



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΠΑΡΑΚΤΙΑΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΑΝΑΛΥΣΗ ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ **ΤΟΥ ΚΕΡΙΤΗ ΜΕ ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΜΕΛΕΤΗ** **ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΩΝ ΚΑΙ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΑΠΟΡΡΟΩΝ**

ΣΩΤΗΡΙΟΣ Κ. ΤΣΙΤΣΙΑΩΝΗΣ

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

ΤΣΑΝΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ, Καθηγητής (Επιβλέπων)

ΚΑΡΑΤΖΑΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ, Καθηγητής

ΧΡΙΣΤΟΠΟΥΛΟΣ ΔΙΟΝΥΣΙΟΣ, Αν. Καθηγητής

Χανιά, Σεπτέμβριος 2006

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Κατ' αρχάς, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέπων καθηγητή κ. Τσάνη Ιωάννη για την ανάθεση της εργασίας, αλλά και την πολύτιμη καθοδήγησή του κατά τη διάρκεια αυτής.

Έπειτα, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλα τα μέλη του Εργαστηρίου Διαχείρισης Υδατικών Πόρων και Παράκτιας Μηχανικής του Πολυτεχνείου Κρήτης και πιο συγκεκριμένα τους: Αριστείδη Κουτρούλη, Ειρήνη Κουτσογιαννάκη, Κώστα Σειραδάκη, Κυριακή Χατζηευαγγέλου και Αθανασάκη Μανώλη για τη συνεχή συνεργασία τους και τη βοήθειά τους σε επιστημονικό αλλά και προσωπικό επίπεδο.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες στους: Δαλιακόπουλο Ιωάννη και Γρυλλάκη Μανώλη για τη πολύτιμη βοήθειά τους κατά τη λήψη των μετρήσεων πεδίου, αλλά και τη γενικότερη συμβολή τους στην εκπόνηση της διατριβής.

Εν συνεχεία, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κ. Βοζινάκη Κωνσταντίνο, γεωλόγο της Υ.Ε.Β Χανίων, του οποίου η πολύχρονη εμπειρία και οι παρατηρήσεις διετέλεσαν καταλυτικό ρόλο.

Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένειά μου που με στηρίζουν όλα αυτά τα χρόνια και είναι πάντα δίπλα μου...

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα μελέτη, γίνεται μια προσπάθεια προσδιορισμού του υδατικού ισοζυγίου της λεκάνης του ποταμού Κερίτη, κάνοντας χρήση μετρήσεων πεδίου.

Στο *πρώτο* κεφάλαιο, γίνεται μια γενική εισαγωγή στη σημασία των υδατικών πόρων και της διαχείρισής τους και δίνονται οι βασικοί ορισμοί γύρω από αυτά.

Στο *δεύτερο* κεφάλαιο, δίνονται οι βασικοί ορισμοί σε θέματα σχετικά με την υδρολογία και υδρογεωλογία και περιγράφονται περιληπτικά κάποιες μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν σε διάφορα σημεία της διπλωματικής διατριβής.

Το *τρίτο* κεφάλαιο, αφορά την περιγραφή των βασικών γεωγραφικών, μορφολογικών, γεωλογικών και υδρολογικών χαρακτηριστικών της υδρολογικής λεκάνης του ποταμού Κερίτη.

Στο *τέταρτο* κεφάλαιο, περιγράφεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για τη λήψη και την επεξεργασία των μετρήσεων πεδίου, τον υπολογισμό της αυξομείωσης της στάθμης του υπόγειου προσχωματικού υδροφορέα ανάμεσα σε Απρίλιο και Οκτώβριο ενός έτους, καθώς και τον προσδιορισμό του υδατικού ισοζυγίου του Κερίτη ποταμού.

Στο *πέμπτο* κεφάλαιο, συνοψίζονται τα αποτελέσματα από την επεξεργασία των μετρήσεων πεδίου, την αυξομείωση της στάθμης του προσχωματικού υδροφορέα και τον προσδιορισμό του υδατικού ισοζυγίου της λεκάνης του ποταμού Κερίτη.

Τέλος, το *έκτο* κεφάλαιο περιέχει τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την παραπάνω μελέτη, καθώς και προτάσεις για την όσο το δυνατόν ορθολογικότερη διαχείριση και κατανομή των υδάτινων πόρων της λεκάνης του Κερίτη.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	8
1.1. Σκοπός της εργασίας	8
1.2. Σημασία και Διαχείριση Υδατικών Πόρων	8
2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ	12
2.1. Υδρολογία	12
2.1.1. Βασικοί Ορισμοί	12
2.1.2. Υδρολογικός Κύκλος	13
2.1.3. Υδρολογικό Ισοζύγιο	15
2.1.4. Ατμοσφαιρικά Κατακρημνίσματα	16
2.1.5. Κατείσδυση	17
2.1.6. Απορροή	18
2.1.7. Εξατμισοδιαπνοή	19
2.1.8. Λεκάνη Απορροής	21
2.2. Υδρογεωλογία	24
2.2.1. Βασικοί Ορισμοί	24
2.2.2. Υδροφόροι Ορίζοντες	25
2.2.3. Πηγές	27
2.3. Μέθοδος πολυγώνων Thiessen	28
2.4. Μέθοδοι Παρεμβολής	29
3. Η ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗ ΛΕΚΑΝΗ ΤΟΥ π. ΚΕΡΙΤΗ	32
3.1. Γεωγραφική Θέση	32
3.2. Μορφολογία περιοχής	32
3.3. Γεωλογία	36
3.3.1. Γεωλογία Κρήτης	36
3.3.2. Γεωλογία Ν. Χανίων	37
3.3.3. Γεωλογία Κερίτη	39
3.4. Υδρολογικά χαρακτηριστικά	40
3.4.1. Κύρια Υδρολογικά Χαρακτηριστικά	40
3.4.2. Κατάταξη Υδρολιθολογικών Σχηματισμών	44

4. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ & ΕΦΑΡΜΟΓΗ	48
4.1. Μετρήσεις Πεδίου	48
4.1.1. Περιγραφή οργάνων	48
4.1.2. Περιγραφή των σημείων μέτρησης	51
4.1.3. Μέτρηση της ταχύτητας ροής	58
4.1.4. Υπολογισμός Διατομών	61
4.1.5. Δεδομένα Διατομών	63
4.2. Όγκος Προσχωματικού Υδροφορέα	64
4.2.1. Γενικά	64
4.2.2. Περιγραφή και εκτέλεση διαδικασίας	65
4.3. Προσδιορισμός Υδατικού Ισοζυγίου	71
4.4. Ανάλυση Αβεβαιότητας	76
5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	78
5.1. Αποτελέσματα Μετρήσεων Πεδίου	78
5.2. Αποτελέσματα Όγκου Υδροφορέα	80
5.3. Αποτελέσματα Υδατικού Ισοζυγίου	83
6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	85
6.1. Συμπεράσματα	85
6.1.1. Για τις μετρήσεις πεδίου	85
6.1.2. Για τον προσχωματικό υδροφορέα	85
6.1.3. Για το υδατικό ισοζύγιο της κύριας λεκάνης	86
6.2. Προτάσεις	86
7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	88
8. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	90
8.1. Σχήματα Διατομών σε AutoCAD 2004	90

Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 2-1: Ενδεικτικές τιμές ενεργού πορώδους για διάφορα είδη εδάφους	18
<hr/>	
Πίνακας 4-1: Συγκριτικός πίνακας μέσης μηνιαίας στάθμης διατομών	64
Πίνακας 4-2: Στάθμες Γεωτρήσεων Προσχωματικού	67
Πίνακας 4-3: Διαφορές Στάθμης Γεωτρήσεων	68
Πίνακας 4-4: RMSE για τις μεθόδους IDW και Kriging	69
Πίνακας 4-5: Υπολογισμός Βροχόπτωσης με τη μέθοδο Thiessen	74
Πίνακας 5-1: Βροχόπτωση στη λεκάνη του Κερίτη από 15/4/2005 – 15/4/2006	78
<hr/>	
Πίνακας 5-2: Συγκριτικός πίνακας μέσης μηνιαίας παροχής διατομών	79
Πίνακας 5-3: Ετήσιες Απορροές Διατομών	79
Πίνακας 5-4: Αποτελέσματα της μεθόδου IDW	80
Πίνακας 5-5: Όγκος νερού προσχωματικού για διάφορες τιμές ενεργού πορώδους	80
Πίνακας 5-6: Υδατικό ισοζύγιο κύριας λεκάνης ποταμού Κερίτη	83
Πίνακας 5-7: Συντελεστές διεργασιών και κατανομή νερού στην κύρια λεκάνη	83
<hr/>	

Ευρετήριο Εικόνων

Εικόνα 2-1: Ο υδρολογικός κύκλος	14
Εικόνα 2-2: Σχέση μεταξύ βροχόπτωσης και απορροής	19
Εικόνα 3-1: Υδρολογική λεκάνη π. Κερίτη	34
Εικόνα 3-2: Μορφολογικός χάρτης λεκάνης Κερίτη	35
Εικόνα 3-3: Υδρογεωλογικές ενότητες λεκάνης Κερίτη	47
Εικόνα 4-1: Σταθμηγράφος με αισθητήρα πίεσης: α) Καταγραφέας και β) Αισθητήρας	49
Εικόνα 4-2: Βροχογράφος ανατρεπόμενου κάδου	49
Εικόνα 4-3: Μυλίσκος: α) περιστρεφόμενη έλικα, β) οθόνη ανάγνωσης και γ) συνολική άποψη	50
Εικόνα 4-4: Ψηφιακή Βιντεοκάμερα JVC GY-DV300	50
Εικόνα 4-5: Βαθμονομημένη σανίδα	51
Εικόνα 4-6: Ξύλινοι κύβοι	51
Εικόνα 4-7: Θέσεις σταθμηγράφων και βροχογράφων	52
Εικόνα 4-8: Η διατομή των Μεσκλών	53
Εικόνα 4-9: Ένωση Κερίτη και Αγυιάς	54
Εικόνα 4-10: Η διατομή του Κυρτωμάδου	55
Εικόνα 4-11: Η διατομή του Πατελαρίου	56
Εικόνα 4-12: Προσεγγιστικό σχέδιο διατομής Δρακιανών	57
Εικόνα 4-13: Η διατομή των Δρακιανών	57
Εικόνα 4-14: α) Κατά πλάτος και β) Κατά μήκος κατανομή ταχυτήτων σε διατομή φυσικού υδατορεύματος (Τσακίρης, 1995)	58
Εικόνα 4-15: Μέτρηση ταχύτητας ροής με το μυλίσκο	60
Εικόνα 4-16: Μέτρηση ταχύτητας ροής με την ψηφιακή βιντεοκάμερα	61
Εικόνα 4-17: Συγκριτικό διάγραμμα μέσης μηνιαίας στάθμης διατομών	64
Εικόνα 4-18: Απεικόνιση έκτασης προσχωματικού και υδρογεωτρήσεων	70
Εικόνα 4-19: Χωρισμός σε υπολεκάνες και πολύγωνα Thiessen	72
Εικόνα 5-1: Συγκριτικό διάγραμμα μέσης μηνιαίας παροχής διατομών	79

Εικόνα 5-2: Συσχέτιση όγκου νερού με το ενεργό πορώδες του προσχωματικού	81
Εικόνα 5-3: Τρισδιάστατη απεικόνιση της διαφοράς στάθμης Απριλίου '99 και Οκτωβρίου '98	82
Εικόνα 5-4: Τρισδιάστατη απεικόνιση διαφοράς στάθμης Απριλίου '00 και Οκτωβρίου '99	82
Εικόνα 5-5: Υδατικό ισοζύγιο κύριας λεκάνης π. Κερίτη για το διάστημα 15/4/2005 – 15/4/2006	84

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. Σκοπός της εργασίας

Αντικείμενο της παρούσας μελέτης, αποτέλεσε η ευρύτερη περιοχή της υδρολογικής λεκάνης του ποταμού Κερίτη (Ν. Χανίων) και το σύνθετο υδρογεωλογικό σύστημα από το οποίο αυτή αποτελείται.

Οι βασικοί στόχοι της εργασίας ήταν:

- Μετρήσεις βροχόπτωσης, στάθμης ροής και ταχύτητας ροής για την εκτίμηση της απορροής στη λεκάνη του ποταμού Κερίτη.
- Προσομοίωση της στάθμης του προσχωματικού υδροφορέα και υπολογισμός της φόρτισής του.
- Προσδιορισμός του υδατικού ισοζυγίου της λεκάνης του ποταμού Κερίτη, με τη χρήση των μετρήσεων πεδίου.

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την παρακάτω μελέτη μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αξιοποίηση του υδάτινου δυναμικού και την ορθολογική διαχείρισή του στην ευρύτερη περιοχή των Χανίων.

1.2. Σημασία και Διαχείριση Υδατικών Πόρων

Αν και στη γη υπάρχουν τεράστιες ποσότητες νερού, εν τούτοις το μεγαλύτερο ποσοστό του δεν είναι δυνατόν ή είναι δύσκολο να χρησιμοποιηθεί για την κάλυψη των άμεσων και έμμεσων αναγκών των έμβιων όντων της γης.

Επομένως, η διαχείριση των υδατικών πόρων αποτελεί διεθνές ζήτημα κυρίως γιατί ένα μεγάλο μέρος του παγκόσμιου πληθυσμού δεν έχει πρόσβαση σε ασφαλές πόσιμο νερό και επαρκή υγιεινή.

Υδατικοί πόροι, στους οποίους δεν περιλαμβάνεται το θαλάσσιο νερό, **είναι**:

α) επιφανειακά και υπόγεια νερά χωρίς διάκριση στην ποιότητα, την προέλευση ή τη δυνατή χρήση.

β) νερά φυσικών πηγών, χερσαίων και υποθαλάσσιων.

γ) θερμομεταλλικά νερά, όπως ιαματικά, μεταλλικά ή αεριούχα και ολιγομεταλλικά.

Οι επιπτώσεις της ανθρώπινης παρέμβασης στην αξιοποίηση των υδατικών πόρων γίνονται με το πέρασμα των χρόνων όλο και πιο εμφανείς. Η συνεχής επέκταση των αρδεύσεων παράλληλα με την αλόγιστη χρήση των φυτοπροστατευτικών προϊόντων (φυτοφάρμακα - λιπάσματα), οι ανάγκες για χρήση νερού στη βιομηχανία και η επακόλουθη μόλυνση των υδάτων αυτών, ο ταχύς ρυθμός ανάπτυξης του τουρισμού και η ραγδαία αύξηση των αστικών κέντρων, ήταν οι κύριοι παράγοντες οι οποίοι οδήγησαν στη δημιουργία σοβαρών προβλημάτων στη διαχείριση του νερού και υποβάθμισης της ποιότητάς του.

Με τον όρο **Διαχείριση Υδατικών Πόρων (ΔΥΠ)** εννοούμε τη συστηματική χωροχρονική παρακολούθηση και πρόβλεψη δύο βασικών πολυδιάστατων παραμέτρων, της διαθεσιμότητας των υδατικών πόρων και των αναγκών σε νερό καθώς και τη λήψη των αναγκαίων μέτρων ή/και αποφάσεων με στόχο την κάλυψη των αναγκών σε νερό και την προστασία των υδατικών πόρων και του περιβάλλοντος κατά τον ευνοϊκότερο τρόπο, τώρα αλλά και στο μέλλον.

Συνοπτικά, η διαχείριση των υδατικών πόρων πρέπει να έχει ως στόχους:

- την προμήθεια νερού επαρκούς ποσότητας και κατάλληλης ποιότητας για την, κατά το δυνατόν, ικανοποίηση των οικιακών, αγροτικών, βιομηχανικών, ενεργειακών και άλλων αναγκών,
- την προστασία των πάσης φύσεως υδατικών πόρων από τη ρύπανση και
- την παροχή ικανοποιητικής προστασίας από τα ακραία υδρολογικά φαινόμενα (πλημμύρες - ξηρασίες).

Το ζητούμενο σήμερα, είναι ο σχεδιασμός και η εφαρμογή μιας υδατικής πολιτικής με κεντρικό στόχο τη διευθέτηση των ισοζυγίων προσφοράς και ζήτησης του νερού στις βασικές μονάδες διαχείρισης των υδάτων, δηλαδή τις υδρολογικές λεκάνες και τα υδατικά διαμερίσματα της χώρας (**υδατικά διαμερίσματα**, είναι περιοχές οριοθετημένες μεταξύ τους από υδροκρίτες ή νησιωτικές περιοχές, που περιλαμβάνουν ολοκληρωμένα υδρογραφικά δίκτυα, με υδρολογικές συνθήκες κατά το δυνατόν όμοιες). Η πολιτική αυτή θα πρέπει να είναι **βιώσιμη**, θα πρέπει δηλαδή να διασφαλίζει διαχρονικά τόσο την ανάπτυξη (με την ικανοποίηση των αναγκών σε

νερό), όσο και την περιβαλλοντική προστασία (με τη διατήρηση της υγείας και της ακεραιότητας των υδατικών συστημάτων).

Σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία, η βιώσιμη πολιτική για το νερό χαρακτηρίζεται από τις εξής βασικές αρχές:

- **Ολοκληρωμένη διαχείριση των υδατικών πόρων.**

Προϋποθέτει την ενιαία αντιμετώπιση τόσο των ποσοτικών και ποιοτικών παραμέτρων του νερού, όσο και των επιφανειακών και υπόγειων υδατικών συστημάτων. Επιπλέον, προϋποθέτει την ένταξη σε ενιαία προοπτική των δύο διαστάσεων της διαχείρισης των υδατικών πόρων: της προσφοράς και της ζήτησης του νερού.

- **Διαχείριση της ζήτησης του νερού.**

Η βιώσιμη διευθέτηση του ισοζυγίου προσφοράς και ζήτησης επιτυγχάνεται με την προσαρμογή της ζήτησης του νερού στα όρια και τις δυνατότητες της φυσικής προσφοράς του. Η διαχείριση της ζήτησης πρέπει να είναι μία πολιτική ήπια και φιλική προς το περιβάλλον. Προβλέπει την αξιοποίηση οικονομικών κινήτρων και εργαλείων (τιμολόγηση, φορολόγηση, πολιτική ποινών, απαλλαγών και επιδοτήσεων) στο πνεύμα της αρχής "Ο ρυπαίνων και ο χρήστης πληρώνουν", με στόχο τον έλεγχο των χρήσεων και την εξοικονόμηση του νερού.

- **Αποκεντρωμένη και συμμετοχική διαχείριση του νερού.**

Προϋποθέτει τη διαχείριση του νερού στο κατώτατο δυνατό διοικητικό επίπεδο και εντός των φυσικών ορίων της υδρολογικής λεκάνης. Προϋποθέτει την ένταξη, την ενεργοποίηση και τη συμμετοχή στη λήψη των αποφάσεων όλων των φορέων της τοπικής κοινωνίας και των χρηστών του νερού.

Η διαχείριση του νερού στην Ελλάδα εμφανίζει κυρίως πρόβλημα ποσότητας παρά ποιότητας. Αν και η Ελλάδα συνολικά, διαθέτει επαρκείς επιφανειακούς και υπόγειους υδατικούς πόρους, διάφοροι λόγοι μειώνουν σημαντικά την πραγματικά διαθέσιμη ποσότητα και δυσκολεύουν την αξιοποίησή τους και έτσι συχνά υπάρχουν προβλήματα λειψυδρίας σε διάφορες περιοχές.

Οι κυριότεροι λόγοι που προκαλούν προβλήματα διαθεσιμότητας στην αξιοποίηση των υδατικών πόρων της χώρας είναι:

1. Η άνιση κατανομή των υδατικών πόρων στο χώρο (η δυτική Ελλάδα δέχεται πολύ μεγαλύτερα ύψη βροχών από την ανατολική).

2. Η ανομοιόμορφη κατανομή των υδατικών πόρων στο χρόνο (μεγάλη συγκέντρωση βροχοπτώσεων στη χειμερινή περίοδο).
3. Η άνιση κατανομή της ζήτησης στο χώρο και στο χρόνο, αναντίστοιχη με την κατανομή της προσφοράς.
4. Η γεωμορφολογία της χώρας (δημιουργία πολλών μικρών χειμάρρων, επιφανειακή απορροή μικρής διάρκειας και συχνά πλημμυρικά φαινόμενα)
5. Το μεγάλο ανάπτυγμα ακτών (15.021 km), που συντείνει, λόγω της εντατικής εκμετάλλευσης παράκτιων υδροφορέων, στην υφαλμύρωσή τους.
6. Τα πολλά άνυδρα ή με ελάχιστους υδατικούς πόρους νησιά της χώρας.

Βασικός στόχος όλων μας, πρέπει να αποτελεί η εξοικονόμηση του νερού γενικότερα. Η επίτευξη του στόχου αυτού μπορεί να επιδιωχθεί με:

α) Την αύξηση του επιφανειακού δυναμικού με την περαιτέρω μείωση της απορροής.

β) Την αποθήκευση νερού σε υπόγειους ταμιευτήρες με την εφαρμογή τεχνητού εμπλουτισμού των υπόγειων υδροφόρων σχηματισμών.

γ) Την επαναχρησιμοποίηση του νερού που καταναλώνει η βιομηχανία αλλά και του νερού οικιακής χρήσης.

δ) Την ορθολογική εφαρμογή της άρδευσης.

ε) Την ποσοτική και ποιοτική αποκατάσταση των υδατικών πόρων που βρίσκονται σήμερα υπό εκμετάλλευση

2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

2.1. Υδρολογία

Υδρολογία σύμφωνα με ένα γενικό ορισμό, είναι η επιστήμη που ασχολείται με την παρουσία του νερού στη Γη, την κυκλοφορία του, τις φυσικές και χημικές ιδιότητές του και την αλληλεπίδρασή του με το περιβάλλον.

Το επίπεδο μελέτης της υδρολογίας περιλαμβάνει την ατμόσφαιρα μέχρι ύψους 15 περίπου km, την επιφάνεια και το εσωτερικό της λιθόσφαιρας μέχρι βάθους περίπου 1 km και την υδρόσφαιρα (ωκεανούς).

Αντικείμενο της Υδρολογίας είναι η ανάλυση και εξαγωγή συμπερασμάτων και νόμων για τις διάφορες διαδικασίες του υδρολογικού κύκλου και ιδιαίτερα για τη χωροχρονική εξέλιξη των υδρολογικών φαινομένων.

Τα υδρολογικά χαρακτηριστικά μιας λεκάνης απορροής (και γενικότερα μιας περιοχής) είναι αυτά που καθορίζουν τον υδατικό πλούτο αυτής. Πρόκειται για τα στοιχεία του υδρολογικού κύκλου (κατακρημνίσματα, εξατμισοδιαπνοή, απορροή, κατείσδυση) και την "κατανομή" τους στην έκταση της λεκάνης.

2.1.1. Βασικοί Ορισμοί

Παρακάτω, δίνονται οι ορισμοί βασικών υδρολογικών εννοιών που θα χρησιμοποιηθούν σε επόμενα σημεία της εργασίας:

- **Υδρολογία:** Είναι η επιστήμη που ασχολείται με όλο τον κλειστό κύκλο της κυκλοφορίας των υδάτων στον Πλανήτη μας, τις φυσικές και χημικές ιδιότητές του και τις αλληλεπιδράσεις τους με το φυσικό, βιολογικό και ανθρωπογενές περιβάλλον.
- **Υδρολογικός κύκλος:** Είναι η σχηματική περιγραφή μιας σειράς διαδικασιών με τις οποίες το νερό κυκλοφορεί στη φύση μεταξύ ατμόσφαιρας, ξηράς και θάλασσας.
- **Υδατικό ισοζύγιο:** είναι η απεικόνιση της δυναμικής ισορροπίας μεταξύ των εισροών και των εκροών νερού μιας ενιαίας υδατικής περιοχής στην ίδια χρονική περίοδο αφού ληφθεί υπόψη η εσωτερική διακύμανση των υδατικών αποθεμάτων.

- **Λεκάνη Απορροής:** Είναι η προβολή στο οριζόντιο επίπεδο της επιφάνειας μέσα στην οποία συγκεντρώνεται το νερό που περνά από τη διατομή ελέγχου.
- **Διατομή Ελέγχου:** Είναι το σημείο από όπου περνάει όλη η παροχή της λεκάνης απορροής μέσω του κύριου υδατορεύματος, το "στόμιο" της λεκάνης.
- **Υδροκρίτης:** Είναι ο γεωμετρικός τόπος των σημείων που έχουν το υψηλότερο υψόμετρο και καθορίζουν το όριο της λεκάνης απορροής. Πέρα από αυτή τη νοητή γραμμή, τα επιφανειακά νερά κατευθύνονται προς διαφορετικές λεκάνες απορροής.
- **Χρόνος Συγκέντρωσης:** Είναι ο χρόνος που χρειάζεται η πιο απομακρυσμένη σταγόνα της λεκάνης απορροής για να φτάσει στη διατομή ελέγχου.

2.1.2. Υδρολογικός Κύκλος

Ο υδρολογικός κύκλος αποτελεί την σχηματική περιγραφή μιας σειράς διαδικασιών με τις οποίες το νερό κυκλοφορεί στη φύση μεταξύ ατμόσφαιρας, ξηράς και θάλασσας. Σ' αυτήν την αλυσίδα των εμφανίσεων, το νερό παρουσιάζεται με όλες τις πιθανές του καταστάσεις: υγρό, αέριο (υδρατμός) και στερεό (χαλάζι, χιόνι).

Αξίζει να σημειωθεί ότι, μέσα στον υδρολογικό κύκλο μπορεί να συμβεί:

- α. Μεταφορά νερού
- β. Προσωρινή αποθήκευση
- γ. Μεταβολή της κατάστασης του νερού

Δεν υπάρχει κάποια συγκεκριμένη αρχή ή τέλος όσο αφορά στη σειρά των εμφανίσεων του νερού στη φύση. Η γενική διαδικασία που ακολουθείται περιγράφεται συνοπτικά παρακάτω:

Οι υδρατμοί μεταφέρονται από αέριες μάζες και μπορεί κάτω από κατάλληλες συνθήκες να συμπυκνωθούν σε σύννεφα και στη συνέχεια με μορφή ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων να επανεμφανιστούν στην επιφάνεια της Γης.

Το νερό λοιπόν φθάνοντας στην επιφάνεια της Γης σαν «κατακρημνίσματα» (Ρ), έχει να ακολουθήσει τρεις δρόμους:

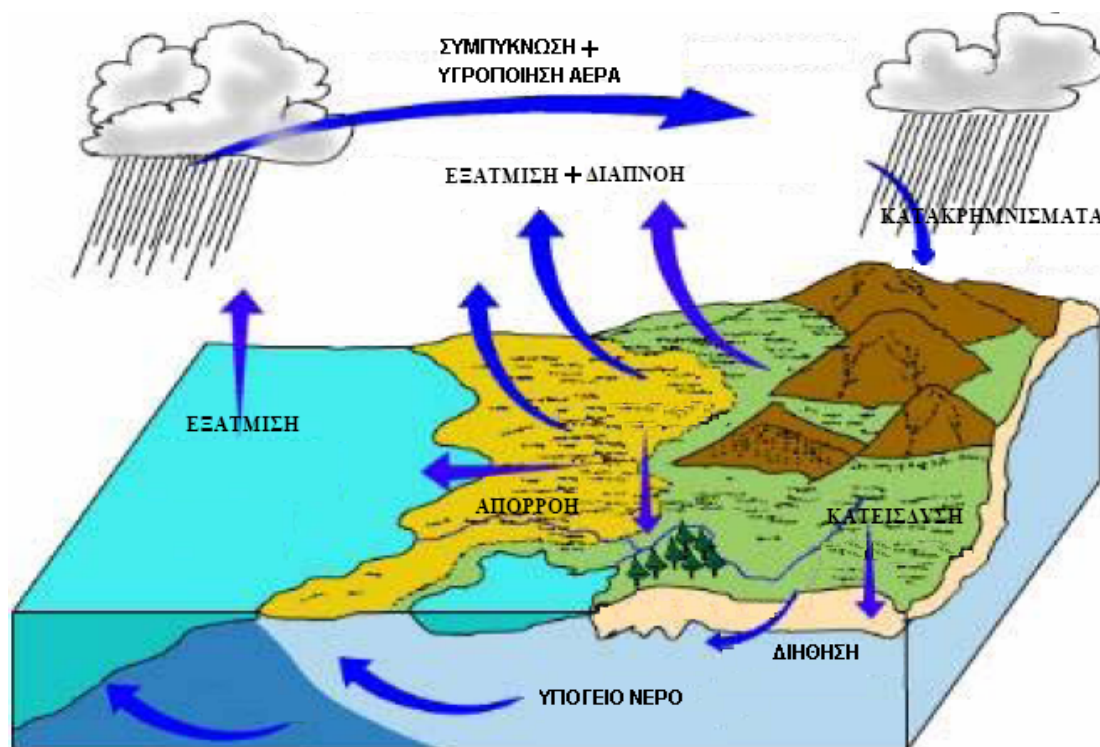
1. Να διεισδύσει στο έδαφος και να κατέλθει στους υπόγειους υδροφόρους ορίζοντες, προστιθέμενο στο υπόγειο νερό. Η ποσότητα αυτή συνιστά την κατείσδυση. Μπορεί, αφού κινηθεί υπόγεια, να επανέλθει στην επιφάνεια ύστερα από κάποιο χρόνο παραμονής στο υπέδαφος, και με το υδρογραφικό

σύστημα να οδηγηθεί στη θάλασσα, από όπου επανεξατμίζεται για να επαναλάβει τον κύκλο.

2. Να ρεύσει επιφανειακά και μέσω του υδρογραφικού δικτύου (ποτάμια), να εκχυθεί τελικά στη θάλασσα (ή σπάνια σε λίμνη). Αυτή λοιπόν η ποσότητα συνιστά την επιφανειακή απορροή (R), που φυσικά και αυτή μπορεί τελικά να επανεξατμισθεί και να επανέλθει στην ατμόσφαιρα, από όπου θα επαναλάβει τον κύκλο.
3. 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.

Τέλος, το νερό της θάλασσας με την εξάτμιση επανέρχεται στην ατμόσφαιρα και με τον τρόπο αυτό κλείνει ο υδρολογικός κύκλος.

Στην Εικόνα 2-1, φαίνεται σχηματικά ο κύκλος του νερού στη φύση:



Εικόνα 2-1: Ο υδρολογικός κύκλος

2.1.3. Υδρολογικό Ισοζύγιο

Υδρολογικό (ή Υδατικό) ισοζύγιο είναι η απεικόνιση της δυναμικής ισορροπίας μεταξύ των εισροών και των εκροών νερού μιας ενιαίας υδατικής περιοχής στην ίδια χρονική περίοδο αφού ληφθεί υπόψη η εσωτερική διακύμανση των υδατικών αποθεμάτων.

Το υδρολογικό ισοζύγιο εκφράζει τη διατήρηση της μάζας του νερού σε μια συγκεκριμένη περιοχή και για μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Γενικά, σε ένα όγκο ελέγχου, μπορεί να εκφραστεί υπό μορφή εξίσωσης ως:

$$\boxed{\text{ΕΙΣΡΟΕΣ} - \text{ΕΚΡΟΕΣ} = \text{ΑΛΛΑΓΗ ΑΠΟΘΕΜΑΤΟΣ}}, \text{ όπου:}$$

-Στις εισροές συνεπάγονται:

- Οι ατμοσφαιρικές κατακρημνίσεις, που συμβολίζονται με **P**
- Οι επιφανειακές εισροές, που συμβολίζονται με **R₁**
- Οι υπόγειες εισροές, που συμβολίζονται με **G₁**
- Οι εισαγωγές, που συμβολίζονται με **E_s**

-Στις εκροές συνεπάγονται:

- Η εξάτμιση, που συμβολίζεται με **E**
- Η διαπνοή, που συμβολίζεται με **T**
- Οι επιφανειακές εκροές, που συμβολίζονται με **R₂**
- Οι υπόγειες εκροές, που συμβολίζονται με **G₂**
- Οι εξαγωγές, που συμβολίζονται με **E_ξ**

-Στο απόθεμα συνεπάγονται:

- Το επιφανειακό απόθεμα, που συμβολίζεται με **S_s**
- Το υπόγειο απόθεμα, που συμβολίζεται με **S_g**

Άρα, συνολικά η γενική εξίσωση που δόθηκε παραπάνω, γίνεται:

$$\boxed{P - (R_2 - R_1) - (G_2 - G_1) - (E + T) + E_s - E_{\xi} = \Delta(S_s + S_g)} \quad (2.1), \text{ όπου:}$$

P: αποτελεί τη βροχόπτωση

(R₂ - R₁): αποτελεί την επιφανειακή απορροή

(G₂ - G₁): αποτελεί την υπόγεια απορροή

(E + T): αποτελεί την εξατμισοδιαπνοή, η οποία συμβολίζεται ως **ET**

(S_s + S_g): αποτελεί το απόθεμα

Ανάλογα με την χρονική περίοδο και την περιοχή για την οποία εφαρμόζεται η εξίσωση (2.1), μπορούν να γίνουν διάφορες παραδοχές οι οποίες απλοποιούν τη μορφή και την πολυπλοκότητά της.

Παραδείγματος χάριν, εάν εφαρμοστεί σε μια λεκάνη απορροής για την περίοδο ενός έτους (και ανάλογα την περίπτωση), τότε μπορούν να γίνουν οι παρακάτω παραδοχές:

- α) Η αλλαγή αποθέματος ΔS θα είναι ίση με μηδέν, ($\Delta S = 0$)
- β) Εξ' ορισμού, για λεκάνη απορροής, η επιφανειακή εισροή είναι αμελητέα, ($R_1 = 0$)
- γ) Αν η λεκάνη έχει μεγάλη έκταση η υπόγεια απορροή είναι αμελητέα, ($G_2 - G_1 = 0$)
- δ) Αν τα όρια της επιφανειακής και της υπόγειας λεκάνης ταυτίζονται, τότε η υπόγεια εισροή είναι αμελητέα, ($G_1 = 0$)

Τα στοιχεία της εξίσωσης 2.1, τα οποία λέγονται και φάσεις του υδρολογικού ισοζυγίου μπορούν να εκφρασθούν σε όγκο νερού (m^3), σε ύψος νερού-βροχής (mm) ή ακόμα και σε συντελεστές, δηλαδή σε ποσοστό (%) ως προς τα κατακρημνίσματα.

Οι τιμές που παίρνουν οι διάφοροι όροι της εξίσωσης του υδρολογικού ισοζυγίου 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.

Παρακάτω αναλύονται οι όροι της εξίσωσης του υδρολογικού ισοζυγίου:

2.1.4. Ατμοσφαιρικά Κατακρημνίσματα

Τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα (ή απλά κατακρημνίσματα) είναι η συνολική ποσότητα του νερού που φτάνει στην επιφάνεια της Γης σε διάφορες μορφές (βροχή, χιόνι, χαλάζι, κλπ.). Έχουν άμεση επιρροή στο υδρολογικό ισοζύγιο και κατέχουν τη σημαντικότερη θέση στην υδρολογία γενικότερα.

Η μέτρηση και η ανάλυση των βροχομετρικών παρατηρήσεων αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση για την υδρολογική μελέτη μιας περιοχής και το σχεδιασμό έργων αξιοποίησης των υδατικών πόρων αυτής.

Τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα μετρούνται με βάση το ύψος του «υδάτινου στρώματος» το οποίο σχηματίζεται σε οριζόντια επιφάνεια, εάν οι ατμοσφαιρικές κατακρημνίσεις παρέμεναν στη θέση πτώσεως χωρίς καμιά απώλεια.

Το ύψος (**P**) μετριέται σε mm βροχής, ενώ η ένταση (**i**) της κατακρήμνισης μετριέται σε mm/μονάδα χρόνου (συνήθως mm/hr). Ισχύει η σχέση: $i = P / t$, όπου: t: η διάρκεια της κατακρήμνισης.

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι και όργανα μέτρησης των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων. Διακρίνονται σε:

1. Απλή παρατήρηση (π.χ. βροχόμετρα)
2. Μηχανική αυτόματη καταγραφή (π.χ. βροχογράφοι)
3. Ηλεκτρονική καταχώρηση (αισθητήρες, data loggers, radar, δορυφόροι)
4. Σύγχρονη καταχώρηση και τηλεμετάδοση (αισθητήρες με τηλεμετάδοση σε κεντρικούς Η/Υ)

2.1.5. Κατείσδυση

Η κατείσδυση (ή αλλιώς βαθιά διείσδυση), αποτελεί μια πολύ σημαντική συνιστώσα του υδρολογικού ισοζυγίου. Συνήθως συμβολίζεται με **I** και μετριέται σε όγκο νερού (m^3) ή ως ποσοστό % των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων.

Η κατείσδυση εξαρτάται κυρίως από τα χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής (ανάγλυφο, διηθητική ικανότητα του εδάφους, φυτοκάλυψη κτλ). Γενικότερα ισχύει:

Μικρές κλίσεις και διαπερατά εδάφη → Μεγάλη κατείσδυση

Μεγάλες κλίσεις και αδιαπέρατα εδάφη → Μικρή κατείσδυση

Το μεγαλύτερο συντελεστή κατείσδυσης παρουσιάζουν τα ανθρακικά πετρώματα, τα οποία εντοπίζονται κυρίως στους ορεινούς όγκους.

Για την κατανόηση των εννοιών που θα χρησιμοποιηθούν για τη γενική περιγραφή του φαινομένου της κατείσδυσης, παρακάτω δίνονται οι ορισμοί του πορώδους και του ενεργού πορώδους.

- **Πορώδες:** Είναι ο λόγος των διάκενων προς το συνολικό όγκο του πορώδους μέσου.
- **Ενεργό πορώδες (ή ειδική απόδοση):** Είναι ο όγκος του νερού που αποστραγγίζεται με βαρύτητα από ένα κορεσμένο πορώδες μέσο, προς τον όγκο του μέσου.

Μερικές συνήθεις τιμές του ενεργού πορώδους για διάφορους κοκκώδεις σχηματισμούς παρατίθενται στον Πίνακα 2-1 (Χατζευαγγέλου, 2005).

Είδος Εδάφους	Τιμή Ενεργού Πορώδους
Χαλίκια	25 %
Άμμος, Αμμοχάλικα	20 %
Λεπτόκοκκη Άμμος	10 %
Αργιλοχάλικα (ή χαλίκια με συνεκτική ουσία)	5 %
Πρόσφατες αμμώδεις προσχώσεις	10-20 %
Αργίλοι, πηλοί (με λίγες προσμίξεις)	0-3 %

Πίνακας 2-1: Ενδεικτικές τιμές ενεργού πορώδους για διάφορα είδη εδάφους

2.1.6. Απορροή

Ως **απορροή**, χαρακτηρίζεται το μέρος της βροχόπτωσης που καταλήγει σε επιφανειακά ρεύματα, μόνιμα ή εφήμερα. Συνήθως συμβολίζεται με **R** και μετριέται σε όγκο νερού (m^3) ή ως ποσοστό % των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων. Η απορροή διαχωρίζεται σε **άμεση** και **βασική**.

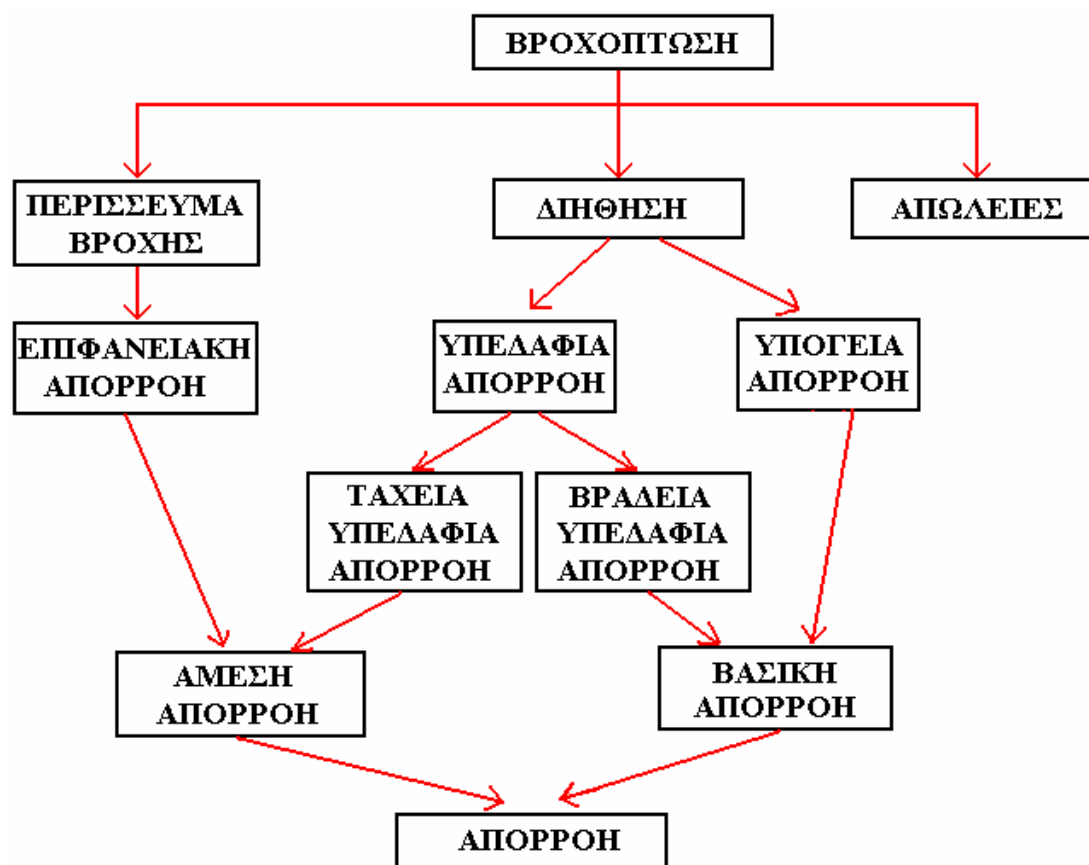
- **Άμεση Απορροή:** καλείται το μέρος της βροχόπτωσης που εισέρχεται στο υδατόρευμα αμέσως μετά τη βροχόπτωση. Αποτελείται από την επιφανειακή και μέρος της υπεδάφιας απορροής.
- **Βασική Απορροή:** είναι η ροή των υδατορευμάτων κατά τα μεταξύ βροχοπτώσεων χρονικά διαστήματα. Αποτελείται από την υπόγεια και μέρος της υπεδάφιας απορροής.

Παρακάτω, δίνονται οι ορισμοί των επιμέρους συνιστωσών της απορροής:

- **Επιφανειακή Απορροή:** είναι το μέρος της βροχόπτωσης που ρέει στο έδαφος και στη συνέχεια, μέσω υδατορεύματος καταλήγει στη διατομή ελέγχου.
- **Υπεδάφια Απορροή:** είναι το μέρος της βροχόπτωσης που διηθείται στο έδαφος και στη συνέχεια με πλευρική κίνηση βρίσκει διέξοδο προς το επιφανειακό υδατόρευμα.

- **Υπόγεια Απορροή:** είναι το μέρος της βροχόπτωσης που διηθείται στο έδαφος, συναντά τον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα και μέσω αυτού τελικά καταλήγει στο υδατόρευμα.

Στην Εικόνα 2-2, παρουσιάζεται πιο αναλυτικά η σχέση μεταξύ βροχόπτωσης και απορροής:



Εικόνα 2-2: Σχέση μεταξύ βροχόπτωσης και απορροής

2.1.7. Εξατμισοδιαπνοή

Εξάτμιση, είναι το φαινόμενο μέσω του οποίου ένα υλικό μεταπίπτει από την υγρή κατάσταση στην αέρια (Τσακίρης, 1995). Η εξάτμιση του νερού στην ατμόσφαιρα γίνεται από τις υδάτινες μάζες (ωκεανοί, λίμνες, ποτάμια), από το έδαφος και από τις υγρές καλλιέργειες.

Στις φυτοκαλυμμένες επιφάνειες, ένα σημαντικό ποσοστό του εξατμιζόμενου νερού περνά μέσα από το φυτό και εξέρχεται στην ατμόσφαιρα μέσω αυτού. Αυτό το φαινόμενο ονομάζεται **διαπνοή**.

Η εξάτμιση και η διαπνοή είναι δύο διεργασίες που συμβαίνουν ταυτόχρονα στη φύση και είναι δύσκολο να διαχωριστούν οι υδρατμοί που παράγονται από την κάθε μία. Έτσι, χρησιμοποιείται ο όρος **εξατμισοδιαπνοή (ET)** για να περιγράψει τη συνολική διεργασία μεταφοράς ύδατος στην ατμόσφαιρα από φυτοκαλυμμένες επιφάνειες (πραγματική εξατμισοδιαπνοή).

Μετριέται όπως και η βροχόπτωση, δηλαδή από το ύψος του ισοδύναμου εξατμιζόμενου στρώματος σε mm για ένα ορισμένο χρονικό διάστημα.

Υπάρχουν διάφορες «κατηγορίες» εξατμισοδιαπνοής και πολλά μοντέλα που προσπαθούν να τις υπολογίσουν με διάφορους τρόπους και παραδοχές. Οι πλέον γνωστές και χρησιμοποιούμενες είναι:

- **Δυνητική εξατμισοδιαπνοή (ET_p):** Είναι ο μέγιστος ρυθμός εξατμισοδιαπνοής από μια φυτοκαλυμμένη επιφάνεια, η οποία έχει επάρκεια νερού κάτω από ορισμένες μετεωρολογικές συνθήκες. Εξαρτάται από το έδαφος, την καλλιέργεια και τους κλιματικούς παράγοντες.
- **Εξατμισοδιαπνοή αναφοράς (ET_o):** Είναι ο ρυθμός εξατμισοδιαπνοής από μια υποθετική βλάστηση ύψους 12cm, αντίστασης φυτού 70sm^{-1} , και λευκαύγειας 0,23 που θα μπορούσε να ομοιάζει με την εξατμισοδιαπνοή από μια εκτεταμένη επιφάνεια που είναι καλυμμένη με πράσινο γρασίδι που έχει ομοιόμορφο ύψος, αυξάνεται ενεργά, σκεπάζει εξ' ολοκλήρου το έδαφος και έχει επάρκεια νερού. Το πλεονέκτημα της ET_o υπόκειται στο ότι είναι ανεξάρτητη από κάθε ιδιαίτερη μέθοδο υπολογισμού.
- **Πραγματική εξατμισοδιαπνοή (ET_r):** Η πραγματική εξατμισοδιαπνοή, ανάλογα με τις περιστάσεις, μπορεί είτε να ταυτίζεται με την ET_p ή την ET_o , είτε να διαφοροποιείται λόγω του ότι η πραγματική χρήση του νερού εξαρτάται από μετεωρολογικούς παράγοντες, από παράγοντες που σχετίζονται με το φυτό και το έδαφος και από τη διαθεσιμότητα του νερού. Επειδή στην ET_p έχουμε απεριόριστες ποσότητες νερού σε αντίθεση με την ET που έχουμε ορισμένη ποσότητα νερού, **είναι πάντα: $ET_p > ET_r$**

Υπάρχουν πολλές μέθοδοι μέτρησης (ή καλύτερα εκτίμησης) της ET. Κάποιες από αυτές βασίζονται σε έννοιες της υδρολογίας, κάποιες άλλες σε έννοιες της μικρομετεωρολογίας, ενώ άλλες είναι άμεσες και άλλες έμμεσες.

2.1.8. Λεκάνη Απορροής

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 υπόψη ποταμού, ο οποίος τα οδηγεί στη θάλασσα κατ' ευθείαν ή διαμέσου άλλου μεγαλύτερου ποταμού, του οποίου είναι παραπόταμος.

Η υδρολογική λεκάνη αποτελεί το φυσικό υποδοχέα των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων και δρα, με όλα τα μορφολογικά, εδαφολογικά και λοιπά φυσικά χαρακτηριστικά της, σαν ένα σύστημα μετασχηματισμού, ορισμένο στο χώρο της λεκάνης. Το σύστημα αυτό δέχεται ως *είσοδο* τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα και δίνει ως *έξοδο* την απορροή στο σημείο εξόδου.

Από τις διεργασίες που παρατηρούνται σε μια λεκάνη απορροής σπουδαιότερες είναι η δημιουργία της απορροής από τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα, η διάβρωση του εδάφους, οι γεωλισθήσεις, η στερεομεταφορά των υδατορευμάτων κλπ. Οι διεργασίες αυτές επηρεάζονται από τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής και από τα χαρακτηριστικά του υδρογραφικού δικτύου.

Η οριακή-περιφερειακή γραμμή μιας λεκάνης απορροής λέγεται υδροκριτική γραμμή (ή **υδροκρίτης**) 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.

Τα κυριότερα χαρακτηριστικά μιας λεκάνης απορροής είναι (Τσακίρης 1995):

- α) Το μέγεθός της
- β) Το σχήμα της
- γ) Το υψόμετρό της

δ) Το ανάγλυφό της και οι κλίσεις εδάφους

ε) Το υδρογραφικό της δίκτυο

- Μέγεθος

Το μέγεθος της λεκάνης απορροής έχει σημασία αφού επηρεάζει όλους τους παράγοντές της. Πιο συγκεκριμένα, επηρεάζει τόσο τη συνολική απορροή στην έξοδο της λεκάνης, όσο και το χρόνο συγκέντρωσης της απορροής και κατά συνέπεια το σχήμα του υδρογραφήματος. Επίσης, η κλίση της λεκάνης αυξάνει όσο μειώνεται το μέγεθος αυτής, ενώ η ειδική παροχή ($\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$) μειώνεται με την αύξηση του μεγέθους της λεκάνης. Για τους λόγους αυτούς, η σχέση μεγέθους λεκάνης και απορροής δεν έχει διευκρινιστεί πλήρως.

Το μέγεθος της λεκάνης μπορεί να κυμαίνεται από λίγα m^2 έως και μερικές χιλιάδες km^2 . Το μέγεθος της λεκάνης μεταβάλλεται. Εξαρτάται από το σημείο της κοίτης το οποίο ορίζεται ως στόμιο της λεκάνης και μειώνεται όσο προχωράμε προς τις εκβολές του ρεύματος προς τις πηγές του.

Για την εκτίμηση του μεγέθους μιας λεκάνης απορροής, απαραίτητη προϋπόθεση είναι ο καθορισμός του **υδροκρίτη** της λεκάνης, δηλαδή της νοητής εκείνης γραμμής που διαχωρίζει δύο ή και περισσότερες υδρολογικές λεκάνες. Μετά τον καθορισμό του υδροκρίτη, το μέγεθος μπορεί να υπολογιστεί με τη χρήση τοπογραφικών χαρτών ή αεροφωτογραφιών ή άλλων σύγχρονων μέσων.

- Σχήμα

Το σχήμα της λεκάνης απορροής επηρεάζει το χρόνο συγκέντρωσης της απορροής και επομένως το μέγεθος της παροχής που παρατηρείται στο στόμιο της λεκάνης. Πιο συγκεκριμένα, επιμήκεις λεκάνες απορροής έχουν μεγαλύτερο χρόνο συγκέντρωσης από κυκλικές και κατά συνέπεια, κάτω από τις ίδιες συνθήκες, οι πρώτες εμφανίζουν μικρότερες παροχές.

Το σχήμα της λεκάνης, παρά τη σπουδαιότητα που έχει για το μέγεθος της παροχής, δύσκολα προσδιορίζεται και εκφράζεται αριθμητικά με σαφήνεια και ακρίβεια. Κατά καιρούς πολλοί προσπάθησαν με διάφορους δείκτες να προσδιορίσουν το σχήμα της λεκάνης απορροής, αλλά η συσχέτιση αυτών των δεικτών με το πραγματικό σχήμα και την απορροή της λεκάνης ήταν μικρή.

- Υψόμετρο

Το υψόμετρο της λεκάνης απορροής έχει άμεση σχέση τόσο με τα κατακρημνίσματα που δέχεται όσο και με τις θερμοκρασίες που επικρατούν σε αυτή.

Γενικότερα, το υψόμετρο, η θερμοκρασία, τα κατακρημνίσματα, η απορροή και η εξάτμιση είναι έννοιες αλληλένδετες και αλληλοεπηρεαζόμενες σε μια λεκάνη απορροής. Πιο συγκεκριμένα, όσο το υψόμετρο αυξάνεται, η θερμοκρασία μειώνεται, τα κατακρημνίσματα αυξάνονται, η απορροή αυξάνεται και η εξάτμιση μειώνεται και το αντίστροφο (όταν το υψόμετρο μειώνεται).

Από τα διάφορα υψόμετρα της λεκάνης, πιο σημαντικά θεωρούνται το ελάχιστο, το μέγιστο και το μέσο. Τα δύο πρώτα προσδιορίζονται εύκολα με τη χρήση τοπογραφικών χαρτών ή με κατευθείαν μετρήσεις. Το μέσο υψόμετρο εξαρτάται κυρίως από τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά της λεκάνης και για τον προσδιορισμό του χρειάζεται να χαραχτεί η υψομετρική καμπύλη της λεκάνης. Αυτή ορίζεται ως η καμπύλη που χαράσσεται σε σύστημα συντεταγμένων με τεταγμένη (y) κάθε φορά το υψόμετρο και τετμημένη (x) την επιφάνεια των εκτάσεων που βρίσκονται πάνω από το υψόμετρο (Τσακίρης, 1995). Η μέση τιμή του υψομέτρου είναι εκείνη όπου το 50% της έκτασης της λεκάνης απορροής βρίσκεται πάνω από αυτό το υψόμετρο.

Για τον προσδιορισμό του μέσου υψομέτρου της λεκάνης απαιτείται πρώτα η διαίρεση της λεκάνης σε υποπεριοχές¹ και ο υπολογισμός του μέσου υψομέτρου κάθε μίας από αυτές. Στη συνέχεια, το μέσο υψόμετρο της λεκάνης υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$Z_m = \frac{\sum (Z_i \cdot A_i)}{\sum A_i}, \text{ όπου:}$$

Z_m = το μέσο υψόμετρο της λεκάνης

Z_i = το μέσο υψόμετρο της κάθε υποπεριοχής και

A_i = το εμβαδόν κάθε υποπεριοχής

- Ανάγλυφο και κλίσεις εδάφους

Το ανάγλυφο της λεκάνης απορροής και οι κλίσεις των διαφόρων επιφανειών της επηρεάζουν σημαντικά τις διεργασίες βροχής – απορροής. Σε λεκάνες με ομαλό ανάγλυφο και μεγάλες κλίσεις, ο χρόνος συγκέντρωσης του περισεύματος βροχής είναι μικρός, η διήθηση μειώνεται σημαντικά και τα φερτά υλικά στη διατομή

ελέγχου αυξάνονται. Έτσι, τα υδρογραφήματα που προκύπτουν για τέτοιες λεκάνες χαρακτηρίζονται από μικρή χρονική βάση, απότομες καμπύλες ανόδου και καθόδου και υψηλές πλημμυρικές αιχμές. Τα αντίθετα χαρακτηριστικά από αυτά που περιγράφηκαν παραπάνω συμβαίνουν σε λεκάνες με ομαλό ανάγλυφο και μικρές κλίσεις εδάφους. Για την απεικόνιση της κατανομής του αναγλύφου και των κλίσεων στην επιφάνεια της λεκάνης, χρησιμοποιούνται οι λεγόμενοι χάρτες κλίσεων, οι οποίοι προκύπτουν από τους αντίστοιχους τοπογραφικούς χάρτες και παρουσιάζουν τις κλίσεις του αναγλύφου.

-Υδρογραφικό δίκτυο

Οι κλάδοι των φυσικών υδατορευμάτων που αποχετεύουν τα νερά της επιφανειακής απορροής αποτελούν ένα οργανωμένο δίκτυο, το υδρογραφικό δίκτυο.

Οι κλάδοι αυτοί παρουσιάζουν ποικιλία χαρακτηριστικών με διατομές που προοδευτικά αυξάνονται, ξεκινώντας από τα τελευταία μικρορυάκια του αναγλύφου και καταλήγοντας στο υδατόρευμα που συγκεντρώνει την απορροή του συνόλου της λεκάνης. Όλοι οι κλάδοι συνδέονται μεταξύ τους σε τρόπο ώστε οι πιο κατάντη να δέχονται την απορροή των πιο ανάντη.

2.2. Υδρογεωλογία

Ο όρος **Υδρογεωλογία** αναφέρεται στη μελέτη του υπόγειου νερού με ιδιαίτερη έμφαση στη σχέση του με το γεωλογικό περιβάλλον και τον τρόπο διακίνησής του.

Η σωστή και ολοκληρωμένη μελέτη μιας λεκάνης απορροής ποταμού, απαιτεί και προϋποθέτει καλή και σωστή γνώση των υδρογεωλογικών χαρακτηριστικών της, έτσι ώστε να προσδιορισθούν με όσο το δυνατόν μεγαλύτερη σιγουριά και ακρίβεια, παράγοντες όπως η κατανομή του νερού της βροχής ή η κίνηση των υπογείων υδάτων

2.2.1. Βασικοί Ορισμοί

Παρακάτω, δίνονται οι ορισμοί βασικών υδρογεωλογικών εννοιών που θα χρησιμοποιηθούν σε επόμενα σημεία της εργασίας:

- **Υδρογεωλογία:** είναι η επιστήμη που μελετάει το υπόγειο νερό και τη σχέση του με το γεωλογικό περιβάλλον και τον τρόπο διακίνησης του.
- **Υδροφόροι ορίζοντες (ή υδροφόροι):** είναι οι σχηματισμοί που περιέχουν αρκετό, κορεσμένο με νερό, υλικό, ώστε να τροφοδοτήσουν με σημαντικές ποσότητες νερού, γεωτρήσεις, πηγάδια και πηγές.
- **Υδρογεωλογική (ή υπόγεια) λεκάνη:** είναι μια υδρογεωλογική ενότητα που περιέχει ένα μεγάλο ή περισσότερους αλληλοσυνδεόμενους υδροφόρους, 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.
- **Υδατικό (ή υδάτινο) δυναμικό 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.
- **Πηγές:** Η πηγή αποτελεί μια συγκεντρωμένη εκροή υπόγειου νερού που εμφανίζεται στην επιφάνεια του εδάφους ως ένα ρεύμα νερού που ρέει ελεύθερα.

2.2.2. Υδροφόροι Ορίζοντες

Υδροφόροι, είναι οι σχηματισμοί που περιέχουν αρκετό, κορεσμένο με νερό υλικό, ώστε να τροφοδοτήσουν με σημαντικές ποσότητες νερού, γεωτρήσεις, πηγάδια και πηγές. (Καλλέργης, 1999).

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.

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.

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

- **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 ημυδροφόρα. Η άντληση νερού από μια υδρογεώτρηση προκαλεί την κίνηση του νερού κατά δύο κατευθύνσεις, οριζόντια ροή μέσα στον υδροφόρο και κατακόρυφη ροή από το ημυδροφόρο στρώμα προς τον υδροφόρο ορίζοντα.

Οι κατηγορίες των αποθεμάτων ενός υδροφορέα μπορούν να περιγραφούν ως εξής (Καλλέργης, 1999):

- **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.

2.2.3. Πηγές

Η πηγή αποτελεί μια συγκεντρωμένη εκροή υπόγειου νερού που εμφανίζεται στην επιφάνεια του εδάφους ως ένα ρεύμα νερού που ρέει ελεύθερα. Αποτελούν την ανάβλυση, εμφάνιση δηλαδή υπόγειου νερού στην επιφάνεια του εδάφους ή στον πυθμένα μάζας νερού (ποταμού, λίμνης, θάλασσας). Στην πραγματικότητα είναι η «υπερχείλιση» ή εκφόρτιση των υδροφόρων στρωμάτων. Η πηγή αποτελεί τη διαρροή νερού προς την επιφάνεια του εδάφους. Η διαρροή είναι συνήθως μη σημειακή αλλά εκτενής (γραμμικά ή δισδιάστατα). Οι διαρροές νερού μπορούν να σχηματίζουν τοπικά μικρά τέλματα ή ροές ή ακόμη και να εξατμίζονται ανάλογα με την παροχή της διαρροής, την τοπογραφία και το κλίμα (Χατζηευαγγέλου, 2005).

Ανάλογα με το γεωλογικό τρόπο δημιουργίας, τις υδραυλικές συνθήκες λειτουργίας και τη δίατα του νερού, έχουν προταθεί διάφορα κριτήρια ταξινόμησης των πηγών. Αν το νερό κινείται υπό την επίδραση της βαρύτητας, οι πηγές ονομάζονται κατιούσες ή **βαρυτικές**, ενώ στην αντίθετη περίπτωση είναι οι ανερχόμενες ή **μη βαρυτικές**.

Κύριοι τύποι **βαρυτικών** πηγών είναι οι εξής (Χατζηευαγγέλου, 2005):

- Πηγές επαφής: Το νερό κινείται παράλληλα κατά μήκος επαφής του με το αδιαπέρατο υποκείμενο στρώμα.
- Πηγές ταπείνωσης: Η ταπείνωση της τοπογραφίας τέμνει την υδροστατική στάθμη.
- Πηγές υπερπλήρωσης: Η επαφή περατού και αδιαπέρατου στρώματος και η μορφολογία και πιθανή εμφάνιση ρήγματος προκαλούν την εκφόρτιση του υδροφορέα.

Στις **μη βαρυτικές** πηγές ανήκουν κυρίως πηγές όπου η ανάβλυση του νερού προέρχεται είτε λόγω της υδροστατικής πίεσης, είτε είναι μεταλλικές θερμές πηγές, το νερό των οποίων έρχεται στην επιφάνεια από μεγάλο βάθος μέσω ρηξιγενών ζωνών.

Ανάλογα με τη δίατα του νερού υπάρχουν οι **μόνιμες** και οι **εποχιακές** πηγές. Στις **μόνιμες**, η παροχή είναι σταθερή κατά τη διάρκεια του έτους, ενώ οι **εποχιακές**

δεν παρουσιάζουν συνεχή ροή σε όλη τη διάρκεια του έτους. Είναι συνήθως πηγές που τροφοδοτούνται από έντονα καρστικούς σχηματισμούς και η εκφόρτισή τους ολοκληρώνεται σε σύντομο χρονικό διάστημα μετά τις βροχοπτώσεις.

Άλλη κατηγορία πηγών είναι οι **διαλείπουσες** πηγές. Οι πηγές αυτές λόγω της μορφολογίας του εδάφους, παρουσιάζουν χρονικά διαστήματα συνεχούς ροής και διαστήματα όπου η παροχή σταματά τελείως (Χατζηευαγγέλου, 2005).

Στον ελληνικό χώρο μεγάλος αριθμός των πηγών είναι καρστικές. Το νερό διακινείται μέσα σε έντονα αποσθρωμένους ασβεστόλιθους που παρουσιάζουν αναπτυγμένο δευτερογενές πορώδες (πορώδες που οφείλεται στις ασυνέχειες λόγω αποσάθρωσης). Οι πηγές αυτές συνήθως δίνουν μεγάλες παροχές λόγω της έντονης ροής του νερού στα καρστ των ασβεστόλιθων.

2.3. Μέθοδος πολυγώνων Thiessen

Για τον υπολογισμό του μέσου ύψους βροχόπτωσης σε μια περιοχή, οι κύριες μέθοδοι οι οποίες χρησιμοποιούνται είναι:

- α) Η μέθοδος του αριθμητικού μέσου
- β) Η μέθοδος Thiessen και
- γ) Η μέθοδος των ισοϋετών καμπυλών

Για τον υπολογισμό του μέσου ύψους βροχόπτωσης στην κύρια λεκάνη (βλ. Πίνακας 4-5), χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος των πολυγώνων Thiessen. Η συγκεκριμένη μέθοδος, λαμβάνει υπόψη της και βροχομετρικούς σταθμούς οι οποίοι βρίσκονται εκτός της περιοχής ενδιαφέροντος.

Τα βήματα που ακολουθούνται για την εφαρμογή της μεθόδου, είναι:

1. Ενώνονται οι σταθμοί μεταξύ τους, φροντίζοντας να σχηματίζονται κατά το δυνατόν οξυγώνια τρίγωνα.
2. Φέρνονται οι μεσοκαθέτοι των πλευρών που σχηματίστηκαν και προεκτείνονται μέχρι να τμήσουν τα όρια της περιοχής.
3. Σχεδιάζονται τα πολύγωνα που προκύπτουν. Η τιμή του σταθμού που βρίσκεται στο πολύγωνο, είναι αντιπροσωπευτικό γι' αυτό.

Οπότε, το μέσο ύψος βροχής, δίνεται από τη σχέση: $P_o = \frac{\sum A_i \cdot P_i}{A}$, όπου:

P_i : το ύψος βροχής i

A_i : το εμβαδόν του πολυγώνου i και

A : το συνολικό εμβαδόν της περιοχής ($\sum A_i = A$)

2.4. Μέθοδοι Παρεμβολής

Η παρεμβολή είναι μια διαδικασία μέσω της οποίας, οι άγνωστες τιμές προβλέπονται με έναν μαθηματικό τύπο που χρησιμοποιεί τις τιμές των κοντινών γνωστών σημείων. Μια χαρακτηριστική χρήση για την παρεμβολή σημείου είναι να δημιουργηθεί μια επιφάνεια ανύψωσης από ένα σύνολο μετρήσεων δειγμάτων. Ανάλογα με τη μέθοδο παρεμβολής, η προκύπτουσα επιφάνεια μπορεί είτε να εξαναγκαστεί να περάσει μέσω των μετρημένων δειγμάτων είτε όχι, ανάλογα με το αν είναι ακριβείς ή ανακριβείς οι μετρήσεις αυτές.

Υπάρχουν πολυάριθμες μέθοδοι παρεμβολής, βασισμένες είτε σε αιτιοκρατικές (ντετερμινιστικές), είτε σε πιθανολογικές (στοχαστικές) διαδικασίες.

Η **αιτιοκρατική** τεχνική παρεμβολής χρησιμοποιείται για τη δημιουργία των επιφανειών από μετρημένα σημεία βασιζόμενη είτε στο βαθμό και την έκταση της ομοιότητας (π.χ., η μέθοδος IDW), είτε στο βαθμό ομαλότητας. Οι αιτιοκρατικές τεχνικές παρεμβολής μπορούν να διαιρεθούν σε δύο ομάδες: σφαιρικές και τοπικές. Οι *σφαιρικές* τεχνικές υπολογίζουν τις προβλέψεις χρησιμοποιώντας ολόκληρο το σύνολο των στοιχείων. Οι *τοπικές* τεχνικές υπολογίζουν τις προβλέψεις από τα μετρημένα σημεία εντός συγκεκριμένων περιοχών, οι οποίες είναι υποπεριοχές της ευρύτερης περιοχής μελέτης.

Η **στοχαστική** τεχνική παρεμβολής είναι βασισμένη στη στατιστική και χρησιμοποιείται για πιο προηγμένη πρόβλεψη επιφανειών, που περιλαμβάνει επίσης τα λάθη ή την αβεβαιότητα των προβλέψεων.

Παρακάτω, παρουσιάζονται συνοπτικά, η μέθοδος Kriging και η μέθοδος των Αντιστρόφων Σταθμισμένων Αποστάσεων (Inverse Distance Weighted – IDW), η οποία επιλέχτηκε για την προσομοίωση της στάθμης του προσχωματικού υδροφορέα της λεκάνης του Κερίτη.

Η **μέθοδος Kriging**, είναι μία από τις συχνότερα χρησιμοποιούμενες μεθόδους παρεμβολής, κυρίως σε εφαρμογές που έχουν να κάνουν με: επιστήμες υγείας, τη γεωχημεία και το περιβάλλον. Η μέθοδος Kriging, υποθέτει ότι η απόσταση ή η κατεύθυνση μεταξύ των σημείων δειγμάτων απεικονίζει έναν χωρικό συσχετισμό που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να εξηγήσει τη μεταβλητότητα στην επιφάνεια. Προσαρμόζει μια συνάρτηση σε έναν συγκεκριμένο αριθμό σημείων μέσα σε μια συγκεκριμένη ακτίνα για να καθορίσει την τιμή σε κάθε θέση. Η μέθοδος Kriging, είναι καταλληλότερη όταν είναι γνωστή μια χωρική συσχέτιση των σημείων δειγμάτων και χρησιμοποιείται συχνά για τις εφαρμογές στην εδαφολογική επιστήμη και τη γεωλογία.

Οι προβλεφθείσες τιμές προσδιορίζονται από το βαθμό συσχέτισης στα δείγματα χρησιμοποιώντας μία περίπλοκη τεχνική σταθμισμένων αποστάσεων. Χρησιμοποιεί μια ακτίνα αναζήτησης η οποία μπορεί να είναι καθορισμένη ή μεταβαλλόμενη. Οι παραγόμενες τιμές μπορούν να υπερβούν την μετρημένη τιμή των δειγμάτων και η επιφάνεια δεν περνά μέσω των δειγμάτων.

Υπάρχουν διάφοροι τύποι Kriging. Το *Ordinary Kriging*, (η πιο κοινή μέθοδος), υποθέτει ότι δεν υπάρχει κανένας σταθερός μέσος για τα στοιχεία πάνω από μια περιοχή (δηλ. καμία τάση). Το *Universal Kriging*, υποθέτει ότι μια εξαιρετικά σημαντική τάση υπάρχει στα δείγματα και ότι μπορεί να μοντελοποιηθεί.

Η **μέθοδος IDW**, είναι μία αιτιοκρατική μέθοδος παρεμβολής, επειδή είναι άμεσα βασισμένη στις περιβάλλουσες μετρημένες τιμές ή σε συγκεκριμένους μαθηματικούς τύπους που καθορίζουν την ομαλότητα της προκύπτουσας επιφάνειας. Είναι μία ακριβής μέθοδος κινούμενου μέσου όρου που εφαρμόζεται συνήθως σε στοιχεία υψηλής μεταβλητότητας. Η IDW υποθέτει ότι η μεταβλητή που μοντελοποιείται μειώνεται, όσο η απόσταση από την επιλεγθείσα μετρημένη θέση του σημείου αυξάνεται. Αυτή η τεχνική, υπολογίζει μια τιμή για κάθε κόμβο πλέγματος εξετάζοντας και λαμβάνοντας υπόψη τις τιμές των γύρω από αυτήν μετρημένων σημείων που βρίσκονται μέσα σε μια καθορισμένη ακτίνα. Όσο πιο κοντά στη ζητούμενη τιμή είναι ένα σημείο, τόσο μεγαλύτερη η επιρροή, ή το βάρος που αυτό έχει στον υπολογισμό της τιμής που αναζητείται.

Η παρεμβολή IDW, καθορίζει τις τιμές σε κάθε κελί, χρησιμοποιώντας έναν γραμμικά σταθμισμένο συνδυασμό ενός σετ δειγμάτων. Το «βάρος» είναι συνάρτηση της αντίστροφης απόστασης.

Η παρεμβολή IDW (μέσω του λογισμικού ArcGIS9), δίνει στο χρήστη τη δυνατότητα να καθορίζει τη σημασία του κάθε σημείου επάνω στην περιοχή μελέτης, αλλάζοντας ποικίλες παραμέτρους με στόχο την όσο το δυνατόν πιο «ρεαλιστική» χάραξη των ισοϋψών καμπυλών. Για παράδειγμα, με τον καθορισμό μεγαλύτερης δύναμης, ακόμη περισσότερη έμφαση θα δοθεί στα κοντινότερα σημεία, τα οποία θα έχουν την μεγαλύτερη επιρροή και έτσι η επιφάνεια θα έχει περισσότερη λεπτομέρεια (θα είναι λιγότερο ομαλή).

3. Η ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗ ΛΕΚΑΝΗ ΤΟΥ π. ΚΕΡΙΤΗ

3.1. Γεωγραφική Θέση

Η υδρολογική λεκάνη του Κερίτη αποτελεί μια από τις σημαντικότερες υδρολογικές λεκάνες του Ν. Χανίων. Βρίσκεται στο κεντρικό τμήμα του Ν. Χανίων και η μεγαλύτερη έκταση της λεκάνης υπάγεται στο δήμο Μουσούρων, ενώ μικρότερα τμήματα αντιστοιχούν στους δήμους Πλατανιά, Θερίσσου, Νέας Κυδωνίας, Σφακίων και Ανατολικού Σελίνου (Τσάνης κ.α., 2005).

Η υδρολογική λεκάνη του Κερίτη οριοθετήθηκε (δηλαδή διακρίθηκε ο υδροκρίτης της) με τη χρήση ψηφιακού χάρτη κατάλληλα επεξεργασμένου με το λογισμικό πακέτο **ArcGIS9**. Η έκταση της λεκάνης βρέθηκε ίση με **219 km²**. Στην Εικόνα 3-1, παρουσιάζεται η υδρολογική λεκάνη του ποταμού Κερίτη.

3.2. Μορφολογία περιοχής

Η ευρύτερη περιοχή της υδρολογικής λεκάνης του ποταμού Κερίτη έχει ποικίλα μορφολογικά χαρακτηριστικά, τα οποία μεταβάλλονται με διαφορετικό τρόπο ανάλογα με το υψόμετρο και το γεωλογικό υπόβαθρο της κάθε υποπεριοχής. Πιο συγκεκριμένα, στη λεκάνη του Κερίτη, διακρίνουμε τρεις κύριες μορφολογικές ζώνες. Την καρστική, τη μεταβατική και την πεδινή.

- **Καρστική ζώνη**

Αποτελεί το νότιο τμήμα της περιοχής μελέτης και πρόκειται για το ΒΔ τμήμα των Λευκών Ορέων. Χαρακτηρίζεται από πολύ μεγάλα υψόμετρα (600 – 2450 m), έντονες κλίσεις και «γωνιώδη» περιγράμματα του αναγλύφου. Το μεγαλύτερο τμήμα αυτής της ζώνης παραμένει καλυμμένο με χιόνι για 9 περίπου μήνες του έτους (Οκτώβριος – Ιούνιος). Πρόκειται για μια τυπική καρστική περιοχή, όπου είναι σε πλήρη ανάπτυξη όλες εκείνες οι μορφές που προκύπτουν από τη διάλυση των ανθρακικών πετρωμάτων. Κάτι αξιοπρόσεκτο είναι η λεγόμενη «πόγλη» του Ομαλού, η οποία είναι

αποτέλεσμα διάλυσης των ασβεστόλιθων κατά το οριζόντιο επίπεδο και αποτελεί μια τεράστια επιφάνεια επιπέδωσης, εμβαδού 32 km². Τα προϊόντα αποκομιδής της διεργασίας αυτής συσσωρεύονται ακτινωτά με φορά προς το κέντρο δημιουργώντας προσχωματικό ορίζοντα αξιόλογου πάχους που παρουσιάζει υδροφορία.

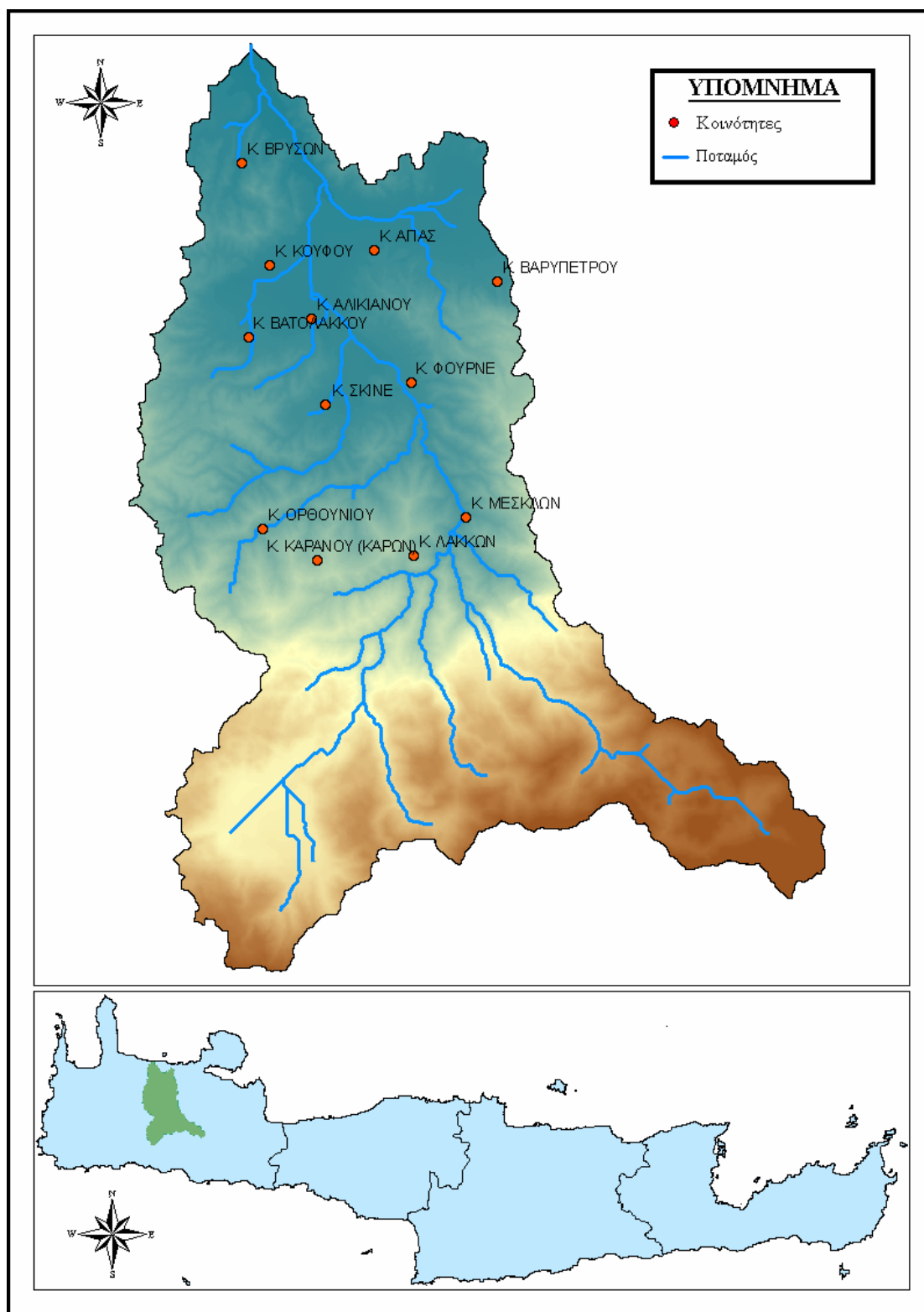
- **Μεταβατική ζώνη**

Η μεταβατική ζώνη έπεται της καρστικής και βρίσκεται βορειότερά της. Αποτελείται κυρίως από φυλλιτικούς - χαλαζιτικούς σχηματισμούς. Τα απόλυτα υψόμετρα κυμαίνονται από 200 – 600 m, ενώ οι κλίσεις εδάφους είναι αρκετά μικρότερες από αυτές στην καρστική ζώνη. Χάρη στην αδιαπερατότητα των φυλλιτών-χαλαζιτών, υπάρχει ανάπτυξη υδρογραφικού δικτύου σε αντίθεση με την καρστική ζώνη. Η βλάστηση είναι πολύ καλά ανεπτυγμένη, ενώ όπου οι κλίσεις το επιτρέπουν, έχουν δημιουργηθεί καλλιεργήσιμες εκτάσεις και μικροί οικισμοί.

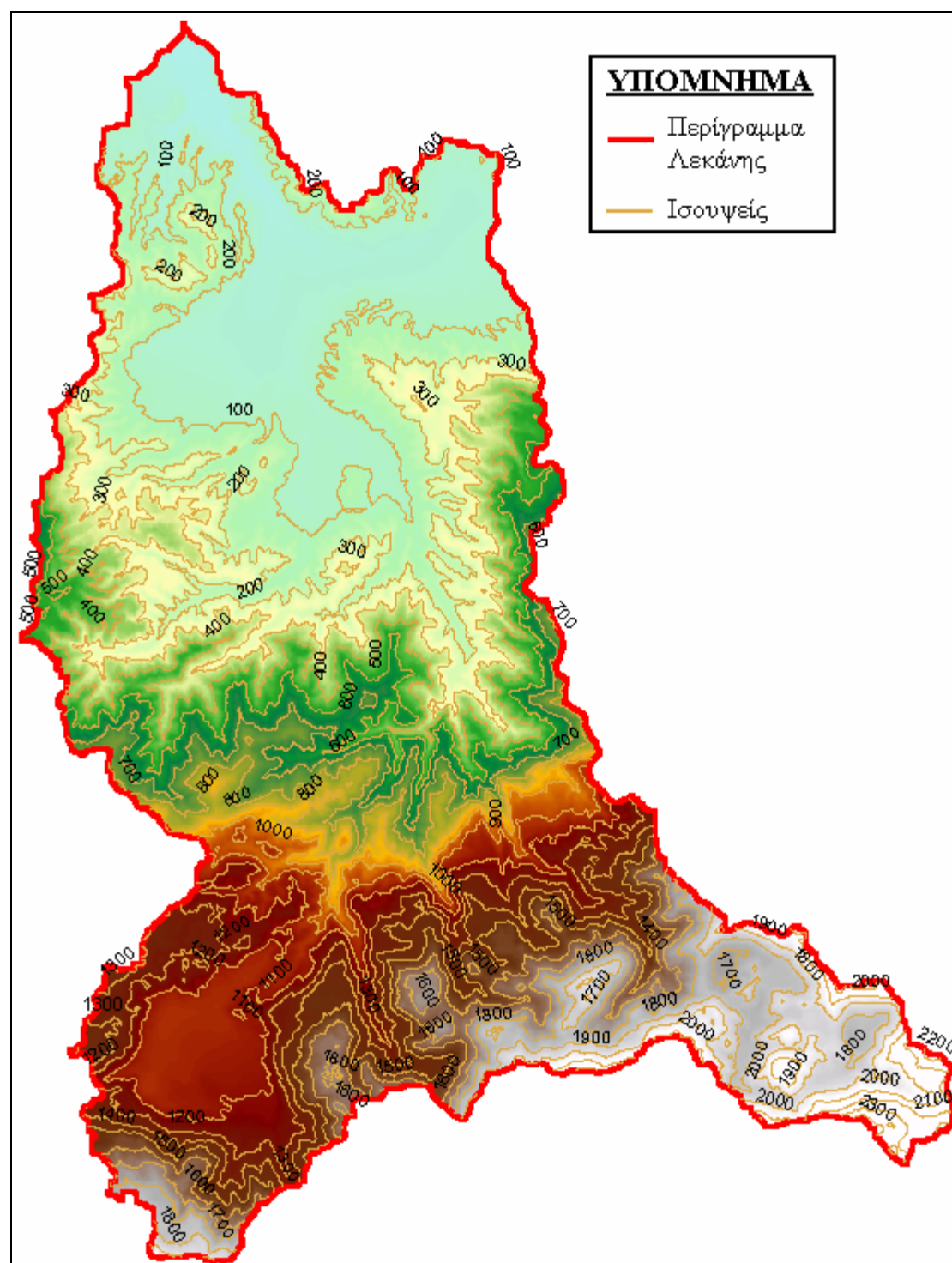
- **Πεδινή ζώνη**

Αποτελείται από το κεντρικό και βόρειο τμήμα της λεκάνης. Τα απόλυτα υψόμετρα κυμαίνονται από 0 – 200 m και οι κλίσεις εδάφους είναι πολύ μικρές (πολύ ήπιο ανάγλυφο). Αυτό ευνοεί πολύ την ανάπτυξη καλλιεργειών και τη δημιουργία οικισμών. Το πιο σημαντικό τμήμα της ζώνης αποτελεί η κοιλάδα του Πατελαρίου, η οποία διασχίζεται από τον ποταμό Κερίτη. Συνίσταται από αποθέσεις του Νεογενούς και αποτελεί την προσχωματική λεκάνη η οποία είναι πολύ εύφορη και σχεδόν επίπεδη.

Στην Εικόνα 3-2, παρουσιάζεται ο μορφολογικός χάρτης της λεκάνης Κερίτη.



Εικόνα 3-1: Υδρολογική λεκάνη π. Κερίτη



Εικόνα 3-2: Μορφολογικός χάρτης λεκάνης Κερίτη

3.3. Γεωλογία

3.3.1. *Γεωλογία Κρήτης*

Η γεωλογία της Κρήτης χαρακτηρίζεται από μια αλληλουχία φάσεων διαφορετικής ηλικίας και σχηματισμών που συμμετέχουν στη δομή της νήσου. Η Κρήτη αποτελείται από ένα αυτόχθονο σύστημα πετρωμάτων, επάνω στο οποίο βρίσκεται επωημένο ένα αλλόχθονο σύστημα και μεταγενέστερες αποθέσεις ιζημάτων του Νεογενούς και Τεταρτογενούς.

Το αυτόχθονο σύστημα, αποτελείται από κρυσταλλικούς, άστρωτους ασβεστόλιθους, δολομίτες και ασβεστολιθικά κροκαλοπαγή, που διασχίζονται από φυλλιτικές και χαλαζιτικές παρεμβολές (Μαντζούκας, 2005).

Το αλλόχθονο σύστημα αποτελείται από αλλεπάλληλα τεκτονικά καλύμματα επωημένα το ένα πάνω στο άλλο με την ακόλουθη σειρά, από το κατώτερο προς το ανώτερο (Παπαμαστοράκης κ.α., 2004):

- Ανθρακικό κάλυμμα Ομαλού – Τρυπαλίου. Περιλαμβάνει ανακρυσταλλωμένους ασβεστόλιθους έως μάρμαρα, δολομίτες, δολομιτικούς ασβεστόλιθους και ανθρακικά κροκαλοπαγή.
- Τεκτονικό κάλυμμα Φυλλιτών – Χαλαζιτών. Περιλαμβάνει φυλλίτες, μεταψαμμίτες, χαλαζίτες και σχιστόλιθους και κροκαλοπαγή ποικίλης σύστασης.
- Ζώνη Τρίπολης. Περιλαμβάνει τους σχηματισμούς του φλύσχη, μεσοπαχυστρωματώδεις ασβεστολίθους και δολομίτες.
- Ζώνη Πίνδου. Περιλαμβάνει τους σχηματισμούς του φλύσχη, λεπτοστρωματώδεις ασβεστολίθους και στρώματα κερατολίθων.
- Οφιολιθικό κάλυμμα. Αποτελεί ένα σύνθετο πολύμεικτο τεκτονικό κάλυμμα με ποικιλία λιθολογικών σχηματισμών (οφιόλιθοι, γνεύσιοι, αμφιβολίτες, φλυσχοειδή ιζήματα, γρανίτες κ.α.).

Τα νεογενή και πλειοκαινικά ιζήματα αναπτύσσονται σε μεγάλες εκτάσεις και αποτελούνται από ιζήματα χερσαίας, ποτάμιας, υφάλμυρης και θαλάσσιας φάσης. Τα τεταρτογενή ιζήματα είναι τοποθετημένα πάνω σε όλους τους σχηματισμούς τόσο του αλπικού υποβάθρου όσο και των νεογενών αποθέσεων και αποτελούνται από

χερσαίες, θαλάσσιες έως λιμνοθαλάσσιες αποθέσεις, άμμων, κροκαλών, αργίλων και χαλίκων ασύνδετων έως ελαφρά συγκολλημένων (Παπαμαστοράκης κ.α., 2004).

3.3.2. Γεωλογία Ν. Χανίων

Παρακάτω αναφέρεται συνοπτικά η γεωλογική δομή με τους επικρατέστερους γεωλογικούς σχηματισμούς που εμφανίζονται στον Νομό Χανίων. Σ' αυτή συμμετέχουν στρωματογραφικές και τεκτονικές ενότητες που αρχίζοντας από τις νεώτερες και καταλήγοντας στις παλαιότερες, είναι οι ακόλουθες (Ρίγλης, 1996):

- Τεταρτογενείς αποθέσεις.
- Αποθέσεις του Νεογενούς.
- Τεκτονικό κάλυμμα της ζώνης Πίνδου.
- Τεκτονικό κάλυμμα της ζώνης Τρίπολης.
- Τεκτονικό κάλυμμα της «φυλλιτικής - χαλαζιτικής» ενότητας.
- Τεκτονικό κάλυμμα Τρυπαλίου (Ομαλού).
- Ενότητα «πλακωδών ασβεστόλιθων».
- Μάρμαρα - ασβεστόλιθοι - δολομιτικά μάρμαρα - δολομίτες.

Παρακάτω περιγράφονται οι πιο σημαντικές από τις παραπάνω γεωλογικές ενότητες οι οποίες αφορούν την περιοχή μελέτης.

-Τεταρτογενείς αποθέσεις

Αποτελούνται από χαλαρά αργιλοαμμώδη υλικά, πηλούς, ψαμμίτες και κροκάλες ποικίλης σύστασης. Εμφανίζονται κυρίως σε απολήξεις λεκανών ανοικτών προς την θάλασσα, στις μείζονες κοίτες ποταμών, σε μικρές εσωτερικές λεκάνες, καθώς και σε αναβαθμίδες χειμάρρων (Ρίγλης, 1996). Το πάχος τους ποικίλλει ανάλογα με τη μορφολογία της περιοχής και σε μερικά σημεία ξεπερνάει τα 100m (Μαντζούκας, 2005).

-Αποθέσεις του Νεογενούς

Συνίστανται από εναλλασσόμενα στρώματα μάργων με κλαστικούς μαργαϊκούς ασβεστόλιθους, καλά στρωμένους σε πάγκους, που το πάχος τους ποικίλλει από μερικά εκατοστά έως ένα-δύο μέτρα. Εντός των αποθέσεων αυτών

συναντώνται και μαργαϊκοί ψαμμίτες, αμμούχες άργιλοι και κροκαλοπαγή. Όσον αφορά τα κροκαλοπαγή, χαρακτηρίζονται ως ιδιαίτερα συνεκτικά, κυρίως ανθρακικής προέλευσης, με ανθρακικό συνδετικό υλικό. Οι κροκάλες τους είναι μικρού έως μεσαίου μεγέθους, και προέρχονται από τα προϊόντα διάβρωσης και αποσάθρωσης των διαφόρων τεκτονικών καλυμμάτων (Ρίγλης, 1996). Κατά θέσεις το πάχος τους είναι σημαντικό, καθώς ξεπερνάει τα 80m (Μαντζούκας, 2005).

-Τεκτονικό κάλυμμα φυλλιτικής - χαλαζιτικής ενότητας

Το τεκτονικό αυτό κάλυμμα καταλαμβάνει πολύ μεγάλη έκταση στο δυτικό τμήμα του Νομού Χανίων. Αποτελεί μία ενότητα πετρωμάτων πολύ χαμηλής έως χαμηλής μεταμόρφωσης, στην οποία επικρατούν σχιστόλιθοι, φυλλίτες και χαλαζίτες. Το πάχος της ενότητας αυτής μπορεί να υπερβαίνει και τα 1.500m στην ευρύτερη περιοχή της δυτικής Κρήτης.

-Τεκτονικό κάλυμμα Τρυπαλίου (Ομαλού)

Αποτελεί την κατώτερη αλλόχθονη ενότητα, ή το πρώτο τεκτονικό κάλυμμα της Κρήτης. Οι σχηματισμοί του καλύμματος αυτού βρίσκονται επωθημένοι, είτε στην ενότητα των «πλακωδών ασβεστόλιθων», είτε στην ενότητα των «μαρμάρων – ασβεστόλιθων - δολομιτικών μαρμάρων - δολομιτών». Το κάλυμμα Τρυπαλίου εμφανίζει την μεγαλύτερη ανάπτυξή του στην περιοχή του Ομαλού των Λευκών Ορέων και αποτελείται γενικά από άστρωτα ανθρακικά πετρώματα, όπως μάρμαρα, ασβεστόλιθους (κρυσταλλικούς και δολομιτικούς) και δολομίτες (Ρίγλης, 1996).

-Ενότητα των πλακωδών ασβεστόλιθων

Πρόκειται για ανακρυσταλλωμένους ασβεστόλιθους, που κατά θέσεις έχουν μεταμορφωθεί σε μάρμαρα χρώματος τεφρού μέχρι τεφρόμαυρου. Εμφανίζονται καλοστρωμένοι σε πάγκους που το πάχος τους ποικίλει από λίγα εκατοστά στα ανώτερα μέλη, έως ένα μέτρο στα κατώτερα μέλη. (Ρίγλης, 1996). Μερικές φορές στους «πλακώδεις ασβεστόλιθους» παρατηρούνται εσωτερικές λεπιδώσεις, με αποτέλεσμα να έρχονται σε επαφή στρώματα έντονα τεκτονισμένα με σχετικώς αδιατάρακτα. Η καρστικοποίηση του σχηματισμού αυτού είναι ανομοιόμορφη και πολλές φορές περιορισμένη, λόγω της παρουσίας των πυριτολιθικών παρεμβολών. Το πάχος της ενότητας αυτής, ξεπερνά τα 1.200m περίπου (Ρίγλης, 1996).

3.3.3. Γεωλογία Κερίτη

Η ευρύτερη περιοχή του ποταμού Κερίτη χαρακτηρίζεται από μια αρκετά σύνθετη γεωλογική δομή, αλλά ακολουθεί τα γενικά γεωλογικά χαρακτηριστικά της Κρήτης και του νομού Χανίων, όπως αυτά περιγράφηκαν παραπάνω. Παρόλα αυτά, κρίνεται αναγκαία η συνοπτική αναφορά σε αυτήν, καθώς συμβάλλει σε μεγάλο βαθμό στην κατανόηση της κίνησης των επιφανειακών και κυρίως των υπόγειων υδάτων της περιοχής.

Σε γενικές γραμμές, η γεωλογική δομή της περιοχής χαρακτηρίζεται από μια αλληλουχία τεκτονικών καλυμμάτων, τα οποία καλύπτονται σε ορισμένες θέσεις ασύμφωνα από νεότερα ιζήματα του Νεογενούς και Τεταρτογενούς.

Η ενότητα των πλακωδών ασβεστόλιθων, εμφανίζεται εκτενώς στο νότιο τμήμα της περιοχής μελέτης και φαίνεται να δομεί το μεγαλύτερο μέρος των Λευκών Ορέων.

Ακολουθούν οι ασβεστόλιθοι του Τρυπαλίου, οι οποίοι και παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον από υδρογεωλογικής άποψης, αλλά δεν εμφανίζουν σαφή στρώση και το πάχος τους πρέπει να ξεπερνάει τα 500 m (Χατζευαγγέλου, 2005).

Επωθημένοι πάνω στους ασβεστόλιθους του Τρυπαλίου, εμφανίζονται φυλλίτες με σημαντικές ενστρώσεις χαλαζιτών και ψαμμιτών. Τα πετρώματα της σειράς αυτής καταλαμβάνουν κυρίως το κεντρικό και δυτικό τμήμα της περιοχής μελέτης, όλη δηλαδή τη λοφώδη περιοχή που παρεμβάλλεται ανάμεσα στους βόρειους πρόποδες των Λευκών Ορέων και την πεδινή περιοχή Βατόλακκου – Αλικιανού – Αγυιάς. Όλη η σειρά παρουσιάζεται έντονα καταπονημένη και παραμορφωμένη με έντονες κατατμήσεις και πολλές πτυχές με ακανόνιστο προσανατολισμό. Το πάχος της ανέρχεται σε περίπου 200m (Μαντζούκας, 2005).

Ακολουθούν τα ιζήματα του Νεογενούς. Η εξάπλωση των ιζημάτων αυτών, περιορίζεται από την Αγυιά μέχρι το ακρωτήρι Καλάμι, καθώς και στις λοφώδεις εκτάσεις γύρω από το χωριό Πατελάρι στο βόρειο τμήμα της περιοχής μελέτης. Παρατηρούνται εναλλασσόμενα στρώματα άμμων, κροκαλοπαγών, ψαμμιτών, αργίλων, καθώς και μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι ή ορίζοντες μάργων διαφόρων αποχρώσεων και ηλικιών. Κατά θέσεις το πάχος τους είναι σημαντικό ξεπερνώντας τα 80m (Μαντζούκας, 2005).

Οι διλλουβιακοί σχηματισμοί εντοπίζονται στις περιοχές Βατόλακκου – Αλικιανού - Σκινέ, καθώς και στο οροπέδιο του Ομαλού (πόγλη). Πρόκειται για ερυθρούς σχηματισμούς ποτάμιας προέλευσης, οι οποίοι αποτελούνται από μάργες, ψαμμίτες, πηλούς, αργίλους και από κροκαλοπαγή με αργίλικό συνδετικό υλικό και κροκάλες που προέρχονται από τη Φυλλιτική-Χαλαζιτική σειρά. Το πάχος τους ξεπερνά τα 100m σε ορισμένες θέσεις (Μαντζούκας, 2005).

Τέλος, ακολουθούν τα αλλούβια, που στην ουσία είναι ασύνδετα υλικά ποτάμιας προέλευσης που αποτελούνται από άμμους και αργίλους ποικίλης σύστασης. Καταλαμβάνουν το κεντρικό τμήμα της πεδινής ζώνης, δηλαδή την περιοχή ανάμεσα στο Βατόλακο, τον Κουφό, την Αγιά, το Βαρύπετρο, το Φουρνέ και το Σκινέ, όπου έχουν αποθεθεί επάνω στα σχετικά αδιαπέρατα ιζήματα του Νεογενούς και Τεταρτογενούς από τη δράση του υδρογραφικού δικτύου και αποτελούν το λεγόμενο προσχωματικό υδροφορέα της λεκάνης του Κερίτη.

3.4. Υδρολογικά χαρακτηριστικά

Όπως είναι γνωστό, το υδρολογικό έτος στην Ελλάδα ξεκινάει στις 1 Οκτωβρίου και τελειώνει στις 30 Σεπτεμβρίου του επόμενου έτους. Το μέσο βροχομετρικό έτος χωρίζεται σε δύο περιόδους: τη βροχερή (Οκτώβριος-Απρίλιος) και την ξηρή (Μάιος-Σεπτέμβριος), στις οποίες (για το νομό Χανίων) πέφτουν αντίστοιχα περίπου το 95% και 5% των βροχοπτώσεων (Ρίγλης, 1996). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την άνιση κατανομή του ετήσιου ανανεώσιμου υδατικού δυναμικού στο νομό Χανίων.

3.4.1 Κύρια Υδρολογικά Χαρακτηριστικά

Τα κύρια υδρολογικά χαρακτηριστικά της λεκάνης του Κερίτη είναι:

1. Ποταμός Κερίτης

Ο ποταμός Κερίτης, πηγάζει από τα Λευκά Όρη. Οι διάφοροι παραπόταμοί του, οι οποίοι μεταφέρουν το συνολικό όγκο νερού από τα βουνά, ενώνονται στην περιοχή των Μεσκλών, όπου και ξεκινάει το κυρίως ρεύμα του ποταμού, το οποίο

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 κυρίως με τις λιθολογικές ενότητες που διασχίζει, τους υδροφόρους ορίζοντες με τους οποίους επικοινωνεί και με τα διάφορα έργα υδροληψίας.

2. Καρστικές πηγές Μεσκλών (Κεφαλοβρύσια, Παναγιά, Νικολιανά)

Οι πηγές των Μεσκλών εκδηλώνονται στους καρστικούς ασβεστόλιθους και δολομίτες της ζώνης Τρυπαλίου, οι οποίοι προβάλλουν διαμέσου των φυλλιτών σε τρεις θέσεις (Λιονής και Περλέρος, 2001):

- α. Κεφαλόβρυση (ή Ποταμός) (+223,5 m απόλυτο υψόμετρο)
- β. Παναγιά (+213,5 m απόλυτο υψόμετρο)
- γ. Νικολιανά (+197,2 m απόλυτο υψόμετρο)

Οι εκφορτίσεις των πηγών στα Μεσκλά, θεωρείται ότι αποτελούν τμήμα του ευρύτερου υδροφορέα της Αγυιάς και όχι κάποια ξεχωριστή καρστική υδροφορία. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, κατά την περίοδο των έντονων βροχοπτώσεων, όπου έχουμε μεγάλη υπόγεια διακίνηση νερού, η ανθρακική μάζα στο χώρο των πηγών, λόγω μειωμένης διαπερατότητας, να μη μπορεί να παροχετεύσει αυτές τις υπόγεια διακινούμενες ποσότητες νερού προς τα κατάντη. Εξαιτίας της δυσκολίας αυτής, το νερό εξέρχεται στην επιφάνεια ως πηγή, ενώ σε συνθήκες ομαλοποίησης της υπόγειας ροής οδεύει κατάντη στις πηγές του μετώπου της Αγυιάς (Λιονής και Περλέρος, 2001). Η μέση ετήσια απορροή εκτιμάται ότι υπερβαίνει τα $30 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ νερού.

3. Καρστικές πηγές Αγυιάς (Καλαμιώνας, Πλάτανος, Κολύμπα)

Η καρστική υδροφορία της περιοχής της Αγυιάς, αναπτύσσεται κυρίως στους καρστικούς ασβεστόλιθους και δολομίτες της ζώνης Τρυπαλίου. Η εκφόρτιση πραγματοποιείται μέσω ενός μετώπου πηγών, οι οποίες κατατάσσονται σε τρεις ομάδες (Λιονής και Περλέρος, 2001):

- α. Πηγές Πλατάνου (+40,2 m απόλυτο υψόμετρο)
- β. Πηγές Κολύμπα (+40,1 m απόλυτο υψόμετρο)
- γ. Πηγές Καλαμιώνα (+34,5 m απόλυτο υψόμετρο)

Η υδροφορία αυτή τροφοδοτείται από το ανάντη τμήμα των Λευκών Ορέων, το οποίο περιλαμβάνει και το οροπέδιο του Ομαλού. Από διάφορες ιχνηθετήσεις, έχει διαπιστωθεί επικοινωνία του οροπεδίου με τις πηγές Αγυιάς και Μεσκλών.

Οι πηγές της Αγυιάς λειτουργούν ως **πηγές υπερπλήρωσης**. Αυτό συμβαίνει γιατί το ρήγμα της Αγυιάς με διεύθυνση Δ-Α και ορατό μήκος πάνω από 20 km, διακόπτει απότομα την επέκταση των ασβεστολιθικών μαζών και φέρνει σε επαφή τους φυλλίτες με τους ασβεστόλιθους, δημιουργώντας ένα φυσικό φράγμα που οδηγεί στην επιφανειακή εκφόρτιση των υδάτων (Χατζηευαγγέλου, 2005).

Το ετήσιο ισοζύγιο των πηγών υπερβαίνει τα $70 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ και αποτελεί το ρυθμιστικό απόθεμά τους. Εκτός του ρυθμιστικού αποθέματος υπάρχει στον υδροφορέα και το μόνιμο υδατικό απόθεμα το ύψος του οποίου δεν είναι γνωστό (Ρίγλης, 1996).

Οι απορροές των πηγών της Αγυιάς δεν συμβάλλουν ουσιαστικά στη διαμόρφωση της υδροφορίας των προσχώσεων του Κερίτη αφού διατρέχουν το βορειοανατολικό τμήμα της πεδινής περιοχής της λεκάνης και εκφορτίζονται στην κοίτη σε θέση όπου οι υπόγειες υδροφορίες είναι πολύ ασθενείς ή δεν υφίστανται.

Από τα ανατολικά προς τα δυτικά οι πηγές αυτές παρουσιάζουν μια αύξηση των θεικών αλάτων με μεγαλύτερες τιμές στον Καλαμιώνα (Λιονής και Περλέρος, 2001).

4. Καρστικές πηγές Κουφού

Οι πηγές του Κουφού βρίσκονται στη θέση Βλυχάδες του Δήμου Μουσούρων. Εκδηλώνονται στους καρστικούς ασβεστόλιθους και δολομίτες της ζώνης Τρυπαλίου και εκφορτίζονται με ένα μέτωπο πηγών, με απόλυτο υψόμετρο +52 m. Η υδρογεωλογική λεκάνη, από την οποία τροφοδοτείται η καρστική υδροφορία αυτή, δεν είναι γνωστή (Λιονής και Περλέρος, 2001).

Από δεδομένα γεωτρήσεων και μετρήσεις στάθμης σε αυτές, πιθανή τροφοδοσία των πηγών είναι 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, καθώς με τις αντλήσεις που πραγματοποιούνται από την υδροφορία αυτή (οι οποίες σε ετήσια βάση υπερβαίνουν τα $5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ νερού), οι πηγές εμφανίζουν μικρή ή και καθόλου ροή ροή από τα μέσα της άνοιξης και μέχρι την περίοδο των βροχών.

Παρόλα αυτά, πιστεύεται ότι υπάρχει δυνατότητα περαιτέρω αναρρύθμισής τους, καθώς δεν έχουν παρατηρηθεί μόνιμες απώλειες υδραυλικού φορτίου. Αυτό πιθανόν να οφείλεται στην υδραυλική επικοινωνία που έχουν οι πηγές με τις πηγές

του Καλαμιώνα της Αγυιάς, αλλά πολύ πιθανόν και να τροφοδοτούνται υπόγεια από το καρστ που βρίσκεται νοτιότερα.

Ιδιαίτερο χαρακτηριστικό γνώρισμα των πηγών Κουφού αποτελεί η υψηλή περιεκτικότητα σε θειικά ιόντα. (Λιονής και Περλέρος, 2001).

5. Προσχωσιγενής λεκάνη Αλικιανού, Κουφού, Βατόλακου, Σκινέ

Το προσχωματικό κομμάτι της λεκάνης του Κερίτη καταλαμβάνει μια επιφάνεια περίπου **24,3 km²**. Αποτελείται από σύγχρονες αλλουβιακές αποθέσεις κροκαλών, άμμων και αργίλων. Πρόκειται για μια εσωτερική προσχωματική λεκάνη, η οποία λειτουργεί σαν ενδιάμεση δεξαμενή ύδατος στο υδρολογικό σύστημα του Κερίτη.

Γίνεται εκμετάλλευση της υδρογεωλογικής αυτής λεκάνης με αρκετές (περίπου 30 σε αριθμό) αξιόλογες γεωτρήσεις μεγάλων παροχών (η αντλούμενη ποσότητα νερού είναι περί τα $4 \cdot 10^6$ m³/έτος) με σχετικά μικρές πτώσεις στάθμης, γεγονός που δεικνύει και τη μεγάλη δυναμικότητα του υδροφορέα. Έτσι, καθίσταται δυνατή η περαιτέρω εκμετάλλευση των προσχωματικών υδροφοριών της λεκάνης Κερίτη.

Οι απόψεις διίστανται σχετικά με τον τρόπο με τον οποίο τροφοδοτείται αυτή η προσχωσιγενής λεκάνη. Κάποιοι υποστηρίζουν ότι η κύρια τροφοδοσία της υπόγειας υδροφορίας των σύγχρονων αποθέσεων πραγματοποιείται κυρίως μέσω των διηθήσεων του Κερίτη ποταμού και των παραποτάμων αυτού και δευτερευόντως από την κατείσδυση των νερών της βροχής. Κάποιοι άλλοι, υποστηρίζουν ότι, η κύρια τροφοδοσία του προσχωματικού υδροφορέα, πραγματοποιείται υπόγεια, μέσω του καρστικού συστήματος που υπάρχει νοτιότερα.

Στο κεντρικό τμήμα του Σκινέ, η υδραυλική κλίση της πιεζομετρικής επιφάνειας έχει τιμή 0,5% (Μαντζούκας, 2005) και εντοπίζεται σε βάθος από 6m έως 20m από την επιφάνεια. 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% (Μαντζούκας, 2005) και εντοπίζεται σε βάθος από 2m έως 6m από την επιφάνεια. Στην περιοχή Βατόλακου - Κουφού η κίνηση του υπόγειου νερού γίνεται προς ΒΒΑ και ο υδροφόρος ορίζοντας εντοπίζεται σε βάθος 5m στην περιοχή του

Βατόλακκου και 4m στην περιοχή του Κουφού με εξαίρεση τις παρυφές όπου εντοπίζεται περίπου σε 15m βάθος (Μαντζούκας, 2005).

Μεταξύ Αλικιανού και Πατελαρίου η υδραυλική κλίση 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 (Μαντζούκας, 2005). Σε αυτό το κομμάτι, αναπτύσσεται ένας κύριος άξονας αποστράγγισης με κατεύθυνση προς ΒΒΑ περίπου στο ύψος της σημερινής κοίτης του Κερίτη. Στο βόρειο τμήμα, η υπόγεια υδροφορία στραγγίζει προς το ποτάμι (σε αντίθεση με τα ανάντη τμήματα όπου ο ποταμός στραγγίζει στον υδροφόρο), εξαιτίας τόσο της μείωσης του πάχους των σύγχρονων αποθέσεων προς Βορρά, όσο και της μείωσης του ποσοστού συμμετοχής των χοντρόκοκκων υλικών.

Στο τμήμα τέλος της Αγυιάς, η υπόγεια υδροφορία στραγγίζει προς την τεχνητή λίμνη Αγυιάς. 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 (Μαντζούκας, 2005).

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

3.4.2 Κατάταξη Υδρολιθολογικών Σχηματισμών

Στην υδρολογική λεκάνη Κερίτη, οι διάφοροι γεωλογικοί σχηματισμοί, έχουν διαφορετική υδρολογική συμπεριφορά, που μαζί με την τεκτονική τους, δηλαδή τον τρόπο τοποθέτησης τους στον χώρο, καθορίζουν το υδρογεωλογικό καθεστώς στην περιοχή (Κτιστάκη, 2004). Ανάλογα με την υδροπερατότητα και τα υδρολιθολογικά τους χαρακτηριστικά γενικότερα, οι γεωλογικοί σχηματισμοί διακρίνονται σε:

- Καρστικούς, μικρής έως μεγάλης υδροπερατότητας,
- Πορώδεις, μικρής έως μεγάλης υδροπερατότητας και
- Αδιαπέρατους

A) Καρστικοί σχηματισμοί

Το νερό κυκλοφορεί μέσα στους καρστικούς σχηματισμούς μέσω των ασυνεχειών και των «κενών» που υπάρχουν στους καρστικούς σχηματισμούς γενικότερα. Ανάλογα με την υδροπερατότητά τους διακρίνονται σε 3 κατηγορίες (Κτιστάκη, 2004):

1. Ασβεστόλιθοι, δολομίτες, μάρμαρα και κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι. Αυτοί οι σχηματισμοί παρουσιάζουν **υψηλή έως μέτρια υδροπερατότητα** (ο χαρακτηρισμός «μέτρια υδροπερατότητα» αποδίδεται στα μη καρστικοποιημένα τμήματα της μάζας των σχηματισμών αυτών). Εδώ εντάσσονται οι έντονα καρστικοποιημένοι ανθρακικοί σχηματισμοί της ζώνης της Τρίπολης, τα ανθρακικά Τρυπαλίου και οι Τριαδικοί ασβεστόλιθοι και δολομίτες της Ιονίου ζώνης. Εδώ αναπτύσσονται μεγάλου δυναμικού υπόγειες υδροφορίες που εκφορτίζονται μέσω μεγάλων καρστικών πηγών.

2. Ασβεστόλιθοι μέτριας έως μικρής υδροπερατότητας. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν οι ασβεστόλιθοι της ζώνης της Πίνδου και οι κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι της Ιονίου ζώνης. Εδώ αναπτύσσονται μέσου έως μικρού δυναμικού υπόγειες υδροφορίες.

3. Ασβεστόλιθοι μέτριας έως υψηλής υδροπερατότητας. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν κυρίως λατυποκροκαλοπαγή Τοπολίων. Παρουσιάζουν τόσο πρωτογενές όσο και δευτερογενές πορώδες (ασυνέχειες και κενά). Αναπτύσσονται κι εδώ αξιόλογες υδροφορίες που εκφορτίζονται μέσω αξιόλογων πηγών.

B) Πορώδεις σχηματισμοί

Σε αυτούς τους σχηματισμούς, η κυκλοφορία του νερού πραγματοποιείται μέσω του πρωτογενούς πορώδους (δηλαδή το πορώδες των κόκκων). Διακρίνονται όπως και πριν, τρεις κατηγορίες ανάλογα με την υδροπερατότητά τους και το είδος των σχηματισμών (Κτιστάκη, 2004):

1. Μειοκαινικές και Πλειοκαινικές αποθέσεις μέτριας έως μικρής υδροπερατότητας. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τα κροκαλοπαγή και οι μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι των νεογενών σχηματισμών. Καταλαμβάνουν τις παρυφές των ορεινών ασβεστολιθικών όγκων και μερικές φορές τροφοδοτούνται πλευρικά από τους ασβεστολίθους όταν η πιεζομετρία το επιτρέπει. Εντός της μάζας τους αναπτύσσονται μέσου έως μικρού δυναμικού υπόγειες υδροφορίες.

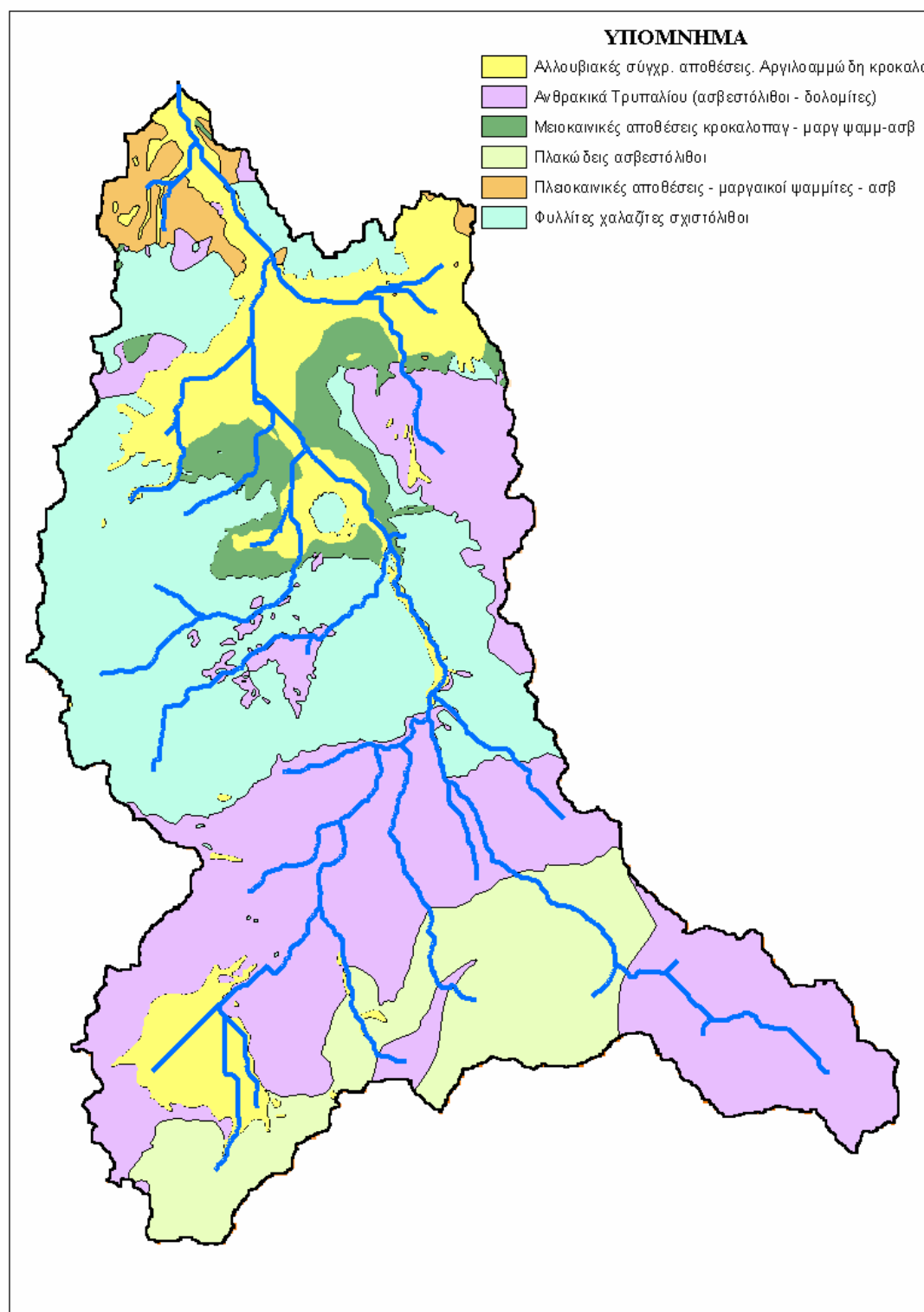
2. Κοκκώδεις προσχωματικοί σχηματισμοί μέτριας έως μικρής υδροπερατότητας. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν αλλουβιακές αποθέσεις, ποτάμιες και θαλάσσιες αναβαθμίδες και κροκαλοπαγή ποτάμιας προέλευσης. Αναπτύσσονται ιδιαίτερα στις σύγχρονες αποθέσεις των ποταμών και χειμάρρων με αξιόλογες φρεάτιες υδροφορίες.

3. Κοκκώδεις μη προσχωματικές αποθέσεις μικρής έως πολύ μικρής υδροπερατότητας. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν οι πλειοκαινικές και μειοκαινικές μάργες, καθώς και ο αδιαίρετος σχηματισμός των νεογενών. Τοπικά στον αδιαίρετο σχηματισμό των νεογενών αναμένεται η ανάπτυξη υδροφοριών μέσα σε παρεμβολές κροκαλοπαγών ή μαργαϊκών ασβεστολίθων. Κατά θέσεις στις νεογενείς αποθέσεις αναπτύσσονται στρώματα γύψου που παρουσιάζουν αξιόλογη υδροφορία έντονα όμως υποβαθμισμένη εξαιτίας των θεικών ιόντων.

Γ) Αδιαπέρατοι σχηματισμοί

Πρόκειται για πρακτικά αδιαπέρατους ή εκλεκτικής κυκλοφορίας σχηματισμούς με μικρή έως πολύ μικρή υδροπερατότητα. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν το τεκτονικό κάλυμμα των φυλλιτών – χαλαζιτών, οι φλύσχεις και οι σχιστόλιθοι της Ιονίου ζώνης. Μέσα στο σύστημα φυλλιτών – χαλαζιτών παρεμβάλλονται συχνά ζώνες μαρμάρων που έχουν τοπική υδρογεωλογική σημασία σε συνδυασμό με τις ζώνες κερματισμού του τεκτονικού αυτού καλύμματος (Κτιστάκη, 2004).

Στην Εικόνα 3-3, παρουσιάζεται ο χάρτης με τις διάφορες υδρογεωλογικές ενότητες της λεκάνης του Κερίτη.



Εικόνα 3-3: Υδρογεωλογικές ενότητες λεκάνης Κερίτη

4. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ & ΕΦΑΡΜΟΓΗ

4.1. Μετρήσεις Πεδίου

Παρατηρώντας τη διαθεσιμότητα των δεδομένων, ο Κερίτης χαρακτηρίζεται ως λεκάνη ανεπαρκούς καταγραφής δεδομένων (ungauged basin). Για αυτό το λόγο, από το φθινόπωρο του 2005 έως και την άνοιξη του 2006, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις πεδίου σε συγκεκριμένα σημεία της λεκάνης του Κερίτη.

Πιο συγκεκριμένα, μετρήθηκαν:

- α) Η βροχόπτωση που πέφτει στη λεκάνη, από 5 εγκατεστημένους βροχογράφους εντός της λεκάνης (Εικόνα 4-7),
- β) Η στάθμη ροής του ποταμού με τη χρήση σταθμηγράφων σε τέσσερις διατομές (Εικόνα 4-7) και
- γ) Η ταχύτητα ροής του ποταμού στα σημεία που υπάρχουν εγκατεστημένοι οι σταθμηγράφοι με τη χρήση μιλίσκου ή ψηφιακής βιντεοκάμερας για την εκτίμηση της συνολικής απορροής του ποταμού.

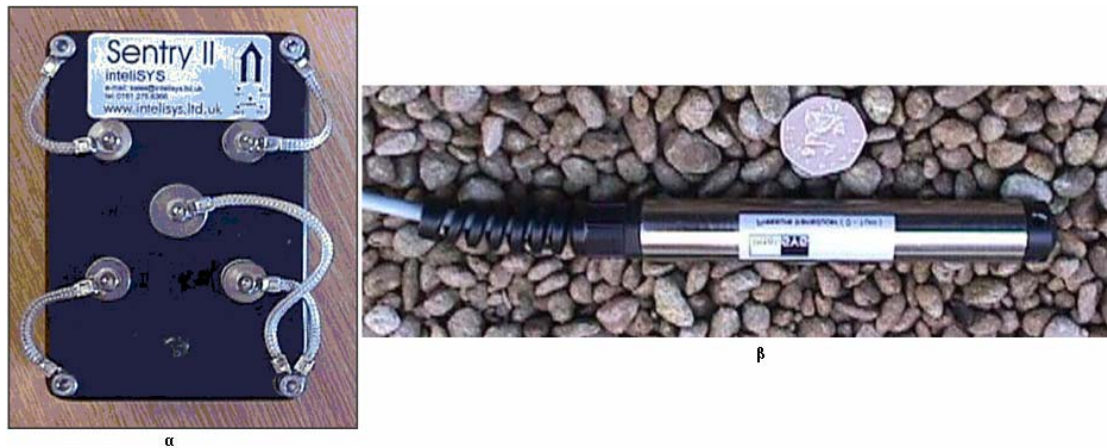
Σκοπός των συγκεκριμένων μετρήσεων πεδίου, ήταν η χρησιμοποίησή τους για τον ακριβέστερο υπολογισμό του υδατικού ισοζυγίου της λεκάνης του Κερίτη και τη γενικότερη συμβολή τους σε μια πιο πλήρη κατανόηση του υδατικού δυναμικού της λεκάνης και τη βέλτιστη διαχείρισή του.

4.1.1. Περιγραφή οργάνων

Παρακάτω ακολουθεί μια πολύ συνοπτική περιγραφή των οργάνων που με οποιονδήποτε τρόπο χρησιμοποιήθηκαν για τη συλλογή των δεδομένων από το πεδίο:

- 1. Σταθμηγράφος με αισθητήρα πίεσης:** Οι σταθμηγράφοι χρησιμοποιούνται όχι μόνο για τη μέτρηση της στάθμης ποταμών αλλά και σε άλλες περιπτώσεις υδάτινων σωμάτων όπως λίμνες και υπόγειους υδροφορείς (Μιμίκου, 2005). Στην περίπτωση του Κερίτη, η μέτρηση γίνεται μέσω μανομέτρου με αισθητήρα πίεσης βυθισμένο σε φρεάτιο που επικοινωνεί με τη ροή του υδατορεύματος και η πίεση εύκολα μετατρέπεται σε στάθμη. Ο

κάθε σταθμηγράφος αποτελείται από τον καταγραφέα και τον αισθητήρα (Εικόνα 4-1).



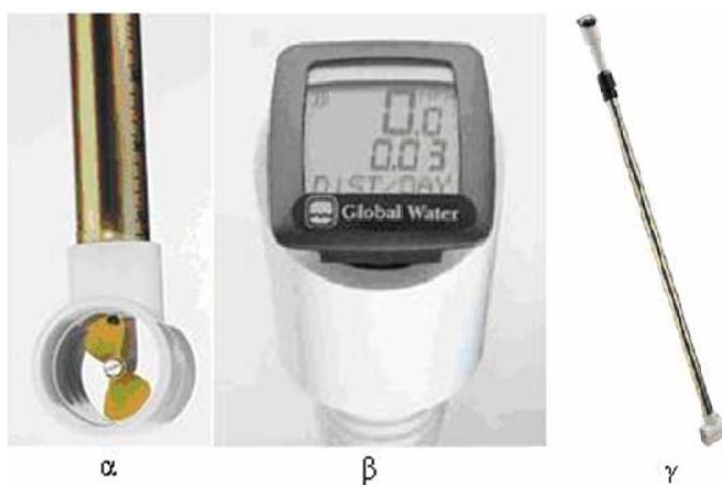
Εικόνα 4-1: Σταθμηγράφος με αισθητήρα πίεσης: α) Καταγραφέας και β) Αισθητήρας

2. Βροχογράφος ανατρεπόμενου κάδου: Σε αυτόν τον τύπο βροχογράφου (Εικόνα 4-2), το νερό της βροχής εισέρχεται στο ένα από τα δύο μικρά διαμερίσματα ειδικά διαμορφωμένου κυλίνδρου. Μετά την πλήρωση κάθε τέτοιου διαμερίσματος, η ισορροπία ανατρέπεται και καταγράφεται η ποσότητα νερού που εισήλθε, ενώ θέση για πλήρωση παίρνει το δεύτερο διαμέρισμα που με τη σειρά του μετά την πλήρωση ανατρέπεται. Κάθε ανατροπή μετατρέπεται σε ηλεκτρικό σήμα και ανά 15min μετατρέπεται σε ποσότητα ύδατος και καταγράφεται.



Εικόνα 4-2: Βροχογράφος ανατρεπόμενου κάδου

- 3. Μυλίσκος:** Ο μυλίσκος (Εικόνα 4-3) είναι το συνηθέστερα χρησιμοποιούμενο όργανο για τη μέτρηση της ταχύτητας ροής σε φυσικά υδατορεύματα. Αποτελείται από μια έλικα που εμβαπτίζεται στη διατομή του υδατορεύματος στο συγκεκριμένο σημείο και περιστρέφεται υπό την επίδραση της ροής. Η ταχύτητα στο σημείο αυτό προκύπτει ως γραμμική συνάρτηση της συχνότητας περιστροφής της έλικας, όπου οι παράμετροι της συνάρτησης δίνονται από τον κατασκευαστή του οργάνου. Οι μετρήσεις παρουσιάζουν σημαντικές δυσκολίες (ανάρτηση, γωνία με κατακόρυφο) όταν οι ταχύτητες ξεπεράσουν τα 7 m/s.



Εικόνα 4-3: Μυλίσκος: α) περιστρεφόμενη έλικα, β) οθόνη ανάγνωσης και γ) συνολική άποψη

- 4. Ψηφιακή βιντεοκάμερα:** Πρόκειται για μια κοινή βιντεοκάμερα η οποία έχει τη δυνατότητα μαγνητοσκόπησης με ήχο (Εικόνα 4-4).



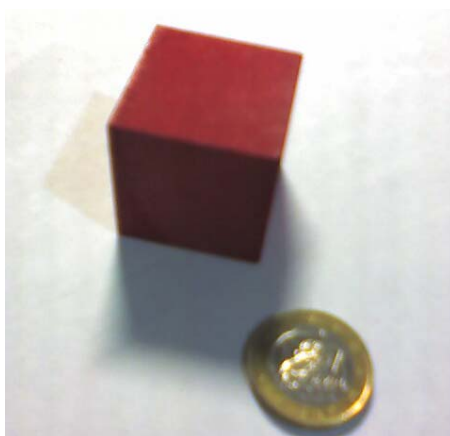
Εικόνα 4-4: Ψηφιακή Βιντεοκάμερα JVC GY-DV300

- 5. Βαθμονομημένη σανίδα:** Πρόκειται για μια σανίδα μήκους περίπου 2,8m, η οποία βαθμονομήθηκε ανά 20cm (Εικόνα 4-5). Ο λόγος για τον οποίο κατασκευάστηκε, ήταν η μέτρηση της ταχύτητας ροής μέσω ρίψης ξύλινων κύβων και βιντεοσκόπησης αυτής της κίνησης με την βιντεοκάμερα.



Εικόνα 4-5: Βαθμονομημένη σανίδα

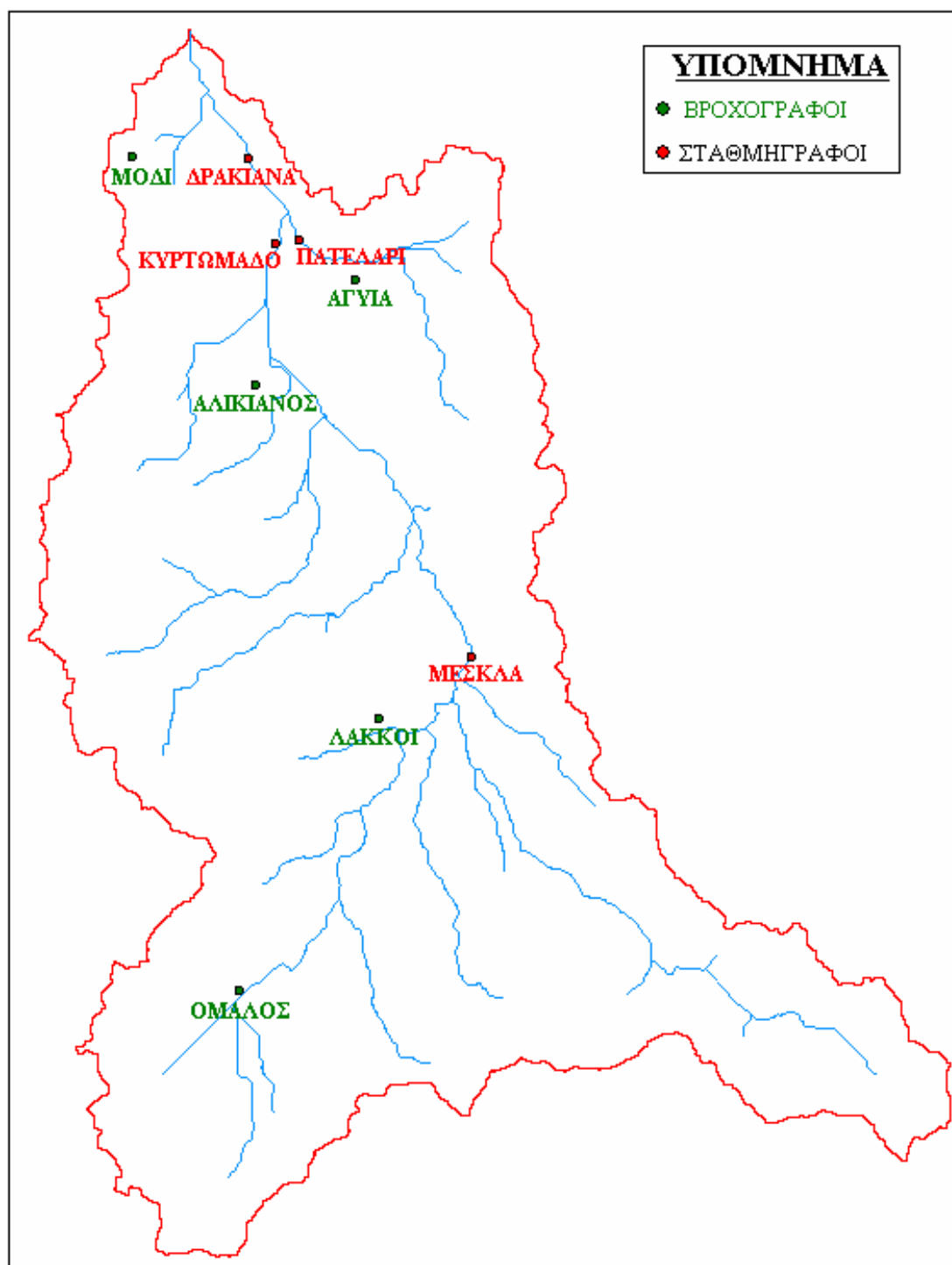
- 6. Ξύλινοι κύβοι:** Πρόκειται για ξύλινους κύβους με πλευρά 5cm, οι οποίοι για να είναι καλύτερα διακριτοί, βάφτηκαν με κόκκινο σπρέι (Εικόνα 4-6).



Εικόνα 4-6: Ξύλινοι κύβοι

4.1.2. Περιγραφή των σημείων μέτρησης

Κατά τη διάρκεια της παρούσας διπλωματικής εργασίας, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις ταχύτητας ροής υδατορεύματος, σε τέσσερα σημεία. Τα συγκεκριμένα σημεία δεν επιλέχθηκαν τυχαία, καθώς σε αυτά βρίσκονται εγκατεστημένοι σταθμηγράφοι (Εικόνα 4-7), οι οποίοι καταγράφουν συνεχώς τη στάθμη του νερού στη συγκεκριμένη διατομή του υδατορεύματος.



Εικόνα 4-7: Θέσεις σταθμηγράφων και βροχογράφων

Παρακάτω, ακολουθεί μια συνοπτική περιγραφή της κάθε διατομής:

1. Μεσκλά

Η διατομή των Μεσκλών είναι από τις πιο αποδεκτές από πλευρά σχήματος και από τις πιο σημαντικές από πλευράς παροχής.

Η μέτρηση της παροχής στη διατομή αυτή θεωρείται μείζονος σημασίας, καθώς είναι το σημείο από όπου περνάει όλο το νερό που απορρέει από την ανάντη υπολεκάνη (Εικόνα 4-19).

Στην Εικόνα 4-8, φαίνεται η διατομή των Μεσκλών η οποία δείχνει τη μορφή της διατομής και αιτιολογεί γιατί αυτή θεωρείται πολύ ικανοποιητική, από την άποψη ότι παραμένει αμετάβλητη στο χρόνο και έχει και ορθογωνικό σχήμα.



Εικόνα 4-8: Η διατομή των Μεσκλών

Στην Εικόνα 4-8, το κόκκινο βέλος δείχνει το σημείο στο οποίο βρίσκεται ο σταθμηγράφος και το πράσινο δείχνει το σημείο στο οποίο ο σταθμηγράφος καταγράφει συνεχώς το ύψος ροής του νερού. Σε αυτό το σημείο επίσης έχουν μετρηθεί η ταχύτητα ροής με την κάμερα ή/και το μυλίσκο έτσι ώστε να υπάρχει άμεση συσχέτιση με τα δεδομένα από το σταθμηγράφο.

Στο παράρτημα, φαίνεται το ακριβές σχέδιο της διατομής σχεδιασμένο στο AutoCAD 2004.

2. Κυρτωμάδο

Η διατομή που βρίσκεται στο Κυρτωμάδο (κάτω από την ξύλινη στρατιωτική γέφυρα), θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως η πιο σημαντική και αυτή που παρουσιάζει τη μεγαλύτερη ομοιότητα με ορθογωνική διατομή. Η σωστή μέτρηση της παροχής είναι και εδώ πολύ σημαντική, κυρίως για δύο λόγους:

α) Επειδή, από τα Μεσκλά μέχρι το Κυρτωμάδο, ο ποταμός Κερίτης διασχίζει ένα μεγάλο κομμάτι της λεκάνης (το κεντρικό) και σχεδόν όλο είναι μέσα στο προσχωματικό κομμάτι της λεκάνης και

β) Επειδή μερικά μέτρα παρακάτω, ο ποταμός Κερίτης ενώνεται με το υδατόρευμα της Αγυιάς (Εικόνα 4-9) και οδηγούνται προς τη διατομή των Δρακιανών που βρίσκεται κατάντη. Δηλαδή, η παροχή που περνάει από εδώ, παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στον προσδιορισμό του υδατικού ισοζυγίου του ποταμού Κερίτη, αφού μας δείχνει πόση είναι η απορροή και πόση η κατείσδυση κατά την πορεία του νερού στο κομμάτι αυτό της λεκάνης.



Εικόνα 4-9: Ένωση Κερίτη και Αγυιάς

Στην Εικόνα 4-10, φαίνεται η διατομή του Κυρτωμάδου.



Εικόνα 4-10: Η διατομή του Κυρτωμάδου

Στο παράρτημα, φαίνεται το ακριβές σχέδιο της διατομής σχεδιασμένο στο AutoCAD 2004.

3. Πατελάρι

Το σημείο στο οποίο μετρίεται η στάθμη και η ταχύτητα ροής στο Πατελάρι (δίπλα στο συσκευαστήριο πορτοκαλιών), αφορά το υδατόρευμα της Αγυιάς και βρίσκεται μερικά μέτρα πριν την ένωση αυτού με τον ποταμό Κερίτη, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 4-9.

Ο λόγος για τον οποίο πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις σε αυτό το σημείο, είναι πολύ απλά για να είναι με όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ακρίβεια γνωστή η παροχή του υδατορεύματος της Αγυιάς, πριν αυτή ενσωματωθεί στον Κερίτη και συνεχίσουν μαζί για την κατάντη διατομή (Δρακιανά).

Και η συγκεκριμένη διατομή έχει αρκετά καλά χαρακτηριστικά. Στην Εικόνα 4-11, φαίνεται η διατομή του Πατελαρίου.



Εικόνα 4-11: Η διατομή του Πατελαρίου

Στο σημείο που βρίσκεται το κόκκινο βέλος, βρίσκεται εγκατεστημένος ο σταθμηγράφος. Δυστυχώς, στη συγκεκριμένη διατομή δεν ήταν δυνατό να πραγματοποιηθούν μετρήσεις της ταχύτητας ροής στην θέση του σταθμηγράφου, λόγω φυσικών εμποδίων κι έτσι οι όποιες μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν μερικά μέτρα ανάντη.

Στο παράρτημα, φαίνεται το ακριβές σχέδιο της διατομής σχεδιασμένο σε AutoCAD 2004.

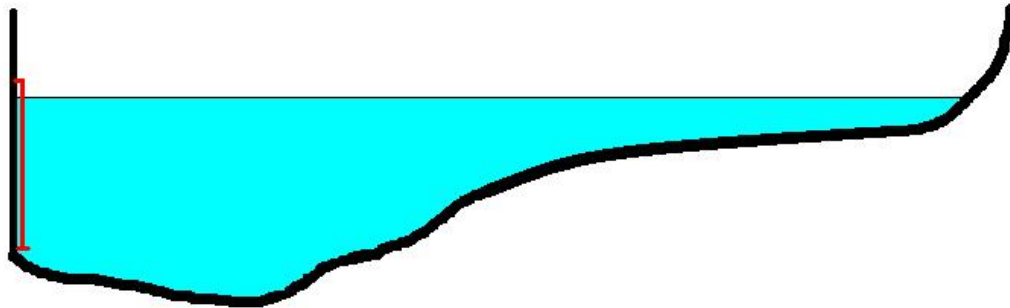
4. Δρακιανά

Η διατομή στα Δρακιανά, είναι εξίσου σημαντική, καθώς από αυτήν περνάει όλο το νερό του ποταμού Κερίτη και του υδατορεύματος της Αγυιάς και απορρέει στη θάλασσα.

Το βασικό μειονέκτημα όμως αυτής της διατομής είναι ότι μεταβάλλεται συνεχώς κατά τη διάρκεια του έτους εξαιτίας της διάβρωσης ή της απόθεσης φερτών υλικών που προκαλείται από την ορμή του ποταμού. Έτσι, η στάθμη ροής από το

σταθμηγράφο, δεν είναι πολύ αξιόπιστη και ο υπολογισμός του εμβαδού από το σχέδιο του AutoCAD, είναι προσεγγιστικός.

Στην Εικόνα 4-12, φαίνεται ένα πρόχειρο σχέδιο της διατομής των Δρακιανών, στο σημείο που μετράει ο σταθμηγράφος.



Εικόνα 4-12: Προσεγγιστικό σχέδιο διατομής Δρακιανών

Επειδή λοιπόν η μέτρηση της ταχύτητας κατά πλάτος του ποταμού σε αυτό το σημείο δε θα ήταν καθόλου αντικειμενική, η ταχύτητα ροής μετρήθηκε με το μυλίσκο μερικά μέτρα ανάντη, όπου η διατομή ήταν πολύ καλύτερη και επίπεδη, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 4-13.



Εικόνα 4-13: Η διατομή των Δρακιανών

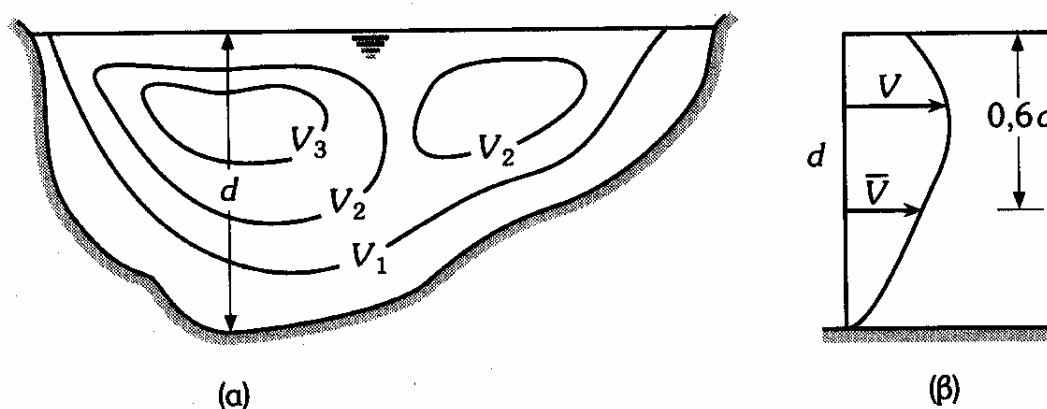
Στο παράρτημα, φαίνεται το ακριβές σχέδιο της διατομής σχεδιασμένο σε AutoCAD 2004.

4.1.3. Μέτρηση της ταχύτητας ροής

Είναι γνωστό ότι σε τυχαία διατομή υδατορεύματος, η ταχύτητα ροής εξαρτάται από το υλικό των πρανών και του πυθμένα που προκαλούν τριβές, καθώς και από το σχήμα της διατομής.

Έχει αποδειχθεί ότι, σε φυσικά υδατορεύματα, η μέγιστη ταχύτητα εμφανίζεται κοντά στην επιφάνεια, ενώ η μέση ταχύτητα η οποία και τελικώς ενδιαφέρει στις σημειακές μετρήσεις εντοπίζεται περίπου στο 0,6 του βάθους σε κάθε κατακόρυφο της διατομής.

Στην Εικόνα 4-14 (Τσακίρης, 1995), απεικονίζεται σχηματικά η κατανομή ταχυτήτων σε μια διατομή φυσικού υδατορεύματος καθώς και η κατανομή ταχυτήτων κατά την κατακόρυφο του βάθους d .



Εικόνα 4-14: α) Κατά πλάτος και β) Κατά μήκος κατανομή ταχυτήτων σε διατομή φυσικού υδατορεύματος (Τσακίρης, 1995)

Πρέπει να σημειωθεί ότι, για να είναι οι μετρήσεις που λαμβάνονται όσο το δυνατόν πιο αξιόπιστες, πρέπει να διασφαλίζονται κατά το δυνατόν τα παρακάτω:

α) Να ισχύουν συνθήκες ομοιόμορφης ροής και

β) Η διατομή των μετρήσεων πρέπει να βρίσκεται σε ευθύγραμμο τμήμα της κοίτης, να είναι κατά το δυνατόν κανονικού σχήματος (π.χ. ορθογωνική ή τραπεζοειδής) και να παραμένει αμετάβλητη στο χρόνο (π.χ. να εμποδίζεται η απόθεση φερτών υλικών στις όχθες μεταλλάσσοντας τη διατομή).

Οι μετρήσεις της ταχύτητας ροής πρέπει να γίνονται τακτικά και κυρίως σε περιόδους υψηλών ροών (συνήθως Οκτώβριο - Απρίλιο), έτσι ώστε να επιτευχθεί καλύτερη και πιο ενημερωμένη χάραξη της καμπύλης στάθμης – παροχής.

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι μέτρησης της ταχύτητας ροής ενός ποταμού. Στην περίπτωση του Κερίτη, η ταχύτητα ροής μετρήθηκε με δύο τρόπους:

- α) Με χρήση μυλίσκου
- β) Με χρήση ψηφιακής βιντεοκάμερας

Όπου και όποτε αυτό ήταν δυνατό, χρησιμοποιήθηκαν και οι δύο τρόποι μέτρησης, έτσι ώστε τα αποτελέσματα να είναι πιο έγκυρα και να μπορεί ταυτόχρονα να υπολογιστεί η συσχέτιση μεταξύ των δύο μεθόδων, αλλά και το σφάλμα της κάθε μιας από αυτές.

Παρακάτω, παρουσιάζεται συνοπτικά ο τρόπος με τον οποίο μετρήθηκε η ταχύτητα ροής για κάθε μία μέθοδο χωριστά.

A) Μέτρηση ταχύτητας με χρήση μυλίσκου

Οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν με το μυλίσκο, έγιναν σύμφωνα με τις οδηγίες της κατασκευάστριας εταιρείας για την αποφυγή σφαλμάτων. Έτσι, για την υλοποίηση μιας μέτρησης, ακολουθούταν η παρακάτω διαδικασία:

α) Επιλεγόταν το σημείο στο οποίο θα μετρηθεί η ταχύτητα ροής. Στις πλείστες των περιπτώσεων, αυτό το σημείο βρισκόταν στη μέση της διατομής (κατά πλάτος αυτής) και η μέτρηση γινόταν σε βάθος 60% από την επιφάνεια, καθώς με βάση τη βιβλιογραφία (Τσακίρης, 2004), σε αυτό το βάθος έχουμε τη μέση ταχύτητα ροής του υδατορεύματος.

β) Μηδενιζόταν όλες οι προηγούμενες μετρήσεις και ο μυλίσκος παρέμενε μέσα στο νερό (προσέχοντας η φορά του βέλους στον προωστήρα να συμφωνεί με την κατεύθυνση της ροής) για περίπου 20 – 40 sec και τη στιγμή που έβγαινε από το νερό, στην οθόνη εμφανιζόταν η τιμή της μέσης ταχύτητας που είχε μετρήσει το όργανο.

γ) Η μέτρηση καταγραφόταν και η διαδικασία αυτή επαναλαμβανόταν ακόμα 1 ή 2 φορές για την επαλήθευση του αποτελέσματος.

Στην Εικόνα 4-15, φαίνεται η μέτρηση της ταχύτητας ροής με τη χρήση μυλίσκου.



Εικόνα 4-15: Μέτρηση ταχύτητας ροής με το μυλίσκο

B) Μέτρηση ταχύτητας με χρήση ψηφιακής κάμερας

Η μέτρηση της ταχύτητας ροής, σε αρκετές περιπτώσεις δεν ήταν δυνατό να γίνει με τη χρήση του μυλίσκου, καθώς δεν το επέτρεπαν οι υπάρχουσες συνθήκες (δυσπρόσιτη διατομή, επικίνδυνα υψηλή ροή, κλπ.).

Σε αυτές τις περιπτώσεις, μια πρακτική λύση ήταν η χρήση ψηφιακής βιντεοκάμερας για τη μαγνητοσκόπηση της κίνησης ξύλινων κύβων στην επιφάνεια του υδατορεύματος. Αργότερα, με τη χρήση λογισμικού EDIUS v2.5, η ψηφιακή αποτύπωση αυτής της κίνησης επέτρεψε τον υπολογισμό της ταχύτητας των κύβων.

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε για τη μέτρηση της ταχύτητας ροής με τη χρήση της ψηφιακής βιντεοκάμερας, περιγράφεται παρακάτω:

α) Αρχικά, στήνονταν το τρίποδο φροντίζοντας να μη γέρνει και αμέσως μετά στερεωνόταν πάνω σε αυτό η βιντεοκάμερα, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 4-16.

β) Έπειτα, η βαθμονομημένη σανίδα αφηνόταν να επιπλεύσει στο υδατόρευμα μέχρις ότου να έρθει σε διεύθυνση παράλληλη με τη διεύθυνση της ροής.

γ) Εφόσον τα δύο προηγούμενα βήματα είχαν ολοκληρωθεί, άρχιζε η ρίψη των ξύλινων κύβων και η μαγνητοσκόπηση της κίνησής τους.

Στην Εικόνα 4-16, φαίνεται ο τρόπος με τον οποίο στήνεται η κάμερα στην όχθη για τη μαγνητοσκόπηση της κίνησης των κύβων στον ποταμό.



Εικόνα 4-16: Μέτρηση ταχύτητας ροής με την ψηφιακή βιντεοκάμερα

4.1.4. Υπολογισμός Διατομών

Ο υπολογισμός της παροχής σε κάθε ένα από τα σημεία που πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις, δε θα ήταν εφικτός εάν εκτός από το ύψος και την ταχύτητα ροής δεν ήταν γνωστό και το ακριβές σχήμα της κάθε διατομής.

Όπως έχει ήδη προαναφερθεί, στα τέσσερα σημεία στα οποία πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις της ταχύτητας ροής (Μεσκλά, Κυρτωμάδο, Πατελάρι, Δρακιανά), υπάρχουν εγκατεστημένοι σταθμηγράφοι, οι οποίοι καταγράφουν συνεχώς και ανά ορισμένα χρονικά διαστήματα (ανά 15min ή ανά 1h) τη στάθμη του νερού.

Το επόμενο στοιχείο που χρειάζεται, είναι η ταχύτητα με την οποία ρέει το ποτάμι. Αυτό μετρήθηκε κάποιες συγκεκριμένες ημερομηνίες (συνήθως αμέσως μετά από κάποιο γεγονός βροχής) στα παραπάνω σημεία, είτε με το μυλίσκο, είτε με την κάμερα, αναλόγως με το τι ήταν εφικτό στην κάθε περίπτωση.

Τέλος, για να υπολογιστεί η παροχή που περνάει ανά πάσα στιγμή από την εκάστοτε διατομή χρειάζεται το «εμβαδόν ροής», δηλαδή το εμβαδόν της επιφάνειας που σχηματίζεται από τη ροή του νερού στην κοίτη. Για τον ορθό υπολογισμό του, απαιτείται ακριβής γνώση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών της διατομής. Το εμβαδόν αυτό θα δίνεται από μια εξίσωση, η οποία για οποιαδήποτε τιμή του ύψους ροής (δεδομένα σταθμηγράφων) και ανάλογα με τα χαρακτηριστικά αυτής, θα δίνει το ζητούμενο εμβαδόν.

Το πρόβλημα είναι ότι οι διατομές στα σημεία στα οποία πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις, δεν έχουν «ιδανικά» σχήματα τα οποία να διευκολύνουν κατά πολύ την εξαγωγή της εξίσωσης για τον υπολογισμό της επιφάνειας ροής. Στις τρεις από τις τέσσερις διατομές, οι εξισώσεις που απαιτούνταν ήταν υποχρεωτικά κλαδικές, καθώς ανάλογα με το ύψος ροής, τα χαρακτηριστικά και το σχήμα τους αλλάζανε ριζικά.

Παρακάτω, δίνονται οι εξισώσεις οι οποίες εξήχθησαν ως συνάρτηση του ύψους ροής με βάση τη μορφή των διατομών από τα σχέδια του AutoCAD (παρουσιάζονται στο παράρτημα) για τον υπολογισμό της παροχής. Με A συμβολίζεται η επιφάνεια ροής σε m^2 , ενώ με y συμβολίζεται το ύψος ροής σε m .

1. Μεσκλά

Ύστερα από μελέτη της διατομής στο AutoCAD 2004, υπολογίστηκε ότι η εξίσωση που δίνει το εμβαδόν του νερού συναρτήσει του ύψους ροής ανά πάσα στιγμή για τη διατομή των Μεσκλών, είναι η παρακάτω:

$$A = \left\{ \begin{array}{l} 0 < y < 0,36 \Rightarrow A = 6,9 \cdot y \\ 0,36 < y < 3 \Rightarrow A = 2,484 + 11,6 \cdot (y - 0,36) \end{array} \right\}$$

2. Κυρτωμάδο (ξύλινη γέφυρα)

Ομοίως, για τη διατομή του Κυρτωμάδου, η εξίσωση είναι η παρακάτω:

$$A = 16,26 \cdot y + 0,7122 \cdot y^2$$

3. Πατελάρι (συσκευαστήριο)

Ομοίως, για τη διατομή του Πατελαρίου, η εξίσωση είναι η ακόλουθη:

$$A = \left\{ \begin{array}{l} 0 < y < 0,13 \Rightarrow A = 23,846 \cdot y^2 \\ 0,13 < y < 0,97 \Rightarrow A = 0,403 + 6,07 \cdot (y - 0,13) + 1,208 \cdot (y - 0,13)^2 \\ 0,97 < y < 1,7 \Rightarrow A = 6,354 + 9,148 \cdot (y - 0,97) + 0,959 \cdot (y - 0,97)^2 \end{array} \right\}$$

4. Δρακιανά (ταβέρνα)

Τέλος, για τη διατομή των Δρακιανών, η εξίσωση είναι η παρακάτω:

$$A = \left\{ \begin{array}{l} 0 < y < 0,16 \Rightarrow A = 17,095 \cdot y^2 \\ 0,16 < y < 0,94 \Rightarrow A = 0,438 + 5,47 \cdot (y - 0,16) + 3,878 \cdot (y - 0,16)^2 \\ 0,94 < y < 2,2 \Rightarrow A = 7,063 + 12,14 \cdot (y - 0,94) + 5,215 \cdot (y - 0,94)^2 \end{array} \right\}$$

4.1.5. Δεδομένα Διατομών

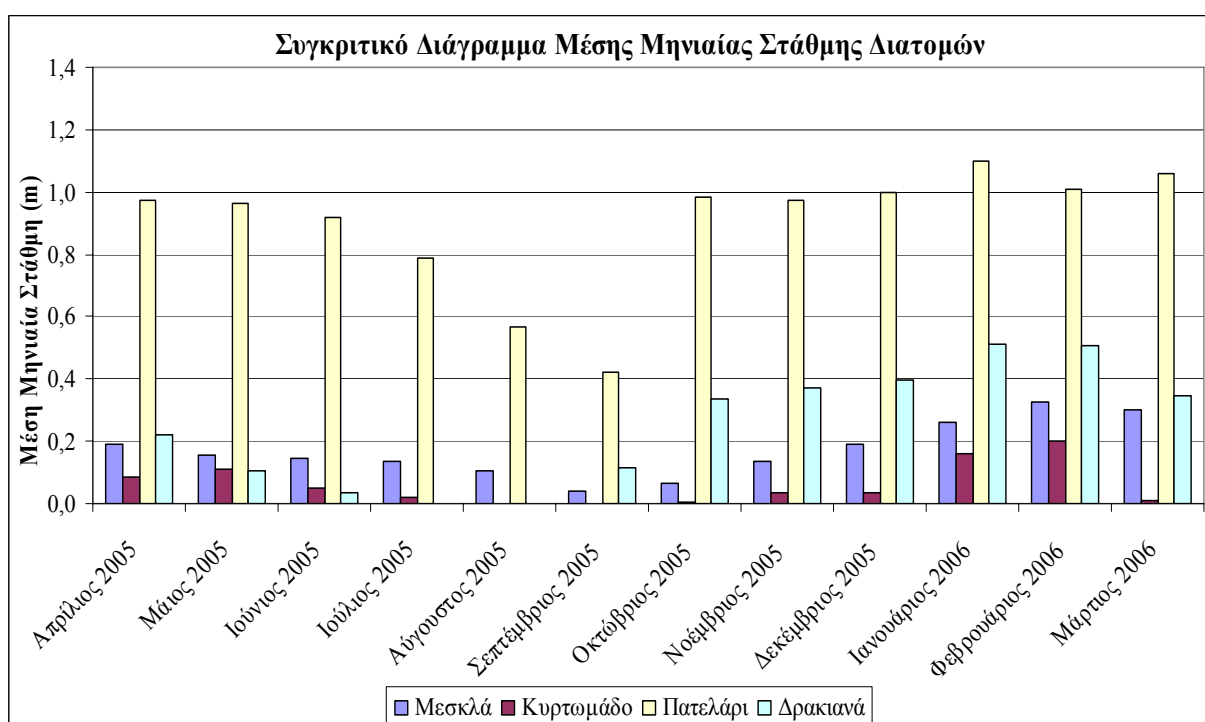
Στον Πίνακα 4-1, παρουσιάζονται οι μέσες μηνιαίες στάθμες (έτσι όπως προέκυψε από τα δεδομένα των σταθμηγράφων) σε κάθε μία από τις τέσσερις διατομές που πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις πεδίου για το διάστημα 15/4/2005 έως 15/4/2006 το οποίο χρησιμοποιήθηκε στον υπολογισμό του υδατικού ισοζυγίου.

	Μέσες Στάθμες (m)			
Μήνας	Μεσκλά	Κυρτωμάδο	Πατελάρι	Δρακιανά
Απρίλιος 2005	0,190	0,083	0,972	0,220
Μάιος 2005	0,157	0,109	0,961	0,107
Ιούνιος 2005	0,147	0,048	0,918	0,035
Ιούλιος 2005	0,137	0,018	0,789	0,000
Αύγουστος 2005	0,106	0,000	0,568	0,000
Σεπτέμβριος 2005	0,042	0,000	0,421	0,115
Οκτώβριος 2005	0,065	0,006	0,982	0,338

Νοέμβριος 2005	0,135	0,036	0,975	0,373
Δεκέμβριος 2005	0,191	0,037	1,000	0,398
Ιανουάριος 2006	0,263	0,161	1,100	0,512
Φεβρουάριος 2006	0,327	0,202	1,008	0,508
Μάρτιος 2006	0,299	0,012	1,061	0,347

Πίνακας 4-1: Συγκριτικός πίνακας μέσης μηνιαίας στάθμης διατομών

Τα δεδομένα του Πίνακα 4-1, φαίνονται σχηματικά και στην Εικόνα 4-17:



Εικόνα 4-17: Συγκριτικό διάγραμμα μέσης μηνιαίας στάθμης διατομών

4.2. Όγκος Προσχωματικού Υδροφορέα

4.2.1. Γενικά

Η νεότερη γεωλογική ενότητα στη λεκάνη του Κερίτη είναι οι αλλουβιακές αποθέσεις. Η έκταση που καταλαμβάνει βρίσκεται στο κέντρο και βόρεια της λεκάνης Κερίτη και αποτελεί τον προσχωματικό υδροφορέα της περιοχής. Ο

προσχωματικός υδροφορέας είναι ίσως το σημαντικότερο τμήμα της λεκάνης, καθώς παρουσιάζει πολύ αξιόλογη υπόγεια υδροφορία και πάνω στην έκταση αυτή βρίσκονται οι περισσότερες καλλιεργήσιμες εκτάσεις της λεκάνης.

Η φόρτιση του προσχωματικού υδροφορέα πραγματοποιείται κυρίως από:

- α) Τη διήθηση από τον ποταμό Κερίτη και
- β) Την κατείδυση λόγω βροχόπτωσης στη γύρω περιοχή

Παρακάτω αναπτύσσεται μια προσπάθεια υπολογισμού του όγκου του νερού που υπάρχει εντός του προσχωματικού υδροφορέα, λαμβάνοντας υπόψη τη στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα (μέσω δεδομένων υδρογεωτρήσεων της περιοχής) δύο συγκεκριμένες εποχές (Απρίλιος και Οκτώβριος).

Ο σκοπός για τον οποίο έγινε αυτή η προσομοίωση, είναι για να χρησιμοποιηθεί παρακάτω σαν δεδομένο κατά τον υπολογισμό του υδατικού ισοζυγίου της λεκάνης και για το σκοπό αυτό, χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό της ESRI, ArcGIS 9.

4.2.2. Περιγραφή και εκτέλεση διαδικασίας

Για τη μελέτη αυτή της υπόγειας υδροφορίας και την εκτίμηση της δυναμικότητας του υδροφορέα, χρειάζονται δεδομένα από γεωτρήσεις στη γύρω περιοχή και μετρήσεις στάθμης ύδατος τουλάχιστον 2 φορές το χρόνο. Η μία μέτρηση θα πρέπει να έχει πραγματοποιηθεί κατά το μήνα Απρίλιο ή Μάιο, που δεν έχουν αρχίσει ακόμα οι αντλήσεις για την άρδευση των καλλιεργήσιμων εκτάσεων, ενώ η άλλη μέτρηση κατά το μήνα Οκτώβριο οπότε και σταματάνε οι αντλήσεις για άρδευση καθώς αρχίζουν οι βροχοπτώσεις.

Αναμενόμενο φυσικά, είναι η στάθμη του υδροφορέα τον Οκτώβριο να είναι χαμηλότερη από την αντίστοιχη του Απριλίου, για δύο λόγους:

- α) Επειδή από τον Απρίλιο μέχρι τον Οκτώβριο οι βροχοπτώσεις είναι ελάχιστες έως μηδενικές και
- β) Επειδή σαν συνέπεια του παραπάνω αρχίζουν οι αντλήσεις για την άρδευση των καλλιεργήσιμων εκτάσεων.

Το πόσο μεγάλη θα είναι αυτή η διαφορά στάθμης στις δύο περιόδους, εξαρτάται από ποικίλους παράγοντες, οι βασικοί εκ των οποίων είναι:

- Η δυναμικότητα του υδροφορέα, δηλαδή τα αποθέματά του (ρυθμιστικό και μόνιμο)
- Η συνολική παροχή άντλησης από τις γεωτρήσεις για την άρδευση των καλλιεργειών κατά τη θερινή περίοδο
- Το υδρογεωλογικό καθεστώς της υπό εξέταση περιοχής
- Το υδατικό ισοζύγιο της περιοχής

Θεμιτό θα ήταν να βρεθούν μετρήσεις στάθμης για το τρέχον έτος (Οκτώβριος 2005 – Απρίλιος 2006), έτσι ώστε και τα αποτελέσματα που θα προκύψουν να μπορούν να συσχετιστούν άμεσα με το υδατικό ισοζύγιο για το τρέχον υδρολογικό έτος. Δυστυχώς όμως, δεδομένα στάθμης για το τρέχον έτος δεν υπάρχουν. Τα πιο πρόσφατα δεδομένα με μετρήσεις στάθμης στις γεωτρήσεις του προσχωματικού, είναι αυτά που έχουν καταγραφεί στην Υδρογεωλογική Μελέτη Κάμπου Χανίων, (Λιονής και Περγλέρος, 2001). Αυτά αφορούν μετρήσεις στάθμης για τέσσερις χρονικές περιόδους: **Οκτώβριος 1998, Απρίλιος 1999, Οκτώβριος 1999 και Απρίλιος 2000.**

Πιο αναλυτικά, εφαρμόζοντας την παραπάνω διαδικασία στο ArcGIS 9:

1) Κατ' αρχήν, ανοίγουμε το ArcGIS 9 και βρισκόμαστε στη μορφή που φαίνεται στην Εικόνα 3-3, με τις διάφορες υδρογεωλογικές ενότητες της λεκάνης του Κερίτη.

2) Αρχικά, απομονώθηκε η περιοχή που καταλαμβάνει ο προσχωματικός σαν υδρογεωλογική ενότητα πάνω στη λεκάνη του Κερίτη.

3) Επόμενο βήμα, ήταν ο καθορισμός των γεωτρήσεων που βρίσκονταν εντός του προσχωματικού και η τοποθέτησή τους πάνω στο χάρτη του. Ύστερα από κατάλληλη επεξεργασία, βρέθηκε ότι το σύνολο των γεωτρήσεων αυτών είναι **31**.

4) Αμέσως μετά, βρέθηκε για ποιες από αυτές τις 31 γεωτρήσεις υπήρχαν δεδομένα στάθμης και κρατήθηκαν μόνο αυτές για τη μετέπειτα επεξεργασία. Βρέθηκε ότι αυτές ήταν συνολικά 13.

Στη συγκεκριμένη περίπτωση, οι 13 αυτές γεωτρήσεις δεν κατανέμονται τόσο ομοιόμορφα στην έκταση του προσχωματικού. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την όχι και τόσο καλή προσομοίωση των ισοπιεζομετρικών γραμμών κυρίως στο κομμάτι που περιλαμβάνει την περιοχή από τη διατομή στα Δρακιανά και κατάντη έως την έξοδο της λεκάνης. Γι' αυτό το λόγο, χρειάστηκε να προστεθεί μια «εικονική» γεώτρηση

στην έξοδο της λεκάνης (την οποία ονομάσαμε Gexit), στην οποία το ύψος της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα ταυτίζεται με τη στάθμη της θάλασσας. Αυτή είναι μια λογική παραδοχή, καθώς η στάθμη ενός ελεύθερου υδροφορέα ταυτίζεται με τη στάθμη της θάλασσας σε σημείο που αυτά συναντώνται. Με αυτόν τον τρόπο, οι ισοπιεζομετρικές γραμμές που προέκυψαν με την παρεμβολή, ήταν πολύ πιο αξιόπιστες και λογικές απ' ότι ήταν χωρίς αυτήν την εικονική γεώτρηση. Έτσι, το σύνολο των γεωτρήσεων οι οποίες τελικά εξετάστηκαν για την εξαγωγή του όγκου του νερού που αντλείται από τις γεωτρήσεις, ήταν 14.

Στον Πίνακα 4-2, παρουσιάζονται τα πλήρη στοιχεία των γεωτρήσεων που χρησιμοποιήθηκαν στην προσομοίωση.

Όνομα Γεώτρησης	Απόλυτο Υψόμετρο (m)	Οκτώβριος '98	Απρίλιος '99	Οκτώβριος '99	Απρίλιος '00
G159	38,83	37,33	37,76	37,41	37,25
G161	55,86	50,90	52,88	51,31	51,99
G162	58,15	51,18	53,00	51,36	51,97
G164	67,31	51,23	53,01	49,20	51,99
G177	85,61	56,25	63,59	56,25	63,50
G182	116,15	62,59	62,25	62,52	62,23
G183	86,69	68,46	76,39	64,05	75,90
G188	49,08	33,26	38,48	33,18	36,64
G189	38,39	33,40	38,39	33,34	36,85
G191	48,59	33,84	38,09	32,94	36,55
G193	56,75	51,62	54,04	50,73	51,99
G194	35,95	31,70	35,95	31,49	34,38
G274	147,86	55,95	67,74	55,95	67,74
Gexit	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Πίνακας 4-2: Στάθμες Γεωτρήσεων Προσχωματικού

Από τον Πίνακα 4-2, προκύπτει ο Πίνακας 4-3 με τις απόλυτες υψομετρικές διαφορές ανάμεσα στις χρονικές αυτές περιόδους.

Όνομα Γεώτρησης	ΔS (4/99 – 10/98)	ΔS (4/00 – 10/99)	ΔS (4/00 – 4/99)	ΔS (10/99 – 10/98)
Γ159	0,43	-0,16	-0,51	0,08
Γ161	1,98	0,68	-0,89	0,41
Γ162	1,82	0,61	-1,03	0,18
Γ164	1,78	2,79	-1,02	-2,03
Γ177	7,34	7,25	-0,09	0,00
Γ182	-0,34	-0,29	-0,02	-0,07
Γ183	7,93	11,85	-0,49	-4,41
Γ188	5,22	3,46	-1,84	-0,08
Γ189	4,99	3,51	-1,54	-0,06
Γ191	4,25	3,61	-1,54	-0,90
Γ193	2,42	1,26	-2,05	-0,89
Γ194	4,25	2,89	-1,57	-0,21
Γ274	11,79	11,79	0,00	0,00
Γexit	0,00	0,00	0,00	0,00

Πίνακας 4-3: Διαφορές Στάθμης Γεωτρήσεων

Από τον Πίνακα 4-3, παρατηρείται ότι η στάθμη του υδροφόρου δε διαφέρει πολύ από το ένα έτος στο άλλο (από λίγα εκατοστά έως περίπου 1 μέτρο), στις πλείστες των γεωτρήσεων.

Αυτό μπορεί να αποδοθεί σε δύο παράγοντες:

α) Τα έτη 1998-1999 και 1999-2000 ήταν πολύ όμοια όσο αφορά την ετήσια βροχόπτωση και γενικότερα τα υδρολογικά χαρακτηριστικά τους και

β) Ο υδροφορέας έχει πολύ μεγάλη δυναμικότητα και μπορεί να αναπληρώνει σχεδόν άμεσα τις απώλειες λόγω άντλησης από τις γεωτρήσεις.

5) Επόμενο βήμα ήταν ο σχεδιασμός των ισοπιεζομετρικών γραμμών μέσω κάποιας μεθόδου παρεμβολής και ο υπολογισμός των προαναφερθέντων επιφανειών της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα για τις τέσσερις εποχές.

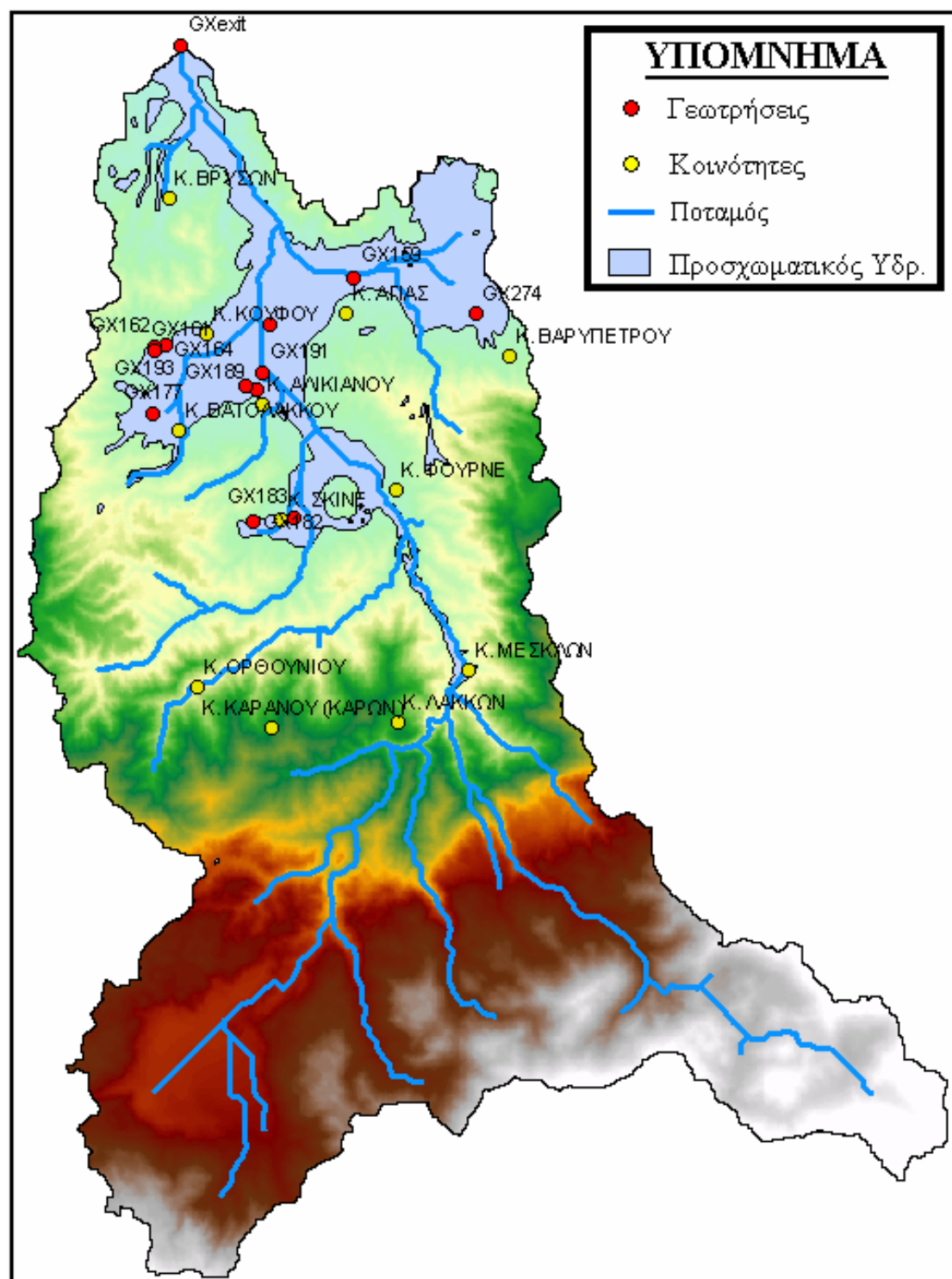
Για την επιλογή της μεθόδου παρεμβολής, δοκιμάστηκαν αρχικά δύο κύριες μέθοδοι: η IDW και η Kriging. Έπειτα, από μια δοκιμή με τα δεδομένα των γεωτρήσεων, για τις τέσσερις περιόδους που υπήρχαν μετρήσεις στάθμης και με τις δύο μεθόδους, βρέθηκε με βάση το RMSE (Root Mean Square Error) της κάθε μεθόδου, ότι η IDW είχε μικρότερο σφάλμα από την Kriging (Πίνακας 4-4). Επιπλέον, η IDW είναι πολύ πιο απλή μέθοδος όσο αφορά στη ρύθμιση των παραμέτρων και έτσι, για τους παραπάνω λόγους ήταν αυτή που τελικά επιλέχθηκε.

	RMSE Μεθόδου (m)	
Μέθοδος	Inverse Distance Weighted	Kriging (ordinary)
Οκτώβριος '98	13,1	13,33
Απρίλιος '99	15,59	16,03
Οκτώβριος '99	12,9	13,12
Απρίλιος '00	15,49	15,91

Πίνακας 4-4: RMSE για τις μεθόδους IDW και Kriging

6) Τέλος, υπολογίζεται ο όγκος του εδάφους που βρίσκεται ανάμεσα στις δύο επιφάνειες που επιθυμούμε κάθε φορά και με βάση το ενεργό πορώδες του προσχωματικού, υπολογίζεται ο ζητούμενος όγκος νερού.

Στην Εικόνα 4-18, απεικονίζεται η υδρολογική λεκάνη του ποταμού Κερίτη και ο προσχωματικός υδροφορέας με τις γεωτρήσεις οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό της μεταβολής της στάθμης αυτού.



Εικόνα 4-18: Απεικόνιση έκτασης προσχωματικού και υδρογεωτρήσεων .

4.3. Προσδιορισμός Υδατικού Ισοζυγίου

Αρχικά, πρέπει να σημειωθεί ότι το υδατικό ισοζύγιο που υπολογίστηκε, αφορά την περίοδο **15/4/2005 – 15/4/2006**, καθώς γι' αυτήν την περίοδο οι μετρήσεις πεδίου ήταν πλήρεις.

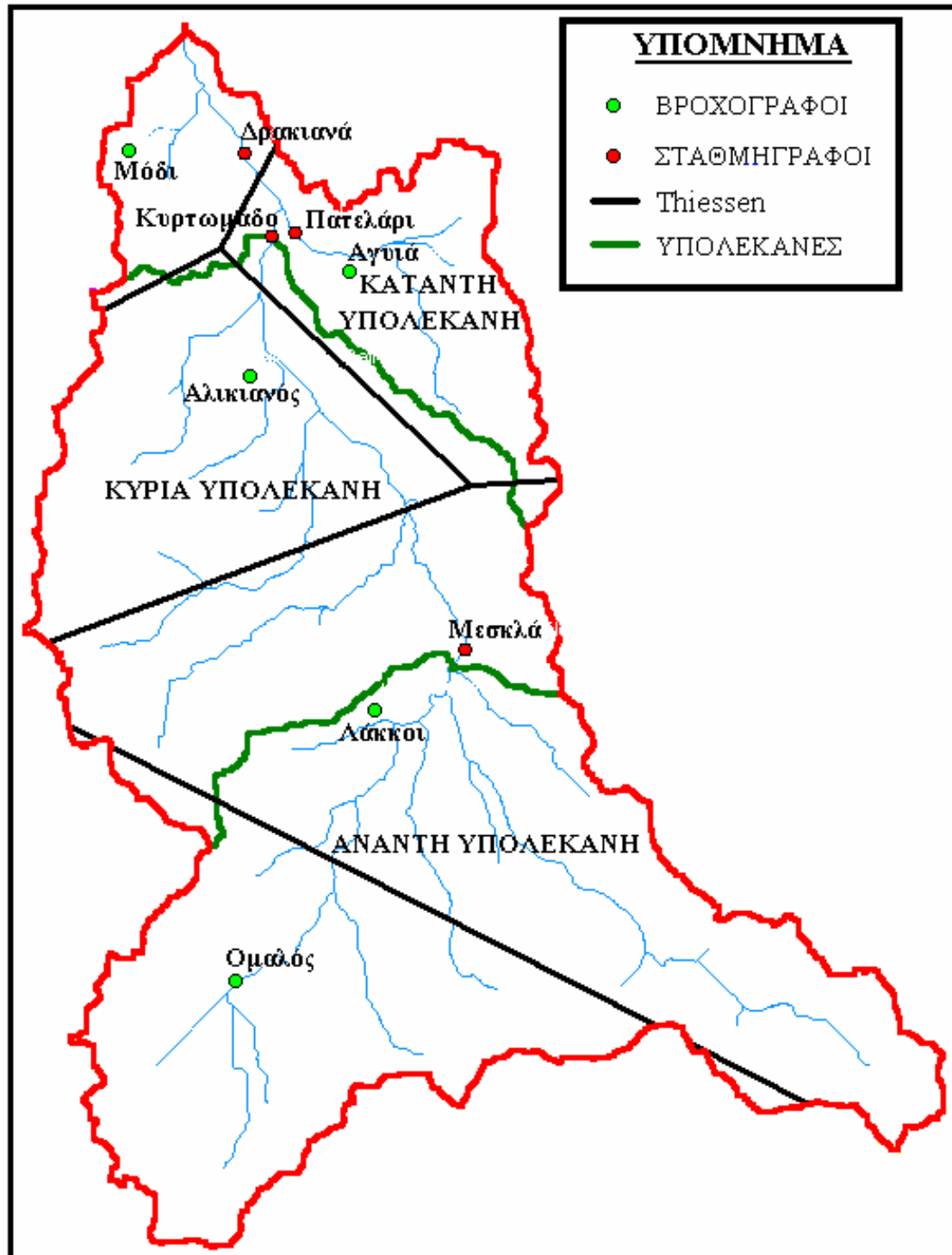
Για τον ακριβέστερο προσδιορισμό του υδατικού ισοζυγίου του ποταμού Κερίτη, η λεκάνη χωρίστηκε σε τρεις υπολεκάνες, κάνοντας χρήση του ArcGIS 3.2. Αυτό έγινε με βασικό κριτήριο τις θέσεις των τεσσάρων σημείων μέτρησης της απορροής και τα υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά της κάθε περιοχής. Οι τρεις υπολεκάνες που προέκυψαν, ονομάστηκαν αντίστοιχα: **ανάντη (105 km²), κύρια (79 km²) και κατάντη (35 km²) υπολεκάνη.**

Ακολούθησε ο χωρισμός της συνολικής λεκάνης σύμφωνα με τη μέθοδο Thiessen, έτσι ώστε να βρεθεί το όριο επιρροής κάθε βροχογράφου στην κάθε υπολεκάνη και να αναχθεί σε ποσοστό επί του συνολικού.

Έτσι, έχοντας τα απαραίτητα στοιχεία και έπειτα από τη χρήση του λογισμικού ArcGIS 9, προέκυψε η Εικόνα 4-19, η οποία απεικονίζει τις επιμέρους υπολεκάνες και τα πολύγωνα Thiessen όπως αυτά προέκυψαν.

Το τελικό ισοζύγιο το οποίο και ενδιαφέρει, είναι **μόνο** για το κομμάτι της **κύριας λεκάνης**, καθώς:

- α) Αυτή αφορά καθαρά τον ποταμό Κερίτη και μόνο και
- β) Μόνο γι' αυτήν υπάρχουν πλήρεις μετρήσεις απορροής



Εικόνα 4-19: Χωρισμός σε υπολεκάνες και πολύγωνα Thiessen

Η εξίσωση η οποία εφαρμόστηκε για τον υπολογισμό του υδατικού ισοζυγίου της κύριας λεκάνης είναι η **εξίσωση 2.1**:

$$P - (R_2 - R_1) - (G_2 - G_1) - (E + T) + E_s - E_\xi = \Delta(S_s + S_g)$$

Για να μπορέσει να λυθεί η παραπάνω εξίσωση, χρειάστηκε να γίνουν κάποιες βασικές παραδοχές, οι οποίες παρουσιάζονται παρακάτω:

- Η αλλαγή αποθέματος θεωρήθηκε ίση με μηδέν ($\Delta S = 0$), γιατί αναφερόμαστε σε υδρολογική λεκάνη για περίοδο ενός έτους.
- Θεωρήθηκε ότι δεν υπάρχουν ούτε υπόγειες εισροές στη λεκάνη ($G_1 = 0$), αλλά ούτε και υπόγειες διαφυγές από αυτήν ($G_2 = 0$).
- Θεωρήθηκε ότι δεν υπάρχουν εισαγωγές νερού στη λεκάνη από σημεία έξω από αυτή ($E_s = 0$).
- Οι εξαγωγές από το κομμάτι του προσχωματικού που βρίσκεται εντός της κύριας λεκάνης, θεωρήθηκαν ίσες με τον όγκο νερού της συγκεκριμένης έκτασης του υδροφορέα που υπολογίστηκε με την παρεμβολή IDW, έτσι ώστε το ΔS να είναι μηδέν.
- Επίσης, υποτέθηκε για την κύρια λεκάνη: **συντελ. εξατμισοδιαπνοής = 65 %** και **συντελ. κατείσδυσης = 12,6 %**.

Θεωρώντας δεδομένα όλα τα παραπάνω, επόμενο βήμα είναι ο υπολογισμός κάθε μίας από τις παραμέτρους της παραπάνω εξίσωσης:

1) Η βροχόπτωση P , υπολογίστηκε μέσω της μεθόδου Thiessen. Πιο συγκεκριμένα:

Από τα πέντε βροχόμετρα για τα οποία υπήρχαν δεδομένα, και την ετήσια βροχόπτωση σε κάθε ένα από αυτά (σε mm βροχής), υπολογίστηκε με βάση τη μέθοδο των πολυγώνων Thiessen, το ποσοστό που συμμετέχει ο κάθε σταθμός στην κύρια λεκάνη σχετικά με τη βροχόπτωση. Πολλαπλασιάζοντας το ποσοστό κάθε σταθμού με την αντίστοιχη βροχόπτωσή του και αθροίζοντας τα επιμέρους γινόμενα, βγήκε η συνολική βροχόπτωση στη λεκάνη σε ύψος βροχής. Για τη μετατροπή σε όγκο βροχής (Mm^3), πολλαπλασιάστηκε το παραπάνω νούμερο επί την επιφάνεια της κύριας λεκάνης (και κάνοντας τις κατάλληλες μετατροπές στις μονάδες).

Όλα τα απαραίτητα δεδομένα και οι υπολογισμοί που έγιναν για τον υπολογισμό του P , δίνονται στον Πίνακα 4-5:

Βροχομετρικοί Σταθμοί	Ετήσια Βροχόπτωση (mm)	Επιμέρους Εμβαδά (m ²)	Ποσοστό Επιρροής	Βροχόπτωση Thiessen (mm)
Ομαλός	1349	1.838.869,1	0,0232	31,2
Λάκκοι	1101	33.817.928,2	0,4258	468,9
Αλικιανός	1045	39.017.500,6	0,4913	513,4
Αγυιά	855	4.212.392,9	0,0530	45,4
Μόδι	666	527.509,3	0,0066	4,4
Σύνολο	-	79.414.200,0	1,00	1063,3

Πίνακας 4-5: Υπολογισμός Βροχόπτωσης με τη μέθοδο Thiessen

Αρα, με βάση τη μέθοδο Thiessen, το ύψος βροχής στην κύρια λεκάνη ήταν 1063,3 mm = 1,063 m. Επομένως, ο όγκος των κατακρημνισμάτων θα είναι:

$$P = 1,063 \text{ m} \cdot 79.414.200 \text{ m}^2 \Leftrightarrow P = 84.400.000 \text{ m}^3 \Leftrightarrow \underline{\underline{P = 84,4 \text{ Mm}^3}}.$$

2) Όσο αφορά την **επιφανειακή απορροή ($R_2 - R_1$)**, αυτή αποτελείται από την επιφανειακή εισροή R_1 και την επιφανειακή εκροή R_2 από το σύστημα. Αυτές οι δύο μεταβλητές, υπολογίστηκαν έπειτα από την επεξεργασία των μετρήσεων πεδίου που πραγματοποιήθηκαν. Η R_1 αποτελεί την ετήσια απορροή των Μεσκλών (στην είσοδο της κύρια λεκάνης) και ισούται με 18,9 Mm³, ενώ η R_2 αποτελεί την ετήσια απορροή του Κυρτωμάδου (στην έξοδο της κύρια λεκάνης) και ισούται με 37,8 Mm³.

Δηλαδή, για την επιφανειακή απορροή έχουμε: $R_1 = 18,9 \text{ Mm}^3$ και $R_2 = 37,8 \text{ Mm}^3 \Leftrightarrow R_2 - R_1 = 37,8 - 18,9 \Leftrightarrow \underline{\underline{R_2 - R_1 = 18,9 \text{ Mm}^3}}$. Δηλαδή, ο συντελεστής απορροής υπολογίστηκε με αυτόν τον τρόπο ίσος με: $(18,9 / 84,4) \cdot 100 = 22,4 \%$

3) Η **υπόγεια εκροή G_2** , δεν είναι βέβαιο ότι υπάρχει, ούτε και πόση είναι. Υποτέθηκε λοιπόν, αρχικά ότι **$G_2 = 0$** . Αν από την αντικατάσταση των μεταβλητών προκύψει κάποιο πλεόνασμα, τότε αυτό ή ποσοστό αυτού, θα μπορούσε να δικαιολογηθεί ως υπόγειες διαφυγές από την κύρια λεκάνη.

4) Η **υπόγεια εισροή G_1** , θεωρήθηκε ίση με μηδέν, δηλαδή **$G_1 = 0$** .

5) Η **εξάτμιση E και η διαπνοή T** (ή **εξατμισοδιαπνοή ET**, όπου $ET=E+T$), υπολογίστηκε με βάση το συντελεστή εξατμισοδιαπνοής που υποτέθηκε. Είναι: $ET = 0,65 \cdot P \Leftrightarrow \underline{ET = 54,9 \text{ Mm}^3}$.

6) Οι **εισαγωγές E_s** στη λεκάνη, θεωρήθηκαν ίσες με μηδέν, καθώς δεν υπάρχουν στοιχεία τα οποία να αποδεικνύουν τον τεχνητό εμπλουτισμό του ποταμού ή της λεκάνης από σημεία εκτός αυτής με οποιονδήποτε τρόπο. Οπότε, **$E_s = 0$** .

7) Οι **εξαγωγές E_x** από τη λεκάνη, είναι ουσιαστικά οι αντλήσεις που πραγματοποιούνται εντός της έκτασης της κύριας λεκάνης. Αυτές αποτελούνται:

α) Από τις αντλήσεις του Κουφού ($E_{xκ}$), οι οποίες αντλούν από το καρστ του Κουφού 5 Mm^3 ετησίως (Βοζινάκης, 2006) και

β) Από τις αντλήσεις στον προσχωματικό ($E_{xπ}$) γύρω από τις περιοχές Αλικιανού και Σκινέ κυρίως, οι οποίες σύμφωνα με την παρεμβολή IDW είναι ίσες με $4,6 \text{ Mm}^3$ (υπολογίστηκε εφαρμόζοντας τη διαδικασία που περιγράφηκε στην παράγραφο 4.2, αλλά υπολογίζοντας αυτή τη φορά τον όγκο του νερού μόνο για το κομμάτι του προσχωματικού που βρίσκεται εντός της κύριας λεκάνης και θεωρώντας πορώδες ίσο με 0,12 για την περιοχή αυτή).

Άρα, συνολικά, **$E_x = E_{xκ} + E_{xπ} = 9,6 \text{ Mm}^3$** .

7) Εφόσον το υδατικό ισοζύγιο αφορά ένα και μόνο έτος και αναφερόμαστε σε υδρολογική λεκάνη ποταμού, η αλλαγή αποθέματος ΔS θεωρήθηκε ίση με μηδέν. Αυτό ουσιαστικά σημαίνει δύο πράγματα:

α) Ότι στο διάστημα Απρίλιος 2005 έως Απρίλιος 2006, δεν υπήρξε κάποια αλλαγή όσο αφορά σε φυσικές και τεχνητές επιφανειακές εισροές ή απώλειες στην κύρια λεκάνη. Οπότε, **$S_s = 0$** και

β) Ότι τον Απρίλιο του 2006, η στάθμη του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα ήταν η ίδια με αυτή του Απριλίου του 2005, δηλαδή δεν υπάρχει μεταβολή του μονίμου αποθέματος του υδροφορέα. Οπότε, **$S_g = 0$** .

Άρα, συνολικά $\Delta(S_s + S_g) = 0$

Έχοντας λοιπόν υπολογίσει όλους τους όρους της εξίσωσης 2.1, αντικαθιστώντας, βγαίνει ότι:

$$P - (R_2 - R_1) - (G_2 - G_1) - (E + T) + E_s - E_\xi = \Delta(S_s + S_g) \Leftrightarrow$$

$$P + R_1 + G_1 + E_s = R_2 + G_2 + (E + T) + E_\xi + \Delta(S_s + S_g) \Leftrightarrow$$

$$84,4 \text{ Mm}^3 + 18,9 \text{ Mm}^3 + 0 + 0 = 37,8 \text{ Mm}^3 + 0 + 54,9 \text{ Mm}^3 + 9,6 \text{ Mm}^3 + 0 \Leftrightarrow$$

$$103,3 \text{ Mm}^3 = 102,3 \text{ Mm}^3, \text{ δηλαδή: } \boxed{\text{Εισροές} - \text{Εκροές} = 1 \text{ Mm}^3}$$

4.4. Ανάλυση Αβεβαιότητας

Στην όλη διαδικασία των μετρήσεων πεδίου, της επεξεργασίας αυτών, καθώς και στον υπολογισμό του υδατικού ισοζυγίου της λεκάνης του Κερίτη, υπεισέρχεται κάποια αβεβαιότητα, κυρίως λόγω των παραδοχών που χρειάστηκε να γίνουν.

Οι κυριότεροι από τους παράγοντες που συνιστούν αβεβαιότητα, αναφέρονται παρακάτω:

1. Αβεβαιότητα και σφάλματα που αφορούν τις μετρήσεις πεδίου.

α) Ακαταλληλότητα διατομών. Οι τέσσερις διατομές στις οποίες πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις για την εκτίμηση της απορροής του ποταμού Κερίτη, δεν κρίνονται ως οι πλέον κατάλληλες, καθώς όλες παρουσιάζουν διάφορα προβλήματα, κυρίως όσο αφορά το σχήμα και την αμεταβλητότητα που πρέπει να παρουσιάζουν αυτές κατά τη διάρκεια του έτους.

β) Σφάλματα κατά τη μέτρηση της ταχύτητας ροής. Και στις δύο μεθόδους που εφαρμόστηκαν για τη μέτρηση της ταχύτητας ροής του ποταμού, (μυλίσκος και ψηφιακή βιντεοκάμερα), υπάρχουν σφάλματα, είτε στον τρόπο με τον οποίο πραγματοποιήθηκε η μέτρηση, είτε στη μετέπειτα επεξεργασία των δεδομένων.

γ) Σφάλματα του σταθμηγράφου στη μέτρηση της στάθμης ροής. Αυτός ο παράγοντας σφάλματος οφείλεται στη μεταβολή των χαρακτηριστικών του πυθμένα της διατομής στη διάρκεια του έτους (λόγω των αποθέσεων που μεταφέρονται σε μεγάλα πλημμυρικά γεγονότα).

δ) Σφάλματα των βροχογράφων στη μέτρηση της βροχόπτωσης. Αυτά οφείλονται σε συστηματικό σφάλμα μέτρησης του νερού, λόγω του μηχανισμού τους.

2. Αβεβαιότητα και σφάλματα που αφορούν τον όγκο του προσχωματικού υδροφορέα.

α) Το άγνωστο υπόβαθρο των αλλουβιακών αποθέσεων. Υποθέτοντας ότι ο χάρτης που παρουσιάζει τις διάφορες υδρογεωλογικές ενότητες στη λεκάνη του Κερίτη είναι σωστός, το υπόβαθρο αυτών των ενοτήτων δε γνωρίζουμε με σιγουριά ποιο ακριβώς είναι, ούτε αν και πόσο εκτείνονται αυτές οι ενότητες υπόγεια εκτός των επιφανειακών ορίων που δίνονται από τους χάρτες.

β) Η απόκλιση της μεθόδου παρεμβολής που χρησιμοποιήθηκε (IDW) για την προσομοίωση της αυξομείωσης της στάθμης του προσχωματικού υδροφόρου ορίζοντα κάνοντας χρήση δεδομένων υδρογεωτρήσεων της περιοχής (Λιονής και Περγλέρος, 2001). Πιο συγκεκριμένα, η συνολική απόκλιση της IDW (RMSE) βρέθηκε συνολικά ίση με 13,1 m (Πίνακας 4-4).

3. Αβεβαιότητα και σφάλματα που αφορούν τον υπολογισμό του υδατικού ισοζυγίου.

Η αβεβαιότητα που προκύπτει εδώ είναι οι διάφορες υποθέσεις που έγιναν έτσι ώστε να ισχύει το ισοζύγιο στην κύρια λεκάνη. Αναλυτικότερα:

α) Ο πιο σημαντικός παράγοντας που χωράει αμφισβήτηση, είναι η γενικότερη θεώρηση της κύριας λεκάνης ως ανεξάρτητο σύστημα μαζί με τις υποθέσεις που αυτό συνεπάγεται (π.χ. $G_1 = 0$, $E_s = 0$).

β) Η θεώρηση των συντελεστών με βάση τους οποίους έγινε η «κατανομή» της βροχόπτωσης στην κύρια λεκάνη και κυρίως για την εξατμισοδιαπνοή και την κατείδυση, αφού ο αντίστοιχος της απορροής προέκυψε έπειτα από την επεξεργασία των μετρήσεων πεδίου και θεωρείται πιο «βέβαιος». Οι συντελεστές εξατμισοδιαπνοής και κατείδυσης θα μπορούσαν να έχουν μια διαφορά της τάξεως του $\pm 5 \%$ από αυτούς που θεωρήθηκαν στον υπολογισμό του υδατικού ισοζυγίου.

γ) Η εκτίμηση της βροχόπτωσης με βάση τη μέθοδο των πολυγώνων Thiessen, η οποία ουσιαστικά γενικεύει μια σημειακή μέτρηση βροχόπτωσης σε μια ολόκληρη περιοχή.

5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

5.1. Αποτελέσματα Μετρήσεων Πεδίου

Η βροχόπτωση που καταγράφηκε από τους πέντε βροχογράφους εντός της λεκάνης, δίνεται στον Πίνακα 5-1:

Θέση Βροχογράφου	Βροχόπτωση (mm)
Μόδι	666
Αγυιά	855
Αλικιανός	1045
Λάκκοι	1101
Ομαλός	1349

Πίνακας 5-1: Βροχόπτωση στη λεκάνη του Κερίτη από 15/4/2005 – 15/4/2006

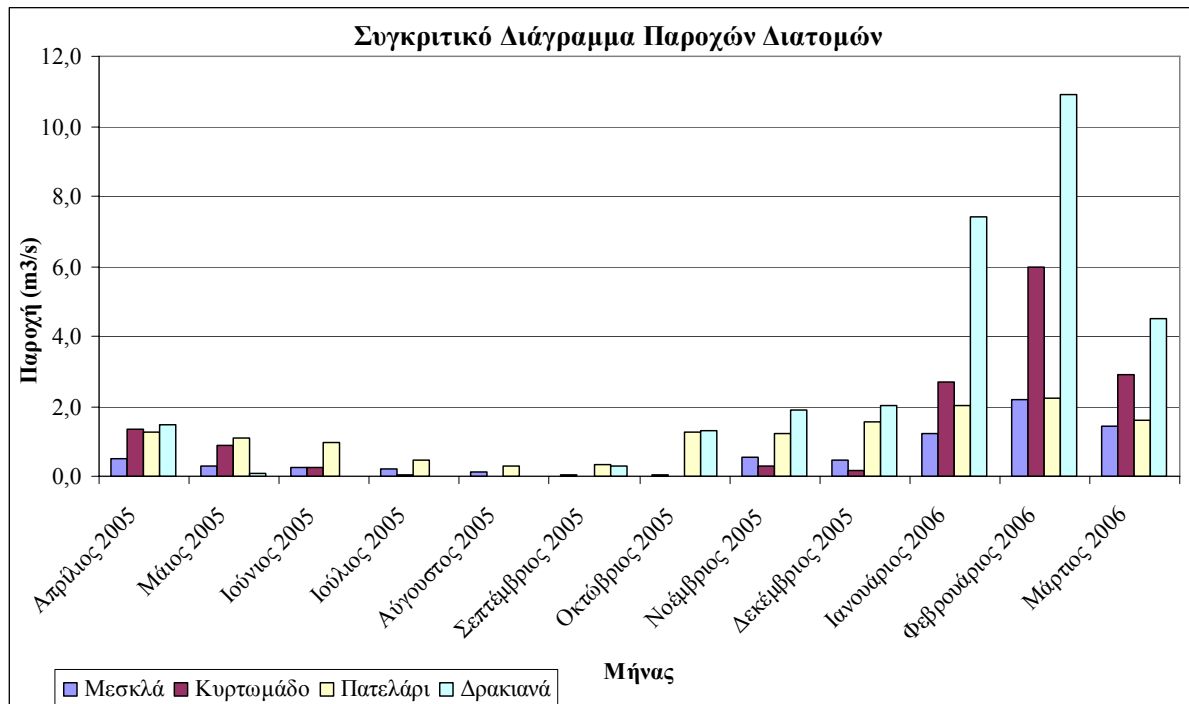
Στον Πίνακα 5-2, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που εξήχθησαν από την επεξεργασία των δεδομένων της κάθε διατομής.

	Μέσες Μηνιαίες Παροχές (m ³ /s)			
Μήνας	Μεσκλά	Κυρτωμάδο	Πατελάρι	Δρακιανά
Απρίλιος 2005	0,500	1,340	1,251	1,486
Μάιος 2005	0,295	0,876	1,115	0,098
Ιούνιος 2005	0,245	0,243	0,960	0,008
Ιούλιος 2005	0,198	0,053	0,461	0,001
Αύγουστος 2005	0,111	0,001	0,314	0,000
Σεπτέμβριος 2005	0,022	0,003	0,331	0,278
Οκτώβριος 2005	0,040	0,021	1,273	1,312
Νοέμβριος 2005	0,558	0,305	1,235	1,879
Δεκέμβριος 2005	0,474	0,171	1,551	2,014
Ιανουάριος 2006	1,233	2,687	2,041	7,424

Φεβρουάριος 2006	2,180	5,993	2,225	10,921
Μάρτιος 2006	1,431	2,891	1,611	4,502

Πίνακας 5-2: Συγκριτικός πίνακας μέσης μηνιαίας παροχής διατομών

Τα δεδομένα του Πίνακας 5-2, φαίνονται σχηματικά και στην Εικόνα 5-1:



Εικόνα 5-1: Συγκριτικό διάγραμμα μέσης μηνιαίας παροχής διατομών

Συνολικά, για τις τέσσερις παραπάνω διατομές, η ετήσια απορροή που υπολογίστηκε από την επεξεργασία των δεδομένων πεδίου παρουσιάζεται στον Πίνακα 5-3:

Διατομή	Ετήσια Απορροή (Mm ³)
Μεσκλά	18,9
Κυρτωμάδο	37,8
Πατελάρι	37,2
Δρακιανά	77,5

Πίνακας 5-3: Ετήσιες Απορροές Διατομών

5.2. Αποτελέσματα Όγκου Υδροφορέα

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν σχετικά με τη μεταβολή της στάθμης του προσχωματικού υδροφόρου ορίζοντα μετά από την εφαρμογή της μεθόδου IDW, φαίνονται στον Πίνακα 5-4:

Χρόνος Παρατήρησης	4 / 1999	10 / 1998	4 / 2000	10 / 1999
ΔV εδάφους (m³)	97.689.480		89.970.368	

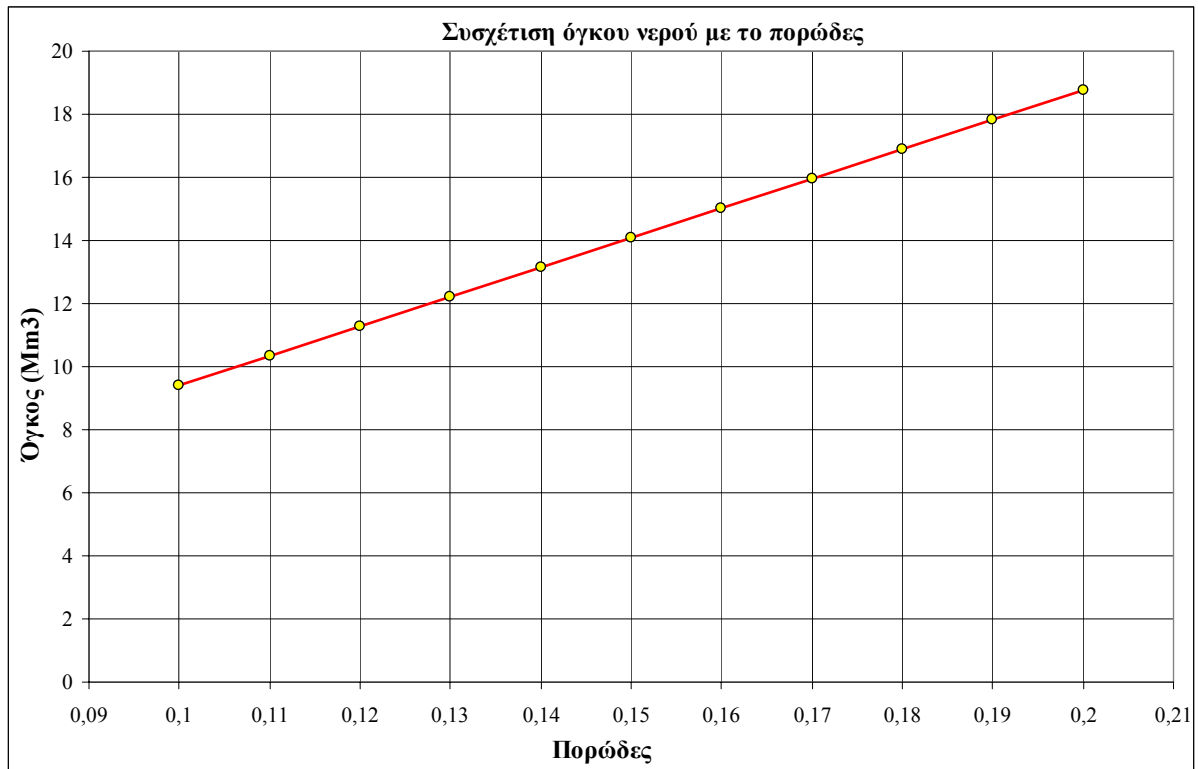
Πίνακας 5-4: Αποτελέσματα της μεθόδου IDW

Αν το ΔV εδάφους πολλαπλασιαστεί με το ενεργό πορώδες του προσχωματικού, προκύπτει ο όγκος του νερού σε αυτό. Επειδή δεν είναι γνωστή η ακριβής τιμή του ενεργού πορώδους του προσχωματικού, στον Πίνακα 5-5 υπολογίστηκε ο όγκος νερού που προκύπτει για όλες τις τιμές ενεργού πορώδους από 0,1 έως και 0,2.

Πορώδες	Απρ. '99 – Οκτ. '98 (Mm ³)	Απρ. '00 – Οκτ. '99 (Mm ³)	Μέσος Όγκος (Mm ³)
0,1	9,77	9,00	9,38
0,11	10,75	9,90	10,32
0,12	11,72	10,80	11,26
0,13	12,70	11,70	12,20
0,14	13,68	12,60	13,14
0,15	14,65	13,50	14,07
0,16	15,63	14,40	15,01
0,17	16,61	15,29	15,95
0,18	17,58	16,19	16,89
0,19	18,56	17,09	17,83
0,2	19,54	17,99	18,77

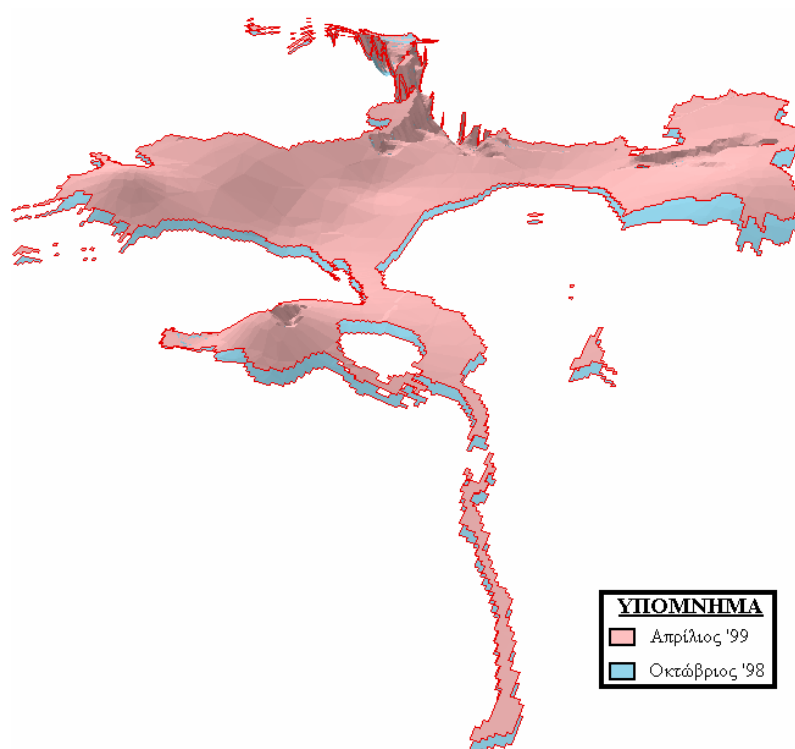
Πίνακας 5-5: Όγκος νερού προσχωματικού για διάφορες τιμές ενεργού πορώδους

Στην Εικόνα 5-2, παρουσιάζεται η συσχέτιση μεταξύ του μέσου όγκου νερού του προσχωματικού υδροφορέα με το ενεργό πορώδες αυτού.

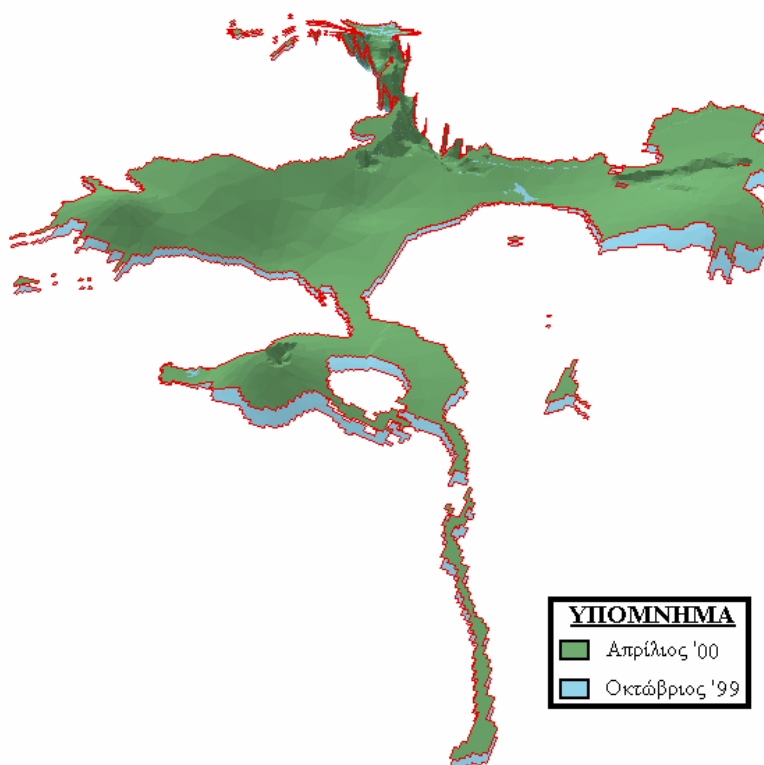


Εικόνα 5-2: Συσχέτιση όγκου νερού με το ενεργό πορώδες του προσχωματικού

Παρακάτω, παρουσιάζονται δύο ενδεικτικά τρισδιάστατα σχήματα, τα οποία απεικονίζουν τη διαφορά στάθμης ανάμεσα στις δύο εποχές (Απρίλιος - Οκτώβριος) για τις εποχές που εφαρμόστηκε η μέθοδος IDW (Εικόνα 5-3 και Εικόνα 5-4).



Εικόνα 5-3: Τρισδιάστατη απεικόνιση της διαφοράς στάθμης Απριλίου '99 και Οκτωβρίου '98



Εικόνα 5-4: Τρισδιάστατη απεικόνιση διαφοράς στάθμης Απριλίου '00 και Οκτωβρίου '99

5.3. Αποτελέσματα Υδατικού Ισοζυγίου

Συνολικά, τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την ανάλυση του υδατικού ισοζυγίου της κύριας λεκάνης, παρουσιάζονται στον Πίνακα 5-6:

Εισροές (Mm³)	
P	84,4
R ₁	18,9
Σύνολο Εισροών	103,3
Εκροές (Mm³)	
R ₂	37,8
ET	54,9
E _ξ	9,6
Σύνολο Εκροών	102,3

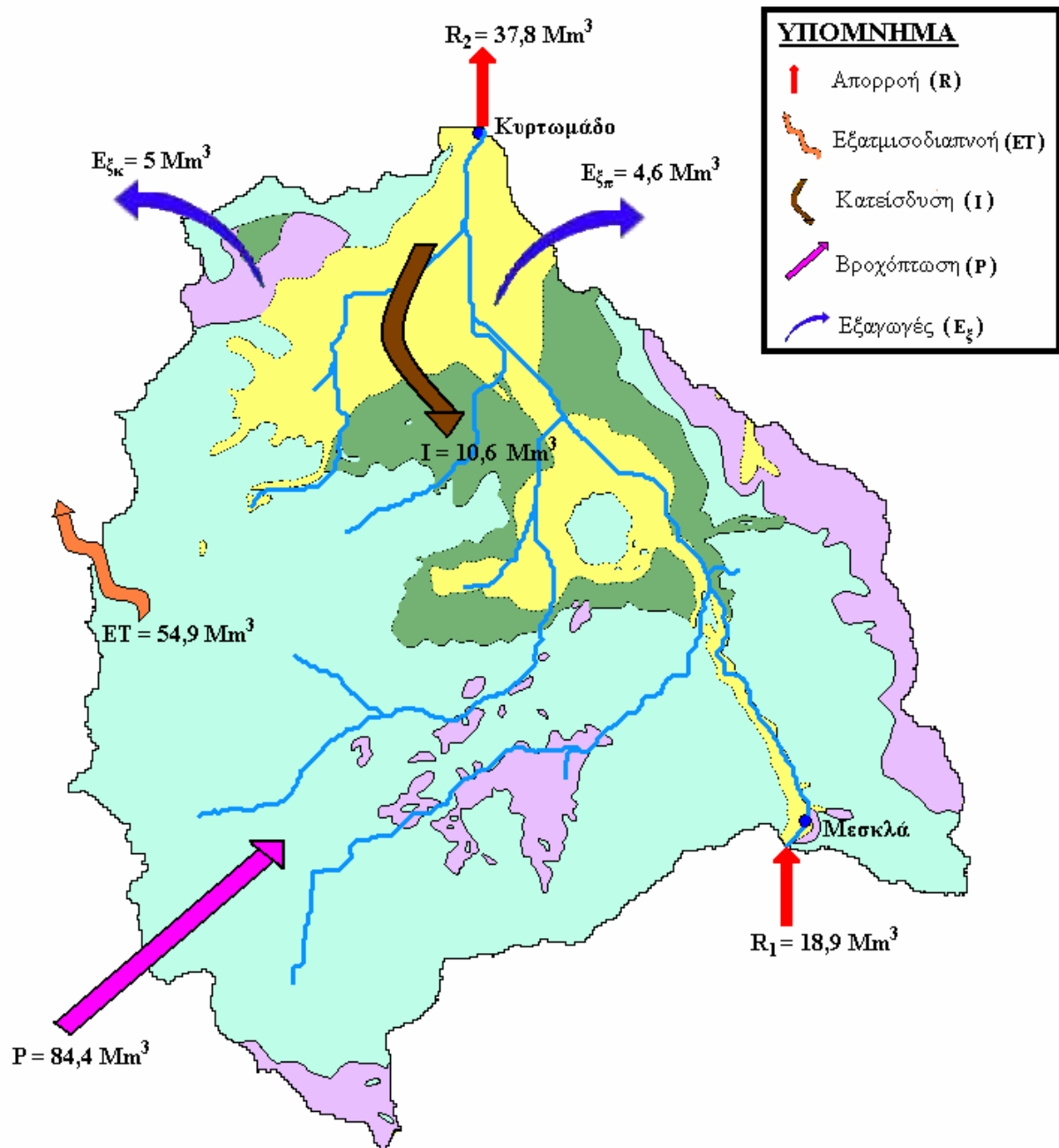
Πίνακας 5-6: Υδατικό ισοζύγιο κύριας λεκάνης ποταμού Κερίτη

Στον Πίνακα 5-7, παρουσιάζονται οι συντελεστές απορροής, εξατμισοδιαπνοής και κατείδδυσης που χρησιμοποιήθηκαν στον υπολογισμό του ισοζυγίου στην κύρια λεκάνη και οι ποσότητες νερού που αντιστοιχούν σε αυτούς.

	Συντελεστές % του P	Ποσότητα νερού (Mm³)
Απορροή	22,4	18,9
Εξατμισοδιαπνοή	65	54,9
Κατείδδυση	12,6	10,6
Σύνολο	100	84,4

Πίνακας 5-7: Συντελεστές διεργασιών και κατανομή νερού στην κύρια λεκάνη

Στην Εικόνα 5-5, παρουσιάζεται σχηματικά, το ισοζύγιο της κύριας λεκάνης:



Εικόνα 5-5: Υδατικό ισοζύγιο κύριας λεκάνης π. Κερίτη για το διάστημα 15/4/2005 – 15/4/2006

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

6.1. Συμπεράσματα

6.1.1. Για τις μετρήσεις πεδίου

Οι μετρήσεις πεδίου, διαδραματίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στη μείωση της αβεβαιότητας για τον υπολογισμό του υδατικού ισοζυγίου της περιοχής.

Σίγουρα οι μετρήσεις πεδίου εμπεριέχουν κάποια ποσοστά αβεβαιότητας και σφαλμάτων, αλλά παρόλα αυτά, είναι πολύ περισσότερο αποδεκτή σαν μέθοδος για την εκτίμηση διαφόρων υδρολογικών παραμέτρων της λεκάνης. Για τη μείωση της όποιας αβεβαιότητας και την επαλήθευση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν, χρειάζεται να πραγματοποιηθούν περαιτέρω μετρήσεις και σε άλλα σημεία της λεκάνης του ποταμού Κερίτη.

Έπειτα από τη χρήση των δύο διαφορετικών μεθόδων για τη μέτρηση της ταχύτητας ροής (μυλίσκος και ψηφιακή βιντεοκάμερα), συμπεραίνουμε ότι, ο μυλίσκος, σε όποιες περιπτώσεις είναι δυνατή η χρήση του, δίνει πιο ακριβείς και αξιόπιστες μετρήσεις από την βιντεοκάμερα. Αυτό σημαίνει ότι πρέπει να βρεθούν και άλλοι εναλλακτικοί τρόποι μέτρησης της ταχύτητας ροής, λαμβάνοντας υπόψη ότι σε πολλές περιπτώσεις, η χρήση του μυλίσκου δεν είναι δυνατή.

Μόνο με εκτενείς και αξιόπιστες μετρήσεις πεδίου μπορεί να κατανοηθεί τι πραγματικά συμβαίνει εντός της λεκάνης και όχι μόνο με θεωρίες και παραδοχές.

6.1.2. Για τον προσχωματικό υδροφορέα

Οι αλλουβιακές αποθέσεις της λεκάνης του Κερίτη, παρουσιάζουν πολύ αξιόλογη υπόγεια υδροφορία, η οποία τροφοδοτεί με σημαντικές ποσότητες νερού τις καλλιέργειες που βρίσκονται σε αυτή.

Η «υπόγεια έκταση» του προσχωματικού, οι ακριβείς συνθήκες υπόγειας διακίνησης του νερού σε αυτόν, καθώς και ο ακριβής προσδιορισμός του ενεργού πορώδους, είναι πολύ δύσκολο να εκτιμηθούν. Εντούτοις, έγινε μια προσπάθεια για να προσδιοριστεί η συνεισφορά του προσχωματικού υδροφορέα στο υδατικό ισοζύγιο.

Η παρεμβολή IDW, προσομοίωσε αρκετά καλά τη στάθμη του προσχωματικού υδροφόρου ορίζοντα, επαληθεύοντας τις θεωρίες σχετικά με αυτό (Λιονής και Περλέρους, 2001).

6.1.3. Για το υδατικό ισοζύγιο της κύριας λεκάνης

Το ισοζύγιο που υπολογίστηκε για την κύρια λεκάνη, δεν είναι απαραίτητα αυτό που ισχύει πραγματικά. Απλά, είναι μια προσέγγιση του ισοζυγίου με βάση τις μετρήσεις πεδίου που πραγματοποιήθηκαν στη διατομή εισόδου και εξόδου και κάνοντας κάποιες αναγκαστικές υποθέσεις για να μπορέσει να υπολογιστεί.

Εντούτοις, κάνοντας χρήση των δεδομένων πεδίου, καταλήξαμε σε ένα αποτέλεσμα, το οποίο είναι "εσφαλμένο" μόνο κατά 1 Mm^3 νερού (ελαφρά πλεονασματικό ισοζύγιο). Αυτή η ποσότητα νερού, ***πιθανότατα απορρέει υπόγεια*** μέσω των χαλαρών αλλουβιακών αποθέσεων που βρίσκονται γύρω από την έξοδο της κύριας λεκάνης.

Σαν ποσοστό σφάλματος, αυτό το 1 Mm^3 ισούται με: $1 / 103,3 \text{ Mm}^3 \approx 1 \%$ **σφάλμα**. Καταφέραμε δηλαδή να μειώσουμε την αβεβαιότητα προηγούμενων μελετών και προσεγγίσεων του υδατικού ισοζυγίου σε πολύ μεγάλο βαθμό.

Επίσης, το ισοζύγιο συμφωνεί με την αυξομείωση της στάθμης του προσχωματικού και με τις αντλήσεις γύρω και μέσα από αυτόν, όπως επαληθεύεται και από βιβλιογραφικές αναφορές (Βοζινάκης, 2006).

Το υδατικό ισοζύγιο, μας δείχνει κατά κάποιο τρόπο, την υπάρχουσα εκμετάλλευση του νερού από την τοπική κοινωνία και αφού είναι πλήρες, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για περαιτέρω έρευνα έτσι ώστε να προσδιοριστεί πιθανή επιπλέον εκμετάλλευση των πηγών και των γεωτρήσεων της λεκάνης του Κερίτη.

6.2. Προτάσεις

Οι τέσσερις διατομές στις οποίες μετρήθηκε η στάθμη του ποταμού Κερίτη, πρέπει να ανακατασκευαστούν (με τσιμέντο στον πυθμένα και τα πρανή) και να δημιουργηθούν τριγωνικοί υπερχειλιστές, οι οποίοι θα κάνουν πολύ πιο εύκολη και ακριβή την εκτίμηση της παροχής που περνάει ανά πάσα στιγμή από τη διατομή.

Απαιτείται η κατασκευή νέων διατομών (όπως περιγράφηκε παραπάνω) σε διάφορα σημεία της λεκάνης και η εγκατάσταση οργάνων καταγραφής όχι μόνο για τη μέτρηση της απορροής και της βροχόπτωσης, αλλά και της εξατμισοδιαπνοής (εξατμισίμετρα) για μια πιο έγκυρη και ακριβής εκτίμηση του υδατικού ισοζυγίου της περιοχής.

Επίσης, προτείνεται η αυτοματοποίηση του δικτύου των σταθμών μέτρησης (βροχογράφων και σταθμηγράφων), μετατρέποντάς τους σε τηλεμετρικούς, έτσι ώστε ανά πάσα στιγμή να υπάρχουν τα καταγεγραμμένα δεδομένα σε συγκεκριμένη δικτυακή σελίδα και να είναι εύκολη η αποθήκευση αυτής της πληροφορίας στον Η/Υ.

Προτείνεται επίσης η χρήση ιχνηθετών κυρίως γύρω από την περιοχή του προσχωματικού υδροφορέα αλλά και σε άλλα σημεία της ευρύτερης λεκάνης, έτσι ώστε να εκτιμηθεί η υπόγεια κίνηση του νερού και η όποια υπόγεια υδραυλική επικοινωνία των διαφόρων εδαφικών σχηματισμών.

Κρίνεται απαραίτητη η συστηματικότερη καταγραφή της στάθμης των γεωτρήσεων εντός της λεκάνης και των αντλήσεων που πραγματοποιούνται κυρίως από γεωτρήσεις και πηγάδια εντός και γύρω από την έκταση του προσχωματικού.

Η παρακολούθηση των στοιχείων πρέπει να γίνεται επί σειρά ετών, έτσι ώστε να μελετηθούν με ακρίβεια και τα ακραία υδρολογικά έτη (ξηρά και υγρά).

Σαν γενικό συμπέρασμα-πρόταση για τη λεκάνη του ποταμού Κερίτη που προέκυψε από την παρούσα εργασία είναι το παρακάτω:

Αφού γίνει η επέκταση του δικτύου των σταθμών μέτρησης και μετρώνται όσο το δυνατόν περισσότεροι υδρολογικοί παράγοντες της λεκάνης του Κερίτη (βροχόπτωση, απορροή, αντλήσεις, παροχές πηγών, κ.ά.), η ταυτόχρονη μελέτη και ο συνδυασμός των παραπάνω αποτελεσμάτων που θα προκύψουν, θα δώσει μια πολύ πιο σαφής και σωστή άποψη του υδατικού ισοζυγίου της λεκάνης και θα μπορεί πλέον με πολλή μεγαλύτερη βεβαιότητα να χρησιμοποιηθούν τα στοιχεία της μελέτης αυτής για την ορθολογική διαχείριση και κατανομή του υδάτινου δυναμικού της λεκάνης στην ευρύτερη περιοχή των Χανίων.

7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

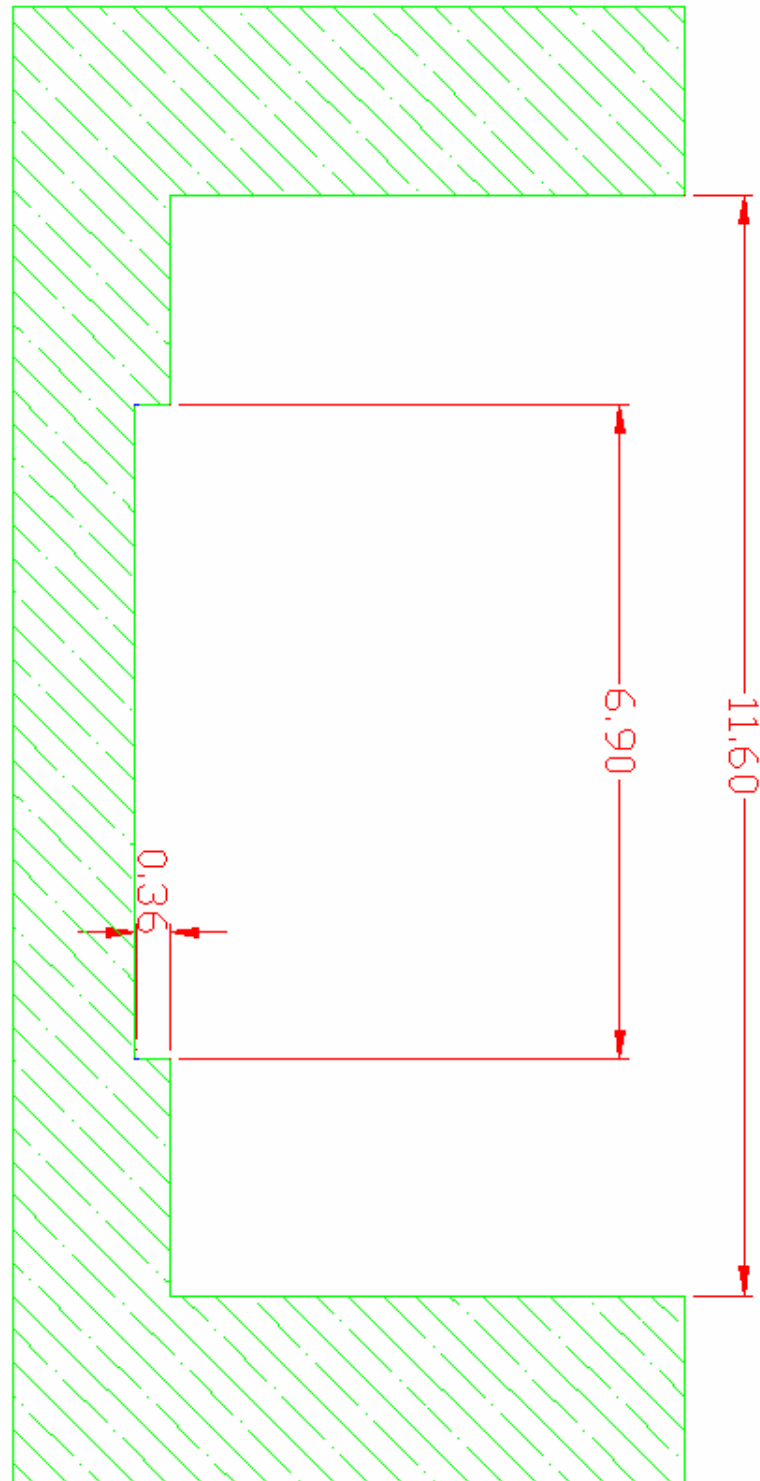
1. Βοζινάκης, Κ., Κουγιάννη, Σ., Υδατικοί Πόροι Νομού Χανίων και διαχείρισή τους, Υπηρεσία Εγγείων Βελτιώσεων, Χανιά.
2. Κτιστάκη, Ε., 2004, Μελέτη Υδροφορίας Λεκάνης Κερίτη & προσομοίωση της κίνησης των υπογείων υδάτων στην περιοχή της Αγυιάς του Ν. Χανίων, Πολυτεχνείο Κρήτης, Μεταπτυχιακή Διατριβή, Χανιά
3. Κριτσωτάκης, Μ., 2006, Διαχείριση του νερού στην Κρήτη, Το σύστημα υποστήριξης λήψης απόφασης (DSS), Παράδειγμα Εφαρμογής, Αθήνα Μάρτιος 2006, <http://www.ellinikietairia.gr/media/pdf/MarinosKritsotakis.pdf>
4. Λιονής, Μ., Περλέρος, Β., 2001, Υδρογεωλογική μελέτη Κάμπου Χανίων, Υπ. Γεωργίας, Γενική Διεύθυνση Εγχειοβελτιωτικών Έργων και Γεωργικών Διαρθρώσεων, Αθήνα.
5. Μαντζούκας, Χ., 2005, Παρουσίαση Υδρολογικού και Υδρογεωλογικού Ισοζυγίου της Λεκάνης του Κερίτη Ποταμού (Ν. Χανίων) και Προτάσεων για τη Βέλτιστη Διαχείριση του Υδατικού Δυναμικού της, Πολυτεχνείο Κρήτης, Διπλωματική Εργασία, Χανιά.
6. Μιμίκου, Μ., 2005, Σημειώσεις του μαθήματος Τεχνική Υδρολογία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, [www.itia.ntua.gr/nikos/hydrology/Copy%20of%20final%20lessonmimikou\(01\).pdf](http://www.itia.ntua.gr/nikos/hydrology/Copy%20of%20final%20lessonmimikou(01).pdf)
7. Παπαμαστοράκης, Δ., Περλέρος, Β., Κριτσωτάκης, Μ., Δρακοπούλου, Ε. και Παναγόπουλος, Α., 2004, Υπόγειο Υδατικό Δυναμικό Κρήτης. Προβλήματα και Προοπτικές, Πρακτικά 10^{ου} Διεθνούς Συνεδρίου, Θεσ/νίκη Απρίλιος 2004.
8. Ρίγλης, Σ., 1996, Το υδατικό δυναμικό του Νομού Χανίων, Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση, Χανιά.

9. Τσακίρης, Γ., 1995, Υδατικοί Πόροι: Ι. Τεχνική Υδρολογία, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα.
10. Τσακίρης, Γ., 2004, Σημειώσεις του μαθήματος «Διαχείριση Υδατικών Πόρων», ΔΠΜΣ Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων, ΕΜΠ, Αθήνα Μάιος 2004.
11. Τσάνης, Ι., Κουτρούλης, Α., Χατζηευαγγέλου, Κ., Βοζινάκης, Κ., 2005, Υδατικό Ισοζύγιο Υδρολογικής Λεκάνης του Κερίτη, περιοδικό Διάσταση, τεύχος 30, Ιούνιος Ιούλιος Αύγουστος 2005, Χανιά
12. Χατζηευαγγέλου, Κ., 2005, Εκτίμηση Υδατικού Ισοζυγίου και Διαχείριση Υδατικών Πόρων της Υδρολογικής Λεκάνης του Κερίτη, Πολυτεχνείο Κρήτης, Μεταπτυχιακή διατριβή, Χανιά.

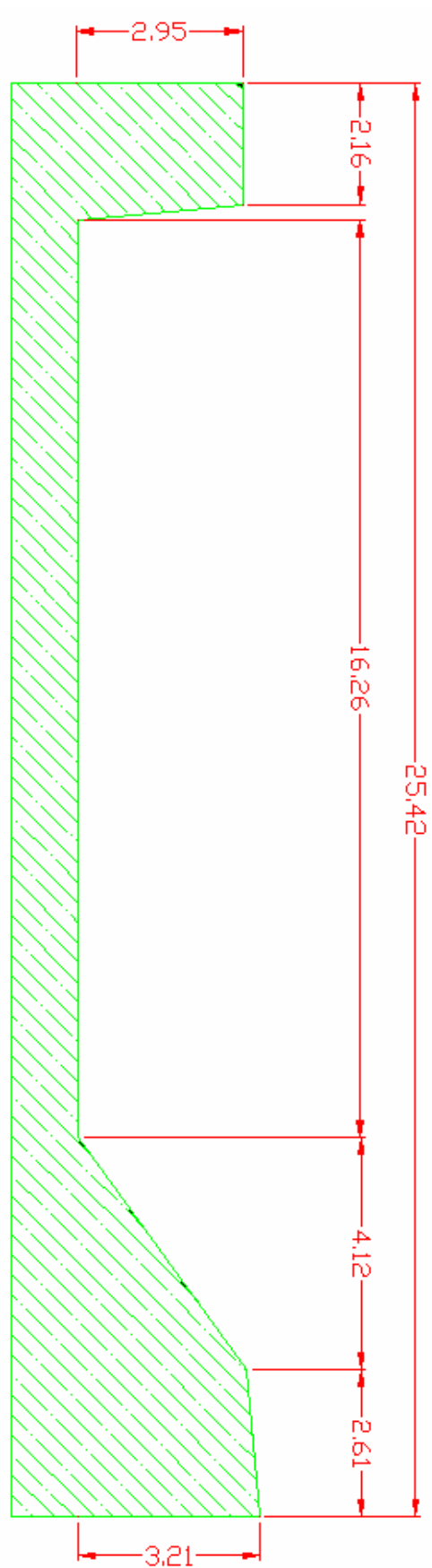
8. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

8.1. Σχήματα Διατομών σε AutoCAD 2004

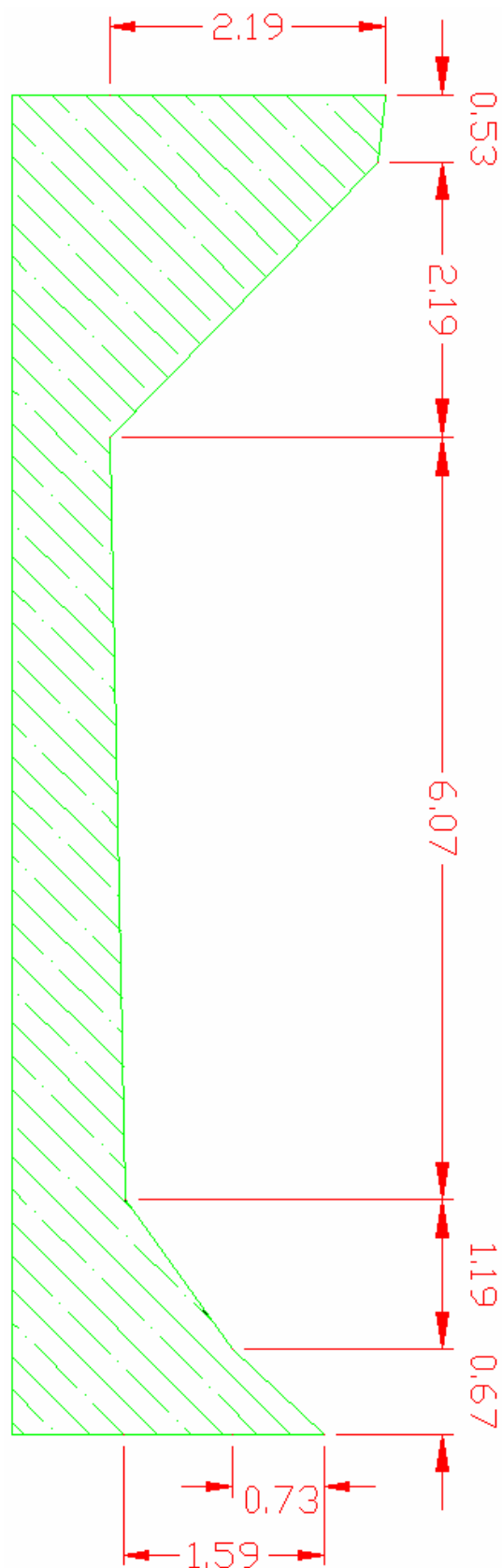
Α. Διατομή Μεσκλών



Β. Διατομή Κυρτωμάδου



Γ. Διατομή Πατελαρίου



Δ. Διατομή Δρακιανών

