



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΤΟΜΕΑΣ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ



ΙΣΤΑΝΤΣΟ ΧΡΗΣΤΟΣ

ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ & ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΑ ΘΕΜΑΤΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ
ΛΙΜΝΟΔΕΞΑΜΕΝΩΝ, ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΟΝ ΕΛΛΗΝΙΚΟ
ΧΩΡΟ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ

2020





ΙΣΤΑΝΤΣΟ ΧΡΗΣΤΟΣ

Φοιτητής του Τμήματος Γεωλογίας, ΑΕΜ: 5414

ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ & ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΑ ΘΕΜΑΤΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΛΙΜΝΟΔΕΞΑΜΕΝΩΝ, ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΟΝ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΧΩΡΟ.

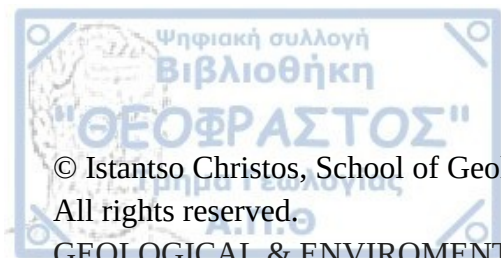
Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας,
Τομέα Εφαρμοσμένης Γεωλογίας, Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και
Υδρογεωλογίας

Επιβλέπων

Δρ. Κακλής Τριαντάφυλλος (ΕΔΙΠ)

© Ιστάντσο Χρήστος, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Τομέας Εφαρμοσμένης Γεωλογίας, 2020
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ & ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΑ ΘΕΜΑΤΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΛΙΜΝΟΔΕΞΑΜΕΝΩΝ,
ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΟΝ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΧΩΡΟ – *Διπλωματική Εργασία*



© Istantso Christos, School of Geology, Dept. of Applied Geology, 2020

All rights reserved.

GEOLOGICAL & ENVIROMENTAL CONSTRUCTING ISSUES OF WATER
CONTAINMENT PONDS, EXAMPLES FROM THE GREEK REGION – *Bachelor Thesis*

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



ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία στα πλαίσια ολοκλήρωσης του Προπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών και το θέμα της ήταν «Τα Γεωλογικά και Περιβαλλοντικά Θέματα Κατασκευής Λιμνοδεξαμενών, Παραδείγματα από τον Ελληνικό Χώρο».

Σκοπός της διπλωματικής αυτής εργασίας ήταν να δείξει τον τρόπο μελέτης μιας λιμνοδεξαμενής , καθώς τα στοιχεία από τα οποία εξαρτάται η κατασκευή μίας λιμνοδεξαμενής και ποιοι είναι οι γεωολογικοί, υδρογεωολογικοί και περιβαλλοντικοί παράγοντες που συμβάλουν στην κατασκευή της.

Κάπου εδώ θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά και βαθύτατα των επιβλέποντα κ. Τριαντάφυλλο Κακλή μέλος ΔΙΕΠ του τμήματος Γεωλογίας του ΑΠΘ, που υπήρξε δίπλα μου σε ολόκληρη τη διαδικασία συγγραφής αυτής της διπλωματικής και με καθοδήγησε σε όλα τα στάδια εκπόνησής της πάντα με υπομονή, επιμονή και με την πλήρη στήριξη του.

Τελειώνοντας θα ήθελα να εκφράσω τις εγκάρδιες ευχαριστίες μου στους υπέροχους γονείς μου Χαράλαμπο και Ουράνια για την αδιάκοπη υλική και ηθική στήριξή τους κατά όλη την διάρκεια των σπουδών μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Είναι γενικά γνωστό πως τον 21^ο αιώνα οι ανάγκες του ανθρώπου για νερό και η εξάρτηση του από αυτό δεν έχουν μειωθεί ούτε στο ελάχιστον. Πως θα μπορούσε εξάλλου, καθώς το νερό αποτελεί πηγή ζωής για τον πλανήτη και τους ζωντανούς οργανισμούς που κατοικούν μέσα σε αυτόν.

Η συνεχής αυξανόμενη ανάγκη των ανθρώπων για νερό, σε συνδυασμό με τις κλιματικές αλλαγές που βιώνει ο πλανήτης, το καθιστά πλέον έναν πόρο όλο και πιο σημαντικό αλλά και πιο δυσεύρετο. Για το λόγο αυτό, είναι πλέον αναγκαία η σωστή διαχείριση των υδατικών πόρων. Σε αυτή την προσπάθεια τα υδρομαστευτικά έργα (έργα συλλογής και απόληψης επιφανειακών και υπογείων υδάτων) είναι μια καλή λύση στο πρόβλημα της διαχείρισης των υδατικών πόρων.

Οι λιμνοδεξαμενές αποτελούν ένα τέτοιο υδρομαστευτικό έργο που κατασκευάζεται είτε εντός της κοίτης ενός ποταμού (εσωποτάμιες) είτε παράταιρα, σε φυσικές ή τεχνίτες κοιλάτες (εξωποτάμιες). Πλέον όταν αναφερόμαστε στον όρο «λιμνοδεξαμενή» εννοούμε τις εξωποτάμιες κυρίως. Η κατασκευή του έργου προαπαιτεί συνήθως εκσκαφές και ανυψώσεις αναχωμάτων για την κατάλληλη διαμόρφωση της περιοχής και δημιουργία μια κοιλάδας. Η λιμνοδεξαμενή αποτελείται από τρία τμήματα: το έργο σύλληψης, τον αγωγό μεταφοράς του νερού και τον ταμιευτήρα.

Η σύλληψη του νερού μπορεί να επιτευχθεί με την κατασκευή ενός μικρού φράγματος εκτροπής επάνω στην κοίτη του υδρορέματος ή μπορεί να είναι ένας μικρός σωληνωτός προσαγωγός σαν διώρυγα. Η επιλογή της κατάλληλης θέσης μιας λιμνοδεξαμενής αποτελεί κρίσιμο παράγοντα για την κατασκευή της. Για να θεωρηθεί μια περιοχή κατάλληλη θα πρέπει να ικανοποιεί μια σειρά από κριτήρια, ώστε να επιτευχθεί το καλύτερο οικονομοτεχνικό αποτέλεσμα.

Στο κομμάτι της μελέτης η κατασκευή μιας λιμνοδεξαμενής δεν διαφέρει από τα υπόλοιπα τεχνικά έργα. Πρώτος στόχος είναι να ελεγχθούν σχολαστικά όλα τα θέματα που συνδέονται με την ασφαλή θεμελίωση των κύριων και συνοδών έργων, καθώς να εκπονηθεί και εκτίμηση περιβαλλοντικών επιπτώσεων για την ευρύτερη περιοχή κατασκευής.

Αποτελεί κοινό τόπο ότι σε κάθε ανθρώπινη δραστηριότητα που σχετίζεται με την κατασκευή τεχνικών έργων υπάρχουν άμεσες και έμμεσες επιπτώσεις στο περιβάλλον. Οι λιμνοδεξαμενές δεν αποτελούν εξαίρεση. Βάση της Περιβαλλοντικής Νομοθεσίας είναι αναγκαίο να εξετάζονται οι επιπτώσεις αυτές με την εκπόνηση Μελέτης Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων,

που σκοπό της έχει να αναδείξει όλες τις θετικές και αρνητικές επιπτώσεις που προκαλεί η κατασκευή του έργου στο φυσικό και ανθρωπογενές περιβάλλον της ευρύτερης περιοχής κατασκευής. Τα αυξημένα επίπεδα θορύβου, η εκπομπή καυσαερίων και σκόνης, καθώς και αλλοίωση της αισθητικής του τοπίου αποτελούν τις πλέον συνηθέστερες αρνητικές επιπτώσεις κατά την φάση της κατασκευής. Παρόλα αυτά κάποιες από τις θετικές συνέπειες γίνονται διακριτές κατά την φάση λειτουργίας του έργου όπως η παροχή νερού για άρδευση (που οδηγεί στην βελτίωση της γεωργίας), για τη γρήγορη και αποτελεσματική αντιμετώπιση πυρκαγιών και νέες επενδύσεις στην τριγύρω περιοχή όπου βρίσκεται η λιμνοδεξαμενή.

Τέλος παρουσιάζεται μια περίπτωση προς μελέτη, που στόχος της είναι να εξετάσει το ενδεχόμενο κατασκευής μια εσωποτάμιας λιμνοδεξαμενής κοντά στο χωριό Κεφαλόβρυσο για την κάλυψη των αρδευτικών αναγκών καλλιέργειας βαμβακιού της τριγύρω περιοχής. Η μελέτη εστιάζει σε όλα τα μορφολογικά, γεωλογικά και υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής και κρίνει αν είναι κατάλληλη για την κατασκευή του έργου. Η περιοχή κατασκευής του έργου αποδεικνύεται να είναι κατάλληλη για την κατασκευή ενός μικρού φράγματος και να μας εξασφαλίζει τις ποσότητες νερού που θα χρειαστούμε για τις αρδευτικές ανάγκες της περιοχής.



ABSTRACT

Title: Geological & Environmental Constructing Issues of Water Containment Pond, Examples from the Greek Region.

It is generally known that, in the 21st century the human needs for water and the dependence on it has not been reduced, not even to the slightest. How could it be though since water constitutes the source of life for this planet and its living beings?

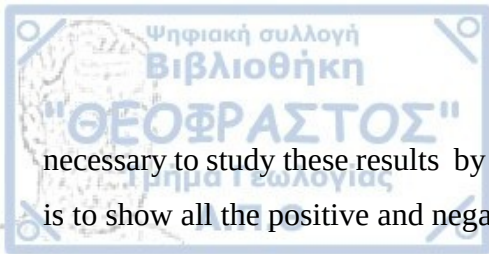
The increasing human needs for water, together with the climate change this planet undergoes, establishes it as the most important and hard to find resource. Therefore, it is necessary for now on to demonstrate better management on water recourses. In this effort, water management projects, such as collecting and redistributing both surface and ground water, is a well enough solution to the water recourses management problem.

Water containment ponds are water management project constructions, which are constructed either in or off-streams and in natural or artificial basins. Nowadays, when we use the term “water containment ponds”, we are basically referring to the off-stream reservoirs. The construction of a project as such, requires excavations and the rising of embankments for the proper setup of the area and the creation of the basin. Water containment ponds consist of three parts, the water ‘impoundment’ project, the water transporting pipeline and the main reservoir.

The water collections can be achieved with the construction of a small diversion dam inside the stream or pipeline in the form of a canal. The choice of the proper position for the construction of the water containment pond constitutes a crucial factor for its built. To consider an area as proper, a group of criteria are to be satisfied, in order to achieve the best financial and technical result.

In terms of study, the construction of water containment pond does not differ from all the other kind of projects. The main goal is to check thoroughly all the matters that are related to the safe foundations of the main and side projects, while an assessment of the environmental consequences for the wider area should be also devised.

It is commonly approved, that every kind of human activity which is related to the construction of any kind of project has direct and indirect results to the environment. Water containment pond does not make an exception. According to the Environmental Law, it is



necessary to study these results by conducting an Environmental Impact Assessment, whose goal is to show all the positive and negative results in the human and natural environment of the wider area, that can be caused by the construction of a project like this. The increasing levels of noise, the exhaust or dust emissions and the alteration of the natural landscape, consist one of the most usual negative results in the construction phase. However, some positive results can be spotted during the operation phase, like the provision of water for irrigation, which leads to agricultural improvement, as a quicker and more efficient way to deal with fires and for new investments to the wider area near the water containment pond.

Finally, a case study is presented, whose goal is to examine the possibility of constructing an in-stream water containment pond near the village of Kefalovriso for the coverage of cotton's irrigation needs of the wider area. This study focuses on the morphological, geological, and hydrological characteristics of the catchment area and decides whether the position for the construction of the project is proper or not. The projects areas prove to be proper for the construction of a small dam and ensure the amounts of water that we may need for the irrigation needs of the area.



[Στους γονείς μου]

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Εισαγωγή	5
Κεφάλαιο 1 ^ο : Λιμνοδεξαμενές	6
1.1 Ορισμός.....	6
1.2 Γενικά Χαρακτηριστικά Λιμνοδεξαμενών.....	6
Κεφάλαιο 2 ^ο : Τεχνικογεωλικές Παράμετροι Κατασκευής Λιμνοδεξαμενών.....	10
2.1 Γενικά.....	10
2.2 Λεκάνη Απορροής	10
2.3 Επιλογή Θέσης	11
2.3.1 Γεωλογικά Κριτήρια Καταλληλότητας Θέσης.	12
2.4 Φράγμα εκτροπής & Προσαγωγός.	17
Κεφάλαιο 3 ^ο :Γεωλογικές & Γεωτεχνικές Μελέτες.	18
3.1 Βασικά προβλήματα λειτουργίας λιμνοδεξαμενών	19
Κεφάλαιο 4 ^ο : Στάδια Μελέτης.....	21
Κεφάλαιο 5 ^ο : Περιβαλλοντικές επιπτώσεις λιμνοδεξαμενών.....	25
5.1 Γενικές πληροφορίες.....	25
5.2 Στάδια Μελέτης Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων.....	26
5.3 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την κατασκευή μια λιμνοδεξαμενής	28
Κεφάλαιο 6 ^ο : Περίπτωση προς μελέτη.....	33
6.1 Εισαγωγή	33
6.2 Γεωγραφικά – Γεωμορφολογικά στοιχεία της λεκάνης.....	34
6.3 Γεωλογικά στοιχεία.....	39
6.4 Βροχομετρικά – Θερμοκρασιακά στοιχεία της περιοχής	43
6.5 Υπολογισμός του υδρολογικού ισοζυγίου και πλημμυρικών παροχών.....	50
6.6 Η λεκάνη κατάκλισης : γεωλογικά -γεωμορφολογικά στοιχεία.....	54
6.7 Εκτίμηση φερτών υλικών.....	60

6.8 Υπολογισμός ύψους του φράγματος.....	61
6.9 Ζώνη – Αξονας του φράγματος.....	66
Κεφάλαιο 7 ^ο : Συμπεράσματα.....	72
Βιβλιογραφία.....	76
Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία.....	77
Ηλεκτρονικές πηγές.....	77
Ηλεκτρονικά Εργαλεία.....	77

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1: Έργα κατασκευής εξωποτάμιας λιμνοδεξαμενής (πηγή: Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης & Τροφίμων, 2006	7
Σχήμα 2: Καλυμμένα πρανή με γεωμεμβράνη η οποία θα παραμείνει ακάλυπτη (πηγή : φώτο αρχείο από Apopsilive.).....	8
Σχήμα 3: Μικρό υπερπήδητο φράγμα που δημιουργεί πίσω του ένα υδροταμιευτήρα (εσωποτάμια λιμνοδεξαμενή). (Πηγή: 24h.com.cy).....	9
Σχήμα 4: Νέος χάρτης σεισμικής επικινδυνότητας (Πηγή: E.A.K., 2003	15
Σχήμα 5: Λιμνοδεξαμενή στην Κάλυμνο που το νερό εξατμίσθηκε (πηγή φωτογραφίας από dimokratiki.gr)	20
Σχήμα 6: Εμφάνιση της γεωμεμβράνης της λιμνοδεξαμενής από την πτώση στάθμης του νερού. (πηγή φωτογραφίας: epoli.gr).....	30
Σχήμα 7: Τοπογραφικός χάρτης με τη θέση του φράγματος.....	35
Σχήμα 8: Γεωμορφολογικός Χάρτης της Λεκάνης Απορροής.	36
Σχήμα 9: Υψομετρική καμπύλη της λεκάνης απορροής	37
Σχήμα 10: Διάγραμμα logNu - Τάξης κλάδων Na.....	38
Σχήμα 11: Γεωλογικός χάρτης της Λεκάνης Απορροής. Στο κατώτερο τμήμα του χάρτη υπάρχει η τομή ΑΑ'.	42
Σχήμα 12: Διάγραμμα συσχέτισης μέσου ετήσιου ύψους κατακρημνισμάτων (mm) - υψόμετρου (m).....	46
Σχήμα 13: Διάγραμμα μεταβολής μέσης ετήσιας Θερμοκρασίας αέρα σε συνάρτηση με το υψόμετρο.....	49



Σχήμα 14:Γεωλογικός χάρτης της λεκάνης απορροής. Οι Συντεταγμένες είναι σε HATT Αθηνών.

..... 57

Σχήμα 15:Καμπύλη Ύψους φράγματος – χωρητικότητας..... 59

Σχήμα 16:Διάγραμμα διακύμανσης όγκου ετήσιας απορροής της εξεταζόμενης λεκάνης κατά τη χρονική περίοδο 1985-2005..... 62

Σχήμα 17: Ενδοετήσια διακύμανση των μέσων ολικών μηνιαίων απορροών της εξεταζόμενης λεκάνης. 63

Σχήμα 18:Απεικόνιση της λεκάνης κατάκλυσης (λιμνοδεξαμενή) και η οριοθέτηση της στο χώρο. Συντεταγμένες σε ΕΓΣΑ 87. 66

Σχήμα 19:Γεωλογικός χάρτης στην κλίμακα της ζώνης του φράγματος. 67

Σχήμα 20: Ενδεικτική γεωλογική τομή στην θέση του φράγματος..... 68

Σχήμα 21:Γεωμορφολογική διατομή κατά μήκος του άξονα του φράγματος..... 68

Σχήμα 22: Λεκάνη κατάκλυσης. Στο βάθος απεικονίζεται και η προτεινόμενη θέση φράγματος. 69

Σχήμα 23:Θέση και όρια του φράγματος..... 70

Σχήμα 24:Ρήγμα και επαφή ανάμεσα στις ποταμοχερσαίες αποθέσεις και το υπόβαθρο..... 71

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1:Ενδεικτικές τιμές σεισμικής επιτάχυνσης σε κάθε ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας 15

Πίνακας 2:Κατάταξη εδαφών βάση της σεισμικής επικινδυνότητας (Ε.Α.Κ., 2000). 16

Πίνακας 3:Κατάταξη έργων και δραστηριοτήτων σύμφωνα με (Υ.Α 1958/2012) 26

Πίνακας 4: Στοιχεία κάθε κλάδου..... 38

Πίνακας 5:Βροχομετρικά στοιχεία Γιαννιτών 1971-2005 44

Πίνακας 6:Βροχομετρικά δεδομένα Λιβαδιού 1985 - 2007 44

Πίνακας 7:Βροχομετρικά στοιχεία Ελασσόνας 45

Πίνακας 8:Βροχομετρικά στοιχεία Δεσκάτης 1972 - 2006 45

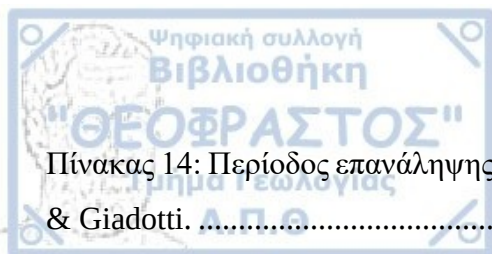
Πίνακας 9: Μέσες μηνιαίες τιμές βροχόπτωσης στην λεκάνη απορροής..... 46

Πίνακας 10: Θερμοκρασίες αέρα Λιβαδιού 1987 -2006 48

Πίνακας 11: Θερμοκρασίες αέρα Δεσκάτης 2002 - 2006..... 48

Πίνακας 12: Θερμοκρασίες αέρα Μαγουλά 1987 - 2006 49

Πίνακας 13:Μέσες μηνιαίες τιμές θερμοκρασίας αέρα στην λεκάνη απορροής..... 50



Πίνακας 14: Περίοδος επανάληψης πλημμυρικών παροχών και αναμενόμενες παροχές κατά Fuller & Giadotti.	54
Πίνακας 15:Ετήσια ολική απορροή της εξεταζόμενης λεκάνης με τις μεθόδους Ture και Coutagne..	62
Πίνακας 16:Μέσες μηνιαίες απορροές της εξεταζόμενης λεκάνης.....	64
Πίνακας 17:Ποσοστά της μηνιαίας παραγωγής νερού για τα έτη 2001-2006 (στοιχεία Δ.Ε.Υ.Α.Λ)	64

Εισαγωγή

Το νερό είναι ένα από τα σημαντικότερα αγαθά που έχει και προσφέρει ο πλανήτης Γης σε εμάς. Αποτελεί το κλειδί πίσω από την ύπαρξη της ζωής του πλανήτη και αποτελεί έναν ζωτικής σημασίας ρόλο στην ζωή κάθε ζωντανού οργανισμού. Η ανάπτυξη κάθε σύγχρονης κοινωνίας προϋποθέτει την σωστή διαχείριση και αξιοποίηση των φυσικών πόρων, που ανάμεσα σε αυτούς βρίσκεται και το νερό. Με τον όρο σύστημα υδατικών πόρων εννοείται ένα σύνολο καθορισμένων λειτουργιών και διαδικασιών που λαμβάνουν χώρα, τόσο στην επιφάνεια του εδάφους με την προσφορά από την ατμόσφαιρα, όσο και κάτω απ' αυτό με την κίνηση του νερού, την παραμονή και αποθήκευσή του μέσα σ' αυτό και τελικά τη φυσική ή τεχνητή του επάνοδο στην επιφάνεια (Δημόπουλος Γ., 1995).

Επομένως για να εξασφαλιστεί η σωστή διαχείριση των υδατικών πόρων θα πρέπει να γίνεται συλλογή του νερού από τα υδροφόρα συστήματα ή πηγές με την κατασκευή και αξιοποίηση κατάλληλων τεχνικών έργων. Τέτοιου είδους έργα είναι οι παραγωγικές γεωτρήσεις, τα φράγματα και οι λιμνοδεξαμενές.

Στόχος της διπλωματικής αυτής εργασίας είναι να αναδειχθούν και να παρουσιαστούν οι παράγοντες, τόσο γεωλογικοί, υδρογεωλογικοί και γεωτεχνικοί από τους οποίους εξαρτάται ο σχεδιασμός μιας λιμνοδεξαμενής, καθώς και οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις που μπορεί να έχει ένα τέτοιου είδους έργο. Τέλος βάζει σε εφαρμογή κάποιες από τις απαραίτητες μελέτες που πρέπει να γίνουν με σκοπό την κατασκευή ενός τέτοιου έργου, μέσω μιας περίπτωσης προς μελέτη.

Κεφάλαιο 1^ο : Λιμνοδεξαμενές

1.1 Ορισμός.

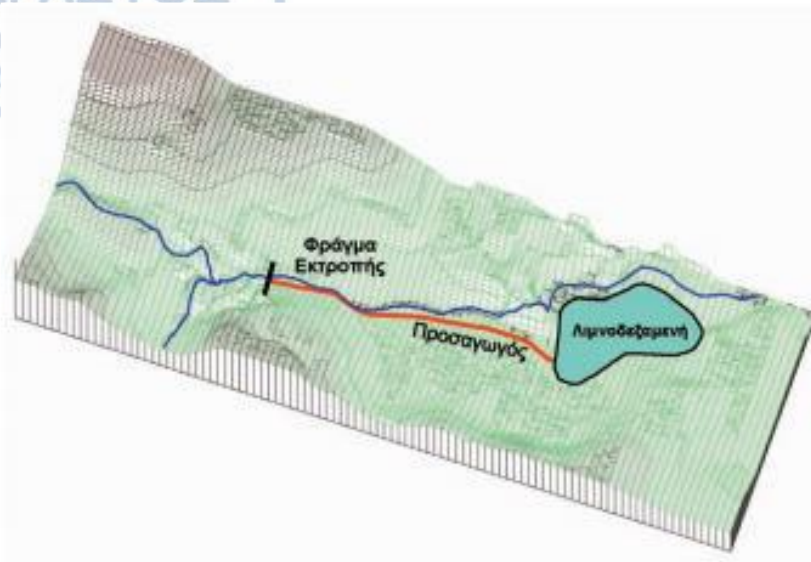
Ως *λιμνοδεξαμενές* αναφέρουμε τους μικρούς επιφανειακούς ταμιευτήρες νερού, χωρητικότητας π.χ. 30.000 έως 1.000.000 m³, που κατασκευάζονται είτε μέσα στην κοίτη των ποταμών με την μορφή μικρών υπερπήδητων φραγμάτων (*επιποτάμιες λιμνοδεξαμενές*), είτε παράταιρα της κοίτης του ποταμού, με τη χρήση αγωγού μεταφοράς (προσαγωγός) σε φυσικές ή τεχνητά διαμορφωμένες κοιλότητες (*εξωποτάμιες λιμνοδεξαμενές*).

1.2 Γενικά Χαρακτηριστικά Λιμνοδεξαμενών.

Σύμφωνα με το Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων, Ειδική Γραμματεία Γ' Κ.Π.Σ. (2006) όταν αναφερόμαστε στις «Λιμνοδεξαμενές» αναφερόμαστε στις εξωποτάμιες λιμνοδεξαμενές. Αποτελούν ταμιευτήρες μικρής σχετικά χωρητικότητας που κατασκευάζονται εκτός της κοίτης του ποταμού σε θέσεις ευνοϊκές από άποψης ανάγλυφου αλλά και γεωλογίας, χωρίς αυτό να συνδέεται με την ύπαρξη ενός αδιαπέρατου υποβάθρου. Η διαμόρφωση τους επιτυγχάνεται με την εκσκαφή της επιλεγμένης περιοχής και φράζονται αναχώματα. Τέλος, η στεγανοποίηση τους εξασφαλίζεται με την χρήση ειδικών αδιαπέρατων γεωμεμβρανών (Βαλασόπουλος Δ., Δόλκας Θ., 2001).

Σκοπός των έργων αυτών είναι η εκμετάλλευση τις χειμερινών, κυρίως, απορροών των φυσικών υδρορεμάτων, με σκοπό την συγκέντρωση και αποθήκευση νερού για αρδευτικές, κυρίως, χρήσεις τους καλοκαιρινούς μήνες, όπου παρατηρείται έλλειψη λόγω μείωσης των βροχοπτώσεων, αλλά και για παροχή ύδρευσης, ιδιαίτερα, σε περιοχές που στερούνται υδατικών πόρων όπως τα νησιά.

Οι λιμνοδεξαμενές σαν τεχνικά έργα αποτελούνται από τρία ξεχωριστά έργα τα οποία είναι αλληλένδετα και αυτά είναι, το φράγμα εκτροπής του χειμάρρου, ο αγωγός μεταφοράς του νερού (ο προσαγωγός) και τέλος το ταμιευτήρας του νερού (λιμνοδεξαμενή).



Σχήμα 1: Έργα κατασκευής εξωποτάμιας λιμνοδεξαμενής (πηγή: Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης & Τροφίμων, 2006)

Η λειτουργία του καθενός από τα παραπάνω είναι η εξής, σύμφωνα με (Βαλασόπουλος Δ., Δόλκας Θ., 1995):

Φράγμα εκτροπής: Αποτελεί ένα μικρού ύψους φράγμα, με δυνατότητα πλευρικής απαγωγής του νερού μέσω αύλακας που φέρει σχάρα ή χρησιμοποιεί υπερχειλιστή, πάνω στην ροή του ποταμού σε σκοπό την ανύψωση και σύλληψη του νερού.

Στην στέψη του υπερχειλιστή υπάρχει ανοικτό κανάλι που οδηγεί τα νερά προς μια δεξαμενή καθίζησης στερεών φερτών υλών και στην συνέχεια στον προσαγωγό. Για το λόγο αυτό θα πρέπει να γίνεται διεξοδική έρευνα για την μεταφορική ικανότητα και δυναμική του ποταμού ώστε να ληφθούν τα κατάλληλα μέτρα ως προς το ύψος του φράγματος και του υπερχειλιστή, την ικανότητα συγκράτησης των φερτών υλικών, καθώς και η χωρητικότητα και λιμνοδεξαμενής σε νερό.

Αγωγός μεταφοράς νερού (προσαγωγός): Συνδέεται με την εγκατάσταση κάποιου είδους σωλήνα ή την εκσκαφή κάποιας διώρυγας με σκοπό την μεταφορά του νερού από το ποτάμι προς την λιμνοδεξαμενή. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να υπάρχει κατά την τεχνικογεωλογική έρευνα της διαδρομής ώστε να αποφευχθούν πιθανές θέσεις κατολίσθησης, πτώσης βράχων και ρηγμάτων που θα μπορούσαν να εκθέσουν και να καταστρέψουν το έργο.

Συνήθως προτιμάται η οικονομικά καλύτερη διαδρομή του αγωγού. Σε περίπτωση εκμετάλλευσης και της χειμναρικής παροχής του ποταμού προτιμάται η κατασκευή ανοικτού αγωγού, ενώ αν εκμεταλλευόμαστε την βασική ροή τότε προτιμάται κλειστού τύπου.

Ταμιευτήρας νερού (λιμνοδεξαμενή): Η κατασκευή του ταμιευτήρα προτιμάται εντός φυσικών εδαφικών κοιλοτήτων με κατάλληλη διαμόρφωση πρανών, ή με την εκσκαφή τεχνητών κοιλωμάτων συνοδευόμενη με την ανύψωση των τοιχωμάτων που περικλείουν περιμετρικά.

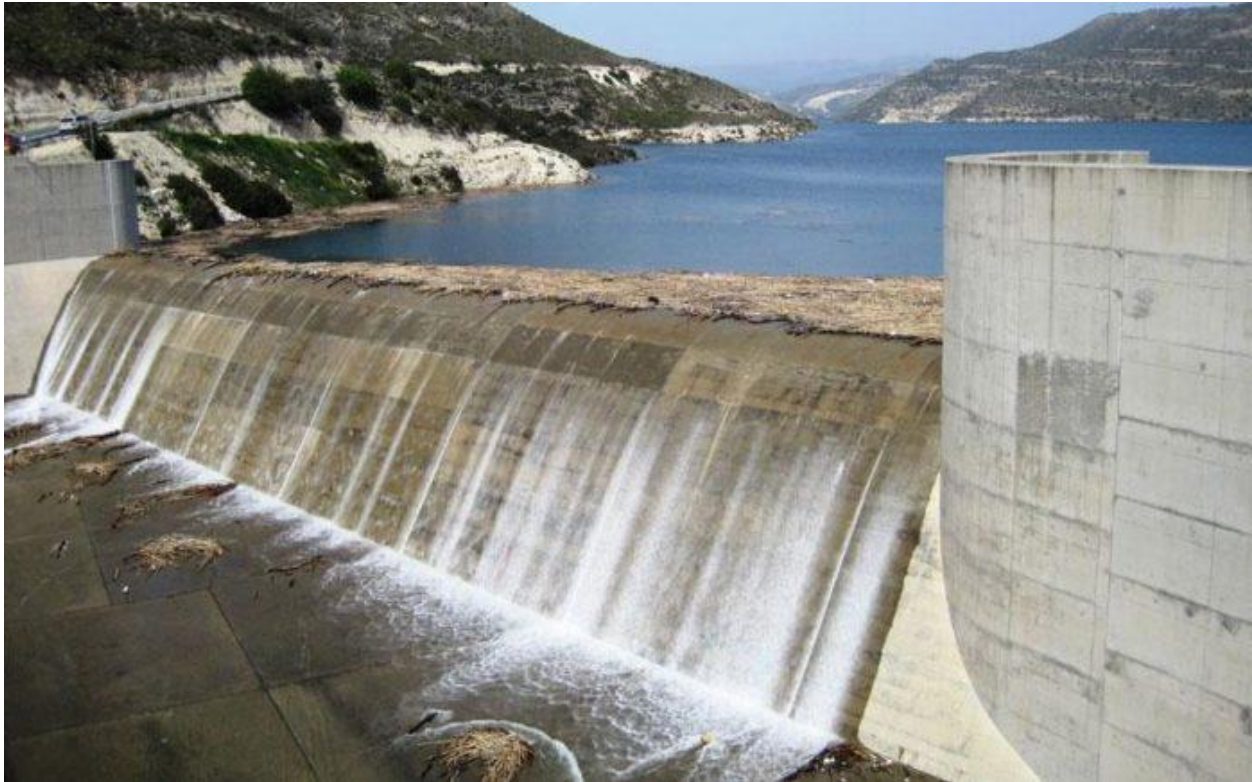
Σύμφωνα με τους (Βαλασόπουλος Δ., Δόλκας Θ., 1995) για την κλίση των πρανών ισχύει ότι:

- 1) Η ελάχιστη κλίση των εξωτερικών πρανών θα πρέπει να προσδιορίζεται από την εδαφοτεχνική μελέτη. Η κλίση των πρανών αυτών εξαρτάται κυρίως από το ισοζύγιο των χωματισμών καθώς και από την έκταση που έχουμε διαθέσιμη για το έργο.
- 2) Για τα εσωτερικά πρανή θα πρέπει να γνωρίζουμε αν η γεωμεμβράνη τους θα είναι καλυμμένη ή ακάλυπτη. Σύμφωνα πάντα με τα αποτελέσματα τις εδαφοτεχνικής μελέτης, τα εσωτερικά πρανή μπορούν να έχουν ελάχιστη κλίση 1:2:5 με ακάλυπτη γεωμεμβράνη και καλό υπόστρωμα και μπορούν να φτάσουν έως και κλίση 1:3:5 και άνω βάση πάντα τις ανάγκες του έργου.



Σχήμα 2: Καλυμμένα πρανή με γεωμεμβράνη η οποία θα παραμείνει ακάλυπτη (πηγή : φώτο αρχείο από Aropsilive.)

Όταν για οικονομοτεχνικούς και άλλους λόγους, η κατασκευή μια εξωποτάμιας λιμνοδεξαμενής αποδεικνύεται μη υλοποιήσιμη, τότε μπορούμε να εξετάσουμε το ενδεχόμενο κατασκευής μια εσωποτάμιας λιμνοδεξαμενής, δηλαδή την κατασκευή ενός μικρού φράγματος επί της κοίτης τους υδρορέματος που θα δημιουργήσει προς τα ανάντη έναν υδροταμιευτήρα. Οι εσωποτάμιες λιμνοδεξαμανές σε σύγκριση με τις εξωποταμίες μπορούν αν εκμεταλλευτούν καλύτερα τις πλημμυρικές παροχές περιορισμένης χρονικής διάρκειας.



*Σχήμα 3: Μικρό υπερπήδητο φράγμα που δημιουργεί πίσω του ένα υδροταμιευτήρα (εσωποτάμια λιμνοδεξαμενή).
(Πηγή: 24h.com.cy)*

Κεφάλαιο 2^ο : Τεχνικογεωλικές Παράμετροι Κατασκευής Λιμνοδεξαμενών

2.1 Γενικά.

Πριν την κατασκευή μια λιμνοδεξαμενής θα πρέπει να διεξαχθεί προσεκτική γεωτεχνική και γεωλογική μελέτη με σκοπό να παρθούν κάποιες αποφάσεις όσο αφορά το είδος του υδρομαστευτικού έργου που θα κατασκευάσουμε (δηλ. μικρό φράγμα, λιμνοδεξαμενή), καθώς και την κατάλληλη θέση εγκατάστασης και έκτασης του έργου, για την διαφυγή οποιασδήποτε αστοχίας που μπορεί να προκληθεί από υδρολογικούς και γεωλογικούς παράγοντες. Τέτοιες αστοχίες μπορεί να είναι η υπερδιαστασιολόγηση του έργου σε έκταση και χωρητικότητα λόγω υπερεκτίμηση των δυνατοτήτων του υδρορέματος και των χειμμαρικών του παροχών ή αντίστροφα η υποτίμηση του με αποτέλεσμα την υποτίμηση και των δυνατοτήτων του έργου. Επιπλέον μια ανεπαρκής μελέτης όσο αφορά την μεταφορική ικανότητα του υδρορέματος καθώς και της πιθανής κοκκομετρίας που μπορεί να μεταφερθεί από αυτό, μπορεί να προκαλέσει έμφραξη του προσαγωγού ή έντονη στερεομεταφορά και καθίζηση υλικού στο χώρο λεκάνη της λιμνοδεξαμενής με αποτέλεσμα την αστοχία του έργου σε γεωμεμβράνες αλλά και στην χωρητικότητα ίδιας.

2.2 Λεκάνη Απορροής

Κατά την μελέτη του έργου θα πρέπει να γίνει γεωμορφολογική ανάλυση και να διερευνηθεί η γεωλογική δομή της λεκάνης απορροής καθώς και τα δύο παίζουν σημαντικό ρόλο στην εκτίμηση των υδρολογικών παραμέτρων.

Με την εύρεση του μεγέθους της απορροής και της διάρκειας της προκύπτουν τα χαρακτηριστικά του φράγματος εκτροπής, του προσαγωγού καθώς και η χωρητική ικανότητα της λιμνοδεξαμενής. Οι εξωποτάμιες λιμνοδεξαμενές μας ενδιαφέρει να τροφοδοτούνται από την βασική ροή του υδρορέματος και όχι από την πλημμυρική παροχή του.

Η επιφανειακή απορροή εξαρτάται από κλιματικούς και φυσιογραφικούς παράγοντες. Σύμφωνα με τον (Σούλιος Γ., 1996):

- Στους κλιματικούς ανήκουν : α) η βροχόπτωση η οποία επιδρά με την ένταση, την κατανομή μέσα στον υδρολογικό έτος και το συνολικό ετήσιο ύψος βροχόπτωση και β) η

θερμοκρασία, η ταχύτητα του ανέμου και άλλοι κλιματικοί παράγοντες που ρυθμίζουν την εξατμισοδιαπνοή και έμμεσα την επιφανειακή απορροή.

- Στους φυσιογραφικούς ανήκουν : α) η κλίση του εδάφους, β) η βλάστηση, γ) το υδρογραφικό δίκτυο και δ) η φύση του εδάφους – υπεδάφους που οφείλεται κυρίως στην λιθολογική τους σύστασή.

Σύμφωνα με τον (Α. Καπλανίδη, 1995):

« Η μορφή του υδρογραφικού (ανάλυση κατά Horton και Strahler), η εξάπλωση των διαφόρων γεωλογικών σχηματισμών (διαπερατοί ή στεγανοί, συνεκτικοί ή ευδιάβρωτοι, βραχώδους ή εδαφικού χαρακτήρα, κλπ.), οι μορφολογικές κλίσεις, η τεκτονική (πτυχώσεις και βασικοί άξονές τους, ρήγματα και ευρύτερες ζώνες διάτμησης), η φυτοκάλυψη και η ένταση των βροχοπτώσεων επηρεάζουν τον συντελεστή απορροής, αλλά και τη μορφή του μοναδιαίου υδρογραφήματος και κατ' επέκταση την ποσότητα και τη διάρκεια της βασικής ροής ενός υδρορέματος.

Απαιτείται για την λεκάνη απορροής σύνταξη γεωλογικού – υδρολιθικού χάρτη, χάρτη μορφολογικών κλίσεων και υδρογραφικού δικτύου, χάρτη διαβρωσιμότητας και ενεργών γεωμορφολογικών φαινομένων. Με βάση αυτά θα εκπονηθεί ποσοτική γεωμορφολογική ανάλυση με κατάληξη την εκτίμηση της μορφής του μοναδιαίου υδρογραφήματος και του όγκου των φερτών υλών στη συγκεκριμένη θέση. Τα ανωτέρω μπορούν να θεωρηθούν ως προ απαιτούμενα στοιχεία της πλήρους υδρολογικής μελέτης μια λιμνοδεξαμενής.»

2.3 Επιλογή Θέσης

Η εύρεση της κατάλληλης θέσης για την κατασκευή του έργου είναι ζωτικής σημασίας για το έργο. Πολύ είναι οι οικονομικοί και πρακτικοί παράγοντες που εξαρτώνται από την θέση κατασκευής μιας λιμνοδεξαμενής όπως: τι μορφολογία έχει η περιοχή και ποιο το ανάγλυφο, ποιες οι τεχνικογεωλογικές ιδιότητες του εδάφους που θα εκσκαφθεί, τι σχηματισμούς συναντάμε στο βάθος, πόσο ψηλά πρέπει να είναι τα τοιχώματα των πρανών και αν βοηθάει η μορφολογία, θα χρειαστούμε δανειοθαλάμους ή το υλικό εκσκαφής είναι κατάλληλο για την στεγανοποίηση και ανύψωση των πρανών, αν όχι υπάρχουν κοντά στην θέση κατάλληλες θέσεις για να πάρουμε υλικό και αυτές είναι προσβάσιμες, ποιο είναι το τεκτονικό καθεστώς της περιοχής και μπορεί να αποτελέσει πρόβλημα κατά την διάρκεια της ζωής του έργου; Αυτά και άλλα πολλά ερωτήματα απορρέουν από την επιλογή θέσης κατασκευής του έργου, για το λόγο αυτό η σωστή και διεξοδική

μελέτη των πιθανών και διαθέσιμων θέσεων είναι σημαντική για την καλή λειτουργία και οικονομικότερη κατασκευή του έργου.

Αρχικά η μελέτη των μορφολογικών συνθηκών της κάθε θέσης είναι καθοριστική για την τελική επιλογή. Μας ενδιαφέρουν για μικρούς ταμιευτήρες κυρίως μικρές κοιλάδες ή μορφολογικά κοιλώματα με απαλά πρηνή με την κλίση των πρηνών της κοιλάδας ή του κοιλώματος να κυμαίνονται μεταξύ 3% - 8% ενώ στην περιοχή το ποτάμι που διαρρέει να μην είναι μεγάλο. Το ύψος του αναχώματος που θα χρειαστεί να ανυψωθεί αν πληρούνται οι παραπάνω συνθήκες για ένα ταμιευτήρα $30.000 - 200.000 \text{ m}^3$ είναι 7 – 12 m ύψος και 30 – 200 m μήκος.

Σε περίπτωση που θέλουμε να κατασκευάσουμε μια εσωποτάμια λιμνοδεξαμενή τότε η έντονες κλίσεις αποτελούν ζητούμενο για την διαμόρφωση του ταμιευτήρα καθώς και για την θεμελίωση του φράγματος, αρκεί στην περιοχή να εμφανίζονται έντονα γεωμορφολογικά φαινόμενα (π.χ. κατολισθήσεις κλπ.) .

Στο στάδιο της προμελέτης η αναγνώριση των περιοχών αυτών καθώς και των μορφολογικών περιοχών μπορούν να επιτευχθούν με χρήση αεροφωτογραφιών και υψηλής ανάλυσης ψηφιακών δορυφορικών εικόνων.

2.3.1 Γεωλογικά Κριτήρια Καταλληλότητας Θέσης.

Η επιλογή θέσης κατασκευής μιας λιμνοδεξαμένης πρέπει να εξετάζει αρκετά, κρίσιμα για το έργο, γεωλογικά κριτήρια. Αναλυτικότερα σύμφωνα με τον (Α. Καπλανίδη,1995):

- **Το βάθος των εκσκαφών** που μπορούν να γίνουν με την χρήση μηχανικών μέσων (π.χ. εκσκαφές, φορτωτής, JCB), με σκοπό την αποφυγή χρήσης εκρηκτικών, ώστε να αποφευχθεί και η αύξηση του κόστους κατασκευής. Επομένως αναζητάμε χαλαρούς σχηματισμούς όπως Τεταρτογενείς, Νεογενείς αποθέσεις και ζώνες αποσαθρωμένου μανδύα με απουσία ασβεστολιθικής σύστασης. Για τον λόγο αυτό απαιτείται η διερεύνηση και εύρεση του βάθους του βραχώδους υποβάθρου.

Ιδιαίτερα χρήσιμη στην περίπτωση αυτή είναι η χρήση των γεωφυσικών διασκοπήσεων με σκοπό την εύρεση του υποβάθρου χωρίς να χρειαστεί να χρησιμοποιήσουμε διατρητικές μεθόδους (π.χ. γεωτρύπανο). Η ταχύτητα διάδοσης των επιμήκων σεισμικών κυμάτων (V_p) μπορεί να μας βοηθήσει σε αυτό. Πετρώματα (ή γεωλογικοί σχηματισμοί) με $V_p < 1000 \text{ m/s}$ είναι κατάλληλοι για σκάψιμο με συμβατικά μέσα ενώ τιμές $V_p > 2000 \text{ m/s}$ αναφέρονται σε σχηματισμούς που χρειάζονται την χρήση εκρηκτικών για να σκαφθούν.

Επιπλέον για να διακρίνουμε ένα εδαφικό από ένα βραχώδη σχηματισμό μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε την αντοχή τους σε μονοαξονική θλίψη, καθώς τα εδαφικά δείγματα φέρουν μια αντοχή $\sigma_c < 0.50 \text{ MPa}$, οι ημίβραχοι $\sigma_c < 0.50 - 25 \text{ MPa}$ και τέλος οι βραχώδεις $\sigma_c > 25 \text{ MPa}$ σύμφωνα με το (I.S.R.M., 1981).

Γενικά υπάρχουν κι' άλλοι δείκτες μηχανικών ιδιοτήτων που μπορούν να μας βοηθήσουν να διακρίνουμε εδαφικούς από βραχώδεις σχηματισμούς, οι οποίοι μπορούν εύκολα να διευκρινισθούν είτε στο πεδίο έρευνας άμεσα, είτε έμμεσα σε ένα εδαφοτεχνικό εργαστήριο.

- **Η αντοχή της ζώνης θεμελίωσης** στο βάρος του αναχώματος. Η φύση των γεωλογικών σχηματισμών, η κοκκομετρία, η ορυκτολογική σύσταση, τα χαρακτηριστικά τους στη συμπίκνωση, η διαπερατότητα και η συμπεριφορά τους στη διαβροχή και την ξήρανση είναι απαραίτητο να εξετάζονται εκτενώς.

Κατά τη διεξαγωγή της γεωλογικής έρευνας θα πρέπει να γίνει ξεκάθαρο αν υπάρχουν στρώσεις αργίλου μαζί με τα συνοδά ορυκτά της αργίλου (π.χ. ιλλίτης, καολίνη, μοντμοριλλονίτης) στην περιοχή έδρασης της λιμνοδεξαμενής, καθώς τα ορυκτά αυτά διογκώνονται με την παρουσία νερού και η αντοχή τους είναι σχετικά μικρή. Επιπλέον θα πρέπει να εξετάζεται η παρουσία ή μη σχηματισμών με ιδιαίτερες τεχνικογεωλογικές συμπεριφορές όπως στρώσεις άλατος, πηλού και γύψου. Σε μια πιο ευρύτερη ζώνη, αλλά και στην περιοχή του έργου θα πρέπει να γίνει έρευνα για τυχόν ύπαρξη ιδιαίτερων τεχνικογεωλογικών σχηματισμών, όπως οι δολίνες και γενικά άλλα έγκοιλα. Σε περίπτωση εύρεσης κάποιου τέτοιου σχηματισμού συνιστάτε να μελετηθεί λεπτομερώς ο τρόπος δημιουργίας και εξέλιξης του, καθώς και αν η εξέλιξή του μπορεί ή θα μπορέσει μελλοντικά να επηρεάσει το έργο μας. Για την χαρτογράφηση και τον προσδιορισμό της γεωμετρίας και της «επικινδυνότητας» των σχηματισμών αυτών μπορούν να γίνουν εκτενείς γεωφυσικές και γεωτεχνικές έρευνες.

- **Η στεγανότητα της λεκάνης κατάκλισης** είναι ένα στοιχείο που πρέπει να εξετάζεται ευρύτατα, καθώς η ύπαρξη φυσικής στεγανότητας εντός της λεκάνης είναι οικονομικά συμφέρον. Παρόλα αυτά το πρόβλημα της στεγανότητας εντός της λεκάνης αντιμετωπίζεται σήμερα σχετικά εύκολα με την χρήση γεωμεμβρανών, γι' αυτό πολλές φορές αυτός ο παράγοντας δεν εξετάζεται αρκετά, με μόνο μειονέκτημά τους το υψηλό κόστος.

Επομένως κατά την μελέτη για την επιλογή της θέσης θα πρέπει να προτιμώνται θέσεις με μη πορώδης, δυσδιάλυτους και λεπτόκοκκους σχηματισμούς. Για να θεωρήσουμε έναν σχηματισμό αδιαπέρατο πρέπει ο συντελεστής υδραυλικής αγωγιμότητας k να βρίσκεται μεταξύ

10^{-8} m/s έως 10^{-6} m/s. Επιπλέον να πρέπει να επισημανθεί ότι αν η τροφοδοσία της λεκάνης κατάκλισης γίνεται απ' ευθείας από τον χείμαρρο τότε δημιουργείται μια κρουστά από αδιαπέρατα λεπτόκοκκα υλικά που μεταφέρονται και καθιζάνουν εντός της λεκάνης, βοηθώντας στην επίτευξη της στεγανότητας εντός της λεκάνης.

- **Η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα.** Η ύπαρξη ελεύθερου υδροφορέα κάτω από την λιμνοδεξαμενή δεν αποτελεί πρόβλημα μόνο στις περιπτώσεις όπου η βάση της λεκάνης είναι φυσικά στεγανή και όταν η στάθμη του υδροφόρου δεν φτάνει ποτέ στο ύψος της λεκάνης, γι' αυτό θα πρέπει να εξετάζεται η ύπαρξη πηγών κοντά στα πρανή και κάτω από την λεκάνη. Αν η στάθμη του υδροφόρου είναι ψηλή και περνά μέσα από την λεκάνη μας χωρίς στεγανό υπόβαθρο αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα το φούσκωμα των γεωμεμβράνων της βάσης. Γι' αυτό τον λόγο χρησιμοποιούνται στραγγιστικά συστήματα μεταξύ της γεωμεμβράνης και του φυσικού εδάφους για την αποτροπή τέτοιων φαινομένων.

Η υδρολογική έρευνα είναι αυτή που θα δώσει απαντήσεις όσο αφορά την μορφή και τις θέσεις των στραγγιστικών συστημάτων ανάλογα με την εκτιμώμενη παροχή. Γενικά θέσεις που η στάθμη του υδροφόρου είναι ψηλά και συναντάνε την λεκάνη κατάκλισης καλό είναι να αποφεύγονται.

- **Η ευστάθεια των πρανών.** Εξετάζονται οι περιπτώσεις έκθεσης στις ατμοσφαιρικές συνθήκες μετά την αφαίρεση του καλύμματος με τις εκσκαφές, καθώς επίσης και σε κατάσταση διαβροχής και ξήρανσης, όταν πρόκειται για λιμνοδεξαμενή με φυσική στεγανότητα.

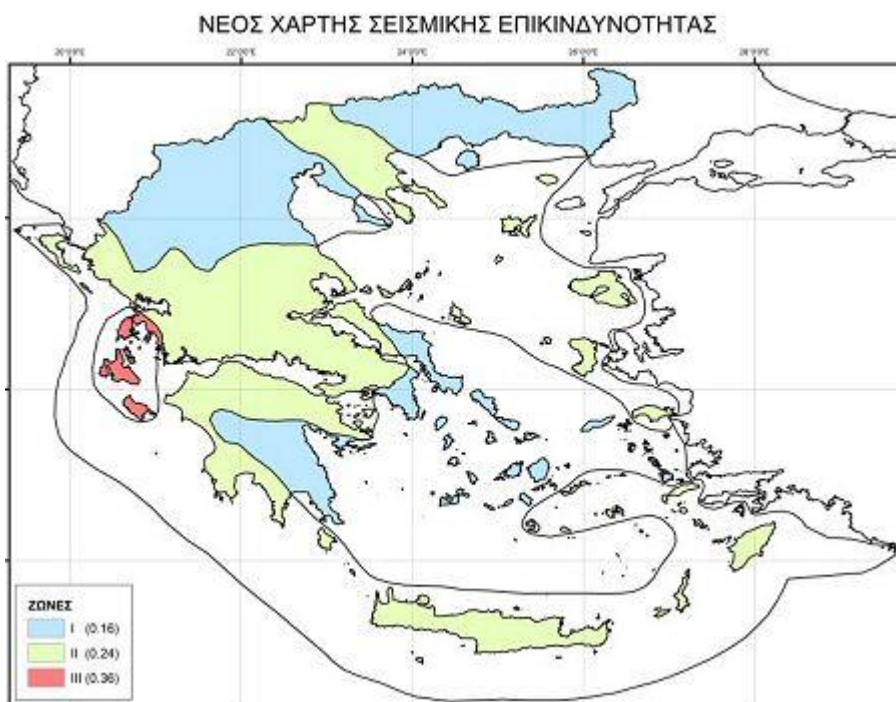
Για την ευστάθεια των πρανών πρέπει να ληφθούν υπόψιν τόσο ο χαρακτήρας του υλικού (εδαφικός ή βραχώδης) όσο και η ορυκτολογική του σύσταση, ο βαθμός διαγένεσης και το συνδετικό υλικό των ιζηματογενών πετρωμάτων καθώς και η κοκκομετρία των σχηματισμών.

- **Η επάρκεια και καταλληλότητα των γεωϋλικών.** Λόγω ανύψωσης αναχωμάτων και εγκατάστασης στραγγιστικών συστημάτων είναι οικονομικά συμφέρον να εξετάσουμε αν τα υλικά εκσκαφής έχουν κατάλληλες μηχανικές ιδιότητες ώστε να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις μας και να αποφύγουμε την ανάγκη για εύρεση και αξιοποίηση δανειοθαλάμων.

Συνήθως τα υλικά εκσκαφής είναι εδάφη ή έντονα αποσαθρωμένοι βράχοι, τα οποία σε ορισμένες περιπτώσεις με την διαβροχή ή την συμπύκνωση παρουσιάζουν καθιζήσεις ή καταρρέουν ή διογκώνονται. Γι' αυτό κατά την γεωτεχνική μελέτη εντοπίζονται κατάλληλες περιοχές και σχηματισμοί όπου δημιουργούνται φρεάτια δειγματοληψίας με σκοπό την διεξαγωγή εδαφοτεχνικών δοκιμών.

Μετά την εκτέλεση των δοκιμών οι δανειοθάλαμοι πρέπει να επαναοριοθετούνται και στις τρεις διαστάσεις και να λαμβάνεται μέριμνα ώστε από κάθε περιοχή να γίνεται απόληψη ενός μόνο είδους υλικού. Σε αντίθετη περίπτωση, όταν ο δανειοθάλαμος είναι ενιαίος για όλες τις κατηγορίες υλικών, απαιτείται διαχωρισμός (π.χ. κοσκίνισμα) σε διαφορετικά κλάσματα, γεγονός το οποίο επιβαρύνει το κόστος καθώς και τον χρόνο περάτωσης του έργου.

- **Η σεισμικότητα** της περιοχής επηρεάζει τόσο τις διαστάσεις του αναχώματος καθώς και τα συνοδά έργα μιας λιμνοδεξαμενής. Σύμφωνα με τον Ελληνικό Αντισεισμικό Κανονισμό (Ε.Α.Κ., 2003) ο ελληνικός χώρος χωρίζεται σε τρεις ζώνες σεισμικής επικινδυνότητας I, II, III.



Σχήμα 4: Νέος χάρτης σεισμικής επικινδυνότητας (Πηγή: Ε.Α.Κ., 2003

Πίνακας 1: Ενδεικτικές τιμές σεισμικής επιτάχυνσης σε κάθε ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας

Ζώνη Σεισμικής Επικινδυνότητας	I	II	III
a (g)	0,16	0,24	0,36

Τα εδάφη χωρίζονται σε πέντε κατηγορίες, βάση της σεισμικής επικινδυνότητα, την Α, Β, Γ, Δ, και Χ (Πίνακας 2). Η δόμηση μόνιμων έργων σε εδάφη κατηγορίας Χ μπορούν να γίνουν μετά από λεπτομερείς έρευνες και μελέτες και εφόσον γίνει βελτίωση των εδαφικών ιδιοτήτων όπου το έργο θεμελιώνεται και αντιμετωπιστούν με ειδικό τρόπο συγκεκριμένα προβλήματα που

υπάρχουν. Σχηματισμός πάχους μικρότερου των 5 m μπορεί να θεωρείται ότι ανήκει στην αμέσως προηγούμενη κατηγορία εδάφους με εξαίρεση την κατηγορία Χ.

Η σωστή γεωλογική μελέτη θα πρέπει να περιλαμβάνει δεδομένα ιστορικής σεισμικότητας της περιοχής, καθώς και προβλέψεις για μελλοντικές πιθανές τιμές σεισμικής επιτάχυνσης (σεισμική επικινδυνότητα). Τα στοιχεία αυτά είναι προ απαιτούμενα για την σύνταξη περαιτέρω μελετών, όπως η στατιστική, η γεωτεχνική ευστάθεια των πρανών αναχώματος κλπ.

Πίνακας 2: Κατάταξη εδαφών βάση της σεισμικής επικινδυνότητας (Ε.Α.Κ., 2000).

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
A	Βραχώδεις ή ημιβραχώδεις σχηματισμοί εκτεινόμενοι σε αρκετή έκταση και βάθος, με τη προϋπόθεση ότι δεν παρουσιάζουν έντονη αποσάθρωση. Στρώσεις πυκνού κοκκώδους υλικού με μικρό ποσοστό ιλυοαργιλικών προσμίξεων, πάχους μικρότερου των 70μ. Στρώσεις πολύ σκληρής προσυμπιεσμένης αργίλου πάχους μικρότερου των 70μ.
B	Εντόνως αποσαθρωμένα βραχώδη ή εδάφη που από μηχανική άποψη μπορούν να εξομοιωθούν με κοκκώδη. Στρώσεις κοκκώδους υλικού μέσης πυκνότητας πάχους μεγαλύτερου των 5μ. ή μεγάλης πυκνότητας πάχους μεγαλύτερου των 70μ. Στρώσεις σκληρής προσυμπιεσμένης αργίλου πάχους μεγαλύτερου των 70μ.
Γ	Στρώσεις κοκκώδους υλικού μικρής σχετικής πυκνότητας πάχους μεγαλύτερου των 5μ. ή μέσης πυκνότητας πάχους μεγαλύτερου των 70μ. Ιλυοαργιλικά εδάφη μικρής αντοχής σε πάχος μεγαλύτερο των 5μ.
Δ	Έδαφος με μαλακές αργίλους υψηλού δείκτη πλασιμότητας ($I_p > 50$) συνολικού πάχους μεγαλύτερου των 10μ.
X	Χαλαρά λεπτόκοκκα αμμοϊλιώδη εδάφη υπό τον υδάτινο ορίζοντα, που ενδέχεται να ρευστοποιηθούν (εκτός αν ειδική μελέτη αποκλείσει τέτοιο κίνδυνο, ή γίνει βελτίωση των μηχανικών τους ιδιοτήτων). Εδάφη που βρίσκονται δίπλα σε εμφανή τεκτονικά ρήγματα. (Βλπ. και παρ. 5.1[3]). Απότομες κλιτείς καλυπτόμενες με προϊόντα χαλαρών πλευρικών κορημάτων. Χαλαρά κοκκώδη ή μαλακά ιλυοαργιλικά εδάφη, εφόσον έχει αποδειχθεί ότι είναι επικίνδυνα από άποψη δυναμικής συμπεκνώσεως ή απώλειας αντοχής.

Πρόσφατες χαλαρές επιχωματώσεις (μπάζα). Οργανικά εδάφη.
Εδάφη κατηγορίας Γ με επικινδύνως μεγάλη κλίση.

2.4 Φράγμα εκτροπής & Προσαγωγός.

Το φράγμα εκτροπής πρόκειται για ένα υπερπηδητό αναβαθμό χαμηλού ύψους, με δυνατότητα απαγωγής της ποσότητας νερού που προβλέπεται πλευρικά προς τον προσαγωγό. Όσο αφορά την θεμελίωση του έργου συστήνεται να καταλαμβάνει μεγάλη έκταση με σκοπό να αντέχει τις πλημμυρικές παροχές των χειμάρων. Τις περισσότερες φορές η θεμελίωση γίνεται πάνω σε κάποιο βραχώδες υπόβαθρο. Η γεωλογική προσέγγιση του έργου αφορά τον διαχωρισμό των εδαφικών από τους βραχώδεις σχηματισμούς, την εκτίμηση της υπόγειας ροής και τις συνθήκες ευστάθειας των πρηνών εντός της περιοχής του έργου. (Α. Καπλανίδη, ΤΕΕ, 20-21 Μαρτίου 1995, Αθήνα)

Όσο αφορά τα έργα κατασκευής του προσαγωγού δεν είναι σημαντικά και επικεντρώνονται κυρίως στην εκσκαφή και προστασία του σωλήνα ή την θεμελίωση της διώρυγας και έργα που πρέπει να πραγματοποιηθούν στις διασταυρώσεις με την μισγάγγεια. Τέλος είναι απαραίτητο να γίνει προσεκτική τεχνικογεωλογική μελέτη σε ολόκληρη την διαδρομή του προσαγωγού, ώστε να εντοπιστούν και να αντιμετωπιστούν κατάλληλα πιθανές θέσεις καταπτώσεων και κατολισθήσεων. (Α. Καπλανίδη, 1995)

Κεφάλαιο 3^ο :Γεωλογικές & Γεωτεχνικές Μελέτες.

Αφού αποφασιστεί ποια θα είναι η θέση κατασκευής της λιμνοδεξαμενής ακολουθεί η τοπογραφική αποτύπωση της περιοχής και η γεωλογική μελέτη, με σκοπό την διεξαγωγή εδαφοτεχνικής έρευνας για την εύρεση της φέρουσας ικανότητας του εδάφους θεμελίωσης, της υδροπερατότητας του, ώστε να αποφασιστεί αν είναι απαραίτητη η χρήση γεωμεμβράνης, ακόμα και την ύπαρξη κατάλληλων υλικών για την χρήση τους στα αναχώματα, στα σκυροδέματα, στα φίλτρα, στα υλικά υποστρωμάτων και στην επικάλυψη των γεωμεμβρανών.

Για την μελέτη των εδαφοτεχνικών ιδιοτήτων των εξωποτάμιων λιμνοδεξαμενών χρησιμοποιούνται δειγματοληπτικά φρεάτια – τάφφροι, τα οποία σκάπτονται μέχρι 4 μέτρα βάθος, όπου από εκεί θα γίνουν όλες οι δειγματοληψίες για να διεξαχθούν οι εδαφοτεχνικές δοκιμές. Όσο αφορά τις επιποτάμιες λιμνοδεξαμενές (φράγματα) έχει πιο περίπλοκο τρόπο μελέτης με περισσότερες απαιτήσεις. Τέλος, σε περίπτωση όπου η εκσκαφή για το έργο θα είναι μεγάλη ή τα αναχώματα θα είναι ψηλότερα, τότε λαμβάνουμε πληροφορίες για τα πιο βαθιά στρώματα με γεωτρήσεις. (Βαλασόπουλος Δ., Δόλκας Θ., 1995).

Οι απαραίτητες εδαφοτεχνικές δοκιμές για των προσδιορισμό των ιδιοτήτων των εδαφών θεμελίωσης, των υλικών ανύψωσης των αναχωμάτων και των υλικών κατασκευής των τεχνιτών πρανών είναι οι εξής:

- 1) Προσδιορισμός φυσικών ιδιοτήτων.
 - Φυσική υγρασία
 - Όρια υδαρότητας – πλαστικότητας (Όρια Atterberg)
 - Κοκκομετρική διαβάθμιση
 - Πυκνότητα
- 2) Εύρεση περιεκτικότητας σε πιθανά οργανικά συστατικά και ενώσεις που θα έθεταν σε κίνδυνο την ευστάθεια των πρανών αλλά θα αλλοίωναν και την ποιότητα του σκυροδέματος.
- 3) Προσδιορισμός μηχανικών ιδιοτήτων
 - Αντοχή σε μοναξονική θλίψη
 - Αντοχή σε τριαξονική θλίψη
 - Δοκιμή Συμπύκνωσης – Δοκιμή Proctor
 - Δοκιμή Μονοδιάστατης Στερεοποίησης

- 4) Προσδιορισμός ιδιοτήτων των υλικών κατασκευής των φίλτρων και των στραγγιστικών συστημάτων και κυρίως η αντοχή και η υδροπερατότητα τους.
(Βαλασόπουλος Δ., Δόλκας Θ., 1995)

3.1 Βασικά προβλήματα λειτουργίας λιμνοδεξαμενών

Κατά την ολοκλήρωση του έργου και της λειτουργίας του, δύο βασικοί παράγοντες επηρεάζουν σημαντικά στην μείωση του διαθέσιμου όγκου νερού στις λιμνοδεξαμενές. Αυτοί είναι η καθίζηση των φερτών υλικών μέσα στη λεκάνη αποθήκευσης και ο άλλος είναι η εξάτμιση του νερού της λεκάνης.

Όσο αφορά την ιζηματογένεση που λαμβάνει χώρο μέσα στην λεκάνη της λιμνοδεξαμενής είναι εύκολο να το καταλάβουμε πως μπορεί να συμβεί. Είτε λεπτόκοκκο υλικό μπορεί να εισέλθει μέσα στην λεκάνη μέσω τις βασικής ροής και μεταφορικής ικανότητας του νερού από το υδρόρεμα προς την λεκάνη, αλλά υλικό μπορεί να μεταφερθεί στο χώρο της λεκάνης μέσω του αέρα και καθιζάνει όταν το νερό της λεκάνης βρεθεί σε κατάσταση ηρεμίας. Επομένως για την κατάλληλη αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος πρέπει να αποφασιστεί ένα οργανωμένο σχέδιο εκκένωσης και καθαρισμού της λιμνοδεξαμενής σε τακτικά χρονικά διαστήματα. Σύμφωνα με μελέτες, ο όγκος αποθήκευσης μια λιμνοδεξαμενής σε βάθος δεκαετίας μπορεί να μειωθεί μέχρι και 50% λόγω της καθίζησης φερτών υλικών μέσα στην λεκάνη, γι' αυτό θα πρέπει κατά την κατασκευή του έργου να υπάρξει μέριμνα για εγκατάσταση εσχάρων κατά μήκος του προσαγωγού για την συγκράτηση των υλικών. (Βαλασόπουλος & Κάρκας, 1993).

Η εξάτμιση του νερού αποτελεί σημαντικό πρόβλημα, ειδικά τους καλοκαιρινούς μήνες όπου οι βροχοπτώσεις είναι λίγες και η θερμοκρασία υψηλή. Εντονότερα το πρόβλημα αυτό παρατηρείται στις ξηρές περιοχές της νησιωτικής Ελλάδας. Οι απώλειες προέρχονται από την εξάτμιση της ελεύθερης επιφάνειας του νερού μέσα στο χώρο της λεκάνης. Για την καταμέτρηση της εξάτμισης, χρησιμοποιούνται συνήθως εξατμισίμετρα ή ημιανλυτικές υπολογιστικές μέθοδοι.

Για τον υπολογισμό της καθαρής μηνιαίας (i) απώλειας, E_i , χρησιμοποιούμε την παρακάτω εξίσωση:

$$E_i = E_{0,i} * R_i + Q_i$$

- $E_{0,i}$ είναι η εξάτμιση του μήνα i , όπως προκύπτει από την εξίσωση του Penman, (mm)
- R_i , η βροχόπτωση του μήνα i στην ελεύθερη επιφάνεια της λεκάνης κατάκλισης, (mm)
- Q_i το ύψος της απορροής του μήνα i , (mm), που αντιστοιχεί στην επιφάνεια που καταλαμβάνει, η λεκάνη κατάκλισης. (Τσακίρης Γ., 2004)

Για την αντιμετώπιση της εξάτμισης αυτό που μπορούμε να κάνουμε είναι να καλύψουμε την επιφάνεια του νερού είτε με υλικά μικρού ειδικού βάρους, για να επιπλέουν πάνω στο νερό και να καλύπτουν έτσι την επιφάνεια του από την ακτίνες του ηλίου, είτε με την χρήση ειδικού φίλμ, μια μεθόδου που βρίσκει εφαρμογή στην Κύπρο. (Ευθυμίου Χ. & Θεοδωρόπουλος Α., 1997).



Σχήμα 5: Λιμνοδεξαμενή στην Κάλυμνο που το νερό εξατμίσθηκε (πηγή φωτογραφίας από dimokratiki.gr).

Κεφάλαιο 4° : Στάδια Μελέτης

Οι λιμνοδεξαμενές αποτελούν κυρίως φράγματα μικρότερης κλίμακας και γι' αυτό η μελέτη για την κατασκευή τους θα πρέπει να γίνεται με την ίδια σοβαρότητα και υπευθυνότητα με αυτή των φραγμάτων. Η κύρια διαφορά είναι το κόστος κατασκευής, καθώς οι κύριες εργασίες είναι χωματουργικές και μπορούν να γίνουν εύκολα με συμβατικά μηχανήματα εκσκαφής και δεν χρειάζονται τόσα τεχνικά έργα και διεργασίες, πράγμα που καθιστά το κόστος χαμηλότερο.

Οι λιμνοδεξαμενές, όπως κάθε τεχνικό έργο, ακολουθούν κάποιες αρχές για τον τρόπο μελέτης τους και μια σειρά από ενέργειες με σκοπό την σωστή διερεύνηση των γεωλογικών – εδαφοτεχνικών συνθηκών που ισχύουν στην περιοχή μελέτης. Κύριοι στόχοι της μελέτης είναι να διερευνηθεί το υπόβαθρο του έργου με σκοπό την ασφαλή θεμελίωσή του, οι ιδιότητές του υπεδάφους όπου θα κατασκευαστεί το έργο και τέλος, η εύρεση των περιοχών όπου θα λειτουργήσουν ως δανειοθάλαμοι ή αποθεσιοθάλαμοι κατά την κατασκευή του έργου.

Η μελέτη για την παροχή ποιοτικών αποτελεσμάτων χωρίζεται σε τρία διακριτά στάδια: 1) την **αναγνωριστική ή προκαταρκτική** μελέτη, 2) την **προμελέτη**, 3) την **οριστική** μελέτη και το κάθε ένα από αυτά τα στάδια έχει ξεχωριστές εργασίες, σύμφωνα με τον (Παπασπύρου Σ., 1995).

Για την «προκαταρκτική μελέτη» οι εργασίες είναι οι εξής:

- Συλλογή πληροφοριών από διαθέσιμες βιβλιογραφίες
- Εύρεση γεωλογικών, τοπογραφικών, γεωτεχνικών χαρτών
- Συλλογή αεροφωτογραφιών – δορυφορικών εικόνων υψηλής ανάλυσης
- Συλλογή ήδη υπάρχοντων πληροφοριών για την περιοχή μελέτης από δημόσια έγγραφα - αρχεία και ιδιωτικούς φορείς που παρέχουν στοιχεία για την γεωλογία, το υδρολογικό καθεστώς της περιοχής (παλιές γεωτρήσεις, γεωφυσικές διασκοπισείς κλπ.).
- Εργασία πεδίου και απόληψη πληροφοριών από την περιοχή ενδιαφέροντος
- Εύρεση περαιτέρω πληροφοριών της περιοχής ενδιαφέροντος αλλά και της ευρύτερης που μπορεί να φανούν χρήσιμα για το έργο.

Κατά την επίσκεψη στη περιοχή ενδιαφέροντος ελέγχουμε και διαπιστώνουμε αν οι πληροφορίες που συλλέξαμε ήταν έγκυρες και σωστές και στην συνέχεια τις ταξινομούμε κατάλληλα.

Ο σκοπός της προκαταρκτικής μελέτης είναι να συλλεχθούν κάποιες πληροφορίες ώστε στην συνέχεια να παρθούν κάποιες αποφάσεις για τη κατασκευή και τον σχεδιασμό του έργου. Τέτοιες αποφάσεις είναι σύμφωνα με τον (Παπασπύρου Σ., 1995). :

- Ο όγκος και του νερού που θα αποθηκεύεται στον ταμιευτήρα και το ύψος των αναχωμάτων
- Η ανάγκη στεγάνωσης της λιμνοδεξαμενής με χρήση γεωμεμβράνης ή μη.
- Εκτιμήσεις για τον απαιτούμενο όγκο εδαφικών υλικών που θα αξιοποιηθούν για την ανύψωση των αναχωμάτων, την δημιουργία φίλτρων κ.α. – Ανάγκες για δανειοθαλάμους.
- Εκτιμήσεις για πιθανά προβλήματα που μπορεί να εμφανιστούν με την έδραση των αναχωμάτων, την ζώνη θεμελίωσης και την ευστάθεια των πρανών.

Στη συνέχεια ακολουθεί η «προμελέτη» η οποία εξελίσσεται παράλληλα με την γεωτεχνική και γεωλογική μελέτη. Η γεωλογική και γεωτεχνική μελέτη θα πρέπει να έχουν εκτελεστεί πριν το πέρα της προμελέτης με σκοπό τα στοιχεία της τελευταίας να βρίσκονται σε συμφωνία με τα πραγματικά στοιχεία του εδάφους και να επιβεβαιώνει την πληρότητα των ερευνητικών εργασιών.

Γι' αυτό κατά το στάδιο της προμελέτης η εργασίες που εκτελούνται είναι :

- Συντάσσονται αναλυτικοί γεωλογικοί χάρτες που βρίσκονται σε κλίμακα ανάλογη του έργου.
- Διεκπεραιώνονται γεωτρητικά προγράμματα και ανοίγονται τα δειγματοληπτικά σκάμματα.
- Συντάσσονται όλα τα υδρολογικά στοιχεία που έχουν συλλεχθεί και αντιπροσωπεύουν το έργο.
- Συντάσσονται αναφορές για τα γεωτεχνικά στοιχεία στην περιοχή του έργου (βαθμός ρωγμάτωσης, βαθμός αποσάθρωσης και διαβρωσιμότητας)
- Συντάσσεται η γεωλογική έκθεση που περιλαμβάνει:

– Την περιγραφή της γεωλογία της ευρύτερης και κοντινής περιοχής του έργου.

- Τοπογραφικούς χάρτες και περιγραφές με την μορφολογία που επικρατεί περιοχής του έργου.
- Το υδρολογικό και υδρογεωλογικό καθεστώς της περιοχής.
- Περιγραφές για την δομή και την ποιότητα της βραχομάζας
- Προτάσεις για περαιτέρω γεωτρητικά προγράμματα, γεωφυσικές διασκοπίσεις και μελέτες σεισμικής επικινδυνότητας.

Στο στάδιο αυτό περιλαμβάνονται και ερευνητικές εργασίες που έχουν σκοπό την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων για να ληφθούν αποφάσεις αποδοχής, απόρριψης ή αλλαγής της περιοχής κατασκευής του έργου.

Οι εργασίες του γεωλόγου χωρίζονται σε δύο φάσεις διαδοχικές και αλληλοσυμπληρούμενες. Την επιφανειακή και την υπόγεια. Η πρώτη περιλαμβάνει την επιφανειακή γεωλογική χαρτογράφηση στην κλίμακα του έργου, ενώ η δεύτερη εξετάζει την κατάσταση του υπεδάφους μέσα από γεωτρήσεις, υδρογεωλογικές παρατηρήσεις και γίνονται εκτιμήσεις για την ποιότητα βραχομάζας αλλά και του εδάφους. Αν φανούν απαραίτητα, σε αυτό το στάδιο μπορεί να προταθούν επιπλέον γεωτεχνικές και γεωφυσικές μελέτες.

Τελευταίο στάδιο της μελέτης είναι η οριστική μελέτη, η οποία περιλαμβάνει σύμφωνα με τον (Δημόπουλος Γ., 1986):

- Την οριστικοποίηση της θέσης κατασκευής του έργου
- Τους γεωλογικούς και γεωτεχνικούς χάρτες με πολλές λεπτομέρειες για την περιοχή ενδιαφέροντος
- Την αξιολόγηση και παράσταση στοιχείων γεωτρήσεων και δειγματοληπτικών σκαμμάτων
- Επισημάνσεις των περιοχών όπου μπορεί αν εμφανιστούν προβλήματα
- Την τελική έκθεση της οριστικής μελέτης που συνοδεύεται από:
 - Την ανάλυση των γεωμορφολογικών στοιχείων
 - Την ανάλυση της δομής των γεωλογικών σχηματισμών που συναντήθηκαν κατά την χαρτογράφηση και συνοδεύονται από τα φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά τους.
 - Την περιγραφή του υδρολογικού καθεστώτος

- Τεκτονικές αναλύσεις σε διαγράμματα Schmidt
- Ανάλυση και ερμηνεία των τεχνικογεωλογικών συνθηκών που σχετίζονται με το έργο
- Φωτογραφίες των δομών και των τεχνικογεωλογικών συνθηκών σε χαρακτηριστικές θέσεις του έργου
- Τελικά συμπεράσματα και προτάσεις για την αντιμετώπιση συγκεκριμένων προβλημάτων, καθώς και προτάσεις περαιτέρω ερευνητικών εργασιών συνοδευόμενες με ενδείξεις συγκεκριμένων θέσεων γεωλογικών, γεωφυσικών και γεωτεχνικών εργασιών μαζί με τις τεχνικές προδιαγραφές τους.

Μετά το στάδιο της οριστικής μελέτης ακολουθεί ένα στάδιο επίβλεψης και αξιολόγησης των γεωτρήσεων – γεωτεχνικών εργασιών. Επομένως στο στάδιο αυτό συντάσσονται:

- Οι τομές logs των γεωτρήσεων
- Οι γεωλογικές τομές των γεωτρήσεων
- Οι γεωλογικές τομές των ερευνητικών στοών, ορυγμάτων και φρεάτων
- Επιπλέον εκτελείται στατιστική ανάλυση όλων των παραπάνω

Κεφάλαιο 5ο: Περιβαλλοντικές επιπτώσεις λιμνοδεξαμενών

5.1 Γενικές πληροφορίες.

Όπως κάθε τεχνικό έργο, έτσι και οι λιμνοδεξαμενές, κατά το στάδιο κατασκευής όσο και στο στάδιο λειτουργίας τους επεμβαίνουν στο περιβάλλον είτε με έμμεσο είτε με άμεσο τρόπο. Οι άμεσες επιπτώσεις προκύπτουν κατά την φάση λειτουργίας του έργου, ενώ από τι δράση των άμεσων επιπτώσεων απορρέουν και οι έμμεσες σε ακόλουθο στάδιο της λειτουργίας. Οι επιπτώσεις αυτές μπορεί να είναι από θετικές έως αρνητικές και το μέγεθος επιρροής τους να είναι από ασήμαντο έως και εξαιρετικά μεγάλο, καθώς επίσης τα αποτελέσματα αυτών μπορεί να γίνουν εμφανή είτε σε μικρό είτε μεγάλο διάστημα μέσα στην διάρκεια ζωής του έργου (Κωστόπουλος Σ. & Μουρελάτου Ε., 1995).

Για το λόγο αυτό, για την αποτροπή σοβαρών περιβαλλοντικών επιπτώσεων αλλά και για την αποτελεσματικότερη διαχείριση πιθανών προβλημάτων που μπορεί να προκύψουν και να είναι επιβλαβή για το περιβάλλον επιβάλλεται, όπως και σε κάθε τεχνικό έργο, μια Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (ΜΠΕ). Η μελέτη αυτή έχει αυστηρά καθορισμένη δομή και περιεχόμενο και έχει έως απώτερο σκοπό τον εντοπισμό και υπολογισμό των βασικών επιπτώσεων σε ανθρωπογενές και φυσικό περιβάλλον, καθώς παραθέτει τρόπους για την πρόληψη, την διαχείριση και την αντιμετώπιση των αρνητικών επιπτώσεων του έργου στο περιβάλλον. Τέλος μελετά εναλλακτικές λύσεις για την ορθότερη λήψη αποφάσεων που σχετίζονται με την σωστή λειτουργία του έργου και με τις λιγότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις, πάντα σύμφωνα με τις ισχύουσες νομοθεσίες.

Σύμφωνα με την Υ.Α. 1958/2012 έργα και δραστηριότητες που έχουν κοινά χαρακτηριστικά όσο αφορά την εκτίμηση και αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων σύμφωνα με το Παράρτημα Ι του ν.4014/2011 διακρίνονται σε δώδεκα (12) ομάδες. Οι ομάδες αυτές είναι:

Πίνακας 3: Κατάταξη έργων και δραστηριοτήτων σύμφωνα με (Υ.Α 1958/2012)

ΟΜΑΔΕΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΕΣ
Ομάδα 1η	«Έργα χερσαίων και εναέριων μεταφορών»
Ομάδα 2η	«Υδραυλικά έργα»
Ομάδα 3η	«Λιμενικά έργα»
Ομάδα 4η	«Συστήματα περιβαλλοντικών υποδομών»
Ομάδα 5η	«Εξορυκτικές δραστηριότητες»
Ομάδα 6η	«Τουριστικές εγκαταστάσεις και έργα αστικής ανάπτυξης, κτιριακού τομέα, αθλητισμού και αναψυχής»
Ομάδα 7η	«Πτηνοτροφικές εγκαταστάσεις »
Ομάδα 8η	«Υδατοκαλλιέργειες»
Ομάδα 9η	«Βιομηχανικές και συναφείς εγκαταστάσεις»
Ομάδα 10η	«Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας»
Ομάδα 11η	«Μεταφορά ενέργειας, καυσίμων και χημικών ουσιών»
Ομάδα 12η	«Ειδικά έργα και δραστηριότητες»

Οι λιμνοδεξαμενές σαν υδρομαστευτικά έργα ανήκουν στην Ομάδα 2^η, δηλαδή στα «Υδραυλικά έργα».

5.2 Στάδια Μελέτης Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων

Σύμφωνα με τους (Κωστόπουλος Σ. & Μουρελάτου Ε., 1995), η Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων διακρίνεται σε πέντε στάδια:

- 1) **Περιγραφή κατασκευής και λειτουργίας του έργου:** Σε αυτό το στάδιο περιγράφεται αναλυτικά το έργο, ο τρόπος κατασκευής και λειτουργίας του καθώς κάθε εναλλακτική

λύση. Σκοπός της περιγραφής αυτής είναι να υπάρξει μια ξεκάθαρη εικόνα για το έργο ώστε να μπορούν να γίνουν σωστά οποιεσδήποτε προβλέψεις επιπτώσεων που μπορεί να προκύψουν από την διαδικασία κατασκευής και λειτουργίας του έργου στο περιβάλλον.

- 2) **Ανάλυση/περιγραφή του περιβάλλοντος στην περιοχή ενδιαφέροντος:** Στο στάδιο αυτό πρέπει να γίνει μια αναλυτική περιγραφή της ήδη περιβαλλοντικής κατάστασης της περιοχής έδρασης του έργου, πριν αυτό κατασκευαστεί. Σκοπός του σταδίου αυτού είναι η συλλογή πληροφοριών και αναγνώριση όλων των περιβαλλοντικών συνιστωσών που το προτεινόμενο έργο μπορεί να επηρεάσει πρωτογενώς ή να εντείνει ήδη υπάρχουσες επιπτώσεις.
- 3) **Πρόβλεψη και εκτίμηση επιπτώσεων:** Κατά τα στάδια αυτά εκτιμάμε το μέγεθος των επιπτώσεων που προκαλούνται, από το προτεινόμενο έργο, σε κάθε περιβαλλοντικό παράγοντα. Συγκεκριμένα, κατά το στάδιο της πρόβλεψης, εστιάζουμε στην εξακρίβωση των δευτερογενών και τριτογενών επιπτώσεων, ενώ για το στάδιο των εκτιμήσεων, επικεντρωνόμαστε κυρίως στο μέγεθος των επιπτώσεων του περιβάλλοντος σε βιολογικούς και φυσικοχημικούς παράγοντες.
- 4) **Αξιολόγηση επιπτώσεων:** Κρίσιμο είναι να γίνει μια αξιολόγηση των επιπτώσεων που προβλέπεται να προκληθούν από το υποψήφιο έργο όσο αφορά την σημαντικότητα τους, την χρονική διάρκεια τους και την δυνατότητα αναστροφής τους σε συνάρτηση με την ποιότητα του υφιστάμενου περιβάλλοντος και την σημασία που δίνει η κοινωνία στην συγκεκριμένη επίπτωση. Οι επιπτώσεις που μπορεί να προκαλέσει ακόμα και ένα έργο μικρού μεγέθους μπορεί να φανούν καταστροφικές για το περιβάλλον, ειδικά όταν το ποιοτικό επίπεδο του υφιστάμενου περιβάλλοντος είναι ήδη πολύ χαμηλό και δεν υπάρχουν αρκετά περιθώρια για την απορρόφηση περαιτέρω αρνητικών επιπτώσεων. Φυσικά ισχύει και η αντίθετη περίπτωση.
- 5) **Παρουσίαση των συμπερασμάτων:** Στο τελικό αυτό στάδιο, στόχος είναι η ερμηνεία των αποτελεσμάτων και η σαφής παρουσίασή τους με σκοπό την λήψη αποφάσεων. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με την σύγκριση των εναλλακτικών λύσεων και την επισήμανση της λιγότερο επιβλαβούς για το περιβάλλον. Επίσης πρέπει να επισημάνουμε όλες τις αρνητικές επιπτώσεις που μπορούμε να αποφύγουμε, καθώς και να προτείνουμε μέτρα για να επανορθώσουμε ή να περιορίσουμε και να

αποκαταστήσουμε τις επιπτώσεις αυτές που δεν μπορούμε να αποφύγουμε. Τέλος, πρέπει να γνωστοποιούνται και τα οφέλη που μπορεί να δεχθεί το ανθρωπογενές περιβάλλον από την κατασκευή και λειτουργία του έργου.

5.3 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την κατασκευή μια λιμνοδεξαμενής

Οι λιμνοδεξαμενές αποτελούν αναπτυξιακά έργα, καθώς όπως προαναφέρθηκε προσφέρουν νερό για ύδρευση ή άρδευση με σκοπό την πλήρη ή μερική κάλυψη των υδατικών αναγκών μια περιοχής που βρίσκεται σε έλλειψη. Επομένως τα άμεσα οφέλη που λαμβάνει η κοινωνία από ένα τέτοιο είδος έργου γίνονται εμφανή απευθείας καθώς παρατηρείτε βελτίωση στον τρόπο ζωής των κατοίκων τις περιοχής καθώς και αύξηση των οικονομικών δραστηριοτήτων μια περιοχής, ειδικά στον αγροτικό τομέα.

Οι Μελέτες Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων εφαρμόζονται στις λιμνοδεξαμενές κυρίως για να βρεθεί η καλύτερη περιβαλλοντικά θέση για το έργο μας, καθώς να γίνει και μια πρόβλεψη και εκπονηθεί ένας σχεδιασμός αντιμετώπισης των πιθανών επιπτώσεων που μπορεί να συναντήσουμε κατά την κατασκευή και λειτουργία του έργου μας.

Στις λιμνοδεξαμενές παρατηρούμε περιβαλλοντικές επιπτώσεις και κατά την κατασκευή, την πλήρωση αλλά και την λειτουργία του έργου.

Κατά το στάδιο κατασκευής η κοινωνία δεν απολαμβάνει κανένα άλλο όφελος πέρα από το οικονομικό όφελος που προκύπτει από την απασχόληση των κατοίκων της περιοχής και άλλων ανθρώπων που εργάζονται στο έργο για την κατασκευή του. Παρόλα αυτά οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις που προκαλούνται από τις δραστηριότητες αυτού του σταδίου παρατηρούνται, σύμφωνα με (Κωστόπουλος Σ. & Μουρελάτου Ε., 1995) :

- **Ατμόσφαιρα** : Από την λειτουργία των μηχανημάτων στο χώρο του εργοταξίου έχουμε συνεχή εκπομπή καυσαερίων αλλά και άνοδο σκόνης στην ατμόσφαιρα. Τα καυσαέρια αν και ρύπος για την ατμόσφαιρα της περιοχής, δεν είναι κάτι μόνιμο και μέσα σε μικρό χρονικό διάστημα με το τελείωμα του έργου σταματά να υπάρχει. Όσο για την άνοδο της σκόνης αποτελεί σοβαρό πρόβλημα μόνο στην περίπτωση όπου κοντά στο εργοτάξιο βρίσκεται κατοικημένη περιοχή. Ο περιορισμός αυτού του προβλήματος μπορεί να επιτευχθεί εύκολα

και οικονομικά με την διαβροχή των δρόμων του εργοταξίου, αλλά και με την κάλυψη των φορτηγών που μεταφέρουν υλικό για τις χωματουργικές εργασίες.

- **Θόρυβος – Δονήσεις:** Από την συνεχή λειτουργία των μηχανημάτων και συνεχή κίνηση φορτηγών του εργοταξίου είναι εύκολα αντιληπτή η δημιουργία ηχορύπανσης της περιοχής με αποτέλεσμα να δημιουργούνται οχλήσεις στο ανθρώπινο περιβάλλον μόνο αν κοντά στο εργοτάξιο βρίσκεται κατοικημένη περιοχή. Ο θόρυβος και οι δονήσεις λοιπόν αποτελούν άμεσο και βραχυπρόθεσμο παράγοντα και σταματά να υφίσταται με το τέλος της κατασκευής του έργου.
- **Κυκλοφορία:** Η αδιάκοπη μεταφορά μηχανημάτων και τροχοφόρων για την μεταφορά υλικών προς και από το εργοτάξιο δημιουργεί αυξημένη κίνηση στο οδικό δίκτυο της κοντινής περιοχής με αποτέλεσμα την συχνή δημιουργία κυκλοφοριακής συμφόρησης με αποτέλεσμα να έχουμε αύξηση καυσαερίων και θορύβου καθώς και έντονη ενόχληση από του χρήστες του οδικού δικτύου. Γι' αυτό σε αυτές τις περιπτώσεις κρίνεται αναγκαία η εύρεση και δημιουργία εναλλακτικών διαδρομών για αποκλειστική χρήση των οχημάτων που φεύγουν και πηγαίνουν στο εργοτάξιο.
- **Αλλοίωση της αισθητικής του τοπίου:** Η κατασκευή των λιμνοδεξαμενών προϋποθέτει χωματουργικές εργασίες κατά τις οποίες μεγάλες μάζες γεωϋλικών μετακινούνται είτε από τον χώρο κατασκευής της λιμνοδεξαμενής προς άλλους χώρους απόθεσης (αποθεσιοθάλαμοι), είτε από άλλους χώρους όπου δανειζόμαστε υλικό (δανειοθαλάμοι) προς το εργοτάξιο. Αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας είναι η μεταβολή του ανάγλυφου μια περιοχής και η αλλοίωση της αισθητικής του τοπίου, καθώς δημιουργούνται και διάφορες περιβαλλοντικές επιπτώσεις από της μεταβολές του ανάγλυφου. Για το λόγο αυτό ο εντοπισμός κατάλληλων δανειοθαλάμων και αποθεσιοθαλάμων εμπεριέχεται μέσα στις γεωλογικές και γεωτεχνικές μελέτες.
- **Μη ελεγχόμενη απόθεση αποβλήτων:** Είναι λογικό κατά την λειτουργία ενός εργοταξίου να έχουμε δημιουργία αποβλήτων, όπως τα στερεά απόβλητα και διάφορα λιπαντικά σε διάφορους χώρους του εργοταξίου. Η σωστή διαχείριση των λιπαντικών αποβλήτων προβλέπει την συλλογή και σωστή απόθεση τους από πιστοποιημένες εταιρίες, ενώ για τα στερεά απόβλητα καλό θα ήταν να δημιουργούνται όσο το δυνατό λιγότερα γίνεται, αλλά και να αποτίθενται σε κατάλληλους χώρους και να απομακρύνονται με το πέρας του έργου.

Το επόμενο στάδιο είναι αυτό της λειτουργία της λιμνοδεξαμενής, όπου εκεί οι επιπτώσεις γίνονται αρχικά αντιληπτές στο έδαφος, που αποτελεί το χώρο που εδράζει και λειτουργεί το έργο (Κωστόπουλος Σ. & Μουρελάτου Ε., 1995). Σε αυτό το στάδιο οι επιπτώσεις εντοπίζονται στα εξής:

- **Αισθητική του τοπίου – Οπτική όχληση:** Φυσικό είναι να αλλάξει κατά πολύ η αισθητική ενός τοπίου όταν πλέον φέρει μόνιμα έναν χώρο γεμάτο νερό. Γι' αυτό τον λόγο θα πρέπει να μελετάτε πως επρόκειτο να διαμορφωθεί το τοπίο (π.χ. αλλαγή κλίσης και μορφολογίας πρανών εκσκαφής και επίχωσης) με την παρουσία της λιμνοδεξαμενής, καθώς να μελετάτε αν στο τριγύρω χώρο γειτνιάζουν χώροι ιστορικής και αρχαιολογικής σημασίας, σημεία γεωλογικού ενδιαφέροντος και προστατευόμενες περιοχές (π.χ. Natura) ώστε να αποφεύγονται ως κατάλληλες θέσεις κατασκευής του έργου. Φυσικά μια λιμνοδεξαμενή συνήθως αναβαθμίζει την αισθητική ενός τοπίου, αλλά για καλύτερα αποτελέσματα προτείνεται να φυτοκαλύπτονται τα εξωτερικά πρανή των αναχωμάτων της και να αποφεύγεται η αποκάλυψη της στεγανωτικής μεμβράνης με την πτώση της στάθμης όταν δεν έχει προστεθεί προστατευτική στρώση.



Σχήμα 6: Εμφάνιση της γεωμεμβράνης της λιμνοδεξαμενής από την πτώση στάθμης του νερού. (πηγή φωτογραφίας: epoli.gr)

- **Ατμόσφαιρα:** Η παρουσία μεγάλης συγκέντρωσης νερού σε μια περιοχή μακριά από μια κατοικημένη περιοχή που δεν είχε πριν έχει σιγουρά σαν αποτέλεσμα την αύξηση της υγρασία

της τριγύρω περιοχής. Αυτό μακροπρόθεσμα αποτελεί μια θετική εξέλιξη για την ατμόσφαιρα της περιοχής και συμβάλλει στην ανάπτυξη της παρόχθιας βλάστησης.

- **Οικοσύστημα:** Η παρουσία μια λιμνοδεξαμενής σε μια περιοχή φυσικό να επηρεάσει και το οικοσύστημα της και ο τρόπος εξαρτάται από το μέγεθος και την ακριβή θέση του έργου. Το μόνο σίγουρο είναι ότι μια τόσο μεγάλη συγκέντρωση νερού λειτουργεί σαν θερμοσυσσωρευτής, με αποτέλεσμα σε βάθος χρόνου να μεταβληθεί το μικρόκλιμά της περιοχής καθώς η μεταβολές της θερμοκρασίας της περιοχής θα γίνονται πιο ομαλά. Η αλλαγή στις θερμοκρασίες τις περιοχής σε συνδυασμό με την ύπαρξη νερού θα έχει ως αποτέλεσμα να προσελκύσει πουλιά αποδημητικά ή μη, ενώ θα μεταβάλει την πανίδα της περιοχής καθώς κάποια είδη θα μεταναστεύουν από αυτήν και άλλα προς αυτήν.
- **Βλάστηση - Χλωρίδα:** Μακροχρόνια η επίδραση της λειτουργίας της λιμνοδεξαμενής στην κατάντη από αυτή χλωρίδα γίνεται αισθητή. Συνήθως η λειτουργία ενός τέτοιου έργου επιφέρει σημαντικές αλλαγές στο τοπικό υδατικό ισοζύγιο. Η λειτουργία του έργου έχει σαν αποτέλεσμα την παύση ή την μείωση της τροφοδοσίας των κατάντη τμημάτων από επιφανειακό νερό με αποτέλεσμα την ταπείνωση της στάθμης του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα με συνέπεια την υποβάθμιση των λιγότερο βαθύρριζων φυτών.
- **Χρήση γης:** Η λειτουργία μια λιμνοδεξαμενής σίγουρα μπορεί να φέρει αλλαγές όσο αφορά την χρήση γης της τριγύρω περιοχής της καθώς στην περιοχή υπάρχει διαθέσιμο νερό για ύδρευση και άρδευση. Αυτό συνεπάγεται ότι η γεωργία στην τριγύρω περιοχή θα αναπτυχθεί και περισσότερα τμήματα γης θα αξιοποιούνται για καλλιέργειες που μέχρι πρότινος δεν ήταν αξιοποιήσιμα. Η ανάπτυξη της γεωργίας συνεπάγεται ότι περισσότερος κόσμος θα κινηθεί προς την περιοχή και θα κατοικήσει εκεί ή ο πληθυσμός που ήδη υπήρχε θα αυξηθεί, με αποτέλεσμα να κτίζονται νέες κατοικίες και να γίνονται έργα που και αυτά θα καταλαμβάνουν επιπλέον χώρο. Επιπλέον όσο αφορά τις επιπτώσεις στο περιβάλλον η αύξηση της γεωργίας έχει σαν συνέπεια την αύξηση χρήσης φυτοφαρμάκων και λιπασμάτων στην περιοχή με αποτέλεσμα την κατείσδυση όλων των βλαβερών ουσιών στο υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα, αν φυσικά βαθύτερα δεν εντοπίζεται κάποιο αδιαπέρατο υπόβαθρο.
- **Υδατικό ισοζύγιο:** Η λειτουργία μιας λιμνοδεξαμενής σε βάθος χρόνου έχει αρνητικές και έμμεσες επιπτώσεις στο υδατικό ισοζύγιο. Από την λειτουργία του έργου έχουμε παύση της μεταφοράς υλικών προς τα κατάντη της κοίτης, με αποτέλεσμα την εντονότερη διαβρωτική

ικανότητα του ποταμού στις εκβολές του άλλα και κατά μήκος της ροής, λόγω αυξημένης ταχύτητας του υδρορέματος.

- **Υποβάθμιση επιπέδου αναψυχής:** Η ύπαρξη μια λιμνοδεξαμενής σε μια περιοχή μπορεί να έχει σαν αποτέλεσμα την υποβάθμιση ή στέρηση του επιπέδου αναψυχής όπως ο οικοτουρισμός, καθώς φέρει υποβάθμιση του οικοσυστήματος της περιοχής. Παρόλα αυτά οι λιμνοδεξαμενές αποτελούν και πόλος έλξης επενδύσεων σε μια περιοχή με αποτέλεσμα να ισοβαθμίζει τις παραπάνω αρνητικές συνέπειες.
- **Αντιμετώπιση πυρκαγιών:** Η ύπαρξη μιας υδροσυλλογής σε μια περιοχή μπορεί να βοηθήσει σε μια έκτακτη ανάγκη σαν τοποθεσία τροφοδοσίας νερού, όπως μια πυρκαγιά σε μια γειτονική περιοχή. Αυτό αποτελεί ένα πλεονέκτημα που έχει η παρουσία μια λιμνοδεξαμενής σε μια περιοχή.
- **Επάρκεια νερού:** Το σπουδαιότερο πλεονέκτημα των λιμνοδεξαμενών είναι ότι μας παρέχουν ποσότητες νερού αναγκαίες για την γεωργία και την ύδρευση μια περιοχής που μέχρι πρότινος στερούταν. Για το λόγο αυτό είναι σημαντικό να εξασφαλίζεται η καλή ποιότητα του νερού και να γίνεται μετρημένη και σωστή διαχείριση των υδάτων, καθώς το νερό αποτελεί ένα σημαντικό και μη ανεξάντλητο πόρο και τα υδρομαστευτικά έργα έχουν μεγάλο κοινωνικό και οικονομικό κόστος.

Εν κατακλείδι συμπεραίνουμε οι παράγοντες είναι ισοβαρείς, καθώς οι αρνητικές επιπτώσεις εντοπίζονται κυρίως κατά την φάση της κατασκευής, ενώ στην φάση λειτουργίας εντοπίζονται περισσότερες θετικές επιπτώσεις. Επιπλέον αν κοιτάξουμε και την διάρκεια που υφίστανται οι επιπτώσεις αυτές θα λέγαμε ότι οι βραχυπρόθεσμα είναι αρνητικές, ενώ οι πιο μακροπρόθεσμα είναι θετικές τόσο στο στάδιο κατασκευής όσο και στο στάδιο λειτουργίας του έργου. Τέλος να επισημάνουμε ότι οι περισσότερες από τις παραπάνω επιπτώσεις που προκύπτουν είναι αναστρέψιμες με την κατάλληλη και έγκαιρη αντιμετώπιση από τον ανθρώπινο παράγοντα.

Κεφάλαιο 6^ο : Περίπτωση προς μελέτη.

6.1 Εισαγωγή

Η μελέτη αυτή έχει σκοπό να μελετήσει και να αξιολογήσει την κατασκευή μιας επιποτάμιες λιμνοδεξαμενής κοντά στο χωρίο Κεφαλόβρυσο του Νομού Λαρίσης με σκοπό την παροχή νερού για την καλλιέργεια βαμβακιού σε δύο πεδινές περιοχές του Κάμπου, που τοποθετείτε ανατολικά του Κεφαλόβρυσου, και του Ισώματος που βρίσκεται Βορειοδυτικά του χωριού Βαλανίδα. Στον Κάμπο η καλλιεργήσιμη έκταση είναι περίπου 3260 στρέμματα και στο Ίσωμα 3700 στρέμματα, συνολικά η λιμνοδεξαμενή θα πρέπει να καλύπτει τις ανάγκες 6960 στρεμμάτων.

Σε ότι αφορά τη μελέτη του φράγματος στο Κεφαλόβρυσο:

- ❖ Εξετάστηκε η γεωλογία της περιοχής, αν δηλ. κατ' αρχήν υπάρχουν οι απαιτούμενες γεωλογικές συνθήκες (στεγανότητα, σταθερότητα γεωλογικών σχηματισμών) για την κατασκευή φράγματος.
- ❖ Έγινε προμήθεια των απαραίτητων τοπογραφικών χαρτών (κλίμακας 1:5000 και 1:50000) και επίσης γεωλογικών χαρτών κλίμακας 1:50000.
- ❖ Συγκεντρώθηκαν όλα τα διαθέσιμα υδρομετεωρολογικά στοιχεία (κατακρημνίσματα, θερμοκρασία) της ευρύτερης περιοχής, τα οποία συμπληρώθηκαν με δόκιμες επιστημονικές μεθόδους και τα αξιολογήθηκαν.
- ❖ Υπολογίστηκαν και αξιολογήθηκαν τα γεωμορφολογικά στοιχεία της λεκάνης απορροής.
- ❖ Αξιολογήθηκαν τα γεωλογικά στοιχεία με βάση τους επίσημους γεωλογικούς χάρτες και την προσωπική μας αναγνώριση.
- ❖ Υπολογίστηκε με δόκιμες επιστημονικές μεθόδους το υδρολογικό ισοζύγιο της λεκάνης απορροής και βρέθηκε το υδάτινο δυναμικό που διατίθεται και στις χρονικές μεταβολές.
- ❖ Μελετήθηκε η γεωμορφολογία της λεκάνης κατάκλυσης και δόθηκε την καμπύλη ύψους φράγματος-χωρητικότητας τεχνητής λεκάνης.
- ❖ Εξετάστηκαν διάφορα σενάρια ύψους χωρητικότητας φράγματος και ετήσιου όγκου νερού που μπορεί να αποληφθεί.
- ❖ Λήφθηκαν υπόψη στοιχεία προηγούμενων μελετών της Νομαρχίας Λάρισας.

6.2 Γεωγραφικά – Γεωμορφολογικά στοιχεία της λεκάνης

Η λεκάνη απορροής του μελετούμενου φράγματος, είναι η λεκάνη του άνω ρου του Τιταρήσιου, δηλ. του κύριου κλάδου του Τιταρήσιου. Η θέση του φράγματος φαίνεται στο (Σχήμα 7). Η θέση του φράγματος βρίσκεται σε ευθεία γραμμή περίπου 8 Km δυτικά από την Ελασσόνα και περίπου 3 Km βορειοανατολικά από το χωριό Κεφαλόβρυσο.

Η λεκάνη απορροής του, (Σχήμα 8), ορίζεται από τις βορειοδυτικές παρυφές του Ολύμπου, τις δυτικές παρυφές του όρους Τίταρος (Πιέρια) και τις νότιες παρυφές των Καμβουνίων. Διασχίζεται τόσο από τον οδικό άξονα Ελασσόνας-Κατερίνης, όσο και από τον οδικό άξονα Ελασσόνας-Κοζάνης.

Η λεκάνη αυτή είναι ορεινή με μεγάλα υψόμετρα και παρουσιάζει ένα κεντρικό, σχετικά μικρό τμήμα πεδινό - ημιλοφώδες. Καλύπτεται και από δενδρώδη-δασώδη βλάστηση και από θαμνώδη βλάστηση. Έχει μικρές γυμνές περιοχές και το 15% της έκτασης της καλλιεργείται με διάφορες καλλιέργειες (σιτηρά, αραβόσιτο, τριφύλλι, καπνό, οπωροφόρα δένδρα κ.α.).

Το εμβαδό της λεκάνης είναι 446,3 Km². Το υψηλότερο σημείο (κορυφή Τερψιθέα, Ολύμπου) έχει υψόμετρο 2592 m και το χαμηλότερο (στον άξονα του φράγματος) έχει υψόμετρο 290 m. Η μεταξύ τους απόσταση είναι L=23 Km. Άρα το μέγιστο ανάγλυφο είναι 2592-290=2302 m και το σχετικό ανάγλυφο είναι $\frac{2302}{23000} = 10\%$, δηλ. αρκετά μεγάλο.

Το μέσο υψόμετρο της λεκάνης είναι 777,6 m, δηλ. πρόκειται για λεκάνη ορεινή. Η μέση κλίση του εδάφους της είναι 24,2%, δηλ. πολύ μεγάλη που δείχνει ένα πολύ έντονο ανάγλυφο.

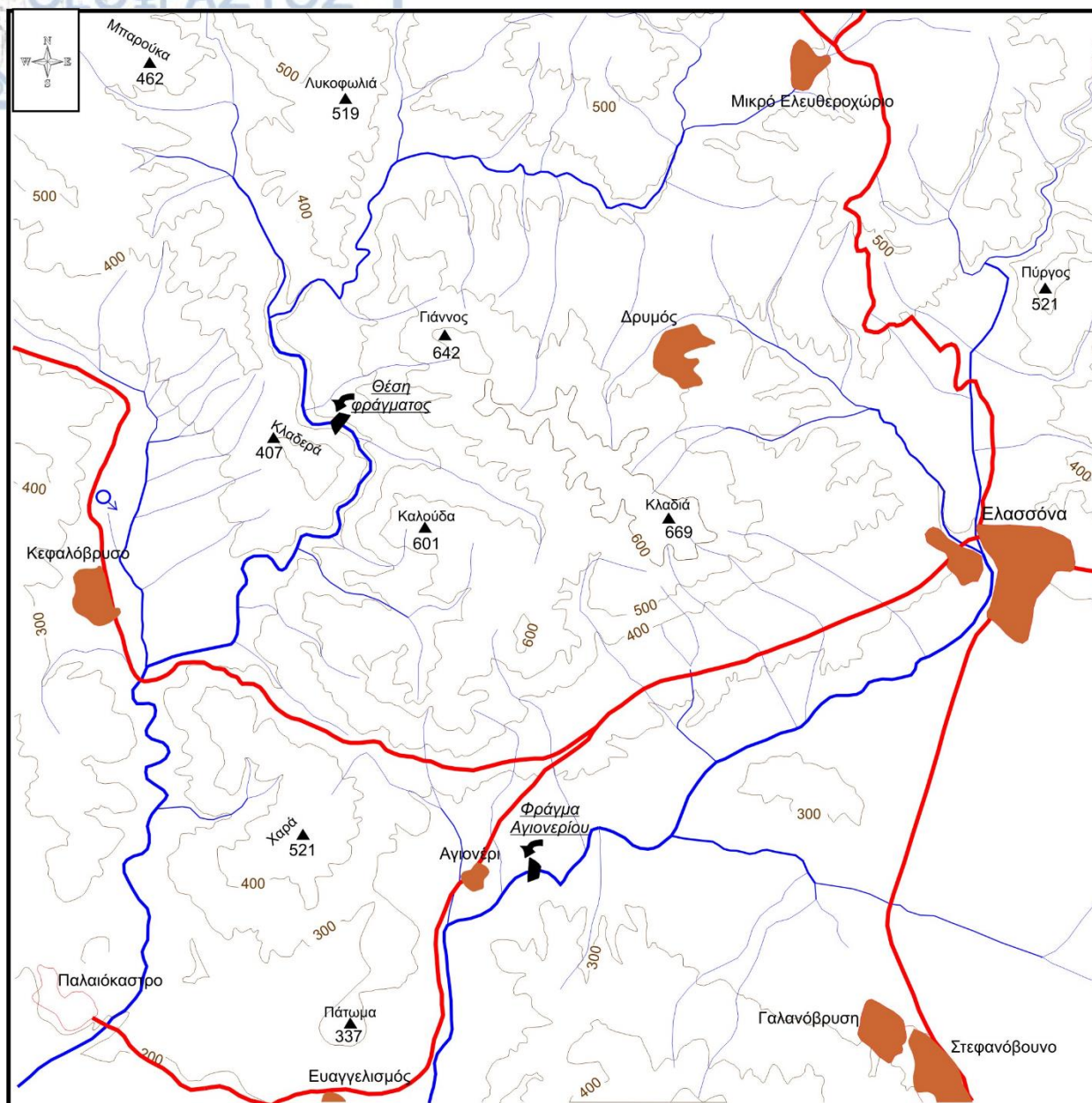
Η λεκάνη έχει ένα ρομβοειδές σχήμα: το μέγιστο μήκος είναι 31 Km και το μέγιστο πλάτος 29 Km. Επομένως ο δείκτης εκκεντρότητας είναι $\frac{31}{29} = 1,069$.

Ο δείκτης κυκλικότητας είναι 1,47. Περίμετρος λεκάνης 113,4 Km.

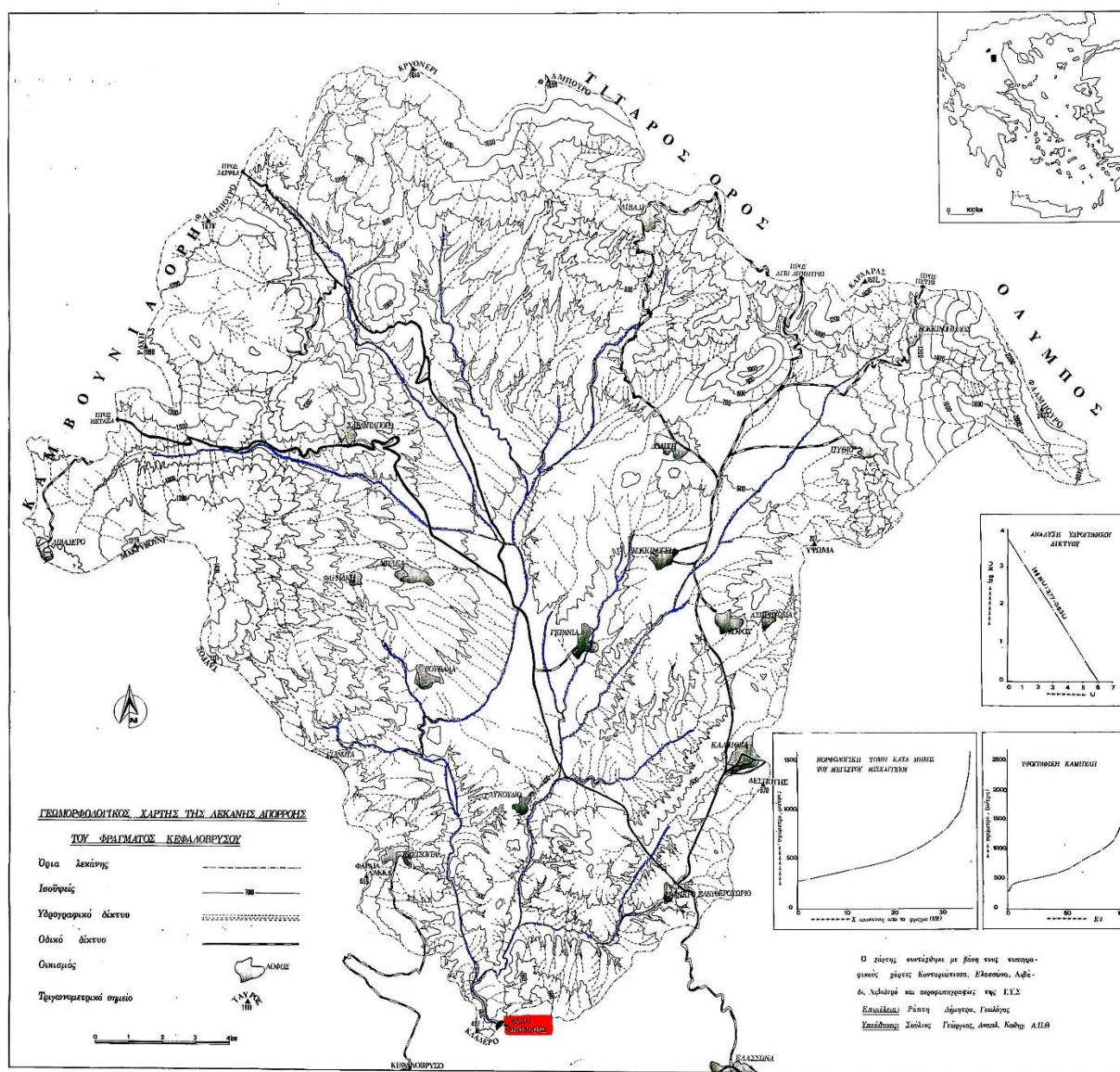
Στο (Σχήμα 9) δίνεται η υπογραφική καμπύλη της λεκάνης.

Το υδρογραφικό δίκτυο της λεκάνης έχει:

- ❖ 1361 κλάδους πρώτης τάξης με συνολικό μήκος $\Sigma L=596,3$ Km ($\bar{L}=0,44$)
- ❖ 348 κλάδους δεύτερης τάξης με συνολικό μήκος $\Sigma L=253,9$ Km ($\bar{L}=0,73$)
- ❖ 74 κλάδους τρίτης τάξης με συνολικό μήκος $\Sigma L=120,2$ Km ($\bar{L}=1,62$)
- ❖ 18 κλάδους τέταρτης τάξης με συνολικό μήκος $\Sigma L=87,3$ Km ($\bar{L}=4,85$)
- ❖ 4 κλάδους πέμπτης τάξης με συνολικό μήκος $\Sigma L=42,9$ Km ($\bar{L}=20,73$)
- ❖ 1 κλάδο έκτης τάξης με συνολικό μήκος $\Sigma L=24,4$ Km ($\bar{L}=24,4$)

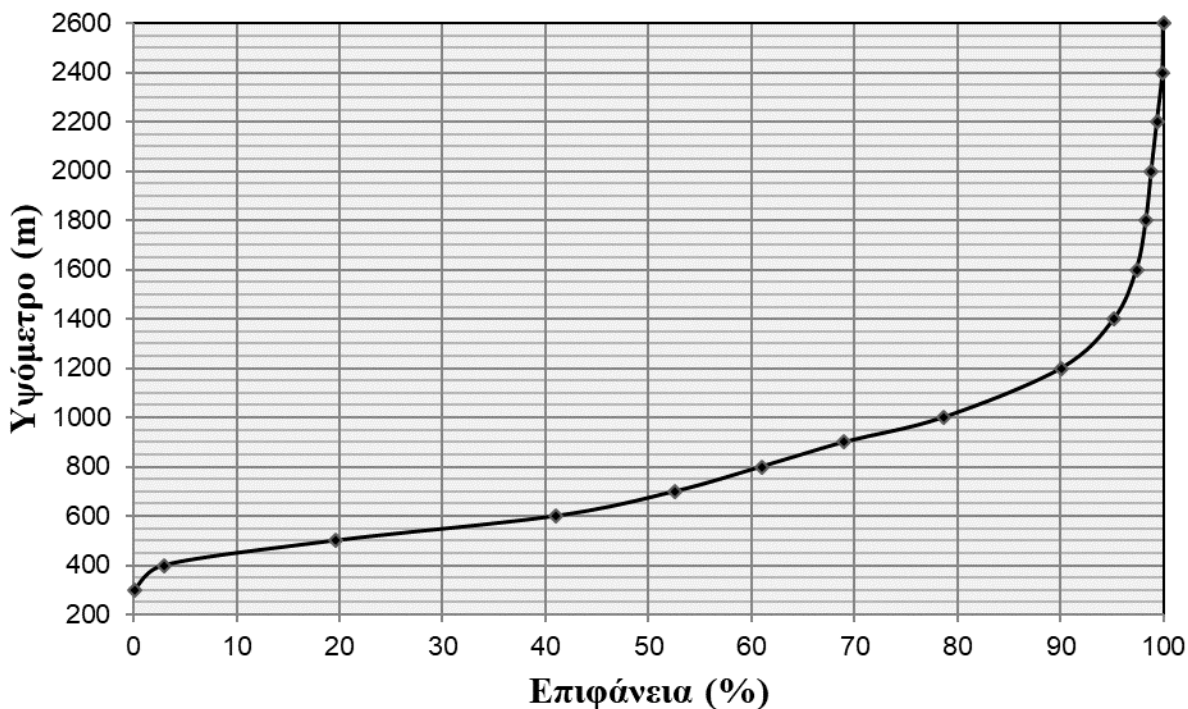


Σχήμα 7: Τοπογραφικός χάρτης με τη θέση του φράγματος



Σχήμα 8:Γεωμορφολογικός Χάρτης της Λεκάνης Απορροής.

Υψογραφική καμπύλη της λεκάνης απορροής



Σχήμα 9: Υψομετρική καμπύλη της λεκάνης απορροής

Επομένως συνολικά περιλαμβάνει 1806 κλάδους όλων των τάξεων με συνολικό μήκος 1125,0 Km.

Άρα ο συντελεστής συχνότητας υδρογραφικού δικτύου είναι:

$$F = \frac{\Sigma Nu}{E} = \frac{1806}{446,3} = 4,04 \text{ κλάδοι ανά Km}^2$$

Δηλ. πολύ συχνό δίκτυο.

Ο συντελεστής πυκνότητας του υδρογραφικού δικτύου είναι:

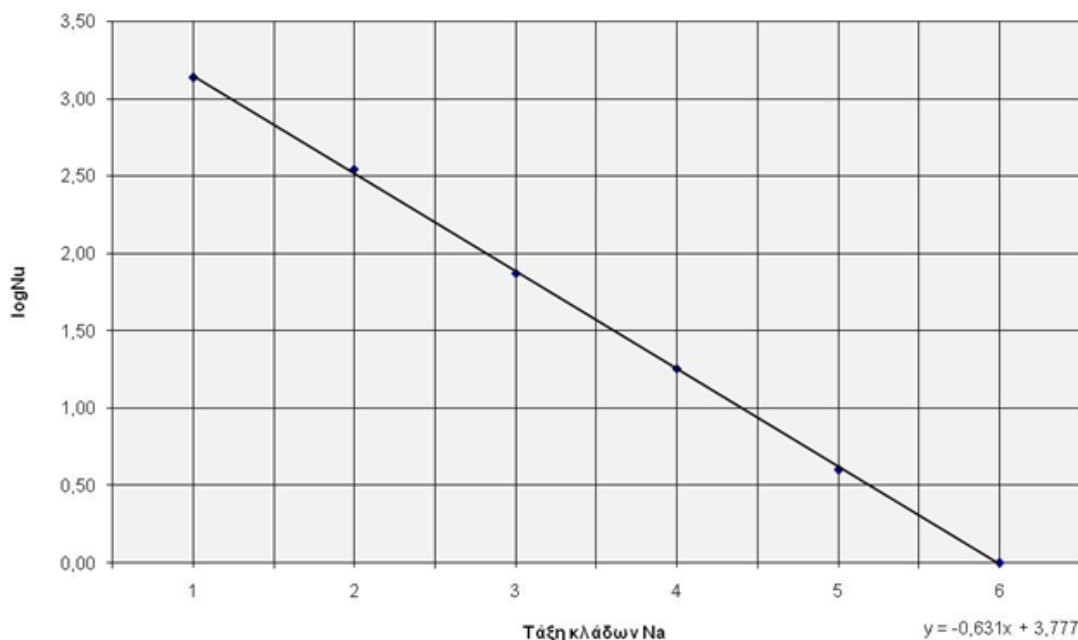
$$D = \frac{\Sigma L}{E} = \frac{1125 \text{ Km}}{466,7 \text{ Km}^2} = 2,4 \text{ Km}^{-1}$$

Είναι μία μέτρια τιμή.

Ο συντελεστής διακλάδωσης είναι περίπου 3,77. Στο (Σχήμα 10) δίνεται η καμπύλη ανάλυσης του υδρογραφικού δικτύου και στον (Πίνακα 4) ο αριθμός του κλάδου και το μήκος κάθε τάξης του.

Το υδρογραφικό δίκτυο της λεκάνης απορροής, όπως φαίνεται στον ένθετο γεωμορφολογικό χάρτη, δεν είναι ομοιόμορφο σε όλη την έκταση της και αυτό είναι λογικό, αφού υπάρχει κατά τόπους διαφορετική λιθολογική σύσταση και γεωμορφολογική κλίση. Στο κεντρικό και νότιο τμήμα της λεκάνης το υδρογραφικό δίκτυο είναι καλώς ανεπτυγμένο. Αντίθετα σε μερικές καρστικές περιοχές (Ολύμπου, Σαρανταπόρου) είναι λίγο ανεπτυγμένο.

Το μέγιστο μισγάγγειο για το σύνολο της λεκάνης έχει μήκος 36 Km και η μέση κλίση κατά μήκος του είναι 4% (αντίστοιχη γωνία $\varphi=2^\circ 20'$). Πρόκειται δηλ. για κλίση όχι ιδιαίτερα μεγάλη που δεν ευνοεί μεγάλες πλημμυρικές παροχές, κατά μείζονα μάλιστα λόγο όταν στο μεσαίο και κατώτερο τμήμα της ροής υπάρχουν μαιανδρισμοί και η τιμή της είναι αρκετά μικρή.



Σχήμα 10: Διάγραμμα $\log Nu$ - Τάξης κλάδων Na

Πίνακας 4: Στοιχεία κάθε κλάδου.

Τάξη κλάδων Na	Πλήθος κλάδων Nu	LogNu	ΣL (Km)	Μέση τιμή L (Km)
1	1361	3.13	596.3	0.44
2	348	2.54	253.9	0.73
3	74	1.87	120.2	1.62
4	18	1.26	87.3	4.85
5	4	0.6	42.9	10.73
6	1	0	24.4	24.4
			1125	

Συνοπτικά λοιπόν το υδρογραφικό δίκτυο έχει παραμέτρους που μπορούμε να τις χαρακτηρίσουμε ως μέτριες, δεν έχει ομοιόμορφη κατανομή σε όλη την έκταση της λεκάνης και θα μπορούσαμε να πούμε, σε συνδυασμό με τη λιθολογία και τη μορφολογία, ότι δεν ενδεικτικό για μεγάλο συντλεστή επιφανειακής απορροής.

6.3 Γεωλογικά στοιχεία

Η λεκάνη απορροής του έργου κατά το μεγαλύτερο μέρος της ανήκει γεωλογικά στην Πελαγονική ζώνη. Ανατολικά, ένα μικρό τμήμα της, ανήκει στην αυτόχθονη σειρά του Ολύμπου (τεκτονικό «παράθυρο» του Ολύμπου) και την υπερκείμενη σειρά ανθρακικών – σχιστοφυλλιτικών σχηματισμών και πιθανότατα με την ενότητα Καλλιπεύκης – Κρυόβρυσης με γλαυκοφανιτικούς σχιστόλιθους, χωρίς όμως να υπάρχει επιφανειακή εμφάνιση της αλλά μπορεί να την συναντήσουμε σε βαθύτερους ορίζοντες. Τέλος το νοτιοδυτικό τμήμα της λεκάνης, λίγο βορειότερα της λιμνοδεξαμενής και του μικρού φράγματος, ανήκει στην αυτόχθονη ενότητα της Κρανίας. Αποτελεί γεωλογικό πρόβλημα το κατά πόσο η αυτόχθονη σειρά του Ολύμπου και η αυτόχθονη σειρά Κρανίας είναι πρακτικά το ίδιο πράγμα., δηλ. ενιαία ενότητα υποκείμενη της Πελαγονικής ζώνης.

Επομένως στο χώρο της λεκάνης απορροής συναντάμε :

- i. Πελάγονική ζώνη
- ii. Αυτόχθονη σειρά Ολύμπου
- iii. Ενότητα Κρανίας
- iv. Μεταλλικοί σχηματισμοί

Στη συνέχεια ακολουθεί γεωλογικός χάρτης της λεκάνης απορροής της μελετούμενης λιμνοδεξαμενής (Σχήμα 11). Ο χάρτης αυτός προέκυψε κυρίως από υπάρχοντες χάρτες του Ι.Γ.Μ.Ε., την υπάρχουσα δημοσιευμένη βιβλιογραφία και τις υπαίθριες εργασίες. Στον ίδιο ένθετο χάρτη δίνεται μια αντιπροσωπευτική τομή ΑΑ' και επίσης δύο συνθετικές λιθοστρωματογραφικές στήλες που αντιστοιχούν στο ανατολικό και το δυτικό τμήμα της λεκάνης. Στο χάρτη αυτό έχει γίνει μια ομαδοποίηση όμοιων λιθοστρωματογραφικών σχηματισμών, γιατί υπάρχει μια μεγάλη λιθολογική πολυτυπία κυρίως στα πετρώματα της Πελαγονικής ζώνης.

i. Η Πελαγονική ζώνη δομείται από τους εξής σχηματισμούς από κάτω προς τα πάνω:

– Γνεύσιοι κυρίως διμαρμαρυγικοί αλλά και οφθαλμοειδείς. Εμφανίζονται με μορφή συμπαγών τραπεζών. Είναι συνήθως ανοιχτόχρωμοι, υποπράσινοι ως υπόλευκοι. Μέσα

στους διμαρμαρυγιακούς γνεύσιους παρατηρούνται ενστρώσεις από αμφιβολιτικούς-διμαρμαρυγιακούς γνεύσιους, επιδοτιτικούς γνεύσιους, αμφιβολιτικούς σχιστόλιθους και αμφιβολίτες. Το παρατηρηθέν πάχος τους υπερβαίνει τα 1.200 m. Η ηλικία τους είναι Παλαιοζωϊκή.

- Σχιστογνεύσιοι, γνεύσιοι, σχιστόλιθοι με ενστρώσεις ορθογνευσίων και μαρμάρων. Χαρακτηρίζονται και διακρίνονται από τους εξής πετρογραφικούς τύπους: Επιδοτιτικοί-διμαρμαρυγιακοί σχιστογνεύσιοι και γνεύσιοι, επιδοτιτικοί-αμφιβολιτικοί γνεύσιοι, πρασινοσχιστόλιθοι, μαρμαρυγιακοί και αμφιβολιτικοί σχιστόλιθοι. Φέρουν ενστρώσεις μαρμάρων μέσα σε σχιστόλιθους και σπανιότατα σε γνευσιοσχιστόλιθους. Πρόκειται για μάρμαρα αδροκρυσταλλικά κατά θέσεις δολομιτικά, με σχιστολιθικές παρεμβολές, λεπτο-μέσο στρωματώδη, μελανότεφρα. Τα πιο πάνω πετρώματα έχουν υποστεί μεταμόρφωση στην πρασινοσχιστολιθική φάση. Η ηλικία τους είναι Παλαιοζωϊκή.
- Σχιστόλιθοι διάφοροι: σχιστόλιθοι ηφαιστειοϊζηματογενούς προέλευσης, σχιστόλιθοι σερικιτικοί, μαρμαρυγιακοί-ακτινολιθικοί, χλωριτικοί-σερικιτικοί-ακτινολιθικοί, μαρμαρυγιακοί, πρασινοσχιστόλιθοι. Έχουν υποστεί χαμηλού βαθμού μεταμόρφωση στην πρασινοσχιστολιθική φάση. Η ηλικία τους είναι νέο-Παλαιοζωϊκή έως κάτω-μέσο-τριάδικη. Έχουν μικρό πάχος και στρωματογραφικά υπόκεινται των μαρμάρων (βλ. πιο κάτω).
- Μάρμαρα. Αποτελούν την κανονική εξέλιξη προς τα πάνω των αμέσως προηγούμενων σχηματισμών (σχιστολίθων) και έχουν ηλικία μέσο-άνω-Τριαδικού-Ιουρασικού. Πρόκειται για μάρμαρα κυρίως μεσοστρωματώδη και λιγότερο παχυστρωματώδη έως μαζώδη. Κατά τόπους γίνονται δολομιτικά ή και δολομίτες, ιδιαίτερα στα κατώτερα μέρη. Έχουν χρώμα λευκό και ροδόλευκο στα κατώτερα μέρη και τεφρό έως σκοτεινότεφρο στα ανώτερα. Έχουν πάχος περίπου 500 m.
- Γρανιτικές διεισδύσεις. Πρόκειται για όξινες πλουτώνιες διεισδύσεις που αντιπροσωπεύονται κυρίως από γρανίτες έως γρανοδιορίτες κατά θέσεις. Υπάρχει συχνή παρουσία απλιτοπηγματιτικών και χαλαζιακών φλεβών. Η σχετική ηλικία είναι πιθανά μετά-Κρητιδική.

ii. Αυτόχθονη σειρά Ολύμπου.

- Ασβεστόλιθους του Κρητιδικού. Πρόκειται για ασβεστόλιθους τεφρούς μέσο-παχυστρωματώδεις με δολομιτικές παρεμβολές. Έχουν πάχος περίπου 800 m και γενική κλίση προς δυτικά.
- Στο δυτικό τους όριο εφίπνυνται από μια στενή λωρίδα ανθρακικών-σχιστοφυλλιτικών σχηματισμών που ανήκουν σε μια χωριστή ενότητα. Λιθολογικά η ενότητα αυτή περιλαμβάνει κρυσταλλικούς ασβεστόλιθους οι οποίοι μεταπίπτουν σε αργιλλοψαμμίτες και ψαμμίτες. Έχουν μικρό πάχος. Η υπερκείμενη ενότητα Κρυόβρυσης-Καλλιπεύκης δεν έχει επιφανειακή εμφάνιση μέσα στη λεκάνη που εξετάζουμε. Εμφανίζεται όμως αμέσως λίγο πιο νότια, έξω από τα όρια της λεκάνης.

iii. Ενότητα Κρανίας.

Εντοπίζεται σε ένα μικρό κομμάτι νοτιοδυτικά της λεκάνης κοντά στην περιοχή κατασκευής του έργου. Δυτικά στην περιοχή Κεφαλόβρυσου – Κρανίας εντοπίζεται μια μεγάλη εμφάνιση της ενότητας. Η ενότητα αυτή χρειάζεται προσεκτική μελέτη για τον προσδιορισμό της έκτασης της στο χώρο, καθώς συνδέεται με τις μεγάλες καρστικές πηγές Κεφαλόβρυσου. Λιθολογικά συνίσταται από ασβεστόλιθους κρυσταλλικούς τεφρόχρους - σκοτεινόχρους, μεσοπλακώδεις και κυρίως παχυπλακώδεις με σημαντικό πάχος και αδρόκοκη υφή. Πρόκειται για το κατώτερο τμήμα της ενότητας. Το ανώτερο περιλαμβάνει κρυσταλλικούς ασβεστόλιθους ανοιχτόχρους, λεπτοπλακώδεις με λεπτόκοκη υφή. Η ηλικία τους δεν μας είναι γνωστή. Πιθανά πρόκειται για Μεσοζωϊκή

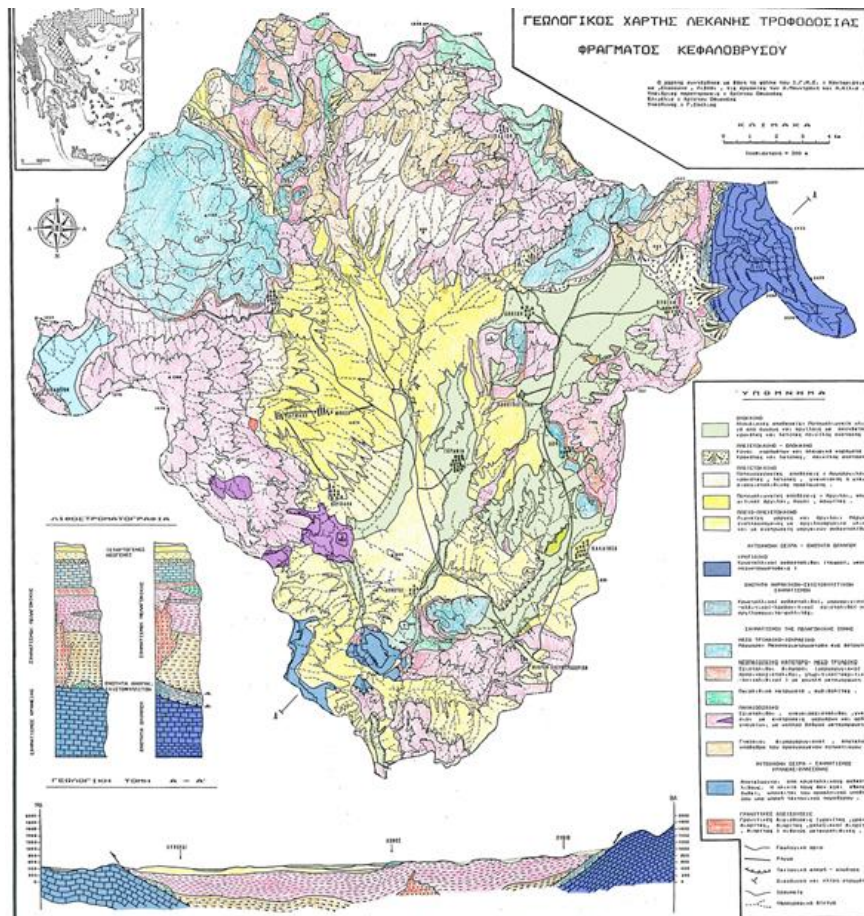
Σύμφωνα με την τομή ΑΑ του χάρτη (Σχήμα 5) η τεκτονική τοποθέτηση των τριών αυτών ενότητων είναι η εξής:

- Στο ανατολικό τμήμα της λεκάνης η Πελαγονική ζώνη εφίπνυν την αυτόχθονη σειρά του Ολύμπου, πράγμα γνωστό καθώς η αυτόχθονη σειρά του Ολύμπου πρόκειται για τεκτονικό «παράθυρο».
- Στο νοτιοδυτικό τμήμα της λεκάνης φαίνεται η Πελαγονική ζώνη να εφίπνυν και την ενότητα Κρανίας, καθώς όπως φαίνεται και αυτή αποτελεί ένα «γεωλογικό παράθυρο».

Γενικά υπάρχει το ερώτημα αν η αυτόχθονη σειρά Ολύμπου και η ενότητα Κρανίας αποτελούν ουσιαστικά ίδια δομική ενότητα ή έχουν διαφορετική προέλευση.

iv. Οι νεότεροι μεταλικοί σχηματισμοί που απαντούν στην περιοχή είναι:

- Ολοκαινικοί: Αλλουβιακές αποθέσεις, ποταμοχειμάρια υλικά από άμμους, αργίλους, χαλίκια, λατύπες, κροκάλες ασύνδετα μεταξύ τους.
- Πλειστοκαινικοί-Ολοκαινικοί: Κώνοι κορημάτων και πλευρικά κορήματα (κροκάλες, λατύπες ποικίλης σύστασης, χαλίκια, άμμοι, αμμοάργιλοι).
- Πλειστοκαινικοί. Αυτοί είναι:
 - ❖ Ποταμολιμναίες αποθέσεις (άργιλοι, ψαμμιτικοί άργιλοι, άμμοι, ψαμμίτες.
 - ❖ Ποταμοχερσαίες αποθέσεις άργιλοι, άμμοι, κροκάλες, λατύπες, λίθοι με αργιλοψαμμιτικό υλικό. Πρόκειται για κροκάλες και λατύπες γνευσιακές, ανθρακικές, γρανιτικές.
- Πλείο-Πλειστοκαινικοί: Λιμναίες μάργες και άργιλοι εναλλασσόμενες με αργιλομαργαϊκό υλικό με ενστρώσεις μαργαϊκών ασβεστολίθων. Περιέχουν κροκάλες και λατύπες ανθρακικές και γνευσιακές καθώς και κροκαλοπαγή, λατυποπαγή και ψαμμιτικά στρώματα. Όμως ο κυρίαρχος χαρακτήρας είναι ο αργιλομαργαϊκός.



Σχήμα 11: Γεωλογικός χάρτης της Λεκάνης Απορροής. Στο κατώτερο τμήμα του χάρτη υπάρχει η τομή ΑΑ'.

Οι μεταλλικοί σχηματισμοί καλύπτουν πολύ μεγάλο τμήμα της λεκάνης, αλλά δεν έχουν μεγάλα πάχη. Πιθανότατα το πάχος τους δεν υπερβαίνει τα 300m.

6.4 Βροχομετρικά – Θερμοκρασιακά στοιχεία της περιοχής

α) Εντός της λεκάνης δεν υπάρχουν μετεωρολογικοί σταθμοί. Γύρω και κοντά σε αυτήν υπάρχουν οι εξής σταθμοί (σε παρένθεση η υψομετρική θέση του σταθμού) :

- Λιβάδι (1183m), περίοδος παρατηρήσεων 1985-2007
- Γιαννωτά (578 m), περίοδος παρατηρήσεων 1971-2005
- Δεσκάτη (850 m), περίοδος παρατηρήσεων 1971-2006
- Ελασσόνα (312 m), περίοδος παρατηρήσεων 1971-2006

Τα δεδομένα των σταθμών αυτών δίνονται στους Πίνακες 5, 6, 7, 8 αντίστοιχα. Οι σταθμοί αυτοί βρίσκονται εντός ή πλησίον της μελετούμενης λεκάνης απορροής και άρα ως σύνολο είναι αντιπροσωπευτικοί γι' αυτήν. Η κοινή διάρκεια παρατηρήσεων είναι 22 έτη δηλαδή υπεραρκετή για τον υπολογισμό της μέσης τιμής.

Οι σταθμοί αυτοί είχαν ορισμένα ελλειπή στοιχεία. Αυτά συμπληρώθηκαν μήνα προς μήνα με την αναλογική μέθοδο ως προς τους άλλους σταθμούς. Η διαδικασία αυτή ήταν επίπονη και χρονοβόρα. Οι μήνες που συμπληρώθηκαν φαίνονται με τονισμένα (bold) γράμματα.

Με βάση τις μέσες ετήσιες τιμές κατακρημνισμάτων που προέκυπταν από τους Πίνακες 5 - 8, χαράχθηκε η καμπύλη ύψος ετησίων κατακρημνισμάτων y (mm)-υψόμετρο αντίστοιχου σταθμού x (m), (Σχήμα 12) από την οποία προκύπτει:

$$y=0,261x+402,1$$

με υψηλό συντελεστή συσχέτισης.

Άρα για το μέσο υψόμετρο της λεκάνης που είναι $\chi=777,6$ m, το μέσο ετήσιο ύψος κατακρημνισμάτων θα είναι

$$y= 605,1 \text{ mm}$$

Έχουμε επομένως το μέσο ετήσιο ύψος κατακρημνισμάτων της μελετούμενης λεκάνης. Προκειμένου να υπολογίσουμε και τις αντίστοιχες μέσες μηνιαίες τιμές, σχηματίζουμε τον (Πίνακα 9) με τις μέσες μηνιαίες τιμές κατακρημνισμάτων καθενός από τους τέσσερις σταθμούς. Το μέσο ετήσιο ύψος κατακρημνισμάτων των τεσσάρων αυτών σταθμών είναι 588,1 mm έναντι των 605,1 mm που αντιστοιχεί στο μέσο υψόμετρο της λεκάνης. Επομένως τις μέσες μηνιαίες

τιμές των τεσσάρων σταθμών τις πολλαπλασιάζουμε επί 1,02856 (=605,1/588,1) και έτσι υπολογίζουμε τις μέσες μηνιαίες τιμές κατακρημνισμάτων που αντιστοιχούν στη λεκάνη απορροής (Πίνακας 9).

Πίνακας 6: Βροχομετρικά δεδομένα Λιβαδιού 1985 - 2007

	Πίνακας V																			
ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ:				ΛΙΒΑΔΙ																
ΥΠΗΡΕΣΙΑ:				1183 M																
ΥΨΟΜΕΤΡΟ:				Μηνιαία Ύψη Βροχής σε mm																
ΠΑΗΡΟΦΟΡΙΑ:																				
ΕΤΟΣ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙΟ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΕΤΗΣΙΟ	MIN	Μ.Ο	MAX				
1985-86	53.2	224.8	21.6	45	95.1	66.8	20.9	110.9	92.5	60.4	60.3	20.5	872	20.5	72.7	224.8				
1986-87	39.4	62.7	19.8	59.1	32.4	147.9	18.5	50	7	19.5	32.5	60	548.8	7	45.7	147.9				
1987-88	63	33	25	9	33	39	15.8	4	42	28	8	11.8	311.6	4	26.0	63				
1988-89	28.9	85	29.4	7.4	15	37.9	28	80.9	153.1	75.7	14.1	15.6	571	7.4	47.6	153.1				
1989-90	34.3	40.7	50.7	0	2.7	10	8.7	61.7	22.2	9.1	88.8	19.3	348.2	0	29.0	88.8				
1990-91	70.6	71.8	165.3	1.6	5.8	62.8	189.7	57.9	16.8	44.7	43.7	46.3	777	1.6	64.8	189.7				
1991-92	29.9	61.2	7.9	10.2	4.1	10.5	186.4	95.1	110	50.3	0	28.6	594.2	0	49.5	186.4				
1992-93	45.5	70	37	0	0	23.1	19	138.9	24.6	0	11.5	15.5	385.1	0	32.1	138.9				
1993-94	12	113.9	57.1	89.6	85.4	27.4	104.9	101.9	0	78.4	23.1	2	695.7	0	58.0	113.9				
1994-95	76.9	80.6	111.1	132	25.2	35.3	22	93.6	17.8	77	53.5	57.8	782.8	17.8	65.2	132				
1995-96	1	38	145.6	121	77	69	48.6	54	22	46	52.5	86.1	760.8	1	63.4	145.6				
1996-97	120.9	77.9	72.5	60	36.5	21	29	24	36	14	64.1	6.8	562.7	6.8	46.9	120.9				
1997-98	107	69	100	11	84	3.5	13	249.5	42	0	12	34.6	725.6	0	60.5	249.5				
1998-99	53.9	313.3	94.2	71.5	48.2	102.3	43.1	46.4	51.8	36.9	41.6	36.9	940.1	36.9	78.3	313.3				
1999-00	67.8	137.8	80.7	0	51.8	27.4	54.8	54.6	103.8	10	3.8	17.9	610.4	0	50.9	137.8				
2000-01	108.7	97.6	28.8	31.3	10.1	7.6	107.8	90.6	21.8	45.8	42	0	592.1	0	49.3	108.7				
2001-02	12.9	43.6	17.6	22.1	18.1	189	137.9	50.4	28.1	183.7	15.2	180.8	1057.8	12.9	88.2	189				
2002-03	99.7	54.3	184.2	84.2	7.8	6.4	84.5	98.9	19.4	47	67	45	798.4	6.4	66.5	184.2				
2003-04	158	158	77.8	46.9	8	36	146.5	75.6	53	26.7	17.7	47	851.2	8	70.9	158				
2004-05	60.9	65.3	62.6	34.2	71.2	92.2	20.4	44.6	35.8	43.2	25	75.4	630.8	20.4	52.6	92.2				
2005-06	25.4	49	110.9	105.8	61	114.3	120	20.1	49.5	76	15	93.8	840.8	15	70.1	120				
2006-07	75.7	44.8	27	12.2	44.4	27.8	54.8	82.5	62.2	26.7	40	26.8	524.9	12.2	43.7	82.5				
Aver.	61.2	90.6	76.6	43.4	37.1	52.6	67.0	76.6	46.0	45.4	33.2	42.2	671.9	7.5	55.9	156.9				
Max	158	313.3	184.2	132	95.1	189	189.7	249.5	153.1	183.7	88.8	180.8	1057.8	36.9	88.15	313.3				
Min	1	33	7.9	0	0	3.5	8.7	4	0	0	0	0	311.6	0	25.967	63				
S.d	39.4	67.2	53.8	41.7	30.6	49.3	58.1	50.3	37.9	39.5	23.9	40.6	194.1	9.8	16.2	58.9				

Πίνακας 5: Βροχομετρικά στοιχεία Γιαννιτών 1971-2005

Πίνακας VI																
ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ:				ΓΙΑΝΝΙΤΑ												
ΥΠΗΡΕΣΙΑ:																
ΥΨΟΜΕΤΡΟ:				578 Μ												
ΠΑΗΡΟΦΟΡΙΑ:				Μηνιαία Ύψη Βροχής σε mm												
ΕΤΟΣ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙΟ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΕΤΗΣΙΟ	MIN	Μ.Ο	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 8: Βροχομετρικά στοιχεία Δεσκάτης 1972 - 2006

ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ:				ΔΕΣΚΑΤΗ												
ΥΠΗΡΕΣΙΑ:				850 M												
ΥΨΟΜΕΤΡΟ:																
ΠΑΡΗΓΟΡΦΙΑ:				Μηνιαία Ύψη Βροχής σε mm												
ΕΤΟΣ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙΟ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΕΤΗΣΙΟ	MIN	Μ.Ο	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	99.4833	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 7: Βροχομετρικά στοιχεία Ελασσόνας

Πίνακας VIII																
ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ:			ΕΛΑΣΣΟΝΑ													
ΥΠΗΡΕΣΙΑ:																
ΥΨΟΜΕΤΡΟ:			312 M													
ΠΑΗΡΟΦΟΡΙΑ:			Μηνιαία Ύψη Βροχής σε mm													
ΕΤΟΣ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙΟ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΕΤΗΣΙΟ	MIN	Μ.Ο	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	154	15.1	0.4	37.5	36.2	473.3	0.4	39.4	154
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	71.042	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	21.033	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	54.7

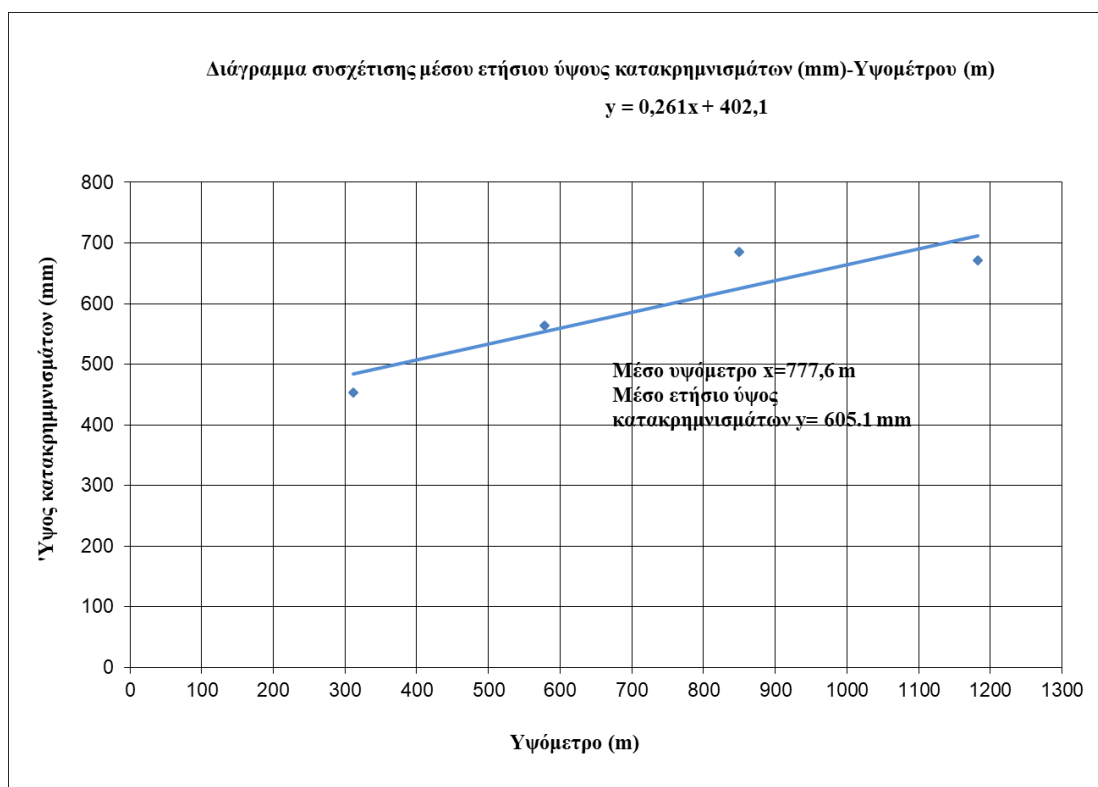
Πίνακας 9: Μέσες μηνιαίες τιμές βροχόπτωσης στην λεκάνη απορροής

	Ο	Ν	Δ	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ετήσιο
Λιβάδι	61,2	90,6	76,6	43,4	37,1	52,6	67,0	76,6	46,0	45,4	33,2	42,2	671,9
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
Δεσκατή	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
Γιαννωτά	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
Μ.Ο.	56,9	73,3	64,6	47,2	44,0	49,1	52,9	59,5	34,4	35,9	35,2	35,4	588,1
Μ.Ο. για τη λεκάνη	58,5	75,4	66,5	48,5	45,3	50,5	54,4	61,2	35,4	36,9	36,2	36,4	605,1

β) Για την μέση ετήσια θερμοκρασία αέρα της μελετούμενης λεκάνης, έχουμε δεδομένα από τρεις σταθμούς (σε παρένθεση το υψόμετρο των σταθμών):

- Λιβάδι (1183 m), διάρκεια παρατήρησης 1987 – 2006
- Δεσκάτη (650 m), διάρκεια παρατήρησης 2002 – 2006
- Μαγούλα (175 m), διάρκεια παρατήρησης 1987 – 2006

Τα δεδομένα των σταθμών αυτών δίνονται στους Πίνακες 10, 11 και 12. Η διάρκεια παρατήρησης στους δύο από αυτούς είναι 20 έτη, ικανή για τον υπολογισμό της πραγματικής μέσης, ετήσιας και μέσων μηνιαίων τιμών θερμοκρασίας αέρα. Στο σταθμό όμως της Δεσκάτης η διάρκεια είναι μόλις



Σχήμα 12: Διάγραμμα συσχέτισης μέσου ετήσιου ύψους κατακρημνισμάτων (mm) - υψομέτρου (m).

4 έτη. Όμως παρατηρήσαμε ότι η μέση τιμή που προκύπτει για τα τέσσερα χρόνια αυτά συγκεκριμένα έτη στους άλλους σταθμούς είναι ακριβώς η ίδια με τη μέση τιμή της εικοσαετίας.

Επομένως δεχόμαστε ως αντιπροσωπευτική τη μέση τιμή που προκύπτει από το σταθμό Δεσκάτης.

Και στην περίπτωση της θερμοκρασίας συμπληρώσαμε τα ελλειπή στοιχεία αναλογικά, όπως και με τα κατακρημνίσματα οι συμπληρωθείσες τιμές σημειώνονται με τονισμένα (bold) γράμματα στους πίνακες.

Σχηματίσαμε και εδώ το διάγραμμα μέσης ετήσιας τιμής θερμοκρασίας αέρα y (°C) - υψομέτρου αντίστοιχου σταθμού x (m), (Σχήμα 13) και βρήκαμε:

$$y = -0,0034x + 15,106$$

με υψηλό συντελεστή συσχέτισης.

Επομένως για το μέσο υψόμετρο $x = 777,6$ m η μέση ετήσια τιμή θερμοκρασίας αέρα θα είναι

$$y = 12,76 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Εργαζόμενοι ανάλογα με την περίπτωση των κατακρημνισμάτων, σχηματίζουμε τον (Πίνακα 13) με τις μέσες μηνιαίες τιμές θερμοκρασίας αέρα της λεκάνης.

Συνήθως στην εφαρμογή των διαφόρων εμπειρικών τύπων (Turc, Coutagne) δεν χρησιμοποιείται η πραγματική μέση ετήσια θερμοκρασία αέρα ($T = 12,58 \text{ }^{\circ}\text{C}$) αλλά η διορθωμένη T_{Δ}

$$T_{\Delta} = \frac{T_1 P_1 + T_2 P_2 + \dots + T_{12} P_{12}}{P_{\text{ολ}}}$$

Όπου $T_1, T_2, \dots, T_{12}$ οι μέσες μηνιαίες τιμές θερμοκρασίας για τους μήνες 1 έως και 12.

$P_1, P_2, \dots$, τα αντίστοιχα μέσα μηνιαία ύψη κατακρημνισμάτων.

Με τα στοιχεία των πινάκων VI και XI προκύπτει $T_{\Delta} = 11,76 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Πίνακας 11: Θερμοκρασίες αέρα Δεσκάτης 2002 - 2006

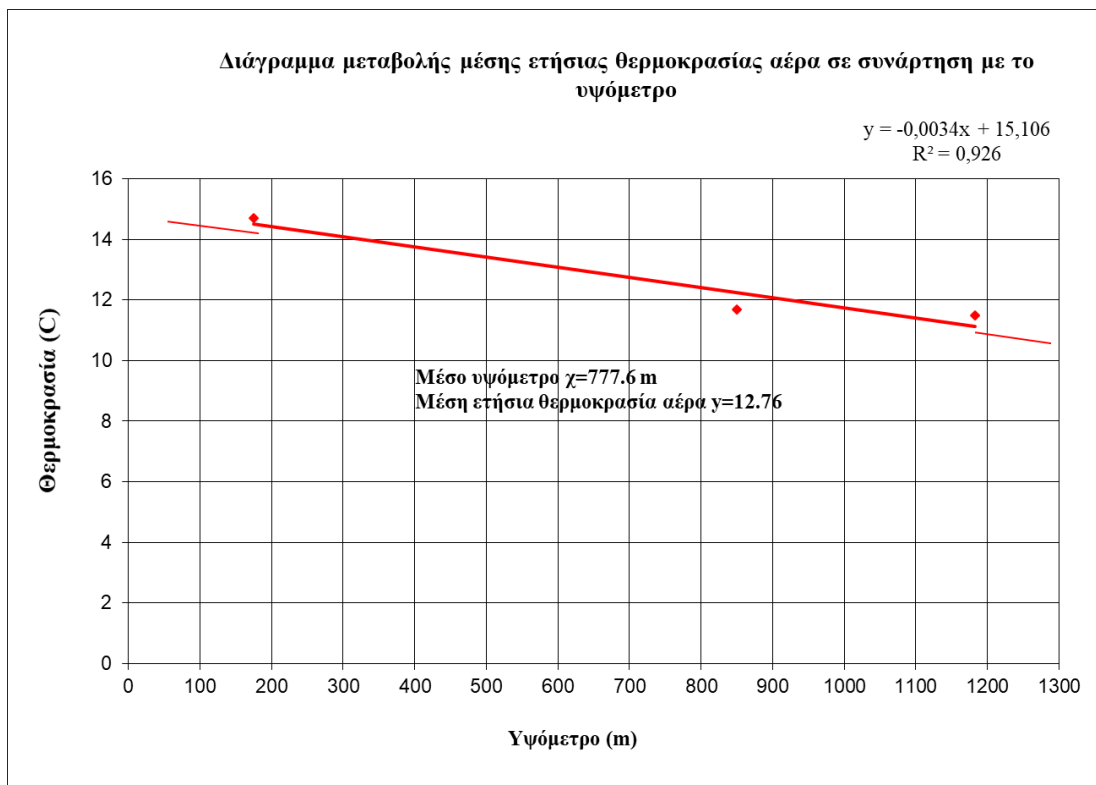
Πίνακας X															
ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ:				ΔΕΣΚΑΤΗ											
ΥΠΗΡΕΣΙΑ:															
ΥΨΟΜΕΤΡΟ:				850 μ											
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑ:				Μέσες Μηνιαίες Θερμοκρασίες σε °C											
ΕΤΟΣ	Ο	Ν	Δ	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	MIN	Μ.Ο	MAX
2002-2003	14.78	11.61	3.4	4.2	-2.1	3.9	7.6	17.4	20.6	23.6	22.7	16.7	-2.1	12.0	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 10: Θερμοκρασίες αέρα Λιβαδίου 1987 -2006

Πίνακας XI															
ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ:				ΛΙΒΑΔΙ											
ΥΠΗΡΕΣΙΑ:															
ΥΨΟΜΕΤΡΟ: 1183															
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑ:				Μέσες Μηνιαίες Θερμοκρασίες σε °C											
ΕΤΟΣ	Ο	Ν	Δ	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	MIN	Μ.Ο	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 12: Θερμοκρασίες αέρα Μαγουλά 1987 - 2006

Πίνακας XII															
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	Μ.Ο	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 13: Διάγραμμα μεταβολής μέσης ετήσιας Θερμοκρασίας αέρα σε συνάρτηση με το υψόμετρο.

Πίνακας 13: Μέσες μηνιαίες τιμές θερμοκρασίας αέρα στην λεκάνη απορροής.

	Ο	Ν	Δ	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ετήσιο
Λιβάδι	12,6	7,4	3,2	2,4	3,0	5,8	9,9	13,9	18,8	21,4	21,3	17,8	11,5
Μαγούλα	15,6	10,2	6,1	5,0	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	3,0	3,4	6,8	10,7	15,6	20,3	22,9	22,8	18,7	12,6
Μ.Ο Λεκάνης	13,9	8,6	4,3	3,0	3,4	6,8	10,6	15,6	20,3	22,9	22,8	18,7	12,6

6.5 Υπολογισμός του υδρολογικού ισοζυγίου και πλημμυρικών παροχών

Α. Υδρολογικό ισοζύγιο.

Οι μέθοδοι υπολογισμού που αξιοποιήθηκαν για τον υπολογισμό του υδρολογικού ισοζυγίου είναι η μέθοδος Turc (1951), η μέθοδος Coutagne και η μέθοδος Thornthwaite – Mather (1948) που αποτελούν τις πλέον αξιόπιστες.

Μέθοδος Turc (1951). Η μέθοδος αυτή υπολογίζει την πραγματική εξατμισοδιαπνοή E και με τη διαφορά ως προς τα κατακρημνίσματα είναι η ολική απορροή (=υπόγεια +επιφανειακή) που εξέρχεται από την έξοδο της λεκάνης, δηλ. τη θέση του φράγματος.

Ο τύπος του Turc είναι

$$E = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

Όπου E= πραγματική εξατμισοδιαπνοή

P= το μέσο ετήσιο ύψος κατακρημνισμάτων =605,1 mm

T= η μέση ετήσια θερμοκρασία αέρα =12,76 °C, όμως προτιμότερα χρησιμοποιείται η διορθωμένη τιμή T_Δ=11,76 °C.

Η εφαρμογή λοιπόν δίνει

$$E = 463,4 \text{ mm}$$

Άρα η ολική απορροή είναι Q = P – E = 605,1 - 463,4 =131,7 mm.

Αυτό σημαίνει 131.700 m³ ανά Km² επιφάνειας της λεκάνης.

Είδαμε ότι το εμβαδό της λεκάνης είναι $466,7 \text{ Km}^2$. Όμως λόγω γεωλογικής σύστασης (περατός ασβεστόλιθος στην περιοχή Ολύμπου και Καμβουνίου) ένα τμήμα της λεκάνης περίπου $60\text{-}70 \text{ Km}^2$ αποστραγγίζεται υπόγεια προς τα έξω. Άρα η «ενεργή» επιφάνεια της λεκάνης είναι περίπου 400 Km^2 . Επομένως η ολική απορροή είναι:

$$Q=131.700 \times 400=52.680.000 \text{ m}^3$$

Η μέθοδος του Coutagne είναι αντίστοιχη με αυτή του Turc και στηρίζεται στον τύπο :

$$E=P-\lambda P^2, \quad \lambda=\frac{1}{0,8+0,14T}$$

Όπου E = η πραγματική εξατμισιοδιαπνοή (σε mm)

P = το μέσο ετήσιο ύψος κατακρημνισμάτων (σε m)

T = η μέση ετήσια τιμή της θερμοκρασίας του αέρα εδώ $12,76 \text{ }^\circ\text{C}$, όμως χρησιμοποιείται συνήθως η διορθωμένη τιμή $T_\Delta= 11,74 \text{ }^\circ\text{C}$.

Η εφαρμογή του τύπου έδωσε $E=455,5 \text{ mm}$, άρα $Q=605,1-455,5=149,6 \text{ mm}$.

Τελικά προκύπτει ότι η μέση ετήσια ολική απορροή της λεκάνης είναι

$$Q=149.600 \times 400= 59.840.000 \text{ m}^3.$$

Τέλος έχουμε την μέθοδο του Thornthwaite – Mather (1948) η οποία είναι διαφορετική από τις δύο προηγούμενες και στον τύπο του Thornthwaite, που υπολογίζει την δυνητική εξατμισοδιαπνοή και είναι ο εξής:

$$E_\Delta=16\left(10\frac{T}{I}\right)^\alpha$$

Όπου E_Δ = η δυνητική εξατμισιοδιαπνοή (σε mm),

T = η μέση μηνιαία τιμή θερμοκρασίας αέρα

I = ο ετήσιος θερμικός δείκτης που είναι το άθροισμα των 12 μηνιαίων θερμικών δεικτών i :

$$I= \sum_{i=1}^{i=12} i, \quad i=\left(\frac{T}{5}\right)^{1,514}$$

και α παράμετρος

$$\alpha= 0,49239+1792 \cdot 10^{-5} I-771 \cdot 10^{-7} I^2+675 \cdot 10^{-9} I^3$$

Αφού βρούμε τις τιμές δυνητικής εξατμισοδιαπνοής για 12 μήνες, κάνουμε την παραδοχή ότι η αποθηκευτική ικανότητα του εδάφους είναι 100mm και λαμβάνοντας υπόψη τις μηνιαίες τιμές κατακρημνισμάτων, υπολογίζουμε την τελική ετήσια τιμή πραγματικής εξατμισοδιαπνοής E

$$E = 473,4 \text{ mm, επομένως}$$

$$Q = 131,7 \text{ mm}$$

Επομένως ο μέσος ετήσιος όγκος ολικής απορροής είναι περίπου

$$Q = 52.680.000 \text{ m}^3$$

Αντίθετα αν υποθέσουμε πως η αποθηκευτική ικανότητα του εδάφους είναι 80mm, τότε η μέση ετήσια ολική απορροή:

$$Q = 151.700 \times 400 = 60.680.000 \text{ m}^3$$

Επομένως υπολογίζουμε ότι ο μέσος ετήσιος όγκος της ολικής απορροής είναι από $52.680.000 \text{ m}^3$ έως $60.680.000 \text{ m}^3$. Η διαφοράς που προκύπτουν βρίσκονται εντός του αναμενόμενου σφάλματος και θεωρούμε ως πλέον αξιόπιστη τη μέθοδο Thornthwaite-Mather και δεχόμαστε ως μέση ολική ετήσια απορροή συντηρητικά

$$Q = 56.000.000 \text{ m}^3$$

Παρόλα αυτά επειδή υπάρχει πιθανότητα να υπάρχουν σφάλματα στα βροχομετρικά δεδομένα καθώς και στις μεθόδους, προκειμένου να κάνουμε συντηρητικούς υπολογισμούς δεχόμαστε ότι τουλάχιστον η απορροή είναι το 95% της πιο πάνω τιμής και παίρνοντας υπόψη και κάποια εξάτμιση, θεωρούμε ως πραγματική απολήψιμη ποσότητα

$$Q = 54.000.000 \text{ m}^3$$

B. Πλημμυρικές παροχές

Ο υπολογισμός των πλημμυρικών παροχών έγινε με βάσει αξιοπιστων εμπειρικών μεθόδων, καθώς από την έξοδο της λεκάνης δεν υπάρχουν μετρήσεις παροχής.

Οι πλέον αξιοπιστες μέθοδοι είναι αυτή του Fuller και του Giaddoti.

Η μέθοδος Fuller υπολογίζει την πλημμυρική παροχή Q_M από τον τύπο:

$$Q_M = Q_\mu (1 + 0,8T) \left(1 + \frac{2,66}{E^{0,3}}\right)$$

Όπου T = η περίοδος επανάληψης σε έτη

E = το εμβαδόν της λεκάνης απορροής

Q_μ = η πλημμυρική παροχή με περίοδο επανάληψης 1 έτος που δίνεται από τον τύπο

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

Η μέθοδος Giadotti υπολογίζει την πλημμυρική παροχή Q_M από τον τύπο

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

Όπου E = το εμβαδόν της λεκάνης απορροής

P_i = η ένταση της βροχής για το χρόνο συρροής t_c

R_s = ο συντελεστής της επιφανειακής απορροής κατά τη διάρκεια της έντονης βροχόπτωσης

Η ένταση της βροχής P_i εφόσον δεν υπάρχουν μακροχρόνια δεδομένα υπολογίζονται από τον τύπο

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

Ο χρόνος συρροής t_c , εφόσον δεν έχει μετρηθεί πειραματικά υπολογίζεται από τον τύπο

$$t_c = \frac{4\sqrt{E} + 1,5L}{0,8\sqrt{z}}$$

όπου L = το μήκος του μέγιστου μισχάγγειου (Km)

z = η υψομετρική διαφορά μεταξύ του μέσου υψομέτρου της λεκάνης (777,6 m) και του χαμηλότερου σημείου (282 m)

Η εφαρμογή των δύο αυτών μεθόδων για διάφορες περιόδους επανάληψης ($T=50, 100, 200$ έτη έδωσε τα αποτελέσματα του πιο κάτω πίνακα), τόσο για συντελεστή επιφανειακής απορροής $R=0,60$ όσο και $R=0,50$)

Με δεδομένο ότι όταν δημιουργηθεί τεχνητή λίμνη τότε λόγω «διόδευσης» της πλημμυρικής παροχής μέσα από αυτήν θα επέλθει μείωση της εκκρέουσας παροχής από τον υπερχειλιστή, θεωρούμε λογικό αυτός να έχει παροχευετικότητα $Q = 500 \text{ m}^3/\text{sec}$.

Πίνακας 14: Περίοδος επανάληψης πλημμυρικών παροχών και αναμενόμενες παροχές κατά Fuller & Giadotti.

Περίοδος Επανάληψης (Ετη)	Fuller $Q(\text{m}^3/\text{sec})$	Giadotti $Q(\text{m}^3/\text{sec})$ $R_s=0,4$	Giadotti $Q(\text{m}^3/\text{sec})$ $R_s = 0,55$
50	815.4	902.5	1240.8
100	898.6	1026	1410.7
200	981.8	1149.5	1580.6

6.6 Η λεκάνη κατάκλισης : γεωλογικά -γεωμορφολογικά στοιχεία

Α. Γεωλογικά στοιχεία

Σύμφωνα με τον γεωλογικό χάρτη (Σχήμα 14) , που συντέθηκε από παρατηρήσεις και εργασίες υπαίθρου στην περιοχή ενδιαφέροντος και στην ευρύτερη περιοχή της λεκάνης απορροής, προκύπτει ότι η γεωλογική σύσταση και δομή της λεκάνης αποτελείται από τους εξής γεωλογικούς σχηματισμούς:

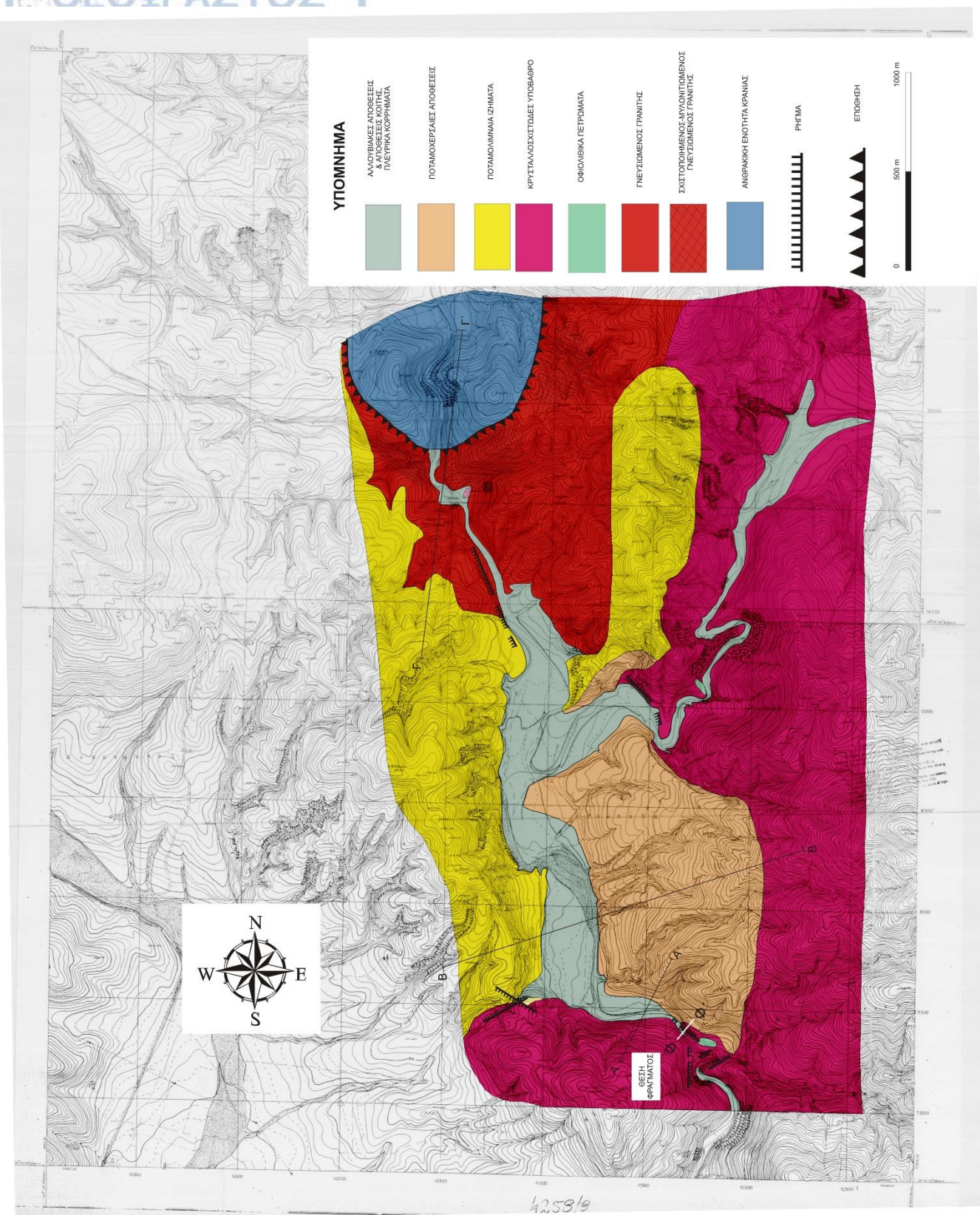
- **Πρόσφατες ποταμοχειμάρειες αποθέσεις** (ποτάμιες αποθέσεις κοίτης, φερτά υλικά). Πρόκειται για πρόσφατες φερτές αποθέσεις στην ευρεία κοίτη του ποταμού αλλά και κατά τόπους για αργιλικά καλύμματα. Αποτελούνται κυρίως από κροκάλες διαφόρων διαμέτρων, λίθους, χαλίκια, άμμους και σχετικά λίγη άργιλο. Το πάχος τους είναι λίγα μέτρα (2-10) και σε πολύ λίγα σημεία κατά τόπους μπορεί να είναι μέχρι 20-25 m. Κατά τόπους (κυρίως σε σημεία που απέχουν από την κοίτη του ποταμού) το επιφανειακό τμήμα είναι αργιλικό. Ο σχηματισμός σαν σύνολο είναι πάρα πολύ περατός.
- **Πλευρικά κορήματα-χερσαίες αποθέσεις-ποταμοχερσαία λατυποπαγή.** Η ηλικία τους είναι πιθανά κάτω Τεταρτογενής. Το πάχος τους κατά τόπους υπερβαίνει τα 50 ή και 80 m. Πρόκειται για χαλαρά ιζήματα που αποτελούνται από αργιλοαμμώδες υλικό και κροκάλες και λατύπες ποικίλης σύστασης (ασβεστολιθικές, γνευσιακές, σχιστολιθικές, χαλαζιτικές). Κατά θέσεις ο σχηματισμός αυτός περιέχει λίγη ή ελάχιστη άργιλο, ενώ σε άλλες περιέχει άργιλο σε μεγάλο ποσοστό. Σε ορισμένες θέσεις και κυρίως στο κατώτερο

τμήμα η διάμετρος των κροκαλών υπερβαίνει το 1 m, ώστε να εμφανίζονται με τη μορφή ολισθολίθων μεγάλων διαστάσεων. Ο σχηματισμός αυτός καταλαμβάνει κυρίως το ανατολικό τμήμα της λεκάνης κατάκλυσης και έχει μια μεταβαλλόμενη κατά τόπους περατότητα αντιστρόφως ανάλογα με το ποσοστό της αργίλου που περιέχει:

- **Ποταμολιμναία-ποταμοχειμάρεια ιζήματα.** Αποτελούνται κυρίως από μάργες, αργιλομάργες, αργιλοϊλύες, αργιλοψαμμίτες και περιλαμβάνουν ενδιαστρώσεις χαλαρών κροκαλοπάγων το πάχος των οποίων δεν υπερβαίνει το 0,5-1 m. Ο σχηματισμός αυτός καταλαμβάνει το δυτικό τμήμα της λεκάνης κατάκλυσης και έχει σημαντικό πάχος. Πρόκειται γενικά για σχηματισμό με πολύ μικρή περατότητα δηλ. που δεν παρουσιάζει πρόβλημα στεγανότητας. Υπάρχει πρόβλημα σχετικά με το ποια είναι η στρωματογραφική ή τεκτονική θέση του σχηματισμού αυτού ως προς τον αμέσως προηγούμενο. Από τις γεωτρήσεις, αλλά και από τις παρατηρήσεις υπαίθρου δεν διαπιστώθηκε κάτι το σαφές. Ίσως πρόκειται για πλευρική μετάβαση του ενός σχηματισμού προς τον άλλο, άλλα πιθανότατα τα ποταμολιμναία ιζήματα κατά ορισμένο τμήμα τους ή και εξ ολοκλήρου να είναι παλαιότερα από τα ποταμοχερσαία.
- **Κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο.** Αποτελείται από σχιστόλιθους, σχιστογενέσιους, χαλαζίτες, χαλαζιτικούς σχιστόλιθους, μαρμαρυγιακούς σχιστογενέσιους, μαρμαρυγιακούς σχιστόλιθους, αμφιβολιτικούς σχιστόλιθους. Φέρουν μέσα σώματα οφιολίθων, πλήρως σερπεντινωμένων. Έχουν ηλικία Παλαιοζωϊκή. Φέρουν γενικά πυκνό δίκτυο διακλάσεων. Η περατότητα τους είναι γενικά μικρή και φυσικά μειώνεται με το βάθος. Απαντούν κοντά στη ζώνη του φράγματος και σε ανάντι τμήματα της λεκάνης κατάκλυσης. Το στρωματογραφικό πάχος είναι πολύ μεγάλο. Το γεωμετρικό είναι σημαντικό, εκτός από τη ζώνη επαφής τους με τα πετρώματα της σειράς Κρανιας.
- **Γνευσιωμένος γρανίτης-γρανοδιορίτης.** Είναι οφθαλμοειδής και αποτελείται κυρίως από αλκαλιούχους άστριους, πλαγιόκλαστα και βιοτίτη. Ιδιαίτερο χαρακτηριστικό του πετρώματος αποτελεί η διάτρηση κατά τόπους της πρωταρχικής γρανιτικής υφής καθώς και η ανάπτυξη, αντίθετα, πολλών ζωνών έντονης σχιστοποίησης και μυλωνιτίωσης (βρίσκεται κοντά στην τεκτονική επαφή με τους ασβεστόλιθους της σειράς Κρανιας). Πρόκειται για στεγανό σχηματισμό.

Εμφανίζεται ως μια ζώνη σχιστοποίησης-μυλωνιτώσης με πλάτος περίπου 100 m κοντά στην ανθρακική σειρά κρανιάς την οποία επιπτεύει.

- **Όξινες πλουτωνικές παρεμβολές**, λευκοκρατικές, γρανιτικής σύστασης. Πρόκειται για μαζώδη πετρώματα λεπτόκοκκα ως αδρόκοκκα, ελάχιστα ή καθόλου σχιστοποιημένα. Αποτελούνται από λευκοκρατικό χαλαζιο-αστριούχο υλικό και λιγότερο από λευκό μαρμαρυγία και τοπικά μόνο βιοτίτη. Πρόκειται για στεγανό σχηματισμό. Κατά τόπους είναι γνευσιωμένος γρανίτης.
- **Ανθρακική σειρά Κρανιάς**. Αποτελείται από ασβεστόλιθους Τριαδικο-Ιουρασικούς. Αναπτύσσεται στην ευρύτερη περιοχή Κεφαλόβρυσου-Κρανιάς και στη λεκάνη κατάκλυσης που εξετάζουμε απαντάται μόνο στο ανάντι τμήμα στον ένα από τους δύο κύριους κλάδους που δημιουργούν το Βούλγαρη. Ως σύνολο η ενότητα Κρανιάς αποτελείται από δύο ενότητες: μια από λεπτοπλακώδη και λεπτόκοκκα σκοτεινόχρωμα ασβεστολιθικά μάρμαρα που συχνά μεταξύ των ανθρακικών στρωμάτων περιλαμβάνουν λεπτές ενστρώσεις τεφροπράσινου αργιλικού υλικού και μια από παχυστρωματώδη έως μαζώδη μεσόκοκκα που αποτελούν το βαθύτερο ορίζοντα και μεταβαίνουν βαθμιαία χωρίς σαφή όρια προς την προηγούμενη ενότητα. Η δεύτερη αυτή ενότητα είναι που εμφανίζεται στο ακραίο ανάντι τμήμα της λεκάνης. Ολόκληρη η ανθρακική σειρά κρανιάς είναι περατή, περισσότερο μάλιστα η δεύτερη ενότητα της που απαντά στη λεκάνη κατάκλυσης και γι' αυτό δημιουργεί κάποιο πρόβλημα στεγανοποίησης στο μέρος που εμφανίζεται.

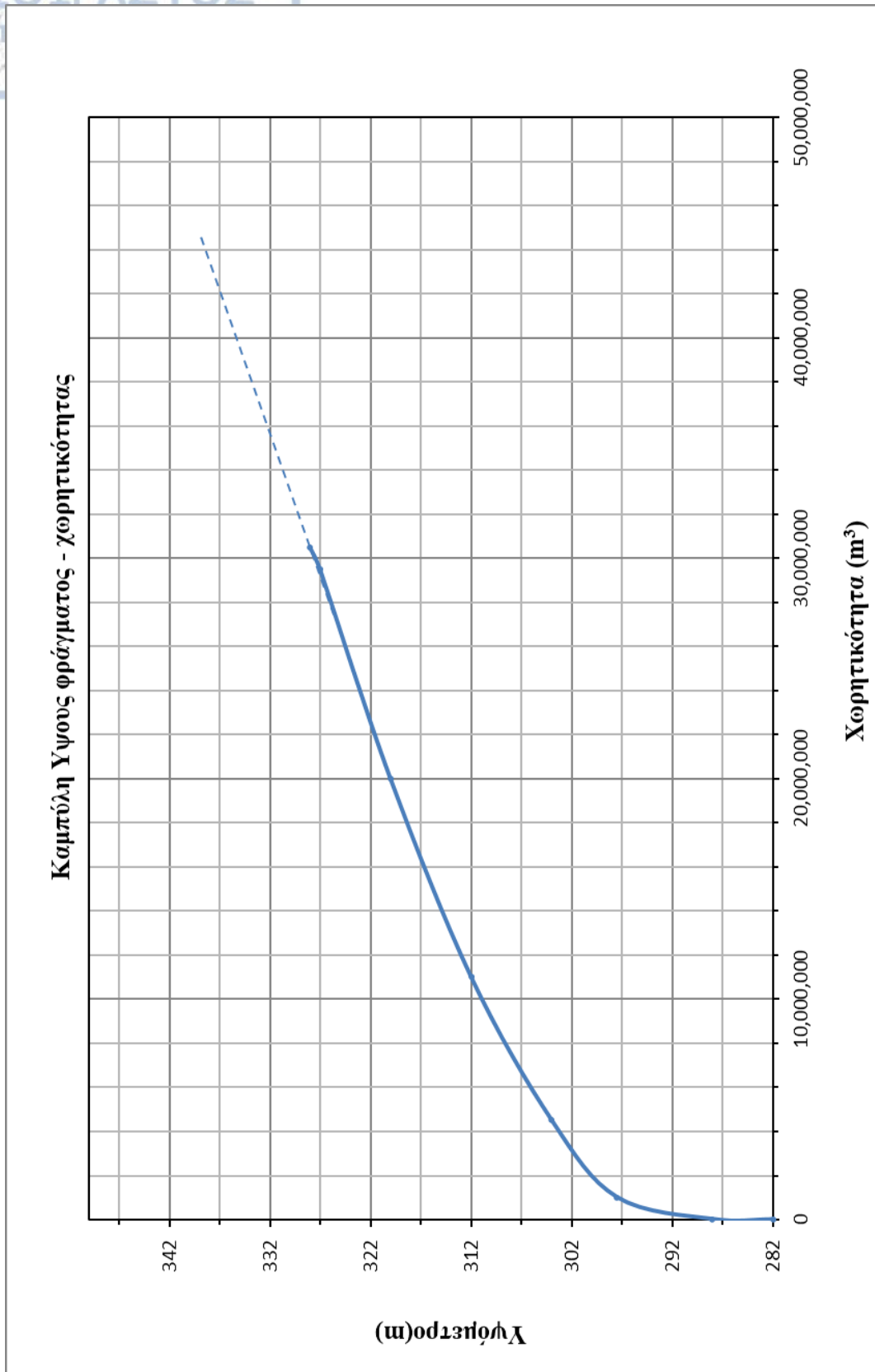


Σχήμα 14: Γεωλογικός χάρτης της λεκάνης απορροής. Οι Συντεταγμένες είναι σε HATT Αθηνών.

Για την προτεινόμενη θέση φράγματος η γεωμορφολογία της περιοχής κοντά στο έργο είναι μια από τις καταλληλότερες για τέτοιου είδους υδρομαστευτικά έργα, καθώς με την ανύψωση ενός χαμηλού σχετικά φράγματος μπορούν να αποθηκευτούν μεγάλοι όγκοι νερού μέσα στη λεκάνη κατάκλισης. Στο (Σχήμα 15), φαίνεται η καμπύλη υψομέτρου στέψης (άρα και ύψους) φράγματος (h) – χωρητικότητας (V) αλλά αντιστοίχως και έκτασης της κατακλυζόμενης επιφάνειας E . Η καμπύλη αυτή χαράχθηκε ύστερα από μετρήσεις σε χάρτες του Γ.Υ.Σ κλίμακας 1:5000 με ισοδιάσταση ανά 4 m.

Λόγω του ότι πρόκειται για μια εσωποτάμια λιμνοδεξαμενή το ύψος του φράγματος θα είναι αρκετά μικρό και το νερό θα μπορεί να το υπερπηδά όταν η στάθμη του ξεπεράσει το ύψος της στέψης του φράγματος. Λόγω αυτού δεν υπάρχουν θέματα τοποθέτησης κάποιου υπερχειλιστή στην περιοχή. Επιπλέον λόγω των μικρών υδατικών αναγκών που έχει να καλύψει το παρόν έργο το ύψος του φράγματος θα είναι μικρό επομένως η έκταση του ταμιευτήρα θα είναι και αυτή μικρή οπότε δεν θα φτάνει στα ανθρακικά σώματα της ενότητας της Κρανία στο Βορρά εξασφαλίζοντας την στεγανότητα του ταμιευτήρα.

Επομένως συμπερασματικά από τα παραπάνω, τα γεωμορφολογικά στοιχεία της λεκάνης κατάκλυσης είναι ικανοποιητικά.



Σχήμα 15: Καμπύλη Υψους φράγματος – χωρητικότητας.

Είναι γενικά γνωστό ότι κατά την κίνηση του νερού προς τα κατάντι το νερό μεταφέρει και στερεά υλικά (κροκάλες, άμμο, ιλύ, άργιλο) σε διάφορα μεγέθη και ποσότητες, ανάλογα πάντα με την δυναμική του νερού. Ένα από τα πιο σημαντικά προβλήματα που συναντάμε στα φράγματα, μικρά και μεγάλα, είναι η μεταφορά και απόθεση φερτών υλικών που παράγονται κατά την αποσάθρωση των σχηματισμών ανάντι του έργου. Η απόθεση των υλικών αυτών μπορεί να επηρεάσει αισθητά την ενεργή χωρητικότητα ενός ταμιευτήρα, καθώς ο όγκος που πριν τον καταλάμβανε νερό πλέον τον καταλαμβάνουν ιζήματα. Επομένως είναι σημαντικό να υπολογίσουμε, αν είναι εφικτό, τον όγκο των φερτών υλικών που μπορούν να κατέβουν στην λεκάνη κατάκλυσης σε συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα, και αν δεν είναι τουλάχιστον να κάνουμε μια εκτίμηση για τον όγκο αυτόν, με σκοπό να μην μειωθεί δραστικά η χωρητικότητά της λίμνης κατά τη διάρκεια ζωής του έργου.

Οι παράγοντες που καθορίζουν τον όγκο των φερτών υλικών σε σημείο μια λεκάνης είναι οι εξής:

- ❖ **Λιθολογική σύσταση της λεκάνης.** Κάποιο γεωλογικοί σχηματισμοί είναι πιο ευδιάβρωτοι (π.χ. φλυσχης, μάργες, χαλαροί σχιστόλιθοι και αργιλλικοί σχηματισμοί) από άλλους με αποτέλεσμα να δίνουν πολλά φερτά υλικά. Ενώ σχηματισμοί όπως το μάρμαρο, τα πυριγενή και μεταμορφωμένα πετρώματα (π.χ. γνεύσιος κ.λ.π.) διαβρώνονται δυσκολότερα και παράγουν λιγότερα φερτά υλικά. Επομένως στην λεκάνη μας τριγύρω συναντάμε κυρίως κρυσταλλοσχιστόδη σχηματισμούς οπότε περιμένουμε να δίνουν λίγα φερτά υλικά.
- ❖ **Φυτοκάλυψη.** Η ύπαρξη φυτοκάλυψης στο εσωτερικό ή κατά μήκος ενός υδρορέματος βοηθάει πολύ στην αποτροπή της διάβρωσης και τις δημιουργίας φερτών υλικών. Στην εξεταζόμενη λεκάνη στο μεγάλο τμήμα της και ιδίως εκεί που έχει μεγάλες κλίση συναντάμε θαμνώδη και δενδρώδη βλάστηση.
- ❖ **Η μέση κλίση του εδάφους.** Αυτή στην εξεταζόμενη λεκάνη είναι μεγάλη. Όμως είναι πολύ μεγαλύτερη εκεί που υπάρχει έντονη βλάστηση και δυσδιάβρωτοι σχηματισμοί και μικροί στις ευδιάβρωτες περιοχές.

❖ **Ετήσιο ύψος και ένταση των κατακρημνισμάτων.** Φυσικό είναι ότι οι συχνές και ισχυρές βροχοπτώσεις βοηθάνε στην διάβρωση των σχηματισμών. Παρόλα αυτά οι βροχοπτώσεις στην περιοχή είναι μεσαίου ύψους και μικρής έντασης.

❖ **Ύπαρξη θέσεις απόθεσης φερτών υλικών πριν από το εξεταζόμενο σημείο.** Πραγματικά στην εξεταζόμενη λεκάνη, στο ανάντι ευδιάβρωτο τμήμα της, υπάρχει πεδινό, σχεδόν οριζόντιο τμήμα. Εκεί κατακρατούνται και αποτίθενται φερτά υλικά.

Φυσικά τα φερτά υλικά στην θέση του φράγματος δεν είναι εντελώς αμελητέα. Λόγω έλλειψης μετρήσεων δεν μπορούμε να υπολογίσουμε με ακρίβεια τον όγκο των φερτών υλικών εντός της λεκάνης κατάκλυσης, αλλά μπορούμε να εκτιμήσουμε τα ποσά αυτά, όσο γίνεται πιο κοντά στην πραγματικότητα, από δεδομένα που προκύπτουν από ήδη υπάρχοντα φράγματα της περιοχής. Η εκτίμηση που θα γίνει έχει μια πιθανότητα να μην επαληθεύεται, παρόλο αυτά η εκτίμηση είναι αναγκαία να γίνει για να επιτευχθούν στην συνέχεια διάφοροι υπολογισμοί. Έτσι με βάση τα πιο πάνω θεωρούμε ότι στη θέση του φράγματος θα φθάνουν φερτά υλικά της τάξης των $200 \text{ m}^3/\text{έτος Km}^2$. Με δεδομένο ότι η επιφάνεια της λεκάνης απορροής είναι περίπου 468 Km^2 τότε ο ετήσιος όγκος των φερτών υλικών θα είναι περίπου 90.000 m^3 , δηλ. με μια δεκαετία θα έχουμε περίπου 900.000 m^3 και σε μια εικοσαετία περίπου $1.800.000 \text{ m}^3$. Αν οι τιμές που δίνουμε αποδειχθούν μικρότερες από τις πραγματικές δεν θα δημιουργείται πρόβλημα. Αν όμως είναι μεγαλύτερες τότε (αλλά επίσης και στην προηγούμενη περίπτωση) υπάρχει δυνατότητα κατασκευής ανάντι μικροφραγμάτων τα οποία θα κατακρατούν τα φερτά υλικά. Σε ότι αφορά τους υπολογισμούς ωφέλιμων όγκων κ.λ.π. νομίζουμε ότι μπορεί να θεωρηθεί ως αδρανής όγκος περίπου 400.000 m^3 (για τα φερτά υλικά) του ταμιευτήρα.

6.8 Υπολογισμός ύψους του φράγματος.

Από τους υπολογισμούς που κάναμε για το υδρολογικό ισοζύγιο της λεκάνης καταλήξαμε ότι η μέγιστη ποσότητα νερού που μπορούμε να πάρουμε κάθε έτος με τη δημιουργία ενός ταμιευτήρα είναι $54.000.000 \text{ m}^3$

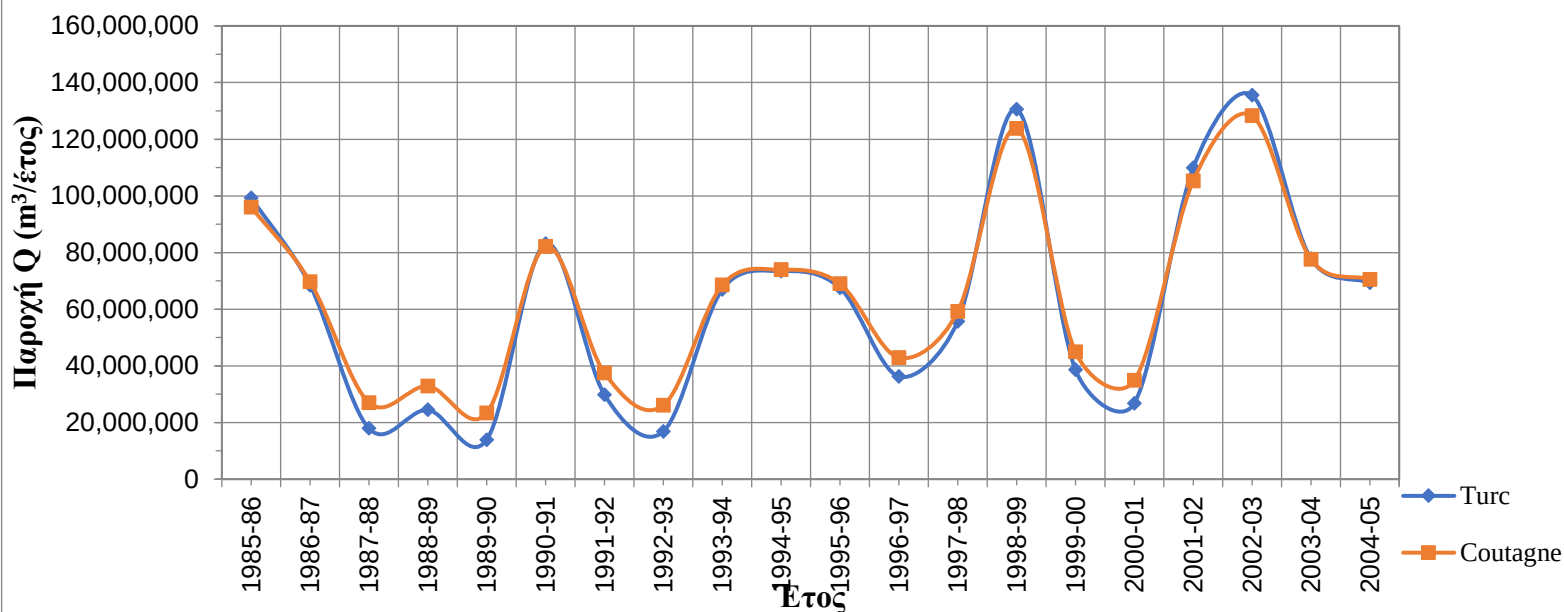
Αν εξετάσουμε κάθε έτος χωριστά μπορεί να έχει πολύ περισσότερα ή πολύ λιγότερα. Έτσι με βάση τα δεδομένα των κατακρημνισμάτων και της θερμοκρασίας (υποκεφάλαιο 6.4) εφαρμόσαμε τις μεθόδους Turc και Coutagne για τα τελευταία 20 έτη. Στον (Πίνακα 15), έχουμε τις ετήσιες ολικές απορροές και στο (Σχήμα 16) το αντίστοιχο διάγραμμα. Βλέπουμε ότι η

ελάχιστη ολική απορροή μπορεί να είναι περίπου μόλις 14.000.000 m³ και μάλιστα για δύο συνεχόμενες χρονιές και η μέγιστη να είναι 135.000.000 m³.

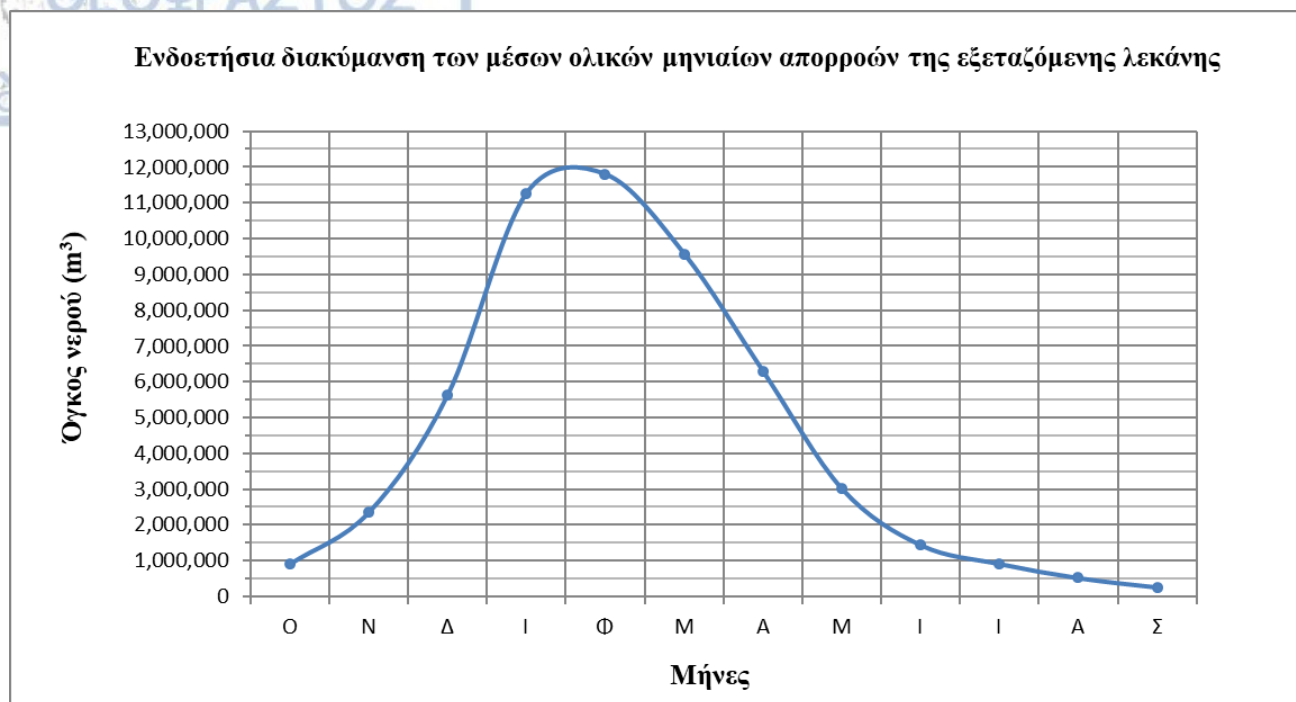
Πίνακας 15: Ετήσια ολική απορροή της εξεταζόμενης λεκάνης με τις μεθόδους Turc και Coutagne..

Έτος	P (mm)	Μέθοδος Turc			Μέθοδος Coutagne		
		E (mm)	Q (mm)	Q(m ³)	E (mm)	Q (mm)	Q(m ³)
1985-86	765.9	517.6	248.3	99,328,900	525.84	240.06	96,022,722
1986-87	652.6	481.6	171.0	68,409,255	478.31	174.29	69,714,644
1987-88	406.3	361.5	44.8	17,905,134	338.74	67.56	27,022,375
1988-89	447.9	386.8	61.1	24,451,868	365.80	82.10	32,839,157
1989-90	377.7	342.8	34.9	13,941,532	319.32	58.38	23,351,987
1990-91	708.3	500.5	207.8	83,134,833	502.99	205.31	82,122,915
1991-92	478.4	403.9	74.5	29,815,825	384.74	93.66	37,463,834
1992-93	399.1	356.9	42.2	16,865,341	333.92	65.18	26,073,140
1993-94	646.9	479.5	167.4	66,959,369	475.64	171.26	68,502,146
1994-95	672.1	488.5	183.6	73,451,805	487.24	184.86	73,943,102
1995-96	649.1	480.3	168.8	67,517,659	476.68	172.42	68,968,867
1996-97	512.0	421.4	90.6	36,248,398	404.72	107.28	42,911,115
1997-98	601.0	461.7	139.3	55,704,064	453.18	147.82	59,126,044
1998-99	869.6	543.2	326.4	130,551,934	560.14	309.46	123,785,261
1999-00	523.7	427.2	96.5	38,611,595	411.46	112.24	44,894,695
2000-01	461.4	394.5	66.9	26,768,757	374.28	87.12	34,848,578
2001-02	801.9	527.2	274.7	109,890,440	538.75	263.15	105,261,681
2002-03	885.3	546.6	338.7	135,478,066	564.56	320.74	128,295,317
2003-04	688.7	494.1	194.6	77,841,641	494.60	194.10	77,640,807
2004-05	656.2	482.9	173.3	69,330,658	479.99	176.21	70,485,913

Διάγραμμα διακύμανσης ολικού όγκου ετήσιας παροχής



Σχήμα 16: Διάγραμμα διακύμανσης όγκου ετήσιας απορροής της εξεταζόμενης λεκάνης κατά τη χρονική περίοδο 1985-2005



Σχήμα 17: Ενδοετήσια διακύμανση των μέσων ολικών μηνιαίων απορροών της εξεταζόμενης λεκάνης.

Για να βρούμε πόση πρέπει να είναι η χωρητικότητα άρα και ύψος του φράγματος ώστε να παίρνουμε κάθε χρόνο $10.000.000 \text{ m}^3$, εφαρμόσαμε τη μέθοδο των «διπλών μαζών»:

- Θεωρήσαμε ότι ξεκινάμε με αρχικά πλήρη την τεχνητή λίμνη.
- Θεωρήσαμε ότι μπορούμε να έχουμε μια αλληλουχία υδρολογικών ετών που οι απόρροιες να είναι ανάλογες με αυτές του (Πίνακα 15).
- Με βάση την εφαρμογή της μεθόδου του Thorthwaite-Mather με τον μέσο όρο της εικοσαετίας προέκυψε ο (Πίνακας 16) και το διάγραμμα του (Σχήματος 17) δηλ. ο ρυθμός εισροών νερού στην τεχνητή λίμνη.
- Με βάση τα δεδομένα από την παραγωγή νερού από την Δ.Ε.Υ.Α.Λ. κατά τα έτη 2001-06 προέκυψε το ποσοστό για κάθε μήνα, (Πίνακας 17).

Με βάση αυτά εφαρμόσαμε ένα λογισμικό με το οποίο εκκινώντας από πλήρη τεχνητή λίμνη υπολογίζουμε με βάση τις εισροές και εκροές πόση έπρεπε να ήταν η χωρητικότητα της τεχνητής λίμνης, ώστε να είναι δυνατή ορισμένη ετήσια παραγωγή νερού (μέχρι $10.000.000 \text{ m}^3$ που είναι το ανώτατο όριο). Από την χωρητικότητα της λίμνης με βάση την καμπύλη του (Σχήματος 15) υπολογίζουμε το αντίστοιχο ύψος φράγματος.

Πίνακας 16: Μέσες μηνιαίες απορροές της εξεταζόμενης λεκάνης

Μήνας	Απορροή κατά Thornthwaite (m ³)	Ποσοστό % επί της συνολικής απορροής
Ο	918,000	1.70
Ν	2,359,800	4.37
Δ	5,637,600	10.44
Ι	11,269,800	20.87
Φ	11,793,600	21.84
Μ	9,568,800	17.72
Α	6,291,000	11.65
Μ	3,013,200	5.58
Ι	1,441,800	2.67
Ι	918,000	1.70
Α	523,800	0.97
Σ	264,600	0.49
Σύνολο	54,000,000	100

Πίνακας 17: Ποσοστά της μηνιαίας παραγωγής νερού για τα έτη 2001-2006 (στοιχεία Δ.Ε.Υ.Α.Α)

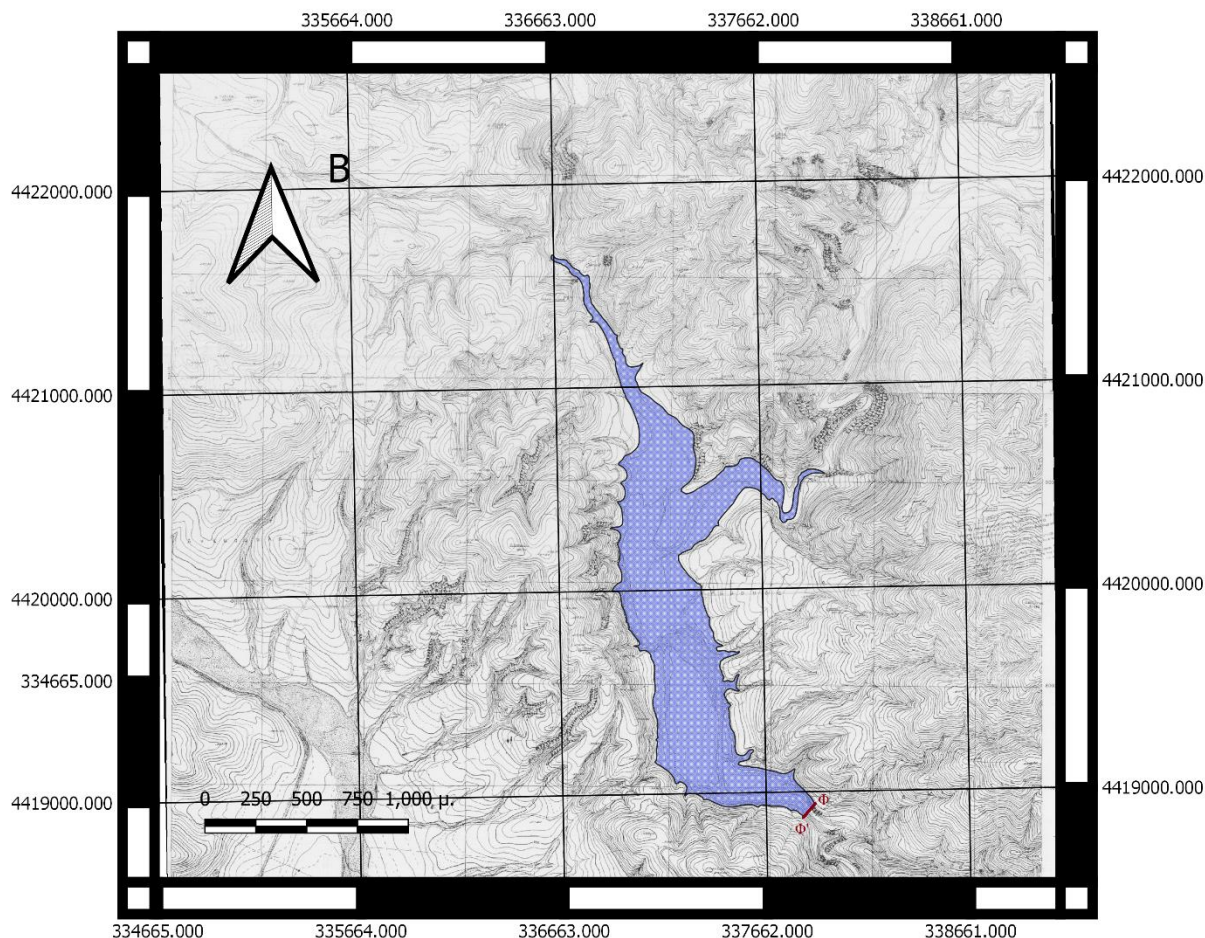
Μήνας	Ποσοστό % επί της συνολικής ετήσιας εκροής
Ο	8,41
Ν	7,76
Δ	7,95
Ι	8,07
Φ	7,32
Μ	8,15
Α	7,93
Μ	8,66
Ι	9,10
Ι	9,16
Α	8,83
Σ	8,67

Η σκοπιμότητα του έργου είναι να προσφέρει νερό για άρδευση στις γειτονικές από αυτό πεδιάδες. Οι περιοχές αυτές θέλουν να καλλιεργήσουν βαμβάκι, το οποίο αποτελεί μια υδροβόρα καλλιέργεια και οι απαιτήσεις της για νερό στην περιοχή της Θεσσαλίας ανέρχεται από 165 έως 385 m³ ανα στρέμμα (Τόλης, 1990, Χλιχλιας και Κατσαμπή – Ζημάκα 1968). Εμείς θέλουμε να καλύψουμε τις ανάγκες συνολικά 6960 στρεμμάτων βαμβακιού.

Παίρνοντας ως μοναδική τιμή την μεγαλύτερη πιθανή ανάγκη για νερό στο στρέμμα (385 m³) καταλήγουμε ότι για την άρδευση ολόκληρης της έκτασης κατά την καλλιέργεια του βαμβακιού θα χρειαστούμε να παρέχουμε ετήσιος 2.679.600 m³ για την πλήρη κάλυψη των αναγκών των τριγύρω περιοχών. Επομένως εμείς κρίνουμε σκόπιμο η λιμνοδεξαμενή να έχει χωρητικότητα 10.000.000 m³ ώστε να αποφευχθούν οποιαδήποτε σενάρια αδυναμίας του έργου να καλύψει τις ανάγκες της περιοχής.

Λόγω της μορφολογίας της λεκάνης κατάκλισης τα ποσά αυτά μπορούμε να τα πάρουμε με ένα σχετικά χαμηλό φράγμα και οι ποσότητες που θα αποθηκεύονται θα είναι υπεραρκετές για να καλύψουν οποιαδήποτε υδατική έκτακτη ανάγκη προκύψει στο μέλλον.

Σύμφωνα με όλα τα παραπάνω για καταφέρουμε να αποθηκεύσουμε 10.000.000 m³ το ύψος του φράγματος θα πρέπει να είναι 22 m και επομένως η ανώτατη στάθμη που θα έχει το φράγμα θα είναι 310 m, στο (Σχήμα 18) δίνεται το ανώτερο όριο της τεχνητής λίμνης που συμπίπτει με την ισοϋψη των 310 m. Από ότι φαίνεται η τεχνητή λίμνη δεν πλησιάζει στην ανθρακική σειρά Κρανίας οπότε δεν θα υπάρξουν θέματα στεγανότητας και απώλειας νερού εντός της λεκάνης. Επιπλέον από τα υδρολογικά δεδομένα δεν φαίνεται το έργο να αντιμετωπίζει κάποιο πρόβλημα παροχής και θα είναι σε θέση να εξασφαλίζει τα 10.000.000 m³ ετησίως. Πρόβλημα μπορεί να υπάρξει με την μεταφορά και απόθεση των στερεών υλικών καθώς μέσα σε μια εικοσαετία μπορεί, σύμφωνα με τις εκτιμήσεις να ελαττώσει την χωρητικότητα του ταμιευτήρα κοντά 2.000.000 m³ οπότε ωφέλιμο θα ήταν ανά 20 χρόνια η λιμνοδεξαμενή να αδειάζει και να καθαρίζεται η λεκάνη κατάκλισης της για να συντηρείται η καλή λειτουργία της.



Σχήμα 18: Απεικόνιση της λεκάνης κατάκλυσης (λιμνοδεξαμενή) και η οριοθέτηση της στο χώρο. Συντεταγμένες σε ΕΓΣΑ 87.

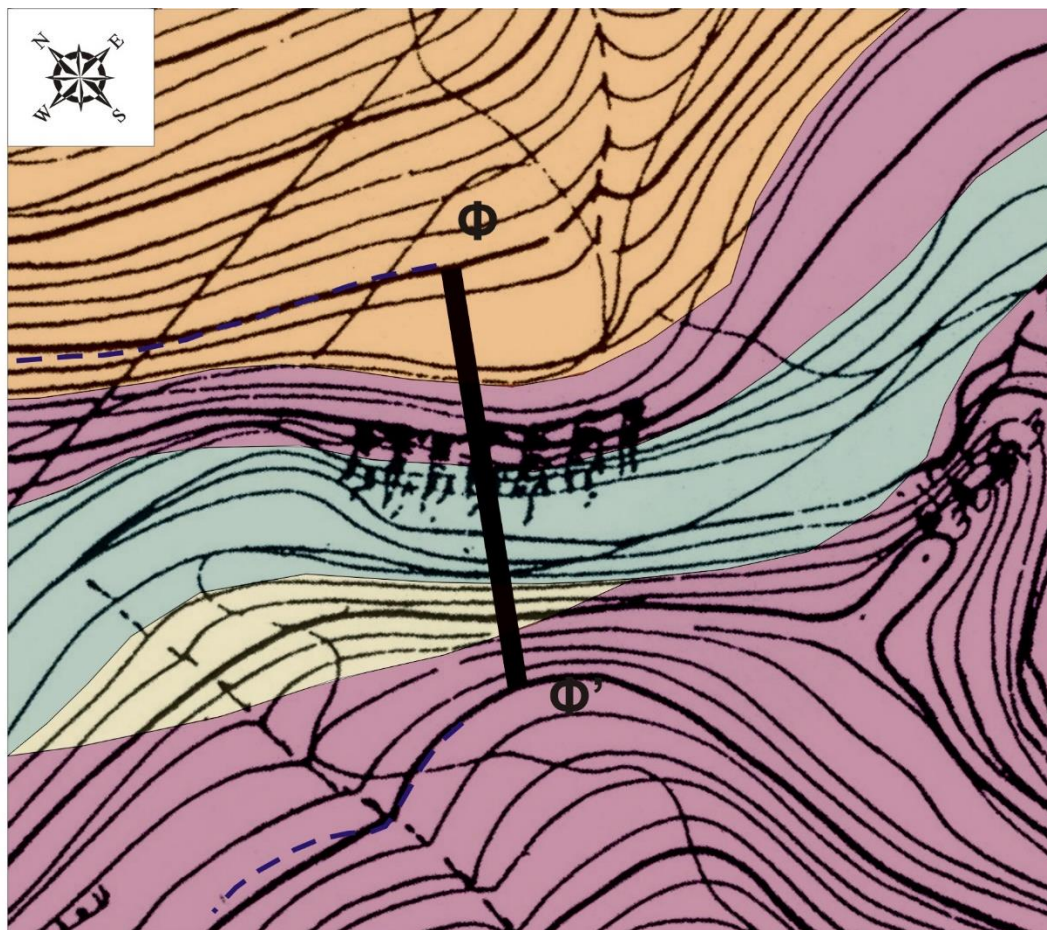
6.9 Ζώνη – Άξονας του φράγματος

Στο (Σχήμα 19) δίνεται ο γεωλογικός χάρτης της ζώνης του φράγματος.

Φαίνεται λοιπόν ότι γεωλογικά συνίσταται από τους εξής σχηματισμούς:

- **Σχιστόλιθοι-σχιστογενέσιοι.** Λιθολογικά συνίστανται από μαρμαρυγιακούς-χαλαζιακούς σχιστόλιθους, μαρμαρυγιακούς-αμφιβολιτικούς σχιστόλιθους, μαρμαρυγιακούς-χαλαζιακούς σχιστογενέσιους, σχιστώδη πρασινόγκριζα πετρώματα με μεγάλη αντοχή σε θλίψη. Αδιαπέρατα. Παλαιοζωϊκό (;).
- **Ποταμοχερσαίες αποθέσεις.** Αργίλο-αμμώδη, υλικά ασύνδετα ή σπάνια χαλαρά συνδεδεμένα με κροκάλες διαφόρων μεγεθών ενίοτε και με λίθους με μεγάλη διάμετρο (έως και 2 m). Μόνο στους χαμηλότερους ορίζοντες εμφανίζουν κάποιες στρώσεις, συνήθως είναι άστρωτα. Ημιπερατά-έως αδιαπέρατα. Πλειο-πλειστόκαινο.

- **Πλευρικά κορήματα.** Αποσαθρώματα βράχων, τεμάχια πετρωμάτων, λατύπες με αργιλικό υλικό. Έχουν μικρό πάχος (1-3 m). Διαπερατά. Πλειστόκαινο.
- **Αποθέσεις κοίτης-φερτά υλικά.** Άμμος, άργιλοι, αμμοάργιλοι, χαλίκια, λίγες κροκάλες. Έχουν μικρό πάχος (0,5-3 m). Διαπερατά. Πλειστόκαινο.



0 100
Μέτρα

ΥΠΟΜΝΗΜΑ

	Αποθέσεις κοίτης (άμμοι, χαλίκια, κροκάλες, άργιλλοι) Τεταρτογενές		Άξονας του φράγματος
	Πλευρικά κορήματα (κροκάλες, λίθοι, χαλίκια, λατύπες, άργιλλοι) Τεταρτογενές		Όριο λεκάνης κατάκλυσης
	Ποταμοχειμάρριες αποθέσεις (κροκάλες, λίθοι, λατύπες, άμμοι, χαλίκια, άργιλλοι) Πλείο-Πλειστόκαινο		
	Κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο (Χαλαζιακός, σχιστόλιθοι, χαλαζίτες, αμφιβολίτες) Παλαιοζωικό		

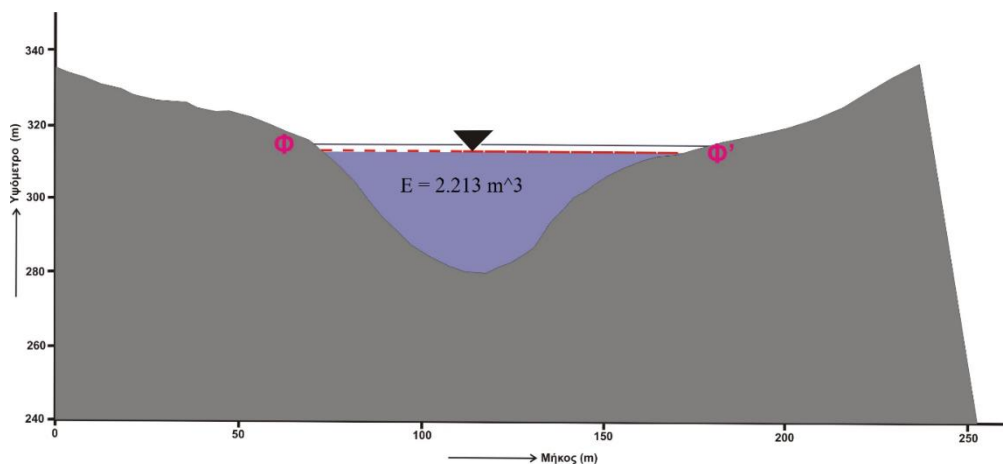
Σχήμα 19: Γεωλογικός χάρτης στην κλίμακα της ζώνης του φράγματος.

Η ζώνη παρουσιάζει μικρό-ρήγματα που σημειώνονται στο χάρτη και ρωγματώσεις. Τεχνικογεωλογικά έχει ζώνη έντονης χαλάρωσης, ζώνη με κατακλαστικά φαινόμενα και ζώνη κατάκλασιτών. Αυτό όμως θα μας απασχολήσει περαιτέρω κατά την μελέτη κατασκευής.

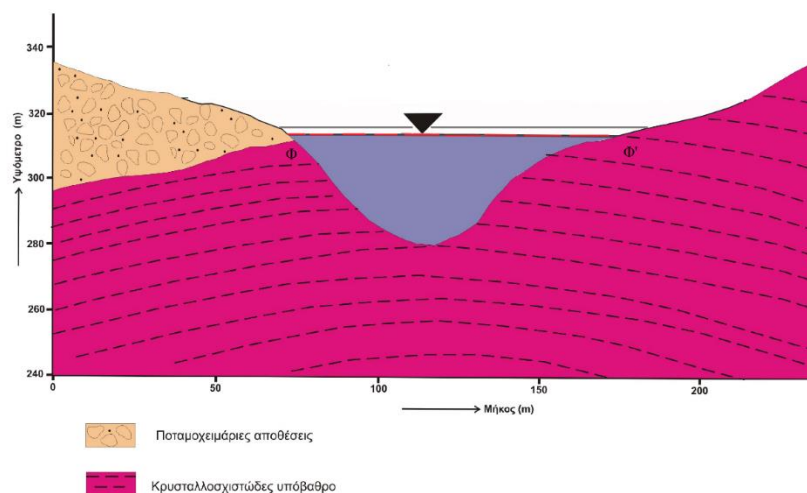
Η προτιμότερη θέση του φράγματος φαίνεται ότι είναι η Φ-Φ' όπως σημειώνεται στο γεωλογικό χάρτη.

Η μορφολογική τομή κατά μήκος του άξονα δίνεται στο (Σχήμα 20) φαίνεται σε αυτή ότι η διατομή του φράγματος στον άξονα είναι 2.213 m^2 , μέχρι τη στέψη του φράγματος. Για φράγμα ύψους 22 m η διατομή είναι πολύ μικρή «στενή». Αυτό σε συνδυασμό με τη γεωμορφολογία της λεκάνης κατάκλυσης που εκφράζεται από την καμπύλη ύψους φράγματος-χωρητικότητα, (Σχήμα 15), σημαίνει ότι η θέση είναι πάρα πολύ καλή έως άριστη.

Η γεωλογική τομή κατά μήκος του άξονα δίνεται στο (Σχήμα 21).



Σχήμα 21: Γεωμορφολογική διατομή κατά μήκος του άξονα του φράγματος.



Σχήμα 20: Ενδεικτική γεωλογική τομή στην θέση του φράγματος.

Ακολουθούν φωτογραφίες από το πεδίο:



Σχήμα 22: Λεκάνη κατάκλυσης. Στο βάθος απεικονίζεται και η προτεινόμενη θέση φράγματος.



Σχήμα 23: Θέση και όρια του φράγματος



Σχήμα 24: Ρήγμα και επαφή ανάμεσα στις ποταμοχερσαίες αποθέσεις και το υπόβαθρο.

Κεφάλαιο 7^ο : Συμπεράσματα.

Σύμφωνα με όλα όσα ειπώθηκαν παραπάνω μπορούμε εύκολα να συμπεράνουμε τα παρακάτω:

- Οι λιμνοδεξαμενές αποτελούν ταμιευτήρες νερού, μικρού συνήθως μεγέθους, που κατασκευάζονται είτε εντός, με την μορφή μικρών φραγμάτων, είτε εκτός της κοίτης ενός χειμάρρου σε τεχνικά διαμορφωμένες κοιλότητες. Οι εξωποτάμιες λιμνοδεξαμενές συνοδεύονται και από κάποια απαραίτητα για την λειτουργία τους έργα όπως το φράγμα εκτροπής στην κοίτη του χειμάρρου, τον αγωγό μεταφοράς του νερού και φυσικά τον κύριο ταμιευτήρα.
- Κατά την μελέτη κατασκευής μιας λιμνοδεξαμενής πρέπει να εξετάζονται σε βάθος οι τεχνικογεωλογική παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται η καλή λειτουργία του έργου. Οι παράμετροι αυτοί συσχετίζονται με τις ιδιότητες της λεκάνης απορροής (εύρεση συνολική απορροής λεκάνης, ανάλυση υδρογραφικού δικτύου κ.α.) και με τα γεωλογικά και μορφολογικά χαρακτηριστικά των υποψήφιων θέσεων κατασκευής του έργου (κλίσεις μορφολογίας, αντοχή και στεγανότητα σχηματισμών σε συγκεκριμένα βάθη, εύρεση δανειοθαλάμων και αποθεσιοθαλάμων κ.α.).
- Κατά την μελέτη μια υποψήφιας θέσης κατασκευής μια λιμνοδεξαμενής θα πρέπει να εξετάζονται οι εδαφοτεχνικές ιδιότητες των σχηματισμών της θέσης (η φυσική υγρασία, τα όρια Atterberg, κοκκομετρίες, εύρεση πιθανών οργανικών ενώσεων, αντοχές σε μονοαξονική – τριαξονική θλίψη, συμπύκνωση, μονοαξονική στερεοποίηση) και να προσδιορίζονται τα υλικά που θα χρησιμοποιηθούν στα φίλτρα. Επιπλέον θα πρέπει να εξετάζονται και πιθανά προβλήματα τις θέσεις που μπορεί να προκύψουν κατά την λειτουργία του έργου, όπως είναι η πιθανή έντονη εξάτμιση λόγω υψηλών ετήσιων θερμοκρασιών της περιοχής, αλλά και το «γέμισμα» του ταμιευτήρα από την απόθεση φερτών υλικών.
- Τα στάδια μελέτης μια λιμνοδεξαμενής δεν διαφέρουν από αυτά των υπολοίπων τεχνικών έργων και αποτελούνται από τρία στάδια, αυτά της προκαταρκτικής μελέτης, της προμελέτης και της οριστικής μελέτης. Η κάθε μια από αυτές έχει συγκεκριμένες εργασίες και συγκεκριμένους στόχους με σκοπό την σωστή και ολοκληρωμένη γεωλογική μελέτης της περιοχής.

➤ Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων προβλέπεται σε κάθε τεχνικό έργο και σκοπός του είναι να εξετάσει τις επιπτώσεις που θα έχει το έργο αυτό τόσο στο ανθρώπινο όσο και στο φυσικό περιβάλλον. Οι λιμνοδεξαμενές σας έργα εμφανίζουν επιπτώσεις τόσο κατά το στάδιο κατασκευής, όσο και κατά το στάδιο λειτουργίας τους. Οι επιπτώσεις που παρατηρούνται κατά το στάδιο κατασκευής του έργου είναι κυρίως βραχυχρόνιες και επιβλαβής, ενώ κατά τη λειτουργία του έργου οι αρνητικές επιπτώσεις είναι κυρίως μακροχρόνιες, αλλά κατά αυτό το στάδιο εμφανίζονται και οι θετικές επιπτώσεις του έργου.

➤ Στη περίπτωση προς μελέτη το ζητούμενο ήταν να μελετήσουμε την λεκάνη απορροής κοντά στο χωριό Κεφαλόβρυσο, με σκοπό να εξετάσουμε αν μια εσωποτάμια λιμνοδεξαμενή στον γειτονικό υδρόρεμα θα μπορούσε να καλύψει τις αρδευτικές ανάγκες 6960 στρεμμάτων για καλλιέργεια βαμβακιού στο Ίσιωμα και τον Κάμπο. Η μελέτη έδειξε ένα καλά αναπτυγμένο ομοιόμορφο υδρογραφικό δίκτυο που αποτελείται από κλάδους μέχρι 6^{ης} τάξης έχει μέτρια τιμή εκκεντρότητας και υψηλό συντελεστή συχνότητας με μικρές κλίσεις (4%) που δεν ευνοεί τις πλημμυρικές παροχές.

Από τη γεωλογική σκοπιά η μέσα στην λεκάνη συναντάμε σχηματισμούς νοτιοδυτικά από την Πελαγονική ζώνη και από την ενότητα της Κρανία και ανατολικά σε ένα τμήμα την αυτόχθονη σειρά του Ολύμπου καθώς υπάρχουν και στην λεκάνη μεταλλικές αποθέσεις.

Από τα βροχομετρικά στοιχεία της λεκάνης απορροής προκύπτει πως η περιοχή εμφανίζει ένα ετήσιο μέσο όρο ύψους βροχής 605,1 mm και ότι η καμπύλη που περιγράφει την σχέση υψομέτρου – ύψους βροχή είναι: $y = 0,261x + 402,1$, ενώ οι μέσες ετήσιες θερμοκρασίες αέρα της περιοχής ανέρχονται στους 12,6 C° και η καμπύλη που εκφράζει την σχέση υψομέτρου – θερμοκρασίας αέρα είναι $y = -0,0034x + 15,106$.

Για το υδρολογικό ισοζύγιο υπολογίστηκε με την τρεις διαφορετικές μεθόδους, την μέθοδο Turc, την μέθοδο Coutagne και την μέθοδο Thornthwaite – Mather, όπου από τις τρεις θεωρήσαμε ποιο αξιόπιστη την τρίτη. Σύμφωνα με την μέθοδο Thornthwaite – Mather υπολογίσαμε ότι η ετήσια πραγματική εξατμισοδιαπνοή είναι $E = 473,4$ mm και ότι η ετήσια παροχή της λεκάνης είναι $Q = 54.000.000$ m³. Υπολογίστηκε και η πλημμυρική παροχή της λεκάνης για 50, 100, 200 χρόνια με την μέθοδο Fuller και την μέθοδο Gadotti τα αποτελέσματα των οποίων φαίνονται στο Πίνακα 14.

Στην συνέχεια μελετήσαμε πιο αναλυτικά τους γεωλογικούς σχηματισμούς της λεκάνης κατάκλυσης και προκύπτει ότι γεωλογική σύσταση και δομή της λεκάνης αποτελείται πρόσφατες ποταμοχειμάρειες αποθέσεις, πλευρικά κορήματα-χερσαίες αποθέσεις-ποταμοχερσαία λατυποπαγή, ποταμολιμναία - ποταμοχειμάρεια ιζήματα, ένα κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο, γνευσιωμένους γρανίτες - γρανοδιορίτες, όξινες πλουτωνικές παρεμβολές και την ανθρακική σειρά Κρανιάς. Σύμφωνα με το (Σχήμα 14) σε συνδιασμό με την έκταση της λεκάνης κατάκλυσης (Σχήμα 18), μπορούμε να συμπεράνουμε ότι θα έχουμε μια στεγανή λεκάνη, χωρίς κινδύνους διαφυγής καθώς το υπόβαθρο αποτελείται από σχιστολίθους και γρανίτες – διορίτες.

Ύστερα από μελέτη της γεωμορφολογίας καταλήξαμε ότι με την επιλεχθείσα θέση του φράγματος συμπεράναμε πως η αντίστοιχη λεκάνη κατάκλυσης έχει πού καλή γεωμορφολογία και μπορεί να αποθηκεύσει μεγάλες ποσότητες ύδατος με σχετικά μικρά ύψη στέψης. Βλέπε (Σχήμα 15).

Όσο αφορά την στερεομεταφορά που θα υπάρξει εντός της λεκάνης κατάκλυσης, λόγω έλλειψης δεδομένων δεν μπορούμε παρά να μιλήσουμε με ακρίβεια, γι' αυτό κάνοντας μια εκτίμηση μετά την εφαρμογή εμπειρικών τύπων καταλήξαμε ότι μέσα στο έτος ο όγκος των μεταφερόμενων στερεών ανέρχεται στις 90.000 m^3 και $1.800.000 \text{ m}^3$ στην εικοσαετία.

Η υδατικές ανάγκες της περιοχής για την καλλιέργεια βαμβακιού ανέρχονται στα $2.679.600 \text{ m}^3$. Επομένως η κατασκευή ενός φράγματος 22 m θα εξασφάλιζε $10.000.000 \text{ m}^3$ για την περιοχή, οποία υπερκαλύπτουν τις ανάγκες της περιοχής και εξασφαλίζουν απόθεμα νερού και για περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης (π.χ. αντιμετώπιση πυρκαγιών).

Σύμφωνα με το (Σχήμα 16), παρατηρούμε ότι 1985 έως το 2006 η ετήσιος όγκος απορροής της λεκάνης δεν έχει πέσει κάτω από $14.000.000 \text{ m}^3$ καθώς επίσης τους μήνες Ιανουάριο και Φεβρουάριο η απορροή κατά Thornthwaite είναι κοντά στις $12.000.000 \text{ m}^3$, πράγματα που σημαίνει ότι η λιμνοδεξαμενή μας θα γεμίζει κατά τους χειμερινούς μήνες και θα έχει αποθέματα να δώσει τους μήνες Μάρτιο έως Αύγουστο όπου και γίνεται η άρδευση του βαμβακιού.

Η θέση κατασκευής του μικρού φράγματος επιλέχθηκε λόγω των ευνοϊκών γεωλογικών και γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών της, καθώς το φράγμα θα κτισθεί πάνω στους υψηλής αντοχής και αδιαπέρατους σχιστολίθους που εξασφαλίζουν την



ευστάθεια το φράγματος και στην στεγανότητα της θέσης. Επιπλέον η γεωμορφολογία στην θέση αυτή δημιουργεί ένα έντονο στένωμα το οποίο αποτελεί μια άριστη θέση για την κατασκευή ενός φράγματος, μιας και με την ανύψωση ενός μικρού φράγματος, μπορούμε να εγκλωβίσουμε μεγάλες ποσότητες νερού.

Εν κατακλείδι από όλα τα παραπάνω φαίνεται ότι το έργο τηρεί όλες της γεωλογικές και γεωμορφολογικές και υδρολογικές παραμέτρους για να κατασκευασθεί και να ικανοποιήσει τις αρδευτικές ανάγκες της περιοχής.

Βαλασσόπουλος Δ. και Κάρκας Δ., 1993, *Λιμνοδεξαμενές. Ο ρόλος του στην αξιοποίηση των επιφανειακών νερών και το Πρόγραμμα του Υπουργείου Γεωργίας προς την κατεύθυνση αυτή*, άρθρο, Υπουργείο Γεωργίας, Αθήνα.

Βαλασσόπουλος Δ., Δόλκας Θ., (1995). *Γενικές αρχές σχεδιασμού και μελέτης λιμνοδεξαμενών*, εκδόσεις ΤΕΕ, Αθήνα. (σελ. 19 – 23)

Δημόπουλος Γ. (1986). *Τεχνική Γεωλογία με βασικές έννοιες βραχομηχανικής και γεωλογικές μελέτες τεχνικών έργων*. Εκδόσεις Γιαχούδη – Γιαπούλη.

Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός (ΦΕΚ 1154Β', 12-8-2013).

Ευθυμίου Χ., Θεοδωρόπουλος Α. (1997). *Γεωγραφική βάση δεδομένων για τις λιμνοδεξαμενές στην Ελλάδα*. Διπλωματική εργασία. Τομέας Υδατικών Πόρων και Θαλάσσιων Έργων. Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Καλλέργης Γ. (2010). *Ξηρασία – Πλημμύρες – Κλιματική αλλαγή και επιπτώσεις στους Υδατικούς Πόρους: Το απόλυτο άλλοθι για τη μη διαχείριση των τελευταίων*. ΝΕΡΟ: πηγή ζωής. Επιμέλεια έκδοσης: Κώστας Βουδούρης. (σελ. 65 -70)

Καπλανίδης Α., (1995), *Τεχνική Γεωλογία των λιμνοδεξαμενών*, εκδόσεις ΤΕΕ, Αθήνα. (σελ. 25 -31)

Κωστόπουλος Σ. Δ., Μουρελάτου Ε. (1995), *Επιπτώσεις στο περιβάλλον από την κατασκευή Λιμνοδεξαμενών*, εκδόσεις ΤΕΕ, Αθήνα. (σελ. 43 – 50)

Παπασπύρου Σ. (1995), *Εδαφοτεχνικές έρευνες σε λιμνοδεξαμενές*, εκδόσεις ΤΕΕ, Αθήνα. (σελ. 33 - 42)

Σούλιος Γ. (1996). *Γενική Υδρογεωλογία. Πρώτος Τόμος. Α. Επιφανειακή Υδρολογία, Β) Αποθήκευση και κατανομή του Υπόγειου Νερού, Γ) Οι ροές του υπόγειου νερού*.

Τόλης, Ι. (1990), *Βαμβάκι εχθροί ασθένειες ζιζάνια*, εκδόσεις Σταμούλης

Τσακίρης Γ. (2004). *Σημειώσεις μαθήματος Διαχείριση Υδατικών πόρων*. Διατμηματικό πρόγραμμα μεταπτυχιακών σπουδών “Επιστήμη και τεχνολογία Υδατικών πόρων ”. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων, Ειδική Γραμματεία, Γ' Κ.Π.Σ.
(2006). *Τα φράγματα και οι λιμνοδεξαμενές του Υπουργείου Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων*,
Β' Έκδοση – Νέα Έργα.

Χλίχλιας, Αγγ., Ε. Κατσαμπή-Ζημάκα (1968), *Το βαμβάκι στην Ελλάδα*,
Θεσσαλονίκη. (σελ. 323)

Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία

International Society for Rock Mechanics (ISRM) (1981). Rock characterization, testing and monitoring. In: Brown ET (ed) ISRM suggested methods, International Society for Rock Mechanics.

Ηλεκτρονικές πηγές.

- Apopsilive.
- 24h.com.cy
- dimokratiki.gr

Ηλεκτρονικά Εργαλεία.

- Microsoft Word
- Microsoft Excel
- QGIS 3.12 Bucurest
- Ζωγραφική