



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«ΜΕΛΕΤΗ ΣΚΟΠΙΜΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ
ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ ΣΤΗ ΘΕΣΗ ΒΑΡΣΑΜΑ (ΑΝΩΓΕΙΑ)»**



ΓΕΩΡΓΙΑ ΣΟΥΒΑΤΖΗ

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ ΣΤΕΙΑΚΑΚΗΣ

(ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ – ΕΠΙΚ. ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ)

ΑΠΟΣΤΟΛΟΣ ΑΛΕΞΟΠΟΥΛΟΣ

ΑΝ. ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΕΚΠΑ

ΜΑΡΙΝΟΣ ΚΡΙΤΣΩΤΑΚΗΣ

Δρ. Υδρογεωλογίας

ΧΑΝΙΑ

ΙΟΥΝΙΟΣ 2017

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτή την εργασία εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Πολυτεχνείου Κρήτης.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ – ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας του προπτυχιακού προγράμματος σπουδών της Σχολής Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης. Σκοπός της εργασίας είναι να συμβάλλει στην εκτίμηση της καταλληλότητας θέσης για την κατασκευή φράγματος στην περιοχή Ανωγείων, το οποίο σχεδιάζεται να καλύψει υδρο-αρδευτικές ανάγκες της περιοχής.

Η περιοχή έχει χαρτογραφηθεί σε κλίμακα 1: 50000 από το ΙΓΜΕ και σε κλίμακα 1:5000 από τον Αν. Καθηγητή του Παν/μίου Αθηνών κ. Α. Αλεξόπουλο.

Θα ήθελα λοιπόν να ευχαριστήσω όλους εκείνους που βοήθησαν στην πραγματοποίηση της.

Ευχαριστώ θερμά τον καθηγητή μου, κύριο Στειακάκη Εμμανουήλ, για την ανάθεση του θέματος, τη βοήθεια που μου προσέφερε, και την άριστη συνεργασία μας καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τους κ. Αλεξόπουλο Απόστολο και Κριτωτάκη Μαρίνο για το χρόνο που διέθεσαν για τη διόρθωση και αξιολόγηση της εργασίας, καθώς και για τη συμμετοχή τους στην εξεταστική επιτροπή.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Βαβαδάκη Διονύση, μέλος ΕΤΕΠ, για την αμέριστη βοήθειά του και την υποστήριξη του καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας, τους φίλους μου που με στήριξαν όλα αυτά τα χρόνια που περάσαμε μαζί σε αυτή τη σχολή καθώς επίσης και τους γονείς μου για την στήριξή τους όλα αυτά τα χρόνια.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εργασία έχει ως αντικείμενο τη διερεύνηση της καταλληλότητας της θέσης Βαρσαμά (Ανώγεια, Ρέθυμνο) για την κατασκευή φράγματος. Στην λεκάνη κατάκλυσης εμφανίζονται κυρίως φυλλιτικά πετρώματα ενώ στην προτεινόμενη θέση κατασκευής του σώματος του φράγματος επικρατούν οι οφιόλιθοι. Η εργασία βασίστηκε στην επεξεργασία πρωτογενών δεδομένων που προέρχονται τόσο από βιβλιογραφικές πηγές όσο και από επί τόπου έρευνα της περιοχής.

Αρχικά, οριοθετήθηκε η υδρολογική λεκάνη του χειμάρρου Βαρσαμά, σχεδιάζοντας τον υδροκρίτη της λεκάνης απορροής, και στη συνέχεια εκτιμήθηκαν τα μορφολογικά της χαρακτηριστικά. Συγκεντρώθηκαν τα δεδομένα πολλών βροχομετρικών σταθμών της ευρύτερης περιοχής (20 σταθμοί) από τους οποίους επελέγησαν έξι για τον προσδιορισμό του μέσου ετήσιου όγκου των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων που δέχεται η υδρολογική λεκάνη του Βαρσαμά. Ακολούθησε επεξεργασία των βροχομετρικών δεδομένων για να διαπιστωθεί η αξιοπιστία (ομογένεια) των δεδομένων αυτών και για να συμπληρωθούν ελλιπή στοιχεία κάποιων σταθμών. Προσδιορίσθηκε η σχέση υψομέτρου – βροχόπτωσης και ακολούθησε η κατασκευή χάρτη ισοϋέτιων καμπυλών.

Στη συνέχεια εκτιμήθηκε το ποσοστό της επιφανειακής απορροής, της κατείδουσας και της εξατμισοδιαπνοής, δεδομένα απαραίτητα για τον προσδιορισμό του υδρολογικού ισοζυγίου της λεκάνης απορροής. Ακολούθησε η εκτίμηση των πλημμυρικών παροχών, η περίοδος επαναφοράς τους. Με βάση τα δεδομένα που αξιολογήθηκαν, εκτιμήθηκε η καταλληλότητα της θέσης για την κατασκευή φράγματος, η οποία χαρακτηρίζεται «πολύ καλή έως ιδανική»

Υπολογίστηκε επίσης η χωρητικότητα του ταμιευτήρα για διάφορα σενάρια ύψους του φράγματος και με βάση το διάγραμμα συσχέτισης ύψους φράγματος - όγκου ταμιευτήρα, προτείνεται το ύψος του φράγματος να είναι 30 m με χωρητικότητα 863.000 m³. Ο εύκαμπτος (χωμάτινος) τύπος φράγματος προκρίνεται ως ο πλέον κατάλληλος με βάση τους γεωλογικούς σχηματισμούς στη θέση θεμελίωσης.

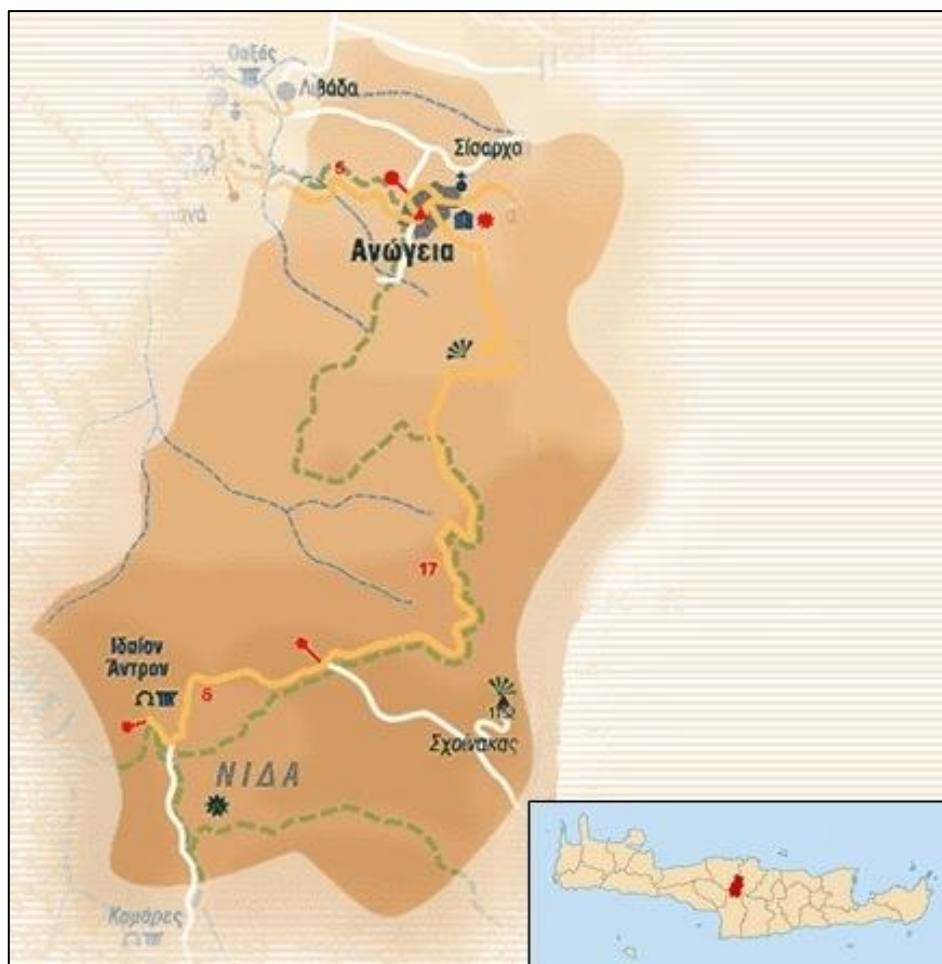
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	- 1 -
2. ΙΣΤΟΡΙΚΟ – ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	- 3 -
3. ΦΡΑΓΜΑΤΑ	- 5 -
3.1. Γενικά χαρακτηριστικά φραγμάτων	- 5 -
3.1.1. Άκαμπτα φράγματα	- 5 -
3.1.2. Εύκαμπτα φράγματα.....	- 6 -
3.1.3. Συνοδευτικά έργα φραγμάτων	- 8 -
3.2. Κριτήρια επιλογής θέσης και τύπου φράγματος	- 10 -
4. ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ	- 11 -
4.1. Υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής.....	- 13 -
4.2. Οριοθέτηση υδρολογικής λεκάνης και κύρια χαρακτηριστικά της	- 14 -
4.2.1. Έκταση της λεκάνης απορροής	- 15 -
4.2.2. Μέσο υψόμετρο λεκάνης.....	- 16 -
5. ΓΕΩΛΟΓΙΑ – ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ – ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΡΕΥΝΑΣ	- 17 -
5.1. Γεωλογία.....	- 17 -
5.2. Τεκτονική	- 24 -
5.3. Υδρολιθολογικές ενότητες	- 24 -
6. ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗ ΛΕΚΑΝΗ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	- 28 -
6.1. Βροχομετρικοί σταθμοί και δεδομένα.....	- 28 -
6.2. Επεξεργασία βροχομετρικών δεδομένων.....	- 30 -
6.2.1. Έλεγχος ομοιογένειας	- 31 -
6.2.2. Διόρθωση – συμπλήρωση μετρήσεων	- 32 -
6.3. Εκτίμηση όγκου κατακρημνισμάτων που δέχεται η λεκάνη απορροής.....	- 32 -
6.3.1. Καθορισμός σχέσης βροχόπτωσης – υψομέτρου	- 32 -
6.3.2. Χάραξη ισοϋέτιων καμπυλών – Υπολογισμοί όγκου βροχόπτωσης.....	- 34 -
6.4. Εκτίμηση όγκου επιφανειακής απορροής και κατείσδυσης	- 36 -

6.5. Υδρολογικό ισοζύγιο λεκάνης απορροής	- 39 -
7. ΜΕΛΕΤΗ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΩΝ ΠΑΡΟΧΩΝ	- 42 -
7.1. Περίοδοι επαναφοράς μέσης ετήσιας επιφανειακής απορροής.....	- 42 -
7.2. Εκτίμηση πλημμυρικών παροχών	- 46 -
8. ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ.....	- 50 -
9. ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΣΤΗ ΘΕΣΗ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ	- 55 -
10. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	- 64 -
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	- 66 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο Δήμος Ανωγείων, με 2300 κατοίκους (στοιχεία απογραφής 2011), εκτείνεται στα ανατολικά της περιφερειακής ενότητας Ρεθύμνου, στις υπώρειες του Ψηλορείτη (Κεντρική Κρήτη), (βλέπε **Σχήμα 1.1**).



Σχήμα 1.1: Δήμος Ανωγείων.

Η κωμόπολη των Ανωγείων, αποτελεί τον κύριο οικισμό του Δήμου και βρίσκεται σε απόλυτο υψόμετρο 700 – 790 m, στη ράχη του υψώματος «Αρμί». Η κύρια ασχολία των κατοίκων είναι η κτηνοτροφία και η γεωργία, ενώ ιδιαίτερα αναπτυγμένος είναι και ο τουρισμός, ειδικότερα ο χειμερινός.

Στην ευρύτερη περιοχή, η κατείσδυση υπερτερεί κατά πολύ της επιφανειακής απορροής, λόγω των καρστικών ανθρακικών πετρωμάτων που επικρατούν στην περιοχή. Οι

επιφανειακές απορροές περιορίζονται σε χειμάρρους, όταν διέρχονται από γεωλογικούς σχηματισμούς μειωμένης υδροπερατότητας.

Όταν οι χείμαρροι διατρέχουν ανθρακικά πετρώματα, το μεγαλύτερο μέρος του νερού που μεταφέρουν κατεισδύει μέσα από καρστικούς αγωγούς και τροφοδοτεί υπόγειους υδροφορείς. Σε μερικές χαραδρώσεις εκδηλώνονται μικρές πηγές και το νερό κατά την ροή του προς τα κατάντη εξαφανίζεται και πάλι μέσα σε καρστικοποιημένους σχηματισμούς.

Οι προσπάθειες εκμετάλλευσης του υπόγειου νερού για τις ανάγκες της περιοχής, δεν έχουν αποδώσει αποτέλεσμα λόγω της υδρογεωλογικής δομής της περιοχής (ανθρακικά πετρώματα), σε συνδυασμό με τα μεγάλα υψόμετρα. Υπόγεια υδροφορία αναμένεται στο επίπεδο της θάλασσας, σε βάθη όμως που είναι μάλλον απαγορευτικά για την κατασκευή υδρογεωτρήσεων (Κριτσωτάκης, 2007).

Με βάση τα παραπάνω, ο δήμος είναι πολύ φτωχός σε υδάτινους πόρους, που περιορίζονται σε μικρούς φρεάτιους ορίζοντες και σε καρστικές πηγές μεγάλης εποχικής διακύμανσης. Και στις δύο περιπτώσεις οι παροχές είναι ικανοποιητικές τον χειμώνα, αλλά όχι και το καλοκαίρι (από Μάιο έως και Σεπτέμβριο), όπου παρατηρείται σημαντικό έλλειμμα νερού. Έτσι, τα Ανώγεια θεωρούνται ως η περιοχή με σοβαρή έλλειψη υδάτινων πόρων σε ολόκληρη την περιφερειακή ενότητα Ρεθύμνου.

Στην παρούσα εργασία επιχειρείται αξιολόγηση προτεινόμενης θέσης στο ρέμα Βαρσαμά για την κατασκευή φράγματος, κοντά στον οικισμό Σίσαρχα (**Σχήμα 1.1**).

Στα πλαίσια της εργασίας αυτής πραγματοποιήθηκαν τα παρακάτω:

- οριοθέτηση της λεκάνης απορροής του χειμάρρου Βαρσαμά,
- γεωλογική και υδρογεωλογική διερεύνηση της λεκάνης απορροής,
- επεξεργασία βροχομετρικών δεδομένων της ευρύτερης περιοχής,
- εκτίμηση υδρολογικού ισοζυγίου λεκάνης απορροής,
- εκτίμηση των αναμενόμενων πλημμυρικών απορροών και,
- μια πρώτη προσέγγιση των διαστάσεων του σώματος του φράγματος στην προτεινόμενη θέση.

2. ΙΣΤΟΡΙΚΟ – ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

Κατά καιρούς προτάθηκαν διάφορες λύσεις για την αντιμετώπιση του υδρο-αρδευτικού προβλήματος των Ανωγείων, άλλες με επιτυχία και άλλες όχι. Οι σημαντικότερες από αυτές είναι α) γεωτρήσεις μέσα στους περιδοτίτες του οφιολιθικού συμπλέγματος και στους ασβεστόλιθους της Τρίπολης της περιοχής, β) μικρές δεξαμενές για την συλλογή των ομβρίων υδάτων, γ) λιμνοδεξαμενές στο οροπέδιο Νίδας (πόλγη) και στην θέση «Γωνομιού».

Στο παρελθόν, τα Ανώγεια χρησιμοποιούσαν για την κάλυψη των υδατικών αναγκών, τα νερά της πηγής Ζωμίθου και σε μικρότερη κλίμακα τα νερά μικροπηγών (πηγές επαφής των ασβεστόλιθων Τρίπολης με τους υποκείμενους φυλλίτες) της ευρύτερης ορεινής περιοχής. Κατά τους θερινούς μήνες που η ροή των συγκεκριμένων πηγών σχεδόν μηδενίζεται (συνολικά περί τα 30 m³/day) επραγματοποιούνται αντλήσεις σε μανομετρικό ύψος πολλών εκατοντάδων μέτρων από υδροφόρους ορίζοντες της περιοχής, αμφίβολης ποιότητας (Κουντούρης, 2002).

Επίσης, χρησιμοποιούσαν την πηγή Βαρσαμά, ελάχιστης παροχής 100 m³/day. Η πηγή αυτή αξιοποιείται από το 1961 και το νερό της φέρεται με φυσική ροή σε απόσταση 3,5 km στην θέση Πλατάνι απ' όπου αντλείται και διοχετεύεται στην κεντρική δεξαμενή του δήμου.

Τα τελευταία χρόνια, η ύδρευση, μέρος της άρδευσης και η κάλυψη υδάτινων αναγκών που αφορούν τις κτηνοτροφικές δραστηριότητες των κατοίκων του δήμου, γίνεται κυρίως από την Λιμνοδεξαμενή Γωνομιού.

Η λιμνοδεξαμενή αυτή κατασκευάσθηκε το 1999, με σκοπό την άρδευση 1.800 στρεμμάτων, αλλά και την πλήρη κάλυψη των υδρευτικών αναγκών του δήμου. Καταλαμβάνει μια έκταση 70 στρεμμάτων και η τροφοδοσία της γίνεται με: α) νερά που μεταφέρονται από την θέση «Κορίτσι» (υψόμετρο περί τα +1150 m), και β) νερά των πηγών Ζωμίθου και Αγίας Μαρίνας (ανεκμετάλλευστων μέχρι τότε). Τα νερά των πηγών μεταφέρονται με αγωγούς, μήκους περίπου 4 km. Οι δύο αυτές καρστικές πηγές, που εκδηλώνονται στην επαφή ανθρακικών της ζώνης Τρίπολης με τον μεταφλύσχη (ασβεστοφυλλίτες) της τεκτονικά υποκείμενης Ιονίου ζώνης, είναι εποχικές (η παροχή τους σχεδόν μηδενίζεται τους θερινούς μήνες). Η συνολική παροχή τους κατά τους υγρούς μήνες

ανέρχεται στα τα 200 m³/h περίπου (Κουντούρης, 2002). Προκειμένου να εξασφαλιστεί η καλή ποιότητα του νερού που διατίθεται από τη λιμνοδεξαμενή για την κάλυψη των υδρευτικών αναγκών των Ανωγείων, έχει κατασκευαστεί πλησίον της λιμνοδεξαμενής ένα ταχυδιυλιστήριο. Όμως, το έργο αυτό αποδείχθηκε ότι δεν είναι ικανό να καλύψει τις ολοένα και αυξανόμενες υδατικές ανάγκες του Δήμου Ανωγείων.

Σύμφωνα με πρόσφατο άρθρο που αναρτήθηκε στο <http://rethemnosnews.gr> (08/03/2016), η ύδρευση και η άρδευση καλύπτεται επιτυχώς τα τελευταία χρόνια από την Λιμνοδεξαμενή Γωνομιού, όταν και μόνο όταν η στάθμη του νερού στην λιμνοδεξαμενή είναι τουλάχιστον στα 13 m. Το 2016, όταν η στάθμη έπεσε στα 9 m, «σήμανε συναγερμός στην τοπική Δημοτική Αρχή» και έγιναν περιορισμοί χρήσης νερού.

Τα τελευταία χρόνια έχει προταθεί από τις τοπικές αρχές η κατασκευή φράγματος βόρεια των Ανωγείων, όπου η μορφολογία είναι ευνοϊκή.

3. ΦΡΑΓΜΑΤΑ

Τα φράγματα αποτελούν υδραυλικά τεχνικά έργα που κατασκευάζονται με σκοπό την συγκέντρωση και αποθήκευση νερού σε ταμιευτήρα (λεκάνη κατάκλυσης), ο οποίος θα χρησιμοποιηθεί για διάφορους σκοπούς όπως παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, ύδρευση μεγάλων αστικών κέντρων, άρδευση καλλιεργειών, βιομηχανική χρήση κ.ά. (Κούκης, Σαμπατακάκης, 2007).

Σχεδιάζονται και υλοποιούνται σε κοίτες ποταμών και χειμάρρων εμποδίζοντας τη ροή του νερού, και γι' αυτό τον λόγο εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τις περιβαλλοντικές συνθήκες και ιδιαίτερα τη γεωλογία της περιοχής που πρόκειται να κατασκευασθεί το φράγμα.

3.1. Γενικά χαρακτηριστικά φραγμάτων

Τα φράγματα, διακρίνονται σε μικρά (ύψους < 15 m), μέσου ύψους (< 50 m) και μεγάλα (ύψους > 50 m).

Ανάλογα με τη γεωμετρία και τα υλικά κατασκευής τους, ταξινομούνται σε (Στειακάκης, 2008):

- Άκαμπτα, τα οποία περιλαμβάνουν τα φράγματα από σκυρόδεμα και τα λιθόκτιστα.
- Εύκαμπτα, τα οποία κατασκευάζονται από γαιώδη υλικά.
- Μικτά που αποτελούν συνδυασμό των δύο παραπάνω τύπων.

3.1.1. Άκαμπτα φράγματα

Τα άκαμπτα φράγματα περιλαμβάνουν τα φράγματα βαρύτητας, τα τοξωτά, τα αντηριδωτά και τα μικτά φράγματα.

I. Φράγματα βαρύτητας

Τα φράγματα αυτά κατασκευάζονται κυρίως από άοπλο σκυρόδεμα ή και από κυλινδρούμενο σκυρόδεμα. Η λειτουργία τους βασίζεται στο βάρος τους με το οποίο αντιστέκονται στις υδροστατικές πιέσεις, την άνωση, τις σεισμικές φορτίσεις και τις δυνάμεις ανατροπής. Πρόκειται για μια συμπαγή, μονολιθική κατασκευή που συνήθως έχει τραπεζοειδή διατομή (Κούκης, Σαμπατακάκης, 2007).

II. Τοξωτά φράγματα

Πρόκειται για κατασκευές από άοπλο σκυρόδεμα υψηλής ποιότητας αλλά μπορεί να αποτελούνται και από οπλισμένο σκυρόδεμα. Έχουν τη μορφή τόξου ή θόλου και μεταφέρουν τις υδροστατικές πιέσεις στα αντερείσματα. Επιτυγχάνεται έως και 70% οικονομία στο όγκο του σκυροδέματος σε σχέση με τα φράγματα βαρύτητας, ενώ όταν το πάχος τους είναι μεγάλο λειτουργούν εν μέρει και ως φράγματα βαρύτητας.

Ιδανικές θέσεις για την κατασκευή τέτοιου είδους φραγμάτων είναι σε στενά φαράγγια όπου οι παρειές είναι ικανές να δεχθούν την ώθηση που προκαλείται από τη λειτουργία του τόξου. Το τόξο πρέπει να πακτώνεται καλά στα ακρόβαθρα (Κούκης, Σαμπατακάκης, 2007).

III. Αντηριδωτά φράγματα

Πρόκειται για κατασκευές με αντηρίδες μεταβλητού πλάτους, μεταφέροντας τις υδροστατικές πιέσεις κατά κύριο λόγο στην επιφάνεια θεμελίωσης και λιγότερο στα αντερείσματα. Σε σχέση με τα φράγματα βαρύτητας επιτυγχάνουν οικονομία στον όγκο του σκυροδέματος μέχρι και 90%. Τα φράγματα αυτού του τύπου αποτελούν εναλλακτική λύση σε σχέση με άλλα τσιμεντένια, κυρίως σε θέσεις όπου τα αδρανή του σκυροδέματος είναι σε μικρές ποσότητες και το πέτρωμα θεμελίωσης ικανοποιητικό καθώς δεν χρειάζεται να γίνουν ιδιαίτερες εκσκαφές θεμελίωσης (Κούκης, Σαμπατακάκης, 2007).

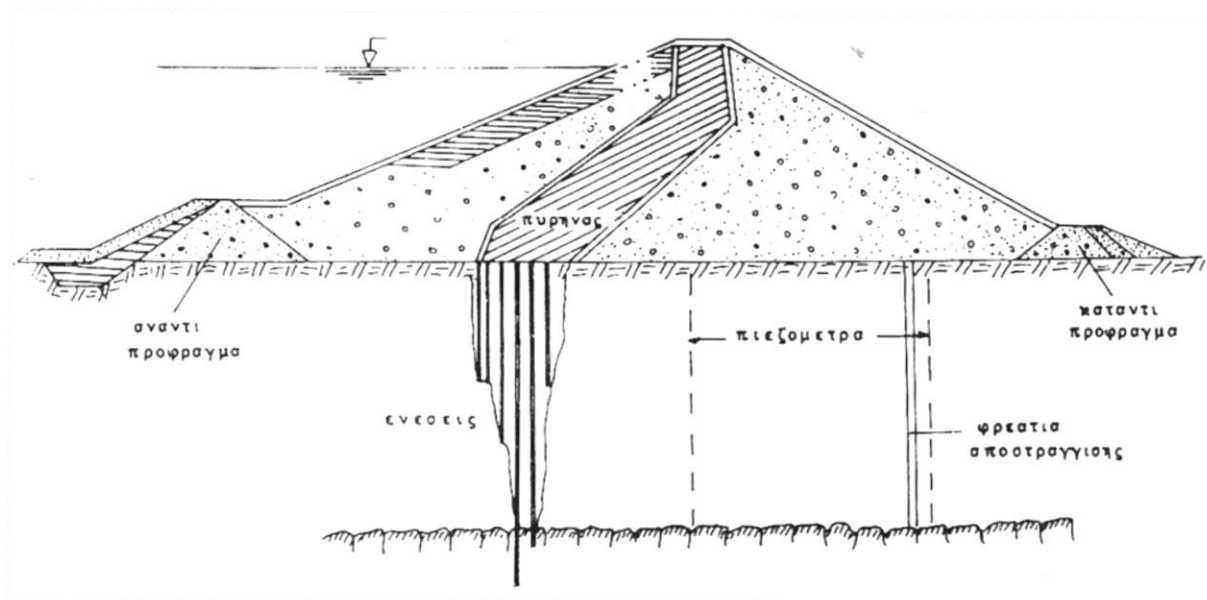
IV. Μικτά φράγματα

Αποτελούνται από άκαμπτα τμήματα φραγμάτων σε συνδυασμό των παραπάνω τύπων φραγμάτων (π.χ. τοξωτά – βαρύτητας, τοξωτά – αντηριδωτά).

3.1.2. Εύκαμπτα φράγματα

Πρόκειται για κατασκευές που δεν χρειάζονται γεωλογικούς σχηματισμούς θεμελίωσης εξαιρετικής ποιότητας (βλέπε **Σχήμα 3.1**).

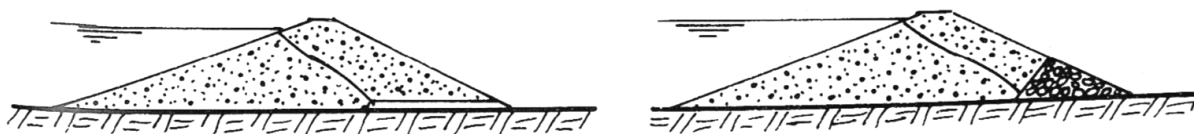
Τα φράγματα αυτού του τύπου διακρίνονται σε ομογενή χωμάτινα και ετερογενή χωμάτινα ή λιθόρριπτα.



Σχήμα 3.1: Σχηματικό παράδειγμα εύκαμπτου (χωμάτινου) φράγματος.

I. Ομογενή χωμάτινα

Κατασκευάζονται εξ' ολοκλήρου από γαιώδη υλικά (Σχήμα 3.2). Το σώμα του φράγματος κατασκευάζεται από ουσιαστικά έναν αδιαπέρατο πυρήνα (από αργιλικό υλικό) και ακολουθούν οι εξωτερικές ζώνες που εξασφαλίζουν την ευστάθεια το φράγματος. Μεταξύ του αργιλικού πυρήνα και των εξωτερικών ζωνών, παρεμβάλλονται μεταβατικές ζώνες από διαβαθμισμένο υλικό δημιουργώντας έτσι μια ζωνώδη διάταξη διαβαθμισμένων υλικών (Στειακάκης, 2008).



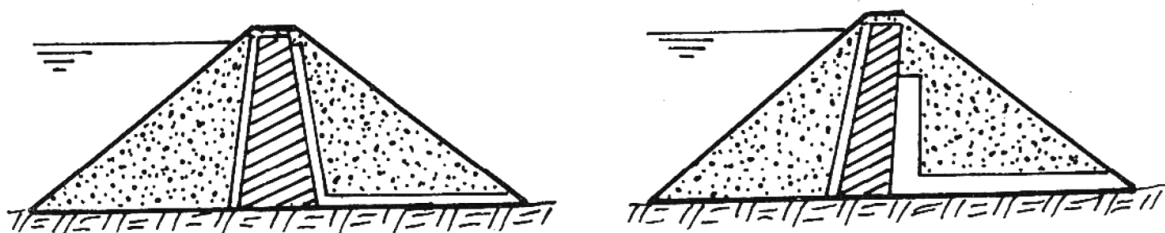
Σχήμα 3.2: Σχηματικά παραδείγματα ομογενών χωμάτινων φραγμάτων, χωρίς (αριστερά) και με (δεξιά) στραγγιστήριο.

Στο κατάντη τμήμα του φράγματος κατασκευάζονται στραγγιστήρια για τον έλεγχο της ταχύτητας ροής και την αποτροπή φαινομένων διάβρωσης που πιθανώς εμφανιστούν στο σώμα του φράγματος, ενώ στην ανάντη πλευρά τοποθετούνται τεμάχια βράχων ή

ασφαλτική επίστρωση για την προστασία του σώματος του φράγματος από τον κυματισμό στην λεκάνη κατάκλυσης (Στειακάκης, 2008).

II. Ετερογενή χωμάτινα ή λιθόρριπτα

Το κύριο σώμα αυτών των φραγμάτων αποτελείται από υλικά συνήθως ποτάμιας προέλευσης ή από βραχώδη υλικά δανειοθαλάμων (**Σχήμα 3.3**). Για την κατασκευή αυτών δεν είναι απαραίτητη η ζωνώδης διάταξη διαβαθμισμένων υλικών. Η στεγανότητά τους εξασφαλίζεται από την κατασκευή αργιλικού πυρήνα στο κέντρο του σώματος του φράγματος ή με την κατασκευή πλάκας από οπλισμένο σκυρόδεμα ή ασφαλτικού τάπητα στην ανάντη πλευρά του σώματος του φράγματος (Στειακάκης, 2008).



Σχήμα 3.3: Σχηματικά παραδείγματα ετερογενών χωμάτινων φραγμάτων με διαφορετικούς πυρήνες και φίλτρα.

Ο πυρήνας παίρνει συνήθως τη μορφή όνυχας μέσα στον σχηματισμό της θεμελίωσης, όταν είναι απαραίτητο να ελεγχθεί η διήθηση κάτω από το φράγμα (Στειακάκης, 2008).

Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι τα χωμάτινα φράγματα έχουν μεγάλη βάση και μ' αυτό τον τρόπο μεταφέρονται πολύ μικρότερες τάσεις στη θεμελίωση, ενώ μπορούν να παραλάβουν ευκολότερα τις παραμορφώσεις σε σχέση με τα τσιμέντινα. Για τους παραπάνω λόγους, τα φράγματα αυτού του τύπου έχουν κατασκευαστεί σε μεγάλη ποικιλία σχηματισμών θεμελίωσης, από χαλαρά, μη στερεοποιημένα υλικά ποταμών αποθέσεων έως και πολύ σκληρά πετρώματα (Κούκης, Σαμπατακάκης, 2007).

3.1.3. Συνοδευτικά έργα φραγμάτων

Για την καλή λειτουργία και την ασφάλεια ενός φράγματος είναι απαραίτητη η κατασκευή επιπλέον έργων, για τα οποία απαιτούνται επίσης λεπτομερείς προκαταρκτικές

έρευνες όσον αφορά την υδρολογία, τοπογραφία και υπεδαφικές συνθήκες της περιοχής. Μερικά από αυτά τα έργα είναι παρακάτω:

Σήραγγα εκτροπής

Διανοίγεται με σκοπό την εκτροπή του ποταμού έτσι ώστε οι εργασίες να γίνουν εν ξηρώ. Ωστόσο, όταν πρόκειται για ποταμούς με μεγάλη παροχή νερού και υπάρχει κίνδυνος πλημμυρικών παροχών, η σήραγγα συνδυάζεται με την κατασκευή προφράγματος (Κούκης, Σαμπατακάκης, 2007).

Πρόφραγμα

Πρόκειται για μικρό χωμάτινο φράγμα. Είναι προσωρινή κατασκευή και δημιουργείται για την εκτροπή του ποταμού, σε συνδυασμό με την σήραγγα εκτροπής ώστε να διευκολυνθούν οι εργασίες (Στειακάκης, 2008).

Υπερχειλιστής

Ο ρόλος του υπερχειλιστή είναι να εξασφαλίζει την ελεγχόμενη ροή της περίσσειας του νερού προς την κατάντη πλευρά του φράγματος, σε περίπτωση όπου ο όγκος του νερού που έχει αποθηκευτεί στον ταμιευτήρα υπερβαίνει την μέγιστη στάθμη ασφάλειας, προκειμένου να αποφευχθούν προβλήματα στο σώμα του φράγματος ή και στα συνοδευτικά έργα αυτού. Το μέγεθος και η θέση του υπερχειλιστή σε σχέση με το φράγμα εξαρτάται από το μέγεθος και το σχήμα του φράγματος, την γεωλογία της περιοχής, την τοπογραφία καθώς και την μελέτη του ιστορικού της ροής του ποταμού (Κούκης, Σαμπατακάκης, 2007).

Σήραγγα επίσκεψης

Στα χωμάτινα φράγματα συχνά κατασκευάζεται μία σήραγγα κατά μήκος του έργου, μέσα στην οποία εκτελούνται τιμεντενέσεις στην θεμελίωση για τη τοποθέτηση οργάνων ενώ παράλληλα λειτουργεί και ως σήραγγα αποστράγγισης (Κούκης, Σαμπατακάκης, 2007).

Εκκενωτής πυθμένα

Πρόκειται για κατασκευή που βοηθά στην ταπείνωση της στάθμης του νερού ή και στην εκκένωση αυτού όταν αυτό κριθεί απαραίτητο για διάφορους λόγους (περίπτωση σοβαρής αστοχίας) (Κούκης, Σαμπατακάκης, 2007).

3.2. Κριτήρια επιλογής θέσης και τύπου φράγματος

Κατά την κατασκευή ενός φράγματος θα πρέπει να ληφθούν υπόψιν πολλές παράμετροι όπως είναι η σκοπιμότητα του έργου, τα μορφολογικά και γεωλογικά χαρακτηριστικά της περιοχής ενδιαφέροντος, τα υδρολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής, οι επιπτώσεις στο περιβάλλον, η διαθεσιμότητα των απαραίτητων υλικών κατασκευής (δανειοθάλαμοι) ανάλογα με τον τύπο του φράγματος που έχει επιλεγεί να κατασκευασθεί, καθώς επίσης και οικονομικά κριτήρια.

Μία από τις πιο σημαντικές παραμέτρους είναι τα μορφολογικά και γεωλογικά κριτήρια. Επομένως, οι παράμετροι που θα πρέπει πρώτα να ελεγχθούν είναι:

- Η μορφολογία της λεκάνης απορροής το υδρογεωλογικό καθεστώς και οι γεωλογικές – τεχνικογεωλογικές συνθήκες (στρωματογραφική διάρθρωση, τεκτονική,).
- Η στεγανότητα του φράγματος και του ταμιευτήρα (λεκάνη κατάκλυσης).
- Η σεισμικότητα της περιοχής.
- Η ευστάθεια των πετρωμάτων θεμελίωσης και των πρανών του ταμιευτήρα.
- Οι δανειοθάλαμοι απόληψης κατάλληλων υλικών σε μικρή σχετικά απόσταση από το έργο.
- Η θέση του εκχειλιστή και των άλλων συναφών έργων.

4. ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Ο Δήμος Ανωγείων εκτείνεται επί των βορειοανατολικών προεκτάσεων του όρους Ίδη (Πετροχείλου, 1956). Μορφολογικά, είναι ορεινός και δύναται να χωριστεί σε δύο τμήματα:

α) Νότιο τμήμα: Περιλαμβάνει το ορεινό συγκρότημα του Ψηλορείτη (όρος Ίδη), με υψόμετρα που κυμαίνονται μεταξύ +800 και +1.600 m.

Δομείται κυρίως από πλακώδεις ασβεστόλιθους της Ιονίου ζώνης (αυτόχθονη ενότητα) και κατά θέσεις από ανθρακικά της ζώνης της Τρίπολης με έντονη καρστικοποίηση (βλέπε κεφάλαιο 5). Λόγω της υδροπερατότητας των πετρωμάτων δεν αναπτύσσεται αξιόλογο υδρογραφικό δίκτυο, καθώς η κατείσδυση των υδάτων επικρατεί της επιφανειακής απορροής.

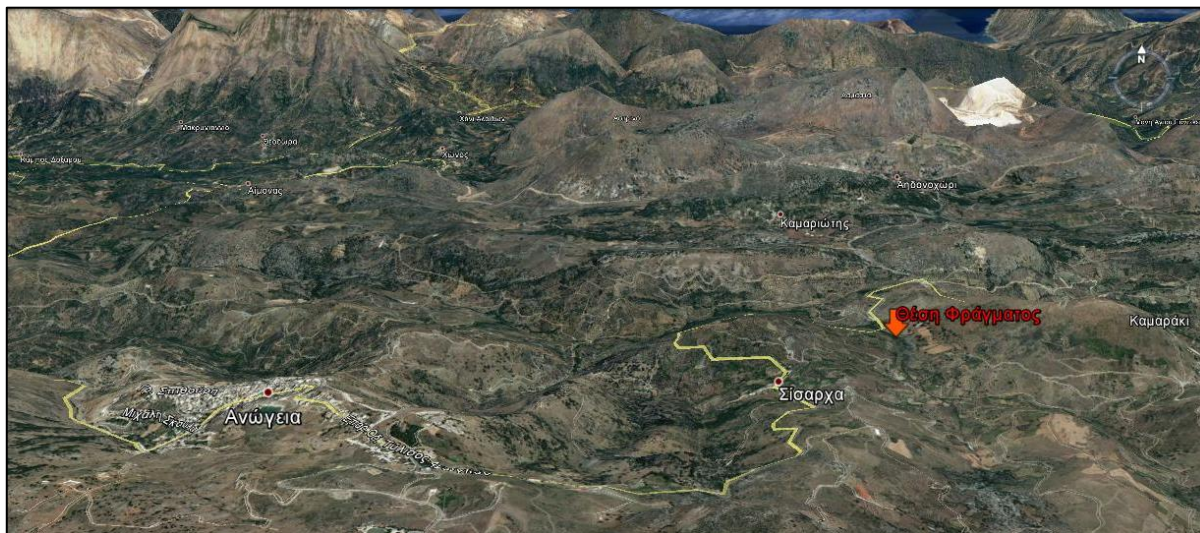
β) Βόρειο τμήμα: Εκτείνεται βόρεια και ανατολικά (δυτικά της κωμόπολης των Ανωγείων) σε υψόμετρα μεταξύ +450 και +800 m.

Δομείται κυρίως από πρακτικά αδιαπέρατους οφιολιθικούς, σχιστολιθικούς και φλυσχοειδείς σχηματισμούς (βλέπε κεφάλαιο 5). Στο τμήμα αυτό, λόγω των πετρωμάτων που επικρατούν, αναπτύσσεται αξιοσημείωτο υδρογραφικό δίκτυο που αποστραγγίζει την περιοχή προς τα βορειοδυτικά.

Η περιοχή ενδιαφέροντος αναπτύσσεται σε υψόμετρα που κυμαίνονται από +480 m έως +1.420 m και καλύπτει μέρος και των δύο προαναφερόμενων τμημάτων.

Όπως φαίνεται στο **Σχήμα 4.1**, η περιοχή έρευνας για την κατασκευή φράγματος (θέση «Βαρσαμάς») βρίσκεται περί τα 2,9 km ανατολικά – βορειοανατολικά των Ανωγείων, (περί τα 800 m ανατολικά – βορειοανατολικά του μικρού οικισμού «Σίσαρχα» και 1,3 km δυτικά – βορειοδυτικά του οικισμού «Γωνιές».

Η θέση αυτή κρίθηκε ότι είναι η πλέον ευνοϊκή για την κατασκευή του σώματος του φράγματος, αφενός λόγω γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών (φυσικό στένωμα), αφετέρου λόγω της γεωλογίας – υδρογεωλογίας της περιοχής (βλέπε κεφάλαιο 5), που δομείται από πρακτικά αδιαπέρατους σχηματισμούς, όπως αυτοί των φυλλιτών και του οφιολιθικού συμπλέγματος (**Φωτογραφία 4.1**).



Σχήμα 4.1: Εξεταζόμενη θέση για την κατασκευή φράγματος (GoogleEarth, άποψη από νότια).

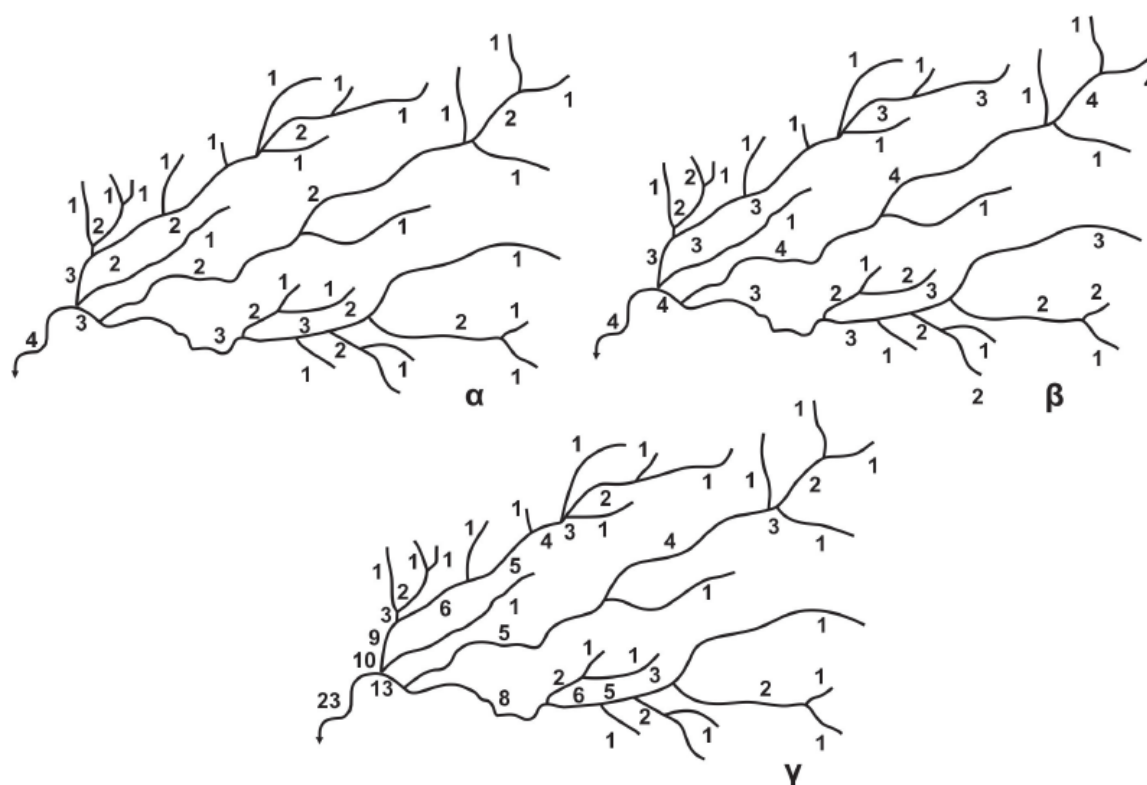


Φωτογραφία 4.1: Θέση έδρασης προτεινόμενου φράγματος (άποψη από νοτιοδυτικά).

4.1. Υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής

Με βάση τον τοπογραφικό χάρτη της περιοχής (κλίμακας 1:50.000), οριοθετήθηκε η υδρολογική λεκάνη και αριθμήθηκαν οι κλάδοι του υδρογραφικού δικτύου του Βαρσαμά.

Οι επικρατέστεροι τρόποι αρίθμησης των κλάδων υδρογραφικών δικτύων και την εύρεση της τάξης κάθε κλάδου, έχουν δοθεί από τους Strahler, Horton και Shreve (βλέπε Σχήμα 4.2).



Σχήμα 4.2: Αρίθμηση υδρογραφικών δικτύων κατά Strahler (α), Horton (β) και Shreve (γ)
(Νικολακόπουλος κ.ά., 2015).

Σύμφωνα με τον Strahler (1957), κάθε κλάδος ενός υδρογραφικού δικτύου που δεν δέχεται νερά άλλων μικρότερων ρεμάτων ονομάζεται κλάδος 1ης τάξης (Σχήμα 4.2.α). Ο κλάδος που προκύπτει από τη σύνδεση δύο κλάδων 1ης τάξης ονομάζεται κλάδος 2ης τάξης. Ο κλάδος που προκύπτει από τη σύνδεση δύο κλάδων 2ης τάξης ονομάζεται 3ης τάξης κ.λπ. Στην περίπτωση που συνδέονται δύο κλάδοι διαφορετικής τάξης, ο νέος κλάδος που προκύπτει εξακολουθεί να έχει την αρίθμηση της μεγαλύτερης τάξης του ενός από τους δύο αρχικούς (Νικολακόπουλος κ.ά., 2015).

Στην αρίθμηση κατά Horton (1945) οι κλάδοι ενός υδρογραφικού δικτύου, οι οποίοι δεν δέχονται τα νερά κανενός μικρότερου κλάδου, αλλά τα επιφανειακά νερά μιας μικρής λεκάνης, ονομάζονται κλάδοι 1ης τάξης. Κλάδοι που δέχονται τα νερά κλάδων 1ης τάξης ονομάζονται κλάδοι 2ης τάξης κ.ο.κ. Η αρίθμηση ενός κλάδου ισχύει από την αρχή του μέχρι το τέλος του, έτσι οι μεγαλύτεροι σε μήκος κλάδοι είναι και μεγαλύτερης τάξης (Σχήμα 4.2.β) (Νικολακόπουλος κ.ά., 2015).

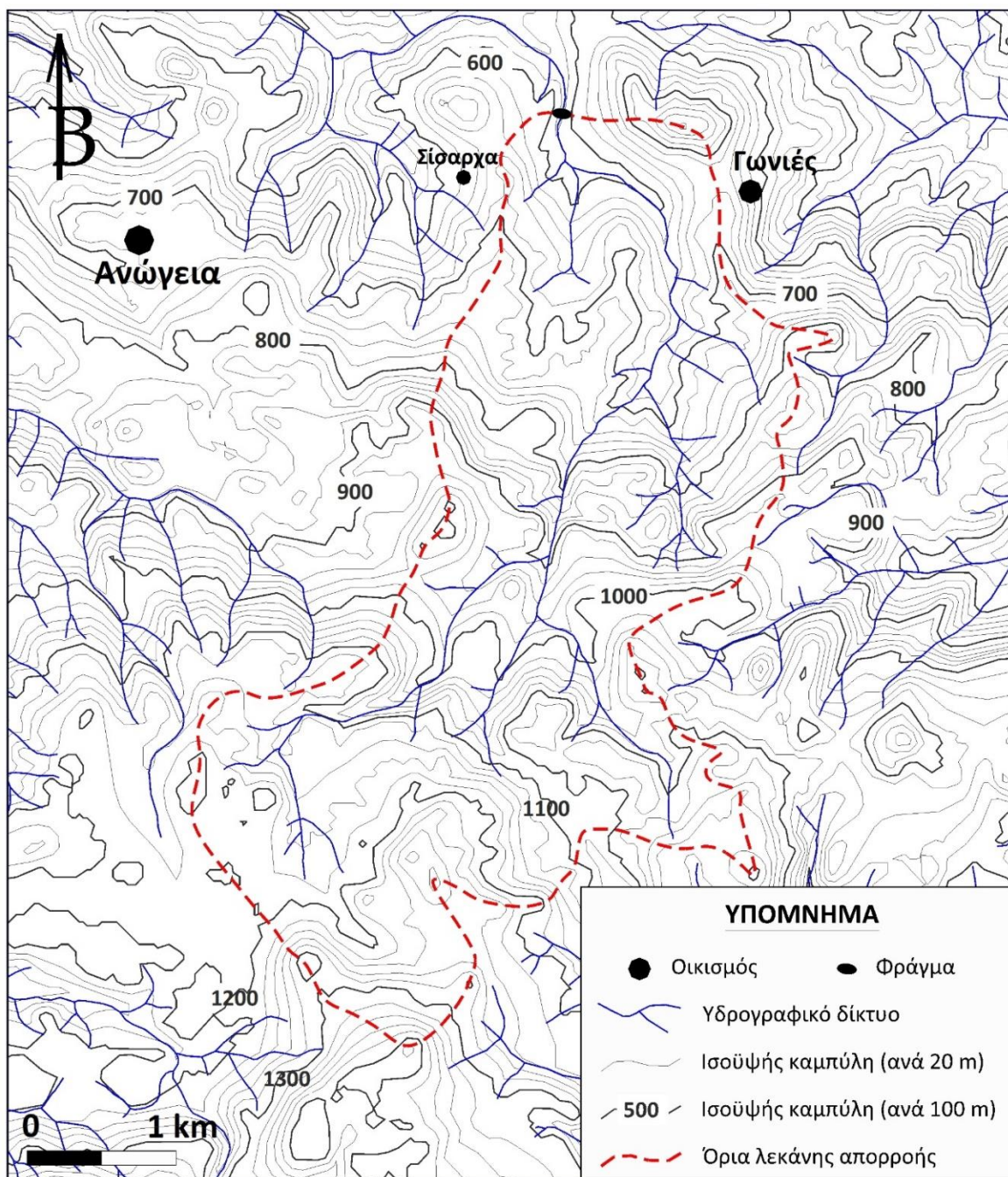
Τέλος, ο Shreve (1964, 1966) δεν κάνει αναφορά στην τάξη των κλάδων, αλλά στο μέγεθος σύνδεσής τους. Κάθε εξωτερικός κλάδος έχει μέγεθος 1, ενώ όταν συνδέονται κλάδοι μεγεθών 1 και 2, τότε ο κλάδος που προκύπτει έχει μέγεθος $1+2=3$ (Σχήμα 3.3.γ) (Νικολακόπουλος κ.ά., 2015).

Με βάση την αρίθμηση κατά Strahler, το υδρογραφικό δίκτυο της εξεταζόμενης λεκάνης απορροής χαρακτηρίζεται από κλάδους πρώτης, δεύτερης και τρίτης τάξης.

4.2. Οριοθέτηση υδρολογικής λεκάνης και κύρια χαρακτηριστικά της

Στο **Σχήμα 4.3** διακρίνονται τα όρια της υδρολογικής λεκάνης (λεκάνη απορροής), όπως αυτά καθορίστηκαν με τη χάραξη του υδροκρίτη.

Η χάραξη του υδροκρίτη έγινε σε τοπογραφικό χάρτη κλίμακας 1:50.000 (ΓΥΣ, 2007), με την βοήθεια του AutoCAD 2012, ενώνοντας τις κορυφές και τις ράχες γύρω από το εξεταζόμενο υδατόρεμα και ακολουθώντας τα υψηλότερα σημεία του ανάγλυφου.



Σχήμα 4.3: Υδρολογική λεκάνη προτεινόμενου φράγματος.

4.2.1. Έκταση της λεκάνης απορροής

Η συνολική έκταση της λεκάνης (Ε) απορροής εκτιμήθηκε ίση με 12,72 km². Το ελάχιστο υψόμετρο (Η₀) στη προτεινόμενη θέση έδρασης του σώματος του φράγματος, στο

βορειότερο τμήμα της λεκάνης (**Σχήμα 4.3**), είναι + 550 m, ενώ το μέγιστο υψόμετρο (H_{\max}) που εμφανίζεται στα όρια της υδρολογικής λεκάνης φτάνει τα + 1.425 m, στο νοτιότερο τμήμα της.

4.2.2. Μέσο υψόμετρο λεκάνης

Το μέσο υψόμετρο της λεκάνης (H , σε m) δίνεται από τη σχέση (Δημόπουλος, 2007):

$$H = \sum_{i=1}^n E_i \cdot H_i / E \quad [4.1]$$

όπου,

E_i το εμβαδόν μεταξύ διαδοχικών ισοϋψών σε m^2 , και

H_i το ημιάθροισμα του υψομέτρου μεταξύ αυτών των διαδοχικών ισοϋψών σε m,

n = μέγιστος αριθμός των ισοϋψών

E το συνολικό εμβαδόν της λεκάνης απορροής

Με βάση τη σχέση 3.1, το μέσο υψόμετρο της λεκάνης απορροής είναι ίσο με 920 m.

Ο λόγος του ανάγλυφου της λεκάνης (R_h), παρουσιάζει το βαθμό έντασης των διεργασιών διάβρωσης, και δίνεται από τη σχέση (Δημόπουλος, 2007):

$$R_h = H_b / L_{b\max} \quad [4.2]$$

όπου,

H_b το τοπικό ανάγλυφο ($H_b = H_{\max} - H_0 = 875$ m), και

$L_{b\max}$ το μέγιστο μήκος της λεκάνης παράλληλα προς τη μέγιστη υδρογραφική γραμμή (κοίτη) σε m.

Δεδομένου ότι $L_{b\max} = 6,25$ km, ο λόγος του ανάγλυφου της λεκάνης (R_h) υπολογίζεται σε 0,14. Η τιμή αυτή δείχνει μικρής έντασης διεργασίες διάβρωσης (Δημόπουλος, 2007). Η στερεοπαροχή αναμένεται να είναι πολύ μικρή και ως εκ τούτου θα καθυστερήσει πολύ η πρόσχωση του ταμιευτήρα από φερτά υλικά.

Επίσης, το υδατόρεμα της λεκάνης απορροής που θα τροφοδοτεί την λεκάνη κατάκλυσης του φράγματος έχει μέση κλίση 1/10. Το υδρογραφικό του δίκτυο έχει παράλληλη – δενδριτική μορφή με κύρια διεύθυνση ροής από νοτιοδυτικά προς βορειοανατολικά.

5. ΓΕΩΛΟΓΙΑ – ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ – ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΡΕΥΝΑΣ

Η γεωλογική αποτύπωση της περιοχής ενδιαφέροντος (**Σχήμα 5.1**) έγινε με συνδυασμό των χαρτών «Φύλλο Ανώγεια», κλίμακας 1:50.000 (ΙΓΜΕ, 2008), «Φύλλο Τυμπάκιον», κλίμακας 1:50.000 (ΙΓΜΕ, 1984) και του «Γεωλογικού χάρτη Περιοχής Δήμου Ανωγείων Κρήτης», κλίμακας 1:5.000 που συντάχθηκε από τον Α. Αλεξόπουλο (Γαλύτη – Αλεξόπουλος, 1998).

Η υδρογεωλογική διερεύνηση της περιοχής (οριοθέτηση υδρολιθολογικών ενοτήτων, θεώρηση συντελεστή κατείσδυσης, επιφανειακής απορροής κ.ά.) βασίσθηκε κυρίως στην δημοσίευση «Υπόγειο Υδατικό Δυναμικό Κρήτης. Προβλήματα και Προοπτικές» (Περλέρος κ.ά., 2004), αλλά και σε μακροσκοπικές παρατηρήσεις πεδίου.

5.1. Γεωλογία

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί που απαντώνται στην περιοχή, από τους νεότερους προς τους παλαιότερους, είναι οι εξής (βλέπε **Σχήμα 5.1**):

ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΗ ΙΖΗΜΑΤΑ

Περιλαμβάνουν κυρίως αλουβιακές αποθέσεις, αποτελούμενες από αργιλοαμμώδη υλικά και κροκαλολατύπες.

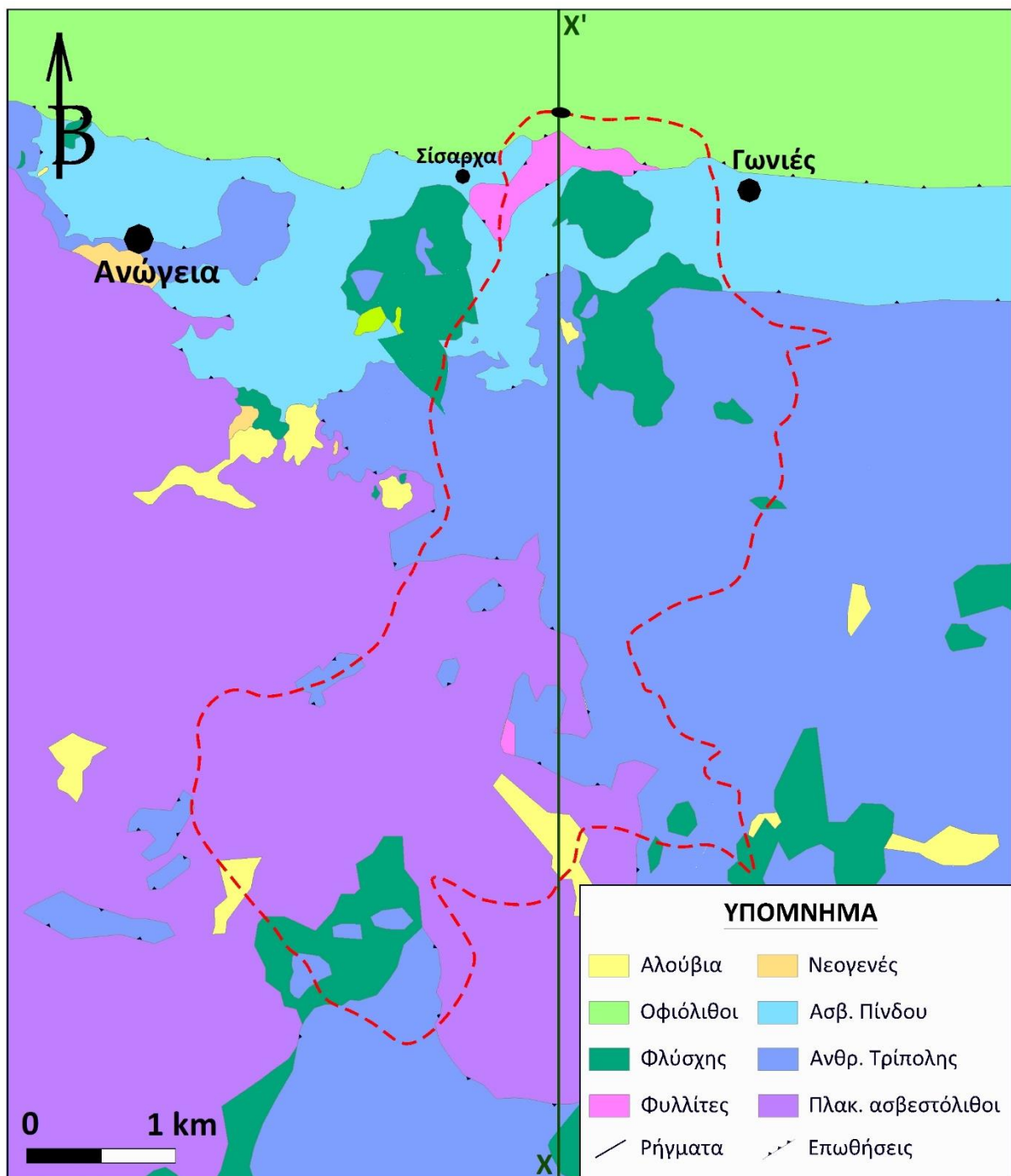
Σπανιότερα απαντώνται κώνοι κορημάτων, πλευρικά κορήματα και υλικά αναβαθμίδων (κροκάλες και λατύπες ανθρακικής κυρίως σύστασης, ή άλλα αδρομερέστερα υλικά αργιλικής ή αργιλοαμμώδους σύστασης, συχνά αναμεμειγμένα με ερυθρογή).

Στο Σχήμα 5.1 τα Τεταρτογενή ιζήματα περιγράφονται ενιαία ως «Αλούβια».

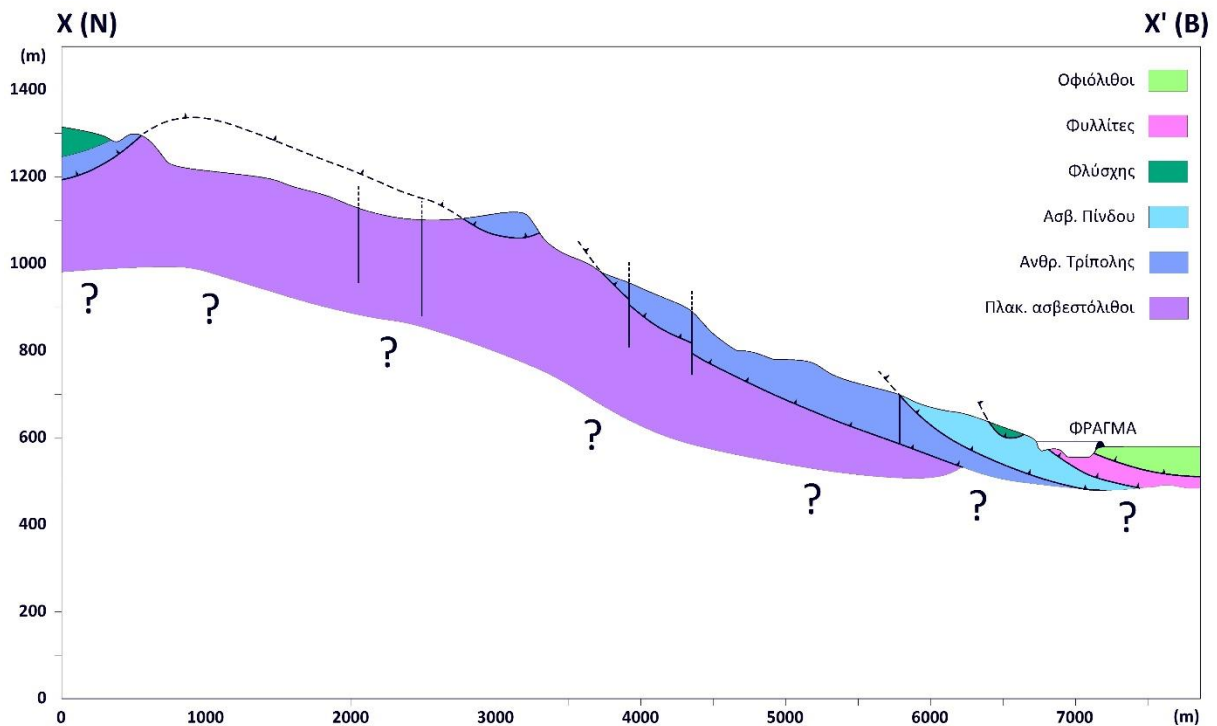
ΝΕΟΓΕΝΗ ΙΖΗΜΑΤΑ

Επιφανειακά η εμφάνισή τους είναι πολύ περιορισμένη. Αναπτύσσονται σποραδικά στο βόρειο τμήμα της περιοχής, κοντά στον οικισμό των Ανωγείων (Σχήμα 5.1).

Πρόκειται για αδιαίρετους Νεογενείς σχηματισμούς, (παχυστρωματώδεις έως άστρωτοι μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι) που προς τα πάνω εξελίσσονται σε αργιλομαργαϊκούς σχηματισμούς με διαστρώσεις από ιλύ και άμμο.



Σχήμα 5.1: Γεωλογικός χάρτης της περιοχής ενδιαφέροντος.



Σχήμα 5.2: Γεωλογική τομή στην περιοχή ενδιαφέροντος.

ΟΦΙΟΛΙΘΙΚΟ ΣΥΜΠΛΕΓΜΑ ΚΑΙ ΦΥΛΛΙΤΕΣ

Αποτελεί το ανώτερο τεκτονικό κάλυμμα της Κρήτης και παρουσιάζει έντονη λιθολογική διαφοροποίηση. Σύμφωνα με τον Γερμανό γεωλόγο Thorbecke (1969,1973), που έχει μελετήσει με λεπτομέρεια το κάλυμμα των οφιολίθων στην ευρύτερη περιοχή των Ανωγείων το κάλυμμα αυτό περιλαμβάνει κυρίως περιδοτίτες, σερπεντινίτες, και διαβάσεις (Γιαλύτη, Αλεξόπουλος, 1998). Αποτελείται από ένα οφιολιθικό σύμπλεγμα, στο οποίο περιλαμβάνονται (από πάνω προς τα κάτω) όξινα μέλη, όπως γάββροι, δολερίτες και pillow-lavas, έως βασικά, δηλαδή περιδοτίτες και σερπεντινίτες και ένα «mélange» (μεταμορφωμένη σειρά) στη βάση του. Στην στενή περιοχή μελέτης, και μάλιστα μέσα στη σχεδιαζόμενη λεκάνη κατάκλυσης, το mélange αυτό αντιπροσωπεύεται από διαφόρους τύπους φυλλιτών.

Το οφιολιθικό σύμπλεγμα της ευρύτερης περιοχής Ανωγείων καταλαμβάνει έκταση περί τα 14 km² και αποτελεί τη μεγαλύτερη οφιολιθική εμφάνιση στην Κρήτη. Έχει επιμήκη ανάπτυξη, με διεύθυνση του μεγάλου άξονα Α-Δ και μήκος 8 km περίπου.

ΤΕΚΤΟΝΙΚΟ ΚΑΛΥΜΜΑ ΖΩΝΗΣ ΠΙΝΔΟΥ

Αποτελείται από ένα συνάθροισμα λιθολογιών που περιλαμβάνει κλαστικά ιζήματα (πηλίτες και ψαμμίτες, που απαρτίζουν τον φλύσχη της ενότητας), με ή χωρίς κερατόλιθους, ερυθρούς πηλίτες, ραδιολαρίτες, ορίζοντες μικρολατυποπαγών ασβεστολίθων και εναλλαγές λεπτοπλακωδών ασβεστολίθων – κερατόλιθων (Γιαλύτη, Αλεξόπουλος, 1998).

Χαρακτηριστικό του γνώρισμα είναι τα πελαγικά ιζήματα ανωτριάδικής έως τριτογενούς ηλικίας.

Η στρωματογραφική διάρθρωση των σχηματισμών της ζώνης της Πίνδου από τους παλαιότερους προς τους ανώτερους, περιλαμβάνουν εμφανίσεις (χερσαία στρώματα του ανωτριάδικού), τα οποία διαδέχονται εναλλαγές ραδιολαριτών – λεπτοκοκκωδών πλακωδών ασβεστόλιθων και αργιλικών στρωμάτων. Στην αρχή του Άνω-Κρητιδικού εμφανίζεται ο «πρώτος φλύσξης». Πρόκειται για φλυσχοειδή σχηματισμό, που αποτελείται από εναλλαγές λεπτών στρωμάτων από ερυθρές μάργες, πηλίτες, ραδιολαρίτες, τεφροπράσινο ανθρακικό ψαμμίτη, ορίζοντες από μικρολατυποπαγή ασβεστόλιθο (που περιέχει πυριτόλιθους), κερατόλιθους, μαργαϊκούς ασβεστόλιθους, αργιλομαργαϊκούς σχιστόλιθους και λατυποπαγή (που περιέχουν τεμάχια ηφαιστειακής προέλευσης). Κατά θέσεις εμφανίζονται αδρόκοκκοι ψαμμίτες που εναλλάσσονται με μικροκλαστικούς ασβεστόλιθους.

Ακολουθεί πελαγική ιζηματογένεση μέχρι το κάτω Τριτογενές, όπου επικρατούν πλακώδεις-λεπτοπλακώδεις ασβεστόλιθοι, λατυποπαγή χωρίς ηφαιστειακά τεμάχια και συχνά έντονα διαρρηγμένα, ενώ οι ραδιολαρίτες υποχωρούν, εμφανιζόμενοι μόνο ως μικροί φακοί και όχι ως συνεχή στρώματα.

Οι σχηματισμοί αυτοί αναφέρονται στο Σχήμα 5.1 ενιαία ως «Ασβεστόλιθοι Πίνδου».

Ακολουθεί ο φλύσξης (μεταξύ μέσου Παλαιόκαινου και άνω Ηώκαινου). Σε πολλές θέσεις, η ενότητα Πίνδου στην Κρήτη, περιέχει μικρές εμφανίσεις βασικών ηφαιστειακών πετρωμάτων και τόφφων (Ορφανουδάκη-Μανουσάκη, 1987).

Σημειώνεται ότι στο Σχήμα 5.1 ο φλύσχος της Πίνδου, λόγω των κοινών υδραυλικών χαρακτηριστικών του με τον φλύσχη Τρίπολης (βλέπε παράγραφο 5.3), εμφανίζεται ενιαία ως «Φλύσχος».

Η όλη ενότητα είναι επωθημένη στην ενότητα της Τρίπολης ή στους πλακώδεις ασβεστόλιθους της Ιονίου ζώνης. Η επιφανειακή της ανάπτυξη στην περιοχή ενδιαφέροντος είναι σημαντική στο βόρειο τμήμα της, κατά μήκος μιας ζώνης πλάτους περίπου 1 km που αρχίζει από τα Ανώγεια και φθάνει ανατολικά και πέρα από τις Γωνιές (βλέπε Σχήμα 5.1).

ΤΕΚΤΟΝΙΚΟ ΚΑΛΥΜΜΑ ΖΩΝΗΣ ΤΡΙΠΟΛΕΩΣ

Η ζώνη της Τρίπολης είναι επωθημένη πάνω στην ενότητα Φυλλιτών – Χαλαζιτών. Πρόκειται για ενότητα με εκτεταμένη ανάπτυξη στην περιοχή έρευνας και μαζί με τους πλακώδεις ασβεστόλιθους της Ιονίου ζώνης καλύπτουν το μεγαλύτερο μέρος της λεκάνης απορροής.

Αναλυτικότερα, στην ζώνη Τρίπολης περιλαμβάνονται (από τους νεότερους προς τους παλαιότερους) οι παρακάτω σχηματισμοί:

Φλύσχος: Εναλλαγές αργιλικών σχιστόλιθων και ψαμμιτών με μικρές ενστρώσεις ασβεστολιθικών τουρβιδιτών. Στο Σχήμα 5.1 περιγράφεται μαζί με τον πρώτο φλύσχη της ζώνης Πίνδου, λόγω των κοινών υδραυλικών χαρακτηριστικών τους (βλέπε παράγραφο 5.3), ως «Φλύσχος».

Ασβεστόλιθοι: Καρστικοποιημένοι παχυστρωματώδεις έως μεσοστρωματώδεις και κατά θέσεις άστρωτοι ασβεστόλιθοι. Στους ανώτερους ορίζοντες είναι δολομιτιωμένοι, συχνά λατυποπαγείς και έντονα διερρηγμένοι.

Ασβεστόλιθοι, δολομιτικοί ασβεστόλιθοι και δολομίτες: Πρόκειται για έντονα καρστικοποιημένο σχηματισμό.

Οι δύο τελευταίοι σχηματισμοί περιγράφονται ενιαία στο Σχήμα 5.1 ως «Ανθρακικά Τρίπολης».

Πυκνά συστήματα διακλάσεων και ρήγματα κατακερματίζουν τις ανθρακικές μάζες και διευκολύνουν την δημιουργία καρστικών συστημάτων. Καρστικά σπήλαια είναι γνωστά στην περιοχή (π.χ. Πετροδολάκια). Ένα τεκτονικό γεγονός που έχει ιδιαίτερη υδρογεωλογική σημασία είναι οι λεπιώσεις οι οποίες παρατηρούνται στην περιοχή. Στην ανθρακική μάζα της Οφριάς και το Μελισσουργάκι (ΒΒΔ των Ανωγείων) παρατηρήθηκαν ασβεστόλιθοι να

εφιπτεύουν ιζήματα του φλύσχη. Οι επιπτεύσεις αυτές δημιουργούν τοπικά επίπεδα βάσης που πρακτικά σημαίνει ότι υπάρχουν πιθανότητες, τουλάχιστον στην περιοχή αυτή, τα καρστικά υδροφόρα συστήματα να μην αναπτύσσονται σε μεγάλα βάθη (Γιαλύτη, Αλεξόπουλος, 1998).

ΕΝΟΤΗΤΑ ΦΥΛΛΙΤΩΝ – ΧΑΛΑΖΙΤΩΝ

Τεκτονικό κάλυμμα που βρίσκεται επωθημένο πάνω στο αυτόχθονο υπόβαθρο της Ιονίου ζώνης. Περιλαμβάνει κυρίως εναλλαγές φυλλιτών, χαλαζιτών και σχιστόλιθων. Τα κύρια πετρώματα της ενότητας είναι μεταμορφωμένοι πηλίτες, ψαμμίτες, ραουβάκες, ανθρακικά πετρώματα (δολομίτες, παχυστρωματώδεις κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι, εναλλαγές φυλλιτών – σχιστόλιθων – μαρμάρων) και γύψοι ανωπερμικής / κατωτριάδικης ηλικίας, ενώ τοπικά παρεμβάλλονται χαλαζιτικές φλέβες, περιδοτίτες, αμφιβολίτες, μαρμαρυγιακοί σχιστόλιθοι, γνεύσιοι, ως και διεισδύσεις αλκαλικών βασαλτών, ανωϊουρασικής ηλικίας και ανδεσιτών, νεοπαλαιοζωϊκής ηλικίας. Επίσης, κατά θέσεις υπάρχουν εναλλαγές φυλλιτών, χαλαζιτών και μαρμάρων.

Διάσπαρτες εμφανίσεις της ενότητας Φυλλιτών – Χαλαζιτών σημειώνονται νοτιότερα γύρω από την «Αγία Μαρίνα» και το «Κορίτσι» (σημείο υδροληψίας για την λιμνοδεξαμενή Γωνομιού).

Στην περιοχή ενδιαφέροντος, επιφανειακή εμφάνιση Φυλλιτών περιορισμένης έκτασης εμφανίζεται στο βόρειο τμήμα της λεκάνης απορροής του Βαρσαμά, ανάμεσα στα Σίσαρχα και τις Γωνιές (βλέπε Σχήμα 5.1, όπου αναφέρονται ως «Φυλλίτες»).

ΙΟΝΙΟΣ ΖΩΝΗ

Πρόκειται για την αυτόχθονη σειρά της Κρήτης (ενότητα Κρήτης – Μάνης) που περιλαμβάνει πελαγικά ιζήματα, μεσο Ιουρασικής – Άνω Ηωκαινικής ηλικίας.

Στο ανώτερο μέρος της σειράς εμφανίζεται «μεταφλύσχη» (Ορφανουδάκη-Μανουσάκη, 1987). Αποτελείται από πράσινους ασβεστοφυλλίτες που περιλαμβάνουν λεπτές εναλλαγές ανθρακικών, μαρμαρυγιακών σχιστόλιθων και χαλαζιτών. Οι επιφανειακές τους εμφανίσεις είναι πολύ περιορισμένες στην περιοχή ενδιαφέροντος.

Βαθύτερα, εμφανίζονται οι λεγόμενοι «πλακώδεις ασβεστόλιθοι» (Plattenkalk). (Κριτσωτάκης, 2007). Αποτελούνται κύρια από παχυστρωματώδεις στη βάση τους και

λεπτοστρωματώδεις στην κορυφή τους, ισχυρά ανακρυσταλλωμένους ασβεστόλιθους (μάρμαρα) και δολομίτες που φέρουν ενστρώσεις πυριτόλιθων (πάχους μέχρι και 15 cm), με μορφή λεπτών στρώσεων, κονδύλων ή φακών, των οποίων η πυκνότητα ελαττώνεται προς τη βάση της σειράς (Ορφανουδάκη-Μανουσάκη, 1987).

Οι κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι και τα μάρμαρα έχουν μια μεγάλη ανάπτυξη νότια και νοτιοδυτικά των Ανωγείων, ενώ οι ασβεστοφυλλίτες περιορίζονται στην Αγία Μαρίνα, στο νότιο άκρο του «Κοριτσιού» και στην έξοδο των Ανωγείων προς Ρέθυμνο (Γιαλύτη – Αλεξόπουλος, 1998).

Οι ανθρακικοί σχηματισμοί της ενότητας είναι μακροπερατοί σχηματισμοί. Κατά θέσεις παρουσιάζονται έντονα καρστικοποιημένοι. Η καρστικοποίηση ευνοείται κατά μήκος ρηγμάτων ή πυκνών συστημάτων διακλάσεων. Στη δεύτερη δε περίπτωση η καρστικοποίηση είναι τόσο έντονη ώστε σε πολλές περιοχές να δημιουργούνται πολυάριθμες μικρές ή μεγάλες δολίνες και καταβόθρες. Γνωστή είναι επίσης και η παρουσία πολλών καρστικών σπηλαίων με κυρίαρχο το Ιδαίον Άντρον.

Αν και η κατείδυση στα πετρώματα αυτά είναι μεγάλη, εν τούτοις δεν παρουσιάζουν για μας υδρογεωλογικό ενδιαφέρον γιατί τα καρστικά υδροφόρα συστήματα που αναπτύσσονται μέσα τους αναμένονται σε μεγάλα, απαγορευτικά βάθη.

Αντίθετα οι ασβεστοφυλλίτες αν και αδιαπέρατοι σχηματισμοί, παρουσιάζουν υδρογεωλογικό ενδιαφέρον από την άποψη ότι αυτοί αποτελούν κατά θέσεις το στεγανό υπόβαθρο των τεκτονικά υπερκείμενων ασβεστόλιθων της ενότητας της Τρίπολης, με αποτέλεσμα στην επαφή τους να εκδηλώνονται διάφορες πηγές (π.χ. πηγή Ζώμυθου και Μύθιας) (Γιαλύτη, Αλεξόπουλος, 1998).

Όλοι οι παραπάνω σχηματισμοί (συμπεριλαμβανομένου του μεταφλύσχη) περιγράφονται ενιαία στο Σχήμα 5.1 ως «Πλακώδεις ασβεστόλιθοι».

Οι Πλακώδεις ασβεστόλιθοι, μαζί με τα ανθρακικά Τρίπολης, καταλαμβάνουν το μεγαλύτερο μέρος της έκτασης της υδρολογικής λεκάνης, ενώ παρουσιάζουν ακόμα μεγαλύτερη επιφανειακή ανάπτυξη νοτιότερα (ορεινός όγκος Ψηλορείτη).

5.2. Τεκτονική

Τα σημαντικότερα ρήγματα της περιοχής εμφανίζονται σε διευθύνσεις ΒΔ – ΝΑ (Σχήμα 5.1 και στο Σχήμα 5.2).

Η τεκτονική έχει πλήξει κυρίως τους πλακώδεις ασβεστόλιθους και τους ασβεστόλιθους – δολομίτες της σειράς της Τρίπολης.

Οι πλακώδεις ασβεστόλιθοι παρουσιάζουν χαρακτηριστικά πτυχωσιγενούς τεκτονικής, ενώ τα ανθρακικά της Τρίπολης, λόγω τεκτονικής (Ψηλορείτης), έχουν ολισθήσει προς βορρά και υπό την επίδραση των υπερκειμένων σειρών (ενότητα Πίνδου και οφιολιθικό σύμπλεγμα) έχουν μυλονιτοποιηθεί στη βάση τους. Η πόλγη της Νίδας, στα νότια – νοτιοδυτικά της περιοχής ενδιαφέροντος, είναι αποτέλεσμα κυρίως τεκτονικής δράσης καθώς και της χημικής αποσάθρωσης των ασβεστολίθων (Γεωργιάς κ.ά., 1979).

5.3. Υδρολιθολογικές ενότητες

Οι προαναφερόμενοι γεωλογικοί σχηματισμοί ταξινομήθηκαν με βάση την υδρολιθολογική τους συμπεριφορά και ομαδοποιήθηκαν με βάση την υδροπερατότητά τους. Γενικά, οι σχιστόλιθοι θεωρούνται ως αδιαπέρατοι σχηματισμοί, οι ανθρακικοί σχηματισμοί εκτιμήθηκαν ως σχηματισμοί υψηλής υδροπερατότητας, οι κοκκώδεις σχηματισμοί (Τεταρτογενή και Νεογενή ιζήματα), ως ενότητες χαμηλής έως μέτριας υδροπερατότητας.

Αναλυτικότερα, η υδρολιθολογική συμπεριφορά των γεωλογικών σχηματισμών που εμφανίζονται στην περιοχή ενδιαφέροντος (βλέπε Σχήμα 5.1), εκτιμήθηκε με βάση τις βιβλιογραφικές αναφορές ως εξής:

ΑΛΟΥΒΙΑ

Περιλαμβάνουν υδροπερατά έως ημιπερατά υλικά, ανάλογα με το πάχος και το ποσοστό συμμετοχής του λεπτόκοκκου. Κατατάσσονται στους σχηματισμούς μεσαίας υδροπερατότητας ($10^{-6} < k < 10^{-4}$ m/s).

Ο συντελεστής κατείσδυσης εκτιμάται στο 20% (Περλέρος κ.ά., 2004), ενώ η επιφανειακή τους απορροή εκτιμάται σε 20 – 30%.

ΝΕΟΓΕΝΕΣ

Περιλαμβάνει πετρώματα υψηλής υδροπερατότητας (βιοκλαστικοί ασβεστόλιθοι), μέτριας υδροπερατότητας (κροκαλοπαγή, λατυποπαγή και ψαμμίτες), έως και πολύ χαμηλής υδροπερατότητας (μάργες). Στο σύνολό τους οι νεογενείς σχηματισμοί θεωρούνται μέτριας έως χαμηλής υδροπερατότητας ($10^{-7} < k < 10^{-5}$ m/s).

Ο συντελεστής κατείσδυσης των παραπάνω πετρωμάτων κυμαίνεται περί το 10% (Περλέρος κ.ά., 2004), ενώ ο συντελεστής επιφανειακής απορροής εκτιμάται σε 30%.

ΟΦΙΟΛΙΘΟΙ

Πρόκειται για σχηματισμό πρακτικά αδιαπέρατο ($k < 10^{-7}$ m/sec), αν και ο κατά τόπους έντονος τεκτονισμός του αυξάνει την υδροπερατότητά του. Ενδεικτικά αναφέρεται η εμφάνιση της πηγής Βαρσαμά στην επαφή των οφιολίθων και των υποκείμενων φυλλιτών).

Ο συντελεστής κατείσδυσης των σχηματισμών του οφιολιθικού συμπλέγματος κυμαίνεται από 5 – 10% (Περλέρος κ.ά., 2004), ενώ η επιφανειακή του απορροή εκτιμάται σε 30 – 35%.

ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ ΠΙΝΔΟΥ

Η ενότητα Πίνδου, στο σύνολό της, χαρακτηρίζεται μέτριας έως μικρής υδροπερατότητας (Περλέρος κ.ά., 2004).

Κατά θέσεις αποτελεί το «στεγανό» υπόβαθρο των τεκτονικά υπερκείμενων οφιολιθικών πετρωμάτων, ενώ στον αποσαθρωμένο μανδύα του αναπτύσσεται ασήμαντος φρεάτιος υδροφόρος ορίζοντας που κάποτε ανακούφιζε τις ανάγκες των Ανωγείων (Γιαλύτη – Αλεξόπουλος, 1998).

Ιδιαίτερα όμως για τον ασβεστόλιθο της ενότητας, αναφέρεται ότι εκεί όπου οι λεπτοπλακώδεις ασβεστόλιθοι υπέρκεινται κλαστικών σχηματισμών εκδηλώνονται μικροπηγές, χωρίς ιδιαίτερη σημασία (Γιαλύτη – Αλεξόπουλος, 1998). Μπορεί λοιπόν να θεωρηθεί ότι κατατάσσεται στα πετρώματα μέτριας υδροπερατότητας ($10^{-6} < k < 10^{-5}$ m/s).

Ο συντελεστής κατείσδυσης κυμαίνεται από 25 έως και 35% και η επιφανειακή απορροή φτάνει τα 10 – 20%.

ΦΛΥΣΧΗΣ

Τόσο ο «πρώτος φλύσξης» της ζώνης Πίνδου, όσο και ο φλύσξης της ζώνης Τρίπολης κατατάσσονται στους πρακτικά αδιαπέρατους σχηματισμούς ($k < 10^{-7}$ m/sec).

Σύμφωνα με την βιβλιογραφία (Περλέρους κ.ά., 2004), ο συντελεστής κατείσδυσης του φλύσχη δεν ξεπερνά το 5 – 8% και επιφανειακή απορροή είναι της τάξης του 30 – 35%.

ΦΥΛΛΙΤΕΣ ΥΠΟΚΕΙΜΕΝΟΙ ΤΩΝ ΟΦΙΟΛΙΘΩΝ

Στο σύνολό της η εμφάνιση των Φυλλιτών που απαντά στην λεκάνη κατάκλυσης και που ανήκει στα ανώτερα τεκτονικά καλύμματα μπορεί να χαρακτηριστεί ως αδιαπέρατη ($k < 10^{-7}$ m/sec), με συντελεστή κατείσδυσης ίσο με 5% και επιφανειακή απορροή 35%.

ΑΝΘΡΑΚΙΚΑ ΤΡΙΠΟΛΗΣ

Τα ανθρακικά πετρώματα (ασβεστόλιθοι – δολομίτες) της Τρίπολης είναι έντονα καρστικοποιημένα και μπορούν να φιλοξενήσουν αξιόλογα υδροφόρα συστήματα. Πυκνά δίκτυα διακλάσεων και ρήγματα κατακερματίζουν τις ανθρακικές μάζες και διευκολύνουν την κίνηση του νερού (Περιφέρεια Κρήτης, 2006).

Στους σχηματισμούς αυτούς, οφείλονται οι πηγές επαφής που εμφανίζονται στην περιοχή (π.χ. πηγή Ζωμίνθου).

Χαρακτηρίζονται ως πετρώματα υψηλής υδροπερατότητας ($k > 10^{-4}$ m/sec). Σύμφωνα με την βιβλιογραφία (Περλέρους κ.ά., 2004), ο συντελεστής κατείσδυσής τους κυμαίνεται από 50 έως και 55%, ενώ η επιφανειακή απορροή είναι ελάχιστη(5%).

ΠΛΑΚΩΔΕΙΣ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ

Οι πλακώδεις ασβεστόλιθοι εξαιτίας της έντονης καρστικοποίησης τους και των ασυνεχειών τους παρουσιάζουν ικανοποιητική κατείσδυση και μεγάλη υδροφορία σε μεγάλα βάθη, η οποία όμως είναι, τόσο οικονομικά όσο και τεχνικά ασύμφορη προς εκμετάλλευση (Γεωργιάς κ.ά., 1979).

Η καρστικοποίηση των «μακροπερατών» αυτών σχηματισμών ευνοείται κατά μήκος ρηγμάτων ή πυκνών συστημάτων διακλάσεων. Στη δεύτερη περίπτωση η καρστικοποίηση είναι τόσο έντονη ώστε σε πολλές περιοχές να δημιουργούνται πολυάριθμες μικρές ή μεγάλες δολίνες και καταβόθρες (π.χ. «Γουρνόλακκος» μεταξύ Ανωγείων και Ζωνιανών).

Γνωστή είναι επίσης και η παρουσία πολλών καρστικών σπηλαίων με κυρίαρχο το «Ιδαίον Άντρον» (Γιαλύτη – Αλεξόπουλος, 1998).

Με βάση τα παραπάνω, οι πλακώδεις ασβεστόλιθοι της περιοχής είναι σχηματισμοί που χαρακτηρίζονται ως μεσαίας έως υψηλής υδροπερατότητας ($k > 10^{-6}$ m/sec). Η κυκλοφορία του νερού στα πετρώματα αυτά ελέγχεται από τις παρεμβολές πυριτόλιθων, κερατολίθων και αργιλικών σχιστόλιθων, με αποτέλεσμα να έχουν συντελεστές κατείσδυσης που κυμαίνονται από 35 έως και 45% (Περλέρος κ.ά., 2004). Οι συντελεστές επιφανειακής απορροής κυμαίνονται ανάλογα με τη θέση από 5 – 15%.

6. ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗ ΛΕΚΑΝΗ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Προκειμένου να εκτιμηθεί ο ετήσιος όγκος ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων που δέχεται η λεκάνη απορροής, αναζητήθηκαν μετεωρολογικά στοιχεία για την ευρύτερη περιοχή από την Περιφέρεια Κρήτης (Τμήμα Εγγείων Βελτιώσεων) και το Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (ΙΓΜΕ). Στα στοιχεία αυτά, που παρατίθενται στο παράρτημα, έγινε επεξεργασία με την μέθοδο της «διπλής μάζας», καθορίσθηκε η σχέση υψομέτρου – βροχόπτωσης και σχεδιάσθηκαν ισοϋέτιες καμπύλες σε όλη την έκταση της υδρολογικής λεκάνης.

Στη συνέχεια, με βάση την υδρολιθολογία της λεκάνης απορροής, τους συντελεστές κατείσδυσης και απορροής που αναφέρθηκαν στο Κεφάλαιο 5, εκτιμήθηκε η ετήσια επιφανειακή απορροή, η κατείσδυση και τελικά το υδρολογικό ισοζύγιο της λεκάνης.

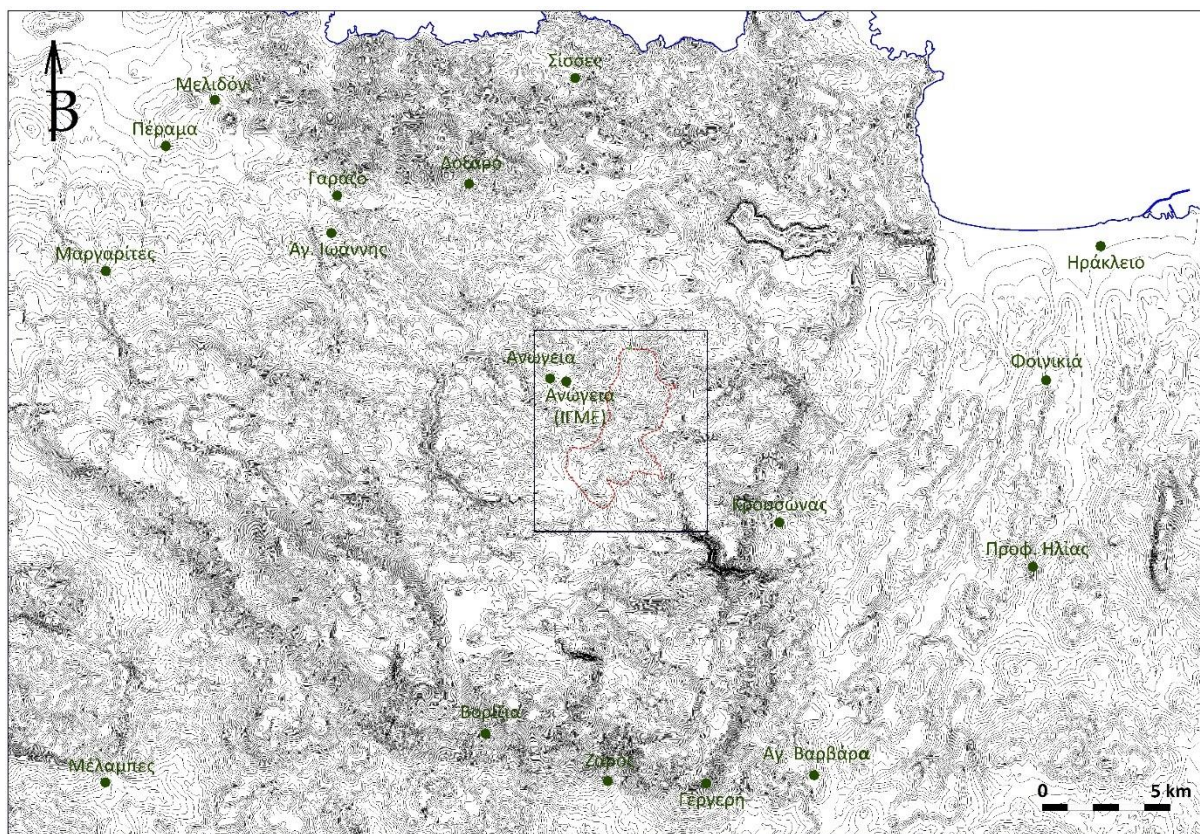
6.1. Βροχομετρικοί σταθμοί και δεδομένα

Στην ευρύτερη περιοχή έρευνας υπάρχουν δεκαοκτώ (18) μετεωρολογικοί / βροχομετρικοί σταθμοί, οι οποίοι παρατίθενται στον **Πίνακα 6.1**. Η κατανομή των σταθμών στην περιοχή έρευνας φαίνεται στο **Σχήμα 6.1**.

Πίνακας 6.1: Μετεωρολογικοί / βροχομετρικοί σταθμοί στην ευρύτερη περιοχή ενδιαφέροντος.

A/A	Μετεωρολογικός / βροχομετρικός σταθμός	Φορέας διαχείρισης	Απόλυτο υψόμετρο (m)	Περίοδος καταγραφών	Μέση ετήσια βροχόπτωση (mm)
1	ΑΓΙΑ ΒΑΡΒΑΡΑ	Περ. Κρήτης	570	1965-2010	929
2	ΑΓΙΟΣ ΙΩΑΝΝΗΣ	ΙΓΜΕ	425	1995-2004, 2005-2009	987
3	ΑΝΩΓΕΙΑ	Περ. Κρήτης	740	1919-1940, 1941-1943, 1950-2001	1.109
4	ΑΝΩΓΕΙΑ (ΙΓΜΕ)	ΙΓΜΕ	870	1991-2004, 2005-2008	1.330

5	ΒΟΡΙΖΙΑ	Περ. Κρήτης	520	1963-2012	1.135
6	ΓΑΡΑΖΟ	Περ. Κρήτης	260	1996-1998, 1999-2005, 2006-2008, 2009-2010	1.281
7	ΓΕΡΓΕΡΗ	Περ. Κρήτης	450	1963-2009	870
8	ΔΟΞΑΡΟ	ΙΓΜΕ	200	1997-2004, 2005-2008	1.065
9	ΖΑΡΟΣ	Περ. Κρήτης	500	1952-1998, 1999-2009	831
10	ΗΡΑΚΛΕΙΟ	Περ. Κρήτης	15	1975-2007, 2010-2011	495
11	ΚΡΟΥΣΩΝΑΣ	Περ. Κρήτης	500	1965-2008	977
12	ΜΑΡΓΑΡΙΤΕΣ (ΚΥΝΗΓΙΑΝΑ)	ΙΓΜΕ	360	2003-2004, 2005-2008	1.066
13	ΜΕΛΑΜΠΕΣ	Περ. Κρήτης	560	1964-2010	790
14	ΜΕΛΙΔΟΝΙ	ΙΓΜΕ	115	1964-2008	703
15	ΠΕΡΑΜΑ	Περ. Κρήτης	75	1991-1994, 1996-2006	699
16	ΠΡΟΦΗΤΗΣ ΗΛΙΑΣ	Περ. Κρήτης	380	1965-2008	792
17	ΣΙΣΣΕΣ	ΙΓΜΕ	360	1991-2004, 2005-2008	932
18	ΦΟΙΝΙΚΙΑ	Περ. Κρήτης	40	1966-2013	746



Σχήμα 6.1: Χωρική κατανομή των μετεωρολογικών / βροχομετρικών σταθμών στην περιοχή ενδιαφέροντος.

Αναλυτικά (ετήσια) δεδομένα των παραπάνω σταθμών παρατίθενται στο **Παράρτημα Α (Πίνακες Α.1, Α.2 και Α3)**. Οι σταθμοί αυτοί βρίσκονται σε διάφορα υψόμετρα (από + 15 m έως και + 870 m) και παρουσιάζουν διαφορές όσον αφορά την περίοδο των μετρήσεων, με σημαντικές πολλές φορές ελλείψεις (π.χ. στον πρώτο σταθμό Ανωγείων -Σταθμός Περιφέρειας Κρήτης-, οι καταγραφές αρχίζουν το 1919 και συνεχίζονται σχεδόν αδιάκοπτα έως και το 2001, ενώ στον δεύτερο σταθμό Ανωγείων -Σταθμός ΙΓΜΕ-, οι καταγραφές αρχίζουν μετά το 1991).

6.2. Επεξεργασία βροχομετρικών δεδομένων

Η επεξεργασία των βροχομετρικών δεδομένων έγινε με την μέθοδο της «διπλής μάζας» (Καλλέργης, 1984) και περιλαμβάνει έλεγχο ομοιογένειας, διόρθωση και συμπλήρωση των μετρήσεων.

Προκειμένου να εφαρμοσθεί η επεξεργασία των μετρήσεων των βροχομετρικών σταθμών με την μέθοδο της «διπλής μάζας», πρέπει να ελεγχθεί η ομογένεια αυτών. Αυτή ελέγχεται με την κατασκευή διαγραμμάτων διπλών αθροιστικών καμπυλών. Αν ο συντελεστής συσχέτισης είναι μικρός και η καμπύλη παρουσιάζει θλάση, δηλαδή η καμπύλη αλλάζει κλίση, τότε θα πρέπει να γίνουν οι απαραίτητες διορθώσεις. Οι διορθώσεις αυτές, προκύπτουν από τις κλίσεις των δύο ευθύγραμμων τμημάτων. Αφού διορθωθούν οι μετρήσεις, καθορίζεται η κοινή περίοδος λειτουργίας όλων των σταθμών. Ελέγχουμε τον βαθμό συσχέτισης των σταθμών για την κοινή περίοδο λειτουργίας και αν αυτός δεν είναι αποδεκτός ($r < 0.8$), τότε περιορίζουμε τα κοινά χρόνια λειτουργίας και προχωράμε στις απαραίτητες συμπληρώσεις. Οι συμπληρώσεις προκύπτουν από την εξίσωση της ευθείας του διαγράμματος της διπλής μάζας για τα χρόνια που δεν υπάρχουν μετρήσεις (Αλεξόπουλος, 2017).

6.2.1. Έλεγχος ομοιογένειας

Από τον Πίνακα 6.1 και το Σχήμα 6.1, απορρίφθηκαν οι σταθμοί που παρουσίαζαν α) μεγάλη απόκλιση μετρήσεων, β) μεγάλες ελλείψεις μετρήσεων, γ) μεγάλες υψομετρικές διαφορές από την λεκάνη απορροής (πεδινόι σταθμοί με υψόμετρα $< +300$ m), και δ) απέχουν αρκετά από την περιοχή ενδιαφέροντος (με συνέπεια να παρουσιάζουν διαφορετική μικροκλιματική συμπεριφορά).

Με βάση τα παραπάνω κριτήρια, απορρίφθηκαν οι σταθμοί Βοριζίων (μεγάλη απόκλιση μετρήσεων), Αγίου Ιωάννη, Ανωγείων (ΙΓΜΕ), Γαράζου, Δοξαρού, Μαργαριτών, Περάματος, Σισσών (μεγάλες ελλείψεις), Ηρακλείου, Μελιδονίου, Φοινικιάς (πεδινόι), και Μελάμπων (αναφέρεται σε περιοχή με διαφορετική μικροκλιματική συμπεριφορά).

Οι εναπομείναντες έξι (6) σταθμοί, στους οποίους έγινε περαιτέρω επεξεργασία, είναι αυτοί της Αγίας Βαρβάρας, των Ανωγείων, της Γέρμερης, του Ζαρού, του Κρουσώνα και του Προφήτη Ηλία.

Προκειμένου η επεξεργασία των μετρήσεων να γίνει σε κοινή περίοδο αναφοράς κατά την οποία υπάρχουν μετρήσεις για τους περισσότερους από τους επιλεγμένους σταθμούς, αυτή ορίστηκε για το χρονικό διάστημα 1972 – 2008 (36 υδρολογικά έτη). Η

περίοδος αυτή (> 20 υδρολογικά έτη) θεωρείται ικανοποιητική για την απόδοση της χωρικής κατανομής των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων στην περιοχή.

6.2.2. Διόρθωση – συμπλήρωση μετρήσεων

Σύμφωνα με την μέθοδο της «διπλής μάζας», οι αθροιστικές μετρήσεις κάθε σταθμού συγκρίνονται με τις μέσες αθροιστικές μετρήσεις των υπολοίπων σταθμών σε διαγράμματα στα οποία διορθώνονται οι όποιες αποκλίσεις από την απλή γραμμική σχέση που διαμορφώνεται.

Στο **Παράρτημα Β, Πίνακες Β.1 και Β.2.**, παρατίθενται οι τιμές αυτές για κάθε έναν από τους επιλεγμένους σταθμούς, ενώ στα **Σχήματα Β.1 έως και Β.6** παρουσιάζονται τα αντίστοιχα διαγράμματα «διπλής μάζας».

Όπως παρατηρείται, σε κανέναν από τους έξι επιλεγμένους σταθμούς δεν χρειάστηκε να γίνει διόρθωση μετρήσεων, καθώς στα διαγράμματα «διπλής μάζας» οι συντελεστές συσχετισμού ήταν πολύ υψηλοί ($R^2 > 0,99$).

Αντίθετα, έπρεπε να γίνουν συμπληρώσεις μετρήσεων σε δύο από τους σταθμούς: Στον σταθμό Ανωγείων, για τα υδρολογικά έτη 2001-02 έως και 2007-08 και στον σταθμό Ζαρού για το υδρολογικό έτος 1998-99. Οι συμπληρώσεις αυτές έγιναν με βάση την εξίσωση των ευθειών που προκύπτουν από τα διαγράμματα της «διπλής μάζας» των δύο σταθμών (Σχήματα Β.1 και Β.4 στο Παράρτημα Β). Γνωρίζοντας την εξίσωση της ευθείας, γίνονται οι συμπληρώσεις για τα έτη που δεν υπάρχουν, λύνοντας την εξίσωση ως προς το ύψος της βροχόπτωσης όπου προκύπτει μία τιμή. Η τιμή αυτή είναι η απαραίτητη συμπλήρωση έτσι ώστε όλοι οι σταθμοί να έχουν κοινή περίοδο καταγραφών.

Μετά και τις συμπληρώσεις, οι τελικές τιμές ύψους βροχής για τους έξι επιλεγμένους σταθμούς, παρουσιάζονται αναλυτικά στο **Παράρτημα Β, στον Πίνακα Β.3.**

6.3. Εκτίμηση όγκου κατακρημνισμάτων που δέχεται η λεκάνη απορροής

6.3.1. Καθορισμός σχέσης βροχόπτωσης – υψομέτρου

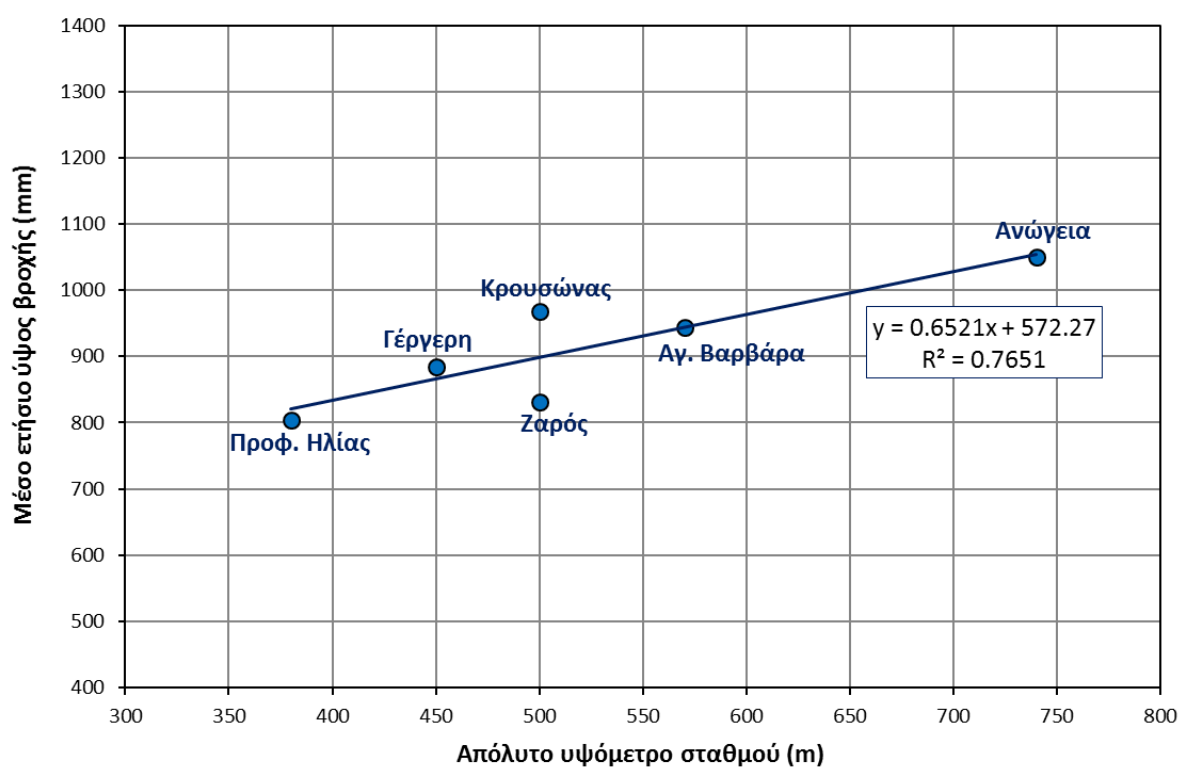
Στον **Πίνακα 6.2** παρατίθενται τα μέσα ετήσια ύψη βροχής των έξι επιλεγμένων μετεωρολογικών / βροχομετρικών σταθμών για την περίοδο αναφοράς των 36 υδρολογικών

ετών (1972 – 2008), όπως αυτά προέκυψαν μετά την επεξεργασία τους με τη μέθοδο της «διπλής μάζας» (βλέπε και Πίνακα Β.3 στο Παράρτημα Β).

Πίνακας 6.2: Διορθωμένα ετήσια ύψη βροχής των 6 επιλεγμένων σταθμών μετά την συμπλήρωση των δεδομένων.

Σταθμός	ΑΝΩΓΕΙΑ	ΑΓ. ΒΑΡΒΑΡΑ	ΓΕΡΓΕΡΗ	ΖΑΡΟΣ	ΚΡΟΥΣΩΝΑΣ	ΠΡΟΦ. ΗΛΙΑΣ
Απόλ. υψόμετρο (m)	740	570	450	500	500	380
Μ.Ο. βροχής (mm)	1.051	944	884	831	967	805

Από τις τιμές του Πίνακα 6.2 κατασκευάστηκε διάγραμμα απόλυτου υψομέτρου – μέσου ετήσιου ύψους βροχής, όπως φαίνεται στο **Σχήμα 6.2**.



Σχήμα 6.2: Διάγραμμα απόλυτου υψομέτρου – μέσου ετήσιου ύψους βροχής των έξι επιλεγμένων μετεωρολογικών / βροχομετρικών σταθμών, μετά την επεξεργασία των μετρήσεών των.

Παρατηρείται ότι η μέση ετήσια βροχόπτωση του σταθμού Ανωγείων, ο οποίος προφανώς και θεωρείται ο πλέον αντιπροσωπευτικός της κλιματικής συμπεριφοράς της

εξεταζόμενης περιοχής, βρίσκεται σχεδόν πάνω στην ευθεία γραμμή συσχέτισης βροχόπτωσης - υψομέτρου.

Με βάση το Σχήμα 6.2, η σχέση βροχόπτωσης και υψομέτρου στην περιοχή ενδιαφέροντος δίνεται από τη σχέση:

$$Y = 0,6521 \cdot h + 572,27 \quad [6.1]$$

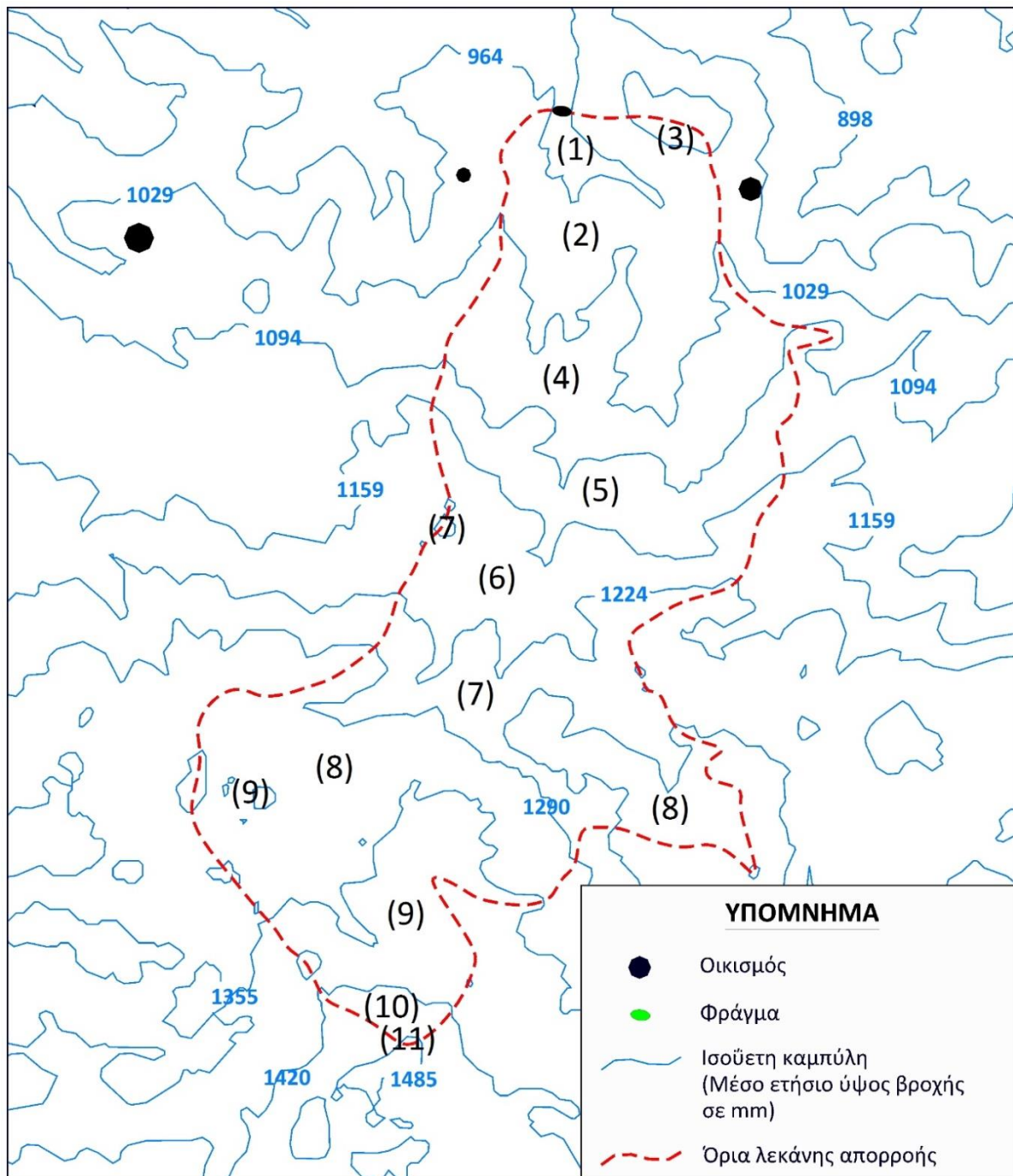
όπου,

Y το ετήσιο ύψος βροχής σε mm, και

h το απόλυτο υψόμετρο σε m.

6.3.2. Χάραξη ισοϋέτιων καμπυλών – Υπολογισμοί όγκου βροχόπτωσης

Ο χάρτης ισοϋέτιων καμπυλών (Σχήμα 6.4) κατασκευάστηκε με μετατροπή των ισοϋψών καμπυλών του τοπογραφικού χάρτη (βλέπε κεφ. 4, Σχήμα 4.2) σε ισοϋέτιες, δηλαδή καμπύλες ίσου μέσου ετήσιου ύψους βροχής, με βάση την σχέση βροχόπτωσης - υψομέτρου (σχέση 5.1).



Σχήμα 6.4: Χάρτης ισοϋέτιων καμπυλών περιοχής ενδιαφέροντος

Οι ισοϋέτιες καμπύλες που παρουσιάζονται στον χάρτη (Σχήμα 5.4) αντιστοιχούν σε απόλυτα υψόμετρα από 500 έως 1.400 m, σύμφωνα με τον **Πίνακα 6.3**.

Πίνακας 6.3: Αντιστοίχιση ισοϋέτιων και ισοϋψών καμπυλών .

Ισοϋψής καμπύλη (Απόλ. υψόμετρο σε m)	Ισοϋέτια καμπύλη (Μέσο ετήσιο ύψος βροχής σε mm)
500	898
600	964
700	1.029
800	1.094
900	1.159
1.000	1.224
1.100	1.290
1.200	1.355
1.300	1.420
1.400	1.485

Με βάση τις ισοϋέτιες καμπύλες η λεκάνη απορροής χωρίστηκε σε επιμέρους ενότητες (βλέπε Σχήμα 6.4) και για κάθε μία ξεχωριστά υπολογίστηκε το εμβαδόν της.

Με τον τρόπο αυτό κατασκευάστηκε ο **Πίνακας 6.4**, στον οποίο υπολογίζεται τελικά ο μέσος ετήσιος όγκος ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων που πέφτει στην λεκάνη απορροής του προτεινόμενου φράγματος, ίσος με **$15,05 \times 10^6 \text{ m}^3$** περίπου.

6.4. Εκτίμηση όγκου επιφανειακής απορροής και κατείσδυσης

Ο όγκος της επιφανειακής απορροής και κατείσδυσης, υπολογίζονται είτε άμεσα (π.χ. μετρήσεις απορροών σε χειμάρρους), είτε έμμεσα. Έμμεσα υπολογίζονται ως εξής:

Ανάλογα με την υδροπερατότητα του κάθε σχηματισμού που εκτείνεται στη λεκάνη απορροής εκτιμώνται συντελεστές επιφανειακής απορροής και κατείσδυσης, ως ποσοστά επί του ύψους της βροχόπτωσης.

Πίνακας 6.4: Υπολογισμός μέσου ετήσιου όγκου ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων στην λεκάνη απορροής του προτεινόμενου φράγματος.

Περιοχή	Ισοϋέτιες καμπύλες (mm)	Μ.Ο. βροχής (mm)	Εμβαδόν (m ²)	Όγκος βροχής (m ³)
(1)	950 – 964	957	145.217	138.900
(2)	964 – 1029	996	1.715.502	1.707.782
(3)	1029 – 1080	1.054	61.947	65.292
(4)	1029 – 1094	1.061	1.762.455	1.869.083
(5)	1094 – 1159	1.126	1.275.820	1.436.574
(6)	1159 – 1224	1.192	1.541.435	1.836.620
(7)	1224 – 1290	1.257	1.550.746	1.948.513
(8)	1290 – 1355	1.322	3.162.911	4.179.787
(9)	1355 – 1420	1.387	1.195.723	1.658.467
(10)	1420 – 1485	1.453	180.985	262.880
(11)	1485 – 1498	1.492	4.321	6.445
ΣΥΝΟΛΟ				15.045.051

Έτσι, για παράδειγμα, ένας συντελεστής επιφανειακής απορροής μπορεί κυμαίνεται από 5 – 10% για καρστικούς σχηματισμούς, μέχρι και 30 – 40% για αδιαπέρατους σχηματισμούς (Δημόπουλος, 2007).

Στη συνέχεια, για κάθε σχηματισμό (i) από τους συνολικά (n) σχηματισμούς που εμφανίζονται επιφανειακά, πολλαπλασιάζεται η επιφάνειά τους (F_i) επί το μέσο ετήσιο βροχομετρικό ύψος (N) και αυτό το γινόμενο επί τον συντελεστή επιφανειακής απορροής ή κατείσδυσης (c_i) αυτού του σχηματισμού. Το άθροισμα όλων των επιμέρους επιφανειακών απορροών ή κατεισχύσεων που υπολογίστηκε για κάθε σχηματισμό, δίνει τη συνολική μέση ετήσια επιφανειακή απορροή ή τη συνολική μέση ετήσια κατείσδυση (W) αντίστοιχα στην εξεταζόμενη λεκάνη (Δημόπουλος, 2007), σύμφωνα με τη σχέση:

$$W = \sum_{i=1}^n F_i \cdot N \cdot c_i \quad [6.2]$$

Ο μέσος ετήσιος όγκος επιφανειακής απορροής και κατείσδυσης στην υδρολογική λεκάνη του φράγματος προσδιορίστηκε έμμεσα, με βάση εκτιμώμενους συντελεστές απορροής και κατείσδυσης, δεδομένου ότι δεν υπήρχαν άλλα διαθέσιμα δεδομένα (π.χ.

μετρήσεις παροχών). Για το λόγο αυτό, χρησιμοποιήθηκαν οι βιβλιογραφικές τιμές (μέσοι όροι) των συντελεστών που παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο 5, παράγραφος 5.3.

Με βάση τον γεωλογικό χάρτη της περιοχής ενδιαφέροντος (Σχήμα 5.1) για κάθε υδρολιθολογική ενότητα που εμφανίζεται επιφανειακά υπολογίστηκε το εμβαδόν της και αυτό πολλαπλασιάστηκε με τον όγκο των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων και στη συνέχεια με τον κατάλληλο συντελεστή (απορροής ή κατείσδυσης).

Στον **Πίνακα 6.5** παρουσιάζονται όλες οι τιμές που χρησιμοποιήθηκαν, προκειμένου να εκτιμηθούν τόσο η επιφανειακή απορροή, όσο και η κατείσδυση, σε ετήσια βάση.

Πίνακας 6.5: Εκτίμηση μέσου ετήσιου όγκου επιφανειακής απορροής και κατείσδυσης στην λεκάνη απορροής του προτεινόμενου φράγματος.

Υδρολιθολογική ενότητα	Συνολικό εμβαδόν (m ²)	Επιφανειακή απορροή		Κατείσδυση	
		Συντελεστής (Μ.Ο.)	Όγκος (m ³)	Συντελεστής (Μ.Ο.)	Όγκος (m ³)
Αλούβια	190.664	0,25	56.373	0,20	45.099
Οφιόλιθοι	273.364	0,33	106.689	0,08	25.864
Ασβ. Πίνδου	1.054.085	0,15	186.995	0,30	373.991
Φλύσχης	1.332.804	0,35	551.694	0,07	110.339
Ανθρ. Τρίπολης	5.244.128	0,05	310.104	0,53	3.287.101
Φυλλίτες	227.769	0,35	94.282	0,05	13.469
Πλακ. ασβεστόλιθοι	4.398.435	0,10	520.190	0,40	2.080.760
ΣΥΝΟΛΟ	12.721.249	0,12	1.826.327	0,39	5.936.622

Πίνακας 6.6: Εκτίμηση ετήσιου όγκου επιφανειακής απορροής στην λεκάνη απορροής του προτεινόμενου φράγματος για τον ελάχιστο και μέγιστο συντελεστή απορροής .

Υδρολιθολογική ενότητα	Συνολικό εμβαδόν(μ ²)	Συντελεστής απορροής		Επιφανειακή απορροή	
		min	max	min	max
Αλούβια	190.664	0,2	0,3	38.133	57.199
Οφιόλιθοι	273.364	0,3	0,35	82.009	95.677
Ασβ. Πίνδου	1.054.085	0,1	0,2	105.409	210.817
Φλύσχης	1.332.804	0,3	0,35	399.841	466.481
Ανθρ. Τρίπολης	5.244.128	0,05		262.206	
Φυλλίτες	227.769	0,35		79.719	
Πλακ. Ασβεστόλιθοι	4.398.435	0,05	0,15	219.922	659.765
ΣΥΝΟΛΟ	12.721.249			1.187.239	1.831.866

Από τον Πίνακα 6.5, προκύπτει ότι ο μέσος ετήσιος όγκος επιφανειακής απορροής της εξεταζόμενης λεκάνης ανέρχεται σε **$1,83 \times 10^6 \text{ m}^3$** περίπου (12% της βροχόπτωσης), ενώ ο μέσος ετήσιος όγκος κατείσδυσης είναι σημαντικά μεγαλύτερος φτάνοντας τα **$5,94 \times 10^6 \text{ m}^3$** περίπου (39% της βροχόπτωσης), κάτι αναμενόμενο, αφού το μεγαλύτερο μέρος της υδρολογικής λεκάνης καλύπτεται από μεγάλης διαπερατότητας σχηματισμούς (ανθρακικά Τρίπολης και πλακώδεις ασβεστόλιθοι).

6.5. Υδρολογικό ισοζύγιο λεκάνης απορροής

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):

$$P = ET + I + R \quad [6.3]$$

όπου,

P ο όγκος των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων,

ET ο όγκος της εξατμισοδιαπνοής,

I ο όγκος της κατείσδυσης, και

R ο όγκος της επιφανειακής απορροής.

Ο όγκος ΕΤ αντιστοιχεί στην «πραγματική εξατμισοδιαπνοή», της οποίας η απευθείας εκτίμηση είναι αρκετά πολύπλοκη, αφού εξαρτάται, πέραν των άλλων, από τις καλλιέργειες που υπάρχουν στην περιοχή που εξετάζεται. Αντ' αυτής συνήθως υπολογίζεται η «δυνητική εξατμισοδιαπνοή» με τη χρήση διαφόρων τύπων (Thorntwaite, Turc, Penman, κλπ), και ανάλογα με τα διαθέσιμα στοιχεία καλλιεργειών αυτή διορθώνεται στην πραγματική (Δημόπουλος, 2007).

Επίσης, χρησιμοποιείται ο τύπος του Turc. Ωστόσο, λόγω έλλειψης στοιχείων θερμοκρασίας της περιοχής δεν κατέστη δυνατή η χρήση του.

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.

Τα μόνα διαθέσιμα στοιχεία για την περιοχή ενδιαφέροντος αφορούν τιμές «δυνητικής εξατμισοδιαπνοής» για το διάστημα 1977 – 1997 που προέκυψαν από μετρήσεις στον μετεωρολογικό σταθμό Ανωγείων, στις οποίες έγινε επεξεργασία σύμφωνα με τον τροποποιημένο τύπο του Penman (Στιβακτάκης, Κριτσωτάκης, 2014). Οι τιμές αυτές δίνονται αναλυτικά στο **Παράρτημα Γ, Πίνακας Γ.1**.

Σύμφωνα με τα στοιχεία αυτά, η μέση ετήσια δυνητική εξατμισοδιαπνοή στην περιοχή ενδιαφέροντος, για την περίοδο 1977 – 1997, φτάνει τα 1.341 mm. Η τιμή αυτή αφορά καλλιέργεια αναφοράς (χορτοτάπητας ομοιόμορφου ύψους 8 – 15 cm), η οποία αναπτύσσεται δυναμικά, απαλλαγμένη από ασθένειες, υπό συνθήκες πλήρους επάρκειας νερού. Η κάλυψη του εδάφους από την καλλιέργεια αναφοράς θεωρείται πλήρης (Στιβακτάκης, Κριτσωτάκης, 2014).

Στην ίδια μελέτη αναφέρεται ότι για τον υπολογισμό της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής είναι απαραίτητο να ληφθούν υπόψη ο φυτικός συντελεστής του αρδευόμενου είδους, το ποσοστό φυτοκάλυψης του εδάφους κ.ά. (Στιβακτάκης, Κριτσωτάκης, 2014).

Τα δεδομένα αυτά δεν ήταν διαθέσιμα και ως εκ τούτου προτιμήθηκε η έμμεση εκτίμηση της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής, σύμφωνα με τη σχέση 5.3:

$$ET = P - I - R \quad [6.4]$$

Με βάση λοιπόν τη σχέση 6.4 και τους Πίνακες 6.4 και 6.5, ο μέσος ετήσιος όγκος πραγματικής εξατμισοδιαπνοής στην εξεταζόμενη λεκάνη εκτιμάται στο 49% των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων, ήτοι **$7,28 \times 10^6 \text{ m}^3$** περίπου.

Επομένως, καταλήγουμε ότι η σχέση του υδρολογικού ισοζυγίου της λεκάνης απορροής, δίνει τα εξής αποτελέσματα με βάση τα προηγούμενα:

- $P = 15,05 \times 10^6 \text{ m}^3$
- $ET = 7,28 \times 10^6 \text{ m}^3$ ή 49%
- $I = 5,94 \times 10^6 \text{ m}^3$ ή 39%
- $R = 1,83 \times 10^6 \text{ m}^3$ ή 12%

7. ΜΕΛΕΤΗ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΩΝ ΠΑΡΟΧΩΝ

Στο κεφάλαιο αυτό μελετήθηκαν τόσο το μέγεθος ενός ενδεχόμενου πλημμυρικού γεγονότος, όσο και η πιθανότητα εμφάνισης πλημμυρικής παροχής ορισμένης τιμής (κεφάλαιο 6), με στόχο τον βέλτιστο σχεδιασμό του φράγματος στην εξεταζόμενη θέση.

7.1. Περίοδοι επαναφοράς μέσης ετήσιας επιφανειακής απορροής

Πιθανότητα υπέρβασης (Π) είναι η πιθανότητα να ξεπερασθεί η τιμή ενός υδρολογικού συμβάντος (π.χ. ύψος βροχής, παροχή ποταμού) που βρίσκεται στη θέση (u) σε σειρά πλήθους (n) κατά τη φθίνουσα κατάταξη. Τότε, η πιθανότητα υπέρβασης δίνεται από τη σχέση (Βουδούρης, 2014):

$$\Pi = u / n \quad [7.4]$$

Αντίστοιχα, πιθανότητα μη υπέρβασης (Π') είναι η πιθανότητα η υδρολογική μεταβλητή να πάρει τιμή μικρότερη από την τιμή ενός υδρολογικού συμβάντος. Επομένως, για το ίδιο υδρολογικό συμβάν, ισχύει:

$$\Pi + \Pi' = 1 \quad [7.5]$$

Η περίοδος επαναφοράς T συνδέεται με την πιθανότητα υπέρβασης Π με τη σχέση (Βουδούρης, 2014):

$$T = 1 / \Pi \quad [7.6]$$

Με βάση τα παραπάνω κατασκευάστηκε ο **Πίνακας 7.1.Α** και ο **Πίνακας 7.1.Β**. Στους πίνακες αυτούς υπολογίζονται οι πιθανότητες υπέρβασης (Π) και μη υπέρβασης (Π'), όπως και η περίοδος επαναφοράς (T) των ετήσιων όγκων επιφανειακής απορροής (R) της υδρολογικής λεκάνης που εξετάζεται, με βάση τιμές της 36ετίας 1972 – 2008.

Πίνακας 7.1 Α: Πιθανότητα υπέρβασης των ετήσιων όγκων επιφανειακής απορροής της υδρολογικής λεκάνης, με βάση τις τιμές της περιόδου 1972 – 2008.

A/A	Επιφανειακή απορροή/έτος R (m ³)	Π (Πιθανότητα υπέρβασης)	T (περίοδος επαναφοράς)	Π' (πιθανότητα μη υπέρβασης)
1	2.363.081	0,0278	36,00	0,9722
2	1.979.200	0,0556	18,00	0,9444
3	1.780.688	0,0833	12,00	0,9167
4	1.705.303	0,1111	9,00	0,8889
5	1.703.630	0,1389	7,20	0,8611
6	1.689.166	0,1667	6,00	0,8333
7	1.639.673	0,1944	5,14	0,8056
8	1.623.639	0,2222	4,50	0,7778
9	1.591.441	0,2500	4,00	0,7500
10	1.542.635	0,2778	3,60	0,7222
11	1.523.315	0,3056	3,27	0,6944
12	1.486.510	0,3333	3,00	0,6667
13	1.477.039	0,3611	2,77	0,6389
14	1.462.137	0,3889	2,57	0,6111
15	1.436.142	0,4167	2,40	0,5833
16	1.414.600	0,4444	2,25	0,5556
17	1.402.092	0,4722	2,12	0,5278
18	1.394.720	0,5000	2,00	0,5000

Πίνακας 7.1 Β: Πιθανότητα υπέρβασης των ετήσιων όγκων επιφανειακής απορροής της υδρολογικής λεκάνης, με βάση τις τιμές της περιόδου 1972 – 2008.

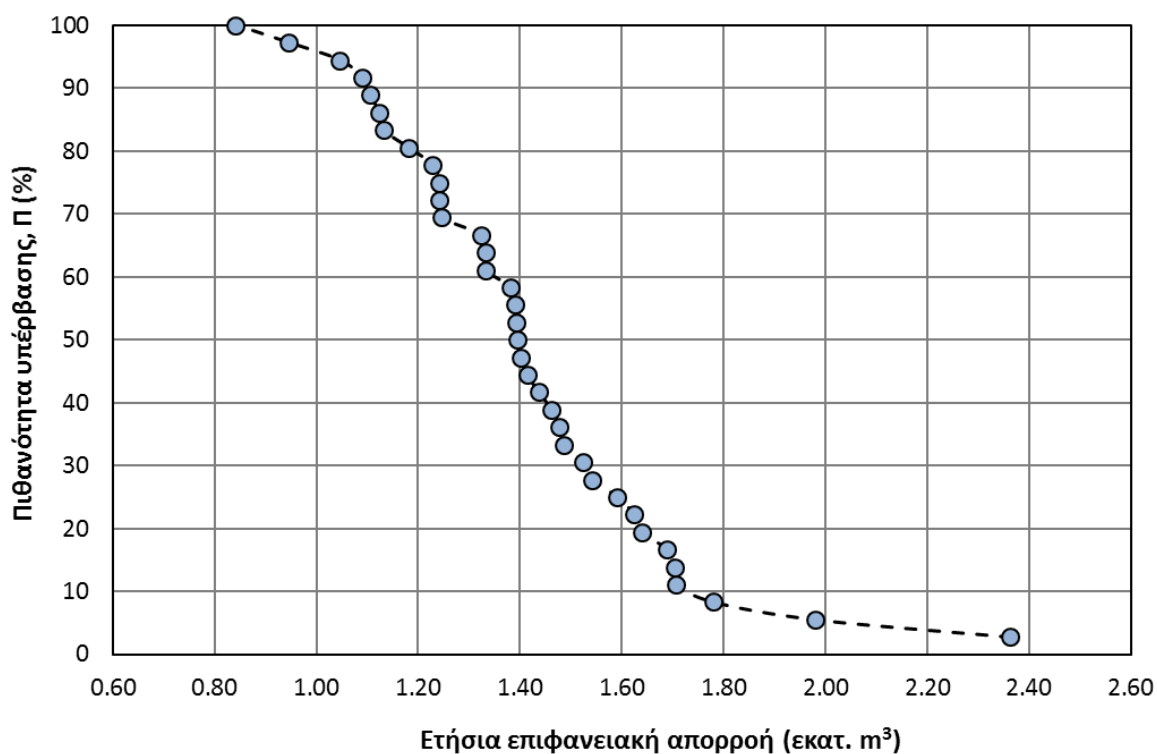
A/A	Επιφανειακή απορροή/έτος R (m ³)	Π (Πιθανότητα υπέρβασης)	T (περίοδος επαναφοράς σε έτη)	Π' (πιθανότητα μη υπέρβασης)
19	1.392.852	0,5278	1,89	0,4722
20	1.391.437	0,5556	1,80	0,4444
21	1.380.653	0,5833	1,71	0,4167
22	1.332.424	0,6111	1,64	0,3889
23	1.331.752	0,6389	1,57	0,3611
24	1.323.221	0,6667	1,50	0,3333
25	1.244.783	0,6944	1,44	0,3056
26	1.241.455	0,7222	1,38	0,2778
27	1.241.439	0,7500	1,33	0,2500
28	1.228.494	0,7778	1,29	0,2222
29	1.180.320	0,8056	1,24	0,1944
30	1.132.056	0,8333	1,20	0,1667
31	1.123.357	0,8611	1,16	0,1389
32	1.104.440	0,8889	1,13	0,1111
33	1.088.997	0,9167	1,09	0,0833
34	1.045.527	0,9444	1,06	0,0556
35	945.692	0,9722	1,03	0,0278
36	841.327	1,0000	1,00	0,0000

Οι τιμές επιφανειακής απορροής R (παρουσιάζονται κατά φθίνουσα σειρά) υπολογίσθηκαν από το μέσο όρο των ετήσιων υψών των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων των έξι βροχομετρικών σταθμών που μελετήθηκαν στην περιοχή, στα 36 υδρολογικά έτη (1972 – 2008) (βλέπε Πίνακα Β.3, Παράρτημα Β), πολλαπλασιασμένα επί τον μέσο συντελεστή επιφανειακής απορροής (= 0,12, βλέπε Πίνακα 5.5, κεφάλαιο 5), και την έκταση της λεκάνης (= 12,7 km²).

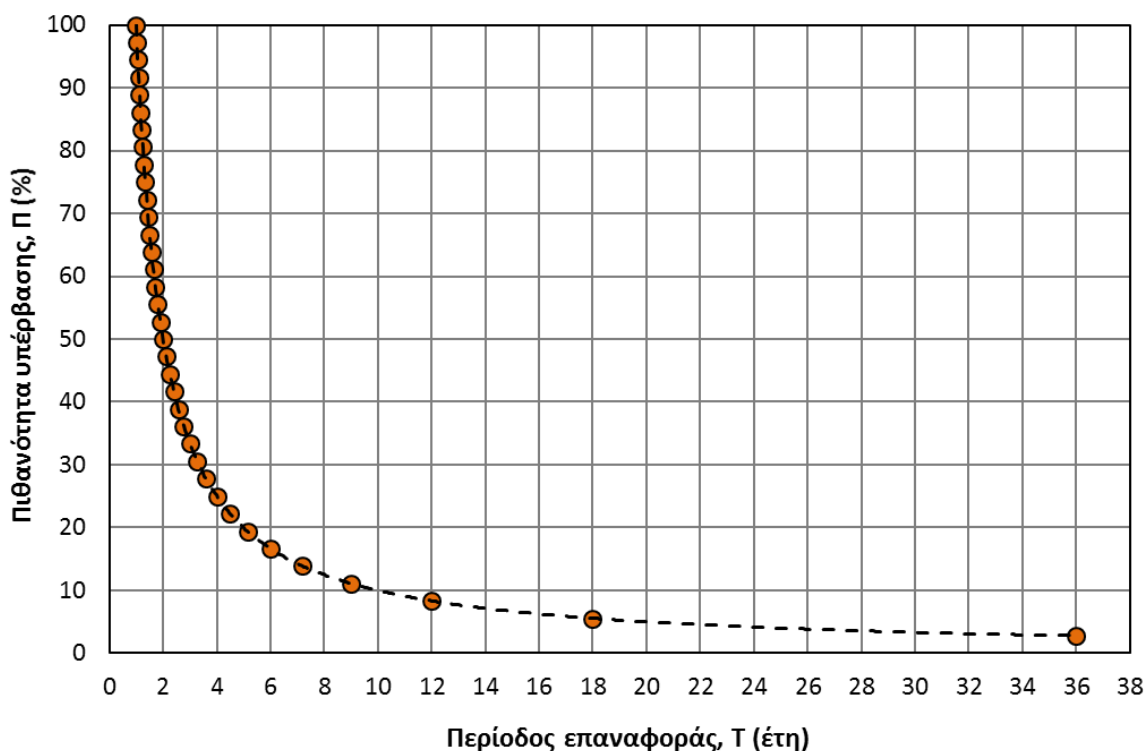
Παρατηρείται ότι η πιθανότητα υπέρβασης ετήσιου όγκου επιφανειακής απορροής ίσου με $1,39 \times 10^6 \text{ m}^3$, είναι 50% (Π = Π' = 0,5) με περίοδο επαναφοράς (T) τα 2 έτη. Επίσης, τιμές μεγαλύτερες από τον μέσο ετήσιο όγκο επιφανειακής απορροής όπως αυτός

υπολογίσθηκε στο κεφάλαιο 5, παράγραφος 5.3 ($1,83 \times 10^6 \text{ m}^3$) έχουν πιθανότητα υπέρβασης μικρότερη από 8% ($P < 0,08$) με περίοδο επαναφοράς μεγαλύτερη από τα 12 έτη.

Τα αποτελέσματα του Πίνακα 7.1.A. και 7.1.B. παρουσιάζονται γραφικά στο **Σχήμα 7.1.** (διάγραμμα ετήσιας επιφανειακής απορροής σε σχέση με την πιθανότητα υπέρβασης) και στο **Σχήμα 7.2.** (διάγραμμα περιόδου επαναφοράς σε σχέση με την πιθανότητα υπέρβασης).



Σχήμα 7.1: Διάγραμμα ετήσιας επιφανειακής απορροής – πιθανότητας υπέρβασης, με βάση τις τιμές της περιόδου 1972 – 2008.



Σχήμα 7.2: Διάγραμμα περιόδου επαναφοράς – πιθανότητας υπέρβασης, με βάση τις τιμές της περιόδου 1972 – 2008.

7.2. Εκτίμηση πλημμυρικών παροχών

Τα κύρια στοιχεία που ενδιαφέρουν κατά την εμφάνιση μιας πλημμύρας είναι η πλημμυρική παροχή (Q) και η περίοδος επαναφοράς (T) (Βουδούρης, 2014):

- 1) Πλημμυρική παροχή (Q). Είναι το μέγεθος της πλημμύρας και σχετίζεται με την ποσότητα και την ένταση της βροχόπτωσης.
- 2) Περίοδος επαναφοράς (T). Είναι το χρονικό διάστημα σε έτη, στη διάρκεια του οποίου εμφανίζεται η πλημμύρα μία μόνο φορά με ένταση ίση ή μεγαλύτερη μιας δοθείσας τιμής. Θεωρητικά, μια πλημμύρα 50 χρόνων θα συμβεί συνολικά μια φορά κάθε 50 χρόνια, χωρίς αυτό να αποκλείει και την εμφάνιση δύο πλημμυρών με περίοδο επανάληψης 50 χρόνια στο ίδιο χρονικό διάστημα.

Οι διάφορες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των πλημμυρικών παροχών λαμβάνουν υπόψη τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής, το ύψος και την ένταση της βροχόπτωσης, την περίοδο επαναφοράς, τον συντελεστή απορροής κ.λπ.

Η πλέον αξιόπιστη και εύχρηστη είναι η ορθολογιστική μέθοδος (ή ορθολογική) (rational method), που εφαρμόζεται για λεκάνες με έκταση μικρότερη από 15 km², όπως και η εξεταζόμενη. Η μέθοδος αυτή λαμβάνει υπόψη στοιχεία που σχετίζονται τόσο με την υπό μελέτη περιοχή (γεωμετρία, γεωλογία, μορφολογία), όσο και με τα υδρολογικά της χαρακτηριστικά (ένταση βροχής, περίοδος επανάληψης κ.λπ.) (Βουδούρης, 2014).

Ο υπολογισμός της πλημμυρικής παροχής Q (m³/s) (αιχμή της πλημμύρας) μιας λεκάνης με εμβαδόν E (km²), γίνεται με βάση τη σχέση:

$$Q = 0,278 \cdot E \cdot P_i \cdot R_\alpha \quad [7.1]$$

όπου,

E το εμβαδόν της λεκάνης απορροής (= 12,72 km²),

R_α ο μέσος συντελεστής επιφανειακής απορροής της λεκάνης (= 0,12, βλέπε Πίνακα 5.5, κεφάλαιο 5), και

P_i η κρίσιμη ένταση της βροχόπτωσης (mm/h) για περίοδο επαναφοράς T , η οποία δίνεται από τη σχέση:

$$P_i = (30 \cdot \log T + 15) \cdot t_\sigma^{-0,6} \quad [7.2]$$

όπου,

t_σ ο χρόνος συγκέντρωσης (σε h), ο οποίος υπολογίζεται από την εμπειρική σχέση του Giandotti:

$$t_\sigma = \frac{4 \cdot \sqrt{E} + 1,5 \cdot L}{0,8 \cdot \sqrt{H - H_0}} \quad [7.3]$$

όπου,

L το μήκος του κύριου υδατορέματος της λεκάνης απορροής, χωρίς τα παρακλάδια του (= 5,2 km),

H το μέσο υψόμετρο της λεκάνης, όπως αυτό υπολογίσθηκε με τη σχέση 3.1, κεφάλαιο 3 (= 920 m), και

H_0 το υψόμετρο στην έξοδο της λεκάνης (m), δηλαδή το ελάχιστο απόλυτο υψόμετρο της λεκάνης απορροής, στη θέση έδρασης του φράγματος (= 550 m).

Με βάση τις σχέσεις 6.1, 6.2 και 6.3, προκύπτει ο **Πίνακας 7.2**.

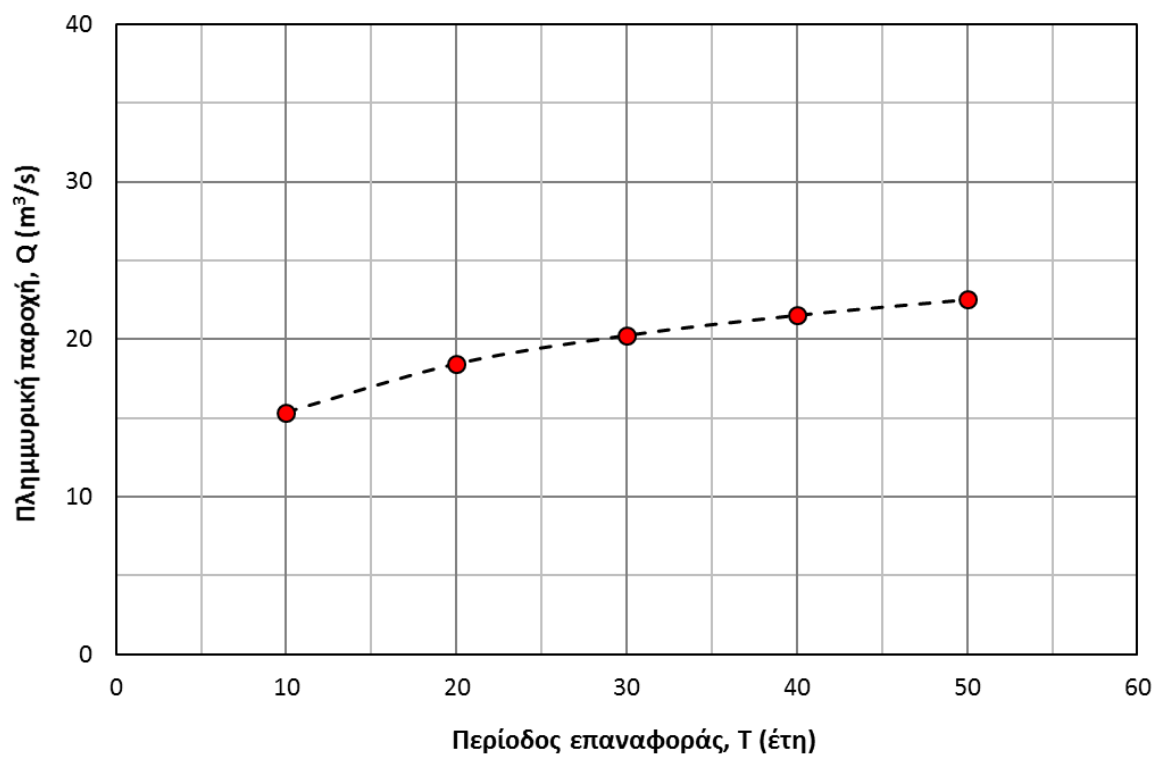
Πίνακας 7.2: Εκτίμηση πλημμυρικών παροχών για διάφορες περιόδους επαναφοράς.

Περίοδος επαναφοράς T (έτη)	Κρίσιμη ένταση βροχόπτωσης P_i (mm/h)	Πλημμυρική παροχή Q (m^3/s)
10	36,25	15,38
20	43,52	18,47
30	47,78	20,27
40	50,80	21,56
50	53,14	22,55

Θεωρώντας ότι πρόκειται για φράγμα χαμηλής επικινδυνότητας η περίοδος επαναφοράς (έτη) βάσει της οποίας έγινε η διερεύνηση θεωρήθηκαν τα 50 έτη (Λουκάς, 2017).

Ο Πίνακας 7.2 δείχνει το μέγεθος που θα μπορούσε να έχει ένα ενδεχόμενο πλημμυρικό γεγονός στο μέλλον και ως εκ τούτου θα πρέπει να ληφθεί σοβαρά υπόψη κατά τον σχεδιασμό του προτεινόμενου φράγματος.

Τα αποτελέσματα του Πίνακα 7.1 παρουσιάζονται γραφικά στο **Σχήμα 7.3**.



Σχήμα 7.3: Διάγραμμα περιόδου επαναφοράς – πλημμυρικής παροχής, με βάση την ορθολογιστική μέθοδο.

Τα αποτελέσματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον σχεδιασμό των έργων του υπερχειλιστή.

8. ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ

Οι μέσοι ετήσιοι όγκοι επιφανειακής απορροής στην υδρολογική λεκάνη Βαρσαμά και η μορφολογική ανάπτυξη της σχεδιαζόμενης λεκάνης κατάκλυσης, η οποία προφανώς επηρεάζεται από τις υδρολιθολογικές ενότητες που επικρατούν στην περιοχή, καθορίζουν το ύψος του φράγματος στην προτεινόμενη θέση. Για το σκοπό αυτό κατασκευάζεται διάγραμμα ύψους φράγματος – χωρητικότητας του ταμιευτήρα (Δημόπουλος, 2007).

Η κατασκευή αυτού του διαγράμματος απαιτεί την καταρχήν οριοθέτηση της λεκάνης κατάκλυσης σε τοπογραφικό χάρτη κλίμακας τουλάχιστον 1:5.000. Για τον σχεδιασμό αυτού του διαγράμματος, χρησιμοποιήθηκαν τα τοπογραφικά διαγράμματα 9516/8, 9517/7, 9526/2 και 9527/1 της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού (ΓΥΣ, 1972α, 1972β, 1972γ και 1972δ).

Η λεκάνη κατάκλυσης ξεκινά από το υψόμετρο θεμελίωσης της βάσης του προτεινόμενου φράγματος ($H_0 = 550$ m). Η επιφάνεια E_0 του ταμιευτήρα στη θέση αυτή θα είναι $E_0 = 0$. Στη συνέχεια η λεκάνη οριοθετείται στην αμέσως επόμενη ισοϋψή καμπύλη ($H_1 = 555$ m) και εμβαδομετράται η αντίστοιχη επιφάνεια E_1 που καλύπτει η ισοϋψής αυτή. Ο όγκος του νερού που θα περιέχεται στον ταμιευτήρα ανάμεσα στις δύο αυτές ισοϋψείς θα είναι (Δημόπουλος, 2007):

$$V_1 = \frac{E_0 + E_1}{2} \cdot (H_1 - H_0) \quad [8.1]$$

Προχωρώντας με τον ίδιο τρόπο στις αμέσως επόμενες ισοϋψείς $H_2 = 560$ m, $H_3 = 565$ m, $H_4 = 570$ m, $H_5 = 575$ m και $H_6 = 580$ m, προέκυψαν οι σχέσεις:

$$V_2 = \frac{E_1 + E_2}{2} \cdot (H_2 - H_1) \quad [8.2]$$

$$V_3 = \frac{E_2 + E_3}{2} \cdot (H_3 - H_2) \quad [8.3]$$

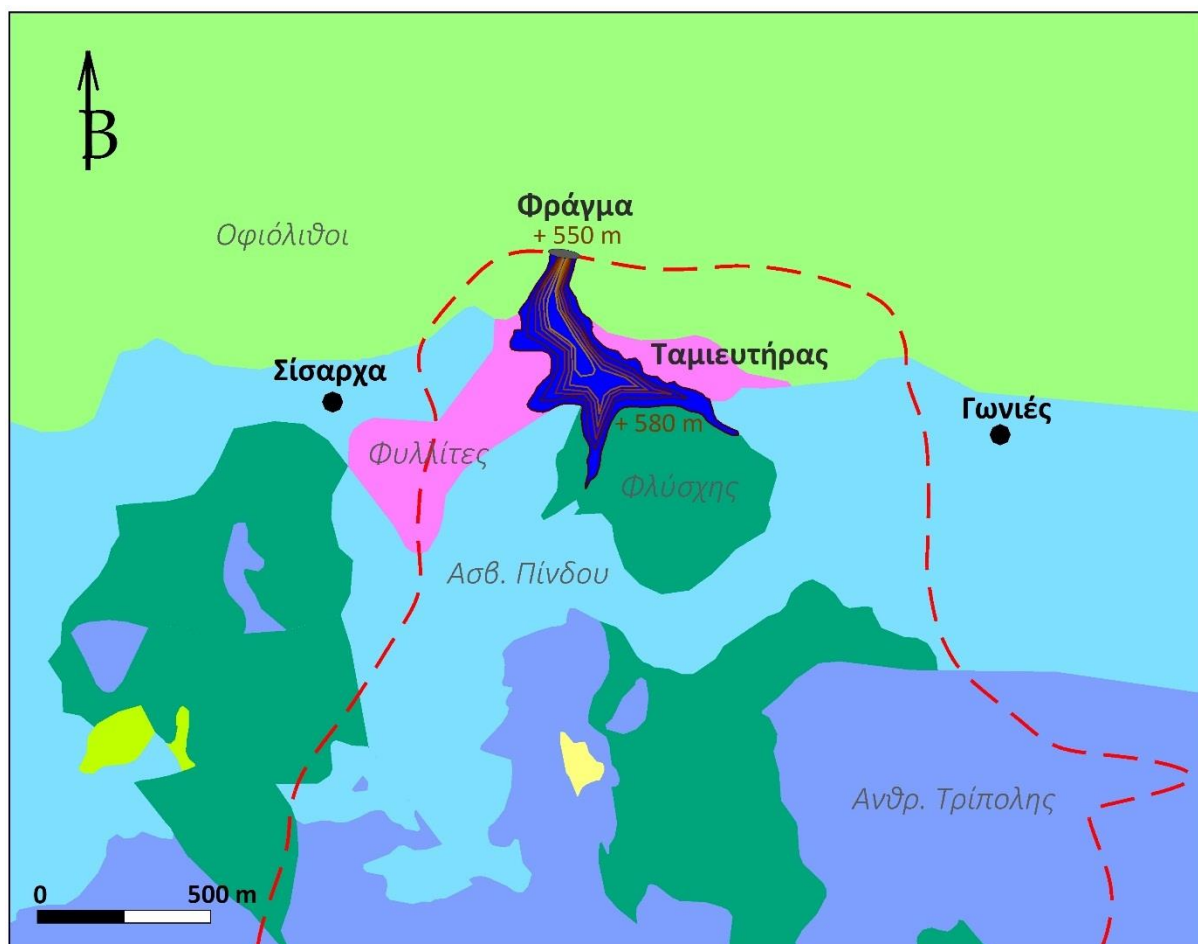
$$V_4 = \frac{E_3 + E_4}{2} \cdot (H_4 - H_3) \quad [8.4]$$

$$V_5 = \frac{E_4 + E_5}{2} \cdot (H_5 - H_4) \quad [8.5]$$

$$V_6 = \frac{E_5 + E_6}{2} \cdot (H_6 - H_5) \quad [8.6]$$

Και κατασκευάσθηκε το διάγραμμα ύψους φράγματος – χωρητικότητας του ταμιευτήρα.

Όπως φαίνεται και στο **Σχήμα 8.1**, κρίθηκε σκόπιμο το μέγιστο ύψος του φράγματος να μην υπερβαίνει το απόλυτο υψόμετρο των 580 m (H₆), καθώς σε αυτή την περίπτωση η λεκάνη κατάκλυσης εκτείνεται και πέρα από τους πρακτικά αδιαπέρατους σχηματισμούς των οφιόλιθων, των φυλλιτών και του φλύσχη.



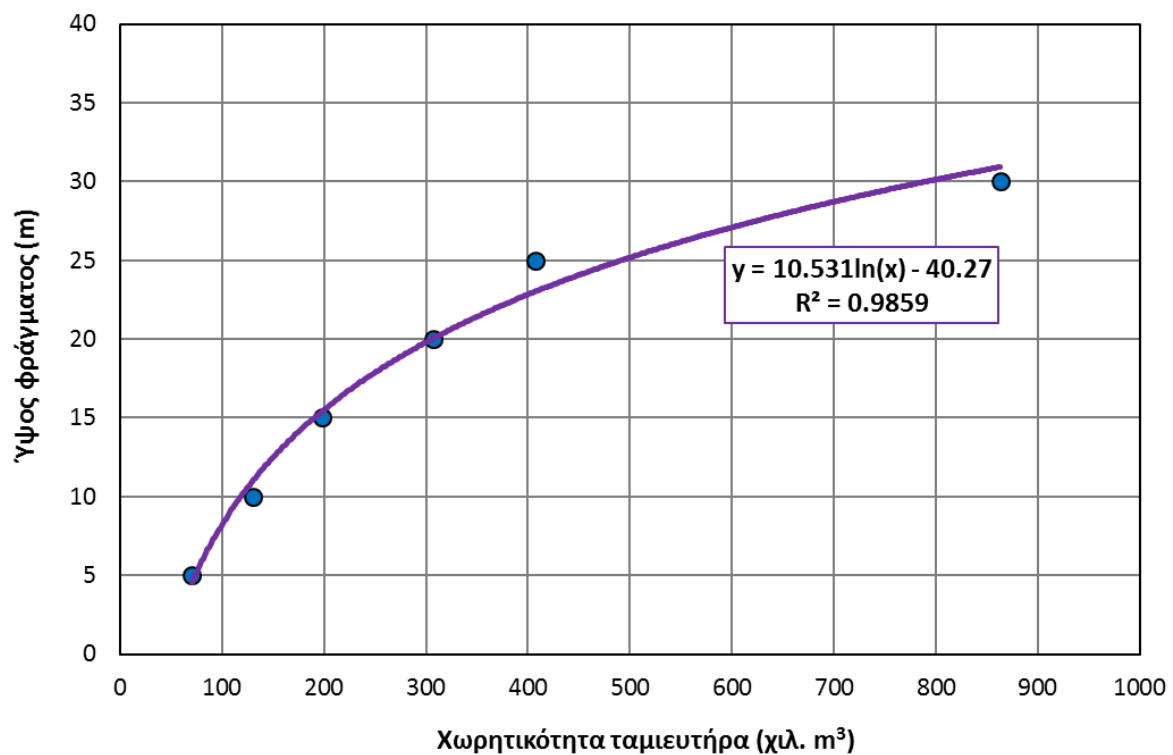
Σχήμα 8.1: Χάραξη ορίων λεκάνης κατάκλυσης (ταμιευτήρας).

Τελικά, από τις σχέσεις 8.1 έως και 8.6 προέκυψε ο **Πίνακας 8.1** και το **Σχήμα 8.2**, το οποίο δείχνει την εν δυνάμει χωρητικότητα της λεκάνης κατάκλυσης για διάφορα ύψη του φράγματος.

Για τη μέγιστη δυνατή έκταση του ταμιευτήρα στην ισοϋψή των 580 m (η οποία ορίσθηκε από τον υδρογεωλογικό περιορισμό που προαναφέρθηκε), το ύψος φράγματος ανέρχεται σε 30 m (από την βάση θεμελίωσης των +555 m), η λεκάνη κατάκλυσης εκτείνεται σε περίπου 91 στρέμματα και η χωρητικότητά της φτάνει τα 863.000 m³.

Πίνακας 8.1: Χωρητικότητα λεκάνης κατάκλυσης σε σχέση με το ύψος του φράγματος.

A/A	Ισοϋψής, H _i (m)	Εμβαδόν, E _i (m ²)	Όγκος, V _i (m ³)	Ύψος φράγματος, H _i -H ₀ (m)	Χωρητικότητα ταμιευτήρα, Σ(V _{i-1} +V _i) (m ³)
1	555	14.115	70.573	5	70.573
2	560	11.868	59.338	10	129.911
3	565	13.759	68.794	15	198.705
4	570	21.725	108.627	20	307.333
5	575	19.966	99.832	25	407.165
6	580	91.180	455.902	30	863.067



Σχήμα 8.2: Χωρητικότητα λεκάνης κατάκλυσης σε σχέση με το ύψος φράγματος.

Σε περίπτωση όμως που αντιμετωπισθούν επιτυχώς τυχόν θέματα στεγανότητας στους ασβεστόλιθους Πίνδου (βλέπε Σχήμα 8.1), η χωρητικότητα του ταμιευτήρα θα μπορούσε να αυξηθεί σημαντικά. Ας σημειωθεί ότι, σύμφωνα με το Σχήμα 8.2, η αύξηση

του ύψους του φράγματος κατά μόλις 3 m (σύνολο 33 m) θα δώσει χωρητικότητα μεγαλύτερη από 1 εκατ. m³.

Ο λόγος του όγκου V_{Φ} του σώματος του φράγματος προς τον όγκο V_T του ταμιευτήρα ($V_{\Phi}/V_T = \omega$) είναι χαρακτηριστικός για το σχεδιαζόμενο έργο και αποτελεί καθοριστική παράμετρο στον έλεγχο της καταλληλότητας της θεμελίωσης εφόσον βέβαια ικανοποιούνται και οι άλλες παράμετροι, όπως η στεγανότητα της θέσης και του ταμιευτήρα κ.ά. (Σούλιος, 1986 και Δημόπουλος, 2007).

Έτσι για τιμές του λόγου ω από 0,02 – 0,05 αντιστοιχούν θέσεις πολύ καλές έως ιδανικές, για τιμές 0,10 – 0,20 αντιστοιχούν θέσεις καλές έως οριακά αποδεκτές, και για τιμές 0,20 – 0,25 αντιστοιχούν θέσεις άσχημες έως αποδεκτές (Σούλιος, 1986 και Δημόπουλος, 2007).

Στην περίπτωση της εξεταζόμενης θέσης, η έκταση έδρασης του φράγματος, για ύψος 30 m, εκτιμάται στα 1.800 m² (Σχήμα 9.1). Αυτό σημαίνει όγκο φράγματος (V_{Φ}) περί τα 36.000 m³ και $\omega = 0,04$. Η τιμή αυτή αντιστοιχεί σε θέση «πολύ καλή έως ιδανική» για την κατασκευή φράγματος.

Το τελικό ύψος του φράγματος εκτιμήθηκε με βάση την εξίσωση (Δημόπουλος, 2007):

$$H_{F(\text{τελικό})} = H_{\Phi} + d \quad [8.7]$$

όπου,

H_{Φ} το ύψος του σώματος του φράγματος που έχει υπολογισθεί από το διάγραμμα ύψους – χωρητικότητας και

d το ύψος ασφάλειας του σώματος του φράγματος το οποίο δίνεται από τον τύπο:

$$d = 1,5 \cdot w + k$$

$$\text{όπου, } w = 0,7 + 0,1 \cdot l$$

l = το μήκος της λίμνης του ταμιευτήρα σε Km και

$$k = 0,5 - 3,0 \text{ m}$$

Θεωρώντας το $k = 1,5$ εκτιμάται ότι το w είναι ίσο με $0,755$ m και το ύψος ασφαλείας του σώματος του φράγματος είναι ίσο με $2,63$ m. από την σχέση 8.7 το τελικό ύψος του σώματος του φράγματος εκτιμάται σε $32,63$ m.

Το πλάτος της στέψης δίνεται από την εξίσωση (Δημόπουλος, 2007):

$$x = 1 + 1 \cdot \sqrt{H_F} \quad [9.8]$$

τότε από τη σχέση 9.8 το πλάτος της στέψης εκτιμάται σε $6,71$ m.

Το πλάτος έδρασης του φράγματος εκτιμήθηκε με βάση την εξίσωση (Δημόπουλος, 2007):

$$\Psi = 2,7 \cdot H_F + x + 2,2 \cdot H_F \quad [9.9]$$

Αν θεωρήσουμε την κλίση ανάντη πρανούς ίση με $1: 2,7$ και την κλίση κατόντη πρανούς ίση με $1: 2,2$ τότε από τη σχέση 9.9 το πλάτος έδρασης του σώματος του φράγματος εκτιμάται σε 167 m.

9. ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΣΤΗ ΘΕΣΗ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

Κατά τον σχεδιασμό του τεχνικού έργου θα πρέπει να εκτιμηθεί η αναμενόμενη συμπεριφορά του γεωλογικού υποβάθρου, η οποία θα πρέπει να γίνει αποδεκτή από το έργο. Ανάλογα με την εκτιμώμενη συμπεριφορά πιθανόν να αλλάξει ο αρχικός σχεδιασμός της κατασκευής.

Ιδιαίτερη προσοχή θα πρέπει να δοθεί στα παρακάτω όπως αναφέρεται από την Τσίφη, 2014 με πηγή, Bell (2005).

- 1) Εκσκαφές: Πραγματοποιούνται για να δημιουργηθούν τα κατάλληλα επίπεδα για τη θεμελίωση του φράγματος, τον εκχειλιστή, αλλά και για άλλες εξωτερικές εργασίες και τους δανειοθαλάμους. Η διαδικασία της εκσκαφής προκαλεί διατάραξη του υφιστάμενου τασικού πεδίου και αυξάνει τις διατμητικές τάσεις στον σχηματισμό, γεγονός που ενδέχεται να προκαλέσει προβλήματα ευστάθειας κατά τη διάρκεια της κατασκευής ή/και της λειτουργίας του έργου.
- 2) Φόρτιση του υποβάθρου: Εκτιμώνται οι γεωτεχνικοί παράμετροι που απαιτούνται για την εκτίμηση της συμπεριφοράς του υποβάθρου, πριν και μετά από τη πλήρωση του ταμιευτήρα, κάτω από καταστάσεις πλημμύρας και σεισμικών δονήσεων.
- 3) Εκτίμηση πλημμυρικών παροχών και συμπεριφορά του έργου με την πλήρωση του ταμιευτήρα: Κατά την πλήρωση του ταμιευτήρα ή κατά τη διάρκεια έντονων βροχοπτώσεων προκαλούνται αλλαγές στο καθεστώς του υπόγειου υδροφορέα και μειώνεται η αντοχή των συνεκτικών εδαφών και των αδύναμων βράχων. Προκύπτει λοιπόν το ερώτημα της ευστάθειας του σώματος του φράγματος, της θεμελίωσής του και της ευστάθειας των πρανών του ταμιευτήρα. Τα ερωτήματα αυτά γίνονται σημαντικότερα όταν αυτές οι διακυμάνσεις του υπόγειου υδροφόρου έχουν μεγάλο εύρος και είναι γρήγορες.
- 4) Εκτίμηση της διαβρωσιμότητας των σχηματισμών της περιοχής και προσδιορισμός του μεγέθους της στερεοπαροχής.

Η περιοχή έρευνας για την κατασκευή του προτεινόμενου φράγματος, δομείται κυρίως από οφιολίθους. Οι οφιολίθοι από γεωτεχνικής συμπεριφορά, εφόσον είναι υγιείς, έχουν πολύ υψηλή αντοχή και είναι άριστοι για θεμελίωση οποιουδήποτε τεχνικού έργου. Έχουν όμως την τάση να ρωγματώνονται εύκολα. Το φαινόμενο είναι ιδιαίτερα έντονο στα πρηνή όπου αποσυμπιέζονται οι τεκτονικές ή γεωστατικές τάσεις με τη διαμόρφωση της μορφολογίας (Στειακάκης, 2008).

Με βάση ερευνητικές εργασίες σε οφιολιθικούς σχηματισμούς οι αντοχές που έχουν τα υγιή τεμάχια σε ανεμπόδιστη θλίψη κυμαίνονται από 320 – 680 Kg/cm² (Δημόπουλος, 2007).

Δεδομένου, όμως, ότι το οφιολιθικό σύμπλεγμα αποτελείται από διαφορετικούς σχηματισμούς με διαφορετικές ιδιότητες ο καθένας, οι γεωτεχνικές παράμετροί του κυμαίνονται από άριστες, φτωχές έως πολύ κακές ανάλογα με την σερπεντινίωση και πόσο εκτεταμένη είναι.

Για την γεωτεχνική διερεύνηση της θέσης θεμελίωσης αρχικά, θα πρέπει να γίνουν γεωτρήσεις δειγματοληψίας προκειμένου να χαρακτηρισθεί γεωτεχνικά η βραχώμαζα. Οι θέσεις των γεωτρήσεων θα πρέπει να βρίσκονται στα ακρόβαθρα του σώματος του φράγματος και μία ακόμη στη μέση του άξονα θεμελίωσης (Κούκης, Σαμπατακάκης, 2007).

Το βάθος θα πρέπει να είναι ίσο με το μισό του πλάτους βάσης του φράγματος. Το πλάτος έδρασης του φράγματος υπολογίστηκε περίπου στα 167 m. Επομένως, το βάθος θα φθάνει μέχρι τα 40 με 45 m περίπου.

Οι γεωτρήσεις θα φθάνουν σε κάθε περίπτωση μέχρι το υπόβαθρο και τουλάχιστον 6 μέτρα μέσα σ' αυτό. Οι γεωτρήσεις αυτές θα γίνουν για να προκύψει μία λεπτομερέστερη εικόνα του γεωλογικού υποβάθρου, της στρωματογραφικής διάρθρωσης, των τεκτονικών δομών, η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα, ο βαθμός αποσάθρωσης κ.ά. Από την ταξινόμηση αυτή που θα προκύψει, είναι δυνατό να υπολογισθεί η φέρουσα ικανότητα του σχηματισμού και τυχόν καθιζήσεις που μπορεί να προκύψουν από την κατασκευή του φράγματος (Κούκης, Σαμπατακάκης, 2007).

Εκτός των γεωτρήσεων, θα πρέπει να γίνουν περαιτέρω εργασίες είτε κατά τη διάρκεια που αυτές διανοίγονται (δοκιμές πεδίου), είτε μετέπειτα στην εξέταση των πυρήνων προκειμένου να προσδιορισθούν οι παράμετροι που σχετίζονται κυρίως α) με την

παραμορφωσιμότητα των σχηματισμών, β) την αντοχή αυτών και γ) την περατότητα των σχηματισμών και θα οδηγήσουν στην επιλογή του καταλληλότερου τύπου φράγματος.

Γεωτεχνική ταξινόμηση των σχηματισμών

Η αξιολόγηση της βραχώμαζας όσον αφορά την παραμορφωσιμότητα και την αντοχή της, θα προκύψει από τα συστήματα ταξινόμησης RMR ή και GSI. Έτσι, θα προσδιοριστούν τα μηχανικά χαρακτηριστικά των διάφορων τεχνικογεωλογικών ενοτήτων.

Ταξινόμηση κατά RMR

Το σύστημα Γεωμηχανικής Ταξινόμησης RMR περιλαμβάνει τα εξής στάδια (Κούκης, Σαμπατακάκης, 2007):

Α στάδιο: Η περιοχή στην οποία προβλέπεται να γίνει η ταξινόμηση χωρίζεται σε επιμέρους ζώνες όπου τα χαρακτηριστικά της βραχώμαζας μακροσκοπικά είναι παρόμοια (λιθολογική σύσταση, προσανατολισμός και απόσταση κύριων ασυνεχειών, φυσική κατάσταση γεωλογικού σχηματισμού κ.λ.π). Ο διαχωρισμός αυτός εξαρτάται από τις γενικότερες γεωλογικές συνθήκες της περιοχής αλλά και από το εύρος και την έκταση της περιοχής μελέτης. Επίσης, ο διαχωρισμός αυτός θα πρέπει πάντα να είναι ανάλογος και προσαρμοσμένος στη σκοπιμότητα της ταξινόμησης.

Β στάδιο: Μετά τον διαχωρισμό γίνεται προσδιορισμός μετρούμενων μεγεθών ανάλογα με τα κριτήρια – παραμέτρους του συστήματος που είναι τα εξής:

- 1) *Αντοχή σε ανεμπόδιστη (μονοαξονική) θλίψη του βραχώδους υλικού* η οποία προσδιορίζεται άμεσα με εργαστηριακές δοκιμές ή έμμεσα με τη δοκιμή σημειακής φόρτισης ή με τη χρήση σφυριού Schmidt – L και γεωλογικού σφυριού.
- 2) *Δείκτης ποιότητας πετρωμάτων RQD* η οποία υπολογίζεται είτε άμεσα από μετρήσεις σε βραχώδη δείγματα γεωτρήσεων είτε έμμεσα με συστηματικές μετρήσεις της απόστασης των ασυνεχειών με τη βοήθεια σχέσεων.
- 3) *Απόσταση μεταξύ ασυνεχειών.* Προκύπτει από συστηματικές μετρήσεις στο ύπαιθρο με μετροταινία, κάθετα στο συγκεκριμένο σύστημα ασυνεχειών στο οποίο αναφέρεται.
- 4) *Κατάσταση ασυνεχειών.* Προκύπτει από συστηματικές μετρήσεις στο ύπαιθρο της τραχύτητας του ανοίγματος, της αποσάθρωσης των τοιχωμάτων και του υλικού πλήρωσης των ασυνεχειών.

- 5) *Υδρογεωλογικές συνθήκες* που επικρατούν στην περιοχή του έργου κι εκφράζονται ποιοτικά με την ύπαρξη ή όχι υπόγειου νερού και ποσοτικά με την εκτίμηση υδροστατικών πιέσεων που αναπτύσσονται στις ασυνέχειες.
- 6) *Προσανατολισμός των ασυνεχειών σε σχέση με τη γεωμετρία του τεχνικού έργου* που δίνεται ποιοτικά σαν «πολύ ευμενής» μέχρι «πολύ δυσμενής». Αρχικά, προσδιορίζεται ο προσανατολισμός των κύριων συστημάτων των ασυνεχειών και στη συνέχεια συγκρίνεται με τα χαρακτηριστικά των κύριων γεωμετρικών στοιχείων του τεχνικού έργου.

Γ στάδιο: Η ολοκλήρωση της ταξινόμησης και η κατάταξη της βραχώμαζας σε μια συγκεκριμένη κατηγορία έχει σαν αποτέλεσμα την οριοθέτηση του πλαισίου της μηχανικής συμπεριφοράς της και συνεπώς την ποσοτική εκτίμηση των μηχανικών παραμέτρων της.

Οι βαθμονομήσεις που προκύπτουν για κάθε μία από τις πέντε πρώτες παραμέτρους – κριτήρια που περιγράφονται στο Β στάδιο, προστίθενται για τον υπολογισμό της βασικής βαθμολογίας (RMR_{bas}), όπως φαίνεται στον **Πίνακα 9.1**. Στη βασική βαθμολογία, μπορεί να γίνει απομείωση λόγω προσανατολισμού των ασυνεχειών σε σχέση με τη γεωμετρία του έργου και ανάλογα με το είδος του προβλεπόμενου τεχνικού έργου για τον υπολογισμό της τελικής βαθμολογίας (RMR).

Πίνακας 9.1. Πίνακας υπολογισμού του γεωλογικού δείκτη RMR

(Πηγή: Κούκης, Σαμπατακάκης, 2007)

Ενότητα Α. Παράμετροι – κριτήρια ταξινόμησης και βαθμονόμησή τους

Παράμετροι ταξινόμησης			Εύρος τιμών						
1	Αντοχή βραχώ- δους υλικού	I _{S(50)} (MPa)	> 10	4 - 10	2 - 4	1 - 2	Προτιμάται η δοκιμή μοναξονικής θλίψης		
		σ _c (MPa)	> 250	100 - 250	50 - 100	25 - 50	5 - 25	1 - 5	<1
	Βαθμός		15	12	7	4	2	1	0
2	RQD (%)		90 -100	75 - 90	50 - 75	25 - 50	< 25		
	Βαθμός		20	17	13	8	3		
3	Απόσταση μεταξύ ασυνεχειών (m)		>2	0.6 - 2	0.2 - 0.6	0.06 - 0.2	< 60 mm		
	Βαθμός		20	15	10	8	5		
4	Κατάσταση ασυνεχειών		Πολύ τραχείες επιφάνειες. Ασυνεχείς. Χωρίς διαχωρισμό. Σκληρά τοιχώματα	Ελαφρά τραχείες επιφάνειες. Διαχωρισμός < 1mm. Ελαφρά αποσαθρωμένα τοιχώματα	Ελαφρά τραχείες επιφάνειες. Διαχωρισμός < 1mm. Πολύ αποσαθρωμένα τοιχώματα	Ολισθηρές επιφάνειες ή υλικό πλήρωσης <5 mm ή διακλάσεις ανοιχτές 1-5 mm. Συνεχείς διακλάσεις	Μαλακό υλικό πλήρωσης πάχους >5mm ή διακλάσεις ανοικτές > 5mm. Συνεχείς διακλάσεις		
	Βαθμός		30	25	20	10	0		
5	Υπόγειο νερό	Είσοδο για 10 m μήκους σήραγγας (l/m)	Καμία	< 10	10 - 25	25 - 125	> 125		
		Τιμές λόγου (πίεση νερού διακλάσεων / μέγιστη κύρια τάση)	0	< 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.5	> 0.5		
		Γενικές συνθήκες	Εντελώς στεγνό	Μέτρια υγρό	Υγρό μόνο	Νερό σε μέτρια πίεση	Ροή νερού		
	Βαθμός		15	10	7	4	0		
Συνολική βαθμολογία παραμέτρων ταξινόμησης από 1 μέχρι 5 : RMR _{bas}									

Ενότητα Β. Προσαρμογή με βάση τον προσανατολισμό των ασυνεχειών

Διεύθυνση και κλίση ασυνεχειών		Πολύ ευνοϊκή	Ευνοϊκή	Μέτρια	Δυσμενής	Πολύ δυσμενής
Βαθμοί	Σήραγγες και μεταλλεία	0	- 2	- 5	- 10	- 12
	Θεμελιώσεις	0	- 2	- 7	- 15	- 25
	Πρανή	0	- 5	- 25	- 50	- 60

Τελική Βαθμολογία : RMR_{bas} - βαθμός από προσαρμογή με βάση τον προσανατολισμό των ασυνεχειών

Ενότητα C. Κατηγορίες βραχομάζας με βάση την τελική βαθμολογία

Βαθμολογία	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	<20
Κατηγορία	I	II	III	IV	V
Χαρακτηρισμός	Πολύ καλή	Καλή	Μέτρια	Πτωχή	Πολύ πτωχή

Ενότητα D. Τεχνική σημασία ταξινόμησης

Κατηγορία	I	II	III	IV	V
Μέσος χρόνος διατήρησης διατομής σήραγγας	20 χρόνια για άνοιγμα 15 m	1 χρόνος για άνοιγμα 10 m	1 εβδομάδα για άνοιγμα 5 m	10 ώρες για άνοιγμα 2-5 m	30 min για άνοιγμα 1 m
Συνοχή βραχομάζας (kPa)	> 400	300 - 400	200 - 300	100 - 200	< 100
Γωνία τριβής βραχομάζας	> 45°	35° - 45°	25° - 35°	15° - 25°	< 15°

Ταξινόμηση κατά GSI

Ο δείκτης GSI αποτελεί στη πραγματικότητα ένα σύστημα ταξινόμησης για την εκτίμηση της απομείωσης της αντοχής της βραχώμαζας για διαφορετικές γεωλογικές συνθήκες και βασίζεται καθαρά σε παρατηρήσεις πεδίου. Συγκεκριμένα, τα χαρακτηριστικά της βραχώμαζας εκτιμώνται μακροσκοπικά με βάση την υφή του πετρώματος (αλληλοκλείδωμα βραχωδών τεμαχίων) και την επιφάνεια των ασυνεχειών (τραχύτητα και αποσάθρωση τοιχωμάτων). Ο συνδυασμός των δύο αυτών παραγόντων αποτελεί τη βάση για την εκτίμηση του «τύπου» της βραχώμαζας και του υπολογισμού της τιμής του GSI (Κούκης, Σαμπατακάκης, 2007).

Η εκτίμηση του GSI από γεωτρήσεις είναι αξιόπιστη αρκεί να προβάλλεται στο χώρο η γραμμική πληροφορία των πυρήνων (Μαρίνος Β., Μαρίνος Π., Hoek Ε.).

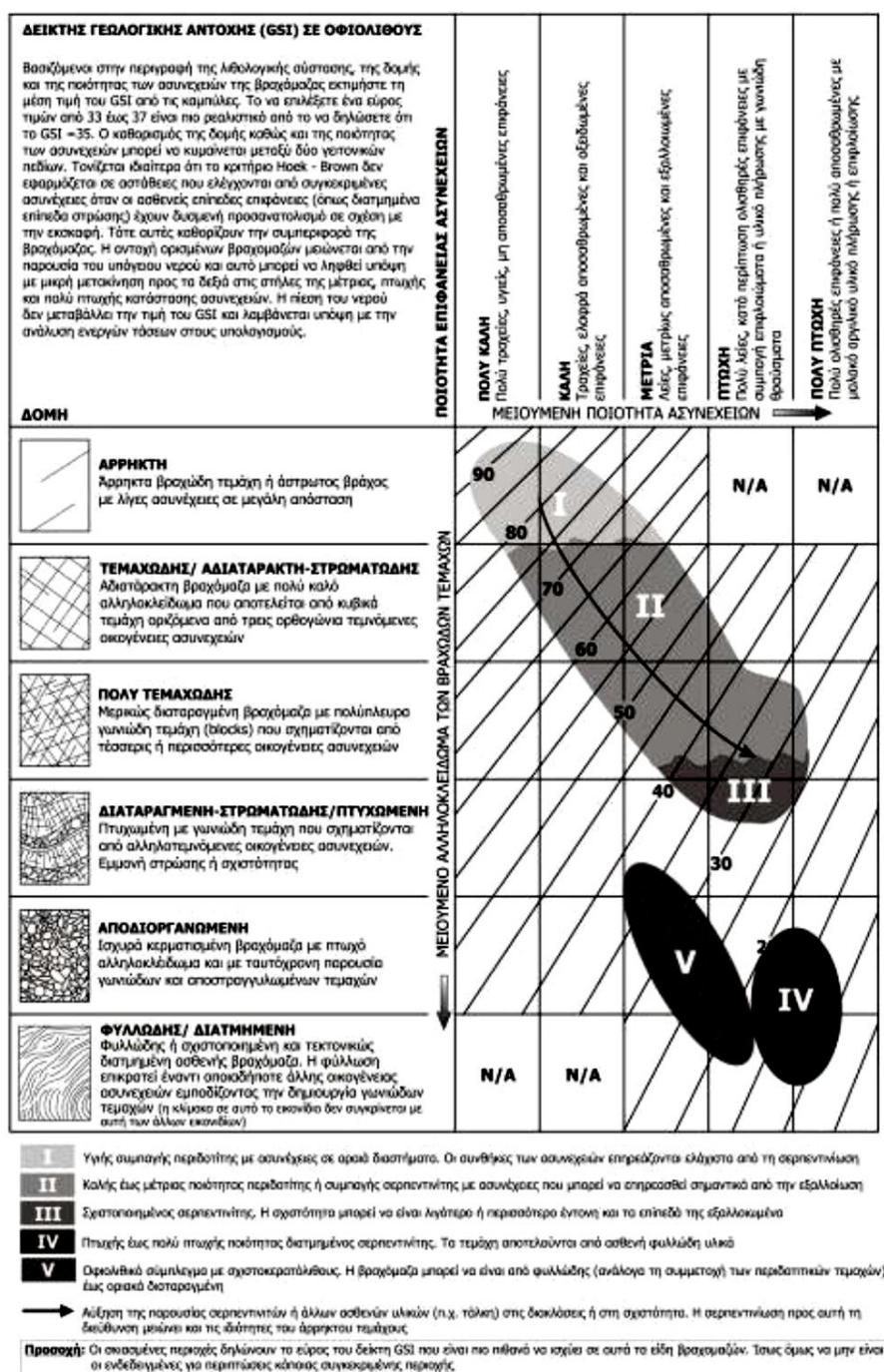
Η διαδικασία της ταξινόμησης με το GSI είναι απλή, βασίζεται σε έναν απλό πίνακα (**Σχήμα 9.1**). Ο δείκτης GSI λαμβάνει τιμές μεταξύ 0 και 100, και μπορεί να μας παράσχει τις παραμέτρους αντοχής m , s , a για το κριτήριο αστοχίας Hoek – Brown. Επιπλέον, συνεκτιμά τους παράγοντες της αντοχής του άρρηκτου πετρώματος (μέσω της αντοχής σε μονοαξονική θλίψη και της παραμέτρου m_i του πετρώματος) καθώς και του καθεστώτος των επιτόπου τάσεων για την εξαγωγή παραμέτρων όσον αφορά το μέτρο ελαστικότητας κ.ά.

Στην περιοχή μελέτης όπου επικρατούν οι οφιολίθοι, το εύρος των τιμών για το GSI αναμένεται να είναι μεγαλύτερο από 65 ενώ αν υπάρχουν έντονες ασυνέχειες η τιμή αυτή μπορεί να μειωθεί στο 35. (Μαρίνος, 2007).

Οι βασικοί τύποι σε οφιολιθικό σύμπλεγμα και οι εκτιμώμενες τιμές του GSI σύμφωνα με τον Μαρίνο, 2007 είναι οι ακόλουθοι:

- I. Μη σερπεντινωμένος οφιολίθος (περιδοτίτης – γάββρος) ($GSI > 65$)
- II. Σερπεντινωμένος περιδοτίτης – γάββρος ($40 < GSI < 70$)
- III. Έντονα σερπεντινωμένος περιδοτίτης ή σερπεντίνης με πιθανές ζώνες φυλλοποιημένου σερπεντίνης ($GSI \leq 30$)
- IV. Φυλλοποιημένος σερπεντίνης (διατμημένοι σερπεντινίτες και χαοτικές μάζες σε οφιολιθικά τεκτονικά μίγματα) ($GSI < 20$)
- V. Οφιολιθικό σύμπλεγμα με σχιστοκερατόλιθους ($20 < GSI < 35$)

Με βάση την εκτίμηση των εμφανιζόμενων σχηματισμών στην περιοχή και τα αποτελέσματα της έρευνας θα εκτιμηθεί με ακρίβεια η τιμή του GSI.



Σχήμα 9.1. Το βασικό διάγραμμα υπολογισμού του Δείκτη Αντοχής GSI, όπου αναγράφονται όλοι οι τύποι του οφιολιθικού συμπλέγματος

Πίνακας 9.2. Τιμές βασικών παραμέτρων για κάθε τύπο οφιολίθου

ΤΥΠΟΣ ΟΦΙΟΛΙΘΟΥ	GSI	σ_{ci} (Mpa)	m_i	σ_{cm} (Mpa)
I	65	50	25	18.5
II	40	40	15	6.8
III	30	25	10	2.7
IV	15	5	6	0.25
V	25	10	8	0.85

Οι τιμές του GSI που χαρακτηρίζουν τις διάφορες μάζες οφιολίθου μαζί με την αντοχή του άρρηκτου πετρώματος (σ_{ci}), την παράμετρο του άρρηκτου πετρώματος (m_i) και την αντοχή της βραχώμαζας και επιτρέπουν την εκτίμηση των γεωτεχνικών παραμέτρων αντοχής και παραμορφωσιμότητας των διαφόρων μαζών του πετρώματος με ένα επίπεδο ακρίβειας ικανό για σχεδιασμό μηχανικής.

Για αυτή την εκτίμηση μπορεί να χρησιμοποιηθεί το λογισμικό Rocklab. Από το λογισμικό αυτό, προκύπτει το κριτήριο αστοχίας της βραχώμαζας και κατ' επέκταση υπολογίζεται η φέρουσα ικανότητα και η επιτρεπόμενη τάση που μπορεί να δεχθεί το πέτρωμα χωρίς να αστοχήσει (Marinos et al., 2005).

Περατότητα

Η στεγανότητα του υποβάθρου στον άξονα έδρασης του φράγματος αποτελεί ένα πολύ σημαντικό παράγοντα ασφαλείας του έργου. Για την εκτίμηση τυχόν διαφυγών νερού μέσω των γεωλογικών σχηματισμών θα πρέπει να γίνουν επί τόπου δοκιμές περατότητας (μέσα στις γεωτρήσεις). Ακόμα κι αν η βραχώμαζα με βάση τον χαρακτηρισμό της εκτιμηθεί αδιαπέρατη είναι πιθανόν να υπάρχει αποσαθρωμένο υλικό σε μεγαλύτερο βάθος, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε μελλοντική αστοχία ή κακή λειτουργία του φράγματος. Η ακριβής εκτίμηση της περατότητας στη θέση θεμελίωσης θα πρέπει να γίνει με επί τόπου δοκιμές διαπερατότητας όπως είναι οι δοκιμές Maag, Lefranc και Lugeon. Από την εκτίμηση

της υδροπερατότητας των σχηματισμών θα αποφασιστούν και οι περαιτέρω διαδικασίες επίλυσης τυχόν προβλημάτων διαφυγών όπως είναι οι τσιμεντενέσεις (Δημόπουλος, 2008).

10. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Η θέση του προτεινόμενου φράγματος βρίσκεται 2,9 Km ΒΑ των Ανωγείων κοντά στον οικισμό Σίσαρχα (βόρειες πρόποδες του Ψηλορείτη).

Το ανάγλυφο είναι ορεινό και η προτεινόμενη θέση του σώματος σε φυσικό στένωμα του ρέματος Βαρσαμά κρίνεται ως «πολύ καλή έως ιδανική» με βάση τον συντελεστή καταλληλότητας.

Στη λεκάνη κατάκλυσης επικρατούν κυρίως φυλλιτικά πετρώματα ενώ στη θέση θεμελίωσης εμφανίζονται οι οφιόλιθοι και προτείνεται η κατασκευή εύκαμπτου τύπου φράγματος.

Στο πλαίσιο της εργασίας εκτιμήθηκε το υδρολογικό ισοζύγιο της λεκάνης απορροής και πρόκυψε ότι ο μέσος ετήσιος όγκος της βροχόπτωσης στη λεκάνη απορροής ανέρχεται σε $15,05 \times 10^6 \text{ m}^3$, η επιφανειακή απορροή στα $1,83 \times 10^6 \text{ m}^3$, ο όγκος της κατείσδυσης σε $5,94 \times 10^6 \text{ m}^3$ και η εξατμισοδιαπνοή σε $7,28 \times 10^6 \text{ m}^3$.

Η μέση ετήσια επιφανειακή απορροή ($1,83 \times 10^6 \text{ m}^3$), έχει πιθανότητα υπέρβασης μικρότερη από 8% με περίοδος επαναφοράς μεγαλύτερη από τα 12 έτη.

Η έκταση της λεκάνης κατάκλυσης, εκτιμήθηκε σε 91.000 m^2 και η χωρητικότητα του ταμιευτήρα είναι 863.000 m^3 .

Το ύψος του σώματος του φράγματος όπως αυτό προέκυψε από το διάγραμμα ύψους φράγματος – χωρητικότητα ταμιευτήρα εκτιμάται σε 30 m.

Ο λόγος του ανάγλυφου της λεκάνης (R_h) υπολογίστηκε σε 0,14 και η στερεοπαροχή αναμένεται να είναι πολύ μικρή.

ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Για την ολοκλήρωση της μελέτης σκοπιμότητας θα πρέπει να πραγματοποιηθεί λεπτομερής γεωλογική χαρτογράφηση της λεκάνης κατάκλυσης και της θέσης έδρασης σε μεγαλύτερη κλίμακα.

Επίσης, θα πρέπει να διερευνηθεί η στεγανότητα της λεκάνης, η ευστάθεια των πρανών σε σχέση με την διαφοροποίηση της στάθμης και να προσδιορισθεί η αναμενόμενη στερεοπαροχή.

Ένα ακόμα σημαντικό θέμα για τον σχεδιασμό του έργου είναι η μελέτη της σεισμικότητας της περιοχής.

Όσον αφορά τα οικονομοτεχνικά στοιχεία, θα πρέπει να γίνει ο υπολογισμός του όγκου των χωματουργικών του φράγματος και του όγκου των εκσκαφών θεμελίωσης και η τοποθέτηση της θέσης του υπερχειλιστή.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Αλεξόπουλος, Α. (2017): «Έλεγχος Ομογένειας Βροχομετρικών Δεδομένων (Ετήσιων Υψών Βροχής), με τη μέθοδο της Διπλής Αθροιστικής καμπύλης».
- Βουδούρης, Κ. (2014): «Τεχνική Υδρογεωλογία – Υπόγεια Νερά». Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη.
- Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού (ΓΥΣ) (1972α): «Τοπογραφικό διάγραμμα. Φύλλο 9516/8». Τοπογραφικός χάρτης, κλίμακας 1:5.000.
- Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού (ΓΥΣ) (1972β): «Τοπογραφικό διάγραμμα. Φύλλο 9517/7». Τοπογραφικός χάρτης, κλίμακας 1:5.000.
- Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού (ΓΥΣ) (1972γ): «Τοπογραφικό διάγραμμα. Φύλλο 9526/2». Τοπογραφικός χάρτης, κλίμακας 1:5.000.
- Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού (ΓΥΣ) (1972δ): «Τοπογραφικό διάγραμμα. Φύλλο 9527/1». Τοπογραφικός χάρτης, κλίμακας 1:5.000.
- Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού (ΓΥΣ) (2007): «Τοπογραφικός χάρτης. Φύλλο Ανώγεια». Τοπογραφικός χάρτης, κλίμακας 1:50.000.
- Γεωργιάς Θ., Ζερβαντωνάκης Κ., Μωϋσιάκης Ζ. (1979): «Αναζήτηση υδάτινων πόρων στην περιφέρεια Δήμου Ανωγείων και τρόποι επίλυσης του υδρευτικού προβλήματός του». Δήμος Ανωγείων Νομού Ρεθύμνης Κρήτης, Ηράκλειο.
- Γιαλύτη Ε., Αλεξόπουλος Α. (1998): «Περί των υδρογεωλογικών συνθηκών της ευρύτερης περιοχής Δήμου Ανωγείων και των δυνατοτήτων αντιμετώπισης του προβλήματος της ανεπάρκειας υδατικών πόρων». Δήμος Ανωγείων Ρεθύμνης.
- Δημόπουλος, Γ. (2007): «Γεωλογικές Μελέτες Τεχνικών Έργων». Εκδοτικός οίκος Αδελφών Κυριακίδη ΑΕ, Θεσσαλονίκη.
- Δημόπουλος, Γ. (2008): «Τεχνική Γεωλογία». Εκδοτικός οίκος Αδελφών Κυριακίδη ΑΕ, Θεσσαλονίκη.
- Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (ΙΓΜΕ) (1984): «Γεωλογικός Χάρτης της Ελλάδος. Φύλλο Τυμπάκιον». Γεωλογικός χάρτης, κλίμακας 1:50.000 (Χαρτογράφηση: Μ. Bonneau – Η.Α. Jonkers – J.E. Meulenkamp).

- Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (ΙΓΜΕ) (2008): «Γεωλογικός Χάρτης Ανωγείων Κρήτης Ελλάδος». Γεωλογικός χάρτης, κλίμακας 1:50.000 (Χαρτογράφηση: Ν. Κατσιαβριάς).
- Καλλέργης, Γ. (1984): «Επιχειρησιακή Υδρογεωλογία». Εκδόσεις OFFSET, Πάτρα.
- Κνιθάκης Μ., Κοϊνάκης Ι., Ουρανός Γ., Σιμιτζής Β. (1993): «Υδρογεωλογικές παρατηρήσεις στην περιοχή Αγίας Μαρίνας, Δήμου Ανωγείων – Νομού Ρεθύμνης». Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (ΙΓΜΕ) – Οργανισμός Ανάπτυξης Δυτικής Κρήτης (ΟΑΔΥΚ) – Διεύθυνση Δασών, Ρέθυμνο.
- Κούκης Γ., Σαμπατακάκης Ν. (2007): «Γεωλογία Τεχνικών Έργων». Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα.
- Κουντούρης, Π. (2002): «Λιμνοδεξαμενή Γωνομιού Ανωγείων Ν. Ρεθύμνης». Τελική Έκθεση Συμβούλου. Περιφέρεια Κρήτης, Διεύθυνση δημόσιων έργων, Τμήμα Εγγείων βελτιώσεων και Υδάτινων Πόρων.
- Κριτσωτάκης, Μ. (2007): «Αναγνωριστική Υδρογεωλογική Έκθεση για την κατασκευή Λιμνοδεξαμενής Δήμο Κουλούκωνα – Κοινότητας Ζωνιανών». Περιφέρεια Κρήτης, Γενική Διεύθυνση Υδάτων, Τμήμα Αναθάμισης και Προστασίας των Υδατικών Πόρων, Ηράκλειο.
- Λουκάς, Α. (2017): «ΥΔΡΟΛΟΓΙΑ: Μέθοδοι εκτίμησης πλημμύρας σχεδιασμού.», Εργαστήριο Υδρολογίας και Ανάλυσης Υδατικών Συστημάτων Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών. Πολυτεχνική Σχολή. Εκπαιδευτικό υλικό που έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
(http://eclass.uth.gr/eclass/modules/document/file.php/MHXC160/%CE%98%CE%B5%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%AE%CE%95%CE%BD%CF%8C%CF%84%CE%B7%CF%84%CE%B1_9.pdf. Πρόσβαση στις 25_6_2017)
- Μαρίνος Β., Μαρίνος Π., Hoek E. (2004): «Γεωλογικός δείκτης αντοχής GSI: Εφαρμογή, συστάσεις, περιορισμοί και πεδία μεταβολών ανάλογα με τον τύπο του πετρώματος».
- Νικολακόπουλος Κ., Κατσάνου Κ., Λαμπράκης Ν. (2015): «Υδρολογία με χρήση γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών και δεδομένων τηλεπισκόπησης». Εκδόσεις Κάλλιπος, ISBN: 978-960-603-106-9.

- Ορφανουδάκη-Μανουσάκη, Α. (1987): «Οφιόλιθοι της νήσου Κρήτης». Διδακτορική Διατριβή, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τμήμα Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργών, Αθήνα.
- Περιφέρεια Κρήτης, Διεύθυνση Δημοσίων Έργων, Τμήμα Εγγείων Βελτιώσεων (2001): «Υδρολογικά στοιχεία νήσου Κρήτης. Βροχομετρικά – εξατμισμετρικά – 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 – εξατμισμετρικά – θερμομετρικά – ηλιοφάνειας και υδρομετρικά, των υδρολογικών ετών 1999-2001». Πρόγραμμα υδρολογικής έρευνας Νο. XIV. Ηράκλειο.
- Περγέρης Β., Παπαμαστοράκης Δ., Κριτωτάκης 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.
- Πετροχείλου, Ι. (1956): «Υδρογεωλογική έρευνα του Δήμου Ανωγείων Κρήτης». Ινστιτούτο Γεωλογίας και Ερευνών Υπεδάφους (ΙΓΕΥ), Αθήνα.
- Σούλιος, Γ. (1986): «Γενική Υδρογεωλογία». Τόμοι Α και Β, University Press, Θεσσαλονίκη.
- Στειακάκης, Ε. (2008): «Σημειώσεις Τεχνικής Γεωλογίας – Εδαφομηχανικής». Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Εργαστήριο Εφαρμοσμένης Γεωλογίας, Χανιά.
- Στιβακτάκης Δ., Κριτωτάκης 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.
- Τσίφη, Π. (2014): «Τεχνικογεωλογικές συνθήκες του φράγματος του Ιάσμου, Ν. Ροδόπης». Διπλωματική Ειδίκευσης, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Γεωλογίας, Θεσσαλονίκη.
- Marinos P., Hoek E., Marinos V. (2005): «Variability of the engineering properties of rock masses quantified by the geological strength index: the case of ophiolites with special emphasis on tunneling» Bull Eng Geol Env (2006) 65: 129–142.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Α. Βροχομετρικά δεδομένα

Πίνακας Α.1: Μετρήσεις ύψους βροχής στους σταθμούς Αγίας Βαρβάρας, Αγίου Ιωάννη, Ανωγείων, Ανωγείων (ΙΓΜΕ), Βοριζίων και Γαράζου.

ΥΔΡ. ΕΤΟΣ	ΑΓ. ΒΑΡΒΑΡΑ	ΑΓ. ΙΩΑΝΝΗΣ	ΑΝΩΓΕΙΑ	ΑΝΩΓΕΙΑ (ΙΓΜΕ)	ΒΟΡΙΖΙΑ	ΓΑΡΑΖΟ
1919-1920			1,647.0			
1920-1921			1,252.0			
1921-1922			998.0			
1922-1923			957.0			
1923-1924			939.0			
1924-1925			1,773.0			
1925-1926			1,100.0			
1926-1927			837.0			
1927-1928			1,066.0			
1928-1929			1,463.0			
1929-1930			1,805.0			
1930-1931			976.0			
1931-1932			905.0			
1932-1933			1,094.0			
1933-1934			806.0			
1934-1935			1,020.0			
1935-1936			768.0			
1936-1937			979.0			
1397-1938			1,598.0			
1938-1939			886.0			
1939-1940			1,233.0			
1940-1941						
1941-1942			1,152.0			
1942-1943			1,232.0			
1943-1944						
1949-1950						
1950-1951			617.2			
1951-1952			1,286.6			
1952-1953			1,051.2			
1953-1954			1,036.8			
1954-1955			955.9			
1955-1956			1,223.7			
1956-1957			1,150.2			
1957-1958			848.6			
1958-1959			932.5			
1959-1960			1,379.4			
1960-1961			1,287.2			

ΥΔΡ. ΕΤΟΣ	ΑΓ. ΒΑΡΒΑΡΑ	ΑΓ. ΙΩΑΝΝΗΣ	ΑΝΩΓΕΙΑ	ΑΝΩΓΕΙΑ (ΙΓΜΕ)	ΒΟΡΙΖΙΑ	ΓΑΡΑΖΟ
1961-1962			1,385.5			
1962-1963			1,547.1			
1963-1964			1,049.2		872.5	
1964-1965			1,514.9		1645.0	
1965-1966	711.3		738.3		870.0	
1966-1967	772.8		1,207.4		1221.5	
1967-1968	1110.2		1,114.4		1296.0	
1968-1969	834.4		1,818.8		1082.0	
1969-1970	680.1		748.2		744.0	
1970-1971	975.9		1,087.2		1086.4	
1971-1972	705.1		1,089.8		958.9	
1972-1973	772.1		1,222.2		821.9	
1973-1974	746.3		918.4		788.7	
1974-1975	1037.5		1,069.0		1027.7	
1975-1976	1107.1		1,489.7		1116.4	
1976-1977	628.7		1,001.0		784.3	
1977-1978	1301.0		1,527.0		1751.0	
1978-1979	937.0		1,226.1		1058.4	
1979-1980	911.9		1,181.3		1076.5	
1980-1981	1283.7		1,034.3		1430.9	
1981-1982	1116.7		1,209.2		1318.8	
1982-1983	877.1		934.0		1216.2	
1983-1984	1205.9		970.9		1162.4	
1984-1985	1257.6		1,098.6		1325.1	
1985-1986	730.5		888.3		665.5	
1986-1987	1141.6		1,367.3		1380.1	
1987-1988	1179.1		819.6		2076.8	
1988-1989	810.0		806.3		1446.4	
1989-1990	551.8		629.0		588.1	
1990-1991	711.9		849.0		803.5	
1991-1992	888.5		1,095.0	1,159.10	1133.6	
1992-1993	634.4		589.1	844.00	811.5	
1993-1994	987.0		928.4	1,118.60	1195.5	
1994-1995	808.3		975.7	1,101.60	1192.5	
1995-1996	1122.9	796.35	870.8	1,252.80	1511.5	
1996-1997	1237.8	1,460.84	1,011.2	1,802.00	1073.6	1,603.4
1997-1998	937.0	1,046.03	1,256.0	1,499.10	1023.5	1,137.2
1998-1999	1011.0	1,302.03	1,095.7	1,294.10	1063.0	1,714.5
1999-2000	814.0	737.03	1,236.6	1,207.20	710.6	1,187.8
2000-2001	921.5	865.39	1,179.5	1,221.24	1067.7	1,343.6
2001-2002	959.3	1,151.08		2,020.55	1217.9	1,455.0
2002-2003	1112.5	1,298.58		1,299.80	2162.0	1,908.1
2003-2004	880.3	837.70		1,251.39	1264.7	1,309.9

ΥΔΡ. ΕΤΟΣ	ΑΓ. ΒΑΡΒΑΡΑ	ΑΓ. ΙΩΑΝΝΗΣ	ΑΝΩΓΕΙΑ	ΑΝΩΓΕΙΑ (ΙΓΜΕ)	ΒΟΡΙΖΙΑ	ΓΑΡΑΖΟ
2004-2005	752.4				1002.5	797.1
2005-2006	732.6	922.50		1,218.77	680.6	1,264.6
2006-2007	933.6	1,005.40		1,643.18	855.7	1,460.5
2007-2008	937.8	779.40		1,352.40	928.7	1,178.6
2008-2009	1058.9	623.60			1375.4	1,004.6
2009-2010	984.2				1145.9	923.0
2010-2011					1000.3	4.0
2011-2012					1583.3	

Πίνακας Α.2: Μετρήσεις ύψους βροχής στους σταθμούς Γέργερης, Δοξαρού, Ζαρού, Ηρακλείου, Κρουσώνα και Μαργαριτών.

ΥΔΡ. ΕΤΟΣ	ΓΕΡΓΕΡΗ	ΔΟΞΑΡΟ	ΖΑΡΟΣ	ΗΡΑΚΛΕΙΟ	ΚΡΟΥΣΩΝΑΣ	ΜΑΡΓΑΡΙΤΕΣ
1952-1953			783.4			
1953-1954			829.0			
1954-1955			803.7			
1955-1956			613.7			
1956-1957			654.5			
1957-1958			669.0			
1958-1959			573.5			
1959-1960			746.7			
1960-1961			845.4			
1961-1962			838.5			
1962-1963			1125.0			
1963-1964	708.0		705.5			
1964-1965	1174.5		1305.0			
1965-1966	617.0		673.5		751.5	
1966-1967	784.0		922.0		1089.7	
1967-1968	1058.0		1163.0		1287.8	
1968-1969	704.0		840.0		1423.7	
1969-1970	598.0		614.0		690.0	
1970-1971	841.5		901.1		1137.4	
1971-1972	665.6		619.0		805.4	
1972-1973	646.1		645.0		1098.8	
1973-1974	704.2		628.0		762.2	
1974-1975	852.0		838.0		970.9	
1975-1976	1035.5		902.0	724.1	1375.4	
1976-1977	570.5		593.0	465.7	1019.1	
1977-1978	1230.0		1301.0	587.1	1294.2	
1978-1979	772.0		795.0	464.3	964.5	
1979-1980	739.5		673.0	545.7	1147.1	
1980-1981	1120.0		1109.0	540.4	1261.6	
1981-1982	939.5		964.0	586.7	1146.8	

ΥΔΡ. ΕΤΟΣ	ΓΕΡΓΕΡΗ	ΔΟΞΑΡΟ	ΖΑΡΟΣ	ΗΡΑΚΛΕΙΟ	ΚΡΟΥΣΩΝΑΣ	ΜΑΡΓΑΡΙΤΕΣ
1982-1983	664.5		688.0	377.2	1022.2	
1983-1984	962.5		878.0	559.5	990.5	
1984-1985	1026.5		957.0	500.4	1274.8	
1985-1986	653.5		499.0	387.3	784.6	
1986-1987	1033.4		742.0	620.6	1345.0	
1987-1988	952.5		933.0	392.1	1049.8	
1988-1989	692.0		648.2	463.0	782.0	
1989-1990	465.0		416.5	316.4	688.3	
1990-1991	596.5		592.2	407.1	860.1	
1991-1992	784.0		726.7	513.4	1115.5	
1992-1993	713.0		590.5	303.9	666.5	
1993-1994	981.2		942.0	304.4	770.1	
1994-1995	1047.3		950.5	598.2	1018.0	
1995-1996	1286.3		1109.0	525.5	1008.9	
1996-1997	976.1		945.5	599.3	920.7	
1997-1998	915.9	1002.03	854.0	362.0	952.6	
1998-1999	871.8	1106.22		479.1	835.7	
1999-2000	714.8	889.68	604.9	447.2	655.7	
2000-2001	968.7	992.25	835.3	494.2	858.9	
2001-2002	1048.0	803.94	1003.5	493.6	1078.0	
2002-2003	1696.9	1504.17	1602.5	764.5	1465.5	
2003-2004	885.0	1082.11	972.5	530.0	741.0	1,119.95
2004-2005	943.8		959.5	518.2	659.5	
2005-2006	641.0	1019.78	724.0	500.2	848.0	869.91
2006-2007	864.5	1258.2	893.5	520.3	732.7	1,238.95
2007-2008	828.8	994	807.0		658.5	1,036.80
2008-2009	1038.3		1004.0			
2009-2010						
2010-2011				435.5		

Πίνακας Α.3: Μετρήσεις ύψους βροχής στους σταθμούς Μελάμπων, Μελιδονίου, Περάματος, Προφήτη Ηλία, Σισσών και Φοινικιάς.

ΥΔΡ. ΕΤΟΣ	ΜΕΛΑΜΠΕΣ	ΜΕΛΙΔΟΝΙ	ΠΕΡΑΜΑ	ΠΡΟΦ. ΗΛΙΑΣ	ΣΙΣΣΕΣ	ΦΟΙΝΙΚΙΑ
1964-1965	1,016.0					
1965-1966	564.9			490.1		
1966-1967	902.0			728.0		672.0
1967-1968	1,005.4			1038.7		819.5
1968-1969	1,006.0			913.0		722.3
1969-1970	599.0			467.9		341.5
1970-1971	909.0			809.2		667.5
1971-1972	611.3			653.7		518.5
1972-1973	668.1			790.2		762.0

ΥΔΡ. ΕΤΟΣ	ΜΕΛΑΜΠΕΣ	ΜΕΛΙΔΟΝΙ	ΠΕΡΑΜΑ	ΠΡΟΦ. ΗΛΙΑΣ	ΣΙΣΣΕΣ	ΦΟΙΝΙΚΙΑ
1973-1974	600.3			639.4		484.0
1974-1975	764.6			728.9		658.0
1975-1976	841.7			1009.0		983.0
1976-1977	673.6			552.4		570.0
1977-1978	1,266.4			1036.8		891.0
1978-1979	783.3			717.2		654.6
1979-1980	810.7			753.5		630.0
1980-1981	1,141.3			817.2		649.0
1981-1982	1,044.0			932.3		782.5
1982-1983	736.4			637.7		679.5
1983-1984	817.2	971.80		767.9		680.5
1984-1985	866.3	802.50		948.6		816.5
1985-1986	569.6	553.80		506.4		490.0
1986-1987	877.0	996.80		990.0		947.0
1987-1988	976.8	476.70		646.0		462.0
1988-1989	612.1	666.00		492.7		475.5
1989-1990	540.8	821.00		518.3		474.5
1990-1991	559.0	454.60		681.5		724.0
1991-1992	586.2	754.80	249.7	838.0	951.20	898.5
1992-1993	540.7	475.70	476.5	480.9	659.60	523.0
1993-1994	714.7	525.80	621.0	755.7	835.20	750.1
1994-1995	587.5	566.20		881.2	837.60	1014.7
1995-1996	855.6	475.10		972.9	991.40	953.2
1996-1997	686.5	888.50	915.0	1092.1	1,269.40	1042.1
1997-1998	718.0	574.00	468.5	1003.2	894.90	785.0
1998-1999	804.7	794.30	1,016.0	784.0	880.00	846.0
1999-2000	587.7	796.70	782.2	747.2	971.50	753.8
2000-2001	788.6	638.80	647.1	975.0	755.10	872.7
2001-2002	788.4	665.40	699.7	938.9	978.59	917.5
2002-2003	1,318.3	1,171.30	1,137.5	1578.9	1,514.13	1554.8
2003-2004	830.8	652.20	723.5	922.0	1,027.37	878.0
2004-2005	667.0		558.5	602.0		682.0
2005-2006	683.2	624.50	623.0	778.7	717.39	933.3
2006-2007	560.2	857.60	873.0	750.9	963.62	860.5
2007-2008	779.7	656.30		695.6	669.20	694.4
2008-2009	972.8					618.5
2009-2010	1,110.3					675.1
2010-2011						1196.6
2011-2012						1068.9
2012-2013						9.0

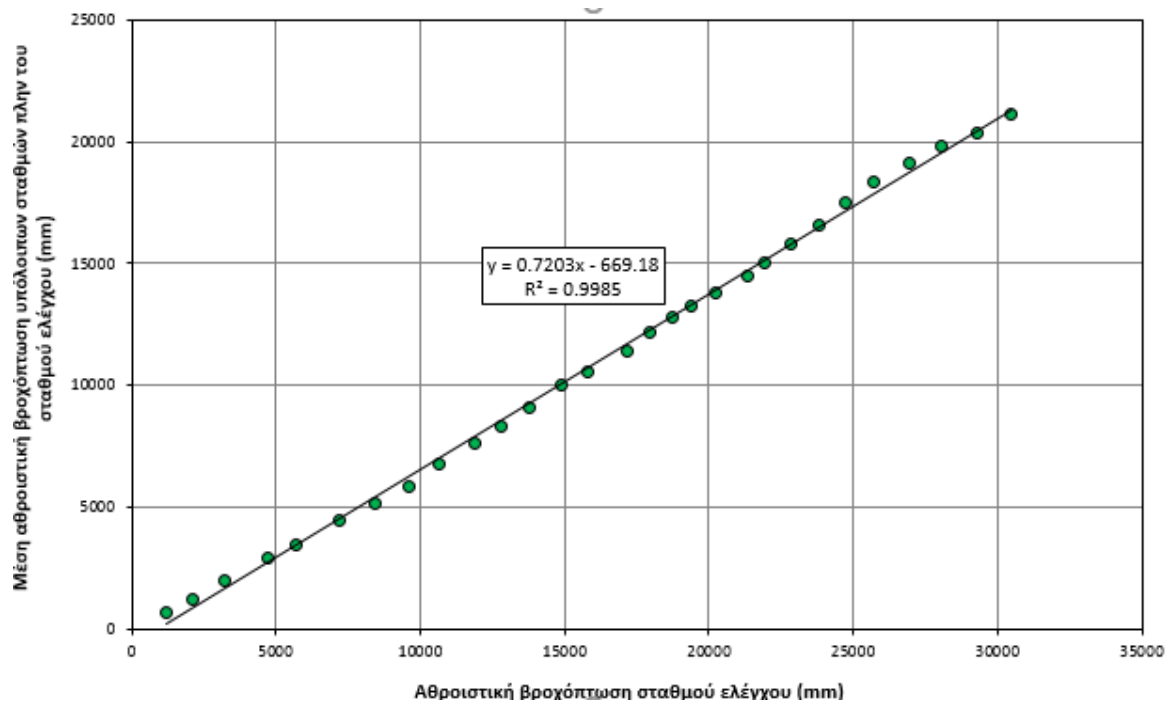
Β. Διορθώσεις – συμπληρώσεις μετρήσεων ύψους βροχής

Πίνακας Β.1: Αθροιστικές μετρήσεις ύψους βροχής των σταθμών.

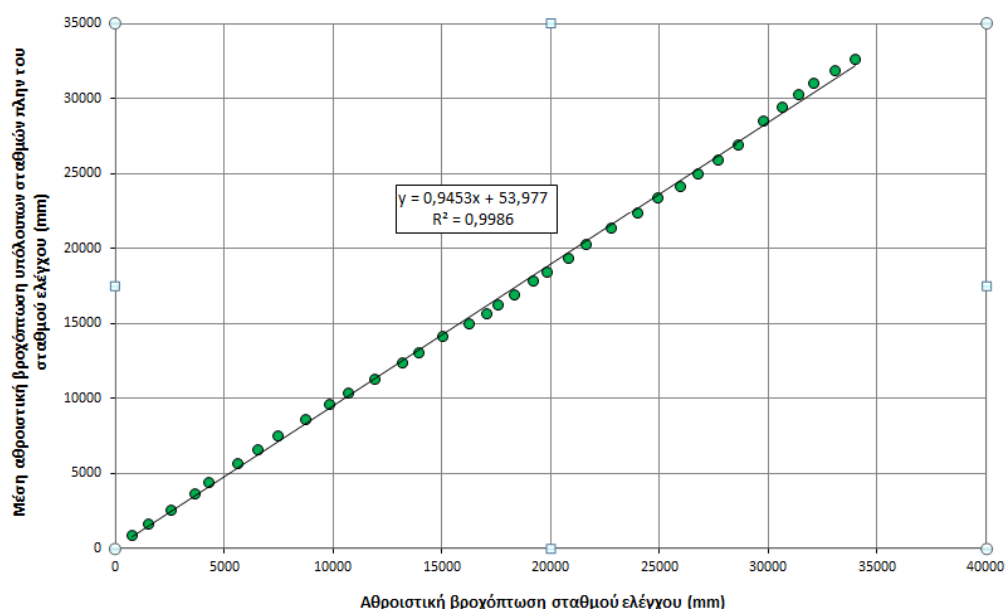
ΥΔΡ. ΕΤΗ	Αθροιστική βροχόπτωση σε mm των σταθμών					
	ΑΝΩΓΕΙΑ	ΑΓ. ΒΑΡΒΑΡΑ	ΓΕΡΓΕΡΗ	ΖΑΡΟΣ	ΚΡΟΥΣΩΝΑΣ	ΠΡΟΦ. ΗΛΙΑΣ
1972-1973	1222.20	772.10	646.10	645.00	1098.80	790.20
1973-1974	2140.60	1518.40	1350.30	1273.00	1861.00	1429.60
1974-1975	3209.60	2555.90	2202.30	2111.00	2831.90	2158.50
1975-1976	4699.30	3663.00	3237.80	3013.00	4207.30	3167.50
1976-1977	5700.30	4291.70	3808.30	3606.00	5226.40	3719.90
1977-1978	7227.30	5592.70	5038.30	4907.00	6520.60	4756.70
1978-1979	8453.40	6529.70	5810.30	5702.00	7485.10	5473.90
1979-1980	9634.70	7441.60	6549.80	6375.00	8632.20	6227.40
1980-1981	10669.00	8725.30	7669.80	7484.00	9893.80	7044.60
1981-1982	11878.20	9842.00	8609.30	8448.00	11040.60	7976.90
1982-1983	12812.20	10719.10	9273.80	9136.00	12062.80	8614.60
1983-1984	13783.10	11925.00	10236.30	10014.00	13053.30	9382.50
1984-1985	14881.70	13182.60	11262.80	10971.00	14328.10	10331.10
1985-1986	15770.00	13913.10	11916.30	11470.00	15112.70	10837.50
1986-1987	17137.30	15054.70	12949.70	12212.00	16457.70	11827.50
1987-1988	17956.90	16233.80	13902.20	13145.00	17507.50	12473.50
1988-1989	18763.20	17043.80	14594.20	13793.20	18289.50	12966.20
1989-1990	19392.20	17595.60	15059.20	14209.70	18977.80	13484.50
1990-1991	20241.20	18307.50	15655.70	14801.90	19837.90	14166.00
1991-1992	21336.20	19196.00	16439.70	15528.60	20953.40	15004.00
1992-1993	21925.30	19830.40	17152.70	16119.10	21619.90	15484.90
1993-1994	22853.70	20817.40	18133.90	17061.10	22390.00	16240.60
1994-1995	23829.40	21625.70	19181.20	18011.60	23408.00	17121.80
1995-1996	24700.20	22748.60	20467.50	19120.60	24416.90	18094.70
1996-1997	25711.40	23986.40	21443.60	20066.10	25337.60	19186.80
1997-1998	26967.40	24923.40	22359.50	20920.10	26290.20	20190.00
1998-1999	28063.10	25934.40	23231.30		27125.90	20974.00
1999-2000	29299.70	26748.40	23946.10	22103.81	27781.60	21721.20
2000-2001	30479.20	27669.90	24914.80	22939.11	28640.50	22696.20
2001-2002		28629.20	25962.80	23942.61	29718.50	23635.10
2002-2003		29741.70	27659.70	25545.11	31184.00	25214.00
2003-2004		30622.00	28544.70	26517.61	31925.00	26136.00
2004-2005		31374.40	29488.50	27477.11	32584.50	26738.00
2005-2006		32107.00	30129.50	28201.11	33432.50	27516.70
2006-2007		33040.60	30994.00	29094.61	34165.20	28267.60
2007-2008		33978.40	31822.80	29901.61	34823.70	28963.20

Πίνακας Β.2: Μέσες αθροιστικές μετρήσεις ύψους βροχής των υπόλοιπων σταθμών πλην του ελεγχόμενου σταθμού.

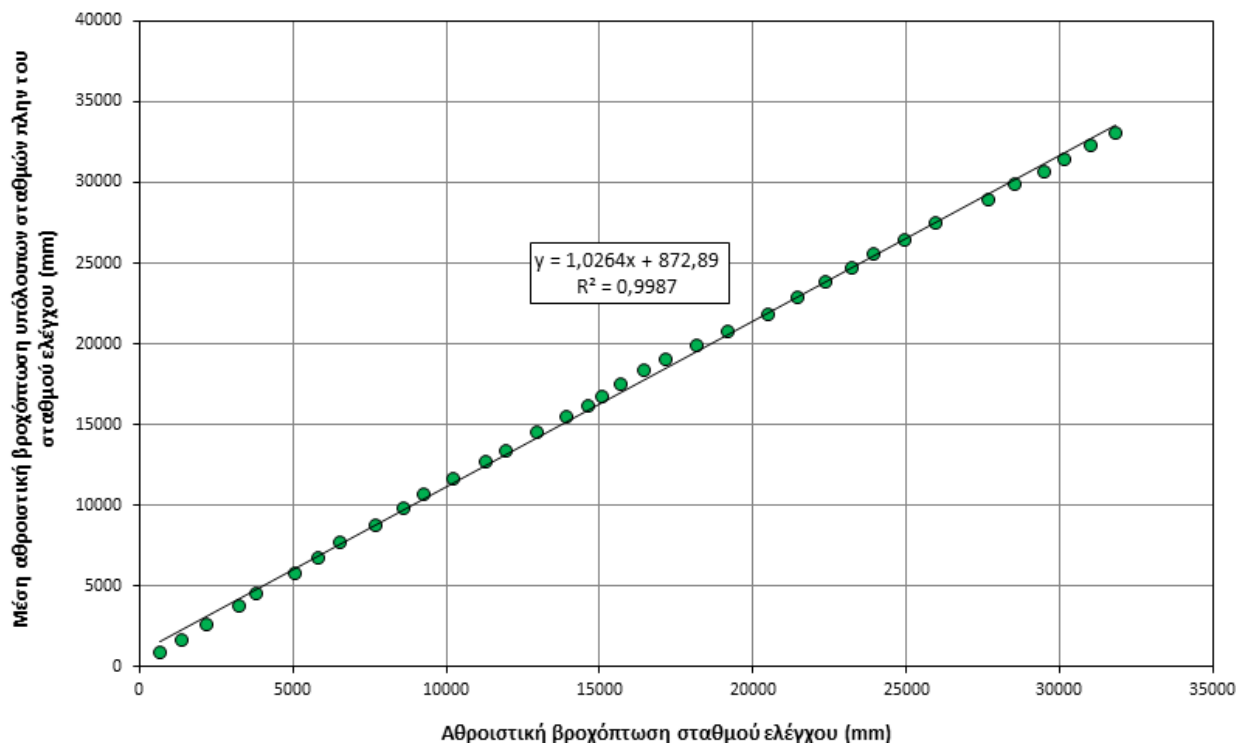
ΥΔΡ. ΕΤΗ	Μέση αθροιστική βροχόπτωση σε mm των υπόλοιπων σταθμών					
	ΑΝΩΓΕΙΑ	ΑΓ. ΒΑΡΒΑΡΑ	ΓΕΡΓΕΡΗ	ΖΑΡΟΣ	ΚΡΟΥΣΩΝΑΣ	ΠΡΟΦ. ΗΛΙΑΣ
1972-1973	658.70	880.46	905.66	905.88	815.12	876.84
1973-1974	1238.72	1610.90	1644.52	1659.98	1542.38	1628.66
1974-1975	1976.60	2502.66	2573.38	2591.64	2447.46	2582.14
1975-1976	2881.43	3664.98	3750.02	3794.98	3556.12	3764.08
1976-1977	3442.05	4412.18	4508.86	4549.32	4225.24	4526.54
1977-1978	4469.22	5689.98	5800.86	5827.12	5504.40	5857.18
1978-1979	5166.83	6584.94	6728.82	6750.48	6393.86	6796.10
1979-1980	5871.00	7483.82	7662.18	7697.14	7245.70	7726.66
1980-1981	6802.92	8552.24	8763.34	8800.50	8318.54	8888.38
1981-1982	7652.80	9590.60	9837.14	9869.40	9350.88	9963.62
1982-1983	8301.05	10379.88	10668.94	10696.50	10111.14	10800.78
1983-1984	9101.85	11293.84	11631.58	11676.04	11068.18	11802.34
1984-1985	10012.60	12354.94	12738.90	12797.26	12125.84	12925.24
1985-1986	10541.60	13021.30	13420.66	13509.92	12781.38	13636.42
1986-1987	11416.93	14116.84	14537.84	14685.38	13836.24	14762.28
1987-1988	12210.33	14997.02	15463.34	15614.78	14742.28	15749.08
1988-1989	12781.15	15681.26	16171.18	16331.38	15432.12	16496.78
1989-1990	13221.13	16224.68	16731.96	16901.86	15948.24	17046.90
1990-1991	13794.83	16940.54	17470.90	17641.66	16634.46	17768.84
1991-1992	14520.28	17852.38	18403.64	18585.86	17500.90	18690.78
1992-1993	15034.50	18460.38	18995.92	19202.64	18102.48	19329.48
1993-1994	15773.83	19335.86	19872.56	20087.12	19021.34	20251.22
1994-1995	16558.05	20310.40	20799.30	21033.22	19953.94	21211.18
1995-1996	17474.72	21359.98	21816.20	22085.58	21026.32	22290.76
1996-1997	18336.75	22349.10	22857.66	23133.16	22078.86	23309.02
1997-1998	19113.87	23345.44	23858.22	24146.10	23072.08	24292.12
1998-1999	19794.09	24178.64	24719.26		23940.34	25170.72
1999-2000	20383.52	24970.48	25530.94	25899.40	24763.84	25975.92
2000-2001	21143.42	25933.96	26484.98	26880.12	25739.84	26928.70
2001-2002		26940.86	27474.14	27878.17	26723.00	27939.68
2002-2003		28554.66	28971.06	29393.98	28266.20	29460.20
2003-2004		29462.41	29877.87	30283.29	29201.81	30359.61
2004-2005		30276.65	30653.83	31056.10	30034.63	31203.93
2005-2006		31047.33	31442.83	31828.51	30782.23	31965.39
2006-2007		31888.86	32298.18	32678.06	31663.94	32843.46
2007-2008		32668.60	33099.72	33483.96	32499.54	33671.64



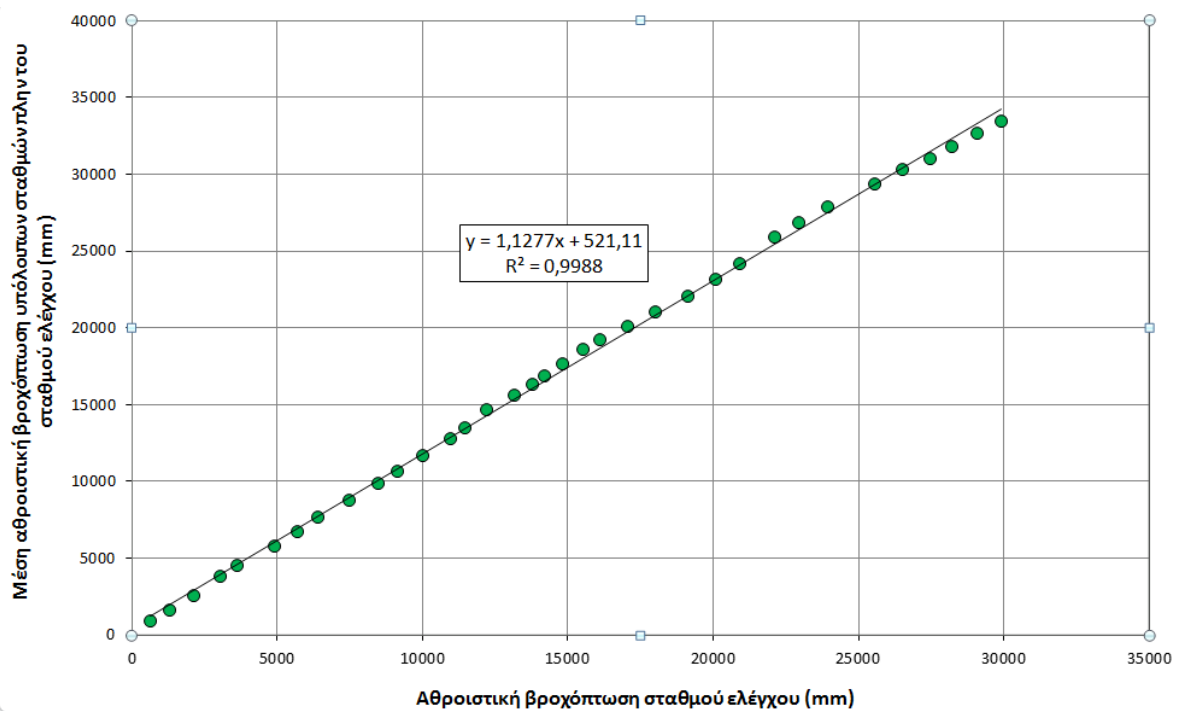
Σχήμα Β.1: Διάγραμμα «διπλής μάζας» σταθμού Ανωγείων (1972 – 2008).



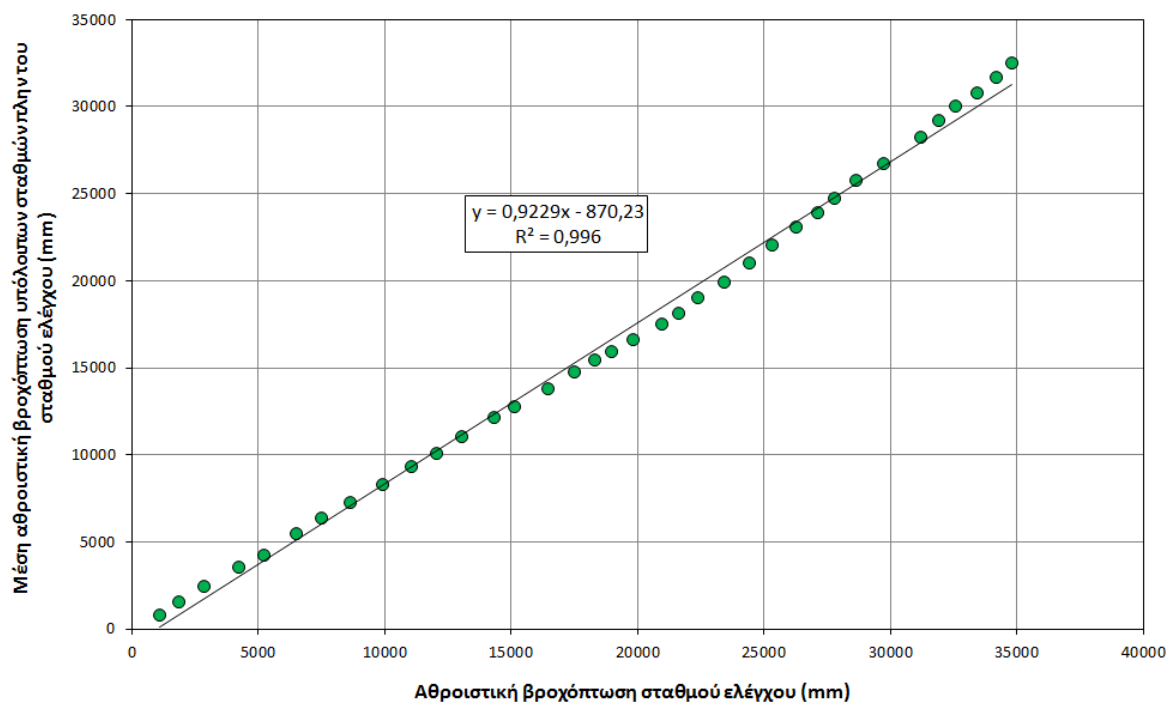
Σχήμα Β.2: Διάγραμμα «διπλής μάζας» σταθμού Αγίας Βαρβάρας (1972 – 2008).



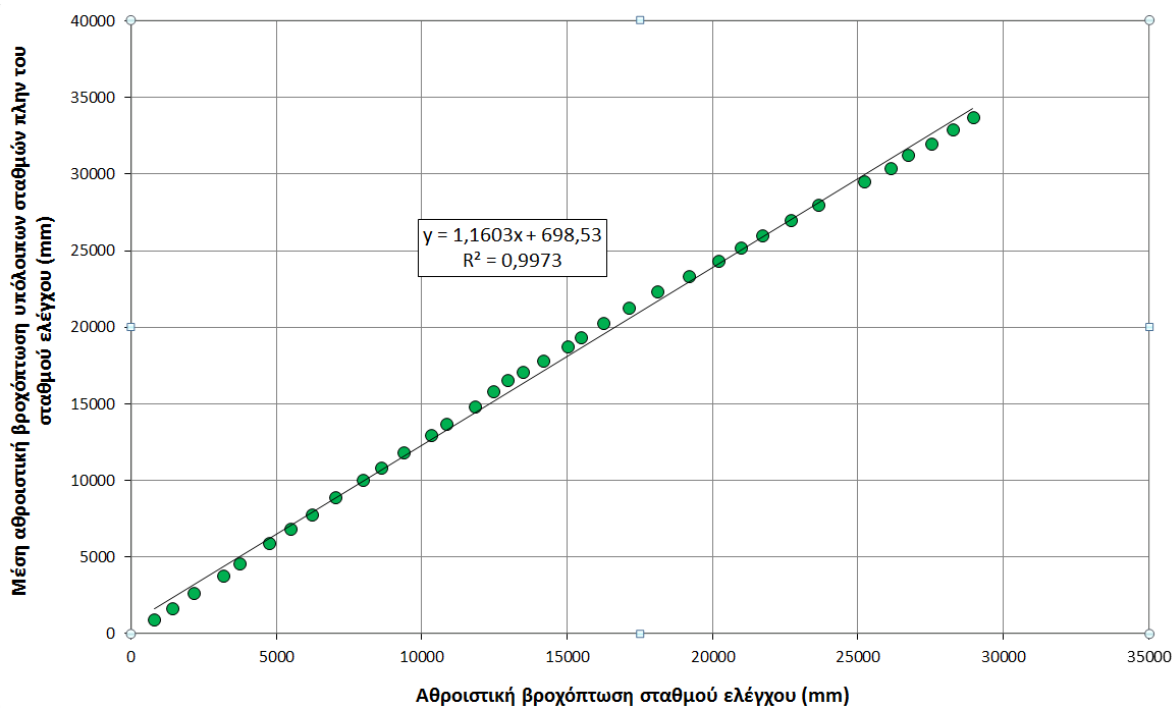
Σχήμα Β.3: Διάγραμμα «διπλής μάζας» σταθμού Γέργερης (1972 – 2008).



Σχήμα Β.4: Διάγραμμα «διπλής μάζας» σταθμού Ζαρού (1972 – 2008).



Σχήμα Β.5: Διάγραμμα «διπλής μάζας» σταθμού Κρουσώνα (1972 – 2008).



Σχήμα Β.6: Διάγραμμα «διπλής μάζας» σταθμού Προφήτη Ηλία (1972 – 2008).

Πίνακας Β.3: Τελικές τιμές ύψους βροχής των επιλεγμένων σταθμών.

ΥΔΡ. ΕΤΗ	Ετήσια βροχόπτωση (mm)					
	ΑΝΩΓΕΙΑ	ΑΓ. ΒΑΡΒΑΡΑ	ΓΕΡΓΕΡΗ	ΖΑΡΟΣ	ΚΡΟΥΣΩΝΑΣ	ΠΡΟΦ. ΗΛΙΑΣ
1972-1973	1222.20	772.10	646.10	645.00	1098.80	790.20
1973-1974	918.40	746.30	704.20	628.00	762.20	639.40
1974-1975	1069.00	1037.50	852.00	838.00	970.90	728.90
1975-1976	1489.70	1107.10	1035.50	902.00	1375.40	1009.00
1976-1977	1001.00	628.70	570.50	593.00	1019.10	552.40
1977-1978	1527.00	1301.00	1230.00	1301.00	1294.20	1036.80
1978-1979	1226.10	937.00	772.00	795.00	964.50	717.20
1979-1980	1181.30	911.90	739.50	673.00	1147.10	753.50
1980-1981	1034.30	1283.70	1120.00	1109.00	1261.60	817.20
1981-1982	1209.20	1116.70	939.50	964.00	1146.80	932.30
1982-1983	934.00	877.10	664.50	688.00	1022.20	637.70
1983-1984	970.90	1205.90	962.50	878.00	990.50	767.90
1984-1985	1098.60	1257.60	1026.50	957.00	1274.80	948.60
1985-1986	888.30	730.50	653.50	499.00	784.60	506.40
1986-1987	1367.30	1141.60	1033.40	742.00	1345.00	990.00
1987-1988	819.60	1179.10	952.50	933.00	1049.80	646.00
1988-1989	806.30	810.00	692.00	648.20	782.00	492.70
1989-1990	629.00	551.80	465.00	416.50	688.30	518.30
1990-1991	849.00	711.90	596.50	592.20	860.10	681.50
1991-1992	1095.00	888.50	784.00	726.70	1115.50	838.00
1992-1993	589.10	634.40	713.00	590.50	666.50	480.90
1993-1994	928.40	987.00	981.20	942.00	770.10	755.70
1994-1995	975.70	808.30	1047.30	950.50	1018.00	881.20
1995-1996	870.80	1122.90	1286.30	1109.00	1008.90	972.90
1996-1997	1011.20	1237.80	976.10	945.50	920.70	1092.10
1997-1998	1256.00	937.00	915.90	854.00	952.60	1003.20
1998-1999	1095.70	1011.00	871.80	578.81	835.70	784.00
1999-2000	1236.60	814.00	714.80	604.90	655.70	747.20
2000-2001	1179.50	921.50	968.70	835.30	858.90	975.00
2001-2002	966.07	959.30	1048.00	1003.50	1078.00	938.90
2002-2003	1725.24	1112.50	1696.90	1602.50	1465.50	1578.90
2003-2004	1018.26	880.30	885.00	972.50	741.00	922.00
2004-2005	906.36	752.40	943.80	959.50	659.50	602.00
2005-2006	861.73	732.60	641.00	724.00	848.00	778.70
2006-2007	966.06	933.60	864.50	893.50	732.70	750.90
2007-2008	908.79	937.80	828.80	807.00	658.50	695.60
M.O.	1050.88	943.84	883.97	830.60	967.33	804.53

Γ. Μετρήσεις δυνητικής εξατμισοδιαπνοής

Πίνακας Γ.1: Δυνητική εξατμισοδιαπνοή σταθμού Ανωγείων (1977-97), σύμφωνα με τον τροποποιημένο τύπο του Penman (Στιβακτάκης – Κριτωτάκης, 2014).

Υδρολ. Έτη	Δυνητική εξατμισοδιαπνοή (mm)												
	Σ	Ο	Ν	Δ	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σύνολο
1977-78	116.45	83.39	52.13	33.78	42.32	57.22	92.25	125.69	170.84	199.08	206.04	177.82	1357.0
1978-79	126.81	78.78	42.61	37.36	41.82	53.73	98.69	123.67	175.23	186.96	195.75	177.10	1338.5
1979-80	134.01	83.20	50.38	35.56	41.47	50.62	92.48	123.71	156.80	186.28	197.75	173.68	1325.9
1980-81	125.19	87.22	51.94	37.64	39.44	54.27	99.93	123.87	172.48	189.16	195.98	176.53	1353.7
1981-82	128.70	92.92	47.97	38.21	41.03	48.37	87.99	119.72	161.05	188.51	193.07	173.66	1321.2
1982-83	125.94	87.97	49.43	35.99	40.95	53.66	92.26	128.86	164.47	175.46	192.60	172.74	1320.3
1983-84	126.23	86.38	43.58	36.69	43.01	57.16	92.39	119.81	161.89	189.16	197.08	177.74	1331.1
1984-85	133.40	93.01	49.17	34.61	42.48	52.53	86.54	134.55	160.05	193.14	198.17	178.70	1356.4
1985-86	127.29	84.24	51.60	36.68	43.98	57.02	86.24	137.68	168.99	186.44	200.81	180.65	1361.6
1986-87	115.52	83.20	45.54	35.49	46.48	52.91	87.32	120.64	161.11	191.37	199.58	175.02	1314.2
1987-88	131.36	82.94	50.00	35.86	41.99	56.19	96.67	113.94	174.12	175.79	195.87	179.84	1334.6
1988-89	129.58	80.46	49.23	35.66	39.49	56.32	94.87	134.79	169.79	189.40	197.33	170.92	1347.8
1989-90	129.48	82.85	47.52	36.68	38.40	55.01	101.38	129.37	166.28	188.04	192.87	173.07	1341.0
1990-91	128.83	88.68	51.39	36.78	40.29	54.47	89.97	123.22	156.91	187.25	197.00	167.95	1322.7
1991-92	124.88	84.95	48.73	33.81	39.42	53.97	83.78	128.62	149.70	165.50	187.32	175.25	1275.9
1992-93	118.17	90.72	48.54	34.51	41.36	52.89	102.55	133.36	164.44	187.30	192.58	175.64	1342.1
1993-94	126.05	86.47	49.29	36.18	43.37	54.82	95.81	137.96	181.99	195.97	201.23	182.05	1391.2
1994-95	131.34	86.53	48.42	36.69	43.67	58.55	99.85	126.64	179.30	191.59	202.16	183.37	1388.1
1995-96	128.69	86.22	48.58	36.56	38.45	56.65	80.40	128.76	176.25	194.39	196.73	181.09	1352.8
1996-97	124.37	85.02	51.24	37.01	42.80	57.06	92.90	121.94	182.73	181.78	194.10	176.63	1347.6
M.O.	126.6	85.8	48.9	36.1	41.6	54.7	92.7	126.8	167.7	187.1	196.7	176.5	1341.2