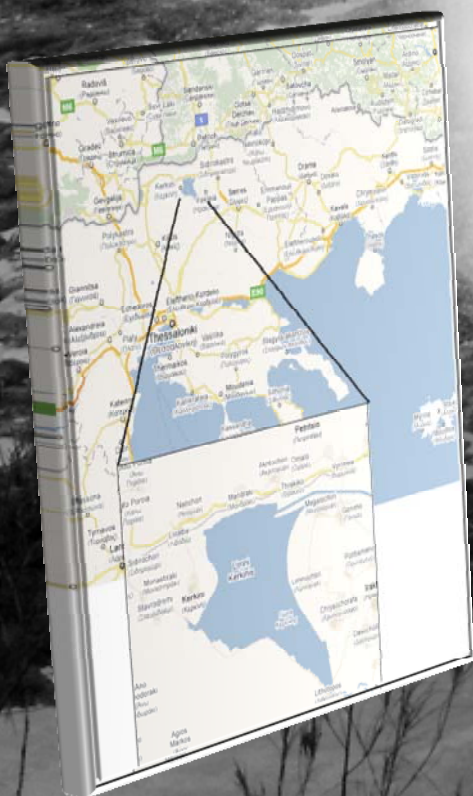


ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:
«ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ
ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΒΟΡΕΙΑ ΚΑΙ ΒΟΡΕΙΟΔΥΤΙΚΑ
ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ ΚΕΡΚΙΝΗΣ»

ΠΑΝΑΓΙΩΤΑ ΑΝΔΡΟΝΙΚΟΥ
ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ ΜΟΥΣΕΛΕΜΙΔΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ
Κ. ΒΟΥΔΟΥΡΗΣ



ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2011



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	3
2. ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΕΡΕΥΝΑΣ	4
3. ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ.....	6
3.1 Συνθήκες Δημιουργίας Γεωθερμικών Πεδίων	7
3.2 Γεωθερμικά Πεδία	9
3.3 Γεωθερμία Χαμηλής Ενθαλπίας	11
3.4 Εφαρμογές Γεωθερμικής Ενέργειας.....	12
3.5 Γεωθερμικές Εφαρμογές Στην Ελλάδα.....	15
4. ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΡΕΥΝΑΣ	16
4.1 Γεωθερμία Της Ευρύτερης Περιοχής Της Λίμνης Κερκίνης.....	18
4.2 Γεωλογικές Συνθήκες	19
4.3 Τεκτονική Της Περιοχής.....	24
5. ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ Β ΚΑΙ ΒΔ ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ ΚΕΡΚΙΝΗΣ	26
6. ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΚΕΡΚΙΝΗΣ	32
7. ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ – ΘΕΡΜΟΜΕΤΡΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ ΚΕΡΚΙΝΗΣ	33
8. ΓΕΩΧΗΜΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΚΕΡΚΙΝΗΣ	39
9. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	53
10. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	54



1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Εάν θελήσουμε να ιεραρχήσουμε τα προβλήματα που μαστίζουν τη κοινωνία του 21^{ου} αιώνα, αναμφίβολα τα περιβαλλοντικά καταλαμβάνουν μία από τις σημαντικότερες θέσεις εξαιτίας της αλόγιστης χρήσης των συμβατικών πηγών ενέργειας και κυρίως της καύσης του γαιάνθρακα και του πετρελαίου. Ενδεικτικό της κατάστασης είναι ό,τι σήμερα σχεδόν το 40% της ενέργειας στην Ε.Ε. προέρχεται από το πετρέλαιο.

Για την επίλυση αυτών των περιβαλλοντικών προβλημάτων έχουμε στραφεί τις τελευταίες δεκαετίες στην αξιοποίηση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Α.Π.Ε.) όπως η αιολική, η ηλιακή, η υδραυλική, η βιομάζα και η γεωθερμία.

Στόχος της Ε.Ε., φτωχή όντως σε ενεργειακές πρώτες ύλες, είναι η ανάπτυξη των Α.Π.Ε. με συμβολή στο ενεργειακό ισοζύγιο με ένα ποσοστό 20% έως το 2020.

Σε σχέση με τις υπόλοιπες Α.Π.Ε., η γεωθερμική ενέργεια παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα:

- Είναι διαχρονική (όλο το χρόνο, μέρα και νύχτα) ανεξάρτητη από καιρικές συνθήκες, όπως η ηλιακή και η αιολική.
- Δεν είναι ρυπογόνος, σε σύγκριση με τα συμβατά καύσιμα, που παράγουν επικίνδυνα αέρια (CO_2 , NO_x , H_2S , SO_2 , βενζόλιο). Συνεπώς δεν συμβάλλει στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, που είναι υπεύθυνο για την αύξηση της θερμοκρασίας στον πλανήτη. Δεν απαιτείται χρήση λεβητοστασίων, δεξαμενής καυσίμων, καμινάδων.
- Προσφέρεται έτοιμη προς χρήση σαν θερμικό προϊόν.

- Ακόμη και σε δυσμενείς συνθήκες είναι σε θέση να προσφέρει θερμική ενέργεια με χρήση αντλιών θερμότητας.
- Ένα γεωθερμικό σύστημα είναι τρεις έως πέντε φορές αποδοτικότερο από ένα συμβατικό σύστημα. Επειδή δεν καίει ορυκτά καύσιμα για να παράγει θερμότητα, παρέχει τρεις έως πέντε μονάδες ενέργειας για κάθε μονάδα ηλεκτρικής ενέργειας που τροφοδοτεί το σύστημα.

2. ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΕΡΕΥΝΑΣ

Ο Νομός Σερρών έχει ιδιαίτερα ευνοηθεί από γεωθερμική άποψη. Περισσότερο ενδιαφέρον παρουσιάζει το τεκτονικό βύθισμα που σχημάτισε τη λεκάνη Στρυμόνα και ιδιαίτερα μερικά τμήματα του όπου τα γεωθερμικά ρευστά κυκλοφορούν σε σχετικά βάθη. Οι παρυφές του βυθίσματος αποτελούνται από μεταμορφωμένα πετρώματα της Σερβομακεδονικής μάζας, όπως επίσης πλουτώνια πετρώματα. Δε λείπουν και μερικά ηφαιστειακά οικοδομήματα που παρόλο ότι είναι τριτογενούς ηλικίας δεν φαίνεται ότι είναι τόσο πρόσφατα ώστε να συνδέσει κανείς μαζί τους κάποια ενεργό μαγνητική δραστηριότητα. Τα νεότερα ιζήματα που γεμίζουν το βύθισμα έχουν πάχος μέχρι και 4000 m σε μερικά σημεία του και είναι αρκετά τεκτονισμένα.

Από τις μέχρι τώρα έρευνες έχουν εντοπισθεί:

A) Τρία γεωθερμικά πεδία, των οποίων η έκταση και το βάθος του ταμιευτήρα έχουν προσδιορισθεί με ερευνητικές γεωτρήσεις στις περιοχές:

Θερμών - Νιγρίτας

Θερμοπηγής - Σιδηροκάστρου

Λιθότοπου - Ηράκλειας

B) Δύο περιοχές με πολύ ενθαρρυντικά στοιχεία όπου οι έρευνες έχουν προχωρήσει κύρια στην καταγραφή της υπάρχουσας κατάστασης:

Αγκίστρου, Ιβήρων - Αχινού - Πατρικίου

Γ) Μερικές περιοχές με ενδείξεις για ευνοϊκές, γεωθερμικές συνθήκες όπως ΒΑ του Σιδηροκάστρου, Κερκίνης - Μοναστηρακίου, Παλιόκαστρου κ.α.

Δ) Περιοχές με ταμιευτήρες σε μεγάλο βάθος (1500 - 2500 μέτρα) μέσα στα νεογενή ιζήματα της ευρύτερης λεκάνης.

Τα ερευνητικά γεωθερμικά προγράμματα που έχουν αρχίσει να αναπτύσσονται απ' το 1979 στην ευρύτερη περιοχή της λίμνης Κερκίνης και κατ' επέκταση στο νομό Σερρών έχουν δώσει αξιόλογα αποτελέσματα όσον αφορά τον εντοπισμό και την εκμετάλλευση γεωθερμικών πεδίων.

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη των γεωλογικών και θερμικών συνθηκών της βόρειας και βορειοδυτικής περιοχής της λίμνης Κερκίνης με σκοπό την εξαγωγή συμπερασμάτων όσον αφορά την πιθανή ύπαρξη γεωθερμικών πεδίων, τα οποία θα μπορούσαν να τύχουν εκμετάλλευσης.

Στα πλαίσια της εργασίας πραγματοποιήθηκε συγκέντρωση πληροφοριών και μελέτη της στρωματογραφίας, τεκτονικής και ευρύτερης γεωλογίας της περιοχής. Πραγματοποιήθηκαν επι τόπου μετρήσεις της θερμοκρασίας των νερών και της μεταβολής της με το βάθος από γεωτρήσεις των περιοχών. Τέλος έγινε συλλογή δειγμάτων νερού από κατά τόπους γεωτρήσεις και χημική ανάλυση.

Σε αυτό το σημείο θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον κ. Κολιό από το ΙΓΜΕ Θεσσαλονίκης και τους κ. Παντελαίο και κ. Γαβριηλίδου της νομαρχίας Σερρών, καθώς και τον κ. Τσούτσουρα της Δ.Ε.Υ.Α. Κερκίνης για τη βοήθεια που μας προσέφεραν και τη συνεργασία που είχαμε στη διάρκεια της έρευνας μας και στην εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας.

3. ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ



Σχ.1 Δομή του εσωτερικού της Γης
(Πηγή: www.allaboutenergy.gr)

Γεωθερμική ενέργεια ονομάζεται η ενέργεια που προέρχεται από το εσωτερικό της Γης, μεταφέρεται προς την επιφάνεια με θερμική επαγωγή με την είσοδο στον φλοιό της Γης λειωμένου μάγματος από τα βαθύτερα στρώματά της. Με αυτό τον τρόπο τελικά, εμφανίζεται και κυκλοφορεί σε τυχόν υδροφόρους σχηματισμούς της περιοχής. Τα νερά θερμαίνονται και κυκλοφορούν μέσα στα πετρώματα φθάνοντας σε πολλές περιπτώσεις μέχρι την επιφάνεια, αφού προηγουμένως

έχουν εμπλουτιστεί από άλατα των πετρωμάτων (θερμές πηγές, ατμίδες), ενώ κάποιες άλλες φορές τα νερά εγκλωβίζονται σε μη υδροπερατά πετρώματα και αποκτούν θερμοκρασίες που ξεπερνούν τους 350 °C. Η ενέργεια αυτή σχετίζεται με την ηφαιστειότητα και τις ειδικότερες γεωλογικές και γεωτεκτονικές συνθήκες της κάθε περιοχής. Είναι μια ήπια και σχετικά ανανεώσιμη ενεργειακή πηγή, που με τα σημερινά τεχνολογικά δεδομένα μπορεί να καλύψει σημαντικές ενεργειακές ανάγκες. Οι γεωθερμικές περιοχές συχνά εντοπίζονται από τον ατμό που βγαίνει από σχισμές του φλοιού της Γης ή από την παρουσία θερμών πηγών. Για να υφίσταται διαθέσιμο θερμό νερό ή ατμό σε μια περιοχή πρέπει να υπάρχει κάποιος υπόγειος ταμιευτήρας αποθήκευσης του κοντά σε ένα θερμικό κέντρο. Στην περίπτωση αυτή, το νερό του ταμιευτήρα που συνήθως είναι βρόχινο νερό που έχει διεισδύσει στους βαθύτερους ορίζοντες της Γης, θερμαίνεται και ανεβαίνει προς την επιφάνεια. Τα θερμικά αυτά ρευστά εμφανίζονται στην επιφάνεια είτε με τη μορφή θερμού νερού ή ατμού όπως προαναφέρθηκε, είτε αντλούνται με γεώτρηση και αφού χρησιμοποιηθεί η θερμική τους ενέργεια, γίνεται επανέγχυση του ρευστού στο έδαφος με δεύτερη γεώτρηση. Έτσι ενισχύεται η μακροβιότητα του ταμιευτήρα και αποφεύγεται η θερμική ρύπανση του περιβάλλοντος.

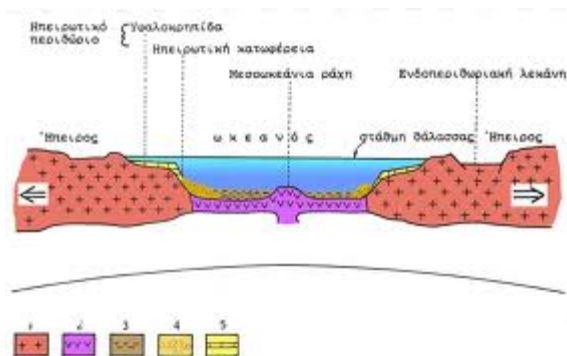
3.1 Συνθήκες Δημιουργίας Γεωθερμικών Πεδίων



Σχ.2 Τεκτονικές πλάκες, μεσσωκεάνιες ράχες, ζώνες καταβύθισης, ωκεάνιες τάφροι και γεωθερμικά πεδία. Τα βέλη δείχνουν την κατεύθυνση κίνησης των λιθοσφαιρικών πλακών προς τις ζώνες καταβύθισης. (1) Γεωθερμικά πεδία όπου παράγεται ηλεκτρική ενέργεια (2) Μεσσωκεάνιες ράχες που τέμνονται από μεγάλα ρήγματα μετασχηματισμού (3) Ζώνες καταβύθισης, όπου η βυθιζόμενη πλάκα κάμπτεται προς τα κάτω και λιώνει μέσα στην ασθενόσφαιρα.

(Πηγή: <http://www.boudouri.gr/poroi.php>)

το χρόνο. Ανάλογα με τη σχετική κίνηση των πλακών, στα όριά τους παρατηρούνται τρία διαφορετικά φαινόμενα:

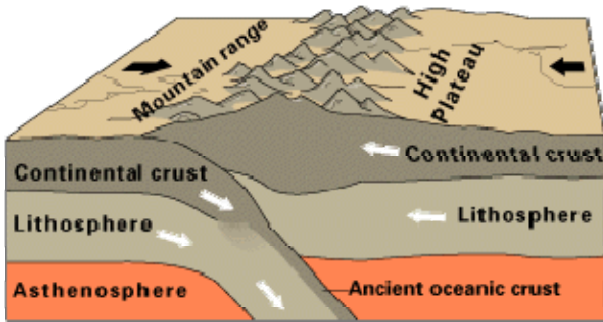


Σχ.3 Μεσσωκεάνια ράχη

(Πηγή: Μουντράκης, Γεωτεκτονική εξέλιξη της Ελλάδος)

Οι δύο πλάκες αποκλίνουν, δηλαδή κινούνται έτσι ώστε να απομακρύνονται η μία από την άλλη. Στο κενό που αφήνουν, αναβλύζει μάγμα που στερεοποιείται, γεμίζει το κενό και

δημιουργεί καινούργια λιθόσφαιρα. Με αυτόν τον τρόπο δημιουργούνται οι λεγόμενες "ράχες".



Σχ.4 Υποβύθιση πλακών

(Πηγή: gein.noa.gr)

Οι δύο πλάκες συγκλίνουν έτσι ώστε η μια να βυθίζεται κάτω από την άλλη και τελικά να απορροφάται από το μανδύα ή να καταστρέφεται. Φαινόμενα τριβής στα όρια των πλακών έχουν σαν αποτέλεσμα, μέρος της μηχανικής ενέργειας να μετατρέπεται σε θερμότητα. Αυτή η θερμότητα εκτονώνεται με τη μορφή ηφαιστειακής δράσης. Με αυτόν τον τρόπο δημιουργούνται οι "τάφροι". Στις

τάφρους η λιθόσφαιρα καταστρέφεται με το ρυθμό που δημιουργείται στις ράχες.

Οι δύο πλάκες "γλιστρούν" η μια παράλληλα στην άλλη με τρόπο που ούτε δημιουργείται ούτε καταστρέφεται λιθόσφαιρα.

Τόσο οι "τάφροι" όσο και οι "ράχες" συνδέονται με ηφαιστειακή δράση και κατά συνέπεια με υπέρθερμες περιοχές. Γι' αυτό και τα σημαντικότερα γεωθερμικά πεδία εντοπίζονται σε συγκεκριμένες περιοχές, δηλαδή στα όρια των λιθοσφαιρικών πλακών, τις λεγόμενες "ζώνες σεισμικών εστιών". Περιοχές με μικρότερο γεωθερμικό ενδιαφέρον, δηλαδή με γεωθερμική βαθμίδα λίγο υψηλότερη από τη μέση, μπορεί να βρεθούν και εκτός των εν λόγω ζωνών .

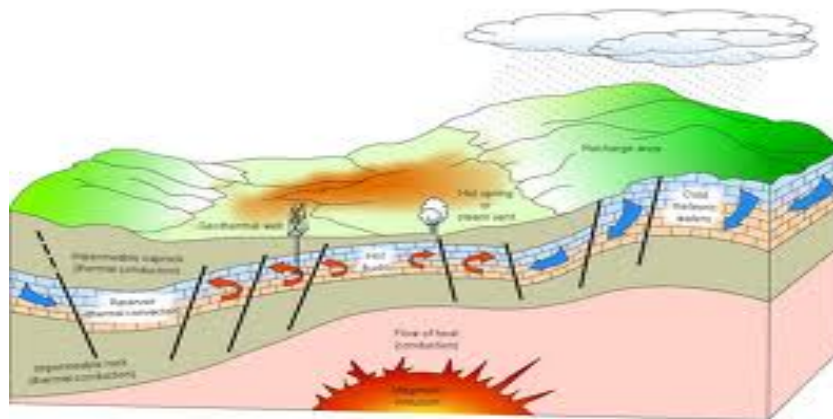
Αυτό μπορεί να οφείλεται σε κάποιον από τους ακόλουθους παράγοντες:

1. Τοπικά υψηλή θερμική ροή από το μανδύα και τη βάση του φλοιού προς την επιφάνεια, σε μεγάλες περιοχές.
2. Αυξημένες συγκεντρώσεις των ραδιενεργών στοιχείων ουρανίου, θορίου και καλίου σε ορισμένες περιοχές στο φλοιό της Γης, που συντελούν στην παραγωγή θερμότητας και κατά συνέπεια στην αύξηση της γεωθερμικής βαθμίδας. Πετρώματα με αυξημένες αυτές τις συγκεντρώσεις είναι τα γρανιτικά με 5 - 10 ppm σε ουράνιο και 80 ppm σε θόριο.
3. Φαινόμενα συναγωγής που προκαλούνται από κυκλοφορία νερού διαμέσου πορωδών

σχηματισμών ή μέσα από συστήματα ρηγμάτων. Με αυτό τον τρόπο μεταφέρεται η θερμότητα σε μικρότερα βάθη και αυξάνεται η γεωθερμική βαθμίδα.

4. Σε μια περιοχή με δεδομένη θερμική ροή στη βάση του φλοιού και απουσία άλλης θερμής πηγής μέσα στο φλοιό, η γεωθερμική βαθμίδα ποικίλλει ανάλογα με τη θερμική αγωγιμότητα των πετρωμάτων που αποτελούν το φλοιό. Τα αργιλικά πετρώματα έχουν τη χαμηλότερη θερμική αγωγιμότητα, ενώ τα κρυσταλλικά χαρακτηρίζονται από υψηλή θερμική αγωγιμότητα (περίπου 6 φορές αυτή των αργίλων) .

3.2 Γεωθερμικά Πεδία



Σχ.5 Σχηματική αναπαράσταση ενός ιδανικού γεωθερμικού συστήματος. (Πηγή: <http://rodopinews.gr>)

Η ύπαρξη υψηλής γεωθερμικής βαθμίδας σε κάποια περιοχή δεν είναι η μοναδική συνθήκη-προϋπόθεση για την ύπαρξη εκμεταλλεύσιμου γεωθερμικού πεδίου. Η γεωθερμική ενέργεια είναι πρωτογενώς αποθηκευμένη μέσα στα πετρώματα, είναι διασκορπισμένη μέσα στη μάζα τους και πρέπει να συγκεντρωθεί και να μεταφερθεί στην επιφάνεια της Γης προκειμένου να χρησιμοποιηθεί το μεταλλικό νερό (σε υγρή ή αέρια φάση) που περιέχεται μέσα σε πορώδη πετρώματα ή σε συστήματα ρηγμάτων αποτελεί το μέσο που μεταφέρει τη θερμότητα από τα πετρώματα αυτά στην επιφάνεια της Γης.

Έτσι, η παραγωγικότητα μιας θερμικής περιοχής προσδιορίζεται και συχνά καθορίζεται από την υδρολογία των γεωλογικών σχηματισμών. Δεν έχουν όμως όλες οι θερμικές περιοχές κατάλληλη υδρολογία που αποτελεί τη δεύτερη συνθήκη για την ύπαρξη

εκμεταλλεύσιμου γεωθερμικού πεδίου. Κατά συνέπεια, ένα φυσικό γεωθερμικό πεδίο είναι συνδυασμός θερμών πετρωμάτων και ύπαρξης νερού που να κυκλοφορεί μέσα σ' αυτά.

Τα γεωθερμικά πεδία χωρίζονται σε δύο ομάδες: στα πεδία "υψηλής ενθαλπίας", όπου το ρευστό (άνω των 150° C) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και/ή για θέρμανση, και στα πεδία "χαμηλής ενθαλπίας" όπου το ρευστό (κάτω των 150° C) μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο για θέρμανση.

Στις ζώνες σεισμικών εστιών, υπάρχουν πεδία χαμηλής και υψηλής ενθαλπίας που σχετίζονται μεταξύ τους. Χαρακτηριστικό τέτοιο παράδειγμα αποτελεί η Ισλανδία, που βρίσκεται πάνω στη μέσο-ωκεάνια ράχη του Ατλαντικού.

Πίνακας 1. Κατηγορίες γεωθερμικών πεδίων (Πηγή: Φυτίκας και Ανδρούτσος, 2004)

ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΠΕΔΙΩΝ	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ T(°C)	ΑΠΟΔΟΣΗ %	ΧΡΗΣΗ
Ομαλής	<25°C	<2%	Ψύξη-θέρμανση κτιρίων
Χαμηλής ενθαλπίας	25-100°C	2-8%	Νερό οικιακής χρήσης
Μέσης ενθαλπίας	100-150°C	2-8%	Ηλεκτροπαραγωγή με πηκτικό ρευστό
Υψηλής ενθαλπίας	>150°C	8-18%	Ηλεκτροπαραγωγή

3.3 Γεωθερμία Χαμηλής Ενθαλπίας

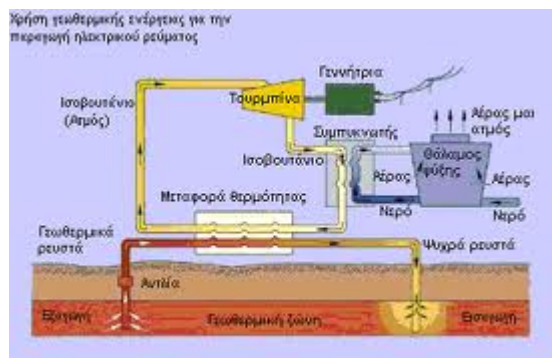
Η χώρα μας παρουσιάζει ένα αρκετά αξιόλογο δυναμικό γεωθερμικής ενέργειας χαμηλής ενθαλπίας. Με τις σημερινές γνώσεις μας από τα δεδομένα των γεωτρήσεων και από άλλες ενδείξεις στα γεωθερμικά πεδία, εκτιμάται ότι το βεβαιωμένο συνολικό δυναμικό της γεωθερμίας χαμηλής ενθαλπίας (με βάση την απόρριψη των νερών σε θερμοκρασίες περίπου 25°C) ανέρχεται σε 700-800 MWth περίπου. Οι ορατές εκμεταλλεύσεις τη γεωθερμικής ενέργειας χαμηλής ενθαλπίας στην Ελλάδα σε χρήσεις μόνο θέρμανσης (όπως τηλεθέρμανση κτιρίων, θερμοκήπια, ξηραντήρια αγροτικών προϊόντων και ιχθυοκαλλιέργειες) μπορούν μέχρι το έτος 2000 να αγγίξουν τα 150 MWth εγκατεστημένης ισχύος, εξοικονομώντας 17.000 περίπου τόνους ισοδύναμου πετρελαίου (Τ Ι.Π.) το έτος. Στην πράξη όμως σήμερα η εκμετάλλευση του γεωθερμικού δυναμικού χαμηλής ενθαλπίας στην χώρα μας είναι ασήμαντη έως μηδαμινή. Σήμερα υπάρχουν εγκατεστημένα στην χώρα μας μόλις 200 στρέμματα γεωθερμικών θερμοκηπίων με εγκατεστημένη ισχύ περί τα 20 MWth που εξοικονομούν 2000 Τ.Ι.Π. το έτος. Αυτό συμβαίνει παρ' όλο που οι συνθήκες παραγωγής και εκμετάλλευσης των γεωθερμικών ρευστών είναι συμφέρουσες και παρ' όλο που τα γεωθερμικά πεδία συμπίπτουν γεωγραφικά με εύφορες πεδιάδες με μεγάλη γεωργική παραγωγή.

3.4 Εφαρμογές Γεωθερμικής Ενέργειας

Οι εφαρμογές της γεωθερμικής ενέργειας, τόσο σε ευρωπαϊκό όσο και σε παγκόσμιο επίπεδο.

Στην Ε.Ε. οι θερμικές χρήσεις της γεωθερμίας περιλαμβάνουν:

- **Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας**

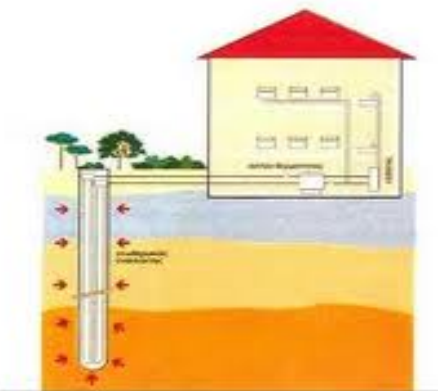


Σχ. 6 Χρήση γεωθερμικής ενέργειας για τη παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος

(Πηγή: greekarchitects.gr).

Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μπορούμε να έχουμε αν μεταδώσουμε ένα μέρος της θερμότητας των ρευστών, που έχουν μικρή σχετικά ενθαλπία, σε ειδικά υγρά με πολύ χαμηλό σημείο βρασμού, όπως είναι π.χ. το φρέον, το ισοβουτάνιο, το προπάνιο και το χλωριούχο αιθύλιο. Οι δυνατότητες που προσφέρει ο τρόπος αυτός της εκμετάλλευσης είναι τεράστιες και οι προοπτικές για το μέλλον θα είναι ακόμη μεγαλύτερες με την ανάπτυξη της σχετικής τεχνογνωσίας.

- **Θέρμανση κτιρίων**



Σχ. 7 Γεωθερμικό σύστημα θέρμανσης – ψύξης κατοικίας με αντλία θερμότητας νερού και γεωθερμικό εναλλάκτη

(Πηγή: www.mechanicalengineer.gr)

Η περιφερειακή θέρμανση οικισμών και πόλεων βρίσκει εφαρμογή σε πολλές χώρες. Με την εφαρμογή τηλεθέρμανσης με γεωθερμική ενέργεια, δύνανται να δημιουργηθούν ιδιαίτερα ευνοϊκές συνθήκες εκμετάλλευσης διότι η παραγωγή θερμικής ενέργειας εξασφαλίζεται από



εγκαταστάσεις χαμηλού κόστους κατασκευής, συντηρήσεως και κυρίως λειτουργίας.

- **Θέρμανση θερμοκηπίων**



Σχ. 8 Θερμοκήπιο

Πηγή (www.6gymnasio.gr)

Οι χρήσεις και το μέγεθος των θερμοκηπιακών εγκαταστάσεων εξαρτάται από τη διαθέσιμη γεωθερμική ενέργεια, από τις κλιματολογικές συνθήκες, από τα υλικά κατασκευής των θερμοκηπίων και από το είδος της καλλιέργειας. Μια πάρα πολύ κοινή περίπτωση, για τα δεδομένα του ελλαδικού χώρου είναι η θέρμανση γυάλινων θερμοκηπίων με ντομάτα και με θερμαντικό μέσο γεωθερμικά ρευστά $40 - 55^{\circ}\text{C}$. Στην περίπτωση αυτή απαιτούνται περί τις 150.000 kcal/h το στρέμμα για μία περίοδο θέρμανσης, κατά μέσο όρο, 1.250 ωρών διατηρώντας μία εσωτερική θερμοκρασία αέρα 14°C . Η ετήσια εξοικονόμηση ενέργειας που επιτυγχάνεται στην περίπτωση αυτή είναι της τάξεως των 24 τόνων Ισοδύναμου Πετρελαίου το στρέμμα.

- **Αφαλάτωση θαλασσινού νερού**

Αφαλάτωση θαλασσινού νερού με γεωθερμικά ρευστά σαν θερμαντικό μέσο δύνανται να επιτευχθεί με τη μέθοδο της πολυσταδιακής εξάτμισης εν κενώ. Για να είναι οικονομικά συμφέρουσα η αφαλάτωση πρέπει η θερμοκρασία των γεωθερμικών ρευστών να είναι τουλάχιστον 60°C . Η θερμοκρασία απόρριψης σχεδιάζεται να είναι $40 - 50^{\circ}\text{C}$. Για να θεωρείται οικονομικά συμφέρουσα μία εκμετάλλευση αφαλάτωσης θαλασσινού νερού με τη χρήση γεωθερμικής ενέργειας χαμηλής ενθαλπίας πρέπει το κόστος της γεωθερμικής ενέργειας να αντιστοιχεί το πολύ στο 60% του κόστους αφαλάτωσης με πετρέλαιο.

- **Ιχθυοκαλλιέργειες**

Η απαραίτητη θερμοκρασία στο νερό της δεξαμενής της ιχθυοκαλλιέργειας κυμαίνεται από 14 έως 30°C , ανάλογα με το είδος της. Η ιχθυοκαλλιέργεια μπορεί να γίνει είτε μεμονωμένα με γεωθερμικά ρευστά σαν θερμαντικό μέσο, θερμοκρασίας 25 έως 35°C , είτε από το απορριπτόμενο νερό από τη θέρμανση θερμοκηπίων. Στη δεύτερη περίπτωση εκτιμάται ότι από τα απορριπτόμενα νερά 5 στρεμμάτων γυάλινου θερμοκηπίου με τριαντάφυλλα δύναται να θερμανθεί δεξαμενή χελοτροφείου όγκου 500 m^3 .

3.5 Γεωθερμικές Εφαρμογές Στην Ελλάδα



Σχ. 9 Γεωθερμικά πεδία στην Ελλάδα ανά περιφέρεια

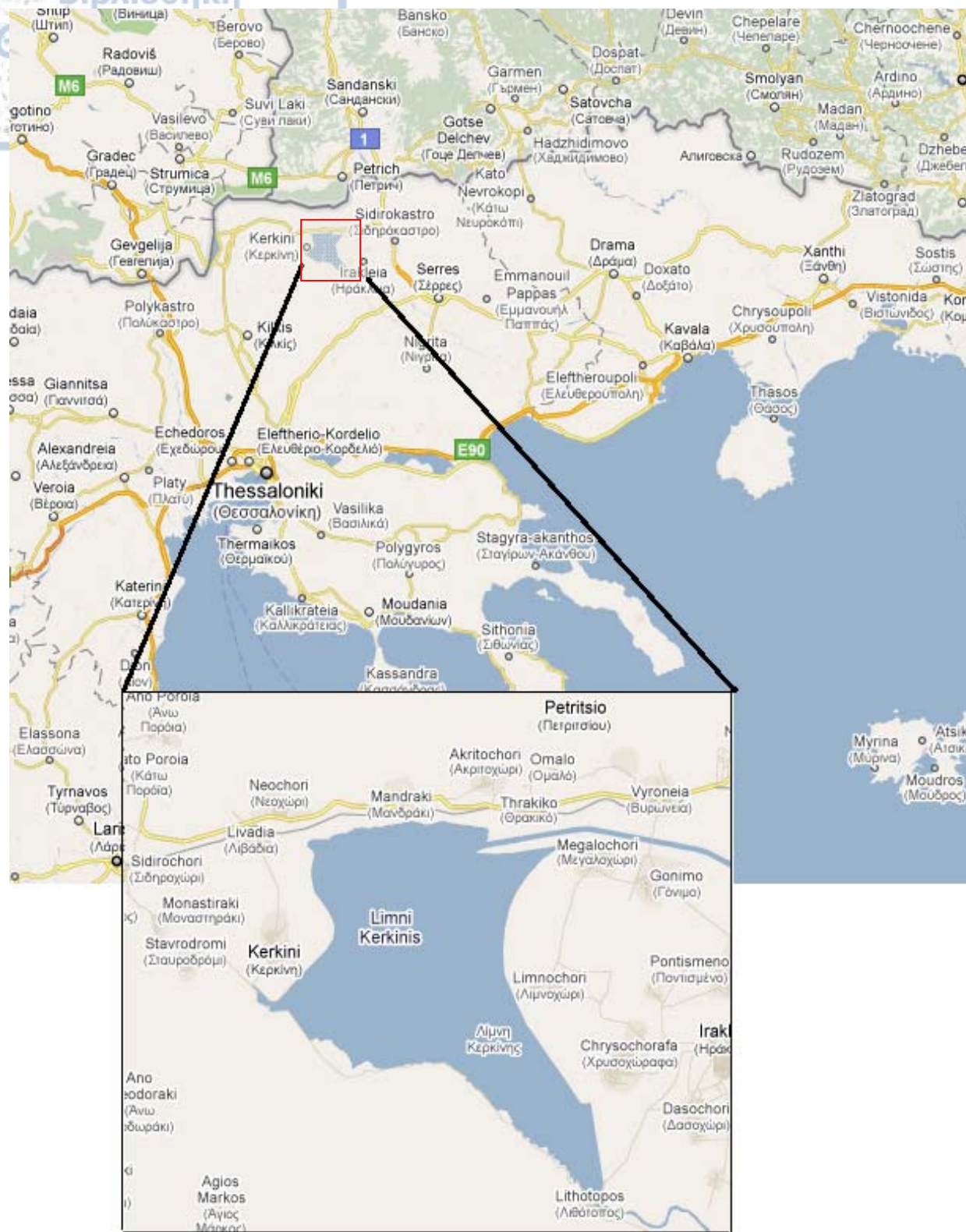
Το αξιόλογο γεωθερμικό δυναμικό της Ελλάδας, σύμφωνα με τις έρευνες του ΙΓΜΕ, συγκεντρώνεται σε κεντρική και ανατολική Μακεδονία, Θράκη, Β. Αιγαίο, ηφαιστειακό τόξο Ν. Αιγαίου και υπολογίζεται σε 220.000 τόνους Ισοδύναμου Πετρελαίου. Τα κύρια πεδία εντοπίζονται στη Νιγρίτα, Σιδηρόκαστρο, Λιθότοπο, Άγγιστρο, Ερατεινό, Ν. Εράσιο, Αρίστηνο, Τυχερό, Σαμοθράκη, Αριδαία, Αλεξάνδρεια, Ημαθίας, Άρτα, Σπερχειό. Σημαντικά πεδία υψηλής θερμοκρασίας που σχετίζονται με το τόξο του Ν. Αιγαίου, έχουν βρεθεί σε Μήλο και Νίσυρο αλλά και στη Σαντορίνη και τη Λέσβο όπου συνεχίζει τις έρευνες η ΔΕΗ. Εντούτοις, στη χώρα μας μέχρι σήμερα η γεωθερμία, παρότι σε προσιτά κι εκμεταλλεύσιμα βάθη, δεν βρίσκεται σε στάδια πλήρους αξιοποίησης.

Οι γεωθερμικές εφαρμογές στην Ελλάδα εστιάζονται στη θέρμανση θερμοκηπίων. Χρησιμοποιείται επίσης στις υδατοκαλλιέργειες, δεδομένου ότι πολλά είδη υδροβίων οργανισμών, όπως χέλια, γαρίδες ή φύκια αναπτύσσονται γρηγορότερα σε αυξημένες θερμοκρασίες (25° έως 30°C). Άλλη διαδεδομένη χρήση της γεωθερμίας είναι η θέρμανση οικισμών. Η θερμική ενέργεια που δεσμεύεται από τη γεωθερμική πηγή διοχετεύεται προς τους χρήστες με την βοήθεια ενός δικτύου αγωγών (τηλεθέρμανση). Στις άνυδρες νησιωτικές και παραθαλάσσιες περιοχές, μια άλλη εφαρμογή μπορεί να είναι θερμική αφαλάτωση θαλασσινού νερού, ενώ στις περιπτώσεις γεωθερμικών ρευστών υψηλής θερμοκρασίας (>150°C) μπορεί να γίνει παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος με την εκτόνωση ατμού.

Η περιοχή έρευνας εκτείνεται βορειοδυτικά και βόρεια της λίμνης Κερκίνης κατά μήκος του Όρους Κερκίνη (Μπέλες) παράλληλα στα σύνορα με τη Βουλγαρία.



Σχ. 10 Αεροφωτογραφία της λίμνης Κερκίνης. Στο βάθος διακρίνεται το Όρος Κερκίνη (Μπέλες)



Σχ.11 Χάρτης της περιοχής έρευνας (Πηγή: Google maps)

Στο χώρο αυτό ανήκουν οι επιμέρους περιοχές:

- Η περιοχή ΒΔ της λίμνης Κερκίνης: χωριά Κερκίνη, Σταυροδρόμι, Μοναστηράκι, Λειβαδιά.
- Η περιοχή βόρεια της λίμνης: χωριά Νεοχώρι, Μανδράκι, Ακριτοχώρι, Θρακικό-Ομαλό, Βυρώνεια, Μεγαλοχώρι και Γόνιμο.

4.1 Γεωθερμία Της Ευρύτερης Περιοχής Της Λίμνης Κερκίνης

Από προγενέστερες έρευνες στην ευρύτερη περιοχή έχει εντοπιστεί γεωθερμικό ενδιαφέρον στις περιοχές: Αγκίστρου, Σιδηροκάστρου και Θερμών - Νιγρίτας. Οι περιοχές αυτές αποτελούν σημαντικά γεωθερμικά πεδία όπου έχουν γίνει πολλές ερευνητικές αλλά και παραγωγικές γεωτρήσεις και αποκτήθηκαν αρκετά προχωρημένες γνώσεις των πεδίων. Αναλυτικότερα:

ΑΓΚΙΣΤΡΟ

Είναι μία περιοχή που βρίσκεται στα ελληνοβουλγαρικά σύνορα στους βόρειους πρόποδες του ομώνυμου όρους Άγκιστρο. Γεωλογικά η περιοχή βρίσκεται στην επαφή της Σερβομακεδονικής Μάζας με τη Μάζα Ροδόπης. Το ερευνητικό πρόγραμμα του ΙΓΜΕ κατά την περίοδο 1995 - 99 οριοθέτησε μία έκταση μερικών km^2 , όπου εντοπίστηκαν θερμοκρασίες 40 - 47°C σε βάθη 100 – 350 m, ενώ αποδείχθηκε ότι ο γεωθερμικός ταμιευτήρας έχει τη δυνατότητα να αποδώσει μεγάλες παροχές ανά γεώτρηση ($\sim 100 \text{m}^3/\text{h}$). Η τροφοδοσία του ταμιευτήρα γίνεται μέσω ρηγμάτων του υποβάθρου, που δε φαίνεται να καλύπτεται από αξιόλογο στεγανό κάλυμμα με συνέπεια τη μίξη κρύων και ζεστών υδροφόρων και τη διακύμανση των θερμοκρασιών.

Αποτέλεσμα της έρευνας στην περιοχή του Σιδηροκάστρου ήταν η επέκταση του γεωθερμικού πεδίου κατά μερικά τετραγωνικά χιλιόμετρα, με αύξηση της θερμοκρασίας στους 75°C, η οποία είναι η μεγαλύτερη θερμοκρασία που έχει βρεθεί στο βύθισμα του Στρυμόνα σε βάθος μέχρι 400m. Στην περιοχή όπου εντοπίστηκαν 75°C σε βάθος 150m οι δοκιμές άντλησης έδωσαν (ανά γεώτρηση) παροχή 80m³/h.

ΘΕΡΜΑ – ΝΙΓΡΙΤΑ

Νέες έρευνες στην περιοχή έχουν εντοπίσει θερμοκρασίες που φθάνουν μέχρι 64° C από 60° C στα 100-400m, καθώς και επέκταση του γεωθερμικού πεδίου. Όμως το κύριο αποτέλεσμα της έρευνας ήταν ο εντοπισμός της ζώνης τροφοδοσίας των γεωθερμικών ρευστών και ο εντοπισμός μίας νέας περιοχής με υψηλότερες θερμοκρασίες (58-65°C).

4.2 Γεωλογικές Συνθήκες



Σχ. 12 Γεωλογικές ζώνες της Ελλάδος

(Μουντράκης, 2010)

Η ευρύτερη περιοχή της Λίμνης Κερκίνης ανήκει στη Σερβομακεδονική Μάζα η οποία χωρίστηκε από τη Μάζα της Ροδόπης έπειτα από την εφελκυστική τεκτονική του Τριτογενούς, κυρίως στο Μειόκαινο, η οποία δημιούργησε τη Νεογενή λεκάνη του Στρυμόνα. Το κρυσταλλοσχιστώδες της Σερβομακεδονικής διαιρείται σε δύο μεγάλες ενότητες πετρωμάτων: την κατώτερη και αρχαιότερη ενότητα των Κερδυλλίων και την ανώτερη και νεώτερη ενότητα του Βερτίσκου. Μεταξύ των δύο ενοτήτων υπάρχει ομαλή μετάβαση, ωστόσο παρατηρείται μία σαφής τεκτονική επαφή. (Μουντράκης, 2010)

Καταλαμβάνει την Ανατολική Χαλκιδική μεταξύ των εκβολών του Στρυμόνα και του Στρατωνίου, έχει πάχος 3000 μέτρα και τα πετρώματά της αποτελούν τον βαθύτερο ορίζοντα της Σερβομακεδονικής και ενδεχομένως και ολόκληρης της Ελλάδας. (Μουντράκης, 2010)

Οι εναλλαγές στη λιθολογία από τους ανώτερους προς του κατώτερους ορίζοντες έχουν ως εξής:

1. Ορίζοντας ανώτερου μαρμάρου: 30-300 μέτρα , με παρεμβολές βιοτιτικών γνευσίων, βιοτιτικών – κεροστιλβικών γνευσίων, μαρμαρυγιών σχιστολίθων, επιδοτιτικών – ακτινολιθικών σχιστολίθων και αμφιβολιτών.
2. Ορίζοντας Βιοτιτικών γνευσίων: 700-1000 μέτρα, με παρεμβολές βιοτιτικών – κεροστιλβικών γνευσίων, αμφιβολιτών και λεπτών ενστρώσεων μαρμάρων.
3. Ορίζοντας Ενδιάμεσου μαρμάρου: 10-200 μέτρα, με παρεμβολές αμφιβολιτών και γνευσίων.
4. Ορίζοντας Βιοτιτικών γνευσίων: 1000 μέτρα, με παρεμβολές αμφιβολιτών και ασβεστοπυριτικών πετρωμάτων.
5. Ορίζοντας Κατώτερου μαρμάρου: 150 μέτρα.
6. Ορίζοντας Βιοτιτικών γνευσίων: 700 μέτρα, μιγματιτικοί γνεύσιμοι και αμφιβολίτες.

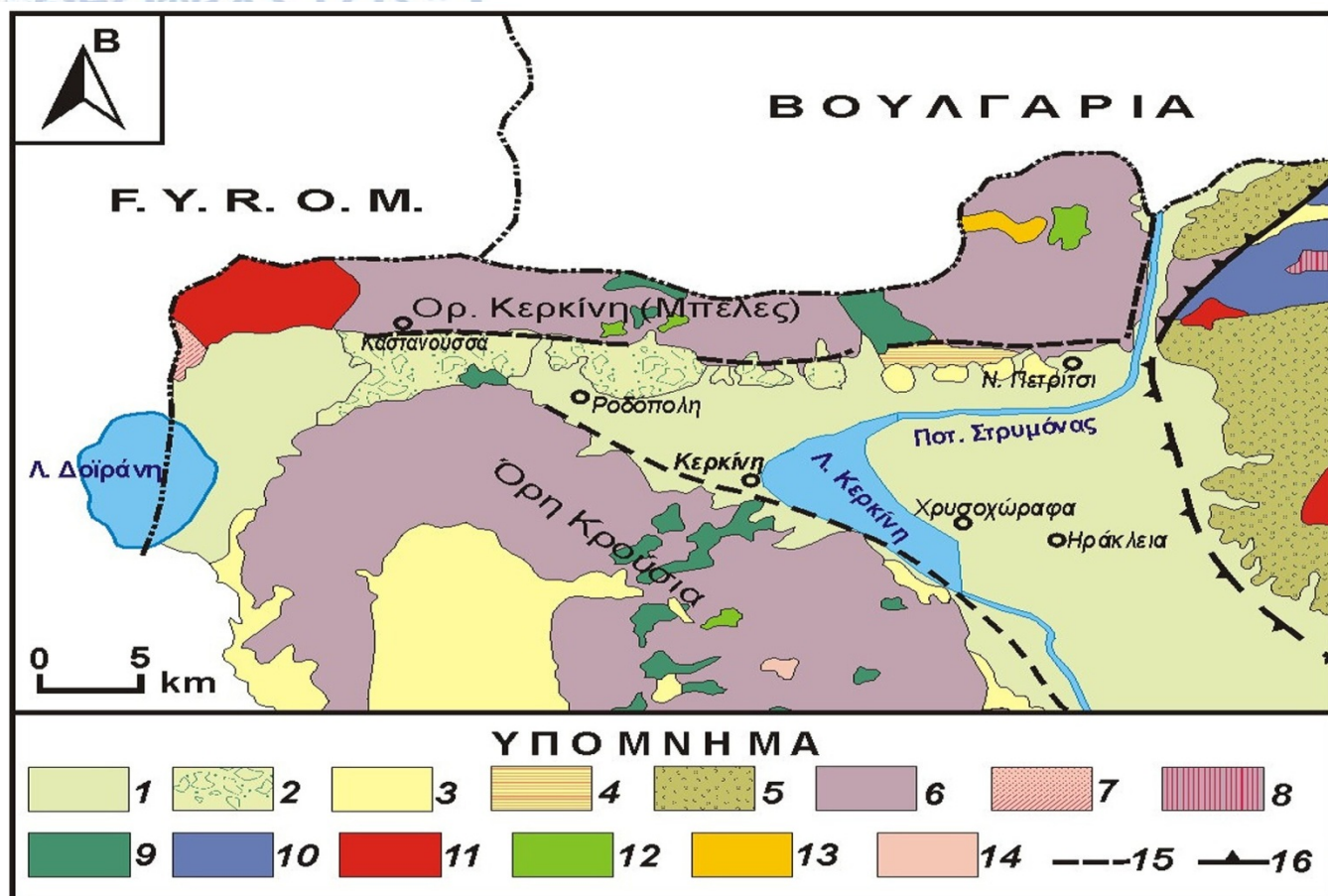
Ενότητα Βερτίσκου

Βρίσκεται δυτικά της Ενότητας Κερδυλλίων και εκτείνεται προς Βορρά μέχρι τα σύνορα. Αποτελείται από μία ακολουθία μιγματιτικών, οφθαλμοειδών ορθογνευσίων, μαρμαρυγιακών σχιστολίθων και λεπτών στρωμάτων μαρμάρων. Ως ενδιαστρώσεις και φακοειδή σώματα μέσα στους γνεύσιους μπορούν να βρεθούν μεταγάββροι – μεταδιαβάσες και ορθοαμφιβολίτες που προήλθαν από μεταμόρφωση βασικών πυριγενών.

Σύμφωνα με μελέτες του ΙΓΜΕ, η υπό έρευνα περιοχή ανήκει γεωλογικά στη Σειρά Βερτίσκου. Το μεταμορφωμένο υπόβαθρο της περιοχής του Όρους Κερκίνη δομείται κυρίως από γνεύσιους Παλαιοζωικής ηλικίας, μαρμαρυγιακούς, διμαρμαρυγιακούς κατά θέσεις οφθαλμώδεις – ταινιωτούς. Είναι μικροπτυχωμένοι, με συνήθως τεφρόφαιη ή κιτρινόφαιη εξωτερική χροιά. Τα πετρώματα έχουν ιστό μεσο-μικροκρυσταλλικό γρανολεπιδοβλαστικό και υφή προσανατολισμένη.

Η ορυκτολογική σύσταση είναι: χαλαζίας, Κ-ούχοι άστριοι (μικροκλινής), όξινα πλαγιόκλαστα με μυρμηκιτικές απομίξεις χαλαζία, βιοτίτης (κατά θέσεις χλωριτωμένος), μοσχοβίτης, γρανάτης και σπανιότερα επίδοτο, ρουτίλιο, ζirkόνιο, απατίτης. Η μεταμόρφωση είναι υψηλή γρανουλιτικής φάσης με ανάδρομη πρασινοσχιστολιθικής φάσης. Στο ΒΑ τμήμα της περιοχής και στα ανώτερα μέλη της σειράς, υπάρχουν εξαλλοιωμένοι (σερικιτιωμένοι, χλωριτωμένοι) διμαρμαρυγιακοί σχιστογνεύσιοι, έντονα πτυχωμένοι με υπολείμματα εξαλλοιωμένων πορφυροβλαστών γρανάτη και ανδαλουσίτη.

Η μεταμόρφωση αυτών των πετρωμάτων και γενικότερα του Βερτίσκου με χαρακτηριστικές παραγενέσεις μαρτυρούν για επίδραση μιας παλαιότερης μεταμόρφωσης αλμανδίνη μέσου βαθμού (almandin medium grade) με θερμοκρασία ~550°C και μια δεύτερη ανάδρομη χαμηλού βαθμού (low grade) με θερμοκρασία ~ 400°C. Παρεμβολές ή φακοί πρασινόχρωων, τεφροπράσινων αμφιβολιτών και αμφιβολιτικών γνευσίων συναντώνται μέσα στους γνευσιακούς σχηματισμούς. Οι αμφιβολιτικές παρεμβολές δεν είναι πάντοτε αμιγείς αλλά περιέχουν και γνευσιακές ενστρώσεις, η δε ορυκτολογική τους σύσταση είναι : κεροσίλβη, πλαγιόκλαστα (αλβιτιωμένα και κατά θέσεις σερικιτιωμένα), λίγος χαλαζίας, χλωρίτης (από εξαλλοίωση κυρίως βιοτίτη), γρανάτης και σπανιότερα επίδοτο, τιτανίτης, ρουτίλιο, απατίτης και μεταλλικά ορυκτά. Δυτικά της Λίμνης Κερκίνης η κρυσταλλοσχιστώδης μάζα της Σερβομακεδονικής στην οροσειρά Κρούσια (Όρη Δύσωρο και Μαυροβούνι) αντιπροσωπεύεται από την ανώτερη τεκτονική ενότητα του Βερτίσκου.



Σχ. 13 Γεωλογικός χάρτης της περιοχής Κερκίνης, βασισμένο στο γεωλογικό χάρτη του ΙΓΜΕ κλίμακας 1:500.000 (ΙΓΜΕ 1983)

1. Αλλουβιακές – σύγχρονες αποθέσεις (Ολόκαινο)
2. Πλευρικά κορήματα (Ολόκαινο)
3. Λιμναίες – χερσαίες αποθέσεις (άργιλοι, πηλοί, άμμοι, κροκάλες) (Πλειστόκαινο)
4. Χερσαίοι σχηματισμοί (Τεταρτογενές)
5. Λιμναίες και χερσαίες αποθέσεις (κροκαλοπαγή, άμμοι, κροκάλες, μαργαίκοι ασβεστόλιθοι) (Α. Μειόκαινο - Πλειόκαινο)
6. Αμφιβολίτες, γνεύσιοι, σχιστόλιθοι της Σερβομακεδονικής Μάζας
7. Γνεύσιοι
8. Οφθαλμογνεύσιοι, γνεύσιοι και σχιστόλιθοι της Μάζας Ροδόπης
9. Αμφιβολίτες
10. Μάρμαρα ή κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι της Μάζας Ροδόπης
11. Γρανίτες – γρανοδιορίτες
12. Σερπεντινίτες
13. Ηφαιστειακά του Ηωκαίνου
14. Ηφαιστειακά
15. Ρήγμα (πιθανό)
16. Επώθηση

Δυτικά της Κερκίνης παρατηρήθηκε αποκομμένο οφιολιθικό σώμα, που τοποθετείται τεκτονικά πάνω στην ομάδα των γνευσιακών – γνευσιοσχιστολιθικών πετρωμάτων. Πρόκειται για σερπεντινωμένους περιδοτίτες, εξαλλοιωμένους και μεταμορφωμένους σε ταλκικούς και αντιγοριτικούς σχιστόλιθους στα περιθωριακά τμήματά τους. Οι γνευσιακοί σχηματισμοί στα Κρούσια παρουσιάζουν την ΒΒΔ-ΝΝΑ παράταξη της Σερβομακεδονικής, η οποία στα βόρεια, στην περιοχή του Όρους Κερκίνη στρέφεται προς ΑΒΑ-ΔΝΔ. Αξιοσημείωτη είναι η παρουσία γρανιτοειδών σωμάτων που έχουν διεισδύσει μέσα στη Σερβομακεδονική από το Παλαιοζωικό μέχρι το Τριτογενές (Ηώκαινο – Ολιγόκαινο).

ΝΕΟΓΕΝΗ ΚΑΙ ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΗ ΙΖΗΜΑΤΑ

Στην περιοχή τα ιζήματα της λεκάνης του Στρυμόνα αντιπροσωπεύονται από τις Τεταρτογενείς (Ολοκαινικές και Πλειστοκαινικές) και Νεογενείς αποθέσεις. Επιφανειακά εμφανίζονται τα Τεταρτογενή ιζήματα της λεκάνης που συνίστανται από:

(α) Ολοκαινικές λιμναίες αποθέσεις, αποθέσεις στις κοίτες των ποταμών και των χειμάρρων και αλλουβιακές αποθέσεις. Οι λιμναίες αποθέσεις συνίστανται από λεπτόκοκκες άμμους, αργιλούχες άμμους, αργίλους, πηλούς και οργανική ύλη και καταλαμβάνουν τις παραλίμνιες περιοχές της λίμνης Κερκίνης. Στην κοίτη του ποταμού Στρυμόνα έχουν αποτεθεί αδρομερή υλικά από κροκάλες, λατύπες και άμμους. Οι αλλουβιακές αποθέσεις συνίστανται από ασύνδετα υλικά, άμμους, αμμούχες αργίλους, αργιλοαμμώδη, ιλύ, κροκάλες και χάλικες ποικίλου μεγέθους. Βόρεια της λίμνης Κερκίνης και στην ευρύτερη περιοχή εισόδου του Ποταμού Στρυμόνα στη λίμνη, διαπιστώνονται αποθέσεις τεναγών, που αποτελούνται από αργίλους, αργιλούχες άμμους, πηλούς γκριζόμαυρου έως μαύρου χρώματος εξαιτίας της οργανικής ύλης που προέρχεται από τα ελώδη φυτά.

(β) Σύνθετα αλλουβιακά ριπίδια καλύπτουν τις νότιες παρυφές του όρους Κερκίνη (Μπέλες). Αποτέθηκαν κατά τη διάρκεια του Τεταρτογενούς (Πλειστόκαινο – Ολόκαινο) και οφείλουν το σχηματισμό τους στην ταυτόχρονη δράση τεκτονικών κινήσεων, της δράσης των χειμάρρων και των εκάστοτε κλιματολογικών συνθηκών (παγετώδεις – μεσοπαγετώδεις περίοδοι). Τα υλικά των ριπιδίων προέρχονται από τους γνεύσιους, τους αμφιβολίτες και τους χαλαζίτες του μεταμορφωμένου υποβάθρου της περιοχής. Κατά θέσεις παρατηρείται αύξηση υλικών ενός ορισμένου λιθολογικού τύπου σε σχέση με τους άλλους. Η διάταξη των υλικών των ριπιδίων είναι συνάρτηση του μεγέθους ή της μεταφορικής ικανότητας των

χειμάρρων και της εδαφικής κλίσης. Γι' αυτό το λόγο παρατηρείται διαφοροποίηση στο μέγεθος των υλικών στις διάφορες θέσεις των ριπιδίων. Έτσι, στις «κεφαλές» των ριπιδίων συναντώνται μεγάλα τεμάχια από υλικά υποβάθρου, μεγάλου μεγέθους κροκάλες και φακοειδείς ενστρώσεις από άμμους. Στη μέση των ριπιδίων παρατηρούνται μικροτέρου μεγέθους κροκάλες, χονδρόκοκκες άμμοι και άργιλοι. Στα «πόδια» των ριπιδίων διαπιστώνονται φακοί κροκαλών, στρώματα άμμων και στρώματα λεπτής ιλύος – αργίλων.

Πλευρικά κορήματα και κώνοι κορημάτων συναντώνται και στα δυτικά και νοτιοδυτικά περιθώρια της περιοχής έρευνας, ΒΔ και Δ της λίμνης Κερκίνης. Τα πλευρικά κορήματα εμφανίζονται ασύνδετα, χωρίς στρώση, αποτελούμενα από κροκάλες και λατύπες διαφόρων μεγεθών, άμμους, χάλικες, αργίλους και αργιλοαμμώδεις αποθέσεις. Ανάλογη είναι και η σύσταση των κώνων κορημάτων της ίδιας περιοχής με αδροκλαστικά υλικά και ποικίλου μεγέθους κροκάλες και λατύπες από τα γνευσιακά, αμφιβολιτικά και τα άλλα κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα του υποβάθρου. Χερσαίες και ποταμοχειμάρριες αποθέσεις, Πλειστοκαινικής αλλά και πιθανόν Πλειοκαινικής ηλικίας, που συνίστανται από ερυθρογαίες με συμμετοχή κυρίως γνευσιακών, χαλαζιακών και αμφιβολιτικών λατύπων και με λιγότερες άμμους και αργίλους, σε ψευδοστρώσεις κατά θέσεις, διαπιστώνονται ΒΔ της Κερκίνης, στην περιοχή του οικισμού Οδηγήτρια. Το μέγιστο πάχος τους φτάνει τα 25 m.

4.3 Τεκτονική Της Περιοχής

Μελέτη της ρηξιγενούς τεκτονικής στην περιοχή δυτικά της λίμνης Κερκίνης κατέδειξε πτυχές και ρήγματα γενικού προσανατολισμού ΒΔ – ΝΑ που διαμορφώνουν σύνθηκες κατάλληλες για την δημιουργία γεωθερμικού πεδίου. Στην περιοχή βρίσκονται πολυμεταμορφωμένα και πολυπτυχωμένα πετρώματα τα οποία μετά από τις πρόσφατες τεκτονικές διεργασίες (Νεογενού – Τεταρτογενούς) στην περιοχή διαμορφώνουν ανοικτές και τύπου knick – πτυχές. Παράλληλα σχηματίζονται δύο ομάδες ρηγμάτων διεύθυνσης ΒΔ – ΝΑ και ΑΒΑ – ΔΝΔ. Πρόκειται για ρήγματα που παρουσιάζουν κινήσεις τόσο παράλληλα στην παράταξη με σημαντική οριζόντια συνιστώσα κίνησης (οριζόντιας μετατόπισης) όσο και κανονικά ρήγματα με σημαντική κατακόρυφη συνιστώσα κίνησης. Σύμφωνα με τον

Μουντράκη (2010) τα ρήγματα προσανατολισμού ΒΔ – ΝΑ είναι δεξιόστροφα ενώ τα ΑΝΑ – ΔΝΔ είναι αριστερόστροφα.

Μία σημαντική τεκτονική δομή φαίνεται να επηρεάζει τη γεωθερμική κατάσταση στην περιοχή. Πρόκειται για μία ρηξιγενή ζώνη μεταξύ των μεταμορφωμένων πετρωμάτων της Σερβομακεδονικής και των ιζηματογενών αποθέσεων της λεκάνης του Στρυμόνα με παράταξη ΒΔ – ΝΑ και μεγάλη γωνία κλίσης προς τα ΒΑ. Αποτελεί ουσιαστικά ένα κρασπεδικό ρήγμα που οριοθετεί τη δυτικό όριο της λεκάνης του Στρυμόνα. Αντίστοιχες δομές παρατηρούνται στην περιοχή αλλά σε μικρότερη κλίμακα. Μικρά αντιθετικά ρήγματα της ίδιας διεύθυνσης με τη μεγάλη ρηξιγενή δομή με κλίση ΝΔ παρατηρούνται κατά θέσεις. Κατά μήκος ανάπτυξης του κρασπεδικού ρήγματος διακρίνεται έντονη σχιστότητα των μεταμορφωμένων πετρωμάτων του υποβάθρου με σχεδόν κατακόρυφη ανάπτυξη, ως αποτέλεσμα της δράσης αυτού του ρήγματος. Όσο αυξάνεται η απόσταση από τη ρηξιγενή δομή, τόσο ελαττώνεται η γωνία κλίση της σχιστότητας αποκτώντας την επικρατούσα για την περιοχή τιμή.

Η ευρύτερη περιοχή του Στρυμόνα από το Άνω Μειόκαινο μέχρι σήμερα έχει υποστεί πολλαπλά τεκτονικά επεισόδια με εφελκυσμό και strike slip χαρακτήρα. Έχουν διαμορφωθεί κανονικά ρήγματα ΒΔ – ΝΑ διεύθυνσης οφειλόμενα σε τάσεις εφελκυσμού ΒΑ – ΝΔ που τοποθετούνται στο Πλειο – Πλειστόκαινο.

Πιθανότατα, η μεγάλη αυτή ρηξιγενής δομή της δυτικής Κερκινής έχει επαναδραστηριοποιηθεί κατά το Τεταρτογενές ενώ παράλληλα αποτελεί μία βαθιά τεκτονική δομή. Αυτές οι συνθήκες ευνοούν την κυκλοφορία των γεωθερμικών ρευστών στη δυτική πλευρά της λίμνης καθώς και ανατολικά αυτής.

Επιπλέον έχουν επισημανθεί ρήγματα στους πρόποδες του Όρους Κερκίνη παράταξης Α – Δ τα οποία έχουν δημιουργηθεί ως αποτέλεσμα των εφελκυστικών τάσεων Β – Ν το οποίο είναι ενεργό από το Πλειστόκαινο έως και Σήμερα. Τα ρήγματα αυτά αποκαλύφθηκαν από γεωφυσικές διασκοπίσεις που πραγματοποιήθηκαν βόρεια της λίμνης. Ωστόσο έχουν καλυφθεί από αλλουβιακά ριπίδια και πλευρικά κορήματα Πλειστοκαινικής – Ολοκαινικής ηλικίας και από πιο πρόσφατες αλλουβιακές αποθέσεις.

5. ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ Β ΚΑΙ ΒΔ ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ ΚΕΡΚΙΝΗΣ

Κατά την υδρογεωλογική μελέτη της λεκάνης πραγματοποιήθηκαν γεωηλεκτρικές διασκοπήσεις σε διάφορες περιοχές της λεκάνης του Στρυμόνα από τους Θεοδωρίδη και Νικολαΐδη (1986). Οι βυθοσκοπήσεις εκτελέστηκαν κατά τη διάταξη Schlumberger. Παρουσιάζονται στο χάρτη οι θέσεις των βυθοσκοπήσεων καθώς και των γεωηλεκτρικών τομών.

Τα Νεογενή έχουν γενικά μεγαλύτερες τιμές ειδικής αντίστασης ρ από αυτές που συναντώνται στα Νότια της λεκάνης του Στρυμόνα και κυμαίνονται στις δεκάδες μέτρα. Κατά κανόνα οι τιμές αυτές ελαττώνονται από το όρος Κερκίνη προς την περιοχή του ποταμού Στρυμόνα.

Οι τομές ΣΤ1, ΣΤ12 και ΣΤ11 βρίσκονται μεταξύ των βουνών Κερκίνη και Δύσωρο. Γενικό χαρακτηριστικό τους αποτελεί το ανεβασμένο υπόβαθρο, με εξαίρεση τις βυθοσκοπήσεις 51 και 50.

- Η τομή ΣΤ 11 εκτείνεται από τα Άνω Πορόια έως ΝΑ της Ροδόπολης και χαρακτηρίζεται από την παρουσία ενός κανονικού ρήγματος στις θέσεις 41 και 42 που φαίνεται να καλύπτεται από κορήματα με μεγάλη ωμική αντίσταση και ενός δεύτερου πιθανού ρήγματος στις θέσεις 57 και 58 που ενδεχομένως να σχετίζεται με την ανύψωση του υποβάθρου Ν και ΝΑ της Ροδόπολης. Ανάλογη εικόνη παρατηρείται και στην τομή ΣΤ12.
- Η τομή ΣΤ1 έχει διεύθυνση Β-Ν. Στις θέσεις 1, 2 και 6 το υπόβαθρο φαίνεται να εντοπίζεται σε βάθος 150 – 200 μέτρων περίπου, ενώ η παρουσία κανονικού ρήγματος που διέρχεται από το Νεοχώρι προκαλεί βύθιση του υποβάθρου σε βάθος >250 μέτρων. Εικάζεται η ύπαρξη και δεύτερου ρήγματος στις θέσεις 7 και 8 και βυθίζει περισσότερο το υπόβαθρο και αυξάνει το πάχος των υπερκείμενων σχηματισμών Νεογενούς και Τεταρτογενούς. Στη θέση 9 πιθανολογείται τεκτονική ανύψωση του υποβάθρου ενώ στη θέση 51 το βάθος βρίσκεται στα 450 μέτρα.

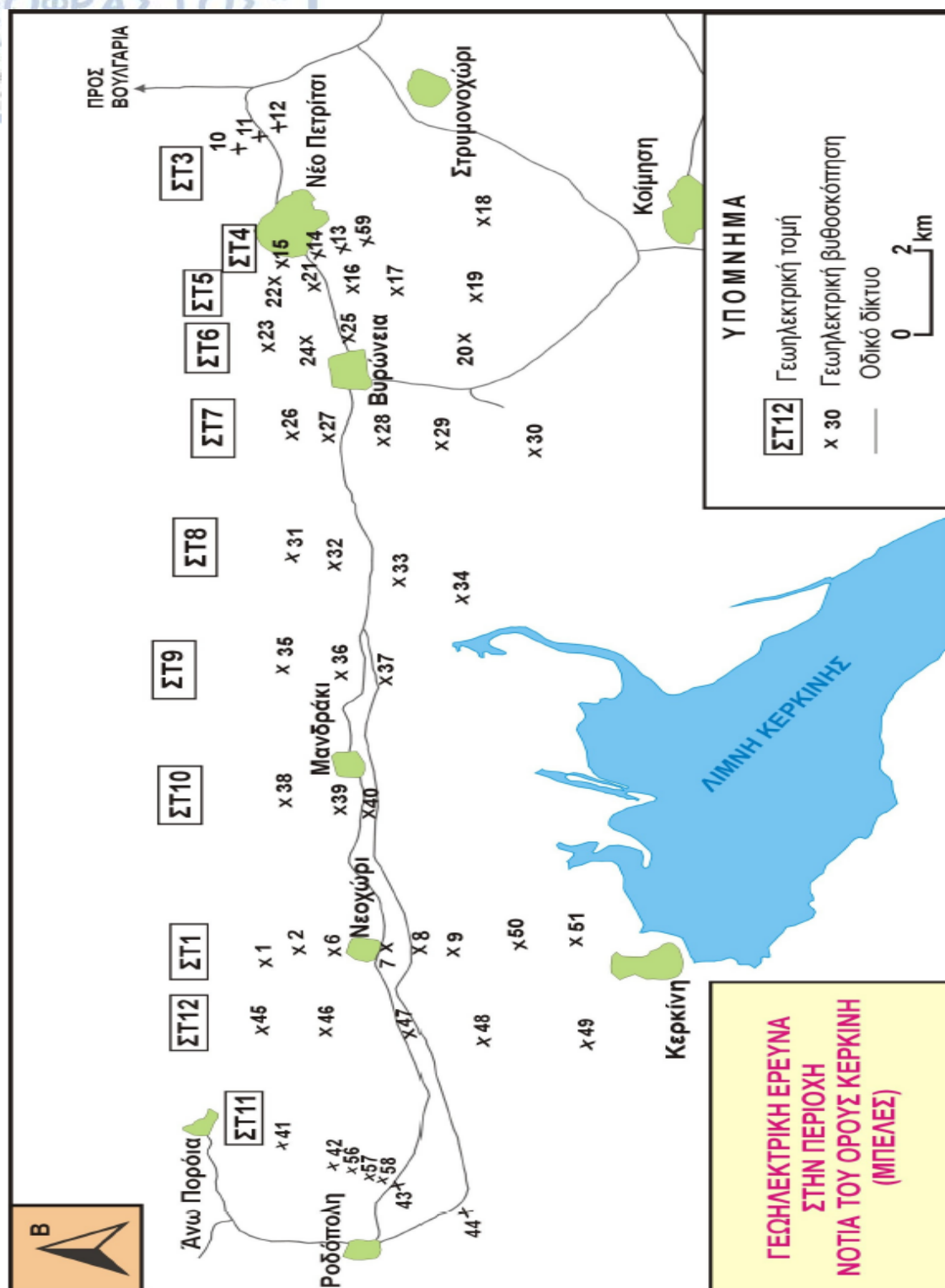
Αξίζει να σημειωθεί πως το βάθος του υποβάθρου μεταξύ των θέσεων 49 και 51 είναι 150 και 450 μέτρα αντίστοιχα. Αυτό μπορεί να αποδοθεί στην ύπαρξη κανονικού ρήγματος που

πιθανώς να ταυτίζεται με την κύρια ρηξιγενή ζώνη του δυτικού ορίου της λεκάνης του Στρυμόνα και κάποιου ρήγματος παράλληλο σε αυτή.

- Στην τομή ΣΤ10 δυτικά του Μανδρακίου, διακρίνεται ρήγμα μεταξύ των θέσεων 38 και 39, θεωρείται ό,τι βρίσκεται στα 375 μέτρα και βυθίζεται στα 450 μέτρα. Κώνος κορημάτων 150 – 200 μέτρα.
- Στην τομή ΣΤ9 διακρίνονται δύο κανονικά ρήγματα στις θέσεις 35 , 36 και 37 και ο κώνος κορημάτων του Ακριτοχωρίου που φαίνεται να καλύπτει το πρώτο ρήγμα έχει πάχος μικρότερο των 100 μέτρων και αποσφηνώνεται προς τα νότια.
- Ανάλογη εικόνα παρουσιάζεται και στην τομή ΣΤ8 κανονικά ρήγματα στις θέσεις 31, 32 και 33 με το υπόβαθρο να υπολογίζεται από 350 έως και 675 μέτρα.
- Στην τομή ΣΤ7 στα σημεία 26 και 27 της βυθοσκόπησης εντοπίζεται ρήγμα. Το υπόβαθρο στη θέση 26 βρίσκεται στα 400 μέτρα. Μεταξύ των θέσεων 28, 29 και 30 εντοπίζεται μεγάλο κανονικό ρήγμα που προκαλεί βύθιση του μεταμορφωμένου υποβάθρου, το οποίο φτάνει μέχρι τα 1000 μέτρα βάθος.
- Στην τομή ΣΤ6 υπάρχει ρήγμα μεταξύ των θέσεων 23 και 24 το οποίο καλύπτεται από κορήματα πάχους 45 μέτρων.
- Ρήγμα μεταξύ των 16 και 17 και ανάλογη εικόνα παρουσιάζεται στην τομή ΣΤ5.
- Τομή ΣΤ4 δυτικά του Πετριτσίου εντοπίζονται αδρόκοκκες αποθέσεις υποκείμενες των κώνων κορημάτων στα 100 με 200 μέτρα που αποσφηνώνονται στη θέση 15. Δύο πιθανά ρήγματα στις θέσεις 13, 14 και 13, 59 αντίστοιχα.
- Τέλος στην τομή ΣΤ3 η ύπαρξη κανονικού ρήγματος βυθίζει το υπόβαθρο από τα 150 μέτρα στα 300 στη θέση 12 με μικρό πάχος κορημάτων 25 - 75 μέτρα.

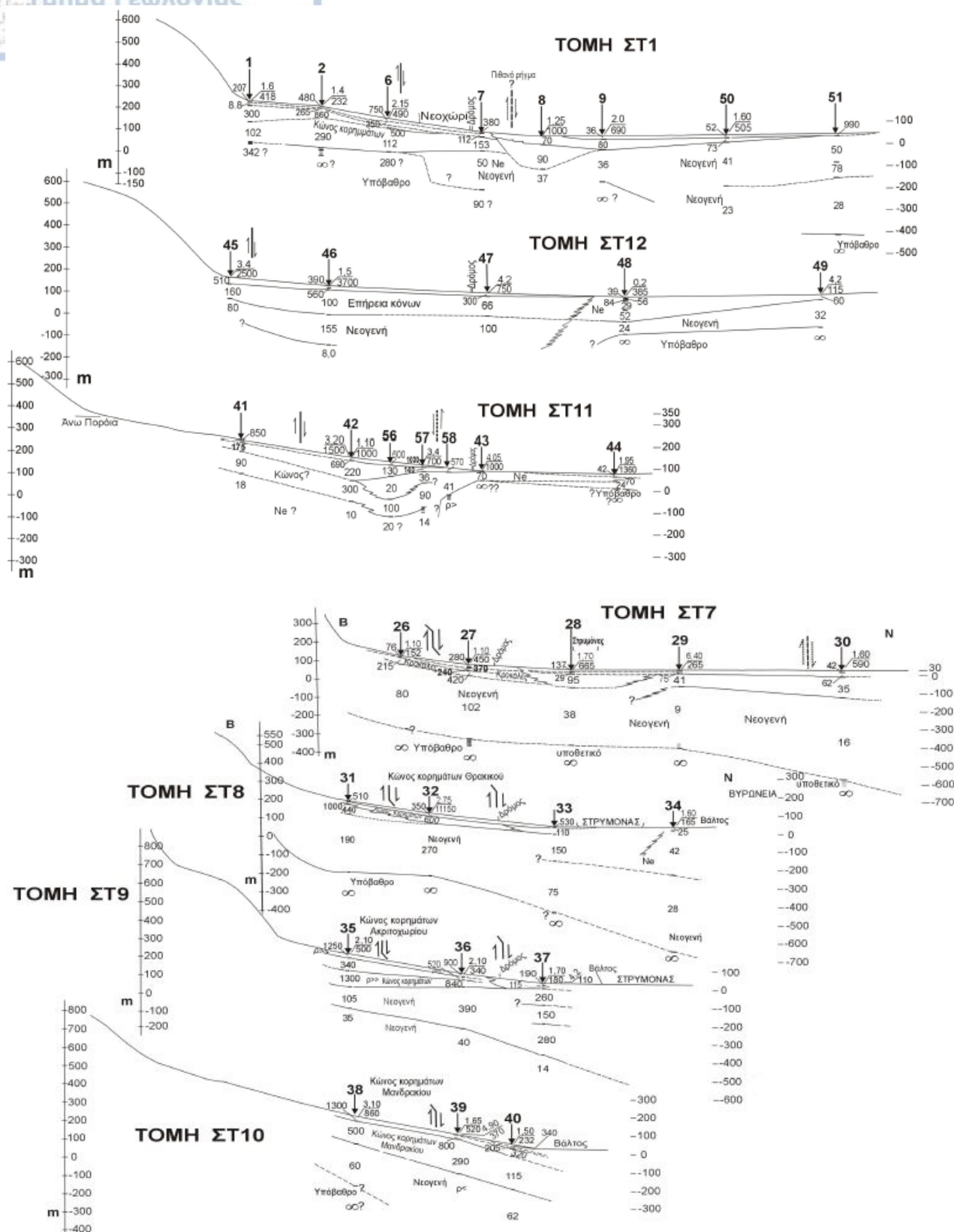
Συνοπτικά από την ερμηνεία των γεωηλεκτρικών τόμων νότια του Όρους Κερκίνη και βόρεια της λίμνης έχουμε:

1. Δυτικότερα της τομής ΣΤ8 παρατηρούνται: (α) γενικά αύξηση της ειδικής αντίστασης των υποκείμενων αδρομερών Νεογενών ιζημάτων, και (β) ταυτόχρονη αύξηση του πάχους των κώνων κορημάτων. Οι παρατηρήσεις αυτές φαίνεται να σχετίζονται με την αυξημένη επίδραση της τεκτονικής δυτικότερα της τομής ΣΤ8. Η τεκτονική αυτή εκφράζεται, όπως διαπιστώνεται, και από τις γεωηλεκτρικές τομές.
2. Στην ευρύτερη περιοχή της τομής ΣΤ8, δηλ. στην περιοχή μεταξύ Βυρώνειας και Μανδρακίου, διαφαίνεται μια μετάπτωση κάθετη προς τον ορεινό όγκο του Μπέλες (Κερκίνη), η οποία γενικά βυθίζει τις περιοχές δυτικότερα της ΣΤ8.
3. Στα Νεογενή ιζήματα με τις αυξημένες τιμές ειδικής αντίστασης (δυτικότερα της ΣΤ8 και στην ΣΤ4) πιθανότατα θα υπάρχει αυξημένη διήθηση από το Όρος Κερκίνη προς την λεκάνη του Στρυμόνα, στους βαθύτερους υδροφόρους.
4. Οι βυθοσκοπήσεις στις θέσεις 50-51 της ΣΤ1 και 48-49 της ΣΤ12, λίγο βορειότερα της Κερκίνης, έδειξαν ότι τα Νεογενή ιζήματα που επικάθονται πάνω στο υπόβαθρο παρουσιάζουν χαμηλότερες τιμές ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (23-32 m) από αντίστοιχα που συναντώνται λίγο βορειότερα, στους πρόποδες του Μπέλες (36 -155 m). Αυτό μπορεί να αποδοθεί είτε σε περισσότερο αργιλικό υλικό στα ιζήματα είτε στην απουσία επίδρασης ψυχρών επιφανειακών νερών είτε σε πιθανή παρουσία θερμών νερών είτε ακόμη σε συνδυασμό αυτών.
5. Β και ΒΔ του χωριού Κερκίνη, κοντά στην ομώνυμη λίμνη, λόγω της τεκτονικής διαπιστώνεται απότομη βύθιση του υποβάθρου από τα 150 m (θέση 49 της ΣΤ12) στα 450 m (θέση 51 της ΣΤ1). Πιθανότατα αυτή να συνδέεται με ΒΔ-ΝΑ διεύθυνσης περιθωριακό κανονικό ρήγμα.
6. Επιπλέον, από τη σύγκριση των γεωηλεκτρικών τομών ΣΤ11, ΣΤ12 και ΣΤ1, διαπιστώνεται ότι η περιοχή Β και ΒΔ του χωριού Κερκίνη είναι έντονα τεκτονισμένη με πιθανές ανυψώσεις και βυθίσεις του υποβάθρου, που έχουν προκληθεί από ρήγματα διεύθυνσης ΒΔ-ΝΑ και Δ-Α.

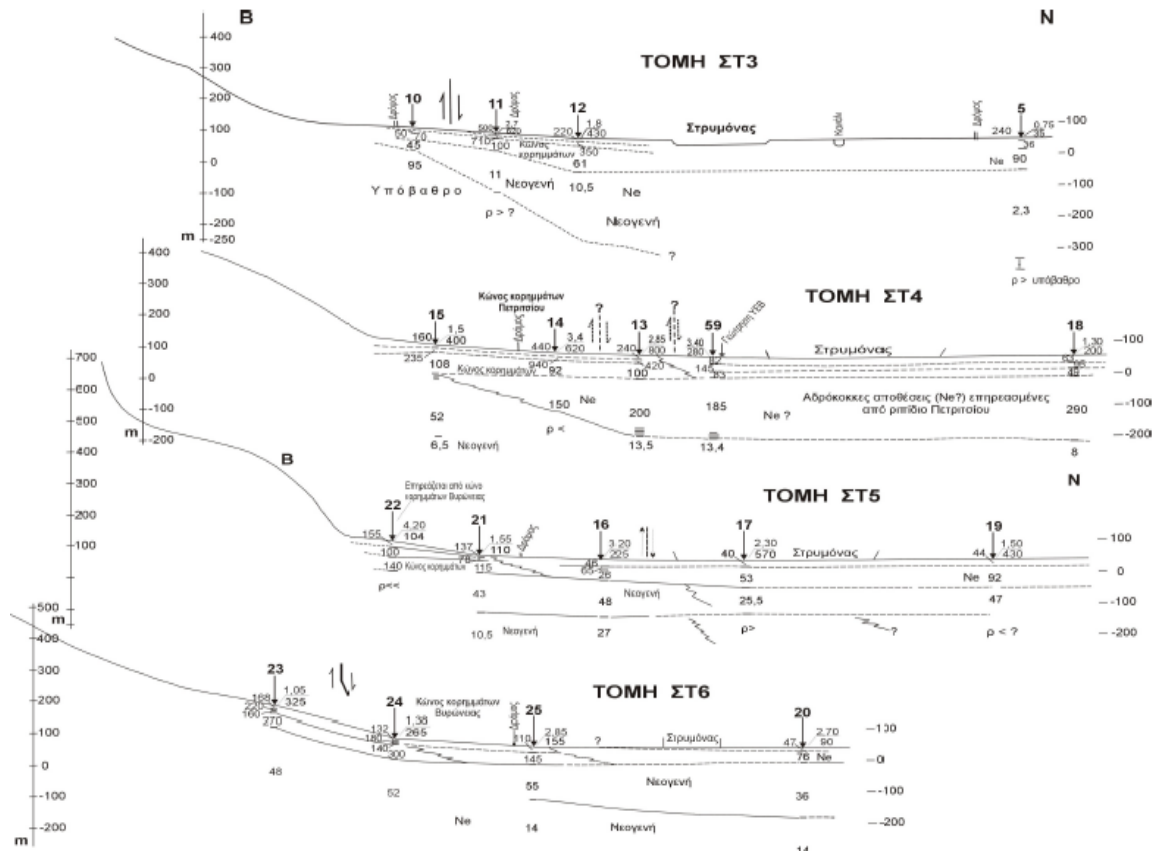


Σχ. 14 Σχηματικός χάρτης με τις θέσεις των γεωηλεκτρικών τομών και βυθομετρήσεων της περιοχής Κερκίνης - Καστανούσας.

(Νικολαΐδης και Θεοδωρίδης, 1986)



Σχ. 15 Γεωηλεκτρικές τομές βόρεια της λίμνης Κερκίνης (Νικολαΐδης και Θεοδωρίδης, 1986)



Σχ. 16 Γεωηλεκτρικές τομές βόρεια της λίμνης Κερκίνης
(Νικολαΐδης και Θεοδωρίδης, 1986)

6. ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΚΕΡΚΙΝΗΣ

Τα Νεογενή και Τεταρτογενή ιζήματα της περιοχής αποτελούνται από εναλλαγές άμμων – αργίλων και κροκαλών – λατύπων, εντάσσονται στους υδροπερατούς έως ημιπερατούς σχηματισμούς, με αποτέλεσμα να φιλοξενούν τις σημαντικότερες ποσότητες νερού στην περιοχή ενδιαφέροντος. Τα αλλουβιακά ριπίδια είναι ιδιαίτερα υδροπερατά λόγω του αδρόκοκκου χαρακτήρα τους και της μεγάλης τροφοδοσίας ψυχρών επιφανειακών νερών από τον παρακείμενο ορεινό όγκο της Κερκίνης (Μπέλες).

Το κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο της περιοχής αποτελείται από μεταμορφωμένα πετρώματα της ενότητας Βερτίσκου της Σερβομακεδονικής μάζας (Γνεύσιοι, σχιστόλιθοι, αμφιβολίτες, μιγματίτες, κλπ), τα οποία από υδρογεωλογικής πλευράς συμπεριφέρονται ως υδατοστεγανοί σχηματισμοί, έτσι ώστε κατ' αρχήν να μην αναμένεται συγκέντρωση ή κυκλοφορία νερού μέσα σ' αυτά. Όμως, η σημαντική πυκνότητα των ρηξιγενών δομών, οι οποίες κατακερματίζουν τα συμπαγή αυτά μεταμορφωμένα πετρώματα της Σερβομακεδονικής, βοηθούν στην κατείσδυση και κυκλοφορία νερού, κυρίως περιοδικής λειτουργίας. Οι ρωγμώσεις αυτές δεν διευρύνονται σημαντικά από την επίδραση του νερού που κυκλοφορεί μέσα σ' αυτές. Πάντως με τη διαδικασία αυτή δημιουργείται κατά θέσεις τουλάχιστον στην περιοχή ένας μανδύας αποσάθρωσης των κρυσταλλοσχιστωδών πετρωμάτων επιφανειακού πάχους, που μπορεί να φθάσει τις λίγες δεκάδες μέτρα.

Στο ορεινό συγκρότημα του Μπέλες, λόγω των γεωλογικών σχηματισμών που το δομούν (γρανίτες, γνεύσιοι, αμφιβολίτες) εμφανίζεται πλήθος ψυχρών πηγών (μικρής έως μέτριας παροχής), οι οποίες εμφανίζονται σε διάφορα ύψη των κλιτύων του. Οι πηγές αυτές αποστραγγίζουν το αποσάθρωμένο ή ρηγματωμένο τμήμα του υγιούς αδιαπέρατου πετρώματος. Οι παροχές των πηγών ποικίλλουν ανάλογα με το βαθμό αποσάθρωσης και ρηγμάτωσης των πετρωμάτων. Από τη μελέτη του χημισμού των πηγών προέκυψε ότι πρόκειται για χαμηλής έως πολύ χαμηλής αλατότητας ψυχρά επιφανειακά νερά, ελαφρώς αλκαλικά, τα οποία χαρακτηρίζονται από την κυριαρχία των ιόντων Ca^{2+} και HCO_3^- στη χημική τους σύσταση.

7. ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ – ΘΕΡΜΟΜΕΤΡΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ ΚΕΡΚΙΝΗΣ

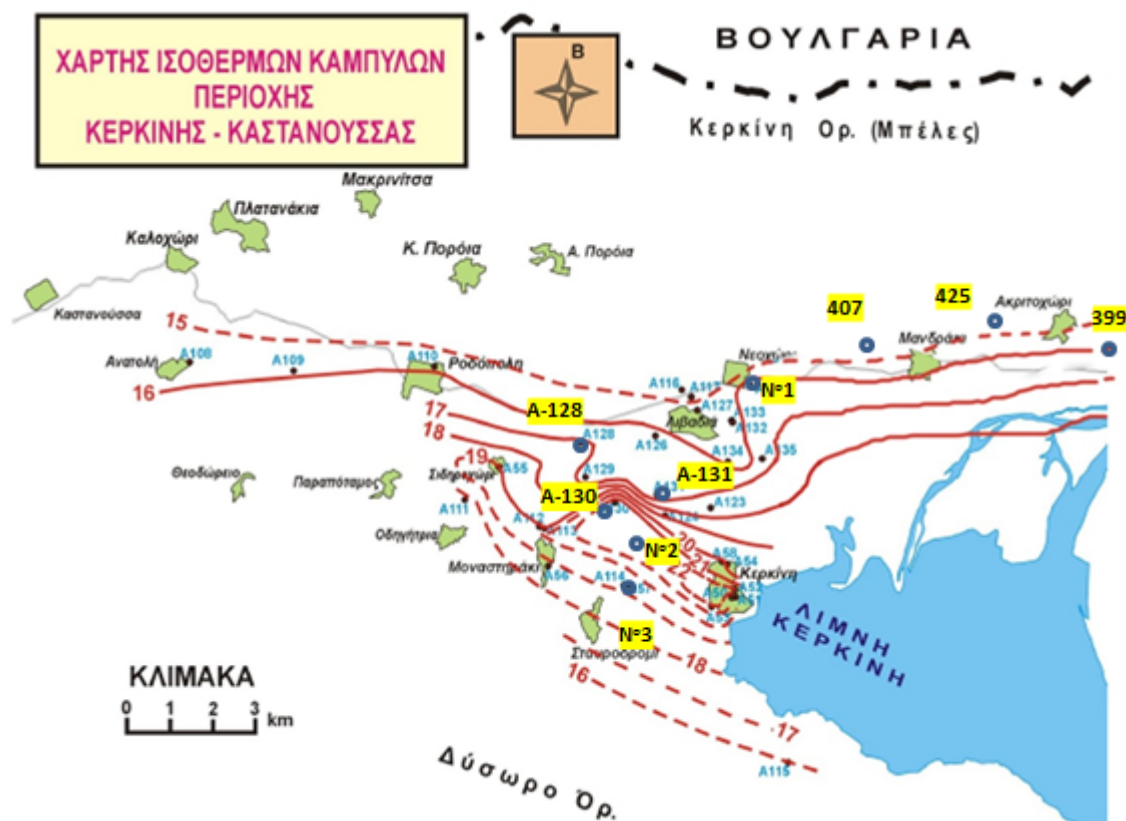
Στα πλαίσια της προκαταρκτικής γεωθερμικής έρευνας που πραγματοποιήθηκε στην περιοχή της λίμνης Κερκίνης πραγματοποιήθηκε και θερμομετρική έρευνα. Σε μεγάλο αριθμό γεωτρήσεων έγιναν θερμομετρήσεις σε κεφαλές γεωτρήσεων αλλά και όπου ήταν δυνατό πραγματοποιήθηκε μέτρηση της θερμοκρασίας σε βάθος για τον καθορισμό της θερμοβαθμίδας. Το σύνολο αυτών ήταν υδρογεωτρήσεις ιδιωτικές ή κοινοτικές. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα στοιχεία των γεωτρήσεων που μελετήθηκαν αλλά και στοιχεία και συμπεράσματα που προέκυψαν από προηγούμενη έρευνα του ΙΓΜΕ στην περιοχή της Κερκίνης – Καστανούσας.

Πίνακας 2. Στοιχεία γεωτρήσεων (μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν κατά την εκπόνηση της εργασίας τον Οκτώβριο του 2010)

Κωδικός Γεώτρησης	Τοποθεσία Γεώτρησης	Θερμοκρασία κεφαλής (C°)	Βάθος (m)	Στάθμη ηρεμίας (m)	Στάθμη άντλησης (m)	Πομόνα (m)	Ιδιοκτήτης γεώτρησης	Συντεταγμένες
312	Βυρώνεια	15,5°	93	22	30	23	Κοινοτική	X0436008 Y4568330 Υψ=75m
399	Θρακικό	16°	23	5	19	22	Κοινοτική	X0432418 Y4567625 Υψ=73m
407	Μανδράκι	13,9°	75	13	35	40	Κοινοτική	X0426304 Y4568064 Υψ=90m
425	Ακριτοχώρι	13,5°	102	11	18	21	Κοινοτική	X0429622 Y4568058 Υψ=79m
N°1	Νεοχώρι	-	140	14	48	50	Κοινοτική	X0423926 Y4567669
N°2	Σταυροδρόμι	-	90	Αρτ.	-	-	Κοινοτική	-
N°3	Σταυροδρόμι	-	140	Αρτ.	27	30	Κοινοτική	X0420721 Y4563197 Υψ=51m



Επιπλέον, παρουσιάζεται ο χάρτης των ισοθερμικών καμπυλών συντάχθηκε από το ΙΓΜΕ (2005) και συμπληρώθηκε, στα βόρεια της λίμνης, από πρόσφατες μετρήσεις, κατά τη διάρκεια της έρευνάς μας, στις κεφαλές των γεωτρήσεων στην περιοχή βόρεια και βορειοδυτικά της λίμνης Κερκίνης.



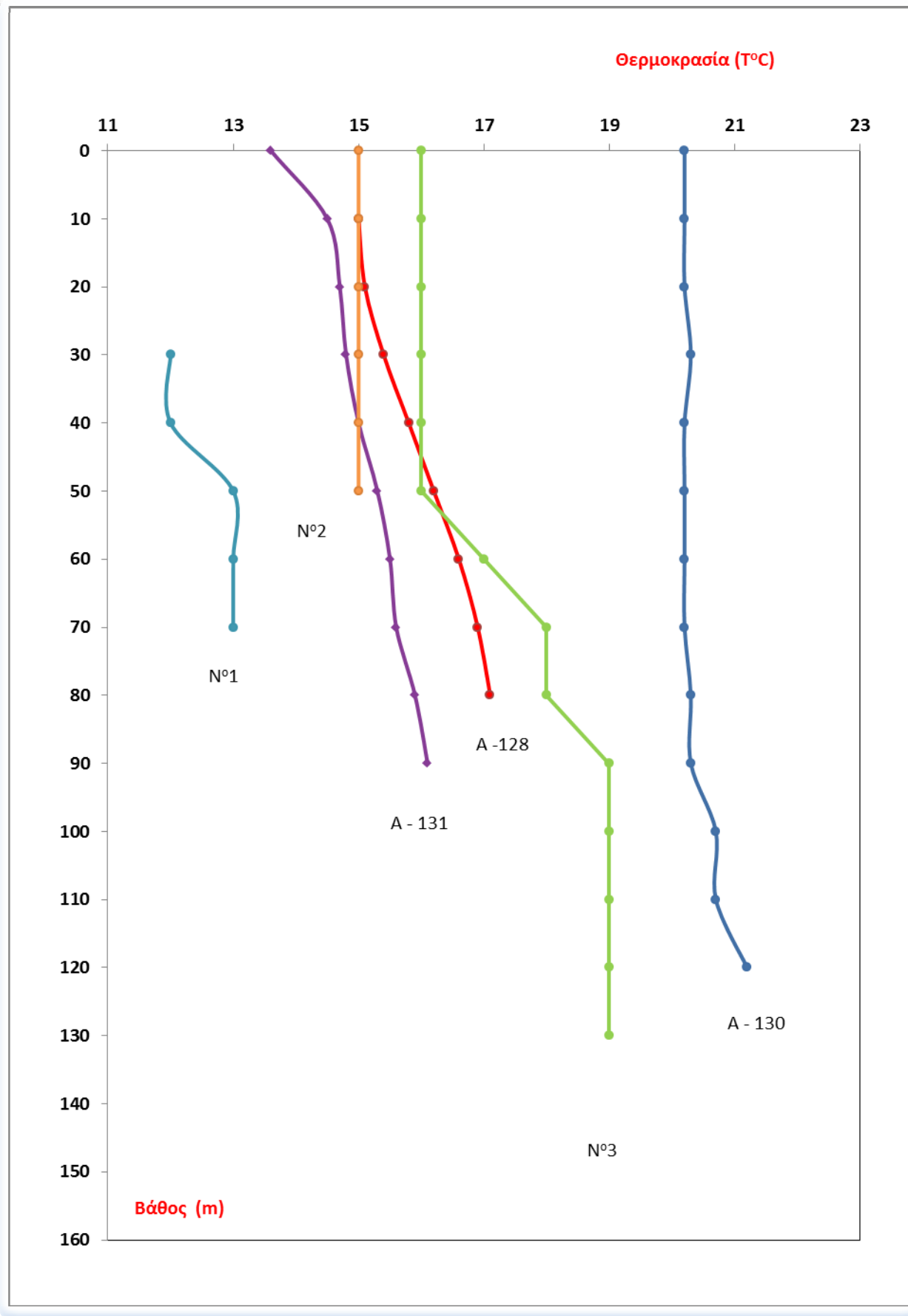
Σχ. 17 Χάρτης ισοθερμών καμπυλών (ΙΓΜΕ και συμπλήρωσή του με βάση τις μετρήσεις βόρεια της λίμνης το μήνα Οκτώβριο του 2010)

Όπως φαίνεται και στο χάρτη το μέγιστο των θερμοκρασιών εντοπίζεται στο χωριό Κερκίνη με μέγιστη αυτή των 22°C. Οι ισόθερμες καμπύλες παρουσιάζουν ΒΔ – ΝΑ προσανατολισμό στα ΒΔ της λίμνης και ακολουθούν την κύρια ρηξιγενή ζώνη της περιοχής. Ανατολικότερα (βόρεια της λίμνης) μεταβάλλεται σε Δ – Α. Αυτό μάλιστα πιθανολογείται ό,τι συμβαίνει λόγω των ψυχρών υδάτινων μαζών που βρίσκονται στα αλλουβιακά ριπίδια στους πρόποδες του Όρους Κερκίνη (Μπέλες). Παράλληλα με τις επιφανειακές μετρήσεις , πραγματοποιήθηκαν και μετρήσεις βάθους όπου ήταν δυνατό για τον καθορισμό της θερμοβαθμίδας και της γεωθερμικής ανωμαλίας της περιοχής, η οποία επιβεβαιώνεται στο ΒΔ περιμετρικά τμήμα της λίμνης. Στη συνέχεια παραθέτουμε πίνακα με τα αποτελέσματα των θερμομετρήσεων καθώς και διάγραμμα θερμοκρασίας – βάθους τόσο από ίδιες μετρήσεις όσο και από μετρήσεις που πραγματοποιηθήκαν από το ΙΓΜΕ.

Πίνακας 3. Πίνακας βάθους – θερμοκρασίας (ΙΓΜΕ, μετρήσεις γεωτρήσεων Α-128, Α-130, Α-131, μετρήσεις γεωτρήσεων Ν°1, Ν°2 και Ν°3 στα πλαίσια της εργασίας)

Βάθος (m)	Θερμοκρασία (°C)					
	Γεώτρηση Α - 128	Γεώτρηση Α - 130	Γεώτρηση Α - 131	Γεώτρηση Ν°1	Γεώτρηση Ν°2	Γεώτρηση Ν°3
0		20.2	13.6		15	16
10	15	20.2	14.5		15	16
20	15.1	20.2	14.7		15	16
30	15.4	20.3	14.8	12	15	16
40	15.8	20.2	15	12	15	16
50	16.2	20.2	15.3	13	15	16
60	16.6	20.2	15.5	13		17
70	16.9	20.2	15.6	13		18
80	17.1	20.3	15.9			18
90		20.3	16.1			19
100		20.7				19
110		20.7				19
120		21.2				19
130						19

Μεγαλύτερο ενδιαφέρον γεωθερμικά παρουσιάζει η γεώτρηση Α – 130 στο χωριό Κερκίνη με θερμοκρασία $21,2^{\circ}\text{C}$ στα 120 μέτρα και η γεώτρηση Ν^ο3 με 19° βαθμούς στα 140 μέτρα. Ο αρτεσιανισμός αυτών των γεωτρήσεων οδηγεί στην εξομοίωση της θερμοκρασίας του συνόλου τους. Τα μετεωρολογικά δεδομένα της περιοχής υποδεικνύουν μέση ετήσια θερμοκρασία τους $15,2^{\circ}\text{C}$ που σημαίνει ό,τι η θερμοβαθμίδα των δύο αυτών γεωτρήσεων υπολογίζεται στους $4,96^{\circ}\text{C} / 100\text{ m}$ και στους $3,07^{\circ}\text{C} / 100\text{ m}$ αντίστοιχα. Παρουσιάζουν δηλαδή θερμοβαθμίδα μεγαλύτερη της μέσης που καθορίζεται στους $3^{\circ}\text{C}/100\text{m}$. Οι γεωτρήσεις Ν^ο1 και Ν^ο2 λόγω των ψυχρών υδάτινων μαζών παρουσιάζουν πολύ χαμηλές τιμές θερμοκρασιών.



Σχ. 18 Μεταβολή της θερμοκρασίας με το βάθος (ΙΓΜΕ συμπληρωμένο με γεωτρήσεις N°1, N°2 και N°3)

8. ΓΕΩΧΗΜΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΚΕΡΚΙΝΗΣ

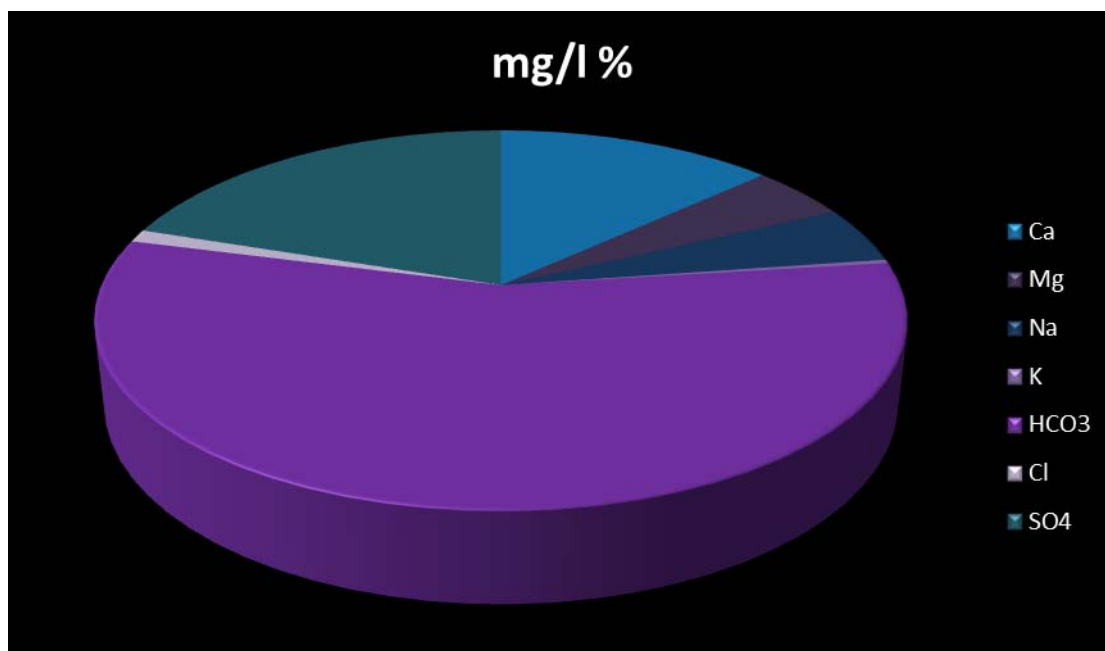
Στα πλαίσια της γεωθερμικής έρευνας έγινε συλλογή αριθμού δειγμάτων τόσο επιφανειακών όσο και νερών που βρίσκονται σε μεγαλύτερα βάθη. Η γεωχημική μας έρευνα περιορίζεται μόνο στα νερά των μεγαλύτερων βαθών μιας και εγγυώνται μεγαλύτερη αξιοπιστία όσον αφορά το αντικείμενο μελέτης μας.

Τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων των νερών παρουσιάζονται στο πίνακα 4. Όλες οι τιμές των συγκεντρώσεων των στοιχείων έχουν υπολογιστεί σε mg/l. Τα τμήματα 1, 2 και 3 του σχήματος 19 παρουσιάζουν διαγράμματα πίτας που απεικονίζουν την εκατοστιαία ποσοτική σύσταση σε %mg/l των ιόντων Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} για κάθε μια από τις γεωτρήσεις. Από τη μεταφορά των τιμών του πίνακα 4, σε τριγωνικό διάγραμμα *Piper* και χρησιμοποιώντας τη ταξινόμηση κατά *Davis & De Wiest (1966)*, όπως φαίνεται και στο σχήμα 22, προέκυψε ότι τα νερά της περιοχής μελέτης κατανέμονται στους βασικούς τύπους του πίνακα 5.

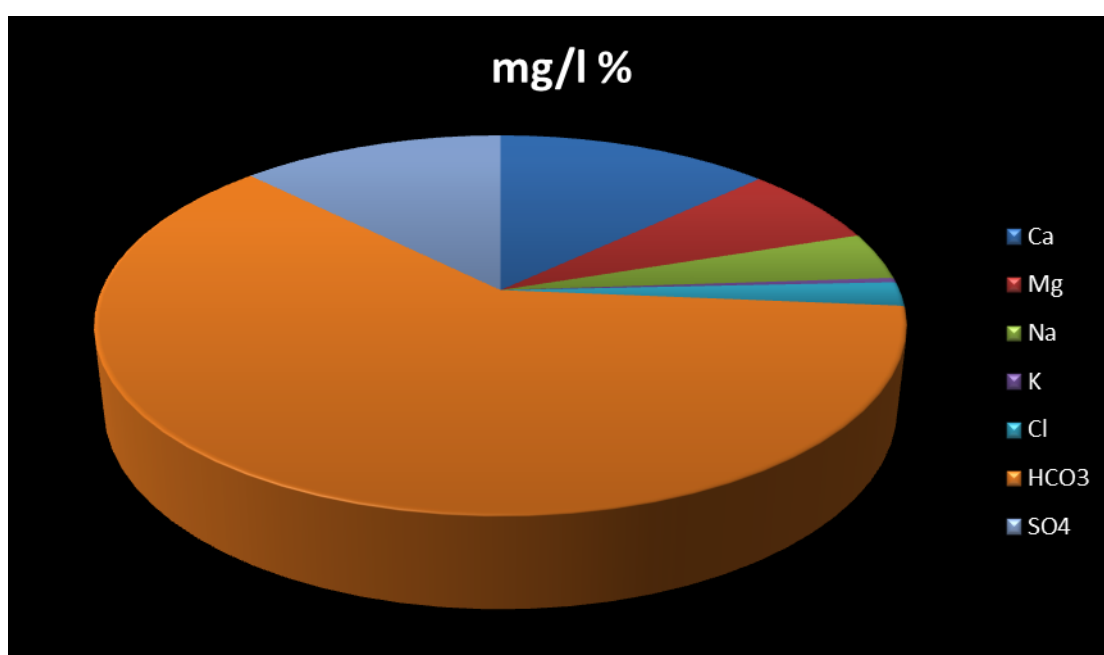
Με βάση τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων από την περιοχή έρευνας προκύπτει ότι πρόκειται για χαμηλής περιεκτικότητας σε άλατα νερά. Το σύνολο των διαλυμένων αλάτων στα νερά (TDS) των γεωτρήσεων βρίσκονται σε χαμηλά σχετικά επίπεδα, συγκεκριμένα κυμαίνονται μεταξύ 228,31 - 548,6. Για το λόγο αυτό κατατάσσονται στην κατηγορία των «γλυκών νερών» σύμφωνα με την ταξινόμηση κατά *Hem (1970)*. Ένας άλλος παράγοντας ενδεικτικός της κατηγορίας των γλυκών νερών είναι ο λόγος Mg/Ca που στα δείγματα κυμαίνεται μεταξύ 0,35-0,49mg/l. Οι τιμές του pH κυμαίνονται μεταξύ 6,96 - 7,78. Δηλαδή πρόκειται για νερά ουδέτερα έως ελαφρώς αλκαλικά. Το πιο ψυχρό δείγμα νερού, προερχόμενο από τη γεώτρηση N^o2 στην περιοχή του Νεοχωρίου, βάθους 70m και θερμοκρασίας 13°C, είναι του τύπου Mg, Ca-HCO₃ SO₄. Παρουσιάζει χαμηλό TDS και έχει pH 7,78. Το κατιονικό φορτίο εκφράζεται κατά 23,08% επί του συνόλου με κύρια συμμετοχή του Ca κατά 53,67% και του Mg κατά 28,12%. Όσον αφορά τα ανιόντα κυριαρχεί το HCO₃⁻ με ποσοστό 75,46%. Το δείγμα νερού με την υψηλότερη θερμοκρασία (γεώτρηση N^o3 βάθους 135m) απ' την περιοχή του Σταυροδρομίου είναι του τύπου Ca-HCO₃SO₄. Το κατιονικό φορτίο εκφράζεται κατά 22,87% με 57,36% Ca 20,27% Mg και 21,05 % Na. Το ανιονικό φορτίο συντριπτικά εκφράζεται από HCO₃ με ποσοστό 72,1%. Η αγωγιμότητα του νερού αυτού είναι στα 447μS/ cm, ενώ το pH του είναι 7,50.

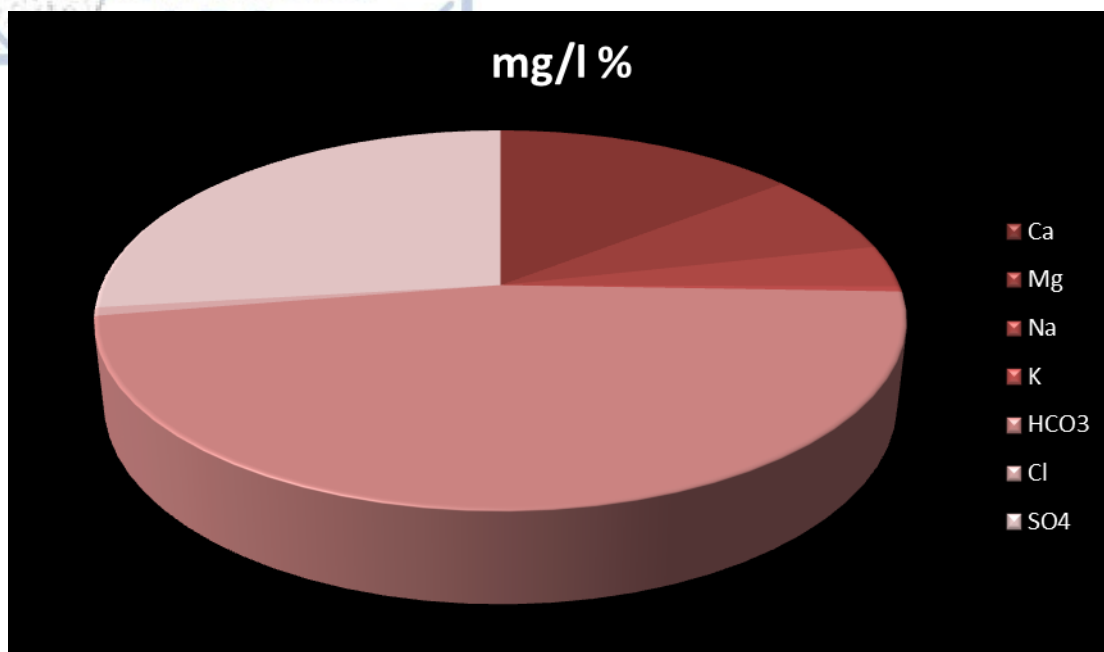
Πίνακας 4. ΧΗΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΝΕΡΩΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΕΡΚΙΝΗΣ (ΙΓΜΕ 2010, πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια της εργασίας από το χημείο του ΙΓΜΕ, Οκτώβριος του 2010)

ΣΗΜΕΙΟ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ		ΓΕΩΤΡΗΣΗ Ν ^ο 1	ΓΕΩΤΡΗΣΗ Ν ^ο 2	ΓΕΩΤΡΗΣΗ Ν ^ο 3
Τ ^ο (C)		15,0	12,0	19,0
Αγωγιμότητα (μS/cm)		372	695	447
pH(εργαστηρίου)		6,96	7,78	7,50
Σ.Δ.Α (ή TDS) (mg/l)		222,87	521.1	330,09
Ολική Σκληρότητα (f ^ο)		14,50	31,64	17,22
Ανθρακική Σκληρότητα (f ^ο)		8,55	26,10	15,15
Μη ανθρακική Σκληρότητα (f ^ο)		5,95	5,54	2,07
ΧΗΜΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ				
ΚΑΤΙΟΝΤΑ				
Na ⁺	mg/l	8,0	21,0	16,0
K	mg/l	1,0	2,0	1,0
Ca ²⁺	mg/l	32,14	67,97	43,60
Mg ²⁺	mg/l	15,75	35,67	15,41
NH ₄ ⁺	mg/l	0,134	0,130	0,072
ΑΝΙΟΝΤΑ		ΓΕΩΤΡΗΣΗ Ν ^ο 1	ΓΕΩΤΡΗΣΗ Ν ^ο 2	ΓΕΩΤΡΗΣΗ Ν ^ο 3
HCO ₃ ⁻	mg/l	104,31	318,42	184,83
Cl ⁻	mg/l	1,77	10,64	3,55
SO ₄	mg/l	59,90	65,40	65,70
NO ₃ ⁻	mg/l	5,44	27,50	2,31
NO ₂ ⁻	mg/l	-0,001	0,008	0,003
O ₂ (οξύτητα)	mg/l	0,16	0,32	0,32
Fe	mg/l	0,006	0,005	0,035
Mn	mg/l	0,011	0,017	0,017



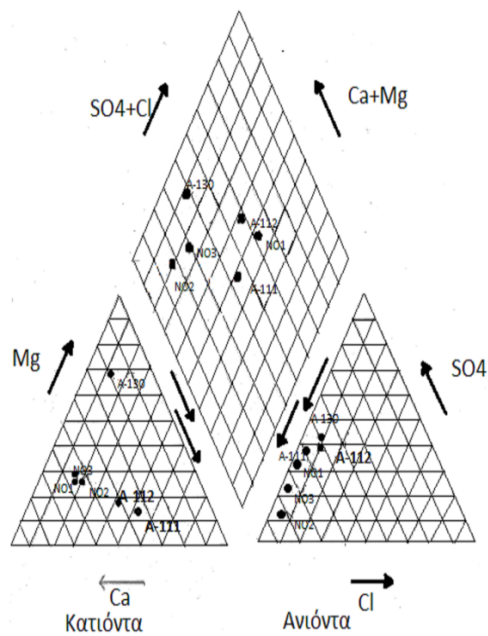
ΓΕΩΤΡΗΣΗ Ν^ο2





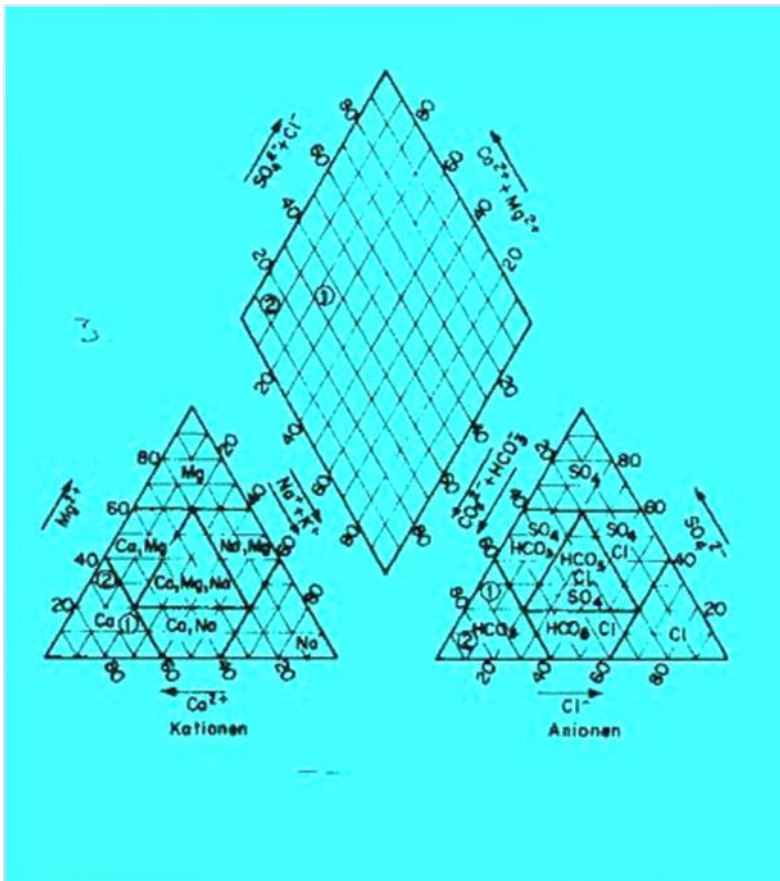
Σύνολο Διαλυμένων Αλάτων: 330,09mg/l %

Σχ. 19 Διαγράμματα πίτας που απεικονίζουν την εκατοστιαία ποσοτική σύσταση σε % mg/l των ιόντων Na^+ , Mg^{2+} , K^+ , Ca^{2+} , Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} των νερών των γεωτρήσεων της περιοχής Κερκίνης.



% επί του συνόλου mg/l

Σχ. 20 Διάγραμμα Piper, (1953)



Σχ. 21 Τριγωνικό διάγραμμα κατά Davis και De Wiest (1966) για τον προσδιορισμό των χημικών τύπων των νερών.

Πίνακας 5. Τύποι νερών

ΤΥΠΟΣ ΝΕΡΟΥ	ΔΕΙΓΜΑΤΑ
$Ca - HCO_3, SO_4$	$N^o 1, N^o 3$
$Mg, Ca - HCO_3, SO_4$	$N^o 2$

Το τελευταίο δείγμα νερού θερμοκρασίας 15°C προερχόμενο από τη γεώτρηση N^ο1 βάθους 50m είναι επίσης του τύπου Ca - HCO₃SO₄. Το κατιοντικό φορτίο εκφράζεται σε ποσοστό 25,56% με μεγαλύτερες τις συμμετοχές των Ca με 14,48% και Mg με 12,42%. Το ανιονικό φορτίο συμμετέχει κατά 74,47% με συντριπτική κυριαρχία του 46,8%.

Γενικά παρατηρούμε ότι και τα τρία δείγματα νερού είναι εμπλουτισμένα σε ιόντα Ca και Mg. Η αυξημένη παρουσία των παραπάνω κατιόντων πιθανώς οφείλεται στη διαλυτοποίηση ανθρακικών ορυκτών (ασβεστίτης, δολομίτης) τα οποία αποτελούν το συνδετικό υλικό των ιζηματογενών πετρωμάτων που βρίσκονται στην επιφάνεια δηλ. ψαμμίτες, άμμους, κροκάλες, χάλικες. Τα ανθρακικά ορυκτά σε αντίθεση με τα πυριτικά μπορούν να υποστούν διάλυση πολύ εύκολα ακόμα και από την επίδραση κρύων και όχι μόνο θερμών νερών. Επιπλέον κατά τους White et.al (1963) τα κύρια ιόντα σε νερά που κυκλοφορούν στους ψαμμίτες είναι τα Ca²⁺, Mg²⁺ ίσως Na⁺ και HCO₃⁻. Οι τιμές του Ca²⁺ μεταξύ των δειγμάτων των γεωτρήσεων παρουσιάζει διακυμάνσεις μεταξύ 32,14 έως 67,97. Αυτό ίσως να οφείλεται στους διαφορετικούς χρόνους παραμονής του νερού στα ιζήματα.

Ο λόγος Mg/Ca κυμαίνεται μεταξύ 0,35 και 0,52, γεγονός που υποδηλώνει τη προέλευση των νερών από υδροφόρους με ασβεστολιθικά πετρώματα.

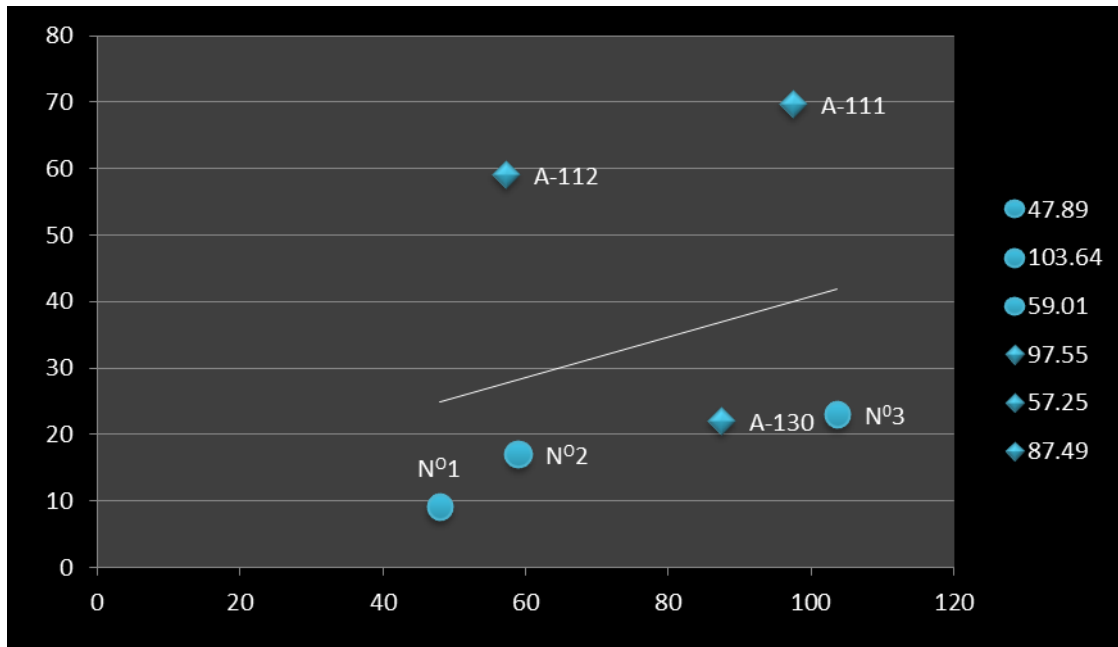
Ο λόγος Na/Cl στο σύνολο των δειγμάτων νερών κυμαίνεται μεταξύ 1,97 και 4,51 δηλαδή Na/Cl > 1. Αυτό κατά τους Mandel και Shiftan (1981) υποδηλώνει ότι η προέλευση των νερών είναι από υδροφόρους σε αλκαλικά μαγματικά ή μεταμορφωμένα πετρώματα.

Ο λόγος Na/K με εξαίρεση το δείγμα νερού της N^ο3 κυμαίνεται από 8-10,5 mg/l ,τιμή ενδεικτική ότι τα νερά αυτά έχουν άμεση μετεωρική προέλευση. Ο λόγος Na⁺/K⁺ για τη γεώτρηση N^ο3 βρίσκεται στα 16mg/l και πιθανώς υποδηλώνει νερά προερχόμενα από περιοχές εμπλουτισμού.

Το HCO₃⁻ είναι το κυρίαρχο ανιόν. Οι συγκεντρώσεις του κυμαίνονται μεταξύ 104,31 έως 318,42mg/l. Οι συγκεντρώσεις των νερών σε Cl⁻ βρίσκονται σε χαμηλά επίπεδα μεταξύ 1,77 και 10,64mg/l και μέσα στα φυσιολογικά επίπεδα για τα κοινά νερά. Η υψηλότερη σχετικά τιμή εντοπίζεται στη γεώτρηση N^ο2 και πιθανώς να σχετίζεται με κάποια βαθύτερη προέλευση.

Τα SO₄⁻ παρουσιάζουν συγκεντρώσεις που κυμαίνονται μεταξύ 59,90 έως 65,70mg/l και θεωρούνται αυξημένες. Είναι ανάλογες με αυτές που παρουσιάζουν τα υπόθερμα και ψυχρά νερά του γειτονικού γεωθερμικού πεδίου Λιθοτόπου - Ηράκλειας.

Na+K (mg/l)



Ca+Mg (mg/l)

Σχ.22 Διάγραμμα συσχέτισης Na+K με Ca+Mg. Με A-111, A-112, A-130 Συμβολίζεται το νερό Κερκίνης-Καστανούσας, ενώ τα υπόλοιπα αναπαριστούν την περιοχή μελέτης.

Στο παραπάνω σχήμα απεικονίζεται η σχέση του αθροίσματος των ιόντων Na+K με το άθροισμα των ιόντων Ca+Mg (οι συγκεντρώσεις εκφρασμένες σε mg/l). Στο διάγραμμα αυτό εκτός των νερών της περιοχής μελέτης, χρησιμοποιήθηκαν συγκριτικά και δείγματα νερού Κερκίνης-Καστανούσας από τις γεωτρήσεις A-111, A-112, A-130 θερμοκρασίας 17,9, 18,9 και 20 °C και αγωγιμότητας 646, 493, 593 μS/cm αντίστοιχα. Από αυτό το διάγραμμα προκύπτει η διάκριση τεσσάρων ομάδων νερών:

- **ΟΜΑΔΑ Α**

Αφορά το δείγμα A-112 το οποίο χαρακτηρίζεται από μέτριες συγκεντρώσεις ιόντων $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ (59 mg/l) καθώς και μέτριες συγκεντρώσεις ιόντων $\text{Ca} + \text{Mg}$ (57,25mg/l).

- **ΟΜΑΔΑ Β**

Στην ομάδα αυτή ανήκουν τα δείγματα N^ο2 και A-130 της περιοχής Νεοχωρίου. Η θερμοκρασία του N^ο2 μετρήθηκε στους 13°C και χαρακτηρίζεται από σχετικά αυξημένες συγκεντρώσεις $\text{Ca} + \text{Mg}$ και χαμηλές συγκεντρώσεις $\text{Na} + \text{K}$. Συγκεκριμένα το άθροισμα των συγκεντρώσεων $\text{Ca} + \text{Mg}$ ανέρχεται στα 103,64mg/l ενώ το άθροισμα των συγκεντρώσεων $\text{Na} + \text{K}$ βρίσκεται στα 23mg/l. ενώ η θερμοκρασία του δείγματος της A-130 προσδιορίστηκε στους 20°C και οι συγκεντρώσεις $\text{Ca} + \text{Mg}$ και $\text{Na} + \text{K}$ στα 87,49 και 22mg/l αντίστοιχα.

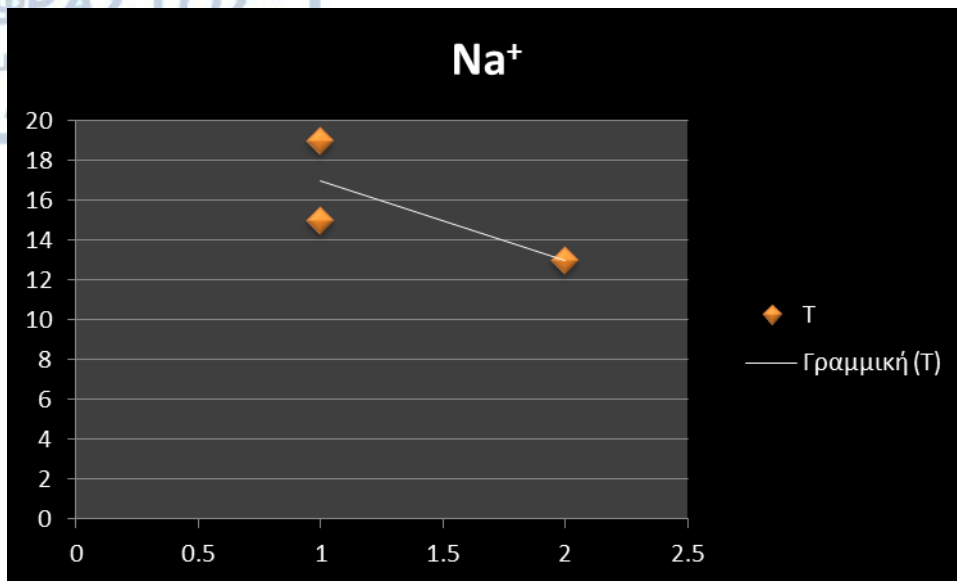
- **ΟΜΑΔΑ Γ**

Σε αυτή την ομάδα ανήκουν τα δείγματα νερών από τις γεωτρήσεις N^ο1 και N^ο3. Η θερμοκρασία τους κυμαίνεται από 15-19°C. Χαρακτηρίζονται από μέσες τιμές συγκεντρώσεων $\text{Ca} + \text{Mg}$ καθώς και από χαμηλές τιμές συγκεντρώσεων $\text{Na} + \text{K}$. Συγκεκριμένα το άθροισμα των συγκεντρώσεων $\text{Ca} + \text{Mg}$ είναι 47,8mg/l για τη γεώτρηση NO1 και 59,01mg/l για τη γεώτρηση N^ο3.

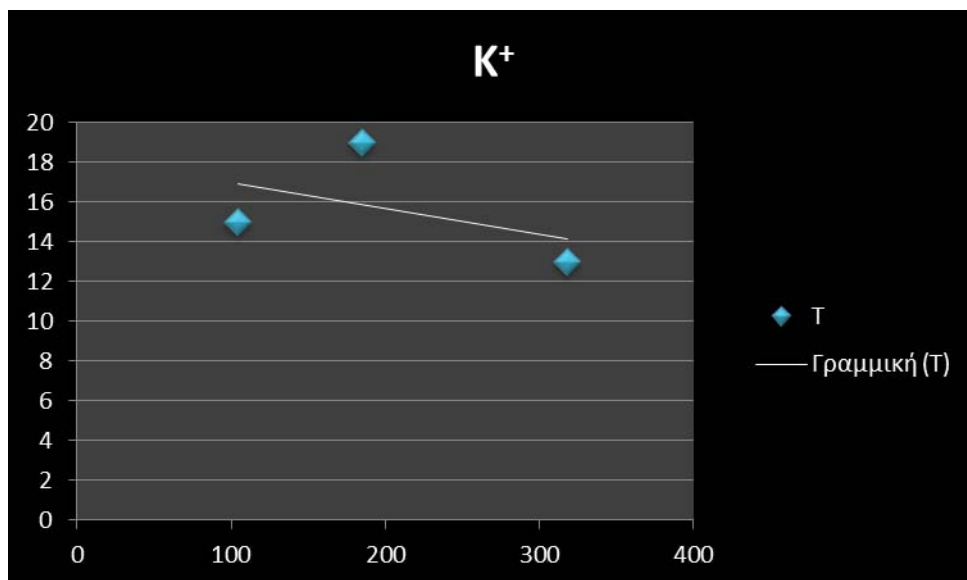
- **ΟΜΑΔΑ Δ**

Στη τελευταία ομάδα ανήκει το νερό της γεώτρησης A-11. Η θερμοκρασία υπολογίστηκε στους 17,9°C. Χαρακτηρίζεται τόσο από υψηλές συγκεντρώσεις $\text{Ca} + \text{Mg}$ (69,75mg/l), όσο και από υψηλές συγκεντρώσεις $\text{Na} + \text{K}$ (96mg/l).

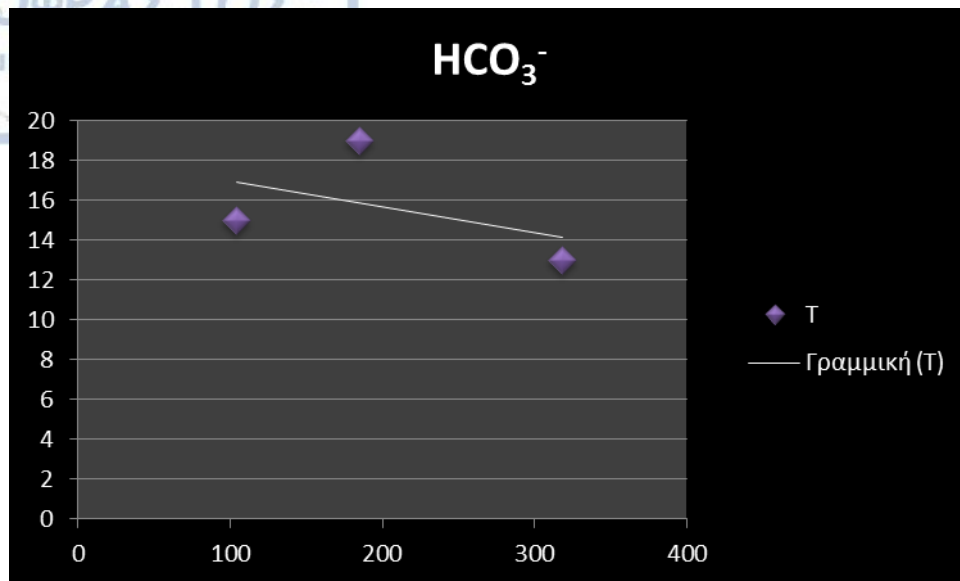
Στα παρακάτω δυαδικά διαγράμματα παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις των Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , SO_4 , Cl^- , NH_4^+ σε σχέση με τη θερμοκρασία (T) για τα νερά και των τριών γεωτρήσεων N^ο1, N^ο2, N^ο3.



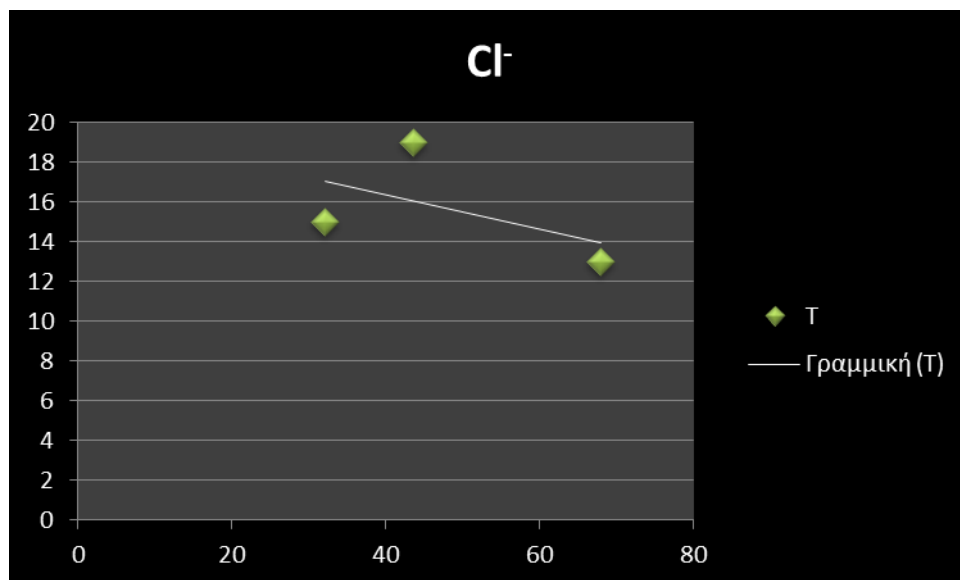
Σχ. 23 Διάγραμμα συγκέντρωσης Na⁺(mg/l) - T(°C)



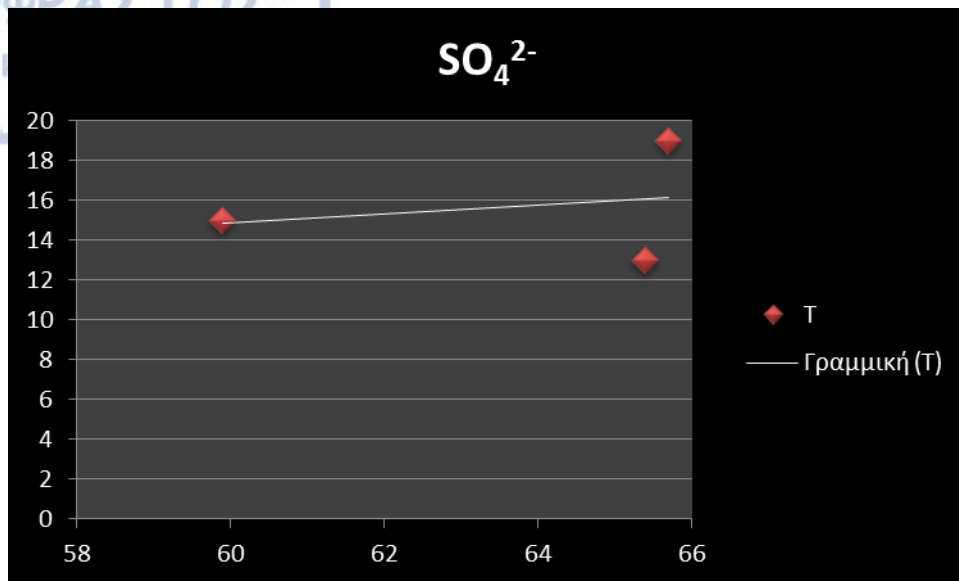
Σχ.24 Διάγραμμα συγκέντρωσης K⁺(mg/l) - T(°C)



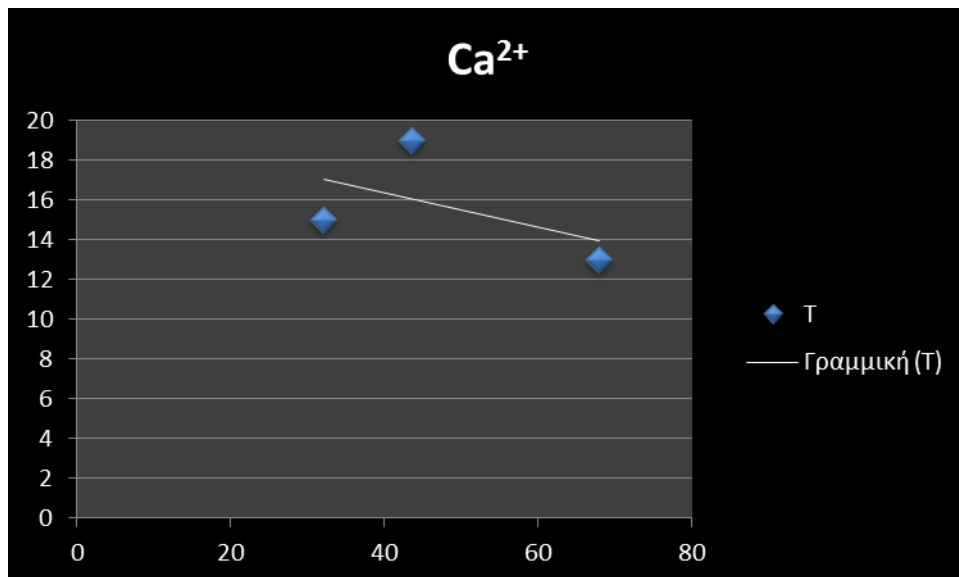
Σχ.25 Διάγραμμα συγκέντρωσης HCO_3^- (mg/l) – T ($^{\circ}\text{C}$)



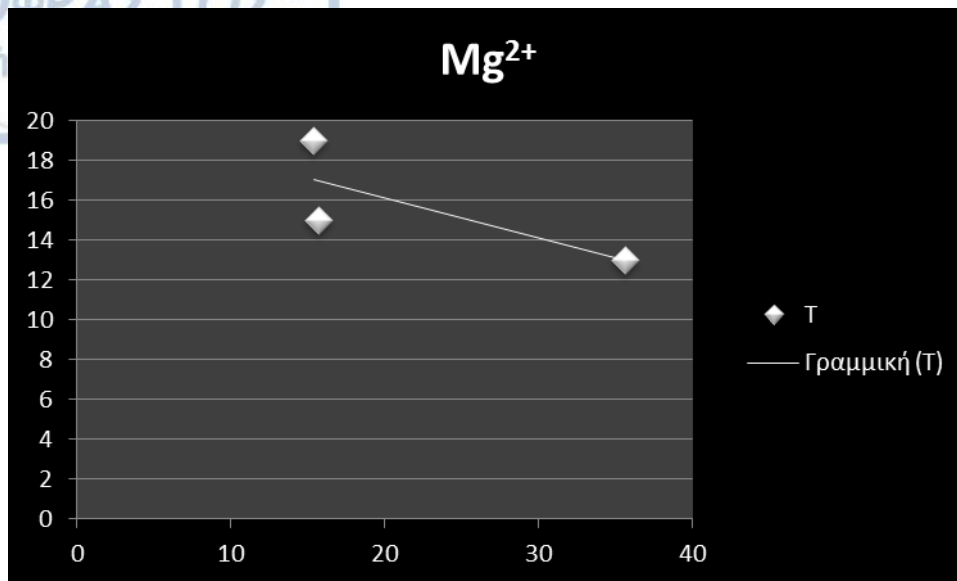
Σχ. 26 Διάγραμμα συγκέντρωσης Cl^- (mg/l) - T ($^{\circ}\text{C}$)



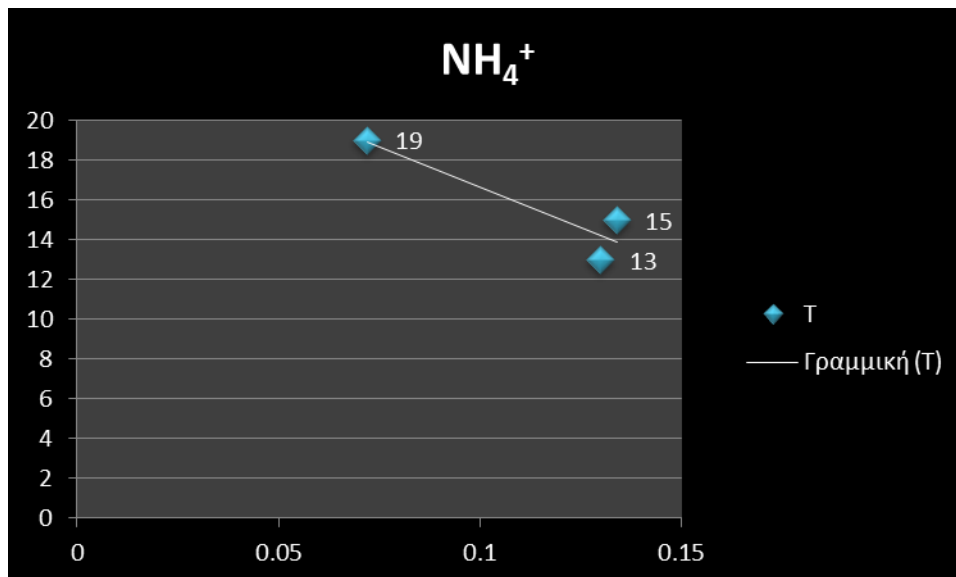
Σχ. 27 Διάγραμμα συγκέντρωσης SO₄²⁻ (mg/l) - T (°C)



Σχ. 28 Διάγραμμα συγκέντρωσης Ca²⁺ (mg/l) – T (°C)



Σχ. 29 Διάγραμμα συγκέντρωσης Mg^{2+} (mg/l) – T (°C)



Σχ. 30 Διάγραμμα συγκέντρωσης NH_4^+ (mg/l) - T (°C)

Όπως προκύπτει από τα διαγράμματα η διασπορά των προβαλλόμενων σημείων είναι σημαντική, συνεπώς αναμένεται ο συντελεστής συσχέτισης (r) να μην κυμαίνεται σε υψηλά επίπεδα. Οι συντελεστές συσχέτισης όλων των στοιχείων είναι αρνητικοί με εξαίρεση αυτόν του SO_4^{2-} . Συγκεκριμένα για τα Na^+ , Cl^- , HCO_3^- , και K^+ (συναρτήσει όλα με τη θερμοκρασία) είναι 20%, 61,8%, 45,8%, 75,6% αντίστοιχα. Οι πολύ χαμηλοί συντελεστές συσχέτισης με τη θερμοκρασία οι οποίοι αναφέρονται κυρίως στο Na^+ και το HCO_3^- , υποδηλώνουν ότι η χημική σύσταση των νερών της υπό έρευνας περιοχής εξαρτάται περισσότερο από την ορυκτολογική και λιθολογική σύσταση των γεωλογικών σχηματισμών από τους οποίους διέρχονται ή φιλοξενούνται, παρά από τη θερμοκρασία. Αντίθετα, οι συντελεστές συσχέτισης των Cl^- και K^+ κυμαίνονται σε υψηλότερα επίπεδα, γεγονός που ίσως υποδηλώνει την αντιστρόφως ανάλογη σχέση μεταξύ των συγκεντρώσεων τους και της θερμοκρασίας.

9. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η περιοχή μελέτης βρίσκεται Β και ΒΔ της λίμνης Κερκίνης και παρουσιάζει γεωθερμικό ενδιαφέρον κατά τόπους. Το γεωθερμικό ενδιαφέρον εντοπίζεται κυρίως στο ΒΔ της τμήμα και εξασθενεί στο βόρειο για να επανέλθει πολύ ανατολικότερα στην περιοχή του Σιδηροκάστρου.

Μετά από γεωφυσικές διασκοπήσεις διαπιστώθηκε βόρεια του χωριού Κερκίνη μεγάλο πάχος ιζημάτων, περί τα 500 μέτρα, και η ειδική αντίσταση παρουσιάζει πολύ χαμηλές τιμές. Πρόκειται για Νεογενή ιζήματα, κυρίως αργιλικά, με πιθανότητα αύξησης της γεωθερμικής βαθμίδας. Η περιοχή εμφανίζεται ιδιαίτερα τεκτονισμένη και ακολουθεί την τεκτονική δομή της ευρύτερης περιοχής όπως φαίνεται από την απότομη βύθιση του υποβάθρου από τα 150 στα 450 μέτρα.

Η έντονη παρουσία σε μεγάλα ποσοστά ιόντων Mg^{2+} και Ca^{2+} και HCO_3^- σε συνδυασμό με τις υψηλές θερμοκρασίες υποδηλώνει την ύπαρξη γεωθερμικών ρευστών όπως διαπιστώνεται και από την επεξεργασία των χημικών αναλύσεων.

Οι ισόθερμες καμπύλες ΒΔ δείχνουν σαφή προσανατολισμό ΒΔ – ΝΑ ακολουθώντας την κύρια ρηξιγενή ζώνη του κρασπεδικού ρήγματος. Προς τα βόρεια μεταβάλλουν τον προσανατολισμό του σε Δ – Α καθώς επηρεάζονται από τα ψυχρά ρεύματα των πηγών του Όρους Κερκίνη. Η διεύθυνση των ισόθερμων στα ΒΔ δείχνει τη συνέχεια της γεωθερμικής ανωμαλίας σε γειτονικές της μελετώμενης περιοχές, όπως η περιοχή του Λιθότοπου – Ηράκλειας όπου εντοπίζεται επίσης γεωθερμικό ενδιαφέρον.

Η γεωθερμική ανωμαλία ΒΔ επιβεβαιώνεται και από την υψηλή γεωθερμική βαθμίδα που μετρήθηκε σε κάποιες από τις γεωτρήσεις ($4,96^\circ C / 100 m$ και $3,07^\circ C / 100 m$), η οποία είναι μεγαλύτερη της μέσης ($3^\circ C / 100 m$). Η μέγιστη θερμοκρασία που μετρήθηκε είναι $22^\circ C$ στο χωριό Κερκίνη.

Είναι επομένως απαραίτητο να εξεταστούν εκτενέστερα οι γεωλογικές συνθήκες της περιοχής καθώς και της τεκτονικής, ώστε να διερευνηθεί σε βάθος η ύπαρξη γεωθερμικού πεδίου στην ευρύτερη περιοχή της λίμνης Κερκίνης.

10. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- ❖ Ανδρίτσος Ν., Καρυδάκης Γ, Φυτίκας Μ. (1999), «Εξελίξεις στην ανάπτυξη της γεωθερμικής ενέργεια στο Νομό Σερρών» , Ινστιτούτο Ηλιακής Τεχνικής
- ❖ Αν
δρίτσος Ν., Φυτίκας Μ., (2004), «Γεωθερμία», Εκδ. Τζιόλα, Θεσσαλονίκη
- ❖ Θεοδωρίδης, Νικολαΐδης, (1996), «Γεωηλεκτρική έρευνα νότια του Όρους Κερκίνη»
- ❖ ΙΓΜΕ, (2005), «Μελέτη καταγραφής, αποτίμησης, προσομοίωσης και αξιολόγησης των γεωθερμικών πεδίων της χώρας»
- ❖ Καβουρίδης Θ., Καρυδάκης Γ., Σαραντέας Α., (1994), «Έκθεση αποτελεσμάτων γεωθερμικής αναγνώρισης περιοχής Αγκίστρου Νομού Σερρών»
- ❖ Κουγκούλης Χ., Κουτσινός Σ., Αρβανίτης Α., Κολιός Ν. (2005), «Έρευνα και εντοπισμός γεωθερμικών πεδίων περιοχής Αξιού – Δοϊράνης»
- ❖ Μο
υντράκης Δ. (2010), «Γεωλογία και Γεωτεκτονική Εξέλιξη της Ελλάδας», University Studio Press, Θεσσαλονίκη
- ❖ Σούλιος Γ. Χ. (2006), «Γενική Υδρογεωλογία», Τόμος Τέταρτος, University Studio Press, Θεσσαλονίκη
- ❖ Davis and de Weist (1966), «Hydrogeology»
- ❖ Hem J.D. (1970), «Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water»
- ❖ Hem J.D, White D.E, and Waring G.A.(1963), «Chemical composition of subsurface water»
- ❖ Piper, A.M. (1953), «A Graphic Procedure in the Geochemical Interpretation of Water Analysis»
- ❖ Shiftan Z. L., Mandel S. (1981), «Groundwater Resources: Investigation and Development»
- ❖ www.geothermal-energy.org
- ❖ <http://imarinakiss.webs.com/geothermal.pdf>

