



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας & Υδρογεωλογίας



ΚΑΡΑΤΟΣΙΟΣ Χ. ΑΝΤΩΝΙΟΣ

Διπλωματούχος Πολιτικός Μηχανικός Α.Π.Θ.

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ
ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΠΑΛΑΙΟΚΑΣΤΡΟΥ ΕΛΑΣΣΟΝΑΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
Master Thesis

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ:

«ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΓΕΩΛΟΓΙΑ»

ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ: «ΤΕΧΝΙΚΗ ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ»



ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ

2020



ΚΑΡΑΤΟΣΙΟΣ Χ. ΑΝΤΩΝΙΟΣ
Διπλωματούχος Πολιτικός Μηχανικός Α.Π.Θ.

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ
ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΠΑΛΑΙΟΚΑΣΤΡΟΥ ΕΛΑΣΣΟΝΑΣ

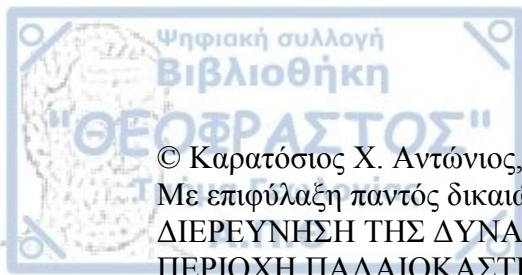
INVESTIGATION OF THE POSSIBILITY OF DAM CONTRUCTION IN
PALEOKASTRO AREA (ELASSONA, THESSALY)

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας στα πλαίσια του Προγράμματος Μεταπτυχιακών
Σπουδών «Εφαρμοσμένη και Περιβαλλοντική Γεωλογία», Κατεύθυνση: «Τεχνική
Γεωλογία και Περιβάλλον»

Ημερομηνία Προφορικής Εξέτασης: 17/03/2020

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

Βουδούρης Κ., Επιβλέπων Καθηγητής
Μάττας Χ., PhD ΕΔΙΠ, Μέλος Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής
Κακλής Τ., PhD ΕΔΙΠ, Μέλος Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής



© Καρατόσιος Χ. Αντώνιος, Διπλωματούχος Πολιτικός Μηχανικός Α.Π.Θ., 2020
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.
ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ ΣΤΗΝ
ΠΕΡΙΟΧΗ ΠΑΛΑΙΟΚΑΣΤΡΟΥ ΕΛΑΣΣΟΝΑΣ - *Μεταπτυχιακή Διπλωματική
Εργασία*

© Karatosios Ch. Antonios, Graduate Civil Engineer A.U.TH., 2020
All rights reserved.
INVESTIGATION OF THE POSSIBILITY OF DAM CONTRUCTION IN
PALEOKASTRO AREA (ELASSONA, THESSALY) – *Master Thesis*

Citation:

Καρατόσιος Α. Χ., 2020 - Διερεύνηση της δυνατότητας κατασκευής φράγματος στην περιοχή Παλαιόκαστρου Ελασσόνας. Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., 56 σελ.

Karatosios A. Ch., 2020 - Investigation of the possibility of dam contruction in Paleokastro area (Elassona, Thessaly). Master Thesis, Department of Geology A.U.TH., 56 p.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι εκφράζουν τις επίσημες θέσεις του Α.Π.Θ.

Εικόνα Εξωφύλλου: Απόψεις φράγματος Φανερωμένης στη Μεσσαρά Ηρακλείου Κρήτης με επαρκή ποσότητα νερού ταμιευτήρα στην αριστερή εικόνα και με το φαινόμενο της έλλειψης νερού στη δεξιά εικόνα.

(Πηγή: <https://www.daynight.gr/hrakleio-fragma-fanerwmenh/>)



Περίληψη

Βασικό αντικείμενο της παρούσας Μεταπτυχιακής Διπλωματικής εργασίας αποτελεί η διερεύνηση δυνατότητας κατασκευής υδρευτικού φράγματος στο Παλαιόκαστρο Ελασσόνας και συγκεκριμένα στη λεκάνη του χειμάρρου Ξεριά με κατάλληλη μελέτη των υδρογεωλογικών συνθηκών και επιλογή κατάλληλου μεγέθους φράγματος.

Αρχικά, γίνεται γενική περιγραφή των φραγμάτων, όπως είναι η χρησιμότητα των φραγμάτων και τα μειονεκτήματά τους όσον αφορά την επίδραση στο εγγύς περιβάλλον του φράγματος. Επίσης, αναλύονται τα είδη φραγμάτων με βάση το υλικό κατασκευής τους και τον τρόπο αντιμετώπισης της υδροστατικής πίεσης του ποταμού.

Στη συνέχεια, στο 2^ο Κεφάλαιο της εργασίας περιγράφεται γενικά η περιοχή μελέτης και με αναφορά στα γεωμορφολογικά-γεωγραφικά, γεωλογικά και κλιματολογικά στοιχεία. Όσον αφορά τα κλιματολογικά στοιχεία, εξετάζονται οι κλιματολογικές συνθήκες στην υπό μελέτη λεκάνη, όπως τα ύψη κατακρημνισμάτων, η θερμοκρασία αέρα, το υδρολογικό ισοζύγιο, κ.ά. Παρατίθενται διάφοροι χάρτες, πίνακες και σχήματα σχετικά με τη συλλογή και επεξεργασία δεδομένων της περιοχής έρευνας, όπως βροχομετρικά δεδομένα, γεωλογικό καθεστώς, κ.ά.

Στο 3^ο Κεφάλαιο της εργασίας, γίνεται μια έρευνα στις υδρευτικές ανάγκες του πληθυσμού με τον υπολογισμό του μελλοντικού πληθυσμού με χρήση διαφόρων μεθόδων για την ομαλή λειτουργία του υπό μελέτη έργου ύδρευσης.

Το 4^ο Κεφάλαιο επικεντρώνεται στα τεχνικά στοιχεία της μελέτης κατασκευής του φράγματος, όπως το ύψος φράγματος, τα φερτά υλικά, η ζώνη-άξονας φράγματος κ.ά. Παρατίθενται διάφοροι πίνακες με συλλογή και επεξεργασία δεδομένων για τη συνολική ετήσια εισροή και εκροή όσον αφορά τη παραγωγή νερού κ.ά. Ακόμη, παρουσιάζονται μια γεωμορφολογική διατομή και μια γεωλογική τομή κατά μήκος του άξονα του φράγματος και μία κάτοψη φράγματος με τα συνοδευτικά έργα του.

Ένας συνολικός προϋπολογισμός για το κόστος κατασκευής του φράγματος αναλύεται στο 5^ο Κεφάλαιο με βάση τα τεχνικά και οικονομικά μεγέθη του.

Στο τέλος της εργασίας εξάγονται τα βασικά συμπεράσματα για την έρευνα της υπό μελέτη περιοχής βάσει γεωλογικής, κλιματολογικής σκοπιάς και μελλοντικών υδρευτικών αναγκών του πληθυσμού. Επίσης, προτείνονται λύσεις για την αντιμετώπιση τυχόν αστοχιών του φράγματος.



Abstract

The main subject of this present Master's thesis is the investigation of the possibility of water dam construction in Paleokastro Ellassona and specifically in the basin of the stream of Xeria with proper study of the hydrogeological conditions and selection of appropriate dam size.

Initially, general description of the dams is mentioned, such as the usefulness of the dams and their disadvantages with regard to the impact in the vicinity of the dam. Also, the types of dams are analyzed based on their construction material and how to face the hydrostatic pressure of the river.

Then, in Chapter 2 of the thesis the study area is generally described and with reference to geomorphological-geographical, geological and climatic data. Regarding climatic data, the climatic conditions are examined in the study basin, such as precipitations, air temperature, hydrological balance, etc. Various maps, tables and charts are presented regarding the collection and processing of data from the study area, such as rainfall data, geological formations, etc.

In Chapter 3 of the thesis, a survey is made on the water needs of the population by calculating the future population using various methods for the smooth operation of the studied water construction.

Chapter 4 focuses on the technical data of the study dam construction, such as dam height, load materials, dam axis and zone, etc. Various tables are presented with data collection and processing for total annual water input and output about the water production, etc. Furthermore, a geomorphological section and a geological section along the dam axis and a plan view of the dam with its accompanying constructions are presented.

A total budget for the cost of constructing the dam is analyzed in Chapter 5 on the basis of its technical and financial sizes.

At the end of this Master's thesis, the main conclusions are drawn in study area on the basis of geological, climatic aspect and future water needs of the population. Solutions are also proposed to face any dam failures.



Για την επιτυχή περαίωση της παρούσας Μεταπτυχιακής Διπλωματικής εργασίας, συνέβαλαν ορισμένα άτομα στα οποία θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου.

Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου, του τμήματος Γεωλογίας Α.Π.Θ., κ. Βουδούρη Κωνσταντίνο, ο οποίος στάθηκε πολύτιμος αρωγός για τη σύνταξη αυτής της Διπλωματικής εργασίας, κατευθύνοντας και βοηθώντας με κάθε δυνατό τρόπο.

Κατά δεύτερο λόγο, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Δρ. Μάττα Χρήστο (ΕΔΙΠ, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ.) για τη συμβολή του με τις πολύτιμες υποδείξεις του.

Θα ήθελα να τονίσω πως ο κ. Βουδούρης Κωνσταντίνος και ο κ. Μάττας Χρήστος συνέβαλαν σημαντικά με τις παρατηρήσεις τους σχετικά με την πρόοδο της εργασίας και διέθεσαν χρόνο για τη διευθέτηση ζητημάτων που ανέκυπταν καθ' όλη τη διάρκεια της εργασίας, καθώς η εργασία αυτή βασίζεται σε στοιχεία παλαιότερης μελέτης που έχουν εκπονήσει.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Σούλιο Γεώργιο, Ομότιμος καθηγητής του τμήματος Γεωλογίας Α.Π.Θ., με την παροχή αξιόλογων πληροφοριών και υποδείξεων σχετικά με τα φερτά υλικά και το ύψος φράγματος για την διαστασιολόγηση του φράγματος.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την αδερφή μου κα. Καρατόσιου Κωνσταντίνα - Διπλωματούχο Αρχιτέκτονα Μηχανικό Α.Π.Θ., κα. Τσακλίδου Ελένη - Διπλωματούχο Πολιτικό Μηχανικό Α.Π.Θ. και τον κ. Τσιτσιλιάνο Αθανάσιο - Διπλωματούχο Αρχιτέκτονα Μηχανικό Α.Π.Θ. για την αρωγή τους στην τεχνική υποστήριξη, δίχως την οποία θα ήταν αδύνατη η ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας. Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω την κα. Δασκαλάκη Μαρία - Μηχανικό Χωροταξίας και Ανάπτυξης Α.Π.Θ. για την πολύτιμη συμβολή της στην επεξεργασία χαρτών (γεωλογικών και τοπογραφικών) μέσω της χρήσης προγράμματος GIS.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου και το φιλικό μου περιβάλλον, για την ηθική συμπαράσταση και την εμπιστοσύνη που μου έδειξαν καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου και της εκπόνησης της Μεταπτυχιακής Διπλωματικής μου εργασίας.



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περίληψη.....	3
Abstract.....	4
Ευχαριστίες.....	5
1. ΓΕΝΙΚΑ - ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	7
1.1. Η ΧΡΗΣΙΜΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΦΡΑΓΜΑΤΩΝ.....	7
1.2. ΕΙΔΗ ΦΡΑΓΜΑΤΩΝ.....	9
2. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	14
2.1. ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ - ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	15
2.2. ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	17
2.3. ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	20
2.3.1. Κατακρημνίσματα.....	20
2.3.2. Θερμοκρασία αέρα.....	26
2.3.3. Υδρολογικό ισοζύγιο.....	31
α. Μέθοδος Turc.....	31
β. Μέθοδος Coutagne.....	31
γ. Μέθοδος Thornthwaite-Mather.....	32
2.3.4. Πλημμυρική παροχή.....	33
3. ΥΔΡΕΥΤΙΚΕΣ ΑΝΑΓΚΕΣ ΠΛΗΘΥΣΜΟΥ.....	35
3.1. ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΟΣ ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ.....	35
α. Γραμμική μέθοδος.....	36
β. Μέθοδος ανατοκισμού.....	36
3.2. ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΥΔΡΕΥΤΙΚΕΣ ΑΝΑΓΚΕΣ.....	37
4. ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ.....	38
4.1. ΤΕΧΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	38
4.1.1. Ύψος φράγματος.....	38
4.1.2. Φερτά υλικά.....	42
4.1.3. Ζώνη – Άξονας φράγματος.....	43
4.1.4. Αντισεισμικός σχεδιασμός.....	46
4.1.5. Μέτρα στεγανοποίησης.....	47
5. ΚΟΣΤΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ.....	49
6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	51
7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	53

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΓΕΝΙΚΑ – ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Ο ανθρώπινος πολιτισμός είναι συνυφασμένος με την διαρκή βελτίωση των συνθηκών διαβίωσης κατασκευάζοντας και χρησιμοποιώντας διάφορα τεχνικά έργα. Ένα από αυτά είναι το φράγμα που συγκαταλέγεται στα χρησιμότερα τεχνικά έργα που επινόησε ο άνθρωπος νους.

Τα φράγματα είναι τεχνικά έργα που κατασκευάζονται εγκάρσια του ποταμού, τα οποία προκαλούν ανάσχεση της ροής του και αξιοποιούνται για διάφορες χρήσεις, όπως άρδευση, ύδρευση, παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, μικτή και περιβαλλοντική χρήση.

1.1. Η ΧΡΗΣΙΜΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΦΡΑΓΜΑΤΩΝ

Χάρη στα φράγματα, έχουμε πολλά οφέλη που διευκολύνουν την καθημερινότητά μας. Τέτοια οφέλη αναφέρονται παρακάτω:

- Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η σημαντικότερη προσφορά των υδροηλεκτρικών φραγμάτων είναι η αποθήκευση υδάτων για να παραχθεί η υδροηλεκτρική ενέργεια, η οποία αποτελεί μία από τις πιο κοινές ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.
- Άρδευση καλλιεργημένων εκτάσεων. Τα φράγματα συμβάλλουν στην κάλυψη αρδευτικών αναγκών σε περιόδους έντονης ξηρασίας αφού κατά τη διάρκεια των κατακρημνισμάτων τα ύδατα απορρέουν, αποθηκεύονται στις λεκάνες κατάκλισης και χρησιμοποιούνται στις περιόδους ξηρασίας. Συνεπώς, με αυτό τον τρόπο

εμμέσως καθίσταται εφικτή η συνέχιση και η ανάπτυξη της αγροτικής παραγωγής και των μη εποχιακών καλλιεργειών.

- Υδρευση πόλεων, οικισμών και βιομηχανικών μονάδων. Η αδιάλειπτη παροχή υδάτων για την κάλυψη αναγκών κυρίως σε περιόδους αυξημένης ζήτησης αποτελεί βασικό πλεονέκτημα των φραγμάτων. Επίσης, η κατασκευή φραγμάτων σε περιοχές με έντονο το φαινόμενο της λειψυδρίας διευκολύνει την κάλυψη των αναγκών του πληθυσμού παρέχοντάς τους πόσιμο νερό.
- Έλεγχος και αντιμετώπιση των πλημμυρών. Τα φράγματα ελέγχουν τον ρου των ποταμών. Σε περιόδους έντονων κατακρημνισμάτων, που έχουμε μεγάλη αύξηση στάθμης των υδάτων των ποταμών, προστατεύονται οι οικισμοί, οι καλλιέργειες και οι κάτοικοι, διότι περιορίζονται σημαντικά οι πλημμύρες (Αχιλλέως, 2015).
- Εμπλουτισμός του υπόγειου υδάτινου ορίζοντα
- Περιβαλλοντική αναβάθμιση περιοχών. Σε πολλές περιπτώσεις η τροποποίηση του ποτάμιου συστήματος σε λιμναίο δημιούργησε τοπία μεγάλης αισθητικής και οικολογικής αξίας, ελκυστικά για οικιστική και τουριστική ανάπτυξη και αναψυχή (www.eeft.gr).
- Τουρισμός
- Αναψυχή
- Ναυσιπλοΐα. Ο έλεγχος του ρου του ποταμού βοηθά στην ανάπτυξη της ναυσιπλοΐας ανάντη του φράγματος και αυτό έχει ως αποτέλεσμα την προώθηση του εμπορίου (Αχιλλέως, 2015).
- Αθλητισμός
- Ιχθυοκαλλιέργεια. Χάρη των επικρατούντων συνθηκών εντός της λεκάνης κατάκλισης, αυξάνεται το πλαγκτόν με επακόλουθο την συγκέντρωση όλο και περισσότερων ψαριών, αναβαθμίζοντας τον ταμιευτήρα σε περιοχή με δυνατότητα αλιείας και εξασφαλίζοντας τροφή και απασχόληση στους κατοίκους της εγγύτερης περιοχής (Αχιλλέως, 2015).

Από τα παραπάνω οφέλη, συμπεραίνεται ότι το φράγμα είναι ένα πολυδιάστατο τεχνικό έργο με επίδραση σε πολλούς τομείς μιας χώρας, όπως η οικονομία, ο τουρισμός, η ναυτιλία, το περιβάλλον, η γεωργία, η ενέργεια και ο αθλητισμός.

Έτσι μπορεί να ειπωθεί ότι το φράγμα είναι γεωπολιτικής σημασίας για μια χώρα αφού της δύναται η δυνατότητα να ασκήσει πίεση σε γειτονικές της χώρες και να εξυπηρετήσει τα συμφέροντά της.

Παρά τα οφέλη των φραγμάτων, δεν θα μπορούσαν να παραλείψουν και τα μειονεκτήματα. Κατασκευάζοντας ένα φράγμα εξομαλύνεται ο ρους του νερού στα κατάντη και συνεπώς μειώνεται η ροή στις λεκάνες απορροής με επακόλουθο την έκλυση μικρότερων ποσοτήτων ιζημάτων στις ακτές. Αυτό όμως προκαλεί διάβρωση της ακτογραμμής και την δημιουργία απότομης και βραχύδους περιοχής. Εξαιτίας των μειωμένων ποσοτήτων ιζημάτων, οι άλλοτε εύφορες και καλλιεργήσιμες περιοχές καθίστανται μη καλλιεργήσιμες. Επίσης, η κατασκευή ενός φράγματος μειώνει την ποσότητα του πλαγκτόν και των άλλων θρεπτικών στοιχείων για τα ψάρια στην εκβολή του ποταμού αυξάνοντας την υφαλμύριση των υδάτων. Γεγονός που σημαίνει ότι μεταναστεύουν πολλά ψάρια σε άλλες περιοχές ή ακόμα εξαφανίζονται.

Το να συγκεντρώνεται μεγάλη ποσότητα υδάτων και δομικών υλικών του φράγματος, αυξάνεται το φορτίο και η επιβάρυνση του πυθμένα του ποταμού που μπορεί ακόμα να αυξήσει την σεισμική δραστηριότητα στην ευρύτερη περιοχή. Τέτοια περίπτωση είναι το φράγμα των Τριών Φαραγγιών, όπου οι κάτοικοι βιώνουν την αύξηση των σεισμικών δονήσεων μετά την κατασκευή του φράγματος. Η παραμονή των υδάτων στη λεκάνη κατάκλισης για μεγάλο χρονικό διάστημα προκαλεί μεταβολή στην περιεκτικότητά τους σε οξυγόνο. Αυτό έχει ως επακόλουθο τη μείωση του αποθηκευμένου νερού και την εμφάνιση τοξικών ουσιών σε αρκετές περιπτώσεις, όπως το υδρόθειο, καθιστώντας το νερό μη πόσιμο, τοξικό και επικίνδυνο για την υγεία των κατοίκων. Τέλος, τα λιμνάζοντα νερά σε συνδυασμό με την εμφάνιση διαφόρων εντόμων και ζώων επιβλαβών για την υγεία των κατοίκων στην ευρύτερη περιοχή, προκαλούν την εμφάνιση πολλών ασθενειών στους κατοίκους (Αχιλλέως, 2015).

1.2. ΕΙΔΗ ΦΡΑΓΜΑΤΩΝ

Τα φράγματα αναλόγως του υλικού κατασκευής διακρίνονται σε:

- Χωμάτινα - Λιθόρριπτα φράγματα (Εικ. 1)
- Φράγματα από σκυρόδεμα (Αχιλλέως, 2015)



Εικόνα 1: Χωμάτινο - Λιθόρριπτο φράγμα

(Πηγή: <https://www.arcgis.com/apps/Shortlist/index.html?appid=edef947ad1fe47dd94ad4d48e843f6f3>)

Όσον αφορά τη δομή τους και τον τρόπο αντιμετώπισης της υδροστατικής πίεσης του νερού που ασκείται από τον υδάτινο όγκο του ταμιευτήρα διακρίνονται σε:

- Φράγματα βαρύτητας

Η κατασκευή αυτών των φραγμάτων γίνεται από σκυρόδεμα εντός περιοχών βραχώδους υποβάθρου και αντοχής πετρωμάτων 800-1100 kPa. Η χρήση τους γίνεται συνήθως σε κατασκευές υπερχείλισης, εφόσον το σκυρόδεμα παραμένει ανεπηρέαστο από το ρου των υδάτων, όταν γίνεται υπερχείλιση πάνω από το σώμα του φράγματος (Αχιλλέως, 2015). Αυτό είναι βασικό πλεονέκτημα έναντι των χωμάτινων φραγμάτων διότι η διέλευση ύδατος πάνω από το σώμα του χωμάτινου φράγματος σε περίοδο πλημμύρας θα συμπαρασύρει το χώμα και θα σημάνει την καταστροφή του φράγματος (Βίτσα, 2012).

Το σχήμα των φραγμάτων βαρύτητας είναι ευθύγραμμο ή καμπύλο και εξαρτάται από το κόστος και την απαιτούμενη ασφάλεια της κατασκευής. Η καμπυλότητα του

φράγματος αυξάνεται όσο το υπόβαθρο είναι πιο σταθερό. Η διατομή τους είναι τριγωνική ή τραπεζοειδής και με μεγάλο πλάτος, περίπου τα $\frac{2}{3}$ του ύψους τους. Τέτοιου είδους φράγματα (Εικ. 2) απαιτούν μεγάλη ποσότητα σκυροδέματος και το βάρος τους αντιστέκεται στις μεγάλες υδροστατικές πιέσεις (Αχιλλέως, 2015).



Εικόνα 2: Φράγμα βαρύτητας

(Πηγή: <https://www.elter.gr/default.asp?pid=15&la=1&ct=28&proID=92>)

- Τοξωτά φράγματα

Κατασκευάζονται από σκυρόδεμα και είναι κυρτά προς το κατακόρυφο επίπεδο (Εικ. 3). Έχουν λεπτή διατομή και η βάση του φράγματος έχει πλάτος το 10-20% του ύψους του. Απαραίτητη προϋπόθεση για την κατασκευή του, είναι να υπάρχει σταθερό βραχώδες υπόβαθρο, που να αντέχει την ασκούμενη πίεση χωρίς σημαντικές καθιζήσεις. Τα πετρώματα στα πρανή πρέπει να έχουν υψηλές αντοχές για να παραλαμβάνουν τα φορτία των υδάτων του ταμιευτήρα που ασκούνται πλευρικά στις συναρμογές (Αχιλλέως, 2015).



Εικόνα 3: Τοξωτό φράγμα

(Πηγή: <https://www.nippon.com/en/guide-to-japan/vi004001/kami-shiiba-dam-miyazaki-japan%E2%80%99s-first-major-arch-dam.html>)

- Αντηριδωτά φράγματα

Ο συγκεκριμένος τύπος φράγματος (Εικ. 4) προέκυψε λόγω της δυσκολίας κατασκευής τοξωτών φραγμάτων σε κοιλάδες, αλλά και της ανάγκης αποφυγής των φραγμάτων βαρύτητας. Τα αντηριδωτά φράγματα είναι φράγματα βαρύτητας, των οποίων η απαιτούμενη μάζα του σκυροδέματος μειώνεται και τα φορτία από το νερό του ταμιευτήρα μεταφέρονται στα θεμέλια του φράγματος μέσω κατακόρυφων στηριγμάτων. Επίσης, έχει παράλληλες αντηρίδες (Εικ. 5) με άξονες παράλληλους στον άξονα της κοιλάδας και ημικυλινδρικά τμήματα μεταξύ των αντηρίδων. Η αντοχή των πετρωμάτων για τα αντηριδωτά φράγματα πρέπει να είναι της τάξεως των 2200-3200 kPa (Αχιλλέως, 2015). Το πλεονέκτημά τους έναντι των βαρύτητας είναι ότι χρειάζεται λιγότερη ποσότητα σκυροδέματος. Στις μέρες μας δεν επιλέγεται συνήθως αυτός ο τρόπος κατασκευής γιατί απαιτεί πολύ μεγάλη προσοχή στην τοποθέτηση του ξυλότυπου (Βασιλειάδης κ.ά., 2015).



Εικόνα 4: Αντηριδωτό φράγμα

(Πηγή: https://www.tripadvisor.fr/LocationPhotoDirectLink-g1892818-d1527983-i213441385-Barrage_et_Site_de_Roselend-Beaufort_Savoie_Auvergne_Rhone_Alpes.html)



Εικόνα 5: Λεπτομέρεια αντηρίδων Αντηριδωτού φράγματος

(Πηγή: https://en.wikipedia.org/wiki/Buttress_dam#/media/File:CruachanDam.jpg)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

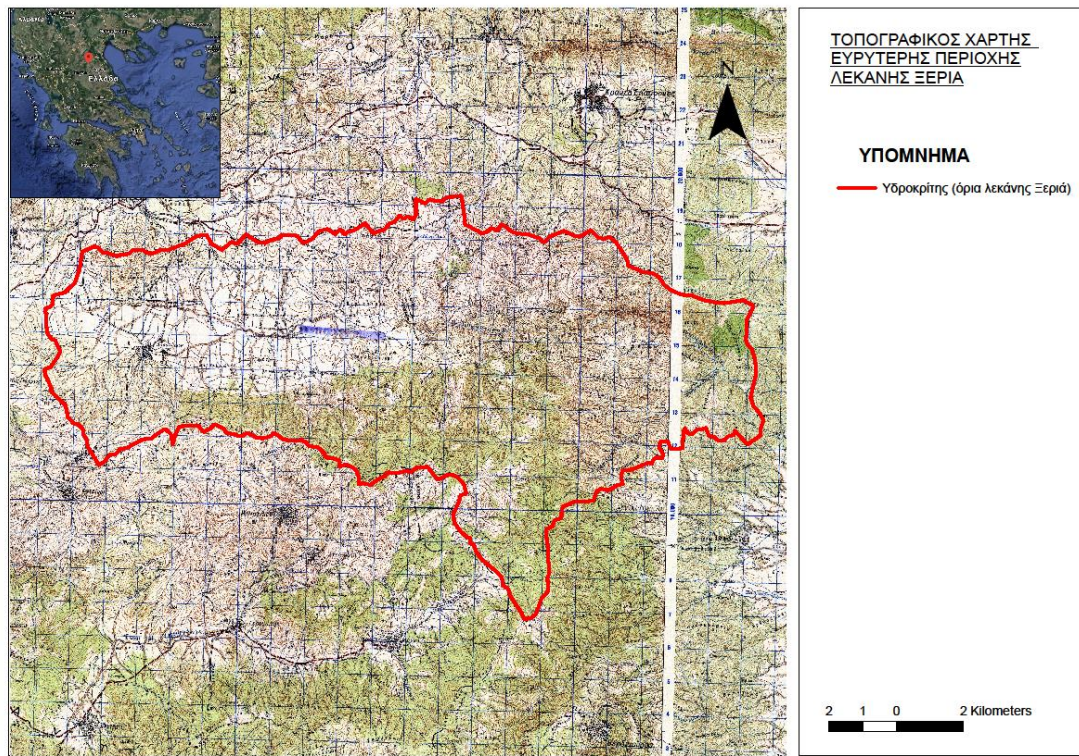
Η Περιφερειακή Ενότητα Λάρισας είναι η 2^η σε έκταση της Ελλάδας και μια από τις τέσσερις Περιφερειακές Ενότητες της Θεσσαλίας. Το μεγαλύτερο τμήμα της Π.Ε. Λάρισας είναι πεδινό και συγκεκριμένα ο κάμπος της Θεσσαλίας είναι ο 2^{ος} μεγαλύτερος της Ελλάδας (<https://greecegeography.weebly.com>). Η συγκεκριμένη πεδιάδα της Θεσσαλίας βρίσκεται κατά το πλείστον στην Π.Ε. Λάρισας. Επίσης, το βορειότερο τμήμα της Π.Ε. καλύπτεται από δάση.

Ο εν λόγω κάμπος έχει την μεγαλύτερη κατανάλωση νερού για αρδευτικούς σκοπούς στην Ελλάδα (<https://www.thessaliatv.gr>). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να παρουσιάζονται προβλήματα αξιοποίησης νερού για υδρευτικές ανάγκες ιδιαίτερα κατά τους θερινούς μήνες δεδομένου ότι η Λάρισα συγκαταλέγεται στις πιο ζεστές περιοχές της Ελλάδας.

Λύση κατά μεγάλο ποσοστό στο πρόβλημα αξιοποίησης νερού για υδρευτική χρήση θα δώσει ο χείμαρρος Ξεριάς που είναι και το αντικείμενο έρευνάς μας. Η περιοχή έρευνας λοιπόν, περιλαμβάνει τη λεκάνη του Ξεριά, που είναι ένας χείμαρρος και εκβάλει στο Τιταρήσιο παραπόταμο του Πηνειού ποταμού. Έχει κατεύθυνση ροής από δυτικά προς ανατολικά με τις εκβολές του να είναι δίπλα από το χωριό Παλαιόκαστρο Ελασσόνας. Τα όρια της περιοχής έρευνας είναι σαφώς η υδροκριτική γραμμή της υδρολογικής λεκάνης.

Επίσης, η λεκάνη είναι αρκετά περικλειστη από λόφους και βουνά με έντονο ανάγλυφο και σχετικά αδιαπέρατους σχηματισμούς που ευνοούν την επιφανειακή απορροή και συγκέντρωση ικανοποιητικής ποσότητας ύδατος ανάντη του φράγματος.

Συνεπώς, αυτοί είναι οι λόγοι που επιλέχθηκε η συγκεκριμένη περιοχή για μελέτη. Παρακάτω παρατίθεται ο τοπογραφικός χάρτης της λεκάνης Ξεριά με την θέση της στην Ελλάδα.



Σχήμα 1: Τοπογραφικός χάρτης λεκάνης Ξεριά

2.1. ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ - ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Τα γεωμορφολογικά – γεωγραφικά στοιχεία της υπό μελέτη λεκάνης που αναφέρονται παρακάτω, είναι απαραίτητες πληροφορίες που θα συμβάλλουν καθοριστικά στην διαστασιολόγηση του φράγματος.

Η έκταση και η περίμετρος της εξεταζόμενης λεκάνης απορροής είναι 138,894 Km² και 68,577 Km αντίστοιχα.

Ο συντελεστής σχήματος (shape coefficient) είναι $\alpha = \frac{138,894}{21,612^2} = 0,297$, που είναι σχετικά μικρή τιμή, οπότε έχουμε επιμήκης λεκάνη απορροής.

Ο δείκτης κυκλικότητας (circularity ratio) είναι $\frac{138,894}{\pi * 10,914^2} = 0,371$.

Ο δείκτης επιμήκυνσης (elongation ratio) είναι $E_r = \frac{13,298}{21,612} = 0,615$.

Όσον αφορά τους γεωλογικούς σχηματισμούς που απαντώνται στη λεκάνη απορροής, αυτά αναλύονται στο αμέσως επόμενο υποκεφάλαιο 2.2. Είναι βασική παράμετρος για να εκτιμήσουμε στο αν παράγονται πολλά φερτά υλικά που μεταφέρονται με τις πλημμυρικές απορροές. Εδώ πρέπει να τονιστεί η παρουσία αλλουβιακών και νεογενών αποθέσεων εντός της λεκάνης απορροής που είναι ευπαθή στη δράση των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων και παράγουν πολλά φερτά υλικά.

Η μέση κλίση της λεκάνης είναι 22,41%.

Το μέσο υψόμετρο της λεκάνης είναι 763,77 μέτρα.

Η μέγιστη υψομετρική διαφορά είναι $H_{\max} - H_{\min} = 1.386,45 - 257,69 = 1.128,76$ μέτρα.

Ο βαθμός ανάγλυφου είναι $\frac{H_{\max} - H_{\min}}{L} = \frac{1,12876}{21,612} = 0,052$ (Βουδούρης, 2013).

Το υδρογραφικό δίκτυο της εξεταζόμενης λεκάνης απορροής απαρτίζεται από κλάδους 1ης τάξεως έως και 6ης τάξεως σύμφωνα με την ταξινόμηση Strahler (Strahler, 1957), όπως αναλύεται παρακάτω:

- 807 κλάδοι 1ης τάξεως
- 202 κλάδοι 2ης τάξεως
- 55 κλάδοι 3ης τάξεως
- 10 κλάδοι 4ης τάξεως
- 2 κλάδοι 5ης τάξεως
- 1 κλάδος 6ης τάξεως

Παρατηρείται στην παραπάνω ταξινόμηση ότι το υδρογραφικό δίκτυο της λεκάνης είναι ανεπτυγμένο με την μισγάγγεια να αναπτύσσεται σε μήκος 28.244 μέτρων ή 28,24 χιλιομέτρων.

Οι τιμές των επιμέρους συντελεστών διακλάδωσης (bifurcation ratio) είναι:

$$R_{b1} = \frac{807}{202} = 3,995$$

$$R_{b2} = \frac{202}{55} = 3,673$$

$$R_{b3} = \frac{55}{10} = 5,5$$

$$R_{b4} = \frac{10}{2} = 5$$

$$R_{b5} = \frac{2}{1} = 2$$

με μέση τιμή συντελεστή διακλάδωσης $R_{b, \text{median}} = 4,034$, οπότε σύμφωνα με τον Horton (1945), έχουμε φυσικό αναπτυσσόμενο υδρογραφικό δίκτυο.

Η υδρογραφική πυκνότητα (drainage density) είναι $d = \frac{502,3208}{138,894} = 3,617 \text{ Km}^{-1}$, υψηλή τιμή που μας πληροφορεί για αδιαπέρατα πετρώματα και ορεινό ανάγλυφο.

Το αντίστροφο της υδρογραφικής πυκνότητας είναι $\frac{1}{3,617} = 0,276 \text{ Km}^2/\text{Km}$ (Βουδούρης, 2013). Η χαμηλή τιμή της σταθεράς υποδηλώνει χαμηλή υδροπερατότητα των πετρωμάτων της λεκάνης απορροής (Pakhmode et al., 2003).

Η συχνότητα των κλάδων (stream frequency) είναι $f = \frac{1,077}{138,894} = 7,754 \text{ Km}^{-2}$, ιδιαίτερα μεγάλη τιμή που υποδηλώνει μικρή περατότητα των γεωλογικών σχηματισμών και δημιουργία μεγάλων πλημμυρικών απορροών στην έξοδο της εξεταζόμενης λεκάνης, καθώς επίσης και σημαντικές ποσότητες φερτών υλικών.

Η μέση κλίση της μισγάγγειας είναι $i = \frac{1,069-247}{28.244,052} = 0,0291$ ή 2,91%.

Η υδρογραφική υφή (drainage texture) είναι $T = 3,617 * 7,754 = 28,05$ (Βουδούρης, 2013). Σύμφωνα με τους Dornkamp και King (1971), η τιμή αντιστοιχεί σε χαμηλής περατότητας γεωλογικούς σχηματισμούς και συνεπώς μικρή κατείσδυση.

Σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά του χείμαρρου Ξεριά και την Οδηγία 2000/60, ο εξεταζόμενος ποταμός ταξινομείται ως τύπος R-M4, δηλαδή χαρακτηρίζεται ως μικρό/μεσαίο και ορεινό ποτάμι με μη πυριτικό γεωλογικό υπόβαθρο (μικτή γεωλογία υποβάθρου) και εποχικό καθεστώς ροής ποταμού με μεγάλη μεταφορά ιζήματος (Van de Bund et al., 2004 και Βουδούρης, 2013).

2.2. ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Η περιοχή έρευνας, γεωτεκτονικά ανήκει εξ' ολοκλήρου στην Πελαγονική ζώνη, η οποία εντάσσεται στις Εσωτερικές Ελληνίδες. Στο σχήμα 2, παρατίθεται ο γεωτεκτονικός χάρτης της Ελλάδας με την τοποθεσία της υπό έρευνα περιοχής.

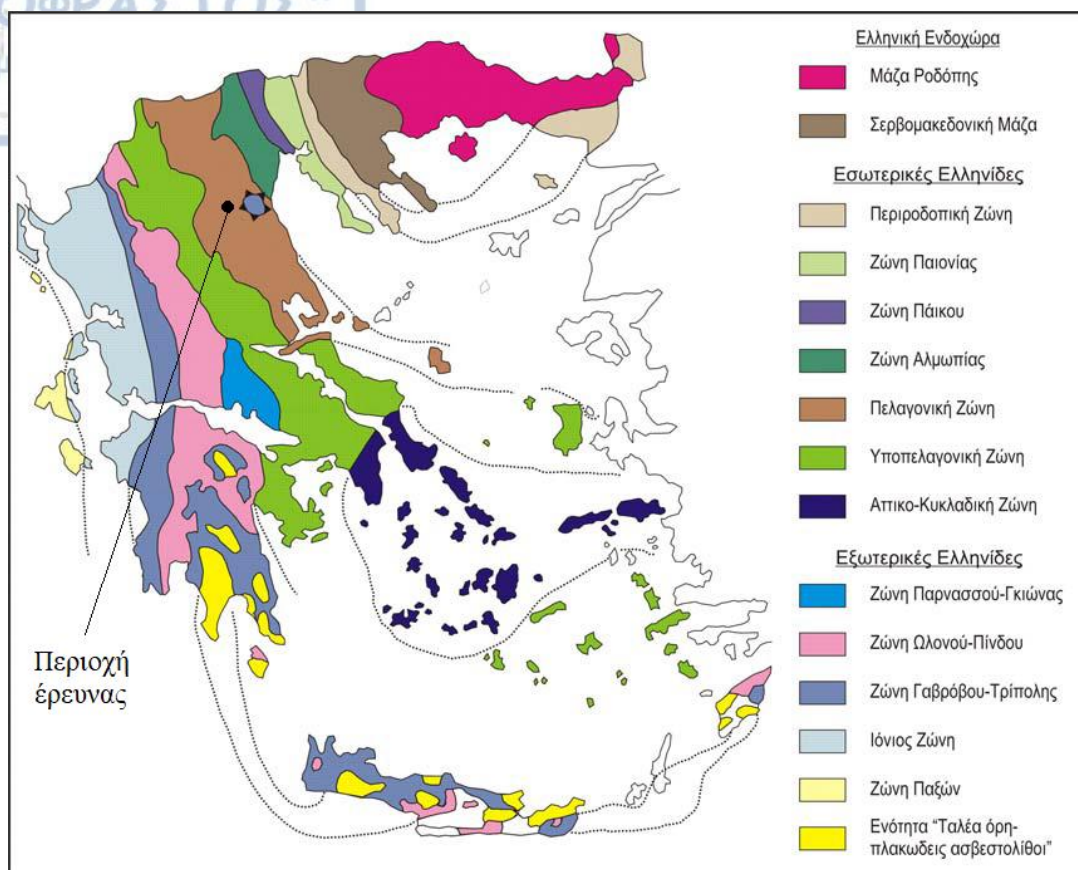
Στη λεκάνη απορροής του Ξεριά παρατηρούνται οι παρακάτω γεωλογικοί σχηματισμοί από τους νεώτερους στους παλαιότερους σύμφωνα με τα φύλλα Δεσκάτη (Ι.Γ.Μ.Ε. 1987) και Ελασσόνα (Ι.Γ.Μ.Ε. 1987):

- Σύγχρονες αλλουβιακές αποθέσεις αποτελούμενες από ασύνδετες κροκάλες, λατύπες, χαλίκια, αργίλους και άμμους.

- Παλαιά και σύγχρονα πλευρικά κορήματα και κώνοι κορημάτων που αποτελούνται από ασύνδετες λατύπες.

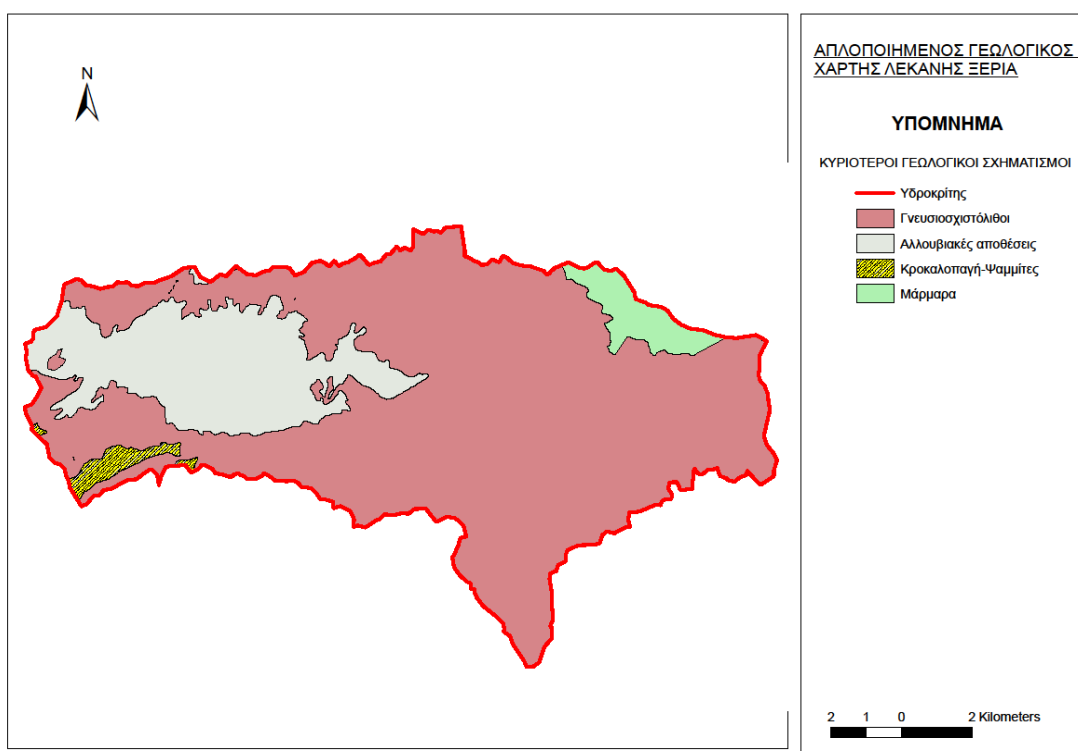
- Λιμναίες αποθέσεις αποτελούμενες από μάργες, άργιλοι, ψαμμίτες, κροκαλοπαγή και λατυποπαγή πάχους 250-300 m.
- Ανώτερη σειρά Μετεώρων (μέγιστο πάχος 400 m περίπου) που αποτελείται κυρίως από συνεκτικά κροκαλοπαγή που περικλείουν κατά θέσεις φακούς - πάχους μερικών μέτρων- συνεκτικών ψαμμιτών. Τα υλικά αυτά συνδέονται μεταξύ τους με υλικό αργιλοψαμμιτικής σύστασης. Κατά θέσεις συναντώνται ενστρώσεις από αργίλους και ψαμμούχες μάργες πάχους μερικών δεκάδων μέτρων.
- Γνευσιοσχιστόλιθοι, γνεύσιοι και σχιστόλιθοι.
- Κρυσταλλικό προαλπικό υπόβαθρο που διακρίνεται σε ανώτερο ορίζοντα συνολικού πάχους 2500-3000 m με μαρμαρυγιακούς και ακτινολιθικούς σχιστόλιθους και σε κατώτερο ορίζοντα πάχους 2500-3000 m με γνεύσιους και ασβεσταλκαλικούς γρανίτες.
- Κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι (μάρμαρα Κρανιάς) κυρίως κατώτερου ορίζοντα και έπειτα ενδιάμεσου, συνολικού πάχους 1450 m, εμπεριέχοντας ασβεσταλκαλικούς γρανίτες. Ο συγκεκριμένος σχηματισμός έχει περατότητα και τα κατακρημνίσματα κατεισδύουν σε αυτό, εκρέουν έξω από τη μελετημένη λεκάνη και εκφορτίζονται στη πηγή Κεφαλόβρυσου (Σούλιος κ.α. 2008). Γι' αυτό η επιφάνεια του σχηματισμού αυτού πρέπει να αφαιρεθεί από τη συνολική λεκάνη απορροής καθώς θεωρείται υδρολογικά ανενεργή επιφάνεια.

Στο σχήμα 3, παρατίθεται ο απλοποιημένος γεωλογικός χάρτης της λεκάνης Ξεριά με τους κυριότερους γεωλογικούς σχηματισμούς.



Σχήμα 2: Γεωτεκτονικός χάρτης της Ελλάδος

(Πηγή: <http://ikee.lib.auth.gr/record/100670/files/gri-2008-997.pdf>)



Σχήμα 3: Απλοποιημένος γεωλογικός χάρτης λεκάνης Ξεριά (Ψηφιοποιημένος από Φύλλα Χαρτών ΙΓΜΕ Δεσκάτης και Ελασσόνας)

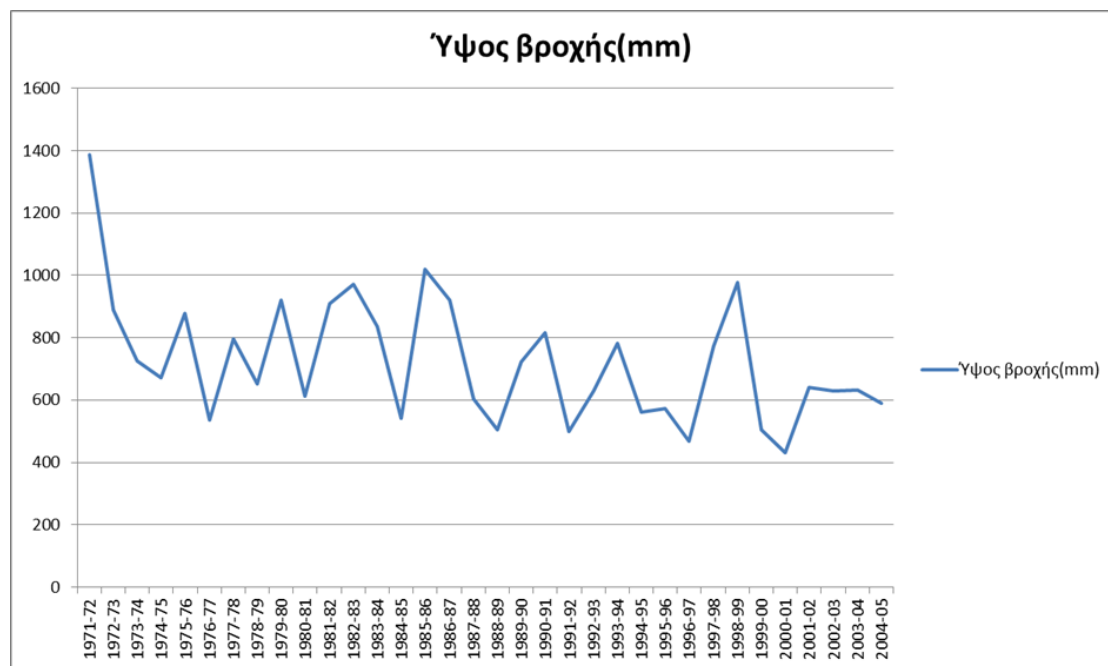
2.3. ΚΛΙΜΑΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

2.3.1. Κατακρημνίσματα

Οι μετεωρολογικοί σταθμοί που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία, δεν ευρίσκονται εντός της μελετημένης λεκάνης, παρά μόνο στην περιφέρειά της και κοντά σε αυτήν και είναι οι εξής, όπου τα υψόμετρά τους σε παρένθεση:

- Βερδικούσα (863 m) με περίοδο παρατηρήσεων 1971-2005
- Γιαννωτά (578 m) με περίοδο παρατηρήσεων 1971-2005
- Δεσκάτη (850 m) με περίοδο παρατηρήσεων 1971-2006
- Ελασσόνα (312 m) με περίοδο παρατηρήσεων 1971-2005,

όπου τα δεδομένα των παραπάνω σταθμών απεικονίζονται στους πίνακες 1, 2, 3 και 4 αντίστοιχα. Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζεται η διακύμανση ετήσιας βροχής (σε mm) στο σταθμό Βερδικούσα κατά τα έτη 1971 έως 2005.



Σχήμα 4: Διακύμανση ετήσιας βροχής στο σταθμό Βερδικούσα κατά τα έτη 1971-2005

Η υπό μελέτη λεκάνη απορροής περικλείεται από τους αναφερθέντες σταθμούς, που είναι επομένως αντιπροσωπευτικοί της. Τα 35 περίπου έτη παρατηρήσεων επαρκούν σε μεγάλο βαθμό στο να υπολογιστεί η μέση τιμή. Επίσης, υπήρχαν μερικά ελλιπή στοιχεία από τους αναφερθέντες σταθμούς και γι' αυτό χρησιμοποιήθηκε η αναλογική μέθοδος σε σχέση με τους άλλους σταθμούς συμπληρώνοντας μήνα προς μήνα τα ελλιπή στοιχεία. Οι συμπληρωμένοι μήνες διακρίνονται με τονισμένα γράμματα, όπως φαίνονται στους παρακάτω πίνακες.

Πίνακας 1: Μηνιαία ύψη κατακρημνισμάτων περιόδου 1971-2005 για σταθμό Βερδικούσας (Πηγή: Σούλιος κ.ά., 2008)

ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ: ΒΕΡΔΙΚΟΥΣΑ																
ΥΠΗΡΕΣΙΑ:																
ΥΨΟΜΕΤΡΟ: 863 M																
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑ: Μηνιαία Ύψη Βροχής σε mm																
ΕΤΟΣ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙΟ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΕΤΗΣΙΟ	MIN	M.O	MAX
1971-72	29,2	101,9	122,5	181,8	190,1	174,5	130,3	180,1	14,1	208,3	36,6	18,5	1387,9	14,1	115,7	208,3
1972-73	223,6	8,9	5	82,9	86,7	210,3	26,5	15,1	20,2	61,2	36,2	112	888,6	5	74,1	223,6
1973-74	104,5	75,4	61,3	17,9	143	102,5	113,6	22,7	52,8	0	3,4	28,2	725,3	0	60,4	143
1974-75	84,5	128,1	11,3	17,9	59,6	71,4	13,9	82,8	98,2	46,8	49	7,6	671,1	7,6	55,9	128,1
1975-76	44,2	101,7	66,9	25,7	186	38,4	67,2	120,8	32,7	51,3	132,4	10,1	877,4	10,1	73,1	186
1976-77	77,8	105,5	81,8	57,2	28,4	20,9	46,8	19,5	31,3	0	11,1	55,3	535,6	0	44,6	105,5
1977-78	29,7	69,4	148,2	146,5	30,3	65	115	38,9	0	0	1,1	150,7	794,8	0	66,2	150,7
1978-79	46,8	54,4	71,6	42,6	49,7	24,1	110,2	73,2	40,6	31,6	81,9	24,1	650,8	24,1	54,2	110,2
1979-80	219,8	221,2	75,7	35	25	147,8	32,3	87,6	27,3	3,3	35,5	9,4	919,9	3,3	76,7	221,2
1980-81	13,2	75,1	123,4	101	68,8	25,8	61,4	28,1	32,8	31,1	38,3	14,2	613,2	13,2	51,1	123,4
1981-82	113,2	99,5	77,5	6	91,1	143,3	186,4	95,9	24,4	0	51,6	20,9	909,8	0	75,8	186,4
1982-83	156,8	289,9	118,3	4	19,4	58,3	24,2	73,7	120,7	65,4	19,3	22,6	972,6	4	81,1	289,9
1983-84	42,5	122,8	79,2	79,6	126,8	82,7	94,3	38,4	36,4	0	106,7	24,8	834,2	0	69,5	126,8
1984-85	0	112,2	53,3	91,5	33,9	104,3	50,6	54,4	41,9	0	0	0	542,1	0	45,2	112,2
1985-86	80	276,6	46,8	85,1	161,4	108,4	16,4	72,3	116,1	36,1	14,5	5,7	1019,4	5,7	85,0	276,6
1986-87	124,5	104,7	59	35	30,9	222,4	78,3	90,3	16	36,6	91,5	29,9	919,1	16	76,6	222,4
1987-88	109,1	142,2	60,9	95,5	55,6	38,3	36	12,3	12,5	27,5	3,4	9,7	603	3,4	50,3	142,2
1988-89	53,7	101,9	100,6	6	42,2	60,1	20,5	51,8	20,4	18,4	22,1	7,7	505,4	6	42,1	101,9
1989-90	48,4	58,4	49	0	19,7	28	32,3	236	0	50	81	120	722,8	0	60,2	236
1990-91	50,1	69,3	152,4	62,1	41,5	70,9	120,1	79,2	30,1	37,8	58,8	42,8	815,1	30,1	67,9	152,4
1991-92	30,8	49	16	25,2	19	18	110	115	116	0,9	0	0,1	500	0	41,7	116
1992-93	89	68,5	65	88,7	84,5	24,8	10,7	134,5	10	0	28,1	25,5	629,3	0	52,4	134,5
1993-94	48,9	166,2	39,2	128,1	155,1	15,4	118,6	17,5	8	19,6	64	0	780,6	0	65,1	166,2
1994-95	103,5	82,4	111,4	23,1	9,2	31,7	4,2	13,1	0,7	51,8	55,2	75,8	562,1	0,7	46,8	111,4
1995-96	3,2	23,7	59,9	111,3	85,5	116,3	2,1	5,5	3	57,7	30,8	74,9	573,9	2,1	47,8	116,3
1996-97	47,7	60,9	92,3	42,7	13,4	28,7	52,7	8,5	10,1	26,5	67,5	16,8	467,8	8,5	39,0	92,3
1997-98	133,7	136,9	80,4	13,8	87,9	48,3	12,8	160,6	32,9	0	19	47	773,3	0	64,4	160,6
1998-99	29,5	286,8	162,9	118,6	55,9	85	66,8	65,4	22,5	28,5	33,2	23,1	978,2	22,5	81,5	286,8
1999-00	53,8	136,7	38,7	19,5	75,8	14,2	36,6	63,7	31,3	0	8,5	25,2	504	0	42,0	136,7
2000-01	61	49,7	37,7	52,3	12,5	24,7	59,8	55,1	0	35	44,5	0	432,3	0	36,0	61
2001-02	38,4	32	125	20,4	13,1	92,8	69,9	59,1	22,7	57	26,3	84,9	641,6	13,1	53,5	125
2002-03	19	37,6	222,8	107,4	47,5	9,7	39,6	27,8	22,8	33,2	26,1	34,4	627,9	9,7	52,3	222,8
2003-04	66,4	37,5	85,9	121	37,8	49,5	81,9	40,2	40,2	17,3	16,3	37,7	631,7	16,3	52,6	121
2004-05	102,7	62,8	66	51,4	101,3	45,5	3	34,7	7,5	0	30,5	83,8	589,2	0	49,1	102,7
Aver.	72,9	104,4	81,4	61,7	67,3	70,6	60,1	66,9	32,2	30,4	39,0	36,6	723,5	6,3	60,3	158,8
Max	223,6	289,9	222,8	181,8	190,1	222,4	186,4	236	120,7	208,3	132,4	150,7	1387,9	30,1	115,658	289,9
Min	0	8,9	5	0	9,2	9,7	2,1	5,5	0	0	0	0	432,3	0	36,025	61
S.d	53,6	71,6	46,2	46,8	51,5	56,1	45,0	52,7	32,9	36,3	31,9	37,5	202,1	8,1	16,8	59,0

Πίνακας 2: Μηνιαία ύψη κατακρημνισμάτων περιόδου 1971-2005 για σταθμό Γιαννωτών (Πηγή: Σούλιος κ.ά., 2008)

ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ: ΓΙΑΝΝΩΤΑ																
ΥΠΗΡΕΣΙΑ:																
ΥΨΟΜΕΤΡΟ: 578 M																
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑ: Μηνιαία Ύψη Βροχής σε mm																
ΕΤΟΣ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙΟ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΕΤΗΣΙΟ	MIN	M.O	MAX
1971-72	20,2	47,7	41,6	76,1	136	82,6	98,5	70,9	16,5	135,8	85,7	14	825,6	14	68,8	136
1972-73	169,2	8	13	90,8	70,9	112,8	13	0	4,1	72,4	21,4	70,8	646,4	0	53,9	169,2
1973-74	72	42,5	117,1	0	100,6	119,5	68,2	10,7	40,8	3,8	0	44,4	619,6	0	51,6	119,5
1974-75	0	43,6	46,6	0	49,3	24,2	15,3	56,2	92,9	25,1	12,9	25,3	391,4	0	32,6	92,9
1975-76	18,3	57,4	37,8	14	76,4	39,2	47,3	159,9	62,2	23,1	46,5	19,3	601,4	14	50,1	159,9
1976-77	79,5	76,4	39	17,9	28,5	16,5	28,8	24,8	12,4	0	9,8	28,2	361,8	0	30,2	79,5
1977-78	13,7	59,4	43,4	82,5	33,2	54,2	109,8	20,7	2,3	59,1	4,4	66,1	548,8	2,3	45,7	109,8
1978-79	59,3	25,7	65,7	69,3	51,9	27,9	95,1	61,5	27,3	8,6	59,8	12	564,1	8,6	47,0	95,1
1979-80	96	161,8	55,5	82,3	9,3	57,3	49	88	29,2	5,1	11,2	25,4	670,1	5,1	55,8	161,8
1980-81	112,3	60,7	54,1	40,1	47,7	33,9	71,1	29,1	19	17	101,6	0,1	586,7	0,1	48,9	112,3
1981-82	158,8	80,4	95,4	5,2	90,5	54,5	119	43,5	9,6	1,4	38,2	14,2	710,7	1,4	59,2	158,8
1982-83	107,2	127,1	51,2	4,6	6,9	25,1	22,9	65,2	82,4	59,9	11,7	12,5	576,7	4,6	48,1	127,1
1983-84	28,4	46,9	124,5	57,2	32,7	56,2	84,9	17,3	49	0	58,5	24,7	580,3	0	48,4	124,5
1984-85	0	63,3	46,5	52,1	25,3	82,6	41,8	36,8	33,9	5,1	0,1	5,1	392,6	0	32,7	82,6
1985-86	43,1	145,2	9,6	26,7	104,5	55,4	10,4	59,9	65,2	72,2	5,2	12,6	610	5,2	50,8	145,2
1986-87	59,3	55,2	21,9	91,9	64,4	171	73	52,3	23,7	8,2	53	21,2	695,1	8,2	57,9	171
1987-88	93,9	89	33,1	41	22,6	31	26,4	11,6	11,6	1,4	32,4	9,4	403,4	1,4	33,6	93,9
1988-89	28,7	106,9	61	2,1	9,7	26,5	7,3	53,8	112,2	105,5	10,1	5,4	529,2	2,1	44,1	112,2
1989-90	28,3	44,4	49,1	0	16,7	19,5	24,5	87,7	7	26	63,4	6,1	372,7	0	31,1	87,7
1990-91	41,7	57,5	163,1	100,2	27,7	75	117,3	70,3	43,6	14,6	47,5	28,2	786,7	14,6	65,6	163,1
1991-92	25,3	41,7	0	13,6	2,5	19	153,7	84,9	52,7	29,8	13	0	436,2	0	36,4	153,7
1992-93	32,8	53	54	33	31,4	28,4	36	53,7	14	0	18,3	9,6	364,2	0	30,4	54
1993-94	18,4	173,7	53,3	92,6	53,9	0	97,5	33,3	0	80,8	43,8	0,3	647,6	0	54,0	173,7
1994-95	67,4	36,8	73,5	22,7	8,4	50,6	9,9	105,2	44,3	96,8	83,1	0	598,7	0	49,9	105,2
1995-96	4,2	25,3	77,7	87,7	88	85,8	15,5	14,4	28,3	35,8	36,1	80	578,8	4,2	48,2	88
1996-97	92,1	58,7	101,5	41	35,8	27,1	62,7	3	27	14,8	54	2,3	520	2,3	43,3	101,5
1997-98	90,1	92,6	126	22,4	56,7	13	14	132	17,1	0	22,4	28	614,3	0	51,2	132
1998-99	27	182,5	104,5	81	74,5	109	29,6	46,1	43	32	81,5	9,1	819,8	9,1	68,3	182,5
1999-00	70,5	88,8	111	12	47,7	20,6	20,5	52,1	49	33,8	0,7	15	521,7	0,7	43,5	111
2000-01	45,3	48,7	32,6	35,5	30	5	45,5	54	0	70	58,1	0	424,7	0	35,4	70
2001-02	8	22,3	126	3,4	1	31,5	59,9	23,3	4	119,5	31,1	120,5	550,5	1	45,9	126
2002-03	62,5	39	186,5	112	57,2	19,5	54,5	53,5	24,5	54	22,9	39,5	725,6	19,5	60,5	186,5
2003-04	52	10,5	53	91	20,1	41,5	52,5	47,5	44,5	29,5	35,5	35	512,6	10,5	42,7	91
2004-05	40	55	68,3	38	67	94,5	12	43,3	8,5	10,3	46,7	74	557,6	8,5	46,5	94,5
Aver.	54,9	68,5	68,7	45,3	46,4	50,3	52,6	52,0	32,4	36,8	35,9	25,2	569,0	4,0	47,4	122,7
Max	169,2	182,5	186,5	112	136	171	153,7	159,9	112,2	135,8	101,6	120,5	825,6	19,5	68,8	186,5
Min	0	8	0	0	1	0	7,3	0	0	0	0	0	361,8	0	30,15	54
S.d	42,1	44,3	43,3	35,8	32,7	38,2	38,3	35,0	27,2	37,8	27,4	27,7	126,7	5,4	10,6	35,4

Πίνακας 3: Μηνιαία ύψη κατακρημνισμάτων περιόδου 1971-2006 για σταθμό Δεσκάτης (Πηγή: Σούλιος κ.ά., 2008)

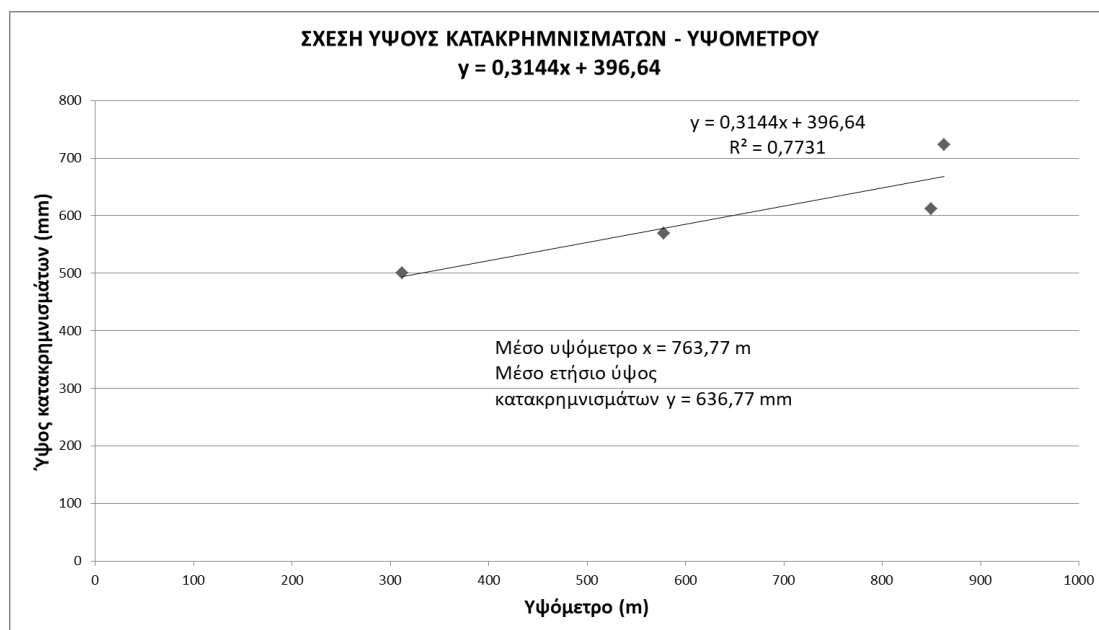
ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ: ΔΕΣΚΑΤΗ																
ΥΠΗΡΕΣΙΑ:																
ΥΨΟΜΕΤΡΟ: 850 M																
ΠΑΡΗΓΟΡΙΑ: Μηνιαία Ύψη Βροχής σε mm																
ΕΤΟΣ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙΟ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΕΤΗΣΙΟ	MIN	M.O	MAX
1972-73	204,0	9,1	8,3	89,7	83,0	105,4	13,7	21,7	20,0	42,0	79,0	87,3	763,2	8,3	63,6	204
1973-74	89,0	83,0	45,0	78,5	91,0	60,5	72,0	34,0	52,5	8,0	8,5	55,3	677,3	8	56,4	91
1974-75	11,5	27,3	42,5	32,9	42,6	38,0	16,0	60,0	67,0	14,5	55,0	21,5	428,8	11,5	35,7	67
1975-76	55,9	72,5	51,0	25,9	88,3	37,0	51,0	87,0	48,0	2,0	34,0	5,0	557,6	2	46,5	88,3
1976-77	57,5	36,0	79,3	34,2	22,5	27,0	21,0	17,5	33,5	25,0	15,5	38,5	407,5	15,5	34,0	79,3
1977-78	0,0	12,5	77,0	80,0	32,5	32,0	13,5	13,0	13,5	0,0	24,5	131,5	430	0	35,8	131,5
1978-79	22,0	2,0	29,0	29,0	31,5	14,5	61,0	92,0	28,5	12,5	10,5	6,5	339	2	28,3	92
1979-80	111,5	137,5	31,5	25,0	20,0	38,5	40,0	102,5	33,0	0,0	31,0	4,5	575	0	47,9	137,5
1980-81	167,0	49,0	80,0	36,5	8,0	37,3	49,5	50,0	39,0	36,0	48,5	8,5	609,3	8	50,8	167
1981-82	117,5	14,0	10,0	2,0	2,0	12,6	25,0	89,3	16,7	2,5	33,9	0,0	325,5	0	27,1	117,5
1982-83	0,0	65,0	29,5	16,0	34,0	48,7	0,0	0,0	0,0	65,1	15,0	18,0	291,3	0	24,3	65,1
1983-84	48,0	90,3	0,0	8,0	4,5	5,0	87,8	17,1	8,0	2,0	8,0	14,0	292,7	0	24,4	90,3
1984-85	0,2	10,0	4,0	90,9	28,3	98,7	52,0	28,0	12,0	3,0	0,0	7,0	334,1	0	27,8	98,7
1985-86	36,0	196,0	32,1	67,7	191,7	61,4	31,4	104,8	63,1	23,4	25,0	15,0	847,6	15	70,6	196
1986-87	56,3	66,5	5,0	46,2	37,2	192,1	97,8	78,4	10,4	34,5	99,5	48,0	771,9	5	64,3	192,1
1987-88	98,8	90,9	46,4	55,1	28,0	60,4	55,8	5,6	18,3	54,5	15,5	17,4	546,7	5,6	45,6	98,8
1988-89	14,0	85,2	15,8	8,7	9,3	28,1	1,5	24,4	61,5	66,0	27,8	47,0	389,3	1,5	32,4	85,2
1989-90	46,0	35,0	47,5	0,0	11,0	37,0	20,3	90,5	10,7	19,5	63,5	6,8	387,8	0	32,3	90,5
1990-91	41,0	87,5	130,1	31,0	56,0	56,4	106,7	83,7	24,3	43,5	55,5	42,9	758,6	24,3	63,2	130,1
1991-92	37,2	58,0	24,1	15,7	7,2	25,2	107,8	82,9	97,5	42,2	3,5	5,2	506,5	3,5	42,2	107,8
1992-93	47,2	70,3	43,4	63,0	72,0	9,3	30,1	150,2	12,4	0,0	7,9	13,7	519,5	0	43,3	150,2
1993-94	10,0	216,1	39,8	123,6	157,0	37,3	79,2	23,5	2,0	44,7	75,0	0,9	809,1	0,9	67,4	216,1
1994-95	76,4	83,0	58,5	154,3	20,0	56,2	45,1	103,1	26,5	41,1	43,9	56,1	764,2	20	63,7	154,3
1995-96	6,0	68,2	150,3	80,7	102,8	105,5	36,3	37,0	5,3	29,6	40,6	82,6	744,9	5,3	62,1	150,3
1996-97	92,2	70,3	90,8	46,1	32,2	23,9	61,7	5,1	20,5	7,6	90,3	21,3	562	5,1	46,8	92,2
1997-98	101,5	61,8	99,2	27,8	11,5	13,0	6,0	148,8	3,1	0,0	11,7	39,5	523,9	0	43,7	148,8
1998-99	35,3	244,6	73,0	94,7	69,2	113,1	43,4	46,0	35,3	29,3	81,4	25,1	890,4	25,1	74,2	244,6
1999-00	72,1	114,1	78,2	20,5	60,6	22,1	23,9	59,9	33,8	16,0	3,4	19,3	523,9	3,4	43,7	114,1
2000-01	59,2	46,2	30,6	50,3	25,7	14,1	64,7	57,8	0,6	45,5	49,4	0,0	444,1	0	37,0	64,7
2001-02	19,3	34,3	146,5	23,1	9,2	74,5	61,5	18,0	33,0	151,8	57,5	164,3	793	9,2	66,1	164,3
2002-03	60,5	68,2	290,6	150,1	147,1	43,8	107,5	86,0	43,5	44,5	85,0	67,0	1193,8	43,5	99,5	290,6
2003-04	192,0	19,5	86,5	152,5	39,0	57,5	85,5	82,5	22,5	17,0	14,5	52,0	821	14,5	68,4	192
2004-05	80,5	66,5	60,5	91,5	148,0	106,0	43,0	78,0	19,0	21,5	56,0	138,0	908,5	19	75,7	148
2005-06	29,0	121,5	30,0	154,5	111,0	99,0	96,5	115,0	54,5	127,5	11,0	106,5	1056	11	88,0	154,5
Aver.	61,6	73,9	60,8	59,0	53,9	52,7	50,2	61,6	28,5	31,5	37,7	40,2	611,6	7,9	51,0	135,7
Max	204	244,6	290,6	154,5	191,7	192,1	107,8	150,2	97,5	151,8	99,5	164,3	1193,8	43,5	99,5	290,6
Min	0	2	0	0	2	5	0	0	0	0	0	0	291,3	0	24,275	64,7
S.d	51,9	56,6	56,0	46,2	49,8	39,9	32,0	40,8	22,3	33,7	28,7	42,8	227,5	9,7	19,0	54,3

Πίνακας 4: Μηνιαία ύψη κατακρημνισμάτων περιόδου 1971-2005 για σταθμό Ελασσόνας (Πηγή: Σούλιος κ.ά., 2008)

ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ: ΕΛΑΣΣΟΝΑ																
ΥΠΗΡΕΣΙΑ:																
ΥΨΟΜΕΤΡΟ: 312 M																
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑ: Μηνιαία Ύψη Βροχής σε mm																
ΕΤΟΣ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙΟ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΕΤΗΣΙΟ	MIN	M.O	MAX
1971-72	21,5	47,1	61,5	40,3	75,3	50,4	85	65,8	36,5	115	42,8	19,2	660,4	19,2	55,0	115
1972-73	153,8	7,4	4,2	66,7	50,1	95,1	19,5	5,4	8,9	53,3	46,6	51	562	4,2	46,8	153,8
1973-74	69,6	39,1	68,7	26,8	56,6	43,5	66,9	28,7	68,5	8,8	3,3	52,3	532,8	3,3	44,4	69,6
1974-75	41,1	60,7	21,3	26,8	40,5	22,3	15,3	27,8	73,7	27,6	67	10,2	434,3	10,2	36,2	73,7
1975-76	25,7	40,8	43,6	29,6	52,9	29,3	43,7	112,7	40,9	51,3	53,8	16,4	540,7	16,4	45,1	112,7
1976-77	28,4	56,4	30,6	20,5	22	26,7	20,1	31,8	5,6	0	4,5	36,9	283,5	0	23,6	56,4
1977-78	12,7	38,8	49,6	81,3	39,4	40,7	86,4	34,6	10,4	12,5	3,3	301	710,7	3,3	59,2	301
1978-79	56,5	19,5	70,3	60,1	58,6	27,7	77,2	53,5	28,4	15,7	57,2	40,7	565,4	15,7	47,1	77,2
1979-80	119,8	226,6	52,5	96,3	36,1	94,8	34,4	112,6	25,3	9,8	22,3	22	852,5	9,8	71,0	226,6
1980-81	111,1	45,2	47,9	64,2	37,1	26,2	39	27,6	37,1	21,7	46,8	6,5	510,4	6,5	42,5	111,1
1981-82	97,9	60,6	77	2,8	94	45,9	166,5	99,8	10,8	10,4	52,5	23,7	741,9	2,8	61,8	166,5
1982-83	96,2	110,3	44,1	5	24	47,1	7,3	44	100,2	49,1	20	24,4	571,7	5	47,6	110,3
1983-84	26,7	72,2	181,6	39,2	55,5	21,2	56,1	1,6	33,8	0	85	10	582,9	0	48,6	181,6
1984-85	0,5	51,6	57,2	99,9	16,6	77,6	21,9	42,7	30,8	10,4	0	0	409,2	0	34,1	99,9
1985-86	47,5	151,6	9,7	50,4	104,2	93,7	4,2	78,2	63	36,5	6,5	3,4	648,9	3,4	54,1	151,6
1986-87	52,2	19,7	19,9	44,2	31,7	124,7	86,4	70,2	20,8	12,7	38,8	0,9	522,2	0,9	43,5	124,7
1987-88	89,3	77,7	18,3	20,9	8,6	16	7,6	15,8	12,1	29,6	17,1	5,3	318,3	5,3	26,5	89,3
1988-89	14,4	80,3	9,1	12	5	9,2	5	15,4	32,2	53	6,6	10,2	252,4	5	21,0	80,3
1989-90	17,6	37	26,3	0	2	12,1	13,2	74,4	2,6	61	98	15,7	359,9	0	30,0	98
1990-91	38,7	23	76,4	19,5	17	40,6	67,4	38	5,2	33,6	39,7	32,8	431,9	5,2	36,0	76,4
1991-92	12,1	35,6	5,2	4,4	0,8	13,5	101,6	41,5	88,4	13,3	7,2	0	323,6	0	27,0	101,6
1992-93	33,4	53,7	31,5	17	15,7	6,8	17,8	61,3	13,2	4,8	19,8	8,2	283,2	4,8	23,6	61,3
1993-94	3,6	113,6	30	55	29	10,2	50,5	23,4	16,4	25	6,6	0	363,3	0	30,3	113,6
1994-95	44,1	49,2	48,3	63,7	4	14,6	17,4	38,4	20,4	68,5	22,8	76,6	468	4	39,0	76,6
1995-96	1,8	29,9	48	25,7	104,2	63,3	13,1	14,9	27,2	18,6	40,1	53	439,8	1,8	36,7	104,2
1996-97	55,6	30,1	55	26,2	13,1	12,6	32,4	12,9	33,2	10,7	53,5	11	346,3	10,7	28,9	55,6
1997-98	59,7	15,4	85,8	10,1	40,3	16,4	2,4	15,4	15,1	0,4	37,5	36,2	473,3	0,4	39,4	15,4
1998-99	28,2	212,5	66,1	54	54,9	109,1	20	11,7	29,2	18	103,5	24,4	731,6	11,7	61,0	212,5
1999-00	68,8	80,3	59,7	23,5	38,8	24,4	7	44,6	13	9,1	0	11,4	380,6	0	31,7	80,3
2000-01	52,2	25,3	11,8	47	26,4	8,2	68,1	45,7	1,7	17	29,9	0	333,3	0	27,8	68,1
2001-02	5,2	37,6	141,4	38,1	10,6	75,2	78	22,3	19,1	93,3	30	166,4	717,2	5,2	59,8	166,4
2002-03	86,2	59,6	126,7	115,5	49,6	15,9	23,5	75,4	37,7	86,5	19,3	28,9	724,8	15,9	60,4	126,7
2003-04	92,3	11,3	49,7	74	20,5	31,7	51,9	57,8	67,1	11,7	8	17,6	493,6	8	41,1	92,3
2004-05	30,8	25	54,7	35,2	75,1	36,2	11	45,6	16,6	24,8	67,8	32,3	455,1	11	37,9	75,1
Aver.	49,9	60,1	52,5	41,1	38,5	40,7	41,7	47,9	30,7	29,8	34,1	33,8	500,8	5,6	41,7	116,6
Max	153,8	226,6	181,6	115,5	104,2	124,7	166,5	154	100,2	115	103,5	301	852,5	19,2	71,0417	301
Min	0,5	7,4	4,2	0	0,8	6,8	2,4	1,6	1,7	0	0	0	252,4	0	21,0333	55,6
S.d	37,8	50,9	38,4	29,2	28,1	32,3	36,8	34,2	24,8	28,4	28,0	56,4	155,5	5,5	13,0	54,2

Οι μέσες ετήσιες τιμές κατακρημνισμάτων που προέκυπτan από τους πίνακες 1 έως 4, συντέλεσαν στη χάραξη της καμπύλης ύψους ετήσιων κατακρημνισμάτων y (mm) – υψόμετρου αντίστοιχου σταθμού x (m), σχήμα 5 από την οποία προκύπτει:
 $y=0,3144x+396,64$ με συντελεστή συσχέτισης $R^2 = 0,7731$.

Επομένως για το μέσο υψόμετρο της λεκάνης που είναι $x=763,8$ m, το μέσο ετήσιο ύψος κατακρημνισμάτων της μελετημένης λεκάνης θα είναι $y=636,8$ mm.



Σχήμα 5: Σχέση ύψους κατακρημνισμάτων - υψόμετρου

Για τον υπολογισμό των αντίστοιχων μέσων μηνιαίων τιμών, σχηματίζεται ο πίνακας 5 με τις μέσες μηνιαίες τιμές κατακρημνισμάτων για καθένα από τους τέσσερις σταθμούς. Το μέσο ετήσιο ύψος κατακρημνισμάτων των τεσσάρων αναφερθέντων σταθμών είναι 601,2 mm σε σχέση με τα 636,8 mm που αντιστοιχούν στο μέσο υψόμετρο της λεκάνης. Ως εκ τούτου πολλαπλασιάζω τις μέσες μηνιαίες τιμές των τεσσάρων σταθμών με 1,0592 ($=636,77/601,20$) και βγάξω τις μέσες μηνιαίες τιμές κατακρημνισμάτων που αντιστοιχούν στη λεκάνη απορροής.

Πίνακας 5: Εύρεση των μέσων μηνιαίων τιμών κατακρημνισμάτων στη λεκάνη απορροής

	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑ'Ι	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	Ετήσιο
Ελασσόνα	49,9	60,1	52,5	41,1	38,5	40,7	41,7	47,9	30,7	29,8	34,1	33,8	500,8
Δεσκάτη	61,6	73,9	60,8	59	53,9	52,7	50,2	61,6	28,5	31,5	37,7	40,2	611,6
Βερδικούσα	72,9	104,4	81,4	61,7	67,3	70,6	60,1	66,9	32,2	30,4	39	36,6	723,5
Γιαννωτά	54,9	68,5	68,7	45,3	46,4	50,3	52,6	52	32,4	36,8	35,9	25,2	569
Μ.Ο.	59,8	76,7	65,8	51,8	51,6	53,6	51,2	57,1	31	32,1	36,6	33,9	601,2
Μ.Ο. λεκάνης	63,3	81,2	69,7	54,9	54,7	56,8	54,2	60,5	32,8	34	38,8	35,9	636,77

2.3.2. Θερμοκρασία αέρα

Με βάση τα δεδομένα από τρεις σταθμούς, με αναφορά το υψόμετρο έκαστος σε παρένθεση, υπολογίζουμε τη μέση ετήσια θερμοκρασία αέρα της υπό μελέτη λεκάνης:

- Δεσκάτη (850 m) με περίοδο παρατηρήσεων 2002-2006
- Λιβάδι (1183 m) με περίοδο παρατηρήσεων 1987-2006
- Μαγούλα (175 m) με περίοδο παρατηρήσεων 1987-2006

Στους πίνακες 6, 7 και 8 απεικονίζονται τα δεδομένα των παραπάνω σταθμών αντίστοιχα. Σε δύο από τους σταθμούς έχουμε 20 έτη παρατηρήσεων, επαρκή για να υπολογιστούν η πραγματική μέση, ετήσια και οι μέσες μηνιαίες τιμές θερμοκρασίας αέρα. Για το σταθμό της Δεσκάτης έχουμε μόλις 4 έτη παρατηρήσεων. Παρόλα αυτά διαπιστώσαμε ότι η μέση τιμή που υπολογίζεται για τα 4 αυτά συγκεκριμένα χρόνια στους άλλους σταθμούς είναι ακριβώς ίδια με τη μέση τιμή της εικοσαετίας.

Έτσι γίνεται δεκτή η μέση τιμή που προκύπτει από το σταθμό Δεσκάτης ως αντιπροσωπευτική. Κι εδώ συμπληρώθηκαν τα ελλειπή στοιχεία με αναλογικό τρόπο και οι συμπληρωμένες τιμές σημειώνονται με τονισμένα γράμματα στους πίνακες 6, 7 και 8 αντίστοιχα.

Σχεδιάστηκε το διάγραμμα μέσης ετήσιας τιμής θερμοκρασίας αέρα y ($^{\circ}\text{C}$) – υψομέτρου αντίστοιχου σταθμού x (m) (Σχήμα 6), και βρέθηκε ότι: $y = -0,0034x + 15,66$ με υψηλό συντελεστή συσχέτισης. Άρα η μέση ετήσια τιμή θερμοκρασίας αέρα για το μέσο υψόμετρο $x = 763,8$ m, θα είναι: $y = 13,1$ $^{\circ}\text{C}$.

Έτσι συμπληρώνεται ο πίνακας 9 με τις μέσες μηνιαίες τιμές θερμοκρασίας αέρα της λεκάνης. Η μέση ετήσια θερμοκρασία των τριών αυτών σταθμών είναι 12,6 $^{\circ}\text{C}$ έναντι των 13,1 $^{\circ}\text{C}$ που αντιστοιχεί στη μέση ετήσια θερμοκρασία της λεκάνης.

Οπότε, οι μέσες μηνιαίες τιμές των τριών σταθμών πολλαπλασιάζονται με 1,0365 (=13,06/12,60) και προκύπτουν οι μέσες μηνιαίες τιμές θερμοκρασιών που αντιστοιχούν στην υπό μελέτη λεκάνη απορροής του χείμαρρου Ξεριά.

Πίνακας 6: Μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες περιόδου 2002-2006 για σταθμό Δεσκάτης (Πηγή: Σούλιος κ.ά., 2008)

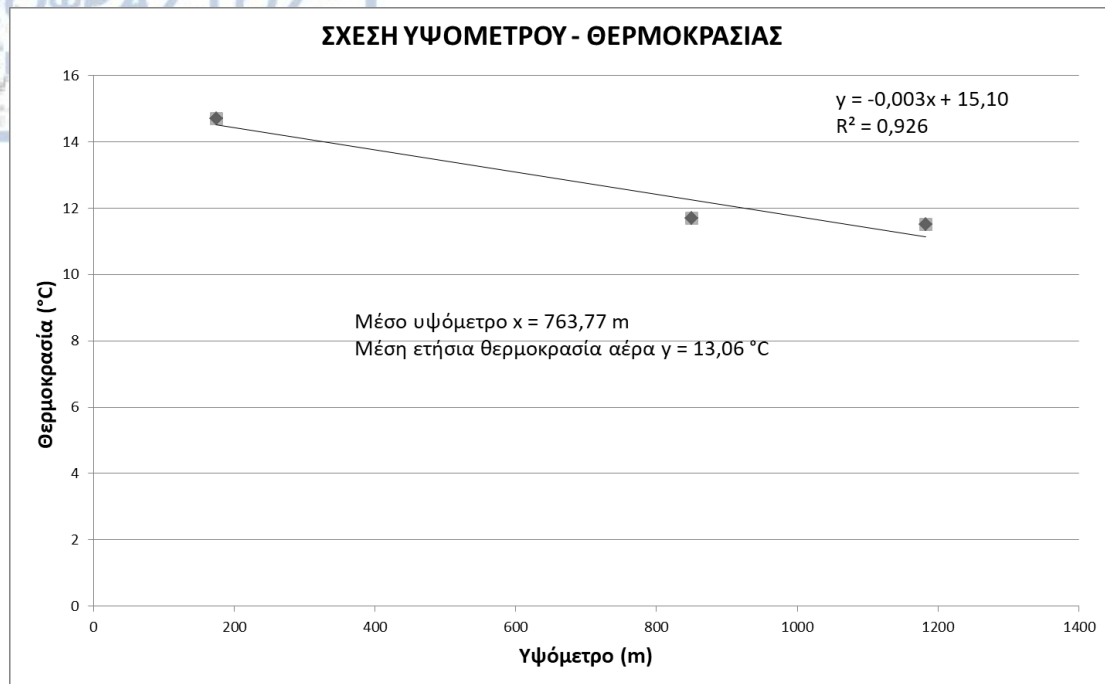
ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ: ΔΕΣΚΑΤΗ															
ΥΠΗΡΕΣΙΑ:															
ΥΨΟΜΕΤΡΟ: 850 μ															
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑ: Μέσες Μηνιαίες Θερμοκρασίες σε °C															
ΕΤΟΣ	Ο	Ν	Δ	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	MIN	M.O	MAX
2002-2003	14,78	11,61	3,4	4,2	-2,1	3,9	7,6	17,4	20,6	23,6	22,7	16,7	-2,1	12,0	23,6
2003-2004	13	8,5	2,9	0,7	3,7	6,2	10,1	12,8	19,3	21,9	22,1	17,6	0,7	11,6	22,1
2004-2005	14,3	7,5	5,1	2	0,5	6	9,4	16,2	18,1	22,8	22,2	18,4	0,5	11,9	22,8
2005-2006	12	5,9	3,3	-0,1	2,1	6,1	11,3	15	18,3	20,4	22,5	17,3	-0,1	11,2	22,5
Aver.	13,5	8,4	3,7	1,7	1,1	5,6	9,6	15,4	19,1	22,2	22,4	17,5	-0,3	11,7	22,8
Max	14,78	11,61	5,1	4,2	3,7	6,2	11,3	17,4	20,6	23,6	22,7	18,4	0,7	12,0	23,6
Min	12,0	5,9	2,9	-0,1	-2,1	3,9	7,6	12,8	18,1	20,4	22,1	16,7	-2,1	11,2	22,1
S.d	1,3	2,4	1,0	1,9	2,5	1,1	1,5	2,0	1,1	1,4	0,3	0,7	1,3	0,4	0,6
Var	1,6	5,8	0,9	3,5	6,1	1,2	2,4	3,8	1,3	1,9	0,1	0,5	1,6	0,1	0,4
Kurt	-2,6	1,2	3,2	0,1	-0,2	3,9	0,7	0,1	-0,5	-0,1	-3,0	0,7	2,5	-0,9	0,9
Skew	-0,4	0,9	1,7	0,9	-0,5	-2,0	-0,5	-0,7	1,0	-0,6	0,3	0,4	-1,6	-0,7	0,8

Πίνακας 7: Μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες περιόδου 1987-2006 για σταθμό Λιβαδίου (Πηγή: Σούλιος κ.ά., 2008)

ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ: ΛΙΒΑΔΙ															
ΥΠΗΡΕΣΙΑ:															
ΥΨΟΜΕΤΡ 1183															
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑ: Μέσες Μηνιαίες Θερμοκρασίες σε °C															
ΕΤΟΣ	Ο	Ν	Δ	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	MIN	M.O	MAX
1987-1988	10,46	7,03	3,34	2,73	2,86	3,39	7,95	14,11	18,43	23,24	21,43	17,4	2,73	11,0	23,2
1988-1989	10,9	2,91	2,83	1,69	3,63	7	12,6	12,06	15,94	17,76	20,06	16,5	1,69	10,3	20,1
1989-1990	10,46	6,87	-1,5	2,44	2,63	9,48	10,61	14,01	18,26	22,08	20,52	17,1	-1,5	11,1	22,1
1990-1991	13,27	8,95	2,36	2,04	0,76	6,64	6,87	10,45	19,53	19,64	19,16	17,2	0,76	10,6	19,6
1991-1992	13,1	7,11	-1,41	3,46	1,4	4,97	9,51	12,26	18,14	19,09	20,72	17,4	-1,41	10,5	20,7
1992-1993	14,93	9,28	1,7	5,81	0,64	4,77	9,11	13,84	19,3	22	22,59	18,6	0,64	11,9	22,6
1993-1994	16,01	5,19	7,11	4,8	1,94	8,13	11,44	15,65	18,86	21,25	22,77	21,7	1,94	12,9	22,8
1994-1995	12,92	7,15	4	2,1	5,4	4,9	8,2	13,46	19,7	20,33	19,13	16,5	2,1	11,1	20,3
1995-1996	11,7	5,17	4,6	1,59	1,6	1	7,58	16,14	18,98	21,3	20,72	15	1	10,4	21,3
1996-1997	9,72	8,85	4,66	5,5	3,7	4,06	15,82	20,03	20,7	21,5	18,51	16	3,7	12,4	21,5
1997-1998	10,72	5,95	2,9	4,2	5,85	2,45	11,23	12,61	18,75	22,31	22,2	15,6	2,45	11,2	22,3
1998-1999	13,22	6,32	0,76	2,1	2,27	5,25	9,56	14	17,97	20,86	22,76	17,9	0,76	11,1	22,8
1999-2000	14,42	6,59	5,87	-2,62	3,22	6,3	11,91	16,4	19,35	24,4	21,89	17,7	-2,62	12,1	24,4
2000-2001	12,25	11,2	5,89	4,55	5,32	10,63	9,56	14,95	19,3	21,23	22,21	16,8	4,55	12,8	22,2
2001-2002	12,32	7,03	3,2	2,52	7,76	7,97	8,76	14,78	20,41	22,85	19,77	16,8	2,52	12,0	22,9
2002-2003	13,97	10,5	1,87	4,01	4,5	4,23	7,51	4,23	18,64	22,3	21,93	17,7	1,87	10,9	22,3
2003-2004	13,41	9,06	3,63	1,46	3,82	6,36	9,64	14,59	17,04	22,14	21,21	17,7	1,46	11,7	22,1
2004-2005	13,4	7,7	5,51	2,84	-1,7	5,94	9,67	15,63	18,04	22,36	22,37	18,9	-1,7	11,7	22,4
2005-2006	12,97	6,79	3,71	-5,35	2,24	6,21	10,66	15,26	18,99	20,26	23,83	26	-5,35	11,8	26,0
Aver.	12,6	7,4	3,2	2,4	3,0	5,8	9,9	13,9	18,8	21,4	21,3	17,8	0,8	11,5	22,2
Max	16,01	11,2	7,11	5,81	7,76	10,63	15,82	20,03	20,7	24,4	23,83	26	4,55	12,9	26,0
Min	9,7	2,9	-1,5	-5,4	-1,7	1,0	6,9	4,2	15,9	17,8	18,5	15,0	-5,4	10,3	19,6
S.d	1,7	2,0	2,3	2,7	2,2	2,3	2,1	3,1	1,1	1,5	1,5	2,4	2,4	0,8	1,5
Var	2,8	3,9	5,2	7,0	4,7	5,5	4,5	9,6	1,2	2,4	2,1	5,9	5,7	0,6	2,2
Kurt	-0,4	0,5	0,3	3,6	0,6	0,3	2,1	5,3	1,5	0,8	-0,7	7,1	1,1	-0,8	1,5
Skew	0,0	0,0	-0,6	-1,6	0,1	0,1	1,1	-1,5	-0,7	-0,5	-0,3	2,4	-1,0	0,3	0,6

Πίνακας 8: Μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες περιόδου 1987-2006 για σταθμό Μαγούλας (Πηγή: Σούλιος κ.ά., 2008)

ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ: ΜΑΓΟΥΛΑ															
ΥΠΗΡΕΣΙΑ:															
ΥΨΟΜΕΤΡΟ: 175 μ															
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑ: Μέσες Μηνιαίες Θερμοκρασίες σε °C															
ΕΤΟΣ	Ο	Ν	Δ	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	MIN	M.O	MAX
1987-1988	13,32	10,24	6,4	6,76	5,53	7,9	11,65	18,27	23,28	27,42	23,43	20,88	5,53	14,6	27,4
1988-1989	14,32	6,16	4,16	3,98	6,96	10,57	14,24	16,65	20,85	21,65	23,76	20,76	3,98	13,7	23,8
1989-1990	13,32	9,67	4,86	6,05	7,24	10,1	13,44	17,85	22,34	24,7	22,98	19,84	4,86	14,4	24,7
1990-1991	15,28	11,04	6,44	3,61	4,98	10,19	11,49	15,17	22,56	23,22	23,11	20,19	3,61	13,9	23,2
1991-1992	15,79	9,78	1,89	4,03	4,31	8,09	12,77	15,65	21,53	22,55	24,77	19,36	1,89	13,4	24,8
1992-1993	16,33	10,1	4,6	4,29	2,66	8,19	11,94	17,15	22,53	23,73	24,17	20,33	2,66	13,8	24,2
1993-1994	17,97	8,33	8,14	7,8	8,17	12,8	15,36	20,28	23,58	24,86	27,22	22,73	7,8	16,4	27,2
1994-1995	16,46	9,08	7,66	5,12	8,07	8,7	11,46	17,09	23,9	24,5	23,82	20,01	5,12	14,7	24,5
1995-1996	13,38	7,3	7,98	5,37	5,63	5,41	10,7	18,64	22,5	24,59	24	18,7	5,37	13,7	24,6
1996-1997	13,59	10,08	7,48	5,7	6,41	6,74	8,4	17,46	23,92	25,12	22,98	18,56	5,7	13,9	25,1
1997-1998	12,52	10,12	5,52	5,45	7,6	8,76	15,26	18,62	24,13	25,79	25,9	19,98	5,45	15,0	25,9
1998-1999	16,23	10,28	5,34	5,12	6,22	9,24	12,74	17,96	23,37	25,22	25,05	21,86	5,12	14,9	25,2
1999-2000	17,56	10,66	7,39	2,23	6	6,42	14,03	18,79	24,82	27,84	28,29	25,29	2,23	15,8	28,3
2000-2001	19,4	17,5	8,28	7,35	9,05	14,46	13,59	18,9	23,89	25,89	26,55	20,74	7,35	17,1	26,6
2001-2002	15,75	10,24	6,14	3,88	10,16	11,07	13,52	18,57	23,81	25,94	24,08	20,74	3,88	15,3	25,9
2002-2003	17,66	12,73	6,68	6,81	3,4	9,24	8,89	12,64	24,88	26,43	25,37	20,84	3,4	14,6	26,4
2003-2004	17,39	13,68	5,76	3,67	5,89	8,37	12,59	14,72	22,26	26,99	25,36	20,86	3,67	14,8	27,0
2004-2005	17,02	10,56	6,07	4,03	3,46	8,13	10,67	17,7	21,42	25,33	23,03	20,62	3,46	14,0	25,3
2005-2006	13,9	7,05	5,7	2,95	4,79	8,99	14,32	19,61	24,24	24,87	29,2	21,93	2,95	14,8	29,2
Aver.	15,6	10,2	6,1	5,0	6,1	9,1	12,5	17,5	23,1	25,1	24,9	20,7	4,4	14,7	25,8
Max	19,4	17,5	8,28	7,8	10,16	14,46	15,36	20,28	24,88	27,84	29,2	25,3	7,8	17,1	29,2
Min	12,5	6,2	1,9	2,2	2,7	5,4	8,4	12,6	20,9	21,7	23,0	18,6	1,9	13,4	23,2
S.d	2,0	2,5	1,6	1,5	2,0	2,1	1,9	1,9	1,2	1,6	1,8	1,5	1,6	1,0	1,6
Var	3,8	6,3	2,5	2,3	3,9	4,6	3,7	3,4	1,3	2,5	3,3	2,3	2,6	0,9	2,5
Kurt	-1,0	3,2	1,4	-0,7	-0,3	1,3	-0,1	1,3	-0,7	0,2	0,4	3,9	-0,1	1,1	-0,2
Skew	0,1	1,2	-0,9	0,2	0,2	0,8	-0,5	-1,1	-0,4	-0,3	1,0	1,5	0,5	1,1	0,5



Σχήμα 6: Σχέση υψομέτρου - θερμοκρασίας

Πίνακας 9: Εύρεση των μέσων μηνιαίων τιμών θερμοκρασίας αέρα στη λεκάνη απορροής

	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑ'Ι'	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	Ετήσιο
Λιβάδι	12,6	7,4	3,2	2,4	3	5,8	9,9	13,9	18,8	21,4	21,3	17,8	11,5
Μαγούλα	15,6	10,2	6,1	5	6,1	9,1	12,5	17,5	23,1	25,1	24,9	20,7	14,7
Δεσκάτη	13,5	8,4	3,7	1,7	1,1	5,6	9,6	15,4	19,1	22,2	22,4	17,5	11,7
Μ.Ο.	13,9	8,7	4,3	3	3,4	6,8	10,7	15,6	20,3	22,9	22,8	18,7	12,6
Μ.Ο. λεκάνης	14,4	9	4,5	3,1	3,5	7	11,1	16,2	21	23,7	23,6	19,4	13,06

Στην εφαρμογή διαφόρων εμπειρικών τύπων (Turc, Coutagne) δεν χρησιμοποιείται συνήθως η πραγματική μέση ετήσια θερμοκρασία αέρα ($T=13,1 \text{ }^\circ\text{C}$), αλλά η διορθωμένη θερμοκρασία T_Δ (Σούλιος κ.ά., 2008).

$$T_\Delta = \frac{T_1P_1+T_2P_2+\dots+T_{12}P_{12}}{P_{\text{ολ}}}$$

όπου: T_Δ = διορθωμένη ετήσια θερμοκρασία

$T_1, T_2, \dots, T_{12}$ = μέσες μηνιαίες τιμές θερμοκρασιών αέρα για τους μήνες 1 ως 12

$P_1, P_2, \dots, P_{12}$ = αντίστοιχα μέσα μηνιαία ύψη βροχόπτωσης

Βάσει στοιχείων των πινάκων 5 και 9 προκύπτει ότι $T_\Delta=11,63 \text{ }^\circ\text{C}$.

2.3.3. Υδρολογικό ισοζύγιο

Οι πιο αξιόπιστες μέθοδοι είναι οι παρακάτω, όπου εφαρμόστηκαν ως εξής:

α. Μέθοδος Turc

Με την μέθοδο του Turc (1951) υπολογίζουμε την πραγματική εξατμισοδιαπνοή E_r .

$$\text{Η σχέση του Turc είναι } E_r = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

όπου: E_r = πραγματική ετήσια εξατμισοδιαπνοή σε mm

P = μέσο ετήσιο ύψος βροχής σε mm

$$L = 300 + 25 * T + 0,05 * T^3$$

T = μέση ετήσια θερμοκρασία αέρα σε °C

Προφανώς θα χρησιμοποιηθεί η διορθωμένη θερμοκρασία T_Δ αντί της πραγματικής μέσης ετήσιας θερμοκρασίας αέρα.

Με την αντικατάσταση των παραμέτρων της παραπάνω σχέσης με τις τιμές που έχουμε, βρίσκουμε ότι $E_r = 473,98$ mm

Οπότε, η ολική απορροή στην έξοδο της λεκάνης (θέση φράγματος) είναι $Q = P - E_r = 636,77 - 473,98 = 162,79$ mm, δηλαδή $162.790 \text{ m}^3/\text{Km}^2$ επιφάνειας λεκάνης.

Εντός της μελετημένης λεκάνης ($138,894 \text{ Km}^2$) έχουμε τους σχηματισμούς Κρανέας – Ελασσόνας που είναι καρστική περιοχή με έκταση $7,824 \text{ Km}^2$. Αυτή η καρστική περιοχή αποστραγγίζεται προς την πηγή Κεφαλόβρυσου (Σούλιος κ.α., 2008). Συνεπώς, η «ενεργή λεκάνη» είναι $138,894 - 7,824 = 131,07 \text{ Km}^2$.

Άρα η ολική απορροή είναι $Q = 162.790 * 131,07 = 21.336.885,3 \text{ m}^3$ ή $21,34 * 10^6 \text{ m}^3$.

β. Μέθοδος Coutagne

Η εμπειρική σχέση του Coutagne (1954) είναι $E_r = P - \lambda * P^2$

όπου: E_r = πραγματική ετήσια εξατμισοδιαπνοή σε m

P = μέσο ετήσιο ύψος βροχής σε m

T = μέση ετήσια θερμοκρασία αέρα σε $^{\circ}\text{C}$, όπου εδώ θα χρησιμοποιηθεί η διορθωμένη θερμοκρασία T_{Δ}

Με την αντικατάσταση των παραμέτρων της παραπάνω σχέσης με τις τιμές που έχουμε, βρίσκουμε ότι $E_r = 469,78 \text{ mm}$.

Οπότε, η ολική απορροή στην έξοδο της λεκάνης (θέση φράγματος) είναι $Q = P - E_r = 636,77 - 469,78 = 166,99 \text{ mm}$, δηλαδή $166.990 \text{ m}^3/\text{Km}^2$ επιφάνειας λεκάνης.

Λαμβάνοντας υπόψη την «ενεργή λεκάνη», έχουμε ολική απορροή $Q = 166.990 \cdot 131,07 = 21.887.379,3 \text{ m}^3$ ή $21,89 \cdot 10^6 \text{ m}^3$.

γ. Μέθοδος Thornthwaite - Mather

Με τη μέθοδο Thornthwaite – Mather (1955, 1957) υπολογίστηκε ότι $E_r = 466,60 \text{ mm}$, με τη παραδοχή μιας ορισμένης τιμής αποθηκευτικής ικανότητας του εδάφους (υδατοϊκανότητα) 100 mm .

Οπότε, η ολική απορροή στην έξοδο της λεκάνης (θέση φράγματος) είναι $Q = P - E_r = 636,77 - 466,60 = 170,17 \text{ mm}$, δηλαδή $170.170 \text{ m}^3/\text{Km}^2$ επιφάνειας λεκάνης.

Λαμβάνοντας υπόψη την «ενεργή λεκάνη», έχουμε ολική απορροή $Q = 170.170 \cdot 131,07 = 22.304.181,9 \text{ m}^3$ ή $22,30 \cdot 10^6 \text{ m}^3$.

Το εύρος των ολικών απορροών από τις τρεις παραπάνω μεθόδους κυμαίνεται από $21.336.885,3 \text{ m}^3$ έως $22.304.181,9 \text{ m}^3$ ή $21,34 - 22,30 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. Παρόλο το μικρό εύρος, θεωρούμε τη μέθοδο Thornthwaite–Mather ως την πιο αξιόπιστη και συνεπώς υιοθετούμε την τιμή της, δηλαδή $Q = 22.304.181,9 \text{ m}^3$. Να σημειωθεί εδώ ότι δε λαμβάνονται υπόψη οι πιθανές μικρές απώλειες κατά την διαδρομή των κλάδων εντός των ορίων της έκτασης των μαρμάρων Κρανιάς.

Λόγω πιθανών σφαλμάτων στα βροχομετρικά δεδομένα και στη μέθοδο, κάνουμε συντηρητικούς υπολογισμούς και λέμε ότι η ολική απορροή είναι τουλάχιστον το 90% της παραπάνω υιοθετούσας τιμής και λαμβάνοντας υπόψη κάποια εξάτμιση, θεωρούμε ως πραγματική απολήψιμη ποσότητα $Q = 20.000.000 \text{ m}^3$.

2.3.4. Πλημμυρική παροχή

Ελλείψει μετρήσεων παροχών στην έξοδο της λεκάνης, θα υπολογίσουμε την πλημμυρική παροχή βάσει των πιο αξιόπιστων εμπειρικών μεθόδων που είναι η μέθοδος Fuller και η μέθοδος Giandotti.

Η μέθοδος Fuller εκφράζεται από την παρακάτω σχέση:

$$Q_M = Q_{\mu} * (1 + 0,8 * \log T) * (1 + \frac{2,67}{E^{0,3}})$$

όπου T = περίοδος επανάληψης σε έτη

E = εμβαδόν της «ενεργής λεκάνης» απορροής

Q_{μ} = πλημμυρική παροχή με περίοδο επανάληψης 1 έτος που δίνεται από τον παρακάτω τύπο

$$Q_{\mu} = 1,8 * E^{0,8}$$

Η μέθοδος Giandotti εκφράζεται από την παρακάτω σχέση:

$$Q_M = 0,278 * E * P_i * R_s$$

όπου E = εμβαδόν της «ενεργής λεκάνης» απορροής

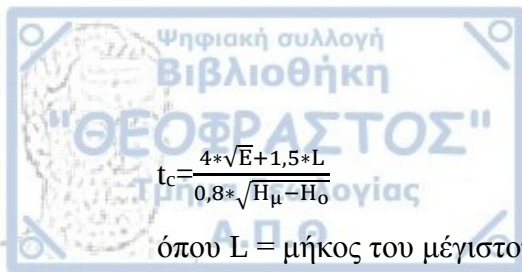
P_i = ένταση της βροχής για το χρόνο συρροής t_c

R_s = συντελεστής της επιφανειακής απορροής κατά τη διάρκεια της έντονης βροχόπτωσης με εκτιμώμενη τιμή 0,54 βάσει ειδικών πινάκων από ιστοσελίδες που παρατίθενται στη βιβλιογραφία στο κεφάλαιο 7.

Η ένταση της βροχής P_i υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση αν δεν υπάρχουν μακροχρόνια δεδομένα:

$$P_i = (30 * \log T + 15) * t_c^{-0,6}$$

Ο χρόνος συρροής t_c , υπολογίζεται από τον τύπο:



όπου L = μήκος του μέγιστου μισγάγγειου (Km)

H_{μ} = μέσο υψόμετρο της λεκάνης (763,77 m)

H_o = χαμηλότερο σημείο της λεκάνης (257,69 m)

Με αντικατάσταση των παραμέτρων, προκύπτει ότι $t_c = 4,90$ h.

Η εφαρμογή των δύο παραπάνω μεθόδων για διάφορες περιόδους επανάληψης ($T=50$, $T=100$ και $T=200$ έτη) έδωσε τα αποτελέσματα του παρακάτω πίνακα 10.

Πίνακας 10: Εφαρμογή των μεθόδων Fuller και Giandotti για διάφορες περιόδους επανάληψης.

Περίοδος επανάληψης T (έτη)	Fuller Q (m^3/s)	Giandotti Q (m^3/s)
50	339,717	500,309
100	374,396	568,799
200	409,074	637,289

Η δημιουργία τεχνητής λίμνης και η «διόδευση» της πλημμυρικής παροχής μέσα από αυτήν, θα προκαλέσει μείωση της εκρέουσας παροχής από τον υπερχειλιστή. Ως εκ τούτου προτείνεται ο υπερχειλιστής να έχει παροχετευτικότητα $Q = 490 m^3/sec$.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΥΔΡΕΥΤΙΚΕΣ ΑΝΑΓΚΕΣ ΠΛΗΘΥΣΜΟΥ

3.1. ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΟΣ ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ

Με γνώμονα το «χρόνο ζωής» για την ομαλή λειτουργία του υπό μελέτη έργου ύδρευσης, θέτουμε ως διάρκεια τα 40 περίπου χρόνια. Οπότε με έτος αναφοράς το 2011 (τελευταία επίσημη Απογραφή πληθυσμού της Ελλάδος), αναφερόμαστε για απρόσκοπτη και ομαλή λειτουργία του έργου ύδρευσης έως το 2050.

Παρακάτω παρατίθεται ο πίνακας των πληθυσμών των εξυπηρετούντων δήμων από το υπό μελέτη έργο ύδρευσης. Εδώ πρέπει να σημειώσουμε ότι ο Δήμος Κιλελέρ είναι διευρυμένος δήμος από τη συνένωση των δήμων Αρμενίου, Κιλελέρ, Κραννώνος, Νίκαιας και Πλατύκαμπου με την εφαρμογή του προγράμματος «Καλλικράτης» το έτος 2011.

Πίνακας 11: Εξέλιξη πληθυσμού των ετών 2001 και 2011

Δήμοι	Πληθυσμός	
	2001	2011
Λάρισας	132.779	146.926
Κιλελέρ	23.112	20.854
Σύνολο	155.891	167.780

Για τον υπολογισμό του μελλοντικού πληθυσμού κατά το έτος 2050, θα χρησιμοποιήσουμε τις παρακάτω μεθόδους αναλυτικά.



α. Γραμμική μέθοδος

Η παρούσα μέθοδος δέχεται ότι ο ρυθμός αύξησης του πληθυσμού είναι σταθερός. Ο πληθυσμός (Π_m) μιας πόλης το έτος t_m δίνεται από την σχέση:

$$\Pi_m = \frac{t_m - t_2}{t_2 - t_1} (\Pi_2 - \Pi_1) + \Pi_2$$

όπου Π_1 και Π_2 είναι ο πληθυσμός της πόλης τα έτη t_1 και t_2 αντίστοιχα.

Με την αντικατάσταση των παραμέτρων της παραπάνω σχέσης με τις τιμές που έχουμε, βρίσκουμε ότι $\Pi_{2050} = 214.147$ κάτοικοι.

β. Μέθοδος ανατοκισμού

Η μέθοδος δίνεται από την σχέση:

$$\Pi_m = \Pi_0 (1 + \varepsilon)^t$$

όπου Π_m = μελλοντικός πληθυσμός μετά από t έτη

Π_0 = πληθυσμός κατά το έτος αναφοράς

ε = μέσο σταθερό ετήσιο ποσοστό αύξησης του πληθυσμού, που δίνεται από τη σχέση:

$$\varepsilon = \left(\frac{\Pi_2}{\Pi_1} \right)^{\frac{1}{\Delta t}} - 1$$

όπου Π_1 και Π_2 οι πληθυσμοί σύμφωνα με την απογραφή των ετών t_1 και t_2 αντίστοιχα και $\Delta t = t_2 - t_1$.

Με την αντικατάσταση των παραμέτρων της παραπάνω σχέσης με τις τιμές που έχουμε, βρίσκουμε ότι $\Pi_{2050} = 223.473$ κάτοικοι.

3.2. ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΥΔΡΕΥΤΙΚΕΣ ΑΝΑΓΚΕΣ

Η εκτίμηση των υδρευτικών αναγκών γίνεται πολλαπλασιάζοντας τον πληθυσμό με μια μέση ημερήσια κατανάλωση ανά κάτοικο και έτσι έχουμε τον ετήσιο όγκο νερού. Σύμφωνα με την ΚΥΑ του 1991 (Κ.Υ.Α. Δ11/Φ16/8500/22-03-1991, ΦΕΚ 174/Β/26-03-1991), σε περιπτώσεις φορέα διανομής νερού ύδρευσης με συλλογικό δίκτυο, η ελάχιστη κατανάλωση ορίζεται σε 100 λίτρα/ημέρα/κάτοικο και η μέγιστη σε 250 λίτρα/ημέρα/κάτοικο. Τα 180 λίτρα/ημέρα/κάτοικο θεωρούνται λογική μέση τιμή. Επίσης, θα ληφθούν υπόψη στον υπολογισμό των υδρευτικών αναγκών οι τυχόν απώλειες του δικτύου διανομής έως 20% σε περίπτωση νέων δικτύων (ηλικίας έως 35 ετών) και μέχρι 40% για τα παλαιότερα.

Συνεπώς, το έτος 2050 θα έχουμε υδατικές ανάγκες που υπολογίζονται παρακάτω: $223.473 \text{ κάτ.} * 180 \text{ λίτρα/ημέρα/κάτοικο} * 1,20 \approx 48.270.000 \text{ λίτρα}$ που είναι η μέση ημερήσια κατανάλωση σε νερό από τον εξυπηρετούμενο πληθυσμό ή 48.270 κυβικά μέτρα νερό.

Οπότε, η μέση ετήσια ζήτηση για νερό είναι 17.650.000 κυβικά μέτρα.

Η τιμή 1,20 επιλέχτηκε για να καλυφθούν οι απώλειες 20% του δικτύου διανομής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ

4.1. ΤΕΧΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

4.1.1. Ύψος φράγματος

Το είδος του φράγματος, όσον αφορά το υλικό κατασκευής, θα είναι χωμάτινο φράγμα. Βάσει των υπολογισμών του υδρολογικού ισοζυγίου στο κεφάλαιο 4, η πραγματική απολήψιμη ποσότητα είναι $Q=20.000.000 \text{ m}^3$ ανά έτος. Όμως η ποσότητα αυτή δεν είναι σταθερή κάθε έτος και ποικίλλει σημαντικά. Βάσει των δεδομένων των κατακρημνισμάτων και της θερμοκρασίας που υπολογίσαμε στο Κεφάλαιο 4, εφαρμόστηκε η μέθοδος Turc για την περίοδο 1985-2005. Έτσι στον παρακάτω πίνακα 12, βλέπουμε τις διακυμάνσεις των απολήψιμων ποσοτήτων στην συγκεκριμένη εικοσαετία.

Παρατηρούμε ότι οι απολήψιμες ποσότητες ποικίλλουν από $7,57 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ έως $47,43 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. Για να υπολογίσουμε το ύψος του φράγματος με την προϋπόθεση να λαμβάνουμε κάθε έτος $20.000.000 \text{ m}^3$ νερού από τον ταμιευτήρα, θα εφαρμοστεί η μέθοδος των «διπλών μαζών» που έχει τις εξής παραδοχές:

- α) Ξεκινάμε την εφαρμογή της μεθόδου με αρχικά γεμάτη με νερό τεχνητή λίμνη.
- β) Θεωρείται ότι υπάρχει μια αλληλουχία υδρολογικών ετών που οι απορροές είναι ανάλογες με αυτές του πίνακα 12.
- γ) Βάσει μηνιαίων ποσοστών (%) της συνολικής ετήσιας εισροής, προέκυψε ο πίνακας 13.
- δ) Βάσει δεδομένων από Δ.Ε.Υ.Α.Λ. όσον αφορά την παραγωγή νερού κατά τα έτη 2001-06 προέκυψε το ποσοστό για κάθε μήνα (πίνακας 14).

Πίνακας 12: Ετήσια ολική απορροή της μελετημένης λεκάνης με βάση τη μέθοδο Turc

Έτος	P (mm)	E (mm)	Q (mm)	Q (m ³)
1985-86	820,5	519,74	300,76	39420613,2
1986-87	763,4	505,76	257,64	33768874,8
1987-88	491,2	405,05	86,15	11291680,5
1988-89	440	377,59	62,41	8180078,7
1989-90	483,8	401,28	82,52	10815896,4
1990-91	733	497,51	235,49	30865674,3
1991-92	463,7	390,71	72,99	9566799,3
1992-93	471,5	394,87	76,63	10043894,1
1993-94	682,7	482,46	200,24	26245456,8
1994-95	628,2	463,96	164,24	21526936,8
1995-96	613,6	458,57	155,03	20319782,1
1996-97	497,7	408,3	89,4	11717658
1997-98	626	463,16	162,84	21343438,8
1998-99	897,8	535,93	361,87	47430300,9
1999-00	506,7	412,73	93,97	12316647,9
2000-01	429	371,26	57,74	7567981,8
2001-02	709,4	490,68	218,72	28667630,4
2002-03	858,9	528,14	330,76	43352713,2
2003-04	645,5	470,1	175,4	22989678
2004-05	659	474,72	184,28	24153579,6

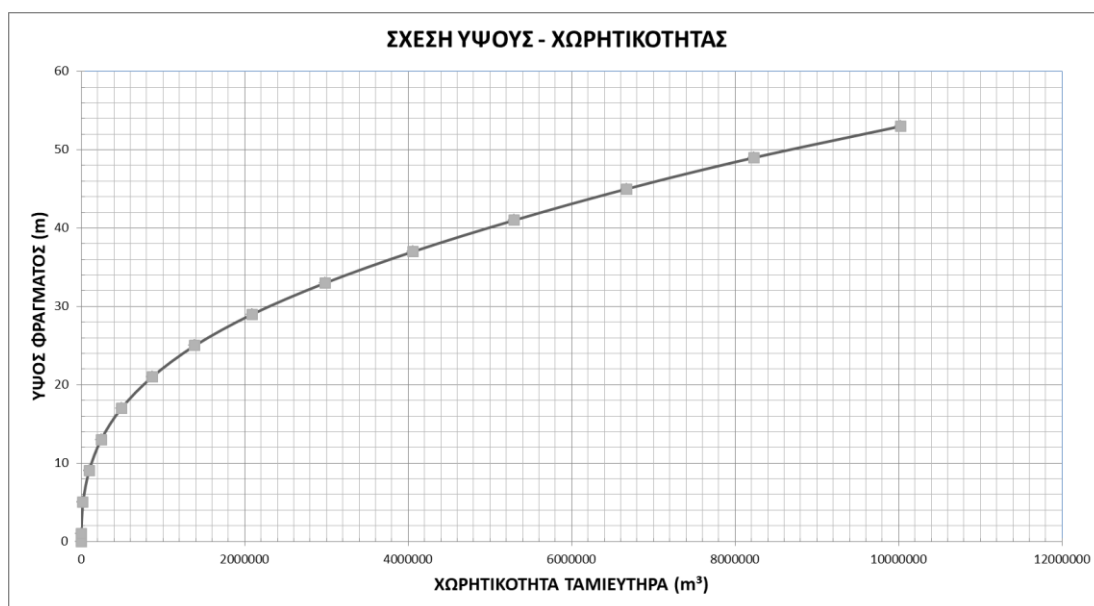
Πίνακας 13: Μέσα μηνιαία ποσοστά της συνολικής ετήσιας εισροής (Πηγή: Σούλιος κ.ά., 2008)

Μήνας	Ποσοστό % επί της συνολικής ετήσιας εισροής
Οκτώβριος	0,67
Νοέμβριος	6,13
Δεκέμβριος	23,76
Ιανουάριος	28,82
Φεβρουάριος	23,31
Μάρτιος	8,92
Απρίλιος	4,24
Μάιος	2,12
Ιούνιος	0,89
Ιούλιος	0,67
Αύγουστος	0,33
Σεπτέμβριος	0,14
Σύνολο	100

Πίνακας 14: Μηνιαία ποσοστά της συνολικής ετήσιας εκροής (Πηγή: Σούλιος κ.ά., 2008).

Μήνας	Ποσοστό % επί της συνολικής ετήσιας εκροής
Οκτώβριος	8,41
Νοέμβριος	7,76
Δεκέμβριος	7,95
Ιανουάριος	8,07
Φεβρουάριος	7,32
Μάρτιος	8,15
Απρίλιος	7,93
Μάιος	8,66
Ιούνιος	9,1
Ιούλιος	9,16
Αύγουστος	8,83
Σεπτέμβριος	8,67

Βάσει των παραπάνω παραδοχών, εφαρμόστηκε ένας αλγόριθμος ξεκινώντας από γεμάτο ταμιευτήρα και βάσει των εισροών και εκροών υπολογίζεται πόση έπρεπε να ήταν η χωρητικότητα του ταμιευτήρα, ώστε να καταστεί εφικτή ορισμένη ετήσια παραγωγή νερού το πολύ 20.000.000 m³. Στο παρακάτω σχήμα, απεικονίζεται η καμπύλη ύψους φράγματος – χωρητικότητας ταμιευτήρα, όπως προκύπτει από την τοπογραφία της περιοχής.



Σχήμα 7: Σχέση ύψους φράγματος – χωρητικότητας ταμιευτήρα

Στον παρακάτω πίνακα 15, παρατίθενται 3 ύψη φραγμάτων με τις αντίστοιχες χωρητικότητες ταμιευτήρων. Αξίζει να τονισθεί εδώ ότι τα παρακάτω ύψη προτάθηκαν με την προϋπόθεση το φράγμα να λειτουργεί ομαλά χωρίς ελλείμματα στην 40ετή του περίοδο.

Πίνακας 15: Ύψη φραγμάτων με τις αντίστοιχες χωρητικότητες ταμιευτήρων

Ύψος φράγματος (m)	Χωρητικότητα (m ³)
37	4.060.146
45	6.673.346
53	10.025.746

Βάσει παραπάνω πίνακα, αν κατασκευαστεί φράγμα ύψους 53 m, ο ταμιευτήρας του θα έχει χωρητικότητα περίπου $10,026 * 10^6$ m³ νερού και θα καλύψει το 60% των υδρευτικών αναγκών των δήμων Λάρισας και Κιλελέρ. Για φράγμα ύψους 45 m με αντίστοιχη χωρητικότητα ταμιευτήρα περίπου $6,673 * 10^6$ m³ νερού θα καλυφθεί το 50% των υδρευτικών αναγκών. Ενώ για φράγμα ύψους 37 m χωρητικότητας περίπου $4,060 * 10^6$ m³ νερού θα καλυφθεί το 40% των υδρευτικών αναγκών. Λόγω εγγύτητας της καρστικής περιοχής (μάρμαρα) στη θέση του φράγματος, επιλέγεται το χαμηλότερο φράγμα από άποψη ύψους για να έχουμε την μικρότερη κατάληψη της καρστικής περιοχής από την λεκάνη κατάκλισης. Οπότε επιλέγεται ύψος φράγματος 37 m. Συμφέρει και για οικονομικούς λόγους που εκτός των προφανών λιγότερων χωματουργικών έργων που θα απαιτηθούν για την κατασκευή του φράγματος, θα απαιτηθεί και μικρότερη επιφάνεια στεγανοποιητικής μεμβράνης για την κάλυψη της καρστικής περιοχής ώστε να αποτραπεί η κατείσδυση του νερού.

Η κατασκευή του υπερχειλιστή θα αυξήσει το ύψος του φράγματος. Προτείνεται να κατασκευαστεί από σκυρόδεμα και ορθογωνικής διατομής υπερχειλιστής στη νότια άκρη της στέψης του φράγματος και «μετωπικά» στο σώμα του φράγματος. Για την διαστασιολόγησή του χρησιμοποιείται η σχέση $Q = 1,8 * L * \sqrt{H^3}$, όπου Q, L, H είναι η παροχή, το πλάτος και το ύψος του υπερχειλιστή αντίστοιχα (Σούλιος Γ, 2011). Επομένως, με αυτή την σχέση και για παροχή υπερχειλιστή $Q = 490$ m³/sec και ύψος $H = 4$ m, προκύπτει ότι $L = 34$ m. Το μήκος και η έκτασή του θα είναι 101 m και $3.370,40$ m² αντίστοιχα (Σχήμα 10). Με πάχος σκυροδέματος 1 m, τότε ο όγκος

της σκυροδέτησης του υπερχειλιστή θα είναι $3.370,40 \text{ m}^2 * 1 \text{ m} = 3.370,40 \text{ m}^3$. Άρα το ολικό ύψος τους φράγματος θα είναι 41 m λόγω των επιπλέον 4 m του υπερχειλιστή.

Συνεπώς, καθίσταται εφικτή η κάλυψη του 40% των υδατικών αναγκών του πληθυσμού των εξυπηρετούντων δήμων της Π.Ε. Λάρισας. Ενώ, σε περίπτωση που εφαρμοστεί η Οδηγία της Ε.Ε. για οικολογική παροχή (περιβαλλοντική απορροή), το ποσοστό κάλυψης υδατικών αναγκών θα είναι λιγότερο από 40%.

4.1.2. Φερτά υλικά

Με την κατασκευή του φράγματος θα δημιουργηθεί στην ανάντη πλευρά, τεχνητή λίμνη με φυσικό επακόλουθο την εισροή και απόθεση φερτών υλικών με τη βοήθεια του νερού που απορρέει στη λίμνη αυτή. Αποτέλεσμα αυτού του φαινομένου θα είναι η μείωση της ενεργής λεκάνης κατάκλισης. Για να μετριάσουμε σε μεγάλο βαθμό αυτό το φαινόμενο και να έχουμε υπό έλεγχο την ωφέλιμη χωρητικότητα του ταμιευτήρα σε βάθος χρόνου, προβαίνουμε σε επαρκή εκτίμηση και λεπτομερείς υπολογισμούς.

Ο όγκος των φερτών υλικών στον πυθμένα της τεχνητής λίμνης που συγκεντρώνεται ανάντη του φράγματος, εξαρτάται από τους παρακάτω παράγοντες:

α) *Από τη λιθολογική σύσταση της λεκάνης.* Μερικοί γεωλογικοί σχηματισμοί, όπως αργιλικοί σχηματισμοί, μάργες, φλύσχης, χαλαροί σχιστόλιθοι κ.α., διαβρώνονται εύκολα και παρέχουν αρκετά φερτά υλικά. Ενώ άλλοι σχηματισμοί, όπως μεταμορφωμένα (γνεύσιος κ.ά.), πυριγενή, μάρμαρα, διαβρώνονται δύσκολα και παρέχουν λίγα φερτά υλικά. Στην εν λόγω υπό μελέτη λεκάνη αναμένουμε λίγα φερτά υλικά.

β) *Από τη φυτοκάλυψη.* Σε μεγάλο τμήμα της μελετημένης λεκάνης και κυρίως όπου υπάρχει μεγάλη κλίση, έχουμε πυκνή θαμνώδη και δενδρώδη βλάστηση. Αυτό αποτρέπει σε πολύ μεγάλο βαθμό τη διάβρωση και το σχηματισμό φερτών υλικών.

γ) *Από τη μέση κλίση του εδάφους.* Στην υπό μελέτη λεκάνη έχουμε μεγάλη μέση κλίση του εδάφους. Στις περιοχές με έντονη βλάστηση και δύσκολα διαβρωτικούς σχηματισμούς, έχουμε πολύ μεγαλύτερη κλίση από τις περιοχές με εύκολα διαβρωτικούς σχηματισμούς.

δ) Από το ετήσιο ύψος και την ένταση των κατακρημνισμάτων. Έχουμε μεσαίο ύψος κατακρημνισμάτων με μικρή έντασή τους.

Ελλείπει μετρήσεων στην περιοχή για τον υπολογισμό του όγκου των φερτών υλικών, θα κάνουμε εκτίμηση και θα δώσουμε μια ενδεικτική τιμή, όσο το δυνατό περισσότερο προσεγγιστική στην πραγματική τιμή. Εκτιμάται ότι θα εισρέουν $200 \text{ m}^3/\text{έτος}/\text{Km}^2$ φερτά υλικά (Σούλιος κ.ά., 2008). Πολλαπλασιάζουμε την τιμή αυτή με την έκταση της «ενεργής» λεκάνης και βρίσκουμε ότι περίπου 26.220 m^3 φερτών υλικών έχουμε κάθε έτος συγκεντρωμένα ανάντη του φράγματος. Με αυτό το ρυθμό, σε 10 χρόνια θα έχουμε 262.200 m^3 φερτών υλικών και σε 20 χρόνια 524.400 m^3 φερτών υλικών. Αν το συγκεντρωθέν υλικό είναι μικρότερο από τις υπολογιζόμενες τιμές, τότε δεν έχουμε πρόβλημα με την ομαλή λειτουργία του φράγματος. Στην περίπτωση που ο όγκος ξεπεράσει τις υπολογιζόμενες τιμές, τότε έχουμε τη λύση των μικροφραγμάτων ανάντη του κύριου φράγματος που θα συγκρατούν τα φερτά υλικά. Για τον υπολογισμό των ωφέλιμων όγκων, θεωρούμε αδρανή όγκο (τα φερτά υλικά) 400.000 m^3 περίπου για τη λεκάνη κατάκλισης.

4.1.3. Ζώνη – Άξονας φράγματος

Ο άξονας του φράγματος θα είναι γραμμικός που είναι και η πιο απλή κατασκευαστική λύση εφόσον μιλάμε για χωμάτινο φράγμα.

Το μήκος στέψης του φράγματος θα είναι 207,50 m (Σχήμα 10).

Το πλάτος στέψης του φράγματος υπολογίζεται ως εξής:

$$l = 1,1 \cdot \sqrt{H} = 1,1 \cdot \sqrt{41} = 7,04 \text{ m} \rightarrow 7 \text{ m}$$

Όσον αφορά την κλίση των πρανών του φράγματος, επιλέγεται 1:2,10 για ανάντη πλευρά και 1:1,90 για κατόντη πλευρά που είναι εντός των συνήθων μέσων τιμών (Σούλιος Γ, 2011).

Η σήραγγα εκτροπής του χείμαρρου Ξεριά θα κατασκευαστεί στη νότια πλευρά του φράγματος και εντός της μάζας του γενευσιοσχιστόλιθου. Θα είναι κυκλικής διατομής σήραγγα με τσιμεντένιο περίβλημα και διάμετρο 2 m. Η συγκεκριμένη διάμετρος επιλέχθηκε για να απορρέει και τις πλημμυρικές απορροές. Το μήκος της θα είναι 231,50 m (Σχήμα 10).

Ο εκκενωτής θα καθαρίζει τον πυθμένα του ταμιευτήρα από τα φερτά υλικά που θα συσσωρεύονται ανάντη του φράγματος. Έτσι, με το πέρας των εργασιών κατασκευής του φράγματος, η σήραγγα εκτροπής θα παίζει το ρόλο του εκκενωτή.

Τα χωματουργικά και κατασκευαστικά έργα με τα τεχνικά μεγέθη τους αναλύονται παρακάτω:

- α. Επιφάνεια έδρασης φράγματος $\rightarrow 24.574 \text{ m}^2$
- β. Βάθος θεμελίωσης $\rightarrow 0,70 \text{ m}$
- γ. Βάθος «όνυχα» $\rightarrow 3 \text{ m}$
- δ. Μήκος «όνυχα» $\rightarrow 215,80 \text{ m}$
- ε. Εμβαδόν διατομής υπερχειλιστή $\rightarrow 34 \text{ m} * 4 \text{ m} = 136 \text{ m}^2$
- ζ. Εμβαδόν διατομής πυρήνα $\rightarrow 4.749 \text{ m}^2 - 136 \text{ m}^2 = 4.613 \text{ m}^2$
- η. Όγκος πυρήνα $\rightarrow 4.613 \text{ m}^2 * 7 \text{ m} = 32.291 \text{ m}^3$
- θ. Όγκος ανάντη τμήματος φράγματος $\rightarrow 4.613 \text{ m}^2 * 41 \text{ m} * 2,10/3 = 132.400 \text{ m}^3$
- ι. Όγκος κατάντη τμήματος φράγματος $\rightarrow 4.613 \text{ m}^2 * 41 \text{ m} * 1,90/3 = 119.800 \text{ m}^3$
- κ. Όγκος «όνυχα» $\rightarrow 3 \text{ m} * 215,80 \text{ m} * 7 \text{ m} = 4.531,80 \text{ m}^3$
- λ. Όγκος θεμελίωσης $\rightarrow 0,70 \text{ m} * 215,80 \text{ m} * 7 \text{ m} = 1057,50 \text{ m}^3$

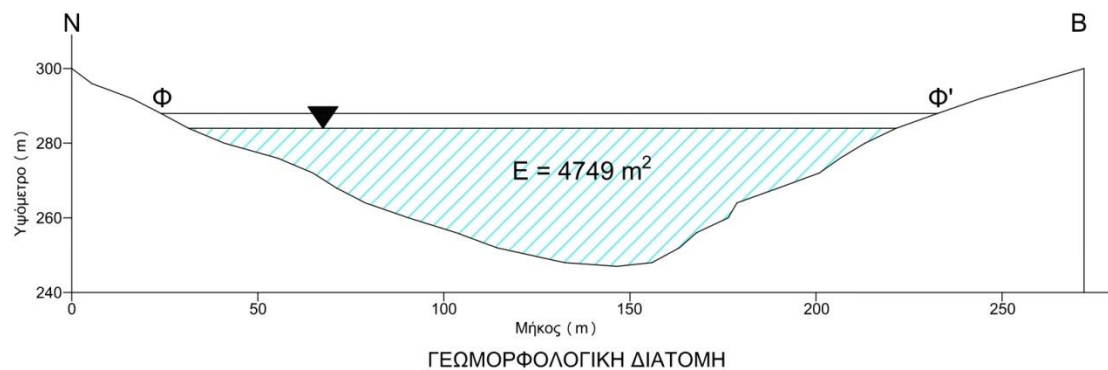
Ο όγκος του υπέργειου σώματος φράγματος θα είναι $V_{\text{υπέργειου σώματος}} = 132.400 \text{ m}^3 + 119.800 \text{ m}^3 + 32.291 \text{ m}^3 = 284.491 \text{ m}^3$.

Ο όγκος του υπόγειου σώματος φράγματος θα είναι $V_{\text{υπόγειου σώματος}} = 4.531,80 \text{ m}^3 + 1.057,50 \text{ m}^3 = 5.589,30 \text{ m}^3$, που είναι και ο όγκος των εκσκαφών.

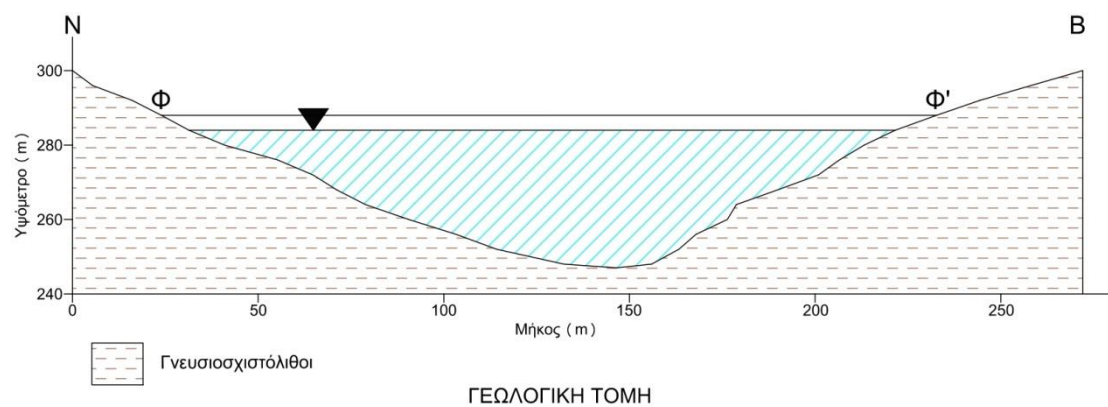
Άρα ο ολικός όγκος του φράγματος είναι $V_{\text{ολ.}} = V_{\text{υπέργειου σώματος}} + V_{\text{υπόγειου σώματος}} = 284.491 \text{ m}^3 + 5.589,30 \text{ m}^3 = \underline{290.080,30 \text{ m}^3}$.

Από γεωλογική άποψη, η ζώνη όπου εδράζεται το φράγμα απαρτίζεται από γνευσιοσχιστόλιθους, γνεύσιους και σχιστόλιθους που είναι μεταμορφωμένα πετρώματα και πρωτογενώς αδιαπέρατα. Όμως η παρουσία ρηγμάτων στην εγγύτητα του φράγματος, δημιουργούν μια περιορισμένη περατότητα σε κάποιες θέσεις. Όπως σε κάθε κατασκευή φράγματος, κι εδώ θα προβούμε σε ερευνητικές γεωτρήσεις σε όλο το μήκος του άξονα, δοκιμές εισπίεσης, πλήρης πυρηνοληψία, γεωτεχνική μελέτη των δειγμάτων και ανάλυση ευστάθειας πρανών.

Παρακάτω απεικονίζονται η γεωμορφολογική διατομή (εμβαδόν διατομής φράγματος = 4.749 m^2), η γεωλογική τομή κατά μήκος του άξονα του φράγματος και η κάτοψη του φράγματος με τα συνοδευτικά έργα του.

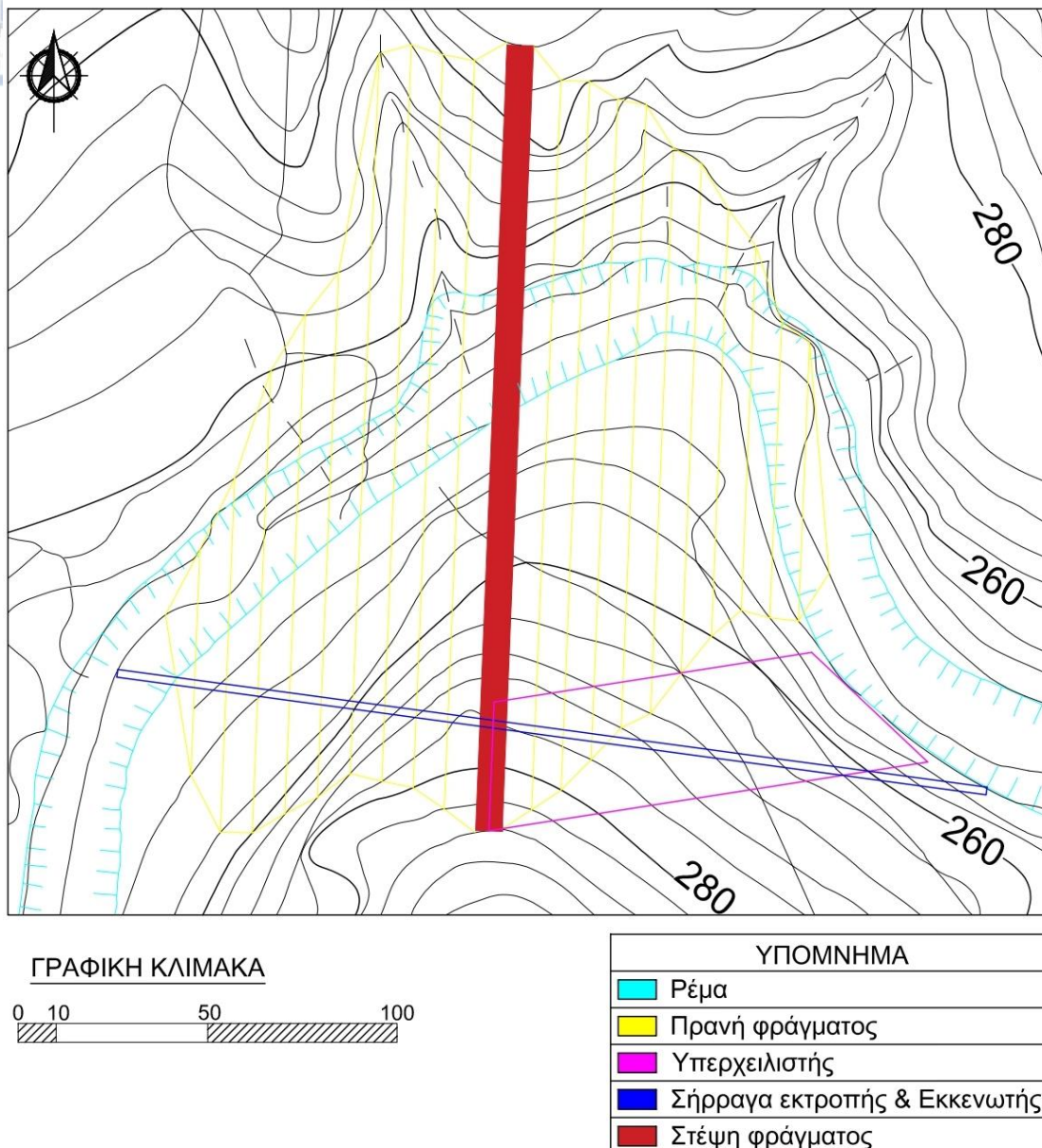


Σχήμα 8: Γεωμορφολογική διατομή κατά μήκος του άξονα του φράγματος (Φ-Φ').



Σχήμα 9: Γεωλογική τομή κατά μήκος του άξονα του φράγματος (Φ-Φ').

ΚΑΤΟΨΗ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ



Σχήμα 10: Κάτοψη φράγματος χείμαρρου Ξεριά.

4.1.4. Αντισεισμικός σχεδιασμός

Ο νέος ενσωματωμένος χάρτης Σεισμικής επικινδυνότητας (Σχήμα 11) ενσωματώνεται στον Ελληνικό Αντισεισμικό Κανονισμό του 2000, ο οποίος τροποποιήθηκε με την απόφαση Δ17α/115/9/ΦΝ 275/7.8.2003 του Υπουργείου ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε και δημοσιεύτηκε στο ΦΕΚ 1154Β/12.8.2003. Σύμφωνα με αυτό, η λεκάνη του Ξεριά ευρίσκεται εντός της Ζώνης Ι με εδαφική επιτάχυνση

σχεδιασμού 0,16 g. Δεδομένου ότι είναι η χαμηλότερη τιμή εδαφικής επιτάχυνσης, η περιοχή έρευνας έχει και τη χαμηλότερη σεισμική επικινδυνότητα.



Σχήμα 11: Χάρτης Ζωνών σεισμικής επικινδυνότητας της Ελλάδος (Πηγή:http://portal.tee.gr/portal/page/portal/SCIENTIFIC_WORK/EKDILOSEIS_P/HYPERLINKS/image002.gif)

4.1.5. Μέτρα στεγανοποίησης

Τα μέτρα στεγανοποίησης εφαρμόζονται όταν έχουμε θέματα στεγανότητας του εδαφικού υπόβαθρου όπου καταλαμβάνει η λεκάνη κατάκλισης. Εντός αυτής της λεκάνης κατάκλισης, εμφανίζεται μια συγκεκριμένη έκταση μαρμάρων που είναι περατά πετρώματα. Η έκταση εκείνη βάσει υπολογισμού στο πρόγραμμα GIS, είναι περίπου 43.000 m² ή 43 στρέμματα.

Για να αποτραπεί η διαρροή (διαφυγή) υδάτων από τον ταμιευτήρα, προτείνεται η κάλυψη με ασφαλικό τάπητα όλη η έκταση των μαρμάρων που καταλαμβάνεται από τον ταμιευτήρα. Χαρακτηριστική περίπτωση είναι ο ταμιευτήρας του φράγματος του Μόρνου, όπου μια έκταση ασβεστόλιθων καλύφθηκε με ασφαλικό τάπητα (Σχήμα 12).



Σχήμα 12: Επικάλυψη με ασφαλτικό τάπητα μιας έκτασης ασβεστόλιθων στον ταμιευτήρα του φράγματος Μόρνου Φωκίδος

(Πηγή:<http://www.geo.auth.gr/courses/ggg/ggg881e/assets/geologikes-meletes-8o-9o-mathima-site.pdf>)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΚΟΣΤΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ

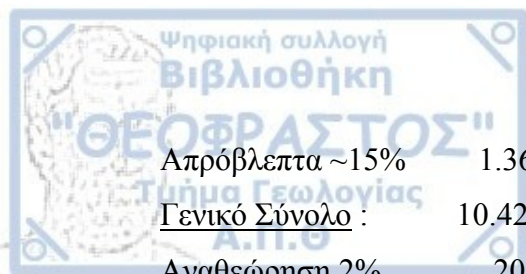
Ο προϋπολογισμός του έργου γίνεται με προσέγγιση του πραγματικού κόστους βάσει των τρεχόντων τιμών αγοράς στον κατασκευαστικό κλάδο. Τα επιμέρους κόστη για την περάτωση του έργου αναλύονται παρακάτω:

- Εκσκαφές : $5.589,30 \text{ m}^3 * 3 \text{ €/m}^3$ (κόστος εκσκαφής και κοντινής μεταφοράς ανά m^3) = 16.767,90 €
- Κατασκευή σώματος φράγματος : $290.080,30 \text{ m}^3 * 7 \text{ €/m}^3$ (κόστος κατασκευής και επίχωσης φράγματος ανά m^3) = 2.030.562,10 €
- Κατασκευή υπερχειλιστή : $3.370,40 \text{ m}^3 * 180 \text{ €/m}^3$ (τιμή σιδηροπλισμού ανά m^3) = 606.672 €
- Σήραγγα εκτροπής : εκτιμώμενο κόστος 2.300.000 €
- Στεγανοποίηση (τσιμεντοενέσεις) + αγκυρώσεις + ασφατικός τάπητας : $800.000 \text{ €} + 43.000 \text{ m}^2$ (έκταση μαρμάρων που καταλαμβάνεται από τον ταμιευτήρα) * 10 €/m^2 (τιμή ασφατικού τάπητα για την κάλυψη των μαρμάρων) = 1.230.000 €
- Υδροληψία : 700.000 €
- Εγκατάσταση εργολάβου : 300.000 €
- Μελέτη κατασκευής (περιλαμβάνει σχέδια κατόψεων, τομών, γεωτρήσεις, περιβαλλοντικές επιπτώσεις, τεχνικές προδιαγραφές, πίνακες κ.ά.) : 500.000 €

Σύνολο : 7.684.002 €

(ΓΕ+ΟΕ) 18% 1.383.120 €

Σύνολο : 9.067.122 €



Απρόβλεπτα ~15% 1.361.404 €

Γενικό Σύνολο : 10.428.526 €

Αναθεώρηση 2% 208.571 €

Κόστος κατασκευής : 10.637.097 €

Φ.Π.Α. 24% 2.552.903 €

Συνολική δαπάνη : 13.190.000 €

Άρα το συνολικό κόστος κατασκευής θα είναι 13.190.000 €.

Οικονομικές παράμετροι φράγματος

Για την «οικονομική καταλληλότητα» ενός φράγματος εξετάζονται 3 παράμετροι που αναλύονται παρακάτω:

- Λόγος ε , που εκφράζεται από τον τύπο $\varepsilon = \frac{V_{\varphi}}{E}$, όπου V_{φ} ο όγκος ολικής χωρητικότητας του ταμιευτήρα προς το εμβαδόν E της διατομής του φράγματος κατά μήκος του άξονα. Με αντικατάσταση των τιμών V_{φ} και E προκύπτει ότι $\varepsilon = 854,95$, που πρόκειται για οριακά αποδεκτή περίπτωση.
- Λόγος $\varphi = \frac{V_{\sigma}}{V_{\varphi}}$, όπου V_{σ} ο όγκος του σώματος του φράγματος προς την ολική χωρητικότητα V_{φ} του φράγματος. Με αντικατάσταση των τιμών V_{σ} και V_{φ} προκύπτει ότι $\varphi = 7,14 \%$, που πρόκειται για μέτρια θέση φράγματος.
- Λόγος $\omega = \frac{K}{V_{\omega}}$, όπου K το συνολικό κατασκευαστικό κόστος του φράγματος προς τον ωφέλιμο όγκο νερού V_{ω} του ταμιευτήρα. Με αντικατάσταση των τιμών K και V_{ω} προκύπτει ότι $\omega = 3,25 \text{ €/m}^3$, που πρόκειται για μέτρια θέση φράγματος (Σούλιος, 2011).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Από τη διερεύνηση της δυνατότητας κατασκευής φράγματος στην υδρολογική λεκάνη του χείμαρρου Ξεριά του παραπόταμου Τιταρήσιου για την κάλυψη των υδρευτικών αναγκών των δήμων Λάρισας και Κιλελέρ, προέκυψαν τα εξής συμπεράσματα:

- Η λεκάνη απορροής Ξεριά χαρακτηρίζεται ως επιμήκης λεκάνη με αναπτυγμένο και πυκνό υδρογραφικό δίκτυο που περιβάλλει πετρώματα χαμηλής υδροπερατότητας (μικρή κατείσδυση) εκτός των καρστικών σχηματισμών, τα οποία καλύπτουν μια μικρή σχετικά έκταση στα βορειοανατολικά της λεκάνης. Επίσης, παρατηρούνται μεγάλες πλημμυρικές απορροές στην έξοδο της λεκάνης και σημαντικές ποσότητες φερτών υλικών.

- Σε γενικές γραμμές, ο χείμαρρος Ξεριά χαρακτηρίζεται ως μικρό/μεσαίο και ορεινό ποτάμι με μη πυριτικό γεωλογικό υπόβαθρο (μικτή γεωλογία υποβάθρου) και με εποχικό καθεστώς ροής με μεγάλη μεταφορά ιζήματος.

- Η μελετημένη λεκάνη εντάσσεται στην Πελαγονική ζώνη σύμφωνα με τον Γεωτεκτονικό χάρτη της Ελλάδος. Ενώ, από γεωλογική σκοπιά, οι κυριότεροι γεωλογικοί σχηματισμοί που επικρατούν εντός της υπό μελέτη λεκάνης, είναι οι γνευσιοσχιστόλιθοι, οι αλλουβιακές αποθέσεις, τα κροκαλοπαγή-ψαμμίτες και τα μάρμαρα.

- Με την επεξεργασία των κλιματολογικών δεδομένων (κατακρημνίσματα και θερμοκρασίες αέρα) και του υδρολογικού ισοζυγίου καταλήξαμε σε μια πραγματική απολήψιμη ποσότητα $20 \cdot 10^6$ κυβικών μέτρων νερού για τη λεκάνη Ξεριά. Εδώ τονίζεται, ότι το μέσο ετήσιο ύψος κατακρημνισμάτων της μελετημένης λεκάνης

είναι 636,8 mm, η πραγματική μέση ετήσια θερμοκρασία αέρα 13,1 °C και η διορθωμένη ετήσια θερμοκρασία 11,63 °C.

- Με βάση τον υπολογισμό των πλημμυρικών παροχών, ο υπερχειλιστής θα έχει παροχευτικότητα $Q=490 \text{ m}^3/\text{sec}$.

- Όσον αφορά τις υδρευτικές ανάγκες του εξυπηρετούντος πληθυσμού για το έτος σχεδιασμού 2050, προβλέπεται ότι η μέση ετήσια ζήτηση για νερό θα είναι 17.650.000 κυβικά μέτρα.

- Για την κάλυψη μέρους των αναγκών διερευνήθηκε η δυνατότητα κατασκευής χωμάτινου φράγματος. Έτσι προτάθηκαν 3 ύψη φραγμάτων με τις αντίστοιχες χωρητικότητες ταμιευτήρων. Εξαιτίας της παρουσίας καρστικών σχηματισμών (μάρμαρα) ανάντη του φράγματος και για να αποφευχθούν τυχόν διαφυγές υδάτων από κατείσδυση στην περιοχή των μαρμάρων, επιλέχτηκε το μικρότερο ύψος φράγματος (37 m + 4 m ύψος υπερχειλιστή). Παρά το συγκεκριμένο ύψος, καθίσταται δυνατή η κάλυψη του 40% των υδατικών αναγκών του εξυπηρετούντος πληθυσμού.

- Όσον αφορά τα φερτά υλικά, υπολογίστηκε ότι θα υπάρχουν 400.000 m^3 περίπου αδρανής όγκος μέσα στη λεκάνη κατάκλισης. Το μήκος στέψης του φράγματος θα είναι 207,50 m και ο ολικός όγκος του $290.080,30 \text{ m}^3$. Το εμβαδόν της διατομής κατά μήκος του άξονα του φράγματος είναι 4.749 m^2 . Η ζώνη κάλυψης του φράγματος απαρτίζεται από γνευσιοσχιστόλιθους, γνεύσιους και σχιστόλιθους, που είναι μεταμορφωμένα πετρώματα και πρωτογενώς αδιαπέρατα. Όμως η παρουσία ρηγμάτων στην εγγύτητα του φράγματος, δημιουργούν μια περιορισμένη περατότητα σε κάποιες θέσεις. Όπως σε κάθε κατασκευή φράγματος, κι εδώ θα γίνουν ερευνητικές γεωτρήσεις σε όλο το μήκος του άξονα, δοκιμές εισπίεσης, πλήρης πυρηνοληψία, γεωτεχνική μελέτη των δειγμάτων και ανάλυση ευστάθειας πρανών.

- Βάσει του χάρτη Σεισμικής επικινδυνότητας, η λεκάνη του Ξεριά έχει την χαμηλότερη σεισμική επικινδυνότητα εφόσον βρίσκεται εντός της Ζώνης I με εδαφική επιτάχυνση σχεδιασμού 0,16 g.

- Το κόστος κατασκευής του φράγματος εκτιμήθηκε στα 13.190.000 €.

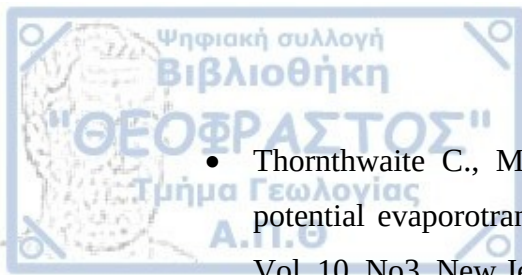
- Ο ταμιευτήρας θα καλύψει 43 στρέμματα καρστικών σχηματισμών (μάρμαρα) που είναι περατά πετρώματα. Γι' αυτό προτείνεται η κάλυψή τους με ασφαλτικό τάπητα για στεγανοποίηση και αποτροπή διαφυγής υδάτων (κατείσδυση).



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ξενόγλωσση βιβλιογραφία

- Coutagne, A. (1954) Quelques considérations sur le pouvoir évaporant de l'atmosphère, le déficit d'écoulement effectif et le déficit d'écoulement maximum, La Houille Blanche, 360–374.
- Dornkamp, J.C. and King, C.A.M., 1971. Numerical Analysis in Geomorphology - an introduction. Ward Arnold Pub. Ltd., London, 372 p.
- Horton, R. E., 1945, Erosional development of streams and their drainage basins hydrophysical approach to quantitative morphology: Geol. Soc. America Bull., v. 56, no. 3, p. 275-370.
- Pakhmode, V., Kulkarni, H., and Deolankar, S.B (2003): Hydrological drainage analysis in watershed programme planning: A case study from the Deccan basalt, India. Hydrogeology Journal, 11:595 – 604.
- Strahler, A. N. 1957. Quantitative analysis of watershed geomorphology. Transactions of the American Geophysical Union 38:913–920.
- Thornthwaite, C.W., and J.R. Mather. The Water Balance. Laboratory of Climatology Publ. 8. Centerton, NJ (1955).



- Thornthwaite C., Mather J. (1957). Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and water balance. Publication in Climatology, Vol. 10, No3, New Jersey.
- Turc, L. (1951). Nouvelle formule pour le calcul du bilan de l' eau en fonction des valeurs moyennes annuelles des precipitations et de la temperature. C.R. Ac. Sc. Vol. 233.
- Van de Bund, W., Cardoso, A. C., Heiskanen, A.S., Nõges, P. (2004) Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC). Overview of Common Intercalibration types. Final version 5.1. Ecological Status Working Group 2.A.

Ελληνόγλωσση βιβλιογραφία

- Βουδούρης, Κ. (2013). ΤΕΧΝΙΚΗ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ – ΥΠΟΓΕΙΑ ΝΕΡΑ. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Τζιολά. Σελ. 27-29 & 33-37.
- Σούλιος, Γ. (2011). ΓΕΝΙΚΗ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις UNIVERSITY STUDIO PRESS. Σελ. 325 & 330.
- Σούλιος Γ., Γκούμας Κ., Μεντές Α., Κακλής Τ., Σωτηριάδης Μ., Μάττας Χ. (2008). «Ερευνητική - αναγνωριστική μελέτη κατασκευής φράγματος στο Παλαιόκαστρο Ελασσόνας, σε ανάντη θέση στον «Ξεριά», παραπόταμο του Τιταρήσιου», Θεσσαλονίκη.

Διπλωματικές εργασίες

- Αχιλλέως, Γ. (2015). «Σεισμική ευστάθεια γεωφραγμάτων», Διπλωματική Εργασία, Χανιά.
- Βασιλειάδης Κ., Παπαναστασίου Θ., Σάντα Α., (2015). «ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΛΙΘΟΡΡΙΠΤΩΝ ΦΡΑΓΜΑΤΩΝ ΜΕ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΟ



ΦΡΑΓΜΑ ΤΡΙΑΝΤΑΦΥΛΛΙΑΣ ΝΟΜΟΥ ΦΛΩΡΙΝΗΣ», Πτυχιακή εργασία, Πάτρα.

- Βίτσα, Κ. (2012). «ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΣΕ ΕΡΓΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΦΡΑΓΜΑΤΩΝ. Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΦΡΑΓΜΑΤΩΝ ΣΤΟ ΝΟΜΟ ΤΡΙΚΑΛΩΝ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΑΗΡ», Μεταπτυχιακή Διπλωματική εργασία, Λάρισα.

Ηλεκτρονικές πηγές

- Bengtson H., Rational Method Runoff Coefficient Tables for Storm Water Runoff Calculation, <<https://www.brighthubengineering.com/hydraulics-civil-engineering/93173-runoff-coefficients-for-use-in-rational-method-calculations>>
- https://www.researchgate.net/figure/Rational-method-runoff-coefficients_tbl2_282920894
- <http://www.engineeringenotes.com/measuring-rainfall/runoff-measuring-rainfall/how-to-estimate-runoff-from-rainfall-top-3-methods/44631>