όπως αυτή υπολογίσθηκε στο κεφάλαιο 1. Παρατηρούμε ότι οι βροχοπτώσεις σε αυτά τα υδρολογικά έτη (2002-2004) είναι οι υψηλότερες που έχουν καταγραφεί στη περιοχή και έχουν επαληθευτεί από τη στατιστική ανάλυση των βροχοπτώσεων (βλέπε κεφάλαιο 1).

Η γραμμική παλινδρόμηση μεταξύ της ετήσιας ή της εξαμηνιαίας επιφανειακής βροχόπτωσης και της πτώσης της στάθμης έδωσε πολύ μικρό συντελεστή συσχέτισης πράγμα αναμενόμενο επειδή τα δύο μεγέθη δεν συσχετίζονται άμεσα καθώς υπεισέρχονται και άλλοι παράγοντες.

Ο συντελεστής συσχέτισης μεταξύ των χρονοσειρών της στάθμης των πιεζομέτρων παρακολούθησης διαφέρει εξαρτώμενος από τον υδρογεωλογικό σχηματισμό και την απόσταση μεταξύ των πιεζομέτρων επαληθεύοντας την ανομοιογένεια της λεκάνης.

Αναλυτικότερα ο συντελεστής συσχέτισης (βλέπε Πίνακ. 5-18) ανά υδροφόρο σχηματισμό των πιεζομέτρων που βρίσκονται σε μικρή σχετικά απόσταση είναι όπως παρακάτω:

- στον πλειστοκαινικό υδροφορέα του βόρειου- κεντρικού τμήματος της λεκάνης (Γκαγκάλες) κυμαίνεται 0,4 -0,89
- στον πλειστοκαινικό υδροφορέα του ΒΑ τμήματος της λεκάνης (Λούρες – Ασήμι) κυμαίνεται 0,87 -0,98
- στον αλλουβιακό και τον υποκείμενο πλειστοκαινικό του ΝΑ τμήματος (Στάβιες – Διονύσι- Ασήμι) κυμαίνεται 0,81-0,95
- στον αλλουβιακό και τον υποκείμενο πλειστοκαινικό υδροφορέα του κεντρικού τμήματος κατά μήκος του Γεροποτάμου κυμαίνεται 0,75-0,93
- στον αλλουβιακό και τον υποκείμενο πλειστοκαινικό υδροφορέα του δυτικού τμήματος της Βαγιονιάς και του ανατολικού της λεκάνης Μοιρών κυμαίνεται 0,78-0,98

Από τις παραπάνω διακυμάνσεις παρατηρούμε ότι ο συντελεστής συσχέτισης των χρονοσειρών πτώσης στάθμης των πιεζομέτρων που βρίσκονται σε μικρή απόσταση και στον ίδιο υδροφορέα είναι «σημαντικός» και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη

συμπλήρωση των χρονοσειρών. Όμως, ο συντελεστή συσχέτισης των πιεζομέτρων που βρίσκονται σε απόσταση ή αυτών που ευρίσκονται σε διαφορετικό σχηματισμό είναι «μη σημαντικός» και για αυτό πρέπει να χρησιμοποιείται με προσοχή. Ο μικρός συντελεστής συσχέτισης συμφωνεί με τα υδρογεωλογικά (διαφορετικοί σχηματισμοί) και τεκτονικά (ασυνέχειες) δεδομένα της περιοχής. Στον Πίνακ. 5-16 και Πίνακ. 5-17 δίνονται οι συμπληρωμένες τιμές των χρονοσειρών για αυτές τις τιμές μόνο που εμπίπτουν στους παραπάνω περιορισμούς.

Η συμπλήρωση και επέκταση των χρονοσειρών της στάθμης έγινε με τη μέθοδο της αντίστροφης απόστασης (ακτίνα επίδρασης <4 km) υψωμένης στο τετράγωνο και κάτω από τους περιορισμούς που συζητήθηκαν παραπάνω.

Με βάση τις μετρήσεις των σημείων παρακολούθησης κατασκευάσθηκαν οι πιεζομετρικοί χάρτες της λεκάνης της Βαγιονιάς- Ασημίου για την υγρή και τη ξηρή περίοδο για 2 χαρακτηριστικά έτη εκμετάλλευσής της το 1996 (μικρή) και το 2001 (μεγαλύτερη παρατηρούμενη) οι οποίοι δίνονται στις εικόνες Π5-31 και Π5-32 (ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 5).

Η κατασκευή των πιεζομετρικών χαρτών έγινε με συνδυασμό της χρήσης της μεθόδου Kriging και της μετέπειτα διόρθωσής τους, καθώς τα προγράμματα των ηλεκτρονικών υπολογιστών είναι ανίκανα να αναγνωρίσουν την παρουσία των γεωλογικών ορίων, τη μεταβολή του πορώδους μέσου, την αλληλεπίδραση των επιφανειακών και υπόγειων νερών και γενικότερα τις αρχές της υπόγειας ροής. Κατά αρχή κατασκευάσθηκαν οι ισοδυναμικές γραμμές (γραμμές ίσου υδραυλικού φορτίου) με βάση τα σημεία παρακολούθησης και την εφαρμογή της μεθόδου Kriging. Για την εφαρμογή της μεθόδου κατασκευάσθηκε πρώτα το ημιβαριόγραμμα (semi- Variogram, γ) και υπολογίσθηκαν οι τιμές a, C, και C_0 και στη συνέχεια παράχθηκαν οι υδροϊσοϋψείς με γραμμικό μοντέλο Kriging και με τη βοήθεια της υδρολογικής βάσης HYMOS (βλέπε Κεφάλαιο 1).

Λόγω όμως της σχετικά μικρής πυκνότητας του δικτύου παρακολούθησης, της ανισοτροπίας του πορώδους μέσου και της αδυναμίας των προγραμμάτων των ηλεκτρονικών υπολογιστών να αναγνωρίσουν ασυνέχειες, γεωλογικά όρια και γενικά τις μεταβολές του πορώδους μέσου, οι ισοδυναμικές γραμμές διορθώθηκαν με βάση τις αρχές της υπόγειας ροής και της υδρογεωλογικής και τεκτονικής δομής της λεκάνης όπως αυτή παρουσιάστηκε στις προηγούμενες παραγράφους.

Από τους πιεζομετρικούς χάρτες εξάγονται τα παρακάτω συμπεράσματα για τη λεκάνη της Βαγιονιάς- Ασημίου:

- Οι γραμμές ροής του πλειστοκαινικού υδροφορέα (βόρειο τμήμα) ακολουθούν τη γενική κατεύθυνση ΝΝΔ, περίπου τη διεύθυνση της ροή των υδρορευμάτων, και στη συνέχεια στο κέντρο της λεκάνης κάμπτονται δυτικά ακολουθώντας τη διεύθυνση ροής του Γεροποτάμου, με εξαίρεση το ανατολικό τμήμα του (περιοχή ανατολικά του Ασημίου) όπου εμφανίζουν γενική κατεύθυνση ροής ΝΝΑ και στη συνέχεια κάμπτονται προς ανατολικά περίπου με τη διεύθυνση ροής Αναποδάρη.
- Ανάλογη εικόνα εμφανίζουν οι γραμμές ροής του αλλουβιακού υδροφορέα (νότιο τμήμα) οι οποίες στην υπώρεια περιοχή των Αστερουσίων ακολουθούν τη γενική κατεύθυνση ΒΒΔ, περίπου τη διεύθυνση της ροής των υδρορευμάτων, και στη συνέχεια στο κέντρο της λεκάνης κάμπτονται δυτικά ακολουθώντας τη διεύθυνση ροής του Γεροποτάμου.
- Σε συνθήκες μικρής εκμετάλλευσης (1996) οι δυο κύριοι υδροφορείς, ο αλλουβιακός και ο πλειστοκαινικός, εμφανίζονται λίγο πολύ ως ομοιόμορφοι

με διαφορετικές κλίσεις ο καθένας. Επίσης διακρίνεται το κεντρικό τμήμα της λεκάνης (Γεροπόταμος) όπου οι κλίσεις είναι μικρές και ο υδροφορέας εμφανίζει μεγαλύτερη υδαταγωγιμότητα. Η κλίση για το σύνολο του Γεροποτάμου είναι ανάμεσα στον πλειστοκαινικό και τον αλλουβιακό υδροφορέα. Αναλυτικότερα η μέση υδραυλική κλίση την υγρή περίοδο υπολογίσθηκε 26,4$^{o}/_{oo}$, 16,3$^{o}/_{oo}$,14,4$^{o}/_{oo}$ και 10,5$^{o}/_{oo}$ για το βόρειο (πλειστόκαινο), κατά μήκος του Γεροποτάμου, το νότιο (αλλουβιακό) και το κεντρικό (Γεροπόταμος) τμήμα αντίστοιχα. Οι αντίστοιχες κλίσεις για τη ξηρή περίοδο υπολογίσθηκαν σε 27,1$^{o}/_{oo}$, 14,4$^{o}/_{oo}$, 18,0$^{o}/_{oo}$ και 9,0$^{o}/_{oo}$.

- Σε συνθήκες έντονης εκμετάλλευσης (2001) οι δυο κύριοι υδροφορείς, ο αλλουβιακός και ο πλειστοκαινικός, εμφανίζονται ως λιγότερο ομοιόμορφοι σε σχέση με την περίοδο 1996 και με διαφορετικές κλίσεις ο καθένας. Διακρίνεται και εδώ το κεντρικό τμήμα της λεκάνης (Γεροπόταμος) όπου οι κλίσεις είναι κατά πολύ μικρότερες και ο υδροφορέας εμφανίζει μεγαλύτερη υδαταγωγιμότητα. Αυτό προκύπτει θεωρητικά από το νόμο του Darcy ότι δηλαδή η υδαταγωγιμότητα T (ή συντελεστής υδροπερατότητας K, και T=Ki) είναι αντιστρόφως ανάλογος της υδραυλικής κλίσης. Αναλυτικότερα η μέση υδραυλική κλίση την υγρή περίοδο υπολογίσθηκε 27,7$^{o}/_{oo}$, 16,8$^{o}/_{oo}$, 16,8$^{o}/_{oo}$ και 6,9$^{o}/_{oo}$ για το βόρειο (πλειστόκαινο), κατά μήκος του Γεροποτάμου, το νότιο (αλλουβιακό) και το κεντρικό (Γεροπόταμος) τμήμα αντίστοιχα. Οι αντίστοιχες κλίσεις για τη ξηρή περίοδο υπολογίσθηκαν σε 24,3$^{o}/_{oo}$, 16,2$^{o}/_{oo}$, 16,8$^{o}/_{oo}$ και 7,0$^{o}/_{oo}$
- Στις συνθήκες της αρχικής εκμετάλλευσης της λεκάνης Βαγιονιάς-Ασημίου, που ταξινομείται ως μικρή-μέση (1996), είναι ευδιάκριτα τα διαφορετικά υδραυλικά χαρακτηριστικά των δύο υδροφορέων καθώς και η ζώνη μετάβασής τους κατά μήκος του Γεροποτάμου με ενδιάμεσα χαρακτηριστικά. Η υδαταγωγιμότητα του αλλουβιακού υδροφορέα είναι κατά πολύ μεγαλύτερη του πλειστοκαινικού. Διακρίνεται επίσης μια ζώνη κατά μήκος του κεντρικού τμήματος του Γεροποτάμου που η υδαταγωγιμότητα του είναι πολύ μεγάλη. Τη ξηρή περίοδο παρατηρούμε ότι οι κλίσεις και στους δύο υδροφορείς αυξάνονται, ενώ θα περίμενε κανείς αυτές να ελαττώνονται καθώς ο εμπλουτισμός του υδροφορέα λόγω των βροχοπτώσεων είναι σχεδόν μηδενικός. Η μεγαλύτερη κλίση κατά τη ξηρή περίοδο ερμηνεύεται με το ότι στο κεντρικό τμήμα της λεκάνης κατά μήκος του Γεροποτάμου έχουμε μεγάλη πτώση της στάθμης λόγω των αντλήσεων, επειδή όλα τα υδροληπτικά έργα (γεωτρήσεις- πηγάδια) στα αρχικά στάδια της εκμετάλλευσης της λεκάνης συγκεντρώνονται κατά μήκος του Γεροποτάμου, λόγω των πλεονεκτημάτων που παρείχε αυτή η ζώνη.
- Σε συνθήκες έντονης εκμετάλλευσης της λεκάνης Βαγιονιάς-Ασημίου, που ταξινομείται ως υψηλή (2001), είναι και εδώ ευδιάκριτα τα διαφορετικά υδραυλικά χαρακτηριστικά των δύο υδροφορέων. Παρατηρούμε επίσης ότι οι κλίσεις κατά μήκος του Γεροποτάμου και του αλλουβιακού υδροφορέα είναι ίδιες. Διακρίνεται επίσης μια ζώνη κατά μήκος του κεντρικού τμήματος του Γεροποτάμου που η κλίση είναι μικρή. Τη ξηρή και την υγρή περίοδο παρατηρούμε ότι οι κλίσεις στους υδροφορείς είναι οι ίδιες με εξαίρεση μια μικρή διαφορά του πλειστοκαινικού. Η ίδια κλίση οφείλεται στους λόγους: α) ο αλλουβιακός υδροφορέας (νότιο τμήμα) έχει σχεδόν εξαντληθεί και παραμένει ως κύριο εκμεταλλεύσιμο υδροφόρο ο υποκείμενος πλειστοκαινικός σχηματισμός ο οποίος έχει μικρότερη υδαταγωγιμότητα, β) νέες γεωτρήσεις ανορύχθηκαν σε όλη τη λεκάνη επομένως έχουμε καλύτερη πυκνότητα και γ)

οι αντλήσεις αυξήθηκαν σε όγκο νερού και διάρκεια λόγω των ξηρών υδρολογικών ετών.

Οι υδροϊσοϋψείς στα δύο χαρακτηριστικά στάδια της (υπερ)εκμετάλλευσης της λεκάνης της λεκάνης Βαγιονιάς- Ασημίου απεικονίζονται στο χάρτη της εικόνας Π5-33. Παρατηρούμε ότι και στα δυο στάδια εκμετάλλευσης της λεκάνης η εικόνα της κατεύθυνσης του δικτύου υπόγειας ροής είναι ανάλογη. Ο υπόγειος υδροκρίτης στα ανατολικά είναι λίγο δυτικότερα από την ευθεία που ενώνει τους οικισμούς Ασήμι – Στέρνες και η θέση του μετακινείται λίγο ανάλογα με τις συνθήκες εκμετάλλευσης. Στο δυτικό τμήμα που διακρίθηκε (όριο) η λεκάνη των Μοιρών από της Βαγιονιάς παρατηρούμε μια απότομη αύξηση της υπόγειας υδραυλικής κλίσης λόγω των διαφορετικών ιδιοτήτων των υδροφορέων.
Οι επί μέρους λεκάνες που έχει διακριθεί η λεκάνη Βαγιονιάς – Ασημίου εμφανίζονται ως έχοντας ομοιόμορφους υδροφορείς σε συνθήκες μικρής εκμετάλλευσης, όμως στις συνθήκες έντονης εκμετάλλευσης εμφανίζονται λιγότερο ομοιογενείς, ιδιαίτερα διακρίνεται η περιοχή στο κέντρο της λεκάνης εκεί όπου έχουμε τη μεγαλύτερη πυκνότητα υδροληπτικών έργων. Θα πρέπει να αναφερθεί ότι οι γεωτρήσεις μετά το έτος 2000 στη περιοχή του αλλουβιακού υδροφορέα ανορύχθηκαν σε μεγαλύτερα βάθη, λόγω της έλλειψης υδατικών πόρων, εκμεταλλευόμενες στρώσεις κροκαλών και ψαμμιτών μικρού υδατικού δυναμικού εντός των νεογενών σχηματισμών. Ενίοτε οι στρώσεις αυτές περιέχουν νερό με υψηλή αλατότητα. Πρόσφατα (2006) ανορύχθηκαν γεωτρήσεις βάθους της τάξης των 350 m στη περιοχή των Γκαγκαλών όπου και εδώ συνάντησαν την ασθενή υπό πίεση υδροφορία των νεογενών.

Από τις πιεζομετρικές καμπύλες της λεκάνης του Γεροποτάμου συνάγεται ότι όλοι οι επί μέρους υδροφορείς που έχει διακριθεί η λεκάνη των Μοιρών και της Βαγιονιάς-Ασημίου έχουν άμεση υδραυλική επικοινωνία μεταξύ τους.

Τέλος, θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι πιεζομετρικές καμπύλες, που κατασκευάσθηκαν στα διάφορα στάδια της (υπερ)εκμετάλλευσης της λεκάνης της Βαγιονιάς - Ασημίου με βάση τα δεδομένα των πιεζομετρικών σημείων παρακολούθησης, ερμηνεύονται πολύ καλά με το μοντέλο της υδρογεωλογικής δομής της περιοχής που υιοθετήθηκε.

5.3.3.8 *Ιδιότητες υπόγειου υδροφορέα λεκάνης Βαγιονιάς- Ασημίου*

5.3.3.8.1 Παροχές και βάθη άντλησης γεωτρήσεων

Οι παροχές των σε λειτουργία γεωτρήσεων στη λεκάνη της Βαγιονιάς- Ασημίου κυμαίνονται ευρέως από 2 m^3/h μέχρι 55 m^3/h, με βάση την απογραφή του 2002. Στην απογραφή αυτή συμπεριελήφθησαν συνολικά 314 γεωτρήσεις που διέθεταν κατά ελάχιστο γνωστή παροχή άντλησης. Όπως προαναφέρθηκε σχεδόν στο σύνολο τους οι γεωτρήσεις αυτές είναι ιδιωτικές και απουσιάζουν τα τεχνικά στοιχεία των (Βάθη, διάμετρος, στοιχεία δοκιμαστικών αντλήσεων, λιθολογική τομή κλπ) . Στον Πίνακ. 5-19 δίνονται συνοπτικά στοιχεία των γεωτρήσεων ανά υδρολογικό σχηματισμό και ανά δημοτικό διαμέρισμα. Το μέσο βάθος των γεωτρήσεων είναι περίπου 120 m. Οι παροχές των γεωτρήσεων συσχετίζονται άμεσα με τον υδροφόρο σχηματισμό (βλέπε χάρτη εικόνα Π5-28). Στον αλλουβιακό – πλειστοκαινικό υδροφορέα η μέση παροχή άντλησης είναι 27 m^3/h, η μέση μέγιστη 41 m^3/h και η

μέση ελάχιστη 14 m^3/h. Αντίστοιχα για τον πλειστοκαινικό υδροφορέα οι παροχές είναι 20 m^3/h, 39 m^3/h και 5 m^3/h.

5.3.3.8.2 Ειδική ικανότητα γεωτρήσεων

Η ειδική ικανότητα των γεωτρήσεων λόγω της έλλειψης στοιχείων υπολογίζεται κατά εκτίμηση με βάση τις παραδοχές ότι η πτώση στάθμη άντλησης στον αλλουβιακό-πλειστοκαινικό (ελεύθερο ή μερικώς υπό πίεση) υδροφορέα είναι της τάξης 3 m – 6 m και στο πλειστοκαινικό και το νεογενή (υπό πίεση υδροφορέα) της τάξης 10 m- 20 m, τιμές που συγκλίνουν με τα διαθέσιμα στοιχεία. Με βάση τις παραπάνω εκτιμήσεις η ειδική ικανότητα των γεωτρήσεων στον αλλουβιακό -πλειστοκαινικό υδροφορέα (νότιο τμήμα) κυμαίνεται μεταξύ 5 m^3/h/m – 11 m^3/h/m ενώ στον πλειστοκαινικό και το νεογενή κυμαίνεται μεταξύ 0,8 m^3/h/m- 1,5 m^3/h/m.

5.3.3.8.3 Μεταβιβαστικότητα (T)

Οι τιμές της μεταβιβαστικότητας που υπολογίσθηκαν από το FAO είναι λίγες και αφορούν μόνο τον αλλουβιακό υδροφορέα. Οι τιμές αυτές ευρέως κυμαίνονται (βλέπε Πίνακ. 5-5) από περίπου 2 m^2/day (2,3 X 10^{-5} m^2/sec) μέχρι 2590 m^2/day (3 X 10^{-2} m^2/sec).

Λόγω των περιορισμένων δεδομένων του FAO, υπολογίσθηκαν τιμές της μεταβιβαστικότητας σε επτά διαφορετικές περιοχές του υδροφορέα της Βαγιονιάς για συγκριτικούς λόγους με τη μέθοδο Cooper- Jacob και Theis (βλέπε Πίνακ. 5-20). Το εύρος των τιμών που υπολογίσθηκαν είναι μικρότερο από του FAO, αυτό βέβαια ήταν αναμενόμενο γιατί ο αλλουβιακός υδροφορέας έχει σχεδόν εξαντληθεί σε αυτή τη χρονική περίοδο, και κυμαίνεται από 27 m^2/day (3,1 X 10^{-4} m^2/sec) μέχρι 334 m^2/day(4 X 10^{-3} m^2/sec).

Στην εικόνα Π5-42 δίνεται ο χάρτης των ζωνών της μέσης μεταβιβαστικότητας της λεκάνης της Βαγιονιάς- Ασημίου.

5.3.3.8.4 Συντελεστής υδροχωρητικότητας (S)

Οι τιμές του συντελεστή υδροχωρητικότητας που προέκυψαν από τα δεδομένα των αντλητικών δοκιμασιών των γεωτρήσεων, του έτους 2001, (προηγούμενη παράγραφος) με τη χρήση της μεθόδου Theis, κυμαίνονται από 10^{-2} μέχρι 10^{-3} (βλέπε Πίνακ. 5-20) οι οποίες δείχνουν ότι ο υδροφορέας είναι υπό πίεση τουλάχιστο αυτός που βρίσκεται σε μεγαλύτερα σχετικά βάθη.

Θα πρέπει όμως να αναφέρουμε ότι στους υπολογισμούς αυτούς υπεισέρχεται σφάλμα, λόγω της μεθόδου υπολογισμού για δύο κυρίως λόγους: α) η κατασκευή των υφιστάμενων γεωτρήσεων δεν είναι η βέλτιστη (πχ βέλτιστη διάμετρος σωλήνωσης, σωλήνωση της γεώτρησης σε όλο το πάχος του υδροφορέα, σωστή ανάπτυξη, τοποθέτηση κατάλληλου χαλικόφιλτρου κλπ) οπότε αναμένονται απώλειες φορτίων και σε συνδυασμό β) η χρησιμοποίηση των πιεζόμετρων μέτρησης της στάθμης αυτών που βρίσκονται ενσωματωμένα στη κύρια σωλήνωση απέχοντας μόλις μερικά εκατοστά, λόγω της έλλειψης δορυφορικών πιεζομέτρων παρατήρησης.

Πίνακ. 5-13 Υπόγεια υδροχωρητικότητα των αλλουβιακών αποθέσεων και των πλειστοκαινικών σχηματισμών της λεκάνης της Βαγιονιάς - Ασημίου

			Πάχος αποθέσεων σε m				Όγκος αποθέσεων σε Mm^3				
α/α	Περιοχή	Έκταση km2 α	Μέσο συνολικό πάχος β	Κορεσμένο πάχος υδροφορέα γ	Πάχος υδροφόρου δ	Πάχος ανυδρο-φόρου ε	Συνολικός όγκος α*β	Συνολικός όγκος κορεσμένου υδροφορέα α*γ	Όγκος υδροφόρου ζ=α*δ	Όγκος ανυδρο-φόρου η=α*ε	Υδροχωρητικότητα Υδροφόρου σε Mm^3 θ=ζ*8,5% αλλουβιακός θ=ζ*5% πλειστοκαινικός
1	Βαγιονιά Αλλουβιακός	31.54	40	20	7	20	1262	631	221	631	19
2	Ασήμι Αλλουβιακός	12.06	30	20	7	13	362	241	84	157	7
ΣΥΝΟΛΟ ΑΛΟΥΒΙΑΚΟΥ		***43.60***					***1623***	***872***	***305***	***788***	***26***
3	Βαγιονιά Πλειστοκαινικός	31.54	15	15	7	7	473	473	221	221	11
4	Στόλοι Πλειστοκαινικός	53.97	120	120	40	80	6476	6476	2159	4318	108
5	Ασήμι Πλειστοκαινικός	12.06	100	100	25	75	1206	1206	302	905	15
ΣΥΝΟΛΟ ΠΛΕΙΣΤΟΚΑΙΝΙΚΟΥ		**97.6**					**8156**	**8156**	**2681**	**5443**	**134**
6	Βαγιονιά Νεογενής	31.54	150	16	8	8	4731	505	252	252	13
ΣΥΝΟΛΟ ΝΕΟΓΕΝΗ		**31.5**					**4731**	**505**	**252**	**252**	**13**
ΓΕΝΙΚΟ ΣΥΝΟΛΟ		**172.7**					**14510**	**9532**	**3239**	**6483**	**173**

Πίνακ. 5-14 Συντεταγμένες και απόλυτη υδροστατική στάθμη υγρής και ξηρής περιόδου πιεζομέτρων παρακολούθησης λεκάνης Βαγιονιάς-Ασημίου (σε m)

ΚΑ-ΥΕΒ	ΓΕΩ. Νο1 ΚΟΙΝ. ΑΓ. ΔΕΚΑ	ΓΕΩ. Νο 160Α ΚΟΙΝ. ΒΑΣΙΛΙΚΩΝ ΑΝΩΓΕΙΩΝ	ΓΕΩ. Ν 133Α ΜΠΑΚΑΤΑ ΚΗΣ ΣΤΥΛ. (ΑΓ.ΔΕΚΑ)	ΓΕΩ. Νο 144-Ομάδα Κολουτζάκη (ΑΓ.ΔΕΚΑ)	ΓΕΩ. Νο 98 ΡΟΓΔΑΚΗΣ Γ. (ΣΤΟΛΟΙ)	ΓΕΩ. Νο 21 Κοιν. Στόλων	ΓΕΩ. Νο 67 ΓΙΑΧΝΑΚΗΣ ΓΡΗΓ. (ΣΤΑΒΙΕΣ)	ΓΕΩ. Νο 123 (Κοιν. Γκαγκαλ.)	ΓΕΩ. Νο 169 ΔΟΥΛΓΕΡΑ-ΚΗΣ (ΓΚΑ-ΓΚΑΛΕΣ)	ΓΕΩ. Νο 209 ΚΟΙΝ. ΜΟΡΙΑ (ΓΚΑ-ΓΚΑΛΕΣ)	ΓΕΩ. Νο 207 (Βλαχάκης) (ΓΚΑΓΚΑ.)	ΓΕΩ. Νο 54 (Κουμιανά-κης) (ΠΑΝΑΓΙΑ)	ΓΕΩ. Νο 70Α Κοιν. Σταύγιες	ΓΕΩ. Νο47-Κοκολάκη (Ασήμι)
ΚΑ-HYMOS	GB1	GB2	GB3	GB4	GB5	GB6	GB7	GB8	GB9	GB10	GB11	GB12	GB13	GH14
X	587048	588839	585733	587218	592441	595530	596118	590725	591691	598449	598480	598315	594867	597845
Y	3878638	3877019	3876809	3876860	3876709	3878142	3874448	3876658	3879781	3879555	3879154	3875467	3873980	3877322
Z	139.9	147.6	111.3	124.1	170	240	261.4	160	240	317	310	258	235.1	257
Οκτ-90	96,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Μαι- 91	96,8	-	-	-	-	-	251,6	-	-	-	-	-	-	-
Οκτ-91	94,5	-	-	-	-	-	250	-	-	-	-	-	-	-
Μαι- 92	94,6	110,07	-	-	-	-	249,9	-	-	277,8	-	-	-	-
Οκτ-92	92,8	95	71,25	-	155,9	-	249,3	-	204,2	271,69	-	-	-	-
Μαι- 93	93,75	108,4	70,88	-	157,2	-	249,1	-	206,1	276,71	-	-	-	-
Οκτ-93	91,9	95,6	64,2	-	155,75	-	246,05	-	204,2	256,15	-	-	-	-
Μαι- 94	92,45	107,68	69,25	-	158,8	-	247,35	-	207,7	278,15	-	-	-	-
Οκτ-94	90,4	98,45	62	70,5	145,5	160,6	245,6	134,7	200,8	270,87	271,8	228,5	224,1	-
Μαι- 95	92	109,05	69,05	68,7	157,6	202,95	247,7	142,55	202,8	270,3	275,8	236,8	-	-
Οκτ-95	89,4	98	60,8	59,55	149,9	172,4	242,5	134,75	192,7	267,2	264,6	227,7	222,47	-
Μαι- 96	93,3	113,05	73,95	75,3	164,5	201,6	251,4	148,75	214,6	271,9	276,24	241,98	-	-
Οκτ-96	93,05	105,95	70,75	68,9	156,65	176,5	247,05	141,4	213,2	272,6	269,7	231,35	224,32	-
Μαι- 97	93,85	112,55	74,1	74,64	162,95	207,45	249,1	147,65	213,9	275,8	277,65	239,65	234,35	-
Οκτ-97	92,8	103,4	69,8	67,7	155,45	160,4	246,5	136,2	213,3	273,15	274,35	232	221,85	-
Μαι- 98	93,65	111,6	71,1	74,6	161,4	203,4	249,4	145,6	210,4	276,15	279,1	239,4	231,6	-
Οκτ-98	89	104,4	67,9	67,25	155,1	165,6	245,2	134,2	189,8	272,75	273,7	230,95	-	-
Μαι- 99	93,64	108,85	68,3	69,55	159,9	205,2	248,65	143,72	208,2	274,2	277,65	239,8	227,45	-
Οκτ-99	90,7	87,4	60	61,25	153,85	152,2	244,08	132,8	186	270,5	268,7	228,48	201,4	-
Μαι- 2000	90,7	104,7	63,05	63,95	150,6	195,85	245,25	134,85	202,35	272,55	275,3	234,4	222,6	232,2
Οκτ-2000	87,7	81,25	53,2	46,9	146,6	144,2	238	111,45	170,6	258,6	257,6	219,2	190,2	222
Μαι-01	88,1	105,6	57,1	57,65	151,3	186,5	244,4	138,95	204,65	255,4	272,7	232,15	214,05	229
Οκτ-01	81,35	86,85	48,9	43,4	142,1	149,02	237,6	111,85	172,35	267,35	257,9	218,85	196,8	216,4
Μαι- 02	88,92	108	52,3	54,9	153,78	175,85	244,25	141,2	202,48	275	271,3	231,3	211,95	224,5
Οκτ-02	-	-	-	-	-	152,75	241,1	-	-	-	258,4	221,15	202,8	218,3
Μαι- 03	-	-	-	-	-	185,2	253,1	-	-	-	281,85	241,2	222,65	231,7
Οκτ-03	-	-	-	-	-	138,8	247,2	-	-	-	279,95	235,9	200,8	223,15
Μαι- 04	-	-	-	-	-	190,2	253	-	-	-	289,45	245,95	219,2	-
Οκτ-04	-	-	-	-	-	150,6	247,85	-	-	-	284,6	240,4	199	-

Πίνακ. 5-15 Υδροστατική στάθμη υγρής και ξηρής περιόδου πιεζομέτρων λεκάνης Βαγιονιάς-Ασημίου(σε m από την επιφάνεια)

ΚΑ-ΥΕΒ	ΓΕΩ. No1 ΚΟΙΝ. ΑΓ. ΔΕΚΑ	ΓΕΩ. No 160Α ΚΟΙΝ. ΒΑΣΙΛΙΚΩΝ ΑΝΩΓΕΙΩΝ	ΓΕΩ. Ν 133Α ΜΠΑΚΑΤΑ ΚΗΣ ΣΤΥΛ. (ΑΓ.ΔΕΚΑ)	ΓΕΩ. No 144-Ομάδα Κολουτζάκη (ΑΓ.ΔΕΚΑ)	ΓΕΩ. No 98 ΡΟΓΔΑΚΗΣ Γ. (ΣΤΟΛΟΙ)	ΓΕΩ. No 21 Κοιν. Στόλων	ΓΕΩ. No 67 ΓΙΑΧΝΑΚΗΣ ΓΡΗΓ. (ΣΤΑΒΙΕΣ)	ΓΕΩ. No 123 (Κοιν. Γκαγκαλ.)	ΓΕΩ. No 169 ΔΟΥΛΓΕΡΑ-ΚΗΣ (ΓΚΑ-ΓΚΑΛΕΣ)	ΓΕΩ. No 209 ΚΟΙΝ. ΜΟΡΙΑ (ΓΚΑ-ΓΚΑΛΕΣ)	ΓΕΩ. No 207 (Βλαχάκης) (ΓΚΑΓΚΑ.)	ΓΕΩ. No 54 (Κουμιανά-κης) (ΠΑΝΑΓΙΑ)	ΓΕΩ. No 70Α Κοιν. Σταύγιες	ΓΕΩ. No47-Κοκολάκη (Ασήμι)
ΚΑ-HYMOS	GB1	GB2	GB3	GB4	GB5	GB6	GB7	GB8	GB9	GB10	GB11	GB12	GB13	GH14
X	587048	588839	585733	587218	592441	595530	596118	590725	591691	598449	598480	598315	594867	597845
Y	3878638	3877019	3876809	3876860	3876709	3878142	3874448	3876658	3879781	3879555	3879154	3875467	3873980	3877322
Z	139.9	147.6	111.3	124.1	170	240	261.4	160	240	317	310	258	235.1	257
Οκτ-90	43,1													
Μαι- 91	43,1						9,8							
Οκτ-91	45,4						11,4							
Μαι- 92	45,3	37,53					11,5			39,2				
Οκτ-92	47,1	52,6	40,05		14,1		12,1		35,8	45,31				
Μαι- 93	46,15	39,2	40,42		12,8		12,3		33,9	40,29				
Οκτ-93	48	52	47,1		14,25		15,35		35,8	60,85				
Μαι- 94	47,45	39,92	42,05		11,2		14,05		32,3	38,85				
Οκτ-94	49,5	49,15	49,3	53,6	24,5	79,4	15,8	25,3	39,2	46,13	38,2	29,5	11	
Μαι- 95	47,9	38,55	42,25	55,4	12,4	37,05	13,7	17,45	37,2	46,7	34,2	21,2	αρτεσ,	
Οκτ-95	50,5	49,6	50,5	64,55	20,1	67,6	18,9	25,25	47,3	49,8	45,4	30,3	12,63	
Μαι- 96	46,6	34,55	37,35	48,8	5,5	38,4	10	11,25	25,4	45,1	33,76	16,02	αρτεσ,	
Οκτ-96	46,85	41,65	40,55	55,2	13,35	63,5	14,35	18,6	26,8	44,4	40,3	26,65	10,78	
Μαι- 97	46,05	35,05	37,2	49,46	7,05	32,55	12,3	12,35	26,1	41,2	32,35	18,35	0,75	
Οκτ-97	47,1	44,2	41,5	56,4	14,55	79,6	14,9	23,8	26,7	43,85	35,65	26	13,25	
Μαι- 98	46,25	36	40,2	49,5	8,6	36,6	12	14,4	29,6	40,85	30,9	18,6	3,5	
Οκτ-98	50,9	43,2	43,4	56,85	14,9	74,4	16,2	25,8	50,2	44,25	36,3	27,05		
Μαι- 99	46,26	38,75	43	54,55	10,1	34,8	12,75	16,28	31,8	42,8	32,35	18,2	7,65	
Οκτ-99	49,2	60,2	51,3	62,85	16,15	87,8	17,32	27,2	54	46,5	41,3	29,52	33,7	
Μαι- 2000	49,2	42,9	48,25	60,15	19,4	44,15	16,15	25,15	37,65	44,45	34,7	23,6	12,5	24,8
Οκτ-2000	52,2	66,35	58,1	77,2	23,4	95,8	23,4	48,55	69,4	58,4	52,4	38,8	44,9	35
Μαι-01	51,8	42	54,2	66,45	18,7	53,5	17	21,05	35,35	61,6	37,3	25,85	21,05	28
Οκτ-01	58,55	60,75	62,4	80,7	27,9	90,98	23,8	48,15	67,65	49,65	52,1	39,15	38,3	40,6
Μαι- 02	50,98	39,6	59	69,2	16,22	64,15	17,15	18,8	37,52	42	38,7	26,7	23,15	32,5
Οκτ-02						87,25	20,3				51,6	36,85	32,3	38,7
Μαι- 03						54,8	8,3				28,15	16,8	12,45	25,3
Οκτ-03						101,2	14,2				30,05	22,1	34,3	33,85
Μαι- 04						49,8	8,4				20,55	12,05	15,9	
Οκτ-04						89,4	13,55				25,4	17,6	36,1	

Πίνακ. 5-16 Συμπληρωμένη απόλυτη υδροστατική στάθμη υγρής και ξηρής περιόδου πιεζόμετρων λεκάνης Βαγιονιάς-Ασημίου (1)

	GB1(HH)	GB1	GB10(HH)	GB10	GB11(HH)	GB11	GB12(HH)	GB12	GB13(HH)	GB13	GB14(HH)	GB14	GB2(HH)	GB2
	(HH)	HHC	HH	HHC	HH	HHC	HH	HHC	HH	HHC	HH	HHC	HH	HHC
Οκτ-90	96,8	96,8	-	269,5	-	274,2	-	238,5	-	-	-	216,7	-	99,8
Μαι- 91	96,8	96,8	-	275,3	-	280,7	-	243,1	-	238,2	-	234,2	-	108,6
Οκτ-91	94,5	94,5	-	270	-	266,8	-	238,5	-	235,3	-	217,8	-	96,5
Μαι- 92	94,6	94,6	277,8	277,8	-	275,89	-	242,3	-	238,5	-	230,9	110,07	110,07
Οκτ-92	92,8	92,8	271,69	271,69	-	269,4	-	237	-	233,5	-	214,5	95	95
Μαι- 93	93,75	93,75	276,71	276,71	-	274,72	-	239,3	-	237,2	-	232	108,4	108,4
Οκτ-93	91,9	91,9	256,15	256,15	-	254,26	-	234	-	230	-	215,2	95,6	95,6
Μαι- 94	92,45	92,45	278,15	278,15	-	276,0	-	238,5	-	234,8	-	232,7	107,68	107,68
Οκτ-94	90,4	90,4	270,87	270,87	271,8	271,8	228,5	228,5	224,1	225,7	-	208,9	98,45	98,45
Μαι- 95	92	92	270,3	270,3	275,8	275,8	236,8	236,8	-	233,8	-	233,9	109,05	109,05
Οκτ-95	89,4	89,4	267,2	267,2	264,6	264,6	227,7	227,7	222,47	225,2	-	217,1	98	98
Μαι- 96	93,3	93,3	271,9	271,9	276,24	276,24	241,98	241,98	-	234,8	-	234,2	113,05	113,05
Οκτ-96	93,05	93,05	272,6	272,6	269,7	269,7	231,35	231,35	224,32	224,32	-	222,6	105,95	105,95
Μαι- 97	93,85	93,85	275,8	275,8	277,65	277,65	239,65	239,65	234,35	234,35	-	241	112,55	112,55
Οκτ-97	92,8	92,8	273,15	273,15	274,35	274,35	232	232	221,85	221,6	-	216,3	103,4	103,4
Μαι- 98	93,65	93,65	276,15	276,15	279,1	279,1	239,4	239,4	231,6	232	-	237,6	111,6	111,6
Οκτ-98	89	89	272,75	272,75	273,7	273,7	230,95	230,95	-	218,4	-	224,9	104,4	104,4
Μαι- 99	93,64	93,64	274,2	274,2	277,65	277,65	239,8	239,8	227,45	227,6	-	241,3	108,85	108,85
Οκτ-99	90,7	90,7	270,5	270,5	268,7	268,7	228,48	228,48	201,4	201,4	-	212,6	87,4	87,4
Μαι- 2000	90,7	90,7	272,55	272,55	275,3	275,3	234,4	234,4	222,6	222,6	232,2	232,2	104,7	104,7
Οκτ-2000	87,7	87,7	258,6	258,6	257,6	257,6	219,2	219,2	190,2	190,2	222	222	81,25	81,25
Μαι-01	88,1	88,1	255,4	255,4	272,7	272,7	232,15	232,15	214,05	214,05	229	229	105,6	105,6
Οκτ-01	81,35	81,35	267,35	267,35	257,9	257,9	218,85	218,85	196,8	196,8	216,4	216,4	86,85	86,85
Μαι- 02	88,92	88,92	275	275	271,3	271,3	231,3	231,3	211,95	211,95	224,5	224,5	108	108
Οκτ-02	-	-	-	257,31	258,4	258,4	221,15	221,15	202,8	202,8	218,3	218,3	-	-
Μαι- 03	-	-	-	280,48	281,85	281,85	241,2	241,2	222,65	222,65	231,7	231,7	-	-
Οκτ-03	-	-	-	278,4	279,95	279,95	235,9	235,9	200,8	200,8	223,15	223,15	-	-
Μαι- 04	-	-	-	289,45	289,45	289,45	245,95	245,95	219,2	219,2	-	238,3	-	-
Οκτ-04	-	-	-	284,6	284,6	284,6	240,4	240,4	199	199	-	231,77	-	-

Πίνακ. 5-17 Συμπληρωμένη απόλυτη υδροστατική στάθμη υγρής και ξηρής περιόδου πιεζόμετρων λεκάνης Βαγιονιάς-Ασημίου (2)

	GB1(HH)	GB1	GB10(HH)	GB10	GB11(HH)	GB11	GB12(HH)	GB12	GB13(HH)	GB13	GB14(HH)	GB14	GB2(HH)	GB2
	(HH)	HHC	HH	HHC	HH	HHC	HH	HHC	HH	HHC	HH	HHC	HH	HHC
Οκτ-90	96,8	96,8	-	269,5	-	274,2	-	238,5	-	-	-	216,7	-	99,8
Μαι- 91	96,8	96,8	-	275,3	-	280,7	-	243,1	-	238,2	-	234,2	-	108,6
Οκτ-91	94,5	94,5	-	270	-	266,8	-	238,5	-	235,3	-	217,8	-	96,5
Μαι- 92	94,6	94,6	277,8	277,8	-	275,89	-	242,3	-	238,5	-	230,9	110,07	110,07
Οκτ-92	92,8	92,8	271,69	271,69	-	269,4	-	237	-	233,5	-	214,5	95	95
Μαι- 93	93,75	93,75	276,71	276,71	-	274,72	-	239,3	-	237,2	-	232	108,4	108,4
Οκτ-93	91,9	91,9	256,15	256,15	-	254,26	-	234	-	230	-	215,2	95,6	95,6
Μαι- 94	92,45	92,45	278,15	278,15	-	276,0	-	238,5	-	234,8	-	232,7	107,68	107,68
Οκτ-94	90,4	90,4	270,87	270,87	271,8	271,8	228,5	228,5	224,1	225,7	-	208,9	98,45	98,45
Μαι- 95	92	92	270,3	270,3	275,8	275,8	236,8	236,8	-	233,8	-	233,9	109,05	109,05
Οκτ-95	89,4	89,4	267,2	267,2	264,6	264,6	227,7	227,7	222,47	225,2	-	217,1	98	98
Μαι- 96	93,3	93,3	271,9	271,9	276,24	276,24	241,98	241,98	-	234,8	-	234,2	113,05	113,05
Οκτ-96	93,05	93,05	272,6	272,6	269,7	269,7	231,35	231,35	224,32	224,32	-	222,6	105,95	105,95
Μαι- 97	93,85	93,85	275,8	275,8	277,65	277,65	239,65	239,65	234,35	234,35	-	241	112,55	112,55
Οκτ-97	92,8	92,8	273,15	273,15	274,35	274,35	232	232	221,85	221,6	-	216,3	103,4	103,4
Μαι- 98	93,65	93,65	276,15	276,15	279,1	279,1	239,4	239,4	231,6	232	-	237,6	111,6	111,6
Οκτ-98	89	89	272,75	272,75	273,7	273,7	230,95	230,95	-	218,4	-	224,9	104,4	104,4
Μαι- 99	93,64	93,64	274,2	274,2	277,65	277,65	239,8	239,8	227,45	227,6	-	241,3	108,85	108,85
Οκτ-99	90,7	90,7	270,5	270,5	268,7	268,7	228,48	228,48	201,4	201,4	-	212,6	87,4	87,4
Μαι- 2000	90,7	90,7	272,55	272,55	275,3	275,3	234,4	234,4	222,6	222,6	232,2	232,2	104,7	104,7
Οκτ-2000	87,7	87,7	258,6	258,6	257,6	257,6	219,2	219,2	190,2	190,2	222	222	81,25	81,25
Μαι-01	88,1	88,1	255,4	255,4	272,7	272,7	232,15	232,15	214,05	214,05	229	229	105,6	105,6
Οκτ-01	81,35	81,35	267,35	267,35	257,9	257,9	218,85	218,85	196,8	196,8	216,4	216,4	86,85	86,85
Μαι- 02	88,92	88,92	275	275	271,3	271,3	231,3	231,3	211,95	211,95	224,5	224,5	108	108
Οκτ-02	-	-	-	257,31	258,4	258,4	221,15	221,15	202,8	202,8	218,3	218,3	-	-
Μαι- 03	-	-	-	280,48	281,85	281,85	241,2	241,2	222,65	222,65	231,7	231,7	-	-
Οκτ-03	-	-	-	278,4	279,95	279,95	235,9	235,9	200,8	200,8	223,15	223,15	-	-
Μαι- 04	-	-	-	289,45	289,45	289,45	245,95	245,95	219,2	219,2	-	238,3	-	-
Οκτ-04	-	-	-	284,6	284,6	284,6	240,4	240,4	199	199	-	231,77	-	-

HHC : συμπληρωμένες τιμές, HH ιστορική χρονοσειρά

Πίνακ. 5-18 Γραμμική παλινδρόμηση μεταξύ της πτώσης στάθμης των πιεζομέτρων παρακολούθησης λεκάνης Βαγιονιάς- Ασημίου (GB 1,..14)

ΛΕΚΑΝΗ ΒΑΓΙΟΝΙΑΣ ΒΟΡΕΙΟ ΤΜΗΜΑ

Regression analysis

Series code		Starting date
GB5	HH	1981 0 0 0 1
GB8	HH	1981 0 0 0 1
GB9	HH	1981 0 0 0 1
GB6	HH	1981 0 0 0 1
GB10	HH	1981 0 0 0 1
GB11	HH	1981 0 0 0 1

No.	Name	Variable	Mean	Stand.Deviation
1	GB6	HH	.17873E+03	.22010E+02
2	GB5	HH	.15420E+03	.63610E+01
3	GB8	HH	.13629E+03	.10834E+02
4	GB9	HH	.19988E+03	.14040E+02
5	GB10	HH	.27027E+03	.58102E+01
6	GB11	HH	.27151E+03	.65330E+01

Correlation matrix

	1	2	3	4	5	6
1	1.0000	.7575	.8119	.7431	.3948	.8039
2	.7575	1.0000	.8421	.7519	.5527	.7850
3	.8119	.8421	1.0000	.9155	.5490	.8973
4	.7431	.7519	.9155	1.0000	.5143	.8551
5	.3948	.5527	.5490	.5143	1.0000	.5844
6	.8039	.7850	.8973	.8551	.5844	1.0000

ΛΕΚΑΝΗ ΒΑΓΙΟΝΙΑΣ ΒΑ ΤΜΗΜΑ

Regression analysis

Series code		Starting date
GB6	HH	1981 0 0 0 1
GB10	HH	1981 0 0 0 1
GB11	HH	1981 0 0 0 1
GB9	HH	1981 0 0 0 1
GH15	HH	1981 0 0 0 1
GB12	HH	1981 0 0 0 1

No.	Name	Variable	Mean	Stand.Deviation
1	GB6	HH	.17531E+03	.23762E+02
2	GB10	HH	.26917E+03	.74050E+01
3	GB11	HH	.27044E+03	.78439E+01
4	GB9	HH	.19409E+03	.15098E+02
5	GH15	HH	.22719E+03	.10885E+02
6	GB12	HH	.23050E+03	.75164E+01

Correlation matrix

	1	2	3	4	5	6
1	1.0000	.4092	.8866	.9419	.7997	.9288
2	.4092	1.0000	.5486	.4226	.2831	.5471
3	.8866	.5486	1.0000	.9379	.8379	.9830
4	.9419	.4226	.9379	1.0000	.7577	.9538
5	.7997	.2831	.8379	.7577	1.0000	.8501
6	.9288	.5471	.9830	.9538	.8501	1.0000

ΛΕΚΑΝΗ ΒΑΓΙΟΝΙΑΣ ΝΑ ΤΜΗΜΑ

Regression analysis

Series code		Starting date
GB6	HH	1981 0 0 0 1
GH15	HH	1981 0 0 0 1
GB12	HH	1981 0 0 0 1
GB13	HH	1981 0 0 0 1
GB7	HH	1981 0 0 0 1
GB12	HH	1981 0 0 0 1
GH3	HH	1981 0 0 0 1

No.	Name	Variable	Mean	Stand.Deviation
1	GB6	HH	.17389E+03	.24783E+02
2	GH15	HH	.22558E+03	.11751E+02
3	GB12	HH	.22941E+03	.81285E+01
4	GB13	HH	.21098E+03	.14289E+02
5	GB7	HH	.24364E+03	.41345E+01
6	GB12	HH	.22941E+03	.81285E+01
7	GH3	HH	.24358E+03	.72920E+01

Correlation matrix

	1	2	3	4	5	6	7
1	1.0000	.8359	.9484	.9779	.8964	.9484	.8804
2	.8359	1.0000	.8717	.8434	.8680	.8717	.8114
3	.9484	.8717	1.0000	.9511	.9775	1.0000	.9293
4	.9779	.8434	.9511	1.0000	.9359	.9511	.9339
5	.8964	.8680	.9775	.9359	1.0000	.9775	.9476
6	.9484	.8717	1.0000	.9511	.9775	1.0000	.9293
7	.8804	.8114	.9293	.9339	.9476	.9293	1.0000

ΛΕΚΑΝΗ ΒΑΓΙΟΝΙΑΣ ΔΥΤΙΚΟ ΤΜΗΜΑ- ΛΕΚΑΝΗ ΜΟΙΡΩΝ

Regression analysis

Series code		Starting date
GB1	HH	1981 0 0 0 1
GB3	HH	1981 0 0 0 1
GB4	HH	1981 0 0 0 1
GM10	HH	1981 0 0 0 1
GM12	HH	1981 0 0 0 1
GM13	HH	1981 0 0 0 1

No.	Name	Variable	Mean	Stand.Deviation
1	GM10	HH	.24420E+02	.64892E+01
2	GB1	HH	.88730E+02	.38260E+01
3	GB3	HH	.57550E+02	.67494E+01
4	GB4	HH	.56800E+02	.92681E+01
5	GM12	HH	.56011E+02	.61580E+01
6	GM13	HH	.58761E+02	.15953E+02

Correlation matrix

	1	2	3	4	5	6
1	1.0000	.9020	.9386	.9853	.9598	.7840
2	.9020	1.0000	.8781	.9102	.9208	.9240
3	.9386	.8781	1.0000	.9481	.9943	.7007
4	.9853	.9102	.9481	1.0000	.9673	.7727
5	.9598	.9208	.9943	.9673	1.0000	.7668
6	.7840	.9240	.7007	.7727	.7668	1.0000

ΛΕΚΑΝΗ ΒΑΓΙΟΝΙΑΣ – ΤΜΗΜΑ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΓΕΡΟΠΟΤΑΜΟΥ

Regression analysis

Series code		Starting date
GB1	HH	1981 0 0 0 1
GB2	HH	1981 0 0 0 1
GB3	HH	1981 0 0 0 1
GB4	HH	1981 0 0 0 1
GB5	HH	1981 0 0 0 1
GB8	HH	1981 0 0 0 1

No.	Name	Variable	Mean	Stand.Deviation
1	GB3	HH	.63894E+02	.79580E+01
2	GB1	HH	.90535E+02	.32273E+01
3	GB2	HH	.10244E+03	.96625E+01
4	GB4	HH	.64046E+02	.95355E+01
5	GB5	HH	.15420E+03	.63610E+01
6	GB8	HH	.13629E+03	.10834E+02

Correlation matrix

	1	2	3	4	5	6
1	1.0000	.8724	.7180	.9386	.8385	.7571
2	.8724	1.0000	.6820	.8902	.8314	.8215
3	.7180	.6820	1.0000	.7715	.7846	.9175
4	.9386	.8902	.7715	1.0000	.7893	.8530
5	.8385	.8314	.7846	.7893	1.0000	.8421
6	.7571	.8215	.9175	.8530	.8421	1.0000

Πίνακ. 5-19 Παροχές γεωτρήσεων λεκάνης Βαγιονιάς – Ασημίου (απογραφή 2002)

Περιοχή (Δ.Δ)	Υδροφορέας	Αριθμός Γεωτρήσεων	Παροχή (m^3/h)		
			Μέση	Μέγιστη	Ελάχιστη
Αγ. Δέκα	αλλουβιακός-πλειστοκαινικός	11	27	50	15
Αμπελούζος		10	32	55	20
Πλάτανος		16	20	30	10
Πλώρα		17	33	50	15
Απεσωκάρι		6	32	40	10
Βασιλικά Ανώγεια		15	28	45	10
Βασιλική		8	15	30	5
Βαγιονιά		50	25	26	27
Λούκια		19	30	40	4
Ασήμι		30	19	50	10
Στέρνες		16	30	40	25
Διονύσι		13	31	40	15
Μέση τιμή αλλουβιακού - πλειστοκαινικού		**211**	**27**	**41**	**14**
Λούρες	πλειστοκαινικός	21	20	40	6
Σοκαράς		29	21	40	2
Στάβιες		29	29	60	5
Στόλοι		11	17	30	5
Γκαγκάλες		13	14	25	6
Μέση τιμή πλειστοκαινικού		**103**	**20**	**43**	**4,5**

Πίνακ. 5-20 Δεδομένα αντλητικών δοκιμασιών και χαρακτηριστικά των υδροφορέων (αντλήσεις 7ος 2001)

Περιοχή	Υδροφορέας	Γεώτρηση	Μεταβιβαστικότητα (T)		Υδροχωρητικότητα (S)
			(m^2/day)	m^2/sec	
Βαγιονιά	αλλουβιακός-πλειστοκαινικός	1	27	$3,1*10^{-4}$	$3.05*10^{-1}$
Αμπελούζος		2	177	$2.1*10^{-3}$	
Χουστουλιανά		3	72	$8.4*10^{-4}$	$4.29*10^{-2}$
		4	334	$3.9*10^{-3}$	$4.92*10^{-2}$
Απεσωκάρι		5	34	$3,9*10^{-4}$	$6.04*10^{-3}$
Μητρόπολη		6	101	$1.2*10^{-3}$	$5.96*10^{-2}$
Πλάτανος		7	229	$2.6*10^{-3}$	$1.36*10^{-2}$
Γκαγκάλες-Γεροπόταμος		8	108	$1.2*10^{-3}$	$1.25*10^{-2}$

5.3.4 *Λεκάνη Χάρακα*

Η λεκάνη του Χάρακα, η οποία αναφέρετε στη βιβλιογραφία και ως λεκάνη των Πραιτωρίων ή Πρωτορίων, είναι ένα βυθισμένο ρηξιτέμαχος και αποτελεί τον κύριο υπόγειο υδροφορέα της ανατολικής Μεσαράς. Οριοθετείτε ανατολικά από το ρηξιτέμαχος του Σκινιά και δυτικά από του Ασημίου- Βαγιονιάς (βλέπε χάρτη εικόνα Π5-43) .

Η λεκάνη του Χάρακα δομείται από μικρότερα ρηξιτεμάχη, όπως και οι άλλες λεκάνες της Μεσαράς. Κατά τη διεύθυνση Β-Ν (βλέπε χάρτη εικόνα Π5-43) η ύπαρξη ενός ρήγματος που ταυτίζεται περίπου με το κύριο υδρόρευμα του Αναποδάρη στο κατάντη τμήμα του διαχωρίζει τη λεκάνη στο νότιο τμήμα όπου οι αλλουβιακές αποθέσεις και οι πλειστοκαινικοί σχηματισμοί έχουν σχετικά μεγάλο πάχος και επικάθεινται στο προνεογενές υπόβαθρο (Φλύσχη), ενώ στο βόρειο τμήμα οι αλλουβιακές και πλειστοκαινικές αποθέσεις έχουν μικρότερο πάχος και επικάθεινται στο νεογενές. Το πάχος του νεογενούς είναι πολύ μεγάλο και υπολογίζεται από γεωφυσικές διασκοπήσεις σε μεγαλύτερο από 500 m.

Στις νότιες υπώρειες περιοχές έχουμε εμφανίσεις αλλουβιακών κώνων (ριπίδια) με κυμαινόμενη κοκκομετρική σύσταση.

Και εδώ όπως στη λεκάνη των Μοιρών ο κύριος υδροφορέας είναι οι αλλουβιακές αποθέσεις και δευτερευόντως οι πλειστοκαινικοί σχηματισμοί. Συγκριτικά με τη λεκάνη των Μοιρών οι αλλουβιακές αποθέσεις, έχουν πολύ μικρότερο πάχος. Επιπρόσθετα τα ιζήματα είναι περισσότερο ετερογενή και συνεπακόλουθα η αποθηκευτικότητα και η ειδική παροχή των γεωτρήσεων είναι μικρότερες καθώς επίσης είναι μικρότερος και ο συντελεστής κατείσδυσης.

5.3.4.1 *Γεωμετρία, όρια , έκταση της λεκάνης*

Τα όρια της υδρογεωλογικής λεκάνης του Χάρακα ταυτίζονται περίπου με τα όρια της πεδινής ζώνης και οριοθετείται από τα βυθισμένα ρηξιτεμάχη στα οποία οι αλλουβιακές αποθέσεις, με υδρογεωλογικές ιδιότητες «πολύ καλές» σε πολλές ζώνες, επικάθεινται είτε στο προνεογενές υπόβαθρο (φλύσχης) είτε σε πλειστοκαινικούς σχηματισμούς που έχουν μικρότερο πάχος συγκριτικά με αυτούς της λεκάνης των Μοιρών και της Βαγιονιάς. Η λεκάνη οροθετείται (βλέπε χάρτη εικόνα Π5-2 και εικόνα Π5-43) προς βορά από τους νεογενείς σχηματισμούς (λόφοι Πλακιώτισας- Λιγορτύνου), προς νότο από τα μεσοζωικά πετρώματα (φλύσχης υπωρειών περιοχών Αστερουσίων), προς ανατολικά τη νοητή ευθεία που ενώνει την προεξοχή των Αστερουσίων μέσα στη λεκάνη με τον οικισμό της Λιγορτύνου και προς δυτικά από το ρηξιτέμαχος Ασημίου (ρήγμα με κατεύθυνση ΒΒΑ-ΝΝΑ που ευρίσκεται ανατολικά του Ασήμι). Οι διαστάσεις της λεκάνης είναι περίπου 11 km μήκος (Α-Δ) και πλάτος 5 – 6,5 km (Β-Ν) και έκτασης περίπου 63 km^2

Στην εικόνα Π5-43 (ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 5) δίνεται ο χάρτης της λεκάνης του Χάρακα στον οποίο χαράχτηκαν τα ρήγματα (με διακεκομμένη γραμμή) κάτω από τις αλλουβιακές αποθέσεις. Τα ρήγματα αυτά δεν είναι (επιφανειακά) ορατά και κατασκευάσθηκαν στις θέσεις αυτές κατόπιν αξιολόγησης των διατρητικών και γεωφυσικών δεδομένων (καρότα γεωτρήσεων) και της συσχέτισής τους με την τεκτονική δομή της ευρύτερης περιοχής.

Όμοια και εδώ όπως και στην υπόλοιπη περιοχή της λεκάνης της Μεσαράς έγινε προσπάθεια ανίχνευσης πιθανών ασυνεχειών (γραμμώσεων) με τη χρήση του

ψηφιακού μοντέλου εδάφους (shaded relief images DEM) αλλά η μέθοδος δεν απέδωσε αποτελέσματα για τους ίδιους λόγους που αναφέρονται στη παράγραφο 6.4.1.
Οι γεωφυσικές ηλεκτρικές διασκοπήσεις που πραγματοποιήθηκαν από ΙΓΜΕ έδειξαν την ύπαρξη ενός ρήγματος που ταυτίζεται περίπου με τη ροή του Αναποδάρη στο ανατολικό τμήμα του, η ύπαρξη του ρήγματος αυτού πιστοποιείται και από τα καρότα των γεωτρήσεων. Επίσης από τις γεωφυσικές διασκοπήσεις υπολογίσθηκε ότι το πάχος των νεογενών σχηματισμών, το οποίο αποτελεί το αδιαπέρατο υπόβαθρο στο βόρειο τμήμα της λεκάνης, έχει πάχος μεγαλύτερο από 500 m. Το αδιαπέρατο υπόβαθρο στο νότιο τμήμα είναι ο φλύσχης και υπόκεινται σε αυτόν ανθρακικά πετρώματα (ασβεστόλιθοι, δολομίτες), τα οποία βρέθηκαν στα καρότα των γεωτρήσεων.
Οι θέσεις των ρηγμάτων κάτω από τον αλλουβιακό μανδύα δεν πρέπει να θεωρηθούν ακριβείς αλλά είναι κατά προσέγγιση λόγω της κατασκευής των από (αν και μεγάλου αριθμού) περιορισμένα διατρητικά δεδομένα. Όμως θα πρέπει να σημειωθεί ότι περιγράφουν την τεκτονική δομή της περιοχής με βάση το αποδεκτό γεωδυναμικό μοντέλο εξέλιξής της και ερμηνεύουν τα δεδομένα μεγάλου αριθμού γεωτρήσεων. Επιπρόσθετα η κατά «προσέγγιση» θέση των ρηγμάτων δεν έχει καμιά σημαντική επίπτωση στην υδρολογική ανάλυση που ακολουθεί.

Στις εικόνες Π5-44 και Π5-45 (ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 5) δίνονται υδρογεωλογικές τομές της λεκάνης του Χάρακα κατά τη διαμήκη (Α-Δ) και την εγκάρσια (Β-Ν) διεύθυνσή της. Ο σημαντικότερος υδροφορέας της λεκάνης του Χάρακα είναι οι πρόσφατες αποθέσεις (ριπίδια, αλλουβιακές), και ο κατά πολύ μικρότερης σημασίας υδροφορέας των πλειστοκαινικών σχηματισμών, οι οποίοι παρουσιάζονται στη συνέχεια.

5.3.4.2 *Αλλουβιακός υδροφορέας λεκάνης Χάρακα*

Όπως απεικονίζεται στο χάρτη της εικόνας Π5-46 και τον Πίνακ. 5-30 , η λεκάνη του Χάρακα έχει υποδιαιρεθεί, κατά την οριζόντια διάσταση, σε 12 τμήματα (ΧΑ1,…ΧΑ12) με βάση τη λιθολογική σύσταση, τη δομή, το πάχος και τις υδραυλικές ιδιότητες των πρόσφατων αποθέσεων οι οποίες παρουσιάζονται στη συνέχεια.

Αλλουβιακά ριπίδια και κώνοι κορημάτων (ΧΑ1, ΧΑ2 και ΧΑ5) απαντούν σε μια επιμήκη ζώνη στην υπώρεια περιοχή των Αστερουσίων. Αυτά επικάθενται εν μέρει σε προνεογενείς σχηματισμούς (φλύσχης) ή σε πλειστοκαινικούς σχηματισμούς και είναι η σημαντικότερη ζώνη κατείσδυσης και εμπλουτισμού του υπόγειου υδροφορέα της λεκάνης. Τοπικά, στα ανώτερα τμήματά της περιέχει ένα καλό υδροφορέα. Η υδροστατική στάθμη γενικά είναι βαθύτερα από ότι στην υπόλοιπη λεκάνη αλλά στη ζώνη μετάβασης μεταξύ των ριπιδίων και των αλλουβιακών αποθέσεων της λεκάνης το υπόγειο νερό απορρέει επιφανειακά υπό μορφή πηγών κατά την υγρή περίοδο.

Αλλουβιακές αποθέσεις καταλαμβάνουν την υπόλοιπη λεκάνη με διαφορετικού πάχους αποθέσεις. Διακρίνονται δύο ζώνες που περιλαμβάνουν σημαντικούς υδροφορείς:
α) η επίπεδος περιοχή (ΧΑ6) μεταξύ του ορίου της ζώνης των ριπιδίων (περίπου ευρίσκεται λίγο νοτιότερα από το υδρόρευμα Λειβαδίτης) και του Αναποδάρη ποταμού η οποία περιλαμβάνει τον δυναμικότερο υδροφορέα της λεκάνης του Χάρακα καθώς συνίσταται από ένα σχετικά μεγάλου πάχος αλλουβιακών και πλειστοκαινικών αποθέσεων. Η υδροστατική στάθμη είναι πλησίον της επιφάνειας

και παλαιότερα πριν την έντονη εκμετάλλευση του υδροφορέα τροφοδοτούσε με υπόγειο νερό το κατάντη τμήμα (ανατολικό) των υδρορευμάτων.
β) η περιοχή γύρω από τον Αναποδάρη ποταμό (ΧΑ3) που εδώ οι αλλουβιακές αποθέσεις έχουν μικρότερο πάχος και διαφορετικές υδρογεωλογικές ιδιότητες απ' ότι στη ζώνη ΧΑ6.
Διακρίνονται επίσης τρεις ζώνες η ΧΑ4 η ΧΑ7 και η ΧΑ8 οι οποίες φιλοξενούν «μέτριους υδροφορείς» και ακόμα (υπόλοιπες) τέσσερεις ζώνες (ΧΑ9, 10, 11 και 12) οι οποίες χαρακτηρίζονται ως «ανυδροφόρες» λόγω της λιθολογικής σύστασής τους, όμως συνεισφέρουν, αν και σε μικρό βαθμό, στην κατείσδυση και τον εμπλουτισμό της λεκάνης.

Ο συνολικός όγκος των πρόσφατων αποθέσεων (ριπίδια και αλλουβιακές) του Χάρακα υπολογίζεται με βάση τη υδρογεωλογική δομή της περιοχής ότι ανέρχεται σε 4,900 Mm^3. Σε συνθήκες μικρής εκμετάλλευσής του (αναφορά στα δεδομένα του FAO έτος 1972) η υδροχωρητικότητα του αλλουβιακού υδροφορέα του Χάρακα ανέρχεται στο ύψος των 137 Mm^3 (οι υπολογισμοί δίνονται στον Πίνακ. 5-30) με βάση το ενεργό πορώδες της κάθε ζώνη όπως αυτό υπολογίσθηκε από τα δεδομένα των γεωτρήσεων του FAO (βλέπε Πίνακ. 5-22). Η αναγωγή του παραπάνω όγκου ανά μέτρο πτώσης στάθμης αναλογεί σε 3,6 Mm^3 στο σύνολο της λεκάνης και με βάση τις μέσες ετήσιες πτώσεις στάθμης (υγρή – ξηρή περιόδου) ο μέσος ετήσιος αντλούμενος όγκος της τελευταίας δεκαετίας υπολογίζεται ότι ανέρχεται στο ύψος των 7,2 Mm^3 ο οποίος προκύπτει από τη πτώση στάθμης λόγω των αντλήσεων (παρατηρούμενη μείον τη φυσική διακύμανση). Καλλίτερη προσέγγιση θα γίνει στο κεφάλαιο 6 ομοίωμα υπόγειων νερών.

Η λιθολογική σύσταση του αλλουβιακού υδροφορέα του Χάρακα μεταβάλλεται κυρίως από τα νότια προς τα βόρεια. Οι νεότεροι σχηματισμοί της λεκάνης αποτελούνται από ριπίδια , αλλουβιακές και πλειστοκαινικές αποθέσεις. Το μέγεθος των κόκκων των πρόσφατων αποθέσεων γενικά μειώνεται από νότο προς βορά. Στην ίδια κατεύθυνση η περιεκτικότητα σε υλικά που προέρχονται από τα Αστερούσια (αδρόκοκκα) μειώνεται και αυξάνεται αυτά των νεογενών (λεπτόκοκκα). Οι αποθέσεις είναι έντονα ανομοιογενείς και συχνά ευρίσκονται μεμονωμένοι φακοί αποτελούμενοι από αδρομερή υλικά. Οι φακοί αυτοί υδραυλικά επικοινωνούν μεταξύ τους σε μικρότερο βαθμό συγκριτικά με τη λεκάνη των Μοιρών. Αυτό συναντάται ιδιαίτερα στα αλλουβιακά ριπίδια και τους κώνους κορημάτων.
Επίσης στα ανατολικά τα υλικά των αποθέσεων είναι γενικά περισσότερο χοντρόκοκκα (υδροφόρο) από ότι στα δυτικά, με ενστρώσεις αργιλικών και ιλύος (ανυδροφόρο) πάχους συνήθως μικρότερο από 5 m. Το επιφανειακό στρώμα συνίσταται κυρίως από χαλίκια και άμμο και επιτρέπει υψηλή κατείσδυση.

Κατά τη κατακόρυφη διάσταση στο νότιο τμήμα της λεκάνης του Χάρακα, όπως έχει ήδη αναφερθεί στο κεφάλαιο 4, υπάρχει αβεβαιότητα καθορισμού του ορίου μεταξύ των αλλουβιακών αποθέσεων και των πλειστοκαινικών σχηματισμών (αναφέρεται στις γεωλογικές τομές «πλειστόκαινο?»). Η ζώνη αυτή εντάχθηκε υδρογεωλογικά στις αλλουβιακές αποθέσεις λόγω των παραπλήσιων ιδιοτήτων της (υδροπερατότητα, υδροχωρητικότητα) η οποία αποτελείται από υλικά αλλουβιακής σύστασης, όμως είναι περισσότερο συγκολλημένα (απεικονίζεται στις υδρογεωλογικές τομές Π5-44 και Π5-45 ως «αλλουβιακός υδροφορέας (2)»).

5.3.4.3 *Πλειστοκαινικός υδροφορέας λεκάνης Χάρακα*

Ο πλειστοκαινικός υδροφορέας με κυρίαρχο το κοκκινωπό χρώμα υπόκεινται των αλλουβιακών αποθέσεων, έχει επίσης ένα αλλουβιακό χαρακτήρα, αλλά συνίσταται από λεπτόκοκκα υλικά, κυρίως άργιλο, σε πολύ μεγαλύτερη αναλογία με αποτέλεσμα οι υδραυλικές ιδιότητές του να είναι φτωχές. Ο μεγάλος βαθμός συμπύκνωσής του δείχνει ότι τα υλικά ευρίσκοντο κάτω από ιζηματογενή υλικά μεγάλου πάχους, τα οποία στη συνέχεια διαβρώθηκαν.
Η αναλογία των χονδρόκοκκων υλικών είναι μικρότερη συγκριτικά με τη λεκάνη των Μοιρών και τα χοντρόκοκκα υλικά δεν ξεπερνούν το μέγεθος της άμμου. Στρώσεις αποτελούμενες από χάλικες είναι πολύ σπάνιες.
Ο πλειστοκαινικός σχηματισμός, λόγω των ιδιοτήτων του όπως αναφέρθηκαν παραπάνω, υδρογεωλογικά χαρακτηρίζεται πρακτικά ως «ανυδροφόρος». Ενδεικτικά σήμερα δεν εκμεταλλεύεται από υδρογεωτρήσεις με εξαίρεση το τμήμα που βρίσκεται πλησίον της λεκάνης Ασημίου που εμφανίζει «μέτριες» ιδιότητες και εκμεταλλεύεται από αριθμό γεωτρήσεων μικρής παροχής.

5.3.4.4 *Υδροστατική στάθμη της λεκάνης του Χάρακα- Πιεζομετρία*

Οι υδροϊσοϋψείς καμπύλες της λεκάνης του Χάρακα ακολουθούν τη μορφολογία και την επιφανειακή ροή του Αναποδάρη και του Λειβαδίτη. Γενικά, το πεδίο είναι ομοιόμορφο και δεν παρατηρούνται ανωμαλίες που θα περίμενε κανείς για παράδειγμα από τους ασβεστολίθους που βρίσκονται στο νότιο ορεινό τμήμα.
Στους πιεζομετρικούς χάρτες της εικόνας Π5-47 και Π5-48 απεικονίζονται οι υδροϊσοϋψείς της υγρής και της ξηρής περιόδου της λεκάνης του Χάρακα για δύο χαρακτηριστικά έτη, το 1996 και το 2001 αντίστοιχα. Από του πιεζομετρικούς χάρτες υπολογίζονται οι παρακάτω υδραυλικές κλίσεις:

- το υδρολογικό έτος 1996-1997, που χαρακτηρίζεται ως «κανονικό» σε ότι αφορά τις αντλήσεις και τις βροχοπτώσεις, η υδραυλική κλίση στο κεντρικό τμήμα της λεκάνης κατά τη διεύθυνση ανατολή - δύση υπολογίζεται σε 5,4$^{o}/_{oo}$ και 3,9 $^{o}/_{oo}$ για την υγρή και τη ξηρή περίοδο αντίστοιχα (βλέπε Πίνακ. 5-21). Ανάλογα στο νότιο τμήμα κατά τη διεύθυνση νότος- βοράς οι κλίσεις είναι οι μεγαλύτερες παρατηρούμενες στη λεκάνη και ανέρχονται σε 13,4$^{o}/_{oo}$ και 14,5$^{o}/_{oo}$. Στο βόρειο τμήμα κατά τη διεύθυνση βοράς- νότος, ανάλογα, οι κλίσεις υπολογίζονται για δύο διαφορετικές αποστάσεις σε 6,3-11,3$^{o}/_{oo}$ και 8,3-9,5 $^{o}/_{oo}$.

- το υδρολογικό έτος 2001-2002, που ο υδροφορέας χαρακτηρίζεται ότι ευρίσκεται υπό πίεση σε ότι αφορά τις αντλήσεις, οι υδραυλικές κλίσεις, ανάλογα (βλέπε Πίνακ. 5-21), υπολογίσθηκαν στο κεντρικό τμήμα σε 3,9$^{o}/_{oo}$ και 2,7 $^{o}/_{oo}$, στο νότιο τμήμα σε 14,5 $^{o}/_{oo}$ και 15 $^{o}/_{oo}$ και στο βόρειο τμήμα 3,7-9 $^{o}/_{oo}$ και 5,3-8,5 $^{o}/_{oo}$ για την υγρή και την ξηρή περίοδο αντίστοιχα.

Οι καταγραφήσες διακυμάνσεις μεταξύ της υγρής και της ξηρής περιόδου της υδροστατικής στάθμης κατά το υδρολογικό έτος 1969-1970, περίοδο που η εκμετάλλευση ήταν ελάχιστη, (δεδομένα FAO) δείχνουν μια αύξηση από το κεντρικό τμήμα προς τα βόρεια και προς τα νότια (βλέπε χάρτη εικόνα Π5-50) . Η μικρότερη παρατηρούμενη διακύμανση είναι στο κεντρικό - ανατολικό τμήμα της τάξης μικρότερο από 1,5 m και αυξάνεται βαθμιαία προς νότο στη τάξη των 4-5 m και προς βόρεια στη τάξη 3-4 m .

Στη λεκάνη του Χάρακα διακρίνεται η περιοχή του κεντρικού - ανατολικού τμήματος του Λειβαδίτη που είναι η ζώνη μετάβασης μεταξύ των αποθέσεων κλιτύος και των αλλουβιακών ποτάμιων αποθέσεων που ο υδροφορέας των τελευταίων συνίσταται από λεπτόκοκκα υλικά (ιλύ, άργιλο). Η ζώνη αυτή έχει χαμηλή υδροπερατότητα και δέχεται περισσότερο εμπλουτισμό από τα χοντρόκοκκα υλικά των αποθέσεων κλιτύος (νότια) από ότι μπορεί να μεταβιβάσει με αποτέλεσμα το υπόγειο νερό να εξέρχεται με μορφή πηγών ακόμα και τη θερινή περίοδο.
Υπάρχει επίσης άλλη μια περιοχή, στην έξοδο της λεκάνης που έχουμε ανύψωση του υδροφόρου ορίζοντα και την εκδήλωση πηγών κατά μήκος του Αναποδάρη. Εκεί η κατάσταση χαρακτηρίζεται ανάλογη με το στένεμα της Φαιστού της λεκάνης των Μοιρών, όπου η απορροή συμβαίνει λόγω του στενέματος του υδροφορέα και της αβαθούς υδροστατικής στάθμης. Όμως οι συνθήκες αυτές στον Αναποδάρη δεν είναι τόσο ευδιάκριτες από τη μορφολογία όσο στο στένεμα της Φαιστού.

Μετά το 1981 ο υδροφορέας της λεκάνης του Χάρακα άρχισε βαθμιαία να αξιοποιείται – εκμεταλλεύεται. Η στάθμη παρακολουθείτο από την ΥΕΒ, από το έτος 1981, με 19 πιεζόμετρα εντός των αλλουβιακών αποθέσεων (βλέπε χάρτη εικόνα Π5-48). Επίσης παρακολουθούνται και οι υδροφορείς των καρστικών σχηματισμών των Αστερουσίων. Η χρονοσειρά των μετρήσεων αποτελείται από δύο τιμές ανά έτος, μία την υγρή περίοδο (τέλη Απριλίου- μέσα Μαΐου) και μία τη ξηρή περίοδο (τέλη Σεπτεμβρίου- μέσα Οκτωβρίου), από το έτος 1981 και δεν είναι συνεχείς Οι καταγραφήσες τιμές δίνονται στους Πίνακ. 5-23 , Πίνακ. 5-24 και Πίνακ. 5-25, Πίνακ. 5-26 σε απόλυτη υδροστατική στάθμη και σε βάθος από την επιφάνεια αντίστοιχα.

Για τις ανάγκες της εργασίας μετρήθηκαν οι συντεταγμένες των σημείων παρακολούθησης με τη χρήση GPS και οι μετρήσεις διορθώθηκαν με το σταθμό εδάφους του Ινστιτούτο Τεχνολογίας Έρευνας Κρήτης. Τα σημεία παρακολούθησης δίνονται στην εικόνα Π5-43 και οι συντεταγμένες και μετρήσεις στον Πίνακ. 5-23 και Πίνακ. 5-24.

Στις εικόνες Π5-52, …, Π5-56 δίνονται οι γραφικές παραστάσεις της χρονοσειράς της υδροστατικής στάθμης των πιεζομέτρων παρακολούθησης από την επιφάνεια του εδάφους και σε απόλυτο υψόμετρο. Γενικά παρατηρούμε ότι έχουμε μια συνεχή πτώση της στάθμης μετά το έτος 1986 και η πτώση αυτή αυξάνεται έντονα μετά το έτος 1987. Παρατηρούνται επίσης δύο υδρολογικά έτη αντιστροφής της πτώσης στάθμης (επαναπλήρωση υδροφορέα) τα έτη 1995-1996 και 2002-2003. Η πτώση στάθμης, που προήλθε από την υπερεκμετάλλευση, κυμαίνεται ευρέως στη λεκάνη και εξαρτάται από τα γεωμετρικά (πάχος, έκταση) και τα υδραυλικά (T, S) χαρακτηριστικά της. Η μεγαλύτερη παρατηρούμενη πτώση στάθμης είναι στα βόρεια και τα δυτικά της τάξης των 37 m και βαθμιαία ελαττώνεται προς κέντρο και ανατολικά της τάξης των 17 m. Η επαναπλήρωση της στάθμης για τα υδρολογικά έτη που προαναφέρθηκαν είναι σε ποσοστό 75-100 %.

Στην εικόνα Π5-51 δίνεται η πτώση στάθμης και η εξαμηνιαία επιφανειακή βροχόπτωση της υδρολογικής λεκάνης του Αναποδάρη, όπως αυτή υπολογίσθηκε στο κεφάλαιο 1 . Παρατηρούμε ότι οι βροχοπτώσεις στα δύο υδρολογικά έτη που έχουμε την αντιστροφή της τάσης πτώσης είναι οι υψηλότερες που έχουν καταγραφεί στην περιοχή τη περίοδο αυτή και έχουν επαληθευτεί από τη στατιστική ανάλυση των βροχοπτώσεων.

Η γραμμική παλινδρόμηση μεταξύ της ετήσιας ή της εξαμηνιαίας επιφανειακής βροχόπτωσης και της πτώσης της στάθμης έδωσε πολύ μικρό συντελεστή συσχέτισης (r=0,2–0,3) πράγμα αναμενόμενο επειδή τα δύο μεγέθη δεν συσχετίζονται άμεσα καθώς υπεισέρχονται και άλλοι παράγοντες.

Ο συντελεστής συσχέτισης μεταξύ των χρονοσειρών της στάθμης των πιεζομέτρων παρακολούθησης διαφέρει εξαρτώμενος από τον υδρογεωλογικό σχηματισμό και την απόσταση μεταξύ των πιεζομέτρων επαληθεύοντας την ανομοιογένεια της λεκάνης. Αναλυτικότερα ο συντελεστής συσχέτισης (βλέπε Πίνακ. 5-31) των πρόσφατων αποθέσεων μεταξύ των πιεζομέτρων παρακολούθησης είναι όπως παρακάτω:

- σε όλη τη λεκάνη του Χάρακα και των γειτονικών πιεζομέτρων της λεκάνης Βαγιονιάς- Ασημίου κυμαίνεται από 0,29 μέχρι 0,99. Η συσχέτιση είναι μη σημαντική (μικρός συντελεστής) μεταξύ των απομακρυσμένων σημείων ή μεταξύ των πιεζομέτρων που ευρίσκονται σε σχηματισμούς με διαφορετικές υδρογεωλογικές ιδιότητες.
- στο βόρειο τμήμα της λεκάνης (ΧΑ3 και ΧΑ7), περιοχή Αναποδάρη, κυμαίνεται 0,73 -0,98. Το πιεζόμετρο GH8 που έχει μικρό συντελεστή συσχέτισης (0,3-0,6) με τα υπόλοιπα της περιοχής ευρίσκεται εκτός της αλλουβιακής λεκάνης του Χάρακα, στο νεογενή υδροφορέα της Λιγορτύνου.
- στο νότιο - δυτικό τμήμα της λεκάνης (ΧΑ4 και ΧΑ5), περιοχή Στέρνες-Διονύσι , κυμαίνεται 0,92 -0,96
- στο κεντρικό – βόρειο τμήμα της λεκάνης (ΧΑ3 και ΧΑ6), κυμαίνεται 0,73 -0,98
- στο κεντρικό - νότιο τμήμα της λεκάνης (ΧΑ1, ΧΑ2, ΧΑ5 ΚΑΙ ΧΑ6), περιοχή υπώρειες Αστερουσίων- Λειβαδίτη- μέχρι Αναποδάρη κυμαίνεται 0,91 -0,99

Από τις παραπάνω διακυμάνσεις συνάγεται ότι ο συντελεστής συσχέτισης των χρονοσειρών πτώσης στάθμης των πιεζομέτρων που βρίσκονται σε μικρή απόσταση και σε υδροφορέα με παραπλήσια υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά είναι «σημαντικός» και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη συμπλήρωση των χρονοσειρών. Όμως, ο συντελεστής συσχέτισης των πιεζομέτρων που βρίσκονται σε απόσταση ή αυτών που ευρίσκονται σε διαφορετικό σχηματισμό είναι «μη σημαντικός» και για αυτό πρέπει να χρησιμοποιείται με προσοχή. Ο μικρός συντελεστής συσχέτισης συμφωνεί με τα υδρογεωλογικά (διαφορετικοί σχηματισμοί) και τεκτονικά (ασυνέχειες) δεδομένα της περιοχής. Στον Πίνακ. 5-27, Πίνακ. 5-28 και Πίνακ. 5-29 δίνονται οι συμπληρωμένες τιμές των χρονοσειρών για αυτές τις τιμές μόνο που εμπίπτουν στους παραπάνω περιορισμούς.

Η συμπλήρωση και επέκταση των χρονοσειρών της στάθμης έγινε με τη μέθοδο της αντίστροφης απόστασης (ακτίνα επίδρασης <4 km) υψωμένης στο τετράγωνο και κάτω από τους περιορισμούς που συζητήθηκαν παραπάνω.

Όμοια και εδώ όπως στη λεκάνη των Μοιρών η κατασκευή των προαναφερομένων πιεζομετρικών χαρτών της λεκάνης του Χάρακα έγινε με βάση τις μετρήσεις των σημείων παρακολούθησης και σε συνδυασμό με τη χρήση της μεθόδου Kriging και της μετέπειτα διόρθωσής τους.

Από τους πιεζομετρικούς χάρτες εξάγονται τα παρακάτω συμπεράσματα για τη λεκάνη του Χάρακα:

- Οι γραμμές ροής του υδροφορέα ακολουθούν περίπου τη κατεύθυνση ροής των κύριων υδρορευμάτων του Αναποδάρη και του Λειβαδίτη.

- Οι υδροϊσοϋψείς καμπύλες της λεκάνης εμφανίζουν ένα μάλλον ομοιόμορφο υδροφορέα.
- Η υδραυλική κλίση, η οποία γενικά μειώνεται κατά τη θερινή περίοδο, δείχνει ότι ο εμπλουτισμός του υδροφορέα γίνεται κύρια από την υπώρεια περιοχή των Αστερουσίων (νότια) και από τον ανάντη ρου του εντός της λεκάνης Αναποδάρη (βόρεια).
- Τα ξηρά υδρολογικά έτη παρατηρείται αντιστροφή της υδραυλικής κλίσης, δηλαδή καταγράφεται μεγαλύτερη κλίση τη ξηρή περίοδο, και αυτό οφείλεται στη ταπείνωση της υδροστατικής στάθμης λόγω των υπεραντλήσεων από τα έργα των γεωτρήσεων που έχουν μεγαλύτερη πυκνότητα στο κεντρικό-ανατολικό τμήμα της λεκάνης και κατά μήκος του Αναποδάρη.

Οι υδροϊσοϋψείς στα δύο χαρακτηριστικά στάδια εκμετάλλευσης της λεκάνης του Χάρακα απεικονίζονται στο χάρτη της εικόνας Π5-49. Παρατηρούμε ότι, με βάση την ερμηνεία των υδροϊσοϋψών καμπύλων, εμφανίζεται ένας μάλλον ομοιόμορφος υδροφορέας. Επιπλέον είναι διακριτές ζώνες με διαφορετικές υδαταγωγιμότητες. Οι ζώνες αυτές ταυτίζονται με τις ζώνες που έχει διακριθεί ο υδροφορέας του Χάρακα με βάση τα γεωμετρικά και υδραυλικά χαρακτηριστικά του.

Τέλος, θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι πιεζομετρικές καμπύλες, που κατασκευάσθηκαν στα διάφορα στάδια της (υπερ)εκμετάλλευσης της λεκάνης του Χάρακα με βάση τα δεδομένα των πιεζομετρικών σημείων παρακολούθησης, ερμηνεύονται πολύ καλά με το μοντέλο της υδρογεωλογικής δομής της περιοχής που υιοθετήθηκε.

5.3.4.5 *Ιδιότητες υπόγειου υδροφορέα λεκάνης Χάρακα*

5.3.4.5.1 Παροχές και βάθη άντλησης γεωτρήσεων

Οι παροχές των γεωτρήσεων στη λεκάνη του Χάρακα ευρέως κυμαίνονται από 10 m^3/h - 160 m^3/h κατά την αρχική περίοδο εκμετάλλευσης του υδροφορέα (δεδομένα FAO – βλέπε Πίνακ. 5-22). Το βάθος των γεωτρήσεων είναι της τάξης των 100-150 m. Οι παροχές των γεωτρήσεων συσχετίζονται άμεσα με την κοκκομετρική σύσταση του υδροφόρου σχηματισμού. Οι μεγαλύτερες παροχές άντλησης είναι σε μια ζώνη που εκτείνεται από τις ΝΔ υπώρειες των Αστερουσίων προς το κέντρο της λεκάνης δια μέσου του Λειβαδίτη και στη συνέχεια ακολουθεί τις αλλουβιακές αποθέσεις του Αναποδάρη. Αυτή η ζώνη πιθανά ευρίσκεται σε παλαιό σύστημα απορροής του νότιου και κεντρικού τμήματος της λεκάνης. Στον Πίνακ. 5-22 δίνονται τα κύρια δεδομένα από τις παραγωγικές γεωτρήσεις του FAO. Παρατηρούμε ότι οι παροχές άντλησης είναι μικρότερες από αυτές των Μοιρών

Τα χαρακτηριστικά του πλειστοκαινικού υδροφορέα είναι κατά μία τάξη μεγέθους μικρότερη του αλλουβιακού και πρακτικά μέχρι σήμερα δεν εκμεταλλεύεται. .

5.3.4.5.2 Ειδική ικανότητα γεωτρήσεων

Η ειδική ικανότητα των γεωτρήσεων κυμαίνεται μεταξύ 0,6 – 30 m^3/h ανά μέτρο πτώσης με μέση τιμή 9 $m^3/h/m$ (βλέπε Πίνακ. 5-22). Η ειδική ικανότητα είναι μικρότερη από αυτή των Μοιρών.

5.3.4.5.3 Μεταβιβαστικότητα (Τ)

Οι τιμές της μεταβιβαστικότητας αντικατοπτρίζουν τις ιδιότητες του υδροφορέα οι οποίες ευρέως κυμαίνονται (βλέπε Πίνακ. 5-5 και Πίνακ. 5-22) για τον αλλουβιακό υδροφορέα από περίπου 14 m^2/day (1,6 X 10^{-4} m^2/sec) ΒΔ τμήμα της λεκάνης μέχρι περίπου 3300 m^2/day (3,8 X 10^{-2} m^2/sec) για το νότιο τμήμα.

Στην εικόνα Π5- 57 δίνεται ο χάρτης της μεταβιβαστικότητας της λεκάνης του Χάρακα η οποία διακρίθηκε σε ζώνες διαφορετικής μεταβιβαστικότητας με βάση τις σημειακές τιμές (πιεζομέτρων) της μεταβιβαστικότητας σε συνδυασμό με την υδρογεωλογική δομή της περιοχής και του συντελεστή υδροχωρητικότητας.

Διακρίνεται μια ζώνη με υψηλές τιμές της μεταβιβαστικότητας (Τ> 860 m^2/day) κατά μήκος της υπώρειας περιοχής των Αστερουσίων που οφείλεται στην υψηλή σύσταση του υδροφορέα με χονδρόκοκκα υλικά. Οι τιμές της μεταβιβαστικότητας ελαττώνονται προς τα βόρεια. Επίσης υπάρχει μια άλλη μία ζώνη με υψηλές τιμές, που ευρίσκεται κατά μήκος του Αναποδάρη. Οι τιμές στο κέντρο της λεκάνης και ΒΑ του Αναποδάρη κυμαίνονται από 85 m^2/day - 850 m^2/ day . Στην υπόλοιπη περιοχή οι τιμές είναι πολύ μικρές.

5.3.4.5.4 Συντελεστής υδροχωρητικότητας (S)

Οι τιμές του συντελεστή υδροχωρητικότητας που προέκυψαν από αντλητικές δοκιμασίες των γεωτρήσεων χαρακτηρίζουν ένα τυπικό υδροφορέα που βρίσκεται υπό πίεση ή μερικώς υπό πίεση (Πίνακ. 5-5). Οι τιμές αυτές θεωρήθηκαν ως μη αντιπροσωπευτικές από το FAO, που πραγματοποίησε την βασική υδρογεωλογική έρευνα της περιοχής το 1969-1972 παράλληλα με τη λεκάνη των Μοιρών, κυρίως λόγω του μικρού χρόνου της αντλητικής δοκιμασίας. Για το λόγο αυτό ο συντελεστής υδροχωρητικότητας (ειδική απόδοση) υπολογίσθηκε με εμπειρικές μεθόδους με βάση την αναλογία των υλικών που διατρήθηκαν σε κάθε γεώτρηση. Με βάση τη σύσταση των υλικών διάτρησης που βρίσκονταν στην κορεσμένη ζώνη υπολογίσθηκαν οι τιμές του συντελεστή υδροχωρητικότητας των γεωτρήσεων για διάφορα βάθη. Οι τιμές εμφανίζουν οριζόντια και κατακόρυφη διακύμανση. Κατά τη κατακόρυφη διάσταση οι τιμές που δίνονται αφορούν τη μέση τιμή του συντελεστή υδροχωρητικότητας του αλλουβιακού υδροφορέα (βλέπε Πίνακ. 5-22). Κατά την οριζόντια διάσταση οι S-τιμές κυμαίνονται, ανάλογα σε όλα τα βάθη αλλά και στη μέση κατακόρυφη τιμή, από τις μέγιστες S-τιμές που είναι στην υπώρεια περιοχή των Αστερουσίων και μειώνονται βαθμιαία προς τα βόρεια. Επίσης μεγάλες τιμές βρέθηκαν στο ΒΑ τμήμα της λεκάνης στη περιοχή κατά μήκος του Αναποδάρη. Οι S-τιμές δείχνονται για τις διάφορες ζώνες στην εικόνα Π5-58 . Παρατηρούμε ότι οι υψηλότερες S-τιμές βρέθηκαν στην υπώρεια ζώνη (>10%) η οποία ακολουθείται από δυο άλλες ζώνες με υψηλές S-τιμές και επίσης η ζώνη κατά μήκος του Αναποδάρη. Η διακύμανση των τιμών αυτών αντικατοπτρίζουν τη γενική υδρογεωλογική εικόνα της περιοχής. Τα χοντρόκοκκα υλικά αναμένονται να ευρίσκονται κοντά στην υπώρεια περιοχή των Αστερουσίων και το μέγεθός τους να ελαττώνεται με την απόσταση από αυτή (πηγή των υλικών), προς βορά. Η όποια ανομοιογένεια που παρατηρείται οφείλεται στη μεταβολή της ροής κατά το χρόνο της απόθεσης που είναι τυπική για τις αλλουβιακές αποθέσεις. Επιπρόσθετα εκτός από την απόσταση από τις υπώρειες περιοχές είναι η ύπαρξη των νεογενών λόφων που βρίσκονται στο Βορά που συνίστανται κυρίως από μάργες και τροφοδοτούσαν με αργιλικά- μαργαϊκά υλικά τη λεκάνη. Για το λόγο αυτό, το ΒΔ και ΒΑ τμήμα της λεκάνης χαρακτηρίζεται ως «φτωχός» υδροφορέας.

Πίνακ. 5-21 Υδραυλικές κλίσεις λεκάνης Χάρακα

Μήνας	Περιοχή	ΕΤΟΣ 1996				ΕΤΟΣ 2001		
		Δs (m)	X (m)	Κλίση ‰		Δs (m)	X (m)	Κλίση ‰
5ος	Κεντρικό τμήμα (Α-Δ)	50	9244	5.4		36	9244	3.9
	Νότιο (Ν-Β)	25	1863	13.4		27	1863	14.5
	Βόρειο 1 (Β-Ν)	16	2542	6.3		9	2465	3.7
	Βόρειο 2 (Β-Ν)	44	3891	11.3		35	3891	9.0
10ος	Κεντρικό τμήμα (Α-Δ)	48	9244	5.2		25	9244	2.7
	Νότιο (Ν-Β)	22	1863	11.8		28	1863	15.0
	Βόρειο 1 (Β-Ν)	21	2542	8.3		13	2465	5.3
	Βόρειο 2 (Β-Ν)	37	3891	9.5		33	3891	8.5

Πίνακ. 5-22 Χαρακτηριστικά παραγωγικών γεωτρήσεων λεκάνης Χάρακα

		Παροχή άντλησης	***Ειδική ικανότητα***	***Μεταβιβαστικότητα T***		***Ειδική απόδοση (Sy)***
α/α	***Γεώτρηση***	***m^3/h***	***$m^3/h/m$***	***m^2/sec***	***m^2/day***	***%***
1	A4	25	4.4			
2	A9	18	0.6			
3	A19	120	30	$2.9*10^{-2}$	2506	7.5
4	A21	35	6	$1.2*10^{-2}$	1037	9.5
5	A22	65	13	$1.9*10^{-2}$	1642	11.0
6	A23	25	1.7	$1.2*10^{-3}$	104	10.0
7	A24	130	19	$9.4*10^{-3}$	812	6.0
8	A26	55	11	$3.0*10^{-2}$	2592	10.0
9	A30	10	0.8	$1.6*10^{-4}$	14	5.0
10	A31	160	20	$3.8*10^{-2}$	3283	7.5
11	A34	30	5	$1.9*10^{-2}$	1642	8.0
12	A37	10	2	$1.3*10^{-3}$	112	10.0
13	A38	80	10	$1.7*10^{-2}$	1469	12.0
14	A45	60	6	$2.7*10^{-3}$	233	2.5
15	A46	35	4	$1.0*10^{-3}$	86	4.5
16	A50	90	5	$4.9*10^{-3}$	423	5.0
17	A52	110	14	$3.8*10^{-3}$	328	12.0
Ελάχιστο		**10**	**0.6**	**$1.6*10^{-4}$**	**14**	**2.5**
Μέγιστο		**160**	**30**	**$3.8*10^{-2}$**	**3283**	**12.0**
Μέσος όρος		**62**	**9**	**$1.26*10^{-2}$**	**1086**	**8.0**

Πίνακ. 5-23 Συντεταγμένες και απόλυτη υδροστατική στάθμη υγρής και ξηρής περιόδου πιεζομέτρων παρακολούθησης λεκάνης Χάρακα (σε m) (1)

ΓΕΩΤΡΗΣΗ	No20-ΧΑΡΑΚΑΣ	No27-ΑΣΗΜΙ	No76-ΣΤΕΡΝΕΣ	No19A (Κοιν. Χάρακας)	No70 (Σφακιανάκης Μ.)	No34A-ΠΛΑΚΙΩ-ΤΙΣΣΑ	No46-ΠΥΡΓΟΣ	No15A-ΠΛΑΚΙΩ-ΤΙΣΣΑ	No83-ΠΡΩΤΟ-ΡΙΑ	No21Π-ΠΥΡΓΟΣ
ΚΑ ΗΥΜΟS	GH1	GH2	GH3	GH4	GH5	GH6	GH7	GH8	GH9	GH10
x	601765	599177	599227	601835	600577	604566	606427	604416	604807	603616
y	3875864	3876041	3875391	3876564	3875941	3878775	3876361	3880475	3878261	3875012
z	247.67	267.12	276	240.75	257	228.34	212.42	258	220	243.65
Μάιος 81	242.89	257.62				225.31	210.37			238.65
Οκτ-81	234.17	254.44				222.1	207.74			227.26
Μαι- 82	240.87	257.42				225.22	210.48			236.05
Οκτ-82	234.27	256.22				223	208.52			228.7
Μαι- 83	238.05	256.42				224.22	210.12			232.27
Οκτ-83	233.65	254.07				220.22	207.97			227.87
Μαι- 84	238.49	256.96				224.12	210.06			233.54
Οκτ-84	232.8	254.82				220.6	207.73			227.08
Μαι- 85	242.72	257.53				225.19	210.28			234.88
Οκτ-85	234.62	255.26				221.87	208.12			227.67
Μαι- 86	236.67	255.84				224.24	209.5			230.33
Οκτ-86	233.57	252.77				219.44	204.82			226.35
Μαι- 87	236.32	254.47				223.49	209.32			231.6
Οκτ-87	234.07	252.07				218.49	206.37			229.1
Μαι- 88	239.47	253.7				222.94	209.62			235.2
Οκτ-88	234.07	252.17				218.54	206.37			227.9
Μαι- 89	236.67	253.52				220.89	208.62			231.55
Οκτ-89	233.77	250.62				215.74	205.52			226.9
Μαι- 90	234.67	250.74				219.44	207.82			227.75
Οκτ-90	232.07	247.22	248.3			209.44	202.22			225.35
Μαι- 91	236.17	248.92	252.3			220.09	207.22			230.45
Οκτ-91	232.37	247.12	249.7			209.24	200.92			226.6
Μαι- 92	235.82	248.92	249.1			217.34	206.72	253.4		226.65
Οκτ-92	231.67	247.5				208.64	200.62	250.1	202	224.95
Μαι- 93	234.07	245.92	247			213.04	205.72	252.7	201	225.15
Οκτ-93	229.67	239.52	244.1			207.39	198.92	250.2	195.2	222.45
Μαι- 94	234.87	243.47	247.3			212.59	205.57	253.8	200.25	230.35
Οκτ-94	230.52	227.67	244		235.45	205.54	198.52	249.6	186.9	224.75
Μαι- 95	234.77	242.52	248.1		245	213.84	205.9	253.4	195.6	230
Οκτ-95	229.15	225.82	239.7	212.15	235.2	207.14	199.07	248.45	188.55	224.97
Μαι- 96	241.32	247.32	257.6	235.15	252.85	218.19	210.62	255.62	201.68	237.07
Οκτ-96	233.62	238.92	247.2	216.69	245.8	214.04	202.32	242.3	193.85	228.35
Μαι- 97	236.12	249.1	253.95	227.55	249.45	219.94	209.62	248.65	200	234.1
Οκτ-97	230.37	231.27	246.48	215.15	243.6	213.89	199.82	240.95	197.3	225.7
Μαι- 98	235.17	243.02	254.3	225.95	248.55	223.04	208.97	248.52	202.35	233.85
Οκτ-98	229.02	224.77	244.1	214.45	241.5	214.54	199.52	239.8	197.75	224.6
Μαι- 99	234.12	236.3	251	221.25	245.7	220.84	206.9	245.45	201.18	232.65
Οκτ-99	228.67	219.92	242.9	212.35	240.2	213.69	199.8	237.7	197.18	220.5
Μαι- 00	232.47	232.72	244.8	218.15	243.6	218.34	204.62	242.4		230.85
Οκτ-00			229.95	206.35		209.24	193.52	229.52	167.9	219.55
Μαι- 01	234.67	225.62	246.3	223.15		216.34		241.6		232.05
Οκτ-01			237.4	206.87		210.14		230.68	177.6	223.65
Μαι- 02	235.52		246	224.25		216.69		242	187	232.75
Οκτ-02	231.97		239.55	213.55		209.74		232.1	183.3	224.95
Μαι- 03	240.07			231.95		223.64				
Οκτ-03	232.87			224.15		214.69				
Μαι- 04	241.87					219.44				
Οκτ-04	233.47					214.84				

Πίνακ. 5-24 Συντεταγμένες και απόλυτη υδροστατική στάθμη υγρής και ξηρής περιόδου πιεζομέτρων παρακολούθησης λεκάνης Χάρακα (σε m) (2)

ΓΕΩΤΡΗΣΗ	No23-ΧΑΡΑΚΑΣ	No24 (Κοιν. Καλυβίων)	No30-ΠΡΩΤΟΡΙΑ	No31A (Κοιν. Προτορίων)	No47(Κο-κολάκη) (Ασήμι)	No46A-ΜΕΣΟ-ΧΩΡΙΟ	No81-ΠΛΑΚΙΩ-ΤΙΣΣΑ	No48 Κοιν. Ασημίου	No83 (Κεφαλάκη)
ΚΑ HYMOS	GH11	GH12	GH13	GH14	GH17	GH18	GH19	GH15	GH16
x	603416	605377	604777	606309	597845	608195	605197	599177	605101
y	3876762	3876811	3877511	3877198	3877322	3877487	3879310	3876041	3878411
z	224.94	214.31	219.67	218.12	257	198	250	270.63	235.53
Μάιος 81			214.52						
Οκτ-81			210.24						
Μαι- 82			214.2						
Οκτ-82			210.92						
Μαι- 83			213.32						
Οκτ-83			209.97						
Μαι- 84			213.62						
Οκτ-84			209.88						
Μαι- 85			214.92						
Οκτ-85			210.87						
Μαι- 86			213.22				244.8		
Οκτ-86			208.87				237		
Μαι- 87			212.82				243.2		
Οκτ-87			208.07				233.92		
Μαι- 88			212.62				240.15		
Οκτ-88			207.47				229		
Μαι- 89			210.57				238.4		
Οκτ-89			206.15				220.75		
Μαι- 90			209.12				236.05		
Οκτ-90			202.67				215.2		
Μαι- 91			209.97				231		
Οκτ-91			204.52			189.68	214.25		
Μαι- 92			209.12			196	227.7		
Οκτ-92			202.37			190.8	211.8		
Μαι- 93			207.37			194.7	224.5		
Οκτ-93			199.67			190.2	206.7		
Μαι- 94			207.17			196.7	221.9		
Οκτ-94	203.19	195.01	197.92	201.32	246.4	190.1	206.58		
Μαι- 95	213.99	205.81	206.87	210.57	250.5	196.15	219.3		
Οκτ-95	205.34	196.61	199.97	201.82	246.55	189.7	208.4		
Μαι- 96	217.96	209.06	211.27	211.92	251.4	196.8	227.9		
Οκτ-96	210.09	201.76	205.67	205.02	248.55	190.8	226.1		
Μαι- 97	217.59	208.41	210.97	211.22	250.2	195.95	231.7		
Οκτ-97	210.34	199.91	203.97	202.92	246.25	191.4	220.9		
Μαι- 98	218.04	207.79	210.77	210.82	250.95		236.1	245.83	
Οκτ-98	209.49	198.51	202.37	202.02		190.2	221.1	228.18	
Μαι- 99	216.74	205.61	208.37	209.32		193.4	231.7	236.13	
Οκτ-99	206.94	198.86	200.52	201.87		189.9	222	226.43	
Μαι- 00	211.44	201.31	205.17	207.12		190.6	227.8	230.63	210.73
Οκτ-00	194.94	187.51		193.47		181.15	214.4	215.53	200.53
Μαι- 01	209.39	201.91		206.52		189.8		233.33	207.53
Οκτ-01	198.84	192.31		197.97		181		213.48	194.93
Μαι- 02	204.94	201.73		207.17		189.1		215.13	203.03
Οκτ-02	201.64	197.51		197.57		182		213.73	196.83
Μαι- 03	223.74	209.61		213.32				228.73	210.23
Οκτ-03	214.09	205.96	203.37					217.68	201.68
Μαι- 04	223.09	204.51	210.05	212.02					
Οκτ-04	217.04	203.01	204.37	208.32					

Πίνακ. 5-25 Συντεταγμένες και υδροστατική στάθμη από τη επιφάνεια υγρής και ξηρής περιόδου πιεζομέτρων παρακολούθησης λεκάνης Χάρακα (σε m) (1)

ΓΕΩΤΡΗΣΗ	No20-ΧΑΡΑΚΑΣ	No27-ΑΣΗΜΙ	No76-ΣΤΕΡΝΕΣ	No19A (Κοιν. Χάρακας)	No70 (Σφακιανάκης Μ.)	No34A-ΠΛΑΚΙΩΤΙΣΣΑ	No46-ΠΥΡΓΟΣ	No15A-ΠΛΑΚΙΩ-ΤΙΣΣΑ	No83-ΠΡΩΤΟ-ΡΙΑ	No21Π-ΠΥΡΓΟΣ
ΚΑ ΗΥΜΟS	GH1	GH2	GH3	GH4	GH5	GH6	GH7	GH8	GH9	GH10
x	601765	599177	599227	601835	600577	604566	606427	604416	604807	603616
y	3875864	3876041	3875391	3876564	3875941	3878775	3876361	3880475	3878261	3875012
z	247.67	267.12	276	240.75	257	228.34	212.42	258	220	243.65
Μάιος 81	-4.78	-9.5				-3.03	-2.05			-5
Οκτ-81	-13.5	-12.68				-6.24	-4.68			-16.39
Μαι- 82	-6.8	-9.7				-3.12	-1.94			-7.6
Οκτ-82	-13.4	-10.9				-5.34	-3.9			-14.95
Μαι- 83	-9.62	-10.7				-4.12	-2.3			-11.38
Οκτ-83	-14.02	-13.05				-8.12	-4.45			-15.78
Μαι- 84	-9.18	-10.16				-4.22	-2.36			-10.11
Οκτ-84	-14.87	-12.3				-7.74	-4.69			-16.57
Μαι- 85	-4.95	-9.59				-3.15	-2.14			-8.77
Οκτ-85	-13.05	-11.86				-6.47	-4.3			-15.98
Μαι- 86	-11	-11.28				-4.1	-2.92			-13.32
Οκτ-86	-14.1	-14.35				-8.9	-7.6			-17.3
Μαι- 87	-11.35	-12.65				-4.85	-3.1			-12.05
Οκτ-87	-13.6	-15.05				-9.85	-6.05			-14.55
Μαι- 88	-8.2	-13.42				-5.4	-2.8			-8.45
Οκτ-88	-13.6	-14.95				-9.8	-6.05			-15.75
Μαι- 89	-11	-13.6				-7.45	-3.8			-12.1
Οκτ-89	-13.9	-16.5				-12.6	-6.9			-16.75
Μαι- 90	-13	-16.38				-8.9	-4.6			-15.9
Οκτ-90	-15.6	-19.9	-27.7			-18.9	-10.2			-18.3
Μαι- 91	-11.5	-18.2	-23.7			-8.25	-5.2			-13.2
Οκτ-91	-15.3	-20	-26.3			-19.1	-11.5			-17.05
Μαι- 92	-11.85	-18.2	-26.9			-11	-5.7	-4.6		-17
Οκτ-92	-16	-19.62				-19.7	-11.8	-7.9	-18	-18.7
Μαι- 93	-13.6	-21.2	-29			-15.3	-6.7	-5.3	-19	-18.5
Οκτ-93	-18	-27.6	-31.9			-20.95	-13.5	-7.8	-24.8	-21.2
Μαι- 94	-12.8	-23.65	-28.7			-15.75	-6.85	-4.2	-19.75	-13.3
Οκτ-94	-17.15	-39.45	-32		-21.55	-22.8	-13.9	-8.4	-33.1	-18.9
Μαι- 95	-12.9	-24.6	-27.9		-12	-14.5	-6.52	-4.6	-24.4	-13.65
Οκτ-95	-18.52	-41.3	-36.3	-28.6	-21.8	-21.2	-13.35	-9.55	-31.45	-18.68
Μαι- 96	-6.35	-19.8	-18.4	-5.6	-4.15	-10.15	-1.8	-2.38	-18.32	-6.58
Οκτ-96	-14.05	-28.2	-28.8	-24.06	-11.2	-14.3	-10.1	-15.7	-26.15	-15.3
Μαι- 97	-11.55	-18.02	-22.05	-13.2	-7.55	-8.4	-2.8	-9.35	-20	-9.55
Οκτ-97	-17.3	-35.85	-29.52	-25.6	-13.4	-14.45	-12.6	-17.05	-22.7	-17.95
Μαι- 98	-12.5	-24.1	-21.7	-14.8	-8.45	-5.3	-3.45	-9.48	-17.65	-9.8
Οκτ-98	-18.65	-42.35	-31.9	-26.3	-15.5	-13.8	-12.9	-18.2	-22.25	-19.05
Μαι- 99	-13.55	-30.82	-25	-19.5	-11.3	-7.5	-5.52	-12.55	-18.82	-11
Οκτ-99	-19	-47.2	-33.1	-28.4	-16.8	-14.65	-12.62	-20.3	-22.82	-23.15
Μαι- 00	-15.2	-34.4	-31.2	-22.6	-13.4	-10	-7.8	-15.6		-12.8
Οκτ-00			-46.05	-34.4		-19.1	-18.9	-28.48	-52.1	-24.1
Μαι- 01	-13	-41.5	-29.7	-17.6		-12		-16.4		-11.6
Οκτ-01			-38.6	-33.88		-18.2		-27.32	-42.4	-20
Μαι- 02	-12.15		-30	-16.5		-11.65		-16	-33	-10.9
Οκτ-02	-15.7		-36.45	-27.2		-18.6		-25.9	-36.7	-18.7
Μαι- 03	-7.6			-8.8		-4.7				
Οκτ-03	-14.8			-16.6		-13.65				
Μαι- 04	-5.8					-8.9				
Οκτ-04	-14.2					-13.5				

Πίνακ. 5-26 Συντεταγμένες και υδροστατική στάθμη από την επιφάνεια υγρής και ξηρής περιόδου πιεζομέτρων παρακολούθησης λεκάνης Χάρακα (σε m) (2)

ΓΕΩΤΡΗ-ΣΗ	No23-ΧΑΡΑΚΑΣ	No24 Κοιν. Καλυβίων	No30-ΠΡΩΤΟΡΙΑ	No31A Κοιν. Προτορίων	No47 Κο-κολάκη, Ασήμι	No46A-ΜΕΣΟ-ΧΩΡΙΟ	No81-ΠΛΑΚΙΩ-ΤΙΣΣΑ	No48 Κοιν. Ασημίου	No83 (Κεφαλάκη)
ΚΑ HYMOS	GH11	GH12	GH13	GH14	GH17	GH18	GH19	GH15	GH16
x	603416	605377	604777	606309	597845	608195	605197	599177	605101
y	3876762	3876811	3877511	3877198	3877322	3877487	3879310	3876041	3878411
z	224.94	214.31	219.67	218.12	257	198	250	270.63	235.53
Μαι- 81			-5.15						
Οκτ-81			-9.43						
Μαι- 82			-5.47						
Οκτ-82			-8.75						
Μαι- 83			-6.35						
Οκτ-83			-9.7						
Μαι- 84			-6.05						
Οκτ-84			-9.79						
Μαι- 85			-4.75						
Οκτ-85			-8.8						
Μαι- 86			-6.45				-5.2		
Οκτ-86			-10.8				-13		
Μαι- 87			-6.85				-6.8		
Οκτ-87			-11.6				-16.08		
Μαι- 88			-7.05				-9.85		
Οκτ-88			-12.2				-21		
Μαι- 89			-9.1				-11.6		
Οκτ-89			-13.52				-29.25		
Μαι- 90			-10.55				-13.95		
Οκτ-90			-17				-34.8		
Μαι- 91			-9.7				-19		
Οκτ-91			-15.15			-8.32	-35.75		
Μαι- 92			-10.55			-2	-22.3		
Οκτ-92			-17.3			-7.2	-38.2		
Μαι- 93			-12.3			-3.3	-25.5		
Οκτ-93			-20			-7.8	-43.3		
Μαι- 94			-12.5			-1.3	-28.1		
Οκτ-94	-21.75	-19.3	-21.75	-16.8	-10.6	-7.9	-43.42		
Μαι- 95	-10.95	-8.5	-12.8	-7.55	-6.5	-1.85	-30.7		
Οκτ-95	-19.6	-17.7	-19.7	-16.3	-10.45	-8.3	-41.6		
Μαι- 96	-6.98	-5.25	-8.4	-6.2	-5.6	-1.2	-22.1		
Οκτ-96	-14.85	-12.55	-14	-13.1	-8.45	-7.2	-23.9		
Μαι- 97	-7.35	-5.9	-8.7	-6.9	-6.8	-2.05	-18.3		
Οκτ-97	-14.6	-14.4	-15.7	-15.2	-10.75	-6.6	-29.1		
Μαι- 98	-6.9	-6.52	-8.9	-7.3	-6.05	2.9	-13.9	-24.8	
Οκτ-98	-15.45	-15.8	-17.3	-16.1		-7.8	-28.9	-42.45	
Μαι- 99	-8.2	-8.7	-11.3	-8.8		-4.6	-18.3	-34.5	
Οκτ-99	-18	-15.45	-19.15	-16.25		-8.1	-28	-44.2	
Μαι- 00	-13.5	-13	-14.5	-11		-7.4	-22.2	-40	-24.8
Οκτ-00	-30	-26.8		-24.65		-16.85	-35.6	-55.1	-35
Μαι- 01	-15.55	-12.4		-11.6		-8.2		-37.3	-28
Οκτ-01	-26.1	-22		-20.15		-17		-57.15	-40.6
Μαι- 02	-20	-12.58		-10.95		-8.9		-55.5	-32.5
Οκτ-02	-23.3	-16.8		-20.55		-16		-56.9	-38.7
Μαι- 03	-1.2	-4.7		-4.8				-41.9	-25.3
Οκτ-03	-10.85	-8.35	-16.3					-52.95	-33.85
Μαι- 04	-1.85	-9.8	-9.62	-6.1					
Οκτ-04	-7.9	-11.3	-15.3	-9.8					

Πίνακ. 5-27 Συμπληρωμένες τιμές (ΗΗC) απόλυτης υδροστατική στάθμης (ΗΗ) υγρής και ξηρής περιόδου πιεζομέτρων παρακολούθησης λεκάνης Χάρακα (σε m) (1)

ΚΑ HYMOS	GH1		GH10		GH11		GH12		GH13		GH14	
	HH	HHC	HH	HHC	HH	HHC	HH	HHC	HH	HHC	HH	HHC
Μάι- 81	242.89	242.89	238.65	238.65		224		212.88	214.52	214.52		213.2
Οκτ-81	234.17	234.17	227.26	227.26		222		209.25	210.24	210.24		208.8
Μαι- 82	240.87	240.87	236.05	236.05		224.4		212.73	214.2	214.2		213.4
Οκτ-82	234.27	234.27	228.7	228.7		222.3		209.97	210.92	210.92		209.6
Μαι- 83	238.05	238.05	232.27	232.27		225		212.05	213.32	213.32		213
Οκτ-83	233.65	233.65	227.87	227.87		221.8		209.18	209.97	209.97		209.1
Μαι- 84	238.49	238.49	233.54	233.54		224.6		212.21	213.62	213.62		212.8
Οκτ-84	232.8	232.8	227.08	227.08		222.2		209.03	209.88	209.88		209
Μαι- 85	242.72	242.72	234.88	234.88		227		213.08	214.92	214.92		212.5
Οκτ-85	234.62	234.62	227.67	227.67		222.2		209.78	210.87	210.87		208.71
Μαι- 86	236.67	236.67	230.33	230.33		224.6		211.75	213.22	213.22		212.2
Οκτ-86	233.57	233.57	226.35	226.35		221.7		207.27	208.87	208.87		206.7
Μαι- 87	236.32	236.32	231.6	231.6		224		211.43	212.82	212.82		212.4
Οκτ-87	234.07	234.07	229.1	229.1		221.8		207.39	208.07	208.07		207.9
Μαι- 88	239.47	239.47	235.2	235.2		224.8		211.43	212.62	212.62		212
Οκτ-88	234.07	234.07	227.9	227.9		218.9		207.03	207.47	207.47		207
Μαι- 89	236.67	236.67	231.55	231.55		222.9		209.8	210.57	210.57		210.8
Οκτ-89	233.77	233.77	226.9	226.9		219.3		205.9	206.15	206.15		206.6
Μαι- 90	234.67	234.67	227.75	227.75		220.3		208.6	209.12	209.12		208.1
Οκτ-90	232.07	232.07	225.35	225.35		216.8		202.49	202.67	202.67		202.31
Μαι- 91	236.17	236.17	230.45	230.45		220.5		208.88	209.97	209.97		207.81
Οκτ-91	232.37	232.37	226.6	226.6		216		203.09	204.52	204.52		200.19
Μαι- 92	235.82	235.82	226.65	226.65		217.5		208.17	209.12	209.12		205.83
Οκτ-92	231.67	231.67	224.95	224.95		214		201.67	202.37	202.37		199.72
Μαι- 93	234.07	234.07	225.15	225.15		216		206.71	207.37	207.37		204.65
Οκτ-93	229.67	229.67	222.45	222.45		208.6		199.37	199.67	199.67		197.96
Μαι- 94	234.87	234.87	230.35	230.35		215		206.53	207.17	207.17		204.76
Οκτ-94	230.52	230.52	224.75	224.75	203.19	204.3	195.01	195.01	197.92	197.92	201.32	201.32
Μαι- 95	234.77	234.77	230	230	213.99	213.99	205.81	205.81	206.87	206.87	210.57	210.57
Οκτ-95	229.15	229.15	224.97	224.97	205.34	205.34	196.61	196.61	199.97	199.97	201.82	201.82
Μαι- 96	241.32	241.32	237.07	237.07	217.96	217.96	209.06	209.06	211.27	211.27	211.92	211.92
Οκτ-96	233.62	233.62	228.35	228.35	210.09	210.09	201.76	201.76	205.67	205.67	205.02	205.02
Μαι- 97	236.12	236.12	234.1	234.1	217.59	217.59	208.41	208.41	210.97	210.97	211.22	211.22
Οκτ-97	230.37	230.37	225.7	225.7	210.34	210.34	199.91	199.91	203.97	203.97	202.92	202.92
Μαι- 98	235.17	235.17	233.85	233.85	218.04	218.04	207.79	207.79	210.77	210.77	210.82	210.82
Οκτ-98	229.02	229.02	224.6	224.6	209.49	209.49	198.51	198.51	202.37	202.37	202.02	202.02
Μαι- 99	234.12	234.12	232.65	232.65	216.74	216.74	205.61	205.61	208.37	208.37	209.32	209.32
Οκτ-99	228.67	228.67	220.5	220.5	206.94	206.94	198.86	198.86	200.52	200.52	201.87	201.87
Μαι- 00	232.47	232.47	230.85	230.85	211.44	211.44	201.31	201.31	205.17	205.17	207.12	207.12
Οκτ-00		222.5	219.55	219.55	194.94	194.94	187.51	187.51		188.59	193.47	193.47
Μαι- 01	234.67	234.67	232.05	232.05	209.39	209.39	201.91	201.91		207.3	206.52	206.52
Οκτ-01		225.6	223.65	223.65	198.84	198.84	192.31	192.31		191.29	197.97	197.97
Μαι- 02	235.52	235.52	232.75	232.75	204.94	204.94	201.73	201.73		199.81	207.17	207.17
Οκτ-02	231.97	231.97	224.95	224.95	201.64	201.64	197.51	197.51		194.6	197.57	197.57
Μαι- 03	240.07	240.07		223.74	223.74	223.74	209.61	209.61		213.37	213.32	213.32
Οκτ-03	232.87	232.87		214.09	214.09	214.09	205.96	205.96	203.37	203.37		204.42
Μαι- 04	241.87	241.87		223.09	223.09	223.09	204.51	204.51	210.05	210.05	212.02	212.02
Οκτ-04	233.47	233.47		217.04	217.04	217.04	203.01	203.01	204.37	204.37	208.32	208.32

HHC : συμπληρωμένες τιμές, HH ιστορική χρονοσειρά

Πίνακ. 5-28 Συμπληρωμένες τιμές (HHC) απόλυτης υδροστατική στάθμης (HH) υγρής και ξηρής περιόδου πιεζομέτρων παρακολούθησης λεκάνης Χάρακα (σε m) (2)

	GH15		GH16		GH17		GH18		GH19		GH2	
	HH	HHC	HH	HHC	HH	HHC	HH	HHC	HH	HHC	HH	HHC
Μάι- 81		247.62		224.2		247.62				248.31	257.62	257.62
Οκτ-81		244.44		220.4		244.44				245.1	254.44	254.44
Μαι- 82		247.42		224		247.42				248.22	257.42	257.42
Οκτ-82		246.22		221.3		246.22				246	256.22	256.22
Μαι- 83		246.42		222.7		246.42				247.22	256.42	256.42
Οκτ-83		244.07		218.7		244.07				243.22	254.07	254.07
Μαι- 84		246.96		222		246.96				247.12	256.96	256.96
Οκτ-84		243.60		219.3		244.82				243.6	254.82	254.82
Μαι- 85		247.53		223.8		247.53				248.19	257.53	257.53
Οκτ-85		245.26		219.8		245.26				244.87	255.26	255.26
Μαι- 86		245.84		223.15	244.8	244.8			244.8	244.8	255.84	255.84
Οκτ-86		242.77		218.01	237	237			237	237	252.77	252.77
Μαι- 87		244.47		222.4	243.2	243.2			243.2	243.2	254.47	254.47
Οκτ-87		242.07		216.74	233.92	233.92			233.92	233.92	252.07	252.07
Μαι- 88		243.70		221.55	240.15	240.15			240.15	240.15	253.7	253.7
Οκτ-88		242.17		215.61	229	229			229	229	252.17	252.17
Μαι- 89		243.52		219.56	238.4	238.4			238.4	238.4	253.52	253.52
Οκτ-89		240.62		213.3	220.75	220.75			220.75	220.75	250.62	250.62
Μαι- 90		240.74		217.94	236.05	236.05			236.05	236.05	250.74	250.74
Οκτ-90		237.77		207.53	215.2	215.2			215.2	215.2	247.22	247.22
Μαι- 91		240.65		217.65	231	231			231	231	248.92	248.92
Οκτ-91		238.44		208.09	214.25	214.25	189.68	189.68	214.25	214.25	247.12	247.12
Μαι- 92		239.01		215.63	227.7	227.7	196	196	227.7	227.7	248.92	248.92
Οκτ-92		237.50		205.3	211.8	211.8	190.8	190.8	211.8	211.8	247.5	247.5
Μαι- 93		236.47		204.9	224.5	224.5	194.7	194.7	224.5	224.5	245.92	245.92
Οκτ-93		231.87		199.1	206.7	206.7	190.2	190.2	206.7	206.7	239.52	239.52
Μαι- 94		235.43		205.6	221.9	221.9	196.7	196.7	221.9	221.9	243.47	243.47
Οκτ-94		225.38		195.6	206.58	206.58	190.1	190.1	206.58	206.58	227.67	227.67
Μαι- 95		234.63		203.8	219.3	219.3	196.15	196.15	219.3	219.3	242.52	242.52
Οκτ-95		222.47		196.2	208.4	208.4	189.7	189.7	208.4	208.4	225.82	225.82
Μαι- 96		241.66		206.9	227.9	227.9	196.8	196.8	227.9	227.9	247.32	247.32
Οκτ-96		232.13		200.4	226.1	226.1	190.8	190.8	226.1	226.1	238.92	238.92
Μαι- 97		240.55		209.8	231.7	231.7	195.95	195.95	231.7	231.7	249.1	249.1
Οκτ-97		228.45		203.8	220.9	220.9	191.4	191.4	220.9	220.9	231.27	231.27
Μαι- 98	245.83	245.83		213.3	236.1	236.1		200	236.1	236.1	243.02	243.02
Οκτ-98	228.18	228.18		205.6	221.1	221.1	190.2	190.2	221.1	221.1	224.77	224.77
Μαι- 99	236.13	236.13		211.6	231.7	231.7	193.4	193.4	231.7	231.7	236.3	236.3
Οκτ-99	226.43	226.43		202.9	222	222	189.9	189.9	222	222	219.92	219.92
Μαι- 00	230.63	230.63	210.73	210.73	227.8	227.8	190.6	190.6	227.8	227.8	232.72	232.72
Οκτ-00	215.53	215.53	200.53	200.53	214.4	214.4	181.15	181.15	214.4	214.4		218.71
Μαι- 01	233.33	233.33	207.53	207.53		237.2	189.8	189.8		221.7	225.62	225.62
Οκτ-01	213.48	213.48	194.93	194.93		221.3	181	181		214.9		218.68
Μαι- 02	215.13	215.13	203.03	203.03		231.6	189.1	189.1		222		222.77
Οκτ-02	213.73	213.73	196.83	196.83		227.7	182	182		215.1		219.52
Μαι- 03	228.73	228.73	210.23	210.23		233.9		201.5		227.1		230.13
Οκτ-03	217.68	217.68	201.68	201.68		226.1				217.7		219.76
Μαι- 04		235.95		208.9		240.3		198.2		222		245.95
Οκτ-04		230.40		206		234.4		194.8		218.2		240.4

HHC : συμπληρωμένες τιμές, HH ιστορική χρονοσειρά

Πίνακ. 5-29 Συμπληρωμένες τιμές (HHC) απόλυτης υδροστατική στάθμης (HH) υγρής και ξηρής περιόδου πιεζομέτρων παρακολούθησης λεκάνης Χάρακα (σε m) (3)

	GH3		GH4		GH5		GH6		GH7		GH8		GH9	
	HH	HHC	HH	HHC	HH	HHC	HH	HHC	HH	HHC	HH	HHC	HH	HHC
Μάι- 81		261.62		240.9		252.96	225.31	225.31	210.37	210.37		255		218
Οκτ-81		258.44		234.17		246.52	222.1	222.1	207.74	207.74		251.1		212.8
Μαι- 82		261.42		240.87		251.69	225.22	225.22	210.48	210.48		254.4		217.5
Οκτ-82		260.22		234.27		247.32	223	223	208.52	208.52		250.2		213.4
Μαι- 83		260.42		238.05		249.62	224.22	224.22	210.12	210.12		254.4		215.8
Οκτ-83		258.07		233.65		246.07	220.22	220.22	207.97	207.97		250.9		212.4
Μαι- 84		260.96		238.49		250.10	224.12	224.12	210.06	210.06		254.2		216.8
Οκτ-84		258.82		231.6		245.87	220.6	220.6	207.73	207.73		249.3		212.8
Μαι- 85		261.53		239.5		252.82	225.19	225.19	210.28	210.28		255.1		218
Οκτ-85		259.26		234.62		247.13	221.87	221.87	208.12	208.12		249		213
Μαι- 86		259.84		236.67		248.57	224.24	224.24	209.5	209.5		255.3		218.1
Οκτ-86		256.77		233.57		245.48	219.44	219.44	204.82	204.82		249.6		212.2
Μαι- 87		258.47		236.32		247.80	223.49	223.49	209.32	209.32		253.6		216.4
Οκτ-87		256.07		234.07		245.49	218.49	218.49	206.37	206.37		248.9		213.2
Μαι- 88		257.70		239.47		249.33	222.94	222.94	209.62	209.62		252.9		217.7
Οκτ-88		256.17		234.07		245.53	218.54	218.54	206.37	206.37		248.7		212.6
Μαι- 89		257.52		236.67		247.61	220.89	220.89	208.62	208.62		254.4		216.2
Οκτ-89		254.62		233.77		244.71	215.74	215.74	205.52	205.52		249.1		209.6
Μαι- 90		254.74		234.67		245.29	219.44	219.44	207.82	207.82		253.6		213.4
Οκτ-90	248.3	248.30		232.07		245.12	209.44	209.44	202.22	202.22		247.1		204.7
Μαι- 91	252.3	252.30		236.17		248.48	220.09	220.09	207.22	207.22		253.1		212.8
Οκτ-91	249.7	249.70		232.37		245.61	209.24	209.24	200.92	200.92		249.6		205
Μαι- 92	249.1	249.10		235.82		247.43	217.34	217.34	206.72	206.72	253.4	253.4		212.4
Οκτ-92		251.50		231		242.19	208.64	208.64	200.62	200.62	250.1	250.1	202	202
Μαι- 93	247	247.00		233.1		245.21	213.04	213.04	205.72	205.72	252.7	252.7	201	201
Οκτ-93	244.1	244.10		227.4		240.64	207.39	207.39	198.92	198.92	250.2	250.2	195.2	195.2
Μαι- 94	247.3	247.30		231.7		244.91	212.59	212.59	205.57	205.57	253.8	253.8	200.25	200.25
Οκτ-94	244	244.00		225.1	235.45	235.45	205.54	205.54	198.52	198.52	249.6	249.6	186.9	186.9
Μαι- 95	248.1	248.10		230.4	245	245.00	213.84	213.84	205.9	205.9	253.4	253.4	195.6	195.6
Οκτ-95	239.7	239.70	212.15	212.15	235.2	235.20	207.14	207.14	199.07	199.07	248.45	248.45	188.55	188.55
Μαι- 96	257.6	257.60	235.15	235.15	252.85	252.85	218.19	218.19	210.62	210.62	255.62	255.62	201.68	201.68
Οκτ-96	247.2	247.20	216.69	216.69	245.8	245.80	214.04	214.04	202.32	202.32	242.3	242.3	193.85	193.85
Μαι- 97	253.95	253.95	227.55	227.55	249.45	249.45	219.94	219.94	209.62	209.62	248.65	248.65	200	200
Οκτ-97	246.48	246.48	215.15	215.15	243.6	243.60	213.89	213.89	199.82	199.82	240.95	240.95	197.3	197.3
Μαι- 98	254.3	254.30	225.95	225.95	248.55	248.55	223.04	223.04	208.97	208.97	248.52	248.52	202.35	202.35
Οκτ-98	244.1	244.10	214.45	214.45	241.5	241.50	214.54	214.54	199.52	199.52	239.8	239.8	197.75	197.75
Μαι- 99	251	251.00	221.25	221.25	245.7	245.70	220.84	220.84	206.9	206.9	245.45	245.45	201.18	201.18
Οκτ-99	242.9	242.90	212.35	212.35	240.2	240.20	213.69	213.69	199.8	199.8	237.7	237.7	197.18	197.18
Μαι- 00	244.8	244.80	218.15	218.15	243.6	242.80	218.34	218.34	204.62	204.62	242.4	242.4		198.8
Οκτ-00	229.95	229.95	206.35	206.35		225.60	209.24	209.24	193.52	193.52	229.52	229.52	167.9	178.4
Μαι- 01	246.3	246.30	223.15	223.15		240.20	216.34	216.34		204.95	241.6	241.6		187.3
Οκτ-01	237.4	237.40	206.87	206.87		227.20	210.14	210.14		196.04	230.68	230.68	177.6	177.6
Μαι- 02	246	246.00	224.25	224.25		240.20	216.69	216.69		205.31	242	242	187	187
Οκτ-02	239.55	239.30	213.55	213.55		229.44	209.74	209.74		197.54	232.1	232.1	183.3	183.3
Μαι- 03		250.30	231.95	231.95		239.40	223.64	223.64		210.8		247.8		197.8
Οκτ-03		241.60	224.15	224.15		230.15	214.69	214.69		205.96		232.2		192.9
Μαι- 04				231.5		245.87	219.44	219.44		209.46		240.9		198.2
Οκτ-04				229.2		237.47	214.84	214.84		206.51		235.6		192.9

HHC : συμπληρωμένες τιμές, HH ιστορική χρονοσειρά

Πίνακ. 5-30 Λεκάνη Χάρακα, υποδιαίρεση σε ζώνες – υπολογισμός Υδροχωρητικότητά της

α/α	Περιοχή	Κωδικός	Έκταση		Υδαταγωγιμότητα T	Υδροχωρητικότητα S		πάχος υδροφορέα	κορεσμένο πάχος	Όγκος υδροφορέα	Όγκος νερού	Όγκος εκμεταλλεύσιμου νερού		μέση ετήσια μεταβολή στάθμης			μέσος ετήσιος αντλούμενος όγκος νερού
														Παρατηρημένη	φυσική διακύμανση	λόγω αντλήσεων	
			m^2	Km^2	(m^2/day)	εύρος	Μέση-τιμή	m	m	Mm^3	Mm^3	Mm^3	Mm^3/m	m			Mm^3
			α				β	γ	δ	ε=α*δ	ζ=β*ε	η=ζ	θ=η/δ	ι	κ	λ=ι-κ	μ=λ*θ
1	ΥΠΩΡΕΙΕΣ ΑΣΤΕΡΟΥΣΙΩΝ (1)	ΧΑ1	6020271	6.0	>860	>10 %	10.0%	40	30	181	18.1	18.1	0.6	4	3-5	0	0.0
						5-10%	7.5%	20	20	120	9	9					
2	ΑΝΑΠΟΔΑΡΗΣ	ΧΑ3	5074945	5.1	>860	8-10 %	10.0%	20	10	51	5.1	5.1	0.5	7	1.5-2	5	2.6
						5-6%	5.5%	20	20	101	5.6	5.6					
						3-5%	4.0%	60	60	304	12.2						
3	ΝΔ ΤΜΗΜΑ	ΧΑ4	6067222	6.1	9 - 80	8-10 %	8.0%	30	13	79	6.3	6.3	0.5	5.5	3-4	2	1.0
						3-10 %	6.0%	80	80	485	29.1						
4	ΥΠΩΡΕΙΕΣ ΑΣΤΕΡΟΥΣΙΩΝ (2)	ΧΑ2	7885859	7.9	>860	8-10%	8.0%	40	33	260	20.8	20.8	0.6	5.5	2-3	3	1.9
						3-10%	7.0%	80	80	631	44.2	44.2					
5	ΛΕΙΒΑΔΙΤΗΣ - ΠΡΟΤΟΡΙΑ	ΧΑ6	8402864	8.4	85 - 850	6-8 %	7.0%	20	15	126	8.8	8.8	0.6	5	2-3	2.5	1.5
						3-5%	4.0%	20	20	168	6.7						
						3-8%	5.5%	80	80	672	37						
6	ΛΙΓΟΡΤΥΝΟΣ	ΧΑ7	6711797	6.7	85 - 850	6-8 %	7.0%	20	14	94	6.6	6.6	0.5	3.5	2-4	0.5	0.2
						5%	5.0%	40	40	268	13.4						
7	ΔΥΤΙΚΕΣ ΥΠΩΡΕΙΕΣ ΑΣΤΕΡΟΥΣΙΩΝ	ΧΑ5	2187754	2.2	1 - 8	6-8 %	6.0%	40	30	66	4	4	0.1	0			
						5-7%	5.0%	20	20	44	2.2	2.2					
8	ΔΥΤΙΚΟ ΤΜΗΜΑ	ΧΑ8	4277216	4.3	9 - 80	5-6 %	5.0%	20	8	34	1.7	1.7	0.2	3	2-3	0.5	0.1
						3-5%	4.0%	80	80	342	13.7						
9	ΒΑ ΤΜΗΜΑ	ΧΑ12	2964246	3.0	1 - 8	6%	6.0%	15	5	15	0.9						
						<5 %	3.0%	45	45	133	4						
10	ΝΑ ΤΜΗΜΑ	ΧΑ9	5009676	5.0	1 - 8	6%	6.0%	15	7	35	2.1	2.1					
						<5 %	3.0%	45	45	225	6.8						
11	ΑΣΗΜΙ- ΒΔ ΤΜΗΜΑ	ΧΑ11	3181448	3.2	1 - 8	<5 %	3.0%	80	70	223	6.7						
12	ΑΝΑΤΟΛΙΚΟ ΤΜΗΜΑ ΑΝΑΠΟΔΑΡΗ	ΧΑ10	5123571	5.1	1 - 8	6%	6.0%	15	10	51	3.1	3.1					
						<5 %	3.0%	45	45	231	6.9						
ΣΥΝΟΛΑ			**62906870**	**62.9**						**4939**	**275**	**137.6**	**3.6**				**7.2**

Πίνακ. 5-31 Γραμμική παλινδρόμηση μεταξύ της πτώσης στάθμης των πιεζομέτρων παρακολούθησης λεκάνης Βαγιονιάς- Ασημίου

ΛΕΚΑΝΗ ΧΑΡΑΚΑ ΚΑΙ ΓΕΙΤΟΝΙΚΑ ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΑ ΛΕΚΑΝΗΣ ΒΑΓΙΟΝΙΑΣ-ΑΣΗΜΙΟΥ

Regression analysis

Series code		Starting date				
GB11	HHC	1981	0	0	0	2
GB12	HHC	1981	0	0	0	2
GH14	HHC	1981	0	0	0	2
GH17	HHC	1981	0	0	0	2
GH3	HHC	1981	0	0	0	2
GH4	HHC	1981	0	0	0	2
GH5	HHC	1981	0	0	0	2
GH6	HHC	1981	0	0	0	2
GH7	HHC	1981	0	0	0	2
GH9	HHC	1981	0	0	0	2

No.	Name	Variable	Mean	Stand.Deviation
1	GH6	HHC	.21431E+03	.49999E+01
2	GB11	HHC	.27207E+03	.75741E+01
3	GB12	HHC	.23445E+03	.69027E+01
4	GH14	HHC	.20456E+03	.49294E+01
5	GH17	HHC	.22606E+03	.11909E+02
6	GH3	HHC	.24542E+03	.78616E+01
7	GH4	HHC	.22471E+03	.94327E+01
8	GH5	HHC	.24094E+03	.77426E+01
9	GH7	HHC	.20341E+03	.45960E+01
10	GH9	HHC	.19686E+03	.92718E+01

Correlation matrix

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1.0000	.7416	.5865	.8460	.7750	.2885	.2701	.4696	.8279	.4671
2	.7416	1.0000	.7823	.8334	.5037	.3228	.5613	.6174	.8406	.6585
3	.5865	.7823	1.0000	.7287	.2387	.5567	.8639	.8421	.8491	.8930
4	.8460	.8334	.7287	1.0000	.5974	.4283	.5198	.6477	.9445	.4973
5	.7750	.5037	.2387	.5974	1.0000	-.1434	.0762	-.0276	.6162	.0451
6	.2885	.3228	.5567	.4283	-.1434	1.0000	.5034	.8151	.4229	.6204
7	.2701	.5613	.8639	.5198	.0762	.5034	1.0000	.6683	.6795	.7247
8	.4696	.6174	.8421	.6477	-.0276	.8151	.6683	1.0000	.6754	.8448
9	.8279	.8406	.8491	.9445	.6162	.4229	.6795	.6754	1.0000	.6203
10	.4671	.6585	.8930	.4973	.0451	.6204	.7247	.8448	.6203	1.0000

ΝΟΤΙΟ- ΔΥΤΙΚΟ ΤΜΗΜΑ ΛΕΚΑΝΗΣ ΧΑΡΑΚΑ (ΧΑ4-ΧΑ5)

Regression analysis

Series code		Starting date				
GH1	HH	1981	0	0	0	1
GH3	HH	1981	0	0	0	1
GH5	HH	1981	0	0	0	1
GH4	HH	1981	0	0	0	1

No.	Name	Variable	Mean	Stand.Deviation
1	GH1	HH	.23300E+03	.39709E+01
2	GH3	HH	.24820E+03	.57652E+01
3	GH5	HH	.24465E+03	.50459E+01
4	GH4	HH	.21988E+03	.75440E+01

Correlation matrix

	1	2	3	4
1	1.0000	.9232	.9153	.9682
2	.9232	1.0000	.9643	.9544
3	.9153	.9643	1.0000	.9163
4	.9682	.9544	.9163	1.0000

ΒΟΡΕΙΟ ΤΜΗΜΑ ΛΕΚΑΝΗΣ ΧΑΡΑΚΑ (ΧΑ3 ΚΑΙ ΧΑ7)

Regression analysis

Series code		Starting date
GH8	HH	1981 0 0 0 1
GH6	HH	1981 0 0 0 1
GH19	HH	1981 0 0 0 1
GH13	HH	1981 0 0 0 1
GH14	HH	1981 0 0 0 1

No.	Name	Variable	Mean	Stand.Deviation
1	GH6	HH	.21525E+03	.52259E+01
2	GH8	HH	.24607E+03	.55544E+01
3	GH19	HH	.22330E+03	.89649E+01
4	GH13	HH	.20532E+03	.45310E+01
5	GH14	HH	.20633E+03	.42652E+01

Correlation matrix

	1	2	3	4	5
1	1.0000	.0300	.9814	.8718	.7708
2	.0300	1.0000	-.0405	.4341	.6203
3	.9814	-.0405	1.0000	.8588	.7293
4	.8718	.4341	.8588	1.0000	.9427
5	.7708	.6203	.7293	.9427	1.0000

ΚΕΝΤΡΙΚΟ-ΒΟΡΕΙΟ ΤΜΗΜΑ ΛΕΚΑΝΗΣ ΧΑΡΑΚΑ (ΧΑ3 ΚΑΙ ΧΑ6)

Regression analysis

Series code		Starting date
GH11	HH	1981 0 0 0 1
GH12	HH	1981 0 0 0 1
GH14	HH	1981 0 0 0 1
GH13	HH	1981 0 0 0 1
GH7	HH	1981 0 0 0 1
GH6	HH	1981 0 0 0 1
GH19	HH	1981 0 0 0 1
GH9	HH	1981 0 0 0 1

No.	Name	Variable	Mean	Stand.Deviation
1	GH6	HH	.21497E+03	.53853E+01
2	GH11	HH	.21179E+03	.53803E+01
3	GH12	HH	.20249E+03	.50378E+01
4	GH14	HH	.20626E+03	.44658E+01
5	GH13	HH	.20533E+03	.47518E+01
6	GH7	HH	.20373E+03	.47295E+01
7	GH19	HH	.22289E+03	.92842E+01
8	GH9	HH	.19658E+03	.51088E+01

Correlation matrix

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1.0000	.9237	.8637	.7747	.8894	.8162	.9813	.9550
2	.9237	1.0000	.9767	.9403	.9842	.9493	.8806	.8768
3	.8637	.9767	1.0000	.9777	.9829	.9801	.8360	.8096
4	.7747	.9403	.9777	1.0000	.9450	.9824	.7304	.6963
5	.8894	.9842	.9829	.9450	1.0000	.9585	.8715	.8237
6	.8162	.9493	.9801	.9824	.9585	1.0000	.7801	.7432
7	.9813	.8806	.8360	.7304	.8715	.7801	1.0000	.9221
8	.9550	.8768	.8096	.6963	.8237	.7432	.9221	1.0000

ΚΕΝΤΡΙΚΟ - ΝΟΤΙΟ ΤΜΗΜΑ ΛΕΚΑΝΗΣ ΧΑΡΑΚΑ (ΧΑ1, ΧΑ2, ΧΑ5 ΚΑΙ ΧΑ6)

Regression analysis

Series code		Starting date
GH1	HH	1981 0 0 0 1
GH4	HH	1981 0 0 0 1
GH10	HH	1981 0 0 0 1
GH11	HH	1981 0 0 0 1
GH12	HH	1981 0 0 0 1
GH14	HH	1981 0 0 0 1
GH13	HH	1981 0 0 0 1
GH7	HH	1981 0 0 0 1

No.	Name	Variable	Mean	Stand.Deviation
1	GH1	HH	.23300E+03	.39709E+01
2	GH4	HH	.21988E+03	.75440E+01
3	GH10	HH	.22926E+03	.52691E+01
4	GH11	HH	.21240E+03	.47972E+01
5	GH12	HH	.20278E+03	.45625E+01
6	GH14	HH	.20640E+03	.41764E+01
7	GH13	HH	.20590E+03	.42849E+01
8	GH7	HH	.20413E+03	.46074E+01

Correlation matrix

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1.0000	.9682	.9282	.8542	.9155	.9140	.9098	.9186
2	.9682	1.0000	.9233	.9062	.9463	.9346	.9297	.9476
3	.9282	.9233	1.0000	.9175	.9170	.9652	.9456	.9509
4	.8542	.9062	.9175	1.0000	.9734	.9583	.9788	.9514
5	.9155	.9463	.9170	.9734	1.0000	.9753	.9847	.9785
6	.9140	.9346	.9652	.9583	.9753	1.0000	.9706	.9966
7	.9098	.9297	.9456	.9788	.9847	.9706	1.0000	.9627
8	.9186	.9476	.9509	.9514	.9785	.9966	.9627	1.0000

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΟΜΟΙΩΜΑ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ ΛΕΚΑΝΗΣ ΜΕΣΑΡΑΣ....3

6.1 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΟΜΟΙΩΜΑΤΟΣ ΥΠΟΓΕΙΑΣ ΡΟΗΣ....3
6.2 ΕΝΝΟΙΟΛΟΓΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ....4
6.2.1. Περιοχή κάλυψης....4
6.2.2. Γεωλογία περιοχής....4
6.2.3. Υδρογεωλογία περιοχής....5
6.2.4. Όρια λεκάνης – περιοχή ομοιώματος....5
6.2.5. Τροφοδοσία – εκφόρτιση του υδρογεωλογικού συστήματος....6
6.2.6. Υπόγεια ροή του υδρολογικού συστήματος....6
6.3 ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ - ΚΑΝΝΑΒΟΣ ΟΜΟΙΩΜΑΤΟΣ....6
6.4 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΜΟΝΤΕΛΟΥ....7
6.4.1. Γεωμετρία του υδρογεωλογικού συστήματος....7
6.4.2. Οριακές συνθήκες ομοιώματος....8
6.4.3. Εξωτερικές οριακές συνθήκες....8
6.4.3.1 Περιμετρικά όρια....8
6.4.3.2 Άνω και κάτω όριο ομοιώματος....9
6.4.4. Εσωτερικές οριακές συνθήκες....10
6.4.4.1 Τροφοδοσία από ποτάμια....10
6.4.4.2 Τροφοδοσία από ποτάμια- Stream package....10
6.4.4.3 Τροφοδοσία από ποτάμια- Recharge package....14
6.4.4.4 Τροφοδοσία από βροχόπτωση....19
6.4.4.5 Επιστροφές από άρδευση....22
6.4.4.6 Επιστροφές από οικισμούς....22
6.4.5. Υδραυλικές παράμετροι....23
6.4.6. Εφαρμοσμένα υδραυλικά φορτία- Υδροληπτικά έργα– Αντλήσεις....27
6.4.7. Υδατικό ισοζύγιο λεκάνης Μεσαράς....34
6.4.8. Αρχικές συνθήκες- starting head....34
6.5 ΚΩΔΙΚΑΣ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΥΠΟΓΕΙΑΣ ΡΟΗΣ....38
6.6 ΕΠΙΛΟΓΗ ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ (PRE & POST PROCESSING)....39
Πρόγραμμα διαχείρισης δεδομένων εισόδου-αποτελεσμάτων- GMS....39
6.7 ΣΤΟΧΟΣ ΚΑΙ ΣΚΟΠΟΣ ΧΡΗΣΗΣ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ ΟΜΟΙΩΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΠΑΡΟΥΣΑ ΕΚΘΕΣΗ....40
6.8 ΟΜΟΙΩΜΑ ΜΕΣΑΡΑΣ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΣΤΑΘΕΡΗΣ ΡΟΗΣ (SIMULATION OF STEADY- STATE CONDITIONS)....41
6.9 ΟΜΟΙΩΜΑ ΜΕΣΑΡΑΣ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΜΕΤΑΒΑΤΙΚΗΣ ΡΟΗΣ (SIMULATION OF TRANSIENT- STATE CONDITIONS)....51
6.9.1. Δεδομένα – χρονοσειρές προσομοίωσης συνθηκών μεταβατικής ροής.....51
6.9.2. Αρχικές συνθήκες Ομοιώματος modflow μεταβατικής ροής....53
6.9.3. Ρύθμιση ομοιώματος υπόγειας μεταβατικής ροής....55
6.9.4. Υδατικό Ισοζύγιο λεκάνης Μεσαράς – προσομοίωση μεταβατικής ροής....75
6.9.4.1 Υδατικό Ισοζύγιο λεκάνης Μεσαράς περιόδου έντονης εκμετάλλευσης και Ξηρών ετών..75
6.9.4.2 Υδατικό Ισοζύγιο λεκάνης Μεσαράς περιόδου έντονης εκμετάλλευσης και Υγρών ετών. .76
6.9.4.3 Ισοζύγιο περιόδου αρχικής (μικρής) εκμετάλλευσης....76
6.9.4.4 Ισοζύγιο περιόδου έντονης εκμετάλλευσης....77
6.9.4.5 Ισοζύγιο περιόδου έντονης εκμετάλλευσης χωρίς το έτος 2002-2003....78
6.9.4.6 Ισοζύγιο περιόδου έντονης εκμετάλλευσης έτη 1983- 2002....79
6.10 ΣΥΖΗΤΗΣΗ –ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΟΜΟΙΩΜΑΤΟΣ ΥΠΟΓΕΙΑΣ ΡΟΗΣ....86

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 7-6.4.6-1 σχέση συνολικής ωριαίας άντληση- συνολική κατανάλωση ενέργειας ανά τοπικό διαμέρισμα. 30
Εικόνα 7-6.4.6-2 Μηνιαία κατανομή των ετήσιων αντλήσεων στη λεκάνη Μεσαράς 30
Εικόνα 6.9.2-1 Λογισμικό σύστημα GMS 54
Εικόνα 6.9.3-1 Μετρημένες στάθμες και προσομοιωμένες για κάθε λεκάνη Μεσαράς για εξαμηνιαίες τιμές 25ετίας για μεταβατική ροή. 58
Εικόνα 6.9.3-2 Κατανομή μηνιαίων εισροών στη λεκάνη της Μεσαράς από βροχόπτωση και απορροή όμορων λεκανών και επιστροφές αντλήσεων και οικιακής χρήσης....70
Εικόνα 6.9.3-3 Μέση μηνιαία κατανομή αντλήσεων στη λεκάνη της Μεσαράς- well package 74
ΒΛΕΠΕ ΕΠΙΣΗΣ ΕΙΚΟΝΕΣ ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 6

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακ. 6- 1 Υπολογισμός διήθησης στους κύριους κλάδους των υδρορευμάτων της Μεσαράς....17
Πίνακ. 6- 2 Υπολογισμός του ποσοστού διήθησης των απορροών των υπολεκανών που απορρέουν στο υδρογεωλογικό σύστημα της Μεσαράς....18
Πίνακ. 6- 3 υπολογισθείσα κατείσδυση με το SACRAMENTO....19
Πίνακ. 6- 4 Συντελεστές μεταβιβαστικότητας Τ και υδαταγωγιμότητας Κ ζωνών αλλουβιακών αποθέσεων της λεκάνης Μοιρών....25
Πίνακ. 6- 5 Συντελεστές μεταβιβαστικότητας Τ και υδαταγωγιμότητας Κ ζωνών αλλουβιακών αποθέσεων της λεκάνης Χάρακα....26
Πίνακ. 6--6 Στοιχεία γεωτρήσεων λεκάνης Μεσαράς 31
Πίνακ. 6- 7 Υπολογισμών ετήσιων σεναρίων άντλησης λεκάνης Μεσαράς....33
Πίνακ. 6- 8 Ισοζύγιο υδροφορέα λεκάνης Μεσαράς περιόδου μικρής εκμετάλλευσης 35
Πίνακ. 6- 9 Ισοζύγιο υδροφορέα λεκάνης Μεσαράς περιόδου υπό πίεση (έντονη εκμετάλλευση) 35
Πίνακ. 6- 10 Απευθείας κατείσδυση από βροχόπτωση- περίοδος μικρής εκμετάλλευσης 36
Πίνακ. 6- 11 Απευθείας κατείσδυση από βροχόπτωση - περίοδος έντονης εκμετάλλευσης 36
Πίνακ. 6- 12 Τροφοδοσία από ποτάμια -περίοδος μικρής εκμετάλλευσης 37
Πίνακ. 6- 13 Τροφοδοσία από ποτάμια - περίοδος έντονης εκμετάλλευσης 37
Πίνακ. 6- 14 Βαθμονόμηση ομοιώματος σταθερής ροής....48
Πίνακ. 6- 15 Ισοζύγιο λεκάνης Μεσαράς- αρχικές συνθήκες – ομοίωμα σταθερής ροής....49
Πίνακ. 6- 16 Ισοζύγιο λεκάνης Μεσαράς- συνθήκες υπό πίεση – ομοίωμα σταθερής ροής....50
Πίνακ. 6- 17 συντελεστές συσχέτισης γραμμικής παλινδρόμησης μεταβατικής ροής πιεζομέτρων παρακολούθησης....58
Πίνακ. 6- 18 Ετήσιες εισροές – εκροές Γεροποτάμου και Αναποδάρη stream package....65
Πίνακ. 6- 19 Ετήσιο Ισοζύγιο εισροών – εκροών Γεροποτάμου και Αναποδάρη stream package 66
Πίνακ. 6- 20 Ετήσιες εισροές & απορροές των υδρορευμάτων Γεροποτάμου και Αναποδάρη – ετήσια ποσοστιαία κατείσδυση stream package....67
Πίνακ. 6- 21 Ετήσιες εισροές και μέση μηνιαία κατανομή τους στη λεκάνη Μεσαράς – recharge package.68
Πίνακ. 6- 22 κατανομή εισροών ανά λεκάνη στη Μεσαρά – recharge package 69
Πίνακ. 6- 23 Μέση μηνιαία κατανομή εισροών στη λεκάνη της Μεσαράς –recharge Package....70
Πίνακ. 6- 24 Ετήσιες εκροές στη λεκάνη Μεσαράς –Drain package....71
Πίνακ. 6- 25 Μηνιαίες κατανομές & μηνιαία στατιστικά Εκροών Drain λεκάνης Μεσαράς....72
Πίνακ. 6- 26 Ετήσιες αντλήσεις ανά λεκάνη στη Μεσαρά, well package 73
Πίνακ. 6- 27 Μέση μηνιαία κατανομή αντλήσεων λεκανών Μεσαράς, well package 74
Πίνακ. 6- 28 Ισοζύγιο υδροφορέα Μεσαράς περιόδου έντονης εκμετάλλευσης 80
Πίνακ. 6- 29 Ισοζύγιο υδροφορέα Μεσαράς περιόδου έντονης εκμετάλλευσης 81
Πίνακ. 6- 30 Ισοζύγιο υδροφορέα Μεσαράς περιόδου μικρής εκμετάλλευσης 82
Πίνακ. 6- 31 Ισοζύγιο υδροφορέα Μεσαράς περιόδου έντονης εκμετάλλευσης 83
Πίνακ. 6- 31 Ισοζύγιο υδροφορέα Μεσαράς περιόδου έντονης εκμετάλλευσης χωρίς το έτος 2002-2003...84
Πίνακ. 6- 33 Ισοζύγιο υδροφορέα Μεσαράς περιόδου έντονης εκμετάλλευσης (1983-2002)....85

Κεφάλαιο 6. Ομοίωμα υπόγειων νερών λεκάνης Μεσαράς

6.1 Μεθοδολογία σχεδιασμού ομοιώματος υπόγειας ροής

Ένα ομοίωμα υπόγειων νερών προσπαθεί να αναπαραστήσει ένα φυσικό υδροδυναμικό σύστημα υπόγειων νερών με ένα μαθηματικά ισοδύναμο. Η προσεκτική εννοιολογική προσέγγιση του υδρογεωλογικού συστήματος και η επιλογή της κατάλληλης μαθηματικής αναπαράστασης (ή του ομοιώματος) των φυσικών χαρακτηριστικών του είναι το κλειδί για την ανάπτυξη ορθών προσομοιώσεων και συνεπακόλουθα την εξαγωγή αξιόπιστων αποτελεσμάτων.

Ο σχεδιασμός ενός ομοιώματος υπόγειων νερών περιλαμβάνει τα παρακάτω τυπικά στάδια:

- Ανάπτυξη ενός εννοιολογικού ομοιώματος της υπό προσομοίωσης περιοχής το οποίο είναι και τα κυριότερο τμήμα της και η βάση για όλες τις περεταίρω ενέργειες.
- Επιλογή του κατάλληλου κώδικα προσομοίωσης ο οποίος δύναται να προσομοιώσει το εννοιολογικό ομοίωμα και να ικανοποιεί τους στόχους της μελέτης.
- Προσδιορισμό της γεωμετρίας του μοντέλου (η οριζόντια και η κατακόρυφη έκταση της υπό προσομοίωσης περιοχής, ο κάνναβος, η θέση και ο αριθμός των υδροφορέων)
- Προσδιορισμό των διαστάσεων και των ορίων των κυψελίδων (ενεργές, ανενεργές, σταθερού / μεταβλητού φορτίου)
- Εισαγωγή των υδρογεωλογικών παραμέτρων σε κάθε κυψελίδα όπως διαπερατότητα, αποθηκευτικότητα, πορώδες.
- Προσδιορισμό των οριακών συνθηκών όπως όρια με γνωστές υδροστατικές στάθμες ή γνωστές ροές ή ροές εξαρτώμενες από τη στάθμη.
- Προσδιορισμό των αρχικών συνθηκών του συστήματος
- Προσδιορισμό των πιέσεων που ασκούνται στο σύστημα, όπως επιφανειακή βροχόπτωση, εξατμισοδιαπνοή, αντλήσεις, απορροή φυσικών πηγών, πλευρικές διαφυγές και είσοδοι νερού.
- Τρέξιμο του μοντέλου που περιλαμβάνει την επιλογή της μαθηματικής μεθόδου επίλυσης των εξισώσεων, το κριτήριο επανάληψης (iteration) για τη σύγκλιση της επίλυσης και τα κριτήρια του αποδεκτού λάθους για το τερματισμό της διαδικασίας.
- Βαθμονόμηση και ανάλυση της ευαισθησίας.
- Επαλήθευση της αξιοπιστίας του ομοιώματος.
- Πρόβλεψη η οποία είναι στις περισσότερες περιπτώσεις το αντικείμενο του σχεδιασμού του μοντέλου
- Παρουσίαση των αποτελεσμάτων τα οποία περιλαμβάνουν τα αποτελέσματα πρόβλεψης καθώς και τα δεδομένα και τα στάδια του ομοιώματος.

Το κυριότερο στάδιο στη σχηματοποίηση, όπως προαναφέρθηκε, είναι η ανάπτυξη του εννοιολογικού ομοιώματος, όμως μια ειδική αλλά πολύ σημαντική συνιστώσα στη μοντελοποίηση είναι η εννοιολογική προσέγγιση και η επιλογή των οριακών συνθηκών. Η μαθηματική αναπαράσταση των οριακών συνθηκών

στο ομοίωμα είναι σημαντική επειδή πολλές υδρολογικές οριακές συνθήκες μπορούν μαθηματικά να αναπαρασταθούν με περισσότερο από ένα τρόπο. Ο καθορισμός της καταλληλότερης μαθηματικά οριακής συνθήκης που θα αναπαραστήσει μια φυσική οριακή συνθήκη συνήθως εξαρτάται από το αντικείμενο της μελέτης.

Ο σχεδιασμός του υδρογεωλογικού συστήματος βασίστηκε στη γεωλογική και στην υδρογεωλογική ανάλυση της λεκάνης της Μεσαράς όπως αναλυτικά παρουσιάστηκε στα προηγούμενα κεφάλαια καθώς και στην ανάλυση και στα αποτελέσματα του υδρολογικού ισοζυγίου των επί μέρους υδρολογικών λεκανών της περιοχής μελέτης. Επιπρόσθετα στα πλαίσια εκπόνησης της εργασίας πραγματοποιήθηκε συλλογή συμπληρωματικών στοιχείων στην περιοχή μελέτης τα οποία αναφέρονται στις επιμέρους παραγράφους που ακολουθούν.

6.2 Εννοιολογικό μοντέλο

Στη συνέχεια παρατίθενται συνοπτικά τα κύρια χαρακτηριστικά της σύνθεσης του εννοιολογικού μοντέλου όπως αυτό χρησιμοποιήθηκε για τη σύνταξη του ομοιώματος υπόγειας ροής.

6.2.1. Περιοχή κάλυψης

Η υδρογεωλογική λεκάνη της Μεσαράς καταλαμβάνει την πεδινή έκταση της ομώνυμης λεκάνης, η οποία εκτείνεται, όπως προαναφέρθηκε, ανατολικά από το στένεμα της Φαιστού μέχρι δυτικά το «στένεμα» του Χάρακα, νότια από τις υπώρειες των Αστερουσίων και βόρεια από το όριο των τεταρτογενών και πλειοπλειστοκαινικών αποθέσεων με τους νεογενείς σχηματισμούς. Η συνολική έκτασή της ανέρχεται σε 219,3 km^2. (βλέπε Εικόνα Π 5- 1 και Εικόνα Π 5- 3 στο παράρτημα Κεφ. 5)

Η υδρογεωλογική λεκάνη της Μεσαράς εκτείνεται σε δυο υδρολογικές λεκάνες, του Γεροποτάμου (Φαιστού) με επιφανειακή απορροή προς στα δυτικά και το δυτικό τμήμα της λεκάνης του Αναποδάρη με απορροή προς τα ανατολικά. Η συνολική έκταση των υδρολογικών λεκανών που απορρέουν στην υδρογεωλογική λεκάνη της Μεσαράς ανέρχεται σε 400,4 km^2 και 210.6 km^2 αντίστοιχα και συμπεριλαμβάνουν δυο σημαντικές υπολεκάνες του Ληθαίου, έκτασης 43,6 km^2, και της Πλακιώτισας έκτασης 78,6 km^2. (βλέπε χάρτη της Εικόνα 3.1-1 στο Κεφ. 3)

6.2.2. Γεωλογία περιοχής

Λεπτομερής γεωλογική ανάλυση της περιοχής μελέτης παρουσιάζεται στο Κεφάλαιο 4. Συνοπτικά η λεκάνη της Μεσαράς μπορεί να διαχωριστεί σε τρία τμήματα, το βόρειο, το νότιο και το κεντρικό τμήμα των υδρολογικών λεκανών του Γεροποτάμου και του Αναποδάρη- Χάρακα.

Το *βόρειο τμήμα της λεκάνης* καλύπτεται από νεογενείς αποθέσεις (μάργες, μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι με ενστρώσεις κροκαλοπαγών και ψαμμιτών και γύψοι) και στα βορειοδυτικά εμφανίζονται και οι προαλπικοί σχηματισμοί του υποβάθρου (φλύσχης και ανθρακικά ενότητας Τρίπολης).

Το *νότιο τμήμα της λεκάνης* καλύπτεται κυρίως από φλύσχη και ανθρακικά της ενότητας της Τρίπολης και της ενότητας της Πίνδου. Συναντώνται επίσης και

πετρώματα των εσωτερικών οφιολιθικών καλυμμάτων (γνεύσιοι, οφιόλιθοι, σχιστόλιθοι).
Το κεντρικό τμήμα της λεκάνης της Μεσαράς καλύπτεται από :
Πλειο-πλειστοκαινικά ιζήματα αποτελούμενα από κροκαλοπαγή, άμμους, αργίλους, ποταμολιμναίας προέλευσης, με παρεμβολές λιμναίων μαργαϊκών ασβεστολίθων και
Ολοκαινικά τεταρτογενή ιζήματα, αλλουβιακές αποθέσεις και αναβαθμίδες, αποτελούμενα από κροκαλοπαγή, άμμους και αργίλους ποταμολιμναίας γενικά προέλευσης.
Στο κεφάλαιο 4 παρουσιάζεται ο γεωλογικός χάρτης της υπό προσομοίωσης περιοχής.

6.2.3. Υδρογεωλογία περιοχής

Λεπτομερής υδρογεωλογική ανάλυση της περιοχής μελέτης παρουσιάζεται στο Κεφάλαιο 5. Συνοπτικά, υδρογεωλογικό ενδιαφέρον εμφανίζουν τα ολοκαινικά τεταρτογενή ιζήματα που καταλαμβάνουν το πεδινό κεντρικό τμήμα της λεκάνης και τα πλειο-πλειστοκαινικά ιζήματα που απαντώνται επιφανειακά στην περιοχή της Γαλιάς και των Γκαγκαλών- Ασημίου. Επίσης, ενδιαφέρον εμφανίζουν και τα πλειο-πλειστοκαινικά ιζήματα που υπόκεινται των ολοκαινικών ιζημάτων σχεδόν σε όλη τη περιοχή μελέτης.
Κυρίως η ρηξιγενής τεκτονική και δευτερευόντως η μετέπειτα διαβρωτική – αποθετική ενέργεια των υδρορευμάτων έχει επιδράσει στα ιζήματα αυτά και στο σημερινό σχηματισμό των διαφορετικού πάχους ολοκαινικών και πλειο-πλειστοκαινικών αποθέσεων. Με βάση την τεκτονική και το πάχος των αποθέσεων, η λεκάνη της Μεσαράς διακρίθηκε κατά αρχή σε τρεις επί μέρους λεκάνες των Μοιρών, της Βαγιονιάς- Ασημίου και του Χάρακα, τηρώντας την αρχική διάκριση που πρότεινε ο FAO. Όμως στην παρούσα εργασία, η λεκάνη διακρίθηκε σε ακόμα μικρότερα τμήματα, τα οποία υδραυλικά επικοινωνούν μεταξύ τους, κατόπιν της αξιολόγησης των νέων δεδομένων όπως παρουσιάζονται στο κεφάλαιο της υδρογεωλογίας.
Στο παράρτημα του κεφαλαίου 5 παρουσιάζεται ο υδρολιθικός χάρτης της υπό προσομοίωσης περιοχής.

6.2.4. Όρια λεκάνης – περιοχή ομοιώματος

Το υπό προσομοίωση υδρογεωλογικό σύστημα οριοθετείται από τα γεωλογικά όρια των ολοκαινικών τεταρτογενών και των πλειοπλειστοκαινικών ιζημάτων που καταλαμβάνουν το πεδινό κεντρικό τμήμα της λεκάνης. Το όριο αυτό είναι επίσης και το υδρογεωλογικό όριο καθώς διαχωρίζει τους υδροφόρους σχηματισμούς με τους “πρακτικά” ανυδροφόρους, όπως με λεπτομέρεια παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο της υδρογεωλογίας. Η μόνη υδραυλική επικοινωνία του υδρογεωλογικού συστήματος με γειτονικές λεκάνες γίνεται σε δύο πολύ μικρές περιοχές, η πρώτη ευρίσκεται στα δυτικά στο «στένεμα» της Φαιστού και η δεύτερη στα ανατολικά το «στένεμα» του Χάρακα.
Το υπόβαθρο του ομοιώματος οριοθετείται από την πρακτικά «αδιαπέρατη» νεογενή ακολουθία η οποία ευρίσκεται σχεδόν στο σύνολο της λεκάνης με εξαίρεση το νοτιοανατολικό τμήμα της που το υπόβαθρο είναι οι πρακτικά «αδιαπέρατοι» αλπικοί σχηματισμοί (φλύσχης). Στο κεφάλαιο της υδρογεωλογίας δίνονται οι γεωλογικές τομές.

6.2.5. Τροφοδοσία – εκφόρτιση του υδρογεωλογικού συστήματος

Η τροφοδοσία του υδρογεωλογικού συστήματος της Μεσαράς επιτελείται με τους ακόλουθους τρόπους: α) με απευθείας κατείσδυση από τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα, β) με διηθήσεις των επιφανειακών απορροών από τους περιφερειακούς χειμάρρους που καταλήγουν στη λεκάνη, γ) με επιστροφές άντλησης και δ) με (πιθανές) διαρροές από τις αποχετεύσεις ή τους σηπτικούς/ απορροφητικούς βόθρους των οικισμών.

Το σύστημα εκφορτίζεται κυρίως μέσω των απολήψεων που πραγματοποιούνται από τις γεωτρήσεις που έχουν ανορυχθεί εντός της λεκάνης. Πριν την ανόρυξη των γεωτρήσεων το υδρογεωλογικό σύστημα εκφορτιζόταν κυρίως μέσω τριών συστημάτων πηγών που ευρίσκοντο: α) στην κοίτη του κατάντη ρου του Γεροποτάμου πριν την έξοδό του από το στένεμα της Φαιστού, β) στο τμήμα της κοίτης του Γεροποτάμου πριν τη γέφυρα της Βαγιονιάς και γ) στην κοίτη του Αναποδάρη και του Λειβαδίτη στην περιοχή κατάντη των Πραιτωρίων. Μέρος των πηγαίων εκφορτίσεων του Γεροποτάμου και του Αναποδάρη-Λειβαδίτη στη συνέχεια ανατροφοδοτούσαν την υπόγεια υδροφορία μέσω διηθήσεων κατά τη μετέπειτα διαδρομή τους. Μετά το έτος 1984 όταν άρχισε η εντατική αξιοποίηση του υδροφόρου συστήματος οι πηγές αυτές βαθμιαία στέρευαν, λόγω της ταπείνωσης της υδροστατικής στάθμης του υδροφορέα σε επίπεδα κάτω από την κοίτη των υδρορευμάτων. Μετά το έτος 1990 οι πηγές αυτές στέρεψαν οριστικά. Ενίοτε τοπικά, ακόμα και σήμερα λόγω της στρωματογραφίας, μετά από έντονες βροχοπτώσεις εμφανίζονται εκροές από τον υδροφορέα στα υδρορεύματα μέρος των οποίων στη συνέχεια διηθείται σε κατάντη τμήματά του και τον ανατροφοδοτεί.
Υπόγεια το υδρογεωλογικό σύστημα της λεκάνης της Μεσαράς εκφορτίζεται σε δύο συγκριτικά με το όριά της πολύ μικρές περιοχές: α) από το «στένεμα» της Φαιστού προς την λεκάνη του Τυμπακίου και β) από το «στένεμα» του Χάρακα προς τον περιορισμένης έκτασης υδροφορέα ποταμοχειμάρρειων αποθέσεων του κατάντη ρου του Αναποδάρη- Χάρακα.

6.2.6. Υπόγεια ροή του υδρολογικού συστήματος

Η υπόγεια ροή στην υδρογεωλογική λεκάνη της Μεσαράς περίπου ταυτίζεται με την επιφανειακή ροή των υδρορευμάτων του Γεροποτάμου και του Αναποδάρη. Ο υπόγειος υδροκρίτης που διαχωρίζει τη ροή προς τα ανατολικά και προς τα δυτικά ευρίσκεται περίπου στο ύψος του Ασημίου – Στέρνες και λόγω του ότι όλο το υδρογεωλογικό σύστημα επικοινωνεί υδραυλικά, αναμένεται ο υδροκρίτης να μετακινείται εξαρτώμενος από την εκμετάλλευση που πραγματοποιείται από τις γεωτρήσεις που ευρίσκονται εκατέρωθεν από αυτόν. Στο κεφάλαιο 5 δίνονται οι πιεζομετρικές καμπύλες οι οποίες κατασκευάσθηκαν με βάση τις σημειακές παρατηρήσεις των πιεζόμετρων παρακολούθησης για τα διάφορα στάδια εκμετάλλευσης της λεκάνης.

6.3 Γεωμετρία - κάνναβος ομοιώματος

Με βάση τα παραπάνω γενικά χαρακτηριστικά, σχεδιάστηκε η κάναβος του μαθηματικού ομοιώματος υπόγειας ροής, η οποία εκτείνεται μεταξύ των συντεταγμένων 569825, 3870222 και 614345, 3884399 , στο σύστημα ΕΓΣΑ 87, και αποτελείται από 89 στήλες, 28 σειρές και δύο υδροφορείς, δηλαδή από ένα σύνολο 89 Χ 28 Χ 2 = 4984 στοιχειωδών κυψελίδων. Η βασική διάσταση των

κυψελίδων αυτών στο οριζόντιο επίπεδο είναι 500Χ500m ενώ στο κατακόρυφο είναι μεταβλητό και ισούται με τη πραγματική διάσταση των δύο υδροφορέων.
Η περιοχή κάλυψης του μοντέλου και ο κάναβος παρουσιάζονται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 6

6.4 Παράμετροι μοντέλου

Για τη σχεδίαση, λειτουργία και έλεγχο του ομοιώματος, απαιτείται ο ορισμός μιας σειράς παραμέτρων που αναφέρονται στη συνέχεια. Γενικά, το είδος των παραμέτρων που απαιτείται να οριστούν κάθε φορά σε ένα μαθηματικό ομοίωμα εξαρτάται από τη φιλοσοφία της σχεδίασής του και επομένως το σύνολο και το είδος αυτών μπορεί να διαφοροποιείται μεταξύ διαφορετικών θεωρήσεων. Στην παρούσα μελέτη επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί η εννοιολογική προσέγγιση (conceptual model approach).

Για το συγκεκριμένο ομοίωμα απαιτούνται οι ακόλουθοι παράμετροι: διαπερατότητα, συντελεστής υδροχωρητικότητας, επιφάνειες της κορυφής και του δαπέδου του πρώτου υδροφόρου (αλλουβιακό) και του δαπέδου του δεύτερου υδροφόρου (πλειο- πλειστόκαινο), κατανομή των αρχικών υδραυλικών φορτίων, στοιχεία χρόνου προσομοίωσης, σημεία ελέγχου κατανομής της πιεζομετρικής επιφάνειας, «πιέσεις» που ασκούνται στο σύστημα (αντλήσεις από γεωτρήσεις, τροφοδοσία από βροχή και υδρορεύματα κλπ), παράμετροι υδραυλικής επικοινωνίας διαμέσου των δύο «στενεμάτων» με τις όμορες λεκάνες.

6.4.1. Γεωμετρία του υδρογεωλογικού συστήματος

Απαραίτητο στοιχείο για τη λειτουργία του μαθηματικού ομοιώματος είναι ο προσδιορισμός του τοπογραφικού ανάγλυφου τόσο της οροφής του υδροφόρου συστήματος όσο και του δαπέδου των υδροφόρων. Για την εισαγωγή του τοπογραφικού ανάγλυφου της οροφής του πρώτου υδροφόρου συστήματος χρησιμοποιήθηκε το ψηφιοποιημένο τοπογραφικό υπόβαθρο της περιοχής μελέτης κλίμακας 1:50000. Για το δάπεδο του πρώτου και του δεύτερου υδροφόρου στρώματος ψηφιοποιήθηκαν οι θέσεις των όπως υπολογίσθηκαν στο κεφάλαιο 5 της υδρογεωλογίας. Χαρακτηριστικοί χάρτες της ψηφιοποίησης απεικονίζονται στις εικόνες 6-1 & 6-2 καθώς και τομές στις εικόνες 6-21, …, 6-30, που παρατίθενται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 6, οι δε τιμές τους, στην οριζόντια διάσταση (Χ, Υ) είναι σε ΕΓΣΑ 87 και στην κατακόρυφο (Ζ) διάσταση είναι σε απόλυτο υψόμετρο. Ειδικότερα για τη ψηφιοποίηση δημιουργήθηκε ένα πυκνό δίκτυο με τρεις ομάδες (set) σημειακών συντεταγμένων (Χ,Υ,Ζ) (scatter points), η μία ομάδα αφορά την κορυφή και οι άλλες δύο τα δάπεδα των δύο υδροφορέων. Οι ομάδες αυτές δημιουργήθηκαν σε περιβάλλον Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών (ΓΣΠ) και στηρίχθηκαν στη γεωμετρία του υδρογεωλογικού συστήματος όπως αυτή παρουσιάστηκε στο κεφάλαιο της υδρογεωλογίας. Στη συνέχεια χρησιμοποιώντας τις ρουτίνες υποστήριξης του πακέτου GMS (βλέπε παράγραφο 6.5), δημιουργήθηκε ένα ανάγλυφο το οποίο και εισήχθηκε στο ομοίωμα.

Το υδροφόρο σύστημα της Μεσαράς επομένως, για τις ανάγκες του ομοιώματος, έχει προσομοιωθεί για την περιοχή που έχουμε επιφανειακή εξάπλωση των αλλουβιακών αποθέσεων με δύο υδροφόρα στρώματα. Το επιφανειακό (αλλουβιακό) στρώμα λειτουργεί σε συνθήκες ελεύθερης

υδροφορίας (unconfined) και το δεύτερο (υποκείμενο) στρώμα με τις πλειο-πλειστοκαινικές αποθέσεις λειτουργεί σε συνθήκες υπό πίεση (confined). Για την περιοχή της επιφανειακής εξάπλωσης των πλειο-πλειστοκαινικών αποθέσεων (Γαλιά και Γκαγκάλες), όπου απουσιάζουν οι αλλουβιακοί σχηματισμοί ή είναι πολύ μικρού πάχους, το υδροφόρο σύστημα προσομοιάζετε με ένα στρώμα σε συνθήκες υπό πίεση (confined). Η σχεδίαση αυτή ανταποκρίνεται με τον καλύτερο δυνατό τρόπο στις πραγματικές συνθήκες υδροφορίας της περιοχής.

6.4.2. Οριακές συνθήκες ομοιώματος

Ο ορισμός οριακών συνθηκών σε ένα μαθηματικό ομοίωμα είναι ιδιαίτερα σημαντικός αφού μέσω αυτών περιγράφονται οι υδραυλικές σχέσεις επικοινωνίας με τους περιβάλλοντας το χώρο του ομοιώματος σχηματισμούς. Η ατυχής επιλογή οριακών συνθηκών είναι ένας από τους συχνότερους παράγοντες αστοχίας των μαθηματικών ομοιωμάτων. Στόχος επομένως των οριακών συνθηκών είναι να εισάγουν στο δίκτυο ροής του μοντέλου ή να αφαιρέσουν από αυτό τις απαιτούμενες ποσότητες νερού που ανταποκρίνονται στους υφιστάμενους μηχανισμούς λειτουργίας του συστήματος, αποφεύγοντας ταυτόχρονα τον έλεγχο των μηχανισμών ροής από αυτές σε υπερβολικό βαθμό.

Στη συνέχεια αναλύονται τα είδη των οριακών συνθηκών που επιλέχθηκαν και ορίστηκαν στο μαθηματικό ομοίωμα υπόγειας ροής.

6.4.3. Εξωτερικές οριακές συνθήκες

6.4.3.1 Περιμετρικά όρια

Με βάση την υφιστάμενη υδρογεωλογική γνώση για την περιοχή προσομοίωσης, τα περιφερειακά όρια του μοντέλου αποτελούν περιοχές χωρίς καμία πλευρική υδραυλική επικοινωνία με τους περιβάλλοντας σχηματισμούς, υπό τη μορφή των υπόγειων πλευρικών μεταγγίσεων. Οι συνθήκες αυτές ονομάζονται συνθήκες μηδενικής ροής (no flow boundary) και χαρακτηρίζουν τα προαναφερθέντα όρια. Χαρακτηριστικό αυτής της συνθήκης αποτελεί η παραλληλία των γραμμών ροής ή η καθετότητα των πιεζομετρικών καμπυλών κατά μήκος της οριακής αυτής συνθήκης. Κατά μήκος αυτών λοιπόν των ορίων δεχόμαστε ότι δεν υπάρχει υπόγεια πλευρική στράγγιση αφού η κύρια συνιστώσα υπόγειας ροής έχει διεύθυνση και φορά ροής παράλληλη με τον άξονα ανάπτυξης της λεκάνης, δηλαδή Α-Δ.

Εξαίρεση αποτελεί το «στένεμα» της Φαιστού και το «στένεμα» του Χάρακα.
Το στένεμα της Φαιστού, λόγω της ρηξιγενούς τεκτονικής και της «αναθόλωσης» που έχει υποστεί η περιοχή, είναι η μόνη ζώνη που το υδροφόρο σύστημα της Μεσαράς επικοινωνεί υπόγεια με τη λεκάνη του Τυμπακίου. Έχει διαστάσεις περίπου 300Χ60 m (πλάτος- πάχος). Ο ετήσιος όγκος (Q) που απορρέει από τη λεκάνη, για την περίοδο που καταγράφεται η υψηλότερη στάθμη, υπολογίζεται: (1) από το νόμο του Darcy Q=AKi (ή Q= Tdi) και (2) με βάση τα δεδομένα των γεωτρήσεων Τ95 και Τ106 οι οποίες απέχουν μεταξύ 1.250 μ, η υδραυλική κλίση τους είναι της τάξης του i=0,52% και η μεταβιβαστικότητα (Τ) υπολογίσθηκε στη τάξη των 3014 m^2/day. Οπότε, με την υπόθεση ότι η ροή είναι ομαλή ο ετήσιος όγκος ισούται:Q=T*i*d= 1100000*0,0052*300= 1.716.000 m3/έτος. Ο όγκος αυτός μεταβάλλεται ανάλογα με την υδροστατική στάθμη

στον υδροφορέα της Μεσαράς, καθώς αυτή διαχρονικά μεταβάλλεται έντονα λόγω της υπερεκμετάλλευσής του, με αποτέλεσμα να μεταβάλλεται η υδραυλική κλίση και το ενεργό πάχος του υδροφορέα.
Οι ετήσιες διαφυγές εκτός του υδρολογικού συστήματος από το στένεμα της Φαιστού υπολογίζονται στη τάξη των 1,5 – 2 Mm^3 σε συνθήκες αρχικής εκμετάλλευσης και αυτές μειώνονται μέχρι σχεδόν μηδενισμού των σε συνθήκες έντονης εκμετάλλευσης της λεκάνης των Μοιρών.
Ανάλογα, υπολογίζονται και οι διαφυγές από το στένεμα του Χάρακα στο ύψος των 0,5 με 1,5 Mm^3/ έτος.

Οι διαφυγές εκτός του υδρογεωλογικού συστήματος από τα στενέματα της Φαιστού και του Χάρακα προσομοιώθηκαν με συνθήκες χρονικά μεταβαλλόμενης ροής συναρτήσει του υδραυλικού φορτίου (πακέτο DRAIN). Οι συνθήκες αυτές επιλέχθηκαν ως οι πλέον πρόσφορες για την προσομοίωση της υδραυλικής σχέσης επικοινωνίας μέσω πλευρικών μεταγγίσεων με τις όμορες λεκάνες. Ο συγκεκριμένος τρόπος ορισμού αυτής της οριακής συνθήκης επιτρέπει τη μονοσήμαντη μόνο υδραυλική επικοινωνία εκφόρτισης του υδροφόρου συστήματος και προσομοιώνει την πραγματική κατάσταση λειτουργίας του στις θέσεις αυτές.
Τα προσομοιωμένα με τον τρόπο αυτό "στραγγιστικά δίκτυα" λειτουργούν με τη φιλοσοφία εκφόρτισης ποσοτήτων νερού όταν η στάθμη της πιεζομετρικής στάθμης υπερβεί το οριζόμενο υψόμετρο εκφόρτισης που ορίζεται σε κάθε στοιχειώδη κυψελίδα που έχει χαρακτηρισθεί ως drain. Η ένταση της ροής (ταχύτητα ροής) και συνεπακόλουθα ο όγκος του εκφορτιζόμενου από το ομοίωμα όγκου νερού είναι συνάρτηση αφενός του εκάστοτε υδραυλικού φορτίου εντός του χώρου του ομοιώματος και επίσης της υδραυλικής αγωγιμότητας (hydraulic conductivity) τη διεπιφάνειας μεταξύ του υλικού του υδροφόρου ορίζοντα και της drain ("αποστραγγιστικής τάφρου"). Η τελική επιλογή των τιμών αυτών των παραμέτρων έχει γίνει με γνώμονα την επίτευξη της ορθής προσομοίωσης του μηχανισμού εκφόρτισης του ομοιώματος δια των πλευρικών υπόγειων στραγγίσεων στις περιοχές εφαρμογής. Όσον αφορά τα υψόμετρα εκφόρτισης ορίσθηκαν με τρόπο, ώστε να ανταποκρίνονται στη υδρογεωλογική δομή του χώρου.

6.4.3.2 Άνω και κάτω όριο ομοιώματος

Οι οριακές συνθήκες του μαθηματικού ομοιώματος προς τα επάνω και προς τα κάτω διαφοροποιούνται μεταξύ τους.
Η θεωρούμενη προς τα κάτω οριακή συνθήκη είναι συνθήκη μηδενικής ροής (no flow boundary), αφού δεχόμαστε ότι το όριο του μοντέλου ταυτίζεται προς τα κάτω από το «πρακτικά» υδατοστεγές υπόβαθρό του (νεογενή ιζήματα ή αδιαπέρατοι σχηματισμοί του υποβάθρου). Εφόσον επομένως το υπόβαθρο είναι υδατοστεγές, δεν αναμένεται καμία υδραυλική επικοινωνία με αυτό και δεν υπάρχει περίπτωση ανάπτυξης κατακόρυφης συνιστώσας κίνησης του νερού.
Το άνω όριο του ομοιώματος αποτελεί η ελεύθερη πιεζομετρική επιφάνεια του υδροφόρου ορίζοντα. Η οριακή αυτή συνθήκη τίθεται αυτόματα στο ομοίωμα με τον χαρακτηρισμό του ανώτερου στρώματος της σχεδίασης. Μαθηματικά η συνθήκη αυτή περιγράφεται ανάλογα με την ειδική περίπτωση μηδενικής ροής κατά μήκος μιας επιφάνειας. Στην συγκεκριμένη περίπτωση η ροή θεωρείται μηδενική πάνω από την ελεύθερη πιεζομετρική επιφάνεια.

6.4.4. Εσωτερικές οριακές συνθήκες

6.4.4.1 Τροφοδοσία από ποτάμια

Η τροφοδοσία του υδρογεωλογικού συστήματος από ποτάμια προσομοιώνεται με δύο διαφορετικά τρόπους, όσον αφορά τον τρόπο περιγραφής της: (1) σημειακή τροφοδοσία με χρήση του STREAM package του MODFLOW για τον κύριο ρου του Γεροπόταμου, του Ληθαίου, του Αναποδάρη και του Λειβαδίτη και (2) με τη χρήση του RECHARGE package για τις «διάχυτες» επιφανειακές χειμαρρώδεις απορροές των υπολεκανών στα βόρεια και νότια κράσπεδα της λεκάνης. Η διάκριση αυτή μεταξύ των επιμέρους τροφοδοσιών στο ομοίωμα από τα επιφανειακά υδρορεύματα υπαγορεύτηκε από τα διαθέσιμα δεδομένα, την ανάγκη περιορισμού των άγνωστων παραμέτρων που σχετίζονται με τον ορισμό οριακών συνθηκών, τον περιορισμό του πιθανού και μη επιθυμητού ελέγχου του συστήματος υπόγειας ροής του ομοιώματος από τις συνθήκες αυτές και με γνώμονα τη χρήση του ομοιώματος στην παρούσα εργασία.

6.4.4.2 Τροφοδοσία από ποτάμια- Stream package

Η προσομοίωση του κυρίου ρου των προαναφερόμενων υδρορευμάτων, αποφασίστηκε να γίνει με τη χρήση του πακέτου stream του modflow. Το πακέτο αυτό στην πραγματικότητα είναι ένας συνδυασμός του ορίου «γνωστής ροής» (known flux boundary) και του ορίου της «εξαρτημένης ροής» από το ύψος νερού (head-dependent flux boundary). Ορίζει και διαχειρίζεται οριακές συνθήκες μεταβαλλόμενης ροής εξαρτώμενης από την τιμή του υδραυλικού φορτίου εντός του υδρορεύματος και του υδροφόρου ορίζοντα. Είναι όμοιο με το πακέτο river καθώς επιτρέπει ροή από και προς το χείμαρρο. Ωστόσο το πακέτο stream είναι περισσότερο πολύπλοκο από το river επειδή εξετάζει την επιφανειακή ροή στο χείμαρρο και βάζει όρια στη διήθηση μεταξύ του υδροφορέα και του χειμάρρου. Το πακέτο αυτό αυξάνει την επιφανειακή ροή στο χείμαρρο όταν κερδίζει αυτός από τον υδροφορέα και ελαττώνεται η ροή του όταν το υδροφόρο σύστημα τροφοδοτείται από τον χείμαρρο. Όμως, λόγω της πολυπλοκότητάς το πακέτο stream εμφανίζει σχετική αστάθεια και απαιτεί δεδομένα και πληροφορίες περισσότερο από κάθε άλλο πακέτο (για περισσότερες πληροφορίες McDonald and Harbaugh, 1996).

Για τη λειτουργία της συνθήκης stream απαιτείται η γνώση των ακόλουθων παραμέτρων: η υδραυλική αγωγιμότητα (stream conductance) της ζώνης των ποτάμιων αποθέσεων, το πλάτος των ποτάμιων αποθέσεων, ο συντελεστής τραχύτητας, η ροή που εισέρχεται στο άνω ρου του χειμάρρου, οι (πιθανές) εκτροπές, το απόλυτο υψόμετρο της βάσης των αποθέσεων της κοίτης του ποταμού, το απόλυτο υψόμετρο της στάθμης του ποταμού. Τα στοιχεία αυτά απαιτείται να οριστούν για όλη τη χρονική διάρκεια προσομοίωσης, σε όλες τις κυψελίδες που διέρχεται και μπορούν να λαμβάνουν σταθερές ή μεταβαλλόμενες τιμές. Εξαιτίας της εγγενούς αδυναμίας γνώσης των απόλυτων τιμών όλων των προαναφερθεισών παραμέτρων, στόχος της σχεδίασης και εισαγωγής αυτής της οριακής συνθήκης είναι η τελική δυνατότητα αναπαραγωγής του μηχανισμού ροής του χειμάρρου και η επίτευξη της φυσικής υδραυλικής επικοινωνίας τόσο όσον αφορά τη χωρική κατανομή της όσο και τη χρονική της διακύμανση. Ως εκ τούτου δεν ενέχει ιδιαίτερη σημασία η ακριβής τιμή που ορίζεται για κάθε μια από τις παραμέτρους αυτές, με την προϋπόθεση επίτευξης επιτυχούς προσομοίωσης των συστημάτων ροής.

Για τον υπολογισμό των παραμέτρων λήφθηκαν υπόψη αφενός οι μετρήσεις παροχής του Γεροποτάμου στη Φαιστό και του Ληθαίου στους Αγ. Δέκα, η σχέση των οποίων επιβεβαιώνει αφενός την έντονη διήθηση κατά μήκος της κοίτης του Γεροποτάμου και αφετέρου η παρατήρηση ότι η διακύμανση της παροχής των υδρορευμάτων κατά τη διάρκεια του υδρολογικού έτους συνδέεται άμεσα με το σχετικό υψόμετρο της στάθμης του χειμάρρου και της στάθμης του υδροφορέα. Επιπρόσθετα, στα πλαίσια εκπόνησης της μελέτης πραγματοποιήθηκαν διαφορικές μετρήσεις παροχής κατά μήκος του Ληθαίου, του Γεροποτάμου και του Αναποδάρη για να προσδιορισθεί η διήθηση στα τμήματα αυτά και επίσης μετρήθηκαν απόλυτα υψόμετρα της υπό προσομοίωσης κοίτης.

Για τον υπολογισμό της υδραυλικής αγωγιμότητας της κοίτης των ποτάμιων αποθέσεων (stream conductance), λόγω της έλλειψης υδρομετρικών σταθμών κατά μήκος των υδρορευμάτων για τον υπολογισμό διαφορικών μετρήσεων παροχών, πραγματοποιήθηκαν τέσσερεις μετρήσεις για τον κύριο ρου του Γεροποτάμου και του Λιθαίου και δύο για τον κύριο ρου της Πλακιώτισας - Αναποδάρη. Η κάθε ομάδα μετρήσεων πραγματοποιείτο με τη μέτρηση της απορροής του χειμάρρου από τα ανάντη προς τα κατάντη και ολοκληρωνόταν σε διάστημα 8 – 10 ωρών. Επίσης μετρούνταν και όλα τα υδρορεύματα που συνεισέφεραν νερό κατά μήκος των υδρορευμάτων για να ληφθεί όσο το δυνατόν ακριβέστερος υπολογισμός της διήθησης. Οι μετρήσεις της ταχύτητας ροής πραγματοποιούνταν με μυλίσκο (μοντέλο brakstoke BFM002) από χειριστή ο οποίος ήταν μέσα στο υδρόρευμα και η στάθμη μετρούνταν με τη χρήση κατάλληλου μεταλλικού πήχη. Λόγω της μη ύπαρξης κατάλληλης διαμορφωμένης κοίτης, η κοίτη κατά αρχή διαμορφωνόταν κατάλληλα ώστε να έχουμε κατά το δυνατόν ομαλή ροή. Για τη μέτρηση της ταχύτητας κατασκευαζόταν αρχικά η εγκάρσια διατομή του υδρορεύματος με τη χρήση (μέτρηση του βάθους του νερού) του μεταλλικού πήχη. Στη συνέχεια λαμβάνονταν μετρήσεις της ταχύτητας ροής στην εγκάρσια διατομή του υδρορεύματος σε ένα σχετικό πυκνό κάναβο μετρήσεων πλάτους 40-60 cm και βάθους στα 6/10 του συνολικού βάθους νερού σε κάθε σημείο μέτρησης. Τέλος η ολική παροχή του υδρορεύματος υπολογιζόταν με βάση την εξίσωση της συνέχειας και τις τιμές της ταχύτητας ροής και του κάναβου που σχηματίσθηκε (για περισσότερες πληροφορίες βλέπε συγγράμματα υδρολογίας).

Οι τιμές μέτρησης της διήθησης εμφανίζουν δυσκολίες για τους παρακάτω λόγους:

- Κατά αρχή θα πρέπει να σημειωθεί ότι η βαθιά διήθηση από τους χείμαρρους είναι ένας σημαντικός παράγοντας εμπλουτισμού του υπόγειου υδροφορέα της λεκάνης των Μοιρών κυρίως των αλλουβιακών αποθέσεων και δευτερευόντως των πλειο-πλειστοκαινικών σχηματισμών
- Ο υπολογισμός της (βαθιάς) διήθησης των υδρορευμάτων είναι δύσκολο να υπολογισθεί με ακρίβεια λόγω των μη συστηματικών μετρήσεων των επιφανειακών απορροών κατά μήκος των, της δυσκολίας μέτρησης μικρών απορροών στις χαλικώδεις/με κροκάλες κοίτες (ενδορροή), και της μη διαμορφωμένης κοίτης.
- Συνεπακόλουθα, ο υπολογισμός / εκτίμηση των διαφορικών μετρήσεων απορροών κατά μήκος των υδρορευμάτων εμπεριέχει ένα μεγαλύτερο πιθανό σφάλμα από τον υπολογισμό των μεμονωμένων.

- Μέρος της ποσότητας απορροής (ενδορροή) πιθανά να εμφανίζεται σε κατάντη τμήμα του υδρορεύματος λόγω των γεωλογικών σχηματισμών.
- Κατά θέσεις η μετρούμενη απορροή από μόνη της δεν είναι σταθερή αλλά μεταβάλλεται ευρέως ανάλογα με τις συνθήκες της κοίτης του υδρορεύματος, το πλάτος της ροής κλπ.
- Οι τιμές της απορροής επίσης αναμένεται να μεταβάλλονται και από περίοδο σε περίοδο λόγω της μεταβολής της κοκκομετρικής σύστασης της κοίτης και συνεπακόλουθα του συντελεστή κατείσδυσης (διήθηση).
- Οι τιμές της διήθησης αναμένεται να έχουν σημαντική διακύμανση ανάλογα με το μέγεθος της απορροής και την περίοδο μέτρησης.
- Διαχρονικά οι ποσότητες διήθησης αναμένεται να διακυμάνθηκαν ευρέως κύρια λόγω της πτώσης της στάθμης που υπέστη ο υδροφορέας με αυτές να αυξάνονται με την ταπείνωσή της. Ειδικότερα στην περιοχή κατάντη των Μοιρών μέχρι την έξοδο στη Φαιστό τη δεκαετία του 1970 ο υδροφορέας εκφορτιζόταν με σημαντικές ποσότητες ενώ μετά την ταπείνωση της στάθμης εμφανίζεται αντίστροφα με μια υψηλή διήθηση.

Ωστόσο, η μέτρηση της διήθησης των υδρορευμάτων είναι πολύτιμη δεικνύοντας αφ' ενός την τάξη μεγέθους αυτού του φαινόμενου και αφ' ετέρου τη σχετική σημαντικότητα των διαφόρων υδρορευμάτων στον εμπλουτισμό του υδροφορέα.

Οι τιμές διήθησης των υδρορευμάτων δίνονται στον Πίνακ. 6- 1 κατόπιν της επεξεργασίας των μετρήσεων και αφορούν τους παρακάτω κλάδους των υδρορευμάτων, οι οποίοι διακρίθηκαν με υδρογεωλογικά κριτήρια (βλέπε χάρτη εικόνα 6-7 στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 6):
α) κλάδος Λιθαίου: εκτείνεται από τα όρια της λεκάνης προσομοίωσης, θέση υδρομετρικού σταθμού αρχαιοτήτων Γόρτυνας, μέχρι τη συμβολή του με τον κύριο ρου του Γεροποτάμου,
β) Κλάδος Βαγιονιάς: Ο κύριος ρους του Γεροποτάμου που εκτείνεται από τη Γέφυρα της Βαγιονιάς (επαρχιακή οδός Αγ. Δέκα-Βαγιονιά) μέχρι τη γέφυρα Χουστουλιανά-Πλατάνου,
γ) Κλάδος Χουστουλιανών: Ο κύριος ρους του Γεροποτάμου που εκτείνεται από τη γέφυρα Χουστουλιανά-Πλατάνου μέχρι τη γέφυρα Μοιρών –Πόμπιας,
δ) Κλάδος Μοιρών: Ο κύριος ρους του Γεροποτάμου που εκτείνεται από τη γέφυρα Μοίρες- Πόμπια μέχρι την έξοδο του στον υδρομετρικό σταθμό Φαιστού και
ε) Κλάδος Αναποδάρη. Ο κύριος ρους του Αναποδάρη και του Λειβαδίτη που εκτείνονται από τη γέφυρα των Πραιτορίων του Αναποδάρη και του Λειβαδίτη στο ίδιο ύψος μέχρι, κατάντη, τη συμβολή τους.

Στον πίνακα αυτόν δίνονται δύο ομάδες μετρήσεων, αυτές που ελήφθησαν από τον FAO την περίοδο 1969-1970 και αναφέρονται στις μέγιστες και τις ελάχιστες τιμές και οι μετρήσεις στα πλαίσια εκπόνησης της εργασίας κατά τα υδρολογικά έτη 2003-2004 και 2004-2005 και αφορούν δύο μετρήσεις ανά έτος.

Με βάση τις τιμές των διηθήσεων και της διαχρονικής κατάστασης του υδροφορέα, με κύριο χαρακτηριστικό του την υπερεκμετάλλευσή του, παρατηρούνται τα παρακάτω:

- Ο εμπλουτισμός του υδροφορέα της Μεσαράς, κύρια των αλλουβιακών αποθέσεων λόγω των ιδιοτήτων τους, κατά ένα σημαντικό ποσοστό οφείλεται στη διήθηση των νερών των υδρορευμάτων που απορρέουν σε αυτόν από τις όμορες λεκάνες
- Η διήθηση στον υδροφορέα εμφανίζει χωρική και χρονική μεταβολή
- Χωρικά, οι τιμές διήθησης εμφανίζουν μεγάλη διακύμανση και το εύρος των εξαρτάται από παράγοντες όπως το πλάτος της ροής, τις ιδιότητες της κοίτης οι οποίες μεταβάλλονται ευρέως, την ενδορροή, τη στάθμη του υδροφορέα κλπ
- Χρονικά, οι τιμές διήθησης εμφανίζουν και εδώ μεγάλος εύρος. Στον ετήσιο κύκλο εξαρτώνται από τη διάρκεια και την ένταση των πλημμυρικών επεισοδίων, της βασικής ροής, της στάθμης και των ιδιοτήτων του υδροφορέα. Στον υπερετήσιο κύκλο επιπλέον σημαντικό ρόλο έχει και η ταπείνωση της στάθμης του υδροφορέα λόγω της εκμετάλλευσης του.
- Η μεγαλύτερη μεταβολή που καταγράφηκε διαχρονικά είναι στον κλάδο των Μοιρών, εκεί το νερό αρχικά έκρεε υπό μορφή πηγών (σύστημα πηγών) στην περιοχή Πετροκεφαλίου και εντός της κοίτης του χειμάρρου, ενώ μετά την πτώση της στάθμης αντιστράφηκε η ροή και έχουμε διήθηση με εξίσου σημαντικές ποσότητες. Η συνολική ετήσια ποσότητα νερού που έκρεε από τις πηγές και την κοίτη υπολογίσθηκε από τον FAO (1970) σε 16,7 Mm^3.
- Όμοια, στέρεψαν οι πηγές και τα τμήματα των υδρορευμάτων που τροφοδοτούνταν από αυτές (κλάδος Βαγιονιάς) στα τμήματα του Γεροποτάμου βόρεια από τις Στάβιες και ΒΔ της Βαγιονιάς. Η συνολική ετήσια ποσότητα νερού που έκρεε από αυτόν τον υδροφορέα υπολογίσθηκε από τον FAO σε 2 Mm^3. Ακόμα είχαμε μικρότερες πηγαίες εμφανίσεις στο Στολιανό Ρέμα.
- Αν και οι τιμές της διήθησης εμφανίζουν μεγάλο εύρος, ωστόσο είναι σημαντικές επειδή μας δείχνουν την τάξη μεγέθους αυτού του φαινόμενου. Οι τιμές αυτές θα αξιοποιηθούν/αξιολογηθούν από το υδρογεωλογικό ομοίωμα.
- Η διήθηση στα υδρορεύματα της λεκάνη της Βαγιονιάς είναι περισσότερο πολύπλοκη με το ότι υπήρχαν ζώνες με εκροές από τον υδροφορέα και ζώνες με υψηλή κατείσδυση. Οι τελευταίες ευρίσκονται στο τμήμα του Γεροποτάμου μεταξύ Σταβιών και Βαγιονιάς και της γέφυρας της Βαγιονιάς μέχρι τη γέφυρα των Χουστουλιανών
- Ο κλάδος των Χουστουλιανών ήταν (πριν την περίοδο της έντονης εκμετάλλευσης) το κύριο τμήμα της διήθησης – εμπλουτισμού του υδροφορέα, ενώ ο κλάδος των Μοιρών ήταν το τμήμα της εκροής του νερού από τον υδροφορέα.
- Η διήθηση στο κλάδο των Χουστουλιανών εμφανίζει συγκριτικά μικρότερες τιμές τόσο στις μετρήσεις του FAO όσο και στα πλαίσια της μελέτης, από αυτές που αναμένονταν σε σχέση με την κοκκομετρία των αλλουβιακών αποθέσεων.
- Λειτουργούσαν εκτροπές του Ληθαίου, στα όρια της λεκάνης (αρχαιότητες Γόρτυνας), καταγεγραμμένες από τον FAO, σε τεχνικά κανάλια παράλληλα του κύριου ρου τα οποία ενίοτε λειτουργούν και σήμερα.
- Από το έτος 2000, λειτουργεί μια εκτροπή του Γεροποτάμου από το ύψος 1000 μ περίπου ανατολικά της γέφυρας των Μοιρών- Πόμπιας και μέρος

του νερού του κύριου ρου εκτρέπεται σε δυο παράλληλα κανάλια που βρίσκονται νότια και συμβάλουν ξανά με τον κύριο κλάδο του Γεροποτάμου πριν την έξοδό του από τη Φαιστό.

- Το πεδινό τμήμα της λεκάνης του Χάρακα κλάδος του Αναποδάρη εμφανίζει συνθήκες ανάλογες του κλάδου των Μοιρών, το οποίο πλημμύριζε κατά τη διάρκεια του χειμώνα και τροφοδοτούνταν από τον υδροφορέα εμφανίζοντας μόνιμη ροή καθ' όλο το έτος. Όμως οι δυο λεκάνες διαφέρουν στο ότι στην περιοχή του Πετροκεφαλίου (Μοίρες) ο υδροφορέας είναι υπό πίεση και η υδρολογική λεκάνη έχει μεγάλη έκταση ενώ στη περιοχή του Χάρακα ο υδροφορέας είναι ελεύθερος και η λεκάνη τροφοδοσίας είναι σχετικά πολύ μικρότερη.
- Για τη βελτίωση των συνθηκών των καλλιεργειών στη περιοχή «του κλάδου του Αναποδάρη» έχουν κατασκευασθεί αποστραγγιστικές τάφροι οι οποίες λειτουργούν από πριν την δεκαετία του 1970 μέχρι σήμερα. Και εδώ όπως και στη περιοχή των Μοιρών, όταν η στάθμη στο υδροφόρο είναι χαμηλότερα από τη κοίτη του υδρορεύματος και των καναλιών αποστράγγισης τότε αυτά λειτουργούν με αντίστροφη ροή και τον εμπλουτίζουν.
- Ο FAO με βάση τις εκροές των πηγών, την εξάτμιση και τις διαστάσεις του υδροφορέα του Χάρακα υπολόγισε ότι η συνολική ετήσια ποσότητα του νερού που μπορούμε να εκμεταλλευτούμε ανέρχεται σε 5,4 Mm^3.
- Συγκριτικά οι τιμές της διήθησης που ελήφθησαν την περίοδο 1968-1970 και την περίοδο 2003-2005 ανά κλάδο εμφανίζουν μεταξύ τους: 9πλασιασμό στον Λιθαίο, 20πλασιασμό στο κλάδο των Μοιρών αν προστεθούν οι ποσότητες εκροής και οι μετέπειτα ποσότητες διήθησης, 4πλασιασμό στο κλάδο της Βαγιονιάς και περίπου είναι οι ίδιες στον κλάδο των Χουστουλιανών και στον κλάδο του Χάρακα.

6.4.4.3 Τροφοδοσία από ποτάμια- Recharge package

Όσον αφορά την προσομοίωση της υδραυλικής επικοινωνίας μεταξύ των υπόλοιπων υδρορευμάτων (εκτός αυτών που προσομοιώθηκαν με το stream package) και του υδροφόρου συστήματος, επιλέχθηκε όπως προαναφέρθηκε η χρήση του πακέτου recharge του modflow. Η κύρια διαφορά των πακέτων αυτών είναι η πρόκληση σημειακής τροφοδοσίας (stream) έναντι της διάχυτης τροφοδοσίας (recharge) καθώς επίσης και η δυνατότητα αμφίδρομης υδραυλικής επικοινωνίας στην πρώτη περίπτωση, έναντι της αποκλειστικής τροφοδοσίας προς το υδροφόρο σύστημα στη δεύτερη περίπτωση. Η λύση αυτή υπαγορεύθηκε αφ' ενός από την υψηλή πυκνότητα του υδρογραφικού δικτύου, το χειμαρρώδη χαρακτήρα του και τις μικρές υδρολογικές λεκάνες που απορρέουν και αφ' ετέρου από τη γεωλογική σύσταση - κοκκομετρία στα κράσπεδα της λεκάνης που επιτρέπει την υψηλή κατείσδυση (βλέπε κεφάλαιο υδρογεωλογίας). Επιπρόσθετα τα υφιστάμενα δεδομένα μας δίνουν μόνο την έμμεση δυνατότητα υπολογισμού των ποσοτήτων με τις οποίες τα υδρορεύματα αυτά συνεισφέρουν στην τροφοδοσία του υδροφόρου συστήματος. Θεωρήθηκε λοιπόν ότι η διήθηση με την οποία επέρχεται η τροφοδοσία αυτή συμβαίνει με σημαντική χωρική κατανομή και η έκταση της κατανομής αυτής είναι ανάλογη με την έκταση της λεκάνης του κάθε υδρορεύματος που αποστραγγίζει εντός της περιοχής του μοντέλου και την υδρογεωλογία στα κράσπεδα της λεκάνης.

Στο χάρτη της εικόνας 6- 6 (Παράρτημα Κεφ. 6) παρουσιάζεται η περιοχή κάλυψης του ομοιώματος (περιοχή με χρώμα πράσινο) και οι υδρολογικές λεκάνες που η απορροή τους καταλήγει εντός αυτού (λευκό χρώμα).

Ο υπολογισμός του ποσοστού απορροής ανά λεκάνη έγινε με βάση τα αποτελέσματα του υδρολογικού μοντέλου SACRAMENTO όπως αναλυτικά παρουσιάζονται στο κεφάλαιο 3. Τα ποσοστά διήθησης επί της απορροής του κάθε υδρορεύματος υπολογίσθηκαν για τις δύο ευδιάκριτες συνθήκες του υδρογεωλογικού συστήματος κατά τις οποίες τα ποσοστά κατείσδυσης διαφέρουν σημαντικά (βλέπε κεφάλαιο 3): α) της αρχικής – μη εκμετάλλευσης του υδροφορέα και β) της «υπό πίεσης» -έντονης εκμετάλλευσής του.

Ο υπολογισμός των συντελεστών κατείσδυσης (βαθιάς διήθησης) έγινε με βάση τις μέσες ετήσιες απορροές για τις δύο παραπάνω αναφερόμενες ευδιάκριτες περιόδους για τη λεκάνη του Γεροποτάμου και του Αναποδάρη με την παρακάτω προσέγγιση, λόγω της έλλειψης μετρήσεων όπως προαναφέρθηκε. Η μέση ετήσια απορροή των υδρορευμάτων που εισέρχονται στο υδρογεωλογικό σύστημα (αποτελέσματα sacramento) συσχετίστηκε με την αντίστοιχη απορροή στην έξοδο της λεκάνης, αφού αφαιρέθηκε η απορροή που αντιστοιχεί στην επιφάνεια του υδρογεωλογικού συστήματος (περιοχή προσομοίωσης). Με την παρατήρηση ότι το υδρογραφικό δίκτυο που υπάρχει στη λεκάνη της Μεσαράς είναι πυκνό και γενικά καλά κατανεμημένο και τη θεώρηση ότι η παραπάνω διαφορά απορροής αφορά την ολική κατείσδυση που λαμβάνει χώρα στον υδροφορέα δηλαδή την κατείσδυση από τα υδρορεύματα και την απευθείας από την βροχόπτωση που πίπτει στην επιφάνειά του, υπολογίσθηκε ο συντελεστής κατείσδυσης από τα υδρορεύματα (βλέπε επόμενη παράγραφο). Οι υπολογισμοί δίνονται στον Πίνακ. 6- 2

Ο συντελεστής διήθησης για την υδρολογική λεκάνη του Γεροπόταμου υπολογίσθηκε σε ποσοστό 19% και 36% επί των απορροών που εισέρχονται στη λεκάνη (περιοχή προσομοίωσης), για τις συνθήκες της αρχικής και της έντονης εκμετάλλευσής του αντίστοιχα. Η διαφορά αυτή ήταν αναμενόμενη με βάση την ανάλυση που έγινε στην προηγούμενη ενότητα.
Για τον Αναποδάρη το μέσο ποσοστό κατείσδυσης των υδρορευμάτων υπολογίσθηκε και για τις δύο συνθήκες εκμετάλλευσης σε 19%. Το ποσοστό κρίνεται αποδεκτό με βάση τα παρακάτω στοιχεία.

- Το κύριο υδρόρευμα που είναι ο Αναποδάρης – Πλακιώτισα, ο οποίος επιφανειακά φαίνεται να διασχίζει το κέντρο της λεκάνης του Χάρακα, όμως με βάση τη γεωλογική δομή του υδροφορέα, προκύπτει ότι διασχίζει το κύριο τμήμα του κύριου υδροφορέα μόνο κατά ένα μικρό μέρος στα ΒΑ όρια του.
- Η εκμετάλλευση του υδροφορέα είναι ορθολογικότερη (δεν υπερεκμεταλλεύεται) σε σχέση με τον αντίστοιχη του Γεροποτάμου, επομένως δεν έχουμε μεγάλη ή και μόνιμη ταπείνωση της στάθμης του υδροφορέα του Χάρακα.
- Η συνολική αυτή κατείσδυση (19%) επιμερίζεται, ανάλογα με τα υδρογεωλογικά δεδομένα των περιοχών που έχει διακριθεί η λεκάνη, όπως παρακάτω. Για το νότιο τμήμα σε ποσοστό 36% των απορροών (ίσο με το ποσοστό του Γεροποτάμου), για το βόρειο τμήμα σε ποσοστό 24% και κατά μήκος του Αναποδάρη σε ποσοστό 15%.

- Η αύξηση της κατείσδυσης που επακολούθησε την έντονη εκμετάλλευση του θεωρείται ότι προήλθε κύρια από την αύξηση της απευθείας κατείσδυσης από τις βροχοπτώσεις και τη μείωση των απορροών του υδρογεωλογικού συστήματος στο υδρόρευμα του Λειβαδίτη και τις αποστραγγιστικές τάφρους.

Επισημαίνεται και πάλι ότι οι διηθήσεις αυτές αφορούν ποσοστό επί της επιφανειακής απορροής των όμορων υπολεκανών που απορρέουν εντός του υδρογεωλογικού συστήματος της Μεσαράς (περιοχή προσομοίωσης) και προσομοιώνεται (κατανέμεται) ως διάχυτη τροφοδοσία σε σχετικά ανάλογη, της υπολεκάνης εντός του μοντέλου, έκταση.

Με βάση τα βιβλιογραφικά δεδομένα έχουν εκτιμηθεί οι παρακάτω συντελεστές κατείσδυσης από τα υδρορεύματα για την περιοχή της Μεσαράς:

- Η μελέτη ολοκληρωμένη διαχείριση υδατικών πόρων Κρήτης (2002) εκτίμησε, με κριτήριο την επικρατούσα υδρολιθολογική ενότητα, για τη περιοχή του Γεροποτάμου, τα ποσοστά διήθησης επί της απορροής του κάθε υδρορεύματος: α) σε ποσοστό 50% επί της συνολικής απορροής των υδρορευμάτων στην είσοδο του στην περιοχή του μοντέλου για τις λεκάνες στα βόρεια κράσπεδα της λεκάνης και β) σε ποσοστό 45% για τις λεκάνες στα νότια κράσπεδα του ομοιώματος.
- Η μελέτη προσομοίωσης της εισόδου της θάλασσας στον υδροφορέα του Τυμπακίου (Παρίτσης Σ., 2005) υπολόγισε την διήθηση σε 10% επί των απορροών των υδρορευμάτων στο προσχωματικό υδροφορέα της όμορης λεκάνης του Τυμπακίου.

Κατά την προσομοίωση της περιοχής θα επαναπροσδιορισθούν / επαληθευτούν οι διηθήσεις με βάση τους συντελεστές διήθησης των υδρορευμάτων όπως έχουν υπολογισθεί στον Πίνακ. 6- 1.

Πίνακ. 6- 1 Υπολογισμός διήθησης στους κύριους κλάδους των υδρορευμάτων της Μεσαράς

α/α	κλάδος Υδρορεύματος	Υδρολογικό έτος	μήκος υδρο-ρεύματος	Διαφορά απορροής= κατείσδυση	Κατείσδυση ανά μέτρο μήκους	Διήθηση (Σενάριο)
			m	(m3/h)	m3/h/m	Mm3/έτος
	Γεροπόταμος					
1	κλάδος Λιθαίου από τις αρχαιότητες Γόρτυνας μέχρι τη συμβολή με το Γεροπόταμο	1969-1970	4000	129.6	0.0324	0.47
		2004-2005	4600	468.5	0.1018	1.69
		2004-2005	4600	920.5	0.2001	3.31
		2003-2004	4600	1166.4	0.2536	4.20
		2003-2004	4600	1040	0.2261	3.74
2	Κλάδος Βαγιονιάς: από τη γέφυρα Αγ. Δέκα-Βαγιονιάς μέχρι τη γέφυρα Χουστουλιανά-Πλάτανος	1969-1970	4500	180	0.0400	0.65
		1969-1970	4500	432	0.0960	1.56
		2004-2005	3750	280.2	0.0747	1.01
		2004-2005	3750	757	0.2019	2.73
		2003-2003	3750	1202.4	0.3206	4.33
		2003-2004	3750	1284	0.3424	4.62
3	κλάδος Χουστουλιανών: από τη γέφυρα Χουστουλιανά-Πλάτανος μέχρι τη γέφυρα Μοίρες-Πόμπια	1969-1970	8000	252	0.0315	0.91
		2004-2005	7200	184.5	0.0256	0.66
		2004-2005	7200	45	0.0063	0.16
		2003-2004	7200	21.6	0.0030	0.08
		2003-2004	7200	280	0.0389	1.01
4	κλάδος Μοιρών : από τη γέφυρα Μοίρες-Πόμπια μέχρι την έξοδο της Φαιστού	1969-1970 *	7600	-1890	-0.2487	-6.80
		1969-1970 *	7600	-900	-0.1184	-3.24
		2004-2005	8200	Μηδενική απορροή στη Φαιστό		
		2003-2004	8200	3924	0.4785	14.13
		2003-2005	8200	3801.6	0.4636	13.69
	Αναποδάρης					
5	κλάδος Αναποδάρη : από τον Αναποδάρη στη γέφυρα Πραιτορίων και τον Λειβαδίτη στο ίδιο ύψος μέχρι την κατάντη συμβολή τους	1969-1970	9250	792	0.0856	2.85
		1969-1970	9250	162	0.0175	0.58
		2004-2005	9250	648	0.0701	2.33
		2003-2004	9250	845	0.0914	3.04

* την περίοδο αυτή είχαμε εκροή από τον υδροφορέα (σύστημα πηγών Πετροκεφαλίου και στην κοίτη του Γεροποτάμου)

Πίνακ. 6- 2 Υπολογισμός του ποσοστού διήθησης των απορροών των υπολεκανών που απορρέουν στο υδρογεωλογικό σύστημα της Μεσαράς

Συνθήκη - υδρολογική λεκάνη	Απορροή υδρογεωλογικού συστήματος λεκάνης Μεσαράς									Διαφορά εισροών - απορροών (κατείσδυση) από το υδρογεωλογικό σύστημα			
	Βόρειων λεκανών *		Νότιων λεκανών *		συνολική εντός	συνολική στην έξοδο του *		από την επιφάνεια του *					
	Mm3	% της βροχό-πτωσης	Mm3	% της βροχό-πτωσης	Mm3	Mm3	% της βροχό-πτωσης	Mm3	% της βροχό-πτωσης	συνολική κατείσδυση Mm3	απευθείας βροχό-πτωση	από υδρο-ρεύματα	κατείσδυση υδρο-ρευμάτων % επί των εισροών
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)=(1)+(3)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)= (5)-((6)-(8))	(11)	(12)= (10)-(11)	(13)=(12)/(5)
αρχικές συνθήκες /Γεροπόταμος	29.5	20%	5.7	9%	35.2	29	14%	12.6	14%	18.8	12.2	6.60	19%
συνθήκες υπό πίεση /Γεροπόταμος	29.5	20%	5.7	9%	35.2	5.4	2%	0.9	1%	30.7	18.2	12.50	36%
αρχικές συνθήκες /Αναποδάρης	17.5	23%	2.3	10%	19.8	14.9	11%	4.15	11%	9.05	5.2	3.85	19%
συνθήκες υπό πίεση /Αναποδάρης	17.5	23%	2.3	10%	19.8	8.9	6%	0.4	1%	11.3	7.45	3.85	19%
* οι ποσότητες και τα ποσοστά απορροής υπολογίσθηκαν στο κεφ. 4 με το μοντέλο sacramento													

6.4.4.4 Τροφοδοσία από βροχόπτωση

Η τροφοδοσία του υπόγειου υδροφορέα της λεκάνης της Μεσαράς από την άμεση κατείσδυση της βροχόπτωσης υπολογίζεται έμμεσα, λόγω της έλλειψης μετρήσεων. Ο έμμεσος υπολογισμός γίνεται από τα υδρογεωλογικά δεδομένα της περιοχής σε συσχέτιση με τα αποτελέσματα που ελήφθησαν από την εφαρμογή του ομοιώματος Sacramento (βλέπε κεφάλαιο 3).

Με βάση τα υδρογεωλογικά δεδομένα (κεφάλαιο 2 και 4) ο υδροφορέας της Μεσαράς διακρίνεται κατά αρχή σε δύο βασικές ζώνες με διαφορετική κατείσδυση, στηριζόμενη στα διαφορετικά χαρακτηριστικά τους (κοκκομετρία, συμπύκνωση, ενεργό πορώδες κλπ) : (1) στη ζώνη των αλλουβιακών και (2) στη ζώνη των πλειο-πλειστοκαινικών αποθέσεων. Επιπλέον, ο αλλουβιακός υδροφορέας δύναται να διακριθεί σε ακόμα δύο ζώνες: α) στη ζώνη που παρατηρείται μικρή κατείσδυση, κατά τα αρχικά στάδια της εκμετάλλευσής του, που οριοθετείται στην περιοχή της Πόμπιας- Πετροκεφάλι και στην περιοχή του Μεσοχωριού μεταξύ των υδρορευμάτων Αναποδάρη και Λειβαδίτη και β) στη ζώνη του υπόλοιπου αλλουβιακού υδροφορέα. Όμως, αυτή η τελευταία ζωνοποίηση σύμφωνα με τα αποτελέσματα από την προηγουμένη υδρογεωλογική ανάλυση, μεταβάλλεται διαχρονικά καθότι παρατηρείται (που είναι και θεωρητικά αναμενόμενη) αύξηση της κατείσδυσης συνεπακόλουθη της πτώσης της στάθμης. Εδώ θα πρέπει να αναφερθεί ότι η λεκάνη της Μεσαράς έχει διακριθεί σε περισσότερες ζώνες όσο αφορά τα χαρακτηριστικά του υδροφορέα (πχ κώνοι κορημάτων, περιοχές με χονδρόκοκκα υλικά ή λεπτόκοκκα υλικά), όμως η διάκριση αυτή δεν μπορεί να έχει εφαρμογή στον υπολογισμό της κατείσδυσης από τη βροχόπτωση λόγω της έλλειψης των απαιτούμενων μετρήσεων.

Στο κεφάλαιο 3, με τη χρήση του υδρολογικού ομοιώματος Sacramento προσομοιώθηκε η λειτουργία του υδρολογικού συστήματος των λεκανών της Μεσαράς και ειδικότερα η σχέση βροχής-απορροής. Κατά την προσομοίωση του υδρολογικού συστήματος υπολογίζεται και η κατείσδυση και η πραγματική εξατμισοδιαπνοή. Το ομοίωμα ρυθμίστηκε σε τρεις λεκάνες απορροής της Μεσαράς με τα παρακάτω αποτελέσματα (βλέπε Πίνακ. 6- 3) σε τιμές μέσης υπερετήσιας κατείσδυσης.

Πίνακ. 6- 3 υπολογισθείσα κατείσδυση με το SACRAMENTO

α/α	Λεκάνη	Προσομοίωση Υδρολογικά έτη	κατείσδυση		Παρατη-ρήσεις
			mm	% Βροχό-πτωση	
1	Αναποδάρης- Πλακιώτισας	1974-1994	46,2	6,6%	Αρχικό στάδιο
2	Γεροπόταμος -Λιθαίος	1973-1987	107,9	11,8%	
3	Γεροπόταμος -Λιθαίος	1984-2003	167,7	18,4%	υπό πίεση
4	Γεροπόταμος- Φαιστός	1973-1986	45,2	6,4%	Αρχικό στάδιο
5	Γεροπόταμος-Φαιστός	1989-2003	93,3	13,9%	υπό πίεση

Η υπολογισθείσα κατείσδυση αφορά όλη την έκταση της εκάστης υδρολογικής λεκάνης η οποία στις συνθήκες της αρχικής εκμετάλλευσης υπολογίζεται στο 6,5% επί της επιφανειακής βροχόπτωσης (ή 46 mm) με εξαίρεση τη λεκάνη του

Λιθαίου που υπολογίζεται σε 11,8% επί της επιφανειακής βροχόπτωσης (ή 107,9 mm), εκεί όμως έχουμε δύο ειδικές συνθήκες εντός της λεκάνης: α) την ύπαρξη πηγών (Γέργερης) και β) την επιφανειακή εξάπλωση μαργαϊκών ασβεστολίθων που χαρακτηρίζονται «πολύ περατά» πετρώματα.
Σε συνθήκες υπό πίεση (υπερεκμετάλλευση) η μέση υπερετήσια κατείσδυση στο σύνολο της λεκάνης υπολογίζεται σε 13,9% επί της επιφανειακής βροχόπτωσης (ή 93,3 mm). Η διαφορετική τιμή που εμφανίζεται κατά την προσομοίωση στις δύο συνθήκες εντοπίζεται κύρια στη μεταβολή της κατείσδυσης στον αλλουβιακό υδροφορέα της λεκάνης της Μεσαράς λόγω της πτώσης της υδροστατικής στάθμης, και δευτερευόντως στον πλειστοκαινικό υδροφορέα επειδή η μεταβολή της κατείσδυσης αναμένεται να είναι μικρότερη λόγω του ότι η υδροστατική στάθμη βρισκόταν σε μεγαλύτερο βάθος. Αντίστοιχα στη λεκάνη του Λιθαίου η μέση υπερετήσια κατείσδυση υπολογίζεται σε 18,7% επί της επιφανειακής βροχόπτωσης και ερμηνεύεται με την αποθήκευση απορροών των πηγών για την πλήρωση της λιμνοδεξαμενής της Γέργερης και την αύξηση της κατείσδυσης στους μαργαϊκούς ασβεστολίθους λόγω της εκμετάλλευσής τους.
Το ποσοστό της υδρολογικής λεκάνης του Γεροποτάμου-Φαιστού που περιλαμβάνει όλους τους τύπους των υδροφορέων οι οποίοι εκμεταλλεύονται από γεωτρήσεις (αλλουβιακός και πλειστοκαινικός υδροφορέας της περιοχής προσομοίωσης, καθώς και οι μικρότερες εμφανίσεις μαργαϊκών ασβεστολίθων και γύψων που βρίσκονται στα βόρεια) υπολογίζεται στο 55%. Οπότε, κάνοντας την υπόθεση ότι η συνολική μεταβολή στην κατείσδυση από 6,4% σε 13,9% προέρχεται μόνο από το 55% της λεκάνης ενώ στην υπόλοιπη η κατείσδυση δεν μεταβλήθηκε, η μέση κατείσδυση που αντιστοιχεί στο τμήμα αυτό ανέρχεται σε 20% επί της επιφανειακής βροχόπτωσης (υπολογισμός: κατείσδυση πρακτικά αδιαπέρατου τμήματος + κατείσδυση περατού τμήματος = 13,9% ήτοι 45%*6,4%+ 55%*20%=13,9%). Επιπρόσθετα, κάνοντας την υπόθεση ότι η κατείσδυση στον πλειστοκαινικό υδροφορέα είναι μικρότερη λόγω της συμπύκνωσης που έχουν υποστεί τα υλικών και με δεδομένο ότι ο αλλουβιακός υδροφορέας καταλαμβάνει το 60%, η κατείσδυση στον αλλουβιακό εκτιμάται ότι ανέρχεται σε 21% και σε 19.3% πλειστοκαινικό επί της επιφανειακής βροχόπτωσης (υπολογισμός: κατείσδυση αλλουβιακού + κατείσδυση πλειστοκαινικού = 20% ήτοι 60%*21%+ 40%*19,3%=20%) .

Με βάση τα βιβλιογραφικά δεδομένα έχουν εκτιμηθεί οι παρακάτω συντελεστές κατείσδυσης για την περιοχή της Μεσαράς:

- Ο FAO (1972) εκτίμησε την κατείσδυση στον αλλουβιακό υδροφορέα της λεκάνης του Χάρακα σε 19% επί της βροχόπτωσης και στη λεκάνη των Μοιρών σε 20 % .

- Η εδαφική περιοχή του δήμου Κόφινα προσομοιώθηκε με το προσδιοριστικό ομοίωμα βροχής – απορροής SWBM (ΟΑΝΑΚ- Ε.Μ.Π., 1994) το οποίο υπολογίζει και την κατείσδυση (Παρίτσης Σ., 2000). Το ομοίωμα υπολόγισε την κατείσδυση για όλη την λεκάνη του δήμου Κόφινα, που περιλαμβάνει περατούς και αδιαπέρατους σχηματισμούς, σε μηνιαίο βήμα. Η μέση τιμή κατείσδυσης υπολογίσθηκε 14,7% επί της βροχόπτωσης και με εύρος τιμών 5,9%- 23% εξαρτώμενη από το υδρολογικό έτος.

- Η μελέτη ολοκληρωμένη διαχείριση υδατικών πόρων Κρήτης (Παπαγρηγορίου κα 2001) υπολόγισε την κατείσδυση με την εξής προσέγγιση: Η μέση εξατμισοδιαπνοή στη λεκάνη έχει υπολογιστεί ότι ανέρχεται, στο 70% της βροχόπτωσης, επομένως το υπολειπόμενο 30% είναι διαθέσιμο για απορροή και κατείσδυση. Για τη λεκάνη του Γεροποτάμου ελήφθησαν τα ακόλουθα ποσοστά: στις ζώνες ανάπτυξης των πλειοπλειστοκαινικών αποθέσεων, λαμβάνεται ποσοστό κατείσδυσης 65% επί του υπολειπομένου 30% από την αρχική τιμή βροχόπτωσης. Το ποσοστό αυτό αντιστοιχεί σε 19.5% επί του συνόλου της βροχόπτωσης. Για τις ζώνες ανάπτυξης των πλειο- πλειστοκαινικών αποθέσεων λαμβάνεται ποσοστό 70% επί της ενεργής βροχόπτωσης (επί του 30% της βροχόπτωσης). Το ποσοστό αυτό αντιστοιχεί σε 21.0% επί του συνόλου της βροχόπτωσης που δέχεται η λεκάνη.

- Στη μελέτη ‘’Υδρογεωλογική μελέτη Δήμου Μοιρών’’ του ΙΓΜΕ (Πολυχρονάκη 2000) το ποσοστό κατείσδυσης στις αλλουβιακές αποθέσεις της λεκάνης της Μεσαράς λαμβάνεται ίσο με 18% της βροχόπτωσης.

- Στη μελέτη ‘’Υδρογεωλογική μελέτη περιοχής ανατολικής Μεσαράς’’ του ΙΓΜΕ (Κνιθάκης & Πολυχρονάκη 1994) το ποσοστό της συνολικής κατείσδυσης (απευθείας και από τα υδρορεύματα) στις τεταρτογενείς αποθέσεις του πεδινού τμήματος (λεκάνη Χάρακα) εκτιμάται της τάξης των 30-35% των βροχοπτώσεων.

- Στη μελέτη «επί των υδρογεωλογικών συνθηκών της περιοχής του αναπτυξιακού συνδέσμου Νοτίου Μαλεβιζίου Ν. Ηρακλείου», ΙΓΜΕ (Πολυχρονάκη κα 1993) το ποσοστό της κατείσδυσης στα περατά τμήματα των νεογενών αποθέσεων λαμβάνεται ίσο με 26,5% της βροχόπτωσης.

Συνοψίζοντας, η κατείσδυση από την άμεση βροχόπτωση στην περιοχή της Μεσαράς λόγω της έλλειψης μετρήσεων, και θα πρέπει να σημειωθεί επίσης ότι υπάρχει έλλειψη μετρήσεων και στις άλλες λεκάνες του νησιού, υπολογίσθηκε στην παρούσα εργασία, με βάση τα αποτελέσματα του ομοιώματος Sacramento σε συσχέτιση με τα χαρακτηριστικά των υδροφορέων, για δυο ζώνες (βλέπε εικόνα 6- 8 Παράρτημα Κεφ. 6): α) τη ζώνη των αλλουβιακών αποθέσεων με μέση τιμή 21% επί της μέσης επιφανειακής βροχόπτωσης και β) τη ζώνη των πλειο-πλειστοκαινικών αποθέσεων ανάλογα σε 19,3%.
Οι τιμές αυτές συγκλίνουν με τα αποτελέσματα του ομοιώματος SWBM (ΟΑΝΑΚ- Ε.Μ.Π., 1994) καθώς και με τις εκτιμήσεις που έχουν γίνει από υδρογεωλογικές μελέτες της περιοχής.

Επισημαίνεται ότι ο ορισμός των ποσοτήτων τροφοδοσίας του ομοιώματος από την άμεση κατείσδυση της βροχόπτωσης γίνεται με αναφορά του ύψους του νερού τροφοδοσίας στη ζώνη εφαρμογής, ανά μονάδα επιφανείας. Το ομοίωμα αναλαμβάνει στη συνέχεια τον υπολογισμό του αντιστοιχούντος όγκου νερού με τον οποίο επιτελείται η τροφοδοσία. Η προσομοίωση θα γίνει με χρήση του recharge package.

Στο χάρτη της εικόνας 6-8 (παράρτημα 6) απεικονίζονται οι ζώνες κατανομής διαφορετικών ποσοστών κατείσδυσης από βροχόπτωση που εφαρμόστηκαν στο ομοίωμα.

6.4.4.5 Επιστροφές από άρδευση

Η περιοχή της λεκάνης της Μεσαράς αποτελεί μια από τις σημαντικότερες πεδιάδες της Κρήτης όπου αναπτύσσεται έντονη γεωργική δραστηριότητα και έχουν κατασκευασθεί σημαντικά δημόσια και ιδιωτικά έργα υδροληψίας για την άρδευση της περιοχής. Η υδρολιθολογική της δομή εξάλλου υποδεικνύει ότι τα ιζήματα που την πληρούν χαρακτηρίζονται με υψηλό συντελεστή διαπερατότητας. Τα γεγονότα αυτά σε συνδυασμό με την επί τόπου εμπειρία, οδηγούν στο συμπέρασμα ότι είναι απαραίτητη η θεώρηση στο ομοίωμα και μιας επιπλέον πηγής τροφοδοσίας της υπόγειας υδροφορίας, τις επιστροφές άρδευσης. Η ποσότητα αυτή αναφέρεται στο νερό που διηθείται διαμέσου της ακόρεστης ζώνης και τελικά τροφοδοτεί το υδροφόρο σύστημα από την περίσσεια της εφαρμογής του αρδευτικού νερού. Άμεσοι υπολογισμοί των επιστροφών άρδευσης δεν έχουν γίνει για την περιοχή της Μεσαράς. Όμως, με βάση την υδρολιθολογία των ιζημάτων που δομούν τη λεκάνη της Μεσαράς, τον τρόπο άρδευσης, την πρακτική που έχει εφαρμοστεί σε άλλες ελληνικές λεκάνες ανάλογου υδρογεωλογικού περιβάλλοντος και γενικά βιβλιογραφικά δεδομένα, οι επιστροφές άρδευσης κυμαίνονται σε ποσοστά 4% - 8% επί της ποσότητας άρδευσης. Πιο συγκεκριμένα, με βάση τα δεδομένα της περιοχής, η κύρια μέθοδος άρδευσης είναι η στάγδην, η απόδοση της οποίας κυμαίνεται μεταξύ 70%-85% (Πανώρας κ.α., 1999; Αγγελάκης κ.α., 1995). Επομένως 15%-30% είναι το ποσοστό απωλειών αυτού του συστήματος άρδευσης το οποίο χάνεται σε εξάτμιση, επιφανειακή απορροή και βαθιά διήθηση (δηλαδή επιστροφή άρδευσης). Παράλληλα, είναι γνωστό ότι κύρια κατά την καλλιεργητική περίοδο η δυνητική εξάτμιση λαμβάνει πολύ υψηλές τιμές και ότι το ποσοστό απωλειών σε επιφανειακή απορροή με την στάγδην άρδευση είναι πρακτικά μηδενικό. Επίσης, θα πρέπει να λάβουμε υπόψη ότι στην περιοχή λειτουργούν πολλές ιδιωτικές γεωτρήσεις και η τιμή πώλησης του νερού από τα συλλογικά δίκτυα (ΤΟΕΒ), με εξαίρεση τα Δημοτικά, είναι μικρή και επομένως υπάρχουν ενδείξεις ότι εφαρμόζονται μεγαλύτερες ποσότητες από τις ορθολογικά απαιτούμενες. Συνεπακόλουθα, τα ποσοστά που θεωρούμε στα πλαίσια της μελέτης αυτής για τον υπολογισμό των επιστροφών άρδευσης εκτιμούμε ότι ανέρχονται στο υψηλότερο ποσοστό που προτείνεται από τη βιβλιογραφία δηλαδή στο 8%. Τα ποσοστά αυτά αναφέρονται στο σύνολο των αντλούμενων από κάθε περιοχή ποσοτήτων νερού για κάλυψη των αρδευτικών αναγκών και επομένως οι απόλυτες τιμές τους είναι υψηλότερες κατά τη θερινή περίοδο και ελαχιστοποιούνται κατά τη χειμερινή περίοδο. Ακολουθούν δηλαδή την ακριβώς αντίθετη πορεία μεταβολής από αυτήν της τροφοδοσίας του συστήματος από απευθείας τροφοδοσία εξαιτίας της βροχόπτωσης. Οι ζώνες όπου έχει εφαρμοστεί στο ομοίωμα η τροφοδοσία αυτή ταυτίζονται με τις βασικές ζώνες εφαρμογής αρδεύσεων.

6.4.4.6 Επιστροφές από οικισμούς

Στον εμπλουτισμό του υδρογεωλογικού συστήματος συμβάλουν ακόμα, όμως με πολύ μικρότερες σχετικά ποσότητες, οι απορροές από την οικιακή κατανάλωση. Οι οικισμοί της Μεσαράς στερούνται βιολογικών καθαρισμών, με μοναδική εξαίρεση της Πόμπιας που χρησιμοποιεί «φυσικό σύστημα» καθαρισμού. Το

νερό των αποχετεύσεων είτε χρησιμοποιώντας σηπτικούς είτε απορροφητικούς βόθρους καταλήγει στον υδροφορέα.
Η κύρια επίπτωση προφανώς είναι η ρύπανση και η ποιοτική υποβάθμιση των νερών του υδροφορέα με ότι συνέπειες συνεπάγεται αυτό. Η μελέτη αυτού του αντικειμένου θεωρείται έξω από το αντικείμενο της παρούσας εργασίας. Όμως θα πρέπει να σημειωθεί ότι το υδρογεωλογικό ομοίωμα που αναπτύχθηκε με την παρούσα εργασία δύναται να αποτελέσει το υπόβαθρο για να αναπτυχθεί ένα μοντέλο διασποράς ρύπων και να ποσοτικοποιηθούν οι επιπτώσεις από τους ρύπους.

Για τον υπολογισμό των ποσοτήτων εμπλουτισμού λόγω των διαρροών από τους οικισμούς θεωρήθηκε ότι το 80% της οικιακής κατανάλωσης κάθε οικισμού καταλήγει στον υδροφορέα εντός της οικιστικής ζώνης του. Μια τέτοια θεώρηση απεικονίζει την υπάρχουσα κατάσταση λόγω της διασποράς των βόθρων και προσομοιώθηκε με το πακέτο recharge του modflow.

6.4.5. Υδραυλικές παράμετροι

Για τον πλήρη ορισμό των παραμέτρων για την προσομοίωση των υδραυλικών χαρακτηριστικών στο ομοίωμα απαιτείται η περιγραφή της κατανομής των τιμών της μεταβιβαστικότητας T ή του συντελεστή υδαταγωγιμότητας K (T=Kb, όπου b είναι το ενεργό πάχος του υδροφορέα) αλλά και των συντελεστών της εναποθήκευσης S. Η υδαταγωγιμότητα στις περισσότερες περιπτώσεις είναι η περισσότερο κρίσιμη και ευαίσθητη παράμετρος στη προσομοίωση. Η κάθε προσπάθεια στο σχεδιασμό θα πρέπει να γίνεται με τα δεδομένα των τιμών που λαμβάνονται από την ύπαιθρο κατά προτίμηση από αντλητικές δοκιμές. Μόνο μετά την εξάντληση όλων των δυνατών αλλαγών των άλλων παραμέτρων του συστήματος και εφόσον δεν έχουμε σύγκλιση του ομοιώματος, τότε θα πρέπει να μεταβληθεί και η τιμή του K.

Οι υδραυλικές παράμετροι του υδρογεωλογικού συστήματος αναλυτικά παρουσιάσθηκαν στο κεφάλαιο της υδρογεωλογίας οι οποίες έχουν κύριο χαρακτηριστικό τους το μεγάλο εύρος διακύμανσης των τιμών τους. Στο ίδιο κεφάλαιο ο υδροφορέας της Μεσαράς διακρίθηκε σε ζώνες οι οποίες σχετικά εμφανίζουν ομοιόμορφα υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά όπως κοκκομετρική σύσταση, γεωμετρία, υδραυλικά χαρακτηριστικά (βλέπε χάρτη εικόνες 6-3, 6-4 και 6-5 στο Παράρτημα Κεφ. 6)). Ωστόσο, ακόμα και στις ζώνες αυτές οι τιμές των υδραυλικών παραμέτρων εμφανίζουν ένα σημαντικό εύρος διακύμανσης. Στο ομοίωμα θα εισαχθούν οι ζώνες αυτές τόσο σε οριζόντια διάκριση όσο και σε κατακόρυφη και οι τιμές, κατά αρχή, των υδραυλικών παραμέτρων θα είναι η μέση τιμή της κάθε ζώνης. Οι τιμές των ζωνών πιθανά να τροποποιηθούν μέσα στα όρια του εύρους της διακύμανσης τους κατά τη διαδικασία ρύθμισης του ομοιώματος.

Με δεδομένο ότι η στάθμη του υδροφορέα μεταβλήθηκε σημαντικά, ο συντελεστής μεταβιβαστικότητας αναμένεται να μεταβλήθηκε και αυτός σημαντικά. Αυτό επαληθεύτηκε από τις παραμέτρους που ελήφθησαν από την αξιολόγηση στοιχείων ενδεικτικών αντλήσεων συγκρινόμενες με τις παραμέτρους του FAO, χρησιμοποιώντας τις ίδιες μεθόδους ανάλυσης (μέθοδοι Jacob's time-drawdown, Jacob's Residual drawdown και Theis graphical

method of superposition). Αυτό δεν είναι μειονέκτημα στην προσομοίωση του υδρογεωλογικού συστήματος της Μεσαράς, επειδή στην ανάπτυξη του ομοιώματος, όπως προαναφέρθηκε, χρησιμοποιήθηκε η γεωμετρία των υδροφόρων στρωμάτων και οι τιμές που εισάχθηκαν είναι του συντελεστή υδαταγωγιμότητας K οι οποίες δεν εξαρτώνται από την στάθμη του νερού στον υδροφορέα. Το ομοίωμα υπολογίζει σε κάθε επανάληψή του το T πολλαπλασιάζοντας το K με το κορεσμένο πάχος του υδροφορέα b.
Ο υδροφορέας της Μεσαράς σε κάθε ζώνη που διακρίθηκε θεωρήθηκε ισότροπος στο οριζόντιο επίπεδο και οι τιμές της υδαταγωγιμότητας K_x και K_y λήφθηκαν ίδιες. Στο κατακόρυφο η τιμή του συντελεστή της υδαταγωγιμότητας K_Z θεωρήθηκαν μια τάξη μικρότερη.

Όσον αφορά τις τιμές του συντελεστή εναποθήκευσης S, στην προσομοίωση απαιτείται ο ορισμός δύο διαφορετικών παραμέτρων-συντελεστών: (1) του συντελεστή εναποθήκευσης S_y ο οποίος αναφέρεται στη λειτουργία του υδροφόρου συστήματος υπό συνθήκες ελεύθερης υδροφορίας και συμπίπτει με την ειδική απόδοση (specific yield) και (2) του συντελεστή S_s που αναφέρεται στις περιπτώσεις λειτουργίας του συστήματος υπό συνθήκες υπό πίεση υδροφορίας. Ο κώδικας προσομοίωσης επιλέγει κάθε φορά την αρμόζουσα παράμετρο ανάλογα με τη σχετική θέση της οροφής του υδροφόρου συστήματος με την πιεζομετρική επιφάνεια. Οι συντελεστές και εδώ ελήφθησαν από δεδομένα δοκιμαστικών αντλήσεων των γεωτρήσεων της λεκάνης, όπως αναλυτικά παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο της υδρογεωλογίας, και ως εκ τούτο θεωρούνται οι πλέον ρεαλιστικοί για την προσομοίωση της περιοχής. Τυπικές τιμές της υδροχωρητικότητας σε ελεύθερο υδροφορέα είναι της τάξης μεταξύ 0,3 και 0,001 ενώ σε υπό «πίεση υδροφορέα» είναι της τάξης μεταξύ 0,001 και 0,00001.

Στον Πίνακ. 6- 4 και Πίνακ. 6- 5 δίνεται ο υπολογισμός των συντελεστών υδαταγωγιμότητας του αλλουβιακού υδροφορέα καθώς και το εύρος της διακύμανσής τους σε κάθε ζώνη. Οι υψηλότεροι συντελεστές καταγράφηκαν στον υδροφορέα των Μοιρών οι οποίοι κυμαίνονται από 3-217 m/day και οι μέσες τιμές τους από 10-130 m/day. Στη περιοχή του Χάρακα οι συντελεστές υδαταγωγιμότητας μικρότεροι και κυμαίνονται από 0,02 - >17 m/day με μέσες τιμές 0,1 - >17 m/day. Για την περιοχή της Βαγιονιάς και με βάση τα περιορισμένα δεδομένα του αλλουβιακού υδροφορέα και της δυσκολίας απόκτησης νέων (λόγω της υπεράντλησής του) οι τιμές θεωρείται ότι κυμαίνονται στο εύρος της λεκάνης του νότιου τμήματος του Χάρακα δηλαδή από 0,1 m/day έως 15 m/day.

Όπως προαναφέρθηκε, για τον πλειστοκαινικό υδροφορέα τα δεδομένα είναι περιορισμένα και οι τιμές των συντελεστών υδαταγωγιμότητας κυμαίνονται από 0,27 έως 5,5 m/day. Στη λεκάνη των Μοιρών οι τιμές συγκλίνουν στα 4,1 m/day στη λεκάνη των Γκαγκαλών στα 2,7 m/day της Βαγιονιάς στα 1,4 m/έτος στο βόρειο- κεντρικό τμήμα της λεκάνης του Χάρακας σε 4,1 m/day και στο νότιο σε 0,27- 1,4 m/day. Οι παραπάνω τιμές θα εισαχθούν στο ομοίωμα και θα τροποποιηθούν κατά τη ρύθμισή του μέσα στα παραπάνω όρια.

Πίνακ. 6- 4 Συντελεστές μεταβιβαστικότητας Τ και υδαταγωγιμότητας Κ ζωνών αλλουβιακών αποθέσεων της λεκάνης Μοιρών

α/α	Περιοχή	Έκταση km^2	Πάχος αλλουβιακών αποθέσεων σε m		Εύρος Μεταβιβαστικότητας		Μέση τιμή Τ (m^2/day)	Εύρος υδαταγωγιμότητας		Μέση τιμή Κ (m/day)
			Μέσο συνολικό πάχος (m)	Κορεσμένο πάχος υδροφορέα (m)	Τ1 (m^2/day)	Τ2 (m^2/day)		Κ1 (m/day)	Κ2 (m/day)	
		1	2	3	4	5	6=(4+5)/2	7=4/3	8=5/3	9=(7+8)/2
1	Γεροπόταμος- ανατολή	5.01	45	40	850	4350	2600	21.25	108.75	65.00
2	Γεροπόταμος - κέντρο	2.23	23	20	850	4350	2600	42.50	217.50	130.00
3	Γεροπόταμος-δύση	6.40	65	62	4300	8000	6150	69.35	129.03	99.00
ΣΥΝΟΛΟ/ ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ ΓΕΡΟΠΟΤΑΜΟΥ		***13.63***	**44**	**41**	**2000**	**5567**	**3783**	**44**	**152**	**98**
4	Λιθαίος	4.13	60	35	850	4350	2600	24.29	124.29	74.00
5	Σκαφουλιέρης	5.35	30	20	85	430	257.5	4.25	21.50	13.00
6	Πέρι -Πλάτανος	6.51	25	16	430	850	640	26.88	53.13	40.00
7	Πετροκεφάλι	7.91	30	27	85	430	257.5	3.15	15.93	10.00
8	Μοίρες	12.76	25	20	85	430	257.5	4.25	21.50	13.00
ΓΕΝΙΚΟ ΣΥΝΟΛΟ/ ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ		**50.3**	**38**	**30**	**942**	**2899**	**1920**	**24**	**86**	**56**

Πίνακ. 6- 5 Συντελεστές μεταβιβαστικότητας Τ και υδαταγωγιμότητας Κ ζωνών αλλουβιακών αποθέσεων της λεκάνης Χάρακα

α/α	**Περιοχή**	**Κωδι-κός**	Πάχος αλλουβιακών αποθέσεων		Έκταση km^2	Εύρος Μεταβιβαστικότητας		Μέση τιμή T (m^2/day)	Εύρος υδαταγωγιμότητας		Μέση τιμή K (m/day)
			Μέσο συνολικό πάχος (m)	Κορεσμένο πάχος υδροφορέα (m)		T1 (m^2/day)	T2 (m^2/day)		KX1 (m/day)	KX2 (m/day)	
			1	**2**	**3**	**4**	**5**	6=(4+5)/2	**7=4/2**	**8=5/2**	9=(7+8)/2
1	ΥΠΩΡΕΙΕΣ ΑΣΤΕΡΟΥΣΙΩΝ (1)	ΧΑ1	60	50	6.0	>860	>860	>860	>17	>17	>17
2	ΑΝΑΠΟΔΑΡΗΣ	ΧΑ3	100	90	5.1	>860	>860	>860	>17	>17	>17
3	ΝΔ ΤΜΗΜΑ	ΧΑ4	110	93	6.1	9	79	44	0.10	0.8	0.5
4	ΥΠΩΡΕΙΕΣ ΑΣΤΕΡΟΥΣΙΩΝ (2)	ΧΑ2	120	113	7.9	>860	>860	>860	>17	>17	>17
5	ΛΕΙΒΑΔΙΤΗΣ - ΠΡΟΤΟΡΙΑ	ΧΑ6	120	115	8.4	85	850	468	0.74	7.4	4.1
6	ΛΙΓΟΡΤΥΝΟΣ	ΧΑ7	60	54	6.7	85	850	468	1.57	15.7	8.7
7	ΔΥΤΙΚΕΣ ΥΠΩΡΕΙΕΣ ΑΣΤΕΡΟΥΣΙΩΝ	ΧΑ5	60	50	2.2	1	8	5	0.02	0.2	0.1
8	ΔΥΤΙΚΟ ΤΜΗΜΑ	ΧΑ8	100	88	4.3	9	80	45	0.10	0.9	0.5
9	ΒΑ ΤΜΗΜΑ	ΧΑ12	60	50	3.0	1	8	5	0.02	0.2	0.1
10	ΝΑ ΤΜΗΜΑ	ΧΑ9	60	52	5.0	1	8	5	0.02	0.2	0.1
11	ΑΣΗΜΙ- ΒΔ ΤΜΗΜΑ	ΧΑ11	80	70	3.1	1	8	5	0.01	0.1	0.1
12	ΑΝΑΤΟΛΙΚΟ ΤΜΗΜΑ ΑΝΑΠΟΔΑΡΗ	ΧΑ10	60	55	5.1	1	8	5	0.02	0.1	0.1
ΣΥΝΟΛΑ /ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ			**82.5**	**73.3**	**62.9**						

6.4.6. Εφαρμοσμένα υδραυλικά φορτία- Υδροληπτικά έργα– Αντλήσεις

Ο υδροφορέας της Μεσαράς είναι από τους πλέον εκμεταλλευόμενους στην Κρήτη από ένα μεγάλο αριθμό γεωτρήσεων, όπως ανάλογα συμβαίνει και στους υπόλοιπους προσχωματικούς του νησιού λόγω των πλεονεκτημάτων τους που σχετίζονται με την υψηλή υδροστατική στάθμη. Τα βάθη των γεωτρήσεων ποικίλουν από τα 8-15 μέτρα στην περιοχή του Χάρακα (χαρακτηρίζονται ως πηγάδια) μέχρι το βάθος των 300 μέτρων στην περιοχή των Γκαγκαλών. Το σύνηθες βάθος είναι της τάξης των 80-150 μέτρα. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι λόγω των προβλημάτων της πτώσης της στάθμης που προκλήθηκε από την υπεράντληση, επιβλήθηκαν, με κανονιστικές αποφάσεις του νομάρχη Ηρακλείου, απαγορευτικά και περιοριστικά μέτρα στην ανόρυξη γεωτρήσεων και στην άντληση νερού, από τα μέσα της δεκαετίας του 1980. Παρόλο αυτά, η δυσκολία του ελέγχου της εφαρμογής των μέτρων αυτών και γενικότερα η έλλειψη της αστυνόμευσης είχε ως αποτέλεσμα την ανόρυξη νέων γεωτρήσεων και την παντελή απουσία ελέγχου των αντλούμενων ποσοτήτων. Η μόνη εξαίρεση είναι εντός της ζώνης αρμοδιότητας των ΤΟΕΒ στη περιοχή των Μοιρών και των Βασιλικών Ανωγείων. Η κατάσταση αυτή ακόμα και σήμερα, παρά το αυστηρό θεσμικό πλαίσιο που έχει θεσπιστεί, δεν έχει αλλάξει.

Κατόπιν των παραπάνω διαπιστώσεων και της έλλειψης μητρώου γεωτρήσεων, το έτος 2002 στα πλαίσια εκπόνησης της μελέτης πραγματοποιήθηκε καταμέτρηση, η οποία επικαιροποιήθηκε το έτος 2004 μετά τα νέα δεδομένα που προέκυψαν και ειδικότερα από το μητρώο ηλεκτρικής παροχής της ΔΕΗ (σε αυτό οφείλεται οι τυχόν μικρές διαφορές μεταξύ των πινάκων που ακολουθούν και των αντίστοιχων στο κεφάλαιο 5 της υδρογεωλογίας). Συλλέχθησαν, κατά το δυνατόν, στοιχεία γεωτρήσεων όπως οι συντεταγμένες τους, η παροχή άντλησης, τα υδροφόρα στρώματα, το πάχος των στρωμάτων, τα βάθη κλπ. Συνοπτικά στοιχεία, μετά την επεξεργασία των δεδομένων δίνονται στον Πίνακ. 6--6 . Στον πίνακα αυτό δίνεται ο αριθμός των γεωτρήσεων που καταγράφηκε ταξινομημένες ανά τοπικό διαμέρισμα, ανά δήμο και ανά υδροφόρο σχηματισμό και συγκρίνεται με τον αριθμό των καταμετρητών παροχής ηλεκτρικού ρεύματος (ΔΕΗ). Σύμφωνα με την απογραφή αυτή, ο συνολικός αριθμός των υδροληπτικών έργων στην περιοχή της Μεσαράς ανέρχεται σε 848 λειτουργούσες γεωτρήσεις και πηγάδια. Αξιοσημείωτο, είναι ο αριθμός των ιδιωτικών γεωτρήσεων που ανέρχεται σε ποσοστό περίπου το 92% έναντι του 8% που ανήκουν σε συλλογικά έργα (ΤΟΕΒ, Δήμοι). Στα σχήματα της εικόνας 6- 9 … εικόνα 6-14 στο παράρτημα 6 δίνονται γραφικές παραστάσεις με στατιστικά στοιχεία των γεωτρήσεων. (Απογραφή που έγινε το 1990 από την ΥΕΒ αναφέρθηκαν 485 γεωτρήσεις συμπεριλαμβάνοντας και τις γεωτρήσεις του γειτονικού υδροφορέα του Τυμπακίου).

Στην περιοχή της Μεσαράς δεν υπάρχει καταμέτρηση των αντλούμενων ποσοτήτων νερού των γεωτρήσεων λόγω της έλλειψης υδρομέτρων, όπως αυτό συμβαίνει σε όλη την Κρήτη. Αυτό παρατηρείται ακόμα και στους συλλογικούς φορείς (ΤΟΕΒ, Δήμοι) όπου υπάρχει ελλιπής καταγραφή. Έγινε προσπάθεια υπολογισμού των αντλούμενων ποσοτήτων με βάση την κατανάλωση της ηλεκτρικής ενέργειας, όμως δειγματοληπτικός συσχετισμός εμφάνισε μικρή σημαντικότητα ή μεγάλη αβεβαιότητα γιατί δεν είναι γνωστά τα τεχνικά

χαρακτηριστικά των αντλιών, το φορτίο που διακινούν και ο βαθμός απόδοσής τους. Από δειγματοληπτικό έλεγχο που πραγματοποιήθηκε σε γεωτρήσεις του ΤΟΕΒ Γ' ζώνης, που τα δεδομένα τους θεωρούνται αξιόπιστα, έδωσαν τιμές από 1,75 μέχρι 2,15 m^3 ανά KWh. Με βάση τη μέση ετήσια κατανάλωση ενέργειας του Πίνακ. 6--6 προκύπτει ότι οι αντλήσεις για τη λεκάνη των Μοιρών κυμαίνονται από 17,6 μέχρι 21,7 Mm^3 για τη λεκάνη της Βαγιονιάς και Ασημίου από 12,2 μέχρι 15 Mm^3 και για τη λεκάνη του Χάρακα από 7,4 μέχρι 9,1 Mm^3. Συνολικά με βάση την παραπάνω προσέγγιση οι συνολικές μέσες ετήσιες αντλήσεις της λεκάνης της Μεσαράς κυμαίνονται από 37,3 μέχρι 45,8 Mm^3.

Λόγω της έλλειψης μετρήσεων, για τον υπολογισμό των αντλούμενων ποσοτήτων ακολουθήθηκε και η παρακάτω προσέγγιση. Με βάση τη μέση παροχή άντλησης των γεωτρήσεων, που προέκυψε από την απογραφή των γεωτρήσεων στα πλαίσια της μελέτης, ανά τοπικό διαμέρισμα και ανά τύπο υδροφορέα υπολογίσθηκε η συνολική ωριαία παροχή άντλησης (βλέπε Πίνακ. 6--6). Για την εκτίμηση της ακρίβεια των υπολογισμών, η συνολική ωριαία παροχή άντλησης ανά τοπικό διαμέρισμα συσχετίστηκε με τη συνολική μέση ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας τεσσάρων ετών (2000-2003) η οποία εμφάνισε σημαντική συσχέτιση 96,9% (βλέπε σχήμα Εικόνα 7-6.4.6-1). Ο βαθμός σημαντικότητας αποτελεί ένα επιπρόσθετο στοιχείο δείχνοντας ότι οι αντλούμενες ποσότητες όπως υπολογίσθηκαν από τα δεδομένα που καταγράφηκαν είναι ρεαλιστικά καθώς η μέτρηση της ηλεκτρικής ενέργειας δεν περιέχει σφάλματα.

Ο υπολογισμός των ετήσιων αντλούμενων ποσοτήτων προσεγγίσθηκε με τρία σενάρια: α)οκτάωρη ημερήσια άντληση για έξι μήνες, β) δεκάωρη ημερήσια άντληση για έξι μήνες και γ) δωδεκάωρη ημερήσια άντληση για έξι μήνες. Τα σενάρια αυτά βασίσθηκαν στα δεδομένα που μας δόθηκαν από τους καλλιεργητές, που ως γνωστό η σημαντικότερη κατανάλωση είναι η άρδευση των καλλιεργειών. Οι υπολογισμοί για τα τρία σενάρια ανά δήμο, ανά τύπο υδροφορέα και ανά λεκάνη δίνονται στον Πίνακ. 6- 7. Η πλέον ρεαλιστική προσέγγιση θεωρείται αυτή με το δεύτερο σενάριο (δεκάωρη άντληση) με αντλούμενη ποσότητα από το σύνολο της λεκάνης της Μεσαράς να ανέρχεται στο ύψος των 39,7 Mm^3. Λόγω της μεγάλης αβεβαιότητας των αντλήσεων οι αντλούμενες ποσότητες θα διαμορφωθούν από τη ρύθμιση του ομοιώματος υπόγειας ροής.

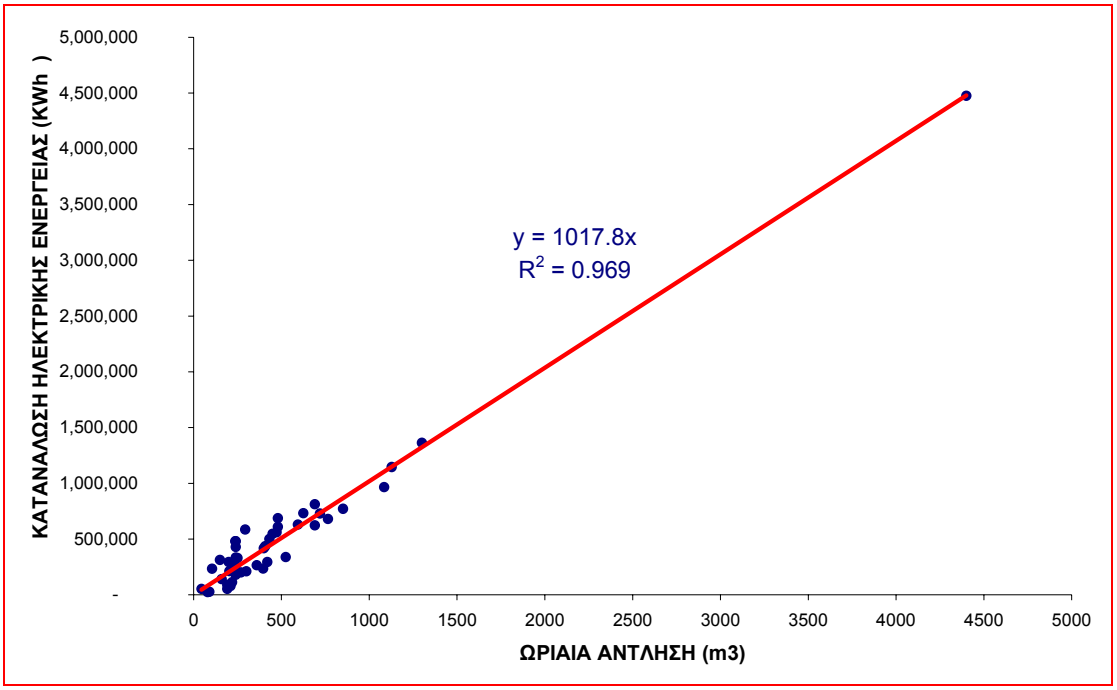
Η μηνιαία κατανομή των αντλήσεων στο χρόνο (χρονοσειρά αντλήσεων) στη λεκάνη της Μεσαράς υπολογίσθηκε με βάση την ετήσια κατανάλωση στην ύδρευση και την άρδευση. Στην ύδρευση συμπεριλήφθηκε και η κατανάλωση από τα ελαιοτριβεία. Η κατανομή στην άρδευση έγινε με βάση τις αρδευόμενες εκτάσεις και τις αρδευτικές ανάγκες ανά είδος καλλιέργειας που είναι κυρίως ελιές, αμπέλια και κηπευτικά. Τα μηνιαία ποσοστά δίνονται στο σχήμα της Εικόνα 7-6.4.6-2.

Ωστόσο, επισημαίνεται στο σημείο αυτό ότι δεν συζητούνται στην παρούσα εργασία, κάτι που αναφέρεται σε άλλες σχετικές εργασίες, τα υφιστάμενα υδροληπτικά έργα που λειτουργούν «παράτυπα» ή και «παράνομα». Αυτό επειδή, όπως προαναφέρθηκε, δεν γνωρίζουμε τις ποσότητες που αντλούνται ούτε από τα «νόμιμα» υδροληπτικά έργα, οπότε και αυτά λειτουργούν

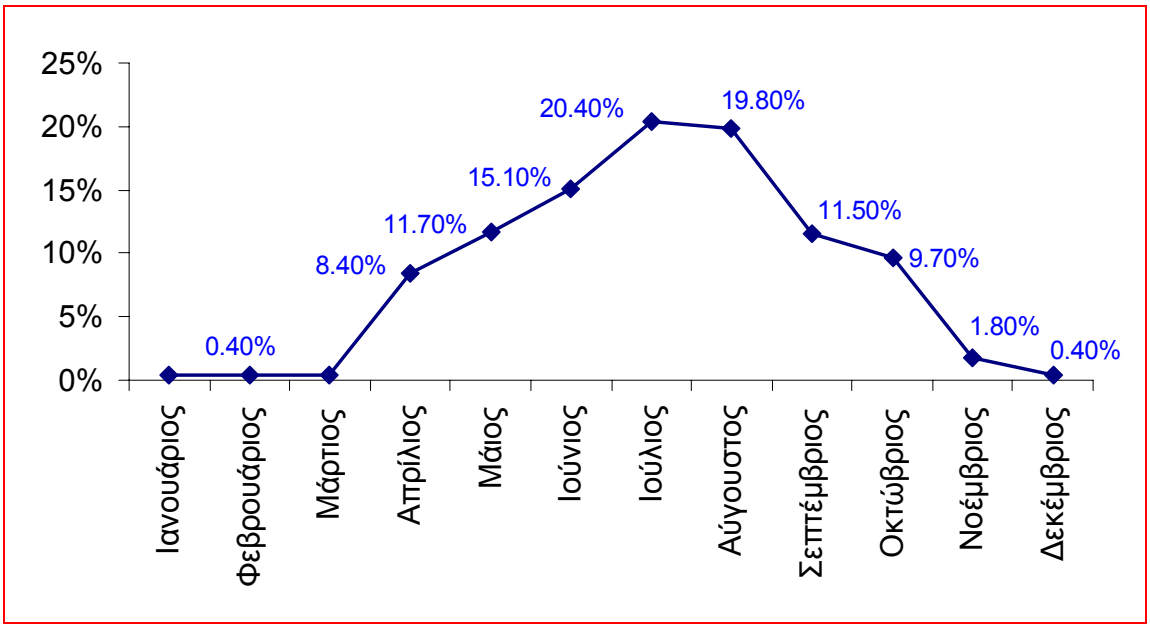
«παράτυπα ή παράνομα», επομένως ο χαρακτηρισμός αυτός δεν έχει κανένα πρακτικό αποτέλεσμα. Εδώ, τα υδροληπτικά έργα δεν εξετάζονται ως προς διοικητικό χαρακτηρισμό τους αλλά θεωρούνται ότι όλα τα υδροληπτικά έργα αντλούν νερό από τον υδροφορέα και επιφέρουν επιπτώσεις στο υδατικό ισοζύγιό του. Η προσέγγιση με σενάρια άντλησης, που ακολουθήθηκε παραπάνω, μας επιτρέπει να συνυπολογίζουμε τις συνολικά αντλούμενες ποσότητες από τον υδροφορέα.

Στα σχήματα των εικόνων 6-9 …6-14 (Παράρτημα Κεφ. 6) δίνονται οι γραφικές παραστάσεις των δεδομένων του Πίνακ. 6--6 και Πίνακ. 6- 7 .

Οι αντλήσεις προσομοιώθηκαν με χρήση του πακέτου Well του modflow και αποτελούν οριακή συνθήκη σταθερής ροής. Η τιμή που ορίζεται σε μια τέτοια οριακή συνθήκη επιτρέπεται να μεταβάλλεται μόνο σε κάθε περίοδο φόρτισης του ομοιώματος (stress period). Το λογισμικό πακέτο που χρησιμοποιήθηκε δίδει τη δυνατότητα ορισμού περισσοτέρων του ενός υδροληπτικών έργων ανά στοιχειώδη κυψελίδα του ομοιώματος. Ωστόσο, μαθηματικά ο χρησιμοποιούμενος κώδικας αθροίζει τελικά το σύνολο των εφαρμοζόμενων φορτίων ανά κυψελίδα προ της επίλυσης του ομοιώματος.
Η κατανομή των υδροληπτικών έργων στην περιοχή του ομοιώματος, βασίστηκε στην απογραφή των γεωτρήσεων που αναφέρθηκε παραπάνω.



Εικόνα 7-6.4.6-1 σχέση συνολικής ωριαίας άντληση- συνολική κατανάλωση ενέργειας ανά τοπικό διαμέρισμα.



Εικόνα 7-6.4.6-2 Μηνιαία κατανομή των ετήσιων αντλήσεων στη λεκάνη Μεσαράς

Πίνακ. 6--6 Στοιχεία γεωτρήσεων λεκάνης Μεσαράς

ΛΕΚΑΝ	ΥΔΡΟΦΟΡΕΑΣ	ΤΟΠΙΚΟ ΔΙΑΜΕΡΙΣΜΑ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ		ΜΕΣΗ ΠΑΡΟΧΗ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ (m^3/h)	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΩΡΙΑΙΑ ΑΝΤΛΗΣΗ (m^3/h)	ΕΤΗΣΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (KWh)	
			ΚΑΤΑΜ/ΤΕΣ ΔΕΗ	ΑΠΟ-ΓΡΑΦΗ			ΣΥΝΟΛΙΚΗ	ΜΕΣΗ ΑΝΑ ΓΕΩΤΡΗΣΗ
ΛΕΚΑΝΗ ΜΟΙΡΩΝ		**ΔΗΜΟΣ ΜΟΙΡΩΝ**						
	ΠΛ/ΚΟ	ΓΑΛΙΑ	16	10	25	250	329,843*	12,884*
	ΑΛΛΟΥΒΙΑΚΟΣ	ΑΛΗΘΙΝΗ	3	3	70	210	77,951	25,984
		ΚΑΜΗΛΑΡΙ	5	4	60	240	179,953	35,991
		ΚΑΠΑΡΙΑΝΑ	6	6	50	300	210,179	35,030
		ΚΑΣΤΕΛΙ	5	5	30	150	312,768	62,554
		ΚΟΥΣΕΣ	4	4	60	240	429,391	107,348
		ΜΟΙΡΕΣ	60	55	80	4400	4,476,177	74,603
		ΠΕΡΙ	3	3	30	90	27,581	9,194
		ΠΕΤΡΟΚΕΦΑΛΙ	9	7	75	525	337,991	37,555
		ΠΟΜΠΙΑ	14	10	130	1300	1,363,252	97,375
		ΣΥΝΟΛΟ ΔΗΜΟΥ ΜΟΙΡΩΝ	***125***	***107***	***610***	***7,705***	***7,415,242***	
		ΔΗΜΟΣ ΓΟΡΤΥΝΑΣ						
		ΠΛΑΤΑΝΟΣ	13	24	20	480	686,424*	52,802*
		ΧΟΥΣΤΟΥΛΙΑΝΑ	16	16	45	720	729,212	45,576
		ΑΜΠΕΛΟΥΖΟΣ	6	7	42	294	585,525	97,587
		ΜΗΤΡΟΠΟΛΗ	12	11	43	473	560,441	46,703
		ΑΓ ΔΕΚΑ	7	7	34	238	480,307	68,615
	ΣΥΝΟΛΟ ΠΛΕΙΣΤΟΚΑΙΝΙΚΟΣ		***16***	***10***	***25***	***250***	***329,843****	
	ΣΥΝΟΛΟ ΑΛΛΟΥΒΙΑΚΟΥ		***163***	***162***	***769***	***9,660***	***9,770,726***	
ΛΕΚΑΝΗ ΒΑΓΙΟΝΙΑ- ΑΣΗΜΙΟΥ	ΠΛΕΙΣΤ/ΚΟΣ	ΑΓ ΔΕΚΑ	15	15	16.0	240	480,307	32,020
		ΓΚΑΓΚΑΛΕΣ	41	17	12.0	204	212,446	5,182
	ΑΛΛΟΥΒΙΑΚΟΣ	ΑΠΕΣΩΚΑΡΙ	3	6	32.0	192	89,192*	29,731*
		ΒΑΓΙΟΝΙΑ	70	70	15.5**	1085	965,775	13,797
		ΒΑΣΙΛΙΚΑ ΑΝΩΓΕΙΑ	12	14	30.0	420	294,083	24,507
		ΒΑΣΙΛΙΚΗ	7	7	15	105	234,325	13,390
		ΚΟΥΜΑΣΑ		5	32	160	140,595	20,085
		ΛΟΥΚΙΑ	16	20	20	400	416,970	26,061
		ΠΛΩΡΑ	15	23	30.0	690	623,078*	41,539*
		ΦΛΑΘΙΑΚΕΣ	4	4	20	80	24,372	6,093
	ΣΥΝΟΛΟ ΔΗΜΟΥ ΓΟΡΤΥΝΑΣ		***237***	***246***	***391***	***5,781***	***5,124,356***	
		ΔΗΜΟΣ ΚΟΦΙΝΑ						
	ΠΛΕΙΣΤΟ-ΚΑΙΝΙΚΟΣ	ΑΚΡΙΑ	11	11	20	220	112,680	10,244
		ΑΠΟΙΝΙ	14	14	17	238	262,513	18,751
		ΛΟΥΡΕΣ	34	22	18	396	234,633*	6,901*
		ΣΤΟΛΟΙ	55	45	17	765	680,427	12,371
		ΣΟΚΑΡΑΣ	22	18	20	360	264,575	12,026
		ΑΣΗΜΙ- ΠΛΕΙΣΤΟΚΑΙΝΙΚΟΣ	12	12	20	240	333,914	27,826
	ΑΛΛΟΥΒΙΑΚΟΣ	ΑΣΗΜΙ -ΑΛΛΟΥΒΙΑΚΟΣ	18	18	24	432	500,871	27,826
		ΔΙΟΝΥΣΙ	15	17	24	408	435,757	29,050
		ΠΑΝΑΓΙΑ	9	9	30	270	201,050	22,339
		ΣΤΑΒΓΙΕΣ	23	23	30	690	811,761	35,294
		ΣΤΕΡΝΕΣ	15	15	30	450	547,275	36,485
		ΦΟΥΡΝΟΦΑΡΑΓΓΟ	10	8	24	192	52,563	5,256
	ΣΥΝΟΛΟ ΔΗΜΟΥ ΚΟΦΙΝΑ		***238***	***212***	***274***	***4,661***	***4,203,386***	
	ΣΥΝΟΛΟ ΠΛΕΙΣΤΟΚΑΙΝΙΚΟΥ ΛΕΚΑΝΗΣ ΒΑΓΙΟΝΙΑΣ- ΑΣΗΜΙΟΥ		***204***	***154***	***140***	***2,663***	***2,346,862***	
	ΣΥΝΟΛΟ ΑΛΛΟΥΒΙΑΚΟΥ ΛΕΚΑΝΗΣ ΒΑΓΙΟΝΙΑΣ- ΑΣΗΜΙΟΥ		***217***	***239***	***341***	***5,574***	***4,625,397***	

Συνέχεια Πίνακ. 6--6 Στοιχεία γεωτρήσεων λεκάνης Μεσαράς

ΛΕΚΑΝΗ	ΥΔΡΟΦΟΡΕΑΣ	ΤΟΠΙΚΟ ΔΙΑΜΕΡΙΣΜΑ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ		ΜΕΣΗ ΠΑΡΟΧΗ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ (m^3/h)	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΩΡΙΑΙΑ ΑΝΤΛΗΣΗ (m^3/h)	ΕΤΗΣΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (KWh)	
			ΚΑΤΑΜ/ΤΕΣ ΔΕΗ	ΑΠΟ-ΓΡΑΦΗ			ΣΥΝΟΛΙΚΗ	ΜΕΣΗ ΑΝΑ ΓΕΩΤΡΗΣΗ
ΛΕΚΑΝΗ ΧΑΡΑΚΑ	**ΔΗΜΟΣ ΑΣΤΕΡΟΥΣΙΩΝ**							
	ΑΛΛΟΥΒΙΑΚΟΣ	ΛΙΓΟΡΤΥΝΟΣ	20	25	25	625	732,099	36,605
		ΜΕΣΟΧΩΡΙΟ	48	48	10	480	609,716	12,702
		ΠΛΑΚΙΩΤΙΣΣΑ	3	3	15	45	53,123	17,708
		ΠΡΟΤΟΡΙΑ	23	23	37	851	771,077	33,525
		ΠΥΡΓΟΣ	141	141	8**	1128	1,146,250	8,129
		ΡΟΤΑΣΙ (ΕΘΙΑ)	10	10	20	200	293,819	29,382
		ΧΑΡΑΚΑΣ	33	33	18**	594	630,070	19,093
	ΣΥΝΟΛΟ ΔΗΜΟΥ/ΛΕΚΑΝΗΣ ΧΑΡΑΚΑ		***278***	***283***	***107***	***3,923***	***4,236,154***	

* Οι τιμές ανήχθησαν στο ποσοστό γεωτρήσεων που βρίσκονται στη λεκάνη της Μεσαράς
** Η μέση παροχή (και ο μεγάλος αριθμός) οφείλεται σε πολλά πηγάδια που λειτουργούν στην περιοχή

Πίνακ. 6- 7 Υπολογισμών ετήσιων σεναρίων άντλησης λεκάνης Μεσαράς

Α/Α	ΠΕΡΙΟΧΗ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΓΕΩ-ΤΡΗΣΕΩΝ	ΜΕΣΗ ΠΑΡΟΧΗ (m^3/h)	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΩΡΙΑΙΑ ΑΝΤΛΗΣΗ (m^3)	ΕΤΗΣΙΑ ΣΕΝΑΡΙΑ ΑΝΤΛΗΣΗΣ		
					12-ΩΡΗ ΗΜΕΡΗΣΙΑ 6-ΜΗΝΗ (Mm^3)	10-ΩΡΗ ΗΜΕΡΗΣΙΑ 6-ΜΗΝΗ (Mm^3)	8-ΩΡΗ ΗΜΕΡΗΣΙΑ 6-ΜΗΝΗ (Mm^3)
1	ΣΥΝΟΛΟ ΔΗΜΟΥ ΜΟΙΡΩΝ	107	72.0	7,705	16.6	13.9	11.1
2	ΣΥΝΟΛΟ ΔΗΜΟΥ ΓΟΡΤΥΝΑΣ	246	23.5	5,781	12.5	10.4	8.3
3	ΣΥΝΟΛΟ ΔΗΜΟΥ ΚΟΦΙΝΑ	212	22.0	4,661	10.1	8.4	6.7
4	ΣΥΝΟΛΟ ΔΗΜΟΥ ΧΑΡΑΚΑ	283	13.9	3,923	8.5	7.1	5.6
ΣΥΝΟΛΟ ΔΗΜΩΝ ΜΕΣΑΡΑΣ		**848**	**26.0**	**22,070**	**47.7**	**39.7**	**31.8**
1	ΛΕΚΑΝΗ ΜΟΙΡΩΝ-ΠΛΕΙΣΤΟΚΑΙΝΟ	10	25.0	250	0.5	0.5	0.4
2	ΛΕΚΑΝΗ ΜΟΙΡΩΝ-ΑΛΛΟΥΒΙΑΚΟΣ	162	59.6	9,660	20.9	17.4	13.9
ΣΥΝΟΛΟ ΛΕΚΑΝΗΣ ΜΟΙΡΩΝ		**172**	**57.6**	**9,910**	**21.4**	**17.8**	**14.3**
1	ΛΕΚΑΝΗ ΒΑΓΙΟΝΙΑΣ-ΑΣΗΜΙΟΥ ΠΛΕΙΣΤΟΚΑΙΝΟ	154	17.3	2,663	5.8	4.8	3.8
2	ΛΕΚΑΝΗ ΒΑΓΙΟΝΙΑΣ-ΑΣΗΜΙΟΥ ΑΛΛΟΥΒΙΑΚΟΣ	239	23.3	5,574	12.0	10.0	8.0
ΣΥΝΟΛΟ ΛΕΚΑΝΗΣ ΒΑΓΙΟΝΙΑΣ- ΑΣΗΜΙΟΥ		**393**	**21.0**	**8,237**	**17.8**	**14.8**	**11.9**
ΣΥΝΟΛΟ ΛΕΚΑΝΗΣ ΧΑΡΑΚΑ		**283**	**13.9**	**3,923**	**8.5**	**7.1**	**5.6**
1	ΣΥΝΟΛΟ ΠΛΕΙΣΤΟΚΑΙΝΟΥ ΜΕΣΑΡΑΣ	164	17.8	2,913	6.3	5.2	4.2
2	ΣΥΝΟΛΟ ΑΛΛΟΥΒΙΑΚΟΥ ΜΕΣΑΡΑΣ	684	28.0	19,157	41.4	34.5	27.6
ΣΥΝΟΛΟ ΜΕΣΑΡΑΣ		**848**	**26.0**	**22,070**	**47.7**	**39.7**	**31.8**

6.4.7. Υδατικό ισοζύγιο λεκάνης Μεσαράς

Σύμφωνα με το εννοιολογικό μοντέλο της περιοχής όπως αναπτύχθηκε στις προηγούμενες παραγράφους και της επεξεργασίας των υδρολογικών δεδομένων που είχαμε στη διάθεση μας προκύπτει το υδατικό ισοζύγιο της λεκάνης της Μεσαράς εκφρασμένο σε μέσες ετήσιες τιμές για τις δυο περιόδους εκμετάλλευσης.

Το ισοζύγιο του υδρογεωλογικού συστήματος, κατά την περίοδο μικρής εκμετάλλευσης (βλέπε Πίνακ. 6- 8) ανέρχεται σε εισροές στο ύψος των 29,1 Mm^3 που αναλύεται σε απευθείας κατείσδυση από τα κατακριμνήσματα 17,4 Mm^3, σε διηθήσεις από ποτάμια 10,5 Mm^3, σε επιστροφές λόγω αντλήσεων 0,3 Mm^3 και από την οικιακή κατανάλωση 0,9 Mm^3. Για τη λεκάνη του Γεροποτάμου οι εισροές συνολικά ανέρχονται στα 19,7 Mm^3 ενώ για τη λεκάνη του Αναποδάρη στα 9,4 Mm^3. Οι εκροές από τον υδροφορέα ανέρχονται σε 29,1 Mm^3 που αναλύονται σε τροφοδοσία του ποταμού από τον υδροφορέα 22,5 Mm^3, σε αντλήσεις 4,6 Mm^3 και εκροές εκτός λεκάνης 2,3 Mm^3.

Το ισοζύγιο κατά την περίοδο της έντονης εκμετάλλευσης (βλέπε Πίνακ. 6- 9) ανέρχεται σε εισροές στο ύψος των 46,5 Mm^3 που αναλύεται σε απευθείας κατείσδυση από τα κατακριμνήσματα 25,7 Mm^3, σε διηθήσεις από ποτάμια 16,5 Mm^3, σε επιστροφές λόγω αντλήσεων 3,3 Mm^3 και από την οικιακή κατανάλωση 1 Mm^3. Για τη λεκάνη του Γεροποτάμου συνολικά οι εισροές ανέρχονται στα 34,4 Mm^3 ενώ για τη λεκάνη του Αναποδάρη στα 12,1 Mm^3. Οι εκροές από τον υδροφορέα ανέρχονται σε 46,5 Mm^3 που αναλύονται σε τροφοδοσία του ποταμού από τον υδροφορέα 4 Mm^3, σε αντλήσεις 40,7 Mm^3 και εκροές εκτός λεκάνης 1,8 Mm^3.

Αναλυτικότερα δεδομένα δίνονται στους Πίνακ. 6- 8, Πίνακ. 6- 9, Πίνακ. 6- 10, Πίνακ. 6- 11, Πίνακ. 6- 12 και Πίνακ. 6- 13 .

Για τον παραπάνω υπολογισμό του υδατικού ισοζυγίου θα πρέπει να σημειωθεί ότι: (1) δεν λήφθηκε υπόψη η μεταβολή των αποθεμάτων του υδροφορέα, που όπως έχει αναφερθεί είναι σημαντική, όμως η ποσοτικοποίησή τους δεν μπορεί να γίνει με ικανοποιητική προσέγγιση για το σύνολο της λεκάνης λόγω έλλειψης στοιχείων και (2) οι ποσότητες των εισροών και των εκροών του υδρογεωλογικού συστήματος δεν μπορούν να υπολογισθούν με ακρίβεια επειδή λόγω της λειτουργίας του, όπως προαναφέρθηκε, υπάρχουν τμήματα υδρορευμάτων όπου το νερό εκρέει και στη συνέχεια ανατροφοδοτεί (εισρέει) το σύστημα. Κάτω από αυτό το πρίσμα οι πραγματικές ποσότητες των εισροών και των εκροών στο υδρογεωλογικό σύστημα της Μεσαράς αναμένεται να είναι μεγαλύτερες από αυτές που υπολογίσθηκαν προηγουμένως και όχι ίσες. Στις παραπάνω δυο παρατηρήσεις και ειδικότερα τις ποσότητες εισροών, εκροών και μεταβολή αποθεμάτων θα απαντήσει το ομοίωμα των υπόγειων νερών που παρουσιάζεται στις επόμενους παραγράφους.

6.4.8. Αρχικές συνθήκες- starting head

Ως αρχικές συνθήκες για το ομοίωμα υπόγειας ροής (starting head), χρησιμοποιήθηκε η κατανομή των υδραυλικών φορτίων όπως προέκυψε από τους πιεζομετρικούς χάρτες όπως συντάχθηκαν με την αξιολόγηση των πιεζομετρικών παρατηρήσεων για την περίοδο έναρξης της προσομοίωσης και παρουσιάζεται αναλυτικά στο κεφάλαιο 5 της υδρογεωλογίας.

Πίνακ. 6- 8 Ισοζύγιο υδροφορέα λεκάνης Μεσαράς περιόδου μικρής εκμετάλλευσης

Ισοζύγιο υδροφορέα λεκάνης Μεσαράς περιόδου μικρής εκμετάλλευσης			
	μέσος ετήσιος όγκος (Mm^3)		
	Λεκάνη Γεροπόταμου	Λεκάνη Αναποδάρη	Σύνολο Μεσαράς
Εισροές			
Απευθείας κατείσδυση από βροχόπτωση	12.2	5.2	17.4
κατείσδυση από τον κύριο ρου του Γεροποτάμου, Λιθαίου & Αναποδάρη και Λειβαδίτη	1.6	2.0	3.6
Διηθήσεις από τα υπόλοιπα υδατορέματα	5.1	1.8	6.9
Επιστροφές αντλήσεων	0.1	0.2	0.3
από οικισμούς	0.7	0.1	0.9
Σύνολο εισροών ανά λεκάνη	**19.7**	**9.4**	**29.1**
Σύνολο εισροών	***29.1***		
Εκροές			
Απολήψεις μέσω γεωτρήσεων	1.5	2.8	4.3
Τροφοδοσία ποταμού από τον υδροφόρο ορίζοντα	16.7	5.8	22.5
Εκροή προς τη γειτονικές λεκάνες (στένεμα Φαιστού και Χάρακα)	1.5	0.8	2.3
Σύνολο εκροών ανά λεκάνη	**19.7**	**9.4**	**29.1**
Σύνολο εκροών	***29.1***		

Πίνακ. 6- 9 Ισοζύγιο υδροφορέα λεκάνης Μεσαράς περιόδου υπό πίεση (έντονη εκμετάλλευση)

Ισοζύγιο υδροφορέα λεκάνης Μεσαράς περιόδου υπό πίεση (έντονη εκμετάλλευση)			
	Μέσος ετήσιος όγκος (Mm^3)		
	Λεκάνη Γεροπόταμου	Λεκάνη Αναποδάρη	Σύνολο Μεσαράς
Εισροές			
Απευθείας κατείσδυση από βροχόπτωση	18.23	7.45	25.67
Κατείσδυση από τον κύριο ρου του Γεροποτάμου, Λιθαίου & Αναποδάρη και Λειβαδίτη	2.99	2.01	5.00
Διηθήσεις από τα υπόλοιπα υδατορέματα	9.68	1.81	11.50
Επιστροφές αντλήσεων	2.61	0.65	3.26
Από οικιακή κατανάλωση (οικισμοί)	0.90	0.15	1.05
Σύνολο εισροών ανά λεκάνη	**34.41**	**12.07**	**46.47**
Σύνολο εισροών	***46.47***		
Εκροές			
Απολήψεις μέσω γεωτρήσεων	32.6	8.1	40.7
Τροφοδοσία ποταμού από τον υδροφόρο ορίζοντα	0.8	3.2	4
Εκροή προς τις γειτονικές λεκάνες (στένεμα Φαιστού και Χάρακα)	1	0.8	1.8
Σύνολο εκροών ανά λεκάνη	**34.4**	**12.1**	**46.5**
Σύνολο εκροών	***46.5***		

Πίνακ. 6- 10 Απευθείας κατείσδυση από βροχόπτωση- περίοδος μικρής εκμετάλλευσης

Απευθείας κατείσδυση από βροχόπτωση- περίοδος μικρής εκμετάλλευσης						
α/α	Περιοχή	Έκταση km^2	Μέση ετήσια επιφανειακή βροχόπτωση mm	Μέσος ετήσιος Όγκος επιφανειακής βροχόπτωσης Mm^3	Συντελεστής κατείσδυσης (% επί Βροχό-πτωσης)	Μέσος ετήσιος όγκος κατείσ-δυσης Mm^3
1	λεκάνη Μοιρών αλλουβιακός	50.3	557	28.02	14.0%	3.92
2	λεκάνη Μοιρών πλειστοκαινικός	8.6	550	4.73	14.0%	0.30
3	λεκάνη Βαγιονιάς_Ασημίου αλλουβιακός	43.5	602	26.19	14.0%	3.67
4	λεκάνη Βαγιονιάς_Ασημίου πλειστοκαινικός	54.0	569	30.73	14.0%	4.30
Σύνολο λεκάνης Γεροποτάμου		**156.4**		**89.66**		**12.19**
5	λεκάνη Χάρακα αλλουβιακός	62.9	592	37.24	14.0%	5.21
Γενικό Σύνολο Μεσαράς		**219.3**		**126.90**		**17.41**

Πίνακ. 6- 11 Απευθείας κατείσδυση από βροχόπτωση - περίοδος έντονης εκμετάλλευσης

Απευθείας κατείσδυση από βροχόπτωση - περίοδος υπό πίεση						
α/α	Περιοχή	Έκταση km^2	Μέση ετήσια επιφανειακή βροχόπτωση mm	Μέσος ετήσιος Όγκος επιφανειακής βροχόπτωσης Mm^3	Συντελεστής κατείσδυσης (% επί Βροχό-πτωσης)	Μέσος ετήσιος όγκος κατείσ-δυσης Mm^3
1	λεκάνη Μοιρών αλλουβιακός	50.3	557	28.02	21.0%	5.88
2	λεκάνη Μοιρών πλειστοκαινικός	8.6	550	4.73	19.3%	0.91
3	λεκάνη Βαγιονιάς_Ασημίου αλλουβιακός	43.5	602	26.19	21.0%	5.50
4	λεκάνη Βαγιονιάς_Ασημίου πλειστοκαινικός	54.0	569	30.73	19.3%	5.93
Σύνολο λεκάνης Γεροποτάμου		**156.4**		**89.66**		**18.23**
5	λεκάνη Χάρακα αλλουβιακός	62.9	592	37.24	20.0%	7.45
Γενικό Σύνολο Μεσαράς		**219.3**		**126.90**		**25.67**

Πίνακ. 6- 12 Τροφοδοσία από ποτάμια -περίοδος μικρής εκμετάλλευσης

Τροφοδοσία από ποτάμια -περίοδος μικρής εκμετάλλευσης				
α/α	περιοχή	Μέσος ετήσιος όγκος απορροής (Mm^3)	Συντελεστής κατείσδυσης (% επί απορροής)	Μέσος ετήσιος όγκος κατείσδυσης (Mm^3)
Τροφοδοσία από ποτάμια- recharge package				
1	κατείσδυση από υδρορεύματα βόρεια του Γεροποτάμου (εκτός Λιθαίου)	21.20	19%	4.03
2	κατείσδυση από υδρορεύματα νότια του Γεροποτάμου	5.70	19%	1.08
3	κατείσδυση από υδρορεύματα βόρεια του Αναποδάρη (εκτός Αναποδάρη_Πλακιώτισα)	4.10	24%	0.98
4	κατείσδυση από υδρορεύματα νότια του Αναποδάρη	2.30	36%	0.83
	σύνολο	**33.30**		**6.92**
Τροφοδοσία από ποτάμια- Stream package				
1	κατείσδυση από τον κύριο ρου Γεροποτάμου και Λιθαίου	8.3	19%	1.58
2	κατείσδυση από τον κύριο ρου του Αναποδάρη-Πλακιώτισα και Λειβαδίτη	13.4	15%	2.01
σύνολο		**21.7**		**3.59**
γενικό σύνολο		***55.00***		***10.51***

Πίνακ. 6- 13 Τροφοδοσία από ποτάμια - περίοδος έντονης εκμετάλλευσης

Τροφοδοσία από ποτάμια - περίοδος υπό πίεση				
α/α	περιοχή	Μέσος ετήσιος όγκος απορροής (Mm^3)	Συντελεστής κατείσδυσης (% επί απορροής)	Μέσος ετήσιος όγκος κατείσδυσης (Mm^3)
Τροφοδοσία από ποτάμια- recharge package				
1	κατείσδυση από υδρορεύματα βόρεια του Γεροποτάμου (εκτός Λιθαίου)	21.20	36%	7.63
2	κατείσδυση από υδρορεύματα νότια του Γεροποτάμου	5.70	36%	2.05
3	κατείσδυση από υδρορεύματα βόρεια του Αναποδάρη (εκτός Αναποδάρη_Πλακιώτισα)	4.10	24%	0.98
4	κατείσδυση από υδρορεύματα νότια του Αναποδάρη	2.30	36%	0.83
σύνολο		**33.30**		**11.50**
Τροφοδοσία από ποτάμια- Stream package				
1	κατείσδυση από τον κύριο ρου Γεροποτάμου και Λιθαίου	8.3	36%	2.99
2	κατείσδυση από τον κύριο ρου του Αναποδάρη-Πλακιώτισα και Λειβαδίτη	13.4	15%	2.01
σύνολο		**21.7**		**5.00**
γενικό σύνολο		***55.00***		***16.49***

6.5 Κώδικας μαθηματικής προσομοίωσης υπόγειας ροής

Στην αγορά επιστημονικού λογισμικού μαθηματικής προσομοίωσης υπόγειας ροής υπάρχει ένας μακρύς κατάλογος πακέτων. Από τα υπάρχοντα για την προσομοίωση της υδροδυναμικής κατάστασης του υπό μελέτη συστήματος επιλέχθηκε ο κώδικας modflow της Αμερικανικής Υπηρεσίας Γεωλογικών Ερευνών (USGS). Το πακέτο αυτό έχει αξιολογηθεί και ελεγχθεί σε αναρίθμητες περιπτώσεις από όλα τα παγκοσμίως καταξιωμένα Γεωλογικά-Υδρογεωλογικά Ερευνητικά Ιδρύματα καθώς επίσης και από ένα μεγάλο αριθμό ιδιωτικών εταιρειών. Παρέχει επομένως τα εχέγγυα καλής και αξιόπιστης λειτουργίας, ενώ μέσα από τη σειρά επιστημονικών ανακοινώσεων που έχουν στηριχθεί σε αυτό, παρέχεται πλήρης βιβλιογραφική κάλυψη της λειτουργίας του και των δυνατοτήτων του. Χρησιμοποιείται επίσης από το εργαστήριο Διαχείρισης Υδατικών Πόρων και Παράκτιας Μηχανικής του Πολυτεχνείου Κρήτης και από τη Διεύθυνση Υδάτων της Περιφέρειας Κρήτης.

Το πρόγραμμα στηρίζεται στην αριθμητική επίλυση μιας κύριας διαφορικής εξίσωσης η οποία προέρχεται από το συνδυασμό εφαρμογής της εξίσωσης διατήρησης της μάζας και του νόμου του Darcy. Στη μελέτη αυτή δεν κρίνεται σκόπιμη η παράθεση του μαθηματικού μέρους τεκμηρίωσης του κώδικα αυτού. Ο ενδιαφερόμενος μπορεί να ανατρέξει στα εγχειρίδια λειτουργίας του προγράμματος ή σε μια σειρά από βασικά εγχειρίδια προσομοίωσης.
Το modflow έχει τη δυνατότητα δυνάμει τρισδιάστατης προσομοίωσης συνθηκών ροής και έχει ελεγχθεί πλήρως για τη συμβατότητα των λύσεων που προσφέρει συγκριτικά με τη λύση που δίνουν οι αναλυτικές μέθοδοι προσέγγισης. Είναι γραμμένο σε γλώσσα προγραμματισμού fortran και έχει σπονδυλωτή δομή αποτελούμενη από μια σειρά αυτόνομων ρουτινών η κάθε μια από τις οποίες επιτελεί συγκεκριμένους υπολογισμούς. Το ρόλο του συντονισμού αυτών των ρουτινών παίζει το κεντρικό πρόγραμμα του πακέτου. Αποτέλεσμα αυτής της δομής είναι η ευκολότερη και ταχύτερη επεξεργασία του μεγάλου όγκου πληροφοριών που διαχειρίζεται ένα τέτοιο πρόγραμμα, έχοντας ελαχιστοποιήσει την περίπτωση αστοχίας ή ακόμα και "κολλήματος" της επίλυσης εξαιτίας αριθμητικών ταλαντώσεων ή και λαθών. Όπως προαναφέρθηκε πρόκειται για ένα πρόγραμμα που προσφέρει δυνάμει τρισδιάστατη προσομοίωση υπόγειας ροής, με κώδικα πεπερασμένων διαφορών και επίλυση των εξισώσεων στο κέντρο των κυψελίδων του καννάβου προσομοίωσης (quasi 3D, finite difference, block centered model).
Η φιλοσοφία σχεδίασής του και επομένως και ο κύριος προορισμός του είναι η προσομοίωση υδροφόρων συστημάτων πορώδους μέσου και προϋποθέτει την ύπαρξη μιας υγρής φάσης. Από μια πρώτη οπτική γωνία λοιπόν μπορεί να θεωρηθεί ότι δεν ενδείκνυται η χρήση του για την προσομοίωση καρστικών συστημάτων και γενικότερα υδροφόρων συστημάτων μέσου ασυνεχειών, όμως έχει χρησιμοποιηθεί στις περιπτώσεις που η έκταση του καρστικού συστήματος είναι μεγάλη στις οποίες θεωρείται ότι μπορεί να προσομοιώσει τα συστήματα αυτά ικανοποιητικά.

Με βάση τις παραδοχές και τη φιλοσοφία σχεδίασης που αναπτύχθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια της παρούσας έκθεσης γίνεται κατανοητό ότι το υπό μελέτη σύστημα μπορεί με αποδεκτή ακρίβεια να προσομοιωθεί από τον κώδικα

αυτό. Εξάλλου σημαντικό κριτήριο στην επιλογή του προγράμματος προσομοίωσης υπήρξε τόσο η ευχρηστία και ευελιξία του λογισμικού, όσο και η ασφαλής εξαγωγή συμπερασμάτων με βάση τα πρωτογενή στοιχεία για τη τροφοδότηση του ομοιώματος.

6.6 Επιλογή κατάλληλου λογισμικού επεξεργασίας (pre & post processing)

Πρόγραμμα διαχείρισης δεδομένων εισόδου-αποτελεσμάτων- GMS

Το βασικό πρόγραμμα προσομοίωσης που παρουσιάσθηκε στη προηγούμενη παράγραφο αποτελεί το λογισμικό κορμό του ομοιώματος. Η εισαγωγή δεδομένων σε αυτό είναι μια διεργασία χρονοβόρα και ιδιαίτερα κρίσιμη αφού από αυτήν εξαρτάται άμεσα η ακρίβεια του ομοιώματος. Όμοια, η πλήρης αξιολόγηση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από το πρόγραμμα αυτό πρέπει να γίνει με τη δέουσα προσοχή έτσι ώστε να μην οδηγηθεί ο χρήστης σε παρερμηνείες. Για το σκοπό αυτό έχουν δημιουργηθεί αρκετά λογισμικά πακέτα που παρέχουν στο χρήστη ένα σχετικά εύχρηστο και φιλικό παραθυρικό περιβάλλον λειτουργίας μέσω του οποίου επιτρέπεται ο προγραμματισμός του κώδικα προσομοίωσης. Τα πακέτα αυτά προσφέρουν άριστη εποπτική εικόνα των δεδομένων εισόδου, των αποτελεσμάτων προσομοίωσης και σύγκρισης με τις μετρήσεις υπαίθρου, αξιοποιώντας τις δυνατότητες παραγωγής γραφικών υψηλής ποιότητας. Με τον τρόπο αυτό ελαχιστοποιούνται οι πιθανότητες λάθους και ο χρόνος που απαιτείται για τη σχεδίαση του ομοιώματος, ενώ παρέχεται η δυνατότητα ελέγχου σε κάθε στάδιο της λειτουργίας του.

Ανάμεσα σε μια σειρά υποψήφιων πακέτων διαχείρισης δεδομένων προσομοίωσης επιλέχθηκε το GMS 3.1 (Groundwater Modeling System) του Αμερικάνικου υπουργείου Εθνικής Άμυνας. Η λειτουργία του πακέτου γίνεται μέσα από το λειτουργικό σύστημα Windows, με μια σειρά εύχρηστων και κατανοητών μενού που σταδιακά καθοδηγούν το χρήστη στο σχεδιασμό του ομοιώματος που επιθυμεί. Σε κάθε στάδιο της σχεδίασης ο χρήστης έχει τη δυνατότητα οπτικού ελέγχου της χωρικής κατανομής των δεδομένων εισόδου. Παρέχεται η δυνατότητα ελέγχου της προόδου επίλυσης του ομοιώματος με γραφικές παραστάσεις, των στατιστικών παραμέτρων ποιότητας σύγκλισης ενώ στη συνέχεια τα αποτελέσματα είναι εύκολο να ελεγχθούν και αξιολογηθούν αξιοποιώντας τις υψηλές δυνατότητες παραγωγής γραφικών του πακέτου**.** Το GMS χρησιμοποιείται από το Εργαστήριο Διαχείρισης υδατικών Πόρων και Παράκτιας Μηχανικής του Πολυτεχνείου Κρήτης και από τη Διεύθυνση υδάτων της Περιφέρειας Κρήτης.

Το πλεονέκτημα του πακέτου GMS 3.1 έναντι των ανταγωνιστικών του είναι η ανεξάρτητη λειτουργία του από τον κώδικα προσομοίωσης γεγονός που επιτρέπει την ευχερή δημιουργία μιας σειράς ομοιωμάτων με μικρές μεταβολές κάθε φορά στα δεδομένα εισόδου, για την ευκολότερη σύγκριση και αξιολόγηση εναλλακτικών σεναρίων διαχείρισης. Παράλληλα η δομή σχεδίασής του και η φιλοσοφία λειτουργίας του συνδυάζει τις δυνατότητες σχεδίασης ενός συστήματος CAD και G.I.S. με τις ανάγκες σχεδίασης ενός ομοιώματος. Επίσης παρέχει τη δυνατότητα συνεργασίας με μια σειρά μαθηματικών ομοιωμάτων

διαφορετικών κατασκευαστών, φιλοσοφιών και χρήσεων έτσι ώστε να είναι δυνατή η άμεση μετάβαση μεταξύ των υποστηριζόμενων πακέτων δίχως να απαιτείται η εκ νέου κάθε φορά σχεδίαση του ομοιώματος. Τέλος αξίζει να σημειωθεί η ιδιαίτερα ανεπτυγμένη δυνατότητα παρουσίασης των αποτελεσμάτων προσομοίωσης που προσφέρεται μέσω των κινούμενων σε επιλεγμένες περιόδους γραφικών (πιεζομετρία, δίκτυο ροής κλπ).

Σημαντικό πλεονέκτημα του επιλεχθέντος πακέτου αποτελεί και η ύπαρξη ενός καλά οργανωμένου δικτύου on-line παροχής τεχνικής βοήθειας υποστήριξης τόσο από την κατασκευάστρια εταιρεία όσο και από τον όμιλο των χρηστών του GMS που αριθμεί αρκετές εκατοντάδες μέλη σε όλο τον κόσμο και σε κάθε επίπεδο επαγγελματικής δραστηριότητας (ιδιωτικός φορέας, ερευνητικά κέντρα, Πανεπιστημιακά Ιδρύματα). Στα μέσα του 2000 ολοκληρώθηκε και κυκλοφόρησε η βελτιωμένη έκδοση του GMS 3.1. Στο διάστημα που μεσολάβησε μέχρι το καλοκαίρι του 2001, πραγματοποιήθηκαν ιδιαίτεροι έλεγχοι στην αξιοπιστία της νέας έκδοσης και αρκετές επίσης αλλαγές στη σχεδίαση. Αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας είναι η έκδοση 3.1 να είναι πλέον πλήρως αξιόπιστη και δοκιμασμένη, παρέχοντας ακόμα μεγαλύτερες ευκολίες και δυνατότητες στη χρήστη. Την έκδοση αυτή χρησιμοποιεί και η Διεύθυνση Υδάτων της Περιφέρειας Κρήτης.

6.7 Στόχος και σκοπός χρήσης μαθηματικών ομοιωμάτων στην παρούσα έκθεση

Για την ορθή σχεδίαση ενός μαθηματικού ομοιώματος πρέπει να υποβληθούν μια σειρά ερωτημάτων οι απαντήσεις των οποίων θα κρίνουν τον τύπο του λογισμικού πακέτου που θα επιλεχθεί καθώς επίσης και τη μεθοδολογία σχεδίασης. Πρωταρχικό ερώτημα είναι ποιοι είναι οι στόχοι της προσομοίωσης και ποια είναι η περιοχή στην οποία επικεντρώνεται το ενδιαφέρον αυτής. Ένα ομοίωμα μπορεί να εξυπηρετεί μια σειρά στόχων. Ενδεικτικά αναφέρουμε κάποιους από αυτούς: Απλή μονοδιάστατη ή δυσδιάστατη προσομοίωση των βασικών μηχανισμών λειτουργίας του υπό μελέτη συστήματος, πολυσύνθετη τρισδιάστατη προσομοίωση του συστήματος, προσομοίωση εξέλιξης διεπιφάνειας μετώπου υφαλμύρινσης, μελέτη διασποράς ρύπων, μελέτη-διερεύνηση μηχανισμών λειτουργίας συστήματος, σχέσεις τροφοδοσίας-αλληλεπίδραση με επιφανειακά ύδατα, δημιουργία απλών πιεζομετρικών χαρτών εξέλιξης υδροφορίας, δημιουργία τομών υδροφόρου συστήματος, επιβεβαίωση μηχανισμών λειτουργίας, εξέταση εναλλακτικών σεναρίων διαχείρισης, διερεύνηση θεωριών-πειραματικών διατάξεων.

Στη συγκεκριμένη μελέτη, οι στόχοι που έπρεπε να εξυπηρετεί η σχεδίαση του μαθηματικού ομοιώματος είναι οι ακόλουθοι:

- Διακρίβωση-διερεύνηση των μηχανισμών ροής του υπόγειου υδροφόρου συστήματος στη περιοχή προσομοίωσης, όπως αυτοί έχουν προκύψει από τα αποτελέσματα των συμβατικών μεθόδων έρευνας που εφαρμόστηκαν και αξιολόγηση της σημασίας κάθε μηχανισμού στην εξέλιξη του συστήματος.

- Εξακρίβωση-διευκρίνηση της σχέσης τροφοδοσίας του υπό μελέτη συστήματος με την επιφανειακή απορροή.

- Σχέσεις τροφοδοσίας με παρακείμενους σχηματισμούς και υδροφόρα συστήματα.

- Υφιστάμενη κατάσταση υδροδυναμικής λειτουργίας υδροφόρου συστήματος και η διαχρονική εξέλιξη της.

- Μεθοδολογία αντιμετώπισης έλλειψης επαρκών ή και αξιόπιστων πρωτογενών δεδομένων σύνταξης ομοιώματος.

- Εντοπισμός προβλημάτων που σχετίζονται με την ελλιπή υδρογεωλογική γνώση και ιεράρχηση προτεραιοτήτων για την επίλυσή τους.

- Καθορισμός του υδατικού ισοζυγίου και της διαχρονικής εξέλιξής του σε σχέση με τις «πιέσεις» που έχει δεχθεί και πρόβλεψη της μελλοντικής κατάστασής του .

- Ανάπτυξη σεναρίων διαχείρισης του υδροδυναμικού συστήματος με βάση την συνδυασμένη χρήση υπόγειων και επιφανειακών υδάτων της ευρύτερης περιοχής και των πιέσεων που δέχεται/ θα δεχθεί.

Σε όλους τους στόχους που τέθηκαν το ζητούμενο είναι να επιβεβαιωθεί η ευστάθεια των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από την αξιολόγηση των μετρήσεων και παρατηρήσεων υπαίθρου καθώς επίσης και η συμπλήρωση ή ακόμα και βελτίωσή τους. Κύριο μέλημα κατά τη σχεδίαση απετέλεσε η προσπάθεια ρεαλιστικής απεικόνισης της γεωμετρίας του συστήματος και των βασικών μηχανισμών εξέλιξης της υπόγειας υδροφορίας του συστήματος με τρόπο που να προσεγγίζει κατά το δυνατό τη φυσική δομή και λειτουργία.

6.8 Ομοίωμα Μεσαράς συνθηκών σταθερής ροής (simulation of steady- state conditions)

Προσομοίωση ενός συστήματος υπόγειων νερών με συνθήκες σταθερής ροής είναι μια αναπαράσταση του συστήματος όταν σε αυτό επιτυγχάνεται ισορροπία για μεγάλο χρονικό διάστημα, τότε οι εισροές ισούται με τις εκροές και η αποθήκευση στον υδροφορέα παραμένει σταθερή. Η προσομοίωση με σταθερή ροή δίνει μια μέση εκτίμηση των συνθηκών χωρίς να προσομοιώνει τις μεταβολές που συμβαίνουν λόγω «πιέσεων».

Η προσομοίωση του υδροφορέα της περιοχής της Μεσαράς σε συνθήκες σταθερής ροής πραγματοποιήθηκε για τις παρακάτω δύο καταστάσεις του υδροφορέα: (1) των συνθηκών με μικρή εκμετάλλευση - αρχικές συνθήκες και (2) των συνθηκών με έντονη εκμετάλλευση – υπό πίεση. Το ομοίωμα βασίστηκε στην εννοιολογική προσέγγιση που αναπτύχθηκε στις προηγούμενες παραγράφους και ο στόχος είναι να ελεγχθεί κατ’ αρχή το ομοίωμα στις οριακές συνθήκες και στις παραμέτρους όπως έχουν υπολογισθεί /εκτιμηθεί και στη συνέχεια μετά τη ρύθμισή του να παράσχει τις αρχικές συνθήκες για την προσομοίωση της μεταβατικής ροής.

Στο ομοίωμα εισήχθησαν οι μέσες τιμές των υδραυλικών παραμέτρων για κάθε ζώνη που διακρίθηκε το υδρογεωλογικό σύστημα και για τα δύο στρώματα. Ο

αλλουβιακός υδροφορέας που είναι ο ανώτερος στο υδρογεωλογικό σύστημα προσομοιώθηκε ως ελεύθερος υδροφορέας, Unconfined(1), ενώ ο υποκείμενος σ' αυτόν πλειστοκαινικός ως υπό πίεση Confined(0)
Η γεωμετρία του συστήματος και οι οριακές συνθήκες που εισήχθησαν είναι όπως αναλυτικά παρουσιάστηκαν στις προηγούμενες παραγράφους. Επιλέχθηκε μονάδα μήκους (L) το μέτρο (m) και χρόνου (T) το έτος (year).

Η προσομοίωση έγινε με το πακέτο BCF του Modflow (Block Centered Flow Package) το οποίο υπολογίζει την αγωγιμότητα μεταξύ των κυψελίδων του κάναβου και παρέχει τις μερικές διαφορικές εξισώσεις για τη ροή από κυψελίδα σε κυψελίδα. Ο αλγόριθμος επίλυσης που επιλέχθηκε ορίζεται από το πακέτο PCG2 (pre conjugate gradient 2) και χαρακτηρίζεται από ιδιαίτερη ευστάθεια και περιορισμό των δυνητικών αστοχιών επίλυσης που πολύ συχνά αντιμετωπίζονται κατά τη σύνταξη και ρύθμιση ενός μαθηματικού ομοιώματος. Τα κριτήρια σύγκλισης του ομοιώματος είναι αυστηρά και δεν υπερβαίνουν για τη στάθμη το 0.1m και για την υπολειπόμενη ροή το 0,1 m 3/έτος.
Τα κύρια χαρακτηριστικά της προσομοίωσης με τους όρους του Modflow είναι:
layer data entry method: True layer (explicit definition),
layer 1:Unconfined(1), layer 2: Confined(0), Anisotropy factor:1,
interblock transmissivity: harmonic mean,
wetting factor: 1.2, wetting equation: h=BOT+WETFCT(KK-BOT),
Solver package preconditioned conjugate gradient method (PCG2),
head change criterion for convergence: 0.1 m,
residual criterion for convergence: 0.1 m3/yr, prevent cell drying.

Η βαθμονόμηση του ομοιώματος πραγματοποιήθηκε με τη «δοκιμή και λάθος μέθοδο» και προσδιοριζόταν από τη συσχέτιση μεταξύ προσομοιωμένων και παρατηρημένων υδροστατικών σταθμών στα πιεζόμετρα παρακολούθησης.

Μετά τη βαθμονόμηση του ομοιώματος σταθερής ροής για τις αρχικές συνθήκες-συνθήκες μικρής εκμετάλλευσης- του υδρογεωλογικού συστήματος παρατηρούνται τα παρακάτω (βλέπε εικόνα 6-15, 6-16 & 6-20 (Παράρτημα 6):

- Το ομοίωμα συγκλίνει στα αυστηρά όρια που ορίσθηκαν (στάθμη < 0.1m και υπολειπόμενη ροή <0,1 m^3/έτος).
- Η βαθμονόμηση που επιτεύχθηκε απεικονίζεται στο παράρτημα 6 στις εικόνες 6-16 και 6-20. Στις εικόνες αυτές ο «στόχος» βαθμονόμησης σε κάθε πιεζόμετρο παρακολούθησης απεικονίζεται με μια ράβδο. Στη ράβδο αυτή η τιμή της παρατηρημένης στάθμης τοποθετείται στο κέντρο, η τιμή της προσομοιωμένης στάθμης και το εύρος της αποδεκτής διακύμανσης τοποθετούνται υπό κλίμακα σε σχέση με το κέντρο. Ως τιμή της παρατηρημένης στάθμης λήφθηκε η μέση τιμή των παρατηρήσεων των συνθηκών μικρής εκμετάλλευσης και ως εύρος της διακύμανσης λήφθηκε το ήμισυ της μέγιστης διακύμανσης υγρής και ξηρής περιόδου για τις αντίστοιχες συνθήκες. Εάν η προσομοιωμένη στάθμη ευρίσκεται μέσα στο εύρος διακύμανσης η προσομοίωση κρίνεται αποδεκτή και στο GMS η ράβδος χρωματίζεται με πράσινο. Παρατηρούμε από τις εικόνες ότι η προσομοίωση είναι μέσα στα αποδεκτά όρια που τέθηκαν σε όλα τα πιεζόμετρα.
- Ο συντελεστής συσχέτισης της γραμμικής παλινδρόμησης μεταξύ της προσομοιωμένης στάθμης και της παρατηρημένης είναι σημαντικός

(βλέπε Πίνακ. 6-14) για το σύνολο των πιεζομέτρων παρατήρησης και ισούται με r=0.993

- Καθορίστηκε ο υπόγειος υδροκρίτης της Μεσαράς που χωρίζει τη γενική κατεύθυνση των νερών προς ανατολικά και δυτικά.
- Οι γραμμές ροής και οι πιεζομετρικές καμπύλες συγκλίνουν με αυτές που κατασκευάσθηκαν στο κεφάλαιο της υδρογεωλογίας και προέρχονται από τις παρατηρήσεις υπαίθρου.
- Με δεδομένο τις μικρές ποσότητες αντλήσεων που πραγματοποιούνταν κατά την περίοδο της μικρής εκμετάλλευσης και της εκτιμώμενης σχετικής μικρής αβεβαιότητας που μπορεί να εμπεριέχουν (αυτό συγκριτικά με τις κατά πολύ μεγαλύτερες ποσότητες των υπόλοιπων εισροών / εκροών στο σύστημα και τις υφιστάμενες μετρήσεις αντλήσεων της περιόδου αυτής), πραγματοποιήθηκε κατά τη διαδικασία της βαθμονόμησης του ομοιώματος η τροποποίηση των συντελεστών υδαταγωγιμότητας (K) όπως αυτές αρχικά είχαν εισαχθεί στο ομοίωμα, δηλαδή οι μέσες τιμές K των ζωνών που είχε διακριθεί το υδρογεωλογικό σύστημα της Μεσαράς (βλέπε παράγραφο 6.4.5). Οι τροποποιήσεις αυτές αφορούσαν τιμές του συντελεστή της υδαταγωγιμότητας, με κριτήρια: (1) όλες οι τιμές να τροποποιούνταν μέσα στο εύρος που κυμαινόταν η κάθε ζώνη και (2) να βρίσκονται κοντά στη μέση τιμή. Οι τιμές αυτές, όπως προαναφέρθηκε, έχουν προκύψει από αντλητικές δοκιμασίες και θεωρούνται ως οι πλέον αξιόπιστες για την προσομοίωση ενός συστήματος υπόγειας ροής. Ο έλεγχος των τιμών των συντελεστών υδαταγωγιμότητας πραγματοποιούντο με τη μέθοδο «δοκιμή και λάθος» με βάση τρεις παραμέτρους: (1) τη συνθήκη σύγκλισης (convergence) του ομοιώματος στα αυστηρά όρια που είχαν τεθεί, (2) τις τιμές των παρατηρημένων και προσομοιωμένων υδροστατικών σταθμών στα πιεζόμετρα παρακολούθησης και (3) τον όγκο εισροών και εκροών. Κατόπιν πολλαπλών επαναλαμβανόμενων «τρεξιμάτων» η βέλτιστη λύση, για τις τιμές των συντελεστών υδαταγωγιμότητας κάθε ζώνης, που ικανοποιεί τα κριτήρια και για τις τρεις παραπάνω παραμέτρους ελέγχου, δίνεται στους χάρτες της εικόνας 6-4 και 6-5 για τον αλλουβιακό και τον πλειστοκαινικό υδροφορέα αντίστοιχα. Θεωρείται ότι με βάση τα υφιστάμενα δεδομένα δεν μπορεί η υδαταγωγιμότητα να προσεγγισθεί καλύτερα και συνεπώς οι τελευταίες τιμές του συντελεστή της υδαταγωγιμότητας δεν θα τροποποιούνται στις ακολουθούμενες δύο προσομοιώσεις: (1) της σταθερής ροής έντονης εκμετάλλευσης-υπό πίεση και (2) της μεταβατικής ροής.

Μετά τη ρύθμισή του το ομοίωμα ελέγχθηκε και στις συνθήκες έντονης εκμετάλλευσης-υπό πίεση (βλέπε εικόνα 6-17, …, 6-20 στο (Παράρτημα Κεφ. 6) για να δοκιμαστεί, πριν χρησιμοποιηθεί για τη μεταβατική ροή που είναι το ζητούμενο της προσομοίωσης, αν είχε τη δυνατότητα να προσομοιώσει τις συνθήκες αυτές. Στις υπό πίεση συνθήκες-έντονης εκμετάλλευσης σταθερής ροής μεταβλήθηκαν μόνο οι αντλήσεις (well package) και οι εισροές που περιλαμβάνει το recharge package. Το ομοίωμα συνέκλινε γρήγορα και οι τιμές μεταξύ των προσομοιωμένων και παρατηρημένων υδροστατικών σταθμών δίνονται στον Πίνακ. 6- 16 . Ο συντελεστής συσχέτισής των είναι σημαντικός και ισούται r=0,994 (βλέπε εικόνα 6-20). Από τον πίνακα αυτό παρατηρούμε ότι στη λεκάνη των Μοιρών στις συνθήκες υπό πίεση η υδροστατική στάθμη ταπεινώθηκε κυμαινόμενη από 0,2 - 5,2 m με μέσο όρο 2,8 m. Η μεγαλύτερη

πτώση παρατηρείται στα ανατολικά και περιθωριακά πιεζόμετρα της λεκάνης. Ανάλογα για τη λεκάνη της Βαγιονιάς – Γκαγκαλών η πτώση κυμαίνεται από 0 - 20,1 m με μέση τιμή 5,1 m . Η μεγαλύτερη πτώση και εδώ παρατηρείται στα ανατολικά και τα περιθωριακά πιεζόμετρα της λεκάνης της Βαγιονιάς – Γκαγκαλών. Στη λεκάνη του Χάρακα οι τιμές κυμαίνονται από 0 - 6,2 m με μέση τιμή 3,1 m. Η μεγαλύτερη πτώση παρατηρείται στα δυτικά - περιθωριακά πιεζόμετρα της λεκάνης του Χάρακα. Παρατηρούμε επίσης ένα σημαντικό τμήμα του αλλουβιακού υδροφορέα που βρίσκεται στο κεντρικό και περιφερειακό τμήμα της λεκάνης της Μεσαράς να είναι «στεγνό» δηλαδή η πτώση της στάθμης στη περιοχή αυτή είναι μεγαλύτερη από το πάχος του υδροφορέα του $1^{ου}$ στρώματος.

Η ρύθμιση του ομοιώματος της σταθερής ροής, εκτός από τη σύγκλιση της χρονοσειράς μεταβολής της προσομοιωμένης με την παρατηρημένη στάθμη στα πιεζόμετρα παρακολούθησης, πραγματοποιήθηκε και με τον έλεγχο του ισοζυγίου εισροών - εκροών του συστήματος. Οι προσομοιωμένες ροές προκύπτουν από τα αποτελέσματα των πακέτων stream, recharge, drain και wells και αφορούν τις μέσες ετήσιες τιμές της περιόδου μικρής εκμετάλλευσης και τις μέσες ετήσιες τιμές της περιόδου έντονης εκμετάλλευσης. Η επιτευχθείσα ρύθμιση για το κάθε «πακέτο» προσομοίωσης είναι όπως παρακάτω:

Το πακέτο stream εφαρμόσθηκε για δύο υδρορεύματα: (1) τον κύριο ρου του Λιθαίου - Γεροπόταμου και (2) τον κύριο ρου της Πλακιώτισας-Αναποδάρη-Λειβαδίτη. Η συνθήκη stream package δεν μπορούσε να προσομοιώσει τις διαφορετικές περιόδους που το υδρόρευμα γινόταν ξηρό ή υγρό. Για να επιτευχθεί αυτό το υδρόρευμα χωρίσθηκε σε τμήματα με βάση τις παρατηρήσεις και τα διάφορα τμήματά του μπορούσαν να λειτουργήσουν είτε εισφέροντας νερό στον υδροφορέα ή αποφέροντας νερό στο ποτάμι εξαρτώμενα από τη σχετική στάθμη του υδροφορέα και του υδρορεύματος. Η παροχή που εισήχθηκε ήταν η μέση ετήσια παροχή στην είσοδο του Ληθαίου στη Γόρτυνα και του Αναποδάρη στην Πλακιώτισα. Στα υδρορεύματα αυτά υπάρχουν μετρήσεις παροχής στην είσοδο τους στη λεκάνη της Μεσαράς. Για το Γεροπόταμο υπάρχουν μετρήσεις και στην έξοδό του (Φαιστό) ενώ λόγω της έλλειψης μετρούμενης απορροής στην έξοδό του Αναποδάρη, παράχθηκε χρονοσειρά απορροής με τη χρήση του ομοιώματος sacramento. Συνεχείς διαφορικές μετρήσεις των υδρορευμάτων μέσα στη λεκάνη δεν υπάρχουν προκειμένου να χρησιμοποιηθούν για καλύτερη ρύθμιση. Οι μόνες διαφορικές μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν είναι από το FAO και στα πλαίσια της παρούσας εργασίας (βλέπε 6.4.4.2). Οι διαφορικές μετρήσεις χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό της αγωγιμότητας της κοίτης των υδρορευμάτων. Η κοίτη των υδρορευμάτων καθορίσθηκε σε απόλυτο υψόμετρο μείον 4 μέτρα από την επιφάνεια του εδάφους και εφαρμόσθηκαν εισροές μόνο στην είσοδο του ομοιώματος στο Ληθαίο- Γόρτυνα και στην Πλακιώτισα.

Το stream package όπως προαναφέρθηκε επιτρέπει εισροές ή εκροές προς ή από τον υδροφορέα εξαρτώμενες από τη σχετική στάθμη της κοίτης του ποταμού και του υδροφόρου. Μετά τη ρύθμιση του ομοιώματος οι ετήσιες τιμές εισροών και εκροών στους κλάδους που εφαρμόσθηκε η συνθήκη stream δίνονται στον Πίνακ. 6- 15 και τον Πίνακ. 6- 16 για τις αρχικές και τις «υπό πίεση» συνθήκες αντίστοιχα.

Από την επιτευχθείσα προσομοίωση με το «πακέτο» stream (Πίνακ. 6- 15 και τον Πίνακ. 6- 16) παρατηρούνται τα παρακάτω:

- Η προσομοίωση με το stream package, αν και είναι η πλέον πολύπλοκη συνθήκη, δύναται να προσομοιώσει με καλή προσέγγιση ένα υδρογεωλογικό σύστημα ακόμα και με περιορισμένα δεδομένα.
- Οι εισροές και οι εκροές που επιτεύχθηκαν μετά τη ρύθμιση του ομοιώματος συγκλίνουν με τις τιμές της εννοιολογικής προσέγγισης του υδροφορέα.
- Οι ετήσιες εισροές στον υδροφορέα από το υδρόρευμα του Λιθαίου-Γεροπόταμου ανέρχονται σε 2,4 Mm^3 στις αρχικές συνθήκες και σε 2,7 Mm^3 σε υπό πίεση συνθήκες. Αντίστοιχα οι εισροές στο υδρόρευμα Αναποδάρη ανέρχονται σε 1,7 Mm^3 και 2,3 Mm^3.
- Οι ετήσιες εκροές από τον υδροφορέα στο υδρόρευμα του Λιθαίου-Γεροπόταμου ανέρχονται 16,7 Mm^3 για αρχικές συνθήκες και σε 5,6 Mm^3 σε υπό πίεση. Αντίστοιχα οι τιμές εκροών από τον Αναποδάρη ανέρχονται σε 7,2 Mm^3 και 3,4 Mm^3.
- Το ποσοστό κατείσδυσης σε σχέση με την απορροή του Λιθαίου ανέρχεται σε 28,9% και 32,5% για τις δυο καταστάσεις αναφοράς και για τον Αναποδάρη σε σχέση με την απορροή στη θέση Πλακιώτισα σε 12,6% και 17,2% αντίστοιχα. Η διαφορά της κατείσδυσης μεταξύ των υδρορευμάτων ερμηνεύεται με τη διαφορετική δομή των δυο υδρογεωλογικών συστημάτων η δε διαφορά μεταξύ αρχικής και υπό πίεσης κατάστασης οφείλεται στην ταπείνωση της στάθμης του υδροφορέα που προήλθε από την αύξηση των αντλήσεων.

Το πακέτο recharge εφαρμόσθηκε για την προσομοίωση τεσσάρων διαφορετικών εισροών στο υδρογεωλογικό σύστημα: (1) την άμεση κατείσδυση από τα κατακριμνήσματα (2) την επιστροφή αντλήσεων (3) την κατείσδυση από τα όμορα υδρορεύματα των γειτονικών λεκανών που απορρέουν σε αυτό, εκτός των υδρορευμάτων της προηγούμενης παραγράφου και (4) την επιστροφή από οικιακή χρήση.

Οι εισροές από την άμεση κατείσδυση από τα κατακριμνήσματα υπολογίσθηκε από τη μέση επιφανειακή βροχόπτωση (κεφάλαιο 1) για το πεδινό τμήμα της λεκάνης με συντελεστές 0,21 για το αλλουβιακό τμήμα και 0,193 για τον πλειο-πλειστοκαινικό (βλέπε παράγραφο 6.4.4.4). Η εξατμισοδιαπνοή δεν εφαρμόσθηκε χωριστά στο σύστημα αλλά συνυπολογίσθηκε στις τιμές της άμεσης κατείσδυση.

Οι εισροές από την επιστροφή των αντλήσεων παράχθηκαν από την αναγωγή των αντλήσεων με συντελεστή 8% για το κάθε τμήμα που διακρίθηκε η λεκάνη της Μεσαράς (βλέπε παράγραφο 6.4.4.5) . Η διάκριση της λεκάνης της Μεσαράς έγινε σε τμήματα ανάλογα με τις παροχές και τον όγκο των αντλήσεων και τις ιδιότητες του υδροφορέα.

Οι εισροές από ποτάμια των όμορων λεκανών του υδρογεωλογικού συστήματος, εκτός του Λιθαίου-Γεροποτάμου και του Αναποδάρη-Πλακιώτισα-Λειβαδίτη, για τους λόγους που αναφέρονται στην παράγραφο 6.4.4.3 , υπολογίσθηκαν από τις μέσες ετήσιες απορροές των επί μέρους λεκανών (παραχθείσα χρονοσειρά από το sacramento) με συντελεστές για την περίοδο αρχική εκμετάλλευση του Πίνακ. 6- 12 και για υπό πίεση με συντελεστές του Πίνακ. 6- **13** αναγόμενες στην επιφάνεια εφαρμογής στο ομοίωμα. Η επιφάνεια

αναγωγής της κάθε υπολεκάνης αντιστοιχεί στην περιοχή που ευρίσκεται μεταξύ των ορίων της λεκάνης και του κύριου ρου του Γεροποτάμου ή του Αναποδάρη. Οι εισροές από οικιακή κατανάλωση παράχθηκαν από τις ετήσιες καταναλώσεις κάθε οικισμού με συντελεστή 80% αναγόμενες στην επιφάνεια που καταλαμβάνει ο οικισμός (βλέπε παράγραφο 6.4.4.6).

Μετά τη ρύθμιση του ομοιώματος οι ετήσιες τιμές εισροών στις περιοχές που εφαρμόσθηκε η συνθήκη recharge δίνονται στον Πίνακ. 6- 15 και τον Πίνακ. 6- 16 για τις αρχικές και της υπό πίεση συνθήκες αντίστοιχα. Από την επιτευχθείσα προσομοίωση με το «πακέτο» recharge παρατηρούνται τα παρακάτω:

- Η προσομοίωση ενός υδρογεωλογικού συστήματος με το recharge package, το οποίο εισάγει μόνο ροές ή αφαιρεί μόνο ροές, επιβάλλεται να στηρίζεται σε λεπτομερή ανάλυση τόσο των δεδομένων του ύψους νερού που ασκείται στην κάθε επιφάνεια όσο και του ποσοστού από αυτό το ύψος νερού που εμπλουτίζει (ποσοστό κατείσδυσης) τον υδροφορέα.
- Οι εισροές με το recharge package που επιτεύχθηκαν, μετά τη ρύθμιση του ομοιώματος, συγκλίνουν με τις τιμές της εννοιολογικής προσέγγισης του υδροφορέα.
- Οι συνολικές ετήσιες εισροές στον υδροφορέα, οι οποίες περιλαμβάνουν τον άμεσο εμπλουτισμό από βροχόπτωση, την κατείσδυση από όμορες λεκάνες εκτός των υδρορευμάτων Λιθαίου- Γεροπόταμου και Αναποδάρη-Λειβαδίτη και τις επιστροφές αντλήσεων και οικιακής χρήσης, ανέρχονται σε 24,4 και 44,4 Mm^3 για τις αρχικές και της υπό πίεση συνθήκες. Η διαφορά των εισροών μεταξύ των δύο διαφορετικών συνθηκών εκμετάλλευσης οφείλεται στην αύξηση της κατείσδυση λόγω ταπείνωσης της στάθμης του υδροφορέα και της αύξησης των επιστροφών άντλησης.

Το πακέτο drain εφαρμόσθηκε για την προσομοίωση των δύο περιοχών του συστήματος στις οποίες έχουμε εκροές σε γειτονικές λεκάνες: (1) το στένεμα της Φαιστού προς τα δυτικά και (2) το «στένεμα» του Αναποδάρη- Χάρακα προς τα ανατολικά. Η συνθήκη drain εφαρμόσθηκε στις περιοχές αυτές στις διαστάσεις που βρέθηκαν από την υδρογεωλογική ανάλυση και ειδικότερα το υψόμετρο της συνθήκης drain τοποθετήθηκε στο κάτω αδιαπέρατο όριο του συστήματος (νεογενές για τη Φαιστό και Φλύσχης για το Χάρακα) και μήκος το πραγματικό πλάτος του υδροφορέα που επικοινωνεί με την όμορη λεκάνη. Οι εκροές λόγω της γεωλογικής δομής στη Φαιστό αφορούν τον αλλουβιακό (στρώμα 1) υδροφορέα ενώ για τον Αναποδάρη τον αλλουβιακό και τον πλειστοκαινικό (στρώμα 2) υδροφορέα. Τα χαρακτηριστικά της συνθήκης drain για τη Φαιστό είναι: αγωγιμότητα (conductance) 550 $m^2/yr/m$, μήκος 193 m, υψόμετρο επιφάνειας εδάφους 40,1 m και υψόμετρο πυθμένα drain 26 m. Αντίστοιχα τα χαρακτηριστικά για το Χάρακα είναι: αγωγιμότητα 1350 $m^2/yr/m$, μήκος 695 m, υψόμετρο επιφάνειας εδάφους 188,8 m και υψόμετρο πυθμένα drain 176 m
Μετά τη ρύθμιση του ομοιώματος οι ετήσιες τιμές εκροών στην περιοχή της Φαιστού και του Χάρακα που εφαρμόσθηκε η συνθήκη drain δίνονται στον Πίνακ. 6- 15 και τον Πίνακ. 6- 16 για τις αρχικές και της υπό πίεση συνθήκες Από την επιτευχθείσα προσομοίωση με το «πακέτο» drain παρατηρούνται τα παρακάτω:

- Η προσομοίωση ενός υδρογεωλογικού συστήματος με το drain package, το οποίο αφαιρεί μόνο νερό, επιβάλλεται να στηρίζεται σε λεπτομερή

υδρογεωλογική ανάλυση της περιοχής προσομοίωσης και κύρια καλή γνώση της γεωμετρίας της επιφάνειας που μεταγγίζει υπόγεια νερό στην όμορη λεκάνη και της αγωγιμότητας της επιφάνειας αυτής.
- Οι εκροές με το drain package που επιτεύχθηκαν, μετά τη ρύθμιση του ομοιώματος, συγκλίνουν με τις τιμές της εννοιολογικής προσέγγισης του υδροφορέα.
- Οι ετήσιες εκροές από το στένεμα της Φαιστού ανέρχονται σε 1,5 Mm^3 και 1,3 Mm^3 ενώ για τις δύο συνθήκες και από το στένεμα του Χάρακα ανέρχονται σε 1 Mm^3 και 0,9 Mm^3 αντίστοιχα.

Το πακέτο well εφαρμόσθηκε για την προσομοίωση των αντλήσεων της λεκάνης της Μεσαράς. Όπως προαναφέρθηκε οι πραγματικές αντλήσεις εμφανίζουν τη μεγαλύτερη αβεβαιότητα συγκριτικά με τα άλλα δεδομένα και η προσέγγιση που ακολουθήθηκε περιγράφεται στην παρ. 6.4.6.
Από την επιτευχθείσα προσομοίωση με το «πακέτο» well παρατηρούνται τα παρακάτω:
- Η προσομοίωση ενός υδρογεωλογικού συστήματος με το well package, το οποίο αφαιρεί μόνο νερό, επιβάλλεται να στηρίζεται σε πραγματικά στοιχεία άντλησης. Στην παρούσα εργασία, λόγω έλλειψης πραγματικών δεδομένων, οι αντλήσεις προσεγγίσθηκαν με σενάρια στηριζόμενα σε έμμεσα στοιχεία όπως αναλυτικά παρουσιάστηκαν στην παρ. 6.4.6 . Η ρύθμιση που επιτεύχθηκε μας επιτρέπει να υπολογίσουμε τις αντλήσεις ανά περιοχή που διακρίθηκε ο υδροφορέας. Συνολικά η λεκάνη της Μεσαράς διακρίθηκε σε 10 διαφορετικές ομάδες γεωτρήσεων / περιοχές.
- Οι εκροές με το well package που επιτεύχθηκαν, μετά τη ρύθμιση του ομοιώματος, συγκλίνουν με τις τιμές της εννοιολογικής προσέγγισης του υδροφορέα και τα σενάρια που έχουν αναπτυχθεί.
- Οι συνολικές ετήσιες αντλήσεις για όλη τη λεκάνη του της Μεσαράς ανέρχονται 4,4 Mm^3 και 38,0 Mm^3 για συνθήκες μικρής και μεγάλης εκμετάλλευσης αντίστοιχα. Στον Πίνακ. 6- 15 και τον Πίνακ. 6- 16 δίνονται οι ετήσιες αντλήσεις ανά υδροφορέα που έχει διακριθεί η λεκάνη της Μεσαράς.

Συμπερασματικά, το ομοίωμα της Μεσαράς, όπως σχεδιάστηκε και αναπτύχθηκε, περιγράφει ικανοποιητικά το πολύπλοκο υδρογεωλογικό σύστημα της λεκάνης και είναι σύμφωνο με την εννοιολογική προσέγγισή του. Ειδικότερα περιγράφει ικανοποιητικά τις συνθήκες μικρής εκμετάλλευσης αλλά και τις συνθήκες της έντονης εκμετάλλευσής του. Στην περίοδο της έντονης εκμετάλλευσης μεγάλο τμήμα του αλλουβιακού υδροφορέα (στρώμα 1^o) καθίσταται «στεγνό» (dry) λόγω της πτώσης της στάθμης και οι εκροές από τον υδροφορέα στα υδρορεύματα ελαττώνονται σημαντικά. Επίσης προκύπτει ότι το ομοίωμα συγκλίνει με τιμές αντλήσεων στο ύψος των 38 Mm^3. Περισσότερη ανάλυση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης σταθερής ροής δεν ενδείκνυται, λόγω του ότι ακολουθεί η προσομοίωση της μεταβατικής ροής που θα μας δώσει λεπτομερέστερη ανάλυση για την υδροδυναμική διαχρονική λειτουργία του, τα υδατικά ισοζύγια και τη μελλοντική διαχείρισή του.

Πίνακ. 6- 14 Βαθμονόμηση ομοιώματος σταθερής ροής

Συνθήκη σταθερή ροής - steady state condition								
Αρχικές συνθήκες εκμετάλλευσης (initial-conditions)				Συνθήκες έντονης εκμετάλλευσης - υπό πίεση (stress- conditions)			Μεταβολή Προσο-μοιωμένης στάθμης (πτώση) μεταξύ αρχικών και υπό πίεση συνθηκών (m)	μέση πτώση ανά υδροφορέα (m)
α/α	όνομα Πιεζό-μετρο	Στάθμη (m) Παρατη-ρημένη	Προσο-μοιωμένη	όνομα Πιεζό-μετρο	Στάθμη (m) Παρατη-ρημένη	Προσο-μοιωμένη		
		α	β		γ	δ	β-δ	
1	gb1	79.5	109.6	gb1	79.5	89.5	20.1	
2	gb10	227.1	247.6	gb10	227.1	247.0	0.6	
3	gb11	233.1	246.2	gb11	233.1	246.2	0.0	
4	gb12	234.4	242.4	gb12	234.4	234.4	8.0	
5	gb13	216.6	218.3	gb13	216.6	215.3	2.9	
6	gb14	226.2	239.2	gb14	226.2	234.7	4.5	
7	gb2	109	121.5	gb2	109	115.1	6.4	
8	gb3	76.2	94.8	gb3	76.2	93.9	0.8	
9	gb4	120.8	119.6	gb4	120.8	117.1	2.5	
10	gb5	161.3	184.9	gb5	161.3	176.5	8.3	
11	gb6	196.9	222.8	gb6	196.9	221.1	1.7	
12	gb7	231	233.8	gb7	231	229.7	4.0	
13	gb8	142.4	164.9	gb8	142.4	156.6	8.3	
14	gb9	193.3	201.7	gb9	193.3	198.1	3.6	5.1
15	gh1	226.8	227.3	gh1	226.8	223.5	3.8	
16	gh10	224.5	217.8	gh10	224.5	215.9	1.8	
17	gh11	214.5	219.1	gh11	214.5	216.6	2.5	
18	gh12	202.1	212.2	gh12	202.1	211.2	0.9	
19	gh13	208.5	215.9	gh13	208.5	214.3	1.6	
20	gh14	199.8	208.3	gh14	199.8	207.7	0.6	
21	gh15	230.6	241.0	gh15	230.6	234.8	6.2	
22	gh16	210.7	217.0	gh16	210.7	214.5	2.5	
23	gh17	230.6	239.2	gh17	230.6	234.7	4.5	
24	gh18	193.9	200.3	gh18	193.9	200.2	0.1	
25	gh19	219	219.4	gh19	219	215.2	4.2	
26	gh2	230.6	241.0	gh2	230.6	234.8	6.2	
27	gh3	237.8	247.3	gh3	237.8	242.3	5.0	
28	gh4	223.7	227.2	gh4	223.7	222.1	5.1	
29	gh5	232.3	235.6	gh5	232.3	230.9	4.6	
30	gh6	214	220.0	gh6	214	217.0	2.9	
31	gh7	202.6	207.7	gh7	202.6	207.6	0.0	
32	gh9	203.7	217.8	gh9	203.7	215.6	2.2	3.1
33	gm10	73	73.8	gm10	73	71.8	2.0	
34	gm11	94.1	97.4	gm11	94.1	97.2	0.2	
35	gm12	88	87.3	gm12	88	86.5	0.8	
36	gm13	89.3	93.2	gm13	89.3	92.2	1.0	
37	gm14	70.6	64.4	gm14	70.6	61.5	2.9	
38	gm2	43	48.3	gm2	43	44.1	4.2	
39	gm3	46.4	51.1	gm3	46.4	46.1	5.0	
40	gm4	48.3	49.8	gm4	48.3	47.1	2.8	
41	gm6	57.5	56.9	gm6	57.5	52.5	4.4	
42	gm7	63.9	59.2	gm7	63.9	56.1	3.0	
43	gm8	61.8	62.7	gm8	61.8	57.5	5.2	
44	gm9	63.4	62.7	gm9	63.4	60.1	2.6	2.8

Πίνακ. 6- 15 Ισοζύγιο λεκάνης Μεσαράς- αρχικές συνθήκες – ομοίωμα σταθερής ροής

Ισοζύγιο υδροφορέα λεκάνης Μεσαράς περιόδου μικρής εκμετάλλευσης Προσομοίωση με συνθήκη σταθερής ροής (steady state condition)								
		μέσος ετήσιος όγκος (Mm^3)						
		Λεκάνη Γεροπόταμου					Λεκάνη Αναποδάρη	Σύνολο Μεσαράς
		Μοιρών	Γαλιά	Βαγιονιάς-Ασημίου αλλουβιακός	Βαγιονιάς-Ασημίου πλειστοκαινικός	σύνολο Γεροποτάμου	Χάρακα	
Εισροές								
Απευθείας κατείσδυση από βροχόπτωση Διηθήσεις από τα υπόλοιπα υδατορέματα Επιστροφές αντλήσεων & από οικισμούς	recharge package	7.16		11.07		18.23	8.18	26.40
κατείσδυση από τον κύριο ρου του Γεροποτάμου, Λιθαίου & Αναποδάρη και Λειβαδίτη	stream package	2.44					1.74	4.18
Σύνολο εισροών ανά λεκάνη						**20.66**	**9.92**	**30.58**
Σύνολο εισροών		***30.58***						
Εκροές								
Απολήψεις μέσω γεωτρήσεων	well package	-1.55		-0.57	0.00	-2.12	-2.30	-4.42
Τροφοδοσία ποταμού από τον υδροφόρο ορίζοντα	stream package	-16.68					-7.15	-23.83
Εκροή προς τη γειτονικές λεκάνες (στένεμα Φαιστού και Χάρακα)	drain pakage	-1.53					-0.96	-2.49
Σύνολο εκροών ανά λεκάνη						**-20.32**	**-10.41**	**-30.73**
Σύνολο εκροών		***-30.73***						
% διαφορά εισροών - εκροών								**-0.5%**

Πίνακ. 6- 16 Ισοζύγιο λεκάνης Μεσαράς- συνθήκες υπό πίεση – ομοίωμα σταθερής ροής

Ισοζύγιο υδροφορέα λεκάνης Μεσαράς περιόδου έντονης εκμετάλλευσης Προσομοίωση με συνθήκη σταθερής ροής (steady state condition)								
		μέσος ετήσιος όγκος (Mm^3)						
		Λεκάνη Γεροπόταμου					Λεκάνη Αναποδάρη	Σύνολο Μεσαράς
		Μοιρών	Γαλιά	Βαγιονιάς-Ασημίου αλλουβιακός	Βαγιονιάς-Ασημίου πλειστοκαινικός	σύνολο Γεροποτάμου	Χάρακα	
Εισροές								
Απευθείας κατείσδυση από βροχόπτωση Διηθήσεις από τα υπόλοιπα υδατορέματα Επιστροφές αντλήσεων & από οικισμούς	recharge package	13.24		20.51		33.75	10.64	44.38
κατείσδυση από τον κύριο ρου του Γεροποτάμου, Λιθαίου & Αναποδάρη και Λειβαδίτη	stream package	2.73					2.31	5.04
Σύνολο εισροών ανά λεκάνη		**36.48**					**12.95**	**49.42**
Σύνολο εισροών		***49.42***						
Εκροές								
Απολήψεις μέσω γεωτρήσεων	well package	-15.57		-10.07	-4.78	-30.42	-7.55	-37.97
Τροφοδοσία ποταμού από τον υδροφόρο ορίζοντα	stream package	-5.77					-3.42	-9.19
Εκροή προς τη γειτονικές λεκάνες (στένεμα Φαιστού και Χάρακα)	drain pakage	-1.31					-0.98	-2.29
Σύνολο εκροών ανά λεκάνη						**-37.50**	**-11.94**	**-49.44**
Σύνολο εκροών		***-49.44***						
% διαφορά Εισροών - εκροών								**-0.04%**

6.9 Ομοίωμα Μεσαράς συνθηκών μεταβατικής ροής (simulation of transient- state conditions)

Η προσομοίωση του υδροφορέα της περιοχής της Μεσαράς με μεταβατικές συνθήκες ροής πραγματοποιήθηκε για το χρονικό διάστημα 9ος 1980 – 8ος 2005. Στην περίοδο αυτή υπάρχουν εξαμηνιαίες μετρήσεις πιεζομετρικών παρατηρήσεων που μας βοηθούν στη ρύθμιση του ομοιώματος. Το ομοίωμα βασίστηκε στην εννοιολογική προσέγγιση που αναπτύχθηκε στις προηγούμενες παραγράφους και των δεδομένων της ρύθμισης του ομοιώματος της κατάστασης σταθερής ροής και ειδικότερα στη γεωμετρία του υδρογεωλογικού συστήματος και στις οριακές συνθήκες του.

6.9.1. Δεδομένα – χρονοσειρές προσομοίωσης συνθηκών μεταβατικής ροής.

Στο ομοίωμα συνθηκών μεταβατικής ροής μονάδα χρόνου (T) επιλέχθηκε η ημέρα (day) και μήκους (L) το μέτρο (m). Οι τιμές της υδραυλικής αγωγιμότητας (K), της αποθηκευτικότητας (S), της υδραυλικής αγωγιμότητας της κοίτης των ποτάμιων αποθέσεων (stream conductance) και της αγωγιμότητας της υπόγειας στράγγισης (drain) που αρχικά εισήχθησαν στο ομοίωμα είναι οι ίδιες με αυτές των συνθηκών σταθερής ροής μικρής εκμετάλλευσης ανηγμένες στις παραπάνω μονάδες και αντιστοιχούν στις μέσες τιμές των επί μέρους ζωνών στις οποίες έχει διακριθεί το υδρογεωλογικό σύστημα (βλέπε παράγραφο 6.4.5 παράγραφο 6.8).

Οι χρονοσειρές της βαθειάς διήθησης (κατείσδυσης) υπολογίσθηκαν με βάση τους συντελεστές κατείσδυσης επί των βροχοπτώσεων (21% για τον αλλουβιακό και 19.3% για τον πλειστοκαινικό- παράγραφος 6.4.4.4) και τις χρονοσειρές της επιφανειακής βροχόπτωσης σε μηνιαίο βήμα ανηγμένες σε m^3/ημέρα, όπως αυτές υπολογίσθηκαν στο κεφάλαιο 1.

Ως χρονοσειρές επιφανειακής απορροής των όμορων λεκανών που απορρέουν στην περιοχή της προσομοίωσης χρησιμοποιήθηκαν οι προσομοιωμένες τιμές από το ομοίωμα του Sacramento με μηνιαίο βήμα (κεφάλαιο 3). Για το υδρόρευμα του Λιθαίου και της Πλακιώτισας-Αναποδάρη εισήχθησαν απευθείας οι αντίστοιχες τιμές απορροής σε m^3/ημέρα λόγω της προσομοίωσης της συνθήκης αυτής με το πακέτο stream, ενώ για τα υπόλοιπα υδρορεύματα η απορροή ανήχθηκε σε ύψος επιφανειακής κατείσδυσης με βάση την επιφάνεια εφαρμογής τους και τους συντελεστές κατείσδυσης των υδρορευμάτων της παραγράφου 6.4.4.3 (κατείσδυση =απορροή Χ συντελεστή κατείσδυσης / επιφάνεια εφαρμογής), λόγω της προσομοίωσής της με το πακέτο recharge.

Όσο αφορά τις χρονοσειρές των αντλήσεων λόγω της έλλειψης καταγραφών, όπως προαναφέρθηκε στην παράγραφο 6.4.6 , προσεγγίζονται κατά αρχή με το παρακάτω σενάριο: Οι ετήσιες αντλήσεις που χρησιμοποιούνται για άρδευση για το μέσο υδρολογικό έτος (όπως χαρακτηρίζεται από πλευράς βροχοπτώσεων) της περιόδου προσομοίωσης εκτιμήθηκαν με βάση τις καταγεγραμμένες ωριαίες αντλήσεις ανά περιοχή (Πίνακ. 6- 7) με 10ωρη ημερήσια άντληση και για έξι

μήνες. Στις αρδευτικές ποσότητες προστέθηκαν οι ετήσιες ποσότητες που καταναλώνονται για ύδρευση και βιοτεχνία προκειμένου να εκτιμηθούν οι συνολικές ετήσιες αντλήσεις του μέσου υδρολογικού έτους. Οι υδρευτικές ποσότητες υπολογίσθηκαν με κατανάλωση 150 λίτρα ανά κάτοικο ανά ημέρα και οι βιοτεχνικές (ελαιοτριβεία) με βάση την απογραφή των μονάδων. Ανάλογα για το ξηρότερο έτος της περιόδου προσομοίωσης (1989-1990) οι ετήσιες αντλήσεις για άρδευση εκτιμήθηκαν με 10ωρη άντληση για 7 μήνες και για το υγρότερο έτος (2002-2003) με 10ωρη άντληση για 5 μήνες. Οι ποσότητες ύδρευσης και βιοτεχνίας ελήφθησαν οι ίδιες με το μέσο έτος. Με βάση τις ετήσιες τιμές των τριών χαρακτηριστικών ετών (ξηρό, κανονικό και υγρό) και την ετήσια κατανομή της επιφανειακής βροχόπτωσης εκτιμήθηκαν αναλογικά οι ετήσιες αντλήσεις για κάθε υδρολογικό έτος της περιόδου προσομοίωσης. Η μηνιαία χρονοσειρά αντλήσεων που εισήχθηκε στο ομοίωμα έγινε με βάση τις ετήσιες αντλήσεις όπως προέκυψαν με το παραπάνω σενάριο αντλήσεων κατανεμημένες με τους μηνιαίους συντελεστές του σχήματος της Εικόνα 7-6.4.6-2. Τελικά, με την παραπάνω προσέγγιση και την ομαδοποίηση των γεωτρήσεων με βάση τα υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά των εισήχθησαν στο ομοίωμα δέκα διαφορετικές ομάδες χρονοσειρών αντλήσεων που αντιστοιχούν στις παρακάτω περιοχές: ανατολικό (1) και δυτικό (2) τμήμα της λεκάνης των Μοιρών, πλειστοκαινικός υδροφορέας της περιοχής Γαλιάς (3), των Γκαγκαλών (4) και του Ασημίου (5), δυτικό (6) και ανατολικό (7) τμήμα του προσχωματικού υδροφορέα της λεκάνης της Βαγιονιάς, προσχωματικό τμήμα του Ασημίου (8), κεντρικό τμήμα (9) και τμήμα περιθωρίων (10) της λεκάνης του Χάρακα.

Οι χρονοσειρές των επιστροφών αντλήσεων κατανεμήθηκαν ανάλογα με τις αντλήσεις ανά περιοχή και υπολογίσθηκαν από τη χρονοσειρά των αντλήσεων με συντελεστή 8%. Οι επιστροφές αντλήσεων προσομοιώθηκαν με τη χρήση του πακέτου recharge

Η χρονοσειρά επιστροφών από οικιακή κατανάλωση υπολογίσθηκαν με βάση την πληθυσμιακή κατάσταση των οικισμών και την εκτίμηση ότι η κατανάλωση ανά κάτοικο ανέρχεται σε 150 λίτρα ανά ημέρα και το 80% από αυτή την ποσότητα επιστρέφεται στον υδροφορέα. Οι τιμές προσομοίωσης έγιναν με αναγωγή της παραπάνω ποσότητας στην έκταση κάθε οικισμού και προσομοιώθηκαν με τη χρήση του πακέτου recharge.

Οι χρονοσειρές των πιεζομέτρων παρακολούθησης που χρησιμοποιήθηκαν για τη ρύθμιση του ομοιώματος είναι οι εξαμηνιαίες τιμές σε απόλυτο υψόμετρο όπως συμπληρώθηκαν και διορθώθηκαν στο κεφάλαιο της υδρογεωλογίας. Οι τιμές αυτές ανήχθησαν στο υψόμετρο προσομοίωσης εφόσον αυτό ήταν διαφορετικό από το υψόμετρο του πιεζόμετρου. Η αναγωγή αυτή κρίθηκε αναγκαία λόγω του σταθερού υψομέτρου της κάθε κυψελίδας (διάστασης 500μΧ500μ) του ομοιώματος που αντιστοιχεί στο μέσο πραγματικό υψόμετρό της και ενίοτε το υψόμετρο του πιεζόμετρου που ευρίσκεται στη συγκεκριμένη κυψελίδα διέφερε της τάξης λίγων μέτρων.

Τέλος, ως αρχικές συνθήκες για το ομοίωμα μεταβαλλόμενης ροής (starting head), για την περίοδο έναρξης της προσομοίωσης χρησιμοποιήθηκε η κατανομή των υδραυλικών φορτίων όπως προέκυψε από τη ρύθμιση του ομοιώματος σε συνθήκες σταθερής ροής.

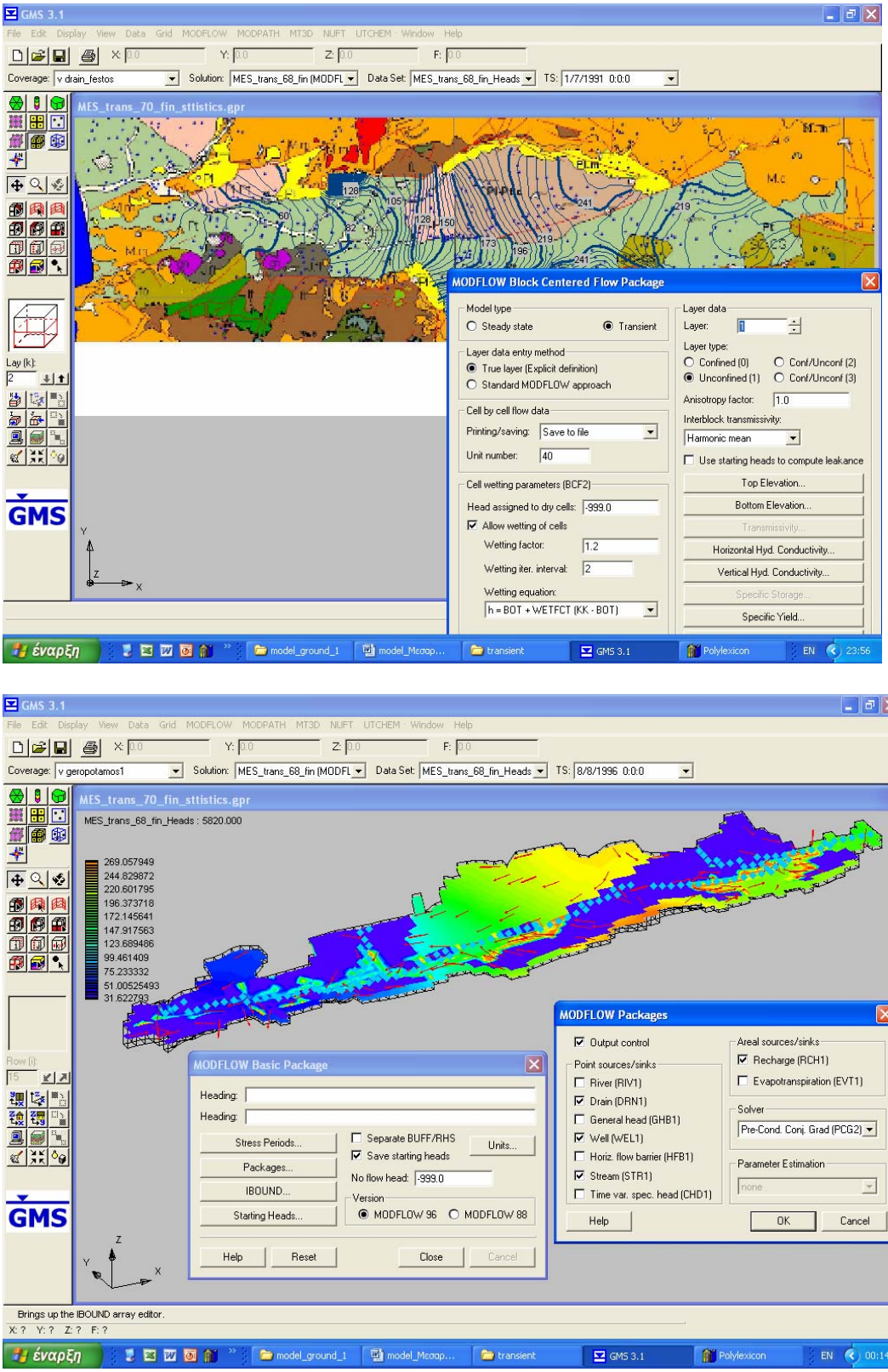
6.9.2. Αρχικές συνθήκες Ομοιώματος modflow μεταβατικής ροής

Η περίοδος αναφοράς (reference time) του ομοιώματος ορίσθηκε από τον 9^{ο} μήνα του 1980 μέχρι 8^{ο} μήνα του 2005 (25 έτη) και υποδιαιρέθηκε σε 300 περιόδους πίεσης (stress period) που αντιστοιχούν σε μηνιαίο βήμα. Το μήκος κάθε περιόδου (length) ορίσθηκε σε 30 ημέρες και οι τιμές αναγωγής όλων των δεδομένων (παρ. 6.9.1) έγινε με βάση τις 30 ημέρες ανά μήνα.

Η προσομοίωση έγινε με το πακέτο BCF του Modflow (Block Centered Flow Package) το οποίο υπολογίζει την αγωγιμότητα μεταξύ των κυψελίδων του κάναβου και παρέχει τις μερικές διαφορικές εξισώσεις για τη ροή από κυψελίδα σε κυψελίδα. Επίσης υπολογίζει τους όρους που καθορίζουν το ρυθμό κίνησης του νερού από και προς την αποθήκευση. Έχουν αναπτυχθεί τρεις διαφορετικές εκδόσεις από την USGS. Στην παρούσα προσομοίωση χρησιμοποιήθηκε η έκδοση BCF2 η οποία παρέχει τη δυνατότητα αναπλήρωσης με νερό των κυψελίδων (rewet) που σε προηγούμενη περίοδο έχουν «στερέψει» (dry). Αυτό κρίθηκε αναγκαίο λόγω της μεγάλης μεταβολής στάθμης που έχει παρατηρηθεί στο σύστημα και ειδικότερα στο ελεύθερο επιφανειακό στρώμα. Ο αλγόριθμος επίλυσης που επιλέχθηκε ορίζεται από το πακέτο PCG2 (pre conjugate gradient 2) και χαρακτηρίζεται από ιδιαίτερη ευστάθεια και περιορισμό των δυνητικών αστοχιών επίλυσης που πολύ συχνά αντιμετωπίζονται κατά τη σύνταξη και ρύθμιση ενός μαθηματικού ομοιώματος. Τα κριτήρια σύγκλισης του ομοιώματος είναι αυστηρά και δεν υπερβαίνουν για τη στάθμη το 0.1m και για την υπολειπόμενη ροή το 0,1 m ^{3}/ημέρα.

Τα κύρια χαρακτηριστικά της προσομοίωσης με τους όρους του Modflow είναι:
layer data entry method: True layer (explicit definition),
layer 1:Unconfined(1), layer 2: Confined(0), Anisotropy factor:1,
interblock transmissivity: harmonic mean,
wetting factor: 1.2, wetting equation: h=BOT+WETFCT(KK-BOT),
Solver package preconditioned conjugate gradient method (PCG2),
head change criterion for convergence: 0.1 m,
residual criterion for convergence: 0.1 m^{3}/day, prevent cell drying.

Δυο χαρακτηριστικές εικόνες της επιφάνεια της οθόνης Η/Υ του λογισμικού συστήματος του GMS δίνονται στην Εικόνα 6.9.2-1 .



Εικόνα 6.9.2-1 Λογισμικό σύστημα GMS

6.9.3. Ρύθμιση ομοιώματος υπόγειας μεταβατικής ροής

Οι συνθήκες της κατάστασης του υδρογεωλογικού συστήματος της Μεσαράς περιόδου 25 ετών για το χρονικό διάστημα 1980-2005 χρησιμοποιήθηκαν για τη ρύθμιση του ομοιώματος της μεταβατικής ροής των υπόγειων νερών.
Η περίοδος αυτή χρονολογικά επιλέχθηκε με γνώμονα την ύπαρξη σχετικά ικανοποιητικού αριθμού δεδομένων και ταυτίζεται με την περίοδο που συνέβησαν μεταβολές στο υδρογεωλογικό σύστημα προκαλούμενες κύρια από την κλιμακούμενη αύξηση των αντλήσεων μέχρι την υπερεκμετάλλευσή του. Επίσης το διάστημα αυτό κρίνεται ικανό ώστε να εξάγουμε συμπεράσματα για τη διαχείριση του υδροδυναμικού συστήματος.

Γενικά, συνθήκες μεταβατικής ροής συμβαίνουν όταν οι εισροές σε νερό σε ένα υδρογεωλογικό σύστημα δεν είναι ίσες με τις εκροές του. Η ρύθμιση του συστήματος μεταβατικής ροής συνίσταται στην τροποποίηση της υδραυλικής (οριζόντιας) αγωγιμότητας (K) ή μεταβιβαστικότητας (T), της κατακόρυφης αγωγιμότητας μεταξύ των στρωμάτων, της αγωγιμότητας των υπόγειων διαφυγών (drain), της αγωγιμότητας της κοίτης των ποτάμιων αποθέσεων (stream cconductance), της επιφανειακής απορροής, της κατείσδυσης από βροχόπτωση, του εμπλουτισμού του από τις απορροές των όμορων λεκανών, την απόληψη ύδατος (εκροές) και του συντελεστή αποθήκευσης (S). Αυτοί οι παράμετροι τροποποιούνται χρησιμοποιώντας τη μέθοδο «δοκιμή - και - λάθος» (trial -and -error) μέχρι οι προσομοιωμένες στάθμες των υπόγειων νερών και οι ροές να συγκλίνουν με τις παρατηρούμενες. Η επαναλαμβανόμενη διαδικασία ρύθμισης περιλαμβάνει τρία στάδια: (1) ρύθμιση ομοιώματος σε κατάσταση σταθερής ροής (αρχικές συνθήκες), (2) χρησιμοποίηση/ μεταφορά των παραμέτρων από το ομοίωμα σταθερής ροής στο ομοίωμα της μεταβατικής ροής, και (3) ρύθμιση των παραμέτρων που ειδικά συσχετίζονται με το ομοίωμα μεταβατικής ροής. Εάν δεν επιτυγχάνεται ικανοποιητική σύγκλιση μεταξύ των προσομοιωμένων και παρατηρούμενων (μετρημένων) αποτελεσμάτων η διαδικασία επαναλαμβάνεται από το στάδιο 1. Η σύγκλιση των αποτελεσμάτων ελέγχεται από την πολυπλοκότητα του πραγματικού συστήματος και την αντίστοιχη προσομοίωσή του. Σημαντική βαρύτητα στη σύγκλιση και τη ρεαλιστική αναπαράσταση του φυσικού συστήματος έχουν η διαθεσιμότητα και η ποιότητα των δεδομένων που χαρακτηρίζουν το σύστημα.

Για τη ρύθμιση του παρόντος ομοιώματος ακολουθήθηκε η διαδικασία που αναφέρεται στην προηγούμενη παράγραφο. Οι παράμετροι του υδρογεωλογικού συστήματος που ρυθμίστηκαν στο ομοίωμα της κατάστασης σταθερής ροής χρησιμοποιήθηκαν για το ομοίωμα της μεταβατικής ροής και οι τιμές τους εισήχθησαν στην κατάλληλη κλίμακα. Τα δεδομένα και οι μονάδες που εισήχθησαν στο ομοίωμα μεταβατικής ροής αναφέρονται στην παράγραφο 6.9.1. Τα δεδομένα αυτά δύναται να διακριθούν σε δύο κατηγορίες: (1) σε αυτά που προέρχονται από μετρήσεις υπαίθρου και την αξιολόγηση των παρατηρήσεων και (2) σε αυτά που υπάρχει έλλειμμα μετρήσεων και αντιμετωπίζονται με διάφορα σενάρια. Στην πρώτη κατηγορία εντάσσονται οι αγωγιμότητες των υδροφόρων στρωμάτων, της κοίτης των ποταμών και των υπόγειων διαφυγών, οι βροχοπτώσεις και οι απορροές. Στη δεύτερη κατηγορία εντάσσονται οι αντλήσεις στις οποίες αν και η ωριαία άντληση προσεγγίζεται με

ικανοποιητική ακρίβεια όμως οι συνολικές αντλούμενες ποσότητες, λόγω έλλειψης καταγραφών, αντιμετωπίζονται με σενάρια καθώς και οι επιστροφές των αντλήσεων. Συνεπακόλουθα οι παράμετροι της πρώτης κατηγορίας εμφανίζουν μικρότερη αβεβαιότητα.

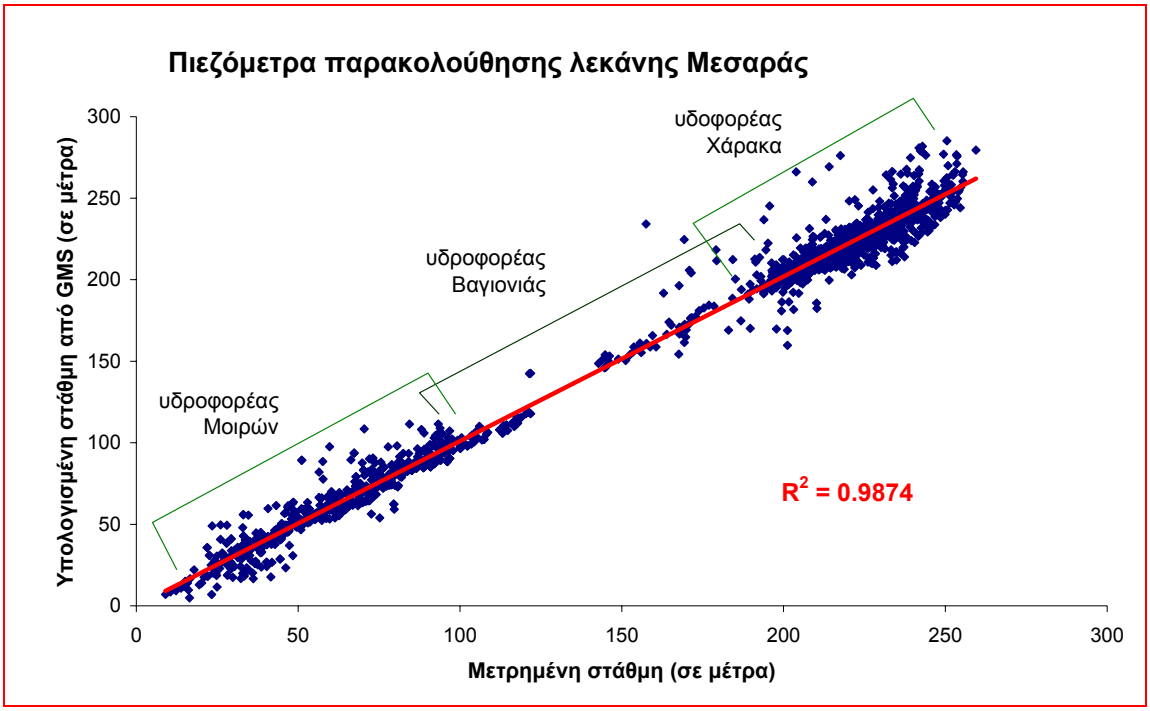
Κατόπιν των παραπάνω αρχικός στόχος της ρύθμισης του ομοιώματος της μεταβατικής ροής ήταν η δυνατότητα ρύθμισής του με μεταβολή των παραμέτρων της $2^{ης}$ κατηγορίας δηλαδή των αντλήσεων μέσα στα αποδεκτά όρια που τέθηκαν από το εννοιολογικό ομοίωμα.

Με βάση τον παραπάνω στόχο, η διαδικασία της ρύθμισης περιλάμβανε επαναλαμβανόμενα «τρεξίματα» του ομοιώματος και τον επανακαθορισμό μόνο των μηνιαίων αντλήσεων της περιόδου αναφοράς για κάθε περιοχή. Ο έλεγχος αφενός αφορούσε τη σύγκλιση ή μη της χρονοσειρά μεταβολής της προσομοιωμένης στάθμης σε σχέση με την παρατηρημένη στα πιεζόμετρα παρακολούθησης και αφετέρου τον έλεγχο του ισοζυγίου εισροών - εκροών του συστήματος, αν δηλαδή ευρίσκεται μέσα στα αποδεκτά όρια σύμφωνα με το εννοιολογικό ομοίωμα που προηγήθηκε.

Η ρύθμιση που τελικά επιτεύχθηκε, μετά από πολλαπλά τρεξίματα, ικανοποιεί τον αρχικό στόχο που τέθηκε δηλαδή τη σύγκλιση του ομοιώματος σε αποδεκτά επίπεδα μόνο με την τροποποίηση των αντλήσεων που αρχικά εισήχθησαν στο σύστημα.
Στα σχήματα των εικόνων 6-45, …, 6-94 δίνονται οι χρονοσειρές ρύθμισης του ομοιώματος μεταβατικής ροής καθώς και η γραμμική παλινδρόμηση μεταξύ παρατηρούμενων και προσομοιωμένων τιμών για κάθε πιεζόμετρο παρακολούθησης. Από την επιτευχθείσα ρύθμιση του ομοιώματος παρατηρούνται/συμπεραίνονται τα παρακάτω:

- Το ομοίωμα συγκλίνει στα αυστηρά όρια που ορίσθηκαν (στάθμη < 0.1m και ροές <0,1 m 3/ημέρα)
- Γενικά σε όλα τα πιεζόμετρα, η διαχρονική μεταβολή της στάθμης στη περίοδο της 25ετίας περιγράφεται ικανοποιητικά με το ομοίωμα που αναπτύχθηκε και την επιτευχθείσα ρύθμιση.
- Αν και το υδρογεωλογικό σύστημα της λεκάνης της Μεσαράς είναι πολύπλοκο, όσο αφορά κύρια τη δομή του, τη μεγάλη έκτασή του και τις υψηλές «πιέσεις» που έχει υποστεί, κύρια από πλευράς αντλήσεων, ρυθμίστηκε ώστε να περιγράφει όλες τις μεταβολές της στάθμης που έχουν παρατηρηθεί στην περίοδο προσομοίωσης (25ετία).
- Ο συντελεστής συσχέτισης της γραμμικής παλινδρόμησης μεταξύ της προσομοιωμένης στάθμης και της παρατηρημένης είναι σημαντικός (βλέπε Πίνακ. 6- 17) για όλα τα πιεζόμετρα παρατήρησης. Ο συντελεστής γραμμικής παλινδρόμησης για το σύνολο των μετρήσεων (Εικόνα 6.9.3-1) ισούται με r=0.994
- Καθορίστηκε ο υπόγειος υδροκρίτης της Μεσαράς που χωρίζει τη γενική κατεύθυνση των νερών προς ανατολικά και δυτικά. Επίσης διαπιστώνεται ότι μετακινείται- παλινδρομεί γύρω από μια θέση ισορροπίας ανάλογα με τις εκατέρωθεν αντλήσεις και τον εμπλουτισμό του συστήματος .
- Οι γραμμές ροής και οι πιεζομετρικές καμπύλες συγκλίνουν με αυτές που κατασκευάσθηκαν στο κεφάλαιο της υδρογεωλογίας και προέρχονται από τις παρατηρήσεις υπαίθρου (βλέπε εικόνες 6-31, …, 6-44 -Παράρτημα 6)

- Τα πρώτα έτη της προσομοίωσης η συσχέτιση μεταξύ προσομοιωμένων και παρατηρημένων τιμών εμφανίζεται συγκριτικά λιγότερο σημαντική που είναι όμως σύνηθες στα ομοιώματα μεταβατικής ροής και αντιστοιχεί στο χρόνο που απαιτείται για την ισορροπία του.
- Μεγαλύτερη «σημαντικότητα» παρατηρείται στα κεντρικά πιεζόμετρα του ομοιώματος από ότι σε αυτά που βρίσκονται στα περιθώριο του υδρογεωλογικού συστήματος. Αυτό είναι αναμενόμενο λόγω της πολύπλοκης δομής και της στρωματογραφίας των περιθωρίων της λεκάνης της Μεσαράς.
- Στο κεφάλαιο της υδρογεωλογίας έγινε συμπλήρωση ορισμένων τιμών στις χρονοσειρές παρακολούθησης υδροστατικής στάθμης που ήταν ελλειμματικές. Αν και η συμπλήρωση πραγματοποιήθηκε με στατιστικά αποδεκτό τρόπο (υψηλή συσχέτιση, r>0.9, και μόνο με γειτονικά πιεζόμετρα), παρατηρείται ότι η παραγόμενη από το ομοίωμα χρονοσειρά διαφέρει σημαντικά από αυτή που προέκυψε από στατιστική ανάλυση. Όμως, παρατηρείται επίσης ότι η συσχέτιση μεταξύ των παρατηρημένων και των παραγόμενων από το ομοίωμα υδροστατικών σταθμών είναι «σημαντική» ενώ μεταξύ των συμπληρωμένων από στατιστική συσχέτιση και των παραγόμενων από το ομοίωμα είναι «πολύ μικρή» έως «ασήμαντη». Από αυτό συμπεραίνουμε ότι η παραγόμενη από το ομοίωμα χρονοσειρά αντιπροσωπεύει ακριβέστερα το υδρογεωλογικό σύστημα. Αυτό ερμηνεύεται ότι οφείλεται στην πολύπλοκη δομή του υδρογεωλογικού συστήματος και της σχετικά λεπτομερούς χαρτογράφησής του που πραγματοποιήθηκε στα κεφάλαια της γεωλογίας και της υδρογεωλογίας. Ακριβέστερα αποδίδεται στη ζωνοποίηση, κατά την οριζόντια και την κατακόρυφη διάσταση, και στις διαφορετικές ιδιότητες των ζωνών αυτών, που προσομοιώθηκε το σύστημα αντί της πρακτικής των μέχρι τώρα ομοιωμάτων να προσομοιάζουν το σύστημα με ένα ομοιογενές στρώμα. Στα ομοιώματα καθοριστικό ρόλο, όπως προαναφέρθηκε στην παράγραφο 6.1 παίζει η προσομοίωση των οριακών συνθηκών και δύναται να απεικονίσουν αντιπροσωπευτικότερα το φυσικό σύστημα ενώ αντίθετα στη στατιστική ανάλυση μεγαλύτερη βαρύτητα έχει η απόσταση μεταξύ των συσχετιζομένων σημείων και δεν λαμβάνει καθόλου υπόψη της την ανισοτροπία του μέσου.
- Ο αλλουβιακός υδροφορέας που είναι ο ανώτερος στο υδρογεωλογικό σύστημα προσομοιώθηκε ως ελεύθερος υδροφορέας, Unconfined(1), ενώ ο υποκείμενος σ' αυτόν πλειστοκαινικός ως υπό πίεση Confined(0)
- Συμπερασματικά, από τα παραπάνω προκύπτει ότι η εννοιολογική δομή του υδρογεωλογικού συστήματος της Μεσαράς όπως αναπτύχθηκε και προσομοιώθηκε περιγράφει ικανοποιητικά το σύστημα αυτό.



Εικόνα 6.9.3-1 Μετρημένες στάθμες και προσομοιωμένες για κάθε λεκάνη Μεσαράς για εξαμηνιαίες τιμές 25ετίας για μεταβατική ροή.

Πίνακ. 6- 17 συντελεστές συσχέτισης γραμμικής παλινδρόμησης μεταβατικής ροής πιεζομέτρων παρακολούθησης

συντελεστές συσχέτισης γραμμικής παλινδρόμησης προσομοιωμένες στάθμες- παρατηρημένες					
Λεκάνη Μοιρών		**Λεκάνη Βαγιονιάς**		**Λεκάνη Χάρακα**	
πιεζόμετρο	**r**	**πιεζόμετρο**	**r**	**πιεζόμετρο**	**r**
gm2	0.877	gb1	0.498	gh1	0.729
gm3	0.914	gb2	0.802	gh2	0.726
gm4	0.879	gb3	0.845	gh3	0.852
gm6	0.937	gb4	0.733	gh4	0.813
gm7	0.968	gb5	0.872	gh5	0.841
gm8	0.817	gb6	0.839	gh6	0.876
gm9	0.863	gb7	0.771	gh7	0.865
gm10	0.873	gb8	0.820	gh9	0.793
gm11	0.711	gb9	0.809	gh10	0.622
gm12	0.891	gb10	0.745	gh11	0.822
gm13	0.924	gb11	0.781	gh12	0.903
gm14	0.912	gb12	0.804	gh13	0.910
		gb13	0.922	gh14	0.922
		gb14	0.739	gh15	0.836
				gh16	0.751
				gh17	0.792
				gh18	0.805
				gh19	0.758

Η ρύθμιση του ομοιώματος της μεταβατικής ροής, εκτός από τη σύγκλιση της χρονοσειράς μεταβολής της προσομοιωμένης με την παρατηρημένη στάθμη στα πιεζόμετρα παρακολούθησης, πραγματοποιήθηκε και με τον έλεγχο του ισοζυγίου εισροών - εκροών του συστήματος. Οι προσομοιωμένες ροές προκύπτουν από τα αποτελέσματα των πακέτων stream, recharge, drain και wells και αφορούν τιμές στις 300 περιόδους πίεσης (stress period) που αντιστοιχούν σε μηνιαίες τιμές της 25ετούς προσομοίωσης. Αναλυτικότερα, η επιτευχθείσα ρύθμιση για το κάθε «πακέτο» προσομοίωσης είναι όπως παρακάτω:

Το πακέτο stream εφαρμόσθηκε για δύο υδρορεύματα: (1) τον κύριο ρου του Λιθαίου - Γεροπόταμου και (2) τον κύριο ρου της Πλακιώτισας-Αναποδάρη-Λειβαδίτη. Στα υδρορεύματα αυτά υπάρχουν μετρήσεις παροχής στην είσοδο τους στη λεκάνη της Μεσαράς. Για το Γεροπόταμο υπάρχουν μετρήσεις και στην έξοδό του (Φαιστό) ενώ λόγω της έλλειψης μετρούμενης απορροής στην έξοδό του Αναποδάρη, παράχθηκε χρονοσειρά απορροής με τη χρήση του ομοιώματος sacramento. Συνεχείς διαφορικές μετρήσεις των υδρορευμάτων μέσα στη λεκάνη δεν υπάρχουν προκειμένου να χρησιμοποιηθούν για καλύτερη ρύθμιση. Οι μόνες διαφορικές μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν είναι στα πλαίσια της παρούσας εργασίας και από τον FAO και (βλέπε 6.4.4.2). Οι διαφορικές μετρήσεις χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό της αγωγιμότητας της κοίτης των υδρορευμάτων (stream conductance) (βλέπε παράγραφο 6.4.4.2). Οι παράμετροι της προσομοίωσης του stream είναι οι ίδιες όπως ρυθμίστηκαν στο ομοίωμα της σταθερής ροής με αναφορά στις συνθήκες μικρής εκμετάλλευσης αναγόμενες στις μονάδες της μεταβατικής ροής. Στο χάρτη της εικόνας 6-6 δείχνονται οι κλάδοι των υδρορευμάτων που προσομοιώθηκαν με το stream package. Οι παράμετροι της προσομοίωσης με όρους του modflow είναι: Sinuosity 1, Rough coefficient 0.035 (η τιμή προκύπτει από βιβλιογραφικά δεδομένα με βάση τη σύσταση της κοίτης των χειμάρρων), width 20m εκτός του Λειβαδίτη width 15m, Conductance 1.92 - 5 m^2/day/m. Η κοίτη των υδρορευμάτων καθορίσθηκε σε απόλυτο υψόμετρο μείον 4 μέτρα από την επιφάνεια του εδάφους και εφαρμόσθηκαν οι μηνιαίες εισροές μόνο στην είσοδο του ομοιώματος στο Ληθαίο και στην Πλακιώτισα αναγόμενες σε m^3/ημέρα.

Το stream package όπως προαναφέρθηκε επιτρέπει εισροές ή εκροές προς ή από τον υδροφορέα εξαρτώμενες από τη σχετική στάθμη της κοίτης του ποταμού και του υδροφόρου. Μετά τη ρύθμιση του ομοιώματος οι ετήσιες τιμές εισροών και εκροών στους κλάδους που εφαρμόσθηκε η συνθήκη stream δίνονται στον Πίνακ. 6- 18 και στην εικόνα 6-7 (Παράρτημα Κεφ. 6).

Από την επιτευχθείσα προσομοίωση με το «πακέτο» stream παρατηρούνται τα παρακάτω (βλέπε εικόνες 6-108 και 6-109 στο Παράρτημα Κεφ. 6):

- Η προσομοίωση με το stream package, αν και είναι η πλέον πολύπλοκη συνθήκη, δύναται να προσομοιώσει με καλή προσέγγιση ένα υδρογεωλογικό σύστημα ακόμα και με περιορισμένα δεδομένα.
- Οι εισροές και οι εκροές που επιτεύχθηκαν μετά τη ρύθμιση του ομοιώματος συγκλίνουν με τις τιμές της εννοιολογικής προσέγγισης του υδροφορέα.

- Οι ετήσιες εισροές στον υδροφορέα από το υδρόρευμα του Λιθαίου-Γεροπόταμου κυμαίνονται από 0,67 μέχρι 4,53 Mm^3 με μέση τιμή 3,08 Mm^3 εξαρτώμενες από το υδρολογικό έτος, τις απορροές του υδρορεύματος, τη μηνιαία κατανομή των απορροών, τη στάθμη του υδροφορέα και την αγωγιμότητα της κοίτης (βλέπε Πίνακ. 6- 18 και εικόνα 6-108 και 6-109 στο Παράρτημα Κεφ. 6).
- Οι ετήσιες εκροές από τον υδροφορέα στο υδρόρευμα του Λιθαίου-Γεροπόταμου κυμαίνονται από μηδέν μέχρι 28 Mm^3 με μέση τιμή της περιόδου 1986-2005 (περίοδος πίεσης) ίση με 1,78 Mm^3 εξαρτώμενες κυρίως από τη στάθμη του υδροφορέα και δευτερευόντως από το υδρολογικό έτος, τις απορροές του υδρορεύματος και τη μηνιαία κατανομή των απορροών (βλέπε Πίνακ. 6- 18).
- Το ισοζύγιο εισροών- εκροών στο υδρόρευμα του Λιθαίου- Γεροπόταμου ευρέως κυμαίνεται από μείον 26,88 Mm^3, υπερτερούν οι εκροές, μέχρι +3,82 Mm^3, υπερτερούν οι εισροές (βλέπε Πίνακ. 6- 19).
- Το ποσοστό κατείσδυσης σε σχέση με την απορροή του Λιθαίου κυμαίνεται από 20% μέχρι 133%. Το ποσοστό μεγαλύτερο από το 100% ερμηνεύεται / παρατηρείται επειδή το υδρόρευμα δέχεται εισροές εκτός του Λιθαίου και από τον υδροφόρο ορίζοντα σε ορισμένα τμήματά του και στη συνέχεια οι ποσότητες αυτές του νερού κατεισδύουν ξανά σε κατάντη τμήματα εμπλουτίζοντας τον υδροφορέα και προσμετρώνται στις εισροές.
- Οι ετήσιες εισροές στον υδροφορέα από το υδρόρευμα της Πλακιώτισας-Αναποδάρη-Λειβαδίτη κυμαίνονται από 0,41 μέχρι 1,92 Mm^3 με μέση τιμή 1,17 Mm^3 εξαρτώμενες από το υδρολογικό έτος, τις απορροές του υδρορεύματος, τη μηνιαία κατανομή των απορροών, τη στάθμη του υδροφορέα και την αγωγιμότητα της κοίτης (βλέπε Πίνακ. 6- 18).
- Οι ετήσιες εκροές από τον υδροφορέα στο υδρόρευμα της Πλακιώτισας-Αναποδάρη-Λειβαδίτη κυμαίνονται από 0,24 Mm^3 μέχρι 14,24 Mm^3 με μέση τιμή της περιόδου 1986-2005 ίση με 1,17 Mm^3 εξαρτώμενες κυρίως από τη στάθμη του υδροφορέα και δευτερευόντως από το υδρολογικό έτος, τις απορροές του υδρορεύματος και τη μηνιαία κατανομή των απορροών (βλέπε Πίνακ. 6- 18).
- Το ισοζύγιο εισροών- εκροών στο υδρόρευμα της Πλακιώτισας-Αναποδάρη-Λειβαδίτη κυμαίνεται ευρέως από -12,33 Mm^3, υπερτερούν οι εκροές, μέχρι +0,68 Mm^3, υπερτερούν οι εισροές (βλέπε Πίνακ. 6- 19).
- Το ποσοστό κατείσδυσης σε σχέση με την απορροή της Πλακιώτισας-Αναποδάρη κυμαίνεται από 1,7% μέχρι 48%.
- Συγκριτικά, οι αποκλίσεις στις τιμές εισροών / εκροών μεταξύ των υδρορευμάτων Γεροποτάμου και Αναποδάρη οφείλονται αφενός στη δομή και τις ιδιότητες του υδρογεωλογικού συστήματος και αφετέρου στις παροχές, την κατανομή των ροών και το μήκος του υδρορεύματος που διατρέχει τον υδροφορέα. Ο Γεροπόταμος διατρέχει τον υδροφορέα κατά μήκος του κεντρικού τμήματός του και η στάθμη μετά το 1986 ευρίσκεται σε επίπεδο χαμηλότερο από την κοίτη του υδρορεύματος σε αντίθεση με τον Αναποδάρη που διατρέχει τον υδροφορέα στο περιθώριό του και η στάθμη του σε αρκετά τμήματά του ευρίσκεται περίπου στο ύψος της κοίτης του ποταμού.

Το πακέτο recharge εφαρμόσθηκε για την προσομοίωση τεσσάρων διαφορετικών εισροών στο υδρογεωλογικό σύστημα: (1) την άμεση κατείσδυση από τα κατακριμνήσματα (2) την επιστροφή αντλήσεων (3) την κατείσδυση από τα όμορα υδρορεύματα των γειτονικών λεκανών που απορρέουν σε αυτό και (4) την επιστροφή από οικιακή χρήση.

Η χρονοσειρά των εισροών από την άμεση κατείσδυση από τα κατακριμνήσματα παράχθηκε από τις μηνιαίες χρονοσειρές της επιφανειακής βροχόπτωσης όπως υπολογίσθηκαν (κεφάλαιο 1) για το πεδινό τμήμα της λεκάνης με συντελεστές 0,21 για το αλλουβιακό τμήμα και 0,193 για τον πλειστοκαινικό (βλέπε παράγραφο 6.4.4.4). Η εξατμισοδιαπνοή δεν εφαρμόσθηκε χωριστά στο σύστημα αλλά συνυπολογίσθηκε στις τιμές της άμεσης κατείσδυση.
Η χρονοσειρά των εισροών από την επιστροφή των αντλήσεων παράχθηκε από την αναγωγή της χρονοσειρά των μηνιαίων αντλήσεων με συντελεστή 8% για το κάθε τμήμα που διακρίθηκε η λεκάνη της Μεσαράς (βλέπε παράγραφο 6.4.4.5) . Η διάκριση της λεκάνης της Μεσαράς έγινε σε τμήματα ανάλογα με τις παροχές και τον όγκο των αντλήσεων και τις ιδιότητες του υδροφορέα.
Η χρονοσειρά των εισροών από ποτάμια εκτός του Λιθαίου-Γεροποτάμου και του Αναποδάρη-Πλακιώτισα-Λειβαδίτη, για τους λόγους που αναφέρονται στην παράγραφο 6.4.4.3 , παράχθηκε από τη χρονοσειρά των μηνιαίων απορροών των επί μέρους λεκανών (παραχθείσα χρονοσειρά από το sacramento) με συντελεστές για την περίοδο 1980-1985 του Πίνακ. 6- 12 και για την υπόλοιπη περίοδο 1985-2005 με συντελεστές του Πίνακ. 6- 13 αναγόμενες στην επιφάνεια εφαρμογής στο ομοίωμα. Η επιφάνεια αναγωγής της κάθε υπολεκάνης αντιστοιχεί στην περιοχή που ευρίσκεται μεταξύ των ορίων της λεκάνης και του κύριου ρου του Γεροποτάμου ή του Αναποδάρη-Λειβαδίτη.
Η χρονοσειρά των εισροών από οικιακή κατανάλωση παράχθηκε από τις μηνιαίες καταναλώσεις κάθε οικισμού με συντελεστή 80% αναγόμενες στην επιφάνεια που καταλαμβάνει ο οικισμός (βλέπε παράγραφο 6.4.4.6).

Μετά τη ρύθμιση του ομοιώματος οι ετήσιες τιμές εισροών στις περιοχές που εφαρμόσθηκε η συνθήκη recharge δίνονται στον Πίνακ. 6- 21 και στις εικόνες 6-100, …, 6-103 (Παράρτημα Κεφ. 6).
Από την επιτευχθείσα προσομοίωση με το «πακέτο» recharge παρατηρούνται τα παρακάτω:

- Η προσομοίωση ενός υδρογεωλογικού συστήματος με το recharge package, το οποίο εισάγει μόνο ροές ή αφαιρεί μόνο ροές, επιβάλλεται να στηρίζεται σε λεπτομερή ανάλυση τόσο των δεδομένων του ύψους νερού που ασκείται στην κάθε επιφάνεια όσο και του ποσοστού από αυτό το ύψος νερού που εμπλουτίζει (ποσοστό κατείσδυσης) τον υδροφορέα.
- Οι εισροές με το recharge package που επιτεύχθηκαν, μετά τη ρύθμιση του ομοιώματος, συγκλίνουν με τις τιμές της εννοιολογικής προσέγγισης του υδροφορέα.
- Οι συνολικές ετήσιες εισροές στον υδροφορέα περιλαμβάνουν τον άμεσο εμπλουτισμό από βροχόπτωση, την κατείσδυση από όμορες λεκάνες εκτός των υδρορευμάτων Λιθαίου- Γεροπόταμου και Αναποδάρη-Λειβαδίτη και τις επιστροφές αντλήσεων και οικιακής χρήσης. Οι συνολικές εισροές κυμαίνονται από 28,1 μέχρι 90,8 Mm^3 με μέση τιμή 47 Mm^3 εξαρτώμενες κύρια από το υδρολογικό έτος και τις αντλήσεις (βλέπε Πίνακ. 6- 21).

- Οι εισροές στα ξηρά έτη ανέρχονται στο ύψος των 31 Mm^3 ενώ στα υγρά έτη στο ύψος των 76 Mm^3 (βλέπε Πίνακ. 6- 21).
- Η μέση μηνιαία κατανομή των εισροών στη περίοδο της 25ετους προσομοίωσης δίνεται στον Πίνακ. 6- 21. Οι εισροές από τις βροχοπτώσεις και τις απορροές των υδρορευμάτων ανέρχονται στο ύψος των 41,7 Mm^3 (89% επί των συνολικών εισροών) ενώ από τις επιστροφές αντλήσεων και οικιακής χρήσης σε 5,3 Mm^3 (11%).
- Οι εισροές κατά τους χειμερινούς μήνες οφείλονται κύρια στις βροχοπτώσεις και τις απορροές των υδρορευμάτων ενώ κατά τους θερινούς καλοκαιρινούς μήνες στις επιστροφές λόγω αντλήσεων (βλέπε Πίνακ. 6- 23 και Εικόνα 6.9.3-2
- Οι συνολικές εισροές στο τετράμηνο Νοεμβρίου- Φεβρουαρίου αντιστοιχούν στο 66% των συνολικών ετήσιων και στο 75% των ετησίων εισροών από βροχόπτωση και απορροές υδρορευμάτων.

Το πακέτο drain εφαρμόσθηκε για την προσομοίωση των δύο περιοχών του συστήματος στις οποίες έχουμε εκροές σε γειτονικές λεκάνες: (1) το στένεμα της Φαιστού προς τα δυτικά και (2) το «στένεμα» του Αναποδάρη- Χάρακα προς τα ανατολικά. Η συνθήκη drain εφαρμόσθηκε στις περιοχές αυτές στις διαστάσεις που βρέθηκαν από την υδρογεωλογική ανάλυση και ειδικότερα η θέση τοποθέτησης (υψόμετρο) της συνθήκης drain είναι στο κάτω “αδιαπέρατο όριο” του συστήματος (νεογενές για τη Φαιστό και Φλύσχης για το Χάρακα) και μήκος το πραγματικό πλάτος του υδροφορέα που επικοινωνεί με την όμορη λεκάνη. Οι εκροές λόγω της γεωλογικής δομής στη Φαιστό αφορούν τον αλλουβιακό (στρώμα 1) υδροφορέα ενώ για τον Αναποδάρη τον αλλουβιακό και τον πλειστοκαινικό (στρώμα 2) υδροφορέα. Η αγωγιμότητα είναι η ίδια της συνθήκης drain σταθερής ροής αναγομένη στις κατάλληλες μονάδες.

Μετά τη ρύθμιση του ομοιώματος οι ετήσιες τιμές εκροών (drain) στην περιοχή της Φαιστού και του Χάρακα που εφαρμόσθηκε η συνθήκη drain δίνονται στον Πίνακ. 6- 24 και στις εικόνες 6-104, … 6-107 (Παράρτημα Κεφ. 6)
Από την επιτευχθείσα προσομοίωση με το «πακέτο» drain παρατηρούνται τα παρακάτω:

- Η προσομοίωση ενός υδρογεωλογικού συστήματος με το drain package, το οποίο αφαιρεί μόνο νερό, επιβάλλεται να στηρίζεται σε λεπτομερή υδρογεωλογική ανάλυση της περιοχής προσομοίωσης και κύρια την καλή γνώση της γεωμετρίας της επιφάνειας που μεταγγίζει υπόγεια νερό στην όμορη λεκάνη και της αγωγιμότητας της επιφάνειας αυτής.
- Οι εκροές με το drain package που επιτεύχθηκαν, μετά τη ρύθμιση του ομοιώματος, συγκλίνουν με τις τιμές της εννοιολογικής προσέγγισης του υδροφορέα.
- Οι ετήσιες εκροές από το στένεμα της Φαιστού κυμαίνονται ευρέως από 1,31 Mm^3 μέχρι σχεδόν μηδενισμού των όταν η στάθμη του υδροφορέα ευρίσκεται κάτω από το υψόμετρο της drain (βλέπε Πίνακ. 6- 24). Η μέση ετήσια τιμή στα αρχικά στάδια εκμετάλλευσης της λεκάνης (1981-1984) ανέρχεται σε 1,30 Mm^3 και η μέση τιμή της 25ετίας σε 0,69 Mm^3.
- Οι ετήσιες εκροές από το στένεμα του Χάρακα κυμαίνονται σε μικρότερο βαθμό σε σχέση με τη Φαιστό, αναμενόμενο λόγω της μη έντονης

εκμετάλλευσης του υδροφορέα, από 0,62 Mm^3 μέχρι 1,08 Mm^3 (βλέπε Πίνακ. 6- 24). Η μέση τιμή ανέρχεται σε 0,77 Mm^3.

- Η μέση μηνιαία κατανομή των εκροών στην περίοδο της 25ετους προσομοίωσης δίνεται στον Πίνακ. 6- 25 . Οι μέσες μηνιαίες εκροές από τη Φαιστό εμφανίζουν μικρότερη διακύμανση, από 0,053 Mm^3 (ποσοστό 7,7% επί της συνολικής ετήσιας) μέχρι 0,062 Mm^3 (9,0%) σε αντίθεση με του Χάρακα που εμφανίζουν μεγαλύτερη, από 0,048 Mm^3 (6,2%) μέχρι 0,075 Mm^3 (9,8%). Οι μεγαλύτερες τιμές εκροών είναι του Μαρτίου-Απριλίου και οι μικρότερες τιμές είναι του Σεπτεμβρίου - Οκτωβρίου που αντιστοιχούν στις υψηλότερες και στις χαμηλότερες υδροστατικές στάθμες του υδροφορέα σε ετήσια κατανομή. Ανάλογη διακύμανση εμφανίζουν και οι μηνιαίες τιμές κάθε υδρολογικού έτους. Αυτό οφείλεται στη δομή του υδρογεωλογικού συστήματος και ιδιαίτερα στις διαφορετικές αγωγιμότητες και της έκτασης των δύο υδροφόρων συστημάτων. Η λεκάνη των Μοιρών (Γεροποτάμου) έχει μεγαλύτερες τιμές αγωγιμότητας και μεγαλύτερη έκταση συγκριτικά με τη λεκάνη του Χάρακα.

Το πακέτο well εφαρμόσθηκε για την προσομοίωση των αντλήσεων της λεκάνης της Μεσαράς. Όπως προαναφέρθηκε οι πραγματικές αντλήσεις εμφανίζουν τη μεγαλύτερη αβεβαιότητα συγκριτικά με τα άλλα δεδομένα και η προσέγγιση που ακολουθήθηκε για την εκτίμηση των αντλήσεων περιγράφεται στην παρ. 6.9.1.
Από την επιτευχθείσα προσομοίωση με το «πακέτο» well παρατηρούνται τα παρακάτω:

- Η προσομοίωση ενός υδρογεωλογικού συστήματος με το well package, το οποίο αφαιρεί μόνο νερό, επιβάλλεται να στηρίζεται σε πραγματικά στοιχεία άντλησης. Στην παρούσα εργασία, λόγω έλλειψης πραγματικών δεδομένων, οι αντλήσεις προσεγγίσθηκαν με σενάρια στηριζόμενα σε έμμεσα στοιχεία όπως αναλυτικά παρουσιάστηκαν στην παρ. 6.4.6 και παρ. 6.9.1. Η ρύθμιση που επιτεύχθηκε μας επιτρέπει να υπολογίσουμε τις αντλήσεις ανά περιοχή που διακρίθηκε ο υδροφορέας (βλέπε προηγούμενες παραγράφους ρύθμισης ομοιώματος). Συνολικά το υδρογεωλογικό σύστημα της Μεσαράς διακρίθηκε σε 10 διαφορετικές ομάδες γεωτρήσεων / περιοχές.
- Οι εκροές με το well package που επιτεύχθηκαν, μετά τη ρύθμιση του ομοιώματος, συγκλίνουν με τις τιμές της εννοιολογικής προσέγγισης του υδροφορέα και τα σενάρια που έχουν αναπτυχθεί.
- Οι συνολικές ετήσιες αντλήσεις για όλη τη λεκάνη της Μεσαράς διαχρονικά κυμαίνονται ευρέως από 6 Mm^3 μέχρι 75 Mm^3 για συνθήκες μικρής και μέγιστης (ξηρότερο έτος) εκμετάλλευσης αντίστοιχα. Ο μέσος όρος αντλήσεων στις συνθήκες μικρής εκμετάλλευσης (1981-1983) ανέρχεται στο ύψος των 14,3 Mm^3 ενώ στις συνθήκες έντονης εκμετάλλευσης (1984-2005) σε 48,2 Mm^3. Αν αφαιρεθούν τα τρία πολύ ξηρά έτη ο μέσος όρος αντλήσεων ανέρχεται στο ύψος των 44,8 Mm^3 (βλέπε Πίνακ. 6- 26 και εικόνες 6-95, …, 6-99 στο Παράρτημα Κεφ. 6).
- Στον Πίνακ. 6- 26 δίνονται οι ετήσιες αντλήσεις ανά υδροφορέα που έχει διακριθεί η λεκάνη της Μεσαράς. Ο μέσος ετήσιος όγκος αντλήσεων (εκτός των 3 ξηρότερων ετών) ανέρχεται για τη λεκάνη: (1) των Μοιρών σε 22 Mm^3, (2) της Γαλιάς σε 1,3 Mm^3, (3) του αλλουβιακού υδροφορέα της Βαγιονιάς-Ασημίου (περιοχή νότια του Γεροποτάμου) σε 7,8 Mm^3 (4)

του πλειστοκαινικού υδροφορέα Γκαγκαλών- Ασημίου σε 3,8 Mm^3 και (5) του Χάρακα σε 9,8 Mm^3. Περισσότερα στοιχεία δίνονται στον παραπάνω αναφερόμενο πίνακα και στα γραφήματα των εικόνων 6-95, …, 6-99.

- Η συσχέτιση μεταξύ των ετήσιων συνολικών αντλήσεων και το ύψος της επιφανειακής βροχόπτωση είναι σημαντική, r=0.81. Αυτό είναι αναμενόμενο επειδή ο κύριος καταναλωτής είναι η γεωργία και η κατανάλωση του νερού εξαρτάται από την κατανομή και το ύψος των βροχοπτώσεων.
- Η μέση μηνιαία κατανομή των αντλήσεων της 25ετίας δίνεται στον Πίνακ. 6- 27. Η μηνιαία κατανομή (βλέπε Εικόνα 6.9.3-3) κυμαίνεται από 0,4% (χειμερινή περίοδος) μέχρι 20,1% (Ιούλιος). Το εξάμηνο της θερινής – καλοκαιρινής περιόδου οι αντλήσεις αντιπροσωπεύουν το 87,4% των ετήσιων ενώ το 3μηνο Ιουνίου-Αυγούστου το 53,6%.

Πίνακ. 6- 18 Ετήσιες εισροές – εκροές Γεροποτάμου και Αναποδάρη stream package

		Γεροπόταμος-Λιθαίος		Αναποδάρης Πλακιώτισα-Λειβαδίτης		Σύνολο Μεσαράς	
stream package		εισροές	εκροές	εισροές	εκροές	εισροές	εκροές
υδρολογικό έτος		Mm^3/έτος					
09/1980	08/1981	2.28	-16.62	1.04	-9.37	3.32	-25.99
09/1981	08/1982	1.64	-28.52	0.97	-11.82	2.61	-40.35
09/1982	08/1983	1.88	-24.93	1.12	-10.08	3.00	-35.01
09/1983	08/1984	2.22	-20.03	1.92	-14.24	4.14	-34.27
09/1984	08/1985	3.15	-14.51	1.45	-5.91	4.60	-20.42
09/1985	08/1986	2.51	-7.88	1.25	-2.83	3.77	-10.71
09/1986	08/1987	3.04	-4.61	1.59	-2.34	4.63	-6.96
09/1987	08/1988	3.60	-4.99	1.23	-2.21	4.84	-7.20
09/1988	08/1989	3.31	-4.13	1.41	-2.10	4.72	-6.23
09/1989	08/1990	0.67	-1.34	1.19	-1.13	1.86	-2.47
09/1990	08/1991	1.67	-0.96	1.07	-0.92	2.74	-1.88
09/1991	08/1992	2.37	-0.41	1.21	-0.85	3.57	-1.26
09/1992	08/1993	1.81	-0.02	1.08	-0.40	2.89	-0.42
09/1993	08/1994	3.36	0.00	0.83	-0.43	4.19	-0.43
09/1994	08/1995	3.05	0.00	0.68	-0.68	3.72	-0.68
09/1995	08/1996	4.23	-0.59	0.62	-1.08	4.86	-1.66
09/1996	08/1997	4.39	-0.57	0.69	-0.80	5.08	-1.37
09/1997	08/1998	3.53	-0.33	0.73	-0.72	4.26	-1.05
09/1998	08/1999	3.06	-0.07	0.56	-0.62	3.62	-0.69
09/1999	08/2000	2.15	0.00	0.64	-0.26	2.79	-0.26
09/2000	08/2001	3.21	0.00	0.81	-0.29	4.02	-0.29
09/2001	08/2002	2.83	0.00	0.59	-0.24	3.43	-0.24
09/2002	08/2003	4.53	-1.23	0.65	-2.52	5.18	-3.75
09/2003	08/2004	3.85	-7.24	0.55	-3.16	4.40	-10.40
09/2004	08/2005	3.83	-7.40	0.41	-1.39	4.24	-8.79
ελάχιστο		0.67	0.00	0.41	-0.24	1.86	-0.24
μέγιστο		4.53	-28.52	1.92	-14.24	5.18	-40.35
μέση τιμή 1986-2005		3.08	-1.78	0.87	-1.17	3.95	-2.95

Πίνακ. 6- 19 Ετήσιο Ισοζύγιο εισροών – εκροών Γεροποτάμου και Αναποδάρη stream package

stream package		Γεροπόταμος-Λιθαίος	Αναποδάρης Πλακιώτισα-Λειβαδίτης	Σύνολο Μεσαράς
υδρολογικό έτος		Ισοζύγιο (διαφορά) εισροών - εκροών σε Mm^3/έτος		
09/1980	08/1981	-14.34	-8.33	-22.68
09/1981	08/1982	-26.88	-10.85	-37.73
09/1982	08/1983	-23.05	-8.96	-32.02
09/1983	08/1984	-17.80	-12.33	-30.13
09/1984	08/1985	-11.36	-4.47	-15.82
09/1985	08/1986	-5.37	-1.57	-6.94
09/1986	08/1987	-1.57	-0.75	-2.33
09/1987	08/1988	-1.39	-0.98	-2.37
09/1988	08/1989	-0.82	-0.69	-1.51
09/1989	08/1990	-0.67	0.06	-0.61
09/1990	08/1991	0.71	0.15	0.85
09/1991	08/1992	1.95	0.36	2.31
09/1992	08/1993	1.79	0.68	2.47
09/1993	08/1994	3.36	0.40	3.76
09/1994	08/1995	3.05	0.00	3.05
09/1995	08/1996	3.64	-0.45	3.19
09/1996	08/1997	3.82	-0.11	3.71
09/1997	08/1998	3.20	0.01	3.21
09/1998	08/1999	2.99	-0.06	2.93
09/1999	08/2000	2.15	0.38	2.53
09/2000	08/2001	3.21	0.52	3.73
09/2001	08/2002	2.83	0.35	3.18
09/2002	08/2003	3.30	-1.87	1.43
09/2003	08/2004	-3.39	-2.61	-6.00
09/2004	08/2005	-3.57	-0.98	-4.55
ελάχιστη τιμή		-26.88	-12.33	-37.73
μέγιστη τιμή		3.82	0.68	3.76
μέση τιμή 1986-2005		1.29	-0.29	1.00

Πίνακ. 6- 20 Ετήσιες εισροές & απορροές των υδρορευμάτων Γεροποτάμου και Αναποδάρη – ετήσια ποσοστιαία κατείσδυση stream package

stream package		Γεροπόταμος- Λιθαίος			Αναποδάρης Πλακιώτισα-Λειβαδίτης		
		εισροές	απορροή Λιθαίου στην είσοδο της λεκάνης (Αρχαιότητες)	εισροές /απορροή Λιθαίου	εισροές	απορροή Αναποδάρη στην είσοδο της λεκάνης (Πλακιώτισα)	εισροές / απορροή Πλακιώ-τισα
υδρολογικό έτος		Mm^3/έτος		% ποσοστό	Mm^3/έτος		% ποσοστό
09/1980	08/1981	2.28	11.50	19.8%	1.04	25.82	4.0%
09/1981	08/1982	1.64	6.85	24.0%	0.97	16.70	5.8%
09/1982	08/1983	1.88	2.39	78.7%	1.12	4.62	24.2%
09/1983	08/1984	2.22	7.22	30.8%	1.92	11.38	16.8%
09/1984	08/1985	3.15	8.57	36.8%	1.45	23.10	6.3%
09/1985	08/1986	2.51	1.88	133.7%	1.25	2.61	48.0%
09/1986	08/1987	3.04	4.96	61.2%	1.59	5.62	28.3%
09/1987	08/1988	3.60	7.80	46.2%	1.23	8.65	14.3%
09/1988	08/1989	3.31	3.19	103.7%	1.41	7.75	18.2%
09/1989	08/1990	0.67	0.56	120.8%	1.19	5.31	22.3%
09/1990	08/1991	1.67	1.66	100.4%	1.07	12.49	8.5%
09/1991	08/1992	2.37	2.81	84.2%	1.21	13.22	9.1%
09/1992	08/1993	1.81	1.86	97.1%	1.08	3.32	32.5%
09/1993	08/1994	3.36	6.88	48.9%	0.83	13.41	6.2%
09/1994	08/1995	3.05	5.31	57.4%	0.68	18.36	3.7%
09/1995	08/1996	4.23	10.25	41.3%	0.62	23.97	2.6%
09/1996	08/1997	4.39	7.21	60.8%	0.69	17.88	3.9%
09/1997	08/1998	3.53	4.50	78.4%	0.73	13.30	5.5%
09/1998	08/1999	3.06	5.31	57.6%	0.56	13.10	4.3%
09/1999	08/2000	2.15	2.65	81.4%	0.64	3.42	18.6%
09/2000	08/2001	3.21	5.81	55.1%	0.81	15.21	5.3%
09/2001	08/2002	2.83	6.62	42.8%	0.59	20.58	2.9%
09/2002	08/2003	4.53	17.01	26.6%	0.65	38.63	1.7%
09/2003	08/2004	3.85	6.54	58.9%	0.55	15.76	3.5%
09/2004	08/2005	3.83	3.65	105.0%	0.41	6.11	6.7%
Ελάχιστη τιμή		0.67	0.56	19.8%	0.41	2.61	1.7%
Μέγιστη τιμή		4.53	17.01	133.7%	1.92	38.63	48.0%
Μέση τιμή 1986-2005		3.08	5.50	69.9%	0.87	13.48	10.4%
Ξηρό έτος 1989-1990		0.67	0.56	120.8%	1.19	5.31	22.3%
Υγρό έτος 2002-2003		4.53	17.01	26.6%	0.65	38.63	1.7%

Πίνακ. 6- 21 Ετήσιες εισροές και μέση μηνιαία κατανομή τους στη λεκάνη Μεσαράς – recharge package

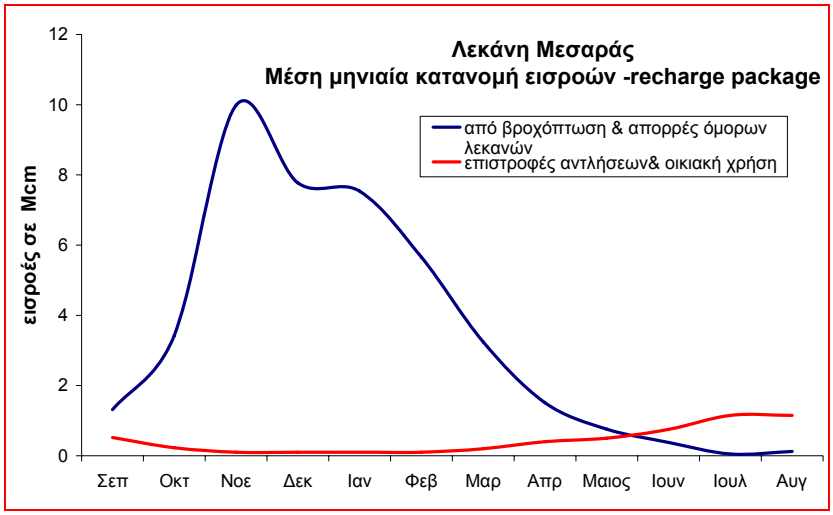
Λεκάνη Μεσαράς εισροές -recharge package					
	σύνολο εισροών			Μέση τιμή 25ετίας	
Υδρολογικό έτος	Mm3/έτος		Μήνας	Mm3/ μήνα	ποσοστό %
1980-1981	62.36		Σεπ	1.83	4%
1981-1982	51.71		Οκτ	3.65	8%
1982-1983	28.65		Νοε	10.09	21%
1983-1984	64.86		Δεκ	7.87	17%
1984-1985	55.33		Ιαν	7.64	16%
1985-1986	33.08		Φεβ	5.76	12%
1986-1987	45.66		Μαρ	3.44	7%
1987-1988	45.45		Απρ	1.91	4%
1988-1989	35.57		Μάιος	1.26	3%
1989-1990	33.39		Ιουν	1.13	2%
1990-1991	38.13		Ιουλ	1.20	3%
1991-1992	32.74		Αυγ	1.27	3%
1992-1993	34.43				
1993-1994	41.65		σύνολο	47.0	100%
1994-1995	40.55				
1995-1996	73.55				
1996-1997	38.04				
1997-1998	37.42				
1998-1999	51.2				
1999-2000	28.12				
2000-2001	44.29				
2001-2002	53.02				
2002-2003	90.77				
2003-2004	54.08				
2004-2005	59.77				
Μέσος όρος 1980-2005	47.0				
Ξηρά έτη (Μ.Ο. 1989-90&1991-92&1999-2000)	31.4				
Υγρά έτη (Μ.Ο. 1983-84&1995-96&2002-03)	76.4				
Ελάχιστο	28.1				
Μέγιστο	90.8				

Πίνακ. 6- 22 κατανομή εισροών ανά λεκάνη στη Μεσαρά – recharge package

Εισροές Λεκάνη Μεσαράς -recharge package					
	Λεκάνη Γεροποτάμου			Λεκάνη Αναποδάρη	σύνολο Μεσαράς
	Μοιρών	Βαγιονιάς Ασημίου	Σύνολο	Χάρακα	
Υδρολογικό έτος	Mm^3/έτος				
1980-1981	20.06	24.92	44.98	17.38	62.36
1981-1982	16.51	21.13	37.64	14.06	51.71
1982-1983	9.03	11.59	20.62	8.03	28.65
1983-1984	15.93	36.10	52.03	12.83	64.86
1984-1985	17.05	22.08	39.13	16.19	55.33
1985-1986	10.98	13.08	24.06	9.02	33.08
1986-1987	12.43	22.87	35.30	10.37	45.66
1987-1988	15.09	18.56	33.65	11.81	45.45
1988-1989	11.61	14.08	25.69	9.89	35.57
1989-1990	8.94	16.86	25.80	7.59	33.39
1990-1991	12.18	14.90	27.08	11.05	38.13
1991-1992	10.60	12.98	23.57	9.17	32.74
1992-1993	9.21	18.00	27.21	7.22	34.43
1993-1994	14.62	15.73	30.35	11.29	41.65
1994-1995	13.01	15.15	28.16	12.39	40.55
1995-1996	19.38	36.86	56.25	17.30	73.55
1996-1997	12.24	15.57	27.81	10.23	38.04
1997-1998	12.36	14.60	26.96	10.46	37.42
1998-1999	13.03	27.51	40.55	10.65	51.20
1999-2000	9.80	10.76	20.56	7.56	28.12
2000-2001	15.06	16.85	31.92	12.38	44.29
2001-2002	12.77	28.88	41.65	11.38	53.02
2002-2003	30.08	37.31	67.38	23.39	90.77
2003-2004	17.70	21.30	39.00	15.07	54.08
2004-2005	14.51	33.35	47.87	11.90	59.77
Μέσος όρος 1980-2005	14.2	20.8	35.0	11.9	47.0
Μέσος όρος 1985-2005 χωρίς έτος 2002-03	12.9	19.4	32.3	10.9	43.2
Ξηρά έτη (Μ.Ο. 1989-90&1991-92&1999-2000)	9.8	13.5	23.3	8.1	31.4
Υγρά έτη (Μ.Ο. 1983-84&1995-96&2002-03)	21.8	36.8	58.6	17.8	76.4
Ελάχιστο	8.9	10.8	20.6	7.2	28.1
Μέγιστο	30.1	37.3	67.4	23.4	90.8

Πίνακ. 6- 23 Μέση μηνιαία κατανομή εισροών στη λεκάνη της Μεσαράς –recharge Package

Λεκάνη Μεσαράς ετήσια κατανομή Εισροών -recharge package						
	Μέση τιμή 25ετίας					
	συνολικές		επιστροφές αντλήσεων& οικιακή χρήση		από βροχόπτωση & απορροές όμορων λεκανών	
Μήνας	Mm^3/μήνα	ποσοστό %	Mm^3/μήνα	ποσοστό %	Mm^3/μήνα	ποσοστό %
Σεπ	1.83	4%	0.52	10%	1.31	3%
Οκτ	3.65	8%	0.23	4%	3.42	8%
Νοε	10.09	21%	0.10	2%	9.99	24%
Δεκ	7.87	17%	0.10	2%	7.77	19%
Ιαν	7.64	16%	0.10	2%	7.54	18%
Φεβ	5.76	12%	0.10	2%	5.66	14%
Μαρ	3.44	7%	0.20	4%	3.24	8%
Απρ	1.91	4%	0.40	8%	1.51	4%
Μάιος	1.26	3%	0.50	9%	0.76	2%
Ιουν	1.13	2%	0.75	14%	0.38	1%
Ιουλ	1.20	3%	1.15	22%	0.05	0%
Αυγ	1.27	3%	1.15	22%	0.12	0%
σύνολο	47.0	100%	5.3	100%	41.7	100%



Εικόνα 6.9.3-2 Κατανομή μηνιαίων εισροών στη λεκάνη της Μεσαράς από βροχόπτωση και απορροή όμορων λεκανών και επιστροφές αντλήσεων και οικιακής χρήσης

Πίνακ. 6- 24 Ετήσιες εκροές στη λεκάνη Μεσαράς –Drain package

Ετήσιες Εκροές λεκάνης Μεσαράς - Drain package				
υδρολογικό έτος		Φαιστός	Χάρακα	σύνολο Μεσαράς
		Mm^3/έτος		
Σεπ-80	Αυγ-81	1.01	1.08	2.09
Σεπ-81	Αυγ-82	1.28	0.89	2.17
Σεπ-82	Αυγ-83	1.31	0.85	2.16
Σεπ-83	Αυγ-84	1.30	1.25	2.55
Σεπ-84	Αυγ-85	1.24	0.89	2.13
Σεπ-85	Αυγ-86	1.19	0.81	2.00
Σεπ-86	Αυγ-87	1.16	1.13	2.29
Σεπ-87	Αυγ-88	1.16	0.79	1.95
Σεπ-88	Αυγ-89	1.15	0.75	1.90
Σεπ-89	Αυγ-90	1.11	1.01	2.12
Σεπ-90	Αυγ-91	1.09	0.66	1.75
Σεπ-91	Αυγ-92	1.03	0.68	1.71
Σεπ-92	Αυγ-93	0.89	0.91	1.80
Σεπ-93	Αυγ-94	0.52	0.68	1.20
Σεπ-94	Αυγ-95	0.37	0.72	1.09
Σεπ-95	Αυγ-96	0.31	0.94	1.25
Σεπ-96	Αυγ-97	0.37	0.79	1.16
Σεπ-97	Αυγ-98	0.36	0.77	1.13
Σεπ-98	Αυγ-99	0.15	0.89	1.04
Σεπ-99	Αυγ-00	0	0.62	0.62
Σεπ-00	Αυγ-01	0	0.72	0.72
Σεπ-01	Αυγ-02	0	0.81	0.81
Σεπ-02	Αυγ-03	0	0.86	0.86
Σεπ-03	Αυγ-04	0.06	0.8	0.86
Σεπ-04	Αυγ-05	0.15	0.96	1.11
ελάχιστο		0	0.62	0.62
μέγιστο		1.31	1.25	2.55
μέση τιμή 1980-2005		0.69	0.85	1.54
μέση τιμή 1981-1984		1.30	1.00	2.29
μέση τιμή 1999-2002		0	0.75	0.75

Πίνακ. 6- 25 Μηνιαίες κατανομές & μηνιαία στατιστικά Εκροών Drain λεκάνης Μεσαράς

Μέση Μηνιαία κατανομή Εκροών_drain package σε Mm^3									
	Φαιστός			Χάρακας			σύνολο Μεσαράς		
Μήνας	έτος 1982-1983	μέση τιμή	έτος 1999-2000	έτος 1982-1983	μέση τιμή	έτος 1999-2000	έτος 1982-1983	μέση τιμή	έτος 1999-2000
Σεπ	0.108	0.053	0	0.069	0.059	0.041	0.177	0.112	0.041
Οκτ	0.108	0.053	0	0.069	0.064	0.041	0.177	0.117	0.041
Νοε	0.108	0.054	0	0.073	0.071	0.042	0.181	0.091	0.042
Δεκ	0.109	0.056	0	0.075	0.075	0.062	0.184	0.131	0.062
Ιαν	0.110	0.058	0	0.076	0.075	0.068	0.186	0.133	0.068
Φεβ	0.111	0.060	0	0.076	0.074	0.068	0.187	0.134	0.068
Μαρ	0.111	0.062	0	0.073	0.071	0.066	0.184	0.133	0.066
Απρ	0.110	0.062	0	0.070	0.069	0.065	0.180	0.131	0.065
Μαι	0.110	0.061	0	0.069	0.060	0.047	0.179	0.121	0.047
Ιουν	0.109	0.059	0	0.069	0.053	0.042	0.178	0.112	0.042
Ιουλ	0.109	0.056	0	0.068	0.050	0.041	0.177	0.106	0.041
Αυγ	0.108	0.054	0	0.067	0.048	0.039	0.175	0.102	0.039
Σύνολο έτους	**1.31**	**0.69**	**0.00**	**0.85**	**0.77**	**0.62**	**2.17**	**1.42**	**0.62**

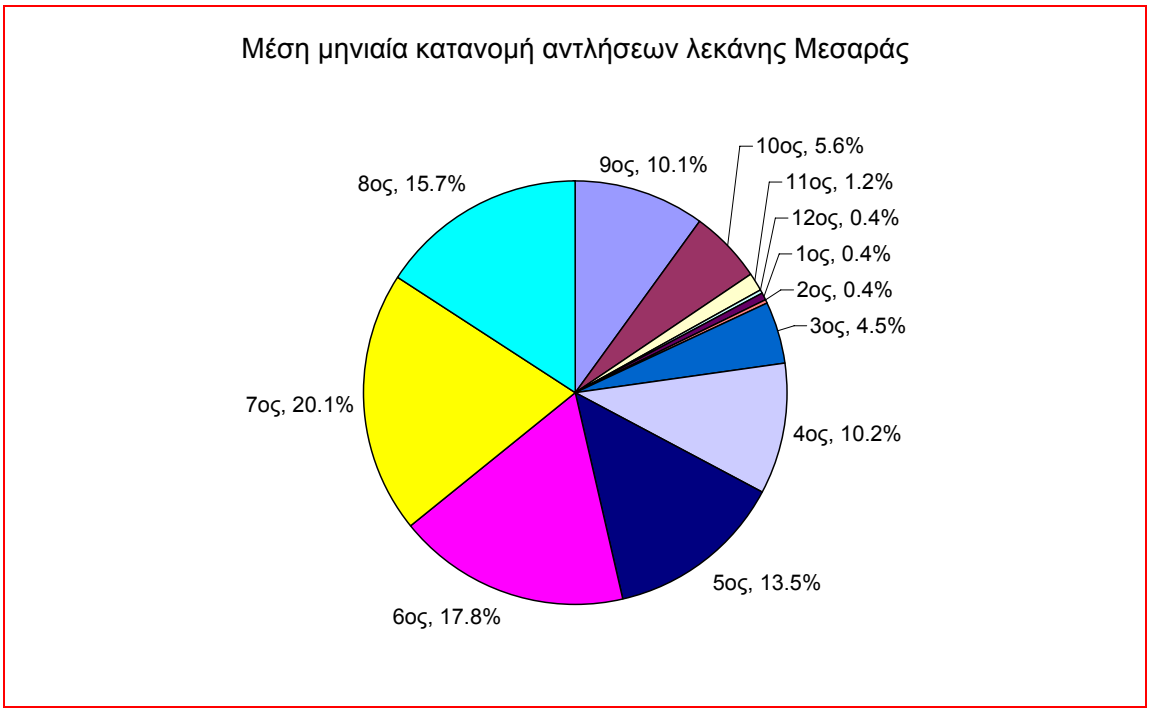
Στατιστικά Μηνιαίων τιμών Εκροών - drain package σε Mm^3			
	Φαιστός	Χάρακας	σύνολο Μεσαράς
Μέση μηνιαία τιμή	0.057	0.064	0.121
Μέγιστη μηνιαία τιμή	0.113	0.207	0.320
Ελάχιστη μηνιαία τιμή	0	0.037	0.037

Πίνακ. 6- 26 Ετήσιες αντλήσεις ανά λεκάνη στη Μεσαρά, well package

WELL PACKAGE		ετήσιος όγκος Αντλήσεων σε Mm^3					
		Λεκάνη					Μεσαρά
υδρολογικό έτος		Μοιρών	Γαλιάς	Βαγιονιάς-Αλλουβιακός	Γκαγκαλών-Πλειστοκαινικός	Χάρακα	σύνολο
09/1980	08/1981	3.02	0.04	1.00	0.49	1.36	5.92
09/1981	08/1982	3.02	0.04	1.00	0.49	1.34	5.90
09/1982	08/1983	3.02	0.04	1.00	0.49	1.34	5.90
09/1983	08/1984	19.15	0.23	7.42	3.65	9.06	39.51
09/1984	08/1985	17.66	0.32	7.37	3.65	9.28	38.28
09/1985	08/1986	24.21	0.41	8.74	4.12	12.10	49.58
09/1986	08/1987	20.69	0.46	7.16	3.33	10.18	41.81
09/1987	08/1988	21.78	0.63	7.55	3.51	10.64	44.10
09/1988	08/1989	22.45	0.66	7.81	3.63	10.86	45.40
09/1989	08/1990	26.56	0.70	8.15	3.75	11.56	50.72
09/1990	08/1991	25.59	0.65	6.84	3.12	9.79	45.98
09/1991	08/1992	31.49	0.79	5.94	3.32	10.34	51.87
09/1992	08/1993	48.02	1.36	7.13	4.13	14.19	74.82
09/1993	08/1994	35.48	1.57	7.95	3.76	9.07	57.83
09/1994	08/1995	27.67	1.51	6.98	3.18	8.45	47.79
09/1995	08/1996	21.47	1.39	7.85	3.74	10.11	44.56
09/1996	08/1997	22.32	1.34	7.77	3.74	9.96	45.13
09/1997	08/1998	28.15	1.87	8.57	4.11	10.06	52.77
09/1998	08/1999	35.00	3.03	9.18	4.91	10.89	63.02
09/1999	08/2000	35.89	3.72	10.29	5.71	14.99	70.59
09/2000	08/2001	28.38	3.54	8.66	4.80	10.27	55.66
09/2001	08/2002	20.93	2.88	7.45	4.13	8.48	43.87
09/2002	08/2003	2.27	1.62	3.86	1.98	3.75	13.48
09/2003	08/2004	12.45	1.42	11.21	5.57	11.40	42.06
09/2004	08/2005	11.36	2.46	10.79	5.31	11.34	41.25
μέσος όρος 1980-2005		21.92	1.31	7.11	3.54	9.23	43.11
μέσος όρος 1980-83		7.06	0.09	2.61	1.28	3.28	14.31
μέσος όρος 1984-2005		24.50	1.48	7.94	3.96	10.31	48.19
μέσος όρος χωρίς τα έτη 1992-93 &1998-2000		22.11	1.29	7.79	3.81	9.83	44.82
ελάχιστο		2.27	0.04	1.00	0.49	1.34	5.90
μέγιστο		48.02	3.72	11.21	5.71	14.99	74.82

Πίνακ. 6- 27 Μέση μηνιαία κατανομή αντλήσεων λεκανών Μεσαράς, well package

Μέση μηνιαία κατανομή αντλήσεων λεκανών Μεσαράς						
WELL PACKAGE	Λεκάνη				σύνολο Μεσαράς	σύνολο Μεσαράς
	Μοιρών	Βαγιονιάς & Γκαγκαλών	Χάρακα	Γαλιάς		
Μήνας	μέση τιμή μήνα 25ετίας σε Mm^3					%
9ος	2.188	1.080	0.932	0.143	4.343	10.1%
10ος	1.179	0.601	0.520	0.123	2.422	5.6%
11ος	0.255	0.128	0.112	0.024	0.518	1.2%
12ος	0.094	0.047	0.040	0.005	0.187	0.4%
1ος	0.093	0.047	0.040	0.005	0.185	0.4%
2ος	0.092	0.045	0.039	0.005	0.181	0.4%
3ος	1.046	0.469	0.411	0.005	1.932	4.5%
4ος	2.289	1.069	0.935	0.114	4.407	10.2%
5ος	3.004	1.425	1.244	0.159	5.832	13.5%
6ος	3.937	1.887	1.644	0.206	7.674	17.8%
7ος	4.382	2.148	1.855	0.278	8.663	20.1%
8ος	3.326	1.706	1.459	0.276	6.767	15.7%
σύνολο έτους	21.88	10.65	9.23	1.34	43.11	100.0%



Εικόνα 6.9.3-3 Μέση μηνιαία κατανομή αντλήσεων στη λεκάνη της Μεσαράς- well package

6.9.4. Υδατικό Ισοζύγιο λεκάνης Μεσαράς – προσομοίωση μεταβατικής ροής

Συνοψίζοντας τα αποτελέσματα της προσομοίωσης μεταβατικής ροής της λεκάνης της Μεσαράς, όπως αναλυτικά αναφέρονται στις προηγούμενες παραγράφους, δίνονται στους Πίνακ. 6- 28,… Πίνακ. 6- 32 το υδατικό ισοζύγιο της λεκάνης για πέντε χαρακτηριστικές περιόδους: (1) «ξηρότερα» και (2) «υγρότερα» υδρολογικά έτη περιόδου υπό πίεσης, (3) αρχικής εκμετάλλευσης, (4) περιόδου έντονης εκμετάλλευσης όλων των ετών, (5) έντονης εκμετάλλευσης χωρίς το «πολύ υγρό» έτος 2002-2003 και (6) έντονης εκμετάλλευσης ετών 1983-2002 (βλέπε εικόνα 6-110 και 6-111 στο Παράρτημα Κεφ. 6).

6.9.4.1 Υδατικό Ισοζύγιο λεκάνης Μεσαράς περιόδου έντονης εκμετάλλευσης και Ξηρών ετών.

Στον Πίνακ. 6- 28 δίνεται το υδατικό ισοζύγιο της λεκάνης της Μεσαράς για τα ξηρότερα έτη (1989-1990, 1992-1993 και 1999-2000), όπως χαρακτηρίστηκαν από τη στατιστική ανάλυση των βροχοπτώσεων, και αφορούν την περίοδο έντονης εκμετάλλευσής του (1983-2005). Από τον πίνακα παρατηρούνται τα παρακάτω:

- Οι συνολικές εισροές στο υδατικό σύστημα των υπόγειων νερών ανέρχονται στο ύψος των 34 Mm^3 ενώ οι εκροές ανέρχονται στο ύψος των 68 Mm^3 και η μεταβολή των αποθεμάτων (ελάττωση) σε 34 Mm^3. Αντίστοιχα οι ποσότητες για την λεκάνη του Γεροποτάμου ανέρχονται σε 24,9 Mm^3, 52,9 Mm^3 και 26,1 Mm^3 ενώ για τη λεκάνη του Χάρακα σε 9,1 Mm^3, 14,8 Mm^3 και 7,3 Mm^3. Η διαφορά της μη σύγκλισης των τιμών στις επί μέρους λεκάνες οφείλεται στο ότι μέρος των αντλήσεων του Ασημίου αφορούν τη λεκάνη του Χάρακα και υπολογίσθηκαν στη λεκάνη του Γεροποτάμου και επίσης στο «αποδεκτό» σφάλμα σύγκλισης της προσομοίωσης.
- Οι αντλήσεις ανέρχονται σε 65,4 Mm^3 οι οποίες εκμεταλλεύονται πλέον των ετήσιων εισροών και αποθέματα του υδροφορέα και των δύο στρωμάτων (αλλουβιακών και πλειο-πλειστοκαινικών). Από τον υδροφορέα των Μοιρών αντλούνται 38,8 Mm^3, από τον υδροφορέα της Βαγιονιάς – Γκαγκαλών 13 Mm^3 και από τον υδροφορέα του Χάρακα 13,6 Mm^3.
- Η μεγάλη μεταβολή των αποθεμάτων (ελάττωση) για τη λεκάνη των Μοιρών (24,3 Mm^3) οφείλεται στα οργανωμένα υδροληπτικά έργα που λειτουργούν (ΤΟΕΒ) αλλά και στα υδραυλικά χαρακτηριστικά του υδροφορέα που «επιτρέπει» την άντληση με μεγάλες παροχές. Η μεταβολή των αποθεμάτων στον υδροφορέα της Βαγιονιάς – Γκαγκαλών ανέρχεται σε 1,7 Mm^3 ενώ στον υδροφορέα του Χάρακα σε 7,3 Mm^3
- Η κατείσδυση από τον κύριο ρου του Γεροποτάμου – Ληθαίου ανέρχεται σε 1,6 Mm^3 ενώ αντίστροφα η τροφοδοσία του από τον υπόγειο υδροφόρο ανέρχεται σε 0,45 Mm^3. Αντίστοιχα, για τον Αναποδάρη-Λειβαδίτη ανέρχονται σε 1 Mm^3 και 0,6 Mm^3
- Οι εκροές εκτός λεκάνης ανέρχονται σε 1,3 Mm^3 και αναλύονται σε 0,7 Mm^3 στη λεκάνη Τυμπακίου και 0,6 Mm^3 στη λεκάνη Σκοινιά.

6.9.4.2 Υδατικό Ισοζύγιο λεκάνης Μεσαράς περιόδου έντονης εκμετάλλευσης και Υγρών ετών.

Στον Πίνακ. 6- 29 δίνεται το υδατικό ισοζύγιο της λεκάνης της Μεσαράς για τα «υγρότερα» έτη(1984-1985, 1995-1996 και 2002-2003), όπως χαρακτηρίστηκαν από τη στατιστική ανάλυση των βροχοπτώσεων, και αφορούν την περίοδο έντονης εκμετάλλευσής του (1983-2005). Από τον πίνακα παρατηρούνται τα παρακάτω:

- Οι συνολικές εισροές στο υδατικό σύστημα των υπόγειων υδάτων ανέρχονται στο ύψος των 78 Mm^3 ενώ οι εκροές ανέρχονται στο ύψος των 42 Mm^3 και η μεταβολή των αποθεμάτων (αύξηση) σε 36 Mm^3. Αντίστοιχα οι ποσότητες για τη λεκάνη του Γεροποτάμου ανέρχονται σε 58,2 Mm^3, 30,3 Mm^3 και 28,8 Mm^3 ενώ για τη λεκάνη του Χάρακα σε 19,9 Mm^3, 11,7 Mm^3 και 7,79 Mm^3. (Η διαφορά της μη σύγκλισης στις επί μέρους λεκάνες ερμηνεύεται στην παράγραφο 6.9.4.1).
- Οι αντλήσεις ανέρχονται σε 32,1 Mm^3 οι οποίες είναι σημαντικά μειωμένες σε σχέση με τα ξηρά έτη και εκμεταλλεύονται μέρος μόνο των ετήσιων εισροών με αποτέλεσμα να προστίθενται ποσότητες νερού στα αποθέματα και των δύο στρωμάτων (αλλουβιακών και πλειο-πλειστοκαινικών) του υδροφορέα. Από τον υδροφορέα των Μοιρών αντλούνται 13,8 Mm^3, από τον υδροφορέα της Βαγιονιάς – Γκαγκαλών 9,5 Mm^3 και από τον υδροφορέα του Χάρακα 7,7 Mm^3
- Η μεταβολή των αποθεμάτων (αύξηση) για τη λεκάνη των Μοιρών ανέρχεται σε 11,9 Mm^3, της Βαγιονιάς – Γκαγκαλών σε 16,9 Mm^3 και του Χάρακα σε 7,8 Mm^3
- Η κατείσδυση από τον κύριο ρου του Γεροποτάμου – Ληθαίου ανέρχεται σε 4 Mm^3 ενώ αντίστροφα η τροφοδοσία του ποταμού από τον υπόγειο υδροφόρο ανέρχεται σε 5,5 Mm^3. Αντίστοιχα, για τον Αναποδάρη-Λειβαδίτη ανέρχονται σε 1 Mm^3 και 3,17 Mm^3. Οι μεγαλύτερες ποσότητες εκροών σε σχέση με τις εισροές οφείλονται στην εκφόρτιση στον κύριο ρου των χειμάρρων όλου του συστήματος.
- Οι εκροές εκτός λεκάνης ανέρχονται σε 1,4 Mm^3 και αναλύονται σε 0,5 Mm^3 στη λεκάνη Τυμπακίου και 0,9 Mm^3 στη λεκάνη Σκοινιά.

6.9.4.3 Ισοζύγιο περιόδου αρχικής (μικρής) εκμετάλλευσης

Η περίοδος μέχρι το έτος 1983 χαρακτηρίστηκε ως περίοδος αρχικής εκμετάλλευσης του υδροφορέα λόγω των μειωμένων αντλήσεων από τον υδροφορέα. Στον Πίνακ. 6- 30 δίνεται το υδατικό ισοζύγιο της λεκάνης της Μεσαράς για τη περίοδο αυτή της μικρής εκμετάλλευσης και αφορά δύο έτη 1981-1983. Το έτος 1980-1981 δεν λήφθηκε υπόψη γιατί θεωρήθηκε ότι είναι ο ελάχιστα απαιτούμενος χρόνος ισορροπίας του ομοιώματος. Από τον πίνακα παρατηρούνται τα παρακάτω:

- Οι συνολικές εισροές στο υδατικό σύστημα των υπόγειων υδάτων ανέρχονται στο ύψος των 44 Mm^3 ενώ οι εκροές ανέρχονται στο ύψος των 41 Mm^3 και η μεταβολή των αποθεμάτων σε 3 Mm^3. Αντίστοιχα οι ποσότητες για τη λεκάνη του Γεροποτάμου ανέρχονται σε 32,2 Mm^3, 30 Mm^3 και 1,5 Mm^3 ενώ για τη λεκάνη του Χάρακα σε 12,1 Mm^3, 11,4 Mm^3

και 1,4 Mm^3. (Η διαφορά της μη σύγκλισης στις επί μέρους λεκάνες ερμηνεύεται στην παράγραφο 6.9.4.1).
- Οι αντλήσεις ανέρχονται σε 5,9 Mm^3, και αφορούν τον αλλουβιακό υδροφορέα. Από τον υδροφορέα των Μοιρών αντλούνται 3 Mm^3, από τον υδροφορέα της Βαγιονιάς 1.5 Mm^3 και από τον υδροφορέα του Χάρακα 1,4 Mm^3.
- Η κατείσδυση από τον κύριο ρου του Γεροποτάμου – Ληθαίου ανέρχεται σε 3,1 Mm^3 ενώ αντίστροφα η τροφοδοσία του από τον υπόγειο υδροφόρο ανέρχεται σε 26,7 Mm^3. Αντίστοιχα, για τον Αναποδάρη-Λειβαδίτη ανέρχονται σε 1 Mm^3 και 10,1 Mm^3. Οι μεγαλύτερες ποσότητες εκροών σε σχέση με τις εισροές οφείλονται στην εκφόρτιση στο κύριο ρου των χειμάρρων όλου του συστήματος.
- Οι εκροές εκτός λεκάνης ανέρχονται σε 2,2 Mm^3 και αναλύονται σε 1,3 Mm^3 στη λεκάνη Τυμπακίου και 0,9 Mm^3 στη λεκάνη Σκοινιά.

6.9.4.4 Ισοζύγιο περιόδου έντονης εκμετάλλευσης

Η περίοδος από το έτος 1983 μέχρι το έτος 2005 χαρακτηρίστηκε ως περίοδος έντονης εκμετάλλευσης του υδροφορέα λόγω των κλιμακούμενης αύξησης των αντλήσεων μέσα σε λίγα έτη. Στον Πίνακ. 6- 31 δίνεται το υδατικό ισοζύγιο της λεκάνης της Μεσαράς για την περίοδο αυτή και αφορά τις μέσες τιμές των ετών 1983-1985. Από τον πίνακα παρατηρούνται τα παρακάτω:
- Οι συνολικές εισροές στο υδατικό σύστημα των υπόγειων υδάτων ανέρχονται στο ύψος των 51 Mm^3 ενώ οι εκροές ανέρχονται στο ύψος των 55 Mm^3 και η μεταβολή των αποθεμάτων (μείωση) σε 4 Mm^3. Αντίστοιχα οι ποσότητες για τη λεκάνη του Γεροποτάμου ανέρχονται σε 38 Mm^3, 42 Mm^3 και 3,2 Mm^3 ενώ για τη λεκάνη του Χάρακα σε 12,9 Mm^3, 13,1 Mm^3 και 0,8 Mm^3. (Η διαφορά της μη σύγκλισης στις επί μέρους λεκάνες ερμηνεύεται στην παράγραφο 6.9.4.1).
- Οι αντλήσεις ανέρχονται σε 48,2 Mm^3 οι οποίες είναι σημαντικά αυξημένες σε σχέση με τα ρυθμιστικά αποθέματα του υδροφορέα και εκμεταλλεύονται τα μόνιμα αποθεμάτά του στο ύψος των 4 Mm^3 ανά έτος. Από τον υδροφορέα των Μοιρών αντλούνται 24,5 Mm^3, της Γαλιάς 1,5 Mm^3 της Βαγιονιάς – Γκαγκαλών 11,9 Mm^3 και από τον υδροφορέα του Χάρακα 10,3 Mm^3
- Η μεταβολή των αποθεμάτων εμφανίζει μείωση για τη λεκάνη των Μοιρών και ανέρχεται σε 7 Mm^3 και του Χάρακα σε 0,8 Mm^3. Σε αντίθεση τα αποθέματα της λεκάνης Βαγιονιάς – Γκαγκαλών αυξάνονται κατά 3,9 Mm^3 και η αύξηση αυτή αφορά τα συνολικά αποθέματα των δύο υδροφορέων. Τα αποθέματα του $2^{ου}$ στρώματος των πλειο-πλειστοκαινικών αποθέσεων εμφανίζουν αύξηση ενώ τα αποθέματα του $1^{ου}$ στρώματος, αλλουβιακές αποθέσεις, εμφανίζουν ελάττωση. Οι γραμμές ροής των πλειο-πλειστοκαινικών αποθέσεων της λεκάνης Βαγιονιάς-Γκαγκαλών κατευθύνονται προς τον υδροφορέα των Μοιρών και τον εμπλουτίζουν. Συνολικά, το σύστημα του Γεροποτάμου (λεκάνες Μοιρών, Βαγιονιάς και Γκαγκαλών) εμφανίζει μείωση των αποθεμάτων του κατά 3,2 Mm^3.
- Η κατείσδυση από τον κύριο ρου του Γεροποτάμου – Ληθαίου ανέρχεται σε 3 Mm^3 ενώ η τροφοδοσία του από τον υπόγειο υδροφόρο ανέρχεται

σε 3,5 Mm^3. Αντίστοιχα, για τον Αναποδάρη- Λειβαδίτη ανέρχονται σε 0,9 Mm^3 και 2 Mm^3.

- Η εκροή εκτός της λεκάνης της Μεσαράς ανέρχεται σε 1,4 Mm^3 και αναλύεται προς τη λεκάνη του Τυμπακίου (στένεμα Φαιστού) σε 0,62 Mm^3 και σε 0,75 Mm^3 από το «στένεμα» του Χάρακα προς τη λεκάνη Σκοινιά.

6.9.4.5 Ισοζύγιο περιόδου έντονης εκμετάλλευσης χωρίς το έτος 2002-2003

Το υδρολογικό έτος 2002-2003 με βάση τη στατιστική ανάλυση των βροχοπτώσεων χαρακτηρίστηκε ως «πολύ υγρό» έτος (συχνότητα εμφάνισης ή υπέρβασης 0,05- βλέπε κεφάλαιο 1.1.4). Θεωρήθηκε ότι για τον υπολογισμό της περιόδου υπό πίεσης (1983-2005) θα πρέπει να αφαιρεθεί για να εξαχθούν συμπεράσματα με «στατιστικά αναμενόμενες» βροχοπτώσεις. Στον Πίνακ. 6- 32 δίνεται το υδατικό ισοζύγιο της λεκάνης της Μεσαράς για τη περίοδο αυτή και αφορά τις μέσες τιμές των ετών 1983-2005 χωρίς το έτος 2002-2003. Από τον πίνακα παρατηρούνται τα παρακάτω:

- Οι συνολικές εισροές στο υδατικό σύστημα των υπόγειων υδάτων ανέρχονται στο ύψος των 49 Mm^3 ενώ οι εκροές ανέρχονται στο ύψος των 57 Mm^3 και η μεταβολή των αποθεμάτων (μείωση) σε 8 Mm^3. Αντίστοιχα οι ποσότητες για τη λεκάνη του Γεροποτάμου ανέρχονται σε 36,5 Mm^3, 43,5 Mm^3 και 6,2 Mm^3 ενώ για τη λεκάνη του Χάρακα σε 12,2 Mm^3, 13,4 Mm^3 και 1,7 Mm^3. (Η διαφορά της μη σύγκλισης στις επί μέρους λεκάνες ερμηνεύεται στην παράγραφο 6.9.4.1).
- Οι αντλήσεις ανέρχονται σε 49,8 Mm^3 οι οποίες είναι σημαντικά αυξημένες σε σχέση με τα ρυθμιστικά αποθέματα του υδροφορέα και εκμεταλλεύονται τα μόνιμα αποθεμάτά του στο ύψος των 7,9 Mm^3 ανά έτος. Από τον υδροφορέα των Μοιρών αντλούνται 25,5 Mm^3, της Γαλιάς 1,5 Mm^3 της Βαγιονιάς – Γκαγκαλών 12,2 Mm^3 και από τον υδροφορέα του Χάρακα 10,6 Mm^3
- Η μεταβολή των αποθεμάτων εμφανίζει μείωση για τη λεκάνη των Μοιρών και ανέρχεται σε 9 Mm^3 και του Χάρακα σε 1,7 Mm^3. Σε αντίθεση τα αποθέματα της λεκάνης Βαγιονιάς – Γκαγκαλών αυξάνονται κατά 2,7 Mm^3 και η αύξηση αυτή αφορά τα συνολικά αποθέματα. Τα αποθέματα του $2^{ου}$ στρώματος των πλειο-πλειστοκαινικών αποθέσεων αυξάνονται, ενώ τα αποθέματα του $1^{ου}$ στρώματος, αλλουβιακές αποθέσεις, εμφανίζουν ελάττωση. Οι γραμμές ροής των πλειο-πλειστοκαινικών αποθέσεων της λεκάνης Βαγιονιάς-Γκαγκαλών κατευθύνονται προς τον υδροφορέα των Μοιρών και τον εμπλουτίζουν. Συνολικά, το σύστημα του Γεροποτάμου (λεκάνες Μοιρών, Βαγιονιάς και Γκαγκαλών) εμφανίζει μείωση των αποθεμάτων του κατά 6,2 Mm^3.
- Η κατείσδυση από τον κύριο ρου του Γεροποτάμου – Ληθαίου ανέρχεται σε 2,9 Mm^3 ενώ η τροφοδοσία του από τον υπόγειο υδροφόρο ανέρχεται σε 3,6 Mm^3. Αντίστοιχα, για τον Αναποδάρη- Λειβαδίτη ανέρχονται σε 1 Mm^3 και 2 Mm^3.
- Η εκροή εκτός της λεκάνης της Μεσαράς ανέρχεται σε 1,4 Mm^3 και αναλύεται προς τη λεκάνη του Τυμπακίου (στένεμα Φαιστού) σε 0,65 Mm^3 και σε 0,74 Mm^3 από το «στένεμα» του Χάρακα προς τη λεκάνη Σκοινιά.

6.9.4.6 Ισοζύγιο περιόδου έντονης εκμετάλλευσης έτη 1983- 2002

Με δεδομένο το πολύ υγρό υδρολογικό έτος 2002-2003 (βλέπε προηγούμενη παράγραφο), θεωρείται ως αντιπροσωπευτική χρονοσειρά περιόδου υπό πίεσης το διάστημα 1983-2002 για να εξαχθούν συμπεράσματα με «στατιστικά αναμενόμενες» βροχοπτώσεις. Στον Πίνακ. 6- 33 δίνεται το υδατικό ισοζύγιο της λεκάνης της Μεσαράς για την περίοδο αυτή, και παρατηρούνται τα παρακάτω:

- Οι συνολικές εισροές στο υδατικό σύστημα των υπόγειων υδάτων ανέρχονται στο ύψος των 47 Mm^3 ενώ οι εκροές ανέρχονται στο ύψος των 57 Mm^3 και η μεταβολή των αποθεμάτων (μείωση) σε 10 Mm^3. Αντίστοιχα οι ποσότητες για τη λεκάνη του Γεροποτάμου ανέρχονται σε 35,4 Mm^3, 44,0 Mm^3 και 8,0 Mm^3 ενώ για τη λεκάνη του Χάρακα σε 12,0 Mm^3, 13,4 Mm^3 και 1,7 Mm^3. (Η διαφορά της μη σύγκλισης στις επί μέρους λεκάνες ερμηνεύεται στην παράγραφο 6.9.4.1).
- Οι αντλήσεις ανέρχονται σε 50,8 Mm^3 οι οποίες είναι σημαντικά αυξημένες σε σχέση με τα ρυθμιστικά αποθέματα του υδροφορέα και εκμεταλλεύονται τα μόνιμα αποθεμάτά του στο ύψος των 9,7 Mm^3 ανά έτος. Από τον υδροφορέα των Μοιρών αντλούνται 27,3 Mm^3, της Γαλιάς 1,2 Mm^3 της Βαγιονιάς – Γκαγκαλών 11,7 Mm^3 και από τον υδροφορέα του Χάρακα 10,7 Mm^3
- Η μεταβολή των αποθεμάτων εμφανίζει μείωση για τη λεκάνη των Μοιρών και ανέρχεται σε 10,6 Mm^3 και του Χάρακα σε 1,7 Mm^3. Σε αντίθεση τα αποθέματα της λεκάνης Βαγιονιάς – Γκαγκαλών αυξάνονται κατά 2,7 Mm^3 και η αύξηση αυτή αφορά τα συνολικά αποθέματα. Τα αποθέματα του $2^{ου}$ στρώματος των πλειο-πλειστοκαινικών αποθέσεων αυξάνονται, ενώ τα αποθέματα του $1^{ου}$ στρώματος, αλλουβιακές αποθέσεις, εμφανίζουν ελάττωση. Οι γραμμές ροής των πλειο-πλειστοκαινικών αποθέσεων της λεκάνης Βαγιονιάς-Γκαγκαλών κατευθύνονται προς τον υδροφορέα των Μοιρών και τον εμπλουτίζουν. Συνολικά, το σύστημα του Γεροποτάμου (λεκάνες Μοιρών, Βαγιονιάς και Γκαγκαλών) εμφανίζει μείωση των αποθεμάτων του κατά 8,0 Mm^3.
- Η κατείσδυση από τον κύριο ρου του Γεροποτάμου – Ληθαίου ανέρχεται σε 2,9 Mm^3 ενώ η τροφοδοσία του από τον υπόγειο υδροφόρο ανέρχεται σε 3,2 Mm^3. Αντίστοιχα, για τον Αναποδάρη- Λειβαδίτη ανέρχονται σε 1 Mm^3 και 2 Mm^3.
- Η εκροή εκτός της λεκάνης της Μεσαράς ανέρχεται σε 1,5 Mm^3 και αναλύεται προς τη λεκάνη του Τυμπακίου (στένεμα Φαιστού) σε 0,7 και σε 0,8 Mm^3 από το «στένεμα» του Χάρακα προς τη λεκάνη Σκοινιά.

Πίνακ. 6- 28 **Ισοζύγιο υδροφορέα Μεσαράς περιόδου έντονης εκμετάλλευσης Ξηρών ετών**

Ισοζύγιο υδροφορέα λεκάνης Μεσαράς περιόδου έντονης εκμετάλλευσης & Ξηρά έτη (Μ.Ο. ετών: 1989-90, 1992-93, 1999-2000)									
		μέσος ετήσιος όγκος (Mm^3)							
		Λεκάνη Γεροπόταμου					Λεκάνη Αναπο-δάρη	Σύνολο Μεσαράς
		Μοιρών	Γαλιάς	Βαγιονιάς-Ασημίου αλλουβιακός	Βαγιονιάς-Ασημίου πλειστοκαινικός	σύνολο Γεροποτάμου	Χάρακα	
Εισροές								
Απευθείας κατείσδυση από βροχόπτωση Διηθήσεις από τα υπόλοιπα υδατορέματα Επιστροφές αντλήσεων & από οικισμούς	recharge package		9.78		13.53	23.31	8.11	31.42
κατείσδυση από τον κύριο ρου του Γεροποτάμου, Λιθαίου & Αναποδάρη και Λειβαδίτη	stream package					1.55	0.97	2.51
Σύνολο εισροών ανά λεκάνη						**24.86**	**9.07**	**33.93**
Σύνολο εισροών						***33.93***		
Εκροές								
Απολήψεις μέσω γεωτρήσεων	well package	-36.82	-1.93	-8.52	-4.53	-51.80	-13.58	-65.38
Τροφοδοσία ποταμού από τον υδροφόρο ορίζοντα	stream package					-0.45	-0.59	-1.05
Εκροή προς τις γειτονικές λεκάνες (στένεμα Φαιστού και Χάρακα)	drain pakage					-0.67	-0.64	-1.31
Σύνολο εκροών ανά λεκάνη						**-52.92**	**-14.82**	**-67.74**
Σύνολο εκροών						***-67.74***		
μεταβολή υπόγειων Αποθεμάτων	**storage package**		**24.34**		**1.73**	**26.08**	**7.32**	**33.40**
% διαφορά Εισροών - εκροών ± μεταβολής αποθεμάτων								**0.6%**

Πίνακ. 6- 29 **Ισοζύγιο υδροφορέα Μεσαράς περιόδου έντονης εκμετάλλευσης Υγρών ετών**

Ισοζύγιο υδροφορέα λεκάνης Μεσαράς περιόδου έντονης εκμετάλλευσης & Υγρά έτη (Μ.Ο. ετών : 1984-85, 1995-96, 2002-03)								
		μέσος ετήσιος όγκος (Mm^3)						
		Λεκάνη Γεροπόταμου					Λεκάνη Αναποδάρη	Σύνολο Μεσαράς
		Μοιρών	Γαλιάς	Βαγιονιάς-Ασημίου αλλουβιακός	Βαγιονιάς-Ασημίου πλειστοκ/κός	σύνολο Γερο-ποτάμου	Χάρακα	
Εισροές								
Απευθείας κατείσδυση από βροχόπτωση Διηθήσεις από τα υπόλοιπα υδατορέματα Επιστροφές αντλήσεων & από οικισμούς	recharge package		22.17		32.08	54.25	18.96	73.22
κατείσδυση από τον κύριο ρου του Γεροποτάμου, Λιθαίου & Αναποδάρη και Λειβαδίτη	stream package					3.97	0.91	4.88
Σύνολο εισροών ανά λεκάνη						**58.23**	**19.87**	**78.09**
Σύνολο εισροών						***78.09***		
Εκροές								
Απολήψεις μέσω γεωτρήσεων	well package	-13.80	-1.11	-6.36	-3.12	-24.39	-7.71	-32.10
Τροφοδοσία ποταμού από τον υδροφόρο ορίζοντα	stream package					-5.44	-3.17	-8.61
Εκροή προς τις γειτονικές λεκάνες (στένεμα Φαιστού και Χάρακα)	drain pakage					-0.52	-0.83	-1.35
Σύνολο εκροών ανά λεκάνη						**-30.35**	**-11.71**	**-42.06**
Σύνολο εκροών						***-42.06***		
μεταβολή υπόγειων Αποθεμάτων	**storage package**		**-11.85**		**-16.96**	**-28.80**	**-7.79**	**-36.60**
% διαφορά Εισροών - εκροών ± μεταβολής αποθεμάτων								**-0.7%**

Πίνακ. 6- 30 **Ισοζύγιο υδροφορέα Μεσαράς περιόδου μικρής εκμετάλλευσης**

Ισοζύγιο υδροφορέα λεκάνης Μεσαράς περιόδου μικρής εκμετάλλευσης (Μ.Ο. ετών: 1981-1983)								
		μέσος ετήσιος όγκος (Mm^3)						
		Λεκάνη Γεροπόταμου					Λεκάνη Αναπο-δάρη	Σύνολο Μεσαράς
		Μοιρών	Γαλιάς	Βαγιονιάς-Ασημίου αλλουβιακός	Βαγιονιάς-Ασημίου πλειστοκαινικός	σύνολο Γεροποτάμου	Χάρακα	
Εισροές								
Απευθείας κατείσδυση από βροχόπτωση	recharge package		12.77		16.36	29.13	11.05	40.18
Διηθήσεις από τα υπόλοιπα υδατορέματα								
Επιστροφές αντλήσεων & από οικισμούς								
κατείσδυση από τον κύριο ρου του Γεροποτάμου, Λιθαίου & Αναποδάρη και Λειβαδίτη	stream package					3.08	1.04	4.12
Σύνολο εισροών ανά λεκάνη						**32.21**	**12.09**	**44.30**
Σύνολο εισροών						***44.30***		
Εκροές								
Απολήψεις μέσω γεωτρήσεων	well package	-3.02	-0.04	-1.00	-0.49	-4.56	-1.34	-5.90
Τροφοδοσία ποταμού από τον υδροφόρο ορίζοντα	stream package					-26.73	-10.95	-37.68
Εκροή προς τις γειτονικές λεκάνες (στένεμα Φαιστού και Χάρακα)	drain pakage					1.30	0.87	2.17
Σύνολο εκροών ανά λεκάνη						**-29.99**	**-11.42**	**-41.41**
Σύνολο εκροών						***-41.41***		
μεταβολή υπόγειων Αποθεμάτων	**storage package**		**-0.44**		**-1.01**	**-1.45**	**-1.33**	**-2.78**
% διαφορά Εισροών - εκροών ± μεταβολής αποθεμάτων								**0.3%**

Πίνακ. 6- 31 **Ισοζύγιο υδροφορέα Μεσαράς περιόδου έντονης εκμετάλλευσης**

Ισοζύγιο υδροφορέα λεκάνης Μεσαράς περιόδου έντονης εκμετάλλευσης (Μ.Ο. ετών : 1983-2005)								
		μέσος ετήσιος όγκος (Mm^3)						
		Λεκάνη Γεροπόταμου					Λεκάνη Αναποδάρη	Σύνολο Μεσαράς
		Μοιρών	Γαλιάς	Βαγιονιάς-Ασημίου αλλουβιακός	Βαγιονιάς-Ασημίου πλειστοκαινικός	σύνολο Γεροποτάμου	Χάρακα	
Εισροές								
Απευθείας κατείσδυση από βροχόπτωση	recharge package		14.17		20.84	35.01	11.94	46.95
Διηθήσεις από τα υπόλοιπα υδατορέματα								
Επιστροφές αντλήσεων & από οικισμούς								
κατείσδυση από τον κύριο ρου του Γεροποτάμου, Λιθαίου & Αναποδάρη και Λειβαδίτη	stream package					3.02	0.96	3.98
Σύνολο εισροών ανά λεκάνη						**38.03**	**12.91**	**50.93**
Σύνολο εισροών						***50.93***		
Εκροές								
Απολήψεις μέσω γεωτρήσεων	well package	-24.50	-1.48	-7.94	-3.96	-37.88	-10.31	-48.19
Τροφοδοσία ποταμού από τον υδροφόρο ορίζοντα	stream package					-3.47	-2.05	-5.52
Εκροή προς τη γειτονικές λεκάνες (στένεμα Φαιστού και Χάρακα)	drain pakage					-0.62	-0.75	-1.37
Σύνολο εκροών ανά λεκάνη						**-41.97**	**-13.11**	**-55.07**
Σύνολο εκροών						***-55.07***		
μεταβολή υπόγειων Αποθεμάτων	**storage package**		**7.02**		**-3.86***	**3.16**	**0.80**	**3.96**
% διαφορά Εισροών - εκροών ± μεταβολής αποθεμάτων								**0.3%**

**αφορά το σύνολο των αποθεμάτων και των δύο στρωμάτων (βλέπε κείμενο)*

Πίνακ. 6- 32 **Ισοζύγιο υδροφορέα Μεσαράς περιόδου έντονης εκμετάλλευσης χωρίς το έτος 2002-2003**

Ισοζύγιο υδροφορέα λεκάνης Μεσαράς περιόδου έντονης εκμετάλλευσης (Μ.Ο. ετών : 1983-2005 χωρίς το «πολύ υγρό» έτος 2002-2003)								
		μέσος ετήσιος όγκος (Mm^3)						
		Λεκάνη Γεροπόταμου					Λεκάνη Αναποδάρη	Σύνολο Μεσαράς
		Μοιρών	Γαλιάς	Βαγιονιάς-Ασημίου αλλουβιακός	Βαγιονιάς-Ασημίου πλειστοκαινικός	σύνολο Γεροποτάμου	Χάρακα	
Εισροές								
Απευθείας κατείσδυση από βροχόπτωση	recharge package		13.26		20.29	33.55	11.23	44.78
Διηθήσεις από τα υπόλοιπα υδατορέματα								
Επιστροφές αντλήσεων & από οικισμούς								
κατείσδυση από τον κύριο ρου του Γεροποτάμου, Λιθαίου & Αναποδάρη και Λειβαδίτη	stream package					2.94	0.98	3.92
Σύνολο εισροών ανά λεκάνη						**36.50**	**12.20**	**48.70**
Σύνολο εισροών						***48.70***		
Εκροές								
Απολήψεις μέσω γεωτρήσεων	well package	-25.56	-1.47	-8.13	-4.06	-39.22	-10.62	-49.84
Τροφοδοσία ποταμού από τον υδροφόρο ορίζοντα	stream package					-3.58	-2.03	-5.60
Εκροή προς τη γειτονικές λεκάνες (στένεμα Φαιστού και Χάρακα)	drain pakage					-0.65	-0.74	-1.39
Σύνολο εκροών ανά λεκάνη						**-43.44**	**-13.39**	**-56.83**
Σύνολο εκροών						***-56.83***		
μεταβολή υπόγειων Αποθεμάτων	**storage package**		**9.01**		**-2.78***	**6.23**	**1.66**	**7.88**
% διαφορά Εισροών - εκροών ± μεταβολής αποθεμάτων								**0.4%**

**αφορά το σύνολο των αποθεμάτων και των δύο στρωμάτων (βλέπε κείμενο)*

Πίνακ. 6- 33 Ισοζύγιο υδροφορέα Μεσαράς περιόδου έντονης εκμετάλλευσης (1983-2002)

Ισοζύγιο υδροφορέα λεκάνης Μεσαράς περιόδου έντονης εκμετάλλευσης (Μ.Ο. ετών: 1983-2002)									
		μέσος ετήσιος όγκος (Mm^3)							
		Λεκάνη Γεροπόταμου					Λεκάνη Αναπο-δάρη	Σύνολο Μεσαράς
		Μοιρών	Γαλιάς	Βαγιονιάς-Ασημίου αλλουβιακός	Βαγιονιάς-Ασημίου πλειστοκαινικός	σύνολο Γεροποτάμου	Χάρακα	
Εισροές								
Απευθείας κατείσδυση από βροχόπτωση Διηθήσεις από τα υπόλοιπα υδατορέματα Επιστροφές αντλήσεων & από οικισμούς	recharge package	12.96		19.55		32.51	10.99	43.50
κατείσδυση από τον κύριο ρου του Γεροποτάμου, Λιθαίου & Αναποδάρη και Λειβαδίτη	stream package	2.85					1.03	3.88
Σύνολο εισροών ανά λεκάνη						**35.36**	**12.02**	**47.38**
Σύνολο εισροών		***47.38***						
Εκροές								
Απολήψεις μέσω γεωτρήσεων	well package	-27.27	-1.21	-7.81	-3.84	-40.13	-10.68	-50.81
Τροφοδοσία ποταμού από τον υδροφόρο ορίζοντα	stream package	-3.18					-2.00	-5.18
Εκροή προς τις γειτονικές λεκάνες (στένεμα Φαιστού και Χάρακα)	drain pakage	-0.71					-0.74	-1.44
Σύνολο εκροών ανά λεκάνη		**-44.02**					**-13.42**	**-57.43**
Σύνολο εκροών		***-57.43***						
μεταβολή υπόγειων Αποθεμάτων	**storage package**	**10.64**		**-2.67***		**7.97**	**1.71**	**9.68**
% διαφορά Εισροών - εκροών ± μεταβολής αποθεμάτων								**0.6%**

**αφορά το σύνολο των αποθεμάτων και των δύο στρωμάτων (βλέπε κείμενο)*

6.10 Συζήτηση –συμπεράσματα ομοιώματος υπόγειας ροής

Το αναπτυξιακό μοντέλο της Κρήτης, κύρια ο παραγωγικός τομέας της γεωργίας και του τουρισμού αλλά και η αστικοποίηση συγκεντρωμένη στη βόρεια παράκτια ζώνη, απαιτεί σημαντικούς υδατικούς πόρους για να καλύψει τη ζήτηση κατά τη θερινή – καλοκαιρινή περίοδο.
Από την άλλη μεριά, η ετήσια κατανομή των βροχοπτώσεων στο περιβάλλον της Κρήτης κατά την οποία συμβαίνουν βροχοπτώσεις μόνο τη χειμερινή περίοδο και επιπρόσθετα η διαχρονική κατανομή της με τις εναλλαγές ξηρών και υγρών ετών, δημιουργεί κατά περιόδους όξυνση του ελλείμματος ισοζυγίου προσφοράς – ζήτησης.
Λόγω της ιδιαιτερότητας της Κρήτης όσο αφορά τη γεωλογική δομή της, έχουν σχηματισθεί πολύπλοκα υδρογεωλογικά συστήματα που φιλοξενούν σημαντικούς υδροφορείς. Το ανανεώσιμο υπόγειο υδατικό δυναμικό υπολογίζεται τριπλάσιο της επιφανειακής απορροής, στο ύψος των 2,1 X 10^9 m^3.
Η υδροδυναμική λειτουργία των υπόγειων υδρογεωλογικών συστημάτων και η μεγάλη αποθηκευτικότητά τους, παρέχει σημαντικούς υδατικούς πόρους κατά τη θερινή – καλοκαιρινή περίοδο ακόμα και στα ξηρά έτη, πόροι που συμβάλουν να αμβλυνθεί το έλλειμμα στο ισοζύγιο προσφοράς- ζήτησης.
Όμως, το συγκριτικό αυτό πλεονέκτημα της Κρήτης με την ανορθολογική χρήση των υπόγειων υδροφόρων οριζόντων κύρια από την έλλειψη προγραμματισμού ανάπτυξης των έργων, έχει προκαλέσει κατά τόπους σημαντικές επιπτώσεις στα υπόγεια ύδατα. Ειδικότερα, οι προσχωματικοί και παράκτιοι υδροφορείς, στα οποία ο υδροφόρος ορίζοντάς τους είναι υψηλός και εύκολα εκμεταλλεύσιμος, έχει προκαλέσει την υπερεκμετάλλευσή τους που εστιάζεται στην πτώση της στάθμης ή και τη διείσδυση της θάλασσας στους παράκτιους υδροφορείς. Επιπρόσθετα οι ανθρώπινες δραστηριότητες έχουν επιδεινώσει κατά τόπους την ποιοτική κατάσταση των υδάτων.

Η πεδιάδα της Μεσαράς, που είναι το αντικείμενο της παρούσας εργασίας, είναι η μεγαλύτερη πεδιάδα της Κρήτης και μια περιοχή με μεγάλη αγροτική παραγωγή. Η κάλυψη των υδατικών αναγκών της, μέχρι σήμερα, πραγματοποιείται μόνο από το υπόγειο δυναμικό του προσχωματικού υδροφορέα ο οποίος διαχρονικά έχει υποστεί μεγάλες πιέσεις.
Ο υδροφορέας της Μεσαράς καταλαμβάνει το πεδινό τμήμα της υδρολογικής λεκάνης του Γεροποτάμου και μέρος της λεκάνης του Αναποδάρη. Ο σχηματισμός της τεκτονικής λεκάνης της Μεσαράς (graben) ως αποτέλεσμα της ακόμα ενεργού γεωδυναμικής του Ελληνικού νησιώτικου τόξου, έχει επιφέρει μια πολύπλοκη γεωλογική δομή και επακόλουθα πολύπλοκη υδροδυναμική λειτουργία. Η δομή του υδρογεωλογικού συστήματος παρουσιάστηκε στο κεφάλαιο 5.

Στο παρόν κεφάλαιο προσομοιώθηκε η λειτουργία του υδρογεωλογικού συστήματος της Μεσαράς ως ενιαίο σύστημα ώστε να εξαχθούν συμπεράσματα για την υδροδυναμική λειτουργία του, να υπολογισθούν τα αποθέματά του και να αναπτυχθούν σενάρια προστασίας του και αξιοποίησης του. Περαιτέρω στόχοι αναφέρονται στη παράγραφο 6.7
Η προσομοίωση πραγματοποιήθηκε με αναπαράσταση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών της περιοχής κάλυψης συμπεριλαμβάνοντας και τους δυο υδροφορείς (true layer approach), το επιφανειακό στρώμα που αποτελεί τον

αλλουβιακό και τον υποκείμενο τον πλειστοκαινικό. Επίσης διακρίθηκε οριζόντια σε 22 τμήματα με βάση τις επιμέρους ιδιότητες του υδροφορέα.

Το μεγαλύτερο πρόβλημα που αντιμετωπίζεται στην Κρήτη αλλά και στην Ελλάδα γενικότερα είναι η έλλειψη πρωτογενών αξιόπιστων δεδομένων. Στις προηγούμενες παραγράφους παρουσιάστηκαν αναλυτικά τα δεδομένα που εισήχθηκαν στο ομοίωμα καθώς η μεθοδολογία συμπλήρωσης ή υπολογισμού αυτών, όπου δεν υφίσταντο. Τα δεδομένα αυτά με βάση την καταγραφή τους ή τον τρόπο υπολογισμού τους από πρωτογενή δεδομένα διακρίθηκαν σε δυο κατηγορίες σε σχέση με την αβεβαιότητά τους: (1) δεδομένα με μικρή αβεβαιότητα που περιλαμβάνει όσα δεδομένα στηρίχθηκαν σε αξιόπιστες μετρήσεις υπαίθρου και σε αυτά κατατάσσονται οι υδραυλικές ιδιότητες των υδροφόρων στρωμάτων, η γεωμετρία, οι οριακές συνθήκες, οι χρονοσειρές παρακολούθησης της στάθμης, οι βροχοπτώσεις και οι απορροές των όμορων λεκανών και (2) δεδομένα με μεγαλύτερη αβεβαιότητα που είναι οι αντλήσεις λόγω έλλειψης μετρήσεων. Η μεθοδολογία υπολογισμού των αντλήσεων παρουσιάστηκε στην παράγραφο 6.4.6 κατά την οποία υπολογίσθηκαν οι αντλήσεις ανά λεκάνη που διακρίθηκε το υδρογεωλογικό σύστημα με βάση τη καταγραφή των υδροληπτικών έργων, τις ιδιότητες του υδροφορέα, την ομαδοποίησή τους, τις αντλούμενες ωριαίες παροχές και τις καταναλώσεις ηλεκτρικής ενέργειας.
Η προσομοίωση που επιτεύχθηκε και στα δύο ομοιώματα, σταθερής ροής υπό συνθήκες υπό πίεση και μεταβατικής ροής, πραγματοποιήθηκε μόνο με την τροποποίηση των αντλήσεων (δεδομένα με μεγαλύτερη αβεβαιότητα) και είναι μέσα στα αποδεκτά όρια που τέθηκαν από το εννοιολογικό μοντέλο.

Τελικά, η προσομοίωση που επιτεύχθηκε, μετά τη ρύθμιση του ομοιώματος, ικανοποιεί τα τυπικά κριτήρια σύγκλισής του και επίσης είναι σύμφωνη με το εννοιολογικό μοντέλο της περιοχής.
Τα γενικά συμπεράσματα που εξάγονται είναι:

- Το πολύπλοκο υδροδυναμικό σύστημα της λεκάνης της Μεσαράς, όπως καθορίζεται από την υδρογεωλογική δομή της περιοχής, είναι ενιαίο δηλαδή οι επί μέρους λεκάνες που διακρίνεται, με βάση τη γεωμετρία των στρωμάτων και τις διαφορετικές ιδιότητές τους, υδραυλικά επικοινωνούν μεταξύ τους.
- Οι γραμμές ροής και η πιεζομετρία υποδηλώνουν τις διαφορετικές ιδιότητες (ανομοιογένεια) του συστήματος. Διακρίνονται ζώνες στον αλλουβιακό υδροφορέα με υψηλή υδαταγωγιμότητα ευρισκόμενες κατά μήκος του κύριου ρου των υδρορευμάτων Γεροποτάμου, Λιθαίου, Αναποδάρη και Λειβαδίτη και στις υπώρειες περιοχές των Αστερουσίων ορέων. Οι ζώνες αυτές εκτός από τις καλές υδρογεωλογικές ιδιότητες είναι περιοχές όπου το αλλουβιακό κάλυμμα έχει μεγαλύτερο πάχος.
- Το επιφανειακό στρώμα (αλλουβιακό) εμφανίζει υψηλές τιμές υδαταγωγιμότητας και δείχνουν υδροφορέα ελεύθερο ή μερικά υπό πίεση, το οποίο προσομοιώθηκε ως «ελεύθερο-unconfined» στρώμα. Οι τιμές υδαταγωγιμότητας του υποκείμενου στρώματος (πλειστοκαινικό) είναι μια τάξη μικρότερες, ο υδροφορέας είναι υπό πίεση και προσομοιώθηκε ως «υπό πίεση –confined» στρώμα.
- Ο υπόγειος υδροκρίτης της λεκάνης της Μεσαράς περίπου ταυτίζεται με τον επιφανειακό υδροκρίτη των υδρολογικών λεκανών του Γεροποτάμου

και του Αναποδάρη, ο οποίος καθορίζεται από τη γεωμετρία των υδροφόρων στρωμάτων και μετακινείται εξαρτώμενος από τις εκατέρωθεν αντλήσεις και τον εμπλουτισμό του.

- Οι γραμμές ροής κατά την περίοδο της μικρής εκμετάλλευσης του υδροφορέα περίπου ακολουθούν το επιφανειακό υδρογραφικό δίκτυο, όμως οι γραμμές ροής κατά την περίοδο της έντονης εκμετάλλευσης διαφέρουν σημαντικά. Παρατηρείται μια σύγκλιση προς το κεντρικό-ανατολικό τμήμα της λεκάνης των Μοιρών και μια σύγκλιση προς το κεντρικό - νότιο τμήμα της λεκάνης του Χάρακα. Αυτό οφείλεται στη συγκέντρωση των υδροληπτικών έργων (γεωτρήσεις) και των σημαντικών αντλήσεων στις περιοχές αυτές και βεβαία ρόλο παίζει η γεωμετρία του υδροφορέα και η υδαταγωγιμότητα του μέσου. Επίσης στον υδροφορέα των Γκαγκαλών η κλίση μεταβάλλεται προς την κατεύθυνση ανατολή - δύση.
- Οι αντλήσεις και η πυκνότητα των υδροληπτικών έργων στη λεκάνη της Μεσαράς διαφέρει σημαντικά. Επίσης και η συνολική ποσότητα άντλησης διαφέρει σημαντικά τόσο χωρικά όσο και χρονικά εξαρτώμενη από τον υδροφορέα, την κατανομή και το ύψος των βροχοπτώσεων.
- Στη λεκάνη των Μοιρών οι ετήσιες αντλήσεις κατά την περίοδο μικρής εκμετάλλευσης ανέχονται στο ύψος των 3 Mm^3 ενώ κατά τη περίοδο της έντονης εκμετάλλευσης κυμαίνονται από 14 Mm^3 (υγρό έτος) μέχρι 37 Mm^3 (ξηρό έτος) με μέση τιμή 27 Mm^3. Αντίστοιχα τα ποσά αυτά στη λεκάνη του Χάρακα ανέρχονται σε 1,5 Mm^3, 8 Mm^3, 13,5 Mm^3, 11,5 Mm^3. Στη λεκάνη της Βαγιονιάς - Γκαγκαλών ανέρχονται σε 1,5 Mm^3 , 9 Mm^3, 13 Mm^3, 10,5 Mm^3 (λεπτομερέστερη ανάλυση των αντλήσεων βλέπε παράγραφο 6.9.4).
- Η κατείσδυση από την κοίτη ποταμού, όπου εφαρμόσθηκε το πακέτο stream, με περιορισμένο αριθμό δεδομένων κυρίως όσον αφορά τις συνεχείς διαφορικές μετρήσεις παροχών κατά μήκος των υδρορευμάτων, έδωσε αποτελέσματα που συνάδουν με την εννοιολογική προσέγγιση. Η κατείσδυση για το Γεροπόταμο (τμήμα λεκάνης Μοιρών) και το Ληθαίο μεταβάλλεται σχετικά με το ύψος της στάθμης στον υδροφορέα και τις ετήσιες απορροές. Η «δυναμική» κατείσδυση ανά τμήμα υδρορεύματος υπολογίσθηκε στην παράγραφο 6.4.4.2 Η πραγματική ετήσια κατείσδυση στα ξηρά έτη υπολογίσθηκε σε 1,5 Mm^3 (ή 90 m^3/m μήκους υδρο-ρεύματος), στα υγρά έτη σε 4 Mm^3 (ή 240 m^3/m μήκους υδρορεύματος) με μέση τιμή 3 Mm^3 (ή 180 m^3/m μήκους υδρορεύματος). Εδώ θα πρέπει να αναφέρουμε ότι έχουν κατασκευασθεί δυο κανάλια εκτροπής που έχουν ως στόχο την αύξηση της κατείσδυσης. Ένα ευρίσκεται παράλληλα του Λιθαίου και εκτρέπει μέρος των απορροών του και ένα δεύτερο ευρίσκεται στο Γεροπόταμο στο ύψος ανάντη της γέφυρας Μοιρών – Πόμπιας και εκτρέπει μέρος των απορροών του σε παράλληλα κανάλια νότια του ποταμού. Για την τελευταία εκτροπή του Γεροποτάμου υπάρχει αστοχία στην κατασκευή επειδή κατά το ήμισυ περίπου τα κανάλια διατρέχουν τον υδροφορέα που ήταν υπό πίεση και αρτεσιανός, συνεπακόλουθα η βαθειά διήθηση -εμπλουτισμός του υδροφορέα στο τμήμα αυτό, που ήταν ο στόχος κατασκευής της εκτροπής, είναι μικρή έως μηδενική. Στο αποτέλεσμα αυτό συνεπικουρούν και οι επί τόπου παρατηρήσεις όπου συμβαίνει σε αυτές τις περιοχές κατάκλιση των εδαφών με ύδατα μετά τη λειτουργία της εκτροπής. Οι ποσότητες που

παροχετεύονται εμπλουτίζουν την επιφανειακή ζώνη του εδάφους (φρεάτιο ορίζοντα) και προκαλούν κατάκλιση των εδαφών και όχι τον (βαθύ) υδροφορέα της λεκάνης όπως συμβαίνει στο υπόλοιπο τμήμα των καναλιών εκτροπής.

- Η πραγματική ετήσια κατείσδυση στον Αναποδάρη υπολογίσθηκε στο ύψος του ενός (1) Mm^3 (ή 84 m^3/m μήκους υδρορεύματος) σε όλες τις περιόδους εκμετάλλευσης του υδροφορέα. Αυτό ερμηνεύεται αφ' ενός από την υδρογεωλογική δομή της περιοχής που ο Αναποδάρης, όπως προαναφέρθηκε, διατρέχει τον κύριο υδροφορέα (αλλουβιακό) στο βορειοανατολικό όριό του και αφ' ετέρου στις μεγάλες απορροές του και τη μικρή πτώση της στάθμης του υδροφορέα στις περιοχές αυτές. Ο κύριος ρόλος του Λειβαδίτη είναι να δέχεται τις εκροές από τον υπόγειο υδροφορέα, παλαιότερα δε, είχαν κατασκευασθεί αποστραγγιστικές τάφροι στο κατάντη τμήμα του για να αυξηθούν οι εκροές προκειμένου να καλλιεργηθεί η περιοχή. Οι αποστραγγιστικές τάφροι καθώς και ο Λειβαδίτης ενίοτε λειτουργούν και για τον εμπλουτισμό του υδροφορέα.
- Οι πραγματικές ετήσιες εκροές του υδρογεωλογικού συστήματος στο κύριο ρου του Γεροποτάμου – Ληθαίου κατά την περίοδο της έντονης εκμετάλλευσης υπολογίσθηκαν στα ξηρά έτη σε 0,4 Mm^3 (ή 13 m^3/m μήκους υδρορεύματος), στα υγρά έτη σε 5,5 Mm^3 (ή 180 m^3/m μήκους υδρορεύματος) με μέση τιμή 3,2 Mm^3 (ή 104 m^3/m μήκους υδρορεύματος). Κατά την περίοδο της μικρής εκμετάλλευσης οι εκροές υπολογίσθηκαν σε 26,7 Mm^3 (ή 875 m^3/m μήκους υδρορεύματος). Εδώ θα πρέπει να διευκρινίσουμε ότι οι τιμές των εκροών αφορούν όλη τη λεκάνη των Γεροποτάμου ενώ οι εισροές αφορούν μόνο τμήμα του κύριου ρου του Ληθαίου και του Γεροποτάμου, επειδή μέρος της κατείσδυσης των χειμάρρων προσομοιώθηκε με το recharge package (βλέπε παράγραφο 6.4.4.3).
- Οι πραγματικές ετήσιες εκροές του υδρογεωλογικού συστήματος από τον Αναποδάρη - Λειβαδίτη κατά την περίοδο της έντονης εκμετάλλευσής του υπολογίσθηκαν στα ξηρά έτη σε 0,6 Mm^3 (ή 31 m^3/m μήκους υδρορεύματος), στα υγρά έτη σε 3,2 Mm^3 (ή 166 m^3/m μήκους υδρορεύματος) με μέση τιμή 2 Mm^3 (ή 104 m^3/m μήκους υδρορεύματος). Κατά την περίοδο της μικρής εκμετάλλευσης οι εκροές υπολογίσθηκαν σε 11 Mm^3 (ή 572 m^3/m μήκους υδρορεύματος).
- Το υδρογεωλογικό σύστημα της Μεσαράς είναι μια κλειστή λεκάνη και οι υπόγειες διαφυγές νερού εκτός της λεκάνης εντοπίζονται σε δύο μικρές ζώνες στο «στένεμα» της Φαιστού (δυτικά) και το «στένεμα» του Χάρακα (ανατολικά).
- Οι υπόγειες ετήσιες διαφυγές από το «στένεμα» της Φαιστού κατά την περίοδο της μικρής εκμετάλλευσης υπολογίσθηκαν σε 1,3 Mm^3. Κατά την περίοδο της έντονης εκμετάλλευσης υπολογίσθηκαν στα ξηρά έτη σε 0,7 Mm^3, στα υγρά έτη σε 0,5 Mm^3 με μέση τιμή 0,7 Mm^3. Οι διαφορετικές ποσότητες διαφυγών οφείλονται στη γεωμετρία της ζώνης αυτής και στην ταπείνωση του υδροφόρου ορίζοντα των Μοιρών.
- Οι υπόγειες ετήσιες διαφυγές από το «στένεμα» του Χάρακα κατά την περίοδο της μικρής εκμετάλλευσης υπολογίσθηκαν σε 0,9 Mm^3. Κατά την περίοδο της έντονης εκμετάλλευσης υπολογίσθηκαν στα ξηρά έτη σε 0,6 Mm^3, στα υγρά έτη σε 0,8 Mm^3 με μέση τιμή 0,7 Mm^3. Η μικρή

διακύμανση των τιμών αυτών σε σχέση με τις αντίστοιχες της Φαιστού οφείλονται στη μικρή ταπείνωση του υδροφόρου ορίζοντα του Χάρακα.

- Η διαφορά στο ισοζύγιο εισροών – εκροών κατά την περίοδο της έντονης εκμετάλλευσης διαφέρει σημαντικά μεταξύ των υδρολογικών ετών με αποτέλεσμα να μεταβάλλονται τα αποθέματα του υδροφορέα (ρυθμιστικά και μόνιμα), άλλοτε να ελαττώνονται και άλλοτε να αυξάνονται.
- Στη λεκάνη των Μοιρών τα ετήσια υδατικά αποθέματα κατά τα ξηρά υδρολογικά έτη ελαττώνονται κατά 24,3 Mm^3, στα υγρά έτη αυξάνονται κατά 11,9 Mm^3 και κατά μέσο όρο (έτη 1983-2002) ελαττώνονται κατά 10,6 Mm^3.
- Στη λεκάνη της Βαγιονιάς- Γκαγκαλών τα ετήσια υδατικά αποθέματα κατά τα ξηρά έτη ελαττώνονται κατά 1,7 Mm^3, στα υγρά έτη αυξάνονται κατά 17 Mm^3 και κατά μέσο όρο (έτη 1983-2002) αυξάνονται κατά 2,7 Mm^3.
- Στη λεκάνη του Χάρακα τα ετήσια υδατικά αποθέματα κατά τα ξηρά έτη ελαττώνονται κατά 7,3 Mm^3, στα υγρά έτη αυξάνονται κατά 7,8 Mm^3 και κατά μέσο όρο (έτη 1983-2002) ελαττώνονται κατά 1,7 Mm^3.
- Από τις παραπάνω τρεις παραγράφους και με βάση τις μέσες τιμές της περιόδου έντονης εκμετάλλευσης (1983-2002) το ισοζύγιο μεταξύ εισροών – εκροών στις λεκάνες των Μοιρών και του Χάρακα είναι αρνητικό με αποτέλεσμα να εκμεταλλεύονται τα μόνιμα αποθέματα του υδροφορέα. Σε αντίθεση το ισοζύγιο στη λεκάνη της Βαγιονιάς – Γκαγκαλών είναι θετικό και τα αποθεμάτά της αυξάνονται. Όμως όπως προαναφέρθηκε η λεκάνη των Μοιρών και της Βαγιονιάς – Γκαγκαλών (το σύνολο αναφέρεται ως λεκάνη Γεροποτάμου) υδραυλικά επικοινωνούν με ροή από τη λεκάνη των Γκαγκαλών-Βαγιονιάς προς τη λεκάνη των Μοιρών με συνολικό αποτέλεσμα να ελαττώνονται τα αποθέματα της λεκάνης του Γεροποτάμου κατά 7,9 Mm^3.
- Το συνολικό ετήσιο έλλειμμα των υδατικών αποθεμάτων από τη λεκάνη της Μεσαράς (ελάττωση μόνιμων αποθεμάτων) ανέρχεται σε 9,8 Mm^3.
- Εδώ θα πρέπει να αναφερθούμε στο «πολύ υγρό» έτος 2002-2003 κατά το οποίο τα συνολικά αποθέματα της λεκάνης της Μεσαράς αυξήθηκαν κατά 78 Mm^3, ποσότητα που αντιστοιχεί σε αναπλήρωση του μέσου ελλείμματος (περίπου) 8 ετών. Επίσης θα πρέπει να αναφερθεί ότι παρά το έλλειμμα του υδροφορέα δόθηκαν νέες άδειες το έτος 2007 στον υδροφορέα της Βαγιονιάς Γκαγκαλών και του Χάρακα. Αυτό σε συνάρτηση με την αλλαγή των καλλιεργειών σε περισσότερο υδροβόρες (από δενδρώδεις κύρια ελιές και αμπέλια σε κηπευτικά) θα έχουμε ακόμα μεγαλύτερο ετήσιο ρυθμό ελάττωσης των μόνιμων αποθεμάτων όλων των λεκανών της Μεσαράς.

Συμπερασματικά, το μέσο ετήσιο υπόγειο υδατικό δυναμικό της λεκάνης της Μεσαράς για την περίοδο προσομοίωσης 1983-2002, η οποία θεωρείται αντιπροσωπευτική περίοδος των σημερινών κλιματολογικών συνθηκών, διαμορφώνεται ως εξής: (1) εισροές 47,5 Mm^3 (2) εκροές 57,3 Mm^3 (3) μεταβολή μόνιμων αποθεμάτων - ελάττωση 9,8 Mm^3. Το μεγαλύτερο ποσοστό από τις εκροές οφείλεται στις αντλήσεις που ανέρχονται σε 50,8 Mm^3/ έτος, οι οποίες είναι μεγαλύτερες από τα ρυθμιστικά αποθέματα του υδροφορέα κατά ετήσιο ποσοστό 19% και συνεπακόλουθα εκμεταλλεύονται τα μόνιμα αποθεμάτά του. Η κατάσταση τα τελευταία έτη επιδεινώθηκε ακόμα περισσότερο λόγω των νέων υδροληπτικών έργων που κατασκευάσθηκαν το 2007, υπολογίζεται ότι οι

γεωτρήσεις έχουν αυξηθεί κατά 550 περίπου συγκεντρωμένες στην περιοχή της Βαγιονιάς, των Γκαγκαλών, του Ασημίου του Χάρακα και της Γαλιάς. Αν δεν επιβληθούν άμεσα μέτρα ελάττωσης των αντλήσεων προβλέπεται η εξάντληση των μόνιμων αποθεμάτων σε βραχυπρόθεσμο χρονικό ορίζοντα με συνέπεια τη δυσλειτουργία ή ακόμα και την ολική κατάρρευση πολλών υδροληπτικών έργων. Τότε οι συνολικές ετήσιες αντλήσεις θα είναι της τάξης των ετήσιων εισροών, κατάσταση στην οποία είχε πλησιάσει ο υδροφορέας το έτος 2002 αλλά οι βροχοπτώσεις του «πολύ υγρού» έτους 2002-2003 επέφεραν σημαντική άμβλυνση του ελλείμματος. Άλλες εναλλακτικές προτάσεις συζητούνται στο επόμενο κεφάλαιο στα σενάρια αξιοποίησης του υδατικού δυναμικού της περιοχής της Μεσαράς.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Κεφάλαιο 7 Προστασία Υδάτων και Σενάρια ανάπτυξης υδατικών πόρων λεκάνης Μεσαράς 3
7.1 Ισοζύγιο προσφοράς – ζήτησης....3
7.1.1. Ζήτηση υφιστάμενη....3
7.1.1.1 Υδρευτικές και βιοτεχνικές ανάγκες....3
7.1.1.2 Αρδευτικές ανάγκες....4
7.1.2. Προσφορά –υδατικοί πόροι....15
7.1.2.1 Επιφανειακό υδατικό δυναμικό - υδροληπτικά έργα....15
7.1.2.2 Υπόγειο υδατικό δυναμικό – υδροληπτικά έργα....16
7.1.2.3 Συνδυασμένη χρήση επιφανειακών και υπόγειων υδάτων....19
7.2 Μέτρα Προστασίας....22
7.2.1. Υφιστάμενη νομοθεσία....22
7.2.2. Συνθήκες αναφοράς....24
7.2.3. Μέτρα προστασίας....25
7.2.3.1 Ποιοτική κατάσταση υδάτων Μεσαράς- πιέσεις....25
7.2.3.2 Ποσοτική κατάσταση των υδάτων της Μεσαράς- Πιέσεις....28
7.3 Σενάρια Ανάπτυξης....29
7.3.1. Σενάρια ανάπτυξης της διαχειριστικής μελέτης Κρήτης....29
7.3.2. Εφαρμογή μέτρων προστασίας- ελάχιστη διατηρητέα παροχή....30
7.3.2.1 Γενικά στοιχεία για την ελάχιστη διατηρητέα παροχή....31
7.3.3. Σενάρια ανάπτυξης υδατικών πόρων Μεσαράς....34
7.3.4. Ισοζύγιο προσφοράς – ζήτησης....37
7.3.4.1 Υφιστάμενη κατάσταση....37
7.3.4.2 Μελλοντική κατάσταση....37
7.3.5. Μέτρα προστασίας της λεκάνης Μεσαράς....42

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακ. 7- 1 Εκτίμηση μέσων ετήσιων υδρευτικών και βιομηχανικών αναγκών 8
Πίνακ. 7- 2 Ανάγκες άρδευσης σε m^3/μήνα/στρέμμα ανά καλλιέργεια (μοντέλο AGWAT) 9
Πίνακ. 7- 3 Ανάγκες Καλλιεργειών σε νερό άρδευσης (σε m^3/στρέμμα/έτος)..... 10
Πίνακ. 7- 4 Αρδευτικές περίοδοι ανά καλλιέργεια..... 10
Πίνακ. 7- 5 Καλλιεργούμενες και αρδευόμενες εκτάσεις και θεωρητική ζήτηση τοπικών διαμερισμάτων λεκάνης Μοιρών..... 11
Πίνακ. 7- 6 Καλλιεργούμενες και αρδευόμενες εκτάσεις και θεωρητική ζήτηση τοπικών διαμερισμάτων λεκάνης Βαγιονιάς- Ασημίου 12
Πίνακ. 7- 7 Καλλιεργούμενες και αρδευόμενες εκτάσεις και θεωρητική ζήτηση τοπικών διαμερισμάτων λεκάνης Χάρακα..... 13
Πίνακ. 7- 8 Καλλιεργούμενες και αρδευόμενες εκτάσεις και θεωρητική ζήτηση λεκάνης Μεσαράς..... 14
Πίνακ. 7- 9 Συνδυασμένη χρήση υδάτων..... 20
Πίνακ. 7- 10 Σενάρια ζήτησης νερού διαχειριστικής μελέτης Κρήτης..... 30

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 7- 1 Μηνιαία κατανομή ζήτησης στη λεκάνη της Μεσαράς..... 10
Εικόνα 7- 2 ο κύκλος των φυτοφαρμάκων 27
Εικόνα 7- 3 Ο κύκλος του γεωργικού αζώτου 27
Εικόνα 7- 4 Μέση ετήσια απορροή υδρορευμάτων λεκάνης Μεσαράς 37
Εικόνα 7- 5 . 10ετής Προσομοίωση λειτουργίας του φράγματος Πλακιώτισας 39
Εικόνα 7- 6 στατιστική ανάλυση ετήσιων απορροών θέση Πλακιώτισας. 39
Εικόνα 7- 7 . 10ετής Προσομοίωση λειτουργίας του φράγματος Φανερωμένης 40
Εικόνα 7- 8 στατιστική ανάλυση ετήσιων απορροών θέση Φανερωμένη..... 40
Εικόνα 7- 9. Χαρακτηρισμός των υδατικών υπόγειων συστημάτων και καθορισμός της επικινδυνότητας με μέθοδο DPSIR. (Quevauviller Ph., 2008)..... 44

Κεφάλαιο 7 Προστασία Υδάτων και Σενάρια ανάπτυξης υδατικών πόρων λεκάνης Μεσαράς

7.1 Ισοζύγιο προσφοράς – ζήτησης

Το ισοζύγιο προσφοράς – ζήτησης υπολογίζεται κατ' αρχή για την υφιστάμενη κατάσταση στην περιοχή της Μεσαράς και με βάση αυτό στη συνέχεια γίνονται προτάσεις για την προστασία των υδάτων και την αειφορική διαχείριση των υδατικών πόρων.

7.1.1. Ζήτηση υφιστάμενη

7.1.1.1 Υδρευτικές και βιοτεχνικές ανάγκες

Οι συνολικές ετήσιες ανάγκες ύδρευσης ανά Δήμο υπολογίσθηκαν, ως εξής:

- Υπολογίσθηκαν οι ανάγκες σε νερό ύδρευσης του μόνιμου πληθυσμού (απογραφή 2001) και του εποχιακού πληθυσμού ανά δημοτικό διαμέρισμα. Οι τελευταίες ανάγκες είναι μικρές λόγω της έλλειψης τουριστικών καταλυμάτων.
- Έγινε σύγκριση των στοιχείων αυτών με στοιχεία των Δήμων
- Προσδιορίσθηκαν οι τελικές ανάγκες σε νερό ύδρευσης για κάθε δημοτικό διαμέρισμα με κατανάλωση 260 λίτρα ανά κάτοικο ανά ημέρα. Στην ποσότητα αυτή συμπεριλαμβάνονται οι απώλειες του δικτύου και η χρήση του περιβάλλοντος χώρου των οικιών (άρδευση καλλωπιστικών φυτών).

Οι υπολογισμοί δίνονται στον Πίνακ. 7- 1. Στον πίνακα επίσης δίνεται και η ζήτηση ανά λεκάνη που έχει διακριθεί ο υπόγειος υδροφορέας της Μεσαράς. Η συνολική ζήτηση για όλους τους οικισμούς είναι μικρή συγκριτικά με την άρδευση και ανέρχεται σε 2 Mm^3 για την ύδρευση 21.499 κατοίκων. Η μηνιαία κατανομή της ζήτησης δίνεται στο σχήμα της Εικόνα 7- 1

Οι βιομηχανίες που λειτουργούν στην περιοχή της Μεσαράς είναι κυρίως ελαιουργεία. Οι συνολικές ετήσιες ανάγκες των ελαιουργείων, λόγω έλλειψης στοιχείων κατανάλωσης, υπολογίσθηκαν με βάση τις εκτάσεις της ελαιοκαλλιέργειας σε κάθε Δήμο. Η παραδοχή αυτή είναι η μοναδική ρεαλιστική παραδοχή που μπορεί να γίνει στα πλαίσια της παρούσας μελέτης. Η κατανάλωση αφορά την περίοδο λειτουργίας των ελαιοτριβείων δηλαδή την περίοδο Δεκέμβριος έως Φεβρουάριος. Οι ετήσιες καταναλώσεις δίνονται στον Πίνακ. 7- 1

Εδώ θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι ανθρακικοί υδροφόροι ορίζοντες που βρίσκονται στις παρυφές των Αστερουσίων και του Ψηλορείτη φιλοξενούν νερό με πολύ καλή ποιοτική κατάσταση. Όμως, η υδατοπρομήθεια σχεδόν όλων των οικισμών για την ύδρευσή τους πραγματοποιούνται από τη λεκάνη της Μεσαράς, νερό που επιβαρύνεται από τις αγροτικές δραστηριότητες με λιπάσματα, φυτοφάρμακα και τα παράγωγά τους.

7.1.1.2 Αρδευτικές ανάγκες

Στη Μεσαρά όπως και σε όλη την υπόλοιπη Κρήτη, η άρδευση συνιστά την πλέον σημαντική χρήση των υδατικών πόρων. Η αρδευτική ζήτηση είναι η κυριότερη ανάγκη που πρέπει να καλυφθεί ετησίως στη νήσο, γεγονός που δυσχεραίνεται από την έντονη εποχικότητα της ζήτησης αυτής, η οποία εμφανίζεται τη θερινή περίοδο όταν η προσφορά ύδατος από τις βροχοπτώσεις είναι ελάχιστη έως μηδενική.
Η συμμετοχή του γεωργικού τομέα εξακολουθεί να είναι σημαντική στην οικονομία της νήσου παρά τη θεαματική αύξηση της τουριστικής ανάπτυξής της. Από τις σημαντικότερες βελτιώσεις στην αγροτική οικονομία της Κρήτης κατά τα τελευταία χρόνια υπήρξε η καλλιέργεια των κηπευτικών (υπαίθρου και υπό κάλυψη) και η αύξηση των εκτάσεων και των αποδόσεων της ελαιοκαλλιέργειας που οφείλεται στη βελτίωση της τεχνικής της καλλιέργειας.
Η γεωργία στην Κρήτη παρά την αξιόλογη τεχνολογική της εξέλιξη και εξειδίκευση, που ανταποκρίνεται σε σημαντικό βαθμό στο φυσικό συγκριτικό πλεονέκτημα της νήσου, αντιμετωπίζει όμοια προβλήματα με τη γεωργία των νότιων και νησιωτικών περιοχών της Χώρας και των υπόλοιπων Μεσογειακών χωρών. Το σπουδαιότερο πρόβλημα, κοινό για όλους τους νομούς της Κρήτης, είναι η στενότητα των αρδευτικών πόρων, παράγων που δρα ανασταλτικά στην αναδιάρθρωση και στην εντατικοποίηση των καλλιεργειών.

Λόγω επομένως του ξηροθερμικού κλίματος που επικρατεί στη νήσο και της άνισης κατανομής των βροχοπτώσεων κατά τη διάρκεια του έτους, τα εγγειοβελτιωτικά έργα και κυρίως τα αρδευτικά, αποτελούν βασικό παράγοντα για την αύξηση της γεωργικής παραγωγής και την επιδιωκόμενη αναδιάρθρωση των καλλιεργειών.

Γενικά, το νερό είναι από τους σημαντικότερους παράγοντες για την απόδοση των καλλιεργειών και η βέλτιστη χρήση του διαθέσιμου νερού πρέπει να γίνεται με γνώμονα την αποδοτικότερη ανάπτυξη και απόδοσή τους. Αυτό απαιτεί κατανόηση της επίδρασης του νερού (της βροχής ή της άρδευσης) στην ανάπτυξη και απόδοση των καλλιεργειών κάτω από τις διαφορετικές συνθήκες ανάπτυξης των φυτών.

Υπάρχει εκτενής βιβλιογραφική αναφορά σε ζητήματα της σχέσης του νερού και της ανάπτυξης των φυτών και έχουν γίνει επιτυχείς προσπάθειες στην κατανόηση της ανταπόκρισής των φυτών σε νερό μέσω μοντέλων ανάπτυξης. Έχουν προταθεί διάφορες μεθοδολογίες για τον υπολογισμό της ανταπόκρισης της παραγωγής των φυτών με τη προσφορά νερού. Από τις μεθοδολογίες αυτές οι απλούστερες περιλαμβάνουν τα «κοινά» διαθέσιμα δεδομένα του κλίματος (θερμοκρασία, ακτινοβολία, ηλιοφάνεια) και του νερού και των εδαφών, οι οποίες είναι εφαρμόσιμες με αποδεκτή ακρίβεια και επιτρέπουν την εύκολη τροποποίησής τους μέσω της προσαρμοσμένης έρευνας.

Εδώ, θα πρέπει να σημειωθεί ότι το άνω όριο της παραγωγής των φυτών καθορίζεται από τις κλιματικές συνθήκες και τη γενετική ικανότητα του φυτού. Η προσέγγιση αυτού του ορίου συχνά εξαρτάται πώς τελικά η προσφορά νερού είναι σε συντονισμό με τις βιολογικές ανάγκες σε νερό του φυτού για την

παραγωγή. Επομένως, αποδοτική χρήση του νερού στην παραγωγή των φυτών μπορεί να επιτευχθεί μόνο όταν ο προγραμματισμός, ο σχεδιασμός και η λειτουργία του συστήματος διανομής-διακίνησης του νερού ρυθμίζεται έτσι ώστε να εφοδιάζει σε ικανή ποσότητα και στον κατάλληλο χρόνο με νερό τις ανάγκες (ζήτηση) των φυτών για τη βέλτιστη ανάπτυξη και απόδοσή των.

Όταν η διαθεσιμότητα του νερού δεν ανταποκρίνεται στις ανάγκες του φυτού σε νερό, πιέσεις αναπτύσσονται στο φυτό, οι οποίες συνεπακόλουθα επιδρούν στην παραγωγή και στην ανάπτυξή του. Η επίδραση της έλλειψης του νερού στην ανάπτυξη και την παραγωγικότητα εξαρτάται από τη μια μεριά από το είδος του φυτού και την ποικιλία του, και από την άλλη μεριά από το μέγεθος και το χρόνο εμφάνισης του ελλείμματος. Το μέγεθος της επίδρασης και ο χρόνος της έλλειψης του νερού στην ανάπτυξη των φυτών και στην παραγωγή είναι βαρύνουσας σημασίας για τον προγραμματισμό του διαθέσιμου, αλλά και συχνά του ελλειμματικού, νερού κατά την περίοδο της ανάπτυξης των φυτών και καθορίζεται από την κατανομή του νερού ανάμεσα στα διαφορετικά είδη φυτών.

Η λεπτομερής ανάλυσης για τον υπολογισμό του συνολικά απαιτούμενου νερού για την μέγιστη απόδοση των καλλιεργειών, καθώς και της επίδρασης του ελλείμματος σε νερό στην ανάπτυξη και την παραγωγή των φυτών είναι πέρα από το αντικείμενο της παρούσας εργασίας. Στην παρούσα εργασία οι απαιτούμενες ποσότητες νερού προσεγγίζονται με βιβλιογραφικά δεδομένα εργασιών που έχουν εκπονηθεί για την περιοχή μελέτης και ειδικότερα:

Το πρόγραμμα BEWARE / CRINO προσέγγισε την αγροτική ζήτηση στην περιοχή της Μεσαράς με τη χρήση του μοντέλου AGWAT και υπολόγισε τις ανάγκες άρδευσης και της αρδευτικής δόσης, με μηνιαίο βήμα, για συγκεκριμένες καλλιέργειες.
Το μοντέλο έτρεξε για δύο έτη το 1994 και το 1996 και υπολόγισε σε μηνιαίο βήμα την αρδευτική δόση για τις ελιές και για τα αμπέλια. Η μηνιαία αρδευτική δόση ανά καλλιέργεια και ανά δήμο αναγομένη σε m^3 ανά στρέμμα δίνεται στον Πίνακ. 7- 2. Από τον πίνακα αυτό παρατηρούμε ότι το έτος 1994 έχουμε μεγαλύτερες συνολικές αρδευτικές ανάγκες σε κάθε κόμβο ζήτησης (δήμο) σε σχέση με το έτος 1996, επειδή το 1996 συνέβησαν περισσότερες βροχοπτώσεις και επομένως οι αρδευτικές ανάγκες μειώθηκαν. Παρατηρούμε επίσης ότι οι ετήσιες ανάγκες της ελιάς σε m^3 ανά στρέμμα κυμαίνονται από 214 μέχρι 298 με μέση τιμή 259. Αντίστοιχα για το αμπέλι οι τιμές είναι 330, 464 και 399 αντίστοιχα .

Η διαχειριστική μελέτη της Διεύθυνσης Υδάτων της Περιφέρειας Κρήτης με βάση τη δυναμική εξατμισοδιαπνοή η οποία υπολογίσθηκε με την εφαρμογή της τροποποιημένης μεθόδου Penman και στη συνέχεια με την εφαρμογή κατάλληλων φυτικών συντελεστών μετά από τον συνυπολογισμό της ωφελίμου βροχοπτώσεως υπολόγισε τις ανάγκες των καλλιεργειών σε νερό. Στη στήλη (2) του Πίνακ. 7- 3 δίνονται οι τιμές που υπολογίσθηκαν με βάση την παραπάνω μεθοδολογία.

Η Διεύθυνση Υδάτων της Περιφέρειας Κρήτης σε συνεργασία με τις Διευθύνσεις Εγγείων Βελτιώσεων και Υδατικών Πόρων των Νομαρχιακών Αυτοδιοικήσεων των τεσσάρων νομών της Κρήτης με βάση την εμπειρία τους, των δεδομένων

των ΤΟΕΒ που επιβλέπουν και τις σχετικές μελέτες που έχουν εκπονηθεί στην Κρήτη πρότεινε τους συντελεστές της στήλης (3) του Πίνακ. 7- 3

Τελικά, με βάση τους παραπάνω συντελεστές ετήσιων αναγκών ανά καλλιέργεια που έχουν προτεθεί από τις διάφορες μελέτες, τα δεδομένα που συλλέχθηκαν από φορείς της Μεσαράς, τις κλιματικές συνθήκες της περιοχής αλλά και το γεγονός ότι η πλειονότητα των έργων είναι ιδιωτικά (θεωρείται ότι εφαρμόζουν μεγαλύτερες καταναλώσεις) οι συντελεστές που υιοθετήθηκαν για την περιοχή της Μεσαράς όπως αναφέρονται στη στήλη (4) του Πίνακ. 7- 3 .
Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι συντελεστές αυτοί:

- προσεγγίζουν τη μέση θεωρητική ζήτηση των καλλιεργειών για τη βέλτιστη ανάπτυξη και απόδοσή τους
- αφορούν την προσέγγιση της ζήτησης για το μέσο υδρολογικό έτος. Αυτοί διαφέρουν ανάλογα με τις βροχοπτώσεις (ύψος, κατανομή και διάρκεια) του κάθε έτους που γενικά είναι αντιστρόφως ανάλογα με τις βροχοπτώσεις.
- Επίσης, οι συντελεστές αυτοί διαφέρουν ανάλογα με το φορέα που παρέχει το νερό, δηλαδή αν είναι ΤΟΕΒ ή Δήμος ή ιδιωτικό έργο, και βέβαια είναι συνάρτηση από τη διαθεσιμότητα (ποσότητα των γεωτρήσεων και το σύστημα διανομής και διακίνησης) του πόρου και της τιμής χρέωσής του.

Η συνολική θεωρητική ζήτηση ανά λεκάνη που έχει διακριθεί η Μεσαρά με βάση την υδρογεωλογική ανάλυση υπολογίσθηκε με την παρακάτω διαδικασία. Καταγράφηκαν οι καλλιεργούμενες και οι αρδευόμενες εκτάσεις ανά δημοτικό διαμέρισμα και ανά κύρια καλλιέργεια που εμπίπτει στη λεκάνη της Μεσαράς. Οι εκτάσεις αυτές προέκυψαν με βάση τη συγκριτική αξιολόγηση των παρακάτω: (1) απογραφή Γεωργικών Εκτάσεων της Στατιστικής Υπηρεσίας του Υπ. Γεωργίας (2) δεδομένα των Δήμων της Μεσαράς που ελήφθησαν μετά από απευθείας επικοινωνία, (3) δεδομένα των τριών ΤΟΕΒ Μεσαράς και (4) δεδομένα από τη Διεύθυνση Υδάτων της Περιφέρειας Κρήτης και τη Διεύθυνση Εγγείων Βελτιώσεων του νομού Ηρακλείου. Στη συνέχεια με τη χρήση των συντελεστών του Πίνακ. 7- 3 υπολογίσθηκε η μέση θεωρητική ζήτηση ανά δημοτικό διαμέρισμα και ανά λεκάνη. Οι υπολογισμοί δίνονται στον **Πίνακ. 7- 5**, **Πίνακ. 7- 6**, **Πίνακ. 7- 7** και **Πίνακ. 7- 8**. Η τελική συνολική μέση ζήτηση ανά λεκάνη υπολογίσθηκε λαμβάνοντας συντελεστή απόδοσης 85% . Ο βαθμός απόδοσης αυτός, παρότι είναι υψηλός στην κλίμακα της χώρας, είναι στην περίπτωση της Μεσαράς σχετικά συντηρητικός, δεδομένου ότι το σύνολο σχεδόν των οργανωμένων αρδευτικών έργων αποτελείται από υπόγεια δίκτυα με στάγδην άρδευση στην εφαρμογή στο αγροτεμάχιο, σύστημα που εξασφαλίζει θεωρητικούς βαθμούς απόδοσης πάνω από 90%. Ο βαθμός απόδοσης 85% τίθεται προκειμένου να συμπεριλάβει τις απώλειες που δημιουργούνται μέχρι την επιδιόρθωση τυχόν βλαβών στα δίκτυα.
Η μηνιαία κατανομή της ζήτησης δίνεται στο σχήμα της Εικόνα 7- 1.

Με βάση την παραπάνω προσέγγιση η θεωρητική μέση ετήσια ζήτηση για τη λεκάνη των Μοιρών ανέρχεται στο ύψος των 28,5 Mm^3 με ποσοστό αρδευόμενων καλλιεργειών 54%. Αντίστοιχα για τη λεκάνη της Βαγιονιάς – Ασημίου ανέρχεται σε 18,4 Mm^3 με ποσοστό αρδευομένων καλλιεργειών 56% και για τη λεκάνη του Χάρακα σε 13 Mm^3 με ποσοστό 60%.

Η συνολική θεωρητική μέση ζήτηση για τη λεκάνη της Μεσαράς ανέρχεται στο ύψος των 60,9 Mm^3, οι αρδευόμενες εκτάσεις είναι 162.631 στρ έναντι 291.087 στρ. καλλιεργούμενων (ποσοστό αρδευόμενων καλλιεργειών 56%).

Οι τελικώς υπολογιζόμενες θεωρητικές ζητήσεις αρδευτικού νερού είναι κατά κανόνα μεγαλύτερες από τις συνολικές πραγματικές καταναλώσεις και αυτό οφείλεται σε δύο κυρίως λόγους:

- Πρώτον, οι εκτάσεις σε πολλές περιπτώσεις δεν αρδεύονται πλήρως δηλαδή οι ποσότητες ανά στρέμμα και καλλιέργεια που διατίθενται είναι μικρότερες από τις θεωρητικές και αυτό συμβαίνει δε ιδιαίτερα στην περίπτωση της ελιάς που συνιστά και τη σημαντικότερη καλλιέργεια. Αυτό οφείλεται κυρίως λόγω της έλλειψης των αναγκαίων υδατικών πόρων, αλλά επίσης και λόγω της επιβαλλόμενης, από τους φορείς άρδευσης, οικονομίας στη χρήση του νερού με την επιβολή ορίων άρδευσης σε ορισμένες καλλιέργειες, τα οποία είναι πολλές φορές σημαντικά χαμηλότερα από τις θεωρητικές ανάγκες (π.χ., για τη θεωρητική ανάγκη 250 m^3/στρέμμα που έχει καθοριστεί για την ελιά, τα όρια που θέτουν οι φορείς άρδευσης είναι πολλές φορές μέχρι και 100 m^3/στρέμμα μικρότερα, όπως ο ΤΟΕΒ Βασιλικών Ανωγείων).
- Δεύτερον, λόγω της ικανότητας της ελιάς στην Κρήτη να αποδίδει παραγωγή ακόμα και στην περίπτωση μη άρδευσής της, είναι πιθανόν ότι οι φορείς άρδευσης, σε περιπτώσεις έλλειψης των αναγκαίων υδατικών πόρων κατά τη διάρκεια μιας αρδευτικής περιόδου, να μειώνουν ή και να διακόπτουν σε κάποια δεδομένη χρονική στιγμή της αρδευτικής περιόδου την παροχή ύδατος προς τους παραγωγούς ελιάς, εφόσον αυτοί δεν κινδυνεύουν με καταστροφή της παραγωγής τους, έτσι ώστε να διοχετεύσουν πόρους προς τους παραγωγούς ετήσιων καλλιεργειών οι οποίοι βασίζονται αποκλειστικά στην άρδευση των καλλιεργειών τους για την επίτευξη μιας βιώσιμης παραγωγής. Το γεγονός αυτό μειώνει την συνολική κατανάλωση λόγω εσωτερικής αναδιανομής πόρων, με αποτέλεσμα οι θεωρητικές ανάγκες να είναι μεγαλύτερες από τις καταναλώσεις που καταγράφονται.

Συνεπώς, οι συνολικές πραγματικές ζητήσεις ανά καλλιέργεια, δεν πρέπει να αντιμετωπίζονται ως η περιγραφή της υφιστάμενης κατάστασης από πλευράς κατανάλωσης νερού αλλά αποτελούν την καλύτερη δυνατή εκτίμηση των αναγκών πλήρους άρδευσης των συγκεκριμένων εκτάσεων και καλλιεργειών στο ποσοστό που αναφέρεται στους παραπάνω πίνακες.

Πίνακ. 7- 1 Εκτίμηση μέσων ετήσιων υδρευτικών και βιομηχανικών αναγκών

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΥΝΟΛΙΚΩΝ ΕΤΗΣΙΩΝ ΑΝΑΓΚΩΝ - ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ								
Α/Α	**Δήμος**	**Δημοτικό Διαμέρισμα**	**κάτοικοι**	**Ύδρευση**	**Ελαιου ργεία**	**Σύνολο**	**Λεκάνη**	**Σύνολο λεκάνης**
			απογραφή 2001	**m^3/year**	**m^3/year**	**m^3/year**		**m^3/year**
	Μοιρών	Μοιρών	5.883	558.297			**Μοιρών**	
		Αληθινής	148	14.045				
		Καστελλίου	299	28.375				
		Κουσέ	158	14.994				
		Περίου	81	7.687				
		Πετροκεφαλίου	668	63.393				
		Πόμπιας	955	90.630				
1		**σύνολο**	**8.192**	**777.421**	**23.584**	**801.005**		**927.815**
	Γόρτυνας	Μητροπόλεως	379	35.967			**Βαγιονιάς-Ασημίου**	
		Πλατάνου	263	24.959				
		Πλώρας	271	25.718				
		Χουστουλιανών	337	31.981				
		Αγίων Δέκα	902	85.600				
		Αμπελούζου	297	28.185				
		Απεσωκαρίου	131	12.432				
		Βαγιονιάς	922	87.498				
		Βασιλικής	261	24.769				
		Βασιλικών Ανωγείων	334	31.697				
		Γκαγκαλών	605	57.415				
2		**σύνολο**	**4702**	**446.220**	**27.285**	**473.505**		**731.860**
	Κόφινα	Διονύσου	502	47.640				
		Λουρών	301	28.565				
		Σοκαρά	889	84.366				
		Σταβιών	719	68.233				
		Στόλων	576	54.662				
		Ασημίου	1215	115.304				
		Στερνών	416	39.478				
3		**σύνολο**	**4.618**	**438.248**	**24.308**	**462.556**		**492.616**
	Αστερουσιών	Πύργου	1148	108.945			**Χάρακα**	
		Εθιάς	365	34.639				
		Λιγορτύνου	642	60.926				
		Μεσοχωρίου	752	71.365				
		Προτορίων	197	18.695				
		Χάρακος	883	83.797				
4		**σύνολο**	**3.987**	**378.366**	**36.859**	**415.225**		
	ΣΥΝΟΛΟ		**21.499**	**2.040.255**	**112.036**	**2.152.291**		**2.152.291**

Πίνακ. 7- 2 Ανάγκες άρδευσης σε m^3/μήνα/στρέμμα ανά καλλιέργεια (μοντέλο AGWAT)

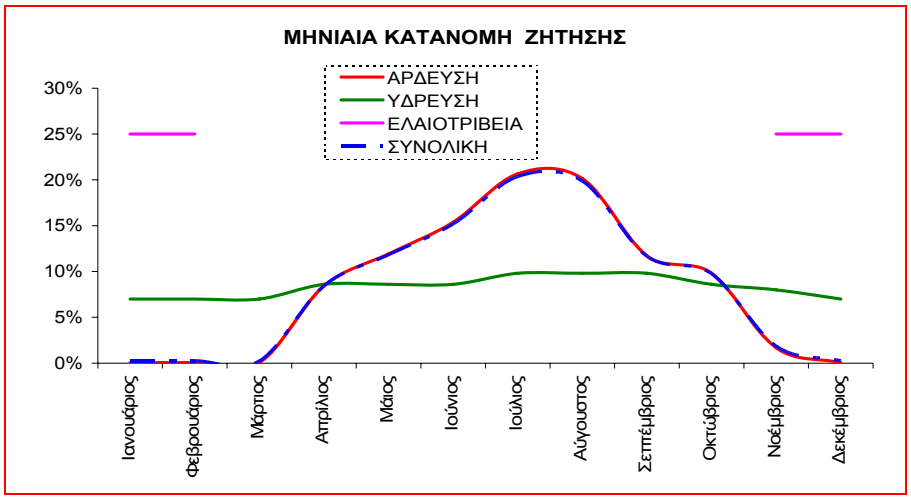
	Ελιές (m^3/στρέμμα)				Αμπέλι (m^3/στρέμμα)			
Μήνας-έτος	**Αστε-ρούσια**	**Κόφινα**	**Γόρτυνα**	**Μοίρες**	**Αστε-ρούσια**	**Κόφινα**	**Γόρτυνα**	**Μοίρες**
Ιαν-94	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Φεβ-94	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Μαρ-94	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Απρ-94	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Μαϊ-94	31.27	0.00	43.35	43.35	40.56	0.00	63.65	63.65
Ιουν-94	50.40	49.22	56.11	56.11	62.36	35.31	71.43	71.43
Ιουλ-94	55.16	65.06	55.32	55.32	92.04	107.10	91.06	91.06
Αυγ-94	55.53	70.67	59.97	59.97	96.12	122.46	103.80	103.80
Σεπ-94	50.61	68.39	54.27	54.26	79.40	107.16	85.05	85.05
Οκτ-94	24.29	18.36	29.35	29.35	42.90	35.53	49.11	49.11
Νοε-94	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Δεκ-94	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Σύνολο 1994	**267.27**	**271.69**	**298.38**	**298.35**	**413.38**	**407.55**	**464.10**	**464.10**
Ιαν-96	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ιαν-96	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ιαν-96	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ιαν-96	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ιαν-96	16.37	0.00	25.54	25.92	21.23	0.00	37.49	38.05
Ιαν-96	51.23	40.32	55.12	55.11	63.39	30.09	70.17	70.17
Ιαν-96	51.35	62.40	54.01	54.01	85.67	106.84	88.91	88.91
Ιαν-96	57.20	67.46	63.03	63.02	99.02	121.58	109.10	109.10
Ιαν-96	48.11	44.06	49.11	49.11	75.48	71.80	76.97	76.98
Ιαν-96	0.88	0.00	0.00	0.00	1.56	0.00	0.00	0.00
Ιαν-96	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ιαν-96	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Σύνολο 1996	**225.15**	**214.25**	**246.82**	**247.18**	**346.34**	**330.31**	**382.65**	**383.21**

Πίνακ. 7- 3 Ανάγκες Καλλιεργειών σε νερό άρδευσης (σε m^3/στρέμμα/έτος)

Καλλιέργεια	Διαχειριστική μελέτη Κρήτης		Υιοθετηθείσες ανάγκες για την Μεσαρά
	Θεωρητικές ανάγκες	Υιοθετηθείσες ανάγκες	
(1)	(2)	(3)	(4)
Αμπέλια	178	300-350	350
Κτηνοτροφικά φυτά	-	700	-
Ελιές	314	250	280
Κηπευτικά υπαίθρου	570	450	450
Θερμοκήπια	435	650	650
Οπωρώνες	462	500	500
Πατάτες-Μποστάνια	570	450	450
Υποτροπικά	-	600	-

Πίνακ. 7- 4 Αρδευτικές περίοδοι ανά καλλιέργεια

Καλλιέργεια	Αρδευτική περίοδος
Αμπέλια	1 ΑΠΡ – 30 ΙΟΥΛ (31 ΑΥΓ για τα υπό κάλυψη)
Κτηνοτροφικά φυτά	1 ΑΠΡ – 30 ΟΚΤ
Ελιές	1 ΑΠΡ – 30 ΟΚΤ
Κηπευτικά υπαίθρου	1 ΑΠΡ – 30 ΝΟΕ
Θερμοκήπια	1 ΙΑΝ – 31 ΔΕΚ
Οπωρώνες	1 ΑΠΡ – 30 ΟΚΤ
Πατάτες-Μποστάνια	1 ΑΠΡ – 30 ΟΚΤ
Υποτροπικά	1 ΑΠΡ – 30 ΟΚΤ



Εικόνα 7- 1 Μηνιαία κατανομή ζήτησης στη λεκάνη της Μεσαράς

Πίνακ. 7- 5 Καλλιεργούμενες και αρδευόμενες εκτάσεις (στρ) και θεωρητική ζήτηση τοπικών διαμερισμάτων λεκάνης Μοιρών

ΛΕΚΑΝΗ	Δημοτικό Διαμέρισμα	Αμπέλια		Αροτραίες		Ελιές		Θερμοκηπιακές καλλιέργειες		Κηπευτικά υπαίθρια		Οπωρώνες		Πατάτες - Μποστάνια		Λοιπές Καλλιέργειες		Αγρανα-παύσεις
		Σύν ολο	Αρδ ευθ,	Σύν ολο	Αρδ ευθ,	Σύν ολο	Αρδ ευθ,	Σύν ολο	Αρδ ευθ,	Σύν ολο	Αρδ ευθ,	Σύν ολο	Αρδ ευθ,	Σύν ολο	Αρδ ευθ,	Σύν ολο	Αρδ ευθ,	Σύν ολο
ΜΟΙΡΩΝ-ΓΑΛΙΑ	Σίβα	12	12	675	0	4.020	1.585	20	20	625	625	15	15	185	185	0	0	3.646
	Καμηλαρίου	16	16	343	0	4.830	2.522	32	32	675	675	128	128	250	250	0	0	3.170
	Μοιρών	2.200	2.200	2.000	0	5.250	5.250	335	335	1.300	1.300	130	130	600	600	900	900	6.020
	Αληθινής	120	120	300	0	1.850	1.850	0	0	230	230	40	40	30	30	180	130	0
	Κουσέ	10	10	170	0	1.400	1.400	20	20	135	135	70	70	80	80	120	120	7
	Περίου	315	315	646	0	1.420	1.420	15	15	846	846	75	75	240	240	800	800	564
	Πετροκεφαλίου	13	13	1.400	0	3.000	3.000	60	60	651	651	30	30	185	185	540	540	0
	Πόμπιας	500	500	750	0	6.500	6.500	30	30	5.700	5.700	100	100	150	150	360	360	5.747
	Καστελλίου	1.100	1.100	450	0	2.500	2.500	13	13	20	20	35	35	80	80	16	16	4.105
	Αγίων Δέκα	315	292	2.540	0	5.897	4.077	20	20	203	203	73	73	310	310	0	0	5.177
	Αμπελούζου	262	262	377	0	4.720	3.854	20	20	50	50	146	146	88	88	0	0	637
	Απεσωκαρίου	103	103	230	0	1.080	1.080	0	0	220	220	35	35	95	95	0	0	737
	Μητροπόλεως	0	0	210	0	2.600	1.000	6	6	109	109	7	0	125	125	0	0	1.139
	Πλατάνου	120	120	380	0	2.500	1.900	9	9	275	275	8	0	150	150	0	0	2.566
	Πλώρας	215	215	595	0	2.155	2.083	155	155	100	100	17	17	506	506	0	0	1.557
	Χουστουλιανών	1.030	950	789	0	12.094	7.992	60	60	110	110	8	8	735	735	0	0	2.194
	ΣΥΝΟΛΟ	6.303	6.200	11.855	0	61.816	48.013	795	795	11.249	11.249	917	902	3.809	3.809	2.916	2.866	37.266
	ΖΗΤΗΣΗ Μ3/ΕΤΟΣ		2.170.000				13.443.640		516.750		5.062.050		451.000		1.714.050		859.800	
	ΓΕΝΙΚΟ ΣΥΝΟΛΟ ΕΚΤΑΣΕΩΝ (στρέμματα)																	**136.926**
	ΓΕΝΙΚΟ ΣΥΝΟΛΟ ΑΡΔΕΥΟΜΕΝΩΝ ΕΚΤΑΣΕΩΝ (στρέμματα)																	**73.834**
	ΠΟΣΟΣΤΟ ΑΡΔΕΥΟΜΕΝΩΝ/ ΚΑΛΛΙΕΡΓΟΥΜΕΝΩΝ																	**53,9%**
	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΜΕΣΗ ΖΗΤΗΣΗ (ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ) Mm^3 /έτος																	**24,22**
	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΜΕΣΗ ΖΗΤΗΣΗ (ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ) ΣΥΜΠΕΡΙΛΑΜΒΑΝΟΜΕΝΩΝ ΤΩΝ ΑΠΩΛΕΙΩΝ Mm^3 /έτος																	**28,49**
	ΜΕΣΗ ΖΗΤΗΣΗ (m^3/ ΣΤΡΕΜΜΑ)																	**328**

Πίνακ. 7- 6 Καλλιεργούμενες και αρδευόμενες εκτάσεις (στρ) και θεωρητική ζήτηση τοπικών διαμ/μάτων λεκάνης Βαγιονιάς- Ασημίου

ΛΕΚΑΝΗ	Διαμέρισμα	Αμπέλια (οινάμπελα. υπό κάλυψη. επιτραπέζια)		Αροτραίες		Ελιές		Θερμοκηπιακές καλλιέργειες		Κηπευτικά υπαίθρια		Οπωρώνες		Πατάτες - Μποστάνια		Λοιπές Καλλιέργειες		Αγρανα παύσεις
		Σύνολο	Αρδευθ,	Σύνολο	Αρδευθ,	Σύνολο	Αρδευθ,	Σύνολο	Αρδευθ,	Σύνολο	Αρδευθ,	Σύνολο	Αρδευθ,	Σύνολο	Αρδευθ,	Σύνολο	Αρδευθ,	Σύνολο
ΒΑΓΙΟΝΙΑΣ-ΓΚΑΓΚΑΛΩΝ-ΑΣΗΜΙΟΥ	Βαγιονιάς	120	100	1.185	0	3.530	500	2	2	176	176	5	0	310	310	0	0	2.740
	Βασιλικής	145	145	330	0	8.010	5.010	0	0	36	36	96	96	75	75	0	0	208
	Βασιλικών Ανωγείων	1.490	1.290	1.225	0	5.137	1.993	0	0	252	252	7	7	1.280	1.280	0	0	1.730
	Γκαγκαλών	112	112	670	0	2.389	2.389	20	20	297	297	6	0	455	455	0	0	20
	Ασημίου	1.788	1.300	855	0	4.500	2.700	0	0	106	106	0	0	0	0	0	0	0
	Διονύσου	1.196	1.100	880	0	4.447	4.000	0	0	12	12	0	0	0	0	0	0	0
	Λουρών	350	350	869	0	5.080	4.210	0	0	50	50	0	0	0	0	0	0	0
	Σοκαρά	2.360	2.060	850	0	7.950	3.000	0	0	87	87	0	0	0	0	0	0	0
	Σταβιών	1.150	1.120	2.850	0	7.607	5.000	0	0	201	201	0	0	0	0	0	0	0
	Στερνών	599	560	849	0	4.560	4.000	0	0	89	89	0	0	0	0	0	0	0
	Στόλων	1.930	1.500	1.005	0	7.100	5.000	0	0	190	190	0	0	0	0	0	0	0
	ΣΥΝΟΛΟ ΕΚΤΑΣΕΩΝ	11.240	9.637	11.568	0	60.310	37.802	22	22	1.496	1.496	114	103	2.120	2.120	0	0	4.698
	ΖΗΤΗΣΗ Μ3/ΕΤΟΣ		3.372.950				10.584.560		14.300		673.200		51.500		954.000		0	
	ΓΕΝΙΚΟ ΣΥΝΟΛΟ ΕΚΤΑΣΕΩΝ (στρέμματα)																	**91.568**
	ΓΕΝΙΚΟ ΣΥΝΟΛΟ ΑΡΔΕΥΟΜΕΝΩΝ ΕΚΤΑΣΕΩΝ (στρέμματα)																	**51.180**
	ΠΟΣΟΣΤΟ ΑΡΔΕΥΟΜΕΝΩΝ/ ΚΑΛΛΙΕΡΓΟΥΜΕΝΩΝ																	**55,9%**
	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΜΕΣΗ ΖΗΤΗΣΗ (ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ) Mm^3 /έτος																	**15,65**
	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΜΕΣΗ ΖΗΤΗΣΗ (ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ) ΣΥΜΠΕΡΙΛΑΜΒΑΝΟΜΕΝΩΝ ΤΩΝ ΑΠΩΛΕΙΩΝ Mm^3 /έτος																	**18,41**
	ΜΕΣΗ ΖΗΤΗΣΗ (m^3/ ΣΤΡΕΜΜΑ)																	**306**

Πίνακ. 7- 7 Καλλιεργούμενες και αρδευόμενες εκτάσεις (στρ) και θεωρητική ζήτηση τοπικών διαμερισμάτων λεκάνης Χάρακα

ΛΕΚΑΝΗ	Δημοτικό Διαμέρισμα	Αμπέλια (οινάμπελα. υπό κάλυψη. επιτραπέζια)		Αροτραίες		Ελιές		Θερμοκη-πιακές καλλιέργειες		Κηπευτικά υπαίθρια		Οπωρώνες		Πατάτες - Μποστάνια		Λοιπές Καλλιέργειες		Αγραναπαύσεις
		Σύνολο	Αρδευθ,	Σύνολο	Αρδευθ,	Σύνολο	Αρδευθ,	Σύνολο	Αρδευθ,	Σύνολο	Αρδευθ,	Σύνολο	Αρδευθ,	Σύνολο	Αρδευθ,	Σύνολο	Αρδευθ,	Σύνολο
ΧΑΡΑΚΑ	Πύργου	2.230	700	880	0	8.505	1.500	0	0	695	430	0	0	0	0	0	0	0
	Λιγορτύνου	3.515	3.300	1.360	0	6.137	4.000	0	0	1.007	507	0	0	0	0	0	0	0
	Μεσοχωρίου	1.760	1.760	1.830	0	6.030	2.300	0	0	331	261	0	0	0	0	0	0	0
	Προτορίων	1.660	1.500	1.129	0	2.700	2.000	0	0	174	174	0	0	0	0	0	0	0
	Ροτασίου	700	700	505	0	5.000	4.000	0	0	205	205	0	0	0	0	0	0	0
	Χάρακος	3.720	3.720	760	0	10.000	9.000	0	0	1.760	1.560	0	0	0	0	0	0	0
	ΣΥΝΟΛΟ ΕΚΤΑΣΕΩΝ	13.585	11.680	6.464	0	38.372	22.800	0	0	4.172	3.137	0	0	0	0	0	0	0
	ΖΗΤΗΣΗ Μ3/ΕΤΟΣ		4.088.000				6.384.000		0		1.411.650		0		0		0	
	ΓΕΝΙΚΟ ΣΥΝΟΛΟ ΕΚΤΑΣΕΩΝ (στρέμματα)																	**62.593**
	ΓΕΝΙΚΟ ΣΥΝΟΛΟ ΑΡΔΕΥΟΜΕΝΩΝ ΕΚΤΑΣΕΩΝ (στρέμματα)																	**37.617**
	ΠΟΣΟΣΤΟ ΑΡΔΕΥΟΜΕΝΩΝ/ ΚΑΛΛΙΕΡΓΟΥΜΕΝΩΝ																	**60,1%**
	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΜΕΣΗ ΖΗΤΗΣΗ (ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ) Mm^3 /έτος																	**11,88**
	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΜΕΣΗ ΖΗΤΗΣΗ (ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ) ΣΥΜΠΕΡΙΛΑΜΒΑΝΟΜΕΝΩΝ ΤΩΝ ΑΠΩΛΕΙΩΝ Mm^3 /έτος																	**13,98**
	ΜΕΣΗ ΖΗΤΗΣΗ (m^3/ ΣΤΡΕΜΜΑ)																	**316**

Πίνακ. 7- 8 Καλλιεργούμενες και αρδευόμενες εκτάσεις (στρ) και θεωρητική ζήτηση λεκάνης Μεσαράς

ΛΕΚΑΝΗ	Δημοτικό Διαμέρισμα	Αμπέλια (οινάμπελα. υπό κάλυψη. επιτραπέζια)		Αροτραίες		Ελιές		Θερμοκη-πιακές καλλιέργειες		Κηπευτικά υπαίθρια		Οπωρώνες		Πατάτες - Μποστάνια		Λοιπές Καλλιέργειες		Αγραναπ αύσεις
		Σύνολο	Αρδευθ,	Σύνολο	Αρδευθ,	Σύνολο	Αρδευθ,	Σύνολο	Αρδευθ,	Σύνολο	Αρδευθ,	Σύνολο	Αρδευθ,	Σύνολο	Αρδευθ,	Σύνολο	Αρδευθ,	Σύνολο
ΣΥΝΟΛΟ ΜΕΣΑΡΑΣ	ΣΥΝΟΛΟ ΕΚΤΑΣΕΩΝ	31.128	27.517	29.887	0	160.498	108.615	817	817	16.917	15.882	1.031	1.005	5.929	5.929	2.916	2.866	41.964
	ΖΗΤΗΣΗ Μ3/ΕΤΟΣ		9.630.950				30.412.200		531.050		7.146.900		502.500		2.668.050		859.800	
	ΓΕΝΙΚΟ ΣΥΝΟΛΟ ΕΚΤΑΣΕΩΝ (στρέμματα)																	**291.087**
	ΓΕΝΙΚΟ ΣΥΝΟΛΟ ΑΡΔΕΥΟΜΕΝΩΝ ΕΚΤΑΣΕΩΝ (στρέμματα)																	**162.631**
	ΠΟΣΟΣΤΟ ΑΡΔΕΥΟΜΕΝΩΝ/ ΚΑΛΛΙΕΡΓΟΥΜΕΝΩΝ																	**55,9%**
	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΜΕΣΗ ΖΗΤΗΣΗ (ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ) Mm^3 /έτος																	**51,75**
	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΜΕΣΗ ΖΗΤΗΣΗ (ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ) ΣΥΜΠΕΡΙΛΑΜΒΑΝΟΜΕΝΩΝ ΤΩΝ ΑΠΩΛΕΙΩΝ Mm^3 /έτος																	**60,88**
	ΜΕΣΗ ΖΗΤΗΣΗ (m^3/ ΣΤΡΕΜΜΑ)																	**318**

7.1.2. Προσφορά –υδατικοί πόροι

7.1.2.1 Επιφανειακό υδατικό δυναμικό - υδροληπτικά έργα

Το επιφανειακό υδατικό δυναμικό της περιοχής μελέτης αναλύεται λεπτομερώς στο κεφάλαιο 3 της επιφανειακής απορροής. Εδώ, θα αναφερθούμε μόνο στα υδροληπτικά έργα αποθήκευσης των επιφανειακών νερών που λειτουργούν ή έχει προταθεί η κατασκευή τους από κάποιο φορέα (βλέπε χάρτη Εικόνα 7- 1 και Εικόνα 7- 2).

Στην περιοχή μελέτης έχουν κατασκευασθεί τρία μικρά έργα ταμίευσης νερού:

- Η λιμνοδεξαμενή της Γέργερης που βρίσκεται στο άνω ρου της λεκάνης του Ληθαίου και τροφοδοτείται από τις χειμερινές εκροές των ομώνυμων πηγών. Η χωρητικότητά της ανέρχεται σε 0,244 Mm^3.
- Οι λιμνοδεξαμενές των Δαμανίων και Μεταξοχωρίου που βρίσκονται στον άνω ρου του Αναποδάρη – Πλακιώτισας και ανάντη του υπό κατασκευή φράγματος Πλακιώτισας, χωρητικότητας 0,6 Mm^3 και 0,5 Mm^3 αντίστοιχα.

Επίσης, έχει κατασκευασθεί τσιμέντινο φράγμα εκτροπής υδάτων στη λεκάνη των Μοιρών στην τοποθεσία Λίσματα του δημοτικού διαμερίσματος Μοιρών και στον κύριο ρου του Γεροποτάμου, με χαρακτηριστικά: μήκος 40 m πλάτος 2,5 m και ύψος 2,6 m. Μέρος των απορροών του Γεροποτάμου εκτρέπονται σε στραγγιστικά κανάλια μήκους συνολικού μήκους 35 Km με σκοπό τον εμπλουτισμό του υδροφορέα. Σύμφωνα με τους περιβαλλοντικούς όρους του έργου εκτρέπεται μόνο το πλημμυρικό νερό του Γεροποτάμου προς τα κανάλια.

Από τα προτεινόμενα έργα, το φράγμα Πλακιώτισας έχει δημοπρατηθεί και η κατασκευή του θα ξεκινήσει άμεσα. Το φράγμα θα αποθηκεύσει απορροές του υδρορεύματος Αναποδάρη- Πλακιώτισας. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του είναι:
χωρητικότητα 18,6 Mm^3, επιφάνεια λίμνης 1560 στρέμματα, υψόμετρο στέψης +283 m ανώτατη στάθμη 277 m κατώτατη στάθμη ύδατος +258 m
Σύμφωνα με τους περιβαλλοντικούς όρους του έργου η συνολική ετήσια διατιθέμενη ποσότητα ύδατος προς άρδευση δεν θα υπερβαίνει τα 7,1 Mm^3. Η οικολογική παροχή κατάντη του φράγματος για τη διατήρηση των υγροτοπικών συστημάτων ορίσθηκε στο 1/3 της μέσης παροχής του Ιουνίου δηλαδή ίση με 0,03 m^3/sec και τους υπόλοιπους μήνες ίση με 20% της εισροής των υδάτων στον ταμιευτήρα.

Ακόμα, έχουν προτεθεί τα έργα:

- Φράγμα Ληθαίου. Το έργο χωροθετείται στο υδρόρευμα του Ληθαίου ανάντη των αρχαιοτήτων της Γόρτυνας. Το Φράγμα αρχικά είχε προταθεί από τον FAO να λειτουργήσει για αποθήκευση των επιφανειακών απορροών του ομώνυμου υδρορεύματος. Σήμερα, προτείνεται να λειτουργήσει ως φράγμα κυρίως τεχνικού εμπλουτισμού και ανάσχεσης πλημμυρών και δευτερευόντως ως φράγμα αποθήκευσης για την άρδευση του ΒΑ τμήματος της λεκάνης των Μοιρών. Η χωρητικότητα του φράγματος προτείνεται σε 5 Mm^3. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι εναλλακτικές προτάσεις για μικρότερα φράγματα έχουν προταθεί στην ίδια υπολεκάνη του Ληθαίου από τους δήμους της περιοχής.

- Στις απορροές των Αστερουσίων με τη συμβολή τους με τον κύριο ρου του Γεροποτάμου έχουν προταθεί οι λιμνοδεξαμενές Στερνών και Σταβιών χωρητικότητας 250.000 m^3 και 500.000 m^3 αντίστοιχα.
- Στις απορροές των Αστερουσίων με τη συμβολή τους με τον Αναποδάρη έχουν προταθεί οι λιμνοδεξαμενές Χάρακα και Μεσοχωριού χωρητικότητας 500.000 m^3 και 1.700.000 m^3 αντίστοιχα.

Επίσης, εδώ θα πρέπει να αναφερθεί και το αρδευτικό φράγμα της Φανερωμένης που ευρίσκεται στην όμορη λεκάνη (ανατολικά) του Κουτσουλίδη-Τυμπακίου που η κατασκευή του έχει ολοκληρωθεί και τα αρδευτικά δίκτυα διανομής νερού βρίσκονται υπό κατασκευή. Η μέση ετήσια απορροή στη θέση υπολογίζεται σε 9,4 Mm^3 με πιθανότητα ίση ή υπέρβασης 50% (ο μέσος ετήσιος όγκος των ετών 1987-1993 υπολογίζεται σε 11,5 Mm^3) και ο όγκος αποθήκευσης είναι 19 Mm^3. Ο όγκος απορροής σήμερα είναι μικρότερος λόγω της δέσμευσης ποσοτήτων νερού από τις πηγές Ζαρού (ύδρευση- εμφιάλωση)

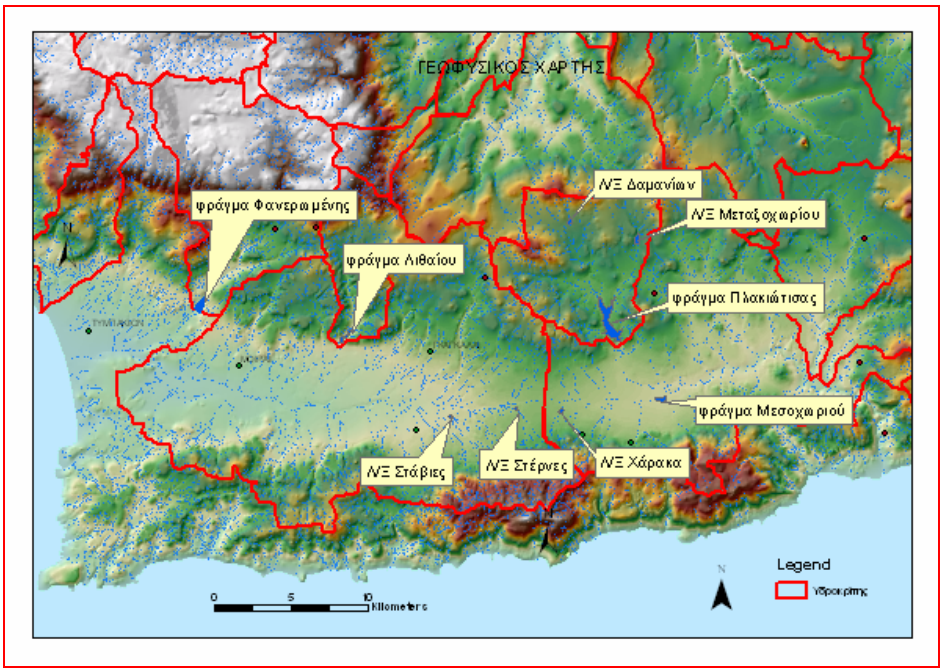
Ο λόγος που το φράγμα Φανερωμένης αναφέρεται εδώ είναι γιατί αφενός θα αρδεύσει το δυτικό τμήμα της λεκάνης των Μοιρών (έργο ΤΟΕΒ Α΄ και Β΄ ζώνης) και αφετέρου στο σχεδιασμό του έχει υπερδιαστασιολογηθεί με σκοπό να μεταφερθούν και να αποθηκευτούν απορροές από το γειτνιάζουσα λεκάνη του Πλατύ ποταμού. Η μέση απορροή του Πλατύ ποταμού ανέρχεται 50,8 Mm^3. Από αυτά, σύμφωνα με τον αρχικό σχεδιασμό, προβλέπεται να αποθηκευτούν 20 Mm^3 στη λεκάνη του Πλατύ με την κατασκευή ενός φράγματος και άλλα 20 Mm^3 θα μεταφερθούν για τον εμπλουτισμό του φράγματος Φανερωμένης και του υδροφορέα της πεδιάδας της Μεσαράς (λεκάνη Μοιρών).

7.1.2.2 Υπόγειο υδατικό δυναμικό – υδροληπτικά έργα

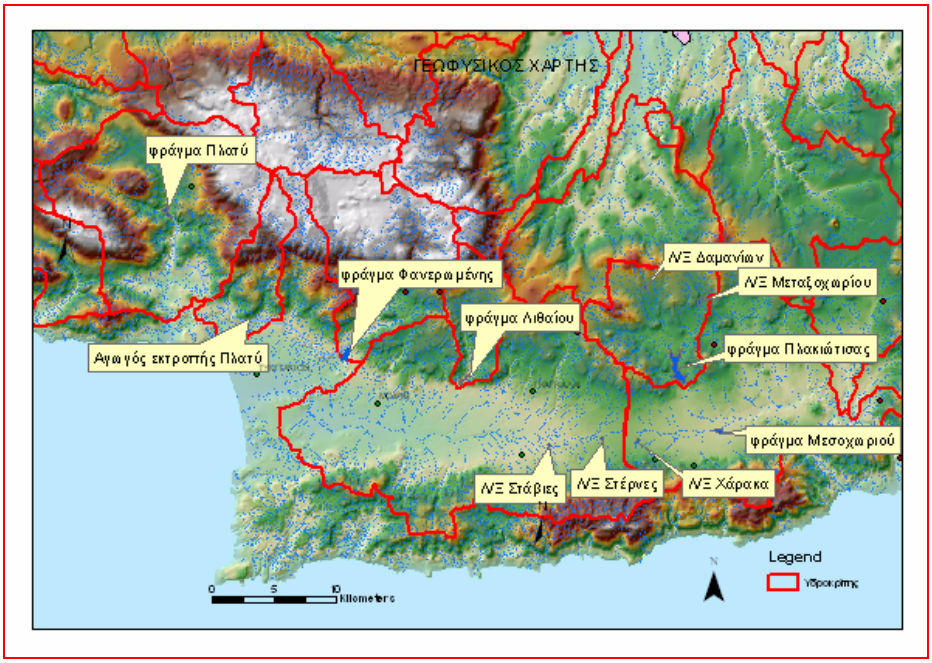
Το υπόγειο υδατικό δυναμικό λεπτομερώς παρουσιάζεται στα κεφάλαια 5 και 6. Επίσης στα κεφάλαια αυτά παρουσιάζονται και τα έργα υδρογεωτρήσεων ταξινομημένα ανά δημοτικό διαμέρισμα. Συνολικά, το έτος 2004 απογράφησαν 848 λειτουργούσες γεωτρήσεις στη λεκάνη της Μεσαράς και υπολογίσθηκαν οι επιπτώσεις στον υδροφορέα με βάση τις αντλήσεις αυτών των γεωτρήσεων. Το υδρογεωλογικό σύστημα της Μεσαράς χαρακτηρίζεται «υπό πίεση»-υπερεκμετάλλευση καθότι οι αντλήσεις υπερβαίνουν τα ετήσια ανανεώσιμα υδατικά αποθέματα του συστήματος κατά μέσο όρο κατά 9,7 Mm^3.

Εδώ Θα πρέπει να τονιστεί ιδιαίτερα ότι παρά την κατάσταση αυτή το έτος 2007 εκδόθηκαν 353 άδειες για την κατασκευή νέων γεωτρήσεων και αν προσθέσουμε τις παράνομες (μη αδειοδοτημένες) γεωτρήσεις που έχουν ανορυχθεί από την απογραφή (2004) μέχρι το 2007, οι οποίες εκτιμώνται σε 200, τότε οι γεωτρήσεις στη λεκάνη της Μεσαράς θα πρέπει να είναι της τάξης των 1400.

Η λειτουργία των νέων γεωτρήσεων θα επιφέρει την ταχύτερη ταπείνωση του υδροφόρου ορίζοντα και τις συνεπακόλουθες επιπτώσεις στο περιβάλλον και στα υδροληπτικά έργα.



Εικόνα 7- 1 Έργα ταμίευσης νερών Μεσαράς
(προτεινόμενα – υφιστάμενα)



Εικόνα 7- 2 Έργα ταμίευσης νερών ευρύτερης περιοχής Μεσαράς
(προτεινόμενα – υφιστάμενα)

Επιπρόσθετα, θα πρέπει να τονιστεί ότι λόγω της πλειονότητας των ιδιωτικών γεωτρήσεων, 92% το έτος 2004 – 95% το έτος 2008, με εξαίρεση την περιοχή του δήμου Μοιρών, είναι ουσιαστικά αδύνατο να καταγραφούν και να ελεχθούν οι αντλούμενες ποσότητες. Η μέχρι σήμερα πρακτική για τον έλεγχο και την προστασία του υδροφορέα είναι να εκδίδονται πράξεις της διοίκησης (κανονιστικές αποφάσεις Νομαρχών ή του Γενικού Γραμματέα Περιφέρειας) και να επιβάλλονται συγκεκριμένα «απαγορευτικά» και «προστατευτικά» μέτρα, μέτρα αυστηρά μεν αλλά είναι πρακτικά δύσκολο να εφαρμοσθούν λόγω των ιδιωτικών γεωτρήσεων, όπως άλλωστε πιστοποιεί η μέχρι σήμερα κατάσταση.

Γενικότερα, η μέγιστη ποσότητα νερού που είναι διαθέσιμη από μια υδρογεωλογική λεκάνη σε ετήσια βάση περιορίζεται από τα ανεπιθύμητα αποτελέσματα που μπορεί να προκληθούν από τις αντλήσεις και τη λειτουργία της λεκάνης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να έχουν διατυπωθεί διάφορες έννοιες για την απόδοση (παροχή) μιας λεκάνης. Εδώ θα αναφερθούμε στους όρους που προτείνονται από τον Todd (1980) :

- Εξορύξιμη απόδοση. Όταν γίνεται απόληψη του νερού μεγαλύτερη από τον εμπλουτισμό. Η απόδοση αυτή οδηγεί βαθμιαία στην εξάντληση της υδρογεωλογικής λεκάνης.
- Διαρκής απόδοση. Είναι η απόληψη νερού που μπορεί να αντλείται καθ' όλη τη διάρκεια ενός έτους κάτω από καθορισμένες λειτουργίες χωρίς να προκληθούν ανεπιθύμητα αποτελέσματα όπως: (1) προοδευτική μείωση των υδατικών πόρων, (2) δημιουργία αντιοικονομικών συνθηκών, (3) υποβάθμιση της ποιότητας του νερού, (4) κοινωνικές συγκρούσεις με υφιστάμενους χρήστες και (5) καθίζηση του εδάφους λόγω πτώσης της υδροστατικής στάθμης.
- Μεταβαλλόμενη διαρκής απόδοση. Η μεταβαλλόμενη διαρκής απόδοση συνίσταται στην εφαρμογή δύο διαφορετικών παροχών άντλησης. Η αρχική παροχή υπερβαίνει τη διαρκή απόδοση και προκαλεί πτώση της στάθμης. Αυτή η άντληση δεν προκαλεί ανεπιθύμητα αποτελέσματα στη λεκάνη, καθώς ταπεινώνει μερικά τη στάθμη με στόχο να μηδενίσει ή να ελαττώσει τις υπόγειες διαφυγές και τις απώλειες λόγω εξατμισοδιαπνοής. Η τελευταία λαμβάνει χώρα όταν η στάθμη είναι κοντά στην επιφάνεια. Όταν η στάθμη κατέβει σε ένα προκαθορισμένο βάθος τότε εφαρμόζεται μικρότερη παροχή άντλησης ώστε να δημιουργηθούν συνθήκες ισορροπίας ανάμεσα στις εισροές και τις εκροές της λεκάνης.
- Μέγιστη διαρκής απόδοση Αυτή προϋποθέτει την ανάπτυξη στο μέγιστο δυνατό βαθμό του εμπλουτισμού και ο υδροφορέας πρέπει να υποστεί διαχείριση ως μια ενότητα. Έτσι η αποτελεσματική και οικονομική παραγωγή νερού προϋποθέτει ότι η άντληση, η εισαγωγή και η διανομή νερού γίνονται με τέτοιο τρόπο ώστε να επιτευχθεί η μέγιστη απολήψιμη ποσότητα νερού, με τον πλέον οικονομικό τρόπο και χωρίς ανεπιθύμητα αποτελέσματα. Εάν στη λεκάνη υπάρχουν και επιφανειακά νερά θα πρέπει να γίνεται συνδυασμένη χρήση η οποία παρέχει τη μεγαλύτερη απόληψη και με τον πλέον οικονομικό τρόπο σε σχέση από τη μεμονωμένη ανάπτυξη των δυο πηγών νερού (επιφανειακά ή υπόγεια).

7.1.2.3 Συνδυασμένη χρήση επιφανειακών και υπόγειων υδάτων

Η πλήρης αξιοποίηση των υδατικών πόρων μιας λεκάνης, ιδιαίτερα για τις ξηροθερμικές κλιματικές συνθήκες που επικρατούν στην Κρήτη, επιτυγχάνεται με βέλτιστο τρόπο μόνο κατόπιν με συνδυασμένη χρήση των υπόγειων και των επιφανειακών υδάτων. Η συνδυασμένη αυτή χρήση επιβάλλεται να υλοποιείται βάση ενός σχεδίου διαχείρισης που να αποβλέπει στην ικανοποίηση της ζήτησης μέσω της βέλτιστης χρήσης των υδάτων και με γνώμονα την αειφόρο διαχείριση της λεκάνης. Η συνδυασμένη χρήση πλεονεκτεί έναντι της μεμονωμένης χρήσης, δηλαδή μόνο των επιφανειακών ή μόνο των υπόγειων υδάτων, γιατί μπορεί να αποδώσει μεγαλύτερες ποσότητες υδατικών πόρων με τον οικονομικότερο τρόπο και με σεβασμό στο περιβάλλον.

Η έννοια της συνδυασμένης χρήσης επιφανειακού και υπόγειου νερού καθιστά αναγκαίο την εναποθήκευση του επιφανειακού νερού σε ταμιευτήρες, οι οποίοι όμως συγχρόνως να ρυθμίζουν και τη ροή των υδρορευμάτων ώστε να έχουμε το μέγιστο δυνατό εμπλουτισμό των υδροφόρων και τα αποθέματα αυτά να χρησιμοποιηθούν την περίοδο αιχμής των αναγκών.

Ένα έργο αποθήκευσης επιφανειακού νερού για άρδευση θα πρέπει να σχεδιάζεται για τις συνθήκες της Κρήτης έτσι ώστε να λειτουργεί σε υπερετήσια βάση, δηλαδή η ετήσια χρησιμοποιούμενη ποσότητα νερού να είναι μικρότερη από την αποθηκευτικότητα του φράγματος και κατά τα ξηρά έτη να υπάρχει εναποθηκευμένος όγκος νερού από τα προηγούμενα έτη για να καλύψει, τουλάχιστο εν μέρη, τις ανάγκες. Αυτός όμως ο σχεδιασμός προϋποθέτει να κατασκευάζονται φράγματα με μεγάλη αποθηκευτικότητα και συνεπακόλουθα υψηλό κόστος κατασκευής. Για παράδειγμα το φράγμα Πλακιώτισας (βλέπε παράγραφο 7.1.2.1) ο όγκος αποθήκευσης ανέρχεται σε 18,6 Mm^3 και η ετήσια χρησιμοποιούμενη ποσότητα σε 7,1 Mm^3 (ποσοστό 38%). Απεναντίας, τα μικρότερα φράγματα και οι λιμνοδεξαμενές συνήθως σχεδιάζονται να λειτουργούν σε ετήσια βάση με αστοχία 10%, δηλαδή η πιθανότητα να μην πληρωθούν είναι μία φορά στα δέκα χρόνια.

Από την άλλη μεριά οι υδροφορείς μπορούν να αποθηκεύουν ύδατα και να καλύψουν τις ανάγκες σε ξηρά έτη όταν οι ταμιευτήρες των επιφανειακών νερών δεν πληρώνονται. Έτσι θα δημιουργείται κυκλικά υποβιβασμός της στάθμης του υπόγειου υδροφορέα κατά την αλληλουχία των ξηρών ετών, ενώ η στάθμη θα ανέρχεται κατά τη διάρκεια των υγρών ετών. Κατά τη διάρκεια των υγρών ετών το επιφανειακό νερό χρησιμοποιείται στη μέγιστη δυνατή έκταση ενώ παράλληλα χρησιμοποιείται και για τεχνητό εμπλουτισμό των υπόγειων υδροφορέων και συνεπακόλουθα αυξάνονται τα υπόγεια αποθέματα και ανέρχεται η στάθμη του υδροφορέα. Αντίστροφα κατά τη διάρκεια των ξηρών ετών με περιορισμένους επιφανειακούς πόρους οι ανάγκες συμπληρώνονται με την άντληση μεγαλύτερων ποσοτήτων από τα υπόγεια ύδατα και επομένως επέρχεται ταπείνωση της στάθμης του υδροφορέα.

Αυτή η δυνατότητα της προσέγγισης με συνδυασμένη χρήση εξαρτάται από τη δυνατότητα λειτουργίας της λεκάνης σε μια κλίμακα μεταβολής των υπόγειων

υδροστατικών σταθμών, που σημαίνει ότι πρέπει να υπάρχει χώρος να αποθηκευτεί νερό με εμπλουτισμό και αντίστροφα να υπάρχει νερό στην αποθήκευση για να αντληθεί όταν χρειασθεί.

Η διαχείριση των νερών με συνδυασμένη χρήση απαιτεί φυσικές δυνατότητες για τη διανομή του νερού, για τον τεχνητό εμπλουτισμό και για την άντληση. Η διαδικασία επιβάλλει προσεκτικό σχεδιασμό ώστε να βελτιστοποιεί τη χρήση των επιφανειακών και των υπόγειων υδάτων. Μια τέτοια λειτουργία είναι συνήθως αρκετά πολύπλοκη και τεχνοκρατική, και απαιτεί ικανό προσωπικό και λεπτομερή γνώση της υδρογεωλογίας της λεκάνης. Για την εφαρμογή της μεθόδου απαιτείται η πλήρης γνώση των επιφανειακών και των υπόγειων υδατικών πόρων, ιστορικά δεδομένα των αντλήσεων και των υδροστατικών σταθμών και διαρκείς καταγραφές της υπόγειας στάθμης και της ποιότητας των νερών (Todd, 1980).

Επομένως, η διαχείριση της συνδυασμένης χρήσης απαιτεί δεδομένα των επιφανειακών υδάτων, καλή γνώση των γεωλογικών και υδρογεωλογικών συνθηκών, δεδομένα διανομής και χρήσης του νερού. Επίσης είναι αναγκαία και η γνώση της διάθεσης των υγρών αποβλήτων εντός της λεκάνης. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι τα μαθηματικά ομοιώματα συνήθως συνεργάζονται σε τέτοιες μελέτες. Τα μαθηματικά ομοιώματα προσομοιώνουν τη υδροδυναμική λειτουργία του συστήματος και την απόκρισή τους στις μεταβαλλόμενες συνθήκες πίεσης της λεκάνης τόσο των φυσικών όσο και των τεχνιτών (εμπλουτισμός, αντλήσεις) έτσι ώστε να προκύπτει η βέλτιστη λειτουργία που μπορεί να διαχρονικά εφαρμοσθεί. Το αποτέλεσμα της παραπάνω προσέγγισης είναι η βελτιστοποίηση της προσφοράς νερού από τη λεκάνη και η αποφυγή ανεπιθύμητων περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

Επειδή, κάθε έργο ανάπτυξης υδατικών πόρων είναι μοναδικό, είναι αδύνατη η παρουσίαση οικονομικών θεωρήσεων που να εφαρμόζονται σε κάθε λεκάνη και για τις οιαδήποτε συνθήκες. Ωστόσο, γενικά τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα, κυρίως οικονομικά, της συνδυασμένης χρήσης των υδάτων μιας λεκάνης σε σχέση με την επιφανειακή αποθήκευση δίνονται στον **Πίνακ. 7- 9**:

Πίνακ. 7- 9 Συνδυασμένη χρήση υδάτων

(από Todd)

Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
1. Μεγαλύτερη διατήρηση του νερού	1. Μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας - μικρότερη παραγωγή ενέργειας
2. Μικρότερη επιφανειακή αποταμίευση του νερού	2. Μεγαλύτερη αλατότητα του νερού
3. Μικρότερη εξάτμιση	3. Πιο πολύπλοκο έργο
4. Μικρότερα συστήματα διανομής νερού και συστημάτων στράγγισης	4. Δυσκολότερη κατανομή κόστους
5. Αποτελεσματικότερος έλεγχος εκροών	5. Απαραίτητος ο τεχνικός εμπλουτισμός
6. Ελάπτωση των διατομών καναλιών	6. Κίνδυνος καθιζήσεων.
7. Μεγαλύτερος έλεγχος στις πλημμύρες	7. Μείωση της απόδοσης των αντλητικών συγκροτημάτων
8. Ανάπτυξη έργων κατά στάδια- ελάπτωση αστοχιών	
9. Μικρότερο κόστος κατασκευής των υδροληπτικών έργων	
10. Μικρότερος κίνδυνο από κατάρρευση φραγμάτων	
11. Καλύτερος χρόνος στη διανομή του νερού .	

Συνοψίζοντας, η βέλτιστη διαχείριση μιας υδρογεωλογικής λεκάνης, που αποσκοπεί στη μέγιστη δυνατή χρήση των υδάτων, μπορεί να επιτευχθεί με τη συνδυασμένη χρήση επιφανειακών και υπόγειων υδάτων, και σε μια τέτοια λειτουργία το κόστος νερού και του συστήματος αποθήκευση και διανομής ελαχιστοποιείται. Οι βασικές αρχές των υπόγειων υδάτων που παράγουν βέλτιστη διαχείριση των υδατικών πόρων είναι (Fowler, 1964)

- Πρέπει να ολοκληρώνεται η ικανότητα για την επιφανειακή και υπόγεια αποθήκευση νερού ώστε να προκύψει η πιο οικονομική χρήση των τοπικών αποθηκευμένων πόρων και η βέλτιστη διατήρηση του νερού
- Το επιφανειακό σύστημα διανομής νερού πρέπει να γίνεται ώστε να επιτυγχάνεται το χαμηλότερο δυνατό κόστος νερού
- Απαιτείται ένας φορέας με πλήρεις αρμοδιότητες τόσο στη σχεδίαση και την κατανομή των έργων όσο και τη μετέπειτα λειτουργία του.
- Τέλος η σχεδίαση πρέπει να καθορίζεται για τις δυσμενέστερες δυνατές υδρολογικές συνθήκες και με βάση τις μέγιστες ανάγκες νερού.

Όσο αφορά τη μέχρι σήμερα διαχείριση των υδάτων στη λεκάνη της Μεσαράς μπορούν να διακριθούν τα παρακάτω κύρια χαρακτηριστικά της: (1) όλη η βαρύτητα έχει δοθεί στην εκμετάλλευση των υπόγειων νερών, (2) η κλιμακούμενη αύξηση των αντλήσεων μετά το έτος 1984 μέχρι τη σημερινή υπερεκμετάλλευση της λεκάνης, (3) η έλλειψη συλλογικών έργων και φορέων διανομής νερού (το 95% των αντλήσεων πραγματοποιείται από ιδιωτικές γεωτρήσεις) και (4) η έλλειψη της συνδυασμένης χρήσης υπόγειων και επιφανειακών υδάτων.

Αν υιοθετηθούν οι όροι της Διαρκούς Απόδοσης και της Μέγιστης Διαρκούς Απόδοσης (βλέπε παράγραφο 7.1.2.2) για τη διαχείριση των υδάτων λόγω των πλεονεκτημάτων της στις κλιματικές συνθήκες της Κρήτης, τότε η υφιστάμενη διαχείριση της λεκάνης της Μεσαράς θα έπρεπε να γίνεται με τη συνδυασμένη χρήση επιφανειακών υπόγειων υδάτων και με τον πλέον οικονομικό τρόπο και να έχει ως στόχο την απόληψη νερού χωρίς να προκληθούν ανεπιθύμητα αποτελέσματα, όπως: (1) προοδευτική μείωση των υδατικών πόρων, (2) δημιουργία αντιοικονομικών συνθηκών, (3) υποβάθμιση της ποιότητας του νερού, (4) κοινωνικές συγκρούσεις με υφιστάμενους χρήστες και (5) καθιζήσεις του εδάφους λόγω πτώσης της υδροστατικής στάθμης.

Δυστυχώς, η μέχρι σήμερα διαχείριση της λεκάνης της Μεσαράς έχει προκαλέσει όλα τα παραπάνω ανεπιθύμητα αποτελέσματα, αναλυτικότερα: Η προοδευτική μείωση των υδατικών πόρων αποδεικνύεται στο κεφάλαιο της υδρογεωλογίας. Η δημιουργία αντιοικονομικών συνθηκών είναι συνεπακόλουθη από τα συνεχώς αυξανόμενα βάθη αντλήσεων, από την αντικατάσταση των γεωτρήσεων με νέες σε μεγαλύτερα βάθη και βέβαια από τις επιπτώσεις λόγω έλλειψης/ μείωσης των υδατικών πόρων στο προηγουμένως αρδευόμενο σε ικανοποιητικό βαθμό φυτικό κεφάλαιο. Η υποβάθμιση της ποιότητας είναι συνεπακόλουθη της ελάττωσης της ποσότητας (αύξηση της συγκέντρωσης των ρύπων) και επιπρόσθετα η συνεχώς αυξανόμενη ποσότητα κακής ποιότητας νερών που εμπλουτίζει τον υδροφορέα από τις επιστροφές αντλήσεων λόγω των εντατικότερων καλλιεργειών. Σε αυτά προστίθενται και τα υγρά απόβλητα των ελαιουργείων και των οικιακών λυμάτων. Το τελευταίο εντάθηκε με το

σχεδιασμό των δήμων που προβλέπει να συγκεντρώνουν όλα τα οικιακά υγρά απόβλητα σε μια σηπτική δεξαμενή που βρίσκεται στο όριο του οικισμού και στη συνέχεια να απορρέουν σε παρακείμενο υδρόρευμα και να εμπλουτίζουν τον υδροφορέα, αντί της παλαιότερης πρακτικής που τα οικιακά λήμματα εναποθηκεύονταν σε οικιακούς βόθρους συνήθως περατούς, όμως επειδή η ρύπανση ήταν διάχυτη η αποικοδόμηση / διάσπαση του φορτίου ήταν αποτελεσματικότερη. Για τις κοινωνικές συγκρούσεις αρκεί κανείς να ανατρέξει στον τοπικό τύπο της Μεσαράς ή στις καταγγελίες στη τοπική αστυνομία ή στη Διεύθυνση Υδάτων. Για το τελευταίο ανεπιθύμητο αποτέλεσμα, έγινε διερεύνηση για καθιζήσεις στον υδροφορέα στις περιοχές που έχει καταγραφεί μεγάλη ταπείνωση της στάθμης. Υπάρχουν ενδείξεις καθίζησης του εδάφους, στις παλαιές γεωτρήσεις του FAO, της τάξης του 0,5 - 1 m , όμως αυτές δεν μπορούν να αποδοθούν με σιγουριά στη καθίζηση λόγω συμπίεσης από την ταπείνωση της στάθμης του υδροφορέα. Η πιθανότερη ερμηνεία είναι η «καθίζηση» να προήλθε από διάβρωση των εδαφών υποβοηθούμενης από τις εντατικές οργώσεις λόγω των καλλιεργειών. Η ασφαλής μέθοδος πιστοποίησης της καθίζησης θα ήταν εφόσον υπήρχε ένα καλό δίκτυο με ιστορικά τοπογραφικά στοιχεία να γίνει σύγκριση με τη σημερινή κατάσταση, όμως από τη διερεύνηση που έγινε τέτοια στοιχεία δεν ανευρέθηκαν. Πιθανά τέτοια στοιχεία να υπάρχουν στο στρατιωτικό αεροδρόμιο του Τυμπακίου που βρίσκεται στην όμορη λεκάνη και ο υδροφορέας έχει τα ίδια υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά, αλλά αφενός τα στοιχεία δεν είναι διαθέσιμα και αφετέρου δεν έχει υποστεί σημαντική πτώση ο υδροφορέας στην περιοχή. Επίσης στη μη ύπαρξη (σημαντικών) καθιζήσεων λόγω πτώσης της στάθμης του υδροφορέα συνηγορούν τα εξής στοιχεία: (1) η υδρογεωλογική δομή της λεκάνης που είναι διαφορετική από τις δομές που έχουν πιστοποιηθεί τέτοιες καθιζήσεις, οι οποίες λαμβάνουν χώρα όταν υπάρχουν εναλλασσόμενοι ορίζοντες περατών και αδιαπέρατων στρωμάτων και (2) δεν πιστοποιήθηκαν σημαντικές μεταβολές στα υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά της λεκάνης, στο βαθμό βέβαια της ανάλυσης που πραγματοποιήθηκε, που σε αντίθετη περίπτωση θα ελαττωνόταν το πορώδες λόγω των τάσεων συμπίεσης που αναπτύσσονται. Λεπτομερέστερη ανάλυση των καθιζήσεων κρίνεται πέρα του αντικειμένου της παρούσας εργασίας .

7.2 Μέτρα Προστασίας

7.2.1. Υφιστάμενη νομοθεσία

Η διαχείριση και η προστασία των υδάτων διέπεται από μια σειρά από νόμους, διατάγματα, διοικητικές αποφάσεις, ιδρυτικούς νόμους και οργανισμούς υπουργείων και φορέων που χρονολογούνται από το 1930 και πολλές φορές επικαλύπτονται ή έρχονται σε αντίθεση μεταξύ τους και αναφέρονται στην έρευνα, αξιοποίηση, χρήση και προστασία των υδατικών πόρων. Μπορούν να διακριθούν στο παραπάνω χρονικό διάστημα τρεις ευδιάκριτες περίοδοι κατά τις οποίες η έννοια της διαχείρισης των υδάτων οριζόταν και εφαρμοζόταν διαφορετικά: (1) ως η μέγιστη δυνατή εκμετάλλευση, (2) ως αειφόρος διαχείριση για την προστασία των υδατικών πόρων και με κύριο στόχο την άμβλυνση του ελλείμματος του ισοζυγίου προσφοράς- ζήτησης και (3) ως εφαρμογή διαχειριστικών σχεδίων και μέτρα προστασίας για την επίτευξη καλής κατάστασης. Αναλυτικότερα:

- 1η περίοδος μέχρι το έτος 1987 με κύριο στόχο της διαχείρισης την κατά το δυνατό μεγαλύτερη εκμετάλλευση των υδατικών πόρων για την ανάπτυξη της γεωργικής παραγωγής.
- 2η περίοδος από το 1987 μέχρι το 2003, με κυρίως δύο νομοθετήματα το νόμο 1739/87 και τον νόμο 1650/86 που λειτουργούσαν συμπληρωματικά και διακρίνονταν για τη διατομεακή τους αντίληψη και την ολοκληρωμένη αντιμετώπιση των υδατικών πόρων. Ο ν. 1739/87 για τη διαχείριση των υδατικών πόρων εισήγαγε την τότε σύγχρονη αντίληψη για την αντιμετώπιση του νερού στην έρευνα, τη διοίκηση και την καθημερινή πρακτική. Ο νόμος αυτός ήταν ο μοναδικός που συνέδεε τα θέματα διαχείρισης των νερών με τον προγραμματισμό της ανάπτυξης της χώρας. Δυστυχώς, οι γνωστές αδυναμίες του δημόσιου τομέα απέτρεψαν την εφαρμογή των δύο νόμων στην κλίμακα που επιβαλλόταν από το μέγεθος των προβλημάτων, με αποτέλεσμα τη συνέχιση της αποσπασματικής και ευκαιριακής αντιμετώπισης του νερού.
- 3η περίοδος από το 2003 μέχρι σήμερα με κυρίως νομοθετήματα το νόμο 3199/2003 «προστασία και διαχείριση των υδάτων – Εναρμόνιση με την οδηγία 2000/60/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του συμβουλίου της 23ης Οκτ. 2000» και τον νόμο 3010/2002 «εναρμόνιση του ν. 1650/86 με τις οδηγίες 97/11& 96/61/Ε.Ε. Η Οδηγία-Πλαίσιο αποτελεί το νέο θεσμικό εργαλείο για την Προστασία και Διαχείριση των Υδάτων, μπροστά στο πρόβλημα της έλλειψης/ επάρκειας νερού και της περιβαλλοντικής υποβάθμισης.

Ο Βασικός Στόχος της Οδηγίας 2000/60/ΕΚ είναι η επίτευξη μέχρι το 2015 της «καλής κατάστασης» για όλα τα επιφανειακά και υπόγεια νερά της Ευρώπης, μέσω της κατάρτισης ολοκληρωμένων σχεδίων διαχείρισης σε επίπεδο λεκάνης απορροής ποταμού. Η νέα θεώρηση στη διαχείριση των υδατικών πόρων που εισάγει είναι:

- Διαχείριση ανά λεκάνη ή ομάδα λεκανών απορροής
- Ενιαία θεώρηση όλων των τύπων υδατικών σωμάτων
- Διασυνοριακή συνεργασία μεταξύ χωρών
- Πλήρης καταμερισμός του συνολικού κόστους χρήσης του ύδατος κατά τομείς δραστηριότητας και ανάκτησή του, με βάση την αρχή «ο ρυπαίνων και ο χρήστης πληρώνουν»
- Εξασφάλιση της ενεργού συμμετοχής όλων των φορέων, συμπεριλαμβανομένων των μη κυβερνητικών οργανισμών και των τοπικών κοινοτήτων, στις δραστηριότητες διαχείρισης των υδάτων
- Διασφάλιση και ενίσχυση της συμμετοχής του κοινού στη λήψη αποφάσεων

Η οδηγία 2000/60/ΕΚ προβλέπει την εφαρμογή του νόμου με καθορισμένο χρονοδιάγραμμα στα παρακάτω ενδιάμεσα στάδια:

- Μέχρι το τέλος του 2003: Ενσωμάτωση της οδηγίας στην εθνική νομοθεσία, προσδιορισμός των επιμέρους λεκανών απορροής και καθορισμός των αρμοδίων Φορέων Διαχείρισης τους (Άρθρα 3 και 24).
- Μέχρι το τέλος του 2004: Προσδιορισμός, σε κάθε λεκάνη απορροής, των πιέσεων, των επιπτώσεων και των οικονομικών παραμέτρων που σχετίζονται με τη χρήση των υδάτων, καθώς και καταγραφή των προστατευμένων περιοχών (Άρθρα 5 και 6, Παραρτήματα ΙΙ και ΙΙΙ)

- Μέχρι το τέλος του 2006: λειτουργία προγραμμάτων παρακολούθησης της κατάστασης των υδάτων (Άρθρο 8).
- Μέχρι το τέλος του 2009: Εντοπισμός των μέτρων που απαιτούνται για την επίτευξη των περιβαλλοντικών στόχων που θέτει η Οδηγία, με οικονομικά αποτελεσματικό τρόπο (Άρθρο 11, Παράρτημα ΙΙΙ) καθώς και σύνταξη και δημοσιοποίηση Προγραμμάτων Διαχείρισης για κάθε λεκάνη απορροής, στα οποία θα περιλαμβάνεται και ο τελικός προσδιορισμός των ιδιαιτέρως τροποποιημένων υδατίνων σωμάτων (Άρθρα 13 και 4.3).
- Μέχρι το τέλος του 2010: Εφαρμογή τιμολογιακής πολιτικής των υδάτων (Άρθρο 9)
- Μέχρι το τέλος του 2012: Λειτουργία των Προγραμμάτων Διαχείρισης *(Άρθρο 11)*.
- Μέχρι το 2015: Πλήρης εφαρμογή των Προγραμμάτων Διαχείρισης και επίτευξη των περιβαλλοντικών στόχων *(Άρθρο 4)*.

Δυστυχώς, η μέχρι σήμερα εφαρμογή του ν. 3199/03 ακολουθεί τις αδυναμίες του προγενέστερου νόμου (1739/87).

Πέρα από το γενικότερο θεσμικό πλαίσιο, ειδικά μέτρα προστασίας για την περιοχή της Μεσαράς εφαρμόζονταν αναγόμενα από το έτος 1980 κατά αρχή για τις περιοχές που περικλείονταν εντός των ορίων δικαιοδοσίας των ΤΟΕΒ της Β΄ και Γ΄ ζώνης Μεσαράς. Στη συνέχεια, κλιμακούμενα σε αυστηρότητα μέτρα εφαρμόζονταν μετά το 1989 για όλη τη λεκάνη της Μεσαράς με κανονιστικές αποφάσεις Νομαρχών κύρια για τα υπόγεια νερά. Δυστυχώς, παρά τις ειδικές απαγορεύσεις και περιορισμούς που ορθά επιβάλλονταν, συχνά δεν εφαρμοζόταν (πχ ανόρυξη παράνομων γεωτρήσεων, αντλήσεις μεγαλύτερες από τις εγκρινόμενες, εμπορία νερού κα) λόγω της αδυναμίας ελέγχου των παραπάνω διοικητικών μέτρων με αποτέλεσμα ο υδροφορέας να έχει υποστεί υπερεκμετάλλευση.

7.2.2. Συνθήκες αναφοράς

Η διαχείριση και η προστασία των υδάτων στην περιοχή της Μεσαράς καθώς και τα μέτρα που θα ληφθούν για την επίτευξη των στόχων όπως ορίζονται από την κείμενη νομοθεσία (βλέπε προηγούμενη παράγραφο) εξαρτώνται πώς θα ορισθούν οι συνθήκες αναφοράς. Θεωρητικά μπορούν να αναφερθούν δυο ευδιάκριτες συνθήκες με γνώμονα την ποσοτική κατάσταση του υδρογεωλογικού συστήματος:

- 1η συνθήκη αναφοράς: η κατάσταση που επικρατούσε με τη μικρή εκμετάλλευση του υπόγειου υδροφορέα (πριν το έτος 1980) με κύρια χαρακτηριστικά τη μόνιμη ροή του κατάντη ρου του Γεροποτάμου και του Αναποδάρη- Λειβαδίτη καθώς και σε τμήματα στην περιοχή του Ληθαίου και της Βαγιονιάς τα οποία τροφοδοτούντο κατά τη διάρκεια της θερινής – καλοκαιρινής περιόδου από τον υπόγειο υδροφορέα.

- 2η συνθήκη αναφοράς: την εκμετάλλευση του υδροφορέα με βάση τη συνδυασμένη χρήση των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων και με

βάση τους ορισμούς της διαρκούς απόδοσης (βλέπε παράγραφο 7.1.2.2 και 7.1.2.3).

Η 1η συνθήκη αν και περιβαλλοντικά θα μπορούσε κάποιος να ισχυριστεί ότι είναι η συνθήκη αναφοράς με την οποία θα πρέπει να εφαρμοσθεί το σχέδιο διαχείρισης και τα μέτρα προστασίας καθώς οι απολήψιμες ποσότητες είναι τέτοιες που οι συνδεόμενοι/ τροφοδοτούμενοι υγρότοποι (Αναποδάτη-Λειβαδίτη και Γεροποτάμου –Πετροκεφαλίου) με το υδρογεωλογικό σύστημα λειτουργούν. Όμως, η κατάσταση αυτή θα προκαλούσε άμεσα την κατάρρευση της κοινωνικοοικονομικής δομής της περιοχής, καθότι η περιοχή είναι καθαρά γεωργική και θα έπρεπε οι χρησιμοποιούμενοι υδατικοί πόροι να ελαττωθούν σημαντικά στη τάξη του 80%, εκτός αν εφαρμόζονταν πρόσθετα μέτρα στήριξης του αγροτικού πληθυσμού παράλληλα με αναδιάρθρωση της γεωργίας ή και γενικότερα του αλλαγή αναπτυξιακού μοντέλου της περιοχής.

Η 2η συνθήκη κρίνεται ως πλέον ρεαλιστική καθώς μας επιτρέπει να εκμεταλλευθούμε κατά το μέγιστο δυνατό τους υδατικούς πόρους χωρίς να προκληθούν μελλοντικά αρνητικά αποτελέσματα στους υδατικούς πόρους. Το μόνο αρνητικό αποτέλεσμα είναι η σημαντική ελάττωση ως και ο μηδενισμός της επιφάνειας των υγροτόπων που ήδη από το έτος 1984 δεν υφίστανται. Όμως, η κατάσταση αυτή θα συμβάλλει να διατηρηθεί η κοινωνικοοικονομική δομή της περιοχής, και παράλληλα η διαχρονική διατήρηση των υδατικών πόρων που αποτελεί το θεμέλιο της ευημερίας του πληθυσμού χωρίς αυτό να σημαίνει ότι δεν πρέπει να εξετασθεί / τροποποιηθεί το αναπτυξιακό μοντέλο.

7.2.3. Μέτρα προστασίας

Τα μέτρα προστασίας δύναται να διακριθούν σε μέτρα για την ποσοτική προστασία και μέτρα για την ποιοτική προστασία χωρίς αυτό να σημαίνει ότι αυτά τα δύο δεν συσχετίζονται.

7.2.3.1 Ποιοτική κατάσταση υδάτων Μεσαράς- πιέσεις

Η γεωργική δραστηριότητα αποτελεί τη σοβαρότερη ίσως αιτία υποβάθμισης του περιβάλλοντος στη Μεσαρά και ειδικότερα του εδάφους και των υδάτινων αποδεκτών (υπόγεια και επιφανειακά νερά) η οποία μάλιστα δύσκολα αντιμετωπίζεται στο βαθμό που οι γεωργικές καλλιέργειες είναι εκτεταμένες χωρικά. Το πρόβλημα της γεωργικής ρύπανσης στη λεκάνη της Μεσαράς προφανώς εντοπίζεται στις πεδινές περιοχές και ειδικότερα στις περιοχές όπου υπάρχουν καλλιεργήσιμες εκτάσεις και εντείνονται εκεί που δεν ακολουθούνται οι ορθές γεωργικές πρακτικές.

Γενικότερα, η υπερβολική έως αλόγιστη χρήση φυτοφαρμάκων και λιπασμάτων που επιβάλλεται μάλιστα από την προσπάθεια αύξησης της παραγωγής αλλά και προώθησης της μετατροπής των παραδοσιακών καλλιεργειών (ελαιοκαλλιέργεια, αμπελοκαλλιέργεια κλπ) σε δυναμικές καλλιέργειες (θερμοκήπια οπωροκηπευτικών και ανθέων και καλλιέργεια υποτροπικών φυτών), καθώς και η υπερβολική κατανάλωση νερού, μπορεί να προκαλέσει

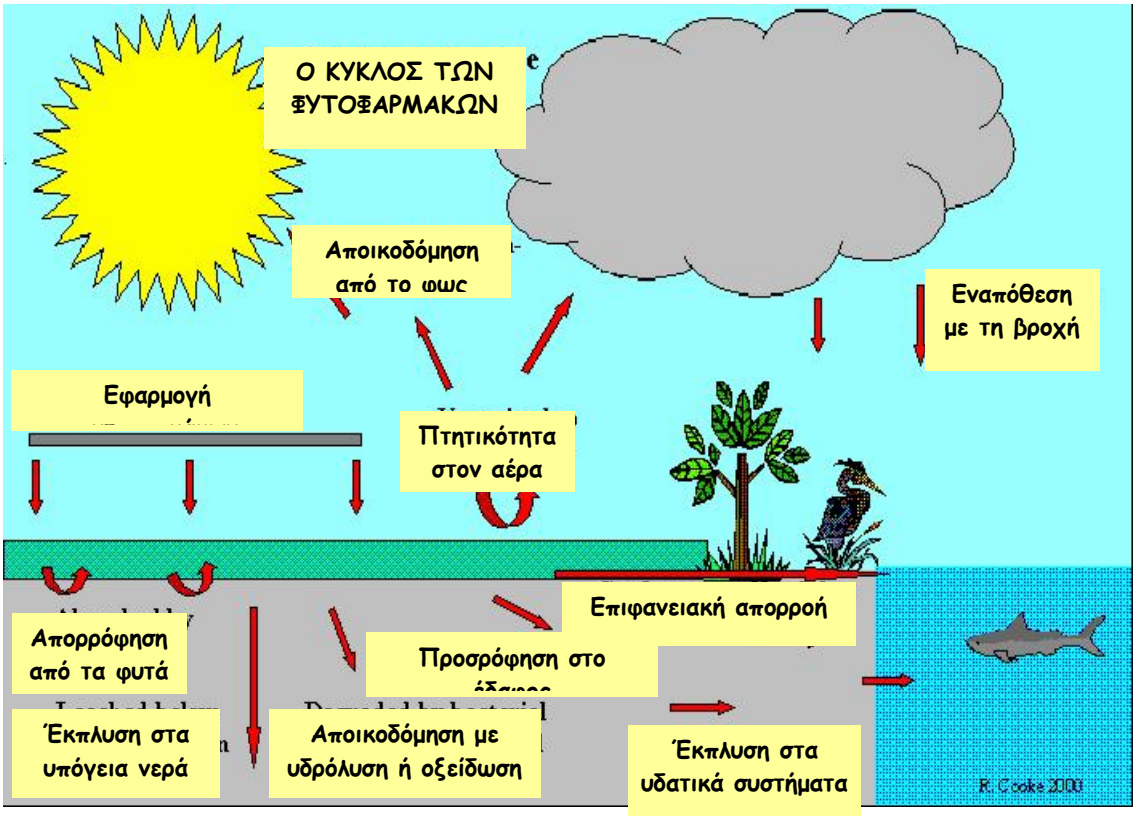
σοβαρές διαταραχές τόσο στο φυσικό περιβάλλον, όσο και στον ίδιο τον άνθρωπο.

Ειδικότερα, σε ότι αφορά τα φυτοφάρμακα είναι γνωστό ότι οι δραστικές ουσίες αυτών αποικοδομούνται δύσκολα. Μερικά δε φυτοφάρμακα δίνουν σε μια κανονική διαδικασία αποικοδόμησης ανθεκτικούς μεταβολίτες που μπορεί να είναι περισσότερο επικίνδυνα από τα ίδια τα φυτοφάρμακα. Τα φυτοφάρμακα μέσω μιας σειράς φυσικών, χημικών και βιολογικών διαδικασιών καταλήγουν στα επιφανειακά νερά τα οποία ρυπαίνουν (βλέπε **Εικόνα 7- 2**). Η ρύπανση αυτή, που στην περίπτωση των χλωριωμένων παρασκευασμάτων είναι δυνατόν να διατηρηθεί για χρόνια ή και δεκαετίες ακόμα, μπορεί να αποβεί επικίνδυνη για τους ζώντες οργανισμούς. Ο κύκλος της ρύπανσης κλείνει με τη ρύπανση του πόσιμου νερού και των προστατευμένων βιοτόπων.

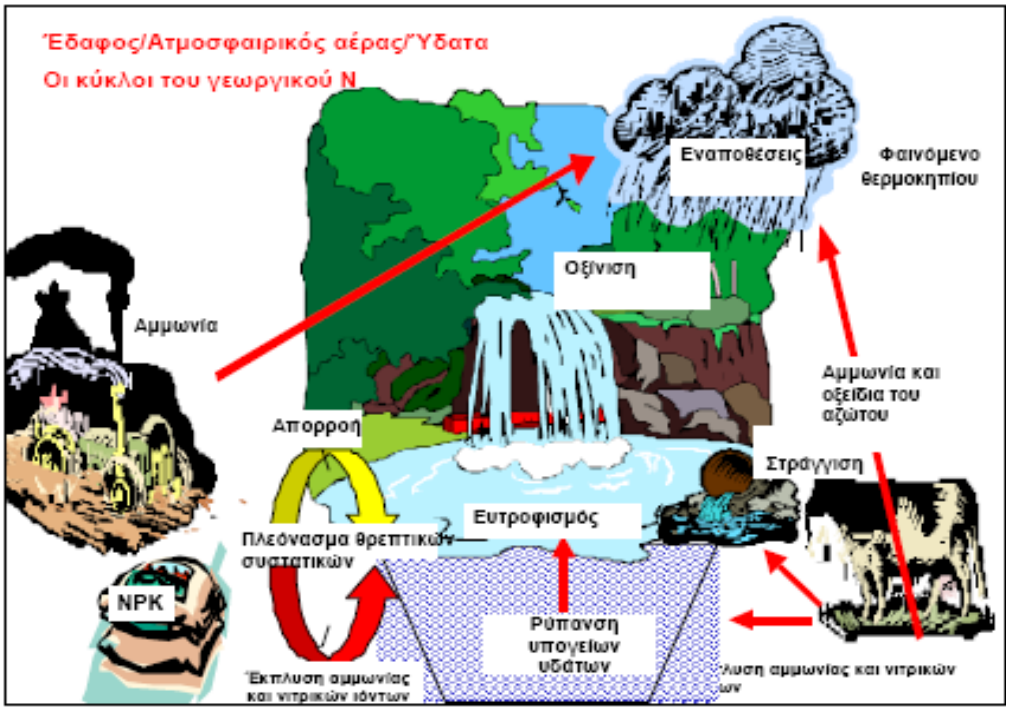
Σε ότι αφορά τα λιπάσματα είναι επίσης γνωστό ότι το νιτρικό άζωτο και ο φώσφορος συμβάλλουν στον ευτροφισμό των επιφανειακών υδάτων, με άμεση συνέπεια τη δημιουργία κινδύνων για τους πιο ευαίσθητους οργανισμούς που ζουν στα νερά αυτά, ενώ το νιτρικό άζωτο όταν περιέχεται σε μεγάλες ποσότητες στο πόσιμο νερό δημιουργεί επιβλαβείς ουσίες όπως οι νιτροζαμίνες που θεωρούνται καρκινογόνες για τον άνθρωπο (βλέπε **Εικόνα 7- 3**). Η υπερβολική χρήση λιπασμάτων που παρατηρείται στην Περιφέρεια είναι δυνατόν να συσσωρεύσει υπολείμματα χημικών ουσιών που επιβαρύνουν τα επιφανειακά νερά στα οποία καταλήγουν μετά τις επιφανειακές αποστραγγίσεις των καλλιεργούμενων εκτάσεων. Μοιραία τα υπολείμματα αυτά καταλήγουν σε ρέματα, χείμαρρους ή ποτάμια, η φυσική ροή των οποίων οδηγεί ένα σημαντικό μέρος αυτών στη θάλασσα.

Το μέρος των λιπασμάτων που δεν απορροφάται από τα φυτά συσσωρεύεται στο έδαφος ή καταλήγει στα υπόγεια νερά, δημιουργώντας προβλήματα ρύπανσης στους εν λόγω αποδέκτες. Παρόμοιες οδούς ακολουθούν και τα φυτοφάρμακα, καθώς η ποιότητα των υπεδαφίων υποστρωμάτων διευκολύνει την διείσδυση μέσω του εδάφους, με αποτέλεσμα την επιβάρυνση της ποιότητας των υπόγειων νερών.

Ένας άλλος σημαντικός παράγοντας σημειακής ρύπανσης είναι τα υγρά απόβλητα των οικισμών τα οποία ελλείψει μονάδων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων είτε ρίπτονται ανεξέλεγκτα άμεσα στους υδάτινους αποδέκτες είτε σε απορροφητικούς βόθρους και «εμπλουτίζουν» τον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα (βλέπε επίσης παράγραφο 7.1.2.3). Ενίοτε σημειακή ρύπανση λαμβάνει χώρα από τις βιοτεχνίες παραγωγής ελαιόλαδου (ελαιοτριβεία) από τα υγρά απόβλητα (κατσίγαροι) όταν συμβαίνουν ατυχήματα στις στεγανές λεκάνες εναποθήκευσης των κατσιγάρων ή όταν ρίχνονται στα υδρορεύματα από ασυνείδητους βιοτέχνες.



Εικόνα 7- 2 ο κύκλος των φυτοφαρμάκων



Εικόνα 7- 3 Ο κύκλος του γεωργικού αζώτου
(από Παλιατζίκη Α. 2006)

Η Δ/νση Υδάτων Περιφέρειας Κρήτης στα πλαίσια του προγράμματος TYPE II πραγματοποίησε αναλύσεις στα νερά της περιοχής Μεσαράς εξετάζοντας 75 φυσικοχημικές και χημικές παραμέτρους με έμφαση στην ανίχνευση των υπολειμμάτων των φυτοφαρμάκων στα επιφανειακά και τα υπόγεια νερά. Επιλέχθηκαν οι θέσεις που παρουσίαζαν τη μεγαλύτερη τρωτότητα και ευρίσκοντο σε περιοχές υψηλού κινδύνου ρύπανσης, οι οποίες καθορίσθηκαν μετά από ανάλυση επικινδυνότητας. Ο καθορισμός της τρωτότητας στηρίχθηκε στο ομοίωμα των υπόγειων νερών (modflow) της λεκάνης που αναπτύχθηκε στην παρούσα εργασία. Στα δείγματα νερού αναλύθηκε το εύρος των συστατικών και των μεταβολιτών τους για όλα τα φυτοφάρμακα και παρασιτοκτόνα που έχουν χρησιμοποιηθεί τα τελευταία 50 χρόνια στην περιοχή. Πραγματοποιήθηκαν δυο δειγματοληψίες μια τη ξηρή περίοδο- Οκτώβριος 2005 και μια την υγρή - Μάρτιος 2006. Τα αποτελέσματα, της ανάλυσης των νερών συνοπτικά είναι (Κριτσωτάκης κα, 2008):

- Το PH των υδάτων είναι αλκαλικό με εύρος τιμών 7,2 -7,8 και η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου κυμαίνεται σε κανονικά επίπεδα.
- Η ηλεκτρική αγωγιμότητα των υπόγειων νερών είναι υψηλή και είναι αποτέλεσμα εν μέρει από τις ξηρές κλιματικές συνθήκες που επικρατούν και την υψηλή εξατμισοδιαπνοή και εν μέρη από τη σύσταση των πετρωμάτων που τη δομούν. Μια άλλη πηγή προέρχεται από τις αγροτικές πρακτικές και γενικότερα από τις ανθρωπογενείς επιδράσεις .
- Όλες οι χημικές παράμετροι βρίσκονται κάτω από τα ανιχνεύσιμα όρια ή μέσα στα όρια της ποσιμότητας σύμφωνα με την οδηγία 98/83/ΕΕ, εκτός από ορισμένες θέσεις του αλλουβιακού υδροφορέα στις οποίες τα νιτρικά υπερέβαιναν τις παραμετρικές τιμές δεικνύοντας ρύπανση από τις γεωργικές δραστηριότητες και σε θέσεις τα θειικά και χλωριόντα που οφείλονται είτε στο πέτρωμα – στρώματα γύψου και ορυκτού αλίτη, είτε στα υγρά απόβλητα των οικισμών και των γεωργικών δραστηριοτήτων.
- Οι παράμετροι που συσχετίζονται με τα φυτοφάρμακα βρέθηκαν επίσης κάτω από τα ανιχνεύσιμα όρια, με εξαίρεση το AMPA που είναι κύριος μεταβολίτης του glyphosate συστατικό του φυτοφαρμάκου roundup που βρέθηκε κοντά στην παραμετρική τιμή. Σε επιφανειακά νερά το AMPA βρέθηκε μια θέση σε πενταπλάσια ποσότητα από την παραμετρική τιμή.
- Γενικά, στην πλειονότητα των θέσεων τα νερά βρέθηκαν σε καλή ποιοτική κατάσταση μέσα στα όρια ποσιμότητας, όπως ορίζει η οδηγία 98/83/ΕΕ, εκτός από τις πεδινές περιοχές κύρια του αλλουβιακού υδροφορέα, που δεικνύουν ανθρωπογενή ρύπανση. Οι τελευταίες περιοχές καθορίσθηκαν κατόπιν ανάλυσης που πραγματοποιήθηκε ως περιοχές που υπόκεινται σε υψηλό ρίσκο επικινδυνότητας.

7.2.3.2 Ποσοτική κατάσταση των υδάτων της Μεσαράς- Πιέσεις

Η κύρια πίεση που έχουν δεχθεί τα ύδατα της Μεσαράς και συγκεκριμένα τα υπόγεια είναι ποσοτικού χαρακτήρα, με τις υπερετήσιες απολήψιμες ποσότητες να υπερβαίνουν τον υπερετήσιο εμπλουτισμό του υδρογεωλογικού συστήματος. Οι πιέσεις αυτές αναλύονται λεπτομερειακά ανά ενότητα που διακρίθηκε το υδρογεωλογικό σύστημα της Μεσαράς στα κεφάλαια 5 και 6.

7.3 Σενάρια Ανάπτυξης

7.3.1. Σενάρια ανάπτυξης της διαχειριστικής μελέτης Κρήτης.

Η διαχειριστική μελέτη Κρήτης, η οποία ολοκληρώθηκε το 2001 και εκπονήθηκε με την τότε αντίληψη για την αντιμετώπιση του νερού, που εισήγαγε ο ν. 1739/87, για τη διαχείριση των υδατικών πόρων, πρότεινε για τη διερεύνηση των μελλοντικών συνθηκών δύο σενάρια μελλοντικών ζητήσεων όσο αφορά τις καλλιεργούμενες εκτάσεις κάθε Δήμου. Τα σενάρια αυτά καταρτίσθηκαν σύμφωνα με το ακόλουθο σκεπτικό:

- Το **Σενάριο Α** για κάθε Δήμο, αποτελεί το μεγιστοποιημένο σενάριο σε ένα μακροπρόθεσμο χρονικό ορίζοντα και περιλαμβάνει την πλήρη άρδευση όλων των εν δυνάμει να αρδευτούν εκτάσεων εντός του κάθε Δήμου. Το σενάριο αυτό είναι πιθανόν να μην υλοποιηθεί ποτέ, όμως αποτελεί το άνω όριο της δυνατής ανάπτυξης και συνεπώς είναι χρήσιμο για τη σύγκριση μελλοντικώς προβλεπόμενων αναπτυξιακών διαδικασιών σε σχέση με τη μέγιστη δυνατή ανάπτυξη.
- Το **Σενάριο Β** αποτελεί το μεσοπρόθεσμο σενάριο ανάπτυξης, το οποίο περιλαμβάνει την άρδευση των εκτάσεων που προβλέπεται να αρδευτούν μετά από την υλοποίηση συγκεκριμένων αναπτυξιακών προτάσεων ανά περιοχή. Στην περίπτωση κατά την οποία δεν προτείνονται συγκεκριμένα έργα και κατευθύνσεις ανάπτυξης σε κάποια περιοχή, το σενάριο αυτό διαμορφώνεται έτσι ώστε να περιλάβει τη μείωση των ξηρικών εκτάσεων στο ποσοστό 50%.

Τα παραπάνω δύο σενάρια αρδευομένων εκτάσεων μαζί με την υφιστάμενη κατάσταση αποτελούν τρία διακριτά σενάρια αγροτικής ζήτησης.

Τα σενάρια της συνολικής ζήτησης καταρτίσθηκαν προσθέτοντας στα παραπάνω σενάρια άρδευσης τις ανάγκες της ύδρευσης που συμπεριλάμβανε και τη βιομηχανική χρήση και τις ανάγκες του τουρισμού στο βραχυπρόθεσμο (2011) και στο μεσοπρόθεσμο (2021) χρονικό ορίζοντα.
Η ύδρευση προσδιορίσθηκε με βάση την πρόβλεψη μεταβολής του πληθυσμού η οποία υπολογίσθηκε από την τάση μεταβολής του πληθυσμού των τελευταίων δεκαετιών (Μέσος Ετήσιος Ρυθμός Μεταβολής κάθε Δήμου). Θεωρήθηκε ως μέση ημερήσια κατανάλωση 175 λίτρα/κάτοικο/ημέρα (μέγιστη 200 και ελάχιστη 150 λίτρα/κάτοικο/ημέρα). Η κατανάλωση αυτή αυξήθηκε κατά 30% προκειμένου να συμπεριληφθούν οι πάσης φύσεως απώλειες.

Η τουριστική ζήτηση υπολογίσθηκε με βάση τα στοιχεία των τουριστικών κλινών σε κάθε Δημοτικό διαμέρισμα και στη βάση των εξής υποθέσεων:

- τουριστική περίοδος 100 ημερών
- πληρότητα 100%
- κατανάλωση νερού 400 λίτρα/κλίνη/ημέρα (δυσμενές σενάριο).

Οι ανάγκες αυτές επιμερίζονται ανισομερώς στην καλοκαιρινή περίοδο θεωρώντας ότι το 33% των αναγκών αυτών προκύπτουν τον Ιούλιο και τον Αύγουστο και 17% των αναγκών αναφέρεται στους μήνες Ιούνιο και Σεπτέμβριο.

Στη συνέχεια έγινε προβολή των αναγκών αυτών στο μέλλον θεωρώντας μέσο ετήσιο ρυθμό αύξησης των τουριστικών κλινών 1%, 3,5% και 5%. Το τελευταίο αυτό σενάριο της αύξησης των τουριστικών κλινών με ετήσιο ρυθμό 5% οδηγεί σε υπερδιπλασιασμό των τουριστικών κλινών στην Κρήτη το έτος 2021. Ως

πλέον ρεαλιστικό σενάριο θεωρήθηκε η τουριστική αύξηση κατά 3,5%. Στον παρουσιάζεται το μεσοπρόθεσμο σενάριο (2021).

Πίνακ. 7- 10 Σενάρια ζήτησης νερού διαχειριστικής μελέτης Κρήτης

ΣΕΝΑΡΙΟ	Μεσοπρόθεσμο σενάριο	Ζητούμενο (μηναία βάση)
΄Υδρευση	Εκτιμώμενος πληθυσμός 2021 και εκτίμηση της κατανάλωσης κατά περίπτωση με βάση τις αναπτυξιακές δυνατότητες κάθε Δήμου	Κάλυψη του 100% των αναγκών
Τουρισμός	Αύξηση του αριθμού των κλινών με μέσο ετήσιο ρυθμό 3,5%	Κάλυψη του 100% των αναγκών
Βιομηχανική χρήση	Διπλασιασμός των αναγκών για όλες τις βιομηχανικές χρήσεις πλην των ελαιοτριβείων	Κάλυψη του 100% των αναγκών
Άρδευση	Μείωση της έκτασης των ξηρικών εκτάσεων στο 50% (με εξαιρέσεις) και εισαγωγή όλων των προτεινόμενων έργων	Ποιό ποσοστό των επιθυμητών αναγκών καλύπτεται. Ποιό είναι το ποσοστό των καλλιεργούμενων εκτάσεων που μπορούν να αρδευθούν.
Κτηνοτροφία	Διπλασιασμός του κτηνοτροφικού κεφαλαίου για όλα τα ζώα πλην χοίρων και βοοειδών	Κάλυψη του 100% των αναγκών
Περιβάλλον	Διατήρηση ελάχιστης διατηρητέας παροχής	Κάλυψη του 100% των αναγκών

7.3.2. Εφαρμογή μέτρων προστασίας- ελάχιστη διατηρητέα παροχή

Η προστασία των περιοχών οι οποίες βρίσκονται σε κάποιο καθεστώς «υπό προστασίας» (NATURA ή CORINE), απαιτεί να ληφθεί μέριμνα ώστε να διασφαλίζονται τα φυσικά υδρολογικά χαρακτηριστικά των λεκανών απορροής που συσχετίζονται με αυτά. Θα πρέπει δηλαδή να υπάρξει μια πρόβλεψη ύπαρξης ελάχιστης διατηρητέας παροχής τουλάχιστον στους υγροτόπους οι οποίοι βρίσκονται στις εκβολές των υδατορεμάτων και οι οποίοι εντάσσονται σε καθεστώς προστασίας. Είναι προφανές ότι όσον αφορά το μέγεθος της ελάχιστης διατηρητέας παροχής, περιγράφουν μια γενική κατάσταση οι οποία θα πρέπει να διαφοροποιηθεί με βάση τις ειδικότερες μελέτες προστασίας που θα εκπονηθούν για κάθε έναν από τους υγροτόπους αυτούς και με βάση τα οικοσυστήματα που φιλοξενούν.

7.3.2.1 Γενικά στοιχεία για την ελάχιστη διατηρητέα παροχή

Η ποσότητα και η διακύμανση της παροχής επηρεάζουν την βιοποικιλότητα και την οικολογική ακεραιότητα των ποτάμιων συστημάτων. Τα υδρολογικά χαρακτηριστικά που είναι σημαντικά για τη διατήρηση και την αναγέννηση των υγροβιότοπων και της βιοποικιλότητας περιλαμβάνουν:

- την περίοδο εμφάνισης ακραίων συνθηκών
- τη συχνότητα και τη διάρκεια των πλημμυρικών γεγονότων ή των ξηρασιών
- την έλλειψη της παροχής σε ορισμένα υδατορέματα
- την ημερήσια, εποχιακή και ετήσια διακύμανση της παροχής

Το μέγεθος, η συχνότητα και η διάρκεια των υψηλών και χαμηλών παροχών επηρεάζουν τις οικολογικές διαδικασίες ποικιλοτρόπως. Οι υψηλές παροχές είναι δυνατό να μεταφέρουν ιζήματα και να εκτοπίσουν βενθικά ασπόνδυλα, ενώ ταυτόχρονα τα πλημμυρικά γεγονότα μπορεί να καθαρίσουν τον πυθμένα από συσσωρεμένη ιλύ και να δημιουργήσουν έτσι κατάλληλες θέσεις για την εναπόθεση και εκκόλαψη αυγών. Οι χαμηλές παροχές καθορίζουν την έκταση του διαθέσιμου βιοτόπου στο ποτάμι κατά τις κρίσιμες περιόδους. Επίσης, λόγω υψηλών θερμοκρασιών και χαμηλών επιπέδων διαλυμένου οξυγόνου μπορούν να οδηγήσουν το οικοσύστημα σε οπισθοδρόμηση.

Τα παραπάνω υδρολογικά χαρακτηριστικά αποτελούν χρήσιμους δείκτες για την αξιολόγηση ενός οικοσυστήματος γιατί όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως πολλά αβιοτικά χαρακτηριστικά εξαρτώνται από τα χαρακτηριστικά της ροής, όπως το διαλυμένο οξυγόνο, η θερμοκρασία του νερού, η κατανομή του μεγέθους των αιρουμένων σωματιδίων καθώς και η σταθερότητα του πυθμένα. Επίσης σε μεγαλύτερη κλίμακα και κυρίως από τις υψηλές παροχές επηρεάζονται η μορφολογία του υδατορέματος και της περιοχής κατάκλυσης.
Ανθρωπογενείς επεμβάσεις σε κάποιο από τα χαρακτηριστικά του φυσικού συστήματος του υδατορέματος μπορεί να επηρεάσουν δραματικά το οικοσύστημα. Για παράδειγμα οι μεγάλες διακυμάνσεις στην ημερήσια παροχή του ποταμού προερχόμενες από υδροηλεκτρικά φράγματα δεν έχουν φυσικό ανάλογο και συνήθως οδηγούν σε μείωση της φυσικής ποικιλίας και αφθονίας ενός μεγάλου αριθμού ψαριών και ασπόνδυλων. Αντίθετα, παροχές σταθερές χωρίς διακύμανση προερχόμενες από ταμιευτήρες προμήθειας νερού οδηγούν σε ένα τεχνητά σταθερό περιβάλλον, αποκλείοντας τα είδη που είναι προσαρμοσμένα σε φυσικές δυναμικές. Ακόμη και ανθεκτικά είδη δεν επιβιώνουν σε συνθήκες όπου οι εκτροπές και απολήψεις για νερό ύδρευσης, βιομηχανική χρήση ή άρδευση αποτυγχάνουν να εξασφαλίσουν ελάχιστες παροχές.

Η διατήρηση επομένως των χαρακτηριστικών του φυσικού υδατικού συστήματος είναι απαραίτητη για την εξασφάλιση της παραγωγικότητας του οικοσυστήματος και της βιοποικιλότητας. Έτσι, καθίσταται αναγκαία η εξασφάλιση όχι μόνο μιας συνεχούς παροχής συγκεκριμένης τάξης μεγέθους αλλά και η εξασφάλιση της φυσικής διακύμανσής της.
Η επέμβαση στο φυσικό καθεστώς του υδατορέματος αποκτά ιδιαίτερη σημασία στη διαχείριση υδατικών πόρων στις ημίξηρες περιοχές. Στην Ισπανία την περασμένη δεκαετία ορισμένες Υπηρεσίες Διαχείρισης Υδατικών Πόρων, είχαν

αποφασίσει ότι η οικολογική χρήση του νερού είναι ύψιστης προτεραιότητας αμέσως μετά την χρήση για ύδρευση.

Στην Ελλάδα και σε πολλές Ευρωπαϊκές χώρες η νομοθεσία δεν προβλέπει γενικό ορισμό ή γενική μέθοδο υπολογισμού της ελάχιστης διατηρητέας παροχής. Στη Γερμανία π.χ. η ελάχιστη διατηρητέα παροχή κρίνεται κατά περίπτωση και λαμβάνονται υπόψη εκτός των ζητήσεων, από τους διάφορους χρήστες, παράγοντες όπως το καθεστώς ροής στο υδατόρεμα, οι υδραυλικές συνθήκες, η χλωρίδα και η πανίδα. Η Ισπανική Δράση για το Νερό (Spanish water act) αναφέρεται στην ανάγκη για τη διατήρηση μιας ελάχιστης παροχής για την διαφύλαξη και την διατήρηση του φυσικού περιβάλλοντος. Όμως τόσο η Spanish water act όσο και οι διατάξεις που την ακολούθησαν δεν αναφέρουν ρητά πως υπολογίζεται μια τέτοια παροχή.
Στην Σλοβακία ο καθορισμός της ελάχιστης παροχής γίνεται με βάση αποκλειστικά υδρολογικές παραμέτρους και δεν λαμβάνει καθόλου υπόψη τις απαιτήσεις της οικολογίας.
Σαν ελάχιστη παροχή MQ ορίζεται η παρακάτω ποσότητα:

MQ=0,5*(Qm99 + Q100mind)

Όπου:Qm99 είναι η μέση μηνιαία φυσική παροχή με 99% πιθανότητα υπέρβασης, 100mind είναι ελάχιστη ημερήσια παροχή της εκατονταετίας.

Κοινός τόπος των διάφορων μεθόδων διαχείρισης υδατικών πόρων είναι ότι ενώ καθορίζουν το μέγεθος της παροχής καμιά δεν προσδιορίζει το πλήρες φυσικό εύρος του υδρολογικού καθεστώτος. Η Montana Method π.χ., καθορίζει την ελάχιστη-οικολογική παροχή με βάση τη μέση ημερήσια παροχή (MDF) ή την μέση ετήσια παροχή (Mean Annual Flow-MAF). Η μέθοδος ορίζει ότι το 10% της MAF συνιστάται ως η ελάχιστη στιγμιαία παροχή που επιτρέπει την επιβίωση της πλειονότητας του υγροβιοτόπου, ενώ απαιτείται 30% της MAF για την διατήρηση ενός καλού βιοτόπου.

Η μέθοδος RVA (Range of Variation Approach) ορίζει ετήσιους στόχους διαχείρισης της παροχής του υδατορέματος με βάση τη στατιστική επεξεργασία εκείνων των χαρακτηριστικών της παροχής που είναι οικολογικής σημασίας. Τα οικολογικά αποτελέσματα παρακολουθούνται ύστερα από την εφαρμογή της συγκεκριμένης διαχείρισης και τα αποτελέσματα αυτά χρησιμοποιούνται για τον επαναπροσδιορισμό των διαχειριστικών στόχων. Έτσι, 32 υδρολογικές παράμετροι αποτελούν στόχους διαχείρισης και κάθε μια από αυτές συνδέεται με κάποια οικολογική παράμετρο. Είναι φανερό όμως ότι η μέθοδος αυτή απαιτεί πληθώρα υδρολογικών και οικολογικών στοιχείων καθώς και πολύ καλή γνώση της αλληλεπίδρασης μεταξύ των υδρολογικών και των οικολογικών παραμέτρων για να εφαρμοστεί με επιτυχία.

Στην Ελλάδα, η μοναδική σχετική αναφορά στην ισχύουσα νομοθεσία περί ελάχιστης διατηρητέας παροχής υδατορευμάτων γίνεται στην υπουργική απόφαση του Υπ. Ανάπτυξης Δ6/Φ1/οικ.12160/ΦΕΚ Β΄ 1552/3-8-1999 περί της διαδικασίας αδειοδότησης ενεργειακών έργων από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Η ελάχιστη διατηρητέα παροχή ορίζεται ως το 30% της μέσης θερινής παροχής. Ο ορισμός αυτός αντανακλά την συνήθη πρακτική που ακολουθούνταν στην Ελλάδα χωρίς να υπάρχει μέχρι την έκδοση της ανωτέρω απόφασης καμιά σχετική νομοθεσία. Σε ορισμένες άλλες περιπτώσεις η

ελάχιστη διατηρητέα παροχή ορίζεται ως απόλυτο νούμερο (π.χ. 1 m^3/sec στις εκβολές του Εύηνου, ή 1.5 m^3/sec στον Αχελώο κατάντη του φράγματος της Μεσοχώρας) και θεσμοθετείται με την απόφαση έγκρισης περιβαλλοντικών όρων των σχετικών έργων. Στην Κρήτη στις αποφάσεις έγκρισης των περιβαλλοντικών όρων για έργα ταμίευσης νερού εφαρμόζεται η παραπάνω περιβαλλοντική απορροή, δηλαδή το 30% της μέσης ετήσιας απορροής, χωρίς να γίνεται μνεία για την κατανομή της απορροής, με εξαίρεση το φράγμα του Αποσελέμη, που λόγω κυρίως των αντιδράσεων των τοπικών παραγόντων και των περιβαλλοντικών ομάδων, εκπονήθηκε ειδική περιβαλλοντική μελέτη και προέβλεψε την οικολογική παροχή στις εκβολές του υδρορεύματος.

Ελάχιστες από τις προαναφερόμενες μεθόδους είναι δυνατόν να εφαρμοσθούν στην περίπτωση της Κρήτης, λόγω της ιδιομορφίας που εμφανίζουν τα υδατορέματά της. Συγκεκριμένα η μεγάλη πλειονότητα των υδατορευμάτων της Κρήτης συνίσταται σε υδατορέματα χειμαρρικής μορφής με ελάχιστη ή καθόλου παροχή στη διάρκεια της θερινής περιόδου. Επιπλέον στα περισσότερα υδατορέματα απουσιάζουν οι ημερήσιες μετρήσεις παροχής, με αποτέλεσμα οι μέθοδοι που χρησιμοποιούν την ημερήσια απορροή να μην μπορούν να εφαρμοσθούν.

Με βάση τα παραπάνω η διαχειριστική μελέτη της Κρήτης πρότεινε να χρησιμοποιηθεί το κριτήριο του 1/3 της μέσης θερινής παροχής . Ως μέση θερινή παροχή ορίσθηκε η μέση υπερετήσια παροχή των υδατορεμάτων την περίοδο Ιουνίου-Ιουλίου και Αυγούστου. Για ορισμένα υδατορέματα στα οποία η μετρημένη θερινή απορροή των μηνών Ιουλίου, Αυγούστου (και Σεπτεμβρίου) είναι μηδενική, η ελάχιστη διατηρητέα παροχή ορίσθηκε ως το 1/3 της μέσης υπερετήσιας απορροής του Ιουνίου.

Στην οδηγία πλαίσιο για τη διαχείριση των υδατικών πόρων 2000/60/ΕΚ, με την οποία εναρμονίστηκε η εθνική νομοθεσία με τον νόμο 3199/03 και τα εκτελεστικά του διατάγματα, δεν καθορίζεται αντίστοιχη προτεραιότητα χρήσεων δεδομένης της μονομέρειας της Οδηγίας στα ζητήματα της ποιότητας του γλυκού νερού. Εν τούτοις, παρά το γεγονός, ότι δε δίδεται, στο νερό που προορίζεται για ύδρευση προτεραιότητα ως προς την ποσοτική διαχείριση, στο άρθρο 7 «Ύδατα που χρησιμοποιούνται για την άντληση πόσιμου ύδατος» της Οδηγίας αναφέρεται ότι:

(1) Σε κάθε περιοχή λεκάνης ποταμού, τα κράτη μέλη προσδιορίζουν:

- όλα τα υδατικά συστήματα που χρησιμοποιούνται για την υδροληψία με σκοπό την ανθρώπινη κατανάλωση και παρέχουν κατά μέσον όρο άνω των 10 m^3 ημερησίως ή εξυπηρετούν περισσότερα από 50 άτομα και
- τα υδατικά συστήματα που προορίζονται για τέτοια χρήση μελλοντικά.

Τα κράτη μέλη παρακολουθούν, σύμφωνα με το παράρτημα V, τα υδατικά συστήματα τα οποία, σύμφωνα με το παράρτημα V, παρέχουν κατά μέσο όρο άνω των 100 m^3 ημερησίως.

(2) Για κάθε υδατικό σύστημα που προσδιορίζεται κατά την παράγραφο (1), επιπλέον της τήρησης των στόχων του άρθρου 4 σύμφωνα με τις απαιτήσεις της οδηγίας για τα συστήματα επιφανειακών υδάτων, συμπεριλαμβανομένων των ποιοτικών προτύπων που καθορίζονται σε κοινοτικό επίπεδο δυνάμει του άρθρου 16, τα κράτη μέλη εξασφαλίζουν ότι, υπό το εφαρμοζόμενο καθεστώς επεξεργασίας του ύδατος και σύμφωνα με την κοινοτική νομοθεσία, το ύδωρ

που προκύπτει πληροί τις απαιτήσεις της οδηγίας 80/778/ΕΟΚ, όπως τροποποιήθηκε με την οδηγία 98/83/ΕΚ.
(3) Τα κράτη μέλη εξασφαλίζουν την προσήκουσα προστασία των προσδιοριζόμενων υδατικών συστημάτων με σκοπό να αποφευχθεί η υποβάθμιση της ποιότητάς τους, έτσι ώστε να μειωθεί το επίπεδο επεξεργασίας καθαρισμού που απαιτείται για την παραγωγή πόσιμου ύδατος. Τα κράτη μέλη μπορούν να καθιερώνουν ζώνες ασφαλείας για τα υδατικά αυτά συστήματα.

Επίσης, στο Παράρτημα IV της ίδιας Οδηγίας στην οποία εξειδικεύεται το άρθρο 6 περί τήρησης μητρώου προστατευόμενων περιοχών, αναφέρονται πρώτες οι περιοχές οι οποίες προορίζονται για την άντληση ύδατος για ανθρώπινη κατανάλωση, χωρίς όμως να γίνεται σαφές ότι η αναφορά αυτή αποτελεί και ιεράρχηση των προστατευμένων περιοχών του άρθρου 6 της Οδηγίας

7.3.3. Σενάρια ανάπτυξης υδατικών πόρων Μεσαράς

Τα σενάρια ανάπτυξης μιας περιοχής επιβάλλεται να προσεγγίσουν τη διαχείριση της λεκάνης ολιστικά στο θεσμικό, οικονομικό, κοινωνιολογικό, περιβαλλοντικό και τεχνολογικό επίπεδο. Μια τέτοια ολιστική προσέγγιση είναι πέρα του αντικειμένου της παρούσης εργασίας, όμως η εργασία αυτή δύναται να προσεγγίσει τη διαχείριση της λεκάνης στις κύριες παραμέτρους του ισοζυγίου προσφοράς ζήτησης νερού η οποία περιλαμβάνει το (υφιστάμενο) θεσμικό, το περιβαλλοντικό και το τεχνολογικό επίπεδο.
Όλα τα σενάρια ανάπτυξης που εξετάζονται βασίζονται στο υφιστάμενο θεσμικό πλαίσιο και στην κατάσταση των υπογείων και επιφανειακών υδάτων και ειδικότερα κυρίως στην ποσοτική κατάστασή των όπως έχει διαμορφωθεί μέχρι σήμερα, που όπως προαναφέρθηκε (παράγραφος 7.2.3.2) έχει υποστεί τις μεγαλύτερες πιέσεις έναντι της ποιοτικής υποβάθμισης, και με γνώμονα την αειφόρο διαχείριση της λεκάνης.

Τα χαρακτηριστικά της υφιστάμενης διαχείρισης των υδάτων της Μεσαράς, συνοψίζοντας τις προηγούμενες παραγράφους, είναι τα παρακάτω:

<u>Προσφορά νερού</u>:

- Οι μέχρι σήμερα χρησιμοποιούμενοι υδατικοί πόροι προέρχονται από το υπόγειο υδατικό δυναμικό του υδρογεωλογικού συστήματος της Μεσαράς, με εξαίρεση τρεις λιμνοδεξαμενές μικρής χωρητικότητας (Γέργερης, Δαμανίων και Μεταξοχωρίου) που βρίσκονται στο βόρειο άνω ρου της υδρολογικής λεκάνης και εκτός του υδρογεωλογικού συστήματος της Μεσαράς.
- Η εκμετάλλευση του υπόγειου υδατικού δυναμικού πραγματοποιούταν το 2004 με 848 λειτουργούσες γεωτρήσεις. Το ισοζύγιο του υδρογεωλογικού συστήματος της Μεσαράς που συζητείται στην παρούσα εργασία έχει υπολογισθεί με την άντληση των 848 γεωτρήσεων, όμως θα πρέπει να αναφερθεί ότι στο μετέπειτα διάστημα μέχρι το έτος 2008 οι γεωτρήσεις που έχουν κατασκευασθεί και λειτουργούν σχεδόν διπλασιάστηκαν και ανέρχονται περίπου σε 1400.

- Τα υδροληπτικά έργα είναι κυρίως ιδιωτικά και υπολογίζεται ότι το 92% του έτους 2004 και το 95% του έτους 2008 ανήκουν σε ιδιώτες και το υπόλοιπο ποσοστό των γεωτρήσεων ανήκει στους δήμους και στους ΤΟΕΒ Α΄ και Β΄ ζώνης Μεσαράς.
- Μελλοντικά, επιφανειακό υδατικό δυναμικό πρόκειται να χρησιμοποιηθεί με την προγραμματισμένη κατασκευή του φράγματος Πλακιώτισας. Επίσης, εξετάζεται η δυνατότητα και η σκοπιμότητα της κατασκευής του φράγματος Ληθαίου καθώς και άλλες τέσσερις μικρής χωρητικότητας λιμνοδεξαμενές .
- Επιπρόσθετα, ποσότητες νερού θα μεταφερθούν στη λεκάνη της Μεσαράς, στο προσεχές μέλλον, από το φράγμα της Φανερωμένης που βρίσκεται στην όμορη λεκάνη του Τυμπακίου. Επίσης, πιθανά να μεταφερθεί νερό και από τη λεκάνη του Πλατύ, με την προϋπόθεση να ολοκληρωθούν οι μελέτες και να υλοποιηθεί η κατασκευή της εκτροπής του Πλατύ ποταμού προς το φράγμα Φανερωμένης και τον εμπλουτισμό της λεκάνης της Μεσαράς.
- Η συνολική μέση ετήσια εισροή στο υδρογεωλογικό σύστημα της Μεσαράς, όπως υπολογίσθηκε από την 25ετή προσομοίωση του υδροφορέα (βλέπε κεφάλαιο 6.9.4.6) και η οποία θεωρείται ως τα ρυθμιστικά (ανανεώσιμα) αποθέματα του υδροφορέα, ανέρχεται σε 47 Mm^3. Οι εισροές κατανέμονται σε 35 Mm^3 στη λεκάνη του Γεροποτάμου και σε 12 Mm^3 στη λεκάνη του Χάρακα.
- Οι ετήσιες αντλήσεις με βάση την κατάσταση που είχε διαμορφωθεί μέχρι το έτος 2004, δηλαδή με τη λειτουργία των 848 γεωτρήσεων ανέρχονται κατά μέση ετήσια τιμή στο ύψος των 50,8 Mm^3 και κατανέμονται σε 40,1 Mm^3 από το σύστημα του Γεροποτάμου και 10,7 Mm^3 από του Χάρακα.
- Το υδρογεωλογικό σύστημα βρίσκεται υπό πίεση καθώς αντλούνται κατά μέση ετήσια τιμή 9,7 Mm^3 περισσότερο από τις μέσες ανανεώσιμες ποσότητες ήτοι αυτές αντλούνται από τα μόνιμα απόθεμά του συστήματος και κατανέμονται σε 8 Mm^3 από το σύστημα του Γεροποτάμου και σε 1,7 Mm^3 από το σύστημα του Χάρακα (βλέπε κεφάλαιο 6.9.4.6).

<u>Ζήτηση νερού:</u>

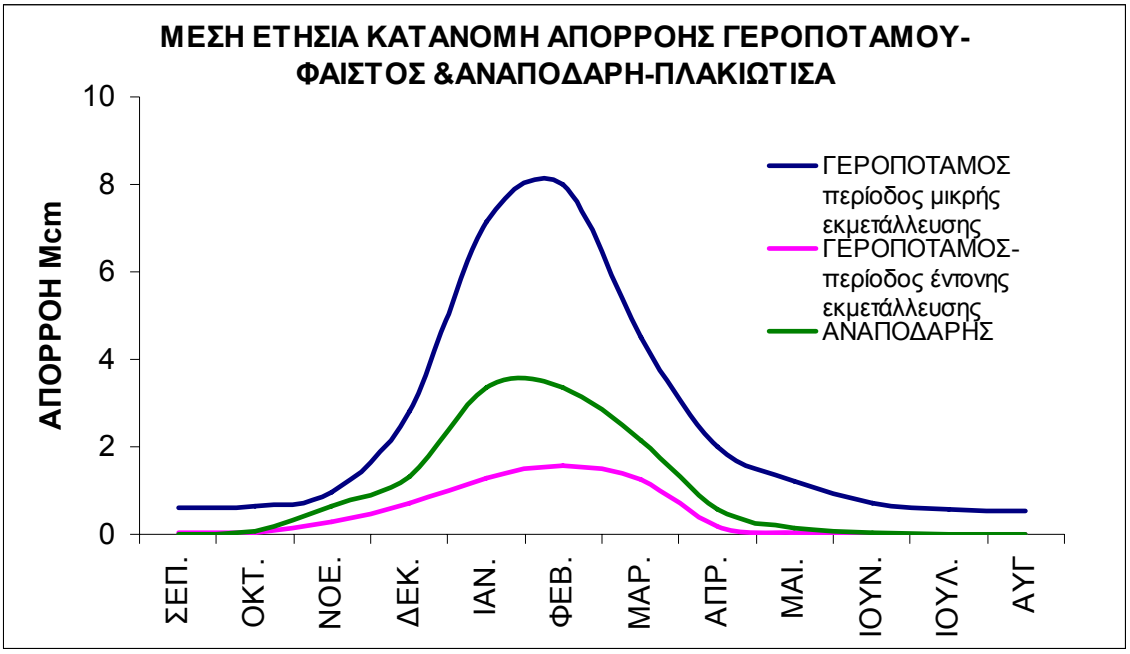
- Η μεγαλύτερη ζήτηση της λεκάνης της Μεσαράς είναι η αγροτική με μέση ετήσια θεωρητική ζήτηση να ανέρχεται στο ύψος των 60,9 Mm^3, και οι αρδευόμενες εκτάσεις είναι 162.631 στρ. έναντι 291.087 στρ. καλλιεργούμενων ήτοι ποσοστό αρδευόμενων / καλλιεργειών 56% έναντι 42% του μέσου ποσοστού άρδευσης στην Κρήτη.
- Η υφιστάμενη ετήσια οικιακή κατανάλωση ανέρχεται στο ύψος των 2 Mm^3 για την ύδρευση 21.499 κατοίκων. Ένα ποσοστό από τη ποσότητα αυτή προέρχεται από τα ανθρακικά πετρώματα που απαντώνται στα Αστερούσια όρη ή στις νότιες απολήξεις του Ψηλορείτη ενώ το υπόλοιπο ποσοστό από τη λεκάνη της Μεσαράς. Σύμφωνα με τον προγραμματισμό της Περιφέρειας Κρήτης, η ύδρευση των οικισμών στο βραχυπρόθεσμο ορίζοντα θα πραγματοποιείται από τα ανθρακικά πετρώματα λόγω της σημαντικά καλλίτερης ποιότητας νερού και όλη η ποσότητα του νερού της λεκάνης της Μεσαράς θα καταναλώνεται από την άρδευση.

- Οι υφιστάμενες ετήσιες βιομηχανικές ανάγκες είναι μικρές και ανέρχονται στην τάξη του 0,12 Mm^3 για την υδροδότηση κυρίως των ελαιοτριβείων.
- Το ποσοστό της υφιστάμενης μέσης ετήσιας κατανομής ανά χρήση είναι 96,6% για άρδευση, 3,2% για ύδρευση και 0,2% για βιομηχανική.
- Η πραγματική κατανάλωση με βάση τις αντλούμενες ποσότητες από το υδρογεωλογικό σύστημα ανέρχεται σε 50,8 Mm^3 έναντι της θεωρητικής ζήτησης των 63 Mm^3 που ερμηνεύεται ότι κάποιες καλλιέργειες υποαρδεύονται.

Απορροή στην έξοδο της λεκάνης

- Η μέση ετήσια απορροή από τη λεκάνη του Γεροποτάμου κατά την περίοδο της μικρής εκμετάλλευσης ήταν της τάξης των 29 Mm^3 ενώ κατά την περίοδο της έντονης εκμετάλλευσης μειώθηκε σε 5,4 Mm^3 (βλέπε παράγραφο 4.6.4) ήτοι μειώθηκε κατά ποσοστό 81,4%. Η ελάττωση αυτή δεν οφείλεται στη μείωση των βροχοπτώσεων αλλά στην αύξηση της κατείσδυσης και τη στείρευση των πηγών λόγω της πτώσης της στάθμης του υδρογεωλογικού συστήματος από την εκμετάλλευση του.
- Το παραπάνω ποσοστό απορροής (18,6%) θα μπορούσε να ισχυρισθεί κάποιος ότι είναι ικανοποιητικό όσο αφορά την ελάχιστη περιβαλλοντική απορροή, αν το κριτήριο σύγκρισης ήταν οι ετήσιες τιμές. Όμως αν γίνει κατανομή σε μηνιαία ή ημερήσια απορροή τότε παρατηρούμε ότι η απορροή κατά την περίοδο της έντονης εκμετάλλευσης λαμβάνει χώρα μόνο κατά την χειμερινή εαρινή περίοδο και τις ημέρες που συμβαίνουν έντονα πλημμυρικά γεγονότα, ενώ τη καλοκαιρινή – φθινοπωρινή είναι πολύ μικρή ή και μηδενική. Σε αντίθεση κατά την περίοδο της μικρής εκμετάλλευσης η απορροή λάμβανε χώρα καθ' όλη τη διάρκεια τους έτους με μέση μηνιαία απορροή τη θερινή καλοκαιρινή περίοδο της τάξης 0,5 Mm^3 (βλέπε Εικόνα 7- 4).

- Η μέση ετήσια απορροή από τη λεκάνη του Αναποδάρη στον υδρομετρικό σταθμό της Πλακιώτισας που ευρίσκεται εκτός του υδρογεωλογικού συστήματος του Χάρακα ανέρχεται σε 11,1 Mm^3 η οποία μηδενίζεται τη καλοκαιρινή περίοδο (βλέπε Εικόνα 7- 4). Μετρήσεις απορροής του Αναποδάρη στην έξοδο του προσχωματικού υδροφορέα δεν υφίστανται, αλλά δημιουργήθηκε συνθετική χρονοσειρά με τη χρήση του μοντέλου Sacramento και η απορροή υπολογίσθηκε ότι ανέρχεται σε 11,5 Mm^3. Το χαρακτηριστικό κατά την περίοδο της μικρής εκμετάλλευσης είναι ότι υπήρχε μόνιμη ροή στο κατάντη τμήμα του Αναποδάρη και του παραποτάμου Λειβαδίτη λόγω της εκφόρτισης του υδροφορέα, ενώ κατά την περίοδο της έντονης εκμετάλλευσης η ροή κατά τη καλοκαιρινή περίοδο είναι μηδενική.



Εικόνα 7- 4 Μέση ετήσια απορροή υδρορευμάτων λεκάνης Μεσαράς σε χαρακτηριστικές περιόδους αναφοράς.

7.3.4. Ισοζύγιο προσφοράς – ζήτησης

7.3.4.1 Υφιστάμενη κατάσταση

Το υφιστάμενο ισοζύγιο προσφοράς – ζήτησης είναι ελλειμματικό με συνέπεια να αντλούνται μεγαλύτερες ποσότητες από τον υδροφορέα για την κάλυψη των αναγκών και την άμβλυνση του ελλείμματος της ζήτησης. Αυτό συνεπακόλουθα οδηγεί στο να εγκατασταθεί αρνητικό υδρολογικό ισοζύγιο στον υδροφορέα δηλαδή οι εκροές να είναι μεγαλύτερες από τις εισροές, το οποίο παρακαλεί τη βαθμιαία ελάττωση του υπόγειου υδατικού δυναμικού και την εκμετάλλευση των μόνιμων αποθεμάτων.
Ποσοτικά αυτό εκφράζεται, για το σύνολο της λεκάνης της Μεσαράς, σε μέση ετήσια βάση, σε (θεωρητική) ζήτηση 63 Mm^3 που καλύπτεται στο σύνολό της η ύδρευση και η βιομηχανική χρήση και αρδεύονται κατά ποσοστό 56% οι καλλιέργειες. Η πραγματική κατανάλωση (αντλούμενες ποσότητες) ανέρχεται σε 50,8 Mm^3 δηλαδή κάποιες καλλιέργειες υποαρδεύονται. Το έλλειμμα στο ισοζύγιο των υπόγειων νερών είναι της τάξης των 9,7 Mm^3 δηλαδή η ποσότητα αυτή αντλείται από τα μόνιμα απόθεμα του υδρογεωλογικού συστήματος.

7.3.4.2 Μελλοντική κατάσταση

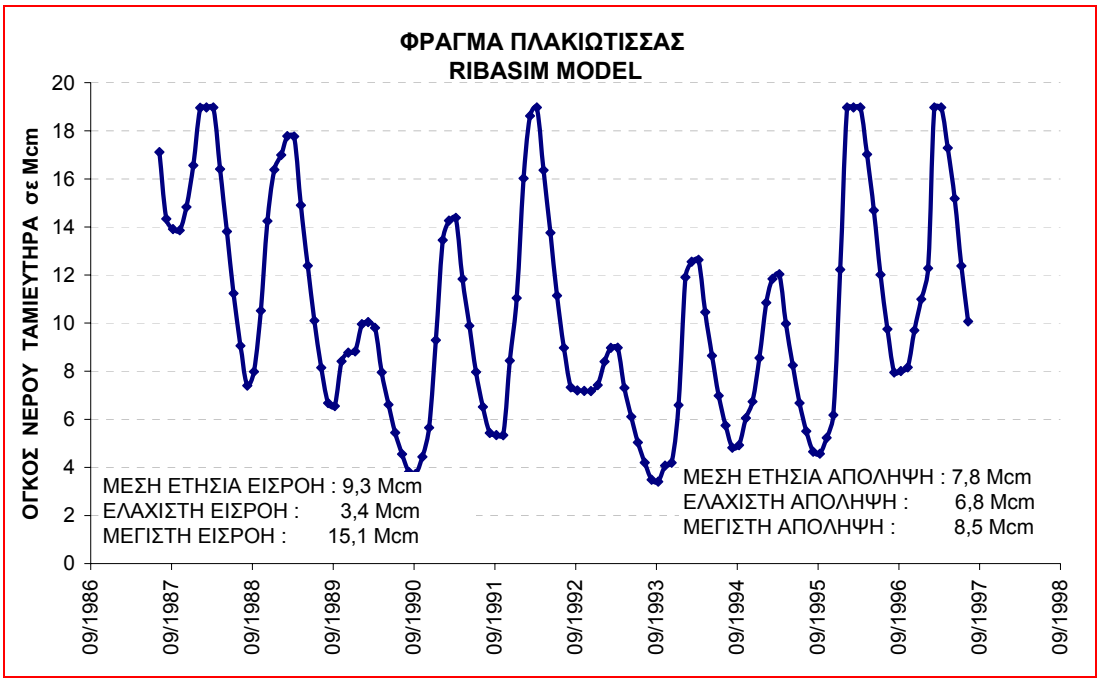
Ο βραχυπρόθεσμος σχεδιασμός επιβάλλεται να στοχεύει κατά αρχή στην κάλυψη του υφιστάμενου ελλείμματος και δευτερευόντως στην άρδευση νέων καλλιεργειών. Σε αυτό θα συμβάλλει ουσιαστικά και η χρήση των επιφανειακών νερών με την ολοκλήρωση της κατασκευής των δύο αρδευτικών φραγμάτων της Φανερωμένης και της Πλακιώτισας. Το φράγμα Φανερωμένης θα λειτουργήσει

σύντομα με την ολοκλήρωση κατασκευής του έργου των δικτύων, ενώ το φράγμα της Πλακιώτισας, με βάση τα δεδομένα υλοποίησης άλλων έργων, πιθανά μετά από πέντε χρόνια. Για τον καθορισμό των απολήψιμων ποσοτήτων από τα φράγματα και με δεδομένο τις εναλλαγές των υδρολογικών ετών, μεταξύ ξηρών- κανονικών και υγρών, και τις συνεπακόλουθες μεταβαλλόμενες εισροές στο φράγμα, οι οποίες είναι αντιστρόφως ανάλογες των αρδευτικών αναγκών (ζήτηση), χρησιμοποιήθηκε το ομοίωμα RIBASIM (River Basin Simulation Model) που έχει αναπτυχθεί από τον Ολλανδικό οίκο WI|Delft Hydraulics.

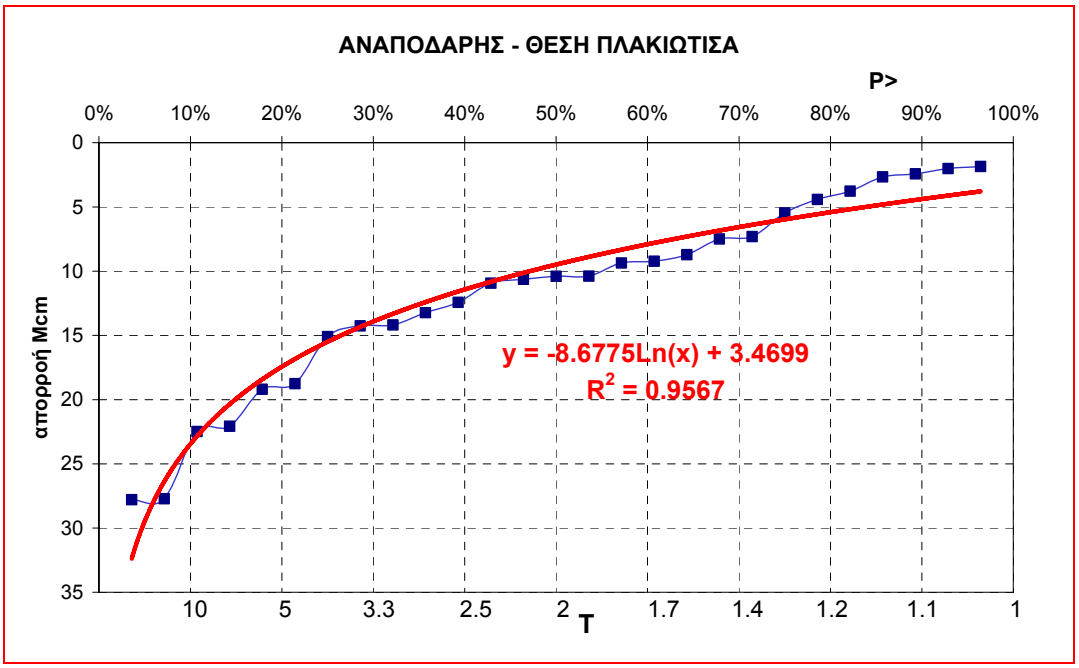
Το διαχειριστικό μοντέλο RIBASIM είναι ένα υπολογιστικό πακέτο για την προσομοίωση της συμπεριφοράς των υδρολογικών λεκανών κάτω από διαφορετικές υδρολογικές συνθήκες. Το μοντέλο είναι ένα εύχρηστο εργαλείο για τη σύνδεση των υδρολογικών εισόδων νερού σε διάφορες θέσεις με τις διάφορες καταναλώσεις νερού με σκοπό την εκτίμηση και αξιολόγηση των μέτρων που σχετίζονται με τις υποδομές και τον τρόπο διαχείρισης και λειτουργίας του συστήματος. Η δομή του μοντέλου συνίσταται από έναν αριθμό κόμβων (ζήτησης, προσφοράς, ρύθμισης κα) μέσω των οποίων και των μεταξύ των συνδέσεων κατασκευάζεται ένα σχήμα του δικτύου της υδρολογικής λεκάνης. Η προσομοίωση έγινε για τη χρονική περίοδο των ετών 1987-1997 η οποία χαρακτηρίζεται από κανονική αλληλουχία των υδρολογικών ετών και η ζήτηση αντιπροσώπευε τη ζήτηση του έτους 2002.

Στην **Εικόνα 7- 5** δίνεται το αποτελέσματα της προσομοίωσης για το φράγμα της Πλακιώτισας και ειδικότερα ο όγκος αποθήκευσης σε μηνιαίο βήμα. Από το σχήμα και τα υδρολογικά δεδομένα παρατηρούμε ότι οι ετήσιες εισροές στο φράγμα ευρέως κυμαίνονται από ελάχιστη 3,4 Mm^3 μέχρι μέγιστη 15,1 Mm^3 με μέση 9,3 Mm^3. Για την υπερετήσια λειτουργία του φράγματος (βλέπε παράγραφο 7.1.2.3) οι ετήσιες απολήψιμες ποσότητες κυμαίνονται από 6,8 Mm^3 μέχρι 8,5 Mm^3 με μέση 7,8 Mm^3. Στις απολήψιμες ποσότητες συμπεριλαμβάνεται και η ελάχιστη διατηρητέα παροχή. Η στατιστική ανάλυση των απορροών του Αναποδάρη στη θέση Πλακιώτισα δίνεται στην **Εικόνα 7- 6**.

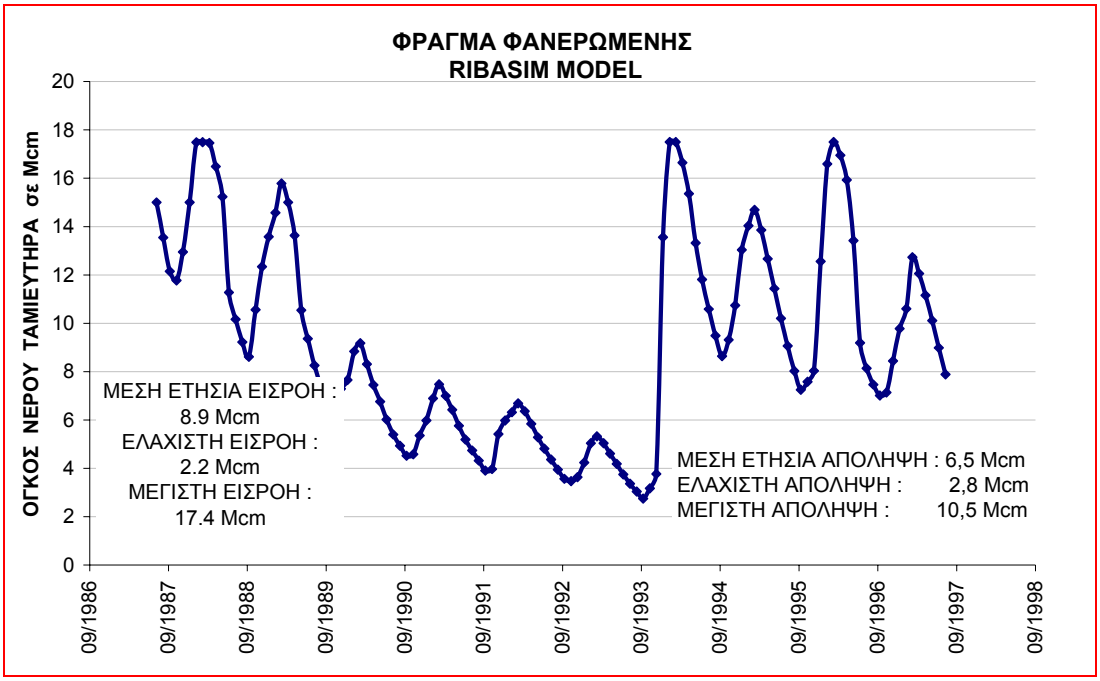
Στην **Εικόνα 7- 7** δίνεται το αποτελέσματα της προσομοίωσης για το φράγμα της Φανερωμένης και ειδικότερα ο όγκος αποθήκευσης σε μηνιαίο βήμα. Από το σχήμα και τα υδρολογικά δεδομένα παρατηρούμε ότι οι ετήσιες εισροές στο φράγμα εμφανίζουν μεγάλη διακύμανση από την ελάχιστη 2,2 Mm^3 μέχρι τη μέγιστη 17,4 Mm^3 με μέση 8,9 Mm^3. Για την υπερετήσια λειτουργία του φράγματος οι ετήσιες απολήψιμες ποσότητες κυμαίνονται από 2,8 Mm^3 μέχρι 10,5 Mm^3 με μέση 6,5 Mm^3. Στις απολήψιμες ποσότητες συμπεριλαμβάνεται και η ελάχιστη διατηρητέα παροχή. Η στατιστική ανάλυση των απορροών του Κουτσουλίδη στη θέση Φανερωμένη δίνεται στην Εικόνα 7- 8



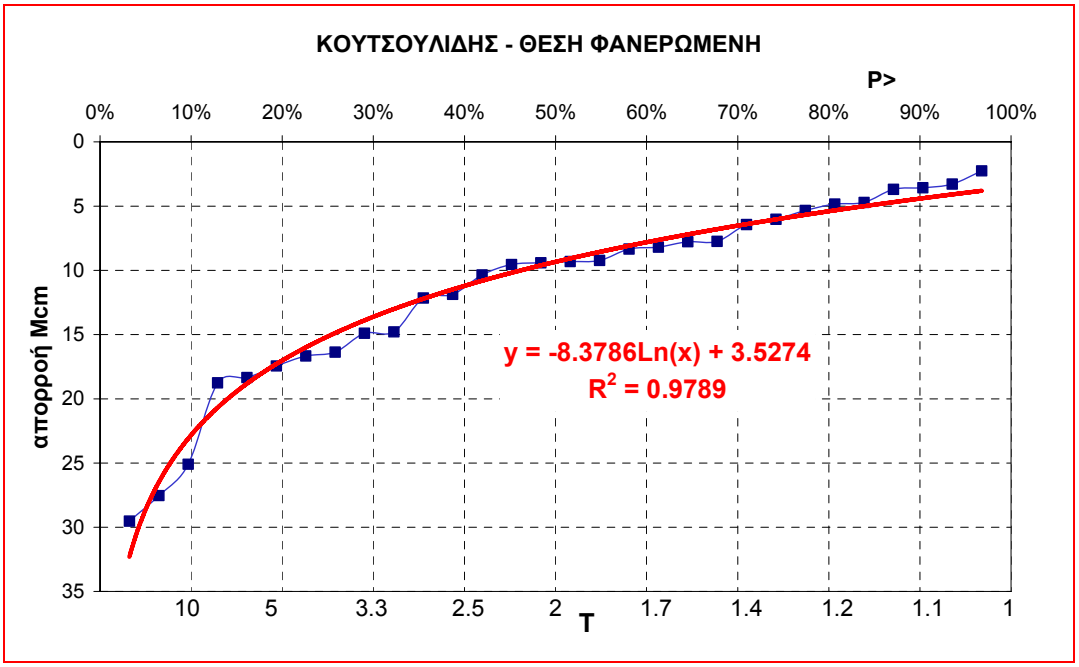
Εικόνα 7- 5 . 10ετής Προσομοίωση λειτουργίας του φράγματος Πλακιώτισας



Εικόνα 7- 6 **στατιστική ανάλυση ετήσιων απορροών θέση Πλακιώτισας. (μέθοδος Weibull, P: συχνότητα ίσης ή υπέρβασης, T: περίοδος επαναφοράς)**



Εικόνα 7- 7 . 10ετής Προσομοίωση λειτουργίας του φράγματος Φανερωμένης



Εικόνα 7- 8 στατιστική ανάλυση ετήσιων απορροών θέση Φανερωμένη.
(μέθοδος Weibull, P: συχνότητα ίσης ή υπέρβασης, T: περίοδος επαναφοράς)

Οι επιπτώσεις από την κατασκευή- λειτουργία του φράγματος Πλακιώτισας στον υδροφορέα του Χάρακα, όπως προκύπτει από την προσομοίωση των υπόγειων νερών είναι μικρή η οποία οφείλεται κύρια στην γεωμετρία του υδροφορέα και στο ρου του Γεροπόταμου που διατρέχει τη λεκάνη μόνο το ΒΑ περιθώριό της. Το μέσο ετήσιο έλλειμμα της λεκάνης του Χάρακα υπολογίσθηκε σε 1,7 Mm^3 (βλέπε κεφάλαιο 6) το οποίο υπερκαλύπτεται από το φράγμα. Η υπόλοιπη ποσότητα του νερού φράγματος δύναται να αρδεύσει νέες καλλιέργειες, όμως θα πρέπει να ληφθεί υπόψη και οι αυξημένες αντλήσεις από τις νέες γεωτρήσεις που θα λειτουργήσουν (βλέπε παρ. 7.3.2) .

Επιπτώσεις από την κατασκευή – λειτουργία του φράγματος Φανερωμένης στον υδροφορέα της λεκάνης των Μοιρών δεν θα έχουμε (αποθηκεύει απορροές της όμορης λεκάνης Τυμπακίου), αντιθέτως θα αμβλύνει το έλλειμμα του αρνητικού ισοζυγίου του υδροφορέα της λεκάνης των Μοιρών με το να υδατοπρομηθεύσει τις ήδη αρδευόμενες εκτάσεις της περιοχής (ΤΟΕΒ Β΄ και Γ' ζώνης Μεσαράς). Ποσοτικά προβλέπεται να διατεθούν από το φράγμα 3 Mm^3/έτος, το δε υπόλοιπο θα διατεθεί στη λεκάνη του Τυμπακίου, ενώ το μέσο ετήσιο έλλειμμα στη λεκάνη των Μοιρών υπολογίσθηκε σε 10,6 Mm^3 (βλέπε κεφάλαιο 6), τοιουτοτρόπως ουσιαστικά το οξύ πρόβλημα του ελλείμματος του ισοζυγίου στον υδροφορέα παραμένει. Η περίσσια στο ισοζύγιο στη λεκάνη της Βαγιονιάς υπολογίσθηκε σε 2,7 Mm^3, αλλά με τα νέα έργα γεωτρήσεων που έχουν κατασκευασθεί (έτος 2008) δεν υφίσταται πλέον, απεναντίας λίαν συντόμως, όπως προκύπτει και από την προσομοίωση των υπόγειων νερών, θα εγκατασταθεί και εκεί αρνητικό ισοζύγιο.

Επίσης, υπάρχουν αιτήματα για την κατασκευή μικρών λιμνοδεξαμενών αποθηκεύοντας απορροές της λεκάνης της Μεσαράς από τις υπώρειες των Αστερουσίων (βλέπε παράγραφο 7.1.2.1). Με δεδομένο ότι οι απορροές αυτές αφενός είναι μικρές και αφετέρου εμπλουτίζουν τον υπόγειο υδροφορέα, η κατασκευή των ουσιαστικά δεν συνεισφέρει στην άμβλυνση του ελλείμματος της λεκάνης αλλά επιλύει μόνο πολύ τοπικά προβλήματα επιτυγχάνοντας διαφορετική κατανομή των υδατικών πόρων. Κάτω από το πρίσμα αυτό και με δεδομένο το υψηλό κόστος κατασκευής των θα πρέπει να απορριφθούν.

Όσο αφορά την κατασκευή του φράγματος του Ληθαίου, που προτάθηκε αρχικά από τον FAO, θα πρέπει να αξιολογηθεί σε συνάρτηση με τις σημερινές απορροές της λεκάνης του Γεροποτάμου από τη Φαιστό, και τις επιπτώσεις που θα έχει στον όμορο υδροφορέα του Τυμπακίου που τον εμπλουτίζει. Ο παράκτιος υδροφορέας του Τυμπακίου έχει υποστεί ήδη πιέσεις από το μειωμένο εμπλουτισμό του υδρορεύματος Κουτσουλίδη λόγω της κατασκευής του φράγματος της Φανερωμένης. Στην αξιολόγηση αυτή είναι ουσιώδους σημασίας να συνεκτιμηθεί η επικινδυνότητα για υφαλμύρινση λόγω της γειτνίασή του με τη θάλασσα.
Η στατιστική ανάλυση με τη μέθοδο Weibull των ετήσιων απορροών από τη Φαιστό της περιόδου 1991-2002 μας δίνει απορροή όγκου 2,4 Mm^3 με πιθανότητα εξίσωσης ή υπέρβασης (P) 50%, απορροή 0,67 Mm^3 με P>75% και απορροή 4,9 Mm^3 με P> 25%. Συνεπώς, οι παραπάνω απορροές είναι

απαγορευτικές για την κατασκευή του φράγματος του Ληθαίου ή τουλάχιστο για την αποθηκευτικότητα, όπως προτείνεται της τάξης των 5 Mm^3. Η αποδεκτή αποθηκευτικότητα του φράγματος του Ληθαίου πρέπει να είναι όχι μεγαλύτερη του ενός Mm^3.

Το σενάριο μεταφοράς νερού από τη λεκάνη του Πλατύ για την πλήρωση του φράγματος της Φανερωμένης και τον εμπλουτισμό της λεκάνης των Μοιρών είναι η μόνη λύση που μπορεί να ανατρέψει το αρνητικό ισοζύγιο προσφοράς – ζήτησης, χωρίς να ελαττωθούν οι σημερινά αρδευόμενες καλλιέργειες.
Η στατιστική ανάλυση με τη μέθοδο Weibull των ετήσιων απορροών του Πλατύ στο σταθμό Αγ. Γαλήνη (έξοδος προς τη θάλασσα) περιόδου 35ετίας μας δίνει: μέγιστη απορροή 145 Mm^3, ελάχιστη 8 Mm^3, απορροή 44,8 Mm^3 με πιθανότητα εξίσωσης ή υπέρβαση (P)>50% ή περίοδος επαναφοράς (T) 2 έτη, απορροή 31,2 Mm^3 με P>75% ή T=1,33 έτη και απορροή 66 Mm^3 με P>25% ή T=4 έτη.
Σήμερα υπάρχει μόνο προκαταρκτική μελέτη η οποία προβλέπει την κατασκευή ενός φράγματος όγκου αποθήκευσης 20 Mm^3 στη λεκάνη του Πλατύ για την κάλυψη των αναγκών της όμορης λεκάνης και την κατασκευή αγωγού μεταφοράς νερού από το φράγμα του Πλατύ προς το φράγμα Φανερωμένης. Η προτεινόμενη ποσότητα των 20 Mm^3 που θα μεταφερθεί στη Μεσαρά κατανέμεται αρχικά σε 10 Mm^3 για εμπλουτισμό του φράγματος Φανερωμένης και 10 Mm^3 για τον τεχνητό εμπλουτισμό του υδρογεωλογικού συστήματος της Μεσαράς. Για τη συνέχεια του έργου θα πρέπει να εκπονηθούν οι οριστικές τεχνικοοικονομικές μελέτες, και να εκδοθούν οι αδειοδοτήσεις κατασκευής του έργου και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και στη συνέχεια να πραγματοποιηθεί η κατασκευή του έργου που εκτιμάται στη τάξη των 120 εκατομμυρίων ευρώ.

7.3.5. Μέτρα προστασίας της λεκάνης Μεσαράς

Τα μέτρα προστασίας καθορίζονται από το υφιστάμενο θεσμικό πλαίσιο (βλέπε παράγραφο 7.2.1) και ειδικότερα από την οδηγία πλαίσιο για τα νερά 2000/60/ΕΚ. Ο σκοπός της οδηγίας είναι η θέσπιση πλαισίου ολοκληρωμένης διαχείρισης των υδάτων όλων των κρατών μελών της Ευρωπαϊκής Ένωσης, που συμπεριλαμβάνει τα εσωτερικά επιφανειακά ύδατα (ποταμοί, λίμνες μεταβατικά- υφάλμυρα εκβολές των ποταμών), τα παράκτια (μέχρι την απόσταση ενός μιλίου από την ακτή) και τα υπόγεια, το οποίο συμβάλει στην:

- Αποτροπή της περαιτέρω υποβάθμισης όλων των υδάτων
- Βελτίωση της κατάστασης των υδάτων και οικοσυστημάτων
- Προστασία των υδάτων από την ρύπανση
- Μετριασμός των επιπτώσεων από πλημμύρες και ξηρασία

Ο στόχος της οδηγίας είναι η επίτευξη «καλής κατάστασης» σε όλα τα ύδατα της Ευρώπης έως το έτος 2015 μέσω της εισαγωγής ενός συστήματος ολοκληρωμένης διαχείρισης των υδατικών πόρων. Το καινοτόμο της οδηγίας είναι ότι προβλέπει για την επίτευξη της καλής κατάστασης συγκεκριμένες δράσεις και με ορισμένο χρονοδιάγραμμα (βλέπε παράγραφο 7.2.1).

Η εφαρμογή της οδηγίας στην Κρήτη παρουσιάζει προβλήματα εξαιτίας της ιδιαιτερότητας που συνοψίζονται:

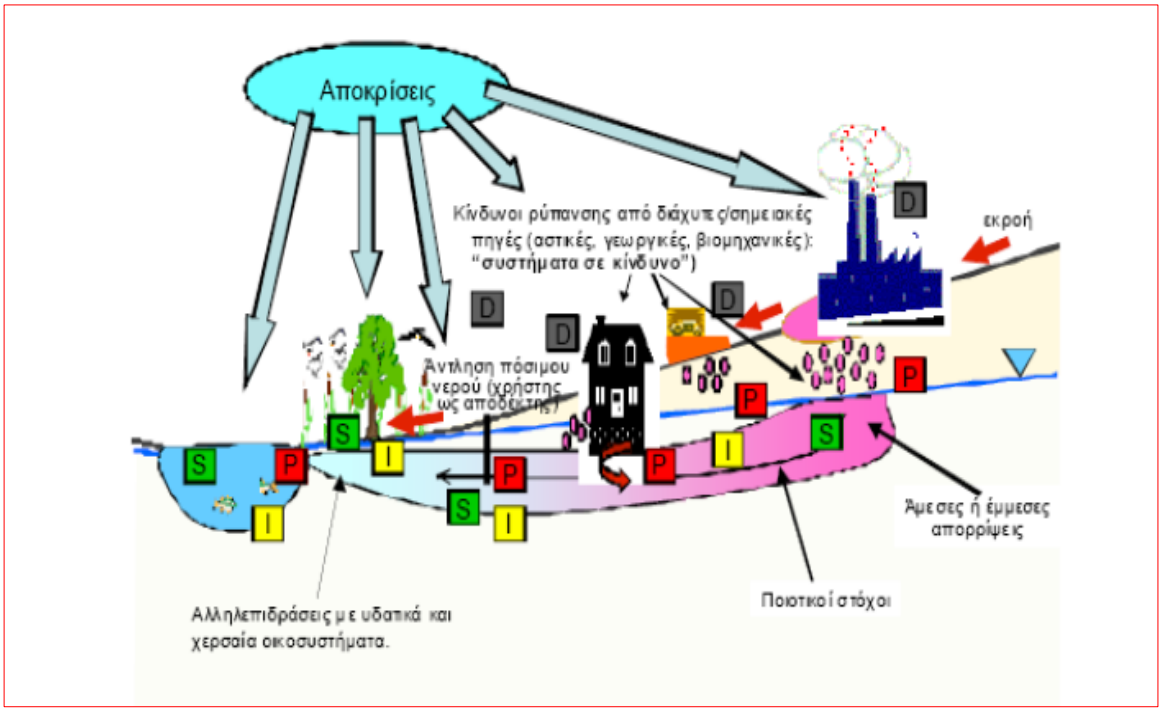
- Λεκάνες απορροής πολύ μικρού μεγέθους
- Εκτεταμένη ακτογραμμή
- Άνιση κατανομή των πόρων
- Άνιση κατανομή του πληθυσμού
- Εποχικότητα της ζήτησης
- Μεγάλος αριθμός περιοχών με προβλήματα έλλειψης νερού
- Υπερεκμετάλλευση και υφαλμύρινση των υπόγειων υδροφορέων
- Γεωργία ο μεγάλος χρήστης
- Μεγάλος αριθμός ιδιωτικών υδροληπτικών έργων (γεωτρήσεις)
- Ανεπάρκεια διοικητικών και τεχνικών υποδομών
- Θεσμικό πλαίσιο με αλληλοκαλυπτόμενες αρμοδιότητες
- Νομοθετικό πλαίσιο ελλιπές και μη υλοποιημένο σε μεγάλο βαθμό
- Μικρή εμπειρία σε συμμετοχικές διαδικασίες

Όσον αφορά τα υπόγεια ύδατα, η οδηγία πλαίσιο 2000/60/ΕΚ και η θυγατρική οδηγία 2006/118/ΕΚ «προστασία των υπόγειων υδάτων από τη ρύπανση και την υποβάθμιση», καθορίζουν τα επόμενα βήματα για την επίτευξη της «καλής κατάστασης»:

- Καθορισμός και χαρακτηρισμός των υπόγειων συστημάτων (διαχειριστικές ενότητες). Ο χαρακτηρισμός βασίζεται στην κατανόηση της υδροδυναμικής λειτουργίας του υδρογεωλογικού συστήματος (Driving forces), των σχετικών πιέσεων που ασκούνται σε αυτό (Pressures), της κατάστασης των υδάτων (Status), των επιπτώσεων (Impact) και της ανταπόκρισης (Responses) που, για το τελευταίο, είναι το πρόγραμμα με τα μέτρα που θα πρέπει να ληφθούν για την επίτευξη της καλής κατάστασης (Εικόνα 7- 9). Η παραπάνω μεθοδολογική προσέγγιση (DPSIR) αποτελεί τη ραχοκοκαλιά της διαχείρισης κάθε διαχειριστικής ενότητας. Αυτή η μεθοδολογία περιλαμβάνει την ανάλυση όλων των πιέσεων και των επιπτώσεων στην ποιότητα και στην ποσότητα των (υπογείων) υδάτων από τις ανθρώπινες δραστηριότητες, με σκοπό να καθορισθούν τα υδατικά συστήματα που υπόκεινται στον κίνδυνο ώστε να μην επιτευχθεί ο στόχος της οδηγίας.
- Εγκατάσταση ενός συστήματος παρακολούθησης, βασιζόμενο στα αποτελέσματα του χαρακτηρισμού των υδατικών συστημάτων και στον προσδιορισμό της επικινδυνότητας, που να εξασφαλίζει τη γενική χημική και ποσοτική κατάσταση των υπόγειων υδάτων.
- Η παράμετρος για την ταξινόμηση της «καλής ποσοτικής κατάστασης» ορίζεται (προεδρικό διάταγμα 51/2007), με βάση τη στάθμη των υπογείων υδάτων, ως: «η στάθμη των υπογείων υδάτων στο σύστημα υπόγειων υδάτων η οποία εξασφαλίζει ότι ο διαθέσιμος πόρος δεν εξαντλείται από το μακροπρόθεσμο ετήσιο μέσο όρο άντλησης. Κατά συνέπεια, η στάθμη των υπόγειων υδάτων δεν υπόκεινται σε ανθρωπογενείς μεταβολές οι οποίες θα οδηγούσαν: (1) σε μη τήρηση των περιβαλλοντικών στόχων, (2) σε σημαντική μείωση της ποσοτικής κατάστασής τους και (3) σε σημαντική βλάβη των χερσαίων οικοσυστημάτων, τα οποία εξαρτώνται άμεσα από το σύστημα υπόγειων υδάτων. Αυτές οι μεταβολές μπορεί να εμφανίζονται προσωρινά, ή συνεχώς σε χωρικώς περιορισμένη περιοχή, ως μεταβολές κατεύθυνσης της ροής λόγω μεταβολών της στάθμης, αλλά οι αντιστροφές αυτές δεν οδηγούν σε εισροή αλμυρού νερού ή άλλων υλών και δεν αποτελούν

μόνιμη και σαφώς διαπιστωμένη ένδειξη τάσεων, οφειλόμενων σε ανθρωπογενή αίτια.

- Οι παράμετροι για τον προσδιορισμό της «καλής χημικής κατάστασης» των υπόγειων υδάτων ορίσθηκαν η αγωγιμότητα και οι συγκεντρώσεις ρύπων. Ως «καλή χημική κατάσταση» ορίζεται η χημική σύσταση του συστήματος των υπόγειων υδάτων να είναι τέτοια ώστε οι συγκεντρώσεις των ρύπων: (1) δεν εμφανίζουν επιπτώσεις εισροής αλμυρού νερού ή άλλων ουσιών, (2) δεν υπερβαίνουν τα πρότυπα ποιότητας που εφαρμόζονται βάση σχετικής κοινοτικής ή εθνικής οδηγίας και (3) δεν είναι τέτοιες ώστε να οδηγήσουν σε μη επίτευξη των περιβαλλοντικών στόχων για τα συνδεμένα επιφανειακά ύδατα.



Εικόνα 7- 9. Χαρακτηρισμός των υδατικών υπόγειων συστημάτων και καθορισμός της επικινδυνότητας με μέθοδο DPSIR. (Quevauviller Ph., 2008)

- Τη σύνταξη σχεδίου διαχείρισης για κάθε λεκάνη το οποίο θα πρέπει να περιλαμβάνει: (1) περίληψη των πιέσεων και των επιπτώσεων των ανθρωπίνων δραστηριοτήτων στα υπόγεια ύδατα και την παρουσίασή τους σε χάρτες με βάση το σύστημα παρακολούθησης, (2) περίληψη της οικονομικής ανάλυσης των χρήσεων νερού, (3) περίληψη των προγραμμάτων προστασίας, (4) τα μέτρα του ελέγχου και (5) τα μέτρα που θεσπίζονται, συμπεριλαμβανομένων και των τρόπων, με τα οποία θα επιτευχθούν οι περιβαλλοντικοί στόχοι.

Συνεπακόλουθα, του θεσμικού πλαισίου που διέπει τα ύδατα, της αειφόρου διαχείρισης των υδατικών πόρων και της κατάστασης των υδάτων της περιοχής

της Μεσαράς, όπως περιγράφεται στις προηγούμενες ενότητες, επιβάλλεται να εφαρμοσθούν μέτρα που να αποσκοπούν στην αντιστροφή των τάσεων τόσο της ποσοτικής όσο και της ποιοτικής κατάστασης ώστε να επιτευχθεί η «καλή κατάσταση των υδάτων της Μεσαράς. Τα μέτρα αυτά θα στοχεύουν: (1) στην αναβάθμιση και αποκατάσταση των υπογείων υδάτων ήτοι διασφάλιση του υπερετήσιου ισοζυγίου εισροών – εκροών, λαμβανομένου υπόψη και την κατάσταση των ρυθμιστικών αποθεμάτων και (2) την αντιστροφή κάθε ανοδικής τάσης συγκέντρωσης οιουδήποτε ρύπου που οφείλεται σε ανθρώπινη δραστηριότητα, προκειμένου να μειωθεί προοδευτικά η ρύπανση των υπόγειων υδάτων. Τα μέτρα αυτά δύναται να διακριθούν σε μέτρα βραχυπρόθεσμου και μέτρα μεσοπρόθεσμου χρονικού ορίζοντα, η επιτυχία των οποίων θα εξαρτηθεί αφενός από την δυνατότητα εφαρμογής τους και αφετέρου από την αλληλουχία των υδρολογικών ετών (ξηρά, κανονικά υγρά) και την πορεία των έργων αποθήκευσης επιφανειακών νερών.

Βραχυπρόθεσμος ορίζοντας

Οι χημικές αναλύσεις που έχουν πραγματοποιηθεί στα υπόγεια νερά του προσχωματικού υδροφορέα της Μεσαράς δείχνει επιβάρυνση από ανθρωπογενείς δραστηριότητες (βλέπε παρ. 7.2.3.1) και ειδικότερα σε νιτρορύπανση με συγκεντρώσεις σε ορισμένες περιοχές που υπερβαίνουν τα όρια ποσιμότητας. Η κατάσταση αυτή κατά αρχή είναι δυνατόν να αντιστραφεί και να επιτευχθεί η «καλή ποιοτική κατάσταση» αφού όλες οι αναλύσεις δεικνύουν περιορισμένη ρύπανση οφειλόμενη στις καλλιέργειες και τα οικιακά απόβλητα. Η εφαρμογή ορθών γεωργικών πρακτικών στη χρήση λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων, η κατασκευή των βιολογικών καθαρισμών επεξεργασίας των οικιακών υγρών αποβλήτων και η τήρηση των όρων λειτουργίας των δεξαμενών εναπόθεσης των υγρών αποβλήτων των ελαιουργείων είναι τα ενδεδειγμένα μέτρα τα οποία κρίνονται εφαρμόσιμα, έχουν μικρό σχετικά κόστος εφαρμογής και θα οδηγήσουν στην αντιστροφή της κατάστασης.

Η ουσιαστική πίεση, όπως ήδη έχει αναφερθεί, είναι η ποσοτική στα υπόγεια νερά η οποία έχει διαφορετική ένταση στις τρεις λεκάνες που έχει διακριθεί το υδρογεωλογικό σύστημα της λεκάνης της Μεσαράς: (1) του Αναποδάρη – Χάρακα, (2) του Γεροποτάμου – Μοιρών και (3) του Γεροποτάμου- Βαγιονιάς, Γκαγκαλών. Επισημαίνεται ότι οι ποσοτικές πιέσεις που αναφέρονται στην παρούσα μελέτη αφορούν την κατάσταση όπως είχε διαμορφωθεί από πλευράς αντλήσεων το έτος 2004, όμως το έτος 2007 κατασκευάσθηκαν νέα έργα υδρογεωτρήσεων και οι αντλούμενες ποσότητες θα αυξηθούν ακόμα περισσότερο με αποτέλεσμα την ακόμα μεγαλύτερη πτώση της στάθμης (βλέπε παρ. 7.1.2.2).

Η λεκάνη του Χάρακα έχει υποστεί μικρές πιέσεις οι οποίες όμως θα αυξηθούν λόγω των νέων γεωτρήσεων που θα λειτουργήσουν στο άμεσο μέλλον. Τα μέτρα που θα εφαρμοσθούν πρέπει να αποβλέπουν στη μείωση των αντλούμενων ποσοτήτων κατά ποσοστό περίπου 16% το οποίο κρίνεται εφικτό. Βέβαια, το ποσοστό αυτό θα πρέπει να αυξηθεί μετά από τη λειτουργία των νέων γεωτρήσεων. Όμως, η ελάττωση των αντλούμενων ποσοτήτων από τα υπόγεια νερά θα αντικατασταθούν άμεσα μετά τη λειτουργία του φράγματος της

Πλακιώτισας που όπως προαναφέρθηκε είναι υπό κατασκευή, ώστε να μην υπάρξει έλλειμμα στις αρδευόμενες καλλιέργειες (βλέπε παρ. 7.3.4.2).

Η λεκάνη της Βαγιονιάς- Γκαγκαλών στο σύνολό της εμφανίζει πλεόνασμα του ισοζυγίου εισροών – εκροών, όμως θα πρέπει να επισημανθεί ότι μεγάλες πιέσεις (πτώση στάθμη) έχει υποστεί ο επιφανειακός αλλουβιακός υδροφορέας σε αντίθεση με τον υποκείμενο πλειστοκαινικό υδροφορέα. Ωστόσο, η σημερινή κατάσταση είναι διαφορετική λόγω του μεγάλου αριθμού των νέων γεωτρήσεων που θα τεθούν άμεσα σε λειτουργία. Επιβάλλεται και εδώ οι αντλήσεις να πραγματοποιηθούν με φειδώ και να παρακολουθείται το σύστημα αν από πλεονασματικό καταστεί ελλειμματικό ώστε να ληφθούν άμεσα μέτρα.

Η λεκάνη των Μοιρών έχει υποστεί τις μεγαλύτερες πιέσεις οφειλόμενες αφενός στις καλές υδρογεωλογικές ιδιότητες του σχετικά μεγάλου πάχους αλλουβιακού υδροφορέα που δίνει τη δυνατότητα αντλήσεων με μεγάλες παροχές και αφετέρου στα συλλογικά έργα (ΤΟΕΒ) που έχουν κατασκευασθεί και τον εκμεταλλεύονται. Οι μέσες ετήσιες αντλούμενες ποσότητες ανέρχονται στα 27 Mm^3 και το έλλειμμα στο ισοζύγιο εισροών – εκροών στα 8 Mm^3 ήτοι η ποσότητα αυτή αντλείται από τα μόνιμα αποθέματα του υδροφορέα. Σε αντίθεση με τις υπόλοιπες λεκάνες στη λεκάνη των Μοιρών δεν κατασκευάσθηκαν νέες γεωτρήσεις το 2007. Σε σύντομο χρονικό διάστημα θα λειτουργήσει το φράγμα της Φανερωμένης και θα προμηθεύσει τη λεκάνη με ποσότητα νερού της τάξης των 3 Mm^3 οπότε το έλλειμμα θα ανέρχεται στη τάξη των 5 Mm^3. Και εδώ όπως και στις άλλες λεκάνες τα μέτρα που θα πρέπει να εφαρμοσθούν για την επίτευξη της «καλής ποσοτικής κατάστασης» είναι η ελάττωση των αντλήσεων κατά ποσοστό 19%. Θα πρέπει επίσης να τονιστεί ότι η λεκάνη των Μοιρών δέχεται υπόγειες εισροές από τη λεκάνη της Βαγιονιάς- Γκαγκαλών της τάξης των 2,6 Mm^3, οι οποίες θα ελαττωθούν εφόσον λειτουργήσουν οι νέες γεωτρήσεις της λεκάνης της Βαγιονιάς - Γκαγκαλών και σε αυτή την περίπτωση για την αντιστροφή της κατάστασης του ελλείμματος η περικοπή των αντλήσεων στη λεκάνη των Μοιρών θα πρέπει να είναι σε ποσοστό 28%.

<u>Μεσοπρόθεσμος ορίζοντας</u>

Τα μέτρα για την επίτευξη της «καλής χημικής κατάστασης» των υδάτων της Μεσαράς που θα πρέπει να εφαρμοσθούν στο μεσοπρόθεσμο ορίζοντα είναι τα ίδια με τα παραπάνω αναφερόμενα στο βραχυπρόθεσμο ορίζοντα με την προϋπόθεση ότι δεν θα αναπτυχθούν νέες ρυπαντικές δραστηριότητες στην περιοχή.
Ρύπανση από την είσοδο της θάλασσας δεν θα υπάρξει ακόμα και αν η στάθμη υποβιβασθεί κάτω από το υψόμετρο της θάλασσας (λεκάνη Μοιρών) λόγω της δομής του υδρογεωλογικού συστήματος το οποίο δεν επικοινωνεί με την θάλασσα με εξαίρεση το «στένεμα της Φαιστού» που επικοινωνεί με τον παράκτιο υδροφορέα του Τυμπακίου. Εδώ θα πρέπει να αναφερθεί ότι ο φυσικός εμπλουτισμός του υδροφορέα του Τυμπακίου έχει ελαττωθεί λόγω της αποθήκευσης των απορροών του Κουτσουλίδη στο φράγμα της Φανερωμένης, ο οποίος σήμερα χαρακτηρίζεται ως ευρισκόμενος σε υψηλή επικινδυνότητα για υφαλμύρινση και απαιτείται η συνεχής παρακολούθηση και η προσήκουσα προστασία. Όμως ακόμη και στην περίπτωση που υπάρξει υφαλμύρινση του

υδροφορέα του Τυμπακίου η λεκάνη των Μοιρών είναι ασφαλής λόγω της υδρογεωλογικής δομής του συστήματος όπως προαναφέρθηκε.

Τα μέτρα για την επίτευξη της «καλής ποσοτικής κατάστασης» που θα πρέπει να εφαρμοσθούν στο μεσοπρόθεσμο ορίζοντα είναι τα ίδια με τα παραπάνω αναφερόμενα στο βραχυπρόθεσμο ορίζοντα εκτός αν ολοκληρωθεί ο σχεδιασμός της εκτροπής του Πλατύ ποταμού προς το φράγμα της Φανερωμένης και τον τεχνητό εμπλουτισμό της λεκάνης των Μοιρών. Ο εμπλουτισμός του φράγματος της Φανερωμένης από τον Πλατύ θα αποδώσει ποσότητες ικανές να καλυφθεί το σημερινό έλλειμμα που αντλείται από τα μόνιμα αποθέματα της λεκάνης των Μοιρών.

Ο τεχνητός εμπλουτισμός θα πρέπει να πραγματοποιηθεί στις θέσεις που βελτιστοποιείται αυτός ώστε να αποφευχθεί η αστοχία του υφιστάμενου (βλέπε παρ.7.10). Η προσομοίωση του υδροφορέα όπως παρουσιάστηκε στο κεφάλαιο 6 μας δίνει τη δυνατότητα να υπολογισθούν οι ποσότητες που δύναται να εμπλουτίσουν τον υδροφορέα καθώς τις θέσεις και το ρυθμό εμπλουτισμού. Ως πρώτη προσέγγιση προτείνονται όλα τα υδρορεύματα που ευρίσκονται ανατολικότερα του ύψους του οικισμού των Μοιρών.

Εναλλακτικά, αντί του τεχνητού εμπλουτισμού, θα πρέπει να αξιολογηθεί και η περίπτωση κατασκευής του φράγματος του Ληθαίου αποθηκευτικότητας της τάξης των 5 Mm^3, αντί του ενός Mm^3 που προτείνεται ως σημερινή δυνατότητα (βλέπε παρ.). Η αξιολόγηση θα πρέπει να στηριχθεί στην τεχνοοικονομική μελέτη των δυο εναλλακτικών προτάσεων καθώς επίσης και στην ανάκτηση του κόστους των υπηρεσιών νερού.

Ο υπολογισμός του συνολικού κόστους νερού, που θα κληθεί να πληρώσει ο χρήστης, σύμφωνα με την οδηγία πλαίσιο για τα νερά περιλαμβάνει το χρηματοοικονομικό κόστος των έργων (κόστος λειτουργίας και συντήρησης έργου, διοικητικό και κόστος κεφαλαίου), το περιβαλλοντικό κόστος (κόστος υποβάθμισης ποιότητας) και το κόστος του φυσικού πόρου (κόστος ευκαιρίας εναλλακτικών χρήσεων παρούσες και μελλοντικές - βλέπε οδηγία 2000/60/ΕΚ ανάκτηση του κόστους για τις υπηρεσίες ύδατος).

- Το χρηματοοικονομικό κόστος περιγράφεται σε όρους κόστους κεφαλαίου, κόστους λειτουργίας και συντήρησης του έργου, διοικητικό κόστος και άλλα άμεσα κόστη για τις υπηρεσίες παροχής ύδατος.
- Το κόστος των φυσικών πόρων σχετίζεται με τη μείωση της διαθέσιμης ποσότητας του πόρου λόγω υπερεκμετάλλευσης. Αντιπροσωπεύει την απώλεια οφέλους λόγω του περιορισμού των διαθέσιμων υδατικών πόρων και αποτιμάται ως κόστος ευκαιρίας. Το κόστος φυσικών πόρων υπολογίζεται από τα ελλείμματα κάθε χρήσης πολλαπλασιαζόμενα με την τιμή του κόστους ευκαιρίας. Όταν η ζήτηση νερού για όλες τις χρήσεις καλύπτεται πλήρως το κόστος του φυσικού πόρου είναι μηδενικό, ενώ το κόστος αυτό είναι σημαντικό όταν υπάρχει έλλειψη νερού λόγω εξάντλησης των αποθεμάτων του πόρου. Το κόστος ευκαιρίας για την Κρήτη θα μπορούσε να ληφθεί ως το κόστος αφαλάτωσης που σήμερα εκτιμάται στο 1,3-2 €/m^3 ή από το κόστος ανακυκλωμένου νερού. Για τη Μεσαρά λόγω της μικρής ποσότητας του ανακυκλωμένου νερού

(υπολογίζεται σε 2 Mm^3) θα πρέπει να εκτιμηθεί με το κόστος της αφαλάτωσης.

- Το περιβαλλοντικό κόστος αντανακλά τις επιπτώσεις στο περιβάλλον και την κοινωνική ευημερία λόγω μείωσης της περιβαλλοντικής ποιότητας. Αντιπροσωπεύει το κόστος από τις επιπτώσεις που προκαλούνται στο περιβάλλον και τα υδατικά οικοσυστήματα από τις χρήσεις και τις υπηρεσίες νερού και δύναται να διακριθούν σε ποιοτικές και ποσοτικές. Οι ποιοτικές επιπτώσεις αποτιμώνται ως κόστος απαιτούμενων έργων ώστε να αντιμετωπισθούν οι ήδη αναγνωρισμένες περιβαλλοντικές επιπτώσεις που έχουν προκληθεί από τις υδατικές χρήσεις. Υπολογίζεται με το κόστος των μονάδων επεξεργασίας λυμάτων που απαιτούνται ώστε να αρθούν οι υφιστάμενες περιβαλλοντικές πιέσεις.

Η προσομοίωση των υπόγειων νερών από την παρούσα εργασία (GMS-Modflow) , η προσομοίωση των επιφανειακών νερών (ομοίωμα Sacramento) και η προσομοίωση του ισοζυγίου προσφοράς – ζήτησης (RIBASIM) αποτελεί το υπόβαθρο για την αξιολόγηση όλων των εναλλακτικών προτάσεων που αφορούν: (1) την άμβλυνση του ελλείμματος μεταξύ προσφοράς – ζήτησης, (2) τον προσδιορισμό (ποιοτικό και ποσοτικό) των πιέσεων, και (3) τον υπολογισμό του κόστους ανάκτησης των διαφόρων χρήσεων νερού (οικονομική ανάλυση).

Η παραπάνω ανάλυση μας δίνει τη δυνατότητα να εντοπισθεί το μείγμα της πολιτικής που θα εξασφαλίσει κίνητρα αποτελεσματικότερης διαχείρισης των υδάτινων πόρων με το μικρότερο δυνατό κόστος, την εξέταση εναλλακτικών εργαλείων οικονομικής πολιτικής (π.χ. ποσοτικοί περιορισμοί, φόροι ρύπανσης, επιδοτήσεις, μέτρα ευαισθητοποίησης κοινού με στόχο τη δημιουργία υδατικής συνείδησης, αγρο-περιβαλλοντικά προγράμματα για την παροχή οικονομικής και τεχνικής βοήθειας) και να αξιολογηθεί η δυνατότητά τους να συμβάλλουν στην κατεύθυνση της επαρκούς ανάκτησης του κόστους υπηρεσιών νερού.
Η ανάλυση αυτή κρίνεται πέρα του αντικειμένου της παρούσας εργασίας.

<u>Σενάριο μη λήψης μέτρων προστασίας</u>.

Όλα τα παραπάνω προτεινόμενα μέτρα θεωρούνται δύσκολο να γίνουν αποδεκτά από τους χρήστες νερού οι οποίοι συνεχώς πιέζουν για όλο και μεγαλύτερες ποσότητες νερού. Από την άλλη μεριά η λήψη των ενδεδειγμένων μέτρων από τις αρμόδιες υπηρεσίες, για παράδειγμα με κανονιστική απόφαση του Γενικού Γραμματέα Περιφέρειας Κρήτης, συναντούν αντικειμενικές δυσκολίες στην εφαρμογή τους και στον έλεγχο της εφαρμογής κυρίως γιατί σχεδόν όλες οι αντλούμενες ποσότητες πραγματοποιούνται από ιδιωτικά έργα.

Αν κάνουμε την υπόθεση ότι δε λαμβάνεται ή δεν εφαρμόζεται κανένα πρόσθετο μέτρο για την προστασία των υδάτων και τα επόμενα υδρολογικά έτη είναι «κανονικά» σε ότι αφορά τα κατακριμνήσματα, τότε με βάση την προσομοίωση του υδρογεωλογικού συστήματος από την επόμενη καλοκαιρινή περίοδο θα υπάρξει μια σημαντική ταπείνωση της στάθμης των υδάτων και συνεπακόλουθα ελάττωση της παροχής των υδρογεωτρήσεων, αρχικά από τις γεωτρήσεις στο περιθώριο της λεκάνης και κύρια αυτών με τις μεγάλες παροχές οι οποίες αντλούν από τον αλλουβιακό υδροφορέα. Η κατάσταση αυτή θα επιδεινώνεται

βαθμιαία στα επόμενα έτη μέχρι την εξάντληση των μόνιμων αποθεμάτων και τότε οι συνολικά αντλούμενες ποσότητες θα εξαρτώνται από τις εισροές στο σύστημα κάθε υδρολογικού έτους οι οποίες κυμαίνονται από 33 Mm^3 (ξηρό έτος) μέχρι 81 Mm^3 (υγρό έτος) με μέση τιμή (κανονικό έτος) τα 51 Mm^3.
Η εξέλιξη της επιδείνωσης άμεσα θα εξαρτάται από το υδρολογικό έτος, στη περίπτωση που θα έχουμε την εμφάνιση ενός ξηρού έτους η κατάσταση θα επιδεινωθεί με ταχύτερο ρυθμό, ενώ η επιδείνωση της κατάστασης θα επιβραδυνθεί αν έχουμε υγρό έτος.

Συμπεράσματα

Η **μεθοδολογική προσέγγιση** που εφαρμόσθηκε στην περιοχή μελέτης τη Μεσαρά, όπως συνοπτικά αναφέρεται στην εισαγωγή και αναλύεται αναλυτικά στα επί μέρους κεφάλαια, δύναται να προσεγγίσει την πραγματική διαχρονική κατάσταση των υδάτων στην Κρήτη και στη κλίμακα της υδατικής περιοχής η οποία με τη σειρά της θα συμβάλλει στην τεκμηριωμένη λήψη απόφασης και στην ουσιαστική κατάρτιση/αξιολόγηση ενός ολοκληρωμένου σχεδίου διαχείρισης και προστασίας των υδάτων που σύμφωνα με την οδηγία 2000/60/ΕΚ έχει ως βασικό στόχο την επίτευξη της «καλής κατάστασης». Ειδικότερα, τα συμπεράσματα/συνοπτικά αποτελέσματα για την περιοχή μελέτης, η οποία οριοθετείτε από την έκταση του τεταρτογενή υδροφορέα του πεδινού τμήματος της Μεσαράς συμπεριλαμβάνοντας τις υδρολογικές λεκάνες που απορρέουν σε αυτόν, είναι ως εξής:

I. Μετεωρολογικά δεδομένα

Τα παρακάτω συμπεράσματα προκύπτουν από την ανάλυση των μετεωρολογικών δεδομένων σε μηνιαίο βήμα 32ετούς χρονοσειράς (1973-2003) των 23 σταθμών της περιοχής μελέτης. Η διαχείριση των δεδομένων έγινε στην υδρολογική βάση HYMOS και κατασκευάσθηκαν σχετικοί θεματικοί χάρτες χαρακτηριστικών περιόδων με τη χρήση ΓΣΠ εφαρμόζοντας μεθόδους ολοκλήρωση επιφάνειας (IDW, splines, kriging).

Η χρονοσειρά των βροχοπτώσεων δεν εμφάνισε συστηματική **ασυνέπεια** αλλά αποκλίσεις γύρω από τη μέση γραμμή (σκέδαση) οι οποίες συσχετίζονται με την αλληλουχία ξηρών-υγρών υδρολογικών ετών, που σε αρκετές μελέτες χρησιμοποιώντας μικρότερους περιόδους την εκλάμβαναν ως ασυνέπεια. Η επέκταση και η συμπλήρωση της χρονοσειράς της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής, λόγω της έλλειψης δεδομένων ταχύτητας ανέμου, υπολογίσθηκε με εμπειρική σχέση που απαιτεί δεδομένο μόνο την θερμοκρασία η οποία έδωσε πολύ καλά αποτελέσματα.

Το ύψος των βροχοπτώσεων μεταβάλλεται έντονα και ειδικότερα μειώνεται από βορρά προς νότο και αυξάνεται με το υψόμετρο. Η βροχομετρική βαθμίδα για το βόρειο τμήμα είναι 91 mm ανά 100 μέτρα μεταβολής υψομέτρου, ενώ για το νότιο είναι 25 mm.
Το μέσο υπερετήσιο επιφανειακό ύψος βροχόπτωσης υπολογίσθηκε με τη μέθοδο kriging 669,1 mm και η ετήσια βροχόπτωση για το «ξηρότερο» και το «υγρότερο» υδρολογικό έτος σε 397,6 mm και 1196,0 mm αντίστοιχα.
Η στατιστική ανάλυση των βροχοπτώσεων έδειξε ότι τα ετήσια ύψη βροχής ακολουθούν το πιθανοτικό ομοίωμα της κανονικής κατανομής (normal distribution) και τα μηνιαία ύψη βροχής για τους χειμερινούς μήνες ακολουθούν την κατανομή Γάμμα τριών παραμέτρων (Pearson III).
Η μέση ετήσια επιφανειακή βροχόπτωση περιόδου επαναφοράς 2 ετών στη λεκάνη της Μεσαράς, ανέρχεται σε 653 mm, και κατανέμεται 912 mm για τις βόρειες υπολεκάνες Ψηλορείτης, 521 mm για το πεδινό τμήμα και 535 mm για τις νότιες υπολεκάνες (Αστερούσια). Το ετήσιο ύψος επιφανειακής βροχόπτωσης για το ξηρό έτος ανέρχεται 469 mm και για το υγρό έτος 836 mm. Επίσης, σε ετήσια κατανομή οι βροχοπτώσεις τείνουν να κατανέμονται σε λιγότερους μήνες (χειμερινούς) με την αύξηση της συχνότητας εμφάνισης ή υπέρβασης δηλαδή στα ξηρότερα έτη.

Η μέση ετήσια θερμοκρασία κυμαίνεται από 14,9°C μέχρι 20,3°C και η μέση υπερετήσια θερμοκρασία των σταθμών κυμαίνεται από 16 °C – 18,9 °C. Η ετήσια τιμή της θερμοβαθμίδας για τη Μεσαρά, υπολογίσθηκε σε -2,6 °C / 1000 m υψομετρική διαφορά που θεωρείται αντιπροσωπευτική για το θερμό και ξηρό κλίμα της Κρήτης.
Η μέση μηνιαία σχετική υγρασία των σταθμών κυμαίνεται από 38,7% -93,9% με μέση τιμή 65,9%.
Η ηλιοφάνεια είναι μεγάλη και ο λόγος της μέσης ετήσιας ηλιοφάνειας προς τη διάρκεια της ημέρας είναι 77,3% και 71,6% στους σταθμούς μέτρησης.
Οι μέσες μηνιαίες τιμές της ταχύτητας του ανέμου μεταβάλλονται ευρέως στους 4 σταθμοί καταγραφής (29,6 - 754,4 km/ημέρα)
Η αξιολόγηση τριών μεθόδων υπολογισμού της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς (Penman, τροποποιημένη Penman-Monteith, εξατμισιμέτρο λεκάνης Class A pan κατά FAO) έδειξε ότι η τροποποιημένη Penman- Monteith δίδει τα πλέον αξιόπιστα αποτελέσματα σύμφωνα με τα κριτήρια του FAO.
Η ετήσια σημειακή δυνητική εξατμισοδιαπνοή των σταθμών της λεκάνης της Μεσαράς έχει εύρος από 1189 mm – 1506,2 mm με μέση υπερετήσια σε 1315 mm η οποία ελαττώνεται κατά 42,4 mm ανά 100 m αύξησης του υψομέτρου.
Η ετήσια επιφανειακή δυνητική εξατμισοδιαπνοή έχει εύρος από 1286 mm – 1407 mm και μέση υπερετήσια 1348 mm.

II. Υδρομετρικά δεδομένα

Η ανάλυση των χαρακτηριστικών των τριών υδρομετρικών σταθμών, έδειξε ότι πιθανά να υπεισέρχονται σφάλματα στα δεδομένα απορροής, που δεν μπορούν να προσδιοριστούν με βάση τα υφιστάμενα στοιχεία. Ειδικότερα, τα κύρια αίτια σφαλμάτων δύναται να προέρχονται από την: (1) αλλαγή της διατομής ή της κλίσης του υδρορεύματος, (2) δυσλειτουργία των εξαρτημάτων του σταθμού κυρίως στις μικρές απορροές και στα πλημμυρικά επεισόδια, (3) αδυναμία καταγραφής της χειμαρρώδους απορροής (μη ομαλή ροή) κυρίως κατά τη διάρκεια των πλημμυρικών επεισοδίων, (4) μη έγκαιρη προσαρμογή της καμπύλη στάθμης – παροχής και (5) ανθρώπινα σφάλματα.
Με την προτεινόμενη μέθοδο της διπλής αθροιστικής καμπύλης συσχέτισης της απορροής ενός σταθμού με τη παραγόμενη χρονοσειράς από την επιφανειακή βροχόπτωση, προσδιορίστηκε η (χρονική) ασυνέπεια της χρονοσειράς απορροής (σφάλματα) και επαληθεύτηκαν τα ανθρωπογενεί αίτια που την προκάλεσαν. Συγκεκριμένα, τα ανθρωπογενεί αίτια που μετέβαλαν το υδρολογικό ισοζύγιο, είναι η δέσμευση/ εκτροπή ποσοτήτων νερού των πηγών της Γέργερης και η αύξηση της κατείσδυσης κύρια στον αλλουβιακό υδροφορέα που προκλήθηκε από τη σημαντική πτώση της στάθμης του λόγω των υπεραντλήσεων.
Οι ετήσιες τιμές των απορροών εμφανίζουν έντονη μεταβολή ανάμεσα στα υδρολογικά έτη, συγκεκριμένα οι ετήσιες απορροές, σε Mm^3, στη Φαιστό κυμαίνονται από 0- 65,9 με μέση τιμή 16,3 στο Λιθαίο από 1,4 – 18,2 με μέση τιμή 6,6 και στην Πλακιώτισα 1,8 -27,8 με μέση τιμή 11,7.
Οι μηνιαίες απορροές εμφανίζουν επίσης έντονη διακύμανση με το μεγαλύτερο ποσοστό να απορρέει το τετράμηνο Δεκεμβρίου- Μαρτίου (77%-87%), ενώ την καλοκαιρινή περίοδο οι απορροές μηδενίζονται τις τελευταίες δεκαετίες. Η μέγιστη μέση μηνιαία απορροή εμφανίζει υστέρηση περίπου δυο μήνες της μέγιστης μέσης μηνιαίας βροχόπτωσης.

III. **Υδρολογικό ισοζύγιο- αποτελέσματα ομοιώματος sacramento**

Για την καλύτερη επίτευξη της προσομοίωσης βροχής- απορροής, με δεδομένες τις εγγενείς δυσχέρειες προσομοίωσης λεκανών με χειμαρρώδη ροή, αναπτύχθηκε κατ' αρχή το εννοιολογικό ομοίωμα με την ανάλυση των κύριων παραμέτρων της απορροής και ειδικότερα της γεωλογικής και υδρογεωλογικής δομής, της φυτοκάλυψης, της γεωμετρίας της λεκάνης, της πυκνότητας του δικτύου, της επιφανειακής και της βασικής απορροής, της συσχέτισης βροχής –απορροής, τις διαχρονικές ανθρώπινες επεμβάσεις στη δίαιτα και τη δυνητική εξατμισοδιαπνοή. Στη συνέχεια εφαρμόσθηκε το ομοίωμα sacramento σε μηνιαία βήμα το οποίο, μετά τη ρύθμισή του στηριζόμενο στο εννοιολογικό μοντέλο, έδωσε «σημαντικούς» συντελεστές στα κριτήρια καλής προσαρμογής.

Το sacramento δύναται να προσομοιώσει τις λεκάνες της Κρήτης, όμως οι τιμές των παραμέτρων για τη βαθμονόμησή του θα πρέπει να προκύψουν από το εννοιολογικό μοντέλο της λεκάνης απορροής και ειδικότερα από τη λεπτομερή ανάλυση των χαρακτηριστικών της. Μια τέτοια βαθμονόμηση μας υπολογίζει εκτός από τις απορροές και την πραγματική εξατμισοδιαπνοή και την κατείσδυση στο σύνολο της λεκάνης, που σε διαφορετική περίπτωση μας οδηγεί σε λανθασμένα αποτελέσματα αν και υπολογίζει ικανοποιητικά τις απορροές.

Αναλυτικά τα αποτελέσματα δίνονται στο κεφ. 4, συνοπτικά το υπερετήσιο ισοζύγιο της λεκάνης του Γεροποτάμου, σε Mm^3, όπως διαμορφώθηκε τις τελευταίες δυο δεκαετίες είναι ως εξής (σε παρένθεση το ποσοστό επί της βροχόπτωσης): Βροχόπτωση (P) 269,3 απορροή(R) 5,4(2%) πραγματική εξατμισοδιαπνοή (ETA) 226,5 (84,1%), κατείσδυση(I) 37,4(13,9%) που η τελευταία αναλύεται σε υπόγειες διαφυγές(Δq) 6 (5,1%), και αντλήσεις-μεταβολή των υπόγειων αποθεμάτων (ΔS-Q) 31,4 (11,6%).

Αντίστοιχα για τη λεκάνη του Αναποδάρη το ισοζύγιο είναι ως εξής: P =139,5 R= 11,5 (8,3%), ETA= 117,7 (84,4 %), I= 9,7 (7%) που αναλύεται Δq= 1,3 (0.9%), και ΔS-Q= 8,4 (0.6%)

Οι σημαντικότερες μεταβολές σε υπερετήσια βάση που παρατηρήθηκαν στις παραμέτρους του υδρολογικού ισοζυγίου στη λεκάνη Γεροποτάμου-Φαιστού, σε Mm^3, είναι οι εξής (σε παρένθεση το ποσοστό επί της βροχόπτωσης): η απορροή ελαττώνεται από 29 (10,2%) σε 5,4 (2%) ενώ αυξάνεται η κατείσδυση από 18,1 (6,4%) σε 37,4 (13,9%) και οι αντλήσεις - μεταβολή αποθήκευσης από 13,8 (4,9%) σε 31,4 (11,6%). Αντιθέτως, οι διαχρονικές μεταβολές στο υδρολογικό ισοζύγιο της λεκάνης του Αναποδάρη - Χάρακα είναι μικρότερες και εστιάζονται στις μεταβολές που προκλήθηκαν από την πτώση του υδροφορέα στη λεκάνη του Χάρακα.

Αξιοσημείωτες επίσης είναι οι συνολικές απορροές που εισέρχονται στο υδρογεωλογικό σύστημα της Μεσαράς (πεδινό τμήμα) από τις όμορες λεκάνες με μέση ετήσια απορροή 55 Mm^3 (17,8% επί της βροχόπτωσης).

Το ποσοστό της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής σε σχέση με τη δυνητική κυμαίνεται ευρέως μεταξύ των μηνών εξαρτώμενο από τη «διαθεσιμότητα» σε νερό για εξάτμιση. Τους χειμερινούς μήνες η πραγματική εξατμισοδιαπνοή ισούται με τη δυνητική ενώ τους καλοκαιρινούς είναι σε ποσοστό μικρότερο από 15%. Τους φθινοπωρινούς μήνες κυμαίνεται ευρέως (4-100%) εξαρτώμενο άμεσα από τις βροχοπτώσεις ενώ του εαρινούς μήνες κυμαίνεται από 50% -100% εξαρτώμενο από τις βροχοπτώσεις του μηνός και την υδατοχωρητικότητα του επιφανειακού στρώματος.

IV. Υδρογεωλογικό σύστημα λεκάνης Μεσαράς

Υδρογεωλογική δομή – υδραυλικά χαρακτηριστικά

Η γεωλογική δομή της Μεσαράς, ως αποτέλεσμα της ρηγματογόνου τεκτονικής που έλαβε χώρα την περίοδο μέσο Μειόκαινο – σήμερα, αποτελείται από μεγάλες ρηξιγενείς ζώνες και βυθίσματα (ρηξιτεμάχη-blocKfaults) διαφόρων υψομέτρων στα οποία εναποτέθηκαν τα του νεογενούς μετέπειτα ιζήματα των διαφόρων φάσεων. Το υδρογεωλογικό σύστημα της Μεσαράς, το οποίο είναι ο σημαντικότερος υδροφορέας της περιοχής, καταλαμβάνει το πεδινό τμήμα και αποτελείται από αριθμό ρηξιτεμάχων τα οποία ομαδοποιήθηκαν με βάση τις υδρογεωλογικές ιδιότητές τους, σε τέσσερις λεκάνες: (1) Μοιρών, (2) Βαγιονιάς- Γκαγκαλών, (3) Ασημίου και (4) Χάρακα. Παρατηρούμε μια σχετική βύθιση των ρηξιτέμαχων που βρίσκονται εκατέρωθεν της Βαγιονιάς που βαθμιαία αυξάνει μέχρι το ύβωμα Φαιστού και Σκινιά.

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί της Μεσαράς, με βάση τα υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά τους, ταξινομούνται: (1) στους νεογενείς που αποτελούν το υπόβαθρο των τεταρτογενών αποθέσεων οι οποίοι συνίστανται από εναλλαγές στρώσεων μεγάλου πάχους ιλυολίθων, αργίλων και μαργών. Επίσης απαντούν μικρού πάχους ενστρώσεις άμμου, ψαμμιτών, κροκαλοπαγών και μαργαϊκών ασβεστολίθων που φιλοξενούν ασθενή υδροφορία. (2) στα πλειο-πλειστοκαινικά ιζήματα (σχηματισμός Αγ. Γαλήνης) που επικάθεινται στα νεογενή, τα οποία συνίστανται από ερυθρά κροκαλοπαγή ποταμολιμναίας φάσης και απαντούν επιφανειακά στην περιοχή των Γκαγκαλών και της Καλυβιανής, (3) στις επιφανειακές αλλουβιακές αποθέσεις που συνίσταται από ποικίλου πάχους σύγχρονες ποταμολιμναίες αποθέσεις κροκαλών, άμμων, υλιολίθων, αργίλων ηλικίας Ολοκαίνου – άνω Πλειστοκαίνου.

Οι επιμέρους λεκάνες που υποδιαιρέθηκε το υδρογεωλογικό σύστημα της Μεσαράς υδραυλικά επικοινωνούν μεταξύ τους και χαρακτηρίζονται από ανομοιογένεια στα γεωμετρικά χαρακτηριστικά και τις υδραυλικές ιδιότητες των. Η μόνη υπόγεια διαφυγή που λαμβάνει χώρα εκτός της λεκάνης είναι προς δυτικά από το στενή και μικρού πάχους ζώνη της Φαιστού προς τον παράκτιο υδροφορέα του Τυμπακίου και προς ανατολικά από την επίσης μικρή ζώνη του Χάρακα.

Η λεκάνη των Μοιρών έχει συνολική έκταση 58,9 km^2 και ο αλλουβιακός υδροφορέας της (50,3 km^2) είναι ο σημαντικότερος της Μεσαράς ο οποίος διακρίθηκε σε πέντε τμήματα με διαφορετικές ιδιότητες. Το πάχος του είναι κυμαινόμενο και το μεγαλύτερο απαντάται στην τεταρτογενή αποθετική τάφρο που ευρίσκεται περίπου στη σημερινή ροή του Γεροποτάμου και του Λιθαίου. Η υδροχωρητικότητα του υπολογίσθηκε σε 86 Mm^3. Οι τιμές της μεταβιβαστικότητας (Τ) κυμαίνονται από 320 m^2/day (3,7 X 10^{-3} m^2/sec) δυτικό τμήμα του Γεροποτάμου μέχρι περίπου 4320 m^2/day (5 X 10^{-2} m^2/sec) για το ανατολικό τμήμα και το Λιθαίο. Επίσης έχουν υπολογισθεί τιμές της τάξης των 10.000 m^2/day - 13.000 m^2/day στη ζώνη κοντά στη σημερινή ροή του Γεροπόταμου. Οι τιμές του συντελεστή υδροχωρητικότητας (S) που προέκυψαν από αντλητικές δοκιμασίες των γεωτρήσεων κυμαίνονται από 10^{-3} μέχρι 10^{-5} οι οποίες δείχνουν ότι ο υδροφορέας είναι υπό πίεση τουλάχιστο

αυτός που βρίσκεται σε μεγαλύτερα σχετικά βάθη. Η ειδική ικανότητα (Ε) των γεωτρήσεων είναι μεγαλύτερη στον αλλουβιακό υδροφορέα του κύριου ρου του Γεροποτάμου και κυμαίνεται μεταξύ 40 – 100 m^3/h ανά μέτρο πτώσης και του Λιθαίου κυμαίνεται μεταξύ 15- 40 m^3/h/m

Ο πλειστοκαινικός υδροφορέας επιφανειακά απαντάται στην περιοχή της Καλυβιανής, έχει μικρή έκταση 8,6 km^2 και το πάχος του κυμαίνεται από 35 m έως 70 m. Όμως τα σημαντικότερα πλειστοκαινικά στρώματα ευρίσκονται στη λεκάνη κάτω από τις αλλουβιακές αποθέσεις. Η συνολική έκτασή του υπολογίσθηκε σε 58,9 km^2, και η υδροχωρητικότητα του στο ύψος των 140 Mm^3. Οι τιμές Τ και S του πλειστοκαίνου είναι μια τάξη μεγέθους μικρότερη του αλλουβιακού.

Οι νεογενείς σχηματισμοί υπόκεινται των πλειστοκαινικών στη λεκάνη των Μοιρών, υδρογεωλογικά ταξινομούνται ως «ανυδροφόρος» σχηματισμός λόγω της μαργαϊκής αργιλικής σύστασης τους και αποτελούν το στεγανό υπόβαθρο της λεκάνης.

Η λεκάνη της Βαγιονιάς- Γκαγκαλών καταλαμβάνει έκταση 85,5 km^2 και διακρίνεται: (1) στον αλλουβιακό υδροφορέα έκτασης 31,5 km^2 με πάχος αποθέσεων της τάξης των 40 μέτρων και υδροχωρητικότητα εκτιμάται στο ύψος των 19 Mm^3 και (2) στον πλειο-πλειστοκαινικό υδροφορέα που απαντάται επιφανειακά βόρεια του Γεροποτάμου, έκτασης 54 km^2 με μέσο πάχος της τάξης των 120 m και η υδροχωρητικότητα του εκτιμάται στα 100 Mm^3. Η υδροχωρητικότητα των υδροφόρων στρωμάτων που ευρίσκονται μέσα στους νεογενείς σχηματισμούς εκτιμάται σε 13 Mm^3, οι οποίοι στο νότιο τμήμα περιέχουν νερό με πολύ υψηλή αγωγιμότητα ακατάλληλο για χρήση.

Η λεκάνη του Ασημίου έκτασης 12 km^2, επιφανειακά συνίσταται από αλλουβιακές αποθέσεις πάχος της τάξης των 30 μέτρων και η υδροχωρητικότητά τους εκτιμάται στα 7 Mm^3 . Τα υποκείμενα πλειστοκαινικά στρώματα έχουν πάχος της τάξης των 100 μέτρων και η υδροχωρητικότητά των εκτιμάται, σε 15 Mm^3

Οι τιμές Τ των λεκανών Βαγιονιάς- Γκαγκαλών –Ασημίου κυμαίνονται από 27 m^2/day (3,1 X 10^{-4} m^2/sec) μέχρι 334 m^2/day (3,8 X 10^{-3} m^2/sec) . Οι τιμές S κυμαίνονται από 10^{-2} μέχρι 10^{-3}. Η Ειδική ικανότητα των γεωτρήσεων στον αλλουβιακό -πλειστοκαινικό υδροφορέα (νότιο τμήμα) κυμαίνεται μεταξύ 5 – 11 m^3/h/m ενώ στον πλειστοκαινικό και το νεογενή (βόρειο τμήμα) κυμαίνεται μεταξύ 0,6 - 1,5 m^3/h/m.

Η λεκάνη του Χάρακα, έκτασης 63 km^2, διαχωρίζεται από ένα ρήγμα, διεύθυνσης ΒΔ-ΝΑ που ταυτίζεται περίπου με το κατάντη τμήμα του Αναποδάρη, στο νότιο τμήμα όπου οι αλλουβιακές αποθέσεις και οι πλειστοκαινικοί σχηματισμοί έχουν σχετικά μεγάλο πάχος και επικάθεινται στο προνεογενές υπόβαθρο (Φλύσχη), ενώ στο βόρειο τμήμα οι αλλουβιακές και πλειστοκαινικές αποθέσεις έχουν μικρότερο πάχος και επικάθεινται στο νεογενές. Η υδροχωρητικότητα του αλλουβιακού υδροφορέα του Χάρακα ανέρχεται στο ύψος των 137 Mm^3. Ο πλειστοκαινικός υδροφορέας συνίσταται από λεπτόκοκκα υλικά, κυρίως άργιλο, με μεγάλη αναλογία με αποτέλεσμα οι υδραυλικές ιδιότητές του να είναι φτωχές και υδρογεωλογικά χαρακτηρίσθηκε ως πρακτικά «ανυδροφόρος». Οι τιμές Τ του αλλουβιακού υδροφορέα ευρέως κυμαίνονται από 14 m^2/day (1,6 X 10^{-4} m^2/sec) ΒΔ τμήμα της λεκάνης μέχρι 3300 m^2/day (3,8 X 10^{-2} m^2/sec) για το νότιο τμήμα. Οι τιμές S κυμαίνονται από 10^{-1} στην υπώρεια ζώνη των Αστερουσίων μέχρι 10^{-3} στο βόρειο τμήμα.

Η αξιολόγηση των πιεζομετρικών χαρτών, που κατασκευάσθηκαν σε ΓΣΠ με δεδομένα 49 πιεζομέτρων παρακολούθησης, έδειξε ότι: (1) οι γραμμές ροής του υδροφορέα ακολουθούν περίπου την επιφανειακή ροή, (2) οι υδροϊσοϋψείς καμπύλες δείχνουν ένα μάλλον ομοιόμορφο υδροφορέα ενώ με την ταπείνωση της υδροστατικής στάθμης εμφανίζεται έντονα ανομοιόμορφος καθώς στειρεύουν οι μικρότερου πάχους αλλουβιακές αποθέσεις, (3) απεικονίζονται ευδιάκριτα οι ζώνες με τις διαφορετικές υδαταγωγιμότητες που έχει διακριθεί ο υδροφορέας, (4) οι υδραυλικές κλίσεις κυμαίνονται στο αλλουβιακό στρώμα μεταξύ 14,5 $^{o}/_{oo}$ - 1,6 $^{o}/_{oo}$ ενώ στο πλειστοκαινικό μεταξύ 26,4$^{o}/_{oo}$, - 10,5$^{o}/_{oo}$

Ομοίωμα υπόγειων νερών υδρογεωλογικού συστήματος Μεσαράς

Η προσομοίωση του υδρογεωλογικού συστήματος της Μεσαράς πραγματοποιήθηκε με εννοιολογική προσέγγιση και επιλέχθηκε ο κώδικας modflow (USGS) για τη μαθηματική προσομοίωση και το λογισμικό GMS 3.1 (Groundwater Modeling System) για τη διαχείριση των δεδομένων.

Το εννοιολογικό ομοίωμα αναπτύχθηκε με βάση τη λεπτομερή υδρογεωλογική ανάλυση της περιοχής μελέτης και ειδικότερα στα χαρακτηριστικά των επί μέρους λεκανών που διακριτοποιήθηκε, συμπεριλαμβάνοντας το σύνολο των υδροφόρων σχηματισμών του πεδινού τμήματος της Μεσαράς έκτασης 219,3 km^2 (true layer approach). Η κάνναβος της προσομοίωσης αποτελείται από 89 στήλες, 28 σειρές και δύο υδροφορείς με βασική διάσταση των κυψελίδων 500 m X 500 m X πραγματικό πάχος στρωμάτων. Το ανώτερο στρώμα (αλλουβιακές αποθέσεις) προσομοιώθηκε με συνθήκες ελεύθερης υδροφορίας (unconfined) ενώ το υποκείμενο στρώμα (πλειο-πλειστοκαινικές αποθέσεις) με συνθήκες υπό πίεση (confined).

Εξωτερικές οριακές συνθήκες: Τα περιφερειακά όρια του μοντέλου ταυτίζονται με τα γεωλογικά όρια των νεογενών σχηματισμών ή του φλύσχη τα οποία προσομοιώθηκαν με συνθήκη μηδενικής ροής (no flow boundary) λόγω της μη πλευρικής υδραυλικής επικοινωνίας με τους περιβάλλοντας σχηματισμούς με εξαίρεση το «στένεμα» της Φαιστού και το «στένεμα» του Χάρακα, που συνίστανται από υδροφόρους σχηματισμούς και προσομοιώθηκαν με συνθήκες χρονικά μεταβαλλόμενης ροής συναρτήσει του υδραυλικού φορτίου (πακέτο drain). Η προς τα κάτω οριακή συνθήκη είναι συνθήκη μηδενικής ροής και ταυτίζεται με το «πρακτικά υδατοστεγές» υπόβαθρο (νεογενή ιζήματα ή φλύσχης). Το άνω όριο του ομοιώματος είναι η ελεύθερη πιεζομετρική επιφάνεια του υδροφόρου ορίζοντα.

Εσωτερικές συνθήκες- εισροές: Η τροφοδοσία του υδρογεωλογικού συστήματος της Μεσαράς επιτελείται με τους ακόλουθους τρόπους: (1) με διήθηση των επιφανειακών απορροών στους χειμάρρους η οποία προσομοιώθηκε με δύο τρόπους, με σημειακή τροφοδοσία - χρήση του stream package για τον κύριο ρου των υδρορευμάτων με συντελεστές διήθησης όπως προέκυψαν από διαφορικές μετρήσεις 0,5-4,3 m^3/ημέρα/ μέτρο μήκους και με τη χρήση του recharge package για το υπόλοιπο δίκτυο υδρορευμάτων με συντελεστές διήθησης 19% – 36% επί των απορροών , (2) με απευθείας κατείσδυση από τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα που προσομοιώθηκε με το recharge package και η χρονοσειρά υπολογίσθηκε από την επιφανειακή βροχόπτωση με συντελεστές 21% για τη ζώνη των αλλουβιακών αποθέσεων και 19,3% για τη ζώνη των πλειο-πλειστοκαινικών αποθέσεων, (3) με επιστροφές άντλησης που προσομοιώθηκαν με το

recharge package ανά ζώνη άντλησης/χρήσης που διακρίθηκε η περιοχή και η χρονοσειρά υπολογίσθηκε σε ποσοστό 8% των αρδεύσεων και (4) με υγρά απόβλητα των οικισμών που προσομοιώθηκε με το recharge package στα όρια των οικιστικών ζωνών και θεωρήθηκε ότι το 80% της οικιακής κατανάλωσης κάθε οικισμού καταλήγει στον υδροφορέα.

Οι παραπάνω συντελεστές προέκυψαν από την υδρογεωλογική ανάλυση, τα αποτελέσματα του sacramento και με διαφορικές μετρήσεις απορροής στους κλάδους των υδρορευμάτων.

Υδραυλικές παράμετροι: Ο συντελεστής υδαταγωγιμότητας Κ υπολογίσθηκε στις 25 ζώνες που διακρίθηκε το υδρογεωλογικό σύστημα της Μεσαράς από την αξιολόγηση δεδομένων αντλητικών δοκιμών γεωτρήσεων. Οι υδροφόροι θεωρήθηκαν ισότροποι στο οριζόντιο επίπεδο ($K_x = K_y$) ενώ στο κατακόρυφο η τιμή του συντελεστή της υδαταγωγιμότητας K_Z θεωρήθηκαν μια τάξη μικρότερη.

Οι υψηλότεροι συντελεστές Κ καταγράφηκαν στον υδροφορέα των Μοιρών οι οποίοι κυμαίνονται από 3 -217 m/day και οι μέσες τιμές τους από 10-130 m/day. Στη περιοχή του Χάρακα και της Βαγιονιάς οι συντελεστές υδαταγωγιμότητας είναι μικρότεροι και κυμαίνονται από 0,02 - 17 m/day με μέσες τιμές 0,1 - 17 m/day.

Οι τιμές των συντελεστών υδαταγωγιμότητας στον πλειστοκαινικό υδροφορέα κυμαίνονται από 0,27 έως 5,5 m/day και ειδικότερα οι τιμές ανά λεκάνη, σε m/day, συγκλίνουν: 4,1 Μοίρες, 2,7 Γκαγκάλες, 1,4 Βαγιονιά, 4,1 στο βόρειο-κεντρικό τμήμα της λεκάνης του Χάρακα και στο νότιο 0,27- 1,4.

Ο συντελεστής εναποθήκευσης υπό συνθήκες ελεύθερης υδροφορίας S_y (ειδική απόδοση-specific yield) υπολογίσθηκε μεταξύ $3X10^{-1}$ και $1X10^{-3}$ ενώ ο συντελεστής στον υπό πίεση υδροφορέα S_s μεταξύ $1X10^{-3}$ και $1X10^{-5}$.

Εφαρμοσμένα υδραυλικά φορτία- εκροές:

Στη λεκάνη της Μεσαράς απογράφησαν 848 γεωτρήσεις το 2004, από τις οποίες το 92% ήταν ιδιωτικές. Το 2007 με νέα εκτίμηση αυτές αυξήθηκαν στο ύψος των 1400 (353 νέες άδειες το 2007 συν 200 περίπου παράνομα ανορυχθείσες).

Η εκτίμηση των ετήσιων αντλούμενων ποσοτήτων προσεγγίσθηκε με δύο μεθόδους και με σενάρια άντλησης στο ύψος των 37,3 μέχρι 45,8 Mm^3 με βάση τις 848 γεωτρήσεις. Η μηνιαία χρονοσειρά αντλήσεων στη λεκάνη της Μεσαράς υπολογίσθηκε με βάση την ανάλυση της ετήσιας κατανάλωσης στους διάφορους τομείς. Οι αντλήσεις προσομοιώθηκαν με το well package.

Υπόγειες διαφυγές λαμβάνουν χώρα από δύο μικρές περιοχές το «στένεμα» της Φαιστού και του Χάρακα που προσομοιώθηκαν με drain package. Οι ετήσιες διαφυγές εκτός του υδρολογικού συστήματος από τη Φαιστό υπολογίζονται στην τάξη των 1,5–2 Mm^3 οι οποίες μειώνονται βαθμιαία με την ταπείνωση της στάθμης. Ανάλογα, οι ετήσιες διαφυγές από το στένεμα του Χάρακα υπολογίζονται σε 0,5-1,5 Mm^3.

Αρχικές συνθήκες (starting head) χρησιμοποιήθηκε η κατανομή των υδραυλικών φορτίων όπως προέκυψε από τους πιεζομετρικούς χάρτες.

Αποτελέσματα προσομοίωσης υπόγειων νερών.

Ομοίωμα συνθηκών σταθερής ροής (steady- state conditions)

Το υδρογεωλογικό σύστημα της Μεσαράς προσομοιώθηκε σε συνθήκες σταθερής ροής για δύο καταστάσεις του υδροφορέα, της μικρής εκμετάλλευσης- αρχικές συνθήκες και της έντονης εκμετάλλευσης– υπό πίεση, το οποίο μετά τη βαθμονόμησή του έδωσε σημαντικούς συντελεστές (r=0.993).

Με τη ρύθμιση του ομοιώματος στην περίοδο της μικρής εκμετάλλευσης καθορίστηκαν και οι συντελεστές υδαταγωγιμότητας (K), λόγω της σχετικής μικρής αβεβαιότητας που εμπεριέχουν τα δεδομένα της προσομοίωσης, με τροποποιήσεις του K σε τιμές κατά το δυνατόν κοντά στη μέση τιμή του εύρους διακύμανσης της κάθε ζώνης. Οι τιμές K, σε m/day, στον αλλουβιακό υδροφορέα για τις 25 ζώνες που διακρίθηκε κυμαίνονται: από 90-113 για τις ζώνες γύρω από το υδρορεύματα, από 9-10 για τις υπόλοιπες ζώνες των Μοιρών, από 2-6 για τη λεκάνη Βαγιονιάς και από 0,6-32 για τις ζώνες του Χάρακα. Οι τιμές στον πλειστοκαινικό υδροφορέα κυμαίνονται από 0,27 - 5,48 (βλέπε θεματικούς χάρτες στο κεφάλαιο 6) .

Επίσης καθορίστηκαν και οι συντελεστές της αγωγιμότητας της κοίτης των χειμάρρων (stream package) ανά κλάδο υποδιαίρεσης στο εύρος 1,92 -5 m^2/day/μέτρο μήκους (βλέπε θεματικό χάρτη στο κεφάλαιο 6).

Ομοίωμα συνθηκών μεταβατικής ροής (transient- state conditions)

Χαρακτηριστικά προσομοίωσης μεταβατικής ροής: Η περίοδος αναφοράς (reference time) του ομοιώματος ορίσθηκε 25 έτη (9ος 1980 - 8ος 2005) και υποδιαιρέθηκε σε 300 περιόδους πίεσης (stress period) που αντιστοιχούν σε μηνιαίο βήμα. Η προσομοίωση έγινε με το πακέτο BCF2 (Block Centered Flow Package), και ο αλγόριθμος επίλυσης ορίζεται από το πακέτο PCG2 (pre conjugate gradient 2) του Modflow. Τα κριτήρια σύγκλισης του ομοιώματος είναι μικρότερο από 0.1m για τη στάθμη και 0,1 m^3/μήνα για την υπολειπόμενη ροή.

Η ρύθμιση του ομοιώματος μεταβατικής ροής πραγματοποιήθηκε με την τροποποίηση των παραμέτρων της προσομοίωσης χρησιμοποιώντας τη μέθοδο «δοκιμή - και - λάθος» (trial -and -error) μέχρι οι προσομοιωμένες στάθμες των 49 θέσεων παρατήρησης υπόγειων νερών να συγκλίνουν με τις παρατηρούμενες (r=0.994). Η προσομοίωση επιτεύχθηκε μόνο με την τροποποίηση των αντλήσεων, που είναι και τα δεδομένα με τη μεγαλύτερη αβεβαιότητα.

Γενικά συμπεράσματα ομοιώματος υπόγειας ροής

Το πολύπλοκο υδροδυναμικό σύστημα της λεκάνης της Μεσαράς, όπως καθορίζεται από την υδρογεωλογική δομή, είναι ενιαίο δηλαδή οι επί μέρους λεκάνες που διακρίνεται, με βάση τη γεωμετρία των στρωμάτων και τις διαφορετικές ιδιότητές τους (ανομοιογένεια), υδραυλικά επικοινωνούν μεταξύ τους.

Προσδιορίστηκε ο υπόγειος υδροκρίτης της Μεσαράς, που χωρίζει τη γενική κατεύθυνση των νερών προς ανατολικά και προς δυτικά, ο οποίος περίπου ταυτίζεται με τον επιφανειακό υδροκρίτη Γεροποτάμου-Αναποδάρη και μετακινείται- παλινδρομεί γύρω από μια θέση ισορροπίας ανάλογα με τις εκατέρωθεν αντλήσεις και τον εμπλουτισμό του συστήματος.

Οι γραμμές ροής κατά την περίοδο της μικρής εκμετάλλευσης ακολουθούν περίπου το επιφανειακό υδρογραφικό δίκτυο, όμως οι γραμμές ροής κατά την περίοδο της έντονης εκμετάλλευσης διαφέρουν σημαντικά, όπου παρατηρείται μια σύγκλιση προς το κεντρικό- ανατολικό τμήμα της λεκάνης των Μοιρών και μια σύγκλιση προς το κεντρικό - νότιο τμήμα της λεκάνης του Χάρακα, λόγω της συγκέντρωσης των γεωτρήσεων και των σημαντικών αντλήσεων στις περιοχές αυτές και βεβαίως καθοριστικό ρόλο παίζει η γεωμετρία του υδροφορέα και η υδαταγωγιμότητα του μέσου. Επίσης, στον υδροφορέα των Γκαγκαλών η κλίση μεταβάλλεται προς την κατεύθυνση ανατολή - δύση.

Η συμπλήρωση τιμών στις ελλειμματικές χρονοσειρές παρακολούθησης υδροστατικής στάθμης με στατιστικά αποδεκτό τρόπο ευρέθει ότι διαφέρει σημαντικά από τις αντίστοιχες τιμές που παράγονται από το ομοίωμα οι οποίες αντιπροσωπεύουν ακριβέστερα το υδρογεωλογικό σύστημα καθώς η στατιστική ανάλυση δεν λαμβάνει καθόλου υπόψη της την ανισοτροπία του μέσου και για το λόγο αυτό θα πρέπει να χρησιμοποιούνται με επιφύλαξη.

Το μέσο υπερετήσιο υπόγειο υδατικό δυναμικό της λεκάνης της Μεσαράς (1983-2002), σε Mm^3, διαμορφώνεται ως εξής: 47,5 εισροές, 57,3 εκροές και 9,8 ελάττωση μόνιμων αποθεμάτων. Η μεγαλύτερη ποσότητα από τις εκροές οφείλεται στις αντλήσεις, που ανέρχονται σε 50,8 Mm^3/έτος και είναι μεγαλύτερες από τα ρυθμιστικά αποθέματα του υδροφορέα κατά ετήσιο ποσοστό 19% και συνεπακόλουθα εκμεταλλεύονται τα μόνιμα αποθεμάτά του. Η κατάσταση τα τελευταία έτη επιδεινώθηκε ακόμα περισσότερο λόγω των νέων υδροληπτικών έργων που κατασκευάσθηκαν τη περίοδο 2004-2007.

Οι ετήσιες εισροές που υπολογίσθηκαν με το stream package (κατείσδυση) στο Γεροπόταμο-Ληθαίο της λεκάνης των Μοιρών σε Mm^3, στα ξηρά έτη ανέρχονται σε 1,5 (90 m^3/m μήκους υδρορεύματος(l)), στα υγρά έτη σε 4 (240 m^3/m/l) και μέση υπερετήσια τιμή 3 (180 m^3/m/l). Ανάλογα στον Αναποδάρη υπολογίσθηκαν στο ύψος του ενός (84 m^3/m/l) που σε αντίθεση με το Γεροπόταμο κυμαινόταν στα ίδια επίπεδα περίπου στα υδρολογικά έτη λόγω της υδρογεωλογικής δομής. Ο κύριος ρόλος του Λειβαδίτη είναι να δέχεται τις εκροές από τον υπόγειο υδροφορέα.

Οι ετήσιες εκροές του υδρογεωλογικού συστήματος (stream package), που αντιπροσωπεύουν τη συνολική φυσική εκφόρτισή του, στον κύριο ρου του Γεροποτάμου – Ληθαίου υπολογίσθηκαν στην περίοδο έντονης εκμετάλλευσης, σε Mm^3, στα ξηρά έτη 0,4 (13 m^3/m/l), στα υγρά έτη 5,5 (180 m^3/m/l) με μέση τιμή 3,2 (104 m^3/m/l). Ενώ την περίοδο της μικρής εκμετάλλευσης οι εκροές υπολογίσθηκαν σε 26,7 (875 m^3/m/l). Ανάλογα, στον Αναποδάρη - Λειβαδίτη την περίοδο της έντονης εκμετάλλευσής του οι εκροές υπολογίσθηκαν στα ξηρά έτη σε 0,6 (31 m^3/m/l), στα υγρά έτη σε 3,2 (166 m^3/m/l) και μέση υπερετήσια τιμή 2 (104 m^3/m/l), ενώ την περίοδο της μικρής εκμετάλλευσης υπολογίσθηκαν σε 11 (572 m^3/m/l).

Οι υπόγειες ετήσιες διαφυγές από το «στένεμα» της Φαιστού κατά την περίοδο της μικρής εκμετάλλευσης υπολογίσθηκαν 1,3 Mm^3 , την περίοδο με τη μεγαλύτερη ταπείνωση της στάθμης σε 0,5 Mm^3 με μέση τιμή 0,7 Mm^3. Ανάλογα, οι υπόγειες ετήσιες διαφυγές από το «στένεμα» του Χάρακα κατά την περίοδο της μικρής εκμετάλλευσης υπολογίσθηκαν σε 0,9 Mm^3 ενώ την περίοδο της έντονης εκμετάλλευσης υπολογίσθηκαν σε 0,6 ξηρά έτη και σε 0,8 υγρά έτη.

Οι υπερετήσιες αντλήσεις ανέρχονται σε 50,8 Mm^3 οι οποίες είναι σημαντικά αυξημένες σε σχέση με τα ρυθμιστικά αποθέματα του υδροφορέα και

εκμεταλλεύονται τα μόνιμα αποθέματά του στο ύψος των 9,8 Mm^3 ανά έτος. Από τον υδροφορέα των Μοιρών αντλούνται 27,3 Mm^3, της Γαλιάς 1,2 Mm^3 της Βαγιονιάς – Γκαγκαλών 11,6 Mm^3 και από τον υδροφορέα του Χάρακα 10,7 Mm^3

Τα ετήσια υδατικά αποθέματα κατά τα ξηρά υδρολογικά έτη ελαττώνονται κατά 33,3 Mm^3 ενώ στα υγρά έτη αυξάνονται κατά 36,7 Mm^3 και κατά μέσο όρο (έτη 1983-2002) ελαττώνονται (μόνιμα) κατά 9,8 Mm^3.

Εδώ θα πρέπει να αναφερθεί ότι στο «πολύ υγρό» έτος 2002-2003 τα αποθέματα της λεκάνης αυξήθηκαν κατά 78 Mm^3, ποσότητα που αντιστοιχεί σε αναπλήρωση του μέσου ελλείμματος (περίπου) 8 ετών. Επίσης θα πρέπει να αναφερθεί ότι παρά το έλλειμμα ανορύχθηκαν νέες γεωτρήσεις (περίπου 550) τα έτη 2004-2007 στον υδροφορέα της Βαγιονιάς- Γκαγκαλών και του Χάρακα. Αυτό σε συνάρτηση με την αλλαγή των καλλιεργειών σε περισσότερο υδροβόρες (από ελιές και αμπέλια σε κηπευτικά) θα συμβάλλει με ακόμα μεγαλύτερο ετήσιο ρυθμό στην ελάττωση των μόνιμων αποθεμάτων της Μεσαράς (στο κεφάλαιο 6 δίνονται τα ισοζύγια για χαρακτηριστικά υδρολογικά έτη).

V. Ισοζύγιο προσφοράς – ζήτησης

Ζήτηση : Η θεωρητική μέση ζήτηση στη λεκάνη της Μεσαράς ανέρχεται στο ύψος των 60,9 Mm^3 και οι αρδευόμενες εκτάσεις είναι 162.631 στρ. έναντι 291.087 στρ. καλλιεργούμενων (ποσοστό αρδευόμενων καλλιεργειών(α) 56%) η οποία κατανέμεται, σε Mm^3, ως εξής: λεκάνη των Μοιρών 28,7 (α=54%), λεκάνη της Βαγιονιάς – Ασημίου 18,7 (α=56%) και για τη λεκάνη του Χάρακα 13,5 (α=60%). Όμως, η πραγματική κατανάλωση με βάση τις αντλούμενες ποσότητες από το υδρογεωλογικό σύστημα ανέρχεται σε 50,8 Mm^3, δηλαδή κάποιες καλλιέργειες υποαρδεύονται

Η συνολική θεωρητική ζήτηση (60,9 Mm^3) κατανέμεται ανά χρήση ως εξής: 96,6% για άρδευση, 3,2% για ύδρευση και 0,2% για βιομηχανική.

Προσφορά: Το επιφανειακό υδατικό δυναμικό αξιοποιείται ελάχιστα με τρία μικρά έργα αποθήκευσης τις λιμνοδεξαμενές Γέργερης, Δαμανίων και Μεταξοχωρίου συνολικής χωρητικότητας 1,3 Mm^3. Μελλοντικά, η λεκάνη των Μοιρών θα υδατοπρομηθευτεί με περίπου 3 Mm^3/έτος, πιθανά το 2009, από το φράγμα της Φανερωμένης που ευρίσκεται στην όμορη λεκάνη (δυτικά) του Κουτσουλίδη- Τυμπακίου. Επίσης, το υπό κατασκευή φράγμα Πλακιώτισας (Αναποδάρης) χωρητικότητας 18,6 Mm^3 αναμένεται να λειτουργήσει το 2014.

Το υπόγειο υδατικό δυναμικό είναι η μόνη πηγή νερού της λεκάνης της Μεσαράς που χρησιμοποιείται μέχρι σήμερα, και το υδρογεωλογικό σύστημα της Μεσαράς χαρακτηρίζεται «υπό πίεση» καθότι οι διαχρονικές αντλήσεις υπερβαίνουν τα υπερετήσια ανανεώσιμα υδατικά αποθέματα του συστήματος κατά μέσο όρο 9,8 Mcm.

Η πλήρης αξιοποίηση των υδατικών πόρων της Μεσαράς, που επιβάλλεται από ξηροθερμικές κλιματικές συνθήκες, επιτυγχάνεται με βέλτιστο τρόπο μόνο κατόπιν με τη συνδυασμένη χρήση των υπόγειων και των επιφανειακών υδάτων, η οποία δύναται να αποδώσει μεγαλύτερες ποσότητες υδατικών πόρων με τον οικονομικότερο τρόπο και με σεβασμό στο περιβάλλον.

Το ισοζύγιο προσφοράς – ζήτησης της Μεσαράς προσομοιώθηκε με το ομοίωμα RIBASIM, υπολογίζοντας σε μηνιαίο βήμα το έλλειμμα στις διάφορες περιοχές καθώς και επίσης υπολογίσθηκε και η ετήσια ποσότητα χρήσης από τα φράγματα για τη βέλτιστη διαχρονική λειτουργία των.

VI. Υφιστάμενη Διαχείριση υδάτων στη λεκάνη της Μεσαράς

Τα χαρακτηριστικά της υφιστάμενης διαχείρισης των υδάτων είναι: η εκμετάλλευση μόνο των υπόγειων νερών, η κλιμακούμενη αύξηση των αντλήσεων μετά το έτος 1984 μέχρι τη σημερινή υπερεκμετάλλευση της λεκάνης, η έλλειψη συλλογικών έργων και φορέων διανομής νερού (το 95% κατανάλωσης από ιδιωτικές γεωτρήσεις) και η έλλειψη συνδυασμένης χρήσης υπόγειων και επιφανειακών υδάτων.

Η μέχρι σήμερα διαχείριση της λεκάνης της Μεσαράς έχει προκαλέσει πολλαπλές ανεπιθύμητες καταστάσεις στο υδατικό δυναμικό, αναλυτικότερα: μειώθηκαν οι υδατικοί πόροι, δημιουργήθηκαν αντιοικονομικές συνθήκες, υποβαθμίστηκε η «καλή» ποσοτική και ποιοτική «κατάσταση» των υπόγειων υδάτων και προκλήθηκαν κοινωνικές συγκρούσεις.

Η σημερινή μέση ετήσια απορροή της λεκάνης του Γεροποτάμου είναι 5,4 Mm^3 η οποία ελαττώθηκε κατά ποσοστό 81,4% κύρια λόγω της αύξησης της κατείσδυσης προκληθείσα από την πτώση της στάθμης του υδροφορέα. Σε ετήσια κλίμακα το ποσοστό απορροής (18,6%) κρίνεται «ικανοποιητικό» όσο αφορά την ελάχιστη περιβαλλοντική απορροή, όμως σε ημερήσια κλίμακα η απορροή την καλοκαιρινή περίοδο είναι σήμερα μηδέν έναντι της μόνιμης ροής που είχε πριν το 1984 (μέση μηνιαία απορροή καλοκαιρινής περιόδου περίπου 0,5 Mm^3).

Η απορροή της λεκάνης του Αναποδάρη δεν έχει μεταβληθεί με εξαίρεση το κατάντι τμήμα που στο παρελθόν είχε μόνιμη ροή λόγω της τροφοδοσίας του από τον υδροφορέα.

VII. Κατάσταση των υδάτων της Μεσαράς

Η διαχείριση και η προστασία των υδάτων στην περιοχή της Μεσαράς καθώς και τα μέτρα που θα ληφθούν για την επίτευξη των στόχων, όπως προσδιορίζονται συγκεκριμένα και αυστηρά από την κείμενη νομοθεσία (νόμο 3199/2003 «προστασία και διαχείριση των υδάτων – Εναρμόνιση με την οδηγία πλαίσιο 2000/60/ΕΚ και τον νόμο 3010/2002 για το περιβάλλον) εξαρτώνται πώς θα ορισθούν οι συνθήκες αναφοράς.

Ως συνθήκη αναφοράς προτείνεται να ορισθεί η εκμετάλλευση του υδροφορέα με το μοντέλο της συνδυασμένης χρήσης των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων και με βάση τους όρους της μέγιστης διαρκούς απόδοσης του υδροφορέα, η οποία κρίνεται ως πλέον ρεαλιστική καθώς μας επιτρέπει να εκμεταλλευθούμε κατά το μέγιστο δυνατό τους υδατικούς πόρους χωρίς να προκληθούν μελλοντικά αρνητικά αποτελέσματα. Ειδικότερα, επιτυγχάνεται αύξηση της κατείσδυσης χωρίς την κατασκευή κανενός έργου κατά 23,6 Mm^3/έτος στο Γεροπόταμο και κατά 3 Mm^3/έτος στον Αναποδάρη. Το μόνο αρνητικό αποτέλεσμα είναι ο μηδενισμός της καλοκαιρινής απορροής (υγρότοπος) του Γεροποτάμου στην περιοχή Πετροκεφαλίου- Φαιστού και του Αναποδάρη στα Πραιτώρια .

Η πολιτική επί των υδάτων με βάση τις κατευθυντήριες γραμμές της ευρωπαϊκής πολιτικής που θεσμοθετήθηκαν με την οδηγία 60/2000/ΕΚ έχουν ως στόχο την επίτευξη της «καλής κατάστασης» όλων των υδάτων μέχρι το 2015 η οποία αναλύεται στην ποιοτική και την ποσοτική. Η ποσοτική κατάσταση των υδάτων της Μεσαράς παρουσιάζεται στις προηγούμενες παραγράφους.

Όσο αφορά την ποιότητα των υπόγειων νερών γενικά αυτή χαρακτηρίζεται σε «καλή κατάσταση», μέσα στα όρια ποσιμότητας που ορίζει η οδηγία 98/83/ΕΕ, εκτός από κάποιες πεδινές περιοχές κύρια του αλλουβιακού υδροφορέα (Μοίρες, Μεσοχωριό), που δεικνύουν ανθρωπογενή ρύπανση. Αναλυτικότερα, σε ορισμένες θέσεις του αλλουβιακού υδροφορέα τα νιτρικά υπερβαίνουν τις παραμετρικές τιμές δεικνύοντας ρύπανση από γεωργικές δραστηριότητες και από απόβλητα οικισμών, ενώ από τις παραμέτρους που συσχετίζονται με τα φυτοφάρμακα βρέθηκε μόνο το AMPA (κύριος μεταβολίτης του glyphosate, συστατικό φυτοφαρμάκου roundup) που βρέθηκε κοντά στην παραμετρική τιμή.

VIII. Προτεινόμενα μέτρα προστασίας και διαχείρισης των υδάτων

Εδώ θα πρέπει να τονιστεί ότι, πέρα από τα συνοπτικά μέτρα που παρουσιάζονται παρακάτω, με την επιτευχθείσα προσομοίωση της Μεσαράς (ομοιώματα GMS-Modflow, Sacramento και RIBASIM) δημιουργήθηκε ένα δυναμικό λογισμικό σύστημα που μας δίνει τη δυνατότητα να εξετάζουμε και να αξιολογούμε, σε μικρό χρονικό διάστημα, οποιαδήποτε εναλλακτική πρόταση που αφορά την προστασία ή την διαχείριση των υδάτων.

Βραχυπρόθεσμος ορίζοντας

Η «καλή ποιοτική κατάσταση» των υπόγειων υδάτων του προσχωματικού υδροφορέα της Μεσαράς δύναται να επιτευχθεί με την εφαρμογή τριών μέτρων που κρίνονται υλοποιήσιμα με μικρό κόστος: (1) την εφαρμογή ορθών γεωργικών πρακτικών στη χρήση λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων, (2) την κατασκευή των βιολογικών καθαρισμών επεξεργασίας των οικιακών υγρών αποβλήτων και (3) την τήρηση των όρων λειτουργίας των δεξαμενών εναπόθεσης των υγρών αποβλήτων των ελαιουργείων.
Η ουσιαστική πίεση, όπως ήδη έχει αναφερθεί, είναι η ποσοτική στα υπόγεια νερά η οποία έχει διαφορετική ένταση στις τρεις λεκάνες που έχει διακριθεί το υδρογεωλογικό σύστημα της λεκάνης της Μεσαράς. Επισημαίνεται ότι οι ποσοτικές πιέσεις που αναφέρονται στην παρούσα μελέτη αφορούν την κατάσταση όπως είχε διαμορφωθεί από πλευράς αντλήσεων το έτος 2004, όμως έως το έτος 2007 οι γεωτρήσεις αυξήθηκαν κατά 65% με τα αναμενόμενα συνεπακόλουθα αποτελέσματα.
Η λεκάνη του Χάρακα έχει υποστεί «μικρές» πιέσεις και τα ενδεδειγμένα μέτρα πρέπει να αποβλέπουν στη μείωση των αντλούμενων ποσοτήτων κατά ποσοστό περίπου 16% το οποίο κρίνεται εφικτό. Όμως, η ελάττωση των αντλούμενων ποσοτήτων από τα υπόγεια νερά θα αναπληρωθεί μετά τη λειτουργία του φράγματος της Πλακιώτισας που είναι υπό κατασκευή.
Η λεκάνη της Βαγιονιάς- Γκαγκαλών στο σύνολό της εμφανίζει πλεόνασμα του ισοζυγίου εισροών – εκροών, όμως θα πρέπει να τονιστεί ότι μεγάλες πιέσεις (πτώση στάθμη) έχει υποστεί ο επιφανειακός αλλουβιακός υδροφορέας σε αντίθεση με τον υποκείμενο πλειστοκαινικό υδροφορέα. Ωστόσο, η σημερινή κατάσταση είναι διαφορετική λόγω του μεγάλου αριθμού των νέων γεωτρήσεων που θα τεθούν άμεσα σε λειτουργία και επιβάλλεται οι αντλήσεις να πραγματοποιηθούν με φειδώ και να παρακολουθείται το σύστημα ώστε να ληφθούν άμεσα πρόσθετα μέτρα αν χρειαστεί.

Η λεκάνη των Μοιρών έχει υποστεί τις μεγαλύτερες πιέσεις οφειλόμενες στις καλές υδρογεωλογικές ιδιότητες του αλλουβιακού υδροφορέα, τις γεωτρήσεις με σημαντική ειδική ικανότητα και τα συλλογικά έργα. Οι μέσες ετήσιες αντλούμενες ποσότητες ανέρχονται στα 27,3 Mm^3 και το έλλειμμα στο ισοζύγιο εισροών – εκροών στα 8,1 Mm^3 ήτοι η ποσότητα αυτή αντλείται από τα μόνιμα αποθέματα του υδροφορέα. Το φράγμα της Φανερωμένης και θα προμηθεύσει τη λεκάνη με ποσότητα νερού της τάξης των 3 Mm^3 οπότε το έλλειμμα θα ανέρχεται στη τάξη των 5 Mm^3. Και εδώ, απαιτείται να εφαρμοστούν μέτρα για την επίτευξη της «καλής ποσοτικής κατάστασης» ήτοι ελάττωση των αντλήσεων κατά ποσοστό 19%. Θα πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι η λεκάνη των Μοιρών δέχεται υπόγειες εισροές από τη λεκάνη της Βαγιονιάς- Γκαγκαλών της τάξης των 2,6 Mm^3, οι οποίες θα ελαττωθούν εφόσον λειτουργήσουν οι νέες γεωτρήσεις της λεκάνης της Βαγιονιάς - Γκαγκαλών και σε αυτή την περίπτωση για την αντιστροφή της κατάστασης του ελλείμματος η περικοπή των αντλήσεων στη λεκάνη των Μοιρών θα πρέπει να είναι σε ποσοστό 28%.

Μεσοπρόθεσμος ορίζοντας

Τα μέτρα για την επίτευξη της «καλής ποιοτικής κατάστασης» των υδάτων της Μεσαράς που θα πρέπει να εφαρμοσθούν στο μεσοπρόθεσμο ορίζοντα είναι τα ίδια με τα παραπάνω αναφερόμενα στο βραχυπρόθεσμο ορίζοντα με την προϋπόθεση ότι δεν θα αναπτυχθούν νέες ρυπαντικές δραστηριότητες στην περιοχή.
Ρύπανση από την είσοδο της θάλασσας δεν θα υπάρξει ακόμα και αν η στάθμη υποβιβασθεί κάτω από το υψόμετρο της θάλασσας (λεκάνη Μοιρών) λόγω της δομής του υδρογεωλογικού συστήματος το οποίο δεν επικοινωνεί με την θάλασσα.
Τα μέτρα για την επίτευξη της «καλής ποσοτικής κατάστασης» που θα πρέπει να εφαρμοσθούν στο μεσοπρόθεσμο ορίζοντα είναι τα ίδια με τα παραπάνω αναφερόμενα στο βραχυπρόθεσμο ορίζοντα εκτός αν ολοκληρωθεί ο σχεδιασμός της εκτροπής του Πλατύ ποταμού προς το φράγμα της Φανερωμένης και τον τεχνητό εμπλουτισμό της λεκάνης των Μοιρών. Ο εμπλουτισμός του φράγματος της Φανερωμένης από τον Πλατύ θα αποδώσει ποσότητες ικανές να καλυφθεί το σημερινό έλλειμμα που αντλείται από τα μόνιμα αποθέματα της λεκάνης των Μοιρών.
Ο τεχνητός εμπλουτισμός θα πρέπει να πραγματοποιηθεί στις θέσεις που βελτιστοποιείται αυτός ώστε να αποφευχθεί η αστοχία του υφιστάμενου της εκτροπής του Γεροποτάμου. Η υδρογεωλογική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε καθώς και η προσομοίωση και ειδικότερα η εφαρμογή της συνθήκης stream package, μας έδωσε τη δυνατότητα να υπολογισθούν οι ποσότητες που δύναται να εμπλουτίσουν τον υδροφορέα καθώς τις θέσεις και το ρυθμό εμπλουτισμού. Ως πρώτη προσέγγιση προτείνονται όλα τα υδρορεύματα που ευρίσκονται ανατολικότερα του ύψους του οικισμού των Μοιρών.
Εναλλακτικά, αντί του τεχνητού εμπλουτισμού, θα πρέπει να αξιολογηθεί και η περίπτωση κατασκευής του φράγματος του Ληθαίου αποθηκευτικότητας της τάξης των 5 Mm^3, αντί του ενός Mm^3 που προτείνεται ως σημερινή δυνατότητα.

Στην αξιολόγηση των εναλλακτικών προτάσεων θα πρέπει να συμπεριληφθεί και η οικονομική αξιολόγηση των δράσεων με την έννοια που εισάγει η οδηγία 2000/60/ΕΚ και την αρχή ο «χρήστης πληρώνει». Σύμφωνα με την οδηγία πλαίσιο για τα νερά, ο υπολογισμός του συνολικού κόστους νερού, που θα κληθεί να πληρώσει ο χρήστης, περιλαμβάνει το χρηματοοικονομικό κόστος των έργων (κόστος λειτουργίας και συντήρησης έργου, διοικητικό και κόστος κεφαλαίου), το περιβαλλοντικό κόστος (κόστος υποβάθμισης ποιότητας) και το κόστος του φυσικού πόρου (κόστος ευκαιρίας εναλλακτικών χρήσεων παρούσες και μελλοντικές). Ειδικότερα, το κόστος των φυσικών πόρων σχετίζεται με τη μείωση της διαθέσιμης ποσότητας του πόρου λόγω υπερεκμετάλλευσης. Αντιπροσωπεύει την απώλεια οφέλους λόγω του περιορισμού των διαθέσιμων υδατικών πόρων και αποτιμάται ως κόστος ευκαιρίας. Για τη Μεσαρά ως πρώτη προσέγγιση το κόστος του φυσικού πόρου καταμερισμένο ανά στρέμμα με το σημερινό έλλειμμα των 9,7 Mm^3 και με κόστος αφαλάτωσης 1,3 €/m^3, που θεωρητικά είναι η μόνη πηγή στην περιοχή που δύναται να αντικαταστήσει τις ποσότητες υπερεκμετάλλευσης, αντιστοιχεί σε περίπου 77 € ανά έτος ανά στρέμμα.

Σενάριο μη λήψης μέτρων προστασίας

Όλα τα παραπάνω προτεινόμενα μέτρα θεωρούνται δύσκολο να γίνουν αποδεκτά από τους χρήστες νερού οι οποίοι συνεχώς πιέζουν για όλο και μεγαλύτερες ποσότητες νερού. Από την άλλη μεριά η λήψη των ενδεδειγμένων μέτρων από τις αρμόδιες υπηρεσίες, για παράδειγμα με κανονιστική απόφαση του Γενικού Γραμματέα Περιφέρειας Κρήτης, συναντούν αντικειμενικές δυσκολίες στην εφαρμογή τους και στον έλεγχο της εφαρμογής κυρίως γιατί σχεδόν όλες οι αντλούμενες ποσότητες πραγματοποιούνται από ιδιωτικά έργα.
Αν κάνουμε την υπόθεση ότι δε λαμβάνεται ή δεν εφαρμόζεται στην πράξη κανένα πρόσθετο μέτρο για την προστασία των υδάτων και τα επόμενα υδρολογικά έτη είναι «κανονικά» σε ότι αφορά τα κατακριμνήσματα, τότε με βάση την προσομοίωση του υδρογεωλογικού συστήματος από την επόμενη καλοκαιρινή περίοδο (2009) θα υπάρξει μια σημαντική ταπείνωση της στάθμης των υδάτων και συνεπακόλουθα ελάττωση της παροχής των υδρογεωτρήσεων, αρχικά από τις γεωτρήσεις στα περιθώρια της λεκάνης και κύρια αυτών με τις μεγάλες παροχές οι οποίες αντλούν από τον αλλουβιακό υδροφορέα. Η κατάσταση αυτή θα επιδεινώνεται βαθμιαία στα επόμενα έτη μέχρι την εξάντληση των μόνιμων αποθεμάτων του αλλουβιακού υδροφορέα και τότε οι συνολικά αντλούμενες ποσότητες θα εξαρτώνται από τις αντλούμενες ποσότητες του με μικρή ειδικής ικανότητας γεωτρήσεων του πλειστοκαινικού υδροφορέα και από τις ετήσιες εισροές στο σύστημα οι οποίες κυμαίνονται από 33 Mm^3 (ξηρό έτος) μέχρι 81 Mm^3 (υγρό έτος) με μέση τιμή (κανονικό έτος) τα 51 Mm^3. Τότε, η εξέλιξη της επιδείνωσης άμεσα θα εξαρτάται από το εκάστοτε υδρολογικό έτος, στη περίπτωση δε που θα έχουμε την εμφάνιση ενός ξηρού έτους η κατάσταση θα επιδεινωθεί με ταχύτερο ρυθμό, ενώ η επιδείνωση της κατάστασης θα επιβραδυνθεί αν έχουμε υγρό έτος.

ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ

Η συνεισφορά της διατριβής στη βασική και την εφαρμοσμένη έρευνα επιγραμματικά είναι η παρακάτω (συνοπτική αναφορά γίνεται στην εισαγωγή και αναλύεται στα επί μέρους κεφάλαια):

Καινοτομία στη βασική έρευνα:

i) Η ανάπτυξη μεθοδολογίας για την ολιστική προσέγγιση της χωροχρονικής κατάστασης των υδάτων μιας «υδατικής περιοχής», με περιορισμένα δεδομένα, η οποία συμβάλλει στη λήψη τεκμηριωμένης απόφασης και είναι σε εναρμόνιση με τους στόχους όπως ορίζονται στην οδηγία πλαίσιο που διέπει τα ύδατα (2000/60/ΕΚ).
Η μεθοδολογική προσέγγιση εφαρμόσθηκε με επιτυχία στη λεκάνη της Μεσαράς και δύναται να εφαρμοσθεί σε οποιαδήποτε περιοχή της Κρήτη ή σε νησιωτικό περιβάλλον και αποτελεί τη «ραχοκοκαλιά» εφαρμογής της οδηγίας 2000/60/ΕΚ

ii) Η λεπτομερής διερεύνηση των υδρογεωλογικών συνθηκών της λεκάνης της Μεσαράς (υδρολογικές λεκάνες Γεροποτάμου-Φαιστού και Αναποδάρη-Χάρακα) καθώς και η λεπτομερής κατασκευή της γεωλογικής και υδρογεωλογικής δομής του προσχωματικού υδροφορέα.

iii) Η υδροδυναμική λειτουργία του υδρογεωλογικού συστήματος των υπόγειων νερών του προσχωματικού υδροφορία της Μεσαράς (έκτασης 219,3 km^2) η οποία προσομοιώθηκε σε συνθήκες μεταβατικής ροής για περίοδο 25ετίας (1980-2005) με μηνιαίο βήμα.

iv) Ο υπολογισμός του υδρολογικού και υδατικού ισοζυγίου της περιοχής μελέτης και η διαχρονική μεταβολή του. Ειδικότερα υπολογίσθηκαν οι εξής παράμετροι: επιφανειακή βροχόπτωση, δυνητική εξατμισοδιαπνοή, πραγματική εξατμισοδιαπνοή, απορροή, κατείσδυση, αντλήσεις, μεταβολή των αποθεμάτων του υπόγειου υδροφορέα, βέλτιστη λειτουργία ταμιευτήρων καθώς και το έλλειμμα στο ισοζύγιο προσφοράς – ζήτησης

v) Η ανάπτυξη εναλλακτικών σεναρίων προστασίας και αειφόρου αξιοποίησης των υπόγειων και επιφανειακών υδάτων της περιοχής μελέτης

Καινοτομία στην εφαρμοσμένη έρευνα:

vi) Η δημιουργία βάσης δεδομένων για την περιοχή μελέτης περιόδου 1973-2005 και η χωρική τοποθέτηση τους σε γεωγραφικό σύστημα συντεταγμένων (υδρολογικών-μετεωρολογικών-πιεζομετρικών παρατηρήσεων, γεωλογικών τομών, χρήσεων γης, υφιστάμενα και μελλοντικά υδραυλικά έργα, υδρογεωτρήσεις κλπ)

vii) Η αξιολόγηση κατάλληλων μεθόδων και ομοιωμάτων (models) που δύναται να εφαρμοσθούν στις επιμέρους συνιστώσες της διαχείρισης και της προστασίας των υδάτων ώστε να έχουμε μια ρεαλιστική προσέγγιση της διαχρονικής κατάστασής των στις ιδιαίτερες Μεσογειακές κλιματικές συνθήκες

viii) Η ανάπτυξη ενός «δυναμικού συστήματος» προσομοίωσης επιφανειακών και υπόγειων νερών καθώς και ισοζυγίου προσφοράς-ζήτησης για τη λεκάνη της Μεσαράς που έχει ως στόχο τη βελτιστοποίηση της αειφόρου χρήσης των υδάτων.

ix) Ο καθορισμός και η ποσοτικοποίηση των διαχρονικών ανθρωπογενών επιπτώσεων στην υδρολογική δίαιτα και στο υδατικό περιβάλλον της περιοχής μελέτης (ποιοτικό και ποσοτικό).

x) Ο υπολογισμός της αλληλεπίδρασης μεταξύ επιφανειακών και υπόγειων νερών.

xi) Τεκμηριώνεται ότι η συνδυασμένη χρήση των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων θα συμβάλλει στη βελτιστοποίηση του συστήματος και στην άμβλυνση του ελλείμματος στο ισοζύγιο προσφοράς-ζήτησης, έναντι της μέχρι τώρα μονόπλευρης χρήσης του υπόγειου νερού

xii) Αξιολογούνται τα υδραυλικά έργα και ειδικότερα προσδιορίζεται η αστοχίας των υφισταμένων και τεκμηριώνονται προτάσεις για τη βέλτιστη αξιοποίηση των προτεινόμενων

xiii) Καθορίζονται οι συνθήκες αναφοράς για την επίτευξη «καλής κατάστασης» των υδάτων της περιοχής μελέτης σε εφαρμογή της οδηγίας 2000/60/ΕΚ

xiv) Προτείνονται συγκεκριμένα μέτρα σε βραχυπρόθεσμο και μεσοπρόθεσμο ορίζοντα για την αντιστροφή της «μέτριας» κατάστασης (ποιοτικής και ποσοτικής) των υδάτων της Μεσαράς σε συμφωνία με τα οριζόμενα στην οδηγία 2000/60/ΕΚ.

xv) Προτείνονται και αξιολογούνται εναλλακτικά σενάρια προστασίας και ανάπτυξης των υδάτων που έχουν ως στόχο τη βέλτιστη αξιοποίηση και προστασία των υδάτων της περιοχής μελέτης, την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των υφισταμένων και των προτεινομένων έργων, τον προσδιορισμό (ποιοτικό και ποσοτικό) των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από τα έργα και τις διάφορες δράσεις, τον υπολογισμό του κόστους ανάκτησης των χρήσεων νερού (οικονομική ανάλυση).

Προτάσεις για συνέχιση της έρευνας.

Κατά την εκπόνηση της μελέτης δεν έγινε εμβάθυνση σε θέματα, που είτε κρίθηκαν πέραν του αντικειμένου της είτε δεν υπήρχαν τα αναγκαία δεδομένα (υφιστάμενα ή μη δυνατότητα λήψης νέων λόγω στενότητας πόρων και χρόνου), τα οποία χρήζουν περαιτέρω διερεύνησης. Αυτά συνοπτικά είναι:

1. Επιπτώσεις από τις κλιματικές αλλαγές στους υδατικούς πόρους της Μεσαράς, οι οποίες μπορούν άμεσα (ποσοτικά) να υπολογισθούν από το λογισμικό σύστημα που αναπτύχθηκε (βαθμονομημένα ομοιώματα επιφανειακών και υπόγειων νερών), με την προϋπόθεση ότι θα αναπτυχθούν σενάρια κλιματικών αλλαγών στην κλίμακα μελέτης και ειδικότερα χρονοσειρές βροχόπτωσης και δυνητικής εξατμισοδιαπνοής.

2. Ανάπτυξη μοντέλου διασποράς ρύπων του υπόγειου υδροφορέα της Μεσαράς, βασιζόμενο στο βαθμονομημένο ομοίωμα υπόγειας ροής που έχει αναπτυχθεί και σε νέες συστηματικές μετρήσεις ποιότητας νερών. Στη συνέχεια καθορισμό των ζωνών προστασίας των υδρευτικών γεωτρήσεων και των προστατευομένων περιοχών.

3. Εκτίμηση Επικινδυνότητας και Διαχείριση Κινδύνου (Risk Assessment and Risk Management) των υδάτων της Μεσαράς και ειδικότερα των υδρευτικών γεωτρήσεων. Στην παρούσα μελέτη έχουν προσδιορισθεί βασικές συνιστώσες του συστήματος: Πηγή ρύπανσης-Μέσο διάδοσης-Αποδέκτης- Επιπτώσεις (Source-Pathway-Receptor-Impact). Αναλυτικότερα έχουν προσδιορισθεί οι πιθανοί κίνδυνοι ρύπανσης των υδάτων, προσομοιώθηκε το μέσο διάδοσης (ομοιώματα υπόγειων και επιφανειακών νερών) και καταγράφησαν οι υδρευτικές γεωτρήσεις.

4. Επαλήθευση της συνθήκης stream του modflow μετά την πραγματοποίηση συνεχών μετρήσεων απορροής σε διάφορες θέσεις κατά μήκος του χειμάρρου Ληθαίου - Γεροποτάμου και Αναποδάρη, τουλάχιστο κατ' ένα υδρολογικό έτος. Η συνθήκη αυτή έδωσε σημαντικούς συντελεστές στα κριτήρια σύγκλισης στην κλίμακα της μελέτης με βάση το εννοιολογικό μοντέλο, όμως στηρίχθηκε σε περιορισμένο αριθμό διαφορικών μετρήσεων απορροής. Η διερεύνηση αυτή θα βοηθήσει στον ακριβέστερο υπολογισμό του εμπλουτισμού του υδροφορέα από την προτεινόμενη εκτροπή του Πλατύ.

5. Προσαρμογή της σχέσης: παροχή άντλησης/κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας/τύπο υδροφορέα, με βάση νέα αξιόπιστη καταγραφή αντλήσεων σε γεωτρήσεις σε επιλεγμένες θέσεις υδροφορέων, ώστε να μπορεί να εφαρμοσθεί σε περισσότερους υδροφόρους ορίζοντες. Η σχέση αυτή θα μας παρέχει τον ακριβέστερο προσδιορισμό των αντλούμενων ποσοτήτων με δεδομένο την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας.

6. Οικονομική ανάλυση και υπολογισμό του κόστους νερού με βάση τις αρχές και τη μεθοδολογία που θα προταθεί από τη Διεύθυνση Υδάτων σε εφαρμογή της οδηγίας 2000/60/ΕΚ. Ήδη προτάθηκε και

υπολογίσθηκε το κόστος του πόρου (ή ευημερίας) με βάση την υφιστάμενη κατάσταση και τα σενάρια προστασίας που αναπτύχθηκαν στο κεφάλαιο 7.

7. Υπολογισμό των επιπτώσεων της έλλειψης νερού στην παραγωγή των καλλιεργειών (ελιές, αμπέλια, εσπεριδοειδή, κηπευτικά κλπ) και ειδικότερα οι επιπτώσεις της έλλειψης νερού στα διάφορα στάδια ανάπτυξης και παραγωγής των φυτών.

8. Διερεύνηση για φαινόμενα καθιζήσεων του εδάφους λόγω συμπίεσης του υδροφορέα από τη σημαντική πτώση στάθμης (πχ με ανάλυση ρωγματώσεων σε υφιστάμενα κτίρια, με τοπογραφική διερεύνηση κλπ). Σε αρχική φάση, από τη διερεύνηση της παρούσας εργασίας, δεν τεκμηριώθηκε ότι έχει επέλθει συμπίεση παρά τις φαινόμενες ενδείξεις.

9. Διερεύνηση των ενεργών ρηγμάτων που διατρέχουν τον υδροφορέα της λεκάνης της Μεσαράς. Στην παρούσα μελέτη χαρτογραφήθηκαν πλήθος (μη ορατών) ρηγμάτων από την αξιολόγηση δεδομένων γεωτρήσεων και γεωφυσικών διασκοπήσεων, τα οποία στην κλίμακα μελέτης αποδείχθηκε ότι δεν αποτελούν υδρογεωλογικά όρια (ασυνέχειες) της υπόγειας ροής. Επιπλέον προτείνεται η εξέταση των ρηγμάτων που σχετίζονται με τις ενδείξεις της σχετικής αυξημένης θερμοκρασίας στην περιοχή των ασβεστολίθων της Αληθινής.

10. Επιπρόσθετα, σε επιχειρησιακό επίπεδο η ενημέρωση/ επικαιροποίηση του δυναμικού λογισμικού συστήματος που αναπτύχθηκε, από το Εργαστήριο Διαχείρισης Υδατικών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης, θα συμβάλει στην ολιστική προσέγγιση και στην τεκμηριωμένη λήψη απόφασης για την προστασία και την ανάπτυξη των υδάτων της Μεσαράς, καθώς στηρίζεται σε μεθοδολογική προσέγγιση που αποτελεί τη ραχοκοκαλιά της εφαρμογής της οδηγίας πλαίσιο 2000/60/ΕΚ για τα ύδατα. Επίσης, θα συμβάλει και στην αναθεώρηση του Σχεδίου Διαχείρισης των Υδάτων το 2015.

Τέλος, θα πρέπει να αναφέρεται κανείς και στα αυτονόητα, και στην προκειμένη περίπτωση, είναι το σύστημα παρακολούθησης των υδάτων που δυστυχώς αντί να συζητάμε για την ολοκλήρωσή του και τον εκσυγχρονισμό του προκειμένου να έχουμε ακριβέστερες και με μεγαλύτερη ανάλυση μετρήσεις, βιώνουμε την κατάργησή του κύρια για τα υπόγεια νερά και για τα περισσότερα επιφανειακά, το οποίο έχει διακοπεί από το έτος 2005 για όλη την Κρήτη με εξαίρεση το (περιορισμένο) τηλεμετρικό σύστημα της Διεύθυνσης Υδάτων και το σύστημα του ΙΓΜΕ.
Επίσης, είναι επιτακτική η ανάγκη της δημιουργίας, σε επίπεδο περιφέρειας Κρήτης, έγκυρου μητρώου μετεωρολογικών και υδρομετρικών παρατηρήσεων και μητρώου γεωτρήσεων και αντλήσεων, καθώς επίσης και η δημιουργία Τράπεζας μετεωρολογικών και υδρομετρικών δεδομένων. Επιπλέον προτείνεται να εγκαταλειφθεί η χρήση των σχετικά υψηλού κόστους εξατμισιμέτρων, εκτός αν εγκαθίστανται σε θέσεις που μπορούν να επιτηρούνται συνεχώς από εξειδικευμένο προσωπικό, καθώς η αξιολόγηση των υφιστάμενων έδωσε μη αποδεκτές μετρήσεις.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., Smith, M. (1998) *FAO Irrigation and drainage* Rome, *paper No. 56*.

Angelier J., Lyberis N., Le Pichon X., Barrier E., Huchon P., (1982) the tectonic development of the Hellenic arc and the sea of Crete, a synthesis. Tectonophysics 86 159-196

ArcView GIS ver. 3.2 (1996) manual , ESRI, USA

Benda L., Meulenkamp J., Zachariasse W., (1974) Biostratigraphic correlations in the eastern Mediterranean Neogene.. Newsl. Strat., 3 (30), 205-217

Bonneau M. (1984) Correlation of the Hellenide nappes in the south –east Aegean and their tectonics reconstruction. J. Geo;. Soc. Sp. Publ., 17, 517-526

Buishand, T.A., (1982) Some methods for testing the homogeneity of rainfall records. *J.Hydrol.*, 58, 11-27.

Burnash R.J.C., Ferral R.L., McGuire R.A. (1973), "A generalized streamflow simulation system - Conceptual modelling for digital computers", Technical Report, Joint Federal and State River Forecast Center, U.S. National Weather Service and California Department of Water Resources, Sacramento, 204pp.

Chartzoulakis K., Michelakis N., and Tzompanakis I., 1992. Effects of water amount and application date on yield and water utilization efficiency of Koroneiki olives under drip irrigation. Adv. Hort. Sci. 2: 82-84

Chartzoulakis K., Parnychianakis N., Angelakis A (2001) water resources management in the island of Crete, Greece with emphasis on agricultural use eaer Policy 3 (2001) 193-205

CORINE Land Cover 2000 for Greece, European Environmental Agency

Correia F.N. (ed.) (1998). "Institutions for Water Resources Management in Europe", vols. 1 & 2, Rotterdam: A.A. Balkema.

Creutzburg N., Drooger C.W., Meulenkamp J.E., Papastamatiou J., Seidel E. & Tataris A., (1977). Geological map of Crete (1:200.000). Institute of Mineral and Geological Exploration pubs., Athens.

Croke B., Cleridou N., Kolovos A.., Vardabas I., Papamastorakis J (2000) water resources in the desertification-threatened Messara Valley of Crete, J. Environmental modelling & software 15 pp 387-402

Daliakopoulos I., Koutroulis A., Tsanis I., (2006) Uncertainty assessment in historical precipitation time series, European Geosciences Union General Assembly Vienna, Austria, 02 - 07 April, Geophysical Research Abstracts, Vol. 8, 03034

Directive 2006/118/EC daughter ground water directivel_37220061227en00190031

Directive 98/83/EC Drinking Water Directive

Diskin M. (ed.) (1985). "Scientific Basis for Water Resources Management", Wallingford, UK: IAHS publication no. 153.

Doorenbos J. and Pruitt W.O. (1977) *FAO Irrigation and drainage,* Rome, *paper No. 24*.

Doukas I., Ifadis I., Savvaidis P. (2004): «Monitoring and analysis of ground subsidence due to water pumping in the area of Thessaloniki, Hellas».- Πρακτικά F.I.G. Working Week, 22-27/5/04, Athens, p.13

FAO (1969) /SF:166/GRE Study of Water Resources and their Exploitation for Irrigation in Eastern Crete", Technical note No 4, Evaporation in Southern Crete, Ηράκλειον

FAO (1969) *Study of water resources and their exploitation for irrigation in Eastern Crete: Evaporation in Southern Crete*. Ηράκλειο Technical Note No 4, .

FAO (1969). Study of the water resources and their exploitation for irrigation in eastern Crete – Greece (No 10). Programme des nations unies pour le development

FAO (1969). Study of the water resources and their exploitation for irrigation in eastern Crete – Greece (No 11).Programme des nations unies pour le development

FAO (1969). Study of the water resources and their exploitation for irrigation in eastern Crete – Greece (No 19).Programme des nations unies pour le development

FAO (1969). Study of the water resources and their exploitation for irrigation in eastern Crete – Greece (No 6). Programme des nations unies pour le development

FAO (1969). Study of the water resources and their exploitation for irrigation in eastern Crete – Greece (No 8). Programme des nations unies pour le development

FAO (1969). Study of the water resources and their exploitation for irrigation in eastern Crete – Greece (No 24). Programme des nations unies pour le development

FAO (1969). Study of the water resources and their exploitation for irrigation in eastern Crete – Greece (No 34). Programme des nations unies pour le development

FAO (1970) Study of the water resources and their exploitation for irrigation in eastern Crete – Greece. Overall study of Messara Plain AGL:SF/GRE 31 tech rep. 1, UNDP, Iraklio

FAO (1970) Study of the water resources and their exploitation for irrigation in eastern Crete – Greece. Hydrology of the western Messara, AGL:SF/GRE 166 tech rep. 13, UNDP, Iraklio

FAO (1972) Study of the water resources and their exploitation for irrigation in eastern Crete – Greece. Drillings and pumpings tests in Messara AGL:SF/GRE 17/31 tech rep. 26, UNDP, Iraklio

FAO (1972). Study of the water resources and their exploitation for irrigation in eastern Crete – Greece. Study of Almyros spring of Iraklion. ΥΠΕΘΟ

FAO (1979). "Yield Response to Water", Irrigation and Drainage Paper No. 33, Rome.

FAO (1998). "Crop Evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements", Irrigation and Drainage Paper No. 56, Rome.

Fasoulas C., Kritsotakis M., (2007) γεωλογικές και γεωμορφολογικές συνθήκες της Πεδιάδας και διαχρονική οικιστική ανάπτυξη, First International Scientific Symposium About The Ancient City Of Lyktos, "Λύκτος εϋκτιμένη", 9th - 11th of November 2007 , Kastelli, Heraklion, Crete

Fassoulas C., kritsotakis M. (2006): Geology, Geomorphology, History and Recent Status of Water Resources of the Pediada, Crete, Greece. In: IWA 1st Intern. Symp. On Water and Wastewater Technologies in Ancient Civilizations. Iraklio, 2006, Proc. Vol., 231-238p.

Fassoulas C. (1999): The structural evolution of central Crete: Insight into the tectonic evolution of the South Aegean (Greece). J. Geodynamics, 27/1, 23-43.

Fassoulas C. (2001): The tectonic development of a Neogene basin at the leading edge of the active European margin: The Heraklion basin, Crete, Greece. J. Geodynamics, 31/1, 63-84

Fassoulas C. (2001. The tectonic development of a Neogene basin at the leading edge of the European margin: The Heraklion basin, Crete, Greece. J. Geodynamics, 31, 49-70.

Fassoulas C., Kilias A., Mountrakis D., Marκopoulos T. (1995): Late tertiary tectonic evolution of central Crete: Post-nappe stacking extension and exhumation of High pressure / low temperature rocks. In: Proc. Workshop "deep drilling on the top of the Hellenic subduction zone in the island of Crete, Greece", Technical Univ. of Crete, Chania

Fassoulas C., Kilias A. & Moyntraκis D. (1994): Post-nappe stacking extension and exhumation of the HP/LT rocks in the island of Crete, Greece, Tectonics, 13, 121-132.

Fassoulas C., Kilias A. Moyntraκis D. (1994): New data about the pre-oligocene structural evolution of central Crete, Bull. Geol. Soc. Greece, XXX/2, 67-81

Fowler (1964) groundwater management for nation's future ground-water basin operation, J Hydraulics, Div.Amer.Soc. Civil Eng. V.90 no NY4, pp 51-75.

Fytrolakis N., 1980. The geological structure of Crete. Problems, observations and conclusions. Habil. Thesis, Nat. Techn. Univ. Athens.

G.M.S. v3.1 (2000) tutorial, Brigham young University- Environmental Modeling,

Giakoumakis S., Tsakiris G., Efremides, D. (1991). On the rainfall – runoff modelling in a Mediterranean island environment. Advances in Water Resources Technology. G Tsakiris (Editor). Published for ECOWARM by A.A. Balkema

Gordon, N.D., McMahon T.A., & Finlayson, B.L., (1992). “Stream Hydrology: An introduction for ecologists”. John Willey & Sons.

Hellenic National Meteorological Service (2003) direction of climatology, climatological data base, stations: Gortys, Tympaki, Kasteli, Herakleio

Hirsch, R.M., Helsen, D.R., Cohn, T.A., and Gilroy, E.J., (1993) Statistical Analysis of hydrologic data. In: D.R. Maidment (ed.) *Handbook of Hydrology*, McGraw-Hill.

HYMOS 4.0. (1999) User’s Manual. WL | Delft Hydraulics, Delft, The Netherlands.

Johnson Division Inc (1975) ground water and wells, Sain Paul Minesota, USA

King, J., Tharme R., & Brown C., (1999). “Definition and Implementation of Instream Flows”. WCD Thematic Report Environmental Issues II.1. World Commission on Dams.

Kresnic N. (1996) Hydrogeology and groundwater modeling, Lewis publishers, New York

Kritsotakis M., Martinou A.. (2008) Chemical status of water in Anapodaris river basin- determination of chemical pollution parameters, conf. water quality in the framework of the European and the national legislation, Herakleio, pp 26-34

Linsley, R.K., Kohler, M.A. and Paulhus, J.L.H. (1988) *Hydrology for Engineers*. SI Metric Edition, McGraw-Hill, N.Y.

Manios, T. and Tsanis, I., (2006) “”Evaluating Water Resources Availability and Wastewater Reuse Importance in the Water Resources Management of Small Mediterranean Municipal Districts, Resources Conservation & Recycling, 47, 3: 245-259, .

McDonald M., Harbaugh A., (1996) Modflow, USGS

Meulenkamp J. (1979) field guide to neogene of Crete University of Athens, series No 32 Athens

Michelakis N., 1990. Yield response of table and oil olives varieties to different water use levels under drip irrigation. Acta Hort. 286: 271-274.

Naoum S., Tsanis, I., (2004) “Orographic Precipitation Modelling with Multiple Linear Regression”, Journal of Hydrologic Engineering, ASCE, 9(2), 79-102 .

Naoum S., Tsanis, I.K., (2003) “Temporal and Spatial Variation of Annual Rainfall on the Island of Crete, Greece”, Hydrological Processes , 17, 1899-1922

Ο.ΑΝ.Α.Κ. - Ε.Μ.Π., (1994) προσδιοριστικό ομοίωμα βροχής – απορροής SWBM

OECD, (1989). “Economic Instruments for Environmental Protection”, Paris: OECD.

Paritsis S. (2005) simulation of sea water intrusion into the Tympaki aquifer, Crete, Greece, progr. MEDIS (ENK1-CT-2001-00092)

Peterect A., Schwarze J. (2004) architecture and late Pliocene to recent evolution of outer- arc basins of the Hellenic subduction zone (south-cebtral Crete, Greece), J. of geodynamics 38 pp 19-55

Quevauviller P. (2008) implementation of EU water framework directive with focus on groundwater protection against pollution, conf. water quality in the framework of the European and the national legislation, Herakleio, pp 1-8

Refsgaard, J.C., Nilsson, B., Brown, J., Klauer B., Moore R., Bech T., Vurro M., Blind, M., Castilla, G., Tsanis I., and Biza, P., (2005) “Harmonised Techniques and Representative River Basin Data for Assessment and Use of Uncertainty Information in Integrated Water Management (HarmoniRiB)”, Environmental Science &Policy, 8, 267-277.

RI.BA.SI.M. ver. 6.2 (1999) manual model description, wl delft hydraulics, Netherlands

RI.BA.SI.M. Version 6.21, (2000) Technical reference manual, Attachment A: AGWAT model, ir. Wil N.M. van der Krogt, Delft Hydraulics, Netherlands.

RI.BA.SI.M. Version 6.21ir. Wil N.M. van der Krogt, (2000) Delft Hydraulics, the Netherlands .

Robins N. (1998) groundwater pollution, aquifer recharge and vulnerability, British Geological Survey Wallingford UK, London

Seidel E., (1978) zur petrologie der phyllite-quartzit-serie Kretas, Techn. Univ. Braunschweig. 145 p.

Skoulikidis N. (2008) defining chemical status of a temporary Mediterranean River, J. environmental Monitoring 2008,10 pp 842-852

Shaw, E.M., (1994) Hydrology in practice, 3rd edition, Chapman & Hall, London

Ten Veen J., Kleinspehn K. (2002) incipient continental collision and plate boundary curvature late Pliocene-Holocene transtentional Hellenic forearc, Crete, Greece, J. of the geological society, London vol XXX pp 13

Ten Veen, J., Postma, G. (1999) Neogene tectonics and basin fill patterns in the Hellenic outer-arc (Crete, Greece), Basin Research, 11, 223-241

Ten Veen, J.H., Postma, G., (1999) Roll-back controlled vertical movements of outerarc basins of the Hellenic subduction zone (Crete, Greece), Basin Research, 11, 243-266

Todd D., (1980) groundwater hydrology, 2nd edition, univ. of California, John Woley & sons, N.Y

Tsakiris G., (1988) daily potential evapotranspiration. Agricultural Water management, 13, pp 393-402.

Tsanis I., Apostolaki M., Pountourakis A., (2005) "An Alternative Water Balance Method of Estimating Groundwater", 9th Internationl Conference on Environmental Science and Technology, Phodes, Greece, 1-3 September.

Tsanis I., Apostolaki M., (2009) "Estimating Groundwater Withdrawal in Poorly Gauged Agricultural Basins", Water Resources Management, 23(6):1097-1123.

Tsanis, I., Koutroulis A., Seiradakis K., (2004) "Network Use of Chania Prefecture Database with GIS", Protection and Restoration of the Environment VII, Mykonos, Greece.

Υ.Ε.Β. (2005). Υδρομετεωρολογικά δεδομένα Κρήτης, Ηράκλειο

Zacharioudakis G. (2003) Timpaki basin steady state ground water flow, Crete, Greece, progr. MEDIS (ENK1-CT-2001-00092)

Αγγελάκης Α., Tchobanoglous G., (1995) Υγρά Απόβλητα: Φυσικά Συστήματα Επεξεργασίας και Ανάκτηση, Επαναχρησιμοποίηση και Διάθεση Εκροών, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, Ηράκλειο.

Αλεξόπουλος Α. (1990) Διδακτορική διατριβή, Ε.Κ.Π.Α, τμήμα Γεωλογίας

Βιδάκης Μ., Αθανασούλης Ε. (1994) η γεωλογική δομή της ανατολικής Μεσσαράς, ΙΓΜΕ

Διεύθυνση Υδάτων Περιφέρειας Κρήτης, (2005), Δεδομένα τηλεμετρικού συστήματος παρακολούθησης υπόγειων υδροφορέων, Ηράκλειο

Ε.Μ.Υ. (2005) Μετεωρολογικά δεδομένα, Αθήνα

ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε. (2005) χάρτης κατηγοριών μηχανικής σύστασης εδαφών περιοχή Μεσαράς Ηρακλείου, Πρόγραμμα CRINNO – Υποπρόγραμμα BEWARE, Καινοτόμες Δράσεις στην Ελλάδα 2000-2006.

Ευρωπαϊκή Ένωση, (2000). "Οδηγία 2000/60/ΕΚ για τη θέσπιση πλαισίου κοινοτικής δράσης στον τομέα της πολιτικής των υδάτων", Επίσημη Εφημερίδα Ε.Ε. αρ. L 327 (22/12/2000).

Ι.Γ.Μ.Ε. (1994, 2005). Γεωλογικοί χάρτες της Κρήτης, κλίμακας 1:50000, φύλα: Α. Αρχάνες, Τυμπάκι, Μέλαμπες, Αντισκάρι, Αχεντριάς, Μοχός, Α. Βιάννος, Αθήνα

Ι.Γ.Μ.Ε. (ΜΥΔ 90) επί των υδρογεωλογικών συνθηκών της περιοχής του αναπτυξιακού συνδέσμου Νοτίου Μαλεβιζίου Ν.Ηρακλείου, Πράρτημα Ρεθύμνου.

Ι.Γ.Μ.Ε., Παράρτημα Κρήτης. (1995) Υδρογεωλογική Έρευνα Περιοχής Ν. Ρεθύμνης, Ρέθυμνο.

Καλλέργης Γ. (1971): «Καθιζήσεις του εδάφους κατά τας αντλήσεις αρτεσιανών υδροφόρων οριζόντων λόγω περιορισμένης ελαστικότητας αυτών». Τεχνικά Χρονικά, Σεπτέμβριος 1971, σελ. 599-602.

Καλλέργης Γ., (1986) εφαρμοσμένη υδρογεωλογία, ΤΕΕ, Αθήνα

Καλλέργης Γ., (1995) υδρογεωλογική έρευνα περιοχής αναπτυξιακού συνδέσμου νότια Πεδιάδα, τελική έκθεση, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα

Καλούμενος Κ., Κοϊνάκης Γ., (1994) ΙΓΜΕ,Υδρογεωλογική μελέτη νοτιοανατολικών παρυφών Ψηλορείτη,. ΟΑΝΑΚ

Κνιθάκης Ε., Καλογιαννάκης, Ε., ΙΓΜΕ (1992). Υδρογεωλογική έρευνα Κεντρικής και Ανατολικής Κρήτης, Πρόδρομη έκθεση τμήματος ανατολικής Κρήτης. ΥΠΕΧΩΔΕ

Κνιθάκης Μ., Πολυχρονάκη Α. (1994) υδρογεωλογική μελέτη περιοχής ανατολικής Μεσαράς, ΙΓΜΕ Παράρτημα Ρεθύμνου

Κουτσογιάνης Δ. (1997) στατιστική υδρολογία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα

Κουτσογιάνης Δ., Ξανθόπουλος Θ. (1999) τεχνική υδρολογία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα

Κουτσογιάννης Δ., (1995) Σημειώσεις Στατιστικής Υδρολογίας,. Εκδόσεις Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Μπερτάκη Μ., Χαρτζουλάκης Κ. και Κερκίδης Π. (2000) Εξατμισοδιαπνοή και ανάγκες σε νερό των κυριοτέρων καλλιεργειών του Νομού Χανίων. 8ο Πανελλήνιο Συνέδριο της Ελληνικής Υδροτεχνικής Ένωσης. Αθήνα, Απρίλιος.

Ο.ΑΝ.Α.Κ - Ε.Μ.Π., (1994). Ολοκληρωμένο σύστημα διαχείρισης υδατικών πόρων Αν. Κρήτης.

Παλιατζίκη Α. (2006) Ανάλυση περιβαλλοντικών Πιέσεων και Επιπτώσεων στη λεκάνη απορροής του ποταμού Κοιλιάρη, Μεταπτυχιακή διατριβή , Πολυτεχνείο Κρήτης.

Παναγόπουλος Α., Κουμαντάκης, Σταυρόπουλος Ξ., (1999). Τεχνητός εμπλουτισμός υπόγειων υδροφόρων οριζόντων. Προβλήματα και προοπτικές εφαρμογής στο παράκτιο υδροφόρο σύστημα βόρειας Κορινθίας. Πρακτικά Ημερίδας που διοργάνωσε η Ελληνική Επιτροπή Υδρογεωλογίας με θέμα "Τεχνητός εμπλουτισμός υπόγειων υδροφορέων", στην Ξάνθη στις 28/5/1999, σελ. 112-135.

Πανώρας Α., (1999). Εφαρμογές επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων αστικών λυμάτων στην πεδιάδα Θεσσαλονίκης. Πρακτικά Ημερίδας που διοργάνωσε η Ελληνική Επιτροπή Υδρογεωλογίας με θέμα "Τεχνητός εμπλουτισμός υπόγειων υδροφορέων", στην Ξάνθη στις 28/5/1999, σελ. 146-153.

Παπαγρηγορίου Σ., Καϊμάκη Σ., Νιάδας Ι., Γκουβάτσου Ε., Περλέρος (2001) Μελέτη Ολοκληρωμένη Διαχείριση Υδατικών Πόρων Κρήτης, Αθήνα.

Παπαγρηγορίου Σ., Καϊμάκη Σ., Νιάδας Ι., Γκουβάτσου Ε., Περλέρος, Δρακοπούλου Ε, Παπαμαστοράκης και Κριτσωτάκης Μ (2003) ολοκληρωμένη διαχείριση υδατικών πόρων Κρήτης, HELECO, Αθήνα

Παπαλεξόπουλος Β., Μούρτζας Ν., Οθωνας Ε. (2001) Μελέτη αρδευτικού έργου Δήμου Γόρτυνας και διαχείρισης του υδάτινου δυναμικού: Υδρογεωλογική Μελέτη. Γόρτυνα

Παπαμαστοράκης Δ., Κριτσωτάκης Μ., Ζαχαριουδάκης Γ. (2002) ποιοτική εκτίμηση ρίσκου ρύπανσης των υπόγειων νερών με τη χρήση μαθηματικών προσομοιωμάτων, 6ο πανελλήνιο υδρογεωλογικό συνέδριο, Πρακτικά Ελληνική επιτροπή υδρογεωλογίας, σύνδεσμος γεωλόγων Κύπρου, Ξάνθη, σελ 247-258

Παρίτσης Σ. (1995) ολοκληρωμένο σύστημα διαχείρισης υδατικών πόρων ανατολικής Κρήτης-εφαρμογή του προγράμματος προσομοίωσης της υπόγειας ροής "mudflow" στη διαχείριση των υδατικών πόρων των λεκανών δυτικής Μεσαράς και Θραψανού, ΟΑΝΑΚ

Παρίτσης Σ., (2000). Μελέτη διαχείρισης Υδατικών πόρων του Δήμου Κόφινα και διερεύνηση σκοπιμότητας κατασκευής λιμνοδεξαμενών. ΟΑΝΑΚ

Παυλάκης Π. (2004), αξιοποίηση υδατικού δυναμικού υδρολογικής λεκάνης Πλατύ ποταμού, Α΄ φάση ΟΑΔΥΚ

Περιφέρεια Κρήτης- Τμήμα Διαχείρισης Υδατικών Πόρων (2006) εφαρμογή του διαχειριστικού μοντέλου RIBASIM με την χρήση του υποπρογράμματος AGWAT στην περιοχή της Μεσαράς, Πρόγραμμα CRINNO – Υποπρόγραμμα BEWARE, Καινοτόμες Δράσεις στην Ελλάδα 2000-2006.

Περιφέρεια Κρήτης. (2005) Μετρήσεις υπόγειας στάθμης, χλωριόντων και απορροών, Ηράκλειο

Περλέρος Β., Παπαμαστοράκης Δ.,. Κριτσωτάκης Μ., Μπουλουκάκης Η., (2003) το υπόγειο υδατικό δυναμικό της Κρήτης, συνέδρειο ΓΕΩΤΕΕ, Ηράκλειο.

Πολυχρονάκη Α., Καλογιαννάκης Ε., Κοΐνάκης Ι, (1993). Πρόδρομη έκθεση υδρογεωλογικής μελέτης περιοχής αναπτυξιακού συνδέσμου κεντρικού Μονοφατσίου Ν. Ηρακλείου. Αναπτυξιακό σύνδεσμο κεντρικού Μονοφατσίου., ΙΓΜΕ.

Πολυχρονάκη, Α. (2000). Υδρογεωλογική μελέτη περιοχή Δήμου Μοιρών του Ν. Ηρακλείου. Δήμος Μοιρών, ΙΓΜΕ.

Σκούρτος Μ. (1995). "Οικονομικά εργαλεία και Περιβαλλοντική Προστασία στην Ελλάδα", στο: Σκούρτος, Μ. και Σοφούλης, Κ. (επιμ.) Η Περιβαλλοντική Πολιτική στην Ελλάδα, Αθήνα.

Σοφός Φ. (1994) Γεωηλεκτρική έρευνα ανατολικής Μεσαράς Ν. Ηρακλείου, ΙΓΜΕ

ΤΟΕΒ Μοιρων (Β & Γ Ζώνη),(2002). Στοιχεία αντλήσεων –παροχές γεωτρήσεων

Τσακίρης Γ. (1986) Μαθήματα εγγειοβελτιωτικών έργων. Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα

Τσακίρης Γ. (1995) Υδατικοί Πόροι, Τεχνική υδρολογία , ΕΜΠ, εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα

Φασουλάς Χ. (2000). Οδηγός Υπαίθρου για τη Γεωλογία της Κρήτης. Εκδ. Μουσείου Φυσικής Ιστορίας Παν/μιου Κρήτης, (ελληνική σε τρίτη και αγγλική σε δεύτερη έκδοση), Ηράκλειο, 104 σ

Φασουλάς Χ., Κριτσωτάκης Μ., Καγιαμπάκη Α. (2006): Ο ρόλος της γεωλογικής δομής και της υδρολογίας στην ανάπτυξη των πολιτισμών της Πεδιάδας και η βοτανολογία της περιοχής. In: Ι' Διεθνές Κρητολογικό Συνέδριο, Χανιά, 2006. Τευχ. Περιλ., 47-48 σελ

Φυτρολάκης Ν. (1980) Η γεωλογική δομή της Κρήτης. Προβλήματα, παρατηρήσεις και συμπεράσματα. Θέση επί υφηγεσία Ε.Μ.Π. Αθήνα, 143 σελ.

.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ 1

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ 1 – I 2

ΔΙΑΘΕΣΙΜΟΤΗΤΑ ΒΡΟΧΟΜΕΤΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 2

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ 1 – II 5

ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΔΙΠΛΗΣ ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ 5

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ 1 – III 18

ΣΥΜΠΛΗΡΩΣΗ ΕΛΛΕΙΠΩΝ ΤΙΜΩΝ ΒΡΟΧΗΣ ΠΟΛΛΑΠΛΗ ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ 18

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ 1 – IV 35

ΕΜΠΕΙΡΙΚΕΣ & ΘΕΩΡΗΤΙΚΕΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΤΩΝ ΕΤΗΣΙΩΝ ΣΗΜΕΙΑΚΩΝ ΚΑΙ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΩΝ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΕΩΝ ΛΕΚΑΝΩΝ ΜΕΣΑΡΑΣ ΣΕ ΧΑΡΤΙ ΚΑΝΟΝΙΚΗΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ 35

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ 1 – V 51

ΙΣΤΟΓΡΑΜΜΑΤΑ ΕΤΗΣΙΑΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ ΛΕΚΑΝΩΝ ΜΕΣΑΡΑΣ 51

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ 1 – VI 56

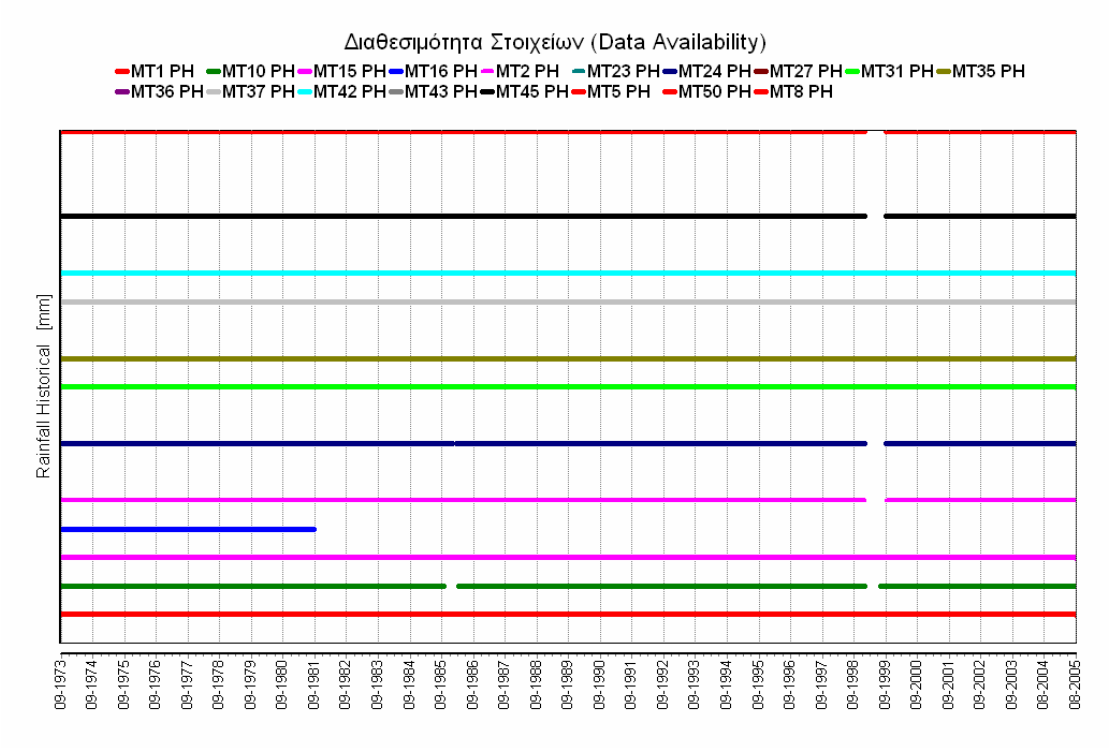
ΕΜΠΕΙΡΙΚΕΣ & ΘΕΩΡΗΤΙΚΕΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΤΩΝ ΜΗΝΙΑΙΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΩΝ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΕΩΝ ΛΕΚΑΝΩΝ ΜΕΣΑΡΑΣ ΣΕ ΧΑΡΤΙ ΚΑΝΟΝΙΚΗΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ 56

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ 1 – VII 77

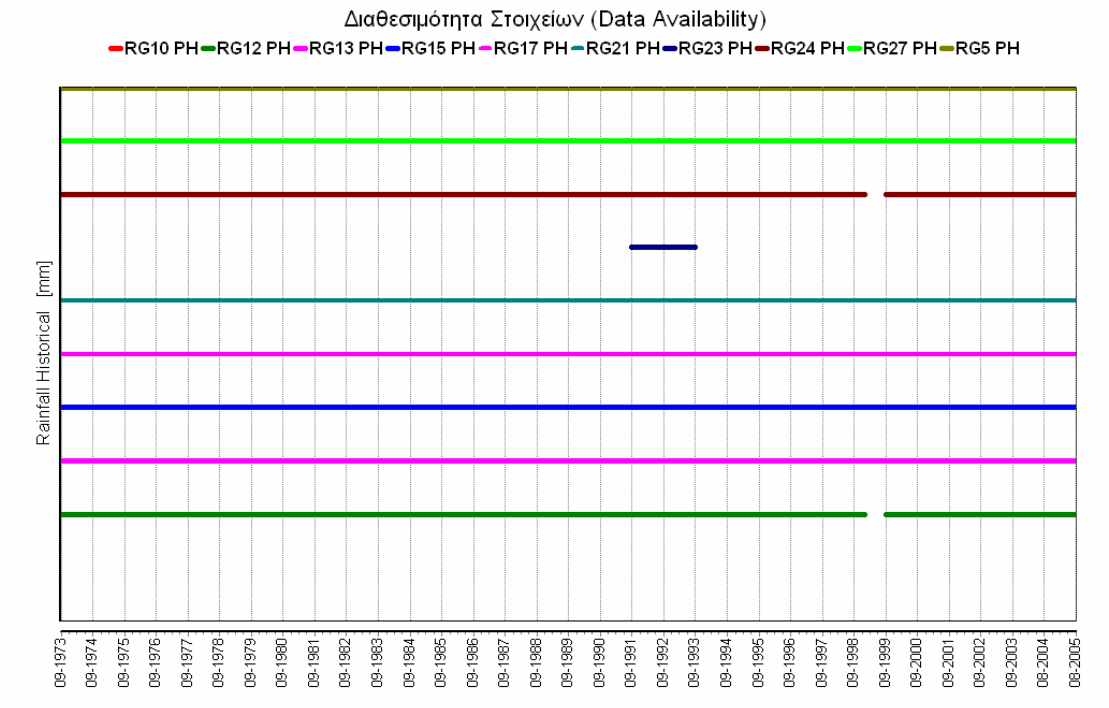
ΠΙΝΑΚΕΣ & ΓΡΑΦΗΜΑΤΑ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΩΝ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑΣ ΜΗΝΙΑΙΑΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ ΛΕΚΑΝΩΝ ΜΕΣΑΡΑΣ 77

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ 1 – Ι

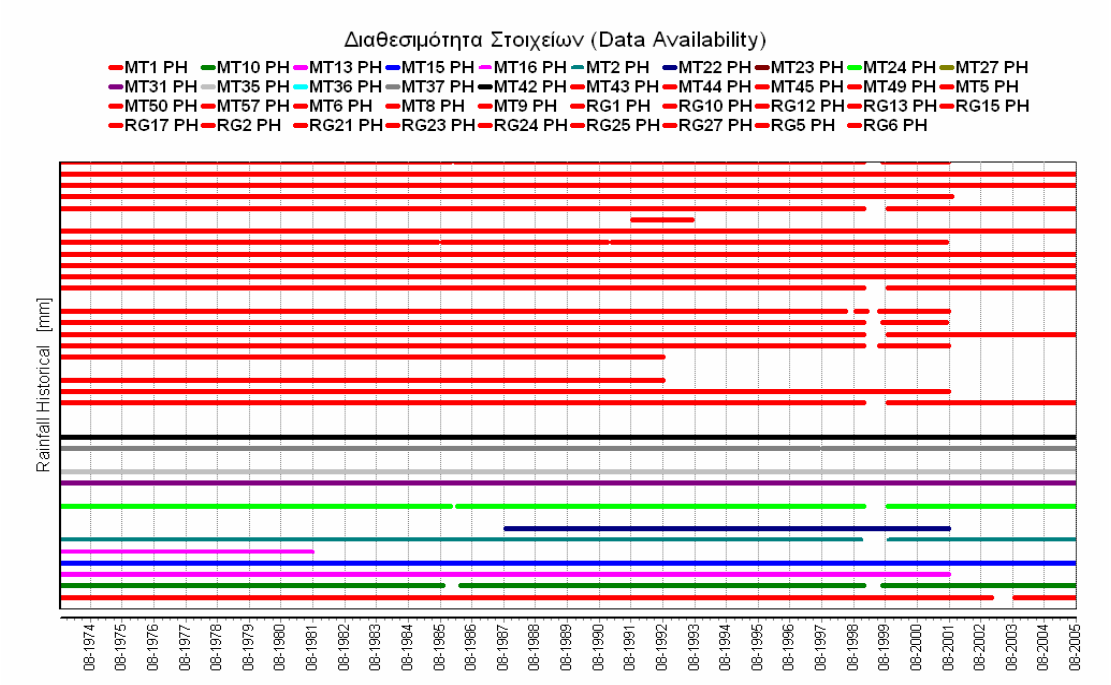
ΔΙΑΘΕΣΙΜΟΤΗΤΑ ΒΡΟΧΟΜΕΤΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ



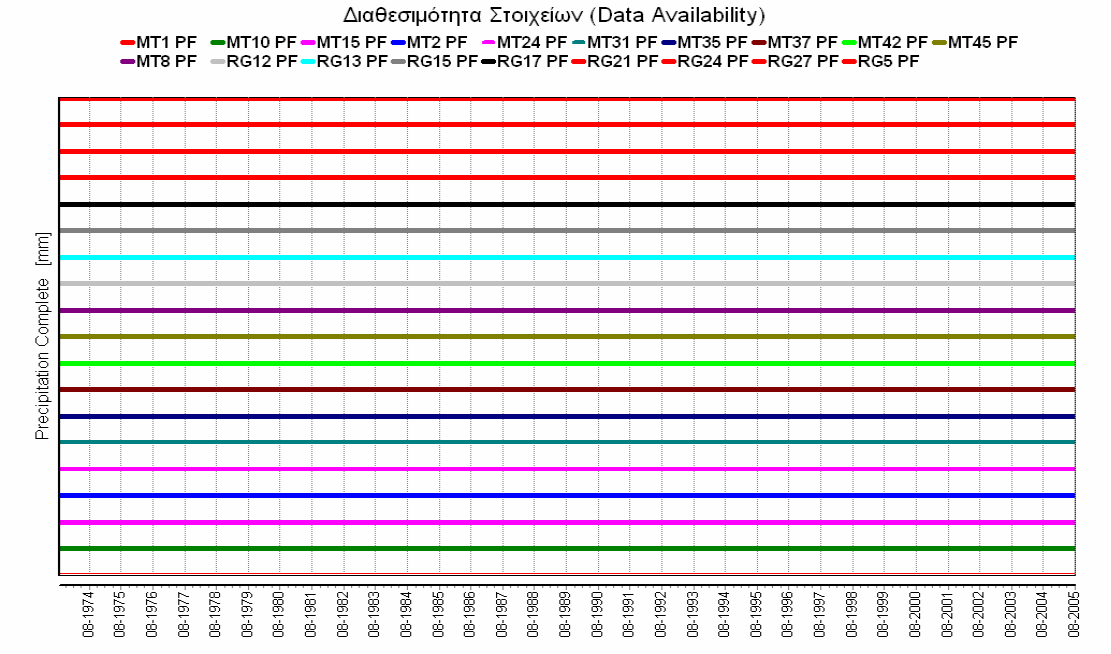
Εικόνα 1- 1 Διαθεσιμότητα δεδομένων βροχόπτωσης μετεωρολογικών σταθμών



Εικόνα 1- 2 Διαθεσιμότητα δεδομένων βροχόπτωσης βροχομετρικών σταθμών



Εικόνα 1- 3 Διαθεσιμότητα δεδομένων βροχόπτωσης σταθμών ευρύτερης περιοχής μελέτης

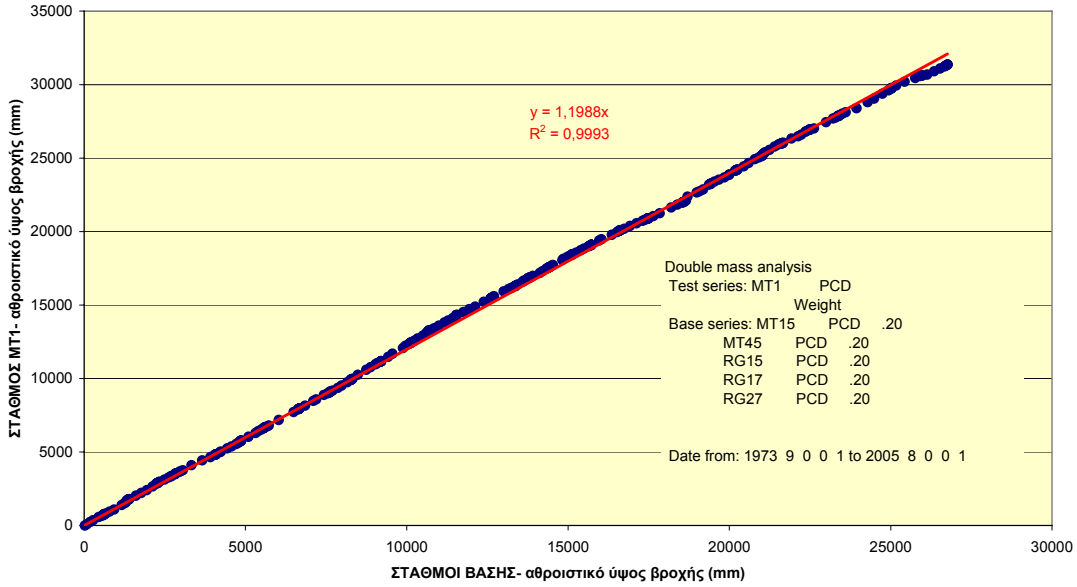


Εικόνα 1- 4 Διαθεσιμότητα <u>συμπληρωμένων</u> δεδομένων βροχόπτωσης σταθμών ευρύτερης περιοχής μελέτης

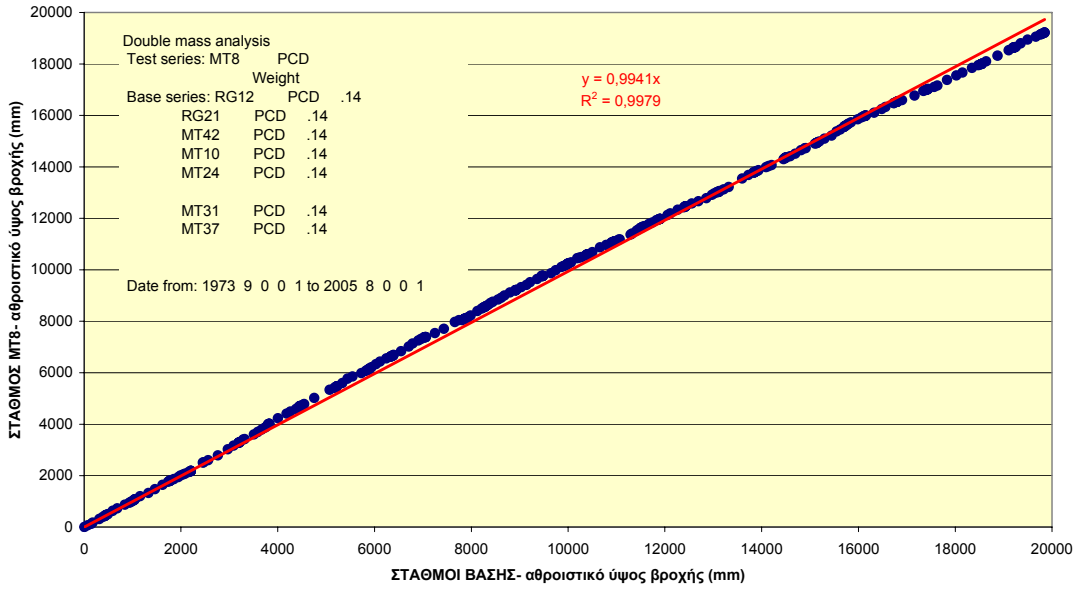
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ 1 – ΙΙ

ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΔΙΠΛΗΣ ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

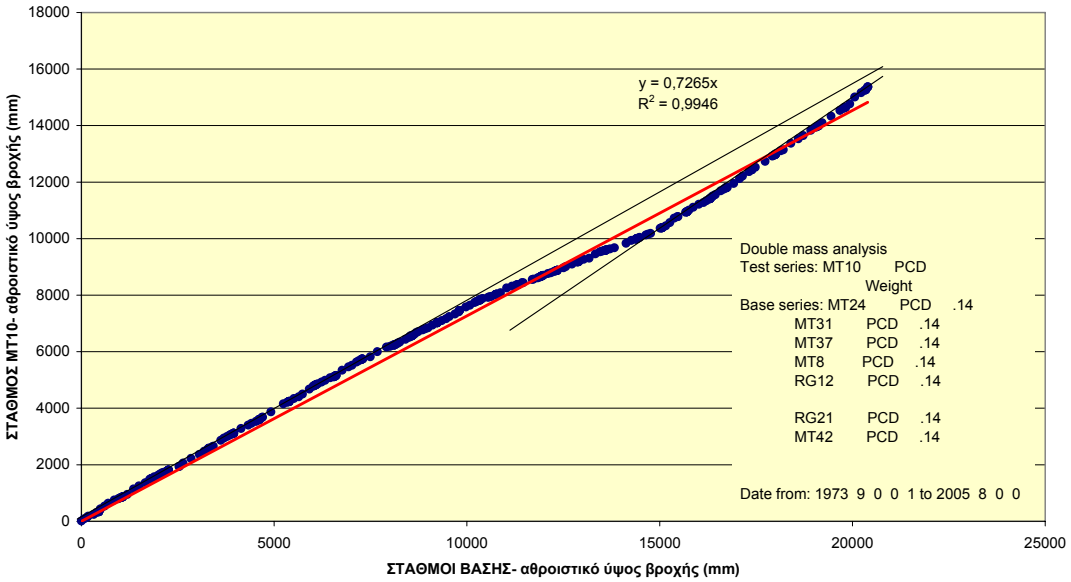
ΔΙΠΛΗ ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΗ ΚΑΜΠΥΛΗ



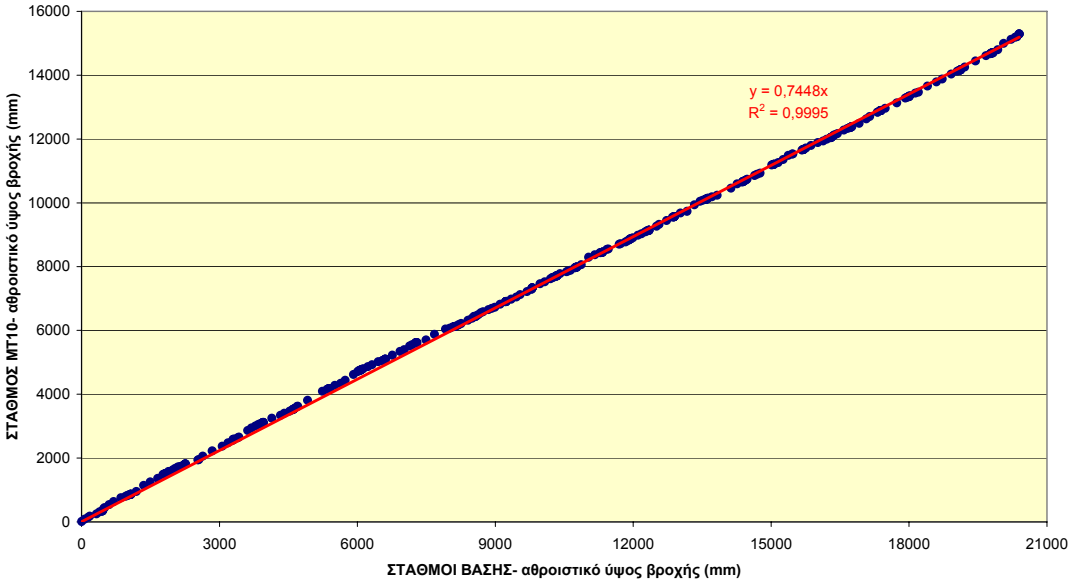
ΔΙΠΛΗ ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΗ ΚΑΜΠΥΛΗ



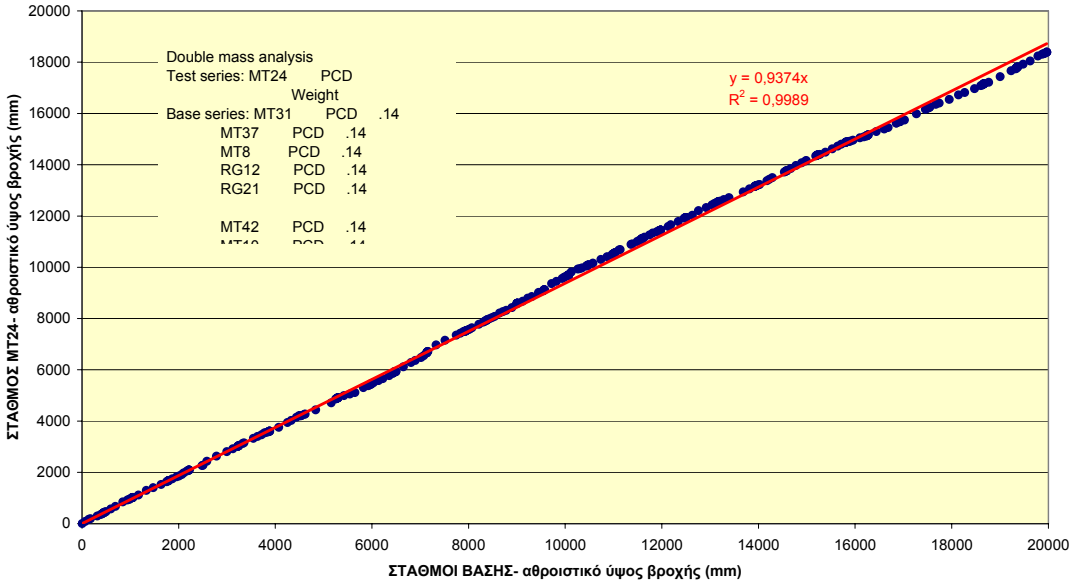
ΔΙΠΛΗ ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΗ ΚΑΜΠΥΛΗ



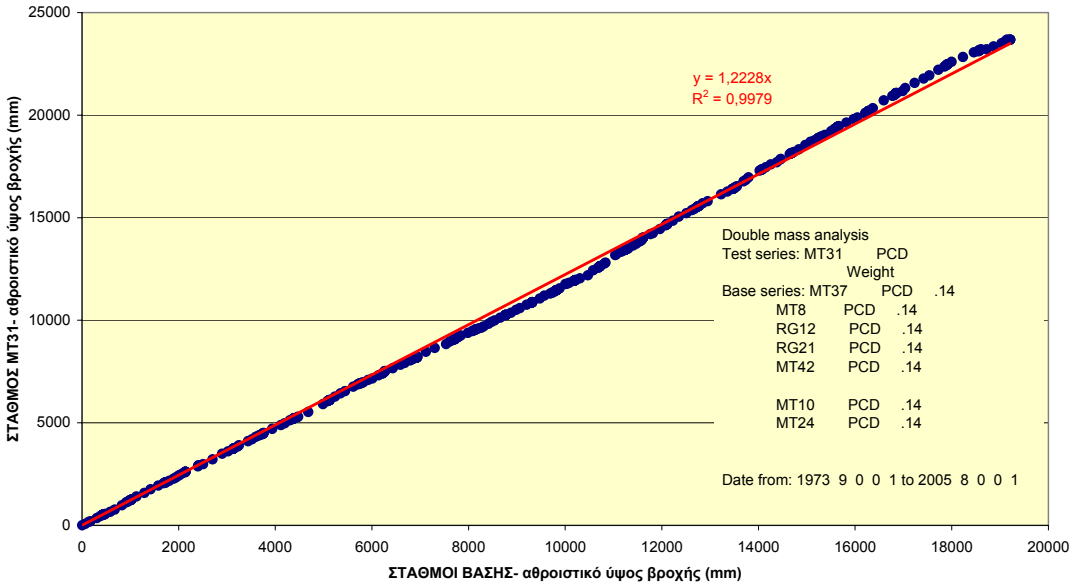
ΔΙΠΛΗ ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΗ ΚΑΜΠΥΛΗ - ΔΙΟΡΘΩΜΕΝΕΣ ΤΙΜΕΣ
9ος 1989- 8ος1997 (συντελεστής 1.37)
9ος 1997- 8ος 2005 (συντελεστής 0.82)



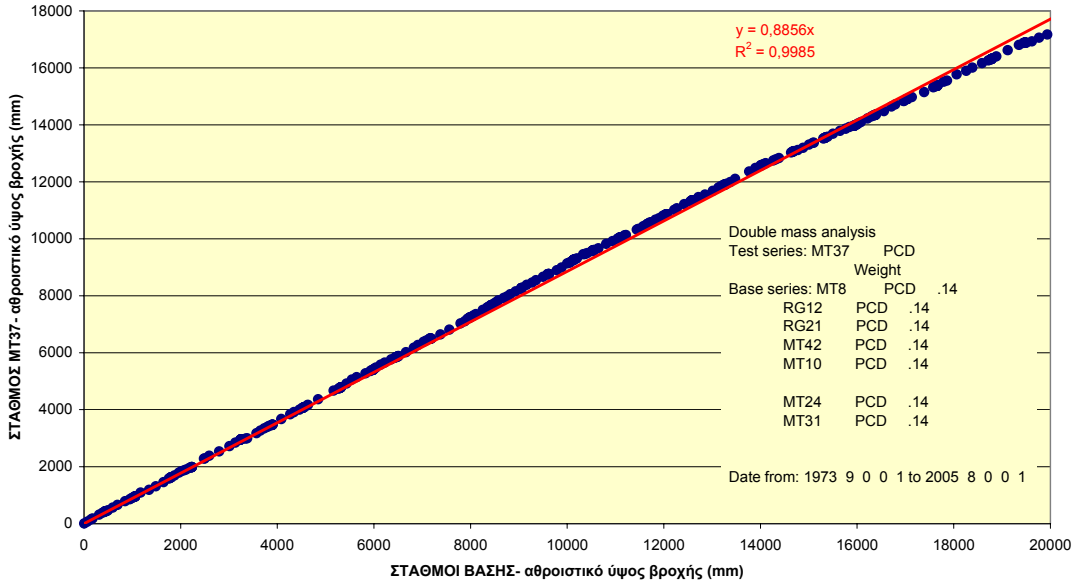
ΔΙΠΛΗ ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΗ ΚΑΜΠΥΛΗ



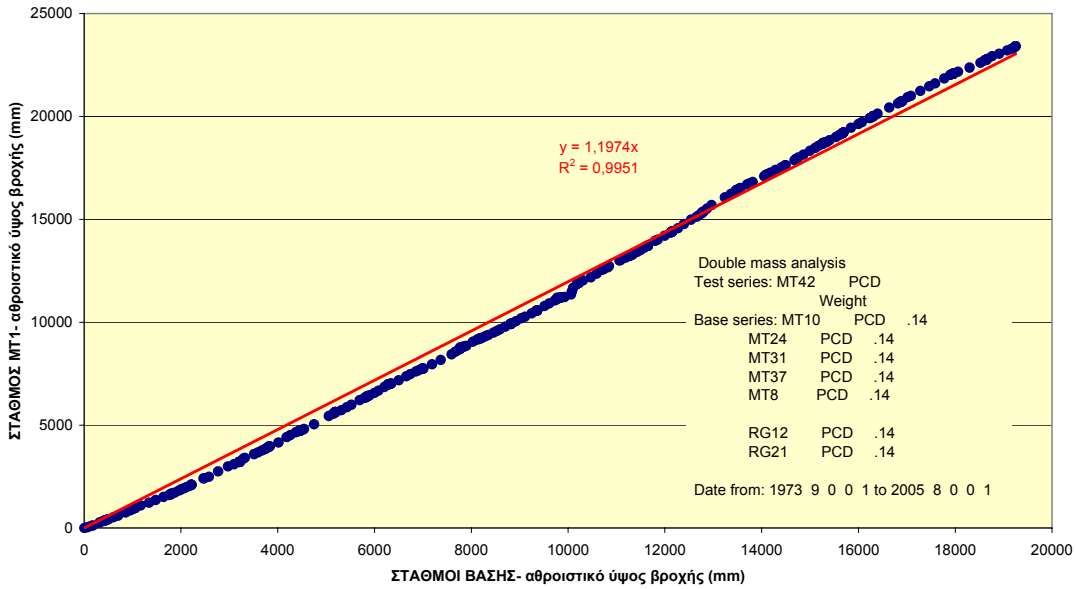
ΔΙΠΛΗ ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΗ ΚΑΜΠΥΛΗ



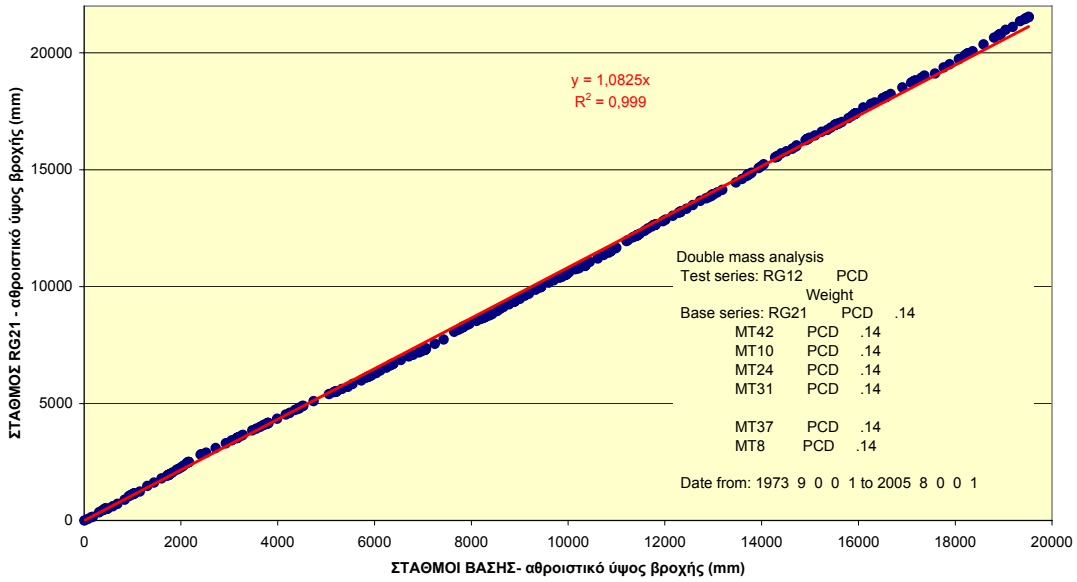
ΔΙΠΛΗ ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΗ ΚΑΜΠΥΛΗ



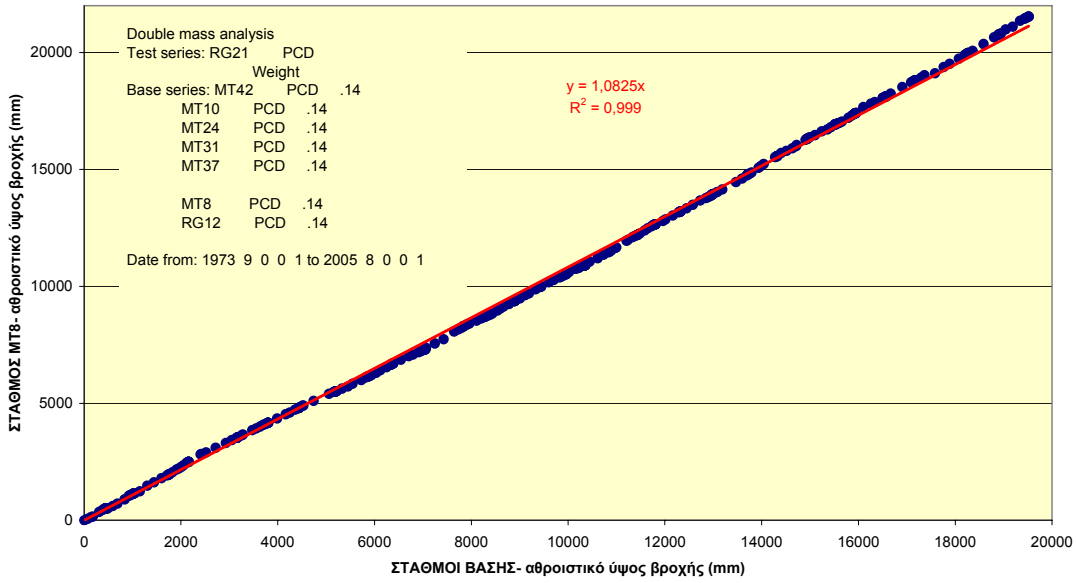
ΔΙΠΛΗ ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΗ ΚΑΜΠΥΛΗ



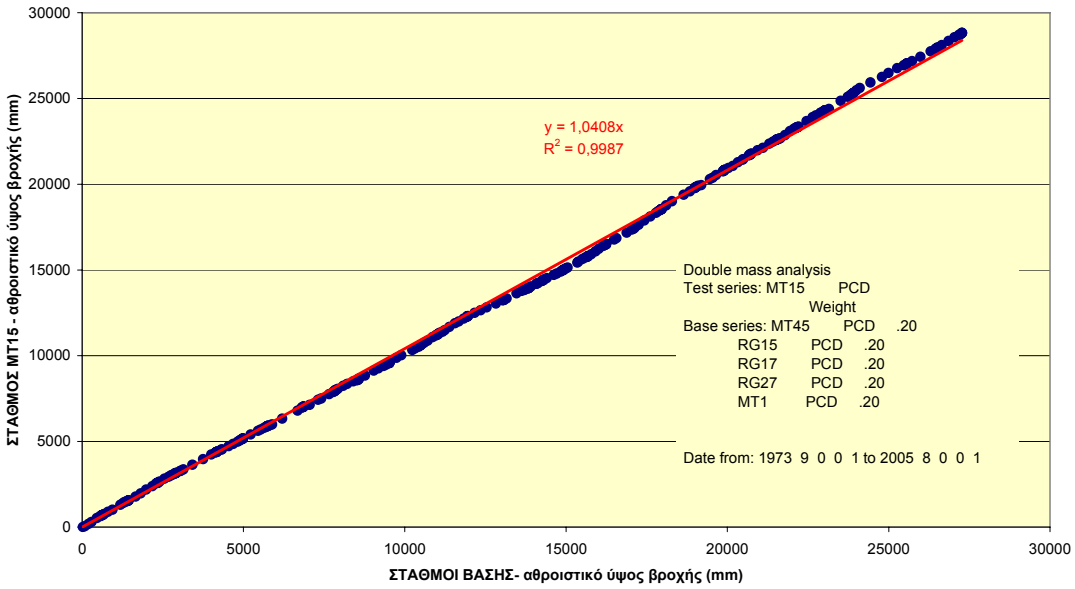
ΔΙΠΛΗ ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΗ ΚΑΜΠΥΛΗ



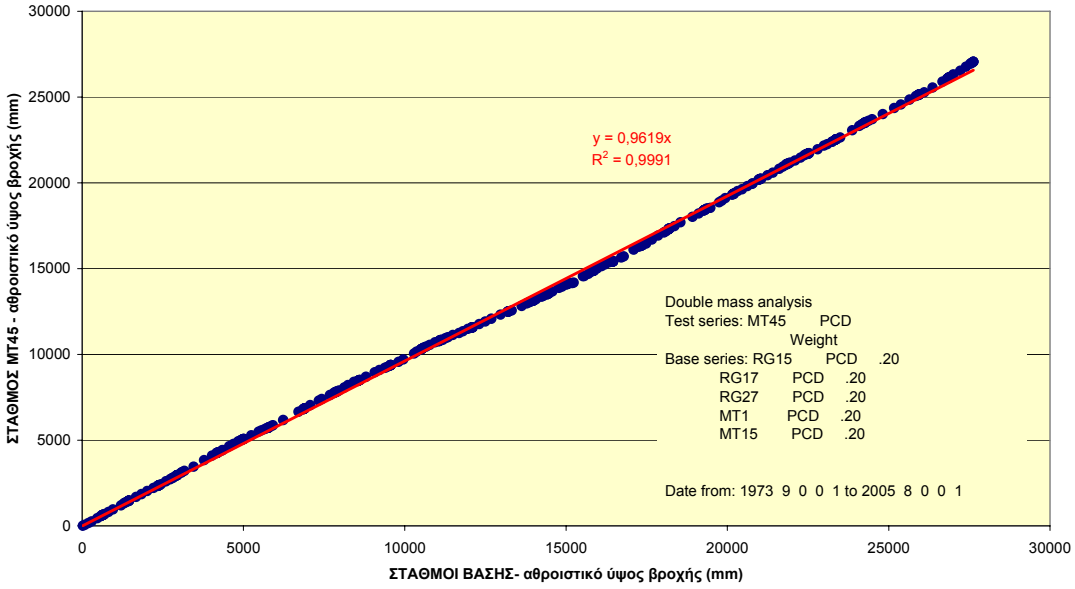
ΔΙΠΛΗ ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΗ ΚΑΜΠΥΛΗ



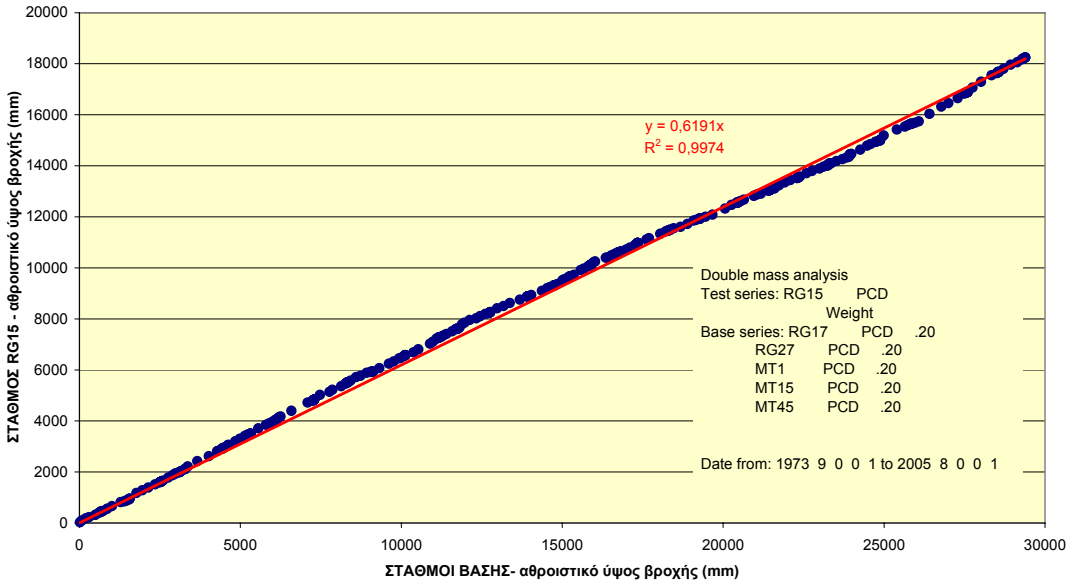
ΔΙΠΛΗ ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΗ ΚΑΜΠΥΛΗ



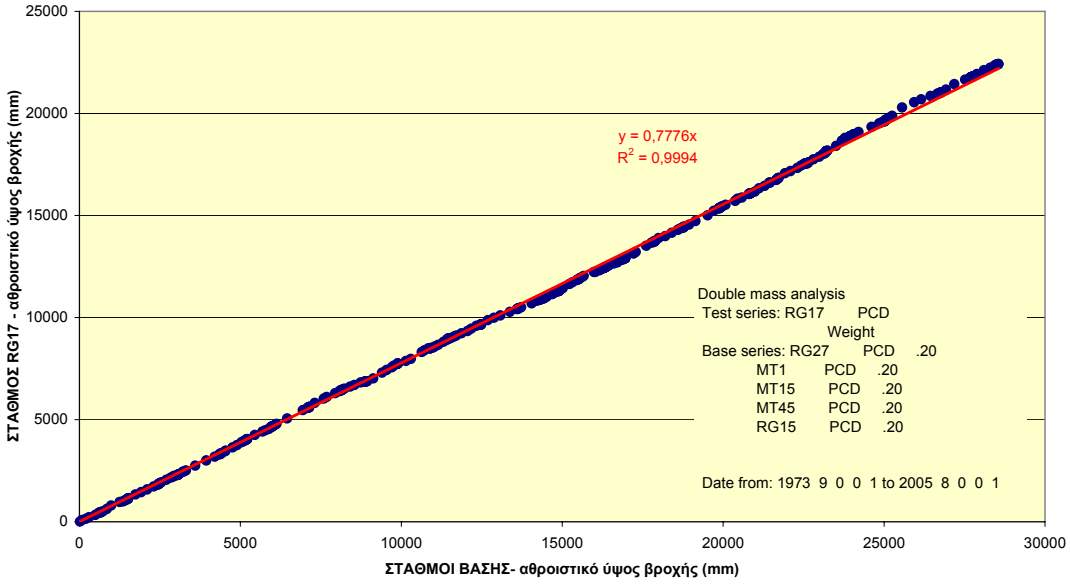
ΔΙΠΛΗ ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΗ ΚΑΜΠΥΛΗ



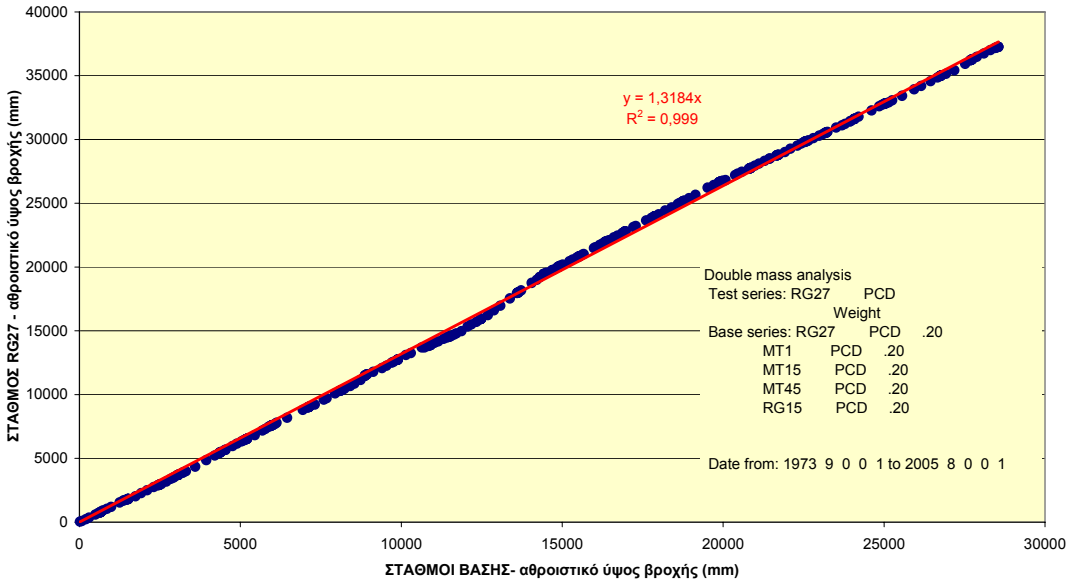
ΔΙΠΛΗ ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΗ ΚΑΜΠΥΛΗ



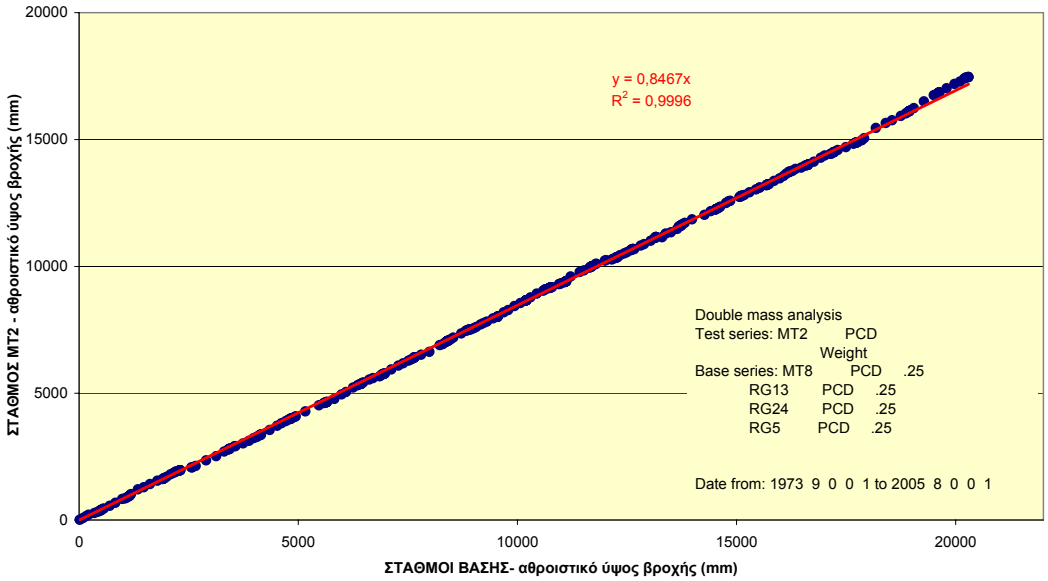
ΔΙΠΛΗ ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΗ ΚΑΜΠΥΛΗ



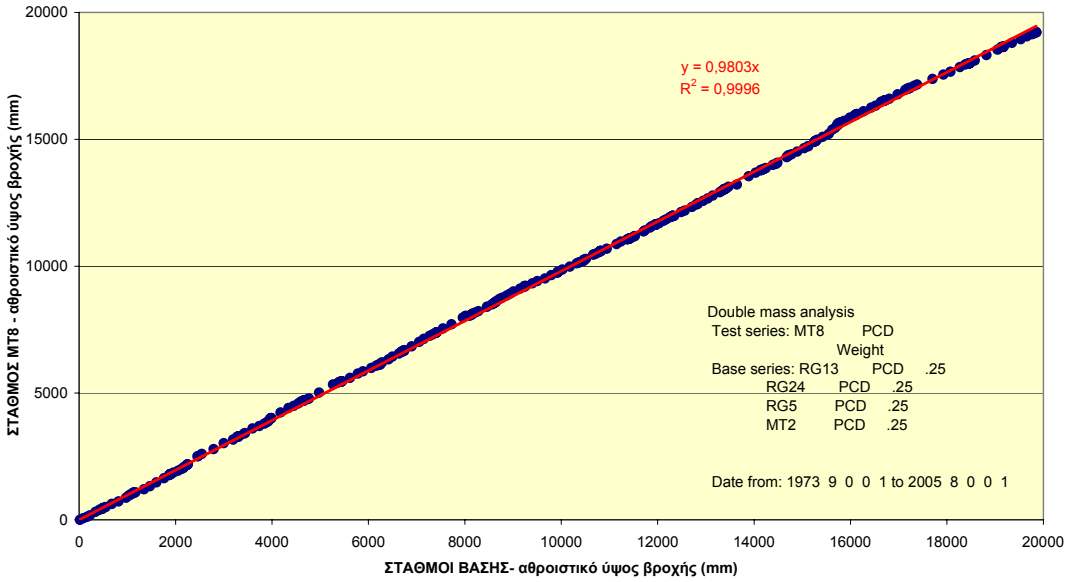
ΔΙΠΛΗ ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΗ ΚΑΜΠΥΛΗ



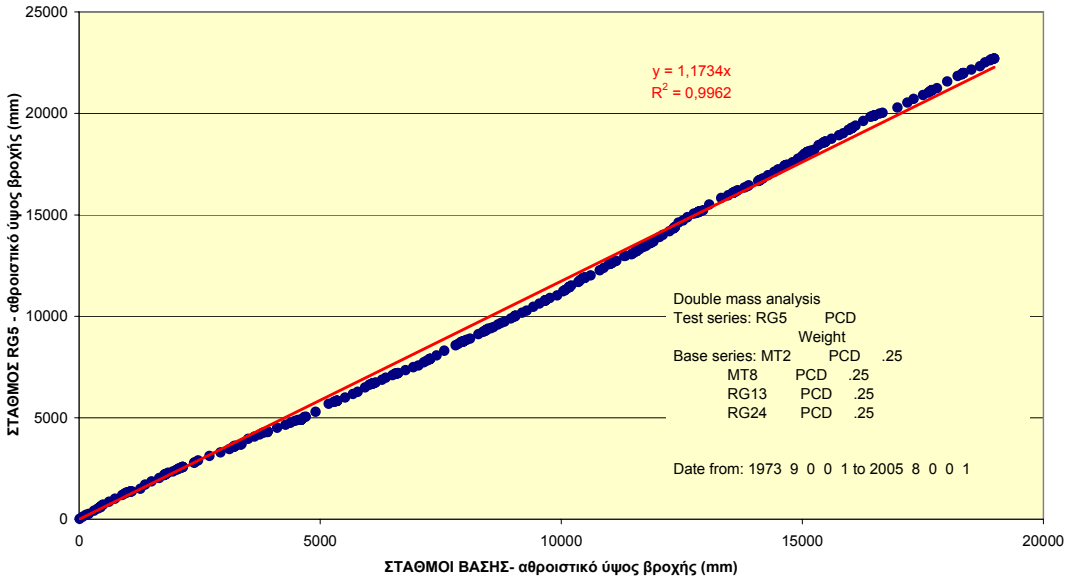
ΔΙΠΛΗ ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΗ ΚΑΜΠΥΛΗ



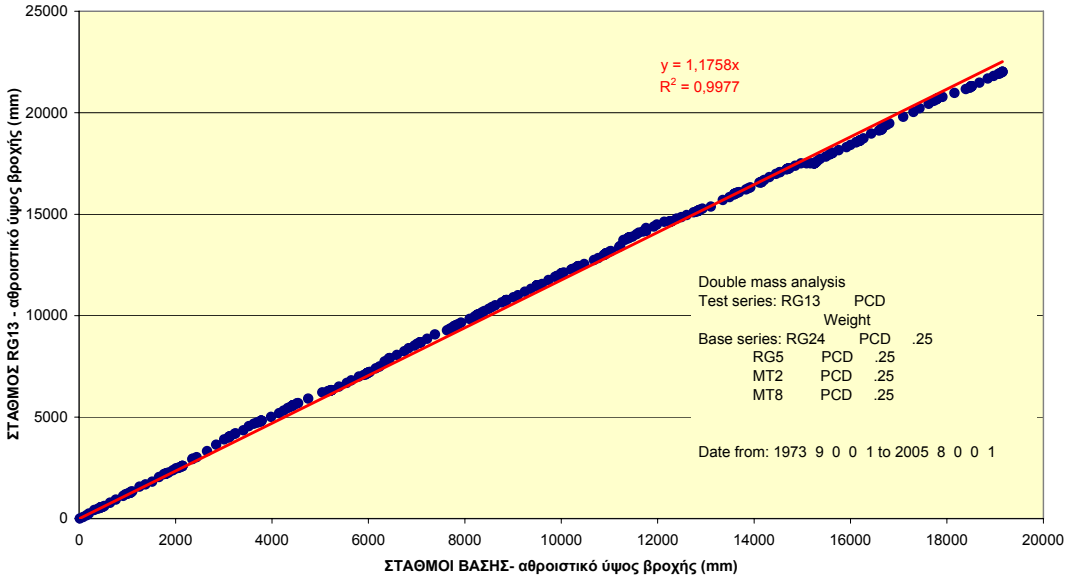
ΔΙΠΛΗ ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΗ ΚΑΜΠΥΛΗ



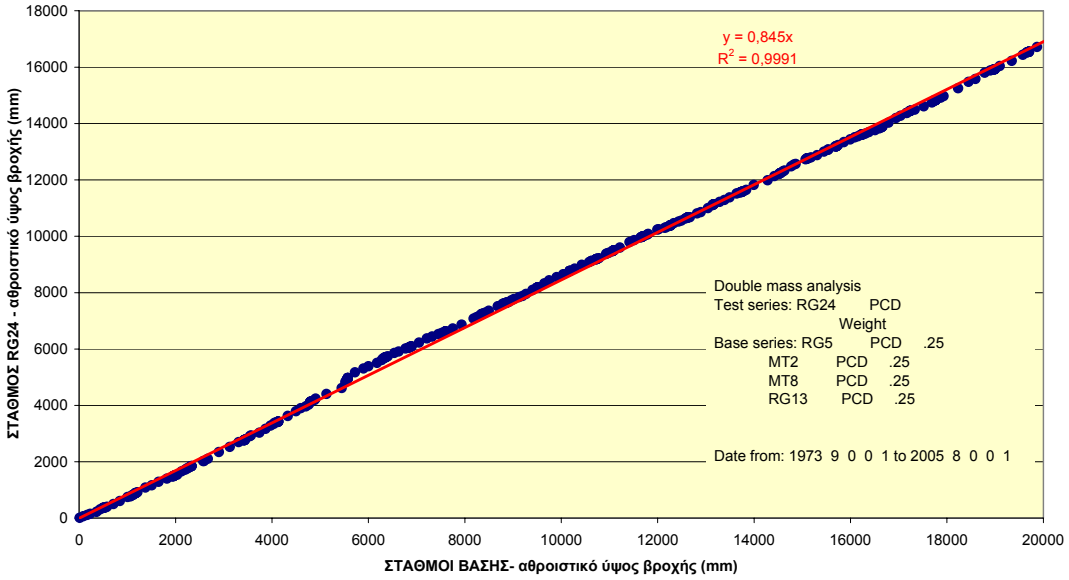
ΔΙΠΛΗ ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΗ ΚΑΜΠΥΛΗ



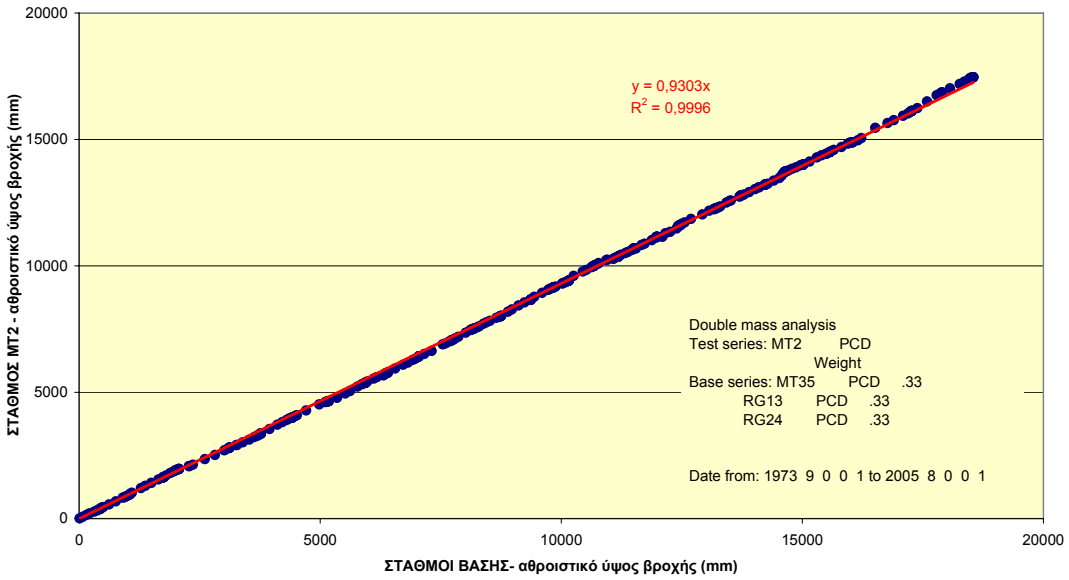
ΔΙΠΛΗ ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΗ ΚΑΜΠΥΛΗ



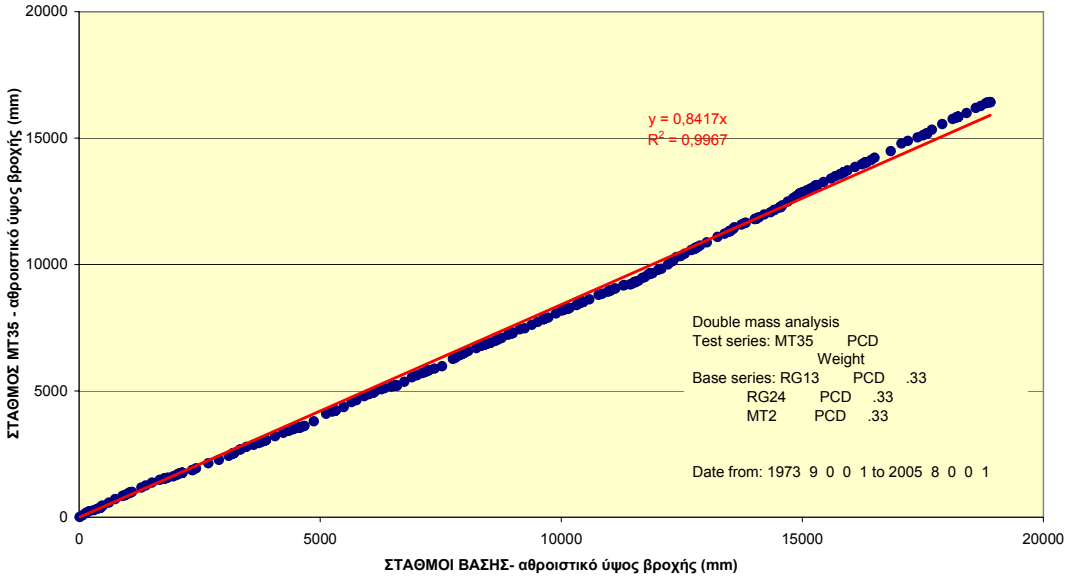
ΔΙΠΛΗ ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΗ ΚΑΜΠΥΛΗ



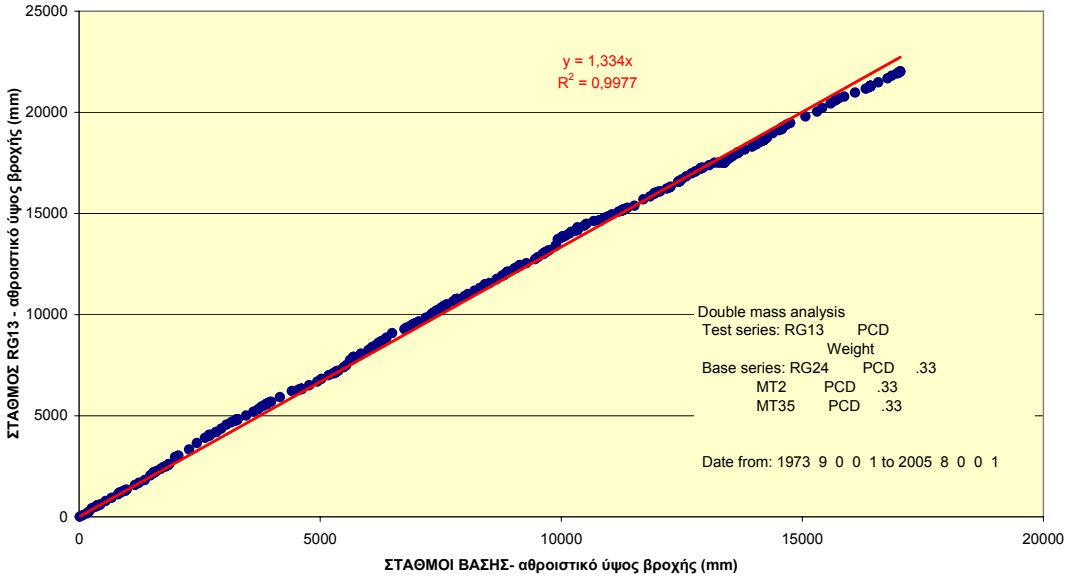
ΔΙΠΛΗ ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΗ ΚΑΜΠΥΛΗ



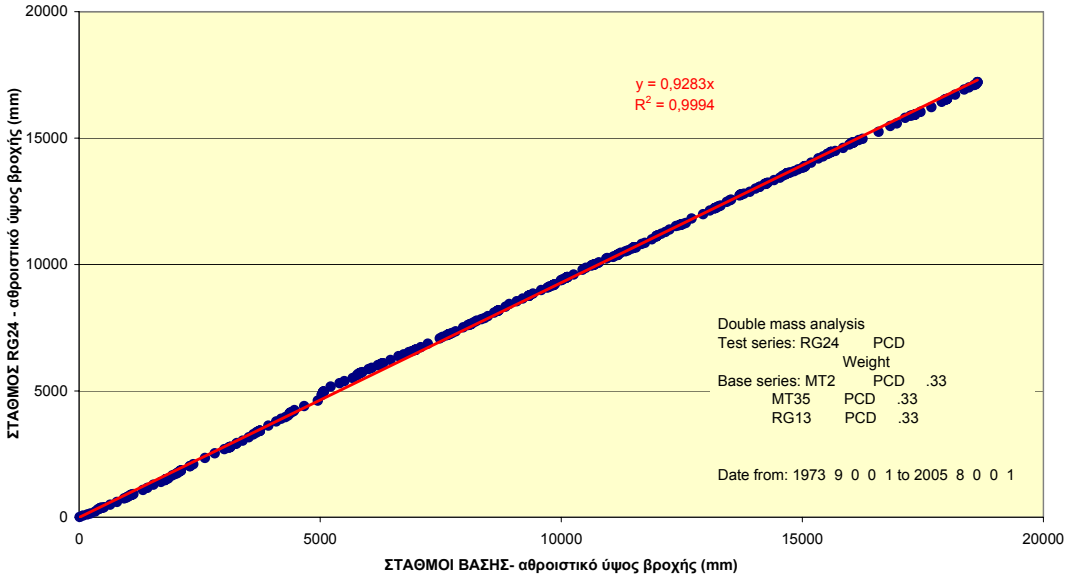
ΔΙΠΛΗ ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΗ ΚΑΜΠΥΛΗ



ΔΙΠΛΗ ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΗ ΚΑΜΠΥΛΗ



ΔΙΠΛΗ ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΗ ΚΑΜΠΥΛΗ



ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ 1 – III

ΣΥΜΠΛΗΡΩΣΗ ΕΛΛΕΙΠΩΝ ΤΙΜΩΝ ΒΡΟΧΗΣ ΠΟΛΛΑΠΛΗ ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ

Variable

No.	Name		
1	MT1	PH	
2	MT15	PH	
3	MT31	PH	.
4	RG27	PH	

Correlation matrix

	1	2	3	4
1	1.0000	.8540	.8038	.7412
2	.8540	1.0000	.8398	.7254
3	.8038	.8398	1.0000	.5986
4	.7412	.7254	.5986	1.0000

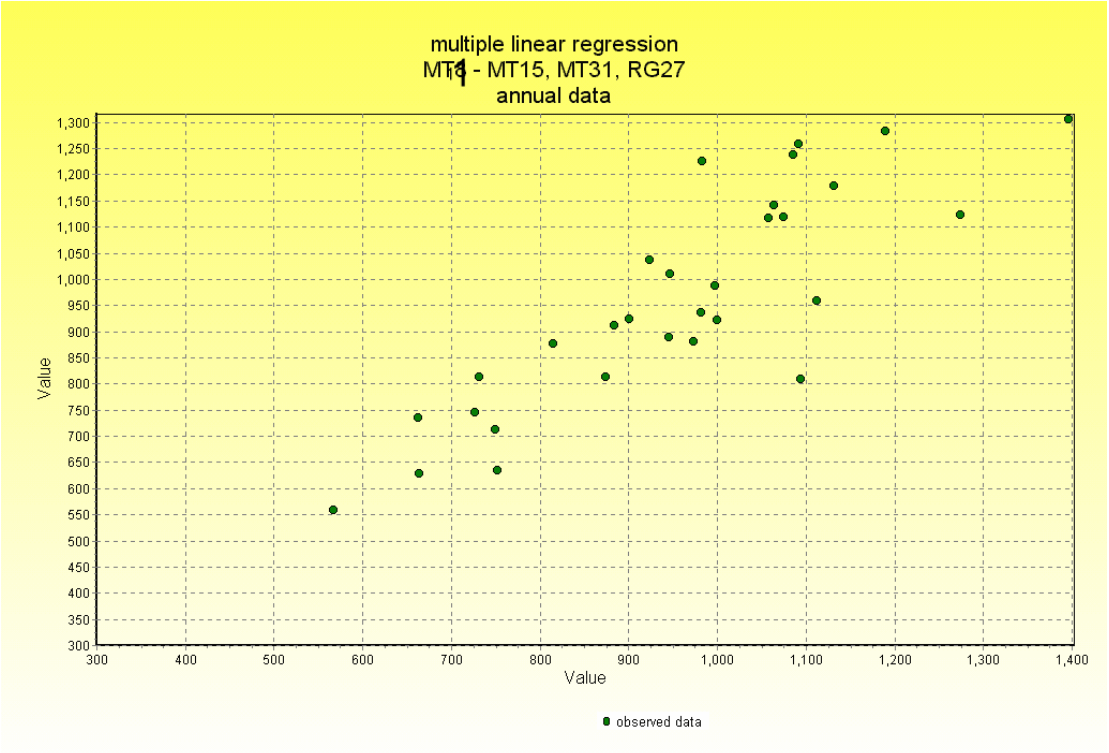
Multiple regression

Dependent variable : **MT1** PH

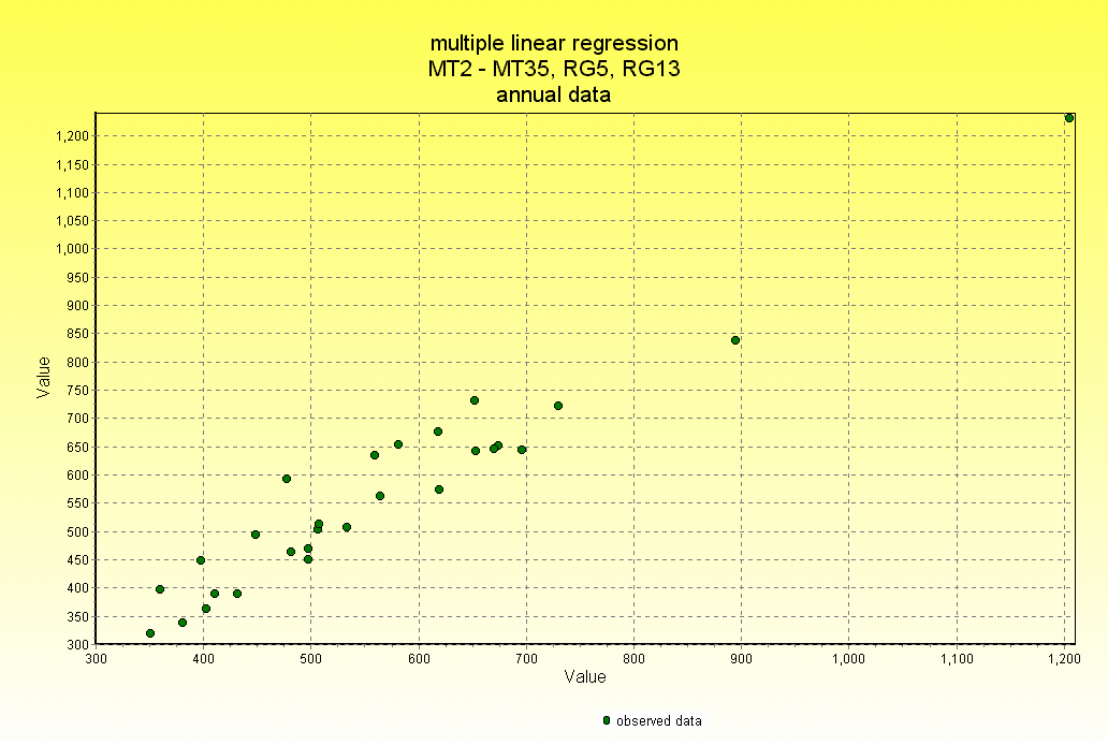
Independent variable		Regression coefficient
MT15	PH	.46133150
RG27	PH	.18788340
MT31	PH	.40069960

Intercept : 47.26672000

Standard error of estimate : 115.41570000



No. Name 1 MT2 PH 2 MT35 PH . 3 RG13 PH . 4 RG5 PH Correlation matrix 1 2 3 4 1 1.0000 .9578 .8524 .8969 2 .9578 1.0000 .8116 .9378 3 .8524 .8116 1.0000 .8187 4 .8969 .9378 .8187 1.0000	Multiple regression Dependent variable : **MT2** PH Independent variable Regression coefficient RG13 PH .18750360 MT35 PH .94245560 RG5 PH -.12769410 Intercept : 21.97374000 Standard error of estimate : 52.25234000



No. Name

1 MT8 PH .
2 MT31 PH .
3 MT42 PH .
4 MT37 PH

Correlation matrix

	1	2	3	4
1	1.0000	.8475	.8277	.9594
2	.8475	1.0000	.9074	.8961
3	.8277	.9074	1.0000	.8715
4	.9594	.8961	.8715	1.0000

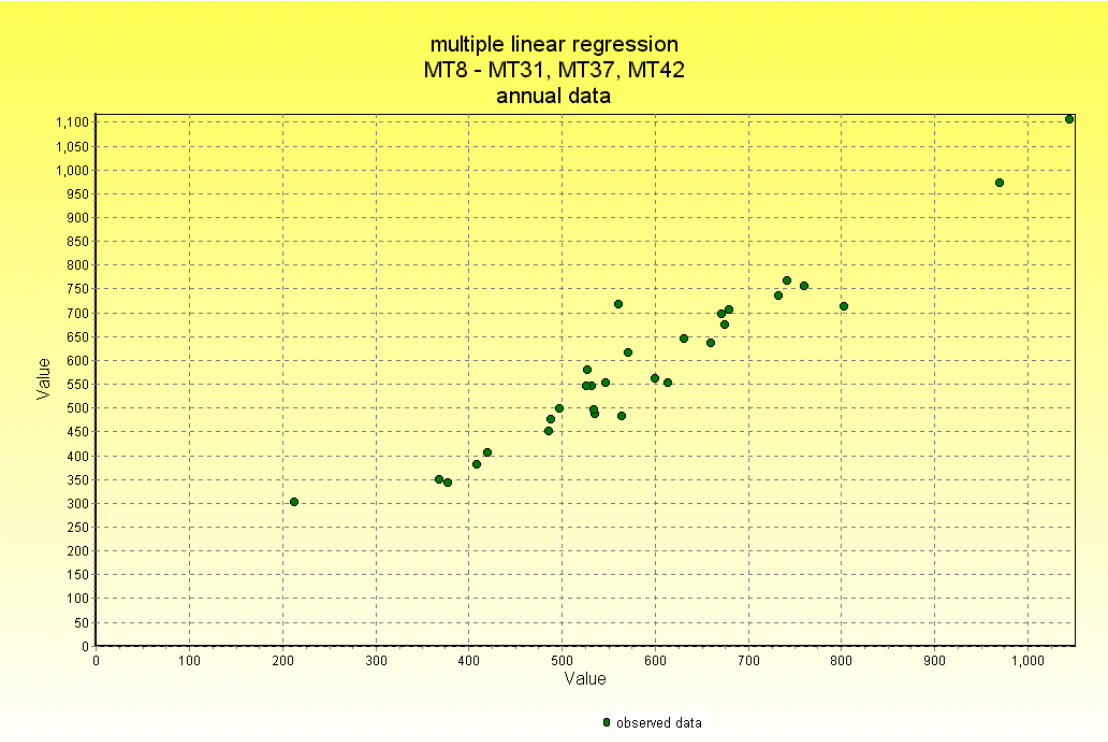
Multiple regression

Dependent variable : **MT8** PH

Independent variable		Regression coefficient
MT31	PH	.04840966
MT37	PH	1.09799100
MT42	PH	.00335059

Intercept : 37.76876000

Standard error of estimate : 52.80884000



No.	Name		Deviation	
1	MT10	PH	.43831E+02	.55793E+02
2	MT37	PH	.49417E+02	.58625E+02
3	RG5	PH	.64654E+02	.76687E+02

Correlation matrix

	1	2	3
1	1.0000	.9101	.9129
2	.9101	1.0000	.9451
3	.9129	.9451	1.0000

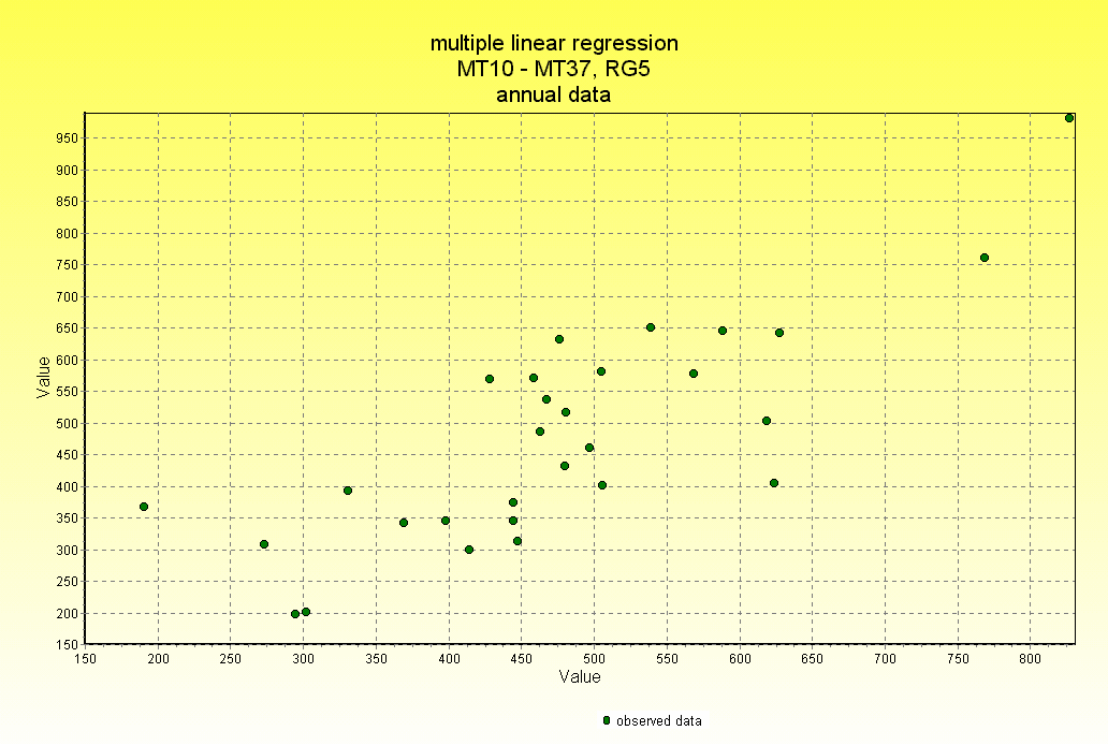
Multiple regression

Dependent variable : **MT10** PH

Independent variable		Regression coefficient
MT37	PH	.50472440
RG5	PH	.47919980

Intercept : -10.47263000

Standard error of estimate : 105.73060000



No.	Name		Deviation	
1	MT24	PH	.57048E+03	.15974E+03
2	MT31	PH	.73782E+03	.21569E+03
3	RG21	PH	.66946E+03	.17998E+03
4	RG5	PH	.70401E+03	.19357E+03

Correlation matrix

	1	2	3	4
1	1.0000	.8317	.8847	.8288
2	.8317	1.0000	.9246	.8483
3	.8847	.9246	1.0000	.8674
4	.8288	.8483	.8674	1.0000

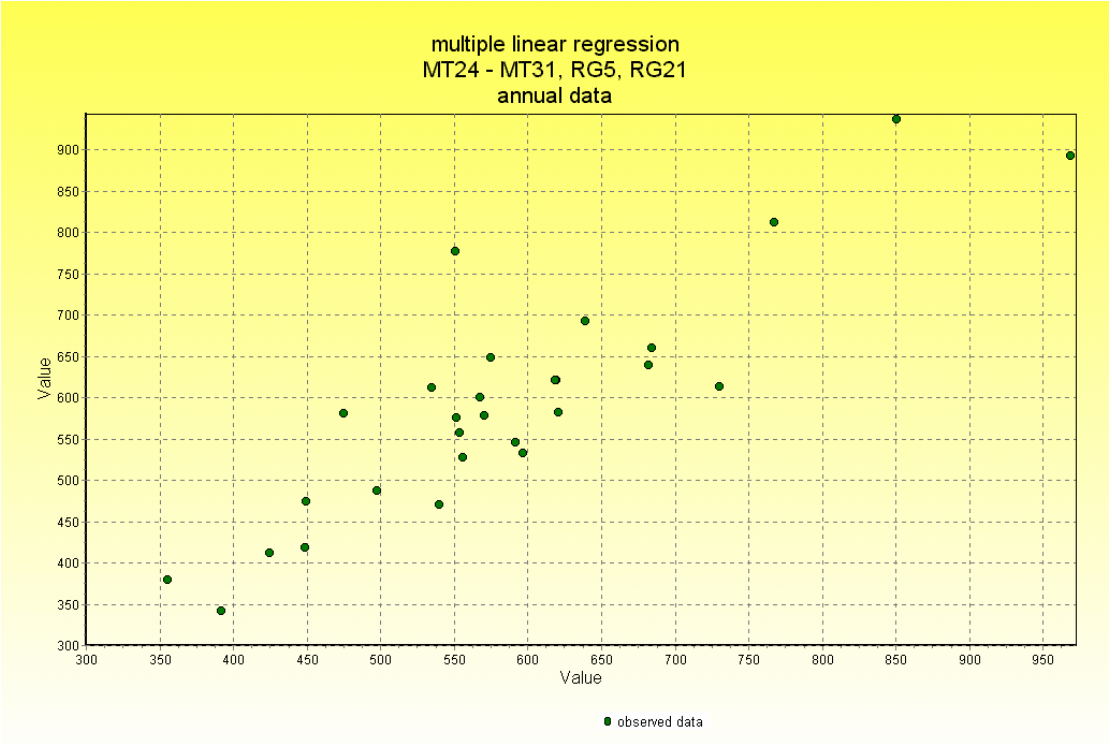
Multiple regression

Dependent variable : **MT24** PH

Independent variable		Regression coefficient
MT31	PH	.08184171
RG5	PH	.27207180
RG21	PH	.65360600

Intercept : 28.77511000

Standard error of estimate : 75.82244000



No.	Name		Deviation	
1	MT45	PH	.80199E+03	.21475E+03
2	MT15	PH	.85943E+03	.21387E+03
3	MT1	PH	.93491E+03	.24129E+03
4	RG17	PH	.66832E+03	.17896E+03
5	RG27	PH	.11174E+04	.33903E+03

Correlation matrix

	1	2	3	4	5
1	1.0000	.9311	.8347	.9156	.7632
2	.9311	1.0000	.8549	.9006	.7261
3	.8347	.8549	1.0000	.8434	.7445
4	.9156	.9006	.8434	1.0000	.7002
5	.7632	.7261	.7445	.7002	1.0000

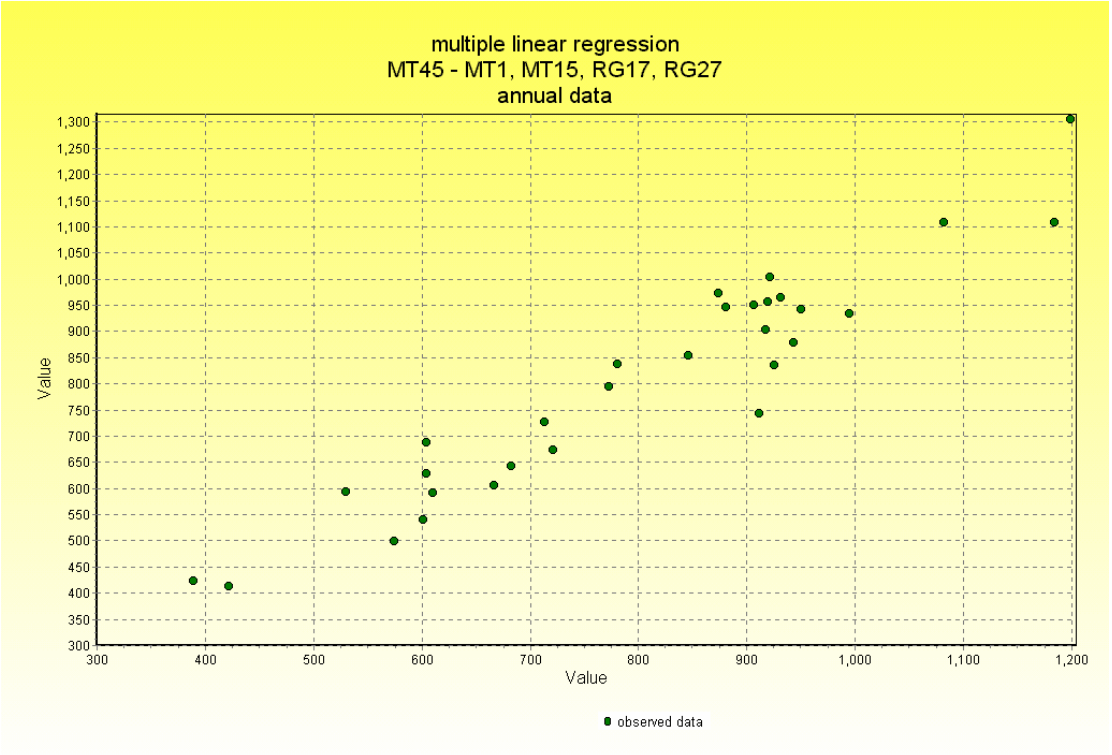
Multiple regression

Dependent variable : **MT45** PH

Independent variable		Regression coefficient
RG27	PH	.09843276
RG17	PH	.45900410
MT1	PH	.02857943
MT15	PH	.50326870

Intercept : -20.56931000

Standard error of estimate : 69.89188000



No.	Name		Deviation	
1	RG12	PH	.59204E+03	.18057E+03
2	RG5	PH	.70179E+03	.19498E+03
3	MT31	PH	.72251E+03	.21791E+03
4	MT37	PH	.53844E+03	.16483E+03

Correlation matrix

	1	2	3	4
1	1.0000	.9258	.8908	.9613
2	.9258	1.0000	.8795	.9009
3	.8908	.8795	1.0000	.8961
4	.9613	.9009	.8961	1.0000

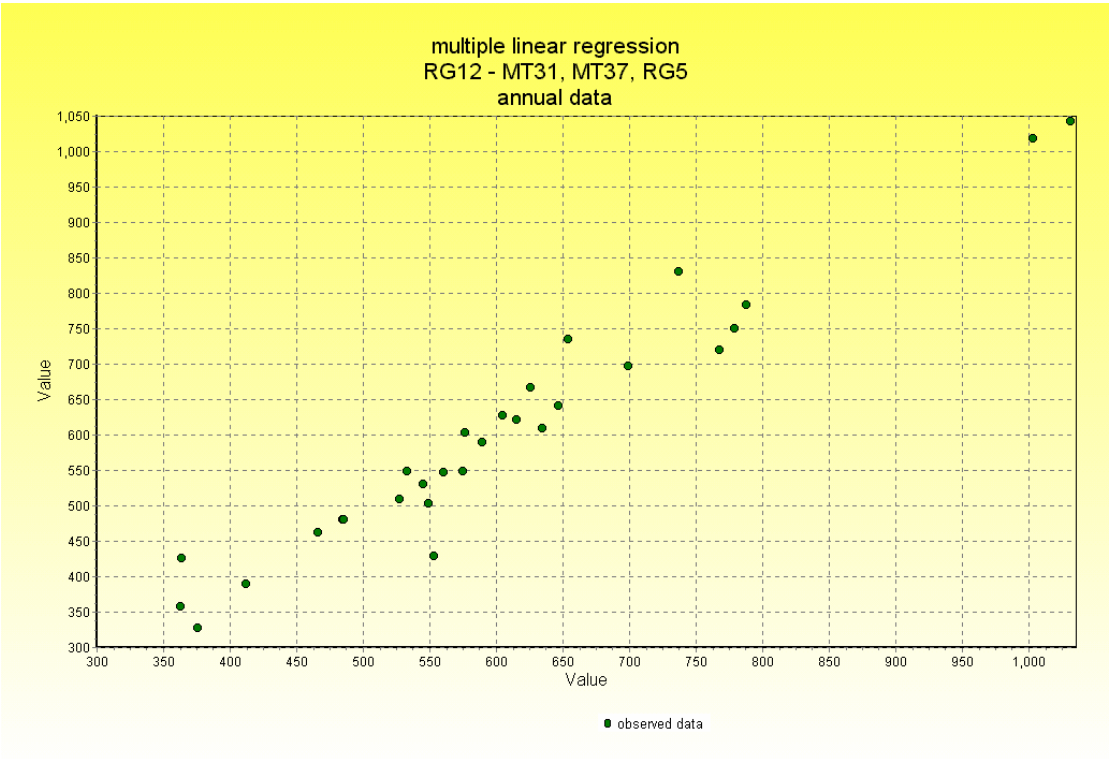
Multiple regression

Dependent variable : **RG12** PH

Independent variable		Regression coefficient
RG5	PH	.28060180
MT31	PH	.03174208
MT37	PH	.71647860

Intercept : -13.60312000

Standard error of estimate : 45.40294000



No.	Name		Deviation	
1	RG24	PH	.53273E+03	.19209E+03
2	MT35	PH	.50606E+03	.18556E+03
3	MT37	PH	.53844E+03	.16483E+03
4	MT31	PH	.72251E+03	.21791E+03
5	RG13	PH	.69445E+03	.25464E+03

Correlation matrix

	1	2	3	4	5
1	1.0000	.9202	.8776	.7907	.8628
2	.9202	1.0000	.8480	.8088	.8127
3	.8776	.8480	1.0000	.8961	.8965
4	.7907	.8088	.8961	1.0000	.8340
5	.8628	.8127	.8965	.8340	1.0000

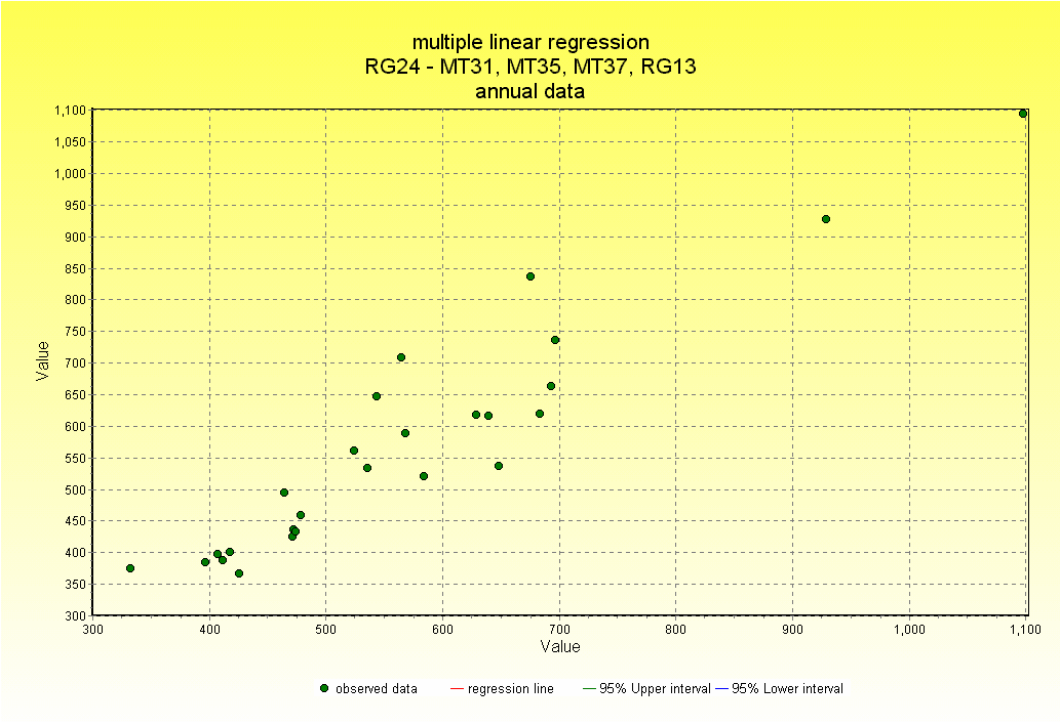
Multiple regression

Dependent variable : **RG24** PH

Independent variable		Regression coefficient
MT37	PH	.33453050
MT35	PH	.63055710
MT31	PH	.14861710
RG13	PH	.18935070

Intercept : 9.38247400

Standard error of estimate : 66.80406000



No.	Name		Deviation	
1	MT1	PH	.93737E+03	.23763E+03
2	MT15	PH	.85983E+03	.21029E+03
3	MT31	PH	.70832E+03	.17972E+03
4	RG27	PH	.11157E+04	.33347E+03

Correlation matrix

	1	2	3	4
1	1.0000	.8540	.8038	.7412
2	.8540	1.0000	.8398	.7254
3	.8038	.8398	1.0000	.5986
4	.7412	.7254	.5986	1.0000

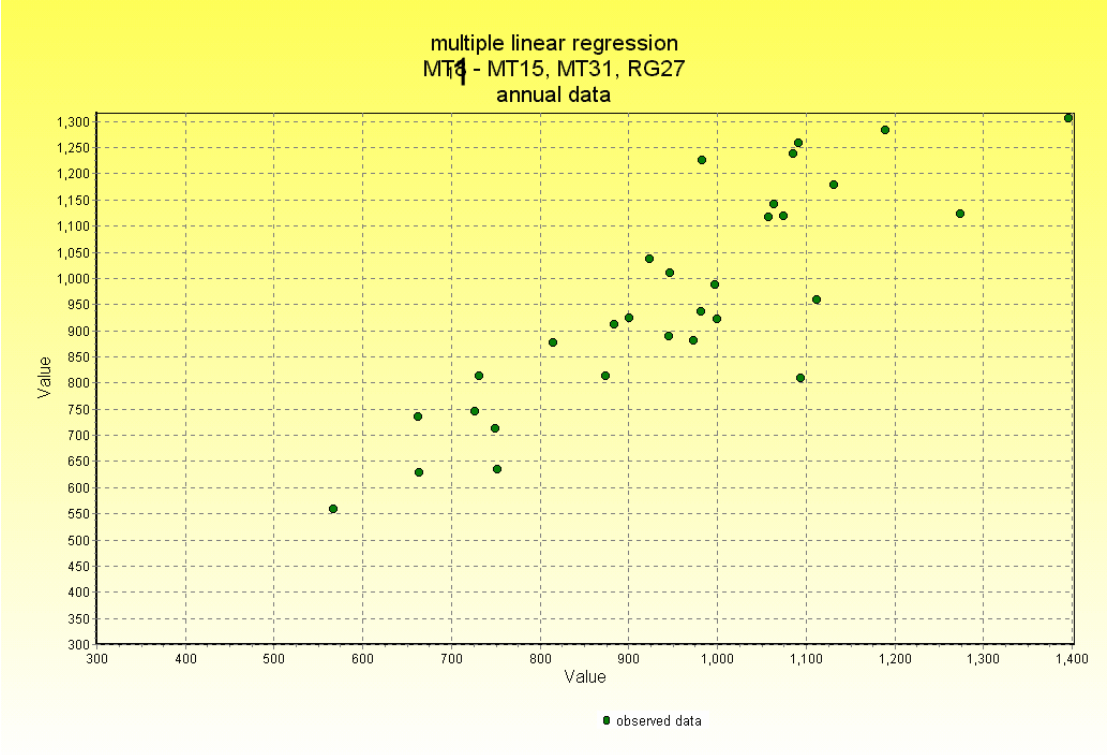
Multiple regression

Dependent variable : MT1 PH

Independent variable		Regression coefficient
MT15	PH	.444693333
RG27	PH	.171245233
MT31	PH	.384061433

Intercept : 47.26672000

Standard error of estimate : 115.41570000



No.	Name		Deviation	
1	MT2	PH	.53849E+03	.19543E+03
2	MT35	PH	.50534E+03	.18249E+03
3	RG13	PH	.69078E+03	.25120E+03
4	RG5	PH	.69907E+03	.19230E+03

Correlation matrix

	1	2	3	4
1	1.0000	.9578	.8524	.8969
2	.9578	1.0000	.8116	.9378
3	.8524	.8116	1.0000	.8187
4	.8969	.9378	.8187	1.0000

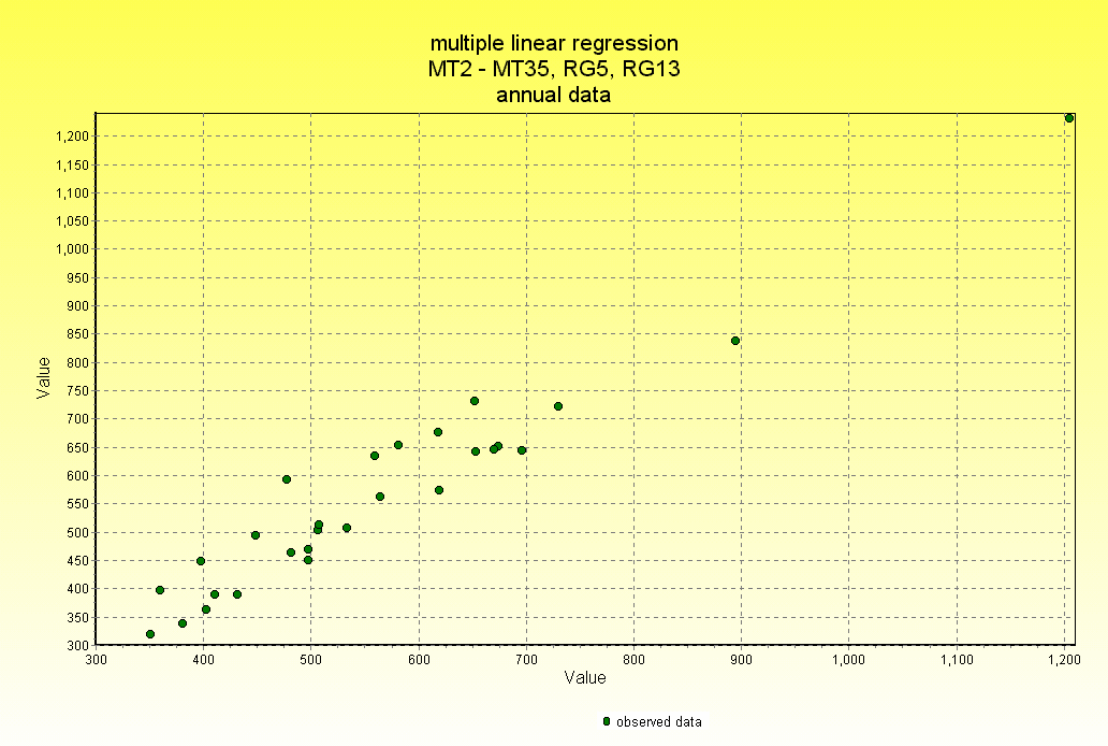
Multiple regression

Dependent variable : **MT2** PH

Independent variable		Regression Coefficient
RG13	PH	.18750360
MT35	PH	.94245560
RG5	PH	-.12769410

Intercept : 21.97374000

Standard error of estimate : 52.25234000



No.	Name		Deviation	
1	MT8	PH	.59159E+03	.17812E+03
2	MT31	PH	.72251E+03	.21791E+03
3	MT42	PH	.71772E+03	.21812E+03
4	MT37	PH	.53844E+03	.16483E+03

Correlation matrix

	1	2	3	4
1	1.0000	.8475	.8277	.9594
2	.8475	1.0000	.9074	.8961
3	.8277	.9074	1.0000	.8715
4	.9594	.8961	.8715	1.0000

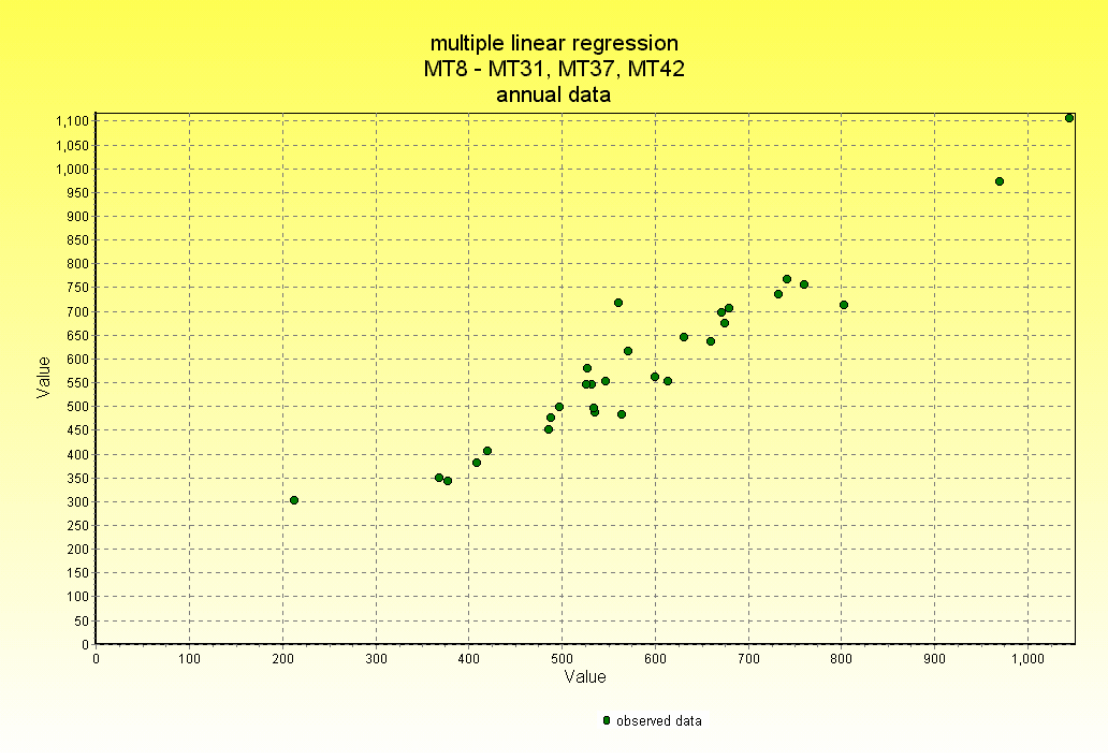
Multiple regression

Dependent variable : **MT8** PH

Independent variable		Regression coefficient
MT31	PH	-.04840966
MT37	PH	1.09799100
MT42	PH	-.00335059

Intercept : 37.76876000

Standard error of estimate : 52.80884000



Variable No.	Name		Mean	Standard Deviation
1	MT10	PH	.47702E+03	.17171E+03
2	MT37	PH	.54209E+03	.16651E+03
3	RG5	PH	.70699E+03	.19629E+03

Correlation matrix

	1	2	3
1	1.0000	.7823	.7864
2	.7823	1.0000	.8994
3	.7864	.8994	1.0000

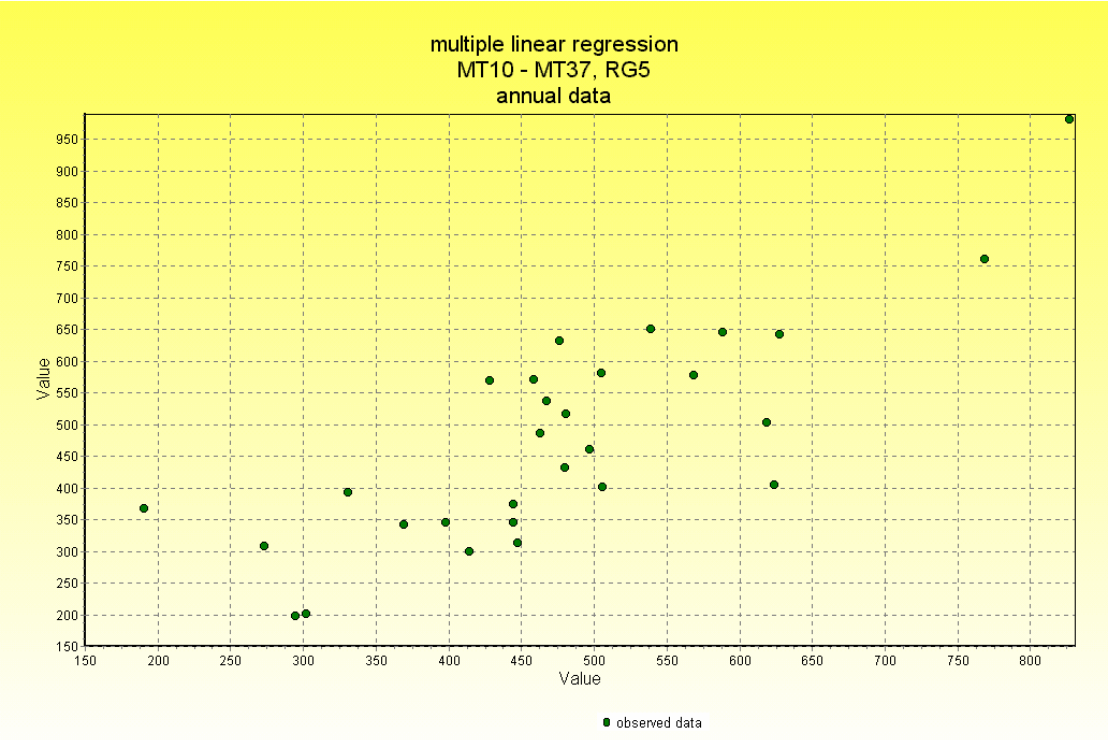
Multiple regression

Dependent variable : **MT10** PH

Independent variable		Regression coefficient
MT37	PH	.5127623
RG5	PH	.4872377

Intercept : -10.47263000

Standard error of estimate : 105.73060000



Variable No.	Name		Mean	Standard Deviation
1	MT24	PH	.57048E+03	.15974E+03
2	MT31	PH	.73782E+03	.21569E+03
3	RG21	PH	.66946E+03	.17998E+03
4	RG5	PH	.70401E+03	.19357E+03

Correlation matrix

	1	2	3	4
1	1.0000	.8317	.8847	.8288
2	.8317	1.0000	.9246	.8483
3	.8847	.9246	1.0000	.8674
4	.8288	.8483	.8674	1.0000

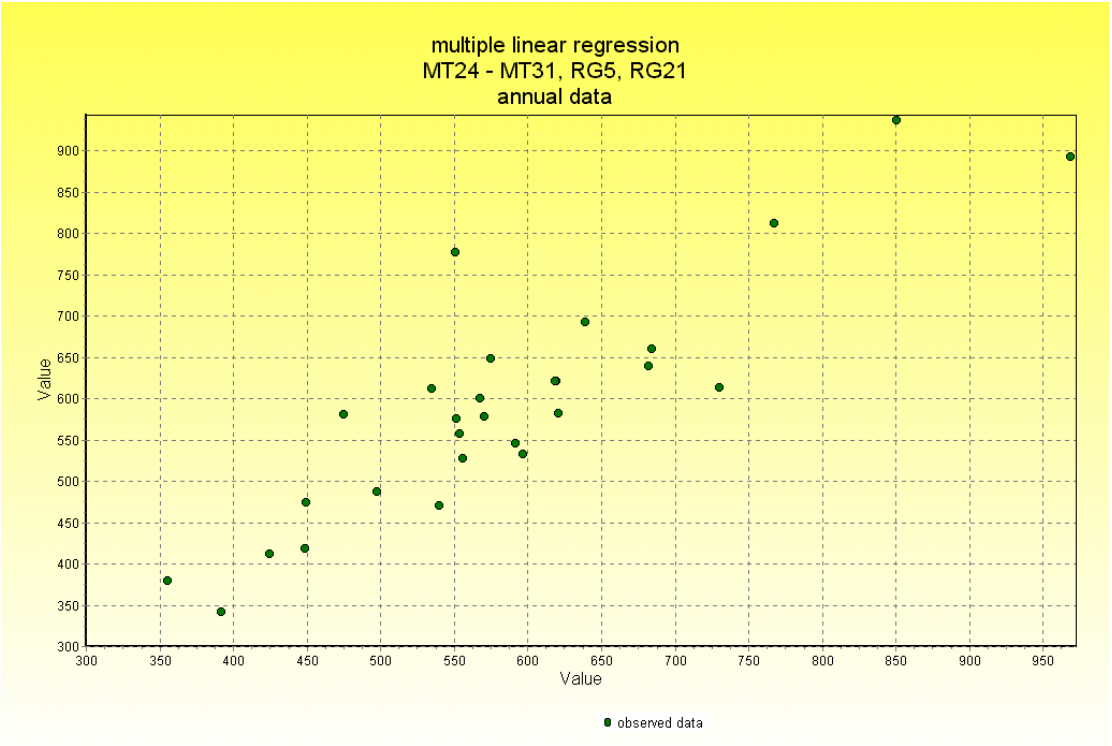
Multiple regression

Dependent variable : **MT24** PH

Independent variable		Regression coefficient
MT31	PH	. 07933520
RG5	PH	. 26956523
RG21	PH	. 65109945

Intercept : 28.77511000

Standard error of estimate : 75.82244000



No.	Name		Deviation	
1	MT45	PH	.80199E+03	.21475E+03
2	MT15	PH	.85943E+03	.21387E+03
3	MT1	PH	.93491E+03	.24129E+03
4	RG17	PH	.66832E+03	.17896E+03
5	RG27	PH	.11174E+04	.33903E+03

Correlation matrix

	1	2	3	4	5
1	1.0000	.9311	.8347	.9156	.7632
2	.9311	1.0000	.8549	.9006	.7261
3	.8347	.8549	1.0000	.8434	.7445
4	.9156	.9006	.8434	1.0000	.7002
5	.7632	.7261	.7445	.7002	1.0000

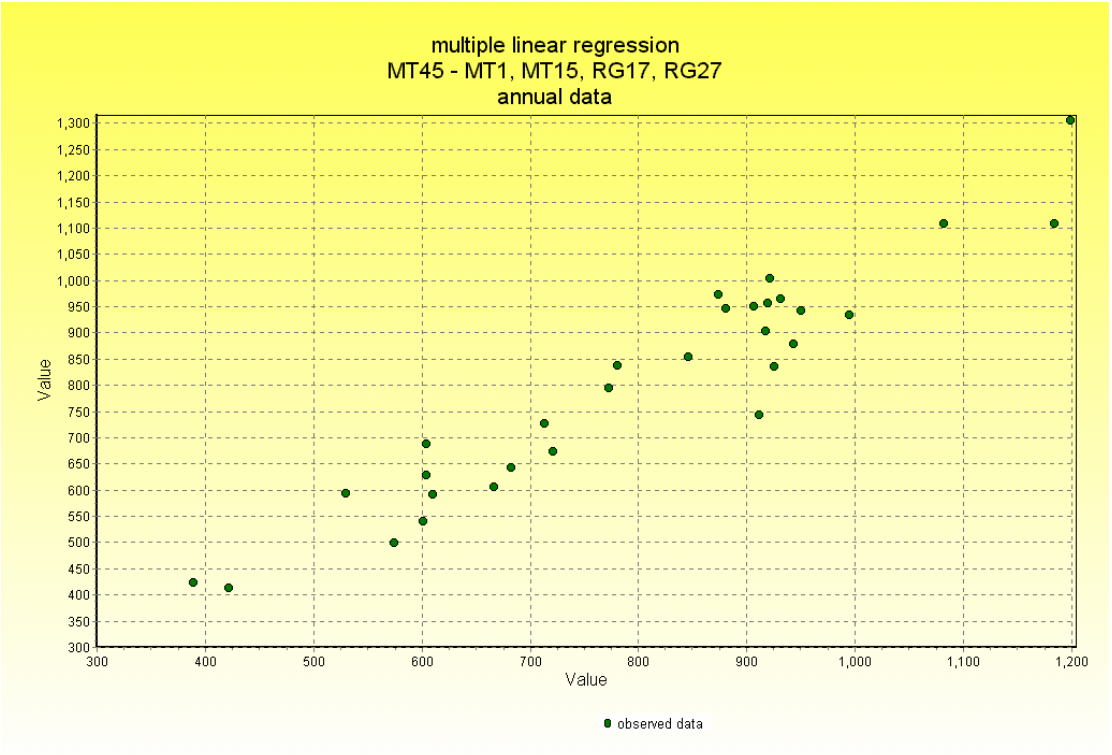
Multiple regression

Dependent variable : **MT45** PH

Independent variable		Regression coefficient
RG27	PH	.09043276
RG17	PH	.45090041
MT1	PH	-.03667943
MT15	PH	.49522687

Intercept : -20.56931000

Standard error of estimate : 69.89188000



Variable No.	Name		Mean	Standard Deviation
1	RG12	PH	.59204E+03	.18057E+03
2	RG5	PH	.70179E+03	.19498E+03
3	MT31	PH	.72251E+03	.21791E+03
4	MT37	PH	.53844E+03	.16483E+03

Correlation matrix

	1	2	3	4
1	1.0000	.9258	.8908	.9613
2	.9258	1.0000	.8795	.9009
3	.8908	.8795	1.0000	.8961
4	.9613	.9009	.8961	1.0000

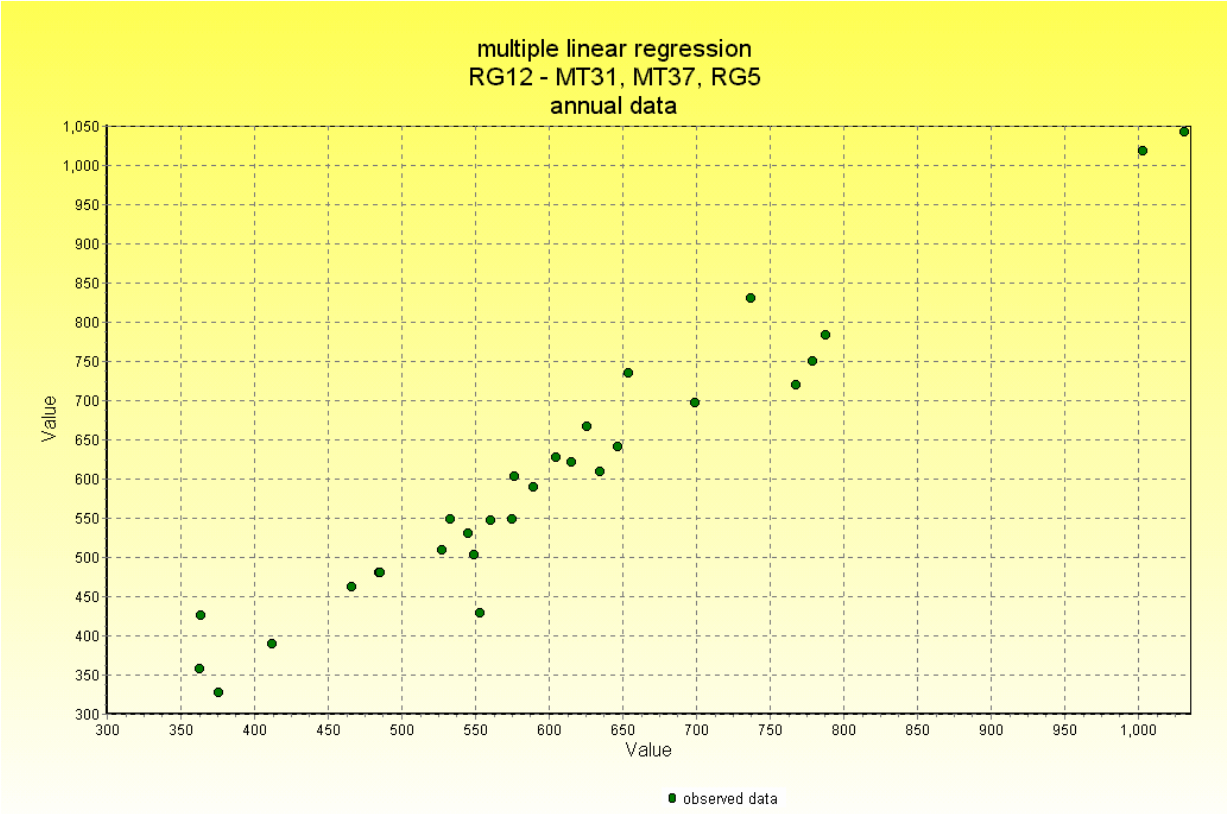
Multiple regression

Dependent variable : **RG12** PH

Independent variable		Regression coefficient
RG5	PH	.28060180
MT31	PH	.03174208
MT37	PH	.71647860

Intercept : -13.60312000

Standard error of estimate : 45.40294000



Variable No.	Name		Mean	Standard Deviation
1	RG24	PH	.53273E+03	.19209E+03
2	MT35	PH	.50606E+03	.18556E+03
3	MT37	PH	.53844E+03	.16483E+03
4	MT31	PH	.72251E+03	.21791E+03
5	RG13	PH	.69445E+03	.25464E+03

Correlation matrix

	1	2	3	4	5
1	1.0000	.9202	.8776	.7907	.8628
2	.9202	1.0000	.8480	.8088	.8127
3	.8776	.8480	1.0000	.8961	.8965
4	.7907	.8088	.8961	1.0000	.8340
5	.8628	.8127	.8965	.8340	1.0000

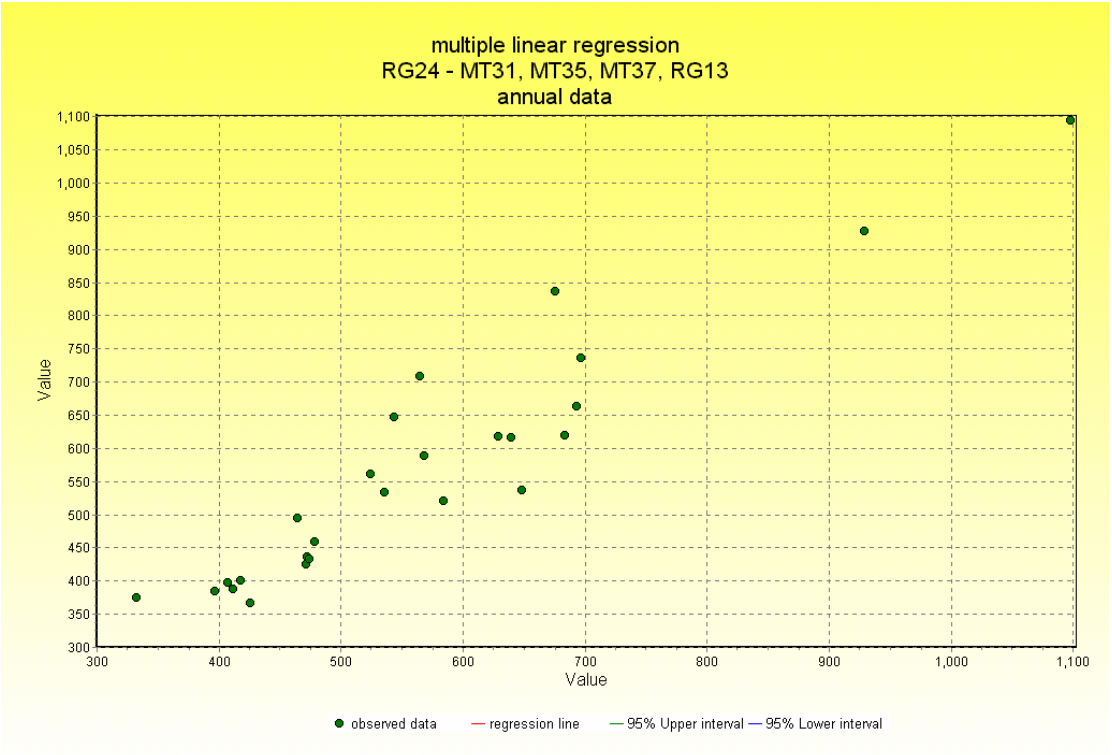
Multiple regression

Dependent variable : **RG24** PH

Independent variable		Regression coefficient
MT37	PH	.33453050
MT35	PH	.63055710
MT31	PH	-.14861710
RG13	PH	.18935070

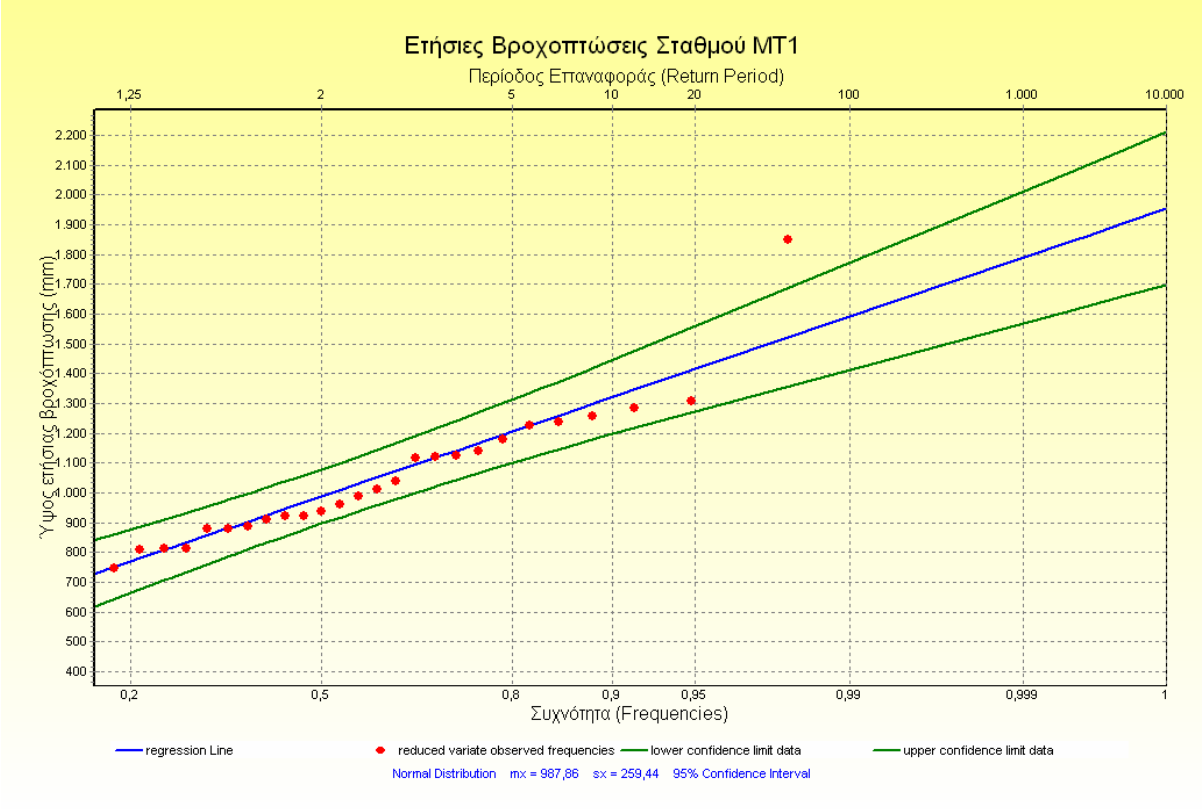
Intercept : 9.38247400

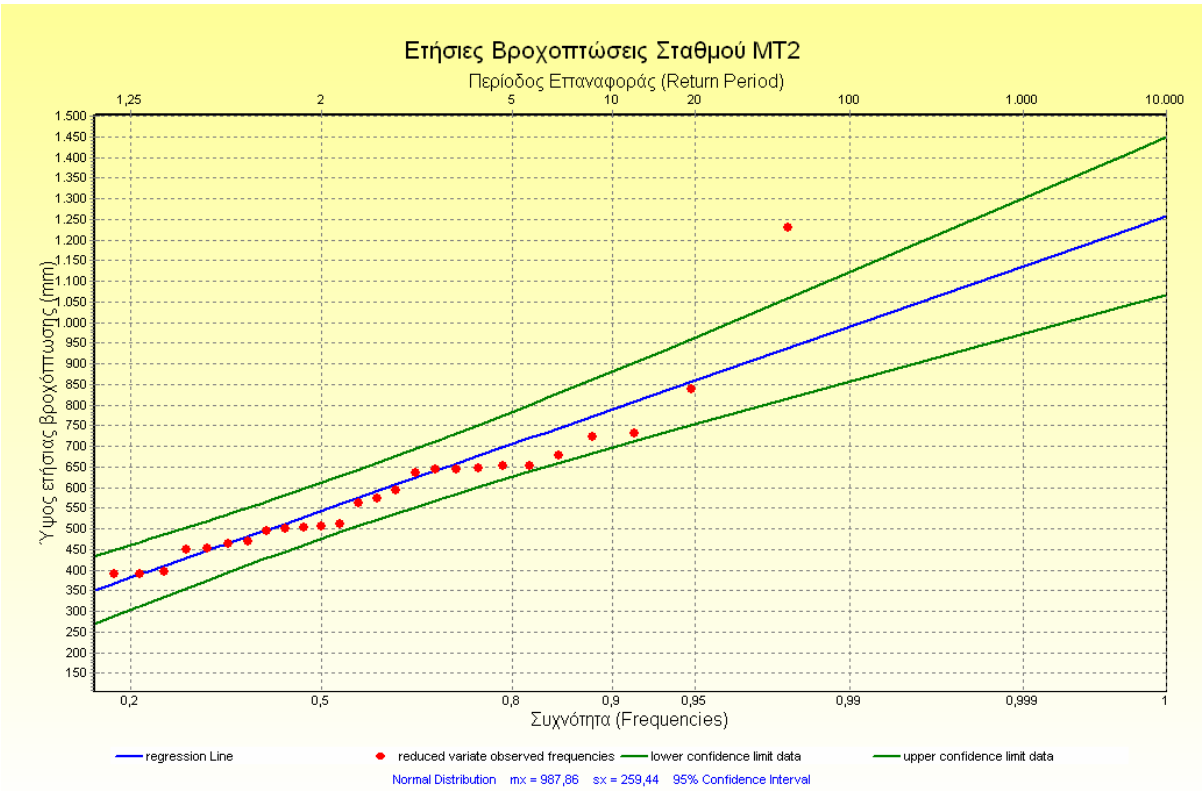
Standard error of estimate : 66.80406000

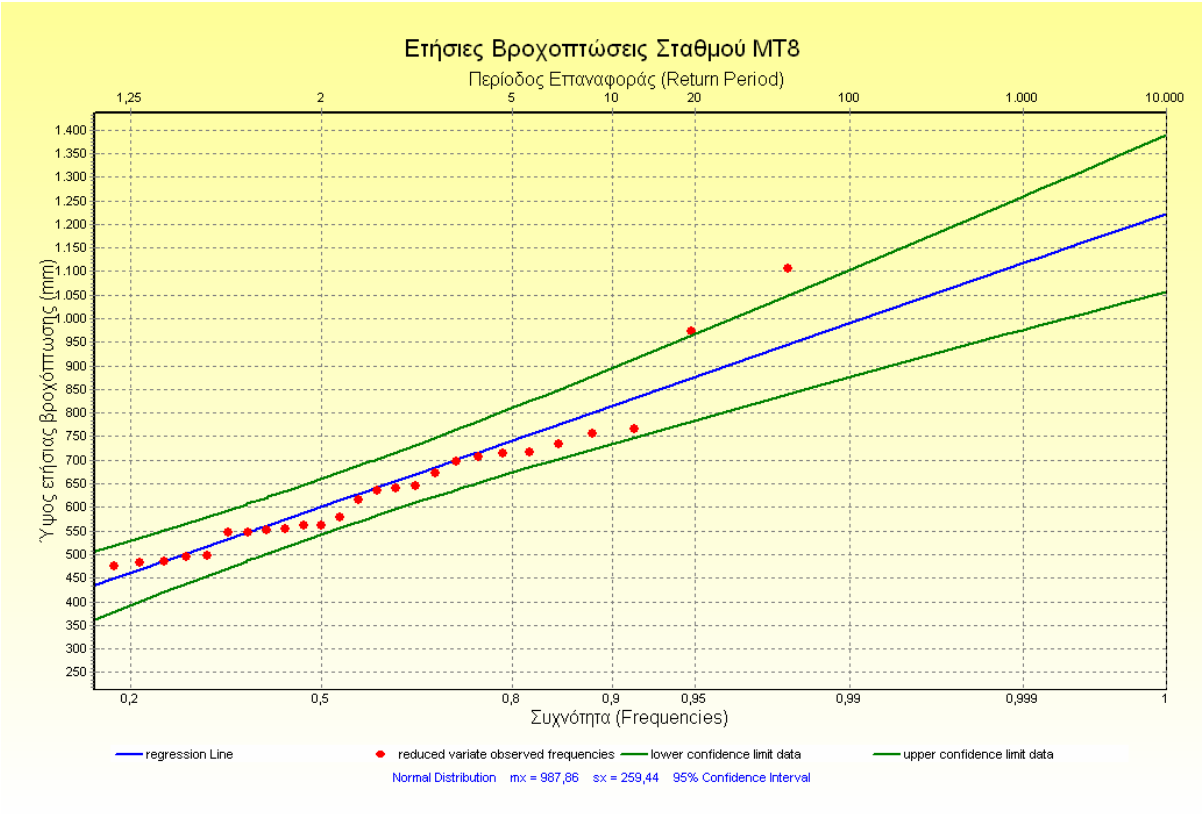


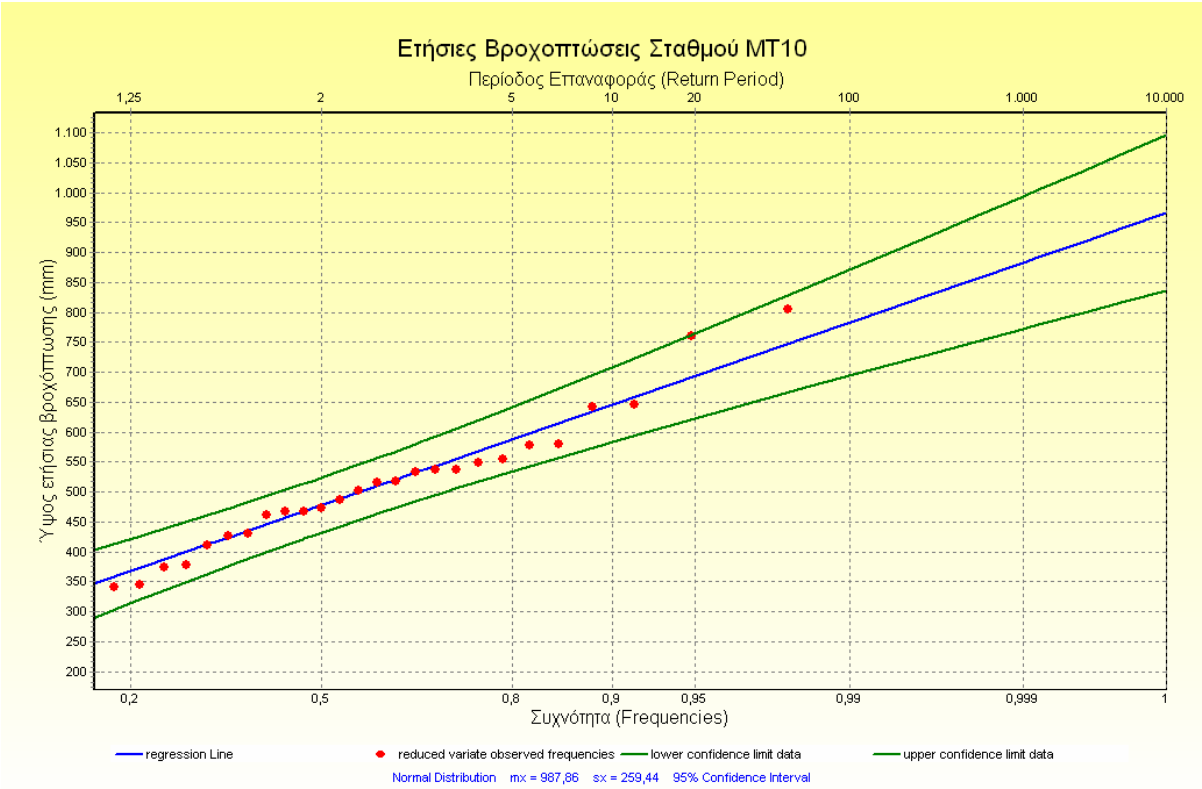
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ 1 – IV

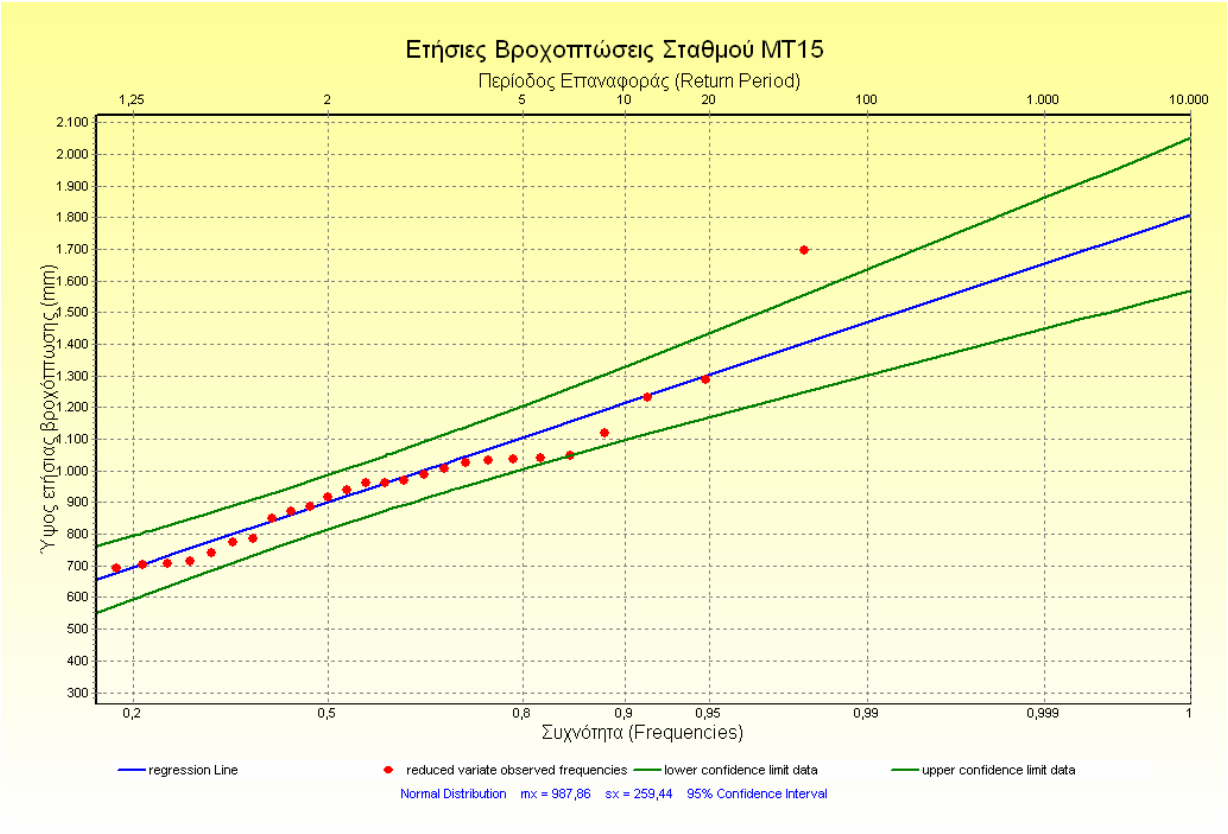
ΕΜΠΕΙΡΙΚΕΣ & ΘΕΩΡΗΤΙΚΕΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΤΩΝ ΕΤΗΣΙΩΝ ΣΗΜΕΙΑΚΩΝ ΚΑΙ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΩΝ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΕΩΝ ΛΕΚΑΝΩΝ ΜΕΣΑΡΑΣ ΣΕ ΧΑΡΤΙ ΚΑΝΟΝΙΚΗΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ

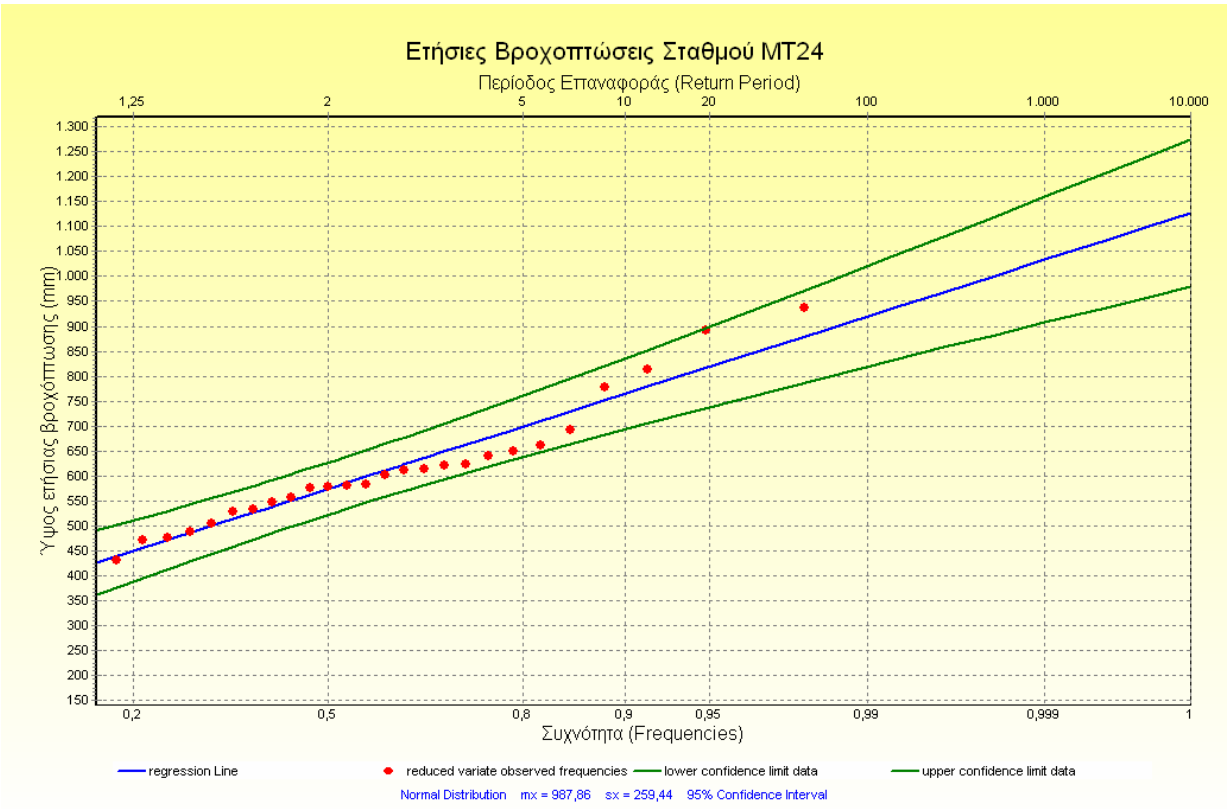

Ετήσιες Βροχοπτώσεις Σταθμού ΜΤ1
Περίοδος Επαναφοράς (Return Period)
1,25
2
5
10
20
100
1.000
10.000
Ύψος ετήσιας βροχόπτωσης (mm)
Συχνότητα (Frequencies)
0,2
0,5
0,8
0,9
0,95
0,99
0,999
1
regression Line
reduced variate observed frequencies
lower confidence limit data
upper confidence limit data
Normal Distribution mx = 987,86 sx = 259,44 95% Confidence Interval

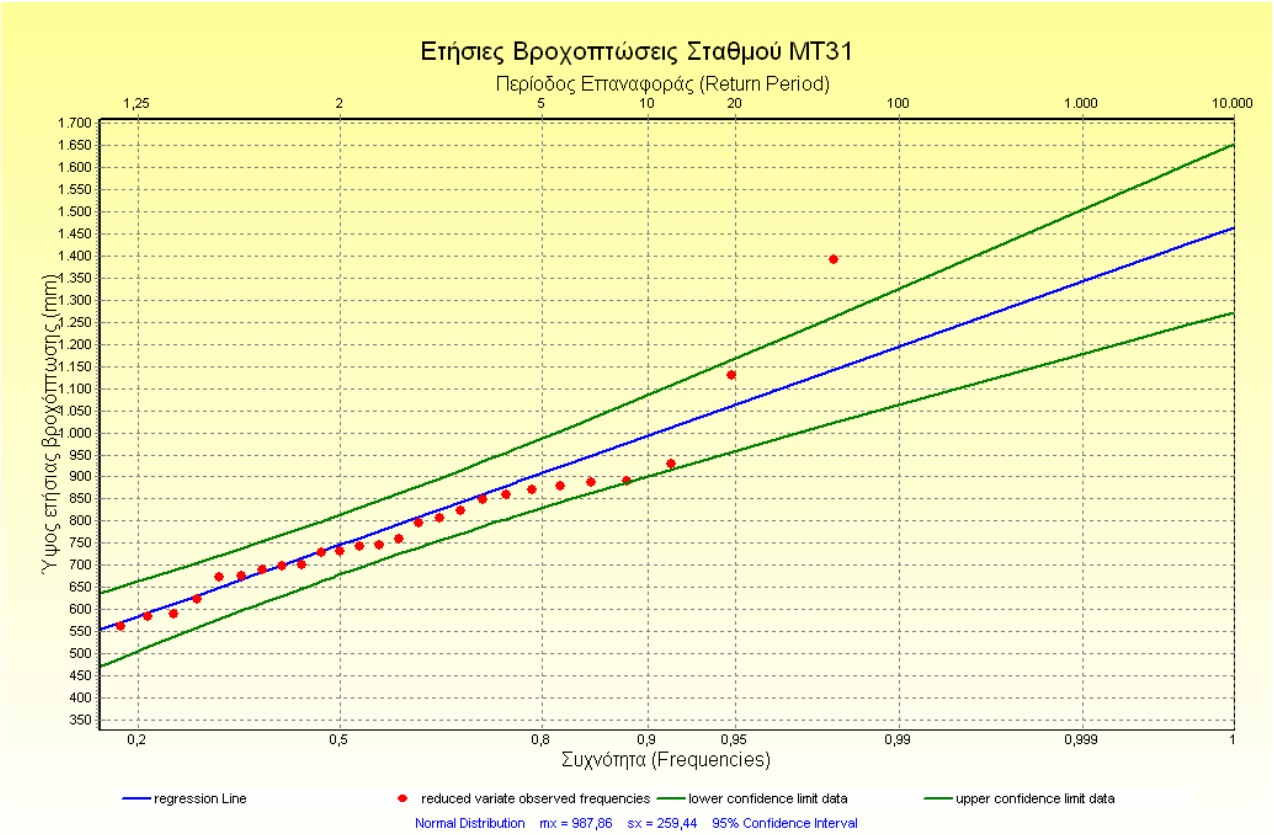

Ετήσιες Βροχοπτώσεις Σταθμού ΜΤ2
Περίοδος Επαναφοράς (Return Period)
1,25
2
5
10
20
100
1.000
10.000
Ύψος ετήσιας βροχόπτωσης (mm)
Συχνότητα (Frequencies)
0,2
0,5
0,8
0,9
0,95
0,99
0,999
1
regression Line
reduced variate observed frequencies
lower confidence limit data
upper confidence limit data
Normal Distribution mx = 987,86 sx = 259,44 95% Confidence Interval

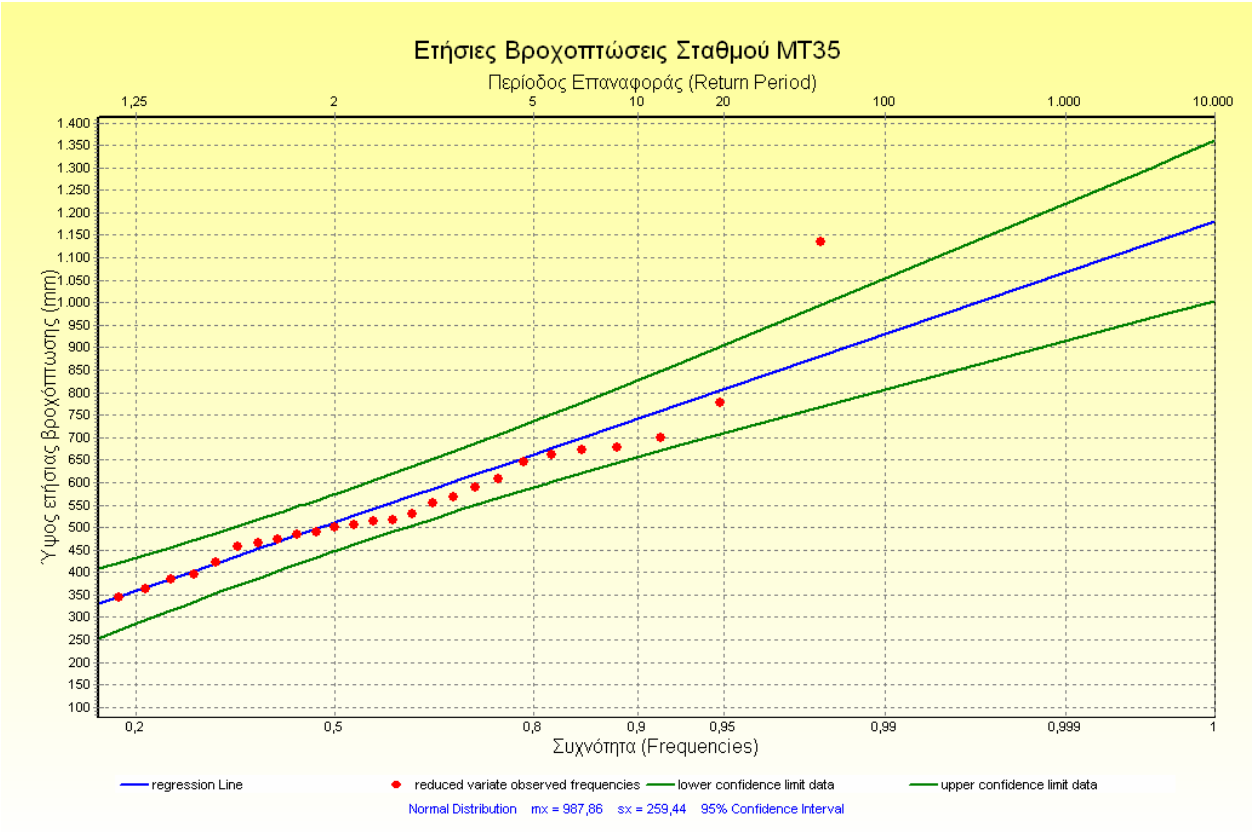

Ετήσιες Βροχοπτώσεις Σταθμού MT8
Περίοδος Επαναφοράς (Return Period)
1,25
2
5
10
20
100
1.000
10.000
Ύψος ετήσιας βροχόπτωσης (mm)
Συχνότητα (Frequencies)
0,2
0,5
0,8
0,9
0,95
0,99
0,999
1
regression Line
reduced variate observed frequencies
lower confidence limit data
upper confidence limit data
Normal Distribution mx = 987,86 sx = 259,44 95% Confidence Interval

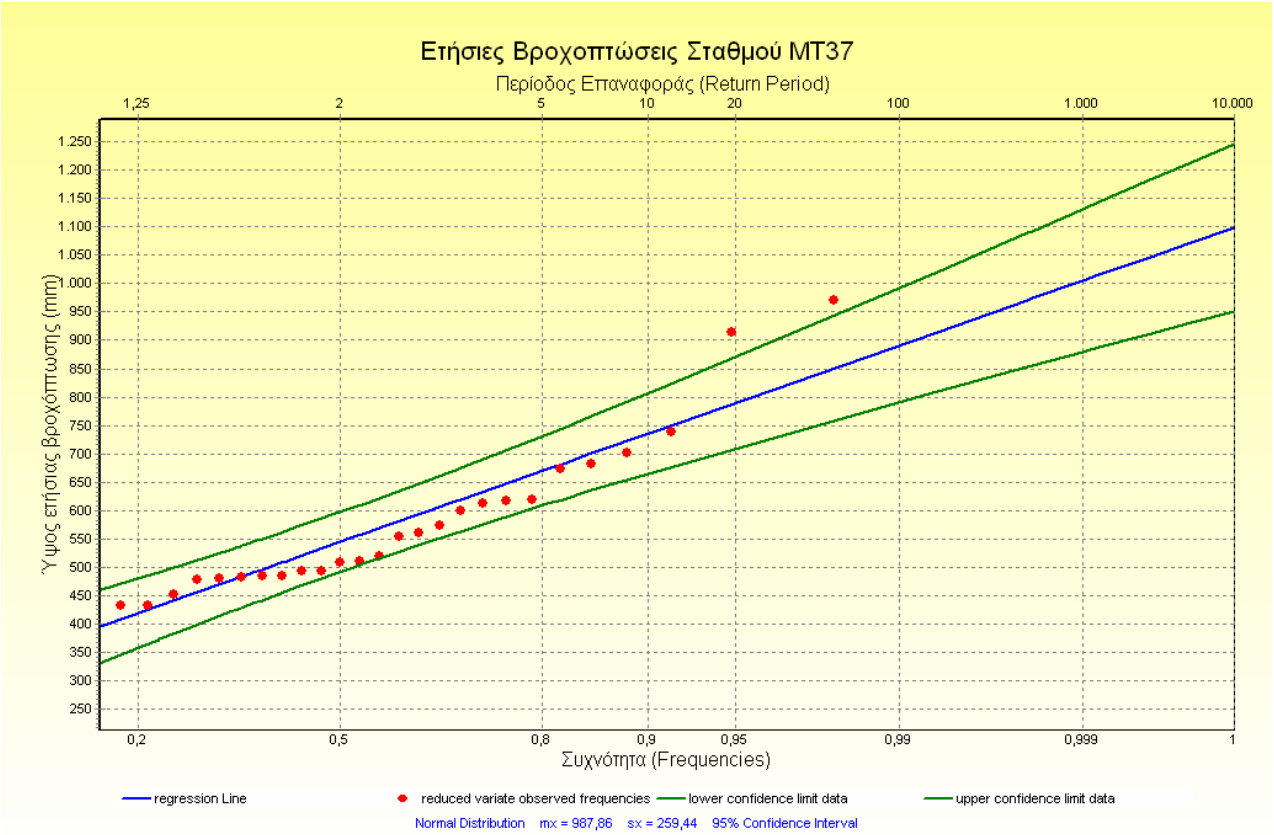

Ετήσιες Βροχοπτώσεις Σταθμού MT10
Περίοδος Επαναφοράς (Return Period)
1,25
2
5
10
20
100
1.000
10.000
Ύψος ετήσιας βροχόπτωσης (mm)
Συχνότητα (Frequencies)
0,2
0,5
0,8
0,9
0,95
0,99
0,999
1
regression Line
reduced variate observed frequencies
lower confidence limit data
upper confidence limit data
Normal Distribution mx = 987,86 sx = 259,44 95% Confidence Interval

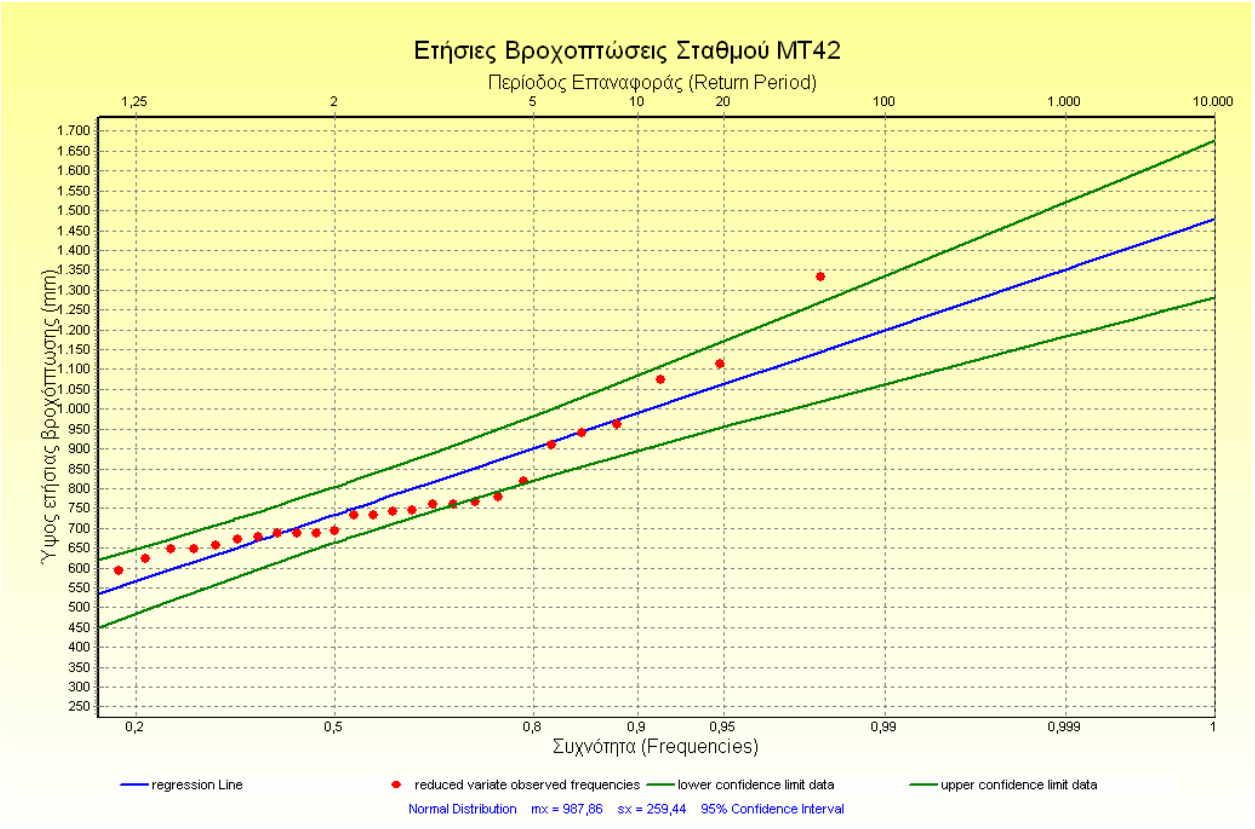

Ετήσιες Βροχοπτώσεις Σταθμού MT15
Περίοδος Επαναφοράς (Return Period)
1,25
2
5
10
20
100
1.000
10.000
Ύψος ετήσιας βροχόπτωσης (mm)
Συχνότητα (Frequencies)
0,2
0,5
0,8
0,9
0,95
0,99
0,999
1
regression Line
reduced variate observed frequencies
lower confidence limit data
upper confidence limit data
Normal Distribution mx = 987,86 sx = 259,44 95% Confidence Interval

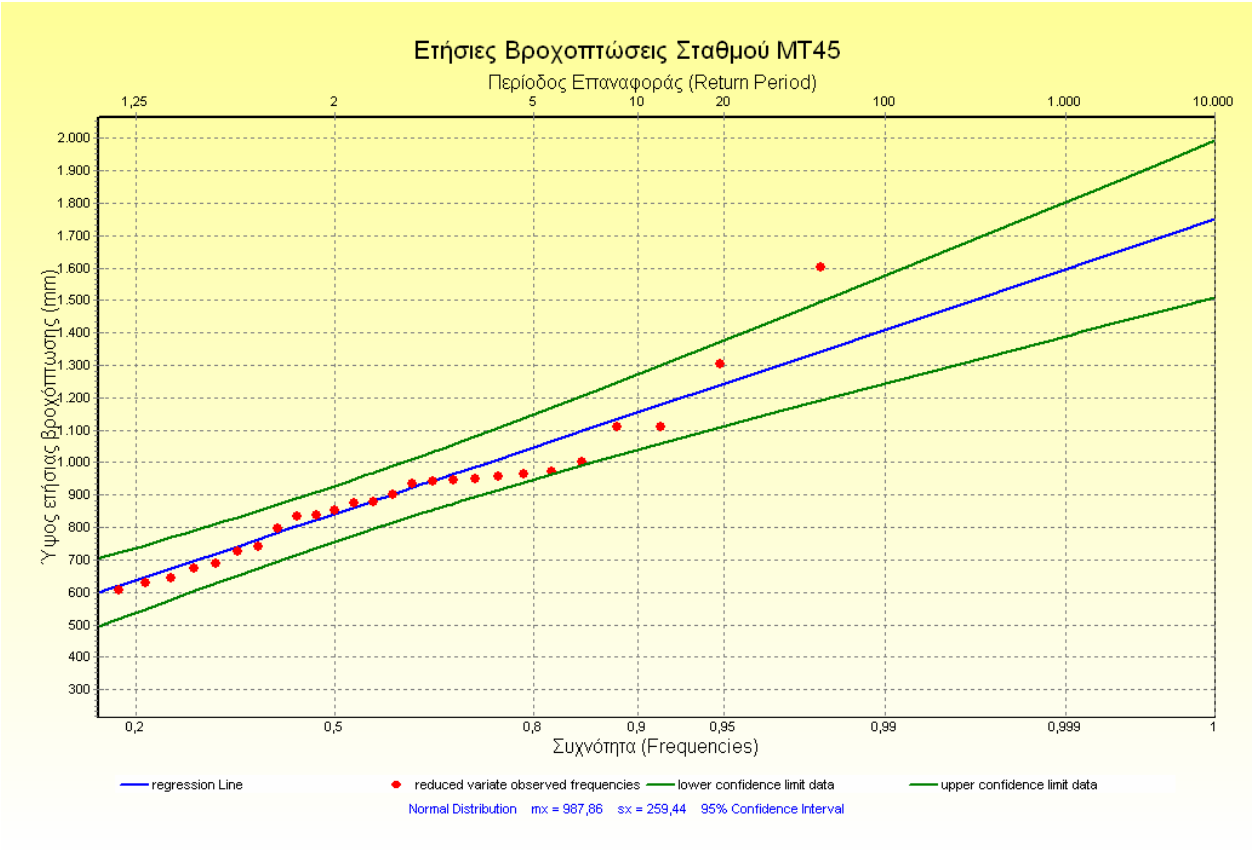

Ετήσιες Βροχοπτώσεις Σταθμού MT24
Περίοδος Επαναφοράς (Return Period)
1,25
2
5
10
20
100
1.000
10.000
Ύψος ετήσιας βροχόπτωσης (mm)
Συχνότητα (Frequencies)
0,2
0,5
0,8
0,9
0,95
0,99
0,999
1
regression Line
reduced variate observed frequencies
lower confidence limit data
upper confidence limit data
Normal Distribution mx = 987,86 sx = 259,44 95% Confidence Interval

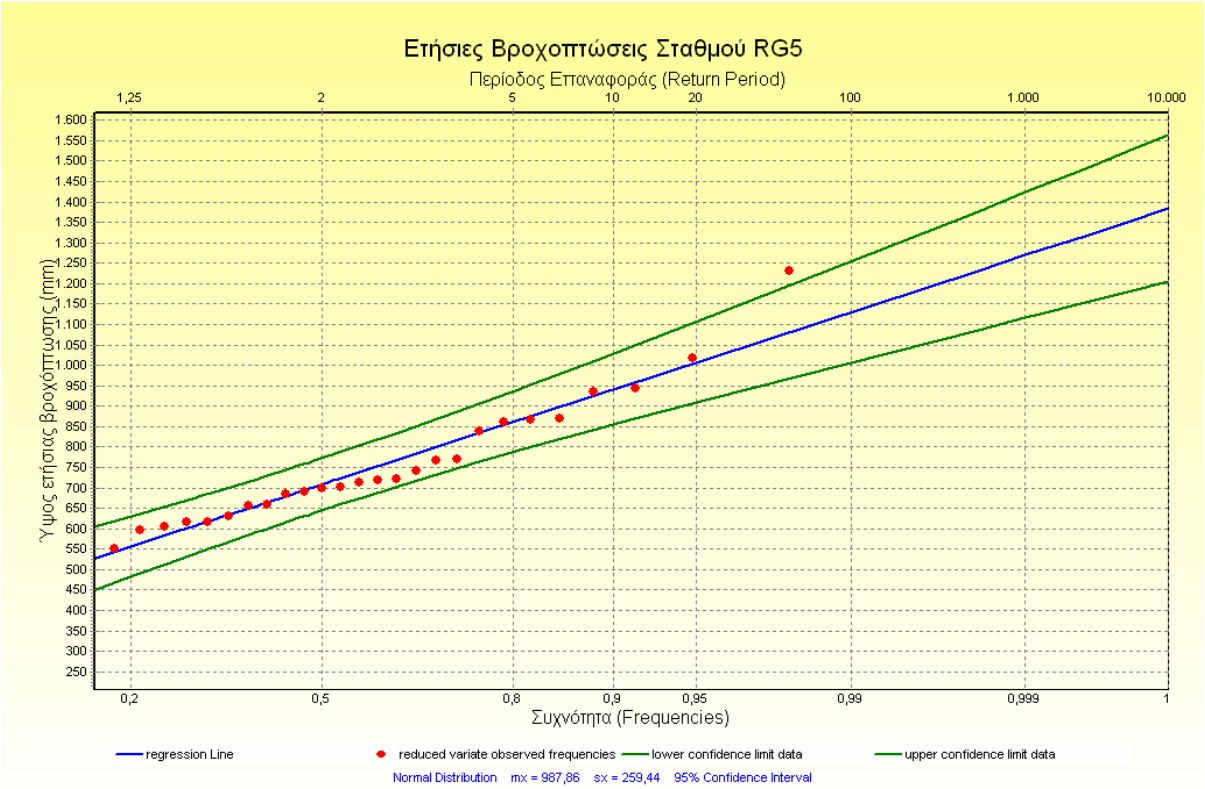

Ετήσιες Βροχοπτώσεις Σταθμού MT31
Περίοδος Επαναφοράς (Return Period)
1,25
2
5
10
20
100
1.000
10.000
Ύψος ετήσιας βροχόπτωσης (mm)
Συχνότητα (Frequencies)
0,2
0,5
0,8
0,9
0,95
0,99
0,999
1
regression Line
reduced variate observed frequencies
lower confidence limit data
upper confidence limit data
Normal Distribution mx = 987,86 sx = 259,44 95% Confidence Interval

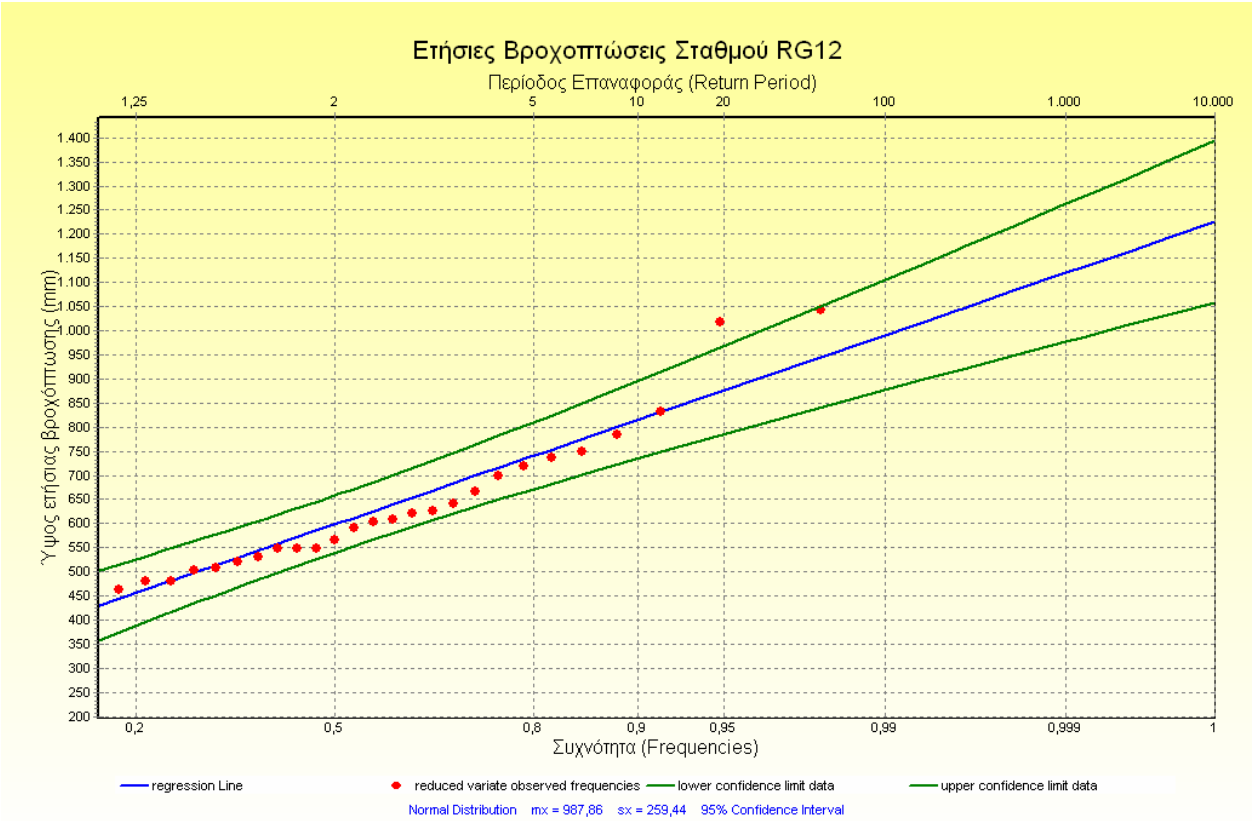

Ετήσιες Βροχοπτώσεις Σταθμού MT35
Περίοδος Επαναφοράς (Return Period)
1,25
2
5
10
20
100
1.000
10.000
Ύψος ετήσιας βροχόπτωσης (mm)
Συχνότητα (Frequencies)
0,2
0,5
0,8
0,9
0,95
0,99
0,999
1
regression Line
reduced variate observed frequencies
lower confidence limit data
upper confidence limit data
Normal Distribution mx = 987,86 sx = 259,44 95% Confidence Interval

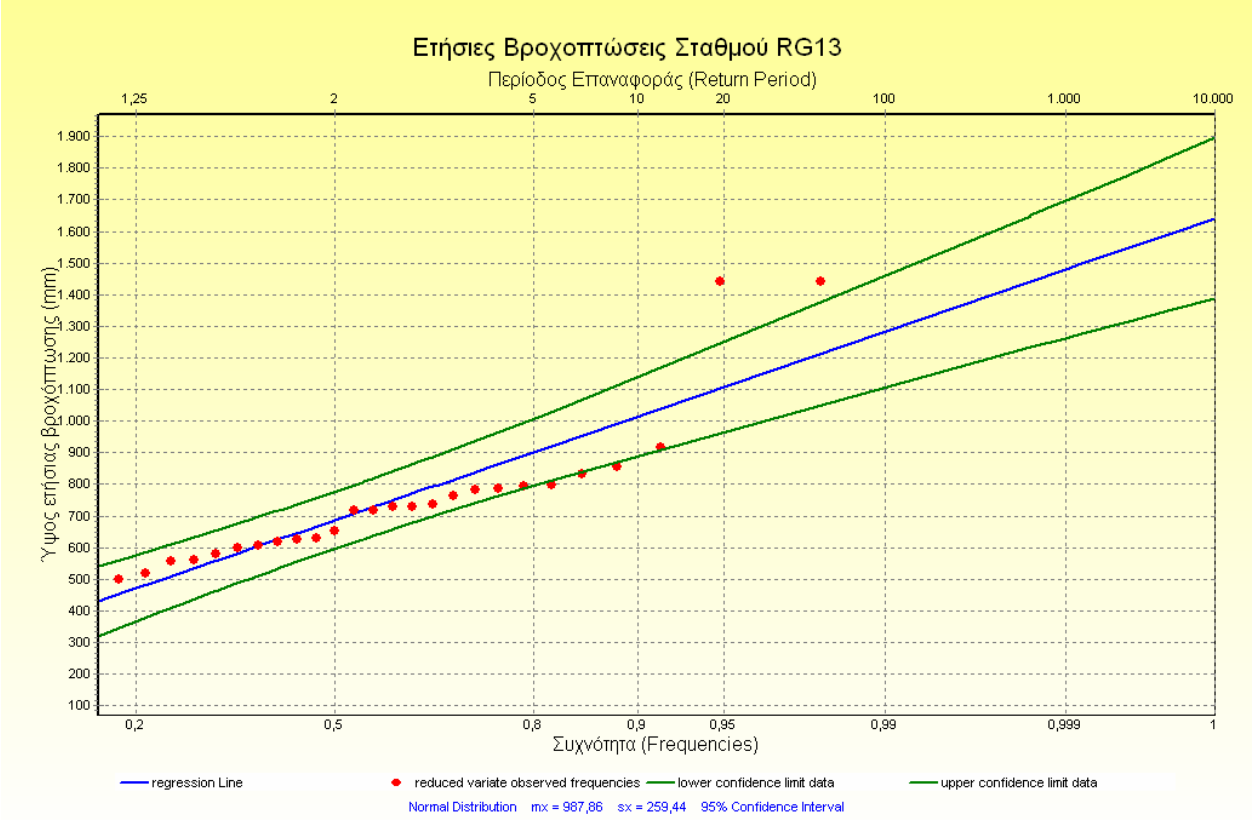

Ετήσιες Βροχοπτώσεις Σταθμού MT37
Περίοδος Επαναφοράς (Return Period)
1,25
2
5
10
20
100
1.000
10.000
Ύψος ετήσιας βροχόπτωσης (mm)
Συχνότητα (Frequencies)
0,2
0,5
0,8
0,9
0,95
0,99
0,999
1
regression Line
reduced variate observed frequencies
lower confidence limit data
upper confidence limit data
Normal Distribution mx = 987,86 sx = 259,44 95% Confidence Interval

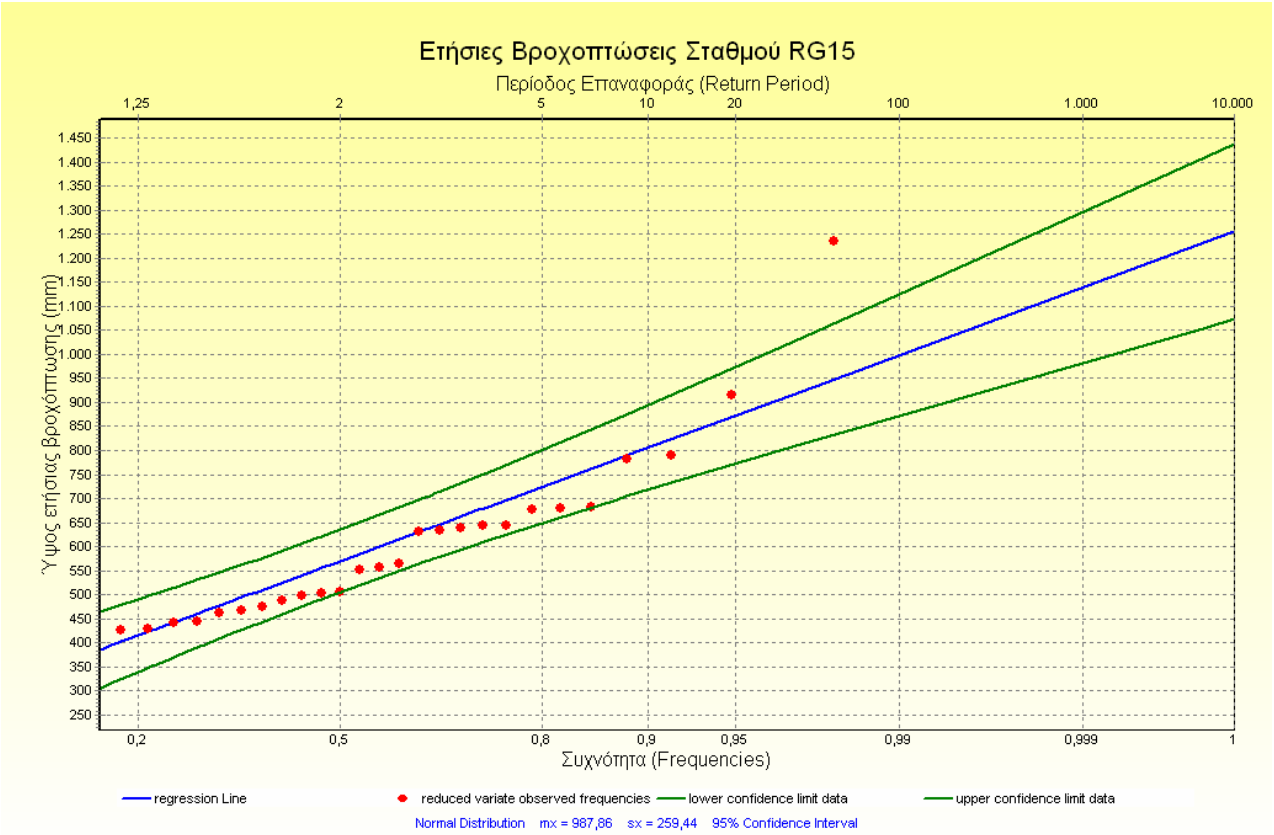

Ετήσιες Βροχοπτώσεις Σταθμού MT42
Περίοδος Επαναφοράς (Return Period)
1,25
2
5
10
20
100
1.000
10.000
Ύψος ετήσιας βροχόπτωσης (mm)
Συχνότητα (Frequencies)
0,2
0,5
0,8
0,9
0,95
0,99
0,999
1
regression Line
reduced variate observed frequencies
lower confidence limit data
upper confidence limit data
Normal Distribution mx = 987,86 sx = 259,44 95% Confidence Interval

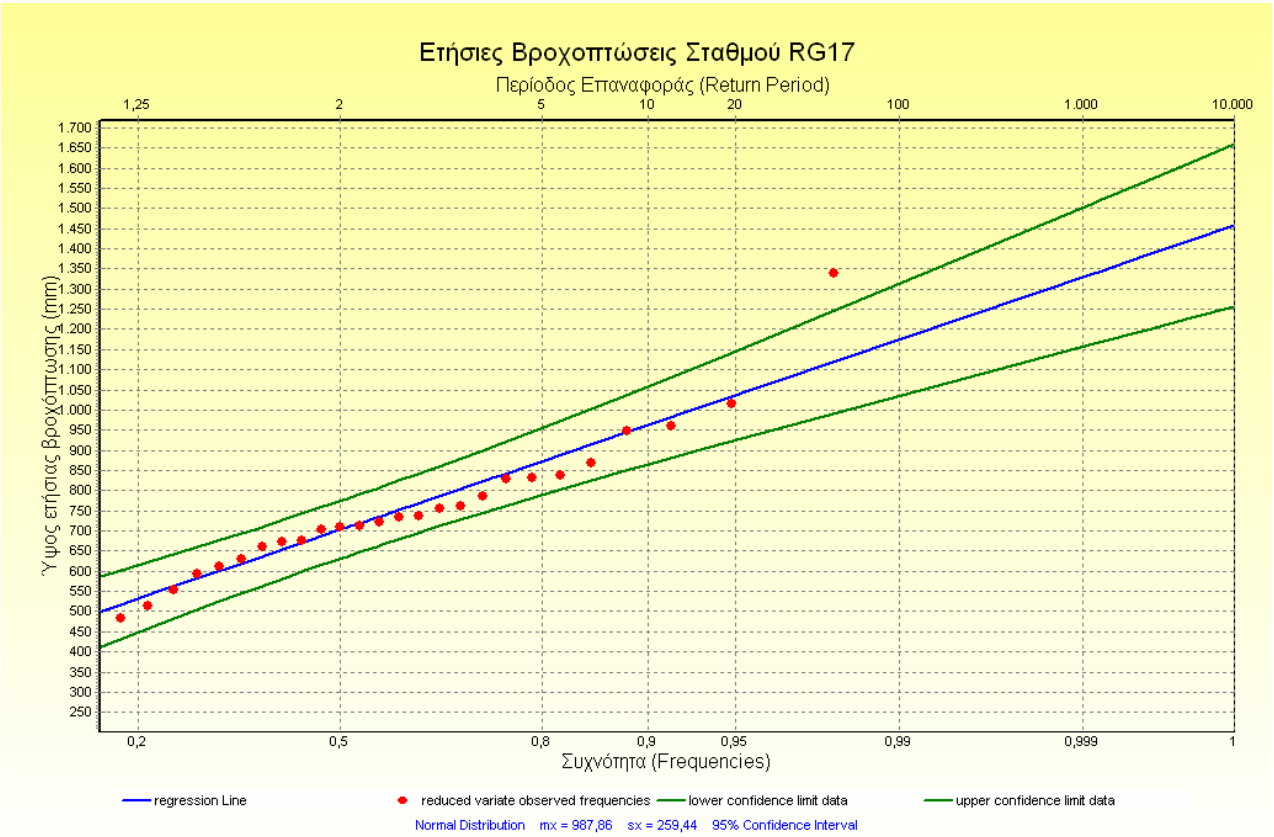

Ετήσιες Βροχοπτώσεις Σταθμού MT45
Περίοδος Επαναφοράς (Return Period)
1,25
2
5
10
20
100
1.000
10.000
Ύψος ετήσιας βροχόπτωσης (mm)
Συχνότητα (Frequencies)
0,2
0,5
0,8
0,9
0,95
0,99
0,999
1
regression Line
reduced variate observed frequencies
lower confidence limit data
upper confidence limit data
Normal Distribution mx = 987,86 sx = 259,44 95% Confidence Interval

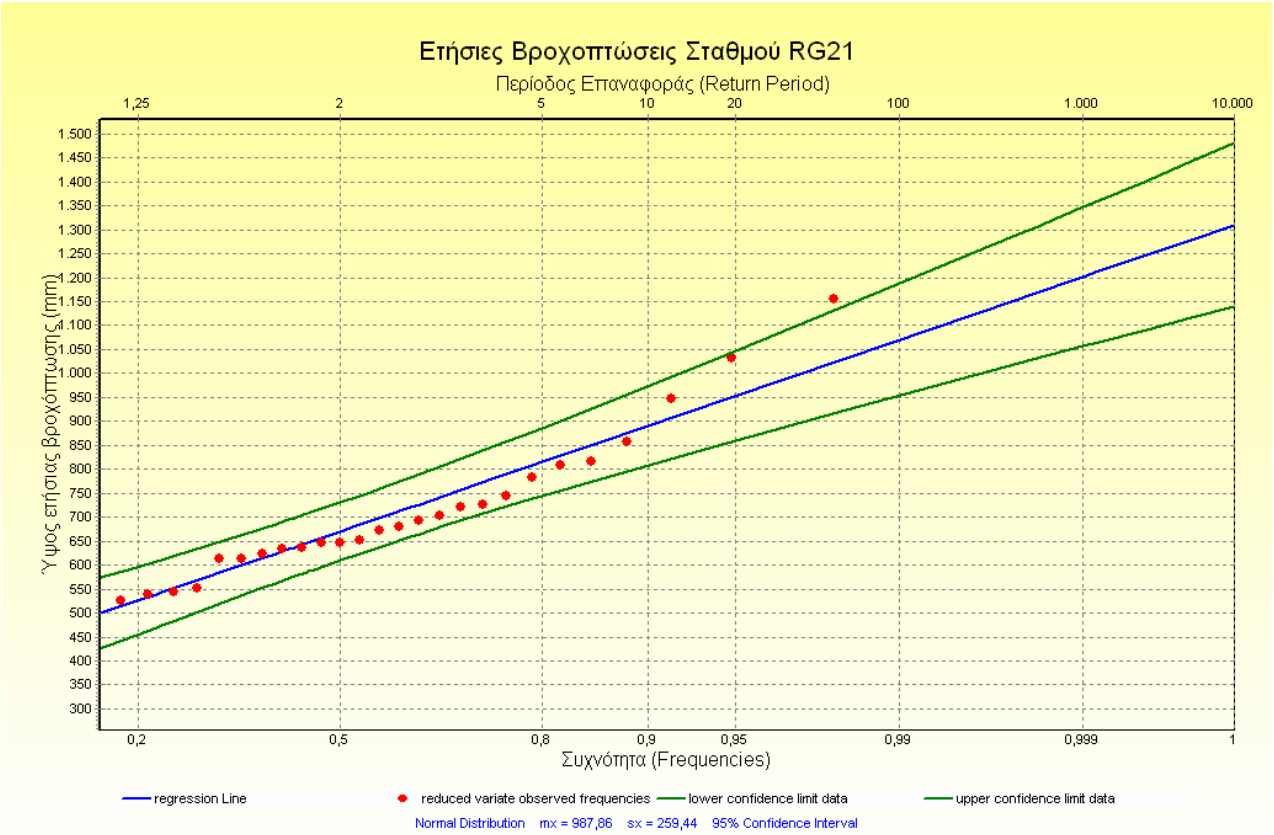

Ετήσιες Βροχοπτώσεις Σταθμού RG5
Περίοδος Επαναφοράς (Return Period)
1,25
2
5
10
20
100
1.000
10.000
Ύψος ετήσιας βροχόπτωσης (mm)
Συχνότητα (Frequencies)
0,2
0,5
0,8
0,9
0,95
0,99
0,999
1
regression Line
reduced variate observed frequencies
lower confidence limit data
upper confidence limit data
Normal Distribution mx = 987,86 sx = 259,44 95% Confidence Interval

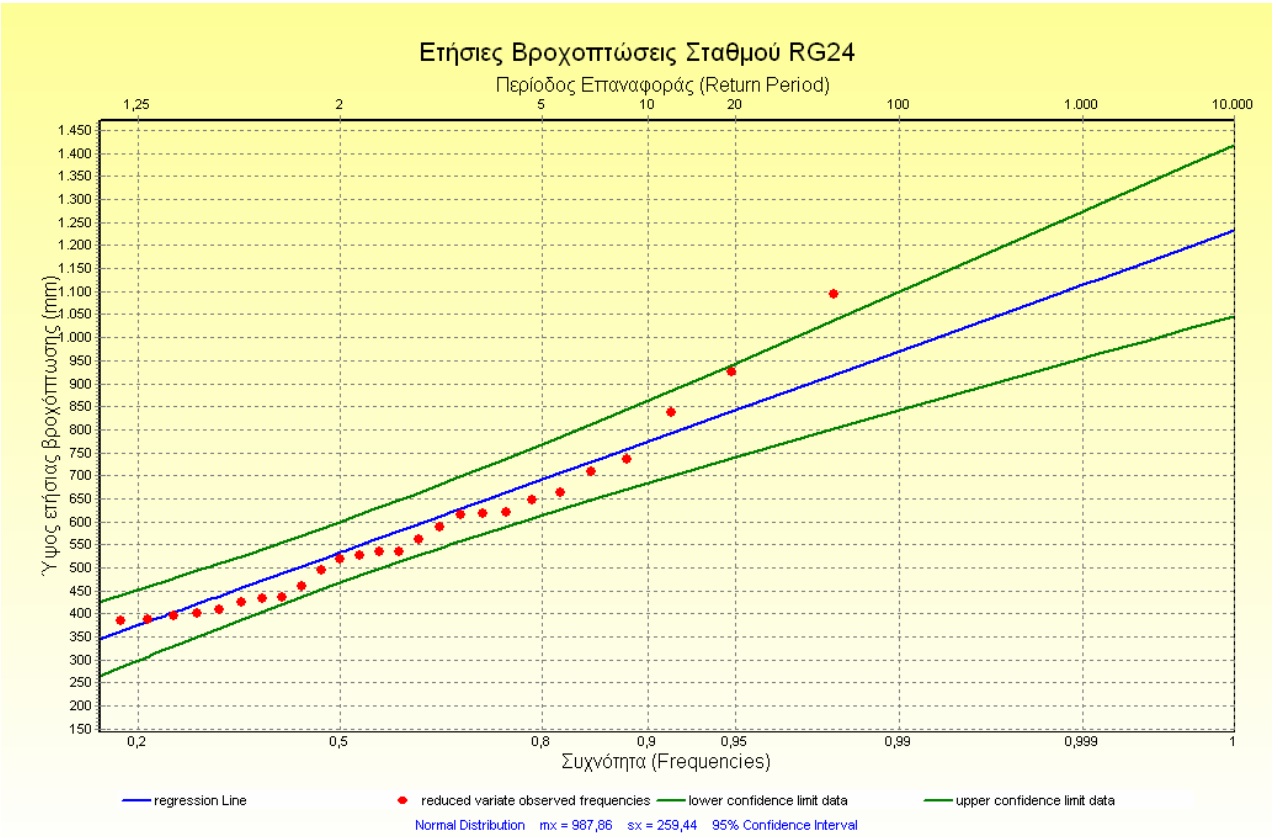

Ετήσιες Βροχοπτώσεις Σταθμού RG12
Περίοδος Επαναφοράς (Return Period)
1,25
2
5
10
20
100
1.000
10.000
Ύψος ετήσιας βροχόπτωσης (mm)
Συχνότητα (Frequencies)
0,2
0,5
0,8
0,9
0,95
0,99
0,999
1
regression Line
reduced variate observed frequencies
lower confidence limit data
upper confidence limit data
Normal Distribution mx = 987,86 sx = 259,44 95% Confidence Interval

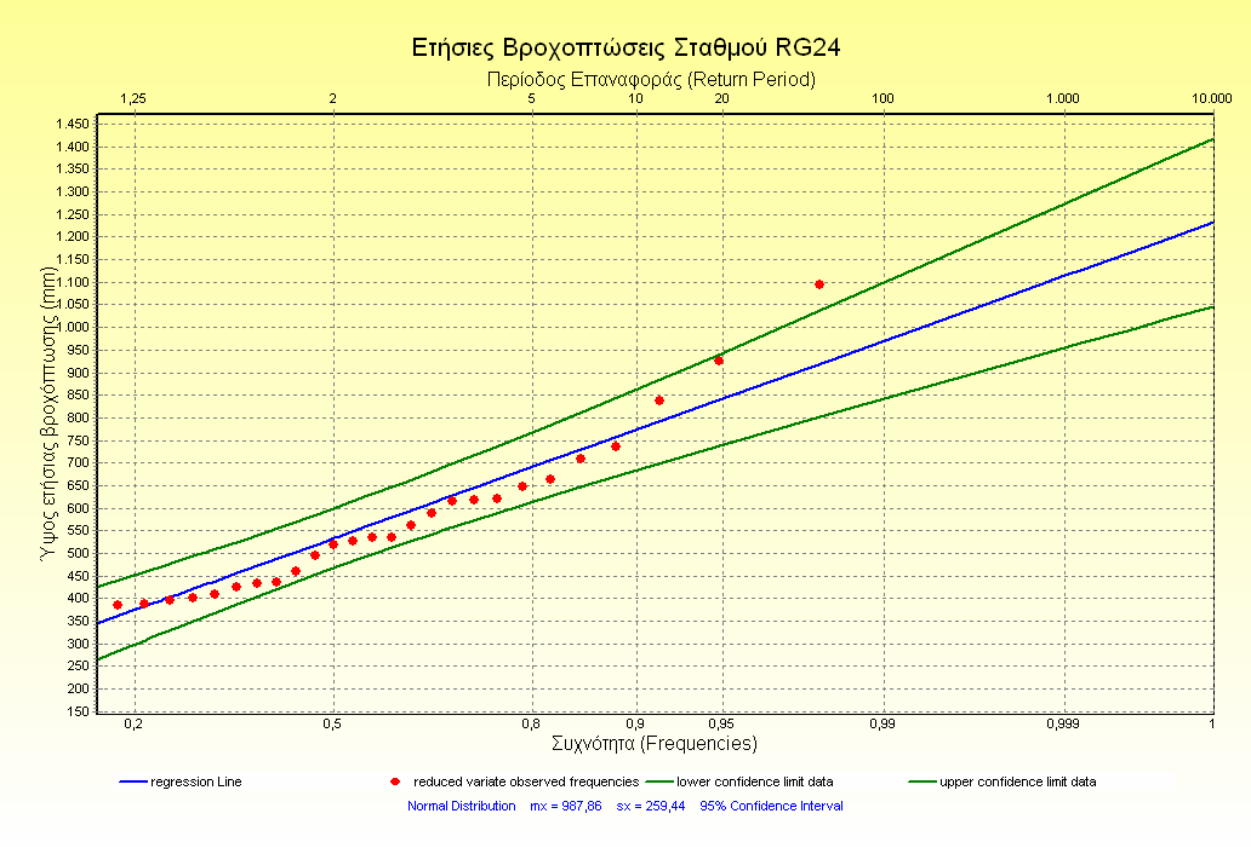

Ετήσιες Βροχοπτώσεις Σταθμού RG13
Περίοδος Επαναφοράς (Return Period)
1,25
2
5
10
20
100
1.000
10.000
Ύψος ετήσιας βροχόπτωσης (mm)
Συχνότητα (Frequencies)
0,2
0,5
0,8
0,9
0,95
0,99
0,999
1
regression Line
reduced variate observed frequencies
lower confidence limit data
upper confidence limit data
Normal Distribution mx = 987,86 sx = 259,44 95% Confidence Interval

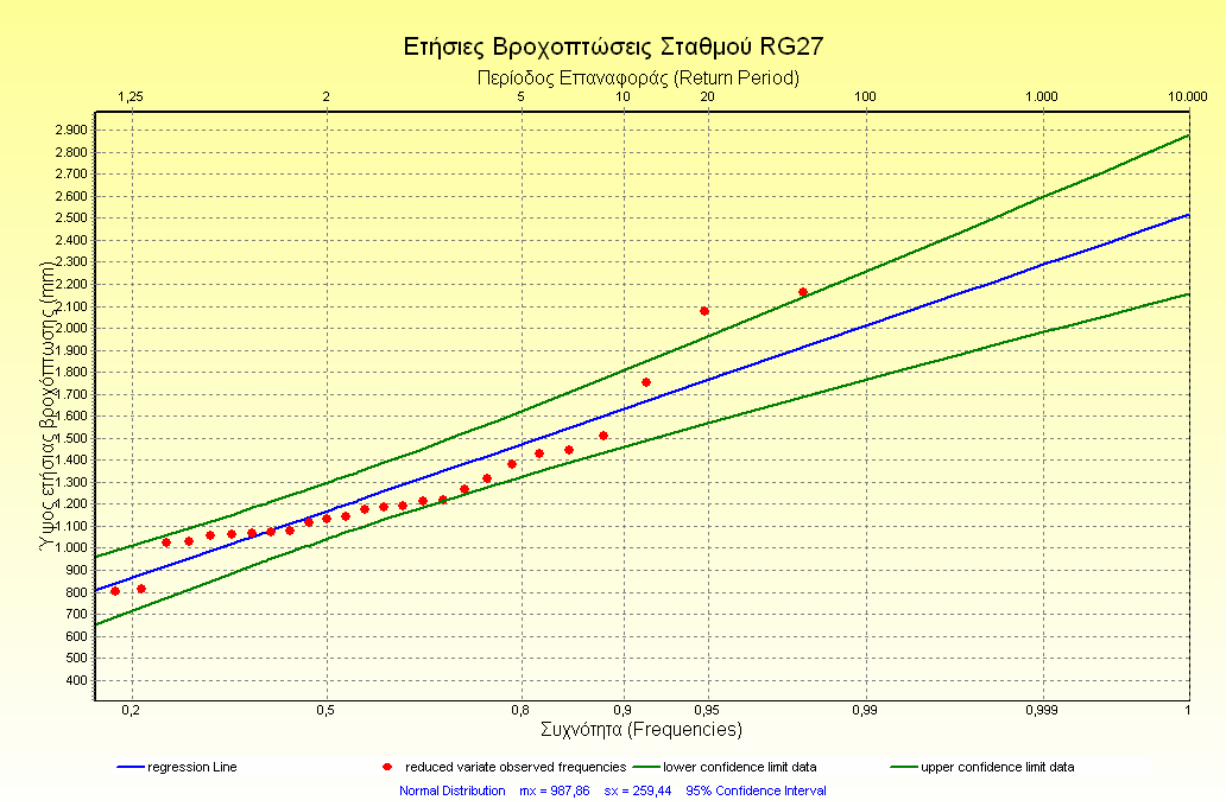

Ετήσιες Βροχοπτώσεις Σταθμού RG15
Περίοδος Επαναφοράς (Return Period)
1,25
2
5
10
20
100
1.000
10.000
Ύψος ετήσιας βροχόπτωσης (mm)
Συχνότητα (Frequencies)
0,2
0,5
0,8
0,9
0,95
0,99
0,999
1
regression Line
reduced variate observed frequencies
lower confidence limit data
upper confidence limit data
Normal Distribution mx = 987,86 sx = 259,44 95% Confidence Interval

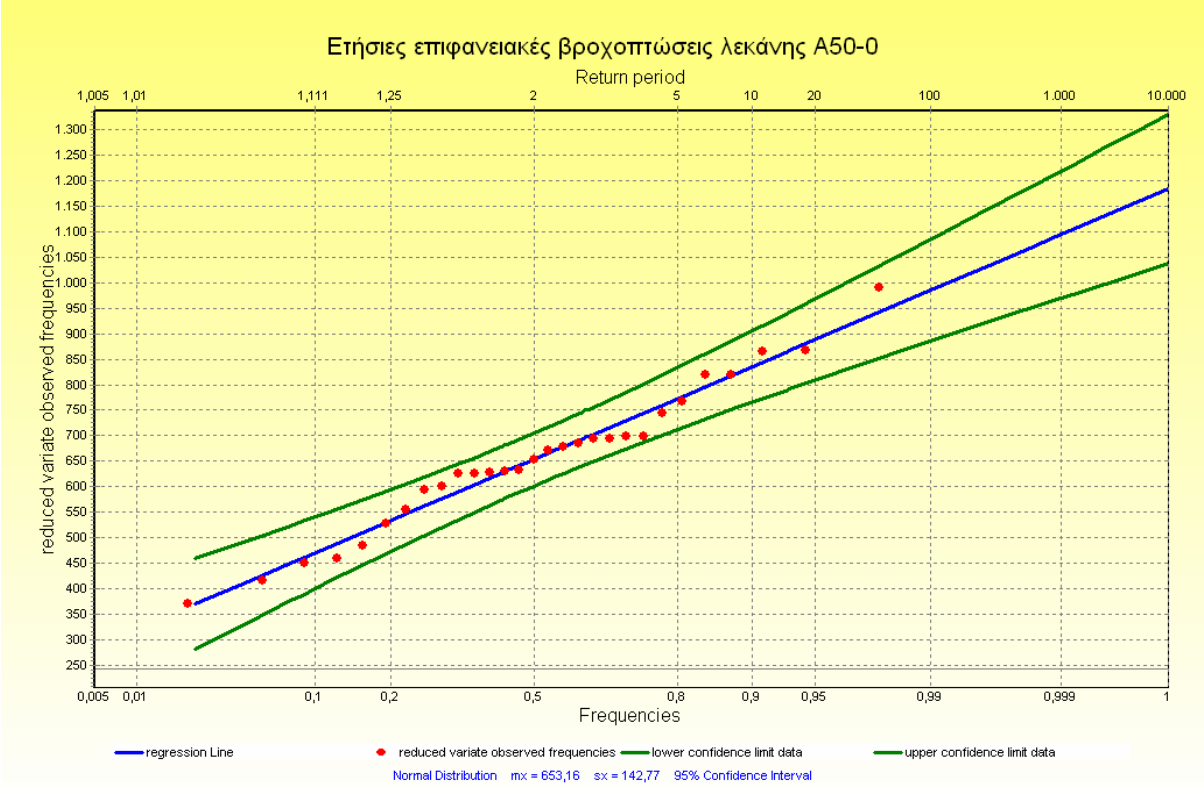

Ετήσιες Βροχοπτώσεις Σταθμού RG17
Περίοδος Επαναφοράς (Return Period)
1,25
2
5
10
20
100
1.000
10.000
Ύψος ετήσιας βροχόπτωσης (mm)
Συχνότητα (Frequencies)
0,2
0,5
0,8
0,9
0,95
0,99
0,999
1
regression Line
reduced variate observed frequencies
lower confidence limit data
upper confidence limit data
Normal Distribution mx = 987,86 sx = 259,44 95% Confidence Interval

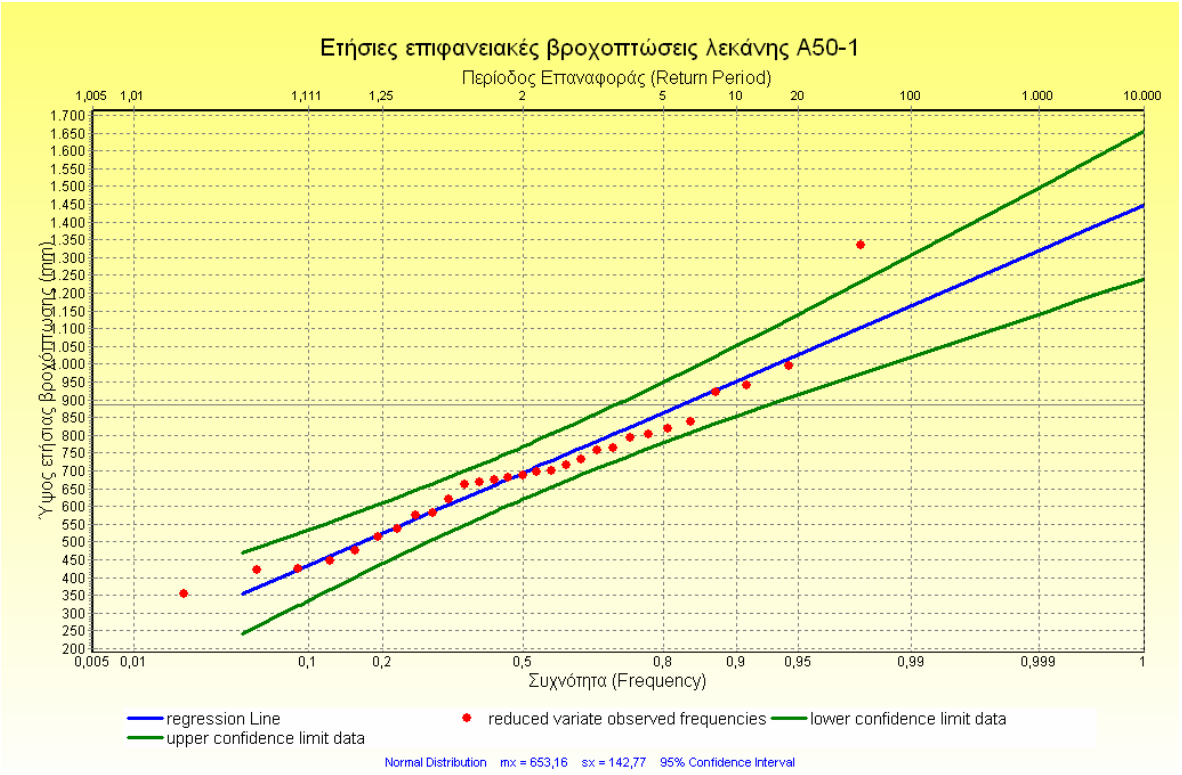

Ετήσιες Βροχοπτώσεις Σταθμού RG21
Περίοδος Επαναφοράς (Return Period)
1,25
2
5
10
20
100
1.000
10.000
Ύψος ετήσιας βροχόπτωσης (mm)
Συχνότητα (Frequencies)
0,2
0,5
0,8
0,9
0,95
0,99
0,999
1
regression Line
reduced variate observed frequencies
lower confidence limit data
upper confidence limit data
Normal Distribution mx = 987,86 sx = 259,44 95% Confidence Interval

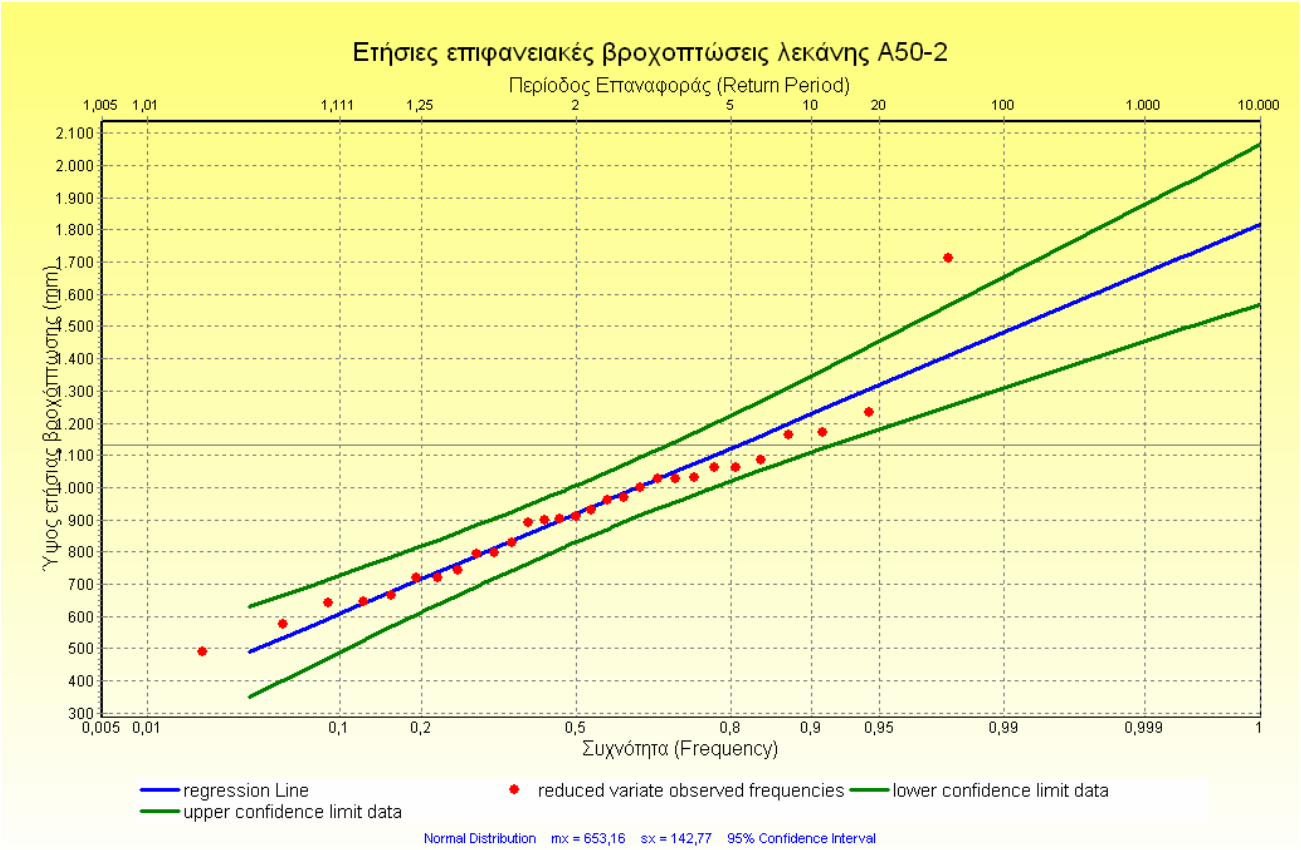

Ετήσιες Βροχοπτώσεις Σταθμού RG24
Περίοδος Επαναφοράς (Return Period)
1,25
2
5
10
20
100
1.000
10.000
Ύψος ετήσιας βροχόπτωσης (mm)
Συχνότητα (Frequencies)
0,2
0,5
0,8
0,9
0,95
0,99
0,999
1
regression Line
reduced variate observed frequencies
lower confidence limit data
upper confidence limit data
Normal Distribution mx = 987,86 sx = 259,44 95% Confidence Interval

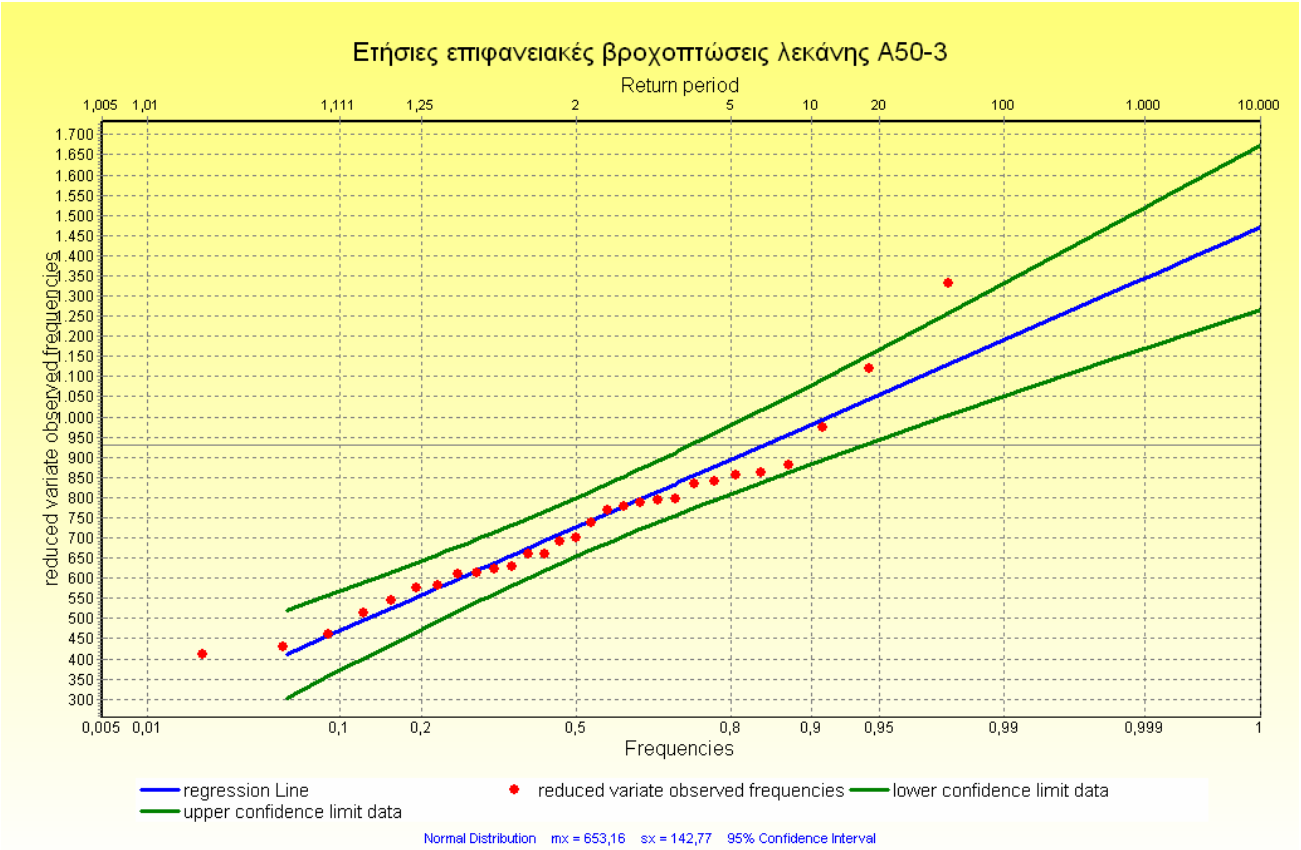

Ετήσιες Βροχοπτώσεις Σταθμού RG24
Περίοδος Επαναφοράς (Return Period)
1,25
2
5
10
20
100
1.000
10.000
Ύψος ετήσιας βροχόπτωσης (mm)
Συχνότητα (Frequencies)
0,2
0,5
0,8
0,9
0,95
0,99
0,999
1
regression Line
reduced variate observed frequencies
lower confidence limit data
upper confidence limit data
Normal Distribution mx = 987,86 sx = 259,44 95% Confidence Interval

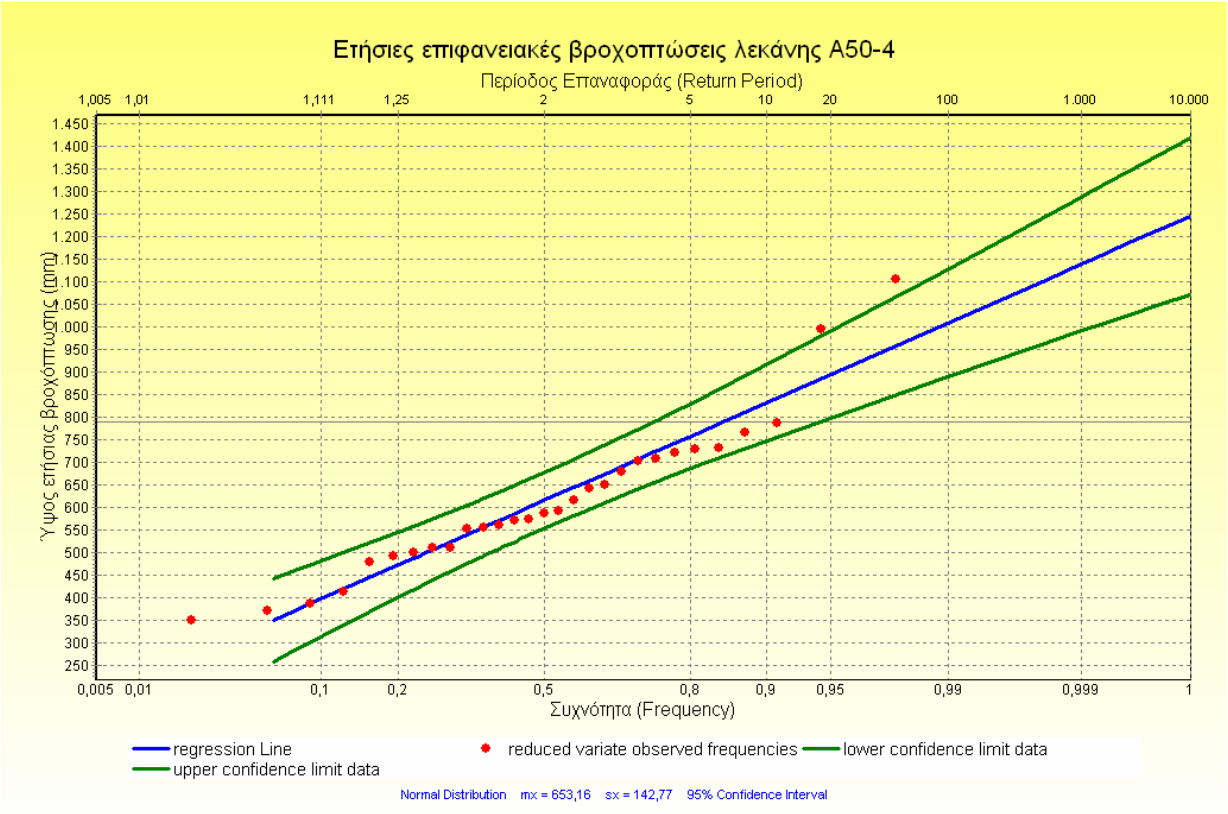

Ετήσιες Βροχοπτώσεις Σταθμού RG27
Περίοδος Επαναφοράς (Return Period)
1,25
2
5
10
20
100
1.000
10.000
Ύψος ετήσιας βροχόπτωσης (mm)
Συχνότητα (Frequencies)
0,2
0,5
0,8
0,9
0,95
0,99
0,999
1
regression Line
reduced variate observed frequencies
lower confidence limit data
upper confidence limit data
Normal Distribution mx = 987,86 sx = 259,44 95% Confidence Interval

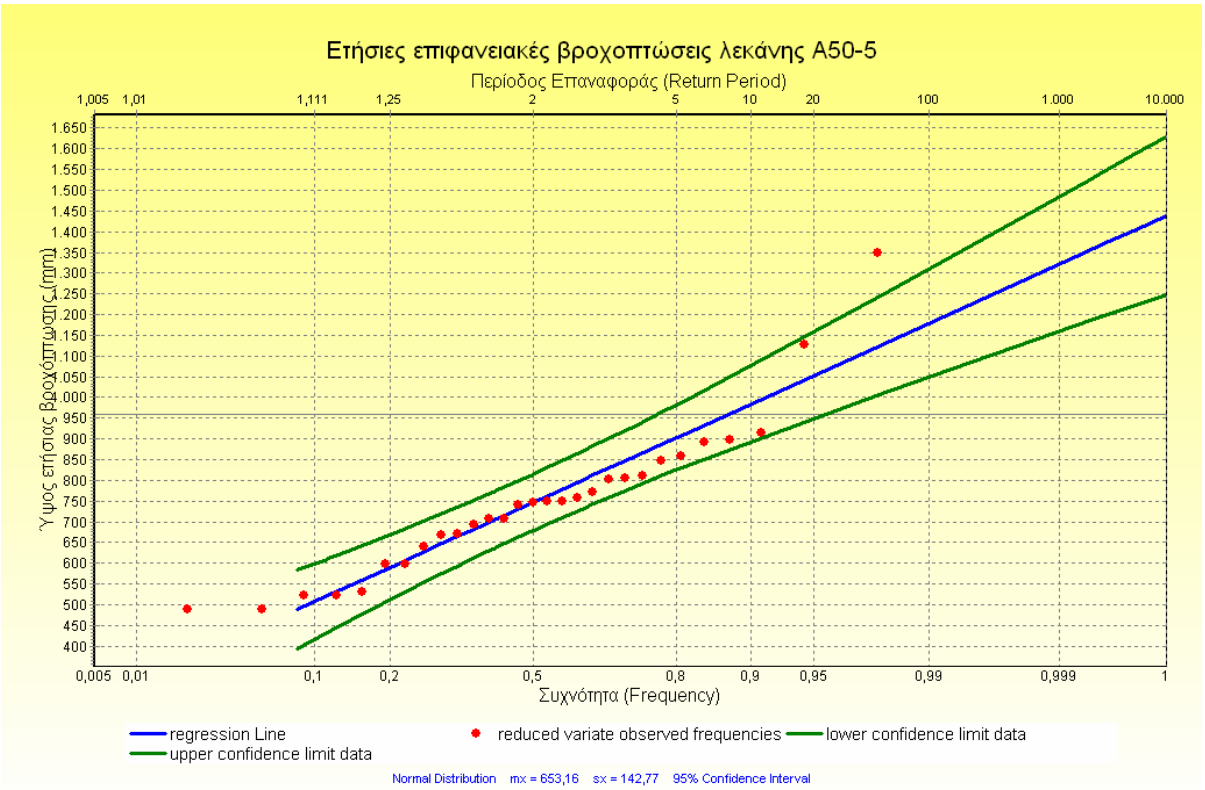

Ετήσιες επιφανειακές βροχοπτώσεις λεκάνης Α50-0
Return period
1,005 1,01 1,111 1,25 2 5 10 20 100 1.000 10.000
reduced variate observed frequencies
Frequencies
0,005 0,01 0,1 0,2 0,5 0,8 0,9 0,95 0,99 0,999 1
regression Line
reduced variate observed frequencies
lower confidence limit data
upper confidence limit data
Normal Distribution mx = 653,16 sx = 142,77 95% Confidence Interval

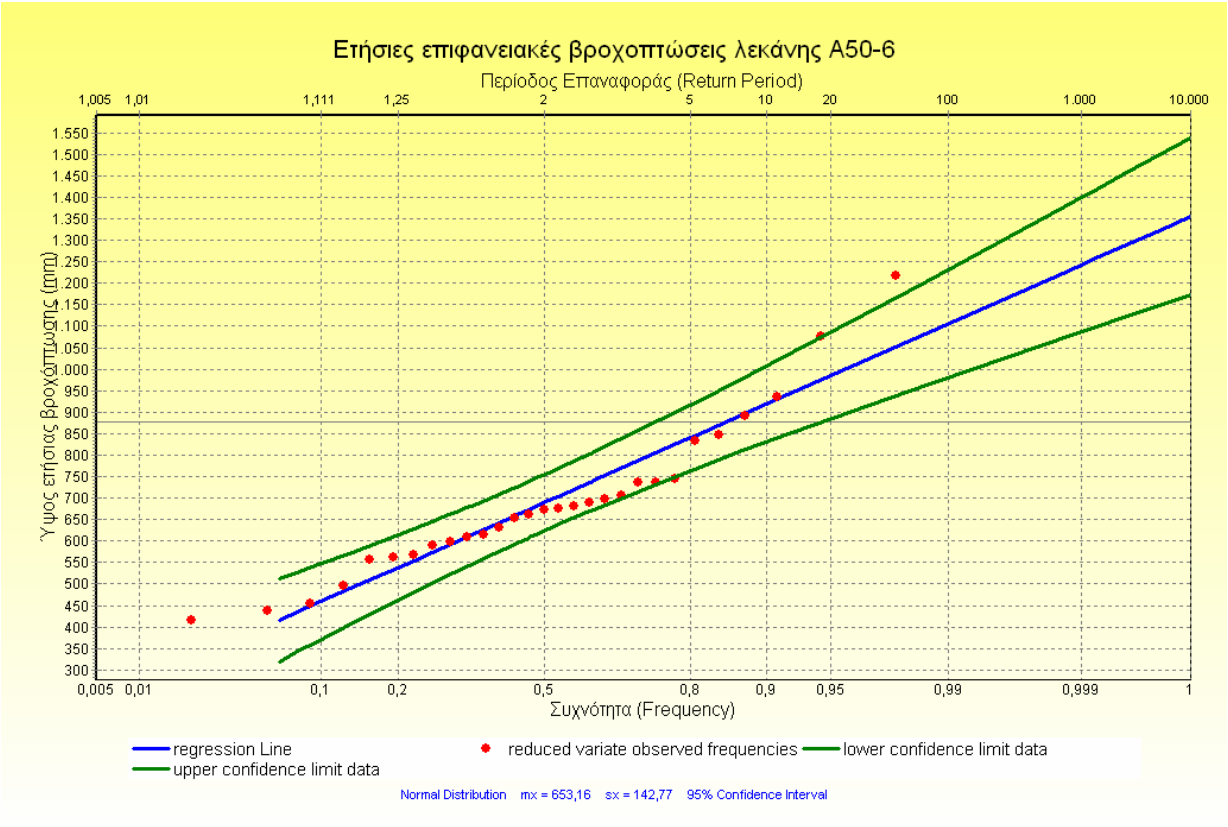

Ετήσιες επιφανειακές βροχοπτώσεις λεκάνης Α50-1
Περίοδος Επαναφοράς (Return Period)
1,005 1,01 1,111 1,25 2 5 10 20 100 1.000 10.000
Ύψος ετήσιας βροχόπτωσης (mm)
Συχνότητα (Frequency)
0,005 0,01 0,1 0,2 0,5 0,8 0,9 0,95 0,99 0,999 1
regression Line
reduced variate observed frequencies
lower confidence limit data
upper confidence limit data
Normal Distribution mx = 653,16 sx = 142,77 95% Confidence Interval

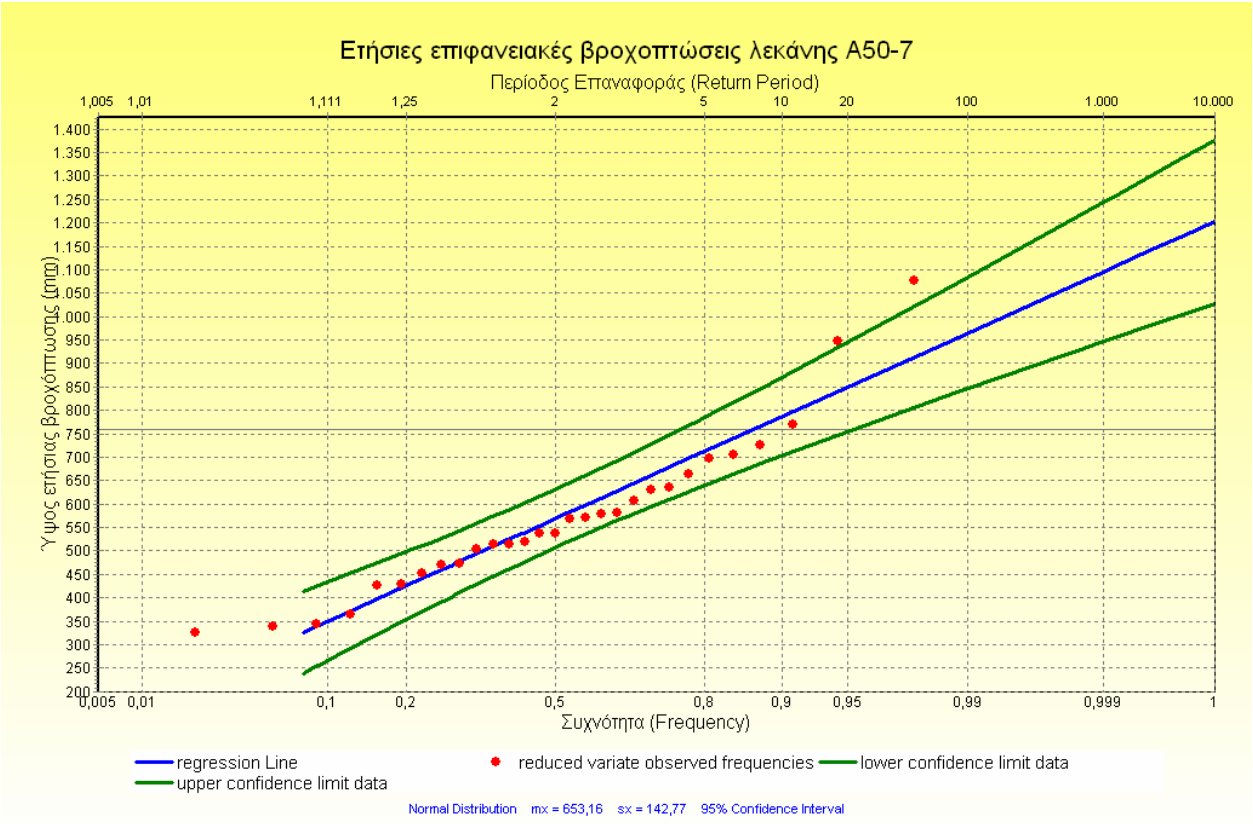

Ετήσιες επιφανειακές βροχοπτώσεις λεκάνης Α50-2
Περίοδος Επαναφοράς (Return Period)
1,005 1,01 1,111 1,25 2 5 10 20 100 1.000 10.000
Ύψος ετήσιας βροχόπτωσης (mm)
Συχνότητα (Frequency)
0,005 0,01 0,1 0,2 0,5 0,8 0,9 0,95 0,99 0,999 1
regression Line
reduced variate observed frequencies
lower confidence limit data
upper confidence limit data
Normal Distribution mx = 653,16 sx = 142,77 95% Confidence Interval

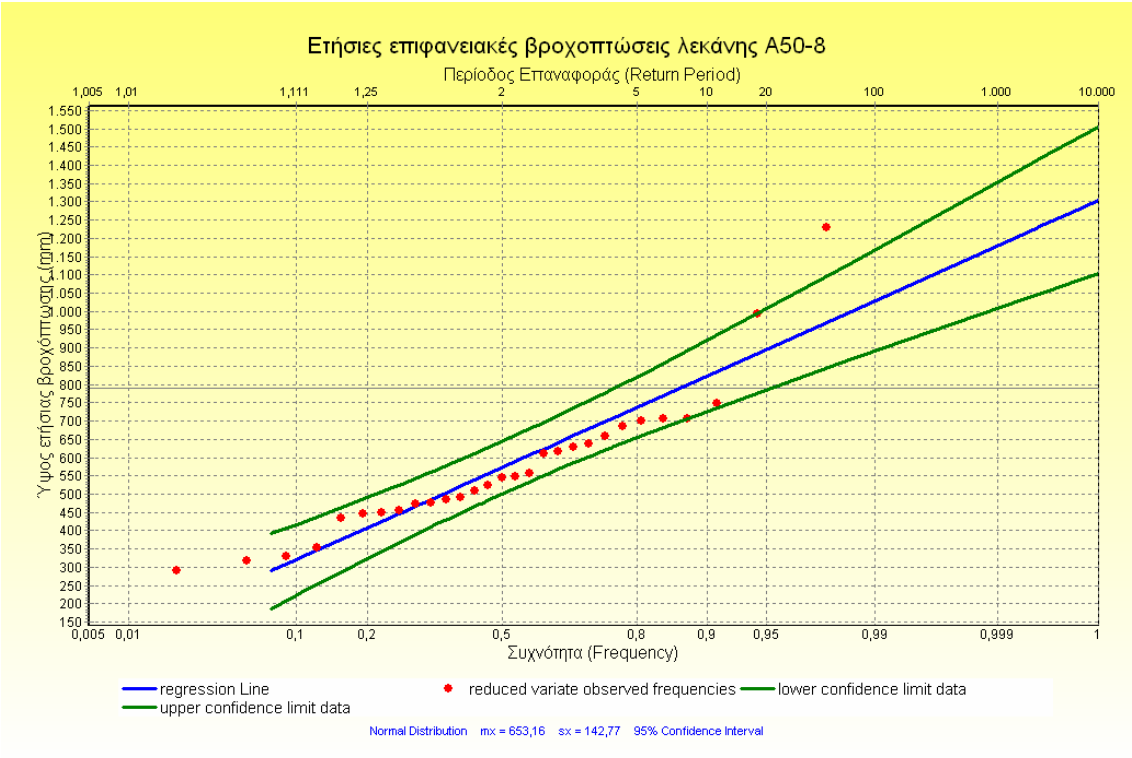

Ετήσιες επιφανειακές βροχοπτώσεις λεκάνης Α50-3
Return period
1,005 1,01 1,111 1,25 2 5 10 20 100 1.000 10.000
reduced variate observed frequencies
Frequencies
0,005 0,01 0,1 0,2 0,5 0,8 0,9 0,95 0,99 0,999 1
regression Line
reduced variate observed frequencies
lower confidence limit data
upper confidence limit data
Normal Distribution mx = 653,16 sx = 142,77 95% Confidence Interval

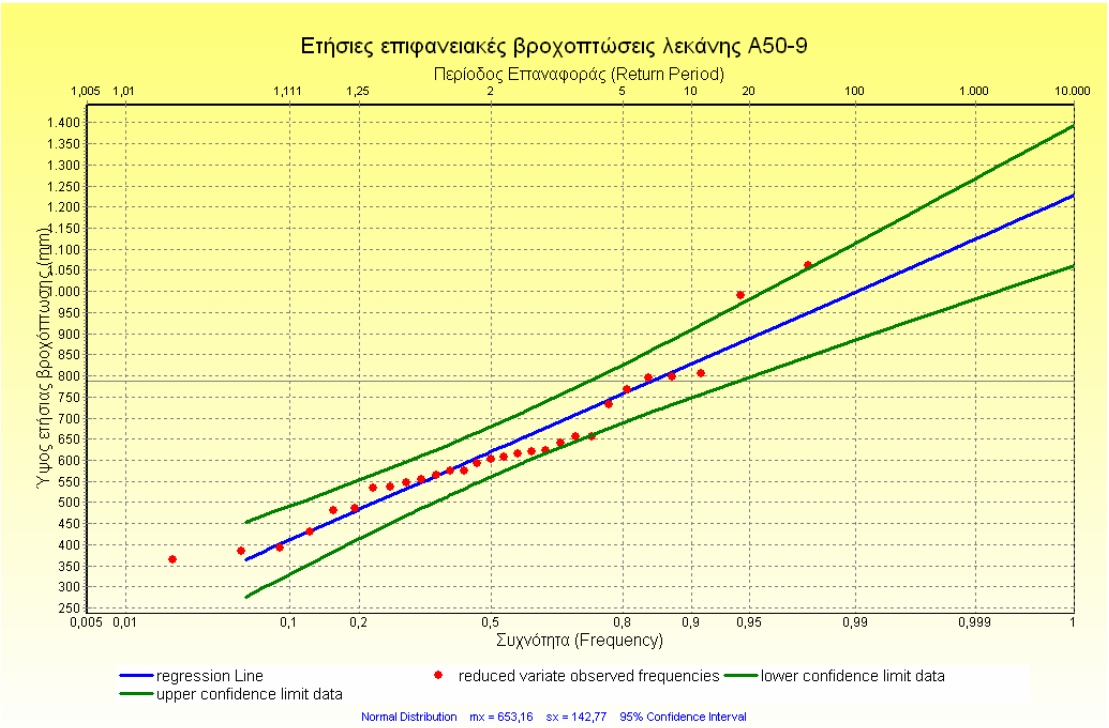

Ετήσιες επιφανειακές βροχοπτώσεις λεκάνης Α50-4
Περίοδος Επαναφοράς (Return Period)
1,005 1,01 1,111 1,25 2 5 10 20 100 1.000 10.000
Ύψος ετήσιας βροχόπτωσης (mm)
Συχνότητα (Frequency)
0,005 0,01 0,1 0,2 0,5 0,8 0,9 0,95 0,99 0,999 1
regression Line
upper confidence limit data
reduced variate observed frequencies
lower confidence limit data
Normal Distribution mx = 653,16 sx = 142,77 95% Confidence Interval


Ετήσιες επιφανειακές βροχοπτώσεις λεκάνης Α50-5
Περίοδος Επαναφοράς (Return Period)
1,005 1,01 1,111 1,25 2 5 10 20 100 1.000 10.000
Ύψος ετήσιας βροχόπτωσης (mm)
Συχνότητα (Frequency)
0,005 0,01 0,1 0,2 0,5 0,8 0,9 0,95 0,99 0,999 1
regression Line
upper confidence limit data
reduced variate observed frequencies
lower confidence limit data
Normal Distribution mx = 653,16 sx = 142,77 95% Confidence Interval


Ετήσιες επιφανειακές βροχοπτώσεις λεκάνης Α50-6
Περίοδος Επαναφοράς (Return Period)
1,005 1,01 1,111 1,25 2 5 10 20 100 1.000 10.000
Ύψος ετήσιας βροχόπτωσης (mm)
Συχνότητα (Frequency)
0,005 0,01 0,1 0,2 0,5 0,8 0,9 0,95 0,99 0,999 1
regression Line
reduced variate observed frequencies
lower confidence limit data
upper confidence limit data
Normal Distribution mx = 653,16 sx = 142,77 95% Confidence Interval

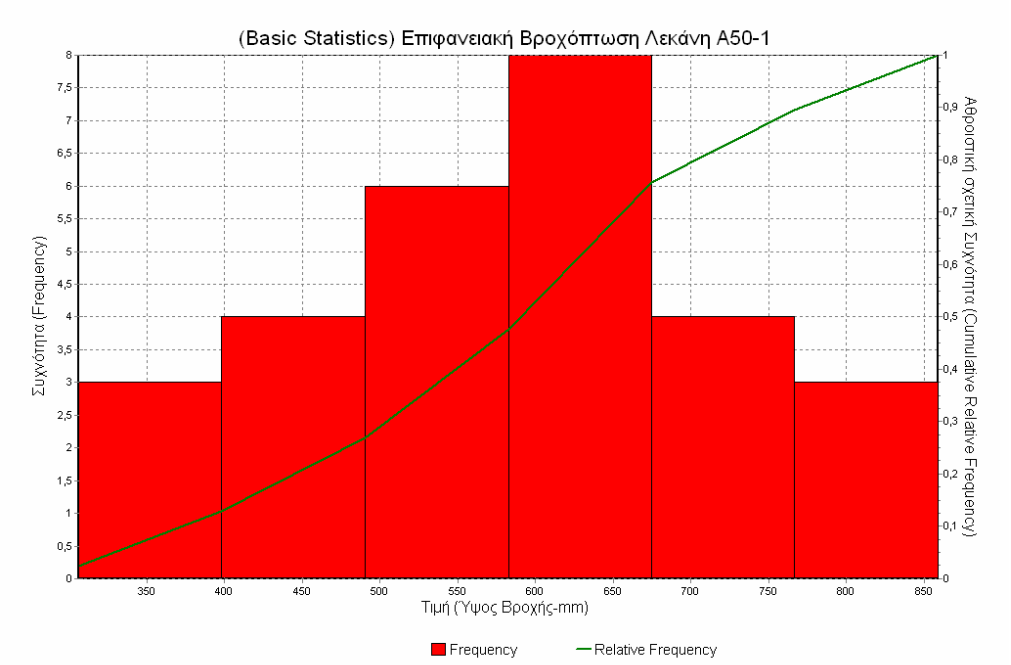

Ετήσιες επιφανειακές βροχοπτώσεις λεκάνης Α50-7
Περίοδος Επαναφοράς (Return Period)
1,005 1,01 1,111 1,25 2 5 10 20 100 1.000 10.000
Ύψος ετήσιας βροχόπτωσης (mm)
Συχνότητα (Frequency)
0,005 0,01 0,1 0,2 0,5 0,8 0,9 0,95 0,99 0,999 1
regression Line
reduced variate observed frequencies
lower confidence limit data
upper confidence limit data
Normal Distribution mx = 653,16 sx = 142,77 95% Confidence Interval

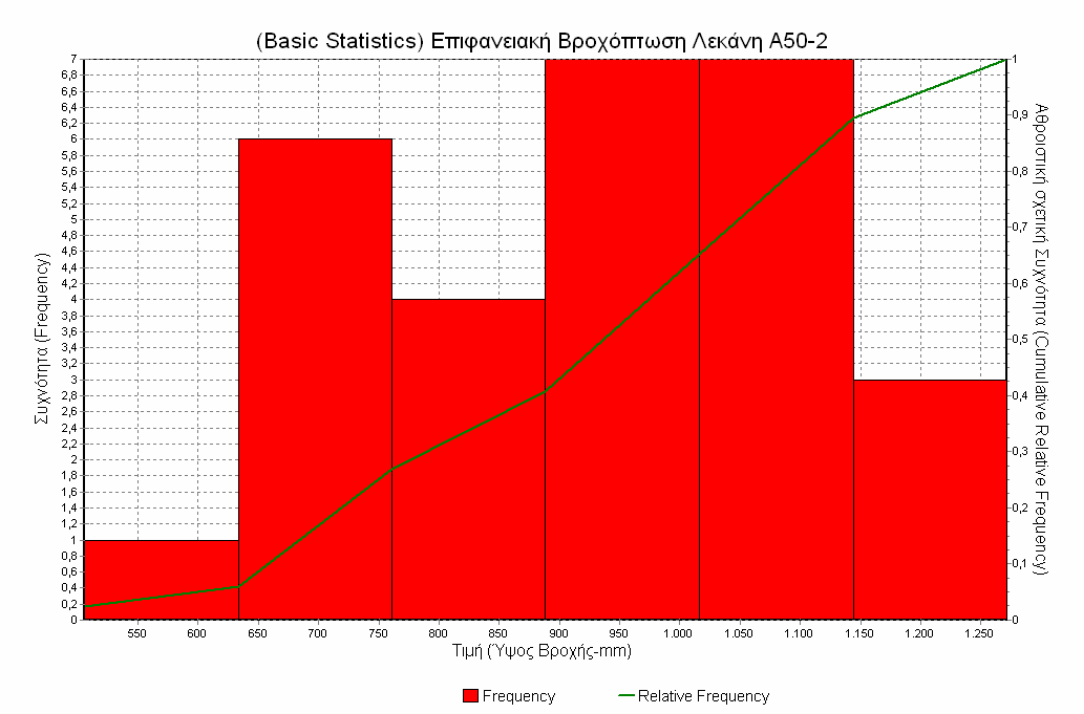

Ετήσιες επιφανειακές βροχοπτώσεις λεκάνης Α50-8
Περίοδος Επαναφοράς (Return Period)
1,005 1,01 1,111 1,25 2 5 10 20 100 1.000 10.000
Ύψος ετήσιας βροχόπτωσης (mm)
1.550 1.500 1.450 1.400 1.350 1.300 1.250 1.200 1.150 1.100 1.050 1.000 950 900 850 800 750 700 650 600 550 500 450 400 350 300 250 200 150
0,005 0,01 0,1 0,2 0,5 0,8 0,9 0,95 0,99 0,999 1
Συχνότητα (Frequency)
regression Line
reduced variate observed frequencies
lower confidence limit data
upper confidence limit data
Normal Distribution mx = 653,16 sx = 142,77 95% Confidence Interval

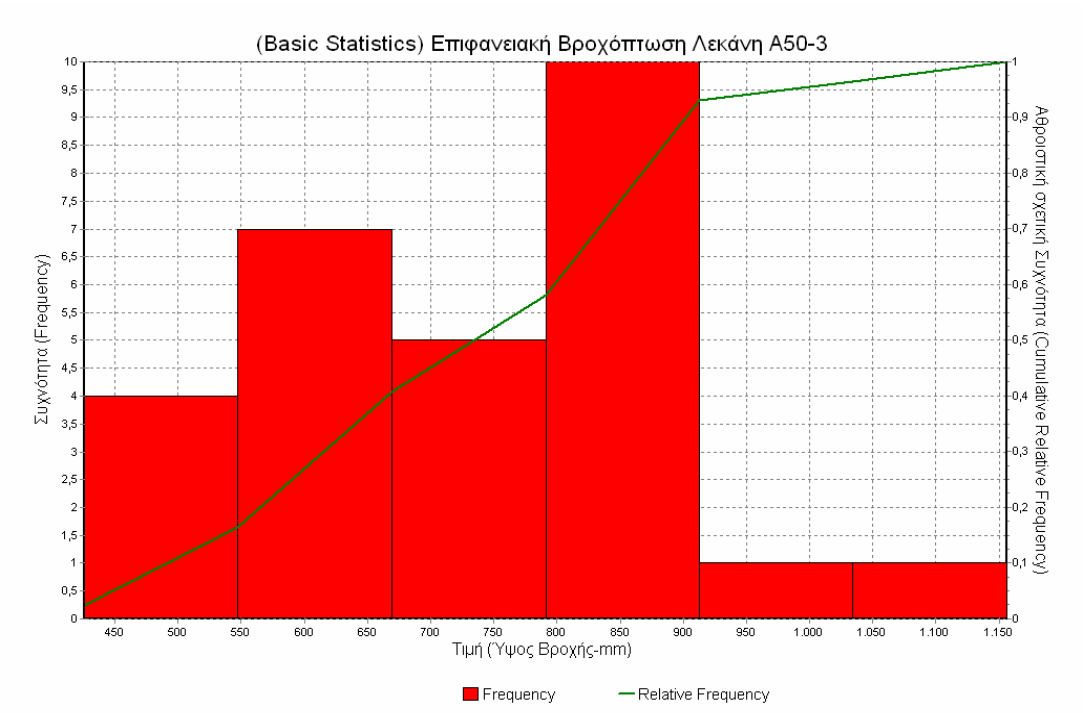

Ετήσιες επιφανειακές βροχοπτώσεις λεκάνης Α50-9
Περίοδος Επαναφοράς (Return Period)
1,005 1,01 1,111 1,25 2 5 10 20 100 1.000 10.000
Ύψος ετήσιας βροχόπτωσης (mm)
1.400 1.350 1.300 1.250 1.200 1.150 1.100 1.050 1.000 950 900 850 800 750 700 650 600 550 500 450 400 350 300 250
0,005 0,01 0,1 0,2 0,5 0,8 0,9 0,95 0,99 0,999 1
Συχνότητα (Frequency)
regression Line
reduced variate observed frequencies
lower confidence limit data
upper confidence limit data
Normal Distribution mx = 653,16 sx = 142,77 95% Confidence Interval

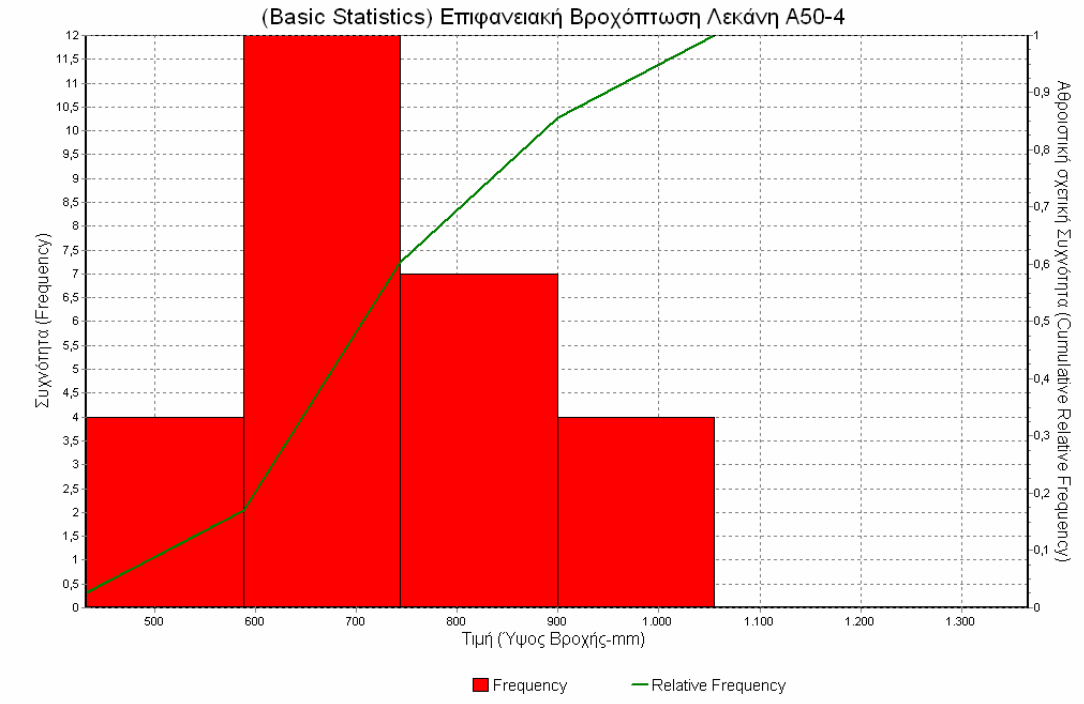
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ 1 – V

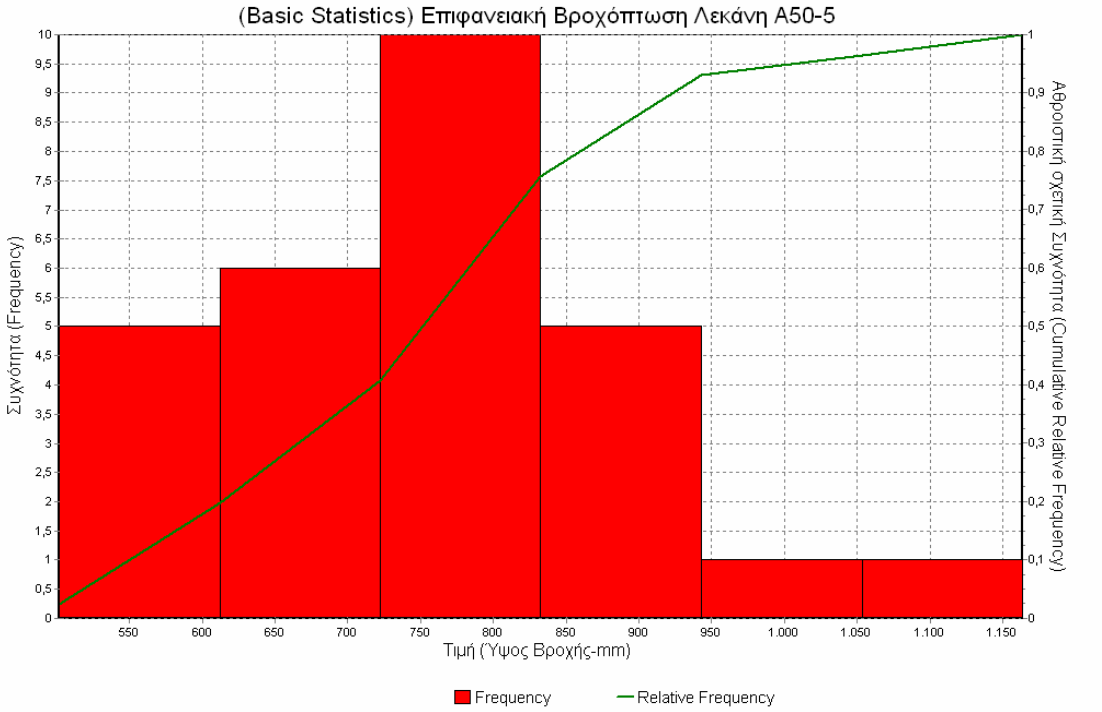
ΙΣΤΟΓΡΑΜΜΑΤΑ ΕΤΗΣΙΑΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ ΛΕΚΑΝΩΝ ΜΕΣΑΡΑΣ

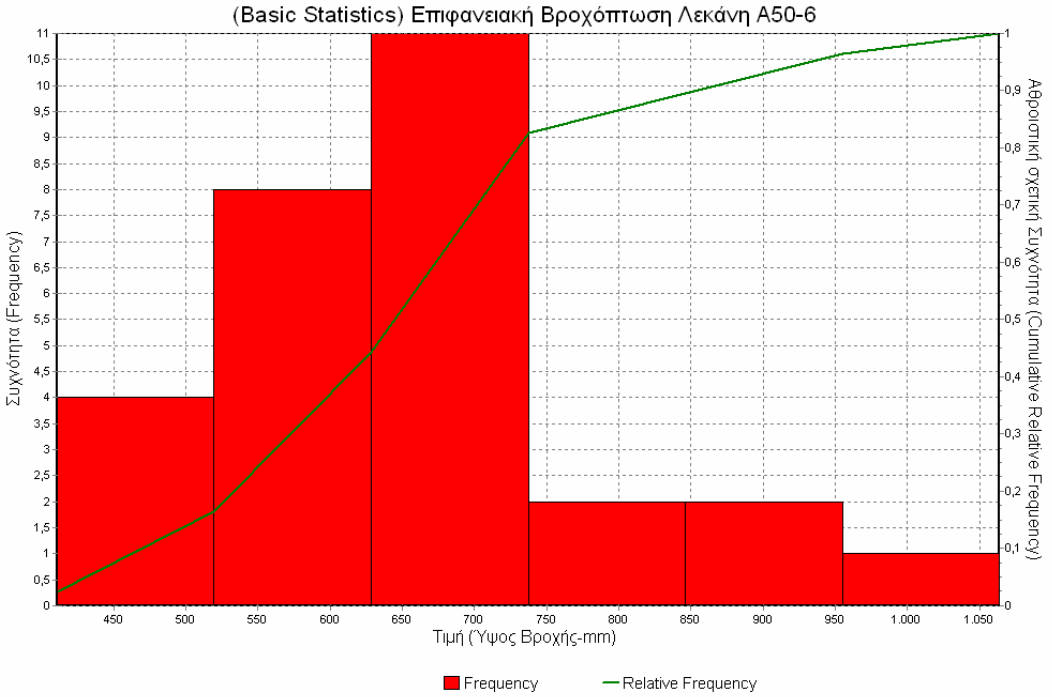

(Basic Statistics) Επιφανειακή Βροχόπτωση Λεκάνη Α50-1
Συχνότητα (Frequency)
Αθροιστική σχετική Συχνότητα (Cumulative Relative Frequency)
Τιμή (Ύψος Βροχής-mm)
Frequency
Relative Frequency

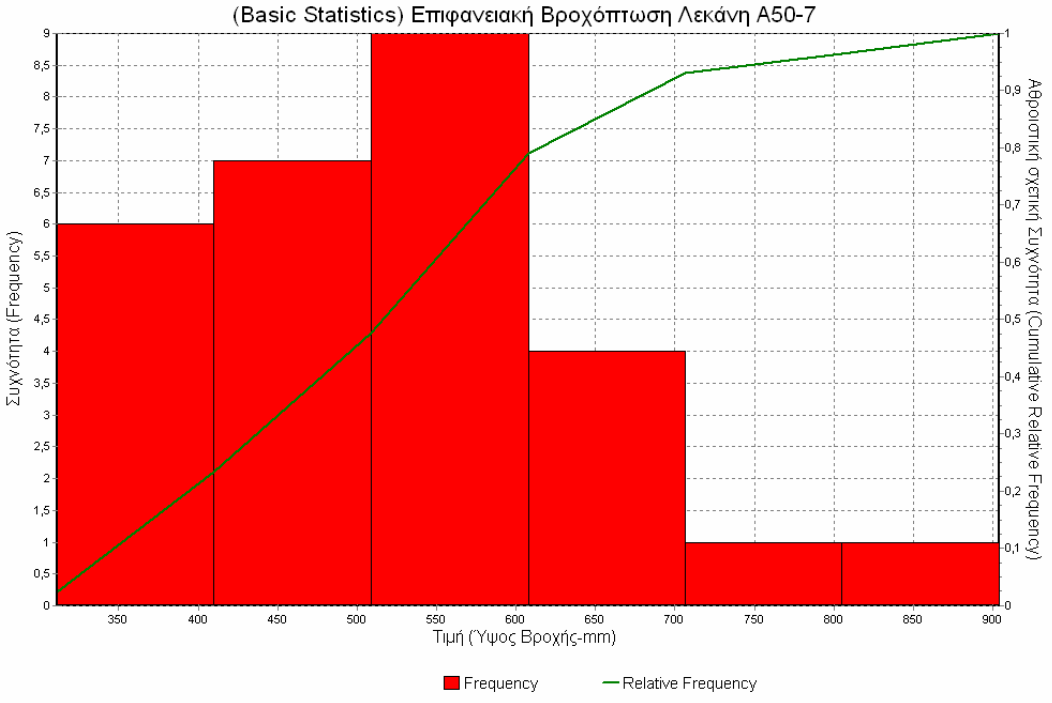

(Basic Statistics) Επιφανειακή Βροχόπτωση Λεκάνη Α50-2
Συχνότητα (Frequency)
Αθροιστική σχετική Συχνότητα (Cumulative Relative Frequency)
Τιμή (Ύψος Βροχής-mm)
Frequency
Relative Frequency

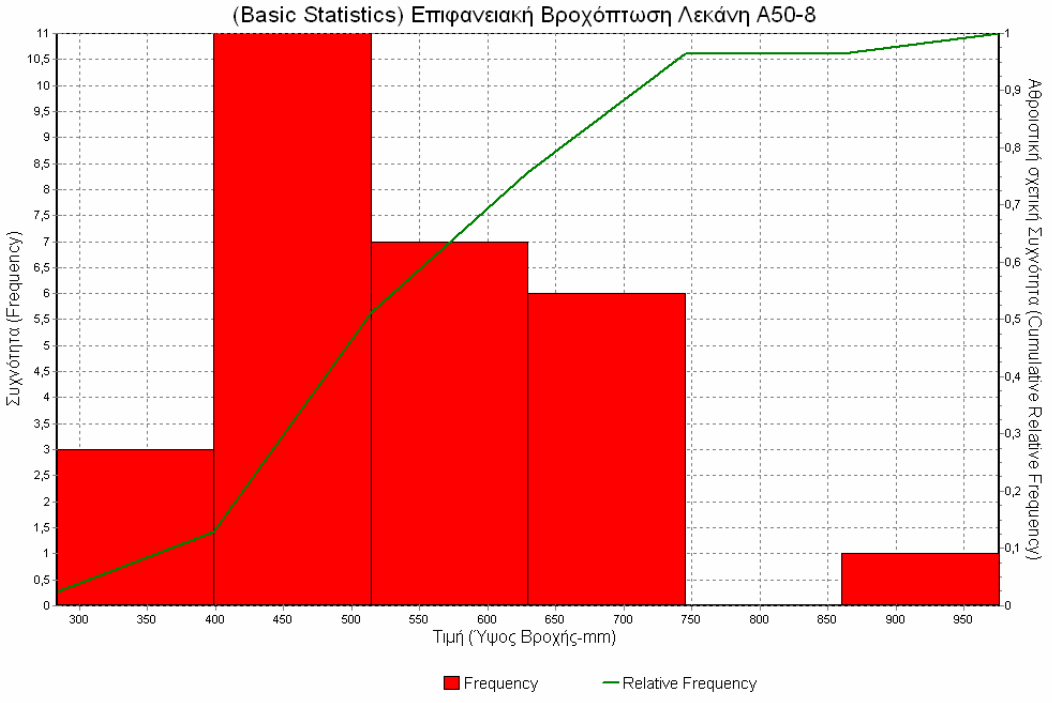

(Basic Statistics) Επιφανειακή Βροχόπτωση Λεκάνη Α50-3
Συχνότητα (Frequency)
Αθροιστική σχετική Συχνότητα (Cumulative Relative Frequency)
Τιμή (Ύψος Βροχής-mm)
Frequency
Relative Frequency


(Basic Statistics) Επιφανειακή Βροχόπτωση Λεκάνη Α50-4
Συχνότητα (Frequency)
Αθροιστική σχετική Συχνότητα (Cumulative Relative Frequency)
Τιμή (Ύψος Βροχής-mm)
Frequency
Relative Frequency


(Basic Statistics) Επιφανειακή Βροχόπτωση Λεκάνη Α50-5
Συχνότητα (Frequency)
Αθροιστική σχετική Συχνότητα (Cumulative Relative Frequency)
Τιμή (Ύψος Βροχής-mm)
Frequency
Relative Frequency

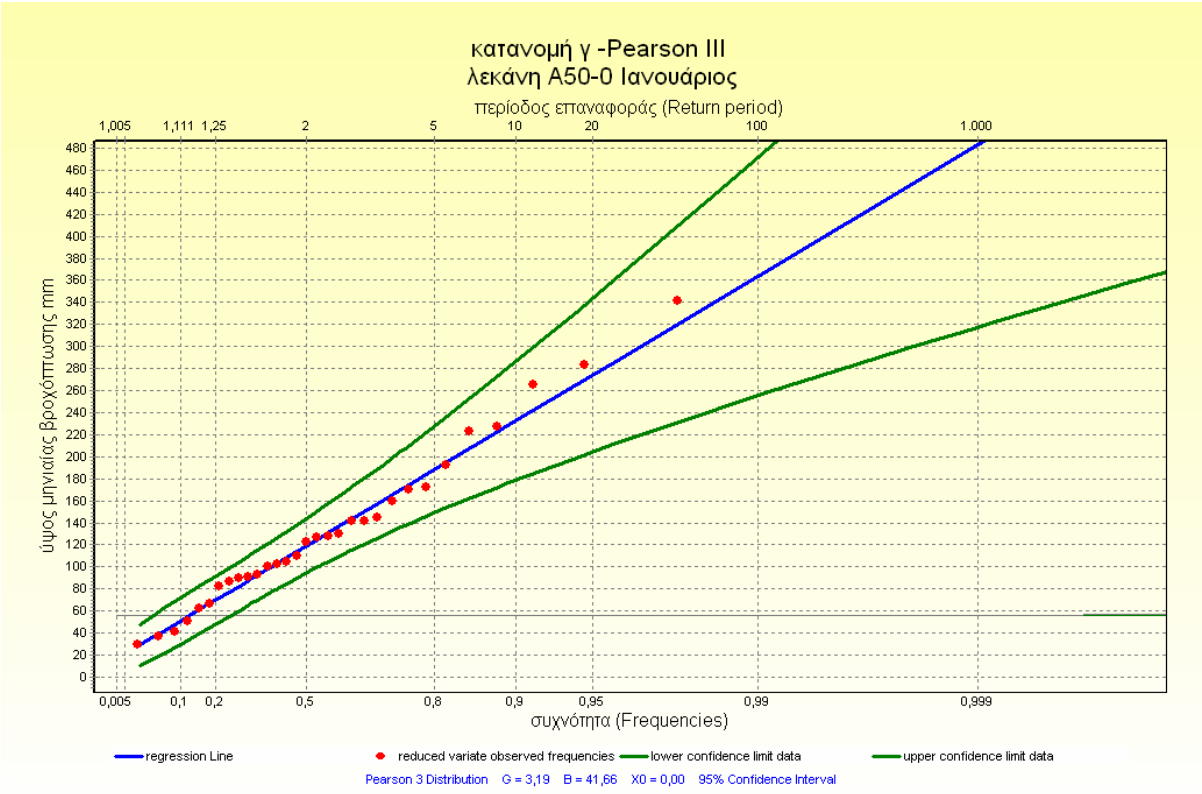

(Basic Statistics) Επιφανειακή Βροχόπτωση Λεκάνη Α50-6
Συχνότητα (Frequency)
Αθροιστική σχετική Συχνότητα (Cumulative Relative Frequency)
Τιμή (Ύψος Βροχής-mm)
Frequency
Relative Frequency

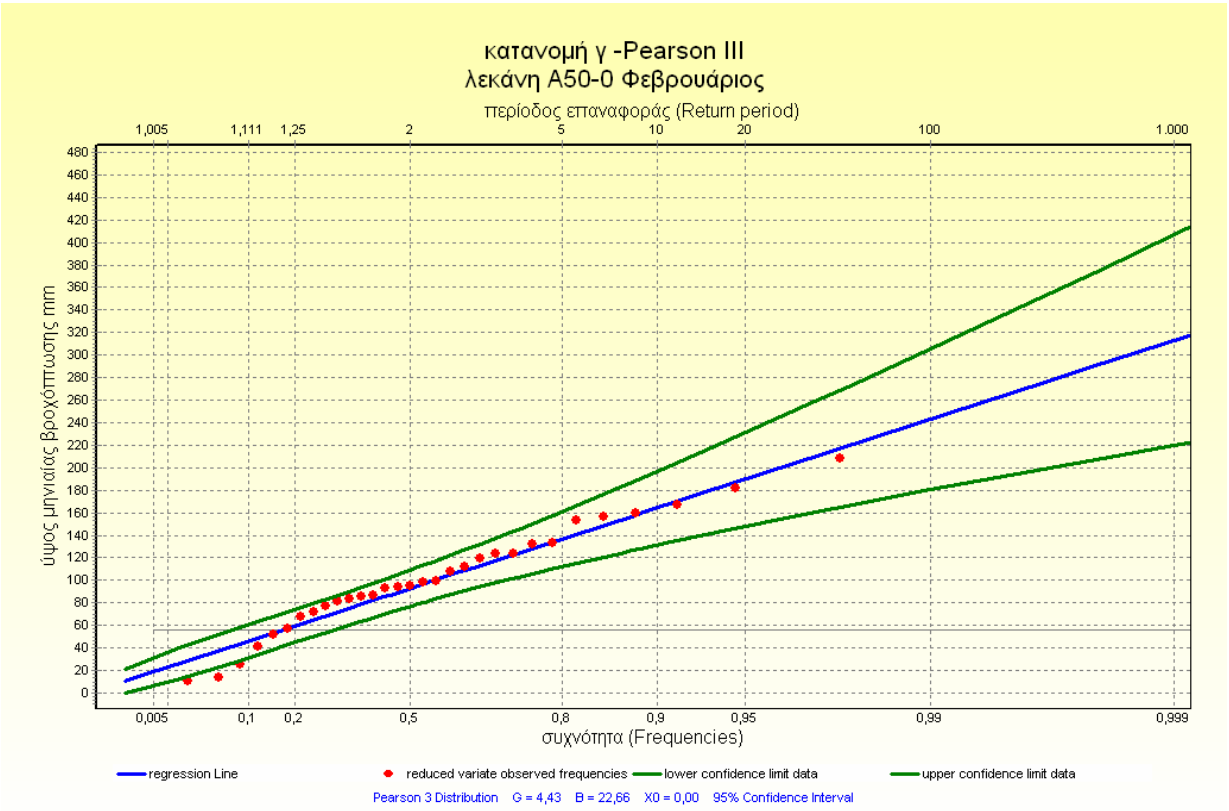

(Basic Statistics) Επιφανειακή Βροχόπτωση Λεκάνη A50-7
Συχνότητα (Frequency)
Αθροιστική σχετική Συχνότητα (Cumulative Relative Frequency)
Τιμή (Ύψος Βροχής-mm)
Frequency
Relative Frequency

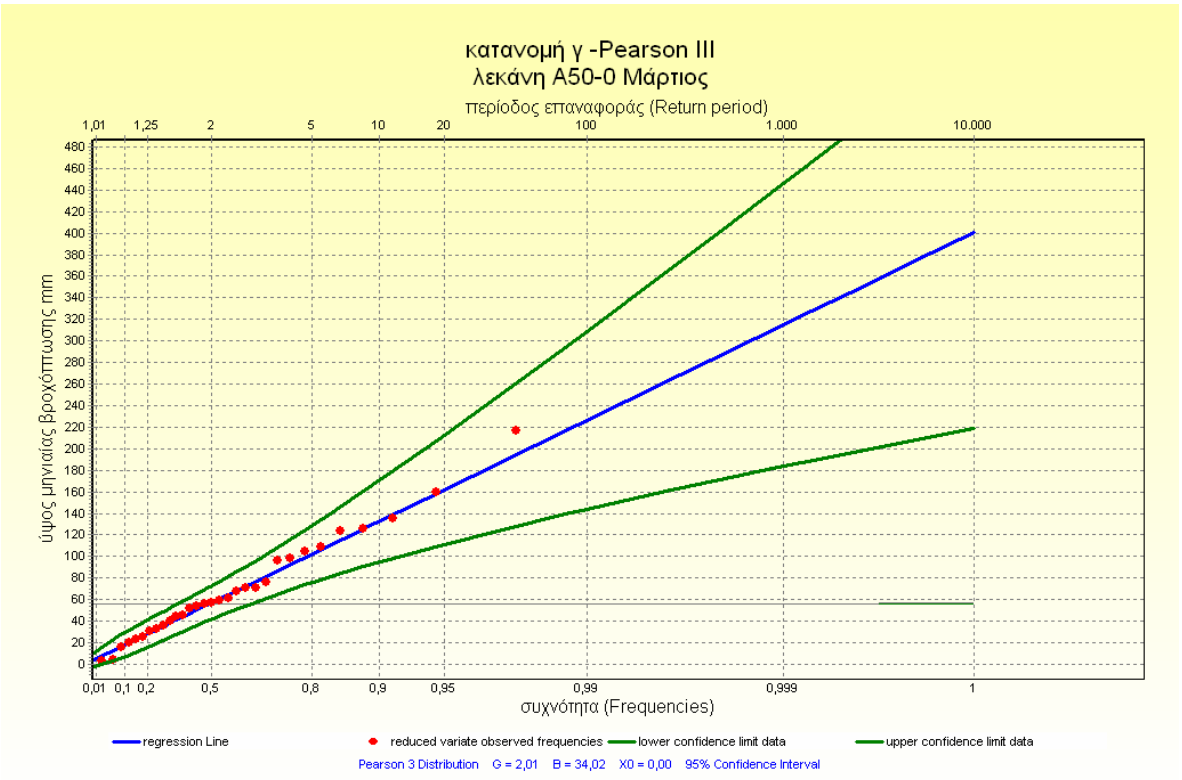

(Basic Statistics) Επιφανειακή Βροχόπτωση Λεκάνη A50-8
Συχνότητα (Frequency)
Αθροιστική σχετική Συχνότητα (Cumulative Relative Frequency)
Τιμή (Ύψος Βροχής-mm)
Frequency
Relative Frequency

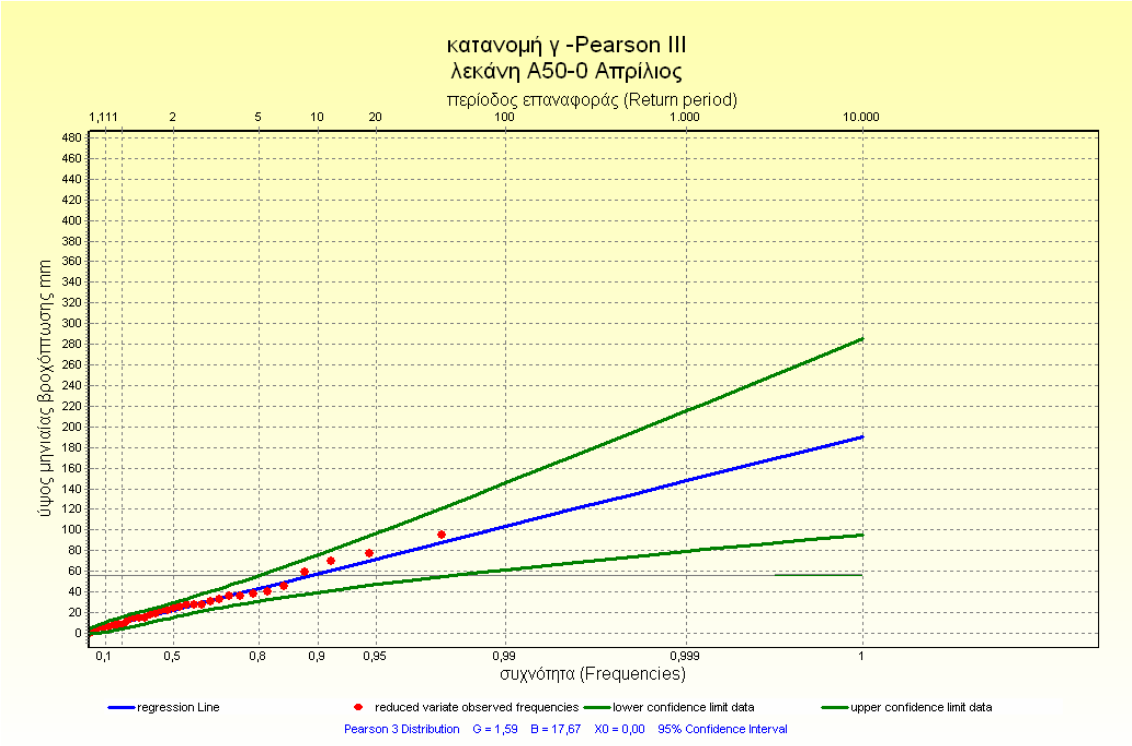
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ 1 – VI

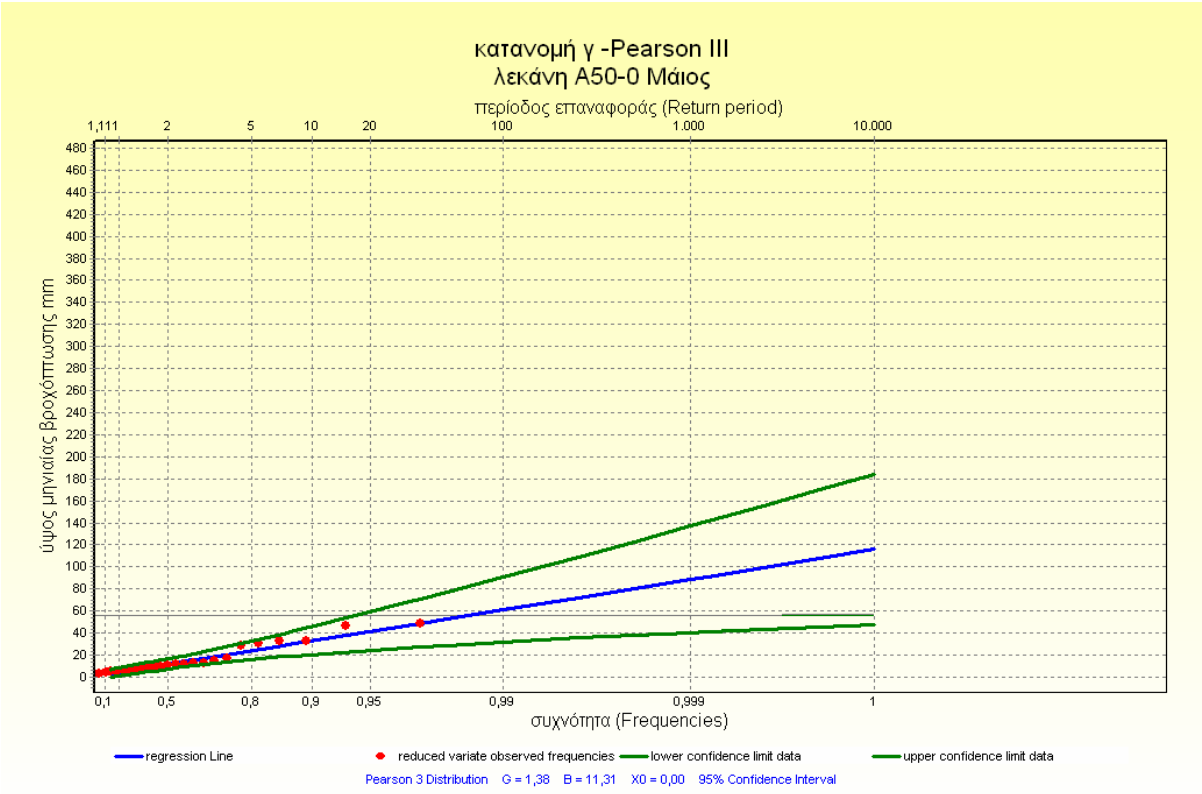
ΕΜΠΕΙΡΙΚΕΣ & ΘΕΩΡΗΤΙΚΕΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΤΩΝ ΜΗΝΙΑΙΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΩΝ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΕΩΝ ΛΕΚΑΝΩΝ ΜΕΣΑΡΑΣ ΣΕ ΧΑΡΤΙ ΚΑΝΟΝΙΚΗΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ

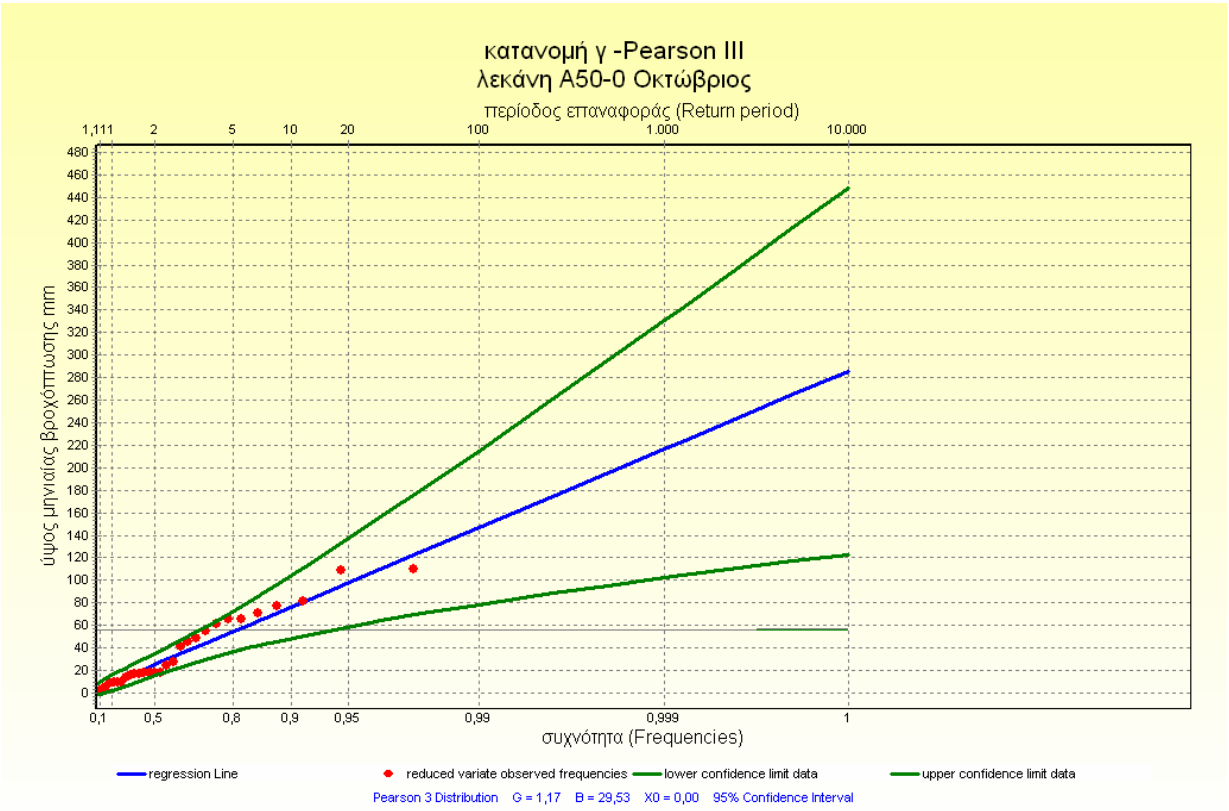

κατανομή γ -Pearson III
λεκάνη Α50-0 Ιανουάριος
περίοδος επαναφοράς (Return period)
1,005 1,111 1,25 2 5 10 20 100 1.000
ύψος μηνιαίας βροχόπτωσης mm
0 20 40 60 80 100 120 140 160 180 200 220 240 260 280 300 320 340 360 380 400 420 440 460 480
0,005 0,1 0,2 0,5 0,8 0,9 0,95 0,99 0,999
συχνότητα (Frequencies)
regression Line
reduced variate observed frequencies
lower confidence limit data
upper confidence limit data
Pearson 3 Distribution G = 3,19 B = 41,66 X0 = 0,00 95% Confidence Interval

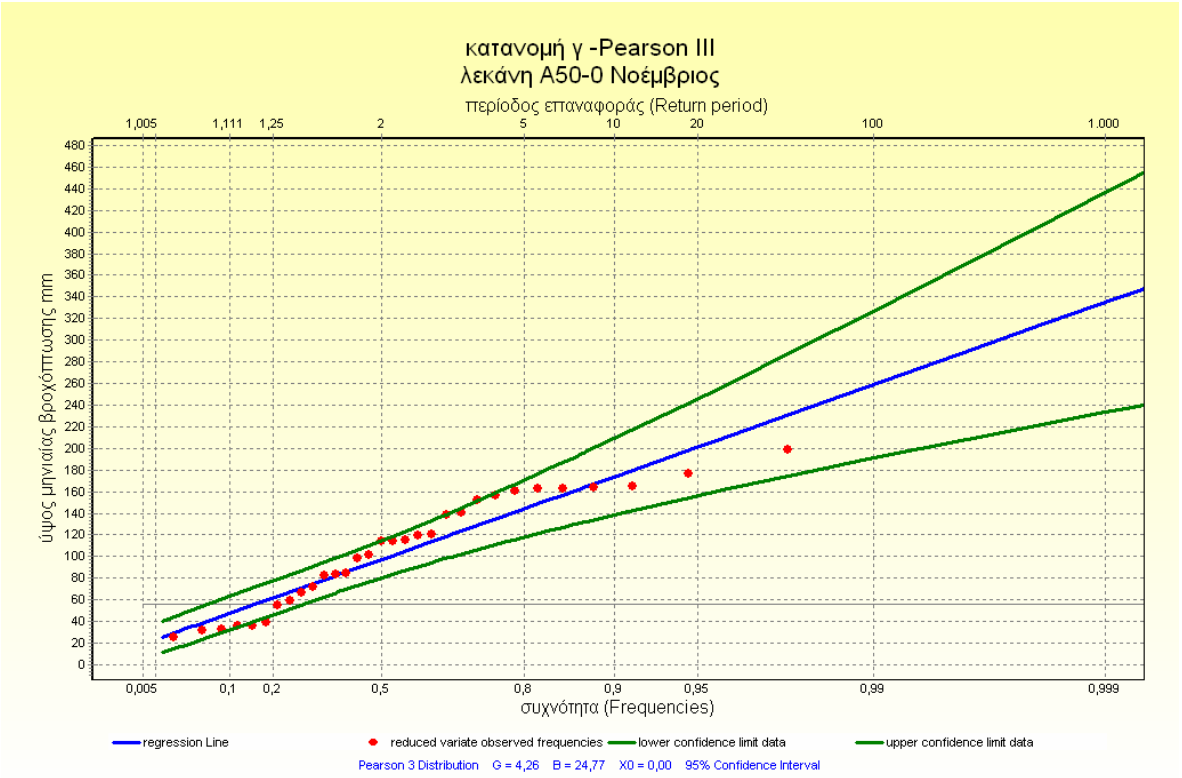

κατανομή γ -Pearson III
λεκάνη Α50-0 Φεβρουάριος
περίοδος επαναφοράς (Return period)
1,005 1,111 1,25 2 5 10 20 100 1.000
ύψος μηνιαίας βροχόπτωσης mm
0 20 40 60 80 100 120 140 160 180 200 220 240 260 280 300 320 340 360 380 400 420 440 460 480
0,005 0,1 0,2 0,5 0,8 0,9 0,95 0,99 0,999
συχνότητα (Frequencies)
regression Line
reduced variate observed frequencies
lower confidence limit data
upper confidence limit data
Pearson 3 Distribution G = 4,43 B = 22,66 X0 = 0,00 95% Confidence Interval

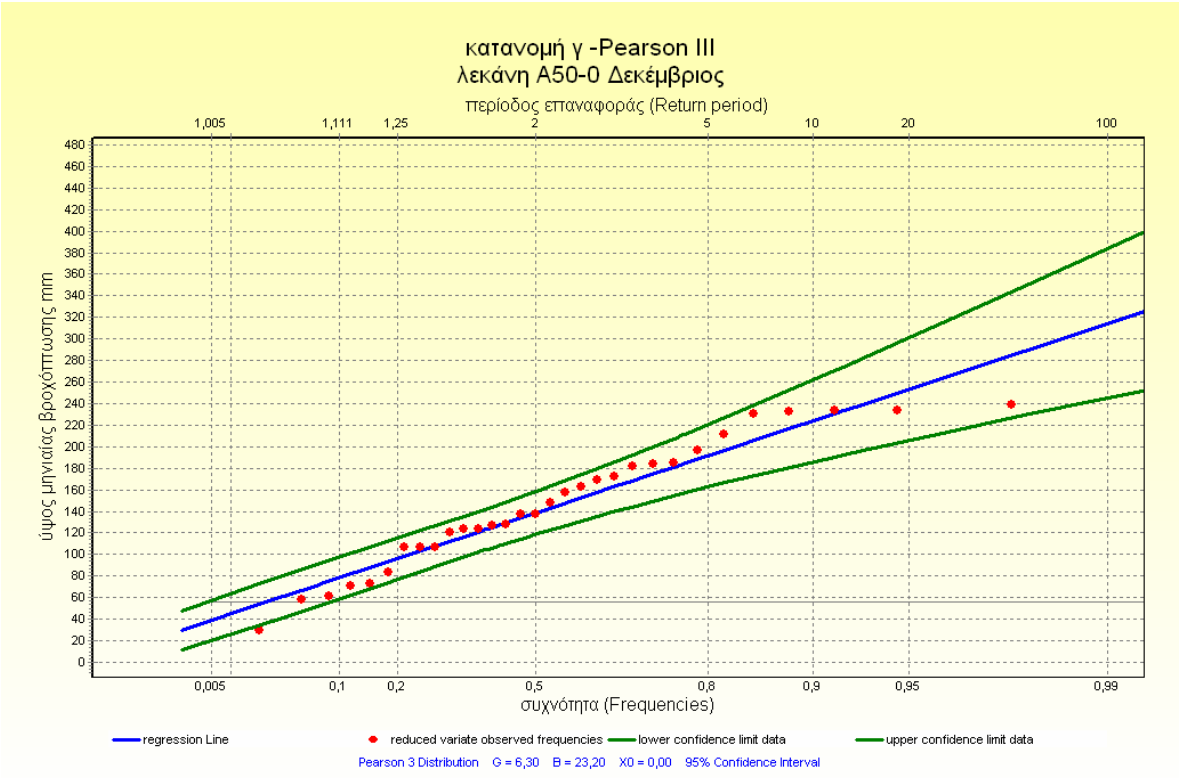

κατανομή γ -Pearson III
λεκάνη A50-0 Μάρτιος
περίοδος επαναφοράς (Return period)
1,01 1,25 2 5 10 20 100 1.000 10.000
ύψος μηνιαίας βροχόπτωσης mm
0,01 0,1 0,2 0,5 0,8 0,9 0,95 0,99 0,999 1
συχνότητα (Frequencies)
regression Line
reduced variate observed frequencies
lower confidence limit data
upper confidence limit data
Pearson 3 Distribution G = 2,01 B = 34,02 X0 = 0,00 95% Confidence Interval

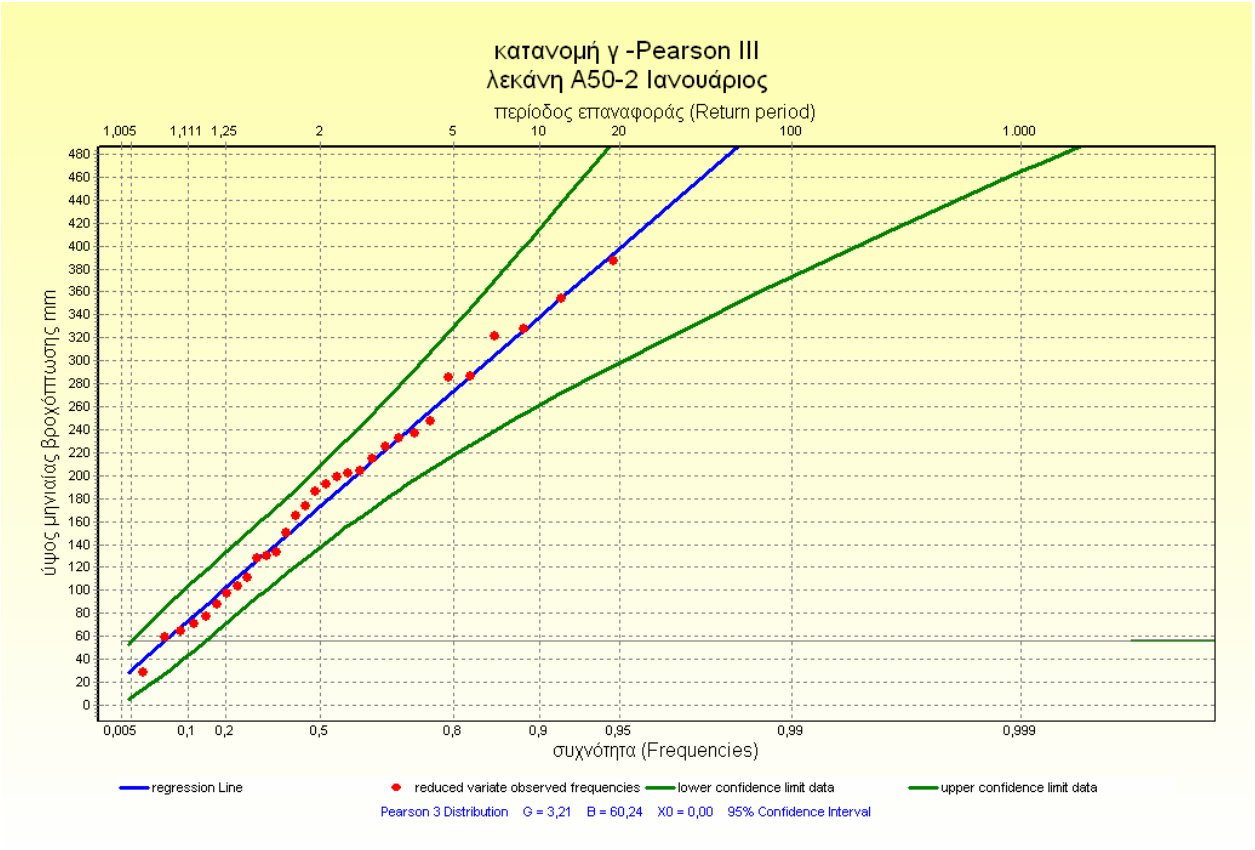

κατανομή γ -Pearson III
λεκάνη A50-0 Απρίλιος
περίοδος επαναφοράς (Return period)
1,111 2 5 10 20 100 1.000 10.000
ύψος μηνιαίας βροχόπτωσης mm
0,1 0,5 0,8 0,9 0,95 0,99 0,999 1
συχνότητα (Frequencies)
regression Line
reduced variate observed frequencies
lower confidence limit data
upper confidence limit data
Pearson 3 Distribution G = 1,59 B = 17,67 X0 = 0,00 95% Confidence Interval

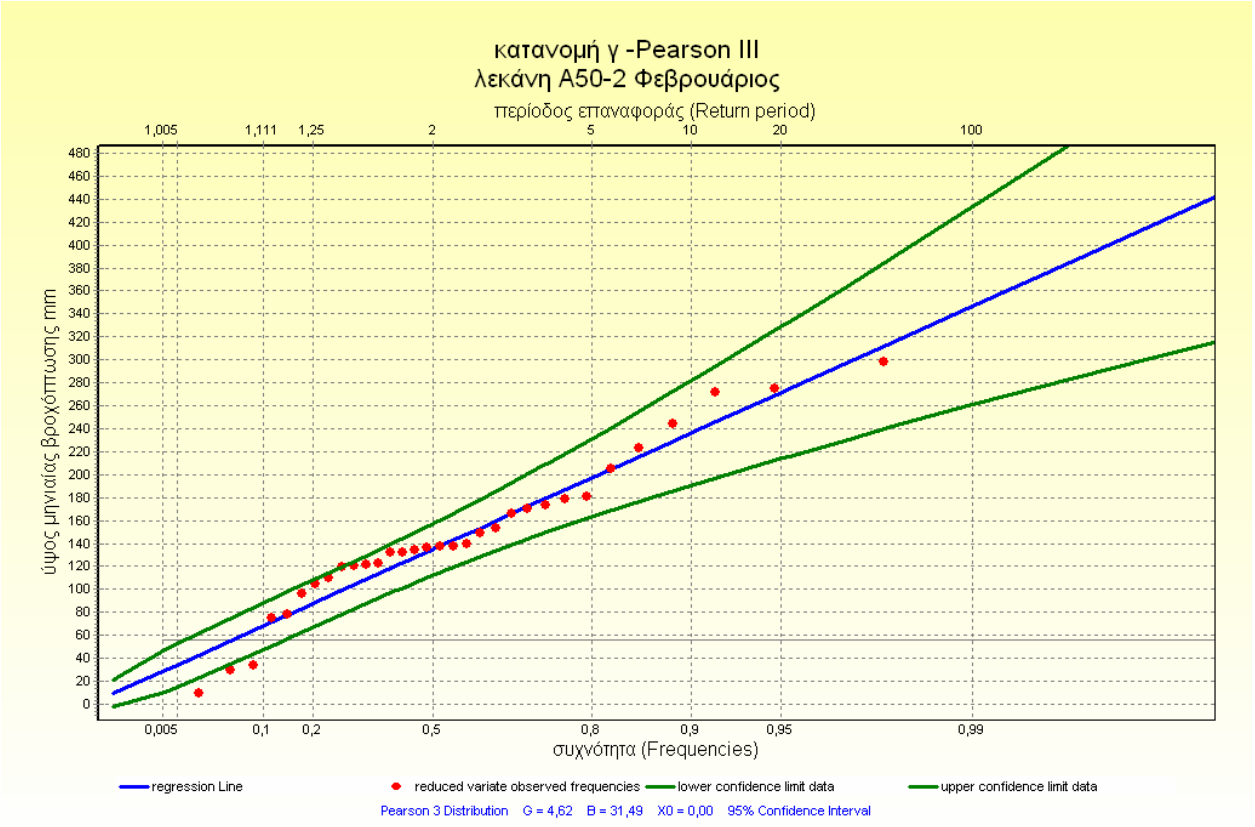

κατανομή γ -Pearson III
λεκάνη A50-0 Μάιος
περίοδος επαναφοράς (Return period)
1,111
2
5
10
20
100
1.000
10.000
ύψος μηνιαίας βροχόπτωσης mm
συχνότητα (Frequencies)
0,1
0,5
0,8
0,9
0,95
0,99
0,999
1
regression Line
reduced variate observed frequencies
lower confidence limit data
upper confidence limit data
Pearson 3 Distribution G = 1,38 B = 11,31 X0 = 0,00 95% Confidence Interval

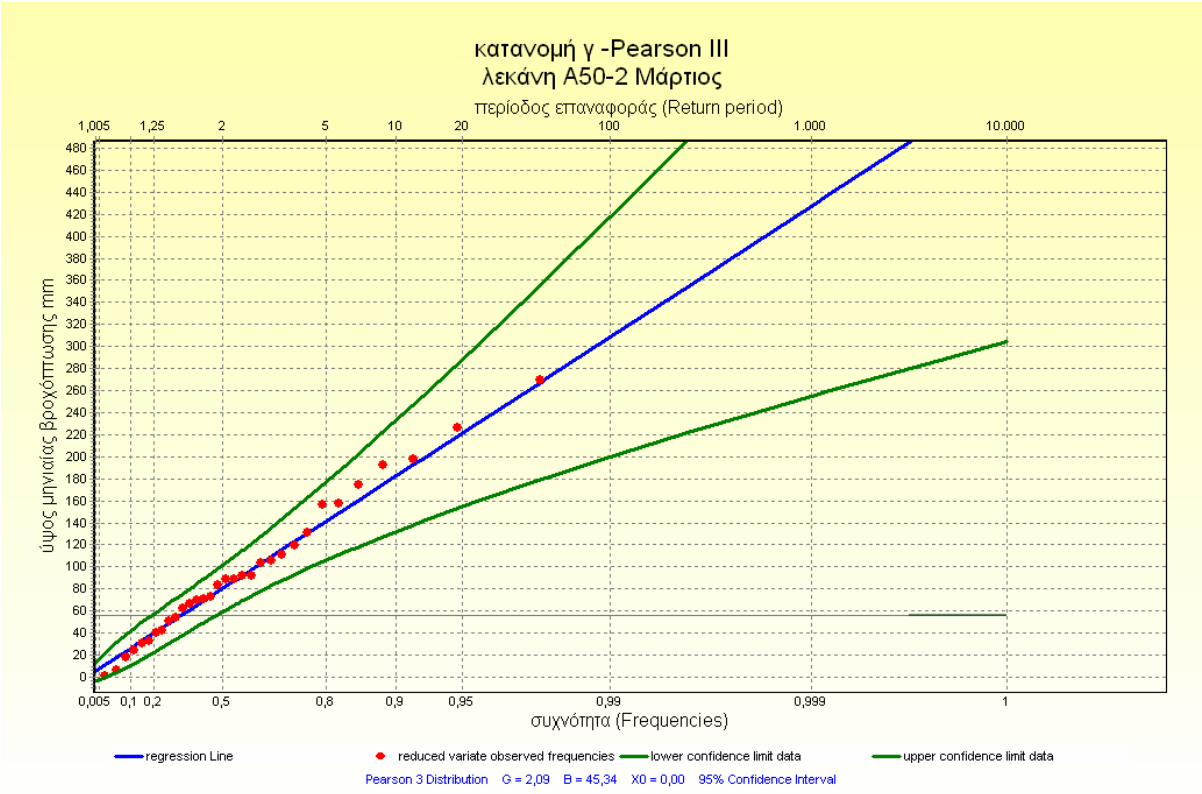

κατανομή γ -Pearson III
λεκάνη A50-0 Οκτώβριος
περίοδος επαναφοράς (Return period)
1,111
2
5
10
20
100
1.000
10.000
ύψος μηνιαίας βροχόπτωσης mm
συχνότητα (Frequencies)
0,1
0,5
0,8
0,9
0,95
0,99
0,999
1
regression Line
reduced variate observed frequencies
lower confidence limit data
upper confidence limit data
Pearson 3 Distribution G = 1,17 B = 29,53 X0 = 0,00 95% Confidence Interval

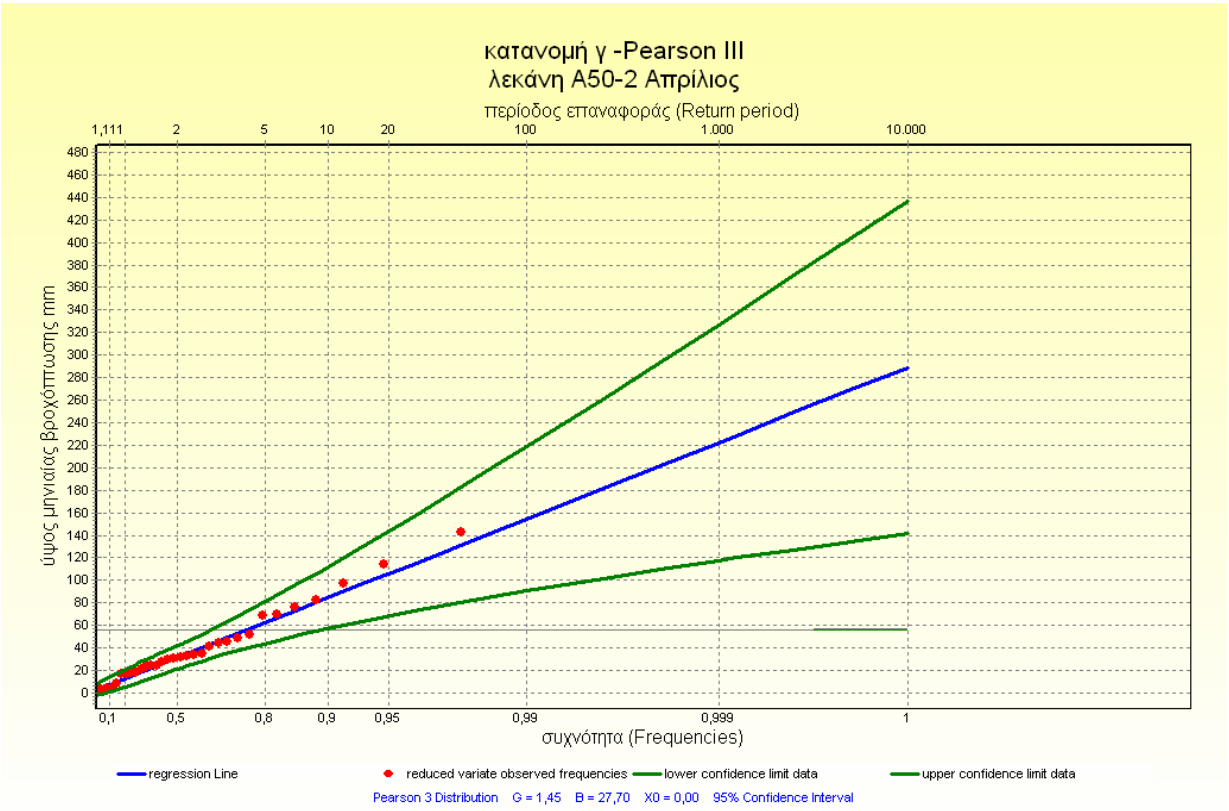

κατανομή γ -Pearson III
λεκάνη A50-0 Νοέμβριος
περίοδος επαναφοράς (Return period)
1,005
1,111
1,25
2
5
10
20
100
1.000
ύψος μηνιαίας βροχόπτωσης mm
συχνότητα (Frequencies)
0,005
0,1
0,2
0,5
0,8
0,9
0,95
0,99
0,999
regression Line
reduced variate observed frequencies
lower confidence limit data
upper confidence limit data
Pearson 3 Distribution G = 4,26 B = 24,77 X0 = 0,00 95% Confidence Interval

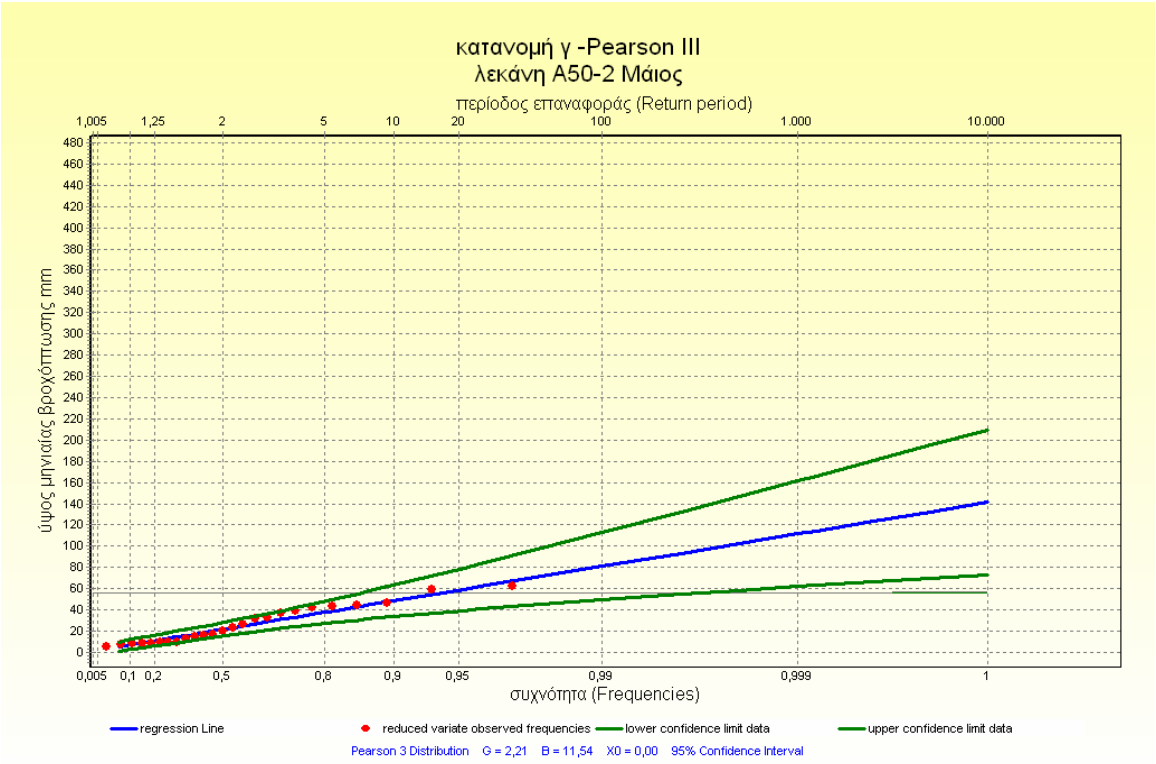

κατανομή γ -Pearson III
λεκάνη A50-0 Δεκέμβριος
περίοδος επαναφοράς (Return period)
1,005
1,111
1,25
2
5
10
20
100
ύψος μηνιαίας βροχόπτωσης mm
συχνότητα (Frequencies)
0,005
0,1
0,2
0,5
0,8
0,9
0,95
0,99
regression Line
reduced variate observed frequencies
lower confidence limit data
upper confidence limit data
Pearson 3 Distribution G = 6,30 B = 23,20 X0 = 0,00 95% Confidence Interval

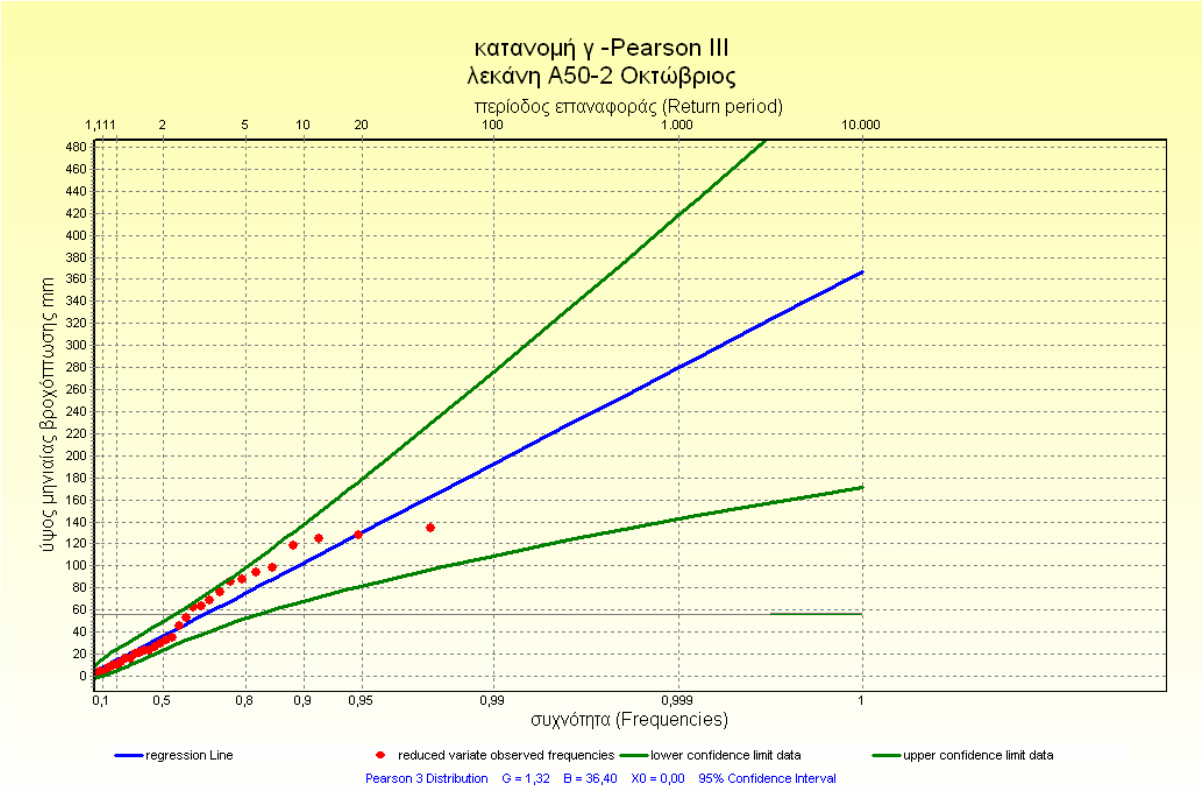

κατανομή γ -Pearson III
λεκάνη A50-2 Ιανουάριος
περίοδος επαναφοράς (Return period)
1,005
1,111
1,25
2
5
10
20
100
1.000
ύψος μηνιαίας βροχόπτωσης mm
συχνότητα (Frequencies)
0,005
0,1
0,2
0,5
0,8
0,9
0,95
0,99
0,999
regression Line
reduced variate observed frequencies
lower confidence limit data
upper confidence limit data
Pearson 3 Distribution G = 3,21 B = 60,24 X0 = 0,00 95% Confidence Interval

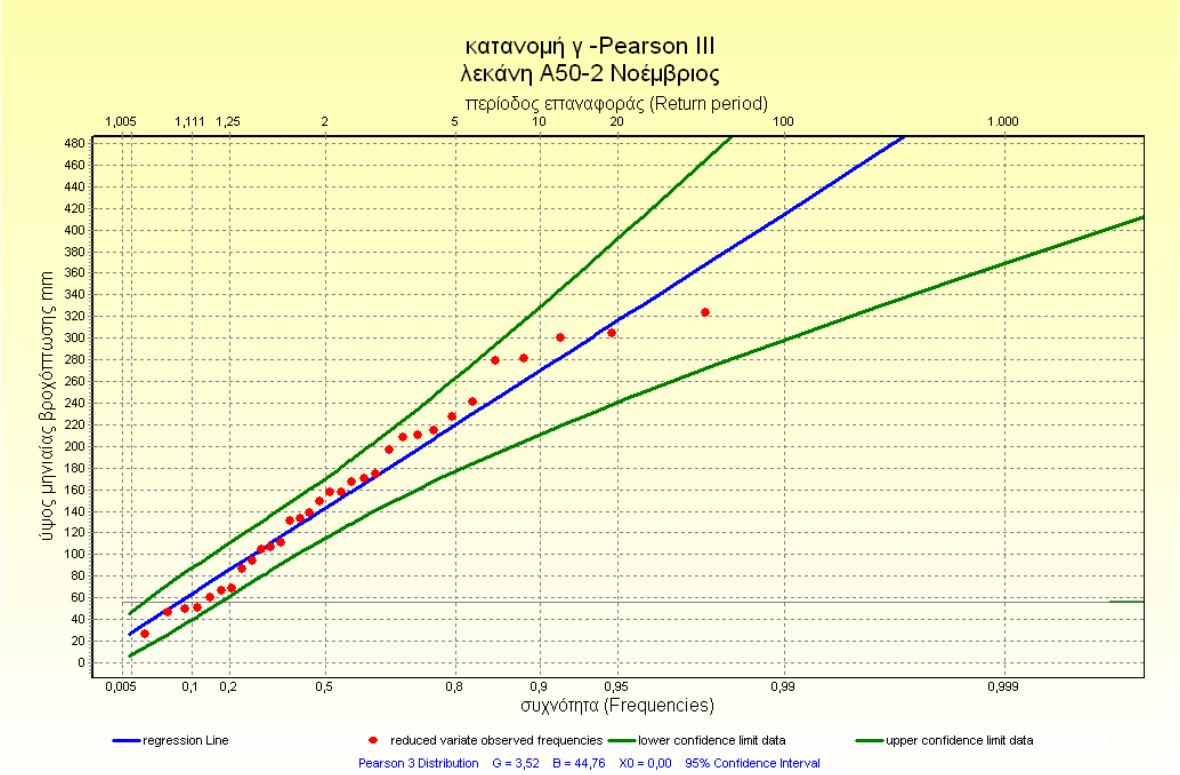

κατανομή γ -Pearson III
λεκάνη A50-2 Φεβρουάριος
περίοδος επαναφοράς (Return period)
1,005
1,111
1,25
2
5
10
20
100
ύψος μηνιαίας βροχόπτωσης mm
συχνότητα (Frequencies)
0,005
0,1
0,2
0,5
0,8
0,9
0,95
0,99
regression Line
reduced variate observed frequencies
lower confidence limit data
upper confidence limit data
Pearson 3 Distribution G = 4,62 B = 31,49 X0 = 0,00 95% Confidence Interval

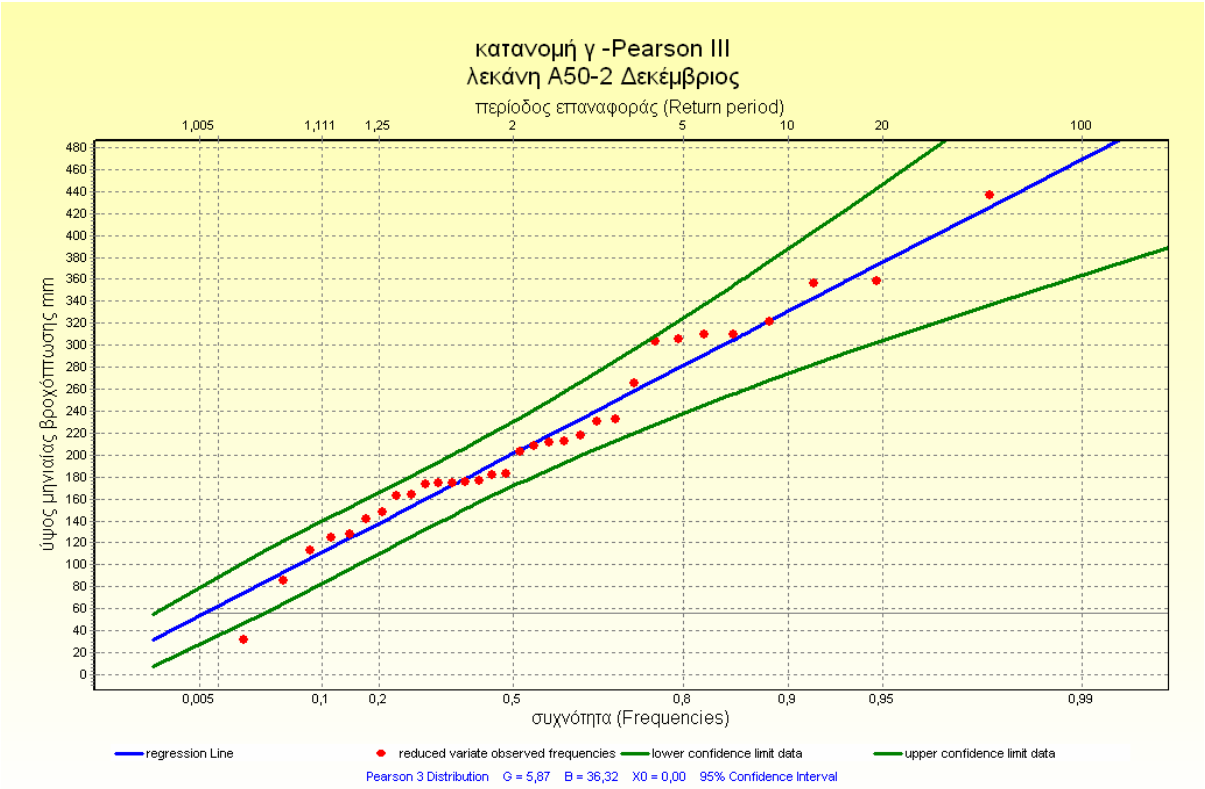

κατανομή γ -Pearson III
λεκάνη Α50-2 Μάρτιος
περίοδος επαναφοράς (Return period)
1,005 1,25 2 5 10 20 100 1.000 10.000
ύψος μηνιαίας βροχόπτωσης mm
0,005 0,1 0,2 0,5 0,8 0,9 0,95 0,99 0,999 1
συχνότητα (Frequencies)
regression Line
reduced variate observed frequencies
lower confidence limit data
upper confidence limit data
Pearson 3 Distribution G = 2,09 B = 45,34 X0 = 0,00 95% Confidence Interval

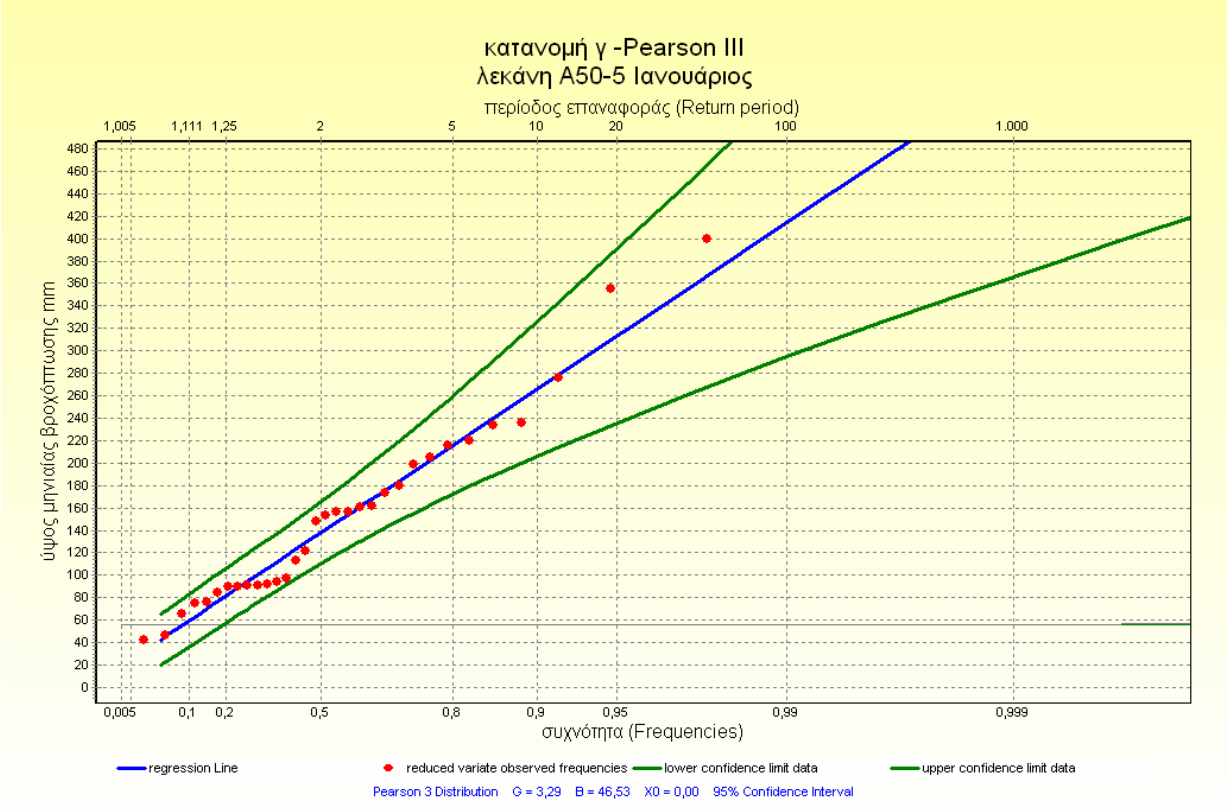

κατανομή γ -Pearson III
λεκάνη Α50-2 Απρίλιος
περίοδος επαναφοράς (Return period)
1,111 2 5 10 20 100 1.000 10.000
ύψος μηνιαίας βροχόπτωσης mm
0,1 0,5 0,8 0,9 0,95 0,99 0,999 1
συχνότητα (Frequencies)
regression Line
reduced variate observed frequencies
lower confidence limit data
upper confidence limit data
Pearson 3 Distribution G = 1,45 B = 27,70 X0 = 0,00 95% Confidence Interval

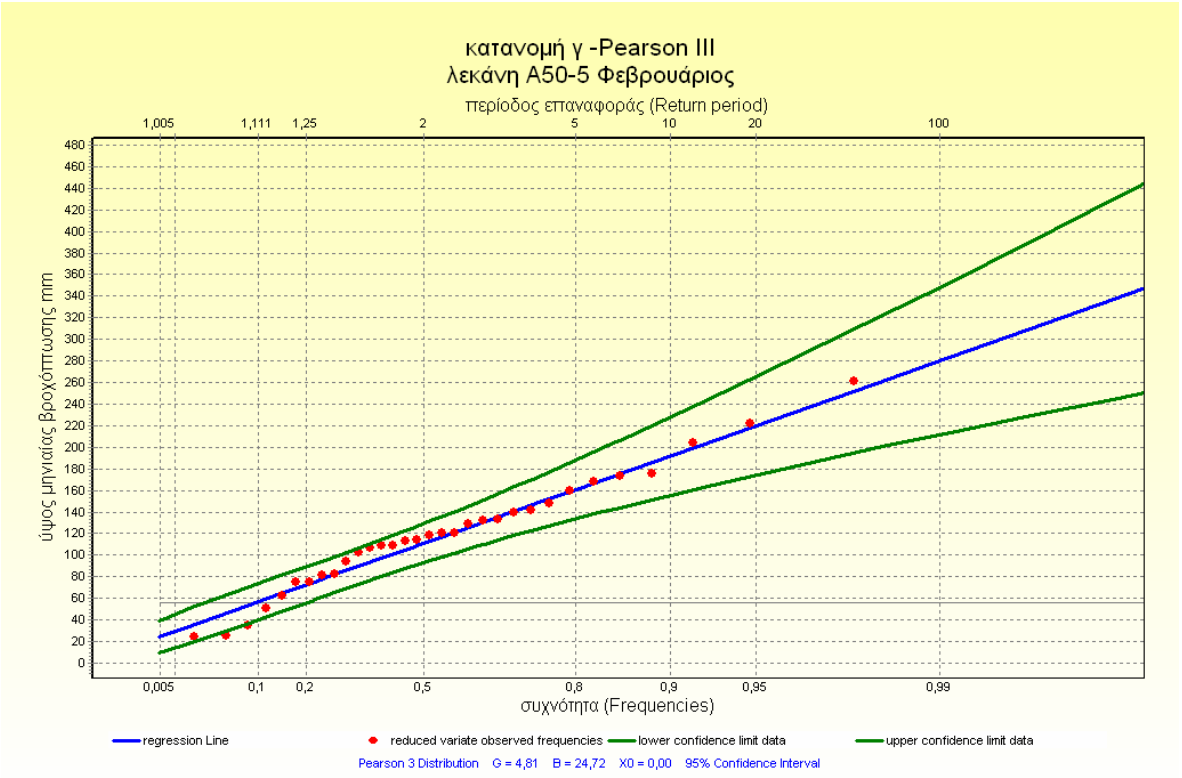

κατανομή γ -Pearson III
λεκάνη Α50-2 Μάιος
περίοδος επαναφοράς (Return period)
1,005
1,25
2
5
10
20
100
1.000
10.000
ύψος μηνιαίας βροχόπτωσης mm
συχνότητα (Frequencies)
0,005
0,1
0,2
0,5
0,8
0,9
0,95
0,99
0,999
1
regression Line
reduced variate observed frequencies
lower confidence limit data
upper confidence limit data
Pearson 3 Distribution G = 2,21 B = 11,54 X0 = 0,00 95% Confidence Interval

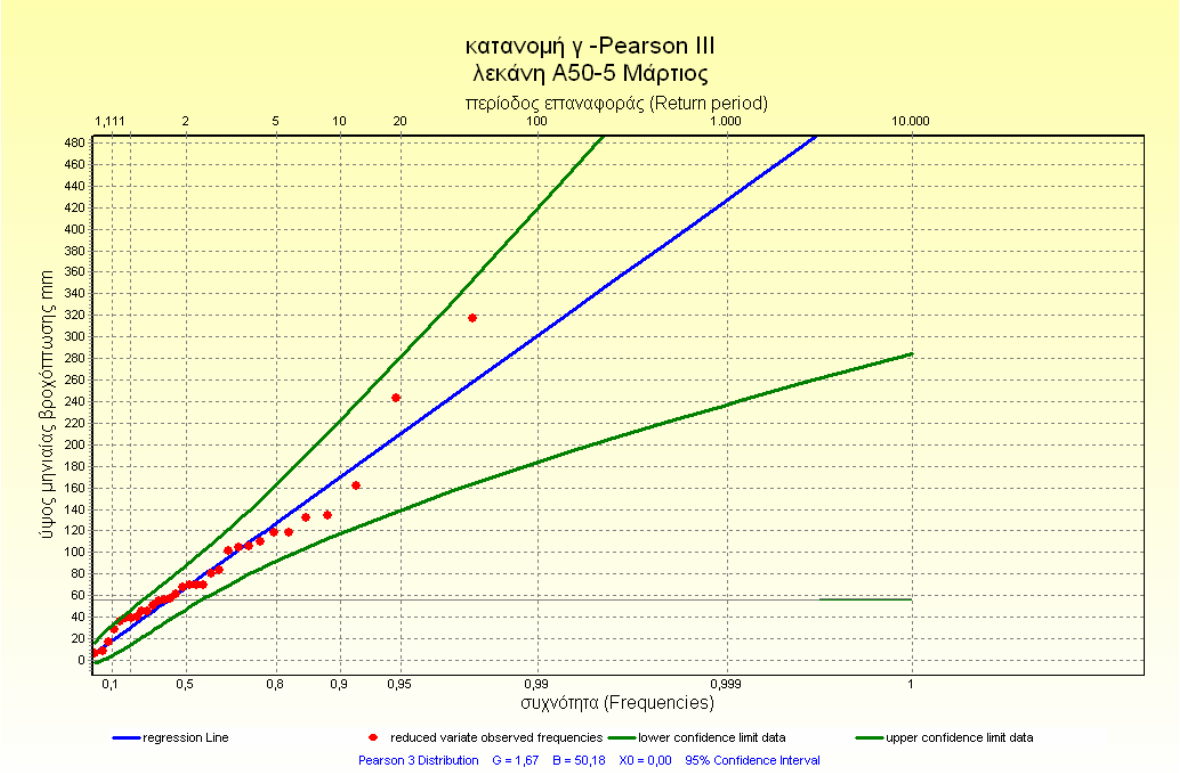

κατανομή γ -Pearson III
λεκάνη Α50-2 Οκτώβριος
περίοδος επαναφοράς (Return period)
1,111
2
5
10
20
100
1.000
10.000
ύψος μηνιαίας βροχόπτωσης mm
συχνότητα (Frequencies)
0,1
0,5
0,8
0,9
0,95
0,99
0,999
1
regression Line
reduced variate observed frequencies
lower confidence limit data
upper confidence limit data
Pearson 3 Distribution G = 1,32 B = 36,40 X0 = 0,00 95% Confidence Interval

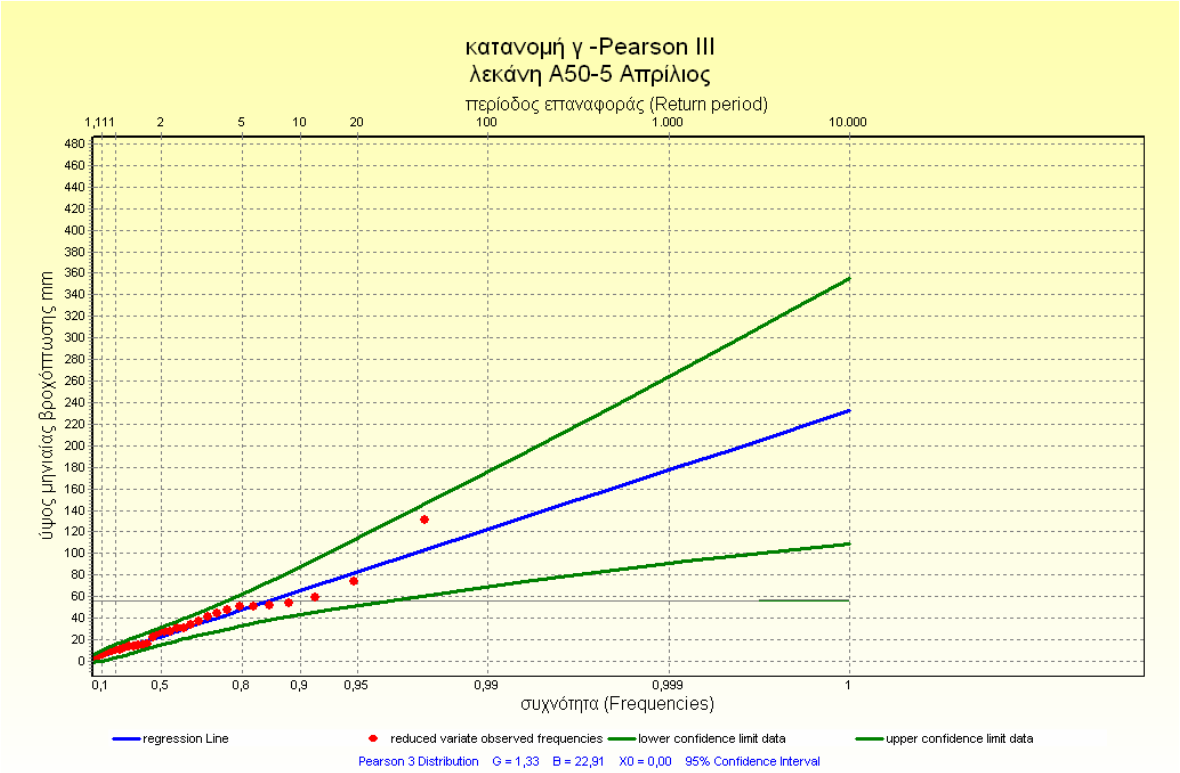

κατανομή γ -Pearson III
λεκάνη Α50-2 Νοέμβριος
περίοδος επαναφοράς (Return period)
1,005
1,111
1,25
2
5
10
20
100
1.000
ύψος μηνιαίας βροχόπτωσης mm
συχνότητα (Frequencies)
0,005
0,1
0,2
0,5
0,8
0,9
0,95
0,99
0,999
regression Line
reduced variate observed frequencies
lower confidence limit data
upper confidence limit data
Pearson 3 Distribution G = 3,52 B = 44,76 X0 = 0,00 95% Confidence Interval

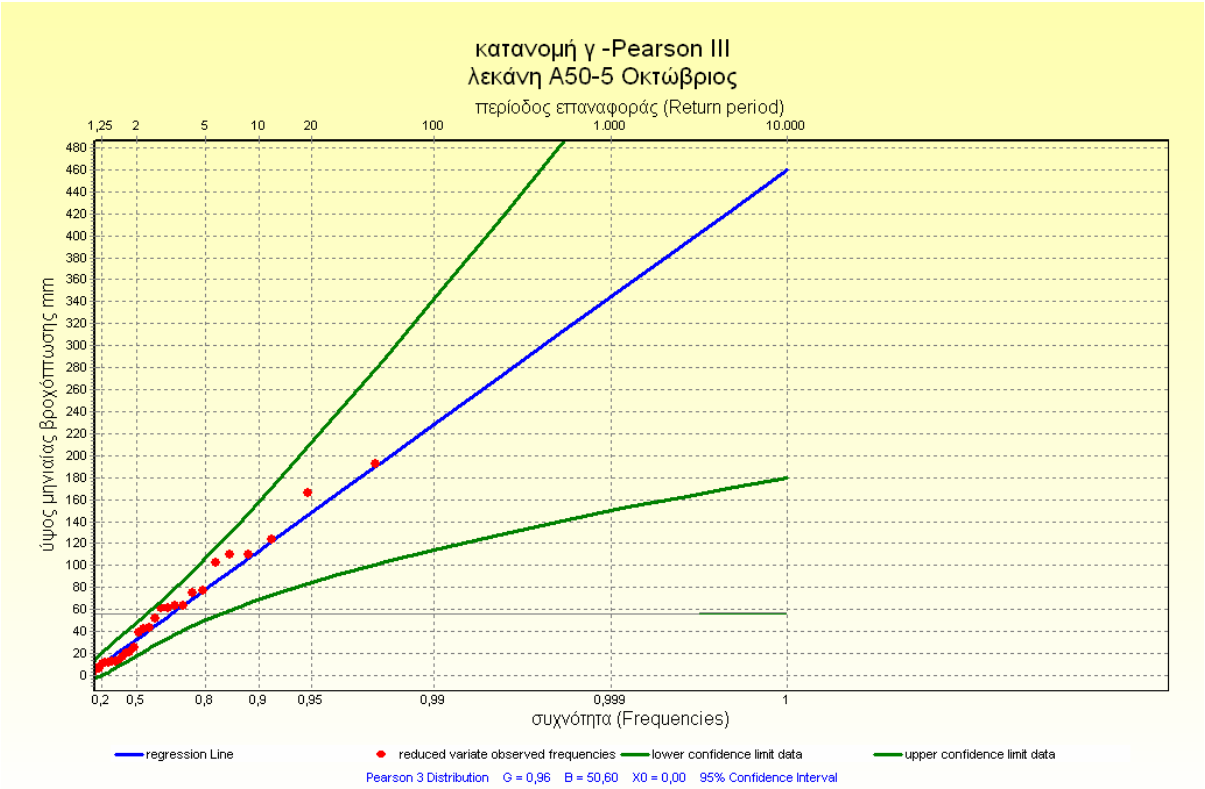

κατανομή γ -Pearson III
λεκάνη Α50-2 Δεκέμβριος
περίοδος επαναφοράς (Return period)
1,005
1,111
1,25
2
5
10
20
100
ύψος μηνιαίας βροχόπτωσης mm
συχνότητα (Frequencies)
0,005
0,1
0,2
0,5
0,8
0,9
0,95
0,99
regression Line
reduced variate observed frequencies
lower confidence limit data
upper confidence limit data
Pearson 3 Distribution G = 5,87 B = 36,32 X0 = 0,00 95% Confidence Interval

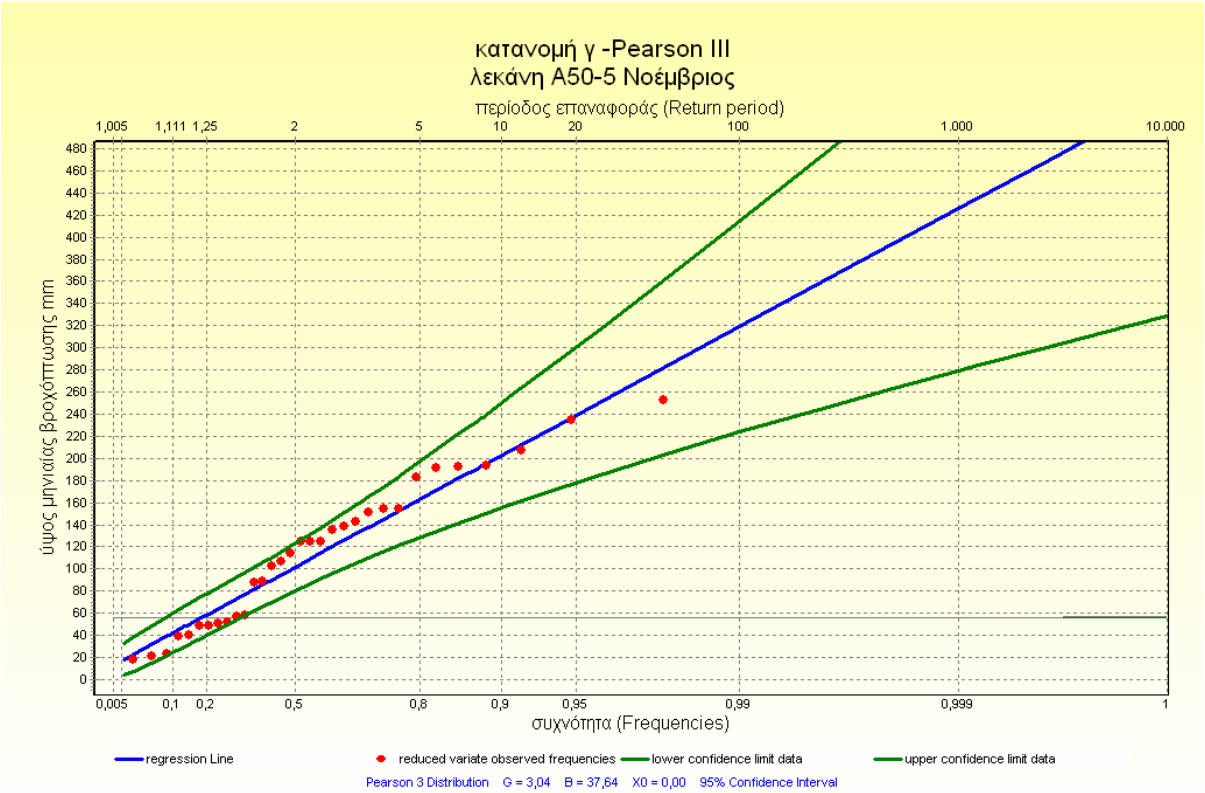

κατανομή γ -Pearson III
λεκάνη Α50-5 Ιανουάριος
περίοδος επαναφοράς (Return period)
1,005 1,111 1,25 2 5 10 20 100 1.000
ύψος μηνιαίας βροχόπτωσης mm
συχνότητα (Frequencies)
0,005 0,1 0,2 0,5 0,8 0,9 0,95 0,99 0,999
regression Line
reduced variate observed frequencies
lower confidence limit data
upper confidence limit data
Pearson 3 Distribution G = 3,29 B = 46,53 X0 = 0,00 95% Confidence Interval

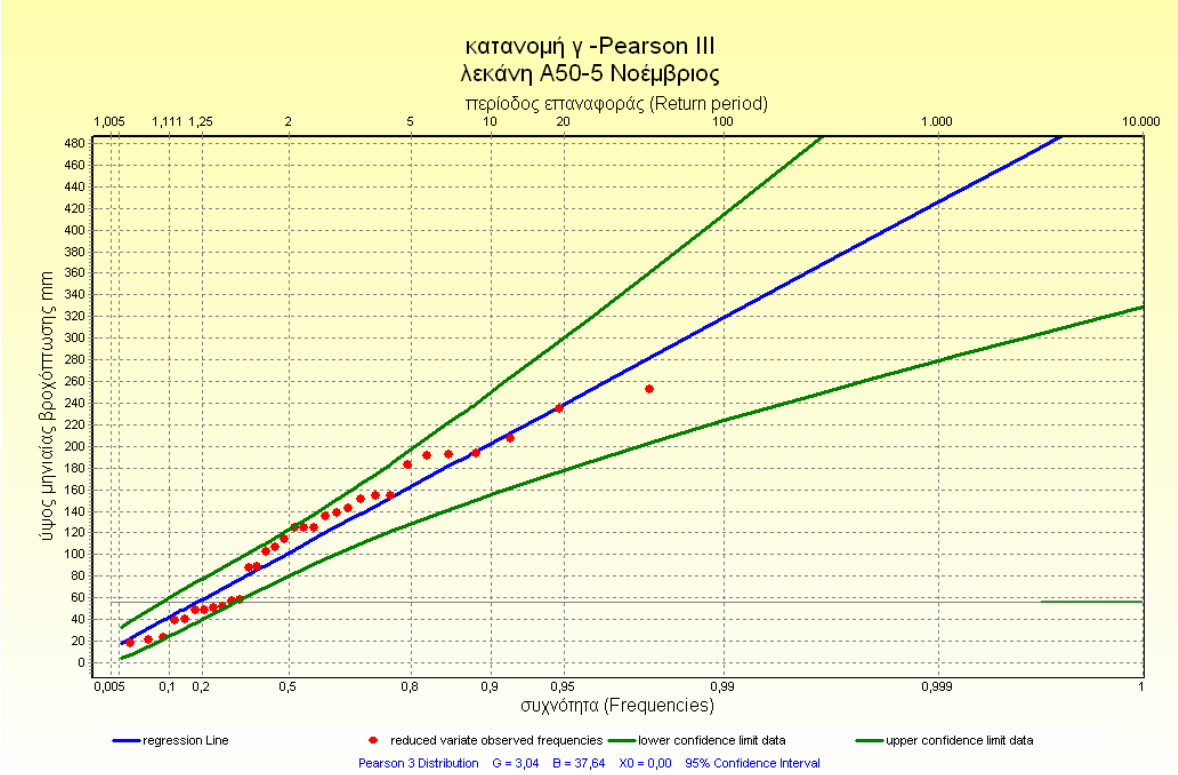

κατανομή γ -Pearson III
λεκάνη Α50-5 Φεβρουάριος
περίοδος επαναφοράς (Return period)
1,005 1,111 1,25 2 5 10 20 100
ύψος μηνιαίας βροχόπτωσης mm
συχνότητα (Frequencies)
0,005 0,1 0,2 0,5 0,8 0,9 0,95 0,99
regression Line
reduced variate observed frequencies
lower confidence limit data
upper confidence limit data
Pearson 3 Distribution G = 4,81 B = 24,72 X0 = 0,00 95% Confidence Interval

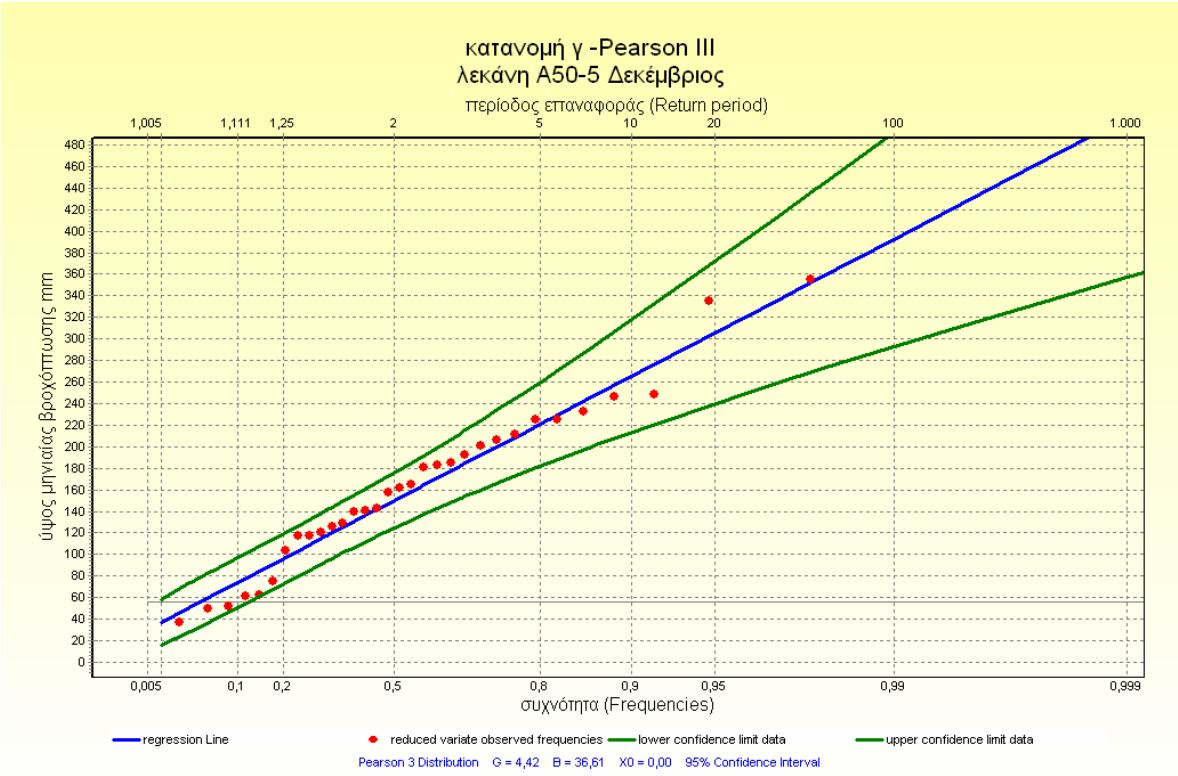

κατανομή γ -Pearson III
λεκάνη Α50-5 Μάρτιος
περίοδος επαναφοράς (Return period)
1,111
2
5
10
20
100
1.000
10.000
ύψος μηνιαίας βροχόπτωσης mm
συχνότητα (Frequencies)
0,1
0,5
0,8
0,9
0,95
0,99
0,999
1
regression Line
reduced variate observed frequencies
lower confidence limit data
upper confidence limit data
Pearson 3 Distribution G = 1,67 B = 50,18 X0 = 0,00 95% Confidence Interval

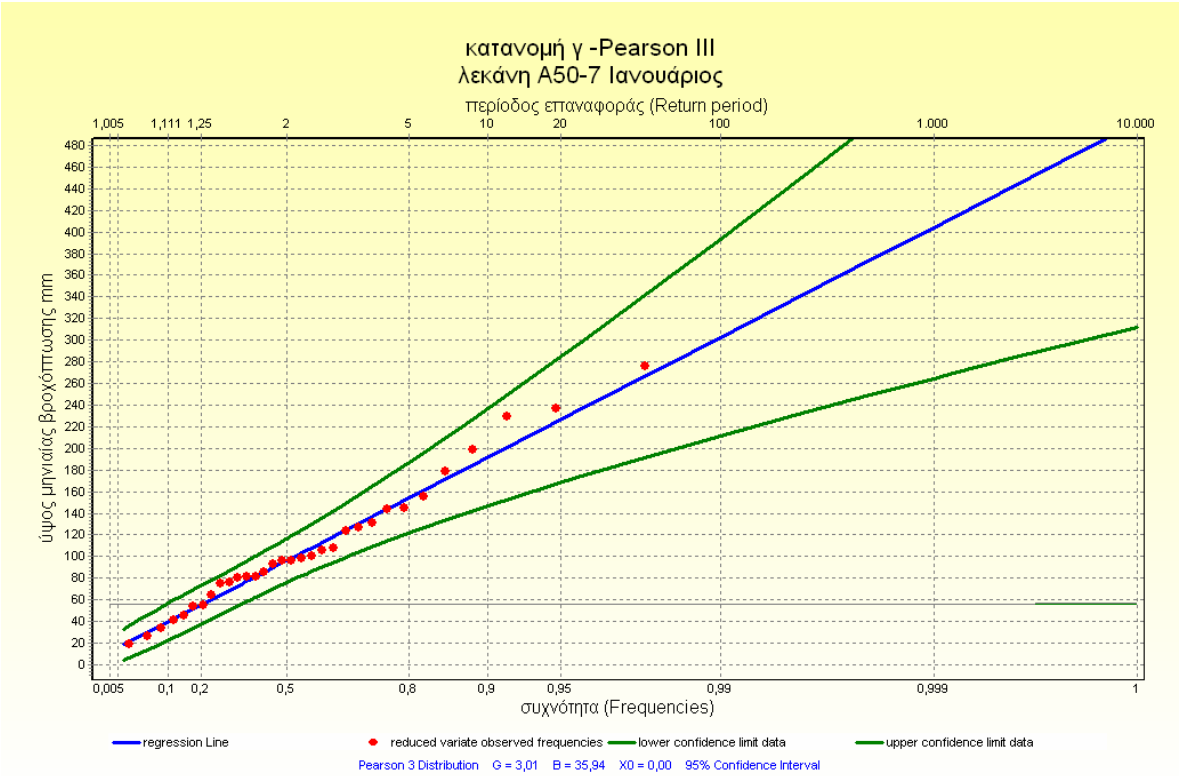

κατανομή γ -Pearson III
λεκάνη Α50-5 Απρίλιος
περίοδος επαναφοράς (Return period)
1,111
2
5
10
20
100
1.000
10.000
ύψος μηνιαίας βροχόπτωσης mm
συχνότητα (Frequencies)
0,1
0,5
0,8
0,9
0,95
0,99
0,999
1
regression Line
reduced variate observed frequencies
lower confidence limit data
upper confidence limit data
Pearson 3 Distribution G = 1,33 B = 22,91 X0 = 0,00 95% Confidence Interval

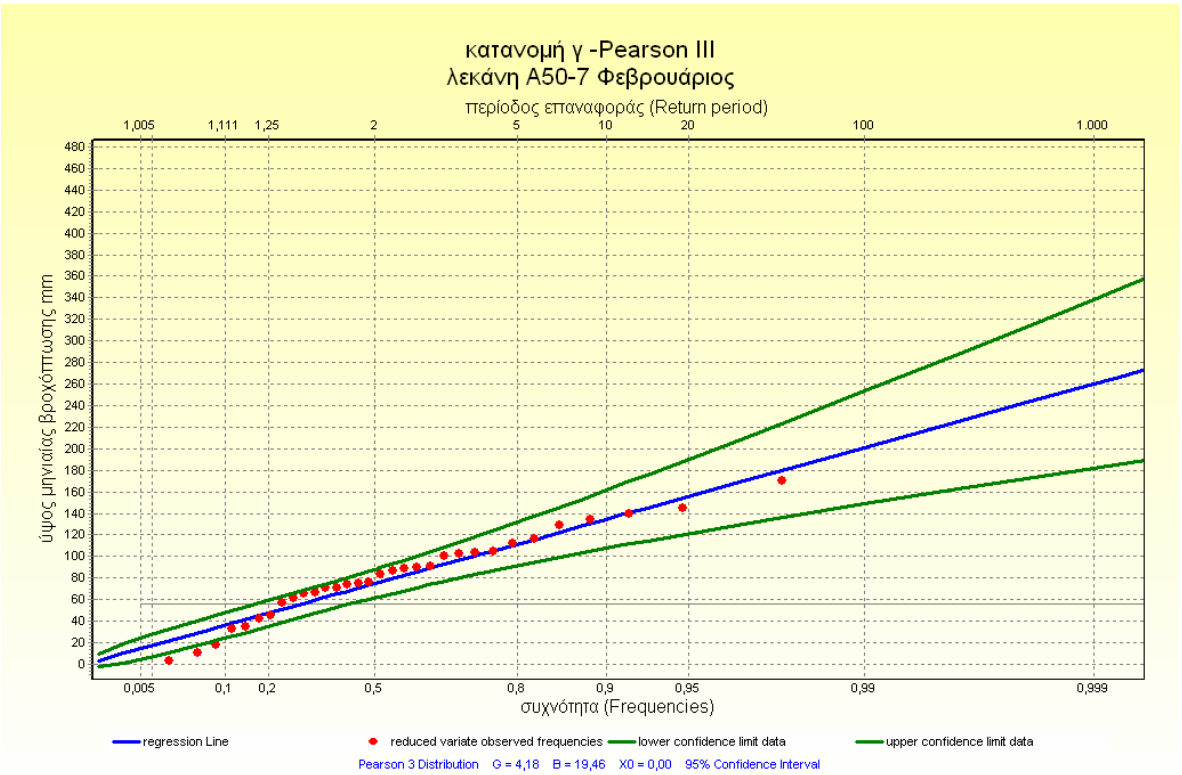

κατανομή γ -Pearson III
λεκάνη Α50-5 Οκτώβριος
περίοδος επαναφοράς (Return period)
1,25 2 5 10 20 100 1.000 10.000
ύψος μηνιαίας βροχόπτωσης mm
συχνότητα (Frequencies)
0,2 0,5 0,8 0,9 0,95 0,99 0,999 1
regression Line
reduced variate observed frequencies
lower confidence limit data
upper confidence limit data
Pearson 3 Distribution G = 0,96 B = 50,60 X0 = 0,00 95% Confidence Interval

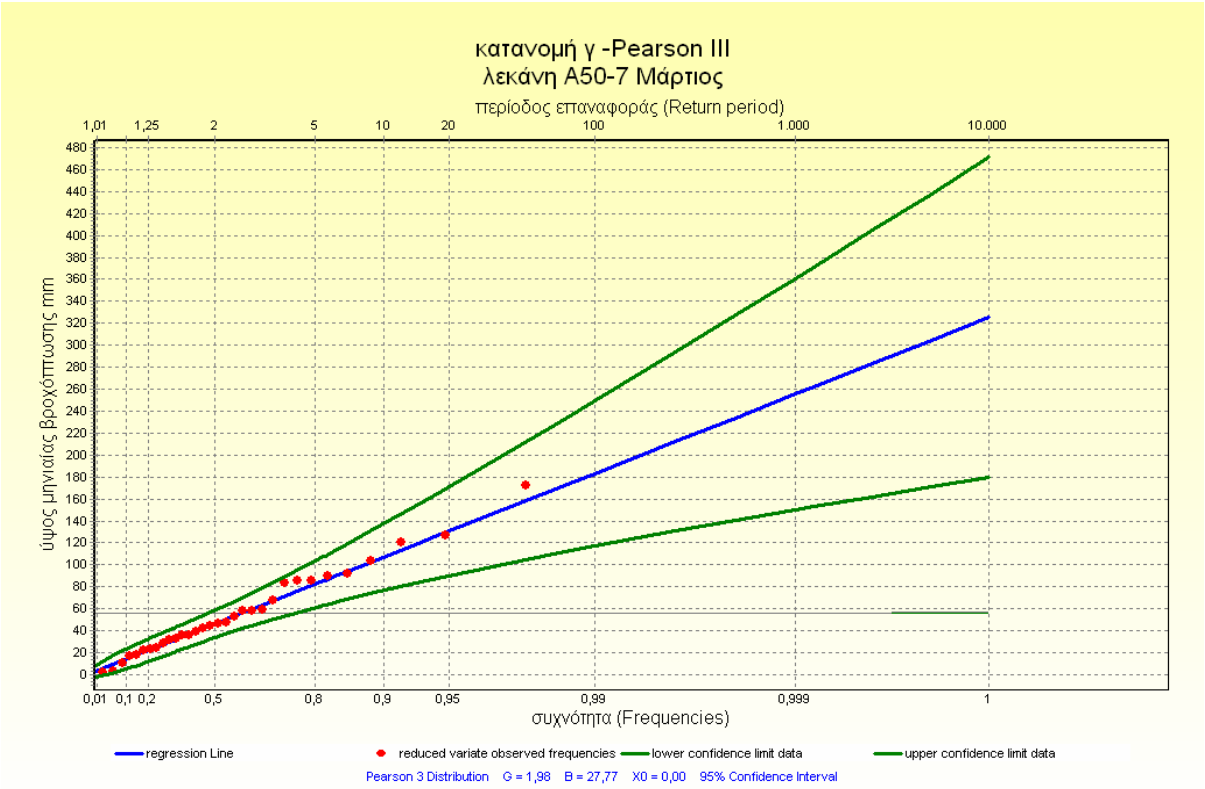

κατανομή γ -Pearson III
λεκάνη Α50-5 Νοέμβριος
περίοδος επαναφοράς (Return period)
1,005 1,111 1,25 2 5 10 20 100 1.000 10.000
ύψος μηνιαίας βροχόπτωσης mm
συχνότητα (Frequencies)
0,005 0,1 0,2 0,5 0,8 0,9 0,95 0,99 0,999 1
regression Line
reduced variate observed frequencies
lower confidence limit data
upper confidence limit data
Pearson 3 Distribution G = 3,04 B = 37,64 X0 = 0,00 95% Confidence Interval

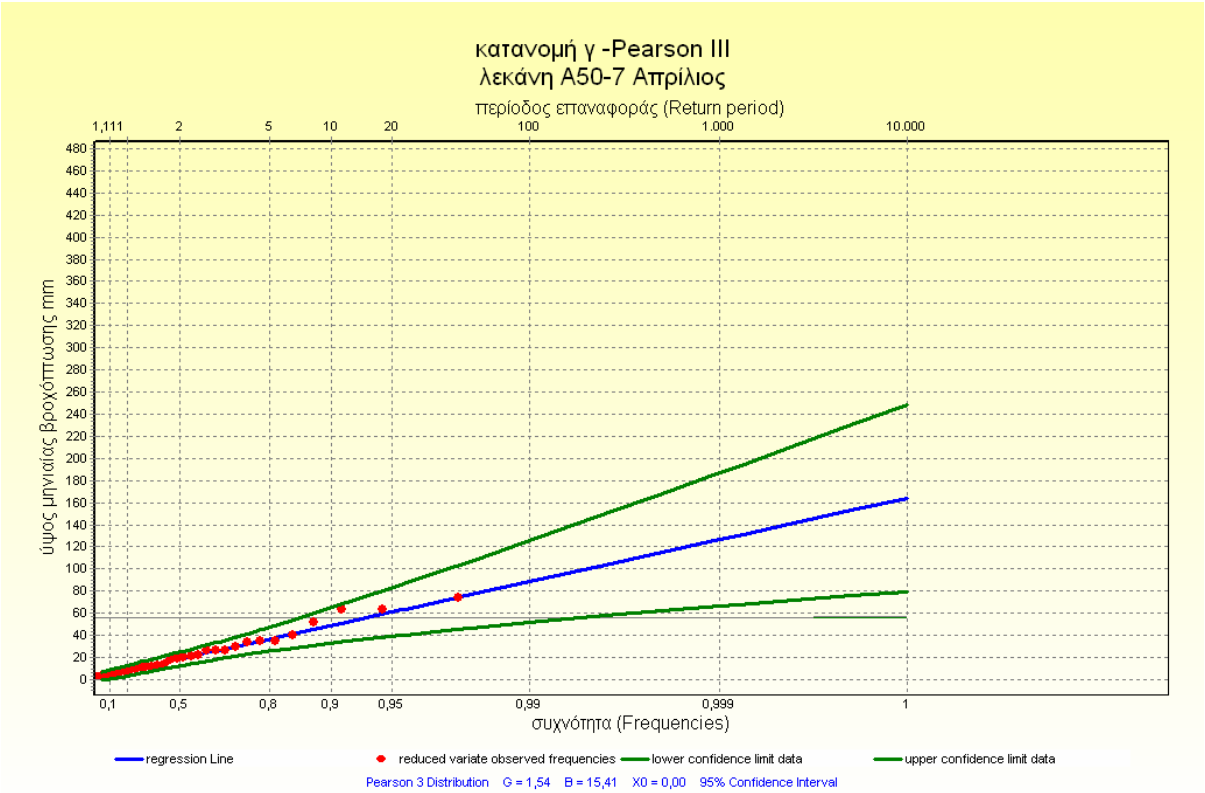

κατανομή γ -Pearson III
λεκάνη A50-5 Νοέμβριος
περίοδος επαναφοράς (Return period)
1,005 1,111 1,25 2 5 10 20 100 1.000 10.000
ύψος μηνιαίας βροχόπτωσης mm
0 20 40 60 80 100 120 140 160 180 200 220 240 260 280 300 320 340 360 380 400 420 440 460 480
0,005 0,1 0,2 0,5 0,8 0,9 0,95 0,99 0,999 1
συχνότητα (Frequencies)
regression Line
reduced variate observed frequencies
lower confidence limit data
upper confidence limit data
Pearson 3 Distribution G = 3,04 B = 37,64 X0 = 0,00 95% Confidence Interval

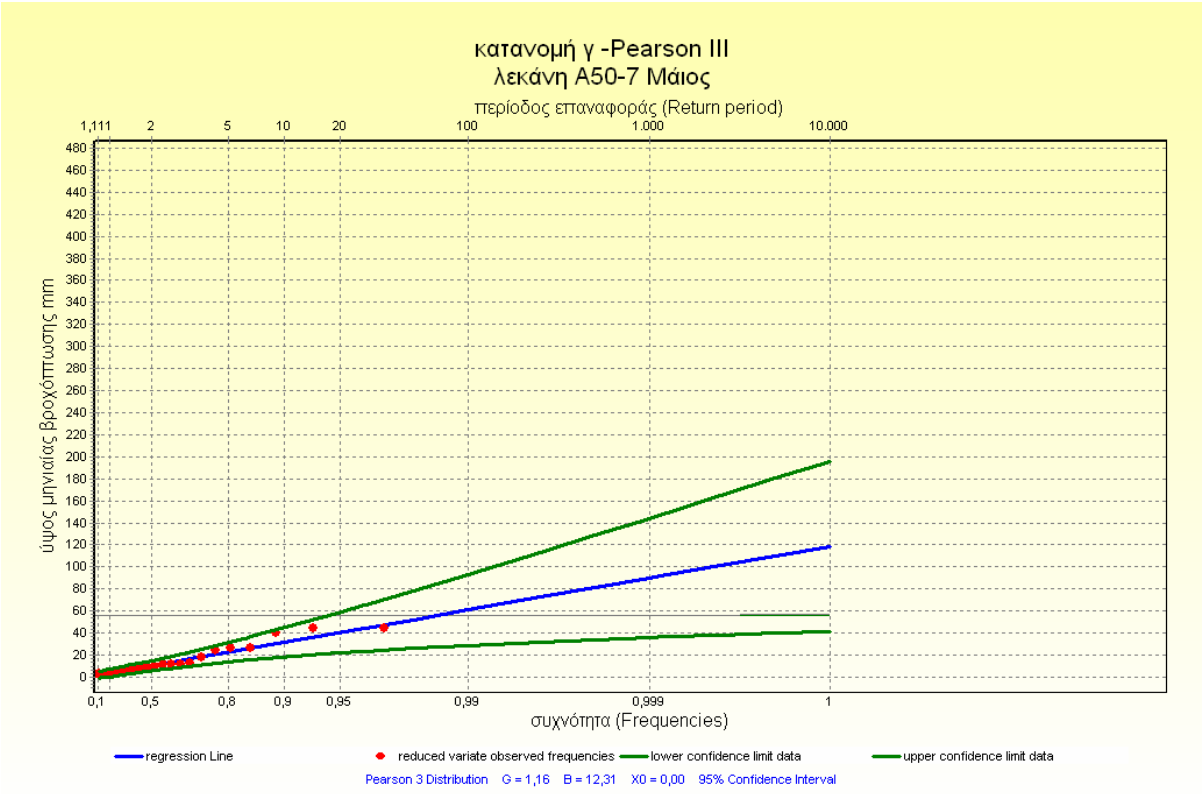

κατανομή γ -Pearson III
λεκάνη A50-5 Δεκέμβριος
περίοδος επαναφοράς (Return period)
1,005 1,111 1,25 2 5 10 20 100 1.000
ύψος μηνιαίας βροχόπτωσης mm
0 20 40 60 80 100 120 140 160 180 200 220 240 260 280 300 320 340 360 380 400 420 440 460 480
0,005 0,1 0,2 0,5 0,8 0,9 0,95 0,99 0,999
συχνότητα (Frequencies)
regression Line
reduced variate observed frequencies
lower confidence limit data
upper confidence limit data
Pearson 3 Distribution G = 4,42 B = 36,61 X0 = 0,00 95% Confidence Interval

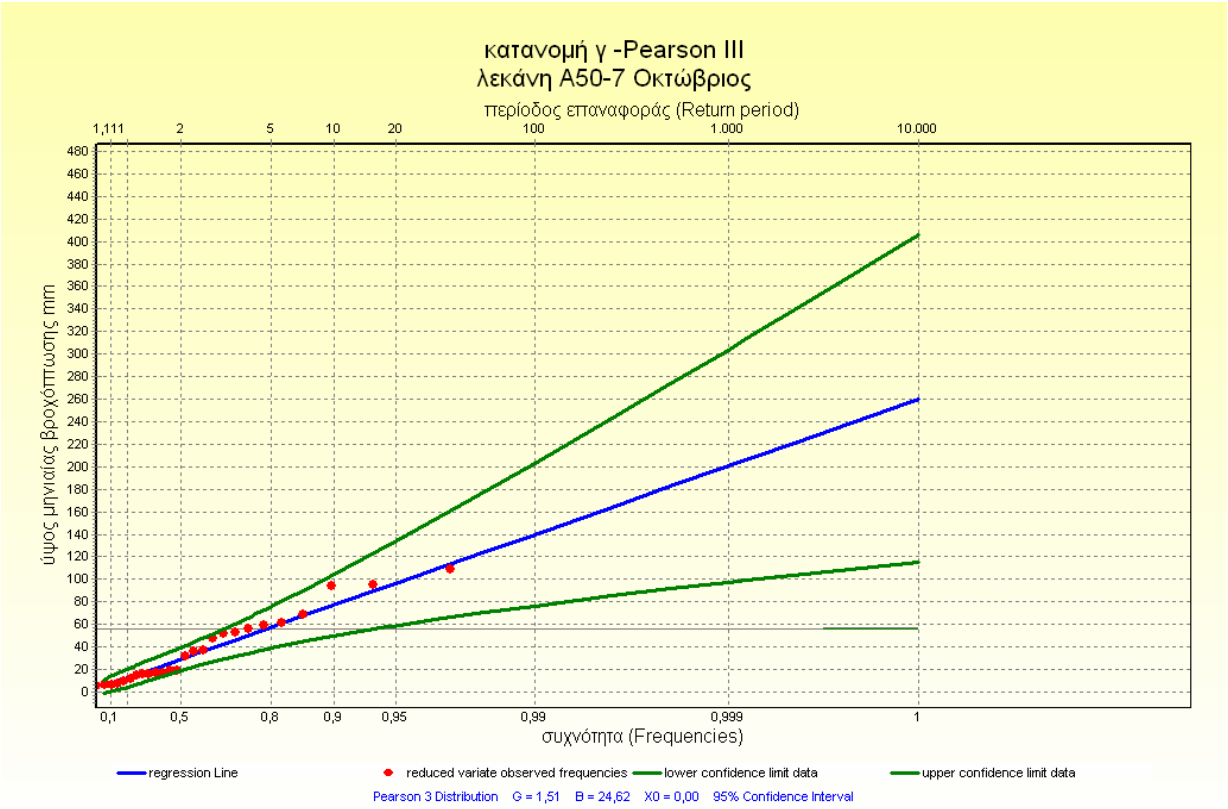

κατανομή γ -Pearson III
λεκάνη Α50-7 Ιανουάριος
περίοδος επαναφοράς (Return period)
1,005 1,111 1,25 2 5 10 20 100 1.000 10.000
ύψος μηνιαίας βροχόπτωσης mm
0 20 40 60 80 100 120 140 160 180 200 220 240 260 280 300 320 340 360 380 400 420 440 460 480
0,005 0,1 0,2 0,5 0,8 0,9 0,95 0,99 0,999 1
συχνότητα (Frequencies)
regression Line
reduced variate observed frequencies
lower confidence limit data
upper confidence limit data
Pearson 3 Distribution G = 3,01 B = 35,94 X0 = 0,00 95% Confidence Interval

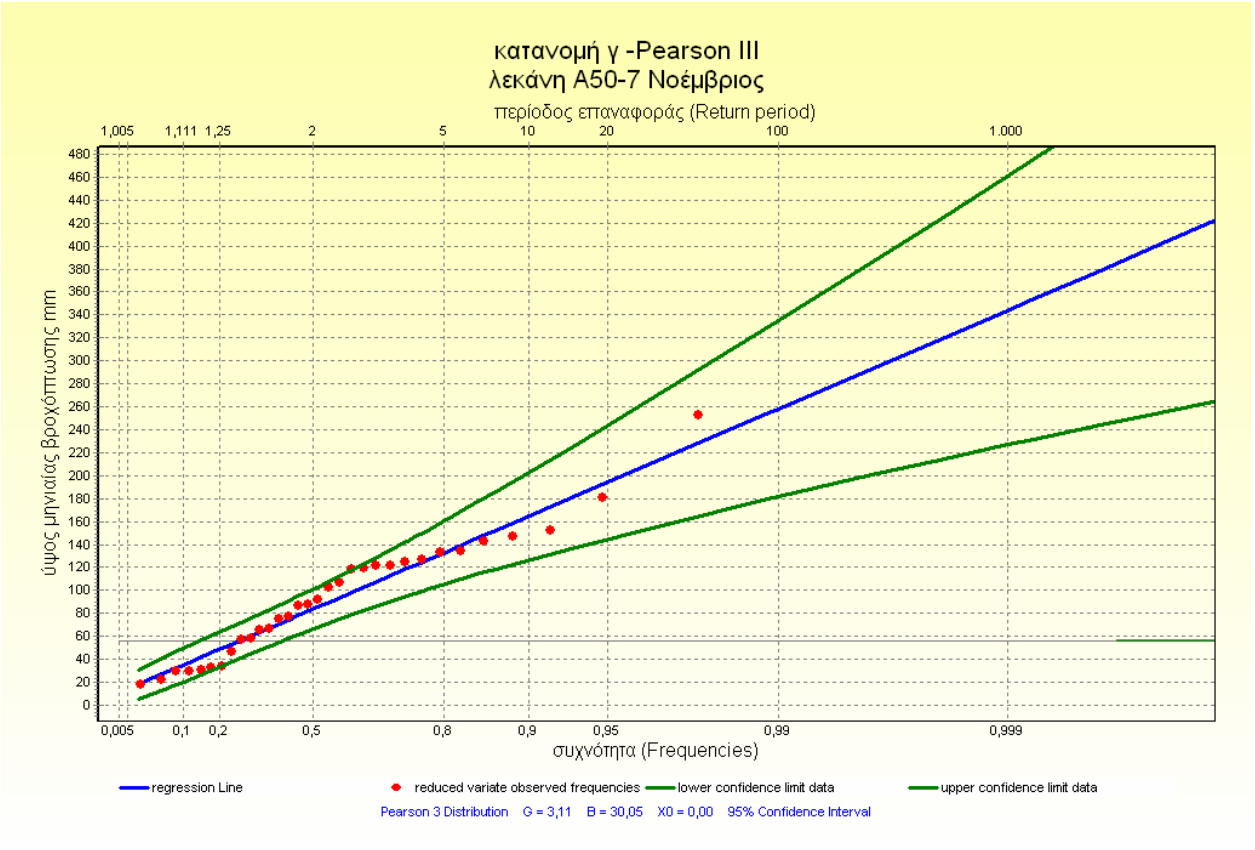

κατανομή γ -Pearson III
λεκάνη Α50-7 Φεβρουάριος
περίοδος επαναφοράς (Return period)
1,005 1,111 1,25 2 5 10 20 100 1.000
ύψος μηνιαίας βροχόπτωσης mm
0 20 40 60 80 100 120 140 160 180 200 220 240 260 280 300 320 340 360 380 400 420 440 460 480
0,005 0,1 0,2 0,5 0,8 0,9 0,95 0,99 0,999
συχνότητα (Frequencies)
regression Line
reduced variate observed frequencies
lower confidence limit data
upper confidence limit data
Pearson 3 Distribution G = 4,18 B = 19,46 X0 = 0,00 95% Confidence Interval

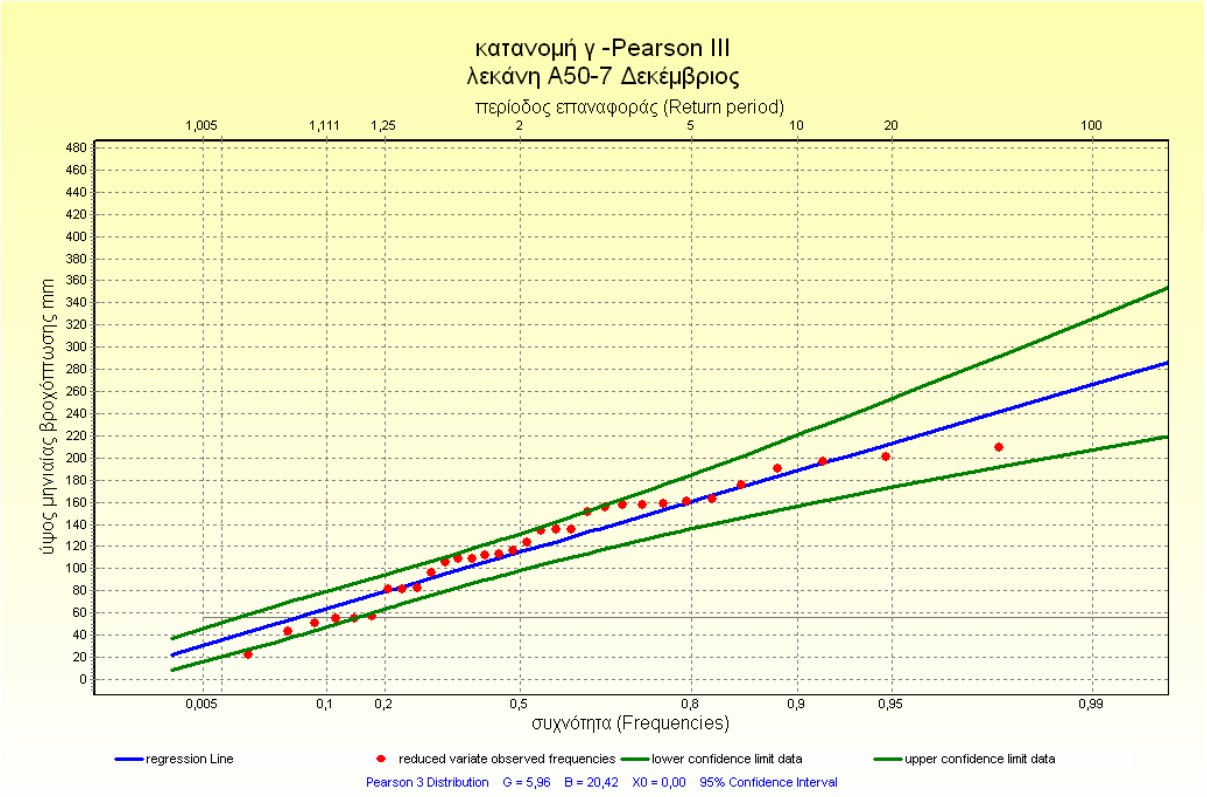

κατανομή γ -Pearson III
λεκάνη A50-7 Μάρτιος
περίοδος επαναφοράς (Return period)
1,01 1,25 2 5 10 20 100 1.000 10.000
ύψος μηνιαίας βροχόπτωσης mm
0,01 0,1 0,2 0,5 0,8 0,9 0,95 0,99 0,999 1
συχνότητα (Frequencies)
regression Line
reduced variate observed frequencies
lower confidence limit data
upper confidence limit data
Pearson 3 Distribution G = 1,98 B = 27,77 X0 = 0,00 95% Confidence Interval

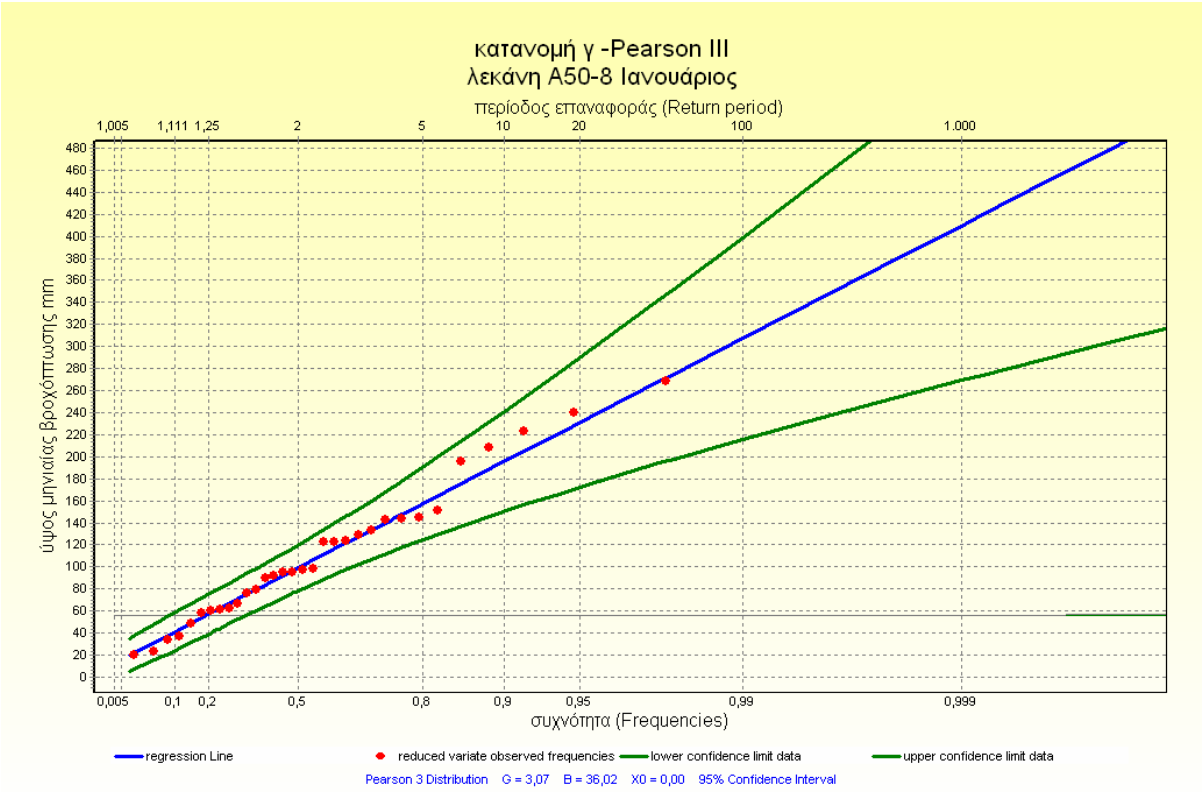

κατανομή γ -Pearson III
λεκάνη A50-7 Απρίλιος
περίοδος επαναφοράς (Return period)
1,111 2 5 10 20 100 1.000 10.000
ύψος μηνιαίας βροχόπτωσης mm
0,1 0,5 0,8 0,9 0,95 0,99 0,999 1
συχνότητα (Frequencies)
regression Line
reduced variate observed frequencies
lower confidence limit data
upper confidence limit data
Pearson 3 Distribution G = 1,54 B = 15,41 X0 = 0,00 95% Confidence Interval

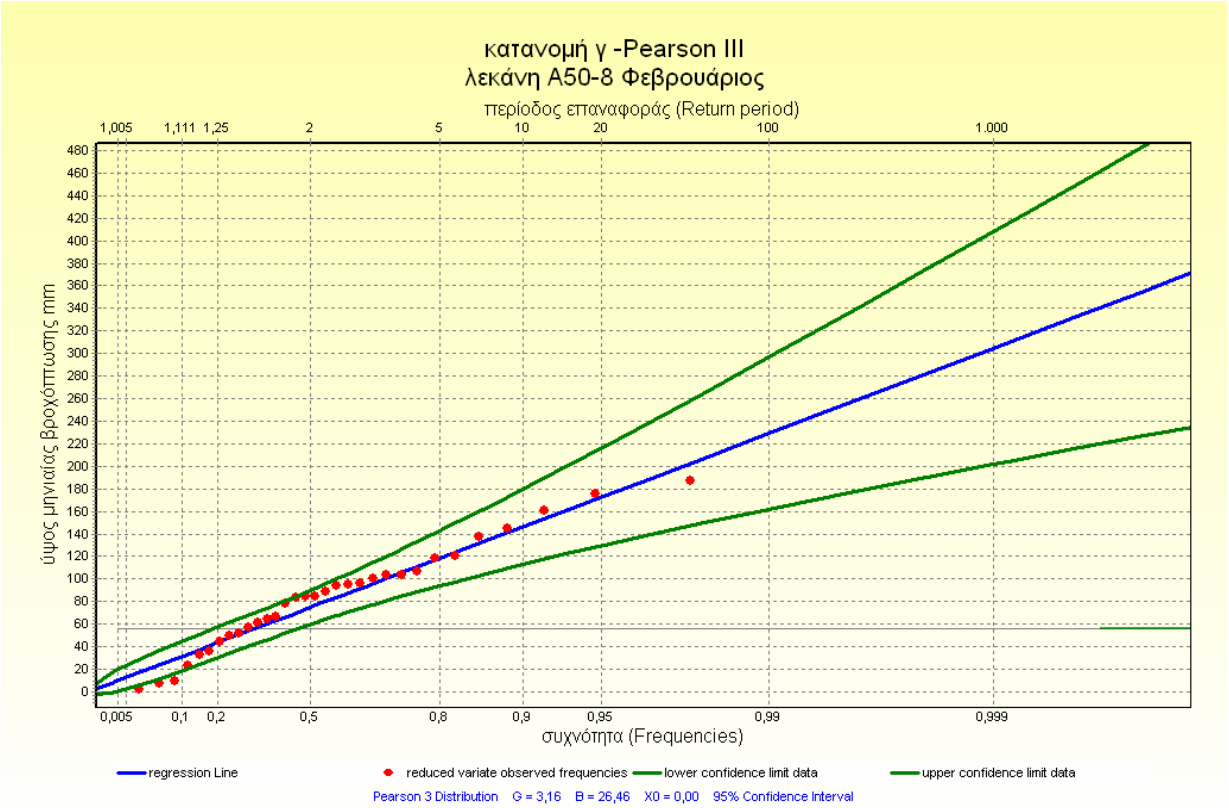

κατανομή γ -Pearson III
λεκάνη A50-7 Μάιος
περίοδος επαναφοράς (Return period)
1,111
2
5
10
20
100
1.000
10.000
ύψος μηνιαίας βροχόπτωσης mm
συχνότητα (Frequencies)
0,1
0,5
0,8
0,9
0,95
0,99
0,999
1
regression Line
reduced variate observed frequencies
lower confidence limit data
upper confidence limit data
Pearson 3 Distribution G = 1,16 B = 12,31 X0 = 0,00 95% Confidence Interval

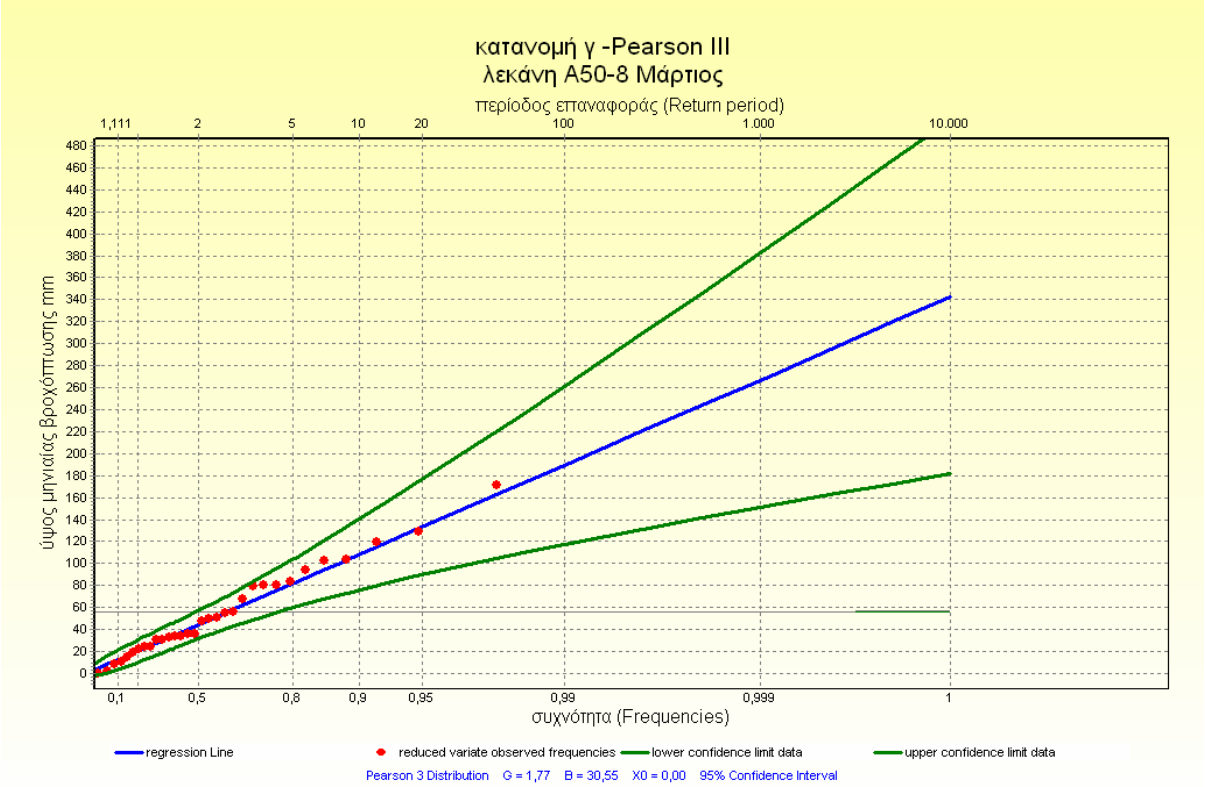

κατανομή γ -Pearson III
λεκάνη A50-7 Οκτώβριος
περίοδος επαναφοράς (Return period)
1,111
2
5
10
20
100
1.000
10.000
ύψος μηνιαίας βροχόπτωσης mm
συχνότητα (Frequencies)
0,1
0,5
0,8
0,9
0,95
0,99
0,999
1
regression Line
reduced variate observed frequencies
lower confidence limit data
upper confidence limit data
Pearson 3 Distribution G = 1,51 B = 24,62 X0 = 0,00 95% Confidence Interval

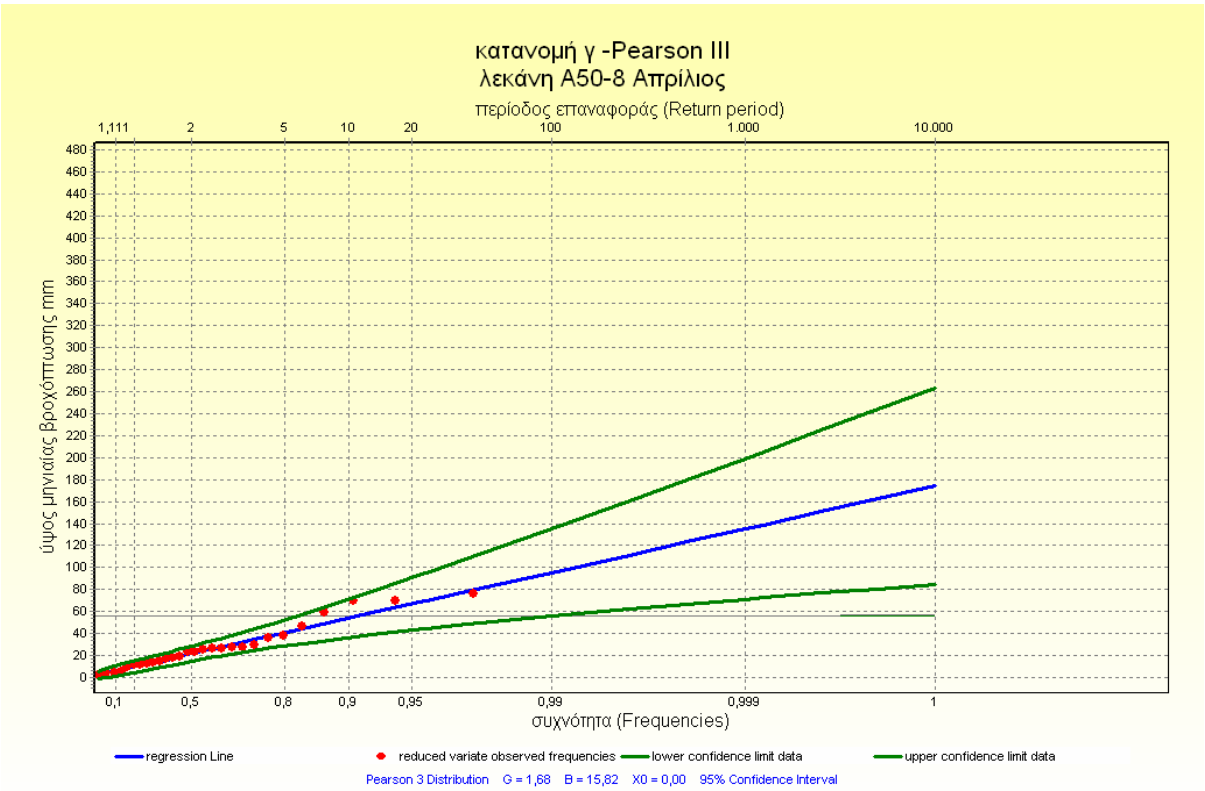

κατανομή γ -Pearson III
λεκάνη Α50-7 Νοέμβριος
περίοδος επαναφοράς (Return period)
1,005
1,111
1,25
2
5
10
20
100
1.000
ύψος μηνιαίας βροχόπτωσης mm
συχνότητα (Frequencies)
0,005
0,1
0,2
0,5
0,8
0,9
0,95
0,99
0,999
regression Line
reduced variate observed frequencies
lower confidence limit data
upper confidence limit data
Pearson 3 Distribution G = 3,11 B = 30,05 X0 = 0,00 95% Confidence Interval

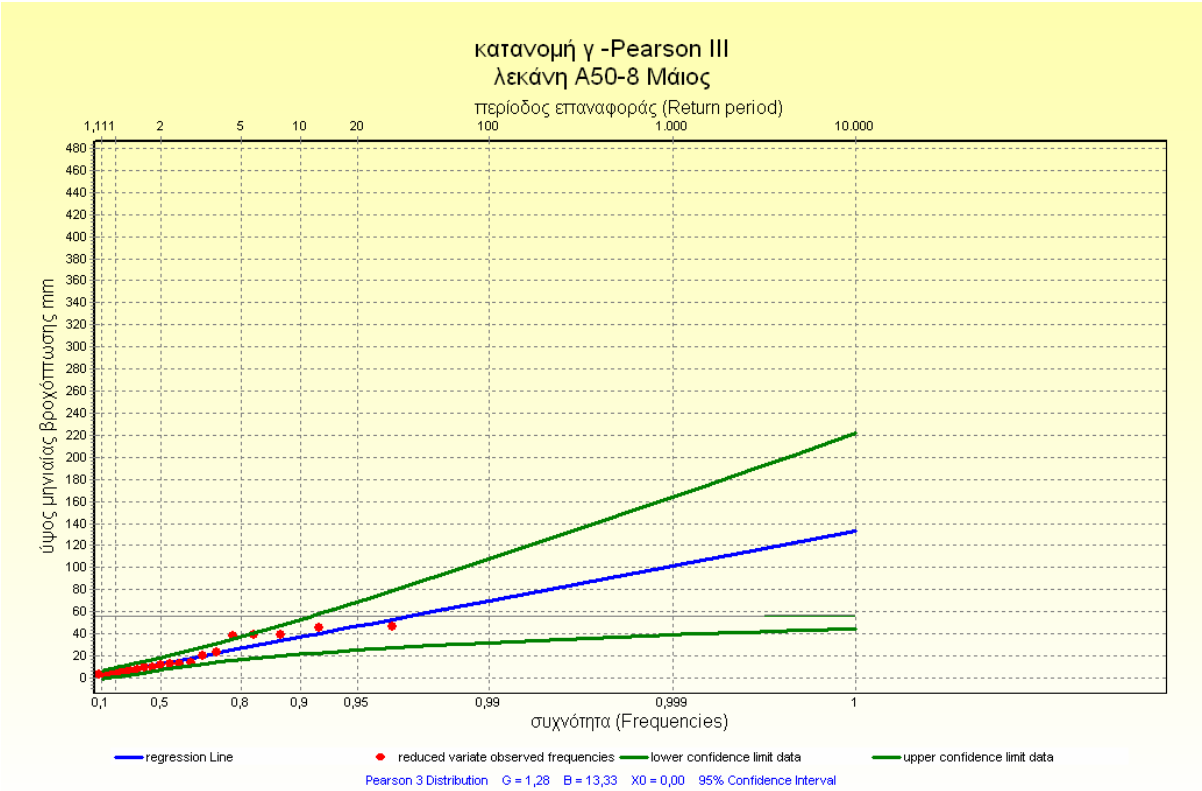

κατανομή γ -Pearson III
λεκάνη Α50-7 Δεκέμβριος
περίοδος επαναφοράς (Return period)
1,005
1,111
1,25
2
5
10
20
100
ύψος μηνιαίας βροχόπτωσης mm
συχνότητα (Frequencies)
0,005
0,1
0,2
0,5
0,8
0,9
0,95
0,99
regression Line
reduced variate observed frequencies
lower confidence limit data
upper confidence limit data
Pearson 3 Distribution G = 5,96 B = 20,42 X0 = 0,00 95% Confidence Interval

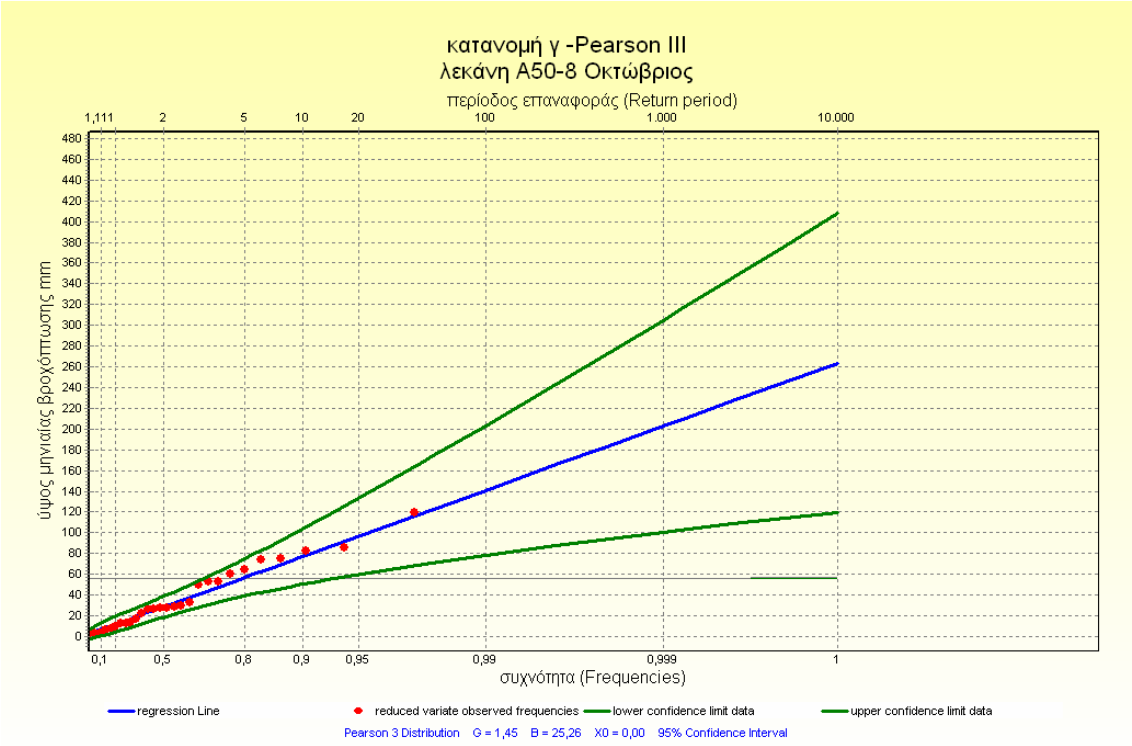

κατανομή γ -Pearson III
λεκάνη Α50-8 Ιανουάριος
περίοδος επαναφοράς (Return period)
1,005 1,111 1,25 2 5 10 20 100 1.000
ύψος μηνιαίας βροχόπτωσης mm
0 20 40 60 80 100 120 140 160 180 200 220 240 260 280 300 320 340 360 380 400 420 440 460 480
0,005 0,1 0,2 0,5 0,8 0,9 0,95 0,99 0,999
συχνότητα (Frequencies)
regression Line
reduced variate observed frequencies
lower confidence limit data
upper confidence limit data
Pearson 3 Distribution G = 3,07 B = 36,02 X0 = 0,00 95% Confidence Interval

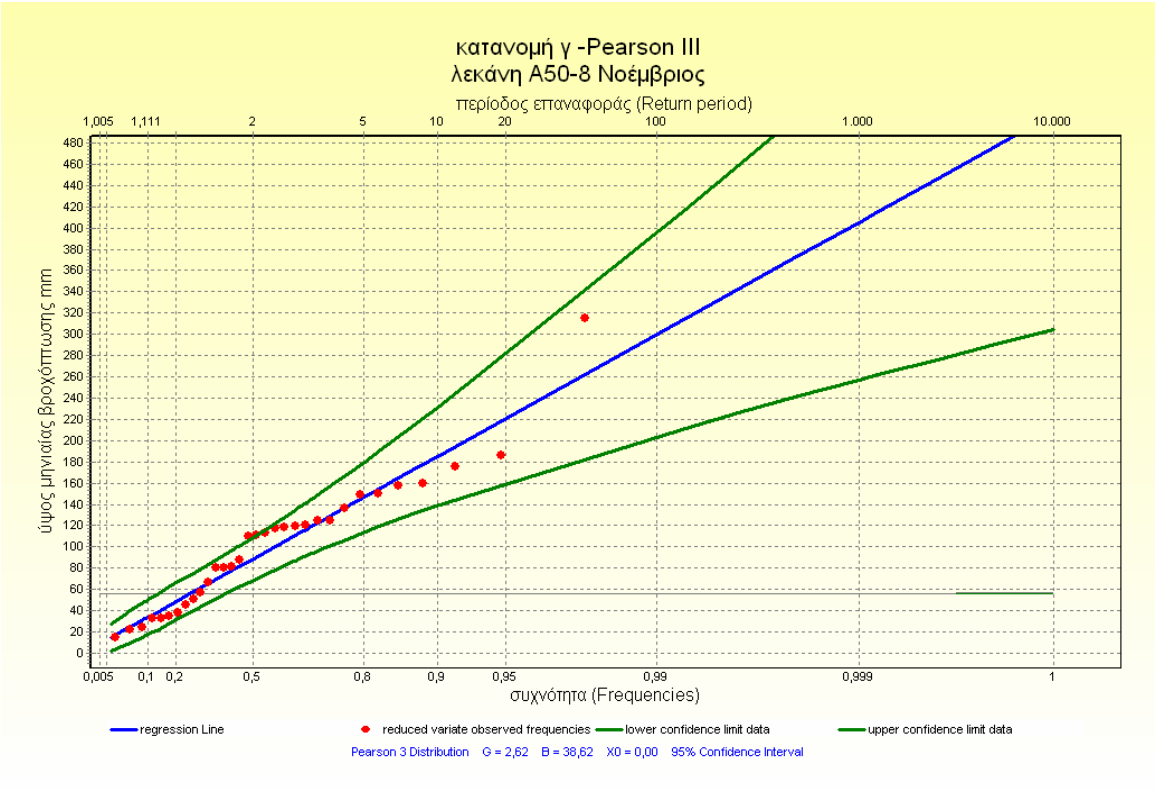

κατανομή γ -Pearson III
λεκάνη Α50-8 Φεβρουάριος
περίοδος επαναφοράς (Return period)
1,005 1,111 1,25 2 5 10 20 100 1.000
ύψος μηνιαίας βροχόπτωσης mm
0 20 40 60 80 100 120 140 160 180 200 220 240 260 280 300 320 340 360 380 400 420 440 460 480
0,005 0,1 0,2 0,5 0,8 0,9 0,95 0,99 0,999
συχνότητα (Frequencies)
regression Line
reduced variate observed frequencies
lower confidence limit data
upper confidence limit data
Pearson 3 Distribution G = 3,16 B = 26,46 X0 = 0,00 95% Confidence Interval

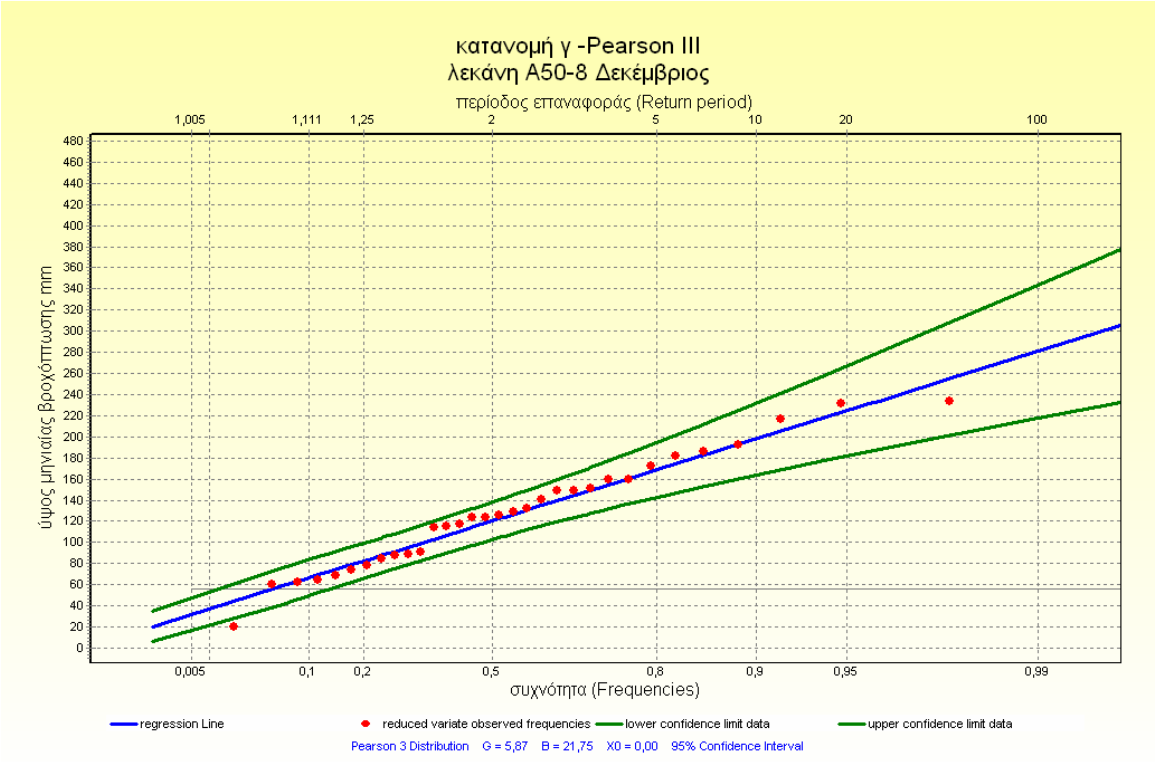

κατανομή γ -Pearson III
λεκάνη Α50-8 Μάρτιος
περίοδος επαναφοράς (Return period)
1,111
2
5
10
20
100
1.000
10.000
ύψος μηνιαίας βροχόπτωσης mm
συχνότητα (Frequencies)
0,1
0,5
0,8
0,9
0,95
0,99
0,999
1
regression Line
reduced variate observed frequencies
lower confidence limit data
upper confidence limit data
Pearson 3 Distribution G = 1,77 B = 30,55 X0 = 0,00 95% Confidence Interval


κατανομή γ -Pearson III
λεκάνη Α50-8 Απρίλιος
περίοδος επαναφοράς (Return period)
1,111
2
5
10
20
100
1.000
10.000
ύψος μηνιαίας βροχόπτωσης mm
συχνότητα (Frequencies)
0,1
0,5
0,8
0,9
0,95
0,99
0,999
1
regression Line
reduced variate observed frequencies
lower confidence limit data
upper confidence limit data
Pearson 3 Distribution G = 1,68 B = 15,82 X0 = 0,00 95% Confidence Interval


κατανομή γ -Pearson III
λεκάνη A50-8 Μάιος
περίοδος επαναφοράς (Return period)
1,111
2
5
10
20
100
1.000
10.000
ύψος μηνιαίας βροχόπτωσης mm
συχνότητα (Frequencies)
0,1
0,5
0,8
0,9
0,95
0,99
0,999
1
regression Line
reduced variate observed frequencies
lower confidence limit data
upper confidence limit data
Pearson 3 Distribution G = 1,28 B = 13,33 X0 = 0,00 95% Confidence Interval


κατανομή γ -Pearson III
λεκάνη A50-8 Οκτώβριος
περίοδος επαναφοράς (Return period)
1,111
2
5
10
20
100
1.000
10.000
ύψος μηνιαίας βροχόπτωσης mm
συχνότητα (Frequencies)
0,1
0,5
0,8
0,9
0,95
0,99
0,999
1
regression Line
reduced variate observed frequencies
lower confidence limit data
upper confidence limit data
Pearson 3 Distribution G = 1,45 B = 25,26 X0 = 0,00 95% Confidence Interval


κατανομή γ -Pearson III
λεκάνη Α50-8 Νοέμβριος
περίοδος επαναφοράς (Return period)
1,005 1,111 2 5 10 20 100 1.000 10.000
ύψος μηνιαίας βροχόπτωσης mm
0,005 0,1 0,2 0,5 0,8 0,9 0,95 0,99 0,999 1
συχνότητα (Frequencies)
regression Line
reduced variate observed frequencies
lower confidence limit data
upper confidence limit data
Pearson 3 Distribution G = 2,62 B = 38,62 X0 = 0,00 95% Confidence Interval


κατανομή γ -Pearson III
λεκάνη Α50-8 Δεκέμβριος
περίοδος επαναφοράς (Return period)
1,005 1,111 1,25 2 5 10 20 100
ύψος μηνιαίας βροχόπτωσης mm
0,005 0,1 0,2 0,5 0,8 0,9 0,95 0,99
συχνότητα (Frequencies)
regression Line
reduced variate observed frequencies
lower confidence limit data
upper confidence limit data
Pearson 3 Distribution G = 5,87 B = 21,75 X0 = 0,00 95% Confidence Interval

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ 1 – VII

ΠΙΝΑΚΕΣ & ΓΡΑΦΗΜΑΤΑ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΩΝ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑΣ ΜΗΝΙΑΙΑΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ ΛΕΚΑΝΩΝ ΜΕΣΑΡΑΣ

Περίοδος Επανα-φοράς Τ	Πιθανότητα Εμφάνισης ή Υπέρβασης P%	ΛΕΚΑΝΗ Μεσσαράς (περιοχή μελέτης) A50-0												
		Σεπτέμβριος	Οκτώβριος	Νοέμβριος	Δεκέμβριος	Ιανουάριος	Φεβρουάριος	Μάρτιος	Απρίλιος	Μάιος	Ιούνιος	Ιούλιος	Αύγουστος	Σύνολο
1,01	P99	0,0	1,6	60,1	117,1	54,3	59,5	23,4	3,2	1,2	0,0	0,0	0,0	320
1,11	P90	0,0	8,8	88,0	145,0	94,0	85,4	33,7	9,4	5,0	0,0	0,0	0,0	469
2,00	P50	19,2	28,6	109,7	156,0	134,4	104,7	64,7	25,3	6,6	1,7	1,1	1,1	653
10,00	P10	14,1	56,8	129,2	166,4	172,8	122,0	98,7	42,9	24,7	4,1	2,2	2,2	836
20,00	P5	65,6	61,2	125,8	158,3	171,3	118,5	101,2	44,9	26,1	6,9	3,8	4,4	888
100,00	P1	103,5	73,5	129,3	156,8	181,5	121,3	113,1	51,6	30,6	10,6	6,0	7,6	985

Περίοδος Επανα-φοράς Τ	Πιθανότητα Εμφάνισης ή Υπέρβασης P%	ΛΕΚΑΝΗ Μεσσαράς (περιοχή μελέτης) A50-0												
		Σεπτέμβριος	Οκτώβριος	Νοέμβριος	Δεκέμβριος	Ιανουάριος	Φεβρουάριος	Μάρτιος	Απρίλιος	Μάιος	Ιούνιος	Ιούλιος	Αύγουστος	Σύνολο
1,01	P99	0%	1%	19%	37%	17%	19%	7%	1%	0%	0%	0%	0%	100%
1,11	P90	0%	2%	19%	31%	20%	18%	7%	2%	1%	0%	0%	0%	100%
2,00	P50	3%	4%	17%	24%	21%	16%	10%	4%	1%	0%	0%	0%	100%
10,00	P10	2%	7%	15%	20%	21%	15%	12%	5%	3%	0%	0%	0%	100%
20,00	P5	7%	7%	14%	18%	19%	13%	11%	5%	3%	1%	0%	0%	100%
100,00	P1	11%	7%	13%	16%	18%	12%	11%	5%	3%	1%	1%	1%	100%

Περίοδος Επανα-φοράς Τ	Πιθανότητα Εμφάνισης ή Υπέρβασης P%	ΛΕΚΑΝΗ A50-2 Λιθαίου												
		Σεπτέμβριος	Οκτώβριος	Νοέμβριος	Δεκέμβριος	Ιανουάριος	Φεβρουάριος	Μάρτιος	Απρίλιος	Μάιος	Ιούνιος	Ιούλιος	Αύγουστος	Σύνολο
1,01	P99	0,0	3,4	75,3	167,3	82,4	92,8	20,5	3,7	6,1	0,0	0,0	0,0	452
1,11	P90	0,0	14,1	114,8	199,4	133,1	122,5	47,0	13,4	13,3	0,0	0,0	0,0	658
2,00	P50	1,1	39,4	154,0	216,8	187,2	145,6	86,4	33,8	23,5	20,0	2,2	1,8	912
10,00	P10	3,5	72,6	189,9	232,6	238,4	166,0	128,2	59,3	34,1	24,6	8,4	7,0	1165
20,00	P5	6,4	83,9	203,0	241,1	255,7	174,5	142,4	67,9	37,7	32,1	14,8	14,3	1274
100,00	P1	7,7	99,4	213,6	241,4	271,5	178,6	158,8	79,4	36,0	33,5	14,4	15,4	1350

Περίοδος Επανα-φοράς Τ	Πιθανότητα Εμφάνισης ή Υπέρβασης P%	ΛΕΚΑΝΗ A50-2 Λιθαίου												
		Σεπτέμβριος	Οκτώβριος	Νοέμβριος	Δεκέμβριος	Ιανουάριος	Φεβρουάριος	Μάρτιος	Απρίλιος	Μάιος	Ιούνιος	Ιούλιος	Αύγουστος	Σύνολο
1,01	P99	0%	1%	17%	37%	18%	21%	5%	1%	1%	0%	0%	0%	100%
1,11	P90	0%	2%	17%	30%	20%	19%	7%	2%	2%	0%	0%	0%	100%
2,00	P50	0%	4%	17%	24%	21%	16%	9%	4%	3%	2%	0%	0%	100%
10,00	P10	0%	6%	16%	20%	20%	14%	11%	5%	3%	2%	1%	1%	100%
20,00	P5	1%	7%	16%	19%	20%	14%	11%	5%	3%	3%	1%	1%	100%
100,00	P1	1%	7%	16%	18%	20%	13%	12%	6%	3%	2%	1%	1%	100%

Περίοδος Επανα-φοράς Τ	Πιθανότητα Εμφάνισης ή Υπέρβασης P%	ΛΕΚΑΝΗ Α50-5 Πλακιώτισσας												
		Σεπτέμβριος	Οκτώβριος	Νοέμβριος	Δεκέμβριος	Ιανουάριος	Φεβρουάριος	Μάρτιος	Απρίλιος	Μάιος	Ιούνιος	Ιούλιος	Αύγουστος	Σύνολο
1,01	P99	0,0	1,1	45,4	97,2	67,6	79,2	79,2	2,2	2,2	0,0	0,0	0,0	374
1,11	P90	0,0	8,5	76,6	115,3	107,7	102,7	102,7	9,1	7,4	0,0	0,0	0,0	530
2,00	P50	2,0	36,5	112,4	126,6	151,8	122,0	122,0	25,6	18,6	18,2	2,8	1,7	740
10,00	P10	16,7	78,5	140,6	130,9	185,0	133,0	133,0	45,4	31,3	27,8	10,4	8,3	941
20,00	P5	17,0	89,7	145,4	129,8	190,2	133,6	133,6	50,3	34,2	39,5	18,2	16,4	998
100,00	P1	20,9	119,1	148,8	139,0	193,6	145,9	145,8	63,6	42,7	41,2	23,5	20,9	1105

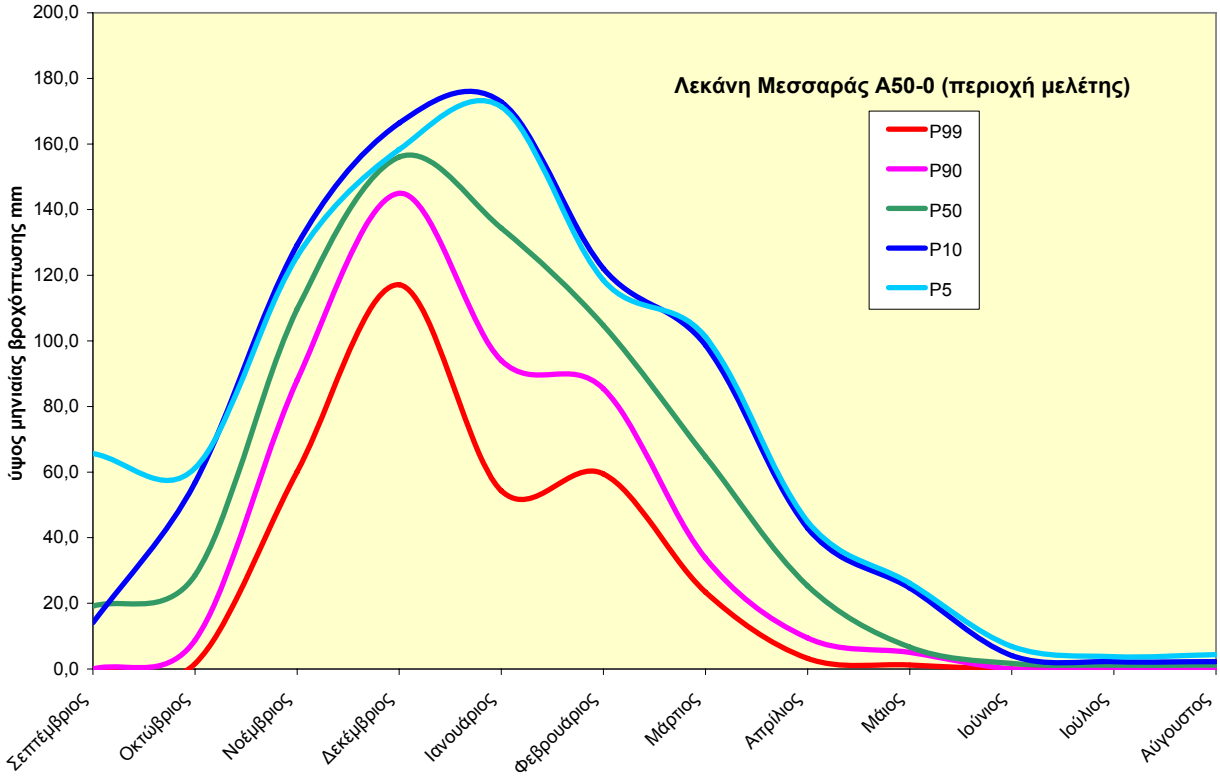
Περίοδος Επανα-φοράς Τ	Πιθανότητα Εμφάνισης ή Υπέρβασης P%	ΛΕΚΑΝΗ Α50-5 Πλακιώτισσας												
		Σεπτέμβριος	Οκτώβριος	Νοέμβριος	Δεκέμβριος	Ιανουάριος	Φεβρουάριος	Μάρτιος	Απρίλιος	Μάιος	Ιούνιος	Ιούλιος	Αύγουστος	Σύνολο
1,01	P99	0%	0%	12%	26%	18%	21%	21%	1%	1%	0%	0%	0%	100%
1,11	P90	0%	2%	14%	22%	20%	19%	19%	2%	1%	0%	0%	0%	100%
2,00	P50	0%	5%	15%	17%	21%	16%	16%	3%	3%	2%	0%	0%	100%
10,00	P10	2%	8%	15%	14%	20%	14%	14%	5%	3%	3%	1%	1%	100%
20,00	P5	2%	9%	15%	13%	19%	13%	13%	5%	3%	4%	2%	2%	100%
100,00	P1	2%	11%	13%	13%	18%	13%	13%	6%	4%	4%	2%	2%	100%

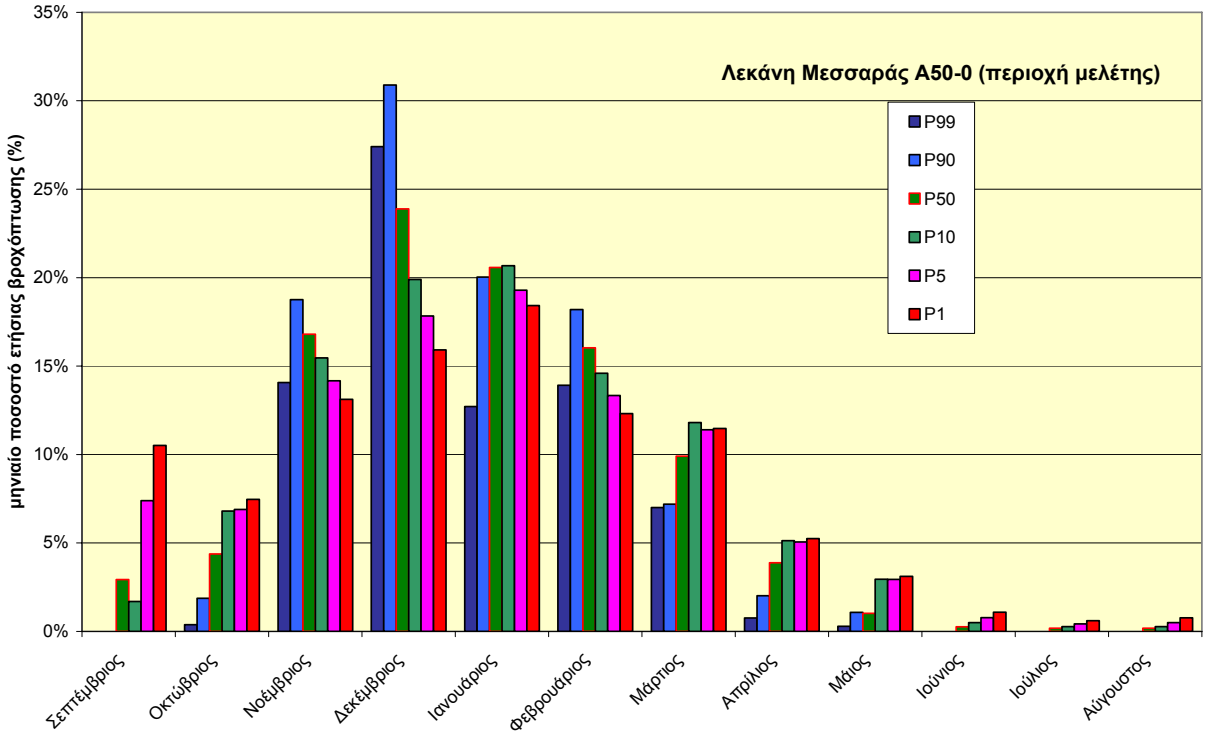
Περίοδος Επανα-φοράς Τ	Πιθανότητα Εμφάνισης ή Υπέρβασης P%	ΛΕΚΑΝΗ Α50-7 πεδινό τμήμα												
		Σεπτέμβριος	Οκτώβριος	Νοέμβριος	Δεκέμβριος	Ιανουάριος	Φεβρουάριος	Μάρτιος	Απρίλιος	Μάιος	Ιούνιος	Ιούλιος	Αύγουστος	Σύνολο
1,01	P99	0,0	3,4	32,5	82,4	35,9	39,8	9,2	2,3	0,6	0,0	0,0	0,0	206
1,11	P90	0,0	12,2	58,7	106,7	66,5	60,7	24,2	7,9	3,2	0,0	0,0	0,0	340
2,00	P50	1,0	31,5	89,4	123,1	103,3	80,2	49,2	20,1	11,2	10,4	1,1	0,5	521
10,00	P10	2,8	54,8	116,6	133,6	136,0	95,5	76,0	34,8	22,5	16,3	2,8	2,1	694
20,00	P5	5,0	60,6	121,9	134,1	142,4	97,7	82,1	38,5	25,5	25,1	6,3	3,8	743
100,00	P1	6,3	73,4	135,1	139,6	158,5	105,3	96,0	46,4	32,0	30,4	7,3	4,7	835

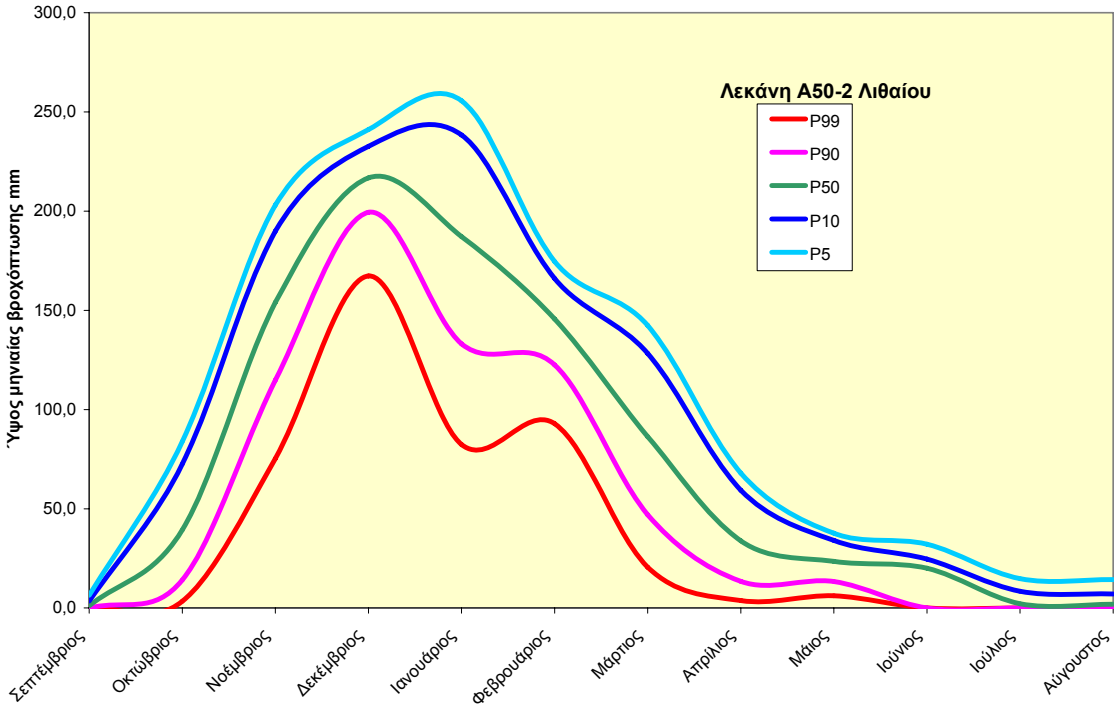
Περίοδος Επανα-φοράς Τ	Πιθανότητα Εμφάνισης ή Υπέρβασης P%	ΛΕΚΑΝΗ Α50-7 πεδινό τμήμα												
		Σεπτέμβριος	Οκτώβριος	Νοέμβριος	Δεκέμβριος	Ιανουάριος	Φεβρουάριος	Μάρτιος	Απρίλιος	Μάιος	Ιούνιος	Ιούλιος	Αύγουστος	Σύνολο
1,01	P99	0%	2%	16%	40%	17%	19%	4%	1%	0%	0%	0%	0%	100%
1,11	P90	0%	4%	17%	31%	20%	18%	7%	2%	1%	0%	0%	0%	100%
2,00	P50	0%	6%	17%	24%	20%	15%	9%	4%	2%	2%	0%	0%	100%
10,00	P10	0%	8%	17%	19%	20%	14%	11%	5%	3%	2%	0%	0%	100%
20,00	P5	1%	8%	16%	18%	19%	13%	11%	5%	3%	3%	1%	1%	100%
100,00	P1	1%	9%	16%	17%	19%	13%	11%	6%	4%	4%	1%	1%	100%

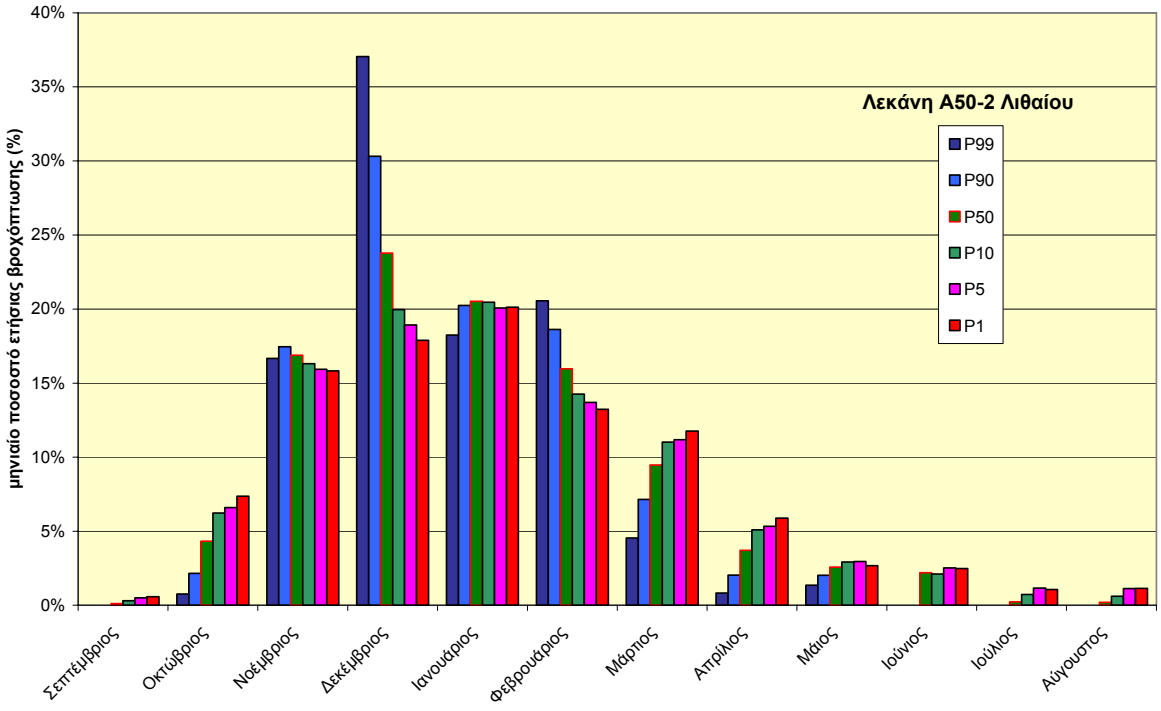
Περίοδος Επανα-φοράς Τ	Πιθανότητα Εμφάνισης ή Υπέρβασης P%	ΛΕΚΑΝΗ A50-8 Αστερουσίων												
		Σεπτέμβριος S	Οκτώβριος	Νοέμβριος	Δεκέμβριος	Ιανουάριος	Φεβρουάριος S	Μάρτιος	Απρίλιος	Μάιος	Ιούνιος	Ιούλιος	Αύγουστος	Σύνολο
1,01	P99	0,0	1,1	25,2	78,3	34,7	27,3	6,5	6,5	6,5	0,0	0,0	0,0	186
1,11	P90	0,0	6,1	52,5	103,6	64,1	49,4	19,7	19,8	19,8	0,0	0,0	0,0	335
2,00	P50	0,5	22,3	85,9	116,8	95,8	72,7	42,9	42,9	42,9	10,2	1,6	0,5	535
10,00	P10	1,1	45,2	115,4	123,5	121,7	91,5	67,5	67,5	67,5	17,5	4,4	3,1	726
20,00	P5	1,9	51,4	121,5	123,7	126,7	95,1	73,4	73,4	73,4	24,2	9,9	5,5	780
100,00	P1	2,7	64,9	137,0	128,5	140,4	105,0	86,7	86,7	86,7	25,2	11,4	6,9	882

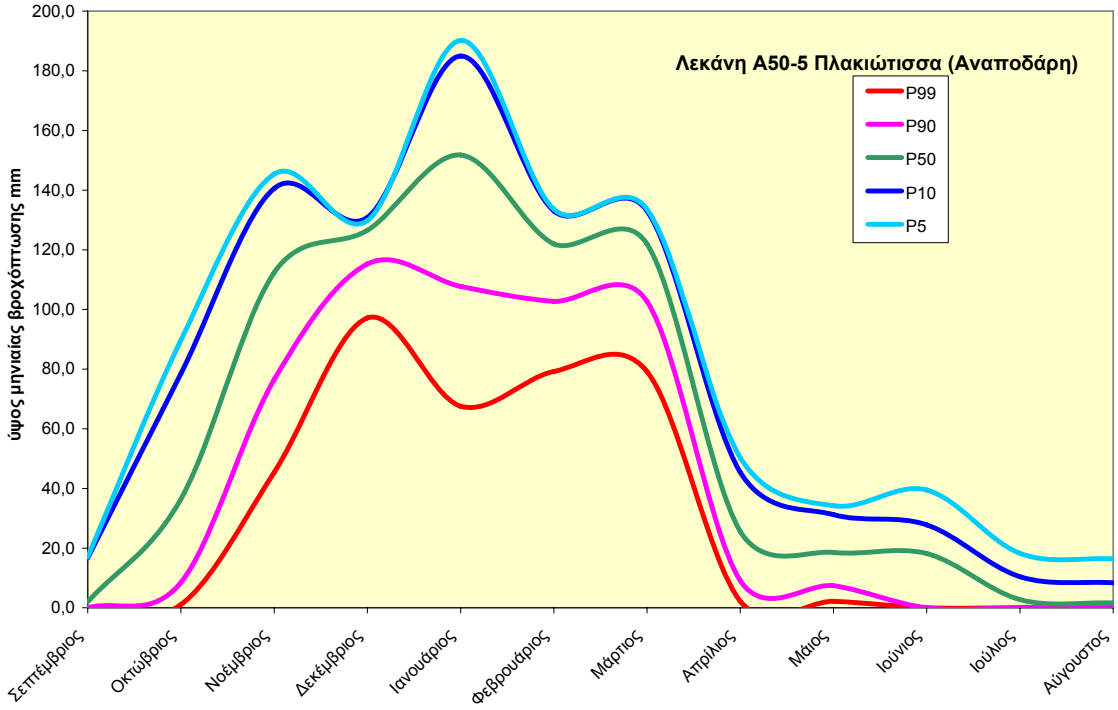
Περίοδος Επανα-φοράς Τ	Πιθανότητα Εμφάνισης ή Υπέρβασης P%	ΛΕΚΑΝΗ A50-8 Αστερουσίων												
		Σεπτέμβριος S	Οκτώβριος	Νοέμβριος	Δεκέμβριος	Ιανουάριος	Φεβρουάριος S	Μάρτιος	Απρίλιος	Μάιος	Ιούνιος	Ιούλιος	Αύγουστος	Σύνολο
1,01	P99	0%	1%	14%	42%	19%	15%	4%	4%	4%	0%	0%	0%	100%
1,11	P90	0%	2%	16%	31%	19%	15%	6%	6%	6%	0%	0%	0%	100%
2,00	P50	0%	4%	16%	22%	18%	14%	8%	8%	8%	2%	0%	0%	100%
10,00	P10	0%	6%	16%	17%	17%	13%	9%	9%	9%	2%	1%	0%	100%
20,00	P5	0%	7%	16%	16%	16%	12%	9%	9%	9%	3%	1%	1%	100%
100,00	P1	0%	7%	16%	15%	16%	12%	10%	10%	10%	3%	1%	1%	100%

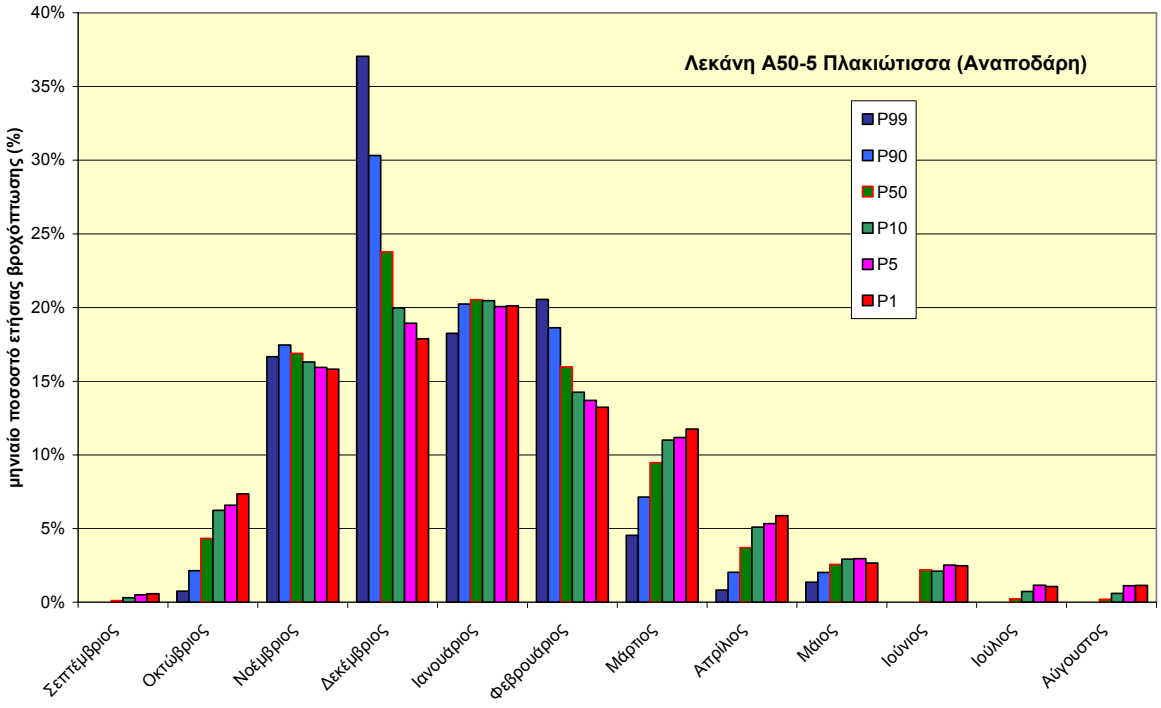

Λεκάνη Μεσσαράς Α50-0 (περιοχή μελέτης)
P99
P90
P50
P10
P5
ύψος μηνιαίας βροχόπτωσης mm
200,0
180,0
160,0
140,0
120,0
100,0
80,0
60,0
40,0
20,0
0,0
Σεπτέμβριος
Οκτώβριος
Νοέμβριος
Δεκέμβριος
Ιανουάριος
Φεβρουάριος
Μάρτιος
Απρίλιος
Μάιος
Ιούνιος
Ιούλιος
Αύγουστος

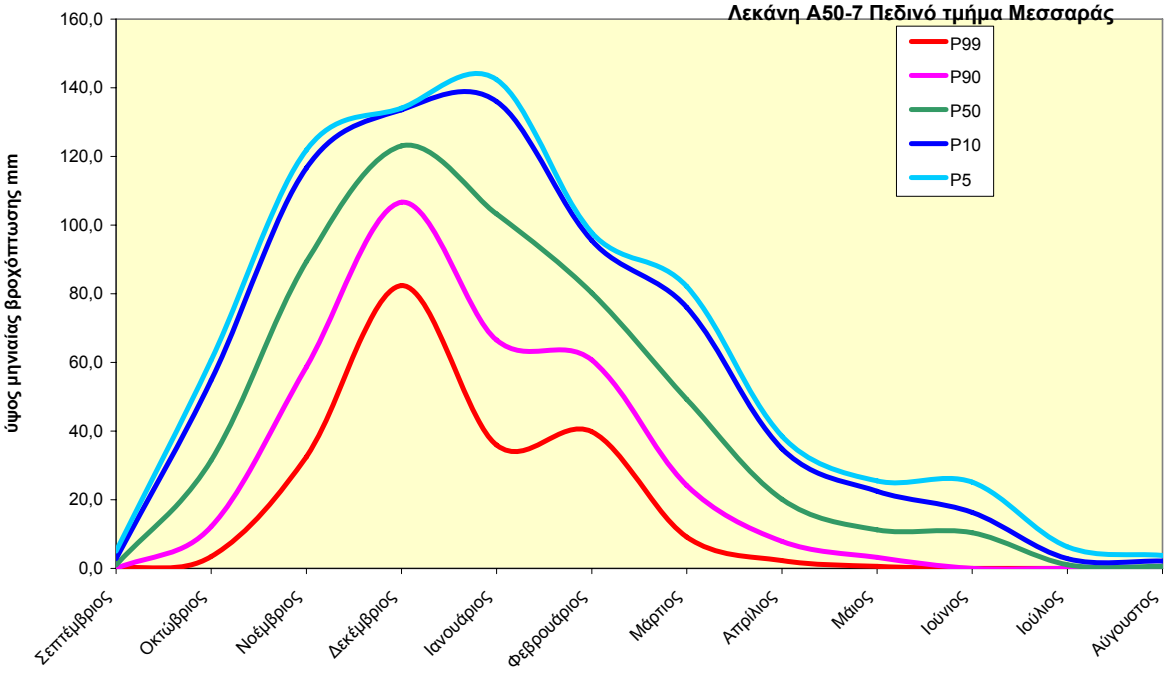

Λεκάνη Μεσσαράς Α50-0 (περιοχή μελέτης)
P99
P90
P50
P10
P5
P1
μηνιαίο ποσοστό ετήσιας βροχόπτωσης (%)
35%
30%
25%
20%
15%
10%
5%
0%
Σεπτέμβριος
Οκτώβριος
Νοέμβριος
Δεκέμβριος
Ιανουάριος
Φεβρουάριος
Μάρτιος
Απρίλιος
Μάιος
Ιούνιος
Ιούλιος
Αύγουστος

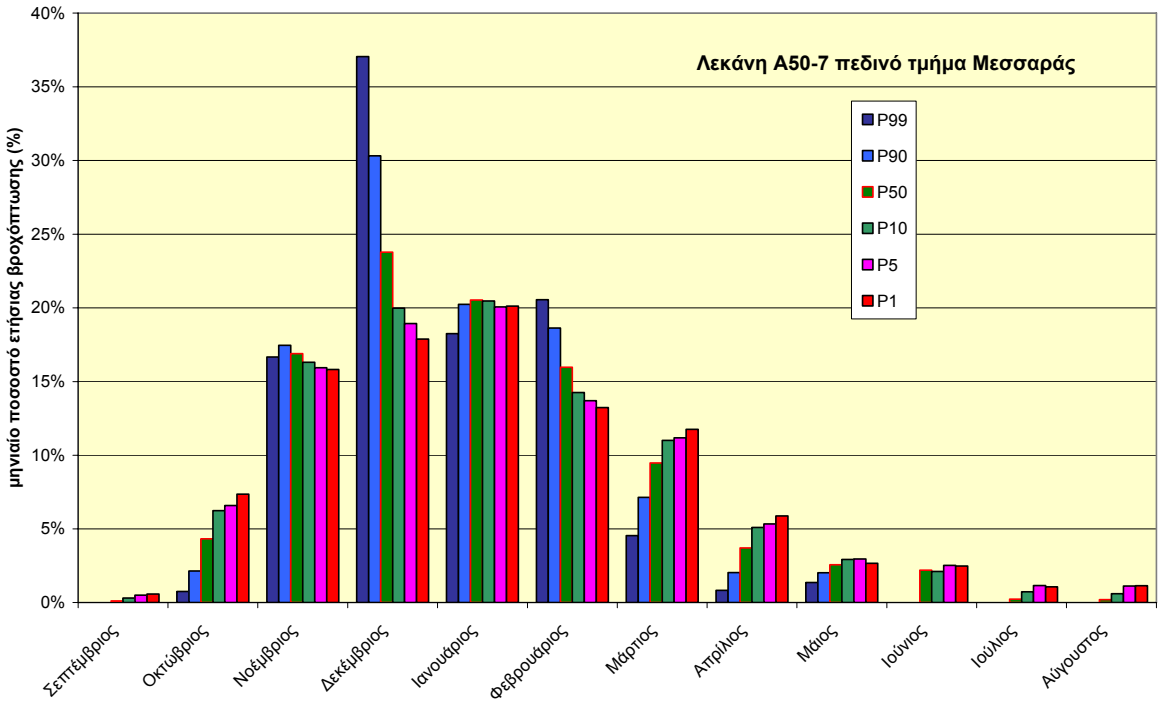

Λεκάνη Α50-2 Λιθαίου
P99
P90
P50
P10
P5
Ύψος μηνιαίας βροχόπτωσης mm
300,0
250,0
200,0
150,0
100,0
50,0
0,0
Σεπτέμβριος
Οκτώβριος
Νοέμβριος
Δεκέμβριος
Ιανουάριος
Φεβρουάριος
Μάρτιος
Απρίλιος
Μάιος
Ιούνιος
Ιούλιος
Αύγουστος

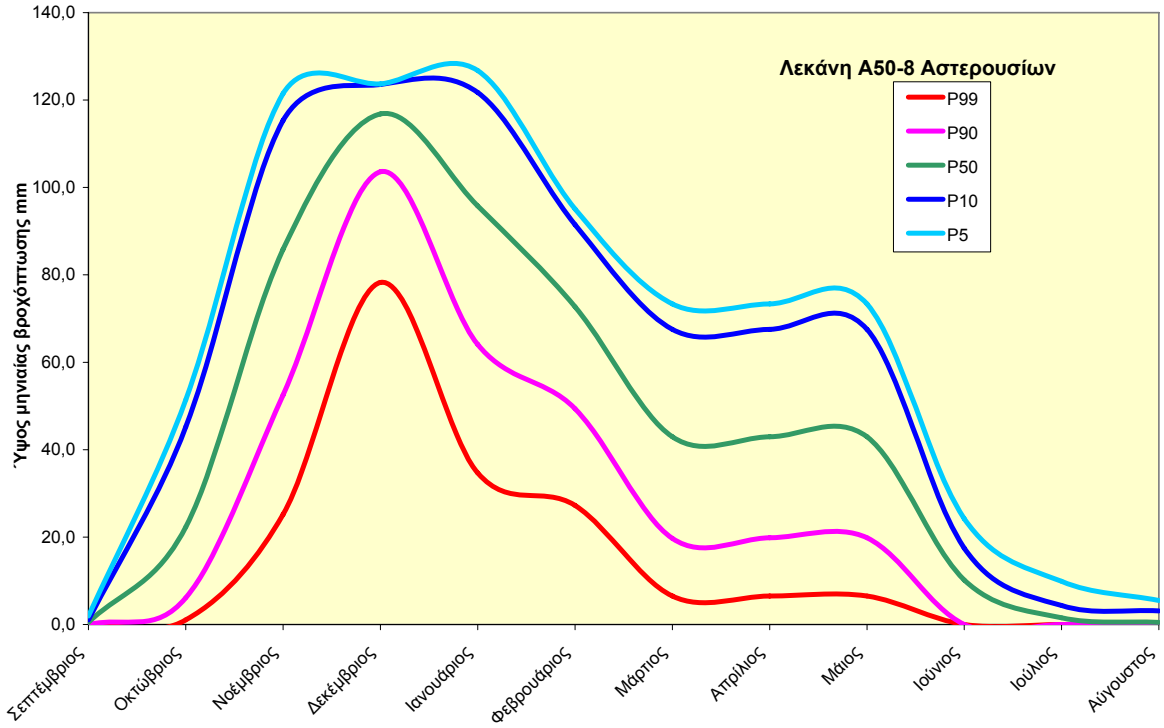

Λεκάνη Α50-2 Λιθαίου
P99
P90
P50
P10
P5
P1
μηνιαίο ποσοστό ετήσιας βροχόπτωσης (%)
40%
35%
30%
25%
20%
15%
10%
5%
0%
Σεπτέμβριος
Οκτώβριος
Νοέμβριος
Δεκέμβριος
Ιανουάριος
Φεβρουάριος
Μάρτιος
Απρίλιος
Μάιος
Ιούνιος
Ιούλιος
Αύγουστος

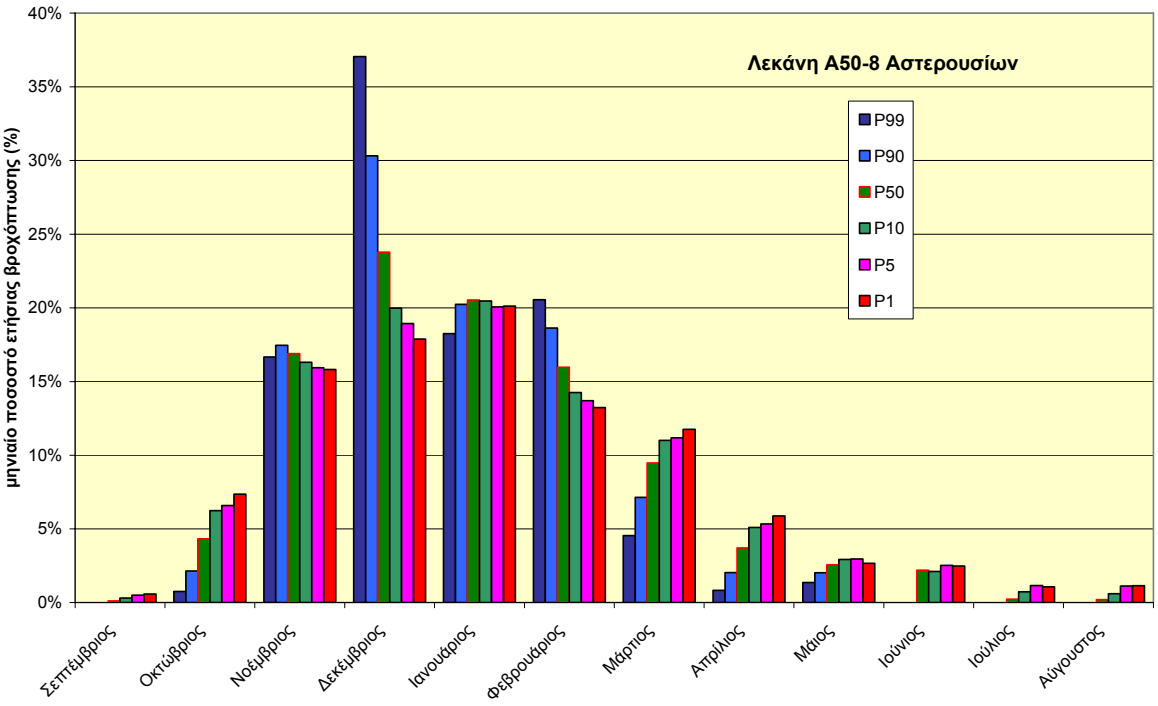

Λεκάνη Α50-5 Πλακιώτισσα (Αναποδάρη)
P99
P90
P50
P10
P5
ύψος μηνιαίας βροχόπτωσης mm
200,0
180,0
160,0
140,0
120,0
100,0
80,0
60,0
40,0
20,0
0,0
Σεπτέμβριος
Οκτώβριος
Νοέμβριος
Δεκέμβριος
Ιανουάριος
Φεβρουάριος
Μάρτιος
Απρίλιος
Μάιος
Ιούνιος
Ιούλιος
Αύγουστος


Λεκάνη Α50-5 Πλακιώτισσα (Αναποδάρη)
P99
P90
P50
P10
P5
P1
μηνιαίο ποσοστό ετήσιας βροχόπτωσης (%)
40%
35%
30%
25%
20%
15%
10%
5%
0%
Σεπτέμβριος
Οκτώβριος
Νοέμβριος
Δεκέμβριος
Ιανουάριος
Φεβρουάριος
Μάρτιος
Απρίλιος
Μάιος
Ιούνιος
Ιούλιος
Αύγουστος


Λεκάνη Α50-7 Πεδινό τμήμα Μεσσαράς
P99
P90
P50
P10
P5
ύψος μηνιαίας βροχόπτωσης mm
160,0
140,0
120,0
100,0
80,0
60,0
40,0
20,0
0,0
Σεπτέμβριος
Οκτώβριος
Νοέμβριος
Δεκέμβριος
Ιανουάριος
Φεβρουάριος
Μάρτιος
Απρίλιος
Μάιος
Ιούνιος
Ιούλιος
Αύγουστος


Λεκάνη Α50-7 πεδινό τμήμα Μεσσαράς
P99
P90
P50
P10
P5
P1
μηνιαίο ποσοστό ετήσιας βροχόπτωσης (%)
40%
35%
30%
25%
20%
15%
10%
5%
0%
Σεπτέμβριος
Οκτώβριος
Νοέμβριος
Δεκέμβριος
Ιανουάριος
Φεβρουάριος
Μάρτιος
Απρίλιος
Μάιος
Ιούνιος
Ιούλιος
Αύγουστος


Λεκάνη Α50-8 Αστερουσίων
P99
P90
P50
P10
P5
Ύψος μηνιαίας βροχόπτωσης mm
140,0
120,0
100,0
80,0
60,0
40,0
20,0
0,0
Σεπτέμβριος
Οκτώβριος
Νοέμβριος
Δεκέμβριος
Ιανουάριος
Φεβρουάριος
Μάρτιος
Απρίλιος
Μάιος
Ιούνιος
Ιούλιος
Αύγουστος

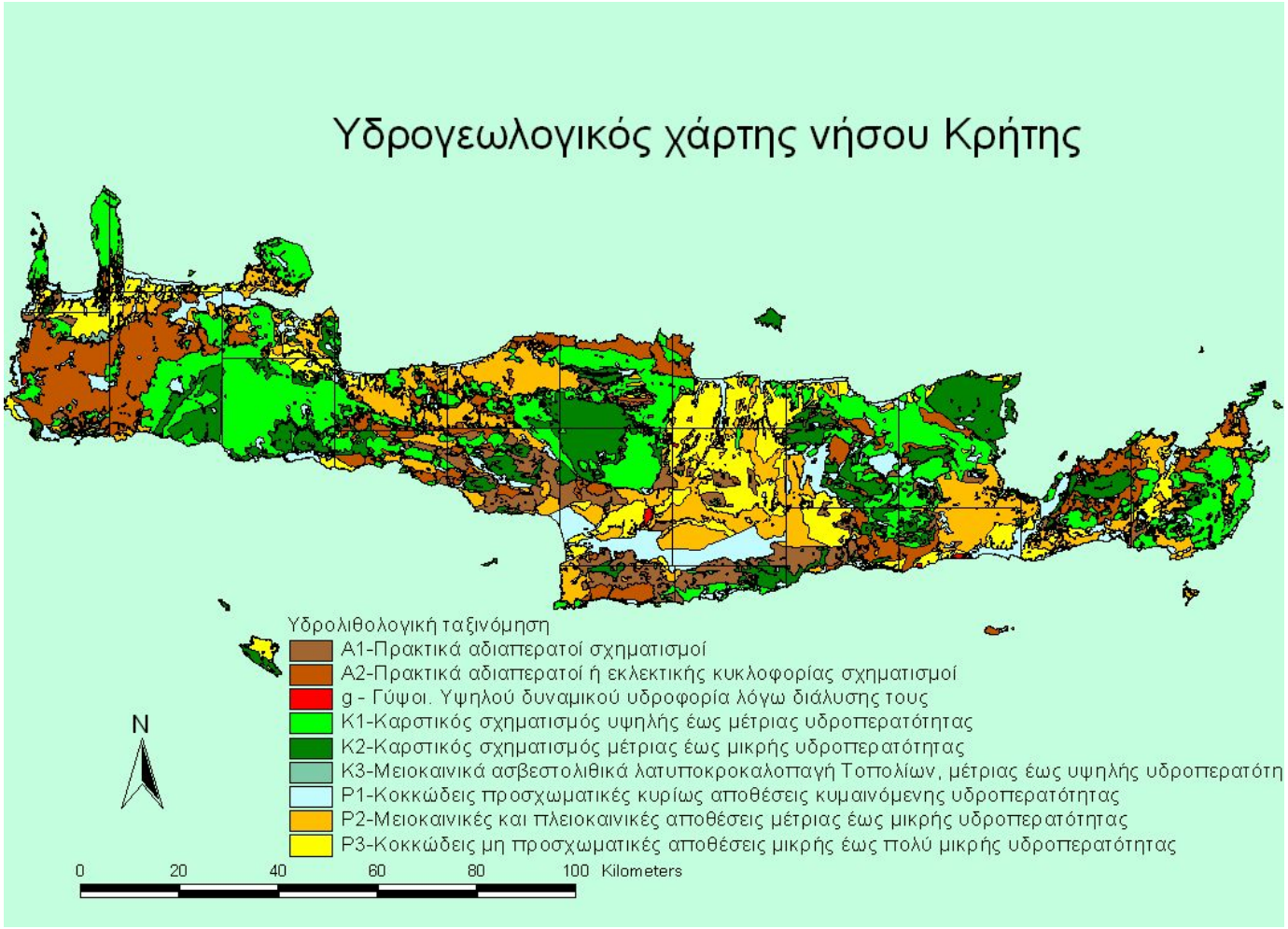

Λεκάνη Α50-8 Αστερουσίων
P99
P90
P50
P10
P5
P1
μηνιαίο ποσοστό ετήσιας βροχόπτωσης (%)
40%
35%
30%
25%
20%
15%
10%
5%
0%
Σεπτέμβριος
Οκτώβριος
Νοέμβριος
Δεκέμβριος
Ιανουάριος
Φεβρουάριος
Μάρτιος
Απρίλιος
Μάιος
Ιούνιος
Ιούλιος
Αύγουστος

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ 5

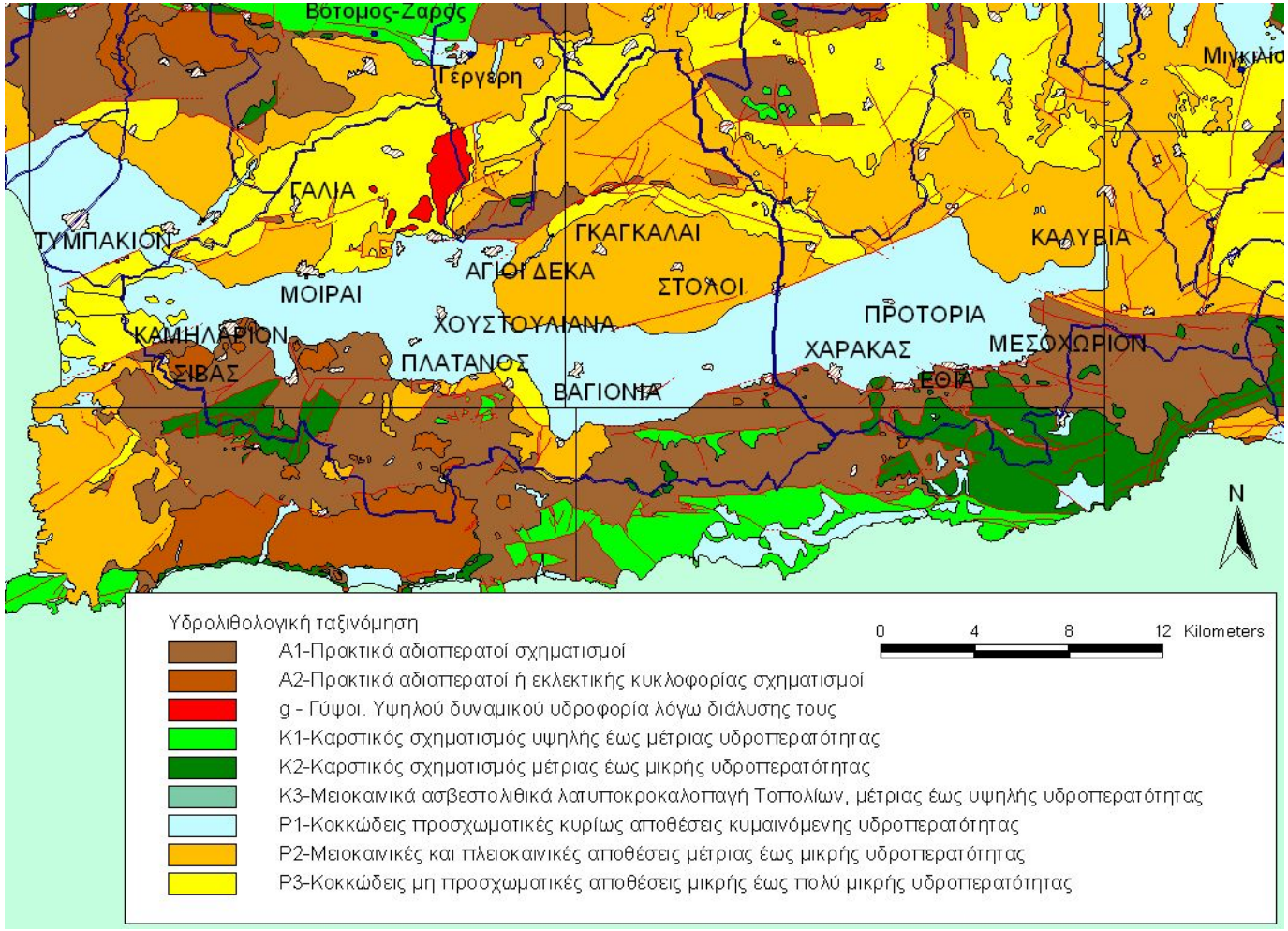
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

ΕΙΚΟΝΑ Π 5- 1. ΥΔΡΟΛΙΘΟΛΟΓΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΤΗΣ ΚΡΗΤΗΣ (ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΚΡΗΤΗΣ) 3
ΕΙΚΟΝΑ Π 5- 2 ΥΔΡΟΛΙΘΟΛΟΓΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ 4
ΕΙΚΟΝΑ Π 5- 3 ΛΕΚΑΝΗ ΜΕΣΑΡΑΣ (ΑΛΛΟΥΒΙΑΚΟΣ ΚΑΙ ΠΛΕΙΣΤΟΚΑΙΝΙΚΟΣ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑΣ)..... 5
ΕΙΚΟΝΑ Π 5- 4Α ΥΠΟΔΙΑΙΡΕΣΗ ΤΗΣ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΤΗΣ ΜΕΣΑΡΑΣ..... 6
ΕΙΚΟΝΑ Π 5- 4Β ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΤΟΜΗ ΛΕΚΑΝΗΣ ΤΗΣ ΜΕΣΑΡΑΣ Α-Δ 7
ΕΙΚΟΝΑ Π 5- 5Α ΙΣΟΠΙΕΖΟΜΕΤΡΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΤΗΣ ΜΕΣΑΡΑΣ..... 8
ΕΙΚΟΝΑ Π 5- 5Β ΙΣΟΠΙΕΖΟΜΕΤΡΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΤΗΣ ΜΕΣΑΡΑΣ..... 9
ΕΙΚΟΝΑ Π 5- 6Α ΛΕΚΑΝΗ ΜΟΙΡΩΝ (ΑΛΛΟΥΒΙΑΚΟΣ ΚΑΙ ΠΛΕΙΣΤΟΚΑΙΝΙΚΟΣ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑΣ) 10
ΕΙΚΟΝΑ Π 5- 6Β ΡΗΓΜΑΤΑ ΚΑΛΥΜΜΕΝΑ ΣΤΗ ΛΕΚΑΝΗ ΤΩΝ ΜΟΙΡΩΝ – ΥΠΟΔΙΑΙΡΕΣΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΤΩΝ ΜΟΙΡΩΝ 11
ΕΙΚΟΝΑ Π 5- 6 ΥΔΡΟΛΙΘΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΜΟΙΡΩΝ - ΘΕΣΕΙΣ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΤΟΜΩΝ 1,…6..... 12
ΕΙΚΟΝΑ Π 5- 7 ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΤΟΜΗ 1 ΑΝΑΤΟΛΗ-ΔΥΣΗ ΛΕΚΑΝΗΣ ΜΟΙΡΩΝ..... 13
ΕΙΚΟΝΑ Π 5- 8 ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΤΟΜΗ 2 – ΦΑΙΣΤΟΥ (ΛΕΚΑΝΗ ΜΟΙΡΩΝ) 14
ΕΙΚΟΝΑ Π 5- 9 ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΤΟΜΗ 3 – ΠΕΤΡΟΚΕΦΑΛΙ- ΚΑΛΥΒΙΑΝΗ (ΛΕΚΑΝΗ ΜΟΙΡΩΝ) 15
ΕΙΚΟΝΑ Π 5- 10 ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΤΟΜΗ 4 – ΠΟΜΠΙΑ- ΜΟΙΡΕΣ (ΛΕΚΑΝΗ ΜΟΙΡΩΝ) 16
ΕΙΚΟΝΑ Π 5- 11 ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΤΟΜΗ 5 – ΠΕΡΙ- ΚΑΣΤΕΛΙ (ΛΕΚΑΝΗ ΜΟΙΡΩΝ)..... 17
ΕΙΚΟΝΑ Π 5- 12 ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΤΟΜΗ 6 – ΠΛΩΡΑ- ΧΟΥΣΤΟΥΛΙΑΝΑ- ΓΟΡΤΥΣ (ΛΕΚΑΝΗ ΜΟΙΡΩΝ) 18
ΕΙΚΟΝΑ Π 5- 13 ΘΕΣΕΙΣ ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΥΔΡΟΣΤΑΤΙΚΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΜΟΙΡΩΝ..... 19
ΕΙΚΟΝΑ Π 5- 14 . ΥΔΡΟΣΤΑΤΙΚΗ ΣΤΑΘΜΗ ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΩΝ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΜΟΙΡΩΝ ΣΕ ΑΠΟΛΥΤΟ ΥΨΟΜΕΤΡΟ..... 20
ΕΙΚΟΝΑ Π 5- 15 ΥΔΡΟΣΤΑΤΙΚΗ ΣΤΑΘΜΗ ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΩΝ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΜΟΙΡΩΝ ΣΕ ΒΑΘΟΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ 21
ΕΙΚΟΝΑ Π 5- 16 ΥΔΡΟΣΤΑΤΙΚΗ ΣΤΑΘΜΗ ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΩΝ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΜΟΙΡΩΝ ΣΕ ΑΠΟΛΥΤΟ ΥΨΟΜΕΤΡΟ ΚΑΙ ΕΞΑΜΗΝΙΑΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ..... 22
ΕΙΚΟΝΑ Π 5- 17 ΙΣΟΠΙΕΖΟΜΕΤΡΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΜΟΙΡΩΝ ΕΤΟΥΣ 1970 23
ΕΙΚΟΝΑ Π 5- 18 ΙΣΟΠΙΕΖΟΜΕΤΡΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΜΟΙΡΩΝ ΕΤΟΥΣ1981 24
ΕΙΚΟΝΑ Π 5- 19 ΙΣΟΠΙΕΖΟΜΕΤΡΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΜΟΙΡΩΝ ΕΤΟΥΣ1987 25
ΕΙΚΟΝΑ Π 5- 20 ΙΣΟΠΙΕΖΟΜΕΤΡΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΜΟΙΡΩΝ ΕΤΟΥΣ 1996 26
ΕΙΚΟΝΑ Π 5- 21 ΙΣΟΠΙΕΖΟΜΕΤΡΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΜΟΙΡΩΝ ΕΤΟΥΣ2002 27
ΕΙΚΟΝΑ Π 5- 22 ΙΣΟΠΙΕΖΟΜΕΤΡΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΜΟΙΡΩΝ ΕΤΟΥΣ ΕΤ.ΩΝ 1970, 1981, 2002 28
ΕΙΚΟΝΑ Π 5- 23 ΔΙΑΧΡΟΝΙΚΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΥΔΡΟΣΤΑΤΙΚΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΜΟΙΡΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ Α-Δ (ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΤΟΜΗ Νο 1) 29
ΕΙΚΟΝΑ Π 5- 24 ΥΠΟΔΙΑΙΡΕΣΗ ΛΕΚΑΝΗΣ ΜΟΙΡΩΝ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟ ΠΑΧΟΣ ΤΩΝ ΑΛΛΟΥΒΙΑΚΩΝ ΑΠΟΘΕΣΕΩΝ ΚΑΙ ΥΔΡΑΥΛΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΤΗΣ. 30
ΕΙΚΟΝΑ Π 5- 25 ΧΑΡΤΗΣ ΜΕΤΑΒΙΒΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΥΠΟΛΕΚΑΝΩΝ ΑΛΛΟΥΒΙΑΚΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ ΛΕΚΑΝΗΣ ΜΟΙΡΩΝ..... 31
ΕΙΚΟΝΑ Π 5-27. ΡΗΞΗΤΕΜΑΧΗ ΛΕΚΑΝΗΣ ΜΕΣΑΡΑΣ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ Α-Δ – ΔΙΑΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΛΕΚΑΝΩΝ 32
ΕΙΚΟΝΑ Π 5-28. ΛΕΚΑΝΗ ΒΑΓΙΟΝΙΑΣ- ΑΣΗΜΙΟΥ 33
ΕΙΚΟΝΑ Π 5-29. ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΤΟΜΗ Β-Ν ΛΕΚΑΝΗΣ ΒΑΓΙΟΝΙΑΣ- ΑΣΗΜΙΟΥ (1)..... 34
ΕΙΚΟΝΑ Π 5-30. ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΤΟΜΗ Β-Ν ΛΕΚΑΝΗΣ ΒΑΓΙΟΝΙΑΣ- ΑΣΗΜΙΟΥ (2)..... 35
ΕΙΚΟΝΑ Π 5-31. ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΑ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΙΣΟΫΨΕΤΙΕΣ ΕΤΟΥΣ 1996 ΛΕΚΑΝΗΣ ΒΑΓΙΟΝΙΑΣ- ΑΣΗΜΙΟΥ..... 36

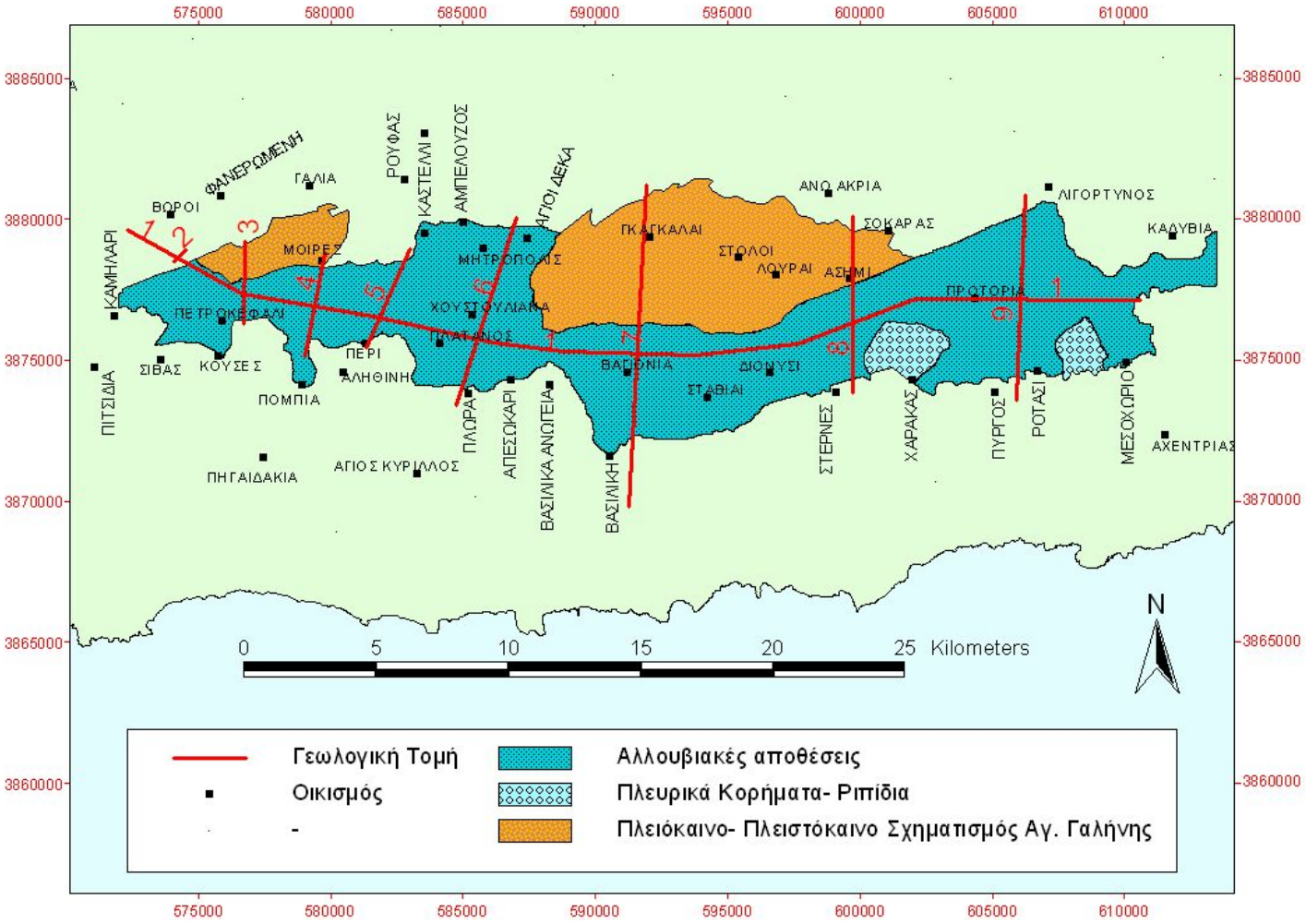
ΕΙΚΟΝΑ Π 5-32. ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΑ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΙΣΟΫΕΤΙΕΣ ΕΤΟΥΣ 2001 ΛΕΚΑΝΗΣ ΒΑΓΙΟΝΙΑΣ- ΑΣΗΜΙΟΥ 37
ΕΙΚΟΝΑ Π 5-33. ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΑ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΙΣΟΫΕΤΙΕΣ ΕΤΟΥΣ 1996 ΛΕΚΑΝΗΣ ΒΑΓΙΟΝΙΑΣ- ΑΣΗΜΙΟΥ 38
ΕΙΚΟΝΑ Π 5-34. ΥΔΡΟΣΤΑΤΙΚΗ ΣΤΑΘΜΗ ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΩΝ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΛΕΚΑΝΗΣ ΒΑΓΙΟΝΙΑΣ- ΑΣΗΜΙΟΥ 39
ΕΙΚΟΝΑ Π 5-35. ΑΠΟΛΥΤΗ ΥΔΡΟΣΤΑΤΙΚΗ ΣΤΑΘΜΗ ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΩΝ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΒΑΓΙΟΝΙΑΣ- ΑΣΗΜΙΟΥ (1) 40
ΕΙΚΟΝΑ Π 5-36. ΑΠΟΛΥΤΗ ΥΔΡΟΣΤΑΤΙΚΗ ΣΤΑΘΜΗ ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΩΝ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΒΑΓΙΟΝΙΑΣ- ΑΣΗΜΙΟΥ (2) 41
ΕΙΚΟΝΑ Π 5-37. ΑΠΟΛΥΤΗ ΥΔΡΟΣΤΑΤΙΚΗ ΣΤΑΘΜΗ ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΩΝ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΒΑΓΙΟΝΙΑΣ- ΑΣΗΜΙΟΥ (3) 42
ΕΙΚΟΝΑ Π 5-38. ΑΠΟΛΥΤΗ ΥΔΡΟΣΤΑΤΙΚΗ ΣΤΑΘΜΗ ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΩΝ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΒΑΓΙΟΝΙΑΣ- ΑΣΗΜΙΟΥ (4) 43
ΕΙΚΟΝΑ Π 5-39. ΔΙΑΘΕΣΙΜΟΤΗΤΑ ΙΣΤΟΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΥΔΡΟΣΤΑΤΙΚΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΩΝ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΒΑΓΙΟΝΙΑΣ- ΑΣΗΜΙΟΥ 44
ΕΙΚΟΝΑ Π 5-40. ΔΙΑΘΕΣΙΜΟΤΗΤΑ ΣΥΜΠΛΗΡΩΜΕΝΗΣ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΑΣ ΥΔΡΟΣΤΑΤΙΚΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΩΝ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΒΑΓΙΟΝΙΑΣ- ΑΣΗΜΙΟΥ 45
ΕΙΚΟΝΑ Π 5-41. ΕΞΑΜΗΝΙΑΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ - ΥΔΡΟΣΤΑΤΙΚΗ ΣΤΑΘΜΗ ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΩΝ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΒΑΓΙΟΝΙΑΣ- ΑΣΗΜΙΟΥ 46
ΕΙΚΟΝΑ Π 5-42. ΖΩΝΕΣ ΜΕΣΗ ΜΕΤΑΒΙΒΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ Τ ΛΕΚΑΝΗΣ ΒΑΓΙΟΝΙΑΣ- ΑΣΗΜΙΟΥ (ΣΕ M2/DAY) 47
ΕΙΚΟΝΑ Π 5-43. ΛΕΚΑΝΗ ΧΑΡΑΚΑ 48
ΕΙΚΟΝΑ Π 5-44. ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΤΟΜΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΤΟΥ ΧΑΡΑΚΑ Α-Δ 49
ΕΙΚΟΝΑ Π 5-45. ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΤΟΜΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΤΟΥ ΧΑΡΑΚΑ Β-Ν 50
ΕΙΚΟΝΑ Π 5-46. ΥΠΟΔΙΑΙΡΕΣΗ ΤΟΥ ΑΛΛΟΥΒΙΑΚΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΤΟΥ ΧΑΡΑΚΑ ΣΕ ΖΩΝΕΣ. 51
ΕΙΚΟΝΑ Π 5-47. ΥΔΡΟΪΣΟΫΨΕΙΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΤΟΥ ΧΑΡΑΚΑ ΕΤΟΥΣ 1996 52
ΕΙΚΟΝΑ Π 5-48. ΥΔΡΟΪΣΟΫΨΕΙΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΤΟΥ ΧΑΡΑΚΑ ΕΤΟΥΣ 2001 53
ΕΙΚΟΝΑ Π 5-49. ΥΔΡΟΪΣΟΫΨΕΙΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΤΟΥ ΧΑΡΑΚΑ ΕΤΟΥΣ 1996 ΚΑΙ 2001 .. 54
ΕΙΚΟΝΑ Π 5-50. ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ ΥΔΡΟΣΤΑΤΙΚΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΥΓΡΗΣ ΚΑΙ ΞΗΡΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΤΟΥ ΧΑΡΑΚΑ, ΕΤΟΣ 1969 55
ΕΙΚΟΝΑ Π 5-51. ΕΞΑΜΗΝΙΑΙΑ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ ΚΑΙ ΠΤΩΣΗ ΣΤΑΘΜΗΣ ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΩΝ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΤΟΥ ΧΑΡΑΚΑ 56
ΕΙΚΟΝΑ Π 5-52. ΥΔΡΟΣΤΑΤΙΚΗ ΣΤΑΘΜΗ ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΩΝ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΤΟΥ ΧΑΡΑΚΑ ΣΕ Μ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ(1) 57
ΕΙΚΟΝΑ Π 5-53. ΥΔΡΟΣΤΑΤΙΚΗ ΣΤΑΘΜΗ ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΩΝ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΤΟΥ ΧΑΡΑΚΑ ΣΕ Μ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ(2) 58
ΕΙΚΟΝΑ Π 5-54. ΑΠΟΛΥΤΗ ΥΔΡΟΣΤΑΤΙΚΗ ΣΤΑΘΜΗ ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΩΝ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΤΟΥ ΧΑΡΑΚΑ (ΜΕ ΣΥΝΕΧΗ ΓΡΑΜΜΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΖΕΤΑΙ Η ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΑ ΚΑΙ ΜΕ ΔΙΑΚΕΚΟΜΜΕΝΗ ΓΡΑΜΜΗ ΟΙ ΣΥΜΠΛΗΡΩΜΕΝΕΣ ΤΙΜΕΣ) (1) 59
ΕΙΚΟΝΑ Π 5-55. ΑΠΟΛΥΤΗ ΥΔΡΟΣΤΑΤΙΚΗ ΣΤΑΘΜΗ ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΩΝ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΤΟΥ ΧΑΡΑΚΑ (ΜΕ ΣΥΝΕΧΗ ΓΡΑΜΜΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΖΕΤΑΙ Η ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΑ ΚΑΙ ΜΕ ΔΙΑΚΕΚΟΜΜΕΝΗ ΓΡΑΜΜΗ ΟΙ ΣΥΜΠΛΗΡΩΜΕΝΕΣ ΤΙΜΕΣ) (2). 60
ΕΙΚΟΝΑ Π 5-56. ΑΠΟΛΥΤΗ ΥΔΡΟΣΤΑΤΙΚΗ ΣΤΑΘΜΗ ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΩΝ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΤΟΥ ΧΑΡΑΚΑ (ΜΕ ΣΥΝΕΧΗ ΓΡΑΜΜΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΖΕΤΑΙ Η ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΑ ΚΑΙ ΜΕ ΔΙΑΚΕΚΟΜΜΕΝΗ ΓΡΑΜΜΗ ΟΙ ΣΥΜΠΛΗΡΩΜΕΝΕΣ ΤΙΜΕΣ) (3). 61
ΕΙΚΟΝΑ Π 5-57. ΜΕΤΑΒΙΒΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ, Τ, ΤΩΝ ΖΩΝΩΝ ΤΟΥ ΑΛΛΟΥΒΙΑΚΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΤΟΥ ΧΑΡΑΚΑ 62
ΕΙΚΟΝΑ Π 5-58. ΥΔΡΟΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ S ΤΩΝ ΖΩΝΩΝ ΤΟΥ ΑΛΛΟΥΒΙΑΚΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΤΟΥ ΧΑΡΑΚΑ 63



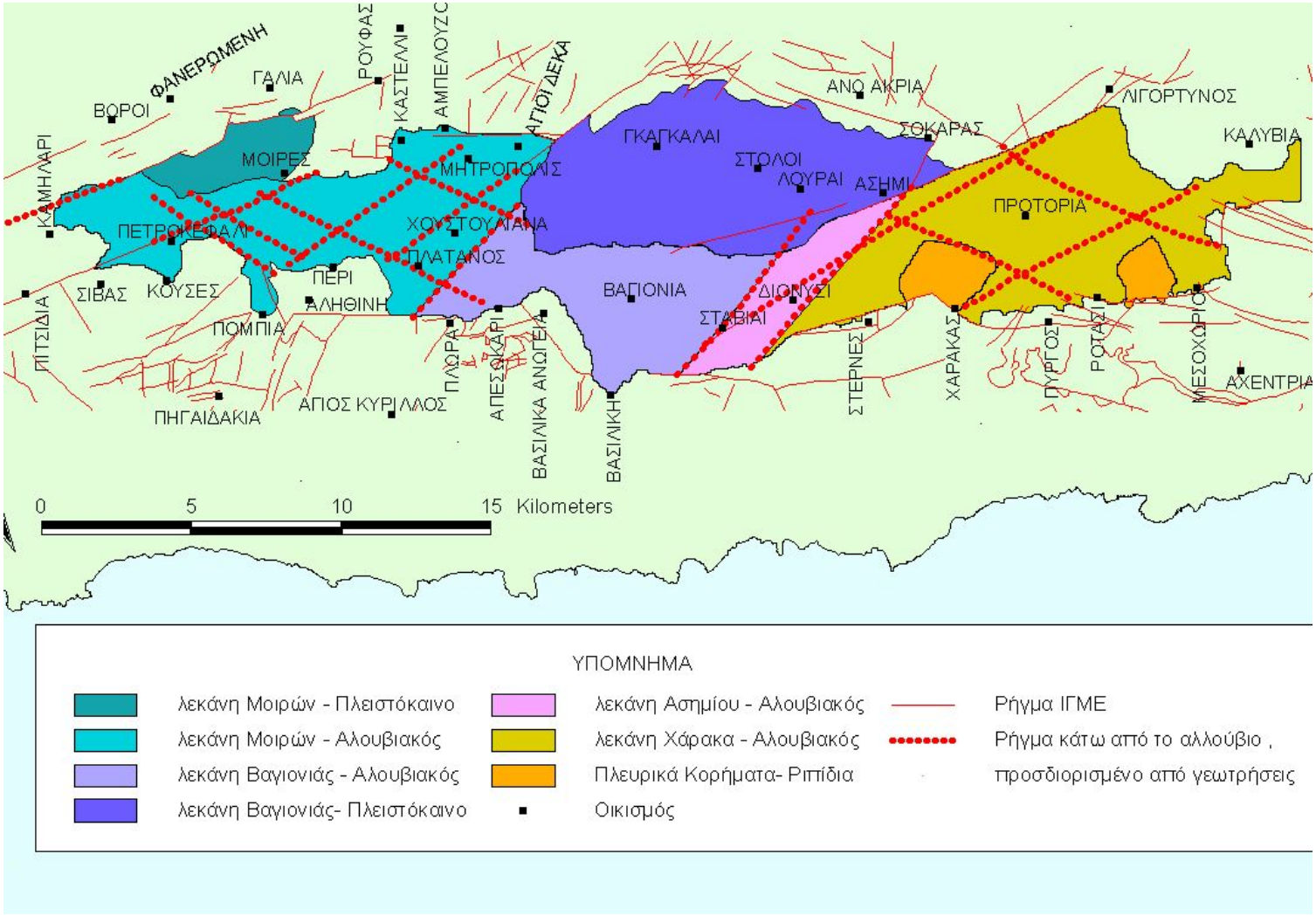
Εικόνα Π 5- 1. Υδρολιθολογικός χάρτης της Κρήτης (Διαχειριστική μελέτη Κρήτης)



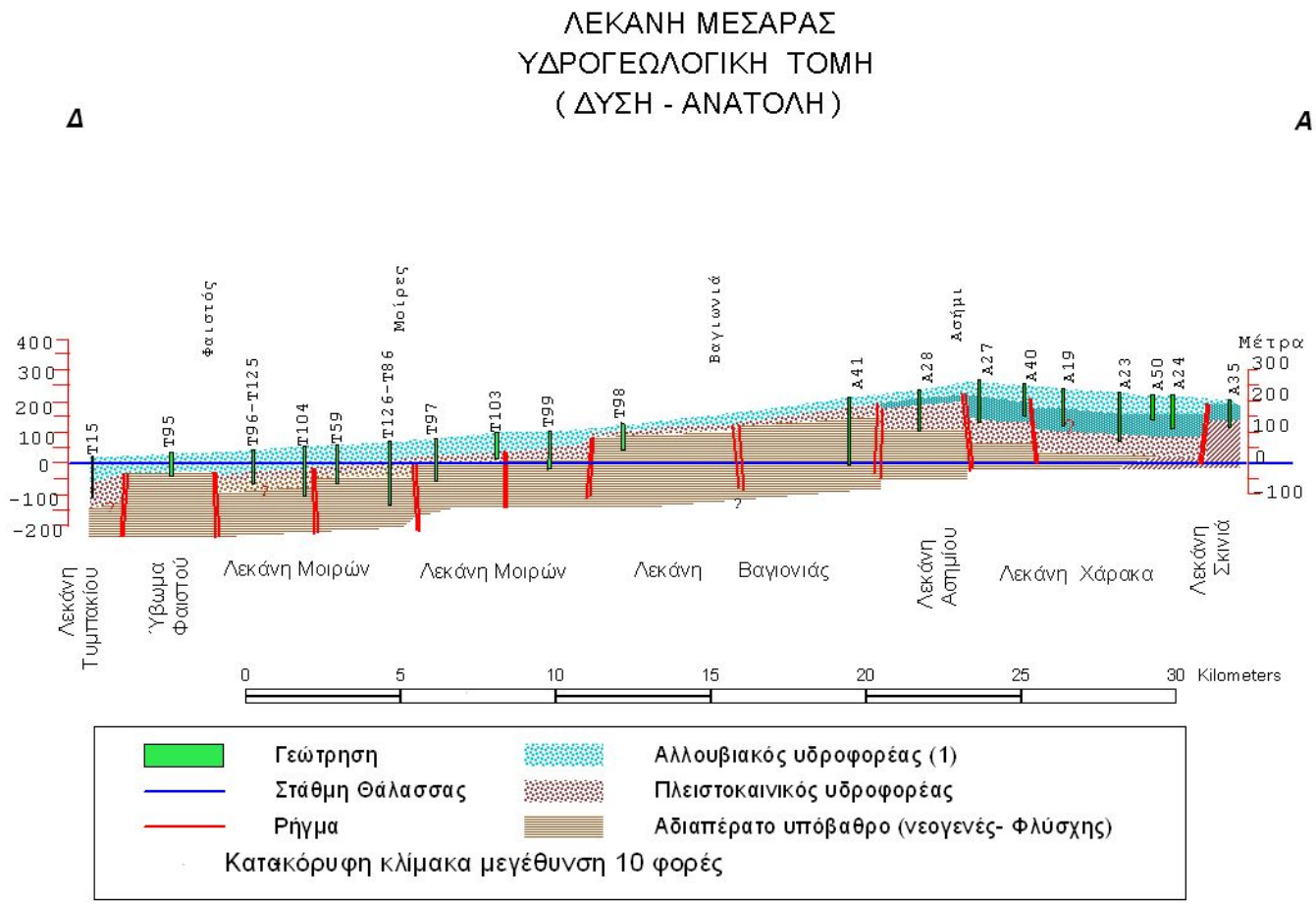
Εικόνα Π 5- 2 Υδρολιθολογικός χάρτης περιοχής μελέτης



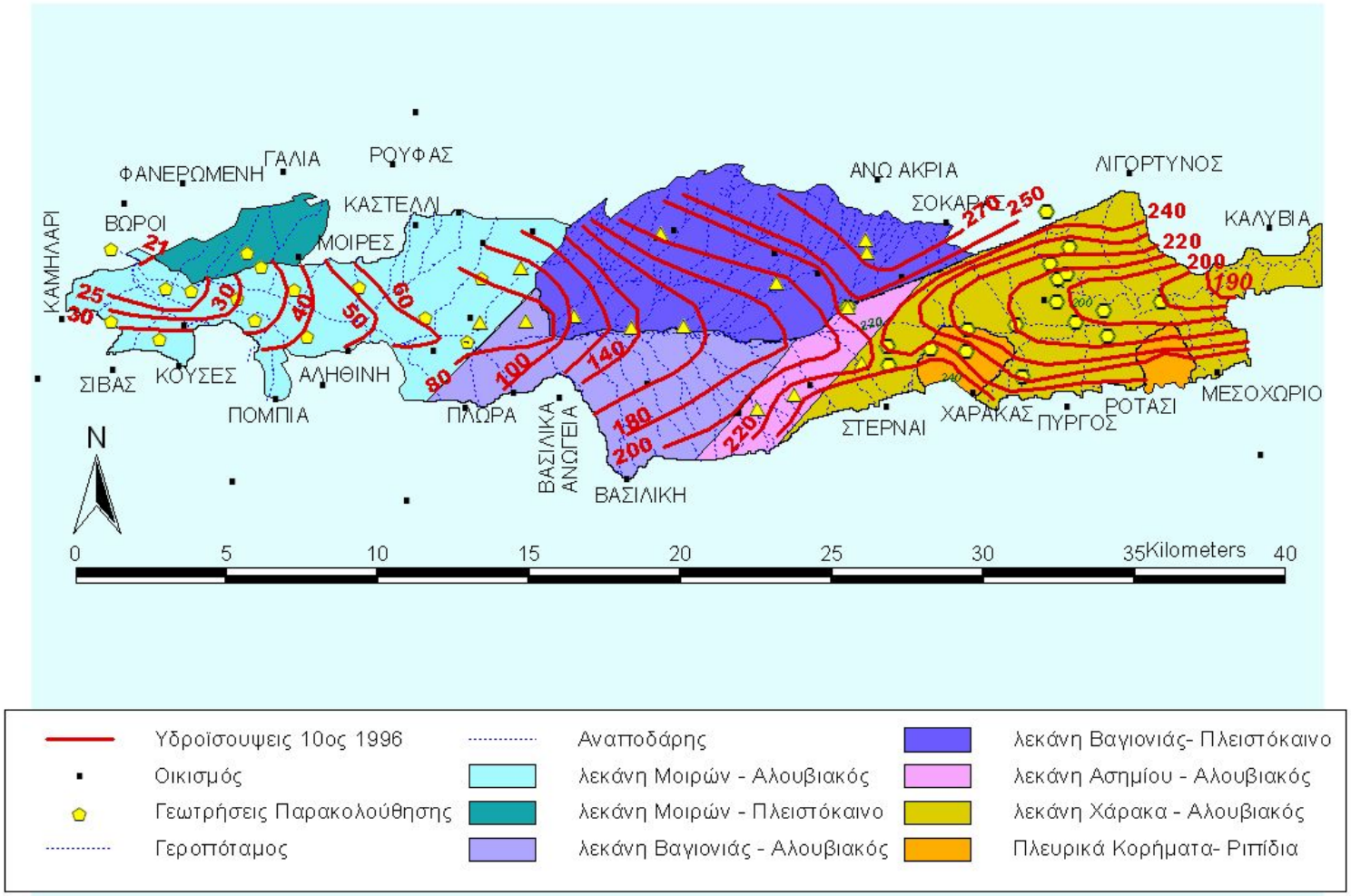
Εικόνα Π 5- 3 Λεκάνη Μεσαράς (αλλουβιακός και πλειστοκαινικός υδροφορέας)



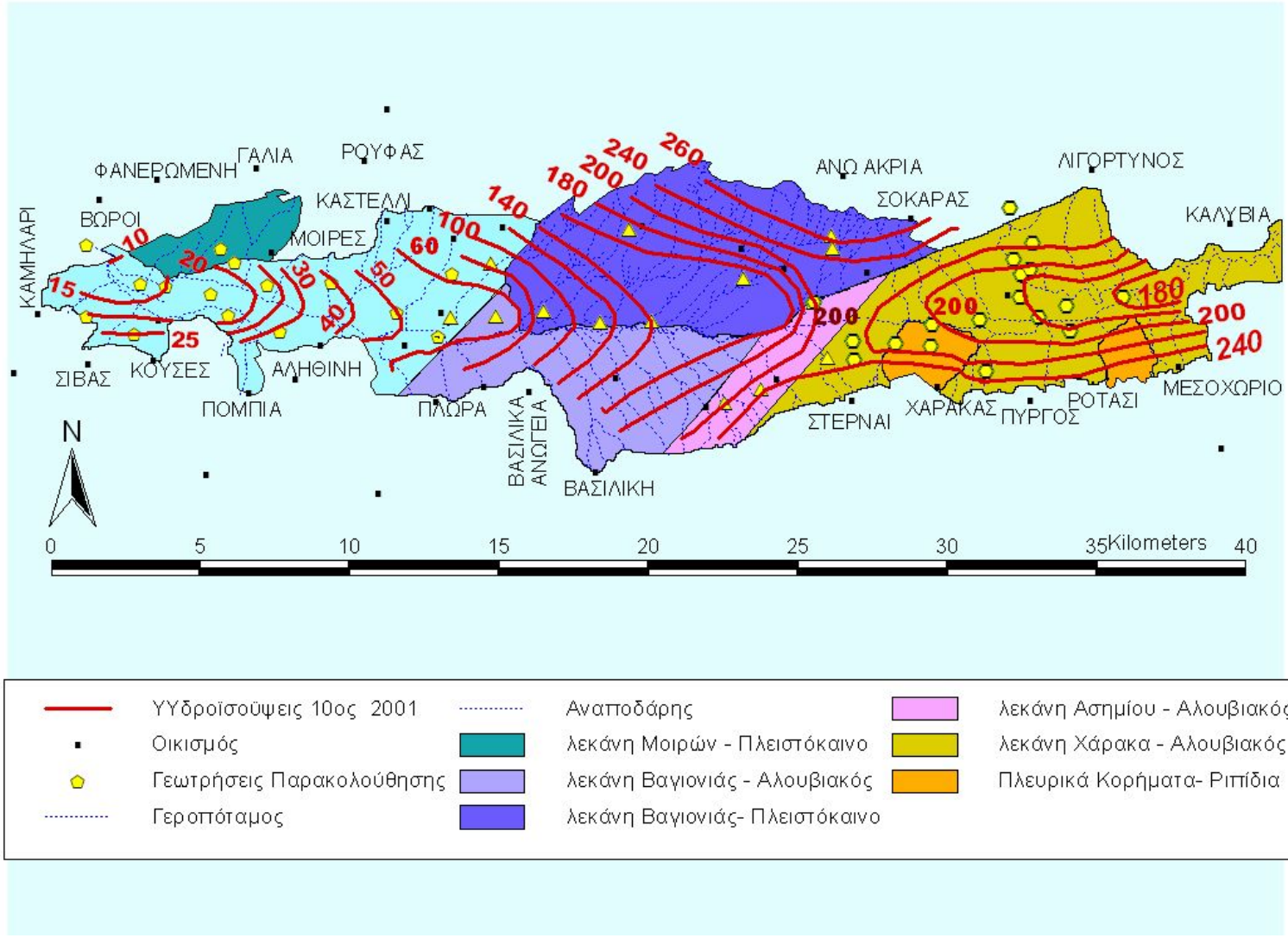
Εικόνα Π 5- 4a Υποδιαίρεση της υδρογεωλογικής λεκάνης της Μεσαράς



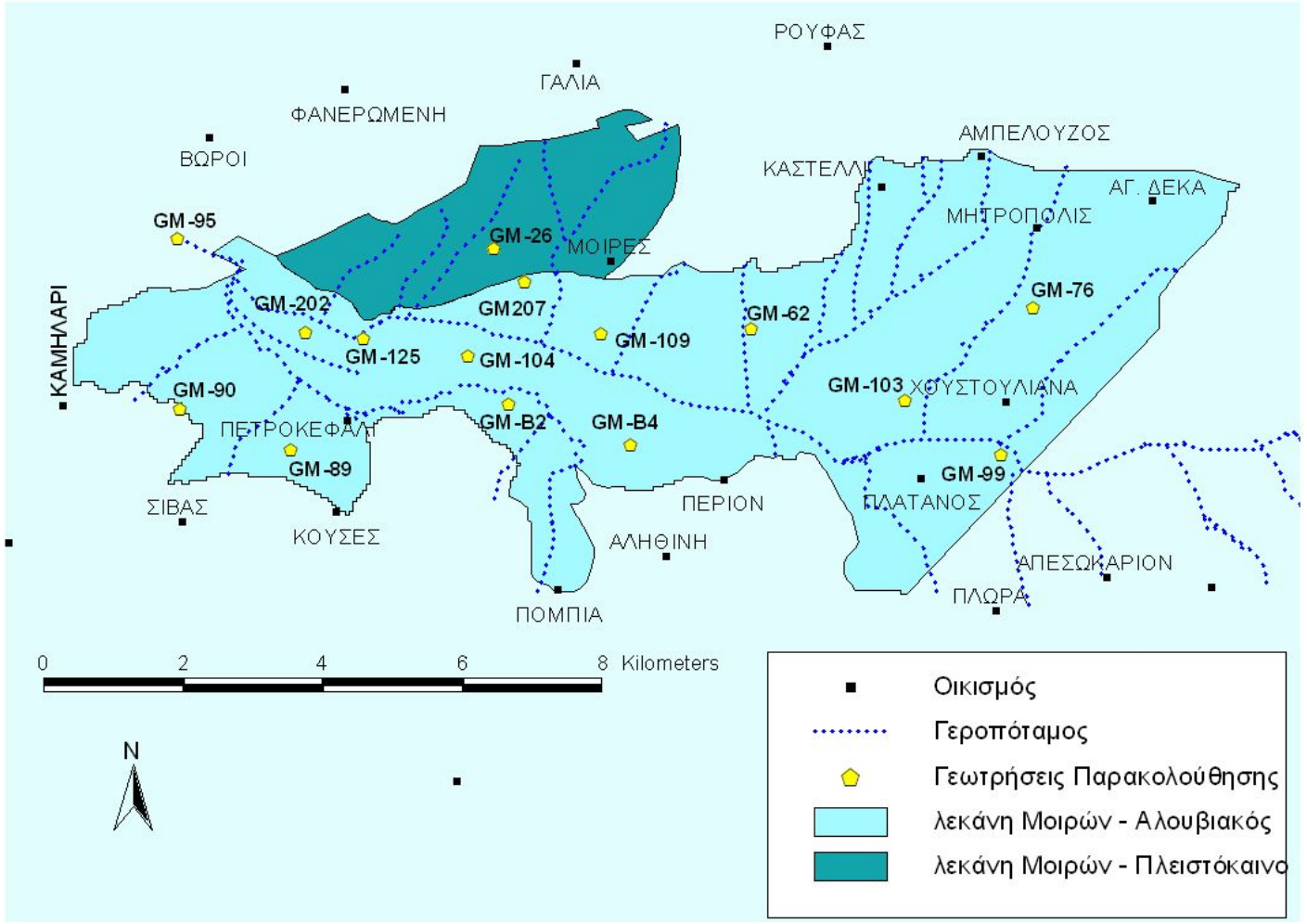
Εικόνα Π 5- 4β Υδρογεωλογική τομή λεκάνης της Μεσαράς Α-Δ



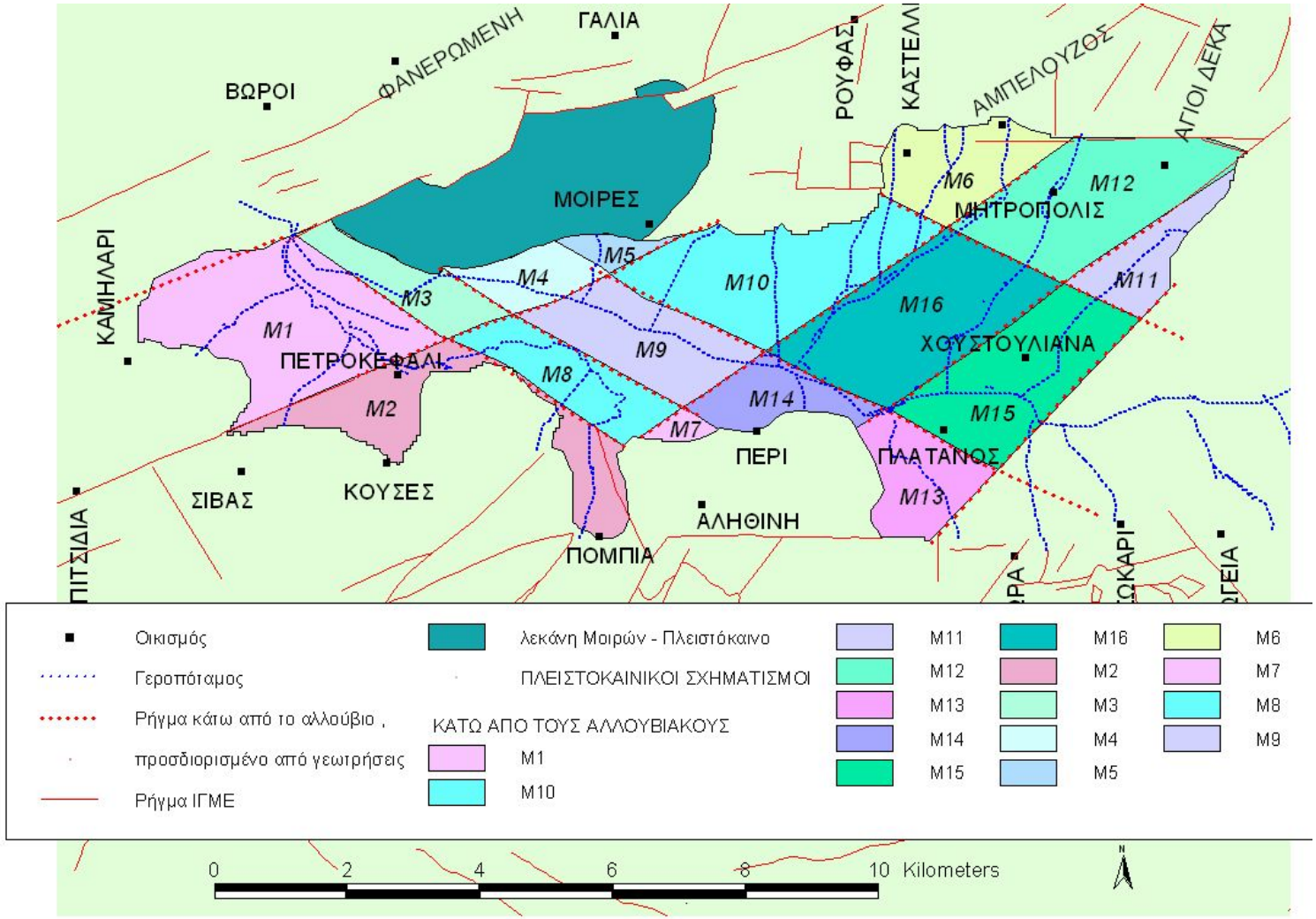
Εικόνα Π 5- 5α Ισοπιεζομετρικός χάρτης λεκάνης της Μεσαράς



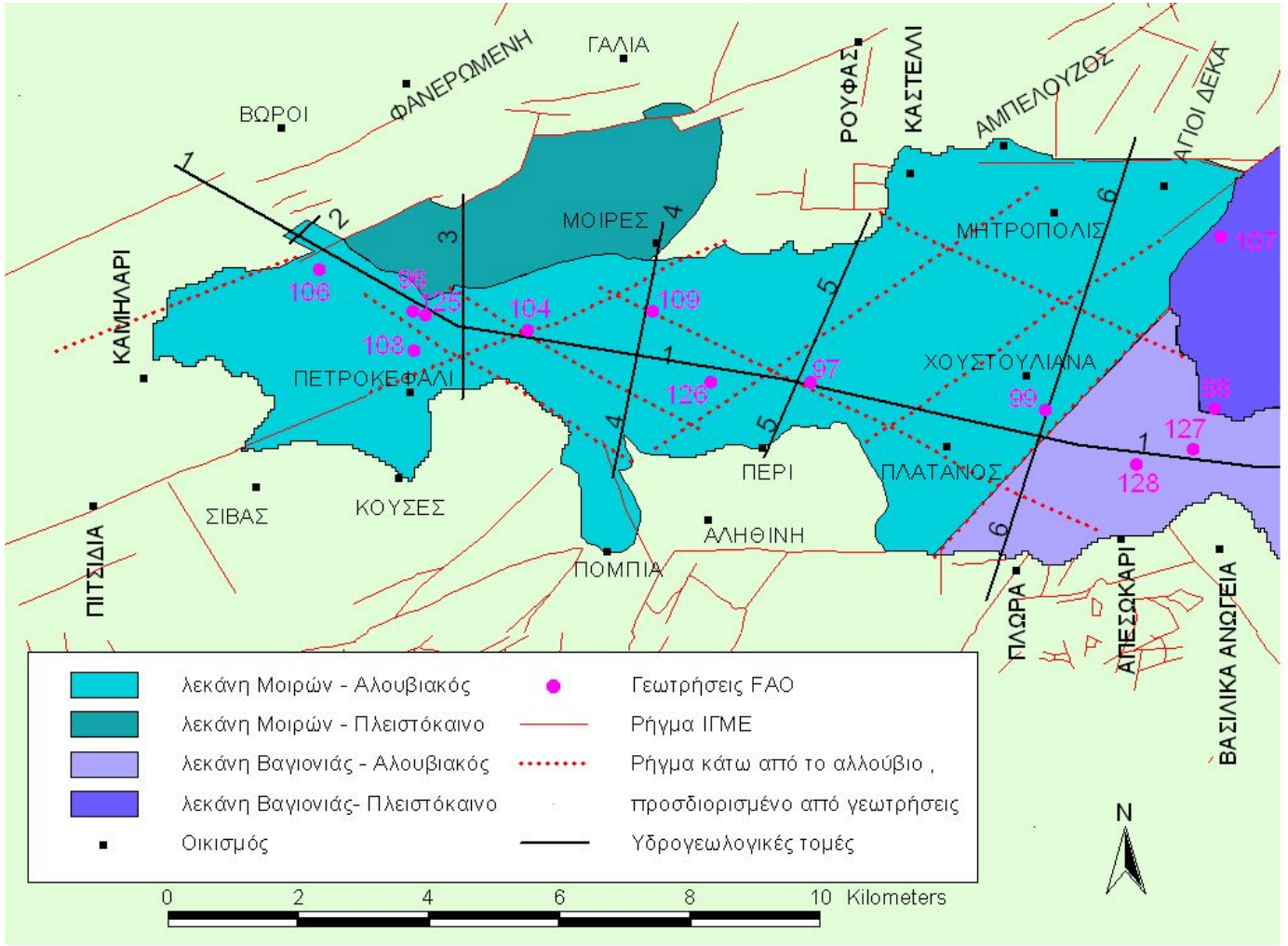
Εικόνα Π 5- 5β Ισοπιεζομετρικός χάρτης λεκάνης της Μεσαράς



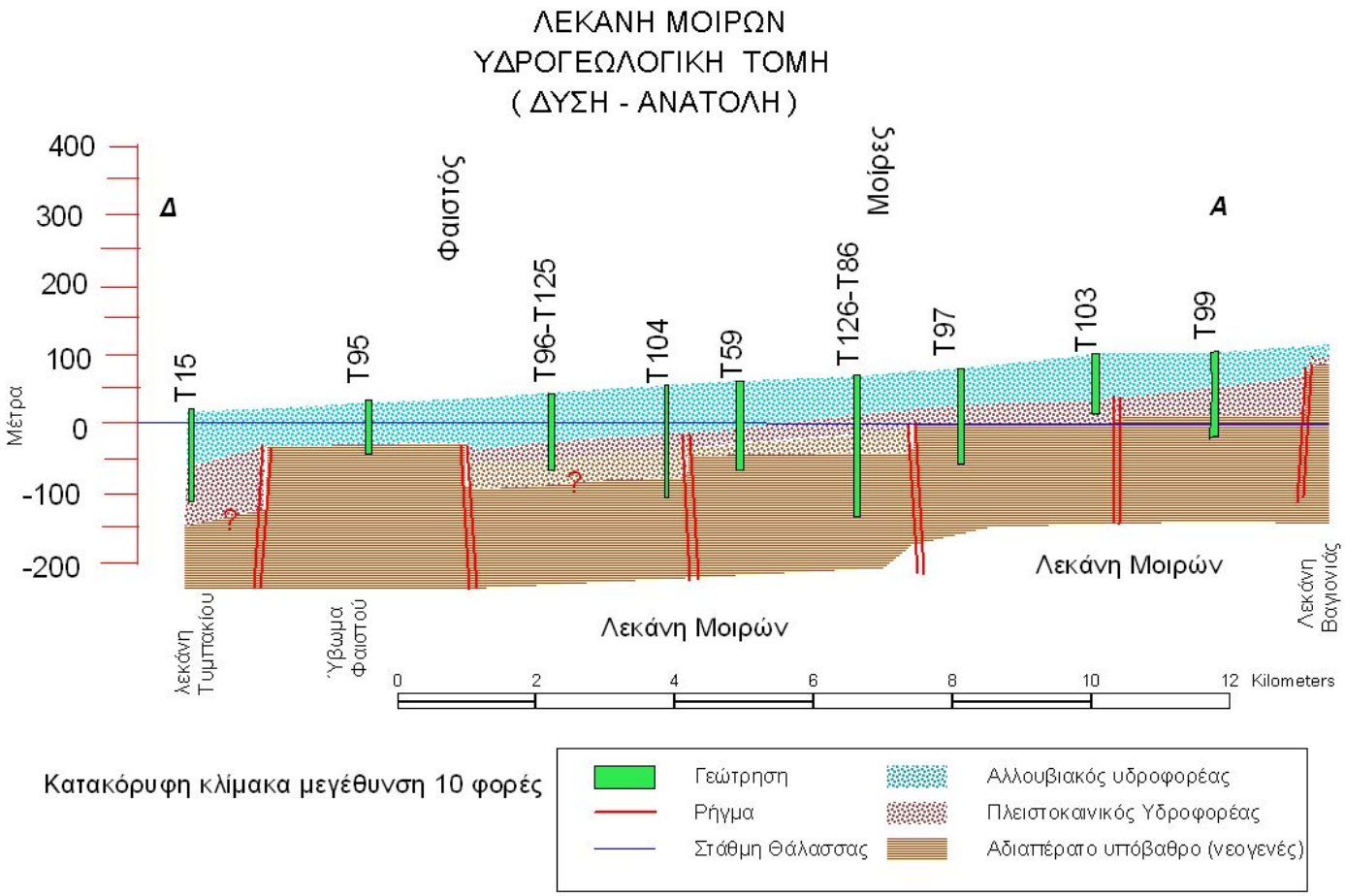
Εικόνα Π 5- 6α Λεκάνη Μοιρών (αλλουβιακός και πλειστοκαινικός υδροφορέας)



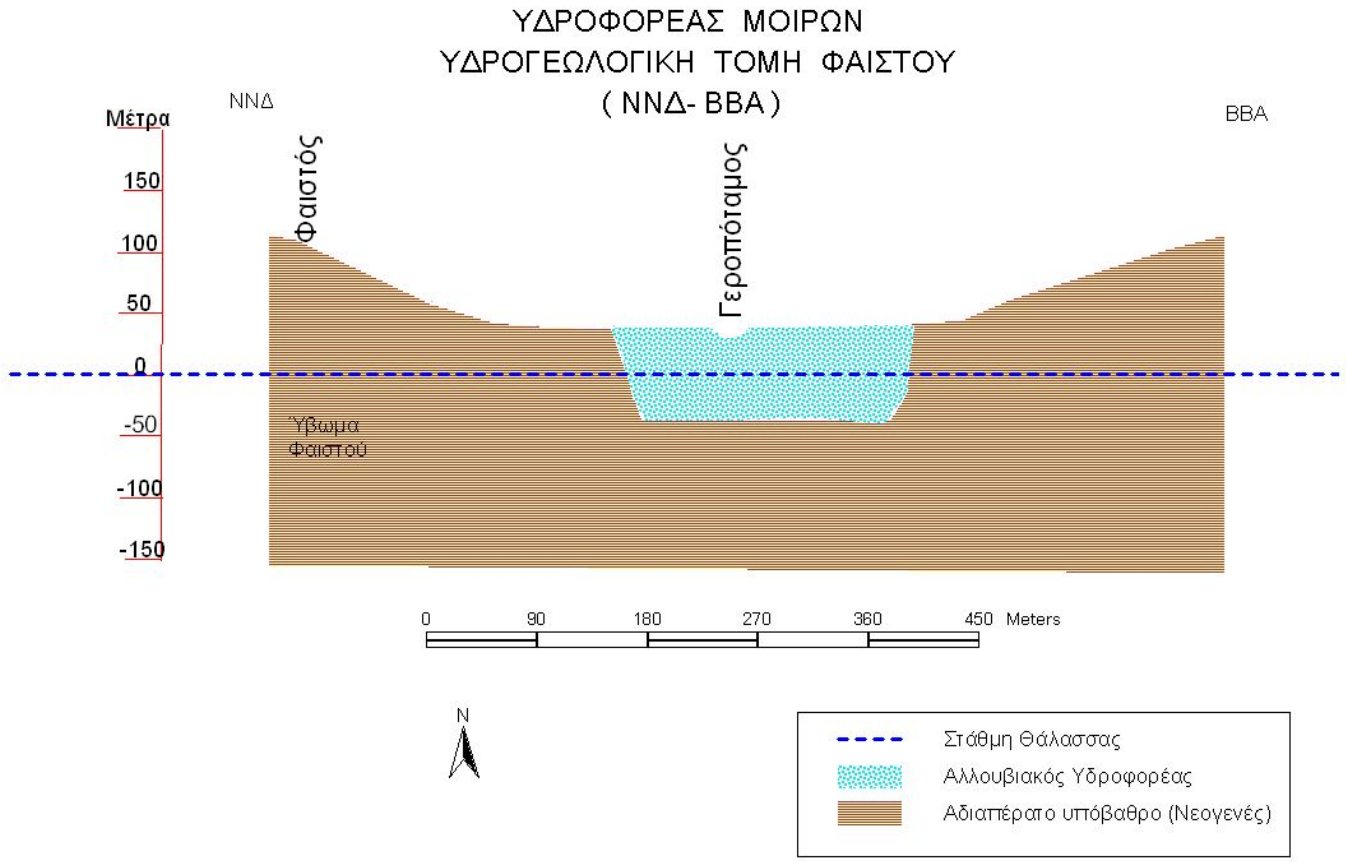
Εικόνα Π 5- 6β Ρήγματα καλυμμένα στη λεκάνη των Μοιρών – υποδιαίρεση της λεκάνης των Μοιρών



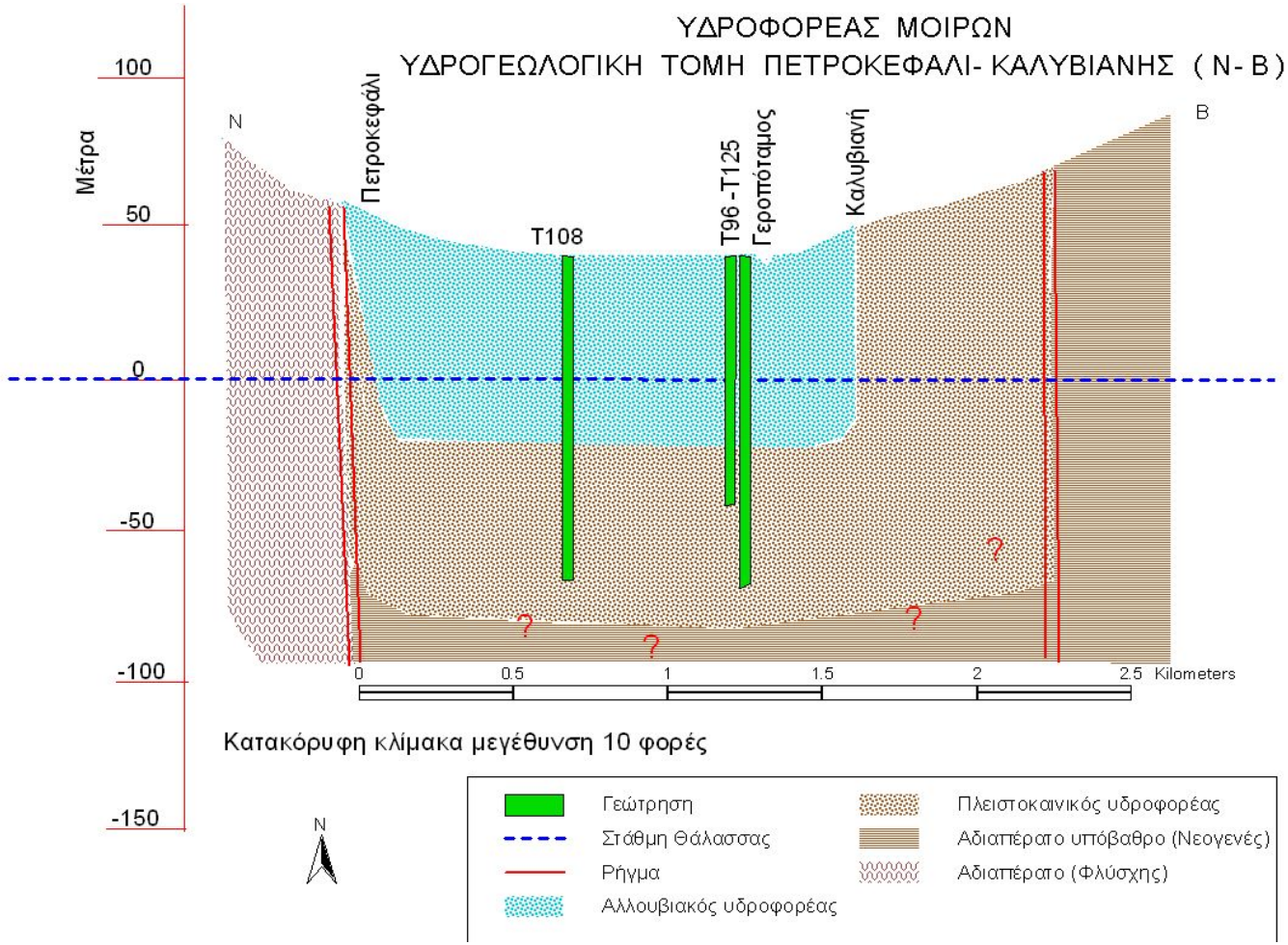
Εικόνα Π 5- 5 Υδρολιθικός χάρτης λεκάνης Μοιρών - Θέσεις υδρογεωλογικών τομών 1,…6



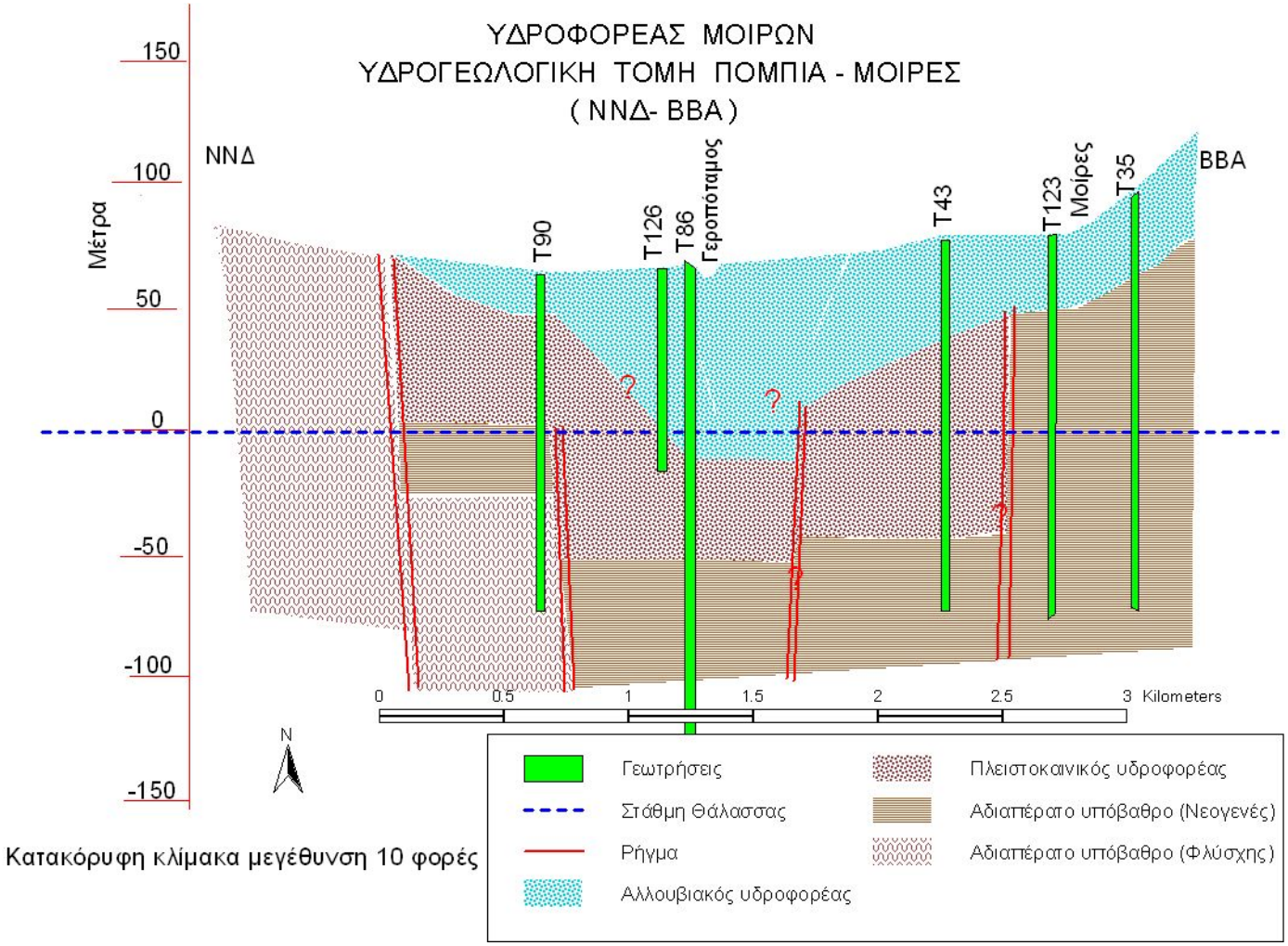
Εικόνα Π 5- 6 Υδρογεωλογική τομή 1 Ανατολή-Δύση λεκάνης Μοιρών



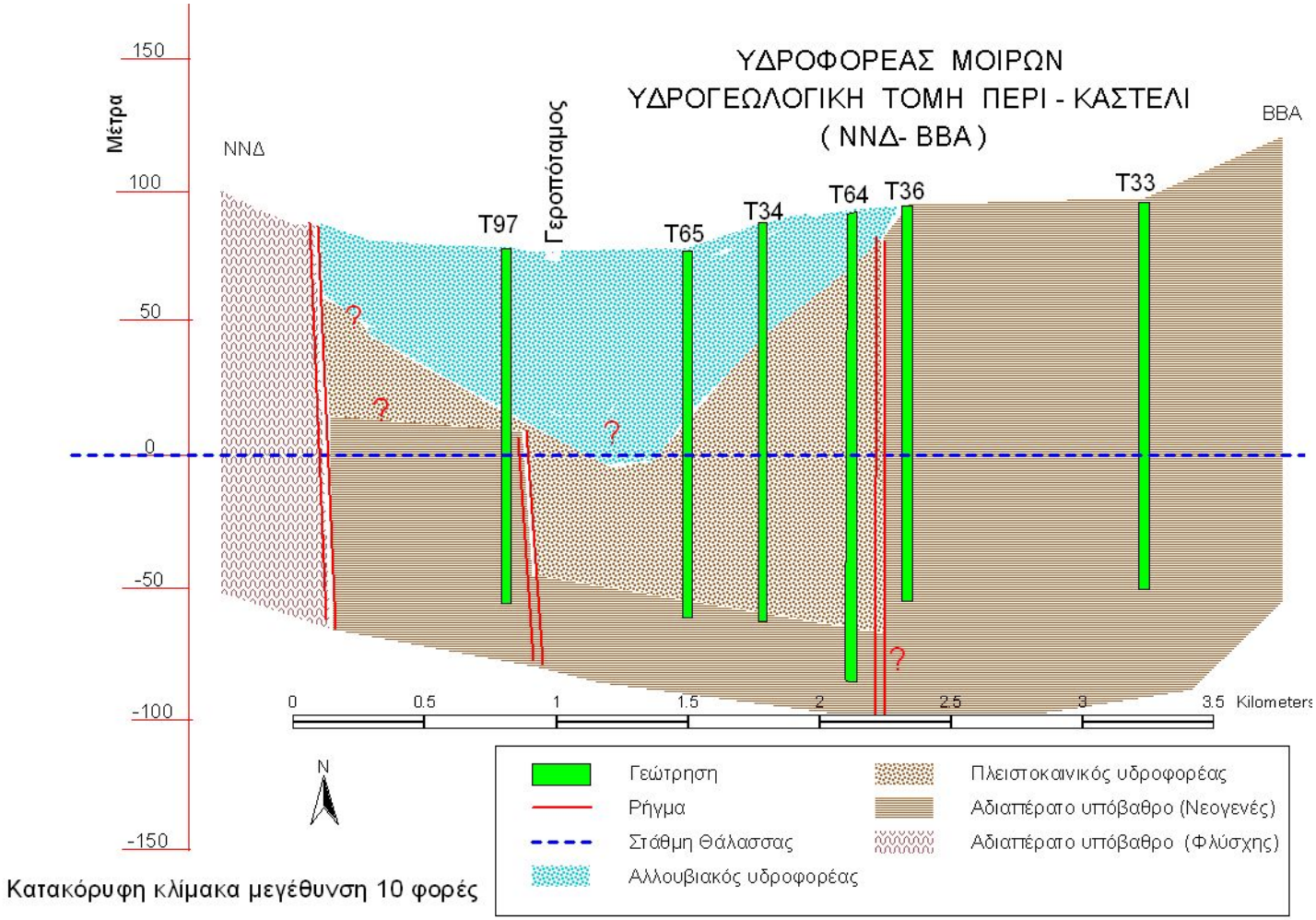
Εικόνα Π 5- 7 Υδρογεωλογική τομή 2 – Φαιστού (λεκάνη Μοιρών)



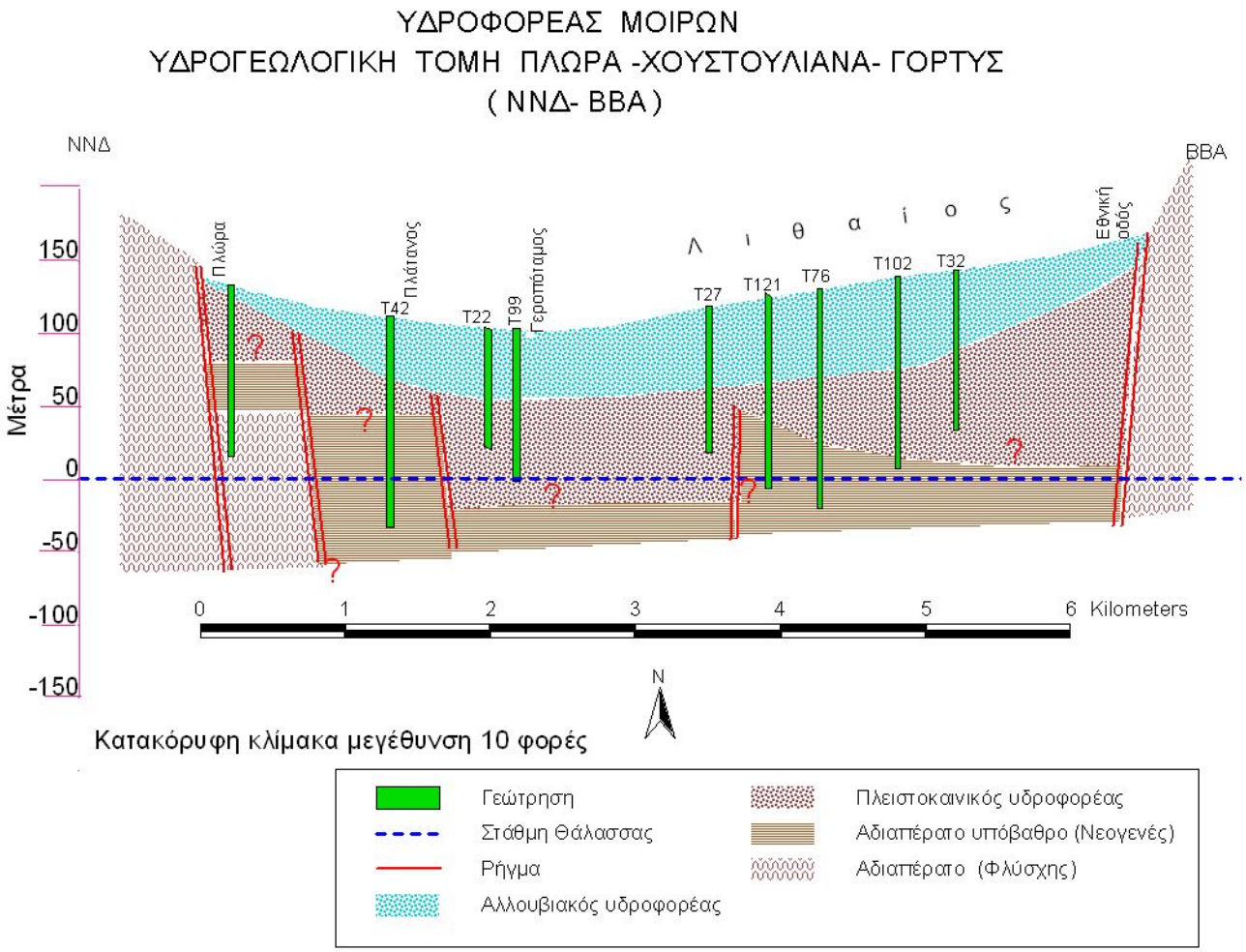
Εικόνα Π 5- 8 Υδρογεωλογική τομή 3 – Πετροκεφάλι- Καλυβιανή (λεκάνη Μοιρών)



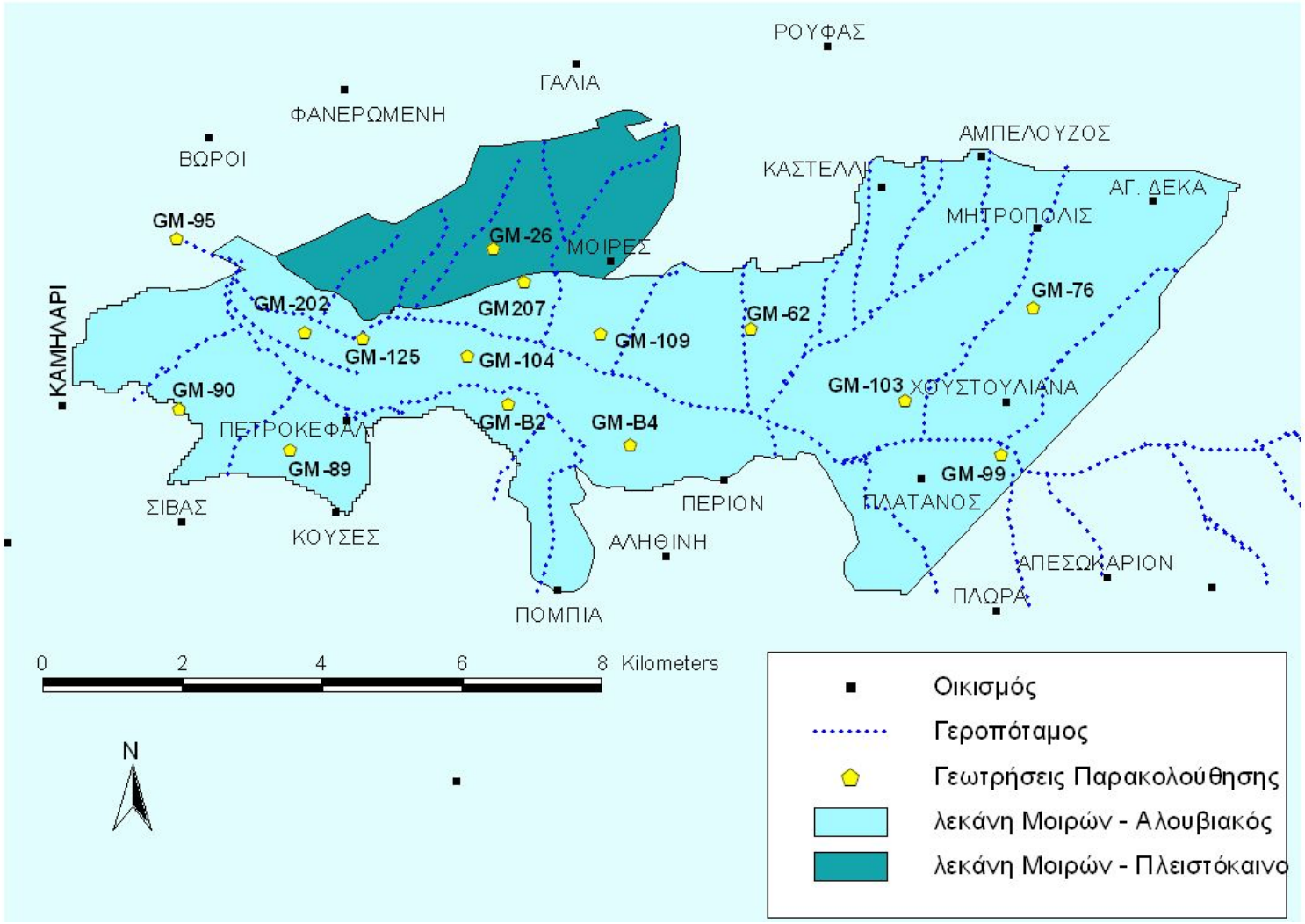
Εικόνα Π 5- 9 Υδρογεωλογική τομή 4 – Πόμπια- Μοίρες (λεκάνη Μοιρών)



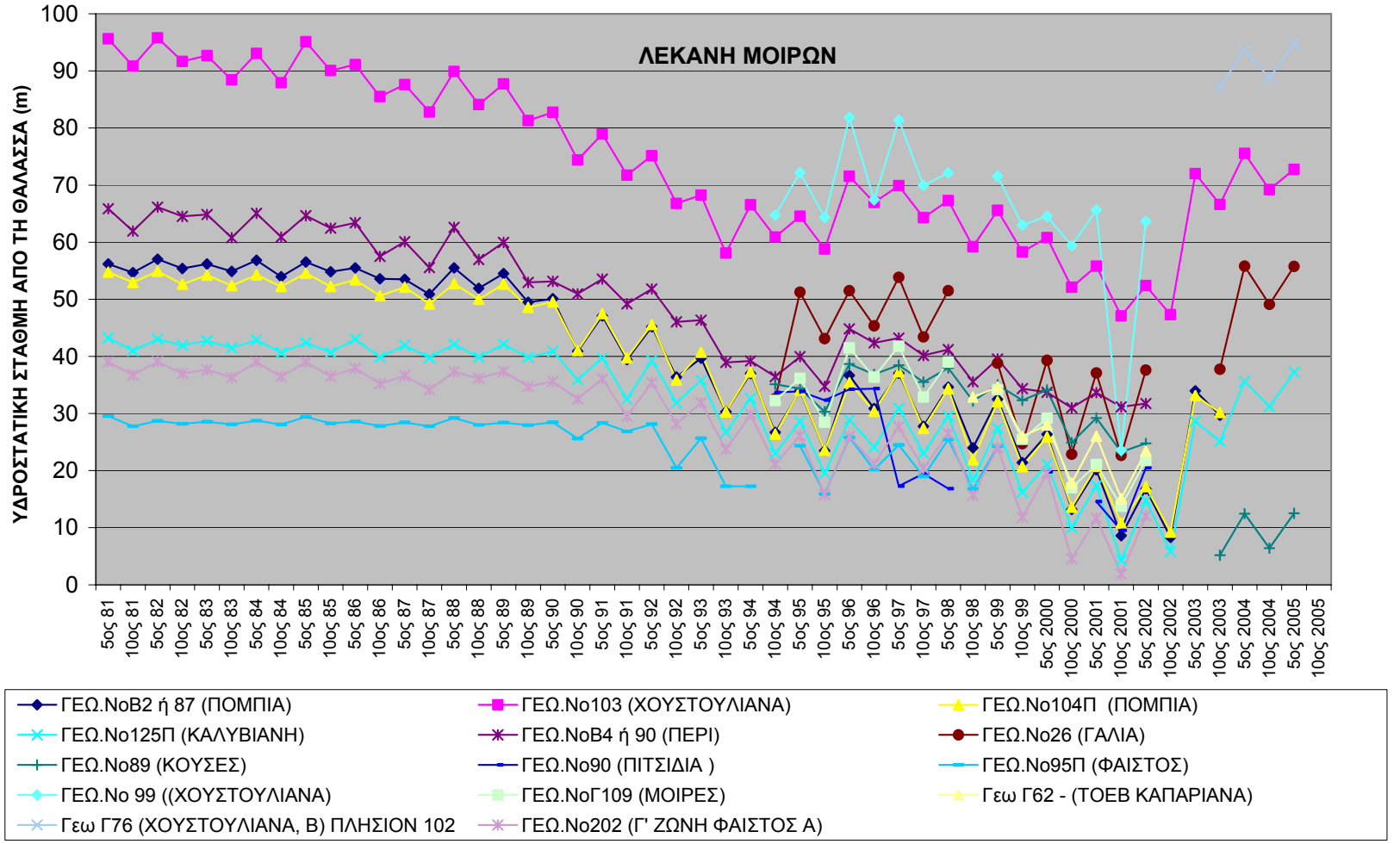
Εικόνα Π 5- 10 Υδρογεωλογική τομή 5 – Πέρι- Καστέλι (λεκάνη Μοιρών)



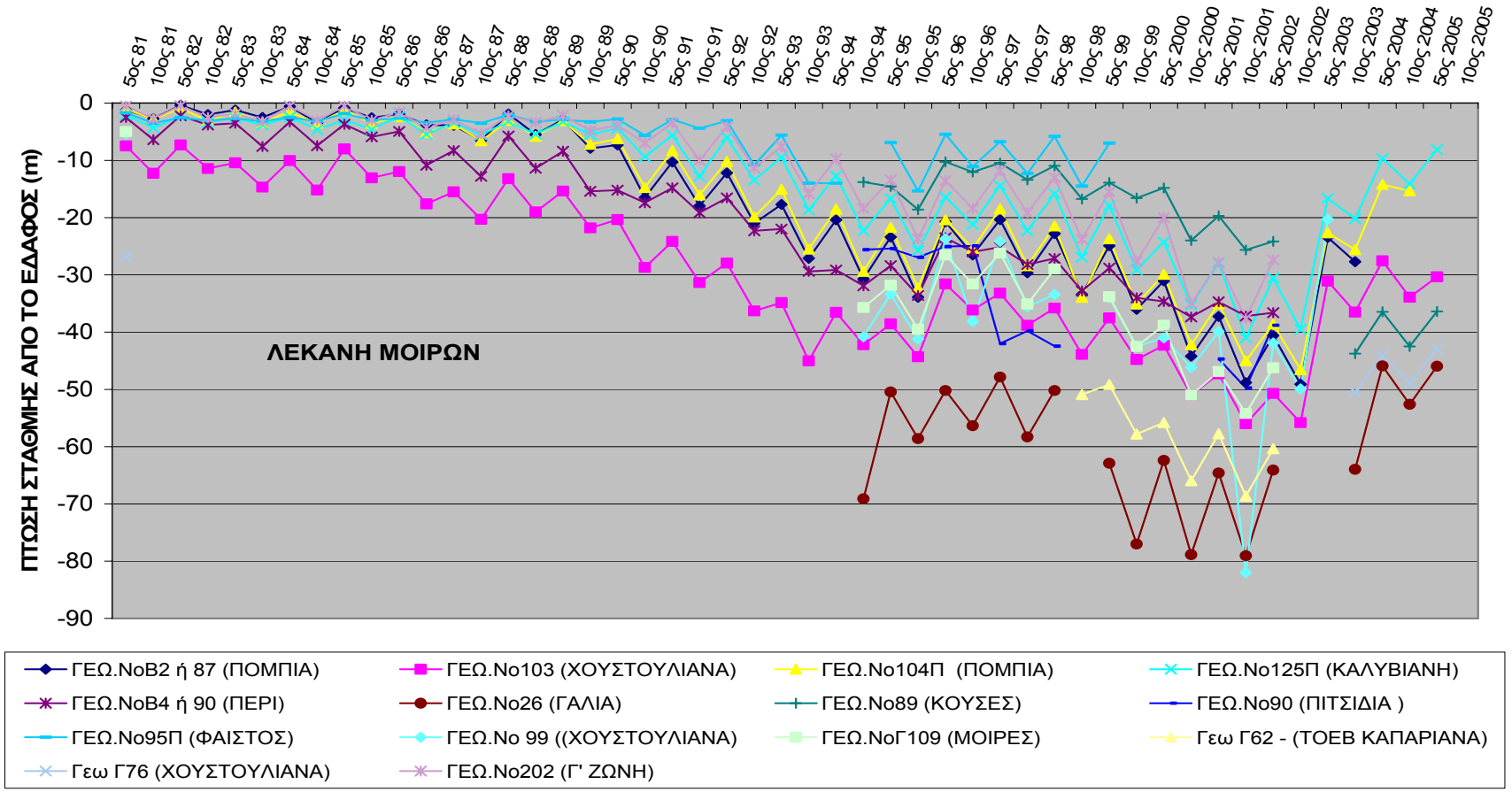
Εικόνα Π 5- 11 Υδρογεωλογική τομή 6 – Πλώρα- Χουστουλιανά- Γόρτυς (λεκάνη Μοιρών)



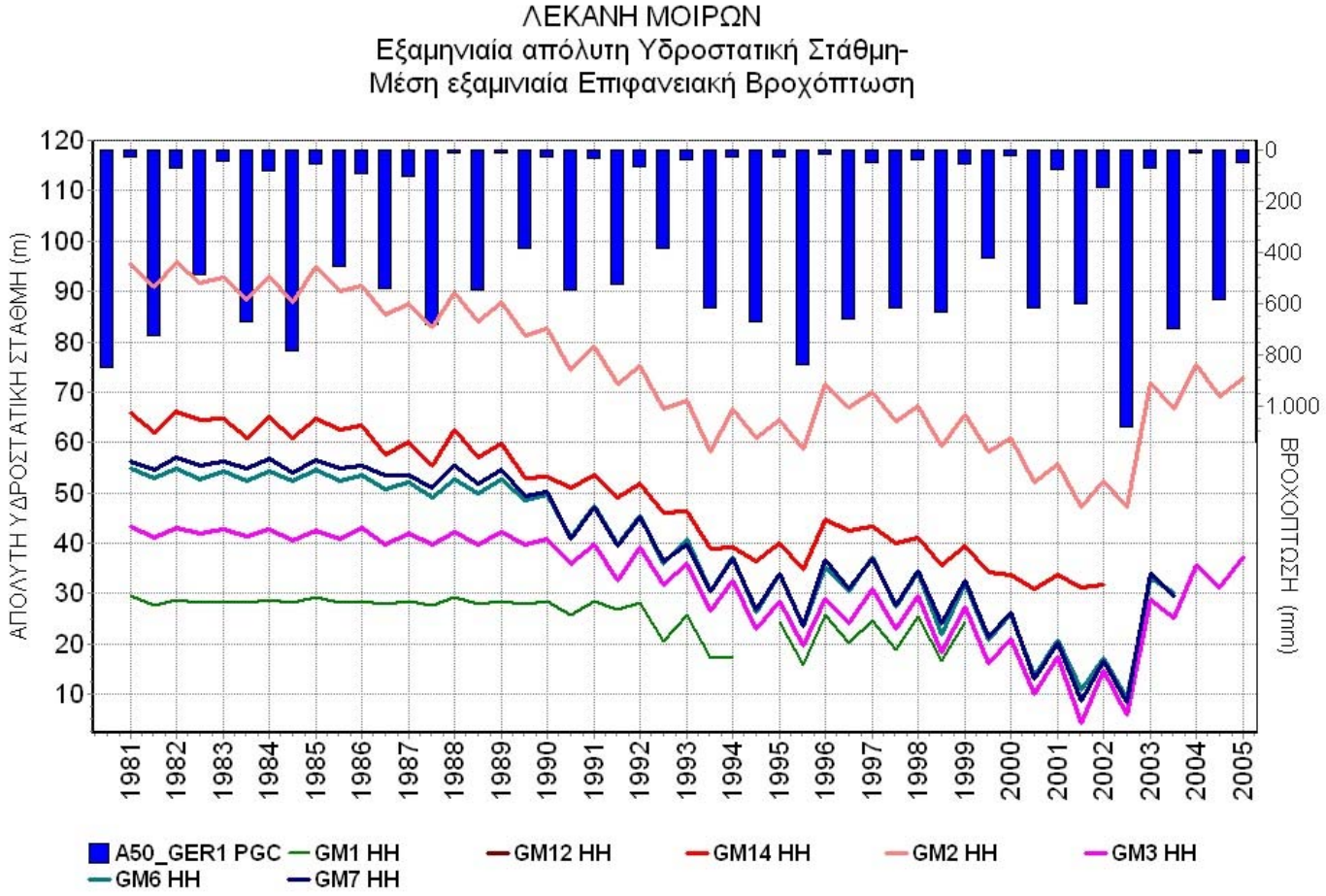
Εικόνα Π 5- 12 Θέσεις πιεζομέτρων σημείων παρακολούθησης υδροστατικής στάθμης λεκάνης Μοιρών



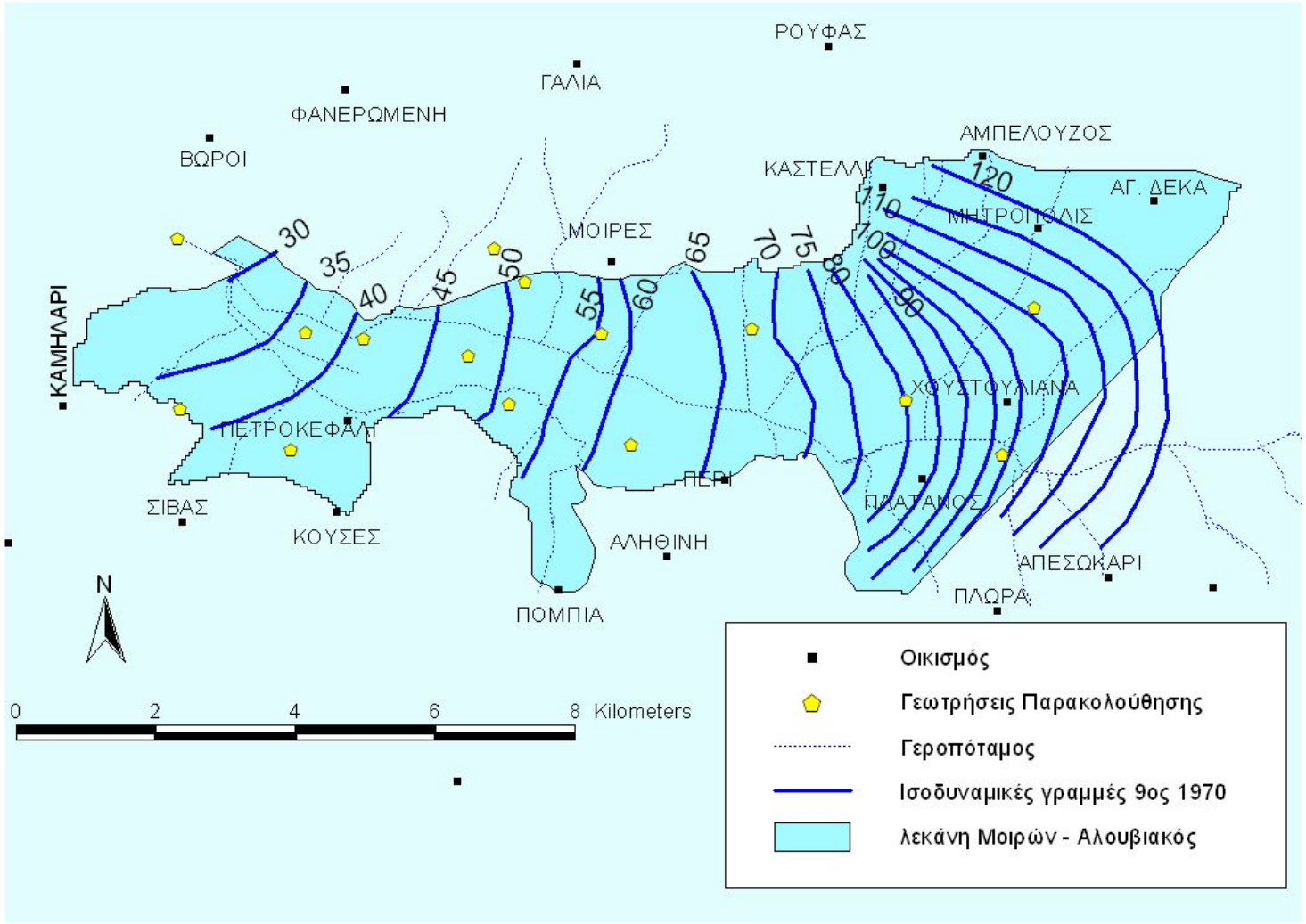
Εικόνα Π 5- 13 . Υδροστατική στάθμη πιεζομέτρων παρακολούθησης λεκάνης Μοιρών σε απόλυτο υψόμετρο



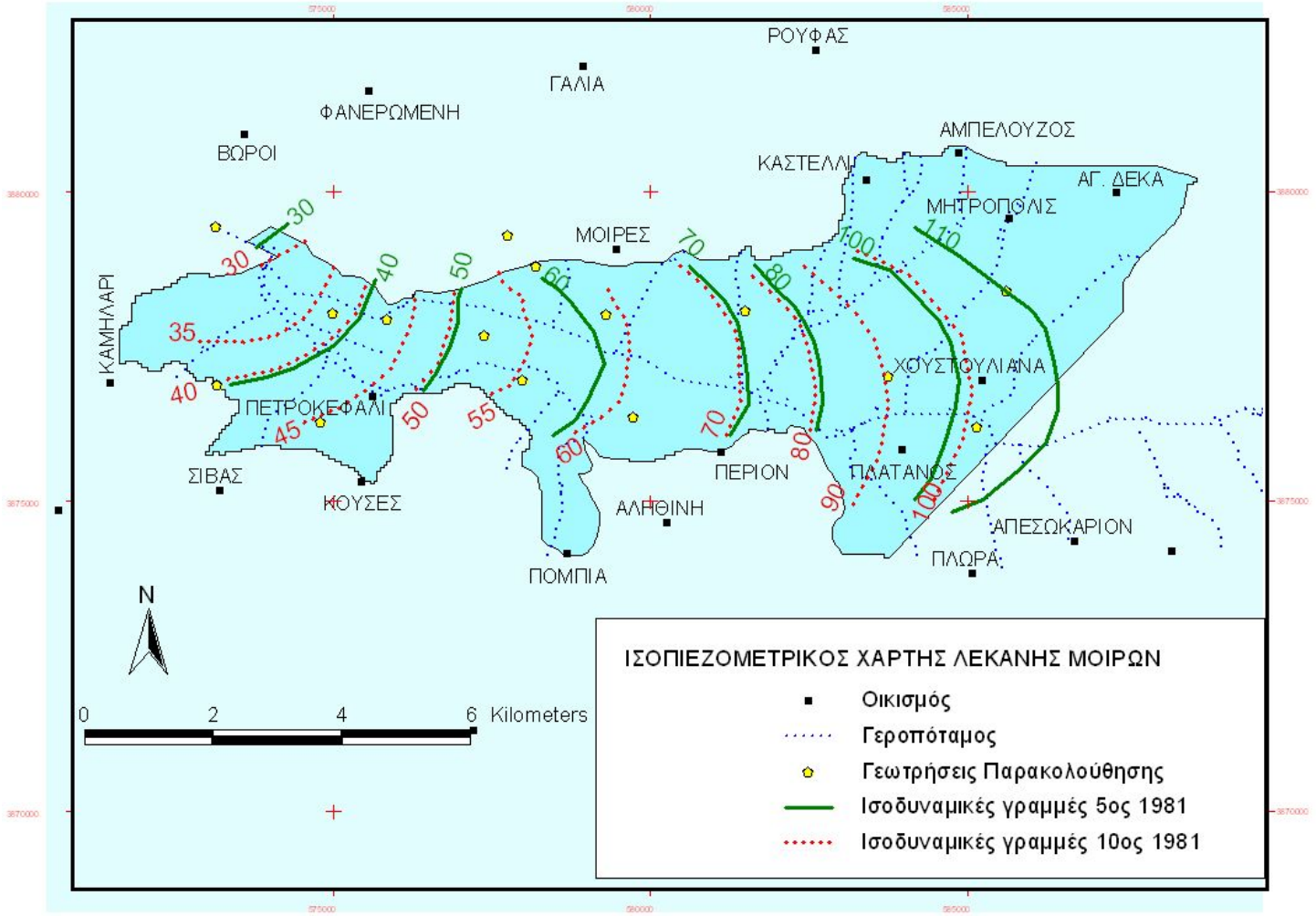
Εικόνα Π 5- 14 Υδροστατική στάθμη πιεζομέτρων παρακολούθησης λεκάνης Μοιρών σε βάθος από την επιφάνεια



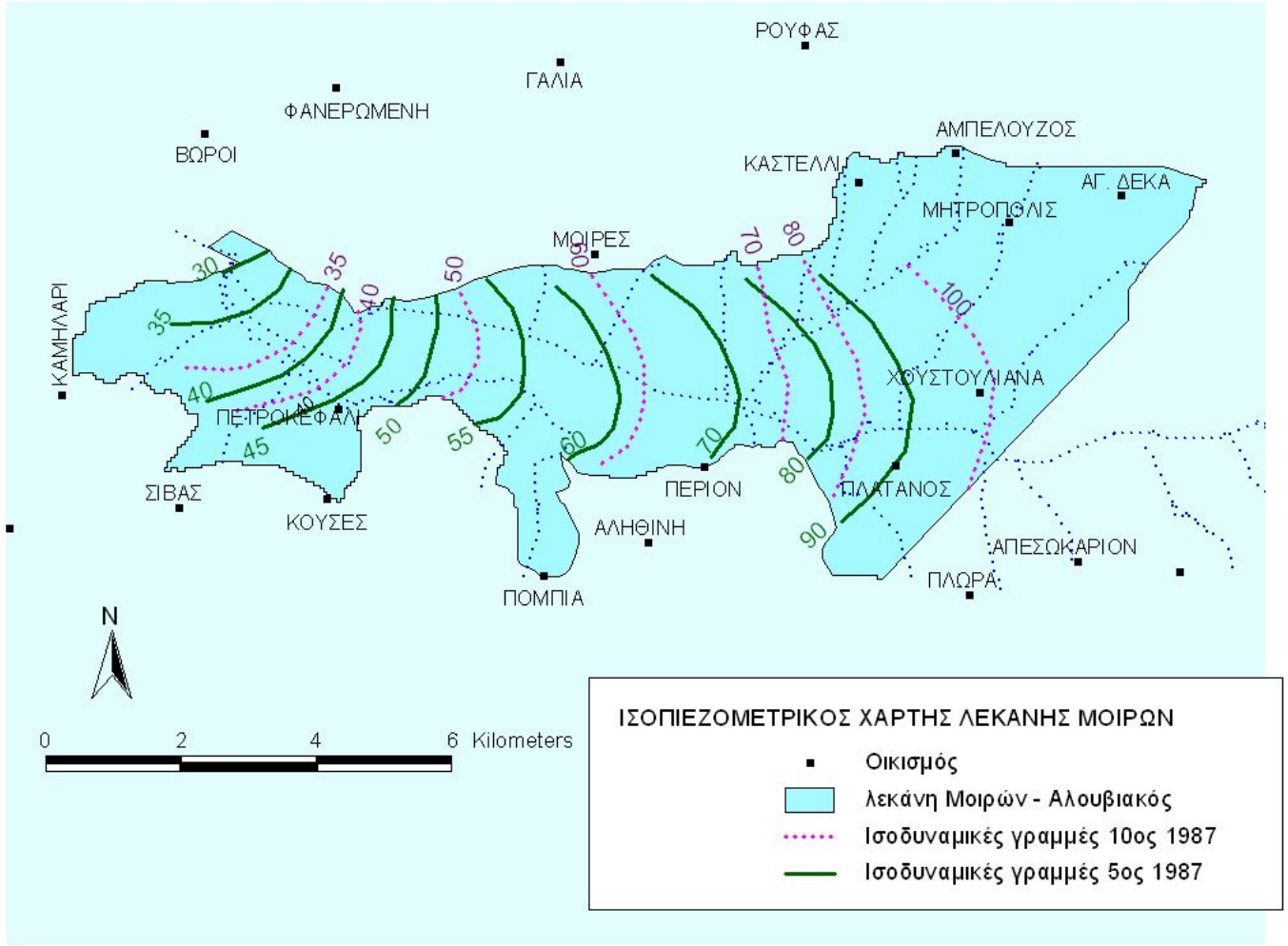
Εικόνα Π 5- 15 Υδροστατική στάθμη πιεζομέτρων παρακολούθησης λεκάνης Μοιρών σε απόλυτο υψόμετρο και εξαμηνιαία επιφανειακή βροχόπτωση



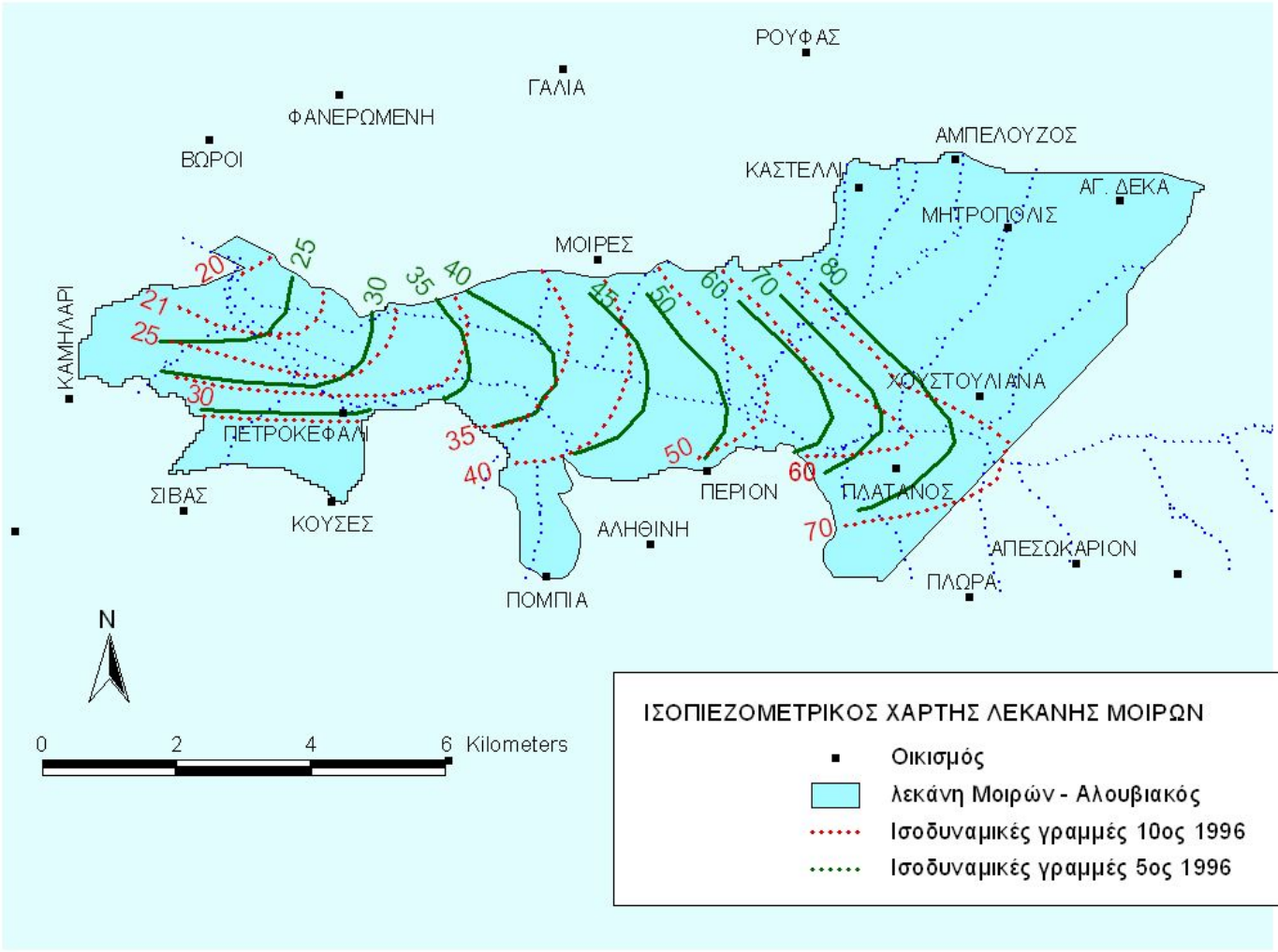
Εικόνα Π 5- 16 Ισοπιεζομετρικός χάρτης λεκάνης Μοιρών έτους 1970



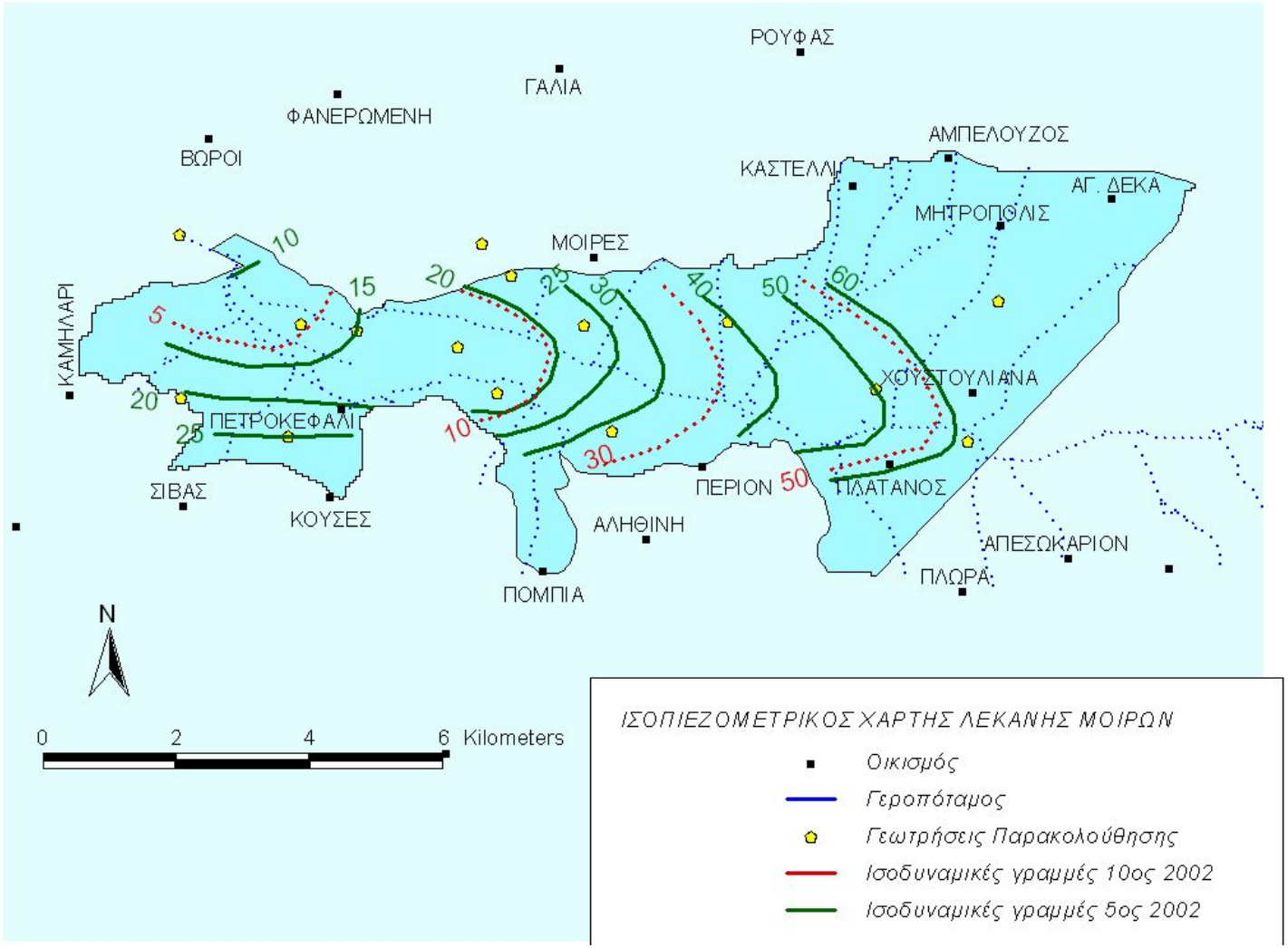
Εικόνα Π 5- 17 Ισοπιεζομετρικός χάρτης λεκάνης Μοιρών έτους1981



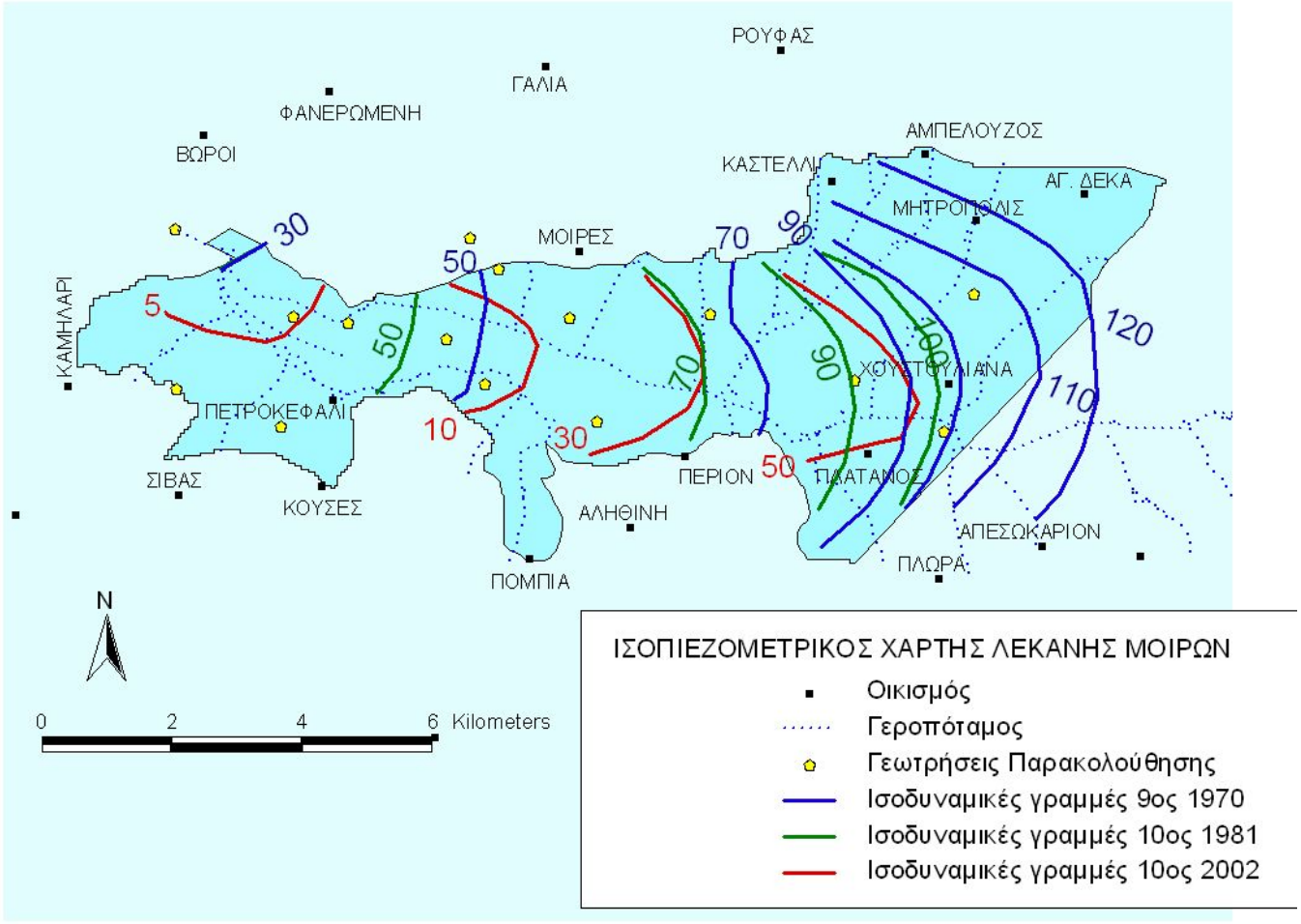
Εικόνα Π 5- 18 Ισοπιεζομετρικός χάρτης λεκάνης Μοιρών έτους1987



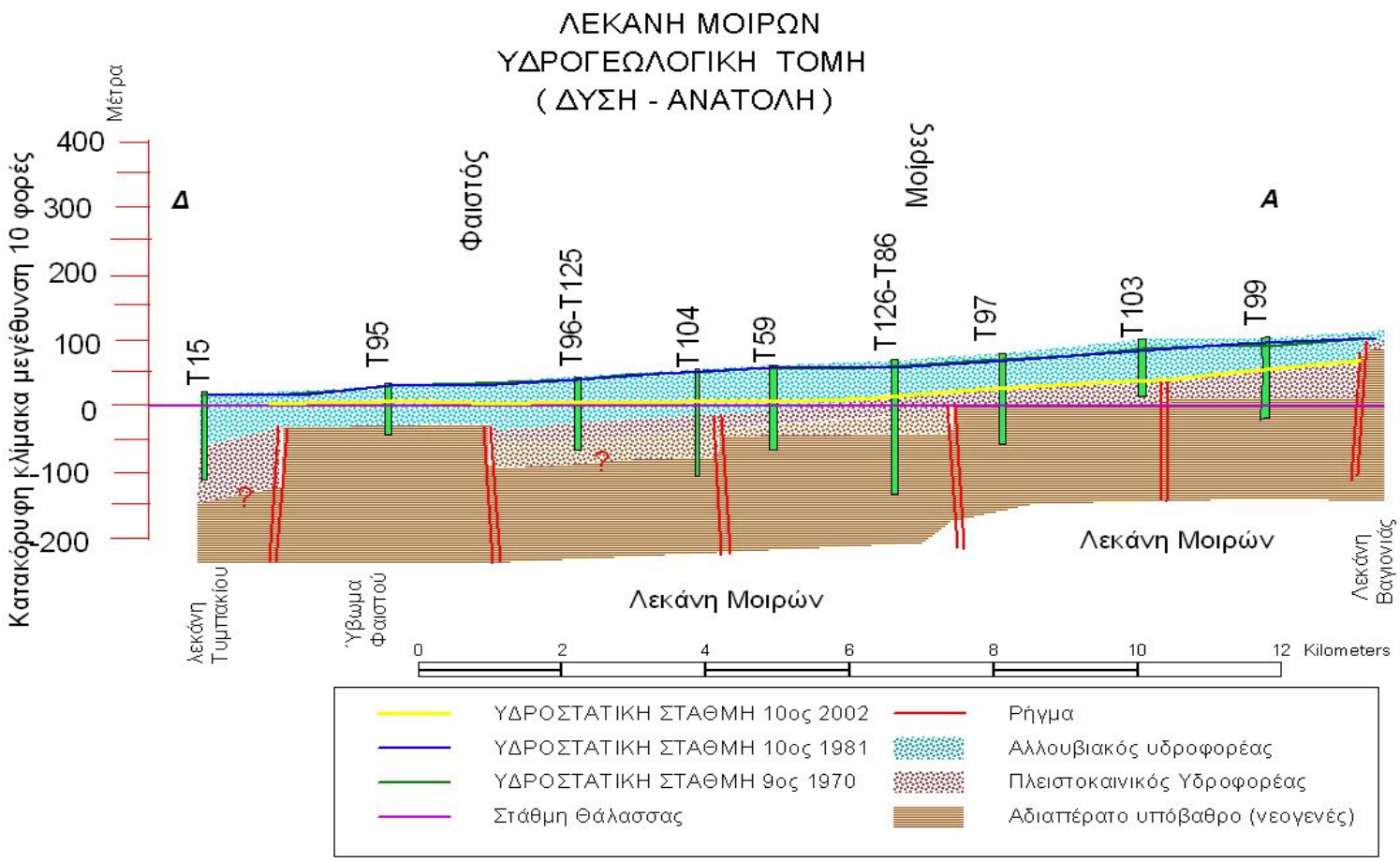
Εικόνα Π 5- 19 Ισοπιεζομετρικός χάρτης λεκάνης Μοιρών έτους 1996



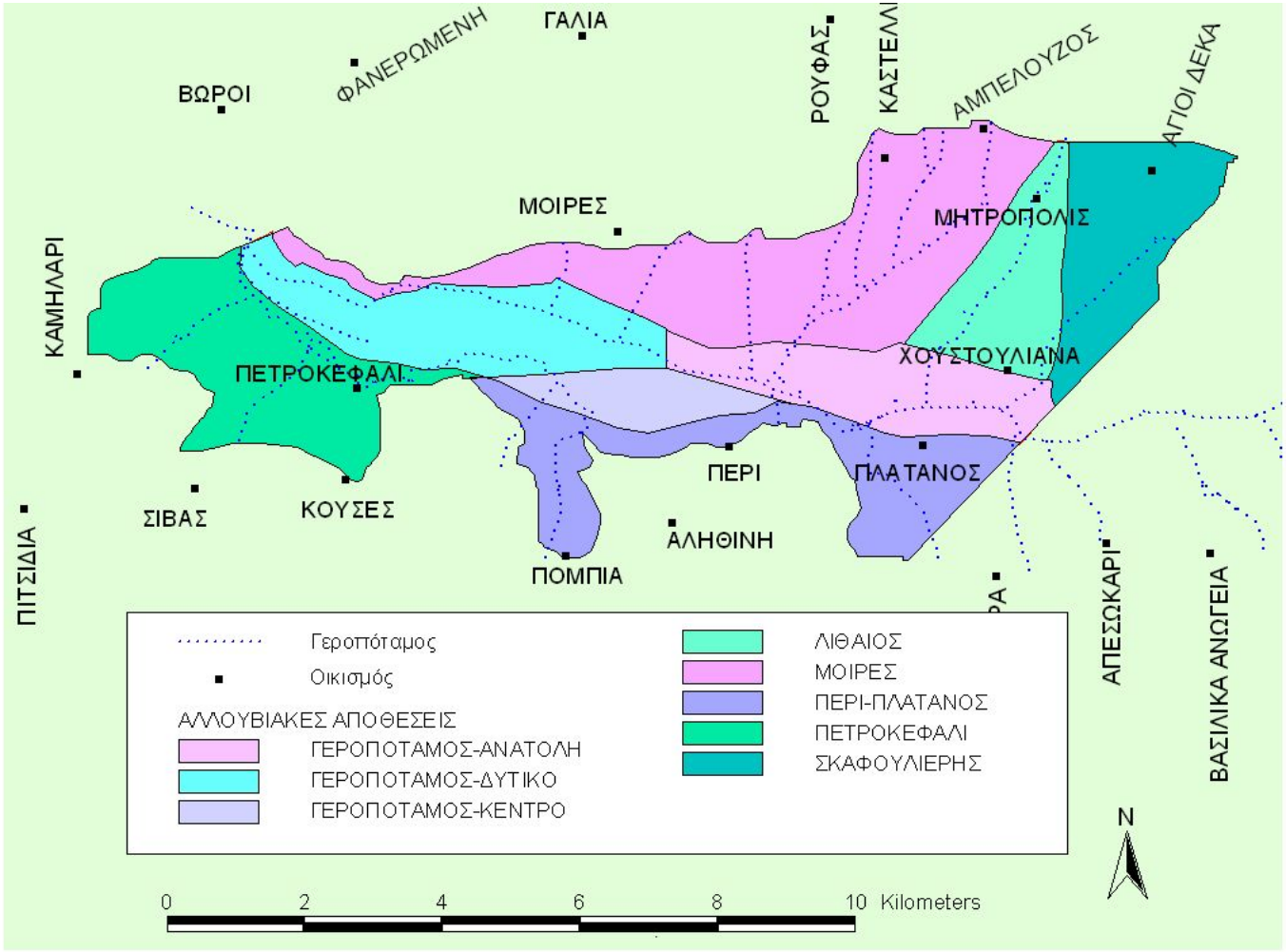
Εικόνα Π 5- 20 Ισοπιεζομετρικός χάρτης λεκάνης Μοιρών έτους2002



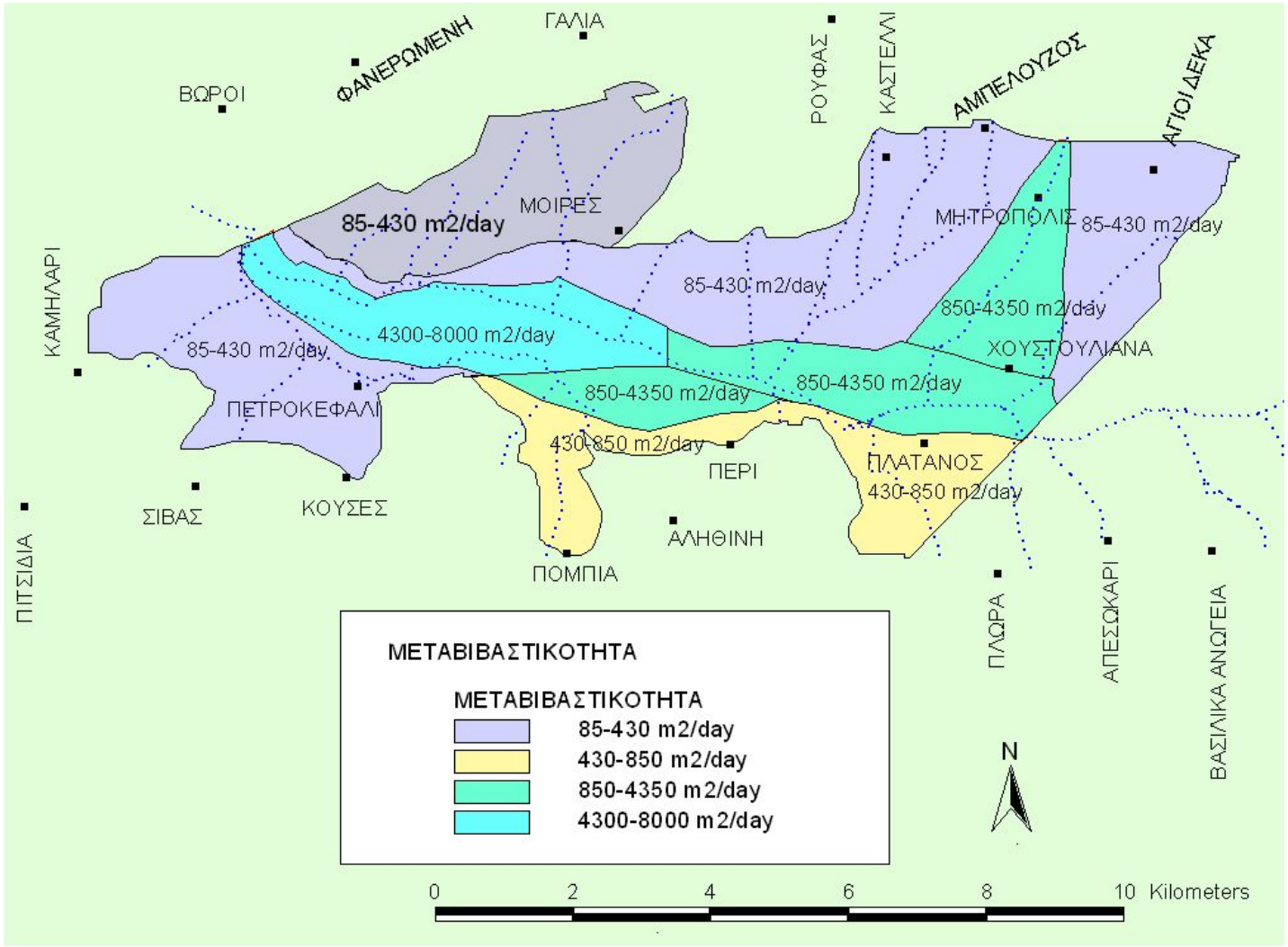
Εικόνα Π 5- 21 Ισοπιεζομετρικός χάρτης λεκάνης Μοιρών έτους ετ.ων 1970, 1981, 2002



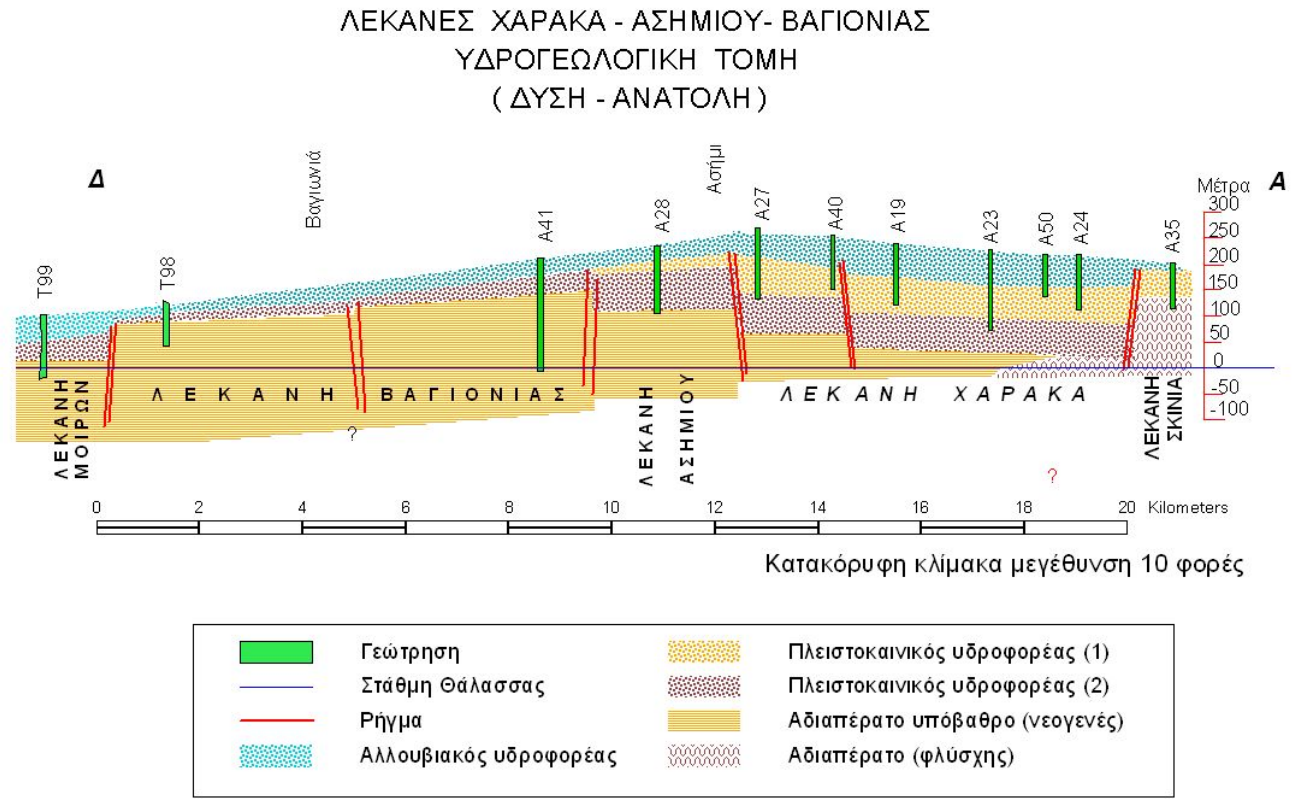
Εικόνα Π 5- 22 Διαχρονική μεταβολή υδροστατικής στάθμης λεκάνης Μοιρών κατά τη διεύθυνση Α-Δ (υδρογεωλογική τομή Νο 1)



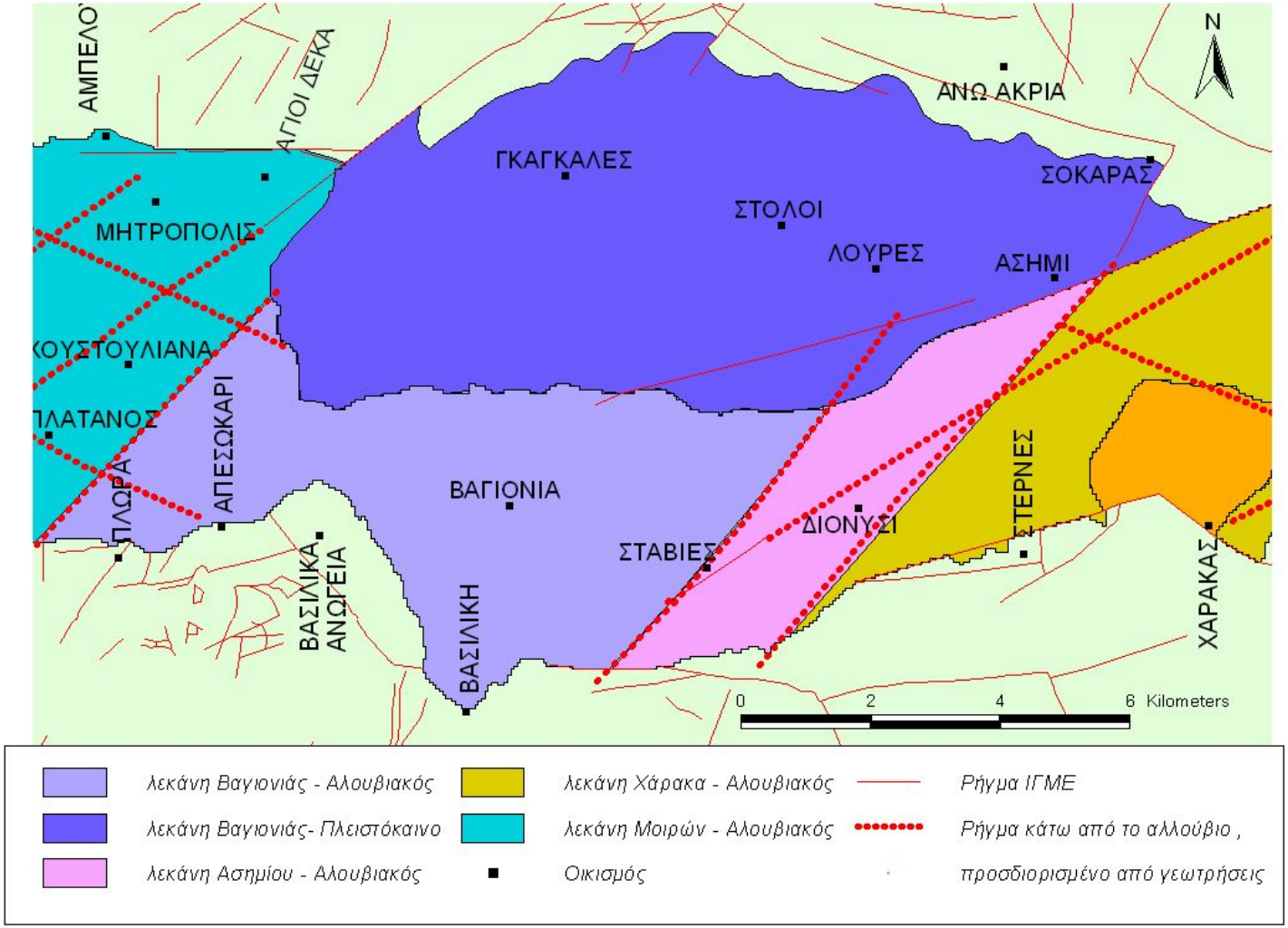
Εικόνα Π 5- 23 Υποδιαίρεση λεκάνης Μοιρών με βάση το πάχος των αλλουβιακών αποθέσεων και υδραυλικών χαρακτηριστικών της.



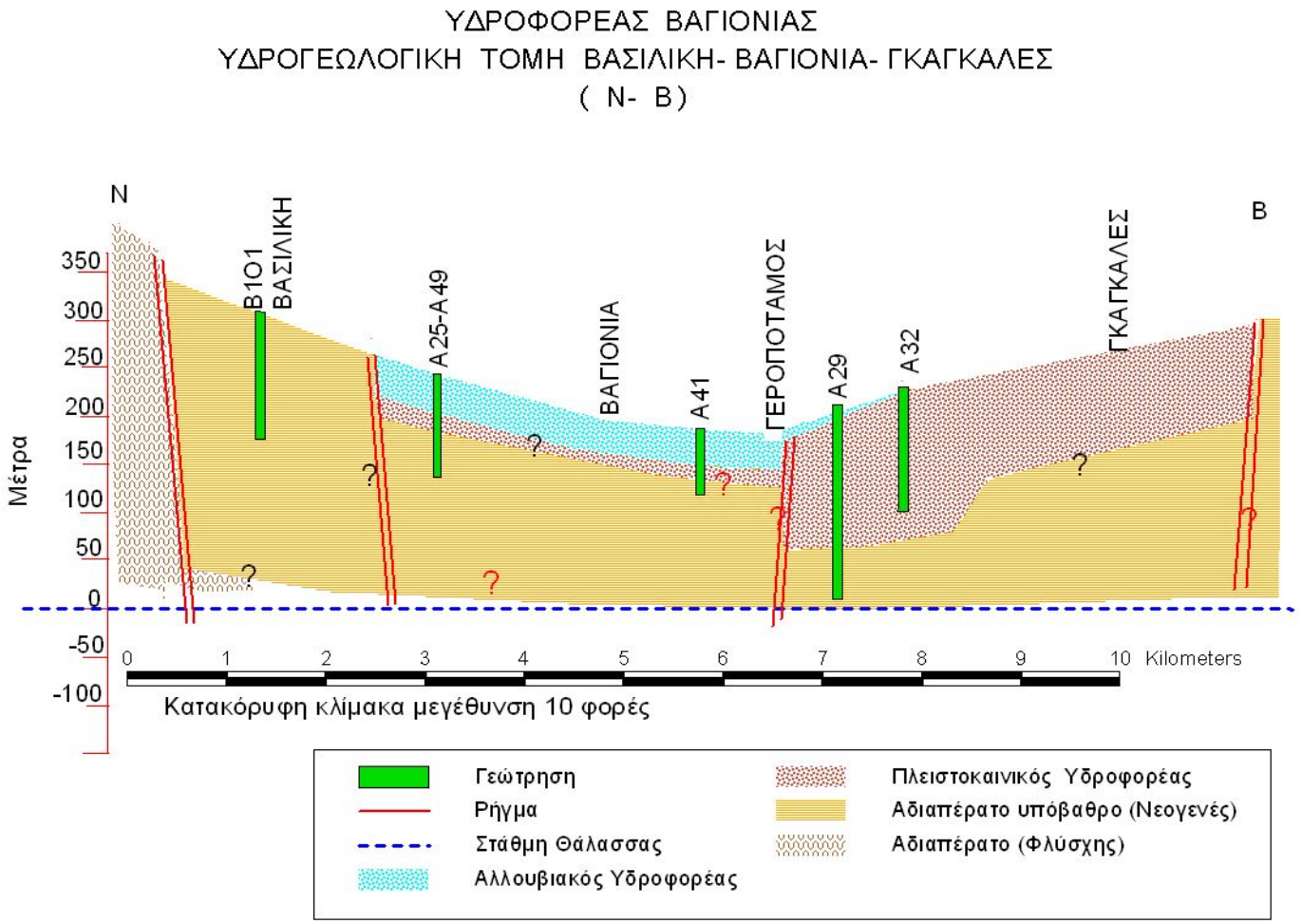
Εικόνα Π 5- 24 Χάρτης μεταβιβαστικότητας υπολεκανών αλλουβιακού υδροφορέα λεκάνης Μοιρών.



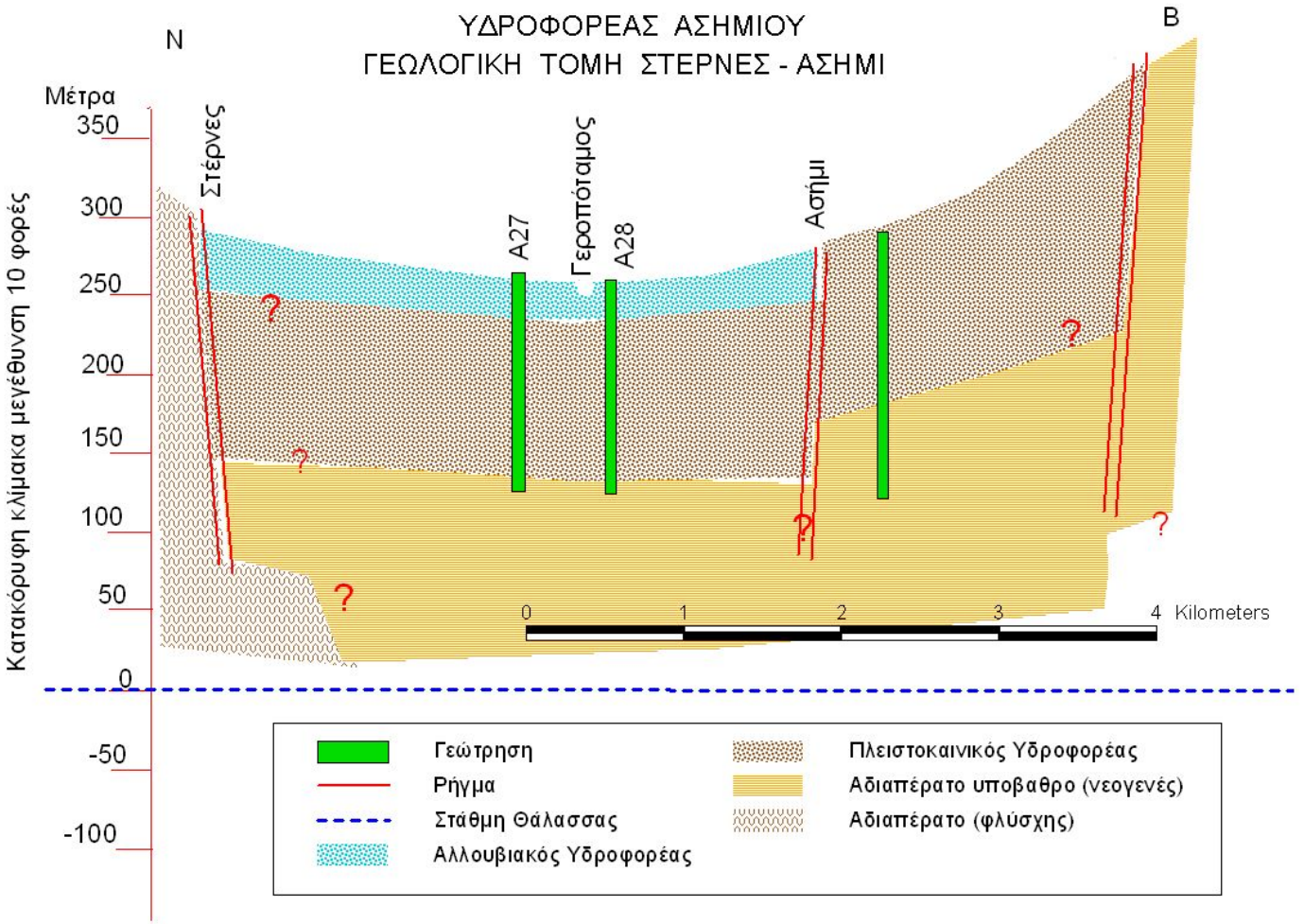
Εικόνα Π 5-27. Ρηξητεμάχη λεκάνης Μεσαράς κατά τη διεύθυνση Α-Δ – Διάκριση των υπόγειων Λεκανών



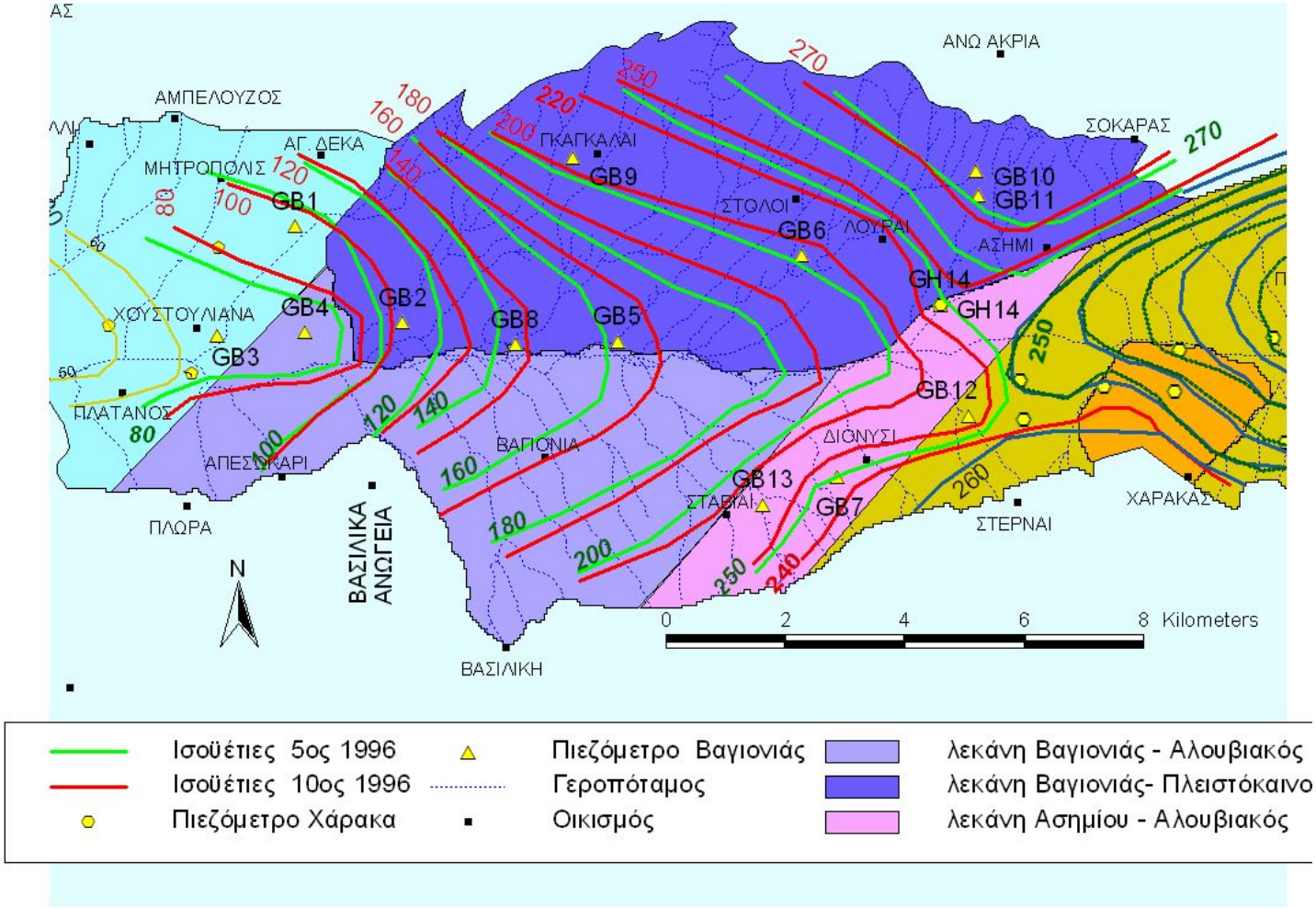
Εικόνα Π 5-28. Λεκάνη Βαγιονιάς- Ασημίου



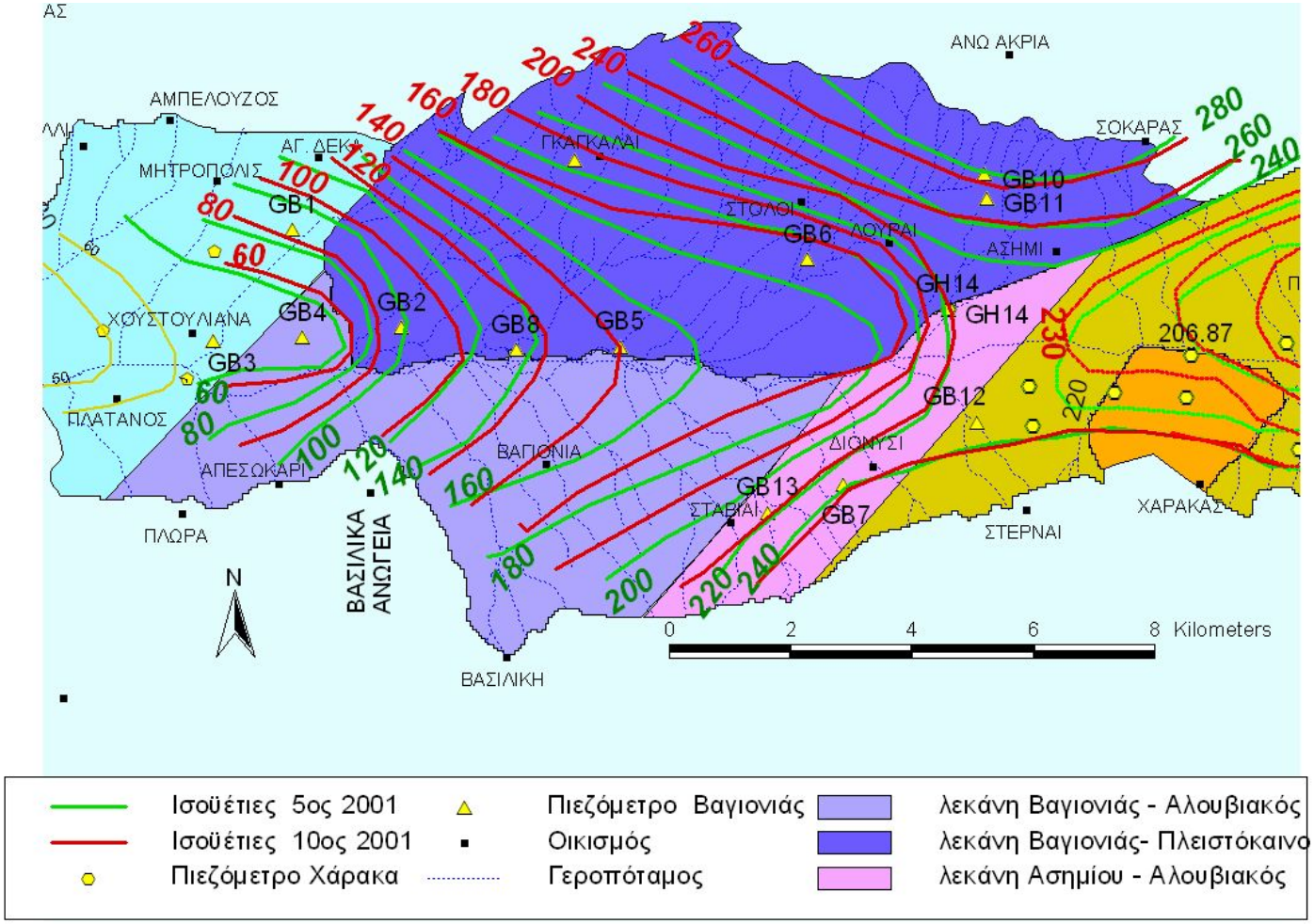
Εικόνα Π 5-29. Υδρογεωλογική τομή Β-Ν λεκάνης Βαγιονιάς- Ασημίου (1)



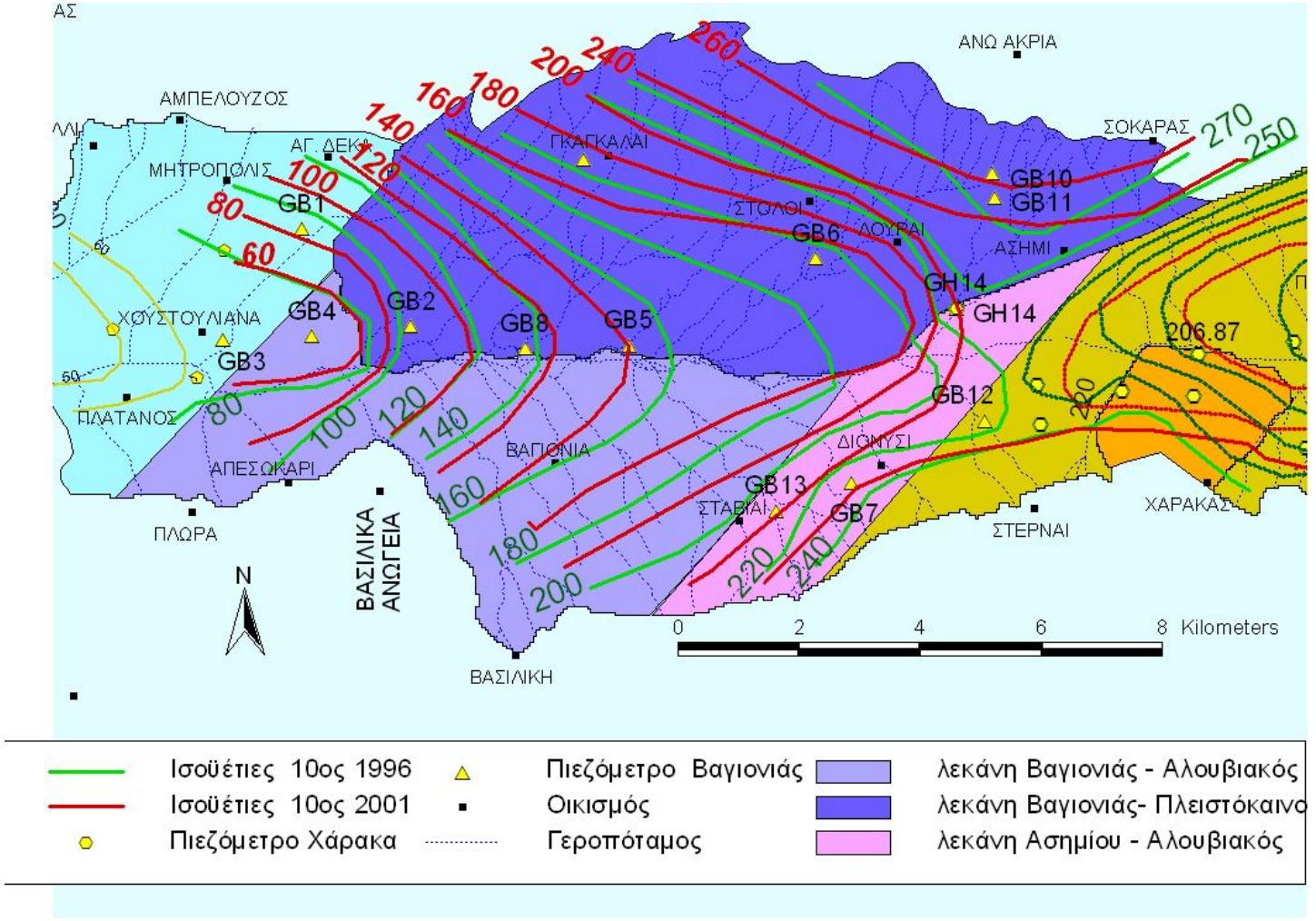
Εικόνα Π 5-30. Υδρογεωλογική τομή Β-Ν λεκάνης Βαγιονιάς- Ασημίου (2)



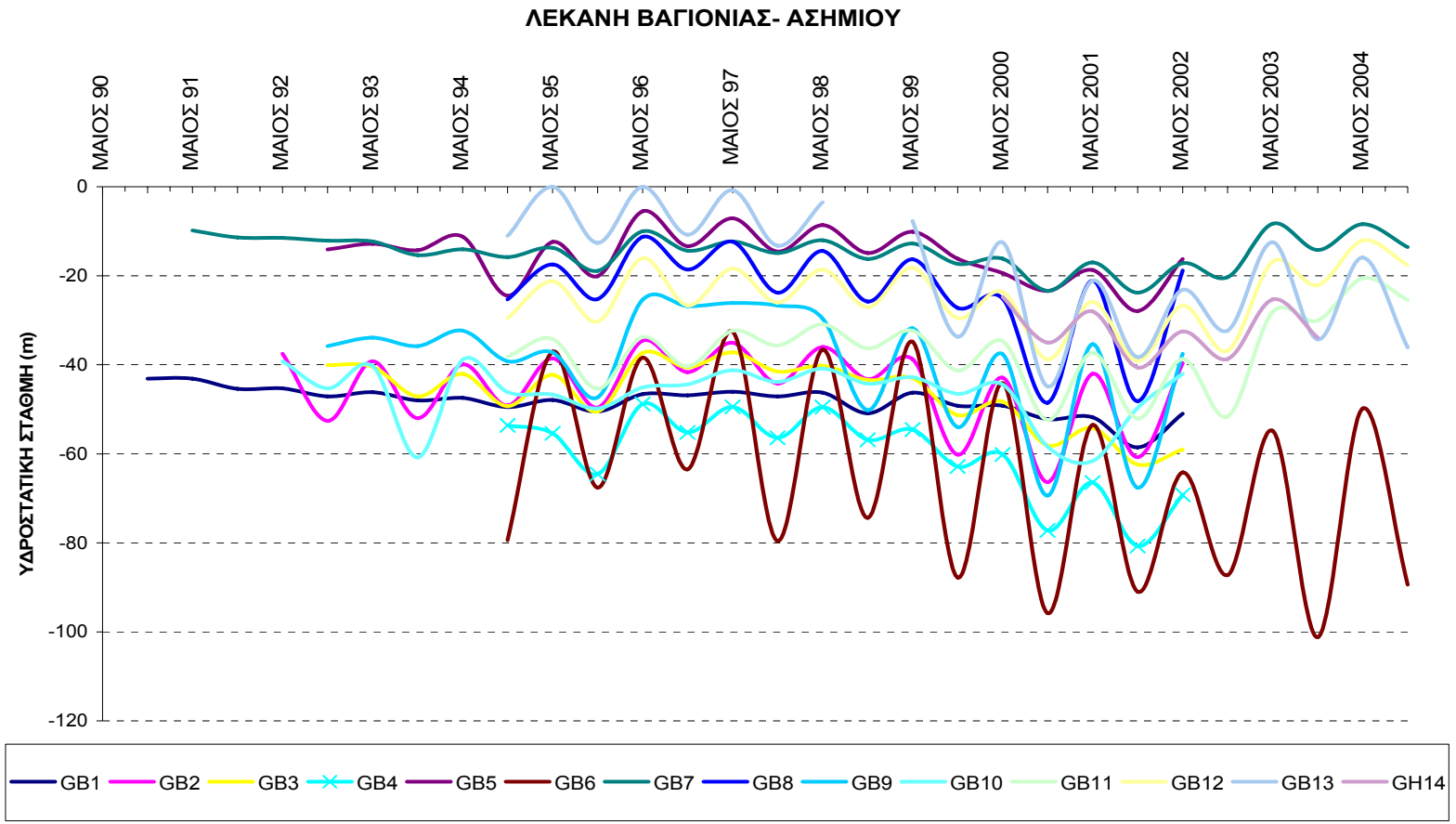
Εικόνα Π 5-31. Πιεζόμετρα παρακολούθησης και ισοϋέτιες έτους 1996 λεκάνης Βαγιονιάς- Ασημίου



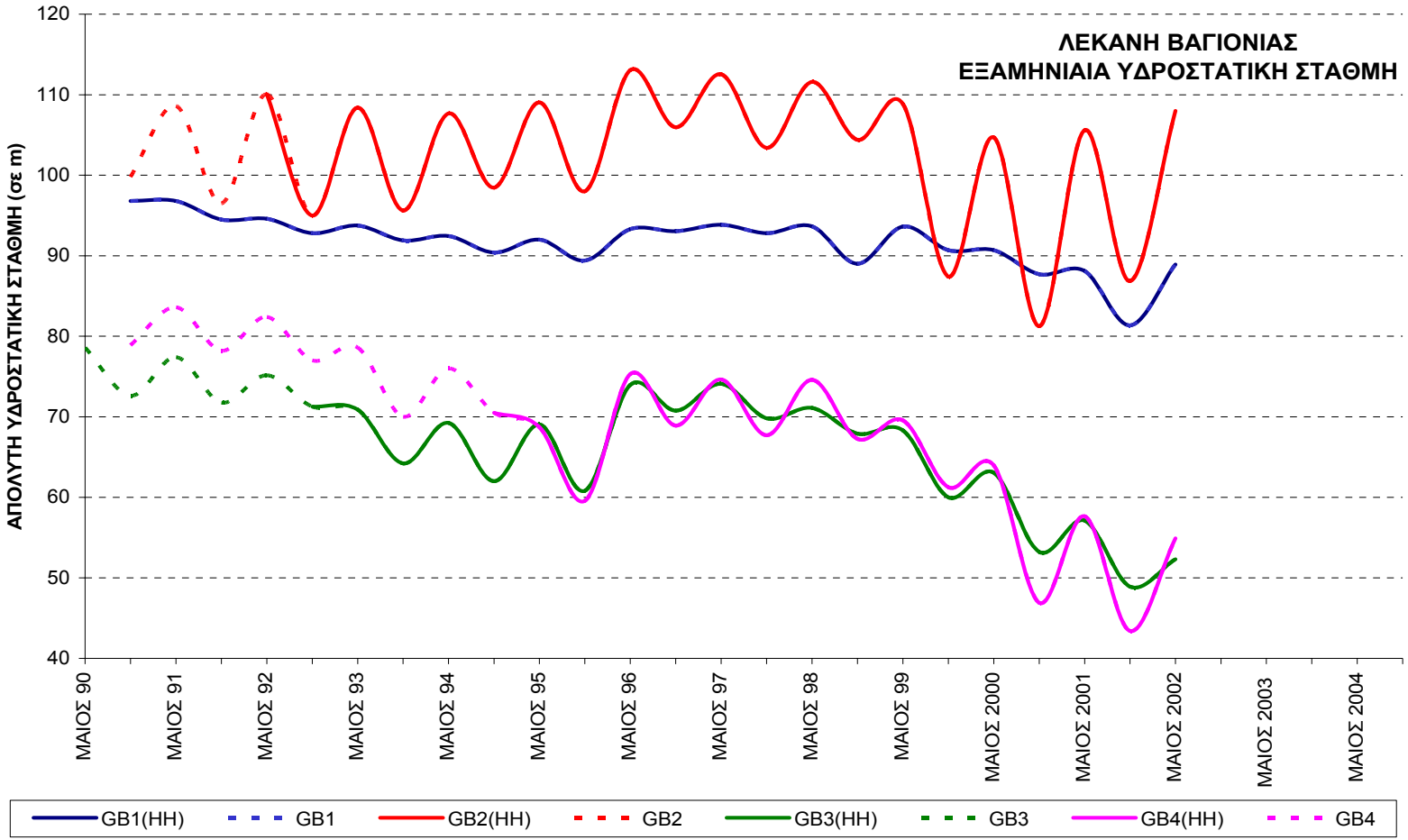
Εικόνα Π 5-32. Πιεζόμετρα παρακολούθησης και ισοϋέτιες έτους 2001 λεκάνης Βαγιονιάς- Ασημίου



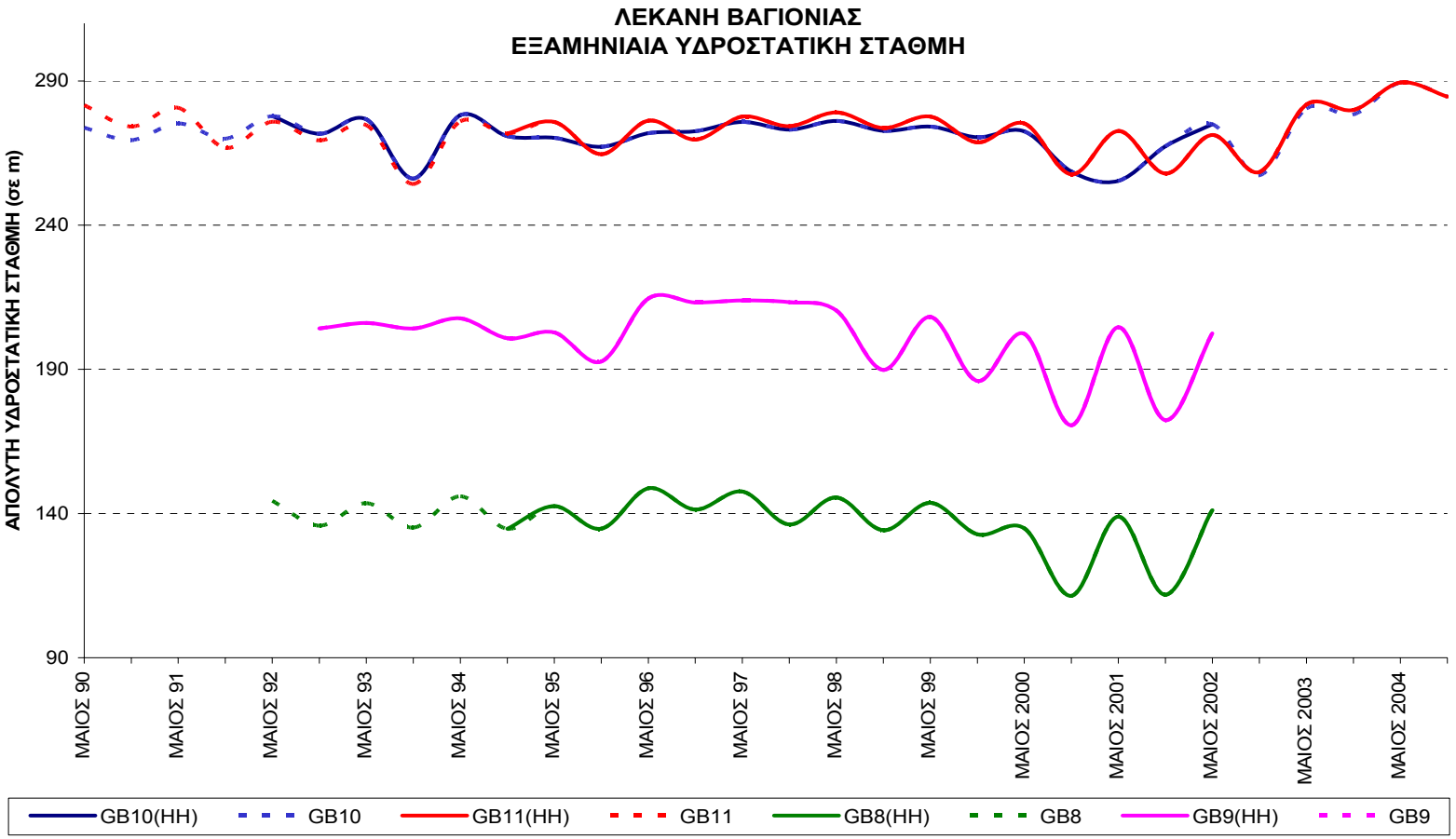
Εικόνα Π 5-33. Πιεζόμετρα παρακολούθησης και ισοϋέτιες έτους 1996 λεκάνης Βαγιονιάς- Ασημίου



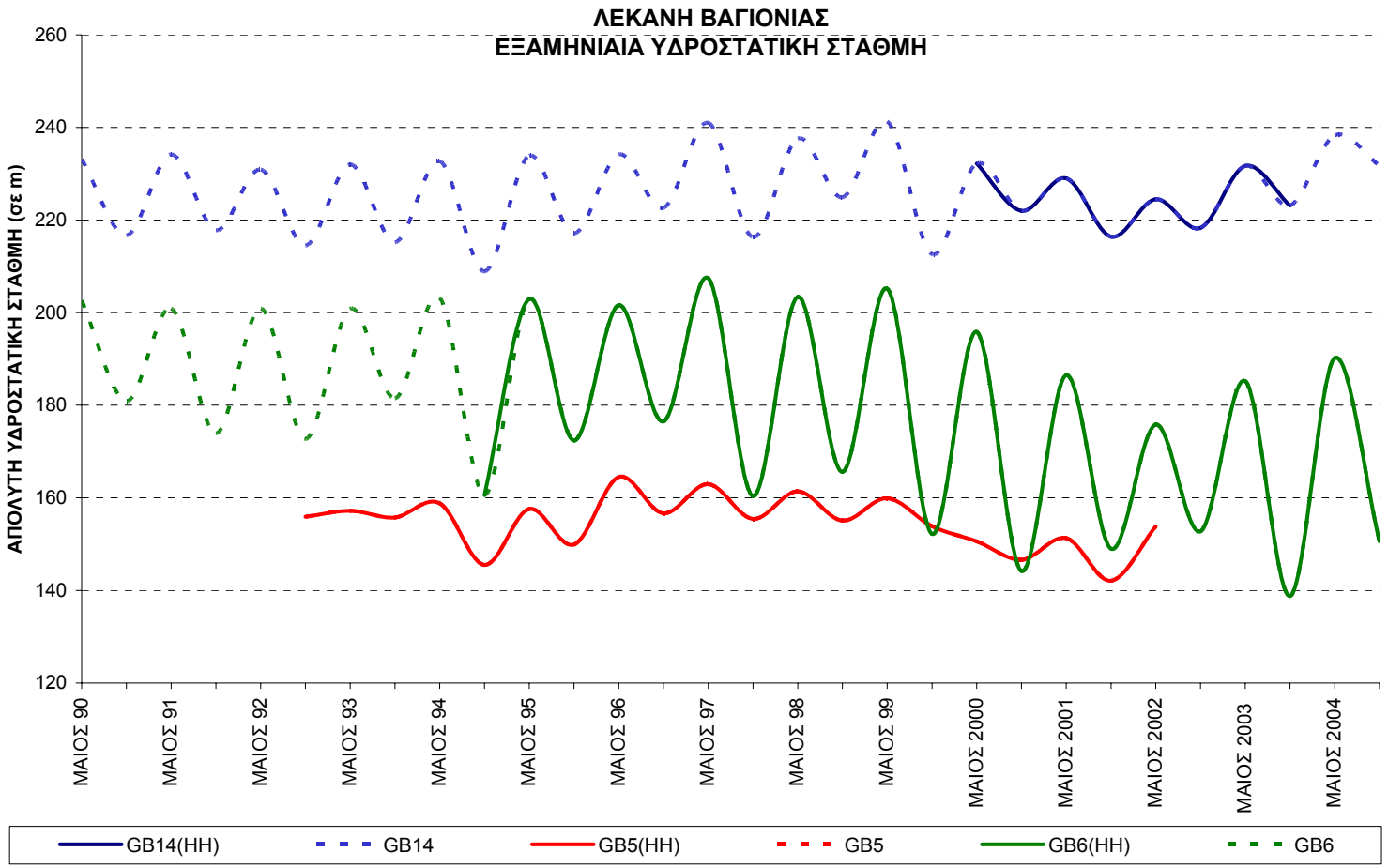
Εικόνα Π 5-34. Υδροστατική στάθμη Πιεζόμετρων παρακολούθησης από την επιφάνεια λεκάνης Βαγιονιάς- Ασημίου



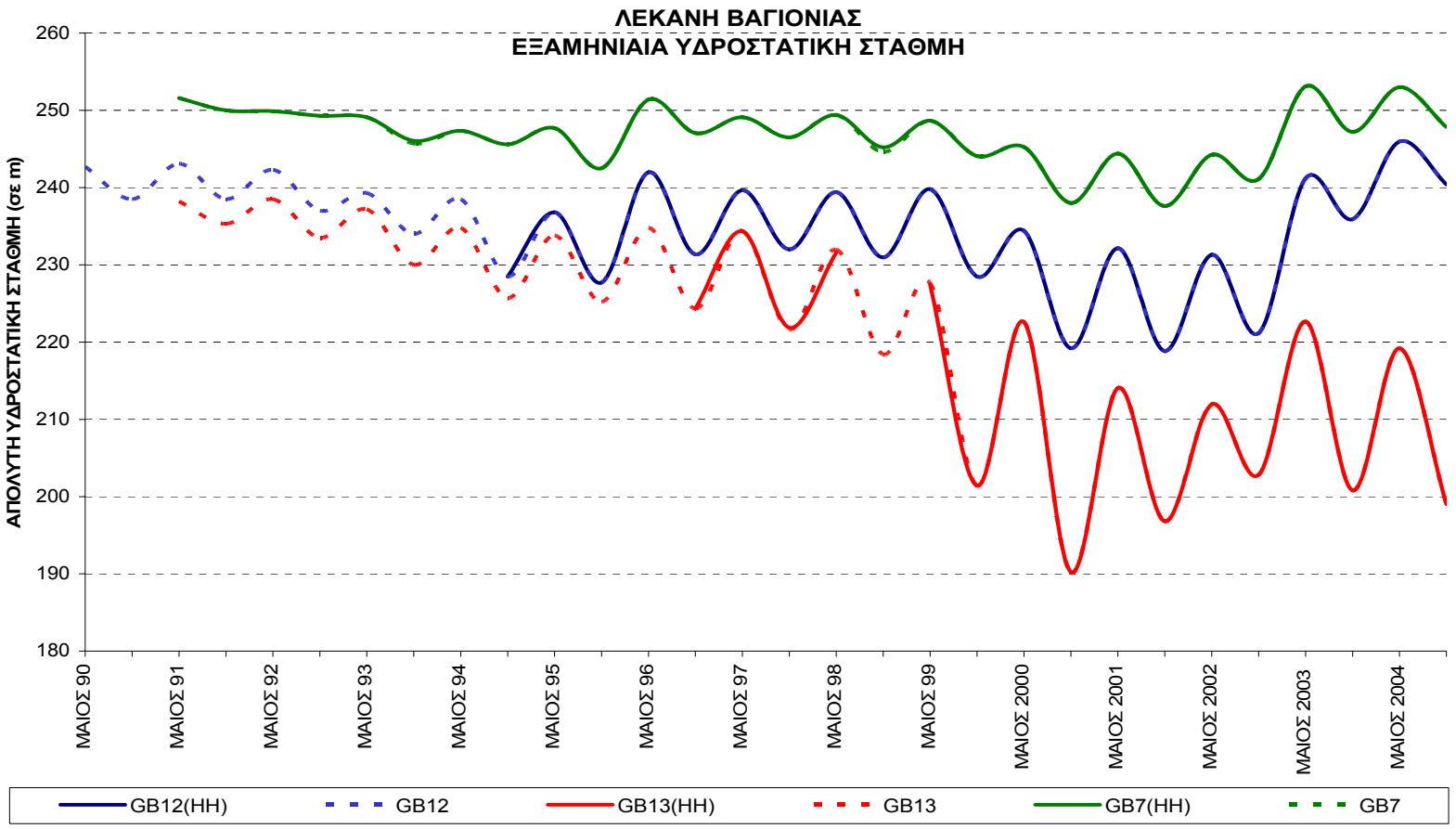
Εικόνα Π 5-35. Απόλυτη υδροστατική στάθμη Πιεζόμετρων παρακολούθησης λεκάνης Βαγιονιάς-Ασημίου (1)



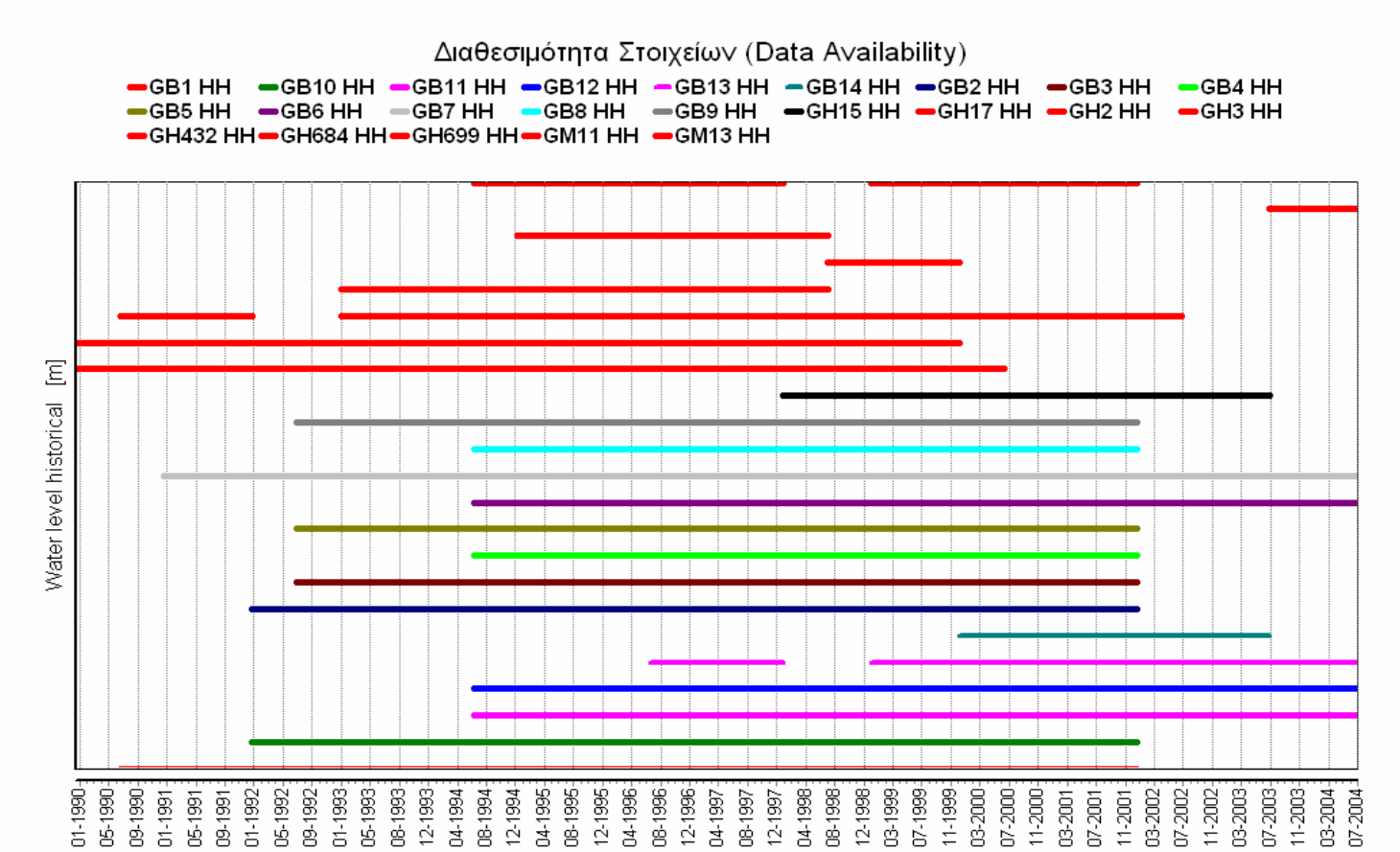
Εικόνα Π 5-36. Απόλυτη υδροστατική στάθμη Πιεζόμετρων παρακολούθησης λεκάνης Βαγιονιάς-Ασημίου (2)



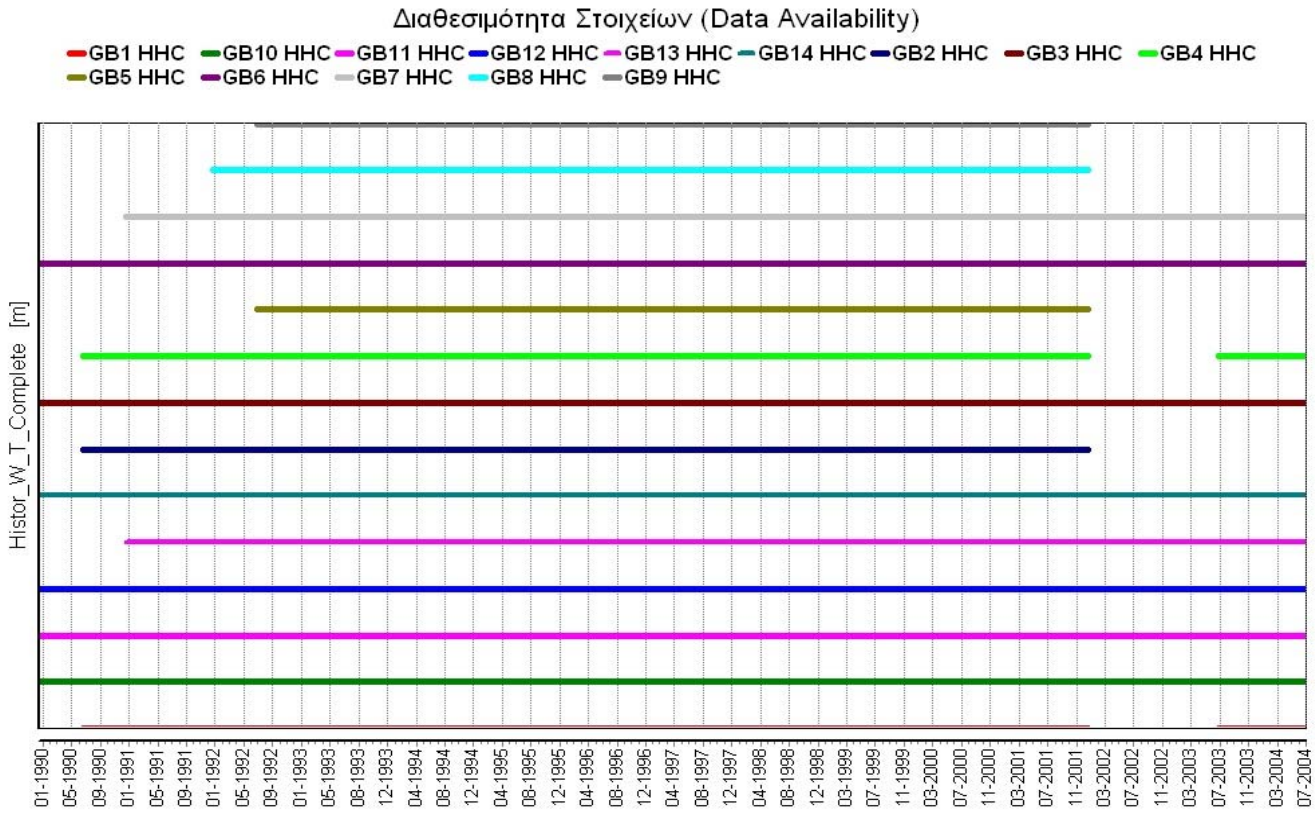
Εικόνα Π 5-37. Απόλυτη υδροστατική στάθμη Πιεζόμετρων παρακολούθησης λεκάνης Βαγιονιάς-Ασημίου (3)



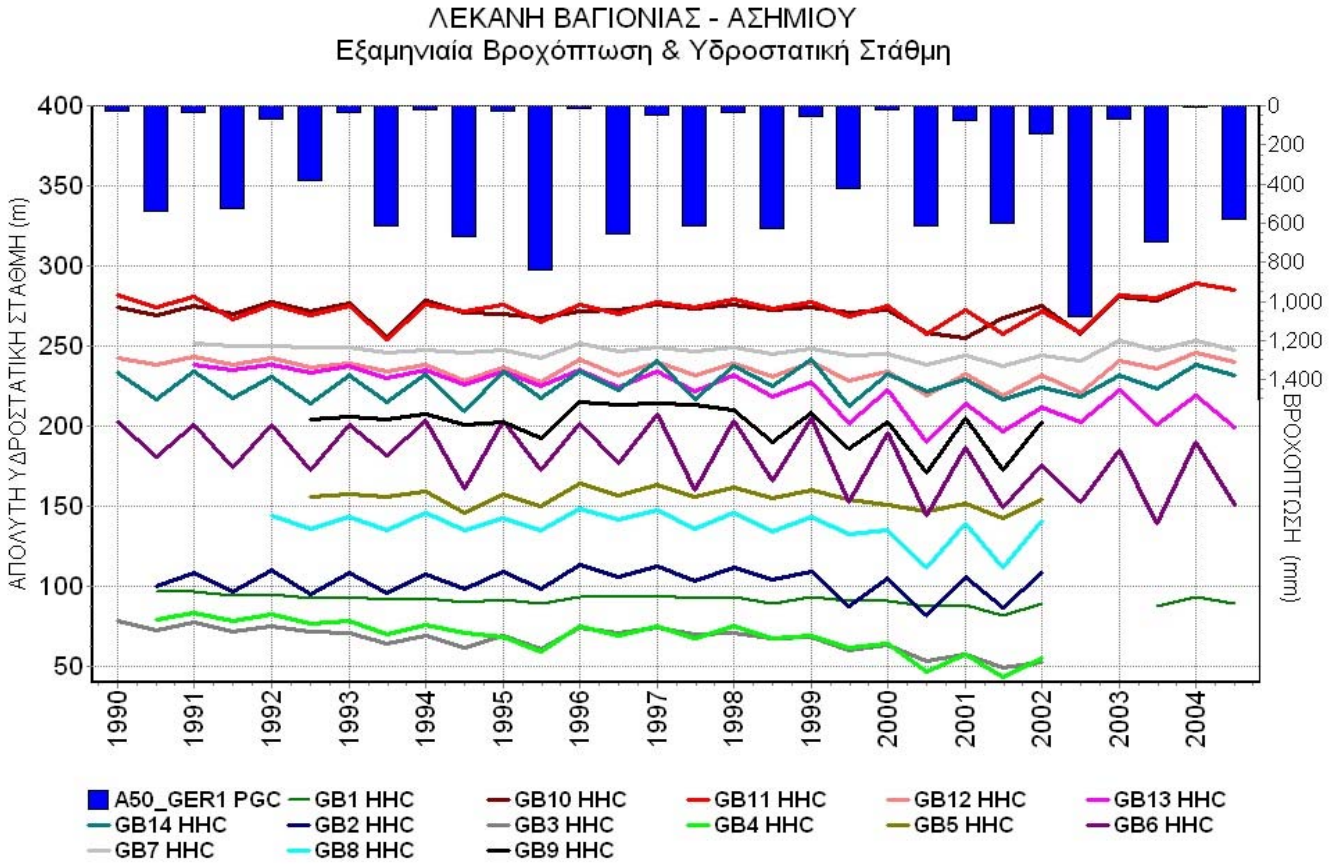
Εικόνα Π 5-38. Απόλυτη υδροστατική στάθμη Πιεζόμετρων παρακολούθησης λεκάνης Βαγιονιάς-Ασημίου (4)



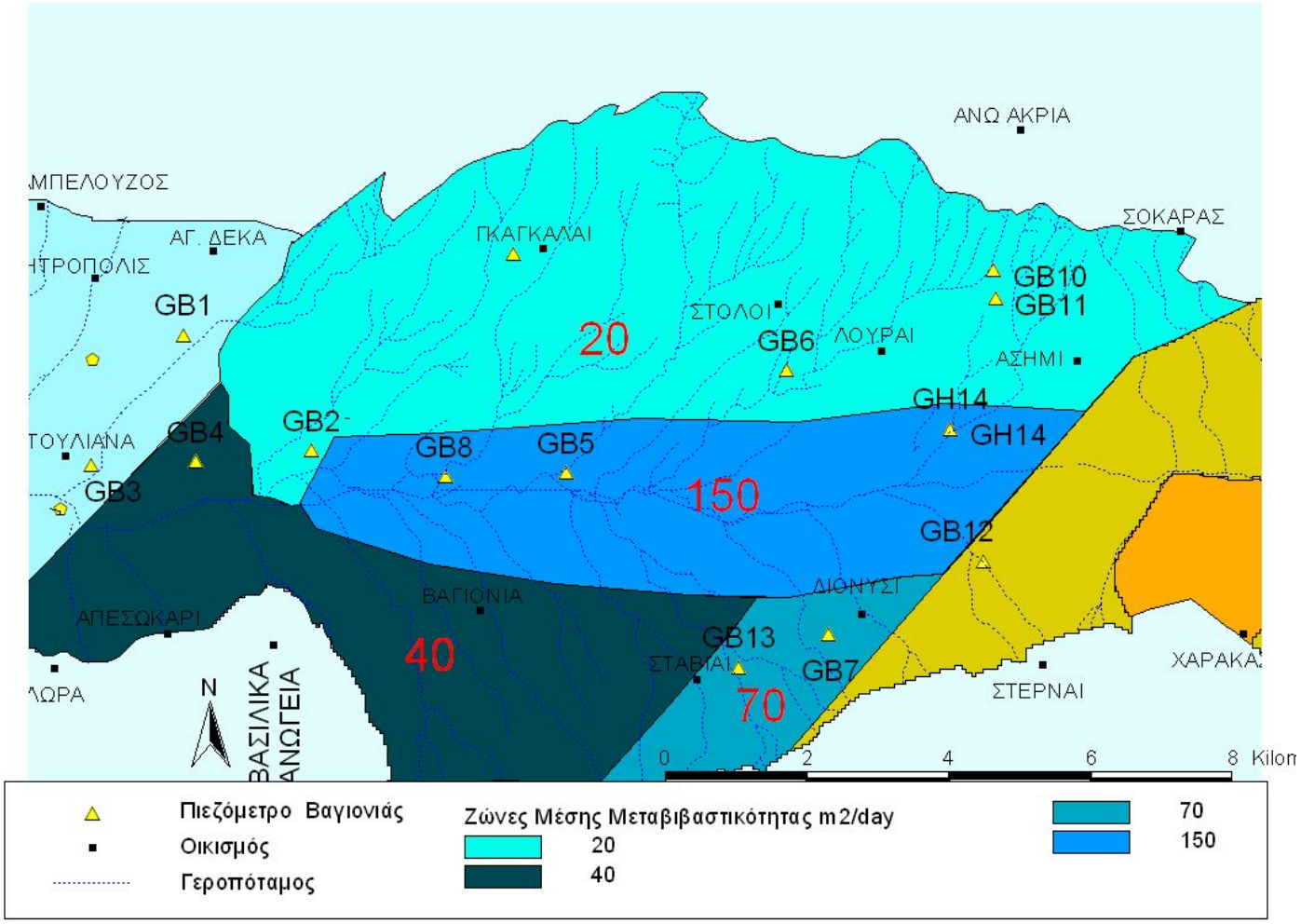
Εικόνα Π 5-39. Διαθεσιμότητα ιστορικών δεδομένων υδροστατικής στάθμης Πιεζόμετρων παρακολούθησης λεκάνης Βαγιονιάς- Ασημίου



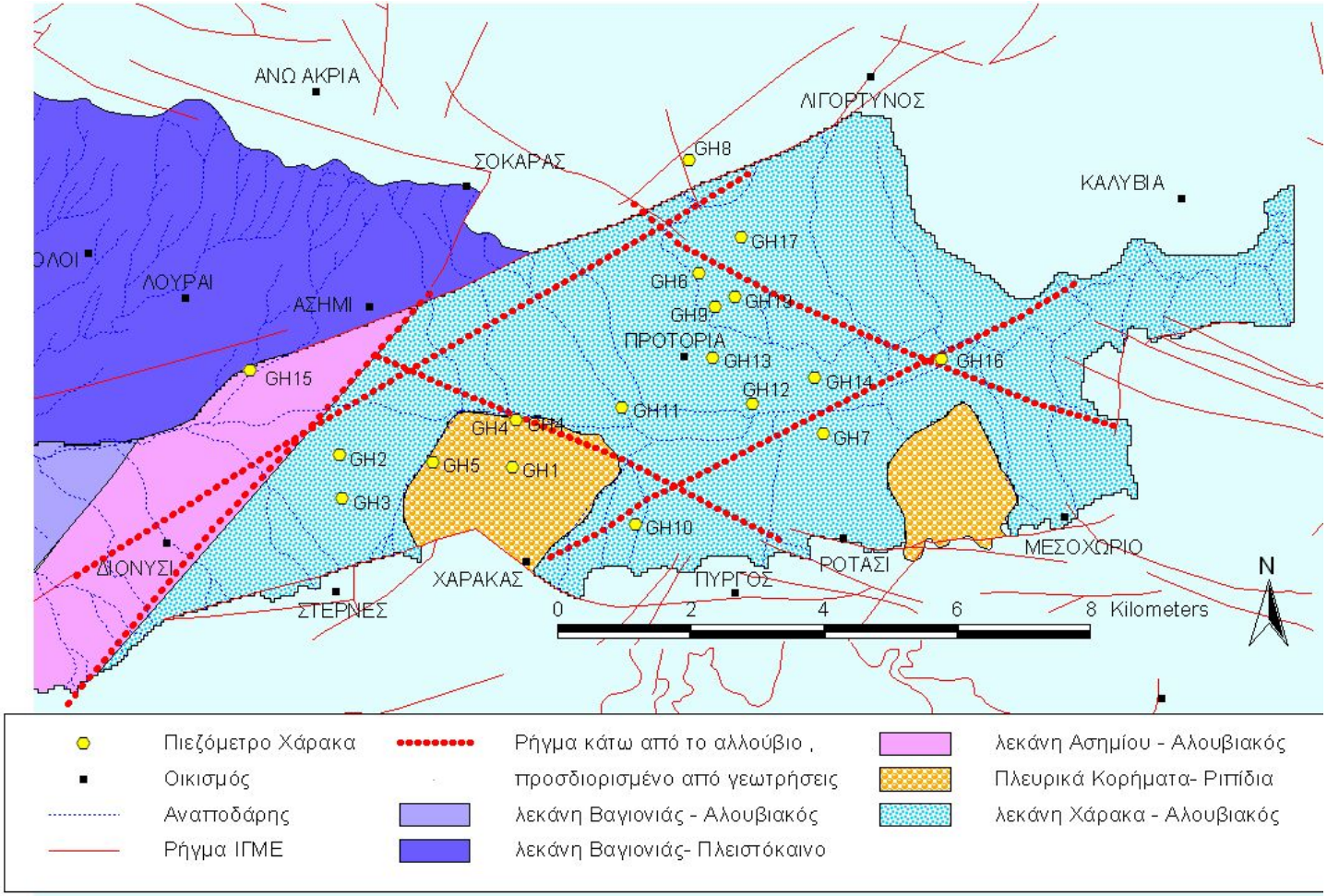
Εικόνα Π 5-40. Διαθεσιμότητα συμπληρωμένης χρονοσειράς υδροστατικής στάθμης Πιεζόμετρων παρακολούθησης λεκάνης Βαγιονιάς- Ασημίου



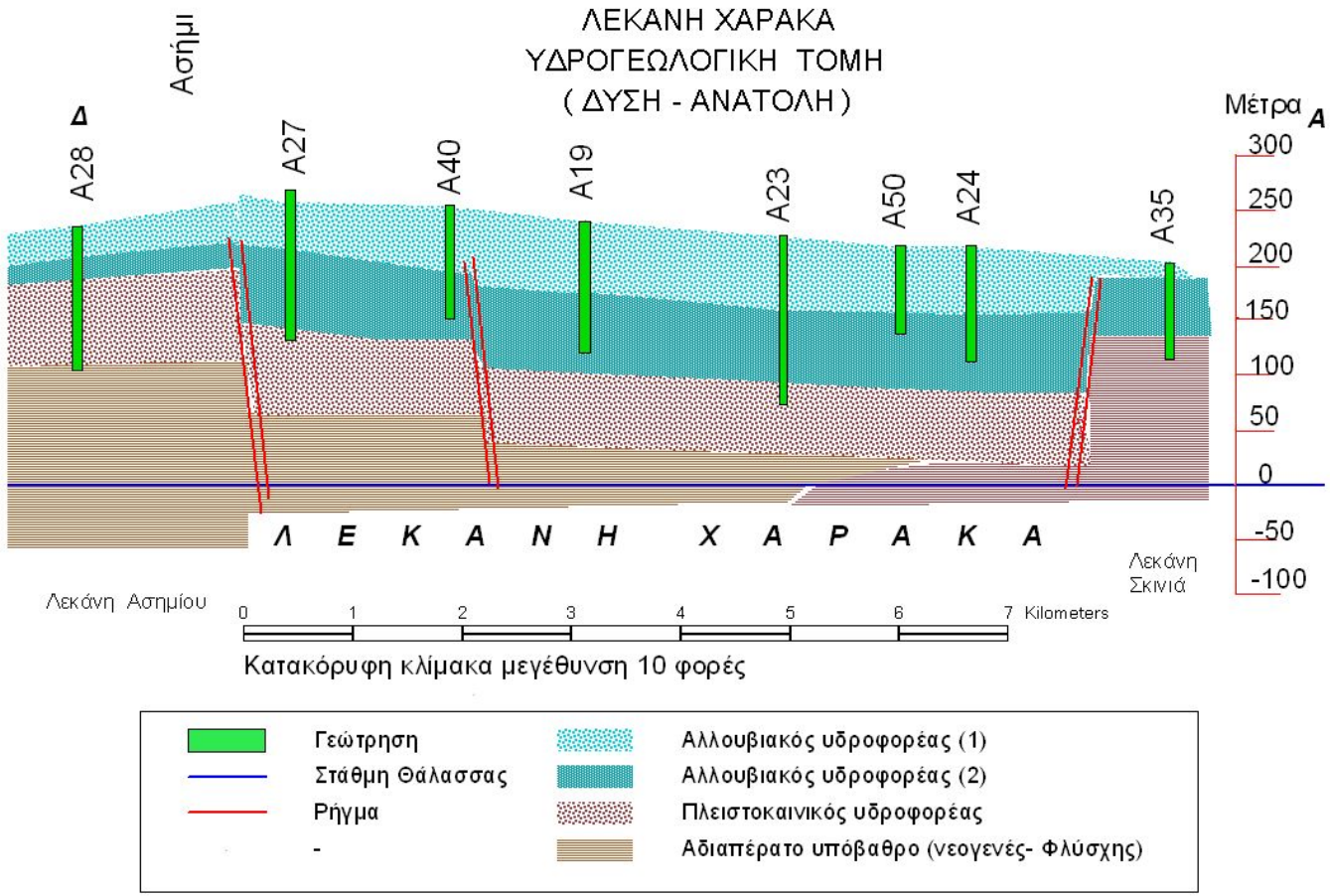
Εικόνα Π 5-41. Εξαμηνιαία επιφανειακή βροχόπτωση - υδροστατική στάθμη Πιεζόμετρων παρακολούθησης λεκάνης Βαγιονιάς- Ασημίου



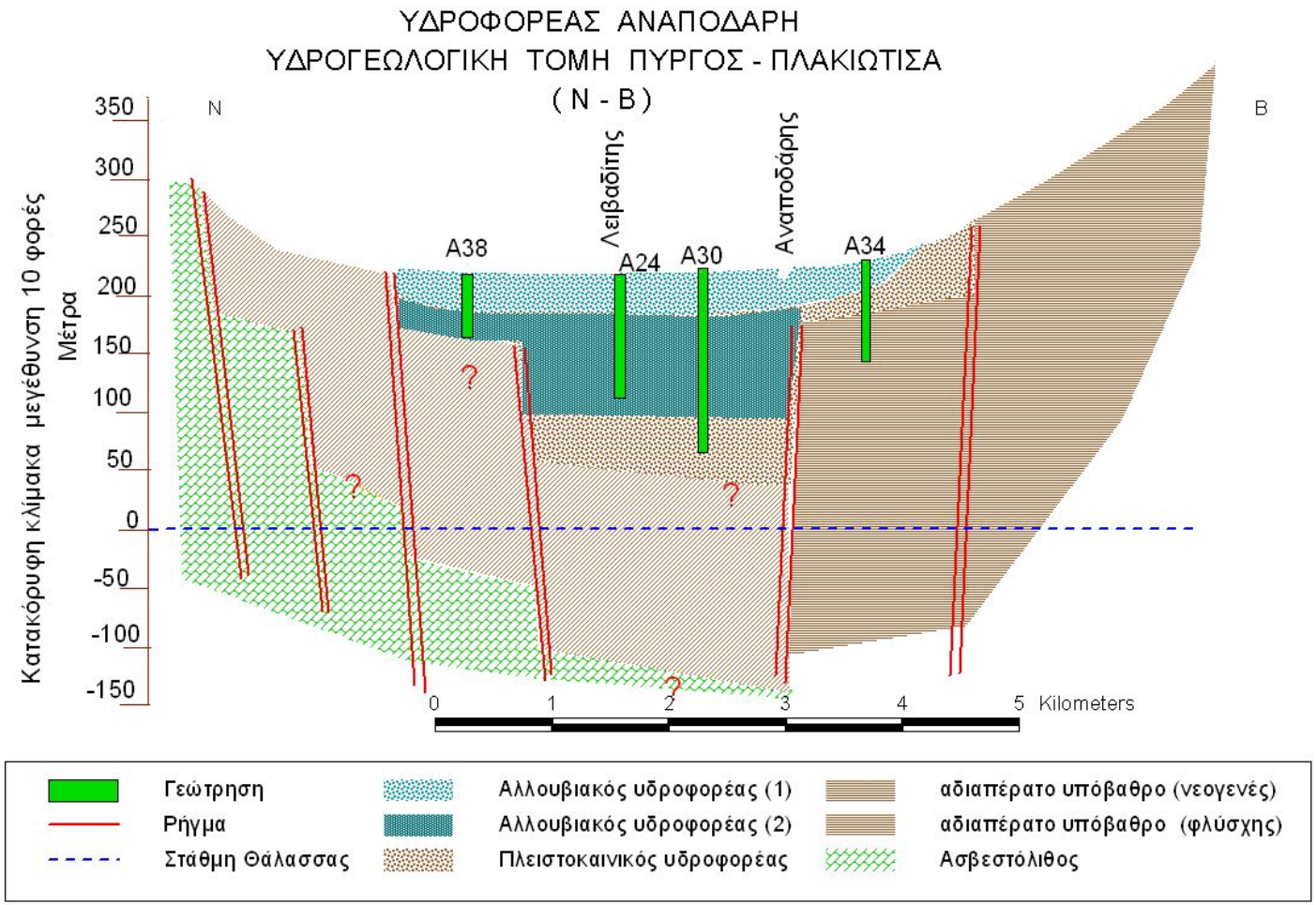
Εικόνα Π 5-42. Ζώνες μέση Μεταβιβαστικότητας Τ λεκάνης Βαγιονιάς- Ασημίου (σε m2/day)



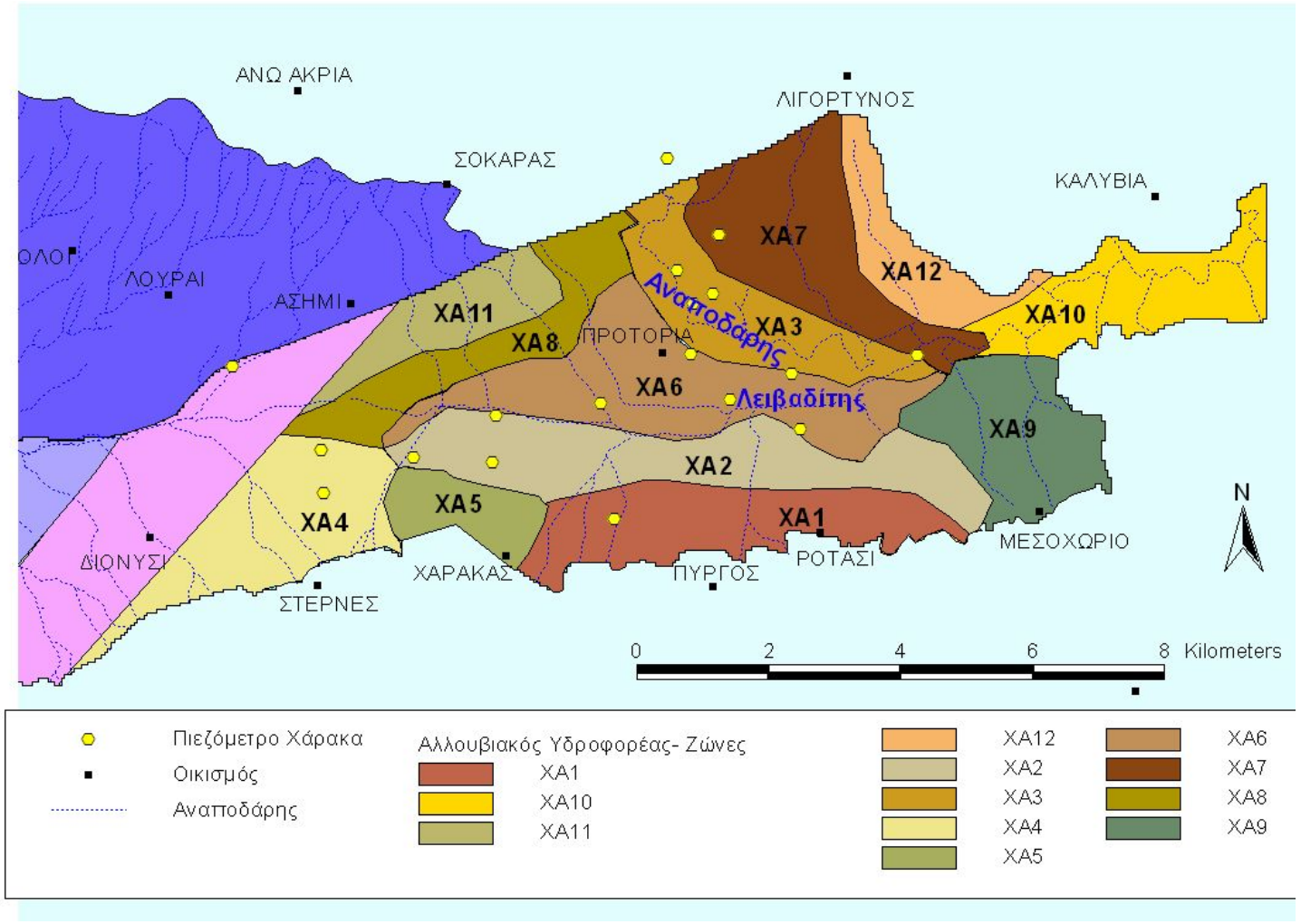
Εικόνα Π 5-43. Λεκάνη Χάρακα



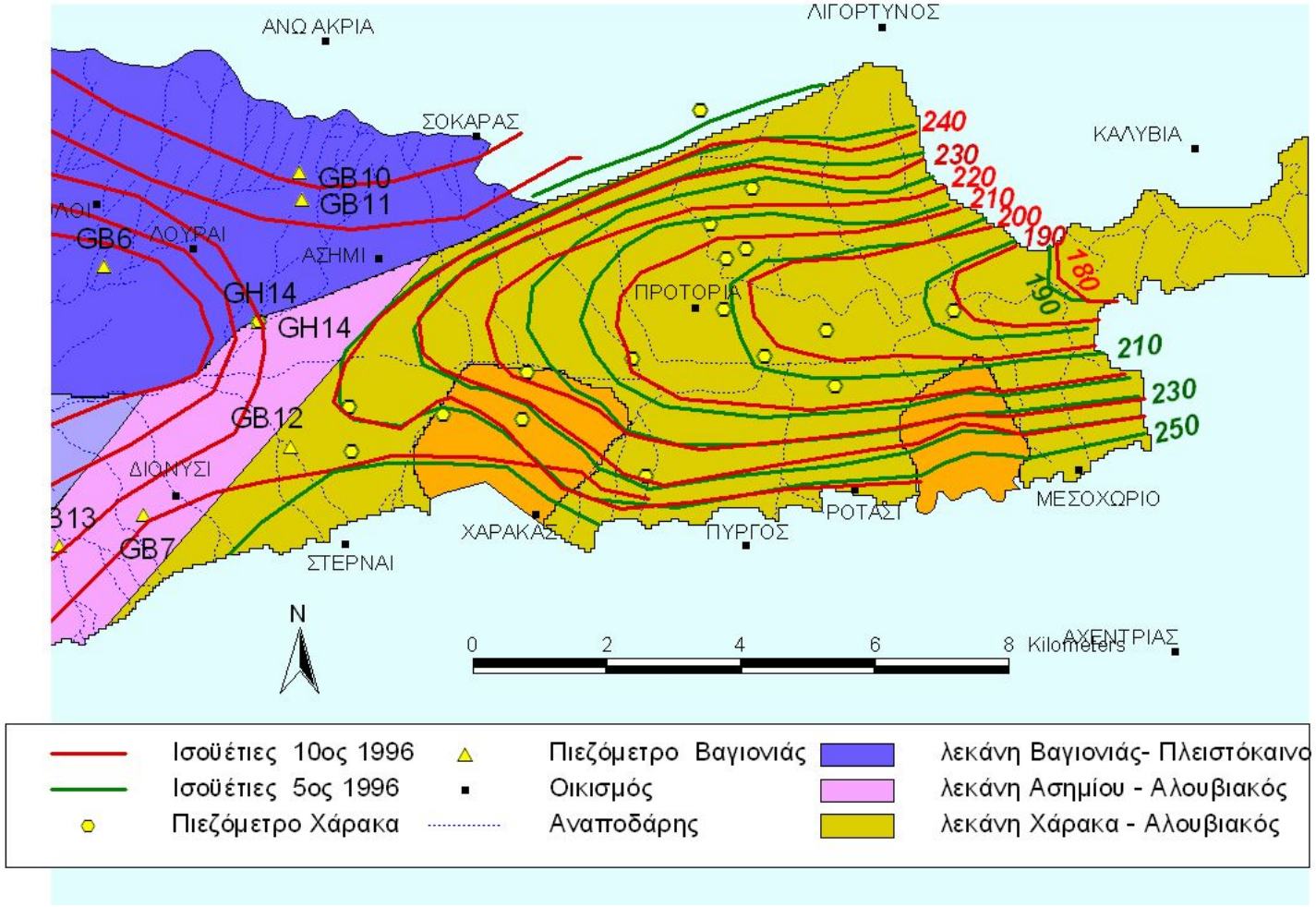
Εικόνα Π 5-44. Υδρογεωλογική τομή της λεκάνης του Χάρακα Α-Δ



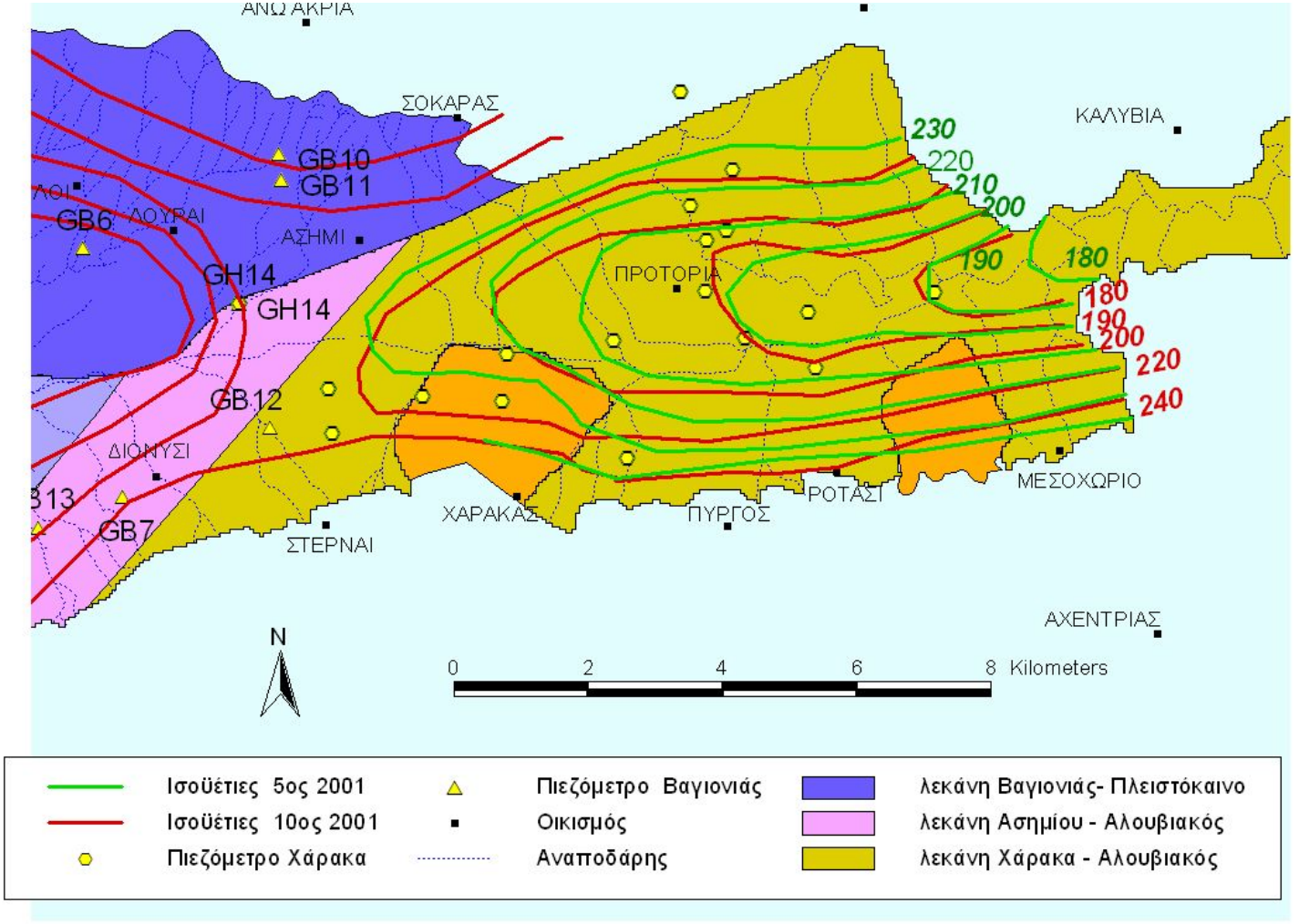
Εικόνα Π 5-45. Υδρογεωλογική τομή της λεκάνης του Χάρακα Β-Ν



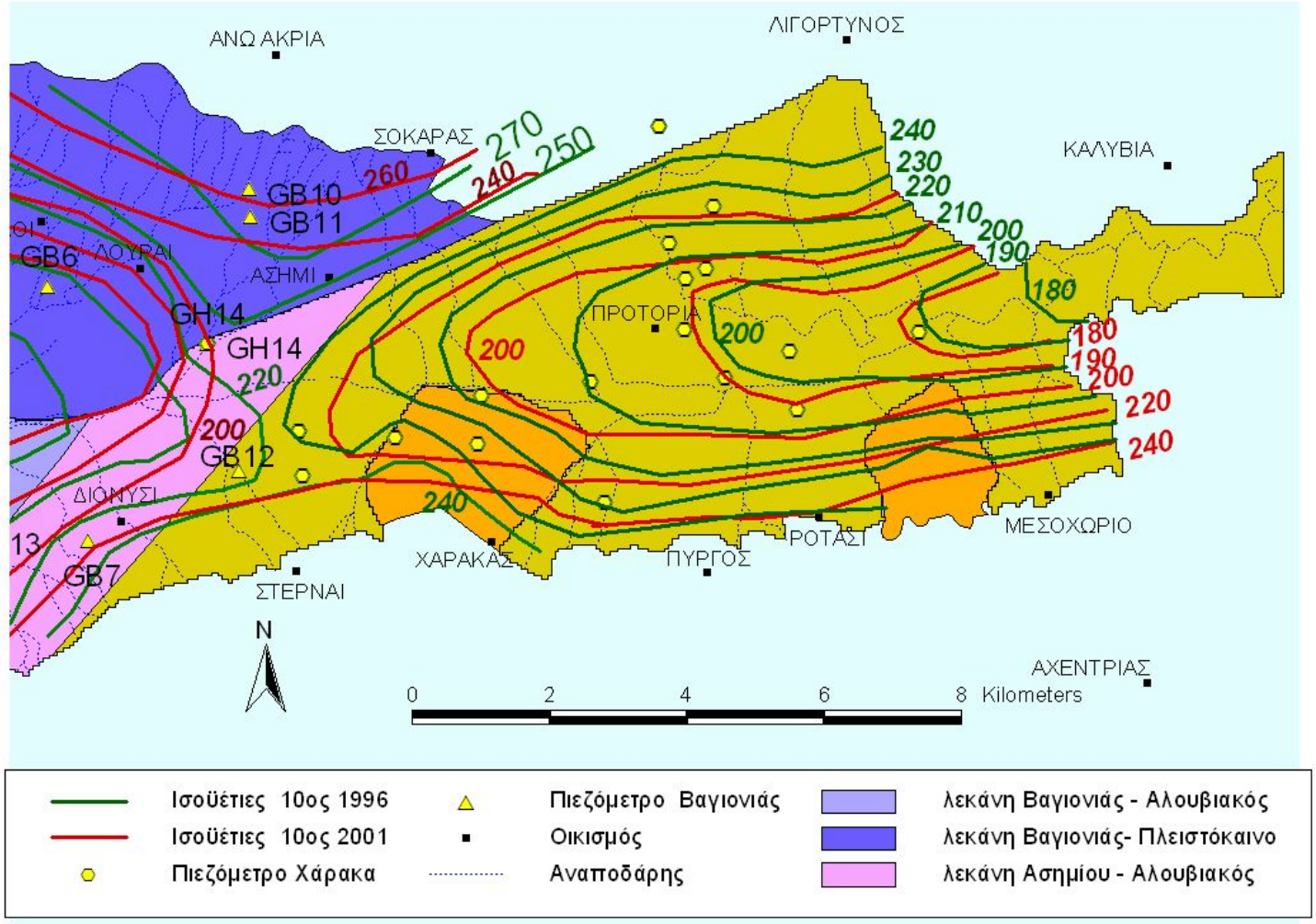
Εικόνα Π 5-46. Υποδιαίρεση του αλλουβιακού υδροφορέα της λεκάνης του Χάρακα σε ζώνες.



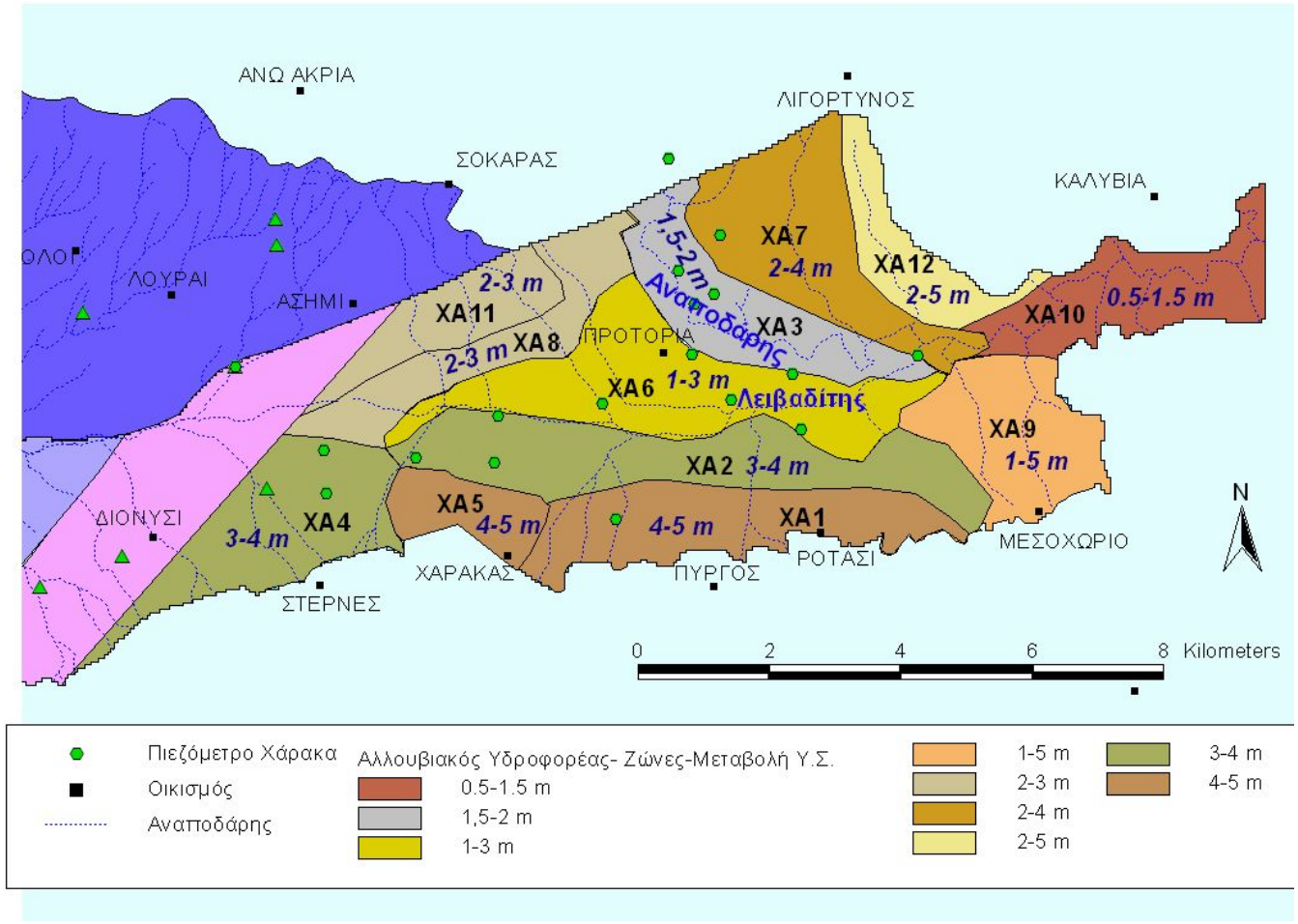
Εικόνα Π 5-47. υδροϊσοϋψείς καμπύλες της λεκάνης του Χάρακα έτους 1996



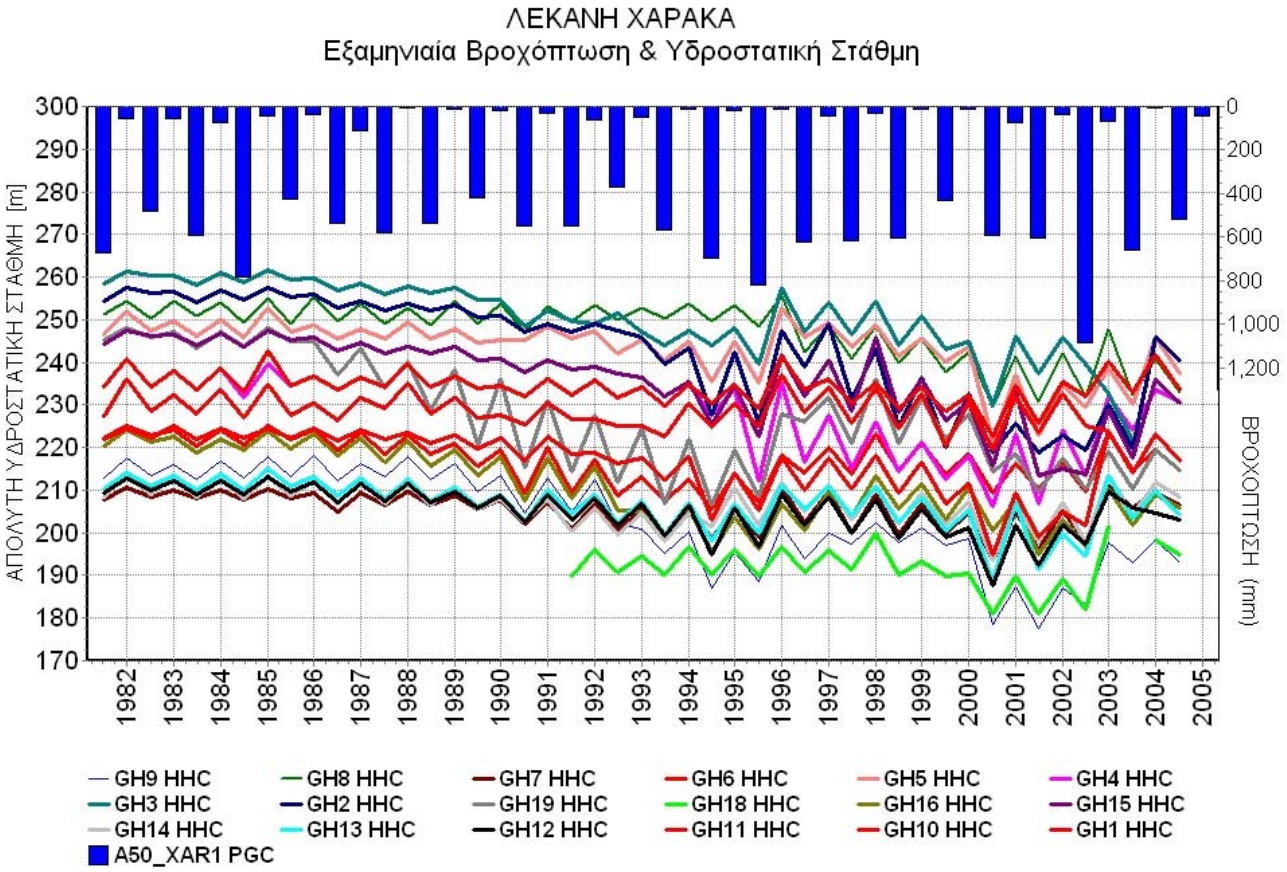
Εικόνα Π 5-48. υδροϊσοϋψείς καμπύλες της λεκάνης του Χάρακα έτους 2001



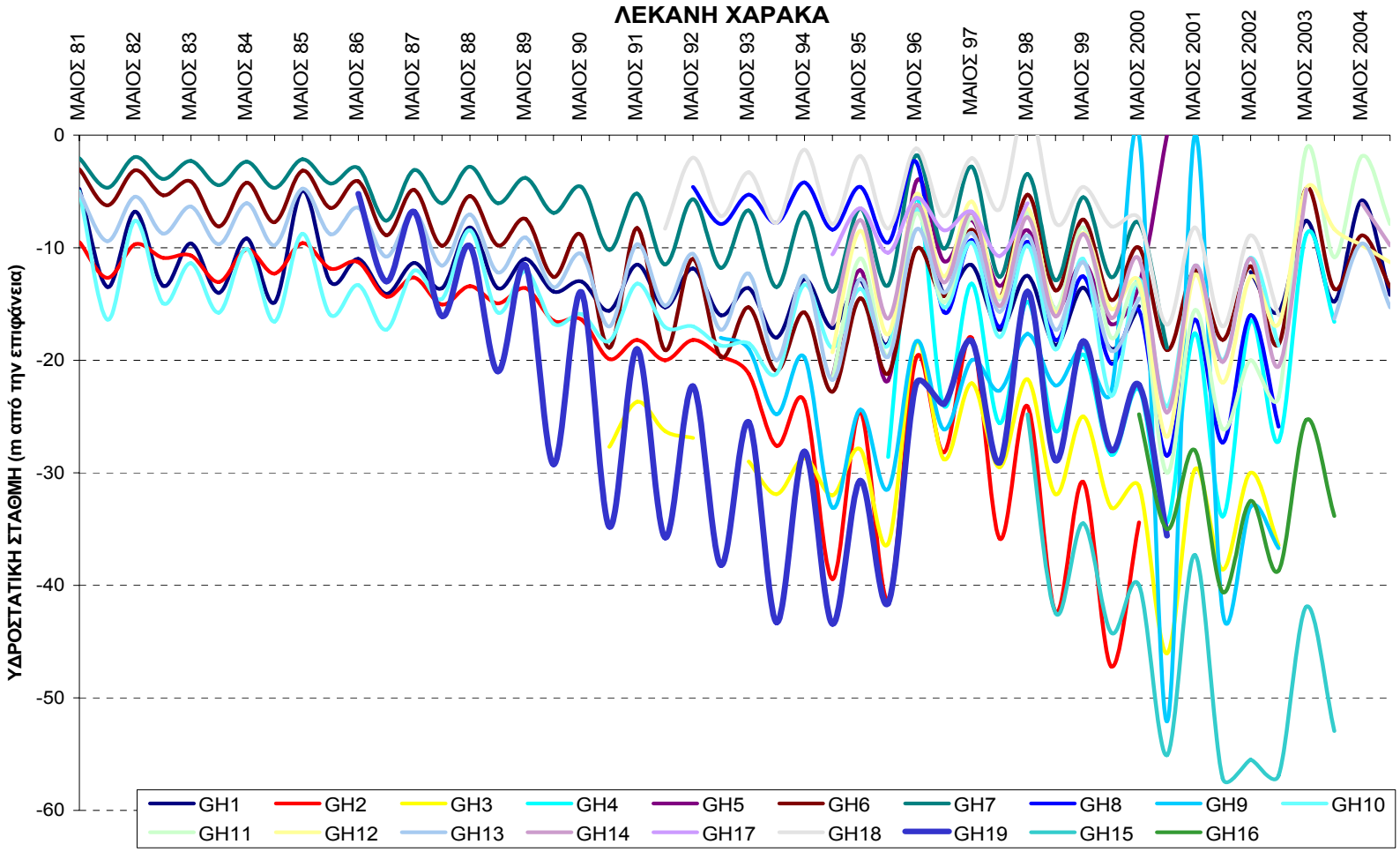
Εικόνα Π 5-49. υδροϊσοϋψείς καμπύλες της λεκάνης του Χάρακα έτους 1996 και 2001



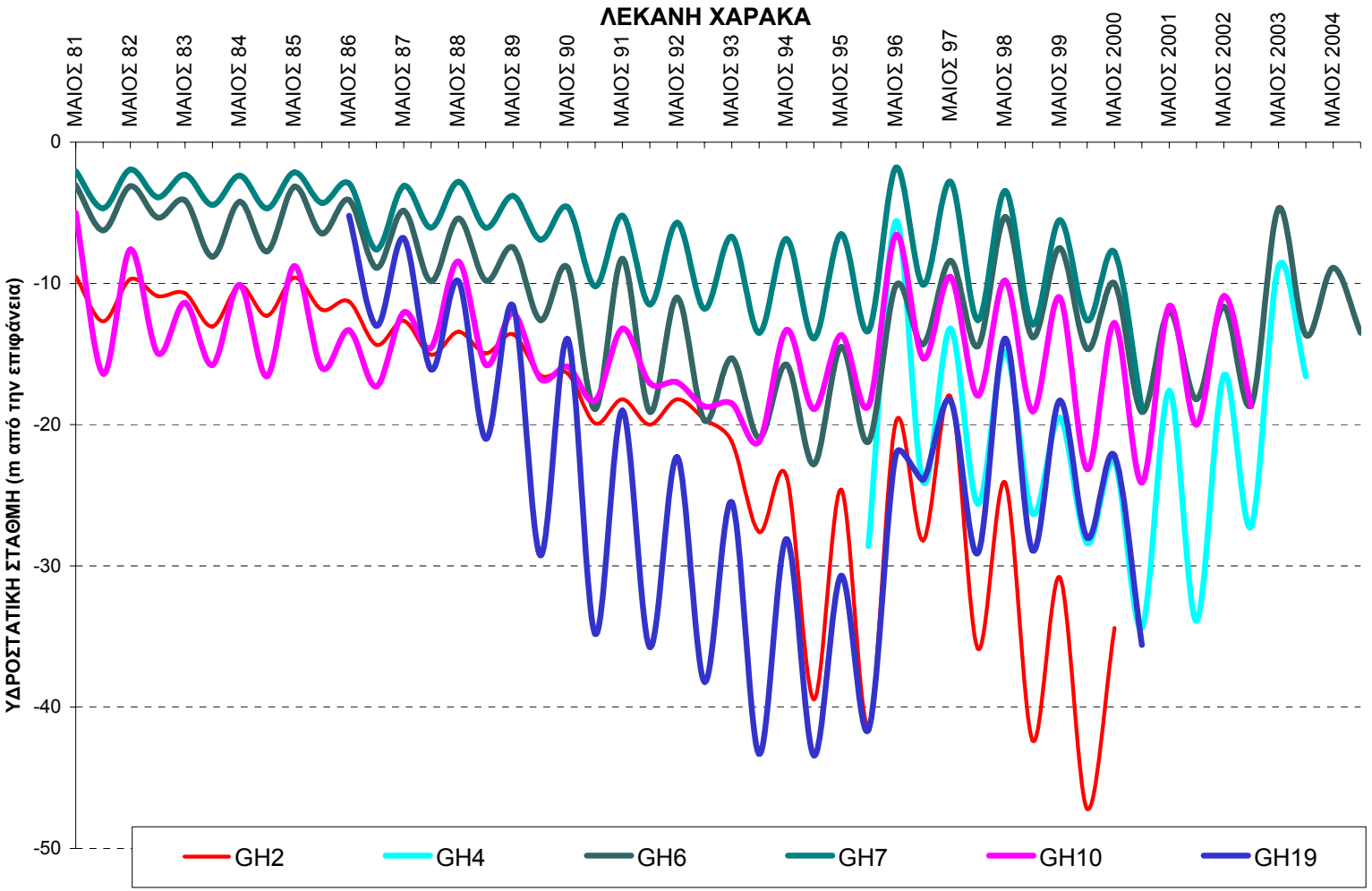
Εικόνα Π 5-50. Διακύμανση υδροστατικής στάθμης υγρής και ξηρής περιόδου της λεκάνης του Χάρακα, έτος 1969



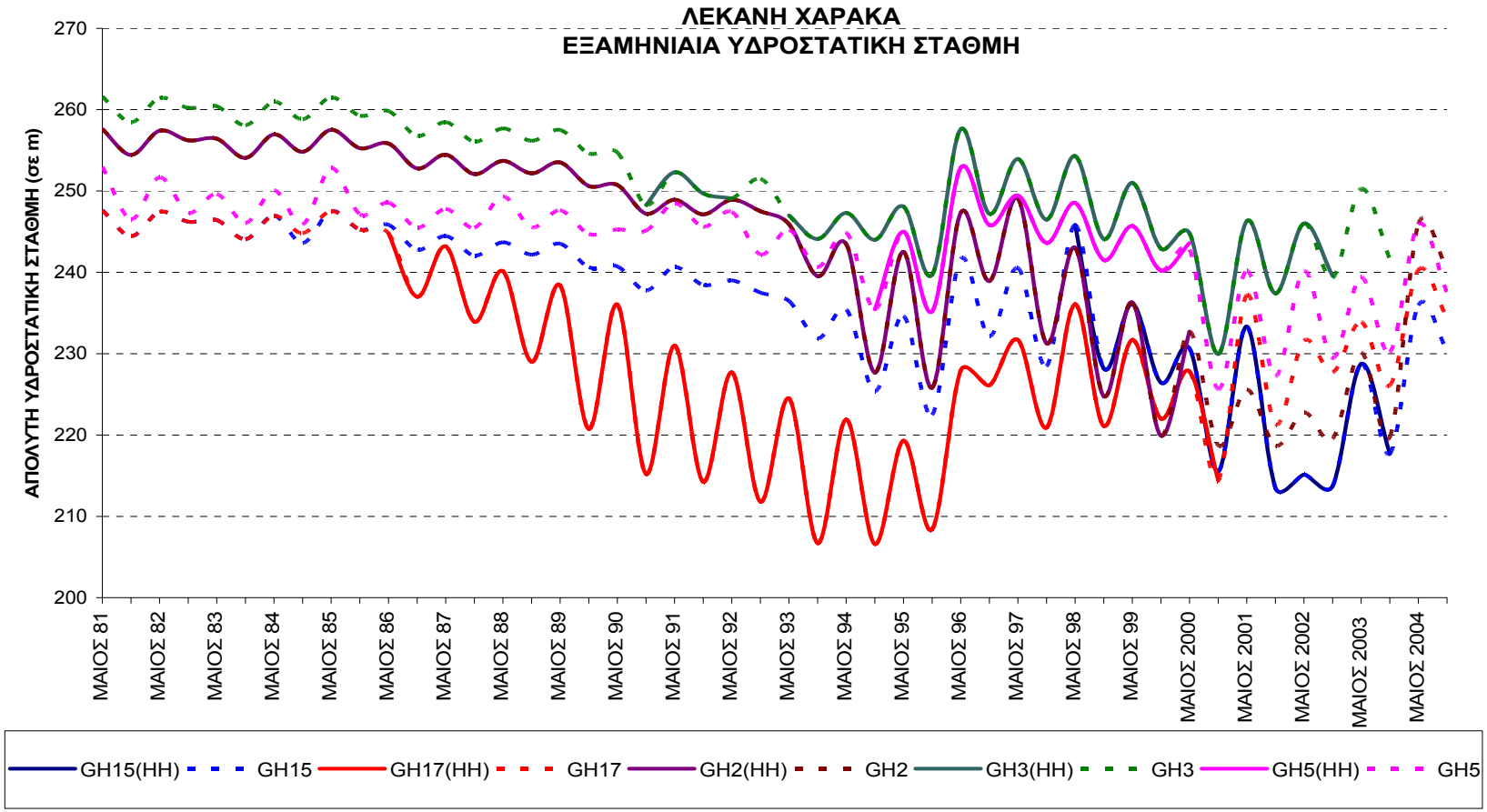
Εικόνα Π 5-51. Εξαμηνιαία βροχόπτωση και πτώση στάθμης πιεζομέτρων παρακολούθησης της λεκάνης του Χάρακα



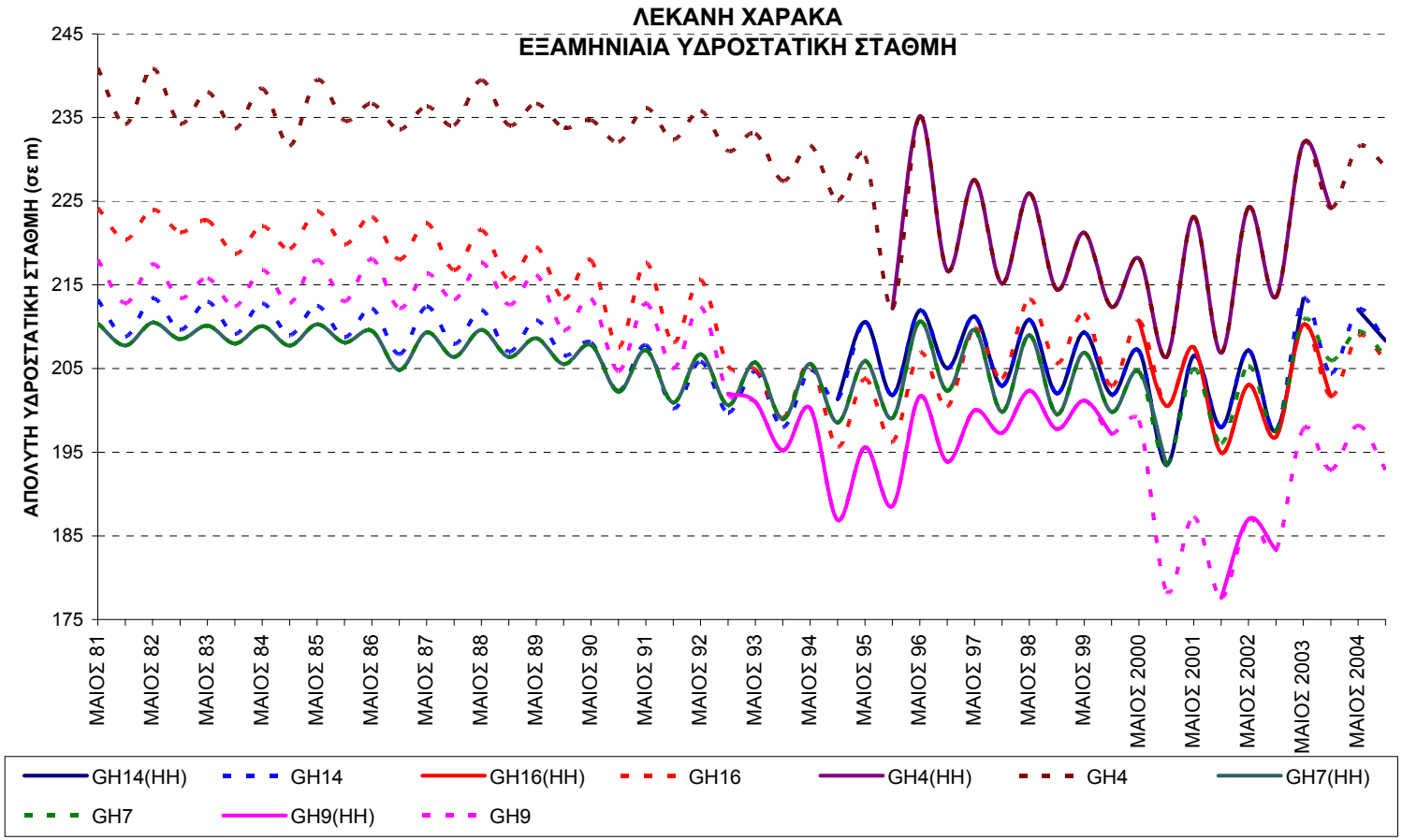
Εικόνα Π 5-52. Υδροστατική στάθμη πιεζομέτρων παρακολούθησης της λεκάνης του Χάρακα σε m από την επιφάνεια(1)



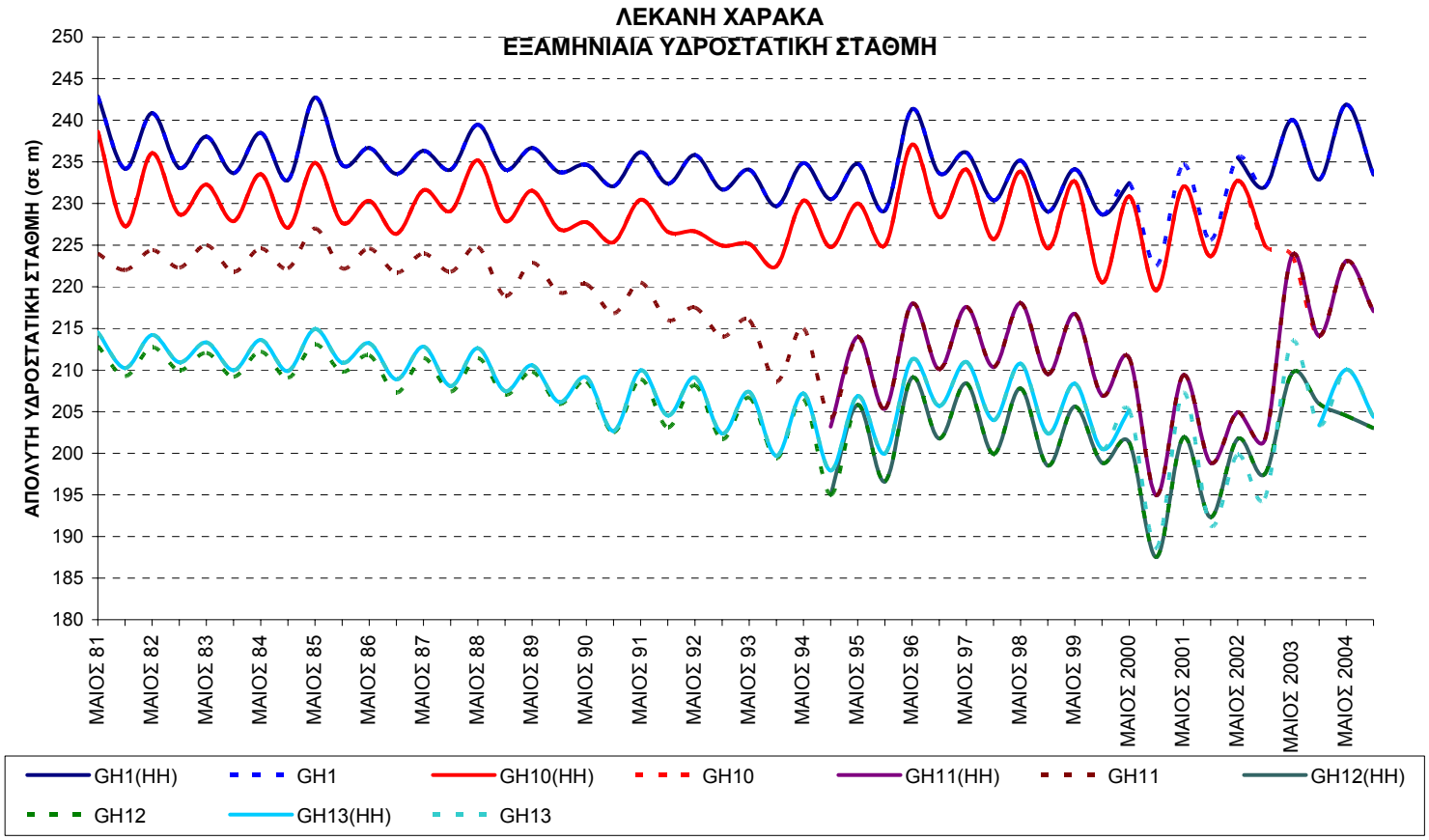
Εικόνα Π 5-53. Υδροστατική στάθμη πιεζομέτρων παρακολούθησης της λεκάνης του Χάρακα σε m από την επιφάνεια(2)



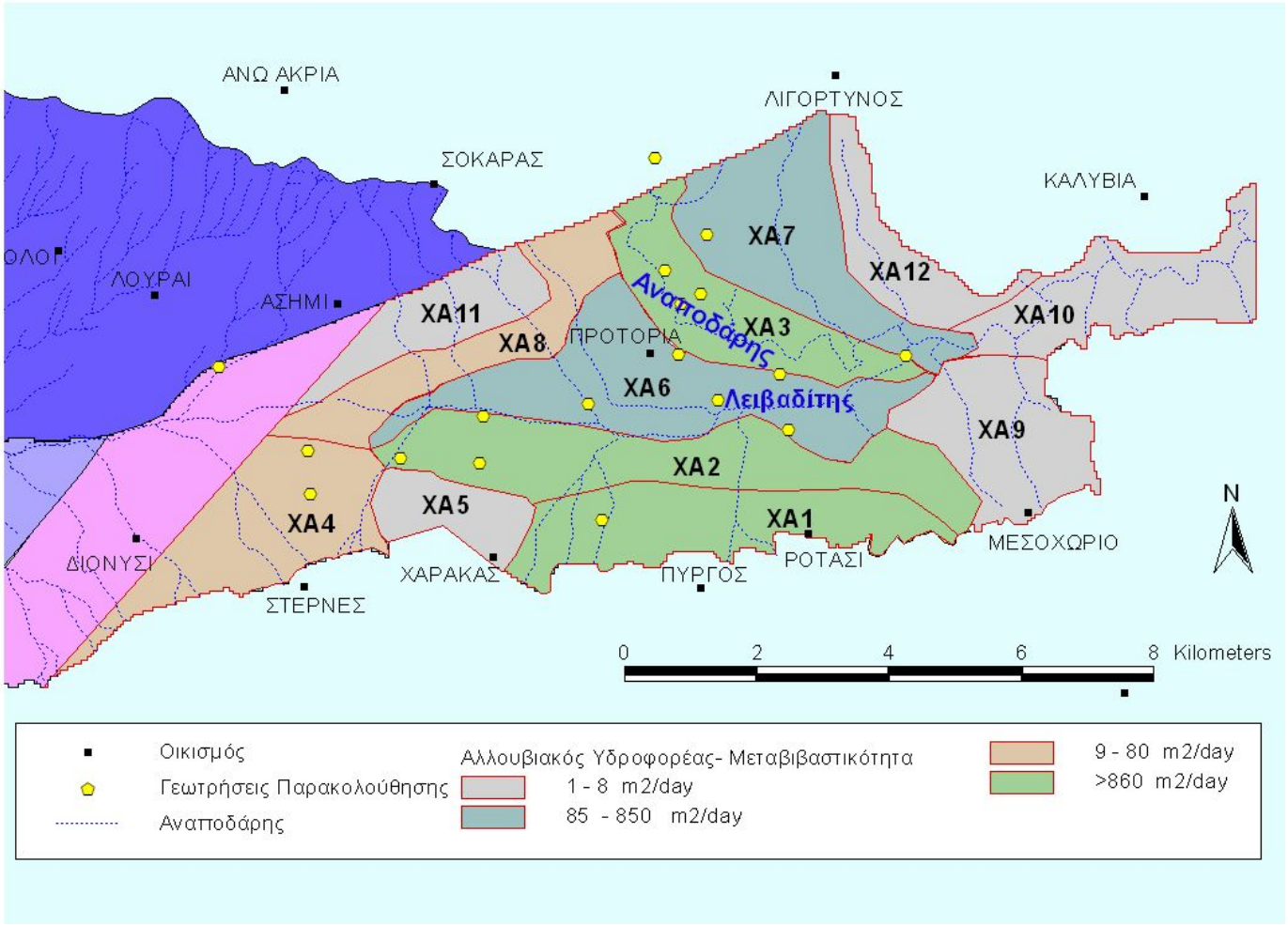
Εικόνα Π 5-54. απόλυτη υδροστατική στάθμη πιεζομέτρων παρακολούθησης της λεκάνης του Χάρακα (με συνεχή γραμμή απεικονίζεται η ιστορική χρονοσειρά και με διακεκομμένη γραμμή οι συμπληρωμένες τιμές) (1)



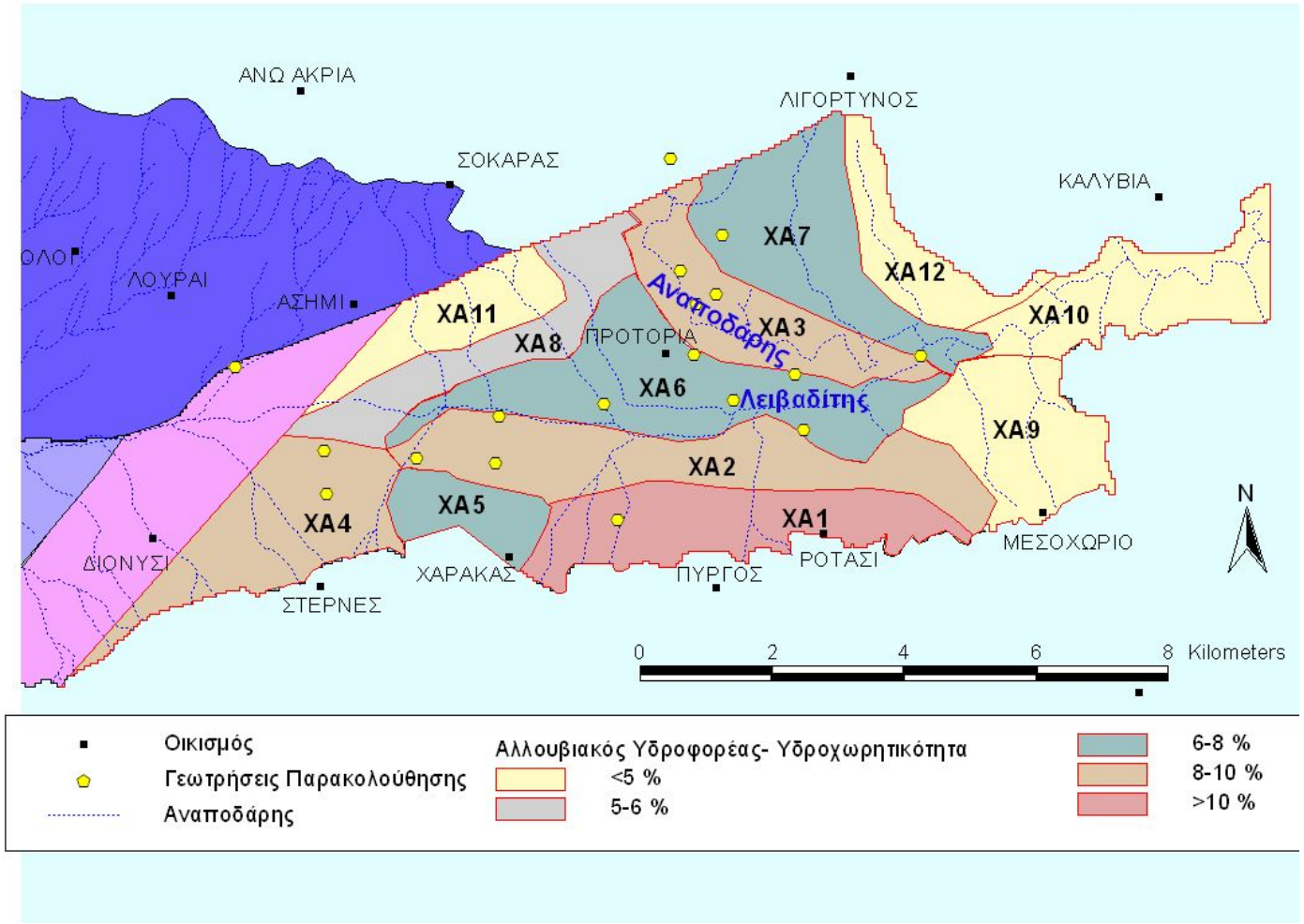
Εικόνα Π 5-55. απόλυτη υδροστατική στάθμη πιεζομέτρων παρακολούθησης της λεκάνης του Χάρακα (με συνεχή γραμμή απεικονίζεται η ιστορική χρονοσειρά και με διακεκομμένη γραμμή οι συμπληρωμένες τιμές) (2)



Εικόνα Π 5-56. απόλυτη υδροστατική στάθμη πιεζομέτρων παρακολούθησης της λεκάνης του Χάρακα (με συνεχή γραμμή απεικονίζεται η ιστορική χρονοσειρά και με διακεκομμένη γραμμή οι συμπληρωμένες τιμές) (3)



Εικόνα Π 5-57. Μεταβιβαστικότητα, Τ, των ζωνών του αλλουβιακού υδροφορέα της λεκάνης του Χάρακα



Εικόνα Π 5-58. Υδροχωρητικότητα S των ζωνών του αλλουβιακού υδροφορέα της λεκάνης του Χάρακα

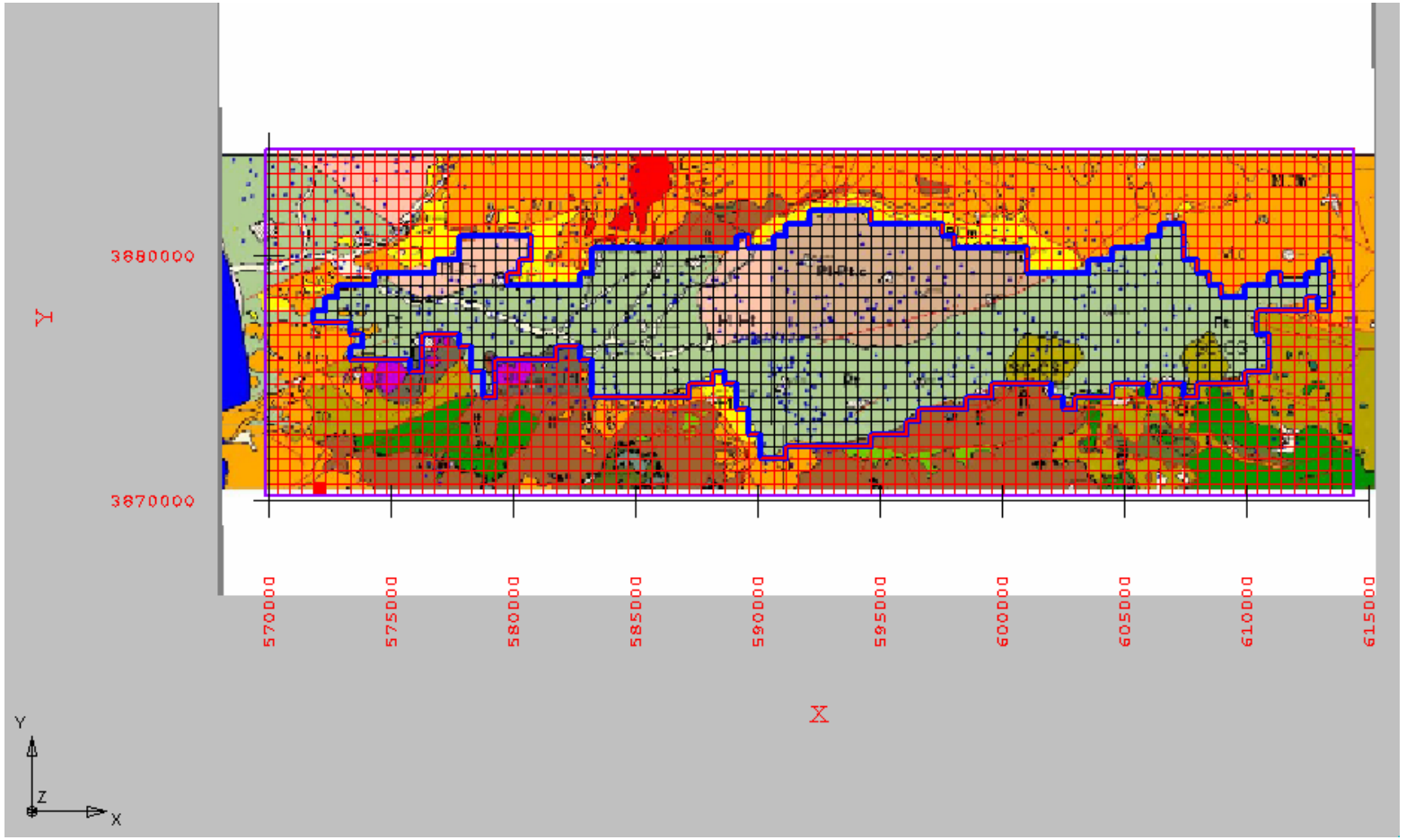
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ 6

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

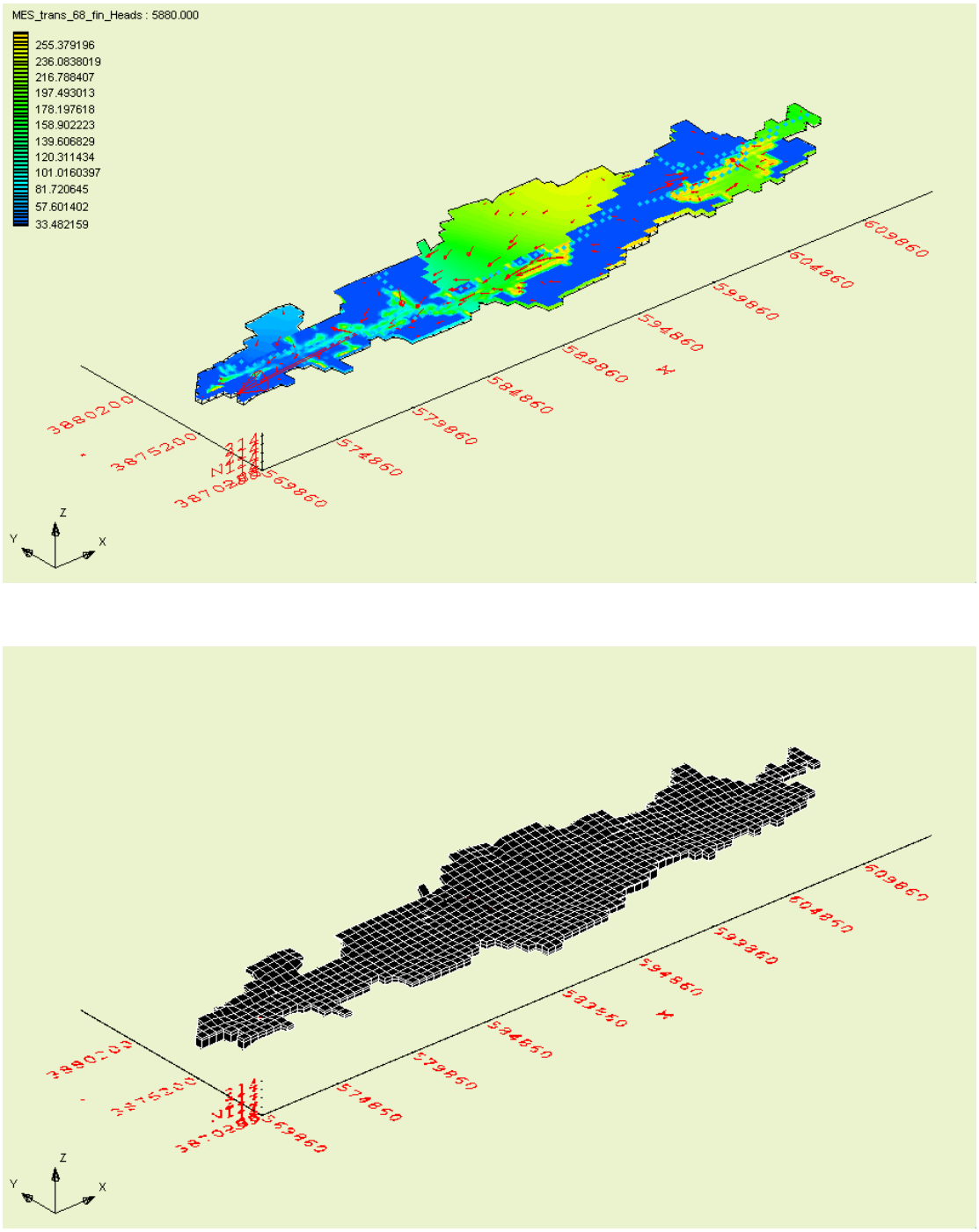
Εικόνα 6 - 1 Περιοχή κάλυψης του ομοιώματος υπόγειας ροής 4
Εικόνα 6 - 2 Ψηφιοποιημένο ανάγλυφο λεκάνης Μεσαράς 5
Εικόνα 6 - 3 Ζώνες υδαταγωγιμότητας λεκάνης Μεσαράς. 6
Εικόνα 6 - 4 Υδαταγωγιμότητα ζωνών αλλουβιακού υδροφορέα Μεσαράς..... 7
Εικόνα 6 - 5 Υδαταγωγημότητα ζωνών πλειστοκαινικού υδροφορέα Μεσαράς 8
Εικόνα 6 - 6 Τροφοδοσία από ποτάμια - Recharge package. 9
Εικόνα 6 - 7 τροφοδοσία από ποτάμια - Stream Package..... 10
Εικόνα 6 - 8 τροφοδοσία από βροχόπτωση – recharge package 11
Εικόνα 6 - 9 Ωριαία άντληση και κατανάλωση ενέργειας ανά δημοτικό διαμέρισμα 12
Εικόνα 6 - 10 Αριθμός γεωτρήσεων ανά δημοτικό διαμέρισμα, έτους 2002 13
Εικόνα 6 - 11 Ωριαία άντληση ανά λεκάνη, έτος 2002 14
Εικόνα 6 - 12 1^{ο} σενάριο ετήσιων αντλήσεων..... 15
Εικόνα 6 - 13 2^{ο} σενάριο ετήσιων αντλήσεων..... 16
Εικόνα 6 - 14 3^{ο} σενάριο ετήσιων αντλήσεων..... 17
Εικόνα 6 - 15 Πιεζομετρικές καμπύλες Μεσαράς - αρχικές συνθήκες 18
Εικόνα 6 - 16 Βαθμονόμηση συνθηκών σταθερής ροής - αρχικές συνθήκες..... 19
Εικόνα 6 - 17 Πιεζομετρικές καμπύλες Μεσαράς - συνθήκες υπό πίεση 20
Εικόνα 6 - 18 Βαθμονόμηση συνθηκών σταθερής ροής - συνθήκες υπό πίεση..... 21
Εικόνα 6 - 19 Βαθμονόμηση συνθηκών σταθερής ροής - συνθήκες υπό πίεση..... 22
Εικόνα 6 - 20 Βαθμονόμηση συνθηκών σταθερής ροής 23
Εικόνα 6 - 21 .Τομή ανατολή δύση μοντέλου προσομοίωσης μεταβατικής ροής έτους 1983..... 24
Εικόνα 6 - 22 Τομή ανατολή δύση μοντέλου προσομοίωσης προσομοίωσης μεταβατικής ροής έτους 1985 25
Εικόνα 6 - 23 Τομή ανατολή δύση μοντέλου προσομοίωσης προσομοίωσης μεταβατικής ροής έτους 1993 26
Εικόνα 6 - 24 Τομή ανατολή δύση μοντέλου προσομοίωσης προσομοίωσης μεταβατικής ροής έτους 1995 27
Εικόνα 6 - 25 Τομή ανατολή δύση μοντέλου προσομοίωσης προσομοίωσης μεταβατικής ροής έτους 1996 28
Εικόνα 6 - 26 Τομή ανατολή δύση μοντέλου προσομοίωσης προσομοίωσης μεταβατικής ροής έτους 2000 29
Εικόνα 6 - 27 Τομή ανατολή δύση μοντέλου προσομοίωσης προσομοίωσης μεταβατικής ροής έτους 2002 30
Εικόνα 6 - 28 Τομή ανατολή δύση μοντέλου προσομοίωσης λεκάνη Μοιρών προσομοίωσης μεταβατικής ροής έτους 1983 31
Εικόνα 6 - 29 Τομή ανατολή δύση μοντέλου προσομοίωσης λεκάνη Μοιρών προσομοίωσης μεταβατικής ροής έτους 1993 32
Εικόνα 6 - 30 Τομή ανατολή δύση μοντέλου προσομοίωσης λεκάνη Μοιρών προσομοίωσης μεταβατικής ροής έτους 2000 33
Εικόνα 6 - 31 Γραμμές ροής λεκάνης Μεσαράς 40ς μήνας 1983 34
Εικόνα 6 - 32 Γραμμές ροής και πιεζομετρία λεκάνης Μεσαράς 40ς μήνας 1983 . 35
Εικόνα 6 - 33 Γραμμές ροής και πιεζομετρία λεκάνης Μεσαράς 90ς μήνας 1983 . 36

Εικόνα 6 - 34 Γραμμές ροής λεκάνης Μεσαράς 4ος μήνας έτους 1985 37
Εικόνα 6 - 35 Γραμμές ροής λεκάνης Μεσαράς 4ος μήνας έτους 1989 38
Εικόνα 6 - 36 Γραμμές ροής και πιεζομετρία λεκάνης Μεσαράς 4ος μήνας 1992 39
Εικόνα 6 - 37 Γραμμές ροής και πιεζομετρία λεκάνης Μεσαράς 8ος μήνας 1992 .. 40
Εικόνα 6 - 38 Γραμμές ροής λεκάνης Μεσαράς 4ος μήνας έτους 1993 41
Εικόνα 6 - 39 Γραμμές ροής λεκάνης Μεσαράς 4ος μήνας έτους 1996 42
Εικόνα 6 - 40 Γραμμές ροής και πιεζομετρία λεκάνης Μεσαράς 8ος μήνας 1995 . 43
Εικόνα 6 - 41 Γραμμές ροής και πιεζομετρία λεκάνης Μεσαράς 4ος μήνας 199644
Εικόνα 6 - 42 Γραμμές ροής λεκάνης Μεσαράς 8ος μήνας έτους 2000 45
Εικόνα 6 - 43 Γραμμές ροής και πιεζομετρία λεκάνης Μεσαράς 4ος μήνας 200046
Εικόνα 6 - 44 Γραμμές ροής και πιεζομετρία λεκάνης Μεσαράς 8ος μήνας 2000 47
Εικόνα 6 - 45 Βαθμονόμηση μεταβατικής ροής - πιεζόμετρο GM2 48
Εικόνα 6 - 46 Βαθμονόμηση μεταβατικής ροής - πιεζόμετρο GM3 49
Εικόνα 6 - 47 Βαθμονόμηση μεταβατικής ροής - πιεζόμετρο GM4 50
Εικόνα 6 - 48 Βαθμονόμηση μεταβατικής ροής - πιεζόμετρο GM6 51
Εικόνα 6 - 49 Βαθμονόμηση μεταβατικής ροής - πιεζόμετρο GM7 52
Εικόνα 6 - 50 Βαθμονόμηση μεταβατικής ροής - πιεζόμετρο GM8 53
Εικόνα 6 - 51 Βαθμονόμηση μεταβατικής ροής - πιεζόμετρο GM 9 54
Εικόνα 6 - 52 Βαθμονόμηση μεταβατικής ροής - πιεζόμετρο GM 10 55
Εικόνα 6 - 53 Βαθμονόμηση μεταβατικής ροής - πιεζόμετρο GM 10 56
Εικόνα 6 - 54 Βαθμονόμηση μεταβατικής ροής - πιεζόμετρο GM 11 57
Εικόνα 6 - 55 Βαθμονόμηση μεταβατικής ροής - πιεζόμετρο GM 12 58
Εικόνα 6 - 56 Βαθμονόμηση μεταβατικής ροής - πιεζόμετρο GM 13 59
Εικόνα 6 - 57 Βαθμονόμηση μεταβατικής ροής - πιεζόμετρο GM 14 60
Εικόνα 6 - 58 Βαθμονόμηση μεταβατικής ροής - πιεζόμετρο GB 1 61
Εικόνα 6 - 59 Βαθμονόμηση μεταβατικής ροής - πιεζόμετρο GB 2 62
Εικόνα 6 - 60 Βαθμονόμηση μεταβατικής ροής - πιεζόμετρο GB 3 63
Εικόνα 6 - 61 Βαθμονόμηση μεταβατικής ροής - πιεζόμετρο GB 4 64
Εικόνα 6 - 62 Βαθμονόμηση μεταβατικής ροής - πιεζόμετρο GB 5 65
Εικόνα 6 - 63 Βαθμονόμηση μεταβατικής ροής - πιεζόμετρο GB 6 66
Εικόνα 6 - 64 Βαθμονόμηση μεταβατικής ροής - πιεζόμετρο GB 7 67
Εικόνα 6 - 65 Βαθμονόμηση μεταβατικής ροής - πιεζόμετρο GB 8 68
Εικόνα 6 - 66 Βαθμονόμηση μεταβατικής ροής - πιεζόμετρο GB 9 69
Εικόνα 6 - 67 Βαθμονόμηση μεταβατικής ροής - πιεζόμετρο GB 10 70
Εικόνα 6 - 68 Βαθμονόμηση μεταβατικής ροής - πιεζόμετρο GB 11 71
Εικόνα 6 - 69 Βαθμονόμηση μεταβατικής ροής - πιεζόμετρο GB 12 72
Εικόνα 6 - 70 Βαθμονόμηση μεταβατικής ροής - πιεζόμετρο GB 13 73
Εικόνα 6 - 71 Βαθμονόμηση μεταβατικής ροής - πιεζόμετρο GB 13 74
Εικόνα 6 - 72 Βαθμονόμηση μεταβατικής ροής - πιεζόμετρο GB 14 75
Εικόνα 6 - 73 Βαθμονόμηση μεταβατικής ροής - πιεζόμετρο GH 1 76
Εικόνα 6 - 74 Βαθμονόμηση μεταβατικής ροής - πιεζόμετρο GH 2 77
Εικόνα 6 - 75 Βαθμονόμηση μεταβατικής ροής - πιεζόμετρο GH 3 78
Εικόνα 6 - 76 Βαθμονόμηση μεταβατικής ροής - πιεζόμετρο GH 4 79
Εικόνα 6 - 77 Βαθμονόμηση μεταβατικής ροής - πιεζόμετρο GH 4 80
Εικόνα 6 - 78 Βαθμονόμηση μεταβατικής ροής - πιεζόμετρο GH 5 81
Εικόνα 6 - 79 Βαθμονόμηση μεταβατικής ροής - πιεζόμετρο GH 6 82
Εικόνα 6 - 80 Βαθμονόμηση μεταβατικής ροής - πιεζόμετρο GH 7 83
Εικόνα 6 - 81 Βαθμονόμηση μεταβατικής ροής - πιεζόμετρο GH 9 84
Εικόνα 6 - 82 Βαθμονόμηση μεταβατικής ροής - πιεζόμετρο GH 10 85
Εικόνα 6 - 83 Βαθμονόμηση μεταβατικής ροής - πιεζόμετρο GH 11 86

Εικόνα 6 - 84 Βαθμονόμηση μεταβατικής ροής - πιεζόμετρο GH 12 87
Εικόνα 6 - 85 Βαθμονόμηση μεταβατικής ροής - πιεζόμετρο GH 13 88
Εικόνα 6 - 86 Βαθμονόμηση μεταβατικής ροής - πιεζόμετρο GH 14 89
Εικόνα 6 - 87 Βαθμονόμηση μεταβατικής ροής - πιεζόμετρο GH 15 90
Εικόνα 6 - 88 Βαθμονόμηση μεταβατικής ροής - πιεζόμετρο GH 16 91
Εικόνα 6 - 89 Βαθμονόμηση μεταβατικής ροής - πιεζόμετρο GH 17 92
Εικόνα 6 - 90 Βαθμονόμηση μεταβατικής ροής - πιεζόμετρο GH 17 93
Εικόνα 6 - 91 Βαθμονόμηση μεταβατικής ροής - πιεζόμετρο GH 18 94
Εικόνα 6 - 92 Βαθμονόμηση μεταβατικής ροής - πιεζόμετρο GH 18 95
Εικόνα 6 - 93 Βαθμονόμηση μεταβατικής ροής - πιεζόμετρο GH 19 96
Εικόνα 6 - 94 Βαθμονόμηση μεταβατικής ροής - πιεζόμετρο GH 19 97
Εικόνα 6 - 95 Αποτελέσματα μεταβατικής ροής – αντλήσεις (1) 98
Εικόνα 6 - 96 Αποτελέσματα μεταβατικής ροής – αντλήσεις (2) 99
Εικόνα 6 - 97 Αποτελέσματα μεταβατικής ροής-αντλήσεις (3) 100
Εικόνα 6 - 98 Αποτελέσματα μεταβατικής ροής – αντλήσεις (4) 101
Εικόνα 6 - 99 Αποτελέσματα μεταβατικής ροής – αντλήσεις (5) 102
Εικόνα 6 - 100 Αποτελέσματα μεταβατικής ροής – εισροές recharge package (1) . 103
Εικόνα 6 - 101 Αποτελέσματα μεταβατικής ροής – recharge package (2)..... 104
Εικόνα 6 - 102 Αποτελέσματα μεταβατικής ροής – recharge package (3)..... 105
Εικόνα 6 - 103 Αποτελέσματα μεταβατικής ροής –recharge package (4)..... 106
Εικόνα 6 - 104 Αποτελέσματα μεταβατικής ροής - drain package (1)..... 107
Εικόνα 6 - 105 Αποτελέσματα μεταβατικής ροής - drain package (2)..... 108
Εικόνα 6 - 106 Αποτελέσματα μεταβατικής ροής - drain package (3)..... 109
Εικόνα 6 - 107 Αποτελέσματα μεταβατικής ροής - drain package (4)..... 110
Εικόνα 6 - 108 Αποτελέσματα μεταβατικής ροής - stream package (1) 111
Εικόνα 6 - 109 Αποτελέσματα μεταβατικής ροής - stream package (2) 112
Εικόνα 6 - 110 Αποτελέσματα μεταβατικής ροής - Ισοζύγιο λεκανών (1) 113
Εικόνα 6 - 111 Αποτελέσματα μεταβατικής ροής - Ισοζύγιο λεκανών (2) 114



Εικόνα 6 - 1 Περιοχή κάλυψης του ομοιώματος υπόγειας ροής
όρια προσομοίωσης με μπλε γραμμή, Κάναβος ισοδιάσταση 500Χ500 μέτρα, άξονες σε ΕΓΣΑ 87

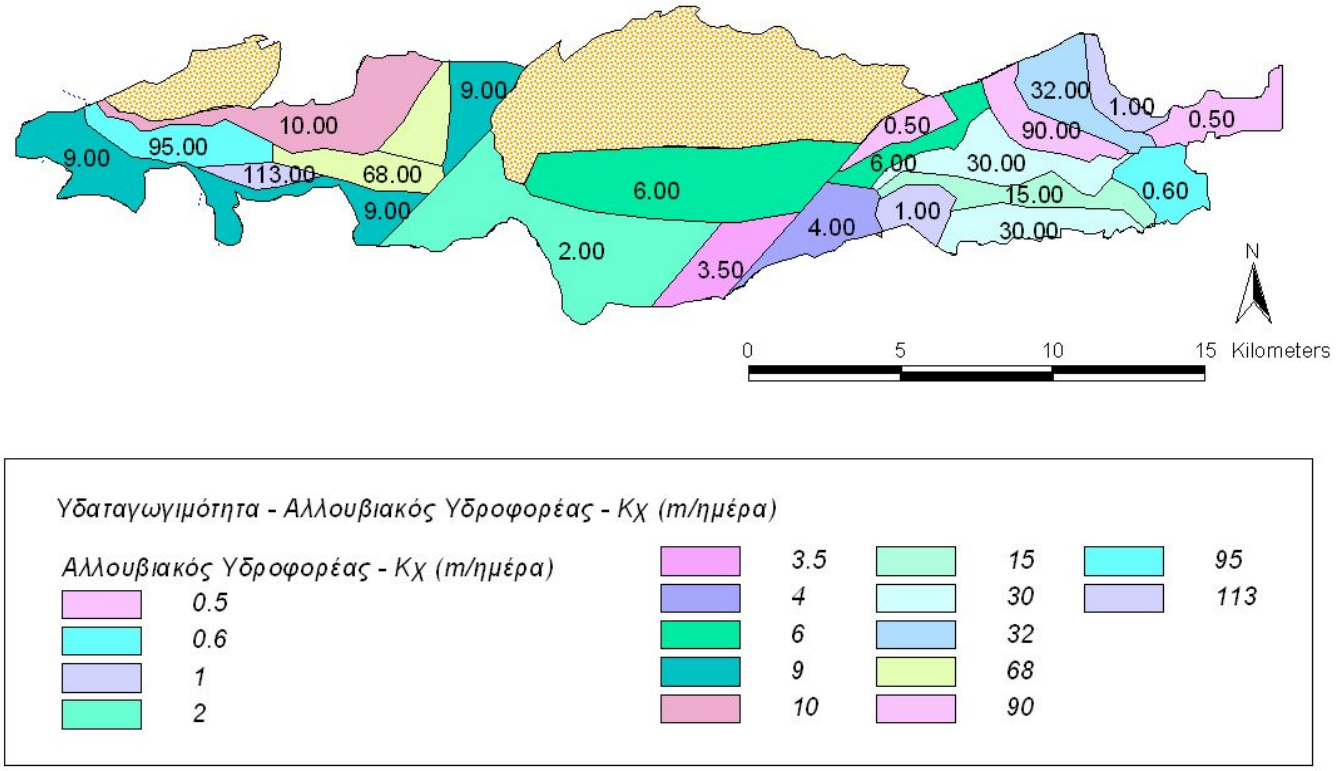


Εικόνα 6 - 2 Ψηφιοποιημένο ανάγλυφο λεκάνης Μεσαράς

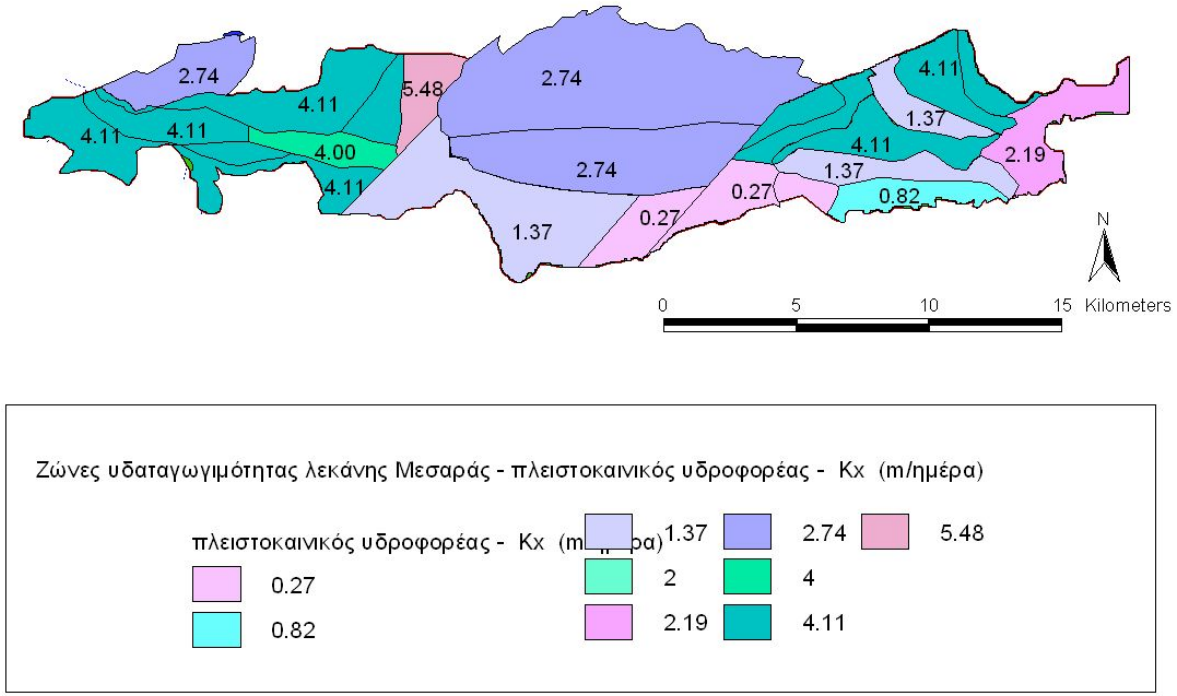
πάνω εικόνα: υδροστατική στάθμη στο υπόμνημα, γραμμές ροής με κόκκινα βέλη
κάτω εικόνα: απεικονίζεται η κάναβος των ενεργών κυψελίδων καθώς και τα δύο στρώματα (κατακόρυφη μεγέθυνση 5 φορές). άξονες σε ΕΓΣΑ 87



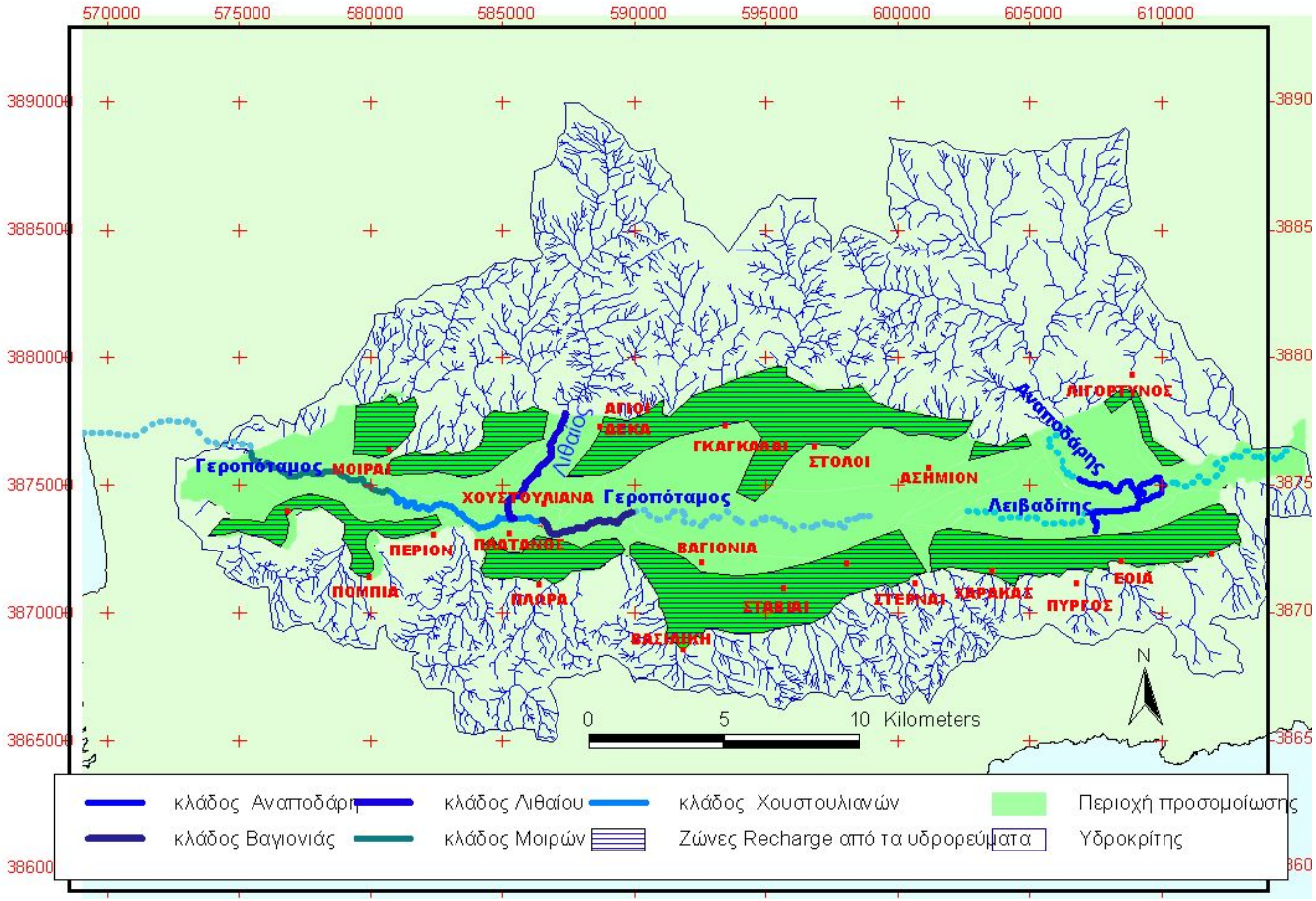
Εικόνα 6 - 3 Ζώνες υδαταγωγιμότητας λεκάνης Μεσαράς.
Διακριτοποίηση αλλουβιακού (επιφανειακού) στρώματος



Εικόνα 6 - 4 **Υ**δαταγωγιμότητα ζωνών αλλουβιακού υδροφορέα Μεσαράς



Εικόνα 6 - 5 Υδαταγωγημότητα ζωνών πλειστοκαινικού υδροφορέα Μεσαράς

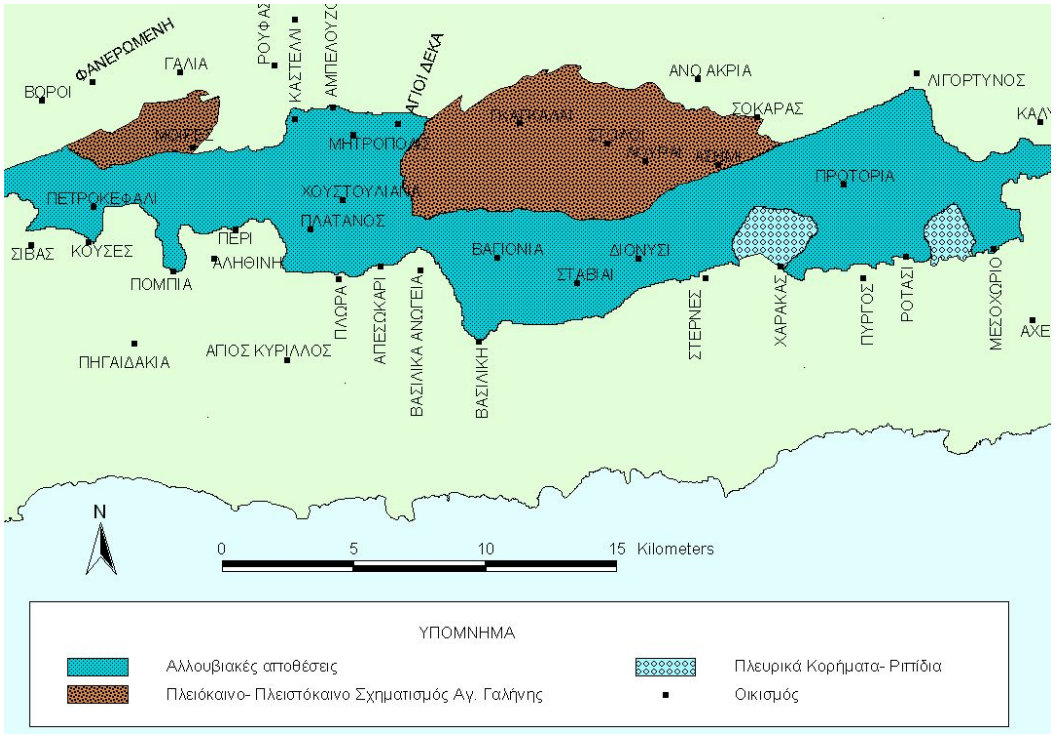


Εικόνα 6 - 6 Τροφοδοσία από ποτάμια - Recharge package.

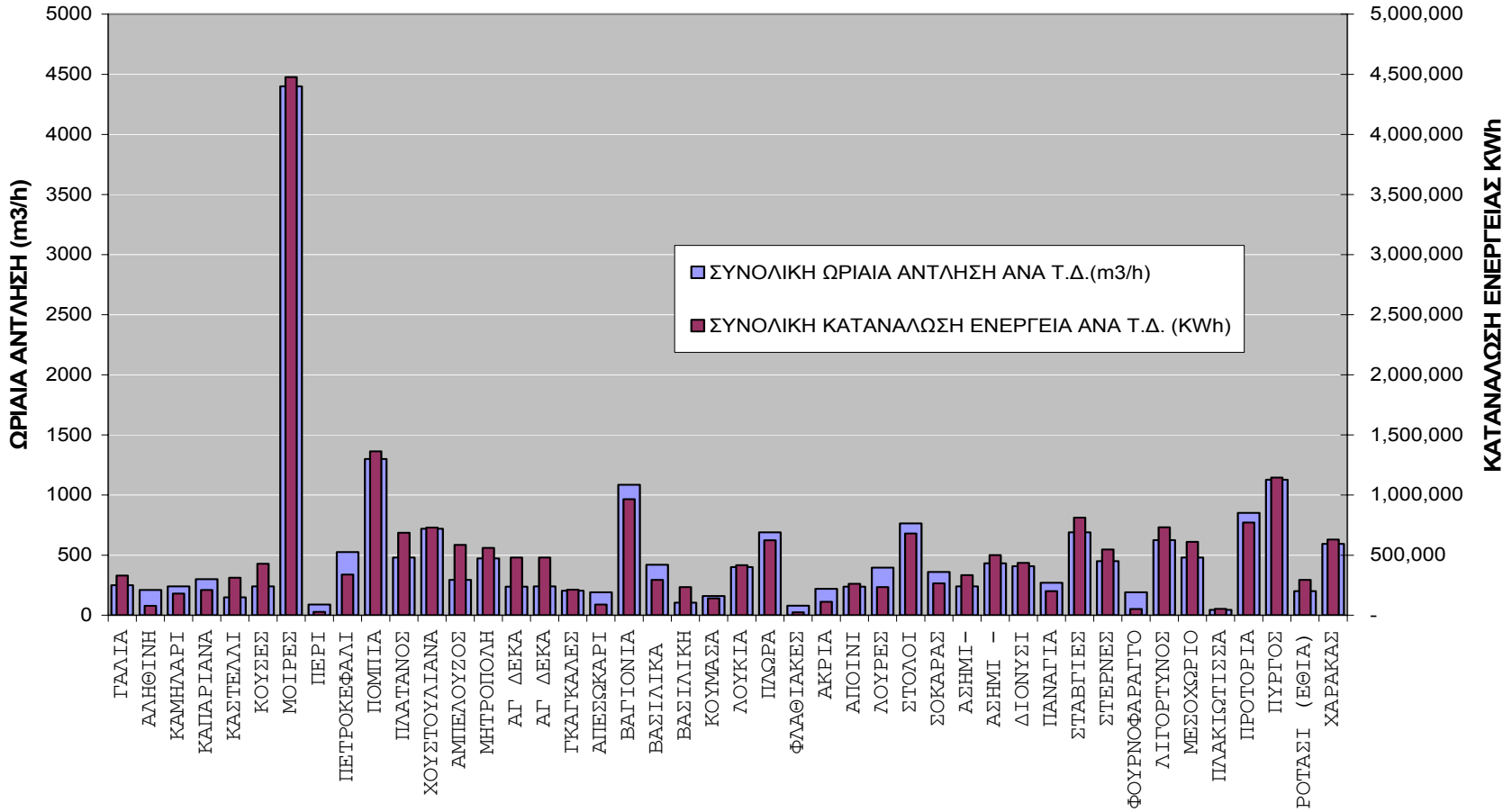
Απεικονίζεται: η περιοχή κάλυψης του ομοιώματος (πράσινο χρώμα), οι υδρολογικές λεκάνες και το υδρογραφικό δίκτυο που η απορροή τους καταλήγει στην περιοχή προσομοίωσης (λευκό χρώμα), τα κύρια υδορεύματα – κλάδοι της λεκάνης, και οι ζώνες τροφοδοσίας από ποτάμια με το Recharge package (διαγραμμισμένη περιοχή)



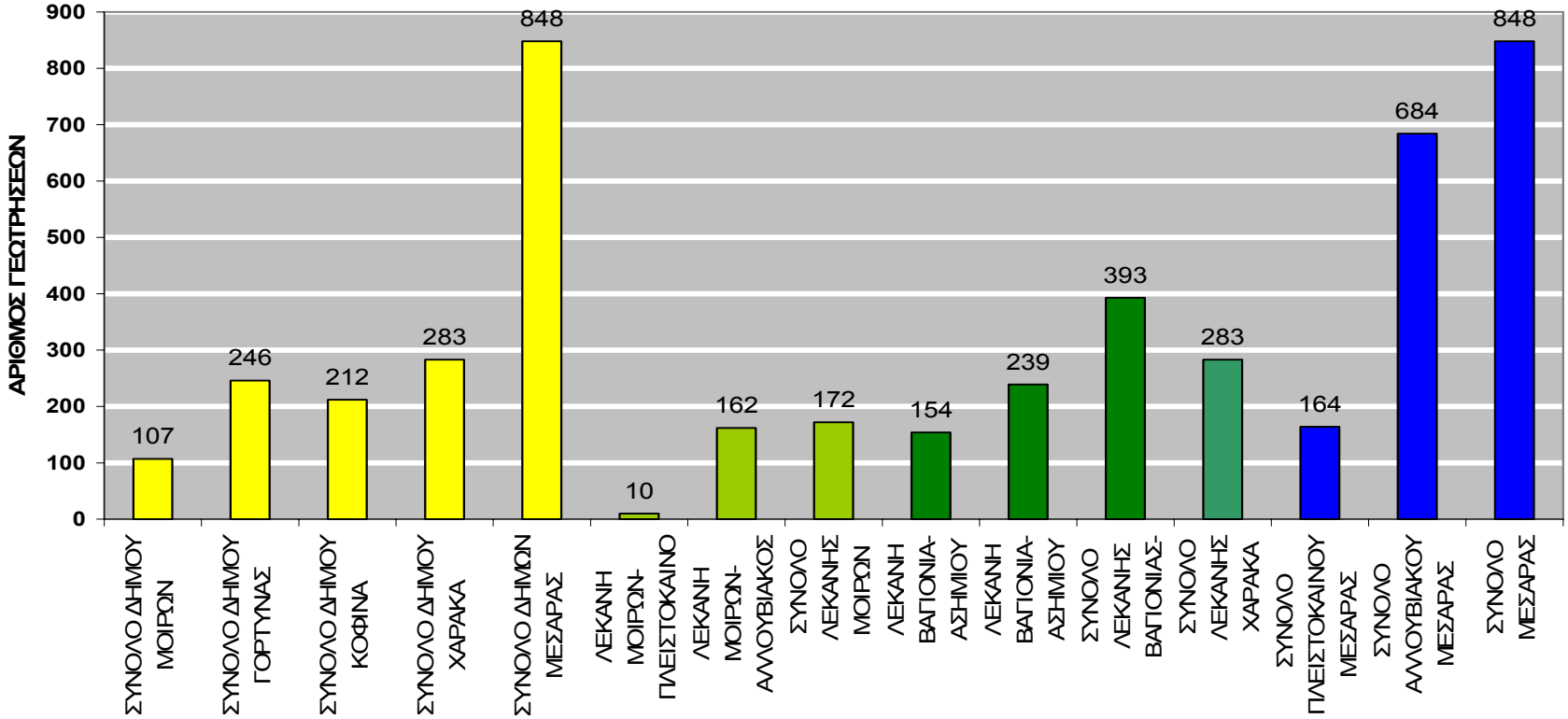
Εικόνα 6 - 7 τροφοδοσία από ποτάμια - Stream Package
Διακριτοποίηση υδρορευμάτων, αγωγιμότητα των κλάδων**.**



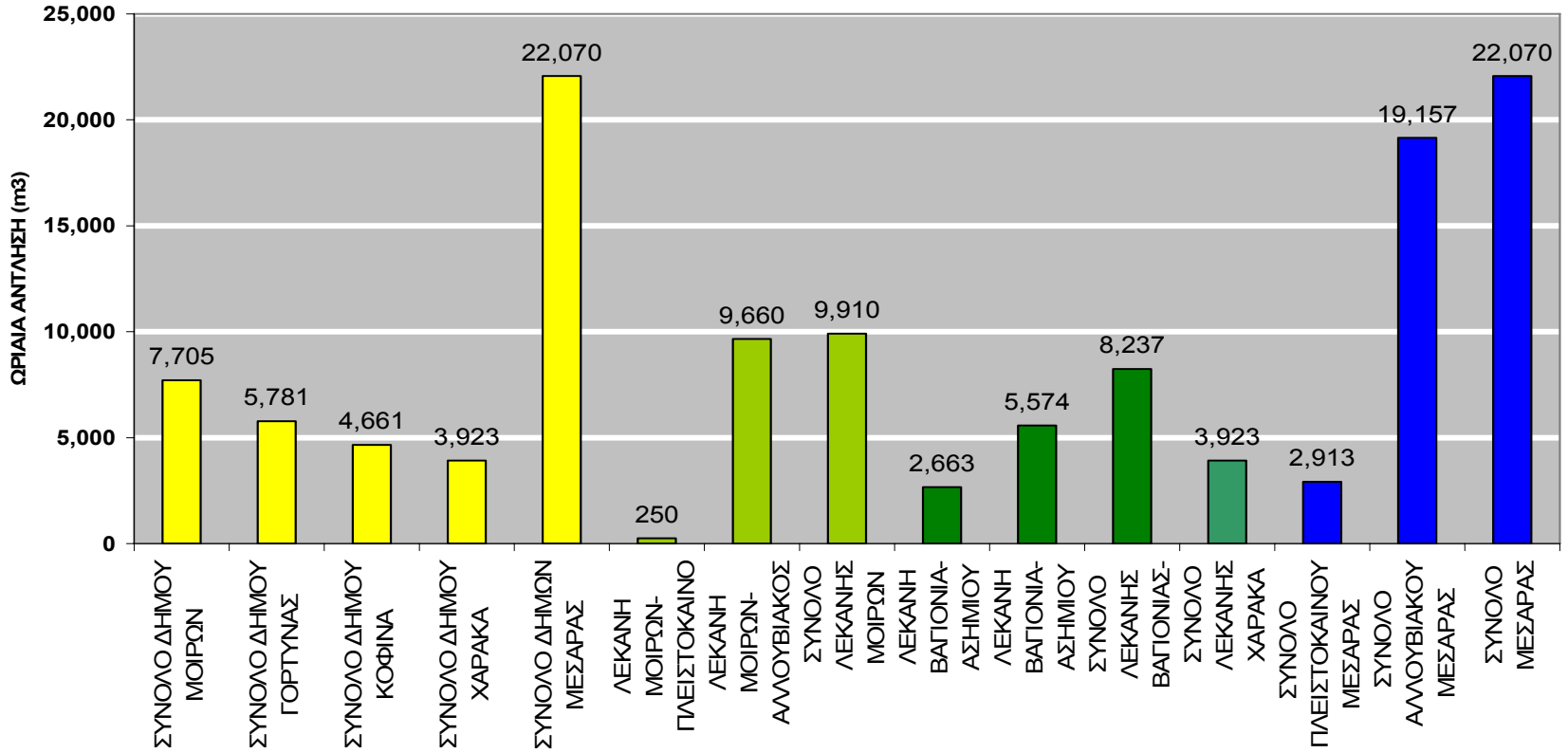
Εικόνα 6 - 8 τροφοδοσία από βροχόπτωση – recharge package
Αλλουβιακές αποθέσεις (μπλε χρώμα) 21% επί της επιφανειακής βροχόπτωσης,
Πλειοπλειστοκαινικές αποθέσεις (καφέ) 19,3% επί της επιφανειακής βροχόπτωσης.



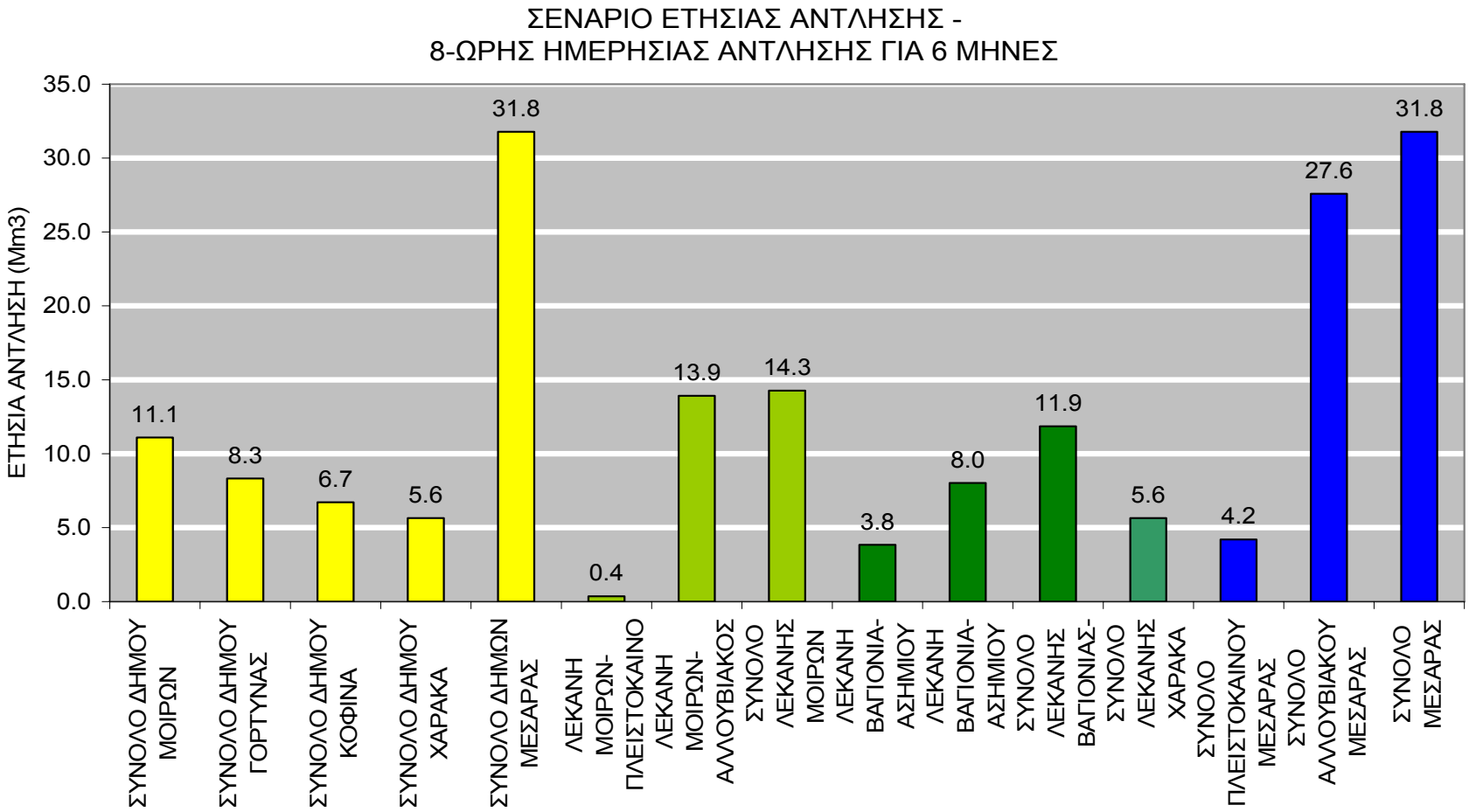
Εικόνα 6 - 9 Ωριαία άντληση και κατανάλωση ενέργειας ανά δημοτικό διαμέρισμα



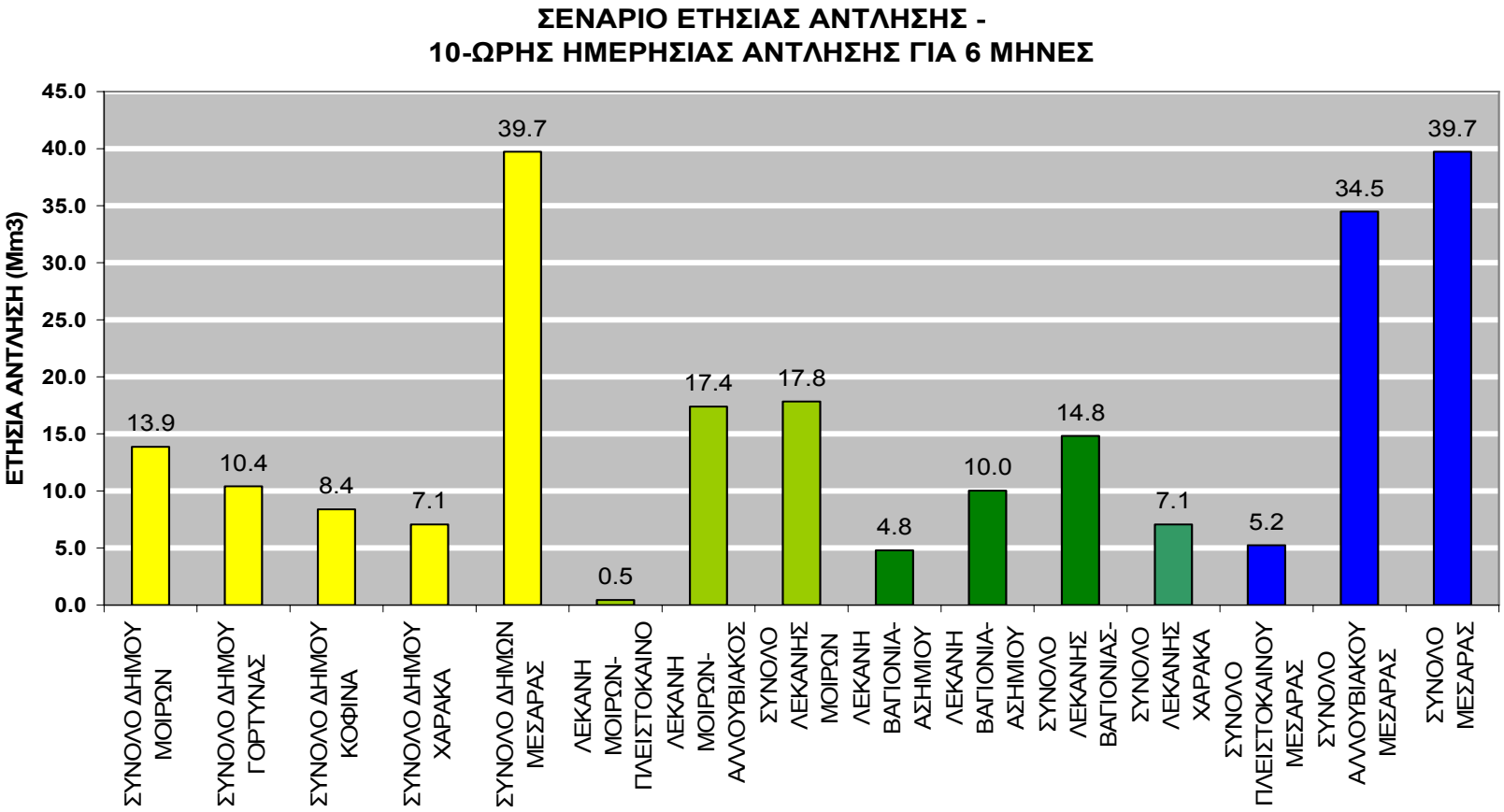
Εικόνα 6 - 10 Αριθμός γεωτρήσεων ανά δημοτικό διαμέρισμα, έτους 2002



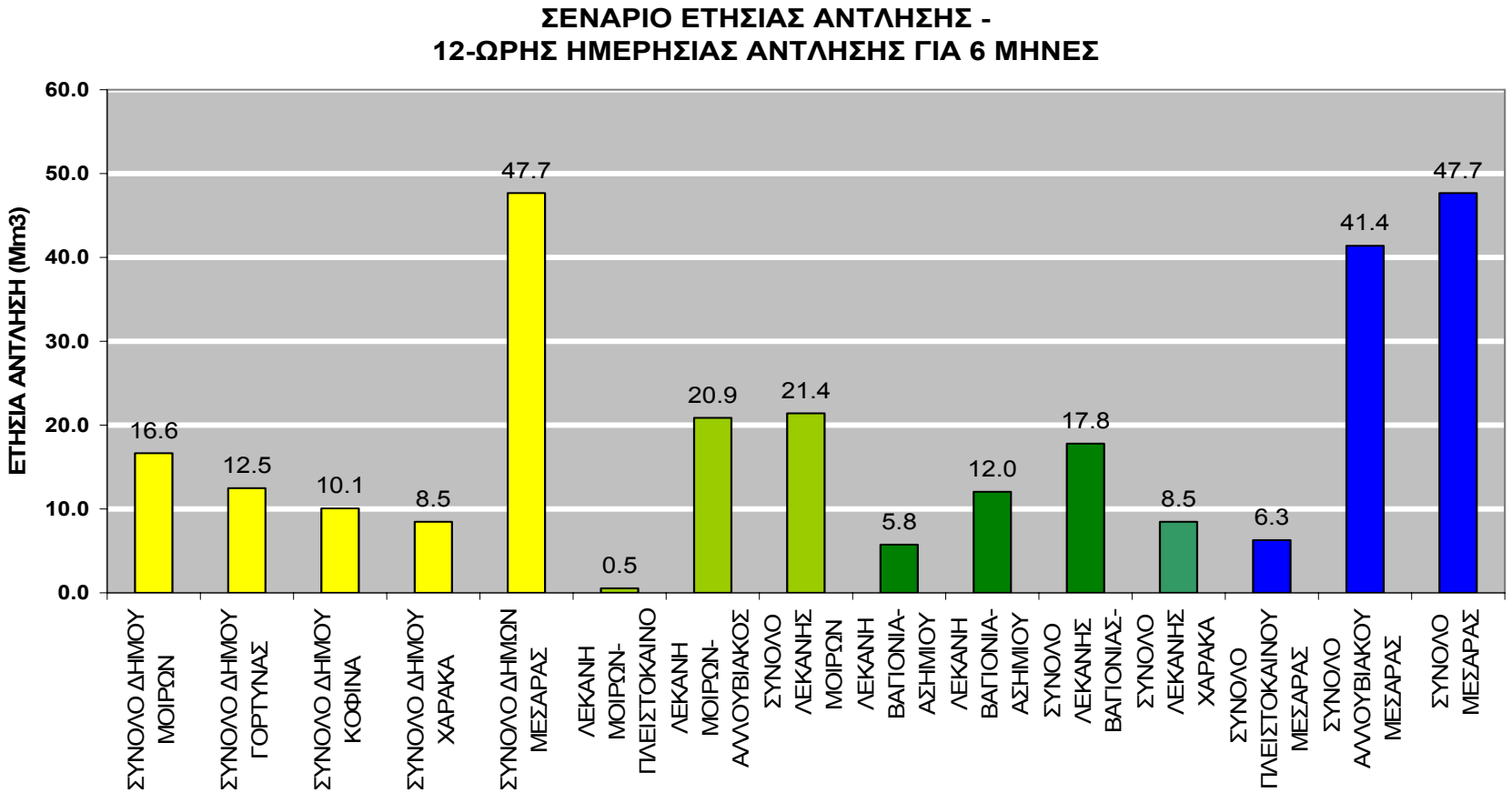
Εικόνα 6 - 11 Ωριαία άντληση ανά λεκάνη, έτος 2002



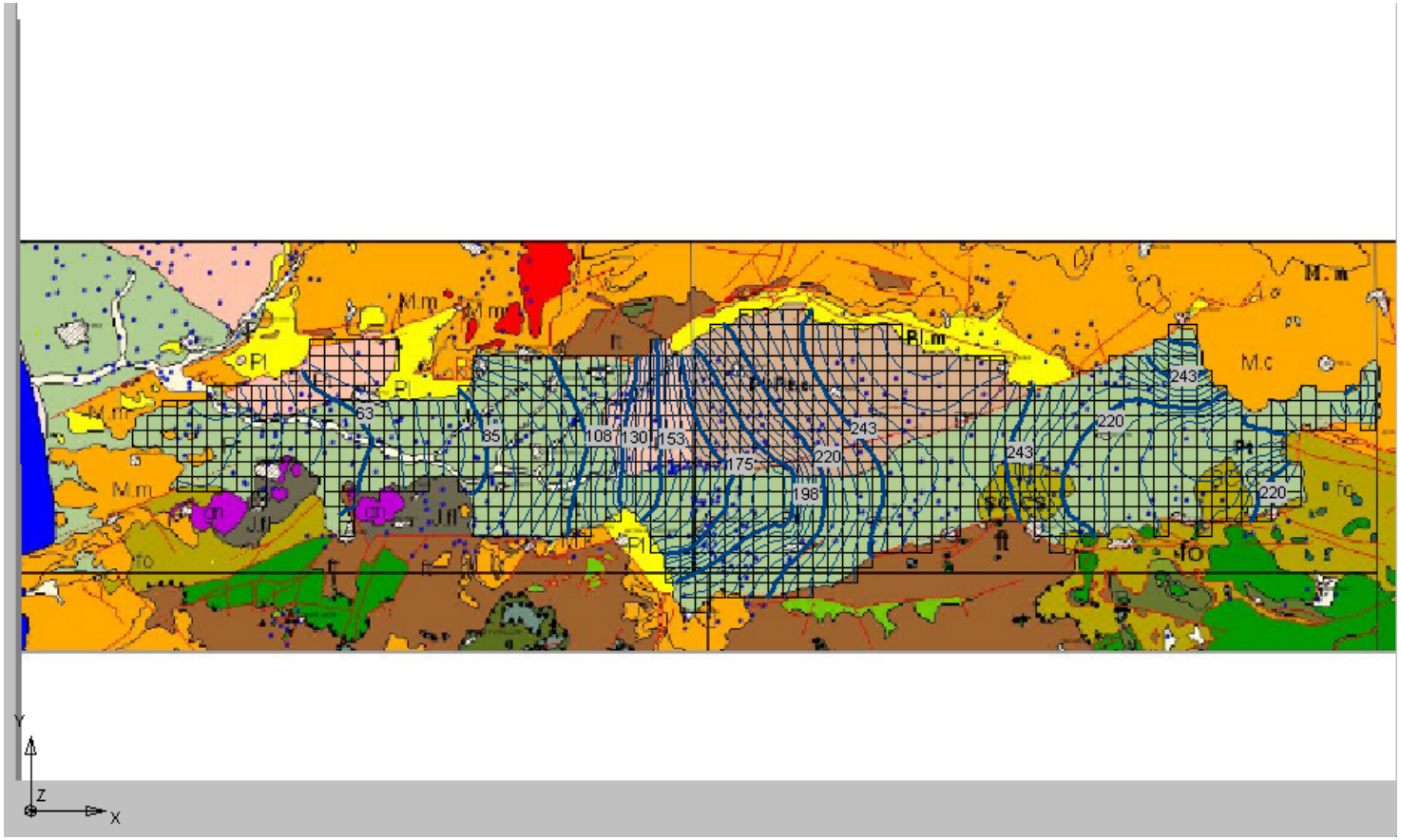
Εικόνα 6 - 12 1ο σενάριο ετήσιων αντλήσεων



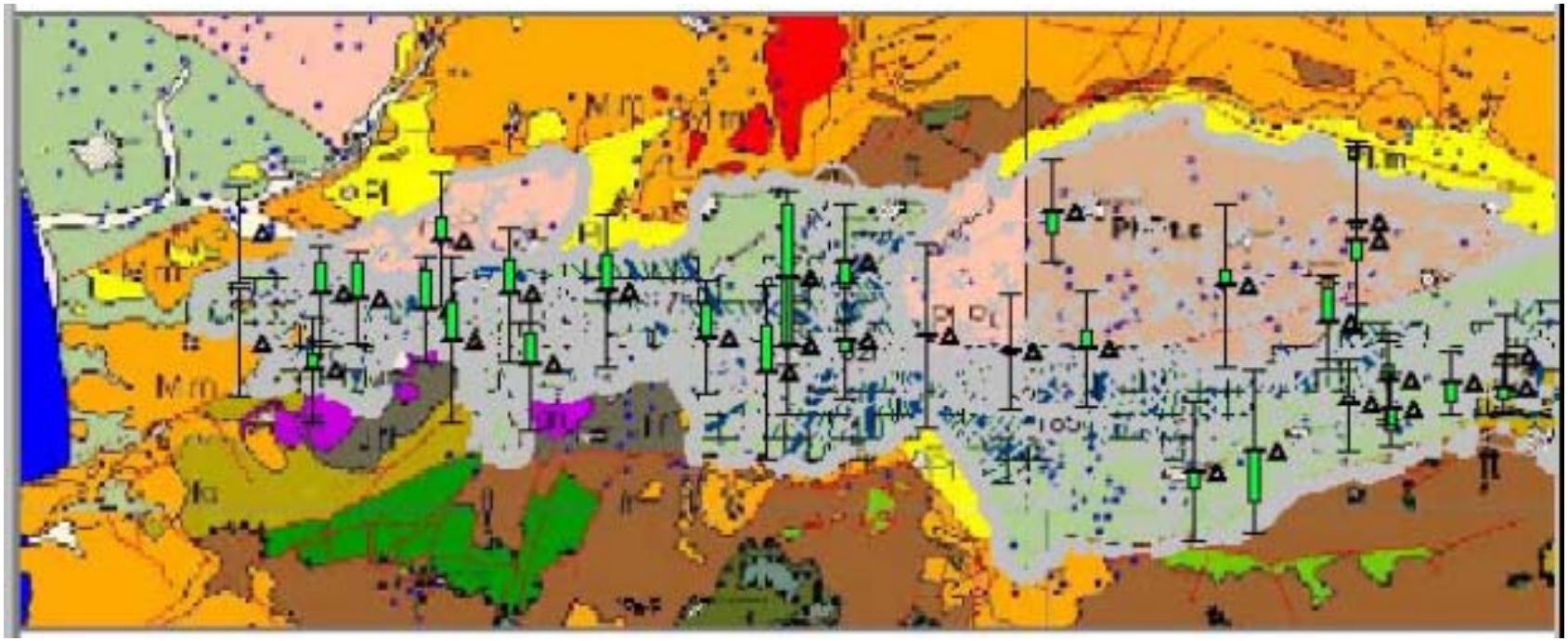
Εικόνα 6 - 13 2ο σενάριο ετήσιων αντλήσεων



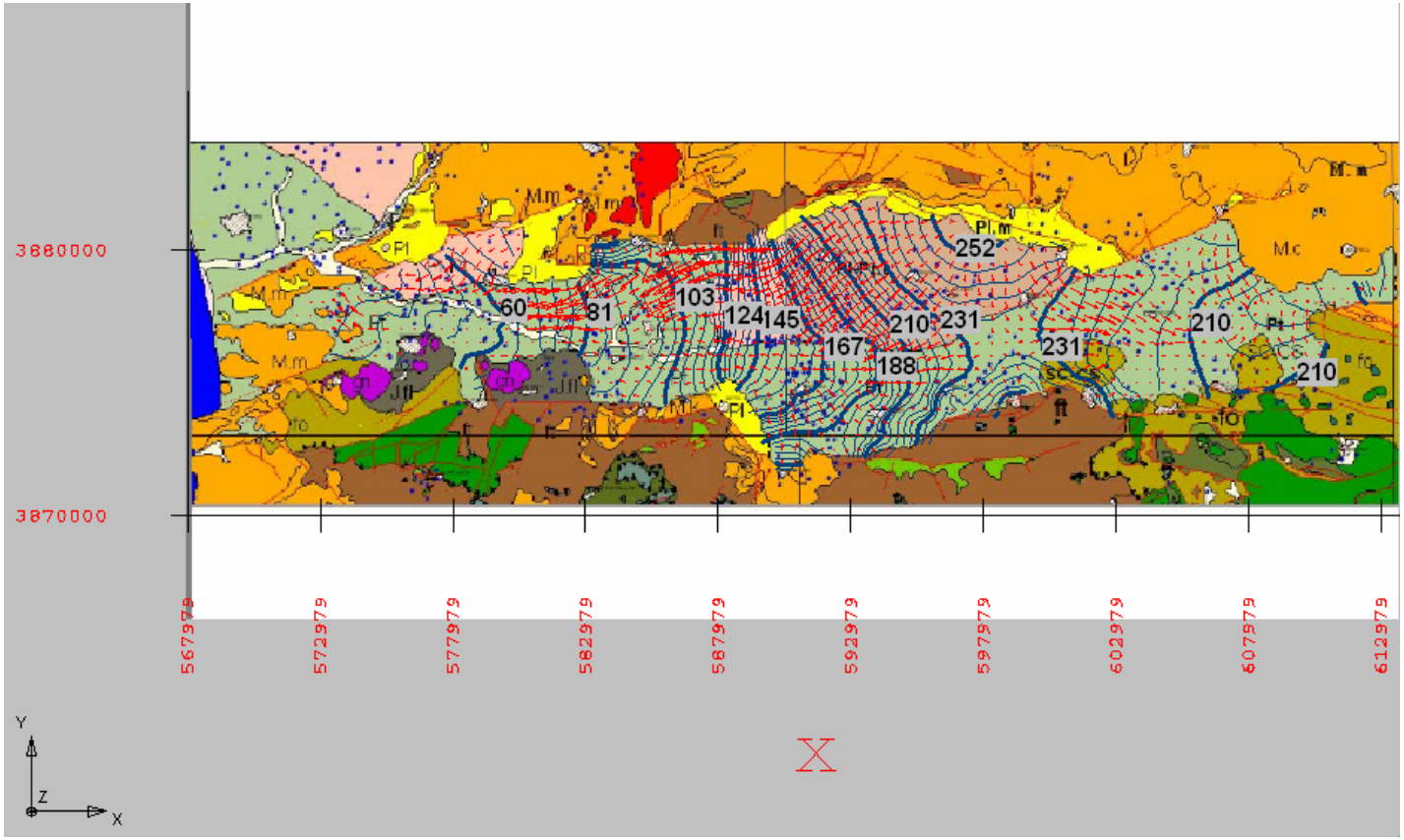
Εικόνα 6 - 14 3ο σενάριο ετήσιων αντλήσεων



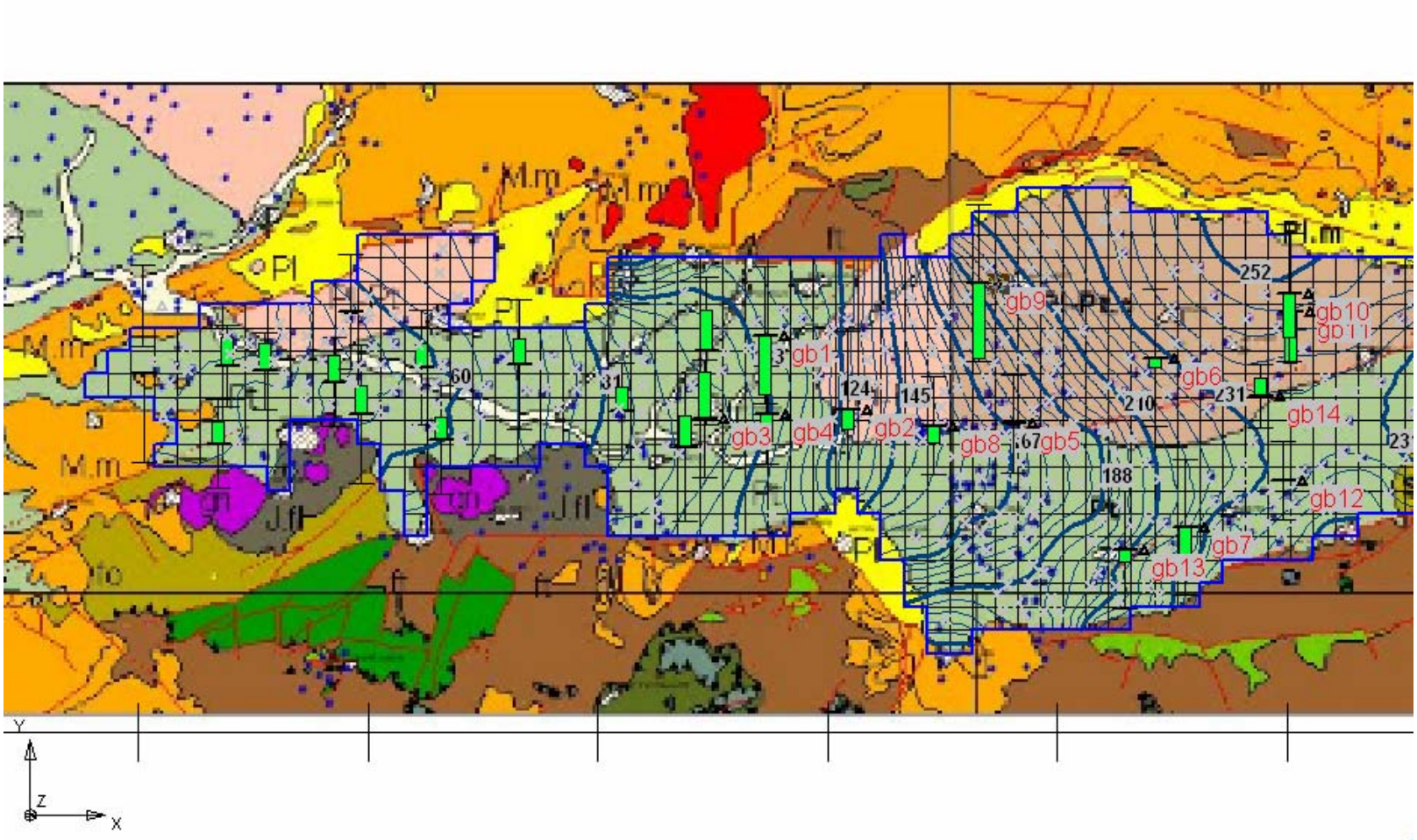
Εικόνα 6 - 15 Πιεζομετρικές καμπύλες Μεσαράς - αρχικές συνθήκες



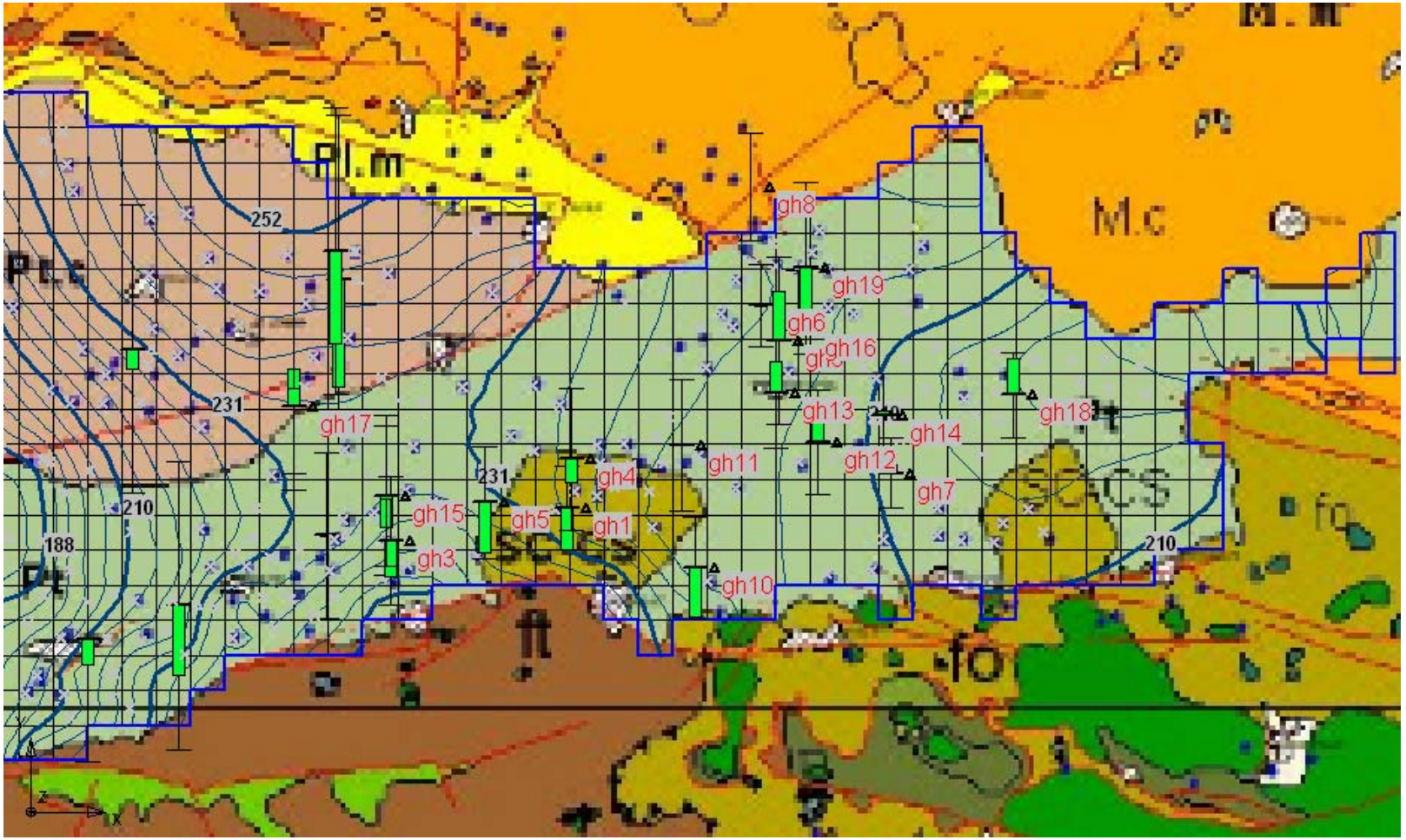
Εικόνα 6 - 16 Βαθμονόμηση συνθηκών σταθερής ροής - αρχικές συνθήκες



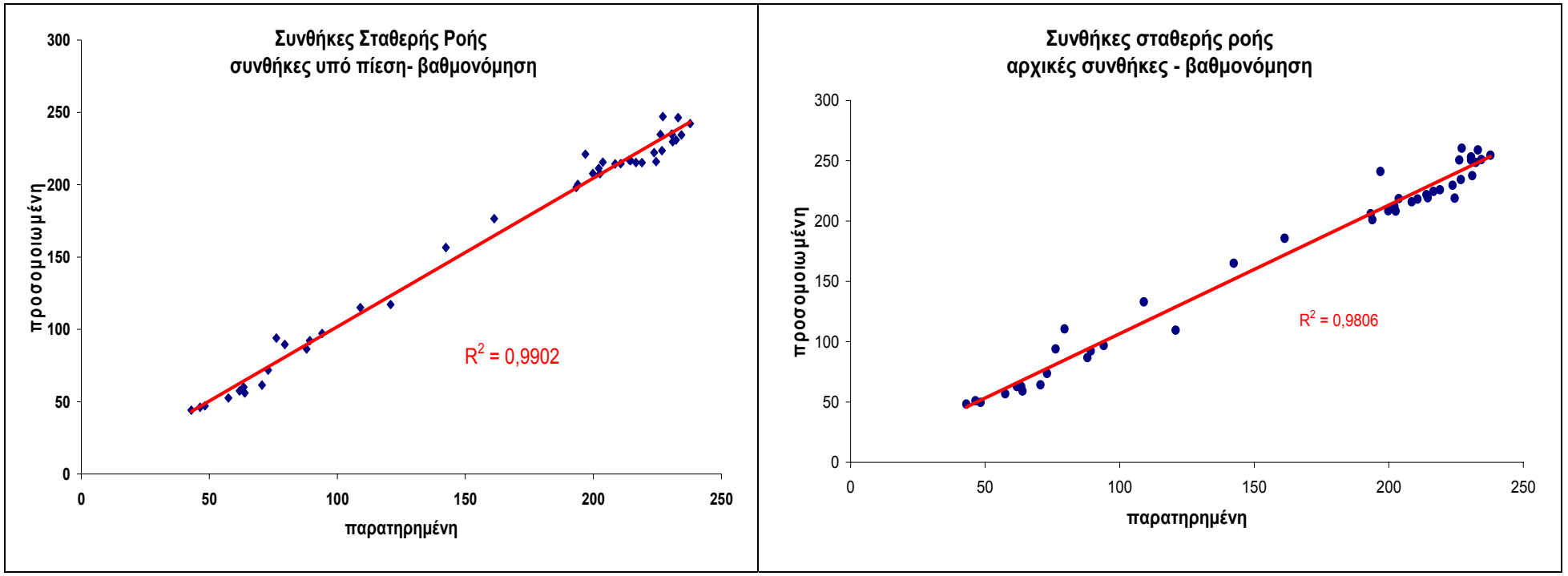
Εικόνα 6 - 17 Πιεζομετρικές καμπύλες Μεσαράς - συνθήκες υπό πίεση



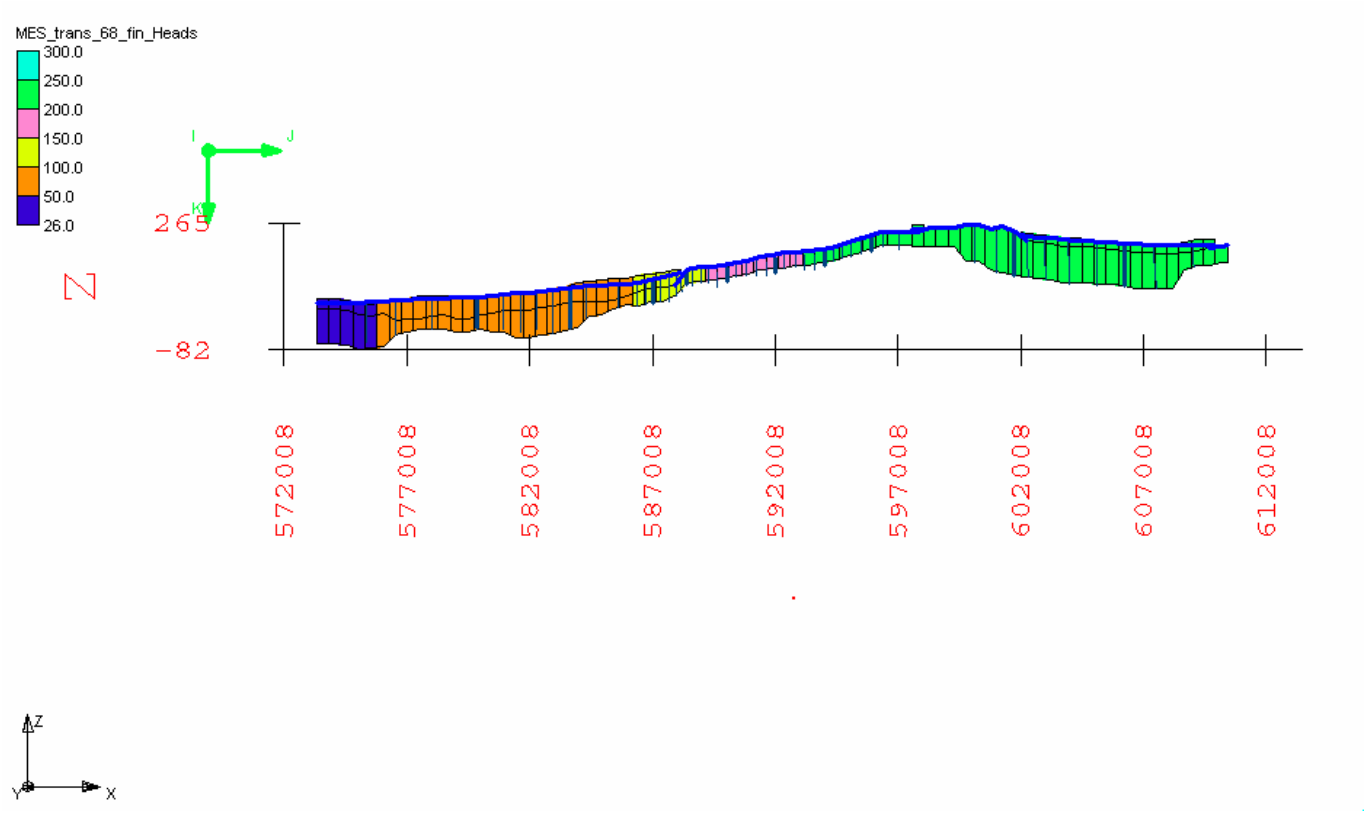
Εικόνα 6 - 18 Βαθμονόμηση συνθηκών σταθερής ροής - συνθήκες υπό πίεση



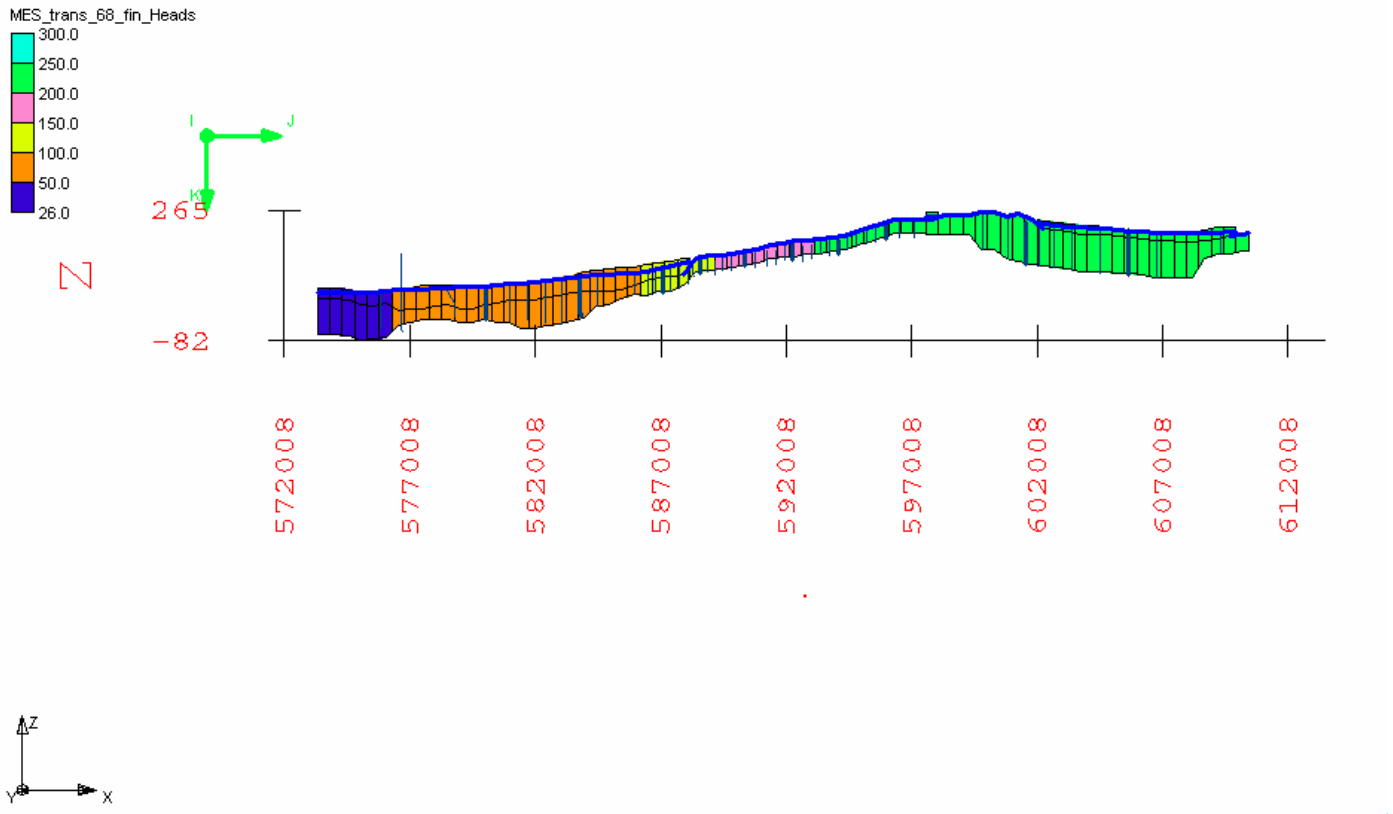
Εικόνα 6 - 19 Βαθμονόμηση συνθηκών σταθερής ροής - συνθήκες υπό πίεση



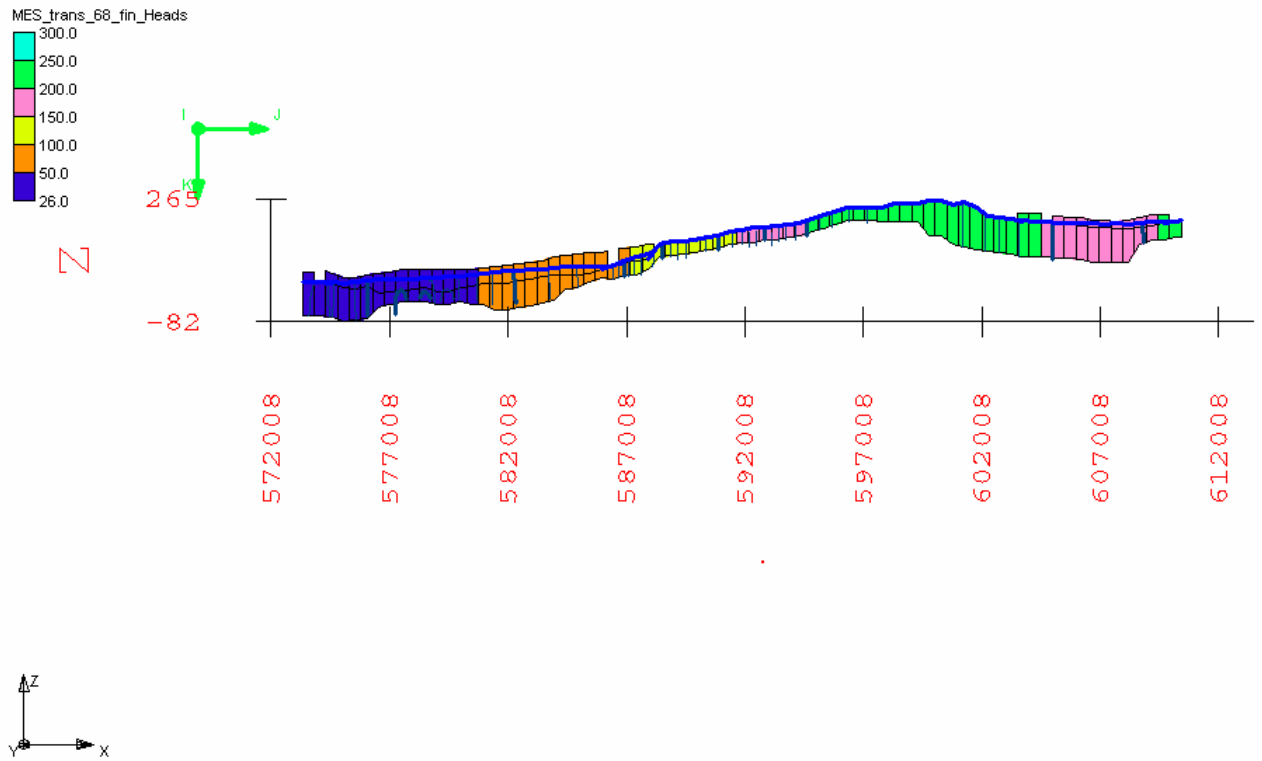
Εικόνα 6 - 20 Βαθμονόμηση συνθηκών σταθερής ροής



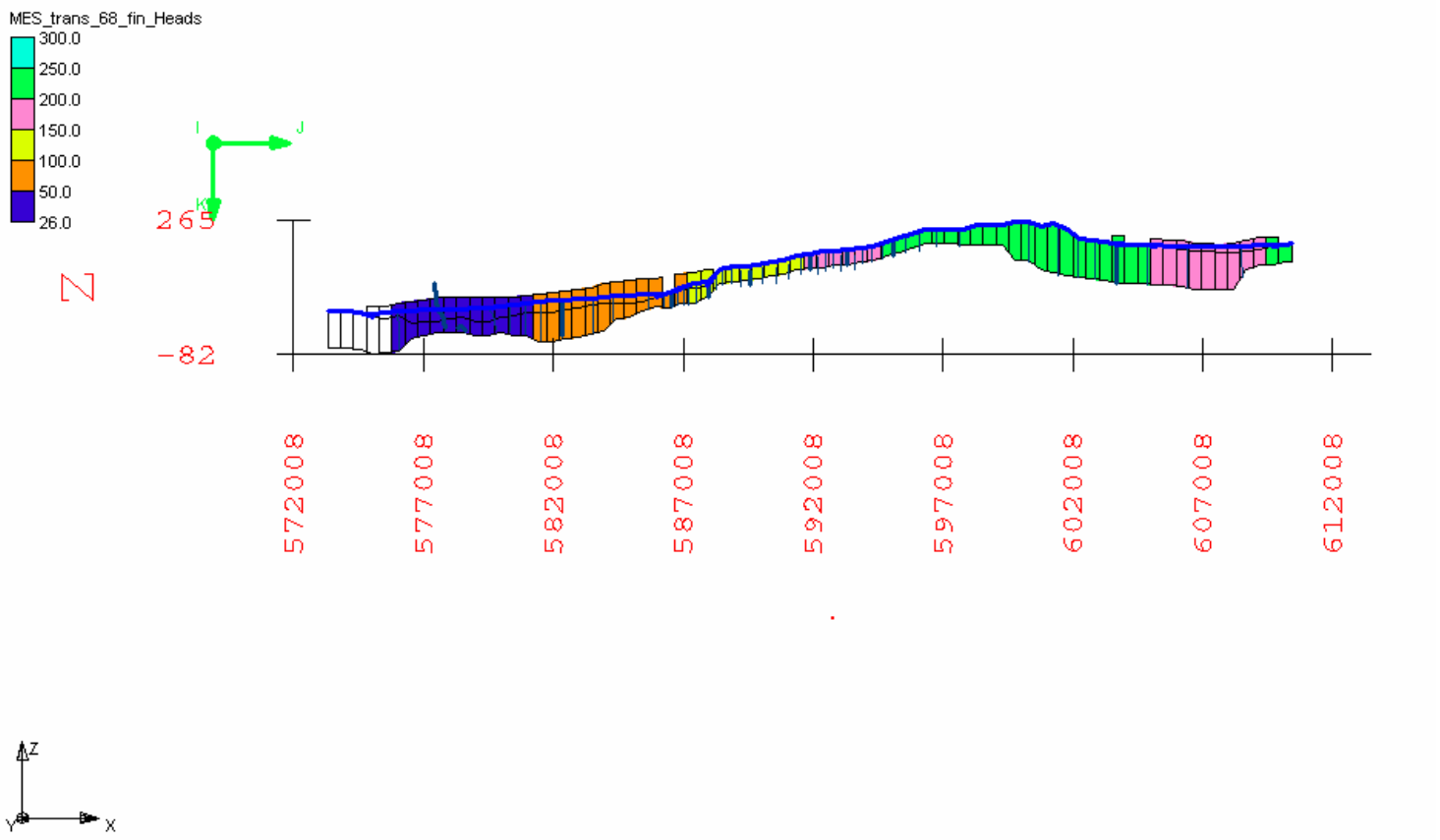
Εικόνα 6 - 21 .Τομή ανατολή δύση μοντέλου προσομοίωσης μεταβατικής ροής έτους 1983
(κατακόρυφη κλίμακα σε απόλυτο υψόμετρο, οριζόντια κλίμακα σε ΕΓΣΑ 87 μέτρα, μπλέ γραμμή υδροστατική στάθμη)



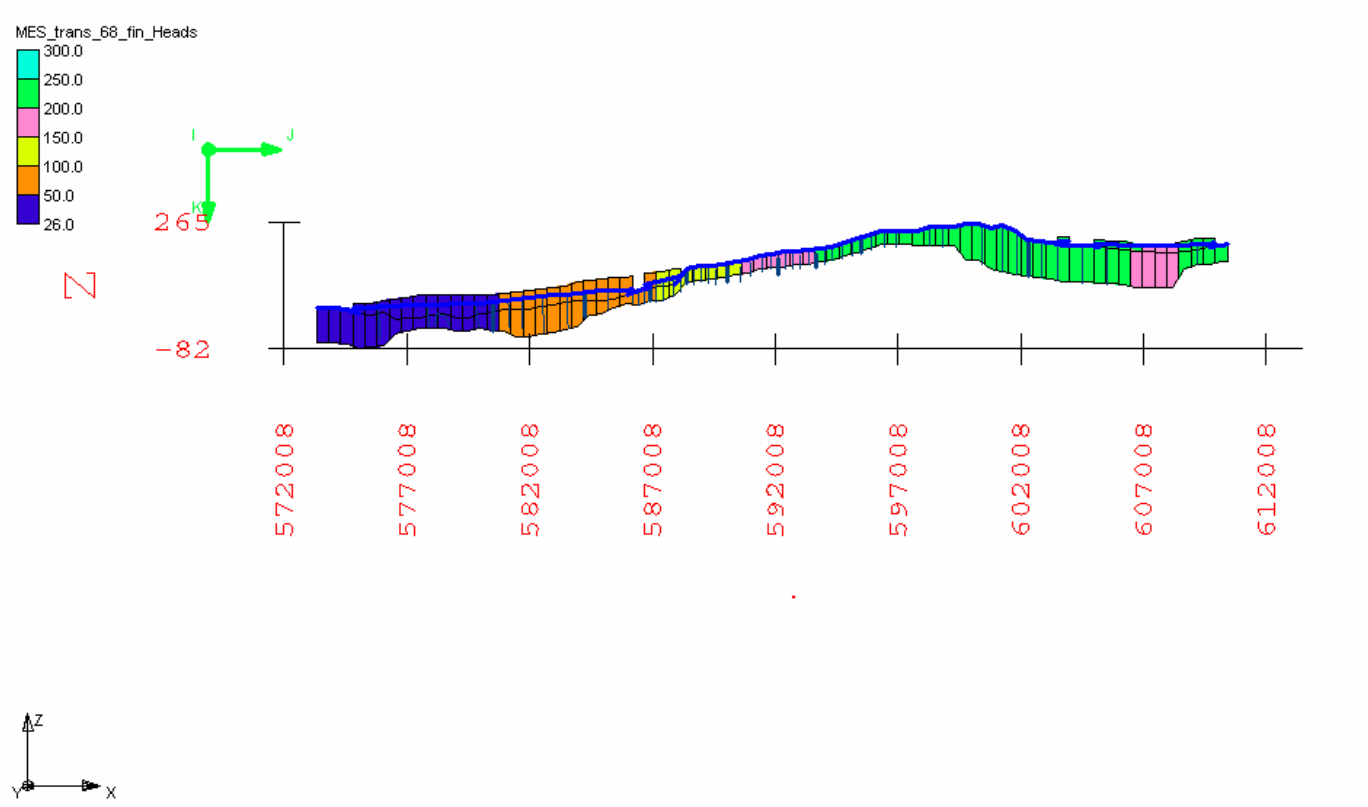
Εικόνα 6 - 22 Τομή ανατολή δύση μοντέλου προσομοίωσης προσομοίωσης μεταβατικής ροής έτους 1985 (κατακόρυφη κλίμακα σε απόλυτο υψόμετρο, οριζόντια κλίμακα σε ΕΓΣΑ 87 μέτρα, μπλέ γραμμή υδροστατική στάθμη)



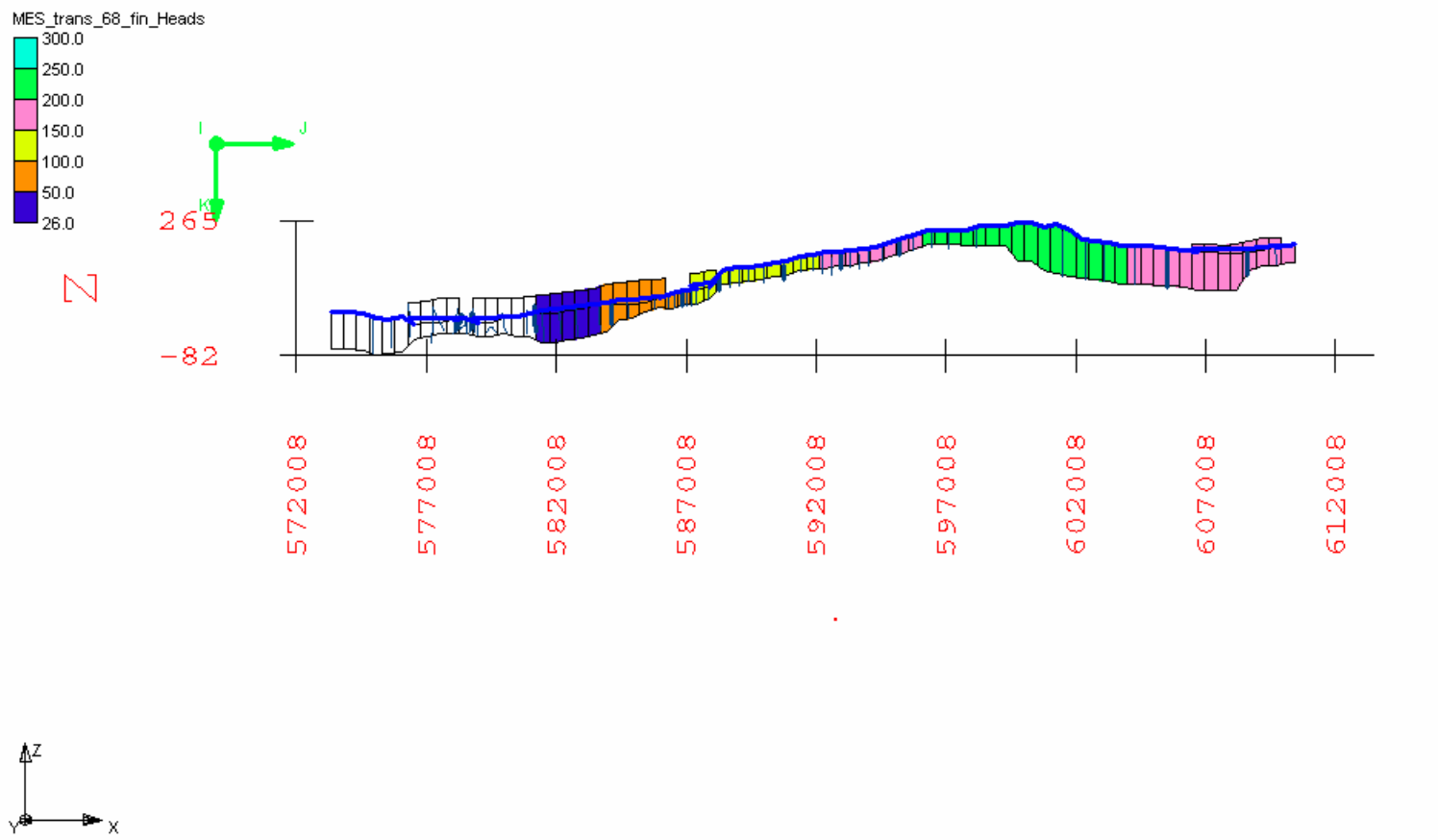
Εικόνα 6 - 23 Τομή ανατολή δύση μοντέλου προσομοίωσης προσομοίωσης μεταβατικής ροής έτους 1993
(κατακόρυφη κλίμακα σε απόλυτο υψόμετρο, οριζόντια κλίμακα σε ΕΓΣΑ 87 μέτρα, μπλέ γραμμή υδροστατική στάθμη)



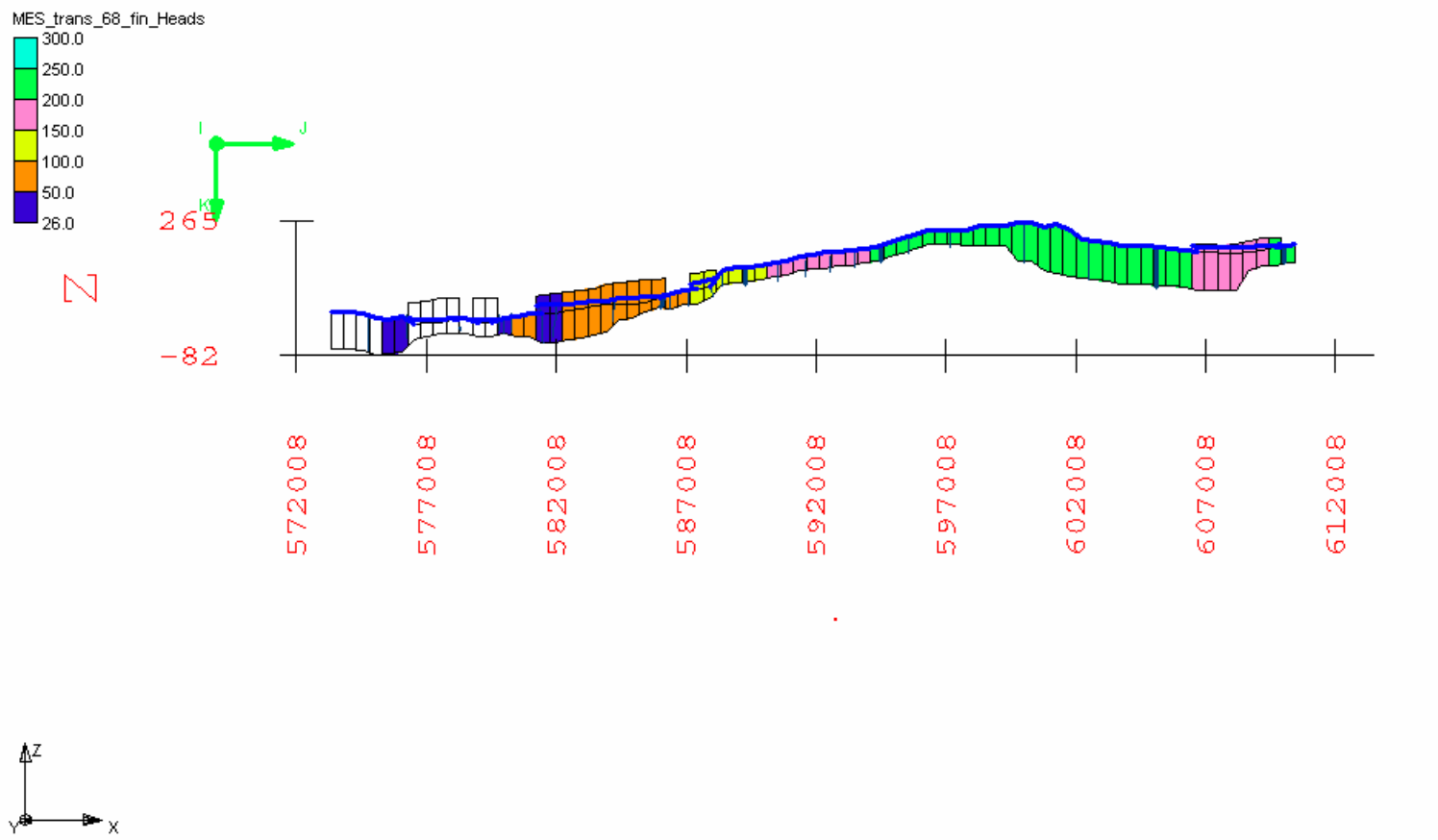
Εικόνα 6 - 24 Τομή ανατολή δύση μοντέλου προσομοίωσης προσομοίωσης μεταβατικής ροής έτους 1995 (κατακόρυφη κλίμακα σε απόλυτο υψόμετρο, οριζόντια κλίμακα σε ΕΓΣΑ 87 μέτρα, μπλέ γραμμή υδροστατική στάθμη)



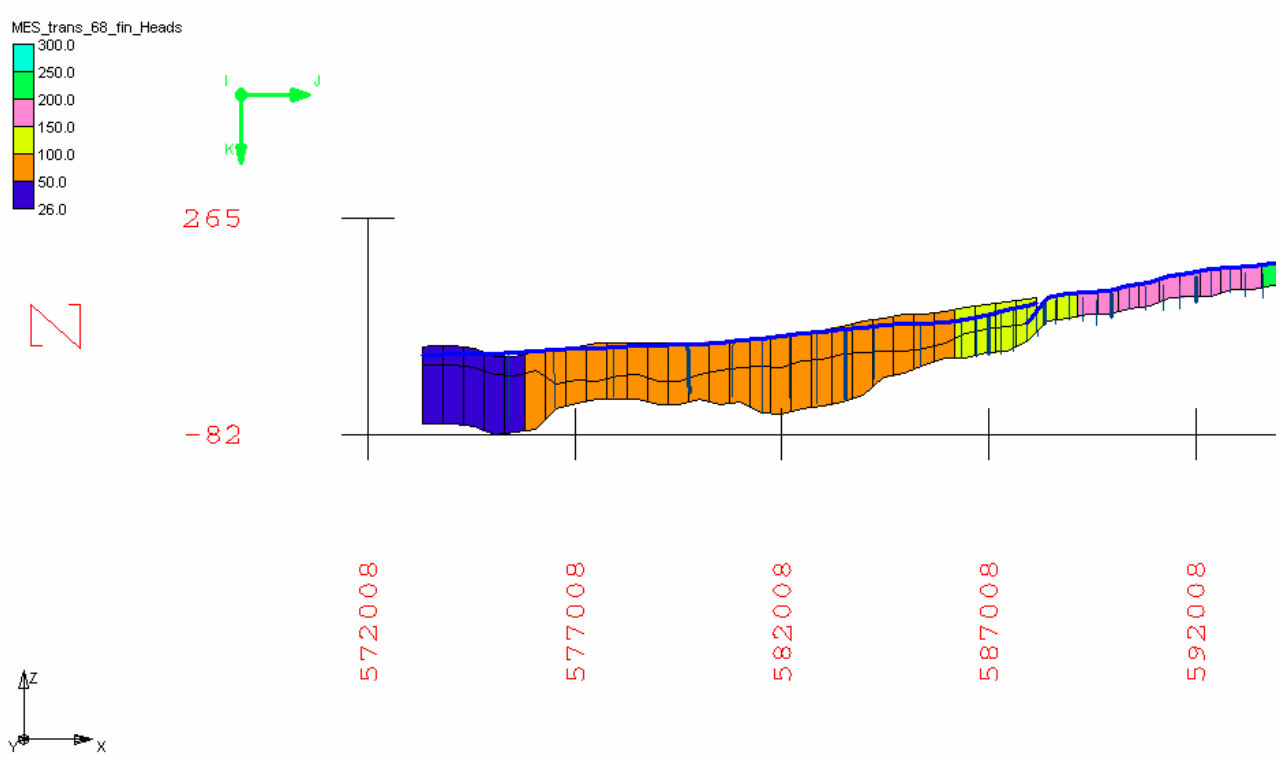
Εικόνα 6 - 25 Τομή ανατολή δύση μοντέλου προσομοίωσης προσομοίωσης μεταβατικής ροής έτους 1996 (κατακόρυφη κλίμακα σε απόλυτο υψόμετρο, οριζόντια κλίμακα σε ΕΓΣΑ 87 μέτρα, μπλέ γραμμή υδροστατική στάθμη)



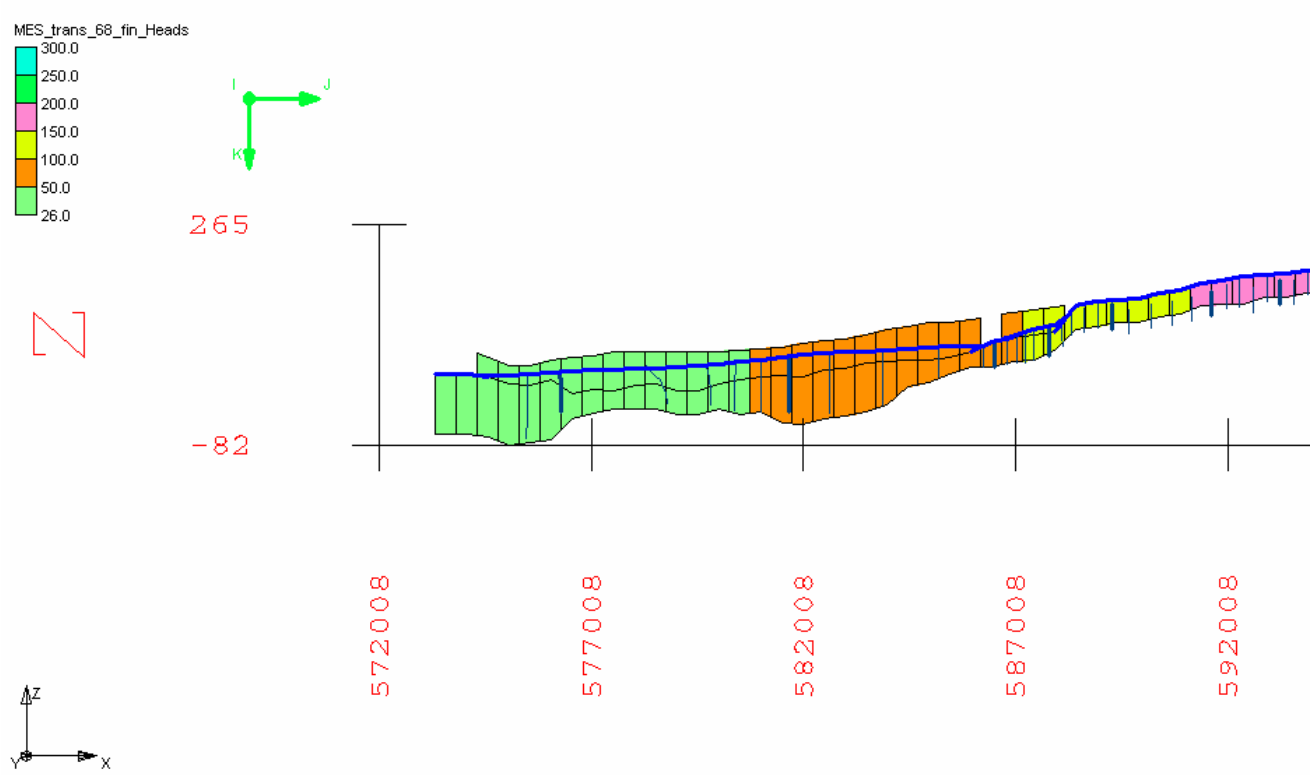
Εικόνα 6 - 26 Τομή ανατολή δύση μοντέλου προσομοίωσης προσομοίωσης μεταβατικής ροής έτους 2000 (κατακόρυφη κλίμακα σε απόλυτο υψόμετρο, οριζόντια κλίμακα σε ΕΓΣΑ 87 μέτρα, μπλέ γραμμή υδροστατική στάθμη)



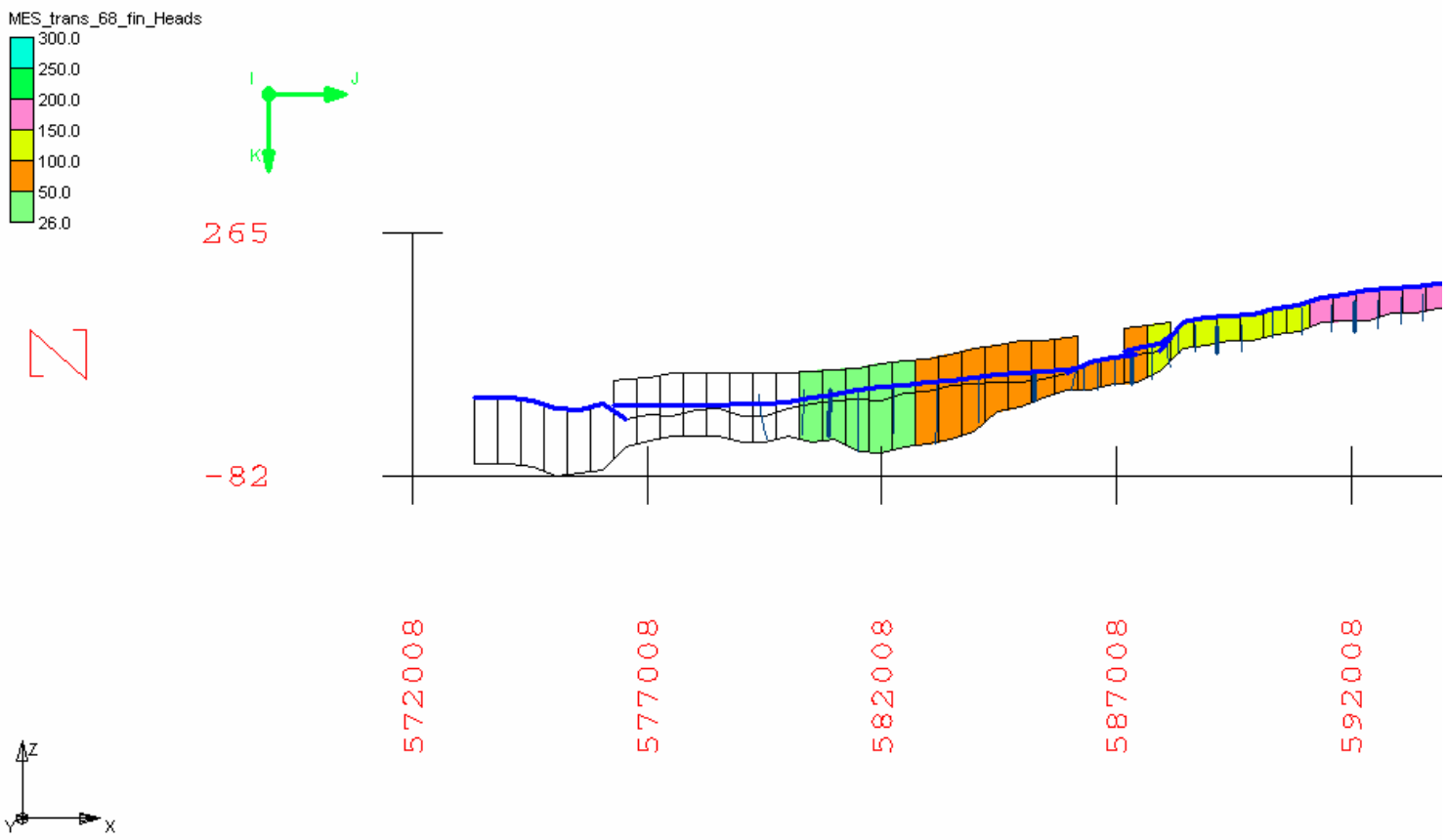
Εικόνα 6 - 27 Τομή ανατολή δύση μοντέλου προσομοίωσης προσομοίωσης μεταβατικής ροής έτους 2002 (κατακόρυφη κλίμακα σε απόλυτο υψόμετρο, οριζόντια κλίμακα σε ΕΓΣΑ 87 μέτρα, μπλέ γραμμή υδροστατική στάθμη)



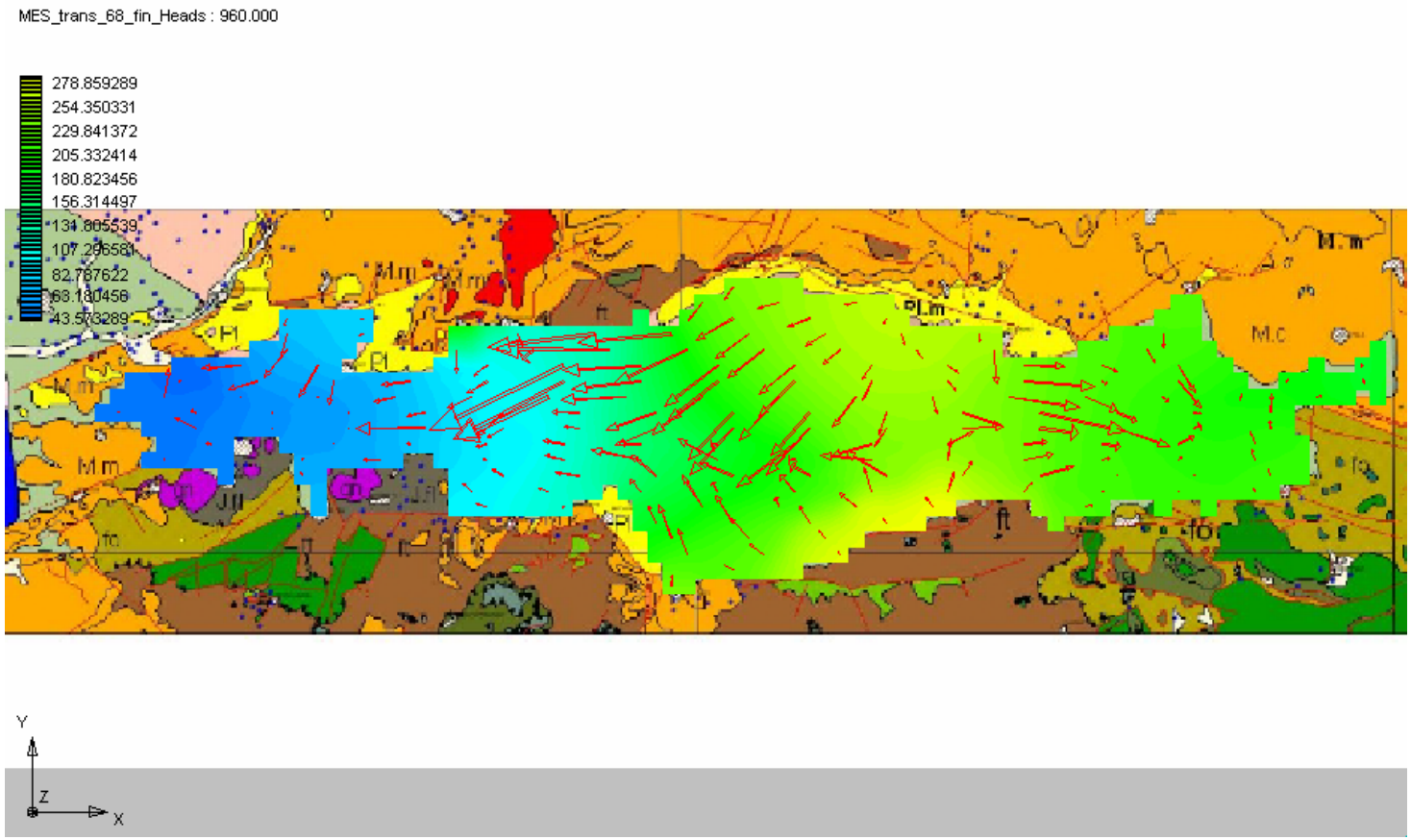
Εικόνα 6 - 28 Τομή ανατολή δύση μοντέλου προσομοίωσης λεκάνη Μοιρών προσομοίωσης μεταβατικής ροής έτους 1983 (κατακόρυφη κλίμακα σε απόλυτο υψόμετρο, οριζόντια κλίμακα σε ΕΓΣΑ 87 μέτρα, μπλέ γραμμή υδροστατική στάθμη)



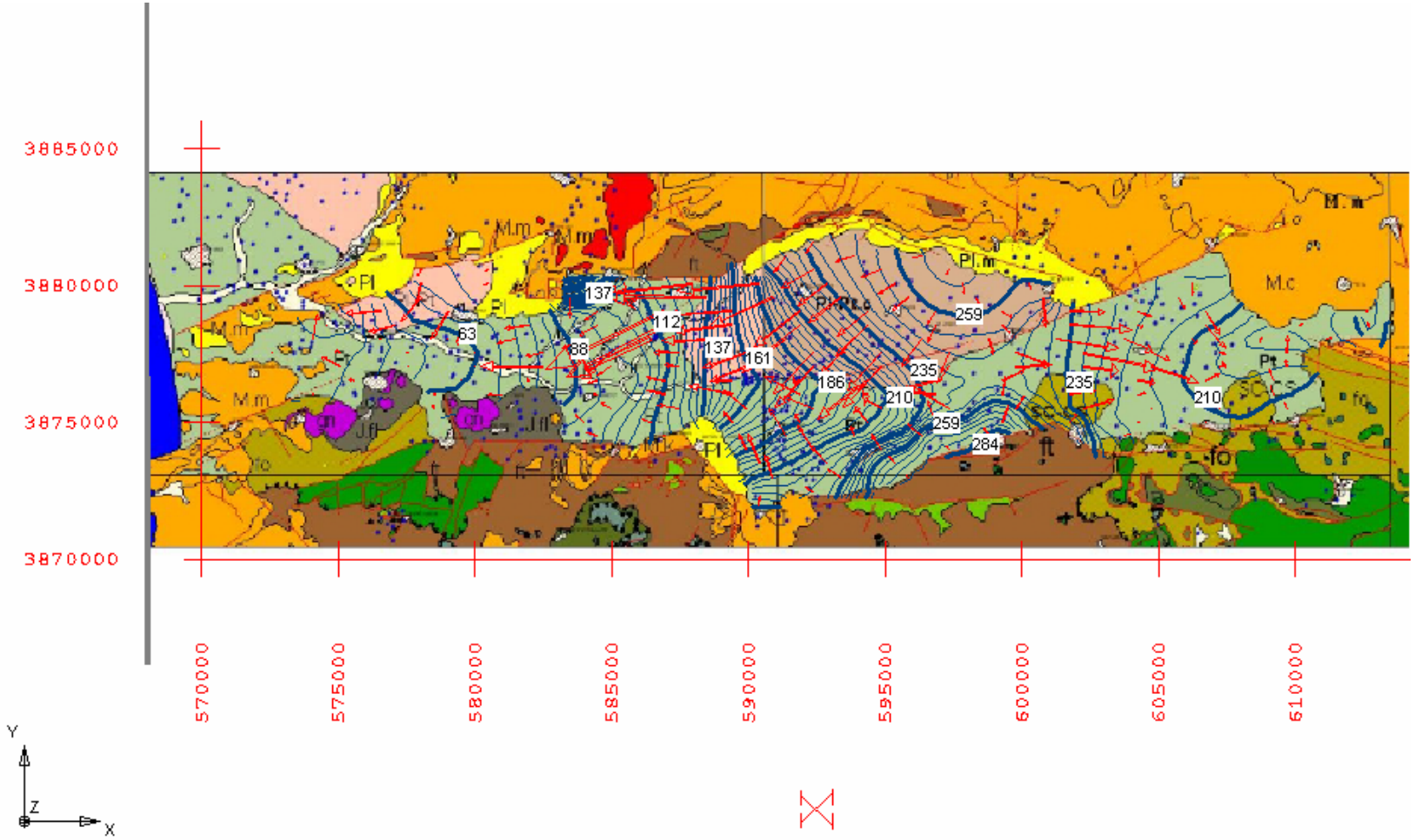
Εικόνα 6 - 29 Τομή ανατολή δύση μοντέλου προσομοίωσης λεκάνη Μοιρών προσομοίωσης μεταβατικής ροής έτους 1993 (κατακόρυφη κλίμακα σε απόλυτο υψόμετρο, οριζόντια κλίμακα σε ΕΓΣΑ 87 μέτρα, μπλέ γραμμή υδροστατική στάθμη)



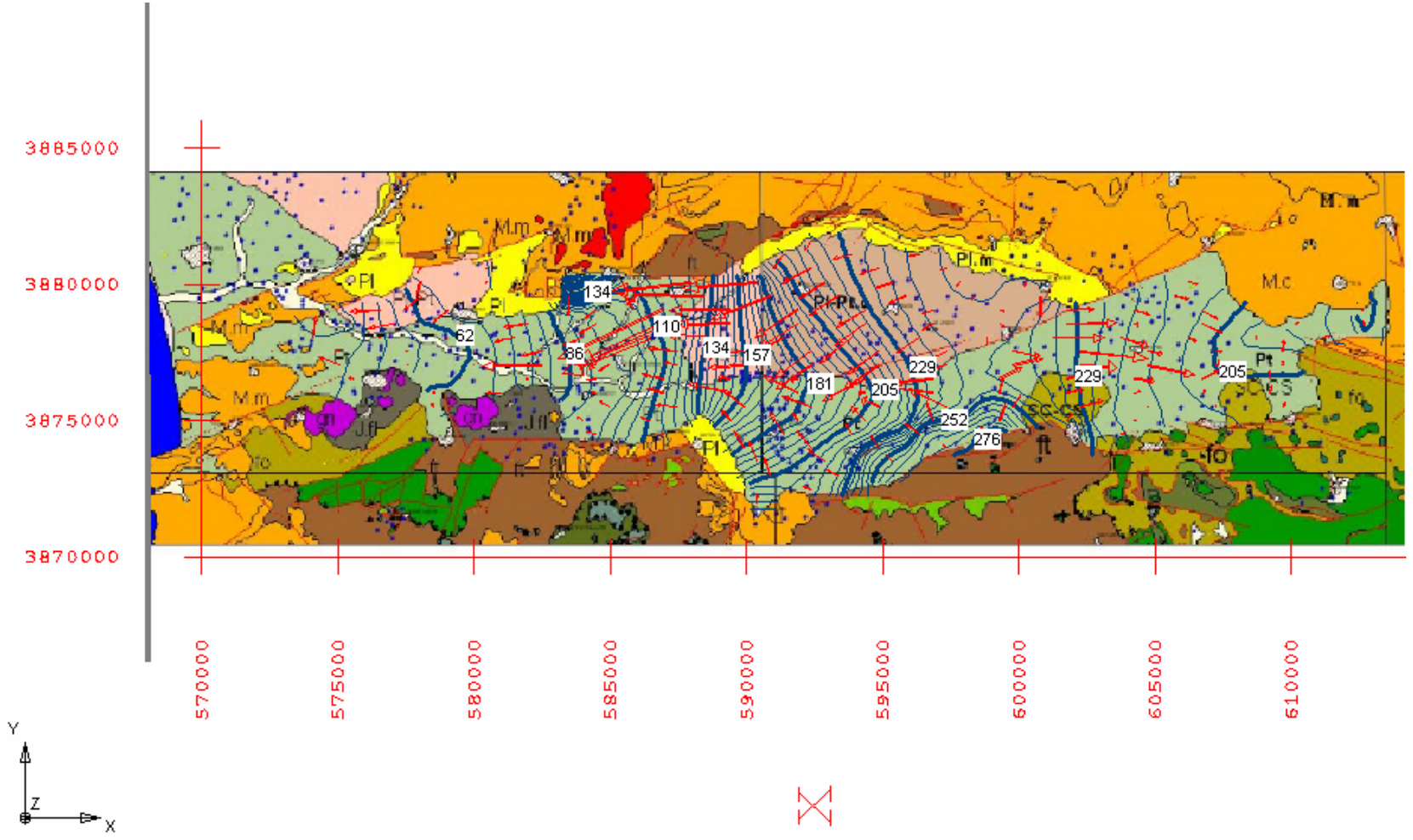
Εικόνα 6 - 30 Τομή ανατολή δύση μοντέλου προσομοίωσης λεκάνη Μοιρών προσομοίωσης μεταβατικής ροής έτους 2000 (κατακόρυφη κλίμακα σε απόλυτο υψόμετρο, οριζόντια κλίμακα σε ΕΓΣΑ 87 μέτρα, μπλέ γραμμή υδροστατική στάθμη)



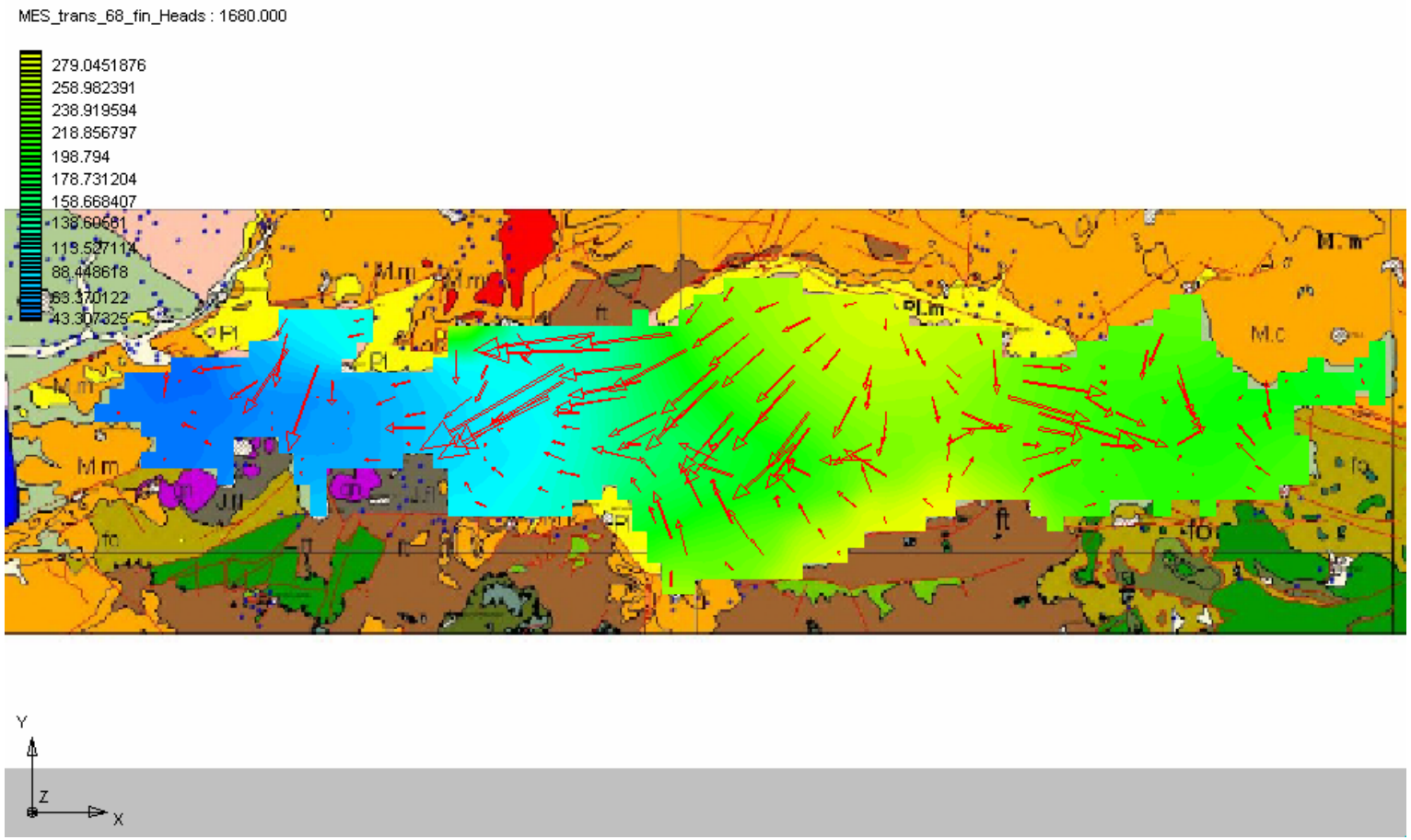
Εικόνα 6 - 31 Γραμμές ροής λεκάνης Μεσαράς 40ς μήνας 1983



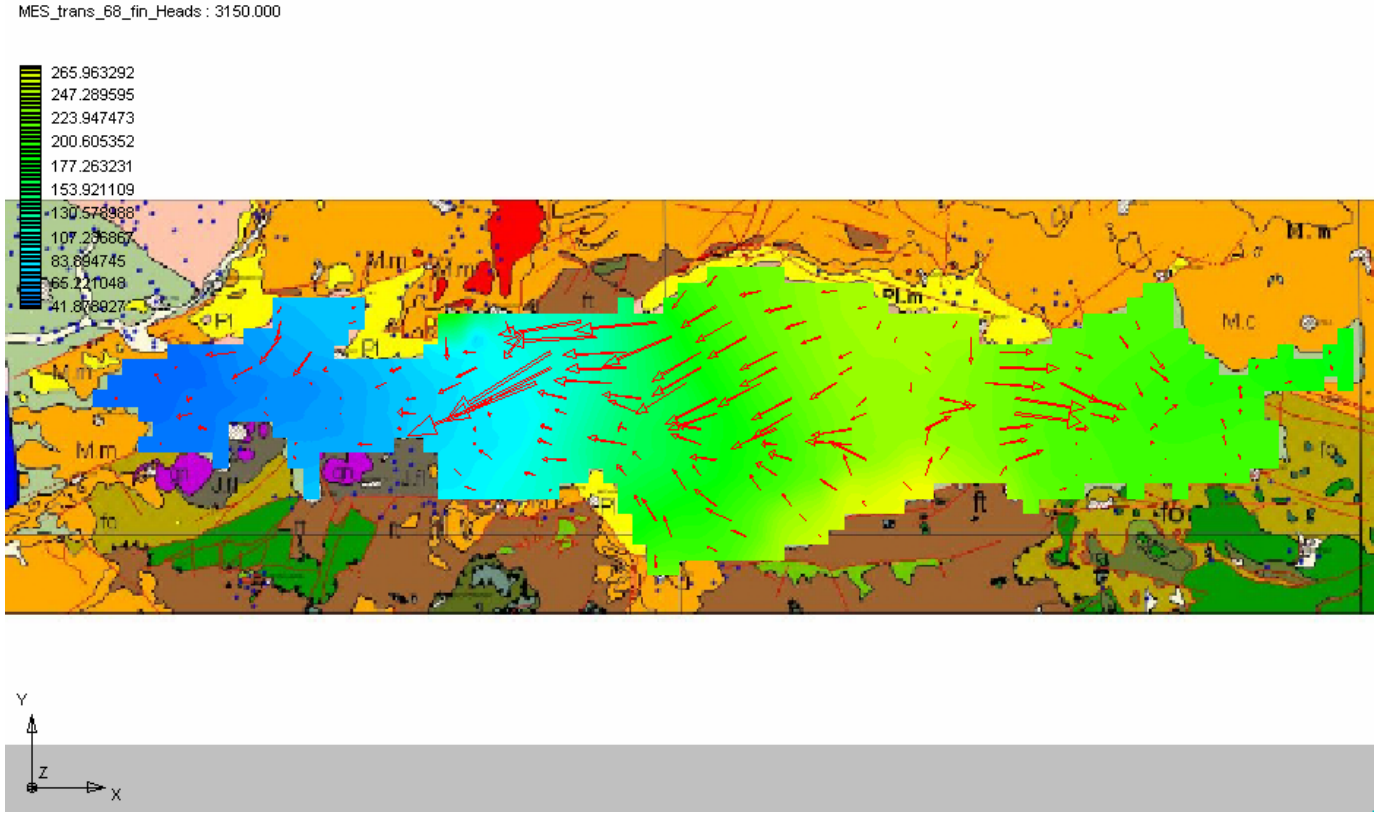
Εικόνα 6 - 32 Γραμμές ροής και πιεζομετρία λεκάνης Μεσαράς 40ς μήνας 1983



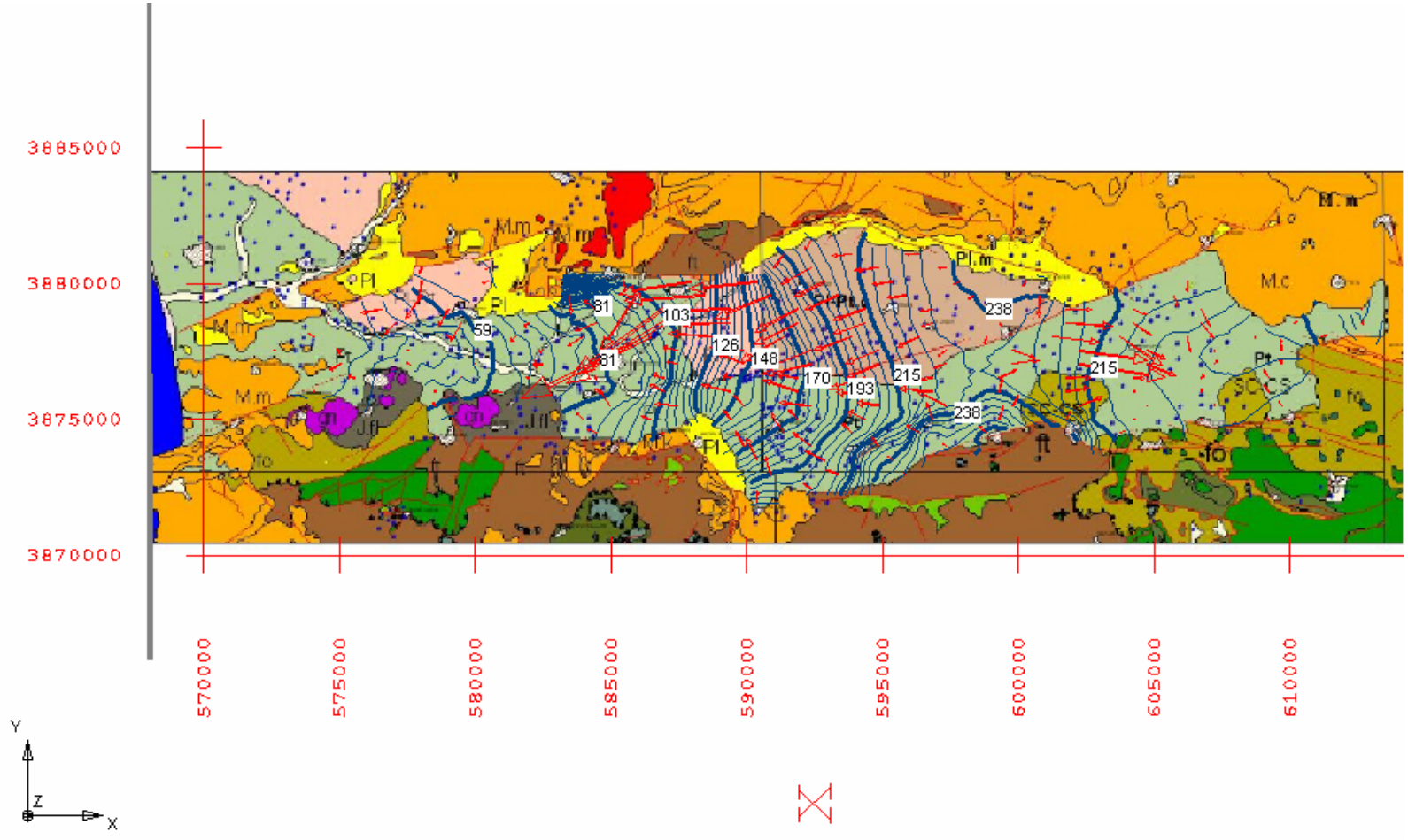
Εικόνα 6 - 33 Γραμμές ροής και πιεζομετρία λεκάνης Μεσαράς 90ς μήνας 1983



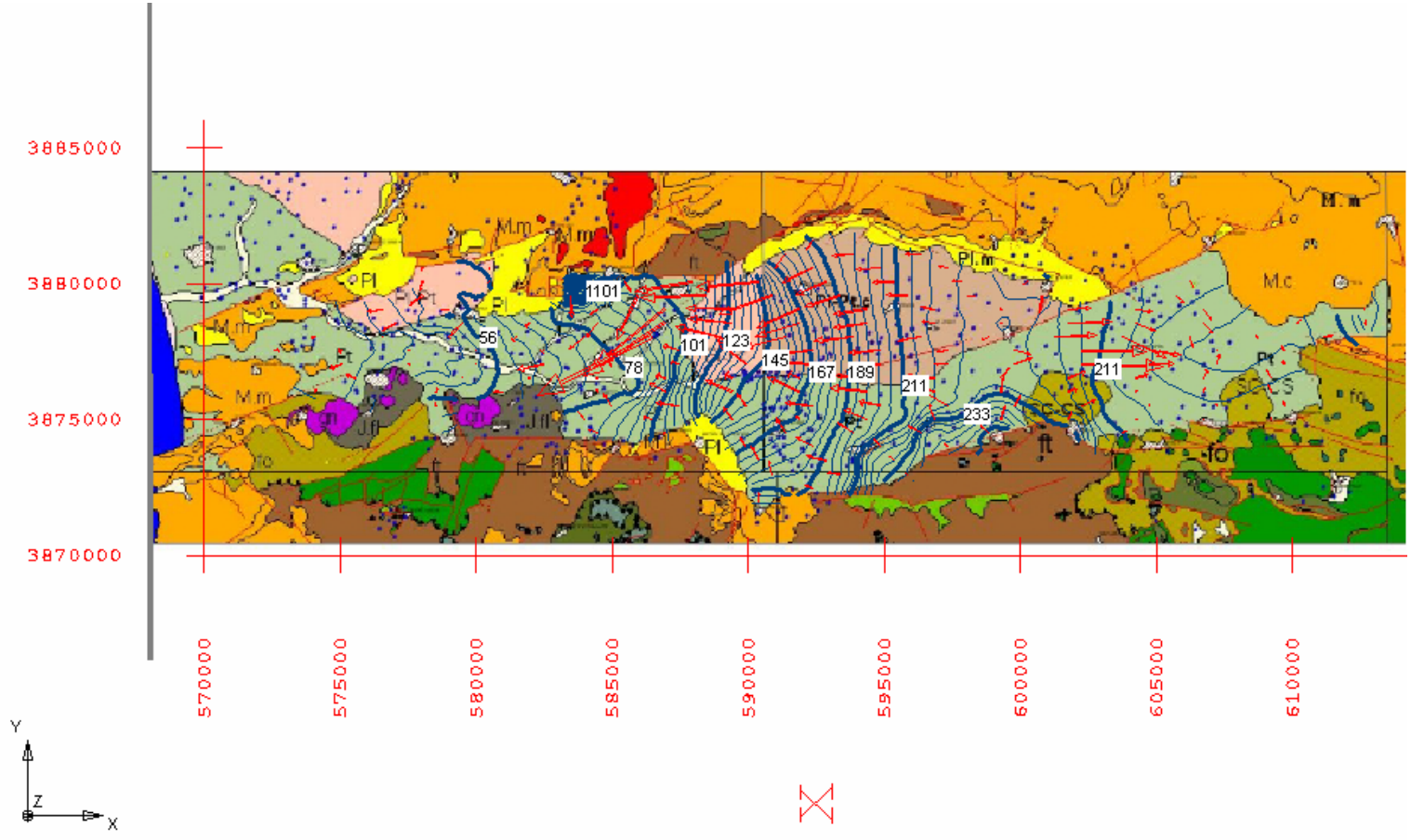
Εικόνα 6 - 34 Γραμμές ροής λεκάνης Μεσαράς 4ος μήνας έτους 1985



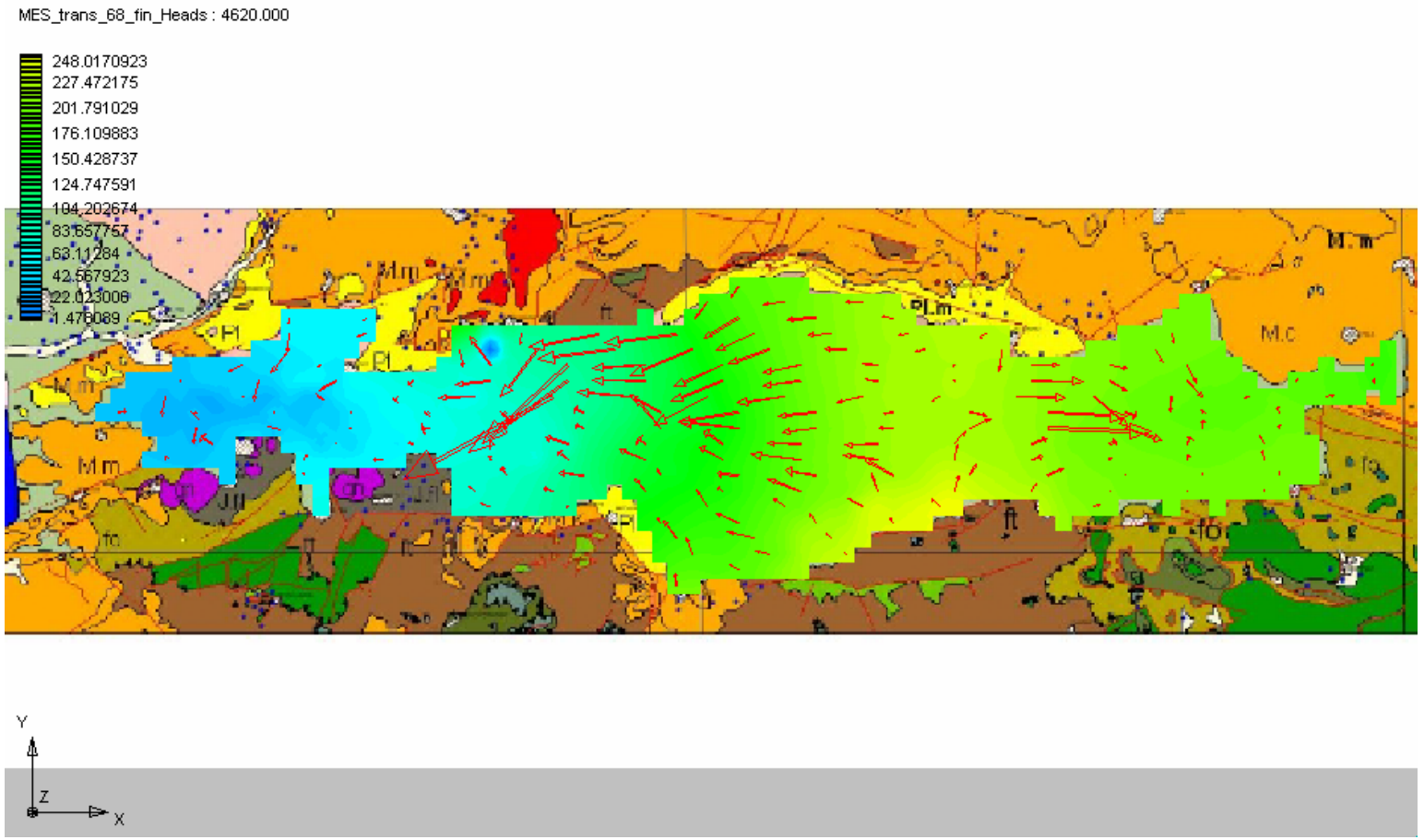
Εικόνα 6 - 35 Γραμμές ροής λεκάνης Μεσαράς 4ος μήνας έτους 1989



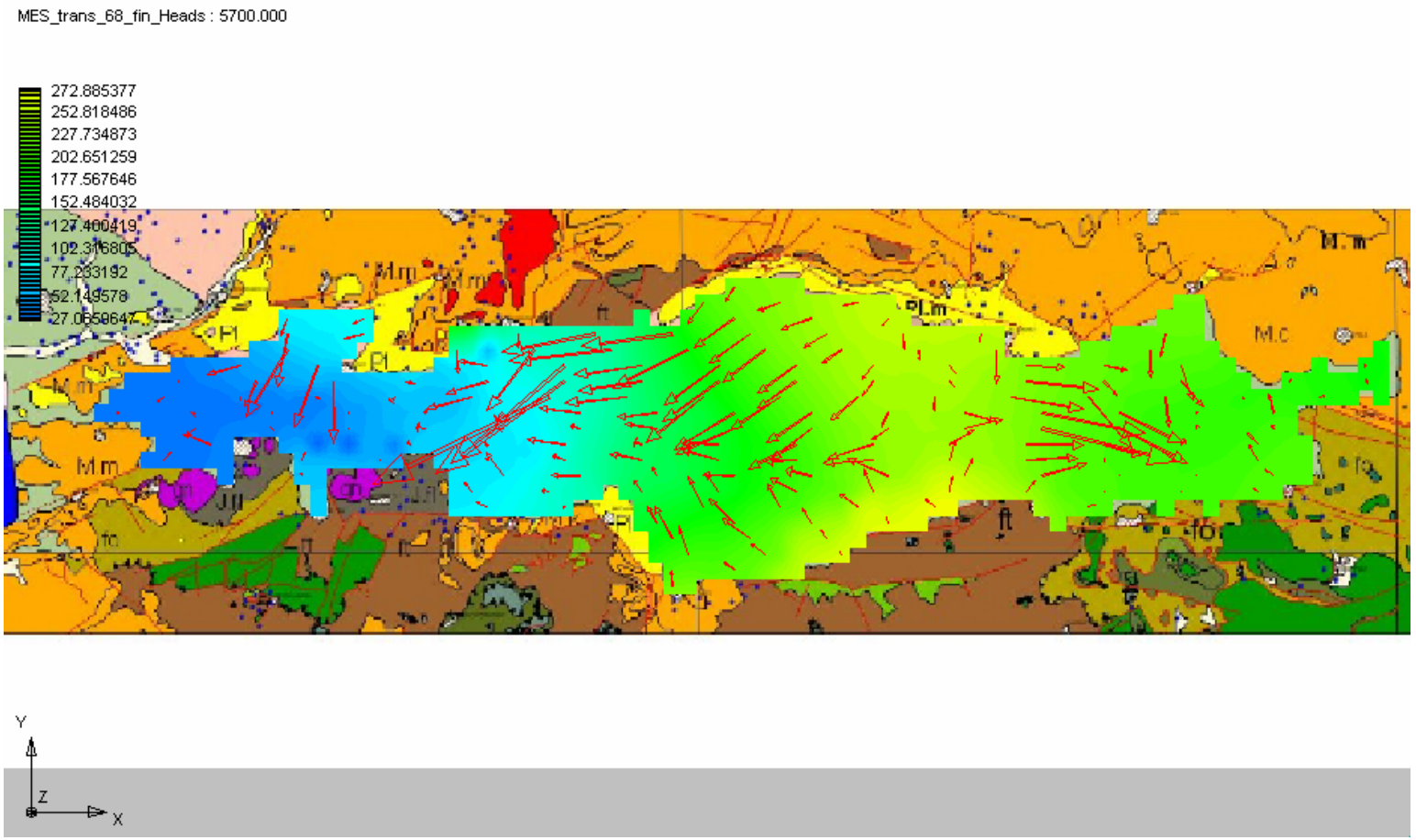
Εικόνα 6 - 36 Γραμμές ροής και πιεζομετρία λεκάνης Μεσαράς 4ος μήνας 1992



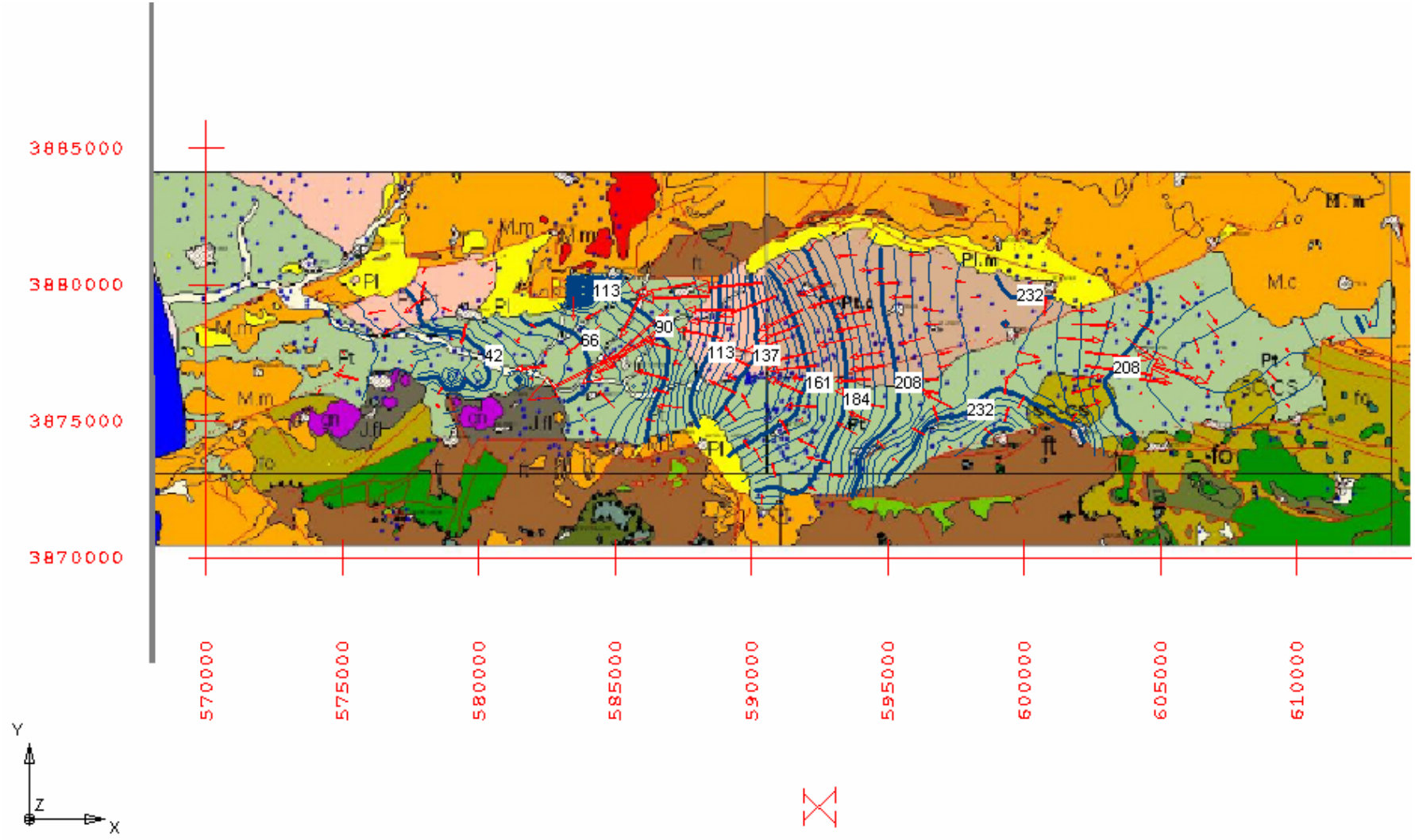
Εικόνα 6 - 37 Γραμμές ροής και πιεζομετρία λεκάνης Μεσαράς 8ος μήνας 1992



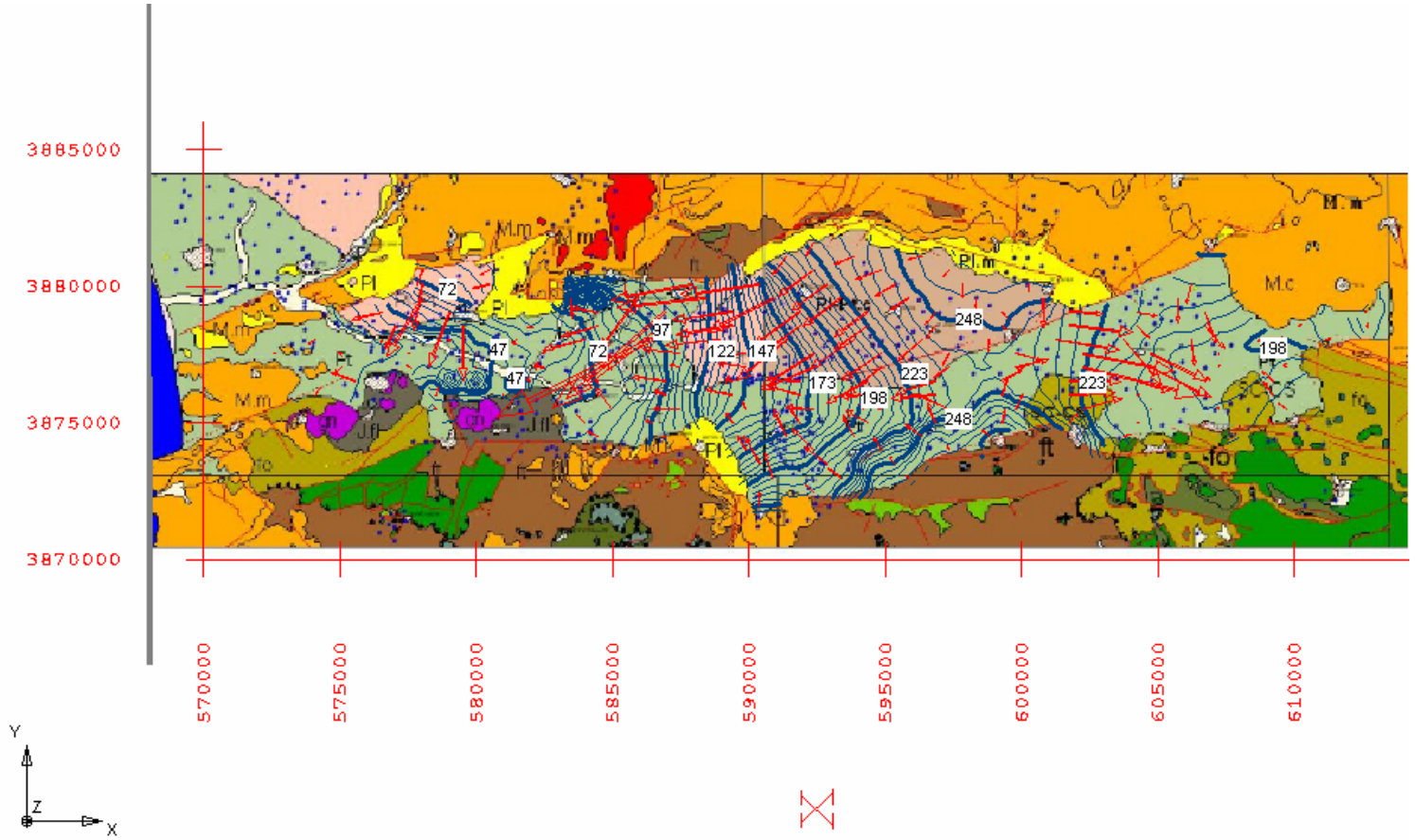
Εικόνα 6 - 38 Γραμμές ροής λεκάνης Μεσαράς 4ος μήνας έτους 1993



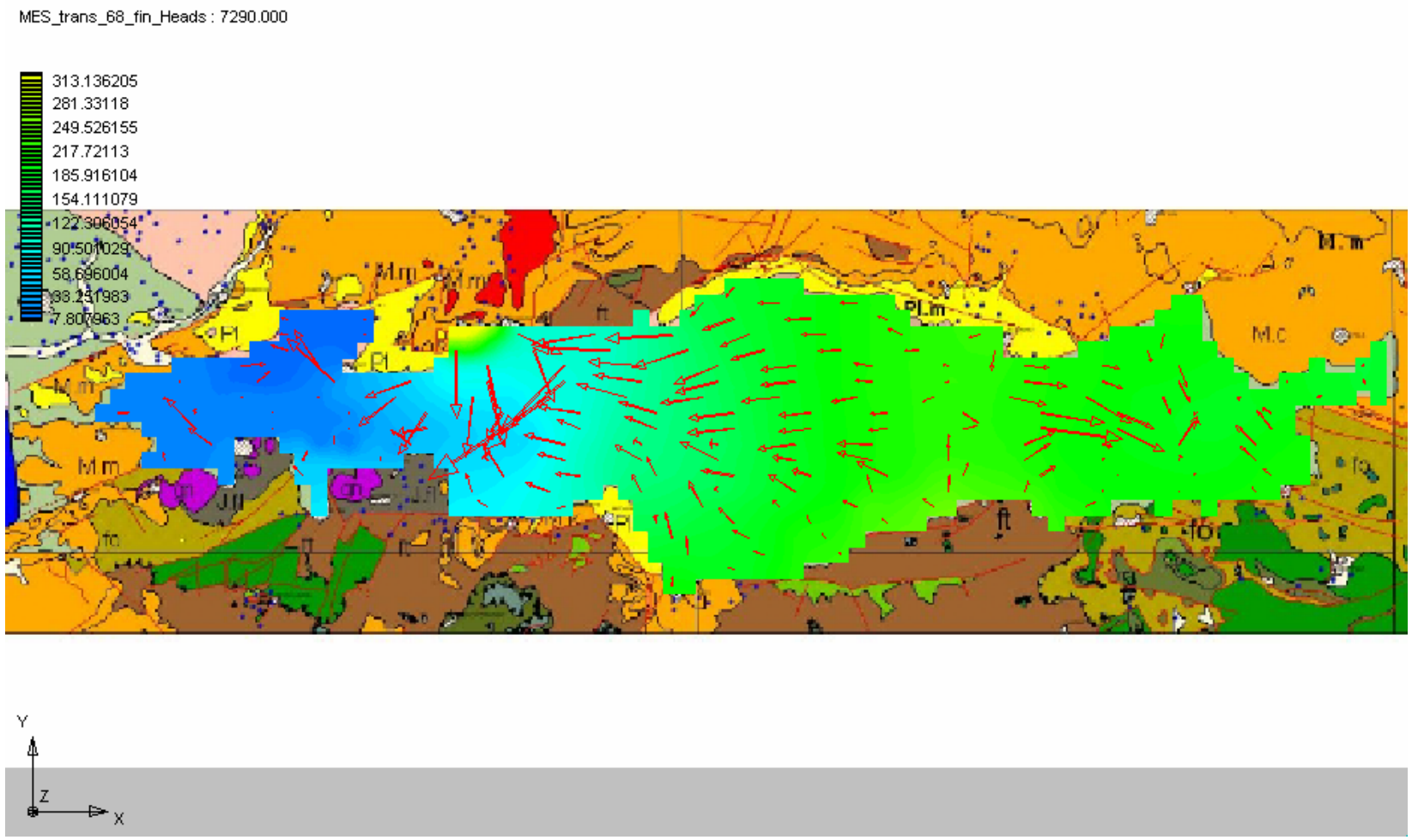
Εικόνα 6 - 39 Γραμμές ροής λεκάνης Μεσαράς 4ος μήνας έτους 1996



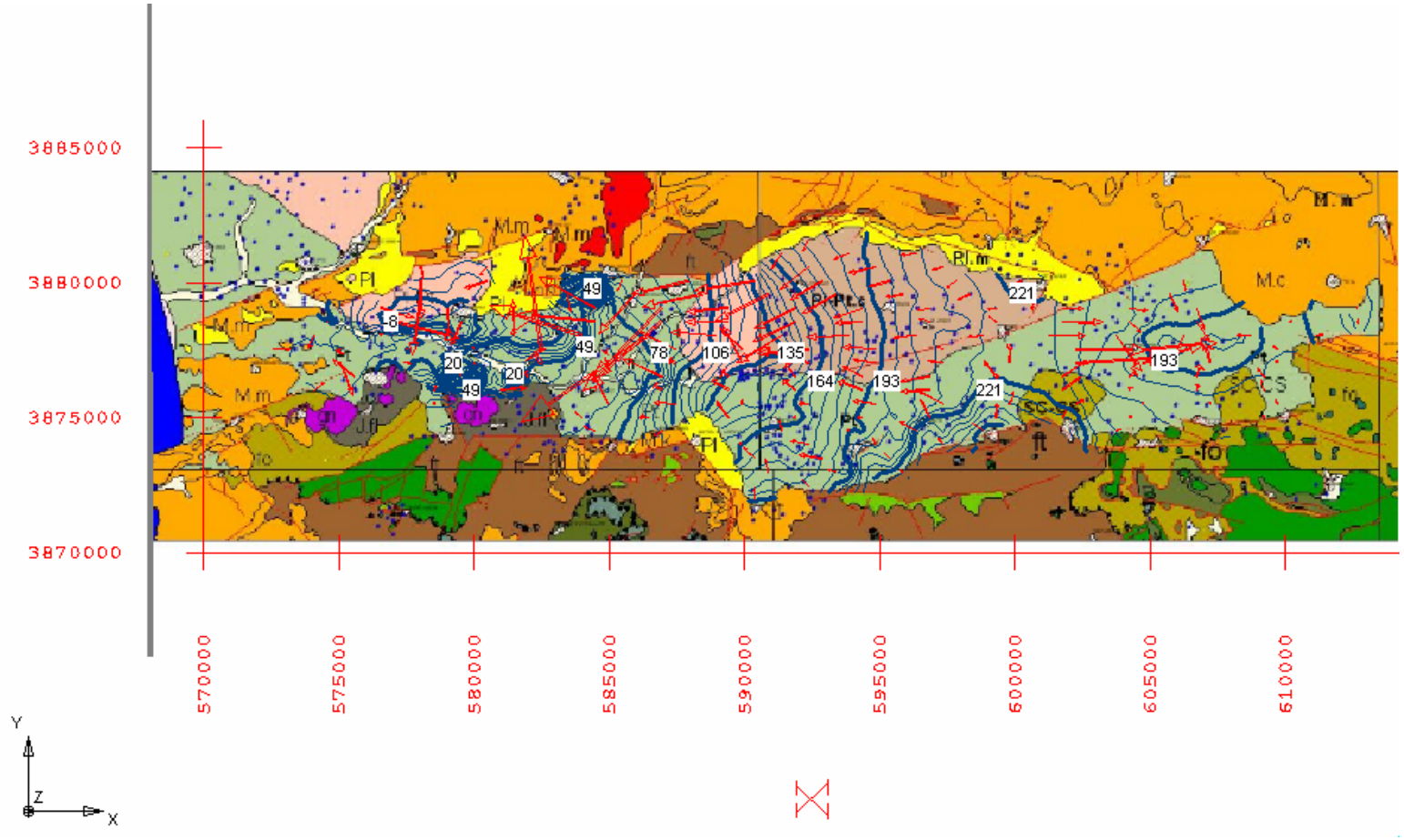
Εικόνα 6 - 40 Γραμμές ροής και πιεζομετρία λεκάνης Μεσαράς 8ος μήνας 1995



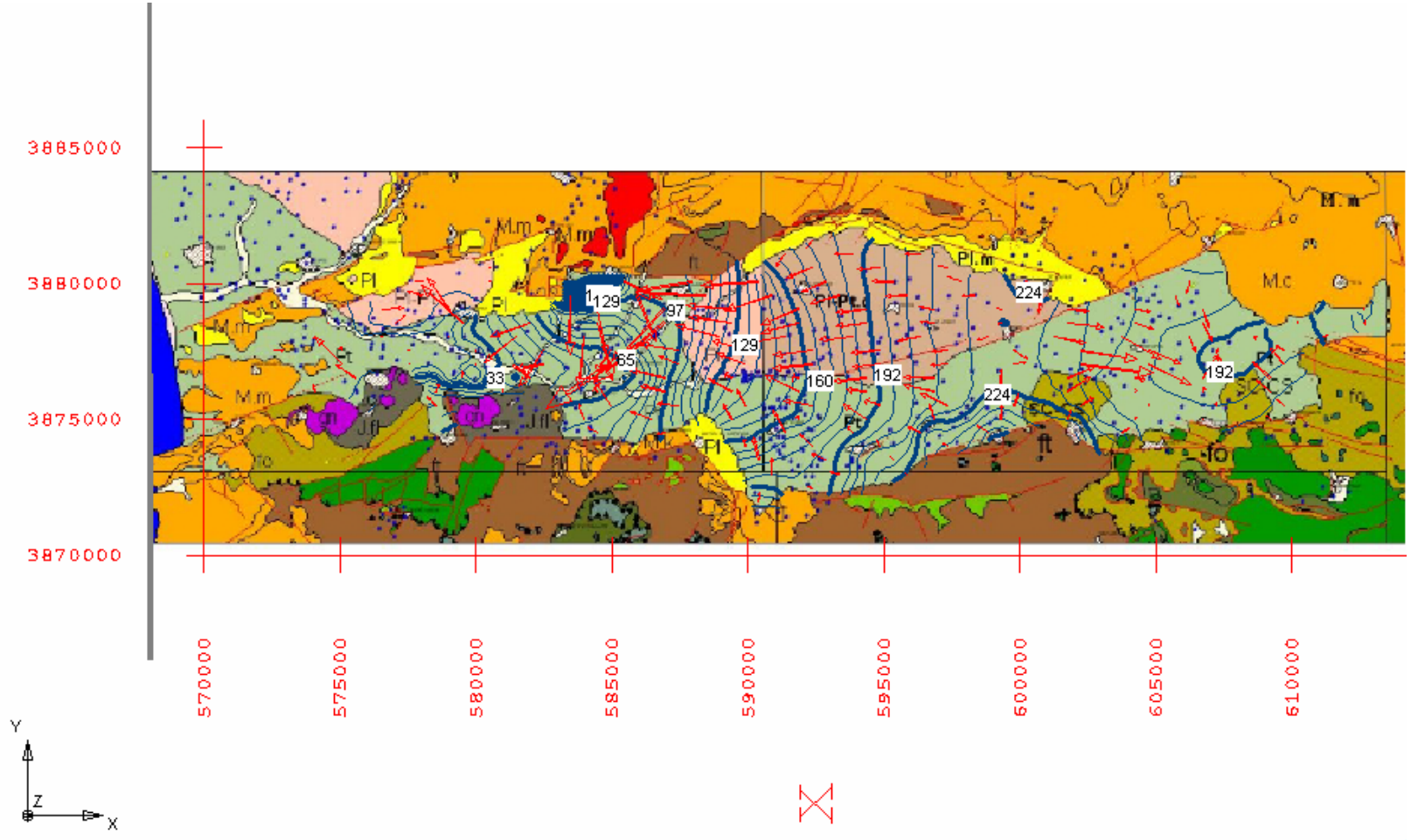
Εικόνα 6 - 41 Γραμμές ροής και πιεζομετρία λεκάνης Μεσαράς 4ος μήνας 1996



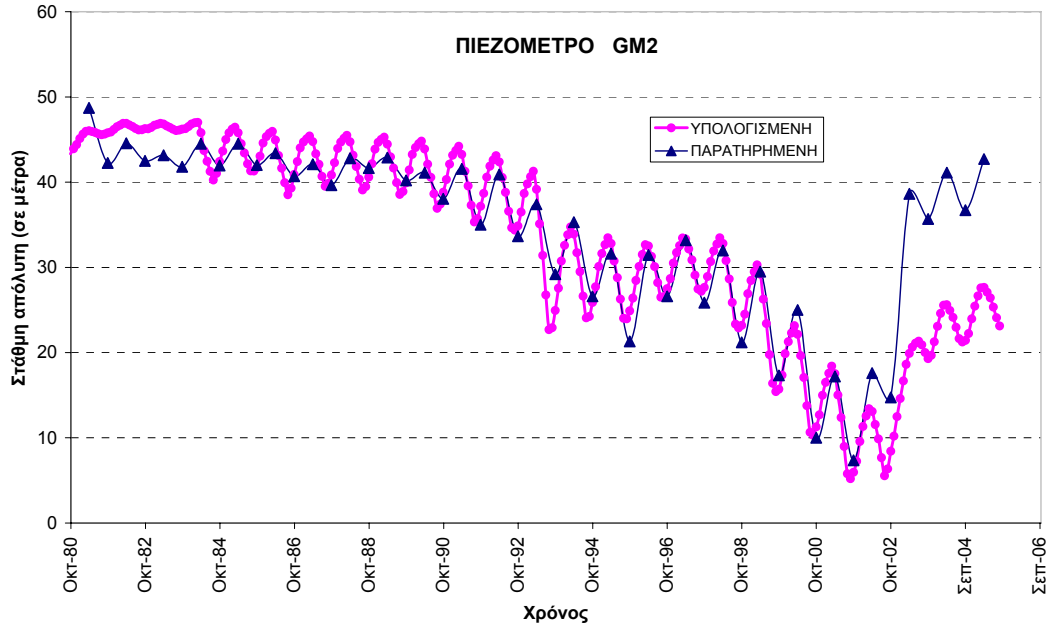
Εικόνα 6 - 42 Γραμμές ροής λεκάνης Μεσαράς 8ος μήνας έτους 2000

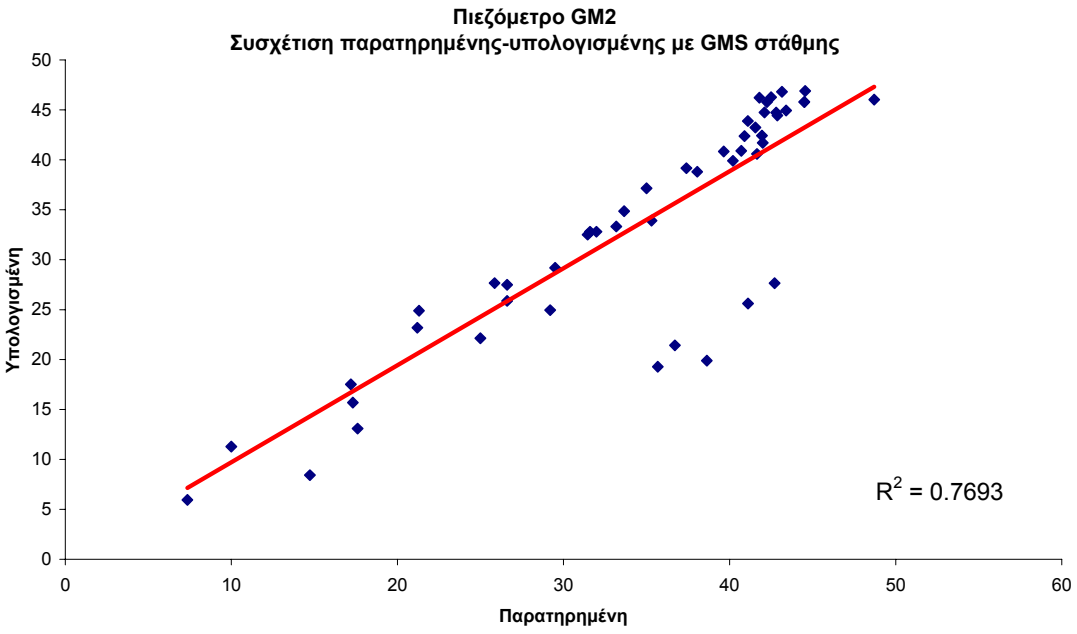


Εικόνα 6 - 43 Γραμμές ροής και πιεζομετρία λεκάνης Μεσαράς 4ος μήνας 2000

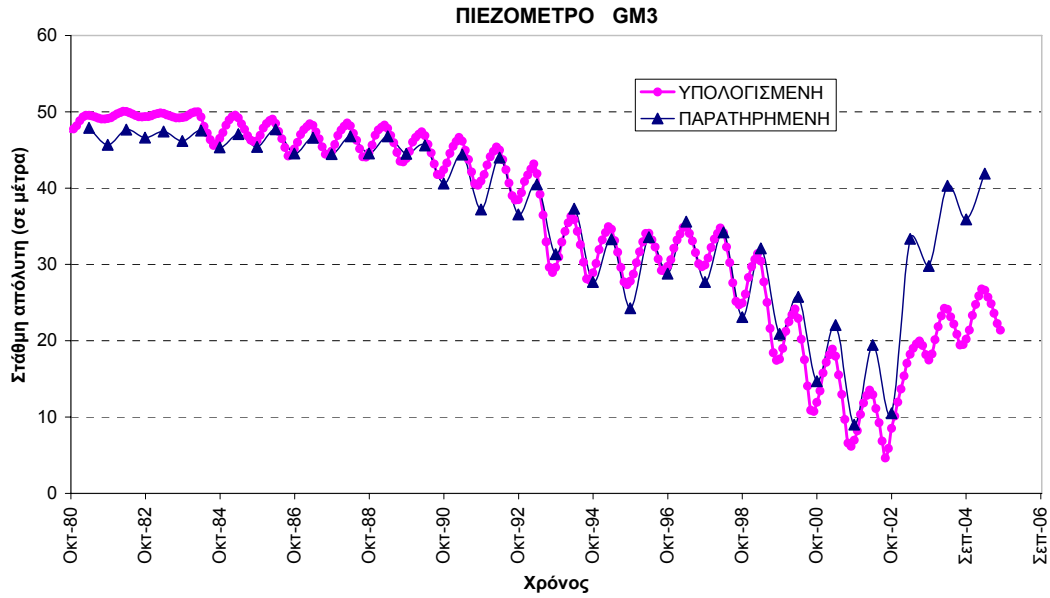


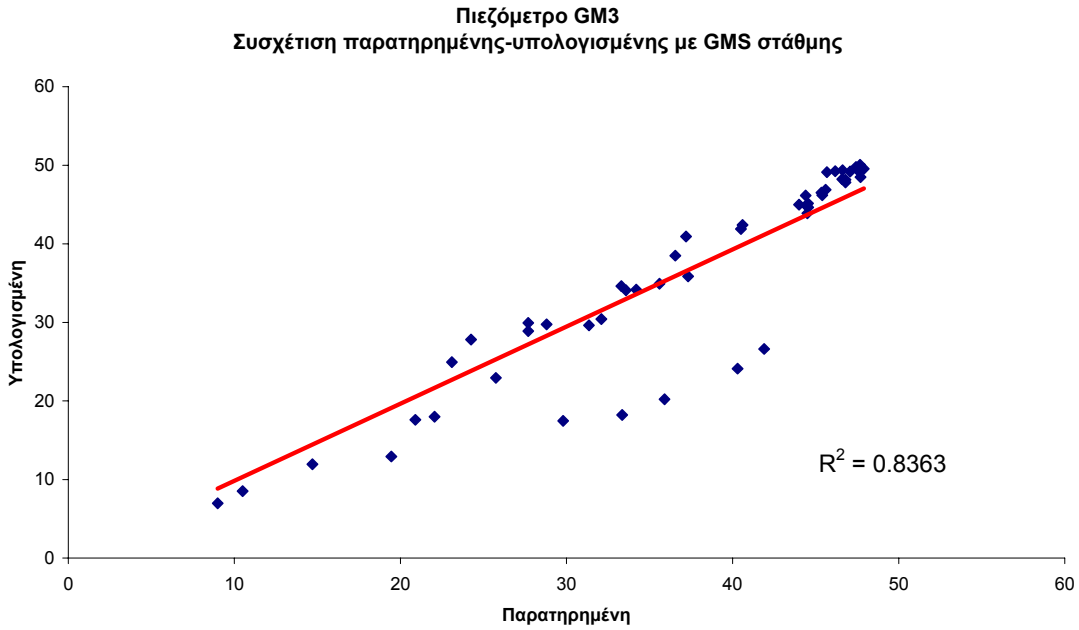
Εικόνα 6 - 44 Γραμμές ροής και πιεζομετρία λεκάνης Μεσαράς 8ος μήνας 2000



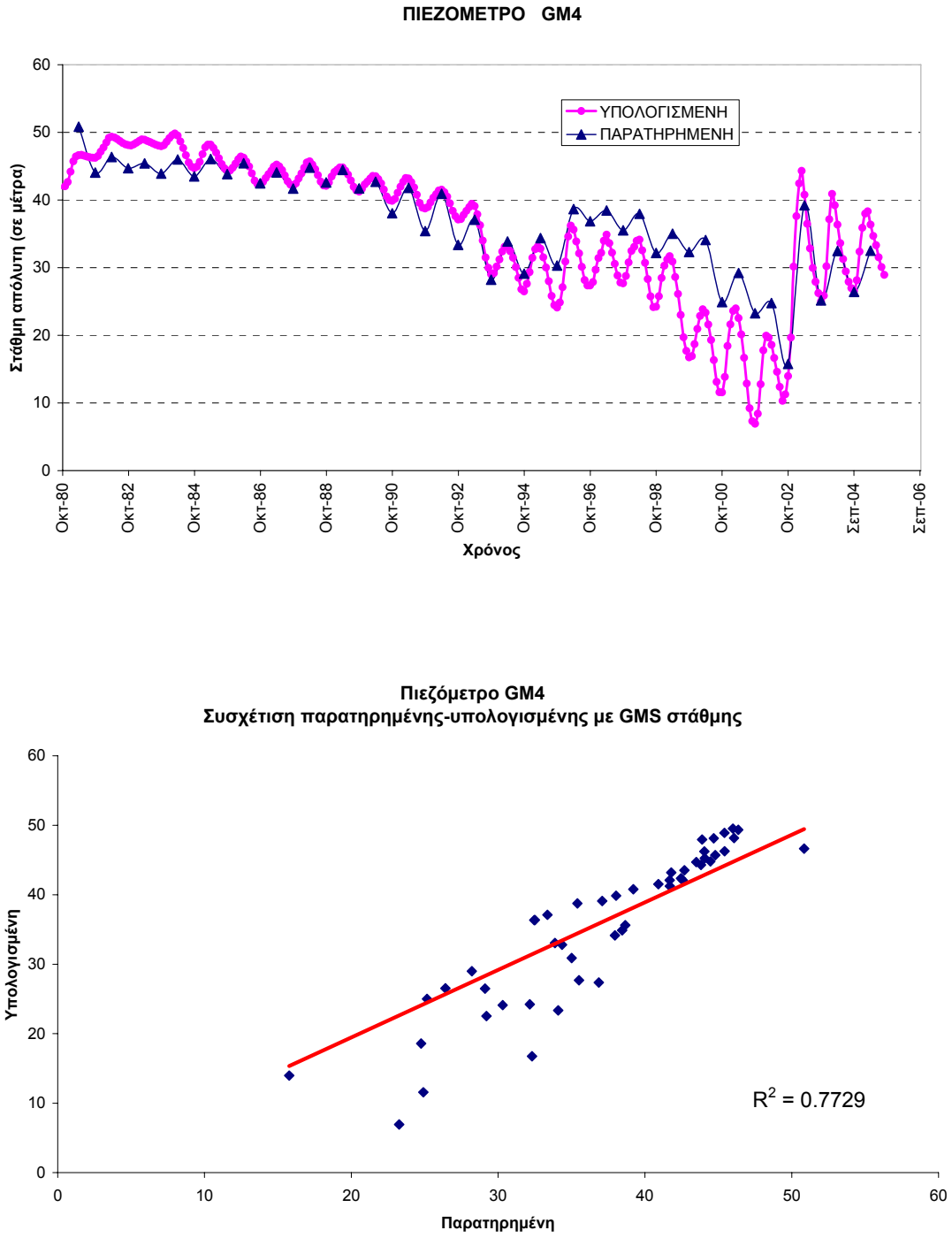


Εικόνα 6 - 45 Βαθμονόμηση μεταβατικής ροής - πιεζόμετρο GM2

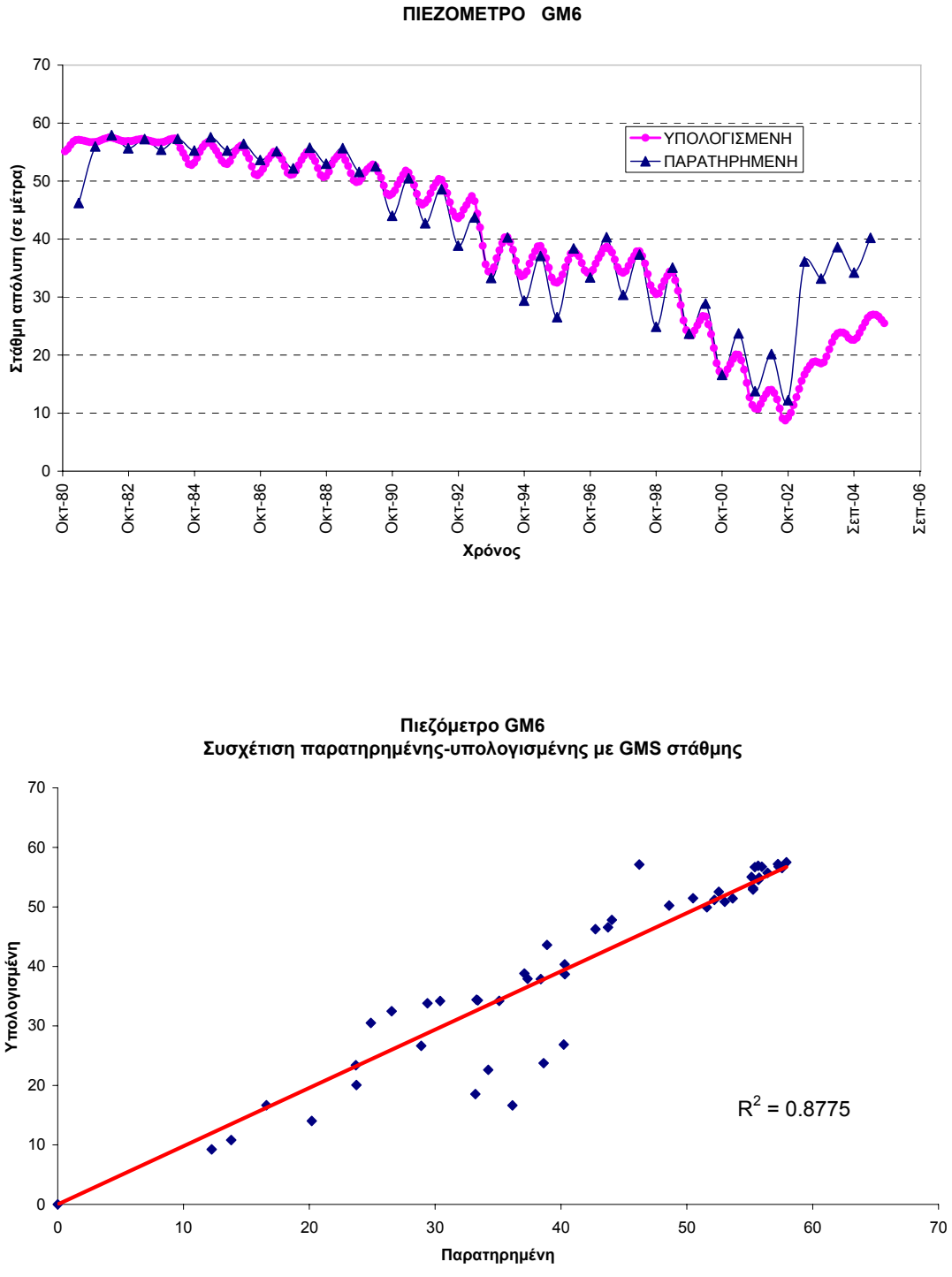




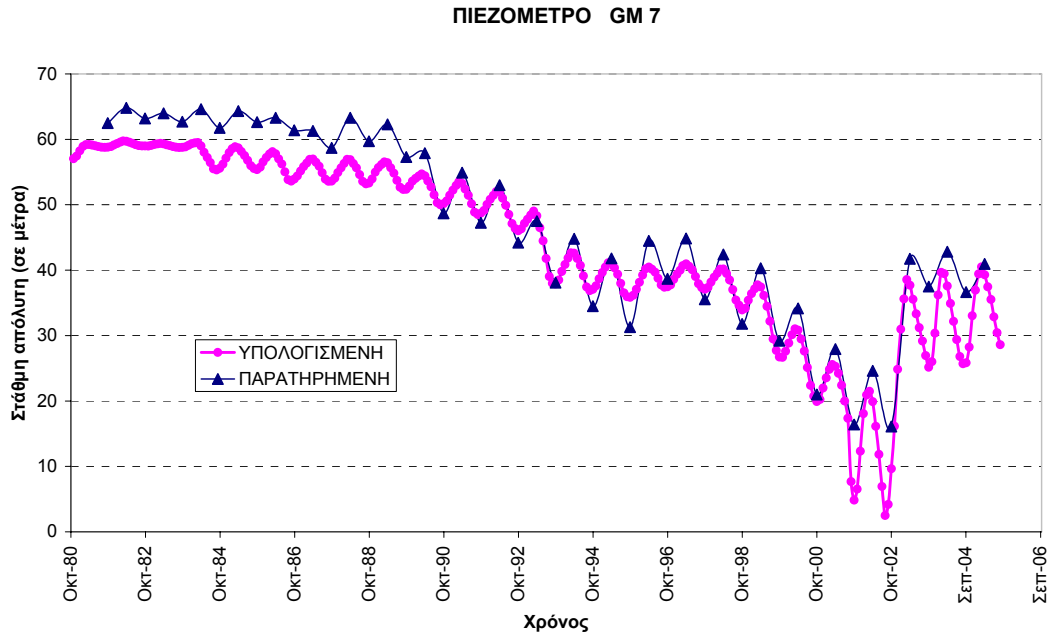
Εικόνα 6 - 46 Βαθμονόμηση μεταβατικής ροής - πιεζόμετρο GM3

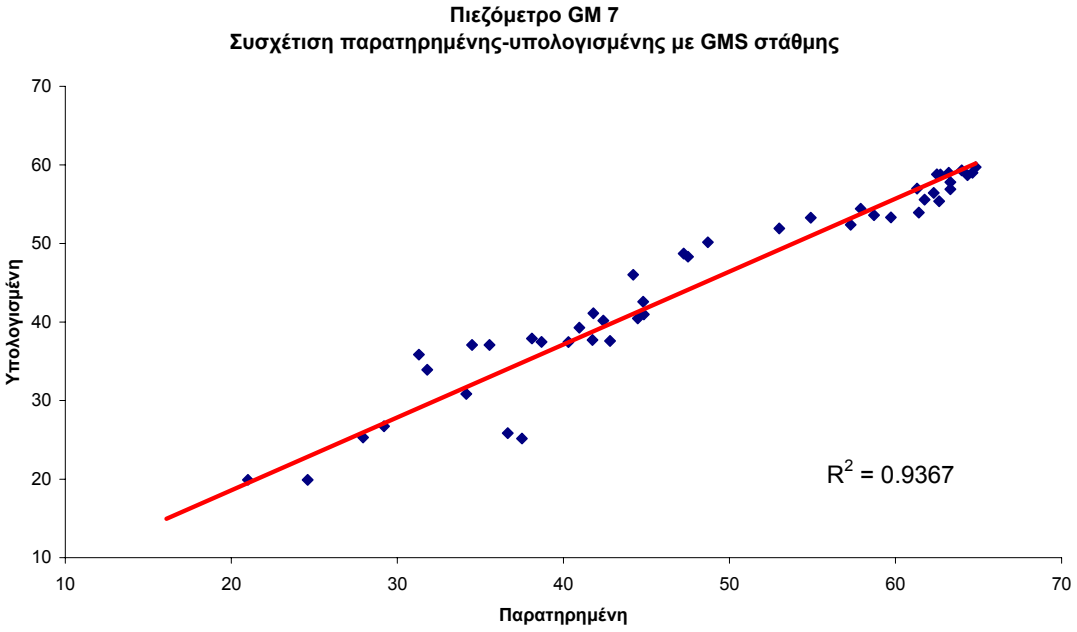


Εικόνα 6 - 47 Βαθμονόμηση μεταβατικής ροής - πιεζόμετρο GM4

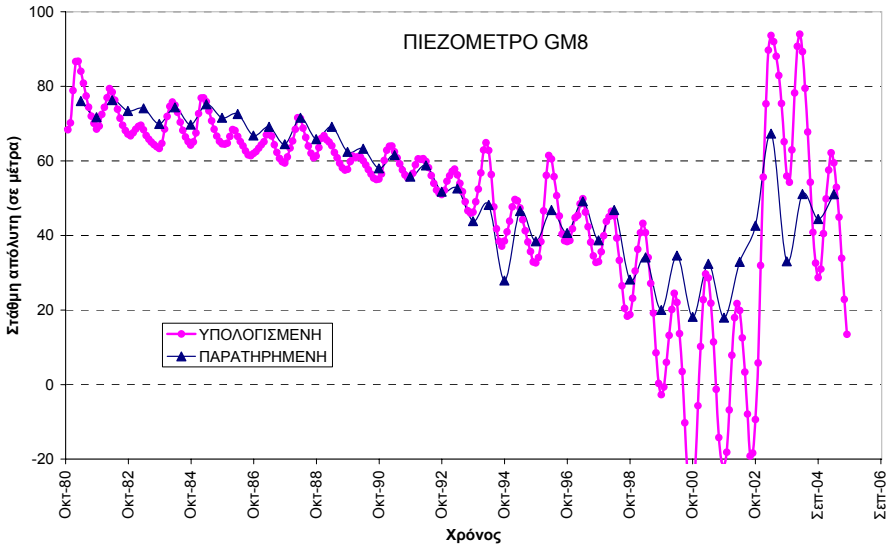


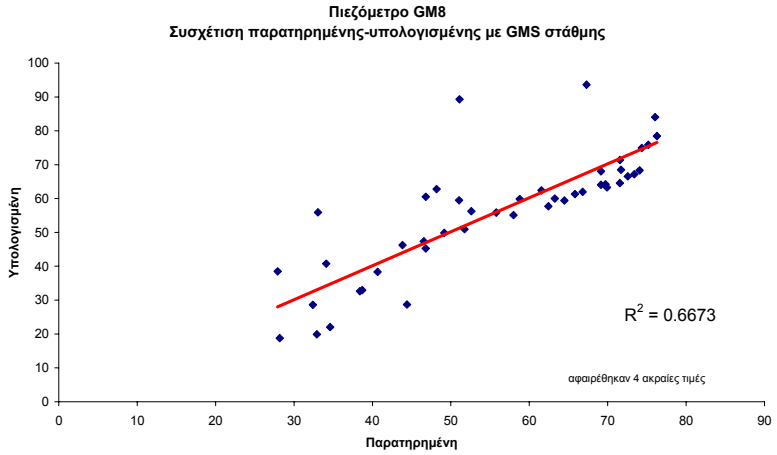
Εικόνα 6 - 48 Βαθμονόμηση μεταβατικής ροής - πιεζόμετρο GM6

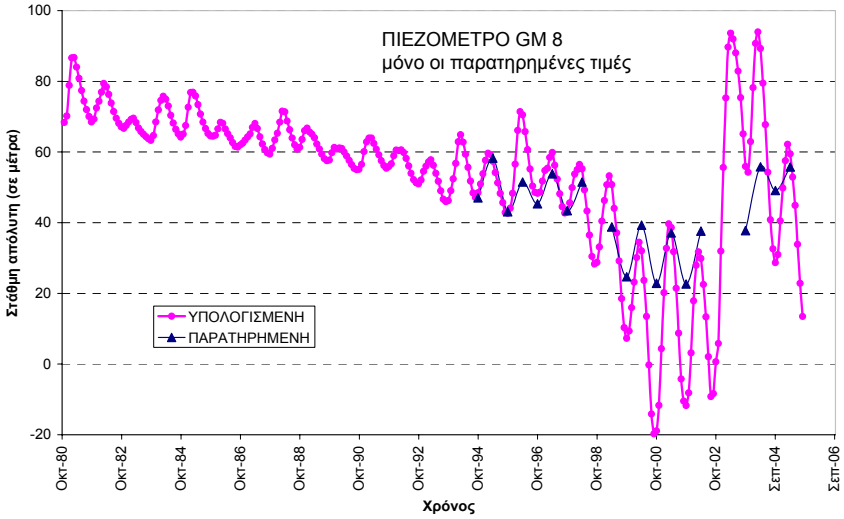




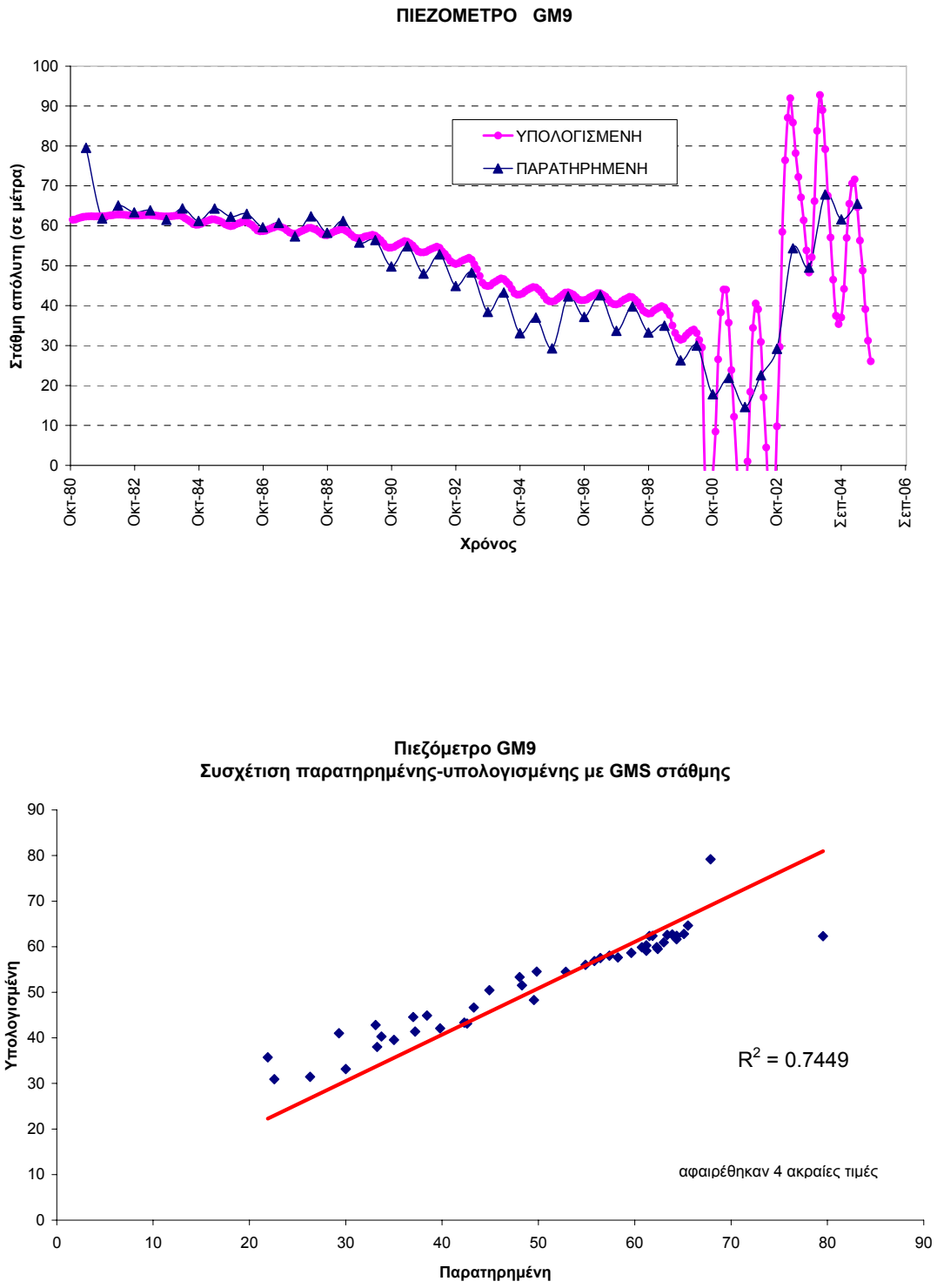
Εικόνα 6 - 49 Βαθμονόμηση μεταβατικής ροής - πιεζόμετρο GM7



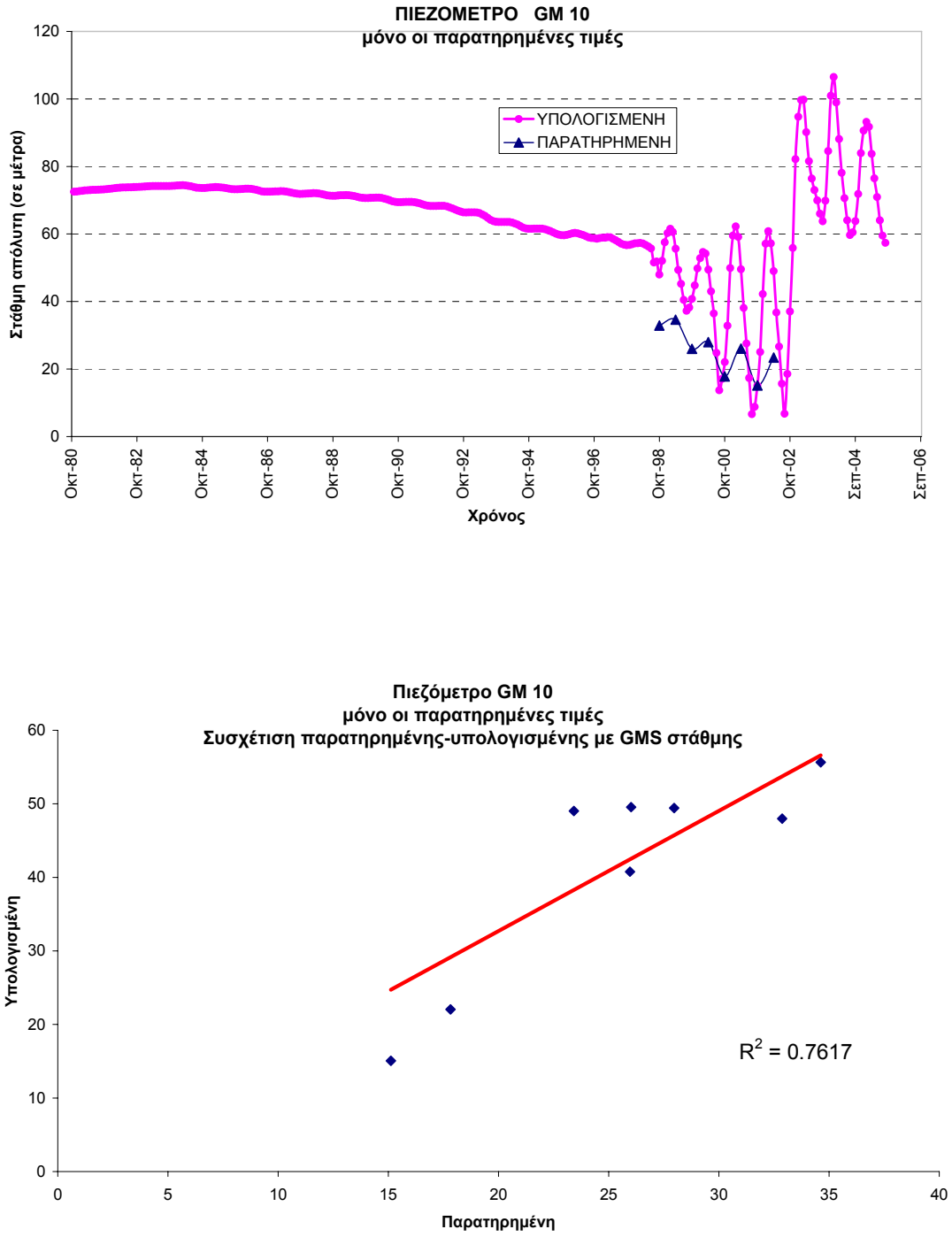




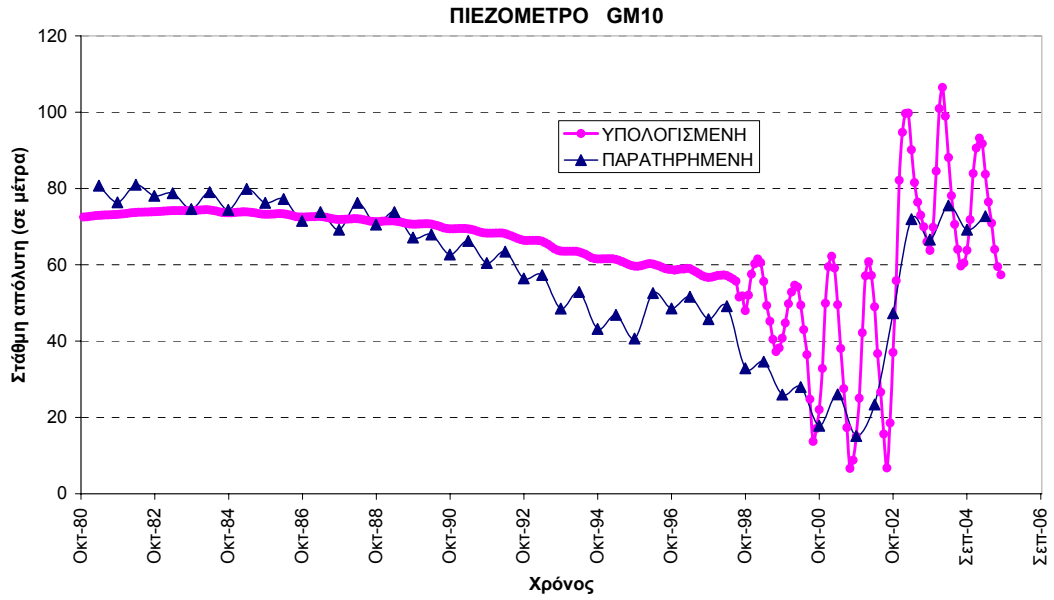
Εικόνα 6 - 50 Βαθμονόμηση μεταβατικής ροής - πιεζόμετρο GM8

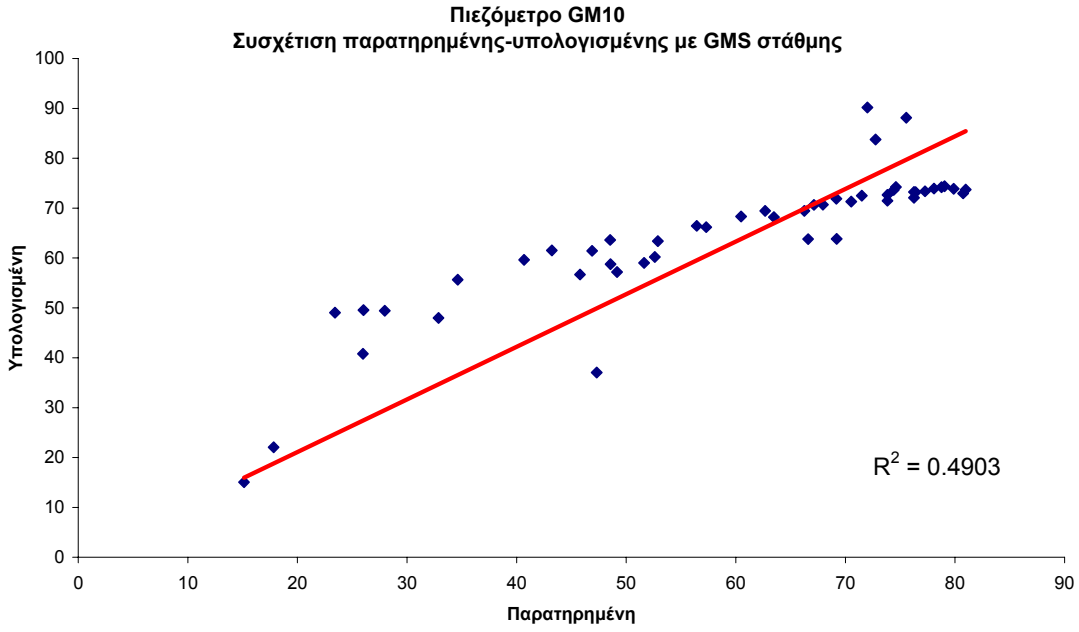


Εικόνα 6 - 51 Βαθμονόμηση μεταβατικής ροής - πιεζόμετρο GM 9

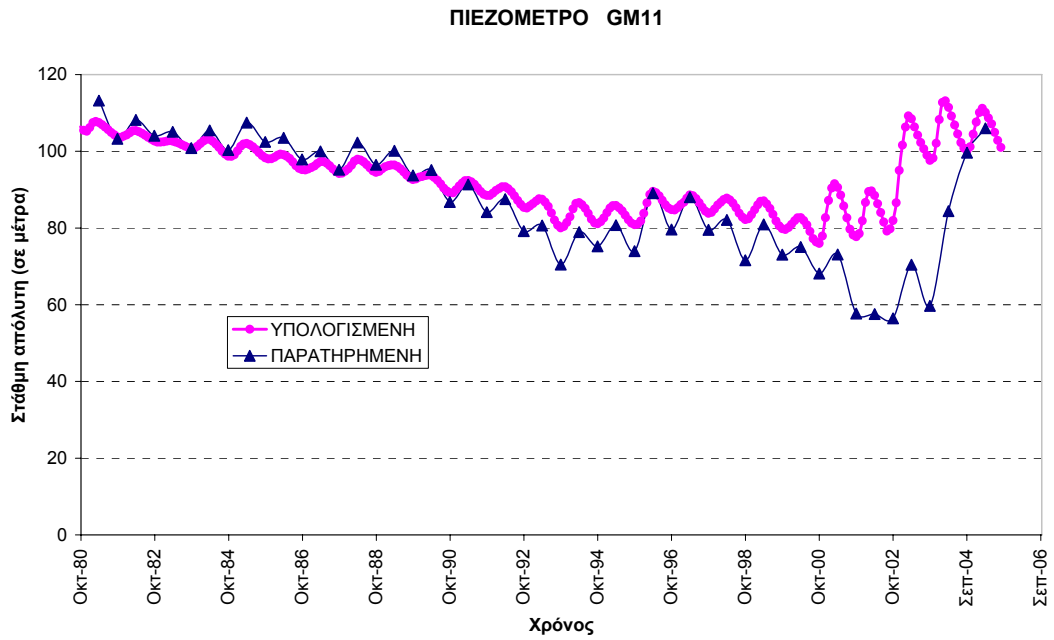


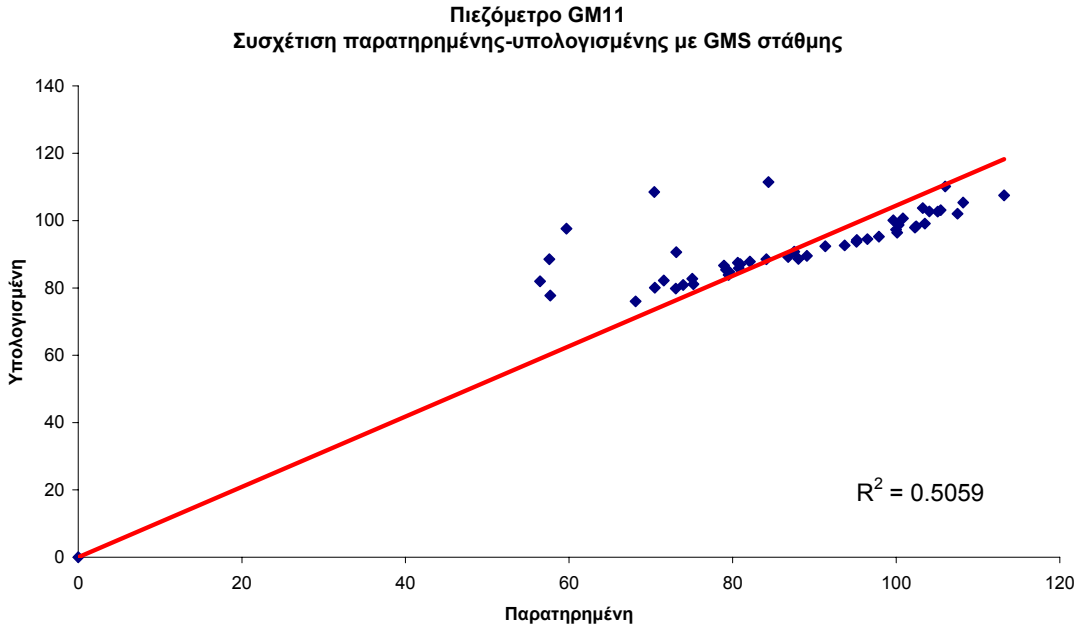
Εικόνα 6 - 52 Βαθμονόμηση μεταβατικής ροής - πιεζόμετρο GM 10



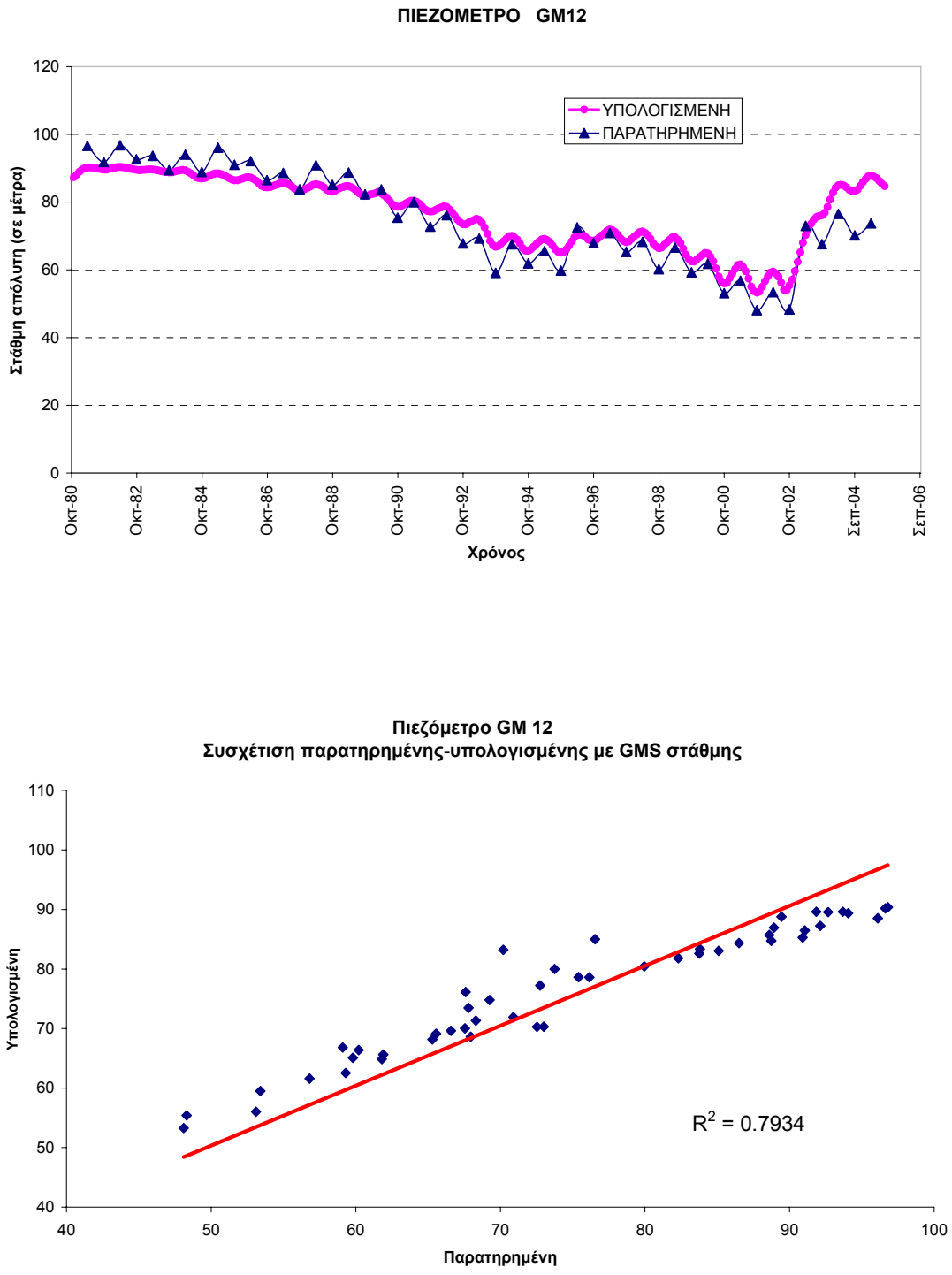


Εικόνα 6 - 53 Βαθμονόμηση μεταβατικής ροής - πιεζόμετρο GM 10

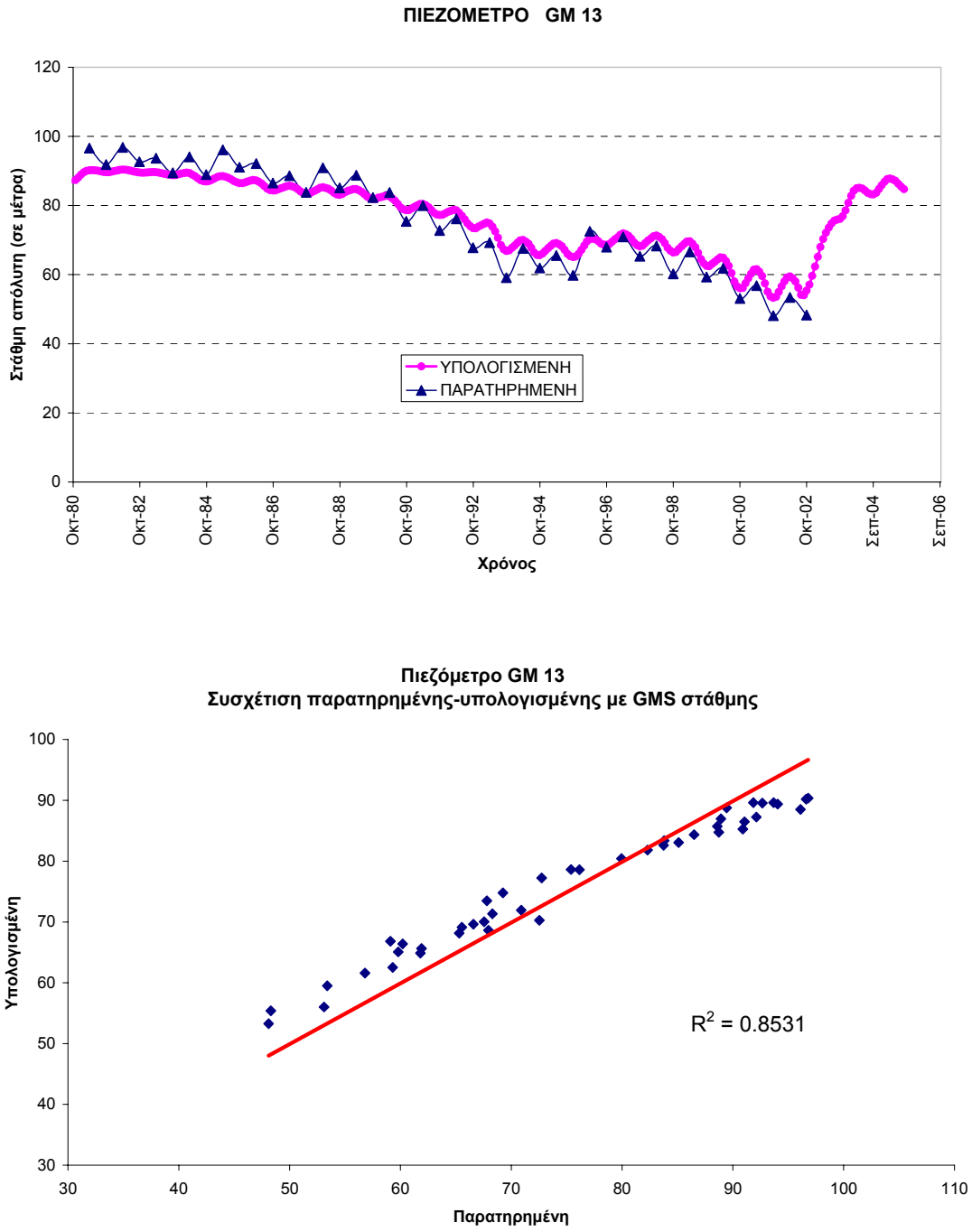




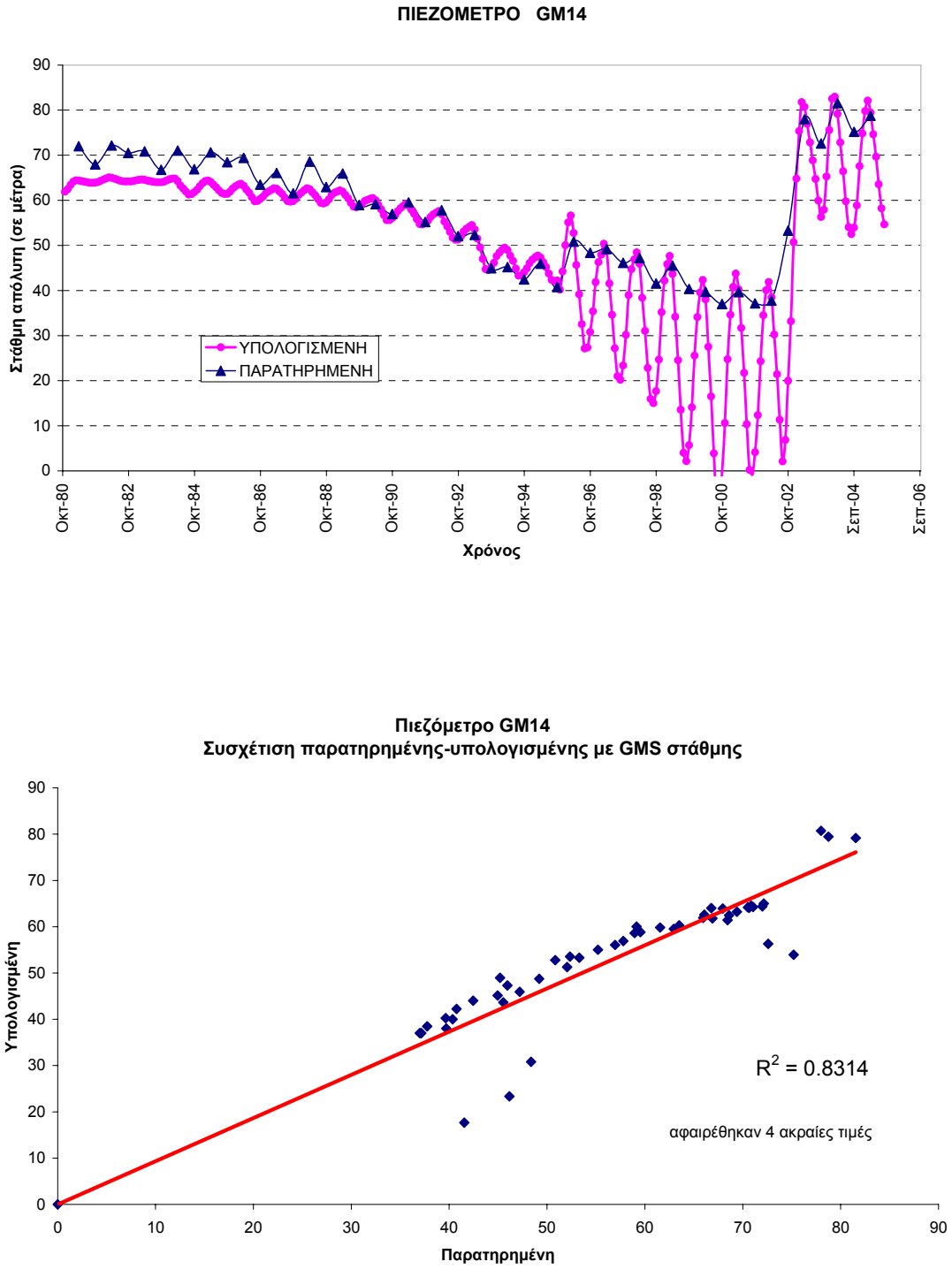
Εικόνα 6 - 54 Βαθμονόμηση μεταβατικής ροής - πιεζόμετρο GM 11
(ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ: Είναι συνθετική σειρά υπήρχαν μόνο 4 παρατηρήσεις)



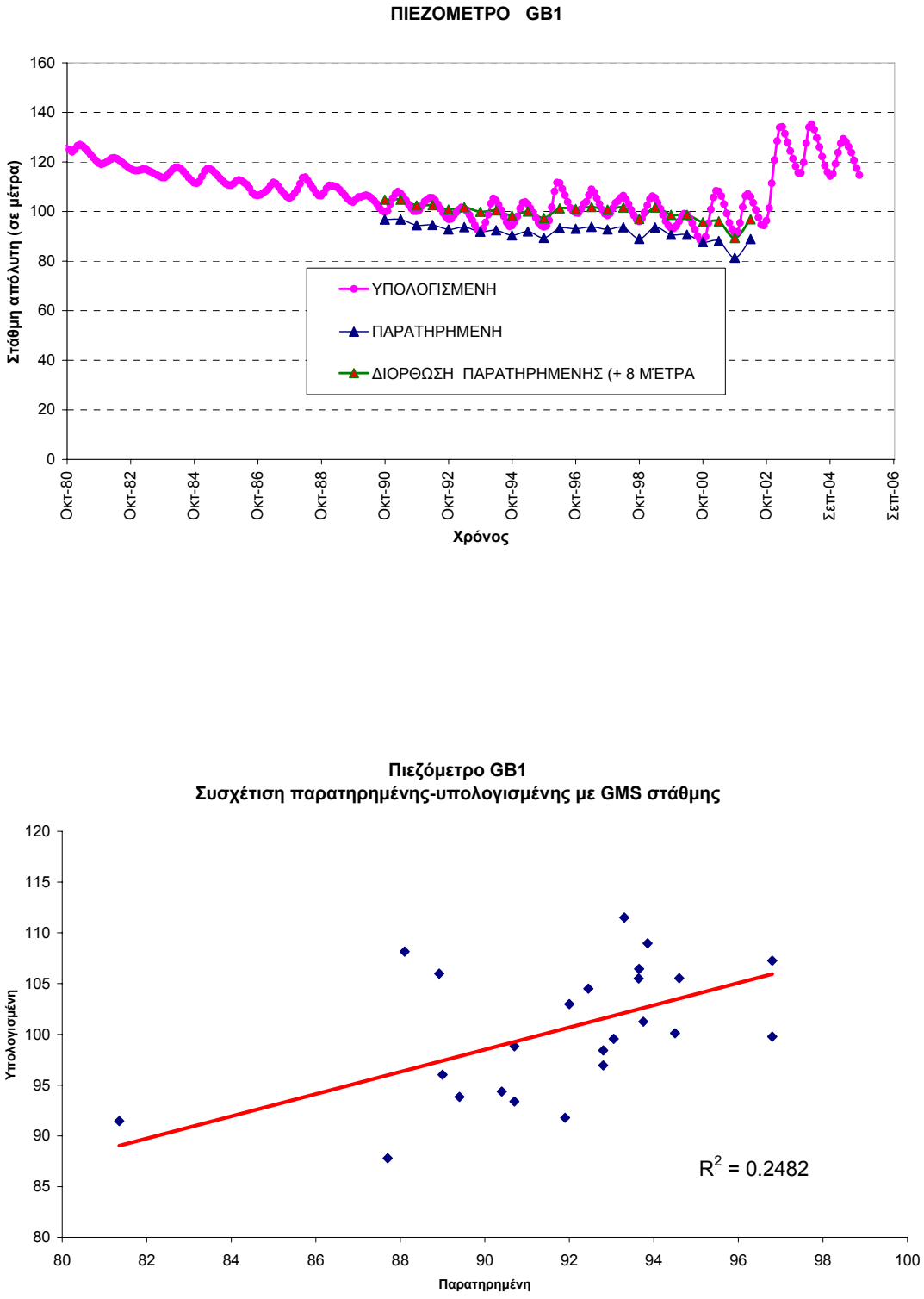
Εικόνα 6 - 55 Βαθμονόμηση μεταβατικής ροής - πιεζόμετρο GM 12



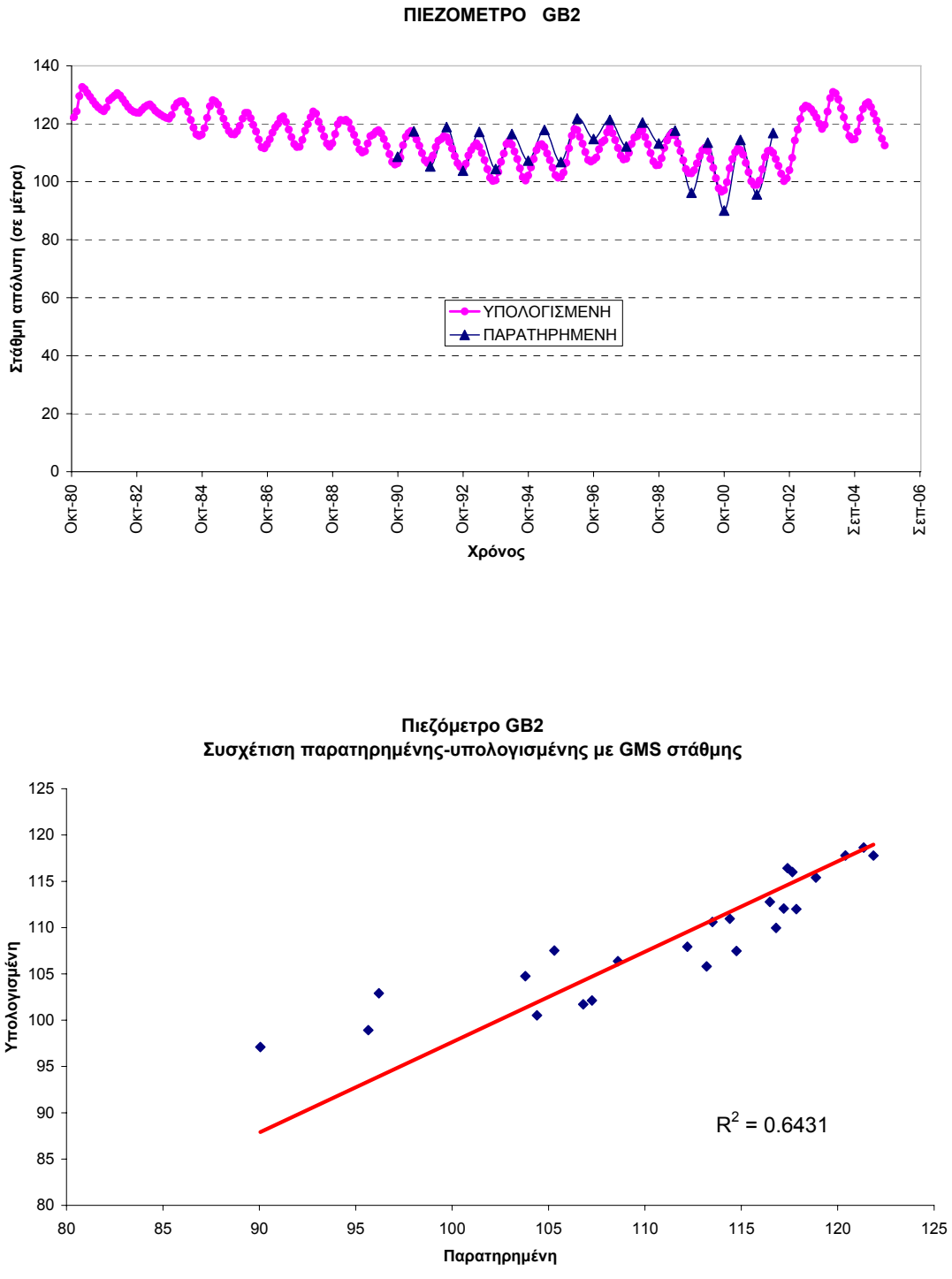
Εικόνα 6 - 56 Βαθμονόμηση μεταβατικής ροής - πιεζόμετρο GM 13



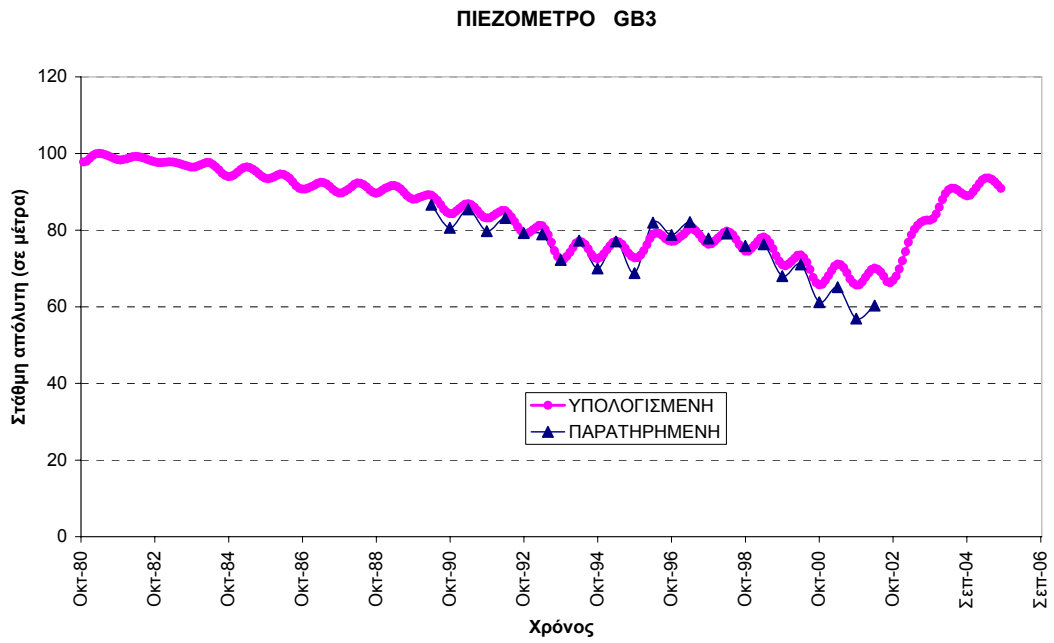
Εικόνα 6 - 57 Βαθμονόμηση μεταβατικής ροής - πιεζόμετρο GM 14

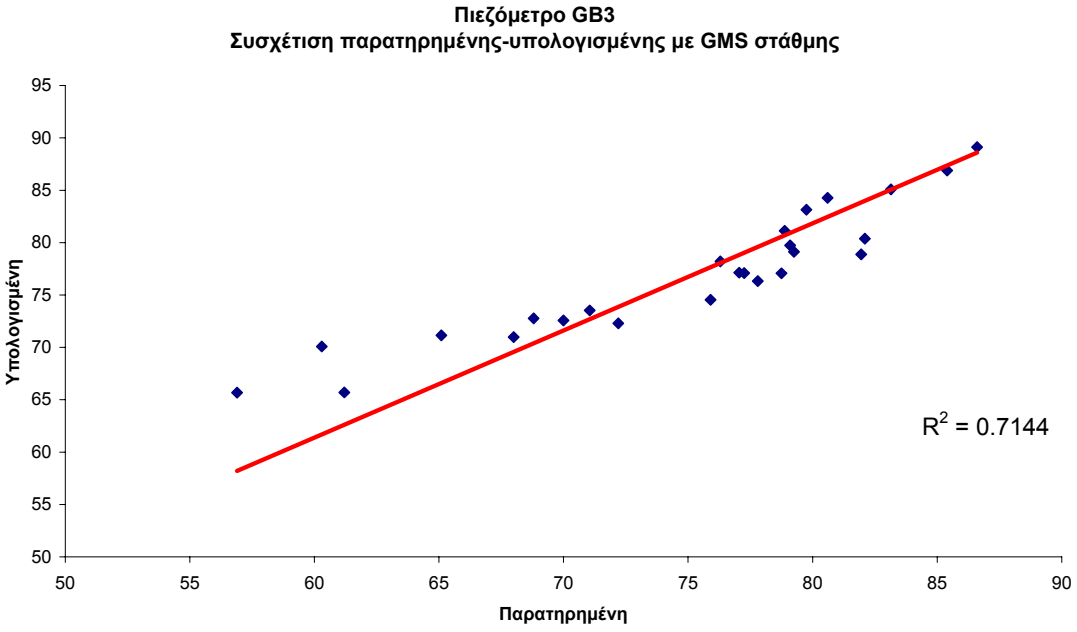


Εικόνα 6 - 58 Βαθμονόμηση μεταβατικής ροής - πιεζόμετρο GB 1

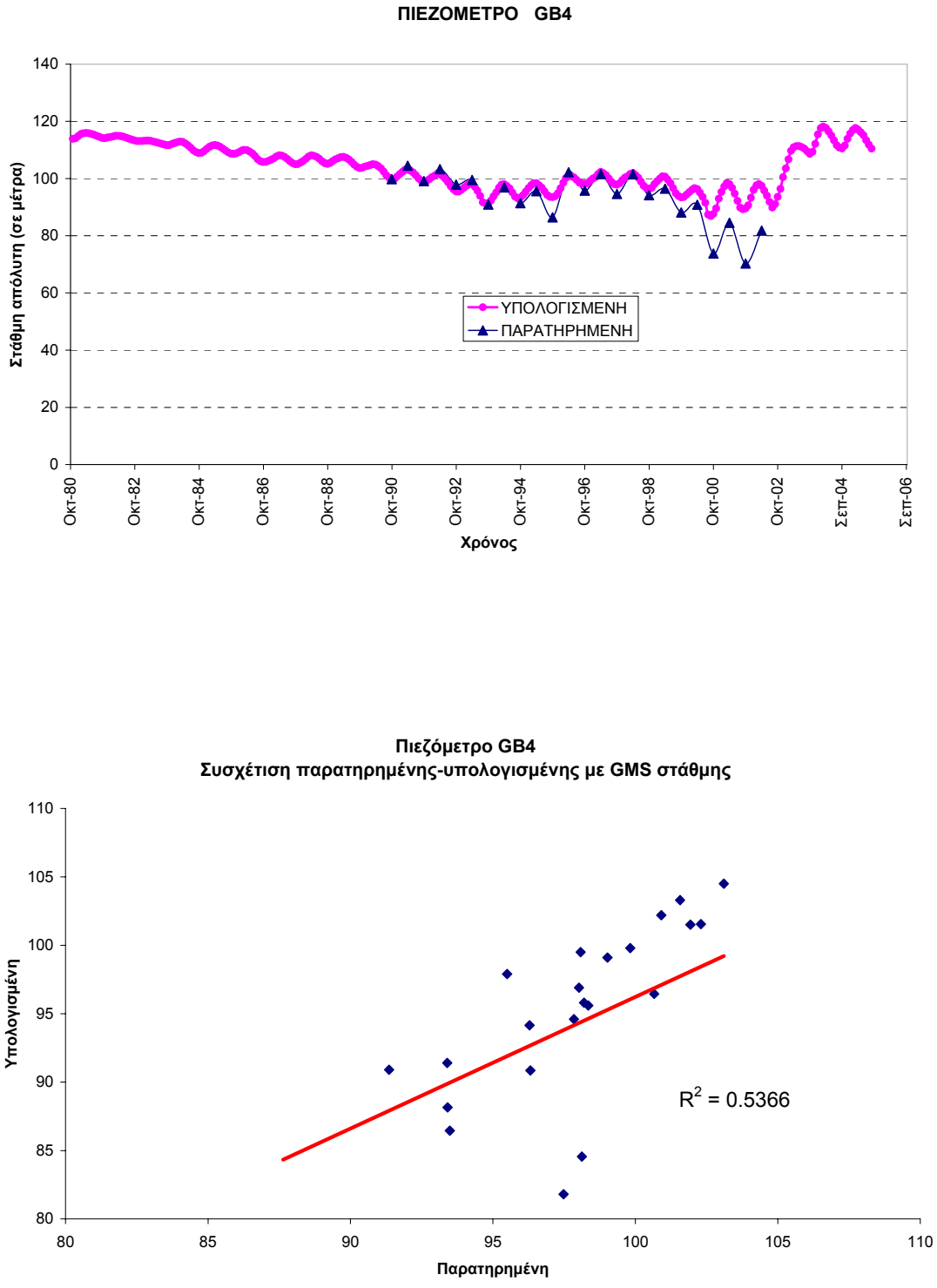


Εικόνα 6 - 59 Βαθμονόμηση μεταβατικής ροής - πιεζόμετρο GB 2

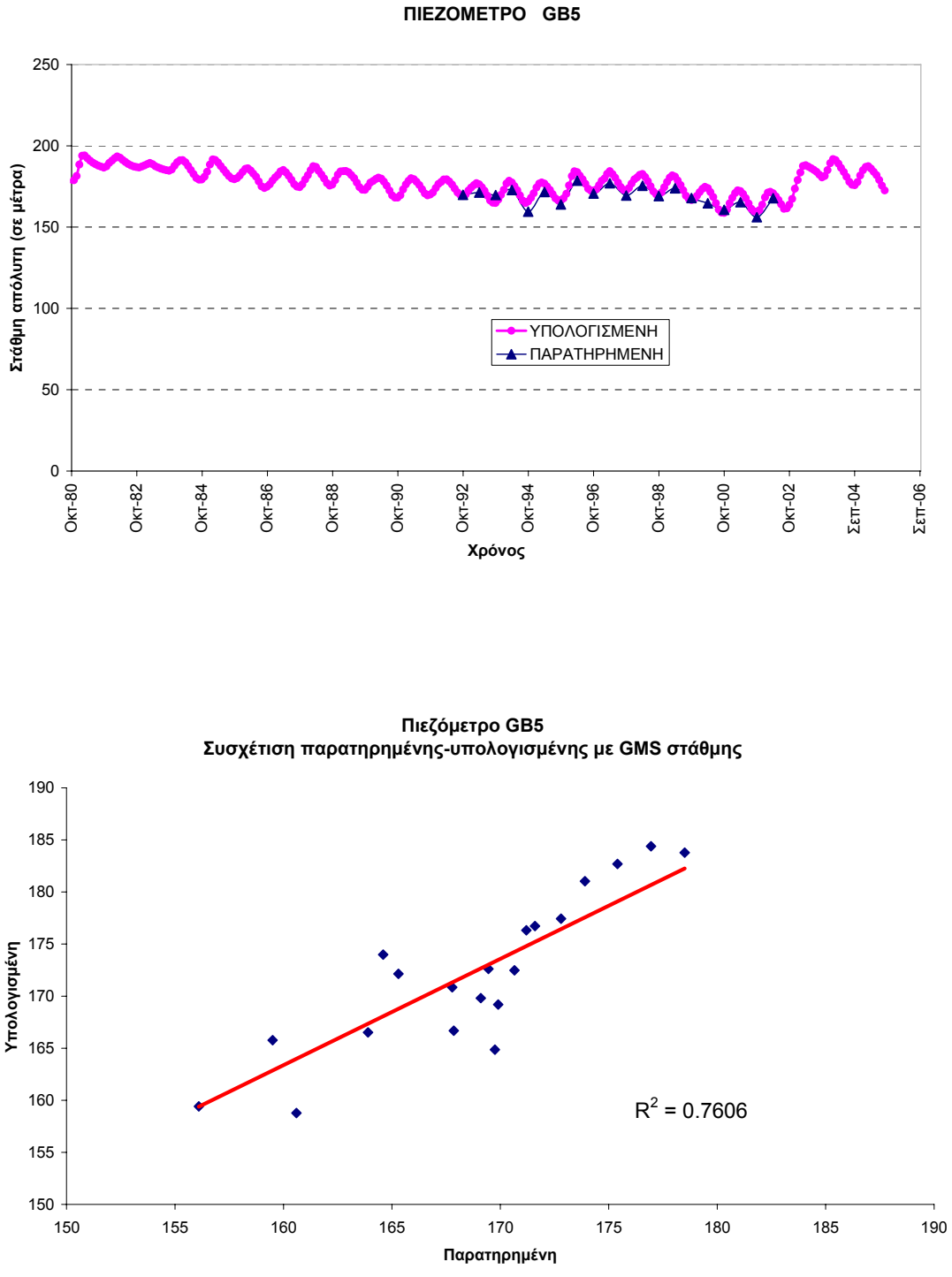




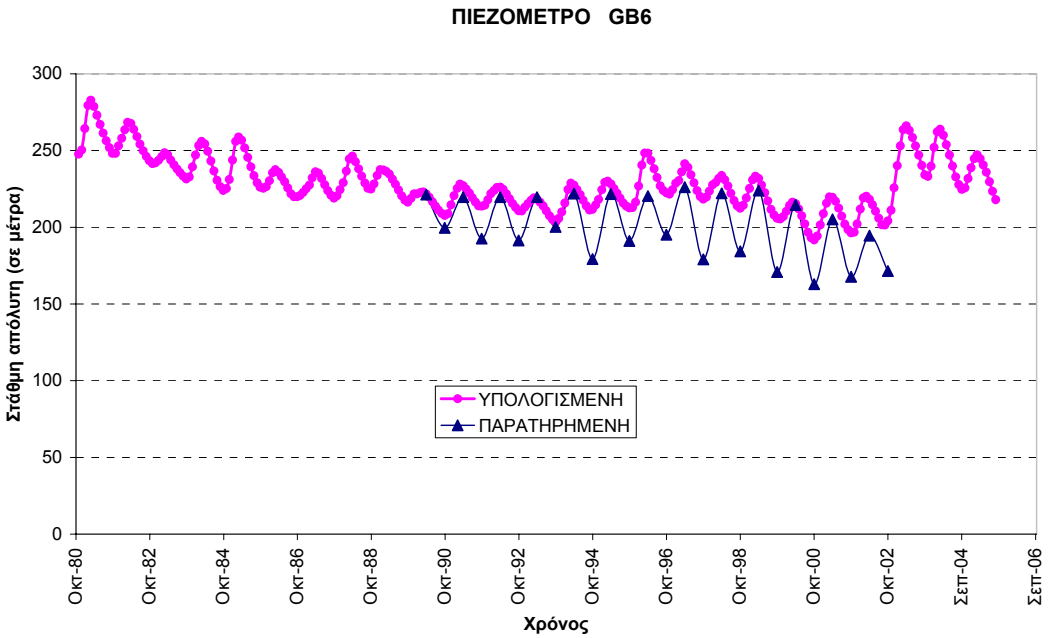
Εικόνα 6 - 60 Βαθμονόμηση μεταβατικής ροής - πιεζόμετρο GB 3

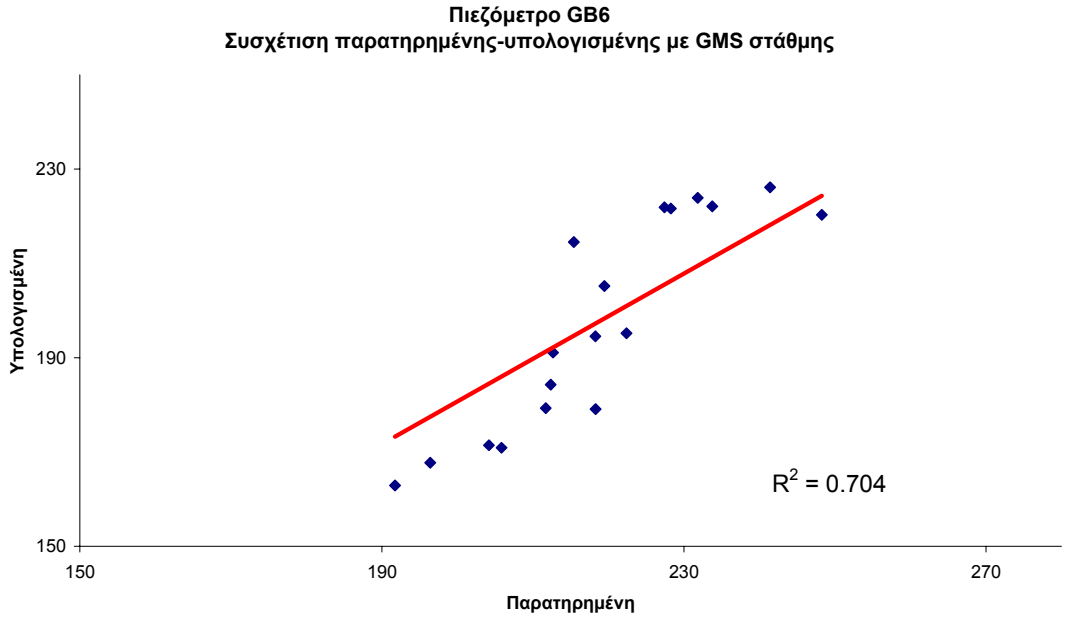


Εικόνα 6 - 61 Βαθμονόμηση μεταβατικής ροής - πιεζόμετρο GB 4

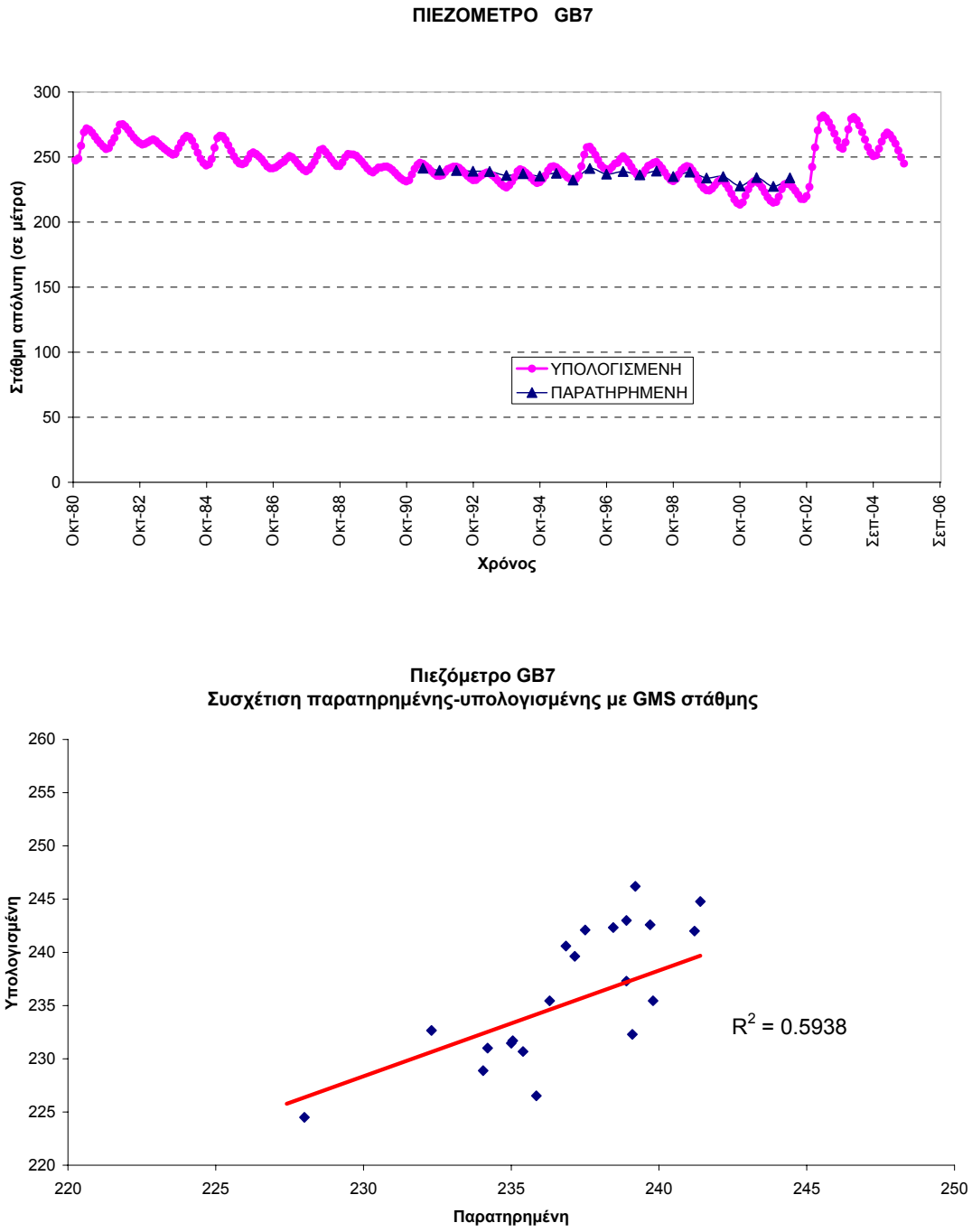


Εικόνα 6 - 62 Βαθμονόμηση μεταβατικής ροής - πιεζόμετρο GB 5

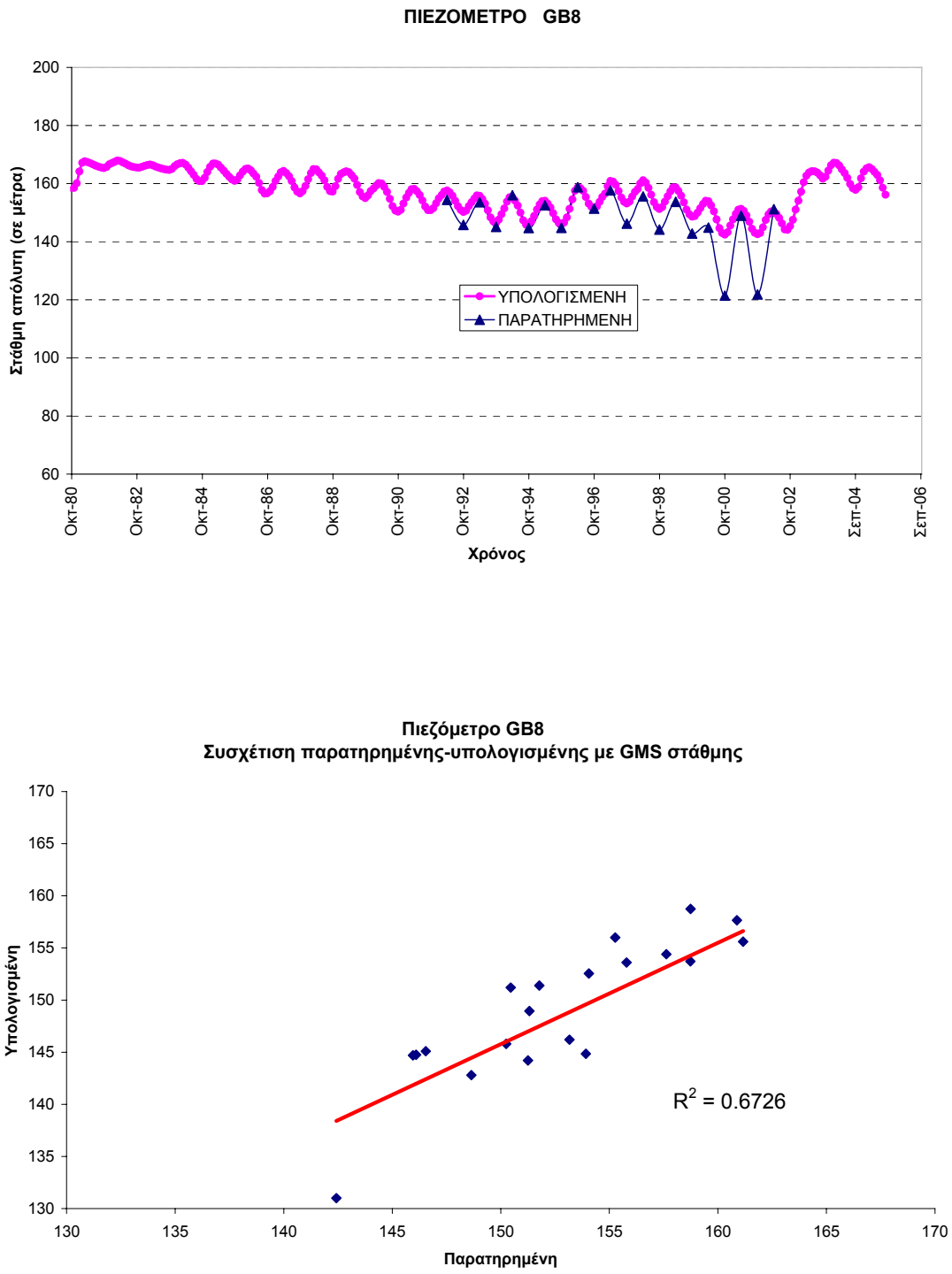




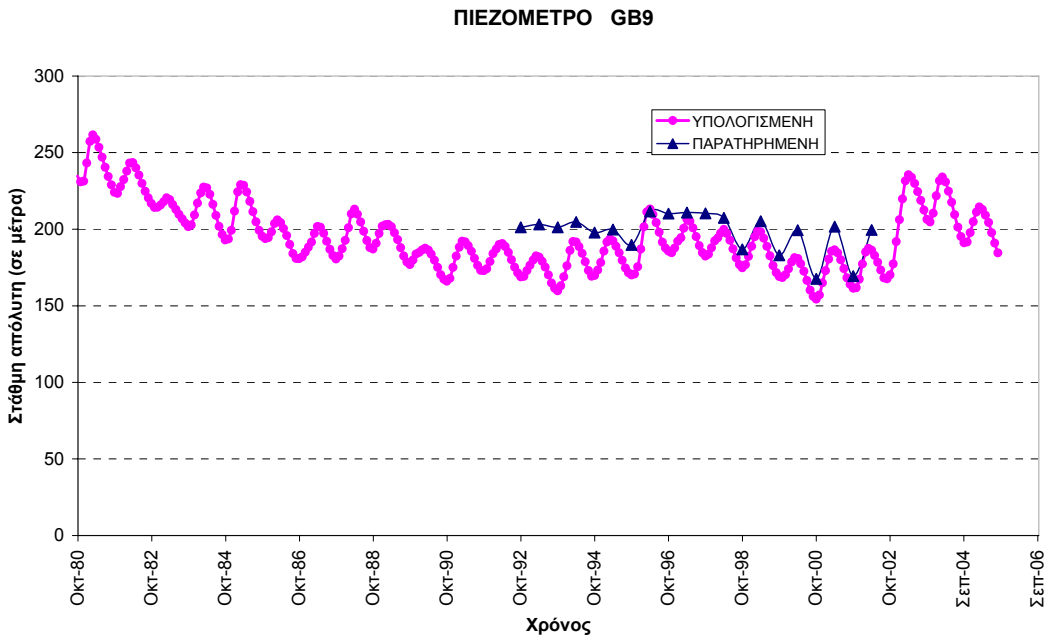
Εικόνα 6 - 63 Βαθμονόμηση μεταβατικής ροής - πιεζόμετρο GB 6

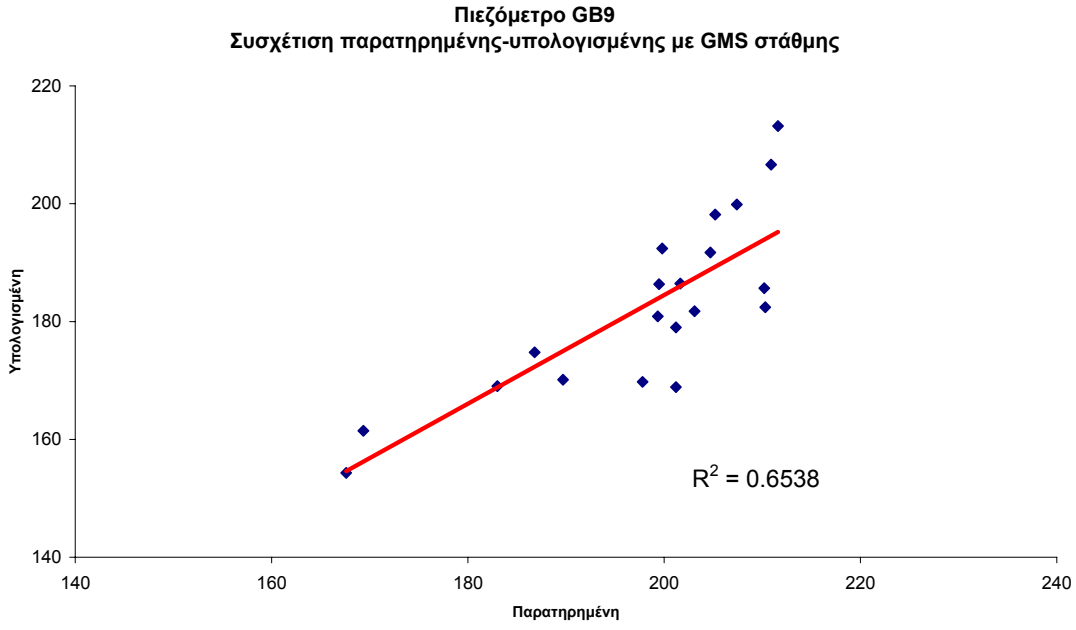


Εικόνα 6 - 64 Βαθμονόμηση μεταβατικής ροής - πιεζόμετρο GB 7

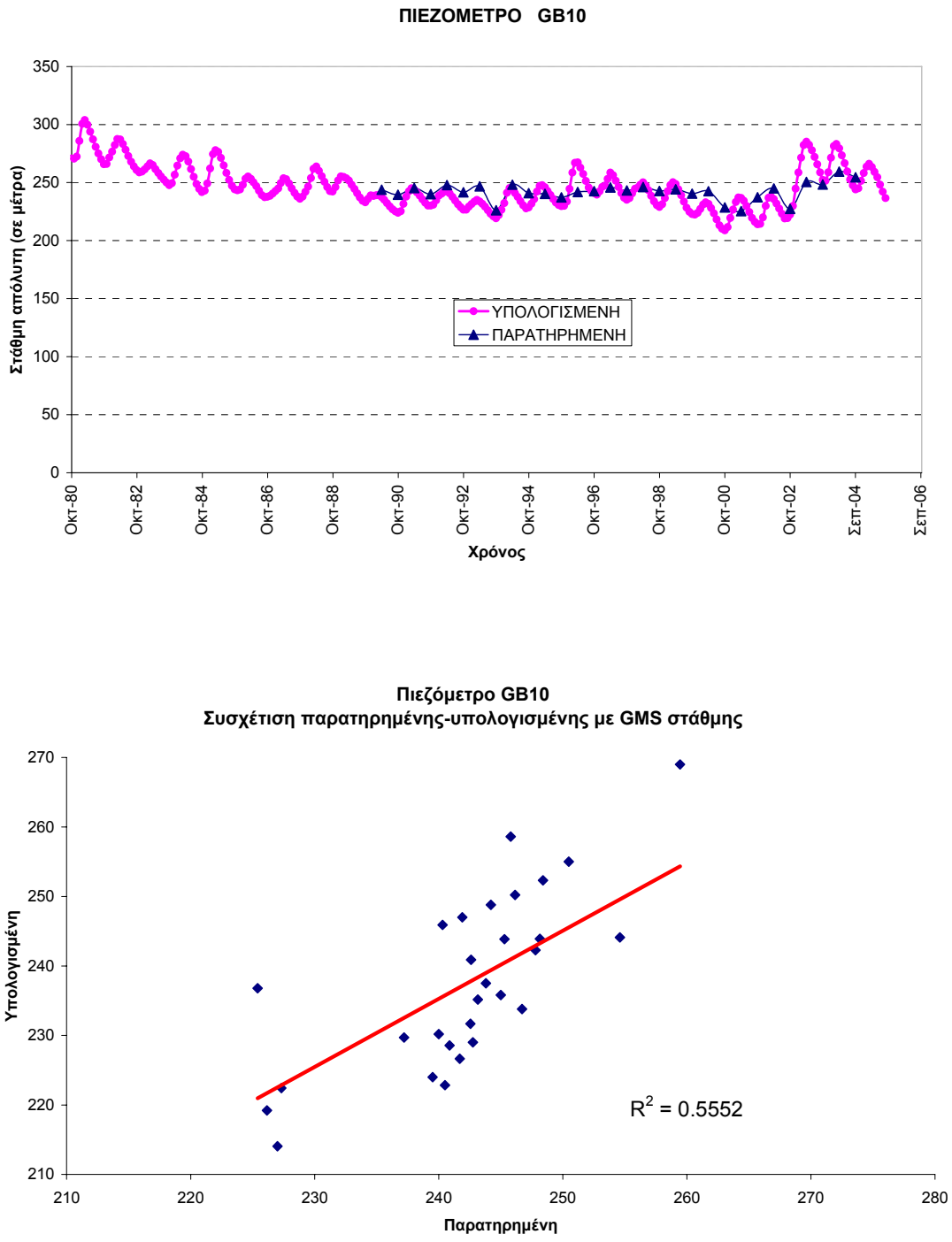


Εικόνα 6 - 65 Βαθμονόμηση μεταβατικής ροής - πιεζόμετρο GB 8

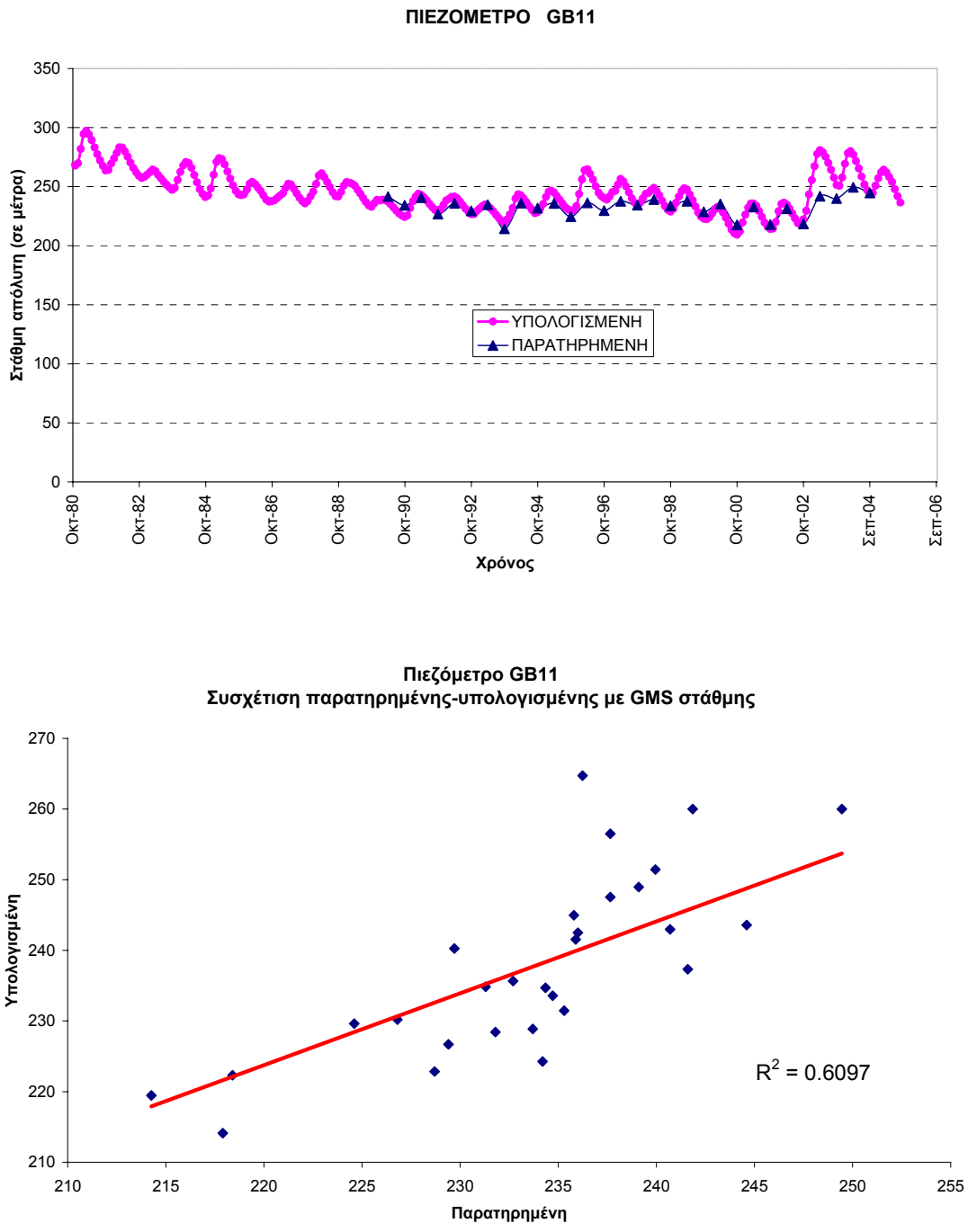




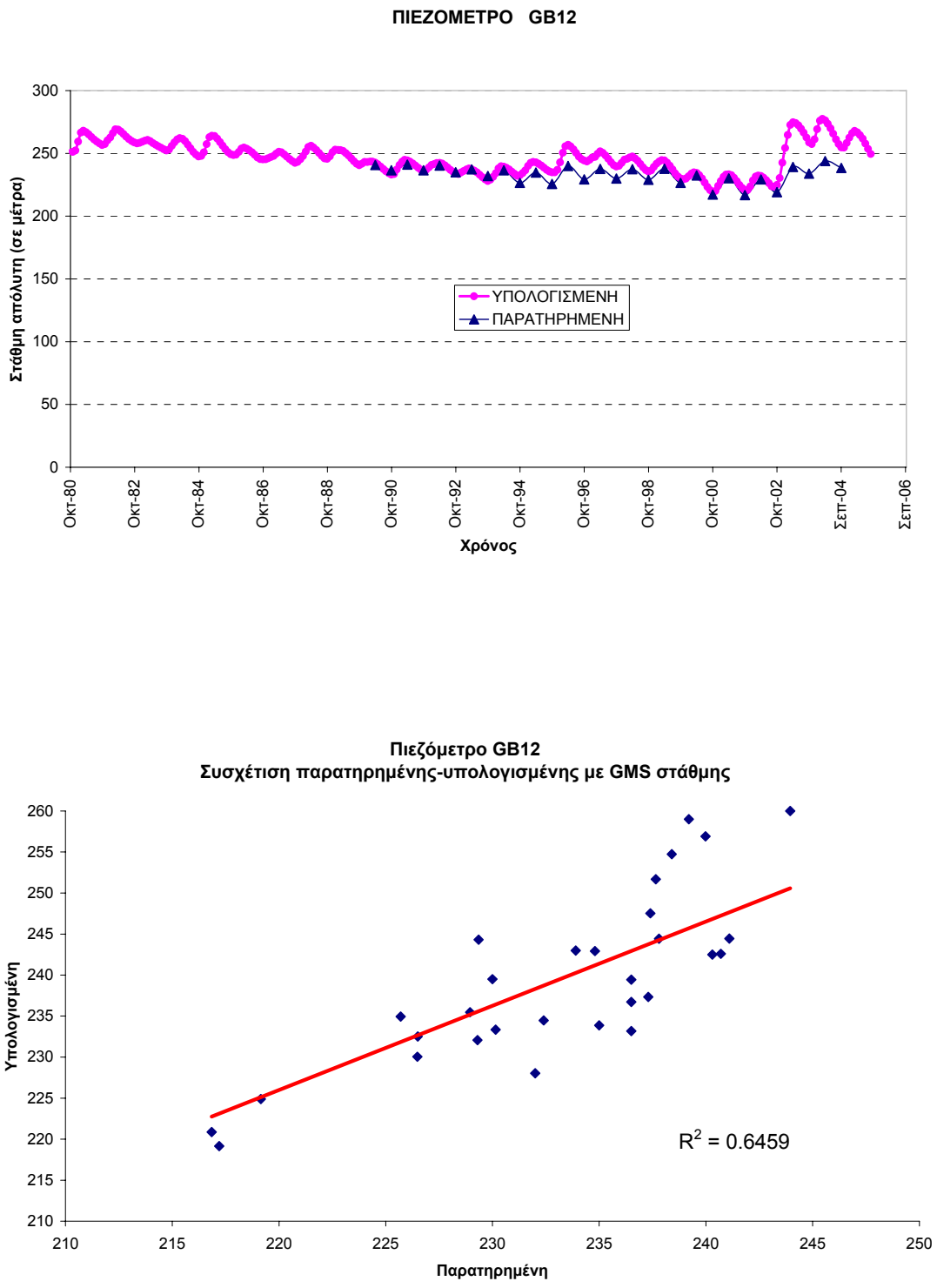
Εικόνα 6 - 66 Βαθμονόμηση μεταβατικής ροής - πιεζόμετρο GB 9



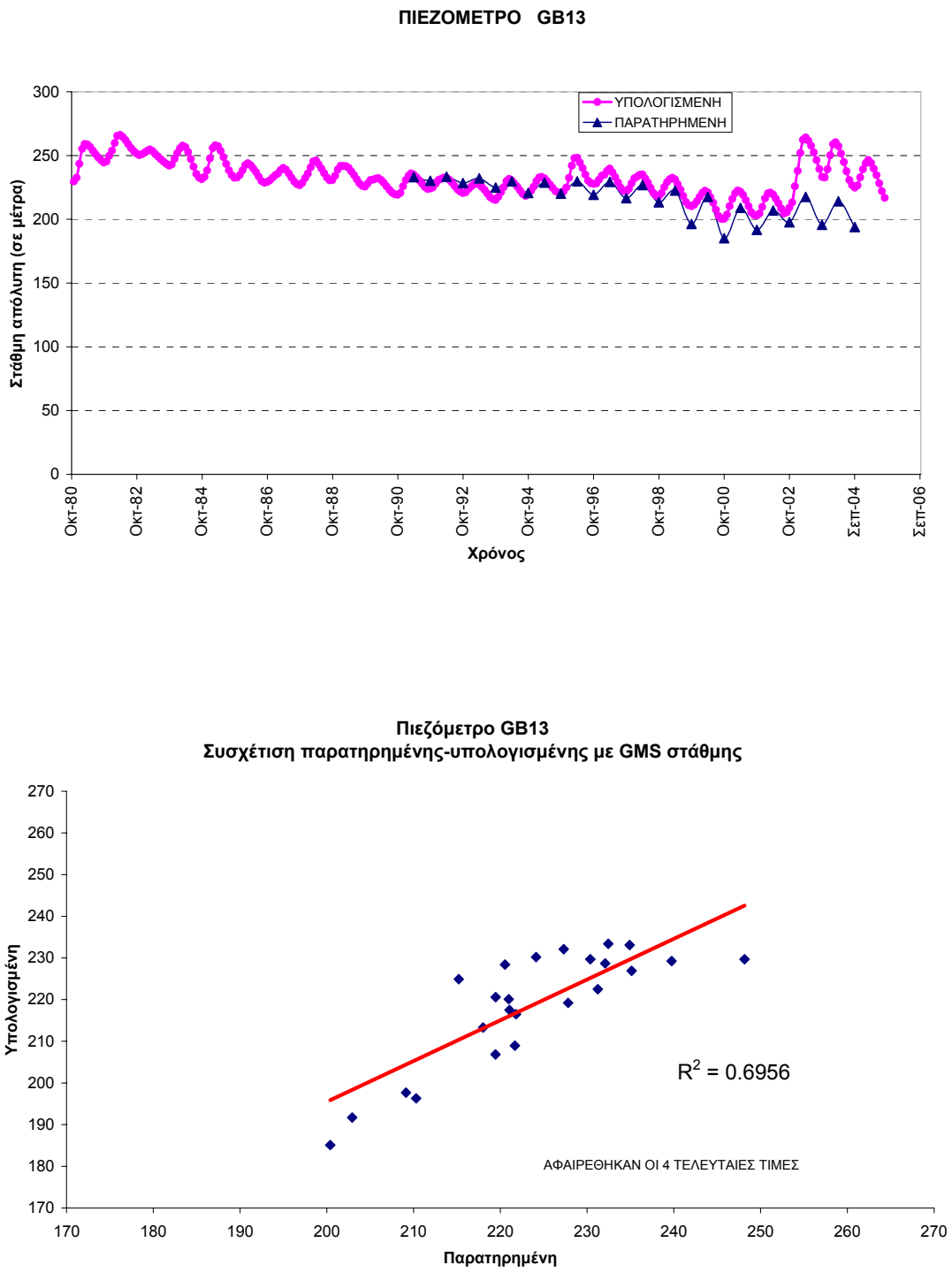
Εικόνα 6 - 67 Βαθμονόμηση μεταβατικής ροής - πιεζόμετρο GB 10



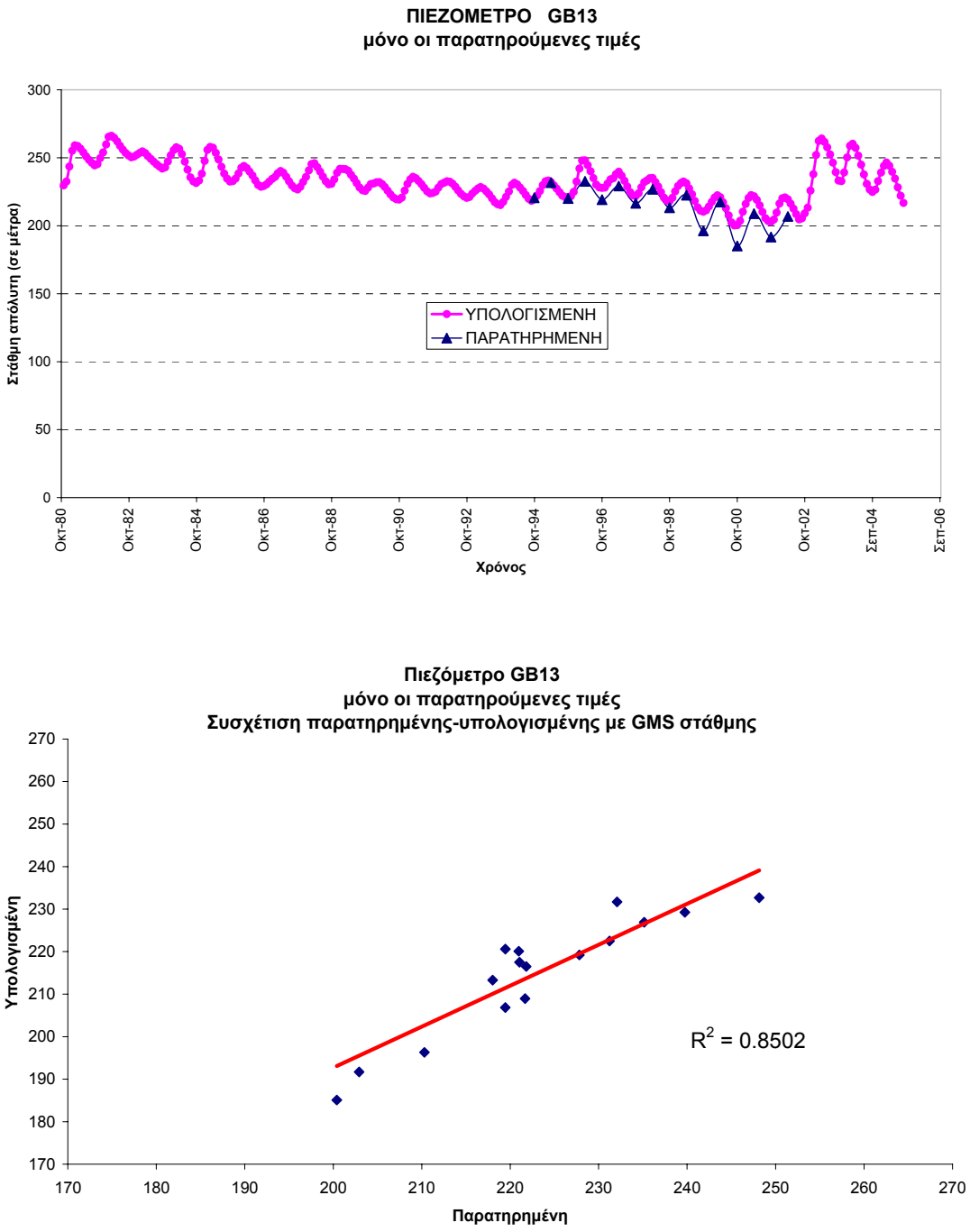
Εικόνα 6 - 68 Βαθμονόμηση μεταβατικής ροής - πιεζόμετρο GB 11



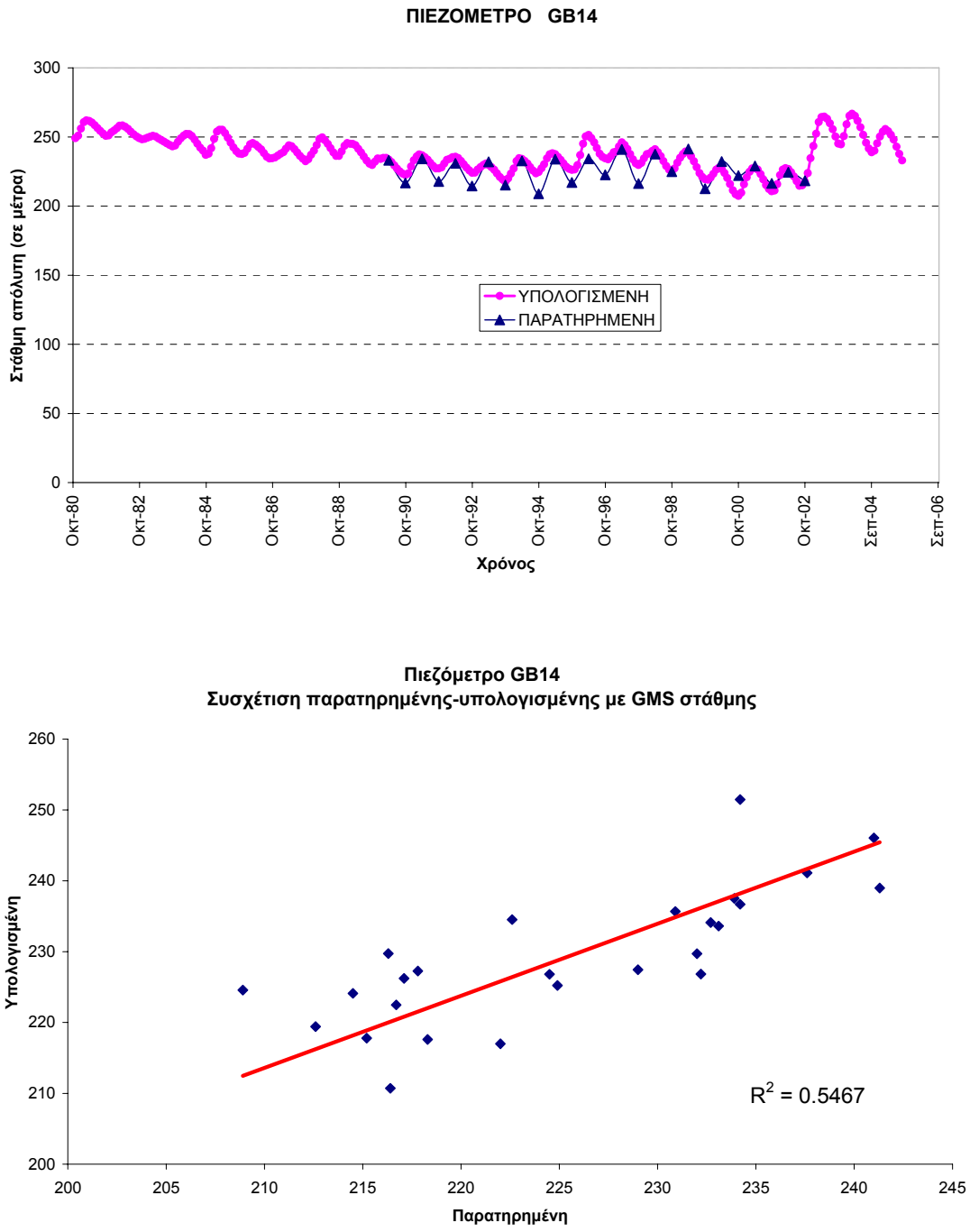
Εικόνα 6 - 69 Βαθμονόμηση μεταβατικής ροής - πιεζόμετρο GB 12



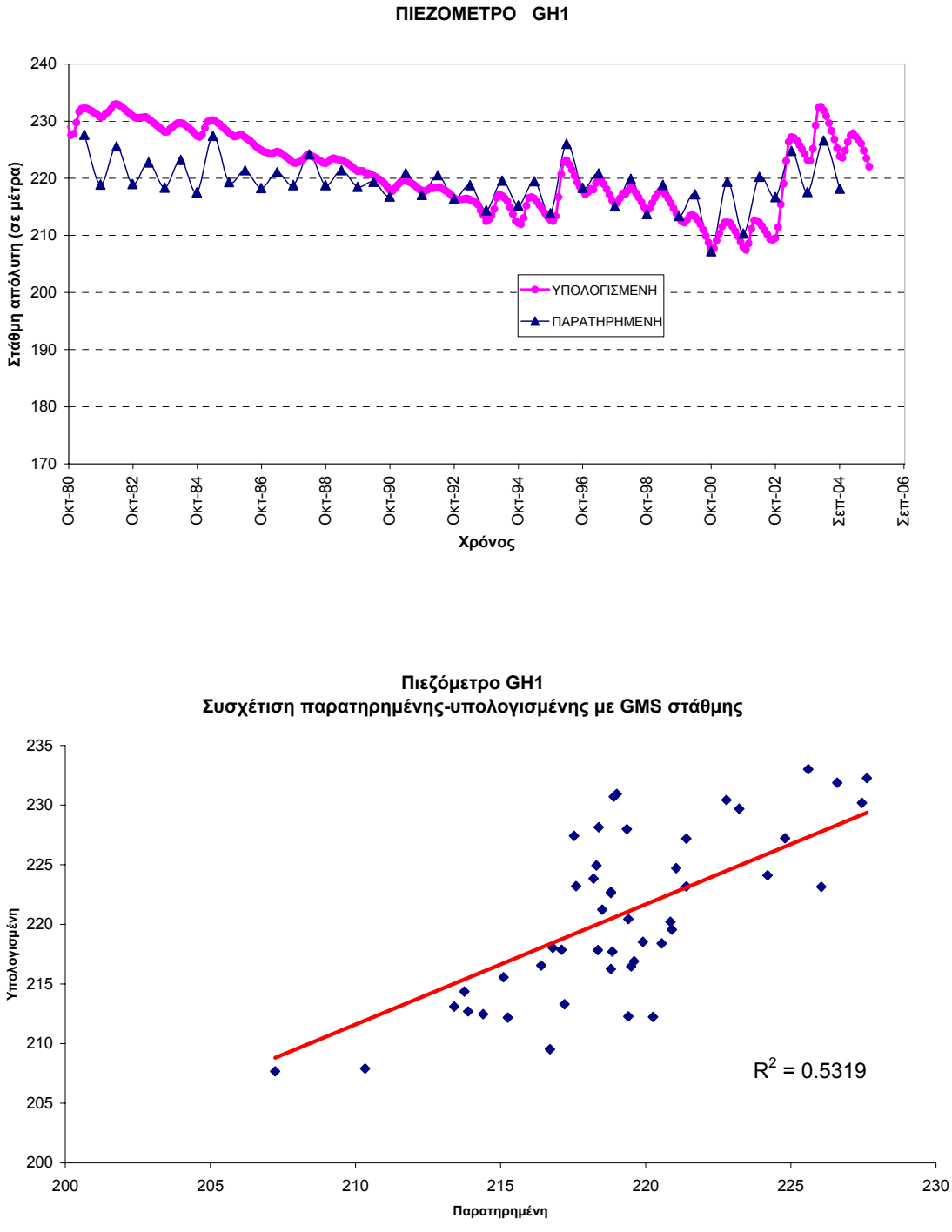
Εικόνα 6 - 70 Βαθμονόμηση μεταβατικής ροής - πιεζόμετρο GB 13



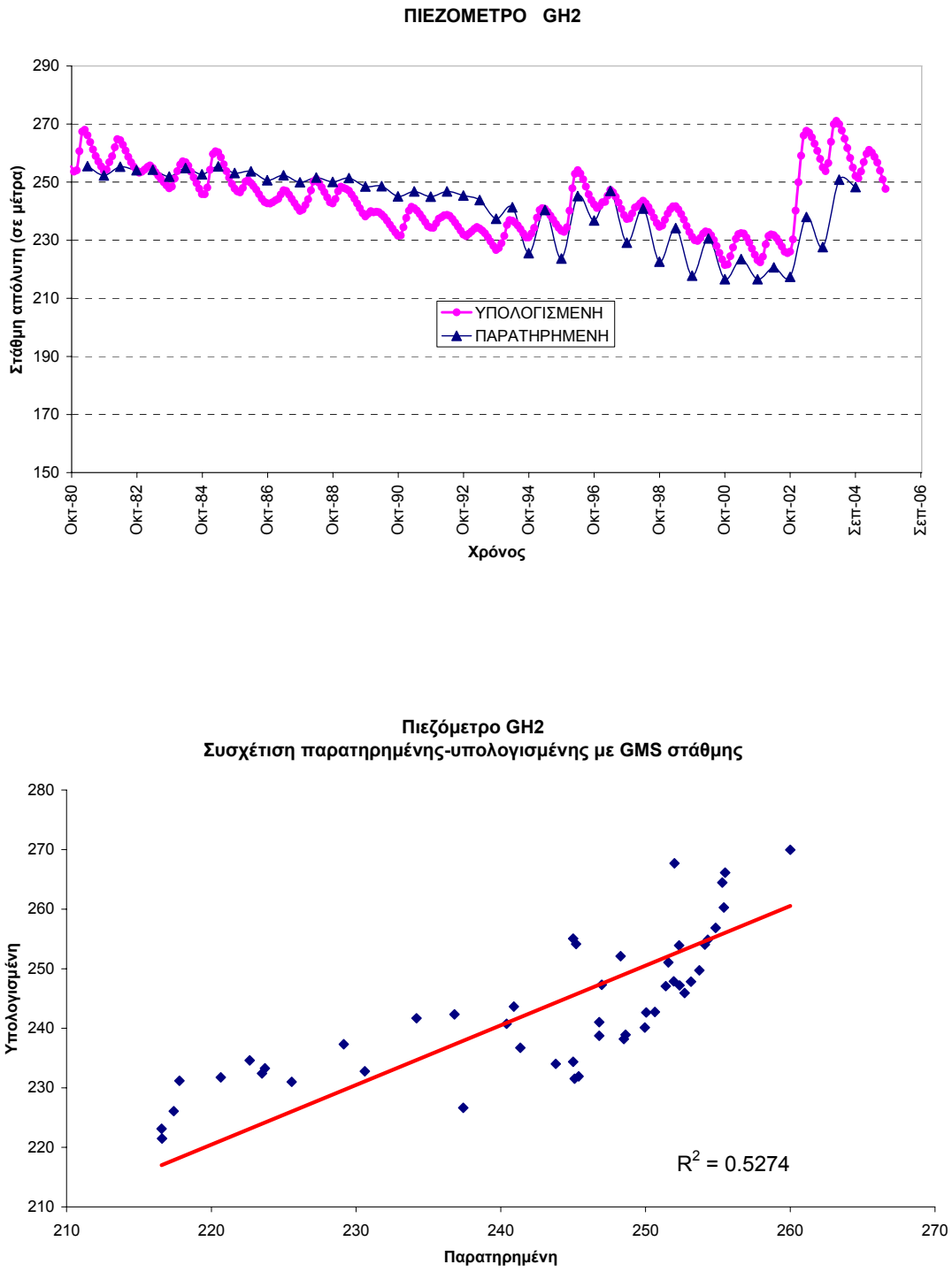
Εικόνα 6 - 71 Βαθμονόμηση μεταβατικής ροής - πιεζόμετρο GB 13



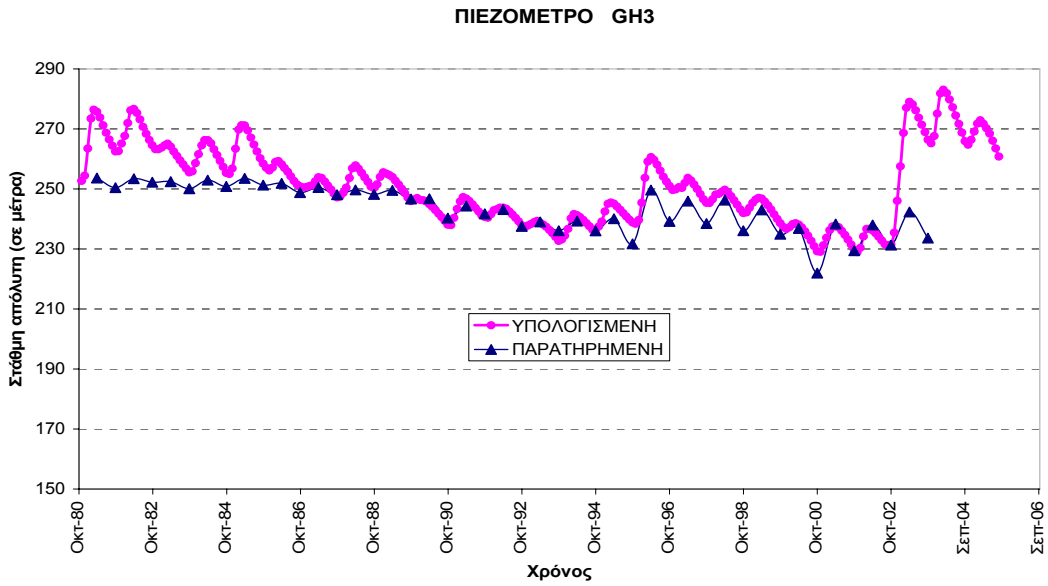
Εικόνα 6 - 72 Βαθμονόμηση μεταβατικής ροής - πιεζόμετρο GB 14

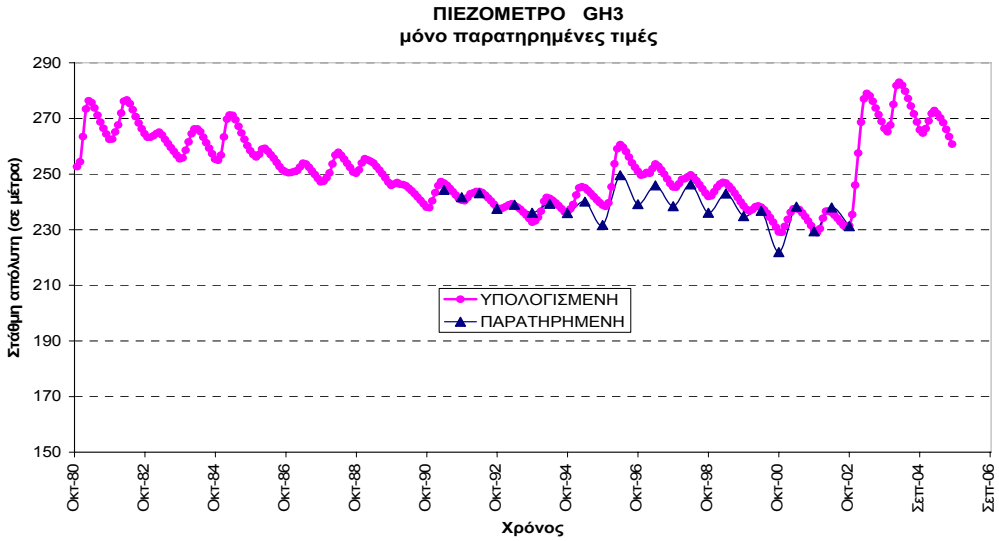


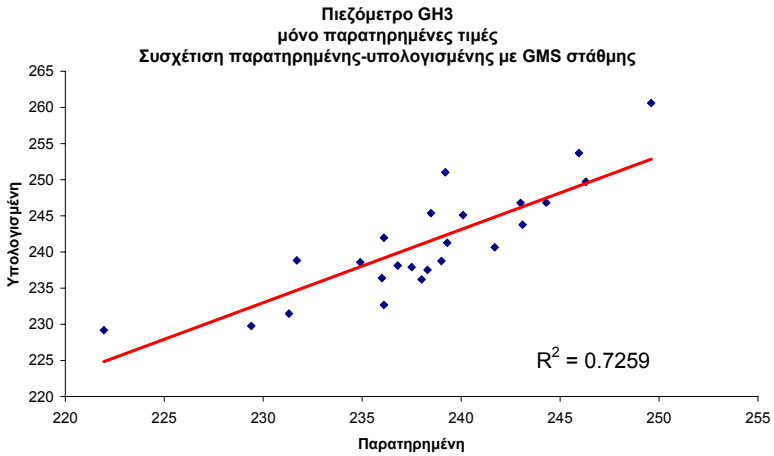
Εικόνα 6 - 73 Βαθμονόμηση μεταβατικής ροής - πιεζόμετρο GH 1



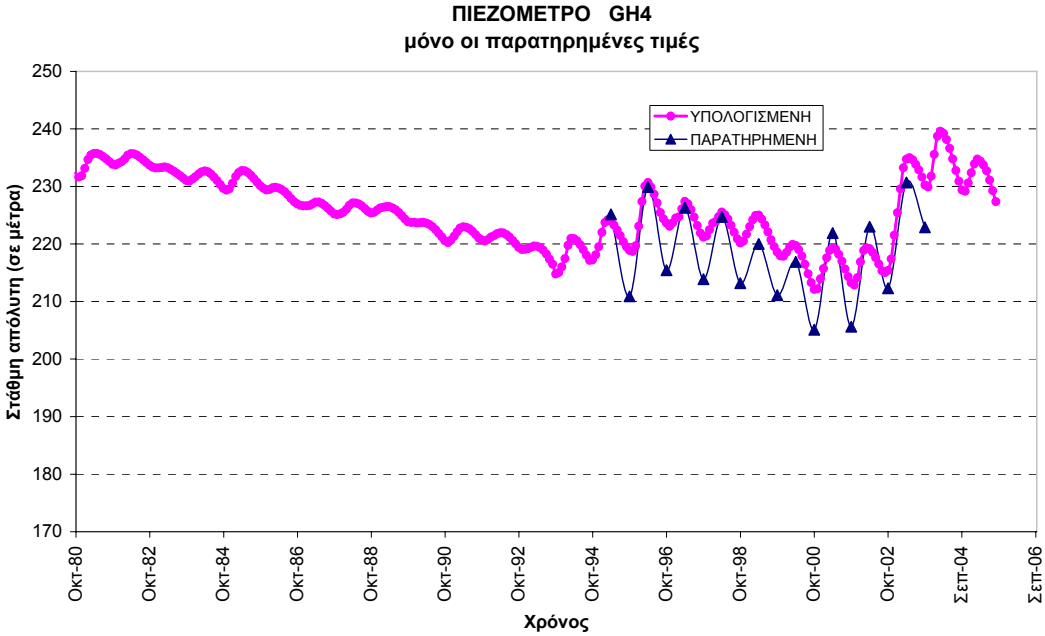
Εικόνα 6 - 74 Βαθμονόμηση μεταβατικής ροής - πιεζόμετρο GH 2

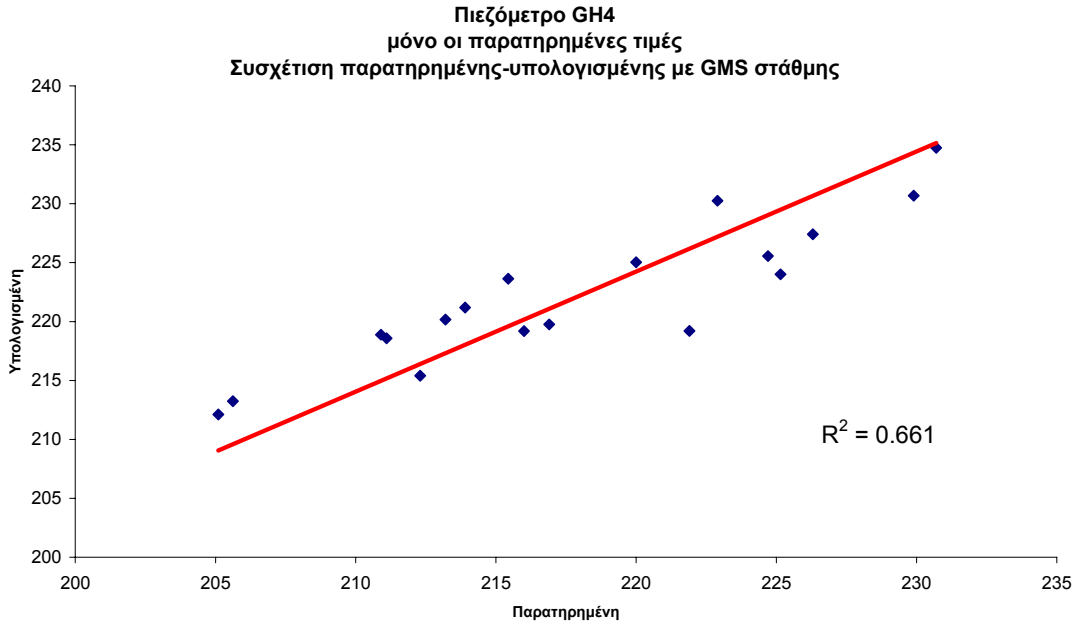




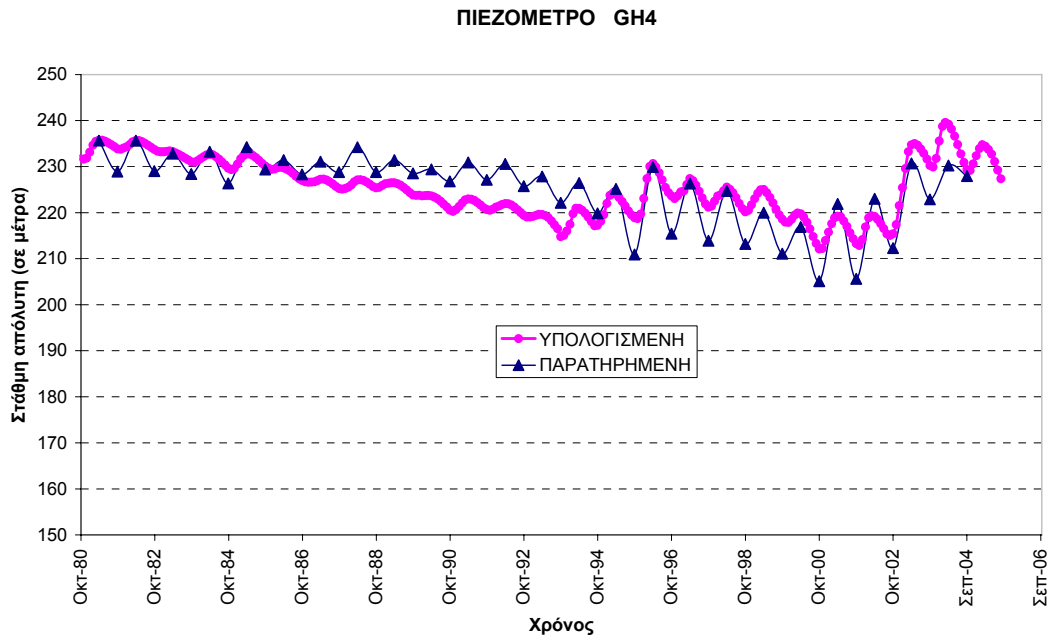


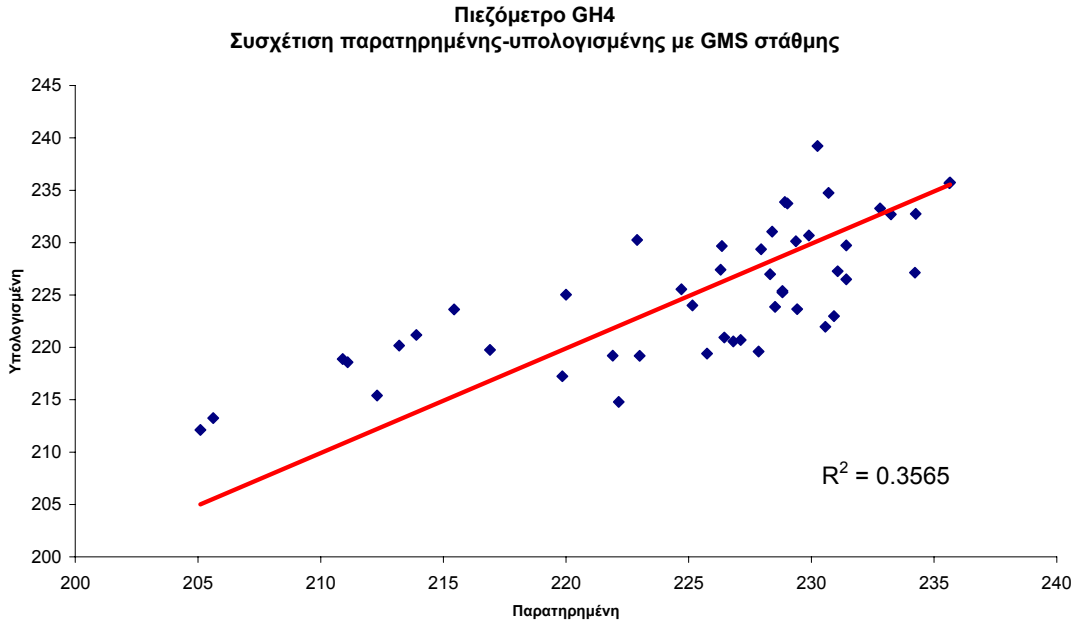
Εικόνα 6 - 75 Βαθμονόμηση μεταβατικής ροής - πιεζόμετρο GH 3



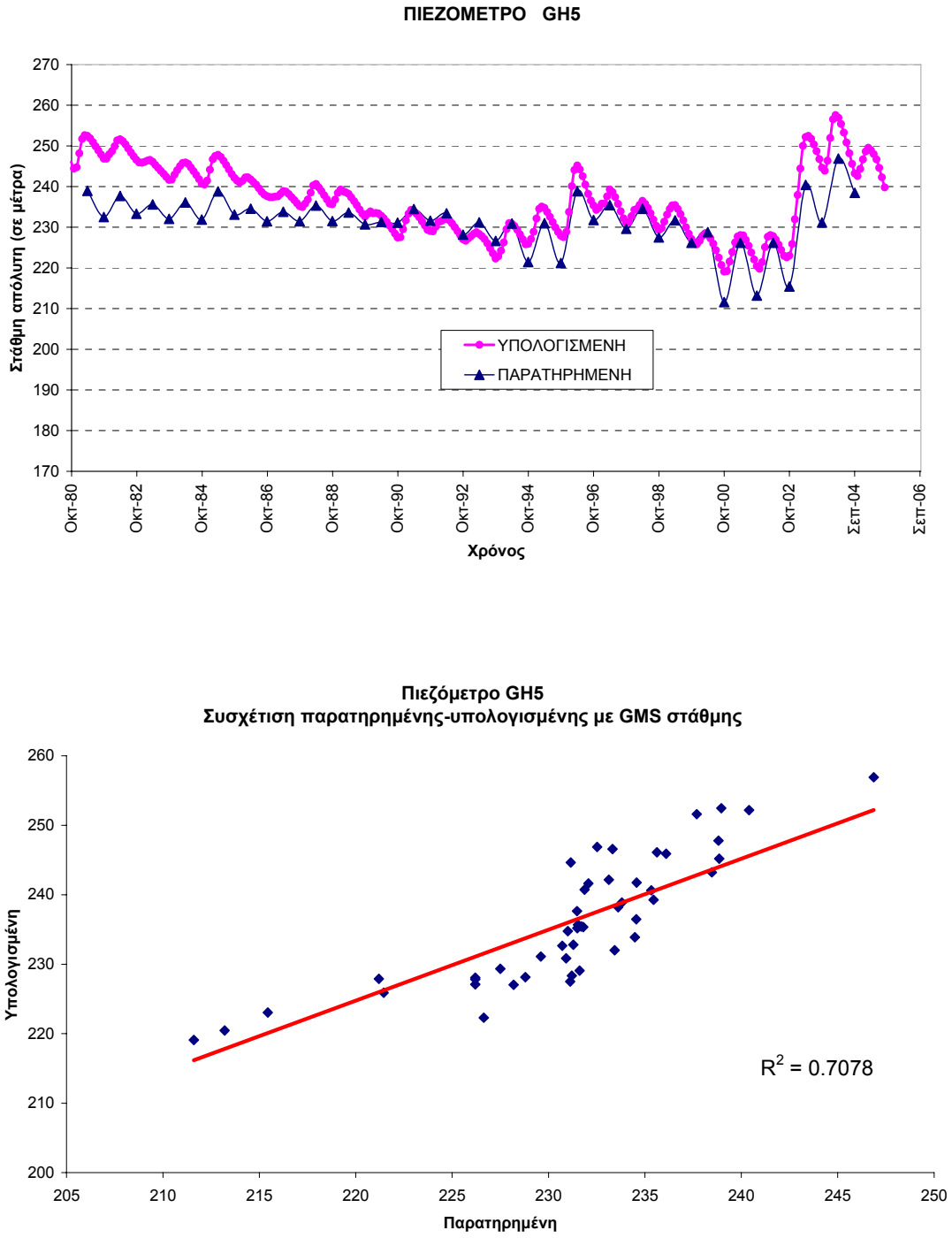


Εικόνα 6 - 76 Βαθμονόμηση μεταβατικής ροής - πιεζόμετρο GH 4

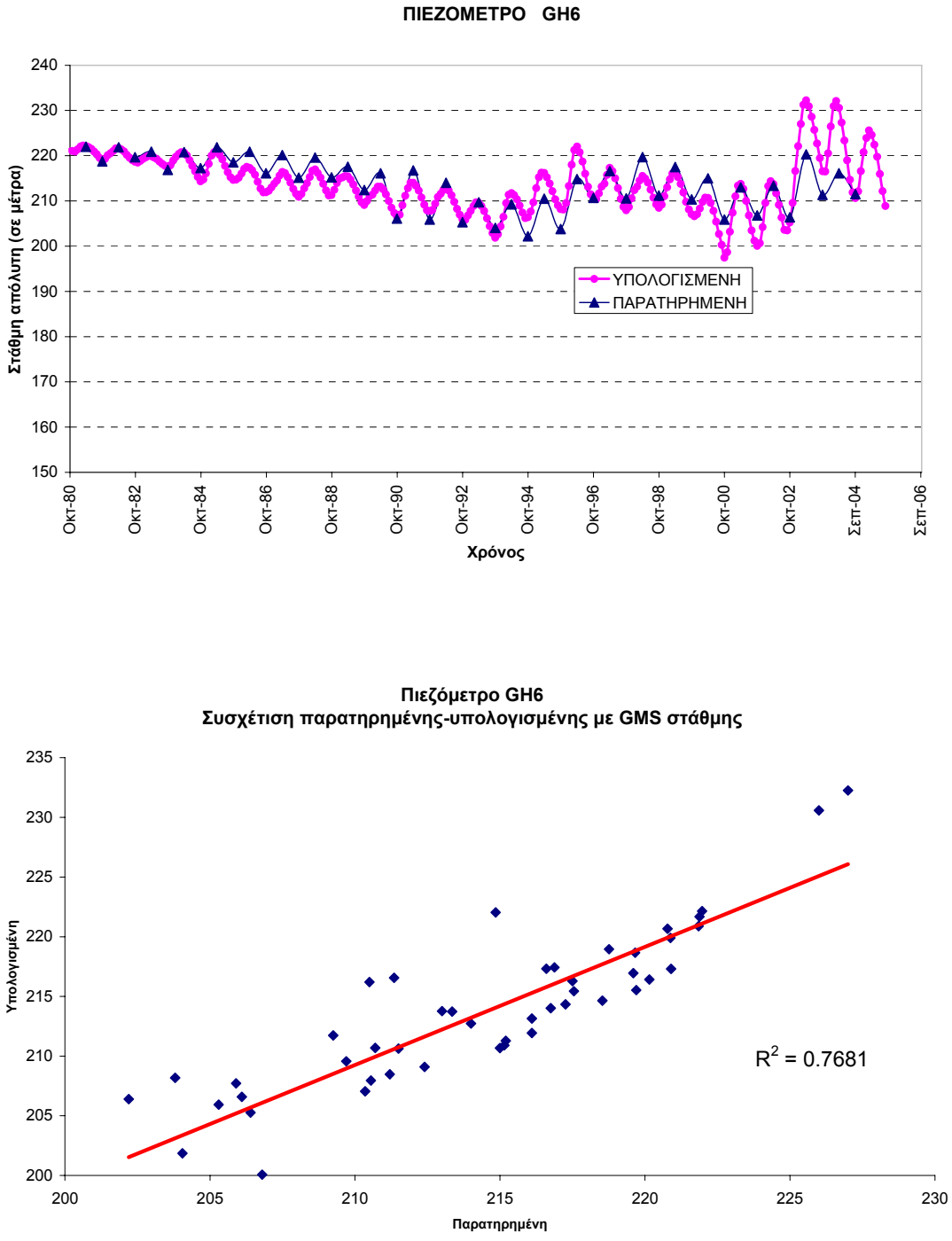




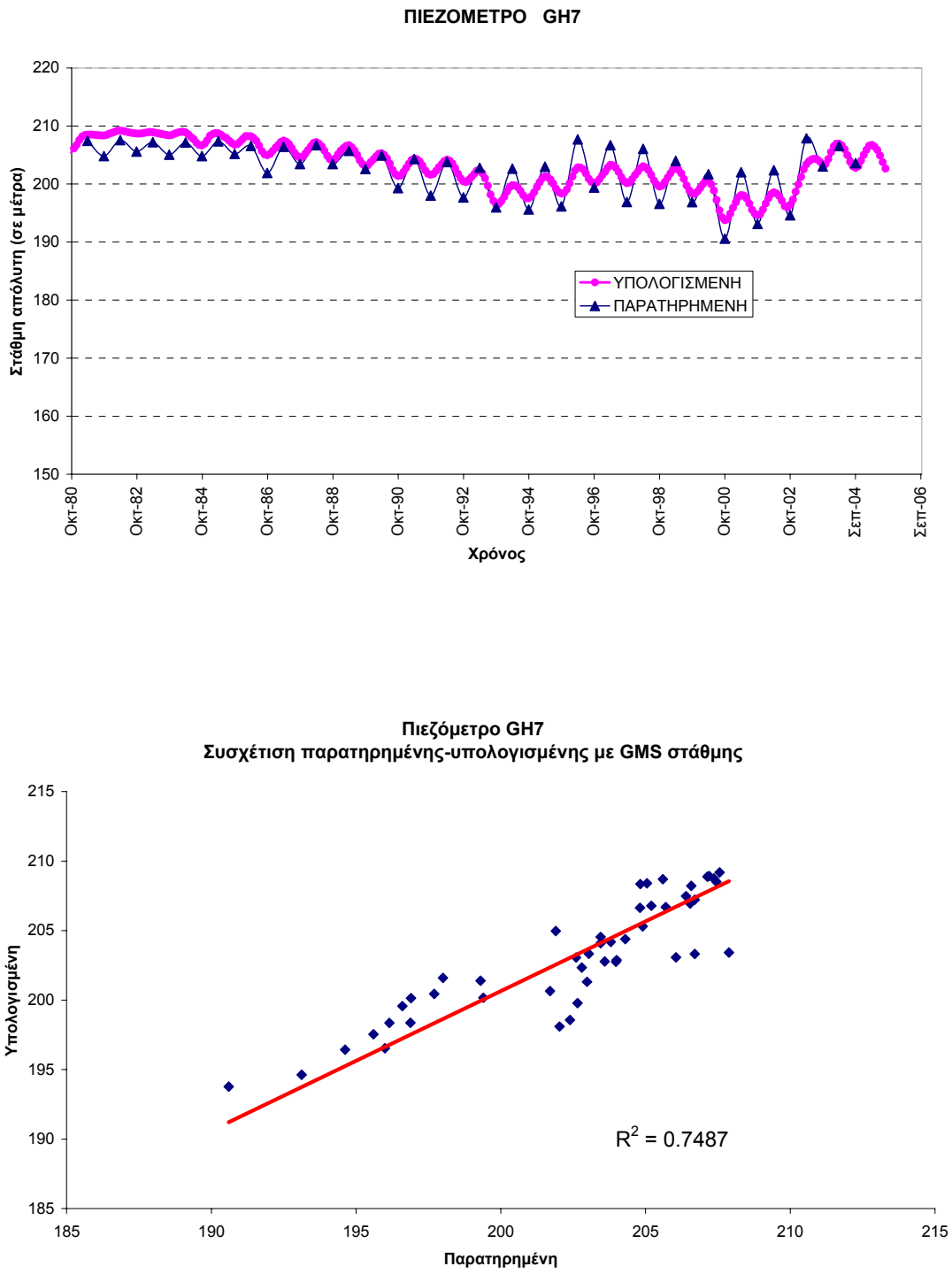
Εικόνα 6 - 77 Βαθμονόμηση μεταβατικής ροής - πιεζόμετρο GH 4



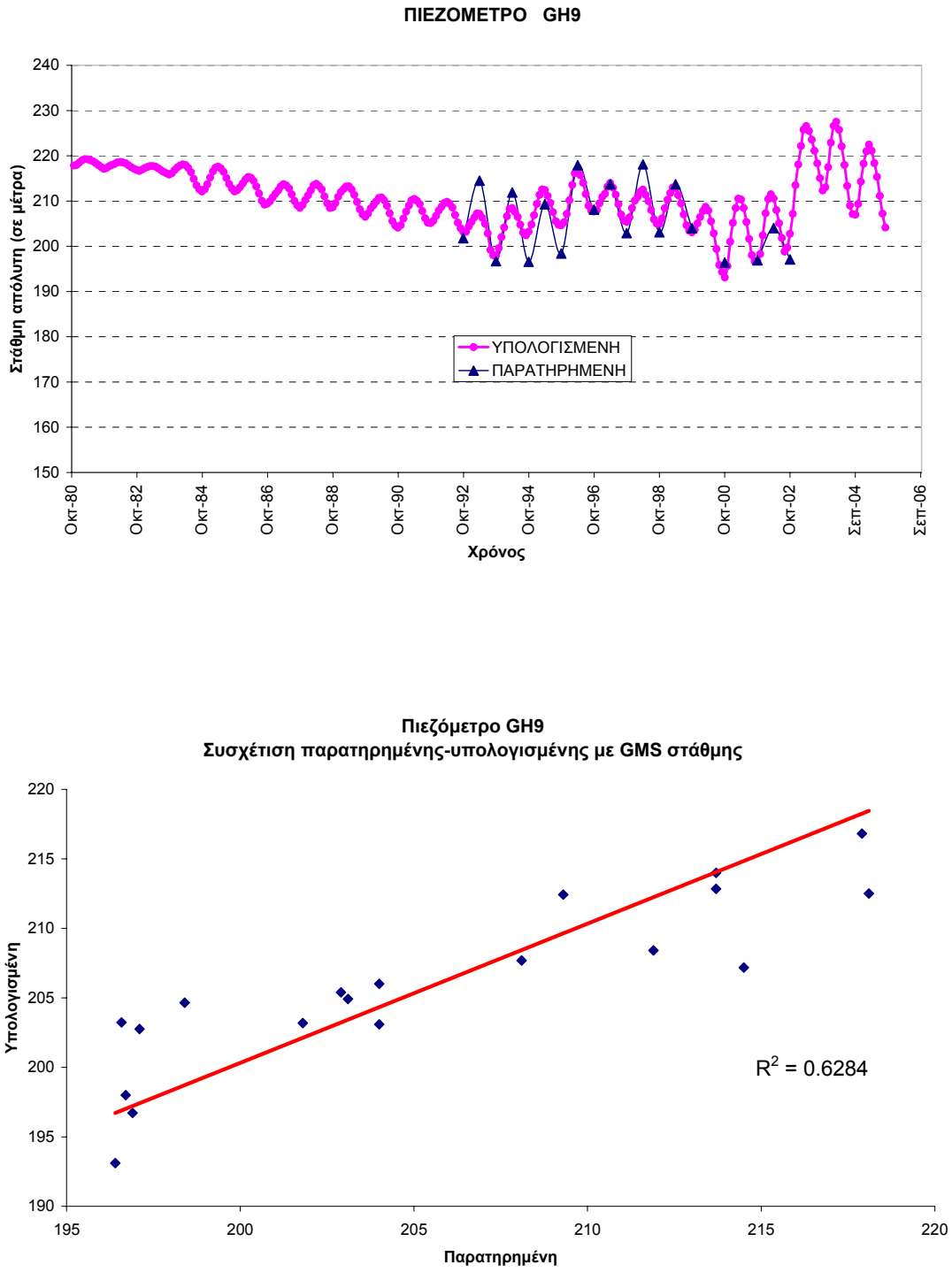
Εικόνα 6 - 78 Βαθμονόμηση μεταβατικής ροής - πιεζόμετρο GH 5



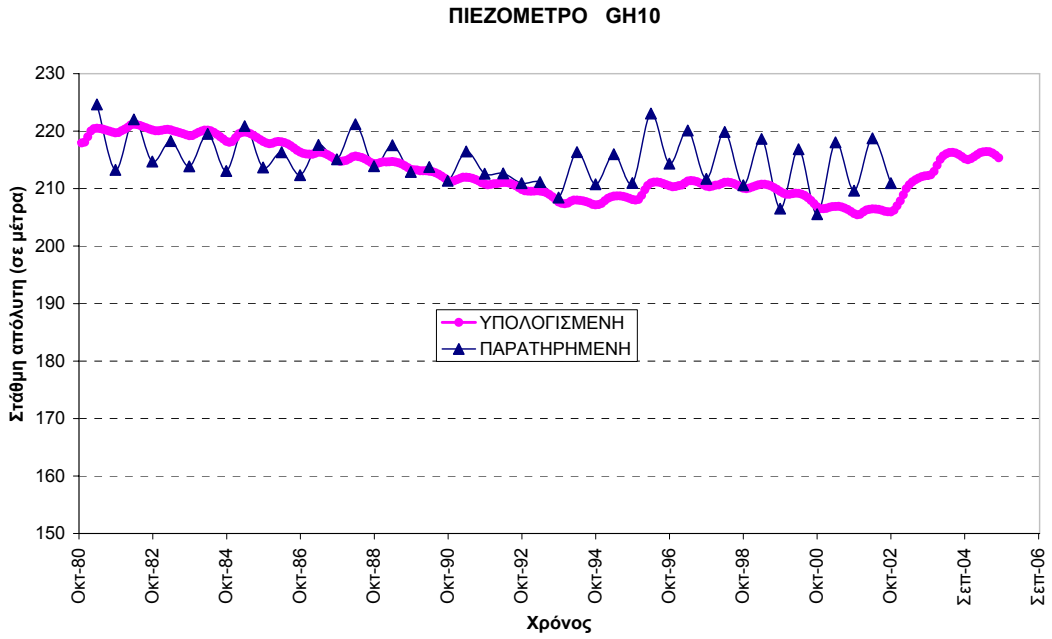
Εικόνα 6 - 79 Βαθμονόμηση μεταβατικής ροής - πιεζόμετρο GH 6

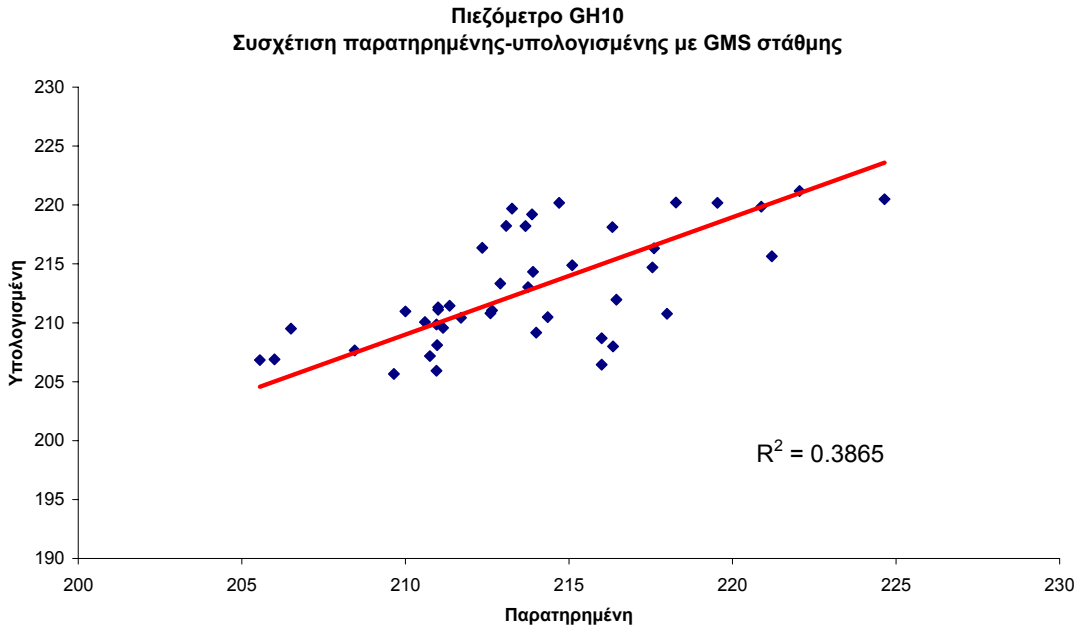


Εικόνα 6 - 80 Βαθμονόμηση μεταβατικής ροής - πιεζόμετρο GH 7

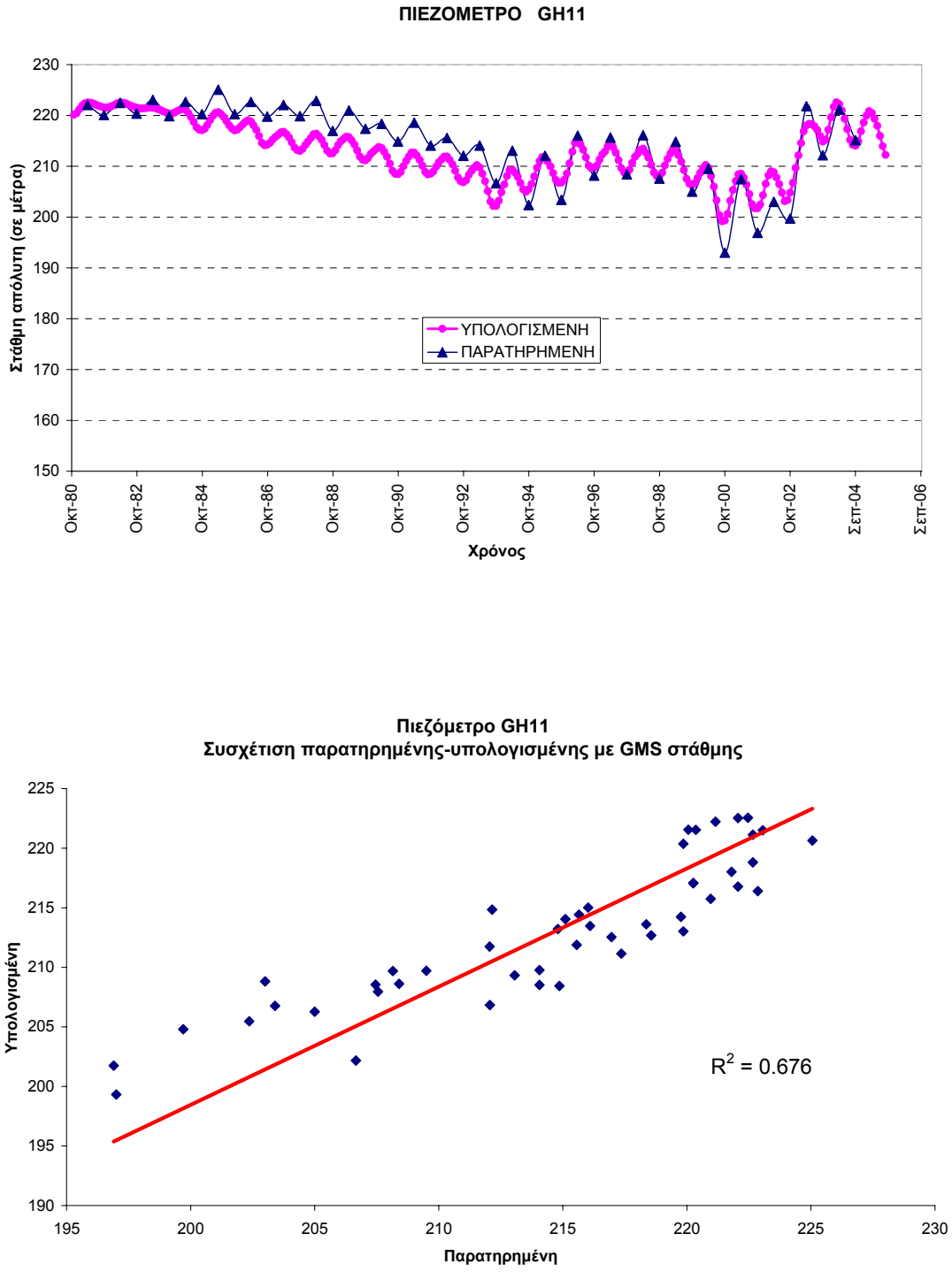


Εικόνα 6 - 81 Βαθμονόμηση μεταβατικής ροής - πιεζόμετρο GH 9

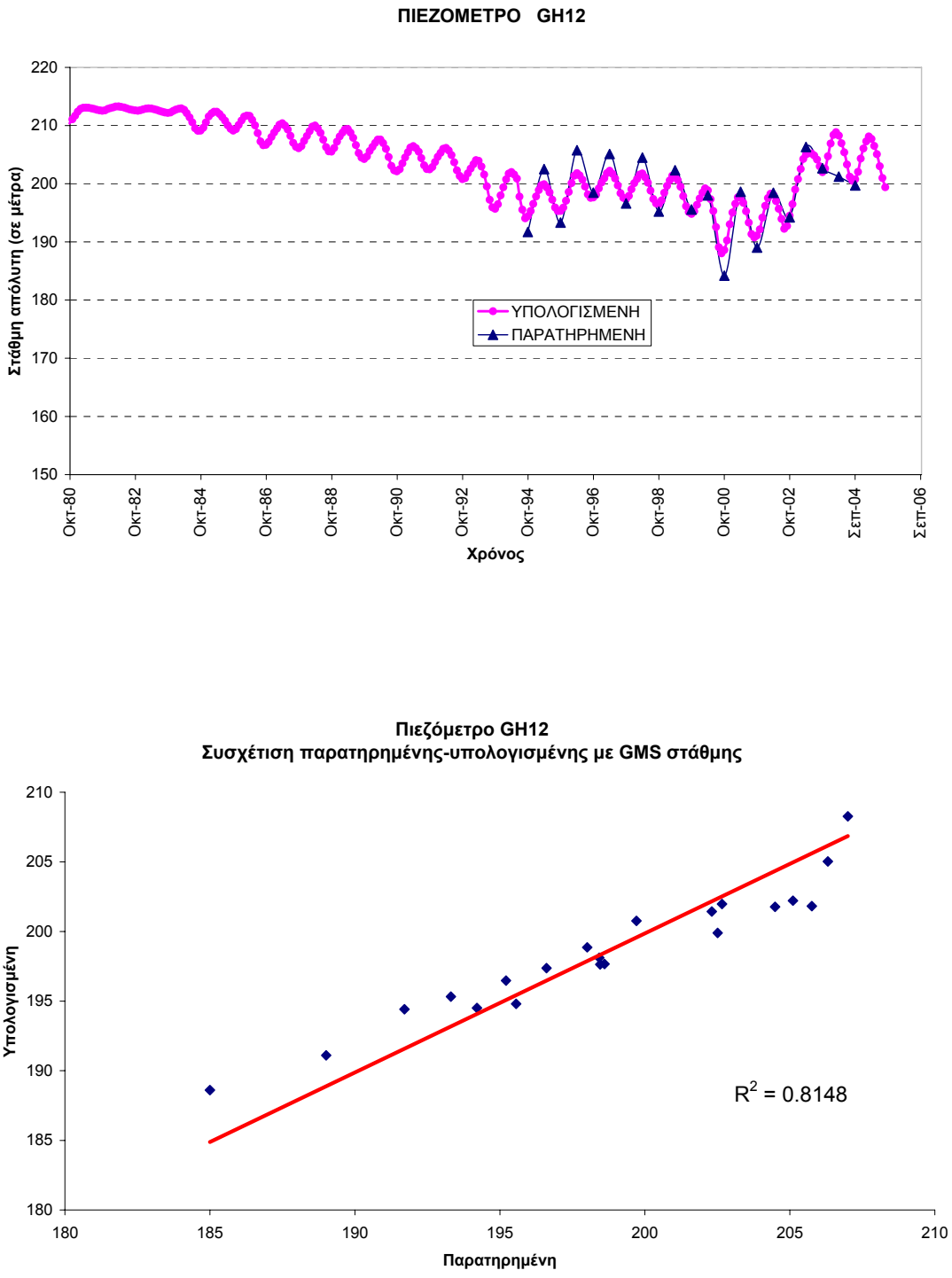




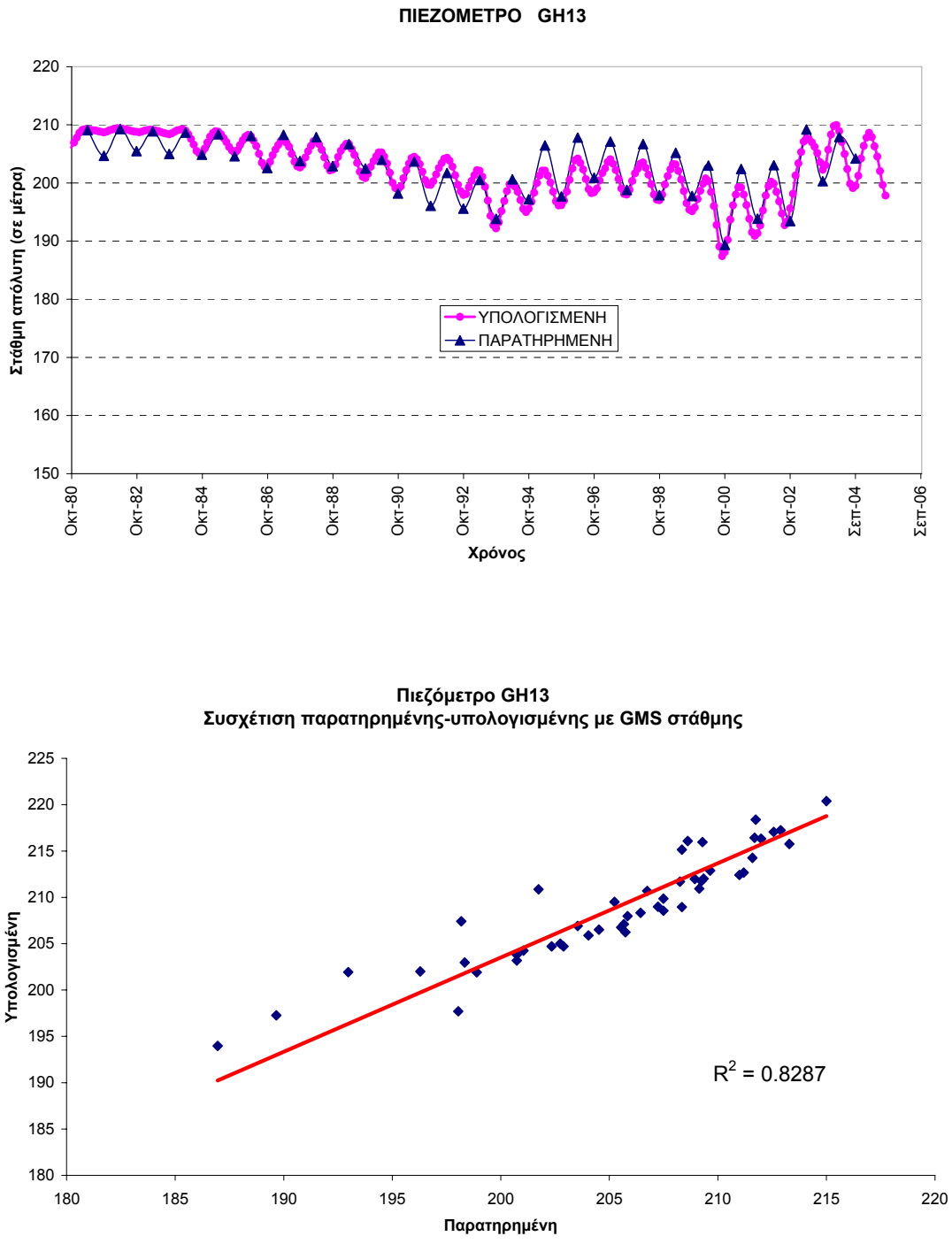
Εικόνα 6 - 82 Βαθμονόμηση μεταβατικής ροής - πιεζόμετρο GH 10



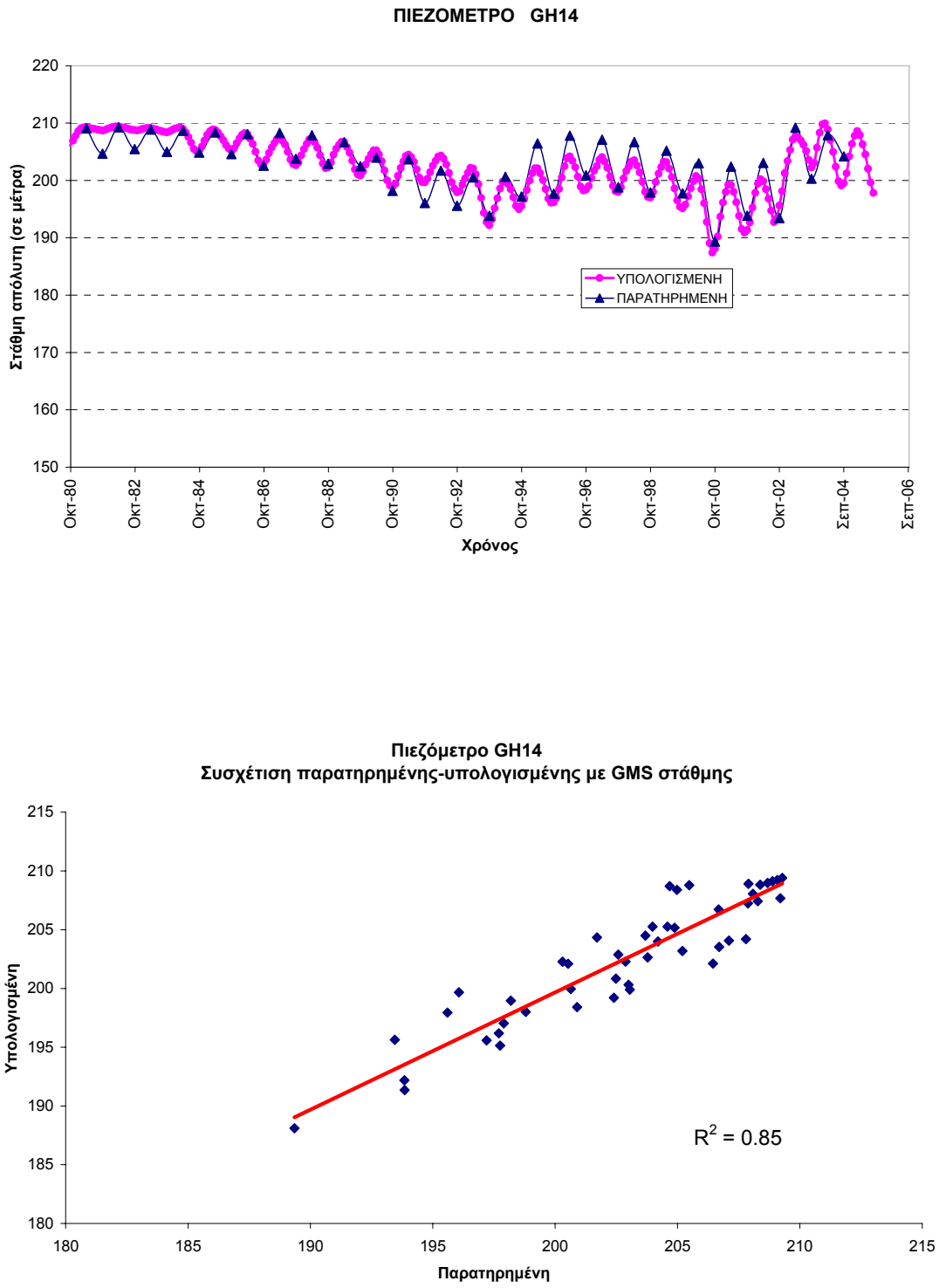
Εικόνα 6 - 83 Βαθμονόμηση μεταβατικής ροής - πιεζόμετρο GH 11



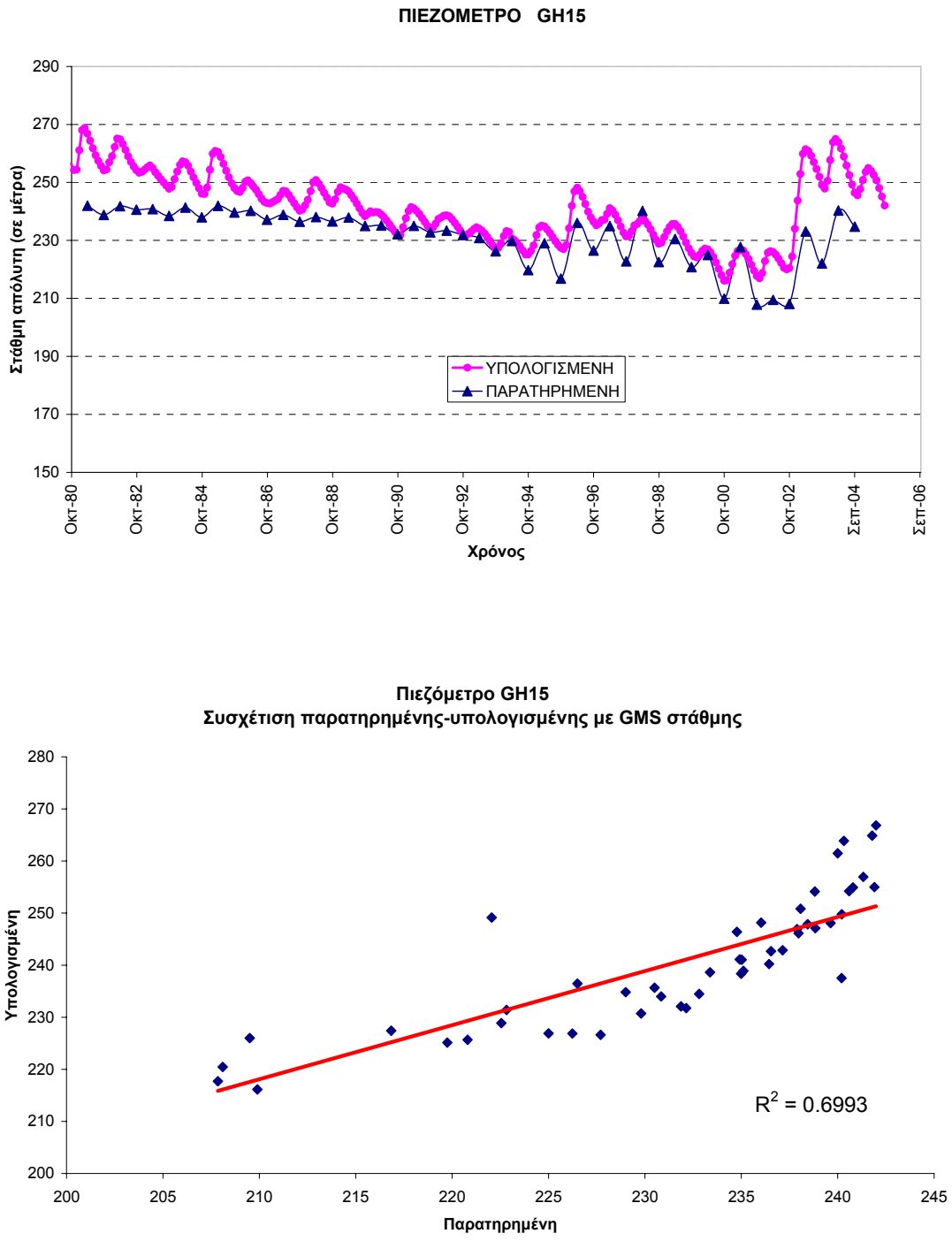
Εικόνα 6 - 84 Βαθμονόμηση μεταβατικής ροής - πιεζόμετρο GH 12



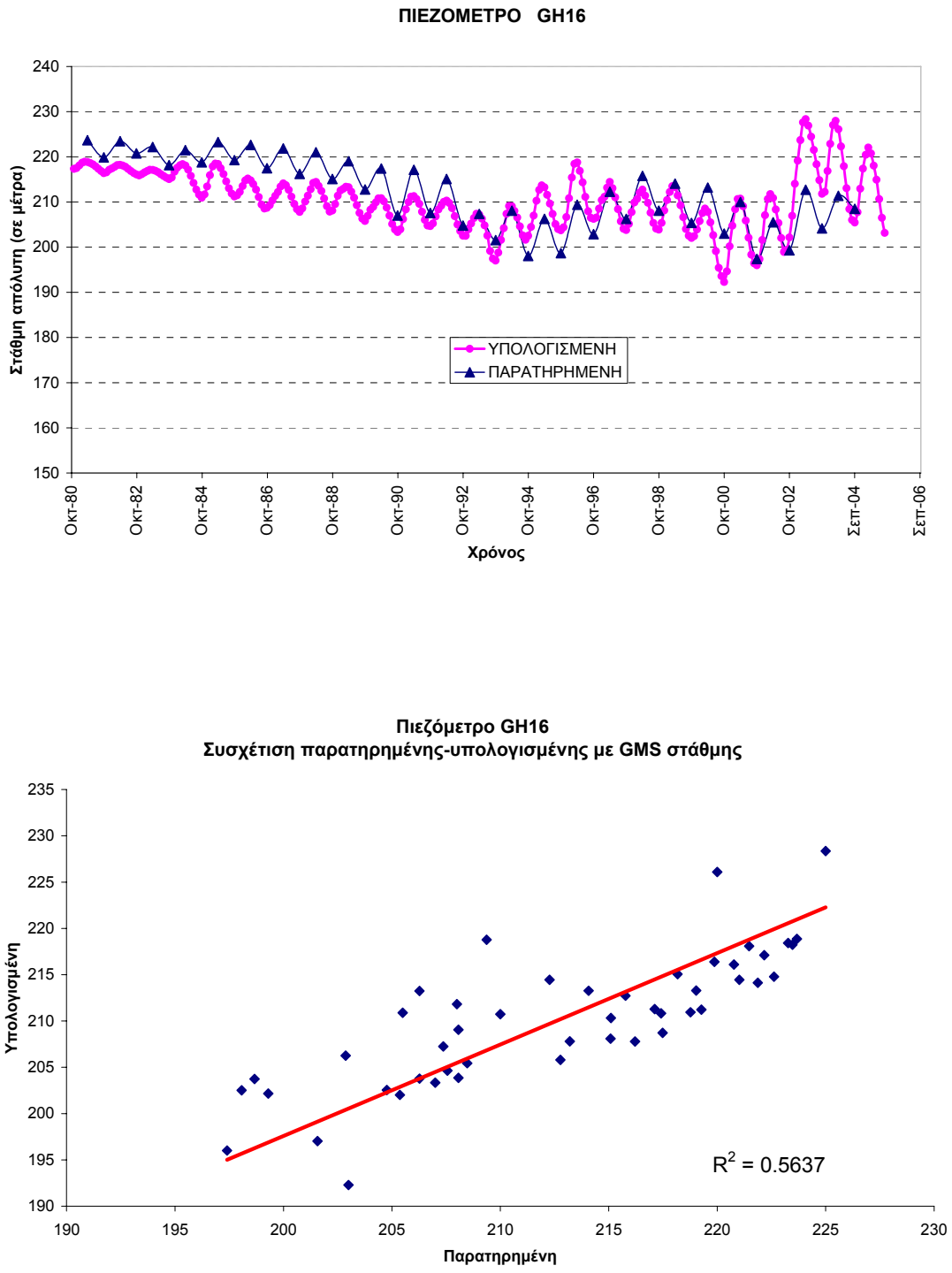
Εικόνα 6 - 85 Βαθμονόμηση μεταβατικής ροής - πιεζόμετρο GH 13



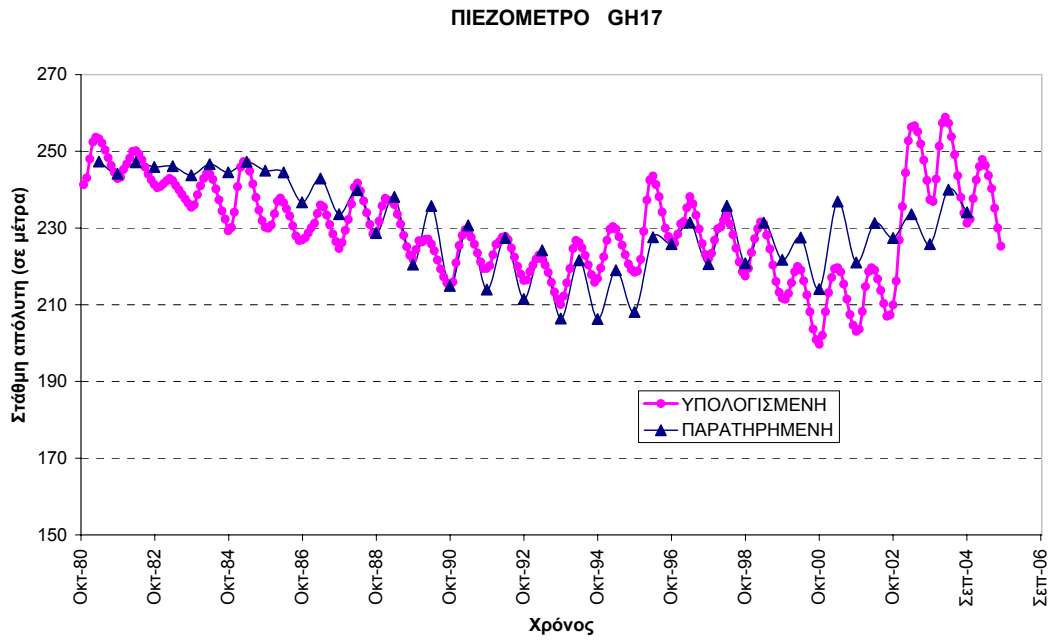
Εικόνα 6 - 86 Βαθμονόμηση μεταβατικής ροής - πιεζόμετρο GH 14

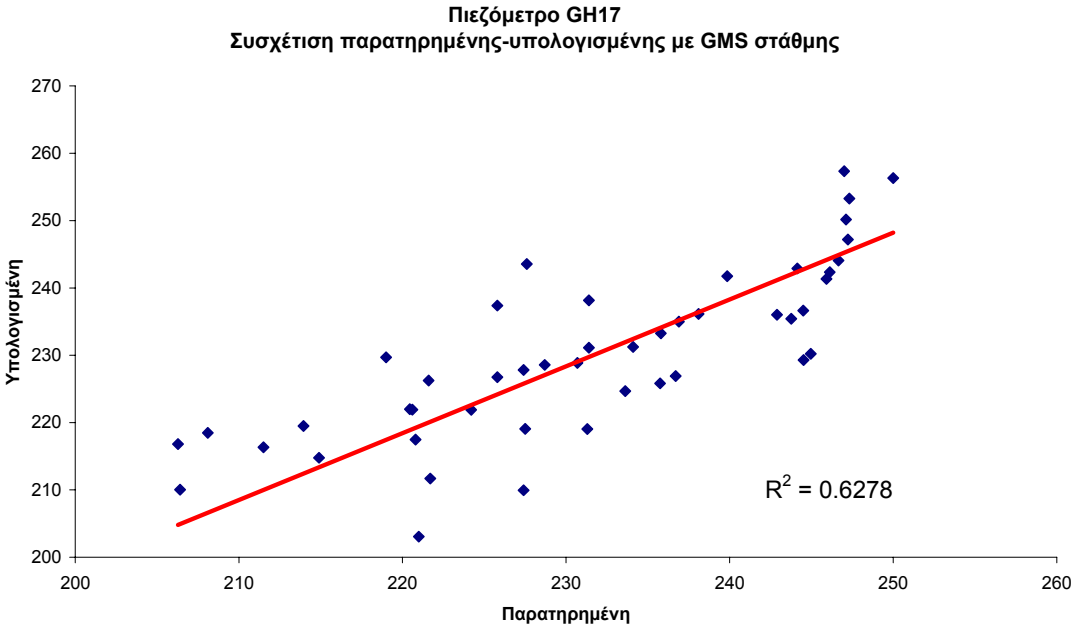


Εικόνα 6 - 87 Βαθμονόμηση μεταβατικής ροής - πιεζόμετρο GH 15

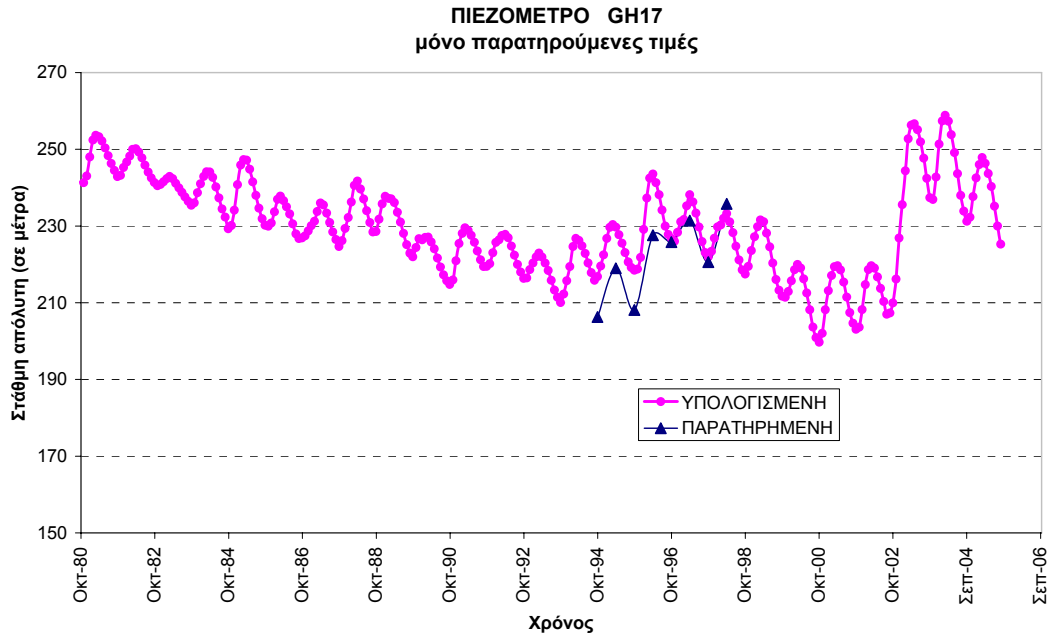


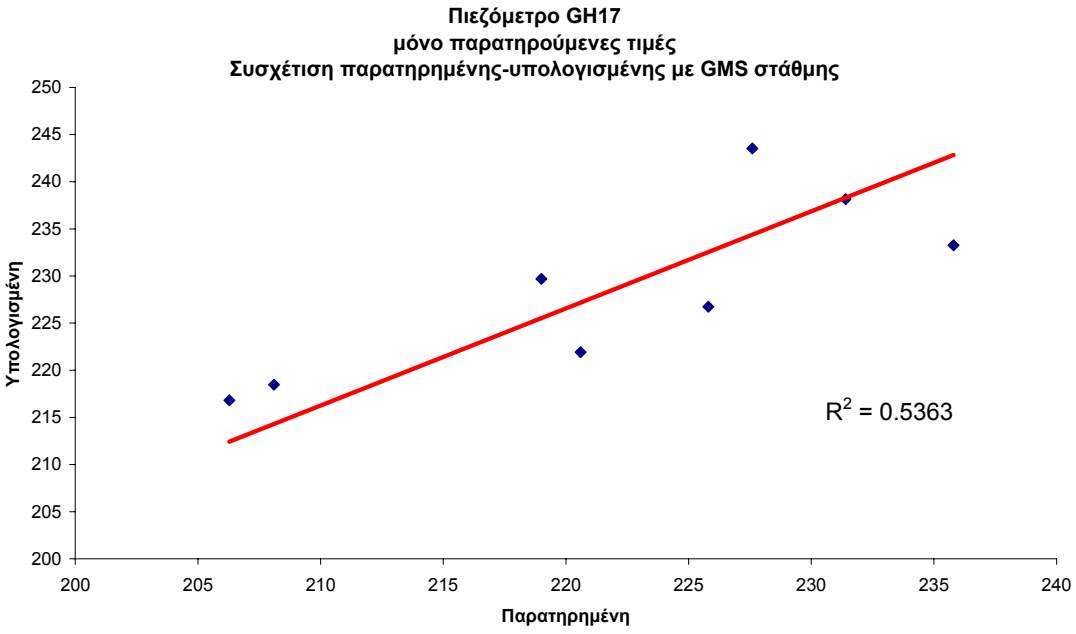
Εικόνα 6 - 88 Βαθμονόμηση μεταβατικής ροής - πιεζόμετρο GH 16



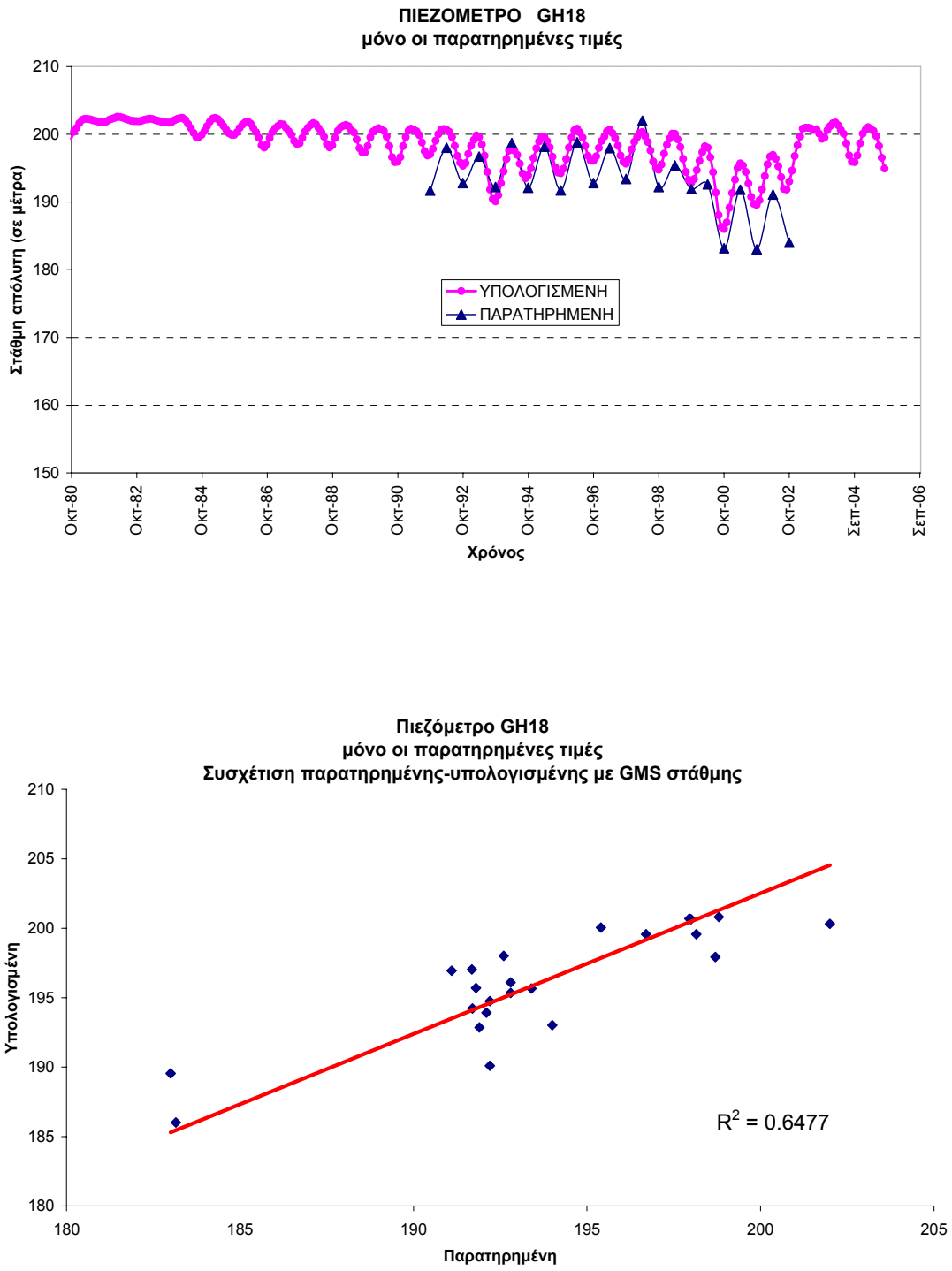


Εικόνα 6 - 89 Βαθμονόμηση μεταβατικής ροής - πιεζόμετρο GH 17

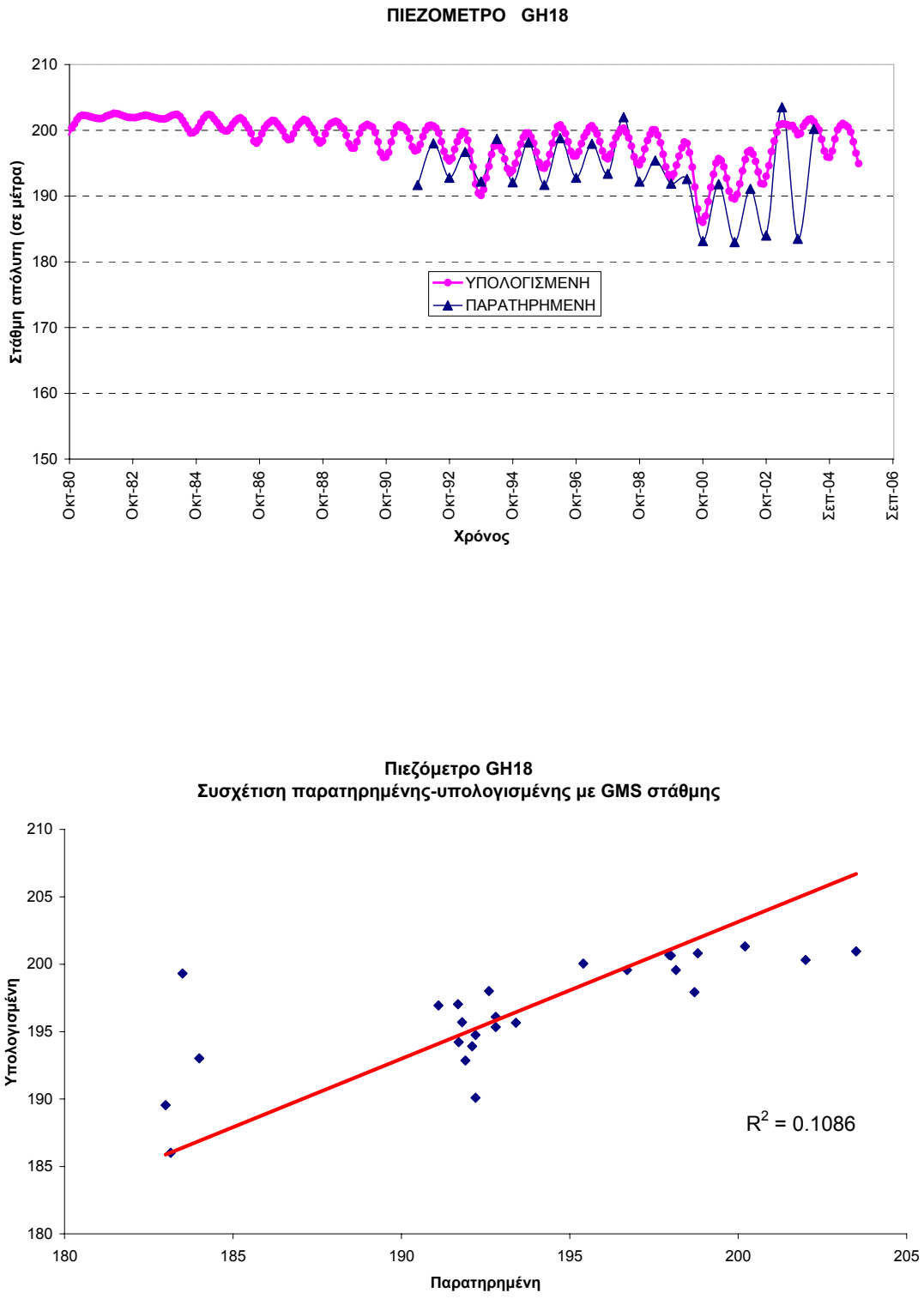




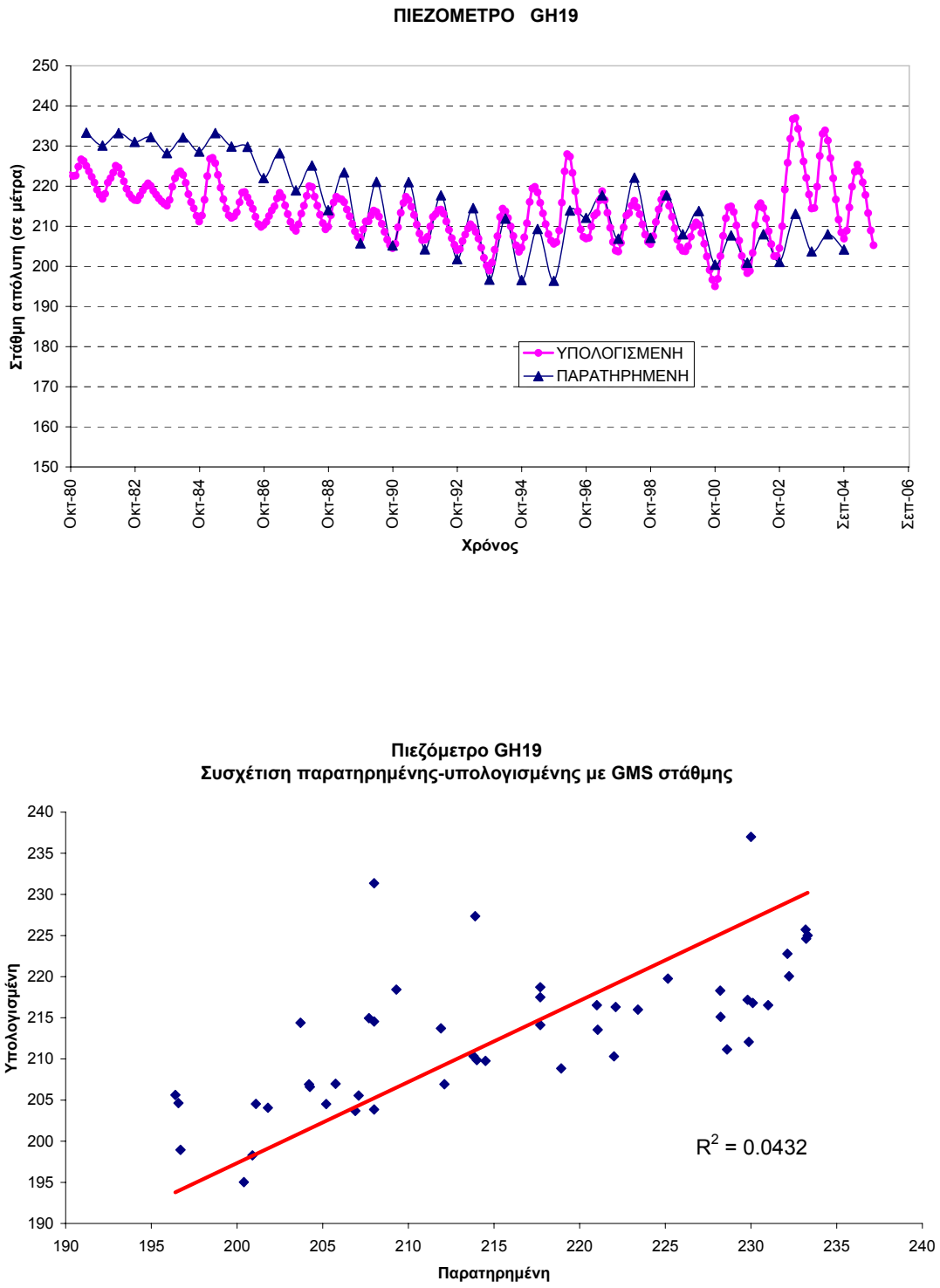
Εικόνα 6 - 90 Βαθμονόμηση μεταβατικής ροής - πιεζόμετρο GH 17



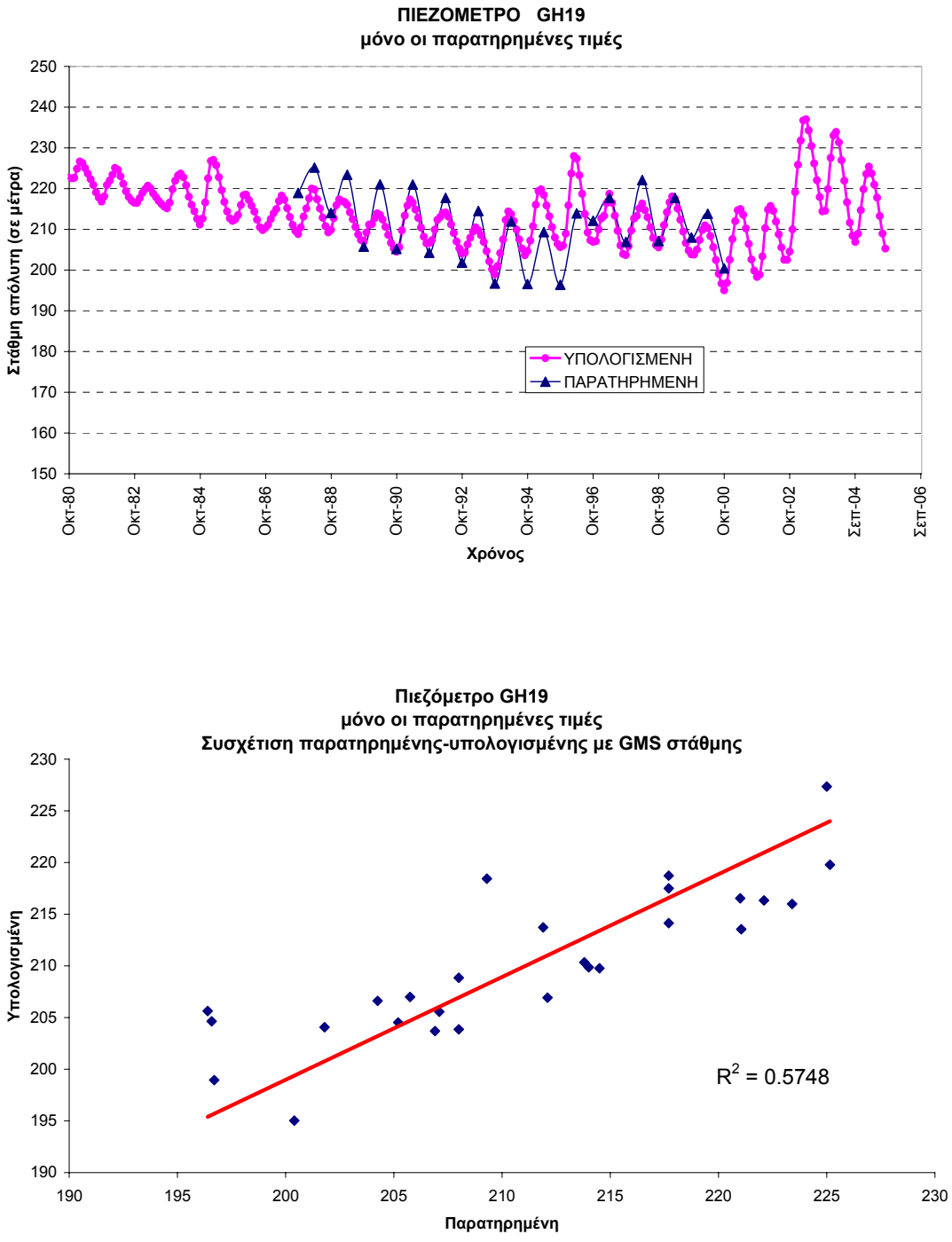
Εικόνα 6 - 91 Βαθμονόμηση μεταβατικής ροής - πιεζόμετρο GH 18



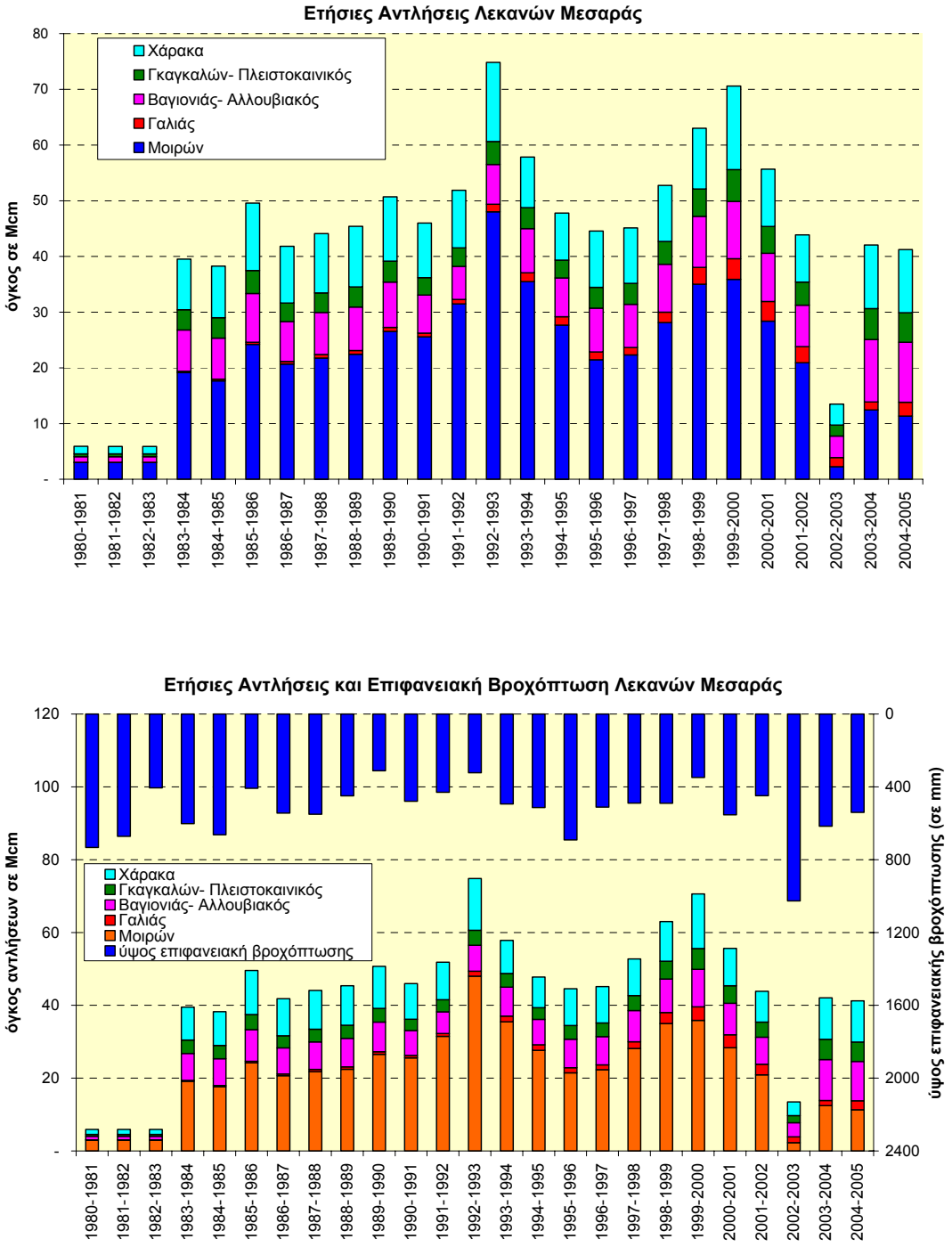
Εικόνα 6 - 92 Βαθμονόμηση μεταβατικής ροής - πιεζόμετρο GH 18



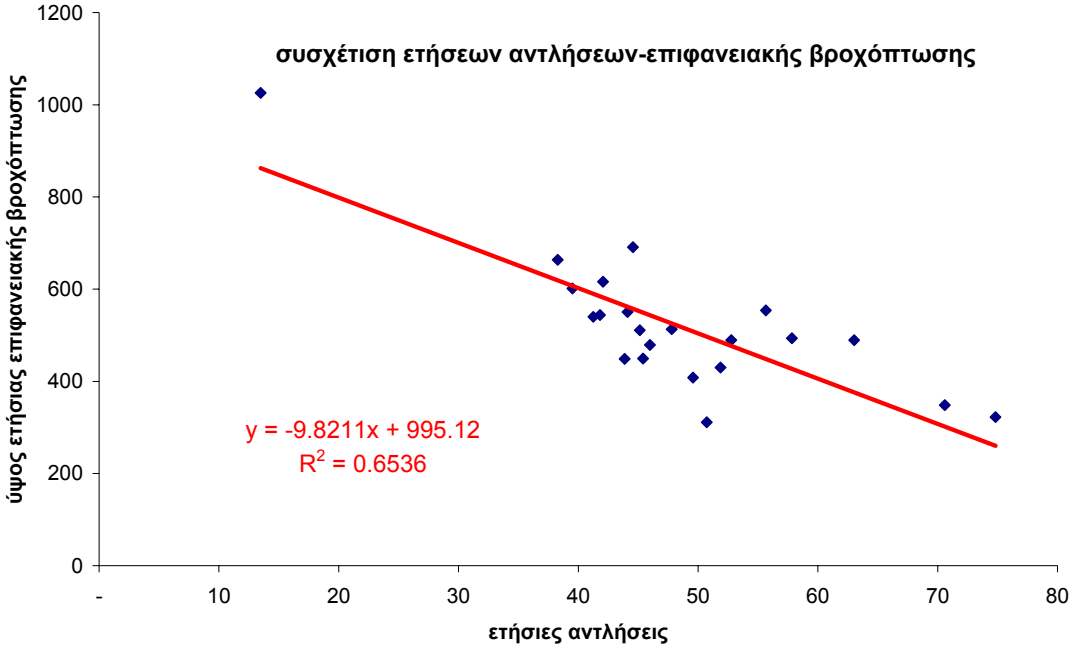
Εικόνα 6 - 93 Βαθμονόμηση μεταβατικής ροής - πιεζόμετρο GH 19

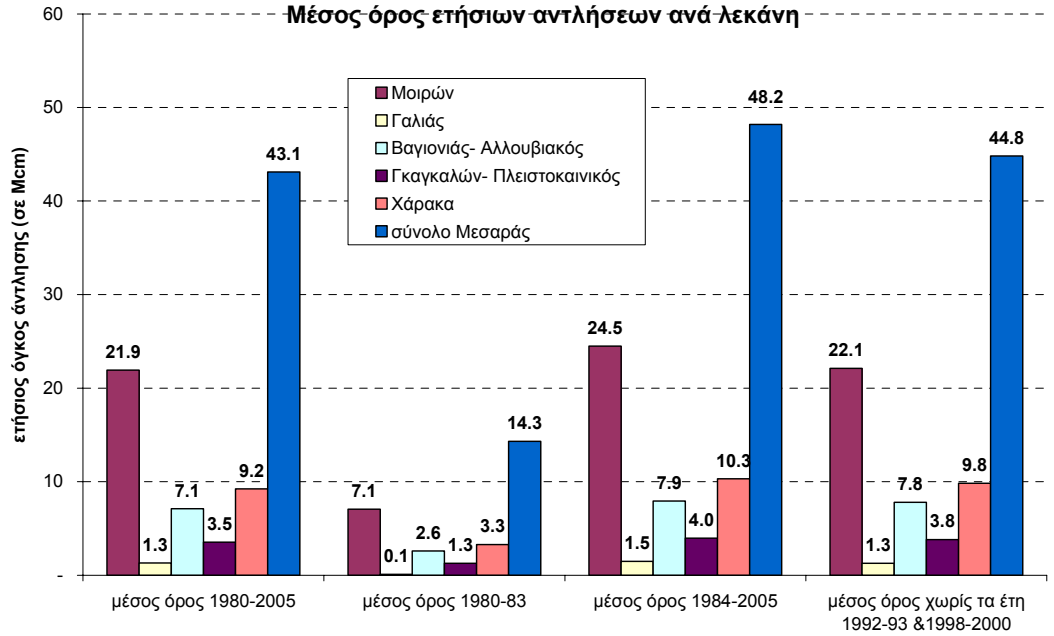


Εικόνα 6 - 94 Βαθμονόμηση μεταβατικής ροής - πιεζόμετρο GH 19

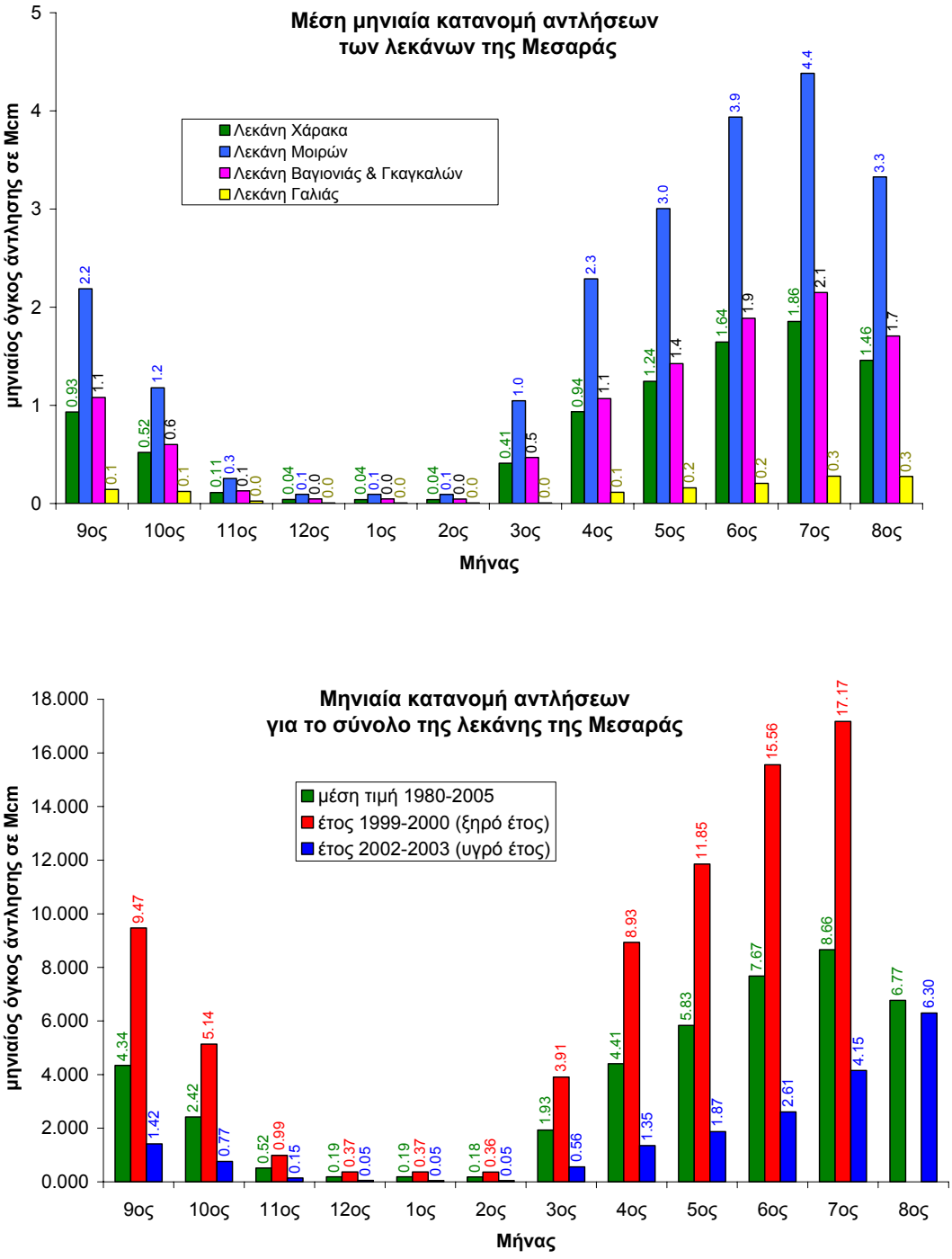


Εικόνα 6 - 95 Αποτελέσματα μεταβατικής ροής – αντλήσεις (1)

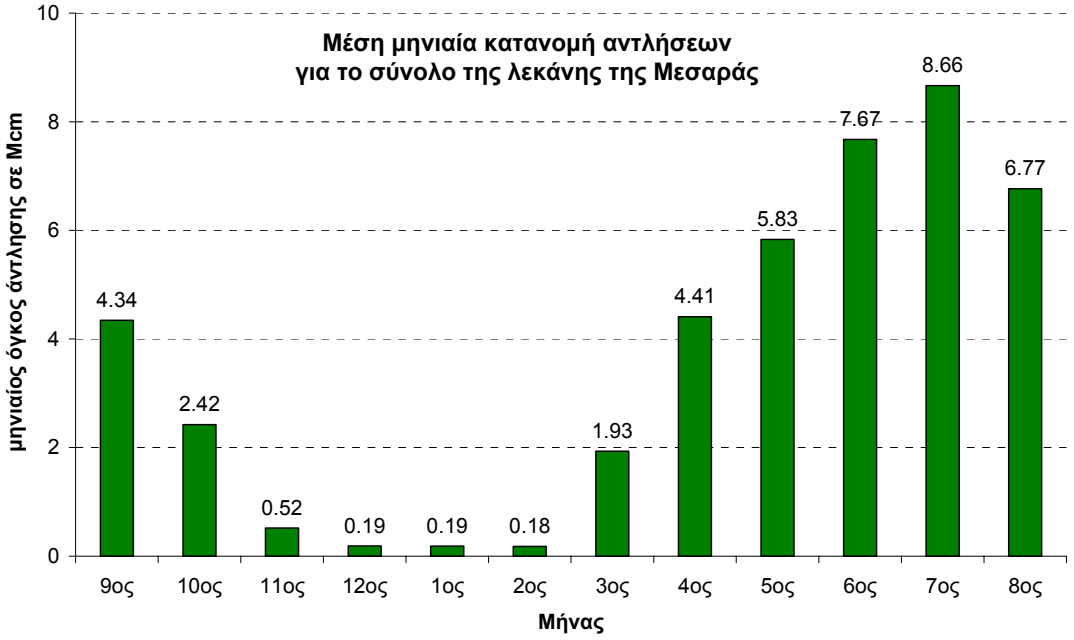


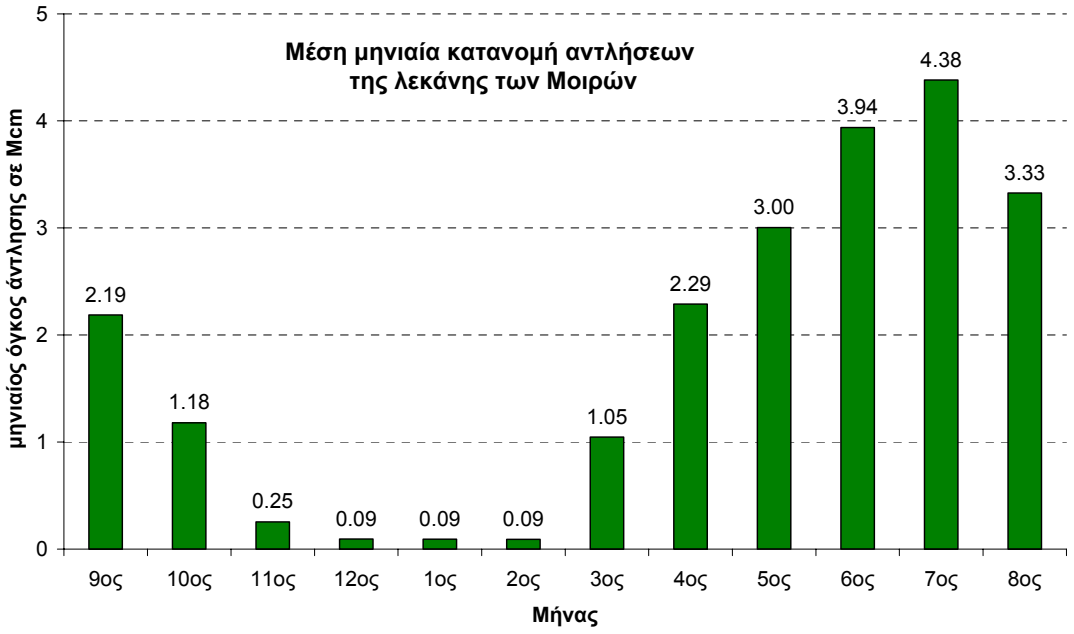


Εικόνα 6 - 96 Αποτελέσματα μεταβατικής ροής – αντλήσεις (2)

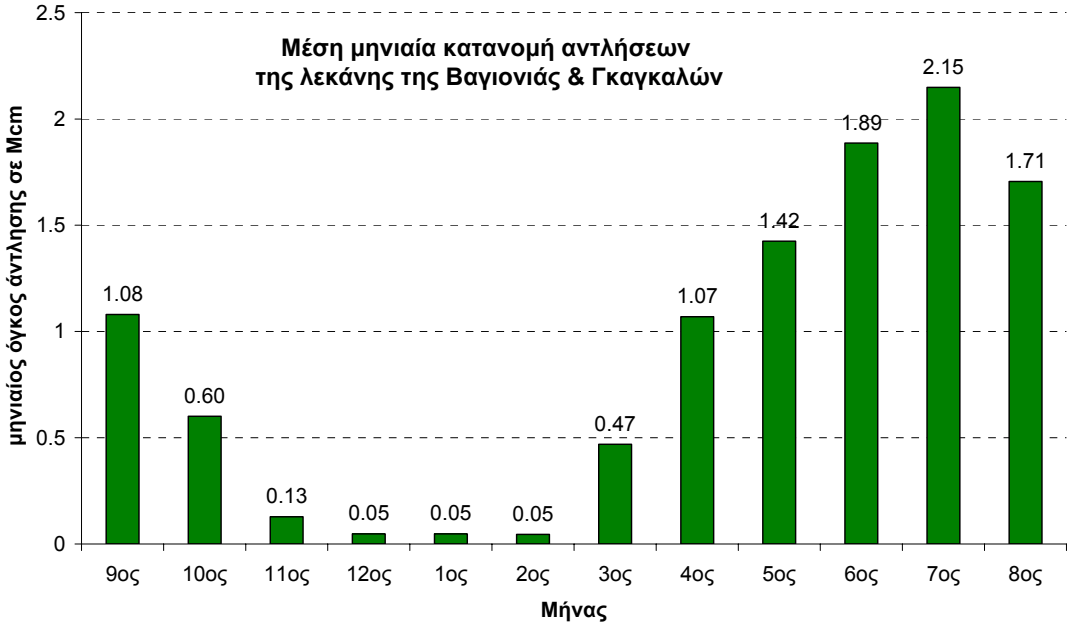


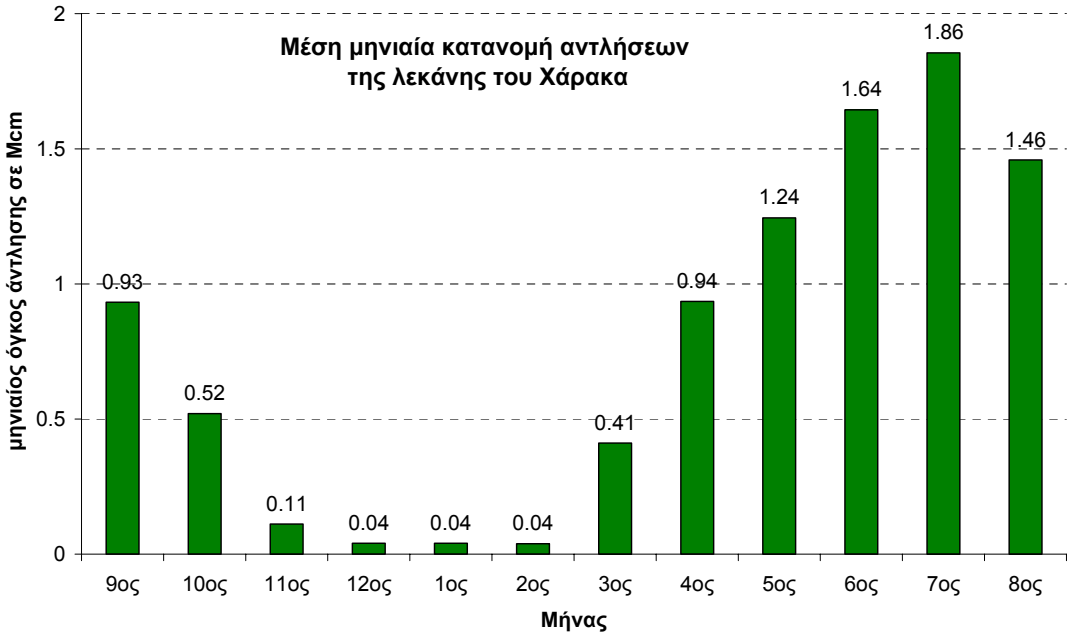
Εικόνα 6 - 97 Αποτελέσματα μεταβατικής ροής-αντλήσεις (3)



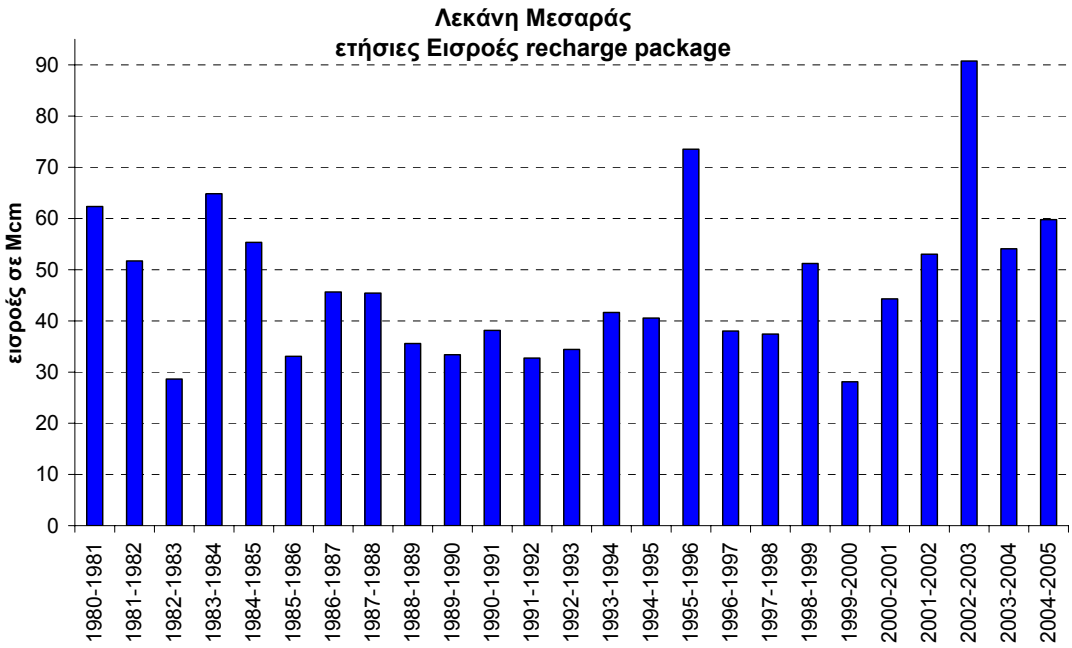


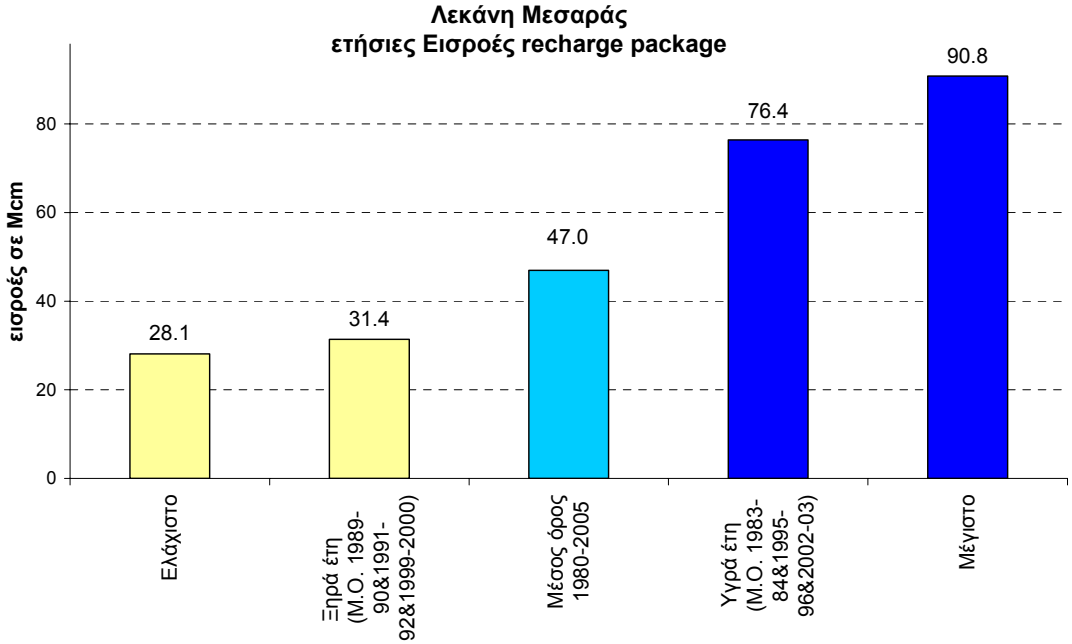
Εικόνα 6 - 98 Αποτελέσματα μεταβατικής ροής – αντλήσεις (4)



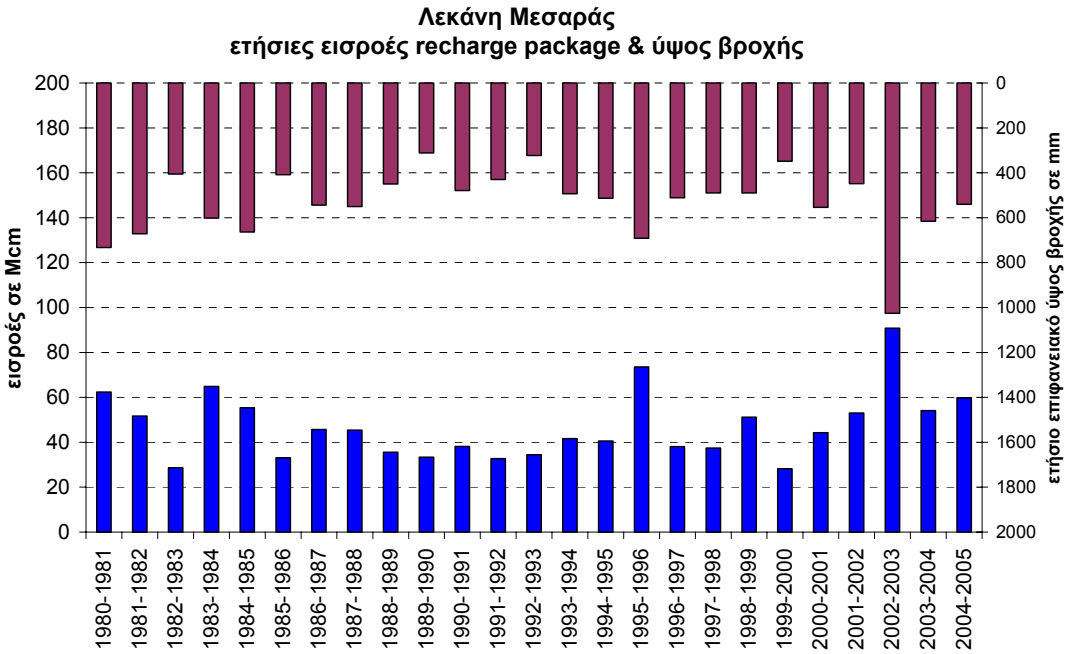


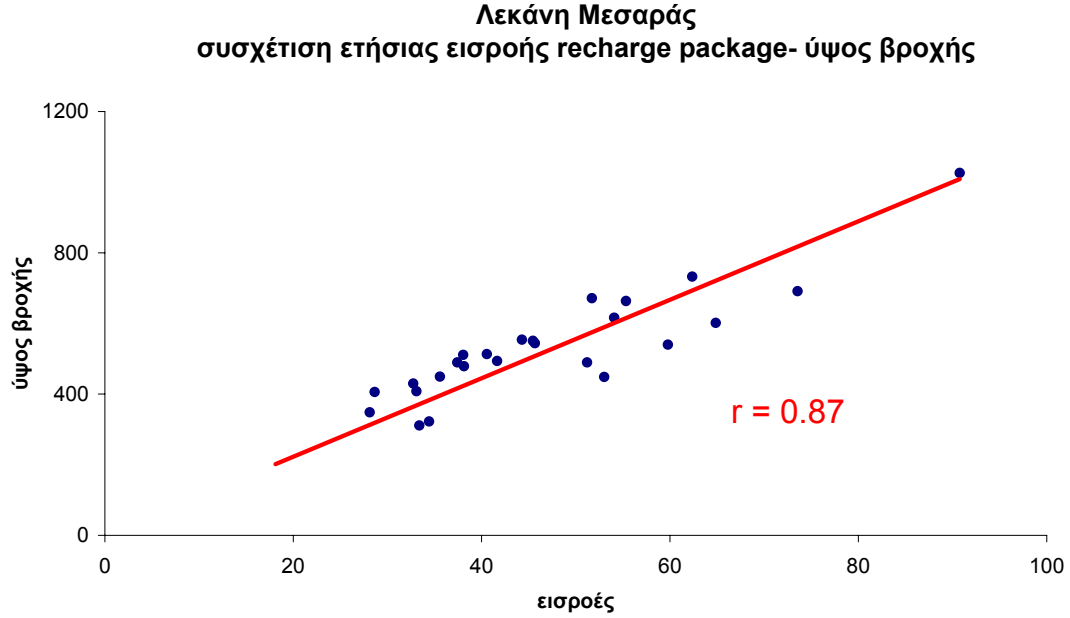
Εικόνα 6 - 99 Αποτελέσματα μεταβατικής ροής – αντλήσεις (5)



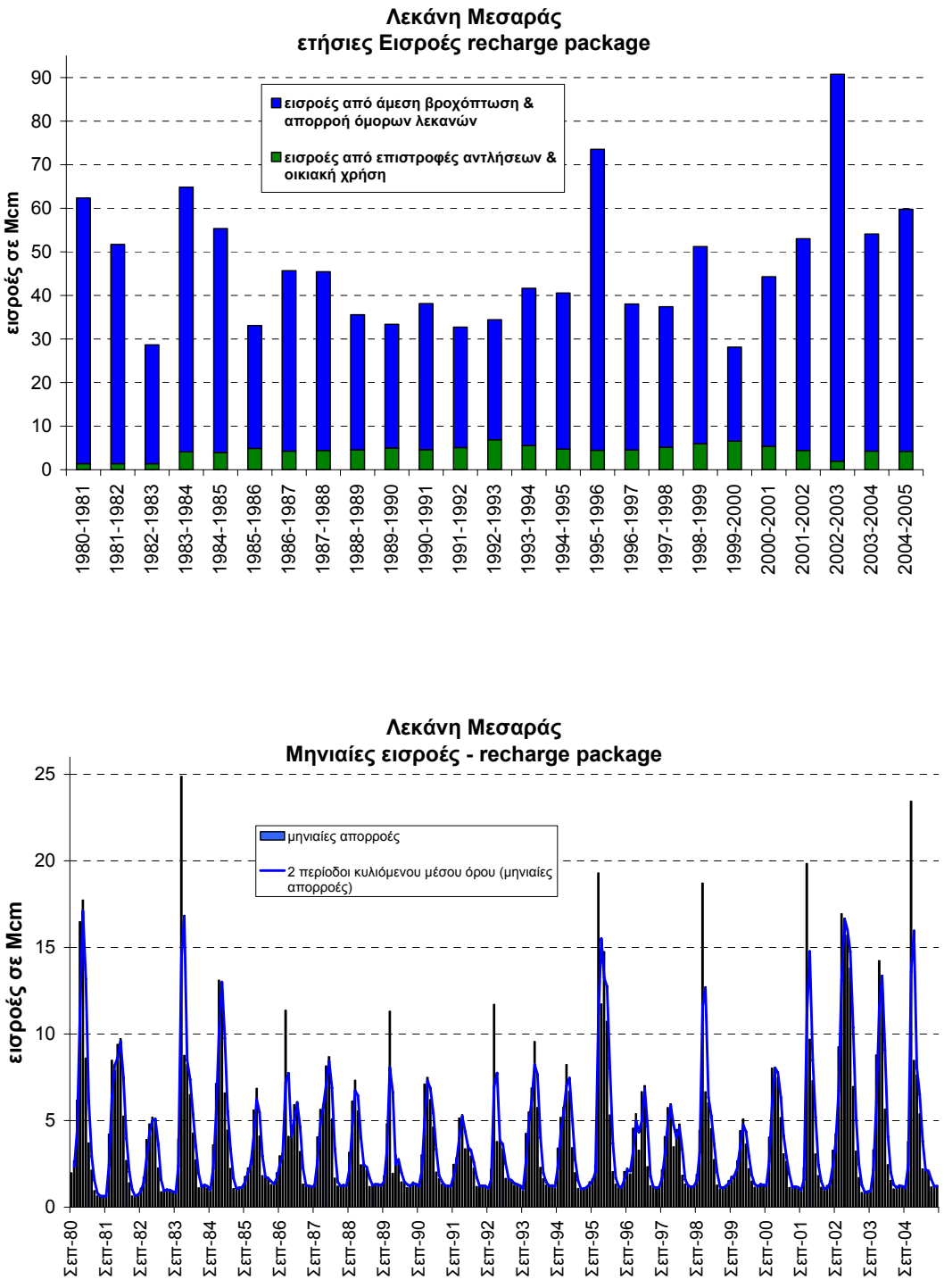


Εικόνα 6 - 100 Αποτελέσματα μεταβατικής ροής – εισροές recharge package (1)

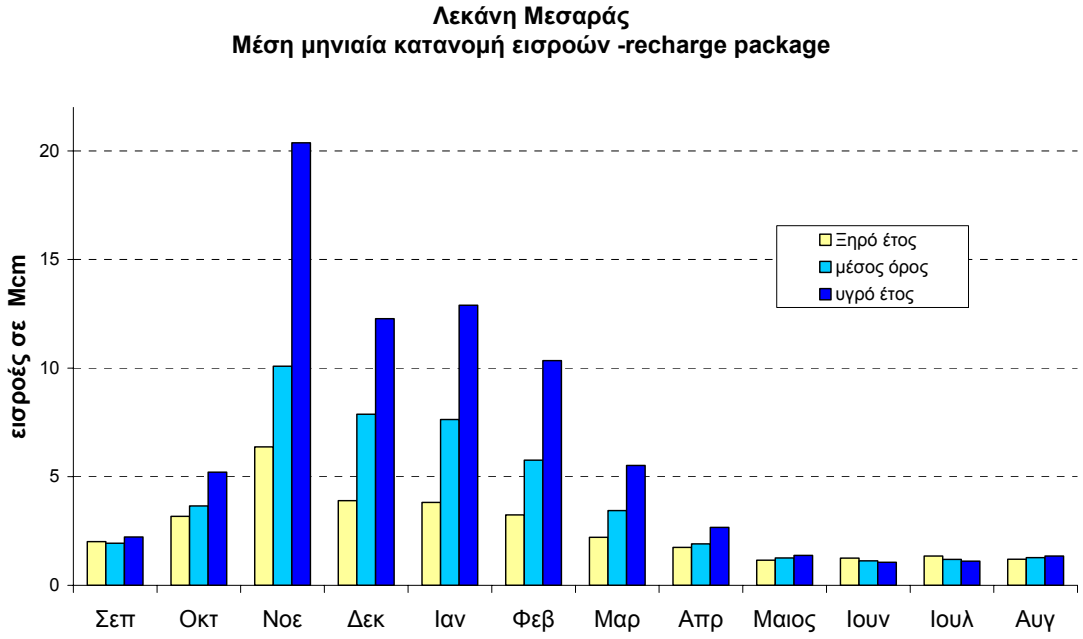


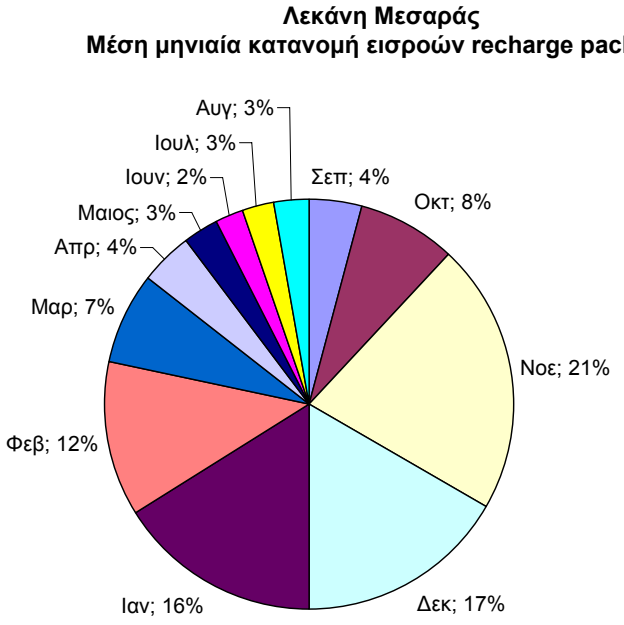


Εικόνα 6 - 101 Αποτελέσματα μεταβατικής ροής – recharge package (2)

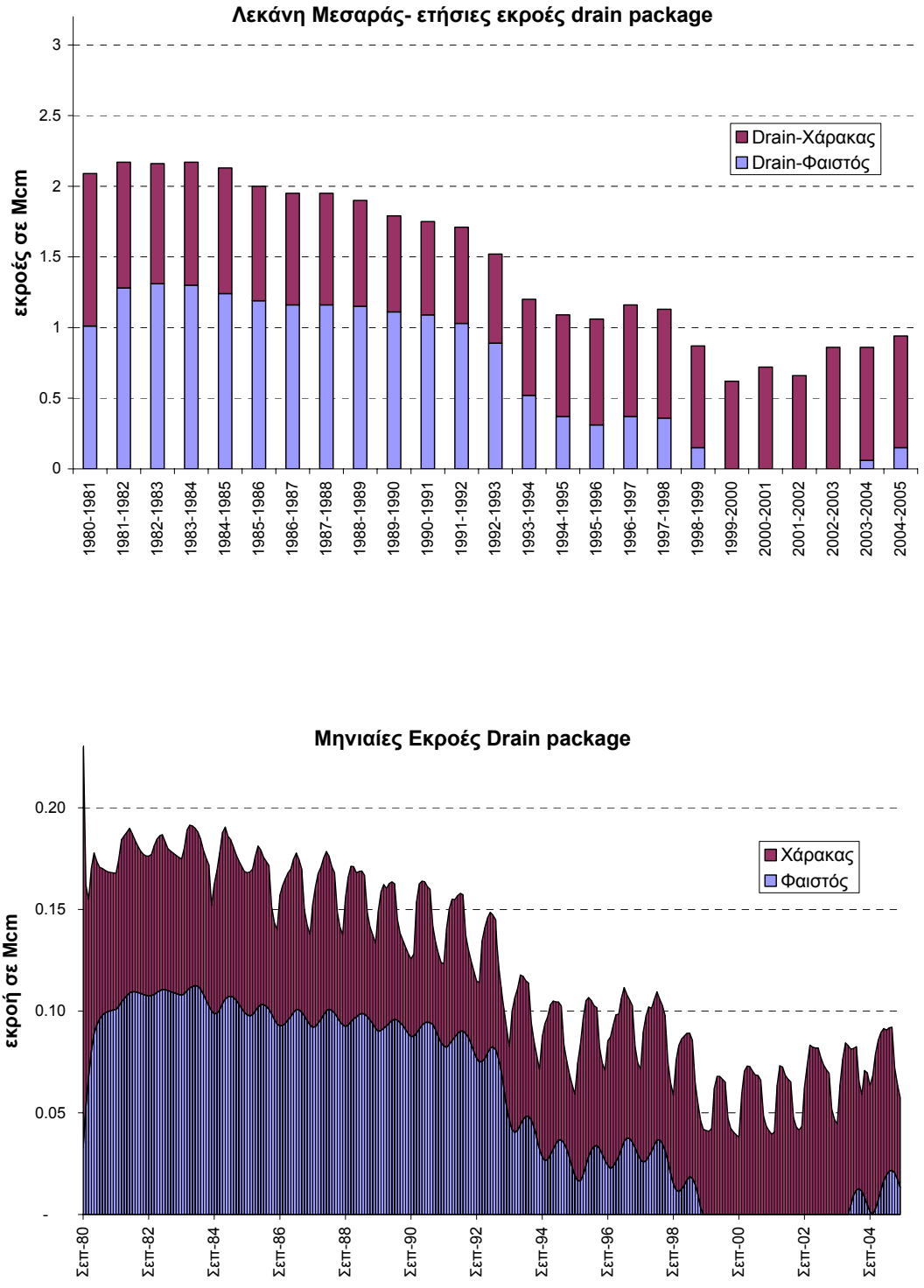


Εικόνα 6 - 102 Αποτελέσματα μεταβατικής ροής – recharge package (3)

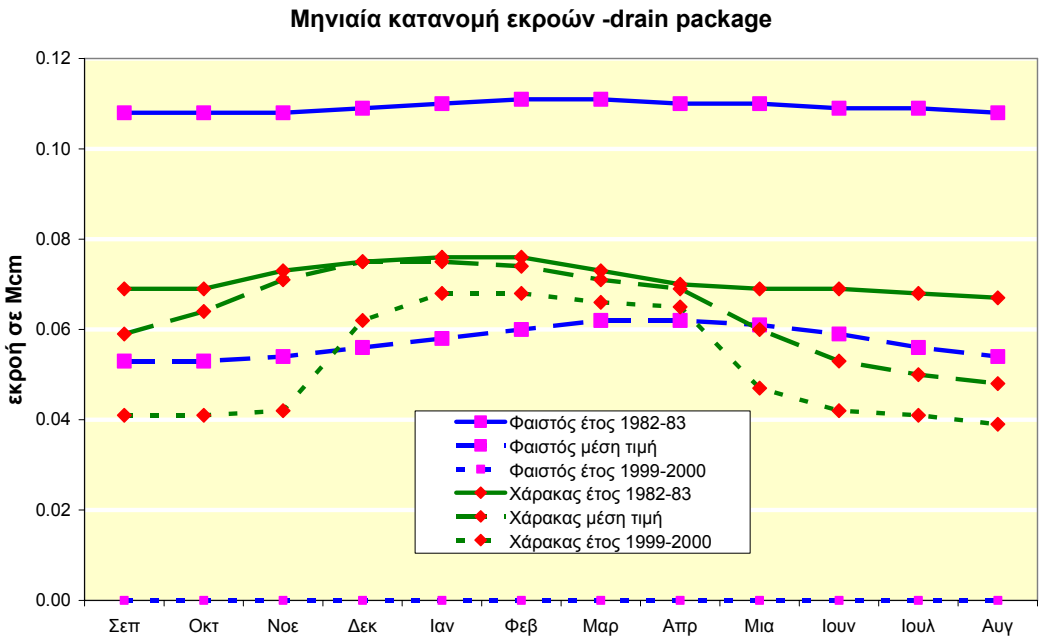


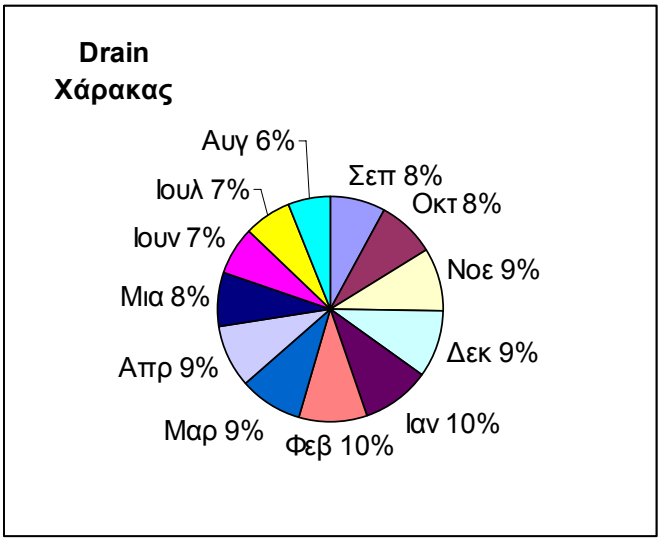


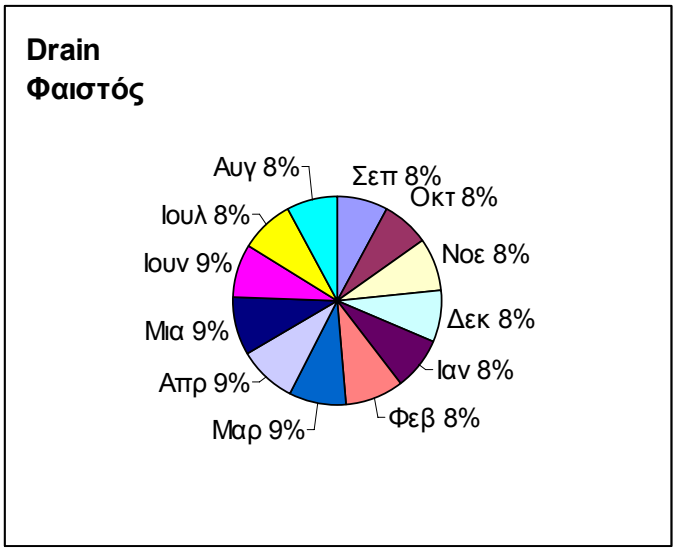
Εικόνα 6 - 103 Αποτελέσματα μεταβατικής ροής –recharge package (4)



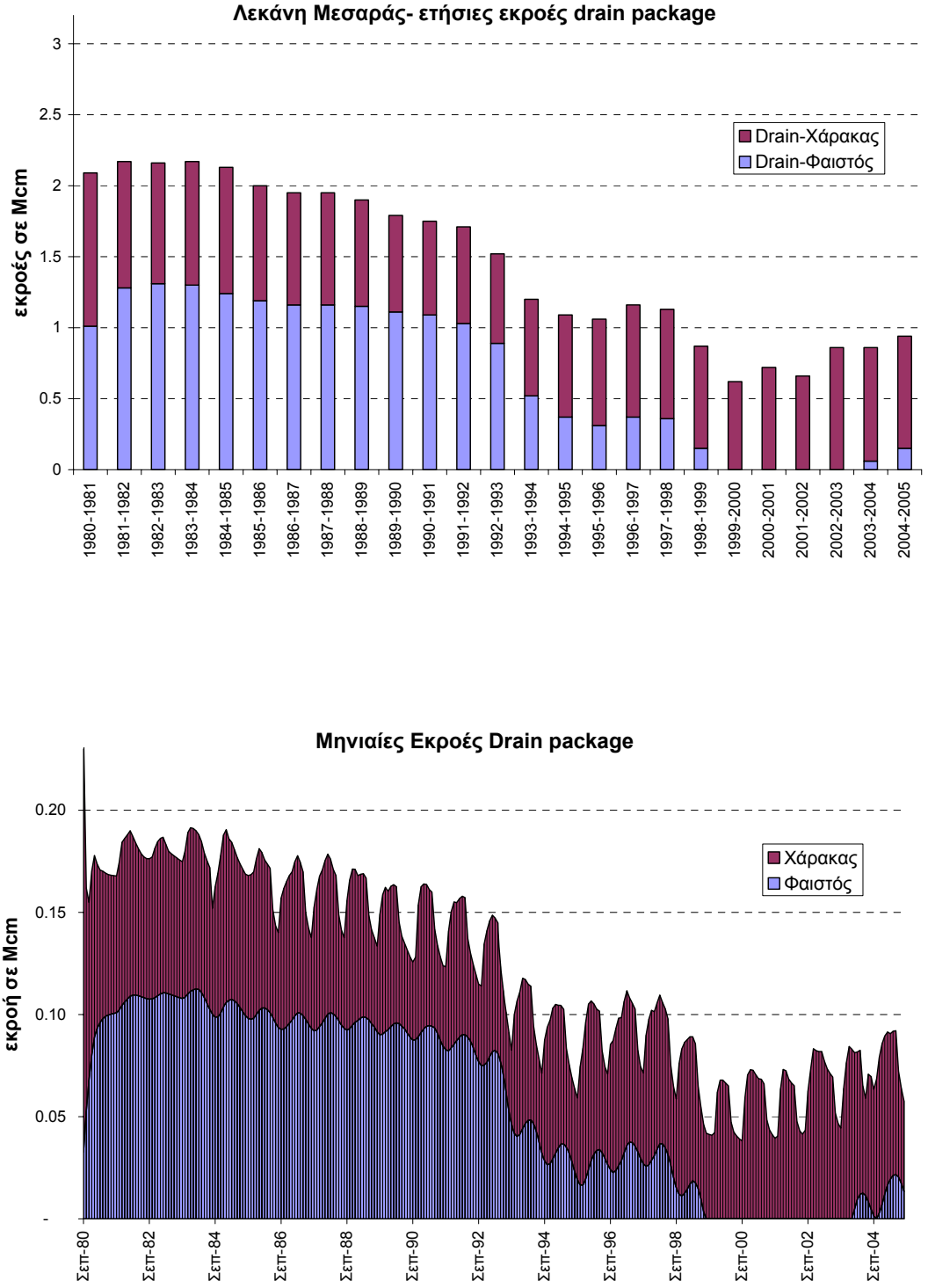
Εικόνα 6 - 104 Αποτελέσματα μεταβατικής ροής - drain package (1)



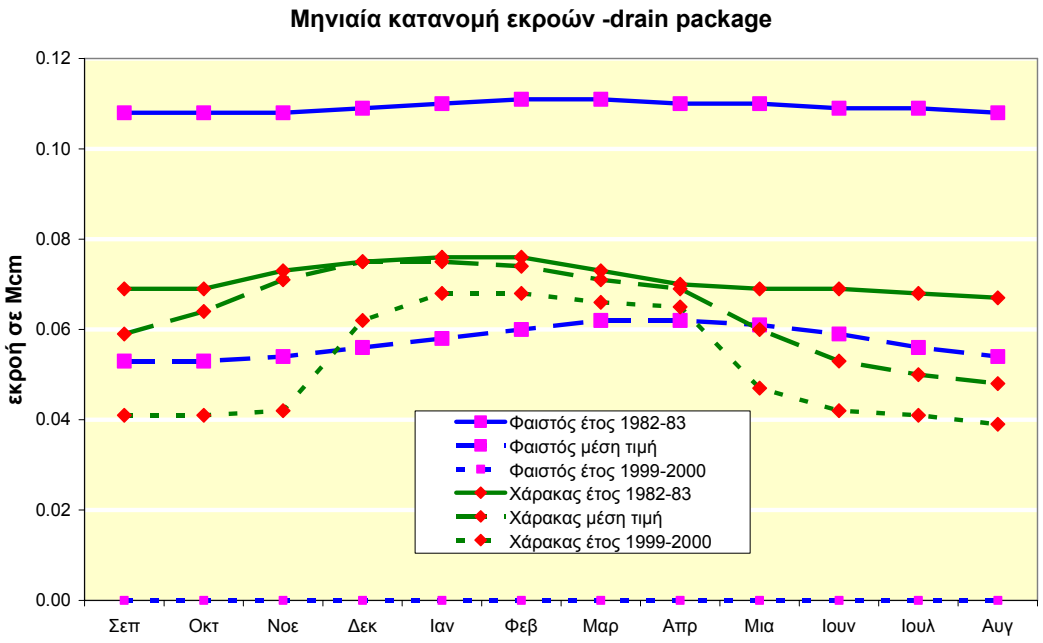


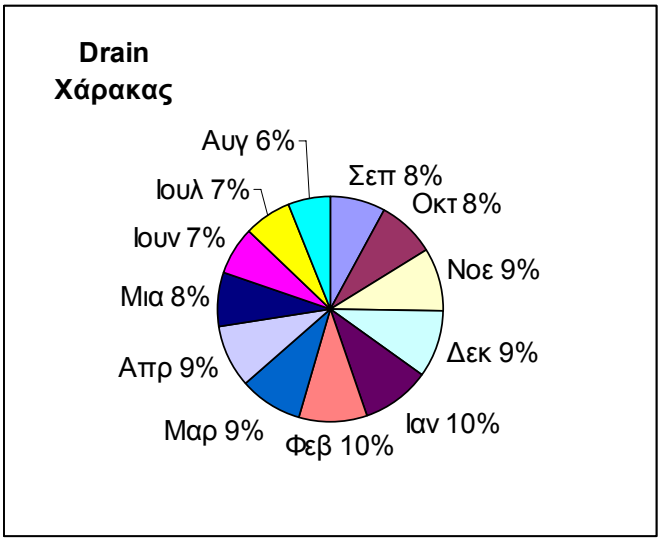


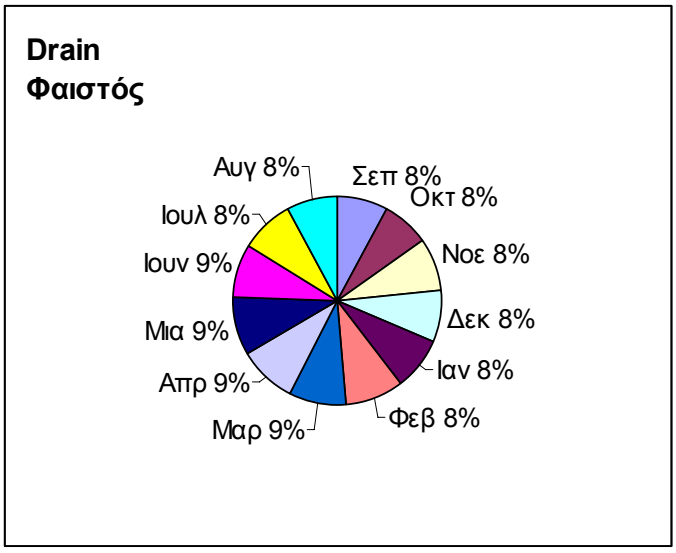
Εικόνα 6 - 105 Αποτελέσματα μεταβατικής ροής - drain package (2)



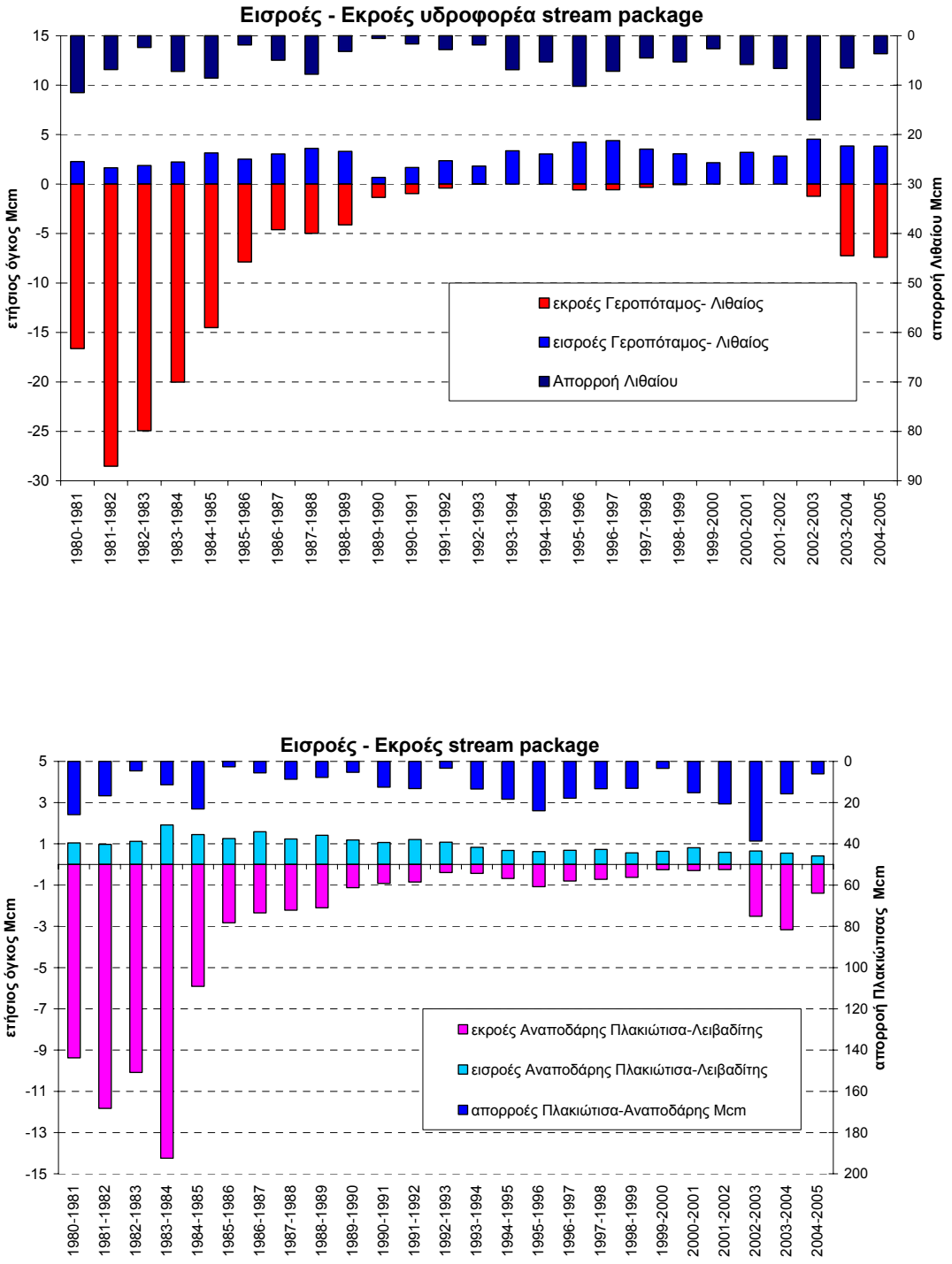
Εικόνα 6 - 106 Αποτελέσματα μεταβατικής ροής - drain package (3)



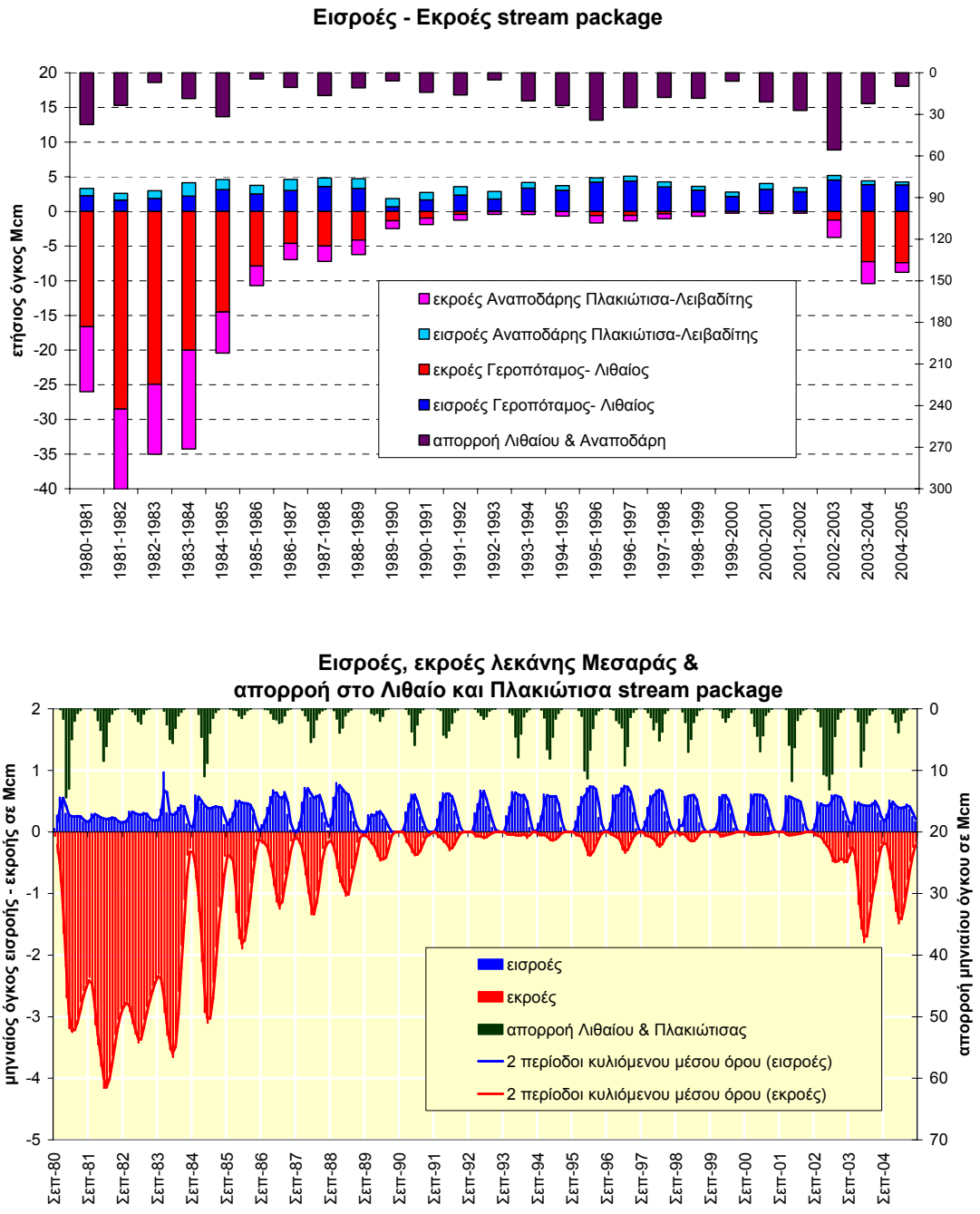




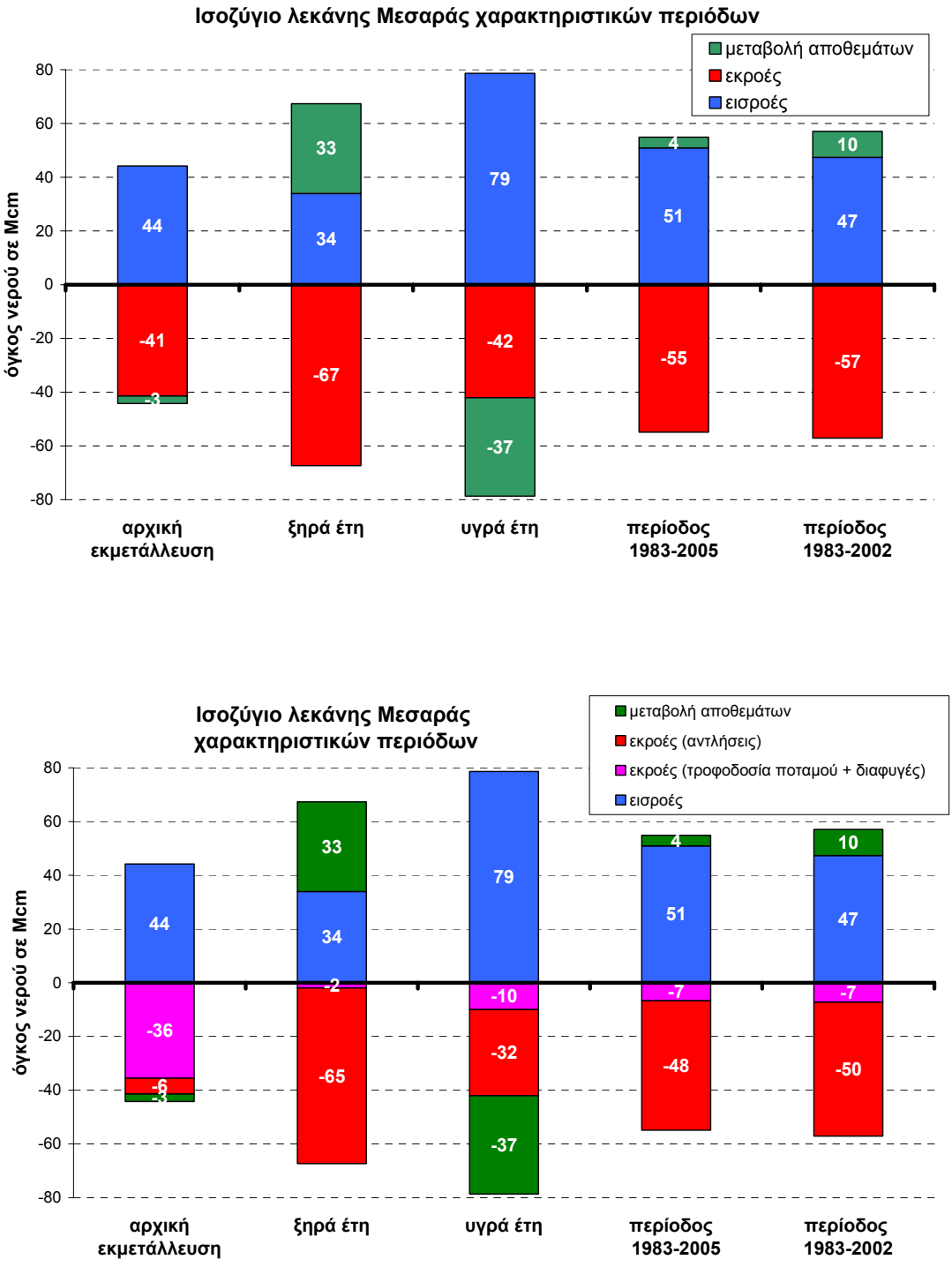
Εικόνα 6 - 107 Αποτελέσματα μεταβατικής ροής - drain package (4)



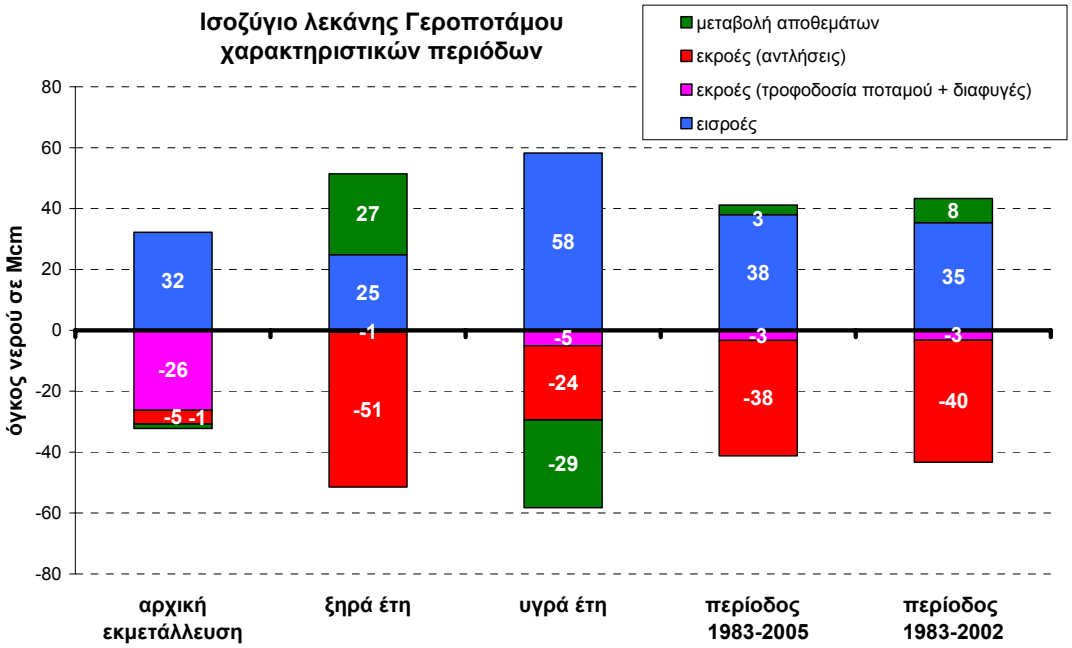
Εικόνα 6 - 108 Αποτελέσματα μεταβατικής ροής - stream package (1)

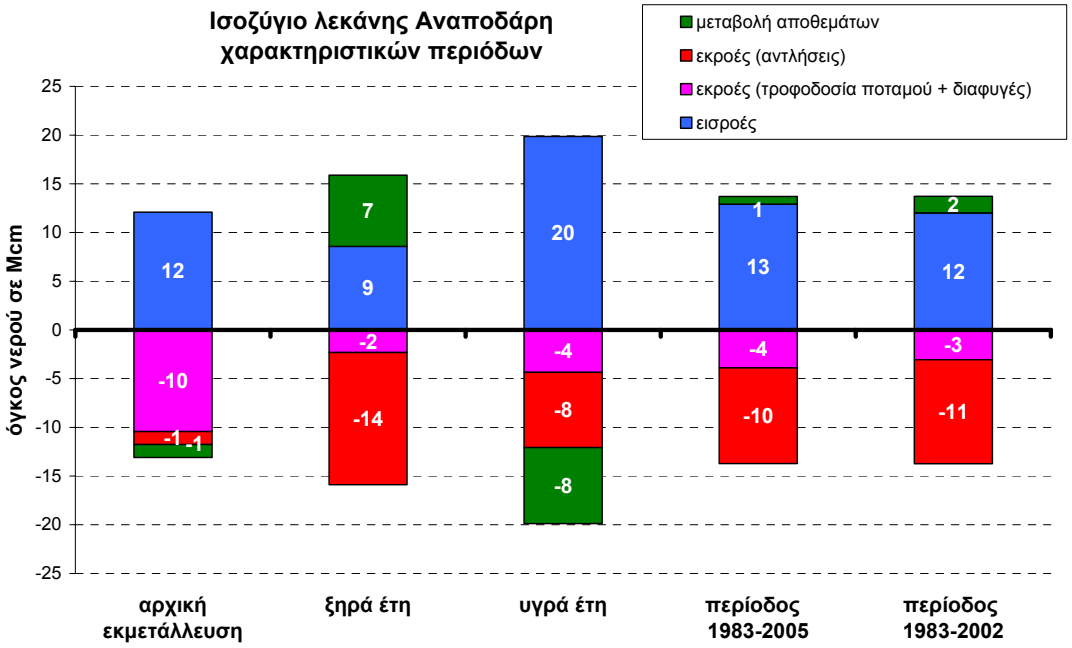


Εικόνα 6 - 109 Αποτελέσματα μεταβατικής ροής - stream package (2)



Εικόνα 6 - 110 Αποτελέσματα μεταβατικής ροής - Ισοζύγιο λεκανών (1)





Εικόνα 6 - 111 Αποτελέσματα μεταβατικής ροής - Ισοζύγιο λεκανών (2)