

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟΥ ΚΑΙ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΟΥ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ ΤΗΣ
ΛΕΚΑΝΗΣ ΤΟΥ ΚΕΡΙΤΗ ΠΟΤΑΜΟΥ (Ν. ΧΑΝΙΩΝ) ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΩΝ ΓΙΑ
ΤΗ ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΟΥ ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΤΗΣ**

ΧΡΗΣΤΟΣ Χ. ΜΑΝΤΖΟΥΚΑΣ

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

**ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ ΜΑΝΟΥΤΣΟΓΛΟΥ, (επιβλέπων)
ΖΑΧΑΡΙΑΣ ΑΓΙΟΥΤΑΝΤΗΣ
ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ ΣΤΕΙΑΚΑΚΗΣ**

**ΧΑΝΙΑ
ΙΟΥΛΙΟΣ, 2005**

Στους γονείς μου

Περίληψη

Στην διπλωματική αυτή εργασία εξετάζεται η υδρολογική λεκάνη του ποταμού Κερίτη και οι υδροφόροι της. Επιχειρείται ο ακριβέστερος προσδιορισμός του υδρολογικού ισοζυγίου και των υδρογεωλογικών ισοζυγίων των υδροφορέων της για την καλύτερη κατανόηση του τρόπου λειτουργίας της λεκάνης και την ποσοτική εκτίμηση παραμέτρων που ενδιαφέρουν.

Στη συνέχεια προσδιορίζονται οι μελλοντικές ανάγκες νερού για ύδρευση και άρδευση του Βόρειου τμήματος του Νομού Χανίων με σκοπό την διερεύνηση δυνατότητας κάλυψης αυτών των αναγκών από το υδατικό δυναμικό της περιοχής ενδιαφέροντος.

Εξετάζονται με τον παραπάνω στόχο δύο λύσεις που έχουν προταθεί στο παρελθόν (κατασκευή φραγμάτων Αλικιανού και Βαλσαμιώτη και περαιτέρω αναρρύθμιση πηγών Αγυιάς) και η περαιτέρω εκμετάλλευση του προσχωματικού υδροφορέα Κερίτη διερευνώντας και την επιδεκτικότητά του στον τεχνητό εμπλουτισμό.

Τέλος παρατίθενται τα συμπεράσματα αυτής της εργασίας με προτάσεις για ορθολογικότερη διαχείριση των υδάτων και επισημαίνονται τα σημεία που επιδέχονται περισσότερη έρευνα.

Πρόλογος

Για την πραγματοποίηση της συγκεκριμένης εργασίας καθοριστικό ρόλο διατέλεσε η συνεργασία με τους Καθηγητές του Πολυτεχνείου Κρήτης κ. Δ. Μονόπωλη, κ. Ζ. Αγιουτάντη, κ. Ε. Μανούτσογλου και κ. Ε. Στειακάκη τους οποίους ευχαριστώ θερμά.

Επίσης, ευχαριστώ τους κ. Βοζινάκη γεωλόγο της Υ.Ε.Β. και κ. Χαριτάκη γεωπόνο του Ο.Α.ΔΥ.Κ. για τις πολύτιμες παρατηρήσεις τους και τη βοήθειά τους στη συλλογή των απαραίτητων στοιχείων αυτής της εργασίας.

Περιεχόμενα

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
2. ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΕΡΕΥΝΑΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ	3
3. ΚΥΡΙΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ	9
3.1 Γεωγραφική θέση	9
3.2 Μορφολογία	9
3.3 Γεωλογία	11
3.3.1 Γενικά για τη γεωλογία της Κρήτης	11
3.3.2 Γεωλογία της περιοχής ενδιαφέροντος	14
3.4 Τεκτονική	19
3.5 Παλαιογεωγραφία	22
4. ΥΔΡΟΛΟΓΙΑ	25
4.1 Εισαγωγή	25
4.1.1 Ο υδρολογικός κύκλος	25
4.1.2 Η λεκάνη απορροής	27
4.2 Η υδρολογική λεκάνη Κερίτη	28
4.2.1 Οριοθέτηση	28
4.2.2 Μέσος ετήσιος όγκος ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων	30
4.3 Κατείσδυση	34
4.4 Επιφανειακή απορροή	41
4.5 Εξατμισοδιαπνοή	41
4.6 Γενικά συμπεράσματα	42
5. ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ	43
5.1 Γενικά	43
5.2 Υδρογεωλογικές ενότητες λεκάνης Κερίτη	48
5.2.1 Γενικά	48
5.2.2 Καρστική υδροφορία Αγιάς, Μεσκλών, Αναβάλλοντα και Κουφού	48
5.2.3 Προσχωματική υδροφορία λεκάνης Κερίτη	58
6. ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΥΔΑΤΙΝΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ	68
6.1 Υδατικές ανάγκες	68
6.2 Υφιστάμενη υδρομάστευση	73
6.2.1 Καρστικός υδροφορέας Αγιάς	74
6.2.2 Προσχωματικός υδροφορέας Κερίτη	75
6.2.3 Πηγές Ζούρμπου (Αποκόρωνα)	75
6.2.4 Ισοζύγιο "διαθέσιμων υδατικών πόρων - υδατικών αναγκών"	77
6.3 Φράγματα Αλικιανού και Βαλσαμιώτη	80
6.3.1 Γενικά	80
6.3.2 Χαρακτηριστικά	81
6.3.3 Τρόπος πλήρωσης των φραγμάτων	81
6.3.4 Τρόπος λειτουργίας των φραγμάτων	82
6.3.5 Ισοζύγιο "διαθέσιμων υδατικών πόρων - υδατικών αναγκών"	82
6.4 Αναρρύθμιση καρστικής υδροφορίας Αγιάς	86
6.5 Περαιτέρω εκμετάλλευση προσχωματικού υδροφορέα Κερίτη και εμπλουτισμός	89
6.5.1 Τεχνητός εμπλουτισμός υδροφορέων	89
6.5.1.1 Γενικά	89

6.5.1.2	Μέθοδοι τεχνητού εμπλουτισμού	89
6.5.1.3	Σχεδιασμός επιφανειακών μεθόδων εμπλουτισμού	100
6.5.2	Τεχνητός εμπλουτισμός προσχωματικού υδροφορέα Κερίτη	105

7.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	113
-----------	---------------------------------	-----

	ΒΙΒΛΙΟΦΡΑΦΙΑ	115
--	---------------------	-----

	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	118
--	------------------	-----

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το πρόβλημα που εξετάζεται σ' αυτή την εργασία είναι οι αυξανόμενες ανάγκες ύδρευσης και άρδευσης του βορείου τμήματος του νομού Χανίων. Όπως είναι γνωστό σ' αυτό το τμήμα συγκεντρώνεται το 80% του πληθυσμού του νομού, ένα πολύ μεγάλο ποσοστό των σημαντικότερων καλλιεργειών και οι περισσότερες τουριστικές εγκαταστάσεις.

Από τους ρυθμούς που αναπτύσσονται ο πληθυσμός, η οικονομία και ο τουρισμός γίνεται εύκολα αντιληπτή η αυξανόμενη ανάγκη υδάτινων πόρων και η ορθολογικότερη διαχείριση αυτών.

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι, ο προσδιορισμός των μελλοντικών αναγκών για ύδρευση και άρδευση και η διερεύνηση της δυνατότητας κάλυψης αυτών, από τις υδροφορίες της λεκάνης του Κερίτη (Ν. Χανίων).

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε, φαίνεται από τη σύντομη περιγραφή των κεφαλαίων αυτής της εργασίας, παρακάτω:

2^ο Κεφάλαιο: Αναφέρονται οι σημαντικότερες μελέτες του παρελθόντος που αφορούν την λεκάνη Κερίτη, τα σημαντικότερα συμπεράσματα αυτών και εντοπίζονται τα σημεία που επιδέχονται περαιτέρω έρευνα.

3^ο Κεφάλαιο: Εξετάζονται τα κύρια μορφολογικά γνωρίσματα, η στρωματογραφία, η τεκτονική και η παλαιογεωγραφία της περιοχής.

4^ο Κεφάλαιο: Οριοθετείται η υδρολογική λεκάνη Κερίτη και υπολογίζεται το ισοζύγιό της.

5^ο Κεφάλαιο: Οριοθετούνται οι υπόγειοι υδροκρίτες των δύο υδρογεωλογικών λεκανών της περιοχής και υπολογίζονται τα ισοζύγιά τους. Εξετάζεται αναλυτικότερα ο ποταμός Κερίτης και η αλληλεπίδρασή του με τις υπόγειες υδροφορίες.

6^ο Κεφάλαιο: Υπολογίζονται οι υδατικές ανάγκες του έτους 2030.

Μετά παρουσιάζεται η υφιστάμενη υδρομάστευση της περιοχής και υπολογίζεται το ισοζύγιο “διαθέσιμων υδατικών πόρων – υδατικών αναγκών” για το έτος 2030 από όπου διαπιστώνεται το μέγεθος των μελλοντικών υδατικών αναγκών.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται δύο προτάσεις που έχουν γίνει στο παρελθόν για την κάλυψη αυτών των αναγκών. Η πρώτη είναι η πρόταση του Οργανισμού Ανάπτυξης Δυτικής Κρήτης και αναφέρεται στην κατασκευή δύο φραγμάτων στην λεκάνη του Κερίτη και η δεύτερη είναι του Υπουργείου Δημοσίων Έργων που αναφέρεται στην αναρρύθμιση της καρστικής υδροφορίας της Αγυιάς. Και υπολογίζονται τα ισοζύγια “διαθέσιμων υδατικών πόρων – υδατικών αναγκών” με τις παραπάνω προτάσεις σε λειτουργία.

Τέλος εξετάζεται η προσχωματική υδροφορία Κερίτη για να διαπιστωθεί εάν είναι δυνατή η περαιτέρω εκμετάλλευσή της και εάν είναι δυνατός ο τεχνητός εμπλουτισμός του υδροφορέα και με ποιες μεθόδους για την κάλυψη έστω και μερική των μελλοντικών αναγκών.

7^ο Κεφάλαιο: Παρατίθενται τα τελικά συμπεράσματα, προτάσεις για ορθότερη διαχείριση του υδάτινου δυναμικού και επισημαίνονται τα σημεία που χρήζουν περισσότερη έρευνα.

2. ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΕΡΕΥΝΑΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Η ύπαρξη των μεγάλων καρστικών πηγών Αγυιάς και Μεσκλών καθιστά την περιοχή μελέτης άκρως ενδιαφέρουσα. Οι υδατικοί αυτοί πόροι είναι ικανοί να καλύψουν τις υδροαρδευτικές ανάγκες του 80% του πληθυσμού του νομού Χανίων, συνεισφέροντας καταλυτικά στην τουριστική και οικονομική ανάπτυξή του. [Λιαλιάρης, 1996]

Το γεγονός αυτό είχε γίνει αντιληπτό από πολύ νωρίς καθώς υπάρχουν πληροφορίες για έργα εκμετάλλευσης των υδάτων των πηγών και στον 18ο αιώνα. Οι πρώτες όμως σημαντικές προσπάθειες έρευνας και εκμετάλλευσης χρονολογούνται από τις αρχές του προηγούμενου αιώνα. [Λιαλιάρης, 1996] Παρακάτω αναφέρονται με χρονολογική σειρά οι πιο αξιόλογες:

1. Το 1939 κατασκευάστηκε αρδευτική διώρυγα από τις πηγές της Αγυιάς έως την κοινότητα Κολυμπαρίου, συνολικού μήκους 21km. Κατασκευάστηκε επίσης το υδραγωγείο της πόλης των Χανίων στις ίδιες πηγές. [Λιαλιάρης, 1996]

2. Το 1969 το υπουργείο Γεωργίας εκπόνησε συγκεκριμένο πρόγραμμα άρδευσης του βόρειου τμήματος του νομού Χανίων από τις πηγές που εκφορτίζονται στις βόρειες υπώρειες των Λευκών Όρεων. Σύμφωνα με το πρόγραμμα αυτό, η έκταση της περιοχής που θα αρδεύονταν γύρω από κάθε πηγή θα προέκυπτε βάσει της ελάχιστης παροχής της.

Θα πρέπει να τονιστεί ότι εκείνη την εποχή η επικρατούσα άποψη για τη γεωλογική δομή της Κρήτης θεωρούσε την ενότητα Φυλλιτών-Χαλαζιτών ως υπόβαθρο των ασβεστόλιθων των Λευκών Όρεων. Έτσι, οι πηγές Αγυιάς και Μεσκλών και όλες οι αντίστοιχες πηγές των γειτονικών λεκανών θεωρούνταν ως πηγές επαφής και το ετήσιο εκμεταλλεύσιμο υδατικό δυναμικό τους προέκυπτε βάσει των ελάχιστων παροχών τους.

Το συγκεκριμένο πρόγραμμα άρδευσης θα κάλυπτε αρχικά εκτάσεις 71.000 στρεμμάτων με προοπτική επέκτασης στα 89.000. Μέσα στο πλαίσιο αυτό, εκτελέστηκαν το ίδιο έτος ερευνητικές εργασίες εντός της υδρολογικής

λεκάνης Κερίτη. [Φραγκόπουλος και Κωνσταντινίδης, 1969]. Οι εργασίες αυτές περιλάμβαναν γεωλογική χαρτογράφηση, διάνοιξη ερευνητικών γεωτρήσεων και υδρογεωτρήσεων, μετρήσεις στάθμης και χημικές αναλύσεις. Το ετήσιο εκμεταλλεύσιμο υδατικό δυναμικό του προσχωματικού υδροφορέα Κερίτη υπολογίστηκε την εποχή εκείνη σε $9 \times 10^6 \text{m}^3$, ενώ οι πηγές θεωρήθηκαν ως πηγές επαφής.

Από τα έργα που προγραμματίστηκαν σύμφωνα με το παραπάνω σχέδιο, το μόνο που κατασκευάστηκε και λειτουργεί μέχρι σήμερα είναι το αρδευτικό έργο του Βαρύπετρου που αντλεί νερό από τον καρστικό υδροφορέα Αγκιάς και αρδεύει έκταση 12.000 στρεμμάτων με δίκτυο αγωγών υπό πίεση. Με τις σημερινές συνθήκες από το έργο αυτό αντλείται ετησίως ποσότητα $8 \times 10^6 \text{m}^3$ νερού. [Λιαλιάρης, 1996]

3. Το 1972 οι εσφαλμένες απόψεις για τη γεωλογία της περιοχής άρχισαν να ανατρέπονται μετά την προκαταρκτική έρευνα των Πηγών Αγκιάς [Αρανίτης, Ζερβογιάννης και Μελισσάρης, 1972]. Στην μελέτη αυτή, μετά από γεωλογική χαρτογράφηση 1:5000, γεωφυσικές έρευνες και δειγματοληπτικές γεωτρήσεις, για πρώτη φορά διατυπώθηκε η άποψη ότι οι πηγές είναι υπερχείλισης και όχι επαφής.

Την ίδια περίοδο, στα πλαίσια της ενιαίας αξιοποίησης υδατικού δυναμικού Δυτικής Κρήτης που ανέθεσε σε διάφορους φορείς το υπουργείο Δημ. Έργων, εκπονήθηκε από τους [Παυλάκη κ.α., 1972] αντίστοιχη μελέτη της ευρύτερης περιοχής, η οποία αναφερόταν στην αναρρύθμιση των πηγών, δηλαδή στην υπεράντληση νερού κατά τους καλοκαιρινούς μήνες και στη φυσική αναπλήρωση του το χειμώνα. Ακολούθησε η εκτέλεση υδρογεωλογικών ερευνών, με τις οποίες επιβεβαιώθηκε η άποψη ότι οι πηγές είναι πηγές υπερχείλισης, των οποίων ο υδροφορέας εκτείνεται σε μεγάλο βάθος κατάντη του σημείου αναβλύσεως. [Λιαλιάρης, 1996]

4. Το 1973 από το Ινστιτούτο Ραδιολογίας και Βραχομηχανικής του Πανεπιστημίου του Bordeaux έγινε τηλεδιερεύνηση της περιοχής από αεροπλάνο. Η τηλεδιερεύνηση περιελάμβανε αποτύπωση της ανακλώμενης από το έδαφος ακτινοβολίας σε διάφορες φασματικές ζώνες, καθώς και ραδιομετρήσεις της ακτινοβολίας "γ". Από τις μετρήσεις αυτές προέκυψε

θερμογραφικός χάρτης, στον οποίο φαίνονται οι κύριοι άξονες κίνησης του νερού και οι θέσεις των υποθαλάσσιων εκφορτίσεων. [Λιαλιάρης, 1996]

5. Το 1975-77 διεκπεραιώθηκε η οριστική υδρογεωλογική μελέτη των πηγών Αγυιάς (συνέχεια της προμελέτης από τους Αρανίτη, Ζερβογιάννη, Μελισσάρη). Έγιναν συνολικά 21 ερευνητικές δειγματοληπτικές γεωτρήσεις, μετρήσεις στάθμης και 3 δοκιμαστικές γεωτρήσεις γύρω από τις πηγές με δοκιμαστικές αντλήσεις στις δυο από αυτές. Επιβεβαιώθηκε ο μηχανισμός λειτουργίας των πηγών (πηγές υπερπλήρωσης) και προτάθηκε αναρρύθμισή τους με διάνοιξη 18 υδρογεωτρήσεων ανάντη των.

Οι καινούργιες απόψεις, που επιβεβαιώθηκαν από την παραπάνω μελέτη, είχαν σαν αποτέλεσμα να σταματήσουν οι εργασίες που είχαν προγραμματισθεί βάσει παλαιότερων προγραμμάτων.

Έτσι, προτάθηκαν νέα σχέδια που προέβλεπαν ενιαία διακίνηση του νερού κατά μήκος των Β. ακτών του νομού, μέσω ενός αγωγού υπό πίεση και με αξιοποίηση περίπου του 40% του ετήσιου δυναμικού τους. Η εκτέλεση και λειτουργία όλου του αρδευτικού έργου (που περιελάμβανε και το ήδη υπάρχον αντλιοστάσιο του Βαρύπετρου) αποφασίστηκε να γίνεται κατά φάσεις (Α και Β φάση) ανάλογα με την πρόοδο των εργασιών.

Από το 1978 και έπειτα, ακολουθεί η εκτέλεση των ερευνητικών εργασιών για την εκπόνηση των έργων Α και Β φάσης χωρίς να εξετάζεται το ενδεχόμενο αναρρύθμισης των πηγών. Τα έργα της Α φάσης προσχεδιάστηκαν να καλύπτουν έκταση 75.000 στρεμμάτων και αυτά της Β, 43.000 στρεμμάτων επιπλέον. Η εκτέλεση των παραπάνω έργων ανατέθηκε στον Οργανισμό Ανάπτυξης Δυτικής Κρήτης (Ο.Α.ΔΥ.Κ.). Η κατασκευή των έργων της Α φάσης άρχισε το 1980 με χρηματοδότηση της Ευρωπαϊκής Τράπεζας επενδύσεων. Τα έργα αυτά έχουν περατωθεί, ενώ συνεχίζονται οι έρευνες για την κατασκευή των έργων της επόμενης φάσης. [Λιαλιάρης, 1996]

6. Το 1983 ο Ο.Α.ΔΥ.Κ. άρχισε τη διάνοιξη υδρογεωτρήσεων στη ζώνη των πηγών Αγυιάς. Οι δυσκολίες που συναντήθηκαν οδήγησαν στη διακοπή των εργασιών και σε αναζήτηση νέων θέσεων. Μετά από τη γεωλογική μελέτη των [Δεμίρη και Μελαδιώτη, 1983], αποφασίστηκε η διάνοιξη σειράς υδρογεωτρήσεων στην ασβεστολιθική μάζα του Χοιροσπηλίου κοντά στον

οικισμό των Μυλωνιανών, 2 km νότια των πηγών. Σήμερα λειτουργούν οι τρεις από αυτές. Έχουν συναντήσει πολύ μεγάλη υδροφορία και δίνουν συνολικές παροχές της τάξης των 2700 m³/h. Οι τιμές αυτές είναι από τις πιο αξιόλογες στον Ελληνικό χώρο.

Το νερό που αντλείται από τα Μυλωνιανά χρησιμοποιείται κυρίως για αρδεύσεις κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, όμως ένα ποσοστό του πωλείται στην ΔΕΥΑΧ για να συμπληρώσει τις αυξημένες θερινές ανάγκες ύδρευσης της πόλης των Χανίων. [Λιαλιάρης, 1996]

7. Το 1989 πραγματοποιήθηκε διδακτορική διατριβή [Παυλάκης, 1989] που αφορά την ευρύτερη περιοχή έρευνας. Στη μελέτη αυτή υποστηρίζεται ότι οι μεγάλες διαρρήξεις της περιοχής παίζουν καθοριστικό ρόλο στη διακίνηση των υπογείων υδάτων, λειτουργώντας άλλοτε ως διαφράγματα και άλλοτε ως δίοδοι. Με τη βοήθεια τηλεανίχνευσης εντοπίζονται οι κύριες υποθαλάσσιες εκφορτίσεις του υπόγειου νερού. Επίσης, μετά από δοκιμαστικές αντλήσεις προέκυψε ότι η συμπεριφορά του καρστικού υδροφορέα κοντά στις πηγές της Αγυιάς, ομοιάζει περισσότερο με αυτή ενός πορώδους μέσου. [Λιαλιάρης, 1996]

8. Κατά τη διάρκεια των ετών 1991-93 έλαβαν χώρα ερευνητικές εργασίες στα πλαίσια κοινοτικού προγράμματος με την ονομασία STRIDE-HELLAS. Το πρόγραμμα, που ανατέθηκε σε τρεις φορείς (ΔΕΥΑΧ, ΟΑΔΥΚ και Πολυτεχνείο Κρήτης), είχε σαν κύριο στόχο τον έλεγχο της ποιότητας του υδατικού δυναμικού της Δ. Κρήτης και την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με την ορθολογική χρήση των υδάτων. Μετά από διάφορες χημικές αναλύσεις δε διαπιστώθηκε σοβαρή ρύπανση των υδροφόρων οριζόντων της περιοχής, ενώ επισημάνθηκε η αναγκαιότητα συνέχισης του χημικού και μικροβιολογικού ελέγχου των υδάτων και πύκνωσης του υπάρχοντος δικτύου ελέγχου. [Λιαλιάρης, 1996]

9. Το 1992, σε υδρογεωλογική έρευνα που εκτέλεσε το ΙΓΜΕ στην ευρύτερη περιοχή Αγυιάς-Μουρνιών-Σούδας, δίνεται έμφαση στις υπόγειες διαφυγές από τις πηγές Αγυιάς προς τη γειτονική λίμνη και επισημαίνεται η

ανάγκη εκτέλεσης έργων για τον περιορισμό τους, δηλαδή για βελτιστοποίηση της υδρομάστευσης των πηγών. [Λιαλιάρης, 1996]

10. Το 1993 στα πλαίσια της αξιοποίησης του υδατικού δυναμικού της Δ. Κρήτης ολοκληρώνεται η οριστική μελέτη δύο φραγμάτων, του Αλικιανού και του Βαλσαμιώτη. Τα δύο αυτά φράγματα, τα οποία θα αξιοποιούν μεγάλο μέρος του δυναμικού των πηγών των Μεσκλών, θα χρησιμεύουν ως υδατικοί πόροι αιχμής και ασφαλείας του ενιαίου συστήματος διακίνησης και διαχείρισης των υδάτων στις περιοχές Χανιά - Κολυμβάρι και Ακρωτήρι, οι οποίες τροφοδοτούνται με νερό από τον Ο.Α.ΔΥ.Κ..

11. Το 1995 πραγματοποιείται από τον Ο.Α.ΔΥ.Κ. μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων των φραγμάτων Αλικιανού και Βαλσαμιώτη.

12. Το 1996 πραγματοποιείται από τη Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση Χανίων εργασία καταγραφής του υδατικού δυναμικού του Νομού.

13. Την ίδια χρονιά πραγματοποιείται στο Πολυτεχνείο Κρήτης μεταπτυχιακή διατριβή [Λιαλιάρης, 1996] με αντικείμενο μελέτης το υδρολογικό και υδρογεωλογικό ισοζύγιο της λεκάνης του ποταμού Κερίτη. Στη μελέτη αυτή επιβεβαιώνεται η υδραυλική επικοινωνία του ποταμού Κερίτη με τον υδροφόρο ορίζοντα των προσχώσεων της πεδινής έκτασης Βατόλακκου-Αλικιανού-Αγυιάς. Ακόμη υπολογίστηκε το υδατικό δυναμικό της περιοχής και το ποσοστό εκμετάλλευσής τους. Τονίζεται η ενιαία καταγραφή και παρακολούθηση του τρίπτυχου βροχοπτώσεις - απορροή Κερίτη - πιεζομετρία το οποίο μπορεί να αποκρυπτογραφήσει πλήρως το υδατικό ισοζύγιο της περιοχής.

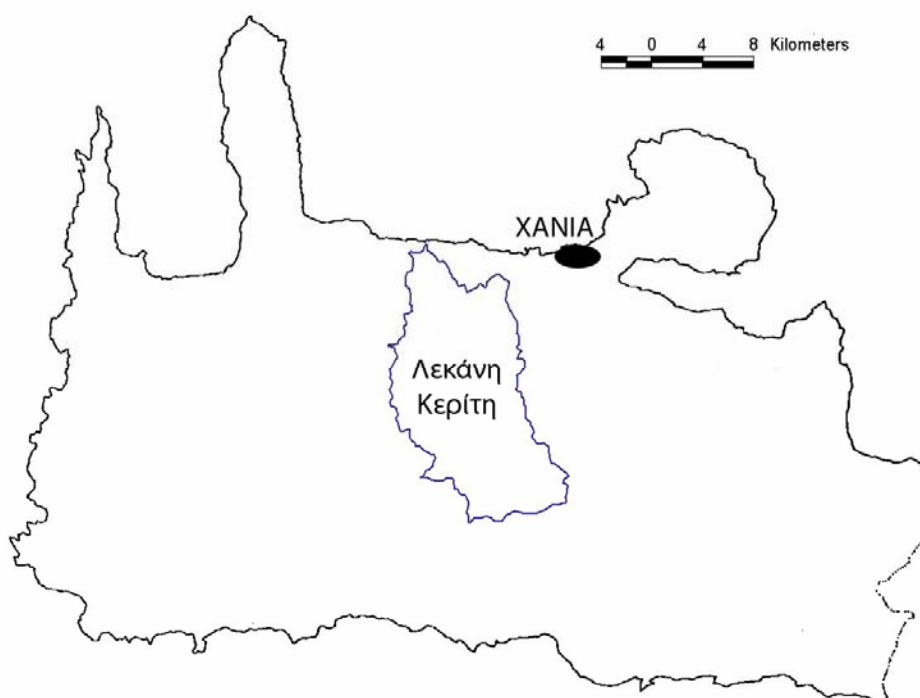
14. Το 2001 με φορέα το Υπουργείο Γεωργίας πραγματοποιείται μελέτη των υδροφοριών στο βόρειο τμήμα του Νομού Χανίων με πλούσιο διατρητικό πρόγραμμα όπου τονίζεται η περαιτέρω εκμετάλλευση μέσω αναρρύθμισης του καρστικού υδροφορέα Αγυιάς [Περλέρος και Λιονής, 2001].

15. Το 2002 εκπονείται στο Πολυτεχνείο Κρήτης Διπλωματική Εργασία [Hamdan, 2002] με αντικείμενο μελέτης γεωφυσική διασκόπηση στη λεκάνη του ποταμού Κερίτη. Επιβεβαιώνεται το φυλλιτικό – χαλαζιτικό και κατά θέσεις ασβεστολιθικό υπόβαθρο των προσχώσεων του Κερίτη.

3. ΚΥΡΙΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

3.1 Γεωγραφική Θέση

Η ευρύτερη περιοχή έρευνας, η οποία περικλείει την υδρολογική και υδρογεωλογική λεκάνη του ποταμού Κερίτη, βρίσκεται μεταξύ των γεωγραφικών συντεταγμένων 35 15' - 35 32' Β. πλάτους και 23 45' - 23 55' Αν. μήκους και εντοπίζεται στο κεντρικό τμήμα του νομού Χανίων (Σχήμα 3.1).



Σχήμα 3.1. Περιοχή έρευνας (νομός Χανίων)

3.2 Μορφολογία [Λιαλιάρης, 1996]

Η περιοχή έχει ποικίλα μορφολογικά χαρακτηριστικά, τα οποία αλλάζουν έντονα από Βορρά προς Νότο. Έτσι, από το απότομο ανάγλυφο των Λευκών

Ορέων παρατηρείται σταδιακή μετάβαση προς το πολύ ήπιο ανάγλυφο των Βορείων παραλίων του νομού με επίπεδες καλλιεργήσιμες εκτάσεις. Η διάκριση της περιοχής σε μορφολογικές ζώνες αποτελεί σημείο αναφοράς με βάση το οποίο θα περιγράφονται παρακάτω τα διάφορα χαρακτηριστικά της (γεωλογία, τεκτονική κτλ.).

Αναλυτικότερα, στην περιοχή διακρίνονται τρεις κύριες ζώνες, η ζώνη του καρστ, η μεταβατική και η πεδινή ζώνη (Σχήμα 3.2):

➤ **Ζώνη του καρστ.** Πρόκειται για το ΒΔ τμήμα των Λευκών Ορέων. Χαρακτηρίζεται από πολύ μεγάλα υψόμετρα (κορυφή Μελινταού 2133m), έντονες κλίσεις και «γωνιώδη» περιγράμματα του αναγλύφου. Το υψηλότερο τμήμα αυτής της ζώνης (υψόμετρα μεγαλύτερα των 1600m) είναι σχεδόν μόνιμα χιονισμένο, με εξαίρεση τους μήνες Ιούλιο, Αύγουστο και Σεπτέμβριο.

Πρόκειται για μια τυπική καρστική περιοχή, όπου είναι σε πλήρη ανάπτυξη όλες εκείνες οι μορφές που προκύπτουν από τη διάλυση των ανθρακικών πετρωμάτων. Έτσι, διακρίνονται μορφές μικρής και μεσαίας κλίμακας όπως γλυφές, ουβάλες και μικρές δολίνες καθώς και δομές μεγάλης κλίμακας διάβρωσης, που είναι και οι πιο εντυπωσιακές. Οι χαρακτηριστικότερες από αυτές είναι τα δύο μεγάλα φαράγγια της Αγίας Ειρήνης και της Σαμαριάς και η πόλγη του Ομαλού. Η τελευταία, είναι μια τεράστια επιφάνεια επιπέδωσης, εμβαδού 32km². Έχει δημιουργηθεί λόγω διάλυσης των ασβεστόλιθων κατά το οριζόντιο επίπεδο. Τα προϊόντα αποκομιδής της διεργασίας αυτής συσσωρεύονται ακτινωτά με φορά προς το κέντρο δημιουργώντας προσχωματικό ορίζοντα αξιόλογου πάχους που παρουσιάζει υδροφορία.

➤ **Ζώνη μετάβασης.** Έπεται της ζώνης του καρστ προς Βορρά και αποτελείται σχεδόν αποκλειστικά από σχηματισμούς της ενότητας Φυλλιτών – Χαλαζιτών. Το μέσο υψόμετρο είναι κατά πολύ μικρότερο (250m) λόγω της ύπαρξης ρηγμάτων, τα οποία έχουν υποβιβάσει τη συγκεκριμένη περιοχή αλλά και λόγω της φύσης των πετρωμάτων που παρουσιάζουν μεγαλύτερη ευαισθησία στην επιφανειακή διάβρωση σε σχέση με τους ασβεστόλιθους.

Η διαφορετική λιθολογία δίνει ένα πολύ πιο ήπιο ανάγλυφο με «καμπυλόγραμμα» περιγράμματα. Η αδιαπερατότητα των φυλλιτών επιτρέπει την ανάπτυξη υδρογραφικού δικτύου, το οποίο είναι ανύπαρκτο στο καρστ ενώ η βλάστηση είναι καλά ανεπτυγμένη, με αποτέλεσμα την ανάπτυξη καλλιεργειών, όπου οι κλίσεις το επιτρέπουν. Χαρακτηριστική είναι η ύπαρξη μικρών οικισμών οι οποίοι λείπουν από την προηγούμενη ζώνη.

➤ **Πεδινή ζώνη.** Είναι η περιοχή βόρεια του νοητού άξονα που συνδέει τους οικισμούς Φουρνέ και Σκινέ. Το κεντρικό της τμήμα καταλαμβάνεται από την πεδινή έκταση Βατόλακου – Αλικιανού – Αγυιάς, η οποία περικλείεται από λοφώδεις εκτάσεις διαφορετικής λιθολογίας.

Νότια και Δυτικά, συναντώνται λόφοι φυλλιτικής σύστασης, καθώς και το ασβεστολιθικό ύψωμα του Κουφού, από το οποίο παλαιότερα ανάβλυζαν οι πηγές των Βλυχάδων. Ανατολικά υπάρχει η ασβεστολιθική λοφώδης μάζα του Χοιροσπηλίου, ενώ βόρεια υπάρχουν λόφοι φυλλιτικοί αλλά και αντίστοιχοι που αποτελούνται από ιζήματα του Νεογενούς. Οι λόφοι αυτοί διασχίζονται από μια σχετικά «στενή» κοιλάδα (κοιλάδα Πατελαρίου), μήκους 3,5km και μέσου εύρους 400m, μέσα από την οποία περνά ο ποταμός Κερίτης, ο οποίος «αποστραγγίζει» όλη την περιοχή μελέτης.

Η πεδινή ζώνη καλύπτεται κατά πολύ μεγάλο ποσοστό από καλλιέργειες και αποφέρει πάνω από το μισό του συνολικού γεωργικού εισοδήματος του νομού.

3.3 Γεωλογία [Λιαλιάρης, 1996]

3.3.1 Γενικά για τη γεωλογία της Κρήτης

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί της Κρήτης, σύμφωνα με την προέλευσή τους, χωρίζονται σε τρία κύρια συστήματα, ένα αυτόχθονο, ένα αλλόχθονο

καθώς και ένα νεότερο σύστημα ιζημάτων του Νεογενούς και Τεταρτογενούς, που έχουν αποτεθεί πάνω στους παλαιότερους σχηματισμούς (Σχήμα 3.3).

Αυτόχθονο σύστημα

Ως αυτόχθονο σύστημα της Κρήτης θεωρείται η ενότητα των Πλακωδών ασβεστόλιθων. Στην Κρήτη η ενότητα αυτή χαρακτηρίζεται από ασθενή μεταμόρφωση. Υποδιαιρείται σε διάφορες υποενότητες (στρώματα «Φόδελε», «Σισσών» κ.τ.λ.), μεταξύ των οποίων βρίσκεται και η ενότητα των καθαρά Πλακωδών ασβεστόλιθων, η οποία αποτελείται από κρυσταλλικούς, άστρωτους ασβεστόλιθους, δολομίτες και ασβεστολιθικά κροκαλοπαγή, που διασχίζονται από φυλλιτικές και χαλαζιτικές παρεμβολές.

Αλλόχθονο σύστημα

Το σύστημα αυτό περιλαμβάνει μια ολόκληρη σειρά ενοτήτων εντελώς διαφορετικών χώρων προέλευσης και λιθοστρωματογραφίας, οι οποίες βρίσκονται η μία πάνω στην άλλη με τεκτονικές επαφές.

Πρέπει να σημειωθεί ότι έχει διατυπωθεί πληθώρα απόψεων σε ότι αφορά τη φύση των επαφών μεταξύ των καλυμμάτων, την παλαιογεωγραφία τους ακόμη και το ίδιο το πλήθος τους. Η περιγραφή των ενοτήτων γίνεται με βάση τις επικρατέστερες από τις θεωρίες αυτές, ενώ όπου υπάρχουν έντονες αντιθέσεις γίνεται σχετική αναφορά.

Η κατώτερη των ενοτήτων αυτών είναι η ενότητα Τρυπαλίου. Πρόκειται για μια ανθρακική σειρά που αποτελείται από Α. Τριαδικά – Λιάσια μάρμαρα, δολιμιτικούς ασβεστόλιθους και δολομίτες, κυρίως στα κατώτερα μέλη.

Σε ό,τι αφορά την τεκτονική του θέση οι απόψεις διίστανται. Σύμφωνα με κάποιους ερευνητές [κατά Φυτρολάκης, 1980] είναι μια ξεχωριστή ενότητα που βρίσκεται επωθημένη επάνω στους Πλακώδεις ασβεστόλιθους, ενώ για κάποιους άλλους [κατά Καρακίσιος, 1979 και Bonneau, 1984] δεν είναι παρά ένα είδος εσωτερικής εφίππευσης μιας πλευρικής μετάβασης των Πλακωδών ασβεστόλιθων πάνω στον εαυτό τους.

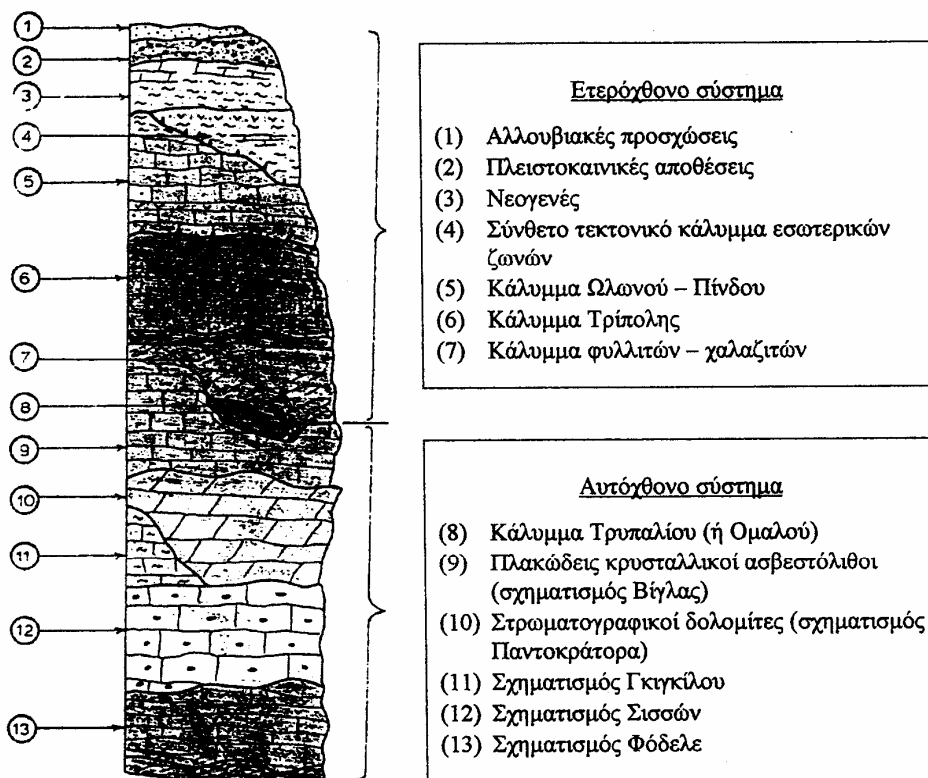
Επάνω στην ενότητα Τρυπαλίου βρίσκεται επωθημένη η σειρά Φυλλιτών – Χαλαζιτών. Είναι μια ακολουθία σχιστόλιθων και φυλλιτών χαμηλού βαθμού μεταμόρφωσης, ηλικίας πιθανόν Τριαδικής.

Η αμέσως επόμενη ενότητα είναι η σειρά Τρίπολης. Είναι μια νηριτική ανθρακική σειρά η οποία συναντάται επωθημένη κατά θέσεις πότε επάνω στους Φυλλίτες – Χαλαζίτες και πότε απευθείας επάνω στους Πλακώδεις ασβεστόλιθους. Έχει πολύ μεγάλη επιφανειακή εξάπλωση στο νησί, αλλά είναι σχεδόν ανύπαρκτη στην υπό μελέτη περιοχή.

Σε περιορισμένες τοποθεσίες παρατηρείται, κυρίως με τη μορφή τεκτονικών ρακών, η ενότητα Πίνδου επωθημένη πάνω σε αυτή της Τρίπολης ή ακόμη και στη Φυλλιτική – Χαλαζιτική σειρά. Η στρωματογραφική στήλη της σειράς αυτής αποτελείται από Καινοζωικό – Ηωκαινικό φλύσχη, ο οποίος βρίσκεται πάνω σε Πελαγικούς λεπτοστρωματώδεις ασβεστόλιθους (Α. Τριαδικό – Ηώκαινο) με ενδιαστρώσεις κερατολίθων, ραδιολαριτών και αργιλικών ιζημάτων στο Κ. Κρητιδικό. Η συνηθέστερη ονομασία της ενότητας αυτής για την Κρήτη είναι «Εθιά – Μαγκασσά» και πρόκειται για πλευρικές φασικές εξελίξεις της καθαυτού ενότητας της Πίνδου μέσα στο Καινοζωικό. [κατά Παπανικολάου, 1985]

Οι επόμενες κατά σειρά ενότητες είναι η ενότητα Άρβης και η ενότητα Αστερουσίων. Η δεύτερη είναι μια ξεκομμένη οροσειρά στο Νότιο μέρος της κεντρικής Κρήτης, η οποία περιλαμβάνει μεταμορφωμένα πετρώματα υψηλού βαθμού με ηλικία τεκτονισμού στο Α. Κρητιδικό.

Τέλος, το ανώτερο τεκτονικό κάλυμμα της Κρήτης είναι η ενότητα Οφιολίθων. Αποτελείται από μεταμορφωμένα πετρώματα ποικίλης σύστασης, ηλικίας και βαθμού μεταμόρφωσης (οφιολίθοι, ηφαιστίτες και πλουτώνια πετρώματα). Η επιφανειακή της εξάπλωση στο νησί είναι πολύ περιορισμένη.



Σχήμα 3.3. Αναλυτική τομή της γεωλογικής δομής της Κρήτης
[κατά Ι.Γ.Μ.Ε. Κρήτης, 1996]

3.3.2 Γεωλογία της περιοχής ενδιαφέροντος

Η ευρύτερη περιοχή του ποταμού Κερίτη χαρακτηρίζεται από μια αρκετά σύνθετη γεωλογική δομή. Η ξεχωριστή λιθοστρωματογραφική και τεκτονική περιγραφή των γεωλογικών σχηματισμών και η σχετική θέση τους στο χώρο κρίνονται αναγκαίες γιατί συμβάλλουν σε μεγάλο βαθμό στην κατανόηση της κίνησης των επιφανειακών και κυρίως των υπόγειων υδάτων (Σχήμα 3.4).

Στρωματογραφία

Σε γενικές γραμμές η γεωλογική δομή της περιοχής χαρακτηρίζεται από μια αλληλουχία τεκτονικών καλυμμάτων Μεσοζωικών (πιθανώς και

Παλαιοζωικών στη βάση) πετρωμάτων, τα οποία καλύπτονται σε ορισμένες θέσεις ασύμφωνα από νεότερα ιζήματα του Νεογενούς και Τεταρτογενούς. Η σειρά, από τον κατώτερο προς τον ανώτερο σχηματισμό, έχει ως εξής:

➤ **Ενότητα Πλακωδών ασβεστόλιθων.** Με τον όρο αυτό ονομάζεται ένα σύνολο πετρωμάτων, τα οποία στη βιβλιογραφία αναφέρονται και ως «Plattenkalk» ή «ενότητα Κρήτης – Μάνης» ή «σειρά Ταλαίων ορέων».

Αποτελεί την κατώτερη ενότητα του νησιού, άρα και της περιοχής ενδιαφέροντος και δομεί τον πυρήνα των Λευκών Ορέων.

Υποδιαιρείται σε διάφορες υποενότητες. Στην περιοχή μελέτης εμφανίζονται οι τρεις τελευταίες υποενότητες.

Η σειρά Γκιγκίλου, που ονομάζεται και «σύστημα υποκείμενο των Πλακωδών», εμφανίζεται νότια του οροπεδίου του Ομαλού με ορατό πάχος που δεν υπερβαίνει τα 10m. Αποτελείται από μικρού πάχους επαναλήψεις σχιστολιθικών πετρωμάτων με παρεμβολές ανθρακικών και κλαστικών ιζημάτων απροσδιορίστου ηλικίας.

Η καθεαυτού σειρά των Πλακωδών ασβεστόλιθων εμφανίζεται εκτενώς στο Ν. τμήμα της περιοχής και δομεί το μεγαλύτερο μέρος των Λευκών Ορέων. Πρόκειται για κρυσταλλικούς ασβεστόλιθους πελαγικής φάσης καλώς εστρωμένους. Κατά θέσεις εμφανίζονται μάρμαρα χρώματος τεφρού. Χαρακτηριστικό τους γνώρισμα είναι οι ενστρώσεις πυριτιολίθων μικρού πάχους που εμφανίζονται με αρκετά μεγάλη συχνότητα κυρίως στα μεσαία μέλη. Το γεγονός αυτό δρα ανασταλτικά στην καρστοποίηση του σχηματισμού.

Κατά θέσεις, τα στρώματα παρουσιάζονται έντονα τεκτονισμένα ενώ έχουν εντοπιστεί τεκτονικά λατυποπαγή λόγω εσωτερικών λεπιώσεων. Χαρακτηριστική είναι η θέση «Παναγιά» κοντά στον οικισμό Δρακώνα Θερίσου, όπου οι Πλακώδεις ασβεστόλιθοι εμφανίζονται ως τεκτονικό παράθυρο. Η αναθόλωση αυτή είναι αποτέλεσμα ρηγματογόνου τεκτονικής.

Ο έντονος βαθμός ανακρυστάλλωσης, έχει επιδράσει αρνητικά στην διατήρηση των απολιθωμάτων. Πάντως, από αμμωνίτη που βρέθηκε στη βάση του σχηματισμού [κατά Kyss, 1982], η έναρξη της ιζηματογένεσης

τοποθετείται στο όριο Τριαδικού – Ιουρασικού και συνεχίζεται σίγουρα μέχρι το τέλος του Καινοζωικού.

Οι ασβεστοφυλλίτες που παρατηρούνται επάνω από τους Πλακώδεις ασβεστόλιθους αποτελούν ομαλή μετάβαση αυτών και χαρακτηρίζονται ως μεταφλύσχης [κατά Φυτρολάκης, 1980]. Έχουν πολύ μικρό πάχος που δεν ξεπερνά τα 50m.

Η παραμόρφωση της ενότητας εκδηλώνεται με την εμφάνιση ισοκλινών ημιανεστραμμένων πτυχών με διεύθυνση αξόνων Α - Δ.

➤ **Ασβεστόλιθοι σειράς Τρυπαλίου.** Η ενότητα αυτή έχει μεγάλη επιφανειακή εμφάνιση στο νότιο και ανατολικό τμήμα της περιοχής ενδιαφέροντος. Στην επαφή της με τους υπερκείμενους φυλλίτες στην περιοχή Μεσκλών καθώς και βορειότερα στην περιοχή Αγυιάς, έχουμε την εκδήλωση των ομώνυμων ομάδων πηγών με πολύ μεγάλες ετήσιες παροχές.

Πρόκειται για μια ανθρακική ακολουθία ηλικίας Κ. – Μ. Τριαδικού, η οποία αποτελείται από ανακρυσταλλωμένους βιτουμενιούχους ασβεστόλιθους (συνήθως άστρωτους), δολομιτικούς ασβεστόλιθους και δολομίτες με κυψελώδη υφή εντός της οποίας οι κυψέλες πληρώνονται με δολομιτική άλευρο. Οι ίδιοι οι ασβεστόλιθοι παρουσιάζουν έντονα λατυποπαγή χαρακτήρα με λατύπες από τους υποκείμενους Πλακώδεις ασβεστόλιθους και ασβεστιτική συνδετική ύλη.

Στη βάση του σχηματισμού παρατηρούνται ενστρώσεις ψαμμιτών και χαρακτηριστικό λατυποπαγές, το οποίο προσδίδει έντονο επικλυσιογενή χαρακτήρα. Πάντως οι απόψεις των ερευνητών για το αν το Τρυπάλι είναι μια επωθημένη, ξεχωριστή ενότητα ή μια ενότητα που σχηματίστηκε στον ίδιο παλαιογεωγραφικό χώρο με τους Πλακώδεις ασβεστόλιθους, δίστανται.

Το μέγιστο πάχος του σχηματισμού στην περιοχή μελέτης είναι 300m.

➤ **Σειρά Φυλλιτών-Χαλαζιτών.** Τα πετρώματα της σειράς αυτής καταλαμβάνουν το κεντρικό και δυτικό τμήμα της περιοχής μελέτης, όλη δηλαδή την λοφώδη περιοχή που παρεμβάλλεται ανάμεσα στους Β.

πρόποδες των Λευκών Όρεων και την πεδινή περιοχή Βατόλακκου – Αλικιανού – Αγυιάς.

Στρωματογραφικά, διακρίνονται δύο κύριες ενότητες [κατά Φυτρολάκης, 1980]. Η κατώτερη περιλαμβάνει γύψους, ραουβάκες, μελανούς δολομίτες και σκουρόχρωμους αργιλικούς σχιστόλιθους. Το ανώτερο μέρος περιλαμβάνει κλαστικά μετα-ιζήματα με εναλλαγές φυλλιτών και ενστρώσεις χαλαζιτών και χαλαζιακών μετα-κροκαλοπαγών.

Η μεταμόρφωση της ενότητας έχει γίνει σε συνθήκες υψηλής πίεσης – χαμηλής θερμοκρασίας, οι οποίες μεταβάλλονται από την Αν. προς τη Δυτ. Κρήτη. Η ηλικία της μεταμόρφωσης είναι Α. Ολιγοκαινική – Κ. Μειοκαινική [κατά Seidel, et. al., 1982 and Theye, 1992].

Η ηλικία όλου του σχηματισμού είναι ασαφής. Κάποιοι ερευνητές αναφέρουν Τριαδική ηλικία βάσει απολιθωμάτων, ενώ άλλοι προσδιορίζουν ανωπαλαιοζωική ηλικία έως σήμερα [κατά Φυτρολάκης, 1980].

Όλη η σειρά παρουσιάζεται έντονα καταπονημένη και παραμορφωμένη με έντονες κατατμήσεις και πολλές πτυχές με ακανόνιστο προσανατολισμό.

Το πάχος της ανέρχεται σε περίπου 200m.

➤ **Ενότητα Τρίπολης.** Στην περιοχή μελέτης η ενότητα αυτή έχει πολύ μικρή επιφανειακή εξάπλωση. Εμφανίζεται στο βόρειο τμήμα, μεταξύ των οικισμών Πατελάρι και Λουτράκι, καθώς και στην περιοχή "Τρούλοι".

Η στρωματογραφική κολόνα της ενότητας είναι μια νηριτική ανθρακική-δολομιτική ακολουθία ηλικίας Α. Τριαδικού - Α. Κρητιδικού. Τα κατώτερα μέλη συνίστανται από παχυστρωματώδεις δολομίτες και ασβεστόλιθους. Τα πετρώματα αυτά παρουσιάζονται έντονα καρστικοποιημένα και τεκτονισμένα στη βάση τους λόγω τριβής κατά τη διάρκεια της επώθησης.

Τα ανώτερα μέλη είναι οι χαρακτηριστικοί για την ενότητα αυτή τεφρόμαυροι βιτουμενιούχοι ασβεστόλιθοι. Η ενότητα Τρίπολης εμφανίζεται είτε με τη μορφή τεκτονικών ρακών (υπολειμμάτων) κατευθείαν επάνω στους φυλλίτες, είτε σε θέσεις έντονης διάβρωσης των Νεογενών σχηματισμών με τη μορφή ενός είδους "παραθύρου".

- **Ιζηήματα του Νεογενούς.** Η επιφανειακή εξάπλωση των ιζημάτων αυτών περιορίζεται στις λοφώδεις εκτάσεις γύρω από το χωριό Πατελάρι στο βόρειο τμήμα της περιοχής. Όπως έχει διαπιστωθεί από γεωφυσικές έρευνες, [Βαφείδης και άλλοι, 1991] οι σχηματισμοί αυτοί εκτείνονται σε αρκετά μεγάλη έκταση κάτω από τις πιο σύγχρονες αποθέσεις προς νότο.

Αποτελούνται από σειρά ιζημάτων, που ανάλογα με την προέλευση τους και τη στρωματογραφία τους χωρίζονται σε διάφορες υποενότητες. Σε γενικές γραμμές, τα ιζηήματα που συναντώνται είναι τόσο υφάλμυροι-λιμναίοι, όσο και θαλάσσιοι σχηματισμοί. Οι αλλαγές των φάσεων οφείλονται στις έντονες γεωμορφολογικές διαταραχές, τις οποίες υπέστη ο χώρος κατά τη διάρκεια του Νεογενούς.

Παρατηρούνται εναλλασσόμενα στρώματα άμμων, κροκαλοπαγών, ψαμμιτών, αργίλων, ορίζοντες μάργων διαφόρων αποχρώσεων και μαργαϊκοί και λατυπτοπαγείς ασβεστόλιθοι. Κατά θέσεις το πάχος τους είναι σημαντικό ξεπερνώντας τα 80m.

- **Τεταρτογενή ιζηήματα (Διλλούβια).** Εντοπίζονται στα Αν. και Δυτ. περιθώρια της πεδινής ζώνης (περιοχές Βατόλακκου – Αλικιανού - Σκινέ) και περιφερειακά της λοφώδους μάζας του Χοιροσπηλίου. Εμφανίζονται επίσης στο οροπέδιο του Ομαλού, αποτελώντας το στεγανό υπόβαθρο του φρεατίου ορίζοντα που υπάρχει εντός των πιο σύγχρονων υπερκείμενων αποθέσεων.

Πρόκειται για ερυθρούς σχηματισμούς χειμαρρώδους, ποτάμιας προέλευσης, οι οποίοι αποτελούνται από μάργες, ψαμμίτες, πηλούς, αργίλους και από κροκαλοπαγή με αργιλικό συνδετικό υλικό και κροκάλες που προέρχονται από τη Φυλλιτική-Χαλαζιτική σειρά. Η ηλικία τους είναι Πλειστοκαινική, ενώ το πάχος ξεπερνά τα 100m σε ορισμένες θέσεις.

- **Τεταρτογενή ιζηήματα (Αλλούβια).** Στην ουσία είναι ασύνδετα υλικά που αποτελούνται από άμμους, λατύπες ποικίλης σύστασης και αργίλους. Καταλαμβάνουν το κεντρικό τμήμα της πεδινής ζώνης, όπου έχουν αποτεθεί από τη δράση του υδρογραφικού δικτύου. Τα υλικά αυτά (σημαντικού πάχους) έχουν αποτεθεί επάνω στα σχετικά αδιαπέρατα

ιζήματα του Νεογενούς και Τεταρτογενούς, με αποτέλεσμα να σχηματίζεται εκμεταλλεύσιμος φρεάτιος ορίζοντας.

3.4 Τεκτονική [Λιαλιάρης, 1996]

Η περιοχή ενδιαφέροντος παρουσιάζεται αρκετά πολύπλοκη σε ότι αφορά την τεκτονική της δομή. Εκτός από τις τεκτονικές επαφές μεταξύ των διαφόρων ενοτήτων (επωθήσεις), υπάρχουν δομές που σχετίζονται με την εσωτερική παραμόρφωση της κάθε ενότητας (κυρίως πτυχές και ρηγματώσεις), και άλλες, ευρύτερης κλίμακας που επηρεάζουν περισσότερες των μια ενοτήτων (μεγάλες ρηξιγενείς ζώνες).

➤ Πτυχώσεις

Η μόνη αναφορά σε μεγάλης κλίμακας πτύχωση στην περιοχή, είναι αυτή των [κατά Krahl et. al. 1982, 1983, 1986] οι οποίοι υποστηρίζουν ότι η σειρά Τρυπαλίου είναι ένα τμήμα της ανθρακικής ακολουθίας στρωμάτων της ενότητας Φυλλιτών-Χαλαζιτών, που ανήκει στο ανεστραμμένο σκέλος μεγάλης ισοκλινούς πτυχής. Πέρα από τέτοιες μεμονωμένες απόψεις, δεν έχει πιστοποιηθεί ύπαρξη πτυχώσεων μεγάλης κλίμακας στην περιοχή.

Αντίθετα, οι περισσότερες των ενοτήτων παρουσιάζουν εσωτερική πτύχωση, την οποία υπέστησαν σε κάποιες φάσεις της διαδρομής τους μέσα στον Αλπικό ορογενετικό χώρο, μέχρι να πάρουν τη σημερινή τους θέση.

Η ενότητα των Πλακωδών ασβεστόλιθων εμφανίζεται πτυχωμένη με ισοκλινείς ημιανεστραμμένες πτυχές μικρής έως μεσαίας κλίμακας. Στην ευρύτερη περιοχή του νησιού, οι άξονες των πτυχών αυτών αναπτύσσονται κυρίως σε διεύθυνση Α-Δ.

Στους ασβεστόλιθους του Τρυπαλίου λόγω του άστρωτου, λατυποπαγούς χαρακτήρα τους δεν διακρίνονται πτυχές.

Αντίθετα η σειρά Φυλλιτών-Χαλαζιτών, λόγω της μεγάλης πλαστικότητας που εμφανίζει, υπέστη πτύχωση καθ' όλες τις διευθύνσεις.

➤ Ρήγματα

Με τη βοήθεια προηγούμενων μελετών, γεωφυσικών ερευνών και επιτόπου παρατηρήσεων, γίνεται αναφορά στα σημαντικότερα ρήγματα της περιοχής:

- Στις Β. απολήξεις των Λευκών Ορέων υπάρχει σειρά ρηγμάτων με γενική διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ, τα οποία φαίνεται να έχουν συμβάλει στην απότομη μορφολογική ανύψωση των Λευκών Ορέων. Κάποια από αυτά έχουν σημαντικό άλμα όπως αυτό που εκτείνεται από τον οικισμό της Ζούρβας μέχρι Νότια του οικισμού του Θερίσου.

Μια άλλη ομάδα ρηγμάτων που διασχίζουν τη ζώνη του καρστ έχει γενική διεύθυνση ΒΒΔ-ΝΝΑ. Χαρακτηριστικό είναι αυτό που περνά ανατολικά της κορυφής "Μελινταού" και καταλήγει στον οικισμό Μεσκλά.

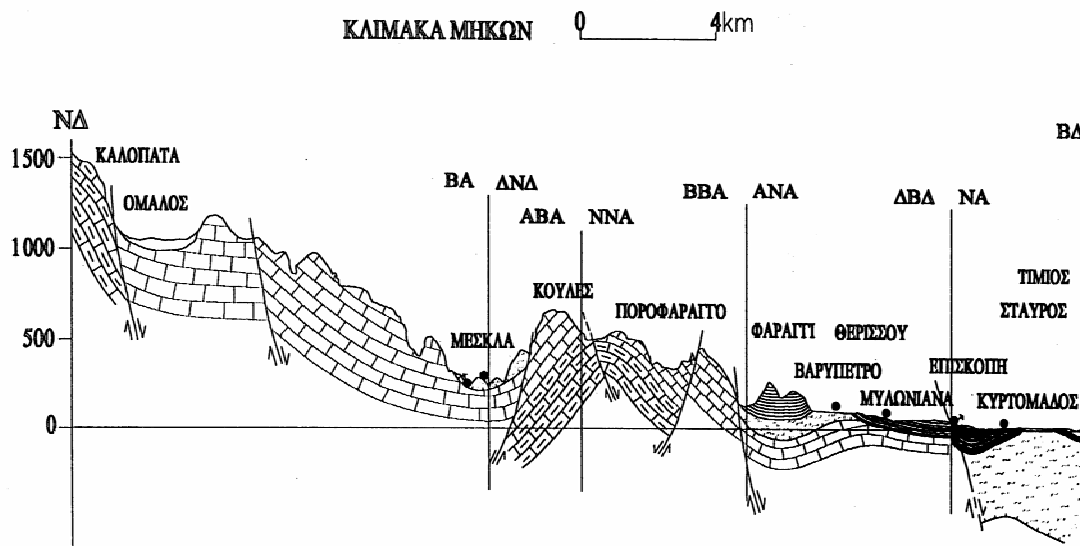
- Στην περιοχή από Φουρνέ έως Θέρισσο, παρατηρείται σειρά ρηγμάτων διεύθυνσης ΒΒΔ-ΝΝΑ τα οποία οριοθετούν την επαφή της ενότητας Φυλλιτών-Χαλαζιτών με τους υποκείμενους λατυποπαγείς ασβεστόλιθους της λοφώδους περιοχής του Χοιροσπηλίου. Η ίδια περιοχή στα Β και ΒΑ όρια της, οριοθετείται από ρήγμα διεύθυνσης σχεδόν Α-Δ
- Στην πεδινή ζώνη, λόγω κάλυψης από σύγχρονα ιζήματα, η παρατήρηση ρηγμάτων γίνεται δυσκολότερη. Υπάρχει μια μεγάλη ρηξιγενής ζώνη διεύθυνσης ΒΒΔ-ΝΝΑ σχεδόν κατά μήκος της ροής του Κερίτη. Το ρήγμα αυτό παρατηρείται στις ανατολικές κλυείς της κοιλάδας Πατελαρίου να κόβει τους νεογενείς σχηματισμούς. Πιθανότατα [Παυλάκης, 1986], η ζώνη αυτή συνεχίζεται νοτιότερα περνώντας διαδοχικά από Αγυιά και Μυλωνιανά και ενώνεται με την ρηξιγενή ζώνη Φουρνέ-Θερίσου η οποία έχει ήδη αναφερθεί. Λόγω της διάρρηξης αυτής, η πεδινή ζώνη χωρίζεται σε Ανατολικό και Δυτικό τμήμα, με βύθιση του τελευταίου.

Πολύ σημαντική είναι η ύπαρξη ρήγματος, μη ορατού στην επιφάνεια, το οποίο έχει ανιχνευθεί από παλαιότερη γεωφυσική έρευνα. [Βαφείδης και άλλοι, 1991] Το ρήγμα αυτό με γενική διεύθυνση παράταξης ΑΒΑ-ΔΝΔ εντοπίζεται λίγο βορειότερα από τις πηγές της Αγυιάς και φέρνει σε επαφή τους λατυποπαγείς ασβεστόλιθους του Τρυπαλίου (νότιο τέμαχος) με τους

αδιαπέρατους φυλλίτες (Σχήμα 3.5 και Τομή Z'-Z). Το βόρειο τέμαχος παρουσιάζεται βυθισμένο και μάλιστα με σημαντικό άλμα.

Η γεωλογική αυτή δομή είναι καθοριστική γιατί:

- α) Δημιουργεί ένα αδιαπέρατο φυσικό φράγμα που εμποδίζει την άμεση εκφόρτιση του υπόγειου καρστικού υδροφορέα προς τη θάλασσα.
- β) Έχει σαν αποτέλεσμα την ανάβλυση των πηγών Αγυιάς με πολύ μεγάλες παροχές νερού κατάλληλου για ύδρευση.
- γ) Αποκλείει το ενδεχόμενο διείσδυσης θαλασσινού νερού σε περιόδους εντατικής άντλησης.



Σχήμα 3.5. Γεωλογική Τομή Ομαλός - Πατελάρι
[από Λιαλιάρης, 1996 κατά Μονόπωλης, 1996]

- Τέλος, από μεταγενέστερη γεωφυσική έρευνα, [Βαφείδης και άλλοι, 1991] επισημαίνεται η παρουσία ρήγματος διεύθυνσης ΒΔ-ΝΑ στις δυτικές παρυφές της κοιλάδας Πατελαρίου, το οποίο φέρνει σε επαφή τους σχηματισμούς του Νεογενούς με το Φυλλιτικό-Χαλαζιτικό σύστημα.

3.5 Παλαιογεωγραφία [Λιαλιάρης, 1996]

Κατά καιρούς έχουν δημοσιευθεί διάφορες ερευνητικές εργασίες που ασχολήθηκαν με τη γεωλογική ιστορία της περιοχής διατυπώνοντας, όχι λίγες φορές, αντικρουόμενες απόψεις σε ότι αφορά την παλαιογεωγραφική τοποθέτηση και εξέλιξη των ενοτήτων. Οι σημαντικότερες των απόψεων αυτών διατυπώνονται παρακάτω και επιχειρείται μια σύντομη αναφορά στην παλαιογεωγραφική εξέλιξη της περιοχής ενδιαφέροντος.

➤ **Ενότητα Πλακωδών ασβεστόλιθων.** Οι Epting et. al. [1972] θεώρησαν την ενότητα αυτή ως μια ανεξάρτητη παλαιογεωγραφική ενότητα στο Ν. περιθώριο της Τυθός. Ο Bonneau [1973] την εντάσσει στην Ιόνια ζώνη ενώ ο Jacobshagen [1976] τη θεωρεί ως μια προέκταση της ζώνης Παξών προς τα ανατολικά. Με την άποψη αυτή συμφωνεί και ο Φυτρολάκης [1980], υποστηρίζοντας ότι η εν λόγω ενότητα αποτελεί μεταβατική ζώνη μεταξύ της Αδριατικοϊόνιας και της ζώνης Παξών.

Τέλος ο Thorbecke [1987] την εντάσσει στην Αδριατικοϊόνια ζώνη χωρίζοντας την σε δυο υποενότητες κάθε μια από τις οποίες ομοιάζει λιθολογικά με διάφορες εμφανίσεις στον Ελλαδικό χώρο.

➤ **Ενότητα Τρυπαλίου.** Ο Xavier [1976] τοποθετεί την ενότητα αυτή στα ανώτερα μέλη της σειράς των Πλακωδών ασβεστόλιθων. Οι Kopp και Ott [1979] τοποθετούν τη σειρά στην εξωτερική περιοχή της ζώνης της Τρίπολης. Ο Καρακίσιος [1979] επιχειρεί να συσχετίσει την ενότητα τόσο με τους Τριαδικοϊουρασικούς ορίζοντες της ενότητας Τρίπολης όσο και με το "στρωματολιθικό δολομίτη" της ενότητας των Πλακωδών. Τελικά καταλήγει στη δεύτερη άποψη λέγοντας ότι η σειρά Τρυπαλίου θυμίζει κατώτερους ορίζοντες της Ιόνιας ζώνης που συνοδεύουν τους εβαπορίτες της. Ο Φυτρολάκης [1980] συσχετίζοντας τις κερατολιθικές παρεμβολές και τους δολομίτες της σειράς Τρυπαλίου με λιθοφάσεις της ενότητας των Πλακωδών, συμπεραίνει ότι η πρώτη ενότητα αποτελεί λιθοφασική πλευρική μετάβαση της δεύτερης και προσδιορίζει το χώρο ιζηματογένεσής της σε υποθαλάσσιο ύβωμα μεταξύ του πελαγικού χώρου

ιζηματογένεσης της ενότητας Πλακωδών και της αύλακας των Φυλλιτών-Χαλαζιτών.

Οι Hall et. al. [1984] στηριζόμενοι στην ομοιότητα των λατυποπαγών φάσεων του Τρυπαλίου με αυτές των κατώτερων μελών των Πλακωδών ασβεστόλιθων, δέχονται ότι οι δυο ενότητες αντιπροσωπεύουν κοινό χώρο ιζηματογένεσης. Τέλος ο Thorbecke εντάσσει το Τρυπάλι στην εξωτερικότερη περιοχή της Ζώνης Τρίπολης.

➤ **Ενότητα Φυλλιτών-Χαλαζιτών.** Οι Creutzbyrg και Ott [1965] βάση απολιθωμάτων και άλλων στρωματογραφικών παρατηρήσεων υποστηρίζουν ότι οι σειρές Φυλλιτών-Χαλαζιτών και Τρυπαλίου αποτελούν μια ενιαία τεκτονική ενότητα. Οι ραουβάκες, γύψοι στη βάση των φυλλιτών ανήκουν στη σειρά Τρυπαλίου η οποία μεταβαίνει κανονικά προς αυτούς. Αντίθετα, οι Kopp και Ott [1977] δέχονται την ενότητα Φυλλιτών-Χαλαζιτών ως αυτόνομη, δεδομένου ότι βρήκαν Τριαδικά απολιθώματα εντός των σχηματισμών της, ενώ προσδιόρισαν Λιάσια ηλικία για το Τρυπάλι. Σε ανάλογα συμπεράσματα καταλήγει και ο Φυτρολάκης [1980] προσθέτοντας ότι οι φυλλίτες στους οποίους μεταβαίνουν βαθμιαία οι ασβεστόλιθοι Τρυπαλίου είναι σχηματισμοί του ίδιου του Τρυπαλίου που δεν έχουν καμία σχέση με τους φυλλίτες της ομώνυμης ενότητας.

Οι επικρατέστερες των παραπάνω απόψεων σκιαγραφούν την παλαιογεωγραφική εξέλιξη των Καινοζωικών σχηματισμών της περιοχής, η οποία περιγράφεται παρακάτω:

➤ Η ενότητα των Πλακωδών ασβεστόλιθων είναι αυτή που έχει υποστεί τη μικρότερη μετακίνηση από το χώρο ιζηματογένεσής της ως τη θέση που βρίσκεται σήμερα (σχετικά αυτόχθονη). Οι κατώτερες ενότητες (στρώματα Φόδελε, Σισσών, Στρωματολιθικός δολομίτης και σειρά Γκιγκίλου) είναι αποθέσεις αβαθών θαλασσών ενώ η καθεαυτού ανθρακική ακολουθία είναι προϊόν πελαγικής ιζηματογένεσης σε γειτονική αύλακα.

➤ Η ενότητα Τρυπαλίου αποτελεί ξεχωριστή ενότητα, τα ανθρακικά ιζήματα της οποίας αποτέθηκαν κατά το Λιάσιο σε αβαθή χώρο (ύβωμα)

"εσωτερικότερα" του αντίστοιχου χώρου απόθεσης των Πλακωδών ασβεστόλιθων.

➤ Η ενότητα Φυλλιτών-Χαλαζιτών αποτελεί επίσης ξεχωριστή τεκτονική ενότητα επωθημένη επάνω σε αυτή του Τρυπαλίου. Η ιζηματογένεσή της έλαβε χώρα σε αύλακα σε εσωτερικότερη θέση μέσα στο ορογενετικό τόξο σε σχέση με τη θέση των δύο προηγούμενων ενοτήτων. Η ηλικία του γεγονότος αυτού δεν έχει προσδιορισθεί λόγω μεταμόρφωσης, βρίσκεται πάντως μέσα στο Καινοζωικό.

Η διαδικασία της μετακίνησης των ενοτήτων αυτών μέσα στο χώρο της πρώην Τυθός με τη μορφή τεκτονικών καλυμμάτων θα πρέπει να ξεκίνησε στο τέλος του Αν. Κρητιδικού και να ολοκληρώθηκε μέσα στο Ολιγόκαινο, την εποχή δηλαδή όπου άρχισε η απόθεση των Νεογενών ιζημάτων εντός των νεοσχηματισθέντων ενδοχωρικών λεκανών. Η νεοτεκτονική εξέλιξη των λεκανών αυτών και συγκεκριμένα της ευρύτερης περιοχής του τεκτονικού βυθίσματος της Αγυιάς, όπως προκύπτει από τις λιθοφάσεις των Νεογενών και Τεταρτογενών ιζημάτων, έχει ως εξής:

Το μορφολογικό βύθισμα Βαρυπέτρου-Αγυιάς-Κουφού υπήρχε από τις αρχές του Νεογενούς όπου αποτελούσε λίμνη με αντίστοιχες αργιλομαργαϊκές αποθέσεις σημαντικού πάχους. Ακολούθησε πτώση της στάθμης της θάλασσας η οποία είχε σαν αποτέλεσμα διάβρωση της περιοχής με κύρια διεύθυνση από ΝΔ προς ΒΑ (κατά τον άξονα Βατόλακκος-Αγυιά-Δαράτσο). Σε αμέσως επόμενο στάδιο ανόδου της στάθμης της θάλασσας, η κεντρική περιοχή πληρώθηκε με ποταμοχερσαία ιζήματα μέχρι του σημερινού υψόμετρου των 80m.

Ακολούθησε η διάνοιξη της κοιλάδας του Πατελαρίου η οποία άλλαξε τη γενική διεύθυνση διάβρωσης της περιοχής. Το γεγονός αυτό έλαβε χώρα στο τέλος του Πλειστοκαίνου. Σε ενδιάμεση φάση απόφραξης της κοιλάδας αυτής είχαμε την απόθεση των ιλυωδών και αργιλικών υλικών που παρατηρούμε σήμερα στο κέντρο της λεκάνης.

Πρέπει να τονιστεί ότι τα τελευταία στάδια εξέλιξης έπαιξαν σημαντικό ρόλο στην διαμόρφωση των τοπικών υδρογεωλογικών συνθηκών της περιοχής ενδιαφέροντος.

4. ΥΔΡΟΛΟΓΙΑ

4.1 Εισαγωγή

4.1.1 Ο υδρολογικός κύκλος

Ένας αέναος κύκλος του νερού διαγράφεται στη φύση καθώς αυτό μεταπηδά από πεδίο σε πεδίο, επαναλαμβάνοντας συνεχώς την κίνηση του αυτή μέσα στο χρόνο.

Ο κύκλος αυτός μελετάται από τη στιγμή που το νερό φθάνει στην επιφάνεια της Γης με οποιαδήποτε μορφή: βροχή, χιόνι, χαλάζι, δροσιά κλπ., γνωστά στο σύνολο τους σαν «ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα» ή απλά «κατακρημνίσματα», συμβολιζόμενα με το γράμμα P . Το νερό λοιπόν φθάνοντας στην επιφάνεια της Γης σαν «κατακρημνίσματα» έχει να ακολουθήσει τρεις δρόμους (Σχήμα 4.1): [Σούλιος, 1996]

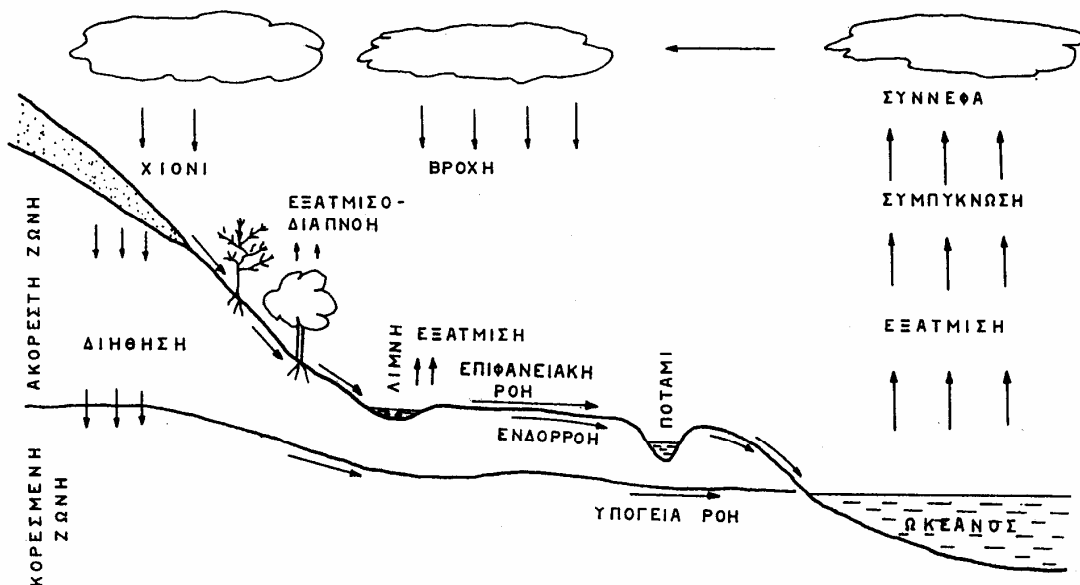
- Να διαπεράσει την επιφάνεια του εδάφους και να κατέλθει στο υπέδαφος στους υπόγειους υδροφόρους ορίζοντες, προστιθέμενο στο υπόγειο νερό. Η ποσότητα αυτή συνιστά την κατείσδυση I . Μπορεί, αφού κάνει ένα υπόγειο δρομολόγιο, να επανέλθει στο φως ύστερα από κάποιο χρόνο παραμονής στο υπέδαφος, και με το υδρογραφικό σύστημα να οδηγηθεί στη θάλασσα, από όπου επανεξατμίζεται για να επαναλάβει τον κύκλο.
- Να ρεύσει επιφανειακά και παραλαμβανόμενο από το υδρογραφικό δίκτυο (τα ποτάμια συστήματα) να εκχυθεί τελικά στη θάλασσα (ή σπάνια σε λίμνη). Αυτή λοιπόν η ποσότητα που ρέει επιφανειακά και τελικά χύνεται στη θάλασσα, συνιστά την επιφανειακή απορροή R , που φυσικά και αυτή μπορεί τελικά να επανεξατμισθεί και να επανέλθει στην ατμόσφαιρα, από όπου θα επαναλάβει τον κύκλο.
- Να επανεξατμισθεί από την επιφάνεια του εδάφους, από την ελεύθερη επιφάνεια του υδρογραφικού συστήματος, από το υπέδαφος ή ακόμα να διαπνευσθεί από τα φυτά που το αντλούν από το υπέδαφος.

Αυτή η ποσότητα συνιστά την εξατμισοδιαπνοή E , που επανέρχεται στην ατμόσφαιρα για να συνεχίσει τον κύκλο.

Από τα πιο πάνω έχουμε λοιπόν:

$$P = I + R + E \quad (4.1)$$

Η (4.1) αποτελεί την εξίσωση του υδρολογικού ισοζυγίου που είναι χαρακτηριστική σε κάθε περιοχή και που καθορίζει την υδάτινη οικονομία της περιοχής. Τα στοιχεία της (4.1), που τα λέμε και φάσεις του υδρολογικού ισοζυγίου μπορούν να εκφραστούν σε όγκο (m^3), σε ύψος νερού - βροχής (mm) και ακόμα σε συντελεστές, δηλαδή σε ποσοστό (%) ως προς τα κατακρημνίσματα. [Σούλιος, 1996]



Σχήμα 4.1. Ο υδρολογικός κύκλος

[Παπαμιχαήλ Δ., 2001]

4.1.2 Η λεκάνη απορροής

Η έννοια του υδρολογικού ισοζυγίου μας εισάγει αναγκαστικά την έννοια της λεκάνης απορροής (ή υδρολογικής λεκάνης):

Ονομάζουμε λεκάνη απορροής (ή υδρολογική λεκάνη) ενός ποταμού το τμήμα εκείνο της επιφάνειας του εδάφους, πάνω στο οποίο τα νερά που ρέουν επιφανειακά φέρονται με το υδρογραφικό σύστημα στην κοίτη του υπ' όψη ποταμού, ο οποίος τα οδηγεί στη θάλασσα κατ' ευθείαν ή διαμέσου άλλου μεγαλύτερου ποταμού, του οποίου είναι παραπόταμος.

Αν ένας ποταμός είναι παραπόταμος κάποιου άλλου μεγαλύτερου, τότε και η λεκάνη απορροής του είναι υπολεκάνη κάποιας ευρύτερης που αντιστοιχεί στο μεγαλύτερο ποταμό.

Η οριακή - περιφερειακή - γραμμή μιας λεκάνης απορροής λέγεται υδροκριτική γραμμή της λεκάνης και αντιστοιχεί στην κορυφογραμμή εκείνη, εκατέρωθεν της οποίας τα επιφανειακά νερά κατευθύνονται προς διαφορετικές λεκάνες απορροής. Η χάραξη της μπορεί να γίνει είτε πάνω σε ένα καλό τοπογραφικό χάρτη με προσεκτική παρατήρηση της μορφολογίας και του υδρογραφικού δικτύου, είτε με παρατηρήσεις στο ύπαιθρο.

Η σημασία της λεκάνης απορροής έγκειται στο ότι αυτή συνιστά ένα τμήμα εδάφους με αυτόνομη επιφανειακή υδροοικονομία, έχει δηλαδή η λεκάνη απορροής ίδιο ανεξάρτητο υδρολογικό ισοζύγιο. Αυτό βέβαια δεν συμβαίνει για οποιοδήποτε τμήμα εδάφους, το οποίο μπορεί να δέχεται νερό από - ή και να δίνει νερό σε - παρακείμενη περιοχή. Είναι δηλαδή η λεκάνη απορροής τμήμα εδάφους με αυτονομία στο υδρολογικό ισοζύγιο.

Οι τιμές που παίρνουν οι διάφοροι όροι της 4.1 μεταβάλλονται από λεκάνη σε λεκάνη, ενώ για την ίδια λεκάνη μεταβάλλονται κάθε υδρολογικό έτος γύρω από μια μέση τιμή, ανάλογα με τις κλιματικές συνθήκες του έτους. [Σούλιος, 1996]

4.2 Η υδρολογική λεκάνη Κερίτη

4.2.1 Οριοθέτηση

Η οριοθέτηση της υδρολογικής λεκάνης Κερίτη (Σχήμα 4.2) έγινε με τη βοήθεια των αντίστοιχων τοπογραφικών χαρτών της Γ.Υ.Σ. κλίμακας 1:50000 [φύλλα Βατόλακκος και Περιβόλια] βάσει της υδροκριτικής γραμμής, σύμφωνα με αυτή των [Λιονής και Περλέρος, 2001].

Η συνολική επιφάνεια που καταλαμβάνει η λεκάνη μετρήθηκε και βρέθηκε ίση με 175,7 km².

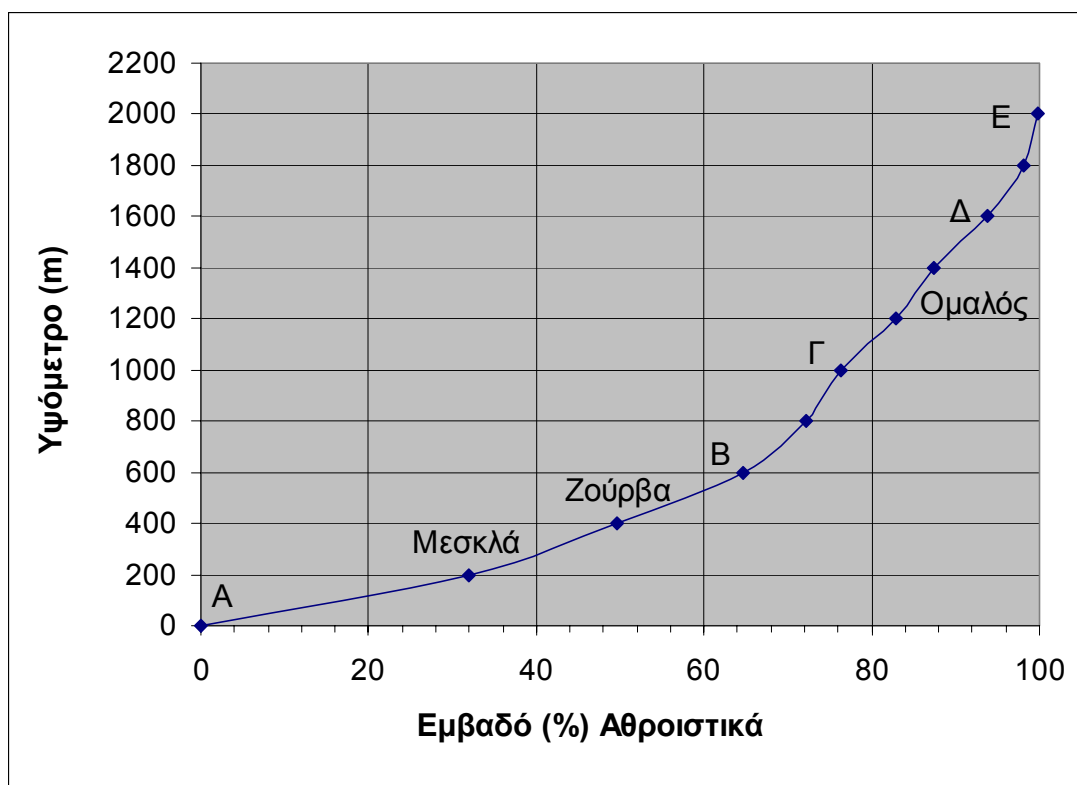
Η εμβαδομέτρηση πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια του λογισμικού συστήματος γεωγραφικής πληροφορίας ArcView 3.2 της ESRI με την επέκταση Spatial Analyst 1.1.

Παρακάτω φαίνονται τα επιμέρους τμήματα, στα οποία χωρίζεται η λεκάνη, με βάση ισοϋψείς των 200 m.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.1. Εμβαδομέτρηση Υδρολογικής Λεκάνης Κερίτη.

ΥΨΟΜΕΤΡΟ	ΕΜΒΑΔΟ (km ²)	ΕΜΒΑΔΟ (%)
0-200	56,1	31,9
200-400	31,0	17,6
400-600	26,4	15,0
600-800	13,3	7,6
800-1000	7,3	4,2
1000-1200	11,7	6,6
1200-1400	7,8	4,4
1400-1600	11,1	6,3
1600-1800	7,9	4,5
1800-2000	2,7	1,6
2000-2200	0,4	0,3
Σύνολο	175,7	100

Με βάση τα στοιχεία του πίνακα 4.1., κατασκευάστηκε η υψομετρική καμπύλη της λεκάνης όπως φαίνεται στο διάγραμμα 4.1.



Διάγραμμα 4.1. Υψομετρική Καμπύλη Υδρολογικής Λεκάνης Κερίτη

Η καμπύλη αυτή απεικονίζει την ποσοστιαία αθροιστική κατανομή της επιφάνειας της λεκάνης σε σχέση με το υψόμετρο. Παρατηρείται ο διαχωρισμός της σε δυο κύρια τμήματα (ΑΒ και ΓΔ) μεταξύ των οποίων παρεμβάλλεται ένα μικρότερο. Υπάρχει επίσης ένα μικρό τμήμα στο τέλος με έντονη κλίση.

Το τμήμα ΑΒ αντιστοιχεί στην επιφάνεια που καταλαμβάνουν η πεδινή και η μεταβατική ζώνη, η οποία αντιστοιχεί στο 75% περίπου της συνολικής επιφάνειας της λεκάνης. Η μικρή και σχετικά ενιαία κλίση του τμήματος αυτού οφείλεται στις "μαλακές" λιθολογίες που φιλοξενούν οι ζώνες αυτές, οι οποίες επιτρέπουν έντονη αλλά ομοιογενώς κατανεμημένη διάβρωση. Οφείλεται, επίσης, στις συνθήκες επιπέδωσης που κυριαρχούν στην πεδινή ζώνη λόγω αποκομιδής και απόθεσης υλικών που μεταφέρονται από τα ανάντη μέσω του υδρογραφικού δικτύου.

Το μικρό τμήμα ΒΓ παρουσιάζει απότομη αύξηση της κλίσης. Αυτό σημαίνει ότι οι επιφάνειες μεταξύ των ισοϋψών των 700m και 1000m καταλαμβάνουν περιορισμένη επιφάνεια σε σχέση με το μέγεθος της λεκάνης. Το γεγονός αυτό πιθανόν οφείλεται στην ύπαρξη μεταπτωτικών ρηγμάτων, τα οποία είναι υπεύθυνα για την μορφολογική έξαρση των Λευκών Ορέων.

Το τμήμα ΓΔ παριστάνει την κατανομή της επιφάνειας που καταλαμβάνει η ζώνη του καρστ. Το μικρό ποσοστό που καταλαμβάνει έναντι του συνολικού εμβαδού της λεκάνης (μόλις 17,4%), υποδηλώνει τη διαφορετική διάβρωση που υφίστανται οι ανθρακικοί σχηματισμοί σε σχέση με τους φυλλιτικούς. Αυτή εκδηλώνεται περισσότερο κατά την κατακόρυφη έννοια, δημιουργώντας απότομο ανάγλυφο (μεγάλες κλίσεις), αλλά και εντός των σχηματισμών δημιουργώντας υπόγεια δίκτυα καρστικών αγωγών.

Τέλος, το τελευταίο τμήμα αναπαριστά τις μεμονωμένες βουνοκορφές. [Λιαλιάρης, 1996]

4.2.2 Μέσος ετήσιος όγκος ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων

Ο μέσος ετήσιος όγκος ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων που δέχεται η λεκάνη του Κερίτη υπολογίστηκε βάσει της υψομετρικής μεθόδου (ή μέθοδος της βροχοβαθμίδας).

Η μέθοδος αυτή βασίζεται στην παρατήρηση ότι το ύψος βροχής αυξάνει με την αύξηση του υψόμετρου και χρησιμοποιεί μια απλή γραμμική σχέση που συσχετίζει τα υψόμετρα των βροχομετρικών σταθμών με το μέσο ύψος βροχής κάθε σταθμού και εφόσον υπάρχει ικανοποιητική συσχέτιση (συντελεστής συσχέτισης $r > 0,70$), η σχέση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση του ύψους βροχής σε οποιοδήποτε υψόμετρο.

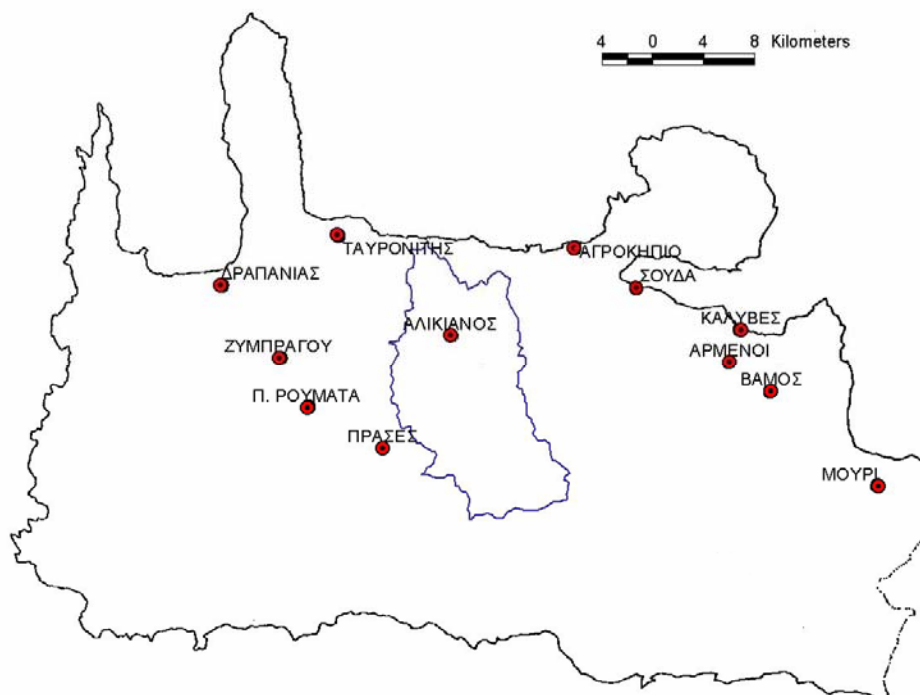
Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιήθηκε λόγω του ότι είναι η μόνη που μπορεί να δώσει αξιόπιστα (κατά προσέγγιση) αποτελέσματα σε περιπτώσεις λεκανών απορροής με έντονη ορεογραφία, όπως συμβαίνει στον Ελλαδικό χώρο και αραιό και ακανόνιστο κάναβο βροχομετρικών σταθμών, οι οποίοι είναι παραταγμένοι επί το πλείστον περιμετρικά της λεκάνης απορροής, όπως στην προκειμένη περίπτωση.

Εξετάστηκαν και άλλες μέθοδοι, οι οποίες δεν έδωσαν καθόλου ικανοποιητικά αποτελέσματα υποτιμώντας κατά πολύ το ύψος βροχής. Τα αποτελέσματα αυτά συγκρίθηκαν με τα ύψη βροχής παρόμοιων λεκανών.

Για την εφαρμογή της μεθόδου χρησιμοποιήθηκαν οι 9 βροχομετρικοί σταθμοί του πίνακα 4.2 για τα υδρολογικά έτη (1977-78) – (1996-97). Οι σταθμοί Αρμένιοι και Πρασές εξαιρέθηκαν από τους υπολογισμούς λόγω σημαντικής έλλειψης παρατηρήσεων, ενώ ο σταθμός Μουρί λόγω υψηλής ετερογένειας σε σχέση με τους γειτονικούς σταθμούς [Καπετανάκης, 2001]. Η γεωγραφική τους κατανομή φαίνεται στο σχήμα 4.3.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. Οι 9 Βροχομετρικοί Σταθμοί και τα αντίστοιχα Ύψη Βροχής για τα Υδρολογικά Έτη (1977-78) – (1996-97).

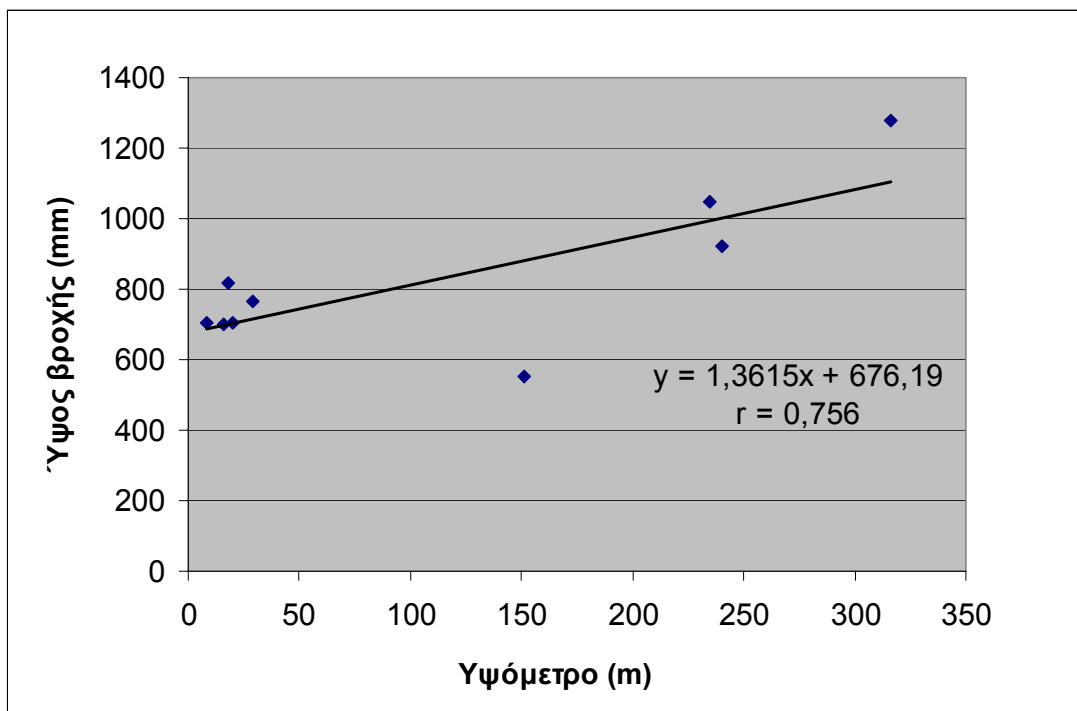
ΣΤΑΘΜΟΙ	ΑΠΟΛΥΤΟ ΥΨΟΜΕΤΡΟ (m)	ΜΕΣΟ ΕΤΗΣΙΟ ΥΨΟΣ ΒΡΟΧΗΣ (mm)
Αγροκήπιο	8,0	705,9
Ταυρωνίτη	15,4	701,2
Καλύβες	20,0	706,3
Δραπανιάς	29,0	763,8
Αλικιανός	18,0	818,9
Σούδα	151,6	550,5
Ζυμπραγού	235,0	1049,1
Βάμος	240,0	920,3
Π. Ρούματα	316,0	1276,2



Σχήμα 4.3. Γεωγραφική κατανομή βροχομετρικών σταθμών.

Τα υδρολογικά έτη που επιλέχθηκαν αντιστοιχούν σε περίοδο κοινής καταγραφής με την απορροή των σημαντικότερων πηγών της περιοχής.

Στο παρακάτω διάγραμμα (Διάγραμμα 4.2) φαίνεται η ευθεία που προκύπτει θέτοντας σε σύστημα ορθογωνίων συντεταγμένων τα απόλυτα υψόμετρα των 9 βροχομετρικών σταθμών συναρτήσει των μέσων υψών βροχής τους καθώς και η εξίσωση και ο συντελεστής συσχέτισης (r) αυτής.



Διάγραμμα 4.2. Μεταβολή ύψους βροχής σε σχέση με το υψόμετρο.

Οι ισοϋετες καμπύλες (ανά 200mm) που προκύπτουν με την εφαρμογή της παραπάνω εξίσωσης φαίνονται στο Σχήμα 4.4.

Εμβαδομετρώντας τις ζώνες μεταξύ δύο ισοϋετων καμπυλών και υπολογίζοντας το μέσο ύψος βροχής για κάθε μια από αυτές προκύπτει (Πίνακας 4.3) η επιφανειακή μέση βροχόπτωση της κάθε ζώνης και αθροίζοντας αυτά τα ύψη, η μέση βροχόπτωση της λεκάνης.

Η μέθοδος εφαρμόστηκε με τη βοήθεια του λογισμικού συστήματος γεωγραφικής πληροφορίας ArcView 3.2 της ESRI με την επέκταση Spatial Analyst 1.1.

Με τη βοήθεια αυτού του λογισμικού πραγματοποιήθηκαν και όλες οι εμβαδομετρήσεις επιφανειών σ' αυτή την εργασία καθώς και η κατασκευή όλων των χαρτών.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.3. Υπολογισμός του μέσου ετήσιου όγκου νερού που δέχεται η υδρολογική λεκάνη Κερίτη από τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα (μέθοδος ισοϋέτων καμπυλών).

Μέσο ύψος βροχής Ζώνης (mm)	Εμβαδόν επιφανειών (km ²)	Μέσο ύψος βροχής (mm)	Μέσος ετήσιος όγκος νερού (×10 ⁶ m ³)
800	55,6	253,0	44,5
1000	31,3	178,4	31,3
1200	23,5	160,4	28,2
1400	11,5	91,6	16,1
1600	4,7	42,8	7,5
1800	5,9	60,4	10,6
2000	6,8	77,4	13,6
2200	7,9	98,9	17,4
2400	8,3	113,4	19,9
2600	8,1	119,9	21,1
2800	6,3	100,4	17,6
3000	3,4	58,1	10,2
3200	2,4	43,7	7,7
ΣΥΝΟΛΟ	175,7	1398,4	245,7

Το μέσο ετήσιο ύψος βροχής που δέχεται η υδρολογική λεκάνη Κερίτη είναι 1398,4 mm και ο μέσος ετήσιος όγκος νερού 245,7×10⁶m³.

4.3 Κατείσδυση

Το μεγαλύτερο μέρος του νερού κατείσδυσης εντός της υδρολογικής λεκάνης Κερίτη πραγματοποιείται στους ανθρακικούς σχηματισμούς του νότιου τμήματος λόγω της φύσης του καρστ και του μεγάλου ύψους βροχόπτωσης. Το υπόλοιπο ποσοστό είναι αυτό που κατεισδύει εντός των αλλούβιων, διλλούβιων, νεογενών και φυλλιτικών - χαλαζιτικών πετρωμάτων.

Λόγω της πολύπλοκης γεωλογικής δομής της περιοχής, ο υπολογισμός της κατείσδυσης δεν μπορεί να υπολογιστεί με γεωλογικές μεθόδους. Επιπλέον, πειραματικοί προσδιορισμοί του συντελεστή κατείσδυσης αποτελούν μόνο σημειακές ενδείξεις, που δεν μπορούν να γενικευτούν για την ευρύτερη περιοχή λόγω της μεγάλης ανομοιογένειας που παρατηρείται.

Έτσι, ο υπολογισμός της κατείσδυσης επιχειρείται μέσω εμπειρικής μεθόδου, η οποία βασίζεται σε συντελεστές. Πιο συγκεκριμένα, ανάλογα με τη λιθολογία παρατίθενται συντελεστές οι οποίοι προσδιορίζουν το κλάσμα των βροχοπτώσεων που αποτελούν η κατείσδυση, η απορροή και η εξατμισοδιαπνοή.

Ο Kessler [1957], εισήγαγε μηνιαίους συντελεστές κατείσδυσης σε ποσοστά επί των βροχοπτώσεων. Οι συντελεστές αυτοί προέκυψαν από μετρήσεις καρστικής πηγής στην Ουγγαρία επί σειρά δεκαετιών. Η πηγή αποστράγγιζε περιοχή μέσου υψομέτρου 500m, καλυμμένη κατά 75% με βλάστηση. [Σούλιος, 1996]

Με βάση τους συντελεστές Kessler, οι Burdon και Papakis [1963], υπολόγισαν για το καρστ του Παρνασσού-Γκιώνας μέσο ετήσιο συντελεστή κατείσδυσης ίσο με 50,7%. Μεταγενέστερη μελέτη της περιοχής από τους ίδιους έδωσε συντελεστή 49,5%. [Λιαλιάρης, 1996]

Οι Aronis, Burdon και Zeris [1963], μετά από μελέτη των καρστικών πηγών Λιλαίας που αποστραγγίζουν τον ΒΑ Παρνασσό, υπολόγισαν συντελεστή ίσο με 51.6%, ενώ ο Μάστορης [1968] υπολόγισε για τη γειτονική περιοχή της Γκιώνας κατείσδυση ίση με 50,5% με τη μέθοδο Kessler. [Λιαλιάρης, 1996]

Οι Μονόπωλης και Μάστορης [1969], μετά από υδρογεωλογική έρευνα του όρους Ψηλορείτη (Κ. Κρήτη), υπολόγισαν συντελεστή ίσο με 56% με την εκτίμηση ότι δύναται να είναι χαμηλότερος μέχρι και 7 μονάδες. Ο πρώτος [1971], συσχετίζοντας παροχές πηγών με βροχομετρικά στοιχεία, υπολόγισε για τον Παρνασσό συντελεστή κατείσδυσης ίσο με 48,1 %, ελάχιστα μικρότερο από αυτόν που υπολόγισε με τη βοήθεια των συντελεστών Kessler (48,4%). [Λιαλιάρης, 1996]

Ο Σούλιος [1985], προσδιορίζει για διάφορες καρστικές περιοχές στην κεντρική και Β. Ελλάδα τιμές που κυμαίνονται από 45,6%-52,1%. Ο ίδιος

(1986), αναφέρει εύρος κατείσδυσης γενικά για καρστικούς σχηματισμούς 25-60%.

Οι Μονόπωλης κ.α. [1990] υπολογίζουν για τη λεκάνη Κουρταλιώτη, συντελεστή ίσο με 52,6%. Η λεκάνη αποτελείται κυρίως από ασβεστόλιθους της ζώνης Τρίπολης και Πίνδου, ενώ ο υπολογισμός έγινε με βάση γεωλογικές μεθόδους.

Σύμφωνα με τα παραπάνω και τα δεδομένα της μελέτης ολοκληρωμένης διαχείρισης υδατικών πόρων Κρήτης και σε συνδυασμό με προσωπικές εκτιμήσεις προσδιορίστηκαν οι συντελεστές κατείσδυσης, εξατμισοδιαπνοής και απορροής για την υδρολογική λεκάνη Κερίτη.

Πιο συγκεκριμένα, η περιοχή υποδιαιρέθηκε σε τέσσερις βασικές λιθολογικές ενότητες, για τις οποίες δίδονται διαφορετικοί συντελεστές, όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.4. Εμπειρικοί συντελεστές για την κατείσδυση, εξατμισοδιαπνοή και επιφανειακή απορροή των κύριων λιθολογικών ενότητων της υδρολογικής λεκάνης Κερίτη.

Χαρακτηρισμός πετρωμάτων	Λιθολογικές Ενότητες	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ(%)		
		Κατείσδυση	Εξατμισοδιαπνοή	Απορροή
ΚΑΡΣΤΙΚΑ	ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ	55	40	5
ΗΜΙΠΕΡΑΤΑ	ΝΕΟΓΕΝΗ & ΔΙΛΛΟΥΒΙΑ	10	70	20
ΠΕΡΑΤΑ	ΑΛΛΟΥΒΙΑ	20	70	10
ΑΔΙΑΠΕΡΑΤΑ	ΦΥΛΛΙΤΕΣ-ΧΑΛΑΖΙΤΕΣ	5	65	30

Ο υπολογισμός έγινε πάλι με τη μέθοδο των ισοϋέτων καμπυλών για κάθε μια από τις παραπάνω λιθολογικές ενότητες. Τα μέσα ύψη βροχής και οι ετήσιοι όγκοι του νερού που πέπτουν σε κάθε ενότητα φαίνονται στους παρακάτω πίνακες 4.5, 4.6, 4.7 και 4.8.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.5. Υπολογισμός του μέσου ετήσιου όγκου νερού που δέχονται οι Ασβεστόλιθοι από τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα (μέθοδος ισοϋετων καμπυλών).

<u>ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ</u>			
Μέσο ύψος βροχής Ζώνης (mm)	Εμβαδόν επιφανειών (km²)	Μέσο ύψος βροχής (mm)	Μέσος ετήσιος όγκος νερού (×10⁶m³)
800	4,4	47,9	3,5
1000	5,2	70,7	5,2
1200	5,9	96,3	7,1
1400	5,3	101,0	7,4
1600	3,6	78,4	5,8
1800	5,9	144,5	10,6
2000	6,8	185,0	13,6
2200	7,9	236,5	17,4
2400	8,3	271,0	19,9
2600	8,1	286,5	21,1
2800	6,3	240,0	17,6
3000	3,4	138,8	10,2
3200	2,4	104,5	7,7
Σύνολο	73,5	2001,1	147,1

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.6. Υπολογισμός του μέσο ετήσιου όγκου νερού που δέχονται τα Νεογενή από τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα (μέθοδος ισοϋετων καμπυλών).

<u>ΝΕΟΓΕΝΗ & ΔΙΛΛΟΥΒΙΑ</u>			
Μέσο ύψος βροχής Ζώνης (mm)	Εμβαδόν επιφανειών (km²)	Μέσο ύψος βροχής (mm)	Μέσος ετήσιος όγκος νερού (×10⁶m³)
800	15,1	774,4	12,1
1000	0,5	32,1	0,5
1200	0,0	0,0	0,0
1400	0,0	0,0	0,0
1600	0,0	0,0	0,0
1800	0,0	0,0	0,0
2000	0,0	0,0	0,0
2200	0,0	0,0	0,0
2400	0,0	0,0	0,0
2600	0,0	0,0	0,0
2800	0,0	0,0	0,0
3000	0,0	0,0	0,0
3200	0,0	0,0	0,0
Σύνολο	15,6	806,4	12,6

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.7. Υπολογισμός του μέσου ετήσιου όγκου νερού που δέχονται τα Τεταρτογενή από τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα (μέθοδος ισοϋέτων καμπυλών).

<u>ΑΛΛΟΥΒΙΑ</u>			
Μέσο ύψος βροχής Ζώνης (mm)	Εμβαδόν επιφανειών (km²)	Μέσο ύψος βροχής (mm)	Μέσος ετήσιος όγκος νερού (×10⁶m³)
800	22,9	769,7	18,3
1000	0,9	37,8	0,9
1200	0,0	0,0	0,0
1400	0,0	0,0	0,0
1600	0,0	0,0	0,0
1800	0,0	0,0	0,0
2000	0,0	0,0	0,0
2200	0,0	0,0	0,0
2400	0,0	0,0	0,0
2600	0,0	0,0	0,0
2800	0,0	0,0	0,0
3000	0,0	0,0	0,0
3200	0,0	0,0	0,0
Σύνολο	23,8	807,6	19,2

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.8. Υπολογισμός του μέσου ετήσιου όγκου νερού που δέχονται οι Φυλλίτες-Χαλαζίτες από τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα (μέθοδος ισοϋέτων καμπυλών).

<u>ΦΥΛΛΙΤΕΣ - ΧΑΛΑΖΙΤΕΣ</u>			
Μέσο ύψος βροχής Ζώνης (mm)	Εμβαδόν επιφανειών (km²)	Μέσο ύψος βροχής (mm)	Μέσος ετήσιος όγκος νερού (×10⁶m³)
800	13,2	168,2	10,6
1000	24,8	394,9	24,8
1200	17,5	334,4	21,0
1400	6,2	138,2	8,7
1600	1,1	28,0	1,8
1800	0,0	0,0	0,0
2000	0,0	0,0	0,0
2200	0,0	0,0	0,0
2400	0,0	0,0	0,0
2600	0,0	0,0	0,0
2800	0,0	0,0	0,0
3000	0,0	0,0	0,0
3200	0,0	0,0	0,0
Σύνολο	62,8	1063,7	66,8

Ο πολλαπλασιασμός των παραπάνω όγκων με τους συντελεστές του πίνακα 4.4 επιτρέπει τον υπολογισμό της κατείσδυσης αλλά και της απορροής και εξατμισοδιαπνοής των επιμέρους λιθολογικών ενοτήτων και ακολούθως όλης της υδρολογικής λεκάνης (πίνακας 4.9).

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.9. Υδρολογικό ισοζύγιο λεκάνης Κερίτη

ΛΙΘΟΛΟΓΙΚΕΣ ΕΝΟΤΗΤΕΣ	ΚΑΤΕΙΣΔΥΣΗ ($\times 10^6 \text{ m}^3$)	ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗ ($\times 10^6 \text{ m}^3$)	ΑΠΟΡΡΟΗ ($\times 10^6 \text{ m}^3$)
Ασβεστόλιθοι	80,9	58,8	7,4
Νεογενή & Διλλούβια	1,3	8,8	2,5
Αλλούβια	3,8	13,5	1,9
Φυλλίτες-Χαλαζίτες	3,3	43,4	20,0
ΣΥΝΟΛΟ	89,3	124,5	31,8
ΣΥΝΟΛΟ % ΤΩΝ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΕΩΝ	36,3	50,7	13,0

Ο συνολικός μέσος ετήσιος όγκος του νερού κατείσδυσης υπολογίστηκε σε $89,3 \times 10^6 \text{ m}^3$. Δεδομένου ότι ο συνολικός ετήσιος όγκος των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων είναι ίσος με $245,7 \times 10^6 \text{ m}^3$, ο συντελεστής κατείσδυσης για όλη τη λεκάνη ανέρχεται σε:

$$I=36,3\%.$$

4.4 Επιφανειακή απορροή

Ο μέσος ετήσιος όγκος του νερού της επιφανειακής απορροής υπολογίστηκε ίσος με $31,8 \times 10^6 \text{ m}^3$. Η τιμή αυτή αντιστοιχεί σε συντελεστή επιφανειακής απορροής (R) ίσο με:

$$R=13,0\%.$$

4.5 Εξατμισοδιαπνοή

Ο μέσος ετήσιος όγκος του νερού της εξατμισοδιαπνοής υπολογίστηκε ίσος με $124,5 \times 10^6 \text{ m}^3$. Η τιμή αυτή αντιστοιχεί σε συντελεστή εξατμισοδιαπνοής (E) ίσο με:

$$E=50,7\%.$$

4.6 Γενικά συμπεράσματα

Με βάση τις τιμές των παραπάνω πινάκων προκύπτουν οι εξής παρατηρήσεις:

- Ο ρόλος της λιθολογίας στη διακίνηση των υδάτων είναι καταλυτικός. Για παράδειγμα, το 63% της επιφανειακής απορροής της λεκάνης προέρχεται από την ενότητα φυλλιτών, αν και καταλαμβάνουν μόλις το 37% της συνολικής επιφάνειας της λεκάνης. Αντίστοιχα, το 90,6% του νερού κατείσδυσης προέρχεται αποκλειστικά από τους ασβεστόλιθους της ζώνης του καρστ.
- Το νερό που κατείσδυει εντός των φυλλιτών εκφορτίζεται από διάφορες μικροπηγές στην περιοχή ενδιαφέροντος.
- Ο ετήσιος όγκος των υδάτων της επιφανειακής απορροής είναι η μια από τις δυο βασικές συνιστώσες της συνολικής απορροής του ποταμού Κερίτη.

5. ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ

5.1 Γενικά

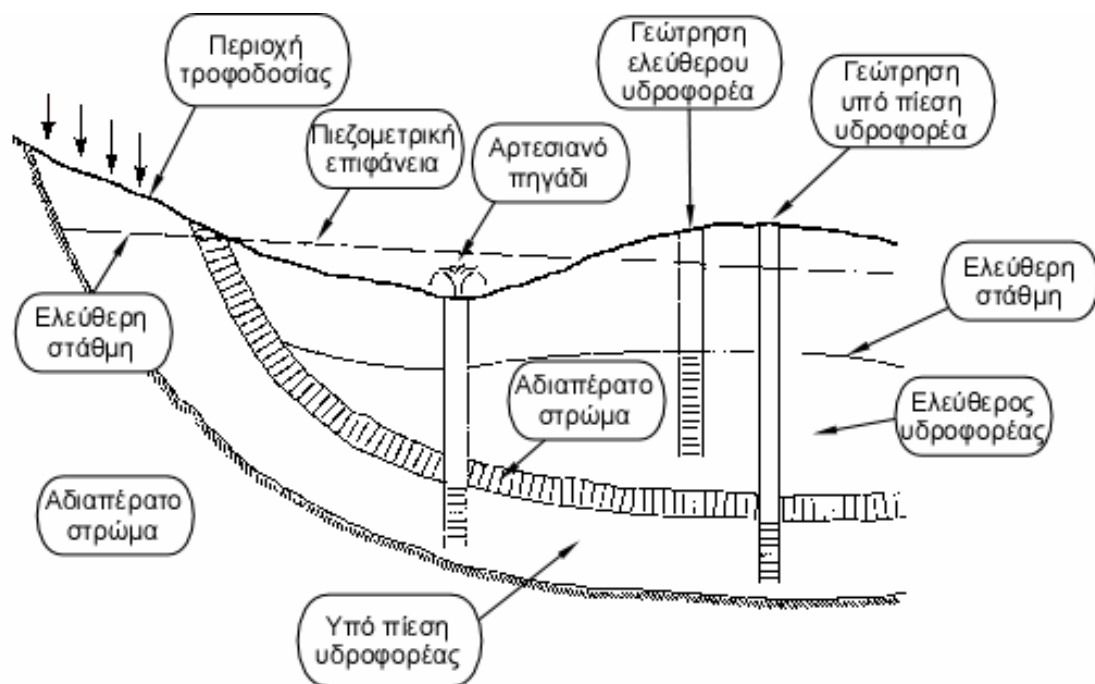
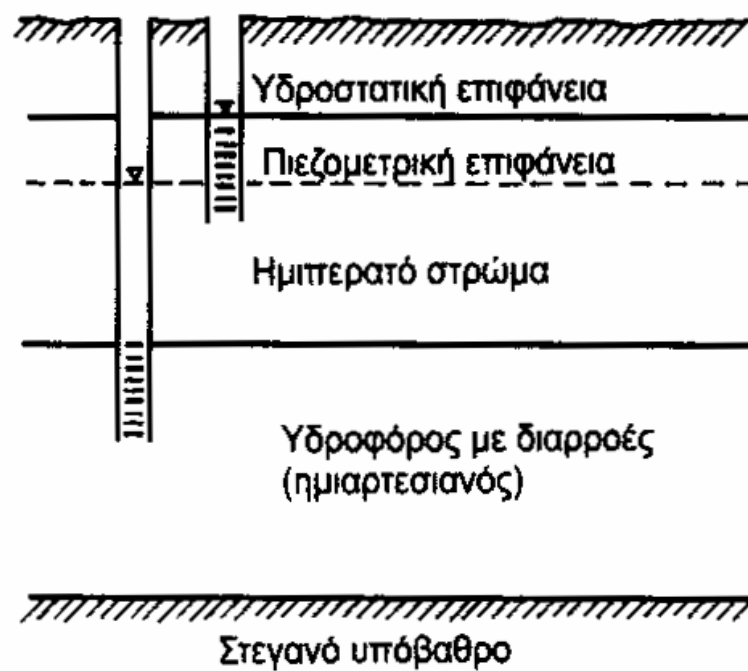
Ο όρος "Υδρογεωλογία" αναφέρεται στη μελέτη του υπόγειου νερού με ιδιαίτερη έμφαση στη σχέση του με το γεωλογικό περιβάλλον τον τρόπο διακίνησης του και το χημισμό του. [από Λιαλιάρης, 1996 κατά Davis and De West, 1966]

Βασική υδρογεωλογική ενότητα αποτελούν οι υδροφόροι ή υδροφόροι ορίζοντες. Υδροφόροι δηλαδή είναι οι σχηματισμοί που περιέχουν αρκετό, κορεσμένο με νερό, υλικό, ώστε να τροφοδοτήσουν με σημαντικές ποσότητες νερού, γεωτρήσεις, πηγάδια και πηγές. [από Καλλέργης, 1999 κατά Lohman et al., 1972]

Αυτό συνεπάγεται ότι ο υδροφόρος έχει κάποια αυξημένη ικανότητα να αποθηκεύει και να μεταβιβάζει το νερό. Ο υδροφόρος περιλαμβάνει λοιπόν τόσο το γεωλογικό σχηματισμό καθαυτό, που πολλές φορές αναφέρεται και σαν υδροφορέας, όσο και το περιεχόμενο στον υδροφορέα νερό. [Καλλέργης, 1999]

Οι υδροφόροι μπορεί να υπέρκεινται ή να υπόκεινται ενός στρώματος που τους περιορίζει. Το στρώμα αυτό, είτε είναι δάπεδο είτε οροφή του υδροφόρου ορίζοντα συνιστά ένα σύνορό του, αποτελείται δε από σχετικά αδιαπέρατο υλικό που στρωματογραφικά περιορίζει έναν ή περισσότερους υδροφόρους. [Καλλέργης, 1999]

Ανάλογα λοιπόν με τα παραπάνω οι υδροφόροι ορίζοντες υποδιαιρούνται σε τρεις κύριες κατηγορίες (Σχήμα 5.1): [Καλλέργης, 1999]



Σχήμα 5.1. Ημιαρτεσιανή υδροφορία (πάνω). [από Καλλέργης, 1999 κατά Todd, 1980] Ελεύθερες και υπό πίεση υδροφορίες (κάτω). [Todd, 1980 (μετάφραση Μονόπωλης)]

- **Ελεύθερους** οι οποίοι έχουν ως δάπεδο στεγανό πέτρωμα, ως οροφή ελεύθερη υδροστατική επιφάνεια με πίεση ίση με την ατμοσφαιρική.
- **Αρτεσιανούς** (ή υπό πίεση ή εγκλωβισμένους ή περιορισμένους) στους οποίους το υπόγειο νερό βρίσκεται “εγκλωβισμένο” ανάμεσα στα σχετικά αδιαπέρατα στρώματα της οροφής και του δαπέδου, με πίεση μεγαλύτερη από την ατμοσφαιρική. Η στάθμη του νερού σε μια υδρογεώτρηση ανεβαίνει ψηλότερα από τον πυθμένα της αδιαπέρατης οροφής.
- **Ημιαρτεσιανούς** (ή με διαρροές) στους οποίους η οροφή ή το δάπεδο ή και τα δύο είναι στρώματα ημιυδροφόρα. Η άντληση νερού από μια υδρογεώτρηση προκαλεί την κίνηση του νερού κατά δύο κατευθύνσεις, οριζόντια ροή μέσα στον υδροφόρο και κατακόρυφη ροή από το ημιυδροφόρο στρώμα προς τον υδροφόρο ορίζοντα.

Η υδρογεωλογική (ή υπόγεια) λεκάνη είναι μια υδρογεωλογική ενότητα που περιέχει ένα μεγάλο ή περισσότερους αλληλοσυνδεόμενους υδροφόρους. [από Καλλέργης, 1999 κατά Todd, 1980] Δηλαδή μια αποθήκη ικανή να δώσει αξιόλογη ποσότητα νερού. Με άλλα λόγια, είναι η γεωλογική ενότητα που τροφοδοτεί με υπόγειο νερό έναν υδροφόρο ή ένα υδροφόρο σύστημα. Η υδρολογική λεκάνη και η υδρογεωλογική λεκάνη μπορεί να συμπίπτουν ή και όχι. [Καλλέργης, 1999]

Ο υπολογισμός των πάσης φύσεως τροφοδοσιών και απωλειών μιας υδρογεωλογικής λεκάνης καλείται **υδρογεωλογικό ισοζύγιο**. Η βασική σχέση που χρησιμοποιείται στον υπολογισμό ενός τέτοιου ισοζυγίου είναι η παρακάτω: [Σούλιος, 1996]

$$T = A \pm \Delta V \quad (5.1)$$

όπου

T= πάσης φύσεως τροφοδοσίες

A= πάσης φύσεως απώλειες και

ΔV = μεταβολή των αποθεμάτων.

Στην πράξη, ο ακριβής υπολογισμός του υδρογεωλογικού ισοζυγίου παρουσιάζεται εξαιρετικά δύσκολος, γιατί πρέπει να ληφθεί υπόψη πλήθος παραμέτρων, οι οποίες συνθέτουν τις ποσότητες T και A της σχέσης (5.1). Οι παράμετροι αυτές δίνονται ενδεικτικά από τις παρακάτω σχέσεις:

$$T = T_K + T_E + T_{\Pi} + T_T + T_U \quad (5.2)$$

όπου

T_K = απευθείας κατείσδυση νερού εντός της λεκάνης,

T_E = κατείσδυση επιφανειακών νερών από παρακείμενους σχηματισμούς,

T_{Π} = υπόγειες πλευρικές τροφοδοσίες

T_T = τροφοδοσία από τυχόν τεχνικά έργα εμπλουτισμού και

T_U = τροφοδοσία από υπερκείμενα υδροφόρα στρώματα.

Οι πάσης φύσεως απώλειες συνοψίζονται ενδεικτικά στην εξίσωση:

$$A = A_{\Pi} + A_{\Pi\Lambda} + A_K + A_{\Pi OT} + A_E + A_{E\Xi} + A_U. \quad (5.3)$$

όπου

A_{Π} = εκφορτίσεις μέσω πηγών

$A_{\Pi\Lambda}$ = πλευρικές διαφυγές προς γειτονικούς υδροφόρους

A_K = απώλειες προς τα κατάντη

$A_{\Pi OT}$ = τροφοδοσία ποταμού

A_E = απολήψεις μέσω υδροληπτικών έργων

$A_{E\Xi}$ = απώλειες μέσω εξατμισοδιαπνοής και

A_U = απώλειες προς τα υποκείμενα στρώματα.

Οι κατηγορίες των αποθεμάτων ενός υδροφορέα μπορούν να περιγραφούν ως εξής: [από Καλλέργη, 1999 κατά Plotnikov, 1946 and Castany, 1963]

- **Ρυθμιστικά αποθέματα** είναι εκείνα που περιλαμβάνονται ανάμεσα στην ανώτερη και στην κατώτερη ετήσια στάθμη των ελευθέρων υδροφόρων στρωμάτων. Όταν υπάρχει επέμβαση του ανθρώπου, συνηθέστατα με αντλήσεις και σπάνια με τεχνητό εμπλουτισμό, η ποσότητα των ρυθμιστικών αποθεμάτων αυξάνεται και μπορεί η μέγιστη τιμή τους να φτάσει σε μια λεκάνη το συνολικό όγκο ανανέωσης των αποθεμάτων. Δηλαδή τον όγκο της κατείσδυσης με συμπεριλαμβανόμενη την τροφοδοσία από διήθηση από τις κοίτες των ποταμών και τον ενδεχόμενο τεχνητό εμπλουτισμό.
- **Μόνιμα αποθέματα** είναι η ποσότητα του νερού που βρίσκεται κάτω από την κατώτερη ετήσια στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα.
- **Εκμεταλλεύσιμα αποθέματα** είναι εκείνα τα οποία μπορούμε να εκμεταλλευτούμε. Συνδέονται με τα ρυθμιστικά αποθέματα αλλά ασφαλώς είναι περισσότερα ποσοτικά (περίπου διπλάσια). Είναι δηλαδή η ποσότητα εκείνη των αποθεμάτων που θα μπορούσαμε κάθε χρόνο να εκμεταλλευόμαστε χωρίς να δημιουργήσουμε ανατροπή της φυσικής ισορροπίας σε μια λεκάνη ή χωρίς να προκαλέσουμε περιβαλλοντικό πρόβλημα.

Σε σχέση με τα αποθέματα υπόγειου νερού υπάρχουν και οι εξής συναφείς όροι: [Καλλέργης, 1999]

Υδατικό (ή υδάτινο) δυναμικό μιας περιοχής είναι τα αποθέματά της και ο ρυθμός ανανέωσής τους, Μια λεκάνη ή μια περιοχή έχει μεγάλο υδάτινο δυναμικό όταν έχει και πολλά αποθέματα και μεγάλη ανανέωση. Στο υδάτινο δυναμικό μιας λεκάνης ή περιοχής περιλαμβάνονται και τα επιφανειακά νερά.

Υδατικός πόρος είναι ο όγκος νερού, επιφανειακού και υπόγειου, με καθορισμένη ποιότητα που μπορεί να αξιοποιηθεί τεχνικοοικονομικά κατά ορισμένη χρονική περίοδο χωρίς να προηγηθούν ανεπιθύμητες ποσοτικά και ποιοτικά συνέπειες της περιοχής.

5.2 Υδρογεωλογικές ενότητες λεκάνης Κερίτη

5.2.1 Γενικά

Οι υδρογεωλογικές ενότητες που εμφανίζονται στην ευρύτερη περιοχή του Κερίτη είναι δύο. Η πρώτη είναι η καρστική υδροφορία που περιλαμβάνει τις πηγές που εκφορτίζουν στις περιοχές Αγυιά, Μεσκλά, Αναβάλλοντα και Κουφό και η δεύτερη είναι η προσχωματική υδροφορία στις ολοκαινικές αποθέσεις (αλλούβια) της λεκάνης του Κερίτη.

5.2.2 Καρστική υδροφορία Αγυιάς, Μεσκλών, Αναβάλλοντα και Κουφού

➤ Η καρστική υδροφορία της περιοχής που εκδηλώνεται μέσω του συστήματος των πηγών Αγυιάς αναπτύσσεται κυρίως στους καρστικούς ασβεστόλιθους και δολομίτες της ζώνης Τρυπαλίου και εκφορτίζεται κυρίως στην περιοχή της Αγυιάς με ένα μέτωπο πηγών, οι οποίες κατατάσσονται σε τρεις ομάδες:

- α. Πλάτανος
- β. Κολύμπα
- γ. Καλαμιώνας

Στις πηγές (σημεία εκφόρτισης) σημειώνονται απόλυτα υψόμετρα από +33,52m (Καλαμιώνας) μέχρι +40,64m (Βαρύπετρο). Τα απόλυτα υψόμετρα της ελεύθερης επιφάνειας του υδροφόρου ορίζοντα στα σημεία εκφόρτισης των ανωτέρω πηγών ήταν το 1976 στα +42,47m (Καλαμιώνας) και +45,34 (Βρυσίδια). Από τα δύο πιεζόμετρα αυτά, σήμερα σε λειτουργία είναι μόνο αυτό στα Βρυσίδια, στο οποίο παρουσιάζεται διακύμανση

στάθμης υδροφόρου ορίζοντα από +41,42m (Οκτώβριο) μέχρι +42,57m (Απρίλιο). Από τα ανατολικά προς τα δυτικά οι πηγές αυτές παρουσιάζουν μια αύξηση των θειικών αλάτων με μεγαλύτερες τιμές στη πηγή Καλαμιώνα. [Λιονής και Περλέρος, 2001]

➤ Οι πηγές των Μεσκλών εκδηλώνονται στους καρστικούς ασβεστόλιθους και δολομίτες της ζώνης Τρυπαλίου, οι οποίοι προβάλλουν διαμέσου των φυλλιτών σε τρεις θέσεις:

α. Κεφαλόβρυση (ή Ποταμός) με απόλυτο υψόμετρο +223,52m

β. Παναγιά με απόλυτο υψόμετρο +213,48m

γ. Νικολιανά με απόλυτο υψόμετρο +197,16m

Οι εκφορτίσεις των πηγών στα Μεσκλά, δεν θεωρείται ότι αποτελούν ξεχωριστή καρστική υδροφορία, αλλά αποτελούν τμήμα του ευρύτερου υδροφορέα της Αγυιάς. Σε συνθήκες δηλαδή μεγάλης υπόγειας διακίνησης νερού, κατά την περίοδο των έντονων βροχοπτώσεων, δεν μπορεί η ανθρακική μάζα στο χώρο των πηγών να παροχετεύσει τις υπόγειες διακινούμενες ποσότητες αυτές προς τα κατάντη, λόγω μειωμένης διαπερατότητας. Εξαιτίας της δυσκολίας αυτής, το νερό εξέρχεται στην επιφάνεια ως πηγή, ενώ σε συνθήκες ομαλοποίησης της υπόγειας ροής οδεύει κατάντη στις πηγές του μετώπου Αγυιάς. Για το λόγο αυτό, κατά τις ιχνηθετήσεις του Ι.Γ.Μ.Ε. ανιχνεύθηκαν οι ιχνηθέτες τόσο στα Μεσκλά όσο και στο μέτωπο πηγών Αγυιάς και στα Μυλωνιανά. Η λειτουργία αυτή επιβεβαιώθηκε με ερευνητική γεώτρηση. [Λιονής και Περλέρος, 2001]

➤ Οι εκφορτίσεις των διαλειπουσών πηγών στον Αναβάλλοντα, στο Θερισιανό φαράγγι, δε θεωρείται επίσης ότι αποτελούν ξεχωριστή καρστική υδροφορία, αλλά αποτελούν τμήμα του υδροφορέα της Αγυιάς. Όπως και στα Μεσκλά, σε συνθήκες δηλαδή μεγάλης υπόγειας διακίνησης νερού κατά την περίοδο των έντονων βροχοπτώσεων, δεν είναι δυνατή η παροχέτευση των ποσοτήτων αυτών προς τα κατάντη, λόγω μειωμένης καρστικότητας. Εξαιτίας της δυσκολίας αυτής, το νερό εξέρχεται στην επιφάνεια ως πηγή, ενώ σε συνθήκες ομαλοποίησης της υπόγειας ροής οδεύει κατάντη. Η λειτουργία αυτή επιβεβαιώνεται με γεωτρήσεις, οι οποίες και κατά την διάρκεια της διάτρησης αλλά και κατά την διάρκεια της

εκμετάλλευσης, τροφοδοτούνται με νερό από υψόμετρα χαμηλότερα των αντίστοιχων εκδήλωσης των πηγών.

Εκδηλώνονται στους καρστικούς ασβεστόλιθους και δολομίτες Τρυπαλίου σε τρεις κύριες θέσεις, με απόλυτα υψόμετρα +121,64m, +136,12m και +137,01m αντίστοιχα. [Λιονής και Περλέρος, 2001]

- Η υδροφορία, τέλος, στον Κουφό αναπτύσσεται στους καρστικούς ασβεστόλιθους και δολομίτες της ζώνης Τρυπαλίου και εκφορτίζεται με ένα μέτωπο πηγών, με απόλυτο υψόμετρο +51,93m. Η υδρογεωλογική λεκάνη, από την οποία τροφοδοτείται η καρστική υδροφορία αυτή, δεν είναι γνωστή, ώστε να διαχωριστεί από την υπόλοιπη της καρστικής υδροφορίας Αγυιάς. Η έκταση της επιφανειακής εμφάνισης των ασβεστόλιθων στην περιοχή του Κουφού είναι μόλις 1,57km² και δεν επαρκεί για να δικαιολογήσει την ύπαρξη των πηγών. Από τα δεδομένα των γεωτρήσεων που διέτρησαν ασβεστόλιθους, σε συνδυασμό με τις μετρήσεις στάθμης που πραγματοποιήθηκαν σε αυτές, πιθανή τροφοδοσία των πηγών μπορεί να υφίσταται από νότιο – νοτιοανατολικά και από νοτιοδυτικά από την περιοχή Ντερέ, μέσω των σχηματισμών της Ενότητας Τρυπαλίου. Οι πηγές στην περιοχή του Κουφού έχουν πρακτικά αναρρυθμιστεί, αφού με τις αντλήσεις που πραγματοποιούνται από την υδροφορία αυτή, οι πηγές εμφανίζουν, κατά διαστήματα, μικρή ροή στα μέσα της άνοιξης για ελάχιστο χρονικό διάστημα, ή και καθόλου ροή, όπως τα τελευταία έτη. Ιδιαίτερο χαρακτηριστικό γνώρισμα των πηγών Κουφού αποτελεί η υψηλή περιεκτικότητα σε θειικά ιόντα. [Λιονής και Περλέρος, 2001]

Η υδρογεωλογική λεκάνη της Αγυιάς αποτελεί μια υπολεκάνη του μεγάλου υδροφόρου συστήματος των Λευκών Ορέων, η οποία εκφορτίζεται κυρίως μέσω των ομώνυμων πηγών. Οι πηγές Κουφού, Μεσκλών και Αναβάλλοντα δεν θεωρείται, όπως προαναφέρθηκε, ότι αποτελούν ξεχωριστές υδρογεωλογικές καρστικές ενότητες και εντάσσονται στην καρστική υπολεκάνη των Λευκών Ορέων, η οποία εν συντομία αναφέρεται ως καρστική ενότητα Αγυιάς (Σχήμα 5.2). [Λιονής και Περλέρος, 2001]

Τα όρια της υδρογεωλογικής λεκάνης όλων των πηγών είναι αρκετά δύσκολο να καθοριστούν με ακρίβεια. Έτσι η προσέγγιση της έκτασης γίνεται με βάση τα γενικά μορφολογικά και τεκτονικά στοιχεία. Τα όρια αυτά καθορίζονται ως εξής (Σχήμα 5.3):

- **Νότιο** όριο, το οποίο καθορίζεται από την κορυφογραμμή Μελινταού (υψομ. 2.133m) στο ύψος του επιφανειακού υδροκρίτη. Στην έκταση αυτή συμμετέχουν κυρίως οι ασβεστολιθικοί σχηματισμοί της ενότητας “Τρυπαλίου”, οι οποίοι αναπτύσσονται κυρίως μέσα στην ευρύτερη υδρολογική λεκάνη της περιοχής της μελέτης, με εξαίρεση μικρό τμήμα ανατολικά (ανάντη Πλατύβολων), το οποίο επεκτείνεται και εκτός αυτής. Την έκταση της υδρογεωλογικής λεκάνης συμπληρώνουν οι ασβεστολιθικοί σχηματισμοί της Ιονίου ζώνης (Πλακώδεις), στα νοτιοανατολικά τμήματα της περιοχής μελέτης.
- **Δυτικό** όριο της λεκάνης τροφοδοσίας αποτελεί η επαφή των φυλλιτών με την ενότητα “Τρυπαλίου”. Η κλειστή λεκάνη του Ομαλού συμμετέχει και αυτή στην τροφοδοσία των πηγών. Το ανώτερο υψομετρικά τμήμα της λεκάνης του Ντεριανού που δομείται από ανθρακικούς σχηματισμούς του Τρυπαλίου αποτελεί τμήμα της υδρογεωλογικής λεκάνης των πηγών.
- **Ανατολικό** όριο η τεκτονική ζώνη επώθησης των φυλλιτών - χαλαζιτών. Μικρή είναι, επίσης, η πιθανότητα επέκτασης της λεκάνης προς τον όρμο της Σούδας (ασβεστόλιθοι ζώνης Τρίπολης) γιατί κάτω από τις μειοκαινικές αποθέσεις στο ύψος του Νεροκούρου αναδύονται οι φυλλίτες, που πιθανώς να απομονώνουν την προς ανατολάς επικοινωνία του συστήματος. Επίσης, μικρή είναι η πιθανότητα στην υδρογεωλογική λεκάνη να εντάσσεται και τμήμα των ασβεστόλιθων της ζώνης Τρίπολης που σημειώνεται ανάντη των Πλατύβολων, οι οποίοι είναι επωθημένοι στην Ιόνιο ζώνη. Για τους λόγους αυτούς οι εκτάσεις που προαναφέρθηκαν δεν εντάσσονται στην υδρογεωλογική λεκάνη.

- **Βόρειο** όριο (στη ζώνη των πηγών Αγυιάς) είναι το σημαντικό ρήγμα που διακόπτει την συνέχεια του ανθρακικού σχηματισμού του “Τρυπαλίου”, ο οποίος βρίσκεται κάτω από τις προσχώσεις. Επίσης ο μωλυνίτης του ρήγματος αυτού θεωρείται πως συμβάλει και αυτός ως “υδατοστεγανό διάφραγμα”.

Έτσι, επιχειρείται να καθοριστεί ο υπόγειος υδροκρίτης της υδρογεωλογικής λεκάνης Αγυιάς, που αποτελεί μια υπολεκάνη του μεγάλου υδροφόρου συστήματος των Λευκών Ορέων. [Λιονής και Περλέρος, 2001]

Γενικά συμπεράσματα – παρατηρήσεις

- Η έκταση επιφανειακής ανάπτυξης των ανθρακικών σχηματισμών της λεκάνης τροφοδοσίας, όπως περιγράφηκε, είναι της τάξεως των 171,4 km².
- Η έκταση της υδρογεωλογικής λεκάνης είναι φυσικά μεγαλύτερη, αφού εξαπλώνεται και κάτω από τα πρακτικά αδιαπέρατα φυλλιτικά - χαλαζιτικά, μαργαϊκά και αργιλικά πετρώματα.
- Ιδιαίτερο στοιχείο της καρστικής υδροφορίας αποτελεί η διαφοροποίηση ως προς την ποιότητα των πηγών Καλαμιώνα – Κουφού, παρόλο που αποτελούν επιμέρους εκφορτίσεις της ενιαίας υδρογεωλογικής λεκάνης. Η αύξηση αυτή των θειικών ιόντων πρέπει να συνδέεται με ύπαρξη εστίας «ρύπανσης», κοντά μάλλον στις εκφορτίσεις που πρέπει να είναι γύψοι των φυλλιτών - χαλαζιτών. Τα αποτελέσματα των γεωφυσικών διασκοπήσεων στον κάμπο Αλικιανού δείχνουν ότι είναι πιθανή η ανάπτυξη ανθρακικών σχηματισμών σε βάθος περί τα 150m - 200m κάτω από τις σύγχρονες αποθέσεις. [Hamdan, 2002] Η διερεύνηση της ύπαρξης ή μη των εμφανίσεων αυτών μέσω ερευνητικής γεώτρησης θα συμβάλλει και στη σχέση των δύο αυτών εκφορτίσεων (Κουφός - Καλαμιώνας).

Ισοζύγιο Καρστικού Υδροφορέα Αγυιάς

Εισροές

Η έκταση της λεκάνης τροφοδοσίας των πηγών Αγυιάς, Μεσκλών, Αναβάλλοντα και Κουφού εκτιμήθηκε σε 171,4 km².

Το μέσο ύψος βροχής και ετήσιος όγκος νερού που πέπτει επί του υδροφορέα υπολογίζονται όπως στο προηγούμενο κεφάλαιο και φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.1. Υπολογισμός του μέσου ετήσιου όγκου νερού που δέχεται ο Καρστικός Υδροφορέας Αγυιάς από τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα (μέθοδος ισοϋέτων καμπυλών).

Μέσο ύψος βροχής Ζώνης (mm)	Εμβαδόν επιφανειών (km ²)	Μέσο ύψος βροχής (mm)	Μέσος ετήσιος όγκος νερού (×10 ⁶ m ³)
800	2,4	11,2	1,9
1000	5,5	32,1	5,5
1200	18,7	130,9	22,4
1400	16,5	134,8	23,1
1600	9,7	90,5	15,5
1800	13,7	143,9	24,7
2000	15,6	182,0	31,2
2200	29,9	383,8	65,8
2400	19,9	278,6	47,8
2600	12,9	195,7	33,5
2800	11,3	184,6	31,6
3000	6,6	115,5	19,8
3200	8,7	162,4	27,8
ΣΥΝΟΛΟ	171,4	2046,1	350,7

Η κατείσδυση στους ασβεστόλιθους, σύμφωνα με τους συντελεστές του πίνακα 4.4, είναι ίση με 55%.

Άρα, ο ετήσιος όγκος νερού που κατεισδύει στον υδροφορέα ισούται με $350,7 \times 55\% = 192,9 \times 10^6 \text{m}^3$.

Εκροές

Η εκφόρτιση του υδροφορέα γίνεται μέσω των πηγών της Αγυιάς, των Μεσκλών, του Αναβάλλοντα και του Κουφού.

Οι μόνες μετρήσεις παροχών που έχουν πραγματοποιηθεί στο παρελθόν για της πηγές Αγυιάς αφορούν τα υδρολογικά έτη (1971-72)-(1983-84) και για τις πηγές Μεσκλών τα υδρολογικά έτη (1971-72)-(1995-96). Για τα υδρολογικά έτη 1976-77 και 1977-78 οι μετρήσεις στις πηγές Αγυιάς δεν πραγματοποιήθηκαν, ενώ για τις παροχές των πηγών Αναβάλλοντα και Κουφού δεν υπάρχουν καθόλου μετρήσεις.

Οι απολήψεις και αντλήσεις από την έκταση του υδροφορέα είναι προσδιορισμένες μόνο κατά τα τελευταία οκτώ χρόνια.

Με βάση τα παραπάνω δεδομένα συντάχθηκε από τους [Λιονής και Περλέρος, 2001] ο πίνακας 5.2 όπου προσδιορίζονται κατ' εκτίμηση τα ελλιπή στοιχεία για την περίοδο από 1977-78 έως 1996-97 λαμβάνοντας υπόψη τα παρακάτω:

- Την κοινή περίοδο ύπαρξης δεδομένων παροχών πηγών Αγυιάς και Μεσκλών 1971-72 μέχρι 1975-76 και 1978-79 μέχρι 1983-84.
- Όλα τα δεδομένα παροχών πηγών Μεσκλών.
- Τις απολήψεις και αντλήσεις στις πηγές Αγυιάς, με σταδιακή αύξηση από $9,5 \times 10^6 \text{m}^3$ το υδρολογικό έτος 1976-77, μέχρι $28 \times 10^6 \text{m}^3$ το υδρολογικό έτος 1995-96 και μετέπειτα ($16 \times 10^6 \text{m}^3$ από αντλιοστάσια Δ.Ε.Υ.Α.Χ. και Βαρυπέτρου και $12 \times 10^6 \text{m}^3$ από εκμετάλλευση γεωτρήσεων).
- Τις αντλήσεις από τις γεωτρήσεις στην περιοχή των πηγών Κουφού, με σταδιακή αύξηση από $0,5 \times 10^6 \text{m}^3$ το υδρολογικό έτος 1977-78, μέχρι $3,5 \times 10^6 \text{m}^3$ το υδρολογικό έτος 1994-95 και μετέπειτα.

- Την αναρρύθμιση που έχει επιτευχθεί στην εκμετάλλευση των πηγών Κουφού τα τελευταία χρόνια, κατά την οποία οι εκφορτίσεις είναι από ελάχιστες μέχρι μηδενικές.
- Τις μετρήσεις στις πηγές του Αναβάλλοντα τα υδρολογικά έτη 1998-99 και 1999-2000, οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν στην συνέχεια στην συσχέτιση με τα δεδομένα κοινής περιόδου παροχών πηγών Αγυιάς και Μεσκλών, αλλά και στην εκτίμηση με συσχέτιση των ετήσιων εκφορτίσεων στον Αναβάλλοντα και Κουφό.
- Τις αντλήσεις από τις γεωτρήσεις στην περιοχή των πηγών Αναβάλλοντα, με σταδιακή αύξηση από $0,2 \times 10^6 \text{ m}^3$ το υδρολογικό έτος 1977-78, μέχρι $0,4 \times 10^6 \text{ m}^3$ το υδρολογικό έτος 1990-91 και μετέπειτα
- Τα βροχομετρικά δεδομένα του σταθμού Αλικιανού (1977-1997) για τον συσχετισμό των εκφορτίσεων στην Αγυιά και Μεσκλά, με διαχωρισμό κάθε υδρολογικού έτους σε τρεις περιόδους (α. Σεπτέμβριο μέχρι Δεκέμβριο, β. Ιανουάριο μέχρι Μάιο, και γ. Ιούνιο μέχρι Αύγουστο).

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.2. Εκροές από τον καρστικό υδροφόρα Αγυιάς ($\times 10^6 \text{ m}^3$)

[Λιονής και Περλέρος, 2001]

		<u>Μεσκλά</u>	<u>Κουφός</u>		<u>Αναβάλλοντας</u>		<u>Αγυιά</u>		Σύνολο Ετήσιων Εκροών
Υδρ. Έτος		Εκφόρτιση	Εκφόρτιση	Αντλήσεις	Εκφόρτιση	Αντλήσεις	Εκφόρτιση	Αντλήσεις και Απολήψεις	
1977	1978	58,8	6,0	0,5	24,1	0,2	73,1	9,5	172,2
1978	1979	37,6	3,5	0,6	15,4	0,2	66,2	10,0	133,5
1979	1980	59,3	5,8	0,7	24,3	0,2	72,2	10,0	172,5
1980	1981	34,5	3,0	0,8	14,1	0,2	75,0	10,0	137,6
1981	1982	42,8	3,8	0,9	17,6	0,2	75,5	10,0	150,8
1982	1983	36,3	3,0	1,0	14,9	0,2	64,2	12,0	131,6
1983	1984	30,8	2,1	1,3	12,6	0,2	63,9	18,0	128,9
1984	1985	58,4	4,9	1,5	23,9	0,2	64,4	23,0	176,3
1985	1986	16,3	0,1	1,7	6,7	0,3	57,9	23,0	106,0
1986	1987	38,5	2,3	1,9	15,8	0,3	75,7	24,0	158,5
1987	1988	34,8	1,6	2,2	14,3	0,3	46,8	25,0	125,0
1988	1989	24,7	0,2	2,5	10,1	0,3	56,3	25,0	119,1
1989	1990	7,7	0,0	2,7	3,1	0,3	35,3	25,0	74,1
1990	1991	12,2	0,0	2,9	5,0	0,4	43,2	25,0	88,7
1991	1992	29,0	0,3	3,1	11,9	0,4	54,8	25,0	124,5
1992	1993	23,2	0,2	3,2	9,5	0,4	55,4	26,0	117,9
1993	1994	15,6	0,0	3,3	6,4	0,4	47,3	26,0	99,0
1994	1995	29,9	0,1	3,5	12,3	0,4	41,8	26,0	114,0
1995	1996	20,5	0,0	3,5	8,4	0,4	59,5	28,0	120,3
1996	1997	36,9	0,6	3,5	15,1	0,4	70,3	28,0	154,8
Μέσες ετήσιες		32,4	1,9	2,1	13,3	0,3	59,9	20,4	130
Μέσες ετήσιες		32,4	4,0		13,6		80,3		130

Από τον πίνακα προκύπτει ότι το σύνολο των εκροών από τον καρστικό υδροφορέα Αγυιάς ανέρχεται σε **$130 \times 10^6 \text{ m}^3$** ετησίως.

Η μέση ετήσια παροχή των πηγών στα Μεσκλά των $32,4 \times 10^6 \text{ m}^3$ περιλαμβάνει και την επιφανειακή απορροή της ανάντη υπολεκάνης (Σχήμα 5.4), η οποία εκτιμήθηκε σε **$6,2 \times 10^6 \text{ m}^3$** ετησίως και η οποία πρέπει να αφαιρεθεί από τις συνολικές εκροές.

Επομένως οι συνολικές εκροές από τον καρστικό υδροφορέα Αγυιάς ανέρχονται σε **$123,8 \times 10^6 \text{ m}^3$** .

Συμπεράσματα

Η διαφορά ΕΙΣΡΟΩΝ – ΕΚΡΟΩΝ = $192,9 \times 10^6 \text{ m}^3 - 123,8 \times 10^6 \text{ m}^3 = 69,1 \times 10^6 \text{ m}^3$ ανηγμένη σε ποσοστό επί του μέσου όρου των εισροών και εκροών εκφράζει μια απόκλιση ίση με **43,6%**.

Για τον τελικό υπολογισμό των εισροών και εκροών χρειάστηκε ο προσδιορισμός και η εκτίμηση μεγάλου πλήθους παραμέτρων, για κάθε μια από τις οποίες υπάρχει η πιθανότητα σφάλματος.

Η παράμετρος που πιθανότατα εμπεριέχει το μεγαλύτερο σφάλμα εκτιμάται πως είναι η βροχόπτωση. Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό της, συσχετίζει τα υψόμετρα με το μέσο ύψος βροχής κάθε σταθμού. Το μεγαλύτερο υψόμετρο σταθμού από τον οποίο προέρχονται βροχομετρικά δεδομένα είναι 316m (Παλαιά Ρούματα). Η εκτίμηση όμως της βροχόπτωσης με την παραπάνω μέθοδο γίνεται και για υψόμετρα πολύ μεγαλύτερα των 316m (έως 2200m) απ' όπου δεν υπάρχουν καθόλου βροχομετρικά δεδομένα. Εκτιμάται λοιπόν ότι για τα μεγαλύτερα υψόμετρα η βροχόπτωση υπερεκτιμάται μάλλον με αυτή τη μέθοδο αφού τα βροχομετρικά δεδομένα προέρχονται από μικρά υψόμετρα.

Μία άλλη παράμετρος που πρέπει να ληφθεί σοβαρά υπ' όψη είναι ότι η υδρογεωλογική λεκάνη της Αγυιάς αποτελεί μια υπολεκάνη του μεγάλου υδροφόρου συστήματος των Λευκών Ορέων και θα ήταν ίσως σωστότερο το θέμα του υδατικού ισοζυγίου να προσεγγιστεί υπολογίζοντας αρχικά το συνολικό υδατικό ισοζύγιο και μετά να επιχειρηθεί η εκ νέου διαίρεση σε υπολεκάνες για τον ακριβέστερο υπολογισμό των υδατικών τους ισοζυγίων.

5.2.3 Προσχωματική υδροφορία λεκάνης Κερίτη

Γενικά

Η υδρολογική λεκάνη του Κερίτη έχει έκταση $175,7\text{km}^2$. Το μεγαλύτερο τμήμα της υδρολογικής λεκάνης, εκτάσεως $73,5\text{km}^2$, αναπτύσσεται σε ανθρακικούς σχηματισμούς, ενώ οι φυλλιτικοί χαλαζιτικοί σχηματισμοί καλύπτουν $62,8\text{km}^2$. Στο κατάντη τμήμα της λεκάνης αναπτύσσονται οι νεογενείς σχηματισμοί κυρίως μάργες και κροκαλοπαγή και τα διλλούβια σε έκταση $15,6\text{km}^2$. Η υπόλοιπη έκταση $23,8\text{km}^2$ αντιστοιχεί στις σύγχρονες αλλουβιακές αποθέσεις άμμων, αργίλων και κροκαλοατύπων κυμαινόμενου πάχους, που κατά θέσεις ξεπερνά τα 100m και αναπτύσσονται στο πεδινό τμήμα.

Στις σύγχρονες αυτές αποθέσεις αναπτύσσεται φρεάτιος υδροφορία σημαντικού κατά θέσεις δυναμικού, το οποίο εξαρτάται από το ποσοστό συμμετοχής αδρομερών υλικών και την τροφοδοσία τους από την επιφανειακή απορροή. Κατά θέσεις, εξαιτίας των μη συνεχών αργιλικών οριζόντων μεταξύ των αδρομερών αποθέσεων, συναντάται μερικώς υπό πίεση υδροφορία που στο σύνολο της όμως μπορεί να χαρακτηριστεί ως ενιαία. Οι εναλλαγές αυτές των αδρομερών και λεπτόκοκκων οριζόντων διαφορετικής υδρογεωλογικής συμπεριφοράς δεν είναι συνεχείς στο χώρο και παρατηρούνται αποσφηνώσεις, αποτρέποντας έτσι τη δημιουργία υπό πίεση υδροφοριών. Στην περίμετρο του προσχωματικού πεδίου η συμμετοχή των αδρομερών οριζόντων μειώνεται. [Λιονής και Περλέρος, 2001]

Το πάχος των αλλουβιακών αποθέσεων του Κερίτη ελαττώνεται στην περιοχή Πατελαρίου στα ~40-45m. [Λιονής και Περλέρος, 2001]

Υπόβαθρο των σύγχρονων αποθέσεων αποτελούν τόσο οι σχηματισμοί των Φυλλιτών - Χαλαζιτών όσο και οι νεογενείς αποθέσεις του Μειόκαινου – Πλειόκαινου αλλά και τα Διλλούβια (Τομές ΑΑ', ΒΒ', ΓΓ', ΔΔ', Ζ'Ζ, Η'Η, Θ'Θ και Ι').

Με βάση όμως τα αποτελέσματα γεωφυσικής έρευνας, είναι πιθανόν υπόβαθρο των σύγχρονων αποθέσεων σε κάποια τμήματα (στην περιοχή Αλικιανού και σε απόλυτο υψόμετρο -25m και βαθύτερα) να αποτελούν οι ανθρακικοί σχηματισμοί [Hamdan, 2002]. Υπόγειες διαφυγές ή τροφοδοσία

από την επαφή αυτή με τον ασβεστόλιθο πιθανό να υπάρχουν μόνον εάν το επιτρέπουν οι γεωλογικοί σχηματισμοί που οριοθετούν την οροφή των ασβεστόλιθων και τα βαθύτερα στρώματα των προσχώσεων. Αυτή η πιθανότητα θεωρείται αρκετά μικρή διότι η πιεζομετρία της προσχωματικής υδροφορίας είναι τελείως ανεξάρτητη από αυτή της υποκείμενης καρστικής.

Η έκταση του προσχωματικού υδροφορέα Κερίτη σημειώνεται στο σχήμα 5.2.

Μηχανισμός λειτουργίας υδροφορέα

Γενικά

Η κύρια τροφοδοσία της υπόγειας υδροφορίας των σύγχρονων αποθέσεων πραγματοποιείται μέσω των διηθήσεων του Κερίτη ποταμού και των άλλων μικρότερων ρεμάτων και δευτερευόντως από την κατείσδυση των νερών της βροχής. [Λιονής και Περλέρος, 2001]

Οι διηθήσεις των νερών της απορροής του Κερίτη ποταμού πραγματοποιούνται κυρίως στο τμήμα Φούρνε – Αλικιανού αλλά και κατάντη [Λιαλιάρης, 1996]. Στη συνέχεια και μέχρι τα στενά της εξόδου από την πεδινή ζώνη στο ύψος του Πατελαρίου πραγματοποιείται κατά τους μήνες υψηλής βροχόπτωσης, στράγγιση της υπόγειας υδροφορίας στο ποτάμι λόγω μείωσης της διήθησης εξαιτίας της ελάττωσης του πάχους των αποθέσεων (με βάση και τα αποτελέσματα της γεωφυσικής έρευνας) [Βαφείδης και άλλοι, 1991].

Διαφαίνεται ότι ο ποταμός Κερίτης παίζει καταλυτικό ρόλο στο μηχανισμό λειτουργίας του υδροφορέα και γι' αυτό εξετάζεται αναλυτικότερα παρακάτω.

Ποταμός Κερίτης

Η ροή του ποταμού Κερίτη ξεκινάει από τις πηγές των Μεσκλών και καταλήγει μέσω της κοιλάδας του Πατελαρίου στη θάλασσα, περίπου στο ύψος του Πλατανιά.

Κατά την πορεία του αυτή υφίσταται διάφορες αυξομειώσεις στην παροχή του, που συνδέονται κατά κύριο λόγο με τις λιθολογικές ενότητες που διασχίζει και τους υδροφόρους ορίζοντες με τους οποίους επικοινωνεί και κατά δεύτερο με τα διάφορα έργα υδροληψίας. Για το λόγο αυτό ορίστηκαν από [Λιλιάρης, 1996] σημεία διερεύνησης του ποταμού βάση των οποίων περιγράφεται η αλληλεπίδρασή του με τους υδροφόρους ορίζοντες που επικοινωνεί (Σχήμα 5.4).

Η δε οριοθέτηση των υπολεκανών (βάσει της τοπικής υδροκριτικής γραμμής) και η εκτίμηση της απορροής τους έγινε στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας (Σχήμα 5.4).

Παρακάτω περιγράφεται ο ποταμός βάσει των παραπάνω σημείων και υπολεκανών:

- Στο σημείο 1 ο ποταμός παροχετεύει την εκφόρτιση των πηγών Μεσκλά και την απορροή της υπολεκάνης Φουρνέ 1 από ανάντη.
- Έως το σημείο 2 αφαιρούνται από τον ποταμό κάποιες ποσότητες για την ύδρευση της περιοχής Μεσκλών και Χανίων και την άρδευση 5000 στρεμμάτων των περιοχών Φουρνέ, Αλικιανού και Μεσκλών.
- Έως το σημείο 3 προστίθεται η απορροή της υπολεκάνης Φουρνέ 1-3 από ανάντη. Από το σημείο αυτό και κατάντη έως το σημείο 4 ο ποταμός τροφοδοτεί τις προσχώσεις.
- Έως το σημείο 4 προστίθεται στην παροχή του ποταμού η απορροή της υπολεκάνης του Σκινέ και Φουρνέ 3-4 και αφαιρείται η ποσότητα της τροφοδοσίας των προσχώσεων.
- Έως το σημείο 5 προστίθεται στο ποτάμι η απορροή των υπολεκανών Κουφού και Βαρύπετρου, Φουρνέ 4-5 και η τροφοδοσία από τις προσχώσεις κατά την περίοδο των υψηλών βροχοπτώσεων, ενώ αφαιρείται η ποσότητα της τροφοδοσίας των προσχώσεων. Από το σημείο αυτό και κατάντη, λόγω της σημαντικής μείωσης του πάχους των προσχώσεων από ~100m σε 45m, αρχίζουν οι υπόγειες διαφυγές προς τη θάλασσα.
- Στο σημείο 6 τέλος, το ποτάμι τροφοδοτείται από τις προσχώσεις και από τη συμβολή του με το υδατόρευμα από τις πηγές της Αγυιάς.

Πιεζομετρία του υδροφορέα (Σχήμα 5.5)

Στο κεντρικό τμήμα του Σκινέ η υδραυλική κλίση της πιεζομετρικής επιφάνειας έχει τιμή 0,5% και εντοπίζεται σε βάθος από 6m έως 20m από την επιφάνεια. Δυτικά του χωριού Σκινέ η υδροφορία που έχουν συναντήσει τα πηγάδια δεν είναι πάντα ενιαία με αυτή των σύγχρονων αποθέσεων. Αρκετά απ' αυτά τοποθετούνται στην ασθενή υδροφορία του μανδύα αποσάθρωσης των φυλλιτών - χαλαζιτών. Στη συνέχεια η υπόγεια απορροή της υδροφορίας ακολουθεί την κοίτη του Κερίτη μέχρι τον Αλικιανό και λίγο κατάντη, στο τμήμα όπου το ποτάμι τροφοδοτεί συνεχώς την υπόγεια υδροφορία. Στην περιοχή του Αλικιανού η υδραυλική κλίση της πιεζομετρικής επιφάνειας έχει τιμή 0,2% και εντοπίζεται σε βάθος από 2m έως 6m από την επιφάνεια. Στην περιοχή Βατόλακκου - Κουφού η κίνηση του υπόγειου νερού γίνεται προς BBA και ο υδροφόρος ορίζοντας εντοπίζεται σε βάθος 5m στην περιοχή του Βατόλακκου και 4m στην περιοχή του Κουφού με εξαίρεση τις παρυφές όπου εντοπίζεται σε ~15m βάθος. Ένα τμήμα της υπόγειας προσχωματικής υδροφορίας εδώ εκφορτίζεται μέσω αριθμού πηγών μέσα στις σύγχρονες αποθέσεις στην περιοχή Κουφού, στο εκεί υπάρχον αποστραγγιστικό κανάλι με υδραυλική κλίση περί το 1,2%.

Μεταξύ Αλικιανού και Πατελαρίου αναπτύσσεται ένας κύριος άξονας αποστράγγισης με κατεύθυνση προς BBA περίπου στο ύψος της σημερινής κοίτης του Κερίτη. Στο βόρειο τμήμα η υπόγεια υδροφορία στραγγίζει προς το ποτάμι, εξαιτίας τόσο της μείωσης του πάχους των σύγχρονων αποθέσεων προς βορά, όσο και της μείωσης του ποσοστού συμμετοχής των χοντρόκοκκων υλικών. Η υδραυλική κλίση στο τμήμα αυτό κυμαίνεται από 0,13% έως 0,37% και ο υδροφόρος ορίζοντας εντοπίζεται σε βάθος από 5m έως 12m στο νότιο τμήμα, από 0m έως 1m στο βόρειο τμήμα και έως 20m στις παρυφές.

Στο τμήμα, τέλος, των φυλακών Αγυιάς – Γαλατά, η υπόγεια υδροφορία στραγγίζει προς την τεχνητή λίμνη Αγυιάς. Η ήπια μορφολογική έξαρση στην περιοχή Γαλατά διαχωρίζει την προσχωματική υδροφορία της λεκάνης Κερίτη από τις υδροφορίες του Κάμπου Χανιών. Στο τμήμα αυτό του προσχωματικού πεδίου, σήμερα η εκμετάλλευση δεν είναι συνεχής και εντατική λόγω κάλυψης των αναγκών από τα νερά των πηγών Αγυιάς. Η υδραυλική κλίση κυμαίνεται

από 0,9% έως 2,7%. Ο υδροφόρος ορίζοντας εντοπίζεται σε μέσο βάθος 2m στην πεδινή περιοχή το οποίο αυξάνεται στις παρυφές στα 8m.

Η μέση ετήσια διακύμανση της στάθμης μεταξύ υγρής (Απρίλιος) και ξηρής (Οκτώβριος) περιόδου κυμαίνεται από 0-1m στην περιοχή Αλικιανού, Φούρνε, Φυλακών Αγυιάς - Γαλατά, 3-5m μεταξύ Αλικιανού-Κουφού και 1-2m στο βόρειο τμήμα της λεκάνης και πάνω από 5m στην περιοχή Σκινέ και Βατόλακκου. [Λιονής και Περλέρος, 2001]

Υδατικό ισοζύγιο προσχωματικής υδροφορίας Κερίτη

Όπως διαφαίνεται από τον μηχανισμό λειτουργίας του υδροφορέα ο υπολογισμός του υδατικού ισοζυγίου είναι πολύ δύσκολος και μπορεί να γίνει μόνο προσεγγιστικά και με διάφορες παραδοχές. Αυτό διότι δεν υπάρχουν δεδομένα παροχής του ποταμού Κερίτη παρά μόνο για το υδρολογικό έτος 1995-96, και μόνο στην έξοδό του από τη λεκάνη απορροής μέσω της κοιλάδας του Πατελαρίου (Σημείο 6). Ακόμη για τον ακριβέστερο υπολογισμό του υδατικού ισοζυγίου θα ήταν απαραίτητα δεδομένα παροχής του ποταμού στα σημεία που αναφέρονται παραπάνω (ιδιαίτερα στα σημεία 3, 4, 5 και 6).

Εκροές

Ένα πλήθος 20 και πλέον υδρογεωτρήσεων και πάνω από 80 πηγάδια εκμεταλλεύονται τον υδροφορέα. Οι 16 από τις γεωτρήσεις ανήκουν στους κοινοτικούς Τ.Ο.Ε.Β. ενώ ο ακριβής αριθμός των ιδιωτικών δεν είναι γνωστός με ακρίβεια. Από τους Τ.Ο.Ε.Β. αντλούνται συνολικά $7,25 \times 10^6 \text{ m}^3$ ετησίως, ενώ από τις ιδιωτικές εκτιμάται από τους αρμόδιους φορείς πως ανέρχονται σε $\sim 2,5 - 3,0 \times 10^6 \text{ m}^3$. Οι αντλήσεις που πραγματοποιούνται από τα πηγάδια που ανήκουν σχεδόν όλα σε ιδιώτες δεν είναι γνωστές.

Στο στενό της εισόδου στην κοιλάδα του Πατελαρίου υπάρχουν σημαντικές υπόγειες διαφυγές μέσω των χαλαρών ιζημάτων (αλλουβιακές αποθέσεις) της κοίτης του ποταμού. Θεωρώντας την κοιλάδα ως ένα μεγάλο

αγωγό μέσης διατομής A και μέσης κλίσης i , που είναι πληρωμένος με πορώδες υλικό μέσης περατότητας K , παίρνουμε τη ζητούμενη μέση ετήσια παροχή από τη σχέση του Darcy:

$$Q = K \times i \times A \quad (5.4)$$

Το υπόβαθρο της κοίτης του ποταμού αποτελείται από μικρότερης περατότητας διλλουβιακές αποθέσεις λόγω της μεγάλης περιεκτικότητας τους σε αργιλικό υλικό. Θεωρήθηκε ότι οι υπόγειες διαφυγές λαμβάνουν χώρα κατά κύριο λόγο μέσω των αλλουβιακών αποθέσεων της κοίτης του ποταμού οι οποίες έχουν μέσο βάθος 45m και μέσο πλάτος 500m ήτοι 22500m². [Λιαλιάρης, 1996] Οπότε και για μέση περατότητα 5×10^{-4} m/sec και υδραυλική κλίση 0,7% παίρνουμε υπόγειες διαφυγές της τάξεως των **$2,49 \times 10^6$ m³**.

Οι εκφορτίσεις που πραγματοποιούνται προς τον ποταμό Κερίτη μεταξύ των σημείων 4 και 6 του ποταμού προκύπτουν βάσει του ισοζυγίου του ποταμού Κερίτη παρακάτω μαζί με τις εισροές.

Ακόμη περί το **1×10^6 m³** ετησίως εκτιμάται ότι εκφορτίζουν από την εποχική πηγή, λίγο νοτιοδυτικά του Κουφού. [Λιονής και Περλέρος, 2001]

Δηλαδή το σύνολο των εκροών από τον υδροφορέα εκτός από την τροφοδοσία του στον ποταμό, ανέρχεται σε περίπου **$13,5 \times 10^6$ m³**.

Εισροές

Οι εισροές στον υδροφορέα πραγματοποιούνται από το νερό της κατείσδυσης και από τις διηθήσεις του ποταμού. [Λιαλιάρης, 1996]

Όσον αφορά την κατείσδυση παραδεχόμαστε ότι πραγματοποιείται από την είσοδο στην κοιλάδα του Πατελαρίου και ανάντη. Οπότε με τη μέθοδο των ισοϋետων καμπυλών (πίνακας 5.3) και εμπειρικό συντελεστή κατείσδυσης για τα αλλούβια 20% (πίνακας 4.4) παίρνουμε **$3,5 \times 10^6$ m³**.

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.3. Υπολογισμός του μέσου ετήσιου όγκου νερού που δέχεται ο Προσχωματικός Υδροφορέας Κερίτη από τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα (μέθοδος ισοϋετων καμπυλών).

Μέσο ύψος βροχής Ζώνης (mm)	Εμβαδόν επιφανειών (km ²)	Μέσο ύψος βροχής (mm)	Μέσος ετήσιος όγκος νερού (×10 ⁶ m ³)
800	21,7	796,3	17,3
1000	0,1	4,6	0,1
1200	0,0	0,0	0,0
1400	0,0	0,0	0,0
1600	0,0	0,0	0,0
1800	0,0	0,0	0,0
2000	0,0	0,0	0,0
2200	0,0	0,0	0,0
2400	0,0	0,0	0,0
2600	0,0	0,0	0,0
2800	0,0	0,0	0,0
3000	0,0	0,0	0,0
3200	0,0	0,0	0,0
ΣΥΝΟΛΟ	21,8	800,9	17,4

Το υδρολογικό έτος 1995-96 το ύψος της βροχής που μετρήθηκε στο σταθμό Αλικιανό, και που επηρεάζει περισσότερο την περιοχή του υδροφορέα, είναι 816 mm, ενώ ο υπερετήσιος μέσος όρος με τον οποίο πραγματοποιήθηκαν οι υπολογισμοί του πίνακα 5.3 είναι 818 mm. Επομένως, θεωρείται ότι η παραπάνω ποσότητα της κατείσδυσης αντιπροσωπεύει πλήρως και το υδρολογικό έτος 1995-96.

Ο υπολογισμός των εισροών από τη διήθηση των νερών του Κερίτη γίνεται μέσω του ισοζυγίου του ποταμού Κερίτη. Όπως προαναφέρθηκε, μετρήσεις της παροχής του ποταμού για ένα πλήρες υδρολογικό έτος έγιναν το 1995-96. Από αυτές τις μετρήσεις προέκυψε ότι ο μέσος ετήσιος όγκος νερού που διέρχεται από το σημείο 6 του ποταμού ανέρχεται σε **79×10⁶ m³**. [Λιαλιάρης, 1996] Οπότε σύμφωνα με την περιγραφή του ποταμού στα σημεία 1-6 έχουμε (Πίνακας 5.4):

(οι εμβαδομετρήσεις των ζωνών ύψους βροχής κάθε υπολεκάνης ανά λιθολογία, για τον υπολογισμό της απορροής των υπολεκανών, φαίνονται στο Παράρτημα)

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.4. Ισοζύγιο ποταμού Κερίτη

Σημεία	($\times 10^6 \text{ m}^3$)
<u>1</u>	<u>20,5*</u>
Απολήψεις (ύδρευση-άρδευση)	-9,0
<u>2</u>	<u>11,5</u>
Απορροή Υπολεκάνης Φουρνέ 1-3	3,1
<u>3</u>	<u>14,6</u>
Απορροή Υπολεκάνης Φουρνέ 3-4	1,4
Απορροή Υπολεκάνης Σκινέ	14,6
Διήθηση στον υδροφορέα	(-)Διήθηση
<u>4</u>	<u>30,6</u>
Απορροή Υπολεκάνης Φουρνέ 4-5	0,4
Απορροή Υπολεκάνης Βαρύπετρου	2,6
Απορροή Υπολεκάνης Κουφού	4,9
Διήθηση στον υδροφορέα	(-)Διήθηση
Τροφοδοσία από τον υδροφορέα	(+)Τροφοδοσία
<u>5</u>	<u>38,5</u>
Πηγές Αγυιάς μετά απολήψεων	59,5
Διήθηση στον υδροφορέα	(-)Διήθηση
Τροφοδοσία από τον υδροφορέα	(+)Τροφοδοσία
<u>6</u>	<u>98,0</u>

*Αντιπροσωπεύει την ετήσια παροχή ('95-'96) των πηγών Μεσκλά και την απορροή της υπολεκάνης Φουρνέ 1.

Από τα στοιχεία του πίνακα 5.4 μπορεί να γραφτεί η εξίσωση (σε $\times 10^6 \text{ m}^3$):

$$98,0 + (- \text{ Διήθηση} + \text{ Τροφοδοσία}) = 79 \quad (5.5)$$

$$\Rightarrow (- \text{Διήθηση} + \text{Τροφοδοσία}) = - 19 \quad (5.6)$$

$$\Rightarrow \text{Διήθηση} - \text{Τροφοδοσία} = 19 \quad (5.7)$$

$$\Rightarrow \text{Διήθηση} = 19 + \text{Τροφοδοσία} \quad (5.8)$$

Δηλαδή από την συνολική ποσότητα που διηθείται στον υδροφορέα αφαιρώντας την τροφοδοσία του ποταμού από τον υδροφορέα παραμένουν $19 \times 10^6 \text{m}^3$ σε αυτόν.

Επομένως οι συνολικές **εισροές** στον υδροφορέα είναι ίσες με:

$$\text{Εισροές} = 19 \times 10^6 \text{m}^3 + \text{Τροφοδοσία} + 3,5 \times 10^6 \text{m}^3 \quad (5.9)$$

$$\Rightarrow \text{Εισροές} = 22,5 \times 10^6 \text{m}^3 + \text{Τροφοδοσία} \quad (5.10)$$

Συμπεράσματα

Όσον αφορά τις **εκροές** αυτές υπολογίστηκαν παραπάνω ίσες με $13,5 \times 10^6 \text{m}^3$ χωρίς τις εκροές προς τον ποταμό Κερίτη.

Επομένως το υδατικό ισοζύγιο του προσχωματικού υδροφορέα Κερίτη μπορεί να γραφτεί ως εξής:

$$\text{Εισροές} = \text{Εκροές} \quad (5.11)$$

$$\Rightarrow 22,5 \times 10^6 \text{m}^3 + \text{Τροφοδοσία} = 13,5 \times 10^6 \text{m}^3 + \text{Τροφοδοσία} \quad (5.12)$$

$$\Rightarrow 22,5 \times 10^6 \text{m}^3 = 13,5 \times 10^6 \text{m}^3 \quad (5.13)$$

Η διαφορά ΕΙΣΡΟΩΝ – ΕΚΡΟΩΝ = $9 \times 10^6 \text{m}^3$ ανηγμένη σε ποσοστό επί του μέσου όρου των εισροών και εκροών εκφράζει μια απόκλιση ίση με **50%**.

Η παράμετρος που πιθανότατα εμπεριέχει το μεγαλύτερο σφάλμα εκτιμάται πως είναι και εδώ η βροχόπτωση μέσω της οποίας υπολογίζεται η απορροή των υπολεκανών. Πρέπει να αναφερθεί όμως ότι εάν οι αντλήσεις

από τα πηγάδια είναι σημαντικές τότε η παραπάνω διαφορά μειώνεται εξίσου σημαντικά.

Παρατηρείται ότι η διήθηση του ποταμού Κερίτη στις προσχώσεις αποτελεί τον κύριο όγκο των ρυθμιστικών αποθεμάτων του υδροφορέα.

Λίγο πριν το σημείο 6 του ποταμού δηλαδή πριν τη συμβολή του με το υδατόρευμα των πηγών της Αγυιάς ο ποταμός μεταφέρει $38,5 \times 10^6 \text{m}^3$ νερό εκ των οποίων τα $19 \times 10^6 \text{m}^3$ και άνω διηθούνται στον υδροφορέα. Δηλαδή **49,4%** και άνω.

Εύλογα λοιπόν τίθεται το ερώτημα της ελάχιστης ποσότητας που απαιτείται να διοχετεύεται μέσω του ποταμού Κερίτη ετησίως για την επίτευξη διήθησης $19 \times 10^6 \text{m}^3$ και άνω.

6. ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΥΔΑΤΙΝΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ

6.1 Υδατικές ανάγκες

Παρακάτω υπολογίζονται οι υδατικές ανάγκες του έτους 2003 και παρουσιάζονται αυτές του 2030 με βάση τη μελέτη των [Δεμίρης και άλλοι, 1993] των περιοχών Χανίων-Κολυμβαρίου και της περιοχής Ακρωτηρίου που υδρεύονται και αρδεύονται από την περιοχή έρευνας.

Για την εκτίμηση των υδατικών αναγκών γίνονται οι παρακάτω παραδοχές:

➤ Ειδικές καταναλώσεις

Οι παραδοχές για την κατανάλωση ανά κάτοικο και ανά τουριστική κλίνη φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 6.1. Κατανάλωση νερού ανά κάτοικο και τουριστική κλίνη ανά μήνα. [Δεμίρης και άλλοι, 1993]

Μήνες	Ανά Κάτοικο (lit/day)	Ανά Τουριστική κλίνη (lit/day)
Νοέμβριος	250	
Δεκέμβριος	250	
Ιανουάριος	250	
Φεβρουάριος	250	
Μάρτιος	300	
Απρίλιος	300	500
Μάιος	350	500
Ιούνιος	350	500
Ιούλιος	350	500
Αύγουστος	350	500
Σεπτέμβριος	300	500
Οκτώβριος	300	500

Οι παραδοχές για την κατανάλωση ανά στρέμμα αρδευόμενης έκτασης φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 6.2. Κατανάλωση νερού ανά στρέμμα αρδευόμενης έκτασης.
[Δεμίρης και άλλοι, 1993]

Μήνες	Κατανάλωση Αιχμής ανά στρέμμα (lit/day)	Προτεινόμενο Ποσοστό επί της κατανάλωσης αιχμής (%)	Κατανάλωση ανά στρέμμα (lit/day)
Νοέμβριος			
Δεκέμβριος			
Ιανουάριος			
Φεβρουάριος			
Μάρτιος	4320	10	432
Απρίλιος	4320	54	2333
Μάιος	4320	92	3974
Ιούνιος	4320	100	4320
Ιούλιος	4320	100	4320
Αύγουστος	4320	92	3974
Σεπτέμβριος	4320	74	3197
Οκτώβριος	4320	22	950

Οι ανάγκες σε άρδευση των μηνών Νοεμβρίου, Δεκεμβρίου, Ιανουαρίου και Φεβρουαρίου απευθύνονται στην κατανάλωση των θερμοκηπίων και εκτιμώνται συνολικά σε $25,92 \times 10^6$ lit ανά μήνα. [Δεμίρης και άλλοι, 1993]

➤ Εκτίμηση πληθυσμού και αρδευόμενων εκτάσεων

Οι παραδοχές για την διαμόρφωση του πληθυσμού των περιοχών Χανίων-Κολυμβαρίου και Ακρωτηρίου το 2003 (βάσει στοιχείων της Εθνικής Στατιστικής Υπηρεσίας και του Εθνικού Οργανισμού Τουρισμού) και 2030 φαίνονται στους παρακάτω πίνακες.

Πίνακας 6.3. Πληθυσμός των περιοχών Χανίων-Κολυμβαρίου και Ακρωτηρίου το έτος 2003.

Μήνες	Μόνιμοι Κάτοικοι [Ε.Σ.Υ]	Τουρίστες [Ε.Ο.Τ.]	Σύνολο
Νοέμβριος	60000		100000
Δεκέμβριος	60000		60000
Ιανουάριος	60000		60000
Φεβρουάριος	60000		60000
Μάρτιος	60000		60000
Απρίλιος	60000	17500	77500
Μάιος	60000	35000	95000
Ιούνιος	60000	35000	95000
Ιούλιος	60000	35000	95000
Αύγουστος	60000	35000	95000
Σεπτέμβριος	60000	35000	95000
Οκτώβριος	60000	17500	77500

Πίνακας 6.4. Πληθυσμός των περιοχών Χανίων-Κολυμβαρίου και Ακρωτηρίου το έτος 2030. [Δεμίρης και άλλοι, 1993]

Μήνες	Μόνιμοι Κάτοικοι	Τουρίστες	Σύνολο
Νοέμβριος	100000		100000
Δεκέμβριος	100000		100000
Ιανουάριος	100000		100000
Φεβρουάριος	100000		100000
Μάρτιος	100000		100000
Απρίλιος	100000	30000	130000
Μάιος	100000	60000	160000
Ιούνιος	100000	60000	160000
Ιούλιος	100000	60000	160000
Αύγουστος	100000	60000	160000
Σεπτέμβριος	100000	60000	160000
Οκτώβριος	100000	30000	130000

Οι αρδευόμενες εκτάσεις ανά περιοχή για τα έτη 2003 και 2030 έχουν:

Πίνακας 6.5. Αρδευόμενες εκτάσεις των περιοχών Χανίων-Κολυμβαρίου και Ακρωτηρίου το έτος 2003. [Δεμίρης και άλλοι, 1993]

Περιοχές	Καθαρές Επιφάνειες (στρέμματα)
Ανατολικός Κύριος Αγωγός (Κάμπος Χανίων)	18490
Ζώνη I (Μεσκλά-Φουρνές)	4000
Ζώνη II (Βατόλακκος-Κουφός)	10530
Ζώνη III (Βαρύπετρο-Αγυιά)	11000
Περιοχή 3 (Ακρωτήριο)	8000
Δυτικός Κύριος Αγωγός (Αγία Μαρίνα-Κολυμβάρι)	38000
Σύνολο	90020

Πίνακας 6.6. Αρδευόμενες εκτάσεις των περιοχών Χανίων-Κολυμβαρίου και Ακρωτηρίου το έτος 2030. [Δεμίρης και άλλοι, 1993]

Περιοχές	Καθαρές Επιφάνειες (στρέμματα)
Ανατολικός Κύριος Αγωγός (Κάμπος Χανίων)	18490
Ζώνη I (Μεσκλά-Φουρνές)	4000
Ζώνη II (Βατόλακκος-Κουφός)	10530
Ζώνη III (Βαρύπετρο-Αγυιά)	11000
Περιοχή 3 (Ακρωτήριο)	12000
Δυτικός Κύριος Αγωγός (Αγία Μαρίνα-Κολυμβάρι)	47090
Σύνολο	103110

Με βάση λοιπόν τις παραπάνω παραδοχές οι υδατικές ανάγκες των περιοχών Χανίων-Κολυμβαρίου και Ακρωτηρίου εκτιμώνται σε **74,59×10⁶m³** το έτος 2003 και σε **90,68×10⁶m³** το έτος 2030 (Πίνακες 6.7 και 6.8).

Πίνακας 6.7. Υδατικές ανάγκες ανά μήνα των περιοχών Χανίων-Κολυμβαρίου και Ακρωτηρίου το έτος 2003

Μήνες	Ανάγκες σε Ύδρευση (×10⁶m³)	Ανάγκες σε Αρδευση (×10⁶m³)	Σύνολο (×10⁶m³)
Νοέμβριος	0,45	0,03	0,48
Δεκέμβριος	0,47	0,03	0,49
Ιανουάριος	0,47	0,03	0,49
Φεβρουάριος	0,42	0,03	0,45
Μάρτιος	0,56	1,21	1,76
Απρίλιος	0,80	6,30	7,10
Μάιος	1,19	11,09	12,28
Ιούνιος	1,16	11,67	12,82
Ιούλιος	1,19	12,06	13,25
Αύγουστος	1,19	11,09	12,28
Σεπτέμβριος	1,07	8,63	9,70
Οκτώβριος	0,83	2,65	3,48
Σύνολο	9,79	64,80	74,59

Πίνακας 6.8. Υδατικές ανάγκες ανά μήνα των περιοχών Χανίων-Κολυμβαρίου και Ακρωτηρίου το έτος 2030

Μήνες	Ανάγκες σε Ύδρευση ($\times 10^6 \text{m}^3$)	Ανάγκες σε Άρδευση ($\times 10^6 \text{m}^3$)	Σύνολο ($\times 10^6 \text{m}^3$)
Νοέμβριος	0,75	0,03	0,78
Δεκέμβριος	0,78	0,03	0,80
Ιανουάριος	0,78	0,03	0,80
Φεβρουάριος	0,70	0,03	0,73
Μάρτιος	0,93	1,38	2,31
Απρίλιος	1,35	7,22	8,57
Μάιος	2,02	12,70	14,72
Ιούνιος	1,95	13,36	15,31
Ιούλιος	2,02	13,81	15,82
Αύγουστος	2,02	12,70	14,72
Σεπτέμβριος	1,80	9,89	11,69
Οκτώβριος	1,40	3,04	4,43
Σύνολο	16,47	74,21	90,68

Δηλαδή οι υδατικές ανάγκες το έτος 2030 είναι αυξημένες κατά $16,09 \times 10^6 \text{m}^3$.

Στην επόμενη ενότητα εξετάζεται κατά πόσο είναι εφικτό να καλυφθούν αυτές οι ανάγκες, από το υδατικό δυναμικό της λεκάνης του Κερίτη, με τα έργα υδρομάστευσης που υφίστανται.

6.2 Υφιστάμενη υδρομάστευση

Στην ενότητα αυτή αναλύονται τα έργα αξιοποίησης των υδάτινων πόρων της περιοχής και στη συνέχεια παρουσιάζεται το ισοζύγιο “διαθέσιμων υδατικών πόρων – υδατικών αναγκών” για το έτος 2003 και 2030. Τα στοιχεία για τις ποσότητες νερού που εκμεταλλεύεται κάθε έργο συγκεντρώθηκαν από

τους αντίστοιχους φορείς που τα διαχειρίζονται (Ο.Α.ΔΥ.Κ., Δ.Ε.Υ.Α.Χ., Υ.Ε.Β., Τ.Ο.Ε.Β.)

6.2.1 Καρστικός υδροφόρος Αγυιάς

Πηγές Αγυιάς

➤ Αντλιοστάσιο Δ.Ε.Υ.Α.Χ.: το νερό αντλείται από τις πηγές Πλατάνου μέσω τριών αντλιών. Έπειτα, μέσω δύο αγωγών μεταφέρεται το μεγαλύτερο μέρος στην κεντρική δεξαμενή Χανίων και από εκεί διατίθεται για την ύδρευση της πόλης. Η ετήσια ποσότητα που αντλείται είναι **$16,4 \times 10^6 \text{ m}^3$** .

Κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών οι ποσότητες νερού που παρέχει η πηγή δεν επαρκούν και έτσι η Δ.Ε.Υ.Α.Χ. αγοράζει το επιπλέον νερό από τις γεωτρήσεις των Μυλωνιανών (Ο.Α.ΔΥ.Κ.). Η ποσότητα αυτή εκτιμάται σε **$2 \times 10^6 \text{ m}^3$** ετησίως.

➤ Αντλιοστάσιο Τ.Ο.Ε.Β. Βαρυπέτρου: το έργο αντλεί νερό από την ανάβλυση Βρυσίδα ανατολικά της πηγής Κολύμπα. Το νερό αυτό χρησιμοποιείται αποκλειστικά για άρδευση 12000 και πλέον στρεμμάτων. Οι αντλήσεις λαμβάνουν χώρα κατά την περίοδο Απριλίου – Σεπτεμβρίου και το ετήσιο ποσό άντλησης ανέρχεται στα **$8 \times 10^6 \text{ m}^3$** .

➤ Αντλιοστάσιο Ο.Α.ΔΥ.Κ.: το έργο αυτό βρίσκεται κοντά στον οικισμό Πατελάρι και αντλεί νερό από δύο διαφορετικά σημεία, τη λίμνη της Αγυιάς και την πηγή Καλαμιώνα. Οι ποσότητες αυτές χρησιμοποιούνται για αρδεύσεις και για ύδρευση της περιοχής Κολυμβαρίου. Το έργο λειτουργεί κυρίως τους μήνες Απρίλιο έως Νοέμβριο και αντλεί συνολική ετήσια ποσότητα ίση με **$9,5 \times 10^6 \text{ m}^3$** .

➤ Υδρογεωτρήσεις Μυλωνιανών: Οι γεωτρήσεις αυτές έχουν διανοιχτεί 2km νότια των πηγών Αγυιάς και αντλούν από τον ίδιο καρστικό υδροφόρο ορίζοντα που τροφοδοτεί τις πηγές αυτές. Ο έντονα λατυποπαγής χαρακτήρας των ασβεστόλιθων της περιοχής σε συνδυασμό με τις ήδη

γνωστές δυνατότητες του υδροφορέα έχει ως αποτέλεσμα οι τρεις γεωτρήσεις που λειτουργούν να δίνουν πολύ μεγάλες παροχές. Η συνολική μέση παροχή τους των $2700 \text{ m}^3/\text{h}$, με πτώση στάθμης μικρότερη του 1 m, είναι μια από τις πιο αξιόλογες τιμές στον Ελληνικό χώρο.

Η βασική περίοδος λειτουργίας των γεωτρήσεων είναι από τον μήνα Μάιο έως Νοέμβριο. Ετησίως αντλούνται $12,2 \times 10^6 \text{ m}^3$ με δυνατότητα άντλησης αρκετά μεγαλύτερη. Το μεγαλύτερο ποσοστό χρησιμοποιείται για αρδεύσεις ενώ το ένα πέμπτο περίπου αγοράζεται από την Δ.Ε.Υ.Α.Χ. όπως αναφέρθηκε, για κάλυψη των αναγκών ύδρευσης της πόλης των Χανίων κατά τους καλοκαιρινούς μήνες. Πρέπει να διευκρινιστεί ότι η λειτουργία των γεωτρήσεων αυτών προκαλεί μείωση της παραγωγικότητας του αντλιοστασίου της Δ.Ε.Υ.Α.Χ. (πηγή Πλατάνου).

Πηγές Μεσκλών

Οι πηγές Μεσκλών εκμεταλλεύονται για την ύδρευση των Μεσκλών και της πόλης των Χανίων κυρίως κατά τους μήνες Νοέμβριο – Απρίλιο και την άρδευση 5000 στρεμμάτων των περιοχών Μεσκλά, Φουρνέ και Αλικιανού. Επιπλέον, από τον Ο.Α.ΔΥ.Κ. έχει κατασκευαστεί αγωγός βαρύτητας διατομής 1000mm που μεταφέρει νερό στη δεξαμενή 2.Δ1 των Μυλωνιανών.

Ακριβή στοιχεία για τα ποσά νερού που εκμεταλλεύονται αυτά τα έργα δεν υπάρχουν, όμως μετά από προφορική πληροφόρηση αρμοδίων του Ο.Α.ΔΥ.Κ. και της Υ.Ε.Β., το συνολικό ποσό εκτιμάται σε $5-6 \times 10^6 \text{ m}^3$ από τον Ο.Α.ΔΥ.Κ. και $4-5 \times 10^6 \text{ m}^3$ από τις Τ.Ο.Ε.Β.. Χαρακτηριστικό των υδάτων αυτής της πηγής είναι ότι μετά από έντονη βροχόπτωση παρουσιάζουν έντονη θολερότητα. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα νερά της απορροής, της υπολεκάνης Φουρνέ 1 που καταλήγουν στο σημείο όπου αναβλύζουν οι πηγές, μεταφέρουν έδαφος.

Πηγές Αναβάλλοντα

Τις πηγές στην περιοχή Αναβάλλοντα εκμεταλλεύονται υδρογεωτρήσεις που συνολικά αντλούν $0,4 \times 10^6 \text{ m}^3$ νερού ετησίως. Χαρακτηριστικό αυτών των

γεωτρήσεων είναι η ταχεία πτώση στάθμης λόγω των υπόγειων διαφυγών στον κόλπο της Σούδας και των Χανίων.

Πηγές Κουφού

Οι πηγές στην περιοχή του Κουφού έχουν αναρρυθμιστεί πλήρως αφού τα τελευταία χρόνια δεν παρουσιάζουν σχεδόν καθόλου ροή. Τις εκμεταλλεύονται 9 γεωτρήσεις κατά την αρδευτική περίοδο και η συνολική ποσότητα που αντλείται ανέρχεται σε $3,5 \times 10^6 \text{ m}^3$.

6.2.2 Προσχωματικός υδροφορέας Κερίτη

Τον υδροφορέα εκμεταλλεύεται ένα πλήθος 20 και πλέον υδρογεωτρήσεων. Οι 16 από αυτές ανήκουν στις κοινοτικές Τ.Ο.Ε.Β. ενώ ο ακριβής αριθμός των ιδιωτικών δεν είναι γνωστός με ακρίβεια. Από τις Τ.Ο.Ε.Β. αντλούνται συνολικά $7,25 \times 10^6 \text{ m}^3$ ετησίως ενώ από τις ιδιωτικές εκτιμάται από τους αρμόδιους φορείς πως ανέρχονται σε $\sim 2,5 - 3,0 \times 10^6 \text{ m}^3$. Ενώ οι αντλήσεις που πραγματοποιούνται από τα 80 και πλέον πηγάδια (σχεδόν όλα ιδιωτικά) δεν καταγράφονται.

6.2.3 Πηγές Ζούρμπου (Αποκόρωνα)

Από τις πηγές Ζούρμπου που χρησιμεύουν ως υδατικός πόρος αιχμής και ασφαλείας λαμβάνονται μέσω συνδετήριου αγωγού για την άρδευση της περιοχής Ακρωτηρίου κατά τους μήνες Ιούλιο, Αύγουστο και Σεπτέμβριο $1,1 \times 10^6 \text{ m}^3$ νερού μηνιαίως. Η ποσότητα αυτή δεν μπορεί να αυξηθεί διότι αντιστοιχεί στη μέγιστη παροχετευτικότητα του συνδετήριου αγωγού.

6.2.4 Ισοζύγιο “διαθέσιμων υδατικών πόρων – υδατικών αναγκών” για το έτος 2003 και 2030

Στον πίνακα 6.9 φαίνεται το ισοζύγιο “διαθέσιμων υδατικών πόρων – υδατικών αναγκών” για το έτος 2003 στο οποίο δεν παρουσιάζονται ελλείψεις ύδατος. Όπως παρατηρούμε στον πίνακα, προτεραιότητα στην κατανάλωση έχει το νερό της φυσικής ροής (πηγές Μεσκλών και Αγυιάς). Με κόκκινα σημειώνονται οι παροχές που δεν δύνανται να αυξηθούν γιατί εξαντλείται η μηνιαία παροχή της φυσικής ροής του υδάτινου πόρου που εκμεταλλεύεται. Το πρόβλημα της θόλωσης του νερού αντιμετωπίζεται θέτοντας σε λειτουργία τις ημέρες υψηλής βροχόπτωσης τις γεωτρήσεις στα Μυλωνιανά.

Στον πίνακα 6.10 παρουσιάζεται το ισοζύγιο “διαθέσιμων υδατικών πόρων – υδατικών αναγκών” για το έτος 2030 με τους διαθέσιμους υδατικούς πόρους και τα υφιστάμενα έργα υδρομάστευσης. Παρατηρούμε ότι παρά την αύξηση των απολήψεων από τις πηγές της Αγυιάς, του Ζούρμπου και των Μεσκλών παρουσιάζεται ένα έλλειμμα της τάξεως των $7,27 \times 10^6 \text{m}^3$, την περίοδο από Ιούνιο έως και Σεπτέμβριο. Γεγονός που μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι πρέπει να αναζητηθούν τρόποι μεγαλύτερης απόληψης από τα ρυθμιστικά αποθέματα των υδάτινων πόρων της περιοχής.

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.9. Ισοζύγιο “διαθέσιμων υδατικών πόρων – υδατικών αναγκών” ανά μήνα για το έτος 2003 ($\times 10^6 \text{ m}^3$).

<u>2003</u>	<u>Ανάγκες</u>	<u>Δ.Ε.Υ.Α.Χ.</u>	<u>Τ.Ο.Ε.Β.</u> Βαρύπετρο	<u>Ο.Α.Δ.Υ.Κ.</u> Πατελάρι	<u>Μυλωνιά</u>	<u>Ζούρμπος</u>	<u>Βαρύτητα</u>	<u>Αναβάλλοντας</u>	<u>Κουφός</u>	<u>Προσχωματικός</u>	<u>Έλλειμμα</u>
ΝΟΕ	<u>0,48</u>	0	0	0	0	0	0,48	0	0	0	0,00
ΔΕΚ	<u>0,49</u>	0	0	0	0	0	0,49	0	0	0	0,00
ΙΑΝ	<u>0,49</u>	0	0	0	0	0	0,49	0	0	0	0,00
ΦΕΒ	<u>0,45</u>	0	0	0	0	0	0,45	0	0	0	0,00
ΜΑΡ	<u>1,76</u>	0	0	0	0	0	1,76	0	0	0	0,00
ΑΠΡ	<u>7,10</u>	3,18	1,00	1,02	0,00	0	1,51	0	0	0,39	0,00
ΜΑΙ	<u>12,28</u>	3,26	1,83	0,97	1,45	0	1,67	0,10	1,00	2,00	0,00
ΙΟΥΝ	<u>12,82</u>	2,73	1,19	1,63	2,25	0	1,92	0,10	1,00	2,00	0,00
ΙΟΥΛ	<u>13,25</u>	2,51	1,07	1,90	3,11	1,10	0,46	0,10	1,50	1,50	0,00
ΑΥΓ	<u>12,28</u>	2,19	1,07	1,90	3,25	1,10	0,79	0,10	0	1,88	0,00
ΣΕΠ	<u>9,70</u>	1,80	1,87	1,09	1,39	1,10	0,18	0	0	2,27	0,00
ΟΚΤ	<u>3,48</u>	1,18	0	1,01	0,80	0	0,49	0	0	0	0,00
Σύνολο	<u>74,59</u>	16,85	8,03	9,52	12,25	3,30	10,69	0,40	3,50	10,04	0,00

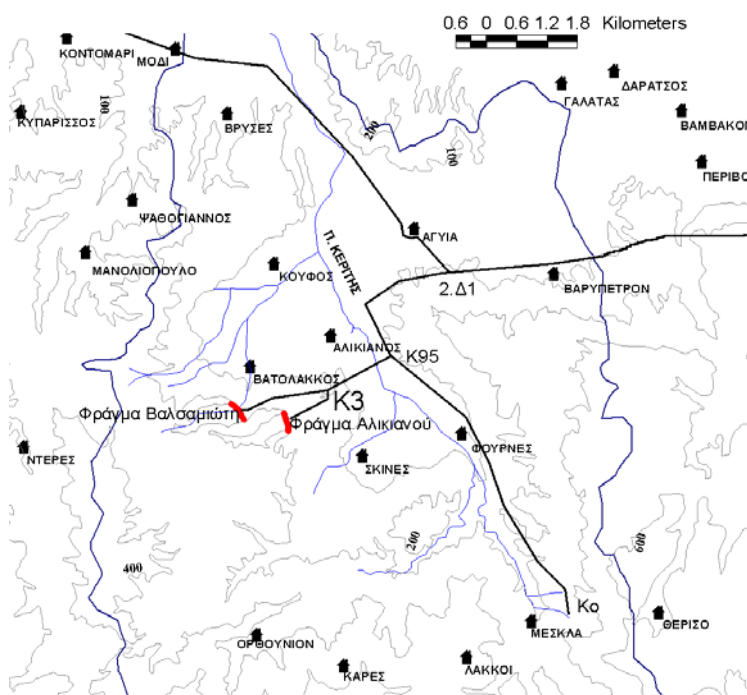
ΠΙΝΑΚΑΣ 6.10. Ισοζύγιο “διαθέσιμων υδατικών πόρων – υδατικών αναγκών” ανά μήνα για το έτος 2030 ($\times 10^6 \text{ m}^3$)

<u>2003</u>	<u>Ανάγκες</u>	<u>Δ.Ε.Υ.Α.Χ.</u>	<u>Τ.Ο.Ε.Β.</u> Βαρύπετρο	<u>Ο.Α.Δ.Υ.Κ.</u> Πατελάρι	<u>Μυλωνιά</u>	<u>Ζούρμπος</u>	<u>Βαρύτητα</u>	<u>Αναβάλλοντας</u>	<u>Κουφός</u>	<u>Προσχωματικός</u>	<u>Έλλειμμα</u>
ΝΟΕ	<u>0,78</u>	0	0	0	0	0	0,78	0	0	0	0,00
ΔΕΚ	<u>0,80</u>	0	0	0	0	0	0,80	0	0	0	0,00
ΙΑΝ	<u>0,80</u>	0	0	0	0	0	0,80	0	0	0	0,00
ΦΕΒ	<u>0,73</u>	0	0	0	0	0	0,73	0	0	0	0,00
ΜΑΡ	<u>2,31</u>	0	0	0	0	0	2,31	0	0	0	0,00
ΑΠΡ	<u>8,57</u>	3,18	1,00	1,02	0,00	0	2,98	0	0	0,39	0,00
ΜΑΙ	<u>14,72</u>	3,26	1,83	0,97	1,45	1,10	3,01	0,10	1,00	2,00	0
ΙΟΥΝ	<u>15,31</u>	2,73	1,19	1,63	2,25	1,10	1,92	0,10	1,00	2,00	-1,39
ΙΟΥΛ	<u>15,82</u>	2,51	1,07	1,90	3,11	1,10	1,24	0,10	1,50	1,50	-1,79
ΑΥΓ	<u>14,72</u>	2,19	1,07	1,90	3,25	1,10	0,79	0,10	0	1,88	-2,44
ΣΕΠ	<u>11,69</u>	1,80	1,87	1,09	1,39	1,10	0,52	0	0	2,27	-1,65
ΟΚΤ	<u>4,43</u>	2,13	0	1,01	0,80	0	0,49	0	0	0	0,00
Σύνολο	<u>90,68</u>	17,80	8,03	9,52	12,25	5,50	16,37	0,40	3,50	10,04	-7,27

6.3 Φράγματα Αλικιανού και Βαλσαμιώτη [Δεμίρης και άλλοι, 1993]

6.3.1 Γενικά

Ο Ο.Α.ΔΥ.Κ. μελέτησε την κατασκευή δύο Φραγμάτων - Ταμιευτήρων στο χείμαρρο Αλικιανού και Βαλσαμιώτη χωρητικότητας $6,2 \times 10^6 \text{m}^3$ και $5 \times 10^6 \text{m}^3$ αντίστοιχα, τα οποία θα πληρώνονται με νερό κατά ένα μικρό ποσοστό από τις ανάντη λεκάνες απορροής τους και τις βροχοπτώσεις, και κατά το υπόλοιπο από τις παροχές των πηγών Μεσκλών. Τα νερά των πηγών θα μεταφέρονται στα φράγματα με χρήση του υπάρχοντος κυρίου αγωγού μεταφοράς νερού Μεσκλών (Κο) - Αγιάς(2.Δ1) και νέων αγωγών μικρού μήκους (Κ95 - Κ3, Κ3 - Φ.Βαλσαμιώτη και Κ3 - Φ.Αλικιανού), οι οποίοι θα συνδέουν τον κύριο αγωγό με τα φράγματα των οποίων η λειτουργία θα είναι αμφίδρομη (Σχήμα 6.1). Οι ταμιευτήρες θα έχουν το ρόλο υδατικών πόρων αιχμής και ασφάλειας στο ενιαίο σύστημα διαχείρισης των υδατικών πόρων στις περιοχές Χανίων - Κολυμβαρίου, Ακρωτηρίου και Αποκορώνου.



Σχήμα 6.1. Θέσεις φραγμάτων και αγωγών.

6.3.2 Χαρακτηριστικά

Τα φράγματα πρόκειται να κατασκευαστούν με συμμετρική διατομή και ανάντη μανδύα στεγάνωσης. Τα αδρανή υλικά που θα χρησιμοποιηθούν θα είναι χαλαζίτες.

Θα είναι υπερπηδητά από τις πλημμύρες, οπότε θα λειτουργούν κατά κάποιον τρόπο και σαν λεκάνες ανάσχεσης πλημμυρών.

Τα κυριότερα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των δύο φραγμάτων είναι τα παρακάτω:

Πίνακας 6.11. Γεωμετρικά χαρακτηριστικά φραγμάτων

Φράγμα	Αλικιανού	Βαλσαμιώτη
Άνω στάθμη συγκράτησης νερών (m)	+180,0	+190,0
Στάθμη στέψης (m)	+181,2	+191,2
Μήκος στέψης (m)	265	320
Ύψος από το φυσικό έδαφος (m)	68	57
Κλίση πρανών φράγματος (m)	1:0,7	1:0,7
Ελάχιστη στάθμη εκμετάλλευσης (m)	+137,50	+141,70
Όγκος σκληρού επιχώματος (m ³)	385.000	450.000
Υδατοχωρητικότητα ταμιευτήρα (m ³)	6.200.000	5.000.000
Νεκρός όγκος (m ³)	150.000	100.000
Λεκάνη απορροής (στρέμματα)	3.550	2.900
Λεκάνη κατάκλυσης (στρέμματα)	290	240

6.3.3 Τρόπος πλήρωσης των Φραγμάτων

Η πλήρωση των δύο ταμιευτήρων θα πραγματοποιείται από τις βροχοπτώσεις, την απορροή των υπολεκανών Αλικιανού και Βαλσαμιώτη αλλά, κατά κύριο λόγο, από τις πηγές των Μεσκλών κατά τους μήνες Νοέμβριο έως Απρίλιο.

Κατά το διάστημα Νοέμβριο-Απρίλιο οι εισροές από τη βροχόπτωση στον ταμιευτήρα Αλικιανό είναι κατά μέσο όρο $1,94 \times 10^6 \text{ m}^3$ ετησίως και στο Βαλσαμιώτη $1,73 \times 10^6 \text{ m}^3$ ετησίως, δηλαδή σύνολο $3,67 \times 10^6 \text{ m}^3$ ετησίως.

Ενώ οι εισροές από τις πηγές των Μεσκλών διαμορφώνονται όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 6.12. Μηνιαίες εισροές στους ταμιευτήρες από τις πηγές Μεσκλών και μηνιαίοι πλεονάζων όγκοι από τις πηγές (σε $\times 10^6 \text{ m}^3$).

	Αλικιανού	Βαλσαμιώτη	Σύνολο	Μεσκλά	Πλεονάζων
ΣΕΠ	0,00	0,00	0,00	0,52	0,52
ΟΚΤ	0,00	0,00	0,00	0,49	0,49
ΝΟΕ	0,85	0,39	1,24	1,48	0,24
ΔΕΚ	1,42	0,65	2,06	2,70	0,64
ΙΑΝ	1,92	0,87	2,80	4,19	1,39
ΦΕΒ	1,04	0,70	1,74	5,07	3,33
ΜΑΡ	0,23	0,38	0,61	5,52	4,91
ΑΠΡ	0,09	0,11	0,20	4,51	4,31
ΜΑΙ	0,00	0,00	0,00	3,29	3,29
ΙΟΥΝ	0,00	0,00	0,00	1,92	1,92
ΙΟΥΛ	0,00	0,00	0,00	1,24	1,24
ΑΥΓ	0,00	0,00	0,00	0,79	0,79
Σύνολο	5,55	3,10	8,65	31,72	23,07

Συνεπώς στους δύο ταμιευτήρες θα εισρέουν συνολικά κατά τους μήνες Νοέμβριο έως Απρίλιο $12,32 \times 10^6 \text{ m}^3$ ετησίως. Αξιοποιήσιμα θα είναι από αυτά τα $10,42 \times 10^6 \text{ m}^3$.

Το πλεονάζον νερό από τις πηγές Μεσκλών, σύμφωνα με τη μελέτη των φραγμάτων θα παροχετεύεται μέσω δεύτερου αγωγού που θα κατασκευαστεί από τα Μεσκλά (Κο) μέχρι τον κόμβο Κ95 και από εκεί με τον υφιστάμενο Κ95 στη δεξαμενή των Μυλωνιανών (2.Δ1). Ενώ μέσω του υφιστάμενου Κο-Κ95 θα παροχετεύεται νερό για άρδευση μέχρι το Μάιο στις περιοχές Μεσκλά, Φουρνέ και Αλικιανό.

6.3.4 Τρόπος λειτουργίας των φραγμάτων

Το νερό των δύο ταμιευτήρων θα μεταφέρεται μέσω των παραπάνω αγωγών στη δεξαμενή των Μυλωνιανών (2.Δ1) και από εκεί θα διανέμεται ανάλογα με τις ανάγκες στις διάφορες περιοχές για άρδευση.

Η έναρξη λειτουργίας των φραγμάτων θα πραγματοποιείται στο μέσο της αρδευτικής περιόδου και η λήξη με το τέλος αυτής. Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται η μηνιαία συμβολή τους στις υδατικές ανάγκες.

Πίνακας 6.13. Μηνιαία συμβολή των ταμιευτήρων στις υδατικές ανάγκες

Μήνας	Εκροές ($\times 10^6 \text{m}^3$)
Ιούνιος	1,65
Ιούλιος	3,48
Αύγουστος	3,48
Σεπτέμβριος	1,81
Σύνολο	10,42

6.3.5 Ισοζύγιο “διαθέσιμων υδατικών πόρων – υδατικών αναγκών” για το έτος 2030 με τα φράγματα σε λειτουργία

Με τη λειτουργία των φραγμάτων όπως αναφέρεται και παραπάνω χρησιμοποιούνται για την πλήρωσή τους $8,7 \times 10^6 \text{m}^3$ ύδατος από τις πηγές των Μεσκλών. Για την κάλυψη όμως των υδατικών αναγκών το έτος 2030 (Πίνακας 6.10) απαιτούνται $16,3 \times 10^6 \text{m}^3$ από τις πηγές των Μεσκλών δηλαδή εκμεταλλεύονται συνολικά $25 \times 10^6 \text{m}^3$ από τα $32 \times 10^6 \text{m}^3$ που εκφορτίζουν οι πηγές. Απομένουν δηλαδή μόνο $7 \times 10^6 \text{m}^3$ από τις εκφορτίσεις των πηγών στην απορροή του ποταμού γεγονός που καθιστά την αποκατάσταση των ρυθμιστικών αποθεμάτων του προσχωματικού υδροφορέα Κερίτη πιθανός ελλιπής. Παρατηρούμε (Πίνακας 6.14) ότι δεν δημιουργείται υδατικό έλλειμμα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.14. Ισοζύγιο “διαθέσιμων υδατικών πόρων – υδατικών αναγκών” ανά μήνα για το έτος 2030 με τα φράγματα ($\times 10^6 \text{ m}^3$)
[Δεμίρης και άλλοι, 1993]

<u>2003</u>	<u>Ανάγκες</u>	Φράγματα	Δ.Ε.Υ.Α.Χ.	Τ.Ο.Ε.Β. Βαρύπετρο	Ο.Α.ΔΥ.Κ. Πατελάρι	Μυλωνιά	Ζούρμπος	Βαρύτητα	Αναβάλλοντας	Κουφός	Προσχωματικός	Έλλειμμα
ΝΟΕ	<u>0,78</u>		0,00	0,00	0,00	0,54	0,00	0,24				0,00
ΔΕΚ	<u>0,80</u>		0,00	0,00	0,00	0,16	0,00	0,64				0,00
ΙΑΝ	<u>0,80</u>		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,80				0,00
ΦΕΒ	<u>0,73</u>		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,73				0,00
ΜΑΡ	<u>2,31</u>		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,31				0,00
ΑΠΡ	<u>8,57</u>		3,18	1,00	1,02	0,00	0,00	3,37			0,00	0,00
ΜΑΙ	<u>14,72</u>		3,26	1,83	0,97	2,27	1,00	3,29	0,10	1,00	1,00	0,00
ΙΟΥΝ	<u>15,31</u>	1,65	2,73	1,19	1,63	3,09	1,00	1,92	0,10	1,00	1,00	0,00
ΙΟΥΛ	<u>15,82</u>	3,48	2,51	1,07	1,90	1,92	1,10	1,24	0,10	1,50	1,00	0,00
ΑΥΓ	<u>14,72</u>	3,48	2,19	1,07	1,90	2,21	0,98	0,79	0,10		2,00	0,00
ΣΕΠ	<u>11,69</u>	1,81	1,80	1,87	1,09	1,50	1,10	0,52			2,00	0,00
ΟΚΤ	<u>4,43</u>		1,18	0,00	2,76	0,00	0,00	0,49				0,00
Σύνολο	<u>90,68</u>	10,42	16,85	8,03	11,27	11,69	5,18	16,34	0,40	3,50	7,00	0,00

6.4 Αναρρύθμιση καρστικού υδροφορέα Αγυιάς

Στα πλαίσια της εκπόνησης της υδρογεωλογικής μελέτης των πηγών Αγυιάς [Αρανίτης και άλλοι, 1977] πραγματοποιήθηκαν προτάσεις για την αναρρύθμιση των πηγών της Αγυιάς μέσω υδρογεωτρήσεων σε ένα μέτωπο ανάντη των πηγών.

Στόχος αυτής της αναρρύθμισης ήταν η επιπρόσθετη απόληψη $20 \times 10^6 \text{ m}^3$ ετησίως κατά τη διάρκεια της αυξημένης ζήτησης των θερινών μηνών. Η αναπλήρωση των απολήψεων θα ολοκληρώνεται την περίοδο Οκτώβριο – Δεκέμβριο σε βάρος της υπερχειλίσης των πηγών.

Οι δοκιμαστικές αντλήσεις που πραγματοποιήθηκαν αρχές Οκτωβρίου, διάρκειας 16 ημερών, παρουσίασαν πολύ καλή συμπεριφορά του υδροφορέα με ελάχιστη πτώση στάθμης 1,5m για άντληση $0,74 \times 10^6 \text{ m}^3$, ενώ η αποκατάσταση της στάθμης είχε σχεδόν ολοκληρωθεί μετά τριών ημερών από τη λήξη των αντλήσεων. Η διαπερατότητα που προέκυψε ήταν από $k=6 \times 10^{-4} \text{ m/sec}$ μέχρι $k=8 \times 10^{-4} \text{ m/sec}$. Ενώ η φυσική υπερχείλιση δεν επηρεάστηκε σημαντικά, μάλιστα με την έναρξη των αντλήσεων παρουσιάστηκε αύξηση της ροής της.

Στη συνέχεια προτάθηκαν 18 σημεία διάνοιξης υδρογεωτρήσεων ανάντη των πηγών.

Από τα παραπάνω διεκπεραιώθηκαν κάποιες εργασίες και στη συνέχεια εγκαταλείφθηκε η προσπάθεια. Όταν ανέλαβε ο Ο.Α.ΔΥ.Κ. τη διαχείριση των πηγών πραγματοποίησε (το 1984) τρεις υδρογεωτρήσεις 2km νοτιότερα των πηγών στην περιοχή Μυλωνιανών, από τις οποίες, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, αντλούνται από τον καρστικό υδροφορέα περί τα $12 \times 10^6 \text{ m}^3$ ετησίως με δυνατότητα άντλησης αρκετά μεγαλύτερη, αφού η συνολική μέση παροχή τους μπορεί να φτάσει τα $2700 \text{ m}^3/\text{h}$.

Οι συνολικές απολήψεις από τις πηγές της Αγυιάς όπως υπολογίστηκαν για την κάλυψη των υδατικών αναγκών από τα υφιστάμενα έργα υδρομάστευσης ανέρχονται σε περίπου $47 \times 10^6 \text{ m}^3$ ετησίως, δηλαδή απόληψη 58,5% από τα “εκμεταλλεύσιμα” αποθέματα των πηγών. Θεωρούμε “εκμεταλλεύσιμα” αποθέματα των πηγών, την φυσική υπερχείλισή τους ($80,3 \times 10^6 \text{ m}^3$) εάν δεν υπήρχαν αντλήσεις και απολήψεις. Η απόληψη

μεγαλύτερης ποσότητας με τις γεωτρήσεις των Μυλωνιανών θα έχει σημαντικές επιπτώσεις στην φυσική υπερχείλιση των πηγών γι' αυτό, το ενδεχόμενο περαιτέρω απόληψης πρέπει να εξετασθεί σε τοποθεσίες μεγαλύτερης απόστασης από τις πηγές. Σ' αυτή την περίπτωση οι επιπτώσεις στη φυσική υπερχείλιση των πηγών θα είναι κατά πολύ μικρότερη διότι με την άντληση από τον καρστικό υδροφορέα η περατότητα της ευρύτερης περιοχής της άντλησης αυξάνει επιτρέποντας τη ροή μεγαλύτερης ποσότητας προς κατάντη επειδή αποφράσσει τις καρστικές διόδους από το αργιλικό υλικό που έχει συσσωρευτεί σ' αυτές.

Τέτοιες τοποθεσίες είναι οι περιοχές Φουρνέ – Σκινέ και Μεσκλά – Φουρνέ. Πρέπει να τονισθεί ότι σ' αυτές τις τοποθεσίες το βάθος όπου αναμένεται να συναντηθεί υδροφορία είναι της τάξεως των 200-250m με ανάλογες επιπτώσεις βέβαια και στο κόστος κατασκευής ενός τέτοιου έργου.

Θεωρώντας περαιτέρω απόληψη $10 \times 10^6 \text{m}^3$ ετησίως δηλαδή απόληψη 71% από τα “εκμεταλλεύσιμα” αποθέματα των πηγών, υπολογίζουμε το θεωρητικό ισοζύγιο των “διαθέσιμων υδατικών πόρων – υδατικών αναγκών” για το έτος 2030 (Πίνακας 6.15).

Παρατηρώντας τον πίνακα διαπιστώνουμε ότι δεν υφίσταται έλλειψη υδροδότησης.

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.15. Θεωρητικό ισοζύγιο “διαθέσιμων υδατικών πόρων – υδατικών αναγκών” ανά μήνα για το έτος 2030 με περαιτέρω αναρρύθμιση $10 \times 10^6 \text{m}^3$ ετησίως ($\times 10^6 \text{m}^3$)

<u>2003</u>	<u>Ανάγκες</u>	Αναρρύθμιση	Δ.Ε.Υ.Α.Χ.	Τ.Ο.Ε.Β. Βαρύπετρο	Ο.Α.ΔΥ.Κ. Πατελάρι	Μυλωνιανά	Ζούρμπος	Βαρύτητα	Αναβάλλοντας	Κουφός	Προσχωματικός	Έλλειμμα
ΝΟΕ	<u>0,78</u>		0,00	0,00	0,00	0,54	0,00	0,24				0,00
ΔΕΚ	<u>0,80</u>		0,00	0,00	0,00	0,16	0,00	0,64				0,00
ΙΑΝ	<u>0,80</u>		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,80				0,00
ΦΕΒ	<u>0,73</u>		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,73				0,00
ΜΑΡ	<u>2,31</u>		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,31				0,00
ΑΠΡ	<u>8,57</u>		3,18	1,00	1,02	0,00	0,00	3,37			0,00	0,00
ΜΑΙ	<u>14,72</u>		3,26	1,83	0,97	2,27	1,00	3,29	0,10	1,00	1,00	0,00
ΙΟΥΝ	<u>15,31</u>	1,65	2,73	1,19	1,63	3,09	1,00	1,92	0,10	1,00	1,00	0,00
ΙΟΥΛ	<u>15,82</u>	3,48	2,51	1,07	1,90	1,65	1,00	1,24	0,10	1,50	1,37	0,00
ΑΥΓ	<u>14,72</u>	3,09	2,19	1,07	1,90	2,21	1,00	0,79	0,10		2,37	0,00
ΣΕΠ	<u>11,69</u>	1,81	1,80	1,87	1,09	1,23	1,00	0,52			2,37	0,00
ΟΚΤ	<u>4,43</u>		1,18	0,00	2,76	0,00	0,00	0,49				0,00
Σύνολο	<u>90,68</u>	10,03	16,85	8,03	11,27	11,15	5,00	16,34	0,40	3,50	8,11	0,00

6.5 Περαιτέρω εκμετάλλευση προσχωματικής υδροφορίας Κερίτη και τεχνητός εμπλουτισμός

Η περαιτέρω εκμετάλλευση της προσχωματικής υδροφορίας είναι δυνατή με άντληση μέσω των υφιστάμενων αλλά και νέων υδρογεωτρήσεων. Ο όγκος που θα αντλείται ετησίως θα είναι μεγαλύτερος των σημερινών ρυθμιστικών αποθεμάτων.

Η αναπλήρωση των ετήσιων αντλήσεων θα πραγματοποιείται μέσω των φυσικών διεργασιών και μέσω τεχνητού εμπλουτισμού όσον αφορά τον όγκο που δεν θα είναι δυνατό να αναπληρώνεται από τις φυσικές διεργασίες.

Στόχος είναι η σταδιακή αύξηση των απολήψεων από $12 \times 10^6 \text{ m}^3$ στα $22 \times 10^6 \text{ m}^3$ ετησίως έως το έτος 2030.

Η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου εμπλουτισμού, όπως επίσης η περιοχή εφαρμογής της και η ανάπτυξη ενός έργου εμπλουτισμού, για την επίτευξη του παραπάνω στόχου εξαρτάται από πολλούς παράγοντες.

Για το λόγο αυτό αναλύονται παρακάτω όλοι αυτοί οι παράγοντες.

6.5.1 Τεχνητός Εμπλουτισμός Υδροφορέων

6.5.1.1 Γενικά

Τεχνητός εμπλουτισμός ενός υδροφορέα επιτυγχάνεται κατευθύνοντας επιφανειακά ύδατα σε λεκάνες, αυλάκια, τάφρους, γεωτρήσεις και άλλες κατασκευές από όπου διηθούνται στο έδαφος και κινούνται βαθύτερα έως ότου καταλήξουν στον υδροφόρο ορίζοντα. [Bouwer H., 2002]

6.5.1.2 Μέθοδοι Τεχνητού Εμπλουτισμού

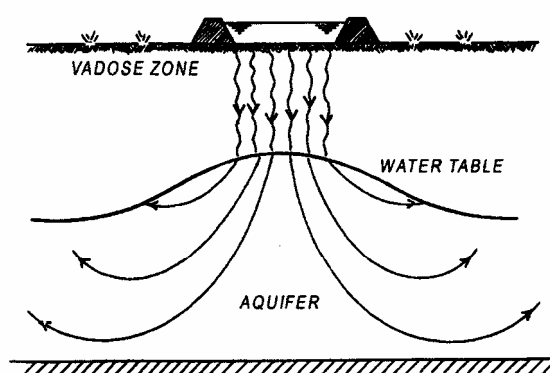
Πολλές μέθοδοι τεχνητού εμπλουτισμού έχουν αναπτυχθεί, η επιλογή της πιο κατάλληλης είναι συνάρτηση των γεωλογικών, μορφολογικών και υδρογεωλογικών συνθηκών της ευρύτερης περιοχής, της διαθεσιμότητας της

περιοχής εφαρμογής του τεχνητού εμπλουτισμού, της προέλευσης, διαθεσιμότητας, φυσικής και χημικής ποιότητας του νερού εμπλουτισμού. Παρακάτω παρουσιάζονται οι βασικότερες μέθοδοι τεχνητού εμπλουτισμού υδροφορέων. [από Πλιάκας, 1998 κατά Oaksford, 1985]

➤ Μέθοδοι Επιφανειακού Εμπλουτισμού

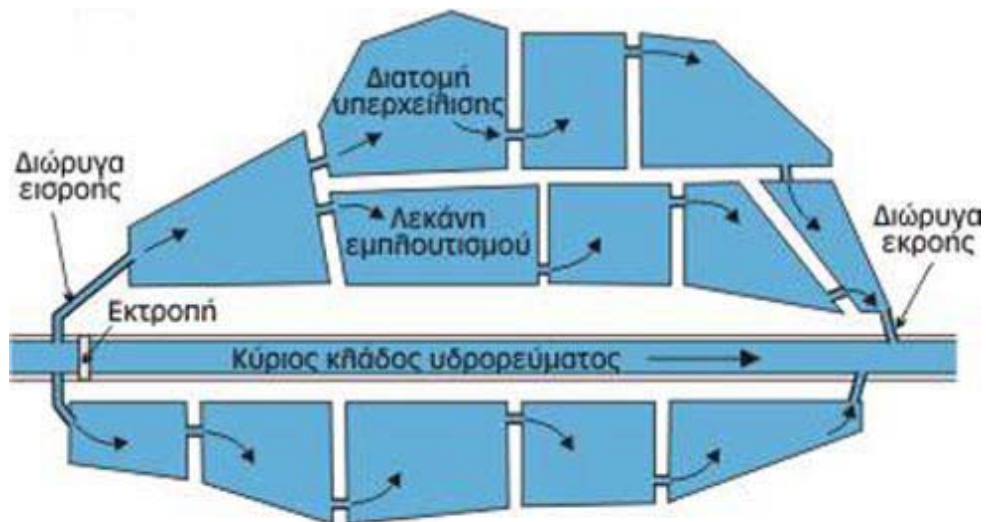
- Λεκάνης (Basin)

Το νερό για τον εμπλουτισμό παροχετεύεται σε λεκάνες που σχηματίζονται με την κατασκευή αναχωμάτων ή εκσκαφών (Σχήμα 6.2). Το νερό που θα χρησιμοποιηθεί πρέπει να είναι απαλλαγμένο από ιλύ και γενικά από στερεά αιωρούμενα υλικά για να αποφευχθεί το φράξιμο των πόρων της λεκάνης και μειωθεί η υδροπερατότητά της. Περιοδική ανανέωση του πυθμένα της λεκάνης (ξύσιμο, σκάψιμο, κ.λπ.) είναι συχνά απαραίτητη. Όταν χρησιμοποιείται το νερό υδρορευμάτων απαιτείται σειρά από λεκάνες, συχνά παράλληλες προς το φυσικό υδρογραφικό δίκτυο (Σχήμα 6.3). [Καλλέργης, 2001]



Σχήμα 6.2. Λεκάνη διήθησης και ο υδροφόρος ορίζοντας.

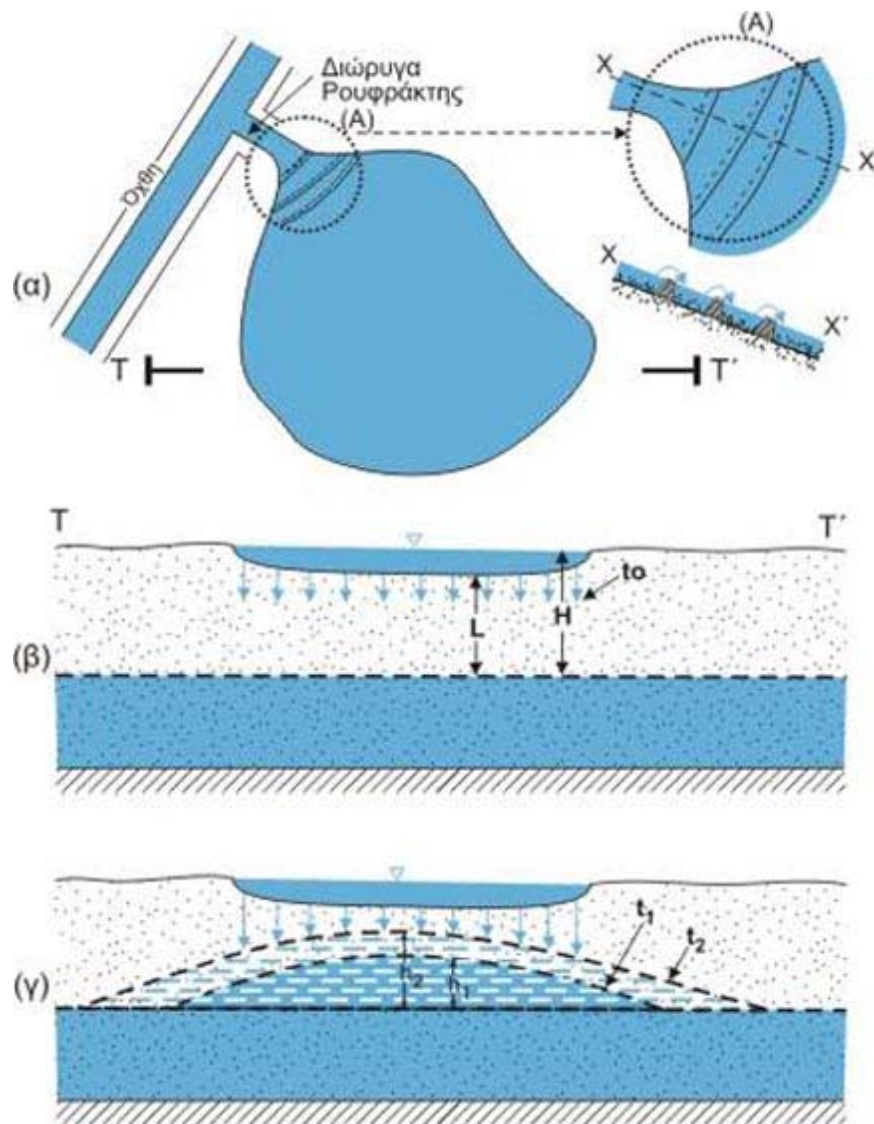
[Bouwer H., 2002]



Σχήμα 6.3. Τεχνητός εμπλουτισμός με κατάκλυση λεκανών.
[από Σούλιος, 2004 κατά Todd D.K., 1980]

- **Πλημμυρισμού ή Κατάκλυσης (Flooding)**

Σε σχετικά επίπεδες περιοχές το νερό απλώνεται, ώστε να κατακλύσει μεγάλη έκταση. Συνήθως κατασκευάζονται κανάλια και αυλάκια διανομής του νερού. Κατά κανόνα σχηματίζεται ένα στρώμα νερού μικρού πάχους, που κινείται αργά, ώστε να μην διαταραχθεί το έδαφος. Έχει αποδειχθεί ότι μεγαλύτερη κετείσδυση επιτυγχάνεται σε περιοχές με αδιατάρακτη βλάστηση και αδιατάρακτο έδαφος (Σχήμα 6.4). [Καλλέργης, 2001]



Σχήμα 6.4. Τεχνητός εμπλουτισμός με πλημμύρισμα επιφανειών
 (α): κάτοψη, (β): τομή ΤΤ' κατά την έναρξη του εμπλουτισμού
 (χρόνος t_0), (γ): Τομή ΤΤ' για διαφορετικούς χρόνους t_1 και t_2
 ($t_2 > t_1$) από την έναρξη του εμπλουτισμού. Στο (Α) και στην τομή
 xx' έχουμε λεκάνες καθίζησης.

[από Σούλιος, 2004 κατά Todd D.K., 1980]

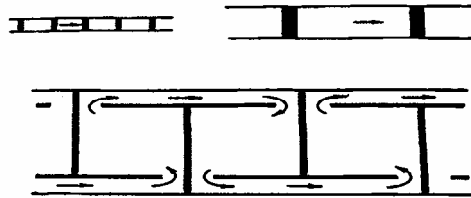
- **Άρδευσης (Irrigation)**

Σε αρδευόμενες περιοχές εφαρμόζεται άρδευση με περισσότερο νερό, ιδιαίτερα κατά τις περιόδους της

αγρανάπαυσης και τις μη αρδευτικές περιόδους. [Καλλέργης, 2001]

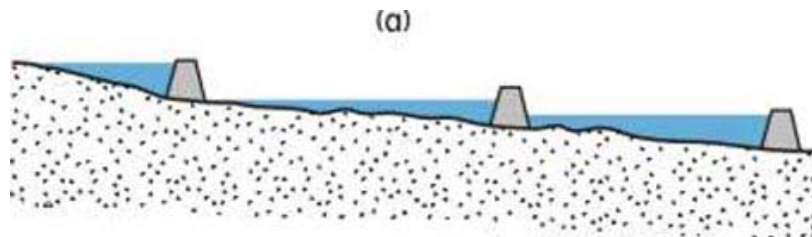
- **Διευθέτησης Υδρορεύματος (Stream Channel)**

Κατασκευάζοντας υδατοφράκτες εγκάρσια σε υδατορεύματα για την συγκράτηση και διάχυση των υδάτων αυξάνοντας την επιφάνεια κατάκλυσης έτσι ώστε να διηθούνται μεγαλύτερες ποσότητες (Σχήματα 6.5 και 6.6). [Καλλέργης, 2001]



Σχήμα 6.5. Διατάξεις υδατοφρακτών εγκάρσια σε υδατόρευμα.

[Bouwer H., 2002]



(β)



Σχήμα 6.6. Διευθετήσεις στις κοίτες χειμάρρων για τεχνητό εμπλουτισμό. (α): μικρά φράγματα κατά μήκος, (β): αυλάκια.[από Σούλιος, 2004 κατά Todd D.K., 1980]

- **Επαναδραστηριοποίησης της Ροής Υδρορεύματος**

Διοχετεύοντας νερό σε παλιές κοίτες ποταμών.

➤ **Μέθοδοι Υπεδαφικού Εμπλουτισμού**

- **Φρεάτων (πηγάδι)**

Από οποιοδήποτε πηγάδι παλιό ή καινούριο μπορεί να γίνει τεχνητός εμπλουτισμός. Είναι αυτονόητο ότι πηγάδια με μεγαλύτερη διάμετρο έχουν μεγαλύτερο ρυθμό εμπλουτισμού. Αν όμως ένα πηγάδι κατασκευαστεί ειδικά για τεχνητό εμπλουτισμό θα πρέπει να έχει μεγάλη διάμετρο και μεγάλου πάχους εσωτερική επένδυση από λιθορριπή ή αν χρησιμοποιηθεί προκατασκευασμένος από σκυρόδεμα κυλινδρικός διάτρητος σωλήνας, πρέπει ανάμεσα σε αυτόν και τα τοιχώματα του εδάφους να τοποθετηθεί παχύ στρώμα από λεπτόκοκκο χαλίκι ή χονδρόκοκκη άμμο (Σχήμα 6.7). [Σούλιος, 2004]

Ο ρυθμός εμπλουτισμού μπορεί να υπολογιστεί από την παρακάτω σχέση:

$$Q = \frac{2 \times \pi \times k \times L_w^2}{\ln\left(2 \times \frac{L_w}{r_w}\right) - 1} \quad (6.1)$$

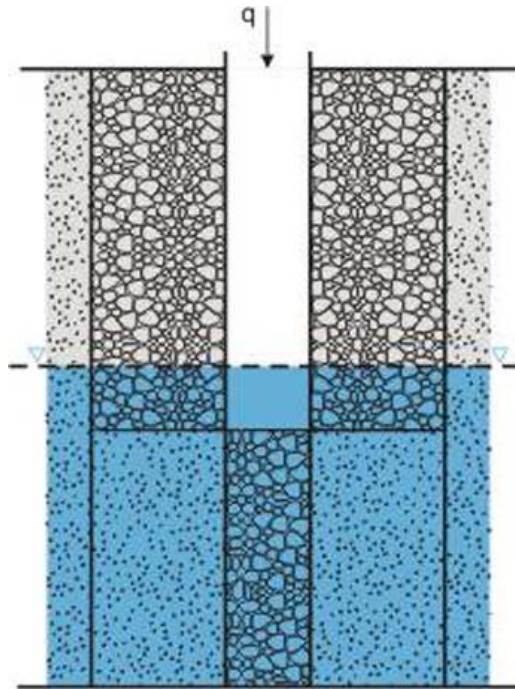
όπου,

k: υδραυλική αγωγιμότητα

L_w : το βάθος του νερού στο πηγάδι και

r_w : η ακτίνα του πηγαδιού.

Η παραπάνω εξίσωση έχει πεδίο εφαρμογής όταν $L_w \geq 10 \times r_w$.
[Bouwer, 2002]



Σχήμα 6.7. Πηγάδι για τεχνητό εμπλουτισμό. [Σούλιος, 2004]

- **Τάφρων (Trenches)**

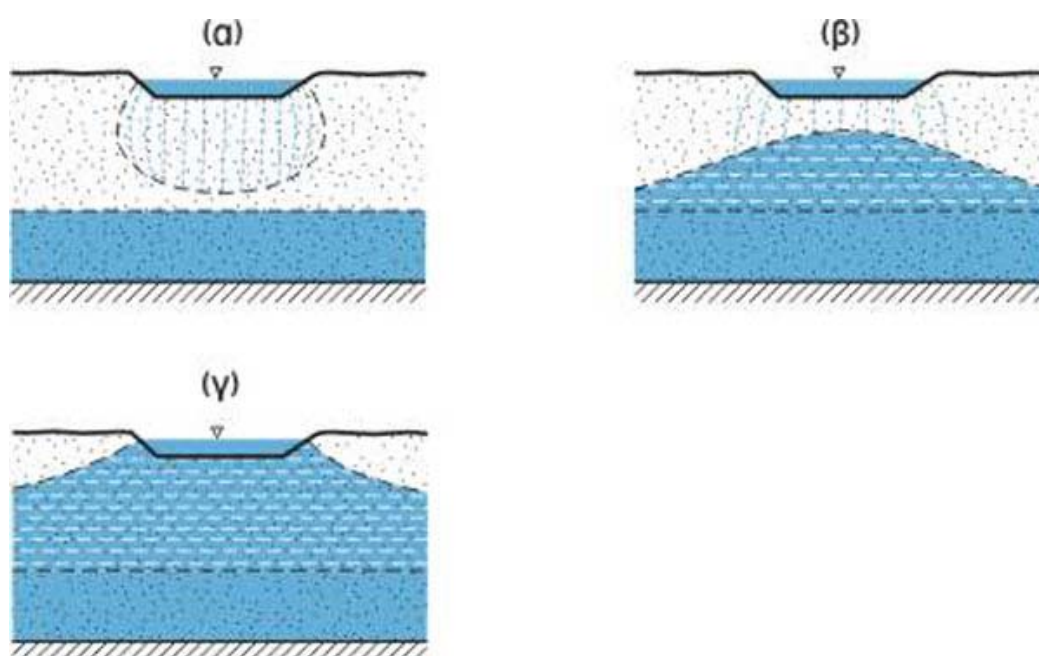
Ανοίγονται τάφροι οι οποίες πληρούνται με χοντρόκοκκη άμμο ή λεπτόκοκκο χαλίκι. Το νερό διοχετεύεται μέσω διάτρητου σωλήνα από την επιφάνεια του πληρωτικού υλικού. Στη συνέχεια καλύπτονται για να προστατεύονται από την ηλιοφάνεια, την πανίδα και τους ανθρώπους και για να αρμόζουν καλύτερα στο περιβάλλον.

Το φράξιμο των πόρων μειώνεται σημαντικά τοποθετώντας μαζί με το πληρωτικό υλικό ειδικές μεμβράνες φιλτραρίσματος του νερού και καλύπτοντας την επιφάνεια με πλαστικές μεμβράνες έτσι ώστε να εμποδίζεται η λάσπη να εισέλθει στην τάφρο (Σχήματα 6.8 και 6.9).

Όσον αφορά το ρυθμό εμπλουτισμού ισχύει η σχέση 6.1, όπου L_w = το βάθος της τάφρου, r_w = (φάρδος της τάφρου / 2). Το 20% του ρυθμού εμπλουτισμού που υπολογίζεται μ' αυτόν τον τρόπο αντιστοιχεί σε 1m μήκος της τάφρου.



Σχήμα 6.8. Δίκτυο τάφρων (αποστραγγιστικών) στην περιοχή Σοφιάδας (όρια Φθιώτιδας-Καρδίτσας) που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τεχνητό εμπλουτισμό. [Σούλιος, 2004]



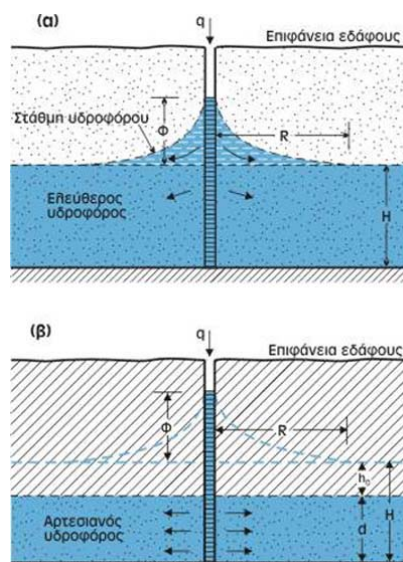
Σχήμα 6.9. Η εξέλιξη του εμπλουτισμού από μία τάφρο. [από Σούλιος, 2004 κατά Bize J., Bourguet L. and Lemoine J., 1972]

- **Ορύγματα και Εκσκαφές (Pits)**

Συνήθως χρησιμοποιούνται εγκαταλειμμένα ορύγματα από δανειοθαλάμους χαλικιών και άμμου, προκειμένου να αποφευχθεί το υψηλό κόστος της εκσκαφής και της μεταφοράς των υλικών της εκσκαφής του ορύγματος. Το βάθος της εκσκαφής ποικίλει και εξαρτάται από το βάθος στο οποίο βρίσκονται τα υλικά με μεγαλύτερη υδραυλική αγωγιμότητα. [Καλλέργης, 2001]

- **Γεωτρήσεις Εμπλουτισμού (Recharge Wells)**

Χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις όπου η περατότητα και οι διαθέσιμες εκτάσεις είναι περιορισμένες, η ακόρεστη ζώνη είναι ακατάλληλη για διήθηση μέσω τάφρων και ορυγμάτων και σε περιπτώσεις όπου ο υδροφόρος βρίσκεται σε μεγάλο βάθος ή υπό πίεση (Σχήμα 6.10). Η ίδια γεώτρηση μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για άντληση κατά τους θερινούς μήνες. [Bouwer, 2002]



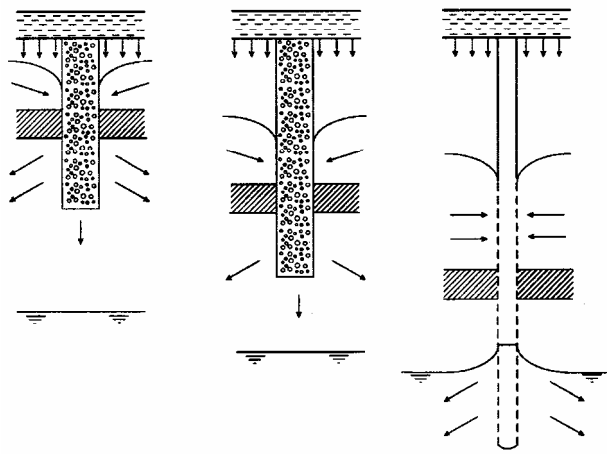
Σχήμα 6.10. Τεχνητός εμπλουτισμός από γεώτρηση (α): ελεύθερο υδροφόρο στρώμα, (β): υπό πίεση υδροφόρο στρώμα.

[από Σούλιος, 2004 κατά Todd D.K., 1980]

➤ Συνδυαστικές Μέθοδοι Εμπλουτισμού

Γενικά όπου είναι δυνατό προτιμάται η μέθοδος επιφανειακής διήθησης διότι επαναφέρεται ευκολότερα στον αρχικό ρυθμό διήθησης μετά από φράξιμο και διότι δεν είναι απαραίτητη η προεπεξεργασία των υδάτων που διηθούνται εφόσον προορίζονται για ύδρευση.

Συνήθως χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις όπου παρεμβάλλεται ένα στρώμα μικρής περατότητας (Σχήμα 6.11). [Bouwer, 2002]



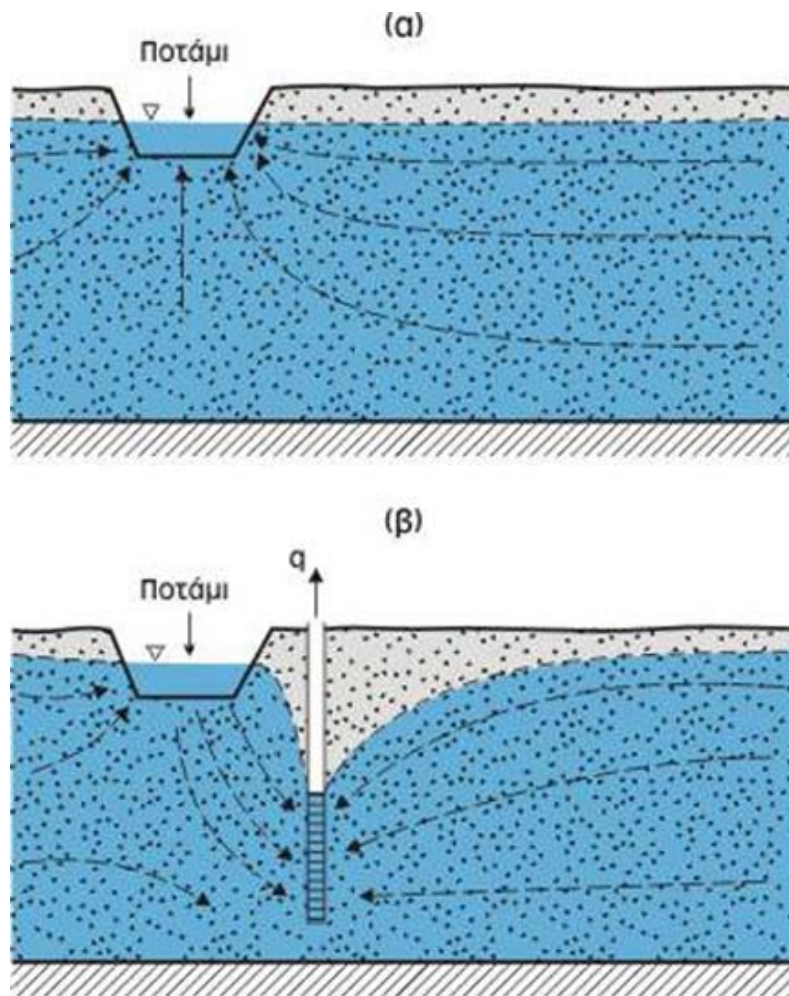
Σχήμα 6.11. Συνδυαστικές μέθοδοι σε περίπτωση παρεμβολής αδιαπέραστου στρώματος.

[Bouwer H., 2002]

➤ Μέθοδοι Έμμεσου Εμπλουτισμού

- **Επαγωγικός (Induced)**

Πρόκειται για έμμεση μέθοδο εμπλουτισμού. Ο επαγωγικός εμπλουτισμός συμβαίνει με τη άντληση υπόγειου νερού σε μια περιοχή που γειτονεύει με ένα υδρόρευμα ή μια λίμνη. Η πτώση στάθμης στον υδροφόρο θα προκαλέσει ισχυρή υδραυλική κλίση από το επιφανειακό σώμα νερού προς τον υδροφόρο και έτσι αυξημένη ροή του νερού από το πρώτο προς τον τελευταίο (Σχήμα 6.12). [Καλλέργης, 2001]



Σχήμα 6.12. Επαγωγικός εμπλουτισμός λόγω άντλησης πλησίον τάφρου. (α): φυσικές ροές, (β): ροές κατά την άντληση.
[Καλλέργης Γ., 2001]

- **Συμπτωματικός (Incidental)**

Σ' αυτή την κατηγορία ανήκει ο εμπλουτισμός που προέρχεται από το νερό της άρδευσης, των καταβοθρών, υπονόμων, καναλιών κ.λπ.. Ποσοτικά ο συμπτωματικός εμπλουτισμός υπερβαίνει κατά πολύ τον τεχνητό. Έχει υπολογιστεί ότι το 30% του νερού της άρδευσης επιστρέφει στους ελεύθερους υδροφόρους. [Καλλέργης, 2001]

6.5.1.3 Σχεδιασμός Επιφανειακών Μεθόδων Εμπλουτισμού

➤ Ρυθμός διήθησης

Εφαρμόζοντας τη σχέση του Darcy σε έδαφος υπό κατάκλυση παίρνουμε:

$$V_i = k \times \frac{H_w + L_f - h_{we}}{L_f} \quad (6.2)$$

όπου

V_i : ρυθμός διήθησης (ανά μονάδα επιφάνειας)

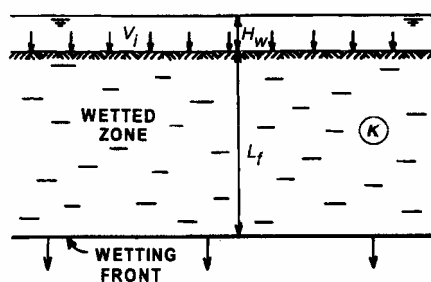
k : υδραυλική αγωγιμότητα της ζώνης μεταφοράς

H_w : το ύψος της κατάκλυσης

L_f : το πάχος της ζώνης μεταφοράς

h_{we} : τριχοειδής αναρρόφηση ή αρνητικό ύψος πίεσης στο υγρό μέτωπο

Η οποία αποτελεί την εξίσωση των Green και Ampt (1911) (Σχήμα 6.13).



Σχήμα 6.13. Γεωμετρία και σύμβολα της εξίσωσης Green και Ampt.

[Bouwer H., 2002]

Ο ρυθμός διήθησης (V_i) της 6.2 αντιστοιχεί στην πτώση στάθμης στη λεκάνη διήθησης.

Επειδή η ζώνη μεταφοράς δεν είναι πλήρως κορεσμένη αλλά περιέχει και παγιδευμένο αέρα, $k < k_{\text{κορεσμένο}}$ και ίσο με $0,5 \times k_{\text{κορεσμένο}}$ για αμμώδη εδάφη και $0,25 \times k_{\text{κορεσμένο}}$ για άργιλο και πηλό. [Bouwer H., 2002]

Στους παρακάτω πίνακες φαίνονται η υδραυλική αγωγιμότητα (Πίνακας 6.16) και οι τιμές (h_{we}) του αρνητικού ύψους πίεσης στο υγρό μέτωπο (Πίνακας 6.17) των διάφορων εδαφών:

Πίνακας 6.16. Υδραυλική αγωγιμότητα των διάφορων εδαφών.
[Bouwer H., 2002]

Έδαφος	$k(\text{m/day})$
Άργιλος	$< 0,1$
Πηλός	0,2
Πηλώδη άμμος	0,3
Αμμώδης πηλός	0,5
Λεπτόκοκκη άμμος	1
Μέση άμμος	5
Χοντρόκοκκη άμμος	> 10

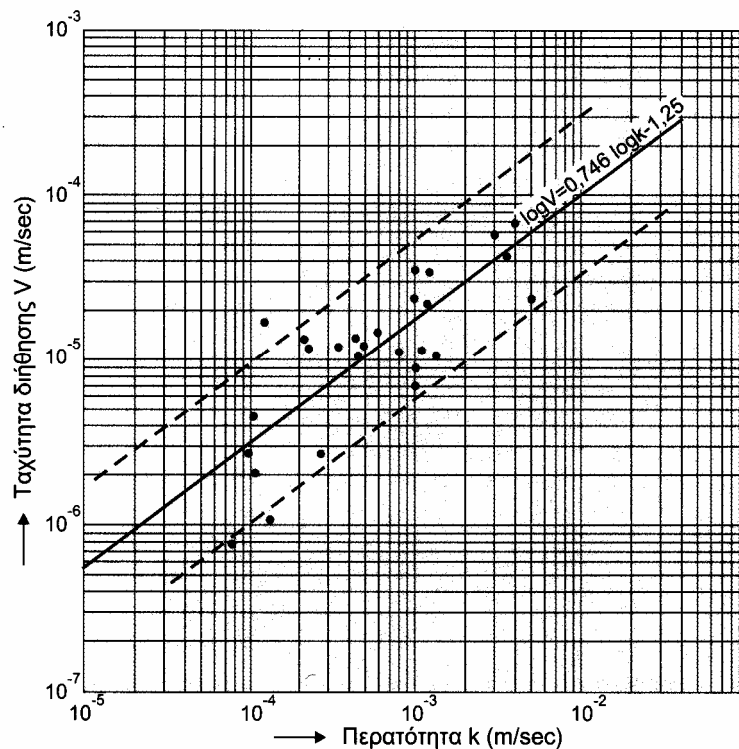
Πίνακας 6.17. Τιμές του h_{we} των διάφορων εδαφών.
[Bouwer H., 2002]

Έδαφος	$h_{we} (\text{cm})$
Πηλός	- 35
Πηλώδη άμμος	- 25
Αμμώδης πηλός	- 25
Λεπτόκοκκη άμμος	- 15
Μέση άμμος	- 10
Χοντρόκοκκη άμμος	- 5

Παρατηρώντας την εξίσωση 6.2 βλέπουμε ότι με την έναρξη της κατάκλισης το πάχος της ζώνης μεταφοράς είναι μικρό και ο ρυθμός διήθησης μεγάλος. Όσο λοιπόν προχωράει το υγρό μέτωπο προς τα

κάτω και το πάχος της ζώνης μεταφοράς μεγαλώνει ο ρυθμός διήθησης ανά μονάδα επιφάνειας σταθεροποιείται και εξισώνεται με την υδραυλική αγωγιμότητα του κορεσμένου υδροφορέα. [Bouwer, 2002]

Η ταχύτητα διήθησης του νερού από την επιφάνεια κατακλυσμένης έκτασης προς το υδροφόρο στρώμα εξαρτάται από την περατότητα εδάφους-υπεδάφους (Διάγραμμα 6.1).



Διάγραμμα 6.1. Νομόγραμμα που δείχνει την ταχύτητα διήθησης επιφάνειας υπό κατάκλυση σε σχέση με την περατότητα.

[από Σούλιος, 2004 κατά Bize J., Bourguet L. and Lemoine L., 1972]

Όπως βλέπουμε στο διάγραμμα η ταχύτητα διήθησης κυμαίνεται από 0,9m/day έως 156,5m/day. Στην πράξη όμως η ταχύτητα διήθησης κυμαίνεται από 0,012m/day έως 0,36m/day για τις αντίστοιχες περατότητες από 10^{-5} m/sec έως 10^{-2} m/sec. [από Σούλιος, 2004 κατά Bize, Bourguet and Lemoine, 1972]

➤ Ρυθμός διήθησης και φράξιμο

Κατά περιόδους ο ρυθμός διήθησης από μια επιφάνεια εμπλουτισμού μειώνεται σταδιακά. Αυτό οφείλεται στο φράξιμο των πόρων της επιφάνειας του εδάφους από την ιλύ και άλλα αιωρούμενα στερεά υλικά που περιέχονται στο νερό εμπλουτισμού και στις μικροβιακές αποικίες που αναπτύσσονται.

Η διαδοχή υγρών και ξηρών περιόδων σε μια περιοχή διήθησης συντελεί σε αύξηση του ρυθμού διήθησης σε σχέση με τη συνεχή κατάκλυση. Διότι η ξήρανση του εδάφους σκοτώνει τις μικροβιακές κοινότητες, που σε συνδυασμό με το “όργωμα” της επιφάνειας ξαναανοίγει τους πόρους. Άλλος τρόπος αντιμετώπισης είναι η χλωρίωση του νερού εμπλουτισμού (2-5 mg/l) και η καλλιέργεια βλάστησης στην επιφάνεια διήθησης.

Έτσι απαιτείται χρόνος ώστε το νερό που περιέχει η λεκάνη να διηθηθεί πλήρως και να καθαριστεί ο πυθμένας για την επαναφορά του ρυθμού διήθησης στον αρχικό.

Για τον παραπάνω λόγο είναι χρηστικότερο ο ρυθμός διήθησης να εκφράζεται σαν μακροπρόθεσμος μέσος ρυθμός διήθησης. Δηλαδή εάν έχουμε για παράδειγμα, ρυθμό διήθησης 1 m/day και φράξιμο που μειώνει σταδιακά το ρυθμό διήθησης σε 0,5 m/day, μετά από δύο εβδομάδες, και η διάρκεια στράγγισης διαρκεί άλλες δύο εβδομάδες για την επαναφορά στο 1 m/day, τότε ο μέσος ρυθμός διήθησης είναι 0,75 m/day. Που δίνει μακροπρόθεσμα $182,5 \times 0,75 = 138$ m/year. [Bouwer H., 2002]

➤ Ανάπτυξη περιοχής εφαρμογής επιφανειακού εμπλουτισμού

Τα συστήματα εμπλουτισμού επιφανειακής διήθησης απαιτούν περατά εδάφη και περατές ακόρεστες ζώνες για να μεταβιβάσουν το νερό στον υδροφορέα. Ο υδροφορέας θα πρέπει να διαθέτει καλή μεταβιβαστικότητα για την αποφυγή υπερβολικής ανύψωσης της

πιεζομετρικής επιφάνειας στην περιοχή εμπλουτισμού ή να παρουσιάζει πλευρική ροή στην περιοχή εμπλουτισμού.

Οπότε ο προσδιορισμός υποψήφιων περιοχών κατάλληλων για εφαρμογή επιφανειακής διήθησης γίνεται μέσω γεωλογικών και εδαφικών χαρτών και υδρογεωλογικών μελετών.

Μετά την πρώτη αναγνώριση των υποψήφιων περιοχών είναι απαραίτητο να πραγματοποιηθούν ολιγοήμερες (~2-7 ημερών) επί τόπου δοκιμές διήθησης για τον προσδιορισμό της τάξης μεγέθους του ρυθμού διήθησης. Τέτοιες δοκιμές πραγματοποιούνται κατασκευάζοντας με αναχώματα λεκάνες διήθησης 3×3m στις υποψήφιες περιοχές. Ο ρυθμός διήθησης που προσδιορίζεται μ' αυτό τον τρόπο είναι πιθανότατα υπερτιμημένος σε σχέση με τον πραγματικό διότι δεν περιλαμβάνονται οι παράγοντες: φράξιμο πόρων και υποκείμενα στρώματα με μειωμένη υδραυλική αγωγιμότητα σε σχέση με τα υπερκείμενα.

Εάν η δοκιμή, με τις λεκάνες διήθησης 3×3m, δεν δώσει ικανοποιητικούς ρυθμούς διήθησης τότε η μέθοδος επιφανειακού εμπλουτισμού θεωρείται ακατάλληλη και πρέπει να εφαρμοστούν μέθοδοι υπεδαφικού εμπλουτισμού όπως πηγάδια, τάφροι, ορύγματα και εκσκαφές και γεωτρήσεις εμπλουτισμού.

Το επόμενο βήμα είναι η κατασκευή μεγαλύτερων λεκανών διήθησης της τάξεως των 2000-3000m² (διάρκεια δοκιμών ~30-90 ημέρες) για την εκτίμηση της επίδρασης του φράξιμου των πόρων και την πιθανότητα ύπαρξης υποκείμενων στρωμάτων με μειωμένη υδραυλική αγωγιμότητα. Με τα αποτελέσματα αυτής της δοκιμής είναι δυνατή η οριστική διαστασιολόγηση του έργου εμπλουτισμού. [Bouwer, 2002]

6.5.2 Τεχνητός Εμπλουτισμός Προσχωματικού Υδροφορέα Κερίτη

Παρακάτω περιγράφονται τα διάφορα τμήματα του προσχωματικού υδροφορέα Κερίτη με κριτήριο την επιδεκτικότητά τους για τεχνητό εμπλουτισμό.

Κεντρικό Τμήμα

Είναι η περιοχή βόρεια του Αλικιανού έως το Πατελάρι. Το πάχος των προσχώσεων (Αλλούβια) σ' αυτό το τμήμα είναι περί τα 90m στη νότια περιοχή (Τομή Γ-Γ' και Δ-Δ') και μειώνεται σταδιακά στα 45m προς το Πατελάρι και προς την ανατολική περιοχή.

Το υπόβαθρο των προσχώσεων στην περιοχή βόρεια του Αλικιανού αποτελείται πιθανώς από δολομιτικό ασβεστόλιθο (Ενότητα Τρυπαλίου). Κάτι τέτοιο όμως δεν έχει επιβεβαιωθεί ούτε και από τις γεωφυσικές διασκοπήσεις που έχουν πραγματοποιηθεί στην περιοχή. [Hamdan, 2002] Προτείνεται η διερεύνηση του υποβάθρου αυτής της περιοχής με γεώτρηση. Εάν επιβεβαιωθεί η ύπαρξη ασβεστόλιθου σημαίνει ότι ο προσχωματικός υδροφορέας τροφοδοτείται στο τμήμα αυτό από το υποκείμενο καρστικό υδροφόρο σύστημα. Στην υπόλοιπη περιοχή του τμήματος υπόβαθρο αποτελούν Πλειστοκαινικές, Πλειοκαινικές και Μειοκαινικές αποθέσεις (αδιαπέρατα).

Η πιεζομετρία διαμορφώνεται σε υψόμετρο σύμφωνο με την κοίτη του ποταμού Κερίτη, με εξαίρεση στην νότια περιοχή όπου εντοπίζεται στα 12m βάθος. Όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 5, την περίοδο υψηλών βροχοπτώσεων ο υδροφορέας τροφοδοτεί σ' αυτό το τμήμα το ποτάμι.

Η διακύμανση της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα, μεταξύ υγρής (Απρίλιος) και ξηρής (Οκτώβριος) περιόδου, κυμαίνεται από 0m έως 2m. Γεγονός που οδηγεί στο συμπέρασμα ότι το τμήμα αυτό μπορεί να εκμεταλλευτεί εντατικότερα αφού σημαντικό υδροφόρο πάχος των προσχώσεων παραμένει ανεκμετάλλευτο.

Η περαιτέρω αυτή εκμετάλλευση μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω των υφιστάμενων αλλά και νέων πηγαδιών παραπλεύρως του

ποταμού έτσι ώστε να επιτυγχάνεται ταυτόχρονα επαγωγικός εμπλουτισμός από το ποτάμι.

Εάν επιτευχθεί πτώση στάθμης σε έκταση 3km^2 του τμήματος τότε για κάθε μέτρο παίρνουμε $0,3 \times 10^6 \text{m}^3$ νερό για συντελεστή εναποθήκευσης $S=10\%$.

Η αναπλήρωση των επιπλέων ποσοτήτων μπορεί να πραγματοποιηθεί κατασκευάζοντας στο ποτάμι εγκάρσιους υδατοφράκτες ανάσχεσης της ροής ή αυλάκια διευθέτησης τα οποία αυξάνουν την επιφάνεια διήθησης και καθυστερούν την ροή των υδάτων προς τη θάλασσα. Επίσης μπορούν να κατασκευαστούν παράλληλα στο ποτάμι μικρές λεκάνες κατάκλυσης όπως στο σχήμα 6.3 και να χρησιμοποιηθούν και τα πηγάδια της περιοχής, παλαιά (~25 με μέσο βάθος 11,5m και μέση διάμετρο 2,5m) και νέα, για εμπλουτισμό. Άλλη πιθανή μέθοδος εμπλουτισμού είναι η διάνοιξη τάφρων που έχει μικρότερο κόστος σε σχέση με το ρυθμό εμπλουτισμού που προσφέρει, εάν ο αριθμός των νέων πηγαδιών που θα απαιτείται είναι μεγάλος.

Αποκλείεται η διοχέτευση υδάτων του ποταμού στα πηγάδια διότι μειώνεται ο ρυθμός διήθησης στο $1/3$ σε σύγκριση με το ρυθμό διήθησης που επιτυγχάνεται με νερό απαλλαγμένο από φερτά και αιωρούμενα υλικά. [Σούλιος, 2004] Όπως επίσης δεν συνίσταται και στις τάφρους. Το νερό που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για εμπλουτισμό με τα πηγάδια και τις τάφρους είναι αυτό των πηγών της Αγυιάς το οποίο είναι καθαρό (και απαλλαγμένο από αιωρούμενα υλικά) αφού χρησιμοποιείται για ύδρευση και υπάρχει κατά τους χειμερινούς μήνες σε αφθονία ($\sim 60 \times 10^6 \text{m}^3$ ετησίως ρέουν ανεκμετάλλευτα στην θάλασσα). Η μεταφορά της απαιτούμενης ποσότητας μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω του υφιστάμενου δικτύου άρδευσης.

➤ Τμήμα μεταξύ Βατόλακκου και Κουφού

Σ' αυτό το τμήμα, μέρος της υδροφορίας εκφορτίζει μέσω αριθμού πηγών ανατολικά του Κουφού, στο εκεί υπάρχον αποστραγγιστικό κανάλι με υδραυλική κλίση περί το 1,2%.

Το πάχος των προσχώσεων σ' αυτό το τμήμα είναι μικρό. Περίπου 16m στο Βατόλακκο με σταδιακή αύξηση έως τα 40m στην περιοχή του Κουφού.

Το υπόβαθρο των προσχώσεων είναι Φυλλίτες-Χαλαζίτες (αδιαπέρατα) στην βόρεια περιοχή και Πλειστοκαινικές, Πλειοκαινικές και Μειοκαινικές αποθέσεις (αδιαπέρατα) στη νότια.

Ο υδροφόρος ορίζοντας εντοπίζεται σε βάθος 5m στην περιοχή του Βατόλακκου και 4m στην περιοχή του Κουφού με εξαίρεση τις παρυφές όπου εντοπίζεται σε ~15m βάθος.

Η διακύμανση της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα, μεταξύ υγρής (Απρίλιος) και ξηρής (Οκτώβριος) περιόδου, κυμαίνεται στα ~5m στην περιοχή του Κουφού και στα ~6m στην περιοχή του Βατόλακκου. Γεγονός που υποδηλώνει την εντατικότητα εκμετάλλευση σε όλο το πάχος του υδροφορέα σ' αυτό το τμήμα και τον καθιστά ελάχιστα επιδεκτικό για τεχνητό εμπλουτισμό.

➤ Τμήμα μεταξύ φυλακών Αγυιάς και Γαλατά

Εδώ το πάχος των προσχώσεων είναι περίπου 20m (Τομές Ζ'-Ζ, Η'-Η, Θ'-Θ και Ι'-Ι).

Το υπόβαθρο των προσχώσεων είναι Φυλλίτες-Χαλαζίτες στην περιοχή δυτικά του Γαλατά και βόρεια του ρήγματος και Πλειστοκαινικές, Πλειοκαινικές και Μειοκαινικές αποθέσεις (αδιαπέρατα) στην περιοχή του Γαλατά και νότια του ρήγματος. Αποκλείονται οι ασβεστόλιθοι σαν υπόβαθρο διότι η πιεζομετρία δεν παρουσιάζει καμία ομοιομορφία με αυτή του καρστικού υδροφορέα.

Ο υδροφόρος ορίζοντας εντοπίζεται σε μέσο βάθος 2m στην πεδινή περιοχή το οποίο αυξάνεται στις παρυφές του τμήματος στα 8m.

Η διακύμανση της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα, μεταξύ υγρής (Απρίλιος) και ξηρής (Οκτώβριος) περιόδου, κυμαίνεται από 0m έως 1m.

Το τμήμα αυτό του υδροφορέα δεν εκμεταλλεύεται εντατικά λόγω της κάλυψης των αναγκών από τα νερά των πηγών της Αγυιάς.

Προτείνεται και εδώ εντατικότερη εκμετάλλευση του υδροφορέα μέσω των υφιστάμενων πηγαδιών (27 πηγάδια) των οποίων το μέσο βάθος είναι ~6m. Στόχος αυτής της εκμετάλλευσης είναι η επίτευξη σεβαστής πτώσης στάθμης (>5m). Δηλαδή μια επιπλέον απόληψη της τάξεως των $3 \times 10^6 \text{ m}^3$ ετησίως (η έκταση του τμήματος αυτού είναι περίπου 6 km^2 και ο συντελεστής εναποθήκευσης εκτιμάται σε $S=10\%$). Η ετήσια αναπλήρωση αυτής της πτώσης στάθμης του υδροφορέα εκτιμάται πως θα επιτυγχάνεται κατά ένα μεγάλο μέρος από φυσικές διεργασίες τροφοδοσίας και το υπόλοιπο θα πρέπει να αναπληρώνεται μέσω τεχνητού εμπλουτισμού.

Εκτιμάται πως τα εκμεταλλεύσιμα αποθέματα ιδιαίτερα σ' αυτό το τμήμα είναι πολύ μεγαλύτερα από τις ποσότητες που αντλούνται ετησίως. Το μέγεθος αυτών των αποθεμάτων μπορεί να διαπιστωθεί μόνο με σταδιακή αύξηση των αντλήσεων (ταπείνωση του Υ.Ο.) και παρατήρηση της δυνατότητας επανατροφοδοσίας του.

Είναι πιθανό στην περιοχή των φυλακών της Αγυιάς μέρος της τροφοδοσίας του υδροφορέα να προέρχεται από τις πηγές της Αγυιάς.

Η μέθοδος εμπλουτισμού που προτείνεται είναι αυτή της κατάκλυσης ή πλημμυρισμού επιφανειών. Είναι μια μέθοδος που αποδίδει αρκετά καλά για μεγάλης κλίμακας εμπλουτισμό (περίπτωσή μας $3 \times 10^6 \text{ m}^3$) εφόσον το επιτρέπει η περατότητα των εδαφών και συνδυάζει πολύ χαμηλό κόστος εφαρμογής σε σύγκριση με τις γεωτρήσεις εμπλουτισμού, τα πηγάδια και τις τάφρους που είναι επίσης πολύ αποδοτικές σε τέτοιες περιπτώσεις.

Στην περίπτωση που δεν υφίσταται ικανοποιητικός ρυθμός διήθησης μέσω κατάκλυσης και απαιτούνται μεγάλες εκτάσεις (>250 στρεμμάτων) για την επίτευξη του στόχου εμπλουτισμού και στην περίπτωση που δεν διατίθενται εκτάσεις για εφαρμογή της μεθόδου για κοινωνικούς λόγους, θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν άλλες μέθοδοι εμπλουτισμού.

Οι μέθοδοι που μπορούν να ανταποκριθούν σ' αυτή την κλίμακα εμπλουτισμού είναι τα πηγάδια, οι τάφροι και οι γεωτρήσεις εμπλουτισμού. Το πλεονέκτημα των γεωτρήσεων εμπλουτισμού σε σχέση με τα πηγάδια εμπλουτισμού και τις τάφρους είναι ότι μπορεί να

εφαρμοστεί με την αντλία εισπίεσης μεγαλύτερο υδραυλικό φορτίο κατά συνέπεια μεγαλύτερος ρυθμός εμπλουτισμού. Τα μειονεκτήματα των γεωτρήσεων εμπλουτισμού είναι ότι το κόστος κατασκευής και λειτουργίας τους είναι πολύ μεγαλύτερο και είναι πιο επιδεκτικές στο φράξιμο των πόρων.

Το νερό για τον εμπλουτισμό που προτείνεται να χρησιμοποιηθεί είναι αυτό των πηγών της Αγυιάς ($\sim 60 \times 10^6 \text{m}^3$ ετησίως ρέουν ανεκμετάλλευτα στην θάλασσα) του οποίου η ποιότητα είναι κατάλληλη για ύδρευση. Επομένως το φαινόμενο του φράξιμου των πόρων θα περιοριστεί στο ελάχιστο. Η μεταφορά της απαιτούμενης ποσότητας μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω του υφιστάμενου δικτύου άρδευσης.

➤ Τμήμα μεταξύ Φουρνέ και Αλικιανού

Το πάχος των προσχώσεων εδώ αυξάνεται προοδευτικά από μερικά μέτρα στον Φουρνέ μέχρι τα 50m στον Αλικιανό (Τομές Α-Α', Β-Β', Γ-Γ', και Δ-Δ').

Υπόβαθρο των προσχώσεων είναι Φυλλίτες-Χαλαζίτες αλλά και Πλειστοκαινικές, Πλειοκαινικές και Μειοκαινικές αποθέσεις (αδιαπέρατα).

Σ' αυτό το τμήμα ο ποταμός Κερίτης τροφοδοτεί συνεχώς τις προσχώσεις. Ο υδροφόρος ορίζοντας εντοπίζεται στα $\sim 8\text{m}$ βάθος στην περιοχή του Αλικιανού, στα $\sim 5\text{m}$ στην κεντρική περιοχή και περίπου στο ύψος της κοίτης στο Φουρνέ και λίγο βόρεια.

Η διακύμανση της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα, μεταξύ υγρής (Απρίλιος) και ξηρής (Οκτώβριος) περιόδου, κυμαίνεται από 0m έως 1m, και λόγω της συνεχούς τροφοδοσίας από το ποτάμι αλλά, και λόγω της ελάχιστης εκμετάλλευσης σ' αυτό το τμήμα.

Και σ' αυτό το τμήμα προτείνεται εντατικότερη εκμετάλλευση και κατασκευή εγκάρσιων υδατοφρακτών ή αυλάκων στο ποτάμι ή μικρών λεκανών κατάκλυσης παράλληλα στο ποτάμι όπως στο σχήμα 6.3.

Εάν επιτευχθεί πτώση στάθμης σε έκταση $0,6\text{km}^2$ του τμήματος τότε για κάθε μέτρο παίρνουμε $0,06 \times 10^6 \text{m}^3$ νερό.

➤ Τμήμα Σκινέ

Εδώ το πάχος των προσχώσεων είναι ~30m στην περιοχή του Σκινέ και αυξάνεται προοδευτικά στα ~40m λίγο βόρεια του Σκινέ (Τομές B-B' και Δ- Δ').

Το υπόβαθρο εδώ είναι Πλειστοκαινικές, Πλειοκαινικές και Μειοκαινικές αποθέσεις (αδιαπέρατα).

Το τμήμα αυτό τροφοδοτείται από την απορροή από ανάντη και από τον χείμαρρο του Σκινέ.

Ο υδροφόρος ορίζοντας εντοπίζεται κατά μέσο όρο σε βάθος 10m και η ετήσια διακύμανση της στάθμης του είναι 7m.

Η εκμετάλλευση γίνεται μέσω μεγάλου αριθμού πηγαδιών (>30) και είναι εντατική και σε όλο το εύρος του πάχους των προσχώσεων, οπότε και δεν επιδέχεται τεχνητό εμπλουτισμό.

➤ Υδραυλικές Παράμετροι

Για το κορεσμένο τμήμα των προσχώσεων η κάθετη υδραυλική αγωγιμότητα εκτιμάται κατά μέσο όρο σε περίπου $k=6 \times 10^{-5} \text{m/sec}$ ή 5,184m/day ενώ η οριζόντια σε περίπου $k=6 \times 10^{-4} \text{m/sec}$ ή 51,84m/day.

Η μεταβιβαστικότητα εκτιμάται κατά μέσο όρο σε περίπου $T=6,4 \times 10^{-2} \text{m}^2/\text{sec}$ ή 5529,6 m^2/day και ο συντελεστής εναποθήκευσης ή υδροχωρητικότητας σε $S>10\%$ έως και 20% κατά θέσεις.

Οι παραπάνω εκτιμήσεις αφορούν το σύνολο του προσχωματικού υδροφορέα Κερίτη και αποτελούν ένα μέσο όρο που αφορά όλη την έκτασή του. Δηλαδή αναμένεται κατά θέσεις αυξομείωση των παραμέτρων γύρω από το μέσο όρο.

Οι εκτιμήσεις αυτές πηγάζουν από βιβλιογραφικές αναφορές που αφορούν αλλουβιακές προσχώσεις [Καλλέργης, 2001] και από μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν το 1968-69 στη λεκάνη Κερίτη από τους Φραγκόπουλο Ι. και Κωνσταντινίδη Δ. [Περιφέρεια Κρήτης, 2001].

Όσον αφορά την ακόρεστη ζώνη (ή ζώνη μεταφοράς) η κάθετη υδραυλική αγωγιμότητα εκτιμάται σε περίπου:

$$0,5 \times k_{\text{κορεσμένη}} = 3 \times 10^{-5} \text{m/sec} \text{ ή } 2,592 \text{m/day}$$

και αντίστοιχα η οριζόντια σε:

$$0,5 \times k_{\text{κορεσμένη}} = 3 \times 10^{-4} \text{ m/sec ή } 25,92 \text{ m/day}$$

(σύμφωνα με παράγραφο 6.5.1.3).

Ο ρυθμός διήθησης από τις επιφανειακές μεθόδους εμπλουτισμού είναι σύμφωνα με το νομόγραμμα 6.1 της τάξεως των $4 \times 10^{-5} \text{ m/sec}$ ή $3,46 \text{ m/day}$ για υδραυλική αγωγιμότητα $k = 6 \times 10^{-5} \text{ m/sec}$, εφόσον το επιτρέπουν τα εδάφη της περιοχής. Στην πραγματικότητα ο ρυθμός διήθησης είναι της τάξεως των μερικών εκατοστών (από $0,012 \text{ m/day}$ έως $0,36 \text{ m/day}$ για τις αντίστοιχες περατότητες από 10^{-5} m/sec έως 10^{-2} m/sec).

Για τη μέθοδο των πηγαδιών παίρνουμε από την σχέση 6.1, για φρεάτια διαμέτρου 1m και βάθους 5m, ρυθμό εμπλουτισμού της τάξεως των $4,72 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{sec}$ ή $407,8 \text{ m}^3/\text{day}$ (δηλαδή $0,0734 \times 10^6 \text{ m}^3$ από κάθε πηγάδι σε 180 ημέρες εμπλουτισμού).

Για τάφρους πλάτους 0,5m και βάθους 5m παίρνουμε ρυθμό εμπλουτισμού της τάξεως των $9,44 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{sec}$ ή $81,55 \text{ m}^3/\text{day}$ ανά μέτρο μήκους της τάφρου (δηλαδή $0,0147 \times 10^6 \text{ m}^3$ από κάθε μέτρο τάφρου σε 180 ημέρες εμπλουτισμού).

Στην εκτίμηση των πιο πάνω τάξεων μεγέθους δεν έχει ληφθεί καθόλου υπόψη το φράξιμο των πόρων και το μέγεθος της επιρροής της ανόδου της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα στο ρυθμό εμπλουτισμού.

Εκτιμάται πως όσον αφορά τις μεθόδους των πηγαδιών και των τάφρων, οι παραπάνω τάξεις μεγέθους, δεν αποκλίνουν σε καμία περίπτωση τόσο σημαντικά, όσο η εκτίμηση του ρυθμού διήθησης των επιφανειακών μεθόδων.

➤ Προτάσεις σχεδιασμού δοκιμών

Από τα παραπάνω συμπεραίνεται, ότι το πάχος της ακόρεστης ζώνης δεν είναι σημαντικό σε κανένα από τα τμήματα του υδροφορέα που επιδέχεται τεχνητό εμπλουτισμό. Δηλαδή για να δημιουργηθεί ακόρεστη ζώνη αξιόλογη εμπλουτισμού πρέπει να αυξηθούν οι

απολήψεις. Προτείνεται η σταδιακή αύξηση των απολήψεων με ταυτόχρονη παρακολούθηση της πιεζομετρίας και της επανατροφοδοσίας μέσω φυσικών διεργασιών, για να προσδιοριστούν οι περιοχές και οι ποσότητες που πρέπει να αναπληρώνονται με τεχνητό εμπλουτισμό.

Ταυτόχρονα μπορούν να ξεκινήσουν οι απαραίτητες δοκιμές σε διάφορα σημεία της περιοχής προς εμπλουτισμό, για την εκτίμηση των παραμέτρων κάθε μεθόδου που προτείνεται.

Όσον αφορά τις μεθόδους επιφανειακού εμπλουτισμού μια πρώτη εκτίμηση του ρυθμού διήθησης μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω 3×3m λεκανών διήθησης σε διάφορα σημεία των υποψήφιων περιοχών. Εφόσον έχουμε ικανοποιητικά αποτελέσματα από αυτές τις δοκιμές μπορεί να ακολουθηθεί η διαδικασία που περιγράφεται στην παράγραφο 6.5.1.3.

Η εκτίμηση του ρυθμού εμπλουτισμού των υπεδαφικών μεθόδων μπορεί να πραγματοποιηθεί με δοκιμές σε διάφορα πηγάδια. Εάν οι δοκιμές αυτές έχουν διάρκεια μπορεί να εκτιμηθεί και ο παράγοντας του φράξιμου των πόρων ο οποίος όπως αναφέρεται και παραπάνω μπορεί να περιοριστεί σε μηδαμινά επίπεδα εάν το νερό του εμπλουτισμού παροχετεύεται μέσω σωλήνωσης κατευθείαν μέσα στο πηγάδι (ή την τάφρο).

Γνωρίζοντας τις παραμέτρους που αφορούν τη κάθε μέθοδο και τις περιοχές που πρέπει να εμπλουτιστούν θα είναι δυνατή πλέον η διαστασιολόγηση και τοποθέτηση στο χώρο των έργων εμπλουτισμού με τις μεθόδους που θα κριθούν κατάλληλες μέσω των δοκιμών.

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

1. Μετά την επαναξιολόγηση των παραμέτρων του υδρολογικού ισοζυγίου διαμορφώνονται τα εξής συμπεράσματα: Η υδρολογική λεκάνη Κερίτη έχει συνολικό εμβαδό $175,7\text{km}^2$ και αποτελείται κυρίως από ανθρακικά πετρώματα κατά 41,8% ($73,5\text{ km}^2$), Φυλλιτικά – Χαλαζιτικά πετρώματα κατά 35,7% ($62,8\text{ km}^2$), αλλουβιακά ιζήματα κατά 13,6% ($23,8\text{ km}^2$) και από νεογενή και διλλουβιακά ιζήματα κατά 8,9% ($15,6\text{ km}^2$). Το μέσο ετήσιο ύψος βροχής που δέχεται η υδρολογική λεκάνη Κερίτη είναι $1398,4\text{mm}$ και ο μέσος ετήσιος όγκος νερού $245,7 \times 10^6\text{m}^3$. Από αυτή την ποσότητα το 50,7% επιστρέφει στην ατμόσφαιρα μέσω της διαδικασίας της εξατμισοδιαπνοής, το 13% απορρέει επιφανειακά και το υπόλοιπο 36,3% κατεισδύει εντός των γεωλογικών σχηματισμών.

2. Για τον ακριβέστερο υπολογισμό της βροχόπτωσης είναι απαραίτητο να εγκατασταθούν στην περιοχή βροχομετρικοί σταθμοί ορθολογικά κατανεμημένοι στο χώρο.

3. Η ακριβής οριοθέτηση της υδρογεωλογικής λεκάνης του καρστικού υδροφορέα είναι δύσκολο να καθοριστεί γιατί αποτελεί υπολεκάνη του μεγάλου υδροφόρου συστήματος των Λευκών Όρεων και προτείνεται το θέμα του υδατικού ισοζυγίου να προσεγγιστεί υπολογίζοντας αρχικά το συνολικό υδατικό ισοζύγιο και μετά να επιχειρηθεί η εκ νέου διαίρεση σε υπολεκάνες για τον ακριβέστερο υπολογισμό των υδατικών τους ισοζυγίων.

4. Κρίνεται αναγκαία η συστηματική καταγραφή των παροχών όλων των πηγών της περιοχής.

5. Προτείνεται η συστηματική καταγραφή της απορροής του ποταμού Κερίτη στα σημεία Μεσκλά, Φουρνέ, Αλικιανό και στο Πατελάρι πριν τη συμβολή του με το υδατόρευμα της υπερχείλισης των πηγών Αγυιάς. Οι

καταγραφές αυτές θα αποκρυπτογραφήσουν την αλληλεπίδραση του ποταμού με τον προσχωματικό υδροφορέα.

6. Είναι απαραίτητη η συστηματικότερη καταγραφή των απολήψεων από τον προσχωματικό υδροφορέα (γεωτρήσεις και πηγάδια).

7. Οι υδατικές ανάγκες των περιοχών Χανίων – Κολυμβαρίου και Ακρωτηρίου ήταν το έτος 2003 $74,59 \times 10^6 \text{m}^3$ και θα είναι $90,68 \times 10^6 \text{m}^3$ το έτος 2030. Δηλαδή οι υδατικές ανάγκες θα αυξηθούν κατά $16,09 \times 10^6 \text{m}^3$. Από τα υφιστάμενα έργα υδρομάστευσης μπορούν να αντληθούν ακόμη $\sim 8,8 \times 10^6 \text{m}^3$ οπότε το έλλειμμα που δημιουργείται είναι $\sim 7,3 \times 10^6 \text{m}^3$ την περίοδο από Ιούνιο έως Σεπτέμβριο.

8. Το ισοζύγιο “διαθέσιμων υδατικών πόρων – υδατικών αναγκών” με τα φράγματα σε λειτουργία δεν παρουσιάζει έλλειμμα. Όμως μεγάλο μειονέκτημα αυτής της λύσης είναι το τεράστιο κόστος κατασκευής και λειτουργίας των φραγμάτων.

9. Με αναρρύθμιση των πηγών της Αγυιάς κατά $10 \times 10^6 \text{m}^3$ ετησίως για την κάλυψη των μελλοντικών αναγκών δεν παρατηρείται έλλειμμα. Χωρίς να είναι γνωστές οι επιπτώσεις αυτής της επιπλέον απόληψης (υπερχείλιση πηγών – περιβάλλον) και τα περιθώρια μεγαλύτερης εκμετάλλευσης.

10. Τα περιθώρια περαιτέρω εκμετάλλευσης του προσχωματικού υδροφορέα εκτιμώνται $\sim 5 \times 10^6 \text{m}^3$ ετησίως χωρίς να γνωρίζουμε τι ποσοστό της επιπλέον εκμετάλλευσης ανήκει στα μελλοντικά ρυθμιστικά αποθέματα. Οπότε δεν μπορεί να προσδιοριστεί ο ακριβής όγκος εμπλουτισμού και κατ’ επέκταση η μέθοδος και οι διαστάσεις του έργου εμπλουτισμού.

11. Η διαθεσιμότητα του νερού εμπλουτισμού είναι τοπικά επαρκής για κάθε μέθοδο που προτείνεται στα επιμέρους τμήματα εφαρμογής.

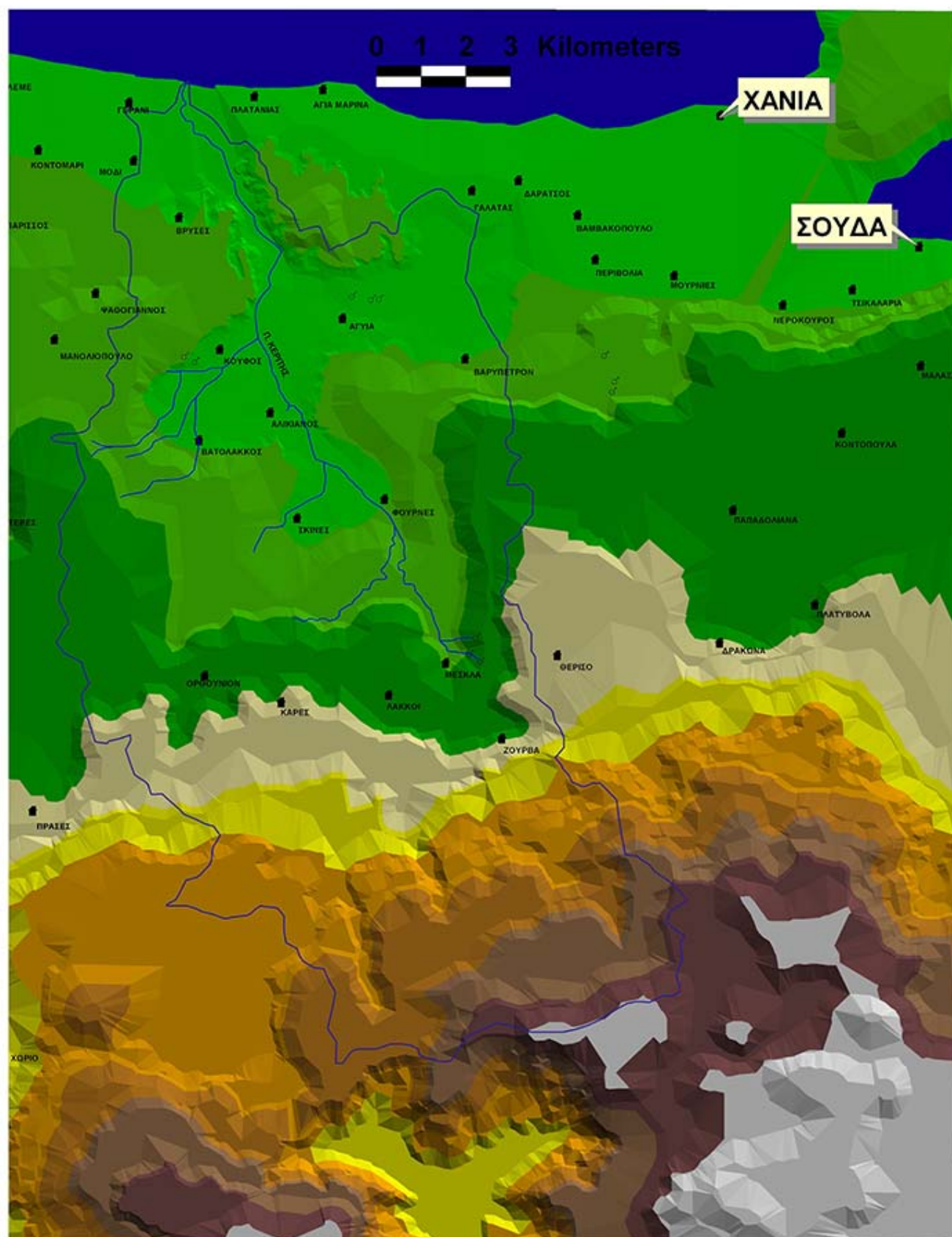
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. **Αλεξόπουλος, Ι. Απ. (1990).** “Γεωλογικές και υδρογεωλογικές συνθήκες της περιοχής του τοπογραφικού φύλλου <<Μόχος>> (Κ.Α. Κρήτη)”, διδακτορική διατριβή, Αθήνα.
2. **Αρανίτης, Σ., Ζερβογιάννης, Γ. και Μελλισάρης, Π. (1972).** “Υδρογεωλογική έρευνα πηγών Αγυιάς”, Προκαταρκτική μελέτη, Υπ.Δ.Ε., Αθήνα.
3. **Αρανίτης, Σ., Ζερβογιάννης, Γ. και Μελλισάρης, Π. (1977).** “Υδρογεωλογική έρευνα πηγών Αγυιάς”, Υπ.Δ.Ε., Αθήνα.
4. **Bouwer, H. (2002).** “Groundwater Hydrology”, New York.
5. **Bouwer, H. (2002).** “Artificial recharge of groundwater: hydrogeology and engineering”, Journal of Hydrogeology, 10(1): 121-142.
6. **Brassington, R. (1998).** “Field Hydrogeology”, 2nd ed., New York.
7. **Βαβαδάκης, Δ. (2000).** “Ορθολογική διαχείριση υφιστάμενων και αναζήτηση νέων πόρων νερού για την κάλυψη υδρευτικών αναγκών του Δήμου Ρεθύμνου”, Πολυτεχνείο Κρήτης, Μεταπτυχιακή διατριβή, Χανιά.
8. **Βαφείδης, Γ., Αμολοχίτης, Γ., Μονόπωλης, Δ. και Στειακάκης, Μ. (1991).** “Γεωφυσική έρευνα με γεωηλεκτρικές διασκοπήσεις στην κοιλάδα του Κερίτη ποταμού”, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
9. **Δεμίρης, Κ. και Μελεδιώτης, Ι. (1983).** “Διερεύνηση του καρστικοποιημένου υδροφορέα της περιοχής Μυλωνιανών για τον καθορισμό περιοχών αναπτύξεων υδρογεωτρήσεων εκμεταλλεύσεως”, Ο.Α.ΔΥ.Κ., Χανιά.
10. **Δεμίρης, Κ., Μελεδιώτης, Ι. και Παυλάκης, Π. (1993).** “Οριστική μελέτη φραγμάτων Αλικιανού-Βαλσαμιώτη Νομού Χανίων”,
 - Τεχνική Έκθεση, Χανιά.
 - Υδρολογικοί και Υδραυλικοί Υπολογισμοί, Χανιά.
 - Μελέτη βέλτιστης εκμετάλλευσης και διαχείρισης υδατικού δυναμικού πηγών Μεσκλών και ταμιευτήρων Αλικιανού-Βαλσαμιώτη, Χανιά.
11. **Fetter, C.-W. (1994).** “Applied Hydrogeology”, 3rd ed., New Jersey.

12. **Hamdan, H. (2002).** “Γεωηλεκτρική διασκόπηση στη λεκάνη του ποταμού Κερίτη του Νομού Χανίων”, Πολυτεχνείο Κρήτης, Διπλωματική Εργασία, Χανιά.
13. **Jacobshagen, V. (1986).** “Geologie von Griechenland”, Beiträge zur regionalen Geologie der Erde, Berlin-Stuttgart.
14. **Καλλέργης, Γ. Α.** “Εφαρμοσμένη περιβαλλοντική υδρογεωλογία”,
 - **(1999).** Τόμος Α, Αθήνα.
 - **(2000).** Τόμος Β, Αθήνα.
 - **(2001).** Τόμος Γ, Αθήνα.
15. **Καπετανάκης, .(2001).** “Φυσιογραφική κατανομή και υπολογισμός του συνολικού όγκου βροχόπτωσης στην Κρήτη: διάκριση μικροκλιματικών ζωνών”, Πολυτεχνείο Κρήτης, Διπλωματική Εργασία, Χανιά.
16. **Κατσικάτσος, Γ. (1992).** “Γεωλογία της Ελλάδας”, Αθήνα.
17. **Κνιθάκης, Κ., Βιδάκης, Μ. και Καλούμενος, Κ. (1994).** “Υδρογεωλογική μελέτη της ευρύτερης περιοχής Αγυιάς – Μουρνιών – Σούδας”, ΙΓΜΕ, Χανιά.
18. **Κουτσογιάννης, Δ. και Ξανθόπουλος, Θ. (1999).** “Τεχνική Υδρολογία”, 3^η Έκδοση, Αθήνα.
19. **Langguth, H.-R. und Voigt, R. (1980).** “Hydrogeologische Methoden”, Berlin-Heidelberg.
20. **Λιαλιάρης, Ι. (1996).** “Υδρολογικό και υδρογεωλογικό ισοζύγιο του ποταμού Κερίτη, Δυτική Κρήτη”, Πολυτεχνείο Κρήτης, Μεταπτυχιακή διατριβή, Χανιά.
21. **Λιονής, Μ. και Περλέρος, Β. (2001).** “Υδρογεωλογική μελέτη Κάμπου Χανίων”, Υπ. Γεωργίας, Γενική Διεύθυνση Εγγειοβελτιωτικών Έργων και Γεωργικών Διαρθρώσεων, Αθήνα.
22. **Maniak, Ulrich (1997).** “Hydrologie und Wasserwirtschaft”, 4. Auflage, Berlin-Heidelberg.
23. **Μιγκίρος, Γ. (1996).** “Βασικές αρχές & έννοιες στη γεωλογία”, Αθήνα.
24. **Μονόπωλης, Δ. και Μάστορης, Κ. (1969).** “Υδρογεωλογική μελέτη της καρστικής υφαλμύρου πηγής Αλμυρού”, Ι.Γ.Ε.Υ., Αθήνα.
25. **Μονόπωλης, Δ., Στειακάκης, Μ. και Μπλαζάκης, Ν. (1990).** “Πρόβλεψη του ρυθμού στείρευσης των πηγών Πλατάνου”, Πολ. Κρήτης, Χανιά.

26. **Μονόπωλης, Δ. (1971).** “Υδρογεωλογική μελέτη της καρστικής περιοχής του ορεινού συγκροτήματος Παρνασσού”, Ε.Μ.Π., Διδακτορική Διατριβή, Αθήνα.
27. **Μουντράκης, Δ. (1985).** “Γεωλογία της Ελλάδας”, Θεσσαλονίκη.
28. **Oaksford, E.-T. (1985).** “Artificial recharge: methods, hydraulics and monitoring”, Artificial recharge of groundwater, Edited by Asano T., Butterworth Publishers, Chapter 4, pp.69-127.
29. **Παπαμιχαήλ, Δ. (2001).** “Τεχνική υδρολογία επιφανειακών υδάτων”, Θεσσαλονίκη.
30. **Παυλάκης, Π. (1989).** “Συμβολή στην υδρογεωλογική διερεύνηση του ασβεστολιθικού υδροφόρου συστήματος των πηγών Αγυιάς, Δυτικής Κρήτης”, Θεσσαλονίκη,
31. **Παυλάκης, Π., Κουντούρης, Σ. και Γιώτης, Α. (1972).** “Προκαταρκτική μελέτη αξιοποίησεως υδατικού δυναμικού Δυτικής Κρήτης”, Υπ.Δ.Ε., Αθήνα.
32. **Παυλάκης, Π., Μπλέτσας, Α., Κουντούρης, Σ., Γιώτης, Α. και Βουνουτσάκης, Δ. / ΤΕΤΡΑΚΤΥΣ Ο.Ε., Φραγκιαδάκης, Δ., Καραβοκύρης, Γ., Δαούτης, Ι. και Ευθυμιάτος, Ι. (1978, 1980, 1982, 1983).** “Μελέτη αξιοποίησεως υδατικού δυναμικού Δυτικής Κρήτης”,
- (1978, 1980, 1982, 1983). Μελέτες Εγγειωβελτιωτικών Έργων, Τεχνικές Εκθέσεις, Υπ.Δ.Ε., Αθήνα.
33. **Περιφέρεια Κρήτης, Διεύθυνση Σχεδιασμού και Ανάπτυξης, Τμήμα Διαχείρισης Υδατικών Πόρων.** “Ολοκληρωμένη διαχείριση υδατικών πόρων Κρήτης”.
34. **Ρίγλης, Σ. (1996).** “Το υδατικό δυναμικό του Νομού Χανίων”, Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση, Χανιά.
35. **Σούλιος, Γ. “Γενική Υδρογεωλογία”,**
- (1996). Τόμος Α, 2^η Έκδοση, Θεσσαλονίκη.
 - (1996). Τόμος Β, 2^η Έκδοση, Θεσσαλονίκη.
 - (2004). Τόμος Γ, Θεσσαλονίκη.
36. **Todd, D.-K. (1980).** “Groundwater Hydrology”, New York.
37. **Φραγκόπουλος, Ι. και Κωνσταντινίδης, Δ. (1969).** “Υδρογεωλογική μελέτη λεκάνης Κερίτου”, Υπ. Γεωργίας, Αθήνα.

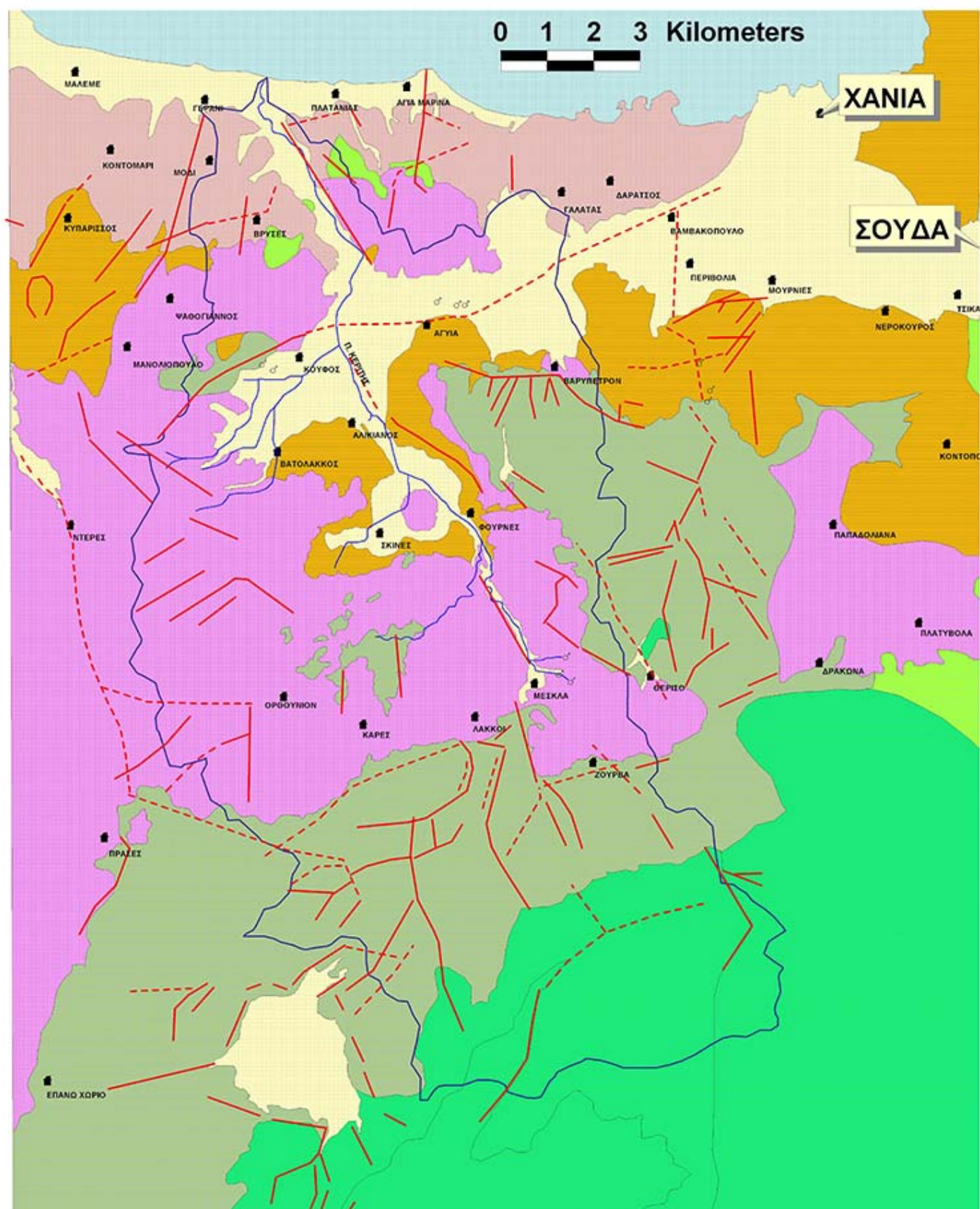
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ



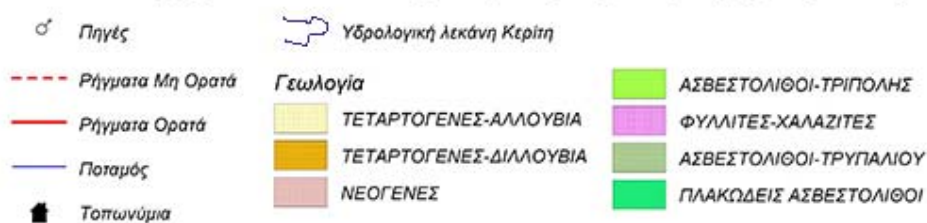
Σχήμα 3.2. Μορφολογικός Χάρτης Περιοχής Έρευνας

Υψόμετρο (m)

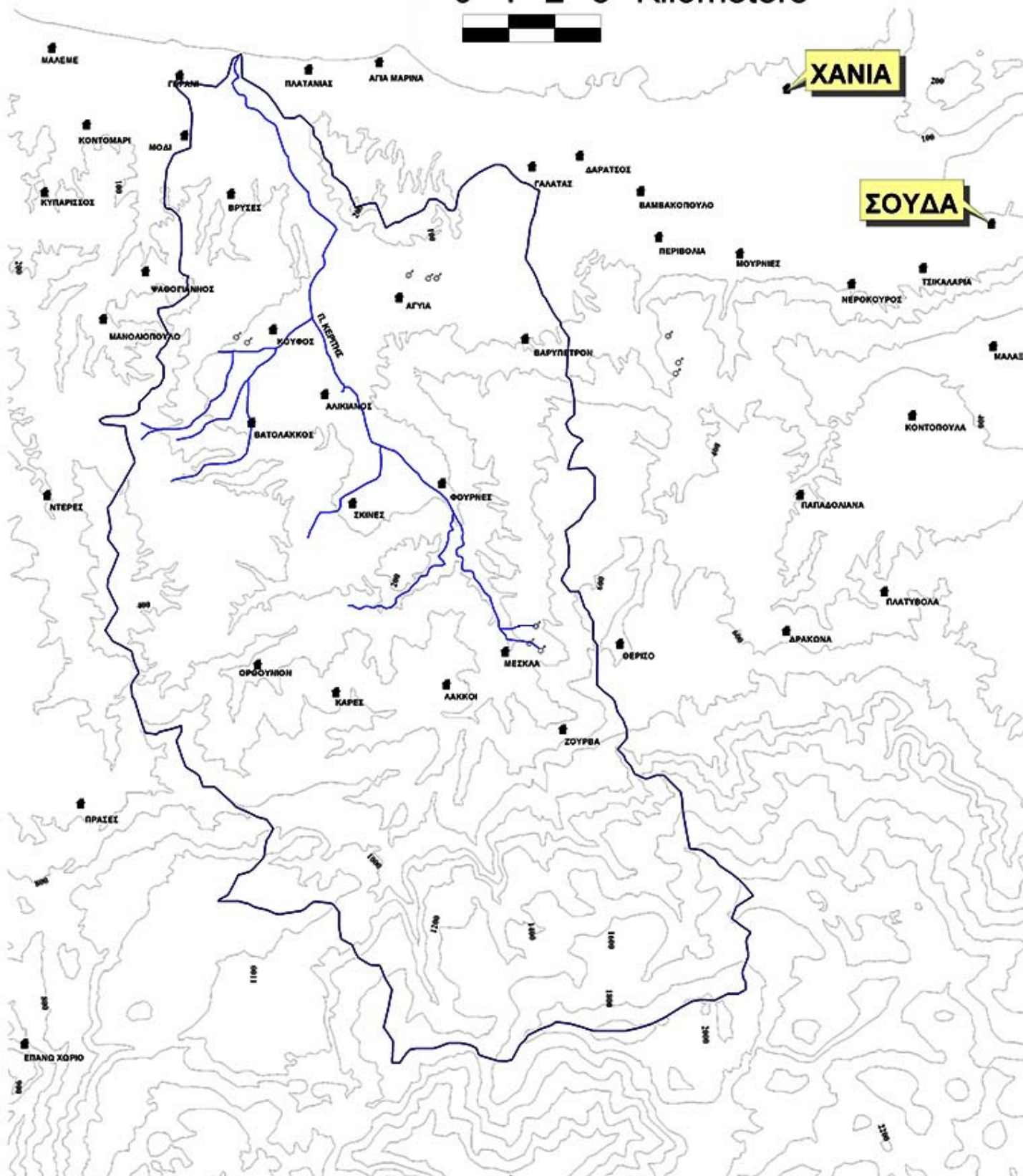




Σχήμα 3.4. Γεωλογικός Χάρτης Περιοχής Έρευνας



0 1 2 3 Kilometers

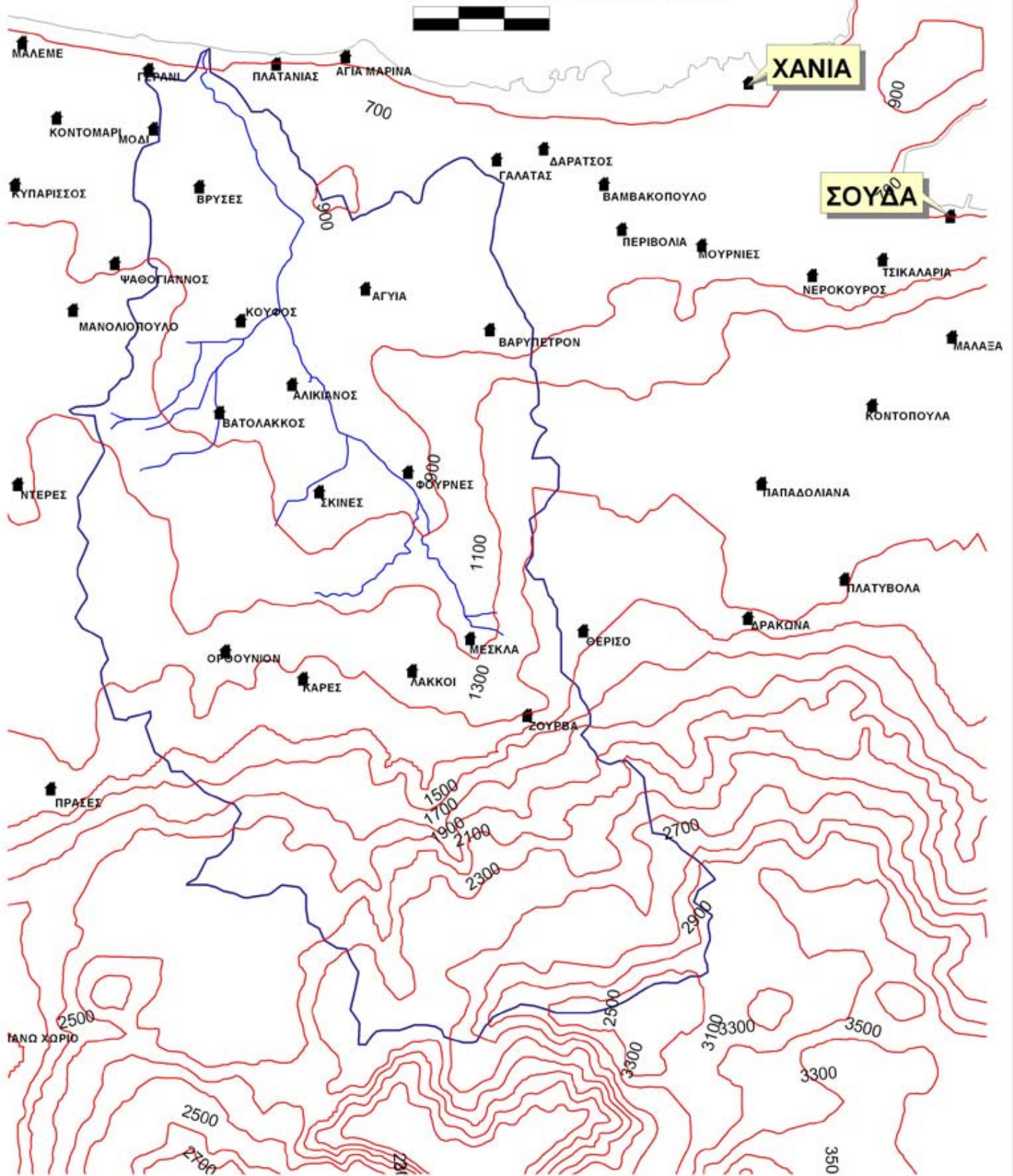


Σχήμα 4.2. Τοπογραφικός Χάρτης

- | | | | |
|--|----------|--|--------------------------|
| | Ισοΰψεις | | Τοπωνύμια |
| | Ποταμός | | Υδρολογική λεκάνη Κερίτη |
| | Πηγές | | |



0 1 2 3 Kilometers



Σχήμα 4.4. Χάρτης Ισούετων Καρπυλών

— Ισούετες Καρπύλες ανά 200mm

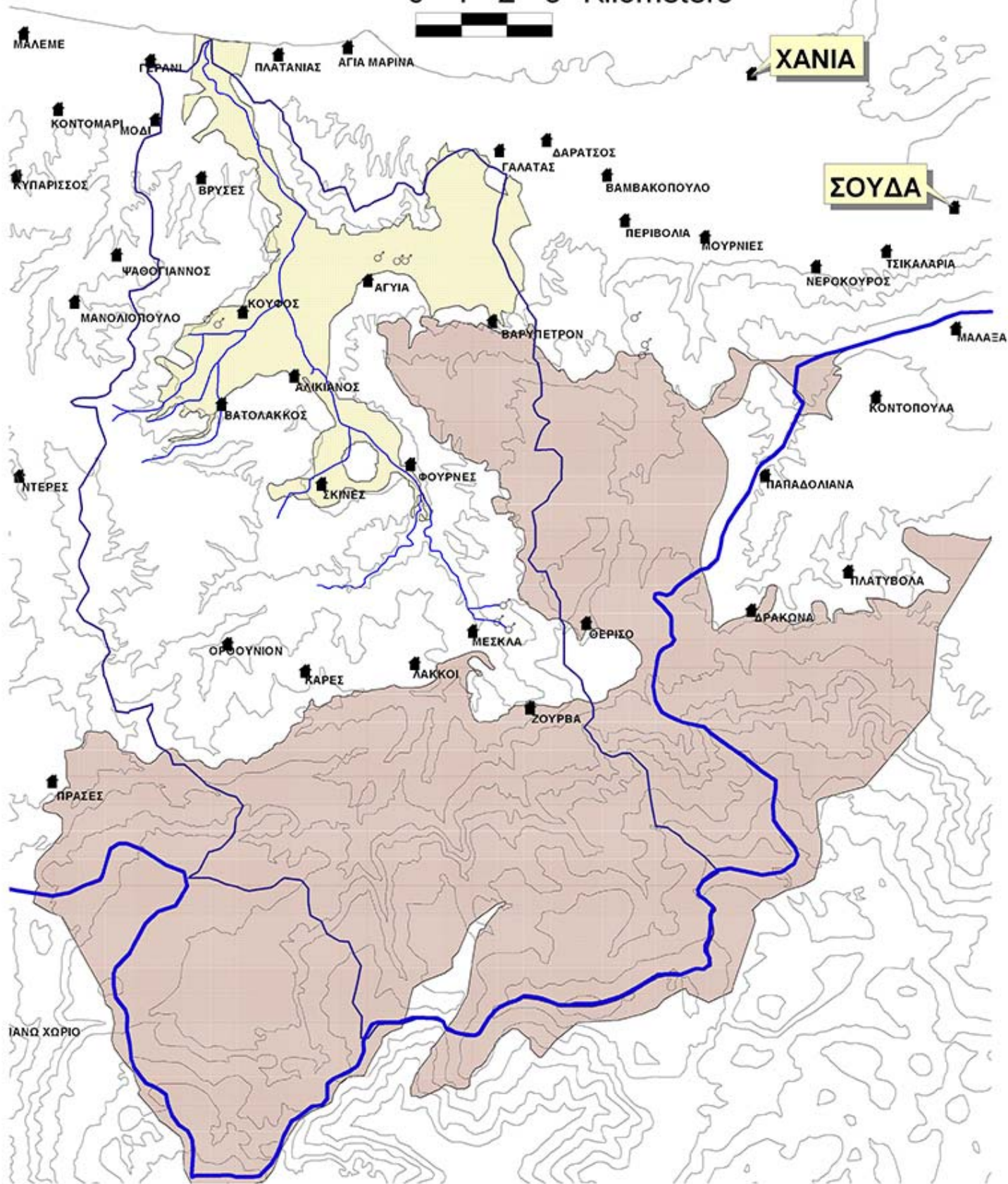
— Υδρολογική λεκάνη Κερίτη

■ Τοπωνύμια

— Ποταμός



0 1 2 3 Kilometers



Σχήμα 5.2. Υδρογεωλογικές Ενότητες

♂ Πηγές

■ Τοπωνύμια

υδροκρίτης ευρύτερης περιοχής

Υδρολογική λεκάνη Κερίτη

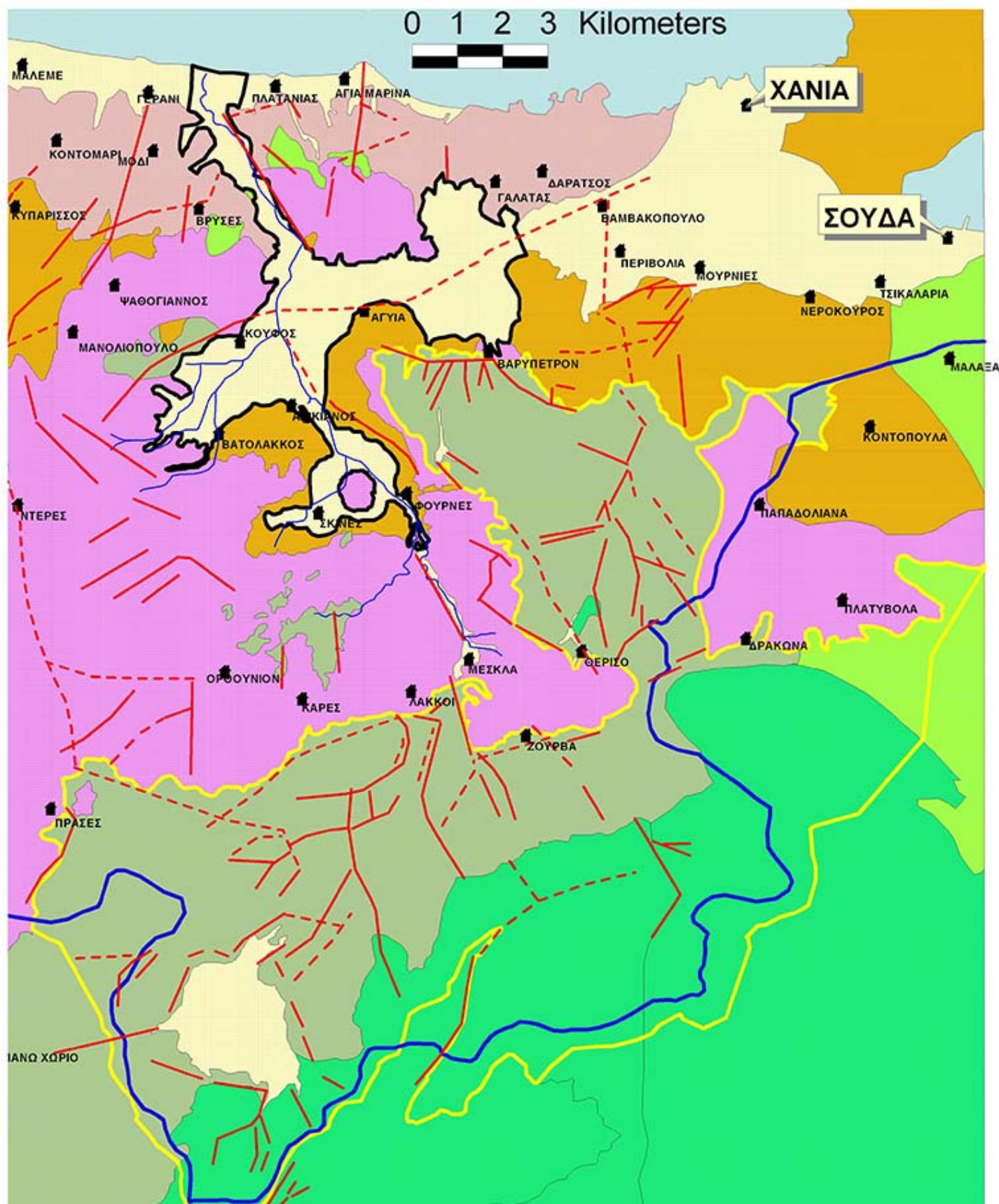
Ισούψεις

Ποταμός

ΚΑΡΣΤΙΚΗ

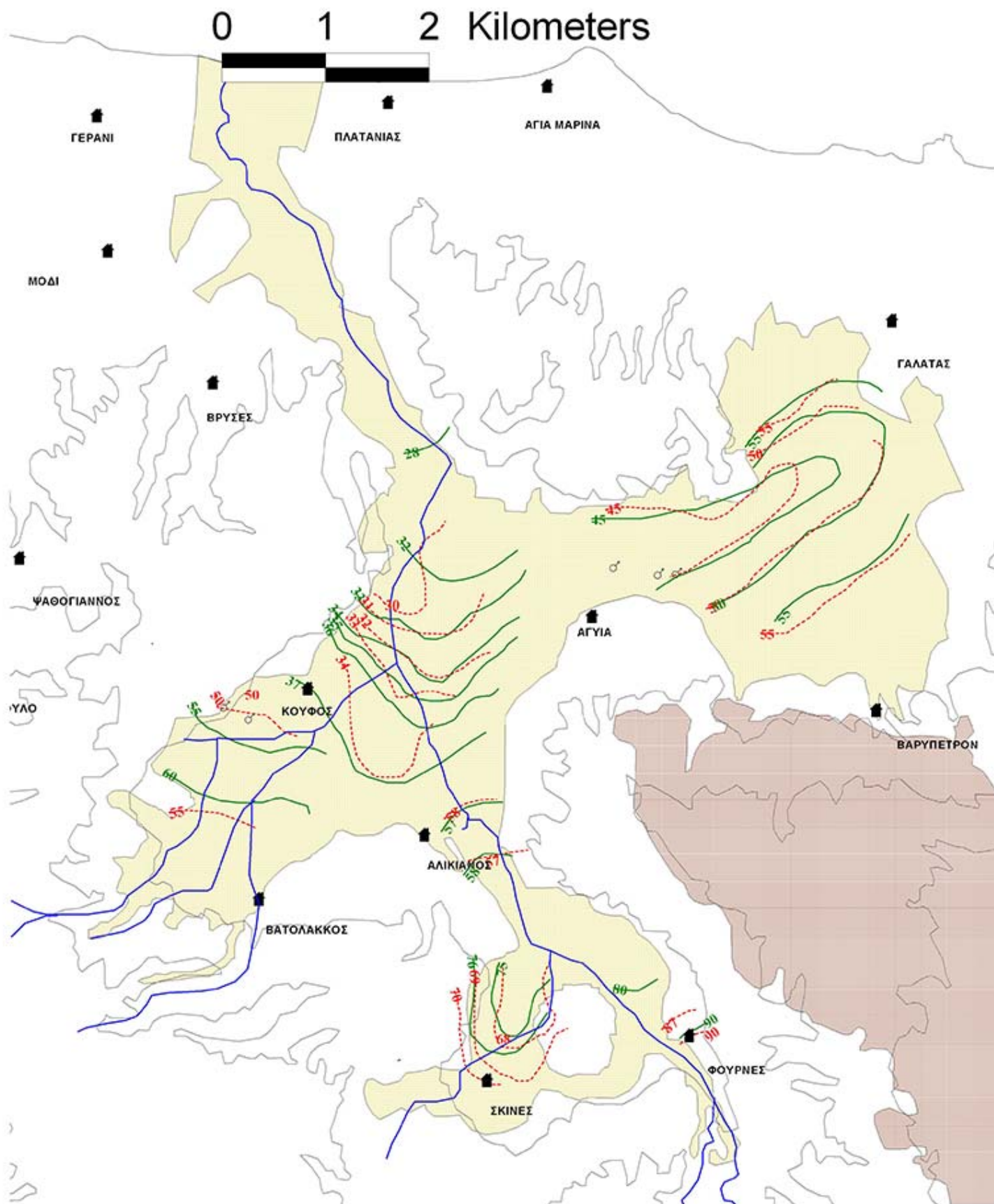
ΠΡΟΣΧΩΜΑΤΙΚΗ





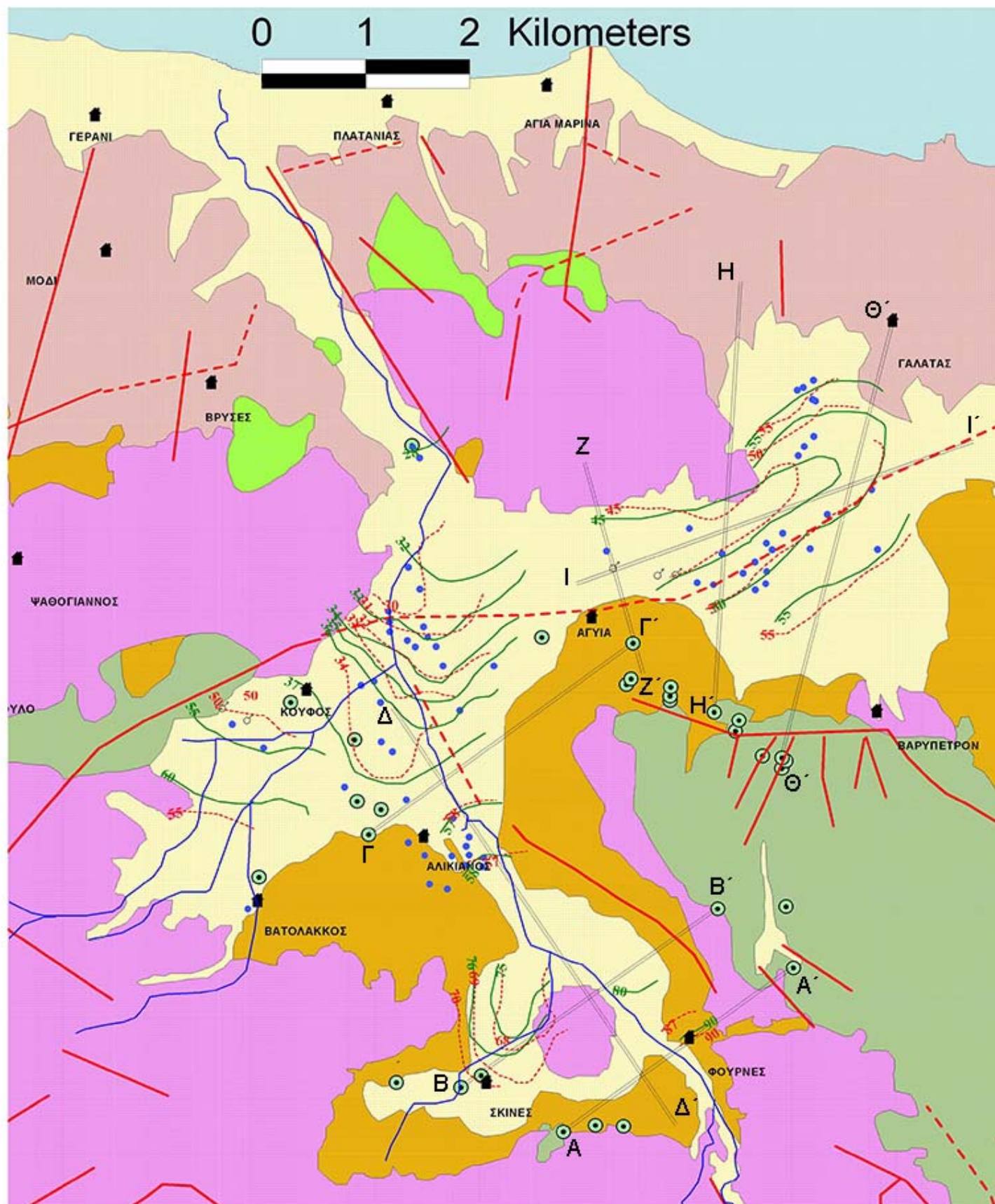
Σχήμα 5.3. Οριοθέτηση Καρστικής Υδροφορίας





Σχήμα 5.5. Πιεζομετρία (1998-99 - 1999-00) Προσχωματικού Υδροφορέα Κερίτη





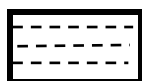
Θέσεις Γεωλογικών Τομών

- Ποταμός
- Τοπωνύμια
- Ρήγματα Ορατά
- Ρήγματα Μη Ορατά
- Ισοπεζομετρικές Καμπύλες Οκτωβρίου (1998-99 - 1999-00)
- Ισοπεζομετρικές Καμπύλες Απριλίου
- Πηγές
- Φρεάτια
- Τομές
- Γεωτρήσεις

- ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΣ-ΑΛΛΟΥΒΙΑ
- ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΣ-ΔΙΛΛΟΥΒΙΑ
- ΝΕΟΓΕΝΕΣ
- ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ-ΤΡΙΠΟΛΗΣ
- ΦΥΛΛΙΤΕΣ-ΧΑΛΑΖΙΤΕΣ
- ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ-ΤΡΥΠΑΛΙΟΥ
- ΠΛΑΚΩΔΕΙΣ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ



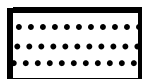
ΥΠΟΜΝΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΤΟΜΩΝ



Αλλούβια



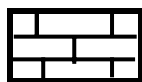
Διλλούβια



Νεογενή



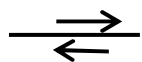
Φυλλίτες-Χαλαζίτες



Ασβεστόλιθοι Τρυπαλίου



Υδροφόρος Ορίζοντας Απριλίου



Ρήγμα



Τεκτονική Επαφή (Επώθηση)

