

Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
Σχολή Θετικών Επιστημών
Τμήμα Γεωλογίας
Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΒΟΡΕΙΑ ΤΩΝ ΦΑΡΣΑΛΩΝ



ΠΑΛΑΙΟΜΗΤΡΟΥ ΠΟΛΥΞΕΝΗ
ΠΕΤΡΩΤΟΥ ΑΛΕΞΑΝΔΡΑ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : ΚΩΣΤΑΣ ΒΟΥΔΟΥΡΗΣ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2006

A. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τον Απρίλιο του 2005 μας ανατέθηκε από το Λέκτορα κ. Κώστα Βουδούρη η παρακάτω διπλωματική εργασία με σκοπό τη μελέτη των υδρογεωλογικών συνθηκών της περιοχής Βόρεια των Φαρσάλων.

Για την παρούσα διπλωματική έγιναν οι παρακάτω εργασίες:

- Επιλέχθηκαν εννιά γεωτρήσεις, από τις οποίες έγινε δειγματοληψία νερού κατά τον Μαΐου του 2005.
- Επιλέχθηκαν έξι ακόμα γεωτρήσεις, στις οποίες μετρήθηκε η στάθμη του υπογείου νερού κατά την περίοδο του Σεπτεμβρίου 2005.
- Το διάστημα Μαΐου – Ιουνίου του 2005 πραγματοποιήθηκαν οι χημικές αναλύσεις των δειγμάτων.
- Τέλος μελετήθηκαν τα αποτελέσματα τους και δίνονται τα συμπεράσματα.

Στο σημείο αυτό θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε θερμά για τη βοήθεια στη συγγραφή της παρούσας διπλωματικής τους παρακάτω :

- Το Λέκτορα κ. Κώστα Βουδούρη που μας εμπιστεύθηκε αυτή τη διπλωματική εργασία και μας καθοδήγησε κατά τη διάρκεια συγγραφής της.
- Τον κ. Τριαντάφυλλο Κακλή και τον κ. Μιχάλη Σωτηριάδη, οι οποίοι μας βοήθησαν κατά την πραγματοποίηση των χημικών αναλύσεων.
- Τη Γεωερευνητική Ο.Ε. και συγκεκριμένα τους κ. Μενέλαο Νανά, Κώστα Σέγγη, Θεόδωρο Παππά, Βαγγέλη Μέρμηγκα και Πασχάλη Στάικο.

Β. ΘΕΣΗ - ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ

Η λεκάνη μελέτης, βόρεια των Φαρσάλων, είναι πεδινή περιοχή και έχει εμβαδόν περίπου 250 km². Αποστραγγίζεται από τον Ενιπέα ποταμό, ο οποίος έχει συνεχή ροή. Η περιοχή διοικητικά ανήκει στο δήμο Πολυδάμαντα με έδρα το διοικητικό διαμέρισμα Βαμβακού και συγκεκριμένα βρίσκεται μεταξύ της πόλης των Φαρσάλων και των οικισμών Ανωχώρι, Αύρα, Κρήνη, Ζωοδόχος Πηγή, Βαμβακού, Σιτοχώρι, Θετίδιο και Ερέτρια.

Ο δήμος Πολυδάμαντα αποτελείται από τα διοικητικά διαμερίσματα Αμπελείας, Βαμβακούς, Δασολόφου, Ερέτριας, Ζωοδόχου Πηγής, Κάτω Βασιλικών, Νεράιδας, Πολυδάμειου, Ρευματιάς, Σιτοχωρίου, Σκοτούσσας και Χαλκιάδων και έχει συνολικό πληθυσμό 6.412 κατοίκων. Λόγω της πεδινής μορφολογίας η περιοχή υφίσταται έντονη καλλιέργεια. Οι καλλιέργειες είναι κυρίως βαμβάκι, καθώς επίσης σιτηρά, τεύτλα και βιομηχανικές ντομάτες. Στο σχήμα 1 παρουσιάζεται τοπογραφικός χάρτης της περιοχής.



Τοπογραφικός Χάρτης στον οποίο περιέχονται οι εξεταζόμενες περιοχές του Δήμου Πολυδάμαντα

Γ. ΓΕΩΛΟΓΙΑ – ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ - ΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Η ευρύτερη περιοχή των Φαρσάλων ανήκει στην Υποπελαγονική ζώνη. Η ζώνη αυτή βρίσκεται δυτικά της Πελαγονικής και εκτείνεται με διεύθυνση ΒΔ – ΝΑ (γενική διεύθυνση των Ελληνίδων) από την Αλβανία, κατά μήκος του μέσου περίπου κορμού της Ελλάδας, προς τη Δυτική Θεσσαλία και Ανατολική Στερεά Ελλάδα, από εκεί στα νησιά Σαλαμίνα, Ύδρα και την Ανατολική Πελοπόννησο και συνεχίζεται πιθανόν στο νησί Κω και τη Μ. Ασία. Φαίνεται όμως ότι η Υποπελαγονική ζώνη καλύπτει και την κεντρική Εύβοια και από εκεί συνεχίζεται στο νησί της Χίου, έχοντας έτσι ένα σύνθετο σχήμα γύρω από την Αττικοκυκλαδική μάζα.

Τα βουνά Όθρυς, Καλλίδρομο, Ελικών, Κιθαιρών, Πάρνηθα, Χλωμό και Γεράνια ανήκουν στην Υποπελαγονική ζώνη. Ο όρος Υποπελαγονική δόθηκε από τον Aubouin (1959) για να υπογραμμίσει τη στενή σύνδεση αυτής με την Πελαγονική ζώνη. Καθόρισε δηλαδή την παλαιογεωγραφική θέση της Υποπελαγονικής ως τη δυτική κατωφέρεια του υβώματος της Πελαγονικής προς την αύλακα της ζώνης Πίνδου και της απέδωσε έτσι ενδιάμεσους χαρακτήρες ιζηματογένεσης μεταξύ νηριτικής και πελαγικής φάσης.

Κύριο χαρακτηριστικό της Υποπελαγονικής ζώνης είναι οι μεγάλες οφειολιθικές μάζες και η συνοδεύουσα σχιστοκερατολιθική διάπλαση, που έχει μεγάλη εξάπλωση. Σύμφωνα με τις σημερινές γεωτεκτονικές αντιλήψεις οι οφειόλιθοι της Υποπελαγονικής χαρακτηρίζονται σαν η εξωτερική (δυτική) οφειολιθική λωρίδα της Ελλάδας γνωστή με τον χαρακτηρισμό ERO. Θεωρείται έτσι ότι αντιπροσωπεύει την οφειολιθική συρραφή (suture) της παλιάς ωκεάνιας περιοχής που βρισκόταν Δυτικά του Πελαγονικού ηπειρωτικού τεμάχους. Με την έννοια αυτή η Υποπελαγονική μαζί με τη ζώνη Πίνδου αντιστοιχούν πιθανόν σε ένα ενιαίο παλαιο-ωκεάνιο χώρο.

Η περιοχή μελέτης συνίσταται από τους εξής σχηματισμούς από τους νεώτερους προς τους παλαιότερους (Μπορνόβας, Φιλιππάκης, 1964):

- Τεταρτογενείς σχηματισμοί καλύπτουν το μεγάλο τμήμα της εξεταζόμενης περιοχής. Συνίσταται κυρίως από πρόσφατα πλευρικά κορρήματα και κώνους κορρημάτων. Έχουν σημαντικό πάχος, ιδίως στην κεντρική περιοχή γύρω από τον Ενιππέα ποταμό, όπου αυτό είναι μεγαλύτερο από 200μ και παρουσιάζουν εναλλαγές μεταξύ υλικού περισσότερο αμμώδους και περισσότερο αργιλούχου.
- Νεογενείς σχηματισμοί του Α. Πλειόκαινου. Αυτοί καλύπτουν μικρή ζώνη στα βόρεια της εξεταζόμενης περιοχής. Συνίσταται από λιμναίες και τοπικά λιμνοποτάμιες αποθέσεις, οι οποίες στην λιθολογική τους σύσταση μετέχουν κυρίως μάργες, μαργαϊκοί ψαμμίτες και σε μικρότερο βαθμό ψηφιδοπαγή και μικρολατυποπαγή. Τα απολιθώματα σε γενικό βαθμό λείπουν. Βρέθηκαν μόνο οστρακώδη σε σχετική αφθονία. Το πάχος των Νεογενών αποθέσεων είναι 300 – 400 μ.
- Φλύσχη. Έχει ελάχιστη εμφάνιση στην περιοχή του χωριού Αύρα. Ο φλύσχη στην περιοχή των Φαρσάλων εμφανίζεται ελαφρά μεταμορφωμένος. Έτσι το σύστημα των αργιλικών σχιστόλιθων, ψαμμιτών και μαργαϊκών ενστρώσεων εμφανίζεται στο σύνολό του ως φυλλίτες. Αυτό διαπερνάται από λεπτές χαλαζιακές φλέβες. Στη βάση του φλύσχη κοντά στο χωριό Κυπάρισσος βρέθηκαν καλά διατηρημένα *Globotrucana stuarti* και *Globotrucana tricarinata*. Αποδεικνύεται έτσι η έναρξη αποθέσεως κατά το Μαιστρίχτιο.
- Σχηματισμοί Ανώτερου – Μέσου Κρητιδικού: Στην περιοχή του όρους Ναρθάκιο, η επίκλυση του Κρητιδικού αρχίζει κατά το Κενομάνιο με πολυγενή και συμπαγή κροκαλοπαγή μεταπίπτοντα προς τα πάνω σε παχυστρωματώδεις μικρολατυποπαγείς ασβεστόλιθους χρώματος τεφρού με ρουδιστές και θραύσματα ρουδιστών στο ανώτερο τμήμα τους. Το συνολικό τους πάχος είναι 300 – 400 μ. Μέσα στους σχηματισμούς αυτούς βρέθηκαν *Orbitolina* Sp. , *Hippurites*, *Orbitoides* Sp. Βόρεια του χωριού Αύρα η επίκλυση αρχίζει κατά το Σενόνιο με εναλλαγές ψαμμιτών και μαργών με ασβεστολιθικές ενστρώσεις. Το σύστημα αυτό μεταπίπτει προς τα πάνω σε φυλλώδεις ασβεστόλιθους ακολουθούμενους από μικρολατυποπαγείς

ασβεστόλιθους εναλλασσόμενους με υπολιθογραφικούς. Το πάχος αυτών των σχηματισμών είναι περίπου 100μ. Μέσα σ' αυτό το σύστημα βρέθηκαν Calaspheres και Globotrucana (bicarines) του Κατώτερου Σενωνίου καθώς και τρηματοφόρα του Μαιστριχτίου.

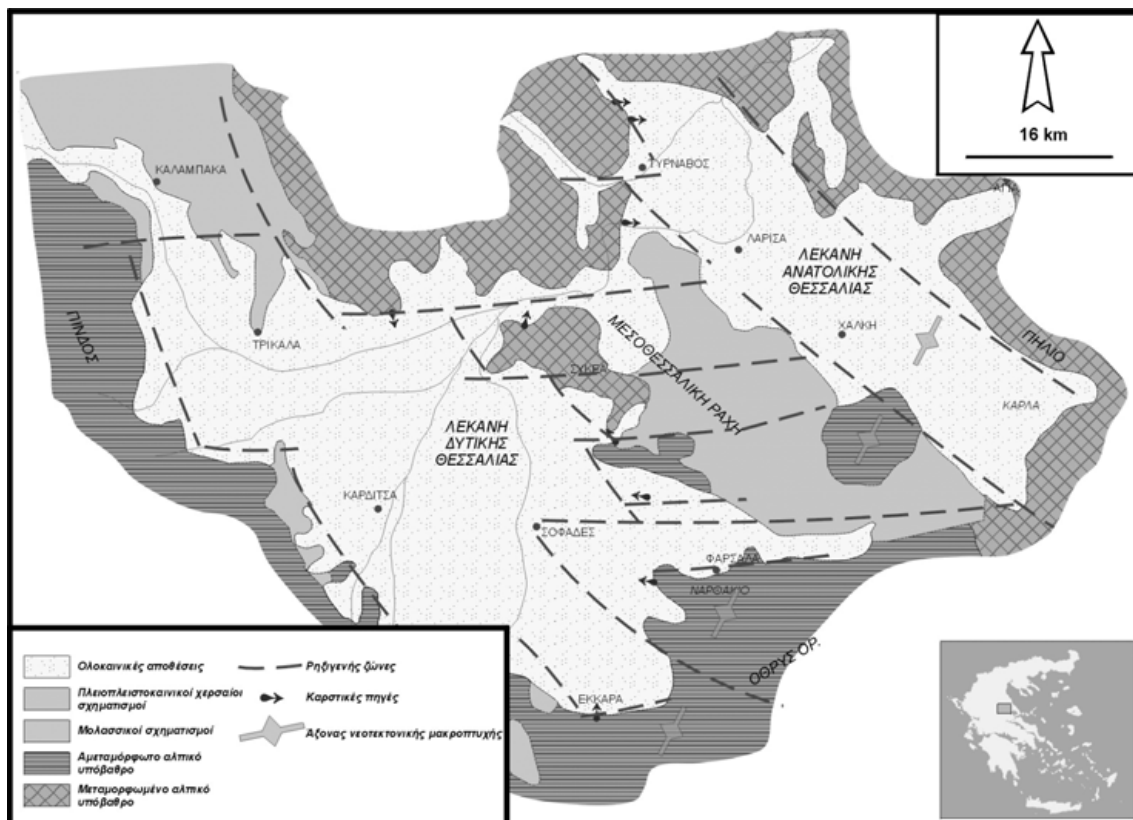
- Σχηματισμοί Ιουρασικού: Σχιστοκερατολιθική διάπλαση, η οποία είναι ένα σύστημα αποτελούμενο από κερατολίθους και αργίλικούς σχιστόλιθους με σπάνιες ενστρώσεις κροκαλοπαγών. Παρατηρούνται εμφανίσεις νότια και ανατολικά των Φαρσάλων. Στην περιοχή η σχιστοκερατολιθική διάπλαση βρίσκεται πάνω στους οφειολίθους. Η ηλικία της σχιστοκερατολιθικής διάπλασης είναι του Α. Ιουρασικού. Η διδόμενη ηλικία συμπεραίνεται από στρωματογραφικούς συσχετισμούς του φύλλου χάρτη 'Φάρσαλα' με τα γειτονικά φύλλα 'Δομοκός' και 'Ανάβρα'. Η σχιστοκερατολιθική διάπλαση στην περιοχή του χωριού Κρήνη εμφανίζεται μεταμορφωμένη σε φυλλίτες με χαλαζίτες και λεπτοπλακώδεις κρυσταλλικούς ασβεστόλιθους, οι οποίοι βρίσκονται παρενστρωμένοι εντός του συστήματος. Η οφειολιθική σειρά, η οποία αποτελείται από περιδοτίτες, δολερίτες και σερπεντινίτες εμφανίζεται νότια και ΒΑ της πόλης των Φαρσάλων.

Από τεκτονικής άποψης (Caputo,1990), γενικά η λεκάνη καθορίζεται από ένα σύστημα κανονικών ρηγμάτων, διεύθυνσης ANA – ΔΒΔ, όπου τα περισσότερα ρήγματα βυθίζονται προς το Νότο. Αναμφισβήτητα, το σημαντικότερο από αυτά είναι το ρήγμα του Ρηγαίου, που βρίσκεται ανατολικά της λεκάνης και εκτείνεται μέχρι και 20 km νότια. Το ρήγμα αυτό θεωρείται ιδιαίτερα πρόσφατο, γιατί διαπερνά όλα τα Πλειοκαινικά και Πλειστοκαινικά ιζήματα και είναι πιθανό να επαναενεργοποιήθηκε κατά τον σεισμό του Βελεστίου το 1957. Έρευνες στην περιοχή έδειξαν μια ΒΒΑ – ΝΝΔ επέκταση του ρήγματος. Αυτή η διεύθυνση επέκτασης σχετίζεται με μια από τις τρεις πρωταρχικές νεοτεκτονικές φάσεις που καθορίζουν την Θεσσαλία.

Στα ΝΑ της λεκάνης όλες οι κύριες τεκτονικές δομές έχουν διεύθυνση Α – Δ και διαπερνούν όλα τα ιζήματα από τα κατώτερα στρώματα μέχρι τα πιο πρόσφατα υλικά. Σε μια περίπτωση βρέθηκαν αποδείξεις ΒΑ – ΝΔ επέκτασης, κάτι που είναι

πολύ σημαντικό γιατί αποδεικνύει την ύπαρξη της Πλειοκαινικής τεκτονικής φάσης που αναφέραμε παραπάνω.

Παρακάτω στο σχήμα 2 παρουσιάζεται ο γεωλογικός χάρτης της περιοχής, στον οποίο απεικονίζονται οι παραπάνω σχηματισμοί. Επίσης παραθέτεται και το υπόμνημα του χάρτη. Στο σχήμα 3 παραθέτεται τεκτονικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής της Θεσσαλίας (Μαριόλακος et al.).



Σχήμα 3. Νεοτεκτονικές μακροδομές στον ευρύτερο χώρο της περιοχής μελέτης.

ΥΠΟΜΝΗΜΑ

ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΣ

Ολόκαινο

al

Αλλουβιακές προσχώσεις, πλευρικά κορήματα και κώνοι κορημάτων, πάχους 60m.

Pi-Pt

Lols M

Ποταμοχερσαίοι σχηματισμοί, λιμναίες- λιμνοποτάμιες έως υφάλμυρες αποθέσεις κατά θέσεις. Σε διάφορα σημεία εμφανίζονται σκληρές μάργες και μαργαϊκοί τραβερτινοειδείς ασβεστόλιθοι με φυτικά λείψανα. Η σειρά έχει πάχος 350m.

M. Σενώνιο- Μαιστρίχτιο- Παλαιόκαινο

fg

fs

Φλύσχη. Στα κατώτερα μέλη εμφανίζονται ολισθόλιθοι και ολισθοστρώματα ποικίλης λιθολογικής σύστασης.

Απολιθώματα: Φύκη, Οστρακώδη, θραύσματα Ρουδιστών, Βρυόζων, Ελασματοβράγχιων, Εχινόδερμων.

Ο φλύσχης έχει πάχος 500m περίπου.

A. Κενομάνιο- M.Σενώνιο (Α.Κρητιδικό)

K₆ Ks

K₆₋₈K

Ασβεστιτικοί ψαμμίτες και πηλίτες. Παρεμβάλλονται ασβεστόλιθοι που διαφέρουν στις διάφορες περιοχές του φύλλου.

Απολιθώματα: Μικροπανίδα του Α.Κρητιδικού με Οστρακώδη, Ρουδιστες, βελόνες σπόγγων. Βρέθηκε επίσης μικροπανίδα Κενομανίου- Τουρωνίου από θραύσματα Εχινόδερμων και Ελασματοβράγχιων.

Η σειρά έχει πάχος 550m.

A.Άλβιο- Κενομάνιο (Ιουρασικό)

T-j

K₅₋₆

Σχιστοκερατολιθική διάπλαση μεταμορφωμένη σε φυλλίτες με χαλαζίτες και λεπτοπλακώδεις κρυσταλλικούς ασβεστόλιθους πανστρωμένους εντός του συστήματος.

Απολιθώματα: Γαστερόποδα

Η σειρά έχει πάχος 200m.

σπ

π.σ.δ.

Οφειολιθική σειρά πάχους 300m. Υπερβασικά πετρώματα: σερπεντινίτες, περιδοτίτες και δουνίτες.

J^Lsch

Σχιστόλιθοι: χλωριτικοί, σερικιτικοί, μοσχοβιτικοί και επιδοτιτικοί, έντονα πτυχωμένοι με ενστρώσεις ασβεστόλιθων και σιπολινομαρμάρων.

Δ. ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ

Δ1. Υδρογεωλογικοί χαρακτήρες των πετρωμάτων

Οι πετρολογικοί χαρακτήρες που συμμετέχουν στη γεωλογική δομή της περιοχής, όπως περιγράφηκαν παραπάνω, από την άποψη της υδρογεωλογικής τους συμπεριφοράς διακρίνονται σε υδατοστεγανούς (αδιαπέρατους), ημιπερατούς και υδατοπερατούς. Στους τελευταίους η υδατοπερατότητα οφείλεται είτε στην καρστική διεργασία, είτε στο πορώδες.

Γενικά η υδρολογική συμπεριφορά των διαφόρων γεωλογικών σχηματισμών είναι συνάρτηση της λιθολογικής σύστασής τους, της κοκκομετρίας (όταν πρόκειται για κοκκώδεις σχηματισμούς), του βαθμού διαγένεσής τους και του τεκτονισμού που έχουν υποστεί (όταν πρόκειται για συμπαγή πετρώματα).

- **Υδατοπερατοί σχηματισμοί**

Στους σχηματισμούς αυτούς περιλαμβάνονται γενικά οι σχηματισμοί που έχουν υψηλό πορώδες και η κίνηση του νερού γίνεται με ευκολία και σχετικά μεγάλη ταχύτητα, καθώς επίσης και οι σχηματισμοί που είναι τεκτονισμένοι, με αποτέλεσμα να διευκολύνεται η κίνηση του νερού. Πρόκειται για τις Τεταρτογενείς ιζηματογενείς αποθέσεις της λεκάνης, των οποίων η υδατοπερατότητα αλλάζει από θέση σε θέση ανάλογα με την περιεκτικότητα σε άργιλο. Στις θέσεις όπου έχουμε υψηλή περιεκτικότητα σε άργιλο η υδατοπερατότητα είναι περιορισμένη ενώ σε θέσεις με χαμηλή περιεκτικότητα αργίλου και αποτελούνται κυρίως από άμμο και κορρήματα έχουμε μεγαλύτερη υδατοπερατότητα. Σε αυτήν την κατηγορία επίσης ανήκουν και οι σχηματισμοί του Νεογενούς με μικρή συμμετοχή αργίλου. Υδατοπερατοί επίσης είναι οι ασβεστόλιθοι Κρητιδικού και Ιουρασικού επειδή είναι καρστικοποιημένοι.

- **Ημιπερατοί σχηματισμοί**

Στην κατηγορία αυτή ανήκουν οι σχηματισμοί του Νεογενούς με αυξημένη περιεκτικότητα σε άργιλο, καθώς και οι αποσαθρωμένοι μανδύες του φλύσχη.

- **Υδατοστεγείς σχηματισμοί**

Υδατοστεγή πρακτικά θεωρούνται τα πετρώματα εκείνα των οποίων η περατότητα είναι μικρότερη από 10^{-9} m/sec. Σε αυτούς εντάσσονται οι αργιλικοί

σχηματισμοί, οι μάργες, ο φλύσχος, οι οφειόλιθοι και οι Τεταρτογενείς και Νεογενείς αποθέσεις που έχουν υποστεί σε σημαντικό βαθμό διαγένεση.

Δ2. Μετρήσεις στάθμης υπογείου νερού

Στην περιοχή μελέτης πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις στάθμης κατά την περίοδο Σεπτεμβρίου σε 6 γεωτρήσεις με την βοήθεια σταθμήμετρου και τα αποτελέσματα παραθέτονται στον πίνακα 1. Συγκεκριμένα στη γεώτρηση Γ1 στην περιοχή Σιτοχωρίου μετρήθηκε στάθμη ίση με 12,1 m, στη γεώτρηση Γ5, που βρίσκεται στη θέση Ρηγαίου η στάθμη ισούται με 67 m, η Γ7 τοποθετείται στην περιοχή Μαντρί και έχει στάθμη 32,1 m, ενώ η Γ8 στην περιοχή Ξυλάδες παρουσιάζει στάθμη ίση με 32 m, η Γ9 βρίσκεται στην περιοχή της Ζωοδόχου πηγής και έχει στάθμη πάνω από 100 m και τέλος η Γ10, η οποία είναι στη θέση Σαραντάρια έχει στάθμη 26,6 m. Δηλαδή η στάθμη του υδροφόρου κυμαίνεται για την περιοχή από 12,1 m μέχρι και πάνω από 100 m. Επίσης στον πίνακα 1 παρουσιάζονται και οι στάθμες ανηγμένες ως προς το υψόμετρο.

Γενικά οι γεωτρήσεις της περιοχής αντλούνται με μια μέση παροχή ίση με 50 – 60 m³/h.

Ε. ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ

Ε1. Μεθοδολογία χημικών αναλύσεων

Για τον προσδιορισμό της ποιότητας των υπογείων νερών πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία υπογείων νερών από 9 γεωτρήσεις της περιοχής. Οι χημικές αναλύσεις έγιναν στο εργαστήριο Υδρογεωλογίας του Α.Π.Θ. και συγκεκριμένα προσδιορίστηκαν τα κάτωθι αποτελέσματα (πίνακας 2.) για τα ανιόντα και τα κατιόντα :

1. Ανιόντα

- I. Χλώριο (Cl^-) : Για την πραγματοποίηση των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκε το φασμαφωτόμετρο της HACH DR/2000 με μήκος κύματος 480nm. Η ακρίβεια αυτής της μεθόδου είναι σε δείγμα που περιέχει 10 mg/l Cl^- , $\pm 0,3$ mg/l. Η ακτίνα μέτρησης του οργάνου είναι από 0 – 20 mg/l Cl^- και σε περίπτωση που η περιεκτικότητα του δείγματος υπερέβαινε αυτό το όριο προχωρήσαμε σε αραιώσεις 1:2 ή 1:4.
- II. Θειικά (SO_4^{2-}) : Με το ίδιο όργανο μετρήθηκε και η περιεκτικότητα σε θειικά. Η ακτίνα μέτρησης του οργάνου εδώ είναι από 0 – 65 mg/l SO_4 . Το μήκος κύματος σε αυτές τις μετρήσεις είναι 420nm. Σε περίπτωση που έχουμε μεγαλύτερη περιεκτικότητα κάνουμε αραιώσεις 1:2 ή 1:4. Το ποσό της σχηματιζόμενης θολερότητας αντιστοιχεί στην συγκέντρωση θεικών.
- 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^{2-}) : Η ακτίνα μέτρησης της περιεκτικότητας σε φωσφορικά είναι από 0 – 2,5 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 $\pm 0,01$ 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 220nm. 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 1:4.

2. 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 μπλε. Στη συνέχεια πολλαπλασιάζουμε τον αριθμό που μας δίνει ο τιτλοδότης με ένα ψηφίο (στην περίπτωση μας 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 25ml δείγματος. Τοποθετούμε στο δείγμα μας 1ml Hardness1Buffer και έναν δείκτη Manver2 και παρατηρούμε πως χρωματίζεται κόκκινο. Πάλι με τον τιτλοδότη κάνουμε την ίδια διαδικασία όπως στο ασβέστιο μέχρι να γίνει μπλε. Πολλαπλασιάζοντας 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 Mg.
- III. Κάλιο – Νάτριο ($\text{K}^+ - \text{Na}^+$) : 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. Γι' αυτό το λόγο κάναμε αραιώσεις σε όλα τα δείγματα 1:50 ούτως ώστε να πετύχουμε ακριβέστερες μετρήσεις.

3. Το pH και η αγωγιμότητα μετρήθηκαν απευθείας.

E2. Αποτέλεσμα χημικών αναλύσεων

Παρακάτω στον πίνακα 2 παραθέτονται τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων .

Στα σχήματα 4 έως 12 παρουσιάζονται γραφήματα κατανομής των στοιχείων στις γεωτρήσεις ανάλογα με την περιεκτικότητά τους σε αυτές.

- Το **ασβέστιο** παρουσιάζει διάφορες τιμές με αρκετά μεγάλες αποκλίσεις. Οι τιμές κυμαίνονται από 32 έως 110,8 mg/l με μέσο όρο 60 mg/l. Οι μεγαλύτερες περιεκτικότητες παρουσιάζονται στις γεωτρήσεις Γ3 (Ζωοδόχος πηγή) και Γ4 (Βαμβακού), ενώ οι χαμηλότερες στις γεωτρήσεις Γ11 (Σαραντάρια), Γ31 (Μαντρί) και Γ12 (Μαυρότοπος). Στις υπόλοιπες γεωτρήσεις οι τιμές είναι μέτριες.
- Το **μαγνήσιο** παρουσιάζει συνήθεις τιμές με μέσο όρο 30,4 mg/l, τιμή, η οποία είναι κάτω από το όριο που χαρακτηρίζει το νερό ως πόσιμο (50 mg/l), (Βουδούρης, 2004). Η μεγαλύτερη περιεκτικότητα παρατηρείται στην περιοχή Σαραντάρια (Γ11), με τιμή 58,11 mg/l.
- Το **νάτριο** παρουσιάζει υψηλές τιμές με μέσο όρο 26,8 mg/l, ενώ το ενδεικτικό επίπεδο συγκέντρωσης νατρίου στα υπόγεια νερά είναι τα 20 mg/l. Η υψηλότερη περιεκτικότητα (53 mg/l) παρατηρείται στην περιοχή Ζωοδόχου πηγής.
- Το **κάλιο** παρατηρείται σε πολύ χαμηλές περιεκτικότητες, με μέσο όρο 0,8 mg/l, πολύ πιο κάτω από το όριο της Ε.Ε. που καθορίζει το νερό ως πόσιμο (10 – 12 mg/l), αλλά και πιο κάτω από το συνηθισμένο (Βουδούρης, 2004). Σε καμιά θέση δεν παρατηρούνται υψηλές τιμές.
- Η περιεκτικότητα των **όξινων ανθρακικών** παρουσιάζει υψηλές τιμές με μέσο όρο 258,2 mg/l. Δεν παρουσιάζει όμως σημαντικές αποκλίσεις. Οι μεγαλύτερες περιεκτικότητες παρατηρούνται στις περιοχές Ζωοδόχου πηγής (Γ3), Βαμβακούς (Γ4) και Νεράιδας (Γ6). Η ρίζα HCO_3 είναι η κυρίαρχη ρίζα, η οποία χαρακτηρίζει τα νερά ως ανθρακικά.
- Το **χλώριο** στην περιοχή μελέτης παρουσιάζει γενικά χαμηλές τιμές με μέσο όρο 16,1 mg/l. Οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις παρατηρούνται στις γεωτρήσεις Γ3 (30,4 mg/l) και Γ5 (31 mg/l), που βρίσκονται στην περιοχή του

σταθμού Ρηγαίου αντίστοιχα. Σημειώνεται ότι το ενδεικτικό όριο της Ε.Ε. για το χαρακτηρισμό του νερού ως πόσιμο είναι 25 mg/l.

- Η **θειική** ρίζα παρουσιάζει μέτριες τιμές με μέσο όρο 46,3 mg/l, αλλά και κάποιες αποκλίσεις. Η υψηλότερη περιεκτικότητα εντοπίζεται στη γεώτρηση Γ11, που βρίσκεται στην περιοχή Σαραντάρια με περιεκτικότητα 138 mg/l. Ενώ η χαμηλότερη τιμή παρατηρείται στην περιοχή Νεράιδα (Γ6) ίση με 18 mg/l.
- Τα νερά της λεκάνης παρουσιάζουν πολύ υψηλές περιεκτικότητες σε **νιτρικά**. Ο μέσος όρος είναι 54,2 mg/l, τιμή πολύ μεγάλη αν λάβουμε υπόψη πως το ανώτατο όριο συγκέντρωσης νιτρικών στο πόσιμο νερό έχει καθοριστεί σε 50 mg/l και το επιθυμητό όριο είναι 25 mg/l. Οι τιμές των νιτρικών είναι ιδιαίτερα υψηλές στις περιοχές Ζωοδόχου πηγής (Γ2, Γ3) και Βαμβακούς (Γ4), με περιεκτικότητες έως και 155,8 mg/l. Γενικά, τα νερά της λεκάνης Φαρσάλων έχουν πολύ υψηλές τιμές σε νιτρικά, γεγονός που τα καθιστά ακατάλληλα για πόση.
- Η **ηλεκτρική αγωγιμότητα** παρουσιάζει μέτριες προς υψηλές τιμές, με μέσο όρο 578,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Η τιμή αυτή δεν υπερβαίνει το όριο που επιτρέπει η Ε.Ο.Κ. (400 $\mu\text{S}/\text{cm}$), ώστε το νερό να χαρακτηρίζεται πόσιμο. Οι χαμηλότερες τιμές παρατηρούνται ΒΔ και ΒΑ της λεκάνης (Γ31, Γ11, Γ12), όπου τα υπόγεια νερά είναι πιο «ελαφρά». Οι γεωτρήσεις, που βρίσκονται κοντά στον Ενιπέα ποταμό (Γ1, Γ4, Γ6), παρουσιάζουν υψηλές τιμές, πράγμα που δείχνει ότι ο ποταμός ίσως διαχέει φορτία ρύπων.
- Το **pH** δείχνει νερά με αλκαλικό χαρακτήρα, με μέσο όρο 7,71. Οι μεγαλύτερες τιμές pH παρουσιάζονται στα ΒΔ της λεκάνης και συγκεκριμένα στις περιοχές Σαραντάρια (Γ11) και Μαντρί (Γ31).
- Ο κυρίαρχος **υδροχημικός τύπος του νερού** είναι ασβεστούχος ή μαγνησιούχος οξυ-ανθρακικός, Ca (Mg) - HCO_3 .

Στο **τριγωνικό διάγραμμα κατά Piper, A. (1944)**, (σχ. 13.) απεικονίζονται σε τρίγωνα οι περιεκτικότητες στα κατιόντα και στα ανιόντα σαν σημεία εκφρασμένες επί τοις % των αντίστοιχων συνολικών ποσοτήτων. Τα δύο σημεία, όπου συγκεντρώνονται οι περισσότερες τιμές στα δύο τρίγωνα, προβάλλονται στο ρόμβο παράλληλα προς τις πλευρές τους. Το σημείο που προκύπτει αντιστοιχεί σε ένα τύπο νερού.

Τα διαγράμματα αυτά παρουσιάζουν το πλεονέκτημα της άμεσης αναγνώρισεως των ομοιοτήτων και διαφορών που παρουσιάζουν τα διάφορα δείγματα νερού. Έχουν όμως το μειονέκτημα, όπως εξάλλου και τα άλλα διαγράμματα στα οποία η περιεκτικότητα των στοιχείων εκφράζεται επί τοις %, να μην απεικονίζουν πολύ μικρές συγκεντρώσεις ιόντων όταν υπάρχουν.

Σύμφωνα με το διάγραμμα, όλα τα δείγματα ανήκουν στα ανθρακικά ως προς τα ανιόντα. Ως προς τα κατιόντα τα περισσότερα δείγματα ανήκουν στα ασβεστιτικά, ορισμένα στα «μεικτά» και λίγα στα μαγνησιακά. Ενώ με βάση τα ανιόντα και τα κατιόντα (ρόμβος) τα δείγματα ανήκουν στα **ασβεστομαγνησιακά – ανθρακικά**.

Με παρόμοιο τρόπο προσδιορίζεται ο τύπος των δειγμάτων και στο διάγραμμα Durov (1948), (σχ. 14.), με τη διαφορά ότι οι κύριες τιμές εδώ προβάλλονται σε τετράγωνο. Από το σημείο που προκύπτει παίρνουμε τον τύπο του νερού, ασβεστομαγνησιακός οξύ-ανθρακικός.

Στο σχήμα 15 απεικονίζεται το **διάγραμμα κατάταξης αρδευτικού νερού κατά U.S.D.A.** (Wilcox, L.V. 1955, Richards, I. A. 1954). Κατά τον Wilcox (1955) το νερό ταξινομείται με βάση το συντελεστή S.A.R. και την ειδική αγωγιμότητα σε $\mu\text{S}/\text{cm}$. Ο συντελεστής S.A.R. υπολογίζεται από την σχέση : $\text{S.A.R.} = \text{Na} / \sqrt{(\text{Ca} + \text{Mg})/2}$. Το διάγραμμα αυτό χρησιμοποιείται για την ταξινόμηση των νερών άρδευσης και σύμφωνα με αυτό χωρίζονται σε διάφορες κλάσεις, οι οποίες είναι :

- I. C1-S1: Ποιότητα καλή.
- II. C1-C2, C2-S1: Ποιότητα μέτρια μέχρι καλή. Το νερό μπορεί να χρησιμοποιείται αλλά με προφύλαξη στα βαριά εδάφη που δεν αποστραγγίζονται καλά και για ευαίσθητα φυτά.
- III. C1-S3, C2-S2, C3-S1: Ποιότητα μέτρια μέχρι πολύ μέτρια. Μπορεί να χρησιμοποιείται με προφύλαξη. Το έδαφος πρέπει να αποστραγγίζεται ή να προστίθεται γύψος.
- IV. C1-S4, C2-S3, C3-S2, C4-S1: Ποιότητα πολύ μέτρια μέχρι κακή. Δεν πρέπει να χρησιμοποιείται για ευαίσθητα φυτά ή βαριά εδάφη. Μπορεί να χρησιμοποιείται με πολύ μεγάλη επιφύλαξη σε ελαφριά εδάφη που αποστραγγίζονται καλά και εκπλένονται ή προστίθεται γύψος.
- V. C2-S4, C4-S2, C3-S3: Ποιότητα κακή. Δεν πρέπει να χρησιμοποιείται παρά μόνο με πολύ μεγάλη προφύλαξη σε ελαφριά εδάφη καλά αποστραγγισμένα και για φυτά ανθεκτικά.

Σύμφωνα με το διάγραμμα κατάταξης αρδευτικού νερού κατά U.S.D.A. τα περισσότερα δείγματα ανήκουν στην κατηγορία II (C2-S1), δηλαδή το νερό μπορεί να χρησιμοποιείται για άρδευση αλλά με κάποια προφύλαξη στα βαριά εδάφη που δεν αποστραγγίζονται καλά, κάτι που δεν υπάρχει στην περιοχή που εξετάζουμε. Επίσης ορισμένα δείγματα ανήκουν στην κατηγορία C3-S1 που θεωρείται ποιότητα μέτρια μέχρι πολύ μέτρια για άρδευση. Μπορεί να χρησιμοποιείται με προφύλαξη σε μη αποστραγγιζόμενα εδάφη.

Στο σχήμα 16 παρουσιάζεται ένα **διάγραμμα καταλληλότητας του νερού**. Παρατηρούμε ότι με βάση την ηλεκτρική αγωγιμότητα και την εκατοστιαία περιεκτικότητα Na, το νερό ταξινομείται κυρίως ως εξαιρετικό μέχρι καλό. Ενώ κάποια δείγματα παρουσιάζονται καλά μέχρι αποδεκτά.

Στο διάγραμμα Schoeller (σχ. 17) απεικονίζεται η περιεκτικότητα των ανιόντων και των κατιόντων σε meq/l. Παρατηρείται η μεταβολή κάθε ιόντος σε σχέση με τα υπόλοιπα ιόντα σε κάθε γεώτρηση.

Τα συνολικά διαλυμένα στερεά (T.D.S.) σύμφωνα με τον Ν.Ι.Λαμπράκη, «Εισαγωγή Στην Υδροχημεία», Πάτρα 1994 είναι ένας καλός δείκτης αλατότητας των νερών. Ο όρος αναφέρεται στη συνολική ποσότητα διαλυμένων αλάτων στο νερό που κυμαίνεται μεταξύ 100 και 100.000 mg/l. Στο T.D.S. δεν περιλαμβάνονται τα αιωρούμενα στερεά σωματίδια, τα κολλοειδή και τα διαλυμένα αέρια. Με τη μέτρηση του T.D.S. μπορεί να γίνει έλεγχος της ακρίβειας των χημικών αναλύσεων, αφού η συγκέντρωση του θα πρέπει να είναι περίπου ίση με το άθροισμα των διαφόρων διαλυμένων αλάτων.

Σύμφωνα με την κατάταξη που γίνεται με τη βοήθεια της συνολικής συγκέντρωσης διαλυμένων αλάτων (T.D.S.) στο νερό, τα νερά διακρίνονται στις εξής κατηγορίες:

ΤΥΠΟΣ ΝΕΡΟΥ	T.D.S.
Γλυκά νερά	0 – 1.000
Υφάλμυρα νερά	1.000 – 10.000
Αλμυρά νερά	10.000 – 100.000
Σαλαμούρες	>100.000

Η συνολική συγκέντρωση διαλυμένων αλάτων χρησιμοποιείται σαν κριτήριο για την επίδραση της ποιότητας του αρδευτικού νερού στη γεωργική απόδοση. Έτσι σύμφωνα με τον Agers, 1975 (από Καλλέργη, 1986) γίνεται η παρακάτω διάκριση:

Προβλήματα και ποιοτικές παράμετροι. Επίδραση αλατότητας στην καρποφορία.	Κανένα πρόβλημα	Αυξανόμενα προβλήματα	Σοβαρά προβλήματα
T.D.S. (mg/l)	<480	480 - 1920	>1920

Στη λεκάνη μελέτης μας η συνολική συγκέντρωση σε διαλυμένα άλατα στο νερό κυμαίνεται από 169,2 έως 371,1 mg/l. Έτσι όπως συμπεραίνεται από τις προηγούμενες κατατάξεις το νερό της περιοχής ανήκει στην κατηγορία των γλυκών νερών και δεν παρουσιάζει κανένα πρόβλημα στην γεωργική απόδοση.

E3. Ιοντικοί λόγοι

Οι κατηγορίες στις οποίες χωρίζεται το νερό με βάση τις διάφορες τιμές που παίρνει ο λόγος **Mg/Ca** είναι οι παρακάτω (Ν.Ι.Λαμπράκης «Εισαγωγή στην Υδροχημεία», Πάτρα 1994):

- I. $Mg/Ca = 0,5 - 0,7$ τότε υπάρχουν ασβεστολιθικοί υδροφόροι
- II. $Mg/Ca = 0,7 - 0,9$ τότε υπάρχουν δολομιτικοί υδροφόροι
- III. $Mg/Ca > 0,9$ τότε υπάρχουν υδροφόροι σε πυριτικοί πετρώματα

Ο λόγος αυτός μεταβάλλεται πολύ έντονα στη λεκάνη μελέτης μας. Ο λόγος παίρνει τιμές $0,21 - 0,69$ στις περισσότερες γεωτρήσεις, πράγμα που δείχνει προέλευση από ασβεστολιθικό υδροφορέα, ενώ στα ΒΔ και στις γεωτρήσεις Γ11 και Γ31 παίρνει τιμές 1,77 και 1,16 αντίστοιχα, γεγονός που μας δείχνει ότι προέρχεται από πυριτικούς σχηματισμούς.

Μελετώντας το νερό με βάση τις τιμές του λόγου **Ca+ Mg/ K+ Na** διακρίνουμε τις παρακάτω κατηγορίες:

- I. $Ca+ Mg/ K+ Na > 1$, τότε έχουμε υδροφόρο με συνεχή τροφοδοσία
- II. $Ca+ Mg/ K+ Na < 1$, τότε έχουμε παλαιό νερό και συναντάται στις κατάντη περιοχές.

Στη λεκάνη μελέτης μας ο λόγος αυτός παίρνει τιμές από 1,92 μέχρι 8,03, γεγονός που σημαίνει ότι έχουμε συνεχή τροφοδοσία. Μάλιστα κοντά σε καρστικές περιοχές αναμένεται μεγαλύτερη τροφοδοσία.

Οι τιμές του λόγου **Na/ K** διαχωρίζουν το νερό στις παρακάτω ενότητες:

- 1. $Na/ K < 10$, τότε το νερό χαρακτηρίζεται βρόχινο.
- 2. $Na/ K = 15 - 25$, τότε έχουμε υδροφόρο με συνεχή τροφοδοσία.
- 3. $Na/ K = 47$, τότε το νερό είναι θαλασσίνο.
- 4. $Na/ K = 50 - 70$, τότε έχουμε παλαιό νερό (προσρόφηση Na).

Ο λόγος αυτός στην περιοχή μας δείχνει κυρίως υδροφόρο με συνεχή τροφοδοσία. Σε μερικά σημεία παίρνει μεγάλες τιμές που σημαίνει ότι εκεί αντλεί και

παλαιό νερό. Ενώ σε πολύ λίγα σημεία παίρνει τιμές κοντά στο 10 που σημαίνει ότι πρόκειται για νερό μετεωρικής προέλευσης, είναι δηλαδή βρόχινο νερό.

Το νερό με βάση τις τιμές του λόγου **Na/ Cl** χωρίζεται στις παρακάτω κατηγορίες:

1. $\text{Na/ Cl} > 1$, το νερό προέρχεται από υδροφόρους ορίζοντες με αλκαλικά, μαγματικά ή μεταμορφωμένα πετρώματα.
2. $\text{Na/ Cl} =$ πολύ μικρό, τότε έχουμε ρύπανση του υδροφόρου από τη διείσδυση της θάλασσας.

Στην περιοχή μελέτης ο λόγος αυτός κυμαίνεται από 1,13 μέχρι 3,41 με μια εξαίρεση τη γεώτρηση Γ12 όπου ο λόγος έχει τιμή 0,92, η οποία όμως πλησιάζει πολύ το 1. Άρα στη λεκάνη δεν συναντάμε ρύπανση από θαλασσινό νερό.

ΣΤ. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συνοψίζοντας μπορούμε να καταλήξουμε στα παρακάτω συμπεράσματα με βάση τη γεωλογία και ποιότητα του νερού που εξετάσαμε :

1. Η περιοχή μελέτης περιλαμβάνει τη λεκάνη βόρεια των Φαρσάλων και καλύπτεται από αλλουβιακές αποθέσεις, όπου αναπτύσσεται σημαντική υδροφορία.
2. Τα υπόγεια νερά της λεκάνης βόρεια των Φαρσάλων χαρακτηρίζονται από μεγάλη περιεκτικότητα σε νάτριο (μ. ο. 26,8 mg/l), σε ανθρακικά (μ. ο. 258,2 mg/l) και σε νιτρικά (μ. ο. 54,2 mg/l). Ενώ έχουμε πολύ χαμηλές περιεκτικότητες σε κάλιο (μ. ο. 0,8 mg/l).
3. Η αυξημένη συγκέντρωση νιτρικών ιόντων κατά τόπους αποδίδεται σε νιτρορύπανση γεωργικής προέλευσης. Η περιοχή είναι πεδινή και εφαρμόζεται εντατική γεωργία με χρήση λιπασμάτων.
4. Σύμφωνα με το τριγραμμικό διάγραμμα κατά Piper (1944), τα δείγματα ως προς τα ανιόντα και τα κατιόντα (ρομβικό διάγραμμα) ανήκουν στα ασβεστομαγνησιακά ανθρακικά.
5. Σύμφωνα με το διάγραμμα κατάταξης αρδευτικού νερού κατά U.S.D.A. τα περισσότερα δείγματα δείχνουν ότι το νερό μπορεί να χρησιμοποιείται για άρδευση.
6. Σύμφωνα με το διάγραμμα καταλληλότητας του νερού, μελετώντας την περιεκτικότητα σε Na το νερό ταξινομείται ως εξαιρετικό μέχρι καλό.
7. Τα νερά της λεκάνης χαρακτηρίζονται ως «γλυκά», σύμφωνα με την περιεχόμενη ποσότητα T.D.S. Επίσης με αυτήν την περιεκτικότητα των διαλυμένων αλάτων δεν παρουσιάζεται κανένα πρόβλημα από την αλατότητα στην καρποφορία.
8. Με βάση τις τιμές του λόγου $Ca + Mg / K + Na$ στη λεκάνη μελέτης έχουμε συνεχή τροφοδοσία. Επίσης σύμφωνα με τον τελευταίο λόγο σε μερικά σημεία της λεκάνης ο υδροφόρος αντλεί και παλαιό νερό.
9. Σύμφωνα με τις τιμές που παίρνει ο λόγος Na / Cl στην περιοχή δεν συναντάμε ρύπανση από θαλασσίνο νερό.

10. Στη γεώτρηση Γ1 παρατηρούνται ιδιαίτερα αυξημένα τα νιτρικά, ενώ στις γεωτρήσεις Γ2, Γ3, Γ4, Γ6, Γ12, Γ31 παρατηρείται αυξημένη περιεκτικότητα σε ανθρακικά. Τέλος στη γεώτρηση Γ5 το ασβέστιο εμφανίζεται σε μεγάλη περιεκτικότητα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- ΒΟΥΔΟΥΡΗΣ, Κ., 2004 – 2005. Θέματα Υδρογεωλογίας Περιβάλλοντος. – Τμήμα εκδόσεων Πανεπιστημιακό Τυπογραφείο Θεσσαλονίκης, σελ. 46 – 49, Θεσσαλονίκη.
- ΓΙΑΝΝΕΛΗ Χ., ΣΟΥΛΙΟΥ Γ., ΒΟΥΔΟΥΡΗ Κ., ΔΙΑΜΑΝΤΗ Ι., ΚΙΛΙΑ Α. ΚΑΙ ΖΑΓΓΑΝΑ Ε., 2005. Υδροχημικά χαρακτηριστικά των υπόγειων νερών του αλλουβιακού υδροφορέα της λεκάνης Κορησού, νόμου Καστοριάς. Πρακτικά 7^{ου} πανελλήνιου υδρολογικού συνεδρίου, , Εκδότες Γ. Στουρνάρας, Κ. Παυλόπουλος, Θ. Μπέλλος, σελ. 78 – 79, Αθήνα.
- ΕΥΑΓΓΕΛΟΠΟΥΛΟΣ, Α., 1994. Υδρογεωλογική κατάσταση λεκανών Ν. Λάρισας. Αδημοσίευτη τεχνική έκθεση. Διεύθυνση Εγγείων Βελτιώσεων Ν. Λάρισας.
- ΚΑΚΛΗΣ Τ., ΑΚΡΙΒΟΣ Π., ΜΠΑΝΑΚΑΣ Κ., 1997. Διπλωματική εργασία με θέμα 'Μελέτη της ποιότητας του νερού του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα της λεκάνης βόρεια των Φαρσάλων'.
- ΚΑΛΛΕΡΓΗΣ, Γ., 1986. Εφαρμοσμένη Υδρογεωλογία (τόμος Α'). – Εκδόσεις Τ.Ε.Ε., κεφ. 7, σελ. 1 – 88, Αθήνα.
- ΛΑΜΠΡΑΚΗΣ, Ν., 1994. Εισαγωγή στην Υδροχημεία. – Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών, σελ. 158, Πάτρα.
- ΜΑΡΙΟΛΑΚΟΣ, Η., ΦΟΥΝΤΟΥΛΗΣ, Ι., ΣΠΥΡΙΔΩΝΟΣ, Ε., ΜΠΑΝΤΕΚΑΣ, Σ., ΜΑΡΙΟΛΑΚΟΣ, Δ., ΑΝΔΡΕΑΔΑΚΗΣ, Ε., 2000. Η Γεωμετρία του υπόγειου υδροφορέα στο Ναρθάκιο όρος ως αποτέλεσμα της Νεοτεκτονικής Παραμόρφωσης. Πρακτικά 8^{ου} Πανελλήνιου συνεδρίου της Ελληνικής Υδροτεχνικής Ένωσης (ΕΥΕ), σελ. 343 – 350.
- ΜΟΥΝΤΡΑΚΗΣ, Δ., 1985. Γεωλογία της Ελλάδας. – Εκδόσεις University Studio Press, σελ. 207, Θεσσαλονίκη.
- ΜΠΟΡΝΟΒΑΣ, Ι. και ΦΙΛΙΠΠΑΚΗΣ, Ν., 1964. Γεωλογική χαρτογράφηση Ελλάδος, Κλίμακα 1:50.000, φύλλα Φάρσαλα και Βελεστίνο. – Εκδόσεις Ι.Γ.Μ.Ε. , Αθήνα.
- AUBOUIN, J., 1959. Contribution `a l'etude geologique de la Grece septentrionale: Les corfins de l' Epire et de la Thessalie.
- CAPUTO, R., 1990. Geological and structural study of the recent and active brittle deformation of the Neogene quaternary basins of Thessaly, pp. 144 – 152.
- DUROV, S.A., 1948. Natular water and graphical represantation of their composition.
- PIPER, A., 1944. Agraphic procedure in the geochemical interpretation of water analysis. – Transam. Geophysical Union, 25/914-928, New York.

RICHARDS, I. A., 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkaline soils. – U.S. Depart. Agric., pp. 160, Washington.

SCHOELLER, H., 1962. Les eaux souterraines. – Masson et Cie, pp. 642, Paris

WILCOX, L., V., 1955. Classification and use of irrigation waters. – U.S. Depart. Agric. Circ. 959, pp. 19, Washington.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 2. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ
ΧΗΜΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ**

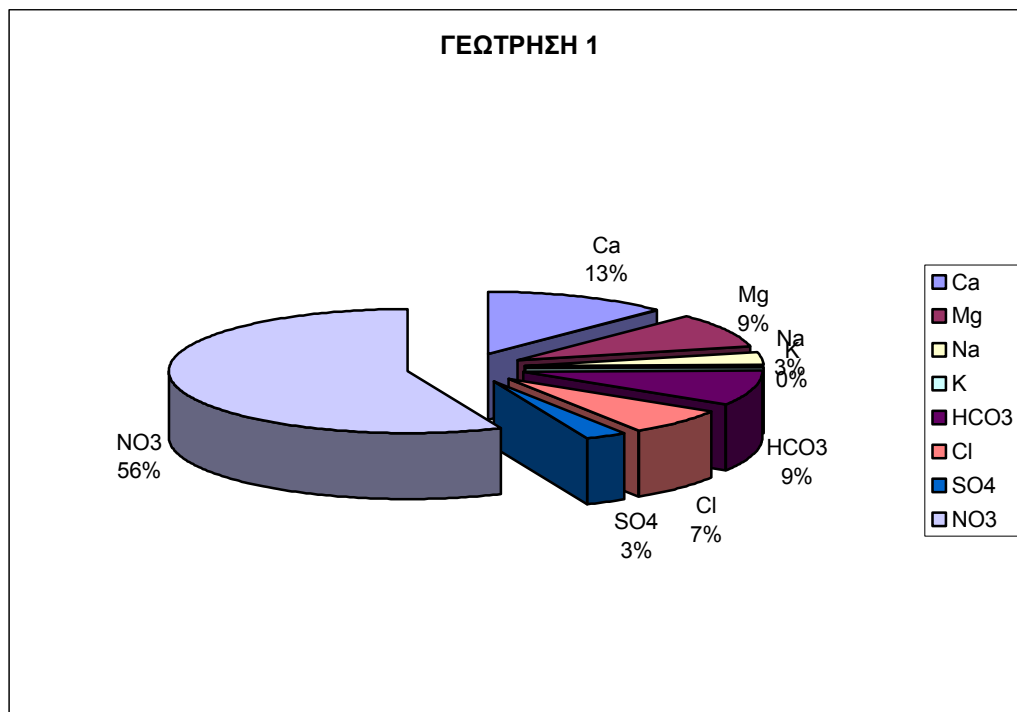
ΓΕΩΤΡΗΣΗ	ΔΗΜΟΣ	ΠΕΡΙΟΧΗ	pH	ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ	Ca	Mg	Na	K
Γ1	Πολυδάμαντα	Σιτοχώρι	7,63	578	62	43	16,1	1
Γ2	Πολυδάμαντα	Ζωοδόχου πηγής	7,64	600	52,3	11,5	21,8	1
Γ3	Πολυδάμαντα	Ζωοδόχου πηγής	7,65	845	110,8	23	53	0,6
Γ4	Πολυδάμαντα	Βαμβακού	7,61	645	100,8	22,4	25	0,8
Γ5	Πολυδάμαντα	Ρηγαίο	7,3	660	59	31,5	35	0,8
Γ6	Πολυδάμαντα	Νεράιδα	7,78	862	63	26	45	1,4
Γ11	Πολυδάμαντα	Σαραντάρια	8,38	437	32,8	58,11	25	0,5
Γ31	Πολυδάμαντα	Μαντρί	8,03	285	32	37,11	8,3	0,3
Γ12	Πολυδάμαντα	Μαυρότοπος	7,43	295	33,2	20,99	12,7	0,9

ΓΕΩΤΡΗΣΗ	HCO3	Cl	SO4	NO3	ΟΛΙΚΗ ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ	TDS	ΤΥΠΟΣ ΝΕΡΟΥ
Γ1	278	13,1	34	44,8	331,6	492	Mg - Ca - HCO3
Γ2	170	14	20	74,8	177,8	365,4	Ca - Na - Mg - HCO3 - NO3
Γ3	358	30,4	55	155,8	371,1	789,5	Ca - Na - HCO3 - NO3
Γ4	378	11,5	47	74,8	343,6	459,1	Ca - Mg - HCO3
Γ5	269	31	23	17,16	276,8	466,4	Ca - Mg - Na - HCO3
Γ6	331	13,2	18	33,44	264,1	347,3	Ca - Mg - Na - HCO3
Γ11	199	13,1	138	47,52	320,9	514	Mg - Ca - HCO3 - SO4
Γ31	228	5,1	28	7,48	232,5	346,3	Mg - Ca - HCO3
Γ12	113	13,8	54	32,12	169,2	280,7	Mg - Ca - HCO3 - SO4

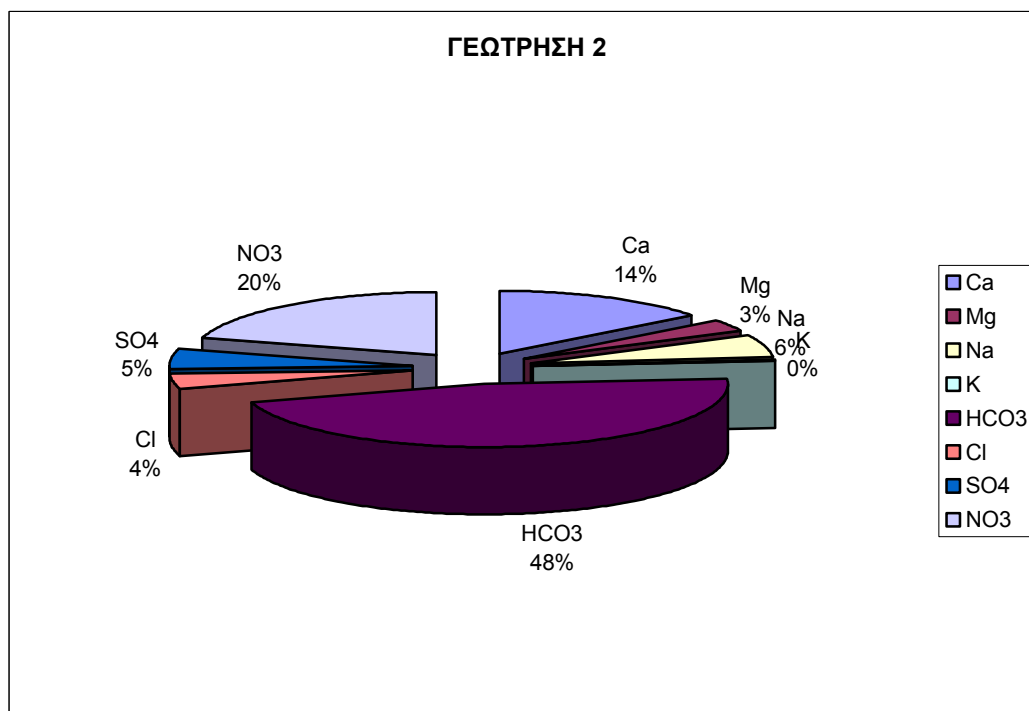
ΠΙΝΑΚΑΣ 1. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΑΘΜΗΣ

ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ	ΜΕΤΡΟΥΜΕΝΕΣ ΣΤΑΘΜΕΣ ΣΕ m	ΑΝΗΓΜΕΝΕΣ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟ ΥΨΟΜΕΤΡΟ ΣΤΑΘΜΕΣ ΣΕ m
Γ1	12,1	153,8
Γ5	67	205,1
Γ7	32,1	165,3
Γ8	32	216
Γ9	>100	280
Γ10	26,6	182,2

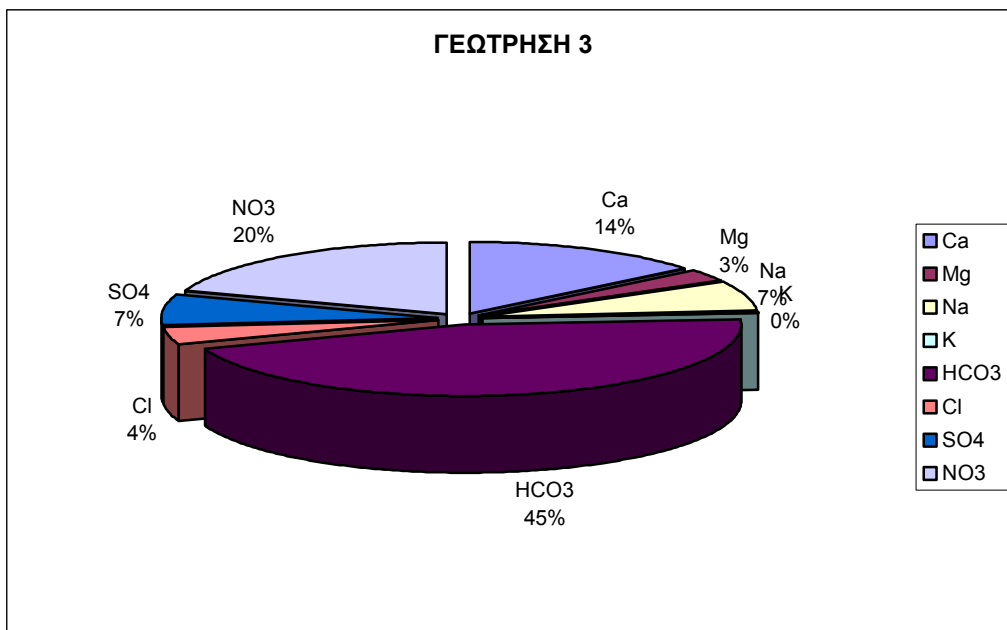
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΧΗΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ



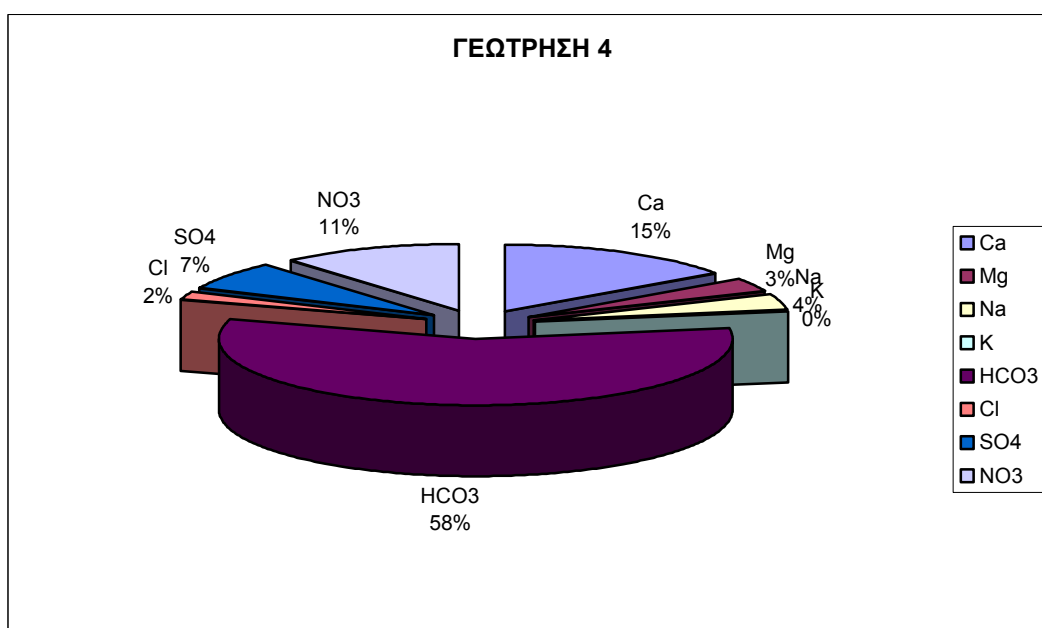
Σχήμα 4. Ποσοστιαία αναλογία των χημικών στοιχείων της Γ1



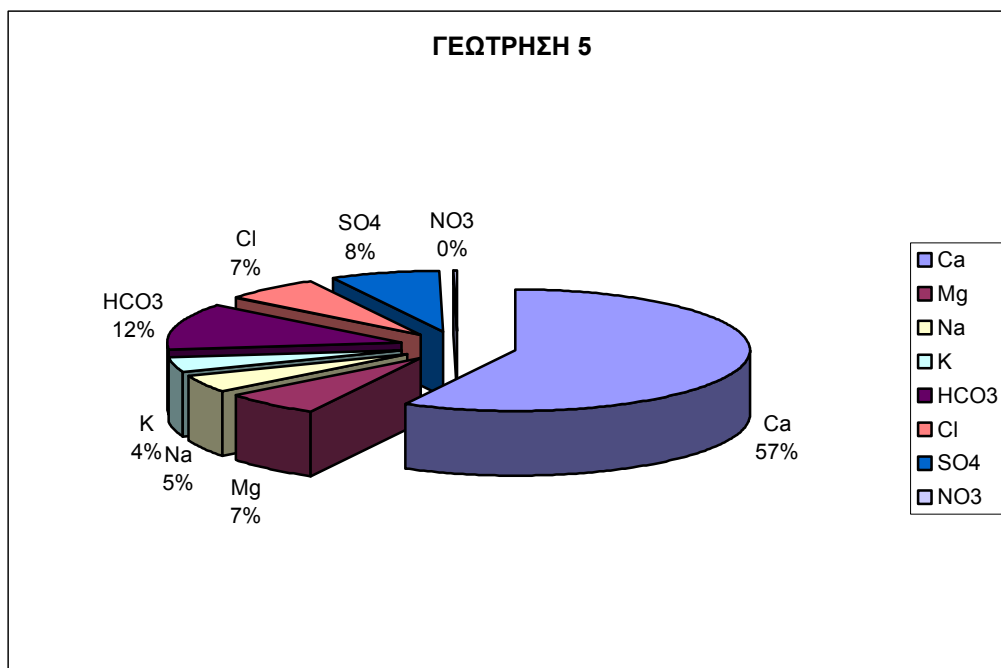
Σχήμα 5. Ποσοστιαία αναλογία των χημικών στοιχείων της Γ2



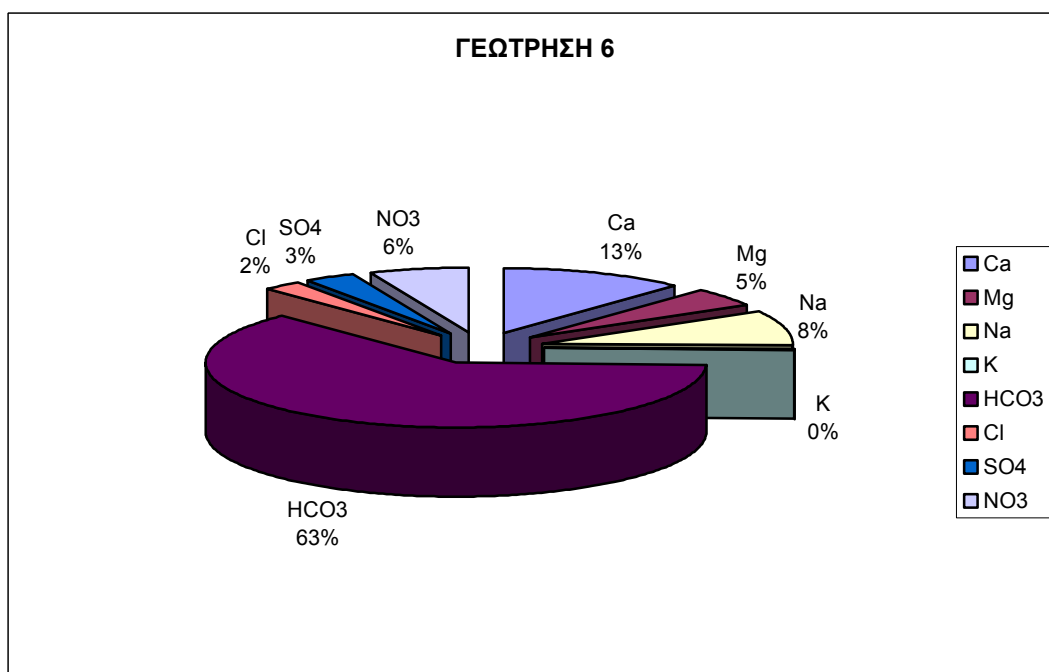
Σχήμα 6. Ποσοστιαία αναλογία των χημικών στοιχείων της Γ3



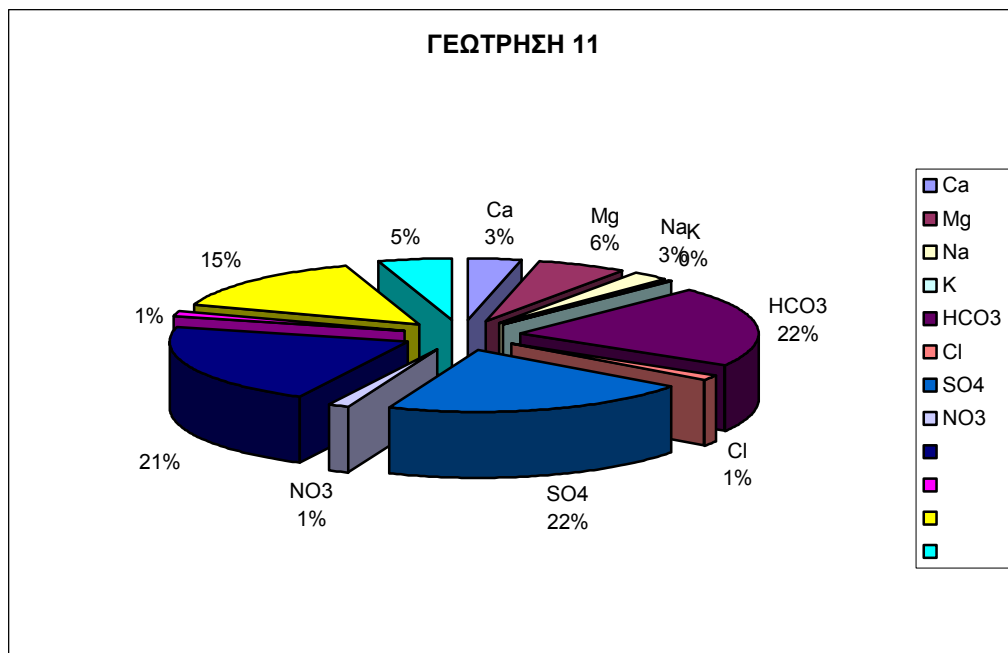
Σχήμα 7. Ποσοστιαία αναλογία των χημικών στοιχείων της Γ4



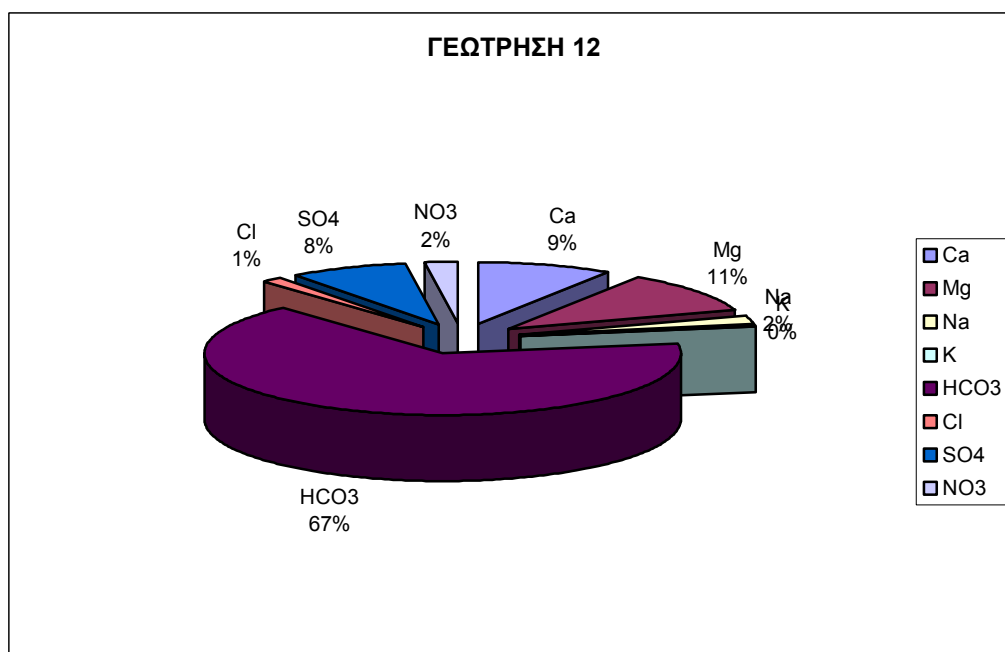
Σχήμα 8. Ποσοστιαία αναλογία των χημικών στοιχείων της Γ5



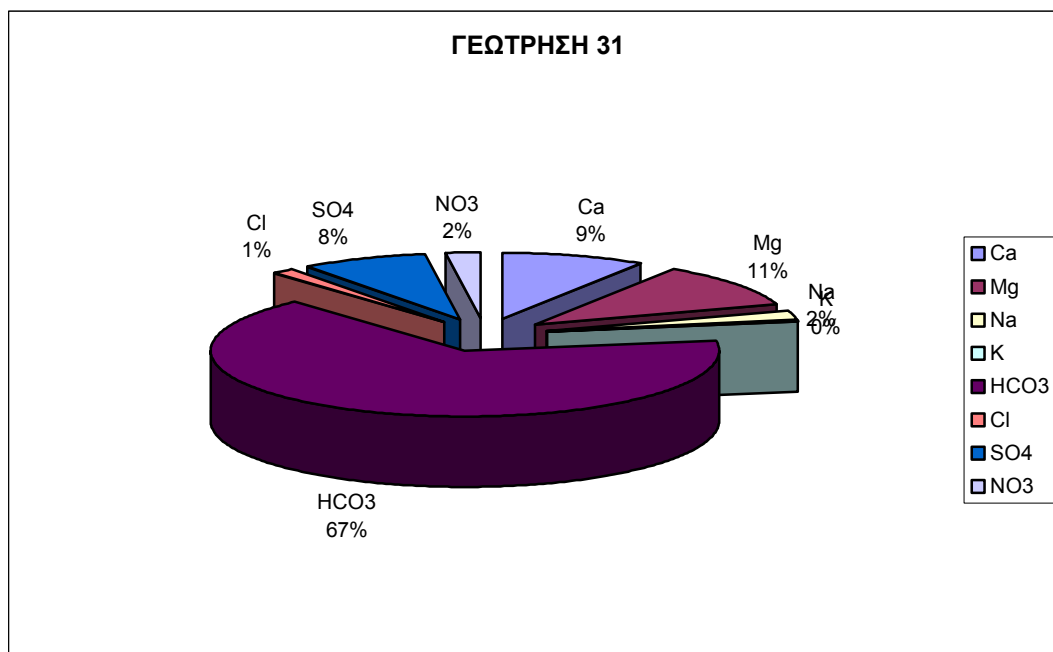
Σχήμα 9. Ποσοστιαία αναλογία των χημικών στοιχείων της Γ6



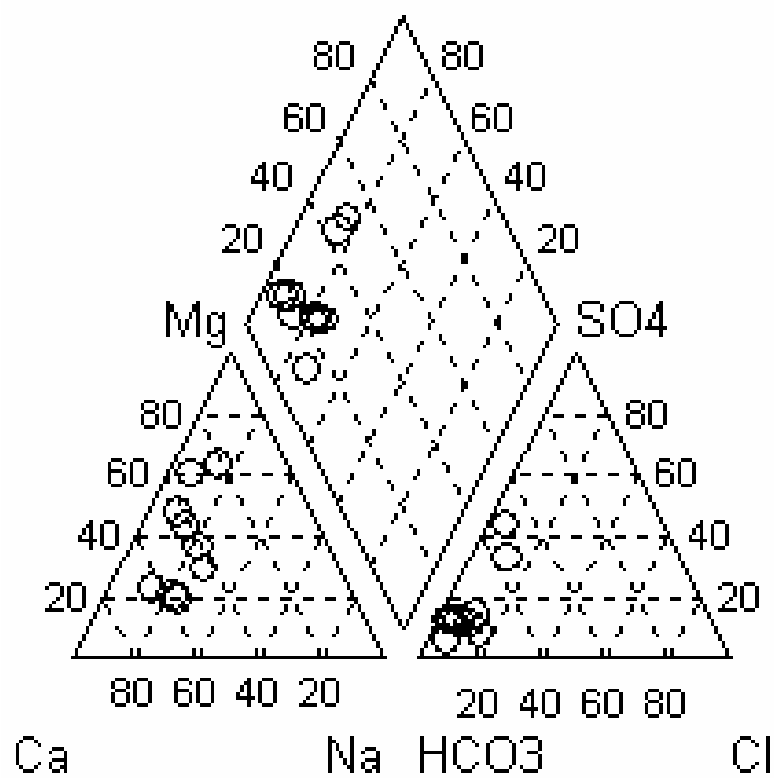
Σχήμα 10. Ποσοστιαία αναλογία των χημικών στοιχείων της Γ11



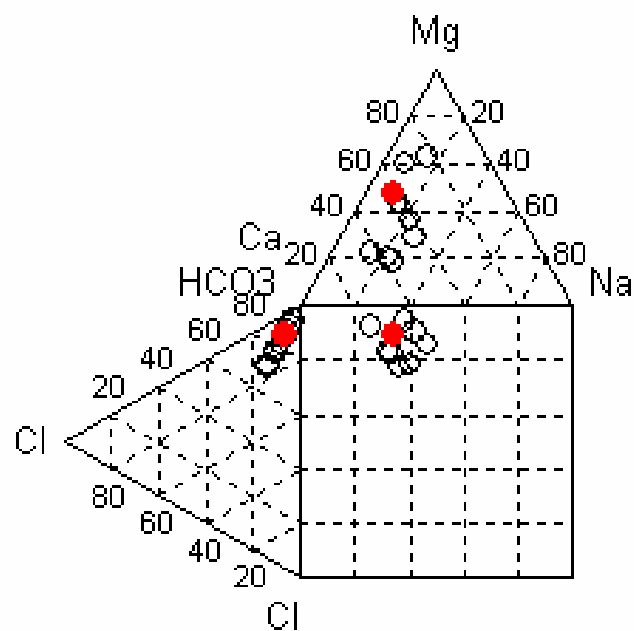
Σχήμα 11. Ποσοστιαία αναλογία των χημικών στοιχείων της Γ12



Σχήμα 12. Ποσοστιαία αναλογία των χημικών στοιχείων της Γ31

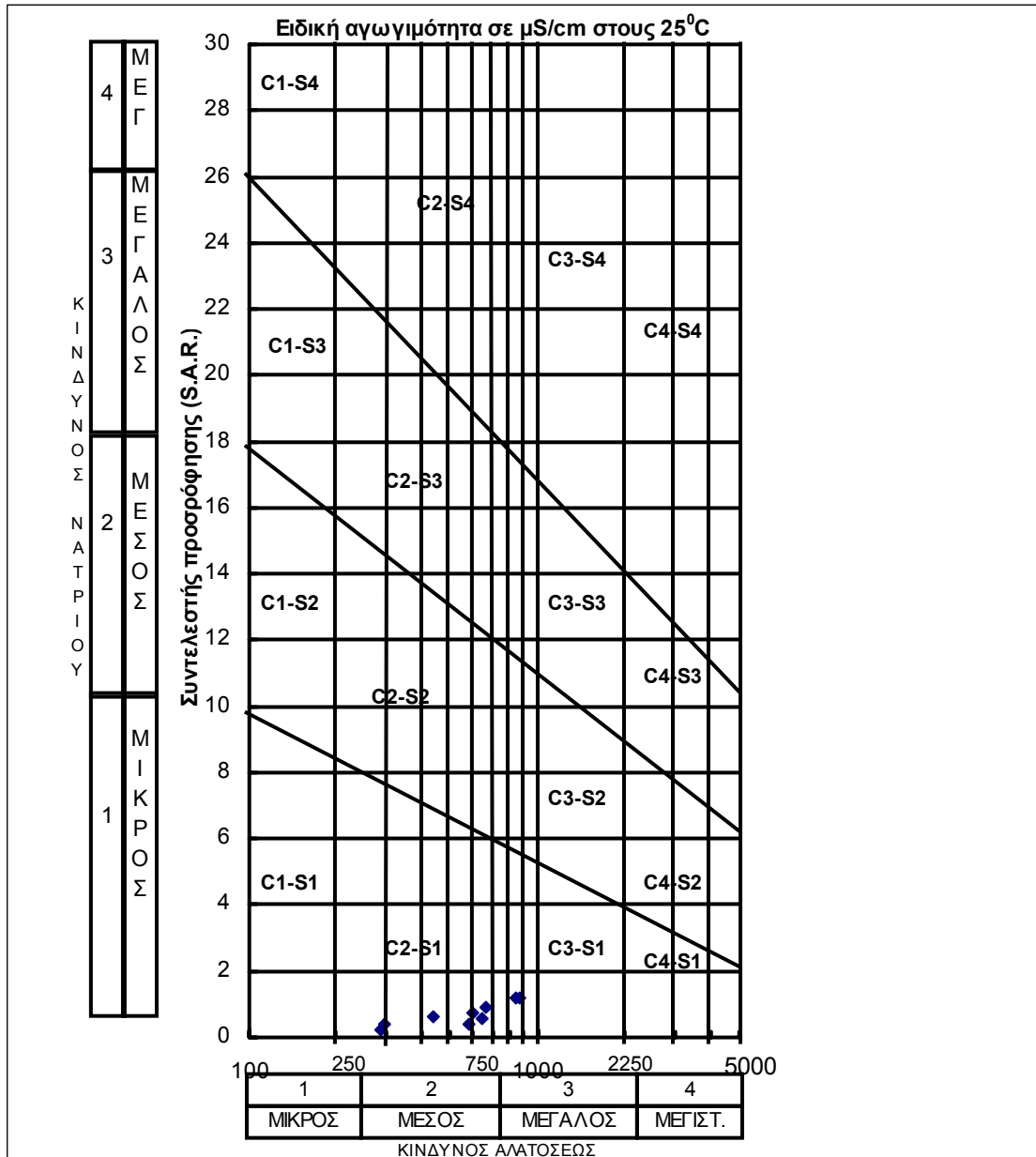


Σχήμα 13. Διάγραμμα Piper



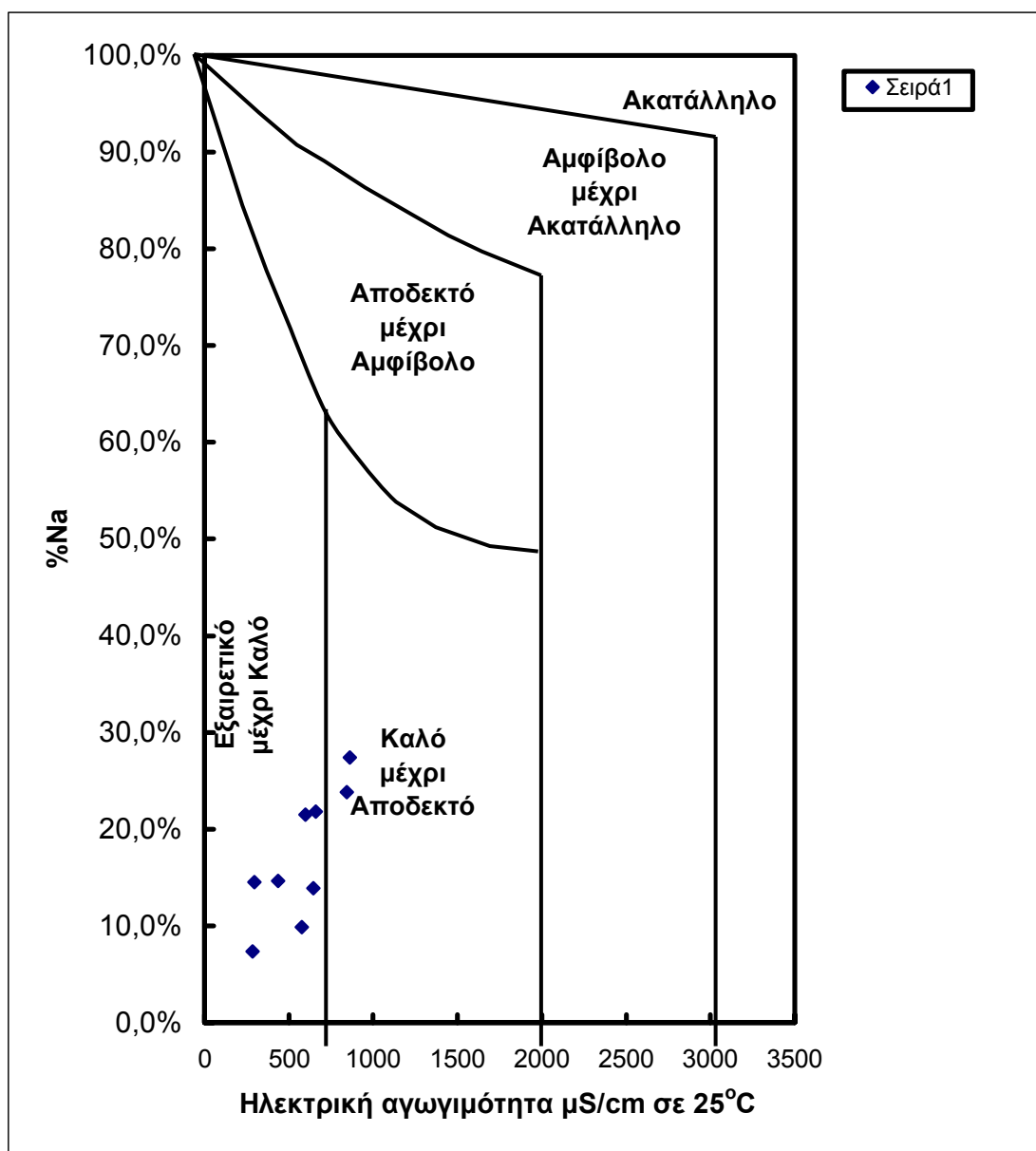
Σχήμα 14. Διάγραμμα Durov

ΕΙΔΙΚΗ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ



Σχήμα 15. Διάγραμμα κατάταξης αρδευτικού νερού κατά U.S.D.A.

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ



Σχήμα 16. Διάγραμμα καταλληλότητας νερού



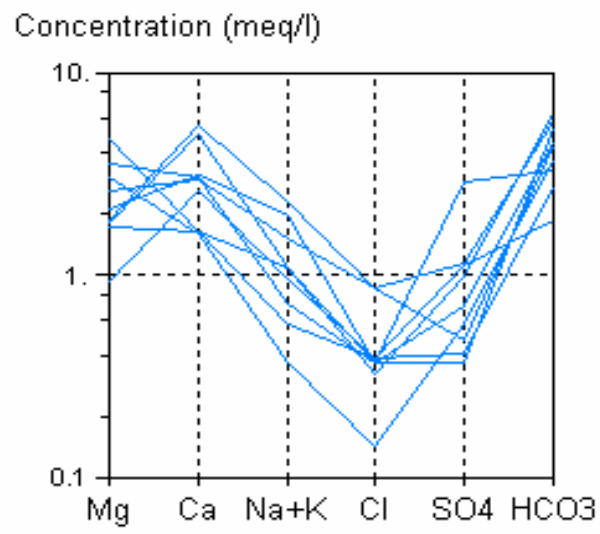
Φωτο 1. Γεώτρηση στην περιοχή Σιτοχωρίου.



Φωτο 2. Περιοχή Βαμβακούς



Φωτο 3. Περιοχή Ζωοδόχου Πηγής



Σχήμα 17. Διάγραμμα Schoeller