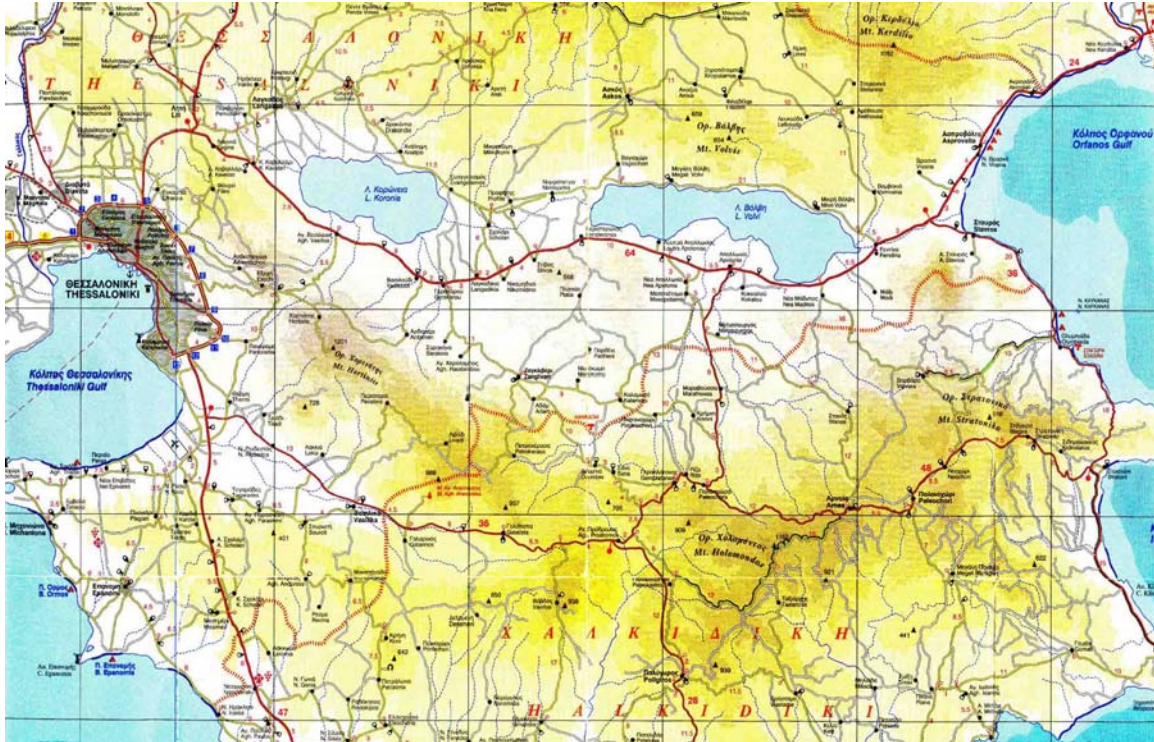


**ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ**

Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΚΟΡΩΝΕΙΑΣ

ΚΩΣΤΑΣ ΒΟΥΛΟΥΡΗΣ, ΛΕΚΤΟΡΑΣ

**ΜΑΚΡΙΔΟΥ ΖΑΦΕΙΡΙΑ
ΑΝΤΩΝΙΟΥ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ**

Περιεχόμενα

Πρόλογος

Ιστορικά στοιχεία

1. Περιγραφή της περιοχής μελέτης

- 1.1 Γεωγραφική θέση της λίμνης – μορφολογία
- 1.2 Γεωλογική δομή
- 1.3 Γεωλογία υποβάθρου
- 1.4 Προμυγδονιακό και Μυγδονιακό σύστημα
- 1.5 Αποτελέσματα βυθοσκοπήσεων

2. Τεκτονική δομή

- 2.1 Νεοτεκτονική δομή
- 2.2 Σεισμική Ρηξιγενής Ζώνη
- 2.3 Ρήγμα Γερακαρούς – Νικομηδινού – Στίβου – Περιστερώνα

3. Γεωθερμικά Πεδία Στη Λεκάνη Μυγδονίας

- 3.1 Περιοχή Λουτρών Λαγκαδά
- 3.2 Χρυσαιγή (περιοχή 5,5 km επί της οδού Λαγκαδά – Σοχού)
- 3.3 Περιοχή Νυμφόπετρας

4. Υδρολογία

- 4.1 Γενικό Υδρολογικό Ισοζύγιο
- 4.2 Υδατικό ισοζύγιο της λίμνης
- 4.3 Καταναλώσεις

5. Υδρογεωλογία

- 5.1 Υδρολιθολογία της περιοχής
- 5.2 Υδρογεωλογικές συνθήκες
- 5.3 Πιεζομετρία

6. Ποιότητα υπόγειων νερών

- 6.1 Μεθοδολογία μετρήσεων των ανιόντων και κατιόντων
- 6.2 Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων

7. Προτεινόμενο Υδρολογικό Διαχειριστικό Σχέδιο Αποκατάστασης Της Λίμνης Κορώνειας

8. Συμπεράσματα

9. Παράρτημα

10. Βιβλιογραφία

Πρόλογος

Το Φεβρουάριο του 2006 μας ανατέθηκε από το Λέκτορα κ. Κώστα Βουδούρη, η παρακάτω διπλωματική εργασία, με σκοπό την υδρογεωλογική μελέτη της λεκάνης Κορώνειας.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι :

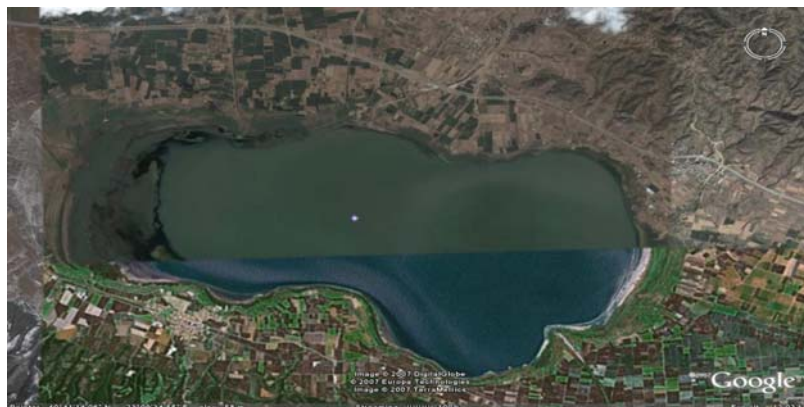
- Η καλύτερη γνώση της υδρογεωλογικής δομής και λειτουργίας των υδροφόρων στρωμάτων που αναπτύσσονται στη λεκάνη.
- Την εκτίμηση των αποθεμάτων υπόγειων και επιφανειακών νερών της περιοχής σε συνδυασμό με το υδατικό ισοζύγιο.
- Τον ποιοτικό έλεγχο των υπόγειων νερών για τον εντοπισμό τυχόν προβλημάτων ρύπανσης και μόλυνσης.
- Τέλος η παράθεση προτάσεων για την ορθολογική διαχείριση του υδατικού δυναμικού της περιοχής, έτσι ώστε η λίμνη Κορώνεια να ανακάμψει και να δώσει ζωή στην ευρύτερη περιοχή γύρω από αυτή, όπως και στο παρελθόν.

Στο σημείο αυτό να ευχαριστήσουμε τον κ. Κώστα Βουδούρη για την εμπιστοσύνη που μας έδειξε, αναθέτοντας μας την εργασία αυτή και για τη βοήθεια του που ήταν καταλυτική τόσο για την συλλογή των απαραίτητων στοιχείων, όσο και για τη σωστή δόμηση της εργασίας.

Ευχαριστούμε και τον κ. Μιχάλη Σωτηριάδη που μας βοήθησε να κατανοήσουμε την διαδικασία που ακολουθείται στη χημική ανάλυση νερού. Χωρίς τη βοήθειά του θα ήταν δύσκολη η διεκπεραίωση των μετρήσεων.

Για την επίτευξη του σκοπού της παρούσας Διπλωματικής εργασίας έγιναν οι παρακάτω εργασίες:

- Συλλογή βιβλιογραφικών δεδομένων, που αφορούν την γεωλογία, υδρολογία και υδρογεωλογία της ευρύτερης περιοχής.
- Συλλογή και επεξεργασία υδρολογικών δεδομένων από τον μετεωρολογικό σταθμό Χρυσανγής Λαγκαδά
- Συλλογή δειγμάτων νερού από γεωτρήσεις της περιοχής και πραγματοποίηση χημικών αναλύσεων για τον προσδιορισμό της ποιότητάς του.
- Τέλος λήψη φωτογραφιών από το ύπαιθρο καθώς και από δορυφόρο.



Εικόνα της λίμνης Κορώνειας από δορυφόρο. (Από google earth).

Ιστορικά στοιχεία

Το τοπωνύμιο Μυγδονία, δημιουργήθηκε από τους αρχαίους και διατηρήθηκε αναλλοίωτο μέχρι σήμερα. Δήλωνε μία πολύ ευρύτερη περιοχή που εκτεινόταν από τον Αξιό ως το Στρυμόνα και χαρακτηριζόταν από την ευφορία του εδάφους. Στην περιοχή αυτή κατοικούσαν οι Μύγδονες, θρακικό φύλο, που κατακτήθηκε από τους Μακεδόνες την περίοδο που ακολούθησε τη βασιλεία του Αμύντα. Αναζητώντας την ετυμολογία λέξης ΜΥ ΓΔΩΝ, βλέπουμε ότι πολύ εύστοχα οι πρόγονοι μας ονόμασαν έτσι την περιοχή. Το πρώτο συνθετικό είναι το δωδέκατο γράμμα του ελληνικού αλφαβήτου Μ, που προήλθε από το δέκατο τρίτο του φοινικικού αλφαβήτου 'Μεμ', που δήλωνε ύδωρ. Το δεύτερο συνθετικό 'ΓΔΩΝ' προέρχεται από το ελληνικό χθων - χθώνος και δηλώνει το έδαφος. Το όνομα λοιπόν Μυγδονία σημαίνει 'ύδωρ και έδαφος', στοιχεία που και σήμερα χαρακτηρίζουν την περιοχή.

Η εύφορη περιοχή των λιμνών, υπήρξε κίνητρο και παράγοντας ανάπτυξης οργανωμένης κοινωνικής ζωής από τους προϊστορικούς ακόμα χρόνους. Γύρω από τις λίμνες έχουν ανακαλυφθεί μια σειρά οικισμοί Νεολιθικής Εποχής, της Εποχής του Χαλκού και του Σιδήρου. Στα ιστορικά χρόνια, η ανάπτυξη των οδών διακίνησης ανθρώπων και αγαθών, οι οποίες περνούσαν από την περιοχή ενώνοντας μέσω των στενών της Ρεντίνας τη Θεσσαλονίκη με την Ανατολική Μακεδονία και τη Θράκη, οδήγησαν στην ανάπτυξη σημαντικών οικισμών, όπως η Απολλωνία. Η Ρωμαϊκή Εγνατία οδός ακολουθούσε περίπου τη χάραξη της σημερινής εθνικής οδού και μία από τις στάσεις της σώζεται ακόμα στη Ν. Απολλωνία. Η Απολλωνία ήταν σπουδαίο εμπορικό κέντρο της αρχαιότητας και υποχρεωτικός σταθμός για τους ταξιδιώτες και τα καραβάνια. Εκεί σταμάτησε ο Απόστολος Παύλος, το 50 μΧ, προερχόμενος από τους Φιλίππους.

Στη Ρεντίνα, στις όχθες του Ρήχιου ποταμού ο Αριστοτέλης έκτισε τη φιλοσοφική του σχολή, ενώ στην περιοχή της Ρεντίνας επίσης φέρεται να έχει σκοτωθεί και ταφεί ο μεγάλος τραγικός Ευριπίδης. Στους Βυζαντινούς χρόνους άρχισε και η αξιοποίηση των ιαματικών πηγών της Απολλωνίας και του Λαγκαδά.



View towards Lake Koroneia (Lagadas County)

1. Περιγραφή περιοχής μελέτης

1.1 Γεωγραφική θέση της λίμνης-μορφολογία

Στην κεντρική Μακεδονία, στη ΒΑ πλευρά της πόλης της Θεσσαλονίκης και μόλις 12 km από αυτή, απλώνεται η υδρολογική λεκάνη της Μυγδονίας, που κατέχει μια επιμήκη ζώνη μεταξύ του Γαλλικού ποταμού και του Στρυμονικού κόλπου. Η λεκάνη της Μυγδονίας είναι ένα εκτεταμένο και επίμηκες βύθισμα, που διαχωρίζει τη χερσόνησο της Χαλκιδικής από τον εκτεταμένο κορμό της Μακεδονίας και αποτελεί τμήμα ενός ευρύτερου βυθίσματος, του Προμυγδονιακού, το οποίο περιλαμβάνει και τις γειτονικές λεκάνες του Ζαγλιβερίου και της Μαραθούσας.

Η Μυγδονία λεκάνη συγκροτείται από δύο τμήματα ένα ανατολικό, το οποίο συνιστά την υπολεκάνη της Βόλβης και ένα δυτικό, το οποίο συνιστά την υπολεκάνη του Λαγκαδά. Το όριο μεταξύ των δύο αυτών υπολεκανών δεν είναι σαφές, ορίζεται όμως, από τον άξονα Στίβου – Σχολαρίου, με ένα σύστημα ραχών, λόφων και αναβαθμίδων, διαμέσου των οποίων διέρχεται ο ποταμός Δερβένι, στην κεντρική περιοχή της Μυγδονίας. Εντός των υπολεκανών βρίσκονται οι λίμνες Λαγκαδά και Βόλβης αντίστοιχα, οι οποίες αποτελούν υπολειματικές μορφές της μεγάλης πλειστοκαινικής Μυγδονίας λίμνης (βάθους 110 m) και ανήκουν στους ελληνικούς υδροβιότοπους διεθνούς σημασίας που προστατεύονται από την συνθήκη Ramsar καθώς και από ένα πλήθος συνθηκών και πράξεων που διέπουν το καθεστώς διαχείρισής τους.

Η υπολεκάνη του Λαγκαδά, εκτεινόμενη μεταξύ του ορεινού όγκου Χορτιάτη, Καμήλας, Βερτίσκου και των ραχών Στίβου – Σχολαρίου, έχει σχήμα περίπου τραπεζίου του οποίου η μεγάλη βάση έχει μήκος 38 km (Μελισσοχώρι – Στίβος), η μικρή βάση έχει μήκος 26 km (Άσσηρος - Προφήτης) και το μέσο ύψος του είναι γύρω στα 12 km (Άγιος Βασίλειος-Ανάληψη). Η έκταση του χαμηλότερου τμήματος της υπολεκάνης (υψόμετρο >250 m) είναι 350 km² με μέσο υψόμετρο αυτού τα 115,7 m. Η λίμνη του Λαγκαδά κατέχει το ανατολικό τμήμα της υπολεκάνης του Μπογδάνα ποταμού, ενώ δυτικά εκτείνεται η εύφορη πεδινή έκταση, εντός της οποίας βρίσκεται και η πόλη του Λαγκαδά. Η νότια πλευρά της υπολεκάνης και το ανατολικό τμήμα της βόρειας πλευράς αυτής είναι απότομο, σε αντίθεση με τη βόρεια πλευρά η οποία είναι ομαλή. Η δυτική πλευρά της λεκάνης δεν έχει σαφή όρια, πλην του ορεινού όγκου της Καμήλας, ο οποίος τη διαχωρίζει από τη λεκάνη του Γαλλικού ποταμού. Εκατέρωθεν της Καμήλας και μεταξύ του Μελισσοχωρίου και Ασσήρου η μορφολογία της περιοχής χαρακτηρίζεται από εναλλαγές ραχών και κοιλωμάτων.

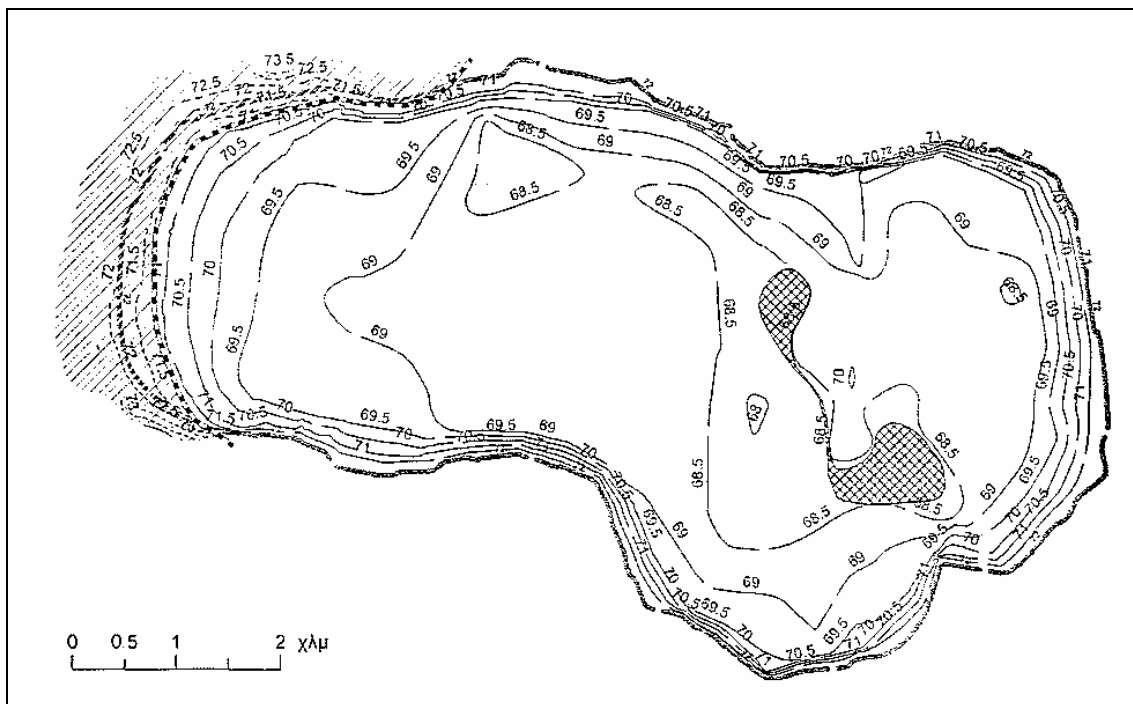
Η λίμνη Λαγκαδά καταλαμβάνει έκταση 25 km² και βρίσκεται σε απόλυτο υψόμετρο 78 m. Είναι λίμνη γλυκού νερού και έχει σχήμα ελλειψοειδές, με μέσο μήκος του μεγάλου άξονα της έλλειψης 11 km και διεύθυνση Α - Δ και του μικρού 4,5 km με διεύθυνση Β-Ν.

Το 1970, όπως προκύπτει από παλιότερα στοιχεία, η στάθμη της λίμνης βρισκόταν σε υψόμετρο 75 m από τη θάλασσα και η επιφάνεια της κατά τη δεκαετία του 1970 - 1980 ανερχόταν σε 46,2 km². Η λίμνη ήταν αβαθής, με μέσο βάθος 5 m και όγκο νερού 200-250*10⁶ m³ και δεχόταν μεγάλες ποσότητες φερτών υλικών, μεταφερόμενα από τους χείμαρρους της γύρω περιοχής, με συνέπεια να προσχώνεται και να καθίσταται συνεχώς αβαθέστερη. Οι ακτές αυτής είναι ομαλές, χαμηλού

ανάγλυφου, ιλυώδους σύστασης με χαρακτηριστική βλάστηση, πλην ορισμένων ζωνών αμμώδους και χαλικώδους σύστασης.

Αν και η λίμνη Κορώνεια βρίσκεται υψηλότερα από τη Βόλβη κατά 38 m και σε απόσταση 11 km από αυτή δεν έχει φυσική ροή προς αυτή. Η επικοινωνία των δύο λιμνών έχει επιτευχθεί με διάνοιξη τεχνητής αποστραγγιστικής τάφρου (Υ.Ε.Β-Υπ. Γεωργίας).

Η μεταβολή της επιφάνειας της λίμνης σύμφωνα με Ψιλοβίκο (1977) απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα. Το εξωτερικό περίγραμμα δείχνει την επιφάνεια της λίμνης κατά την περίοδο 1970 ενώ το εσωτερικό την επιφάνεια της λίμνης τον Οκτώβριο του 1995.



Σχήμα 1. Μεταβολή της επιφάνειας της λίμνης κατά την περίοδο 1970-1995 (Ψιλοβίκος . Α. 1977)

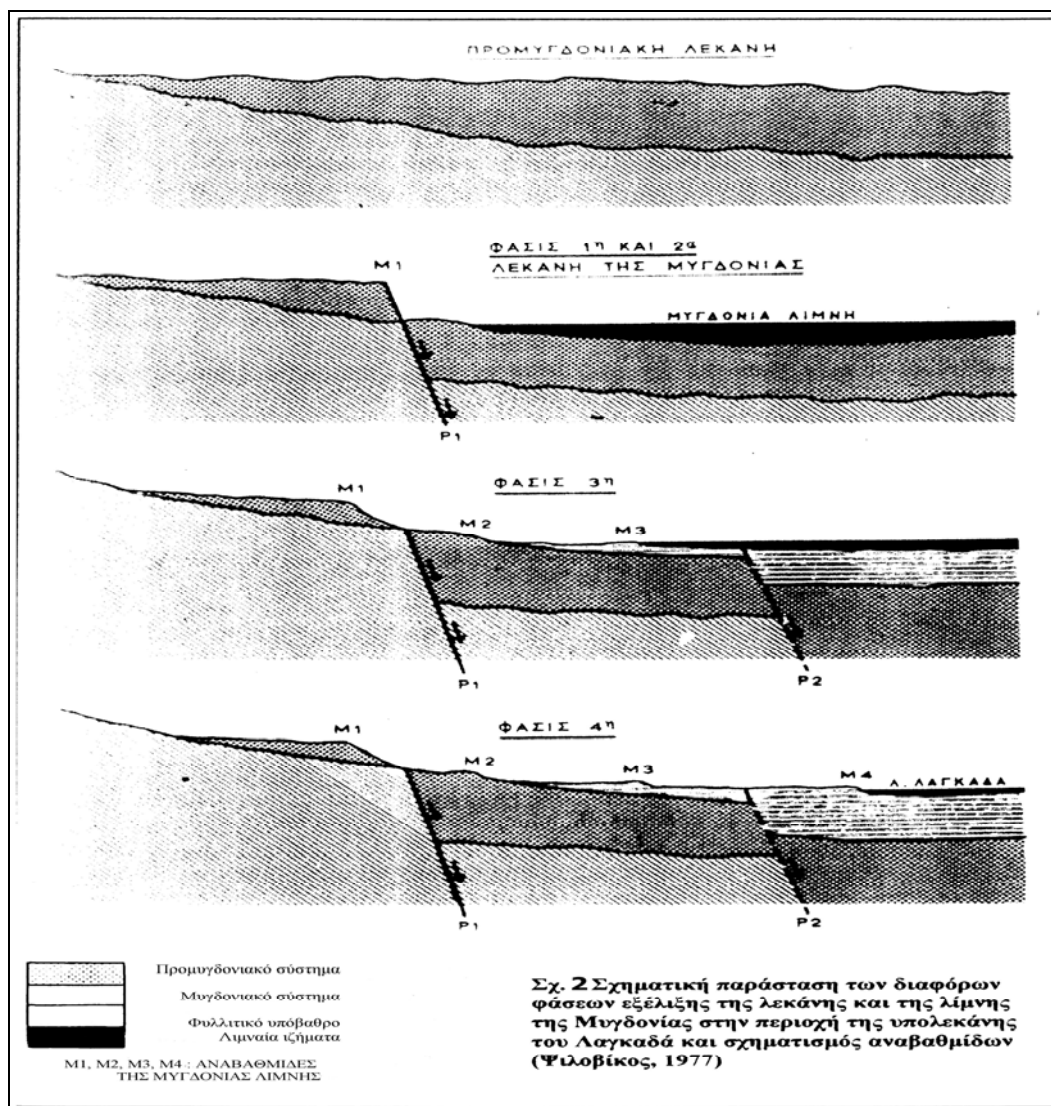
1.2 Γεωλογική δομή

Οι υπολεκάνες Κορώνειας και Σχολαρίου αποτελούν το δυτικό τμήμα του τεκτονικού βυθίσματος της λεκάνης Μυγδονίας. Η σημερινή γεωμορφολογία του χώρου διαμορφώθηκε πριν από 1,8 εκ. έτη (κατώτερο Πλειστόκαινο) όταν τα ρήγματα στην Προμυγδονιακή λεκάνη προκάλεσαν τη βύθισή της. Με αυτό τον τρόπο διακόπηκε η επικοινωνία της με τη θάλασσα και δημιουργήθηκε μια μεγάλη λίμνη, που όμως δεν διατηρήθηκε για πολύ. Διαβρωτικές και τεκτονικές διεργασίες στην κοιλάδα της Ρεντίνας, διοχέτευσαν τα νερά της στο Στρυμονικό κόλπο. Όσος υδάτινος όγκος παρέμεινε, περιορίστηκε στα βαθύτερα σημεία της λεκάνης σχηματίζοντας τις λίμνες που βλέπουμε σήμερα, Κορώνεια και Βόλβη (Ψιλοβίκος 1977).

Πιο αναλυτικά η προμυγδονιακή λεκάνη κατακλύσθηκε βαθμιαία από τα νερά της λεκάνης απορροής και σχηματίστηκε εντός αυτής η Προμυγδονιακή λίμνη, η οποία χέρσευσε κατά το Άνω Πλειόκαινο. Τεκτονικά γεγονότα που συνέβησαν στην περιοχή κατά το κάτω Πλειστόκαινο, προκάλεσαν τη διάρρηξη και βύθιση τμήματος της Προμυγδονιακής λεκάνης και οδήγησε στο σχηματισμό της λεκάνης της Μυγδονίας.

Λίμνη Κορώνεια

Εξαιτίας της διακοπής της υδάτινης επικοινωνίας της νέας λεκάνης με το Στρυμονικό κόλπο και της συγκέντρωσης των νερών της περιοχής εντός αυτής, σχηματίστηκε μια νέα λίμνη, γνωστή ως Μυγδονία. Ο σχηματισμός αυτής σχετίζεται με τις ευνοϊκές κλιματικές συνθήκες του Κ. Πλειοκαίνου και τοποθετείται χρονολογικά στη 1^η Μεσοπαγετώδη περίοδο, δηλαδή πριν από 500 χιλιάδες χρόνια περίπου. Η Μυγδονία λίμνη έφθανε σε απόλυτο υψόμετρο +135 m. Η περαιτέρω εξέλιξη αυτής ακολούθησε διάφορες φάσεις, κατά τη διάρκεια των οποίων επήλθε ταπείνωση της στάθμης της, μέχρις ότου πραγματοποιήθηκε ο χωρισμός αυτής σε δυο λίμνες, τη λίμνη Λαγκαδά και τη λίμνη Βόλβη. Οι λιμναίες αναβαθμίδες (M₁, M₂, M₃, M₄) επιβεβαιώνουν τη σταδιακή πτώση της στάθμης, η οποία σχετίζεται με τα τεκτονικά γεγονότα και τις κλιματικές εναλλαγές του Πλειστοκαίνου που οδήγησαν στη δημιουργία της λίμνης Κορώνειας.



1.3 Γεωλογία Υπόβαθρου

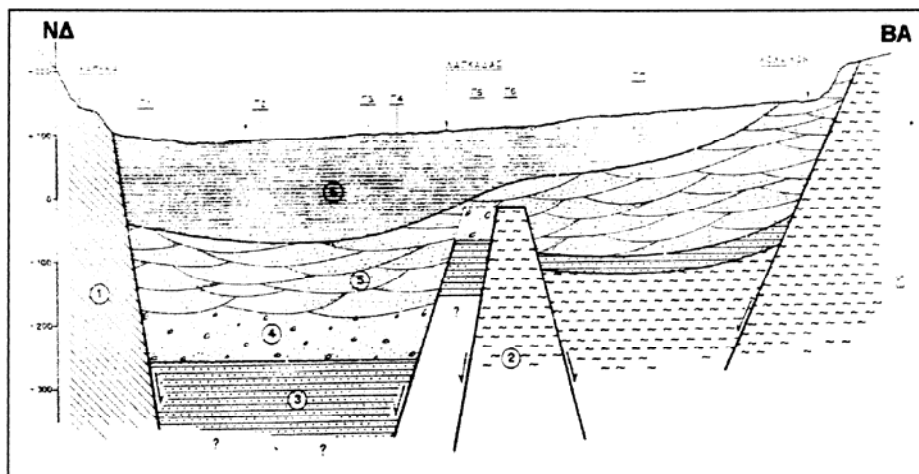
Η υπολεκάνη Κορώνειας αποτελεί το δυτικό του τεκτονικού βυθίσματος της λεκάνης Μυγδονίας. Το προ - νεογενές υπόβαθρο της περιοχής θεωρείται ότι βρίσκεται στο γεωλογικό όριο της σειράς Βερτίσκου της Σερβομακεδονικής μάζας με την Περιοδοπική ζώνη (ενότητα Μελισσοχωρίου - Χολομώντα). Στη Μυγδονία λεκάνη συναντάμε μόνο σχηματισμούς της σειράς Βερτίσκου και όχι των Κερδυλλίων, αφού αυτή αναπτύσσεται ανατολικότερα.

Η σειρά Βερτίσκου στην περιοχή της λίμνης αντιπροσωπεύεται από γνεύσιους διμαρμαρυγιακούς, βιοτιτικούς και μοσχοβιτικούς με σαφή προσανατολισμό των φυλλωδών συστατικών τους και εμφανή σχιστότητα. Οι γνεύσιοι εξαπλώνονται στη νότια πλευρά της λίμνης στην περιοχή που βρίσκεται νότια της γραμμής που ορίζουν τα χωριά Λαγκαδίκια και Στίβος.

Πάνω στους γνευσίους της σειράς του Βερτίσκου τοποθετείται μια ηφαιστειοιζηματογενής σειρά, πάνω στην οποία επικάθεται το σύστημα των ασβεστολίθων. Πρόκειται για συμπαγείς ασβεστόλιθους, οι οποίοι είναι στρωσιγενείς με εναλλαγές μαρμάρων και δολομιτικών ασβεστολίθων. Η ηλικία τους που υπολογίστηκε με την βοήθεια μικροπαλαιοντολογικών στοιχείων είναι Μ - Α Τριαδικό. Οι ασβεστολιθικοί αυτοί σχηματισμοί κατέχουν κεντρική, κατ' άξονα ζώνη του ορεινού όγκου της Καμήλας.

Από το χωριό Μελισσοχώρι (ΒΔ της λίμνης) μέχρι το χωριό Βασιλούδι (Ν της λίμνης) εξαπλώνεται η φυλλιτική σειρά, που είναι ένα ιδιαίτερο σύστημα πετρωμάτων φυλλιτικής σύστασης, διαφορετικό των πετρολογικών σχηματισμών της Σερβομακεδονικής μάζας, που προφανώς ανήκουν στην Περιοδοπική ζώνη. Η σειρά αυτή αποτελείται από μεταμορφωμένα και ιζηματογενή πετρώματα, κυρίως φυλλίτες σκοτεινόχρωμους, γρανιτικούς, εν μέρει ψαμμιτικούς, εναλλασόμενους απο ψαμμιτικούς ασβεστόλιθους και χαλαζίτες με παρενθέσεις μαρμάρων, σιπολινών και φακών ασβεστολίθων. Λόγω θέσης και σύστασης η φυλλιτική σειρά θεωρήθηκε ως ιδιαίτερος σχηματισμός των ορίων Σερβομακεδονικής με Περιοδοπική και χαρακτηρίστηκε ως φλύσχης Μελισσοχωρίου ή ως σειρά της Σβούλας. Η γενική διεύθυνση των πετρωμάτων είναι ΒΔ - ΝΑ, ενώ η κλίση τους είναι ΒΑ. Η ηλικία των φυλλιτικών σχηματισμών αναφέρεται στο Μ - Α Παλαιοζωικό.

Στη βόρεια πλευρά της υπολεκάνης του Λαγκαδά οι χαλαζίτες και τα συνοδούντα κροκαλοπαγή κατέχουν ορισμένους μικρού εύρους ορίζοντες μέσα στη γνευσιακή σειρά του Βερτίσκου. Η γενική διεύθυνση των οριζόντων αυτών είναι ΒΔ - ΝΑ. Ιδιαίτερης σημασίας χαλαζιακοί σχηματισμοί βρίσκονται μεταξύ των χωριών Ευαγγελισμός (Δ της λίμνης) και Δρακόντιο (Β της λίμνης).



Σχήμα 4. Τομή της περιοχής που βρίσκεται βορειοδυτικά της λίμνης ανάμεσα στα χωριά Λαγύνα και Κολχικό. 1. Φυλλίτες 2. Γνεύσιοι 3. Αργιλοψαμμίτικα ιζήματα 4. Άμμος κροκάλες 5. Ερυθροστρώματα 6. Αργίλοι της Μυγδονίας λίμνης (Ψιλοβίκος, 1977)

1.4 Προμυγδονιακό και Μυγδονιακό Σύστημα

Η περιοχή γύρω από τις λίμνες της Μυγδονίας λεκάνης καλύπτονται από σχηματισμούς, οι οποίοι είναι γνωστοί ως Μυγδονιακό σύστημα. Το σύστημα αυτό χρονολογείται στο Τεταρτογενές, δηλαδή κατά το σχηματισμό της λεκάνης. Στην ευρύτερη περιοχή συναντάται και προμυγδονιακό σύστημα, ευνοώντας τους ιζηματογενείς σχηματισμούς που αποτέθηκαν (πριν από το σχηματισμό της λεκάνης) μέσα σε μια ευρύτερη και παλαιότερης ηλικίας λεκάνη, την Προμυγδονιακή λεκάνη.

Το προμυγδονιακό σύστημα (Αν. Μειόκαινο - Κ. Πλειστόκαινο) εμφανίζεται Βόρεια του χωριού Χρυσανγή και στις περιοχές Μαραθουσας και Γέρακας. Στην περιοχή μελέτης εντοπίζεται μόνο από βαθιές υδρογεωτρήσεις που φθάνουν μέχρι το κρυσταλλικό υπόβαθρο. Αποτελείται από τα παλαιότερα προς τα νεότερα στρώματα απο: α) κροκαλοπαγή, β) ψαμμίτες, γ) αργιλοψαμμίτες (ιζήματα λιμναίας και ποταμοχειμάρρειας φάσης) και δ) ερυθροστρώματα (άργιλο + άμμο + κροκάλες). Το μέγιστο πάχος των ιζημάτων αυτών είναι της τάξης των 300 m.

Το Μυγδονιακό σύστημα (Μέσο Πλειστόκαινο-Ολόκαινο), εντοπίζεται στο σύνολο της ιζηματογενούς λεκάνης στην περιοχή μελέτης και αποτελείται από μια κατώτερη σειρά από στρώματα κροκάλων και άμμου, άμμου, αργιλόχων άμμων, αργίλων και μια ανώτερη, από αργίλους με εναλλασσόμενα στρώματα άμμου, ιλύος, άμμου, χαλίκια και τραβερτινοειδείς αποθέσεις. Το μέγιστο πάχος αυτών ανέρχεται σε 200 m και διακρίνονται στις Πλειστοκαινικές αναβαθμίδες και στα Ολοκαινικά ιζήματα (αλλουβιακές αποθέσεις, κώνος κορημάτων, λιμναία ιζήματα και αλλουβιακά ριπίδια) από άποψη ηλικίας σχηματισμού.

Συγκεκριμένα, στο δυτικό και νότιο τμήμα της λίμνης, καθώς και ΒΒΑ αυτής συναντούμε επιφανειακά και σε βάθη που κυμαίνονται από 0-3 έως 0-9 m άμμους, αργιλοιλώδεις ή αργιλώδεις, που εναλλάσσονται με αργίλους ή αμμώδεις αργίλους, ενώ μετά από αυτό το σχηματισμό και μέχρι το τελικό βάθος των γεωτρήσεων (20 - 25 m) συναντάμε μαύρη, γκριζομαύρη άργιλο ή ιλύ ή αργολιλύ η οποία περιέχει οργανικά συστατικά και κατά θέσεις λεπτά στρώματα άμμου. Στο ΑΝΑ τμήμα της λίμνης παρουσιάζονται οι ίδιες στρώσεις αλλά με ανεστραμμένη διάταξη. Η γκριζα άργιλος ή ιλύς με λεπτές στρώσεις άμμου κατά θέσεις συναντάται κυρίως από την επιφάνεια και μέχρι βάθος 10 m ενώ στη συνέχεια και μέχρι τα 20 - 25 m βρίσκουμε

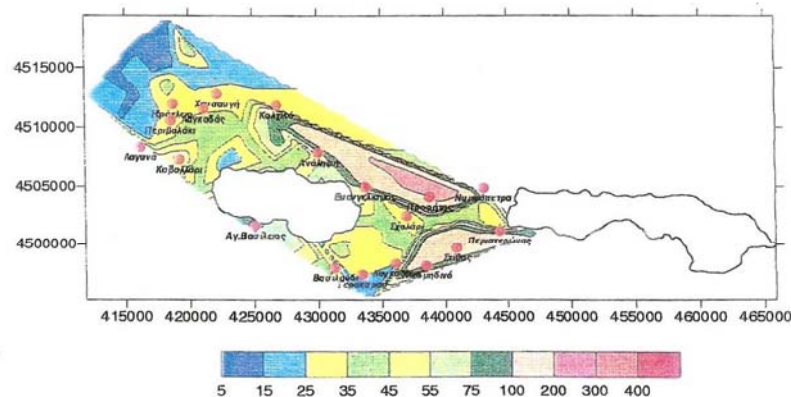
άμμους ή αμμώδους αργίλους (ΓΕΩΕΡΕΥΝΑ Ο.Ε 2001). Οι μαύροι άργιλοι εντοπίζονται στην παραλίμνια περιοχή και αποτελούν τον πυθμένα της λίμνης Κορώνειας.

Μετά από στρωματογραφική και παλαιογεωγραφική ανάλυση (ΓΕΩΕΡΕΥΝΑ Ο.Ε 2001) προέκυψε ότι το άθροισμα ανύψωσης και βύθισης στη λεκάνη Μυγδονίας ήταν $5 \cdot 10^{-2}$ mm/y έως $6 \cdot 10^{-1}$ mm/y. Οι αντίστοιχες τιμές για το Νεογενές υπολογίζονται σε $2,3 \cdot 10^{-2}$ mm/y έως $2 \cdot 10^{-1}$ mm/y, ταχύτητες που θεωρούνται αρκετά μεγάλες.

1.5 Αποτελέσματα βυθοσκοπήσεων

Ο κ. Θανασούλας το 1983 διεξήγαγε γεωφυσική έρευνα επιφάνειας στην υπολεκάνη Λίμνης Κορώνειας για την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τη γεωλογία και την τεκτονική των βαθύτερων στρωμάτων της Μυγδονίας λεκάνης. Προτιμήθηκε η εφαρμογή της μεθόδου των γεωηλεκτρικών βυθοσκοπήσεων.

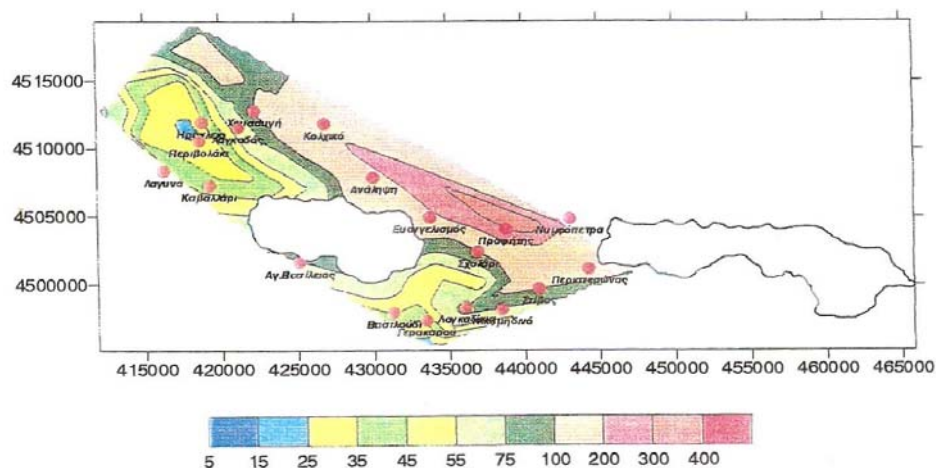
Χρησιμοποιώντας τις αντίστοιχες τιμές φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης για διαφορετικές τιμές του ημιανοίγματος AB/2 κατασκευάστηκαν χάρτες φαινόμενων ισοαντιστάσεων.



Σχήμα 5.Χάρτης φαινόμενων αντιστάσεων για $AB/2=100m$ (Από Θανασούλα, 1983).

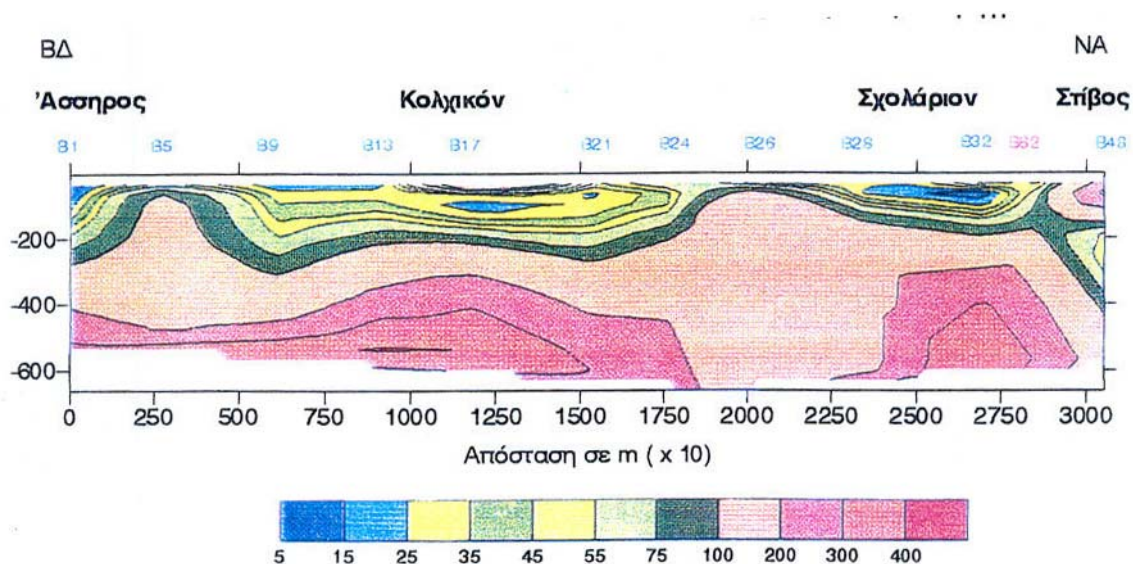
Με βάση τα αποτελέσματα των μετρήσεων, οι μελετητές θεωρούν πιθανό ότι αυτά τα γεωηλεκτρικά στρώματα φιλοξενούν τα γεωθερμικά ρευστά της περιοχής Λαγκαδά. Με την αύξηση του ημιαναπτύγματος ο ορεινός όγκος του Βερτίσκου καταλαμβάνει ακόμη μεγαλύτερη έκταση (Σχημ 6), εντοπίζεται το υπόβαθρο στο χώρο μεταξύ των λιμνών Κορώνειας - Βόλβης καθώς εμφανίζονται και ρήγματα που δημιούργησαν τη λεκάνη του Λαγκαδά.

Λίμνη Κορώνεια



Σχήμα 6. Χάρτης φαινόμενων αντιστάσεων με $AB/2=1000m$ (Από Θανασούλα, 1983).

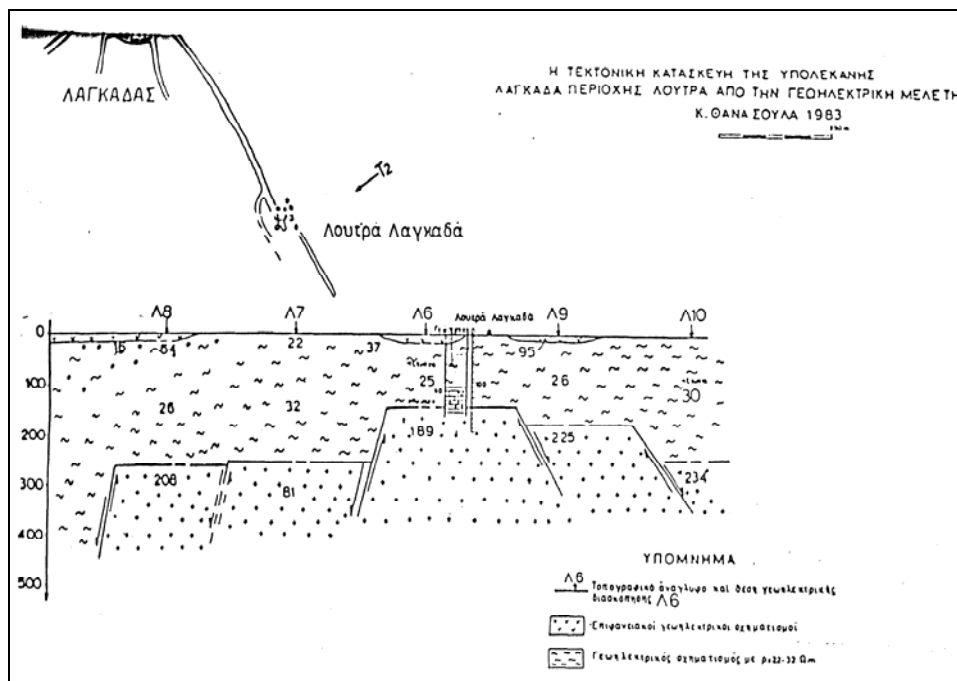
Η εγκάρσια τομή (σχήμα 7) διασχίζει την υπολεκάνη του Λαγκαδά κατά μήκος, σχεδόν παράλληλα με τον ορεινό όγκο του Βερτίσκου. Στις θέσεις B5 (ΝΑ της Ασσήρου), B26 (Δ. του Ευαγγελισμού) και B48 (ΒΑ του Στίβου) καταγράφονται εξάρσεις του υποβάθρου, ενώ τα βυθίσματα που ορίζονται εξαιτίας των πιθανών ρηγματών εκατέρωθεν των προαναφερθέντων εξάρσεων του υποβάθρου, πληρούνται από επιφανειακό υλικό με αντιστάσεις 15-75 Ωm (αργιλικά και πιο συμπαγή υλικά). Η θέση της λίμνης Κορώνειας βρίσκεται μεταξύ των θέσεων B9 και B28 όπου υπάρχει το βύθισμα του υποβάθρου εξαιτίας της ύπαρξης παράλληλων ρηγματών.



Σχήμα 7. Εγκάρσια τομή 1 φαινόμενων γεωηλεκτρικών αντιστάσεων (Από Θανασούλα, 1983).

Συμπερασματικά λοιπόν, εντοπίσθηκε σε δυο περιοχές ανύψωση του υποβάθρου που αποδίδεται σε ρήγματα ΒΔ - ΝΑ διεύθυνσης. Το πρώτο ύψωμα εντοπίζεται στην περιοχή που βρίσκεται Ανατολικά του Σχολαρίου - Στίβος. Το δεύτερο ύψωμα βρίσκεται στην περιοχή των Λουτρών Λαγκαδά (σχήμα 8), όπου εντοπίζεται στο υπόβαθρο τεκτονικό κέρας εκατέρωθεν του οποίου σχηματίζονται δυο τεκτονικοί τάφροι.

Λαμβάνοντας υπόψη ότι η κίνηση του υπόγειου νερού ακολουθεί τον επιμήκη άξονα της πεδινής περιοχής της υπολεκάνης Κορώνειας και ότι τα κυριότερα ρήγματα είναι περίπου παράλληλα προς τον άξονα αυτό, συμπεραίνουμε ότι δεν δημιουργούνται υπόγεια εμπόδια εγκάρσια προς την κίνηση του υπόγειου νερού που να οφείλονται στις κατακόρυφες μετατοπίσεις των ρηγμάτων.



Σχήμα 8. Τεκτονικό κέρας στην περιοχή Λουτρών Λαγκαδά (Από Θανασούλα 1983)

2. Τεκτονική δομή

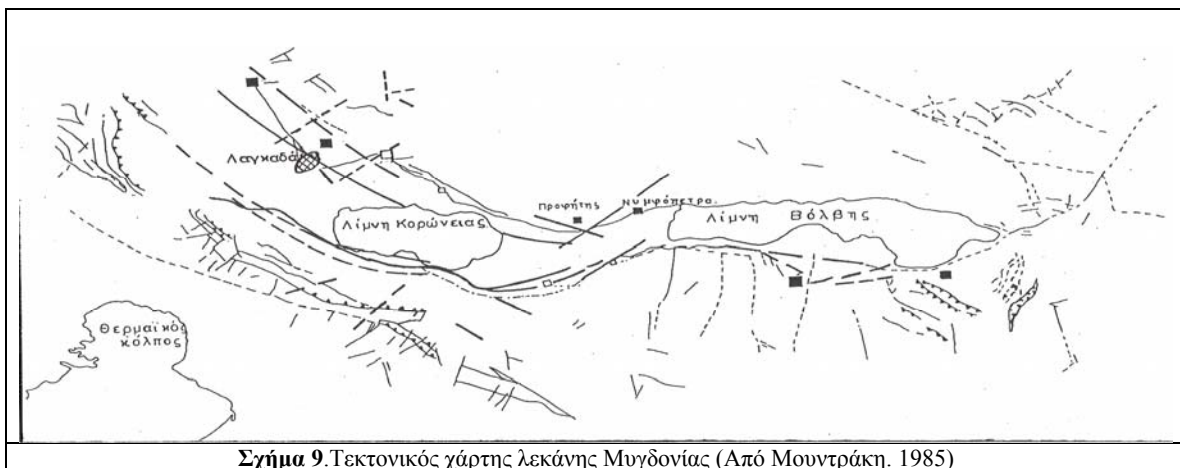
Η τεκτονική δομή και κυρίως η ρηξιγενείς τεκτονική παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον για την υπόγεια κίνηση του νερού. Τα πετρώματα του υποβάθρου έχουν υποστεί την επίδραση των Αλπικών πτυχώσεων με αποτέλεσμα να εμφανίζονται ισοκλινείς μικροπτυχές και ανοικτές πτυχές που δημιουργούν τη μακροδομή. Τα αξονικά επίπεδα των πτυχών έχουν διεύθυνση ΒΔ - ΝΑ έως Β - Ν και κλίση 10 - 20° ΝΑ. Το τέλος της πτυχωσιγενούς τεκτονικής ακολουθεί η ρηξιγενείς τεκτονική.

Η λεκάνη Μυγδονίας ανήκει στον ευρύτερο χώρο του βορείου Αιγαίου, που είναι περιοχή με έντονη νεοτεκτονική, σεισμική δραστηριότητα και επηρεάζεται από τις επεκτατικές κινήσεις της τάφρου του Βόρειου Αιγαίου. Οι κινήσεις αυτές που σχετίζονται και με ρηξιγενή δραστηριότητα άρχισαν από το Παλαιογενές - Μειόκαινο και συνεχίζονται μέχρι σήμερα. Η δημιουργία της λεκάνης Μυγδονίας σχετίζεται με τη ρηξιγενή τεκτονική. Κανονικά νεοτεκτονικά και ενεργά ρήγματα που παρουσιάζουν χαρακτήρες επέκτασης και σχετίζονται με σεισμικές δονήσεις διακόπτουν τα μεταμορφωμένα πετρώματα, τις πυριγενείς διεισδύσεις και τα ιζήματα του Νεογενούς-Τεταρτογενούς. Τα ρήγματα που οφείλονται στις επεκτατικές κινήσεις είναι τα πιο σημαντικά ρήγματα στην περιοχή μελέτης και σχετίζονται με την αύξηση κατά θέσεις της υδραυλικής αγωγιμότητας των βραχωδών πετρωμάτων. Τεκτονικά βυθίσματα ή κέρατα σχετίζονται με τη ρηξιγενή δράση.

2.1 Νεοτεκτονικά στοιχεία

Όπως προαναφέρθηκε η περιοχή τοποθετείται στο χώρο των ζωνών Σερβομακεδονικής, Περιοδοπικής και Αξίου. Στο χώρο έχουν δημιουργηθεί κατά το νεοτεκτονικό στάδιο μεγάλα τεκτονικά βυθίσματα και λεκάνες (Μυγδονίας, Ζαγκλιβερίου, Μαραθούσας και Ανθεμούντα).

Τα βυθίσματα αυτά πιστεύεται ότι δημιουργήθηκαν από τη δράση ενός έντονου και συνεχούς εφελκυστικού πεδίου από το Μειόκαινο μέχρι σήμερα, που έχει σαν αποτέλεσμα το σχηματισμό κατά κανόνα κανονικών ρηγμάτων με μικρή συνήθως συνιστώσα οριζόντιας μετατόπισης (διεύθυνσης ολίσθησης) (Μουντράκης, 1985)



2.2 Σεισμική Ρηξιγενής Ζώνη

Η πιο σημαντική ρηξιγενής ζώνη που δεσπόζει στο χώρο της Κεντρικής Μακεδονίας, είναι αυτή που δημιούργησε και οριοθετεί τη νότια πλευρά του βυθίσματος της Μυγδονίας λεκάνης. Εμφανίζει μια σύνθετη γεωμετρική εικόνα με ρήγματα ή τμήματα ρηγμάτων γενικής διεύθυνσης Α - Δ, τα οποία όμως συνεχίζονται σε ΒΑ - ΝΔ και ΒΔ - ΝΑ λόγω του ότι ορισμένα τμήματα τους αποτελούν επαναδραστηριοποιήσεις προυπαρχουσών ρηξιγενών δομών.

Η ζώνη Βόλβης παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον, γιατί τμήματα ρηγμάτων αυτής προκάλεσαν τη σεισμική ακολουθία της Θεσσαλονίκης το 1978 (Παπαζάχος 1979) ενώ και ιστορικοί σεισμοί προσδιορίζονται κατά μήκος της ζώνης αυτής (Παπαζάχος, 1997). Στη ζώνη αυτή που έχει μήκος περίπου 70 km μπορούν να συμπεριληφθούν διάφορα τμήματα ρηγμάτων, όπως το ρήγμα Μελισσοχωρίου, το ρήγμα Λητής - Λαγυνών - Αγ.Βασιλείου, το ρήγμα Γερακαρούς - Νικομηδινού - Στίβου - Περιστερώνα, το ρήγμα Λουτρών - Βόλβης - Απολλωνίας και το ρήγμα Νέας Μαδύτου. Ανατολικά το σύστημα αυτό των ρηγμάτων περιλαμβάνει τα ακόλουθα τμήματα ρηγμάτων με κυριότερο :

2.3 Ρήγμα Γερακαρούς – Νικομηδινού – Στίβου - Περιστερώνα

Το τμήμα αυτό της ρηξιγενούς ζώνης έχει χαρακτηριστεί σαν 'Σεισμικό ρήγμα Γερακαρούς – Νικομηδινού – Στίβου - Περιστερώνα' γιατί αυτό προκάλεσε τον μεγάλο σεισμό της Θεσσαλονίκης το 1978 (Papazachos et al.1979a,b) Οι επιφανειακές διαρρήξεις του σεισμού φαίνονται στο παρακάτω σχήμα:

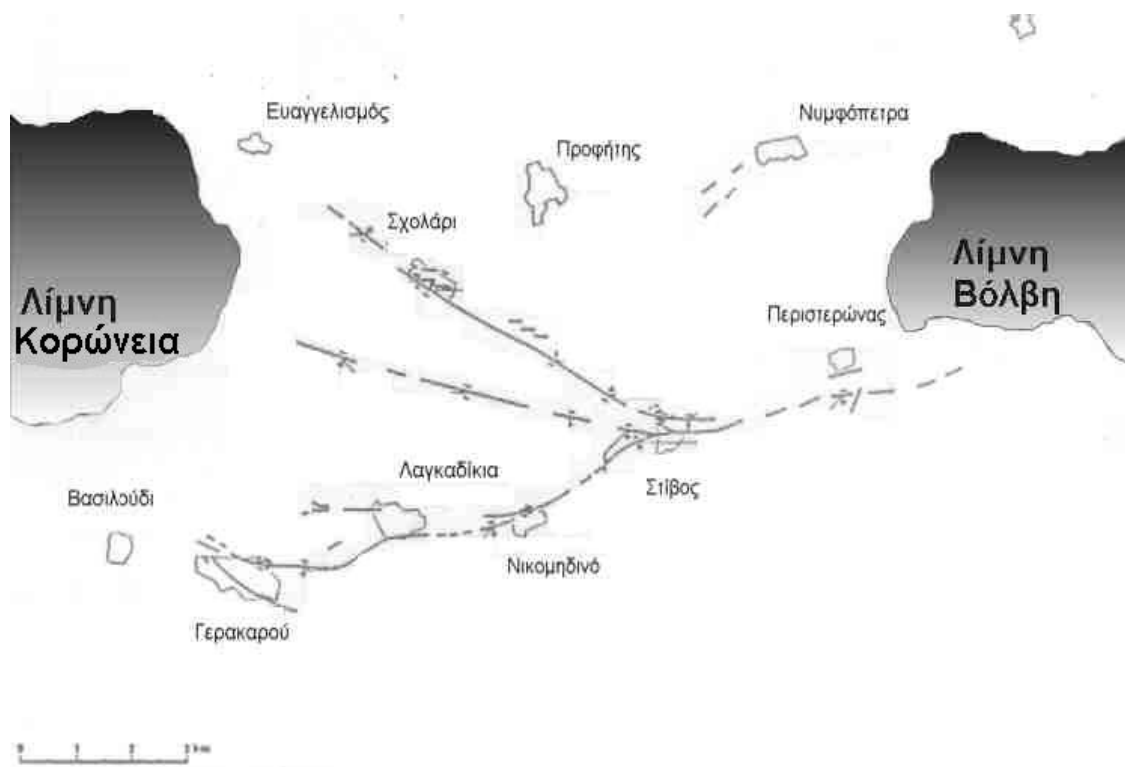
Η γενική διεύθυνση του σεισμικού αυτού ρήγματος είναι ΑΒΑ - ΔΝΔ και κλίνει προς Βόρεια.

Με τη σεισμική δράση του 1978 δημιουργήθηκαν επιφανειακά ίχνη του ρήγματος σε μήκος 15-18km περίπου (Papazachos et al. 1979a, b. Moyntrakis et al. 1983). Το μέγιστο επιφανειακό άλμα της νέας διάρρηξης εμφανίστηκε στα χωριά Γερακαρού (23cm) και Στίβος (14 cm), ενώ σε πολλές άλλες θέσεις μεταξύ Γερακαρούς-Περιστερώνα το άλμα κυμάνθηκε μεταξύ 5 - 10 cm. Δημιουργήθηκαν επίσης ανοίγματα 4 - 10 cm, καθώς και μικρή δεξιόστροφη μετατόπιση (2 cm περίπου) σε ένα σημείο στο χωριό Νικομηδινό.

Εκτός από τον κύριο σεισμό ($M=6,5$), με το ρήγμα αυτό συνδέεται γενικά ένας πολύ μεγάλος αριθμός μικροσεισμών ($M=2,0-4,5$), Το σύνολο των οποίων έχει εστιακά βάθη 8-14 km. Το συνολικό άλμα του γεωλογικού ρήγματος σε όλη την διάρκεια του Τεταρτογενούς υπολογίζεται με βάση τις ιζηματολογικές ενδείξεις σε 250 m.

Στο σχήμα 10 φαίνονται και τα υπόλοιπα ρήγματα της περιοχής, όπως είναι το ρήγμα Αγ. Βασιλείου – Λαγυνών - Λητής, ρήγμα Λουτρών Βόλβης - Νέας Απολλωνίας, ενεργό ρήγμα Σοχού - Πέντε Βρύσες και ενεργό ρήγμα Νέας Μαδύτου.

Λίμνη Κορώνεια



Σχήμα 10. Το σεισμικό ρήγμα Γερακαρού – Στίβος – Νικομηδινό - Περιστερώνας και οι σεισμικές διαρρήξεις που προκλήθηκαν με το σεισμό της Θεσσαλονίκης το 1978 (Από Παπαζάχο, 1979)

3. Γεωθερμικά Πεδία Στη Λεκάνη Μυγδονίας

Το ΙΓΜΕ κατά το διάστημα 1980-1984 εκτέλεσε σειρά γεωλογικών, γεωφυσικών, γεωχημικών, καθώς και θερμομετρήσεων και ερευνητικών γεωτρήσεων, που είχαν σαν στόχο τη διερεύνηση των γεωθερμικών πεδίων στη λεκάνη Μυγδονίας (Τραγανός 1982, Θανάσουλας 1983).

Από τη συνθετική ερμηνεία όλων των στοιχείων που συλλέχθηκαν για την αναζήτηση, ανεύρεση και των εντοπισμό περιοχών με θερμική ανωμαλία και γεωθερμικά ρευστά χαμηλής ενθαλπίας, προέκυψε ότι στη λεκάνη Μυγδονίας υπάρχει αυξημένη θερμική ανωμαλία και τα γεωθερμικά ρευστά είναι χαμηλής ενθαλπίας που φθάνουν τους 51°C σε μικρά βάθη και δεν αποκλείεται το ενδεχόμενο να βρεθούν υψηλότερες θερμοκρασίες σε μεγαλύτερα βάθη.

Οι περιοχές με συγκεκριμένο γεωθερμικό ενδιαφέρον εντοπίζονται στις παρακάτω περιοχές:

3.1 Περιοχή Λουτρών Λαγκαδά.

Η έκταση του γεωθερμικού πεδίου είναι 6 km^2 με αυξημένη γεωθερμική βαθμίδα $8^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$. Τα γεωθερμικά ρευστά που εντοπίστηκαν σε μικρά βάθη ($100 - 230\text{ m}$) έχουν $T_a = 32 - 40^{\circ}\text{C}$ και παρουσίαζαν αρτεσιανισμό μέχρι το τέλος της δεκαετίας του 80. Στη συνέχεια λόγω της έντονης εκμετάλλευσης των υπόγειων υδροφορέων η πιεζομετρική επιφάνεια στην περιοχή των θερμομεταλλικών πηγών υποχώρησε στα $4 - 6\text{ m}$. Η περιοχή αυτή γεωθερμικού ενδιαφέροντος τοποθετείται σε έναν άξονα με διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ, ο οποίος θεωρήθηκε ότι ταυτίζεται με τη διεύθυνση των κύριων ρηγμάτων ή διαρρηξέων που δημιουργήσαν το βύθισμα. Ο άξονας αυτός περνάει μέσα από τα Λουτρά Λαγκαδά και συνεχίζει με διεύθυνση προς τα ΝΑ προς τη λίμνη Κορώνειας. Η μεγαλύτερη αύξηση της τιμής της θερμότητας εντοπίζεται στον άξονα αυτόν, εκατέρωθεν του οποίου αρχίζει η πτώση των θερμοκρασιών, όπου στο ανατολικό τμήμα του εξελίσσεται απότομα, ενώ στο δυτικό ομαλά. Η ασύμμετρη αυτή κατανομή των θερμοκρασιών ίσως οφείλεται στο διαφορετικό πάχος των σχηματισμών που πληρούν τις εκατέρωθεν τάφρους του εξάρματος.

Τα βαθιά νερά της περιοχής αυτής φαίνεται ότι ανήκουν στην κατηγορία των ανθρακικών νατριούχων ή δυσανθρακικών ασβεστιούχων νερών και το pH τους είναι $7 - 8$. Από τη γεωχημική μελέτη φαίνεται ότι τα υπόγεια νερά της περιοχής παρουσιάζουν γεωθερμικό ενδιαφέρον και οι πιθανές θερμοκρασίες προέλευσης τους σε μεγαλύτερα βάθη είναι περίπου 100°C .

3.2 Χρυσανγή (περιοχή 5,5 Km επί της οδού Λαγκαδά-Σοχού)

Εντοπίστηκε περιοχή γεωθερμικού ενδιαφέροντος έκτασης 2 Km^2 με αυξημένη γεωθερμική βαθμίδα φτάνει τους $8^{\circ}\text{C}/100\text{m}$. Τα γεωθερμικά ρευστά που εντοπίστηκαν σε μικρά βάθη (περίπου 100 m) έχουν $T_a = 24^{\circ}\text{C}$ και παρουσίαζαν αρτεσιανισμό μέχρι το τέλος της δεκαετίας του 80. Στη συνέχεια, λόγω έντονης εκμετάλλευσης των υπόγειων υδροφορέων, η πιεζομετρική επιφάνεια στην περιοχή των θερμομεταλλικών πηγών υποχώρησε στα $10 - 12\text{ m}$. Τα γεωθερμικά νερά αυτής χαρακτηρίζονται σαν ανθρακικά με αυξημένη περιεκτικότητα σε φθόριο και οι πιθανές θερμοκρασίες

προέλευσης τους είναι γύρω στους 50 °C. Η περιοχή αυτή λόγω του αυξημένου γεωθερμικού ενδιαφέροντος και της ενιαίας τεκτονικής-γεωλογικής συμπεριφοράς στην περιοχή Λαγκαδά αποτελεί αντικείμενο ενδιαφέροντος για συνέχιση της έρευνας.

3.3 Περιοχή Νυμφόπετρας (θέση Βοιδολίβαδο)

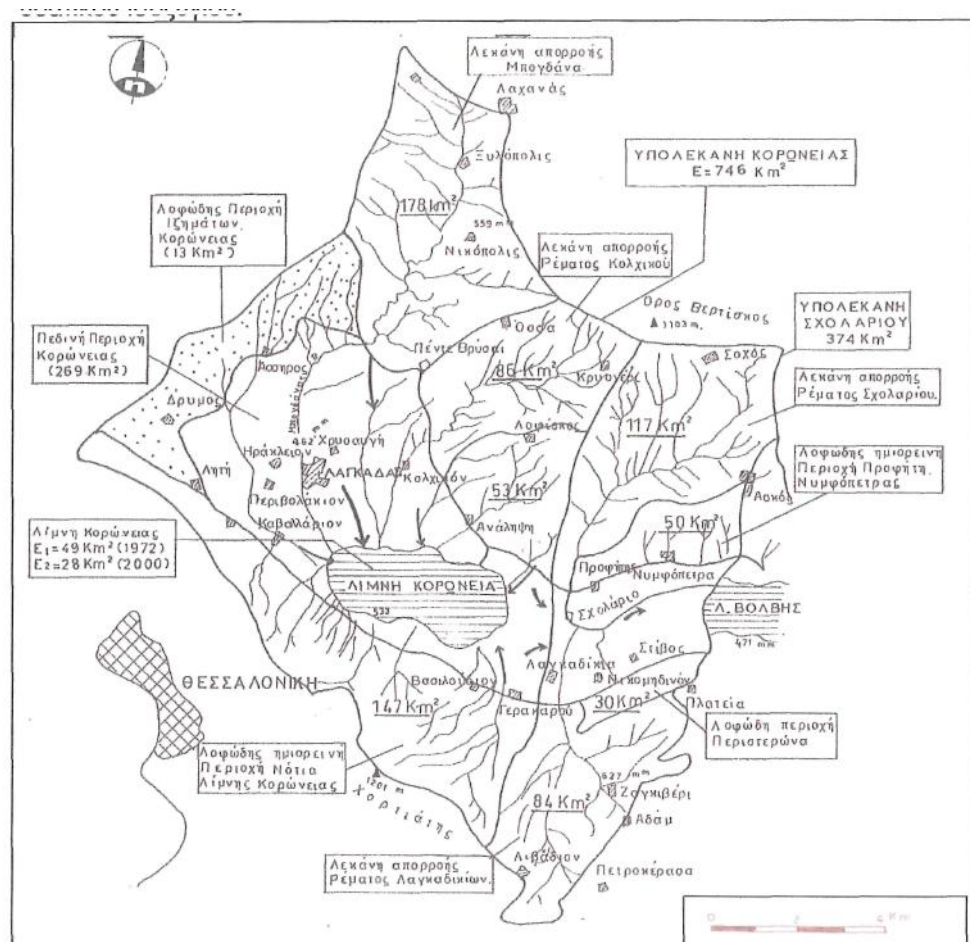
Το γεωθερμικό ενδιαφέρον εντοπίζεται σε μια έκταση 2 km² και η γεωθερμική βαθμίδα φθάνει τους 20,9 °C/100 m. Τα γεωθερμικά ρευστά που εντοπίστηκαν σε μικρά βάθη (60 - 180m) έχουν $T_a = 37 - 51$ °C και παρουσιάζουν αρτεσιανισμό. Ο επιμήκης άξονας του γεωθερμικού πεδίου έχει διεύθυνση ΒΔ - ΝΑ και θεωρήθηκε ότι ταυτίζεται με την διεύθυνση των κυρίων ρηγμάτων, τα οποία μαζί με ρήγματα άλλης διεύθυνσης (Α - Δ) συντέλεσαν στην καταβύθιση της λεκάνης και της εμφάνισης των θερμών πηγών της Βόλβης.

4. Υδρολογία

Το πεδινό τμήμα της υδρολογικής λεκάνης Μυγδονίας καταλαμβάνει έκταση 570 km² και οριοθετείται περίπου από την ισοϋψή των 200 m που ακολουθεί το όριο επαφής μεταξύ των ιζηματογενών αποθέσεων και τα κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα.

Το δυτικό τμήμα της λεκάνης Μυγδονίας αποτελείται από την πεδινή (269 km²) και την δυτική λοφώδη (13 km²) περιοχή της υπολεκάνης λίμνης Κορώνειας με συνολική έκταση 282 km² και μέσο υψόμετρο 116 m και την υπολεκάνη Σχολαρίου με έκταση της πεδινής περιοχής 93 km²

Η λίμνη Κορώνεια δέχεται τα νερά από τη λεκάνη απορροής του Λαγκαδά συνολικής επιφάνειας 780 km² διαμέσω χειμάρρων και μικρών ρυακιών. Συνοπτικά η υπολεκάνη Λαγκαδά περιλαμβάνει τις υδρολογικές υπολεκάνες Μπογδάνα ρέμα (178 km²), Κολχικού (86 km²), ρέμα Ανάληψης (53 km²) και τη λοφώδη περιοχή νότια λίμνης Κορώνειας (147 km²). Στο σχήμα 11 φαίνεται το υδρογραφικό δίκτυο και οι αντίστοιχες υπολεκάνες απορροής.



Σχήμα 11. Υδρογραφικό δίκτυο-υπολεκάνες απορροής της λίμνης Κορώνειας
(Από Βεράνη-Κατιρτζόγλου)

4.1 Γενικό υδρολογικό ισοζύγιο

Για τη μελέτη και κατανόηση του υδρολογικού ισοζυγίου καθώς και για τον ποσοτικό υπολογισμό των εισροών και εκροών της υπολεκάνης Λαγκαδά, πραγματοποιήθηκε διερεύνηση μετεωρολογικών στοιχείων, τα οποία πάρθηκαν από σταθμούς που λειτουργούν στην περιοχή. Τα στοιχεία αυτά είναι: κλιματολογικά (ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα), μετεωρολογικά (θερμοκρασία αέρα), υδρολογικά δεδομένα (επιφανειακή και υπόγεια απορροή), στοιχεία εδαφολογικά-υδρογεωλογικά (κατείσδυση συγκρατούμενη εδαφική υγρασία) καθώς επίσης και ανθρωπογενείς παράγοντες όπως καταναλώσεις για άρδευση, ύδρευση, βιομηχανία. Η γενική εξίσωση που εκφράζει το υδρολογικό ισοζύγιο αν δεχτούμε ότι δεν υπάρχουν εισροές νερού από άλλες υδρολογικές λεκάνες είναι:

$$P = E_t + A + I + \Delta W + \Delta R$$

Όπου: P: τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα (σε $m^3/\acute{\epsilon}τος$).

E_t : η πραγματική εξατμισοδιαπνοή (σε $m^3/\acute{\epsilon}τος$).

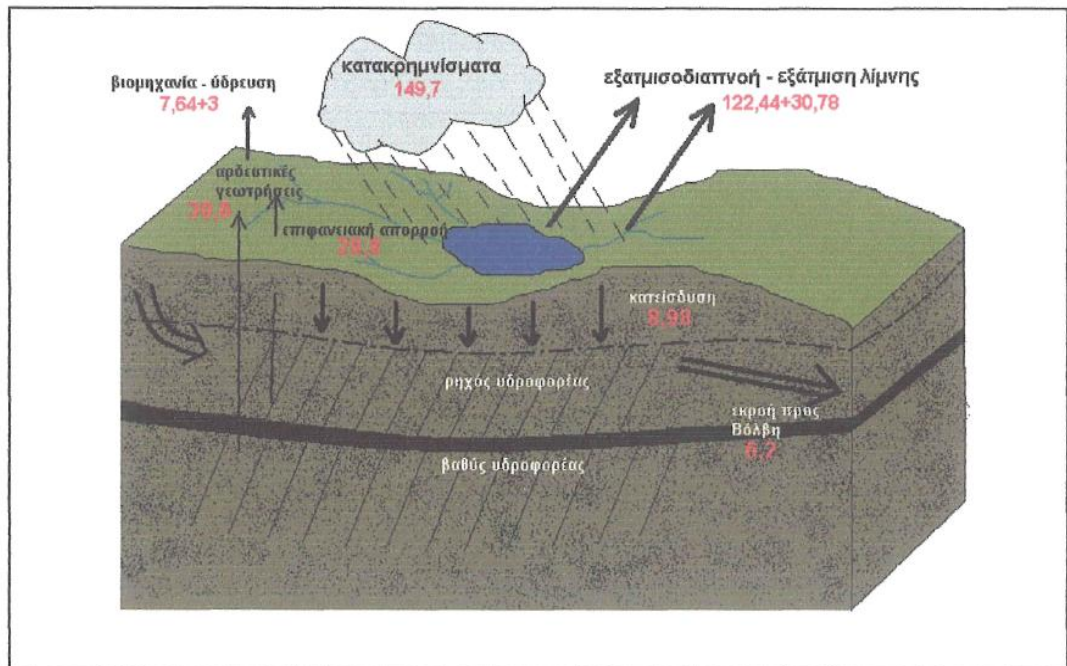
A: η επιφανειακή απορροή (σε $m^3/\acute{\epsilon}τος$).

I: η κατείσδυση (σε $m^3/\acute{\epsilon}τος$).

ΔW : οι απώλειες από τις διάφορες καταναλώσεις (σε $m^3/\acute{\epsilon}τος$).

ΔR : η μεταβολή στα αποθέματα νερού.

Στη συνέχεια θα ακολουθήσει διερεύνηση του κάθε όρου της παραπάνω εξίσωσης.



Σχήμα 12. Σχηματική απεικόνιση του Υδατικού ισοζυγίου με ποσοτικές τιμές (σε $10^6 m^3$).

➤ Ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα

Στην υπολεκάνη Μυγδονίας υπήρχαν προ της δεκαετίας του '80, 13 μετεωρολογικοί σταθμοί του υπουργείου γεωργίας από τους οποίους σήμερα λειτουργεί μόνο ένας. Τα κατακρημνίσματα καταγράφονται μόνο από το σταθμό που βρίσκεται μεταξύ Λαγκαδά και Χρυσανγής σε υψόμετρο περί τα 110 μ.υ.θ. Τα μέσα ετήσια κατακρημνίσματα στην περίοδο 1971 - 2000 όπως φαίνεται και από τον πίνακα 1 είναι 528 mm.

Πίνακας 1. Μετρήσεις βροχοπτώσεων στο σταθμό Λαγκαδά-Χρυσανγής (σε mm)

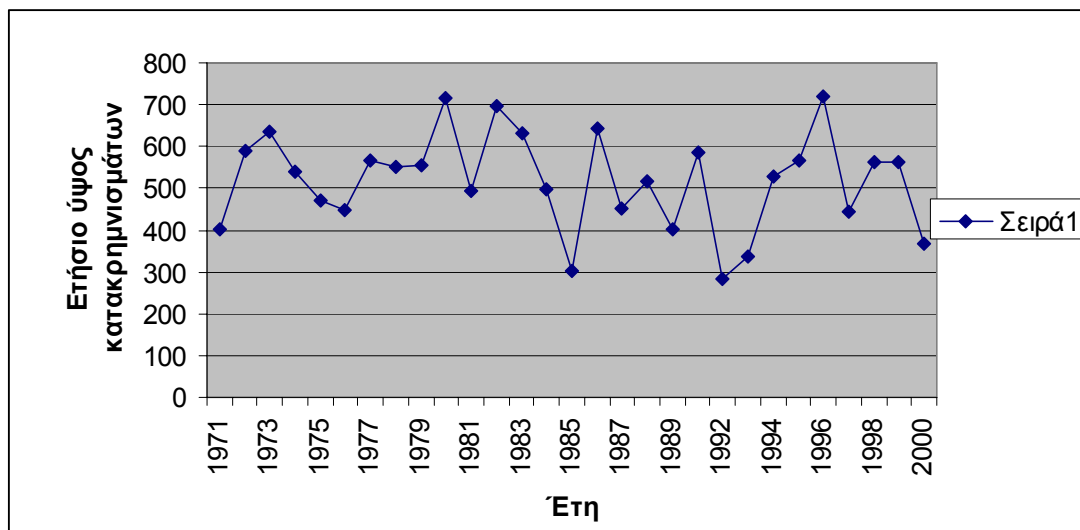
	Οκτ	Νοε	Δεκ	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μάι	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπτ	Σύνολ
1971													402.0
1972	20.0	5.0	51.0	37.0	90.0	20.0	122.0	22.0	42.0	118.0	26.0	36.0	589.0
1973	134.0	14.0	51.0	57.0	46.0	61.0	43.0	10.0	67.0	46.0	29.0	78.0	636.0
1974	56.0	62.0	48.0	60.0	45.0	64.0	59.0	46.0	47.0	0.0	6.0	48.0	541.0
1975	28.0	44.0	63.0	36.0	35.0	21.0	11.0	83.0	58.0	38.0	50.0	2.0	469.0
1976	27.0	38.0	26.0	8.0	29.0	36.0	34.0	80.0	78.0	22.0	71.0	0.0	449.0
1977	154.0	112.0	20.0	16.0	16.0	21.0	15.0	69.0	96.0	24.0	10.0	15.0	568.0
1978	0.0	69.0	21.0	46.0	49.0	34.0	89.0	98.0	22.0	0.0	38.0	84.0	550.0
1979	84.0	23.0	82.0	12.0	58.0	24.0	109.0	65.0	12.0	6.0	28.0	51.0	554.0
1980	126.0	92.0	66.0	76.0	11.0	68.0	49.0	110.0	38.0	37.0	44.0	0.0	717.0
1981	126.0	47.0	81.0	50.0	11.0	17.0	38.0	41.0	11.0	33.0	37.0	0.0	492.0
1982	25.0	74.0	78.0	22.0	56.0	68.0	143.0	40.0	28.0	36.0	96.0	30.0	696.0
1983	49.0	160.0	36.0	2.0	14.0	34.0	15.0	29.0	180.0	52.0	46.0	14.0	631.0
1984	19.0	71.0	106.0	45.0	63.0	54.0	86.0	4.0	22.0	4.0	22.0	2.0	498.0
1985	1.0	48.0	52.0	17.0	7.0	78.0	9.0	45.0	17.0	1.0	14.0	13.0	302.0
1986	5.0	153.0	7.0	132.0		42.0	30.0	104.0	110.0	29.0	20.0	11.0	643.0
1987	21.0	42.0	6.0	37.0	56.0	71.0	63.0	23.0	37.0	27.0	67.0	0.0	450.0
1988	29.0	126.0	61.0	12.0	55.0	126.0	46.0	35.0	19.0	0.0	3.0	3.0	515.0
1989	7.0	123.0	62.0	0.0	0.0	98.0	27.0	100.0	83.0	56.0	0.0	30.0	586.0
1991													401.0
1992	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.0	64.0	85.0	82.0	21.0	0.0	16.0	283.0
1993	46.0	35.0	27.0	0.0	24.0	28.0	12.0	107.0	38.0	0.0	18.0	0.0	335.0
1994	10.0	102.0	22.0	89.0	55.0	13.0	54.0	78.0	0.0	64.0	42.0	0.0	529.0
1995	70.0	70.0	62.0	53.0	10.0	33.0	6.0	53.0	16.0	92.0	40.0	63.0	568.0
1996	5.0	37.0	119.0	130.0	94.0	35.0	36.0	33.0	71.0	28.0	39.0	94.0	721.0
1997	47.0	41.0	58.0	15.0	39.0	34.0	32.0	13.0	127.0	0.0	16.0	21.0	443.0
1998	89.0	45.0	88.0	45.0	56.0	12.0	8.0	108.0	58.0	0.0	4.0	48.0	561.0
1999	34.0	147.0	32.0	25.0	47.0	78.0	59.0	49.0	25.0	15.0	0.0	50.0	561.0
2000	56.0	75.0	85.0	30.0	27.0	8.0	13.0	54.0	0.0	6.0	2.0	13.0	369.0
Μέσος όρος	47.0	68.7	52.2	39.0	38.2	44.2	47.1	58.7	51.3	28.0	28.4	26.7	528.0

Στο διάστημα 1992 - 2000 τα μέσα κατακρημνίσματα είναι $P_{ολ} = 136,8 * 10^6$ m³/έτος και σε σχέση με το διάστημα 1981 - 1990 παρατηρείται μικρή μείωση αυτών κατά 48 mm/έτος που αντιστοιχεί σε ποσοστό 8% ή σε $6 * 10^6$ m³/έτος. Για την εκτίμηση του υδατικού ισοζυγίου χρησιμοποιείται η μέση τιμή κατακρημνισμάτων της περιόδου 1996 - 2000 που είναι 531 mm/έτος ή $P_{ολ} = 149,7 * 10^6$ m³/έτος. Σύμφωνα με Βεράνη και Κατίρτζογλου, από τον όγκο αυτό τα $14,5 * 10^6$ m³/έτος νερού αντιστοιχούν στις κατευθείαν βροχοπτώσεις στην επιφάνεια της λίμνης Κορώνειας (25 km²). Έτσι, ο υπόλοιπος όγκος νερού που πέφτει στο έδαφος αντιστοιχεί σε $P_1 = 122,3 * 10^6$ m³/έτος ενώ για την περίοδο 1996 - 2000 σε $P_2 = 133.81 * 10^6$ m³/έτος.

Στο σχήμα 13 παρουσιάζεται η πορεία του ετήσιου ύψους βροχόπτωσης απ' όπου προκύπτει μεγάλη διακύμανση τιμών. Το 1992 καταγράφεται η μικρότερη τιμή

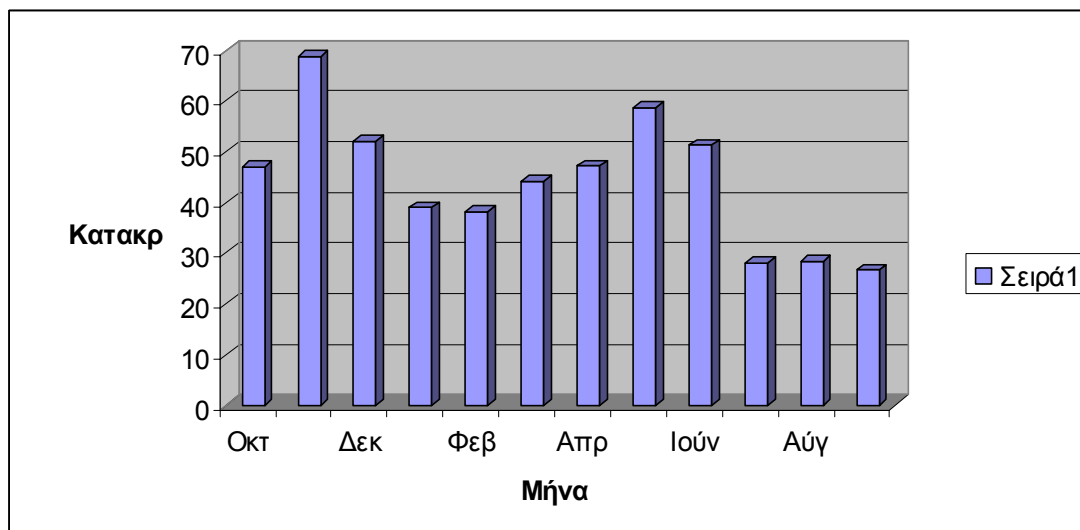
Λίμνη Κορώνεια

ύψους βροχής (283 mm), ενώ το 1996 η μεγαλύτερη τιμή (721 mm). Το μέσο ετήσιο ύψος βροχής της περιοχής έρευνας είναι 528 mm.



Σχήμα 13. Διάγραμμα ετήσιου ύψους κατακρημνισμάτων για τα έτη 1971-2000.

Στο παρακάτω ιστόγραμμα (σχήμα 14), που αναπαριστά το μέσο ύψος βροχής για κάθε μήνα, προκύπτει ότι ο πλέον υγρός μήνας είναι ο Νοέμβριος (68,7 mm) και τον ακολουθεί ο Μάιος (58.7 mm), ενώ ο πλέον ξηρός μήνας είναι ο Σεπτέμβριος (26,7 mm) και ακολουθεί ο Ιούλιος (28 mm) και ο Αύγουστος (28.4 mm).



Σχήμα 14. Διάγραμμα μέσων μηνιαίων κατακρημνισμάτων για τα έτη 1971 - 2000.

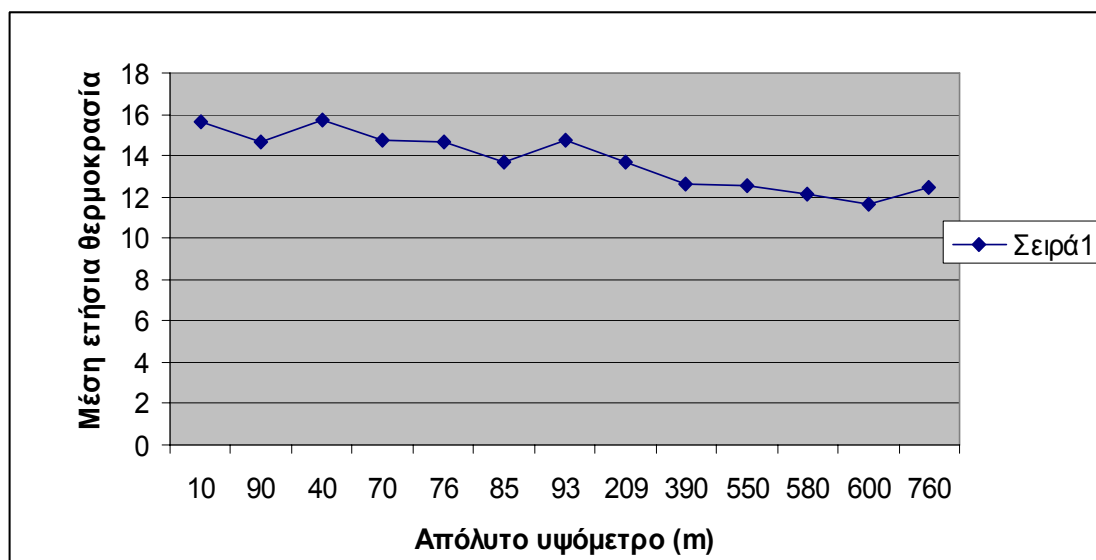
➤ Θερμοκρασία

Στη συνέχεια επεξεργαστήκαμε τα υπάρχοντα στοιχεία βροχόπτωσης αλλά και θερμοκρασίας του αέρα, τα οποία συλλέξαμε από τους 13 σταθμούς (Πίνακας 2) που βρίσκονται καλά κατανεμημένοι στην περιοχή έρευνας. Κάθε σταθμός ουσιαστικά αντιπροσωπεύει ένα απόλυτο υψόμετρο, αυτό μας δίνει τη δυνατότητα να προβάλουμε τα δεδομένα σε διαγράμματα, έτσι ώστε να πάρουμε πληροφορίες για την μεταβολή της θερμοκρασίας αλλά και του ύψους των κατακρημνισμάτων σε συνάρτηση με το απόλυτο υψόμετρο.

Πίνακας 2. Μετεωρολογικοί σταθμοί στην ευρύτερη περιοχή της υπολεκάνης Μυγδονίας (2001-2002)

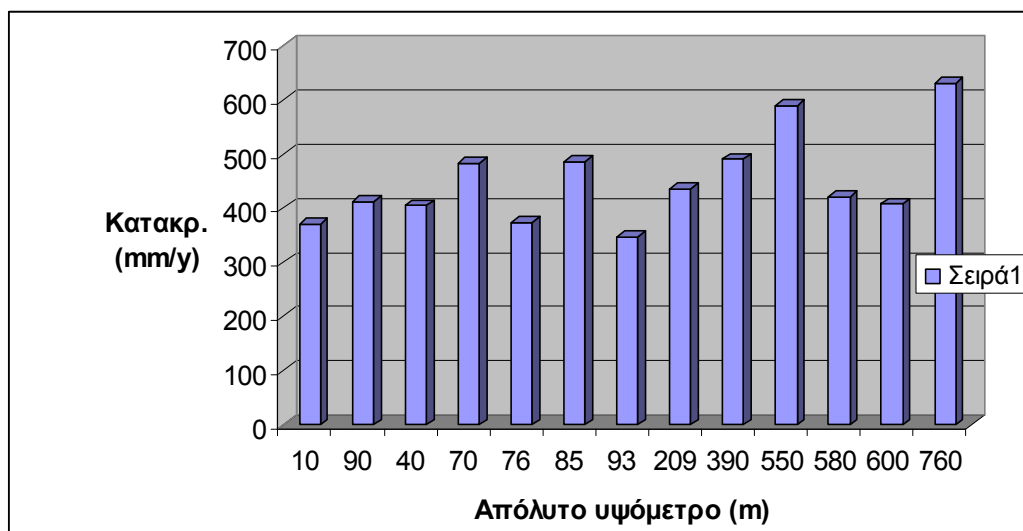
α/α	Μετεωρολογικός σταθμός	Απόλυτο Υψόμετρο (m)	Κατακρημνίσματα	Μέση ετήσια θερμοκρασία (°C)
1	ΘΕΣ-ΣΕΔΕΣ	10	371.03	15.64
2	N. ΑΠΟΛΛΩΝΙΑ	90	412.44	14.67
3	ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ	40	404.80	15.74
4	PENTINA	70	482.97	14.78
5	ΑΓ. ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ	76	373.87	14.68
6	ΓΑΛΛΙΚΟΣ	85	486.61	13.7
7	ΛΑΓΚΑΔΑ	93	347.27	14.78
8	ΖΑΓΚΛΙΒΕΡΙ	209	435.77	13.67
9	ΑΡΕΘΟΥΣΑ	390	490.92	12.65
10	ΣΩΧΟΣ	550	589.81	12.55
11	ΝΙΚΟΠΟΛΗ	580	420.53	12.14
12	ΛΑΧΑΝΑΣ	600	407.77	11.61
13	ΑΡΝΑΙΑ	760	631.54	12.43

Στο σχήμα 15 απεικονίζεται η πορεία της θερμοκρασίας (T) σε συνάρτηση με το απόλυτο υψόμετρο. Προκύπτει ότι η τιμές της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας ακολουθούν μια πτωτική τάση όσο το υψόμετρο αυξάνει.



Σχήμα 15. Διάγραμμα συσχέτισης μεταξύ της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας και του υψομέτρου στη λεκάνη Μυγδονίας.

Στο ιστόγραμμα του σχήματος 16 παρουσιάζεται η πορεία του ετήσιου ύψους των κατακρημνισμάτων σε συνάρτηση με το απόλυτο υψόμετρο στο οποίο βρίσκεται ο κάθε σταθμός. Όπως φαίνεται και στο σχήμα στο υψόμετρο των 760 m αντιστοιχεί το μεγαλύτερο ύψος βροχής (631.54 mm/y), ενώ ακολουθεί το υψόμετρο των 550 m (589.81 mm/y). Από την άλλη στο υψόμετρο των 93 m αντιστοιχεί το μικρότερο ύψος βροχής (347.27 mm/y) και ακολουθεί το υψόμετρο των 76 m (373.87 mm/y).



Σχήμα 16. Ιστόγραμμα του ετήσιου ύψους βροχής και των 13 σταθμών σε συνάρτηση με το απόλυτο υψόμετρο.

Από τα παραπάνω καθώς και με βάση τα κλιματικά δεδομένα του μετεωρολογικού σταθμού Α.Π.Θ προκύπτει ότι ο κλιματικός τύπος της περιοχής υπάγεται στη κατηγορία του "Μεσογειακού τύπου κλίματος με ξηρό και θερμό θέρος" (Φλόκας, 1977).

➤ Εξατμισοδιαπνοή

Στην υπολεκάνη Κορώνειας δεν υπάρχουν δεδομένα ηλιοφάνειας και μέσες μηνιαίες T °C για όλη την περίοδο 1972 - 2000 οπότε ο υπολογισμός της εξατμισοδιαπνοής γίνεται με τον γνωστό τύπο του Turk (1951)

$$E = P / (0.9 + P^2 / L^2)^{1/2}$$

Όπου:

E: πραγματική εξατμισοδιαπνοή

P: ετήσιος βροχομετρικός δείκτης (531mm)

$L = 300 + 25T + 0.005T^3$

T: μέση ετήσια θερμοκρασία σε °C

Με μέση ετήσια θερμοκρασία 14,9 °C προκύπτει $E = 468,6$ mm που αντιστοιχεί στο 88% των κατακρημνισμάτων. Ο υπολογισμός της εξατμισοδιαπνοής από τον τύπο του Turk που για τις περιπτώσεις που το ύψος των κατακρημνισμάτων είναι λιγότερο από 700 mm/έτος προκύπτουν υπερεκτιμημένες τιμές εξατμισοδιαπνοής και κατά συνέπεια υποεκτιμημένες ποσότητες νερού για επιφανειακή απορροή και κατείσδυση. Καλύτερη προσέγγιση επιτυγχάνεται με τον τύπο του Thorthwaite και Mather (1965) αλλά κατά τη σύνταξη της μελέτης αυτής οι διαθέσιμες τιμές των μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών ήταν μόνο για τα έτη 1950 - 1989. Έτσι ο Vatseris 1992 υπολογίζει την πραγματική εξατμισοδιαπνοή 425 mm/έτος ποσό που αντιστοιχεί στο 85% των κατακρημνισμάτων λαμβάνοντας $P = 500$ mm/έτος. Χρησιμοποιώντας στους υπολογισμούς την τιμή 468,6 mm/έτος που προκύπτει από τον τύπο του Turk, τότε τα μέσα ετήσια κατακρημνίσματα στην πεδινή και δυτική λοφώδη περιοχή υπολεκάνης Κορώνειας που συμμετέχουν στην εξατμισοδιαπνοή είναι : $E = 468.6 \text{ mm} * (282 - 25\text{km}^2) = 120,4 * 10^6 \text{ m}^3$.

Σύμφωνα με τον κ. Βατσέρη η διαθέσιμη ποσότητα ($P - E = Q$) για απορροή και κατείσδυση στα χαλαρά ιζήματα της πεδινής και δυτικής λοφώδους περιοχής υπολεκάνης Κορώνειας σε ετήσια βάση είναι: $Q = 16 * 10^6 \text{ m}^3$ που αντιστοιχεί στο 12% των κατακρημνισμάτων. Στην πεδινή περιοχή η επιφανειακή απορροή είναι ασήμαντη ($< 1 * 10^6 \text{ m}^3/\text{έτος}$) και παρουσιάζεται μετά από έντονες βροχοπτώσεις

➤ Επιφανειακές και υπόγειες εισροές

Η διαθέσιμη ποσότητα νερού για απορροή και κατείσδυση για την υδρολογική υπολεκάνη Κορώνειας (464 km^2) όπως προκύπτει από την εξίσωση του υδρολογικού ισοζυγίου είναι $45 * 10^6 \text{ m}^3/\text{έτος}$ από αυτά ποσότητα $6 * 10^6 \text{ m}^3/\text{έτος}$ φθάνει στη λίμνη ενώ κατά τη είσοδο των χειμάρρων στην πεδινή περιοχή ποσότητα νερού $23 * 10^6 \text{ m}^3/\text{έτος}$ διηθείται στα χαλαρά ιζήματα κατά μήκος της κοίτης των χειμάρρων. Υπόγειες εισροές θεωρούνται οι πλευρικές διηθήσεις που προέρχονται από το μεταμορφωμένο υπόβαθρο της λοφώδους-ημιορεινής περιοχής και εμπλουτίζουν τους χαλαρούς υδροφορείς της πεδινής περιοχής. Η ποσότητα του νερού που διηθείται από τα κρυσταλλοσχιστώδη προς τα χαλαρά ιζήματα υπολογίζεται σε $16 * 10^6 \text{ m}^3/\text{έτος}$ (Βεράνης- Κατιρτζόγλου 2001b).

➤ Κατείσδυση

Ο συντελεστής κατείσδυσης στα βραχώδη πετρώματα (γνεύσιοι, γρανίτες, φυλλίτες, σχιστόλιθοι) της ορεινής λοφώδους περιοχής εκτιμάται ότι κυμαίνεται από 3 - 10% (Καλέργης, 1986). Λαμβάνοντας σαν μέση κατείσδυση το 6% των κατακρημνισμάτων προκύπτει ότι για το διάστημα 1992 - 2000 ποσότητα νερού $I_1=14,5 * 10^6 \text{ m}^3/\text{έτος}$ κατεisdύει μέσω των ασυνεχειών των βραχώδων πετρωμάτων σε βαθύτερα επίπεδα. Για το διάστημα 1996 - 2000 η ποσότητα αυτή είναι $I_2=15,7 * 10^6 \text{ m}^3/\text{έτος}$ ένα ποσοστό από την ποσότητα αυτή επιστρέφει μέσω αναβλύσεων στα χαμηλότερα τοπογραφικά σημεία και ενισχύει την βασική απορροή των υδρορεμάτων και ένα ποσοστό εμπλουτίζει τους βαθύτερους υδροφορείς των βραχώδων πετρωμάτων ή διηθείται μέσω της πλευρικής υπόγειας εκφόρτισης στην ιζηματογενή λεκάνη.

➤ Απορροή

Η επιφανειακή απορροή εμφανίζεται με τη μορφή ποταμών και χειμάρρων που ενισχύουν το υδατικό δυναμικό της λεκάνης.

Οι κυριότεροι χείμαρροι που καταλήγουν στη λίμνη Κορώνεια είναι:

- Ρέμα Μπογδάνου: συγκεντρώνει τα νερά της περιοχής Νότια του Λαχανά, διέρχεται δυτικά του Λαγκαδά και εκβάλλει στο δυτικό άκρο της λίμνης.
- Ρέμα Κολχικού ή μεγάλο ρέμα: συγκεντρώνει τα νερά της περιοχής Όσσης-Κρουονερίου, διέρχεται ανατολικά του χωριού Κολχικό και εκβάλλει στα δυτικά της βόρειας πλευράς της λίμνης.

Στη λίμνη καταλήγει και μια σειρά άλλων μικρότερων υδρορεμάτων (Δρακοντίου, Ανάληψης, Ευαγγελισμού, Γερακαρούς) τα οποία πηγάζουν από το ορεινό-ημιορεινό τμήμα της εν λόγω υπολεκάνης καθώς επίσης νερά με αυξημένο φορτίο βιομηχανικών και αστικών λυμάτων από την τάφρο του Καβαλαρίου και τα μεταλλικά νερά από τις θερμές πηγές των κωμοπόλεων του Λαγκαδά.

Το πεδινό τμήμα της Κορώνειας από τη βόρεια πλευρά της λοφώδους περιοχής δέχεται ετήσια έναν όγκο νερού από τα κύρια υδρορέματα που κυμαίνεται από $8,9-26,3 * 10^6 \text{ m}^3$ με μέσο όρο για τη τελευταία πενταετία $R = 15.3 * 10^6 \text{ m}^3$ που αντιστοιχεί στο 8% των κατακρημνισμάτων (Βεράνης-Κατιρτζόγλου 2001b) .

Η συνολική έκταση των λεκανών απορροής των παραπάνω υδρορεμάτων είναι 317 km^2 . Με βάση τους υπολογισμούς του υδρολογικού ισοζυγίου ο συντελεστής απορροής 11,4% προκύπτει ποσότητα επιφανειακού νερού $R'=5.6 * 10^6 \text{ m}^3/\text{έτος}$.

Σύμφωνα με τους παραπάνω μελετητές εκτιμάται ότι κατά το χρονικό διάστημα 1996 - 2000 στην πεδινή περιοχή Κορώνειας εισρέουν ποσότητες νερού της τάξεως των $29,7 * 10^6 \text{ m}^3/\text{έτος}$ και απ' αυτά περίπου $6 * 10^6 \text{ m}^3/\text{έτος}$ φθάνουν μέχρι τη λίμνη Κορώνειας και $23,7 * 10^6 \text{ m}^3/\text{έτος}$ εμπλουτίζουν τους υπόγειους υδροφορείς.

4.2 Υδατικό ισοζύγιο της Λίμνης Κορώνειας

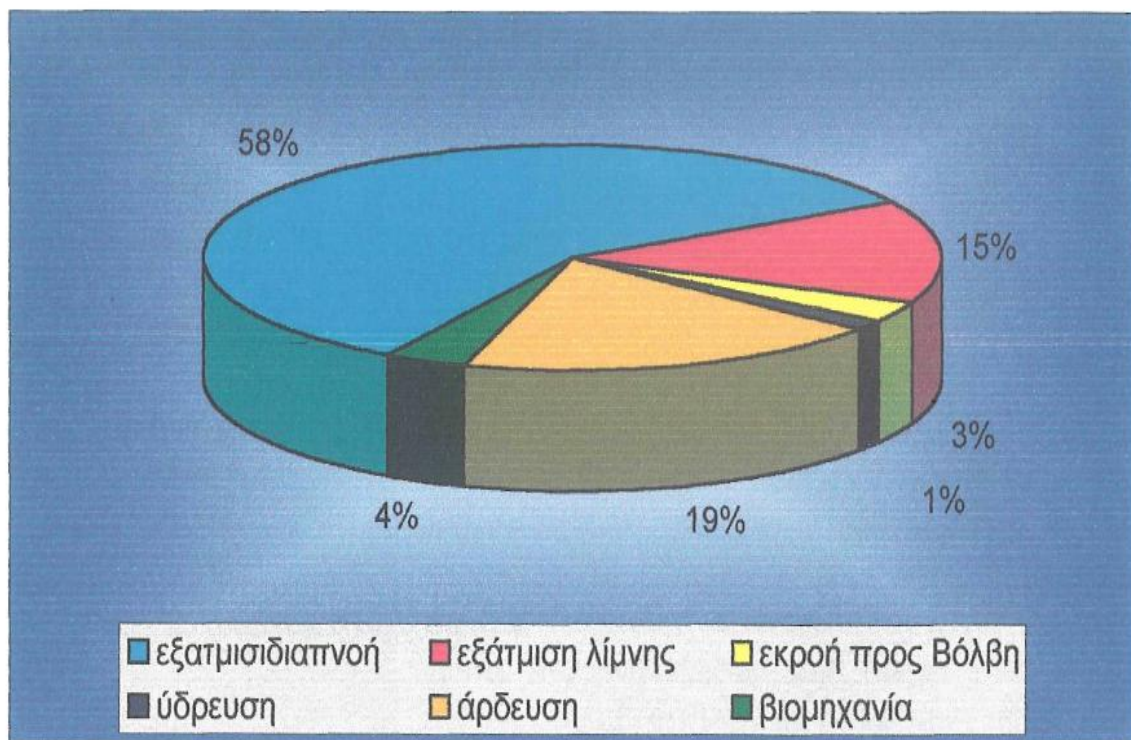
Λαμβάνοντας υπόψη ότι η σημερινή επιφάνεια της λίμνης είναι 30 km^2 και δέχεται από βροχοπτώσεις $13,2 * 10^6 \text{ m}^3$ εκτιμάται μια ποσότητα $E_A=30,8 * 10^6 \text{ m}^3$ εξατμίζεται ετήσια από αυτή εφόσον η ετήσια εξατμισή το 1972 αντιστοιχούσε σε 1026 mm/έτος σύμφωνα με τα δεδομένα μέτρησης του σταθμού της Σίνδου (BRGM 1972).

Οι εκφορτίσεις υδρορεμάτων στη λίμνη γίνονται μετά από έντονες βροχοπτώσεις και είναι από τα ρέματα Ανάληψης, Κολχικό, Βασιλούδι. Το σύνολο των εκφορτίσεων με βάση μετρήσεις περιόδου 1996 - 2001 εκτιμάται σε $6 * 10^6 \text{ m}^3/\text{έτος}$. Από την τάφρο Καβαλλαρίου και απ' ευθείας εκφορτίσεις άλλων βιομηχανικών και αστικών λυμάτων εκτιμάται ότι εισέρχονται στη λίμνη $6 * 10^6$ έως $8 * 10^6 \text{ m}^3/\text{έτος}$.

Τα επιφανειακά νερά είναι αυτά που επαναπλήρωναν τη διαφορά βροχοπτώσης-εξατμισής στη λίμνη Κορώνεια και δημιουργούσαν υπερχειλίση αυτής προς το Δερβενί ρέμα (BRGM 1972) τα προηγούμενα έτη. Τα τελευταία 20 χρόνια δεν παρατηρείται υπερχειλίση της λίμνης.

Επειδή ο πυθμένας της λίμνης είναι σχεδόν αδιαπέρατος ($K < 10^{-9} \text{ m/sec}$) οι τροφοδοσίες από τον υπόγειο υδροφόρα είναι ελάχιστες και υπολογίζονται σε $0,3 * 10^6 \text{ m}^3/\text{έτος}$. Στην περίπτωση που τα ετήσια κατακρημνίσματα είναι 531 mm/έτος το υδρολογικό ισοζύγιο της Λίμνης Κορώνειας είναι οριακά σε ισορροπία, ενώ με 480 mm/έτος έχει υδατικό έλλειμμα της τάξης των $3 - 4 * 10^6 \text{ m}^3/\text{έτος}$ (BRGM 1972).

Λόγω του αρνητικού ισοζυγίου τα αποθέματα αυτής μειώθηκαν με δραματικό ρυθμό τα τελευταία χρόνια.



Σχήμα 17. Υδατικό ισοζύγιο της λίμνης Κορώνειας (Από BRGM 1972).

4.3 Καταναλώσεις

- Άρδευση

Έχουν καταγραφεί περίπου 2000 αβαθείς γεωτρήσεις (20 - 40 m) και πάνω από 500 υδρογεωτρήσεις βάθους (80 - 300 m) που αντλούν τους αβαθείς και βαθύς υδροφορείς.

Σύμφωνα με τα πιο πρόσφατα στοιχεία 2001 το νερό που καταναλώνεται σήμερα για γεωργική χρήση ανέρχεται σε $39 * 10^6$ m³/έτος (79% των συνολικών καταναλώσεων).

- Ύδρευση

Στο πεδινό τμήμα (μέχρι 200 μ.υ.θ) της υπολεκάνης Κορώνειας κατοικούν 27.836 άτομα: για την υδροδότησή του αντλούνται από γεωτρήσεις κυρίως στο βαθύ υδροφορέα και λιγότερο από γεωτρήσεις στα βραχώδη πετρώματα, ποσότητες νερού που ανέρχονται σε $3 * 10^6$ m³/έτος. Η μέση ημερήσια κατανάλωση εκτιμάται σε 300 lit/κάτοικο.

- Βιομηχανία

Στην περιοχή υπολεκάνης Κορώνειας είναι εγκατεστημένες περί τις 20 βιομηχανίες-βιοτεχνίες που αντλούν νερό από τους βαθύς υδροφορείς με κατανάλωση σημαντικών ποσοτήτων που ανέρχεται σε $7,64 * 10^6$ m³/έτος που αντιστοιχούν στο 15% των συνολικών καταναλώσεων (διεύθυνση χωροταξίας και περιβάλλοντος ΝΑΘ). Οι παραπάνω χρήσεις συμβάλλουν τόσο στην ποσοτική (έλλειμμα στο υδρολογικό ισοζύγιο, όσο και στην ποιοτική υποβάθμιση).

Το σύνολο των υπόγειων εκροών και των καταναλώσεων εκτιμώνται σε $66 * 10^6$ m³/έτος.

- Επιστροφές από άρδευση

Οι πιο σημαντικές επιστροφές νερού στην κορεσμένη ζώνη από τις καταναλώσεις προέρχονται από την άρδευση και εκτιμώνται στο 10% του αρδευτικού νερού, έτσι οι επιστροφές είναι $5 * 10^6$ m³/έτος.

Οι επιστροφές από τα υγρά απόβλητα των βιομηχανιών και των οικιστικών αποβλήτων του δήμου Λαγκαδά οδεύουν μέσω των καναλιών στην λίμνη Κορώνεια και ανέρχονται σε $6 * 10^6 - 8 * 10^6$ m³/έτος.

Το σύνολο των εισροών από κατείσδυση, επιστροφές αρδευτικού νερού, επιφανειακές και υπόγειες εισροές είναι $60 * 10^6$ m³/έτος.

5. Υδρογεωλογία

Το καλοκαίρι του 2001 πραγματοποιήθηκαν περιφερειακά της λίμνης Κορώνειας 11 δειγματοληπτικές γεωτρήσεις βάθους 20 - 25 m. Η κατασκευή των γεωτρήσεων πραγματοποιήθηκε από την Ο.Ε. Γεωέρευνα με ανάθεση του έργου από την ομάδα παρακολούθησης του Master Plan, στα πλαίσια μελέτης σχετικής με τη διάσωση της λίμνης Κορώνειας. Σκοπός των εργασιών ήταν, αφενός η λεπτομερής αποτύπωση της στρωματογραφίας των επιφανειακών στρωμάτων και αφετέρου, η διεξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τη δυνατότητα υδραυλικής επικοινωνίας της λίμνης με τα βαθύτερα υδροφόρα στρώματα.



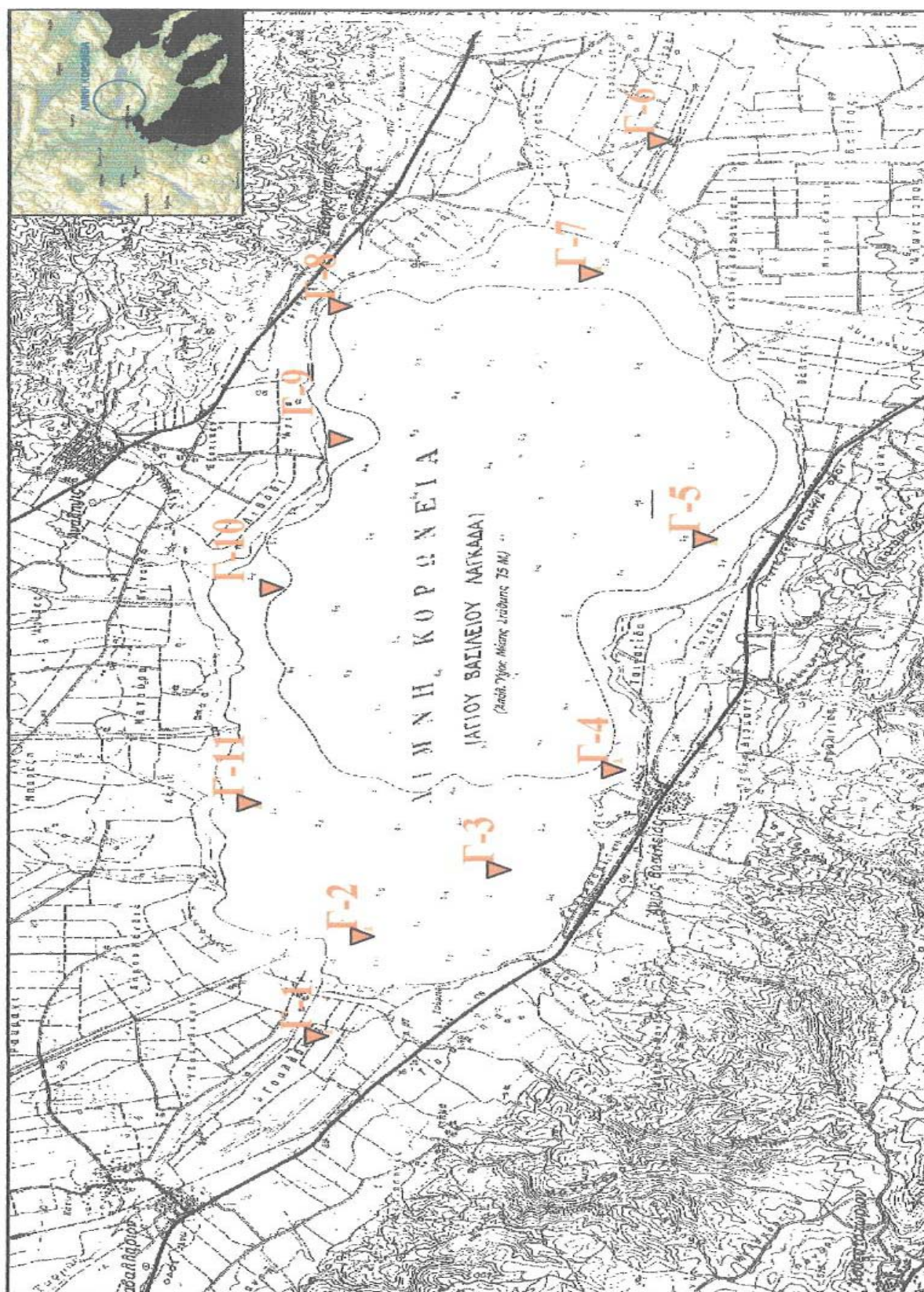
Σχήμα 18. Γεωτρήσιμο BOYLES BBS - 10DH

Έτσι, κατά τη διάρκεια των γεωτρήσεων έγιναν επί τόπου δοκιμές διαπερατότητας με τη μέθοδο MAAG - test και επιλεγμένα δείγματα των πυρήνων των γεωτρήσεων μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο της Εταιρίας GEOLAB Α.Ε, όπου εκτελέστηκε πρόγραμμα εργαστηριακών δοκιμών κατάταξης και διαπερατότητας. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον πίνακα 4.

Πίνακας 3. Βάθη των ερευνητικών γεωτρήσεων Γ₁-Γ₁₁ (Γεωέρευνα, 2001)

Γ ₁ : 25 m.	Υδροστατική στάθμη: 0.70 m.
Γ ₂ : 25 m.	Υδροστατική στάθμη: 0.0 m.
Γ ₃ : 25 m.	Υδροστατική στάθμη: 0.0 m.
Γ ₄ : 25 m.	Υδροστατική στάθμη: 0.70 m.
Γ ₅ : 25 m.	Υδροστατική στάθμη: 0.30 m.
Γ ₆ : 20 m.	Υδροστατική στάθμη: δεν υπάρχει
Γ ₇ : 21 m.	Υδροστατική στάθμη: 1.00 m.
Γ ₈ : 21 m.	Υδροστατική στάθμη: 1.30 m.
Γ ₉ : 19 m.	Υδροστατική στάθμη: 2.20 m.
Γ ₁₀ : 22 m.	Υδροστατική στάθμη: 1.05 m.
Γ ₁₁ : 20 m.	Υδροστατική στάθμη: 2.80 m.

Στις γεωτρήσεις Γ₂, Γ₃ παρατηρήθηκε αρτεσιανισμός με σύγχρονη εκπομπή αερίων ο οποίος εκτονώθηκε μετά από ορισμένες μέρες.



Σχήμα 19. Θέσεις δειγματοληπτικών γεωτρήσεων σε τοπογραφικό χάρτη της περιοχής (Από Γεωέρευνα, 2001)

5.1 Υδρολιθολογία της περιοχής

Διαπιστώθηκε ότι η στρωματογραφική ακολουθία σε όλη την έκταση της υπολεκάνης αποτελείται από εναλλαγές αργίλων, άμμου, ψηφίδων, κροκάλων και μειγμάτων αυτών. Συγκεκριμένα στις γεωτρήσεις (Γ_8 , Γ_9 , Γ_{10} και Γ_{11}) που βρίσκονται στα βόρεια -βορειοανατολικά της λίμνης, έχουμε επιφανειακά και σε βάθη που κυμαίνονται από 0 - 3 έως 0 - 9 μ. άμμους αργιλοϊλυώδεις ή αργιλώδεις, που εναλλάσσονται με αργίλους ή αμμώδεις αργίλους, ενώ μετά από αυτόν τον σχηματισμό και μέχρι το τελικό βάθος των γεωτρήσεων (20 ή 25 μ.) συναντάμε μαύρη, γκριζό - μαύρη άργιλο ή ιλύ ή αργιλοϊλυ, η οποία περιέχει οργανικά συστατικά και κατά θέσεις λεπτές στρώσεις άμμου.

Οι μαύρες άργιλοι που εντοπίζονται στην παρά λιμναία περιοχή και στον πυθμένα της λίμνης Κορώνειας έχουν ιδιαίτερη σημασία για την υδρογεωλογική έρευνα, επειδή χαρακτηρίζει τα όρια επέκτασης της παλαιάς λίμνης Μυγδονίας και σήμερα λόγω της πολύ μικρής διαπερατότητας του λειτουργούν σαν αδιαπέρατο όριο στην υδραυλική επικοινωνία μεταξύ των αβαθών και των βαθιών υδροφορέων. Από δοκιμές διαπερατότητας που πραγματοποιήθηκαν στο πεδίο από την ΓΕΩΕΡΕΥΝΑ ΕΠΕ και στο εργαστήριο GEOLAB διαπιστώθηκε ότι ο συντελεστής υδραυλικής αγωγιμότητας (κ) των μαύρων αργίλων είναι $< \text{από } 10^{-9} \text{ m/sec}$.

Πίνακας 4. Μέσες τιμές του K_f

ΓΕΩΤΡΗΣΗ	ΜΕΣΟ k_f (m/sec)
Γ_1	$8,27 \cdot 10^{-8}$
Γ_2	$2,74 \cdot 10^{-4}$
Γ_3	$2,66 \cdot 10^{-6}$
Γ_4	$7,64 \cdot 10^{-7}$
Γ_5	$5,08 \cdot 10^{-7}$
Γ_6	$1,17 \cdot 10^{-6}$
Γ_7	$2,64 \cdot 10^{-8}$
Γ_8	$7,67 \cdot 10^{-6}$
Γ_9	$3,02 \cdot 10^{-4}$
Γ_{10}	$1,16 \cdot 10^{-4}$
Γ_{11}	$2,59 \cdot 10^{-6}$

5.2 Υδρογεωλογικές συνθήκες

Όπως αναφέρθηκε η περιοχή έρευνας δομείται από δυο κύριες ομάδες πετρωμάτων που είναι τα βραχώδη πετρώματα στις γεωμορφολογικά υψηλότερες περιοχές και τα χαλαρά ιζήματα στην πεδινή περιοχή.

➤ Υδροφορία στα βραχώδη πετρώματα

Το νερό στα βραχώδη πετρώματα κυκλοφορεί μέσω των ασυνεχειών και η υδροπερατότητα ποικίλει σημαντικά εξαρτώμενη από την έκταση, το βαθμό ρωγμάτωσης και τον κατακερματισμό του πετρώματος.

Ο συντελεστή υδραυλικής αγωγιμότητας (**κ**) στα τεκτονισμένα βραχώδη πετρώματα κατά μήκος των ρηγμάτων εκτιμάται με τις μικροτεκτονικές παρατηρήσεις ότι κυμαίνεται από $\kappa = 2,3 \cdot 10^{-6}$ m/sec έως $7,1 \cdot 10^{-7}$ m/sec (Δεμίρης κ.α 1994). Από τις υδρευτικές γεωτρήσεις που έχουν ανορυχθεί, διαπιστώθηκε ότι τα υπόγεια νερά που κυκλοφορούν στα ρήγματα και γενικότερα στις ασυνέχειες των κρυσταλλοσχιστώδων πετρωμάτων σε βάθη > 30 m είναι υπό πίεση και οι παροχές της τάξης των 10 - 25 m³/h. Η εκφόρτιση των υπόγειων νερών από την λοφώδη-ημιορεινή περιοχή στους υδροφορείς της ιζηματογενής λεκάνης πραγματοποιείται μέσω πλευρικής διήθησης.

➤ Υδροφορία στα ιζηματογενή πετρώματα

Από γεωτρήσεις που ανορύχθηκαν καθώς και από τη μελέτη περιγραφών υδρογεωτρήσεων διαπιστώνεται ότι η στρωματογραφική ακολουθία σε όλη την έκταση της υπολεκάνης αποτελείται από εναλλαγές, αργίλων, άμμων, ψηφίδων, κροκάλων και μειγμάτων αυτών. Το ποσοστό συμμετοχής της αργίλου είναι ο κύριος παράγοντας που καθορίζει τον χαρακτηρισμό ενός στρώματος στην περιοχή ως υδροφορέα.

Στην περιοχή έρευνας σύμφωνα με μελέτες διακρίνονται δύο υδροφόρα συστήματα ένα ρηχό και ένας βαθύ τα οποία διαχωρίζονται από ένα αργιλικό αδιαπέρατο-ημιπερατό στρώμα, χωρίς όμως αυτό να εξαπλώνεται σε όλη την έκτασή τους, έτσι επιτρέπεται η υδραυλική επικοινωνία τόσο μεταξύ τους όσο και με τα νερά των χειμάρρων. Και τα δύο υδροφόρα συστήματα παρουσιάζουν παρόμοια καθεστώτα ροής υπόγειων υδάτων και εμπλουτίζονται εντός της λεκάνης απορροής BRGM (1972), Vatzelis 1992, Δεμίρης κ.α 1994.

Ως αβαθείς υδροφορείς θεωρούμε εκείνους που εντοπίζονται μέχρι βάθος 60 m είναι μερικώς ελεύθεροι και μερικώς υπό πίεση. Η κατάσταση του ρηχού υδροφορέα μπορεί να μεταβάλλεται κατά θέσεις εποχιακά, δηλαδή να είναι υπό πίεση κατά την υγρά περίοδο και ελεύθερος κατά την ξηρά περίοδο λόγω της πτώσης στάθμης. Η εκμετάλλευση του γίνεται για αρδευτικού σκοπούς με 3000 υδρογεωτρήσεις.

Οι αντίστοιχοι βαθείς υδροφορείς εντοπίζονται από το βάθος των 60 m περίπου μέχρι το αδιαπέρατο υπόβαθρο, στα 250 - 450m. Η εκμετάλλευση αυτού γίνεται με 500 υδρογεωτρήσεις για άρδευση, ύδρευση και βιομηχανικές ανάγκες.

Ο εμπλουτισμός τόσο του ρηχού όσο και του βαθύ υδροφορέα γίνεται είτε άμεσα με την κατείσδυση των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων, είτε έμμεσα με τη διήθηση από κοίτες του υδρογραφικού δικτύου.

Για τον προσδιορισμό της προέλευσης και της ηλικίας του υπόγειου νερού πραγματοποιήθηκαν ισοτοπικές αναλύσεις από (Vatseris 1992). Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των προσδιορισμών των ισοτόπων οξυγόνου το υπόγειο νερό στους βαθείς υδροφορείς προέρχεται την κατείδυση κατακρημνισμάτων από την ημιορεινή-ορεινή περιοχή (450 - 650 m). Με τη χρήση ισοτόπων H^3 και C^{14} προκύπτει ότι η ηλικία του νερού στους βαθείς υδροφορείς είναι 40 - 50 ετών, γεγονός που σημαίνει την πολύ αργή ανανέωση των αποθεμάτων τους.

5.3 Πιεζομετρία

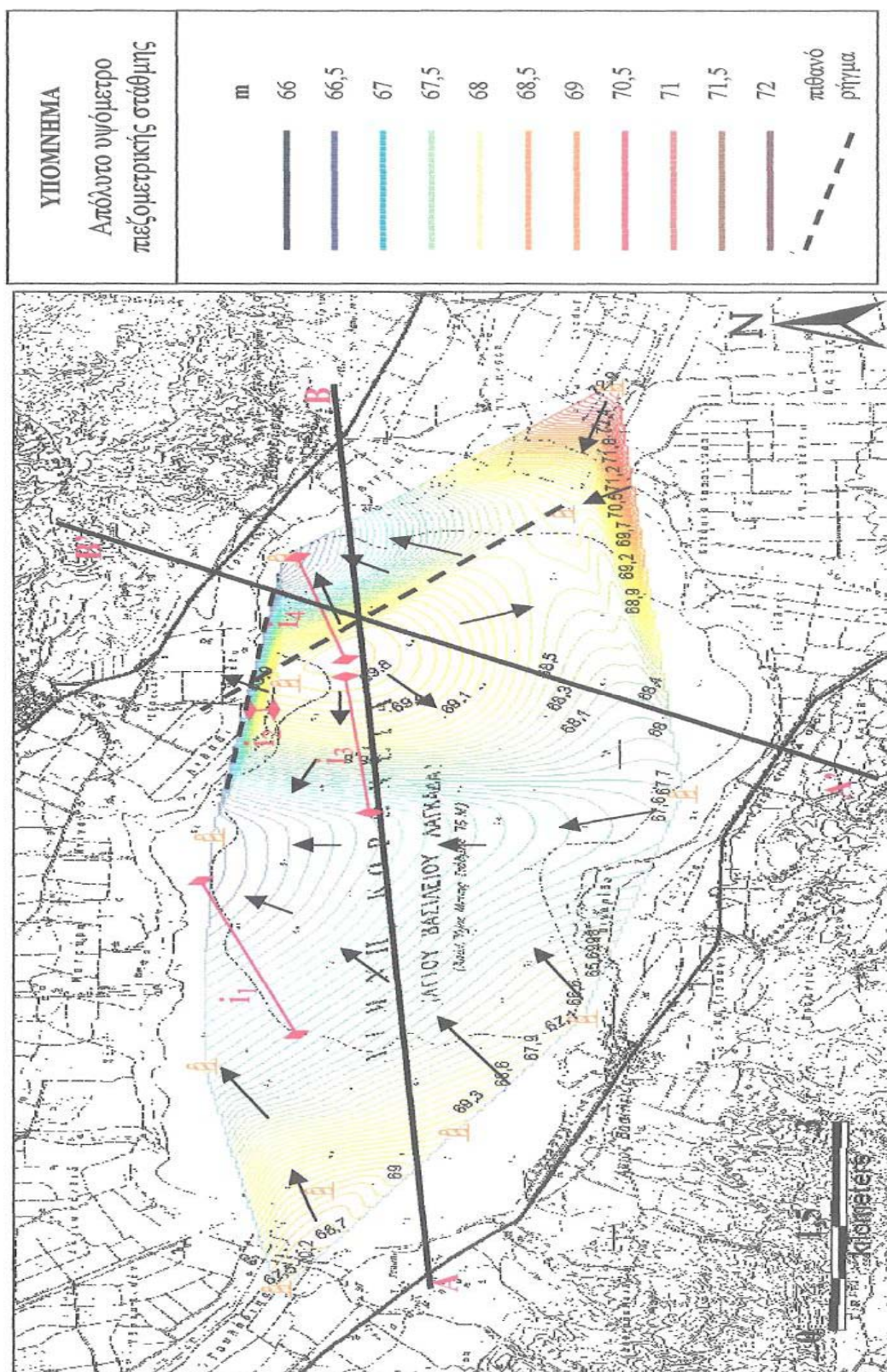
Τα δεδομένα της πιεζομετρίας προέρχονται από μετρήσεις των περιόδων 1970 - 1971, (BRGM 1972), 1991 - 1992, (Vatseris 1992) και περιόδου 1996 - 2001 από το ΙΓΜΕ, (Βεράνης-Κατιρτζόγλου 2001). Από την πιεζομετρική μελέτη διαπιστώνεται ότι οι αβαθείς και βαθείς υδροφορείς έχουν ενιαία πιεζομετρική επιφάνεια. Αν Φ_1 είναι το υδραυλικό φορτίο των αβαθών υδροφορέων και Φ_2 των βαθιών αντίστοιχα, τότε η διαφορά $\Phi_1 - \Phi_2$ κυμαίνεται από μηδενικές τιμές στο μεγαλύτερο τμήμα της υπολεκάνης Κορώνειας μέχρι +3 m στην περιοχή ανατολικά των Λουτρών Λαγκαδά. Στην περιοχή ανατολικά της Λίμνης Κορώνειας είναι $\Phi_1 - \Phi_2 = -2m$.

Στη μελέτη του (BRGM 1972) αναφέρεται ζώνη αρτεσιανισμού στο δυτικό και βορειοδυτικό τμήμα της παραλίμνιας περιοχής που δεν υφίσταται σήμερα λόγω της πτώσης της πιεζομετρικής επιφάνειας. Από τις σταθμημετρήσεις στις 11 γεωτρήσεις που ανορύχθηκαν στην παραλίμνια περιοχή και στο αποξηραμένο τμήμα της Λίμνης Κορώνειας (Ο.Ε. Γεωέρευνα) διαπιστώθηκε ότι η πιεζομετρική επιφάνεια είναι στα 72 - 74 m ενώ η στάθμη της Λίμνης είναι στα 69-70 m, που σημαίνει ότι δεν υφίσταται σε μεγάλη κλίμακα υδραυλική επικοινωνία της λίμνης Κορώνειας με τους υπόγειους υδροφορείς.

Ο κύριος άξονας κίνησης του υπόγειου νερού είναι παράλληλος προς τον επιμήκη άξονα της λεκάνης και ακολουθεί διεύθυνση από ΒΒΔ→ΝΝΑ στην υπολεκάνη λίμνης Κορώνειας και γίνεται Δ→Α στην περιοχή της λίμνης Κορώνειας και στην υπολεκάνη Σχολαρίου. Ο πιεζομετρικός χάρτης, της υπό μελέτη περιοχής φαίνεται στο σχήμα 18 (Γεωέρευνα Ο.Ε. 2001).

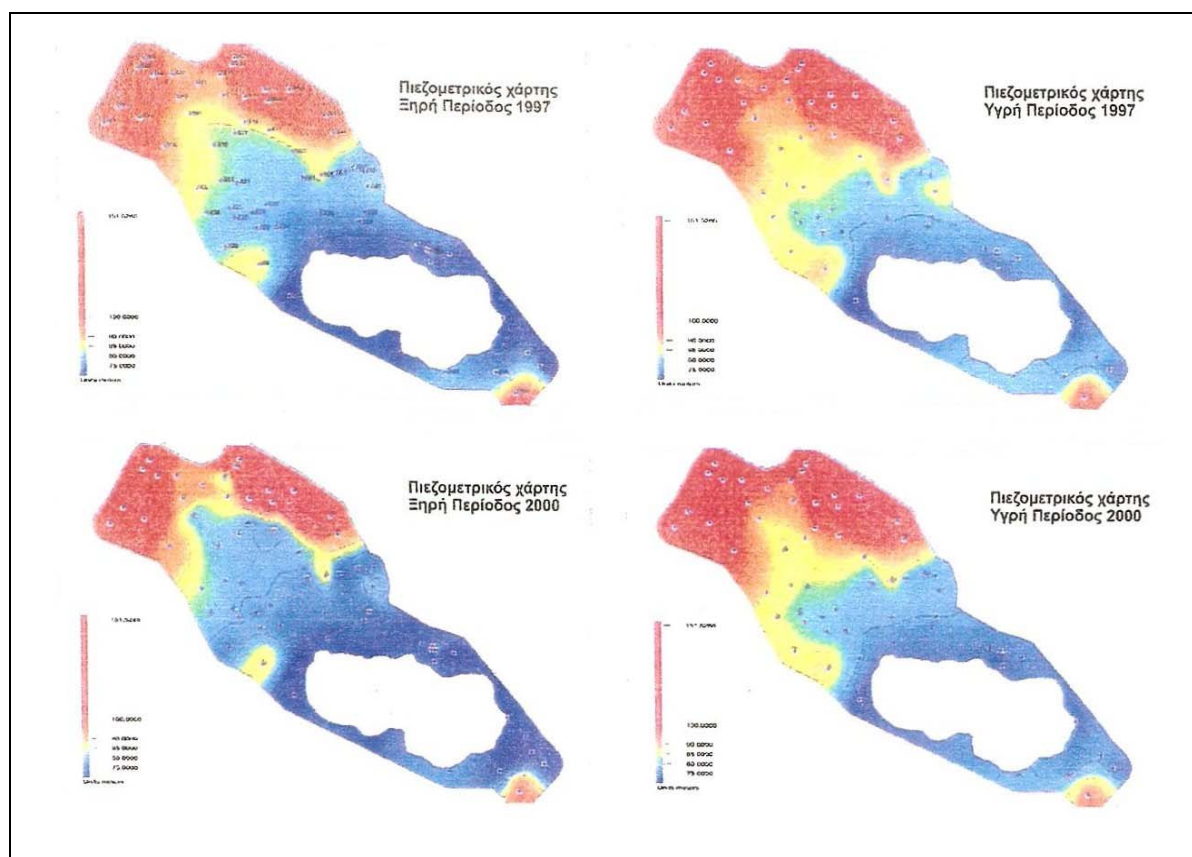
Οι διευθύνσεις ροής της περιοχής έρευνας απεικονίζονται στο χάρτη με βελάκια. Έτσι παρατηρείται ότι υπάρχει μια γενικότερη τάση ροής προς το τμήμα του υδροφορέα που βρίσκεται κάτω από το βόρειο τμήμα της λίμνης. Η ροή αυτή ίσως να οφείλεται στην ύπαρξη ενός ορίου, πιθανόν ρήγματος κατά μήκος του οποίου έχουμε κίνηση (διαφυγή) υπόγειου νερού που οδηγείται από το ρηχό υδροφορέα σε βαθύτερους (σχήμα 18).

Λίμνη Κορώνεια



Σχήμα 20. Πιεζομετρικός χάρτης του ανώτερου υδροφορέα στην παράκτια ζώνη της λίμνης Κορώνειας (Από Γεωέρευνα Ο.Ε. 2001).

Από μελέτη της κατανομής της μεταβολής της πιεζομετρίας κατά την υγρή και ξηρή περίοδο (Βεράνης–Κατιρτζόγλου 2001), διαπιστώθηκαν ορισμένες διαφορές στη διακύμανση της στάθμης στις διάφορες περιοχές. Οι εποχιακές μεταβολές της πιεζομετρίας είναι σχετικά μεγαλύτερες στα περιθώρια και στο δυτικό–βορειοδυτικό τμήμα απ’ ότι στο κεντρικό τμήμα της πεδινής περιοχής. Έτσι κατά το 2000 η μέση διακύμανση της πιεζομετρικής επιφάνειας στα περιθώρια και στο δυτικό–βορειοδυτικό τμήμα της πεδινής περιοχής ήταν 4,5 m και στο κεντρικό τμήμα 3,6 m. Επίσης η μέση ταπείνωση της πιεζομετρικής επιφάνειας ξηράς περιόδου στο διάστημα 1997 - 2000 στα περιθώρια και στο δυτικό–βορειοδυτικό τμήμα της πεδινής περιοχής ήταν 1,89 m ενώ στο κεντρικό τμήμα 1,22 m. Αναμενόταν οι εποχιακές μεταβολές της πιεζομετρικής επιφάνειας στα περιθώρια της λεκάνης και στο δυτικό–βορειοδυτικό της τμήμα να είναι μεγαλύτερες σε σχέση με τις αντίστοιχες μεταβολές στο κεντρικό τμήμα της λεκάνης. Η έντονη όμως εκμετάλλευση των υπόγειων υδροφορέων στο κεντρικό τμήμα της λεκάνης δημιουργεί ταπείνωση στάθμης που απαιτεί χρονικό διάστημα 2 - 3 μηνών για την επαναφορά της. Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι μέσες διακυμάνσεις της πιεζομετρικής επιφάνειας μεταξύ υγρής και ξηρής περιόδου στην υπολεκάνη Λίμνης Κορώνειας για τα έτη 1997 - 2000 και η μέση πτώση της πιεζομετρικής στάθμης στο διάστημα 1997 - 2000 κατά τη ξηρά και υγρά περίοδο αντίστοιχα (σχήμα 19).



Σχήμα 21. Μέσες διακυμάνσεις της πιεζομετρικής στάθμης μεταξύ υγράς και ξηράς περιόδου στην υπολεκάνη Λ. Κορώνειας (Από ΓΓΜΕ 1997 - 2000).

Υγρή 1996-ξηρή 1996 =1,96 m	Υγρή 1998-ξηρή 1998 =3,36 m
Υγρή 1997-ξηρή 1997 =2,67 m	Υγρή 2000-ξηρή 2000 =3,89 m

Παρατηρείται σταθερή ταπείνωση της πιεζομετρικής επιφάνειας κάθε χρόνο. Η μέση πτώση της πιεζομετρικής επιφάνειας υγρής περιόδου στην πεδινή περιοχή υπολεκάνης Κορώνειας κατά το διάστημα (1971 - 1996) είναι 5,0 m και για την περίοδο 1996-2001 είναι 2,5 m. Η μέγιστη ταπείνωση της πιεζομετρικής επιφάνειας παρατηρήθηκε το 1997, λόγω των σχετικά μειωμένων κατακρημνισμάτων που ήταν 443 mm/έτος στον σταθμό Χρυσανγής. Κατά το 1998 παρατηρήθηκε σχετική άνοδος της πιεζομετρικής επιφάνειας, που αποδίδεται στα αυξημένα κατακρημνίσματα στο διάστημα αυτό (560 mm/έτος, σταθμός Χρυσανγής). Γενικά όμως παρατηρείται σταθερή πτώση της μέσης τιμής της πιεζομετρικής επιφάνειας που είναι κατά μέσο όρο 0,5 m/έτος.

6. Ποιότητα Υπόγειων Νερών

Για τον προσδιορισμό της ποιότητας των υπογείων νερών πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία υπογείων νερών από 3 γεωτρήσεις της περιοχής. Οι χημικές αναλύσεις έγιναν στο εργαστήριο Υδρογεωλογίας του Α.Π.Θ και συγκεκριμένα προσδιορίστηκαν τα κάτωθι αποτελέσματα για τα ανιόντα και τα κατιόντα:

6.1 Μεθοδολογία μετρήσεων για ανιόντα – κατιόντα

➤ Ανιόντα

I. Χλώριο (Cl^-): Για την πραγματοποίηση των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκε το φασματόμετρο της HACH DR/2000 με μήκος κύματος 480 nm. Η ακρίβεια αυτής της μεθόδου είναι σε δείγμα που περιέχει 10 mg/l $\pm$ 0.3 mg/l. Η ακτίνα μέτρησης του οργάνου είναι 0-20 mg/l Cl και σε περίπτωση που η περιεκτικότητα του δείγματος υπερέβαινε το όριο αυτό προχωρήσαμε σε αραιώσεις 1:2 ή 1:4.

II. Θεϊκά (SO_4^{2-}): Με το ίδιο όργανο μετρήθηκε και η περιεκτικότητα σε θεϊκά. Η ακτίνα μέτρησης του οργάνου εδώ είναι από 0-65 mg/l SO_4 . Το μήκος κύματος σε αυτές τις μετρήσεις είναι 420 nm. Σε περίπτωση που έχουμε μεγαλύτερη περιεκτικότητα κάνουμε αραιώσεις 1:2 ή 1:4. Το ποσό της σχηματιζόμενης θολερότητας αντιστοιχεί στην συγκέντρωση θεϊκών.

III. Όξινα ανθρακικά (HCO_3^-): Τα όξινα ανθρακικά μετρήθηκαν με τιτλοδότηση και ογκομέτρηση με ακρίβεια της τάξης 1 mg/l και απόκλιση $\pm$ 0.55%.

IV. Φωσφορικά (PO_4^{3-}): Η ακτίνα μέτρησης της περιεκτικότητας σε φωσφορικά είναι από 0-25 mg/l. Η τυπική απόκλιση του οργάνου DR/2000 σε διάλυμα του οποίου η περιεκτικότητα σε φωσφορικά είναι 1 mg/l και χρησιμοποιώντας δύο είδη αντιδραστηρίων είναι 0.01 mg/l. Ανακατεύουμε μέχρι το δείγμα να έχει ένα έντονο μολυβδαινούχο μπλε χρώμα.

V. Νιτρικά (NO_3^-): Το φασματοφωτόμετρο μετρά περιεκτικότητες νιτρικών από 0-30 mg/l με μήκος κύματος 220 nm. Στις αναλύσεις μας όμως, λόγω του ότι σε γενικές γραμμές οι περιεκτικότητες σε νιτρικά ήταν πάνω από 30 mg/l αναγκαστήκαμε να πραγματοποιήσουμε αραιώσεις σε κάποια δείγματα της τάξης 1:2 ή 1:5.

➤ Κατιόντα

I. Ασβέστιο (Ca^{2+}): Την περιεκτικότητα σε ασβέστιο τη μετρήσαμε με τιτλοδότηση των δειγμάτων. Χρησιμοποιήσαμε 25 ml δείγματος. Στη συνέχεια βάζουμε σε αυτό 1 ml από σταθερό διάλυμα ποτασσικού υδροξειδίου και ανακατεύουμε. Έπειτα προσθέτουμε ένα δείκτη Calver2 και παρατηρούμε ότι το διάλυμα γίνεται κόκκινο. Ανακινούμε το διάλυμα και τιτλοδοτούμε μέχρι να γίνει καθαρό μπλέ. Στη συνέχεια πολλαπλασιάζουμε τον αριθμό που μας δίνει ο τιτλοδότης με ένα ψηφίο (στην περίπτωσή μας είναι το 0.4) και έχουμε την περιεκτικότητα σε ασβέστιο.

II. Μαγνήσιο (Mg^{2+}): Για τον υπολογισμό της περιεκτικότητας σε μαγνήσιο πρέπει πρώτα να βρούμε την ολική σκληρότητα. Η σκληρότητα κυμαίνεται από 40-160 mg/l και χρησιμοποιούμε 25 ml δείγματος. Τοποθετούμε στο δείγμα μας 1 ml Hardness 1 Buffer και έναν δείκτη Manver 2 και παρατηρούμε πως χρωματίζεται κόκκινο. Πάλι με τον τιτλοδότη κάνουμε την ίδια διαδικασία όπως στο ασβέστιο μέχρι να γίνει μπλέ.

Πολλαπλασιάζουμε με 0.4 έχουμε την ολική σκληρότητα σαν $MgCO_3$ και $CaCO_3$. Από αυτό το ποσό αφαιρούμε το ποσοστό του Ca σαν $CaCO_3$ και πολλαπλασιάζουμε με το 0.29 για να βρούμε την περιεκτικότητα σε μαγνήσιο.

III. Κάλιο-Νάτριο (K^+ - Na^+): Για τον υπολογισμό K - Na χρησιμοποιήθηκε το φλογοφωτόμετρο PFP7 (JENWAY). Η περιεκτικότητα σε Κάλιο και Νάτριο δίνεται απευθείας από το μηχάνημα. Όμως το φλογοφωτόμετρο δίνει ακριβείς μετρήσεις μόνο για μικρές περιεκτικότητες. Για το λόγο αυτό κάναμε αραιώσεις και στα 3 δείγματα ούτως ώστε να πετύχουμε ακριβέστερες μετρήσεις.

Γ) Το pH και η αγωγιμότητα: μετρήθηκαν απευθείας.

6.2 Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων

Για τον καθορισμό των υδροχημικών παραμέτρων του υπογείου νερού πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία, από γεωτρήσεις στη λεκάνη της λίμνης Κορώνειας, το έτος 2007. Τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων από τα δείγματα νερού που αναλύθηκαν απεικονίζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 5. Χημικές αναλύσεις υπόγειων νερών στην υπολεκάνη της λίμνης Κορώνειας σε mg/L.

	I.G.M.E (Γ ₁)	Γ ₂	Γ ₃
Σκληρότητα	114	165	289
Ca	72	103	158
Na	191	107	38
K	1.7	2.0	3.5
HCO ₃	192	178	236
Cl	56	64	33
SO ₄	285	80	128
NO ₃	24.2	12.76	36.52
ph	7.55	7.37	7.03
Αγωγιμότητα	948	682	732

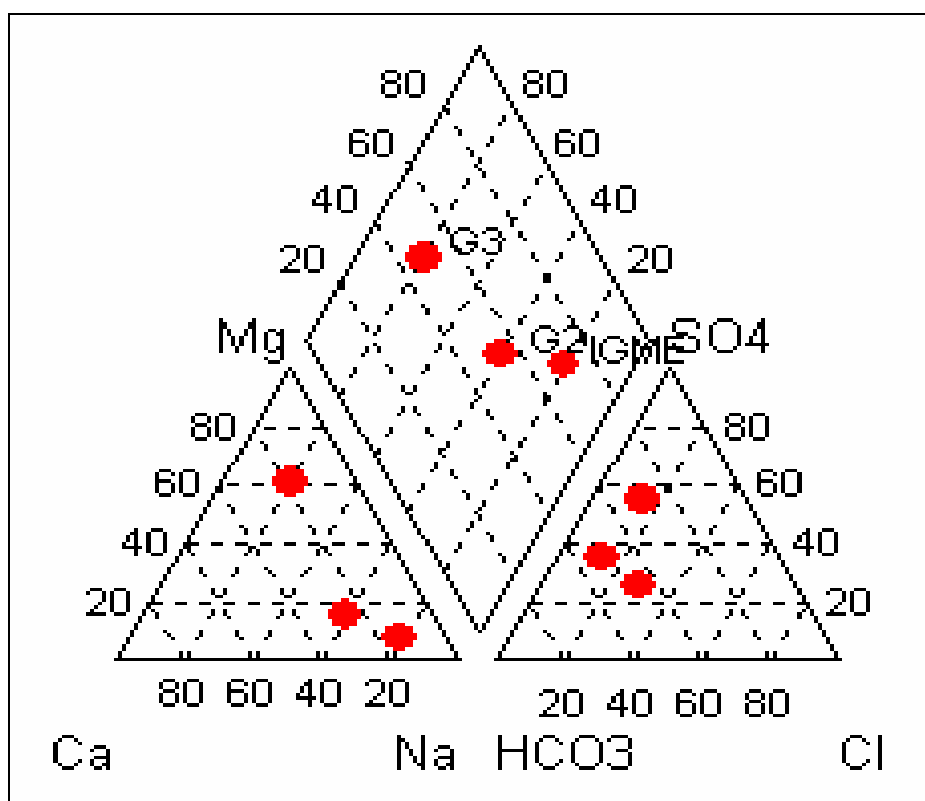
- **pH:** Το pH του υπογείου νερού καθορίζεται από τις διάφορες χημικές αντιδράσεις και ισορροπίες μεταξύ των διαλυμένων ιόντων μέσα σε αυτό. Από τον πίνακα διαπιστώνουμε ότι το εύρος των τιμών του κυμαίνεται σε φυσιολογικά επίπεδα (7.03 έως 7.55).
- **Ηλεκτρική αγωγιμότητα(μS/cm):** Η παράμετρος αυτή συνδέεται άμεσα με την ποσότητα και τη φύση των διαλυμένων ηλεκτρολυτών. Η αύξηση της ποσότητας των διαλυμένων αλάτων και η αύξηση της θερμοκρασίας συνεπάγονται και αύξηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Γι' αυτό η μέτρηση της πρέπει να γίνεται σε συγκεκριμένη θερμοκρασία (συνήθως 25°C). Το ενδεικτικό επίπεδο της αγωγιμότητας στο πόσιμο νερό είναι 400 μS/cm. Από τις μετρήσεις προκύπτει ότι οι τιμές της αγωγιμότητας στην περιοχή μελέτης κυμαίνονται από 682 έως 948 μS/cm. Συνεπώς θα μπορούσαμε να χαρακτηρίσουμε τα νερά ως υψηλής αλατότητας.
- **Σκληρότητα :** Η σκληρότητα του νερού προέρχεται από την παρουσία δισθενών μεταλλικών κατιόντων, εκ των οποίων τα πιο συνηθισμένα είναι το Ca^{2+} και το Mg^{2+} . Ο προσδιορισμός σκληρότητας έχει μεγάλη σημασία γιατί αποτελεί κριτήριο καταλληλότητας για πολλές, χρήσεις νερού. Η σκληρότητα η

οποία συνδέεται και με την υγεία του ανθρώπου διακρίνεται σε παροδική, μόνιμη και ολική. Περισσότερη έμφαση δίνουμε στην ολική, που είναι το άθροισμα της παροδικής ή ανθρακικής και της μόνιμης σκληρότητας. Από τις τιμές σκληρότητας των νερών της περιοχής έρευνας, προκύπτει για τις γεωτρήσεις του ΙΓΜΕ και τη Γ₂ μέτρια σκληρό νερό, ενώ για τη γεώτρηση Γ₃ πολύ σκληρό νερό.

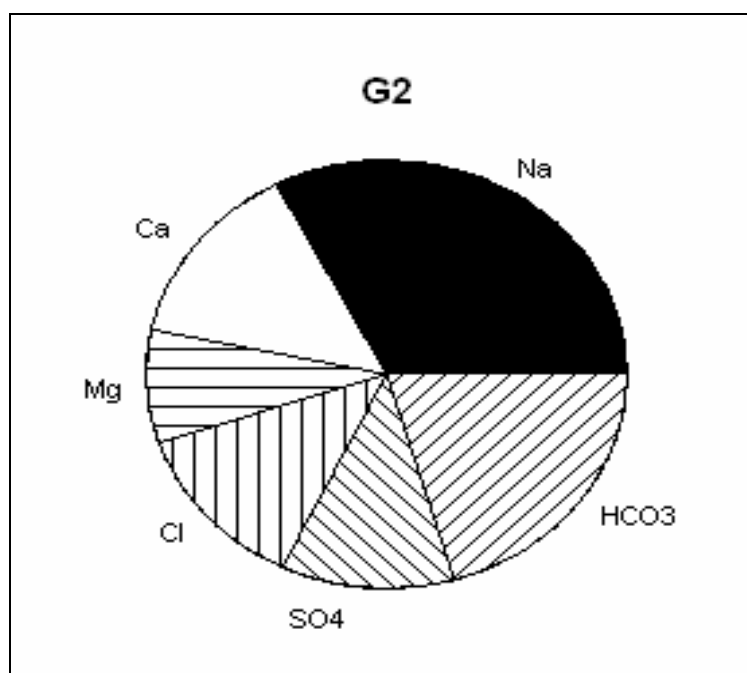
- **Ασβέστιο (Ca²⁺)**: Η κύρια προέλευση του ανθρακικού ασβεστίου είναι τα ανθρακικά ιζηματογενή πετρώματα και μάρμαρα. Επίσης μπορεί να προέρχονται από τους ασβεστονατριούχους αστρίους, τη γύψο, τους πυροξένους και τους αμφιβόλους. Οι τιμές του ασβεστίου (72 έως 158 mg/l), διατηρούνται σε αρκετά υψηλά επίπεδα, αφού το ανώτατο επιτρεπτό είναι 100 mg/l.
- **Ιόντα Νατρίου**: Τα ιόντα Na⁺ συνδέουν την παρουσία τους με τους αστρίους. Το ενδεικτικό επίπεδο συγκέντρωσης Na⁺ στα υπόγεια νερά είναι 20 mg/l. Στην περιοχή έρευνας βλέπουμε ότι η περιεκτικότητα Na⁺ ξεπερνά κατά πολύ τα επιτρεπτά όρια με εύρος τιμών από 38 έως 191 mg/l. Αξίζει να αναφέρουμε ότι η παρουσία των αλκάλιων σχετίζεται και με τη διείσδυση της θάλασσας σε παράκτιους υδροφόρους ορίζοντες ή με αερομεταφερόμενα σταγονίδια από τη θάλασσα.
- **Κάλιο (K⁺)**: Το κατιόν αυτό βρίσκεται σε αφθονία στη φύση και η συγκέντρωσή του στα υπόγεια νερά της περιοχής έρευνας κυμαίνεται από 1.7 έως 3,5 mg/l, με ανώτατο όριο τα 12 mg/l.
- **Όξινα ανθρακικά ιόντα HCO₃²⁻**: Τα όξινα ανθρακικά ιόντα προέρχονται από τους ανθρακικούς σχηματισμούς όταν αυτά διαλύονται από το νερό. Μπορούν να προέρχονται από το CO₂ της ατμόσφαιρας ή το σχηματιζόμενο στο έδαφος CO₂ από τη σήψη οργανικών ουσιών. Ο μέσος όρος της περιεκτικότητας τους στα υπόγεια νερά είναι 257 mg/l. Στην περιοχή έρευνας οι τιμές του κυμαίνονται από 178 έως 236 mg/l, κοντά στο μέσο όρο.
- **Χλώριο (Cl⁻)**: Κύρια προέλευση του είναι τα ιζηματογενή πετρώματα, που περιέχουν αργίλικα ορυκτά θαλάσσιας γένεσης, καθώς και εβαπορίτες. Επιθυμητό συγκέντρωσης των χλωριόντων στο πόσιμο νερό είναι 25 mg/l και το ανώτατο όριο 250 mg/l. Στην περιοχή έρευνας η περιεκτικότητα του κυμαίνεται από 33 έως 64 mg/l. Είναι σε σχετικά καλά επίπεδα.
- **Θειικά ιόντα (SO₄⁻)**: Το εύρος των τιμών της περιεκτικότητας των θεικών στα υπόγεια νερά της περιοχής μελέτης, είναι από 80 έως 285 mg/l με ανώτατο επιτρεπτό όριο τα 250 mg/l.

Παράμετροι ρύπανσης: Πρόκειται για ιόντα, στα οποία περιλαμβάνονται οι ρίζες αζώτου (αμμωνίας, νιτρώδη και νιτρικά) και φωσφόρου. Η παρουσία των παραμέτρων αυτών στο πόσιμο νερό, σε συγκεντρώσεις που υπερβαίνουν το ανώτατο επιτρεπτό όριο (50 mg/l), εγκυμονεί κινδύνους για την υγεία των ανθρώπων. Η περιεκτικότητα των νιτρικών στα δείγματα της περιοχής μελέτης κυμαίνεται από 12.76 έως 36.52 mg/l, συνεπώς κάτω από τα ανώτερα επιτρεπτά όρια.

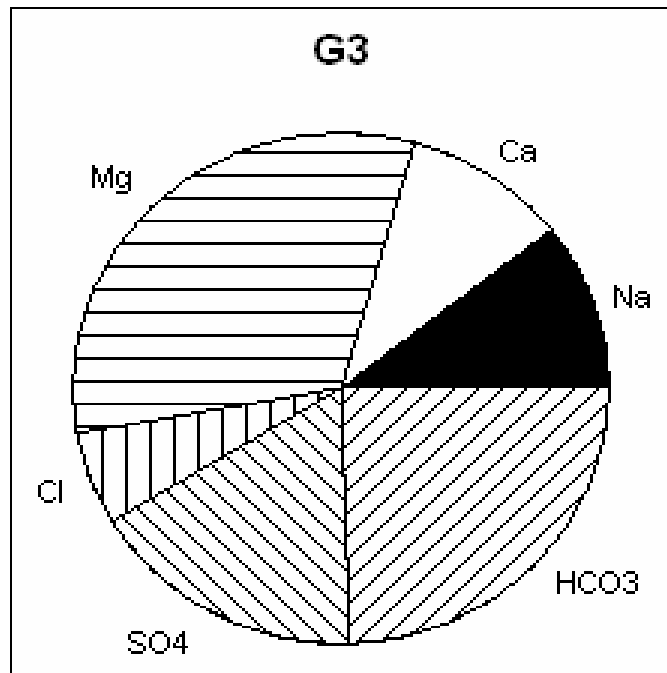
Στα σχήματα που ακολουθούν, παρουσιάζονται σε διαγράμματα τα στοιχεία (ανιόντα, κατιόντα) εκείνα τα οποία προέκυψαν από τις χημικές αναλύσεις των δειγμάτων.



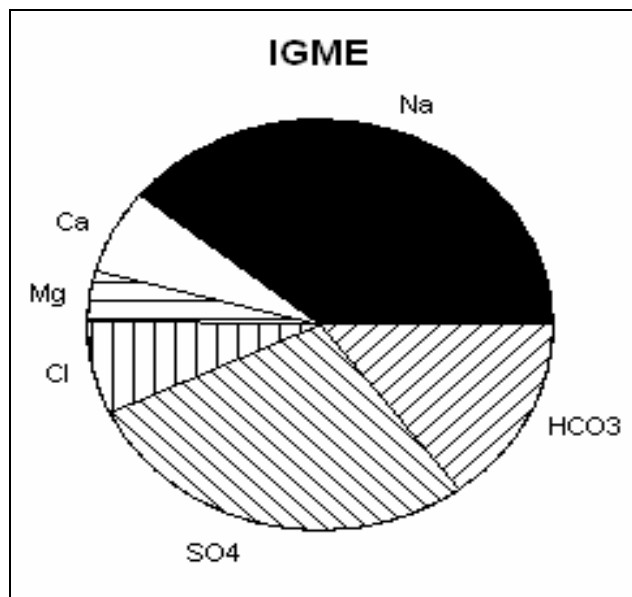
Σχήμα 22. Διάγραμμα Piper



Σχήμα 23. Απεικόνιση της περιεκτικότητας των στοιχείων για τη Γ2 γεώτρηση



Σχήμα 24. Απεικόνιση της περιεκτικότητας των στοιχείων για τη Γ3 γεώτρηση.



Σχήμα 25. Απεικόνιση της περιεκτικότητας των στοιχείων για τη Γ1 (IGME) γεώτρηση.

Όπως προκύπτει από τα παραπάνω γραφήματα, τα νερά ανήκουν στους υδροχημικούς τύπους: νατριούχο οξυανθρακικό, θειούχο-μαγνησιούχο-οξυανθρακικό, και θειούχο νατριούχο-οξυανθρακικό ($\text{Na} - \text{HCO}_3$, $\text{SO}_4 - \text{Mg} - \text{HCO}_3$ και $\text{SO}_4 - \text{Na} - \text{HCO}_3$).

7. Προτεινόμενο Υδρολογικό Διαχειριστικό Σχέδιο **Αποκατάστασης** **Της Λίμνης Κορώνειας**

Ο κ Χρήστος Τζιμόπουλος με στόχο τη μείωση του υδατικού ελλείμματος και την άνοδο της στάθμης του υπόγειου υδροφορέα, πρότεινε το υδρολογικό σχέδιο αποκατάστασης της λίμνης Κορώνειας, το οποίο περιλαμβάνει τα παρακάτω μέτρα.

- a) Μεταβολή του τρόπου άρδευσης, δηλαδή κατάργηση των κανονιών βροχής και εφαρμογή, όπου είναι δυνατόν, στάγδην άρδευσης.
- b) Εφαρμογή του Αγροπεριβαλλοντικού σχεδίου.
- c) Μερική παροχέτευση των χειμάρων Λαγκαδικίων - Σχολαρίου, ούτως ώστε σε ετήσια βάση μια ποσότητα ίση περίπου με $9.500.000 \text{ m}^3$ να εμπλουτίζει τη λίμνη Κορώνεια κατά τους χειμερινούς κυρίως μήνες, για χρονικό διάστημα περίπου 6 - 7 ετών. Θα δημιουργηθεί ένα τεχνικό έργο στη συμβολή των δύο αυτών χειμάρρων με την τάφρο Δερβένι και θα υπάρχει εκεί ένας επιμεριστής που θα παροχετεύει μια ποσότητα που θα εμπλουτίζει τη λίμνη Κορώνεια.
- d) Η λίμνη Κορώνεια θα εφοδιαστεί με ένα ανάχωμα τραπεζοειδούς διατομής που θα κατασκευαστεί από βυθοκορήματα της λίμνης, στο δυτικό τμήμα αυτής, με απόλυτο υψόμετρο στέψης του αναχώματος +73 m και κλίσεις πρανών προς τη λίμνη 1/7 - 1/10. Η μέση στάθμη της λίμνης προβλέπεται στο απόλυτο υψόμετρο +71.5 m, με πιθανή άνοδο το χειμώνα στο +72 m και κάθοδο τους καλοκαιρινούς μήνες στο 71.0 m
- e) Στο ανατολικό τμήμα της λίμνης θα κατασκευαστεί ένας υπερχειλιστής σε υψόμετρο +72 m και τα νερά της τάφρου Δερβένι θα οδηγούνται στη Βόλβη, σε περίπτωση πλημμυρών. Έτσι το όλο σύστημα θα έχει την πλήρη υδρολογική ισορροπία του.
- f) Ο επιφανειακός υδροφορέας της Κορώνειας θα δέχεται φυσικό και τεχνητό εμπλουτισμό μέσω των χειμάρρων που εισρέουν στη λίμνη, στα πρώτα τουλάχιστον χρόνια της αποκατάστασης της λίμνης και η αποκατάσταση αυτή θα συντελεστεί σε ένα χρονικό διάστημα ενδεχομένως μεγαλύτερο από αυτό της λίμνης (περίπου 8 - 10 χρόνια), διότι όπως προκύπτει και από τα στοιχεία των αρδεύσεων αλλά και από τις υφιστάμενες γεωτρήσεις, ο υδροφορέας αυτός παρουσιάζει μεγάλα υδατικά ελλείμματα που θα χρειαστούν μεγάλο χρόνο αποκατάστασης. Όπου δεν δημιουργείται τεχνητός εμπλουτισμός θα πρέπει να γίνουν έργα τεχνητού εμπλουτισμού, είτε μέσα στην πεδινή κοίτη των χειμάρρων, είτε και έξω από την κοίτη αυτών. Για την περίπτωση που τα έργα αυτά θα γίνουν εντός της κοίτης των χειμάρρων, προβλέπεται η δημιουργία μιας σειράς μικρών αναβαθμίδων, που θα δρουν ανασταλτικά στη ροή του νερού και θα επιτρέπουν τη διήθησή του προς τα υδροφόρα στρώματα. Για έργα εκτός της κοίτης προβλέπεται να γίνουν μικρές υδροληψίες, αγωγοί μεταφοράς και μικρές δεξαμενές, εντός των οποίων θα οδηγείται το νερό των χειμάρρων.
- g) Αντιμετώπιση παρεμφερών περιβαλλοντολογικών ζητημάτων της περιοχής, όπως οι ανεξέλεγκτες χωματερές, η παράνομη δόμηση και κυρίως οι αμμοληψίες από τις κοίτες των χειμάρρων.
- h) Η εγκατάσταση επεξεργασίας αλατούχων υγρών αποβλήτων, βαφείων.

Λίμνη Κορώνεια

- i) Ολοκλήρωση του αποχετευτικού δικτύου του Δήμου Λαγκαδά και σύνδεση του με βιολογικό καθαρισμό που ήδη έχει ολοκληρωθεί. Επίσης περιλαμβάνει έργα δημιουργίας και διαμόρφωσης υγροτόπων, βελτίωσης των υδραυλικών χαρακτηριστικών και αμφίδρομης λειτουργίας της ενωτικής τάφρου Κορώνειας-Βόλβης.
- j) Τέλος προβλέπεται εκβάθυνση της λίμνης.

8. Συμπεράσματα

Η πεδινή περιοχή και το δυτικό τμήμα της λοφώδους περιοχής, υπολεκάνης Κορώνειας καταλαμβάνονται από χαλαρά ιζήματα και έχουν έκταση 282 km². Το μέσο υψόμετρο του πεδινού τμήματος είναι 116 m (70-200) και η υπόλοιπη έκταση της που καταλαμβάνεται από κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα είναι 464 km² με μέσο υψόμετρο 420 m. Η επιφάνεια νερού της λίμνης μέχρι το 1985 ήταν 45 – 49km² και σήμερα καταλαμβάνει επιφάνεια μόλις 25 km².

Το υπόβαθρο της λεκάνης αποτελείται από Προαλπικής και αλπικής ηλικίας μεταμορφωμένα πετρώματα της Σερβομακεδονικής αλλά και της Περιοδοπικής ζώνης (γνεύσιοι, αμφιβολίτες, φυλλίτες, χαλαζίτες και λίγα μάρμαρα). Τα ιζήματα που πλήρωσαν τη λεκάνη Μυγδονίας είναι Μειοκαινικής-Ολοκαινικής ηλικίας, έχουν πάχος 50 – 450 m με μέση τιμή στα 250 m και συνίσταται από αργίλους, άμμους, χάλικες, κροκαλοπαγή, μάργες και μειγμάτων αυτών. Κανονικά νεοτεκτονικά ρήγματα διατρέχουν τα μεταμορφωμένα πετρώματα, τις πυριγενείς διεισδύσεις και τα ιζήματα του Νεογενούς-Τεταρτογενούς. Τα ρήγματα σχετίζονται με την αύξηση κατά θέσης της υδραυλικής αγωγιμότητας.

Διακρίνονται ρηχοί υδροφορείς με βάθη έως και 60 m και βαθείς με βάθη από 60 m μέχρι και το υπόβαθρο. Τα δύο συστήματα υδροφορέων διαχωρίζονται από στρώσεις μαύρων και ερυθρών αργίλων που δεν συνιστούν όμως ένα ενιαίο αδιαπέρατο στρώμα με αποτέλεσμα να επιτρέπουν την υδραυλική ενδοεπικοινωνία μεταξύ των διαφόρων υδροφορέων. Ο πυθμένας της λίμνης είναι αδιαπέρατος και αποτελείται από μαύρη άργιλο.

Ο κύριος άξονας κίνησης του υπόγειου νερού είναι παράλληλος προς τον επιμήκη άξονα της λεκάνης και ακολουθεί διεύθυνση από ΒΒΔ - ΝΝΑ στην υπολεκάνη λίμνης Κορώνειας ενώ στην περιοχή της λίμνης και της υπολεκάνης Σχολαρίου ακολουθεί Δ - Α διεύθυνση.

Από μετρήσεις στάθμης προκύπτει ότι η πιεζομετρική επιφάνεια σε ετήσια βάση κυμαίνεται κατά μέσο όρο 3 m και από αυτά τα 2,5 m οφείλονται σε εποχιακές μεταβολές, ενώ τα υπόλοιπα σε μόνιμη πτώση στάθμης. Παρατηρήθηκε δε υποχώρηση της μέσης τιμής της πιεζομετρικής επιφάνειας κατά 2,5 m (1996 – 2001).

Κατά τα τελευταία 17 χρόνια το υδατικό έλλειμμα είναι της τάξης των $11 \cdot 10^6$ m³/έτος αποτέλεσμα αυτού ήταν η ταπείνωση της πιεζομετρικής επιφάνειας με συνέπεια την διήθηση των νερών των χειμάρρων της λοφώδους περιοχής προς τα χαλαρά ιζήματα της πεδινής περιοχής ώστε να αναπληρώσουν τα κενά που δημιουργήσε η εκμετάλλευση των υπόγειων υδάτων. Λόγω του αρνητικού υδατικού ισοζυγίου τα αποθέματα αυτής μειώθηκαν από $200 \cdot 10^6$ m³ το 1985 σε $20 \cdot 10^6$ m³ το 2002.

Παρατηρείται μια τάση ροής προς το τμήμα του υδροφορέα που βρίσκεται κάτω από το βόρειο τμήμα της λίμνης. Ίσως αυτό να οφείλεται στην ύπαρξη κάποιου υπόγειου ρήγματος που δημιουργήθηκε ή επαναδραστηριοποιήθηκε εξαιτίας του σεισμού του 1978. η ύπαρξη του εν λόγω ρήγματος αποτελεί παράγοντα απώλειας νερού επιτρέποντας την διαφυγή του προς βαθύτερους υδροφορείς.

Από άποψη χημισμού, τα νερά του υπόγειου υδροφορέα της λίμνης εμφανίζονται μέτρια έως σκληρά και ανήκουν στους υδροχημικούς τύπους : νατριούχο οξυανθρακικό, θειούχο-μαγνησιούχο-οξυανθρακικό, και θειούχο νατριούχο-οξυανθρακικό (Na - HCO₃, SO₄ – Mg - HCO₃ και SO₄ – Na - HCO₃).

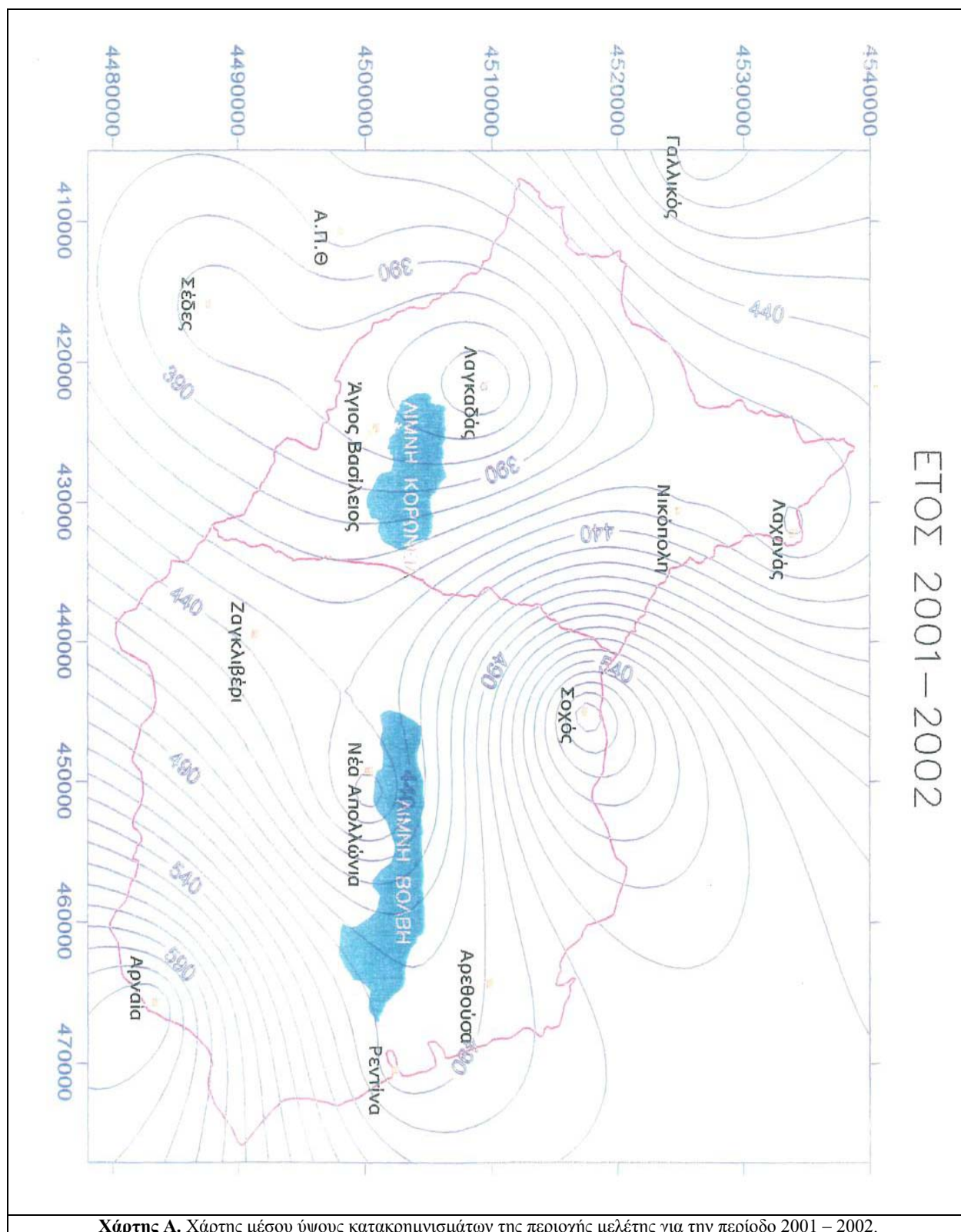
Λίμνη Κορώνεια

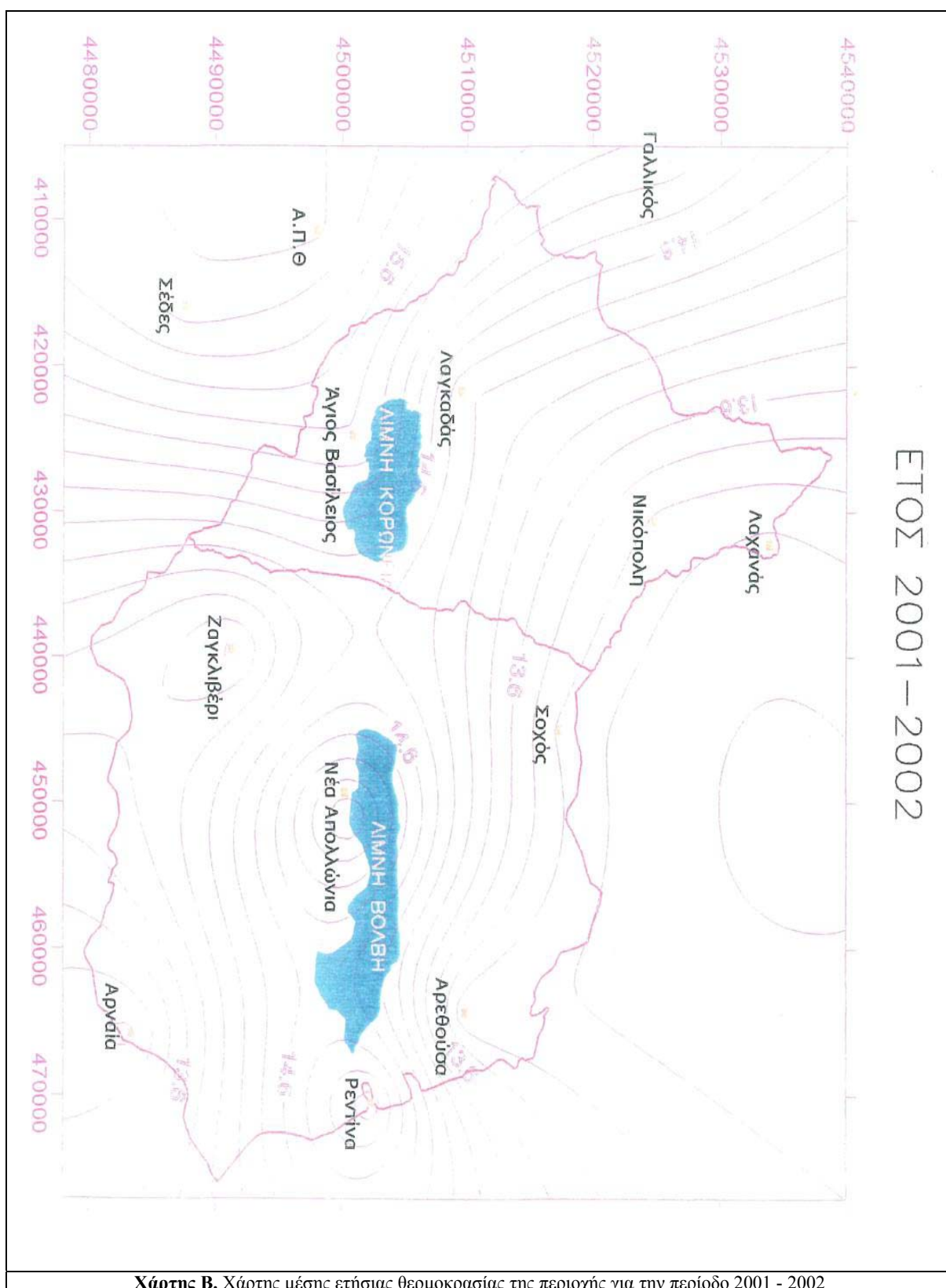
Τέλος, οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες στη λεκάνη απορροής έχουν ως αποτέλεσμα την υποβάθμιση της λίμνης τόσο ποιοτικά όσο και ποσοτικά.

10. Βιβλιογραφία

- ΑΤΖΕΜΟΓΛΟΥ,Α (2001): γεωφυσική έρευνα επιφανείας στην υπολεκάνη λίμνης Κορώνειας, νομός Θεσσαλονίκη. Αδημ. Μελέτη.
- ΒΕΡΑΝΗΣ, Ν. ΚΑΤΙΡΤΖΟΓΛΟΥ Κ (2001a):Διερεύνηση των δυνατοτήτων εκμετάλλευσης του βαθύτερου υδροφορέα της υπολεκάνης της λίμνης Κορώνειας. Θεσσαλονίκη Αδημ. Μελέτη ΙΓΜΕ
- ΒΕΡΑΝΗΣ, Ν. ΚΑΤΙΡΤΖΟΓΛΟΥ Κ. (2001b): Υπολογισμός υδρολογικού ισοζυγίου στην πεδινή περιοχή υπολεκάνης Κορώνειας, Ν. Θεσσαλονίκη. Θεσσαλονίκη Αδημ. Μελέτη ΙΓΜΕ.
- ΓΕΩΠΕΡΕΥΝΑ (2001). Ανόρυξη αβαθών γεωτρήσεων περιμετρικά της Λ. Κορώνειας και δοκιμές διαπερατότητας (αχ. Εκθ. Γεωέρευνα, Θεσσαλονίκη).
- ΔΕΜΙΡΗΣ, Κ – ΜΕΛΑΔΙΩΤΗΣ, Γ.-ΒΑΤΣΕΡΗΣ, Χ.-ΠΑΠΑΘΕΟΔΩΡΟΥ, Κ (1994,): Έρευνα Υδάτων Λεκάνης Μυγδονίας. Θεσσαλονίκη. Αδημ. Μελέτη, Επιτροπή Ερευνών ΑΠΘ.
- ΖΑΛΙΔΗΣ Γ.Χ..Β Τακαβάκογλου και Θ. Αλεξανδρίδης, 2004. Αναθεωρημένο σχέδιο αποκατάστασης της λίμνης Κορώνειας του Νομού Θεσσαλονίκης. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Γεωπονίας, Εργαστήριο Εφαρμοσμένης Εδαφολογίας.
- ΚΑΛΕΡΓΗΣ Γ.Α (1986^α) Εφαρμοσμένη Υδρογεωλογία. Αθήνα, ΤΕΕ.
- ΚΑΤΙΡΤΖΟΓΛΟΥ, Κ (2001) : Υδρογεωλογική μελέτη λεκανών Μυγδονίας-Ολυνθίου-Χαβρία των νομών Θεσσαλονίκης και Χαλκιδικής. Αδημ. Μελέτη ΙΓΜΕ, Θεσσαλονίκη.
- ΜΟΥΝΤΡΑΚΗΣ Δ, ΚΙΛΙΑΣ Α.....ΛΑΓΓΑΛΗ, Θ. (1996) :Νεοτεκτονικός χάρτης της Ελλάδας, Φ.Χ Λαγκαδάς, κλ. 1:100.000. Αδημ. Μελέτη Γεωλογικό τμήμα ΑΠΘ , Θεσσαλονίκη.
- ΤΡΑΓΑΝΟΣ, Γ (1982):Πρόδρομη έκθεση επί της γεωθερμικής έρευνας στη λεκάνη Μυγδονίας. Αδημ. Μελέτη ΙΓΜΕ, Αθήνα.
- ΤΣΙΜΠΟΥΛΟΣ. Χ (2006) ; Διαχείριση Υδατικών Πόρων.
- ΨΙΛΟΒΙΚΟΣ, Α.(1977) : Παλαιογραφική εξέλιξη της λεκάνης και της λίμνης της Μυγδονίας. Διδ. Διατρ.ΦΜΣ Α.Π.Θ.

9. Παράρτημα





Φωτογραφικό Υλικό

A

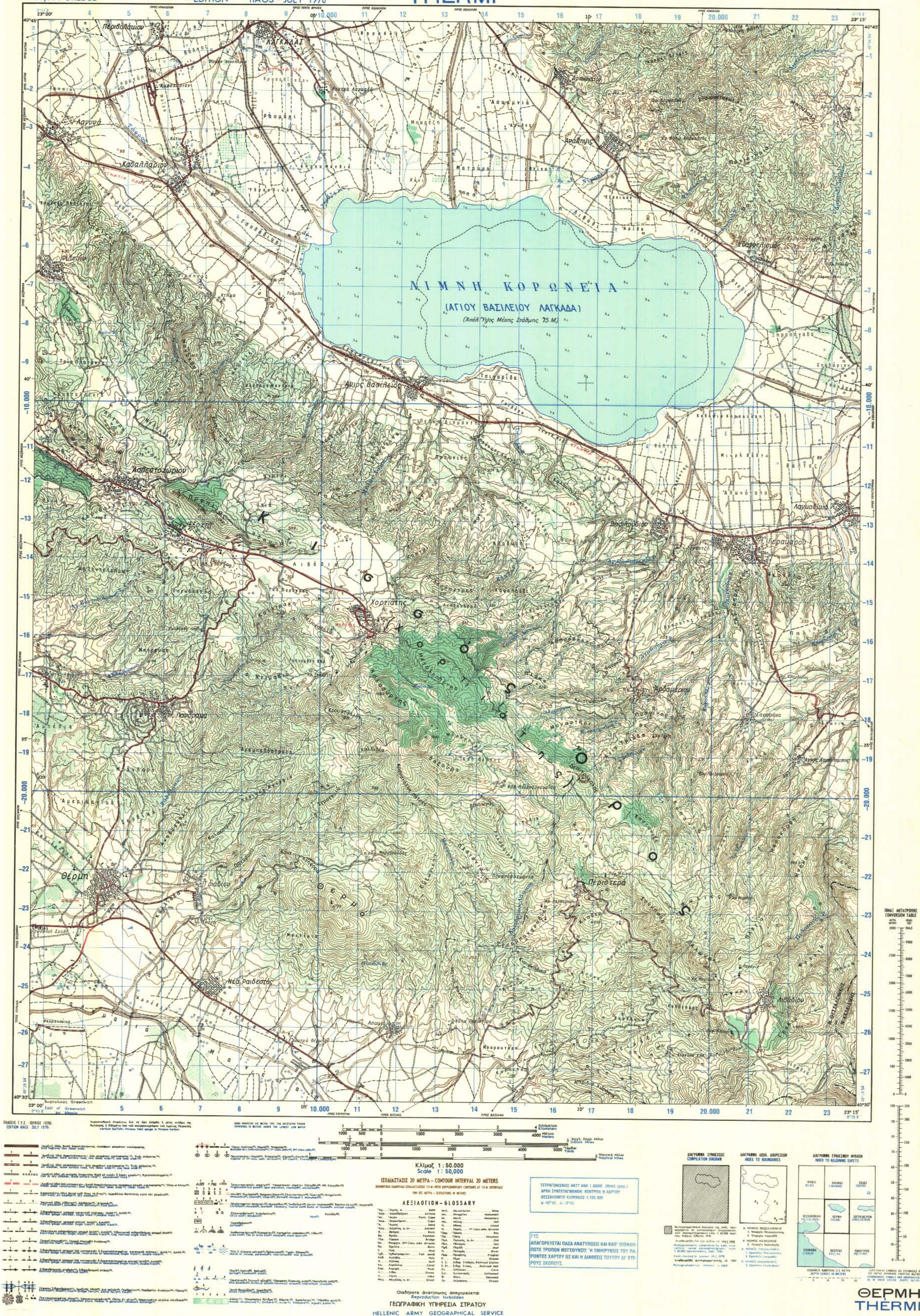


Εικόνα από δορυφορική λήψη (Από Google earth)

B



Εικόνα από δορυφορική λήψη (Από Google earth)



Λίμνη Κορώνεια

Γ



Πανοραμική εικόνα της λίμνης Κορώνειας