ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΛΕΚΑΝΗΣ ΚΟΥΡΤΑΛΙΩΤΗ»

ΕΛΕΥΘΕΡΙΟΣ ΚΑΤΣΑΝΙΚΑΚΗΣ

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ ΣΤΕΙΑΚΑΚΗΣ	(ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ – ΕΠΙΚ. ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ)
ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ ΜΑΝΟΥΤΣΟΓΛΟΥ	(ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ)
ΑΝΤΩΝΙΟΣ ΒΑΦΕΙΔΗΣ	(ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ)

ΧΑΝΙΑ
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ 2013

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Για την πραγματοποίηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα κ. Εμμανουήλ Στειακάκη, Επίκουρο Καθηγητή, τόσο για την εμπιστοσύνη του ως προς την ανάθεση του θέματος, όσο και για την πολύτιμη βοήθειά του, την υποστήριξη, την άψογη συνεργασία και το ενδιαφέρον του που έδειξε καθ' όλη την διάρκεια της εκπόνηση της εργασίας.

Θέλω να ευχαριστήσω θερμά τον κ. Εμμανουήλ Μανούτσογλου, Καθηγητή, και κ. Αντώνιο Βαφείδη, Καθηγητή, που συμμετέχουν στην εξεταστική επιτροπή, για τις εύστοχες παρατηρήσεις τους στο κείμενο και την καλή τους διάθεση να αφιερώσουν μέρος από τον πολύτιμο χρόνο τους για την αξιολόγηση της παρούσας εργασίας.

Ένα πολύ μεγάλο ευχαριστώ στον κ. Διονύση Βαβαδάκη, Επιστημονικό Συνεργάτη του Εργαστηρίου Εφαρμοσμένης Γεωλογίας, για την ανεκτίμητη βοήθειά του και τις χρήσιμες συμβουλές του καθ' όλη την διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας.

Σ' αυτό το σημείο θα ήθελα να εκφράσω τη βαθιά ευγνωμοσύνη μου στους γονείς μου για την ανυπολόγιστη συνεισφορά τους μεταξύ άλλων και για την υποστήριξη τους καθ' όλη την διάρκεια των σπουδών μου.

Τελειώνοντας δεν θα μπορούσα να μην αναφέρω τους φίλους μου και τους συμφοιτητές μου, τόσο για την ηθική υποστήριξή τους όσο και για την συμπαράσταση τους σε όλες τις δύσκολες στιγμές των φοιτητικών μου χρόνων.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως αντικείμενο την υδρογεωλογική έρευνα της λεκάνης Κουρταλιώτη.

Για την έρευνα αυτή οριοθετήθηκε η υδρολογική λεκάνη απορροής του χειμμάρου Κουρταλιώτη και προσδιορίστηκε η υδρογεωλογική λεκάνη των πηγών που εκρέουν στην κοίτη του ποταμού.

Στην συνέχεια έγινε εκτίμηση του ισοζυγίου της υδρολογικής λεκάνης. Για τα ελλιπή βροχομετρικά δεδομένα έγινε συμπλήρωση τους με την μέθοδο της διπλής μάζας. Για τον προσδιορισμό της κατείσδυσης χρησιμοποιήθηκαν οι συντελεστές Kessler για τους ανθρακικούς σχηματισμούς.

Τα αποθέματα του υπόγειου νερού εκτιμήθηκαν με βάση τις εισροές και εκροές της υδρογεωλογικής λεκάνης. Οι εισροές προσδιορίστηκαν με βάση την κατείσδυση (απευθείας και δευτερογενή) και τις πλευρικές εισροές, η προσέγγιση των οποίων έγινε με βάση την υδραυλική βαθμίδα (νόμο Darcy). Για τον προσδιορισμό των εκροών χρησιμοποιήθηκαν οι εκροές των πηγών και οι εκτιμούμενες πλευρικές απορροές σε παρακείμενες υδρογεωλογικές λεκάνες.

Επιπρόσθετα, οι εξισώσεις του Maillet και του Tison χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση των ρυθμιστικών αποθεμάτων.

Τα αποτελέσματα υποδεικνύουν ότι η αναρίθμηση των πηγών μέσω άντλησης γεωτρήσεων θα συνέβαλε στην ορθολογική διαχείριση του υδροφορέα της περιοχής.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ 1

2. ΓΕΩΛΟΓΙΑ – ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ 3

2.1. Μορφολογία της περιοχής 3

2.2. Γεωλογία – Τεκτονική της περιοχής 4

2.3. Καρστικοποίηση των ανθρακικών πετρωμάτων της περιοχής 8

2.4. Υδρολιθολογία της περιοχής 10

3. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟΥ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ 13

3.1. Βροχοπτώσεις 13

3.1.1. Διαθέσιμα δεδομένα 14

3.1.2. Έλεγχος ομοιογένειας και διόρθωση των παρατηρήσεων 16

3.1.3. Συμπλήρωση ελλείψεων 20

3.1.4. Υπολογισμός ετήσιου όγκου βροχόπτωσης στην υδρολογική λεκάνη22

3.1.5. Υπολογισμός ετήσιου όγκου βροχόπτωσης στην υδρογεωλογική λεκάνη 25

3.2. Εξατμισιδιαπνοή 25

3.2.1. Υπολογισμός ετήσιου όγκου εξατμισιδιαπνοής στην υδρολογική λεκάνη 27

3.2.2. Υπολογισμός ετήσιου όγκου εξατμισιδιαπνοής στην υδρογεωλογική λεκάνη 27

3.3. Κατείσδυση 27

3.3.1. Προσδιορισμός του συντελεστή κατείσδυσης κατά Kessler 28

3.3.2. Υπολογισμός ετήσιου όγκου κατείσδυσης στην υδρολογική λεκάνη Κουρταλιώτη 33

3.3.3. Υπολογισμός ετήσιου όγκου κατείσδυσης στην υδρογεωλογική λεκάνη 33

3.4. Επιφανειακή απορροή 34

4. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ ΤΟΥ ΚΑΡΣΤΙΚΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ 35

4.1. Εισροές 35

4.1.1. Απευθείας κατείσδυση 35

4.1.2. Κατείσδυση από ανάντη επιφανειακές απορροές 35

4.1.3. Πλευρικές εισροές 36

4.2. Εκροές 38

4.2.1. Δεδομένα απορροών των πηγών που εκφορτίζουν τον καρστικό υδροφορέα 38

4.2.2. Προσδιορισμός του συντελεστή στείρευσης κατά Maillet και Tison 39

4.2.3. Εκκενώσιμα αποθέματα 50

4.2.4. Πλευρικές εκροές 52

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ 53

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 55

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι καρστικοί υδροφορείς της Κρήτης αποτελούν τους σημαντικότερους υπόγειους ταμιευτήρες του νησιού, τα νερά των οποίων σε μεγάλο ποσοστό απορρέουν στη θάλασσα αναξιοποίητα. Η ορθολογική τους εκμετάλλευση (αναρρύθμιση των πηγών υπερπλήρωσης και άντληση των υπόγειων νερών μέσω γεωτρήσεων) απαιτεί μεθοδική μελέτη και έρευνα.

Στο πλαίσιο αυτό ερευνήθηκε η ευρύτερη περιοχή γύρω από τις πηγές Κουρταλιώτη που αναβλύζουν 2.5 km βορειανατολικά του χωριού Λευκόγεια (Ν. Ρεθύμνου, Κρήτη).Η περιοχή έρευνας διακρίνεται στο **Σχήμα 1.1**.

Η λεκάνη Κουρταλιώτη σήμερα υφίσταται περιορισμένη (εμπειρική) εκμετάλλευση και η εκτίμηση των διαθέσιμων αποθεμάτων νερού θα συμβάλλει στη βέλτιστη εκμετάλλευση του υδροφορέα, αυξάνοντας τις απολήψιμες ποσότητες νερού κατά τρόπο ασφαλή.

Η παρούσα εργασία αποσκοπεί στην εκτίμηση των αποθεμάτων της υδρογεωλογικής λεκάνης Κουρταλιώτη, προκειμένου να γίνει ορθολογική εκμετάλλευση των υπόγειων νερών της περιοχής.

Αρχικά, με βάση το τοπογραφικό ανάγλυφο και το υδρογραφικό σύστημα της περιοχής, οριοθετήθηκε η υδρολογική λεκάνη Πλακιώτη – Κουρταλιώτη - Σπηλιανού. Στη συνέχεια, με βάση την γεωλογική δομή της περιοχής, οριοθετήθηκε και η υδρογεωλογική λεκάνη Κουρταλιώτη.

<u>Σχήμα 1.1</u>: Περιοχή έρευνας (Τρισδιάστατη δορυφορική εικόνα από GoogleEarth, προοπτική από νότια).

Στη συνέχεια προσδιορίσθηκε το υδρολογικό ισοζύγιο της ευρύτερης υδρολογικής λεκάνης και το ισοζύγιο της υδρογεωλογικής λεκάνης των πηγών Κουρταλιώτη.

2. ΓΕΩΛΟΓΙΑ – ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Για την μελέτη της γεωλογικής δομής της περιοχής Κουρταλιώτη χρησιμοποιήθηκαν προγενέστερες χαρτογραφήσεις του ΙΓΜΕ (Καρακίτσιος, 1982, Bonneau, 1985). Οι γεωλογικές τομές υπό κλίμακα, που παρουσιάζονται στο **Σχήμα 2.3** και οι οποίες αποδίδουν τη γεωλογική δομή της περιοχής σε βάθος συντάχθηκαν από Στειακάκη – Βαβαδάκη (2012) με βάση τοπογραφικούς χάρτες (ΓΥΣ, 1972) και γεωλογικούς χάρτες του ΙΓΜΕ (Καρακίτσιος, 1982, Bonneau, 1985)

2.1. Μορφολογία της περιοχής

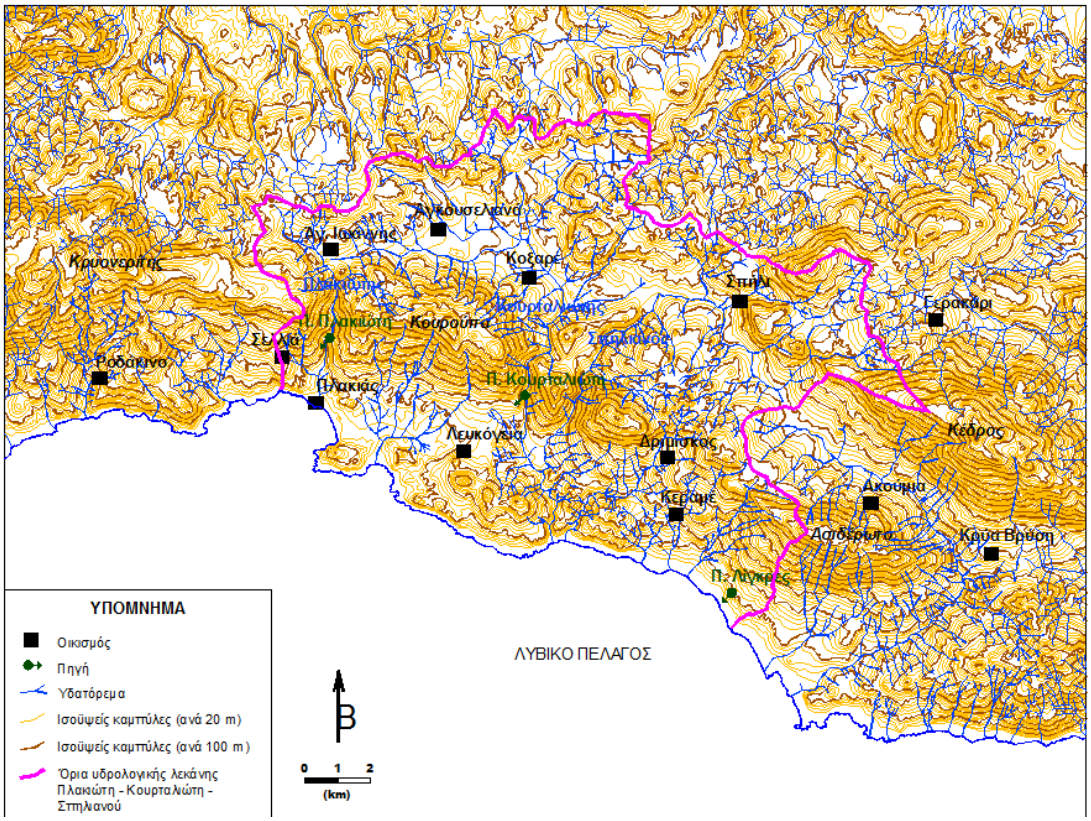
Η περιοχή έρευνας εκτείνεται μεταξύ των συντεταγμένων Χ=526923, Υ=3881152 και Χ=557624, Υ=3900753 κατά ΕΓΣΑ'87.

Το ανάγλυφό της είναι έντονο με μέσο υψόμετρο 615 m. Στην περιοχή αναπτύσσονται αρκετά ρέματα λόγο του έντονου ανάγλυφου.

Τα μεγαλύτερα από αυτά είναι ο Πλακιώτης, ο Κουρταλιώτης και ο Σπηλιανός. Σε αυτά τα τρία ρέματα (χείμαρροι) ρέουν το μεγαλύτερο μέρος των επιφανειακών νερών της περιοχής.

Με την χρήση του τοπογραφικού χάρτη της περιοχής μελέτης , στον οποίο οι κύριες ισοϋψείς καμπύλες έχουν ισοδιάσταση 100 m και οι δευτερεύουσες 20 m, οροθετήθηκε η λεκάνη απορροής χαράσσοντας την υδροκριτική γραμμή. Με βάση τον ψηφιακό τοπογραφικό χάρτη και με την χρήση του autocad, χαράχθηκε ο υδροκρίτης της υδρολογικής λεκάνης.

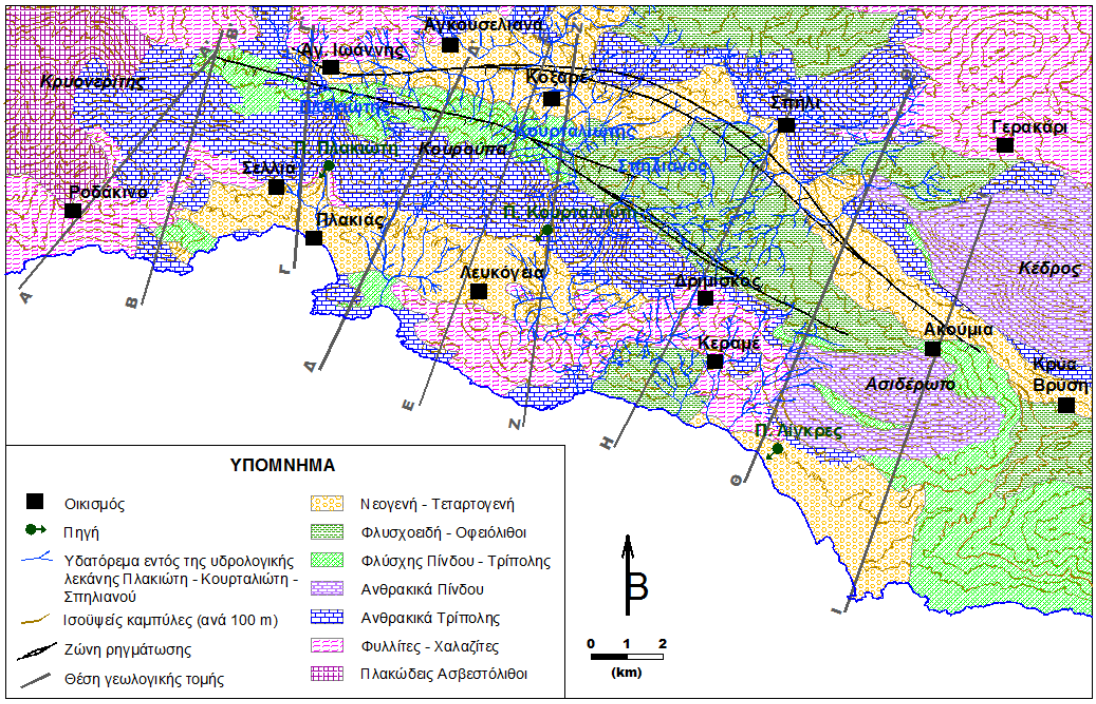
Η υδρολογική λεκάνη Πλακιώτη – Κουρταλιώτη – Σπηλιανού έχει έκταση 180 km^2 και εκτείνεται από τα χωριά Σελλιά και Άγιος Ιωάννης (δυτικά) μέχρι τα χωριά Κέραμε και Δριμίσκος (ανατολικά) ενώ εκτείνεται μέχρι τα χωριά Αγκουσελιανά και Σπήλι (βόρια) και μέχρι την θάλασσα (νότια) (βλέπε **Σχήμα 2.1**).



<u>Σχήμα 2.1</u>: Υδρολογική λεκάνη Πλακιώτη – Κουρταλιώτη – Σπηλιανού.

2.2. Γεωλογία – Τεκτονική της περιοχής

Στο **Σχήμα 2.2** παρουσιάζεται το γεωλογικό σκαρίφημα της ευρύτερης περιοχής, το οποίο σχεδιάσθηκε με βάση προγενέστερες χαρτογραφήσεις του ΙΓΜΕ (Καρακίτσιος, 1982, Bonneau, 1985).



Σχήμα 2.2: Γεωλογικός χάρτης της περιοχής έρευνας (Στειακάκης, Βαβαδάκης, 2012, τροποποίηση από Καρακίτσιο, 1982).

Με βάση το Σχήμα 2.2 εντοπίζονται οι κάτωθι τεκτονικές ενότητες, από τα στρωματογραφικά κατώτερα προς τα ανώτερα στρώματα:

- Ενότητα Κρήτης – Μάνης (Πλακώδεις Ασβεστόλιθοι).
- Ενότητα Φυλλιτών – Χαλαζιτών.
- Ενότητα Τρίπολης (Ανθρακικοί σχηματισμοί και κατά τόπους Φλύσχης).
- Ενότητα Ωλονού – Πίνδου (Ανθρακικοί σχηματισμοί και κατά τόπους Φλύσχης).
- Ενότητα Οφιολίθων.
- Νεογενείς σχηματισμοί.

- Τεταρτογενείς σχηματισμοί.

Η κατώτερη τεκτονική ενότητα είναι η ενότητα «Κρήτης – Μάνης», αποτελείται κυρίως από τους χαρακτηριστικούς «Πλακώδεις Ασβεστόλιθους».

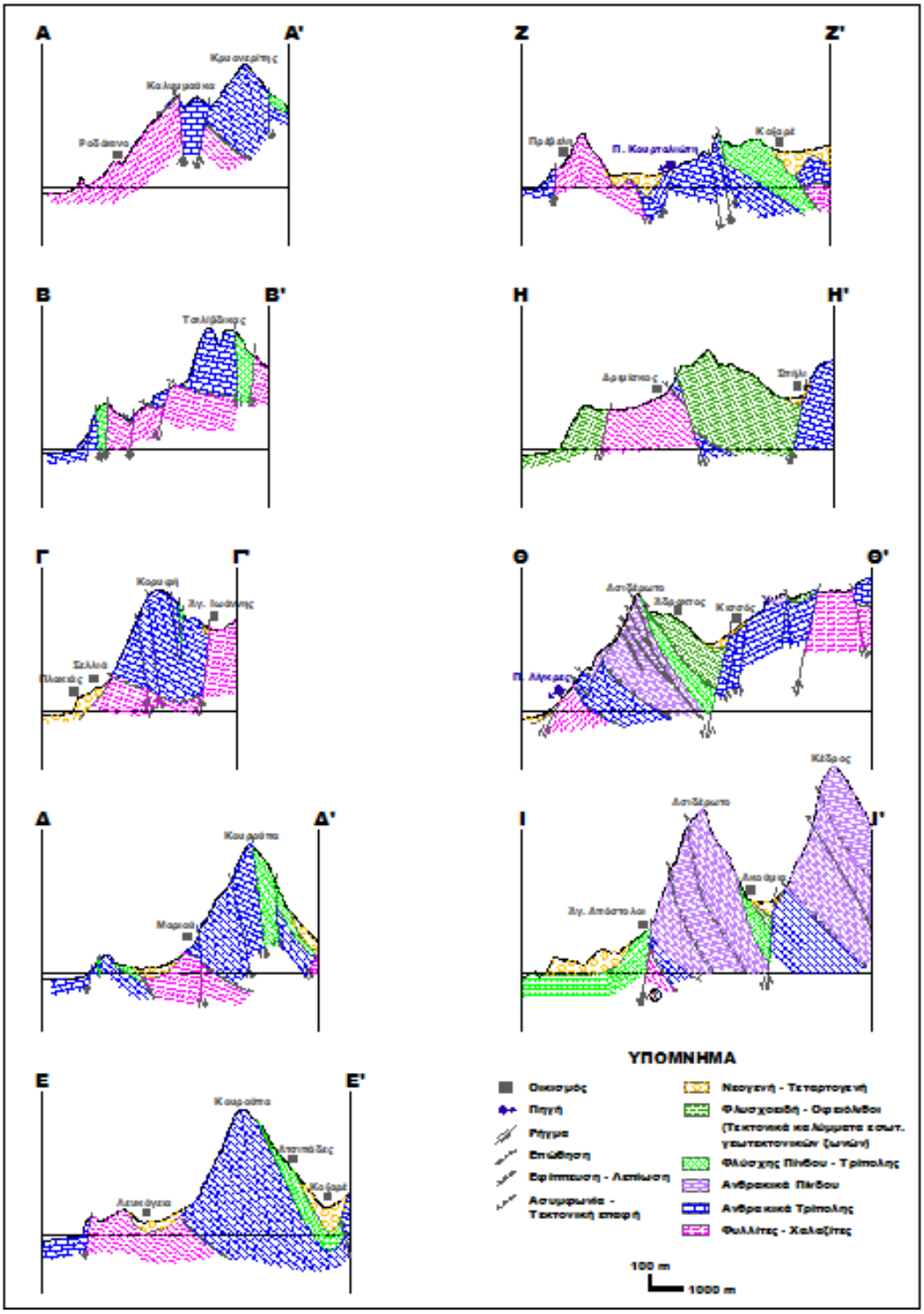
Πάνω σε αυτή αναπτύσσεται η ενότητα «Φυλλιτών – Χαλαζιτών». Ακολουθεί η τεκτονική ενότητα της «Τρίπολης» (Γαβρόβου – Τριπόλεως) που χαρακτηρίζεται από μια μεγάλου πάχους ανθρακική ακολουθία, Ανω-Τριαδικής – Ανω-Ηωκαινικής ηλικίας. Καλύπτεται από Ανω-Ηωκαινικό φλύσχη. (Φυτρολάκης, 1980).

Πάνω στην ενότητα της Τρίπολης και μερικές φορές πάνω στην ενότητα Φυλλιτών – Χαλαζιτών ή την ενότητα Κρήτης – Μάνης απαντά η τεκτονική ενότητα «Ωλονού – Πίνδου».

Το ανώτατο κάλυμμα της Κρήτης συγκροτείται από μία ποικιλία ενοτήτων των οποίων η προέλευση τοποθετείται στις εσωτερικές Ελληνίδες. Πρόκειται για ένα σύνθετο και πολύμεικτο τεκτονικό κάλυμμα που συγκροτείται από οφιολίθους, κρυσταλλοσχιστώδη, φυλλίτες και μη μεταμορφωμένα πετρώματα. Καλείται και «Οφιολιθικό Σύμπλεγμα» (Φυτρολάκης, 1980) .

Στη γεωλογική δομή της περιοχής που μελετάται συμμετέχουν επίσης Νεογενείς και Τεταρτογενείς σχηματισμοί των οποίων η απόθεση έχει λάβει χώρα σε μία ποικιλία περιβαλλόντων που ελέγχονταν από έναν εφελκυστικό κυρίως τεκτονισμό, συνέπεια του οποίου διαμορφώθηκαν τεκτονικά κέρατα (περιοχές διάβρωσης) και τεκτονικά βυθίσματα (λεκάνες απόθεσης) (Φυτρολάκης, 1980).

Στο **Σχήμα 2.3** παρουσιάζονται οι γεωλογικές τομές υπό κλίμακα, οι οποίες αποδίδουν τη γεωλογική δομή της περιοχής σε βάθος. Οι τομές αυτές παρουσιάζονται από τους Στειακάκη – Βαβαδάκη (2012).



Σχήμα 2.3: Γεωλογικές τομές (Οι θέσεις τους δίνονται στο Σχήμα 2.2) (Στειακάκης, Βαβαδάκης, 2012).

Από την μελέτη των τομών, προκύπτει η υδρογεωλογική σχέση των γεωλογικών ενοτήτων της περιοχής, όπου πρωτεύοντα ρόλο παίζουν οι ανθρακικοί σχηματισμοί της ζώνης της «Τρίπολης» (ασβεστόλιθοι και δολομίτες) και το «Φυλλιτικό – Χαλαζιτικό» σύστημα της Κρήτης.

Ειδικότερα, παρατηρείται εκτεταμένη τεκτονική σχέση (εφαπτομενική τεκτονική) της ζώνης της Τρίπολης (ανθρακική σειρά και φλύσχης) επί των Φυλλιτών – Χαλαζιτών, κατά τρόπο που να οριοθετείται η ανθρακική σειρά της Τρίπολης σαν ανεξάρτητη υδρολιθολογική ενότητα (υδρογεωλογική λεκάνη Κουρταλιώτη) (Στειακάκης, Βαβαδάκης, 2012).

2.3. Καρστικοποίηση των ανθρακικών πετρωμάτων της περιοχής

Τα ανθρακικά πετρώματα της Τρίπολης που καλύπτουν την περιοχή έρευνας, αποτελούνται από εναλλαγές αμιγών ασβεστόλιθων και ενστρώσεις ή ζώνες, περισσότερο ή λιγότερο πρωτογενούς ή δευτερογενούς δολομιτοποίησης, οι οποίες εμφανίζονται χωρίς κανονικότητα. Πρόκειται για πετρώματα στην πλειονότητά τους μεσο-στρωματώδη μέχρι παχυ-στρωματώδη και σπανιότερα άστρωτα ή λεπτοστρωματώδη. (Παπάκης, 1966, Μονόπωλης – Μάστορης, 1969, Μάστορης – Μονόπωλης – Σκαγιάς, 1971)

Σε μερικές περιπτώσεις διακρίνονται αρμοί στρώσης με άφθονο αργιλικό υλικό (κύρια δευτερογενές) και πυριτικές διαστρώσεις. Η παραπάνω λιθολογία, σε συνδυασμό με το γεγονός ότι η περιοχή βρίσκεται εκτεθειμένη στη διάβρωση (μερικά, ή ολικά), από την Αλπική ορογένεση, έχει επιφέρει ισχυρή καρστικοποίηση στις ανθρακικές μάζες (βλέπε **Σχήμα 2.4**) που εκτείνονται από την κορυφή της ανθρακικής σειράς μέχρι το «στεγανό» γεωλογικό υπόβαθρο των Φυλλιτών – Χαλαζιτών. (Παπάκης, 1966, Μονόπωλης – Μάστορης, 1969, Μάστορης – Μονόπωλης – Σκαγιάς, 1971)

Σχήμα 2.4: Καρστικοποίηση των ανθρακικών σχηματισμών της Τρίπολης (από Στειακάκης, Βαβαδάκης, 2012).

Οι ισχυρές τεκτονικές κινήσεις της αλπικής και της μεταλπικής τεκτονικής (Ολιγόκαινο – Μειόκαινο), προκάλεσαν επανειλημμένες διακοπές στον κύκλο της καρστικής διεργασίας, γενικότερα αλλά και σε τοπική κλίμακα. Πολλές παλαιοκαρστικές μορφές εξελίχθηκαν διαφορετικά, άλλων διακόπηκε η διεργασία και άλλες αποφράχθηκαν μερικά ή πλήρως, εφόσον βρέθηκαν σε περιοχές επίκλησης της Ολιγο-Μειοκαινικής θάλασσας.

Επιπλέον, οι τεκτονικές κινήσεις κατά τη διάρκεια του Τεταρτογενούς βοήθησαν στη δημιουργία καρστικών μορφών κάτω από τη σημερινή επιφάνεια της θάλασσας, σε βάθη που υπερβαίνουν ίσως τα 100 m (Στειακάκης, Βαβαδάκης, 2012).

Επίσης, από συστηματικές υδρογεωλογικές μελέτες στον ευρύτερο Ελλαδικό χώρο (Παπάκης, 1966, Μονόπωλης – Μάστορης, 1969, Μάστορης – Μονόπωλης – Σκαγιάς, 1971), επιβεβαιώνεται η ύπαρξη «ανοικτού» καρστ σε βάθος από 70 m έως και πλέον των 100 m κάτω από τη στάθμη της θάλασσας, του οποίου η προέλευση ανάγεται σε διεργασίες που χρονολογούνται πριν το Πλειο-Τεταρτογενές.

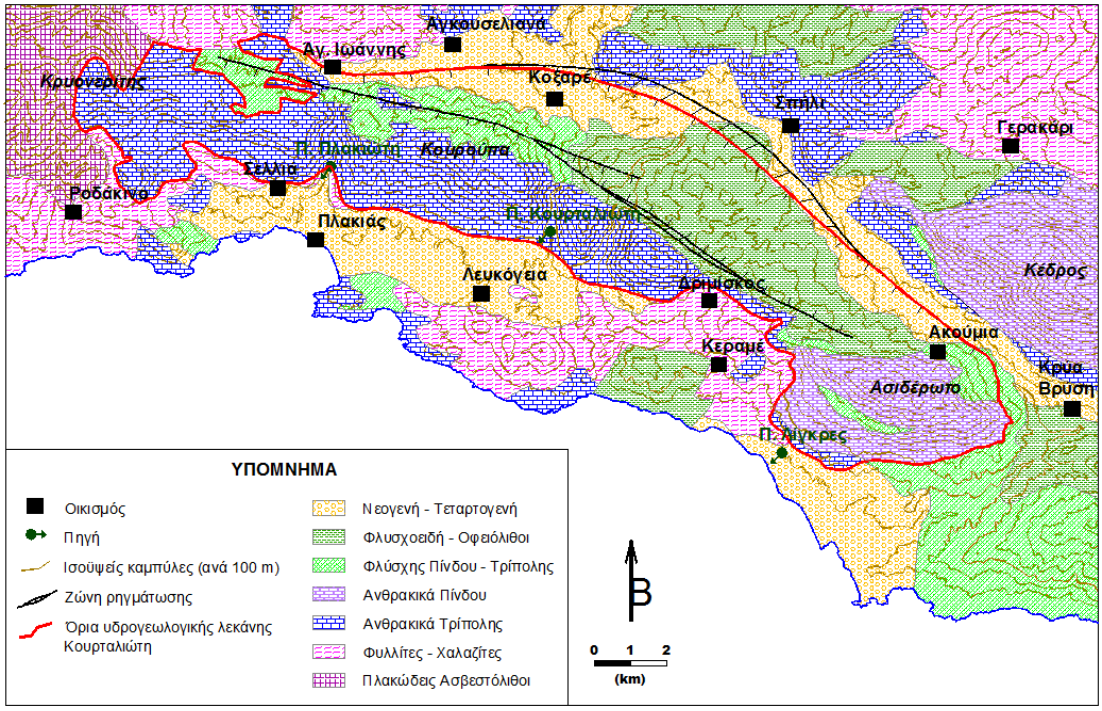
Με βάση τα παραπάνω και λαμβάνοντας υπόψη την παλαιογεωγραφία και τη γεωλογική ιστορία της Κρήτης, θεωρούμε ότι σε τοπικό επίπεδο δεν θα ήταν παράλογο να δεχθούμε (ελλείψει γεωτρητικής έρευνας), ανοικτό παλαιοκάρστ και σε βάθος μεγαλύτερο των 100 m κάτω από τη στάθμη της θάλασσας.

2.4. Υδρολιθολογία της περιοχής

Με βάση τη γεωλογική δομή της περιοχής, η ανθρακική σειρά που αναπτύσσεται κατά μήκος της ορεογραμμής Κρυονερίτης, Κουρούπα, Ασιδέρωτο (βλέπε Σχήμα 2.2), αποτελεί την κύρια και ενδεχόμενα αποκλειστική υδρολιθολογική ενότητα που τροφοδοτεί τις πηγές Κουρταλιώτη.

Το περίγραμμα της υδρογεωλογικής λεκάνης Κουρταλιώτη που ορίζεται στο **Σχήμα 2.5**, προσδιορίσθηκε (Στειακάκης, Βαβαδάκης, 2012) με βάση τα όρια των επιφανειακών εμφανίσεων των καρστικών ανθρακικών σχηματισμών (γεωλογικές ζώνες Πίνδου και Τρίπολης) κυρίως στο νότο, αλλά και την εκτεινόμενη ζώνη ρηγμάτωσης, στο βόρειο τμήμα της λεκάνης.

Ας σημειωθεί ότι η επαλληλία των ενοτήτων Τρίπολης και Πίνδου και η ισχυρή τεκτονική, συνεπάγονται αναμφίβολα την υδρογεωλογική τους ταύτιση. Επιπλέον, η ύπαρξη διαστρώσεων πυριτολίθων και ανθρακικών σχιστολίθων (μεταφλύσχη) στα ανώτερα μέλη των Πλακωδών ασβεστολίθων, μειώνουν σημαντικά την περατότητα εγκάρσια, σε σχέση με την παράλληλη στη στρώση διεύθυνση.



<u>Σχήμα 2.5</u>: Υδρογεωλογική λεκάνη Κουρταλιώτη (από Στειακάκης, Βαβαδάκης, 2012).

Το γεγονός αυτό μας επιτρέπει να υιοθετήσουμε την άποψη ότι μεταξύ των λιθολογικών ενοτήτων Τρίπολης και Πλακωδών ασβεστόλιθων δεν αναπτύσσεται αξιόλογη υπόγεια υδραυλική επικοινωνία και συνεπώς στη δυτική απόληξη της λεκάνης η ανθρακική σειρά Τρίπολης απομονώνεται επαρκώς.

Η σχέση μεταξύ των γεωλογικών ενοτήτων και η γεωμετρική εικόνα που παρέχεται από τις εγκάρσιες γεωλογικές τομές (Σχήμα 2.3), υποδεικνύουν ότι η ανθρακική λεκάνη Κουρταλιώτη τροφοδοτείται κυρίως από τις απευθείας βροχοπτώσεις στην περιοχή και μερικώς από την επιφανειακή απορροή των τριών υδατορεμάτων που τη διατρέχουν με διεύθυνση εγκάρσια στον επιμήκη άξονα της λεκάνης. Τα ρέματα αυτά δέχονται τα επιφανειακά νερά της υδρολογικής λεκάνης που εξετάσθηκε, η οποία επεκτείνεται και πέραν της επιφάνειας που καταλαμβάνουν τα ανθρακικά πετρώματα της υδρογεωλογικής λεκάνης Κουρταλιώτη (βλέπε Σχήμα 2.1).

Όπως είναι εμφανές από τα Σχήματα 2.1 και 2.5 η υδρολογική λεκάνη και η υδρογεωλογική λεκάνη δεν ταυτίζονται. Η υδρογεωλογική λεκάνη αναπτύσσεται σε μια επιμήκη ζώνη διεύθυνσης ΔΒΔ–ΑΝΑ, μήκους περί τα 27 km, μέσου πλάτους 4 km και καλύπτει μια επιφάνεια περί τα 105 km^2.

Σύμφωνα με τα τα Σχήματα 2.2 και 2.3, στη νότια πλευρά της λεκάνης διαμορφώνεται ένα στεγανό υπερυψωμένο υπόβαθρο από Φυλλίτες – Χαλαζίτες, οι οποίοι εμποδίζουν την άμεση υπόγεια επικοινωνία των ανθρακικών πετρωμάτων της Τρίπολης με τη θάλασσα, ενώ προς βορρά διαμορφώνεται ένα βαθύ γεωσύγκλινο , το οποίο καταλαμβάνεται από φλύσχη της Τρίπολης, φλυσχοειδή ή αναλόγου σύστασης ολιγοπερατούς κατά κανόνα σχηματισμούς που ανήκουν στα τεκτονικά καλύμματα των «εσωτερικών γεωτεκτονικών ζωνών» m (Στειακάκης, Βαβαδάκης, 2012).

Το γεγονός αυτό δημιουργεί ανάλογες συνθήκες «απομόνωσης» από τους γεωλογικούς σχηματισμούς που αναπτύσσονται στην ενδοχώρα.

Διευκρινίζεται ότι στην ανθρακική υδρολιθολογική ενότητα Κουρταλιώτη θα πρέπει να συμπεριληφθούν και οι σχηματισμοί της ζώνης «Πίνδου» (κύρια ασβεστόλιθοι) που καταλαμβάνουν την ανατολική προέκταση της υδρογεωλογικής ενότητας (βλέπε Σχήμα 2.2). Οι σχηματισμοί της Πίνδου αποτελούν διαδοχικά τεκτονικά καλύμματα (λέπια) που επικαλύπτουν τους σχηματισμούς της Τρίπολης.

Επίσης, στη δυτική απόληξη της ανθρακικής σειράς της Τρίπολης παρατηρείται επώθησή της πάνω στους «Πλακώδεις Ασβεστόλιθους».

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι γεωλογικές τομές του Σχήματος 2.3, στις οποίες βασίζεται η έρευνα, επιβεβαιώθηκαν πλήρως από τα ευρήματα των γεωτρήσεων στις θέσεις Κοξαρέ, Φρατί, Αγ. Παρασκευή, Ασώματος, Καλή Συκιά και Ακούμια (Στειακάκης, Βαβαδάκης, 2012) .

3. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟΥ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ

Για την εκτίμηση του υδρολογικού ισοζυγίου λήφθηκαν υπόψη βροχομετρικά δεδομένα από το τμήμα Υδροικονομίας της Περιφέρειας Κρήτης (2012) στα οποία έγινε έλεγχος και διόρθωση των δεδομένων με την μέθοδο της διπλής μάζας. Με βάση τα δεδομένα αυτά προσδιορίστηκε ο συνολικός όγκος της βροχόπτωσης στην υδρολογική λεκάνη.

Στην συνέχεια εκτιμήθηκε η εξατμισιδιαπνοή και ο συντελεστής κατείσδυσης. Για την εκτίμηση του συντελεστή κατείσδυσης στους ασβεστολιθικούς σχηματισμούς χρησιμοποιήθηκαν οι συντελεστές Kessler, ενώ για τους υπόλοιπους γεωλογικούς σχηματισμούς της λεκάνης θεωρήθηκαν συντελεστές από την βιβλιογραφία.

Τέλος, υπολογίσθηκε η επιφανειακή απορροή της υδρολογικής λεκάνης Κουρταλιώτη.

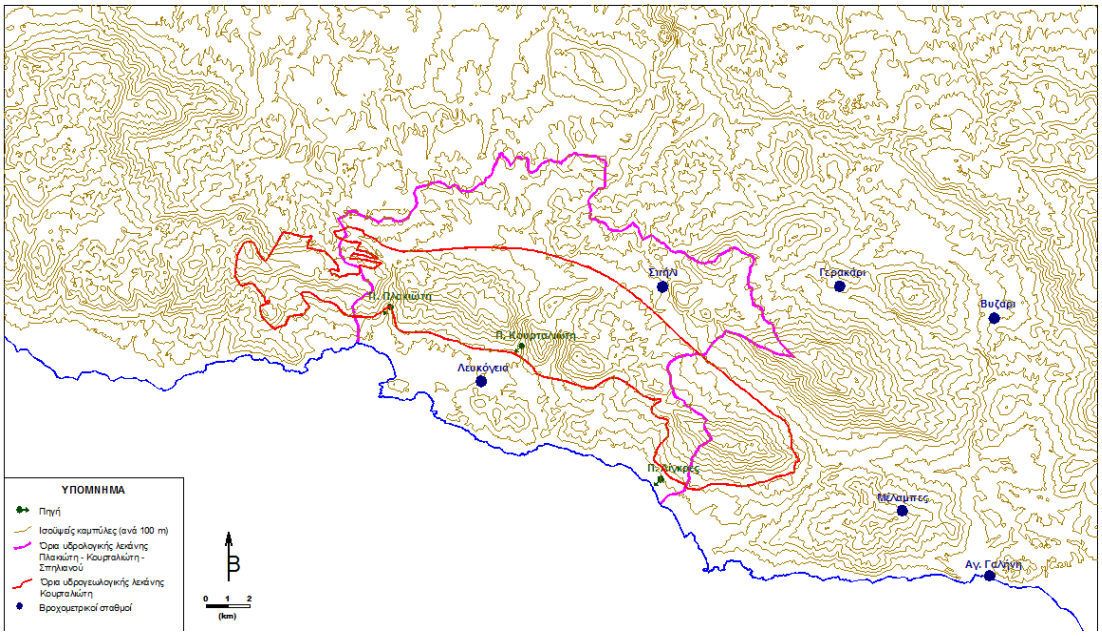
3.1. Βροχοπτώσεις

Οι βροχοπτώσεις είναι μια εκ των υδρολογικών παραμέτρων η οποία απαραιτήτως υπολογίζεται κατά την μελέτη του υδρολογικού ισοζυγίου μιας περιοχής, δεδομένου ότι συνιστά την μοναδική και βασική πηγή τροφοδοσίας των υπολοίπων μεγεθών του υδρολογικού κύκλου (εξατμισιδιαπνοή, κατείσδυση, απορροή).

Στο παρόν κεφάλαιο επιχειρείται λεπτομερής ανάλυση των βροχοπτώσεων της υδρολογικής λεκάνης Κουρταλιώτη, προκειμένου να προσδιοριστεί κατά το δυνατόν ακριβέστερα το υδρολογικό ισοζύγιο.

3.1.1. Διαθέσιμα δεδομένα

Για την εκτίμηση των κατακρημνισμάτων στην περιοχή μελέτης χρησιμοποιήθηκε το ύψος των μηνιαίων βροχοπτώσεων έξι (6) βροχομετρικών σταθμών: «Αγία Γαλήνη», «Βυζάρι», «Γερακάρι», «Λευκόγεια», «Μέλαμπες» και «Σπήλι», οι οποίοι βρίσκονται στην ευρύτερη περιοχή έρευνας (βλέπε **Σχήμα 3.1**) και φαίνεται να αφορούν περιοχή ίδιας μικροκλιματικής συμπεριφοράς (Καπετανάκης, 2001).



<u>Σχήμα 3.1</u>: Όρια υδρογεωλογικής, υδρολογικής λεκάνης και βροχομετρικοί σταθμοί που επιλέχθηκαν.

Και οι έξι (6) παραπάνω σταθμοί διαχειρίζονται από την Περιφέρεια Κρήτης, από την οποία και διατίθενται οι μετρήσεις (Περιφέρεια Κρήτης, 2012).

Η περίοδος λειτουργίας των σταθμών είναι μεγάλη (1966-2012) αλλά οι περίοδοι παρατηρήσεων είναι ασυνεχείς (**Πίνακας 3.1**). Για τους λόγους αυτούς, για την επεξεργασία των βροχομετρικών δεδομένων των σταθμών επελέγη η κοινή χρονική

περίοδος 1969-2009 (40 υδρολογικά έτη), η οποία κρίνεται επαρκής σύμφωνα με την βιβλιογραφία (Μονόπωλης, 1971).

<u>Πίνακας 3.1</u>: Διαθέσιμα βροχομετρικά δεδομένα (Περιφέρεια Κρήτης, 2012).

Σταθμός	**Απόλυτο υψόμετρο (m)**	**Περίοδος λειτουργίας**	**Υδρολογικά έτη**	**Παρατηρήσεις**
Αγία Γαλήνη	20	1969-2011	42	Λείπουν μετρήσεις 15 μηνών
Βυζάρι	310	1969-2009	40	Λείπουν μετρήσεις 4 μηνών
Γερακάρι	660	1967-2012	45	Συνεχείς μετρήσεις
Λευκόγεια	90	1966-2012	46	Λείπουν μετρήσεις 18 μηνών
Μέλαμπες	560	1964-2009	45	Λείπουν μετρήσεις 7 μηνών
Σπήλι	390	1964-2010	46	Λείπουν μετρήσεις 30 μηνών

Η χρονική εξέλιξη της εκδήλωσης των βροχοπτώσεων κατά την διάρκεια τους έτους έχει ιδιαίτερη σημασία για την διαμόρφωση του υδρολογικού ισοζυγίου. Υπό την επίδραση των χρονικών μεταβολών των κλιματικών στοιχείων μιας περιοχής εμφανίζονται ανάλογες μεταβολές στις τιμές των μεγεθών του υδρολογικού ισοζυγίου (Μονόπωλης, 1971).

Οι παράγοντες οι οποίοι συντελούν σχεδόν στον μηδενισμό του ποσοστού του νερού των θερινών βροχοπτώσεων, το οποίο απορρέει επιφανειακώς ή κατεισδύει για να τροφοδοτήσει τους υπόγειους υδροφόρους ορίζοντες είναι :

1. Η υψηλή θερμοκρασία του εδάφους και του αέρα.

2. Η συνήθως η μικρή διάρκεια και η μικρή ένταση των βροχοπτώσεων.

3. Οι χαμηλές τιμές σχετικής υγρασίας του αέρα και υγρασίας του εδάφους.

4. Η ένταση του αέρα της περιοχής.

Υπό την επίδραση των παραγόντων αυτών μεγάλο ποσοστό του προσπίπτοντος νερού εξατμίζεται μόλις βρεθεί στην επιφάνεια του εδάφους. Άλλο ένα μεγάλο ποσοστό απορροφάται από τα επιφανειακά στρώματα του εδάφους λόγω της υψηλής τους ξηρότητας και συγκρατείται από τα στρώματα αυξάνοντας την υγρασία τους.

Η ποσότητα όμως αυτή που απορροφάται από τα επιφανειακά στρώματα, σχεδόν στο σύνολό της, συγκρατείται από τριχοειδή φαινόμενα και δεν είναι επαρκής για να φτάσει μέχρι τον υδροφόρο ορίζοντα. Έτσι, λόγω του κλίματος της περιοχής εξατμίζεται και επανέρχεται στην ατμόσφαιρα μέσα σε σύντομο χρονικό διάστημα αποκτώντας τα επιφανειακά στρώματα την προηγούμενη ξηρότητα τους.

Στον **Πίνακα 3.2** παρουσιάζονται οι μέσες τιμές των μηνιαίων βροχοπτώσεων των σταθμών της περιοχής μελέτης. Η ετήσια διακύμανση του ποσού των βροχοπτώσεων στους χειμερινούς μήνες προς την καλοκαιρινή περίοδο είναι αξιοσημείωτη.

Οι αναλυτικές μετρήσεις βροχοπτώσεων των παραπάνω βροχομετρικών σταθμών παρουσιάζονται στο Παράρτημα Α (**Πίνακες Α.1 έως και Α.6**).

3.1.2. Έλεγχος ομοιογένειας και διόρθωση των παρατηρήσεων

Πολλές χρονομετρικές μετρήσεις δεν είναι συγκρίσιμες στην αρχική τους μορφή διότι δεν έχουν ομοιογένεια οι μετρήσεις των σταθμών όπου οφείλονται στην αλλαγή των συνθηκών κατά την λειτουργία των σταθμών (π.χ. μεταβολή υψομέτρου, προσανατολισμού, τροποποίηση των μεθόδων των παρατηρήσεων, αντικατάσταση των οργάνων μέτρησης με άλλου τύπου οργάνου, υποκειμενικότητα παρατηρητή κ.ο.κ.).

<u>Πίνακας 3.2</u>: Μέσες μηνιαίες βροχοπτώσεις σε mm (Περιφέρεια Κρήτης, 2012).

Σταθμός	**Σ**	**Ο**	**Ν**	**Δ**	**Ι**	**Φ**	**Μ**	**Α**	**Μ**	**Ι**	**Ι**	**Α**	**Μέσες ετήσιες (mm)**
Αγία Γαλήνη	12	43	106	133	124	93	55	26	10	0	0	0	**600**
Βυζάρι	12	59	124	169	145	122	75	35	16	3	1	0	**762**
Γερακάρι	21	101	182	23	266	231	140	63	29	3	2	2	**1065**
Λευκόγεια	10	63	134	184	168	129	82	35	16	1	0	0	**822**
Μέλαμπες	11	58	128	175	154	122	75	38	13	2	0	3	**778**
Σπήλι	21	93	171	238	233	182	124	52	24	4	2	3	**1146**

Η ετερογένεια μιας σειράς παρατηρήσεων είναι δυνατόν να διαπιστωθεί και να εξαλειφθεί με γραφικές ή στατιστικές μεθόδους. Η μέθοδος της «διπλής μάζας» είναι γραφική μέθοδος, χρησιμοποιούμενη για την διαπίστωση και διόρθωση των ανωμαλιών με σύγκριση της αθροιστικής βροχόπτωσης ενός σταθμού με την αντίστοιχη χρονική περίοδο της αθροιστικής βροχόπτωσης άλλου ή ομάδας αξιόπιστων σταθμών στην συγκεκριμένη περιοχή (Μονόπωλης, 1971).

Για τον σκοπό αυτό σε σύστημα ορθογωνίων αξόνων μεταφέρουμε τις αθροιστικές ετήσιες η εποχιακές τιμές ενός σταθμού (τετμημένη) σε σχέση προς την αντίστοιχη τιμή γειτονικού ή γειτονικών αξιόπιστων σταθμών (τεταγμένη). Η αλλαγή των συνθηκών σε έναν από τους σταθμούς σημειώνεται με απότομη μεταβολή της κλίσης της ευθείας της καμπύλης διπλής μάζας.

Στον **Πίνακα 3.3** φαίνονται τα στοιχεία υπολογισμού της αθροιστικής βροχόπτωσης των σταθμών. Στις στήλες 2 έως 7 περιλαμβάνονται οι αθροιστικές βροχοπτώσεις (σε mm) κάθε σταθμού στην αντίστοιχη χρονική περίοδο της στήλης 1, ενώ στην στήλη 8 περιλαμβάνεται το άθροισμα των αθροιστικών τιμών των στηλών 2 έως 7.

<u>Πίνακας 3.3</u>: Στοιχεία υπολογισμού της αθροιστικής βροχόπτωσης των σταθμών.

Περίοδος	**Αθροιστική βροχόπτωση (mm)**						**Σύνολο**	**Μέση αθροιστική βροχόπτωση (mm)**					
	Αγ. Γαλήνη	**Βυζάρι**	**Γερακάρι**	**Λευκόγεια**	**Μέλαμπες**	**Σπήλι**		**Αγ. Γαλήνη**	**Βυζάρι**	**Γερακάρι**	**Λευκόγεια**	**Μέλαμπες**	**Σπήλι**
1	***2***	***3***	***4***	***5***	***6***	***7***	***8***	***9***	***10***	***11***	***12***	***13***	***14***
1969-1970	410	715	1095	443	599	873	4135	745	684	608	738	707	652
1969-1971	922	1612	2523	1049	1508	2191	9805	1777	1639	1696	1751	1659	1523
1969-1972	1330	2294	3576	1722	1993	3250	14164	2567	2374	2372	2488	2434	2183
1969-1973	1906	3009	4859	2188	2662	4344	18966	3412	3192	3026	3356	3261	2925
1969-1974	2348	3536	5777	2895	3263	5110	22928	4116	3878	3691	4007	3933	3564
1969-1975	2944	4344	7097	3741	4028	6079	28233	5058	4778	4518	4898	4841	4431
1969-1976	3662	5246	8472	4587	4869	7209	34046	6077	5760	5374	5892	5835	5367
1969-1977	4210	6022	9514	5219	5543	8199	38706	6899	6537	6301	6697	6633	6102
1969-1978	5069	7458	11549	6405	6809	10044	47334	8453	7975	7464	8186	8105	7458
1969-1979	5624	8231	12784	7058	7593	11131	52420	9359	8838	8287	9072	8966	8258
1969-1980	6300	9186	14314	7749	8403	12359	58311	10402	9825	9226	10112	9982	9190
1969-1981	7191	10294	16038	8725	9545	13813	65605	11683	11062	10321	11376	11212	10358
1969-1982	8028	11339	17649	9699	10589	15186	72488	12892	12230	11287	12558	12380	11461
1969-1983	8520	12085	18822	10292	11325	16074	77118	13719	13007	12005	13365	13159	12209
1969-1984	9103	12870	20137	10899	12142	17137	82288	14637	13884	12815	14278	14029	13030
1969-1985	9750	13776	21609	11948	13008	18255	88346	15719	14914	13608	15280	15067	14018
1969-1986	10148	14259	22544	12536	13578	19612	92677	16506	15684	14328	16028	15820	14613
1969-1987	10852	15081	24117	13423	14455	21211	99140	17658	16812	15277	17143	16937	15586

1969-1988	11544	15957	25569	14178	15432	22436	105115	18714	17832	16097	18187	17937	16536
1969-1989	12035	16566	26637	14850	16044	23518	109650	19523	18617	16740	18960	18721	17226
1969-1990	12400	17085	27239	15308	16585	24325	112942	20108	19171	17303	19527	19271	17723
1969-1991	12878	17710	28332	15984	17144	25378	117426	20910	19943	17966	20288	20057	18410
1969-1992	13244	18335	29888	16861	17730	26596	122654	21882	20864	18704	21159	20985	19212
1969-1993	13722	19079	30928	17617	18271	27613	127230	22702	21630	19353	21922	21792	19923
1969-1994	14274	19584	32127	18431	18985	28732	132134	23572	22510	20092	22740	22630	20680
1969-1995	14784	20318	33401	19287	19573	29846	137209	24485	23378	20876	23585	23527	21473
1969-1996	15517	21163	34921	20319	20428	31099	143447	25586	24457	21739	24626	24604	22470
1969-1997	16085	21825	26234	21299	21115	32359	138917	24566	23418	22520	23524	23560	21311
1969-1998	16657	22478	37685	22273	21833	33620	154545	27578	26414	23350	26455	26543	24185
1969-1999	17371	23294	39178	23079	22638	35080	160640	28654	27469	24101	27512	27600	25112
1969-2000	17781	23621	39840	23625	23225	35715	163808	29205	28037	24677	28036	28116	25618
1969-2001	18517	24387	41116	24454	24014	36811	169299	30156	28983	25515	28969	29057	26498
1969-2002	19199	25211	42659	25678	24617	38172	175536	31267	30065	26486	29972	30184	27473
1969-2003	20409	26262	44989	27202	25935	39983	184780	32874	31704	27707	31516	31769	28959
1969-2004	21153	27080	46301	28377	26757	41237	190905	33950	32765	28599	32506	32830	29934
1969-2005	21529	27793	47271	29000	27421	42012	195026	34700	33447	29236	33205	33521	30603
1969-2006	22068	28447	48442	29656	28105	43006	199723	35531	34255	29906	34013	34324	31343
1969-2007	22597	29030	49630	30241	28665	44007	204170	36315	35028	30553	34786	35101	32033
1969-2008	23169	29667	50689	31155	29444	44930	209054	37177	35877	31332	35580	35922	32825
1969-2009	23872	30481	51890	32113	30159	45843	214357	38097	36775	32493	36449	36840	33703

Στις στήλες 9 έως 14 καταχωρείται η αθροιστική βροχόπτωση του συνόλου των έξι σταθμών μείον την αθροιστική βροχόπτωση του εκάστοτε σταθμού προς έλεγχο, διαιρεμένη δια του πλήθους του συνόλου των υπολοίπων σταθμών (6 – 1 = 5), δηλαδή η μέση αθροιστική βροχόπτωση για τους υπόλοιπους 5 σταθμούς.

Στον παραπάνω Πίνακα 3.3 ελήφθησαν υπόψη μόνο οι κοινές παρατηρήσεις για τους συγκεκριμένους σταθμούς. Με βάση τα στοιχεία του Πίνακα 3.3 κατασκευάσθηκαν οι καμπύλες διπλής μάζας που παρουσιάζονται στο Παράρτημα Α (**Σχήματα Α.1 έως και Α.6).**

Εξετάζοντας τις παραπάνω καμπύλες διαπιστώθηκε ότι οι παρατηρήσεις στην συγκεκριμένη περίοδο (1969-2009) των σταθμών Αγίας Γαλήνης, Βυζάρι, Γερακάρι, Λευκόγεια, Μέλαμπες και Σπήλι έχουν ικανοποιητική ομοιογένεια (δεν παρατηρείται απότομη μεταβολή της κλίσης της ευθείας) και συνεπώς δεν χρειάζεται να γίνει διόρθωση των παρατηρήσεων.

3.1.3. Συμπλήρωση ελλείψεων

Όταν οι ελλείψεις είναι μικρής διάρκειας είναι απαραίτητο να συμπληρωθούν οι ελλιπείς παρατηρήσεις για να εκμεταλλευτούμε διαδοχικές περιόδους παρατηρήσεων ως συνεχείς. Κατά τον Rainbird (1967) δεν ενδείκνυται οι συμπληρώσεις να υπερβαίνουν το ποσοστό 5-10% επί του συνόλου των μετρήσεων.

Στους βροχομετρικούς σταθμούς που χρησιμοποιήθηκαν παρατηρούνται κάποια κενά στις μετρήσεις (βλέπε Πίνακα 3.1) με εξαίρεση τον σταθμό Γερακαρίου. Για την χρονική περίοδο που επιλέχθηκε (1969-2009) οι ελλείψεις αυτές είναι οι παρακάτω:

- Αγία Γαλήνη: 7 μήνες
- Βυζάρι: 4 μήνες

- Λευκόγεια: 3 μήνες
- Μέλαμπες: 7 μήνες
- Σπήλι: 23 μήνες

Το ποσοστό των παραπάνω ελλείψεων κυμαίνεται από 0 (Γερακάρι) έως και 4.7% (Σπήλι) και ως προς το σύνολο των 6 σταθμών φτάνουν σε ποσοστό μόλις 1.5%.

Η μέθοδος των «κανονικών αναλογιών» είναι μια διαδικασία προς συμπλήρωση μικρών διακοπών στις παρατηρήσεις. Το ύψος της βροχόπτωσης Px, ενός σταθμού x, της περιόδου ή των περιόδων του οποίου λείπουν παρατηρήσεις εκτιμάται με την βοήθεια τριών σταθμών α, β, γ, οι οποίοι διαθέτουν ταυτόχρονες προς τον σταθμό x παρατηρήσεις και βρίσκονται όσον το δυνατόν πλησιέστερα στον σταθμό αυτό, σύμφωνα με την εξίσωση (Μονόπωλης, 1971):

$$\mathbf{3 \cdot P_x = (N_x/N_\alpha) \cdot P_\alpha + (N_x/N_\beta) \cdot P_\beta + (N_x/N_\gamma) \cdot P_\gamma} \qquad [3.1]$$

όπου,

N_α, N_β, N_γ και N_x: τα συνολικά ύψη βροχής στους 4 σταθμούς, για την περίοδο όπου δεν παρατηρούνται ελλείψεις, και

P_α, P_β και P_γ: τα ύψη βροχής στους 3 σταθμούς αναφοράς, για την περίοδο όπου λείπουν μετρήσεις στον σταθμό x.

Με την παραπάνω μέθοδο συμπληρώθηκαν οι 7 μήνες του σταθμού Αγία Γαλήνη με σταθμούς αναφοράς Μέλαμπες, Γερακάρι και Βυζάρι, οι 4 μήνες του σταθμού Βυζάρι με σταθμούς αναφοράς Αγία Γαλήνη, Μέλαμπες και Γερακάρι, οι 4 μήνες του σταθμού Λευκόγεια με σταθμούς αναφοράς Σπήλι, Βυζάρι και Γερακάρι, οι 7 μήνες του σταθμού Μέλαμπες με σταθμούς αναφοράς Αγία Γαλήνη, Γερακάρι και Βυζάρι και τέλος οι 23 μήνες του σταθμού Σπήλι με σταθμούς αναφοράς Λευκόγεια, Γερακάρι και Βυζάρι.

Στον **Πίνακα 3.4** δίδονται οι μέσες ετήσιες βροχοπτώσεις κάθε σταθμού για την χρονική περίοδο 1969-2009, μετά και την συμπλήρωση όλων των ελλείψεων.

<u>Πίνακας 3.4</u>: Διορθωμένες μέσες ετήσιες βροχοπτώσεις των έξι (6) βροχομετρικών σταθμών που εξετάσθηκαν.

Σταθμός	**Απόλυτο υψόμετρο (m)**	**Μέση ετήσια βροχόπτωση 1969-2009 (mm)**
Αγία Γαλήνη	20	597
Βυζάρι	310	762
Γερακάρι	660	1297
Λευκόγεια	90	812
Μέλαμπες	560	760
Σπήλι	390	1146

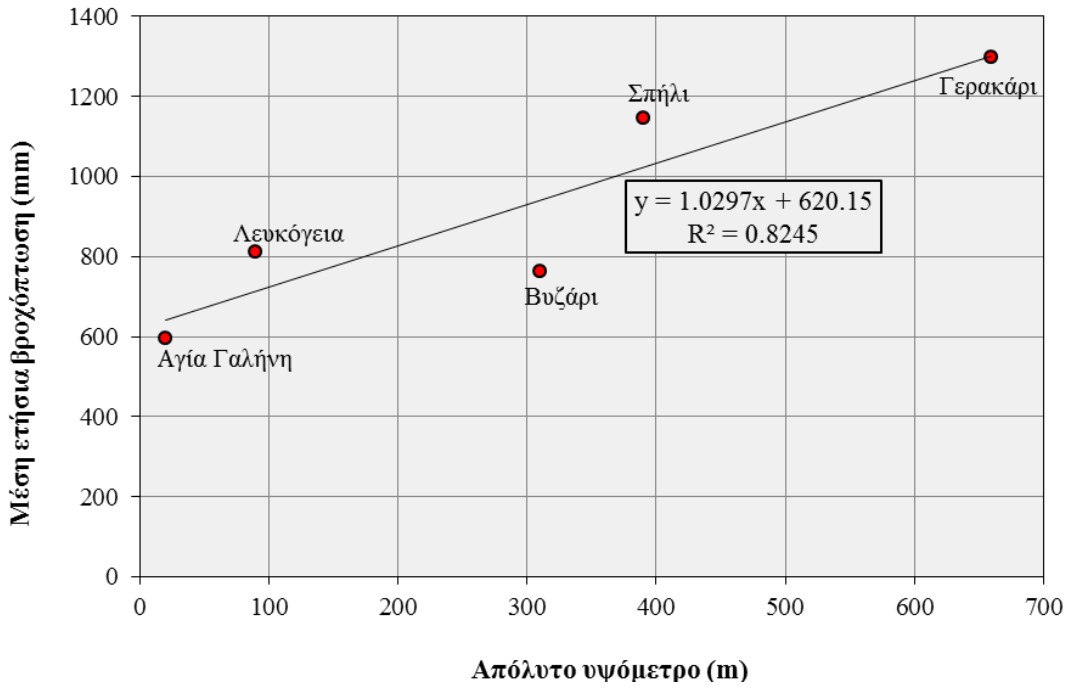
3.1.4. Υπολογισμός ετήσιου όγκου βροχόπτωσης στην υδρολογική λεκάνη

Για να προσδιοριστεί η ποσότητα των βροχοπτώσεων που πέφτει στην υδρολογική λεκάνη Κουρταλιώτη θα πρέπει να σχεδιαστούν οι ισοΰετες καμπύλες της λεκάνης. Για το σκοπό αυτό προσδιορίστηκε η σχέση που συνδέει το υψόμετρο της περιοχής με την βροχόπτωση.

Σε σύστημα ορθογωνίων αξόνων μεταφέρθηκε ο μέσος όρος της ετήσιας βροχόπτωσης κάθε σταθμού σε σχέση με το υψόμετρο του σταθμού (Πίνακας 3.4). Το αρχικό γράφημα που προέκυψε δίνεται στο Παράρτημα Α (**Σχήμα Α.7**).

Παρατηρήθηκε ότι η μέση ετήσια βροχόπτωση στον σταθμό Μέλαμπες είχε μεγάλη απόκλιση από τους υπολοίπους σταθμούς (σχέση ετήσιας βροχόπτωσης –

υψομέτρου με R^2 = 0.4721) και για το λόγο αυτό αφαιρέθηκε από την περαιτέρω επεξεργασία. Το νέο γράφημα που προέκυψε παρουσιάζεται στο **Σχήμα 3.2**.

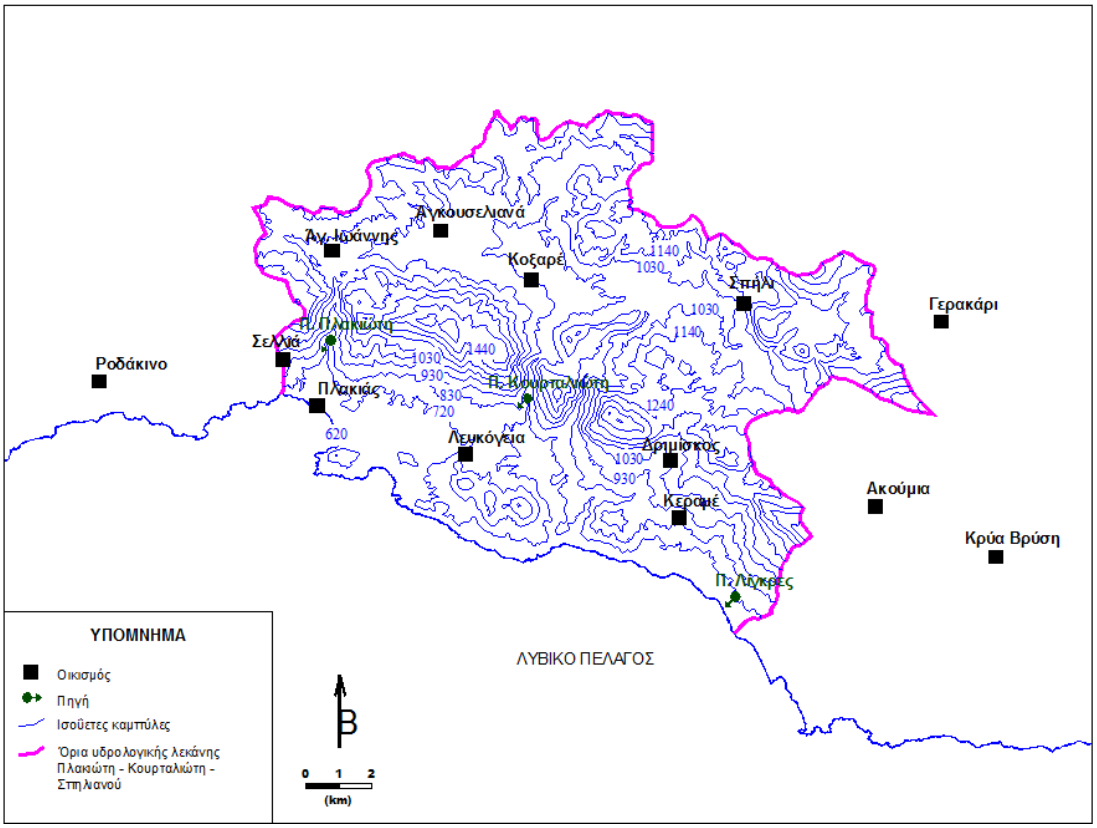


<u>Σχήμα 3.2</u>: Σχέση ετήσιας βροχόπτωσης – υψομέτρου για την χρονική περίοδο 1969-2009.

Από το Σχήμα 3.2 προκύπτει ότι η μαθηματική σχέση ετήσιας βροχόπτωσης (B σε mm) – υψομέτρου (Y σε m) είναι:

$$\mathbf{B = 1.0297 \cdot Y + 620.15} \qquad [3.2]$$

Με βάση την παραπάνω σχέση σχεδιάστηκαν οι ισοΰψετες καμπύλες στην υδρολογική λεκάνη που εξετάζεται, όπως φαίνεται στο **Σχήμα 3.3**.



<u>Σχήμα 3.3</u>: Ισοΰέτες καμπύλες υδρολογικής λεκάνης Πλακιώτη – Κουρταλιώτη – Σπηλιανού.

Από τον μέσο όρο των τιμών ύψους βροχόπτωσης των ισοΰετων καμπυλών ανά δύο καμπύλες (B_i) και το εμβαδό των περιοχών που αυτές ορίζουν (A_i), προέκυψε ο συνολικός ετήσιος όγκος βροχής (P) που πέφτει στην υδρολογική λεκάνη Κουρταλιώτη, σύμφωνα με τη σχέση:

$$\mathbf{P = \sum B_i \cdot A_i} \qquad [3.3]$$

Οι αναλυτικές τιμές ύψους βροχόπτωσης και εμβαδού που υπολογίσθηκαν με τον τρόπο αυτό μεταξύ δύο κάθε φορά ισοϋετών καμπυλών παρατίθενται στο Παράρτημα Α (**Πίνακας Α.7**).

Τελικά, από την Σχέση 3.3 προέκυψε ότι ο μέσος ετήσιος όγκος κατακρημνισμάτων που πέφτει στην υδρολογική λεκάνη Πλακιώτη – Κουρταλιώτη - Σπηλιανού ανέρχεται σε **209.6×10^6 m^3** νερού.

Μέρος του όγκου αυτού τροφοδοτεί απευθείας την υδρογεωλογική λεκάνη Κουρταλιώτη (**Σχήμα 2.1**), ενώ το υπόλοιπο δύναται να κινείται προς αυτήν μετά την κατείσδυσή του σε παρακείμενους υδροφορείς (πλευρικές υπόγειες εισροές) ή να ενισχύει την επιφανειακή απορροή στην καρστική λεκάνη που εξετάζεται (πλευρικές επιφανειακές εισροές), ή τέλος να «χάνεται» σε άλλες λεκάνες.

3.1.5. Υπολογισμός ετήσιου όγκου βροχόπτωσης στην υδρογεωλογική λεκάνη

Για να προσδιοριστεί η ποσότητα των βροχοπτώσεων στην υδρογεωλογική λεκάνη Κουρταλιώτη χρησιμοποιείται η ίδια διαδικασία με την παράγραφο **3.1.4** και τις ισοΰετες καμπύλες του **Σχήματος 3.3** για την υδρογεωλογική λεκάνη αυτή τη φορά, προέκυψε ο **Πίνακας Α.8** του Παραρτήματος Α με τις αναλυτικές τιμές ύψους βροχόπτωσης και εμβαδού που υπολογίσθηκαν μεταξύ δύο κάθε φορά ισοΰετων καμπυλών.

Από την Σχέση 3.3 προέκυψε ότι ο μέσος ετήσιος όγκος βροχής που πέφτει στην υδρογεωλογική λεκάνη Κουρταλιώτη φτάνει τα **122.2×10^6 m^3** νερού.

3.2. Εξατμισιδιαπνοή

Με τον όρο εξατμισιδιαπνοή (Ε) νοείται το μέρος εκείνο των κατακρημνισμάτων που επανέρχεται στην ατμόσφαιρα είτε από εξάτμιση από την επιφάνεια του εδάφους, από τα πρώτα στρώματα του εδάφους, από τις ελεύθερες επιφάνειες νερού (ρυάκια, μικροσυγκεντρώσεις νερού σε κοιλώματα), από το νερό που με μορφή λεπτού υμενίου περικαλύπτει τα φυτά κατά την βροχή ή που επικάθεται σε αυτά με μορφή σταγόνων, είτε από την διαπνοή των φυτών. Δηλαδή είναι κάθε είδους

φυσικές πρωτογενείς απώλειες του νερού των κατακρημνισμάτων από εξάτμιση ή διαπνοή που επανέρχονται άμεσα στην ατμόσφαιρα (Σούλιος, 1996).

Στην ευρύτερη περιοχή ενδιαφέροντος δεν υπάρχουν πλήρως εξοπλισμένοι μετεωρολογικοί σταθμοί, και δεν διατίθενται μετρήσεις (υγρασία, θερμοκρασία κ.λπ.), ικανού πλήθους για την εκτίμηση της εξατμισοδιαπνοής (Ε) μέσω δημοφιλών σχέσεων (π.χ. Penman-Monteith, Blaney-Criddle, Hargreaves, Turc, Thornthwaite κ.ά.).

Σημειώνεται όμως ότι διατίθενται μετρήσεις θερμοκρασίας αέρα από τον σταθμό Λευκογείων, για την χρονική περίοδο 1978 – 2006, όπως και μετρήσεις εξατμισομέτρου από τον σταθμό Σπηλίου, για την χρονική περίοδο 1987 – 2006 (Διαλυνάς, 2012). Οι μετρήσεις αυτές είναι σημαντικά ελλιπείς και για το λόγο αυτό δεν χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία.

Πάντως, σύμφωνα με τον Διαλυνάς (2012), ο ετήσιος μέσος όρος της «εξάτμισης» στον σταθμό Σπηλίου, πάντα για την χρονική περίοδο 1987 – 2006, εκτιμάται σε 1209.6 mm. Προφανώς πρόκειται για την δυνητική εξατμισοδιαπνοή και δεν μπορεί σε καμία περίπτωση να ληφθεί υπόψη για την εκτίμηση της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής που τελικά ενδιαφέρει.

Έτσι, για την εκτίμηση της πραγματικής εξατμισιδιαπνοής ελήφθησαν υπόψη βιβλιογραφικά δεδομένα (Αθανασάκης, 2008, Περιφέρεια Κρήτης, 2000, Κλειδοπούλου, 2003, Κριτσωτάκης, 2006, Υπουργείο Γεωργίας, 2006).

Δυο διαφορετικοί συντελεστές εφαρμόσθηκαν σε δύο περιοχές διαφορετικής μορφολογίας: Πεδινή-ημιορεινή περιοχή θεωρήθηκε αυτή με απόλυτο υψόμετρο μικρότερο των 700 m και ορεινή με μεγαλύτερο των 700 m.

Για την πεδινή-ημιορεινή περιοχή θεωρήθηκε συντελεστής εξατμισιδιαπνοής ίσος με 60%, ενώ για την ορεινή περιοχή ίσος με 50%.

3.2.1. Υπολογισμός ετήσιου όγκου εξατμισιδιαπνοής στην υδρολογική λεκάνη

Οι αναλυτικές τιμές του ύψους της εξατμισιδιαπνοής και της έκτασης που αναφέρεται παρατίθενται στο Παράρτημα Β (**Πίνακας Β.1**).

Από τον πολλαπλασιασμό αυτών των τιμών και τελικά το άθροισμα των όγκων νερού που υπολογίσθηκε, προέκυψε ότι ο μέσος ετήσιος όγκος νερού που εξατμίζεται / διαπνέεται από την υδρολογική λεκάνη Κουρταλιώτη ανέρχεται σε **120.6×10^6 m^3**.

3.2.2. Υπολογισμός ετήσιου όγκου εξατμισιδιαπνοής στην υδρογεωλογική λεκάνη

Για να προσδιοριστεί ο ετήσιος όγκος της εξατμισιδιαπνοής στο τμήμα της υδρογεωλογικής λεκάνης Κουρταλιώτη χρησιμοποιήθηκε η ίδια διαδικασία με την παράγραφο **3.2.1** για, οι αναλυτικές τιμές ύψους εξατμισιδιαπνοής και της έκτασης που αναφέρεται που υπολογίσθηκαν δίνονται στο Παράρτημα Β (**Πίνακας Β.2**).

Από το άθροισμα του όγκου νερού που υπολογίσθηκε, προέκυψε ότι ο μέσος ετήσιος όγκος νερού που εξατμίζεται / διαπνέεται από την υδρογεωλογική λεκάνη Κουρταλιώτη ανέρχεται σε **$69,7\times10^6$ m^3**.

3.3. Κατείσδυση

Υπό τον όρο κατείσδυση (Ι) νοείται το μέρος εκείνο των κατακρημνισμάτων που διαπερνά την επιφάνεια του εδάφους, φθάνει στους υπόγειους υδροφόρους ορίζοντες και προστίθεται στο υπόγειο νερό μετέχοντας έτσι στις κινήσεις του τελευταίου (Σούλιος, 1996).

Για την εκτίμηση της κατείσδυσης (I) στο σύνολο της λεκάνης ελήφθησαν υπόψη διαφορετικοί συντελεστές για κάθε γεωλογικό σχηματισμό της υδρογεωλογικής λεκάνης.

Για τους ασβεστολιθικούς σχηματισμούς χρησιμοποιήθηκε συντελεστής κατείσδυσης που υπολογίσθηκε με την μέθοδο Kessler (1965).

Για τους Νεογενείς – Τεταρτογενείς σχηματισμούς, όπως και για τους Φυλλίτες – Χαλαζίτες και τους Φλυσχοειδείς σχηματισμούς χρησιμοποιήθηκαν συντελεστές κατείσδυσης από βιβλιογραφικές αναφορές (Κνιθάκης κ.ά., 1989, Κνιθάκης, 1995, Λιονής – Περλέρος, 2001, Κλειδοπούλου, 2003).

3.3.1. Προσδιορισμός του συντελεστή κατείσδυσης κατά Kessler

Η υδρογεωλογική λεκάνη Κουρταλιώτη, είναι μια ανθρακική ενότητα που αποτελείται από ασβεστόλιθους και δολομίτες των ζωνών Τρίπολης και Πίνδου. Φαίνεται να είναι υδραυλικά απομονωμένη από παρακείμενες υδρολιθολογικές ενότητες και εκφορτίζεται κυρίως μέσω των πηγών Κουρταλιώτη αλλά και από πηγές μικρότερων παροχών που αναβλύζουν σε διάφορα υψόμετρα και θέσεις.

Για τους παραπάνω λόγους, η υδρογεωλογική λεκάνη Κουρταλιώτη θεωρήθηκε υποδειγματική για τον προσδιορισμό του συντελεστή κατείσδυσης που εκτιμήθηκε ίσος με 51,3% (Steiakakis, Monopolis, Vavadakis, Lambrakis, 2011). Η τιμή αυτή συγκρίθηκε στην παρούσα εργασία με τον συντελεστή κατείσδυσης που προέκυψε με βάση τους μηνιαίους συντελεστές κατείσδύσης που εισήγαγε ο Kessler το 1965 (Καλλέργης, 1986) ως ποσοστά επί τοις εκατό των μέσων μηνιαίων βροχοπτώσεων.

Ο Kessler πρωτοπαρουσίασε το 1957 μέθοδο εύρεσης των δυναμικών αποθεμάτων καρστικού υδροφορέα. Η αρχική εφαρμογή της μεθόδου έγινε σε υδροφορείς στην Ουγγαρία.

Σύμφωνα με τον Kessler η τροφοδοσία ενός καρστικού υδροφορέα δεν εξαρτάται μόνο από την ετήσια βροχόπτωση αλλά και από την ετήσια κατανομή των βροχοπτώσεων και την κατανάλωση του νερού από τα φυτά. Κατά συνέπεια, η ποσότητα της βροχόπτωσης κατά τους πρώτους τέσσερις μήνες του έτους, δηλαδή που προηγείται της ανάπτυξης της βλάστησης, και πριν από τις μεγάλες απώλειες λόγω της εξάτμισης είναι καθοριστική. Βροχοπτώσεις κατά το τέλος του έτους, δηλαδή, το φθινόπωρο και τον χειμώνα γεμίζουν τα κανάλια και τα στενά τριχοειδή αγγεία του υδροφορέα, επομένως, κατά κάποιο τρόπο κάνουν την προετοιμασία των συνθηκών για την ανάπτυξη της διείσδυσης στο πρώτο μέρος του καθαρού χρόνου.

Ο συντελεστής κατείσδυσης στην καρστική λεκάνη Κουρταλιώτη εκτιμάται από το πηλίκο του συνόλου της ισοδύναμης κατείσδυσης κατά Kessler των μέσων μηνιαίων βροχοπτώσεων προς το σύνολο των μέσων αυτών μηνιαίων βροχοπτώσεων (Καλλέργης, 1986).

Μελετώντας έτσι τα ποσοστά διήθησης του νερού στον καρστικό υδροφορέα, κατά τη διάρκεια μιας περιόδου τριάντα ετών, σε σχέση με τα ποσοστά των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων εισήγαγε τους μηνιαίους συντελεστές κατείσδυσης (**Πινάκας 3.5**).

<u>Πίνακας 3.5</u>: Συντελεστές κατείσδυσης κατά Kessler (1965).

Μήνες	**Συντελεστής Kessler (%)**
Σ	14.6
Ο	12.8
Ν	22.5
Δ	49.7
Ι	43.4
Φ	77.5
Μ	113.0
Α	60.0
Μ	44.6
Ι	33.9
Ι	20.7
Α	17.6

Οι συντελεστές αυτοί μετά τον πολλαπλασιασμό τους με την μέση μηνιαία βροχόπτωση δίνουν την ισοδύναμη ποσότητα των κατακρημνίσεων που κατεισδύουν στον καρστικό υδροφορέα.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η τιμή του συντελεστή κατείσδυσης του Μαρτίου ξεπερνά το 100 τοις εκατό, λόγω της τήξης του χιονιού.

Για την περίοδο 1969 – 2009 που έγινε η διόρθωση των βροχομετρικών παρατηρήσεων, χρησιμοποιήθηκε το μέσο μηνιαίο ύψος βροχής για κάθε μετεωρολογικό σταθμό της περιοχής όπως δείχνει ο **Πίνακας 3.6**.

<u>Πίνακας 3.6</u>: Διορθωμένες μέσες μηνιαίες βροχοπτώσεις σε mm, για τον υπολογισμό του συντελεστή κατείσδυσης κατά Kessler.

Σταθμός	**Σ**	**Ο**	**Ν**	**Δ**	**Ι**	**Φ**	**Μ**	**Α**	**Μ**	**Ι**	**Ι**	**Α**	**Σύνολο**
Αγία Γαλήνη	11	40	108	130	123	93	56	27	10	0	0	0	**597**
Βυζάρι	12	59	124	169	145	122	75	35	16	3	1	0	**762**
Γερακάρι	21	89	179	276	257	234	144	62	27	4	2	2	**1297**
Λευκόγεια	10	57	136	183	163	128	80	36	16	1	0	0	**811**
Μέλαμπες	11	51	129	172	150	127	72	36	12	1	0	0	**760**
Σπήλι	22	91	166	244	225	193	123	54	24	3	2	2	**1149**
Σύνολο	**87**	**387**	**841**	**1173**	**1063**	**897**	**550**	**249**	**105**	**12**	**6**	**4**	**5376**
Μέσος Όρος	**15**	**65**	**140**	**196**	**177**	**150**	**92**	**42**	**18**	**2**	**1**	**1**	**896**
(%)	**1.7**	**7.3**	**15.6**	**21.8**	**19.8**	**16.6**	**10.2**	**4.7**	**1.9**	**0.2**	**0.1**	**0**	**100.0**

Έπειτα υπολογίστηκε η μέση μηνιαία βροχόπτωση όλων των σταθμών και το άθροισμα τους στην καρστική λεκάνη Κουρταλιώτη. Στην συνέχεια με τους μηνιαίους συντελεστές Kessler υπολογίσθηκε η κατείσδυση (βλέπε **Πίνακα 3.7**).

<u>Πίνακας 3.7</u>: Στοιχεία υπολογισμού του μέσου ετήσιου συντελεστή κατείσδυσης κατά Kessler.

Μήνες	**Μέση Μηνιαία Βροχόπτωση (mm)**	**Συντ. Kessler (%)**	**Ισοδύναμη Κατείσδυση (mm)**
Σ	15	14.6	2
Ο	65	12.8	8
Ν	140	22.5	32
Δ	196	49.7	97
Ι	177	43.4	77
Φ	150	77.5	116
Μ	92	113.0	104
Α	42	60.0	25
Μ	18	44.6	8
Ι	2	33.9	1
Ι	1	20.7	0
Α	1	17.6	0
Σύνολο	**896**	**-**	**469**

Ο συντελεστής κατείσδυσης στην καρστική λεκάνη Κουρταλιώτη εκτιμάται από το πηλίκο του συνόλου της ισοδύναμης κατείσδυσης κατά Kessler των μέσων μηνιαίων βροχοπτώσεων (469 mm) προς το σύνολο των μέσων αυτών μηνιαίων βροχοπτώσεων (896 mm) (Καλλέργης, 1986) . Συνεπώς, υπολογίζεται σε **52.3%.**

Η τιμή αυτή είναι της ίδιας τάξης μεγέθους και από άλλους μελετητές στην ευρύτερη περιοχή ενδιαφέροντος (Steiakakis, Monopolis, Vavadakis, Lambrakis, 2011).

3.3.2. Υπολογισμός ετήσιου όγκου κατείσδυσης στην υδρολογική λεκάνη Κουρταλιώτη

Για να βρεθεί η συνολική ποσότητα νερού που κατεισδύει στην υδρολογική λεκάνη Πλακιώτη – Κουρταλιώτη - Σπηλιανού, σε ετήσια βάση, υπολογίστηκε η επιφάνεια ανάπτυξης κάθε σχηματισμού στην λεκάνη και αυτή πολλαπλασιάστηκε με τον μέσο ετήσιο όρο της βροχόπτωσης που δέχεται ο σχηματισμός έτσι ώστε να βρεθεί η συνολική ποσότητα του νερού που δέχεται.

Έπειτα πολλαπλασιάστηκε η ποσότητα αυτή με τον συντελεστή κατείσδυσης κάθε γεωλογικού σχηματισμού. Από το άθροισμα όλων των επί μέρους υπολογισμών βρέθηκε ο συνολικός όγκος νερού που κατεισδύει στην υδρολογική λεκάνη.

Ο συντελεστής κατείσδυσης για τους ασβεστολιθικούς σχηματισμούς βρέθηκε σύμφωνα με την μέθοδο Kessler (βλέπε παρ. 3.3.2).

Για τους Νεογενείς και Τεταρτογενείς σχηματισμούς θεωρήθηκε συντελεστής ίσος με 15%, ενώ για τους Φυλλίτες – Χαλαζίτες και για τους Φλυσχοειδείς – Οφιολιθικούς σχηματισμούς θεωρήθηκε συντελεστής 5%, σύμφωνα με διάφορες βιβλιογραφικές αναφορές (Κνιθάκης κ.ά., 1989, Κνιθάκης, 1995, Λιονής – Περλέρος, 2001, Κλειδοπούλου, 2003).

Οι αναλυτικοί υπολογισμοί δίνονται στο Παράρτημα Γ (**Πίνακας Γ.1**). Τελικά, από τους υπολογισμούς αυτούς προκύπτει ετήσια κατείσδυση της τάξης των $\mathbf{49{,}2\times10^{6}\ m^{3}}$ νερού.

3.3.3. Υπολογισμός ετήσιου όγκου κατείσδυσης στην υδρογεωλογική λεκάνη

Με όμοιο τρόπο βρέθηκε και ο συνολικός όγκος νερού που κατεισδύει άμεσα στην υδρογεωλογική λεκάνη Κουρταλιώτη.

Οι αναλυτικοί υπολογισμοί δίνονται στο Παράρτημα Γ (**Πίνακας Γ.2**). Από τους υπολογισμούς αυτούς προκύπτει ετήσια κατείσδυση στην υδρογεωλογική λεκάνη Κουρταλιώτη της τάξης των $\mathbf{38{,}0\times10^{6}\ m^{3}}$ νερού.

3.4. Επιφανειακή απορροή

Με τον όρο επιφανειακή απορροή (R) νοείται το μέρος εκείνο του νερού των κατακρημνισμάτων που μόλις πέσει στην επιφάνεια της γης ρέει επιφανειακά και εισέρχεται στο υδρογραφικό σύστημα της περιοχής από το οποίο απάγεται τελικά στη θάλασσα όπου και εκχύνεται.

Για τον υπολογισμό της επιφανειακής απορροής (R) χρησιμοποιήθηκε η σχέση του υδατικού ισοζυγίου:

$$\mathbf{P = E + I + R} \qquad [3.4]$$

όπου,

P: βροχόπτωση,

E: εξατμισιδιαπνοή,

I: κατείσδυση, και

R: επιφανειακή απορροή.

Λύνοντας την παραπάνω σχέση ως προς την επιφανειακή απορροή (R) προκύπτει ότι: η επιφανειακή απορροή στην υδρολογική λεκάνη Πλακιώτη – Κουρταλιώτη - Σπηλιανού ανέρχεται σε $\mathbf{39{,}7\times10^{6}\ m^{3}}$ νερού ετησίως, ενώ στην έκταση ανάπτυξης της υδρογεωλογικής λεκάνης Κουρταλιώτη φτάνει τα $\mathbf{14{,}5\times10^{6}\ m^{3}}$ νερού ετησίως.

4. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ ΤΟΥ ΚΑΡΣΤΙΚΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ

Για την εκτίμηση του ισοζυγίου υπόγειων νερών πρέπει να υπολογισθούν οι εισροές προς την υδρογεωλογική λεκάνη Κουρταλιώτη και να εξισωθούν με τις εκροές από αυτήν.

4.1. Εισροές

Οι εισροές στον καρστικό υδροφορέα προσδιορίζονται από α) την ποσότητα του νερού που κατεισδύει απευθείας στην υδρογεωλογική λεκάνη, β) την έμμεση κατείσδυση από επιφανειακές απορροές (ρέματα) που προέρχονται από ανάντη περιοχές και διατρέχουν την υδρογεωλογική λεκάνη Κουρταλιώτη, και γ) τις υπόγειες πλευρικές εισροές που δέχεται η λεκάνη από τους παρακείμενους υδροφορείς.

4.1.1. Απευθείας κατείσδυση

Η ποσότητα του νερού που κατεισδύει απευθείας (άμεσα) στην υδρογεωλογική λεκάνη προσδιορίστηκε στο κεφ. 3, παρ. 3.3.3, ίση με $\mathbf{38{,}0\times10^{6}\ m^{3}}$ νερού, ετησίως.

4.1.2. Κατείσδυση από ανάντη επιφανειακές απορροές

Η έμμεση αυτή κατείσδυση οφείλεται σε επιφανειακές απορροές που προερχοντι από περιοχές ανάντη της έκτασης που αναπτύσσεται η υδρογεωλογική λεκάνη Κουρταλιώτη. Πρόκειται για μέρος των συνολικών απορροών της υδρολογικής λεκάνης (στην ανάντη περιοχήοι οποίες αφού διατρέξουν επιφανειακά μέρος της

υδρολογικής λεκάνης (μέσω των υδατορεμάτων) καταλήγουν στην περιοχή ανάπτυξης της υδρογεωλογικής λεκάνης, στην οποία μέρος αυτών κατεισδύουν .

Δεν είναι δυνατός ο υπολογισμός των ποσοτήτων αυτών, δεδομένου ότι δεν διατίθενται επαρκείς μετρήσεις παροχών των υδατορεμάτων που διατρέχουν την υδρογεωλογική λεκάνη.

Σύμφωνα λοιπόν με τους Στειακάκη – Βαβαδάκη (2012) διαφαίνεται ότι οι ποσότητες που κατεισδύουν έμμεσα στην υδρογεωλογική λεκάνη Κουρταλιώτη ανέρχονται σε $\mathbf{8.1 \times 10^6\ m^3}$ νερού, ετησίως.

4.1.3. Πλευρικές εισροές

Οι υπόγειες πλευρικές εισροές είναι άγνωστες, καθώς για τον υπολογισμό τους απαιτείται η εις βάθος μελέτη και των παρακείμενων υδροφορέων.

Παρά ταύτα, μια πρώτη προσέγγιση επιχειρείται με την εφαρμογή του νόμου του Darcy:

$$\mathbf{Q = k \cdot A \cdot i} \qquad [4.1]$$

όπου,

Q: η παροχή του νερού,

k: ο συντελεστής υδροπερατότητας του σχηματισμού (κατά την οριζόντια διεύθυνση),

A: το εμβαδό διατομής από την οποία διέρχεται το νερό, και

i: η υδραυλική κλίση.

Σύμφωνα με τους Στειακάκη – Βαβαδάκη (2012) η υπόγεια ροή του νερού στην υδρογεωλογική λεκάνη Κουρταλιώτη έχει κύρια διεύθυνση βορρά – νότου, με υδραυλικές κλίσεις που προσεγγίζουν το 8‰ (i = 0.008), όπως υποδεικνύεται από τις

στάθμες 3 γεωτρήσεων στην ευρύτερη περιοχή ενδιαφέροντος (Κοξαρέ, Μυξόρουμα και Ακούμια).

Επίσης, σύμφωνα με διάφορους μελετητές (Κνιθάκης κ.ά., 1989, Κνιθάκης, 1995, Μονόπωλης κ.ά., 1999, Λιονής – Περλέρος, 2001, Κλειδοπούλου, 2003, Περλέρος κ.ά., 2004), ο συντελεστής υδροπερατότητας των καρστικοποιημένων ασβεστόλιθων των ζωνών Τρίπολης, κατά την οριζόντια διεύθυνση, κυμαίνεται από 10^{-5} έως και 10^{-4} m/sec (μέσος όρος $k = 5\times10^{-5}$ m/sec).

Με δεδομένες τις παραπάνω τιμές, θεωρήθηκε ότι:

α) οι κύριες πλευρικές εισροές συμβαίνουν με διεύθυνση ΒΒΑ – ΝΝΔ, λόγω της μορφολογίας της υδρογεωλογικής λεκάνης και της παρουσίας των αξιολογότερων (από άποψη παροχών) πηγών Κουρταλιώτη σε αυτό τον άξονα.

β) Το μήκος της κύριας ζώνης τροφοδοσίας φτάνει τα 6 km (Αγκουσελιανά – Σπήλι).

γ) Το μέσο πάχος των ανθρακικών σχηματισμών προσεγγίζει τα 200 m.

Συνεπώς το εμβαδό διατομής από την οποία διέρχεται το νερό εκτιμάται σε, A = 1.2 km^2, και με βάση την σχέση 4.,1 προκύπτει Q = 0.48 m^3/sec, δηλαδή σε ετήσια βάση (365 ημέρες), όγκος νερού γύρω στα **$15,1\times10^6$ m^3**.

Τονίζεται ότι ο νόμος του Darcy αφορά γραμμική ροή του νερού και τα αποτελέσματα από την εφαρμογή του αποκλίνουν από την πραγματικότητα στην περίπτωση καρστικού υδροφορέα, όπως αυτός που εξετάζεται στην παρούσα εργασία. Στο καρστ επικρατούν τυρβώδεις ή μικτές ροές που δεν επιτρέπουν την εφαρμογή του παραπάνω νόμου με ακρίβεια.

Συνεπώς, η εκτίμηση που έγινε είναι προσεγγιστική και πρέπει να λαμβάνεται υπόψη μόνο ενδεικτικά.

4.2. Εκροές

Οι εκροές του καρστικού υδροφορέα περιλαμβάνουν: α) τις απορροές των πηγών, και β) τις υπόγειες πλευρικές εκροές σε παρακείμενους σχηματισμούς.

4.2.1. Δεδομένα απορροών των πηγών που εκφορτίζουν τον καρστικό υδροφορέα

Οι πηγές που απογράφηκαν εντός των ορίων της υδρογεωλογικής λεκάνης Κουρταλιώτη ομαδοποιούνται σε τρεις ομάδες (Πολυτεχνείο Κρήτης, 1990), με χαμηλότερο υψόμετρο ανάβλυσης περί τα +100 m, και περιγράφονται ως εξής (Στειακάκης, Βαβαδάκης, 2012):

(α) Ομάδα πηγών Πλακιώτη (Καμινάκι, Περδικόνερο, Φοινικιά, μικροπηγές), με συνολική μέση ετήσια παροχή 3.5×10^6 m^3,

(β) Ομάδα πηγών Κουρταλιώτη (Κουρταλιώτης, Σκάφες, μικροπηγές), οι οποίες αποτελούν την σημαντικότερη εκφόρτιση της υδρογεωλογικής λεκάνης που εξετάζεται και έχουν μέση ετήσια παροχή της τάξης των 38.8×10^6 m^3, και

(γ) Ομάδα πηγών Λίγκρες (Λίγκρες, Σιριάτης, Καλαμίτσι, Γούλα, μικροπηγές), οι οποίες εντοπίζονται στις νότιες υπώρειες του υψώματος Ασιδέρωτο και η μέση ετήσια παροχή τους εκτιμάται σε 2.4×10^6 m^3.

Με βάση τα παραπάνω, οι συνολικές ετήσιες πηγαίες παροχές της υδρογεωλογικής λεκάνης Κουρταλιώτη υπολογίζονται σε $\mathbf{44.7\times10^6}$ $\mathbf{m^3}$.

Αναλυτικές μετρήσεις των παροχών των παραπάνω πηγών δεν υπάρχουν, παρά μόνο για τις σημαντικότερες εξ' αυτών, δηλαδή τις πηγές Κουρταλιώτη, όπως αυτές δίνονται στον **Πίνακα Δ.1** του Παραρτήματος Δ.

Όπως παρατηρείται από τον Πίνακα Δ.1, ακόμα και για τις πηγές Κουρταλιώτη οι διαθέσιμες μετρήσεις παροχών είναι σποραδικές, ελλιπείς και σε κάθε περίπτωση

ανεπαρκείς για την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων που αφορούν την ετήσια απορροή τους.

Επιπρόσθετα με βάση τις διαθέσιμες μετρήσεις έγινε προσπάθεια εκτίμησης των ρυθμιστικών αποθεμάτων των συγκεκριμένων πηγών με τις μεθόδους Maillet (1905) και Tison (1960), όπως αναλύεται στα επόμενα.

4.2.2. Προσδιορισμός του συντελεστή στείρευσης κατά Maillet και Tison

Η μείωση της παροχής μιας πηγής κατά περίοδο μη επηρεαζόμενη από εξωτερικές τροφοδοσίες και βροχοπτώσεις, κατά την διάρκεια δηλαδή της «ξηρής» περιόδου του έτους ακολουθεί μαθηματική σχέση συναρτήσει του χρόνου.

Η γνώση της συνάρτησης αυτής επιτρέπει την πρόγνωση της εκάστοτε παροχής και την αντίστοιχη εναπομένουσα ποσότητα υπογείων υδάτων.

Οι πιο συνήθεις εξισώσεις είναι αυτές του Maillet και του Tison.

Ο τύπος του Maillet (1905) στηρίζεται σε νοητικό πρότυπο, σύμφωνα με τον οποίο η αποφόρτιση του υδροφορέα επιτυγχάνεται μέσα από ένα άνοιγμα, όπως η εκκένωση ενός δοχείου από ένα πορώδες πώμα. Γίνεται δηλαδή προσομοίωση του υδροφορέα προς ένα δοχείο. Άρα η μείωση της παροχής της πηγής ακολουθεί τον ίδιο νόμο με αυτόν της μείωσης της παροχής του δοχείου. Με βάση αυτή την αντιστοιχία ο Maillet κατέληξε στον εκθετικό τύπο, δηλαδή σε ένα τύπο εκθετικής μείωσης της παροχής.

$$\mathbf{Q_t = Q_0 \cdot e^{-a \cdot t}} \quad [4.2]$$

όπου,

Q_t: η παροχή του νερού μετά από χρόνο t,

Q_0: η παροχή του νερού στην έναρξη της περιόδου μείωσής της,

a: ο συντελεστής στείρευσης, και

t: ο χρόνος (συνήθως σε ημέρες).

Ο συντελεστής στείρευσης (a) είναι ένας συντελεστής χαρακτηριστικός για κάθε πηγή. Εξαρτάται από τους εξής παράγοντες (Σούλιος 1996):

- Την διαπερατότητα του υδροφορέα (k): όσο μεγαλύτερη είναι αυτή τόσο μεγαλύτερος είναι και ο συντελεστής στείρευσης a.
- Τον συντελεστή εναποθήκευσης (S) (ή το ενεργό πορώδες m_e): όσο μεγαλύτερος είναι αυτός τόσο μικρότερος είναι ο συντελεστής a.
- Το μέγεθος του υδροφόρου στρώματος: όσο μεγαλύτερο είναι το μέγεθος του υδροφόρου στρώματος τόσο χαμηλότερη είναι η τιμή του συντελεστή a.
- Το σχήμα του υδροφόρου στρώματος, η μεταβιβαστικότητα (T), τυχόν παρεμβολές σχετικά αδιαπέρατων ζωνών ή στρωμάτων κλπ.

Ο συντελεστής στείρευσης (a) έχει φυσική σημασία, δηλαδή ανταποκρίνεται σε φυσικές ιδιότητες του συστήματος υδροφόρος – πηγή. Δεν είναι απλά μια αριθμητική παράμετρος, χωρίς φυσική σημασία και ανταπόκριση.

Στην πράξη, δείχνει το βαθμό μείωσης της παροχής μιας πηγής από μέρα σε μέρα κατά τη φάση της υποχώρησης του υδρογράμματος. Μεγάλη τιμή του (a) σημαίνει ότι ο υδροφορέας εκκενώνεται γρήγορα. Αντίθετα μικρή τιμή σημαίνει ότι ο υδροφορέας εκκενώνεται με βραδύ ρυθμό.

Οι τιμές που παίρνει ο συντελεστής a είναι από 10^{-2} d^{-1} (πολύ μεγάλη τιμή) μέχρι 10^{-4} d^{-1} (πολύ μικρή τιμή) και οι συνήθεις τιμές είναι της τάξης του 10^{-3} d^{-1} (Σούλιος 1996).

Ο τύπος του Tison (1960) βασίζεται επίσης σε νοητικό πρότυπο. Σύμφωνα με τον οποίο η αποφόρτιση του υδροφορέα είναι γραμμική, που σημαίνει ότι ο υδροφορέας

εκκενώνεται κατά μήκος μιας πλευράς του, μέσω διαφόρων πηγών. Ως εκ τούτου, ο Tison πρότεινε τον υπερβολικό τύπο:

$$\mathbf{Q_t = Q_0 / (1 + a \cdot t)^2} \qquad [4.3]$$

όπου,

Q_t: η παροχή του νερού μετά από χρόνο t,

Q_0: η παροχή του νερού στην έναρξη της περιόδου μείωσής της,

a: ο συντελεστής στείρευσης, και

t: ο χρόνος (συνήθως σε ημέρες).

Ο συντελεστής στείρευσης a στον τύπο αυτό είναι διαφορετικός από τον αντίστοιχο στον τύπο του Maillet (Σούλιος, 1996).

Οι ανωτέρω εξισώσεις αφορούν γραμμική ροή του υπογείου νερού και κατά συνέπεια ισχύουν κατά το τέλος της «ξηρής» περιόδου τροφοδοσίας της πηγής. Όμως, κατά την αρχή της περιόδου αυτής η εκφόρτιση της πηγής λαμβάνει χώρα με αυξημένη ροή και συχνά εντός αγωγών ευρύτερης διατομής (καρστ) που βρίσκονται υπό καθεστώς τυρβώδους ή μικτής ροής (Σούλιος, 1996).

Συνεπώς, για την περίπτωση καρστικού υδροφορέα, όπως αυτός που εξετάζεται στην παρούσα εργασία, τα αποτελέσματα από την εφαρμογή των παραπάνω σχέσεων δύναται να διαφέρουν σημαντικά από την πραγματικότητα και θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη μόνο ενδεικτικά και να αξιολογούνται συγκριτικά με τις διατιθέμενες μετρήσεις.

Και στις δύο μεθόδους η κρίσιμη στιγμή είναι η αρχή της στείρευσης. Ο εντοπισμός αυτού του σημείου είναι δύσκολος όταν οι μετρήσεις παροχών στην εξεταζόμενη πηγή είναι περιορισμένες, όπως στην περίπτωση που εξετάζεται (βλέπε διαθέσιμα δεδομένα πηγών Κουρταλιώτη στον **Πίνακα Δ.1** του Παραρτήματος Δ).

Προκειμένου να βρεθεί η αρχή της στείρευσης χρησιμοποιήθηκαν οι καμπύλες στείρευσης κάθε μεθόδου (εκθετική για την μέθοδο Maillet και υπερβολική για την μέθοδο Tison). Οι καμπύλες αυτές σχεδιάσθηκαν στο τμήμα των υδρογραμμάτων της πηγής κατά το οποίο αρχίζει η πτώση των απορροών της (ξηρή περίοδος), και θεωρήθηκε το σημείο τομής τους με τα υδρογράμματα ως η αρχή της στείρευσης.

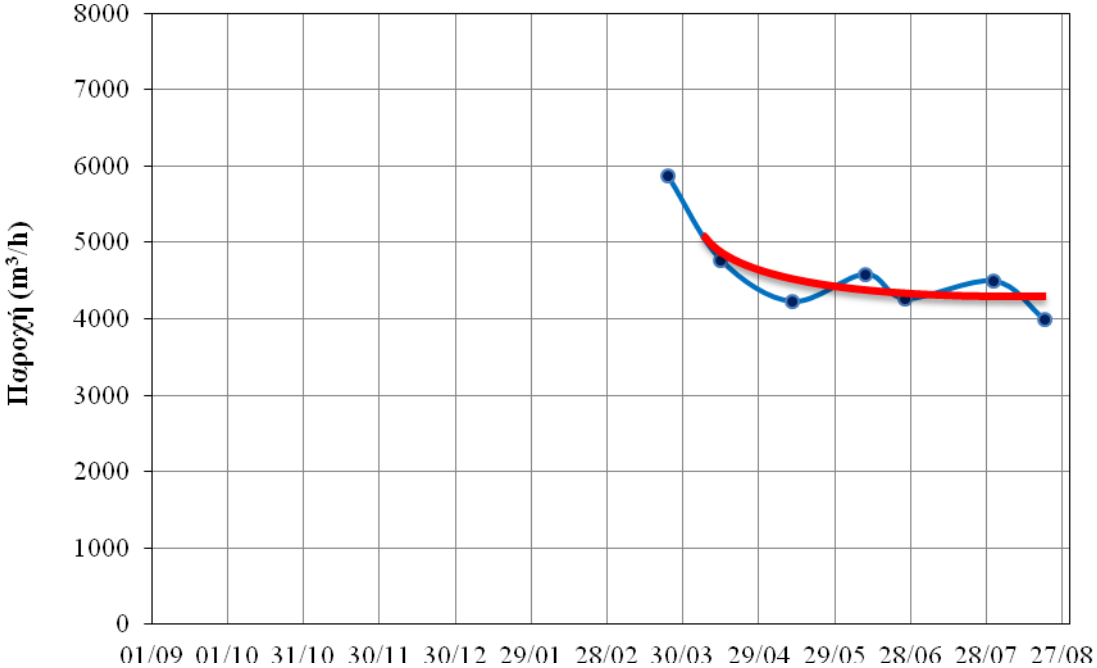
Στα **Σχήματα 4.1 έως και 4.6** παρουσιάζονται τα υδρογράμματα των πηγών Κουρταλιώτη (γαλάζια γραμμή) και οι εκθετικές καμπύλες του Maillet (κόκκινη γραμμή) όπως διαμορφώνονται από τις διαθέσιμες μετρήσεις παροχών κατά την ξηρή περίοδο κάθε υδρολογικού έτους (Σεπτέμβριος – Αύγουστος). Η αρχή της στείρευσης (t = 0) θεωρήθηκε στο πρώτο σημείο τομής των δύο γραμμών.

Τα υδρογεωλογικά έτη που εξετάσθηκαν είναι τα 1996-97, 1997-98, 1998-99, 1999-00, 2005-06 και 2006-07 (διαθέσιμες μετρήσεις).

Στο υδρολογικό έτος 1996-97 το υδρόγραμμα (Σχήμα 4.1) δεν είναι πλήρες (λείπουν οι μετρήσεις του έτους 1996), θεωρείται όμως επαρκές για τον υπολογισμό των συντελεστών στείρευσης, καθώς περιγράφεται σαφώς το τμήμα της ξηρής περιόδου που ενδιαφέρει.

Στα Σχήματα 4.1 έως και 4.6 δεν σημειώνονται οι υπερβολικές καμπύλες του Tison για λόγους ευκρίνειας. Πάντως διαπιστώθηκε ότι και στις δύο μεθόδους η αρχή της στείρευσης θεωρούνται σχεδόν ταυτόσημα.

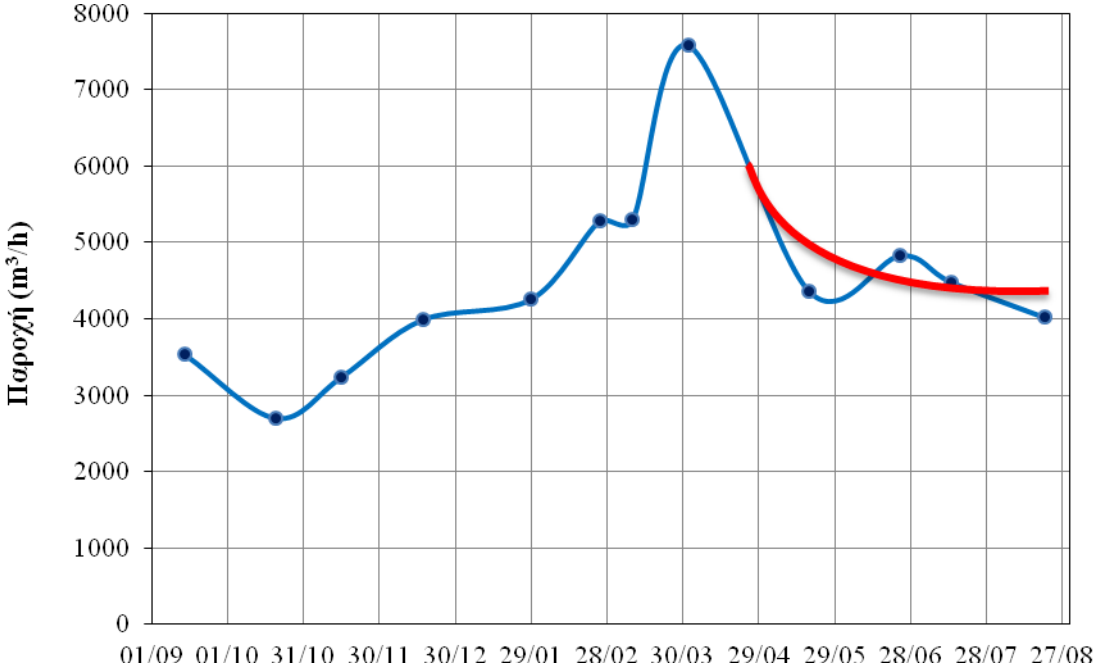
Στους **Πίνακες 4.1 έως και 4.6** δίνονται οι παροχές των πηγών Κουρταλιώτη κατά την ξηρή περίοδο των υδρογεωλογικών ετών 1996-97, 1997-98, 1998-99, 1999-00, 2005-06 και 2006-07, οι οποίες και χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό των συντελεστών στείρευσης των πηγών κατά Maillet και Tison, σύμφωνα με τις σχέσεις 4.2 και 4.3, αντίστοιχα.



<u>Σχήμα 4.1</u>: Υδρόγραμμα και εκθετική καμπύλη Maillet των πηγών Κουρταλιώτη (Υδρολογικό έτος 1996-97).

<u>Πίνακας 4.1</u>: Παροχές ξηρής περιόδου και συντελεστές στείρευσης κατά Maillet και Tison των πηγών Κουρταλιώτη (Υδρολογικό έτος 1996-97).

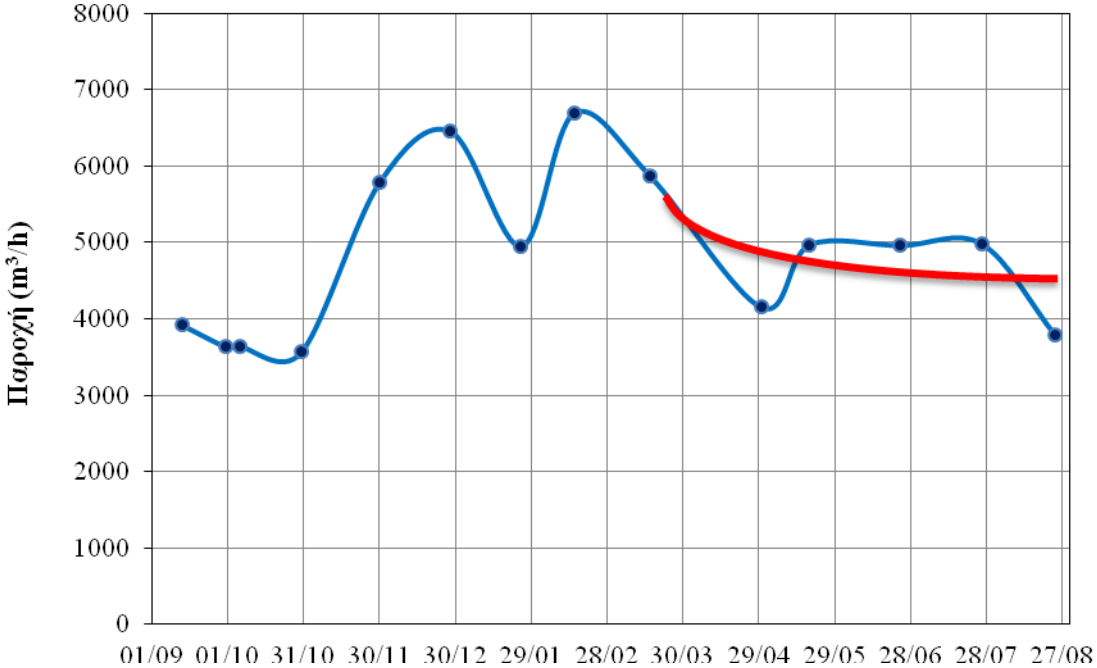
Ημερομηνία	**Παροχή (m^3/h)**	**Χρόνος στείρευσης, t (days)**	**Συντελεστής στείρευσης, a ($days^{-1}$)**	
			κατά Maillet	**κατά Tison**
07/04/97	Q_0 = 5050	t_0 = 0		
14/04/97	4770	7	0,0081	0,0041
12/05/97	4230	35	0,0051	0,0026
10/06/97	4586	64	0,0015	0,0008
26/06/97	4266	80	0,0021	0,0011
31/07/97	4496	115	0,0010	0,0005
20/08/97	3992	135	0,0017	0,0009
Μ.Ο.			**0,0033**	**0,0017**



<u>Σχήμα 4.2</u>: Υδρόγραμμα και εκθετική καμπύλη Maillet των πηγών Κουρταλιώτη (Υδρολογικό έτος 1997-98).

<u>Πίνακας 4.2</u>: Παροχές ξηρής περιόδου και συντελεστές στείρευσης κατά Maillet και Tison των πηγών Κουρταλιώτη (Υδρολογικό έτος 1997-98).

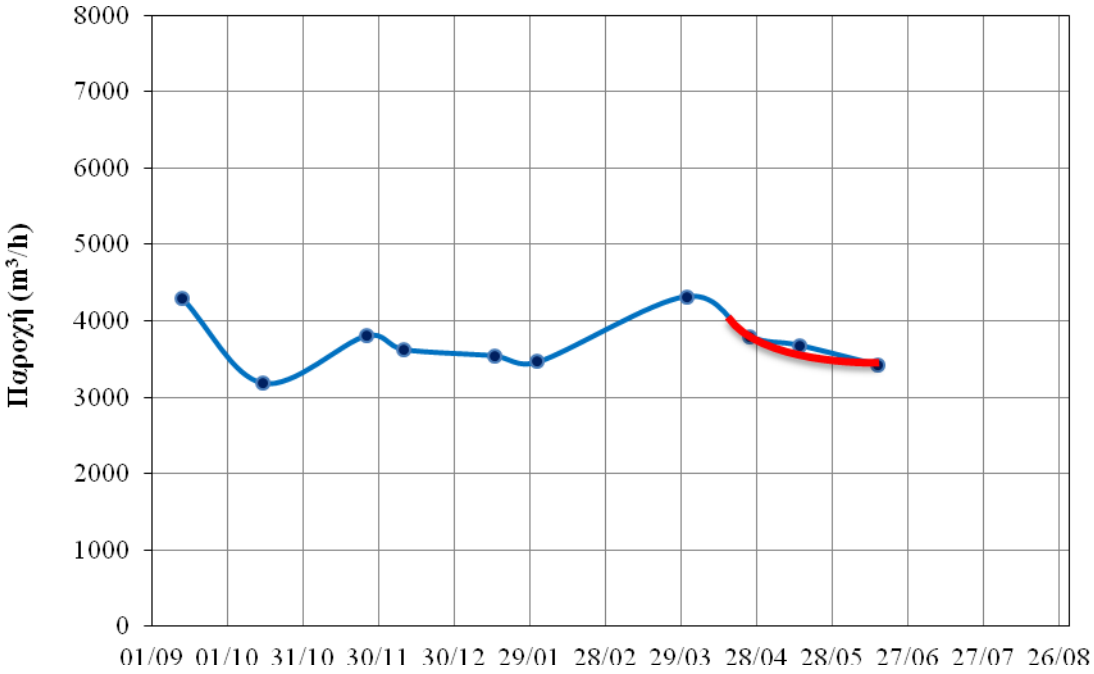
Ημερομηνία	**Παροχή (m^3/h)**	**Χρόνος στείρευσης, t (days)**	**Συντελεστής στείρευσης, a ($days^{-1}$)**	
			κατά Maillet	**κατά Tison**
23/04/98	Q_0 = 6050	t_0 = 0		
19/05/98	4356	26	0,0126	0,0069
24/06/98	4831	62	0,0036	0,0019
14/07/98	4482	82	0,0037	0,0020
20/08/98	4018	119	0,0034	0,0019
Μ.Ο.			**0,0058**	**0,0032**



<u>Σχήμα 4.3</u>: Υδρόγραμμα και εκθετική καμπύλη Maillet των πηγών Κουρταλιώτη (Υδρολογικό έτος 1998-99).

<u>Πίνακας 4.3</u>: Παροχές ξηρής περιόδου και συντελεστές στείρευσης κατά Maillet και Tison των πηγών Κουρταλιώτη (Υδρολογικό έτος 1998-99).

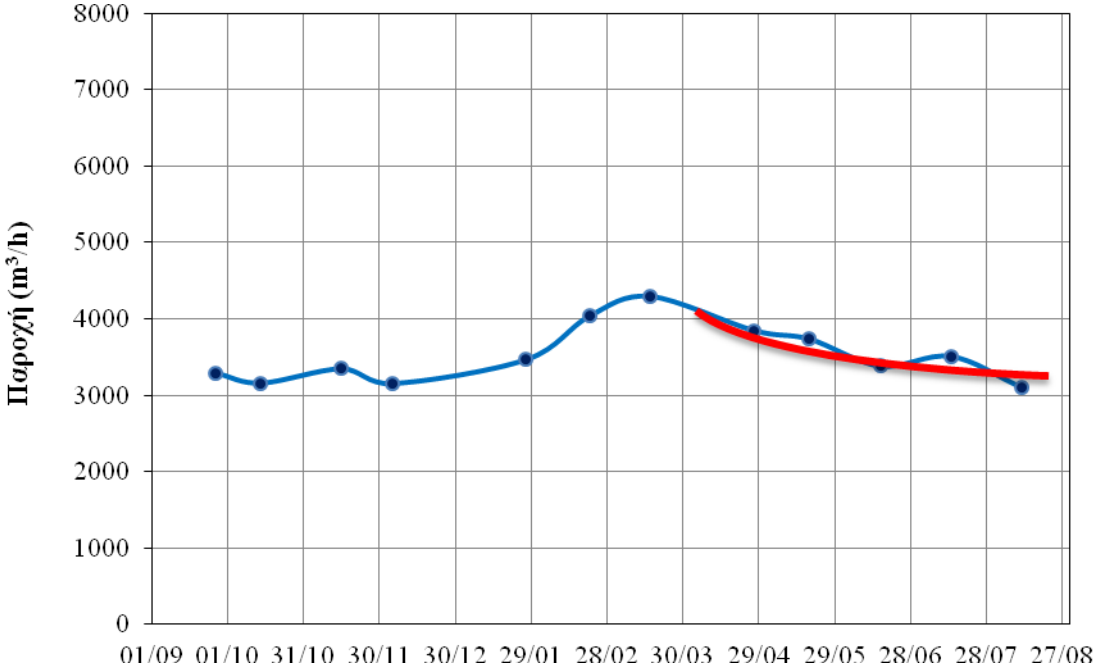
Ημερομηνία	**Παροχή (m^3/h)**	**Χρόνος στείρευσης, t (days)**	**Συντελεστής στείρευσης, a ($days^{-1}$)**	
			κατά Maillet	**κατά Tison**
23/03/99	Q_0 = 5700	t_0 = 0		
30/04/99	4151	38	0,0083	0,0045
19/05/99	4968	57	0,0024	0,0012
24/06/99	4961	93	0,0015	0,0008
26/07/99	4982	125	0,0011	0,0006
24/08/99	3794	154	0,0026	0,0015
Μ.Ο.			**0,0032**	**0,0017**



<u>Σχήμα 4.4</u>: Υδρόγραμμα και εκθετική καμπύλη Maillet των πηγών Κουρταλιώτη (Υδρολογικό έτος 1999-00).

<u>Πίνακας 4.4</u>: Παροχές ξηρής περιόδου και συντελεστές στείρευσης κατά Maillet και Tison των πηγών Κουρταλιώτη (Υδρολογικό έτος 1999-00).

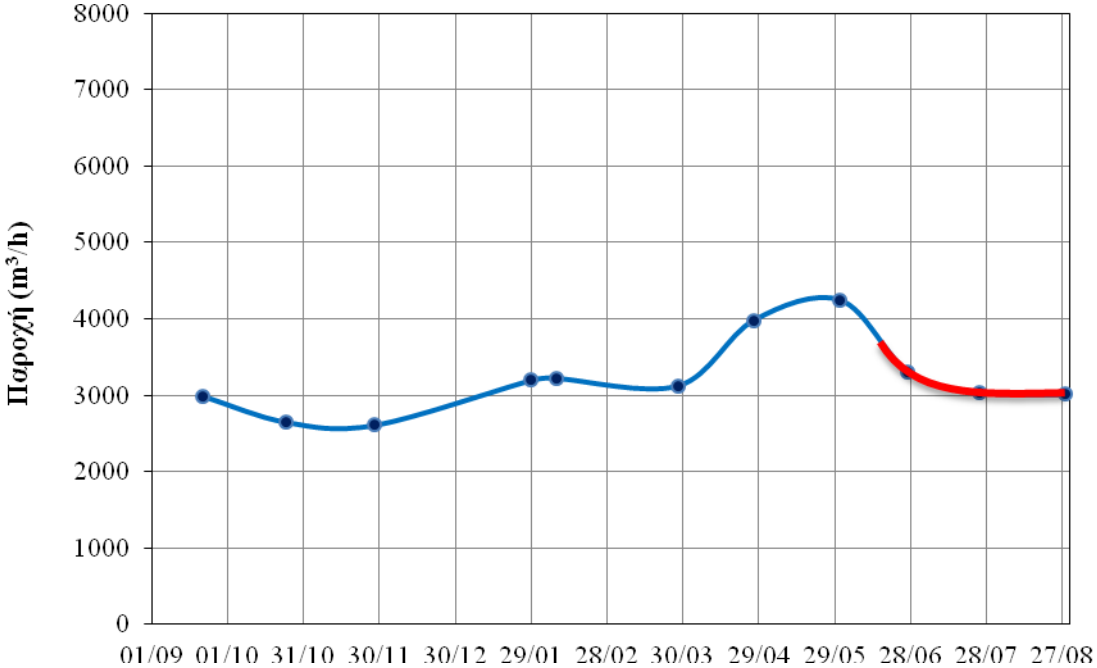
Ημερομηνία	**Παροχή (m^3/h)**	**Χρόνος στείρευσης, t (days)**	**Συντελεστής στείρευσης, a ($days^{-1}$)**	
			κατά Maillet	**κατά Tison**
18/04/00	Q_0 = 4000	t_0 = 0		
25/04/00	3798	7	0,0074	0,0037
15/05/00	3680	27	0,0031	0,0016
15/06/00	3427	58	0,0027	0,0014
Μ.Ο.			**0,0044**	**0,0022**



<u>Σχήμα 4.5</u>: Υδρόγραμμα και εκθετική καμπύλη Maillet των πηγών Κουρταλιώτη (Υδρολογικό έτος 2005-06).

<u>Πίνακας 4.5</u>: Παροχές ξηρής περιόδου και συντελεστές στείρευσης κατά Maillet και Tison των πηγών Κουρταλιώτη (Υδρολογικό έτος 2005-06).

Ημερομηνία	**Παροχή (m^3/h)**	**Χρόνος στείρευσης, t (days)**	**Συντελεστής στείρευσης, a ($days^{-1}$)**	
			κατά Maillet	**κατά Tison**
12/04/06	Q_0 = 4050	t_0 = 0		
27/04/06	3846	15	0,0034	0,0017
19/05/06	3734	37	0,0022	0,0011
16/06/06	3380	65	0,0028	0,0015
14/07/06	3508	93	0,0015	0,0008
11/08/06	3101	121	0,0022	0,0012
Μ.Ο.			**0,0024**	**0,0013**



<u>Σχήμα 4.6</u>: Υδρόγραμμα και εκθετική καμπύλη Maillet των πηγών Κουρταλιώτη (Υδρολογικό έτος 2006-07).

<u>Πίνακας 4.6</u>: Παροχές ξηρής περιόδου και συντελεστές στείρευσης κατά Maillet και Tison των πηγών Κουρταλιώτη (Υδρολογικό έτος 2006-07).

Ημερομηνία	**Παροχή (m^3/h)**	**Χρόνος στείρευσης, t (days)**	**Συντελεστής στείρευσης, a ($days^{-1}$)**	
			κατά Maillet	**κατά Tison**
13/06/07	Q_0 = 3650	t_0 = 0		
27/06/07	3304	14	0,0071	0,0036
25/07/07	3040	42	0,0044	0,0023
28/08/07	3010	76	0,0025	0,0013
Μ.Ο.			**0,0047**	**0,0024**

Παρατηρείται ότι με το πέρασμα των ετών υπάρχει εποχική εξομάλυνση των παροχών των πηγών. Ειδικά στα τελευταία υδρολογικά έτη (1999-00, 2005-06 και 2006-07) η μέγιστη ετήσια παροχή πλησιάζει πολύ την μέση, αυτό οφείλεται πιθανώς στην καλύτερη κατανομή των βροχοπτώσεων κατά την διάρκεια του έτους.

Στα υδρολογικά έτη που εξετάσθηκαν η αρχή της στείρευσης σημειώνεται φυσιολογικά κατά το δίμηνο Μάρτιος – Απρίλιος. Εξαίρεση αποτελεί το τελευταίο διαθέσιμο υδρολογικό έτος (2006-07), στο οποίο παρατηρείται ασυνήθιστη καθυστέρηση της στείρευσης (αρχή στείρευσης στα μέσα Ιουνίου), όπως διακρίνεται στο Σχήμα 4.6, αυτό δικαιολογείται διότι δεν υπάρχουν αρκετές μετρήσεις για το συγκεκριμένο υδρολογικό έτος.

Με βάση τις τιμές των Πινάκων 4.1 έως και 4.6, προέκυψε ο **Πίνακας 4.7**, ο οποίος περιλαμβάνει συγκεντρωτικά τους μέσους συντελεστές στείρευσης των πηγών κατά Maillet και Tison.

<u>Πίνακας 4.7</u>: Μέσοι συντελεστές στείρευσης πηγών Κουρταλιώτη κατά Maillet και Tison.

Υδρολογικό έτος	**Συντελεστής στείρευσης, a ($days^{-1}$)**	
	κατά Maillet	**κατά Tison**
1996-97	0,0033	0,0017
1997-98	0,0058	0,0032
1998-99	0,0032	0,0017
1999-00	0,0044	0,0022
2005-06	0,0024	0,0013
2006-07	0,0047	0,0024
Μ.Ο.	**0,0040**	**0,0021**

4.2.3. Εκκενώσιμα αποθέματα

Είναι δυνατό για ορισμένη χρονική στιγμή (t) κατά την ξηρή περίοδο να υπολογισθούν τα εκκενώσιμα αποθέματα (W σε m^3/day) μιας πηγής, αν είναι γνωστός ο συντελεστής στείρευσης (a) και η παροχή (Q σε m^3/day) κατά την στιγμή αυτή.

Πράγματι αν ολοκληρωθούν ως προς το χρόνο οι εξισώσεις του Maillet (σχέση 4.2) και του Tison (σχέση 4.3) προκύπτουν αντίστοιχα οι παρακάτω τύποι:

$$\mathbf{W = Q / a} \qquad [4.4]$$

$$\mathbf{W = Q / a \cdot (1 + a \cdot t)} \qquad [4.5]$$

Οι παραπάνω σχέσεις επιτρέπουν τον υπολογισμό των εκκενώσιμων αποθεμάτων κατά ορισμένη χρονική στιγμή t της ξηρής περιόδου κατά την οποία η παροχή είναι ίση με Q.

Τελικά, οι σχέσεις 4.4 και 4.5 μπορούν να τροποποιηθούν ώστε να επιτρέπουν τον υπολογισμό του ημερήσιου όγκου ΔW (σε m^3) που απέρρευσε από μια πηγή κατά το χρονικό διάστημα Δt, κατά το οποίο η παροχή μεταβλήθηκε κατά ΔQ (σε m^3/day):

$$\mathbf{\Delta W = \Delta Q / a} \qquad [4.6]$$

$$\mathbf{\Delta W = \Delta Q / a \cdot (1 + a \cdot \Delta t)} \qquad [4.7]$$

Με τις σχέσεις 4.6 και 4.7 είναι δυνατή η εκτίμηση των ετήσιων εκκενώσιμων αποθεμάτων από τις πηγές, αν το ΔQ αντικατασταθεί η μέγιστη παρατηρούμενη παροχή κατά την έναρξη της στείρευσης ($\Delta Q = Q_0 - 0$) και Δt = 365 ημέρες.

Με βάση τα παραπάνω, τους Πίνακες 4.1 έως και 4.7 και τις σχέσεις 4.6 και 4.7 προέκυψε ο **Πίνακας 4.8**, ο οποίος περιλαμβάνει τα ετήσια εκκενώσιμα αποθέματα των πηγών Κουρταλιώτη, όπως αυτά υπολογίσθηκαν κατά Maillet και κατά Tison.

***Πίνακας 4.8*: Ετήσια εκκενώσιμα αποθέματα πηγών Κουρταλιώτη κατά Maillet και Tison.**

Υδρολογικό έτος	**Ετήσια εκκενώσιμα αποθέματα (m^3)**	
	κατά Maillet	**κατά Tison**
1996-97	37.143.670	44.625.092
1997-98	24.861.354	21.265.340
1998-99	42.830.575	49.133.135
1999-00	21.889.982	23.618.551
2005-06	39.918.829	52.811.567
2006-07	18.765.371	19.228.159
Μ.Ο.	**30.901.630**	**35.113.641**

Από τον πίνακα παρατηρείται σημαντική συμφωνία των αποτελεσμάτων των δύο μεθόδων (Maillet και Tison), παρ' όλες τις επιφυλάξεις που εκφράστηκαν για την δυνατότητα εφαρμογής τους σε καρστικούς υδροφορείς, όπως στην περίπτωση που μελετάται στην παρούσα εργασία.

Θα μπορούσε επίσης να ειπωθεί ότι η μέθοδος Maillet παρέχει ικανοποιητικότερα αποτελέσματα, λαμβάνοντας υπόψη ότι η διακύμανση αυτών ($21 – 42 \times 10^6$ m^3) είναι μικρότερη απ' ότι με την μέθοδο Tison ($19 – 52 \times 10^6$ m^3). Επίσης η μέθοδος Maillet παρέχει ικανοποιητικότερα αποτελέσματα σε σχέση με τν δημοσίευση των Στειακάκη, Βαβαδάκη. Η τελευταία αυτή παρατήρηση ήταν αναμενόμενη, καθώς η μέθοδος Tison αναφέρεται σε υδροφόρα στρώματα που είναι οριζόντια ή σχεδόν οριζόντια, ενώ έχουν πολλές αναβλύσεις κατά μήκος μιας πλευράς του στρώματος αυτού (Σούλιος, 1996).

Σύμφωνα με τον Πίνακα 4.8, τα εκκενώσιμα αποθέματα εκτιμώνται περίπου στα **$30,9\times10^6$ m^3** ετησίως (μέθοδος Maillet). Τα αποθέματα αυτά ουσιαστικά δηλώνουν τα ρυθμιστικά αποθέματα της υδρογεωλογικής λεκάνης Κουρταλιώτη και είναι κατάτι μικρότερα από την απευθείας κατείσδυση όπως αυτή παρουσιάσθηκε στην παρ. 4.1.1 ($38,0\times10^6$ m^3).

4.2.4. Πλευρικές εκροές

Οι πλευρικές εκροές αφορούν ποσότητες υπόγειου νερού που καταλήγουν στην θάλασσα (κυρίως) ή σε παρακείμενους υδροφορείς. Λόγω έλλειψης πληροφοριών, ο όγκος αυτός εκτιμήθηκε προσεγγιστικά, σε ετήσια βάση, ως το υπόλοιπο της διαφοράς των εκροών από τις εισροές, δηλαδή:

Πλευρικές εκροές = Απευθείας κατείσδυση (παρ. 4.1.1) + Έμμεση κατείσδυση (παρ. 4.1.2) + Πλευρικές εισροές (παρ. 4.1.3) – Παροχές πηγών (παρ. 4.2.1).

Συνεπώς, οι ετήσιες πλευρικές εκροές δύναται να θεωρηθούν ίσες με:

$38,0\times10^6$ m^3 + $8,1\times10^6$ m^3 + $15,1\times10^6$ m^3 – $44,7\times10^6$ m^3 = **$16,5\times10^6$ m^3**.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η περιοχή έρευνας περιλαμβάνει τις λεκάνες απορροής τριών υδατορεμάτων (χείμαρροι Πλακιώτη, Κουρταλιώτη και Σπηλιανού) και καταλαμβάνει συνολική έκταση 180 km^2.

Σύμφωνα με τα βροχομετρικά δεδομένα, ο μέσος ετήσιος όγκος κατακρημνισμάτων σε αυτή τη περιοχή ανέρχεται σε $209,6\times10^6$ m^3 νερού. Από αυτά τα $49,2\times10^6$ m^3 νερού κατεισδύουν, τα $120,6\times10^6$ m^3 εξατμίζονται / διαπνέονται, ενώ τα $39,7\times10^6$ m^3 νερού απορρέουν επιφανειακά .

Η υδρογεωλογική λεκάνη Κουρταλιώτη δεν ταυτίζεται χωρικά με την αντίστοιχη υδρολογική που μελετήθηκε. Έχει έκταση 105 km^2 και η ροή του υπόγειου νερού έχει διεύθυνση από ΒΒΑ προς ΝΝΔ προς το νότιο τμήμα της λεκάνης όπου εμφανίζονται τρείς ομάδες σημαντικών πηγών: Κουρταλιώτη, Πλακιώτη και Λίγκρες.

Οι εισροές στην υδρογεωλογική λεκάνη εκτιμήθηκαν σε $56,5\times10^6$ m^3 νερού. Από αυτά τα $38,0\times10^6$ m^3 νερού προέρχονται από την απευθείας κατείσδυση, τα $8,1\times10^6$ m^3 νερού είναι από κατείσδυση από ανάντη επιφανειακές απορροές και τα $15,1\times10^6$ m^3 νερού αποδίδονται σε πλευρικές εισροές.

Οι εκροές της υδρογεωλογικής λεκάνης Κουρταλιώτη εκτιμήθηκαν σε $61,2\times10^6$ m^3 νερού από τα οποία $44,7\times10^6$ m^3 νερού αφορούν εκροές των πηγών και τα $16,5\times10^6 m^3$ νερού τις υπόγειες πλευρικές εκροές σε παρακείμενες υδρογεωλογικές λεκάνες.

Τα εκκενώσιμα (ρυθμιστικά) αποθέματα των πηγών που τροφοδοτούνται από την λεκάνη Κουρταλιώτη εκτιμηθήκαν με τις μεθόδους Maillet και Tison και ανέρχονται σε $30,9\times10^6$ m^3 και $35,1\times10^6$ m^3 νερού, αντίστοιχα. Τα αποτελέσματα αυτά

προσεγγίζουν ικανοποιητικά τα αποτελέσματα προγενεστέρων μελετών (Στειακάκης, Βαβαδάκης, 2012).

Με βάση τα προαναφερόμενα η αναρύθμιση τω πηγών μέσω άντλησης γεωτρήσεων θα συνέβαλε στην ορθολογική διαχείριση του υδρφορέα της περιοχής.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Bonneau, M. (1985). Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδος – Φύλλο Μέλαμπες. ΙΓΜΕ, Κλίμακα 1: 50.000.

- Driscoll, F.G. (1986). Groundwater and Wells. Second Edition, Johnson Filtration Systems Inc., St. Paul, Minnesota.

- Fetter, C.W. (1988). Applied Hydrogeology. Second Edition, Merrill Publishing Company, Columbus, Ohio, USA.

- Kessler, H. (1965). Water balance investigation in the karstic region of Hungary. Proceedings of the Dubrovnik Symposium, A.I.H.S., Hydrology of fractured rocks, V.I, pp. 91-105.

- Steiakakis, E., Monopolis, D., Vavadakis, D., Lambrakis, N. (2011). Effective infiltration assessment in Kourtaliotis karstic basin (S. Crete). Proceedings of the 9th International Congress of Hydrogeology & the 4th MEM Workshop on Fissured Rocks Hydrology, Advances in the Research of Aquatic Environment, v.1, DOI 10.1007/978-3-642-19902-8, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.

- Todd, D.K. (1980). Groundwater Hydrology. Second Edition, John Wiley and Sons Inc., New York.

- Αθανασάκης, Μ. (2008). Διαχείριση του Υδατικού Συστήματος του βόρειου τμήματος του νομού Χανίων με χρήση Συστήματος Υποστήριξης Αποφάσεων. Μεταπτυχιακή Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Διεπιστημονικό – Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών «Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων», Αθήνα.

- ΓΥΣ (2007). Τοπογραφικός χάρτης – Φύλλο Μέλαμπες. Κλίμακα 1:50.000.

- ΓΥΣ (2007). Τοπογραφικός χάρτης – Φύλλο Σελλιά. Κλίμακα 1:50.000.
- Διαλυνάς, Ε. (2012). Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων. Έργο: Εγκατάσταση επεξεργασίας και διάθεσης λυμάτων οικισμού Καλής Συκιάς Δήμου Αγίου Βασιλείου, Περιφέρεια Κρήτης, Δήμος Αγίου Βασιλείου και Δήμος Ρεθύμνης, Δ/νση Τεχνικών Υπηρεσιών, Ηράκλειο.
- ΙΓΜΕ (1996). Σχέδιο προγράμματος διαχείρισης των υδατικών πόρων της χώρας – Παράρτημα 3: Εκτίμηση υπόγειου υδατικού δυναμικού. Υπουργείο Ανάπτυξης, Διεύθυνση Υδατικού Δυναμικού και Φυσικών Πόρων, Αθήνα.
- ΙΓΜΕ (1989). Έκθεση συνθηκών ύδρευσης Κρήτης. Ρέθυμνο.
- Καλλέργης, Γ.Α. (1986). Εφαρμοσμένη Υδρογεωλογία. ΤΕΕ, Αθήνα.
- Καλλέργης, Γ.Α. (2001). Εφαρμοσμένη – Περιβαλλοντική Υδρογεωλογία. Τόμοι Α, Β και Γ, Δεύτερη έκδοση, ΤΕΕ, Αθήνα.
- Καπετανάκης, Μ. (2001). Φυσιογραφική κατανομή και υπολογισμός του συνολικού όγκου βροχόπτωσης στο νησί Κρήτη (Διάκριση μικροκλιματικών ζωνών). Διπλωματική εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Χανιά.
- Καρακίτσιος, Β. (1982). Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδος – Φύλλο Σελλιά. ΙΓΜΕ, Κλίμακα 1: 50.000.
- Κλειδοπούλου, Μ. (2003). Ροή υπόγειων νερών προς τα υδρομαστευτικά έργα (Παράδειγμα: Υδρομαστευτική στοά περιοχής Αλμυρού Ηρακλείου Κρήτης). Διδακτορική Διατριβή, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Εργαστήριο Εφαρμοσμένης Γεωλογίας, Χανιά.
- Κνιθάκης, Μ. (1995). Υδρογεωλογική έρευνα του Νομού Ρεθύμνης. Ερευνητικό Έργο, ΙΓΜΕ, Ρέθυμνο.

- Κνιθάκης, Μ., Πολυχρονάκης, Α., Καλούμενος, Κ., Καλογιαννάκης, Μ. (1989). Έκθεση συνθηκών ύδρευσης Κρήτης. ΙΓΜΕ, Ρέθυμνο.

- Κριτσωτάκης, Μ. (2006). Διαχείριση του νερού στην Κρήτη. Το σύστημα υποστήριξης λήψης απόφασης (DSS). Παράδειγμα εφαρμογής. Ημερίδα: "Ορθολογική διαχείριση υδατικών πόρων", 13 Μαρτίου 2006, Ελληνική Εταιρία για την Προστασία του Περιβάλλοντος και της Πολιτιστικής Κληρονομιάς, Αθήνα.

- Κουργιαλάς, Ν. (2010). Ολοκληρωμένη Διαχείριση – Πρόβλεψη και Αντιμετώπιση πλημμυρικών φαινομένων σε σύνθετες γεωμορφολογικά περιοχές με χρήση μαθηματικών μοντέλων και GIS. Διδακτορική Διατριβή, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Εργαστήριο Γεωπεριβαλλοντικής Μηχανικής, Χανιά.

- Κουρμούλης, Ν. (1979). Απογραφή καρστικών πηγών Ελλάδος. Υδρολογικές και Υδρογεωλογικές έρευνες, αρ.28, ΙΓΜΕ, Αθήνα.

- Λιονής, Μ. – Περλέρος, Β. (2001). Υδρογεωλογική μελέτη Κάμπου Χανίων (ΚΑ: 9481721). Υπουργείο Γεωργίας, Γενική Διεύθυνση Εγγειοβελτιωτικών Έργων και Γεωργικών Διαρθρώσεων, Διεύθυνση Γεωλογίας / Υδρολογίας, Τμήμα Υδρογεωλογίας / Γεωτρήσεων και Μαθηματικών Ομοιωμάτων, Αθήνα.

- Μαρίνος, Π. (1977). Επί των μειώσεων των παροχών των πηγών: Εφαρμογή ετέρας εξισώσεως επί της εξαντλήσεως και προγνώσεως αυτών. 1ο Πανελλήνιο Σεμινάριο Υδρολογίας, Δελτίον της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας, τόμος XI, αρ.2, Αθήνα.

- Μάστορης, Κ., Μονόπωλης, Δ., Σκαγιάς, Σ. (1971). Υδρογεωλογική έρευνα της περιοχής Κορίνθου – Λουτρακίου. Υδρολογικές και Υδρογεωλογικές έρευνες, ΙΓΕΥ, Αθήνα.

- Μονόπωλης, Δ. (1971). Υδρογεωλογική μελέτη της καρστικής περιοχής του ορεινού συγκροτήματος Παρνασσού. Διδακτορική Διατριβή, ΕΜΠ, Τμήμα Χημικών Μηχανικών (ΜΜΜ), Έκδοση ΙΓΕΥ, Υδρολογική και Υδρογεωλογική Έρευνα, νο.4, Αθήνα.

- Μονόπωλης, Δ., Μάστορης, Κ. (1969). Υδρογεωλογική μελέτη της καρστικής υφαλμύρου πηγής Αλμυρού (Ηράκλειον Κρήτης). Υδρολογικές και Υδρογεωλογικές έρευνες, ΙΓΕΥ, Αθήνα.

- Μονόπωλης, Δ., Σοφίου, Π., Στειακάκης, Ε., Καδιανάκης, Μ., Βαβαδάκης, Δ., Κλειδοπούλου, Μ. (1999). Προσδιορισμός υδρογεωλογικών παραμέτρων στα ανθρακικά πετρώματα της Κρήτης (Μεθοδολογία – στατιστική ανάλυση – χωρική κατανομή). Πρακτικά 5ου Πανελλήνιου Υδρογεωλογικού Συνεδρίου (Νοέμβριος 12-14), Λευκωσία, Κύπρος.

- Παπαγρηγορίου, Σ., Καϊμάκη, Σ., Περλέρος, Β., Παπαγεωργίου-Τορτοπίδη, Ν., Λαζαρίδης, Λ., Συν/τες ΑΤΕΜ (2001). Διαχειριστική Μελέτη Κρήτης. Περιφέρεια Κρήτης, Τμήμα Διαχείρισης Υδατικών Πόρων, Ηράκλειο.

- Παπάκης, Ν. (1966). Υδρογεωλογική μελέτη πηγών Αγίου Γεωργίου Κιβερίου Αργολίδος. Ινστιτούτο Γεωλογίας & Ερευνών Υπεδάφους, τ.XI, νο.3, σελ.190-240, Αθήναι.

- Περιφέρεια Κρήτης (2000). Ολοκληρωμένη διαχείριση υδατικών πόρων Κρήτης. ΔΣΑ-ΤΔΥΠ, Ηράκλειο.

- Περιφέρεια Κρήτης (2001). Υδρολογικά στοιχεία νήσου Κρήτης: Βροχομετρικά – εξατμισιμετρικά – θερμομετρικά – ηλιοφάνειας και υδρομετρικά, από της ιδρύσεως των σταθμών μέχρι το υδρολογικό έτος 1998-99 (Πρόγραμμα υδρολογικής έρευνας). Διεύθυνση Δημοσίων Έργων, Τμήμα Εγγείων Βελτιώσεων, Ηράκλειο.

- Περιφέρεια Κρήτης (2002). Υδρολογικά στοιχεία νήσου Κρήτης. Βροχομετρικά – εξατμισιμετρικά – θερμομετρικά – ηλιοφάνειας και υδρομετρικά, των υδρολογικών ετών 1999-2001 (Πρόγραμμα υδρολογικής έρευνας Νο. XIV). Διεύθυνση Δημοσίων Έργων, Τμήμα Εγγείων Βελτιώσεων, Ηράκλειο.

- Περιφέρεια Κρήτης (2012). Υδρολογικά στοιχεία νήσου Κρήτης. Βροχομετρικά – εξατμισιμετρικά – θερμομετρικά – ηλιοφάνειας και υδρομετρικά, των υδρολογικών ετών 1999-2001 (Πρόγραμμα υδρολογικής έρευνας Νο. XIV). Διεύθυνση Δημοσίων Έργων, Τμήμα Εγγείων Βελτιώσεων, Ηράκλειο.

- Περλέρος, Β., Παπαμαστοράκης, Δ., Κριτσωτάκης, Μ., Δρακοπούλου, Ε., Παναγόπουλος, Α. (2004). Υπόγειο υδατικό δυναμικό Κρήτης, Προβλήματα και προοπτικές. Πρακτικά 10ου Διεθνούς Συνεδρίου, Απρίλιος, Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας, XXXVI, Θεσσαλονίκη.

- Πολυτεχνείο Κρήτης (1990). Ανάπτυξη μεθόδων αξιοποίησης των υπόγειων νερών Δυτ. Κρήτης. Ερευνητικό Έργο: 87ΕΔ53, ΥΒΕΤ/ ΓΓΕΤ, Έκθεση Προόδου, Χανιά.

- Σούλιος, Γ.Χ. (1983). Συμβολή στην υδρογεωλογική μελέτη των καρστικών υδροφόρων συστημάτων του Ελληνικού χώρου. Θεσσαλονίκη.

- Σούλιος, Γ.Χ. (1996). Γενική Υδρογεωλογία: Πρώτος Τόμος: Α. Επιφανειακή υδρολογία, Β. Αποθήκευση και κατανομή του υπόγειου νερού, Γ. Οι ροές του υπόγειου νερού. Δεύτερη έκδοση, University Studio Press, Θεσσαλονίκη.

- Σούλιος, Γ.Χ. (1996). Γενική Υδρογεωλογία: Δεύτερος Τόμος: Δ. Ροή του υπόγειου νερού προς τα υδρομαστευτικά έργα. University Studio Press, Θεσσαλονίκη.

- Σούλιος, Γ.Χ. (2004). Γενική Υδρογεωλογία: Τρίτος Τόμος: ΣΤ. Αποθέματα και διαχείριση του υπόγειου νερού. Αφοί Κυριακίδη, Θεσσαλονίκη.

- Στειακάκης, Ε., Βαβαδάκης, Δ. (2012). Εκτίμηση των υδατικών αποθεμάτων της υδρογεωλογικής λεκάνης Κουρταλιώτη (Κρήτη). Ορυκτός Πλούτος 163/2012.

- Υπουργείο Γεωργίας (2006). Πρόγραμμα Υδρολογικής έρευνας: Υδρολογικά στοιχεία Ν. Κρήτης (1976-2006). VII Περιφερειακή Δ/νση Εγγείων Βελτιώσεων, Ηράκλειο Κρήτης.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

- Βροχομετρικά δεδομένα.
- Πίνακες και διαγράμματα επεξεργασίας βροχομετρικών δεδομένων.

<u>Πίνακας Α.1</u>: Μηνιαίες βροχοπτώσεις (σε mm) στον σταθμό «Αγία Γαλήνη» (Χ = 562696, Υ = 3883780, Ζ = 20, κατά ΕΓΣΑ'87) (Περιφέρεια Κρήτης – Τμήμα Υδροικονομίας, 2012).

Υδρολογικό έτος	Σ	Ο	Ν	Δ	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σύνολο
1969-70	0.0	32.0	24.1	189.5	40.2	64.0	45.3	9.8	5.0	0.0	0.0	0.0	**409.9**
1970-71	8.6	84.7	8.1	44.7	129.0	166.0	61.0	10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	**512.1**
1971-72	2.5	5.0	53.0	70.5	113.5	50.0	66.0	38.0	9.5	0.0	0.0	0.0	**408.0**
1972-73	5.0	132.0	50.0	73.2	110.5	153.0	5.0	47.0	0.0	0.0	0.0	0.0	**575.7**
1973-74	20.0	55.0	68.0	47.0	105.0	76.0	71.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	**442.0**
1974-75	39.0	9.9	104.8	103.3	209.0	36.4	34.0	21.5	38.3	0.0	0.0	0.0	**596.2**
1975-76	0.0	8.4	215.4	115.2	128.5	147.8	71.2	27.9	1.0	0.0	3.1	0.0	**718.5**
1976-77	0.0	54.6	150.1	157.4	79.1	20.2	57.0	29.1	0.0	0.0	0.0	0.0	**547.5**
1977-78	85.6	8.8	45.3	188.5	184.5	217.8	113.8	15.0	0.0	0.0	0.0	0.0	**859.3**
1978-79	26.3	75.1	0.0	179.2	85.6	91.6	49.5	11.7	33.1	2.3	0.0	0.0	**554.4**
1979-80	0.0	7.5	232.4	147.7	116.5	92.0	41.4	24.1	15.0	0.0	0.0	0.0	**676.6**
1980-81	0.0	50.4	22.3	332.8	348.5	90.7	15.3	25.0	6.0	0.0	0.0	0.0	**891.0**
1981-82	0.0	0.0	271.8	169.0	90.2	135.0	116.2	34.2	20.5	0.0	0.0	0.0	**836.9**
1982-83	0.0	15.5	93.9	149.0	67.2	121.4	45.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	**492.3**
1983-84	0.0	0.0	128.3	139.8	115.6	92.4	22.5	80.7	0.0	0.0	3.2	0.0	**582.5**
1984-85	0.0	0.0	113.0	92.4	232.8	68.1	91.0	49.5	0.0	0.0	0.0	0.0	**646.8**
1985-86	0.0	22.2	59.3	59.0	100.4	59.4	10.5	62.0	25.2	0.0	0.0	0.0	**398.0**
1986-87	26.5	178.5	51.5	96.9	89.6	95.1	76.8	59.8	29.7	0.0	0.0	0.0	**704.4**
1987-88	0.0	0.0	156.3	96.7	155.0	128.2	145.2	5.0	5.0	0.0	0.0	0.0	**691.4**
1988-89	0.0	44.1	211.7	130.8	38.8	2.1	59.8	0.0	4.0	0.0	0.0	0.0	**491.3**
1989-90	0.0	50.2	149.4	5.6	50.6	69.3	12.1	28.2	0.0	0.0	0.0	0.0	**365.4**
1990-91	0.0	0.0	50.2	209.1	75.3	100.1	23.1	2.0	18.2	0.0	0.0	0.0	**478.0**
1991-92	0.0	50.2	149.4	5.6	50.5	69.3	12.1	28.2	0.0	0.0	0.0	0.0	**365.3**
1992-93	0.0	0.0	50.2	209.1	75.3	100.1	23.1	2.0	18.2	0.0	0.0	0.0	**478.0**
1993-94	0.0	0.0	137.0	47.5	183.9	145.1	12.2	19.5	7.2	0.0	0.0	0.0	**552.4**
1994-95	0.0	69.2	58.0	130.8	136.1	53.7	51.1	11.0	0.0	0.0	0.0	0.0	**509.9**
1995-96	31.3	2.5	70.2	79.3	256.6	112.7	165.9	6.2	8.0	0.0	0.0	0.0	**732.7**
1996-97	40.0	25.3	23.0	183.5	99.7	37.5	122.1	11.3	26.0	0.0	0.0	0.0	**568.4**
1997-98	2.0	77.1	94.8	141.0	100.2	15.0	110.8	21.0	10.0	0.0	0.0	0.0	**571.9**
1998-99	6.0	57.0	162.0	162.5	162.5	73.3	54.7	26.0	9.9	0.0	0.0	0.0	**713.9**
1999-00	15.5	41.0	56.3	79.0	42.0	90.6	35.5	47.0	3.0	0.0	0.0	0.0	**409.9**
2000-01	0.0	21.0	243.0	211.5	98.5	96.8	0.0	63.3	2.6	0.0	0.0	0.0	**736.7**
2001-02	0.0	0.0	164.2	262.4	147.8	58.5	29.8	6.8	0.0	0.0	8.3	4.0	**681.8**
2002-03	43.2	110.8	217.9	260.7	144.8	191.0	166.4	53.5	21.5	0.0	0.0	0.0	**1209.8**
2003-04	0.0	2.7	114.9	207.5	297.5	92.2	8.4	18.0	0.0	3.0	0.0	0.0	**744.2**
2004-05	2.0	26.5	113.0	0.0	105.8	90.3	28.5	2.3	7.0	0.0	0.0	0.0	**375.4**
2005-06	20.0	31.2	114.6	109.3	54.1	105.1	75.7	29.3	0.0	0.0	0.0	0.0	**539.3**
2006-07	47.5	121.0	112.5	19.0	14.2	105.7	47.8	11.0	48.0	2.5	0.0	0.0	**529.2**
2007-08	0.0	96.6	56.9	179.3	75.2	82.5	22.0	53.0	6.0	0.0	0.0	0.0	**571.5**
2008-09	0.0	19.3	112.5	116.4	202.5	121.5	44.0	71.0	16.0	0.0	0.0	0.0	**703.2**
2009-10	59.0	134.5	106.0	181.0	167.7	55.5	0.0	5.0	13.0	0.0	0.0	0.0	**721.7**
2010-11	12.5	66.5	27.0	180.7									
Μ.Ο.	**11.7**	**42.5**	**105.8**	**132.5**	**123.9**	**92.5**	**54.7**	**26.0**	**9.9**	**0.2**	**0.4**	**0.1**	**597.0**

<u>Πίνακας Α.2</u>: Μηνιαίες βροχοπτώσεις (σε mm) στον σταθμό «Βυζάρι» (Χ = 563266, Υ = 3895810, Ζ = 310, κατά ΕΓΣΑ'87) (Περιφέρεια Κρήτης – Τμήμα Υδροικονομίας, 2012).

Υδρολογικό έτος	Σ	Ο	Ν	Δ	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σύνολο
1969-70	0.0	11.4	33.8	320.3	62.8	94.1	116.6	62.1	13.9	0.0	0.0	0.0	**715.0**
1970-71	34.5	173.2	93.0	141.3	150.1	193.3	80.5	27.6	0.0	2.8	1.1	0.0	**897.4**
1971-72	0.0	18.6	90.4	88.2	135.4	123.1	73.6	102.3	46.2	0.0	3.3	0.0	**681.1**
1972-73	3.5	205.3	49.0	95.9	133.3	157.0	8.5	62.6	0.0	0.0	0.0	0.0	**715.1**
1973-74	16.5	48.5	89.2	45.1	168.4	92.4	1.1	60.2	4.6	0.9	0.0	0.0	**526.9**
1974-75	46.7	25.4	144.2	90.7	284.0	123.6	29.1	33.3	28.6	1.9	0.0	1.3	**808.8**
1975-76	2.0	14.1	199.8	215.7	125.5	203.2	117.1	20.2	3.6	0.8	0.0	0.0	**902.0**
1976-77	0.0	124.3	181.7	177.8	63.4	57.4	144.8	26.1	0.0	0.0	0.0	0.0	**775.5**
1977-78	141.6	26.5	158.8	232.4	488.5	201.1	171.1	15.7	0.0	0.0	0.0	0.0	**1435.7**
1978-79	33.2	118.1	29.7	180.9	106.9	146.5	66.9	19.6	7.5	63.9	0.0	0.0	**773.2**
1979-80	0.0	31.7	278.7	252.2	122.5	164.2	67.4	34.7	4.0	0.0	0.0	0.0	**955.4**
1980-81	10.1	71.9	29.8	285.2	531.5	126.3	13.5	29.0	10.2	0.0	0.0	0.0	**1107.5**
1981-82	0.0	0.0	240.7	170.5	89.5	222.5	184.6	41.6	82.6	12.0	0.0	1.0	**1045.0**
1982-83	0.0	15.5	100.9	143.4	119.6	226.2	117.4	5.8	4.8	11.6	0.0	1.0	**746.2**
1983-84	8.0	14.9	144.1	198.6	134.4	151.3	38.0	77.0	0.5	0.0	18.2	0.0	**785.0**
1984-85	0.0	0.0	310.0	103.9	245.9	91.5	78.4	69.5	7.4	0.0	0.0	0.0	**906.6**
1985-86	0.0	81.0	51.5	62.3	124.1	89.4	21.8	1.0	50.2	0.0	0.0	1.2	**482.5**
1986-87	46.9	141.5	37.0	106.3	67.8	101.0	154.1	156.3	11.6	0.0	0.0	0.0	**822.5**
1987-88	0.0	16.3	153.6	131.1	185.1	231.2	125.2	2.9	30.0	0.0	0.0	0.0	**875.4**
1988-89	4.8	174.5	151.8	121.4	58.4	3.9	79.2	0.0	14.9	0.0	0.0	0.0	**608.9**
1989-90	0.0	104.3	194.4	11.6	42.8	122.4	3.3	27.8	0.0	1.4	0.0	11.2	**519.2**
1990-91	4.4	12.6	72.9	214.6	140.3	86.3	21.3	47.1	24.9	0.4	0.0	0.0	**624.8**
1991-92	4.4	12.6	72.9	214.7	140.3	86.3	21.8	47.1	24.9	0.4	0.0	0.0	**625.4**
1992-93	1.0	111.6	63.6	336.6	21.3	90.1	61.4	55.8	2.6	0.0	0.0	0.0	**744.0**
1993-94	0.0	0.0	50.2	119.9	58.5	154.9	47.8	16.7	49.6	7.2	0.0	0.0	**504.8**
1994-95	0.0	72.9	236.8	166.0	129.3	37.9	75.2	12.6	0.0	0.0	3.8	0.0	**734.5**
1995-96	22.2	3.8	84.2	123.5	298.0	107.3	170.3	21.3	13.9	0.0	0.0	0.0	**844.5**
1996-97	35.9	65.1	36.9	193.4	91.0	60.1	152.7	8.6	18.5	0.0	0.0	0.0	**662.2**
1997-98	1.1	148.6	109.1	142.4	96.6	18.1	129.0	3.6	4.2	0.0	0.0	0.0	**652.7**
1998-99	0.5	31.4	148.8	276.9	169.2	68.9	96.4	23.7	0.0	0.0	0.0	0.0	**815.8**
1999-00	1.8	5.4	26.5	60.5	118.2	58.5	40.1	13.7	2.8	0.0	0.0	0.0	**327.5**
2000-01	0.7	27.6	279.1	132.5	71.3	121.3	6.3	72.9	53.8	0.0	0.0	0.0	**765.5**
2001-02	0.0	6.8	100.1	417.7	149.3	50.7	46.9	38.9	0.0	0.0	13.5	0.4	**824.3**
2002-03	27.6	29.9	187.2	170.2	175.3	163.5	209.4	43.7	44.0	0.0	0.0	0.1	**1050.9**
2003-04	0.0	2.8	106.5	285.0	273.6	117.9	7.5	23.0	2.2	0.0	0.0	0.0	**818.5**
2004-05	0.0	29.5	140.7	238.2	114.0	129.3	27.2	10.2	23.4	0.0	0.0	0.0	**712.5**
2005-06	14.9	35.7	165.5	117.5	84.0	107.1	80.7	45.7	0.0	3.4	0.0	0.0	**654.5**
2006-07	17.6	153.4	134.6	8.2	43.3	150.0	33.9	9.5	31.9	0.0	0.0	0.0	**582.4**
2007-08	1.1	144.5	59.3	188.2	50.9	107.1	31.8	45.3	9.2	0.0	0.0	0.0	**637.4**
2008-09	12.3	59.3	124.0	168.7	144.9	240.3	64.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	**823.6**
Μ.Ο.	**12.3**	**59.3**	**124.0**	**168.7**	**145.2**	**121.9**	**75.4**	**35.4**	**15.7**	**2.7**	**1.0**	**0.4**	**760.7**

<u>Πίνακας Α.3</u>: Μηνιαίες βροχοπτώσεις (σε mm) στον σταθμό «Γερακάρι» (Χ = 566336, Υ = 3897010, Ζ = 660, κατά ΕΓΣΑ'87) (Περιφέρεια Κρήτης – Τμήμα Υδροικονομίας, 2012).

Υδρολογικό έτος	Σ	Ο	Ν	Δ	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σύνολο
1967-68	7.0	186.0	142.0	258.0	344.0	174.8	191.0	96.3	68.0	0.0	0.0	39.6	**1506.7**
1968-69	0.0	197.4	529.8	247.1	468.2	20.0	155.1	70.9	78.4	0.0	0.0	0.0	**1766.9**
1969-70	0.0	0.0	84.2	436.0	101.5	141.4	225.7	76.0	30.1	0.0	0.0	0.0	**1094.9**
1970-71	44.5	144.2	208.5	161.9	272.0	415.0	92.0	69.0	0.0	4.5	0.0	16.5	**1428.1**
1971-72	15.0	24.0	134.5	72.0	221.5	172.5	152.0	174.0	87.0	0.0	0.0	0.0	**1052.5**
1972-73	12.0	290.0	59.0	198.5	243.0	289.5	59.0	119.5	12.5	0.0	0.0	0.0	**1283.0**
1973-74	23.5	90.5	116.5	112.5	286.5	183.0	106.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	**918.5**
1974-75	47.0	40.0	147.5	271.0	447.0	186.0	78.5	63.0	40.0	0.0	0.0	0.0	**1320.0**
1975-76	13.0	21.5	238.5	315.5	237.0	281.5	200.5	48.0	10.0	2.0	7.0	0.0	**1374.5**
1976-77	0.0	224.0	204.0	158.5	112.5	112.0	151.5	68.5	0.0	0.0	11.5	0.0	**1042.5**
1977-78	171.0	47.0	128.0	432.5	761.5	205.0	256.0	34.0	0.0	0.0	0.0	0.0	**2035.0**
1978-79	79.5	200.5	96.5	257.0	139.0	199.0	151.5	28.0	31.0	52.5	0.0	0.0	**1234.5**
1979-80	0.0	84.0	329.0	413.5	169.0	322.5	124.5	75.5	12.0	0.0	0.0	0.0	**1530.0**
1980-81	6.5	133.5	48.5	350.5	909.5	211.5	13.0	41.0	10.0	0.0	0.0	0.0	**1724.0**
1981-82	0.0	0.0	277.0	320.5	145.0	459.5	249.0	74.5	69.0	16.5	0.0	0.0	**1611.0**
1982-83	0.0	20.5	142.5	275.5	175.5	290.0	209.0	10.0	7.5	35.0	0.0	8.0	**1173.5**
1983-84	14.5	36.0	231.0	264.5	201.0	288.0	106.0	120.0	0.0	0.0	54.0	0.0	**1315.0**
1984-85	0.0	10.0	356.5	221.0	461.0	126.5	141.5	152.0	3.5	0.0	0.0	0.0	**1472.0**
1985-86	0.0	110.5	77.5	138.0	180.0	120.0	147.9	73.3	92.5	0.0	0.0	0.0	**939.7**
1986-87	111.5	115.0	77.0	223.5	182.0	218.5	336.0	265.5	42.0	0.0	2.0	0.0	**1573.0**
1987-88	0.0	23.0	248.0	211.5	244.5	460.0	187.0	10.0	68.0	0.0	0.0	0.0	**1452.0**
1988-89	2.0	231.0	211.0	263.5	138.5	25.0	181.5	0.0	15.5	0.0	0.0	0.0	**1068.0**
1989-90	0.0	122.0	28.0	28.0	61.0	284.0	0.0	35.0	0.0	13.0	0.0	31.0	**602.0**
1990-91	13.5	34.5	84.5	305.0	320.0	206.5	40.0	66.0	22.5	0.0	0.0	0.0	**1092.5**
1991-92	0.0	132.0	99.0	655.5	69.0	399.5	86.5	100.0	10.5	4.0	0.0	0.0	**1556.0**
1992-93	0.0	0.0	182.5	195.0	139.5	313.5	95.5	25.0	72.5	17.0	0.0	0.0	**1040.5**
1993-94	0.0	27.0	271.0	101.0	319.0	313.0	91.0	28.5	48.0	0.0	0.0	0.0	**1198.5**
1994-95	0.0	141.0	328.0	243.5	311.5	82.0	129.0	33.0	6.5	0.0	0.0	0.0	**1274.5**
1995-96	28.5	10.0	158.0	246.0	399.0	334.5	276.5	40.0	27.5	0.0	0.0	0.0	**1520.0**
1996-97	46.0	123.5	49.5	483.5	151.5	133.0	291.0	34.5	0.0	0.0	0.0	0.0	**1312.5**
1997-98	6.0	211.5	241.0	272.5	250.5	43.0	371.0	29.0	26.5	0.0	0.0	0.0	**1451.0**
1998-99	0.0	73.0	196.5	562.5	270.0	142.5	224.0	25.0	0.0	0.0	0.0	0.0	**1493.5**
1999-00	0.0	21.0	54.0	128.0	246.0	108.5	73.0	15.0	16.0	0.0	0.0	0.0	**661.5**
2000-01	0.0	63.5	341.5	286.5	136.5	294.0	0.0	73.5	81.0	0.0	0.0	0.0	**1276.5**
2001-02	0.0	0.0	234.0	742.0	288.5	83.0	101.0	70.0	2.0	0.0	7.5	14.5	**1542.5**
2002-03	41.0	182.5	327.0	433.0	283.5	517.0	408.0	101.5	36.5	0.0	0.0	0.0	**2330.0**
2003-04	3.0	4.0	222.5	310.5	456.0	217.0	28.5	54.0	17.0	0.0	0.0	0.0	**1312.5**
2004-05	0.0	0.0	170.0	248.0	213.0	246.5	29.5	43.0	20.0	0.0	0.0	0.0	**970.0**
2005-06	26.0	60.0	221.5	194.0	261.0	194.5	151.5	49.0	0.0	6.0	7.0	0.0	**1170.5**
2006-07	70.0	330.5	290.5	16.5	118.5	197.5	54.5	17.5	89.5	3.5	0.0	0.0	**1188.5**
2007-08	6.5	161.0	97.5	310.0	91.0	274.5	29.0	70.0	19.5	0.0	0.0	0.0	**1059.0**
2008-09	61.5	31.0	130.5	192.5	273.0	287.5	100.5	61.5	63.0	0.0	0.0	0.0	**1201.0**
2009-10	62.0	218.0	174.5	332.0	289.5	126.0	25.0	14.5	29.5	0.0	0.0	0.0	**1271.0**
2010-11	13.5	179.0	71.0	224.0	253.0	372.0	86.0	119.0	29.0	0.0	0.0	0.0	**1346.5**
2011-12	9.0	171.0	142.0	189.5	332.5	329.0	113.0	81.5	12.0	0.0	0.0	0.0	**1379.5**
Μ.Ο.	**20.7**	**100.5**	**182.3**	**273.4**	**266.1**	**231.1**	**140.4**	**63.4**	**29.0**	**3.4**	**2.0**	**2.4**	**1314.8**

<u>Πίνακας Α.4</u>: Μηνιαίες βροχοπτώσεις (σε mm) στον σταθμό «Λευκόγεια» (Χ = 540774, Υ = 3893055, Ζ = 90, κατά ΕΓΣΑ'87) (Περιφέρεια Κρήτης – Τμήμα Υδροικονομίας, 2012).

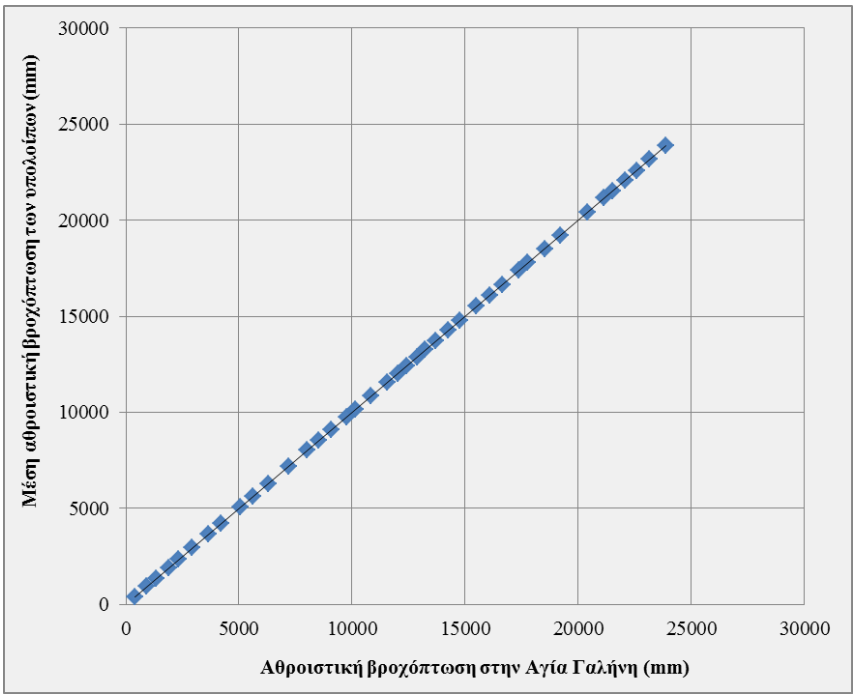
Υδρολογικό έτος	Σ	Ο	Ν	Δ	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σύνολο
1966-67	56.0	35.3	85.2	173.3	150.2	149.4	134.3	63.5	22.0	2.5	0.0	0.0	**871.7**
1967-68	0.0	113.6	118.0	175.2	203.4	36.1	138.8	20.0	13.1	4.0	0.0	0.0	**822.2**
1968-69	0.0	89.4	284.1	127.9	276.5	8.9	88.9	8.3	3.3	0.0	0.0	0.0	**887.3**
1969-70	0.0	7.5	52.1	200.5	55.0	52.6	48.3	15.8	10.9	0.0	0.0	0.0	**442.7**
1970-71	3.3	11.2	43.8	91.7	165.9	83.7	108.2	54.9	43.1	0.5	0.0	0.0	**606.3**
1971-72	5.6	185.9	107.9	93.2	122.4	75.2	16.3	66.3	0.0	0.0	0.0	0.0	**672.8**
1972-73	1.6	48.1	54.0	85.7	151.7	88.0	32.3	4.7	0.0	0.0	0.0	0.0	**466.1**
1973-74	24.3	14.0	97.6	108.3	234.0	131.5	30.0	38.2	26.5	2.5	0.0	0.0	**706.9**
1974-75	4.5	17.0	274.0	196.2	132.5	133.8	62.8	16.5	8.5	0.5	0.0	0.0	**846.3**
1975-76	4.5	17.0	274.0	196.2	132.5	133.8	62.8	16.5	8.5	0.5	0.0	0.0	**846.3**
1976-77	0.0	146.0	122.8	66.5	62.8	45.5	144.5	43.5	0.0	0.0	0.0	0.0	**631.6**
1977-78	60.3	17.5	79.5	285.5	443.5	85.3	189.6	23.4	1.0	0.0	0.0	0.0	**1185.6**
1978-79	25.0	83.6	23.8	200.3	68.3	106.4	93.2	8.8	11.8	32.5	0.0	0.0	**653.7**
1979-80	0.0	23.0	166.5	152.5	104.1	126.2	62.9	45.6	10.3	0.0	0.0	0.0	**691.1**
1980-81	1.3	104.4	63.7	212.6	455.9	106.2	10.2	14.1	7.6	0.0	0.0	0.0	**976.0**
1981-82	0.0	3.8	261.9	213.4	97.0	229.7	116.3	26.4	23.2	1.7	0.0	0.0	**973.4**
1982-83	0.0	4.7	75.0	139.9	117.0	139.6	97.6	3.8	4.9	7.0	0.0	3.3	**592.8**
1983-84	3.1	7.5	82.8	173.5	108.9	137.7	31.9	54.2	1.3	0.0	6.0	0.0	**606.9**
1984-85	0.0	1.5	326.8	183.5	254.6	97.7	90.1	84.0	10.9	0.0	0.0	0.0	**1049.1**
1985-86	0.0	68.5	65.5	149.2	92.0	84.2	82.1	32.0	10.9	4.1	0.0	0.0	**588.5**
1986-87	51.0	93.6	48.1	123.8	113.9	104.9	137.7	200.3	13.1	0.0	0.0	0.0	**886.4**
1987-88	0.0	14.0	93.0	165.1	136.6	225.5	107.6	5.0	8.4	0.0	0.0	0.0	**755.2**
1988-89	0.0	188.1	161.2	132.0	83.6	10.0	86.5	0.0	11.0	0.0	0.0	0.0	**672.4**
1989-90	0.0	48.0	153.0	15.0	45.0	142.4	6.0	47.0	0.0	0.0	0.0	1.3	**457.7**
1990-91	0.0	8.6	43.4	195.5	202.7	160.7	36.7	17.5	10.5	1.0	0.0	0.0	**676.6**
1991-92	0.0	94.0	45.0	398.5	62.0	157.0	66.5	49.5	4.5	0.0	0.0	0.0	**877.0**
1992-93	0.0	0.0	179.0	175.5	67.5	173.0	42.5	16.0	97.5	5.0	0.0	0.0	**756.0**
1993-94	0.0	4.5	146.0	44.7	318.5	242.9	22.2	25.2	10.0	0.0	0.0	0.0	**814.0**
1994-95	0.0	86.6	213.3	152.2	169.1	77.3	126.1	28.4	2.4	0.0	0.0	0.0	**855.4**
1995-96	28.1	14.5	159.7	111.1	282.4	216.7	203.4	9.6	6.5	0.0	0.0	0.0	**1032.0**
1996-97	36.4	94.8	83.4	429.2	91.3	75.4	122.2	27.7	19.5	0.0	0.0	0.0	**979.9**
1997-98	3.5	151.9	173.7	88.6	151.2	32.9	318.2	12.4	41.8	0.0	0.0	0.0	**974.2**
1998-99	23.3	42.8	106.2	574.3	166.0	83.9	59.5	59.5	0.0	0.0	0.0	0.0	**1180.6**
1999-00	6.8	22.6	73.3	84.9	185.7	77.2	80.3	10.8	4.8	0.0	0.0	0.0	**546.4**
2000-01	4.9	35.8	244.5	166.6	104.6	183.9	5.8	47.7	34.5	0.0	0.0	0.0	**828.3**
2001-02	0.0	4.2	355.0	450.7	279.2	64.5	50.7	15.6	0.0	0.0	4.5	0.0	**1224.4**
2002-03	40.1	212.7	202.6	315.6	187.3	233.2	207.9	39.7	84.9	0.0	0.0	0.0	**1524.0**
2003-04	0.0	0.0	307.7	254.6	376.7	178.4	11.0	40.1	6.5	0.0	0.0	0.0	**1175.0**
2004-05	11.4	11.5	136.1	113.7	149.9	142.2	23.5	22.8	11.9	0.0	0.0	0.0	**623.0**
2005-06	3.9	26.0	69.3	146.6	196.9	107.2	87.3	18.7	0.0	0.0	0.0	0.0	**655.9**
2006-07	33.9	155.6	143.3	8.1	47.3	164.8	49.0	13.8	69.3	0.0	0.0	0.0	**685.1**
2007-08	0.0	80.5	53.1	196.6	120.4	240.9	42.0	73.5	6.7	0.0	0.0	0.0	**813.7**
2008-09	17.7	130.7	84.1	223.4	170.3	173.4	49.7	94.4	14.1	0.0	0.0	0.0	**957.8**
2009-10			0.0	260.3	207.3	45.1	7.0	4.5	21.2	0.0	0.0	0.0	
2010-11	7.0	95.0	89.0	214.0	161.0	248.0							
2011-12		200.5	130.5	180.5	226.5	280.5							
Μ.Ο.	**10.4**	**62.6**	**133.8**	**183.6**	**168.1**	**129.1**	**82.1**	**34.6**	**15.8**	**1.4**	**0.2**	**0.1**	**806.9**

<u>Πίνακας Α.5</u>: Μηνιαίες βροχοπτώσεις (σε mm) στον σταθμό «Μέλαμπες» (Χ = 558436, Υ = 3887380, Ζ = 560, κατά ΕΓΣΑ'87) (Περιφέρεια Κρήτης – Τμήμα Υδροικονομίας, 2012).

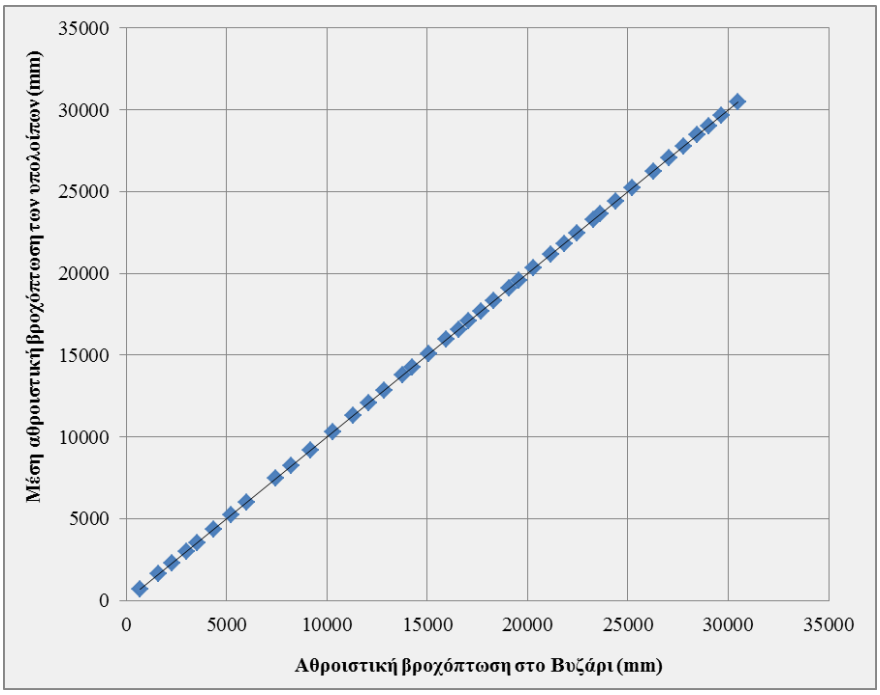
Υδρολογικό έτος	Σ	Ο	Ν	Δ	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σύνολο
1964-65	24.0	14.0	117.0	208.0	159.0	195.0	105.0	176.0	18.0	0.0	0.0	0.0	**1016.0**
1965-66	0.0	11.0	43.0	174.2	159.0	17.0	119.2	21.0	5.5	15.0	0.0	0.0	**564.9**
1966-67	15.0	26.6	110.4	321.1	122.5	112.0	108.0	44.4	42.0	0.0	0.0	0.0	**902.0**
1967-68	0.0	98.0	94.2	220.0	329.0	60.5	80.5	10.0	6.5	3.7	0.0	103.0	**1005.4**
1968-69	0.0	178.0	309.0	152.0	186.0	21.0	101.0	50.0	9.0	0.0	0.0	0.0	**1006.0**
1969-70	0.0	9.0	49.0	288.0	55.0	86.0	73.0	24.0	15.0	0.0	0.0	0.0	**599.0**
1970-71	18.0	148.0	34.0	140.0	210.0	248.0	87.0	21.0	0.0	3.0	0.0	0.0	**909.0**
1971-72	0.0	15.8	93.0	91.8	14.0	97.0	70.5	87.0	16.2	0.0	0.0	0.0	**485.3**
1972-73	7.0	141.2	51.6	91.6	113.4	189.2	16.9	57.6	0.0	0.0	0.0	0.0	**668.5**
1973-74	20.0	92.0	88.0	97.2	161.6	81.8	60.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	**601.1**
1974-75	38.2	26.9	142.1	138.5	226.3	70.5	39.9	34.0	43.2	5.0	0.0	0.0	**764.6**
1975-76	0.0	7.5	225.4	166.6	135.6	180.4	85.0	41.2	0.0	0.0	0.0	0.0	**841.7**
1976-77	0.0	94.4	198.0	182.4	64.0	53.5	46.8	34.5	0.0	0.0	0.0	0.0	**673.6**
1977-78	93.0	14.5	84.9	269.5	369.6	287.0	124.3	23.6	0.0	0.0	0.0	0.0	**1266.4**
1978-79	37.4	103.2	0.0	215.0	113.0	171.0	80.5	16.2	36.5	10.5	0.0	0.0	**783.3**
1979-80	0.0	0.0	258.0	196.0	101.2	131.6	57.5	52.4	14.0	0.0	0.0	0.0	**810.7**
1980-81	0.0	116.0	47.6	340.0	407.7	182.5	10.0	29.0	8.5	0.0	0.0	0.0	**1141.3**
1981-82	0.0	0.0	224.0	256.5	124.0	196.7	172.0	46.8	24.0	0.0	0.0	0.0	**1044.0**
1982-83	0.0	0.0	161.0	194.0	71.0	204.4	93.0	0.0	8.0	0.0	0.0	5.0	**736.4**
1983-84	0.0	0.0	175.2	194.9	157.6	184.0	28.0	77.5	0.0	0.0	0.0	0.0	**817.2**
1984-85	0.0	9.5	175.2	157.6	273.4	111.8	90.8	48.0	0.0	0.0	0.0	0.0	**866.3**
1985-86	0.0	49.0	94.4	68.2	161.6	114.4	24.0	0.0	50.0	8.0	0.0	0.0	**569.6**
1986-87	21.0	164.7	62.0	119.3	149.5	136.8	125.1	96.5	2.1	0.0	0.0	0.0	**877.0**
1987-88	0.0	17.0	245.8	143.9	190.0	205.8	161.0	6.5	6.8	0.0	0.0	0.0	**976.8**
1988-89	0.0	61.0	247.5	126.1	63.3	7.2	97.2	0.0	9.8	0.0	0.0	0.0	**612.1**
1989-90	0.0	84.0	218.6	11.0	67.8	99.4	0.0	60.0	0.0	0.0	0.0	0.0	**540.8**
1990-91	0.0	6.0	51.4	213.7	91.6	114.3	33.8	21.2	27.0	0.0	0.0	0.0	**559.0**
1991-92	0.0	87.0	25.0	247.0	13.0	81.5	67.2	65.5	0.0	0.0	0.0	0.0	**586.2**
1992-93	0.0	0.0	91.6	94.4	90.5	142.0	50.4	19.5	52.3	0.0	0.0	0.0	**540.7**
1993-94	0.0	0.0	226.8	59.1	205.5	155.5	24.0	20.9	22.9	0.0	0.0	0.0	**714.7**
1994-95	0.0	67.8	72.7	166.8	156.5	58.5	55.6	9.6	0.0	0.0	0.0	0.0	**587.5**
1995-96	10.6	8.8	73.6	112.7	321.8	172.0	142.5	2.6	11.0	0.0	0.0	0.0	**855.6**
1996-97	44.5	60.3	48.6	268.9	68.5	46.5	108.0	37.6	2.6	1.0	0.0	0.0	**686.5**
1997-98	2.6	99.9	124.1	138.4	146.2	18.0	137.0	34.4	17.4	0.0	0.0	0.0	**718.0**
1998-99	4.7	46.5	147.8	167.9	172.6	128.0	90.0	47.2	0.0	0.0	0.0	0.0	**804.7**
1999-00	9.1	33.0	90.5	111.1	134.5	79.0	42.7	84.6	3.2	0.0	0.0	0.0	**587.7**
2000-01	0.0	29.2	269.8	234.8	83.3	101.6	6.3	60.8	2.8	0.0	0.0	0.0	**788.6**
2001-02	0.0	0.0	0.0	326.8	140.1	61.6	42.9	12.3	3.0	0.0	9.4	6.6	**602.7**
2002-03	47.8	93.5	228.1	299.2	173.1	173.3	202.9	76.0	24.4	0.0	0.0	0.0	**1318.3**
2003-04	0.0	3.0	164.0	201.4	336.5	88.3	6.5	22.5	0.0	0.0	0.0	0.0	**822.2**
2004-05	0.0	32.0	153.3	168.4	118.2	128.8	33.3	9.2	16.0	0.0	5.0	0.0	**664.2**
2005-06	21.5	51.0	135.9	139.2	74.4	115.2	107.5	38.5	0.0	0.0	0.0	0.0	**683.2**
2006-07	25.5	115.4	144.7	10.2	21.2	122.1	60.5	13.2	47.4	0.0	0.0	0.0	**560.2**
2007-08	0.0	134.9	76.7	255.7	71.0	130.2	31.4	73.3	6.5	0.0	0.0	0.0	**779.7**
2008-09	41.1	4.2	152.7	170.1	346.2	121.8	75.0	38.8	12.5	0.0	0.0	0.0	**962.4**
Μ.Ο.	**10.5**	**58.3**	**127.7**	**175.1**	**154.4**	**121.8**	**75.1**	**38.1**	**12.5**	**1.7**	**0.3**	**2.5**	**771.3**

<u>Πίνακας Α.6</u>: Μηνιαίες βροχοπτώσεις (σε mm) στον σταθμό «Σπήλι» (Χ = 547996, Υ = 3897760, Ζ = 390, κατά ΕΓΣΑ'87) (Περιφέρεια Κρήτης – Τμήμα Υδροικονομίας, 2012).

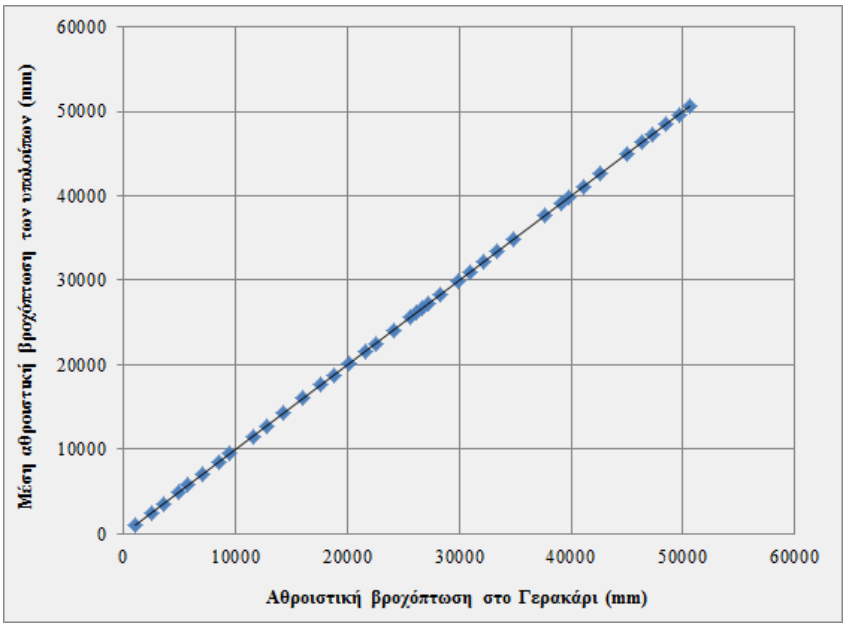
Υδρολογικό έτος	Σ	Ο	Ν	Δ	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σύνολο
1964-65					208.6	252.1	175.9	103.5	28.2	10.8	0.0	0.0	
1965-66	0.0	79.2	58.5	174.2	244.9	85.5	220.5	28.6	10.0	14.0	0.0	0.1	**915.5**
1966-67	60.0	7.0	113.0	184.0	88.0	81.8	236.0	64.7	43.0	17.0	7.5	0.0	**902.0**
1967-68	6.5	164.0	167.0	167.0	372.7	182.3	83.5	55.0	10.0	11.5	0.0	53.0	**1272.5**
1968-69	8.3	151.1	546.5	180.5	337.0	18.0	134.5	64.7	42.0	0.0	1.5	0.0	**1484.1**
1969-70	0.0	68.0	16.0	384.0	103.0	115.2	84.0	84.0	19.0	0.0	0.0	0.0	**873.2**
1970-71	37.0	194.0	176.5	133.0	268.5	338.0	121.5	44.0	1.0	2.0	0.0	2.0	**1317.5**
1971-72	13.0	30.0	118.0	126.0	231.0	122.0	203.0	122.0	69.0	2.0	13.0	10.0	**1059.0**
1972-73	6.0	319.0	101.0	147.0	206.0	182.0	32.0	101.0	0.0	0.0	0.0	0.0	**1094.0**
1973-74	17.0	82.0	79.0	101.0	223.0	175.0	85.0	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	**766.0**
1974-75	9.0	52.0	31.0	129.0	409.0	208.0	49.0	59.0	23.0	0.0	0.0	0.0	**969.0**
1975-76	0.0	50.0	301.0	309.0	169.0	258.0	6.0	28.0	9.0	0.0	0.0	0.0	**1130.0**
1976-77	0.0	232.0	210.5	153.0	93.0	76.0	168.4	57.0	0.0	0.0	0.0	0.0	**989.9**
1977-78	178.3	33.0	123.0	392.0	691.5	207.0	215.0	6.0	0.0	0.0	0.0	0.0	**1845.8**
1978-79	71.0	155.0	88.0	264.0	70.0	203.0	140.0	28.0	0.0	68.0	0.0	0.0	**1087.0**
1979-80	0.0	93.0	293.0	278.0	151.0	246.0	98.0	57.5	11.0	0.0	0.0	0.0	**1227.5**
1980-81	7.0	119.0	59.0	270.0	788.0	179.3	18.5	0.0	13.0	0.0	0.0	0.0	**1453.8**
1981-82	0.0	4.0	283.0	271.0	128.0	358.0	191.0	55.0	76.0	7.0	0.0	0.0	**1373.0**
1982-83	0.0	5.5	114.0	210.0	168.0	182.6	168.0	0.0	0.0	18.0	13.0	9.0	**888.1**
1983-84	0.0	35.0	188.0	251.0	130.0	213.5	101.0	114.0	0.0	0.0	31.0	0.0	**1063.5**
1984-85	0.0	14.0	274.0	281.0	254.0	184.2	110.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	**1117.2**
1985-86	76.5	60.4	200.7	254.0	211.6	183.7	188.5	163.9	18.4	0.0	0.0	0.0	**1357.3**
1986-87	153.0	106.7	127.3	226.9	169.1	183.2	266.9	327.7	36.7	0.0	2.0	0.0	**1599.5**
1987-88	0.0	24.2	168.4	184.8	235.2	380.7	168.2	7.8	55.0	0.0	0.0	0.0	**1224.3**
1988-89	14.0	237.0	245.6	207.3	143.5	26.0	195.1	0.0	14.0	0.0	0.0	0.0	**1082.5**
1989-90	0.0	124.0	251.3	29.6	82.5	230.1	4.2	53.7	0.0	11.5	0.0	19.7	**806.6**
1990-91	13.5	41.6	61.5	307.9	298.3	195.5	43.5	69.2	22.4	0.3	0.0	0.0	**1053.7**
1991-92	2.0	127.5	99.2	582.0	82.6	163.5	55.0	81.5	21.0	3.7	0.0	0.0	**1218.0**
1992-93	0.0	1.0	203.8	209.0	144.0	237.5	76.7	18.3	110.6	15.5	0.0	0.0	**1016.4**
1993-94	0.0	19.0	338.9	58.6	333.9	267.7	54.1	28.9	18.5	0.0	0.0	0.0	**1119.6**
1994-95	0.0	80.5	350.5	188.2	249.7	83.2	129.7	23.0	3.5	0.0	5.6	0.0	**1113.9**
1995-96	19.7	36.4	105.8	157.3	331.9	234.9	319.6	22.3	24.8	0.0	0.0	0.0	**1252.7**
1996-97	55.7	111.4	54.8	374.2	143.2	166.3	285.1	42.0	27.2	0.2	0.0	0.0	**1260.1**
1997-98	5.0	186.4	240.4	171.8	191.4	43.0	322.2	44.4	56.5	0.0	0.0	0.0	**1261.1**
1998-99	3.5	56.8	165.5	689.5	205.0	71.3	206.1	27.2	34.5	0.0	0.0	0.0	**1460.2**
1999-00	21.0	16.0	30.7	135.0	218.5	99.5	90.0	9.9	14.3	0.0	0.0	0.0	**634.9**
2000-01	3.0	51.0	245.0	179.0	120.0	281.3	30.5	72.3	100.9	0.0	0.0	13.0	**1096.0**
2001-02	0.0	12.0	210.0	631.5	319.5	68.5	74.0	29.0	0.0	0.0	2.0	14.5	**1361.0**
2002-03	55.0	217.0	200.0	368.5	196.5	349.5	336.0	88.5	0.0	0.0	0.0	0.0	**1811.0**
2003-04	2.2	2.5	255.5	314.0	381.0	183.0	29.5	77.5	8.0	0.0	0.0	0.0	**1253.2**
2004-05	0.0	9.0	156.5	165.0	273.0	58.5	20.0	50.5	43.0	0.0	0.0	0.0	**775.5**
2005-06	40.5	85.0	102.0	143.0	272.0	203.0	115.0	30.0	0.0	1.5	1.5	0.0	**993.5**
2006-07	24.5	297.5	217.0	7.9	106.0	191.0	41.0	17.0	96.5	3.5	0.0	0.0	**1001.9**
2007-08	9.5	115.5	79.0	251.0	102.5	253.5	30.0	57.5	24.0	0.0	0.0	0.0	**922.5**
2008-09	44.5	150.5	84.0	212.5	195.3	148.8	22.8	33.5	21.0	1.0	0.0	0.0	**912.8**
2009-10				270.5	288.0	44.0	15.5	9.5	18.0	1.0	0.0	0.0	**646.5**
2010-11	10.5												
Μ.Ο.	**20.2**	**92.9**	**170.5**	**237.9**	**232.9**	**181.6**	**124.2**	**52.0**	**24.4**	**4.3**	**1.7**	**2.7**	**1127.0**



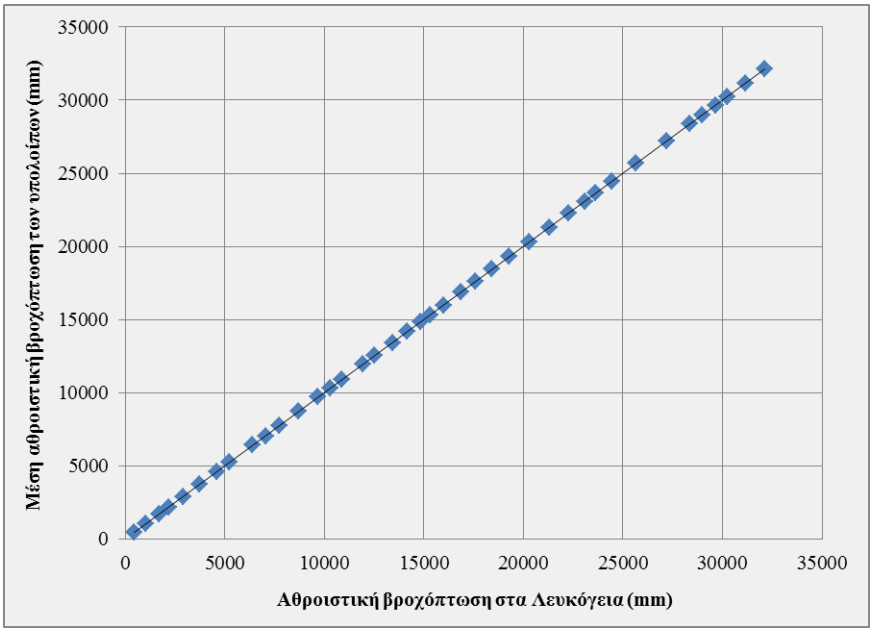
<u>Σχήμα Α.1</u>: Καμπύλη διπλής μάζας στον σταθμό «Αγία Γαλήνη».



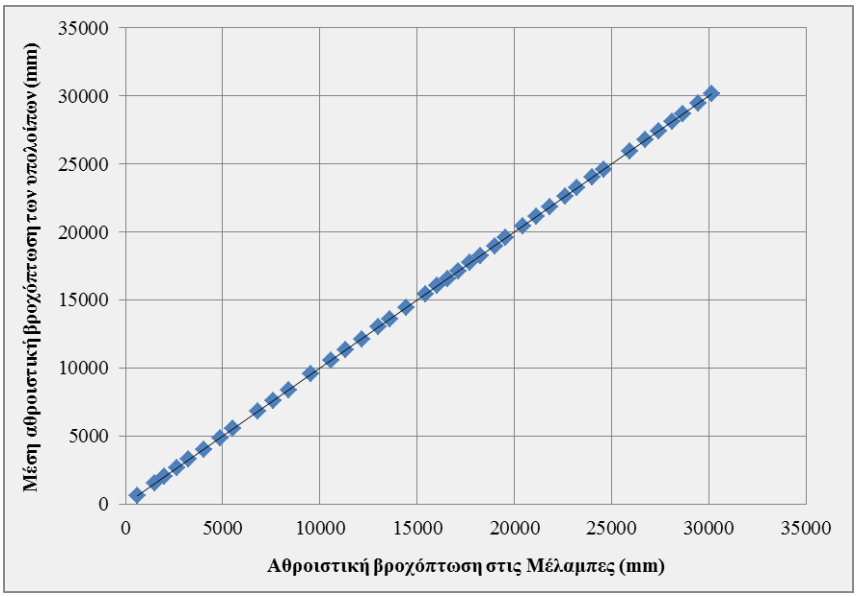
<u>Σχήμα Α.2</u>: Καμπύλη διπλής μάζας στον σταθμό «Βυζάρι».



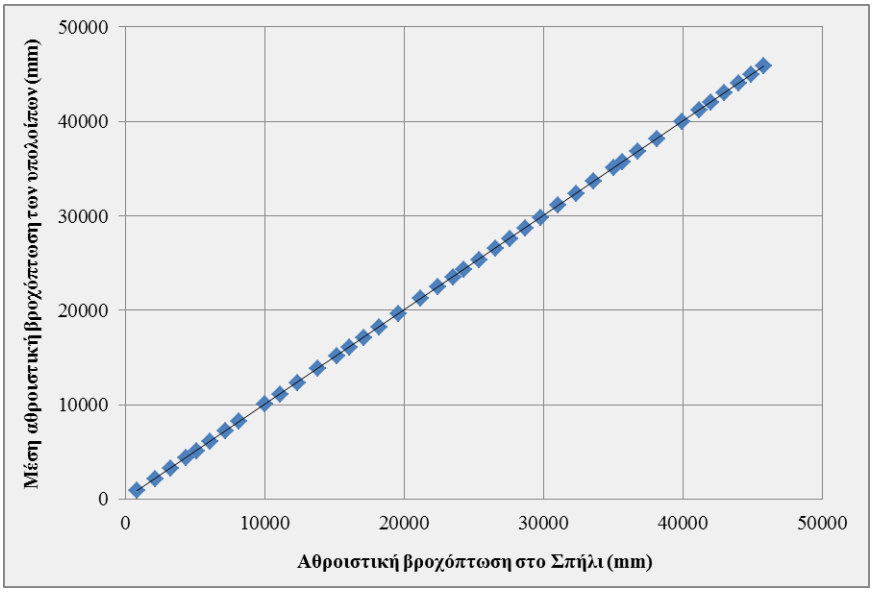
<u>Σχήμα Α.3</u>: Καμπύλη διπλής μάζας στον σταθμό «Γερακάρι».



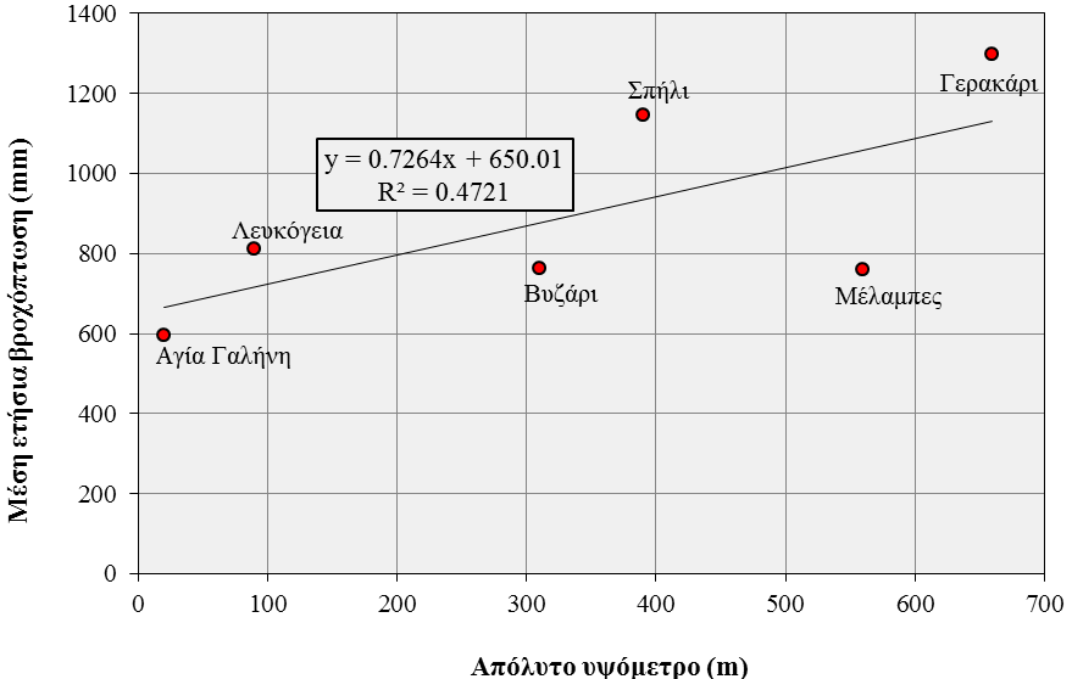
<u>Σχήμα Α.4</u>: Καμπύλη διπλής μάζας στον σταθμό «Λευκόγεια».



<u>Σχήμα Α.5</u>: Καμπύλη διπλής μάζας στον σταθμό «Μέλαμπες».



<u>Σχήμα Α.6</u>: Καμπύλη διπλής μάζας στον σταθμό «Σπήλι».



<u>Σχήμα Α.7</u>: Αρχική σχέση ετήσιας βροχόπτωσης – υψομέτρου για την χρονική περίοδο 1969-2009.

<u>Πίνακας Α.7</u>: Αναλυτικοί υπολογισμοί για την εκτίμηση του μέσου ετήσιου όγκου βροχόπτωσης στην υδρολογική λεκάνη Κουρταλιώτη.

Ισοϋψείς στα όρια των περιοχών (m)	**Επιφάνεια περιοχών (m^2)**	**Μέση βροχόπτωση περιοχών (m)**	**Συνολικός όγκος βροχής (m^3)**
800	2474666	1,44	3563519
700	2507530	1,34	3360091
600	3379225	1,24	4190239
500	3736531	1,14	4259646
500	425940	1,14	485571
400	628216	1,03	647063
800	508879	1,44	732786
700	775940	1,34	1039760
0-100	21138637	0,67	14162886
100-200	17031372	0,78	13284470
200	2593019	0,83	2152206
200-300	16258968	0,88	14307892
300-400	32161078	0,98	31517857
400-500	29216778	1,09	31846288
500-700	7218891	1,24	8951424
500-600	18973290	1,19	22578215
600-700	7607988	1,29	9814305
700-800	6628275	1,39	9213303
800-1000	1058055	1,55	1639985
800-900	3825420	1,50	5738130
900-1100	1505698	1,65	2484401
900-1000	866129	1,60	1385806
1000-1400	12002799	1,86	22325207
		Σύνολο:	**209681049**

<u>Πίνακας Α.8</u>: Αναλυτικοί υπολογισμοί για την εκτίμηση του μέσου ετήσιου όγκου βροχόπτωσης στην υδρογεωλογική λεκάνη Κουρταλιώτη.

Ισοϋψείς στα όρια των περιοχών (m)	**Επιφάνεια περιοχών (m^2)**	**Μέση βροχόπτωση περιοχών (m)**	**Συνολικός όγκος βροχής (m^3)**
300-400	38661078	0,98	37887857
400-500	32216778	1,09	35116288
500-600	7218891	1,19	8590480
600-700	2800545	1,29	3612703
700-800	4195780	1,39	5832134
800-900	5225420	1,50	7838130
900-1000	14901835	1,60	23842936
		Σύνολο:	**122220528**

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

- Πίνακες επεξεργασίας δεδομένων εξατμισοδιαπνοής.

<u>Πίνακας Β.1</u>: Αναλυτικοί υπολογισμοί για την εκτίμηση του μέσου ετήσιου όγκου εξατμισοδιαπνοής στην υδρολογική λεκάνη Κουρταλιώτη.

Περιοχή	**Υψόμετρο (m)**	**Επιφάνεια (m^2)**	**Όγκος βροχόπτωσης (m^3)**	**Συντελεστής εξατμισοδιαπνοής**	**Όγκος που εξατμίστηκε (m^3)**
Πεδινά	0-700	160369933	158198062	0,6	94918837
Ορεινά	700+	31644512	51482986	0,5	25741493
				Σύνολο:	**120660331**

<u>Πίνακας Β.2</u>: Αναλυτικοί υπολογισμοί για την εκτίμηση του μέσου ετήσιου όγκου εξατμισοδιαπνοής στην υδρογεωλογική λεκάνη Κουρταλιώτη.

Περιοχή	**Υψόμετρο (m)**	**Επιφάνεια (m^2)**	**Όγκος βροχόπτωσης (m^3)**	**Συντελεστής εξατμισοδιαπνοής**	**Όγκος που εξατμίστηκε (m^3)**
Πεδινά	0-700	79398424	81780377	0,6	49068226
Ορεινά	700+	25842304	41347687	0,5	20673843
				Σύνολο:	**69742069**

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ

- Πίνακες επεξεργασίας δεδομένων κατείσδυσης.

<u>Πίνακας Γ.1</u>: Αναλυτικοί υπολογισμοί για την εκτίμηση του μέσου ετήσιου όγκου κατείσδυσης στην υδρολογική λεκάνη Κουρταλιώτη.

Πέτρωμα	Επιφάνεια (m^2)	Μ.Ο. βροχόπτωσης (m)	Όγκος βροχόπτωσης (m^3)	Συντελεστής κατείσδυσης	Όγκος νερού που κατείσδυσε (m^3)
Ασβεστόλιθοι	34145764	1,4	47804070	0,523	25001529
	15109857	1,5	22664785	0,523	11853682
Νεογενή, Τεταρτογενή	16509217	1,2	19811061	0,150	2971659
	23058621	1,4	32282070	0,150	4842310
	1868819	1,5	2709788	0,150	406468
Φυλλίτες, Φλύσχης, Φλυσχοειδή	58765809	1,2	70518971	0,050	3525949
	5541811	1,3	7204354	0,050	360218
	4759381	1,4	6663134	0,050	333157
				Σύνολο:	**49294972**

<u>Πίνακας Γ.2</u>: Αναλυτικοί υπολογισμοί για την εκτίμηση του μέσου ετήσιου όγκου κατείσδυσης στην υδρογεωλογική λεκάνη Κουρταλιώτη.

Πέτρωμα	Επιφάνεια (m^2)	Μ.Ο. βροχόπτωσης (m)	Όγκος βροχόπτωσης (m^3)	Συντελεστής κατείσδυσης	Όγκος νερού που κατείσδυσε (m^3)
Ασβεστόλιθοι	56911944	1,14	64879616	0,523	33032039
Νεογενή, Τεταρτογενή	12026281	1,03	12387069	0,15	1858060
Φυλλίτες, Φλύσχης, Φλυσχοειδή	36302503	1,24	45015104	0,05	2250755
				Σύνολο:	**38040854**

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ

- Πίνακας δεδομένων απορροής των πηγών Κουρταλιώτη.

<u>Πίνακας Δ.1</u>: Αναλυτικές μετρήσεις παροχών πηγών Κουρταλιώτη.

Ημερομηνία	**Μέση μηνιαία παροχή (m^3/h)**	**Ημερομηνία**	**Μέση μηνιαία παροχή (m^3/h)**
27/09/96	3308	25/11/99	3802
16/10/96	3409	10/12/99	3625
21/11/96	3668	15/01/00	3544
10/12/96	3838	01/02/00	3463
17/01/97	3596	31/03/00	4313
27/02/97	4590	25/04/00	3798
24/03/97	5868	15/05/00	3680
14/04/97	4770	15/06/00	3427
12/05/97	4230	25/07/00	3283
10/06/97	4586	30/08/00	2920
26/06/97	4426	17/02/05	3935
31/07/97	4496	16/03/05	4810
20/08/97	3992	20/04/05	4389
14/09/97	3535	20/05/05	4125
20/10/97	2700	16/06/05	3536
15/11/97	3240	08/07/05	3516
17/12/97	3989	18/08/05	3131
29/01/98	4259	26/09/05	3292
25/02/98	5281	14/10/05	3159
10/03/98	5296	15/11/05	3346
01/04/98	7582	05/12/05	3153
19/05/98	4356	27/01/06	3466
24/06/98	4831	21/02/06	4036
14/07/98	4482	17/03/06	4292
20/08/98	4018	27/04/06	3846
13/09/98	3920	19/05/06	3734
30/09/98	3643	16/06/06	3380
06/10/98	3643	14/07/06	3508
30/10/98	3564	11/08/06	3101
30/11/98	5782	21/09/06	2990

28/12/98	6451	24/10/06	2650
25/01/99	4954	28/11/06	2611
15/02/99	6689	29/01/07	3196
17/03/99	5864	08/02/07	3221
30/04/99	4151	28/03/07	3125
19/05/99	4968	27/04/07	3981
24/06/99	4161	31/05/07	4241
26/07/99	4982	27/06/07	3304
24/08/99	3794	25/07/07	3040
13/09/99	4291	28/08/07	3010
15/10/99	3190	26/10/07	2646