



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ



Λίμνη Αγυιάς

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«Συμβολή στην εκτίμηση του υδατικού ισοζυγίου του
καρστικού υδροφορέα Αγυιάς Χανίων»**

Ουρανία Ι. Μουρκάκου

Εξεταστική Επιτροπή

- **Εμμανουήλ Στειακάκης** (Αναπληρωτής Καθηγητής – Επιβλέπων)
- **Εμμανουήλ Μανούτσογλου** (Καθηγητής)
- **Απόστολος Αλεξόπουλος** (Καθηγητής, Ε.Κ.Π.Α)

Χανιά, 2018

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που παρουσιάζονται στην συγκεκριμένη εργασία εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι αντιπροσωπεύουν επίσημες θέσεις του Πολυτεχνείου Κρήτης.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Για την εκπόνηση της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Εμμανουήλ Στειακάκη, για την εμπιστοσύνη του αναθέτοντάς μου το συγκεκριμένο θέμα, τις συμβουλές και την υποστήριξή του σε όλη την διάρκεια της συνεργασίας μας.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Διονύση Βαβαδάκη, Επιστημονικό Συνεργάτη του Εργαστηρίου Εφαρμοσμένης Γεωλογίας, για την πολύτιμη βοήθεια του και τις χρήσιμες συμβουλές και παρατηρήσεις του.

Ακόμη, ένα μεγάλο ευχαριστώ στον κ. Εμμανουήλ Μανούτσογλου, Καθηγητή του Πολυτεχνείου Κρήτης και στον κ. Απόστολο Αλεξόπουλο, Καθηγητή του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών, που δέχτηκαν να συμμετάσχουν στην εξεταστική επιτροπή.

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω την κ. Σαΐα Παυλίδου, γεωλόγο του ΙΓΜΕ, για τις πολύ χρήσιμες πληροφορίες που μας παρείχε σχετικά με τις παροχές των πηγών της Αγυιάς.

Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω την βαθιά ευγνωμοσύνη μου στην οικογένεια μου για την στήριξη που μου πρόσφερε όλα αυτά τα χρόνια της φοιτητικής μου πορείας, αλλά και τους φίλους μου, για την αγάπη και την ηθική υποστήριξή τους.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το αντικείμενο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας είναι ο προσδιορισμός του υδρολογικού ισοζυγίου της υδρολογικής λεκάνης της Αγυιάς Χανίων. Αρχικά προσδιορίστηκε ο υδροκρίτης της λεκάνης απορροής και ακολούθως η έκτασή της.

Στην συνέχεια, συγκεντρώθηκαν δεδομένα από επτά (7) βροχομετρικούς σταθμούς, που είναι εγκατεστημένοι στην περιοχή έρευνας και υπολογίστηκε η βροχοβαθμίδα. Τυχόν ελλείψεις συμπληρώθηκαν με την μέθοδο της διπλής μάζας και προσδιορίστηκε το συνολικό ετήσιο ύψος ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων.

Αμέσως μετά, εκτιμήθηκε η έκταση που καταλαμβάνει κάθε γεωλογικός σχηματισμός, και με την χρήση συντελεστών κατείσδυσης και απορροής εκτιμήθηκε το μέγεθος της κατείσδυσης και της επιφανειακής απορροής. Για λόγους σύγκρισης εκτιμήθηκε το μέγεθος της ενεργής κατείσδυσης με την μέθοδο Kessler.

Επιπροσθέτως, προσδιορίστηκε η πραγματική εξατμισοδιαπνοή της περιοχής βάσει εμπειρικών τύπων (Turc, Coutagne και Burdon – Parakis), και έμμεσα από την σχέση του υδρολογικού ισοζυγίου.

Τέλος, έγινε αξιολόγηση της παροχής των πηγών που αποστραγγίζουν τον υδροφορέα (εξίσωση Maillet), αποσκοπώντας στην εκτίμηση των ρυθμιστικών αποθεμάτων και του μεγέθους της υδρογεωλογικής λεκάνης.

Από τους υπολογισμούς προέκυψε πως τα κατακρημνίσματα ανέρχονται σε $260.4 \times 10^6 \text{ m}^3$. Το 37% αντιστοιχεί στην κατείσδυση, το 20% στην απορροή και στο 43% στην πραγματική εξατμισοδιαπνοή.

Σύμφωνα με το πρότυπο Maillet τα δυναμικά αποθέματα εκτιμήθηκαν ίσα με $12,78 \times 10^6 \text{ m}^3$ για την πηγή Κολύμπα, $14,56 \times 10^6 \text{ m}^3$ για την πηγή Πλατάνου και $46,91 \times 10^6 \text{ m}^3$ για την πηγή Καλαμιώνα.

Με βάση υδρο-χημικές αναλύσεις στην περιοχή, γεωφυσικές διασκοπήσεις και δεδομένα πιεζομετρίας, προκύπτουν ενδείξεις για πλευρικές εισροές νερού από την περιοχή των Βλυχάδων και της γεώτρησης Κουφού, προς την θέση ανάβλυσης της πηγής Καλαμιώνα.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ – ΓΕΩΛΟΓΙΑ – ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝΤΟΣ	3
2.1. Γεωμορφολογία – Γεωλογία	4
2.1.1. Γεωλογία της περιοχής ενδιαφέροντος	7
2.1.2. Τεκτονική	11
2.2. Υδρογεωλογία	12
2.2.1. Υδρολιθολογικές ενότητες	13
2.2.2. Σημεία νερού	16
2.3. Ποιότητα νερού	19
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΥΔΡΟΛΟΓΙΑ - ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ	28
3.1. Λεκάνη απορροής	28
3.2. Βροχοπτώσεις	31
3.2.1. Αρχικά βροχομετρικά δεδομένα	31
3.2.2. Επιλεγμένα βροχομετρικά δεδομένα	32
3.2.3. Επεξεργασία δεδομένων	41
3.2.4. Εκτίμηση βροχοβαθμίδας	46
3.2.5. Χάραξη ισοϋέτων καμπυλών	48
3.2.6. Εκτίμηση όγκου ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων	48
3.3. Κατείδυση	51
3.3.1. Παράγοντες που επηρεάζουν την κατείδυση	52
3.3.2. Συντελεστές κατείδυσης από βιβλιογραφικά δεδομένα	53
3.3.3. Συντελεστές κατείδυσης κατά Kessler	54
3.3.4. Εκτίμηση όγκου κατείδυσης	56
3.4. Επιφανειακή απορροή	57
3.4.1. Παράγοντες που επηρεάζουν την επιφανειακή απορροή	57
3.4.2. Συντελεστές επιφανειακής απορροής στην περιοχή μελέτης	58
3.4.3. Εκτίμηση όγκου επιφανειακής απορροής	59
3.5. Εξατμισοδιαπνοή	60

3.5.1.	<i>Παράγοντες που επηρεάζουν την εξατμισοδιαπνοή.....</i>	60
3.5.2.	<i>Εκτίμηση όγκου εξατμισοδιαπνοής από εμπειρικούς τύπους</i>	61
3.5.3.	<i>Εκτίμηση όγκου εξατμισοδιαπνοής από το υδρολογικό ισοζύγιο.....</i>	66
3.6.	Προσδιορισμός υδρολογικού ισοζυγίου.....	68
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΕΚΦΟΡΤΙΣΗ ΤΟΥ ΚΑΡΣΤΙΚΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ.....		70
4.1.	Μέση ετήσια εκφόρτιση πηγών Αγυιάς.....	71
4.2.	Κατείδυση στην υδρολογική λεκάνη και παροχή των πηγών	75
4.3.	Εκτίμηση δυναμικών αποθεμάτων.....	75
4.3.1.	<i>Πηγές Κολύμπας και Πλατάνου</i>	77
4.3.2.	<i>Πηγή Καλαμιώνα.....</i>	82
4.4.	Αξιολόγηση αποτελεσμάτων	86
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ		88
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....		91
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ		

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο νομός Χανίων είναι ο δυτικότερος της Κρήτης, με έκταση 2.376 m² και συνολικό πληθυσμό 156.585 κατοίκους (ΕΛΣΤΑΤ, 2011). Στο βόρειο τμήμα του νομού Χανίων βρίσκεται ο οικισμός της Αγυιάς, κοντά στον οποίο αναβλύζουν οι ομώνυμες πηγές. Πρόκειται για τις πηγές Βαρύπετρο, Βρυσίδια, Καλαμιώνας, Κολύμπα και Πλάτανος, οι οποίες σε συνδυασμό με μία σειρά γεωτρήσεων υδροδοτούν την ευρύτερη περιοχή της πόλης των Χανίων (βλέπε Σχήμα 2.5, Κεφάλαιο 2).

Το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό της περιοχής είναι ότι συνδυάζει έντονη τουριστική κίνηση, (ο πληθυσμός της περιοχής σχεδόν διπλασιάζεται την καλοκαιρινή περίοδο) και μεγάλες καλλιεργούμενες εκτάσεις. Οι δραστηριότητες αυτές, έχουν σαν αποτέλεσμα την αυξημένη ζήτηση και κατανάλωση νερού ιδιαίτερα την καλοκαιρινή περίοδο. Συνεπώς οι πηγές και οι γεωτρήσεις της Αγυιάς διαδραματίζουν σπουδαίο ρόλο για την υδρο-οικονομία και την ανάπτυξη της περιοχής.

Λόγω αυτής της σπουδαιότητας των συγκεκριμένων πηγών, ήδη από τις αρχές της δεκαετίας του 1970, έχει πραγματοποιηθεί πλήθος ερευνών, μελετών, δημοσιεύσεων που αφορούν την ευρύτερη περιοχή, με ποικίλα αποτελέσματα που βοήθησαν στον σχεδιασμό των διαφόρων υδροληπτικών έργων (υδρογεωτρήσεις) από τους αρμόδιους φορείς (ΥΕΒ, ΔΕΥΑΧ και ΟΑΚ, πρώην ΟΑΔΥΚ).

Δεδομένης της συνεχώς αυξανόμενης απαίτησης σε νερό, που οδηγεί σε όλο και εντονότερους ρυθμούς άντλησης των γεωτρήσεων, το καρστικό σύστημα των πηγών της οδηγείται έμμεσα σε μια μορφή άδηλης «αναρρύθμισης». Τα τελευταία χρόνια, εξετάζεται από τις τοπικές αρχές περαιτέρω αναρρύθμιση των πηγών μέσω εντατικότερης άντλησης των γεωτρήσεων της περιοχής. Στόχος είναι η εξασφάλιση μεγαλύτερων ποσοτήτων νερού σε περιόδους αυξημένης ζήτησης, δεδομένης της επαρκούς αναπλήρωσης του υδροφορέα κατά τις υγρές περιόδους (Στειακάκης κ.ά., 2017).

Ο σχεδιασμός για «περαιτέρω αναρρύθμιση» περιλαμβάνει νέες γεωτρήσεις εκμετάλλευσης και αύξηση των συνολικών αντλήσεων. Η συνδυασμένη εκμετάλλευση

γεωτρήσεων και πηγών έχει αυξήσει μερικώς την διαθέσιμη ποσότητα νερού, σε σύγκριση με τη φυσική εκροή των πηγών πριν την έναρξη των αντλήσεων.

Το αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι ο καθορισμός του υδρολογικού ισοζυγίου της υδρολογικής λεκάνης της Αγυιάς και η εκτίμηση των ρυθμιστικών αποθεμάτων των πηγών της (με βάση την εξίσωση Maillet) και τις παροχές τους. Με βάση τα παραπάνω η εργασία προσπαθεί να συμβάλλει στην εκτίμηση του μεγέθους της υδρογεωλογικής λεκάνης.

Για το σκοπό αυτό, αρχικά καθορίστηκε ο υδροκρίτης της υδρολογικής λεκάνης του Κερίτη.

Στην συνέχεια, συγκεντρώθηκαν δεδομένα από επτά (7) βροχομετρικούς σταθμούς (Αγροκήπιο, Αλικιανός, Μεσκλά, Παλαιά Ρούματα, Πρασές, Σούδα και Χανιά), από την επεξεργασία των οποίων υπολογίστηκε η βροχοβαθμίδα της περιοχής. Τυχόν ελλείψεις συμπληρώθηκαν με την μέθοδο της διπλής μάζας. Με τον τρόπο αυτό βρέθηκε ο μέσος ετήσιος όγκος ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων.

Έπειτα, υπολογίστηκε η έκταση που καταλαμβάνει κάθε γεωλογικός σχηματισμός, και με την θεώρηση κατάλληλων συντελεστών κατείδυσης και επιφανειακής απορροής εκτιμήθηκε το μέγεθος της κατείδυσης και της απορροής, αντίστοιχα. Ο μέσος ετήσιος όγκος της κατείδυσης στους καρστικούς σχηματισμούς υπολογίστηκε χρησιμοποιώντας και τους συντελεστές Kessler.

Επιπροσθέτως, αξιολογήθηκε η εξατμισοδιαπνοή της περιοχής με δύο τρόπους. Στην πρώτη περίπτωση, χρησιμοποιήθηκαν οι εμπειρικοί τύποι των Turc, Coutagne και Burdon – Parakis, ενώ στην δεύτερη περίπτωση η εξατμισοδιαπνοή υπολογίστηκε έμμεσα από την σχέση του υδρολογικού ισοζυγίου.

Τέλος, εκτιμήθηκαν τα ρυθμιστικά αποθέματα των πηγών Αγυιάς, με βάση τη σχέση του Maillet.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ – ΓΕΩΛΟΓΙΑ – ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝΤΟΣ

Η περιοχή ενδιαφέροντος βρίσκεται στο βόρειο τμήμα του Νομού Χανίων (Δυτική Κρήτη) και αποτελεί τμήμα του υδροφόρου συστήματος των Λευκών Ορέων.

Ανήκει διοικητικά στους Δήμους Πλατανιά, Χανίων και Κανδάνου – Σελίνου, ενώ γεωγραφικά ορίζεται μεταξύ των ΒΔ υπωρειών των Λευκών Ορέων και τα παράλια του Δήμου Πλατανιά, βόρεια του οικισμού «Αγυιά» (βλέπε Σχήμα 2.1). Το δυτικό όριο της περιοχής μελέτης ορίζεται από την κοιλάδα του Κερίτη, το ανατολικό από το φαράγγι Θερίσσου και το βόρειο από το βύθισμα της Αγυιάς.



Σχήμα 2.1: Περιοχή ενδιαφέροντος (Εικόνα από Google Earth).

2.1. Γεωμορφολογία – Γεωλογία

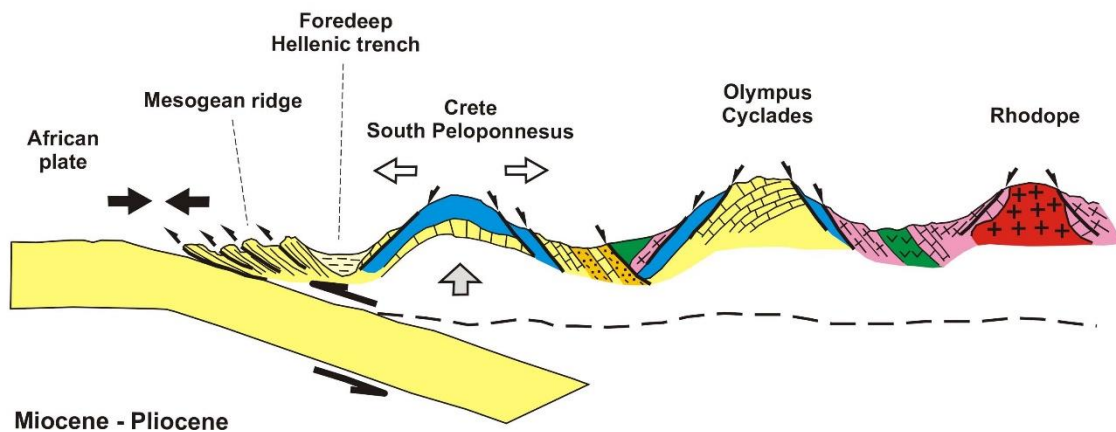
Η περιοχή παρουσιάζει έντονο τοπογραφικό ανάγλυφο, το οποίο οφείλεται στην τεκτονική και στην καρστικοποίηση.

Η υδρολογική λεκάνη του Κερίτη, αποτελεί υπολεκάνη του υδροφόρου συστήματος των Λευκών Ορέων (Δ. Κρήτη). Καταλαμβάνει μια έκταση 154.4 km² και εκτείνεται με διεύθυνση Β – Ν από την στάθμη της θάλασσας μέχρι το υψόμετρο των 2100m περίπου. Το τμήμα της υδρολογικής λεκάνης Κερίτη που βρίσκεται σε υψόμετρο άνω των +40 m (απόλυτο υψόμετρο των πηγών Αγυιάς), στο εξής θα ονομάζεται «υπο-λεκάνη» Αγυιάς (βλέπε Σχήματα 2.4 και 3.1, στο Κεφάλαιο 3).

Μορφολογικά παρουσιάζει έντονες διαφοροποιήσεις του αναγλύφου της από τον Βορρά προς τον Νότο. Το ανάγλυφο στα νοτιότερα τμήματα της περιοχής είναι έντονο, με πολυάριθμες κορυφές, και ελάχιστη βλάστηση, ενώ το βορειότερο τμήμα της λεκάνης βρίσκεται σε πολύ χαμηλά υψόμετρα με έντονη βλάστηση και υδροφορία.

Η νεότερη Μεσογειακή Ορογενετική Λωρίδα, στην οποία ανήκουν περιοχές της Νότιας Πελοποννήσου και Κρήτης, διαμορφώθηκε την περίοδο Μειόκαινου – Πλειόκαινου, λόγω της ισχυρής τεκτονικής παραμόρφωσης που προκάλεσε η συνεχής υποβύθιση της Μεσογειακής – Αφρικανικής πλάκας, κάτω από την Αλπική – Κιμμερική – Ευρασιατική πλάκα (Σχήμα 2.2). Αυτό οδήγησε στην ανύψωση και εκταφή στις περιοχές αυτές τμημάτων της υποβυθιζόμενης πλάκας με την μορφή «τεκτονικών παράθυρων» (Μουντράκης, 2005).

Από τα παραπάνω μπορεί κανείς να διαπιστώσει πως η γεωλογική δομή ολόκληρης της Κρήτης είναι αρκετά πολύπλοκη. Χαρακτηρίζεται από την ύπαρξη κυρίως αλπικών και προ-αλπικών πετρωμάτων, τα οποία συνθέτουν ένα πολύπλοκο οικοδόμημα τεκτονικών καλυμμάτων (Φυτρολάκης, 1980, Bonneau, 1984).



Σχήμα 2.2: Αναπαράσταση της γεωδυναμικής εξέλιξης των Ελληνίδων κατά τη Μεσογειακή ορογένεση (Μουντράκης, 2005).

Στα κατώτερα καλύμματα ανήκουν τα πετρώματα των Πλακωδών Ασβεστόλιθων, των ασβεστόλιθων Τρυπαλίου και των Φυλλιτών – Χαλαζιτών. Στα ανώτερα καλύμματα συμπεριλαμβάνονται τα πετρώματα των καλυμμάτων της Τρίπολης και της Πίνδου, το τεκτονικό «Melange» και τέλος τα πετρώματα των Αστερουσίων και των οφιολίθων (Φασουλάς, 2000).

Η ενότητα των «Πλακωδών Ασβεστόλιθων» (ή της Ίδας ή Κρήτης – Μάνης) αποτελείται από νηριτικά και πελαγικά, ανθρακικά κυρίως πετρώματα (Ertting et al., 1972, Φυτρολάκης, 1978). Οι Πλακώδεις Ασβεστόλιθοι ηλικίας μέσου Ιουρασικού έως και Ηωκαίνου αποτελεί το αυτόχθονο σύστημα της Κρήτης.

Η ενότητα του Τρυπαλίου βρίσκεται κατά τόπους πάνω τους Πλακώδεις Ασβεστόλιθους. Αποτελείται από ανακρυσταλλωμένα ανθρακικά λατυποπαγή καθώς και ασβεστόλιθους και δολομίτες, ηλικίας Τριαδικής έως Κάτω Ιουρασικής (Korpp & Ott, 1977, Φυτρολάκης, 1980).

Ορισμένοι ερευνητές θεωρούν πως πρόκειται για μία ξεχωριστή ενότητα (Ταταρής και Χριστοδούλου 1964, Φυτρολάκης 1980), και άλλοι, θεωρούν πως πρόκειται για μία εσωτερική εφίπνευση μιας πλευρικής μετάβασης των Πλακωδών Ασβεστόλιθων πάνω στην ενότητά τους (Μουντράκης, 2005).

Από την άλλη, οι Krahf (1983) και Manakos et al. (1995) θεωρούν ότι η ενότητα Τρυπαλίου και το τεκτονικό κάλυμμα Φυλλιτών – Χαλαζιτών συνιστούν μία ξεχωριστή

ενιαία (τεκτονικά και στρωματογραφικά) ενότητα, επωθημένη στους υποκείμενους Πλακώδεις Ασβεστόλιθους. Στρωματογραφικά αυτή η ενότητα είναι ανεστραμμένη.

Το κάλυμμα των Φυλλιτών – Χαλαζιτών είναι επωθημένο στην ενότητα Τρυπαλίου. Περιλαμβάνει δύο επιμέρους σειρές, η ανώτερη αποτελείται από φυλλίτες, χαλαζίτες, σχιστόλιθους, μάρμαρα και μεταηφαιστειακά πετρώματα, ενώ η κατώτερη αποτελείται από χαλαζίτες, δολομίτες, μεταγραφουβάκες, σχιστόλιθους και εβαπορίτες, ηλικίας Πέρμιας έως Άνω Τριαδικής (Φυτρολάκης, 1980, Krahl et al., 1983). Τα πετρώματα του καλύμματος αυτού εμφανίζονται επίσης στην Πελοπόννησο.

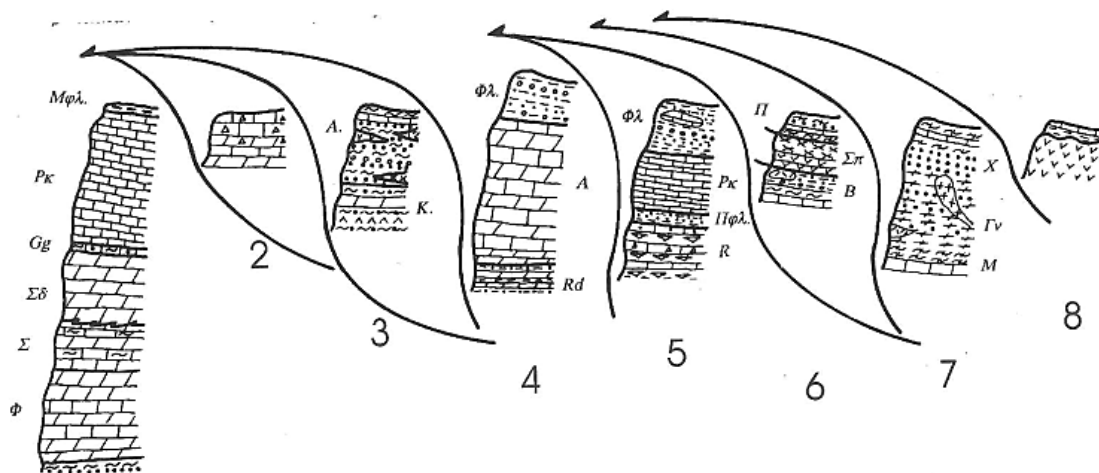
Η σειρά της Τρίπολης είναι επωθημένη κατά τόπους πάνω στην σειρά των Φυλλιτών – Χαλαζιτών και πάνω στην σειρά των Πλακωδών Ασβεστόλιθων. Αποτελεί συνέχεια της ζώνης Γαβρόβου – Τρίπολης της ηπειρωτικής Ελλάδας. Περιλαμβάνει μία κατώτερη σειρά από αργιλικούς σχιστολίθους, δολομίτες και κλαστικά ιζήματα, μια ενδιάμεση ανθρακική νηριτική σειρά Μεσοζωικής ηλικίας και τέλος μία ανώτερη σειρά από φλύσχη Ηωκαινικής ηλικίας. Οι ασβεστόλιθοι της Τρίπολης είναι έντονα κασρτικοποιημένοι.

Σε περιορισμένα σημεία εμφανίζεται η ενότητα της Πίνδου, επωθημένη πάνω στην ενότητα της Τρίπολης ή στην σειρά των Φυλλιτών – Χαλαζιτών. Πρόκειται για πελαγικά ιζήματα Τριαδικής έως Ιουρασικής ηλικίας και φλύσχη ποικίλων ηλικιών (Φασουλάς, 2000).

Ακολουθεί ένα τεκτονικό κάλυμμα, που ονομάζεται τεκτονικό «Melange», από ένα πλήθος ενοτήτων (Βάτου, Μιαμούς, Άρβης, Σπηλίου και Πρέβελη).

Το επόμενο τεκτονικό κάλυμμα αποτελείται από τα πετρώματα των Αστερουσίων Ορέων και βρίσκεται πάνω από το τεκτονικό «Melange». Αποτελείται από πετρώματα που μεταμορφώθηκαν κατά το άνω Κρητιδικό σε συνθήκες υψηλής πίεσης και χαμηλής θερμοκρασίας.

Τέλος, η ενότητα των οφιολίθων αποτελεί το ανώτερο τεκτονικό κάλυμμα της Κρήτης. Πρόκειται για υπερβασικά πετρώματα με ηλικία άνω Ιουρασική (Σχήμα 2.3).



Σχήμα 2.3: Στρωματογραφικές στήλες των τεκτονικών καλυμμάτων της Κρήτης (Φασουλάς, 1995): 1) Πλακώδεις Ασβεστόλιθοι, 2) Ενότητα Τρυπαλίου, 3) Ενότητα Φυλιτών – Χαλαζιτών, 4) Ζώνη Τρίπολης, 5) Ζώνη Πίνδου, 6) Τεκτονικό Melange, 7) Ενότητα Αστερουσίων, και 8) Οφιολιθικό σύμπλεγμα.

2.1.1. Γεωλογία της περιοχής ενδιαφέροντος

Η γεωλογική δομή της περιοχής ενδιαφέροντος ακολουθεί την πολυπλοκότητα της δομής της Κρήτης. Αποτελείται από αλληπάλληλα τεκτονικά καλύμματα που καλύπτονται από τα νεότερα ιζήματα του Νεογενούς και του Τεταρτογενούς.

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί που εμφανίζονται στην περιοχή αναφέρονται παρακάτω:

Πλακώδεις Ασβεστόλιθοι

Οι Πλακώδεις Ασβεστόλιθοι, είναι κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι. Πρόκειται για το αυτόχθονο (ή ημι-αυτόχθονο) σύστημα της Κρήτης. Τα πετρώματα αυτά αποτελούν το μεγαλύτερο τμήμα των Λευκών Ορέων.

Κατά θέσεις τα κρυσταλλικά πετρώματα διακόπτονται από ενστρώσεις αδιαπέρατων σχηματισμών οι οποίες εμποδίζουν την κάθετη κίνηση του νερού και προκαλούν την κίνηση του προς τον υπερκείμενο ανθρακικό υδροφορέα του Τρυπαλίου και την συγκέντρωσή του σε αυτόν. Αυτή η άποψη επιβεβαιώνεται σε πολλά σημεία της ευρύτερης περιοχής (Ομαλός, Λάκκοι και Μεσκλά). Το γεγονός αυτό δρα ανασταλτικά στην καρστικοποίησή τους (Steiakakis et al., 2015).

Ενότητα Τρυπαλίου

Η ενότητα Τρυπαλίου (τεκτονικό κάλυμμα Ομαλού-Τρυπαλίου) είναι ηλικίας Ανώτερης Τριαδικής – Λιασίου, επωθημένη επί της σειράς των Πλακωδών Ασβεστόλιθων.

Αποτελείται από ασβεστόλιθους, δολομίτες και κρυσταλλικούς ασβεστόλιθους. Τοπικά εμφανίζονται αδρομερή κροκαλοπαγή ή κυψελώδεις δολομίτες. Τα ανθρακικά αυτά πετρώματα έχουν μεγάλη εμφάνιση στο νότιο και ανατολικό τμήμα της περιοχής ενδιαφέροντος.

Εμφανίζουν έντονη καρστικοποίηση και αναπτύσσουν υπόγειες υδροφορίες υψηλού δυναμικού. Στην περιοχή της Αγυιάς, έχουν δημιουργηθεί οι ομώνυμες πηγές στην τεκτονική επαφή των σχηματισμών αυτών με τους φυλλίτες.

Ενότητα Φυλλιτών – Χαλαζιτών

Συνιστούν τεκτονικό κάλυμμα το οποίο είναι επωθημένο στην ανθρακική ενότητα Τρυπαλίου και στους Πλακώδεις Ασβεστόλιθους (Στειακάκης κ.ά., 2017). Πρόκειται για Περμο – Τριαδικής ηλικίας σχηματισμούς που μεταμορφώθηκαν σε συνθήκες υψηλής πίεσης και χαμηλής θερμοκρασίας (Seidel, 1982).

Η ενότητα των Φυλλιτών – Χαλαζιτών καταλαμβάνει όλη την λοφώδη έκταση μεταξύ του πεδινού τμήματος και τις υπώρειες των Λευκών Ορέων.

Ζώνη Τρίπολης

Τα ανθρακικά πετρώματα της ζώνης Τρίπολης έχουν πολύ μικρή επιφανειακή εξάπλωση στην περιοχή και εμφανίζονται μόνο στο βόρειο τμήμα της λεκάνης. Είναι έντονα καρστικοποιημένα.

Νεογενή ιζήματα

Είναι αποθέσεις μικρού κατά περιοχές πάχους, κατά βάση αργιλομαργαϊκής – αμμομαργαϊκής σύστασης.

Εμφανίζονται κυρίως στο βόρειο τμήμα της περιοχής ενδιαφέροντος.

Τεταρτογενή ιζήματα

Περιλαμβάνουν: α) Αλλουβιακές αποθέσεις ποικίλου πάχους. β) Διλουβιακές αποθέσεις. Πρόκειται για ερυθρούς σχηματισμούς χειμαρρώδους προέλευσης αποτελούμενους από ψαμμιτομάργες, πηλούς, ψαμμίτες και κροκαλοπαγή (Στειακάκης κ.ά., 2017).

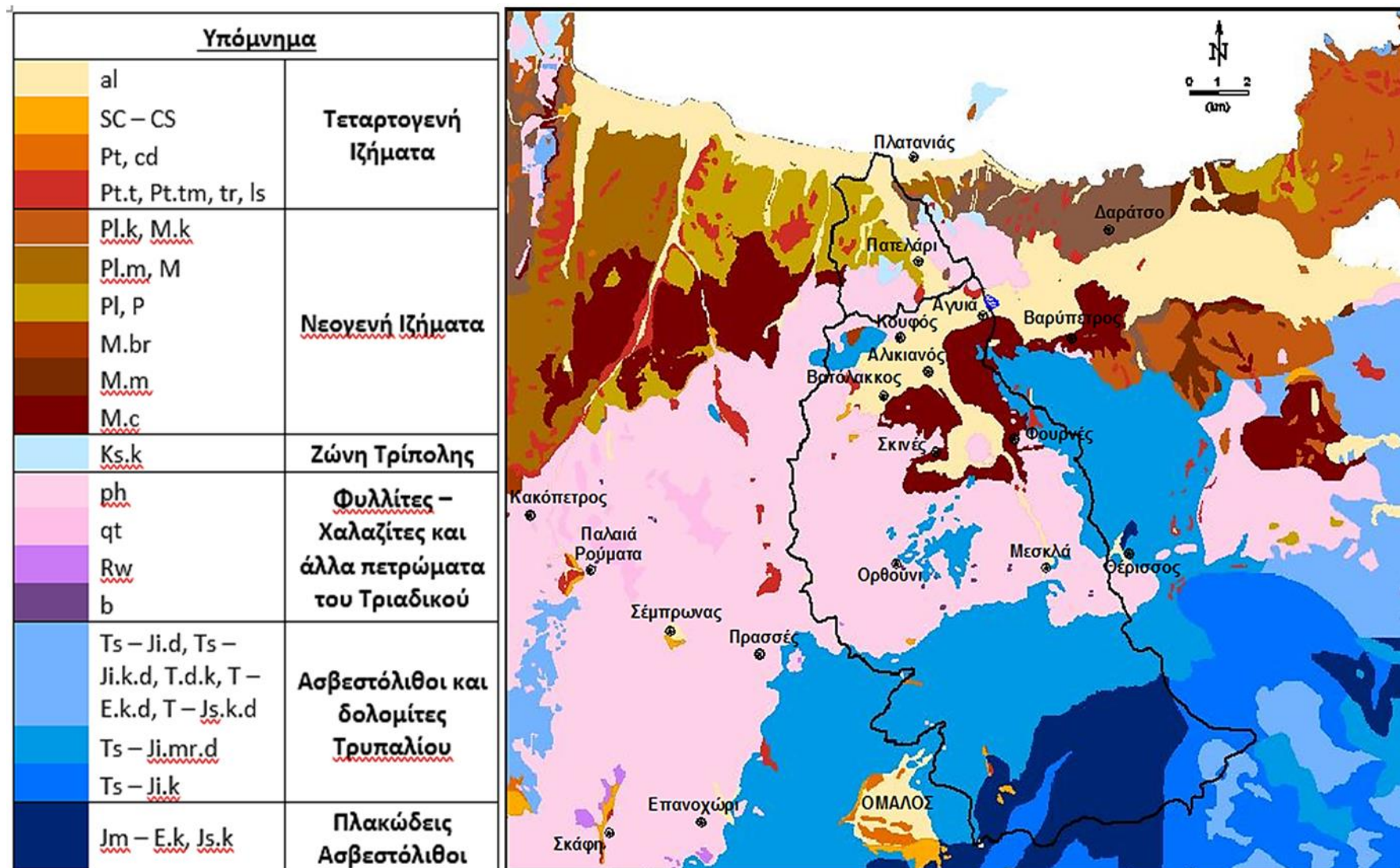
Εμφανίζονται στα βόρεια πεδινά τμήματα της περιοχής ενδιαφέροντος.

Σύγχρονες αποθέσεις

Είναι ασύνδετα υλικά που βρίσκονται στα πεδινά τμήματα της περιοχής και αποτέθηκαν από την δράση του υδρογραφικού δικτύου. Περιλαμβάνουν αργίλους, άμμους και λατύπες και έχουν αποτεθεί πάνω στα υποκείμενα ιζήματα.

Στον χάρτη του Σχήματος 2.4 που κατασκευάστηκε μέσω του προγράμματος GIS, παρουσιάζονται με λεπτομέρεια όλοι οι γεωλογικοί σχηματισμοί που εμφανίζονται στην περιοχή ενδιαφέροντος. Για την κατασκευή του χάρτη χρησιμοποιήθηκαν τα φύλλα των γεωλογικών χαρτών «Αλικιανός» (ΙΓΜΕ, 1969), «Πλατανιάς» (ΙΓΜΕ, 1956) «Βρύσες» (ΙΓΜΕ, 1993) και «Χανιά» (ΙΓΜΕ, 1971).

Όλοι οι γεωλογικοί σχηματισμοί, μαζί με τον κωδικό (κατά Ι.Γ.Μ.Ε.) που τους συνοδεύει και την ηλικία τους, παρατίθενται στον Πίνακα 2.1.



Σχήμα 2.4: Γεωλογικός χάρτης περιοχής ενδιαφέροντος.

Πίνακας 2.1: Γεωλογικοί σχηματισμοί στην περιοχή ενδιαφέροντος.

Κωδικός	Περιγραφή	Ηλικία
al	Αλλουβιακές αποθέσεις	Τεταρτογενή
SC-CS	Πλευρικά κορήματα και κώνοι κορημάτων	Τεταρτογενή
Pt	Θαλάσσιες αποθέσεις	Πλειστόκαινη
Pt.t, Pt.tm, tr, ls	Ερυθροί σχηματισμοί χειμαρρώδους προέλευσης, μάργες, ψαμμίτες, κροκαλοπαγή	Πλειστόκαινη
Pl, P	Θαλάσσιοι σχηματισμοί	Πλειόκαινη
Pl.m, M	Μάργες	Πλειόκαινη
Pl.k, M.k	Μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι	Πλειόκαινη
M.br	Ανθρακικό λατυποπαγές	Μειόκαινη
M.m	Μάργες	Μειόκαινη
M.c	Ποταμοχερσαίες αποθέσεις	Μειόκαινη
Ks.k	Ασβεστόλιθοι, ζώνη Τρίπολης	Κρητιδική
b	Μεταβασάλτες και μετατόφφοι	Τριαδική
Ph	Φυλλίτες	Τριαδική
qt	Χαλαζίτες	Τριαδική
Rw	Ραουβάκης	Τριαδική
Ts-Ji.d, Ts-Ji.k.d, T.d.k, T-E.k.d, T-Js.k.d, Ts-Ji.mr.d, Ts-Ji.k	Ασβεστόλιθοι και δολομίτες, τεκτονικό κάλυμμα Ομαλού-Τρυπαλίου	Τριαδική - Ιουρασική
Jm-E.k, Js.k	Πλακώδεις ασβεστόλιθοι	Ιουρασική

2.1.2. Τεκτονική

Η ευρύτερη περιοχή παρουσιάζει μία πολύπλοκη τεκτονική δομή. Πιο αναλυτικά, η ενότητα των Πλακωδών Ασβεστόλιθων εμφανίζει ισοκλινείς ημι – ανεστραμμένες πτυχές μικρής έως μεσαίας κλίμακας.

Επίσης, η ενότητα Φυλλιτών – Χαλαζιτών έχει υποστεί πτύχωση σε διάφορες κατευθύνσεις λόγω της μεγάλης πλαστικότητάς τους.

Οι σημαντικότερες ζώνες ρηγμάτωσης που διατρέχουν την περιοχή ενδιαφέροντος έχουν κύρια διεύθυνση Α – Δ. Μία από αυτές τις ζώνες αποτελεί την τεκτονική επαφή των φυλλιτών με το καρστικό σύστημα της περιοχής και ταυτίζεται με τον άξονα εμφάνισης των πηγών της Αγυιάς (Στειακάκης κ.ά., 2017).

2.2. Υδρογεωλογία

Υψηλά ποσοστά κατείδωσης και χαμηλά ποσοστά απορροής είναι τα κύρια χαρακτηριστικά της υδρογεωλογίας των καρστικών σχηματισμών. Λόγω της μεγάλης κατείδωσης οι καρστικοί σχηματισμοί θεωρούνται από τους καλύτερους ταμιευτήρες νερού.

Από παρατηρήσεις στην περιοχή προκύπτει ότι ένα ελάχιστο ποσοστό από τις βροχοπτώσεις απορρέει επιφανειακά, καθώς οι ασβεστόλιθοι απορροφούν το νερό της βροχής που πέφτει στην επιφάνειά τους. Άλλωστε η επιφάνεια αυτή αυλακώνεται από βαθιές διαβρώσεις και φαράγγια που έχουν ανοιχθεί πάνω στις γραμμές των διαρρήξεων. Εκεί συλλέγονται τα νερά που απορρέουν, για να διηθηθεί το μεγαλύτερο ποσοστό τους μέσα στον υδροφορέα (Λιονής – Περλέρος, 2001).

Ο βασικός υδροφορέας των πηγών της Αγυιάς είναι ένα τμήμα της μάζας των καρστικών ασβεστόλιθων που περιβάλλεται περιμετρικά από υδατοστεγανά πετρώματα (Σχήμα 2.4). Η τροφοδοσία των πηγών γίνεται από ΝΑ προς ΒΔ, ενώ στη ζώνη εκφόρτισής τους εντοπίζεται ρήγμα του οποίου ο μυλωνίτης αποτελεί υδατοστεγανό διάφραγμα (Υδρογαία, 1977).

Σύμφωνα με την Υδρογαία (1977), η εκφόρτιση του υδροφορέα πραγματοποιείται σε απόλυτα υψόμετρα 36 έως 42 m με τη μορφή «πηγών υπερχείλισης υπό πίεση» και σε συνεχή λειτουργία (Υδρογαία 1977). Νεότερες μελέτες χαρακτηρίζουν τις πηγές ως «πηγές επαφής – υπερπλήρωσης» (Στειακάκης κ.ά., 2017).

Το καρστ εκτείνεται σε μεγάλο βάθος αλλά και σε μεγάλη έκταση κατά την οριζόντιο. Εκτιμάται ότι από τις πηγές εκρέουν 70 – 120 εκατ. m³ ετησίως, ανάλογα των μετεωρολογικών συνθηκών του έτους (Υδρογαία, 1977).

Σύμφωνα με την Περιφέρεια Κρήτης (2007), το καρστικό σύστημα των Λευκών Ορέων που καταλαμβάνει το κεντρικό και βόρειο τμήμα του νομού Χανίων με έκταση 776 km², δέχεται ένα όγκο κατακρημνισμάτων της τάξης των 1.450×10^6 m³/έτος (μέσο ύψος βροχής 1.850 mm/έτος), από τα οποία περίπου τα 750×10^6 m³/έτος κατεισδύουν.

Το σύστημα αυτό εκφορτίζεται βόρεια με τέσσερα κύρια υπο-συστήματα πηγών (ευρισκόμενα από ανατολικά προς δυτικά): α) λίμνη Κουρνά – πηγές Γεωργιούπολης, β) πηγές Στύλου – Νιου Χωριού- Κοιλιάρη ποταμού, γ) πηγές Αγυιάς – Μεσκλών, και δ) πηγές Κολενίου.

Το καρστικό υπο-σύστημα της λεκάνης Αγυιάς – Μεσκλών, τα υδρογεωλογικά όρια του οποίου δεν μπορούν σαφώς να καθοριστούν, βρίσκεται στο βόρειο κεντρικό τμήμα του Ν. Χανίων και εκτιμάται ότι απορρέουν από αυτό περίπου 150×10^6 m³/έτος. Από τις πηγές της Αγυιάς εκφορτίζονται περίπου 70×10^6 m³/έτος, ενώ από τις πηγές Μεσκλών περίπου 30×10^6 m³/έτος (Περιφέρεια Κρήτης, 2007).

Το χαρακτηριστικό των πηγών Μεσκλών είναι η έντονη διακύμανσή της παροχής τους κατά τη διάρκεια του έτους.

Αντίθετα, στις πηγές Αγυιάς η παροχή είναι σαφώς σταθερότερη. Από σταθμό μέτρησης της στάθμης και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας ανάντη των πηγών Αγυιάς, παρατηρείται ετησίως πλήρης αναπλήρωση του υδροφορέα με επαναφορά της στάθμης στα επίπεδα του προηγούμενου έτους (Περιφέρεια Κρήτης, 2007).

2.2.1. Υδρολιθολογικές ενότητες

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί ταξινομήθηκαν με βάση την υδρολιθολογική τους συμπεριφορά. Γενικά, οι καρστικοί σχηματισμοί εκτιμήθηκαν ως υδρολιθολογική ενότητα υψηλής υδροπερατότητας, τα Τεταρτογενή και Νεογενή ιζήματα ως ενότητες χαμηλής έως μέτριας υδροπερατότητας και οι σχιστόλιθοι ως αδιαπέρατα υλικά.

Με βάση τα παραπάνω, στην περιοχή αναπτύσσονται οι παρακάτω υδρολιθολογικές ενότητες:

Πλακώδεις ασβεστόλιθοι

Χαρακτηρίζονται από μικρή έως μέτρια υδροπερατότητα ($10^{-7} \text{ m/s} < k < 10^{-5} \text{ m/s}$).

Η κυκλοφορία του νερού ελέγχεται από τις παρεμβολές πυριτόλιθων, κερατόλιθων και αργιλικών σχιστόλιθων, με αποτέλεσμα να έχουν συντελεστές κατείσδυσης που κυμαίνονται από 35% έως και 45% (Περλέρος κ.ά., 2004).

Όταν έχουν μικρή υδροπερατότητα και όπου η τεκτονική θέση το επιτρέπει, αποτελούν το υδρογεωλογικό όριο σχηματισμών υψηλής υδροπερατότητας (Στειακάκης κ.ά., 2017).

Ανθρακικοί σχηματισμοί Τρυπαλίου

Χαρακτηρίζονται από μέτρια έως μεγάλη υδροπερατότητα ($10^{-5} \text{ m/s} < k < 10^{-3} \text{ m/s}$), καθώς είναι έντονα καρστικοποιημένοι σχηματισμοί. Πυκνά δίκτυα διακλάσεων και ρήγματα κατακερματίζουν τις ανθρακικές μάζες και διευκολύνουν τη διέλευση του νερού μέσω αυτών.

Σύμφωνα με τον Περλέρος κ.ά., (2004), ο συντελεστής κατείσδυσής τους κυμαίνεται από 45% έως και 55%, ενώ η επιφανειακή απορροή είναι της τάξης του 5%.

Αναπτύσσουν υπόγειες υδροφορίες υψηλού δυναμικού που εκφορτίζονται μέσω των καρστικών πηγών της περιοχής (Στειακάκης κ.ά., 2017).

Φυλλίτες – Χαλαζίτες

Στο σύνολό της η ενότητα θα μπορούσε να χαρακτηριστεί σχεδόν αδιαπέρατη ($k < 10^{-8} \text{ m/s}$), λόγω ορυκτολογικής σύστασης και φυλλώδους δομής (Περλέρος κ.ά., 2004) ή εκλεκτικής κυκλοφορίας ($10^{-8} \text{ m/s} < k < 10^{-7} \text{ m/s}$), με μικρή έως πολύ μικρή υδροπερατότητα (Στειακάκης κ.ά., 2017) όταν εμφανίζονται σε μεγάλη ανάπτυξη παρεμβολές χαλαζιτών ή κρυσταλλικών ασβεστόλιθων.

Ο συντελεστής κατείσδυσης είναι περίπου 5% (Περλέρος κ.ά., 2004) και η επιφανειακή απορροή φτάνει το 35%.

Νεογενείς αποθέσεις

Περιλαμβάνουν σχηματισμούς υψηλής υδροπερατότητας (βιοκλαστικοί ασβεστόλιθοι), μέτριας υδροπερατότητας (κροκαλοπαγή, λατυποπαγή και ψαμμίτες), έως και πολύ χαμηλής υδροπερατότητας (μάργες). Ο αδιαίρετος σχηματισμός του Νεογενούς θεωρείται μέτριας έως χαμηλής υδροπερατότητας ($10^{-7} \text{ m/s} < k < 10^{-5} \text{ m/s}$).

Δεν παρουσιάζουν υδρογεωλογικό ενδιαφέρον και λειτουργούν ως φυσικά υδραυλικά όρια του υδροφόρου συστήματος (Στειακάκης κ.ά., 2017).

Αλλουβιακές και Διλουβιακές αποθέσεις

Περιλαμβάνουν υδροπερατά έως ημιπερατά γεωυλικά, ανάλογα με το πάχος και το ποσοστό συμμετοχής του λεπτόκοκκου. Κατατάσσονται στους σχηματισμούς μεσαίας έως μικρής υδροπερατότητας ($10^{-7} \text{ m/s} < k < 10^{-4} \text{ m/s}$).

Ο συντελεστής κατείδυσής τους εκτιμάται γύρω στο 20% (Περλέρους κ.ά., 2004), ενώ η επιφανειακή απορροή υπολογίζεται γύρω στο 20 – 30%.

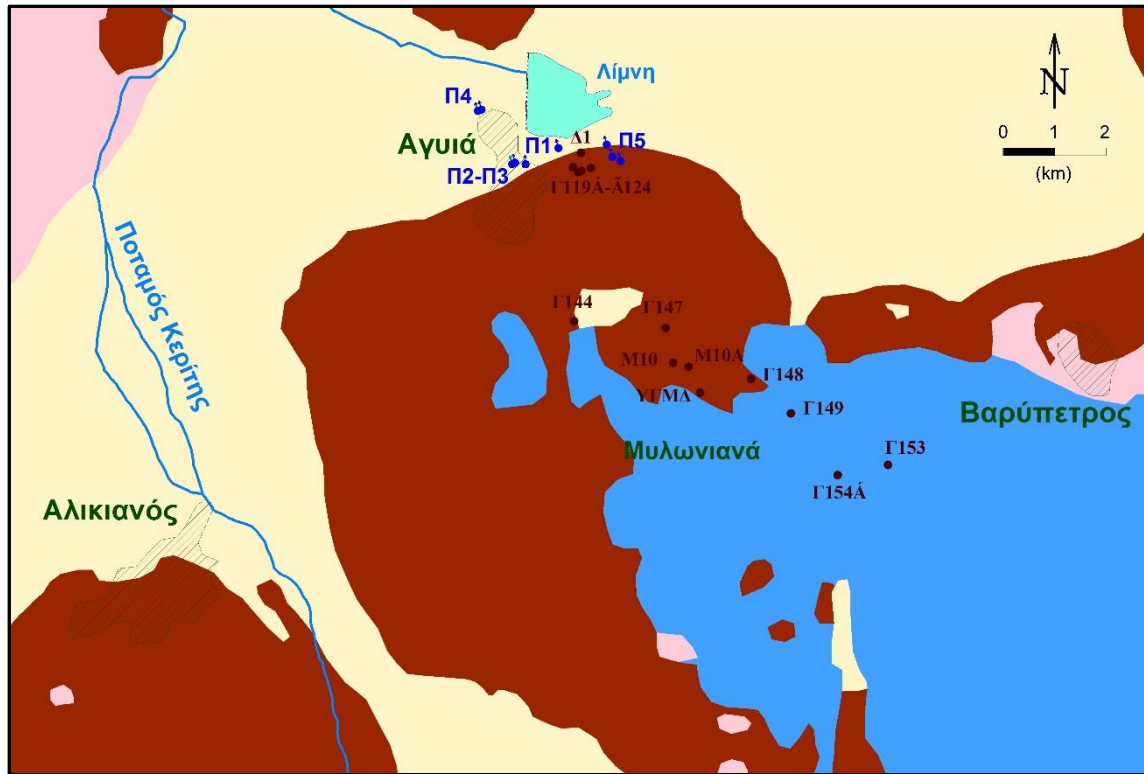
Εντός αυτών των σχηματισμών αναπτύσσεται υδροφορία (φρεάτιος ορίζοντας), μη αξιόλογου δυναμικού συγκριτικά με το δυναμικό της καρστικής υδροφορίας.

Από τους προαναφερόμενους γεωλογικούς σχηματισμούς, η ανθρακική ενότητα Τρυπαλίου είναι η αξιολογότερη υδρολιθολογική μονάδα. Έχει σημαντική εξάπλωση στο κεντρικό τμήμα της περιοχής ενδιαφέροντος και καλύπτεται από διλουβιακές και αλλουβιακές αποθέσεις. Με βάση τα χαρακτηριστικά των επιφανειακών εμφανίσεων της ενότητας, την αξιολόγηση γεωτρητικών δεδομένων και την εποχική διακύμανση της στάθμης των γεωτρήσεων, προκύπτει ότι οι ανθρακικοί σχηματισμοί Τρυπαλίου είναι έντονα καρστικοποιημένοι.

Με βάση την πιεζομετρία της περιοχής η κύρια διεύθυνση υπόγειας ροής είναι από νότια – νοτιοανατολικά προς τα βόρεια, χωρίς όμως να πραγματοποιούνται διαφυγές βορειότερα από τον άξονα εμφάνισης των πηγών (Στειακάκης κ.ά., 2017).

2.2.2. Σημεία νερού

Τα σημεία νερού στην περιοχή ενδιαφέροντος αφορούν πηγές και γεωτρήσεις και παρουσιάζονται στο Σχήμα 2.5, σε απόσπασμα του γεωλογικού χάρτη (Σχήμα 2.4).



**Σχήμα 2.5: Σημεία νερού στην περιοχή ενδιαφέροντος
(Υπόμνημα: Σχήμα 2.4).**

Η καρστική υδροφορία του συστήματος πηγών Αγκυιάς τροφοδοτείται, όπως προαναφέρθηκε, από το ανάντη τμήμα των Λευκών Ορέων, το οποίο περιλαμβάνει και το Οροπέδιο του Ομαλού. Από ιχνηθετήσεις που πραγματοποίησε το ΙΓΜΕ έχει διαπιστωθεί υδραυλική επικοινωνία του Οροπεδίου με τις πηγές Αγκυιάς και Μεσκλών (Λιονής – Περλέρος, 2001).

Η υδροφορία αναπτύσσεται στους καρστικούς ασβεστολίθους και δολομίτες Τρυπαλίου και εκφορτίζεται κυρίως στην περιοχή της Αγκυιάς με ένα μέτωπο πηγών (Βαρύπετρος – Π5, Βρυσίδα – Π2, Καλαμιώνας – Π4, Κολύμπα – Π3, Πλάτανος – Π1, βλέπε Σχήμα 2.5).

Οι πηγές της Αγυιάς είναι πηγές επαφής – υπερπλήρωσης και σημειώνονται σε απόλυτα υψόμετρα από +33,52 m (Καλαμιώνας) μέχρι +40,64 m (Βαρύπετρος). Η εκφόρτιση της πηγής Πλατάνου εκδηλώνεται σε συνθήκες υπο-πίεσης (Στειακάκης κ.ά., 2017).

Από έρευνες – μελέτες που πραγματοποιήθηκαν, διαπιστώθηκε ότι το καθεστώς φυσικής ανάβλυσης των πηγών επιδέχεται αναρρύθμιση, η οποία ήδη επιχειρείται μερικώς με πραγματοποιούμενες αντλήσεις των γεωτρήσεων ανάντη των πηγών (Πολυτεχνείο Κρήτης, 2009, Στειακάκης κ.ά., 2010).

Η έρευνα του υδροφορέα της Αγυιάς ξεκίνησε το 1972, με στόχο το σχεδιασμό της βέλτιστης εκμετάλλευσης του (Παυλάκης κ.ά., 1972). Περιελάμβανε γεωλογική χαρτογράφηση, γεωφυσικές διασκοπήσεις, ερευνητικές γεωτρήσεις και έρευνες διαπερατότητας των γεωλογικών σχηματισμών.

Πιο συγκεκριμένα, από την γεωτρητική έρευνα διαπιστώθηκε η σε βάθος ανάπτυξη του καρστικού υδροφορέα, τουλάχιστον μέχρι του βάθους των 12 m κάτω από το επίπεδο της θάλασσας. Διαπιστώθηκε επίσης ότι οι πηγές της Αγυιάς εμφανίζουν ευνοϊκές προϋποθέσεις για μία σημαντική υπερετήσια αναρρύθμιση της παροχής τους. Για το σκοπό αυτό κατασκευάσθηκε σειρά υδρογεωτρήσεων ανάντη της ζώνης εκφόρτισης των πηγών.

Προκειμένου να επιτευχθεί ο στόχος της αναρρύθμισης, η μέγιστη αντλούμενη παροχή προσδιορίσθηκε τότε σε τουλάχιστον 6 m³/s (Παυλάκης κ.ά., 1972), ο δε αντλούμενος όγκος νερού τουλάχιστον ίσος με την ελάχιστη ποσότητα εκφόρτισης κατ' έτος, δηλαδή άνω των 70 × 10⁶ m³ (Στειακάκης κ.ά., 2017).

Από τις αρχές της δεκαετίας του 1970 οι ανάγκες διαχείρισης οδήγησαν στην κατασκευή πέντε παραγωγικών γεωτρήσεων στην περιοχή Μυλωνιανών (Σχήμα 2.5), ανάντη των πηγών της Αγυιάς, η λειτουργία των οποίων αποτέλεσε μια «άδηλη» προσπάθεια αναρρύθμισης των πηγών. Η μείωση στις απορροές των πηγών (Πίνακας 2.2) αποδίδεται σαφώς στην μεταβολή του ρυθμού άντλησης των γεωτρήσεων, η οποία από 6,6 × 10⁶ m³/έτος το 1990, έχει αυξηθεί σε 25,3 × 10⁶ m³/έτος το 2016 (Στειακάκης κ.ά., 2017).

Πίνακας 2.2: Ενδεικτικές ετήσιες απορροές πηγών Αγυιάς (Στειακάκης κ.ά., 2017).

Πηγές	Ετήσιες απορροές (εκατομμύρια m ³)		
	1990	2009	2016
Καλαμιώνας	13,28	11,21	10,02
Κολύμπα	9,74	8,02	6,95
Βρυσίδια	2,61	1,47	0,46
Πλάτανος	11,60	10,50	9,81
Βαρύπετρο	7,99	4,07	1,55
ΣΥΝΟΛΟ	45,22	35,27	28,79

Επιπρόσθετα, προγραμματίζεται από τις τοπικές αρχές ένα νέο, εντατικότερο σχέδιο εκμετάλλευσης στο πλαίσιο υλοποίησης ενός προγράμματος αναρρύθμισης. Περιλαμβάνει εκτός από την άντληση νερού από τις πηγές, την κατασκευή τριών (3) νέων γεωτρήσεων, με συνολική παροχή άντλησης 2.560 m³/h και περαιτέρω αύξηση των αντλήσεων σε υφιστάμενες γεωτρήσεις (Στειακάκης κ.ά., 2017).

Με βάση και το νέο σχέδιο εκμετάλλευσης, οι αντλήσεις από τους τέσσερις φορείς που εμπλέκονται στην διαχείριση του υδροφορέα (Δημοτική Επιχείρηση Ύδρευσης – Αποχέτευσης Χανίων: ΔΕΥΑΧ, Οργανισμός Ανάπτυξης Κρήτης: ΟΑΚ, Τοπικός Οργανισμός Εγγείων Βελτιώσεων Βαρυπέτρου: ΤΟΕΒΒ και Νερά Κρήτης Α.Ε.), διαμορφώνονται την τρέχουσα χρονική περίοδο σύμφωνα με τον Πίνακα 2.3.

Πίνακας 2.3: Ενδεικτικές παροχές άντλησης γεωτρήσεων Αγυιάς.

Κωδικός γεώτρησης	Φορέας διαχείρισης	Ενδεικτική παροχή (m³/h)	
		Υφιστάμενος σχεδιασμός (2017)	Νέος σχεδιασμός
Πεδίο Αγυιάς			
Γ119Α	ΔΕΥΑΧ	295	295
Γ121	ΔΕΥΑΧ	270	280
Γ122	ΔΕΥΑΧ	210	210
Γ124	ΔΕΥΑΧ	300	300
Δ1	ΔΕΥΑΧ	170	170
Πεδίο Μυλωνιανών			
Γ144 (Μ2)	ΟΑΚ	900	900
Γ147 (Μ1)	ΟΑΚ	900	900
Γ148 (Μ8)	ΟΑΚ	900	900
Γ149 (Μ5)	ΟΑΚ	300	300
Γ153 (Μ7)	Νερά Κρήτης	60	60
Γ154Α (Μ6-ΝΕΑ)	ΟΑΚ	-	300
Μ10	ΤΟΕΒΒ	310	310
Μ10Α (Μ10-ΝΕΑ)	ΤΟΕΒΒ	-	300
ΥΓΜΔ	ΟΑΚ	-	950
ΣΥΝΟΛΟ		4.615	6.175

Οι θέσεις των παραπάνω γεωτρήσεων άντλησης διακρίνονται στο Σχήμα 2.5.

2.3. Ποιότητα νερού

Στον εγκατεστημένο από την Περιφέρεια Κρήτης σταθμό μέτρησης της στάθμης και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας ανάντη των πηγών Αγυιάς, παρατηρείται αύξηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας τις περιόδους ταπείνωσης της στάθμης, ενώ η ποιότητα του νερού είναι σταθερή και χαρακτηρίζεται ως «πολύ καλή» (Περιφέρεια Κρήτης, 2007).

Στο Σχήμα 2.6 καταγράφεται η συσχέτιση παροχής – ηλεκτρικής αγωγιμότητας των πηγών Αγυιάς, όπου φαίνεται η πολύ καλή ποιότητα του νερού (διακύμανση αγωγιμότητας 224 – 390 $\mu\text{S}/\text{cm}$) (Παυλίδου Σ.- Ι.Γ.Μ.Ε.).



Σχήμα 2.6: Μετρήσεις παροχής και ηλεκτρικής αγωγιμότητας ανάντη των πηγών Αγυιάς (Παυλίδου – Ι.Γ.Μ.Ε., 2009).

Ποιοτικά το νερό των πηγών Αγυιάς είναι «καλής» ποσιμότητας ή 1ης τάξης, βάσει του διαγράμματος ποσιμότητας κατά Waterlot. Η θερμοκρασία δε αυτού είναι σχεδόν σταθερή στους 13°C (Παυλίδου, 2009).

Στο πλαίσιο του ερευνητικού έργου STRIDE (1992), στο οποίο συνεργάστηκαν το Πολυτεχνείο Κρήτης, ο Οργανισμός Ανάπτυξης Δυτικής Κρήτης (ΟΑΔΥΚ, σημερινός ΟΑΚ) και η Δημοτική Επιχείρηση Ύδρευσης – Αποχέτευσης Χανίων (ΔΕΥΑΧ), πραγματοποιήθηκε μελέτη ενός πλήθους σημείων νερού, όπου μεταξύ αυτών συμπεριλήφθηκαν οι πηγές Πλατάνου, Κολύμπας, Καλαμιώνα και η γεώτρηση Βλυχάδων στην περιοχή Κουφού, δυτικά – νοτιοδυτικά των πηγών.

Στον Πίνακα 2.4 παρουσιάζονται φυσικοχημικές παράμετροι των νερών των πηγών Πλατάνου και Κολύμπας σύμφωνα με μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν, στα πλαίσια του παραπάνω ερευνητικού προγράμματος.

Πίνακας 2.4: Φυσικοχημικές παράμετροι των νερών των πηγών Πλατάνου και Κολύμπας (Πολυτεχνείο Κρήτης, 1992).

Παράμετρος	Πηγή Πλατάνου			Πηγή Κολύμπας		
	Μέση τιμή	Ελάχιστη τιμή	Μέγιστη τιμή	Μέση τιμή	Ελάχιστη τιμή	Μέγιστη τιμή
pH	7,93	7,75	8,13	7,91	7,82	7,98
Ηλεκτρική αγωγιμότητα (μs/cm)	281	220	379	434	300	595
Σκληρότητα (mg/l CaCO ₃)	136	121	152	243	198	30
Αλκαλικότητα (mg/l)	113	94	131	129	120	156
TDS (mg/l)	194	152	262	300	207	411
Ca ²⁺ (mg/l)	36,5	34,9	38,4	65,8	57,2	73,8
Mg ²⁺ (mg/l)	10,4	7,7	11,8	20,6	16,2	29,5
Na ⁺ (mg/l)	4,2	4,2	4,2	7,7	7,7	7,7
K ⁺ (mg/l)	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4
HCO ₃ ⁻ (mg/l)	135	121	152	158	146	190
Cl ⁻ (mg/l)	13,7	11,7	19,4	25,2	22,1	29,4
SO ₄ ²⁻ (mg/l)	15,0	12,0	19,0	116,0	53,0	163,0
SiO ₂ (mg/l)	4,8	3,2	2,5	5,7	5,2	6,2

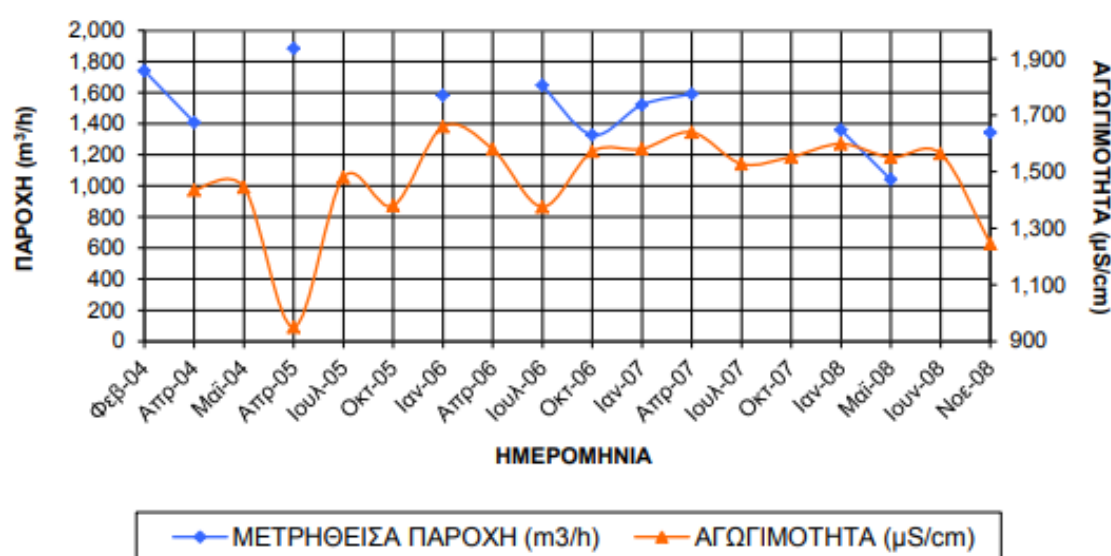
Από τα ανατολικά προς τα δυτικά οι πηγές Αγυιάς παρουσιάζουν αύξηση των θειικών αλάτων με μεγαλύτερες τιμές στη πηγή Καλαμιώνα (Λιονής – Περγλέρος, 2001).

Ειδικά για την πηγή του Καλαμιώνα, θα πρέπει να αναφερθεί ότι από ισοτοπικές αναλύσεις που έγιναν στα πλαίσια του έργου «Καταγραφή και αποτίμηση των υδρογεωλογικών χαρακτήρων των υπογείων νερών και των υδροφόρων συστημάτων της χώρας: Καρστικό υδροφόρο σύστημα Λευκών Ορέων» (Παυλίδου, 2009), παρατηρήθηκε μηδενική τιμή τριτίου (³H) για την πρώτη δειγματοληψία (Ιούλιος 2007) και ίση με 1,09 για την δεύτερη δειγματοληψία (Σεπτέμβριος 2007).

Αυτό θα μπορούσε να σημαίνει όχι «φρέσκο» νερό ή διατυπώνοντάς το αλλιώς, μεγάλος χρόνος παραμονής του νερού εντός του υδροφόρου, που μπορεί να οφείλεται σε μεγάλο μέγεθος του υδροφόρου. «Ακόμη μπορεί να σημαίνει χαμηλός εμπλουτισμός του υδροφορέα», χωρίς να αποκλείεται η τιμή αυτή να οφείλεται και σε ύπαρξη στρωμάτων νερού διαφορετικής ηλικίας, κάτω από την υδροστατική στάθμη (Παυλίδου, 2009).

Μία άλλη παρατήρηση που αφορά την πηγή του Καλαμιώνα είναι η υψηλότερη θερμοκρασία που παρουσιάζει το νερό της ($17,8^{\circ}\text{C}$), συγκριτικά με αυτό των πηγών της Αγυιάς (όπου η μέγιστη θερμοκρασία που έχει μετρηθεί $14,3^{\circ}\text{C}$).

Όπως δε φαίνεται στο Σχήμα 2.7, η ηλεκτρική αγωγιμότητα κυμαίνεται μεταξύ $1.660 - 950 \mu\text{S}/\text{cm}$ και το pH μετρήθηκε έως και 6,97, υποδηλώνοντας ελαφρώς όξινο νερό (Παυλίδου, 2009).



Σχήμα 2.7: Μετρήσεις παροχής και ηλεκτρικής αγωγιμότητας στην πηγή Καλαμιώνα (Παυλίδου – Ι.Γ.Μ.Ε., 2009).

Σύμφωνα με τα συμπεράσματα του έργου «Καταγραφή και αποτίμηση των υδρογεωλογικών χαρακτήρων των υπογείων νερών και των υδροφόρων συστημάτων της χώρας: Καρστικό υδροφόρο σύστημα Λευκών Ορέων», ποιοτικά η πηγή του Καλαμιώνα παρουσιάζει αυξημένα θειικά λόγω πιθανής ύπαρξης φακών ή ενστρώσεων

γύψων που «συναντώνται σε αρκετά σημεία ΝΔ, στην λεκάνη Κουφού» (Παυλίδου, 2009).

Η αυξημένη συγκέντρωση θεικών διαπιστώθηκε και από το Πολυτεχνείο Κρήτης (1992), όπως παρατηρείται στον Πίνακα 2.5, στον οποίο παρουσιάζονται χημικές παράμετροι των νερών της πηγής Καλαμιώνα και της γεώτρησης Βλυχάδων Κουφού Νο.1.

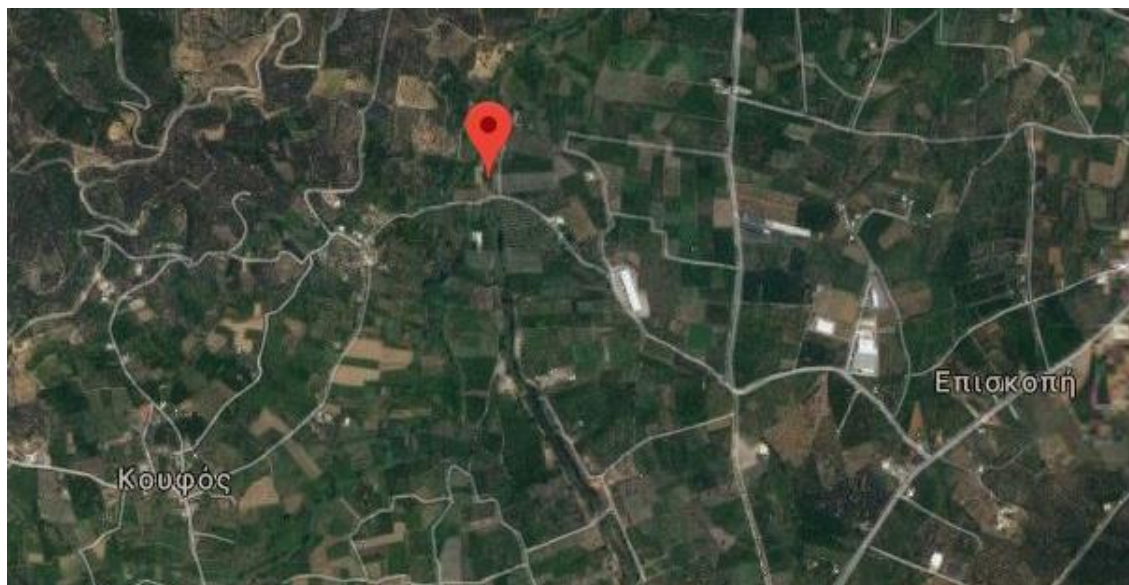
Πίνακας 2.5: Χημικές Παράμετροι των νερών της πηγής Καλαμιώνα και της γεώτρησης Βλυχάδων Κουφού Νο.1 (Πολυτεχνείο Κρήτης, 1992)

Παράμετρος	Πηγή Καλαμιώνα			Γεώτρηση Βλυχάδων		
	Μέση τιμή	Ελάχιστη τιμή	Μέγιστη τιμή	Μέση τιμή	Ελάχιστη τιμή	Μέγιστη τιμή
Na ⁺ (mg/l)	17,9	2,1	25,0	17,5	12,5	26,3
K ⁺ (mg/l)	1,0	0,4	2,4	0,7	0,3	0,9
Ca ²⁺ (mg/l)	190,8	26,8	245,0	195,6	152,8	217,2
Mg ²⁺ (mg/l)	68,1	54,7	109,3	57,0	40,0	88,8
Cl ⁻ (mg/l)	40,4	34,0	54,0	33,3	28,0	41,0
HCO ₃ ⁻ (mg/l)	145,2	133,0	168,0	176,4	161,0	224,5
CO ₃ ²⁻ (mg/l)	-	-	-	-	-	-
SO ₄ ²⁻ (mg/l)	594,6	420,0	800,0	505,0	420,0	580,0

Συγκρίνοντας τα στοιχεία του Πίνακα 2.5, είναι προφανής η έντονη ομοιότητα των χαρακτηριστικών της πηγής Καλαμιώνα σε σχέση με αυτών της γεώτρησης Κουφού.

Όπως παρατηρείται στον Πίνακα 2.5 τα αυξημένα θειικά (SO₄²⁻) της πηγής Καλαμιώνα ακολουθούν το χημισμό του νερού της γεώτρησης Βλυχάδων, ενισχύοντας την άποψη υπόγειας ροής του νερού και από ΔΝΔ (Βλυχάδες Κουφού) προς ΑΒΑ (πηγή Καλαμιώνα), επιπρόσθετα στην κύρια ροή (ΝΝΑ προς ΒΒΔ).

Η θέση της παραπάνω γεώτρησης, όπως και η στρωματογραφική της στήλη, φαίνονται στα Σχήματα 2.8 και 2.9.

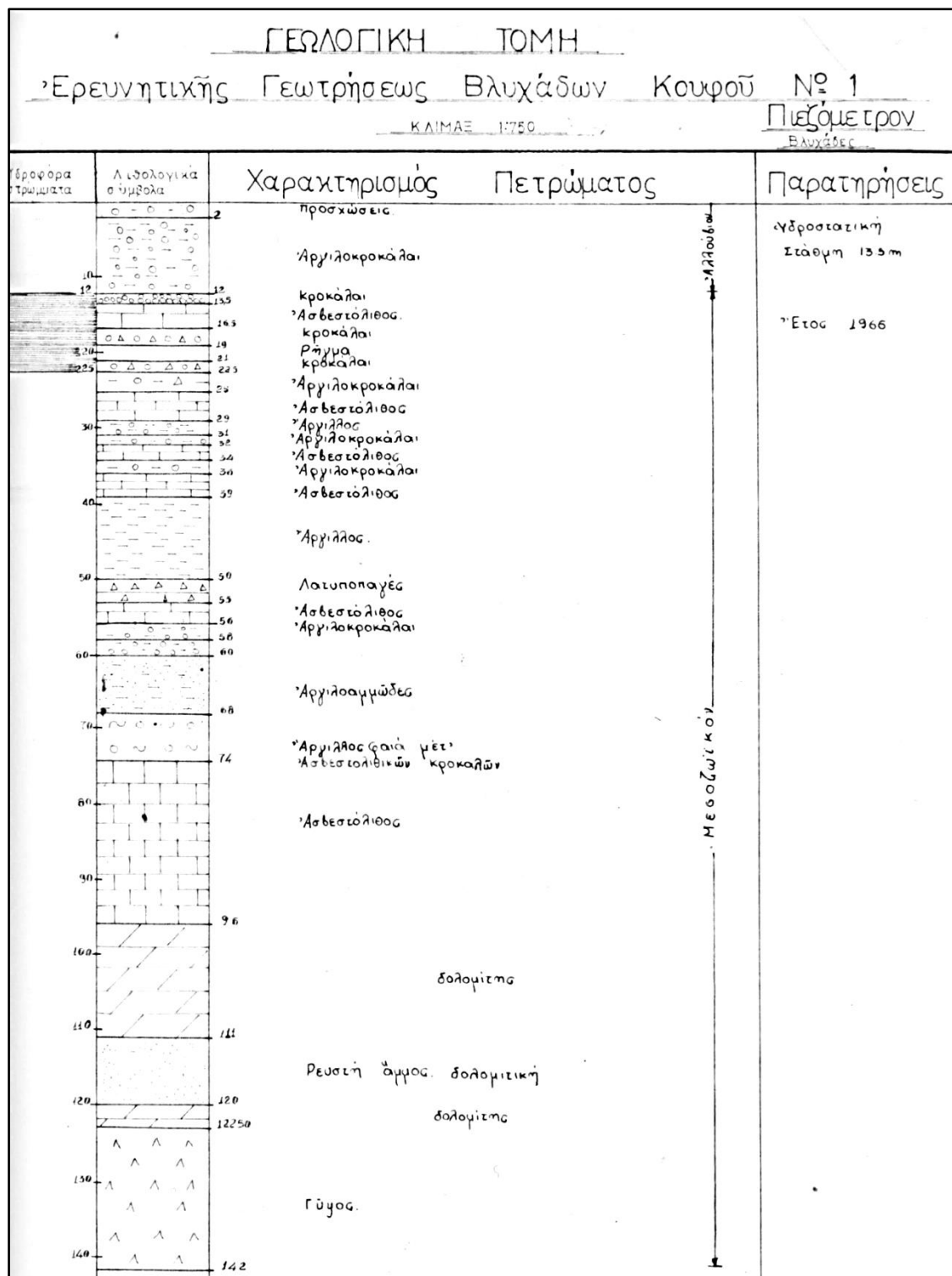


Σχήμα 2.8: Θέση γεώτρησης Βλυχάδων Κουφού No.1 (Google Earth).

Από την τομή της γεώτρησης Κουφού (Σχήμα 2.9) παρατηρείται η ύπαρξη ενός στρώματος γύψου πάχους 20 m περίπου, στην οποία πιθανόν οφείλεται η αυξημένη συγκέντρωση θειικών ιόντων.

Με βάση τα παραπάνω και στο πλαίσιο της σχεδιαζόμενης αναρρύθμισης των πηγών Αγυιάς, κρίθηκε σκόπιμο να διερευνηθεί το ενδεχόμενο επιβάρυνσης της ποιότητας του νερού της Κολύμπας (και κατ' επέκταση των υπολοίπων πηγών Αγυιάς), από την πηγή του Καλαμιώνα, λόγω της αναμενόμενης αλλαγής της πιεζομετρίας στη περιοχή των πηγών.

Η διερεύνηση αυτή ανατέθηκε από την ΔΕΥΑΧ στο Πολυτεχνείο Κρήτης (2017) και περιέλαβε γεωφυσική διασκόπηση με την μέθοδο της γεωηλεκτρικής τομογραφίας, προκειμένου να διερευνηθεί η γεωλογική δομή του υπεδάφους σε τρεις (3) γραμμές μελέτης (L1, L2, L3) συνολικού μήκους 2 km (Σχήμα 2.10).



Σχήμα 2.9: Γεωλογική τομή γεώτρησης Κουφού (Φραγκόπουλος & Κωνσταντινίδης, 1969).

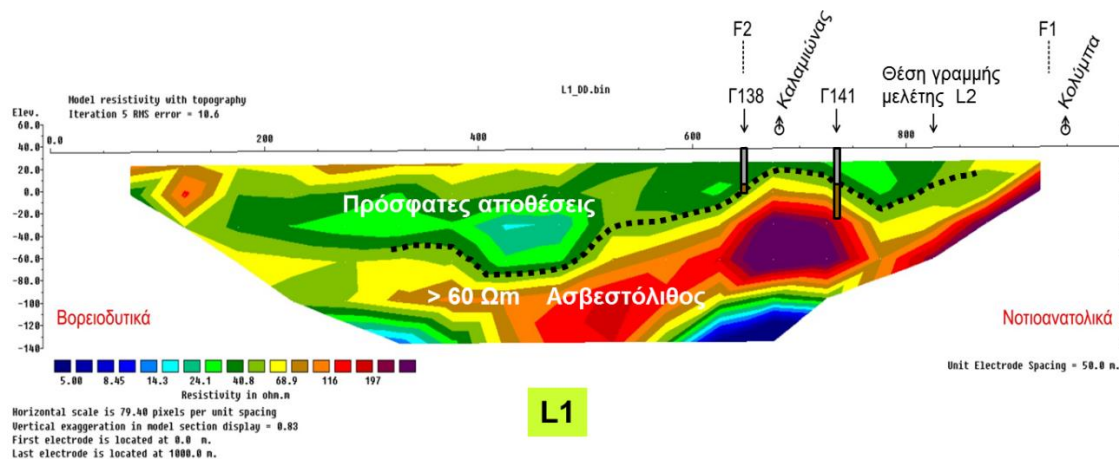


Σχήμα 2.10: Χάρτης Google Earth της περιοχής Αγιάς με τις θέσεις των 3 γραμμών γεωφυσικής διασκόπησης (Πολυτεχνείο Κρήτης, 2017).

Στο Σχήμα 2.10, με κίτρινο χρώμα φαίνονται οι θέσεις των ηλεκτροδίων και με πράσινο χρώμα απεικονίζονται οι θέσεις των πηγών.

Με βάση τις παραπάνω τρεις γεωηλεκτρικές τομές προέκυψε ότι ο ασβεστολιθικός καρστικός σχηματισμός βυθίζεται προς τα ΒΔ, και η οροφή του εντοπίζεται στα +20 m στην περιοχή της Κολύμπας και στα +8 m στην περιοχή του Καλαμιώνα, ενώ στο μεταξύ τους διάστημα αναπτύσσεται τοπικό βύθισμα που προσεγγίζει τα -8 m, όπως διακρίνεται στο Σχήμα 2.11.

Στο Σχήμα 2.11, η διακεκομμένη μαύρη γραμμή μέσα στην γεωηλεκτρική τομή δείχνει τα όρια των στρωμάτων. Στην γεωηλεκτρική τομή απεικονίζονται οι προβολές των γεωτρήσεων (βέλη) και των πηγών, καθώς επίσης και το ίχνος της γραμμής μελέτης L2 (βέλος) που παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.10.



Σχήμα 2.11: Γεωηλεκτρική τομή L1 με την χρήση της νόρμας L1 και την διάταξη διπόλου – διπόλου (Πολυτεχνείο Κρήτης, 2017).

Το παρατηρούμενο βύθισμα είναι πληρωμένο με αλλουβιακές και διλουβιακές αποθέσεις μικρής υδροπερατότητας, οι οποίες παρεμποδίζουν την κίνηση του υπόγειου νερού. Ωστόσο η κίνηση του δεν αποκλείεται να γίνεται μέσω του υποκείμενου ασβεστολιθικού σχηματισμού (Πολυτεχνείο Κρήτης, 2017).

Σημειώνεται ότι η ίδια μελέτη (Πολυτεχνείο Κρήτης, 2017) διαπίστωσε την ύπαρξη δύο ρηγμάτων, F1 και F2, (Σχήμα 2.11, μαύρες διακεκομμένες γραμμές). Το πρώτο ρήγμα (F1), με διεύθυνση Δ – Α, βόρεια των πηγών Κολύμπας, Πλατάνου και Βαρυπέτρου, παρουσιάζει άλμα 25 – 30 m, ενώ το δεύτερο (F2) με διεύθυνση Β – Ν, εντοπίζεται δυτικά της πηγής του Καλαμιώνα και παρουσιάζει άλμα μεγαλύτερο των 30 m.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΥΔΡΟΛΟΓΙΑ - ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ

Το κλίμα του νομού Χανίων θεωρείται μεσογειακό με ήπιους υγρούς χειμώνες και θερμά ξηρά καλοκαίρια (Voudouris et al, 2006, με πηγές από Πέννα, 1977 και Μάρκου – Ιακωβάκη, 1979).

Η κατανομή των βροχοπτώσεων δεν είναι ίδια για όλη την Κρήτη αλλά μεταβάλλεται τόσο από βόρεια προς νότια, όσο και από ανατολικά προς δυτικά. Στην ανατολική Κρήτη η μέση ετήσια βροχόπτωση είναι κατά 22% μικρότερη σε σχέση με την δυτική (Περλέρους κ.α, 2004).

3.1. Λεκάνη απορροής

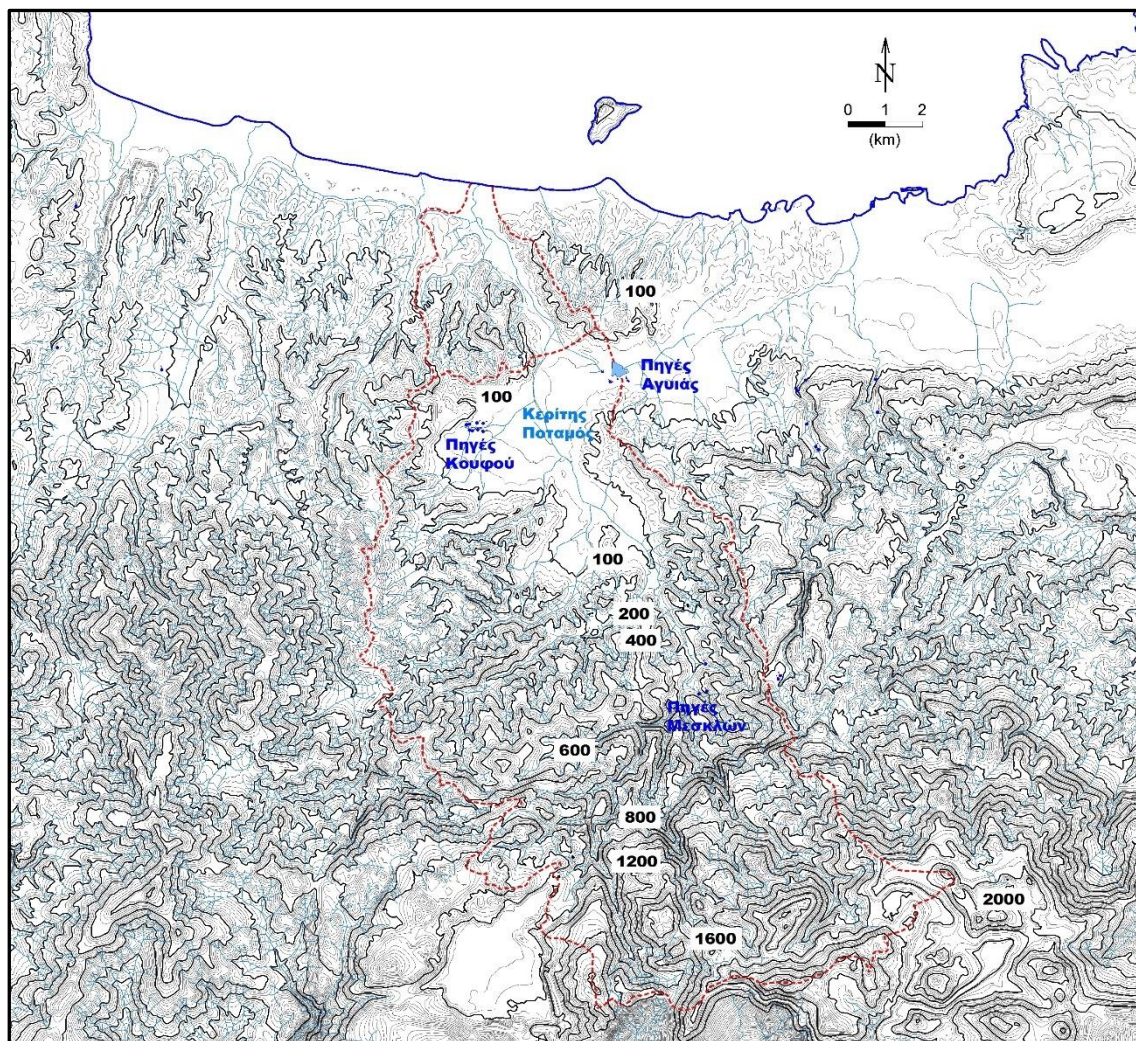
Ως λεκάνη απορροής ή υδρολογική λεκάνη στην ευρύτερη περιοχή της Αγυιάς ορίζεται το τμήμα της επιφάνειας του εδάφους στην οποία τα νερά που ρέουν επιφανειακά φέρονται με το υδρογραφικό δίκτυο στην κοίτη του Κερίτη ποταμού, ο οποίος τα οδηγεί στην θάλασσα.

Η οριοθέτηση της υδρολογικής λεκάνης Κερίτη (από τον ομώνυμο χείμαρρο) έγινε με την βοήθεια του λογισμικού AutoCAD σε τοπογραφικούς χάρτες της περιοχής (ΓΥΣ, 2007).

Στο Σχήμα 3.1 διακρίνονται τα όρια της λεκάνης με κόκκινη διακεκομμένη γραμμή. Διακρίνονται επίσης και τα όρια της υπο-λεκάνης Αγυιάς (νότιο τμήμα λεκάνης Κερίτη με απόλυτα υψόμετρα άνω των 40 m).

Η εμβαδομέτρηση μεταξύ των ισοϋψών (ισοδιάσταση 20 m) έδωσε τα μεγέθη που παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.1 και έδειξε πως η συνολική επιφάνεια που βρίσκεται εντός του υδροκρίτη είναι περίπου 154,4 km².

Η έκταση της υπο-λεκάνης Αγυιάς (πάνω από 40 m απόλυτο υψόμετρο) είναι αντίστοιχα ίση με 148,9 km².



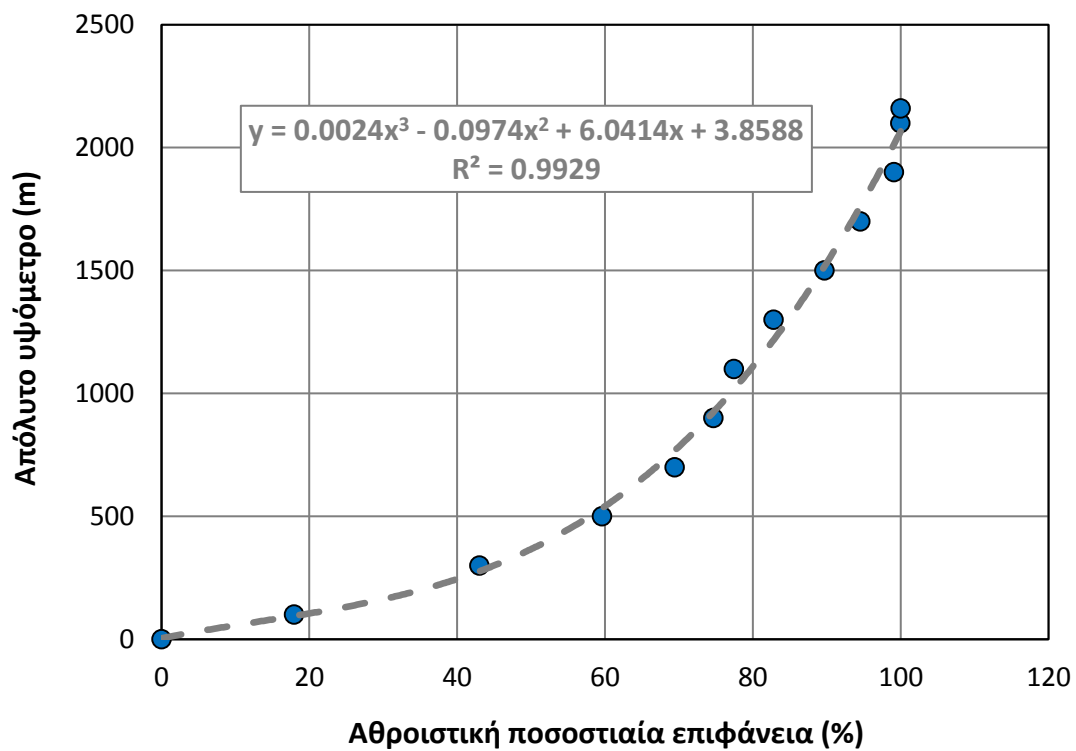
Σχήμα 3.1: Τοπογραφικός χάρτης με την υδρολογική λεκάνη Κερίτη.

Με βάση τα δεδομένα του Πίνακα 3.1 κατασκευάστηκε η υψογραφική καμπύλη της περιοχής (Σχήμα 3.2). Σε αυτήν φαίνεται η αθροιστική ποσοστιαία κατανομή της επιφάνειας της λεκάνης Κερίτη σε κάθε υψόμετρο.

Στο Σχήμα 3.2 παρουσιάζεται η υψογραφική καμπύλη της υδρολογικής λεκάνης Κερίτη. Παρατηρείται πως το 85% της επιφάνειας της λεκάνης βρίσκεται σε υψόμετρο έως και 1500m, ενώ το υπόλοιπο 15% της επιφάνειάς της εκτείνεται σε υψόμετρο άνω των 1500m. Το γεγονός αυτό, δηλώνει πως το μεγαλύτερο μέρος της αφορά πεδινά και ημιπεδινά τμήματα.

Πίνακας 3.1: Εμβαδομέτρηση της υδρολογικής λεκάνης Κερίτη.

Υψόμετρο (m)	Εμβαδό (km ²)	Ποσοστό (%)
0 - 40	5,4	3,5
40 - 100	22,3	14,4
100 - 300	38,7	25,1
300 - 500	25,6	16,6
500 - 700	15,1	9,8
700 - 900	8,1	5,2
900 - 1100	4,3	2,8
1100 - 1300	8,3	5,4
1300 - 1500	10,6	6,9
1500 - 1700	7,5	4,9
1700 - 1900	7,0	4,5
1900 +	1,3	0,9
ΣΥΝΟΛΟ	154,4	100



Σχήμα 3.2: Υψογραφική καμπύλη της υδρολογικής λεκάνης Κερίτη.

3.2. Βροχοπτώσεις

3.2.1. Αρχικά βροχομετρικά δεδομένα

Για την εκπόνηση της παρούσας εργασίας χρειάστηκε η συγκέντρωση βροχομετρικών δεδομένων της ευρύτερης περιοχής έρευνας. Τα δεδομένα πέρα από την απαίτηση ότι πρέπει να αφορούν επαρκή αριθμό σταθμών πρέπει να δίνουν πληροφορίες και για ένα αρκετά μεγάλο χρονικό παράθυρο, ώστε τα συμπεράσματα που θα προκύψουν να είναι έγκυρα και αξιόπιστα.

Έπειτα από έρευνα που έγινε εντοπίστηκαν στοιχεία για διάφορους σταθμούς, που ωστόσο είχαν αρκετά μεγάλες ελλείψεις. Τα βροχομετρικά στοιχεία της εργασίας προήλθαν τόσο από την Αποκεντρωμένη Διοίκηση Κρήτης (ΑΔΚ) / Περιφέρεια Κρήτης, Διεύθυνση Εγγείων Βελτιώσεων (ΠΔΕΒ), όσο και από το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών (ΕΑΑ), το οποίο σε συνεργασία με την μετεωρολογική ιστοσελίδα www.meteo.gr παρέχει κλιματικά δεδομένα για μεγάλο αριθμό σταθμών στην Ελλάδα.

Τα διαθέσιμα δεδομένα αφορούσαν ημερήσιες ή μηνιαίες μετρήσεις ύψους κατακρημνισμάτων σε mm (με ακρίβεια $\pm 0,2$ mm). Με βάση τα στοιχεία αυτά υπολογίστηκαν τα συνολικά ύψη βροχόπτωσης κάθε «υδρολογικού έτους» (που ξεκινά την 1η Σεπτεμβρίου του ενός έτους και λήγει στις 31 Αυγούστου του επόμενου).

Οι διαθέσιμες μετρήσεις αφορούσαν 30 βροχομετρικούς / μετεωρολογικούς σταθμούς και συγκεκριμένα τους σταθμούς: Άγιοι Πάντες, Αγροκήπιο (Χανιά κέντρο), Αλικιανός (Α και Β, 2 σταθμοί), Ασή Γωνιά, Ασκύφου (Α και Β, 2 σταθμοί), Βρύσες, Ζυμβραγού, Καλύβες, Κάνδανος, Κολυμβάρι, Μεσκλά, Μουρί, Μπούτακας, Παλαιά Ρούματα, Παλαιόχωρα, Πλατανιάς, Πρασσές, Σαμαριά (Δρυμός), Σαμαριά (Φαράγγι), Σάμωνα, Σέμπρωνας, Σούδα, Στέρνες, Στροβλές, Σφακιά, Ταυρωνίτης, Φαλάσαρνα, Χανιά και Ψυχρό Πηγάδι.

Παρακάτω παρουσιάζονται πληροφορίες για όλους τους σταθμούς, τόσο σχετικά με το φορέα διαχείρισής και την θέση τους (δήμος, γεωγραφικές συντεταγμένες, απόλυτο υψόμετρο) (Πίνακας 3.2), όσο και για το χρονικό διάστημα των διαθέσιμων μετρήσεων (Πίνακας 3.3). Σημειώνεται ότι υπάρχει και δεύτερος μετεωρολογικός σταθμός στα Χανιά (γεωγραφικές συντεταγμένες: 24°02'00.0"E, 35°02'00.0"N, απόλυτο υψόμετρο

62 m) με φορέα διαχείρισης την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (ΕΜΥ) και δεδομένα από το 1961 έως το 2000.

Όμως, τα δεδομένα αυτά παρέχονται από την υπηρεσία μόνο μετά από σχετικό αίτημα. Το αίτημα αυτό δεν κρίθηκε σκόπιμο να γίνει, καθώς για την εργασία επιλέχθηκε μεταγενέστερη χρονική περίοδος για την επεξεργασία των βροχομετρικών δεδομένων, όπως περιγράφεται παρακάτω.

Η διαδικασία εντοπισμού και επιλογής των κατάλληλων σταθμών για την εκτίμηση των κατακρημνισμάτων της περιοχής μελέτης ήταν επίπονη.

Στους σταθμούς υπάρχουν μεγάλες χρονικές περίοδοι χωρίς καταγραφές βροχόπτωσης ή με ελλιπείς μετρήσεις, ενώ πολύ λίγοι είναι αυτοί που λειτουργούν αδιάκοπα για ένα σημαντικό χρονικό διάστημα (βλέπε Πίνακα 3.3).

Η πλειοψηφία των παραπάνω σταθμών απορρίφθηκε, είτε άμεσα, λόγω μεγάλης απόστασης από την περιοχή μελέτης, είτε σε δεύτερο χρόνο, όταν διαπιστώθηκαν μεγάλα κενά στις μετρήσεις τους.

3.2.2. Επιλεγμένα βροχομετρικά δεδομένα

Από τους τριάντα διαθέσιμους σταθμούς (30) (Πίνακας 3.2), επελέγησαν ως αντιπροσωπευτικοί της περιοχής ενδιαφέροντος δεκατέσσερις (14), οι οποίοι βρίσκονται εγκατεστημένοι στους Δήμους Πλατανιά και Χανίων. Οι υπόλοιποι δεκαέξι (16) σταθμοί αποκλείστηκαν από την περαιτέρω επεξεργασία λόγω απόστασης από την περιοχή έρευνας (διαφορετική μικροκλιματική).

Συγκεντρώνοντας τα δεδομένα από τους δεκατέσσερις (14) εναπομείναντες σταθμούς, αυτά ταξινομήθηκαν σε πίνακα ώστε να είναι εμφανείς οι μήνες χωρίς καταγραφές.

Στην συνέχεια βρέθηκε το ετήσιο ύψος βροχής για κάθε υδρολογικό έτος από το 1973-74 (υδρολογικό έτος στο οποίο αρχίζουν να λειτουργούν οι περισσότεροι σταθμοί), έως και το 2017-18 (Πίνακας 3.4α-β).

Πίνακας 3.2: Διαθέσιμοι βροχομετρικοί / μετεωρολογικοί σταθμοί.

Σταθμός	Κωδικός	Φορέας διαχείρισης	Δήμος	Γεωγρ. συντεταγμένες		Απόλυτο υψόμετρο (m)
				Μήκος	Πλάτος	
Άγιοι Πάντες	LG7E	ΕΑΑ	Αποκορώνου	24°12'00.0"E	35°24'00.0"N	148
Αγροκήπιο	LGN3	ΠΔΕΒ / ΕΑΑ	Χανίων	24°00'22.0"E	35°30'28.0"N	7
Αλικιανός Α		ΠΔΕΒ	Πλατανιά	23°54'35.5"E	35°27'19.9"N	51
Αλικιανός Β	LGT4	ΕΑΑ	Πλατανιά	23°54'39.0"E	35°27'16.0"N	95
Ασή Γωνία	LG6J	ΕΑΑ	Αποκορώνου	24°17'10.0"E	35°16'24.0"N	380
Ασκήφου Α	LGZ6	ΕΑΑ	Σφακίων	24°06'00.0"E	35°12'00.0"N	715
Ασκήφου Β		ΠΔΕΒ	Σφακίων	24°10'60.0"E	35°17'60.0"N	750
Βρύσες	LG70	ΕΑΑ	Αποκορώνου	24°12'06.0"E	35°22'40.0"N	58
Ζυμβραγού		ΠΔΕΒ	Πλατανιά	23°45'23.5"E	35°26'19.1"N	295
Καλύβες		ΠΔΕΒ	Αποκορώνου	24°10'00.0"E	35°27'00.0"N	24
Κάνδανος	LG9G	ΕΑΑ	Κανδάνου-Σελίνου	23°42'00.0"E	35°18'00.0"N	430
Κολυμβάρι	LG5H	ΕΑΑ	Πλατανιά	23°24'00.0"E	35°18'00.0"N	40
Μεσκλά	421	ΑΔΚ	Πλατανιά			250
Μουρί		ΠΔΕΒ	Κισσάμου	24°16'60.0"E	35°19'60.0"N	49
Μπούτακας	420	ΑΔΚ	Αποκορώνου			
Παλαιά Ρούματα		ΠΔΕΒ	Πλατανιά	23°46'47.6"E	35°23'59.0"N	316
Παλαιόχωρα	LG36	ΕΑΑ	Κανδάνου-Σελίνου	23°40'00.0"E	35°13'00.0"N	3
Πλατανιάς	LG3E	ΕΑΑ	Πλατανιά	23°53'03.0"E	35°31'01.0"N	12
Πρασσές		ΠΔΕΒ	Πλατανιά	23°50'53.1"E	35°22'35.2"N	520
Σαμαριά (Δρυμός)	LGB4	ΕΑΑ	Σφακίων	23°55'00.0"E	35°18'00.0"N	1250
Σαμαριά (Φαράγγι)	LGY1	ΕΑΑ	Σφακίων	24°00'00.0"E	35°18'00.0"N	349
Σάμωνας		ΠΔΕΒ	Αποκορώνου	24°06'40.6"E	35°22'35.2"N	390
Σέμπρωνας	LG9D	ΕΑΑ	Πλατανιά	23°49'28.0"E	35°22'45.0"N	640
Σούδα		ΕΜΥ	Χανίων	24°14'60.0"E	35°53'20.0"N	148
Στέρνες	434	ΑΔΚ	Χανίων			
Στρόβλες	423	ΑΔΚ	Κισσάμου			438
Σφακιά	LGW4	ΕΑΑ	Σφακίων	23°00'00.0"E	35°06'00.0"N	770
Ταυρωνίτης		ΠΔΕΒ	Πλατανιά	23°49'14.7"E	35°31'54.2"N	11
Φαλάσαρνα	LGL9	ΕΑΑ	Κισσάμου	23°36'00.0"E	35°30'00.0"N	10
Χανιά	LG25	ΕΑΑ	Χανίων	24°04'09.0"E	35°32'00.0"N	137
Ψυχρό Πηγάδι		ΠΔΕΒ	Χανίων	24°02'36.8"E	35°23'36.8"N	948

**Πίνακας 3.3: Χρονική περίοδος διαθέσιμων καταγραφών στους βροχομετρικούς /
μετεωρολογικούς σταθμούς.**

Σταθμός	Χρονική περίοδος μετρήσεων
Άγιοι Πάντες	Αύγουστος 2015 - Ιανουάριος 2018
Αγροκήπιο	Σεπτέμβριος 1973 - Αύγουστος 1977, Σεπτέμβριος 2008 - Ιανουάριος 2018
Αλικιανός Α	Σεπτέμβριος 1973 - Αύγουστος 1977
Αλικιανός Β	Σεπτέμβριος 2012 - Φεβρουάριος 2018
Ασή Γωνία	Σεπτέμβριος 2012 - Ιανουάριος 2018
Ασκούφου Α	Φεβρουάριος 2015 - Ιανουάριος 2018
Ασκούφου Β	Σεπτέμβριος 1973 - Ιανουάριος 1999, Σεπτέμβριος 1999 - Ιανουάριος 2003, Σεπτέμβριος 2003 - Φεβρουάριος 2008, Σεπτέμβριος 2008 - Αύγουστος 2010
Βρύσες	Οκτώβριος 2007 - Ιανουάριος 2018
Ζυμβραγού	Σεπτέμβριος 1973 - Αύγουστος 1977
Καλύβες	Ιανουάριος 1974 - Δεκέμβριος 1998, Σεπτέμβριος 1999 - Ιανουάριος 2000, Σεπτέμβριος 2000 - Αύγουστος 2008
Κάνδανος	Ιούλιος 2016 - Ιανουάριος 2018
Κολυμβάρι	Νοέμβριος 2016 - Φεβρουάριος 2018
Μεσκλά	Σεπτέμβριος 2010 - Αύγουστος 2011, Σεπτέμβριος 2012 - Αύγουστος 2017
Μουρί	Σεπτέμβριος 1973 - Αύγουστος 1996, Σεπτέμβριος 1997 - Δεκέμβριος 1998, Σεπτέμβριος 1999 - Αύγουστος 2010
Μπούτακας	Σεπτέμβριος 2010 - Μάρτιος 2016
Παλαιά Ρούματα	Σεπτέμβριος 1973 - Αύγουστος 1996, Σεπτέμβριος 1997 - Φεβρουάριος 2010
Παλαιόχωρα	Οκτώβριος 2006 - Ιανουάριος 2018
Πλατανιάς	Ιούλιος 2015 - Φεβρουάριος 2018
Πρασσές	Σεπτέμβριος 1991 - Αύγουστος 1996, Σεπτέμβριος 1997 - Αύγουστος 2010
Σαμαριά (Δρυμός)	Αύγουστος 2008 - Ιανουάριος 2018
Σαμαριά (Φαράγγι)	Αύγουστος 2013 - Ιανουάριος 2018
Σάμωνας	Σεπτέμβριος 2007 - Αύγουστος 2010
Σέμπρωνας	Ιούνιος 2015 - Φεβρουάριος 2018
Σούδα	Ιούλιος 2009 - Δεκέμβριος 2017
Στέρνες	Σεπτέμβριος 2010 - Μάρτιος 2016
Στρόβλες	Σεπτέμβριος 2010 - Μάρτιος 2016
Σφακιά	Μάρτιος 2013 - Ιανουάριος 2018
Ταυρωνίτης	Σεπτέμβριος 1973 - Αύγουστος 1977, Φεβρουάριος 2009 - Αύγουστος 2010
Φαλάσαρνα	Απρίλιος 2015 - Ιανουάριος 2018
Χανιά	Φεβρουάριος 2006 - Ιανουάριος 2018
Ψυχρό Πηγάδι	Σεπτέμβριος 2007 - Αύγουστος 2010

Στο Σχήμα 3.3 παρουσιάζονται οι τιμές του Πίνακα 3.4 σε διάγραμμα απόλυτου υψομέτρου – μέσου ετήσιου ύψους βροχής. Για το διάγραμμα αυτό χρησιμοποιήθηκαν μόνο τα υδρολογικά έτη με πλήρη σειρά μετρήσεων.

Με βάση τον Πίνακα 3.4 έγινε η επιλογή του βέλτιστου χρονικού διαστήματος επεξεργασίας των μετρήσεων.

Σύμφωνα με τα στοιχεία του Πίνακα 3.4, είναι εμφανής η έλλειψη δεδομένων, ειδικά για το διάστημα 1977 – 2005. Χαρακτηριστικό είναι το γεγονός ότι την περίοδο αυτή μόνο δύο σταθμοί («Παλαιά Ρούματα» και «Πραστές») καταγράφουν την βροχόπτωση, και αυτοί όχι πάντα σε συνεχή βάση. Οποιαδήποτε λοιπόν προσπάθεια επεξεργασίας μετρήσεων για το συγκεκριμένο διάστημα θα οδηγούσε σε εσφαλμένα συμπεράσματα.

Με βάση τα παραπάνω, αποφασίσθηκε ως χρονικό παράθυρο μελέτης, αυτό το οποίο ξεκινά τον Σεπτέμβριο του 2006 (πρώτος μήνας του υδρολογικού έτους 2006-07) και τελειώνει τον Αύγουστο του 2018.

Το διάστημα αυτό καλύπτει μόνο δώδεκα (12) υδρολογικά έτη, χρονική περίοδος που δεν θεωρείται επαρκής για απόλυτα ασφαλή συμπεράσματα (γενικά στην βιβλιογραφία θεωρείται ως ιδανικό ένα χρονικό παράθυρο άνω των 20 ετών), είναι όμως η μόνη δυνατή, με βάση τις διαθέσιμες μετρήσεις.

Η συγκεκριμένη περίοδος (2006 – 2018) έχει τις λιγότερες ελλείψεις, καθώς το υδρολογικό έτος 2006-07 ξεκινά η λειτουργία αρκετών νέων σταθμών, αλλά και η επαναλειτουργία παλαιότερων οι οποίοι είχαν σταματήσει τις καταγραφές.

Επίσης, για το υδρολογικό έτος 2017-18, αν και οι διαθέσιμες μετρήσεις φτάνουν μέχρι τον Φεβρουάριο του 2018, θεωρήθηκε ότι οι ελλείψεις μετρήσεων είναι μικρές και μπορούν να συμπληρωθούν με σχετική ασφάλεια.

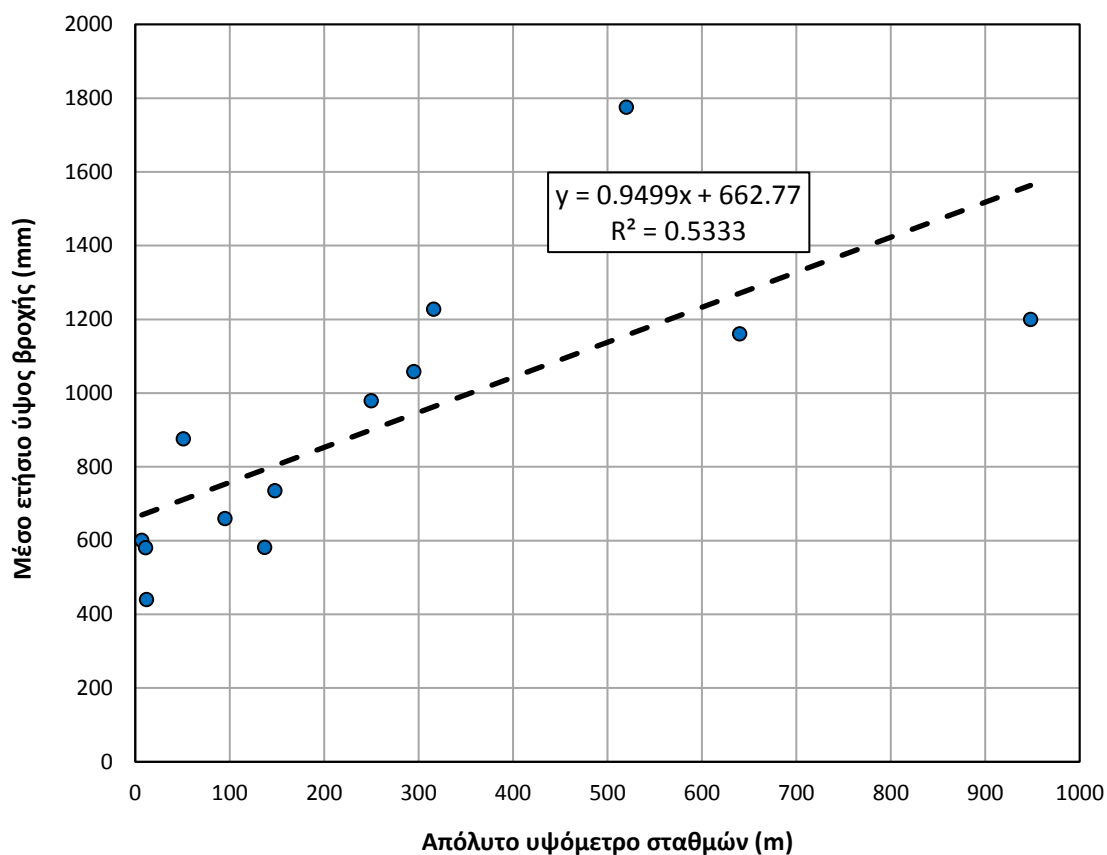
Πίνακας 3.4α: Ετήσιες βροχοπτώσεις στους δεκατέσσερις (14) αρχικά επιλεγμένους σταθμούς.

Υδρολ. έτος	Αγροκήπιο	Αλικιανός Α	Αλικιανός Β	Ζυμβραγού	Κολυμβάρι	Μεσκλά	Παλαιά Ρούματα	Πλατανιάς	Πρασσές	Σέμπρωνας	Σούδα	Ταυρωνίτης	Χανιά	Ψυχρό Πηγάδι
1973-74	515.5	643.8		977.7			945.1					469.8		
1974-75	587.6	809.4		989.8			1233.9					645.7		
1975-76	923.9	1266.5		1406.6			1450.6					725.3		
1976-77	488.1	785.2		858.6			984.7					505.2		
1977-78							1749.4							
1978-79							1282.1							
1979-80							1537.7							
1980-81							1609.2							
1981-82							1722.0							
1982-83							1139.3							
1983-84							1364.0							
1984-85							1337.2							
1985-86							993.5							
1986-87							1428.8							
1987-88							1040.3							
1988-89							1329.7							
1989-90							639.7							
1990-91							827.3							
1991-92							1310.4		1635.4					
1992-93							1090.4		1292.5					
1993-94							1031.7		1182.5					
1994-95							891.8		1548.1					
1995-96							1296.9		1612.1					
1996-97														

Πίνακας 3.4β: Ετήσιες βροχοπτώσεις στους δεκατέσσερις (14) αρχικά επιλεγμένους σταθμούς.

Υδρολ. έτος	Αγροκήπιο	Αλικιανός Α	Αλικιανός Β	Ζυμβραγού	Κολυμβάρι	Μεσκλά	Παλαιά Ρούματα	Πλατανιάς	Πρασσές	Σέμπρωνας	Σούδα	Ταυρωνίτης	Χανιά	Ψυχρό Πηγάδι
1997-98							1232.1		2089.7					
1998-99							1334.9		2335.5					
1999-00							1090.5		1392.4					
2000-01							1355.6		2120.6					
2001-02							1218.1		1863.4					
2002-03							1737		2855.3					
2003-04							1060.6		1799					
2004-05							949.2		1417.4					
2005-06							1223.2		1723.7				178.0 (*)	
2006-07							1368.6		2095.6				508.8	
2007-08							1061.2		1544.2				472.2	1528.6
2008-09	810.8						1098.6		1778.1			317.6 (*)	509.2	1268.0
2009-10	579.5						924.8 (*)		1676.4		616.0	558.8	542.2	802.2
2010-11	635.2 (*)					1082.8					622.0		558.2	
2011-12	664.8										855.0		776.6	
2012-13	556.0		553.8			530.8					776.0		775.6	
2013-14	414.8		476.2			830.8					592.0		384.4	
2014-15	809.2		845.8			1471.0		30.1 (*)		56.4 (*)	987.0		827.2	
2015-16	281.4		592.8			544.0		258.6		850.2	364.0		307.6	
2016-17	789.5		823.2		743.0 (*)	751.0 (*)		620.8		1471.1	924.0		751.8	
2017-18	391.6 (*)		489.6 (*)		564.0 (*)			500.6 (*)		698.8 (*)	193.0 (*)		177.8 (*)	

(*) Ελλιπείς μετρήσεις

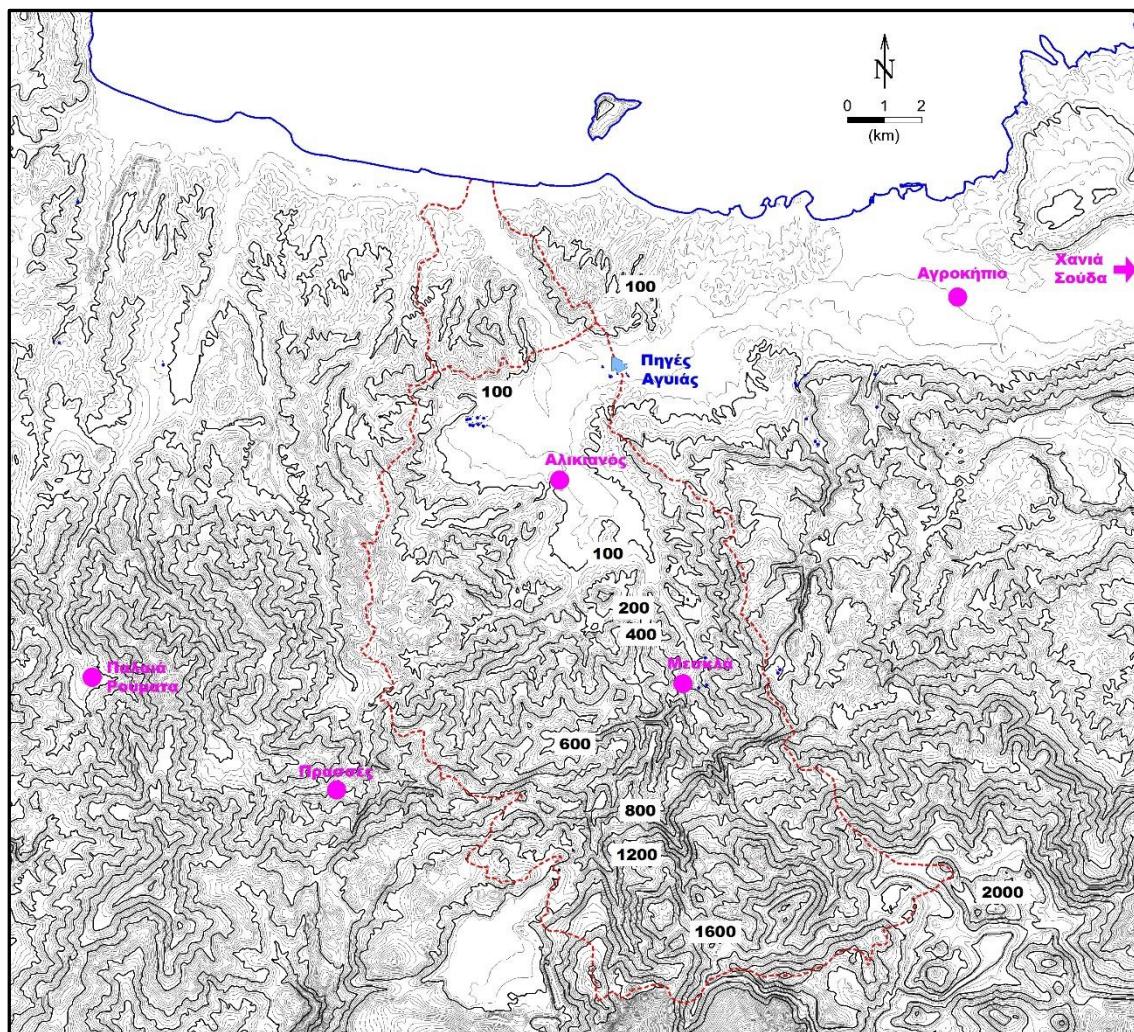


Σχήμα 3.3: Συσχετισμός απόλυτου υψομέτρου και μέσου ετήσιου ύψους βροχής των δεκατεσσάρων (14) αρχικά επιλεγμένων σταθμών (πλήρη υδρολογικά έτη).

Έτσι, οι βροχομετρικοί / μετεωρολογικοί σταθμοί που τελικά επιλέχθηκαν και αξιοποιήθηκαν για τον υπολογισμό της βροχοβαθμίδας της περιοχής είναι οι εξής επτά: «Αγροκήπιο», «Αλικιανός» (ο σταθμός Β), «Μεσκλά», «Παλαιά Ρούματα», «Πρασσές», «Σούδα» και «Χανιά».

Οι σταθμοί αυτοί κρίθηκαν κατάλληλοι τόσο λόγω της εγγύτητάς τους στην περιοχή μελέτης (μικροκλιματική συμπεριφορά), όσο και για τις σχετικά μικρές ελλείψεις τους σε μετρήσεις.

Στο Σχήμα 3.4 φαίνεται η χωρική κατανομή των παραπάνω σταθμών σε σχέση με την υδρολογική λεκάνη Κερίτη.



Σχήμα 3.4: Θέσεις των 7 τελικά επιλεγμένων σταθμών σε σχέση με την υδρολογική λεκάνη Αγιάς.

Όπως φαίνεται στο σχήμα, μόνο δύο σταθμοί («Αλικιανός» και «Μεσκλά» βρίσκονται μέσα στην υδρολογική λεκάνη του Κερίτη, ενώ οι υπόλοιποι βρίσκονται εκατέρωθεν αυτής, δύο στα δυτικά – νοτιοδυτικά και άλλοι τρεις στα βορειοανατολικά.

Σημειώνεται ότι οι σταθμοί «Σούδα» και «Χανιά» είναι ανατολικότερα από τα όρια του χάρτη (Σχήμα 3.4) και δεν φαίνονται οι ακριβείς θέσεις τους σε αυτόν.

Στον Πίνακα 3.5 δίνονται οι ετήσιες βροχοπτώσεις των επιλεγμένων σταθμών με τις μερικές και ολικές ελλείψεις των μετρήσεων τους, για τα υδρολογικά έτη 2006-07 έως και 2017-18.

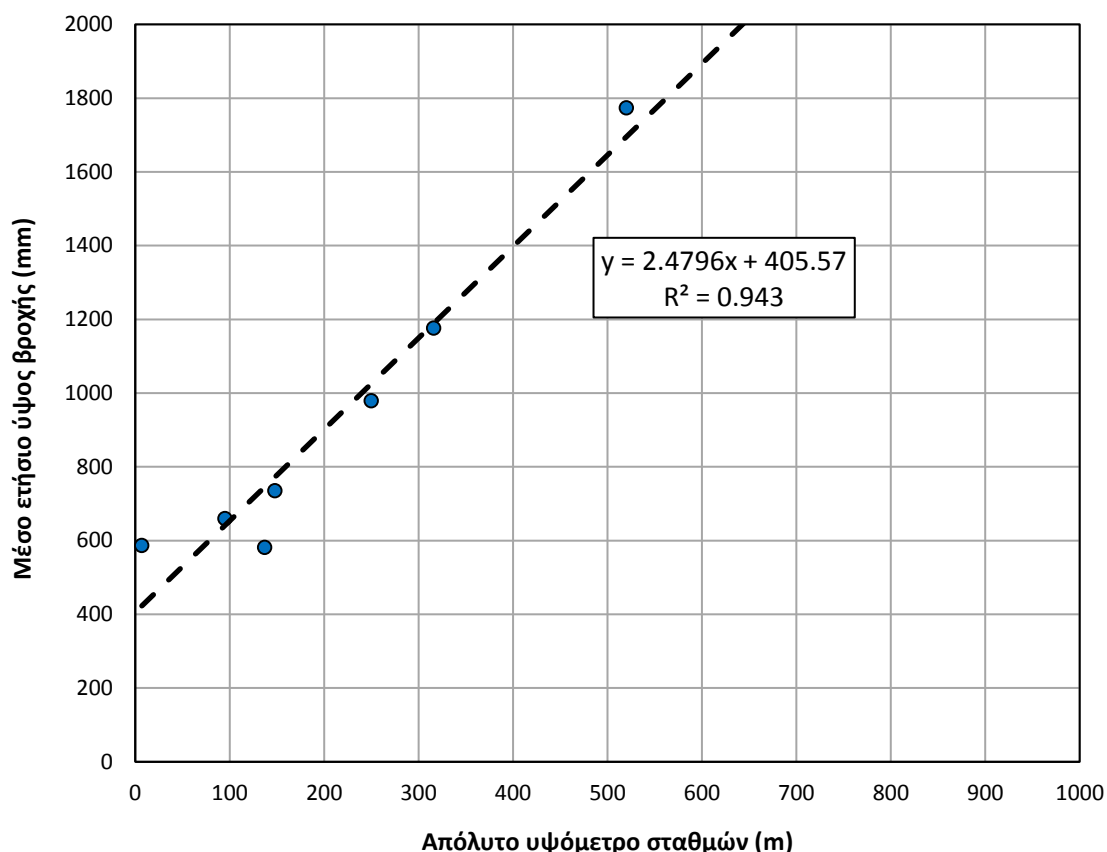
Πίνακας 3.5: Ετήσιες βροχοπτώσεις στους επτά (7) επιλεγμένους σταθμούς.

Υδρολ. έτος	Αγροκήπιο	Αλικιανός (B)	Μεσκλά	Παλαιά Ρούματα	Πρασσές	Σούδα	Χανιά
2006-07				1368.6	2095.6		508.8
2007-08				1061.2	1544.2		472.2
2008-09	810.8			1098.6	1778.1		509.2
2009-10	579.5			924.8 (*)	1676.4	616.0	542.2
2010-11	635.2 (*)		1082.8			622.0	558.2
2011-12	664.8					855.0	776.6
2012-13	556.0	553.8	530.8			776.0	775.6
2013-14	414.8	476.2	830.8			592.0	384.4
2014-15	809.2	845.8	1471.0			987.0	827.2
2015-16	281.4	592.8	544.0			364.0	307.6
2016-17	789.5	823.2	751.0 (*)			924.0	751.8
2017-18	391.6 (*)	489.6 (*)				193.0 (*)	177.8 (*)
Μ.Ο. (πλήρη)	613.3	658.4	891.9	1176.1	1773.6	717.0	583.1

(*) Ελλιπείς μετρήσεις

Τέλος, στο Σχήμα 3.5 παρουσιάζονται οι τιμές του Πίνακα 3.5 σε διάγραμμα απόλυτου υψομέτρου – μέσου ετήσιου ύψους βροχής (μόνο τα πλήρη μετρήσεων υδρολογικά έτη).

Παρατηρείται σαφής βελτίωση του συντελεστή συσχετισμού (R^2), σε σχέση με το αντίστοιχο διάγραμμα των αρχικά επιλεγμένων 14 σταθμών (Σχήμα 3.3).



Σχήμα 3.5: Συσχετισμός απόλυτου υψομέτρου και μέσου ετήσιου ύψους βροχής των επτά (7) τελικά επιλεγμένων σταθμών (πλήρη υδρολογικά έτη).

3.2.3. Επεξεργασία δεδομένων

Τα δεδομένα που συλλέγονται από τους σταθμούς, αρκετές φορές δεν είναι ομοιογενή, κάτι που μπορεί να οφείλεται είτε σε σφάλμα του παρατηρητή κατά την μέτρηση ή μετάθεση του οργάνου ή αλλαγή του περιβάλλοντος του σταθμού. Η ανομοιογένεια δεν μπορεί να προκύψει από μεταβολές στις μετεωρολογικές συνθήκες, καθώς αυτές επηρεάζουν το σύνολο των σταθμών (Βουδούρης, 2013).

Προκειμένου τα συγκεκριμένα δεδομένα να χρησιμοποιηθούν για την εξαγωγή ασφαλών αποτελεσμάτων, θα πρέπει προηγουμένως να ελεγχθούν για την ομοιογένειά τους και να διορθωθούν, όπου κριθεί απαραίτητο. Ο έλεγχος μπορεί να γίνει με την χρήση της μεθόδου καμπύλης διπλής μάζας ή διπλής αθροιστικής καμπύλης.

Στην μέθοδο αυτή συγκρίνονται οι ετήσιες τιμές του σταθμού ελέγχου με αυτές των υπολοίπων σταθμών αναφοράς, οι οποίες θα πρέπει να είναι αξιόπιστες. Πιο

αναλυτικά, οι αθροιστικές ετήσιες τιμές βροχόπτωσης του σταθμού ελέγχου συγκρίνονται με την μέση αθροιστική βροχόπτωση των γειτονικών σταθμών αναφοράς. Για να κατασκευαστούν αυτές οι αθροιστικές χρονοσειρές, το άθροισμα του ύψους των κατακρημνισμάτων όλων των προηγούμενων ετών προστίθεται στην τιμή του επόμενου έτους (Βουδούρης, 2013).

Με αυτά τα δεδομένα μπορεί να σχεδιαστεί το διάγραμμα της διπλής αθροιστικής καμπύλης, όπου στον οριζόντιο άξονα υπάρχει το μέσο αθροιστικό ύψος κατακρημνισμάτων των σταθμών αναφοράς και στον κατακόρυφο άξονα το αθροιστικό ύψος των κατακρημνισμάτων του σταθμού ελέγχου.

Εάν οι μετρήσεις είναι ομοιογενείς, τότε η καμπύλη θα είναι ευθεία γραμμή και δεν θα χρειάζεται καμία διόρθωση. Σε αντίθετη περίπτωση θα παρουσιάζει θλάση η οποία θα πρέπει να διορθωθεί, δηλαδή να μετατραπεί σε ευθεία γραμμή.

Η θλάση που παρουσιάζεται ως παράλληλη μετατόπιση σε σχέση με την αρχική καμπύλη, καταδεικνύει την ύπαρξη σφάλματος για το συγκεκριμένο έτος και η διόρθωσή της γίνεται απλά με την αφαίρεση της τιμής αυτού του έτους. Διαφορετικά, θα πρέπει οι ανομοιογενείς παρατηρήσεις του τεθλασμένου τμήματος να πολλαπλασιαστούν με τον λόγο λ_1/λ_2 , όπου λ_1 η κλίση της αρχικής καμπύλης και λ_2 η κλίση του τεθλασμένου τμήματος (Βουδούρης, 2013).

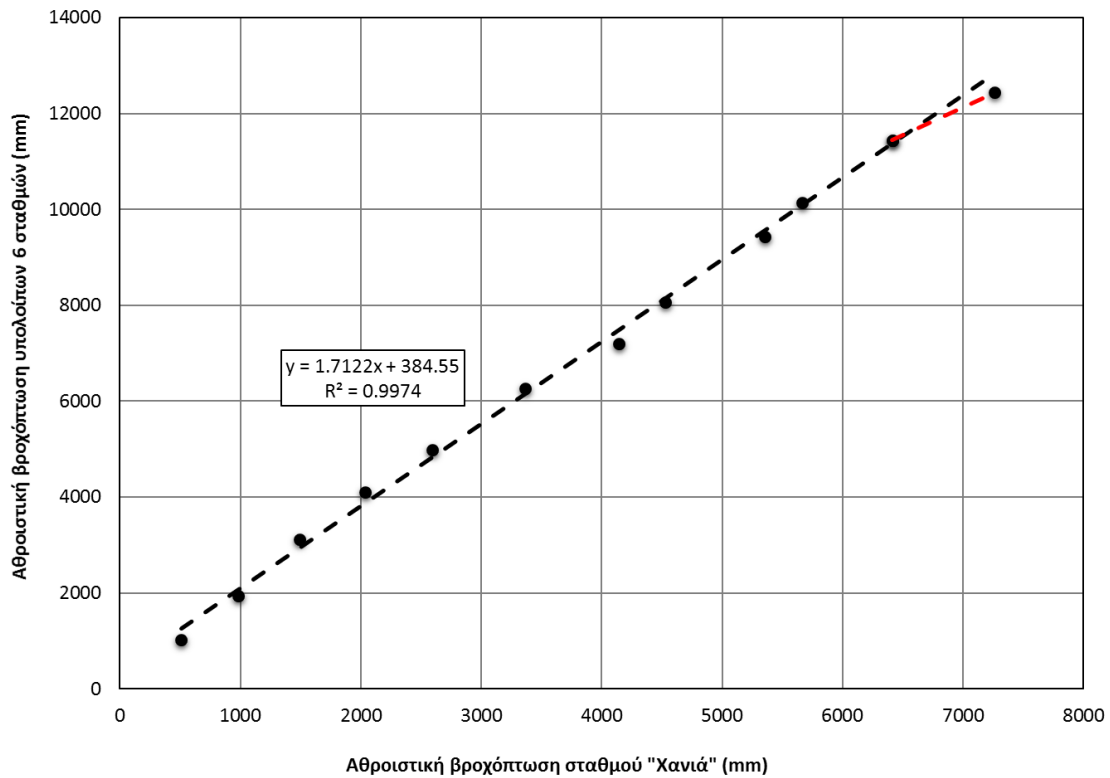
Διόρθωση μετρήσεων

Η διόρθωση των μετρήσεων έγινε στα υδρολογικά εκείνα έτη στα οποία υπήρχαν μικρές ως επί το πλείστον ελλείψεις.

Αρχικά, κατασκευάστηκαν διαγράμματα διπλής αθροιστικής καμπύλης για τους επτά (7) επιλεγμένους σταθμούς, με σταθμούς αναφοράς τους υπόλοιπους έξι (6). Στα έτη που δεν υπήρχαν καταγραφές ετήσιας βροχόπτωσης θωρήθηκε πως έπεσαν 0 mm βροχής/έτος.

Στη συνέχεια, σε όσα από αυτά τα διαγράμματα παρατηρούνταν θλάση, αυτή διορθωνόταν ως προς την αρχική καμπύλη διπλής μάζας. Ως «αρχική καμπύλη» εννοείται η ευθεία που δημιουργείται από τις περισσότερες συνεχείς πλήρεις μετρήσεις του κάθε σταθμού.

Παράδειγμα διόρθωσης με την μέθοδο της καμπύλης διπλής μάζας παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.6, στο οποίο δίνεται η καμπύλη διπλής μάζας του σταθμού «Χανιά».



Σχήμα 3.6: Διόρθωση μετρήσεων βροχόπτωσης στον σταθμό «Χανιά» με την μέθοδο καμπύλης διπλής μάζας.

Οι μετρήσεις στον συγκεκριμένο σταθμό παρουσιάζουν ελλείψεις μόνο στο τελευταίο υδρολογικό έτος (2017-18, κόκκινη διακεκομμένη ευθεία γραμμή), για το οποίο και γίνεται διόρθωση στην «αρχική καμπύλη» (μαύρη διακεκομμένη ευθεία γραμμή).

Η διόρθωση ξεκίνησε από τους πληρέστερους σταθμούς (πρώτος ο σταθμός «Χανιά») και επεκτάθηκε σταδιακά στους υπόλοιπους, λαμβάνοντας υπόψη τις προηγούμενες διορθώσεις.

Στον Πίνακα 3.6 δίνονται οι διορθωμένες ετήσιες βροχοπτώσεις των 7 τελικά επιλεγμένων σταθμών για τα υδρολογικά έτη 2006-07 έως 2017-18.

Πίνακας 3.6: Διορθωμένες ετήσιες βροχοπτώσεις.

Υδρολ. έτος	Αγροκήπιο	Αλικιανός (B)	Μεσκλά	Παλαιά Ρούματα	Πρασσές	Σούδα	Χανιά
2006-07				1368.6	2095.6		508.8
2007-08				1061.2	1544.2		472.2
2008-09	810.8			1098.6	1778.1		509.2
2009-10	579.5			924.8	1676.4	616.0	542.2
2010-11	722.8 (^)		1082.8			622.0	558.2
2011-12	664.8					855.0	776.6
2012-13	556.0	553.8	530.8			776.0	775.6
2013-14	414.8	476.2	830.8			592.0	384.4
2014-15	809.2	845.8	1471.0			987.0	827.2
2015-16	281.4	592.8	544.0			364.0	307.6
2016-17	789.5	823.2	1417.4 (^)			924.0	751.8
2017-18	749.2 (^)	741.6 (^)				885.9 (^)	848.7 (^)

(^) Διορθωμένες μετρήσεις

Παρατηρείται ότι όλες οι ελλειπείς μετρήσεις (Πίνακας 3.5) αυξήθηκαν, εκτός της τιμής των 924.8 mm στον σταθμό «Παλαιά Ρούματα» του υδρολογικού έτους 2009-10, η οποία, σύμφωνα με την μέθοδο διπλής μάζας, κρίθηκε επαρκής και αντιπροσωπευτική του έτους.

Συμπλήρωση ελλείψεων

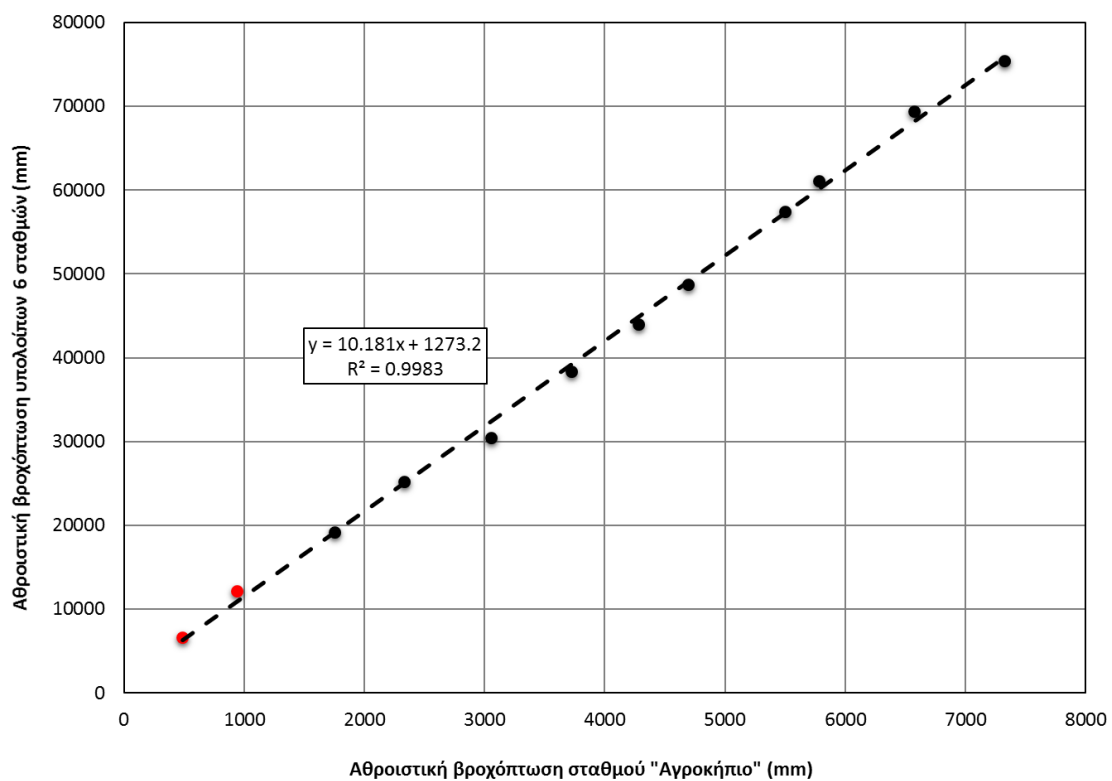
Το επόμενο βήμα της επεξεργασίας είναι η συμπλήρωση των κενών υδρολογικών ετών (ολική έλλειψη μετρήσεων), η οποία γίνεται επίσης με την μέθοδο της καμπύλης διπλής μάζας.

Με βάση τις διορθωμένες τιμές που προέκυψαν για τους επτά (7) τελικά επιλεγμένους σταθμούς (Πίνακας 3.6), η συμπλήρωση των ελλείψεων ξεκινά με τον σταθμό με τις λιγότερες ελλείψεις, δηλαδή τον σταθμό «Αγροκήπιο». Για τον υπολογισμό των κενών του (υδρολογικά έτη 2006-07 και 2007-08) θεωρείται ως σταθμός αναφοράς ο πλήρης πλέον (μετά τις διορθώσεις) σταθμός των Χανίων.

Στη συνέχεια, γίνεται συμπλήρωση για τον σταθμό με τις αμέσως λιγότερες ελλείψεις (σταθμός «Σούδα») και σταθμούς αναφοράς τους δύο (2) προηγούμενους συμπληρωμένους («Χανιά» και «Αγροκήπιο») και η διαδικασία συνεχίζεται μέχρι να συμπληρωθούν όλοι οι σταθμοί που επιλέχθηκαν.

Τέλος, κατασκευάζονται νέες καμπύλες διπλής μάζας των σταθμών και γίνονται οι απαραίτητες προσαρμογές ώστε να υπάρχει ο μέγιστος δυνατός συσχετισμός με την μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων ($R^2 > 0,99$).

Παράδειγμα συμπλήρωσης με την μέθοδο της καμπύλης διπλής μάζας παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.7, στο οποίο δίνεται η καμπύλη διπλής μάζας του σταθμού «Αγροκήπιο». Στο σχήμα αυτό οι συμπληρώσεις σημειώνονται με κόκκινο χρώμα.



Σχήμα 3.7: Συμπλήρωση μετρήσεων βροχόπτωσης στον σταθμό «Αγροκήπιο» με την μέθοδο καμπύλης διπλής μάζας.

Με τον τρόπο αυτό δημιουργήθηκε ο Πίνακας 3.7 που περιλαμβάνει όλες τις διορθωμένες και συμπληρωμένες τιμές ετήσιας βροχόπτωσης.

Πίνακας 3.7: Τελικές (διορθωμένες και συμπληρωμένες) ετήσιες βροχοπτώσεις.

Υδρολ. έτος	Αγροκήπιο	Αλικιανός (Β)	Μεσκλά	Παλαιά Ρούματα	Πρασσές	Σούδα	Χανιά
2006-07	489.0 (+)	623.8 (+)	925.2 (+)	1368.6	2095.6	599.9 (+)	508.8
2007-08	453.9 (+)	579.0 (+)	858.6 (+)	1061.2	1544.2	556.7 (+)	472.2
2008-09	810.8	825.3 (+)	1223.9 (+)	1098.6	1778.1	793.6 (+)	509.2
2009-10	579.5	678.5 (+)	1006.2 (+)	924.8	1676.4	616.0	542.2
2010-11	722.8 (^)	708.8 (+)	1082.8	558.9 (+)	1012.5 (+)	622.0	558.2
2011-12	664.8	896.6 (+)	1298.2 (+)	1304.3 (+)	2109.6 (+)	855.0	776.6
2012-13	556.0	553.8	530.8	927.0 (+)	1499.4 (+)	776.0	775.6
2013-14	414.8	476.2	830.8	783.6 (+)	1267.4 (+)	592.0	384.4
2014-15	809.2	845.8	1471.0	1434.6 (+)	2320.4 (+)	987.0	827.2
2015-16	281.4	592.8	544.0	606.9 (+)	981.6 (+)	364.0	307.6
2016-17	789.5	823.2	1417.4 (^)	1366.6 (+)	2210.4 (+)	924.0	751.8
2017-18	749.2 (^)	741.6 (^)	1071.5 (+)	674.7 (+)	1091.4 (+)	885.9 (^)	848.7 (^)
Μ.Ο.	610.1	695.5	1021.7	1009.1	1632.2	714.3	605.2

(^) Διορθωμένες μετρήσεις

(+) Συμπληρωμένες μετρήσεις

3.2.4. Εκτίμηση βροχοβαθμίδας

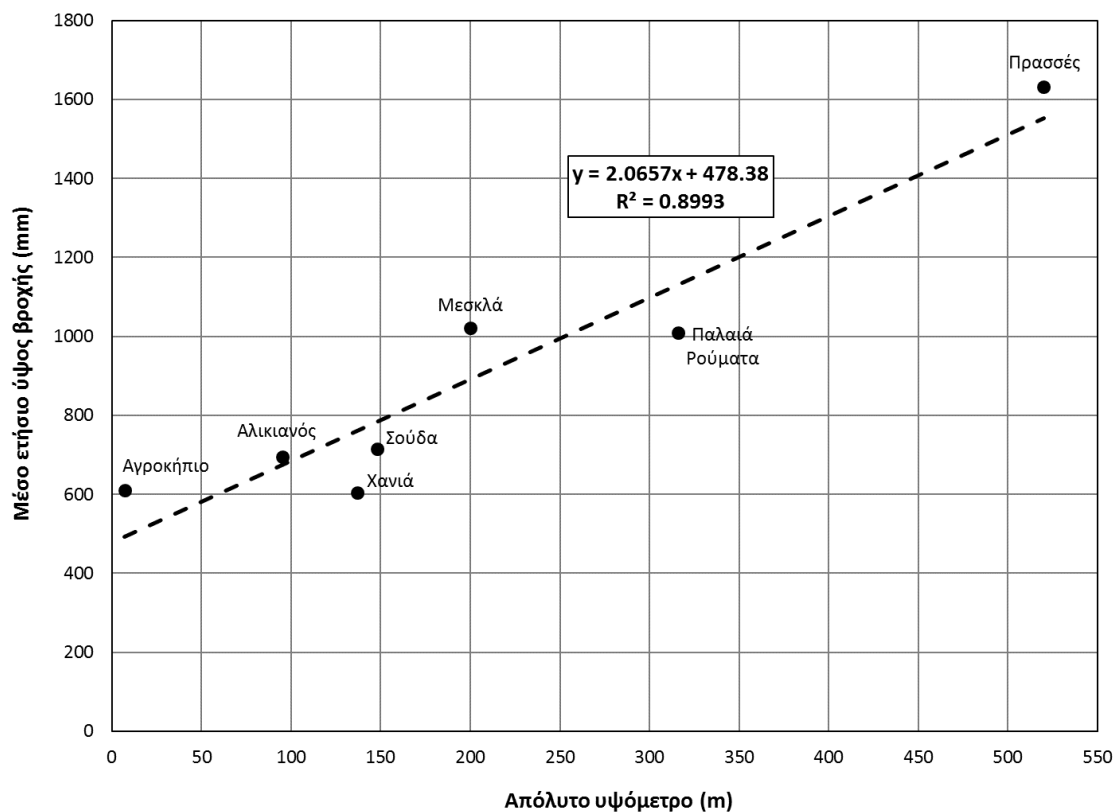
Ο κύριος παράγοντας που επηρεάζει την κατανομή των βροχοπτώσεων στον χώρο είναι το υψόμετρο του σταθμού. Άλλοι παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν την χωρική μεταβολή των βροχοπτώσεων είναι η θέση που έχει ο σταθμός στον χώρο (για παράδειγμα η απόστασή του από την θάλασσα και την οροσειρά), η έκθεσή του στις αέριες μάζες, ο προσανατολισμός του και η υψομετρική διαφορά μεταξύ του σταθμού και του υψηλότερου σημείου από αυτόν σε ακτίνα 5 μιλίων κ.ά.

Κατά κανόνα όμως λαμβάνεται υπόψη μόνο το υψόμετρο του σταθμού καθώς οι υπόλοιπες παράμετροι δεν επιδρούν σημαντικά.

Ο όρος «βροχοβαθμίδα» εκφράζει την αύξηση της βροχόπτωσης με την αύξηση του υψομέτρου και με βάση αυτήν δημιουργείται ο βροχομετρικός χάρτης ή χάρτης των ισοϋέτων καμπυλών μιας λεκάνης.

Για τον υπολογισμό της βροχοβαθμίδας απαραίτητη προϋπόθεση είναι η δημιουργία ενός βροχομετρικού διαγράμματος, δηλαδή ενός διαγράμματος που να συνδέει τα απόλυτα υψόμετρα των σταθμών με τα μέσα ετήσια ύψη βροχής τους.

Στο Σχήμα 3.8 φαίνεται το βροχομετρικό διάγραμμα της περιοχής ενδιαφέροντος.



Σχήμα 3.8: Βροχομετρικό διάγραμμα της περιοχής ενδιαφέροντος.

Η εξίσωση της ευθείας που προκύπτει είναι:

$$P = 2,065 \cdot h + 478,38 \quad [3.1]$$

όπου, P ύψος κατακρημνισμάτων σε mm, και

h απόλυτο υψόμετρο σε m.

Λόγω ότι το εύρος των υψομέτρων των σταθμών είναι περιορισμένο σε σχέση με το υψόμετρο στο οποίο εκτείνεται η λεκάνη (μέγιστο απόλυτο υψόμετρο σταθμών στις Πρασές: 520 m), υπάρχει αβεβαιότητα σχετικά με την αξιοπιστία της εξίσωσης στα μεγάλα υψόμετρα.

3.2.5. Χάραξη ισοϋετων καμπυλών

Ισοϋετη (ή ισοϋέτια) καμπύλη ονομάζεται ο γεωμετρικός τόπος των σημείων που δέχονται το ίδιο ύψος ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων. Ορίζεται λοιπόν από το απόλυτο υψόμετρο (ισοϋψής καμπύλη) και την βροχοβαθμίδα.

Για την χάραξη των ισοϋετων καμπυλών της υδρολογικής λεκάνης Κερίτη (Σχήμα 3.9), χρησιμοποιήθηκε ο τοπογραφικός χάρτης του Σχήματος 3.1 και η Σχέση 3.1. Η εργασία αυτή έγινε με την βοήθεια του προγράμματος AutoCAD.

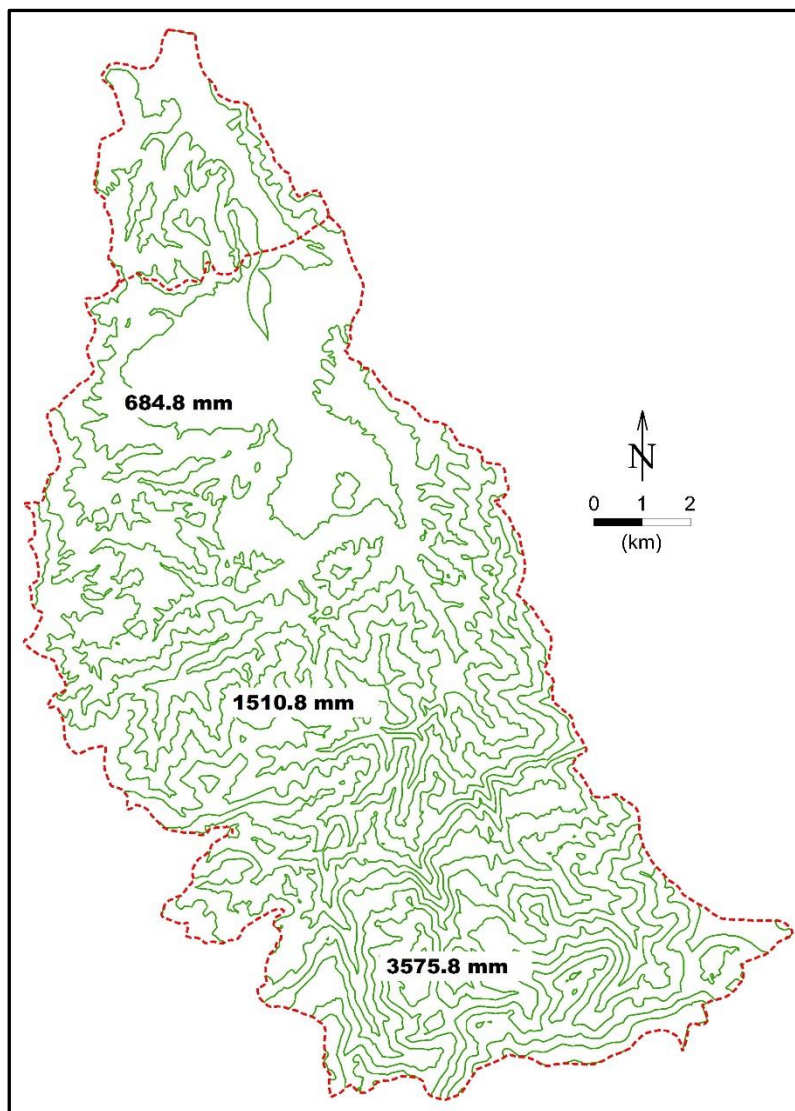
Η περιοχή αρχικά διαιρέθηκε με βάση τις ισοϋψείς (ανά 200 m) οι οποίες ξεκινούν από την ακτογραμμή (+0 m) , έως και το υψηλότερο υψόμετρο, αυτό των 2.100 m.

Επιπλέον, συμπεριλήφθηκε και η ισοϋψής των 40 m που αποτελεί το χαμηλότερο όριο της υδρολογικής λεκάνης Κερίτη που τροφοδοτεί τις πηγές Αγυιάς (λεκάνη απορροής Αγυιάς).

Η αντιστοίχιση των ισοϋψών καμπυλών με τις ισοϋετες καμπύλες, σύμφωνα με την Σχέση 3.1, δίνεται στον Πίνακα 3.8.

3.2.6. Εκτίμηση όγκου ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων

Στο Σχήμα 3.9 η υδρολογική λεκάνη διαχωρίζεται με βάση τις δεκατρείς (13) ισοϋετες καμπύλες σε 12 τμήματα. Θεωρήθηκε πως σε κάθε ένα από αυτά τα τμήματα (μεταξύ δύο ισοϋετων καμπυλών), το ύψος βροχής ισούται με το ημι-άθροισμα των τιμών τους (μέσος όρος).



Σχήμα 3.9: Χάρτης ισοϋέτων καμπυλών στην υδρολογική λεκάνη Κερίτη.

Το εμβαδόν των τμημάτων μπορεί να υπολογιστεί μέσω τις σχετικής εντολής του λογισμικού AutoCAD. Το γινόμενο της έκτασης κάθε τμήματος με το μέσο ύψος κατακρημνισμάτων στο συγκεκριμένο τμήμα, δίνει τον μέσο όγκο ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων που δέχεται.

Πίνακας 3.8: Αντιστοιχία ισοϋψών και ισοϋετων καμπυλών.

Ισοϋψείς (m)	Ισοϋετες (mm)
0	478,3
40	560,9
100	684,8
300	1.097,8
500	1.510,8
700	1.923,8
900	2.336,8
1100	2.749,8
1300	3.162,8
1500	3.575,8
1700	3.988,8
1900	4.401,8
2100	4.814,8

Στον Πίνακα 3.9 παρουσιάζονται το μέσο ύψος βροχής, η έκταση και ο μέσος ετήσιος όγκος βροχής που δέχεται κάθε ένα από τα προαναφερόμενα 12 τμήματα στα οποία χωρίστηκε η λεκάνη.

Τελικά, με αυτό τον τρόπο, ο μέσος ετήσιος όγκος ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων για όλη την υδρολογική λεκάνη Κερίτη εκτιμήθηκε σε περίπου 263,2 εκατ. m³.

Για το τμήμα της λεκάνης που αναφέρεται ως «υπο-λεκάνη Αγυιάς» (με απόλυτο υψόμετρο άνω των 40 m), ο μέσος ετήσιος όγκος ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων εκτιμήθηκε σε **260,4 εκατ. m³**.

**Πίνακας 3.9: Εκτίμηση μέσου ετήσιου όγκου βροχής στην υδρολογική λεκάνη
Κερίτη.**

Απόλυτα υψόμετρα (m)	Μέσο ύψος βροχής (mm)	Εμβαδό (km ²)	Μέσος ετήσιος όγκος βροχής (m ³ × 10 ⁶)
0 - 40	519,6	5,4	2,83
40 - 100	622,8	22,3	13,87
100 - 300	891,3	38,7	34,48
300 - 500	1.304,3	25,6	33,44
500 - 700	1.717,3	15,1	26,02
700 - 900	2.130,3	8,1	17,24
900 - 1100	2.543,3	4,3	10,89
1100 - 1300	2.956,3	8,3	24,58
1300 - 1500	3.369,3	10,6	35,75
1500 - 1700	3.782,3	7,5	28,54
1700 - 1900	4.195,3	7,0	29,47
1900 - 2100	4.608,3	1,3	6,10
ΣΥΝΟΛΟ		154,4	263,20

3.3. Κατείσδυση

Ο όρος κατείσδυση εκφράζει την ποσότητα του νερού των κατακρημνισμάτων που διαπερνά την επιφάνεια του εδάφους και καταλήγει στον υδροφόρο ορίζοντα.

Μία ποσότητα του νερού κατείσδυσης κατακρατείται από τα εδαφικά στρώματα ώστε να αναπληρώσει την εδαφική υγρασία που χάνουν. Αυτό ονομάζεται νερό κατακράτησης. Το υπόλοιπο κινείται προς τα κάτω με την επίδραση της βαρύτητας και για τον λόγο αυτό ονομάζεται νερό βαρύτητας. Το τελευταίο είτε θα κινηθεί υποεπιφανειακά και θα επανέλθει στην επιφάνεια πριν καταλήξει στους υδροφόρους ορίζοντες, ή θα συμπληρώσει τους υπόγειους υδροφορείς (Σούλιος, 1986).

Γενικά, η συνολική ποσότητα νερού που διαπέρασε την επιφάνεια του εδάφους χαρακτηρίζεται ολική κατείδυση, ενώ το ποσοστό του νερού που φθάνει τελικά έως τους υπόγειους υδροφορείς, εμπλουτίζοντας τους, ονομάζεται ενεργή κατείδυση, ή ωφέλιμη κατείδυση, ή απλά κατείδυση (I). Η κατείδυση αποτελεί μία πολύ σημαντική διεργασία για κάθε περιοχή καθώς χάρη σε αυτήν ανανεώνονται τα αποθέματα υπόγειου νερού (Σούλιος, 1986).

3.3.1. Παράγοντες που επηρεάζουν την κατείδυση

Δύο είναι οι πιο σημαντικοί παράγοντες που επηρεάζουν τον συντελεστή κατείδυσης (α_i), δηλαδή το ποσοστό (%) της κατείδυσης ως προς το ύψος των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων: Το ίδιο το ύψος των κατακρημνισμάτων και η γεωλογία της περιοχής

Έχουν εκτιμηθεί τυπικές τιμές συντελεστών κατείδυσης για διάφορες λιθολογικές συστάσεις, όπως φαίνεται παρακάτω (Σούλιος 1986):

• Ασβεστολιθικές (καρστικές γενικά)	25 – 60%
• Προσχωσιγενείς	10 – 20%
• Οφιολιθικές	4 – 8%
• Με φλύσχη, μάργες, σχιστόλιθους, φυλλίτες και παρόμοια	3 – 7 %
• Γρανιτικές	5 – 12%
• Μολασσικές, ψαμμιτικές και παρεμφερών σχηματισμών	15 – 25%
• Ηφαιστειακών πετρωμάτων	3 – 8 %
• Πρασινοσχιστόλιθων, γνεύσιων, μαρμαρυγιακών σχιστολίθων και παρεμφερών μεταμορφωμένων	3 – 7%

Άλλοι σημαντικοί παράγοντες που επηρεάζουν την κατείδυση μιας περιοχής είναι (Σούλιος 1986):

- Η κλίση του εδάφους.
- Η βλάστηση.
- Η υγρασία του εδάφους.
- Οι παράγοντες που ρυθμίζουν την εξατμισοδιαπνοή.

3.3.2. Συντελεστές κατείσδυσης από βιβλιογραφικά δεδομένα

Οι συντελεστές κατείσδυσης που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία για κάθε γεωλογικό σχηματισμό, βασίζονται σε βιβλιογραφικά δεδομένα (Παυλάκης κ.ά., 1972, Λιονής – Περλέρος, 2001, Περλέρος κ.ά., 2004, Πολυτεχνείο Κρήτης, 2009) και παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.10.

Στον Πίνακα 3.10 φαίνονται και οι όγκοι των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων που εκτιμήθηκε ότι κατεισδύουν σε κάθε γεωλογικό σχηματισμό.

Πίνακας 3.10: Εκτίμηση όγκου κατείσδυσης στην υδρολογική λεκάνη Κερίτη.

Κωδικός σχηματισμού	Συντελεστής κατείσδυσης, α_i	Μέσος ετήσιος όγκος κατείσδυσης ($m^3 \times 10^6$)	
		Λεκάνη Κερίτη	Υπο-λεκάνη Αγκιάς
al	0,25	2,93	2,39
SC-CS	0,30	0,17	0,17
Pt	0,30	0,05	0,05
Pt.t	0,25	0,17	0,12
Pl	0,30	0,90	0,00
Pl.m	0,10	0,00	0,00
Pl.k	0,25	0,01	0,00
M.br	0,35	0,06	0,06
M.m	0,05	0,01	0,00
M.c	0,30	2,17	2,15
Ks.k	0,50	0,30	0,02
Ts-Ji.d	0,45	1,82	0,08
Jm-E.k	0,45	34,45	34,45
Ts-Ji.mr.d	0,50	44,55	44,55
Ts-Ji.k	0,40	8,70	8,70
Rw	0,30	0,00	0,00
Ph	0,05	3,82	3,63
b	0,15	0,02	0,02
Σύνολο		100,13	96,40

Οι όγκοι αυτοί υπολογίσθηκαν πολλαπλασιάζοντας την έκταση κάθε σχηματισμού με την μέση τιμή ύψους βροχής και το ποσοστό ενεργής κατείδυσης (συντελεστής κατείδυσης, α_i).

3.3.3. Συντελεστές κατείδυσης κατά Kessler

Σύμφωνα με τον Kessler η ενεργή κατείδυση μπορεί να υπολογιστεί με την χρήση συντελεστών για κάθε μήνα όπως παρουσιάζεται στον Πίνακα 3.11. Παρατηρείται ότι λόγω της τήξης του χιονιού, οι τιμές των συντελεστών είναι αυξημένες κατά τους μήνες Φεβρουάριο, Μάρτιο, Απρίλιο και Μάιο (Καλλέργης, 2001).

Πίνακας 3.11: Συντελεστές Kessler για τον υπολογισμό της κατείδυσης.

Μήνας	Συντελεστής κατείδυσης κατά 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

Πολλαπλασιάζοντάς τους συντελεστές Kessler (Πίνακας 3.11) με τα μέσα μηνιαία ύψη βροχής, προκύπτει η μηνιαία κατείδυση ή «ισοδύναμο ύψος βροχής» σε mm όπως φαίνεται στην Σχέση 3.2

Η εξίσωση από την οποία προκύπτει η ετήσια κατείδυση κατά Kessler, είναι η παρακάτω:

$$I_{\text{Kessler}} = \sum_{i=1}^{12} P_i \cdot k_i \quad [3.2]$$

όπου, I_{Kessler} ισοδύναμο ετήσιο ύψος κατεΐσδυσης κατά Kessler,

i αριθμός μήνα (Σεπτέμβριος = 1, έως Αύγουστος = 12),

P_i μέσο ύψος κατακρημνισμάτων (mm) του μήνα i και

k_i συντελεστής κατεΐσδυσης κατά Kessler για τον μήνα i .

Συνεπώς, για την εφαρμογή της μεθόδου Kessler είναι απαραίτητο να διατίθενται δεδομένα ύψους βροχής σε μηνιαία βάση. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα τον αποκλεισμό του βροχομετρικού σταθμού Μεσκλών, για τον οποίο διατίθενται βροχομετρικά δεδομένα σε ετήσια βάση.

Τελικά, τα διαθέσιμα μηνιαία βροχομετρικά αφορούν τους σταθμούς «Αγροκήπιο», «Αλικιανός», «Παλαιά Ρούματα», «Πρασσές», «Σούδα» και «Χανιά» (6 σταθμοί), όπως φαίνεται στον Πίνακα 3.12.

Πίνακας 3.12: Διαθέσιμα μέσα μηνιαία ύψη κατακρημνισμάτων (mm).

Σταθμός	Σ	Ο	Ν	Δ	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σύνολο
Αγροκήπιο	25	93	74	139	144	103	58	22	28	2	0	0	688
Αλικιανός	39	73	74	160	118	67	55	13	32	10	0	27	668
Παλαιά Ρούματα	24	85	170	241	260	222	134	54	25	7	1	3	1.226
Πρασσές	29	134	268	383	374	282	174	74	52	0	1	5	1.776
Σούδα	25	93	74	139	144	103	58	22	28	2	0	0	688
Χανιά	21	84	57	103	107	95	48	23	19	2	0	7	566
Σύνολο	163	562	717	1165	1147	872	527	208	184	23	2	42	5612
Μ.Ο.	27	94	120	194	191	145	88	35	31	4	0	7	935
(%)	3	10	13	21	20	16	9	4	3	0	0	1	100

Με βάση λοιπόν τα δεδομένα του Πίνακα 3.12, εκτιμήθηκε το ισοδύναμο ύψος κατεΐσδυσης σε mm, όπως παρουσιάζεται στον Πίνακα 3.13.

Πίνακας 3.13: Υπολογισμός ισοδύναμου ύψους κατείδυσης κατά Kessler.

Μήνας	Μέση μηνιαία βροχόπτωση (mm)	Συντελεστής Kessler (%)	Ισοδύναμη κατείδυση (mm)
Σ	27	14.6	7
Ο	94	12.8	12
Ν	120	22.5	27
Δ	194	49.7	97
Ι	191	43.4	83
Φ	145	77.5	113
Μ	88	113.0	99
Α	35	60.0	21
Μ	31	44.6	14
Ι	4	33.9	1
Ι	0	20.7	0
Α	7	17.6	1
Σύνολο	935	-	471

3.3.4. Εκτίμηση όγκου κατείδυσης

Με βάση τον Πίνακα 3.10, προέκυψε ότι ο μέσος ετήσιος όγκος (ενεργής) κατείδυσης στην υδρολογική λεκάνη Κερίτη, σύμφωνα με τους συντελεστές που προέκυψαν βιβλιογραφικά, είναι περίπου ίσος με 100,1 εκατ. m³ (34% των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων). Για την υπο-λεκάνη Αγκιάς (με απόλυτο υψόμετρο άνω των 40 m), ο μέσος ετήσιος όγκος κατείδυσης εκτιμάται σε περίπου **96,4 εκατ. m³**.

Κατά Kessler, η τιμή του συντελεστή κατείδυσης στη λεκάνη Κερίτη υπολογίστηκε ως 50,4% των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων, δηλαδή 471 mm. Εφόσον λοιπόν το ετήσιο ύψος κατακρημνισμάτων της λεκάνης ανέρχεται στα 263.195.161 m³, τα 132.387.166 m³, ή περίπου 132,4 εκατ. m³ αντιστοιχούν στην κατείδυση.

Στο σημείο αυτό πρέπει να σημειωθεί ότι καθώς η συγκεκριμένη μέθοδος υπολογισμού της ενεργής κατείδυσης δημιουργήθηκε βάσει μετρήσεων στην καρστική πηγή Tettye

της Ουγγαρίας, πιθανόν οι μηνιαίοι συντελεστές Kessler να αποκλίνουν και να πρέπει να προσαρμοστούν στα ελληνικά δεδομένα.

Επίσης, η απόκλιση του υπολογισμού σε σχέση με την εκτίμηση του όγκου της ενεργής κατείδυσης που προηγήθηκε στην ενότητα 3.3.2, είναι αναμενόμενη και οφείλεται στο γεγονός ότι η μέθοδος Kessler εφαρμόζεται αποκλειστικά σε καρστικούς σχηματισμούς.

Οι ανθρακικοί σχηματισμοί καταλαμβάνουν το 51,6% της έκτασης της υπο-λεκάνης Αγυιάς. Σύμφωνα λοιπόν με την μέθοδο Kessler, στους καρστικούς σχηματισμούς της υπο-λεκάνης Αγυιάς κατεisdύει μία μέση ετήσια ποσότητα ίση με 49,74 εκατ. m³.

Για τους μη καρστικούς σχηματισμούς, οι οποίοι καταλαμβάνουν το υπόλοιπο 48,4% της υπο-λεκάνης, ο μέσος όγκος κατείδυσης με την χρήση των βιβλιογραφικών συντελεστών είναι περίπου 8,08 εκατ. m³.

Αυτό σημαίνει μέσο ετήσιο όγκο κατείδυσης στην υπο-λεκάνη Αγυιάς ίσο με περίπου **57,8 εκατ. m³**. Η τιμή αυτή, όπως προέκυψε από τον συνδυασμό των συντελεστών Kessler (καρστικοί σχηματισμοί) και των βιβλιογραφικών συντελεστών κατείδυσης (μη καρστικοί σχηματισμοί), είναι σημαντικά μικρότερη από αυτήν που εκτιμήθηκε στην παράγραφο 3.3.2.

3.4. Επιφανειακή απορροή

Η επιφανειακή απορροή (R) εκφράζει την ποσότητα του νερού των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων που όταν φθάσουν στην επιφάνεια του εδάφους, οδηγούνται μέσω του υδρογραφικού δικτύου στους τελικούς αποδέκτες, δηλαδή την θάλασσα και τις λίμνες.

3.4.1. Παράγοντες που επηρεάζουν την επιφανειακή απορροή

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την επιφανειακή απορροή μπορεί να είναι μετεωρολογικοί, γεωμορφολογικοί, παράγοντες που σχετίζονται με το έδαφος και την βλάστηση, όπως φυσικά και η γεωλογία.

Μετεωρολογικοί παράγοντες είναι (Σούλιος 1986):

- Η ένταση βροχής.
- Η κατανομή βροχής στο υδρολογικό έτος.
- Παράγοντες που ρυθμίζουν την εξατμισοδιαπνοή.

Οι γεωμορφολογικοί παράγοντες αφορούν (Σούλιος 1986):

- Τα χαρακτηριστικά λεκάνης απορροής.
- Τα χαρακτηριστικά υδρογραφικού δικτύου.

Οι παράγοντες που σχετίζονται με το έδαφος και την βλάστηση είναι (Σούλιος 1986):

- Η λιθολογία.
- Η βλάστηση.
- Η υγρασία του εδάφους.

Σύμφωνα με τον Σούλιο (1986), οι μέσες τιμές συντελεστών επιφανειακής απορροής για διάφορες λιθολογικές συστάσεις διαμορφώνονται ως εξής:

• Ασβεστολιθικές (καρστικές γενικά)	0 - 10%
• Προσχωσιγενείς	5 – 20%
• Οφιολιθικές	14 – 35%
• Με φλύσχη, μάργες, σχιστόλιθους, φυλλίτες και παρόμοια	15 – 40 %
• Γρανιτικές	15 – 35%
• Μολασσικές, ψαμμιτικές και παρεμφερών σχηματισμών	10 – 30%
• Ηφαιστειακών πετρωμάτων	20 – 40 %
• Πρασινοςχιστόλιθων, γνεύσιων, μαρμαρυγιακών σχιστολίθων και παρεμφερών μεταμορφωμένων	15 – 45%

3.4.2. Συντελεστές επιφανειακής απορροής στην περιοχή μελέτης

Οι συντελεστές επιφανειακής απορροής που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία για κάθε γεωλογικό σχηματισμό, προσδιορίστηκαν με βάση βιβλιογραφικά δεδομένα (Παυλάκης κ.ά., 1972, Λιονής – Περλέρος, 2001, Περλέρος κ.ά., 2004, Πολυτεχνείο Κρήτης, 2009) και παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.14.

Πίνακας 3.14: Εκτίμηση όγκου επιφανειακής απορροής στην υδρολογική λεκάνη Κερίτη.

Κωδικός σχηματισμού	Συντελεστής απορροής, α_r	Μέσος ετήσιος όγκος απορροής ($\text{m}^3 \times 10^6$)	
		Λεκάνη Κερίτη	Υπο-λεκάνη Αγυιάς
al	0,30	3,52	2,87
SC-CS	0,20	0,12	0,12
Pt	0,20	0,03	0,03
Pt.t	0,25	0,17	0,24
Pl	0,30	0,60	0,00
Pl.m	0,40	0,01	0,00
Pl.k	0,25	0,01	0,00
M.br	0,15	0,03	0,03
M.m	0,45	0,11	0,00
M.c	0,20	0,03	1,43
Ks.k	0,05	1,45	0,00
Ts-Ji.d	0,10	0,41	0,03
Jm-E.k	0,10	7,66	7,66
Ts-Ji.mr.d	0,05	4,45	4,45
Ts-Ji.k	0,15	3,26	3,26
Rw	0,20	0,00	0,00
Ph	0,45	34,39	32,67
b	0,35	0,04	0,04
Σύνολο		56,27	52,83

3.4.3. Εκτίμηση όγκου επιφανειακής απορροής

Από το άθροισμα των όγκων του Πίνακα 3.14, προέκυψε ότι ο μέσος ετήσιος όγκος επιφανειακής απορροής στην υδρολογική λεκάνη Κερίτη είναι περίπου ίσος με 56,3 εκατ. m^3 . Στο τμήμα της λεκάνης που χαρακτηρίζεται ως υπο-λεκάνη Αγυιάς, ο μέσος ετήσιος όγκος επιφανειακής απορροής εκτιμάται σε περίπου **52,8 εκατ. m^3** .

Εδώ θα πρέπει να αναφερθεί ότι οι μόνες διατιθέμενες μετρήσεις παροχών στον ποταμό Κερίτη αφορούν την περίοδο 1977-97 (Λιονής & Περλέρος, 2001). Από τις μετρήσεις αυτές προκύπτει ετήσια παροχή 50,4 εκατ. m^3 , τιμή σχεδόν ταυτόσημη με την εκτιμώμενη στην παρούσα εργασία (επιφανειακή απορροή = 52,7 εκατ. m^3 /έτος).

3.5. Εξατμισοδιαπνοή

Ο όρος εξατμισοδιαπνοή (E) εκφράζει την ποσότητα του νερού των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων που επανέρχεται στην ατμόσφαιρα μέσω των διεργασιών της εξάτμισης και της διαπνοής.

Ο παραπάνω ορισμός αντιστοιχεί στην πραγματική εξατμισοδιαπνοή (E_r) και όχι στην δυνητική ή δυναμική, που είναι η ποσότητα νερού που θα μετέβαινε στην αέρια φάση αν τα αποθέματα του ήταν περισσότερα συγκριτικά με τις μέγιστες απώλειες από εξάτμιση και διαπνοή (Βουδούρης, 2013).

Ο όρος συντελεστής εξατμισοδιαπνοής ισούται με το ποσοστό (%) του όγκου νερού που εξατμισοδιαπνέεται ως προς τα ετήσια ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα.

3.5.1. Παράγοντες που επηρεάζουν την εξατμισοδιαπνοή

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την εξατμισοδιαπνοή μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις κατηγορίες, τους μετεωρολογικούς (ηλιακή ακτινοβολία, θερμοκρασία αέρος, θερμοκρασία εδάφους, υγρασία αέρος και εδάφους καθώς και ταχύτητα ανέμου), τους ατμοσφαιρικούς (ατμοσφαιρική πίεση, λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης και ψυχομετρική σταθερά κ.α.) και αυτούς που σχετίζονται με την βλάστηση και το έδαφος (πορώδες, κοκκομετρία εδάφους, είδος φυτού, ποσοστό του εδάφους που καλύπτεται από φύλλωμα, στάδιο ανάπτυξης του φυτού κ.α.), (Σούλιος 1986).

Ο υπολογισμός της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής μπορεί να γίνει είτε έμμεσα από τη σχέση του υδρολογικού ισοζυγίου της λεκάνης απορροής, αν είναι γνωστές οι υπόλοιπες παράμετροι, ή μέσω εμπειρικών τύπων (Thornthwaite, Turc, Penman, κ.λπ.) που χρησιμοποιούν διάφορα κλιματικά δεδομένα.

Πάντως η απευθείας εκτίμηση της «πραγματικής εξατμισοδιαπνοής», είναι αρκετά πολύπλοκη, αφού εξαρτάται, πέραν των άλλων, από τις καλλιέργειες που υπάρχουν στην περιοχή. Αντ' αυτής, μέσω των εμπειρικών τύπων, συνήθως υπολογίζεται η «δυνητική εξατμισοδιαπνοή», και ανάλογα με τα διαθέσιμα στοιχεία των καλλιεργειών αυτή διορθώνεται στην πραγματική (Δημόπουλος, 2007).

Η δυνητική εξατμισοδιαπνοή αναφέρεται σε πλήρως ομοιόμορφα καλυμμένες με χλωρίδα επιφάνειες, κάτω από συνθήκες απεριόριστης διαθεσιμότητας νερού. Έτσι, η πραγματική εξατμισοδιαπνοή είναι πάντα μικρότερη από την δυνητική, ενώ τους θερινούς μήνες η διαφορά τους μπορεί να είναι πολύ μεγάλη.

3.5.2. Εκτίμηση όγκου εξατμισοδιαπνοής από εμπειρικούς τύπους

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν αφορούν μετρήσεις βροχόπτωσης και θερμοκρασίας από τέσσερις μετεωρολογικούς σταθμούς και συγκεκριμένα τους σταθμούς «Αγροκήπιο» (απόλυτο υψόμετρο +7 m), «Αλικιανός» (σταθμός Β, με απόλυτο υψόμετρο +95 m), «Σούδα» (απόλυτο υψόμετρο +148 m) και «Χανιά» (απόλυτο υψόμετρο +137 m). Για την εξαγωγή αποτελεσμάτων σε αυτήν την ενότητα χρησιμοποιήθηκαν μόνο τέσσερις (4) σταθμοί διότι μόνο αυτοί παρείχαν δεδομένα θερμοκρασίας τα οποία είναι απαραίτητα για την εφαρμογή των μεθόδων.

Οι μετρήσεις αυτές παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.15 και αφορούν το χρονικό παράθυρο 2007-17, κατά το οποίο όμως υπάρχουν ελλείψεις, όσον αφορά την θερμοκρασία αέρα. Το διάστημα επιλέχθηκε το διάστημα 2007 – 2017 και όχι το 2006 – 2018 ώστε να μειωθούν τα ελλιπή θερμοκρασιακά δεδομένα.

Όπως φαίνεται στον Πίνακα 3.15, η κοινή περίοδος μετρήσεων περιορίζεται στα έτη 2013-17. Επίσης, η χρήση δεδομένων από άλλους μετεωρολογικούς σταθμούς, σε μεγαλύτερα υψόμετρα, δεν ήταν δυνατή λόγω σημαντικότερων ελλείψεων θερμοκρασιακών στοιχείων.

Συνεπώς, από τους εμπειρικούς τύπους που αναλύονται στα επόμενα, υπολογίστηκαν ενδεικτικές τιμές εξατμισοδιαπνοής, αντιπροσωπευτικές κυρίως για τα πεδινά και ημιορεινά τμήματα της λεκάνης.

Πίνακας 3.15: Μέσες μηνιαίες τιμές ύψους βροχής (P_i) και θερμοκρασίας (T_i) για τους τέσσερις (4) μετεωρολογικούς σταθμούς (χρονικό παράθυρο: 2007-17).

Μήνες	Αγροκήπιο		Αλικιανός		Σούδα		Χανιά	
	P_i (mm)	T_i (°C) ⁽¹⁾	P_i (mm)	T_i (°C) ⁽²⁾	P_i (mm)	T_i (°C) ⁽³⁾	P_i (mm)	T_i (°C)
ΙΑΝ	105.4	11.9	11.3	118.0	144.4	11.2	107.1	11.6
ΦΕΒ	89.5	12.6	12.5	67.4	103.3	12.3	94.5	12.1
ΜΑΡ	50.3	14.1	14.0	55.2	57.6	13.9	47.5	13.9
ΑΠΡ	23.9	16.7	16.6	12.8	22.1	17.1	23.4	16.7
ΜΑΪ	22.4	20.2	20.4	32.1	28.1	21.0	19.4	20.4
ΙΟΥΝ	4.0	23.8	23.7	9.7	1.9	25.2	2.1	24.6
ΙΟΥΛ	0.3	26.0	25.4	0.4	0.1	27.7	0.2	26.9
ΑΥΓ	12.0	25.9	25.4	12.6	0.0	27.3	7.1	26.9
ΣΕΠ	27.2	23.8	23.3	26.5	24.7	24.4	21.3	24.0
ΟΚΤ	101.7	19.9	19.2	74.2	93.0	20.0	84.3	19.9
ΝΟΕ	47.8	16.3	15.9	74.0	74.3	16.3	56.9	16.3
ΔΕΚ	108.5	13.2	12.1	160.4	139.4	12.9	102.8	13.0
Μ.Ο.	49.4	18.7	18.3	53.6	57.4	19.1	47.2	18.9

⁽¹⁾ Χρονική περίοδος μετρήσεων: 2011-17

⁽²⁾ Χρονική περίοδος μετρήσεων: 2013-17

⁽³⁾ Χρονική περίοδος μετρήσεων: 2010-17

Μέθοδος Turc

Ο Turc (1951) υπέδειξε μία σχέση που λαμβάνει υπόψη της τους παράγοντες της μέσης θερμοκρασίας και βροχόπτωσης, χωρίς να υπολογίζει την βλάστηση, με αποτέλεσμα να δίνει μεγαλύτερες τιμές «πραγματικής» εξατμισοδιαπνοής. Γενικά, η εφαρμογή του συγκεκριμένου τύπου δίνει καλύτερα αποτελέσματα σε λεκάνες χωρίς υψηλή μέση θερμοκρασία, με υψηλό βροχομετρικό δείκτη και υψηλό συντελεστή κατείσδυσης (Βουδούρης, 2013).

Σύμφωνα με τον Turc η πραγματική μέση ετήσια εξατμισοδιαπνοή (E_r) σε mm, ορίζεται ως εξής (Βουδούρης, 2013):

$$Er = \frac{P}{\sqrt{0,9 + (P/L)^2}} \quad [3.3]$$

όπου, P μέσο ετήσιο ύψος βροχής σε mm,

$$L = 300 + 25 \cdot T + 0,05 \cdot T^3, \text{ και}$$

T μέση ετήσια θερμοκρασία σε °C.

Ο Σούλιος (2009) πρότεινε να χρησιμοποιείται στον παραπάνω τύπο η διορθωμένη θερμοκρασία, T_δ :

$$T_\delta = \frac{P_1 \cdot T_1 + P_2 \cdot T_2 + \dots + P_{12} \cdot T_{12}}{P_{\text{ολ}}} \quad [3.4]$$

όπου, P_i μέσο μηνιαίο ύψος βροχής σε mm, και

T_i μέση μηνιαία θερμοκρασία αέρα σε °C.

Πίνακας 3.16: Υπολογισμός συντελεστή εξατμισοδιαπνοής με την μέθοδο Turc.

Σταθμός	Συντελεστής πραγματικής εξατμισοδιαπνοής		Όγκος εξατμισοδιαπνοής κατά Turc $m^3 \times 10^6$	
	Χωρίς διόρθωση θερμοκρασίας	Με διόρθωση θερμοκρασίας	Χωρίς διόρθωση θερμοκρασίας	Με διόρθωση θερμοκρασίας
Αγροκήπιο	0,92	0,86	242,13	226,34
Αλικιανός	0,89	0,82	234,24	215,82
Σούδα	0,89	0,79	234,24	207,92
Χανιά	0,93	0,86	244,77	226,34
Μ. Ο.	0,91	0,83	238,85	219,10

Στον Πίνακα 3.16 δίνονται τα αποτελέσματα υπολογισμού του συντελεστή εξατμισοδιαπνοής κατά Turc. Οι υπολογισμοί έγιναν και χωρίς διόρθωση της θερμοκρασίας.

Στον Πίνακα 3.16 παρατηρούνται ιδιαίτερα μεγάλες τιμές «πραγματικής» εξατμισοδιαπνοής (83 – 91% επί των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων), γεγονός που δείχνει πως η σχέση δεν λειτουργεί ικανοποιητικά στην υπό μελέτη λεκάνη, που

πιθανόν να οφείλεται στις υψηλές μέσες θερμοκρασίες αλλά και στο γεγονός ότι δεν λαμβάνει υπόψη του την μορφολογική και γεωλογική δομή της λεκάνης. Οι όγκοι αυτοί υπολογίστηκαν σύμφωνα με τα κατακρημνίσματα για όλη την υδρολογική λεκάνη του Κερίτη.

Μέθοδος Coutagne

Η εμπειρική σχέση που διατύπωσε ο Coutagne (1954) λαμβάνει υπόψη της την μέση ετήσια θερμοκρασία του αέρα T (°C) και είναι η εξής:

$$Er = P - \lambda \cdot P^2 \quad [3.5]$$

$$\text{όπου, } \lambda = \frac{1}{0,8 + 0,14 \cdot T}$$

Προϋπόθεση για να ισχύει η παραπάνω σχέση είναι να ικανοποιείται η συνθήκη: $(1/8) \cdot \lambda < P < (1/2) \cdot \lambda$. Γενικά, η συγκεκριμένη μέθοδος αποδίδει καλύτερα σε λεκάνες απορροής με μεγάλη έκταση (Βουδούρης, 2013).

Η επίλυση της εμπειρικής σχέσης του Coutagne (σχέση 3.5) έδωσε ακόμα μεγαλύτερη τιμή συντελεστή εξατμισοδιαπνοής, σχεδόν ίση με το 99% των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων και για τους τέσσερις (4) διαθέσιμους σταθμούς (δηλαδή $260,56 \times 10^6 \text{ m}^3$ σε όλη την υδρολογική λεκάνη του Κερίτη και $257,80 \times 10^6 \text{ m}^3$ στην υπό-λεκάνη της Αγυιάς).

Η τιμή αυτή κρίνεται ως εξωπραγματική και σίγουρα δεν αφορά την πραγματική εξατμισοδιαπνοή στη λεκάνη ενδιαφέροντος.

Μέθοδος Burdon – Papakis

Η μέθοδος που ανέπτυξαν οι Burdon και Papakis (1963) εξαρτάται από τα μέσα μηνιαία ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα και εφαρμόζεται μόνο σε ανθρακικά πετρώματα. Διακρίνεται σε τρεις περιπτώσεις ανάλογα με το ετήσιο ύψος βροχόπτωσης (Βουδούρης, 2013):

$$\text{Αν } P > 1000 \text{ mm, τότε } Er = 500 + P_{A-O},$$

$$\text{αν } 250 \text{ mm} < P < 1000 \text{ mm, τότε } Er = 0,5 \cdot P_{N-M} + P_{A-O}, \text{ και}$$

αν $P < 250 \text{ mm}$, τότε

$$Er = P,$$

όπου, P_{N-M} άθροισμα μέσων μηνιαίων ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων από τον Νοέμβριο έως τον Μάρτιο σε mm, και

P_{A-O} άθροισμα μέσων μηνιαίων ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων από τον Απρίλιο έως τον Οκτώβριο σε mm.

Τα μέσα ετήσια ύψη ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων (P) και των τεσσάρων μετεωρολογικών σταθμών ανήκουν στην δεύτερη κατηγορία, δηλαδή κυμαίνονται μεταξύ 250 και 1000 mm, οπότε εφαρμόστηκε η σχέση:

$$Er = 0,5 \cdot P_{N-M} + P_{A-O} \quad [3.6]$$

Με βάση την σχέση 3.6 προέκυψαν οι τιμές που φαίνονται στον Πίνακα 3.17.

Σύμφωνα με τον Πίνακα 3.17, η μέση τιμή του συντελεστή πραγματικής εξατμισοδιαπνοής για την περιοχή ενδιαφέροντος είναι ίση με το 63,7% των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων, τιμή η οποία εκ πρώτης όψεως φαίνεται ως η πλέον λογική. Οι όγκοι αυτοί υπολογίστηκαν για ολόκληρη την υδρολογική λεκάνη του Κερίτη.

Πίνακας 3.17: Υπολογισμός συντελεστή εξατμισοδιαπνοής με την μέθοδο Burdon – Parakis.

Σταθμός	Συντελεστής πραγματικής εξατμισοδιαπνοής (%)	Όγκος εξατμισοδιαπνοής κατά Burdon- Parakis $\text{m}^3 \times 10^6$
Αγροκήπιο	0,66	173,71
Αλικιανός	0,63	165,81
Σούδα	0,62	163,18
Χανιά	0,64	168,44
Μ. Ο.	0,64	167,79

3.5.3. Εκτίμηση όγκου εξατμισοδιαπνοής από το υδρολογικό ισοζύγιο

Σε μία υδρολογική λεκάνη (λεκάνη απορροής) ως «υδρολογικό ισοζύγιο» ορίζεται η ποσοτική ανάλυση του κύκλου του νερού σε υπερετήσια βάση, σύμφωνα με τη σχέση (Σούλιος, 1986):

$$P = I + R + E_r \quad [3.7]$$

όπου, P όγκος ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων,

I όγκος κατείσδυσης,

R όγκος επιφανειακής απορροής, και

E_r όγκος πραγματικής εξατμισοδιαπνοής.

Εάν είναι γνωστοί όλοι οι υπόλοιποι όροι του υδρολογικού ισοζυγίου μπορεί να υπολογιστεί η πραγματική εξατμισοδιαπνοή έμμεσα, ως η διαφορά μεταξύ του όγκου των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων με το άθροισμα του όγκου του νερού που κατεισδύει και ρέει επιφανειακά.

Με βάση τα αποτελέσματα της προηγούμενης ανάλυσης, κατασκευάσθηκαν οι Πίνακες 3.18 και 3.19, στους οποίους παρουσιάζονται οι μέσοι ετήσιοι όγκοι κατείσδυσης, επιφανειακής απορροής και πραγματικής εξατμισοδιαπνοής, ανά γεωλογικό σχηματισμό (επιφανειακή εμφάνιση), τόσο στην υδρολογική λεκάνη Κερίτη, όσο και στην υπο-λεκάνη Αγυιάς.

Από τον Πίνακα 3.18, προκύπτει ότι ο μέσος ετήσιος όγκος πραγματικής εξατμισοδιαπνοής στην υδρολογική λεκάνη Κερίτη είναι περίπου ίσος με 136,0 εκατ. m³. Δηλαδή, αποτελεί το 47% των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων.

Επίσης, από τον Πίνακα 3.19 φαίνεται ότι στην υπο-λεκάνη Αγυιάς, ο μέσος ετήσιος όγκος πραγματικής εξατμισοδιαπνοής εκτιμάται σε περίπου 129,41 εκατ. m³, ποσοστό 46% των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων.

Πίνακας 3.18: Εκτίμηση μέσων ετήσιων όγκων πραγματικής εξατμισοδιαπνοής με βάση το υδρολογικό ισοζύγιο στην υδρολογική λεκάνη Κερίτη.

Κωδικός σχηματισμού	Μέσοι ετήσιοι όγκοι (m ³ × 10 ⁶)		
	Κατείδυση (I)	Επιφανειακή απορροή (R)	Πραγματική εξατμισοδιαπνοή (Er)
al	2,93	3,52	5,28
SC-CS	0,17	0,12	0,29
Pt	0,05	0,03	0,08
Pt.t	0,17	0,17	0,33
Pl	0,90	0,60	1,49
Pl.m	0,00	0,01	0,01
Pl.k	0,01	0,01	0,02
M.br	0,06	0,03	0,09
M.m	0,01	0,11	0,13
M.c	2,17	0,03	0,27
Ks.k	0,30	1,45	3,62
Ts-Ji.d	1,82	0,41	1,82
Jm-E.k	34,45	7,66	34,45
Ts-Ji.mr.d	44,55	4,45	40,09
Ts-Ji.k	8,70	3,26	9,78
Rw	0,00	0,00	0,01
Ph	3,82	34,39	38,21
b	0,02	0,04	0,06
ΣΥΝΟΛΟ	100,13	56,27	136,02
ΠΟΣΟΣΤΟ	34%	19%	47%

Πίνακας 3.19: Εκτίμηση μέσων ετήσιων όγκων πραγματικής εξατμισοδιαπνοής με βάση το υδρολογικό ισοζύγιο στην υδρολογική υπο-λεκάνη Αγυιάς.

Κωδικός σχηματισμού	Μέσοι ετήσιοι όγκοι (m ³ × 10 ⁶)		
	Κατείσδυση (I)	Επιφανειακή απορροή (R)	Πραγματική εξατμισοδιαπνοή (Er)
al	2,39	2,87	4,31
SC-CS	0,17	0,12	0,29
Pt	0,05	0,03	0,08
Pt.t	0,12	0,24	0,24
Pl.k	0,00	0,00	0,00
M.br	0,06	0,03	0,09
M.c	2,15	1,43	3,59
Ks.k	0,02	0,00	0,02
Ts-Ji.d	0,08	0,03	0,11
Jm-E.k	44,55	7,66	40,09
Ts-Ji.mr.d	34,45	4,45	34,45
Ts-Ji.k	8,70	3,26	9,78
Rw	0,00	0,00	0,01
Ph	3,63	32,67	36,30
b	0,02	0,04	0,06
ΣΥΝΟΛΟ	96,40	52,83	129,41
ΠΟΣΟΣΤΟ	35%	19%	46,0%

3.6. Προσδιορισμός υδρολογικού ισοζυγίου

Με βάση τα αποτελέσματα (Πίνακας 3.19) και εφαρμόζοντας τη σχέση του υδρολογικού ισοζυγίου (σχέση 3.6) για την υπο-λεκάνη Αγυιάς, προκύπτει ότι αυτή δέχεται ετησίως μέσο όγκο ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων ίσο με περίπου 260,4 εκατ. m³, από τα οποία κατεisdύουν τα 96,4 εκατ. m³ (37%), σύμφωνα με βιβλιογραφικούς συντελεστές ή τα 57,8 εκατ. m³ (22%), σύμφωνα με τους συντελεστές Kessler και βιβλιογραφικούς συντελεστές κατείσδυσης, τροφοδοτώντας τις πηγές

Αγυιάς και τις ανάντη γεωτρήσεις, τα 52,8 εκατ. m³ (20%) απορρέουν επιφανειακά, μέσω του ποταμού (χειμάρρου) Κερίτη, και τα υπόλοιπα επιστρέφουν στην ατμόσφαιρα, μέσω των διεργασιών της εξάτμισης και της διαπνοής.

Η σχέση λοιπόν του υδατικού ισοζυγίου (Σχέση 3.7) για την υπο-λεκάνη Αγυιάς (έκταση 148,9 km²), διαμορφώνεται σύμφωνα με τον Πίνακα 3.20.

Πίνακας 3.20: Υδατικό ισοζύγιο στην υδρολογική υπο-λεκάνη Αγυιάς.

Μέθοδος εκτίμησης	Ετήσια ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα	Ετήσια κατείσδυση	Ετήσια επιφανειακή απορροή	Ετήσια εξατμισοδιαπνοή
Βιβλιογραφικοί συντελεστές	260,4 × 10 ⁶ m ³	96,4 × 10 ⁶ m ³	52,8 × 10 ⁶ m ³	111,2 × 10 ⁶ m ³
	1.748 mm	647 mm	354 mm	427 mm
	100%	37%	20%	43%
Συντελεστές Kessler + βιβλιογραφικοί συντελεστές	260,4 × 10 ⁶ m ³	57,8 × 10 ⁶ m ³	52,8 × 10 ⁶ m ³	149,8 × 10 ⁶ m ³
	1.748 mm	385 mm	354 mm	1.009 mm
	100%	22%	20%	58%

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΕΚΦΟΡΤΙΣΗ ΤΟΥ ΚΑΡΣΤΙΚΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ

Το καρστ είναι ένας όρος που περιγράφει έναν τύπο επιφανειακής και υπόγειας μορφολογίας, ως αποτέλεσμα των διαλυτικών διεργασιών (καρστικοποίηση) που υφίστανται τα ανθρακικά πετρώματα.

Ο βαθμός της διάλυσης επηρεάζεται κυρίως από τον όγκο του νερού και την ποσότητα του εν διαλύσει διοξειδίου του άνθρακα (Βουδούρης, 2013).

Η κυκλοφορία του νερού εξωτερικά των ανθρακικών σχηματισμών, προκαλεί την διάλυση των σχηματισμών εξωτερικά και δημιουργεί τις χαρακτηριστικές εξωκαρστικές μορφές, πολλές από τις οποίες παρουσιάζονται και στην περιοχή μελέτης. Χαρακτηριστικές εξωκαρστικές μορφές είναι οι παρακάτω (Βουδούρης, 2013):

- Δολίνες,
- Ουβάλες,
- Πόλγες,
- Κοιλώματα διάλυσης,
- Επιφανειακές χύτρες,
- Δαχτυλογλυφές και
- Αυλακοειδείς γλυφές

Εντός των ρωγμών των ανθρακικών πετρωμάτων έχουν παρατηρηθεί δύο είδη διάλυσης, που έχουν πολύ σημαντικό ρόλο στην μελέτη της κίνησης των υπόγειων υδάτων, η κατακόρυφη και η οριζόντια διεύρυνση.

Στην πρώτη περίπτωση, το νερό κινείται κατακόρυφα προς τα κάτω, εντός των κενών χώρων, από την ζώνη κατείσδυσης προς την ζώνη κορεσμού.

Στην δεύτερη περίπτωση, το υπόγειο νερό συναντά ένα αδιαπέρατο εμπόδιο και αλλάζει την κίνησή του από κατακόρυφη σε οριζόντια. Έτσι, είναι δυνατό η κίνηση από κυρίως κάθετη να μετασχηματιστεί στην βάση της ζώνης κορεσμού σε κυρίως οριζόντια (Βουδούρης, 2013).

Χαρακτηριστικές τέτοιες ενδοκαρστικές μορφές είναι οι εξής (Βουδούρης, 2013):

- Καταβόθρες,
- Καρστικά φρέατα – βάραθρα και
- Σπήλαια

4.1. Μέση ετήσια εκφόρτιση πηγών Αγυιάς

Όπως προαναφέρθηκε, η καρστική υδροφορία της Αγυιάς αναπτύσσεται κυρίως σε ασβεστόλιθους και δολομίτες της ενότητας Τρυπαλίου και εκμεταλλεύεται μέσω των ομώνυμων πηγών και ενός δικτύου γεωτρήσεων ανάντη των πηγών που αντλούνται για τις ανάγκες τοπικών φορέων και ιδιωτών.

Οι μετρήσεις παροχών στις πηγές Αγυιάς είναι περιορισμένες και όχι συστηματικές. Με βάση λίγες διαθέσιμες μετρήσεις, η συνολική παροχή των πηγών φαίνεται να παρουσιάζει διακυμάνσεις από 1,7 m³/s έως 3,4 m³/s και μέση απορροή 2,5 m³/s (Στειακάκης κ.ά., 2017).

Οι ενδεικτικές παροχές του Πίνακα 2.2 (κεφάλαιο 2) δείχνουν μείωση των απορροών με την πάροδο των ετών, λόγω της συνεχούς αύξησης των αντλήσεων ανάντη των πηγών.

Σε μελέτη του Ινστιτούτου Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (Παυλίδου, 2009), παρουσίασε εκτιμήσεις της ετήσιας παροχής των πηγών Αγυιάς. Οι εκτιμήσεις αυτές λαμβάνουν υπόψη μετρήσεις που έγιναν στις πηγές Πλατάνου, Βαρύπετρου, για τις οποίες επισημαίνονται διαφυγές νερού βόρεια προς την λίμνη Αγυιάς, αλλά και στην πηγή Καλαμιώνα.

Οι μετρήσεις για τις πηγές Πλατάνου και Βαρύπετρου (Πίνακας 4.1, Σχήμα 4.1) αφορούν το νερό που αντλεί η Δημοτική Επιχείρηση Ύδρευσης – Αποχέτευσης Χανίων (ΔΕΥΑΧ) για την ύδρευση του δήμου Χανίων, καθώς και όλων των δήμων από τους οποίους περνάει το δίκτυο αγωγών προς την πόλη των Χανίων.

**Πίνακας 4.1: Μετρήσεις παροχών στις πηγές Πλατάνου και Βαρύπετρου
(Παυλίδου – ΙΓΜΕ, 2009).**

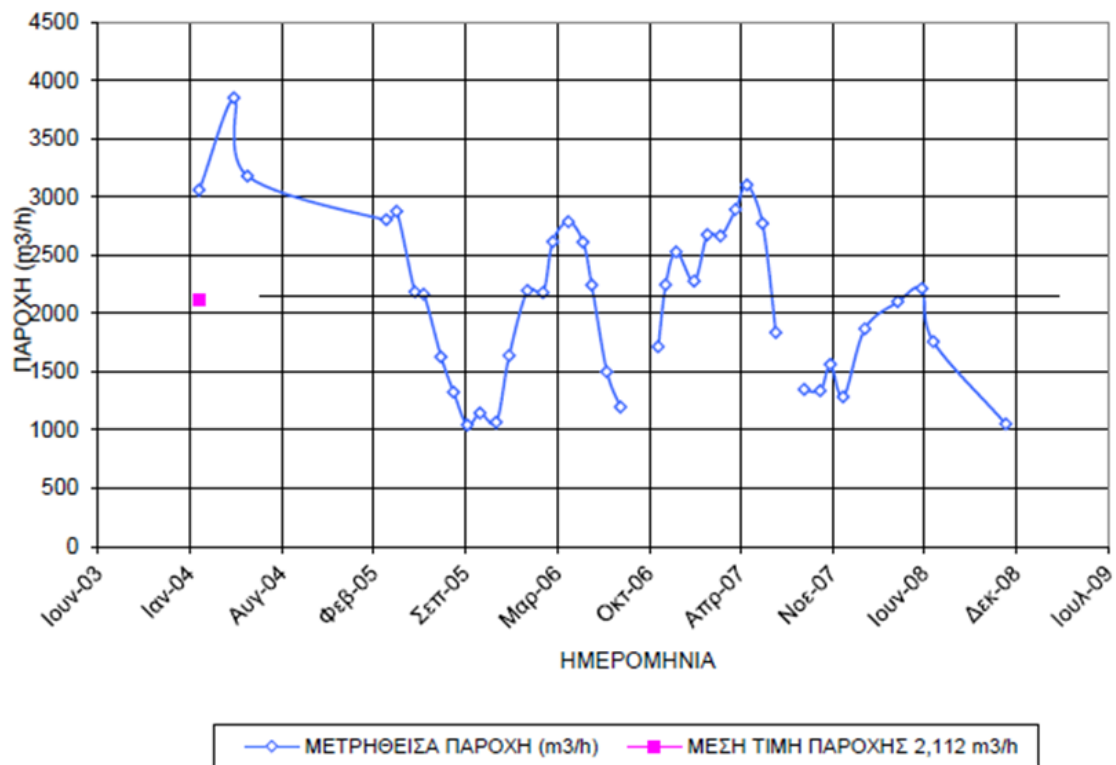
Ημερ/νία	Παροχή (m ³ /h)	Ημερ/νία	Παροχή (m ³ /h)	Ημερ/νία	Παροχή (m ³ /h)	Ημερ/νία	Παροχή (m ³ /h)
03/02/2004	3.057,48	07/10/2005	1.145,00	09/08/2006	1.197,00	13/07/2007	1.834,00
19/04/2004	3.849,50	11/11/2005	1.064,00	30/10/2006	1.714,00	13/09/2007	1.348,00
18/05/2004	3.179,38	09/12/2005	1.637,00	15/11/2006	2.244,00	18/10/2007	1.336,00
17/03/2005	2.801,63	18/01/2006	2.197,00	08/12/2006	2.528,00	09/11/2007	1.561,00
08/04/2005	2.876,00	21/02/2006	2.179,00	16/01/2007	2.277,00	07/12/2007	1.282,00
18/05/2005	2.184,00	14/03/2006	2.615,00	14/02/2007	2.676,00	23/01/2008	1.868,00
06/06/2005	2.165,00	17/04/2006	2.786,00	15/03/2007	2.663,00	04/04/2008	2.099,00
14/07/2005	1.626,00	19/05/2006	2.611,00	16/04/2007	2.890,00	26/05/2008	2.213,00
10/08/2005	1.325,00	07/06/2006	2.243,00	11/05/2007	3.103,00	20/06/2008	1.758,00
09/09/2005	1.041,00	10/07/2006	1.499,00	14/06/2007	2.771,00	25/11/2008	1.051,00

Οι παροχές στις μετρήσεις του Πίνακα 4.1 κυμαίνονται από 1.041 – 3.850 m³/h με μέση τιμή, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 4.1, τα 2.100 m³/h.

Παρατηρείται συνεχής μείωση των παροχών. Τον Απρίλιο του 2004 η παροχή ήταν 3.849m³/h, ενώ τον ίδιο μήνα του 2008 ήταν μειωμένη στα 2.099 m³/h. Μεταξύ 2007 και 2008 η μείωση ήταν ίση με 27,37%.

Αυτό αιτιολογήθηκε εν μέρει από το χαμηλό ετήσιο ύψος βροχής του υδρολογικού έτους 2007-08 (ξηρό έτος), παρόμοιο με αυτό του 2004-05.

Από τις μετρήσεις του Πίνακα 4.1 υπολογίστηκε η συνολική ετήσια ποσότητα εκροής των πηγών για τα έτη 2005, 2006 και 2007 (Πίνακας 4.2).

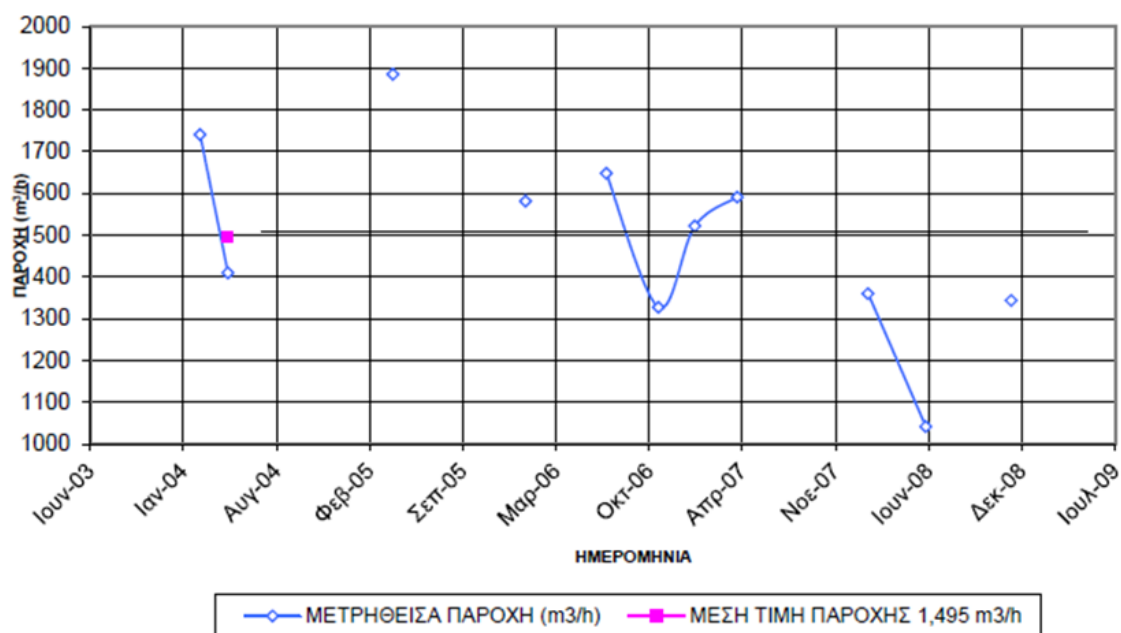


Σχήμα 4.1: Μετρήσεις παροχών στις πηγές Πλατάνου και Βαρύπετρου (Παυλίδου – ΙΓΜΕ, 2009).

Πίνακας 4.2: Μέση (Q_{av}), μέγιστη (Q_{max}) και ελάχιστη (Q_{min}) παροχή και συνολική ποσότητα (V) εκροής των πηγών Πλατάνου και Βαρύπετρου για τα έτη 2005, 2006 και 2007 (Παυλίδου – ΙΓΜΕ, 2009).

Έτος	2005	2006	2007
Q_{av} (m³/s)	0,5227	0,5705	0,5857
Q_{max} (m³/s)	0,7989 (08/04/05)	0,7739 (17/04/06)	0,8619 (11/05/07)
Q_{min} (m³/s)	0,2890 (09/09/05)	0,3325 (09/08/06)	0,3561 (07/12/07)
V (m³)	$16,5 \times 10^6$	$18,0 \times 10^6$	$18,5 \times 10^6$

Για την πηγή Καλαμιώνα, η ίδια μελέτη (Παυλίδου, 2009) παρουσιάζει μετρήσεις παροχών για το διάστημα μεταξύ Ιουνίου 2003 και Ιουλίου 2009. Στο χρονικό αυτό διάστημα η πηγή παρουσιάζει μεταβολές των παροχών της μεταξύ $1.041 - 1.885 \text{ m}^3/\text{h}$, με μέση τιμή, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.2, τα $1.495 \text{ m}^3/\text{h}$.



Σχήμα 4.2: Μετρήσεις παροχών στην πηγή Καλαμιώνα (Παυλίδου – ΙΓΜΕ, 2009).

Λόγω της τριμηνιαίας παρακολούθησης που γινόταν στην πηγή Καλαμιώνα, δεν μπορούν να υπολογιστούν ετήσιοι όγκοι (Παυλίδου, 2009), ωστόσο, όπως αναφέρεται στην έκθεση «παλαιότερες μετρήσεις δίνουν έναν μέσο ετήσιο όγκο της τάξεως των 10,5 εκατ. m³».

Σε άλλη μελέτη (Λιονής – Περλέρος, 2001), αναφέρεται ότι «με βάση την επεξεργασία των υδρομετρήσεων από το 1971 μέχρι το 1984, η μέση ετήσια παροχή των πηγών Αγυιάς είναι 66,7 εκατ. m³ με διακύμανση από 56,3 μέχρι 75,5 εκατ. m³». Για την περίοδο 1978 – 1984, η οποία εντάσσεται στο χρονικό διάστημα κατά το οποίο οι μελετητές επεξεργάστηκαν βροχομετρικά δεδομένα, η μέση ετήσια παροχή των πηγών είναι 69,5 εκατ. m³.

Αν στην ποσότητα αυτή προστεθούν και περί τα 14 εκατ. m³ που αναφέρονται σε απολήψεις από τα αντλιοστάσια του Δήμου Χανίων, του ΤΟΕΒ Βαρυπέτρου και του ΟΑΚ (τότε ΟΑΔΥΚ), «η συνολική μέση ποσότητα εκροών των πηγών ανέρχεται σε περίπου 84 εκατ. m³».

4.2. Κατείδυση στην υδρολογική λεκάνη και παροχή των πηγών

Οι παροχές στις πηγές Αγυιάς (βλέπε Πίνακα 2.2, στο κεφάλαιο 2) και δεδομένα αντλήσεων από τα γεωτρητικά πεδία Αγυιάς και Μυλωνιανών (Πίνακας 2.3, στο κεφάλαιο 2), όπως και αναλύσεις διαφόρων άλλων ερευνητών (Παυλάκης, 1972, Υδρογαία, 1977, Μονόπωλης – Στειακάκης, 1992, Λιαλιάρης, 1996, Νικολαΐδης – Καρατζάς, 2006, 2010, Πολυτεχνείο Κρήτης, 2009, Στειακάκης κ.ά., 2010, 2017, Steiakakis et al., 2011, 2015), υποδεικνύουν ως ελάχιστη ποσότητα εκφόρτισης κατ' έτος, 70 εκατ. m³, έως 100 εκατ. m³.

Οι παραπάνω τιμές είναι συγκρίσιμες έως και αισιόδοξες σε σχέση με τα 57,8 – 96,4 εκατ. m³ του μέσου ετήσιου όγκου κατείδυσης στην υπο-λεκάνη Αγυιάς που εκτιμήθηκαν στην παρούσα εργασία (Κεφάλαιο 3, παράγραφος 3.6).

4.3. Εκτίμηση δυναμικών αποθεμάτων

Οι πηγές Πλάτανος και Κολύμπα αποτελούν μια συστάδα πηγών υπερπλήρωσης, ενώ πλησίον αυτών και δυτικότερα υπάρχει η πηγή Καλαμιώνα για την οποία υπάρχουν αμφιβολίες σχετικά με τον υδροφορέα που την τροφοδοτεί.

Στην παρούσα εργασία έγινε εκτίμηση των δυναμικών (ρυθμιστικών) αποθεμάτων νερού στις πηγές «Πλάτανος – Κολύμπα» και «Καλαμιώνας», χρησιμοποιώντας το πρότυπο του Maillet.

Σύμφωνα με τον Maillet, ο εκθετικός τύπος [4.1] που περιγράφει την μείωση της παροχής μιας πηγής με τον χρόνο είναι (Σούλιος 1986):

$$q = q_0 \cdot e^{-a \cdot t} \quad [4.1]$$

όπου, q_0 αρχική παροχή (m³/s) την χρονική στιγμή t_0 ,

t χρονική διάρκεια σε ημέρες (days) από την στιγμή t_0 ,

q παροχή (m³/s) στην χρονική στιγμή t , και

a συντελεστής στείρευσης, με μονάδες ανά ημέρα (days⁻¹).

Ο «συντελεστής στείρευσης» (a) έχει φυσική σημασία και συμβολίζει το βαθμό μείωσης της παροχής μίας πηγής από μέρα σε μέρα κατά την φάση υποχώρησης του υδρογράμματος.

Μεγάλη τιμή του a δείχνει πως το υδροφόρο στρώμα εκκενώνεται γρήγορα, ενώ μικρή τιμή του a , δείχνει πως το υδροφόρο στρώμα εκκενώνεται με αργό ρυθμό. Ο συντελεστής στείρευσης είναι σταθερός (χαρακτηριστική παράμετρος) για κάθε πηγή (Σούλιος 1986).

Εάν είναι γνωστός ο συντελεστής στείρευσης και η παροχή της πηγής μια δεδομένη χρονική στιγμή, τότε μπορούν να υπολογιστούν τα «δυναμικά αποθέματα» κατά την χρονική στιγμή t της ξηρής περιόδου όπου η παροχή είναι q . Τα δυναμικά αποθέματα δίνονται από την σχέση (Σούλιος 1986):

$$Q_s = 86.400 \cdot q / a \quad [4.2]$$

όπου, 86.400 τα δευτερόλεπτα ενός 24ώρου,

q παροχή (m^3/s), και

a συντελεστής στείρευσης ($days^{-1}$).

Σημειώνεται ότι εφόσον τα δυναμικά (ενεργά) αποθέματα εκφράζουν την εκφόρτιση μιας πηγής κατά την διάρκεια της ξηρής περιόδου κάθε έτους, ουσιαστικά ισοδυναμούν με τα ρυθμιστικά αποθέματα του υδροφορέα που τροφοδοτεί την πηγή αυτή.

Το πρότυπο Maillet εφαρμόσθηκε σε μελέτη της παροχής των πηγών (Μονόπωλης – Στειακάκης, 1992), κατά στην οποία διαπιστώθηκε ότι υπάρχει σαφής συσχετισμός μεταξύ πιεζομετρίας και απορροής των πηγών, ενώ είναι δυνατή η πρόβλεψη των παροχών των πηγών με βάση τις μετρήσεις στάθμης στις γεωτρήσεις. Με βάση τα διαθέσιμα στοιχεία εκτιμήθηκαν οι συντελεστές στείρευσης των πηγών Πλατάνου και Κολύμπας όπως επίσης και τα δυναμικά αποθέματα τους.

Παρακάτω επιχειρείται επικαιροποίηση των εκτιμήσεων με βάση μεταγενέστερες μετρήσεις της παροχής των πηγών Πλατάνου και Κολύμπας και υπολογισμός των αντίστοιχων παραμέτρων για την πηγή Καλαμιώνα.

4.3.1. Πηγές Κολύμπας και Πλατάνου

Από τα διαθέσιμα δεδομένα παροχών των πηγών Πλατάνου και Κολύμπας, του Ινστιτούτου Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (ΙΓΜΕ), υπολογίστηκαν με το πρότυπο Maillet (σχέσεις 4.2 και 4.3) τα δυναμικά αποθέματά των. Τα δεδομένα αφορούν μόνο τα υδρολογικά έτη 1988-89 και 1989-90 και για τις δύο πηγές.

Πηγή Κολύμπας

Στους Πίνακες 4.3 και 4.4 παρουσιάζονται οι παροχές της πηγής Κολύμπας κατά την ξηρή περίοδο των υδρολογικών ετών 1988-89 και 1989-90, αντίστοιχα. Επίσης, ο συντελεστής στέρειυσης της πηγής και τα δυναμικά αποθέματά της (σχέση 4.3).

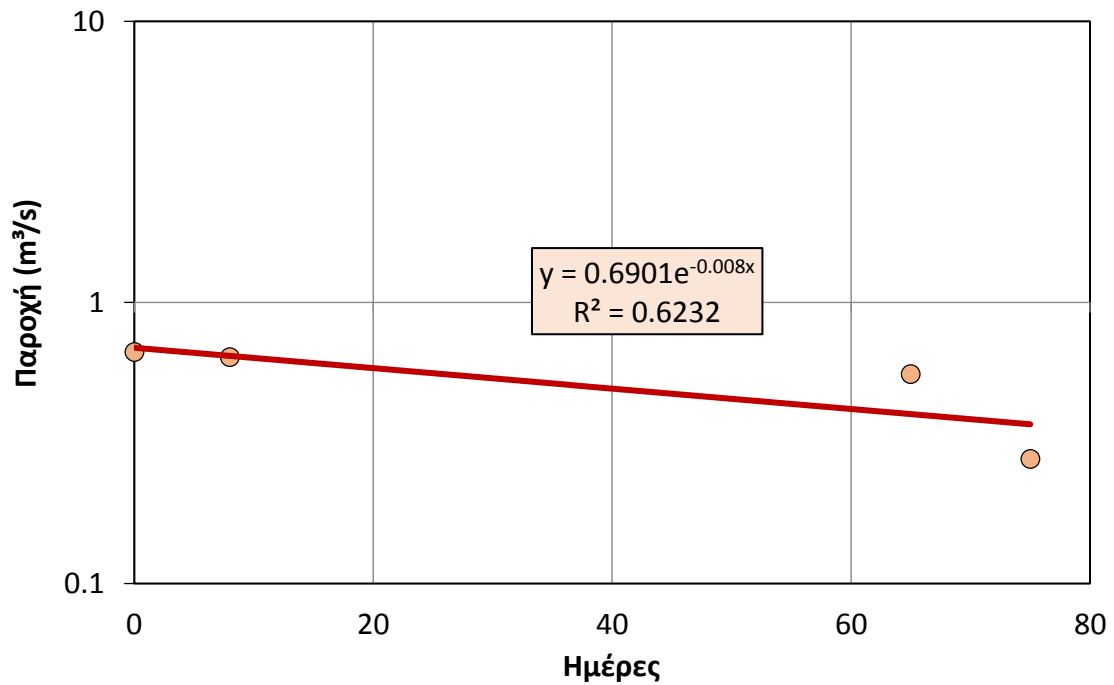
Πίνακας 4.3: Πηγή Κολύμπας: Παροχές ξηρής περιόδου και συντελεστής στέρειυσης κατά Maillet, για το υδρολογικό έτος 1988-89.

Ημερομηνία	Παροχή (m ³ /s)	Χρόνος στερίευσης, t (days)	Αρχική παροχή, Q ₀ (m ³ /s)	Συντελεστής στερίευσης, α (days ⁻¹)	Δυναμικά αποθέματα, Q _s (m ³)
29/06/1989	0,6667	0	0,677169	0,00385	15.197.354
07/07/1989	0,6389	8			
02/09/1989	0,5555	65			
12/09/1989	0,2778	75			

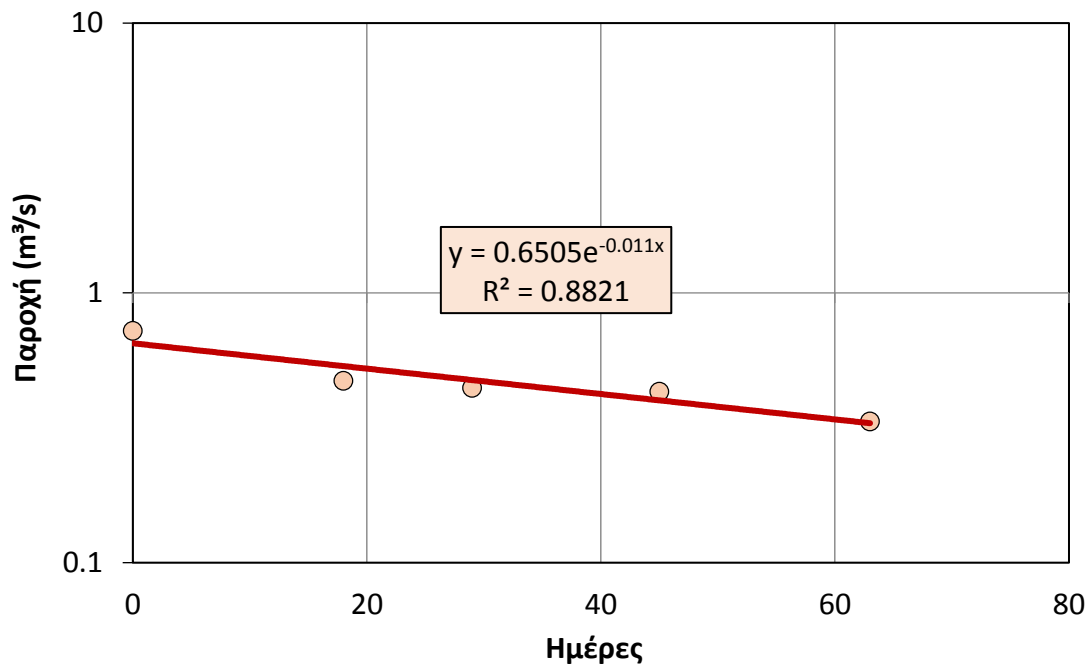
Πίνακας 4.4: Πηγή Κολύμπας: Παροχές ξηρής περιόδου και συντελεστές στέρειυσης κατά Maillet, για το υδρολογικό έτος 1989-90.

Ημερομηνία	Παροχή (m ³ /s)	Χρόνος στερίευσης, t (days)	Αρχική παροχή, Q ₀ (m ³ /s)	Συντελεστής στερίευσης, α (days ⁻¹)	Δυναμικά αποθέματα, Q _s (m ³)
30/05/1990	0,7222	0	0,64807	0,00540	10.359.831
17/06/1990	0,4722	18			
28/06/1990	0,4444	29			
14/07/1990	0,4305	45			
01/08/1990	0,3333	63			

Στα Σχήματα 4.3 και 4.4 παρουσιάζονται οι εκθετικές καμπύλες Maillet στην πηγή Κολύμπας, για την ξηρή περίοδο κάθε υδρολογικού έτους.



Σχήμα 4.3: Πηγή Κολύμπας: Εκθετική καμπύλη Maillet (Υδρολογικό έτος 1988-89).



Σχήμα 4.4: Πηγή Κολύμπας: Εκθετική καμπύλη Maillet (Υδρολογικό έτος 1989-90).

Στον Πίνακα 4.5 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά οι συντελεστές στείρευσης και τα εκκενώσιμα αποθέματα της πηγής Κολύμπας.

Πίνακας 4.5: Πηγή Κολύμπας: Συντελεστές στείρευσης και δυναμικά αποθέματα, για τα υδρολογικά έτη 1988-89 και 1989-90.

Υδρολογικό έτος	Συντελεστής στείρευσης, α (days ⁻¹)	Δυναμικά αποθέματα, Q _s (m ³)
1988-89	0,00385	15.197.353
1989-90	0,00540	10.359.831
Μ.Ο.	0,00463	12.778.592

Με βάση τις παραπάνω τιμές, υπολογίστηκε ότι τα μέσα δυναμικά αποθέματα της πηγής Κολύμπας είναι ίσα με 12.778.592 m³. Η συγκεκριμένη τιμή έχει μικρή απόκλιση από εκείνη της υπάρχουσας βιβλιογραφίας (Μονόπωλης – Στειακάκης, 1992), όπου τα αποθέματα εκτιμήθηκαν σε 13.987.973 m³.

Πηγή Πλατάνου

Ομοίως, στους Πίνακες 4.6 και 4.7 παρουσιάζονται τα δεδομένα των παροχών της πηγής Πλατάνου κατά την ξηρή περίοδο των υδρολογικών ετών 1988-89 και 1989-90, αντίστοιχα.

Στα Σχήματα 4.3 και 4.4 παρουσιάζονται οι εκθετικές καμπύλες Maillet στην πηγή Πλατάνου, για την ξηρή περίοδο κάθε υδρολογικού έτους.

Στον Πίνακα 4.8, δίνονται συγκεντρωτικά οι συντελεστές στείρευσης και τα δυναμικά αποθέματα της πηγής Πλατάνου.

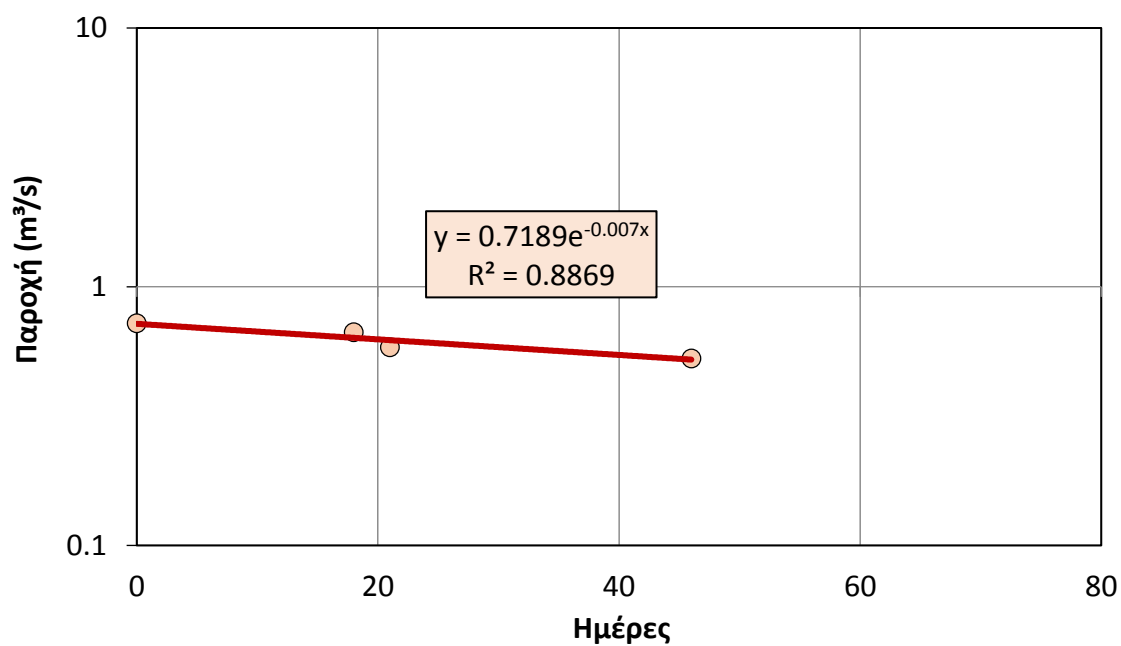
Πίνακας 4.6: Πηγή Πλατάνου: Παροχές ξηρής περιόδου και συντελεστής στείρευσης κατά Maillet, για το υδρολογικό έτος 1988-89.

Ημερομηνία	Παροχή (m ³ /s)	Χρόνος στείρευσης, t (days)	Αρχική παροχή, Q ₀ (m ³ /s)	Συντελεστής στείρευσης, α (days ⁻¹)	Δυναμικά αποθέματα, Q _s (m ³)
28/06/1989	0,7222	0	0,71588	0,00428	14.462.787
16/07/1989	0,6667	18			
19/07/1989	0,5833	21			
13/08/1989	0,5278	46			

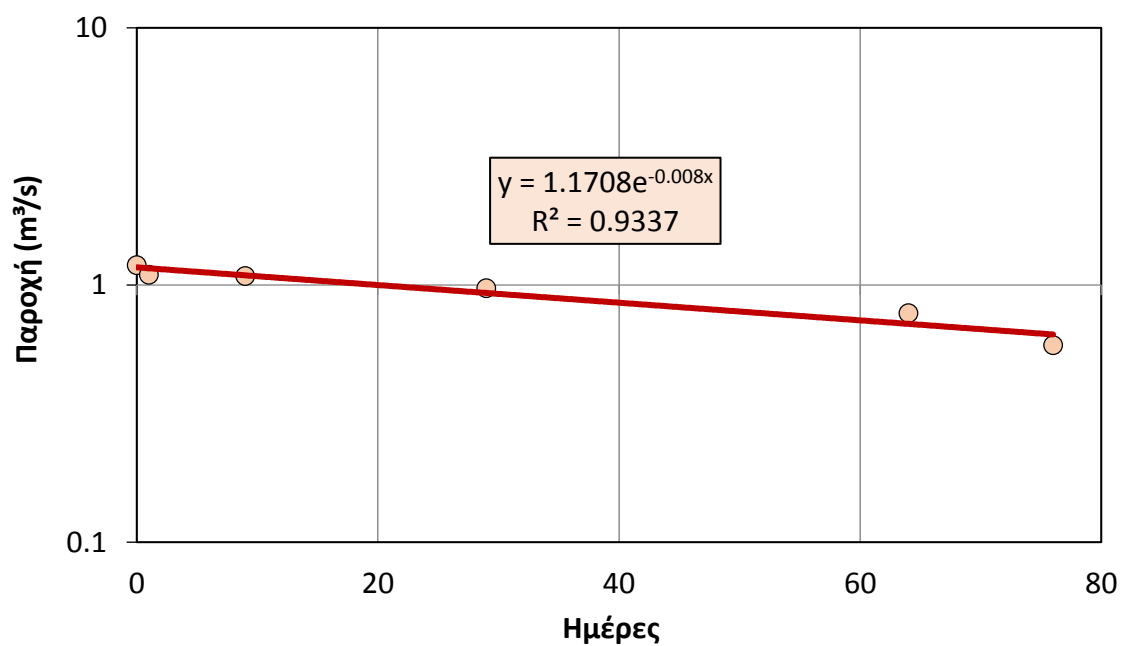
Πίνακας 4.7: Πηγή Πλατάνου: Παροχές ξηρής περιόδου και συντελεστής στείρευσης κατά Maillet, για το υδρολογικό έτος 1989-90.

Ημερομηνία	Παροχή (m ³ /s)	Χρόνος στείρευσης, t (days)	Αρχική παροχή, Q ₀ (m ³ /s)	Συντελεστής στείρευσης, α (days ⁻¹)	Δυναμικά αποθέματα, Q _s (m ³)
28/06/1990	1,1944	0	1,15454	0,00681	14.648.602
29/06/1990	1,0972	1			
07/07/1990	1,0833	9			
27/07/1990	0,9722	29			
31/08/1990	0,7778	64			
12/09/1990	0,5833	76			

Όπως διαπιστώνεται, τα μέσα δυναμικά αποθέματα της πηγής Πλατάνου βρέθηκαν ίσα με 14.555.694 m³, τιμή η οποία δεν αποκλίνει σημαντικά από αυτή της βιβλιογραφίας (Μονόπωλης – Στειακάκης, 1992), κατά την οποία τα δυναμικά αποθέματα της πηγής είναι 11.433.649 m³.



Σχήμα 4.5: Πηγή Πλατάνου: Εκθετική καμπύλη Maillet (Υδρολογικό έτος 1988-89).



Σχήμα 4.6: Πηγή Πλατάνου: Εκθετική καμπύλη Maillet (Υδρολογικό έτος 1989-90).

Πίνακας 4.8: Πηγή Πλατάνου: Συντελεστές στείρευσης και δυναμικά αποθέματα, για τα υδρολογικά έτη 1988-89 και 1989-90.

Υδρολογικό έτος	Συντελεστής στείρευσης, α (days ⁻¹)	Δυναμικά αποθέματα, Qs (m ³)
1988-89	0,00428	14.462.787
1989-90	0,00681	14.648.602
Μ.Ο.	0,00554	14.555.694

Συνολικά λοιπόν, οι δύο αυτές πηγές αποδίδουν περί τα **27,33 εκατ. m³** κατά την ξηρή περίοδο κάθε έτους (ρυθμιστικά αποθέματα).

4.3.2. Πηγή Καλαμιών

Τα απαραίτητα δεδομένα για την συγκεκριμένη πηγή προήλθαν από μετρήσεις του Ινστιτούτου Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (ΙΓΜΕ). Πρόκειται για πολυάριθμα αλλά διάσπαρτα δεδομένα, η μηνιαία καταγραφή των οποίων ξεκινά στις 16/01/1989 και ολοκληρώνεται στις 14/04/2011 με μεγάλες ελλείψεις (Πίνακας 4.9α-β και Σχήμα 4.7).

Στα δεδομένα αυτά έγινε επεξεργασία σύμφωνα με το πρότυπο Maillet και εκτιμήθηκε ο συντελεστής στείρευσης και τα μέσα δυναμικά αποθέματα της πηγής.

Στο Σχήμα 4.8 παρουσιάζονται οι εκθετικές καμπύλες στείρευσης για επιλεγμένα έτη (1989, 1990, 1991, 1994, 1995, 1998 και 2006) με επαρκή δεδομένα.

Επίσης, στον Πίνακα 4.10 παρουσιάζεται η επεξεργασία των παροχών με τους συντελεστές στείρευσης και τα δυναμικά αποθέματα κάθε υδρολογικού έτους.

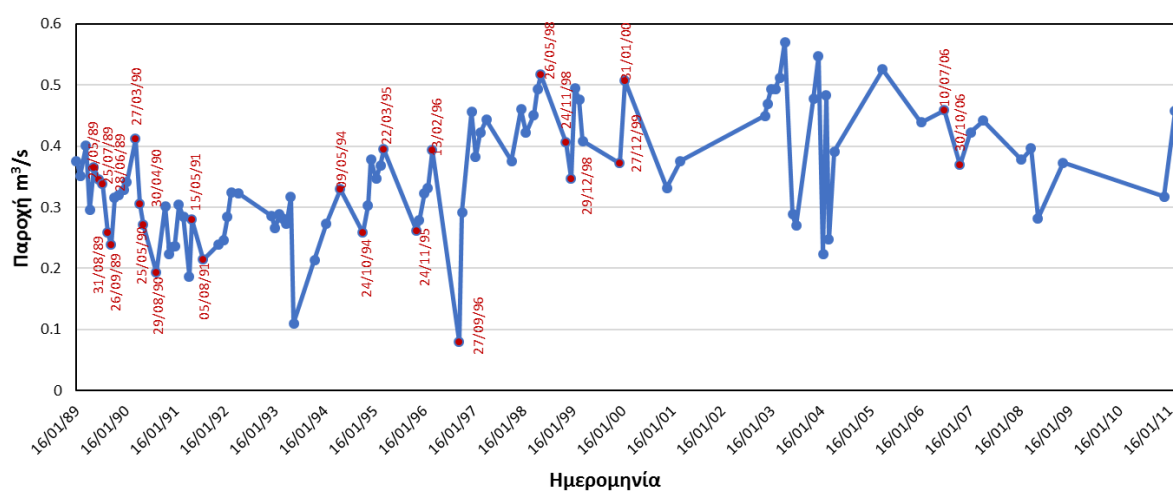
Τέλος, τον Πίνακα 4.11, δίνονται συγκεντρωτικά οι συντελεστές στείρευσης και τα δυναμικά αποθέματα της πηγής Καλαμιών.

Πίνακας 4.9α: Παροχές πηγής Καλαμιώνα (Στοιχεία: ΙΓΜΕ).

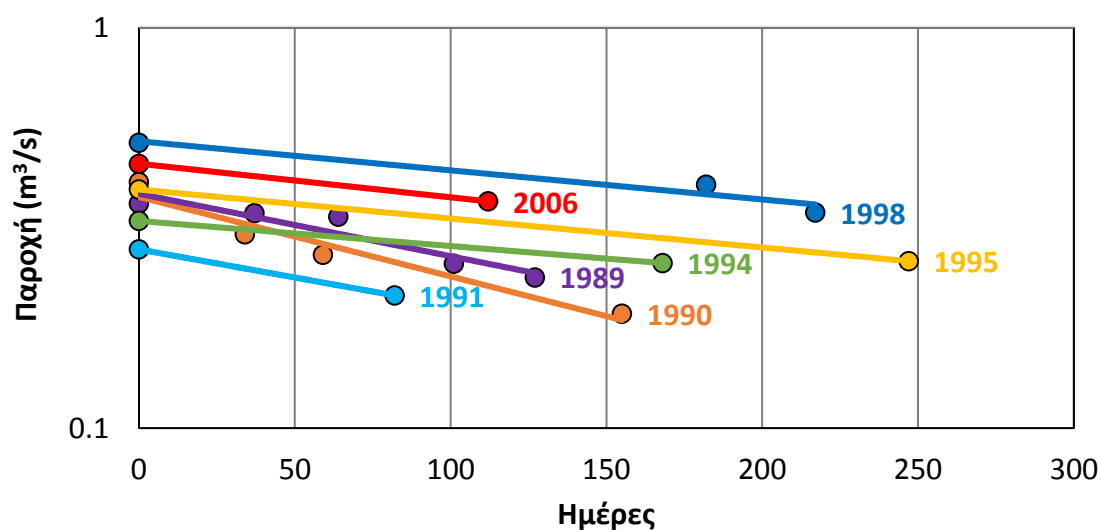
Ημερ/νία	Παροχή (m ³ /s)	Ημερ/νία	Παροχή (m ³ /s)	Ημερ/νία	Παροχή (m ³ /s)
16/01/1989	0,3755	26/02/1992	0,3248	20/10/1997	0,3758
13/02/1989	0,3518	20/04/1992	0,323	29/12/1997	0,4603
27/03/1989	0,4003	16/12/1992	0,2862	03/02/1998	0,4216
24/04/1989	0,2951	15/01/1993	0,2659	30/03/1998	0,4513
22/05/1989	0,3641	15/02/1993	0,2892	30/04/1998	0,4931
28/06/1989	0,3446	11/03/1993	0,2814	26/05/1998	0,5163
25/07/1989	0,3374	09/04/1993	0,2732	24/11/1998	0,4061
31/08/1989	0,2576	11/05/1993	0,3164	29/12/1998	0,3456
26/09/1989	0,2381	01/06/1993	0,1102	28/01/1999	0,4951
23/10/1989	0,315	01/11/1993	0,2138	01/03/1999	0,4756
22/11/1989	0,3198	25/01/1994	0,2735	27/03/1999	0,4082
28/12/1989	0,329	9/05/1994	0,3294	27/12/1999	0,3718
19/01/1990	0,341	24/10/1994	0,2584	31/01/2000	0,5062
27/03/1990	0,4115	30/11/1994	0,3035	06/12/2000	0,3318
30/04/1990	0,3053	20/12/1994	0,3786	13/03/2001	0,3754
25/05/1990	0,2713	27/01/1995	0,3466	26/11/2002	0,4498
29/08/1990	0,1931	28/02/1995	0,3688	16/12/2002	0,4693
30/10/1990	0,3018	22/03/1995	0,3946	10/01/2003	0,493
27/11/1990	0,2236	24/11/1995	0,2614	10/02/2003	0,4938
18/12/1990	0,2351	11/12/1995	0,2781	14/03/2003	0,5124
08/01/1991	0,2365	18/01/1996	0,3233	22/04/2003	0,5706
06/02/1991	0,3037	13/02/1996	0,3314	18/06/2003	0,2883
13/03/1991	0,2841	18/03/1996	0,393	15/07/2003	0,2697
24/04/1991	0,1869	27/09/1996	0,0791	19/11/2003	0,4781
15/05/1991	0,2796	22/10/1996	0,2916	23/12/2003	0,5474
05/08/1991	0,2145	31/12/1996	0,456	27/01/2004	0,2233
25/11/1991	0,2388	29/01/1997	0,3827	19/02/2004	0,4835
31/12/1991	0,2454	5/03/1997	0,4217	09/03/2004	0,2469
30/01/1992	0,2838	18/04/1997	0,4431	19/04/2004	0,3914

Πίνακας 4.9β: Παροχές πηγής Καλαμιώνα (Στοιχεία: ΙΓΜΕ).

Ημερ/νία	Παροχή (m ³ /s)	Ημερ/νία	Παροχή (m ³ /s)	Ημερ/νία	Παροχή (m ³ /s)
08/04/2005	0,5253	17/04/2007	0,4419	09/12/2010	0,3172
18/01/2006	0,439	23/01/2008	0,3778	27/02/2011	0,4581
10/07/2006	0,4578	04/04/2008	0,3962	15/03/2011	0,4123
30/10/2006	0,3686	26/05/2008	0,2821	14/04/2011	0,4439
16/01/2007	0,4227	25/11/2008	0,3731		



Σχήμα 4.7: Παροχές πηγής Καλαμιώνα (Στοιχεία: ΙΓΜΕ).



Σχήμα 4.8: Πηγή Καλαμιώνα: Εκθετικές καμπύλες Maillet.

Πίνακας 4.10: Πηγή Καλαμιώνα: Παροχές ξηρής περιόδου και συντελεστές στείρευσης κατά Maillet.

Ημερομηνία	Παροχή (m ³ /s)	Χρόνος στείρευσης, t (days)	Αρχική παροχή, Q ₀ (m ³ /s)	Συντελεστής στείρευσης, α (days ⁻¹)	Δυναμικά αποθέματα, Q _s (εκατ. m ³)
22/05/1989	0,3641	0	0,37872	0,00107	30,60
28/06/1989	0,3446	37			
25/07/1989	0,3374	64			
31/08/1989	0,2576	101			
26/09/1989	0,2381	127			
27/03/1990	0,4115	0	0,37420	0,00127	25,39
30/04/1990	0,3053	34			
25/05/1990	0,2713	59			
29/08/1990	0,1931	155			
15/05/1991	0,2796	0	0,27960	0,00079	30,43
05/08/1991	0,2145	82			
09/05/1994	0,3294	0	0,32940	0,00042	67,34
24/10/1994	0,2584	168			
22/03/1995	0,3946	0	0,39460	0,00054	63,22
24/11/1995	0,2614	247			
26/05/1998	0,5163	0	0,51937	0,00073	61,71
24/11/1998	0,4061	182			
29/12/1998	0,3456	217			
10/07/2006	0,4578	0	0,45780	0,00080	49,66
30/10/2006	0,3686	112			

Πίνακας 4.11 : Πηγή Καλαμιώνα: Συντελεστές στείρευσης και δυναμικά αποθέματα, για τα επιλεγμένα υδρολογικά έτη από 1988-89 έως και 2005-06.

Υδρολογικό έτος	Συντελεστής στείρευσης, α (days ⁻¹)	Δυναμικά αποθέματα, Qs (εκατ. m ³)
1988 - 1989	0,00107	30,60
1989 - 1990	0,00127	25,39
1990 - 1991	0,00079	30,43
1993 - 1994	0,00042	67,34
1994 - 1995	0,00054	63,22
1997 - 1998	0,00073	61,71
2005 - 2006	0,00080	49,66
Μ.Ο.	0,00080	46,91

Σύμφωνα με τον Πίνακα 4.11, ο μέσος όρος των δυναμικών αποθεμάτων της πηγής Καλαμιώνα βρέθηκε ίσος με **46,91 εκατ. m³**, σημαντικά μεγαλύτερος από τα αντίστοιχα συνολικά αποθέματα των πηγών Πλατάνου και Κολύμπας που αναλύθηκαν στην προηγούμενη παράγραφο (4.3.1).

4.4. Αξιολόγηση αποτελεσμάτων

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα που προέκυψαν φαίνεται πως τα δυναμικά αποθέματα της πηγής Καλαμιώνα είναι αυξημένα σε σχέση με αυτά των υπολοίπων δύο πηγών. Το γεγονός αυτό οδηγεί στην σκέψη πως η συγκεκριμένη πηγή τροφοδοτείται από μεγαλύτερης έκτασης λεκάνη ή δέχεται πλευρικές εισροές υδάτων από γειτονική λεκάνη.

Επίσης, οι όποιες μετρήσεις εκφορτίσεων στις πηγές Αγυιάς είναι περιορισμένες και πάντως όχι συστηματικές.

Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με τις όποιες πιθανές πλευρικές εισροές – εκροές (π.χ. όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 2, παράγραφος 2.4, υπάρχουν σοβαρές ενδείξεις για κίνηση υπόγειων υδάτων από την περιοχή του Κουφού προς τις πηγές Αγυιάς,

δηλαδή από ΔΝΔ προς ΑΒΑ), οι οποίες δεν ήταν δυνατό να εξετασθούν σε βάθος στην παρούσα εργασία.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Τα σημαντικότερα συμπεράσματα της παρούσας εργασίας συνοψίζονται στα παρακάτω:

- Το υδροφόρο σύστημα των πηγών Αγυιάς αποτελεί τμήμα του καρστικού υδροφόρου συστήματος των Λευκών Ορέων.
- Η υπόγεια ροή πραγματοποιείται με διεύθυνση νότια – νοτιοανατολική προς βόρεια.
- Η συγκέντρωση των θειικών ιόντων (SO_4^{2-}) στις πηγαίες εμφανίσεις αυξάνεται από 15,0 mg/l, στην πηγή «Πλατάνου», σε 116,0 mg/l στην πηγή «Κολύμπα» και σε 594,6 mg/l στην πηγή «Καλαμιώνα» που βρίσκεται δυτικότερα.
- Ο χημισμός του νερού της πηγής Καλαμιώνα παρουσιάζει μεγάλη ομοιότητα με το νερό της γεώτρησης Κουφού Βλυχάδων. Αυτό πιθανότατα οφείλεται στην υδραυλική επικοινωνία μεταξύ των υδρογεωλογικών λεκανών Αγυιάς και Βλυχάδων.
- Η υπο-λεκάνη Αγυιάς αποτελεί τμήμα της λεκάνης Κερίτη και έχει έκταση 148,9 km². Το μεγαλύτερο μέρος της επιφάνειάς της είναι πεδινό και ημιορεινό.
- Παρά τον μεγάλο αριθμό διαθέσιμων βροχομετρικών / μετεωρολογικών σταθμών, λίγοι είναι αυτοί που λειτουργούν συνεχώς για ένα διάστημα τέτοιο ώστε να θεωρούνται κατάλληλοι για μια υδρολογική μελέτη.
- Από το βροχομετρικό διάγραμμα της περιοχής ενδιαφέροντος προέκυψε η εξίσωση της βροχοβαθμίδας, η οποία είναι: $P = 2,065 \cdot h + 478,3$.
- Ο μέσος ετήσιος όγκος ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων εκτιμήθηκε σε περίπου $260,4 \times 10^6 \text{ m}^3$ για την υπο-λεκάνη Αγυιάς.
- Ο μέσος ετήσιος όγκος των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων που εκτιμήθηκε σύμφωνα με την εξίσωση της βροχοβαθμίδας θεωρείται πως είναι ο μέγιστος που μπορεί να δεχθεί η περιοχή, λόγω των αρκετά μεγάλων τιμών που προκύπτουν από την εξίσωση στα μεγάλα υψόμετρα.
- Ο μέσος ετήσιος όγκος κατείσδυσης με την χρήση βιβλιογραφικών συντελεστών είναι περίπου $96,4 \times 10^6 \text{ m}^3$ στην υπο-λεκάνη Αγυιάς (37% επί των συνολικών

ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων, αντίστοιχα). Με τον συνδυασμό συντελεστών Kessler για τους καρστικούς σχηματισμούς και βιβλιογραφικών συντελεστών για τους μη καρστικούς σχηματισμούς, η κατείσδυση για την υπο-λεκάνη Αγυιάς εκτιμήθηκε σε $57,8 \times 10^6 \text{ m}^3$ (22% επί των συνολικών κατακρημνισμάτων).

- Ο μέσος ετήσιος όγκος επιφανειακής απορροής με την χρήση βιβλιογραφικών συντελεστών είναι περίπου ίσος με $52,8 \times 10^6 \text{ m}^3$ στην υπο-λεκάνη Αγυιάς (20% επί των συνολικών ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων και στις δύο περιπτώσεις).
- Η εκτίμηση της εξατμισοδιαπνοής με εμπειρικούς τύπους έδειξε πως η χρήση των μεθόδων Turc και Coutagne δεν δίνει λογικά συμπεράσματα (83% έως 91% και 99% επί των συνολικών ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων, αντίστοιχα). Η μέθοδος Burdon – Papakis δίνει ποσοστό εξατμισοδιαπνοής ίσο με 64% επί των κατακρημνισμάτων που θεωρείται υψηλό. Με την χρήση του υδρολογικού ισοζυγίου η εξατμισοδιαπνοή για την υπο-λεκάνη Αγυιάς διαμορφώνεται στο 43% έως 58% των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων, ανάλογα με την μεθοδολογία εκτίμησης που χρησιμοποιήθηκε (Πίνακας 3.20).
- Ο μέσος όρος των δυναμικών αποθεμάτων όπως προέκυψε από την εξίσωση Maillet υπολογίστηκε ίσος με $12,78 \times 10^6 \text{ m}^3$ στην πηγή Κολύμπα, $14,56 \times 10^6 \text{ m}^3$ στην πηγή Πλατάνου και $46,91 \times 10^6 \text{ m}^3$ στην πηγή Καλαμιώνα.
- Συνολικά οι πηγές Κολύμπας και Πλατάνου εκφορτίζουν περί τα 27,33 εκατ. m^3 κατά την ξηρή περίοδο κάθε έτους (ρυθμιστικά αποθέματα).

Επιπλέον προτείνονται τα εξής:

- Εγκατάσταση και λειτουργία βροχομετρικών – μετεωρολογικών σταθμών σε μεγαλύτερα υψόμετρα, ώστε να εξάγονται ασφαλή συμπεράσματα σχετικά με την σχέση βροχόπτωσης υψομέτρου στην περιοχή.
- Συστηματικές μετρήσεις παροχών των πηγών Αγυιάς, ώστε να διευκολύνεται η μελέτη τους και να εξάγονται αξιόπιστα συμπεράσματα σχετικά με τα δυναμικά αποθέματά τους.
- Έλεγχος της πιεζομετρίας της περιοχής σε συνδυασμό με τις συστηματικές μετρήσεις παροχής των πηγών της θα προσφέρει την δυνατότητα της καλύτερης προσομοίωσης της συμπεριφοράς του υδροφορέα.

- Αποσαφήνιση της γεωλογικής δομής εντός του Κερίτη μέσω γεωτρήσεων και γεωφυσικών διασκοπήσεων, ώστε να προσδιοριστεί το μέγεθος εμφάνισης και η θέση του στρώματος γύψου.
- Πραγματοποίηση ιχνηθετήσεων ώστε να καθοριστεί η διεύθυνση ροής των υπόγειων νερών και να προσδιοριστεί η σχέση μεταξύ της πηγής Καλαμιώνα και της γεώτρησης Βλυχάδων Κουφού.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Αρσένη-Παπαδημητρίου Α. (2018). «Υδρομετεωρολογία». Σημειώσεις μαθήματος, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τομέας Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας, <http://www.geo.auth.gr/courses/gmc/gmc543e/kef2.html>.
- Βουδούρης Κ. (2013). «Τεχνική Υδρογεωλογία – Υπόγεια Νερά». Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη.
- ΓΥΣ (Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού) (2007). «Τοπογραφικοί χάρτες – Φύλλα Βατόλακκος, Βρύσες, Περιβόλια, Χανιά». Κλίμακα 1: 50.000.
- Δημόπουλος Γ. (2007). «Γεωλογικές μελέτες τεχνικών έργων». Εκδοτικός οίκος Αδελφών Κυριακίδη ΑΕ, Θεσσαλονίκη.
- ΕΛΣΤΑΤ (Ελληνική Στατιστική Αρχή) (2011). «Απογραφικά δελτία έτους 2011».
- ΙΓΜΕ (Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών) (1956). «Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδος – Φύλλο Πλατανιάς». Κλίμακα 1:50.000 (Χαρτογράφηση: Η.Ι. Martini).
- ΙΓΜΕ (Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών) (1969). «Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδος – Φύλλο Αλικιανός». Κλίμακα 1:50.000 (Χαρτογράφηση: Α. Τάταρης και Γ.Ε. Χριστοδούλου).
- ΙΓΜΕ (Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών) (1971). «Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδος – Φύλλο Χανιά». Κλίμακα 1:50.000 (Χαρτογράφηση: Ε. Καραγεωργίου).
- ΙΓΜΕ (Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών) (1993). «Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδος – Φύλλο Βρύσες». Κλίμακα 1:50.000 (Χαρτογράφηση: Μ. Βιδάκης, Μ. Τριανταφύλλης και Ι. Μυλωνάκης).
- Καλλέργης Γ.Α. (2001) «Εφαρμοσμένη – Περιβαλλοντική Υδρογεωλογία». Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, Αθήνα.

- Κριτσωτάκης Μ. (2017). «Βροχοπτώσεις υδρολογικού έτους Σεπτεμβρίου 2016 – Αυγούστου 2017». Αποκεντρωμένη Διοίκηση Κρήτης, Διεύθυνση Υδάτων. <https://cdn.cretalive.gr/vroxoptwseis.pdf?mtime=20170807152401>.
- Λιαλιάρης Ι.Γ. (1996). «Υδρολογικό και Υδρογεωλογικό ισοζύγιο του ποταμού Κερίτη στην Δυτική Κρήτη». Μεταπτυχιακή Διατριβή, Πολυτεχνείο Κρήτης, Σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Τομέας Μεταλλευτικής Τεχνολογίας, Χανιά.
- Λιονής Μ., Περλέρος Β. (2001). «Υδρογεωλογική μελέτη κάμπου Χανίων». Υπουργείο Γεωργίας, Τμήμα Υδρογεωλογίας – Γεωτρήσεων και Μαθηματικών Ομοιωμάτων, Αθήνα.
- Μονόπωλης Δ., Στειακάκης Ε. (1992). «Στατιστική προσέγγιση της διαίτας του υδροφόρου ορίζοντα Αγυιάς Χανίων (Κρήτη)». 1ο Πανελλήνιο Συνέδριο Υδρογεωλογίας, Λευκωσία – Κύπρος, 14-17 Οκτ. 1991, Σύνδεσμος Γεωλόγων – Μεταλλειολόγων Κύπρου, Δελτίο 6, Λευκωσία.
- Μουντράκης Δ. (2005). «Συνοπτική γεωτεκτονική εξέλιξη του ευρύτερου ελληνικού χώρου». Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Σχολή Θετικών Επιστημών, Τμήμα Γεωλογίας. <http://www.geo.auth.gr/871/title.htm>.
- Νικολαΐδης Ν., Καρατζάς Γ. (2006). «Μελέτη αξιοποίησης γεωτρήσεων στο χώρο των αντλιοστασίων της ΔΕΥΑΧ στην Αγυιά». Τεχνική Έκθεση, Δημοτική Επιχείρηση Ύδρευσης – Αποχέτευσης Χανίων (ΔΕΥΑΧ), Χανιά.
- Νικολαΐδης Ν., Καρατζάς Γ. (2010). «Ερευνητικό έργο διερεύνησης χρήσιμης παροχής γεώτρησης και χωροθέτηση γεωτρήσεων στην περιοχή της Αγυιάς για την εξασφάλιση των υδρευτικών αναγκών της ΔΕΥΑ-Χανίων». Τεχνική Έκθεση, Δημοτική Επιχείρηση Ύδρευσης – Αποχέτευσης Χανίων (ΔΕΥΑΧ), Χανιά.
- Παυλάκης Π., Κουντούρης Σ., Γιώτης Α., Χατζηδάκης Α. (1972) «Προκαταρκτική μελέτη αξιοποίησης υδατικού δυναμικού Δυτικής Κρήτης». ΥΠ.ΔΕ., Αθήνα.
- Παυλίδου Σ. (2009). «GR 1303: Καρστικό υδροφόρο σύστημα Λευκών Όρεων». Γ' ΚΠΣ - Επιχειρησιακό Πρόγραμμα: Ανταγωνιστικότητα, Έργο: Καταγραφή και αποτίμηση των υδρογεωλογικών χαρακτήρων των υπογείων νερών και των υδροφόρων συστημάτων της χώρας (Κ.Ε. 7.3.2.1), Ινστιτούτο Γεωλογικών και

Μεταλλευτικών Ερευνών (ΙΓΜΕ), Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Ρέθυμνο.

- Περιφέρεια Κρήτης (Διεύθυνση Δημοσίων Έργων, Τμήμα Εγγείων Βελτιώσεων) (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, Ηράκλειο.
- Περιφέρεια Κρήτης (Διεύθυνση Δημοσίων Έργων, Τμήμα Εγγείων Βελτιώσεων) (2002). «Υδρολογικά στοιχεία νήσου Κρήτης. Βροχομετρικά – εξατμισιμετρικά – θερμομετρικά – ηλιοφάνειας και υδρομετρικά, των υδρολογικών ετών 1999-2001». Πρόγραμμα υδρολογικής έρευνας, Νο. XIV, Ηράκλειο.
- Περιφέρεια Κρήτης (Γενική Διεύθυνση Περιφέρειας, Διεύθυνση Υδάτων, Τμήμα Παρακολούθησης και Ελέγχου της Ποιότητας και Ποσότητας των Υδάτων) (2007). «Κατάσταση υπογείων υδροφορέων Κρήτης – Παρατηρήσεις για το τρέχον υδρολογικό έτος (1η Νοεμβρίου 2006 έως 30η Απριλίου 2007)». Ηράκλειο.
- Περιφέρεια Κρήτης (Γενική Διεύθυνση Περιφέρειας, Διεύθυνση Υδάτων, Τμήμα Παρακολούθησης και Ελέγχου της Ποιότητας και Ποσότητας των Υδάτων) (2009). «Κατάσταση υπογείων υδροφορέων Κρήτης – Παρατηρήσεις για τα υδρολογικά έτη 2005-2009». Ηράκλειο.
- Περλέρος Β., Παπαμαστοράκης Δ., Κριτσωτάκης Μ., Δρακοπούλου Ε., Παναγόπουλος Α. (2004). «Υπόγειο Υδατικό Δυναμικό Κρήτης. Προβλήματα και Προοπτικές». Πρακτικά 10ου Διεθνούς Συνεδρίου, Απρίλιος 2004, Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας, τομ. XXXVI, Θεσσαλονίκη.
- Πολυτεχνείο Κρήτης (1992). «Stride Hellas: Ποιοτικός έλεγχος και ορθολογική χρήση Υδατικού Δυναμικού Κρήτης – 043». Χανιά.
- Πολυτεχνείο Κρήτης (Ειδικός Λογαριασμός Κονδυλίων Έρευνας) (2009). «Υδρογεωλογικές και Γεωτεχνικές επιπτώσεις από την λειτουργία υδροληπτικών έργων στην περιοχή των πηγών Πλατάνου (Α! Φάση)». Έκθεση Ερευνητικού Έργου, Δημοτική Επιχείρηση Ύδρευσης – Αποχέτευσης Χανίων (ΔΕΥΑΧ), Χανιά.
- Πολυτεχνείο Κρήτης (Σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Εργαστήριο Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής) (2017). «Αποτελέσματα γεωφυσικής μελέτης στην

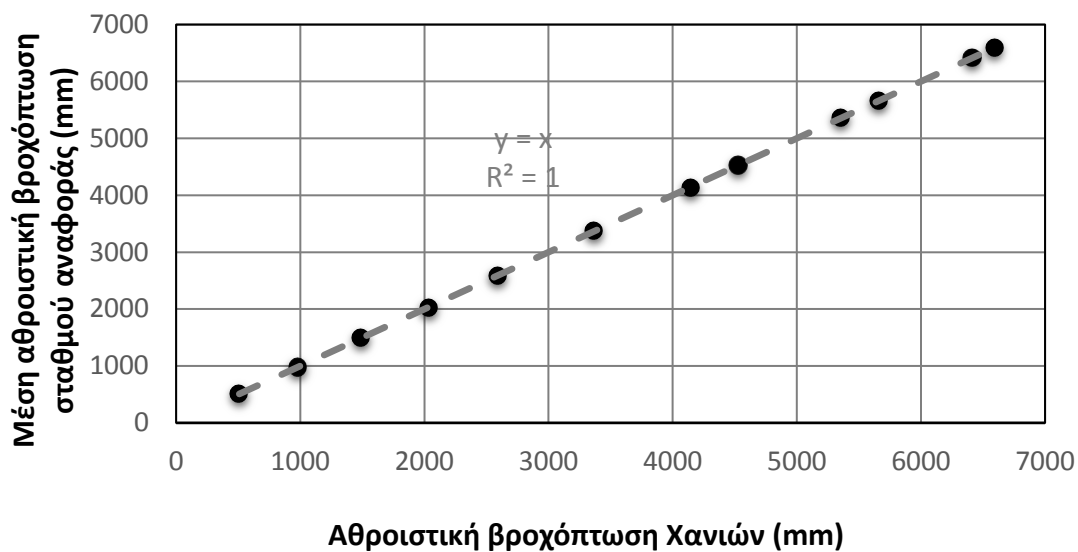
περιοχή Αγκιά Χανίων». Δημοτική Επιχείρηση Ύδρευσης – Αποχέτευσης Χανίων (ΔΕΥΑΧ), Χανιά.

- Σούλιος Γ.Χ. (1986). «Γενική υδρογεωλογία». Πρώτος τόμος, University Press, Θεσσαλονίκη.
- Στειακάκης Ε., Βαβαδάκης Δ., Κριτσωτάκης Μ. (2017). «Καρστικές πηγές Αγκιάς και επιχειруόμενη αναρρύθμιση: Δυνατότητες και προβλήματα». Πρακτικά 11ου Διεθνούς Υδρογεωλογικού Συνεδρίου, Τόμος 1, Αθήνα, σελ. 435-444.
- Στειακάκης Ε., Βαβαδάκης Δ., Μονόπωλης Δ. (2010). «Προσομοίωση της υπόγειας ροής στον καρστικό υδροφορέα Αγκιάς Χανίων και εκτίμηση υδρογεωλογικών επιπτώσεων από την εκμετάλλευσή του». Ορυκτός Πλούτος 155/ 2010, σελ. 47-62.
- Στιβακτάκης Δ., Κριτσωτάκης Μ. (2014). «Δυνητική εξατμισοδιαπνοή νήσου Κρήτης – Μελέτης Διαχείρισης Υδατικών Πόρων Κρήτης (2001)». Αποκεντρωμένη Διοίκηση Κρήτης, Γενική Διεύθυνση Χωροταξικής και Περιβαλλοντικής Πολιτικής, Διεύθυνση Υδάτων, Τμήμα Παρακολούθησης & Προστασίας των Υδατικών Πόρων, Ηράκλειο.
- Υδρογαία (1977). «Υδρογεωλογική Μελέτη Περιοχής Αγκιάς Χανίων». Υπουργείο Δημόσιων Έργων, Αθήνα.
- Φασούλας Γ.Χ. (2000). «Οδηγός υπαίθρου για την γεωλογία της Κρήτης». Μουσείο Φυσικής Ιστορίας Κρήτης, Πανεπιστήμιο Κρήτης, Ηράκλειο.
- Φυτρολάκης Ν. (1980). «Η γεωλογική δομή της Κρήτης – προβλήματα, παρατηρήσεις και συμπεράσματα (μεθ' ενός τεκτονικού χάρτου εκτός κειμένου)». Διατριβή Υψηγείας, Εκδ. Έδρας Ορυκτολογίας – Πετρογραφίας – Γεωλογίας Ε.Μ.Π., Αθήνα.
- Φραγκόπουλος Ι., Κωνσταντινίδης Δ. (1969). «Υδρολογική μελέτη λεκάνης Κερίτου – Κουφού Νομού Χανίων». Αθήνα
- Burdon D.J. (1965). «Hydrogeology of some karstic areas of Greece». Proceedings of the Dubrovnic Symposium, October 1965, Hydrology of fractured rocks, Volume 1, Dubrovnic.
- Driscoll F.G. (1986). «Groundwater and wells». Second edition, Johnson Filtration Systems Inc., St. Paul – Minnesota.
- Fetter C.W. (1988). «Applied hydrogeology». Fourth edition, C.E. Merrill, Columbus.

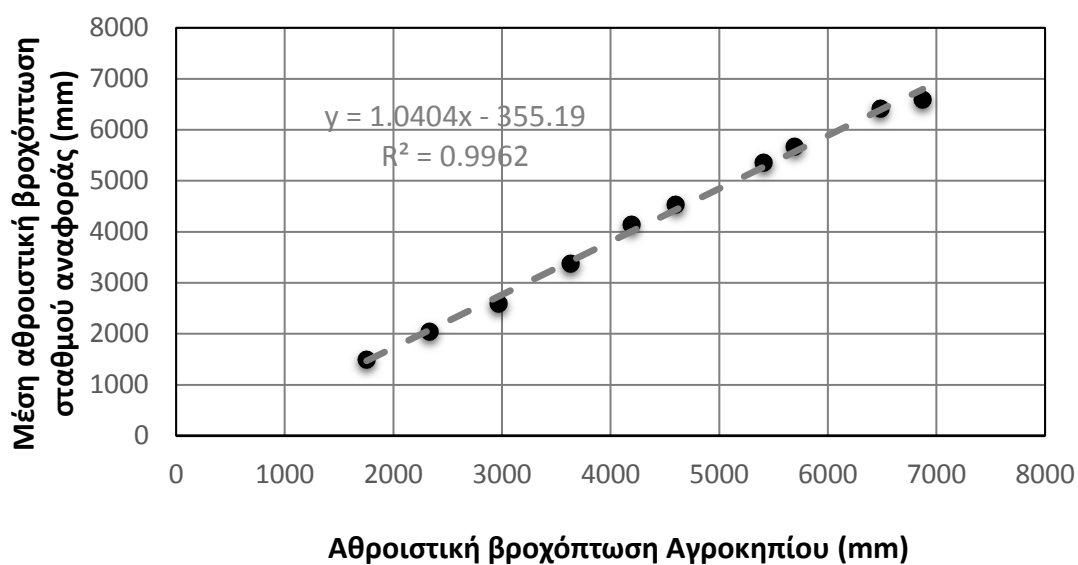
- Steiakakis E., Vavadakis D., Kritsotakis M. (2015). «Simulation of springs discharge from a karstic aquifer (Crete, Greece), using limited data». Environ. Earth Sci., Volume 74, Issue 5, pp 4303-4315.
- Steiakakis E., Monopolis D., Vavadakis D., Manutsoglou E. (2011) «Hydrogeological research in Trypali carbonate unit (NW Crete)». 9th International Hydrogeological Congress, 5-8 October 2011, Kalavrita – Greece.
- Todd D.K. (1980). «Groundwater hydrology». Second edition, John Wiley and Sons Inc., New York.
- Voudouris K., Mavrommatis Th., Daskalaki P., Soulios G. (2006) «Rainfall variations in Crete island (Greece) and their impacts on water resources ». Publicaciones del Instituto Geologico y Minero de España. Serie: Hidrogeologia y aguas subterráneas No 18, Karst, climate change and groundwater, pp 453-463, Madrid.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

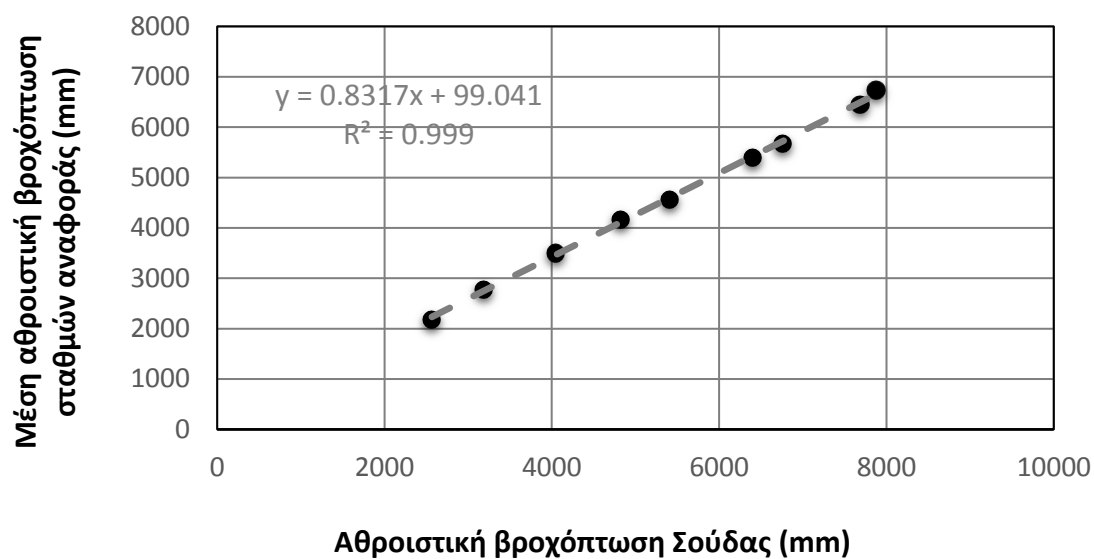
Α. Αρχικές καμπύλες διπλής μάζας



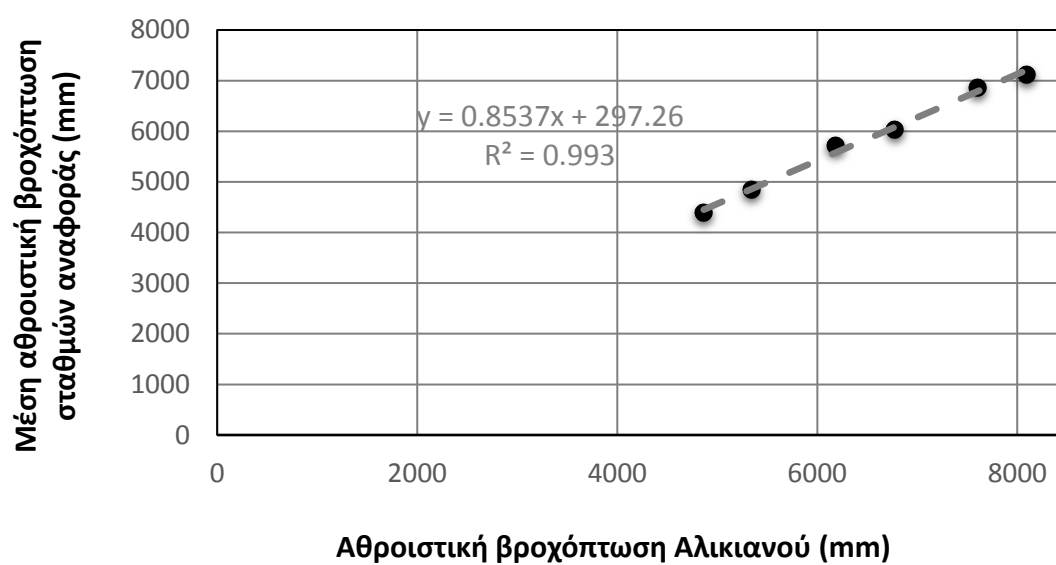
Σχήμα Α.1: Αθροιστική βροχόπτωση Χανίων (mm) σε σχέση με τον σταθμό αναφοράς.



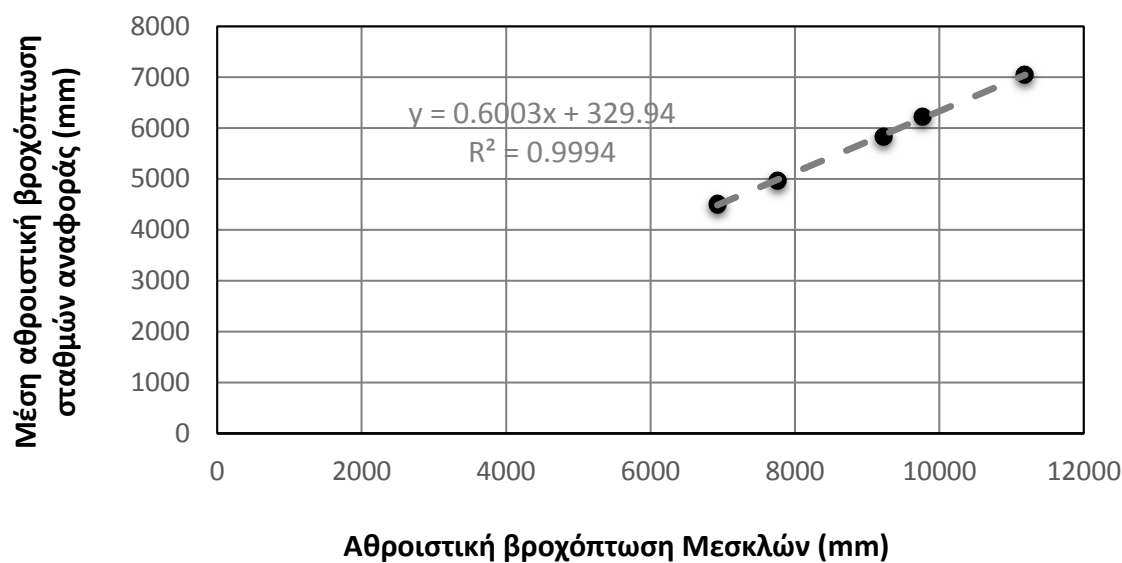
Σχήμα Α.2: Αθροιστική βροχόπτωση Αγροκηπίου (mm) σε σχέση με τον σταθμό αναφοράς (Χανιά).



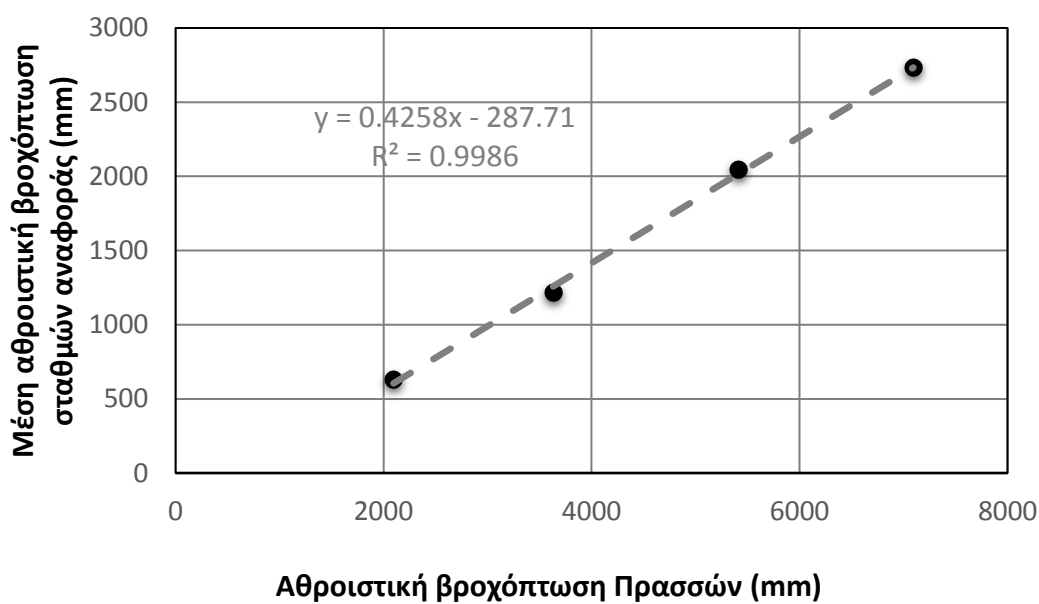
Σχήμα Α.3: Αθροιστική βροχόπτωση Σούδας (mm) σε σχέση με τους σταθμούς αναφοράς (Χανιά, Αγροκήπιο).



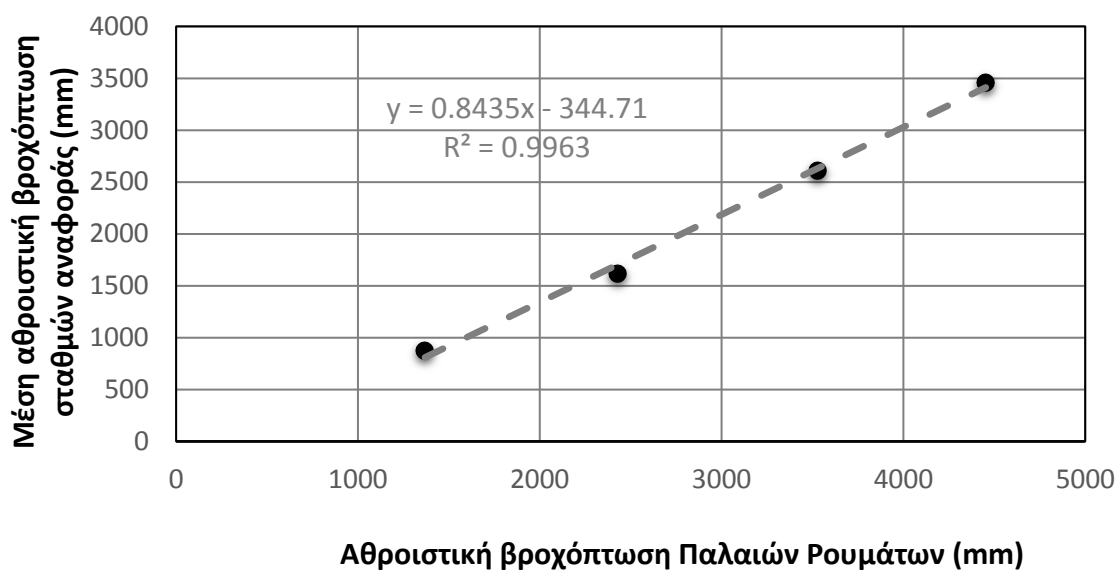
Σχήμα Α.4: Αθροιστική βροχόπτωση Αλικιανού (mm) σε σχέση με τους σταθμούς αναφοράς (Χανιά, Αγροκήπιο, Σούδα).



Σχήμα Α.5: Αθροιστική βροχόπτωση Μεσκλών (mm) σε σχέση με τους σταθμούς αναφοράς (Χανιά, Αγροκήπιο, Σούδα, Αλικιανός).

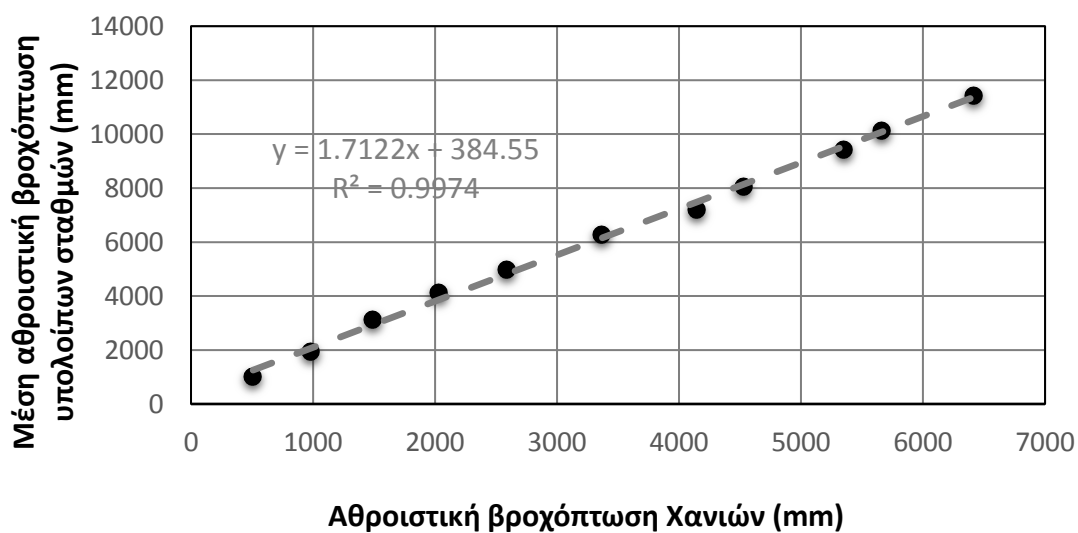


Σχήμα Α.6: Αθροιστική βροχόπτωση Πρασσών (mm) σε σχέση με τους σταθμούς αναφοράς (Χανιά, Αγροκήπιο, Σούδα, Αλικιανός, Μεσκλά).

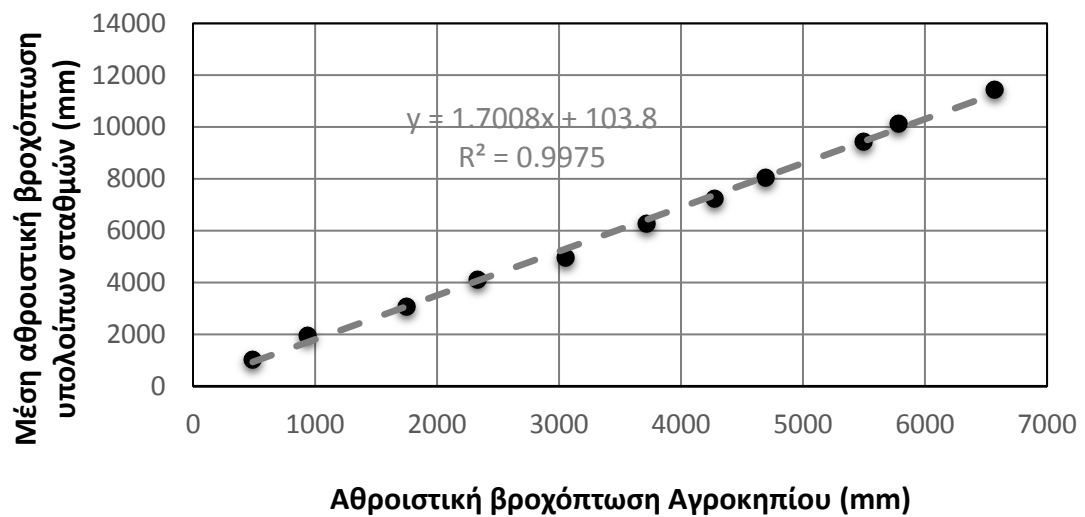


Σχήμα Α.7: Αθροιστική βροχόπτωση Παλαιών Ρουμάτων (mm) σε σχέση με τους σταθμούς αναφοράς (Χανιά, Αγροκήπιο, Σούδα, Αλικιανός, Μεσκλά, Πρασσές).

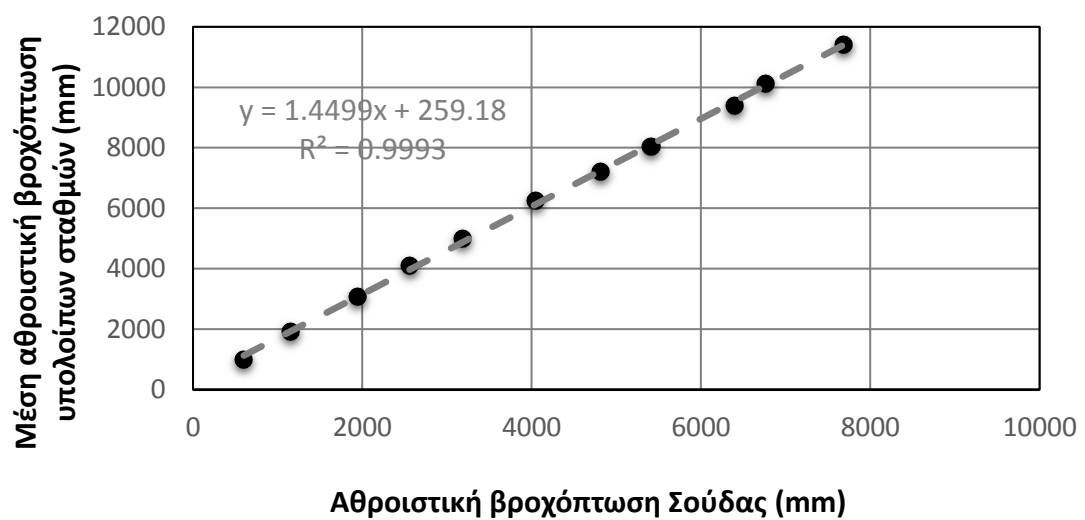
Β. Τελικές καμπύλες διπλής μάζας



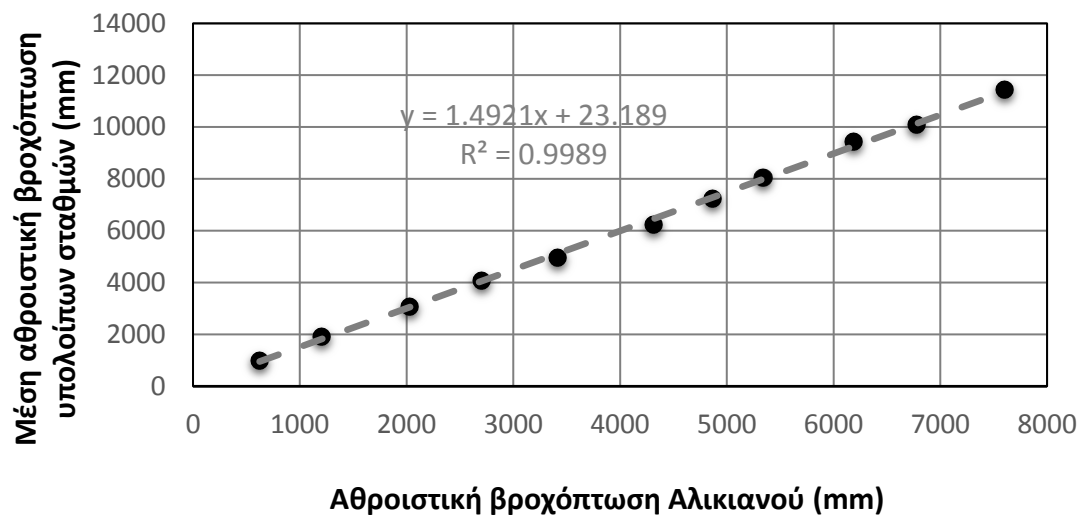
Σχήμα Β.1: Αθροιστική βροχόπτωση Χανιών (mm) σε σχέση με την μέση αθροιστική βροχόπτωση (mm) των υπολοίπων σταθμών.



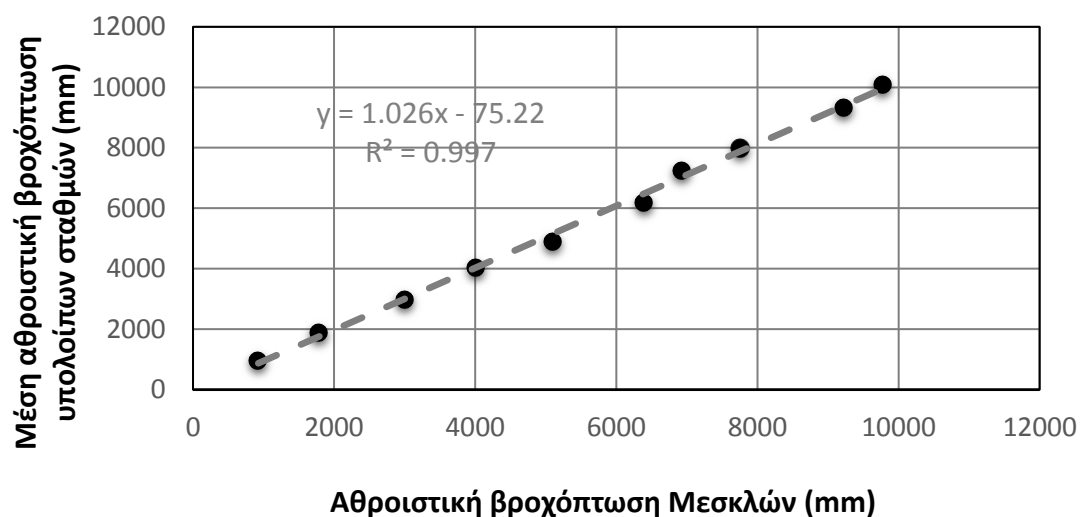
Σχήμα Β.2: Αθροιστική βροχόπτωση Αγροκηπίου (mm) σε σχέση με την μέση αθροιστική βροχόπτωση (mm) των υπολοίπων σταθμών.



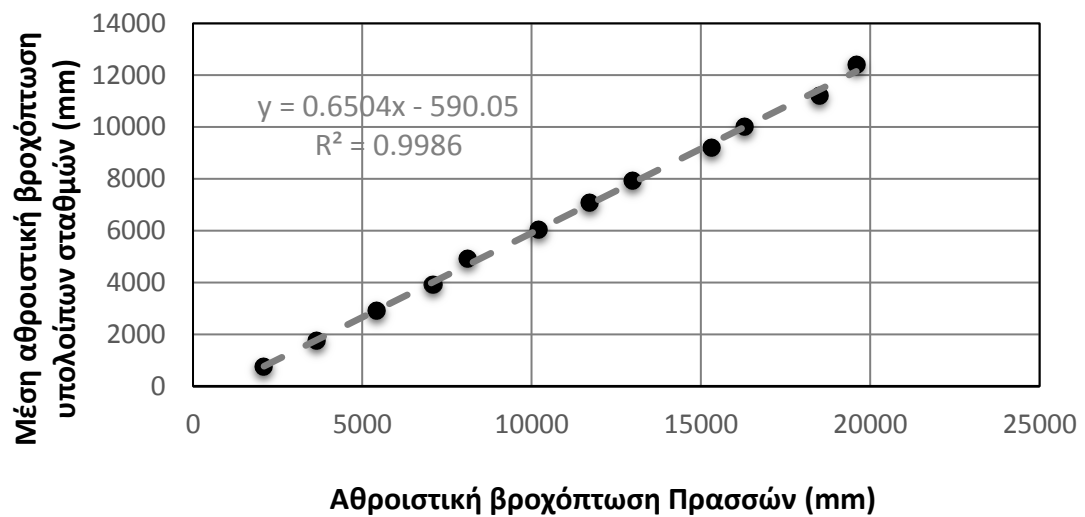
Σχήμα Β.3: Αθροιστική βροχόπτωση Σούδας (mm) σε σχέση με την μέση αθροιστική βροχόπτωση (mm) των υπολοίπων σταθμών.



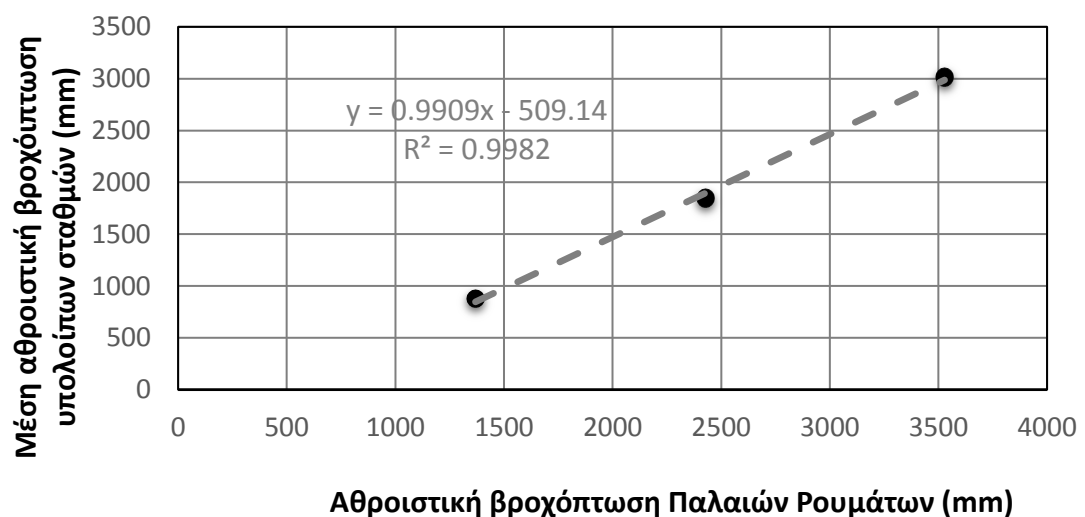
Σχήμα Β.4: Αθροιστική βροχόπτωση Αλικιανού (mm) σε σχέση με την μέση αθροιστική βροχόπτωση (mm) των υπολοίπων σταθμών.



Σχήμα Β.5: Αθροιστική βροχόπτωση Μεσκλών (mm) σε σχέση με την μέση αθροιστική βροχόπτωση (mm) των υπολοίπων σταθμών.



Σχήμα Β.6: Αθροιστική βροχόπτωση Πρασσών (mm) σε σχέση με την μέση αθροιστική βροχόπτωση (mm) των υπολοίπων σταθμών.



Σχήμα Β.7: Αθροιστική βροχόπτωση Παλαιών Ρουμάτων (mm) σε σχέση με την μέση αθροιστική βροχόπτωση (mm) των υπολοίπων σταθμών.