

Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης  
Σχολή Θετικών Επιστημών  
Τμήμα Γεωλογίας  
Τομέας Εφαρμοσμένης Γεωλογίας



## ΕΠΙΛΟΓΗ ΘΕΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ ΣΤΗ ΛΕΚΑΝΗ ΤΗΣ ΓΑΛΑΤΙΣΤΑΣ ΜΕ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ

Διπλωματική Εργασία  
Ματθαίος Μπάννενμπεργκ

Επιβλέπων καθηγητής: Κωνσταντίνος Βουδούρης



## Περιεχόμενα

|                                                         |    |
|---------------------------------------------------------|----|
| 1. Εισαγωγή .....                                       | 5  |
| 2. Γεωγραφικά χαρακτηριστικά .....                      | 6  |
| 2.1 Πληθυσμικά οικονομικά χαρακτηριστικά στοιχεία ..... | 6  |
| 2.2 Μορφολογικά χαρακτηριστικά .....                    | 7  |
| 3. Γεωλογία .....                                       | 8  |
| 4. Υδρογεωλογία – Υδρολογία .....                       | 11 |
| 5. Αναγνωριστική μελέτη κατασκευής φράγματος .....      | 16 |
| 5.1 Εισαγωγή .....                                      | 17 |
| 5.2 Γεωγραφικά – γεωμορφολογικά στοιχεία .....          | 18 |
| 5.3 Λεκάνη κατάκλισης του φράγματος .....               | 20 |
| 6. Συζήτηση.....                                        | 23 |
| 6.1 Πιθανά προβλήματα αστοχιών .....                    | 23 |
| 6.2 Προτεινόμενα μέτρα αντιμετώπισης.....               | 24 |
| 6.3 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της κατασκευής..... | 25 |
| 7. Συμπεράσματα .....                                   | 26 |
| 8. Βιβλιογραφία .....                                   | 27 |
| Παράρτημα.....                                          | 29 |



## *Πρόλογος*

Η ραγδαία αύξηση του πληθυσμού, η επιτακτική αύξηση της παραγωγής τόσο αγροτικών όσο και βιομηχανικών προϊόντων, η αφομοίωση ενός τρόπου ζωής ο οποίος είναι βαθιά εξαρτημένος από υλικά αγαθά, έχουν οδηγήσει τους φυσικούς πόρους στα όριά τους και το περιβάλλον σε καθεστώς ανισορροπίας. Ένα από τα σημαντικότερα αγαθά που μας παρέχει η Γη, το νερό, θεωρείται δεδομένο, τόσο ποσοτικά όσο και ποιοτικά για τη συντριπτική πλειοψηφία της σύγχρονης κοινωνίας, ωστόσο υφίσταται ένας μικρός αριθμός επιστημόνων που ασχολούνται με τη συμπεριφορά των πόσιμων υδατικών μαζών και πώς αυτές ανταπεξέρχονται στις πιέσεις που τους ασκεί ο σύγχρονος άνθρωπος.

Προσωπικά επιθυμώ να ευχαριστήσω τον καθηγητή κ. Βουδούρη για την ανάθεση της παρούσας Διπλωματικής εργασίας, καθώς και για την καθοδήγηση και τις πολύτιμες συμβολές του που συνέβαλαν στην υλοποίηση της.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον μεταδιδακτορικό ερευνητή Δρ. Καζάκη για τη συνεχή του καθοδήγηση, τις πολύτιμες συμβουλές και τη βοήθειά του τόσο σε εργασίες υπαίθρου όσο και γραφείου.

Επιπρόσθετα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τη συμφοιτήτρια Μαρία – Μαργαρίτα Ντώνα για τη συνεργασία μας κατά τη διάρκεια των διπλωματικών μας εργασιών.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τους φίλους μου εντός και εκτός της σχολής που με τη συνεχή τους παρότρυνση με βοήθησαν να κλείσω μια δύσκολη περίοδο της ζωής μου, ολοκληρώνοντας τους σπουδές μου στο τμήμα Γεωλογίας και ανοίγοντας τον κύκλο των μεταπτυχιακών μου σπουδών.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου στην οποία και αφιερώνω την παρούσα διπλωματική εργασία, για τη συνεχή τους στήριξη.



### *Abstract*

The purpose of this bachelor thesis is the reconnaissance study of a proposed dam construction in the basin of Galatista, based on hydrological and hydrogeological criteria, and was written under the supervision of professor mr. Konstantinos Voudouris and postdoctoral researcher Dr. Nerantzis Kazakis of the department of Geology of the Aristotle University of Thessaloniki. The research was conducted in the area of Galatista, within the Anthemountas basin, during the period of May 2014 – May 2015.

The research area is located in northern Greece, in the administrative region of Macedonia and falls under the regional unit of Chalkidiki, through the municipality of Polygiros, being inhabited by 2.537 citizens as of 2011. Geologically, the area is part of the Perirodopic zone, in particular the Melissochoriou – Cholomonta and Aspri Vrissi – Chortiati unities.

Regarding hydrology, the study area belongs to the 10<sup>th</sup> water district of Greece. An unconfined aquifer is located at the Galatista basin, which has an area of 24 km<sup>2</sup> and is being supplied by both rainfall infiltration and nearby streams. The precipitation and infiltration volumes were calculated based on the precipitation laps rate of the area. Furthermore, groundwater level measurements were conducted in a total of 14 wells in the Anthemountas basin, in order to monitor the groundwater flow of the area.

As for the reconnaissance dam study, the topographical maps of the Galatista area were digitized using the ArcGIS program, for a better understanding of the morphology of the area. Additionally, the peak flood flow was calculated at  $Q = 195,37 \text{ m}^3/\text{s}$ , using the Fuller flood magnitude formula.

Based on the results, the proposed dam should be of the earth-filled embankment type, with a height of 30 m, a crest length of 117 m and a capacity of  $1,25 * 10^6 \text{ m}^3$ . The most likely dam failure scenarios are being mentioned, along with some basic countermeasures, followed by advantages and disadvantages as well as local environmental impact of dam construction.





## 1. Εισαγωγή

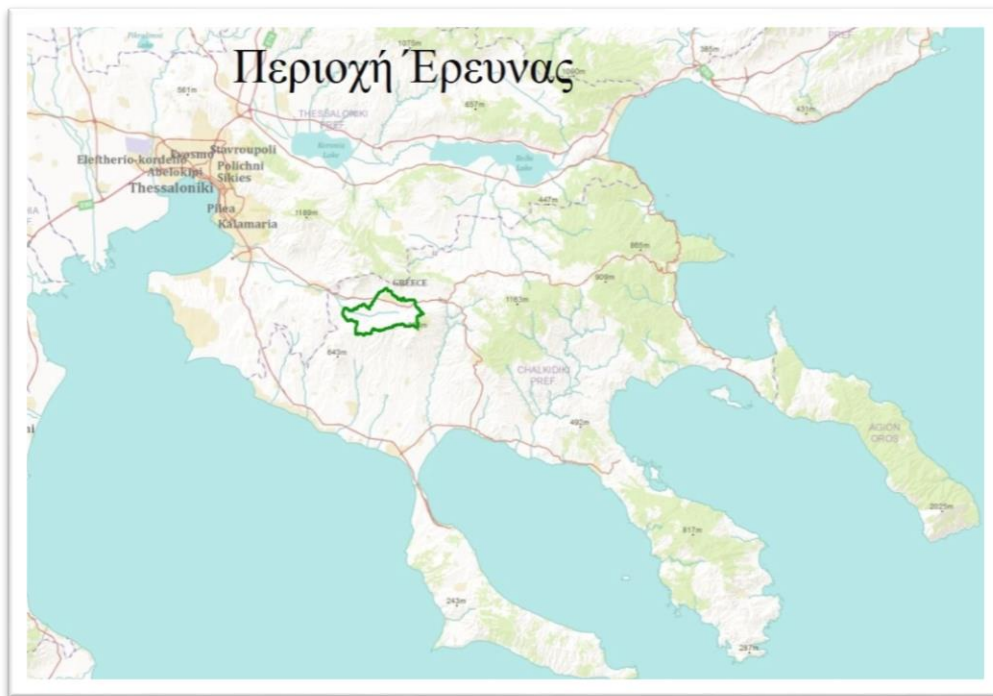
Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει αντικείμενο τη μελέτη κατασκευής φράγματος στη λεκάνη της Γαλάτιστας με υδρολογικά και υδρογεωλογικά κριτήρια και συντάχθηκε υπό την εποπτεία του καθηγητή κ. Βουδούρη Κωνσταντίνου και του μεταδιδακτορικού ερευνητή Δρ. Καζάκη Νεραντζή του τμήματος Γεωλογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης. Πραγματοποιήθηκε στην περιοχή της Γαλάτιστας, στη λεκάνη του Ανθεμούντα κατά την περίοδο Μαΐου 2014 – Μαΐου 2015. Στο πλαίσιο της διπλωματικής μελέτης πραγματοποιήθηκαν οι ακόλουθες εργασίες:

- i. Συλλογή βιβλιογραφίας για την περιοχή έρευνας.
- ii. Μέτρηση στάθμης υπογείων υδάτων στην ευρύτερη περιοχή της Γαλάτιστας κατά τους μήνες Μάιο και Οκτώβριο του 2014, καθώς και το Μάιο του 2015.
- iii. Ψηφιοποίηση χαρτών της περιοχής έρευνας με χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (G.I.S.).
- iv. Παραγωγή θεματικών χαρτών με τη χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (G.I.S.).
- v. Σύνταξη διπλωματικής εργασίας με τον προσδιορισμό θέσης φράγματος, γενικά χαρακτηριστικά του φράγματος και μέτρα για την αντιμετώπιση φαινομένων αστοχίας φραγμάτων.

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν τα προγράμματα: ArcGIS, Google Maps, Google Earth, MS Paint, MS Office.

## 2. Γεωγραφικά χαρακτηριστικά

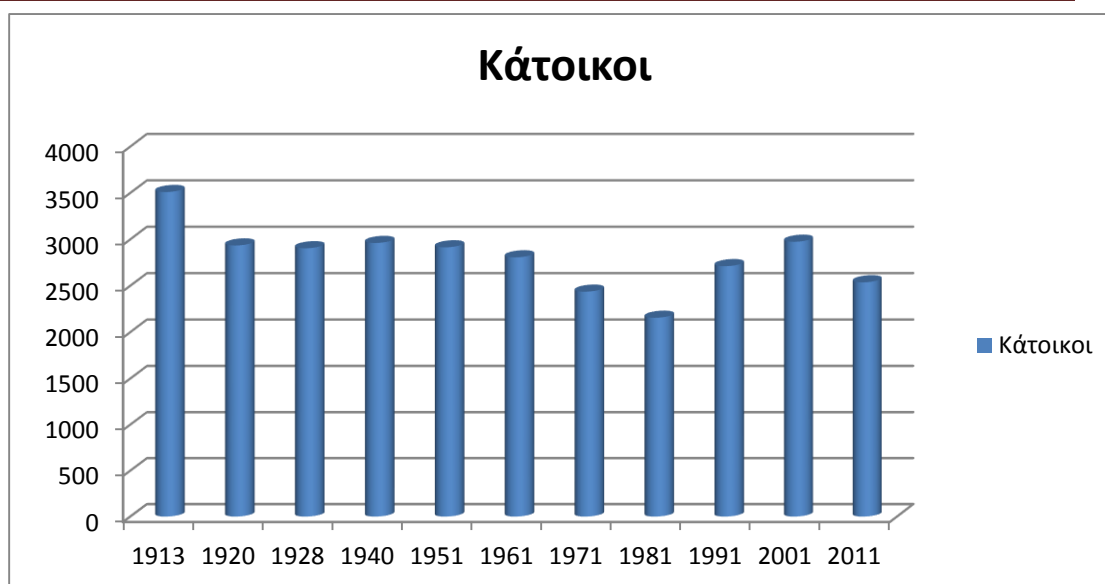
Η περιοχή έρευνας εντοπίζεται στη βόρεια Ελλάδα, στην περιφέρεια κεντρικής Μακεδονίας και υπάγεται διοικητικά μέσω του δήμου Πολυγύρου στην περιφερειακή ενότητα Χαλκιδικής (Σχήμα 1). Ανήκει στο 10<sup>ο</sup> υδατικό διαμέρισμα της Ελλάδας και περιλαμβάνεται στην υδρολογική λεκάνη του Ανθεμούντα. Οριοθετείται βόρεια από το όρος «Προφήτη Ηλία» που ανήκει στην οροσειρά του Χορτιάτη και έχει ύψος 957m, νότια από την κοιλάδα του Ανθεμούντα και τον ομώνυμο ποταμό που τη διασχίζει καθώς και την κορυφή «Μύτη» ύψους 668 m.



Σχήμα 1: Θέση περιοχής μελέτης (πηγή: Google Maps)

### 2.1 Πληθυσμιακά οικονομικά χαρακτηριστικά στοιχεία

Η περιοχή έρευνας εστιάζεται στη δημοτική ενότητα Ανθεμούντα και κυρίως στην περιβάλλουσα έκταση του οικισμού της Γαλάτιστας. Η Γαλάτιστα Χαλκιδικής (συντεταγμένες: 40°28'Β και 23°16'Ε) βρίσκεται σε απόσταση 40 χιλιομέτρων ΝΑ της Θεσσαλονίκης και 28 χιλιομέτρων Δ του Πολυγύρου, και κατοικείται από 2.537 πολίτες (2011). Η πλειοψηφία των πολιτών ασχολείται με την αγροτική παραγωγή, με τα κυριότερα αγροτικά προϊόντα που παράγονται να είναι δημητριακά, καλαμπόκι, ελιές, σταφύλια και βαμβάκι.



**Σχήμα 2:** Μεταβολή πληθυσμού κατά τον τελευταίο αιώνα

## 2.2 Μορφολογικά χαρακτηριστικά

Η μορφολογία της περιοχής υπολογίστηκε με τη χρήση G.I.S.(Πίνακας 1). Το Εμβαδό της περιοχής διαμορφώθηκε στα 51,36 km<sup>2</sup> και η περίμετρός της στα 41,45 km. Ο προσανατολισμός της λεκάνης είναι Α-Δ, με το μέγιστό της μήκος να διαμορφώνεται στα 14,08 km με διεύθυνση Α-Δ και το μέγιστο πλάτος στα 6,5 km με διεύθυνση Β-Ν. Το μέγιστο υψόμετρο της περιοχής έρευνας είναι 952m και εντοπίζεται στη θέση Προφήτης Ηλίας στο βορειότερο άκρο της, ενώ το ελάχιστο υπολογίζεται στα 133m και εντοπίζεται στην προτεινόμενη περιοχή θεμελίωσης του φράγματος.

**Πίνακας 1:** Μορφολογικά στοιχεία λεκάνης Γαλάτιστας

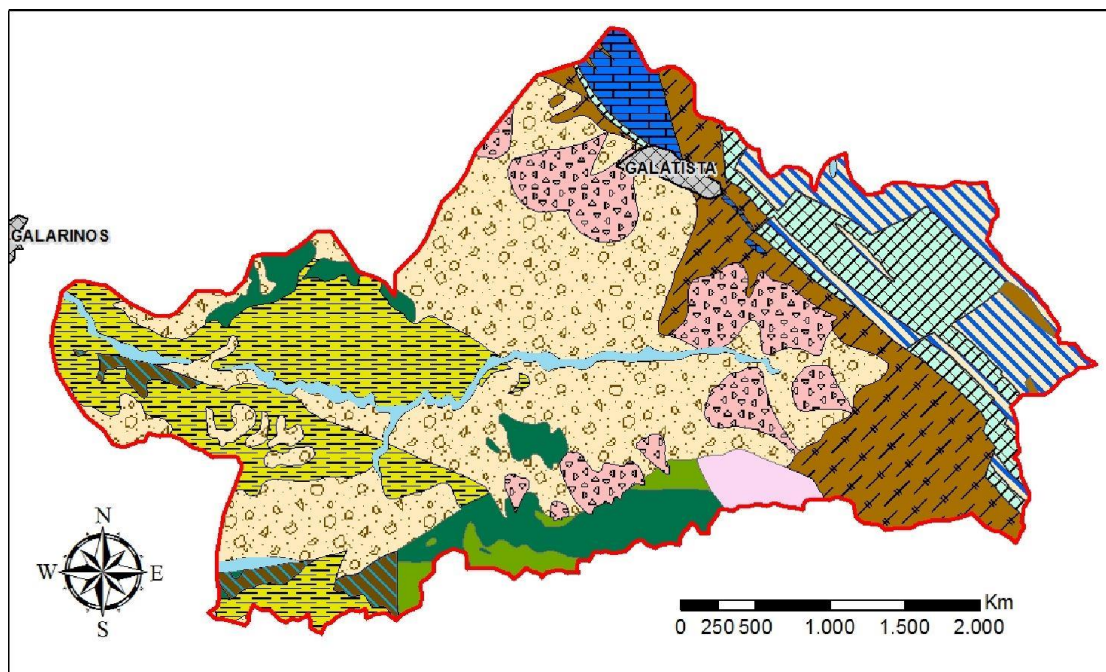
|                   |                          |
|-------------------|--------------------------|
| Εμβαδόν           | 51,36 (km <sup>2</sup> ) |
| Περίμετρος        | 41,45 (m)                |
| Μέγιστο μήκος     | 14,08 (km)               |
| Μέγιστο πλάτος    | 6,5 (km)                 |
| Μέγιστο υψόμετρο  | 952 (m)                  |
| Ελάχιστο υψόμετρο | 133 (m)                  |
| Μέσο υψόμετρο     | 340 (m)                  |

### 3. Γεωλογία

Η περιοχή έρευνας υπάγεται στη Περιοδοπική ζώνη και ειδικότερα στις ενότητες Μελισσοχωρίου – Χολομόντα και Άσπρης Βρύσης – Χορτιάτη. Η Περιοδοπική είναι η πιο εσωτερική ζώνη των Ελληνίδων και αποτελείται από Αλπικά πετρώματα Κ. Τριαδικού – Μ. Ιουρασικού. Τεκτονικά, εντοπίζεται υψηλή – εξαιρετικά υψηλή πίεση, που έχει ως αποτέλεσμα την παρουσία μικροδιαμαντιών. Η νεότερη θραυστιγενής τεκτονική Ολιγοκαίνου – Μειοκαίνου συνδέεται με την κατάρρευση της Σερβομακεδονικής και την «ανάδυση» του Παγγαίου.

Η ενότητα Μελισσοχωρίου – Χολομόντα συνίσταται από σχηματισμούς ασβεστολίθων, τον φλύσχη της Σβούλας (Κ. – Μ. Ιουρασικό) με ολιστόλιθους των υποκείμενων ασβεστολίθων. Τέλος, η ενότητα Άσπρης Βρύσης – Χορτιάτη απαρτίζεται από ιζήματα πολύ βαθιάς θάλασσας (κερατόλιθοι, ωκεάνια λιθόσφαιρα, μάργες) (Κ. – Μ. Ιουρασικό). Εντός της ενότητας είναι και η Μαγματική σειρά Χορτιάτη (Μ. – Α. Ιουρασικό).

Νεοτεκτονικά, η περιοχή δεν παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον, καθώς απουσιάζουν μεγάλα ενεργά ρήγματα. Εντοπίζονται δυο ρήγματα, ένα ακριβώς νότια και ένα ακριβώς βόρεια του ποταμού Ανθεμούντα, στο ύψος των περιοχών Αγίας Τριάδος και Ραχώνων αντίστοιχα, με κατεύθυνση ΑΒΑ – ΝΔ. Επιπρόσθετα παρατηρούνται ρήγματα ΒΑ – ΝΔ κατεύθυνσης στα όρια της λεκάνης της Γαλάτιστας, δυτικά από τον ομώνυμο οικισμό.



**Σχήμα 3:** Γεωλογικός χάρτης Γαλάτιστας.

Περιγραφή των γεωλογικών σχηματισμών της περιοχής μελέτης (από το φύλλο ΙΓΜΕ 1:50.000 Πολύγυρου) από τον παλαιότερο στο νεότερο

### Παλαιοζωικό:

-  Διμαρμαρυγικοί και μοσχοβιτικοί γνεύσιοι (σχηματισμός Βερτίσκου): πρασινο-καστανοί, κυρίως απομεταμορφωμένοι σε σερικιτικούς – χλωριτικούς σχιστόλιθους με υπολείμματα πλαγιόκλαστων.

### Μεσοζωικό:

-  Δουνίτες και περιδοτίτες (υπερβασική σειρά): κυρίως βερλίτης, μερικώς λερζόλιθος και σπανιότερα μεταπεριδοτίτες. Χρωμίτης εντοπίζεται σε μορφή φακών και ταινιών κυρίως μέσα σε δουνίτες. Εξαλλοίωση πολύ διαδεδομένη στην περιοχή μεταλλοφορίας λευκόλιθου. Τουρμαλινικές πηγματιτικές φλέβες και άλλοι πηγματίτες είναι συχνοί.

-  Πυροξενίτες (υπερβασική σειρά): κυρίως βεμπτερίτης (διαλλαγής, βρονζίτης, αδιαφανή ορυκτά), επουσιώδης διαλλαγίτης και ολιβινικός διαλλαγίτης.

-  Γάββρος (σειρά Λαναριού): (διαλλαγής, βρονζίτης, υπερσθενής, πλαγιόκλαστα, αδιαφανή ορυκτά, δευτερογενής ζωισίτης, επίδοτο και ακτινόλιθος). Επίσης συναντώνται ολιβινικός, κεροστιλβικός και υπερσθενικός γάββρος, αυγίτικός νορίτης,

-  Επιγνεύσιοι (Μαγματική σειρά Χορτιάτη): καστανοί ή πράσινοι, στρωματώδεις, με γνευσιακό ιστό και πράσινα στρεβλωμένα χλωριτικά στρώματα.  
Πρασινοσχιστόλιθοι (Μαγματική σειρά Χορτιάτη): πράσινοι και καστανωποί, λεπτόκοκκοι σερικιτικοί – χλωριτικοί σχιστόλιθοι.

-  Χαλαζίτες (ομάδα Σβούλας): κοκκινοκαστανοί, λεπτόκοκκοι έως μεσόκοκκοι, χαλαζιτικοί ψαμμίτες.

-  Φυλλίτες (ομάδα Σβούλας): σκοτεινότεφροι έως μαύροι, γραφίτικοί, με μικρές ενστρώσεις χαλαζιτών

-  Μάρμαρα (Ενότητα Άσπρης Βρύσης – Χορτιάτη): σε συμπαγή ή παχιά στρώματα, παρεμβάλλονται στη μαγματική σειρά Χορτιάτη.

-  Αργιλικοί σχιστόλιθοι (Ενότητα Άσπρης Βρύσης – Χορτιάτη): πρασινωποί, αμμούχοι και κοκκομετρικά αδιαβάθμητοι. Εντοπίζονται ενστρώσεις κερατολίθων.

#### Νεογενές:

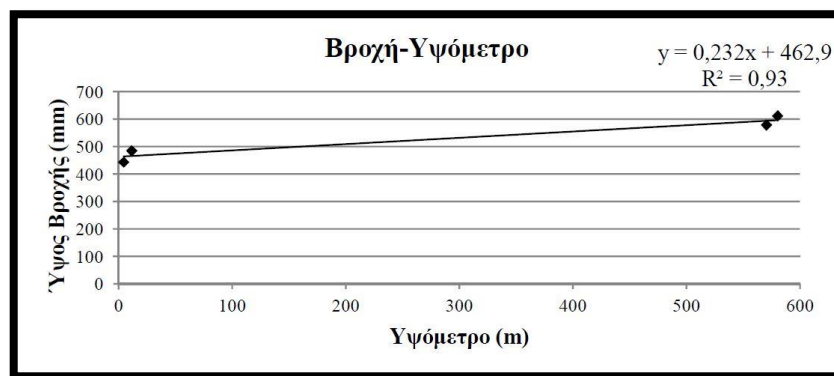
-  Σειρά ερυθρών αργίλων: ερυθρές άργιλοι, κατά θέσεις αμμούχες με κροκαλοπαγή μικρής συνοχής.
-  Κώνοι κορημάτων: αποτελούνται από υλικά μεταμορφωμένων πετρωμάτων.
-  Κατώτερο σύστημα αναβαθμίδων: συνίσταται από άμμους και κροκάλες, διαφορετικής σύστασης και προέλευσης.
-  Αλλουβιακές αποθέσεις: προϊόντων αποσαθρώσεως νεογενών σχηματισμών

#### 4. Υδρογεωλογία – Υδρολογία

Στη λεκάνη της Γαλάτιστας εντοπίζεται ελεύθερος υδροφορέας, έκτασης 24 km<sup>2</sup>, με στάθμη υπογείων υδάτων μεταξύ 8 m και 100 m και πάχος στρωμάτων από 15m έως 100m. Το σύστημα τροφοδοτείται επιφανειακά από άμεση κατείσδυση της βροχόπτωσης καθώς και από ποταμοχειμάρρους, καθώς είναι απομονωμένο και δεν επικοινωνεί με τους γειτονικούς υδροφόρους άμεσα. Οι κύριοι σχηματισμοί των υδροφόρων στρωμάτων είναι χαλίκια, κροκάλες και άμμοι με διάσπαρτους φακούς αργίλου (Σχήμα 5).

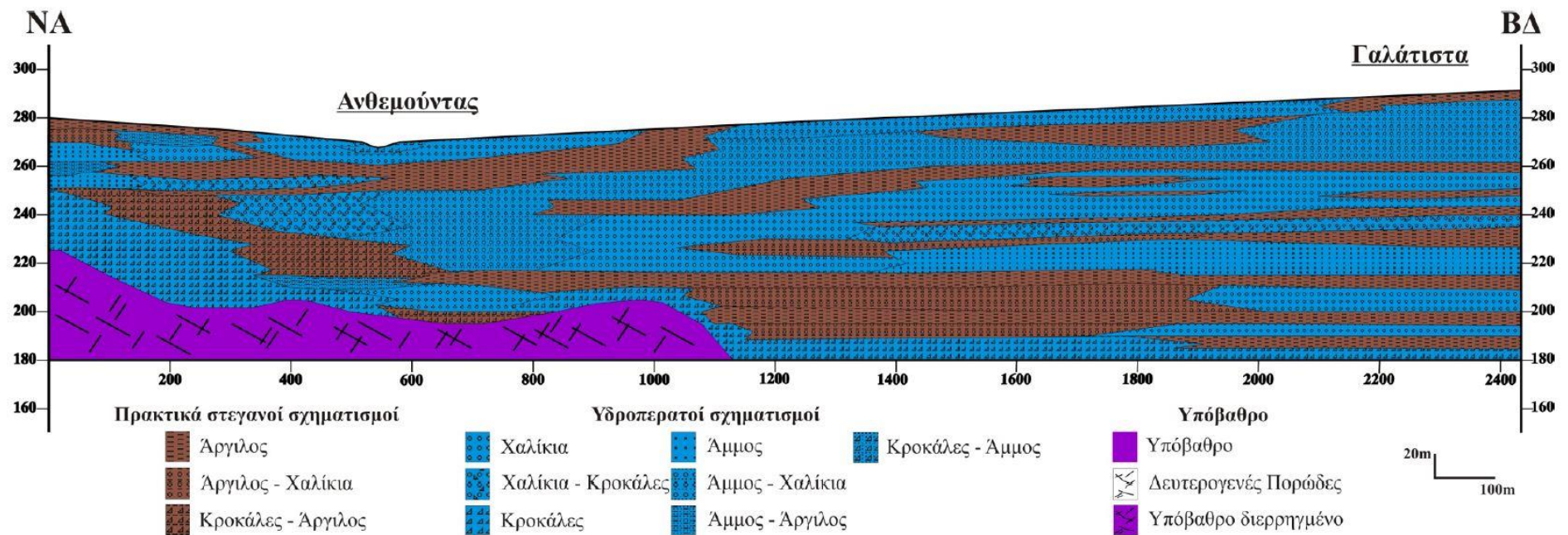
Λαμβάνοντας υπ' όψιν τις ετήσιες μετρήσεις βροχόπτωσης για περίοδο 3 ετών (2008 – 2011), καθώς και το υψόμετρο των σταθμών μέτρησης, χρησιμοποιήθηκε η βροχοβαθμίδα της περιοχής (Καζάκης 2013) για την εύρεση του ύψους βροχής. Προέκυψε πως το ύψος των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων αυξάνεται κατά 23,2 mm ανά 100m (Σχήμα 4).

$$P(\text{mm}) = 0,23 \times H(\text{m}) + 462,9 \times (2008-2011) \text{ (Καζάκης 2013)}$$



**Σχήμα 4:** Διάγραμμα συσχέτισης του ύψους βροχής με το υψόμετρο για την περίοδο 2008 – 2011 (Καζάκης 2013)

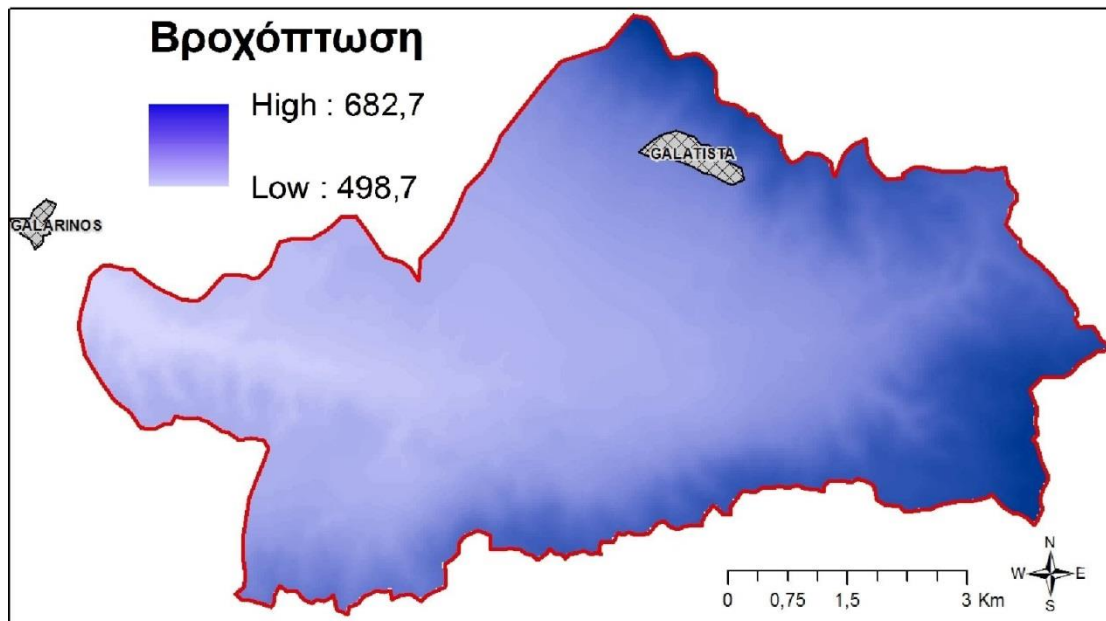




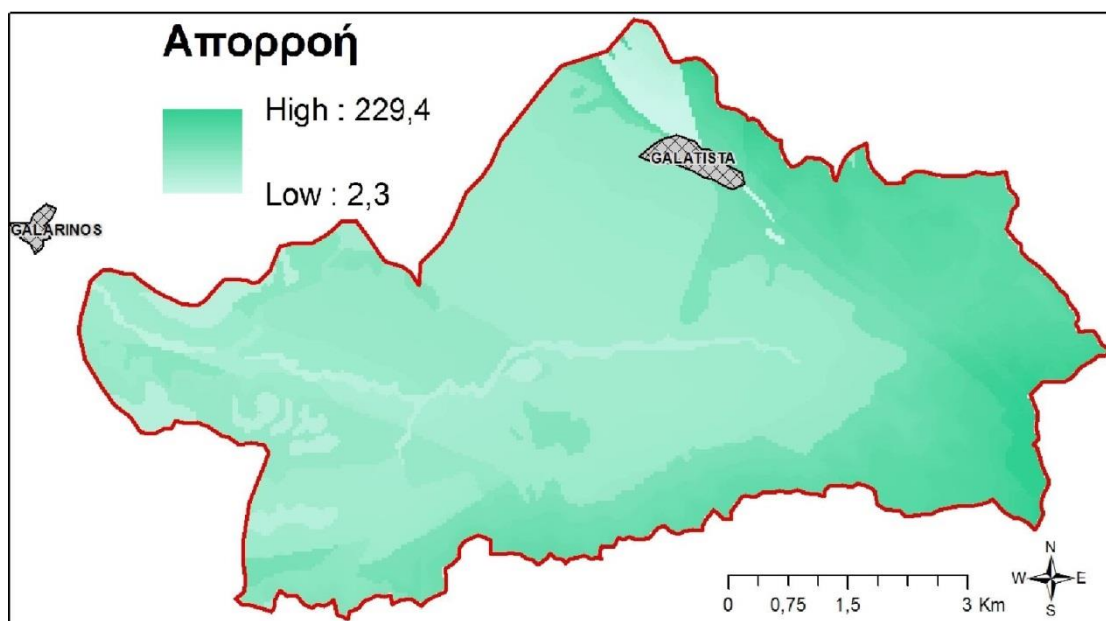
Σχήμα 5: Υδρολιθική τομή στην περιοχή της Γαλάτιστας (πηγή: Καζάκης 2013)



Εφαρμόζοντας τη βροχοβαθμίδα, δημιουργήθηκε ο βροχομετρικός χάρτης της περιοχής, μέσω του Raster Calculator (Σχήμα 6). Η βροχόπτωση διαμορφώνεται στα  $P = 590 \text{ mm}$  και το συνολικό όγκο των κατακρημνισμάτων στα  $V_k = 29,5 \times 10^6 \text{ m}^3$ . Με βάση το βροχομετρικό χάρτη, αλλά και τους συντελεστές κατείσδυσης της περιοχής (πηγή: Καζάκης 2013), υπολογίστηκε και η επιφανειακή απορροή στα  $R = 103,4 \text{ mm}$  με το συνολικό όγκο της να είναι  $V_a = 5,17 \times 10^6 \text{ m}^3$ , ενώ σχεδιάστηκε και ο χάρτης επιφανειακής απορροής της περιοχής (Σχήμα 7)



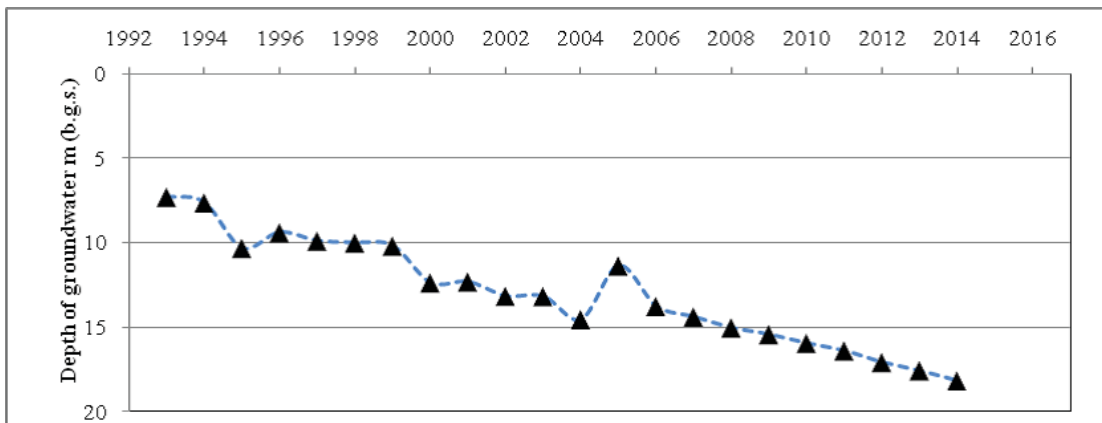
Σχήμα 6: Βροχομετρικός χάρτης περιοχής έρευνας.



Σχήμα 7: Χάρτης επιφανειακής απορροής της περιοχής έρευνας.

Παρατηρείται πως η στάθμη των υπογείων υδάτων της περιοχής σημειώνει μια σταθερή πτώση. Η μεταβολή αυτή οφείλεται στις αυξημένες αρδευτικές ανάγκες της περιοχής, η οποία και εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την αγροτική παραγωγή (Σχήμα 8).

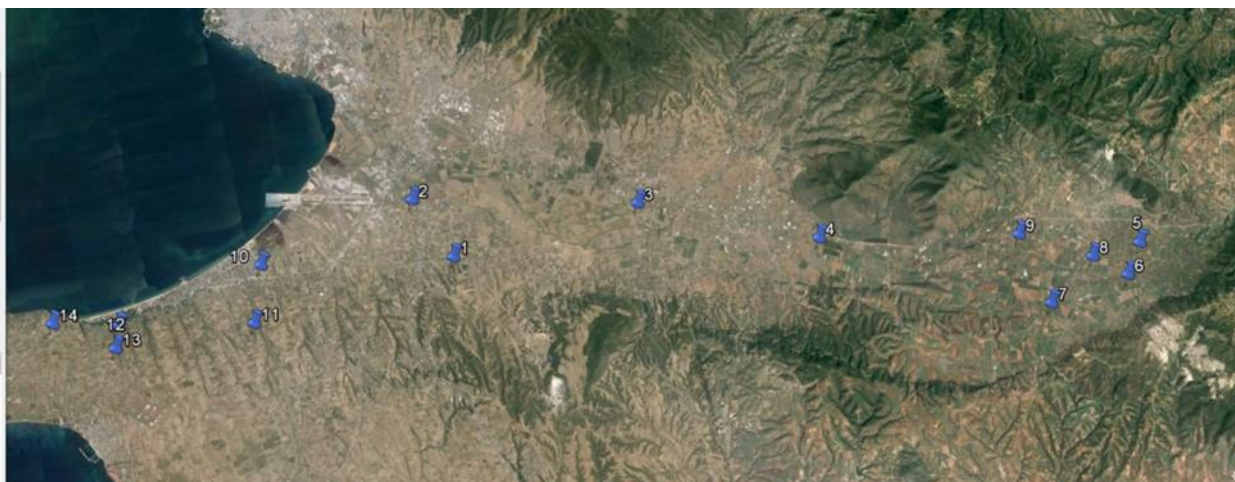
Παράλληλα για τις ανάγκες της παρούσας διπλωματικής, διενεργήθηκαν μετρήσεις στάθμης σε γεωτρήσεις της λεκάνης του Ανθεμούντα, κυρίως στις περιοχές της Περαιάς και της Γαλάτιστας, σε συνεργασία με τη φοιτήτρια Ντώνα Μαρία – Μαργαρίτα (Σχήμα 9). Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν τόσο κατά τη διάρκεια της υγρής (Μάιος 2014 και 2015), όσο και της ξηρής (Οκτώβριος 2014) περιόδου.



**Σχήμα 8:** Μεταβολή της στάθμης του υπόγειου νερού στη λεκάνη του Ανθεμούντα.  
(παράδειγμα από γεώτρηση στην περιοχή Ν. Ρυσίου, από Kazakis 2014)



**Σχήμα 9:** Χαρακτηριστική φωτογραφία μέτρησης στάθμης υπογείων υδάτων ξηρής  
περιόδου, Οκτώβριος 2014



**Σχήμα 10:** Θέσεις μέτρησης της στάθμης του υπόγειου νερού.

**Πίνακας 2:** Αποτελέσματα μετρήσεων στάθμης

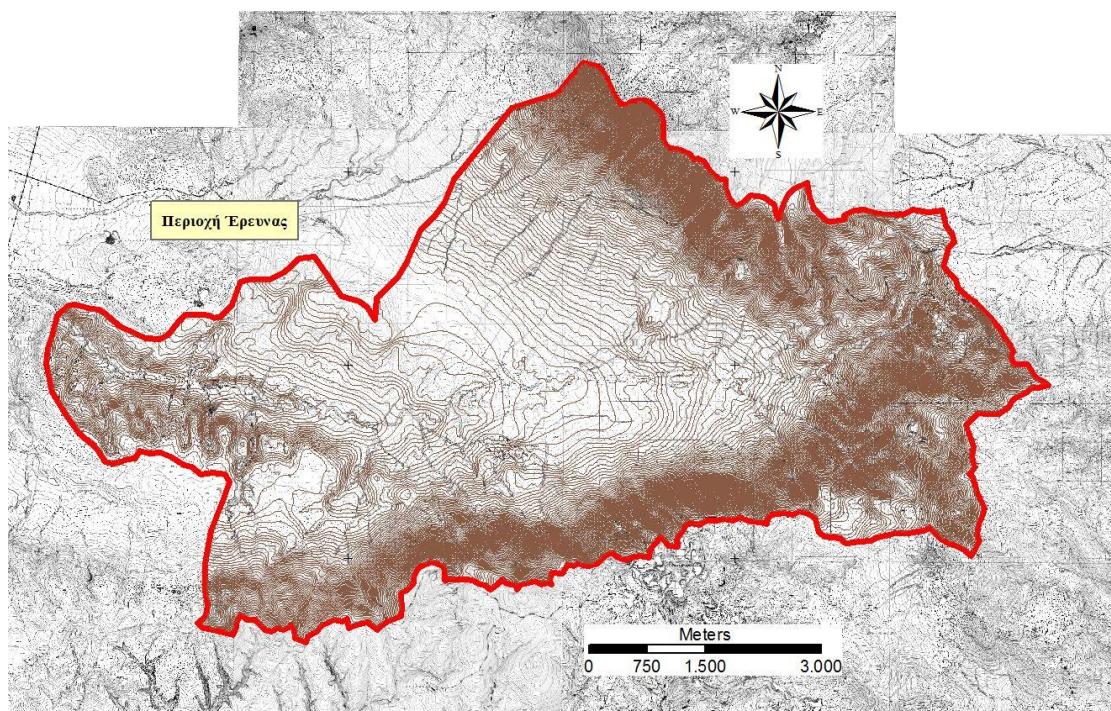
| 21/5/2014 |        | 1/10/2014 |        | 2/5/2015 |        |
|-----------|--------|-----------|--------|----------|--------|
| Γεώτρηση  | Στάθμη | Γεώτρηση  | Στάθμη | Γεώτρηση | Στάθμη |
| 1         | 29,8   | 1         | 29,04  | 1        | 28,1   |
| 2         | 18,2   | 2         | 18,48  | 2        | 15,3   |
| 3         | 11,06  | 3         | 12,5   | 3        | 9,05   |
| 4         | 37,15  | 4         | 38,8   | 4        | 36,2   |
| 5         | 20,03  | 5         | 19,9   | 5        | 17,5   |
| 6         | 17,26  | 6         | 17,8   | 6        | 15,9   |
| 7         | 44,6   | 7         | 46,15  | 7        | 42,5   |
| 8         | 18,03  | 8         | 18,46  | 8        | 17,5   |
| 9         | 17,9   | 9         | 19,15  | 9        | 16,5   |
| 10        | 22,6   | 10        | 22,65  | 10       | 21,5   |
| 11        | 73,75  | 11        | 75,11  | 11       | 72,5   |
| 12        | 34     | 12        | 36,35  | 12       | 33     |
| 13        | 78,7   | 13        | 79,75  | 13       | 77,2   |
| 14        | 58,5   | 14        | 60,8   | 14       | 56,4   |

Αναλυτικότερα, στην περιοχή των Ταγαράδων μετρήθηκε η γεώτρηση 1, στην περιοχή του Νέου Ρυσίου η γεώτρηση 2, στην περιοχή της Λακκιάς η γεώτρηση 3, στην περιοχή των Βασιλικών η γεώτρηση 4, στην ευρύτερη περιοχή της Γαλάτιστας οι γεωτρήσεις 5 έως και 9, ενώ στην περιοχή της Περαιάς οι γεωτρήσεις 10 έως και 14. Γενικά, παρατηρήθηκε αύξηση της στάθμης των υπογείων υδάτων στο σύνολο των γεωτρήσεων κατά τη διάρκεια των μετρήσεων την υγρή περίοδο του 2015, ως απόρροια των αυξημένων βροχοπτώσεων που σημειώθηκαν τους χειμερινούς και εαρινούς μήνες του έτους. Μεγαλύτερη άνοδος της στάθμης παρατηρήθηκε στη γεώτρηση 2 στην περιοχή του Νέου Ρυσίου, της κλίμακας των 2,9 m κατά την πάροδο ενός έτους.

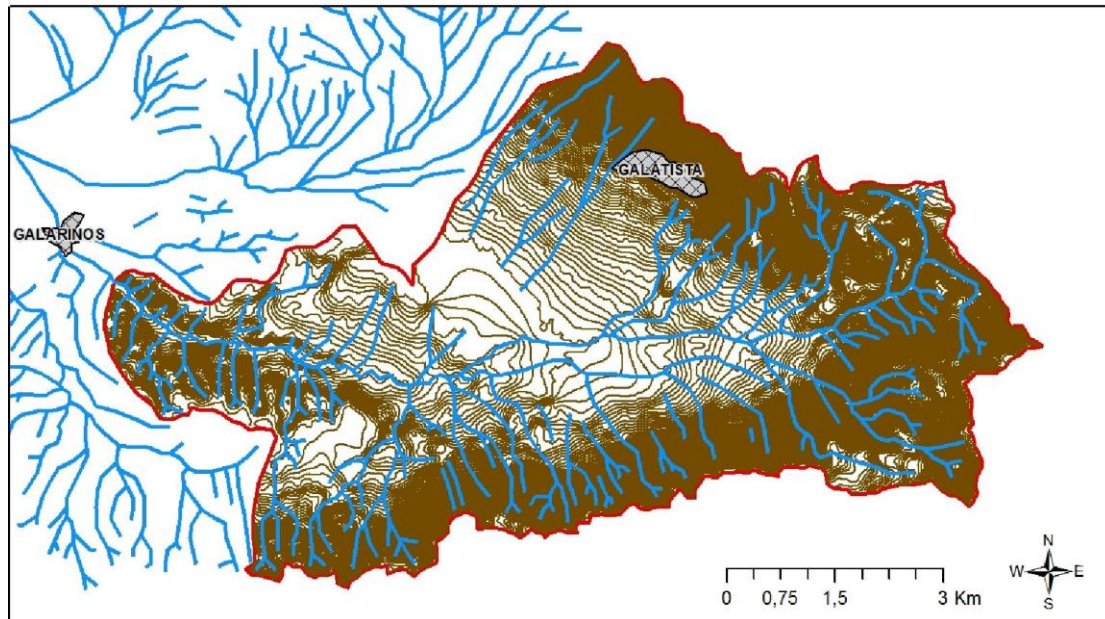


## 5. Αναγνωριστική μελέτη κατασκευής φράγματος

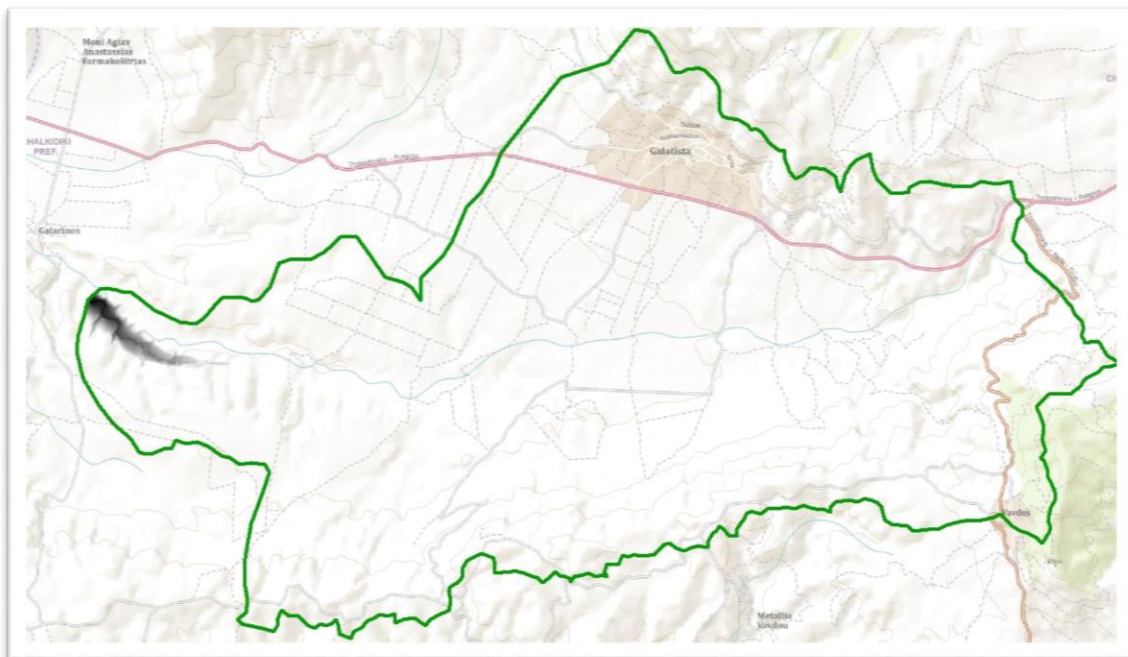
Για τις ανάγκες της αναγνωριστικής μελέτης κατασκευής του φράγματος, ψηφιοποιήθηκε σε κλίμακα 1:5000 μέρος της περιοχής έρευνας με βάση τοπογραφικούς χάρτες της ευρύτερης περιοχής (Σχήμα 10). Παράλληλα, ψηφιοποιήθηκε και το υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής (Σχήμα 11). Το υδρογραφικό δίκτυο είναι δενδριτικού τύπου και χαρακτηρίζεται ως πυκνό, ένδειξη ότι οι γεωλογικοί σχηματισμοί είναι ιδιαιτέρως αδιαπέρατοι. Η προτεινόμενη θέση θεμελίωσης του φράγματος εντοπίζεται στο Δυτικό άκρο της περιοχής έρευνας, σε υψόμετρο 140 m.



**Σχήμα 10:** Κατανομή ισοϋψών καμπυλών στην περιοχή μελέτης



**Σχήμα 11:** Υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής έρευνας



**Σχήμα 12:** Προτεινόμενη περιοχή θεμελίωσης φράγματος (πηγή: Google Maps)

### 5.1 Εισαγωγή

Η προτεινόμενη θέση του φράγματος βρίσκεται περί τα 800 m νοτιοανατολικά του οικισμού «Γαλαρινός», κάθετα στη ροή του ρέματος «Ανθεμούντας». Το φράγμα θα επρόκειτο να έχει ύψος 30m, μήκος στέψης στα 117m και θα είναι χωμάτινου τύπου. Η εν λόγω θέση απαρτίζεται από τα εξής γενικά στοιχεία:

- Εντοπίζεται σε περιοχή της οποίας ο πληθυσμός ασχολείται σχεδόν αποκλειστικά με την αγροτική παραγωγή. Η κατασκευή του φράγματος θα



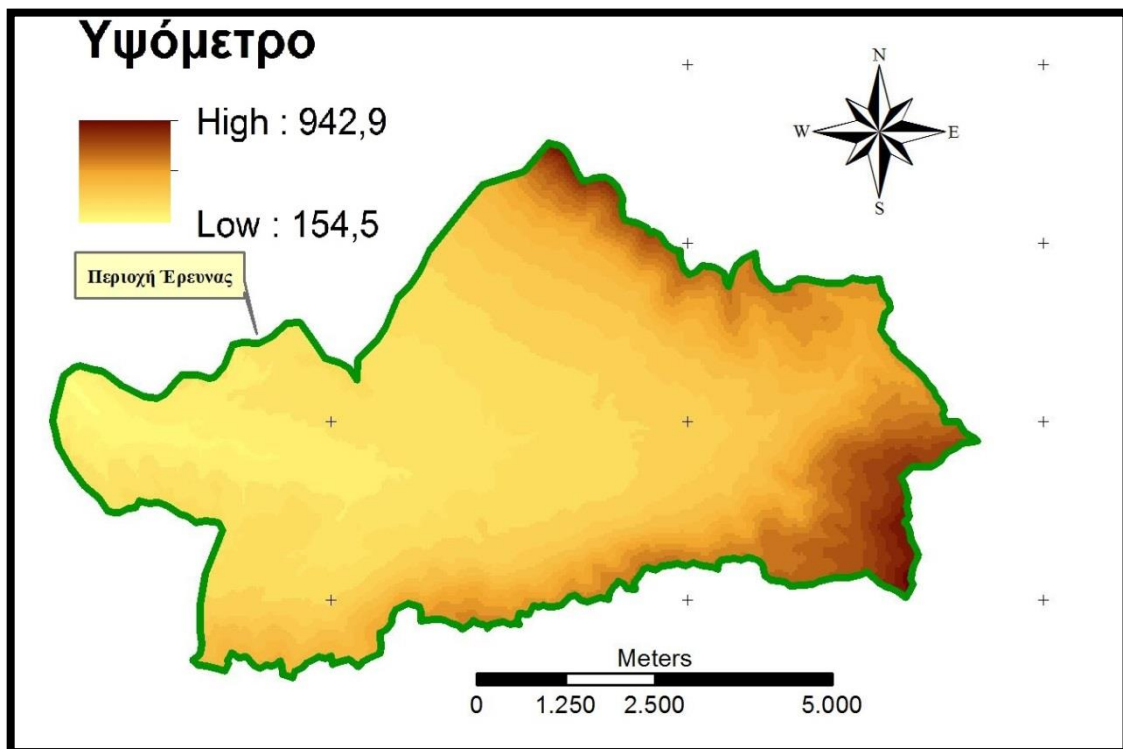
τους παρέχει μια εύκολα πιο προσβάσιμη και οικονομική συγκέντρωση ύδατος για την άρδευση παρακείμενων αγροτικών εκτάσεων.

- Θα συγκρατείται η επιφανειακή απορροή πλημμυρικών φαινομένων.
- Θα ανυψωθεί τοπικά η υπόγεια στάθμη υδάτων
- Βρίσκεται κοντά σε επαρχιακή οδό και η πρόσβαση στη περιοχή θεμελίωσης είναι εύκολη μέσω δασικών δρόμων. Η ύπαρξη οδικού δικτύου μειώνει σημαντικά το κόστος του έργου, διότι δεν απαιτούνται περαιτέρω έργα για την προσπέλαση στη θέση του φράγματος.
- Θα μεριμνήσει στην περιβαλλοντική ανάπτυξη της περιοχής.

Η θέση του φράγματος προτάθηκε κατόπιν της δημιουργίας του DEM (ψηφιακό μοντέλου επιφάνειας) της περιοχής, τη μελέτη της γεωλογίας και των χρήσεων γης ώστε να εξασφαλίζετε η μεγαλύτερη στεγανότητα, με το μικρότερο δυνατό μήκος στέψης να εξασφαλίζετε η μέγιστη χωρητικότητα του φράγματος και τέλος να απαιτεί τη μικρότερη δυνατή απαλλοτρίωση ιδιωτικών εκτάσεων.

### 5.2 Γεωγραφικά – γεωμορφολογικά στοιχεία

Για τη μελέτη του αναγλύφου της περιοχής πραγματοποιήθηκε ψηφιοποίηση τοπογραφικών χαρτών της περιοχής έρευνας με χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (G.I.S.), σε κλίμακα 1:5000. Για τη ψηφιοποίηση των ισοϋψών χρησιμοποιήθηκαν τοπογραφικοί χάρτες τις περιοχής.

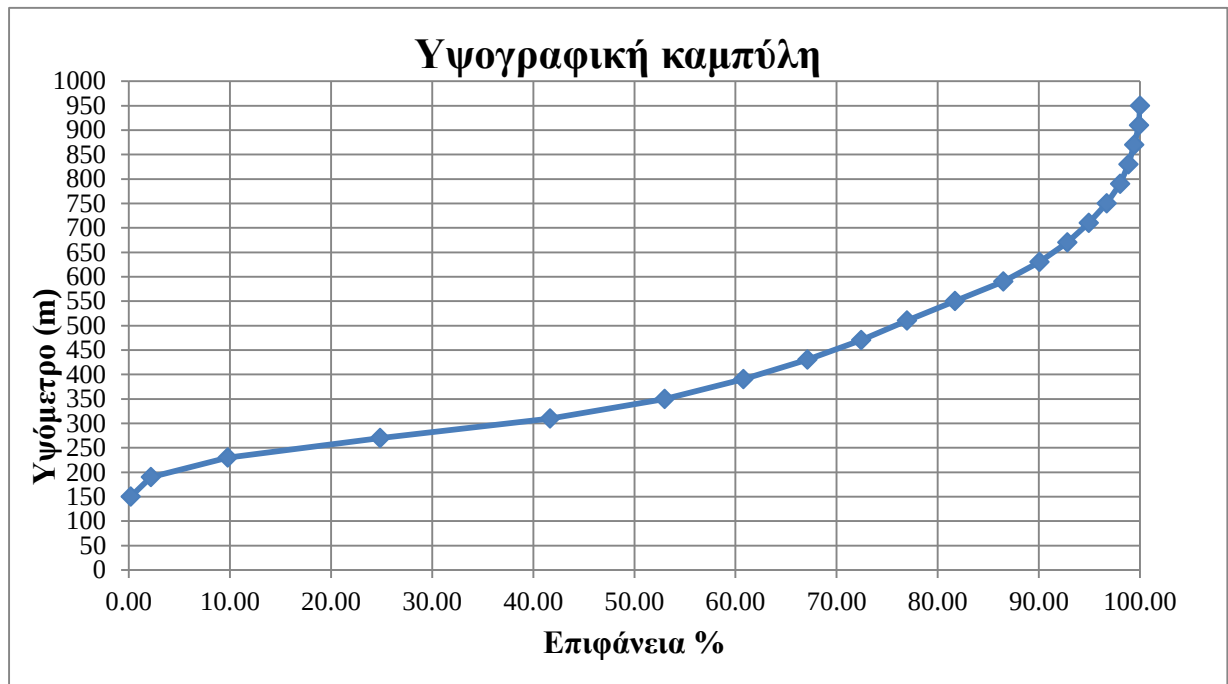


Σχήμα 13: Μορφολογικός χάρτης περιοχής έρευνας

Γεωμορφολογικά η λεκάνη έχει πεδινό ανάγλυφο στο δυτικό της τμήμα, ενώ στο ανατολικό της έχει ημιορεινό, καθώς αυξάνεται απότομα η κλίση (Σχήμα 13). Η υψογραφική καμπύλη της λεκάνης προέκυψε από τα δεδομένα του πίνακα 3 και δίνεται στο σχήμα 14, όπου και φαίνεται πως το 50% της επιφάνειας βρίσκεται κάτω από το υψόμετρο των 350 m. Η κατανομή της επιφάνειας της λεκάνης απορροής διαμορφώνεται ως εξής:

**Πίνακας 3:** Κατανομή της επιφάνειας της λεκάνης απορροής

| Ισοϋψείς<br>(m) | Επιφάνεια<br>(km <sup>2</sup> ) | Επιφάνεια<br>% | Αθροιστική Επιφάνεια<br>% |
|-----------------|---------------------------------|----------------|---------------------------|
| 140 - 180       | 0,08                            | 0,155          | 0,155                     |
| 180 - 220       | 1,03                            | 2,001          | 2,157                     |
| 220 - 260       | 3,90                            | 7,577          | 9,734                     |
| 260 - 300       | 7,73                            | 15,018         | 24,752                    |
| 300 - 340       | 8,62                            | 16,748         | 41,500                    |
| 340 - 380       | 5,82                            | 11,308         | 52,807                    |
| 380 - 420       | 4,00                            | 7,772          | 60,579                    |
| 420 - 460       | 3,26                            | 6,334          | 66,913                    |
| 460 - 500       | 2,74                            | 5,323          | 72,236                    |
| 500 - 540       | 2,31                            | 4,488          | 76,724                    |
| 540 - 580       | 2,45                            | 4,760          | 81,484                    |
| 580 - 620       | 2,45                            | 4,760          | 86,244                    |
| 620 - 660       | 1,84                            | 3,575          | 89,819                    |
| 660 - 700       | 1,41                            | 2,739          | 92,559                    |
| 700 - 740       | 1,09                            | 2,118          | 94,677                    |
| 740 - 780       | 0,90                            | 1,749          | 96,425                    |
| 780 - 820       | 0,68                            | 1,321          | 97,746                    |
| 820 - 860       | 0,42                            | 0,816          | 98,562                    |
| 860 - 900       | 0,30                            | 0,583          | 99,145                    |
| 900 - 940       | 0,40                            | 0,777          | 99,922                    |
| 940 - 980       | 0,04                            | 0,078          | 100,000                   |
| Σύνολο          | 51,47                           | 100,000        |                           |



**Σχήμα 14:** Καμπύλη υψομέτρου στέψης φράγματος – επιφάνειας

### 5.3 Λεκάνη κατάκλισης του φράγματος

Η προτεινόμενη θέση του φράγματος και του ταμιευτήρα απέχουν σε ευθεία γραμμή, περίπου 800m ΝΑ από τον οικισμό του Γαλαρινού (Σχήμα 15). Η πρόσβαση στην περιοχή εξασφαλίζεται μέσω αγροτικών και δασικών χωματόδρομων. Ο όγκος της λεκάνης κατάκλισης θα διαμορφωθεί στα  $1,25 \times 10^6 \text{ m}^3$ .

Σύμφωνα με το γεωλογικό χάρτη, στη λεκάνη κατάκλισης εντοπίζονται οι εξής γεωλογικοί σχηματισμοί, από τους παλαιότερους προς τους νεότερους:

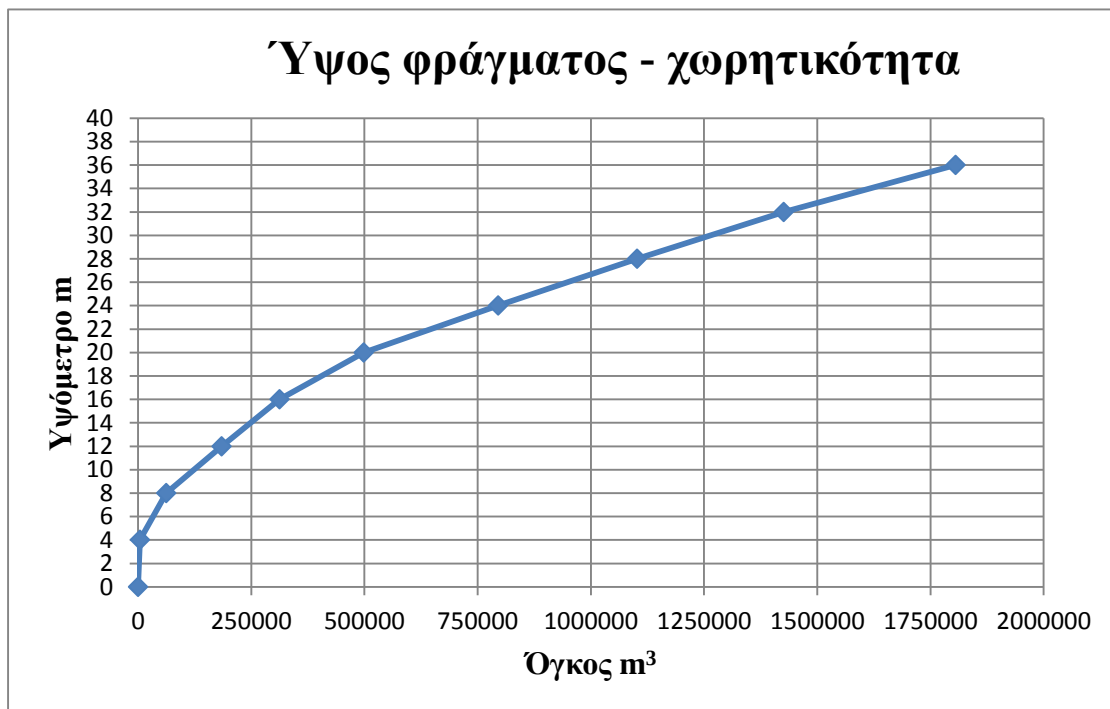
- Παλαιοζωικοί Γενύσιοι
- Σειρά ερυθρών αργίλων Νεογενούς
- Πλειστοκαινικές Κατώτερο σύστημα αναβαθμίδων
- Ολοκαινικές Αλλουβιακές αποθέσεις

Οι πλούσιοι σε άργιλο σχηματισμοί προσφέρουν μια χαμηλή περατότητα, η οποία με τη σειρά της θα οδηγήσει αποτρεπτικά σε τυχόν διαφυγές του φράγματος.





Σχήμα 15: Προτεινόμενη περιοχή θεμελίωσης φράγματος (πηγή: Google earth)



Σχήμα 16: Καμπύλη υψομέτρου στέψης φράγματος - χωρητικότητας

Με βάση το Σχήμα 16, γίνεται αντιληπτό πως ένα φράγμα ύψους 30 m θα έχει χωρητικότητα  $1,25 \times 10^6 \text{ m}^3$ . Από τα υδρολογικά δεδομένα προέκυψε πως ο όγκος της επιφανειακής απορροής διαμορφώνεται στα  $5,17 \times 10^6 \text{ m}^3$ . Συνεπώς, το φράγμα θα συγκρατεί περίπου το 25 % της ετήσιας απορροής, επιτρέποντας τον υπόλοιπο όγκο νερού να συνεχίσει τη φυσική του ροή προς τα κατάντη και τη θάλασσα. Με αυτόν τον τρόπο υπερκαλύπτεται και η ανάγκη της ελάχιστης οικολογικής απορροής,

η οποία κυμαίνεται στο 10% του συνολικού όγκου της επιφανειακής απορροής, ώστε να μην καταστραφεί το υπάρχον οικοσύστημα.

Εισάγοντας τα προαναφερόμενα υδρολογικά δεδομένα στον τύπου του Fuller για πλημμυρικές παροχές (  $Q = a \times E^{0.8} \times (1 + 0.8 \times \log T) \times (1 + \frac{2.67}{E^{0.3}})$ ), προκύπτουν τα εξής αποτελέσματα:

- Για περίοδο επαναφοράς  $T = 10$  έτη, η πλημμυρική παροχή ισούται με  $Q = 135,3 \text{ m}^3/\text{s}$
- Για περίοδο επαναφοράς  $T = 50$  έτη, η πλημμυρική παροχή ισούται με  $Q = 177,27 \text{ m}^3/\text{s}$
- Για περίοδο επαναφοράς  $T = 100$  έτη, η πλημμυρική παροχή ισούται με  $Q = 195,37 \text{ m}^3/\text{s}$

Όπου:  $a$  = συντελεστής που παίρνει τιμές 0,026 – 2,77 (συνήθης τιμή  $a = 1,8$ )

$E$  = το εμβαδόν της λεκάνης απορροής σε  $\text{Km}^2$

$T$  = η περίοδος επαναφοράς σε έτη

Επομένως, κρίνεται ζωτικής σημασίας ο υπερχειλιστής του φράγματος να έχει τη δυνατότητα να διοχετεύει  $200 \text{ m}^3/\text{s}$ , ώστε να μην αστοχήσει με τις μέγιστες πλημμυρικές παροχές που θα προκύψουν σε ορίζοντα εκατονταετίας.

Συνοψίζοντας, το προτεινόμενο φράγμα θα έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

- Τύπος φράγματος: χωμάτινο
- Ύψος φράγματος: 30 m
- Μήκος στέψης: 117 m
- Χωρητικότητα ταμιευτήρα:  $1,25 \times 10^6 \text{ m}^3$

## 6. Συζήτηση

### 6.1 Πιθανά προβλήματα αστοχιών

Στη συγκεκριμένη περίπτωση λιθόρριπτου φράγματος είναι πιθανό να παρατηρηθούν οι εξής περιπτώσεις αστοχιών:

- i. **Υπερχείλιση του φράγματος και απόπλυση του υλικού:** μπορεί να προκύψει σε περίπτωση κατολίσθησης των υπερκείμενων πρανών στον υδάτινο ταμιευτήρα με συνέπεια τη δημιουργία κυματισμών που θα υπερπηδήσουν το ύψος του φράγματος και θα αποπλύνουν το χωμάτινο υλικό με αποτέλεσμα την αστοχία του έργου. Η υπερχείλιση μπορεί να επιτευχθεί και σε περίπτωση πλημμυρικής απορροής που θα υψώσει ραγδαία το ύψος του ταμιευτήρα (Σχήμα 17).



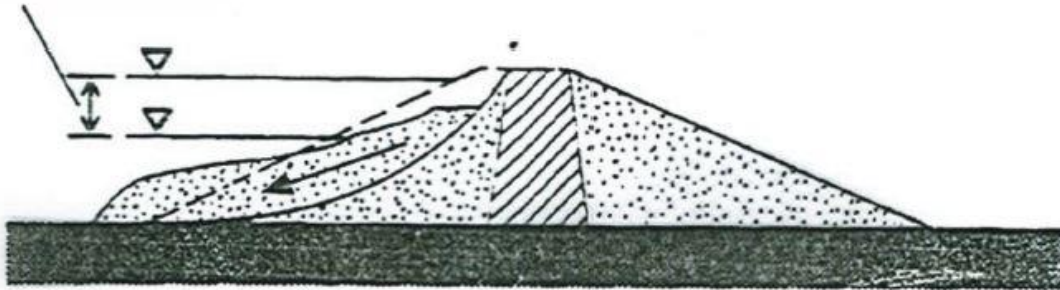
Σχήμα 17: Αστοχία τύπου υπερχείλισης

- ii. **Καθίζηση ή θραύση της θεμελίωσης:** καθώς το φράγμα θα θεμελιωθεί σε ασθενείς τεταρτογενείς ιζηματογενείς σχηματισμούς, δύναται οι εν λόγω σχηματισμοί να μη μπορέσουν να παραλάβουν το φορτίο του φράγματος και να καθιζάνουν, με αποτέλεσμα ταπείνωση του φράγματος και αστοχίας του έργου (Σχήμα 18).



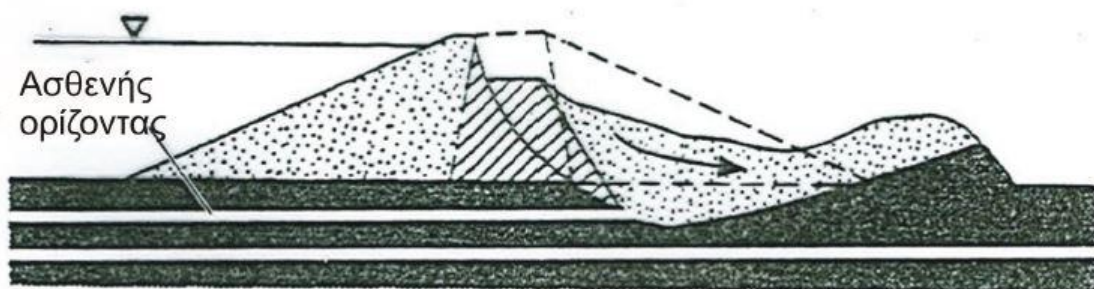
Σχήμα 18: Αστοχία τύπου καθιζήσεως

- iii. **Αστάθεια ανάντη κελύφους:** η συγκεκριμένη περίπτωση αστοχίας είναι δυνατή να πραγματοποιηθεί σε πιθανή περίοδο ξηρασίας ή διακοπή της παροχής του ρέματος που θα έχει ως αποτέλεσμα την ταπείνωση της στάθμης των υδάτων και την αστοχία του ανάντη κελύφους (Σχήμα 19).



Σχήμα 19: Αστοχία τύπου αστάθειας

- iv. **Θραύση θεμελίωσης λόγω παρουσίας ασθενών στρωμάτων:** όπως αναφέρθηκε και στη περίπτωση ii, το φράγμα θα θεμελιωθεί σε ασθενείς τεταρτογενείς ιζηματογενείς σχηματισμούς, οι οποίοι μπορεί να μην αντέξουν τις νέες τάσεις και να οδηγήσουν στην αστοχία του φράγματος (Σχήμα 20).



Σχήμα 20: Αστοχία τύπου θραύσης

## 6.2 Προτεινόμενα μέτρα αντιμετώπισης

Οι προαναφερόμενες αστοχίες μπορούν να περιοριστούν και να αποφευχθούν ολοκληρωτικά μέσω ορισμένων μέτρων αντιμετώπισης, όπως για παράδειγμα η **απομάκρυνση επικρεμάμενων τεμαχίων** από την περιοχή θεμελίωσης του φράγματος, καθώς και από την περιοχή πέριξ της λεκάνης κατακλύσεως ώστε να αποφευχθούν κατολισθήσεις τόσο στο ίδιο το φράγμα, όσο και στον ταμιευτήρα, που θα προκαλέσουν κυματισμό και υπερπήδηση του φράγματος. Εφαρμογή **γεωυφασμάτων** σε ευαίσθητα σημεία που χρίζουν περαιτέρω υποστήριξης για τον έλεγχο της επιφανειακής διάβρωσης των πρανών. Χρήση **επιφανειακών αποστραγγιστικών έργων** (τάφροι αποστράγγισης, αποστραγγιστικοί σωλήνες) για τη

μείωση της υδροστατικής πίεσης στα πρανή. Τα ύδατα οφείλουν να καταλήγουν στον ταμιευτήρα. **Εκσκαφή** των πρώτων 1 – 1,5 m του εδάφους της περιοχής του άξονα θεμελίωσης του φράγματος ώστε να απομακρυνθεί η συμπίεστη άργιλος και να χρησιμοποιηθεί αργότερα στον πυρήνα του φράγματος.

### *6.3 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της κατασκευής*

Η κατασκευή ενός φράγματος έχει ως αποτέλεσμα διάφορες περιβαλλοντικές επιπτώσεις για την περιοχή. Στα θετικά συγκαταλέγεται η αποταμίευση νερού για άρδευση. Παράλληλα, η παρουσία υδατοταμιευτήρα, θα μειώσει το κόστος της άρδευσης και κατ' επέκταση το κόστος της αγροτικής παραγωγής, ενώ ο εμπλουτισμός του υποκείμενου υδροφορέα θα ελαττώσει το κόστος άντλησης νερού. Επιπρόσθετα, το φράγμα προσφέρει ουσιώδη προστασία από πλημμυρικά φαινόμενα ενώ θα μειωθούν οι καταστροφές αγροτικών εκτάσεων. Τέλος, η τεχνητή λίμνη που θα σχηματιστεί θα μπορούσε να μετατραπεί σε χώρο αναψυχής, ώστε να αυξηθεί ο τουρισμός στην περιοχή.

Βέβαια, με την κατασκευή του φράγματος θα αλλοιωθεί η φυσική ροή του ποταμού, καθώς θα μειωθεί σημαντικά η παροχή κατάντη του φράγματος. Η συγκέντρωση μεγάλης ποσότητας ύδατος στον ταμιευτήρα ενδεχομένως να προκαλέσει τοπικούς σεισμούς εξαιτίας του νέου φορτίου που καλούνται να παραλάβουν τα παρακείμενα πετρώματα. Ακόμα, το φράγμα θα κατακρατεί μεγάλες ποσότητες φερτών υλικών που μεταφέρονται από τον ποταμό, στερώντας τα από τα δέλτα του και οδηγώντας σε τοπική διείσδυση της θάλασσας. Επίσης, θα επηρεαστεί η πανίδα της περιοχής, καθώς το οικοσύστημα ανάντη του φράγματος μετατρέπεται από ποτάμιο σε λιμναίο, με αποτέλεσμα να μεταβάλλεται η παροχή, η θερμοκρασία και το διαλυμένο οξυγόνο του νερού, ενώ κατάντη η μειωμένη παροχή οδηγεί στην ξήρανση της κοίτης, τη μεταβολή του τοπίου και την εξαφάνιση των υδρόβιων οργανισμών. Αναπόφευκτη είναι και η αλλοίωση του φυσικού τοπίου, καθώς ένα ογκώδες οικοδόμημα διαταράσσει την αρμονία και το φυσικό κάλλος του περιβάλλοντος.

Η συνεχόμενη συγκέντρωση φερτών υλικών στον ταμιευτήρα θα οδηγήσει στη σταδιακή μείωση της χωρητικότητας του, με ετήσιες απώλειες της τάξης του 1%, ενώ θα παρουσιάζει μειωμένη λειτουργικότητα και η έξοδος του πυθμένα. Το πρόβλημα θα μπορούσε να αντιμετωπιστεί με την κατασκευή ενός μικρού προφράγματος που θα είχε ως στόχο την κατακράτηση των χονδρόκοκκων υλικών.

Εφόσον δεν κατασκευαστεί το πρόφραγμα και το σύνολο των φερτών υλικών εισέρχεται στον ταμιευτήρα, καθίσταται αρκετά πιθανή μελλοντική αστοχία του έργου, η οποία θα εκδηλωθεί με την προαναφερόμενη περίπτωση ii) **καθίζηση ή θραύση της θεμελίωσης**, καθώς θα αυξάνεται συνεχώς το βάρος που θα καλούνται να παραλάβουν οι επιτόπιοι τεταρτογενείς ιζηματογενείς σχηματισμοί.



## 7. Συμπεράσματα

- Στην περιοχή έρευνας συναντώνται ιζηματογενείς (άμμος, χαλίκια), μεταμορφωμένοι (ανακρυσταλλωμένοι ασβεστόλιθοι, σχιστόλιθοι) και πυριγενείς (γάββρος, πυροξενίτης) σχηματισμοί.
- Η περιοχή έρευνας έχει εμβαδόν 51,36 km<sup>2</sup>, περίμετρο 41,45 km, μέγιστο ύψος 952 m, μέγιστο μήκος 14,08 km και μέγιστο πλάτος 6,5 km.
- Η ολοένα και αυξανόμενη αγροτική παραγωγή έχει οδηγήσει στην σταδιακή μείωση της στάθμης των υπογείων υδάτων.
- Η μορφολογία της περιοχής επιτρέπει και ευνοεί την κατασκευή φράγματος ΝΑ του οικισμού του Γαλαρινού.
- Το ύψος των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων στην περιοχή κυμαίνεται περί τα 590 mm, με βάση την προαναφερόμενη βροχοβαθμίδα.
- Προτείνεται η κατασκευή χωμάτινου φράγματος ΝΑ του Γαλαρινού για εμπλουτισμό του παρακείμενου υδροφορέα, καθώς και τη δημιουργία υδατοταμιευτήρα για την κάλυψη των αρδευτικών αναγκών της περιοχής.
- Η κατασκευή του φράγματος θα λύσει το υδατικό πρόβλημα της περιοχής αλλά θα προκαλέσει περιβαλλοντικές επιπτώσεις, όπως η αλλαγή του τοπίου, δημιουργία λιμναίου περιβάλλοντος, μείωση της παροχής του Ανθεμούντα κατάντη του φράγματος και κατακράτηση των φερτών υλικών.



## 8. Βιβλιογραφία

- Βουδούρης, Κ. (2013):** Τεχνική Υδρογεωλογία – Υπόγεια νερά, εκδόσεις Τζιόλα.
- Βουδούρης, Κ. (2009):** Υδρογεωλογία περιβάλλοντος, εκδόσεις Τζιόλα.
- Βουδούρης, Κ., Μανδηλαράς, Δ. (2004):** Εκτίμηση της τρωτότητας των υπογείων νερών με τη μέθοδο DRASTIC: Η περίπτωση του αλλουβιακού υδροφορέα της λεκάνης του Γλαύκου.
- Δημόπουλος, Γ. (2007):** Γεωλογικές μελέτες τεχνικών έργων – υδρολογικές μελέτες, εκδοτικός οίκος Αδελφών Κυριακίδη α.ε..
- Καζάκης, Ν. (2013):** Εκτίμηση της διακινδύνευσης της εξωτερικής ρύπανσης των υπογείων νερών: εφαρμογή στη λεκάνη του Ανθεμούντα.
- Μουντράκης, Δ. (2010):** Γεωλογία και Γεωτεκτονική Εξέλιξη της Ελλάδας, εκδόσεις University studio press.
- Συρίδης, Γ. (2010):** Γεωλογική – Υδρογεωλογική – Παλαιοντολογική έρευνα του Δήμου Μεσοποταμίας.
- Anigacz, E., Kokocinska – Pakiet, E. (2015):** long – term monitoring for settlement of earth dam, Taylor & Francis group
- Chen, S.-L., Lin, C.-F., Ni, J.-C., Gui, M.-W. (2015):** Effects of upstream water level on dynamic response of earth dam.
- Kavosi, O., Najarchi, M., Yusefirad, M. (2015):** Analysis and comparison of the quasi – static stability of small homogeneous earth dams.
- Kazakis N. (2014):** Estimation of groundwater balance and safe yield of porous aquifer in the Anthemountas basin and Peraia's coastal area. 10<sup>th</sup> International Hydrogeological Congress of Greece, Thessaloniki. vol. 1, pp. 305-314.
- Pagano, L., Sica, S. (2012):** Earthquake early warning system for earth dams: concepts and objectives.
- Patsialis, Th., Kougias I., Ganoulis, J., Theodossiou, N. (2015):** Sustainable development of existing irrigation dams towards energy production. A case study in an agricultural area in Greece.



## Παράρτημα

Χαρακτηριστικές φωτογραφίες καταγραφής στάθμης κατά τη διάρκεια των εργασιών πεδίου.





