



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ Κ' ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑΣ



ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΒΟΡΕΙΟΔΥΤΙΚΑ ΤΗΣ ΠΟΛΗΣ ΤΗΣ ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑΣ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΣΑΛΟΝΙΚΙΔΗΣ ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ
κ. ΒΟΥΔΟΥΡΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2008

*Νιώθω την ανάγκη εξ'αρχής
να ευχαριστήσω:*

- ❖ *Τον καθηγητή μου κ. Κων/νο Βουδούρη που
μου εμπιστεύθηκε αυτήν την εργασία
καθώς και για την καθοδήγηση του κατά τη διάρκεια
της συγγραφής της.*
- ❖ *Την MSc Γεωλόγο κ. Όλγα Πατρικάκη για την πολύτιμη
βοήθειά της στη συλλογή των δειγμάτων.*
- ❖ *Τον MSc Χημικό κ. Μιχάλη Σωτηριάδη ο οποίος με
βοήθησε κατά την πραγματοποίηση των χημικών
αναλύσεων.*

*Τέλος, με ευκαιρία την εργασία αυτή θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά
τους γονείς μου για την ψυχική και οικονομική στήριξη που μου παρείχαν
όλα αυτά τα χρόνια
καθώς και όσους συγγενείς και φίλους με βοήθησαν και με παρότρυναν
όταν χρειάστηκε, να συνεχίσω και να ολοκληρώσω τις σπουδές μου.*

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία μου ανατέθηκε από τον καθηγητή κ. Κ. Βουδούρη με σκοπό τη μελέτη της ποιότητας του νερού του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα της λεκάνης Βορειοδυτικά της πόλης της Πτολεμαΐδας.

Στην περιοχή αυτή επελέγησαν έξι γεωτρήσεις από τα χωριά Αναρράχη, Φούφας και Γαλάτεια και από τις οποίες έγινε δειγματοληψία νερού. Τα δείγματα αυτά μεταφέρθηκαν στην Θεσσαλονίκη και στο εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας του τμήματος Γεωλογίας του Α.Π.Θ. όπου πραγματοποιήθηκαν χημικές αναλύσεις και στη συνέχεια μελετήθηκαν τα αποτελέσματα αυτών.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Α΄ ΜΕΡΟΣ

1. ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΘΕΣΗ-ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ.....	2
2. ΓΕΝΙΚΗ ΓΕΩΛΟΓΙΑ.....	5
2.1 ΓΕΝΙΚΑ ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	5
2.2 ΓΕΝΙΚΗ ΛΙΘΟΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ.....	7
2.3 ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΣΗ ΤΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ.....	13
2.4 ΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ.....	14
3. ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ.....	17
4. ΜΟΡΦΟΤΕΚΤΟΝΙΚΗ.....	21
5. ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	22
6. ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ.....	24
6.1 ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	24
6.2 ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΩΝ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ.....	25
6.3 ΥΔΡΑΥΛΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ.....	25
7. ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	26
8. ΒΛΑΣΤΗΣΗ.....	26
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	27

Β΄ ΜΕΡΟΣ

9. ΧΗΜΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ.....	30
9.1. ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΝΕΡΟΥ.....	30
9.2. ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΤΩΝ ΙΟΝΤΩΝ.....	31
9.2.1. Ανιόντα.....	31
9.2.2. Κατιόντα.....	32
9.3. ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΤΩΝ ΝΕΡΩΝ.....	33
9.3.1. Θερμοκρασία.....	33
9.3.2. Ενεργός οξύτης (pH).....	33
9.3.3. Ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC).....	34

9.3.4. Σκληρότητα (Hardness).....	34
9.4. ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΤΩΝ ΧΗΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ.....	35
9.4.1. Ανιόντα.....	35
9.4.2. Κατιόντα.....	36
9.5. ΧΩΡΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΙΟΝΤΩΝ.....	38
9.5.1. Ανιόντα.....	38
9.5.2. Κατιόντα.....	38
9.6. PH – ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ.....	46
10. ΚΑΤΑΤΑΞΗ.....	46
10.1. ΥΔΡΟΧΗΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΗΚΑ.....	46
10.1.1 Διάγραμμα PIPER – Διάγραμμα DUROV.....	46
10.1.2 Διάγραμμα SCHOELLER.....	48
10.1.3 Διάγραμμα κατάταξης αρδευτικού νερού κατά U.S.D.A.....	48
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	50

Α΄ ΜΕΡΟΣ

ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΘΕΣΗ-ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ

ΓΕΝΙΚΗ ΓΕΩΛΟΓΙΑ

ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ

ΜΟΡΦΟΤΕΚΤΟΝΙΚΗ

ΥΔΡΟΛΟΓΙΑ

ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ

ΚΛΙΜΑ

ΒΛΑΣΤΗΣΗ

1. ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΘΕΣΗ-ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ

Η περιοχή μελέτης βρίσκεται στα ΒΔ της Ελλάδας στο νομό Κοζάνης. Πιο συγκεκριμένα βρίσκεται 11 Km βορειοδυτικά της πόλης της Πτολεμαΐδας (Χάρτης 1) και αποτελεί τμήμα της λεκάνης Βεγορίτιδας – Πτολεμαΐδας.



Χάρτης 1. Οδικός χάρτης της περιοχής. (Από www.terra.gr.)

Η λεκάνη αυτή εντάσσεται στην ευρύτερη νεογενή λεκάνη Φλώρινας – Αμυνταίου – Βεγορίτιδας – Πτολεμαΐδας – Κοζάνης (Χάρτης 2), η οποία έχει διεύθυνση ΒΒΔ-ΝΝΑ και είναι παράλληλη στον άξονα των Ελληνίδων οροσειρών. Αυτή η μεγαλύτερη νεογενής λεκάνη προεκτείνεται προς τα βόρεια στην ΠΓΔΜ, στην πεδιάδα Βίτολα (Μοναστήρι) και έχει συνολικό μήκος από την Κοζάνη έως την

Βίτολα περίπου 100 Km. Το μέσο πλάτος της είναι περίπου 15 Km. Η λεκάνη αποτελεί ένα πολύ γνωστό τεκτονικό βύθισμα του ελληνικού χώρου με διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ. Είναι αξιοσημείωτο ότι τεκτονικά εξάρματα και λόφοι με ΑΒΑ-ΔΝΔ διεύθυνση, διαιρούν τη λεκάνη στις αντίστοιχες ομώνυμες υπολεκάνες. Η λεκάνη Φλώρινας – Αμυνταίου – Βεγορίτιδας – Πτολεμαΐδας – Κοζάνης περιβάλλεται από τα όρη Βόρας (2.524m) και Βέρμιο (2.027m) στα ανατολικά και τα όρη Βέρνο (2.128m) και Άσκιο (2.111m) στα δυτικά.

Η λεκάνη Βεγορίτιδας – Πτολεμαΐδας έχει πληρωθεί με νεογενή ιζήματα. Τα νεογενή ιζήματα είναι αποκλειστικά λιμναίας προέλευσης και περιέχουν λιγνίτες. Οι τεταρτογενείς αποθέσεις είναι συνήθως ποταμολιμναίες και χερσαίες. Δεν υπάρχουν καθόλου θαλάσσια ιζήματα σ' αυτή τη λεκάνη και γι' αυτό η χρονολόγηση των ιζημάτων και ο συσχετισμός τους βασίστηκε στην παλαιό-χλωρίδα και στα απολιθώματα των λιμναίων μαλακίων και των θηλαστικών. Η απουσία ασυμφωνιών μεταξύ των στρωμάτων των νεογενών και τεταρτογενών αποθέσεων, τα λίγα απολιθώματα και οι αλλαγές των ιζηματογενών φάσεων δυσκολεύουν τους στρωματογραφικούς συσχετισμούς. Παρόλα αυτά, εξαιτίας της οικονομικής σημασίας των λιγνιτών, εκτεταμένες έρευνες έχουν διεξαχθεί στην περιοχή και έχουν συγκεντρωθεί πολλά στοιχεία για την στρωματογραφία της.

Αξίζει να σημειωθεί ότι αποτελεί ίσως την πιο ενδιαφέρουσα νεογενή λεκάνη του ελληνικού χώρου λόγω των πλούσιων λιγνιτικών κοιτασμάτων της τα οποία και την καθιέρωσαν σαν το ενεργειακό κέντρο της Ελλάδας. Η γεωλογική της τοποθέτηση είναι επίσης ενδιαφέρουσα γιατί είναι παράλληλη στον ορεογραφικό-ορογενετικό άξονα των Ελληνίδων και η πρώτη νεογενής λεκάνη πίσω (Ανατολικά) από την μεσοελληνική μολασσική αύλακα και παράλληλη προς αυτήν.

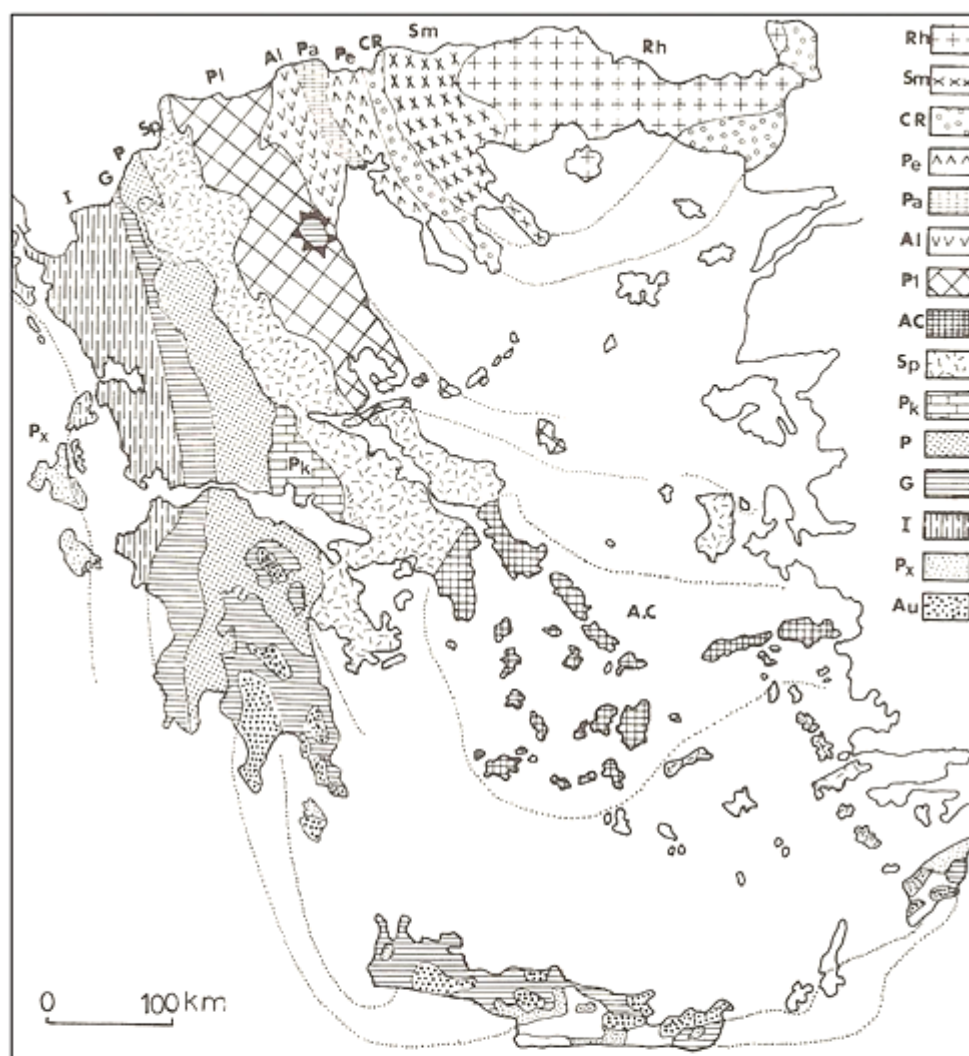
Χάρτης 2. Τοπογραφικός χάρτης της περιοχής.

2. ΓΕΝΙΚΗ ΓΕΩΛΟΓΙΑ

2.1 ΓΕΝΙΚΑ ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Η μελετούμενη περιοχή ανήκει γεωλογικά στην Πελαγονική ζώνη (Χάρτης 3) που συγκροτείται κυρίως από κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα (μάζα), πάνω στα οποία υπάρχουν μεσοζωικά ιζήματα (κάλυμμα). Ο όρος «Πελαγονική ζώνη» καθιερώθηκε από τους Brunn (1956) και Aubouin (1957) στα πλαίσια της διαίρεσης της Ελλάδας σε αλπικές ισοπικές ζώνες. Στη διαίρεση αυτή δόθηκε στην Πελαγονική η έννοια του υβώματος που χώριζε την αύλακα της Αλμωπίας στα ανατολικά από την αύλακα της Πίνδου στα δυτικά. Η υποθαλάσσια ράχη της Πελαγονικής πιστεύονταν ότι διακόπτονταν από δύο διαύλους (βυθίσματα), στις περιοχές Κοζάνης και Κεντρικής Εύβοιας, δια μέσου των οποίων επικοινωνούσαν οι δύο αύλακες.

Στην διάρκεια του μεσοζωικού η ιζηματογένεση στην Πελαγονική ήταν ανθρακική, καθαρά νηριτική με εξαίρεση τις δύο παραπάνω περιοχές όπου εμφανίζονται πελαγικά ιζήματα μαζί με οφιολιθικές μάζες και γι' αυτό το λόγο θεωρήθηκαν διάυλοι. Οι διάυλοι αυτοί είναι δύο περιοχές όπου διατηρούνται οι μάζες των οφιολίθων και των συνοδών ιζημάτων που προήλθαν με επώθηση από τους δύο ωκεάνιους χώρους. Η Πελαγονική ζώνη με διεύθυνση ΒΒΔ-ΝΝΑ εκτείνεται από τη ΠΓΔΜ προς τους Ελληνικούς ορεινούς όγκους του Βόρα, του Βέρνου, του Βερμίου, των Πιερίων, του Ολύμπου, του Πηλίου και της βόρειας Εύβοιας, στη συνέχεια κάμπτεται προς τις Σποράδες και περιλαμβάνει τα νησιά Σκιάθος, Σκόπελος, Σκύρος. Πιθανή προέκταση της Πελαγονικής στο Αιγαίο είναι τα νησιά Οινούσες (βόρεια της Χίου) από όπου η ζώνη περνάει στη βόρεια Μικρά Ασία.



Γεωτεκτονικό σχήμα των Ελληνίδων ζωνών. Rh: Μάζα της Ροδόπης, Sm: Σερβομακεδονική μάζα, CR: Περιροδοπική ζώνη, (Pe: Ζώνη Παιονίας, Pa: Ζώνη Πάικου, Al: Ζώνη Αλμωπίας) = Ζώνη Αξιού, Pl: Πελαγονική ζώνη, Ac: Αττικο - Κυκλαδική ζώνη, Sp: Υποπελαγονική ζώνη, Pk: Ζώνη Παρνασσού - Γκιώνας, P: Ζώνη Πίνδου, G: Ζώνη Γαβρόβου - Τρίπολης, I: Ιόνιος ζώνη, Px: Ζώνη Παξών ή Προαπούλια, Au: Ενότητα «Ταλέα όρη - πλακώδεις ασβεστόλιθου» πιθανόν της Ιονίου ζώνης.
(Κατά Mountrakis et al. 1983).

Χάρτης 3. Χάρτης των γεωτεκτονικών ζωνών του Ελληνικού χώρου.

2.2 ΓΕΝΙΚΗ ΛΙΘΟΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ

Η Πελαγονική ζώνη συγκροτείται από το κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο, τους γνευσιωμένους γρανίτες, τα ημιμεταμορφωμένα Περμο-Τριαδικά πετρώματα, τα δύο ανθρακικά καλύμματα Τριαδικού-Ιουρασικού, τους οφιολίθους και τα Ανωκρητιδικά επικλυσιογενή ιζήματα. (Σχήμα 1)

α. Το κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο

Τα κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα του υποβάθρου έχουν πολύ μεγάλη εξάπλωση στο χώρο της Πελαγονικής και αποτελούν το κύριο δομικό στοιχείο της ζώνης.

Συστηματικές έρευνες στις διάφορες περιοχές της ζώνης έδειξαν ότι το κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο δεν είναι ομογενές αλλά αποτελείται από πολλές ενότητες πετρωμάτων που συνιστούν αλληπάλληλα τεκτονικά λείπια.

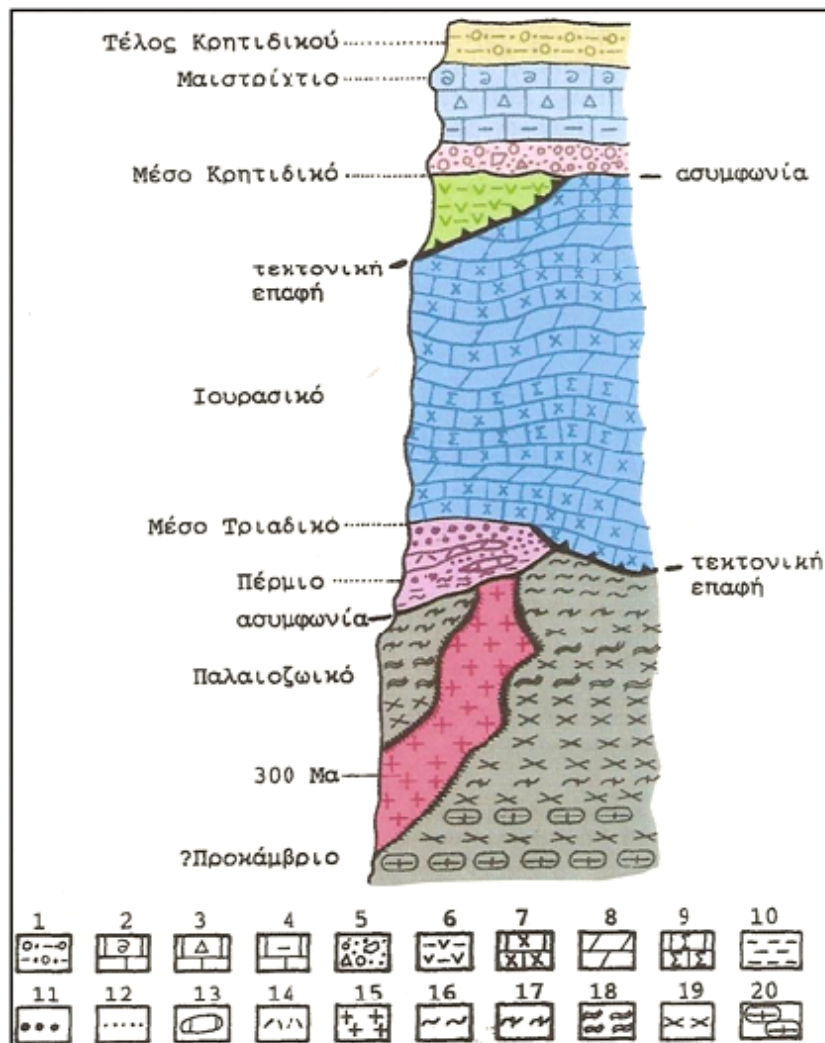
Τέτοιες ενότητες του κρυσταλλοσχιστώδους έχουν διακριθεί στο Βόρα, στο Βέρνο, στο Λιβάδι των Πιερίων, στα Υψηλά Πιέρια.

Παρ'όλη τη διάκρισή τους όλες οι ενότητες αυτές θεωρούνται παράλληλες κρυσταλλοσχιστώδεις ακολουθίες ενός κοινού υποβάθρου, οι οποίες έχουν παρόμοια λιθολογική ανάπτυξη και οι οποίες κρυσταλλώθηκαν σε όμοιες συνθήκες στο Παλαιοζωικό ή και πιο παλιά στο Προκάμβριο.

Κάθε μια από τις παραπάνω ενότητες αποτελείται από τους βαθύτερους ορίζοντες προς τους ανώτερους από:

- ❑ γνεύσιους βιοτιτικούς ομφαλμοειδείς ορθο-προέλευσης
- ❑ γνεύσιους ταινιωτούς, μοσχοβιτικούς πάρα-προέλευσης
- ❑ αμφιβολίτες και αμφιβολιτικούς-βιοτιτικούς σχιστόλιθους
- ❑ γρανατούχους διμαρμαρυγιακούς σχιστολίθους
- ❑ εναλλαγές αμφιβολιτικών σχιστολίθων, μαρμαρυγιακών σχιστολίθων, επιδοτιτικών σχιστολίθων με παρεμβολές απλιτογενεσιών.

Η μεταμόρφωση του κρυσταλλοσχιστώδους υποβάθρου έγινε σε συνθήκες τις βαθύτερες της πρασινοσχιστολιθικής φάσης έως τις ανώτερες της αμφιβολιτικής και έλαβε χώρα στο Παλαιοζωικό πριν το Άνω Λιθανθρακοφόρο.



Σχήμα 1. Συνοπτική λιθοστρωματογραφική - τεκτονική στήλη της Πελαγονικής ζώνης. 1-5: επικλυσιογενή ιζήματα Μέσου-Άνω Κρητιδικού. 1: φλύσχης Άνω Μαιστριχτίου-Κάτω Παλαιοκαίνου, 2: ασβεστόλιθος Μαιστριχτίου, 3: μικρολατυτοπαγείς ασβεστόλιθοι, 4: μαργαίκοι ασβεστόλιθοι, 5: κροκαλολατυτοπαγή της βάσης, 6: οφειόλιθοι και συνοδά πελαγικά ιζήματα, 7-9: πετρώματα των δύο ανθρακικών καλυμμάτων Τριαδικού-Ιουρασικού, 7: κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι και μάρμαρα, 8: δολομίτες, 9: σιπολίτες, 10-14: πετρώματα της μετακλαστικής σειράς Περμίου-Κάτω Τριαδικού, 10: μετα-πελίτες, φυλλίτες, 11: χαλαζιακά μετα-κροκαλοπαγή, 12: μετα-ψαμμίτες, μετα-αρκόζες, 13: φακοί ασβεστολίθων, 14: μετα-ρυόλιθοι, μετα-τόφοι, 15: γνευσιωμένοι γρανίτες Άνω Λιθανθρακοφόρου, 16-20: πετρώματα του κρυσταλλοσχιστώδους υποβάθρου Παλαιοζωικής ή και προ-Κάμβριας ηλικίας, 16: σχιστόλιθοι (χλωριτικοί, μαρμαρυγιακοί, αμφιβολιτικοί, επιδοιτιτικοί), 17: διμαρμαρυγιακοί-γρονατούχοι σχιστόλιθοι, 18: αμφιβολίτες, 19: γνεύσιοι, 20: οφθαλμογνεύσιοι.

(κατά Μουντράκης, 1983)

β. Οι γενευσιωμένοι γρανίτες του Άνω Λιθανθρακοφόρου

Μέσα στα κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα του υποβάθρου σε όλη την έκταση της Πελαγονικής παρατηρούνται μεγάλοι γρανιτικοί όγκοι. Πρόκειται για παρόμοιας σύστασης και υφής παλιούς γρανίτες, πορφυριτικούς με μεγάλους κρυστάλλους αστρίων, οι οποίοι αναφέρονται συνήθως με τα ονόματα των περιοχών ανάπτυξης τους, όπως π.χ. ο γρανίτης της Φλώρινας, της Καστοριάς, του Λιβαδίου Πιερίων, του καταφυγίου Πιερίων κλπ.

Οι γρανίτες αυτοί είναι μαγματικές διεισδύσεις μέσα στο υπόβαθρο και έχουν προκαλέσει φαινόμενα μεταμόρφωσης επαφής στα κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα. Η ηλικία τους με ραδιοχρονολογήσεις καθορίστηκε ως Άνω Λιθανθρακοφόρος (300 εκατ. έτη).

Στη μεγαλύτερη μάζα τους οι γρανίτες εμφανίζονται γενευσιωμένοι διότι υποστήκαν την αλπική μεταμόρφωση, στο Άνω Ιουρασικό-Κάτω Κρητιδικό, σε συνθήκες χαμηλής πρασινοσχιστολιθικής φάσης. Εμφανίζονται επίσης πολύπλοκα συμπτυχωμένοι με τα κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα.

γ. Οι Περμοτριάδικές μετακλαστικές ακολουθίες

Πάνω στο κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο και τους γρανιτικούς όγκους του Άνω Λιθανθρακοφόρου αποτέθηκε μια κλαστική ιζηματογενής σειρά πάχους περίπου 200m μέσα στην οποία παρεμβάλλονται ορισμένα ηφαιστειακά υλικά, οξίνες και βασικές λαβές και τόφοι.

Τα ιζήματα αυτά αποτέθηκαν στο Πέρμιο και Κάτω Τριαδικό και στη συνέχεια μαζί με τα ηφαιστειακά υλικά μεταμορφώθηκαν στη διάρκεια Ανωτέρου Ιουρασικού-Κάτω Κρητιδικού σε συνθήκες χαμηλής πρασινοσχιστολιθικής μεταμόρφωσης.

Τα πετρώματα που συνιστούν τις Περμοτριάδικές ακολουθίες είναι φυλλίτες, μετα-πελίτες, μετα-αρκόζες, χλωριτικοί και σερικιτικοί σχιστόλιθοι, μετα-ψαμμίτες, χαλαζιακά μετα-κροκαλοπαγή, αλλεπάλληλες παρεμβολές φακών ερυθρωπών και τεφρών ανακρυσταλλωμένων ασβεστολίθων και λατυποπαγών ασβεστολίθων, ασβεστιτικοί σχιστόλιθοι, μετα-ρυόλιθοι και μετα-τόφοι.

Οι μετακλαστικές σειρές του Περμοτριάδικού εμφανίζονται βασικά κατά μήκος του δυτικού περιθωρίου της Πελαγονικής ζώνης και αντιπροσωπεύουν την παλιά ιζηματογένεση ηπειρωτικής κατωφέρειας, που αναπτύχθηκε την περίοδο εκείνη

στο δυτικό περιθώριο της Πελαγονικής κατά τη διάρκεια της ηπειρωτικής διάρρηξης, που οδήγησε στην ανάπτυξη της ωκεάνιας περιοχής δυτικά της Πελαγονικής.

δ. Τα ανθρακικά καλύμματα Τριαδικού-Ιουρασικού

Η κύρια Αλπική ιζηματογένεση της Πελαγονικής ζώνης είναι νηριτική, ανθρακική στη διάρκεια Τριαδικού-Ιουρασικού και τα πετρώματα της καλύπτουν μεγάλες εκτάσεις της ζώνης.

Το σύνολο των ανθρακικών αυτών ιζημάτων συνηθίστηκε να ονομάζεται «Μεσοζωικό ανθρακικό κάλυμμα της Πελαγονικής» με την έννοια ότι αντιπροσωπεύει την ιζηματογένεση του υβώματος ή σύμφωνα με τις καινούργιες απόψεις την ιζηματογένεση της ηπειρωτικής πλατφόρμας. Νεώτερες όμως έρευνες (Μουντράκης 1983, 1984) έδειξαν ότι πρόκειται για δυο χωριστά ανθρακικά καλύμματα που αποτέθηκαν στα δυο περιθώρια, ανατολικό και δυτικό, της Πελαγονικής ζώνης στη διάρκεια Τριαδικού-Ιουρασικού. Το δυτικό κάλυμμα είναι αυτόχθονο, αποτέθηκε από το Μέσο Τριαδικό μέχρι το Κάτω Κρητιδικό πάνω στα μετακλαστικά ιζήματα Πέρμιου-Κάτω Τριαδικού. Αποτελείται από αποκρυσταλλωμένους ασβεστόλιθους λευκούς, τεφρούς, μαύρους, λατυποπαγείς, ταινιωτούς, πλακώδεις, λεπτοπλακώδεις, άστρωτους καθώς και ελάχιστες λεπτές παρεμβολές πηλιτικών ενστρώσεων. Το συνολικό πάχος του καλύμματος υπολογίζεται στα 600 – 800 m.

ε. Οι οφιόλιθοι και τα συνοδά ιζήματα

Σημαντικές οφιολιθικές μάζες παρατηρούνται στην Πελαγονική, τοποθετημένες κυρίως στα δύο περιθώρια της ζώνης, ενώ μερικές μικρές εμφανίσεις βρίσκονται διασπαρμένες και στο εσωτερικό της.

Οι οφιόλιθοι της Πελαγονικής είναι αλλόχθονοι και προέρχονται από τις δυο ωκεάνιες περιοχές των ζωνών Αξιού και Υποπελαγονικής που βρίσκονταν εκατέρωθεν της Πελαγονικής. Από τις δύο ωκεάνιες περιοχές οι οφιόλιθοι, μαζί με τα συνοδεύοντα αυτούς ιζήματα βαθιάς θάλασσας, επωθήθηκαν πάνω στα Τριαδικοϊουρασικά ανθρακικά καλύμματα των δύο Πελαγονικών περιθωρίων.

Υπολείμματα των επωθημένων αυτών μαζών αποτελούν και οι δύο μεγάλες περιοχές οφιολίθων και ιζημάτων βαθιάς θάλασσας που έχουν ονομασθεί διάυλοι της Κοζάνης και της Εύβοιας. Στην πραγματικότητα είναι τμήματα των διπλανών ωκεάνιων ζωνών που επωθήθηκαν πάνω στην Πελαγονική.

«Ο διάυλος της Κοζάνης» κατέχεται από την μεγάλη οφιολιθική μάζα του βουνού Βούρινος που βρίσκεται τεκτονικά τοποθετημένη στο δυτικό Πελαγονικό περιθώριο. Στο δυτικό περιθώριο βρίσκεται επίσης και η οφιολιθική μάζα της Καστοριάς με προέλευση επίσης από την Υποπελαγονική ζώνη.

Στο ανατολικό περιθώριο της Πελαγονικής βρίσκονται τεκτονικά τοποθετημένοι πάνω στο Τριαδικοϊουρασικό ανθρακικό κάλυμμα οι οφιολιθικές μάζες της Άρνισσας – Βεγορίτιδας και του Βερμίου με προέλευση τη ζώνη Αξιού.

Οι παραπάνω οφιολιθικές μάζες (ιδίως η μεγάλη εμφάνιση του Βουρίνου) αποτελούνται από όλα τα πετρώματα της οφιολιθικής ακολουθίας, δηλαδή από σερπεντινωμένους δουνίτες, χαρτσβουργίτες και άλλα υπερβασικά, γάβρους, νορίτες και άλλα βασικά πετρώματα, pillow lavas, διαβάσεις και άλλα βασικά ηφαιστειακά και τόφους.

Τα συνοδά ιζήματα είναι ραδιολαριτικοί κερατόλιθοι, αργιλικόι σχιστόλιθοι, ασβεστιτικοί πυριτιόλιθοι, πελαγικοί ασβεστόλιθοι και κλασικά ιζήματα με υλικά προερχόμενα από βασικά μαγματικά πετρώματα.

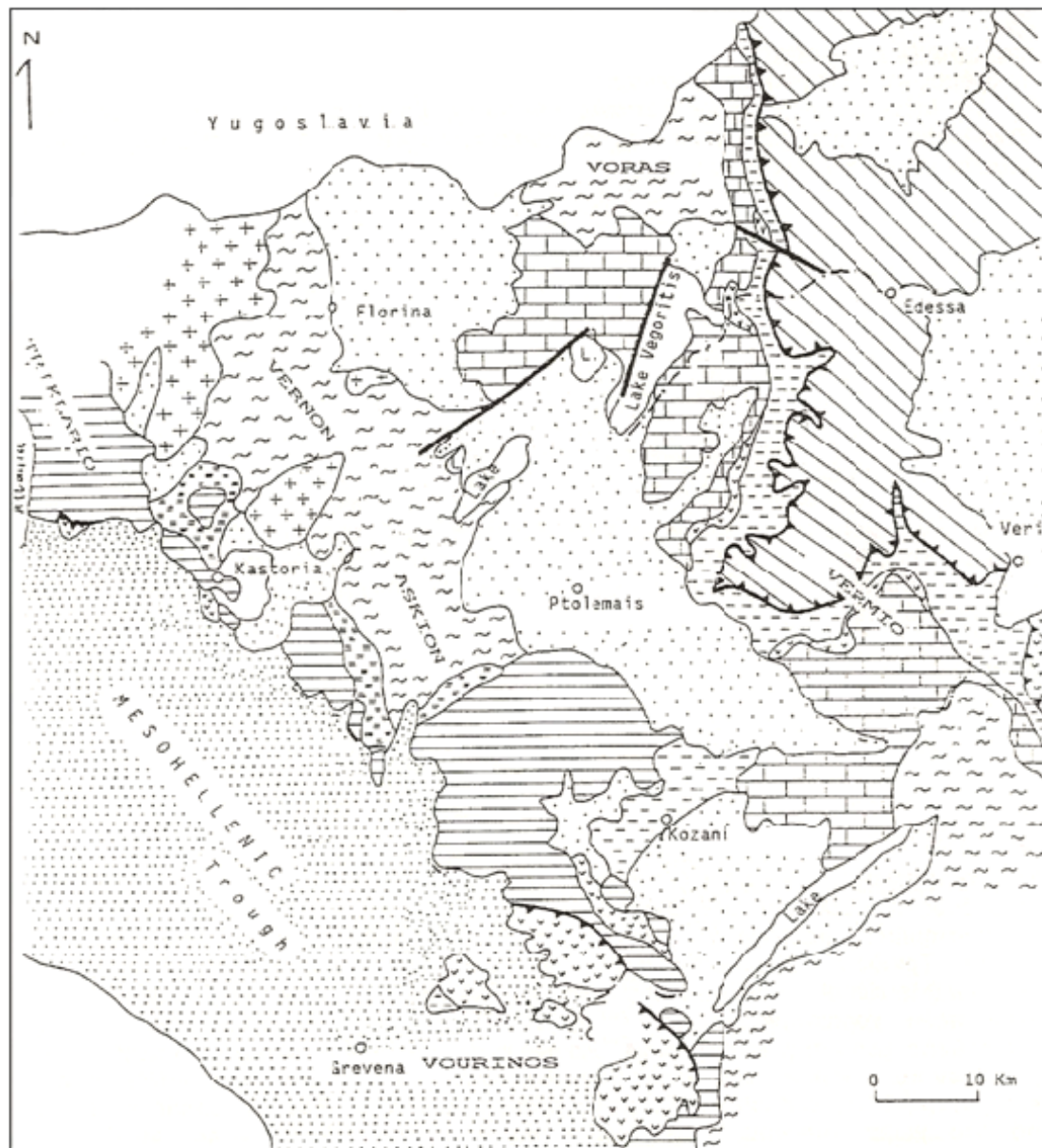
ζ. Τα επικλυσιογενή ιζήματα Μέσου- Άνω Κρητιδικού

Μετά την ανάδυση των εσωτερικών ζωνών στην Ανωϊουρασική- Κατωκρητιδική ορογένεση και τη χέρσωση που ακολούθησε, είχαμε την επίκλυση της θάλασσας Μέσου-Άνω Κρητιδικού. Τα ιζήματα της επίλωσης τοποθετούνται με ασυμφωνία πάνω στα προϋπάρχοντα ανθρακικά πετρώματα (μάρμαρα, ανακρυσταλλωμένοι ασβεστόλιθοι, δολομίτες κλπ) των Τριαδικοϊουρασικών καλυμμάτων, που εν τω μεταξύ είχαν πτυχωθεί στην ορογενετική περίοδο, είτε ακόμα τοποθετούνται με επικλυσιογενή ασυμφωνία πάνω στους οφιολίθους και τα συνοδά τους πελαγικά ιζήματα όπου βέβαια υπάρχουν τέτοια.

Αναλυτικά η στρωματογραφική διάρθρωση του Μέσο-Άνω Κρητιδικού έχει ως εξής από κάτω προς τα πάνω:

- κροκαλοπαγή, μικρολατυποπαγή και μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι ηλικίας Κενομανίου-Τουρωνίου.
- μικρολατυποπαγείς ασβεστόλιθοι ηλικίας Σαντωνίου- Καμπανίου
- συμπαγής ασβεστόλιθος με απολιθώματα Orbitoides media του Μαιστριχτίου
- φλύσχης που στην αρχή είναι σχιστώδης ασβεστιτικός, εξελίσσεται σε ασβεστοπηλιτικό-ψαμμιτικό και καταλήγει σε πηλιτικό-κροκαλοπαγή. Η ηλικία του είναι Άνω Μαιστριχτίου-αρχές Παλαιοκαίνου.

Παρακάτω δίνεται απλοποιημένος γεωλογικός χάρτης (Χάρτης 4) με τους σχηματισμούς της Πελαγονικής ζώνης.



Σχηματισμοί Πελαγονικής ζώνης

- Ασβεστόλθοι και φλύσχης Άνω Κρηδικού
- Τριαδ-Ιουρασικό ανθρακικό κάλυμμα του Ανατ. περιθωρίου
- Τριαδ-Ιουρασικό ανθρακικό κάλυμμα του Δυτ. περιθωρίου
- Μετακλασική ακολουθία Τέλος Περμίου-Αρχές Τριαδικού
- Γρανίτης Άνω Λιθανθρακοφόρου
- Κρυσταλλωσιστώδες υπόβαθρο Παλαιοζωικού

- Πλειο-Τεταρτογενείς αποθέσεις
- Μελάσση
- Σχηματισμοί Αλμωπίας ζώνης
- Οφειόλιθοι
- Επώθηση της Αλμωπίας ζώνης πάνω στην Πελαγονική

Χάρτης 4. Απλοποιημένος γεωλογικός χάρτης της Δυτικής Μακεδονίας

(κατά Pavlides & Mountrakis 1985)

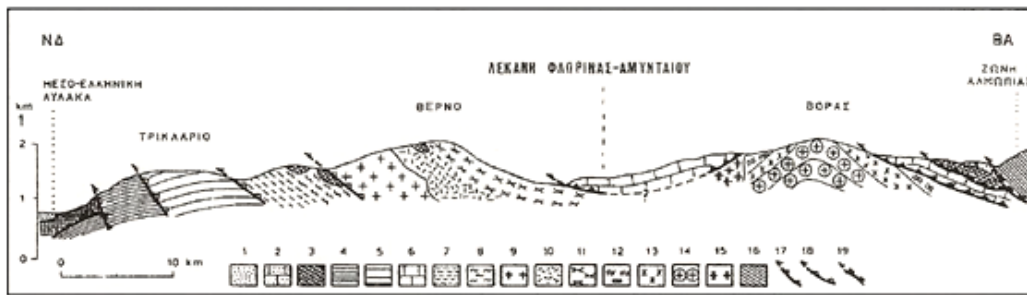
2.3 ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΣΗ ΤΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ

Μετά από λεπτομερείς έρευνες πολλών δεκαετιών σχετικά με τις μεταμορφικές υφές της βόρειας Πελαγονικής (Brunn 1956, Mercier 1968, Kiliass 1980, Mountrakis 1982a, Spyropoulos et al. 1986, Kiliass and Mountrakis 1987, 1988), διαπιστώθηκαν τρία μεταμορφικά γεγονότα για την Πελαγονική ζώνη:

- Το πρώτο είναι μία μεταμόρφωση αμφιβολιτικής φάσης που επηρέασε το κρυσταλλικό υπόβαθρο πριν το Άνω Λιθανθρακοφόρο, δεδομένου ότι δεν επηρέασε τον γρανίτη του Άνω Λιθανθρακοφόρου που διεισδύει μέσα στα κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα του υποβάθρου.
- Το δεύτερο είναι μία μετά-Ιουρασική (πιθανώς Κάτω Κρητιδική) μεταμόρφωση ανώτερης πρασινοσχιστολιθικής ως αμφιβολιτικής φάσης που επηρέασε τους γρανίτες του Άνω Λιθανθρακοφόρου, τα μετακλαστικά του Ανωτέρου Περμίου-Κατωτέρου Τριαδικού και τα ανθρακικά πετρώματα του Τριαδικού-Ιουρασικού.
- Το τρίτο μεταμορφικό γεγονός είναι μετά-Κρητιδικό (πιθανώς Κάτω Τριτογενούς) που δημιούργησε μία ασθενή χαμηλού βαθμού πρασινοσχιστολιθική υφή.

Τα μεταμορφωμένα πετρώματα της οροσειράς του Βόρα σχηματίζουν ένα μακροσκοπικό αντικλινικό δόμο αντίστοιχο με μία ασύμμετρη πτυχή της οποίας ο άξονας βυθίζεται ελαφρά στις 125°. Από την άλλη μεριά, τα πετρώματα της ενότητας του Βέρνου αποτελούν τεκτονικά λείπια τοποθετημένα προς τα ΝΔ ή ΒΔ. Θεωρείται ότι η επώθηση στην οποία οφείλεται η ανεστραμμένη τεκτονική ακολουθία της οροσειράς Βέρνου, είναι Τριτογενούς ηλικίας.

Παρακάτω παρουσιάζεται απλοποιημένη – σχηματική γεωλογική τομή της Βόρειας Πελαγονικής ζώνης στην οποία φαίνονται οι ενότητες Βόρα (με αντικλινική δομή) και Βέρνου (με ανεστραμμένη λεπιοειδή διάταξη) (Σχήμα 2)



Σχήμα 2. Απλοποιημένη - σχηματική γεωλογική τομή της Βόρειας Πελαγονικής ζώνης στην οποία φαίνονται οι ενότητες Βόρα (με αντικλινική δομή) και Βέρνου (με ανεστραμμένη λεπιοειδή διάταξη). 1: μολάσση της Μεσοελληνικής αύλακας, 2: Άνω Κρητιδικά επικλυσιογενή ιζήματα, 3: οφειόλιθοι και συνοδά ιζήματα, 4: ιζήματα Υποπελαγονικής ζώνης, 5: ανθρακικό κάλυμμα Δυτικού Πελαγονικού περιθωρίου, 6: ανθρακικό κάλυμμα Ανατολικού Πελαγονικού περιθωρίου, 7 και 8: μετακλαστικά ιζήματα Περμοτριάδικου, 9: γνευσιωμένος γρανίτης Άνω Λιθανθρακοφόρου, 10 και 11: κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο Βέρνου, 12 - 15: κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο Βόρα (σχιστόλιθοι, γνεύσιοι, οφθαλμογνεύσιοι), 16: λέπια Αλμωπίας, 17: επωθήσεις Ανωτέρου Ιουρασικού - Κάτω Κρητιδικού, 18: επωθήσεις - επιπτεύσεις Τριτογενούς, 19: επώθηση ζώνης Αλμωπίας. (Κατά Μουντράκη 1983).

2.4 ΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Η στρωματογραφική δομή της περιοχής έρευνας με βάση τις γεωλογικές τομές της ΔΕΗ, είναι:

α) Σχηματισμός υποβάθρου

i) Κρυσταλλικά πετρώματα. Η πετρογραφία της περιοχής ξεκινά με αλληλουχία σχιστολίθων του άνω παλαιοζωικού, διάφορης σύστασης και βαθμού μεταμόρφωσης. Προήλθαν από τα ιζήματα του Λιθανθρακοφόρου που αποτέθηκαν στη λεκάνη μετά την ορογένεση της Ερκυνίου. Τα πετρώματα αυτά σχηματίζουν τα όρη Βέρνο, Άσκιο και τμήμα της οροσειράς του Νυμφαίου.

ii) Γνευσιακός πλουτωνίτης. Εμφανίζεται βόρεια της λίμνης Ζάζαρης, ΒΑ του Σκλήθρου και στις κορυφές του Βέρνου. Ο πλουτωνίτης διείσδυσε στα μεταμορφωμένα πετρώματα κατά το Α. Λιθανθρακοφόρο και συμπτυχώθηκε μαζί τους κατά τη Αλπική ορογένεση.

iii) Ανθρακική σειρά. Συνίσταται από μάρμαρα και ασβεστόλιθους του Τριαδικού και Ιουρασικού. Πάνω στους ασβεστόλιθους «κάθονται» σχιστοκερατόλιθοι με οφειολίθους και πάνω σ' αυτούς ασύμφωνα ασβεστόλιθοι με απολιθώματα ηλικίας Α. Κρητιδικού.

β) Νεογενή ιζήματα

Είναι τα ιζήματα που παρουσιάζουν λιγνιτοφορία και φέρουν και αλλότριους σχηματισμούς. Διακρίνονται δύο ορίζοντες κατά το Νεογενές:

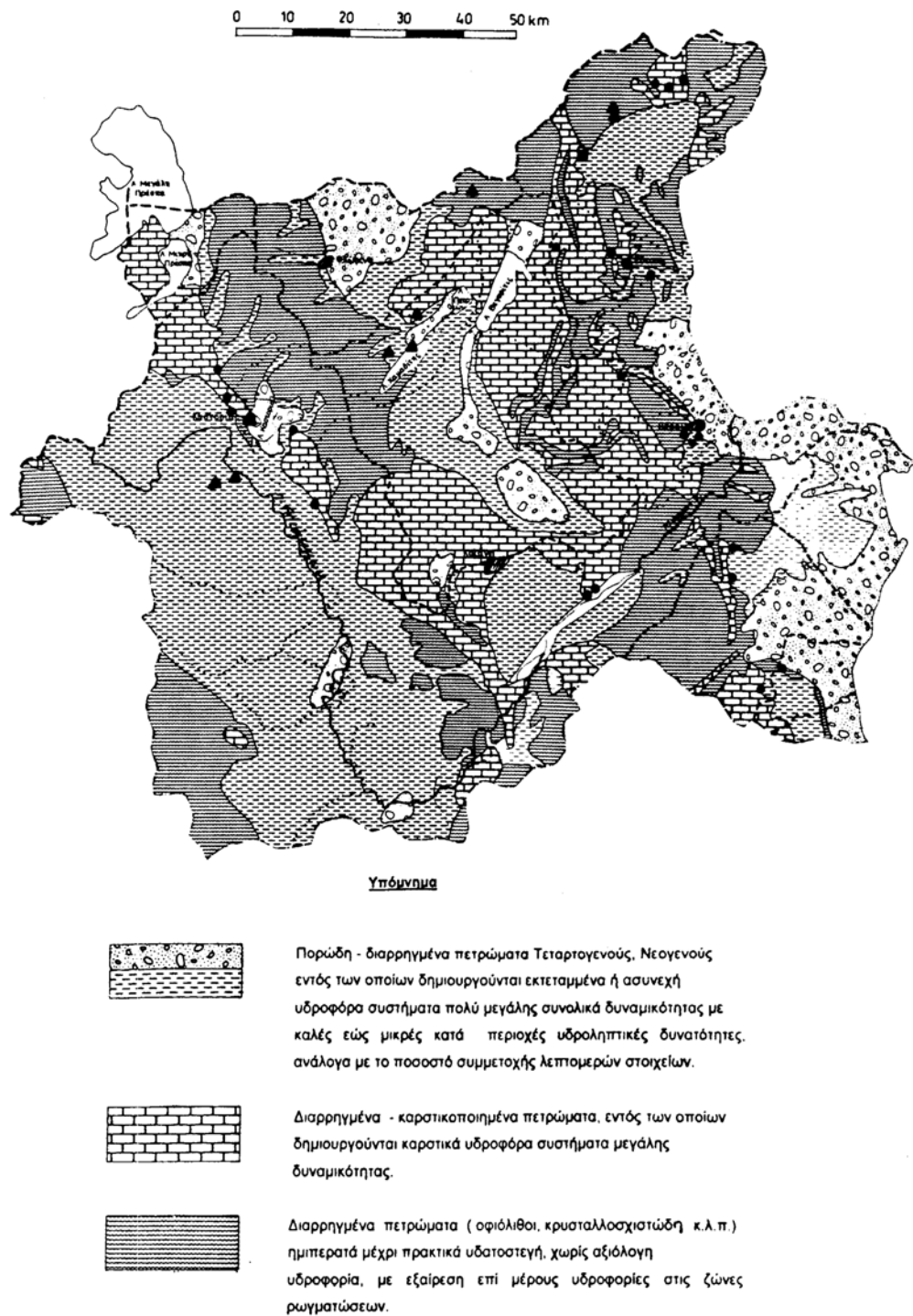
- ο κατώτερος που περιλαμβάνει τον ξυλίτη και
- ο ανώτερος που περιλαμβάνει τον γαιώδη λιγνίτη.

Αργότερα αποτέθηκαν πάνω τους τα πλειοκαινικά ιζήματα και τα διαδέχτηκαν έντονες τεκτονικές δράσεις που προξένησαν τη δημιουργία αντίστοιχων βυθισμάτων και κεράτων. Συνέπεια αυτών είναι η εμφάνιση των νεογενών ιζημάτων στην επιφάνεια.

γ) Σύγχρονες αποθέσεις

Είναι τα υλικά της αποσάθρωσης, οι κώνοι κορρημάτων, οι ποτάμιες προσχώσεις κ.α.

Στον χάρτη 5. παρουσιάζεται λεπτομερής γεωλογικός χάρτης της περιοχής (Δυτική Μακεδονία) με βάση τα στοιχεία του ΙΓΜΕ.



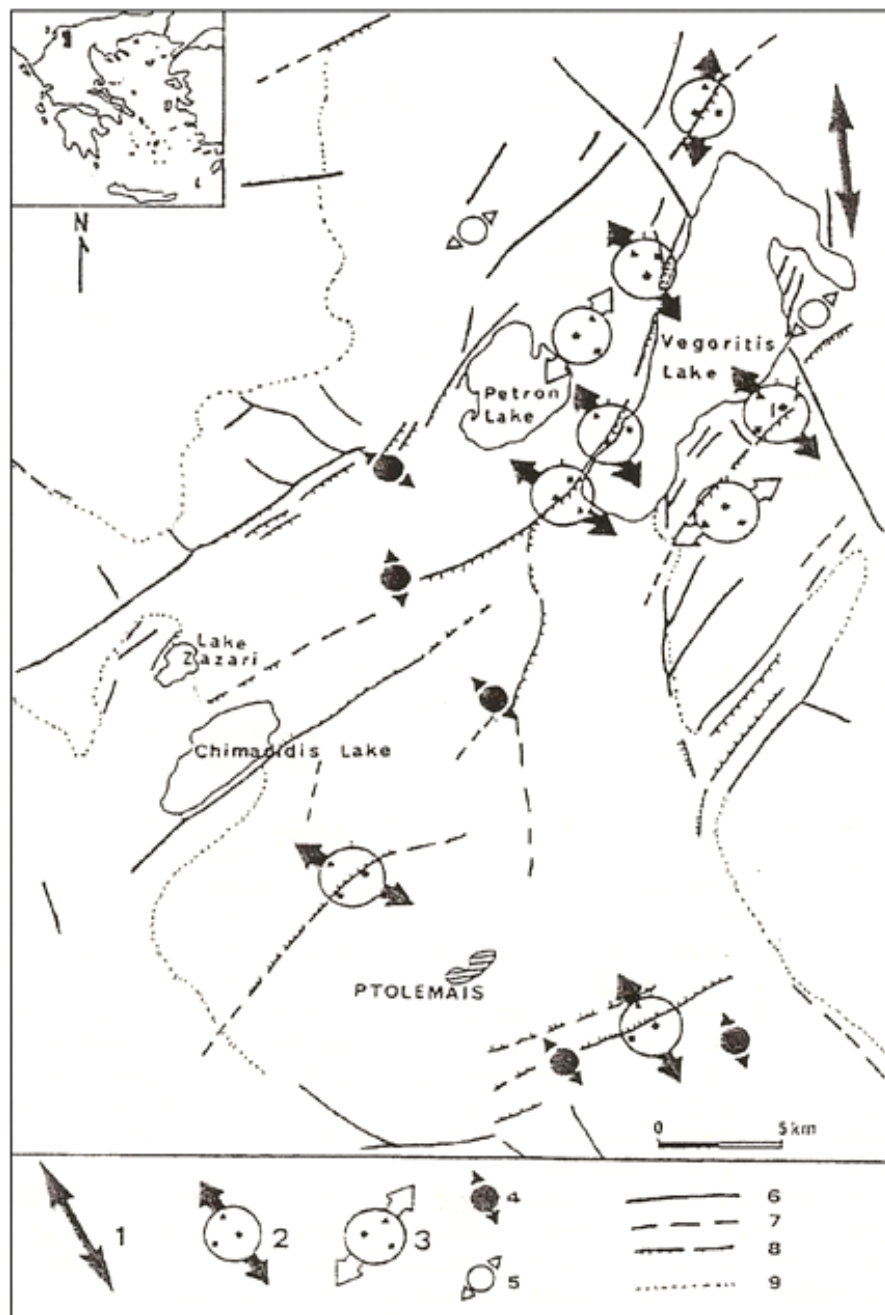
Χάρτης 5. Λεπτομερής γεωλογικός χάρτης της περιοχής (Δυτική Μακεδονία)
(από ΙΓΜΕ, 2006)

3. ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ

Νεοτεκτονική ανάλυση (Χάρτης 6) των Νεογενών και Τεταρτογενών ρηγμάτων στη λεκάνη Φλώρινας – Βεγορίτιδας – Πτολεμαΐδας, οδήγησε στο συμπέρασμα ότι μπορούν να διακριθούν δύο εφελκυστικές φάσεις (Pavlides & Mountrakis 1987). Η πρώτη, με ΒΑ-ΝΔ διεύθυνση τάσεων, έλαβε χώρα κατά την περίοδο Άνω Μειοκαίνου-Πλειοκαίνου και ήταν υπεύθυνη για την αρχική δημιουργία του συστήματος τεκτονικών βυθισμάτων της λεκάνης Φλώρινας – Αμυνταίου – Βεγορίτιδας – Πτολεμαΐδας – Κοζάνης, το οποίο αναπτύχθηκε με κανονικά ρήγματα ΒΔ-ΝΑ παράταξης. Η δεύτερη φάση, με ΒΒΔ-ΝΝΑ έως ΒΔ-ΝΑ διεύθυνση εφελκυστικών τάσεων, έλαβε χώρα στο Τεταρτογενές και ήταν υπεύθυνη για τη δημιουργία των υπολεκανών και εξαρμάτων που αναπτύχθηκαν κατά μήκος κανονικών ρηγμάτων με παράταξη ΒΑ-ΝΔ.

Το πεδίο των τεκτονικών τάσεων διαμορφώθηκε ως εξής (Παυλίδης 1985):

- i) Εκτεταμένη εφελκυστική δύναμη με διεύθυνση ΒΒΑ-ΝΝΔ κατά το Α. Μειόκαινο και πριν την απόθεση των λιμναίων ιζημάτων η οποία δημιούργησε αρχικά το τεκτονικό βύθισμα της λεκάνης και στη δράση των ρηγμάτων ΒΔ-ΝΑ. Η δράση επεκτείνεται όλο το Νεογενές.
- ii) Μεταμεσομειοκαινική συμπίεστική φάση διέκοψε ή προηγήθηκε τον εφελκυσμό του Α. Μειοκαίνου-Πλειοκαίνου με διεύθυνση ΑΒΑ-ΔΝΔ.
- iii) Συμπίεστικά τεκτονικά επεισόδια μεταξύ Α. Μειοκαίνου και Κ. Πλειστοκαίνου.
- iv) Μεγάλα μεταποθετικά κανονικά ρήγματα με κύρια διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ που επηρέασαν τα πλειοκαινικά ιζήματα. Η επαναδραστηριοποίηση παλαιότερων ρηξιγενών γραμμών οφείλεται σε ένα πεδίο, κατά το Πλειστόκαινο, εφελκυστικών δυνάμεων με διευθύνσεις ΒΔ-ΝΑ.
- v) Τα νεότερα συμπίεστικά επεισόδια στη λεκάνη αυτή τοποθετούνται χρονικά στο Α. Πλειόκαινο ή στο όριο Πλειοκαίνου-Πλειστοκαίνου.



- 1: Αποτελέσματα των μετρήσεων του πεδίου των τάσεων (Pequin et al, 1982).
 2: Μηχανισμός γένεσης των ρηγμάτων της Τεταρτογενούς τεκτονικής φάσης.
 3: Μηχανισμός γένεσης των ρηγμάτων της Πλειοκαινικής τεκτονικής φάσης.
 4: και 5: Τεκτονικές φάσεις κατά το Τεταρτογενές και Πλειόκαινο αντίστοιχα, ανυψωμένες από δευτερεύοντα στοιχεία. 6: Ρήγμα. 7: Πιθανό ρήγμα.
 8: Νεοτεκτονικά ρήγματα ή πρόσφατες επαναδραστηροποιήσεις παλαιότερων ρηγμάτων. 9: Όρια της λεκάνης (Pavlidis & Mountrakis 1985).

Χάρτης 6. Το νεοτεκτονικό εφελκυστικό πεδίο στην ευρύτερη περιοχή της λεκάνης Πτολεμαΐδας.

Συνέπεια των τεκτονικών δυνάμεων ήταν η δημιουργία πολλών ρηγμάτων (Χάρτης 7), τα σημαντικότερα εκ των οποίων είναι:

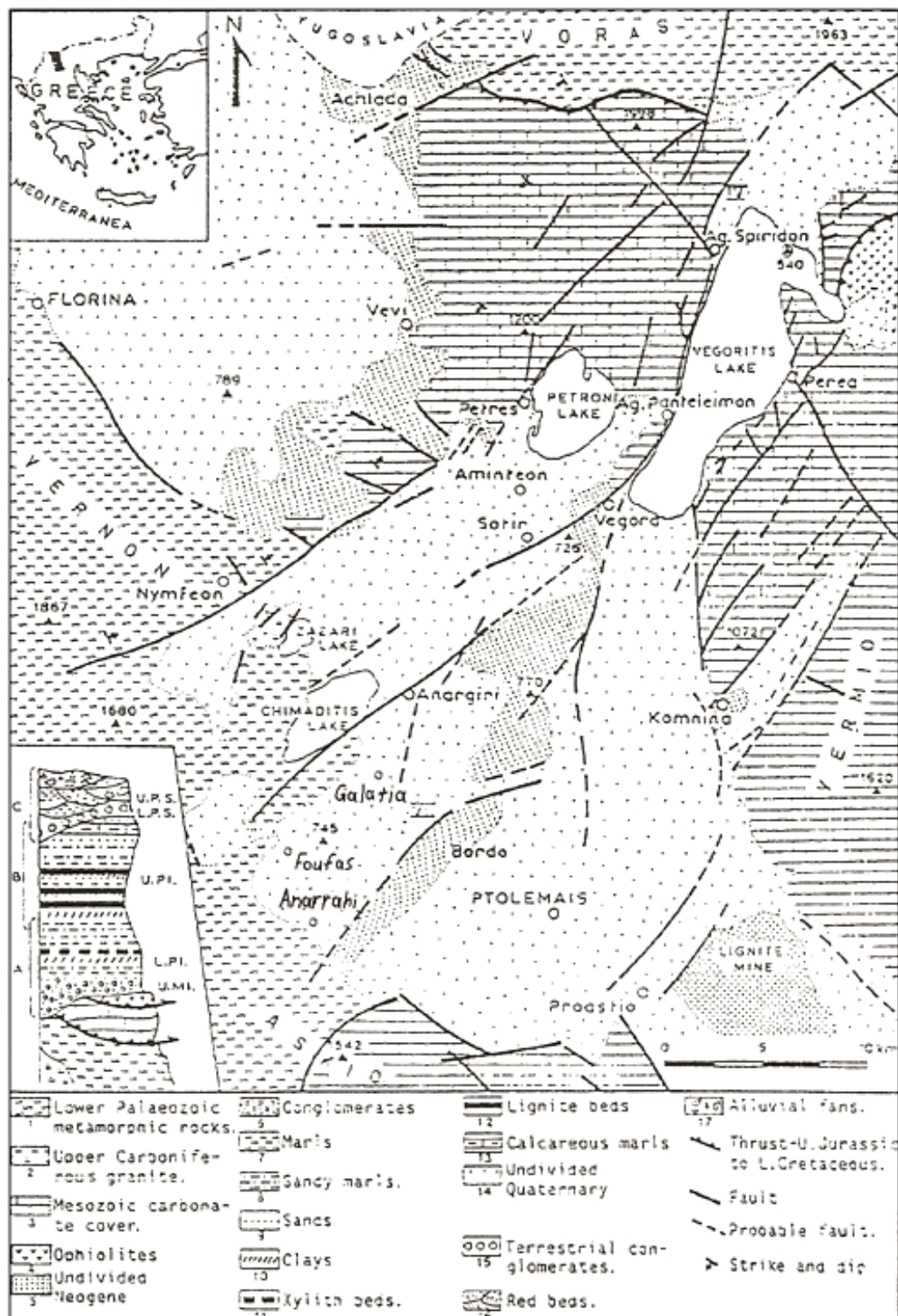
- α) Το ρήγμα Πετρών – Ξινού Νερού – Αετού – Νυμφαίου
- β) Το ρήγμα της Βεγορίτιδας
- γ) Το ρήγμα Χειμαδίτιδας – Αναργύρων

α) Το ρήγμα Πετρών – Ξινού Νερού – Αετού – Νυμφαίου, που ξεπερνά τα 30km και καθορίζει το έξαρμα του Κλειδιού – Ξινού Νερού – Αετού, το οποίο διαχωρίζει τη λεκάνη της Φλώρινας, από εκείνη του Αμυνταίου-Πτολεμαΐδας. Έχει ΒΑ-ΝΔ διεύθυνση και ο κύριος χαρακτήρας του είναι μεταπτωτικός, με μετάπτωση του νοτιοανατολικού τμήματος. Η μεταπτωτική του δράση έπαιξε σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση της λεκάνης Πτολεμαΐδας – Αμυνταίου – Λιμνών.

β) Το μεγάλο ρήγμα της Βεγορίτιδας, που ξεκινά από τη βόρεια πλευρά της λίμνης (οικισμός Άγιου Σπυρίδωνα), περνά από τον Άγιο Παντελεήμονα, φτάνει μέχρι τη Βεγόρα και συνεχίζει στη λεκάνη. Η διεύθυνση του είναι ΒΒΑ-ΝΝΔ και το μήκος του στη βορειοδυτική πλευρά της λίμνης, την οποία οριοθετεί, είναι 12 km περίπου. Είναι τυπικό κανονικό ρήγμα με νεοτεκτονική δράση. Η συνέχεια του στη λεκάνη γίνεται σε δύο κλάδους. Ο πρώτος ξεκινά από τη Βεγόρα, συνεχίζει στη ΝΝΑ πλευρά του υψώματος Νεάπολη και σβήνει στις λοφοσειρές του Σωτήρα. Ο δεύτερος με σχεδόν Β-Ν διεύθυνση κατευθύνεται προς τα χωριά Λακκιά και Φιλώτα και πιθανώς ακόμη περισσότερο προς Πτολεμαΐδα και Άρδασσα.

γ) Το ρήγμα Χειμαδίτιδας – Αναργύρων που βρίσκεται νότια από την ομώνυμη λίμνη. Είναι κανονικό ρήγμα ΒΑ-ΝΔ διεύθυνσης με κλίση προς τα ΒΔ. Αναπτύσσεται τόσο στο κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο όσο και στα ιζήματα της λεκάνης, όπου διαπιστώνεται η πολύ πρόσφατη δράση του. Το μήκος του πρέπει να ξεπερνά τα 10km.

Τα παραπάνω ρήγματα δημιούργησαν τις επιμέρους υπολεκάνες Πετρών – Αμυνταίου – Ζάζαρης, Βεγορίτιδας – Χειμαδίτιδας και Βεγορίτιδας – Φιλώτα – Πτολεμαΐδας. Επιπλέον διατάσσουν τις τέσσερις λίμνες Βεγορίτιδα, Χειμαδίτιδα, Πετρών και Ζάζαρη σε συμμετρική διάταξη.



Tectonic map and stratigraphic section of the Florina-Vegorit-Ptolemais region (northwestern Macedonia, Greece). A, B, C, are lithostratigraphic Neogene-Quaternary formations (see detailed description in the text). U.P.S., Upper Pleistocene Series; L.P.S., Lower Pleistocene Series; U.PI., Upper Pliocene; L.PI., Lower Pliocene; U.Mi., Upper Miocene. Units 6-13 are of Neogene age and units 14-17 are of Quaternary age. Data concerning marginal bedrock have been taken from Brunn (1982) and Mountrakis (1984). Fault lines have been completed or re-estimated on the basis of LANDSAT and aerial image analysis as well as on new field observations.

Χάρτης 7. Τεκτονικός χάρτης και στρωματογραφική τομή της περιοχής Φλώρινας - Βεγορίτιδας - Πτολεμαΐδας (Δυτική Μακεδονία). (Brunn (1982) and Mountrakis (1984))

4. ΜΟΡΦΟΤΕΚΤΟΝΙΚΗ

Η λεκάνη της Φλώρινας – Βεγορίτιδας – Πτολεμαΐδας διακόπτεται από μια σειρά εξαρμάτων και λοφοσειρών σπουδαιότερα από τα οποία είναι (Παυλίδης 1985):

- i. Το έξαρμα Κλειδιού – Ξινού Νερού – Αετού που χωρίζει τη μεγάλη λεκάνη στις αντίστοιχες λεκάνες της Φλώρινας και της Πτολεμαΐδας.
- ii. Το έξαρμα Μπορντό στο κέντρο της λεκάνης Πτολεμαΐδας την οποία διασχίζει εγκάρσια.
- iii. Το ύψωμα Νεάπολη που αποτελεί τη συνέχεια του ασβεστολιθικού εξάρματος Βεγορίτιδας-Βεγόρας προς το εσωτερικό της λεκάνης.

Τα κύρια μορφολογικά και τεκτονικά χαρακτηριστικά των εξαρτημάτων αυτών είναι τα παρακάτω:

- i. Το έξαρμα Κλειδιού – Ξινού Νερού – Αετού ορίζεται προς τα νότια, δηλαδή προς την πλευρά της υπολεκάνης Αμυνταίου, από το μεγάλο ομώνυμο ρήγμα (Πετρών – Ξινού Νερού – Αετού – Νυμφαίου), ενώ προς τα βόρεια, δηλαδή προς τη λεκάνη της Φλώρινας, κλίνει ομαλά. Πρόκειται για κεκλιμένο ρηξιγενές τέμαχος ή ημικέρας, η μια πλευρά του οποίου (νότια) ορίζεται από μεγάλης κλίμακας κανονικό ρήγμα, ενώ η άλλη (βόρεια) κλίνει ομαλά.

Το μέγιστο απόλυτο υψόμετρο του είναι 967m. Η βάση του αποτελείται από μάρμαρα του Τριαδικού-Ιουρασικού, που βρίσκονται επωθημένα πάνω στο παλαιοζωικό κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο. Εκείνο το στοιχείο που έχει ιδιαίτερη σημασία από μορφοτεκτονική άποψη είναι οι αποθέσεις νέων ιζημάτων, που καλύπτουν το υπόβαθρο του υψώματος στο μεγαλύτερο του τμήμα από το υψόμετρο των 700m μέχρι 900m περίπου (Σχ.19).

- ii. Το ύψωμα Μπορντό που βρίσκεται ΒΔ της Πτολεμαΐδας και εκτείνεται από το μεταμορφωμένο υπόβαθρο (περιοχή χωριών Εμπορίου, Αναρράχης) προς το κέντρο της λεκάνης με διεύθυνση ΑΒΑ. Χαρακτηρίζεται από ισχυρό τοπογραφικό ανάγλυφο, το οποίο προϋποθέτει έντονη νεοτεκτονική δραστηριότητα. Κανονικά ρήγματα έχουν δημιουργήσει απόκρημνες πλαγιές (fault scarps) και έντονες χαραδρώσεις, κάθετες στις τεκτονικές πλαγιές (διαβρωτικό ανάγλυφο). Η γεωμορφολογική αυτή εικόνα δείχνει ότι το ύψωμα βρίσκεται σε ένα σχετικά νέο στάδιο εξέλιξης, κατά το οποίο είναι

έντονη η εκβαθυντική δράση του νερού, με αποτέλεσμα να αρχίσουν να συσσωρεύονται αλλουβιακά ριπίδια και κώνοι στο μέτωπο της πλαγιάς. Στις εξόδους των χαραδρώσεων ρήγματα διεύθυνσης 10° ως 40° και κλίσης μεταξύ 30° και 70° ΒΔ μικρού σχετικά άλματος και στο μέτωπο της πλαγιάς σχηματίζονται τεκτονικές αναβαθμίδες. Η κύρια ρηξιγενής γραμμή δε φαίνεται στην επιφάνεια, ορίζεται από τους πρόποδες του υψώματος, αλλά είναι άγνωστο αν διέρχεται ακριβώς κάτω από αυτούς.

Χαρακτηριστική περίπτωση μορφοανάγλυφου που οφείλεται σε τεκτονική δράση, σε συνδυασμό με έντονη διάβρωση που εκφράζεται με ποταμοχειμάρρια απόθεση υλικών, αποτελούν τα χαμηλά τμήματα του υψώματος Μπορντό, νοτιοδυτικά του φράγματος του Περδίκια. Η περιοχή αυτή βρίσκεται σε μια ζώνη διασταύρωσης ρηγμάτων διευθύνσεων ΒΒΑ-ΝΝΔ και ΑΒΑ-ΔΝΔ, τα οποία έχουν διαπιστωθεί κυρίως από γεωτρήσεις. Το ασβεστολιθικό υπόβαθρο εμφανίζεται επιφανειακά σε δύο σημεία, βόρεια και νότια της λεκάνης κατάκλυσης του φράγματος.

- iii. Το ύψωμα Νεάπολη βρίσκεται νότια του Αμυνταίου και νοτιοδυτικά του χωριού Βεγόρα. Έχει μέγιστο υψόμετρο 728m και αποτελεί το όριο των υπολεκανών Πετρών – Αμυνταίου και Βεγορίτιδας. Τοποθετείται ακριβώς πάνω στη τεκτονική γραμμή που οριοθετεί τη Βορειοδυτική πλευρά της λίμνης Βεγορίτιδας και τη συνέχεια της στα ιζήματα της λεκάνης.

Από γεωηλεκτρικές διασκοπήσεις του ΙΓΜΕ εκτιμάται ότι ο κρυσταλλικός ασβεστόλιθος στο ύψωμα που αποτελεί το υπερυψωμένο τέμαχος του ρήγματος βρίσκεται σε απόλυτο υψόμετρο 300m (βάθος 400m από την κορυφή του υψώματος), ενώ το βυθισμένο τέμαχος σε υψόμετρο 100m ως 0m. Όλο το ύψωμα αποτελείται από πλειοκαινικά ιζήματα του Σχηματισμού Βεγόρας (μάργες, αργιλόμαργες, άμμοι, κροκαλοπαγή, λιμναίος ασβεστόλιθος στην κορυφή) με εναλλασσόμενες παράλληλες στρώσεις.

5. ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Όπως αναφέρθηκε νωρίτερα εξαιτίας των τεκτονικών συνθηκών στην ευρύτερη περιοχή, δημιουργήθηκαν τέσσερις λίμνες. Οι λίμνες Ζάζαρη, Χειμαδίτιδα, Πετρών και Βεγορίτιδα.

Οι λίμνες Ζάζαρη και Χειμαδίτιδα οι οποίες βρίσκονται στις Βορειοανατολικές παρυφές του όρους Άσκιου αν και είναι δύο ξεχωριστές λίμνες με διαφορετικά χαρακτηριστικά, σχεδόν πάντα αναφέρονται μαζί, γιατί διαμορφώνουν μια ενιαία περιοχή και οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ τους είναι αμοιβαίες. Η λίμνη Ζάζαρη σε υψόμετρο 602 m, έχει εμβαδό περίπου 2 Km². Τροφοδοτείται από το ποτάμι του Σκλήθρου, αλλά και από υπόγειες πηγές, ενώ στη συνέχεια τροφοδοτεί με τη σειρά της τη Χειμαδίτιδα. Η λίμνη Χειμαδίτιδα είναι μεγαλύτερη, έχοντας έκταση 10,8 Km² και βρίσκεται εννιά μέτρα χαμηλότερα από τη Ζάζαρη.

Στα όρια των νοτιοδυτικών απολήξεων του Βόρα με τα χαμηλότερα βορειοανατολικά σημεία της λεκάνης του Αμυνταίου έχουν σχηματισθεί οι λίμνες Πετρών και Βεγορίτιδας, ως συνέχεια της υδρολογικής λεκάνης της Πτολεμαΐδας. Η λίμνη Πετρών είναι πολύ μικρότερη, δέχεται τα νερά από την λίμνη Χειμαδίτιδα και τροφοδοτεί με τη σειρά της τη Βεγορίτιδα. Είναι μια μεσοτροφική λίμνη, η μέση στάθμη της βρίσκεται σε υψόμετρο 572 m και η επιφάνειά της έχει έκταση οχτώ τετραγωνικά χιλιόμετρα. Η λίμνη Βεγορίτιδα είναι από τις βαθύτερες λίμνες της Ελλάδας. Η περιγραφή της με τα τυπικά χαρακτηριστικά μιας λίμνης είναι ιδιαίτερα δύσκολη, αφού το μέγεθός της μεταβάλλεται συνέχεια, με τα νερά της να υποχωρούν γοργά τα τελευταία χρόνια, κυρίως λόγω της υπερβολικής άντλησης για τις ανάγκες του Υδροηλεκτρικού Σταθμού Άγρα, του Ατμοηλεκτρικού Σταθμού Αμυνταίου – Φιλώτα και της άρδευσης των γειτονικών γεωργικών εκτάσεων. Τα τελευταία χρόνια εμφανίζεται τάση μείωσης του ρυθμού πτώσεως της στάθμης της λίμνης ή σταθεροποίησης σε υψόμετρο 510 m περίπου. Έτσι, θεωρώντας τη στάθμη σε υψόμετρο 513 m, το μέγιστο βάθος της μπορεί να φθάνει τα εβδομήντα μέτρα, ενώ η επιφάνειά της έχει έκταση 59 Km².

Το υδρογραφικό δίκτυο δεν είναι αναπτυγμένο λόγω των καρστικών σχηματισμών που επικρατούν. Ο Αμύντας είναι και ο μοναδικός ποταμός που αποστραγγίζει την περιοχή και ειδικότερα το πρώην έλος της Χειμαδίτιδας.

Στον Πίνακα 1. παρουσιάζεται η ετήσια διακύμανση ποιότητας των νερών στις λίμνες (Βεγορίτιδα, Πετρών, Χειμαδίτιδα, Ζάζαρη) (Κιλικίδης και συν,1989-94, Κουϊμτζής και συν,1993, Κουσουρής και συν,1988-97, ΕΥΔΑΠ,1986-95, Skoulidis,1993).

ΛΙΜΝΗ	T(°C)	pH	Ηλεκτρική Αγωγιμότητα (μS/cm)	Ολική Αλκαλικότητα (meq/l)	Ολική Σκληρότητα (mg/l)	Χλωριόντα (mg/l)	Θειικά (mg/l)
Βεγορίτιδα	26	7,4 – 9,0	428 – 1012	3,3 – 3,6	–	13 – 15	–
Πετρών	30	7,2 – 9,1	405 – 1430	1,5 – 5,8	155 – 195	19 – 43	35 – 165
Χειμαδίτιδα	30	7,5 – 9,8	320 – 910	2,0 – 3,6	75 – 180	15 – 30	25 – 120
Ζάζαρη	28	7,6 – 9,7	310 – 520	0,4 – 2,0	70 – 120	7,5 – 14	7 – 20

Πίνακας 1. Ετήσια διακύμανση της ποιότητας των νερών στις λίμνες (Κατώτερη και ανώτερη τιμή των παραμέτρων: θερμοκρασίας (°C), pH, ηλεκτρικής αγωγιμότητας (μS/cm), ολικής αλκαλικότητας (meq/l), ολικής σκληρότητας CaCO₃ (mg/l) καθώς επίσης και οι τιμές σε χλωριόντα και θειικά (mg/l).

6. ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ

6.1 ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Η περιοχή της λεκάνης Πτολεμαΐδας είναι τμήμα της μεγάλης καρστικής περιοχής που εκτείνεται από τον Αλιάκμονα μέχρι τα σύνορα της ΠΓΔΜ. Ο μορφολογικός υδροκρίτης δεν συμπίπτει με το καρστικό υδροκρίτη. Τα περιμετρικά βουνά στα βόρεια, ανατολικά και νότια όρια αποτελούνται κυρίως από ασβεστόλιθους και μάρμαρα, έντονα καρστικοποιημένα, σε βαθμό που σπάνια υπάρχει επιφανειακή απορροή. Μόνο το όρος Άσκιο στα δυτικά της λεκάνης αποτελείται εν μέρει από μεταμορφωμένα κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα τα οποία είναι αδιαπέρατα.

Σε γενικές γραμμές μπορούν να διαχωριστούν δύο υδρογεωλικές ενότητες:

- Υδρογεωλογική ενότητα Νοτιοδυτικού Βερμίου, με πλούσιο υπόγειο υδατικό δυναμικό που εκτιμάται σε 250X10⁶ m³/έτος.
- Υδρογεωλογική ενότητα Βορειοδυτικού Βερμίου, στην οποία σχηματίζεται ο μεγαλύτερος υπόγειος ταμιευτήρας νερού, ο οποίος εκτιμάται ότι περιέχει

$350 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{έτος}$. Ο υδροφόρος ορίζοντας αυτός έχει κλίση προς τη Βεγορίτιδα, όμως, με την άποψη αυτή δεν συμφωνούν όλοι οι μελετητές.
(library.tee.gr/digital/m2045/m2045_zarafidis.pdf)

6.2 ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΩΝ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ

Οι νεογενείς αποθέσεις της μελετούμενης λεκάνης χωρίζονται σε 3 σειρές:

α) στην υποκείμενη σειρά όπου συναντώνται ο 3^{ος} (άμμοι με ενστρώσεις ιλύος και αργίλου) και 4^{ος} υδροφορέας (άμμος και άργιλος με καταθέσεις αμμοχάλικου και οργανικής ιλύος). Η υποκείμενη σειρά εμφανίζεται κατά τόπους υδατοστεγανή λόγω των λεπτόκοκκων υλικών της.

β) στη λιγνιτική σειρά όπου εμφανίζονται τα λιγνιτικά στρώματα κυρίως και στρώματα άμμου, αργίλου και μάργας. Η σειρά αυτή είναι κατά τόπους περατή. Η σποραδική περατότητά της οφείλεται κυρίως στις δομές δευτερογενούς τεκτονισμού που εμφανίζονται στα λιγνιτοφόρα στρώματα όπως τα ρήγματα και οι διακλάσεις.

γ) στην υπερκείμενη σειρά όπου συναντώνται ο 1^{ος} (λεπτόκοκκοι πηλοί, άμμοι, χαλίκια με καταθέσεις κροκαλοπαγών) και ο 2^{ος} (άμμοι και αμμοχάλικα) υδροφορέας. Εδώ έχουμε στεγανότητα κατά τόπους διότι υπάρχουν παρεμβολές μάργας, αργίλου και λεπτόκοκκης άμμου.

Γενικά στην ευρύτερη περιοχή η υδροφορία διαμορφώθηκε σε ποταμοχειμνάρια περιβάλλον με διάφορα αλλότρια ενδιάμεσα υλικά. Ως αυτού πιθανολογείται η ύπαρξη «εγκλωβισμένου» νερού που επιδρά στην εκμετάλλευσή του. Παρατηρείται λοιπόν μια ανομοιογενής επικοινωνία μεταξύ των γεωτρήσεων και κατ' επέκταση των υδροφόρων (Δημητρακόπουλος, 2001).

6.3 ΥΔΡΑΥΛΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Ο υδροφορέας αποτελείται από εναλλαγές περατών, ημιπερατών και αδιαπέρατων σχηματισμών που διαμορφώνουν ένα υδροφόρο σύστημα από επάλληλα υδροφόρα στρώματα. Λόγω της ύπαρξης ρηγμάτων τα υδροφόρα αυτά στρώματα

έρχονται σε υδραυλική επικοινωνία. Ο συντελεστής κατείσδυσης ανέρχεται σε 12,3%.

Με βάση τα αποτελέσματα των δοκιμαστικών αντλήσεων (Δημητρακόπουλος, 2001) προκύπτει ότι ο συντελεστής μεταβιβατικότητας (T) κυμαίνεται από $T=2 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ και $10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$.

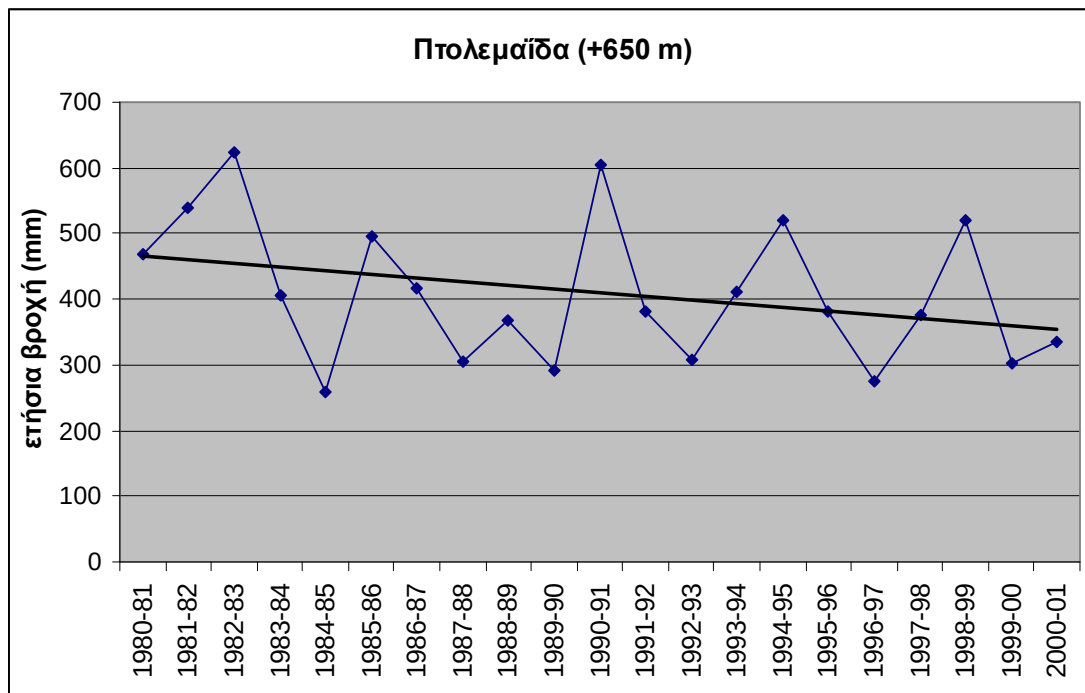
Ο συντελεστής αποθήκευσης κυμαίνεται μεταξύ 1,2%-12% στα ελεύθερα υδροφόρα στρώματα και μεταξύ 10^{-5} - $8 \cdot 10^{-3}$ στα υπό πίεση. Από τις τιμές του συντελεστή αποθηκευτικότητας προκύπτει ότι η υδροφορία βρίσκεται άλλοτε υπό πίεση και άλλοτε σε ελεύθερη κατάσταση. Οι ανωτέρω τιμές προέκυψαν με τη θεώρηση του υδροφορέα των νεογενών και τεταρτογενών αποθέσεων, ως ενιαίου σε όλη την έκταση της λεκάνης.

7. ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

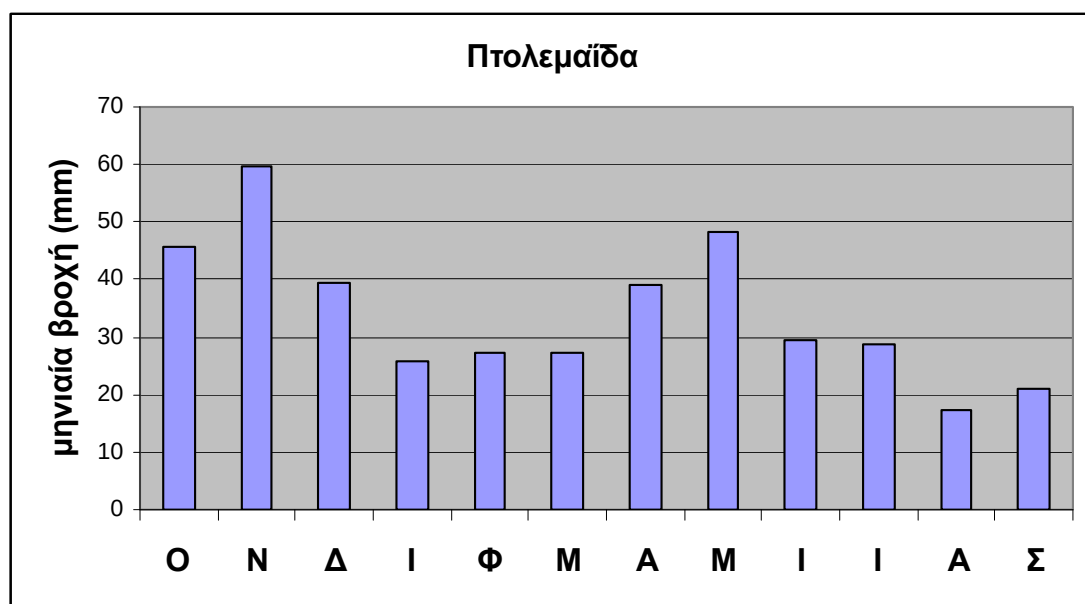
Το κλίμα της περιοχής είναι ενδιάμεσο μεταξύ του Μεσογειακού και Μεσοευρωπαϊκού κλιματικού τύπου. Λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι ο κύριος όγκος των βροχών πέφτει κατά τη διάρκεια του χειμώνα το κλίμα χαρακτηρίζεται ως ηπειρωτικό. Αυτό επιβεβαιώνεται και από τα στοιχεία για τη μέση ετήσια θερμοκρασία του αέρα, η οποία είναι 12.6°C , το δε απόλυτο θερμομετρικό εύρος είναι 68.8°C (41.0°C με -27.8°C). Ολικοί παγετοί σημειώνονται συχνά και ακόμα συχνότερα μερικοί παγετοί, οι τελευταίοι μάλιστα επί σειρά διαδοχικών ημερών. (library.tee.gr/digital/m2045/m2045_zarafidis.pdf)

Στην ευρύτερη περιοχή παρατηρείται μια αυξημένη βροχύπτωση, λόγω του μεγάλου υψομέτρου και των κατάλληλων συνθηκών. Στα Σχήματα 3 και 4 παρουσιάζεται η διακύμανση της ετήσιας βροχύπτωσης και η μέση μηνιαία βροχύπτωση στον σταθμό Πτολεμαΐδας.

Υγρότερος μήνας είναι ο Νοέμβριος και ακολουθεί ο Μάιος. Οι ξηρότεροι μήνες είναι ο Αύγουστος και ο Σεπτέμβριος.



Σχήμα 3. Διακύμανση της ετήσιας βροχόπτωσης στο σταθμό Πτολεμαΐδας.



Σχήμα 4. Μέση μηνιαία βροχόπτωση στο σταθμό Πτολεμαΐδας (περίοδος 1980-2000).

8. ΒΛΑΣΤΗΣΗ

Ιδιαίτερο γνώρισμα της βλάστησης του λεκανοπεδίου Πτολεμαΐδας είναι η απουσία μεσογειακών (θερμόφιλων) ειδών. Άλλο σημαντικό γνώρισμα της βλάστησης των ορεινών όγκων που περιβάλλουν το λεκανοπέδιο (Βέρμιο, Βόρας) είναι το υψηλό ποσοστό πολυετών ποωδών ειδών και το χαμηλό ποσοστό μονοετών ποωδών ειδών. Αυτό δείχνει ότι η βλάστηση του υψιπέδου της Πτολεμαΐδας δεν είναι μεσογειακή. Η δενδρώδης βλάστηση είναι πλούσια. Φυσική παραποτάμια βλάστηση παρατηρείται κατά μήκος των ρεμάτων απορροής που διαρρέουν την περιοχή.

Η συνύπαρξη δάσους, βοσκοτόπων και καλλιεργήσιμης γης, η αλόγιστη υλοτομία και κλαδονομή, η υπερβόσκηση, οι κατολισθήσεις, οι μύκητες, η έλλειψη αναδασώσεων έχουν υποβαθμίσει τα δάση της περιοχής και η λήψη μέτρων θεωρείται απαραίτητη.

Σε ότι αφορά τις καλλιέργειες που αναπτύσσονται στην περιοχή, τα τελευταία χρόνια παρατηρείται στροφή προς τις ποτιστικές και δυναμικές καλλιέργειες. Κατά συνέπεια το ποσοστό των αρδευομένων εκτάσεων αυξάνεται συνεχώς. (Heleco '05, ΤΕΕ, Αθήνα, 3-6 Φεβρουαρίου 2005 3)

B' ΜΕΡΟΣ

ΧΗΜΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ

ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΝΕΡΟΥ

ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΤΩΝ ΙΟΝΤΩΝ

ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΤΩΝ ΝΕΡΩΝ

ΜΕΘΟΔΟΙ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

ΧΩΡΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ

PH – ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ

ΚΑΤΑΤΑΞΗ

9. ΧΗΜΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ

9.1. ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΝΕΡΟΥ

Η δειγματοληψία των δειγμάτων υπόγειου νερού πρέπει να είναι αντιπροσωπευτική της περιοχής που μελετάται, καλύπτοντας όλους τους γεωλογικούς σχηματισμούς, που φιλοξενούν υδροφόρους ορίζοντες, ώστε να μπορεί να γίνει σύγκριση της ποιότητας. Αντιπροσωπευτική δειγματοληψία πρέπει να γίνεται κατά βάθος, ακόμα και αν ο υδροφόρος ορίζοντας είναι ενιαίος. Το νερό του δείγματος πρέπει να είναι φρέσκο, δηλαδή μετά από άντληση της γεώτρησης για ικανοποιητικό χρόνο (τουλάχιστον μιας ώρας), ώστε να ανανεωθεί.

Η συλλογή του νερού πρέπει να γίνεται σε φιάλες 1½ λίτρου από πολυαιθυλένιο, αφού πρώτα ξεπλυθεί καλά με το ίδιο νερό που θα αναλυθεί. Οι γυάλινες φιάλες πρέπει να αποφεύγονται, γιατί έχει παρατηρηθεί προσρόφηση και ανταλλαγή ιόντων. Τα δείγματα φυλάσσονται σε ψυγείο με θερμοκρασία 4 °C, μέχρι να μεταφερθούν στο εργαστήριο. Έτσι επιτυγχάνεται η αναστολή ανεπιθύμητων βιολογικών και χημικών αντιδράσεων. Τα αποτελέσματα της χημικής ανάλυσης είναι περισσότερο αξιόπιστα, όταν ο χρόνος που μεσολαβεί μεταξύ δειγματοληψίας και ανάλυσης είναι μικρός.

Η συγκέντρωση των ιόντων εκφράζεται κυρίως σε χιλιοστόγραμμα ανά λίτρο (mg/l) και σε χιλιοστοϊσοδύναμα ανά λίτρο (meq/l). Η ηλεκτρική αγωγιμότητα εκφράζεται σε μS/cm.

Η παρουσίαση των αποτελεσμάτων των χημικών αναλύσεων γίνεται με τη βοήθεια υδροχημικών διαγραμμάτων: ραβδοδιαγράμματα, ανυσματικά, πολυγωνικά, κυκλικά, ημιλογαριθμικά, τριγωνικά διαγράμματα PIPER, DUROV,

Η ταξινόμηση των υπογείων νερών με βάση τον χημισμό τους γίνεται με τη βοήθεια διαφόρων λόγων Cl/SO₄, Na/K, Cl/Br, Mg/Ca, ή με βάση την περιεκτικότητα σε διάφορα ιόντα. Επίσης χρησιμοποιείται η ταξινόμηση με βάση τη σκληρότητα, το σύνολο των διαλυμένων στερεών, το συντελεστή προσρόφησης νατρίου κ.α.

9.2. ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΤΩΝ ΙΟΝΤΩΝ

9.2.1. Ανιόντα

1) Χλώριο (Cl^-): Κύρια προέλευση είναι τα ιζηματογενή πετρώματα, που περιέχουν αργιλικά ορυκτά θαλάσσιας γένεσης, καθώς και οι εβαπορίτες. Άλλη πηγή αποτελεί η διείσδυση της θάλασσας στους παράκτιους υδροφόρους. Στις βιομηχανικές περιοχές αύξηση του Cl^- προέρχεται από την καύση των πλαστικών και τα θερμοηλεκτρικά εργοστάσια.

Επιθυμητό όριο συγκέντρωσης των χλωριόντων στο πόσιμο νερό είναι 25 mg/l και το ανώτατο 250 mg/l. Σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις το νερό γίνεται γλυφό και ορισμένες επιδημιολογικές μελέτες αναφέρουν ότι προκαλούνται καρδιαγγειακά προβλήματα.

Το χλώριο χρησιμοποιείται επίσης για την απολύμανση του νερού, γιατί είναι αποτελεσματικό στην καταπολέμηση των κολοβακτηριδίων, όχι όμως και των ιών ή των παρασίτων. Ο λόγος αυτός, καθώς και η τοξικότητα που εμφανίζει σε μεγάλες ποσότητες έχει αποθαρρύνει πολλές ευρωπαϊκές χώρες στη χρήση του χλωρίου για απολύμανση.

Υπολειμματικό χλώριο είναι αυτό που απομένει για την αντιμετώπιση των μικροβίων μετά τις αντιδράσεις με τα διάφορα άλλα χημικά συστατικά του νερού. Καλύτερο απολυμαντικό μέσο θεωρείται τελευταία το όζον (O_3), το οποίο είναι ισχυρό οξειδωτικό και εκτός από τα βακτήρια και τους ιούς αποσυνθέτει και τις χλωριωμένες ενώσεις που βρίσκονται στο νερό.

2) Θειικά (SO_4^{2-}): Κύρια προέλευση των θεικών ανιόντων είναι η διάλυση της γύψου και του ανυδρίτη, καθώς και η οξείδωση θειούχων ενώσεων (πυριτών), που εμφανίζονται σε αργιλικά πετρώματα. Συγκέντρωση μεγαλύτερη από 250 mg/l σε θειικά ιόντα καθιστά τη χρήση των νερών προβληματική για πόση και βιομηχανική χρήση.

Γενικά το θείο και οι ενώσεις του ευθύνονται για τα προβλήματα οσμών και διαβρώσεων. Σε σηπτικές καταστάσεις οι θεικές ενώσεις ανάγονται με τη βοήθεια αναερόβιων βακτηριδίων σε θειούχες, κυρίως υδρόθειο (H_2S). Το υδρόθειο έχει μια δυσάρεστη οσμή και διαβρώνει τους αγωγούς μεταφοράς νερού.

3) Νιτρικά (NO_3^-): Τα νιτρικά ιόντα είναι το τελικό προϊόν της φυσικής αποσύνθεσης οργανικών αζωτούχων ενώσεων, όπως φυτικής και ζωικής πρωτεΐνης. Μπορεί να προέρχεται από ζωικά περιττώματα, λιπάσματα ή προηγούμενη χρήση του νερού από τον άνθρωπο.

Μεγάλη περιεκτικότητα σε νιτρικό ανιόν υποδηλώνει την παρουσία βιολογικών ρύπων ή επίδραση ή ανάμειξη με νερά άρδευσης από λιπαινώμενες γαίες.

Το ανώτατο όριο συγκέντρωσης νιτρικών στο πόσιμο νερό έχει καθορισθεί σε 50 mg/l, ενώ το επιθυμητό όριο είναι 25 mg/l. Αυξημένες συγκεντρώσεις σε νιτρικά ιόντα προκαλούν βλάβες στον οργανισμό. Συγκεκριμένα κατηγορούνται για την πρόκληση διαφόρων μορφών καρκινογένεσης (παραγωγή νιτροζαμινών) και ίσως για την κοινά ονομαζόμενη ασθένεια των "μπλε παιδιών". Τα νιτρικά είναι ένα πρόβλημα που θα ενταθεί στο μέλλον από την αλόγιστη χρήση λιπασμάτων. Η κύρια διαδικασία απομάκρυνσης των νιτρικών είναι η αναγωγή τους. Οι κύριες αναγωγικές ουσίες H_2S , CH_4 , Fe^{2+} βρίσκονται διαλυμένες στο νερό σε μικρή αναλογία σε σχέση με τα νιτρικά και έτσι καθίσταται αδύνατη η πλήρης αναγωγή των νιτρικών. Έτσι η αναγωγή των νιτρικών ή αποτρίνωση (denitrification) στους υδροφόρους επιτυγχάνεται από οργανική ύλη, παρουσία βακτηρίων με τελικό προϊόν την αμμωνία

4) Ώξινα Ανθρακικά (HCO_3^-): Είναι το επικρατέστερο ανιόν στα γλυκά υπόγεια νερά. Προέρχεται από το CO_2 της ατμόσφαιρας και ελευθερώνεται στο έδαφος κατά την οργανική αποσύνθεση. Επίσης προέρχεται από τη διάλυση των ανθρακικών πετρωμάτων από το νερό.

9.2.2. Κατιόντα

1) Κάλιο (K^+) – Νάτριο (Na^+): Τα αλκάλια Na και K συνδέουν την παρουσία τους με τους αστρίους. Το μεν νάτριο στον αλβίτη ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$), το δε κάλιο στο ορθόκλαστο και στον μικροκλινή (KAlSi_3O_8). Το Na απαντά επίσης στους νατριούχους αμφιβόλους (γλαυκοφανή) και στον αλίτη (NaCl) και το K στον συλβίνη (KCl). Το κάλιο σχετίζεται επίσης και με τα καλιούχα λιπάσματα.

Το ενδεικτικό επίπεδο συγκέντρωσης νατρίου στα υπόγεια νερά είναι τα 20 mg/l. Στο θαλασσινό νερό ανέρχεται σε 10.000 mg/l. Περισσότερο από 50 mg/l νατρίου και καλίου προκαλούν σαπωνοποίηση που επιταχύνει τη διάβρωση στους

λέβητες, δημιουργώντας κρούστα. Μεγάλες συγκεντρώσεις ιόντων νατρίου στο πόσιμο νερό επιφέρουν προβλήματα στην υγεία των ανθρώπων που το χρησιμοποιούν (αυξάνει την αρτηριακή πίεση). Η παρουσία των αλκαλίων σχετίζεται και με τη διείσδυση της θάλασσας σε παράκτιους υδροφόρους ορίζοντες ή με αερομεταφερόμενα σταγονίδια από τη θάλασσα.

3) Ασβέστιο (Ca^{2+}) – Μαγνήσιο (Mg^{2+}): Η κύρια προέλευση του ασβεστίου (Ca^{2+}) είναι τα ανθρακικά ιζηματογενή πετρώματα και τα μάρμαρα. Επίσης προέρχεται από τους ασβεστονατριούχους άστριους, τη γύψο, τους πυρόξενους και τους αμφιβόλους.

Το μαγνήσιο (Mg^{2+}) απαντάται στον ολιβίνη (Mg,FeSiO_4), μαγνησίτη, δολομίτη και τους χλωρίτες. Επίσης στα ανθρακικά πετρώματα, στα οποία είναι περισσότερο άφθονο όταν περιέχουν μαγνησίτη (MgCO_3) και δολομίτη ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$). Προέρχεται και από τη διάλυση αργιλικών ορυκτών, όπου βρίσκεται προσροφημένο στο πλέγμα τους.

9.3. ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΤΩΝ ΝΕΡΩΝ

9.3.1. Θερμοκρασία

Η θερμοκρασία των υπογείων νερών καθορίζεται κυρίως από τη θερμοκρασία των πετρωμάτων, τα οποία τα περιβάλλουν. Οι θερμοκρασίες του υπόγειου νερού τείνουν να παραμείνουν σταθερές, εκτός από τα επιφανειακά νερά που παρουσιάζουν διακυμάνσεις ως αποτέλεσμα των μεταβολών της ηλιακής ενέργειας πάνω στην επιφάνεια της γης. Η θερμοκρασία του υπόγειου νερού επηρεάζεται και από τις μεταβολές της πιεζομετρικής επιφάνειας του υδροφόρου ορίζοντα.

9.3.2. Ενεργός οξύτης (pH)

Ενεργός οξύτης είναι η συγκέντρωση των ιόντων H_3O^+ που περιέχεται στο διάλυμα και εκφράζεται με το pH, δηλαδή με τον αρνητικό δεκαδικό λογάριθμο της συγκέντρωσης των ιόντων H_3O^+ . Ο προσδιορισμός του pH γίνεται χρωματομετρικά

και ηλεκτρομετρικά. Το pH του υπόγειου νερού καθορίζεται από τις διάφορες χημικές αντιδράσεις και ισορροπίες μεταξύ των διαλυμένων ιόντων μέσα σε αυτό.

9.3.3. Ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC)

Συνδέεται άμεσα με την ποσότητα και τη φύση των διαλυμένων ηλεκτρολυτών. Η αύξηση της ποσότητας των διαλυμένων αλάτων και η αύξηση της θερμοκρασίας συνεπάγονται και αύξηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας, γι' αυτό η μέτρηση της πρέπει να γίνεται σε συγκεκριμένη θερμοκρασία (συνήθως 25 °C). Το ενδεικτικό επίπεδο της αγωγιμότητας στο πόσιμο νερό είναι 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Αυξημένη αγωγιμότητα υποδηλώνει αυξημένες ποσότητες αλάτων, που ανάλογα με τη φύση τους και τη συγκέντρωσή τους μπορεί να δημιουργήσουν προβλήματα υγείας.

9.3.4. Σκληρότητα (Hardness)

Η σκληρότητα των νερών προέρχεται από την παρουσία δισθενών μεταλλικών κατιόντων, εκ των οποίων τα πιο συνηθισμένα είναι το Ca^{2+} και το Mg^{2+} . Τα ιόντα αυτά αντιδρούν με το σαπούνι και σχηματίζουν ίζημα και μαζί με ορισμένα ανιόντα, που βρίσκονται στο νερό δημιουργούν κρούστα.

Ο προσδιορισμός της σκληρότητας έχει μεγάλη σημασία γιατί αποτελεί κριτήριο καταλληλότητας για πολλές χρήσεις των νερών. Η σκληρότητα του πόσιμου νερού μεταξύ των άλλων συνδέεται και με την υγεία του ανθρώπου και συγκεκριμένα σχετίζεται με καρδιακές παθήσεις.

9.3.5. Συντελεστής Προσρόφησης Νατρίου (SAR)

Ο συντελεστής προσρόφησης νατρίου (Sodium Assorption Ratio) ισούται με:

$$\text{SAR} = \frac{\text{Na}}{\sqrt{\frac{\text{Ca} + \text{Mg}}{2}}}$$

Στον ανώτερο τύπο οι συγκεντρώσεις των ιόντων είναι εκφρασμένες σε meq/l. Ο συντελεστής προσρόφησης νατρίου αποτελεί ένα βασικό κριτήριο της

καταλληλότητας ενός νερού για άρδευση. Το νάτριο προκαλεί αποκροκίδωση του εδάφους, προκαλώντας μείωση του αερισμού και της περατότητας του εδάφους.

Μια ταξινόμηση των αρδευτικών νερών βασισμένη στο SAR και την ηλεκτρική αγωγιμότητα προτάθηκε σε διάγραμμα από το U.S. Salinity Laboratory (Σχήμα 6, Κεφ. 10.3)

9.4. ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΤΩΝ ΧΗΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

9.4.1. Ανιόντα

1) Χλώριο (Cl^-): Για την πραγματοποίηση των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκε το φασματοφωτόμετρο της HACK DR/2000 με μήκος κύματος 480 nm. Σε 25 ml δείγματος τοποθετήθηκαν 2,0 ml υδραργυρούχου θειο-κυανιούχου διαλύματος και 1,0 ml διάλυμα σιδηρικού ιόντος. Η ακρίβεια αυτής της μεθόδου είναι σε δείγμα που περιέχει 10 mg/l $\text{Cl}^- \pm 0,3$ mg/l. Το χλώριο του δείγματος αντιδρά με το υδραργυρούχο διάλυμα για να σχηματισθεί χλωρίδιο του υδραργύρου και ταυτόχρονα απελευθερώνεται θειο-κυανιούχο ιόν. Αυτό το ιόν αντιδρά με τα ιόντα του σιδήρου για να σχηματίσουν μία πορτοκαλί σιδηρούχο θειο-κυανιούχο ένωση. Το ποσό αυτής της ένωσης αντιστοιχεί στη συγκέντρωση χλωρίου. Η ακτίνα μέτρησης του οργάνου είναι 0-20 mg/l Cl^- . Σε περίπτωση που η περιεκτικότητα του δείγματος υπερβαίνει αυτό το όριο προχωράμε σε αραιώσεις 1:2 ή 1:4.

2) Θεϊκά (SO_4^{2-}): Με το ίδιο όργανο μετρήθηκε και η περιεκτικότητα σε θεϊκά. Η ακτίνα μέτρησης του οργάνου στα θεϊκά είναι 0-65 mg/l SO_4 . Το μήκος κύματος σε αυτές τις μετρήσεις είναι 420 nm. Σε περίπτωση που έχουμε μεγαλύτερη περιεκτικότητα κάνουμε αραιώσεις 1:2 ή 1:4. Η απόκλιση του οργάνου σε περιεκτικότητα διαλύματος σε θεϊκά 50 mg/l είναι ± 0.9 mg/l SO_4 . Τα θεϊκά ιόντα στο δείγμα αντιδρούν με το Βάριο του θεικού αντιδραστηρίου Sulfaver 4 (HACH) και σχηματίζουν αδιάλυτο θεικό Βάριο με ανακίνηση. Το ποσό της σχηματιζόμενης θολερότητας αντιστοιχεί στη συγκέντρωση θεϊκών.

3) Νιτρικά (NO_3^-): Το φασματοφωτόμετρο μετρά περιεκτικότητες νιτρικών 0-30 mg/l με μήκος κύματος 220 nm. Σε ένα σταθερό διάλυμα περιεκτικότητας 20 mg/l νιτρικών και με τη χρησιμοποίηση δύο ειδών αντιδραστηρίων επιτυγχάνεται τυπική

απόκλιση ± 0.8 mg/l. Σε περίπτωση που η περιεκτικότητα του δείγματος υπερβαίνει τα 30 mg/l προχωράμε σε αραιώσεις της τάξης 1:2 ή 1:4. Το μεταλλικό κάδμιο ελαττώνει τη παρουσία νιτρικών στο δείγμα προς νιτρίτη. Το ιόν του νιτρίτη αντιδρά προς ένα μέσης οξύτητας με θειικά οξύ για να σχηματίσει ενδιάμεσο άλας.

4) Όξινα Ανθρακικά (HCO_3^-): Τα όξινα ανθρακικά μετρήθηκαν με τιτλοδότηση και ογκομέτρηση με ακρίβεια της τάξης 1,0 mg/l και απόκλιση $\pm 0,55\%$

9.4.2. Κατιόντα

1) Κάλιο (K^+) – Νάτριο (Na^+): Για τον υπολογισμό του καλίου και του νατρίου χρησιμοποιήθηκε φλογοφωτόμετρο PFP 7 (JENWAY). Το όργανο αυτό για τις μετρήσεις καλίου έχει μήκος κύματος 766,5 nm, ακρίβεια 0,01 mg/l και απόκλιση $\pm 3\%$. Για τον υπολογισμό του νατρίου έχει μήκος κύματος 582 nm, ακρίβεια 0,1 mg/l και απόκλιση $\pm 4\%$. Η περιεκτικότητα σε κάλιο και νάτριο δίνεται κατευθείαν από το μηχάνημα. Όμως το φλογοφωτόμετρο δίνει ακριβείς μετρήσεις μόνο για μικρές περιεκτικότητες. Γι'αυτό το λόγο έγιναν αραιώσεις σε όλα τα δείγματα 1:50 έτσι ώστε να επιτευχθούν ακριβέστερες μετρήσεις.

3) Ασβέστιο (Ca^{2+}): Η περιεκτικότητα σε ασβέστιο μετρήθηκε με τιτλοδότηση των δειγμάτων. Σε 25 ml δείγματος προσθέτουμε 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 τιτλοδοτητής με το 0,4 και έχουμε την περιεκτικότητα σε ασβέστιο.

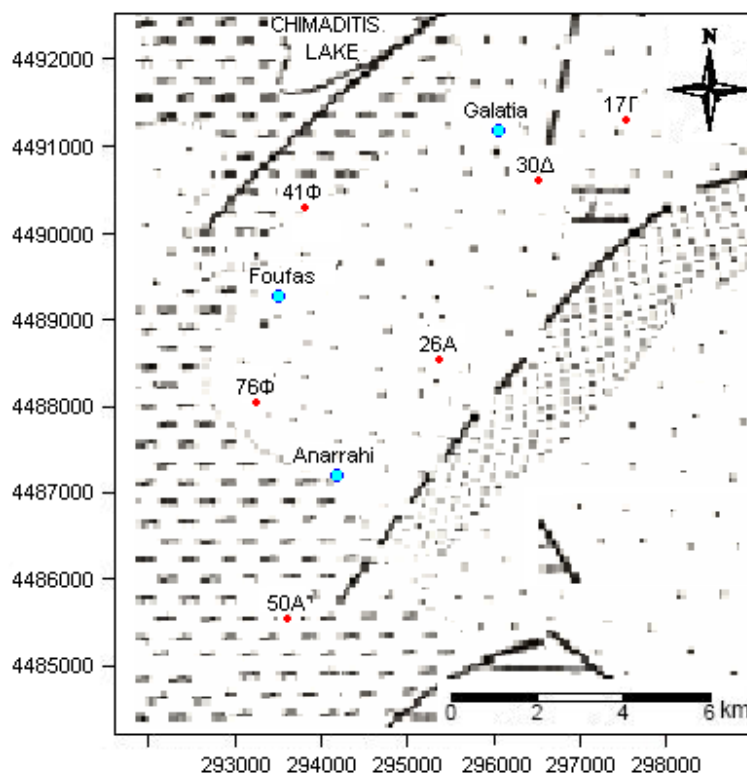
4) Μαγνήσιο (Mg^{2+}): Για τον υπολογισμό της περιεκτικότητας σε μαγνήσιο βρίσκουμε πρώτα την ολική σκληρότητα. Όπως και στην περίπτωση του ασβεστίου χρησιμοποιούμε 25 ml δείγματος. Προσθέτουμε στο δείγμα 1 ml Hardness1 Buffer και ένα δείκτη Manver2 και παρατηρούμε πως χρωματίζεται κόκκινο. Πάλι με τον τιτλοδοτητή κάνουμε την ίδια διαδικασία όπως στο ασβέστιο μέχρι να γίνει μπλε. Πολλαπλασιάζοντας με το 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 0.244 για να βρούμε την περιεκτικότητα σε μαγνήσιο.

Το **pH** και η **αγωγιμότητα** μετρήθηκαν απ'ευθείας με ειδικά όργανα στο σημείο των δειγματοληπτικών γεωτρήσεων.

Στον Πίνακα 2. δίνονται συγκεντρωμένα τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων και στον Χάρτη 8. οι θέσεις των δειγματοληπτικών γεωτρήσεων.

ΓΕΩΤ.	T(°C)	pH	Αγωγιμότητα (μS/cm)	Σκληρότητα (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)	NO ₃ ⁻ (mg/l)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	K ⁺ (mg/l)	Na ⁺ (mg/l)	Ca ²⁺ (mg/l)	Mg ²⁺ (mg/l)
26Α	14,5	7,82	289	146	2,3	10,0	6,6	168,0	1,0	15,4	46,4	7,33
50Α	14,0	7,59	336	185	3,2	7,0	3,96	191,0	6,0	6,0	59,4	8,79
41Φ	13,0	7,11	334	176	18,1	28,0	8,36	154,0	5,4	13,9	46,8	14,4
76Φ	13,5	7,56	450	235	13,1	27,0	5,28	228,0	1,9	14,2	49,2	27,35
17Γ	16,0	7,80	308	140	5,4	11,0	11,0	198,0	2,0	19,5	38,8	10,50
30Δ	14,5	7,97	464	239	8,1	7,0	14,08	190,0	1,7	23,8	60,4	22,4
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	14,25	7,641	363,5	186,83	8,366	15,0	8,213	188,16	3,0	15,46	50,16	15,13

Πίνακας 2. Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων



Χάρτης 8. Θέσεις των δειγματοληπτικών γεωτρήσεων.

9.5. ΧΩΡΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΙΟΝΤΩΝ

9.5.1. Ανιόντα

1) Χλώριο (Cl^-): Το χλώριο στην περιοχή της λεκάνης Δυτικά-Βορειοδυτικά της πόλης της Πτολεμαΐδας παρουσιάζει γενικά πολύ χαμηλές τιμές με μέσο όρο 8,36 mg/l. Τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις τις παρατηρούμε στις γεωτρήσεις 76Φ και 41Φ (13,1 mg/l και 18,1 mg/l αντίστοιχα) του χωριού Φούφας. Ιδιαίτερα χαμηλή περιεκτικότητα σε Cl παρατηρούμε στις γεωτρήσεις 26Α και 50Α (2,3 mg/l και 3,2 mg/l αντίστοιχα) του χωριού Αναρράχη. Γενικά στη λεκάνη μελέτης η συγκέντρωση του Cl κυμαίνεται σε πολύ χαμηλά επίπεδα, κάτω από το όριο των 25 mg/l που είναι το ενδεικτικό όριο της Ευρωπαϊκής Ένωσης για το χαρακτηρισμό του νερού ως πόσιμο.

2) Θεικά (SO_4^{2-}): Η ρίζα SO_4 παρουσιάζει και αυτή πολύ χαμηλές τιμές με μέσο όρο 15 mg/l. Η υψηλότερη περιεκτικότητα παρατηρείται επίσης στις γεωτρήσεις του χωριού Φούφας, 76Φ και 41Φ (27 mg/l και 28 mg/l αντίστοιχα). Στις υπόλοιπες γεωτρήσεις οι τιμές κυμαίνονται από 7 mg/l έως 11 mg/l.

3) Νιτρικά (NO_3^-): Η ρίζα NO_3 παρουσιάζει γενικά χαμηλές τιμές αφού ο μέσος όρος της περιοχής σε συγκέντρωση NO_3 είναι 8,21mg/l. Σε κάποια σημεία όμως, όπως στη γεώτρηση 30Δ του χωριού Γαλάτεια, παρατηρούμε αύξηση της περιεκτικότητας σε νιτρικά (14,08 mg/l) γεγονός που δείχνει πως θα πρέπει να γίνεται με προσοχή η χρήση του νερού απευθείας από τις γεωτρήσεις σε ορισμένες περιοχές.

4) Όξινα Ανθρακικά (HCO_3^-): Η ρίζα HCO_3 είναι η κυρίαρχη ρίζα η οποία χαρακτηρίζει τα νερά ως ανθρακικά (U.S.A.D.). Στην περιοχή μας οι τιμές συγκεντρώσεως της ρίζας HCO_3 είναι σχετικά χαμηλές με μέσο όρο 188,16 mg/l.

9.5.2. Κατιόντα

1) Κάλιο (K^+): Το κάλιο παρουσιάζει πολύ χαμηλές τιμές με μέσο όρο 3 mg/l, μία τιμή που βρίσκεται πολύ κάτω από το όριο της Ευρωπαϊκής Ένωσης που καθορίζει

την ποσιμότητα του νερού (10 mg/l έως 12 mg/l). Στις περισσότερες γεωτρήσεις της περιοχής μάλιστα, μετρήσαμε πολύ χαμηλότερες τιμές (1 mg/l στη γεώτρηση 26Α του χωριού Αναρράχη έως 2 mg/l στη γεώτρηση 17Γ του χωριού Γαλάτεια). Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις σε κάλιο παρατηρούνται στις γεωτρήσεις 41Φ (5,4 mg/l) και 50Α (6 mg/l) των χωριών Φούφα και Αναρράχης αντίστοιχα.

2) Νάτριο (Na^+): Το νάτριο παρουσιάζει χαμηλές (6 mg/l στη γεώτρηση 50Α του χωριού Αναρράχη) έως μέτριες τιμές. Ο μέσος όρος της περιεκτικότητας σε Na στην περιοχή είναι 15,46 mg/l.

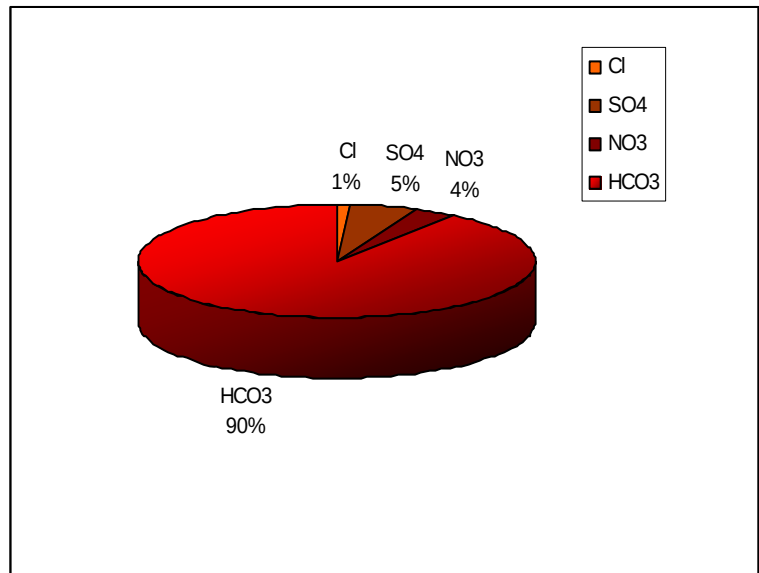
3) Ασβέστιο (Ca^{2+}): Το ασβέστιο παρουσιάζει μέτριες τιμές σε όλη την περιοχή μελέτης με μέσο όρο 50,16 mg/l.

4) Μαγνήσιο (Mg^{2+}): Ο μέσος όρος της τιμής του μαγνησίου της περιοχής είναι 15,12 mg/l, τιμή που βρίσκεται πολύ χαμηλότερα από το όριο που χαρακτηρίζει το νερό ως πόσιμο και είναι 50 mg/l. Η υψηλότερη τιμή σε μαγνήσιο συναντάται στη γεώτρηση 76Φ (27,35 mg/l) του χωριού Φούφας ενώ οι χαμηλότερες τιμές είναι 7,33 mg/l και 8,79 mg/l στις γεωτρήσεις του χωριού Αναρράχη.

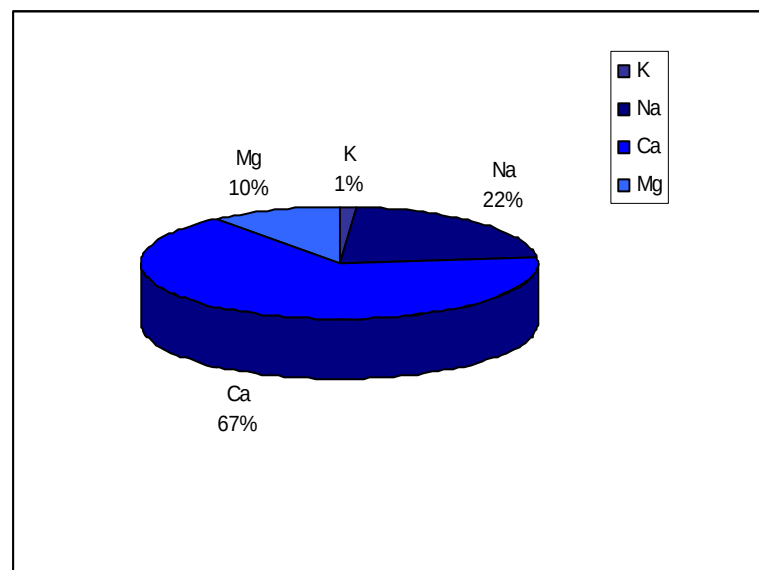
Παρακάτω δίνονται σχηματικά οι επί τοις εκατό (%) συγκεντρώσεις, ανά γεώτρηση, σε ανιόντα και κατιόντα.

ΓΕΩΤΡΗΣΗ 26Α

ΑΝΙΟΝΤΑ	ΠΕΡΙΕΚΤΙ- ΚΟΤΗΤΑ (Mg/l)	ΠΟΣΟΣΤΟ (%)
Cl^-	2,3	1
SO_4^{2-}	10,0	5
NO_3^-	6,6	4
HCO_3^-	168,0	90

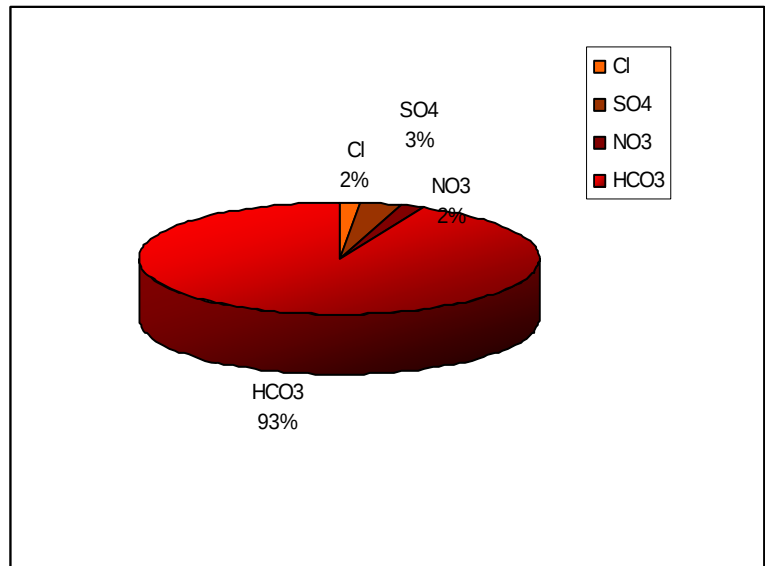


ΚΑΤΙΟΝΤΑ	ΠΕΡΙΕΚΤΙ- ΚΟΤΗΤΑ (Mg/l)	ΠΟΣΟΣΤΟ (%)
K^+	1,0	1
Na^+	15,4	22
Ca^{2+}	46,4	67
Mg^{2+}	7,33	10

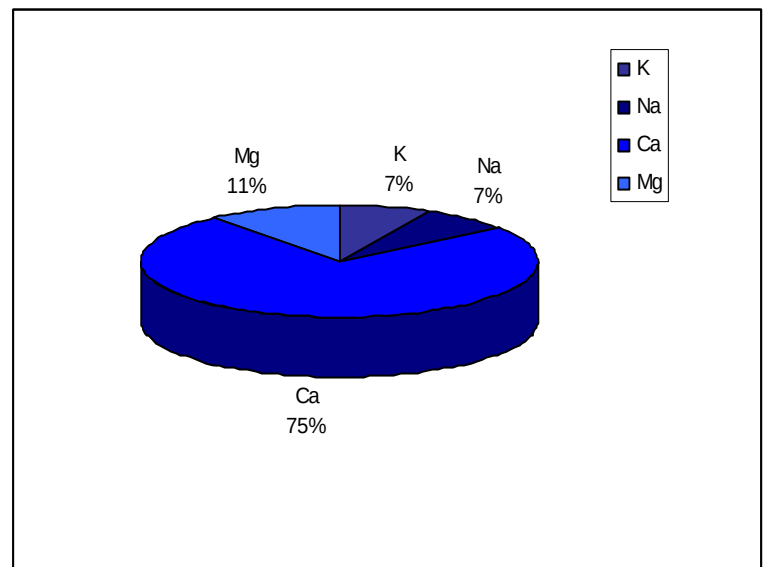


ΓΕΩΤΡΗΣΗ 50Α

ΑΝΙΟΝΤΑ	ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ (Mg/l)	ΠΟΣΟΣΤΟ (%)
Cl^-	3,2	2
SO_4^{2-}	7,0	3
NO_3^-	3,96	2
HCO_3^-	191,0	93

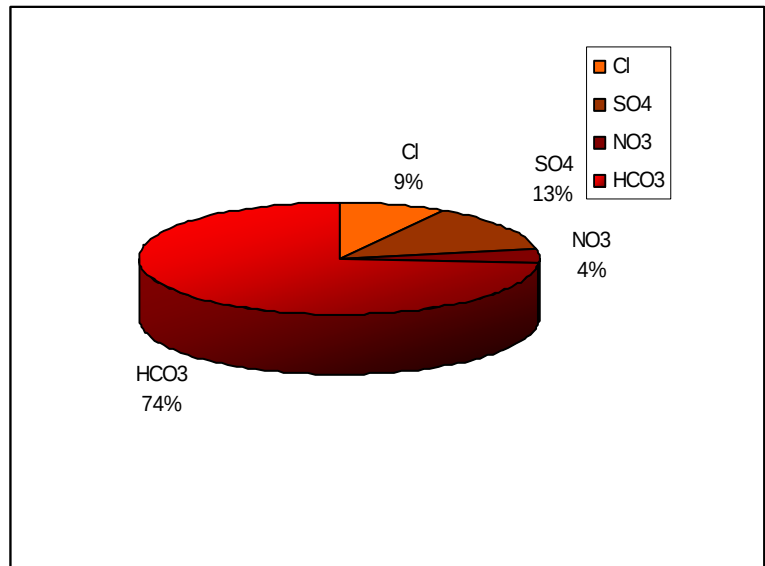


ΚΑΤΙΟΝΤΑ	ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ (Mg/l)	ΠΟΣΟΣΤΟ (%)
K^+	6,0	7
Na^+	6,0	7
Ca^{2+}	59,4	75
Mg^{2+}	8,79	11

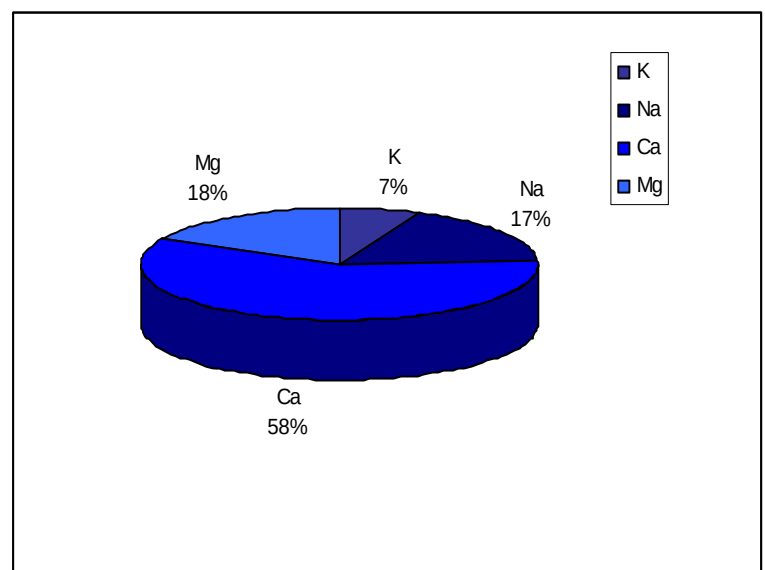


ΓΕΩΤΡΗΣΗ 41Φ

ΑΝΙΟΝΤΑ	ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ (Mg/l)	ΠΟΣΟΣΤΟ (%)
Cl^-	18,1	9
SO_4^{2-}	28,0	13
NO_3^-	8,36	4
HCO_3^-	154,0	74

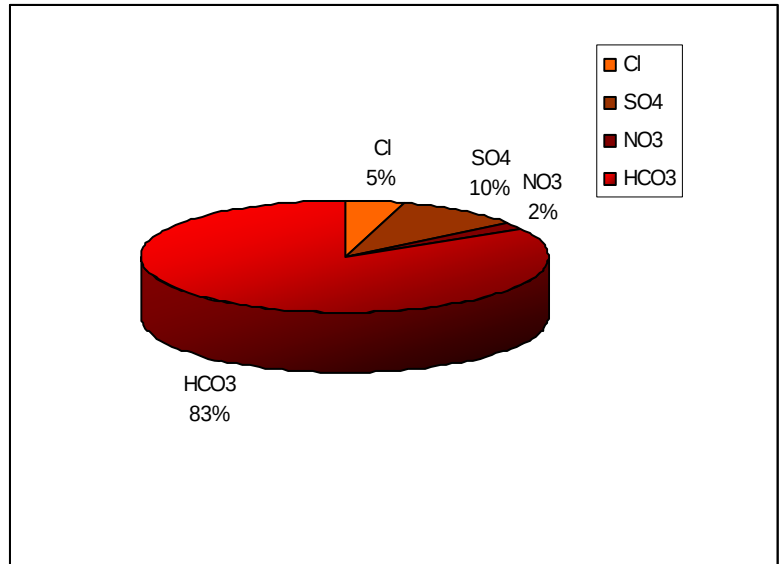


ΚΑΤΙΟΝΤΑ	ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ (Mg/l)	ΠΟΣΟΣΤΟ (%)
K^+	5,4	7
Na^+	13,9	17
Ca^{2+}	46,8	58
Mg^{2+}	14,4	18

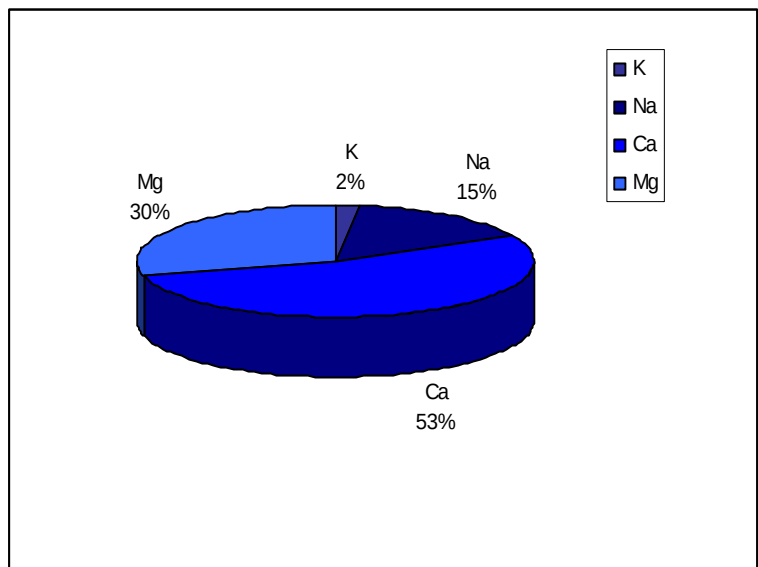


ΓΕΩΤΡΗΣΗ 76Φ

ΑΝΙΟΝΤΑ	ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ (Mg/l)	ΠΟΣΟΣΤΟ (%)
Cl^-	13,1	5
SO_4^{2-}	27,0	10
NO_3^-	5,28	2
HCO_3^-	228,0	83

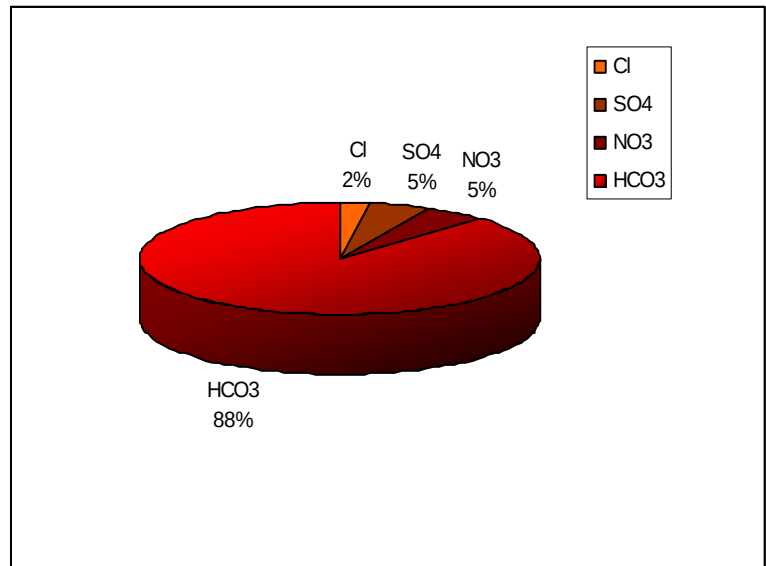


ΚΑΤΙΟΝΤΑ	ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ (Mg/l)	ΠΟΣΟΣΤΟ (%)
K^+	1,9	2
Na^+	14,2	15
Ca^{2+}	49,2	53
Mg^{2+}	27,35	30

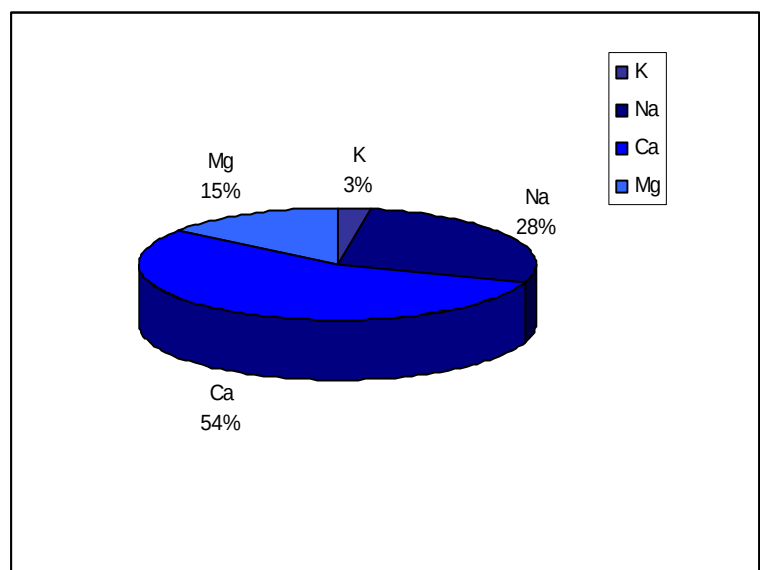


ΓΕΩΤΡΗΣΗ 17Γ

ΑΝΙΟΝΤΑ	ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ (Mg/l)	ΠΟΣΟΣΤΟ (%)
Cl^-	5,4	2
SO_4^{2-}	11,0	5
NO_3^-	11,0	5
HCO_3^-	198,0	88

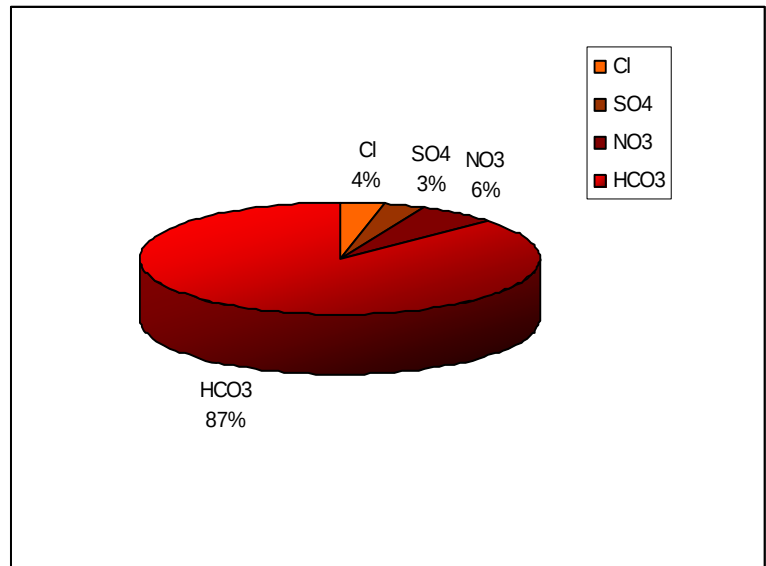


ΚΑΤΙΟΝΤΑ	ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ (Mg/l)	ΠΟΣΟΣΤΟ (%)
K^+	2,0	3
Na^+	19,5	28
Ca^{2+}	38,8	54
Mg^{2+}	10,5	15

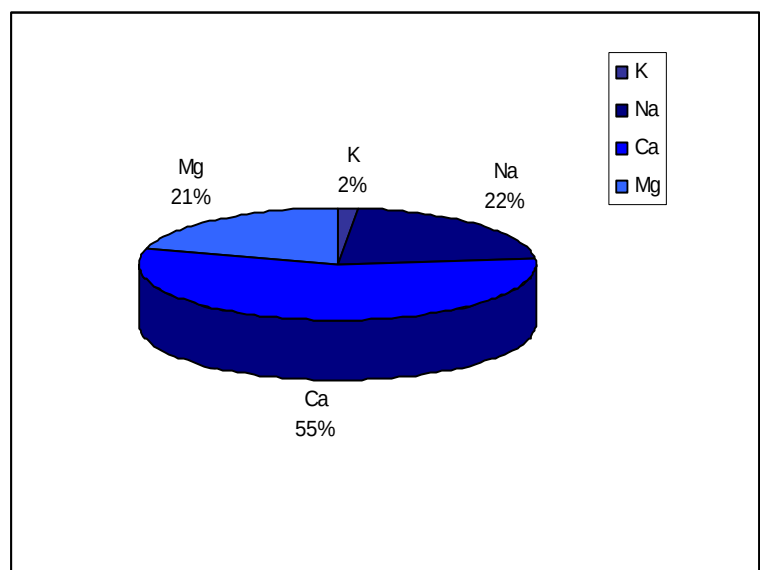


ΓΕΩΤΡΗΣΗ 30Α

ΑΝΙΟΝΤΑ	ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ (Mg/l)	ΠΟΣΟΣΤΟ (%)
Cl^-	8,1	4
SO_4^{2-}	7,0	3
NO_3^-	14,08	6
HCO_3^-	190,0	87



ΚΑΤΙΟΝΤΑ	ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ (Mg/l)	ΠΟΣΟΣΤΟ (%)
K^+	1,7	2
Na^+	23,8	22
Ca^{2+}	60,4	55
Mg^{2+}	22,4	21



9.6. PH – ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ

1) pH: Ο μέσος όρος της τιμής pH της περιοχής είναι 7,64. Τα νερά της περιοχής μπορούν να χαρακτηρισθούν ουδέτερα προς βασικά με τιμές που κυμαίνονται από 7,11 (στη γεώτρηση 41Φ του χωριού Φούφα) έως 7,97 (στη γεώτρηση 30Δ του χωριού Γαλάτεια).

2) Αγωγιμότητα: Η ηλεκτρική αγωγιμότητα παρουσιάζει χαμηλές τιμές με μέσο όρο 363,5 $\mu\text{S/cm}$, τιμή που βρίσκεται κάτω από το όριο που επιτρέπει η Ευρωπαϊκή Ένωση για να χαρακτηριστεί το νερό ως πόσιμο (400 $\mu\text{S/cm}$). Οι γεωτρήσεις που η τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας ξεπερνάει τα 400 $\mu\text{S/cm}$ είναι οι 76Φ (450 $\mu\text{S/cm}$) του χωριού Φούφας και 30Δ (464 $\mu\text{S/cm}$) του χωριού Γαλάτεια.

10. ΚΑΤΑΤΑΞΗ

10.1. ΥΔΡΟΧΗΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΗΚΑ

10.1.1. Διάγραμμα PIPER – Διάγραμμα DUROV

Το νερό κάθε υδροφόρου ορίζοντα αποκτά τα ιδιαίτερα υδροχημικά χαρακτηριστικά του αναλόγως των επικρατούντων φυσικοχημικών συνθηκών καθ' όλη τη παραμονή του στο υδροφόρο στρώμα. Η αλληλεπίδραση του νερού με τα πετρώματα μέσα από διαδικασίες διάλυσης, ιονταλλαγής, οξειδοαναγωγής κ.ά., μεταβάλλει τη χημική σύσταση του νερού με τέτοιον τρόπο ώστε η σύσταση των πετρωμάτων να “αντανακλάται”, ως ένα βαθμό, μέσα σ' αυτό. Σημαντικός κρίνεται και ο χρόνος παραμονής του νερού στον υδροφόρο ή αλλιώς η ταχύτητά του μέσα σ' αυτόν, ενώ τη σύσταση του νερού μπορεί να την επηρεάσει και η ζώνη τροφοδοσίας του υδροφόρου.

Για την διερεύνηση του υδροχημικού χαρακτήρα του υπόγειου νερού τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων προβλήθηκαν σε διαγράμματα Durov και Piper (Σχήμα 3 και 4).

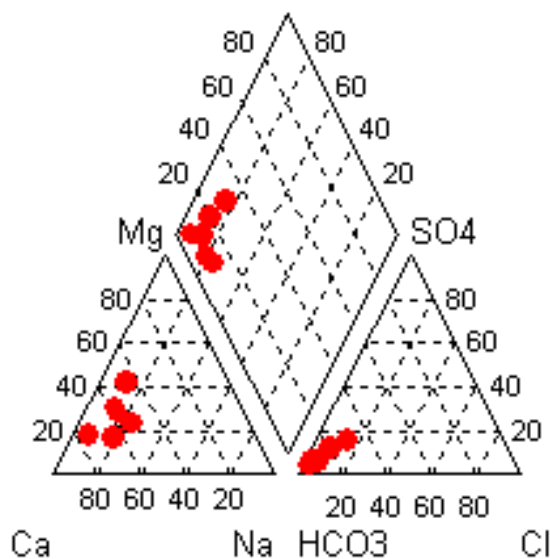
Οι περιεκτικότητες στα ανιόντα και στα κατιόντα εκφρασμένα επί τοις εκατό (%) των αντίστοιχων συνολικών ποσοτήτων, απεικονίζονται στα αντίστοιχα τρίγωνα

σαν σημεία. Τα δύο σημεία που παίρνονται από τα δύο τρίγωνα προβάλλονται στο ρόμβο για το διαγράμμα Piper ή στο τετράγωνο για το διαγράμμα Durov. Το σημείο που προκύπτει αντιστοιχεί σε κάποιον τύπο νερού.

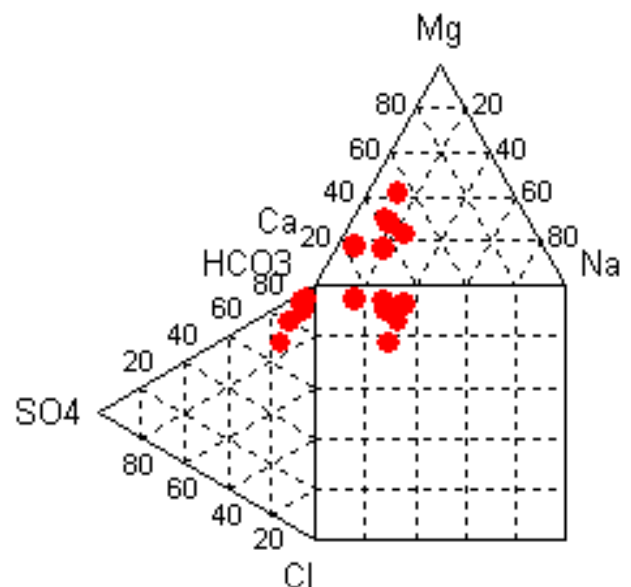
Τα νερά εμφανίζονται με τους τύπους: $\text{Ca}^{2+} - \text{HCO}_3^-$, $\text{Ca}^{2+} - \text{HCO}_3^- - \text{SO}_4^{2-}$, $\text{Ca}^{2+} - \text{Mg}^{2+} - \text{HCO}_3^- - \text{SO}_4^{2-}$ και $\text{Ca}^{2+} - \text{Na}^+ - \text{HCO}_3^- - \text{SO}_4^{2-}$.

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

Σύμφωνα με τα διαγράμματα Piper και Durov προκύπτει ότι το σύνολο των δειγμάτων κατατάσσεται στην κατηγορία $\text{Ca}^{2+} - \text{HCO}_3^-$ (αβεστιτικά – ανθρακικά).



Σχήμα 3. Διάγραμμα PIPER

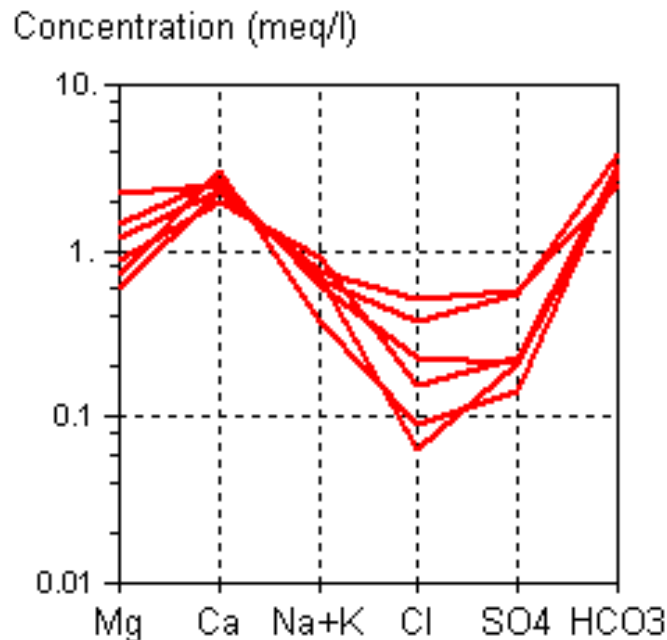


Σχήμα 4. Διάγραμμα DUROV

10.1.2 Διάγραμμα SCHOELLER

Στο Σχήμα 5 φαίνεται η προβολή των δειγμάτων νερού στο διάγραμμα Schoeller. Παρατηρείται ότι η χημική σύσταση του νερού των διαφόρων δειγμάτων

ακολουθεί παρόμοια εξέλιξη. Το συγκεκριμένο διάγραμμα επιβεβαιώνει ότι τα νερά έχουν τον ίδιο τύπο νερού και κατ' επέκταση ανήκουν στο ίδιο υδροφόρο στρώμα.



Σχήμα 5. Διάγραμμα SCHOELLER

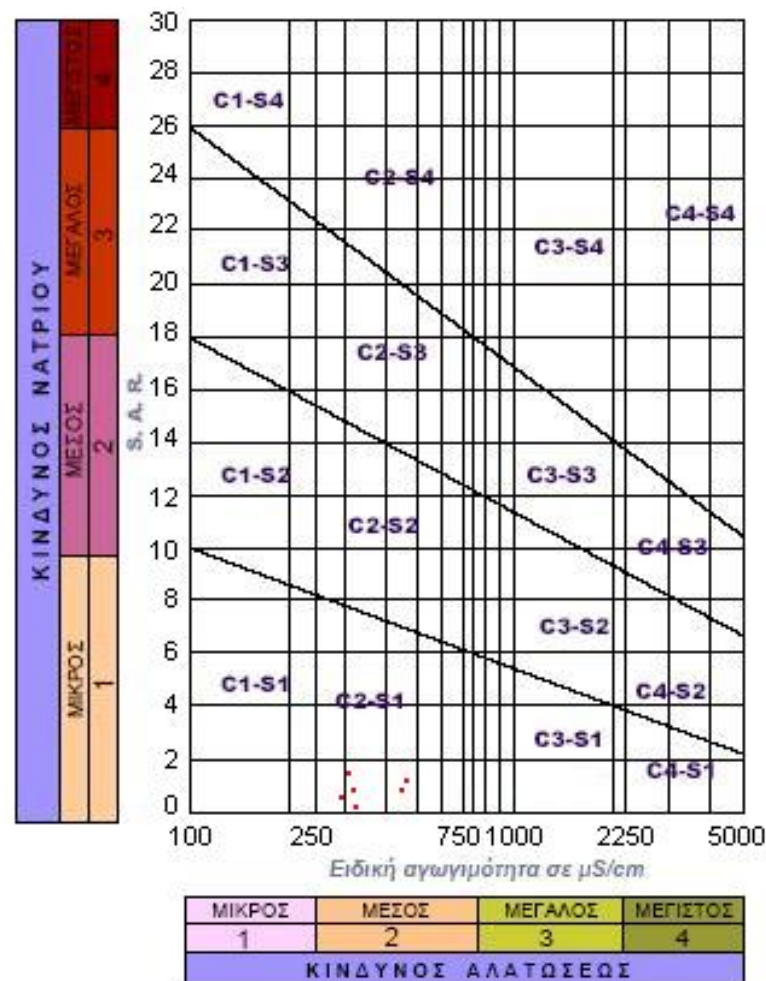
10.1.3 Διάγραμμα κατάταξης αρδευτικού νερού κατά U.S.D.A.

Κατά τον WILCOX (1955) το νερό ταξινομείται με βάση την επί τοις εκατό (%) περιεκτικότητα του σε νάτριο και την ειδική αγωγιμότητα σε $\mu\text{S}/\text{cm}$. Ο συντελεστής S.A.R. χρησιμοποιείται σε συνάρτηση με την ηλεκτρική αγωγιμότητα για την ταξινόμηση των νερών άρδευσης. Έτσι κατασκευάζεται διάγραμμα (Σχήμα 6) όπου φαίνονται και οι διάφορες κλάσεις στις οποίες ταξινομείται το νερό:

1. C1-S1: Ποιότητα καλή.
2. C1-S2, 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.
3. 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.

4. 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 προφύλαξη σε ελαφριά εδάφη που αποστραγγίζονται καλά και εκπλύνονται ή προστίθεται γύψος.
5. C2-S4, C3-S3, C4-S2: 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. (Σχήμα 6) τα δείγματα ανήκουν στην κλάση C2-S1 παρουσιάζει, δηλαδή, μικρή επικινδυνότητα Νατρίου και μέση επικινδυνότητα αλατότητας. Επιγραμματικά, θα μπορούσε να πει κανείς ότι τα νερά του υδροφόρου έχουν μέτρια μέχρι καλή ποιότητα όσον αφορά την άρδευση.



Σχήμα 6. Διάγραμμα ταξινόμησης αρδευτικών νερών.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από αυτή την εργασία μπορούν να συνοψιστούν ως εξής:

- Η μελετούμενη λεκάνη αποτελεί τμήμα της νεογενούς λεκάνης, που ξεκινά από το Μοναστήρι της Σερβίας και διαμέσου της Φλώρινας, Αμυνταίου και Πτολεμαΐδας φθάνει ως τα Σέρβια Κοζάνης.
- Η στρωματογραφική δομή της περιοχής έρευνας με βάση τις γεωλογικές τομές είναι: σχηματισμοί του υποβάθρου, νεογενή ιζήματα και σύγχρονες αποθέσεις.
- Αναπτύσσονται πολλά κανονικά ρήγματα ΒΑ-ΝΔ και ΒΔ-ΝΑ διεύθυνσης στην περιοχή.
- Η λεκάνη στο σύνολο της δεν εμφανίζεται ενιαία. Εξάρματα και λοφοσειρές την χωρίζουν σε επιμέρους υπολεκάνες.
- Το υδρογραφικό δίκτυο δεν είναι αναπτυγμένο λόγω των καρστικών σχηματισμών που επικρατούν.
- Μπορούν να διαχωριστούν δύο υδρογεωλικές ενότητες: i) Υδρογεωλογική ενότητα Νοτιοδυτικού Βερμίου με υπόγειο υδατικό δυναμικό που εκτιμάται σε $250 \times 10^6 \text{ m}^3$ /έτος και ii) Υδρογεωλογική ενότητα Βορειοδυτικού Βερμίου με υδατικό δυναμικό $350 \times 10^6 \text{ m}^3$ /έτος.
- Η υδροφορία αναπτύσσεται σε ποταμοχειμάρριες προέλευσης αποθέσεις με διασταυρούμενη στρώση, με αποτέλεσμα να μην υπάρχει ομοιογενής υδραυλική επικοινωνία και κατά συνέπεια ενιαία συμπεριφορά του υδροφορέα στις αντλήσεις. Άρα είναι πιθανή η εμφάνιση εγκλωβισμένων ποσοτήτων νερού κατά την πορεία της εκμετάλλευσης.
- Ο υδροφορέας των νεογενών και τεταρτογενών σχηματισμών της λεκάνης, έχει κατά περιοχές υδροστατική στάθμη πολύ κοντά στην επιφάνεια του εδάφους. Γενικά καταγράφεται μια πτώση στάθμης που οφείλεται και στις αντλήσεις για την κάλυψη των αρδευτικών αναγκών.
- Όλες οι λίμνες (Ζάζαρη, Χειμαδίτιδα, Πετρών, Βεγορίτιδα) συνδέονται μεταξύ τους υδραυλικά, επομένως κάθε επέμβαση στη μία, έχει συνέπειες στην άλλη.
- Η λίμνη Βεγορίτιδα αποτελεί έναν ενδιάμεσο σταθμό στη γενική εικόνα της υπόγειας ροής του νερού από τα δυτικά προς τα ανατολικά.

- Στην περιοχή μελέτης εμφανίζεται έντονη βιομηχανική δραστηριότητα, λόγω της παρουσίας των λιγνιτικών στρωμάτων του γαιώδους λιγνίτη και των συνοδών τους λιμναίων ιζημάτων.
- Οι συγκεντρώσεις των κυρίων στοιχείων σε όλα τα δείγματα υπόγειων νερών κυμαίνονται σε χαμηλά επίπεδα και μέσα στα όρια ποσιμότητας.
- Από τη χημική ανάλυση των δειγμάτων προκύπτει ότι τα δείγματα του υπόγειου νερού κατατάσσονται στην κατηγορία $\text{Ca}^{2+}\text{-HCO}_3^-$ υδροχημικού τύπου, κατάλληλα στο μεγαλύτερο μέρος για αρδευτική και υδρευτική χρήση.
- Τα νερά έχουν τον ίδιο τύπο νερού και ανήκουν στο ίδιο υδροφόρο στρώμα.
- Η ταξινόμηση του νερού ως αρδευτικού με βάση το δείκτη S.A.R. το κατατάσσει στη κατηγορία C2-S1(μικρή επικινδυνότητα Νατρίου και μέση επικινδυνότητα αλατότητας). Πρόκειται δηλαδή για μέτριας μέχρι καλής ποιότητας νερό που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για άρδευση με επιφύλαξη.

Βιβλιογραφική ενημέρωση

Βουδούρης, Κ. (2004-2005): Θέματα υδρογεωλογίας περιβάλλοντος. Πανεπιστημιακό τυπογραφείο. ΑΠΘ.

Δημητρακόπουλος, Δ. (2001): Μελέτη της λεκάνης Αμυνταίου. Διδακτορική διατριβή. Τμήμα Μεταλλειολόγων-Μηχανικών ΕΜΠ.

Μουντράκης, Δ. (1985): Γεωλογία της Ελλάδας. Εκδόσεις University Studio Press. Θεσσαλονίκη.

Μουντράκης, Δ., Δημόπουλος, Γ. (2005): Οδηγός υπαίθριας άσκησης Δυτ. Μακεδονίας – Ηπείρου – Στερεάς Ελλάδας. Τμήμα Γεωλογίας ΑΠΘ.

Παυλίδης, Σ. (1985): Νεοτεκτονική εξέλιξη της λεκάνης Φλώρινας – Βεγορίτιδας – Πτολεμαΐδας (Δ. Μακεδονία). Διδακτορική διατριβή. Τμήμα Γεωλογίας ΑΠΘ.

Piper, A. (1955): A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analysis. Geophysical Union. New York.

Wilcox, L.V. (1955): Classification and use of irrigation waters. U.S. Depart. Agric. Circ. Washington.

Βιβλιογραφική ενημέρωση μέσω διαδικτύου

www.library.tee.gr (Σύγγραμμα Ζαραφίδη Δ.)

www.perivallon.com (Σύγγραμμα Κουσουρή Θ.)

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

SampleID	26a	
Location	Anaraxi	
Date	2/9/2005	
Ph	7.82	
Sample temperature (°C)	14.5	
Cond 20°C (µS)	289	
Cations	(mg/l)	(meq/l)
Na+	1.540E+01	6.699E-01
K +	1.000E+00	2.558E-02
Mg++	7.330E+00	6.030E-01
Ca++	4.640E+01	2.315E+00
Anions	(mg/l)	(meq/l)
Cl-	2.300E+00	6.487E-02
SO4--	1.000E+01	2.082E-01
NO3-	6.600E+00	1.064E-01
HCO3-	1.680E+02	2.754E+00

Calculated values:

Sum of Anions (meq/l)	: 3.1333
Sum of Cations (meq/l)	: 3.6138
Balance:	: 7.12%

Calculated TDS (mg/l)	: 170.3
-----------------------	---------

Hardness	: meq/l	°f	°g	mg/l CaCO3
Total hardness	: 2.92	14.59	8.17	145.9
Permanent hardness	: 0.16	0.82	0.46	8.2
Temporary hardness	: 2.75	13.77	7.71	137.7
Alkalinity	: 2.75	13.77	7.71	137.7

(1 °f = 10 mg/l CaCO3/l 1 °g = 10 mg/l CaO)

Major ion composition

	mg/l	mmol/l	meq/l	meq%
Na+	15.4	0.67	0.67	9.93
K +	1.0	0.026	0.026	0.385
Ca++	46.4	1.158	2.315	34.311
Mg++	7.33	0.302	0.603	8.937
Cl-	2.3	0.065	0.065	0.963
SO4--	10.0	0.104	0.208	3.083
HCO3-	168.0	2.754	2.754	40.818

Ratios	Comparison to Seawater	
	mg/l	mmol/l
Ca/Mg	6.33	0.319
Ca/SO4	4.64	0.152
Na/Cl	6.696	0.556

Dissolved Minerals:	mg/l	mmol/l
Halite (NaCl)	: 2.299	0.0393
Sylvite (KCl)	: 1.907	0.0257
Carbonate (CaCO3)	: 75.281	0.7528
Dolomite (CaMg(CO3)2)	: 55.51	0.302
Anhydrite (CaSO4)	: 14.179	0.104

SampleID 50A
 Site Municipal
 Location Anaraxi
 Date 20/9/2005
 Ph 7.59
 Sample temperature (°C) 14
 Cond 20°C (µS) 336

Cations	(mg/l)	(meq/l)
Na+	6.000E+00	2.610E-01
K +	4.500E+00	1.151E-01
Mg++	8.790E+00	7.232E-01
Ca++	5.940E+01	2.964E+00

Anions	(mg/l)	(meq/l)
Cl-	3.200E+00	9.026E-02
SO4--	7.000E+00	1.457E-01
NO3-	3.960E+00	6.386E-02
HCO3-	1.910E+02	3.131E+00

Calculated values:

Sum of Anions (meq/l) : 3.4306
 Sum of Cations (meq/l) : 4.0633
 Balance: : 8.44%

Calculated TDS (mg/l) : 283.8

Hardness	: meq/l	°f	°g	mg/l CaCO3
Total hardness	: 3.69	18.44	10.32	184.4
Permanent hardness	: 0.56	2.78	1.56	27.8
Temporary hardness	: 3.13	15.65	8.77	156.5
Alkalinity	: 3.13	15.65	8.77	156.5

(1 °f = 10 mg/l CaCO3/l 1 °g = 10 mg/l CaO)

Major ion composition

	mg/l	mmol/l	meq/l	meq%
Na+	6.0	0.261	0.261	3.483
K +	4.5	0.115	0.115	1.535
Ca++	59.4	1.482	2.964	39.552
Mg++	8.79	0.362	0.723	9.648
Cl-	3.2	0.09	0.09	1.201
SO4--	7.0	0.073	0.146	1.948
HCO3-	191.0	3.131	3.131	41.781

Ratios	Comparison to Seawater	
	mg/l	mmol/l
Ca/Mg	6.758	0.319 0.194
Ca/SO4	8.486	0.152 0.364
Na/Cl	1.875	0.556 0.858

Dissolved Minerals:	mg/l	mmol/l
Halite (NaCl)	: 15.268	0.261
Sylvite (KCl)	: 5.28	0.0713
Carbonate (CaCO3)	: 104.863	1.0486
Dolomite (CaMg(CO3)2)	: 66.567	0.362
Anhydrite (CaSO4)	: 9.925	0.073

SampleID 41f
 Location fofas
 Date 10/9/2005
 Ph 7.11
 Sample temperature (°C) 13
 Cond 20°C (µS) 334

Cations	(mg/l)	(meq/l)
Na+	1.390E+01	6.046E-01
K +	5.400E+00	1.381E-01
Mg++	1.440E+01	1.185E+00
Ca++	4.680E+01	2.335E+00

Anions	(mg/l)	(meq/l)
Cl-	1.800E+01	5.077E-01
SO4--	2.800E+01	5.830E-01
NO3-	8.360E+00	1.348E-01
HCO3-	1.540E+02	2.524E+00

Calculated values:

Sum of Anions (meq/l) : 3.7498
 Sum of Cations (meq/l) : 4.2627
 Balance: : 6.40%

Calculated TDS (mg/l) : 288.8

Hardness	: meq/l	°f	°g	mg/l CaCO3
Total hardness	: 3.52	17.60	9.86	176.0
Permanent hardness	: 1.0	4.98	2.79	49.8
Temporary hardness	: 2.52	12.62	7.07	126.2
Alkalinity	: 2.52	12.62	7.07	126.2

(1 °f = 10 mg/l CaCO3/l 1 °g = 10 mg/l CaO)

Major ion composition

	mg/l	mmol/l	meq/l	meq%
Na+	13.9	0.605	0.605	7.551
K +	5.4	0.138	0.138	1.722
Ca++	46.8	1.168	2.335	29.142
Mg++	14.4	0.592	1.185	14.789
Cl-	18.0	0.508	0.508	6.34
SO4--	28.0	0.291	0.583	7.276
HCO3-	154.0	2.524	2.524	31.501

Ratios	mg/l	mmol/l	Comparison to Seawater	
			mg/l	mmol/l
Ca/Mg	3.25	1.971	0.319	0.194
Ca/SO4	1.671		0.152	0.364
Na/Cl	0.772		0.556	0.858

Dissolved Minerals:	mg/l	mmol/l
Halite (NaCl)	: 21.622	0.3696
Sylvite (KCl)	: 10.296	0.1389
Carbonate (CaCO3)	: 28.41	0.2841
Dolomite (CaMg(CO3)2)	: 109.051	0.592
Anhydrite (CaSO4)	: 39.702	0.291

SampleID 76F
 Location Foufas
 Date 2/9/2005
 Ph 7.56
 Sample temperature (°C) 13.5
 Cond 20°C (µS) 450

Cations	(mg/l)	(meq/l)
Na+	1.420E+01	6.177E-01
K +	1.900E+00	4.859E-02
Mg++	2.735E+01	2.250E+00
Ca++	4.920E+01	2.455E+00

Anions	(mg/l)	(meq/l)
Cl-	1.310E+01	3.695E-01
SO4--	2.700E+01	5.622E-01
NO3-	5.280E+00	8.515E-02
HCO3-	2.280E+02	3.737E+00

Calculated values:

Sum of Anions (meq/l) : 4.7540
 Sum of Cations (meq/l) : 5.3714
 Balance: : 6.10%

Calculated TDS (mg/l) : 366.0

Hardness	: meq/l	°f	°g	mg/l CaCO3
Total hardness	: 4.71	23.53	13.17	235.3
Permanent hardness	: 0.97	4.84	2.71	48.4
Temporary hardness	: 3.74	18.69	10.46	186.9
Alkalinity	: 3.74	18.69	10.46	186.9

(1 °f = 10 mg/l CaCO3/l 1 °g = 10 mg/l CaO)

Major ion composition

	mg/l	mmol/l	meq/l	meq%
Na+	14.2	0.618	0.618	6.103
K +	1.9	0.049	0.049	0.484
Ca++	49.2	1.228	2.455	24.246
Mg++	27.35	1.125	2.25	22.221
Cl-	13.1	0.37	0.37	3.654
SO4--	27.0	0.281	0.562	5.55
HCO3-	228.0	3.737	3.737	36.907

Ratios

	mg/l	mmol/l	Comparison to Seawater	
			mg/l	mmol/l
Ca/Mg	1.799	1.091	0.319	0.194
Ca/SO4	1.822	4.367	0.152	0.364
Na/Cl	1.084	1.672	0.556	0.858

Dissolved Minerals:

	mg/l	mmol/l
Halite (NaCl)	: 18.773	0.3209
Sylvite (KCl)	: 3.623	0.0489
Dolomite (CaMg(CO3)2)	: 174.243	0.946
Anhydrite (CaSO4)	: 38.284	0.281

SampleID G17
Location Galatia
Date 2/9/2005
Ph 7.8
Sample temperature (°C) 16
Cond 20°C (µS) 308

Cations	(mg/l)	(meq/l)
Na+	1.950E+01	8.482E-01
K +	2.000E+00	5.115E-02
Mg++	1.050E+01	8.638E-01
Ca++	3.880E+01	1.936E+00

Anions	(mg/l)	(meq/l)
Cl-	5.400E+00	1.523E-01
SO4--	1.100E+01	2.290E-01
NO3-	1.100E+01	1.774E-01
HCO3-	1.980E+02	3.245E+00

Calculated values:

Sum of Anions (meq/l) : 3.8042
Sum of Cations (meq/l) : 3.6993
Balance: : -1.40%

Calculated TDS (mg/l) : 175.3

Hardness	: meq/l	°f	°g	mg/l CaCO3
Total hardness	: 2.8	14.00	7.84	140.0
Permanent hardness	: 0.0	0.00	0.00	0.0
Temporary hardness	: 2.8	14.00	7.84	140.0
Alkalinity	: 3.25	16.23	9.09	162.3

(1 °f = 10 mg/l CaCO3/l 1 °g = 10 mg/l CaO)

Major ion composition

	mg/l	mmol/l	meq/l	meq%
Na+	19.5	0.848	0.848	11.301
K +	2.0	0.051	0.051	0.68
Ca++	38.8	0.968	1.936	25.801
Mg++	10.5	0.432	0.864	11.515
Cl-	5.4	0.152	0.152	2.026
SO4--	11.0	0.115	0.229	3.052
HCO3-	198.0	3.245	3.245	43.246

Ratios	Comparison to Seawater	
	mg/l	mmol/l
Ca/Mg	3.695	0.319
Ca/SO4	3.527	0.152
Na/Cl	3.611	0.556

Dissolved Minerals:	mg/l	mmol/l
Halite (NaCl)	: 5.918	0.1012
Sylvite (KCl)	: 3.813	0.0515
Carbonate (CaCO3)	: 42.205	0.422
Dolomite (CaMg(CO3)2)	: 79.517	0.432
Anhydrite (CaSO4)	: 15.597	0.115

SampleID 30D
Date 12/9/2005
Ph 7.97
Sample temperature (°C) 14.5
Cond 20°C (µS) 464

Cations	(mg/l)	(meq/l)
Na+	1.300E+01	5.655E-01
K +	1.700E+00	4.348E-02
Mg++	1.750E+01	1.440E+00
Ca++	5.350E+01	2.670E+00

Anions	(mg/l)	(meq/l)
Cl-	8.100E+00	2.285E-01
SO4--	1.000E+01	2.082E-01
NO3-	1.408E+01	2.271E-01
HCO3-	1.970E+02	3.229E+00

Calculated values:

Sum of Anions (meq/l) : 3.8928
Sum of Cations (meq/l) : 4.7183
Balance: : 9.59%

Calculated TDS (mg/l) : 314.9

Hardness	: meq/l	°f	°g	mg/l CaCO3
Total hardness	: 4.11	20.55	11.51	205.5
Permanent hardness	: 0.88	4.40	2.46	44.0
Temporary hardness	: 3.23	16.15	9.04	161.5
Alkalinity	: 3.23	16.15	9.04	161.5

(1 °f = 10 mg/l CaCO3/l 1 °g = 10 mg/l CaO)

Major ion composition

	mg/l	mmol/l	meq/l	meq%
Na+	13.0	0.565	0.565	6.561
K +	1.7	0.043	0.043	0.499
Ca++	53.5	1.335	2.67	31.006
Mg++	17.5	0.72	1.44	16.722
Cl-	8.1	0.228	0.228	2.648
SO4--	10.0	0.104	0.208	2.415
HCO3-	197.0	3.229	3.229	37.498

Ratios	mg/l	mmol/l	Comparison to Seawater	
			mg/l	mmol/l
Ca/Mg	3.057	1.854	0.319	0.194
Ca/SO4	5.35	12.822	0.152	0.364
Na/Cl	1.605	2.475	0.556	0.858

Dissolved Minerals:	mg/l	mmol/l
Halite (NaCl)	: 10.822	0.185
Sylvite (KCl)	: 3.241	0.0437
Carbonate (CaCO3)	: 51.137	0.5114
Dolomite (CaMg(CO3)2)	: 132.528	0.72
Anhydrite (CaSO4)	: 14.179	0.104