

ΥΔΡΟΧΗΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ ΣΤΑ ΣΥΜΠΑΓΗ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΥΠΟΛΗΣ*

Χ. ΠΕΤΑΛΑΣ¹, & Ι. ΔΙΑΜΑΝΤΗΣ¹

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ελαφρώς αλκαλικά υπόγεια νερά του τύπου Ca-HCO₃ απαντούν στους υδροφόρους ορίζοντες, που σχηματίζονται μέσα στα συμπαγή πετρώματα (ηφαιστίτες, γυλίτιτες, γραμίτες και ασβεστόλιθοι) της περιοχής Αλεξανδρούπολης. Χαρακτηριστικό της υδροφορίας είναι ότι, σε όλους τους λιθολογικούς τύπους αυτή δημιουργείται μέσα σε ζώνες σφραγίσματος (μη πρωτογενής περατότητα) με παρόμοιες συνθήκες τροφοδοσίας. Αντιπροσωπευτικές χημικές αναλύσεις έδειξαν ότι, πρόκειται για σκληρά νερά κρυσταλλίνου TDS (όρια 552.6-1226.6 mg/L), όπου κυριαρχούν τα ιόντα Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, HCO₃⁻, SO₄²⁻ και Cl⁻ και δευτερεύοντα στοιχεία όπως Mn²⁺, Fe²⁺, Zn²⁺, Sr²⁺ and F⁻. Παρά την διαφορετική τους λιθολογική προέλευση είναι νερά με παρόμοια χημικά χαρακτηριστικά τα οποία καταλαμβάνουν τα ίδια πεδία στα υδροχημικά διαγράμματα Piper και Durow (expanded). Πρόκειται για φρεσκά νερά εμπλουτισμού, τα οποία ελάχιστα έχουν επηρεασθεί από διαδικασίες ανταλλαγής ιόντων, και ανάμιξης, εξαιτίας του καθεστώτος διαρκούς υπερχεμετάλλευσης στο οποίο βρίσκονται.

ABSTRACT

Slightly alkaline Ca-HCO ground water occur in aquifers in hard rock terrains (metamorphic and volcanic rocks) and in terrains composed of consolidated sedimentary rocks (molassic sediments) in the area of Alexandroupolis. Both crystalline and consolidated sedimentary rocks possess little or no primary permeability. All these consolidated rocks have rather similar fracture permeability, excepted are sites with easily soluble rocks (e.g. limestones) or with rocks showing high primary permeability (e.g. several sedimentary units). The hydrogeology of all these rocks is characterized by the presence of compartmentalisation into discrete ground water units or "cells" each of which may have an independent recharge-discharge regime. Their storage capacity is restricted mainly to the interconnected system of fractures, joints and fissures. Recharge occurs chiefly by infiltration from streams, which cross or closely follow open fracture traces. Relatively little recharge to the aquifers takes place by direct infiltration. The TDS in ground water varies from less than 600 mg/L to more than 1200 mg/L. The major dissolved components in ground water are ions of Ca⁺, Na⁺, Mg⁺, HCO₃⁻, SO₄²⁻ and Cl⁻. The minor constituents of the waters are ions of Mn²⁺, Fe²⁺, Zn²⁺, Sr²⁺ and F⁻ and they appear to be controlled by reactions with clays and other related minerals. Mean chemical analyses show similar characteristics to the ground water of different origin and plot together on the Piper and Durow (expanded) diagrams (recharging waters). Despite an overall similarity, variations related to the specific geological characteristics may exist. Such processes as ion exchange and mixing play a minor role in the chemical evolution of ground water. It can be attributed to the fact that the overall ground water system in the area functions under transient

KEY WORDS: hydrochemistry, consolidated, fractures, bicarbonates, chloride, overpumping.

* CHEMICAL CHARACTERISTICS OF GROUNDWATER IN CONSOLIDATED ROCK TERRAINS IN THE AREA OF ALEXANDROUPOLIS, THRACE, GREECE.

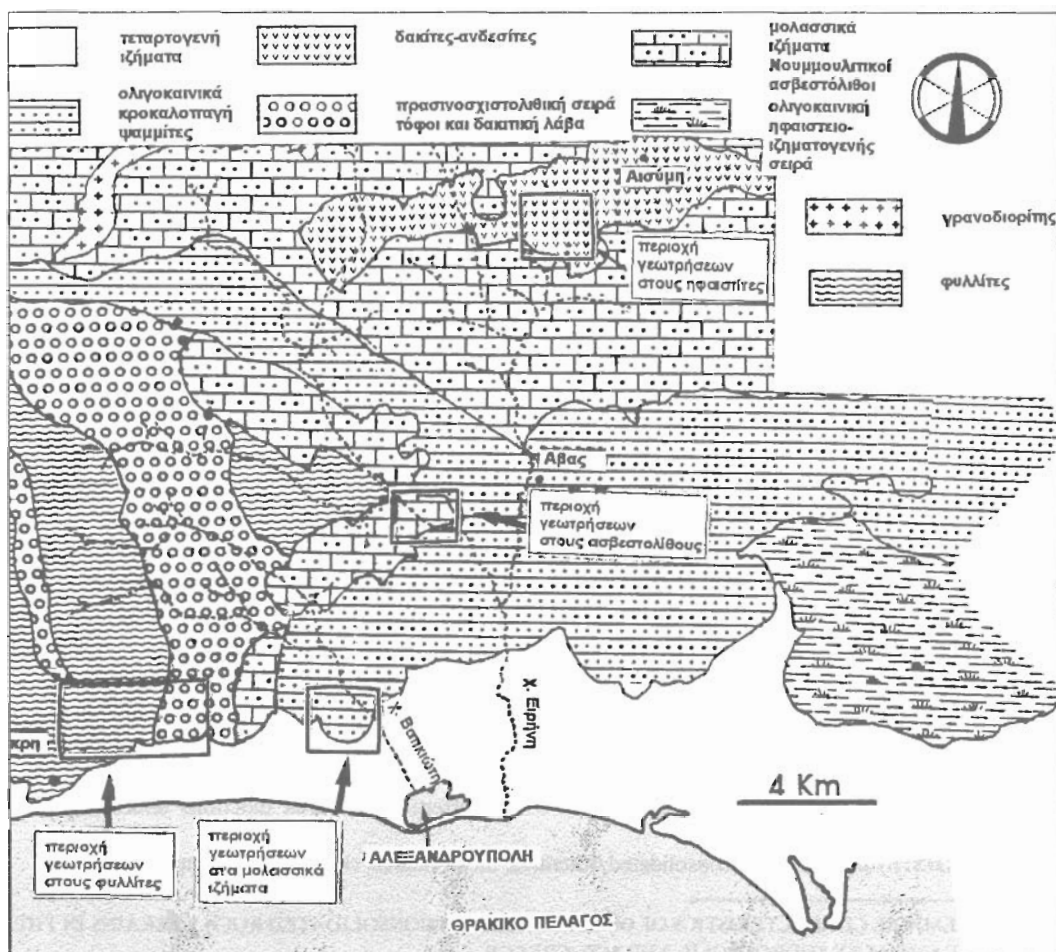
¹ Δημοζούτιο Πανεπιστήμιο Θράκης, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Τομέας Γεωτεχνικής Μηχανικής.

¹ Democritus University of Thrace, Department of Civil Engineering, Geotechnical Division.

conditions, due to the uninterrupted ground water overpumping regime, in order to cover the needs of Alexandroupolis city.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο σκοπός της εγγραφίας αυτής είναι η μελέτη των υπόγειων νερών ως προς τα υδροχημικά τους χαρακτηριστικά στην ευρύτερη περιοχή της Αλεξανδρούπολης. Η περιοχή αυτή παρουσιάζει ένα ιδιαίτερο ενδιαφέρον επειδή φιλοξενεί τους υδροφορείς που μέχρι σήμερα ικανοποιούν τις ανάγκες του Δήμου Αλεξ/πόλης και οριοθετείται (σχ. 1) δυτικά από τον οικισμό της Μάκρης, ανατολικά από το χείμαρρο Ειρήνης και προς τα βόρεια από τον οικισμό της Λιούμης. Η υδροφορία αναπτύσσεται μέσα σε σαφώς οριοθετημένες ζώνες ορημάτωσης και μάλιστα σε μία ποικιλία λιθολογικών τύπων, χωρίς όμως την ανάπτυξη μιάς ενδιάμεσης υδρογεωλογικής λεζάνης. Το υδροφόρο αυτό σύστημα βρίσκεται σήμερα διαρκώς σε καθεστώς δυναμικής εκμετάλλευσης, εξαιτίας της συνεχούς άντλησης νερού για την κάλυψη των αναγκών σε νερό του Δήμου Αλεξανδρούπολης. Η συνολικά αντλούμενη ποσότητα από την υπόγεια υδροφορία της περιοχής προσεγγίζει ετησίως τα 2000000 m³ νερού, δεδομένου ότι, η μέση κατανάλωση για κάθε είδους χρήση στην περιοχή αυτή είναι 130.5 L /ζάτοικο /ημέρα και ο πληθυσμός του Δήμου (απογραφή 1991) είναι 38220 ζάτοικοι.



Σχήμα 1: Λιθολογικός χάρτης περιοχής Αλεξανδρούπολης - Πεδία εκμετάλλευσης υπόγειων νερών.

Figure 1: Lithological map of the Alexandroupolis area - Groundwater exploitation fields.

2. ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ - ΓΕΩΛΟΓΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Από μορφολογικής πλευράς προέχει για μια λοφώδη ως ημιορεινή περιοχή με ήπιο ανάγλυφο. Εξαιρέση αποτελεί μια ζώνη στα όρια της ανατολικής πλευράς που θεωρείται πεδινή και οφείλει την δημιουργία της στη δράση του χείμαρρου Ειοήνη. Η περιοχή διασχίζεται από 9 μικροχείμαρρους, από τους οποίους σημαντικότεροι είναι ο Βατικιώτης και ο χείμαρρος Ειοήνη, με λεκάνες απορροής 41.5 km² και 234 km² αντίστοιχα. Οι τεκτονικές διαταραχές του παρωλθόντος και ο καταγεγραμμένος των συμπηγών υλικών που τις συνόδευσε είχαν σαν αποτέλεσμα την έντονη διάβρωσή της και την διαμόρφωση που εμφανίζει σήμερα η περιοχή, με την επικράτηση χαμηλού αναγλύφου.

Αεπτομερής γεωλογική περιγραφή της περιοχής δίνεται από τον Λιαμαντή (1997), και διαφόρους άλλους ερευνητές όπως Σιδέρης κ.ά.(1991). Η εξεταζόμενη περιοχή αποτελεί το δυτικό όριο του τριτογενούς βυθίσματος της ιζηματογενούς λεκάνης της Αλεξ/πόλης, η οποία αποτελεί μέρος της Περιοδοποιητικής γεωτεκτονικής ζώνης. Το υπόβαθρο έχει υποστεί την επίδραση έντονης τεκτονικής δραστηριότητας. Πολυάριθμα ρήγματα τέμνουν την περιοχή και κατατάσσονται σε δύο συστήματα με διευθύνσεις ΒΑ-ΝΑ και ΒΑ-ΝΑ.

Από γεωλογικής πλευράς δομείται από τους εξής σχηματισμούς:

1. Ημιμεταμορφωμένο υπόβαθρο

Το ημιμεταμορφωμένο υπόβαθρο αποτελείται από ελαφρώς μεταμορφωμένα ιζημάτα όπως: φυλλίτες, μάργες, γραυβάκες και διάφορα είδη σχιστόλιθων.

2. Παλαιογενή Ιζημάτα

Από τα παλαιογενή ιζημάτα μόλασσοειδούς τύπου διακρίνονται στην περιοχή τα εξής:

- οι *νομιμουλιτικοί μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι*, που καταλαμβάνουν μια ζώνη ποικίλου πάχους (μέχρι 100 m) και εμφανίζονται τοπικά αοχετά καρσιτικοποιημένοι, ιδιαίτερα σε βάθος.
- η *αργιλομαργαϊκή σειρά*, που περιλαμβάνει νεότερα ιζημάτα. Διακρίνονται σε δύο κύριες ομάδες, στα γκρι-καφέ ψαμμιτικά περυστορωματώδη. Στη σειρά αυτή περιλαμβάνονται επίσης μαζοί μαργαϊκού ασβεστόλιθου, ο οποίος είναι αοχετά καταγεγραμμένος.

3. ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΛΙΘΟΛΟΓΙΚΩΝ ΤΥΠΩΝ

Η υδρογεωλογική συμπεριφορά των παραπάνω σχηματισμών είναι η ακόλουθη:

1. Φυλλιτικό σύστημα.

Τα μεταμορφωμένα πετρώματα της περιοχής και ιδίως οι φυλλίτες παρουσιάζουν αξιόλογη υδροφορία στο δυτικό τμήμα της περιοχής. Τα χαρακτηριστικά της υδροφορίας αυτής εξαρτώνται άμεσα από τον τύπο των ρημάτων τα οποία καταλαμβάνουν συνήθως χωρικά περιορισμένες ζώνες και είναι σχετικά ανοικτά. Τα ρήγματα μπορεί να λειτουργούν ως αγωγοί αλλά και ως φραγμοί. Κάτω από φυσικές συνθήκες ροής μιιά ζώνη ρημάτωσης η οποία είναι περισσότερο διαπερατή απ' ότι το γειτονικό και ανεπηρέαστο πέτρωμα, μπορεί να έχει μικρή επίδραση στην ροή του υπόγειου νερού. Μόνο τοπικά μπορεί η επίδραση αυτή να είναι μεγάλη, γεγονός που εξαστάται από τον προσανατολισμό του σε σχέση με τη διεύθυνση ροής του υπόγειου νερού (Trainer, 1988). Η γεωμετρία των διακλάσεων καθορίζει και την συμπεριφορά τους. Τα υδραυλικά χαρακτηριστικά των διακλάσεων τα οποία ελέγχουν τα συστήματα ροής στα κρυσταλλικά πετρώματα, και τα οποία καθορίζουν τον υδροφόρο χαρακτήρα των μεμονωμένων διακλάσεων και την φύση του δικτύου των διακλάσεων που συμπεριφέρεται ως σύστημα αγωγών, είναι το εύρος (άνοιγμα) των διακλάσεων και η τραχύτητα των τοιχωμάτων τους. Γενικά όπως υποδηλώνεται και από πληροφορίες σχετικές με τις παροχές υδρογεωτρορήσεων σε κρυσταλλικά πετρώματα, το δίκτυο των ανοικτών ρωγμών αναπτύσσεται κυρίως στα πρώτα 100 έως 150 m από την επιφάνεια του εδάφους (LeGrand, 1967).

Στό φυλλιτικό σύστημα της Αλεξ/ανδροπούλης η υδροφορία εντοπίζεται σε συστήματα ρωγμών και διακλάσεων που αναπτύσσονται σε διάφορα βάθη, συχνά μεγαλύτερα των 120 m. Η υδροφορία εντοπίζεται στη χαμηλή περιοχή και σε διαδοχικές παράλληλες ζώνες διεύθυνσης Α-Λ, καθώς επίσης και προς τα βόρεια της περιοχής, σε βάθη μεγαλύτερα των 80 m. Το δυναμικό των δημιουργημένων

υδροφόρων ζωνών άλλοτε παρουσιάζεται σημαντικό και άλλοτε όχι. Οι γεωτρήσεις στους σχηματισμούς αυτούς δίνουν παροχές από 10 μέχρι 150 m³/h. Οι μεγάλες παροχές με την πάροδο του χρόνου μειώνονται συνεχώς, εξαιτίας της υπερεκμετάλλευσης ενώ παράλληλα παρατηρείται μία διαρκής πτώση της στάθμης άντλησης. Οι παροχές των γεωτρήσεων κυμαίνονται μεταξύ 50-70 m³/h, με ειδική ικανότητα 2.5-3.5 m³/h/m. Οι τιμές της T κυμαίνονται από 10⁻³ έως 10⁻⁴ m²/s.

2. Ασβεστόλιθοι

Ο Νοσημοιλιτικός ασβεστόλιθος απαντά σε διάφορα βάθη από την επιφάνεια και εμφανίζεται αραγτά κατακεραματισμένος και καρστικοποιημένος. Σε περιοχές όπου αυτός είναι ιδιαίτερα θρημματισμένος και καρστικοποιημένος οι παροχές των γεωτρήσεων κυμαίνονται από 100 έως 130 m³/h και η ειδική ικανότητα των υδροφόρων μεταξύ 1 m³/h/m και 3.5 m³/h/m. Οι ασβεστόλιθοι φιλοξενούν σημαντική υδροφορία περιορισμένης όμως ανάπτυξης λόγω των τεκτονικών γεγονότων.

3. Αργιλομαργαϊκή σειρά

Ενδιαφέρον από υδρογεωλογικής πλευράς παρουσιάζουν εδώ μόνο οι *ψαμιμίτες*, τα *κροκαλοπαγή* και οι *ασβεστόλιθοι* οι οποίοι εμφανίζουν κυρίως δευτερογενείς πορώδεις (παρουσία ζωνών ορημάτωσης) και οποιασδήποτε μόνο πρωτογενείς πορώδεις (απουσία συμπύκνωσης και συνδεδετού υλικού). Οι σχηματισμοί αυτοί φιλοξενούν υδροφόρους οριζώντες ποικίλου δυναμικού. Η υφή, η πλευρωική συνέχεια, το πάχος και το συνολικό σχήμα τους, ο βαθμός της *συμπύκνωσης* τους και η παρουσία συνδεδετού υλικού, είναι οι παράγοντες που κυρίως καθορίζουν σε συνδυασμό με την παρουσία πτυγώσεων και ορημάτων τα υδρολογικά και χημικά χαρακτηριστικά των υδροφόρων οριζώντων που αναπτύσσονται στους σχηματισμούς αυτούς (Davis, 1989). Τα υδροφόρα φιλοξενούνται σε διάφορα βάθη που σε ορισμένες περιπτώσεις ξεπερνούν τα 150 m. Η αργιλομαργαϊκή σειρά φιλοξενεί κατά θέσεις υδροφορία στρώματα και διαφοροποιείται σε επί μέρους εκλεξιζόμενες ζώνες υδροφορίας. Η αρχική παροχή των γεωτρήσεων μπορεί να φθάσει τα 150 m³/h, αυτή όμως με το πέρας του χρόνου φθίνει διαρκώς και καταλήγει στις λίγες δεκάδες m³/h. Οι μικρές παροχές (10 m³/h) χαρακτηρίζουν το μεγαλύτερο τμήμα των αποθέσεων αυτών. Τα υδρολογικά χαρακτηριστικά των σχηματισμών αυτών είναι, μεταβιβασιμότητα T=10⁻²-10⁻⁵ m²/sec και συντελεστής εναποθήκευσης S=2.57*10⁻⁴. Οι διακυμάνσεις της στάθμης εξαρτώνται άμεσα από τη θέση της γεώτρησης σε σχέση με την περιοχή και αυτές ακολουθούν συνήθως την πορεία των βροχοπτώσεων.

4. Ηφαιστίτες

Η υδρολογική συμπεριφορά τους δεν έχει μελετηθεί στον βαθμό που αυτό έχει γίνει με άλλους λιθολογικούς τύπους. Η φύση τους στην περιοχή (κυρίως δακίτες ή διακίτο-ανδριόιτες) φανερώνει ότι η περατότητά τους είναι δευτερογενής και έχει την προέλευσή της κυρίως στην τεκτονική δραστηριότητα. Η δημιουργία συνθηκών υδροφορίας στους ηφαιστίτες συνδέεται άμεσα με την παρουσία ζωνών ορημάτωσης. Οι παροχές των γεωτρήσεων στους ηφαιστίτες προσεγγίζουν τα 90 m³/h. Γενικά όμως οι δυνατότητες εκμετάλλευσης των ηφαιστίτων εμφανίζονται να ποικίλουν χωρικά. Η μεταβιβασιμότητα T κυμαίνεται μεταξύ 1.5*10⁻³ και 6.6*10⁻⁴ m²/sec και ο συντελεστής εναποθήκευσης μεταξύ 1.45*10⁻³ και 8.76*10⁻⁴. Η ειδική ικανότητα βρίσκεται μεταξύ των ορίων 0.2 και 4.2 m³/h/m. Η υδρογεωλογική συμπεριφορά τους εμφανίζει πολλά κοινά σημεία με αυτήν των μεταμορφωμένων.

Η τροφοδοσία των υδροφόρων σε όλους τους λιθολογικούς τύπους εξασφαλίζεται από την κατείδωση των βροχών και από τις διηθήσεις των επιφανειακών απορροών και σπανιότερα από πλευρωικές υπόγειες μεταγρίσεις (φυλλίτες) στα σημεία επαφής με μάγμαρα. Με τις *επιχωρούσες* συνθήκες συνεχούς υπεράντλησης, η πιεζομετρία της υπόγειας υδροφορίας στην περιοχή είναι αδύνατον να μελετηθεί.

4. ΥΔΡΟΧΗΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Τα υδροχημικά χαρακτηριστικά της υπόγειας υδροφορίας στην εξεταζόμενη περιοχή μελετήθηκαν μέσω της πραγματοποίησης σημαντικού αριθμού χημικών αναλύσεων, αντιπροσωπευτικός αριθμός από τις οποίες, καθώς και το είδος των χημικών παραμέτρων που αναλύθηκαν παρουσιάζονται στον πίνακα 1.

Πρόκειται για πολύ σκληρά νερά (ταξινόμηση κατά Hem,1970) όπου το TDS κυμαίνεται μεταξύ των ορίων 552.6 και 1226.6 mg/L, με μέση τιμή 774 mg/L. Το TDS παρουσιάζει υψηλότερες τιμές όταν τα δείγματα προέρχονται από τους ασβεστολιθούς, την αργιλομαργαίτη ή εναλλακώς αργιλικών σχιστολιθών με ηφαιστίτες.

Πίνακας 1. Αποτελέσματα αντιπροσωπευτικών χημικών αναλύσεων των υπόγειων νερών σε mg/L.
Table 1. Results of representative chemical analyses of ground water in mg/L.

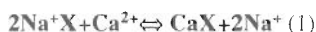
A/J	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Fe ⁺⁺	Zn ⁺⁺	Mn ⁺⁺	Li ⁺	Sr ⁺⁺	NH ₄ ⁺	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	F ⁻	SO ₄ ⁻²	PO ₄ ⁻³	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	CO ₂ ⁻²	TDS	pH	Σκλ. F ⁰	SiO ₂
AMS	64.7	2.80	177.7	33.5	0.21	0.66	0.00	0.00	0.80	0.10	237.9	393.5	0.1	49.2	0.24	21.10	0.00	0.00	982.5	7.3	58.1	9.9
Lm1	16.0	1.20	115.9	8.7	0.00	0.03	0.00	0.00	0.17	0.00	31.2	344.7	0.2	24.4	0.18	10.00	0.00	0.00	552.6	7.8	32.5	9.9
Lm4	16.1	1.20	115.9	8.7	0.00	0.02	0.00	0.00	0.19	0.00	31.2	344.7	0.2	25.0	0.18	9.50	0.00	0.00	552.8	7.6	32.5	9.9
Lm6	26.9	1.53	123.7	27.4	0.03	0.09	0.12	0.00	0.31	0.00	35.5	213.3	0.0	212.4	0.00	2.50	0.00	0.00	643.8	8.1	42.2	11.3
M51	134.5	1.50	106.3	13.7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.22	0.05	93.8	376.5	0.1	147.0	0.00	33.10	0.00	0.00	906.8	7.5	32.2	11.3
M52	30.8	1.30	134.0	21.9							36.2	256.2		200.0	0.00	3.80			684.2	7.5	42.5	10.5
M53	39.4	1.90	106.7	16.6	0.00	0.14	0.00	0.01	0.28	0.00	53.6	276.6	0.1	104.0	0.00	10.20	0.00	0.00	609.5	7.5	33.6	17.7
M54	48.0	2.00	104.2	23.1							67.4	314.2		225.8	5.00	11.10			800.8			
M55	37.9	2.30	98.1	20.6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.41	0.00	55.7	356.9	0.1	36.0	0.20	7.60	0.00	0.00	615.8	8.0	33.0	15.6
M56	37.4	2.00	110.5	21.6	0.00	0.02	0.00	0.00	0.41	0.00	76.3	359.9	0.1	36.0	0.16	9.60	0.00	0.00	654.0	7.8	36.4	16.5
M58	34.7	2.20	108.6	25.3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	0.00	69.9	363.0	0.1	46.2	0.18	10.50	0.00	0.00	661.2	7.3	37.5	16.5
M59	35.0	2.10	95.8	25.1	0.00	0.06	0.00	0.02	0.35	0.00	57.0	373.4	0.1	50.0	0.00	6.70	0.00	0.00	645.6	7.8	36.7	18.5
M510	34.7	2.10	106.9	23.2	0.00	0.02	0.00	0.00	0.40	0.00	68.5	356.9	0.1	42.9	0.20	7.60	0.00	0.00	643.5	7.5	36.2	15.6
M511	37.7	2.40	106.9	22.5	0.14	0.05	0.00	0.00	0.50	0.00	78.1	363.0	0.1	28.3	0.20	8.10	0.00	0.00	648.0	7.4	35.9	19.7
M512	44.6	1.80	121.2	27.0	0.07	0.03	0.00	0.00	0.40	0.00	108.3	381.3	0.1	32.4	0.18	17.20	0.01	0.00	734.6	7.4	41.3	21.4
Vr1	42.4	3.18	105.6	32.2	0.73	0.07	0.21			0.60	65.0	403.0		70.7	0.20	0.01	0.02		724.5	7.0	40.0	20.5
Vr4	33.7	5.80	82.1	30.4	0.63	0.03	0.09			0.60	53.2	384.0		30.9	0.06	0.00	0.00		621.5	7.7	33.0	4.0
Vr6	45.7	6.20	93.0	39.4	0.70	0.02	0.03			0.60	69.2	406.0		68.5	0.20	0.04	0.00		729.6	7.7	40.8	8.0
Vr6	40.2	7.36	85.2	20.7	0.83	0.08	0.03			0.80	35.5	311.0		83.0	0.04	0.80	0.00		585.5	8.1	29.8	14.0
Vr8	86.9	5.11	95.0	41.0	0.80	0.08	0.04			1.00	106.3	482.0		58.9	0.06	0.80	0.01		878.0	7.0	40.6	12.0
M3	45.4	1.60	179.5	35.0	0.78						83.3	506.3		161.1		1.55			1014.5	7.7		
M4	63.0	1.20	169.5	68.0	0.86						124.1	603.9		194.5		1.55			1226.6	8.0		
M6	33.4	0.80	130.3	48.8	0.72						81.5	506.3		101.1		3.10			906.0	7.8		
M8	37.0	7.00	85.0	50.3	0.58						88.6	460.5		54.6		0.00			783.6	7.8		
M9	27.0	2.00	125.9	24.3	0.01		0.05			0.20	47.9	419.7		59.9		0.00	0.06		706.9	7.9	48.8	
M10	29.0	2.00	140.2	37.4	0.01		0.04			0.06	69.1	479.4		73.1		0.88	0.02		831.2	7.8	50.4	
M.O	43.2	2.71	116.3	28.7	0.30	0.08	0.03	0.00	0.38	0.20	74.0	386.0	0.1	86.2	0.36	6.82	0.01	0.00	744.0	7.6	38.8	13.8

Ms=Μολυσματικά ιζηµατα, Lm=ασβεστολιθου, Vr=Ηφαιστίτες, M=Φυλλίτις

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΩΝ

Στο σύνολο τους τα υπόγεια νερά είναι του τύπου **Ca-HCO₃** και χαρακτηρίζονται σαν ελαφρώς αλκαλικά (όρια pH 7 - 8). Η κατανομή των κυριότερων χημικών παραμέτρων στα υπόγεια νερά που εξετάζονται είναι η ακόλουθη:

Το **ασβέστιο Ca²⁺** είναι το κυρίαρχο κατιόν με μέση περιεκτικότητα 114.9 mg/L και πεδίο τιμών 82.1-179.5 mg/L, όπως δηλαδή συμβαίνει συνήθως στα γλυκά νερά (Matthess et al., 1982). Οποσδήποτε όμως οι συγκεντρώσεις του είναι λίγο μεγαλύτερες από αυτές που συνήθως απαντούν στα υπόγεια νερά που φιλοξενούνται σε πυριτικά πετρώματα. Το γεγονός αυτό αποδίδεται στην παρουσία ανθρακικών ορυκτών τόσο στην αδόρεστη ζώνη όσο και στους υδροφόρους ορίζοντες που φιλοξενούνται στα μεταμορφωμένα πετρώματα και οφείλεται πιθανόν στην παρουσία υψηλότερων τιμών CO₂ η οποία ευνοεί την διάλυση μεγαλύτερων ποσοτήτων CaCO₃. Είναι ευρέως αποδεκτό ότι κατά την διάφορή του το νερό δια μέσου των ηφαισטיών εμπλουτίζεται σε κατιόντα Ca²⁺ και Mg²⁺, εξαιτίας της διάλυσης των ασβεστιούχων ορυκτών και των σιδηρο—μαγνησιούχων ορυκτών. Η διαδικασία αυτή εννοείται από την μεγάλη επιφανειακή εξάπλωση των ηφαιστίων και αναπτύσσεται δια μέσου της θραύσης, της περατότητας και των εξαιλλιώσεων (Chavez, 1988). Η χαμηλή σχετικά περιεκτικότητα σε Ca²⁺ μπορεί να αποδοθεί στην απελευθέρωση του Ca²⁺ μέσω των παραπάνω αντιδράσεων όπου αυτό ανταλλάσσεται με το Na⁺ σε ζορεσμένες σε Na⁺ αργίλους, σύμφωνα με την αντίδραση:



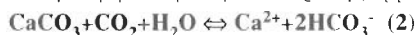
Συνήθως όμως, το νερό γενικά έχει διαλυμένα στερεά < των 500 mg/L λόγω της ταχύτατης κυκλοφορίας του νερού και του μικρού χρόνου παραμονής στο υπέδαφος. Αντίθετα, στους ηφαιστίτες της περιοχής το T.D.S είναι σημαντικά > των 500 mg/L επειδή έρχεται σε παρατεταμένη επαφή με τα διάφορα ορυκτά, λόγω παρατεταμένης της ροής του (μικρές ταχύτητες ροής) εξαιτίας της παρεμβολής αργιλομαργαρίτων στερώσεων.

Το **νάτριο Na⁺** είναι το δεύτερο σε περιεκτικότητα κατιόν στο σύνολο των εξεταζόμενων δειγμάτων και προέρχεται κυρίως από την απελευθέρωσή του κατά την διάσπαση της αποσάθρωσης πυριτικών ορυκτών (όπως ο αλβίτης) και αργιλιτών, ή ακόμη μπορεί να εισέλθει στα υπόγεια νερά μέσω της διαδικασίας ανταλλαγής ιόντων με το Ca²⁺. Η παρουσία του στα νερά της περιοχής είναι μεγαλύτερη της τιμής 1-20 mg/L που συνήθως απαντά στα υπόγεια νερά (Matthess et al., 1982), με μέση τιμή 44.4 mg/L (όρια 16-134.5 mg/L). Μόνο σε ένα δείγμα αποτελεί το κυρίαρχο κατιόν.

Το **μαγνήσιο Mg²⁺** αποτελεί το τρίτο σε περιεκτικότητα κατιόν, εξαιτίας βραχίονα της χαμηλότερης γεωχημικής του αφθονίας, συγκριτικά με τα άλλα κατιόντα. Η παρουσία του εδώ (28.5 mg/L η μέση τιμή του) συμπεριφέρεται με την συνήθη περιεκτικότητά του στα γλυκά νερά (Matthess et al., 1982).

Η παρουσία του **καλίου K⁺** είναι πολύ μικρή στα υπόγεια νερά της περιοχής και στα συνήθη επίπεδα (2.77 mg/L η μέση τιμή του), υπολείπεται δε σημαντικά αυτής του Na⁺, γεγονός που αποδίδεται στην πολύ χαμηλή κινητικότητά του σε σχέση με άλλα συστατικά όπως π.χ. το Na⁺. Από τα δευτερεύοντα κατιόντα ο Fe²⁺ παρουσιάζεται σε πολύ μικρή έως μηδενική περιεκτικότητα και η παρουσία του οφείλεται στην συνδυασμένη δράση διαφόρων γεωχημικών διαδικασιών. Η χαμηλή περιεκτικότητά του στα υπόγεια νερά της περιοχής φανερώσει την ύπαρξη κυρίως οξυγονομένων νερών. Η περιεκτικότητα σε Mn²⁺ είναι αυξημένη τοπικά και καθιστά τα νερά ανατάλληλα για πόση. Η παρουσία του στα νερά συνδέεται με την παρουσία του στους λιθολογικούς τύπους που τα φιλοξενούν. Το **λίθιο** είναι ανιχνεύσιμο σε μικρό αριθμό δειγμάτων.

Το κυρίαρχο ανιόν στα υπόγεια νερά της περιοχής είναι το HCO₃⁻. Η διάλυση των ανθρακικών (ασβεστίτης, δολομίτης) είναι ο κύριος μηχανισμός μέσω του οποίου παράγονται τα HCO₃⁻ στα υπόγεια νερά (Groenewold et al., 1981). Η παρουσία τους συνδέεται άμεσα με την παρουσία του CO₂ και την διάλυση κυρίως του ασβεστίτη, σύμφωνα με την αντίδραση (Appelo and Postma, 1993):

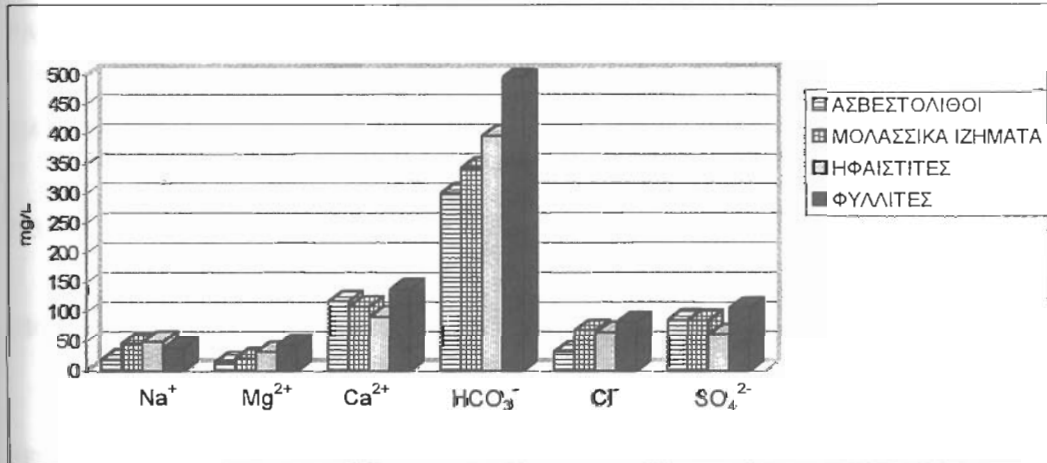


Η συζέντρωσή του Ca²⁺ είναι σύμφωνα με την στοιχειομετρία της αντίδρασης (2) η μισή εκείνης των HCO₃⁻ και η εξέλιξη των συγκεντρώσεων του Ca²⁺ είναι γι' αυτό ανάλογη εκείνης των HCO₃⁻. Η μέση τιμή των HCO₃⁻ είναι στην περιοχή 380.7 mg/L, (όρια 276.6-603.9 mg/L). Η παρουσία τους είναι

αυξημένη στους ηφαιστίτες και η συγκέντρωσή τους είναι πολύ μεγαλύτερη αυτής του Ca^{2+} . Αυτό μπορεί να οφείλεται στο γεγονός της αποσάθρωσης πλαγιοκλάστων σε ασβεστούχο σμεκτίτη μέσω της επίδρασης του H_2CO_3 (Wood and Fernandez, 1988). Το Ca^{2+} που απομακρύνεται από την διάλυση σύμφωνα με την αντίδραση (1) καθιστά το νερό θερμοδυναμικώς μη κορεσμένο ως προς τον ασβεστίτη. Έτσι οποιαδήποτε παρουσία ασβεστίτη θα διαλυθεί, απελευθερώνοντας ιόντα Ca^{2+} και HCO_3^- σε μιά προσπάθεια επανάκτησης της ισορροπίας. Τα Ca^{2+} που προήλθαν από την διάλυση του ασβεστίτη με τη σειρά τους απομακρύνονται μέσω της ανταλλαγής ιόντων, αυξάνοντας περαιτέρω τις συγκεντρώσεις Na^+ και HCO_3^- . Η ανταλλαγή ιόντων βέβαια δεν φαίνεται να παίζει ιδιαίτερο ρόλο στα υπόγεια νερά της εξεταζόμενης περιοχής.

Η μέση περιεκτικότητα σε Cl^- ανέρχεται στα 75.3 mg/L, (όρια 31.2-237.9 mg/L). Οι συγκεντρώσεις Cl^- στα υπόγεια νερά των ασβεστολίθων είναι σχετικά χαμηλές. Οι σχετικά υψηλές τιμές Cl^- στους ηφαιστίτες ίσως οφείλονται στην ασύμφωνη (incongruent) διάλυση ηφαιστειακής υάλου, συνδυαζόμενης με την απελευθέρωση υγρών εγελειομάτων, η οποία συμβαίνει σε γεωλογικός νέα συστήματα (Wood and Fernandez, 1988), με αποτέλεσμα την δημιουργία υψηλών συγκεντρώσεων Na^+ και Cl^- . Η τιμή των Cl^- στα θαλάσσιας προέλευσης ιζηματογενή πετρώματα της περιοχής είναι πλησίον της τυπικής τιμής των ψαμμιτών. Σύμφωνα με τον Larsson (1984) η υψηλή περιεκτικότητα σε Cl^- στους φυλλίτες, πρέπει να αποδοθεί κυρίως σε εξωτερικές πηγές (π.χ. νερά της βροχής) και λιγότερο στην αλληλεπίδραση του νερού με τα περιβάλλοντα πετρώματα.

Τα SO_4^{2-} εμφανίζουν στην περιοχή μέση περιεκτικότητα 85.2 mg/L, τιμή η οποία βόισκεται αοζετά υψηλότερα από την τιμή των 30 mg/L που απαιτάται συνήθως σε χορτοαπογαγή και ηφαιστειακά πετρώματα, ίσως εξαιτίας της παρουσίας και οξείδωσης του σιδηροπυρίτη στα πετρώματα που φιλοξενούν την υδροφορία. Ο σιδηροπυρίτης είναι ένα σήνηθες ορυκτό στις μεταλλοφόρες ζώνες της ευρύτερης περιοχής (Δήμιου, 1993). Η παρουσία του σιδηροπυρίτη, των ανθρακικών και των αργιλλικών ορυκτών στα ιζήματα εξαρτάται από το αοχικό περιβάλλον απόθεσης. Στο σύνολο των λιθολογικών τύπων της περιοχής, η παραγωγή CO_2 , η οξείδωση του σιδηροπυρίτη και η διάλυση των ανθρακικών είναι διαδικασίες που φαίνεται να συμβαίνουν διαρκώς στα υπόγεια νερά. Τέτοιες διαδικασίες οδηγούν στην διάλυση της γύψου και σε υψηλές συγκεντρώσεις SO_4^{2-} . Σε περιβάλλοντα όπου ο εμπλουτισμός των υπόγειων νερών λαμβάνει χώρα δια μέσου αοργίων και υλών, τα θειικά ιόντα απελευθερώνονται σαν κύριο προϊόν της οξείδωσης του σιδηροπυρίτη. Γενικά τα θειικά όπως και τα χλωριόντα προέοχονται κυρίως από την πρωτογενή ζύμα μάζα (matrix) του πετρώματος όπου τα ιόντα εμφανίζονται είτε σαν διαλυτά άλατα στα υγρά εγελείματα και στα όρια των ζόγκων, ή είναι δομικά προσκολλημένα στοιχεία στα ορυκτά της μίξαι και των αμφοβόλων.



Σχμιο: 2: Μέση περιεκτικότητα στα υπόγεια νερά των κυριότερων ιόντων στους διάφορους λιθολογικούς τύπους.

Figure 2: Mean concentration of major ions in groundwater for different lithological types.

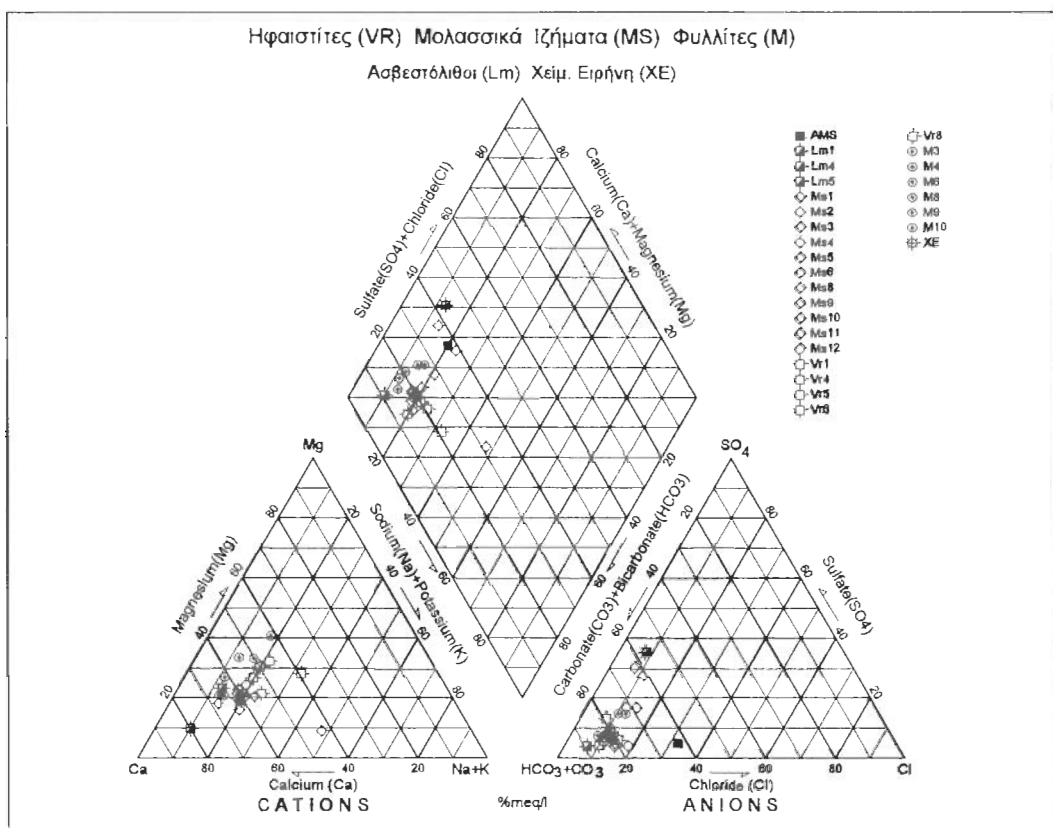
Ηφαιστική Βιβλιοθήκη Θεσσαλονίκης - Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ.

Για το F⁻ υπάρχει ένας περιορισμένος αριθμός αναλύσεων και έχει ανιχνευθεί σε μικρές ποσότητες (0.1 mg/L), ενώ χαμηλές έως και μηδενικές είναι οι συγκεντρώσεις των PO₄³⁻, NO₃⁻ και NO₂⁻. Συνήθως η παρουσία αυτών των ιόντων στα υπόγεια νερά οφείλεται στις ανθρώπινες δραστηριότητες (π.χ. γεωργική ρύπανση κ.τ.λ.).

Ιδιαίτερα χαμηλές είναι οι συγκεντρώσεις του SiO₂ και αυτό αποτελεί επιβεβαίωση για τη σύντομη πορεία των υπόγειων νερών της περιοχής στο υπέδαφος. Τα συγγενετικά νερά έχουν απομακρυνθεί εντελώς από τους υδροφόρους ορίζοντες εξαιτίας της αδιάκοπης υπερχημειτάλλευσής τους. Οι μέσες συγκεντρώσεις των κυριότερων ιόντων στα υπόγεια νερά που φιλοξενούνται στους επιζωατούντες λιθολογικούς τύπους της περιοχής παρουσιάζονται στο σχήμα 2.

5. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ PIPER ΚΑΙ DUROV (EXPANDED)

Το διάγραμμα του Piper (1953) είναι ένα αποτελεσματικό εργαλείο στην ομαδοποίηση πληροφοριών που προέρχονται από χημικές αναλύσεις. Η ομαδοποίηση στοχεύει στην κριτική μελέτη των διαφόρων πηγών προέλευσης των διαλελυμένων στα υπόγεια νερά συστατικών και της μεταβολής στον χαρακτήρα του νερού καθώς αυτό κινείται σε μια συγκεκριμένη περιοχή. Ευδιάκριτοι τύποι υπόγειων νερών μπορούν γρήγορα να διαχωρισθούν δια μέσου της απεικόνισής τους σε ορισμένες υποπεριοχές του ρομβικού πεδίου του διαγράμματος. Το διάγραμμα αυτό χρησιμοποιήθηκε και για την μελέτη των υπόγειων νερών της περιοχής Αλεξάνδρουπολης (σχ.3). Η εξέταση των υδροχημικών παραμέτρων συμπληρώθηκε με την χρησιμοποίηση του διευξημένου διαγράμματος Durov (Lloyd, 1965) το οποίο εμφανίζει το πλεονέκτημα συγκριτικά με το διάγραμμα Piper να είναι ο διαχωρισμός των υδροχημικών τύπων πιο σαφής και ορισμένες διαδικασίες πλέον ενδιάκριτες.



Σχήμα 3: Διάγραμμα Piper για το σύνολο των αναλύσεων του πίνακα 1.

Figure 3: Piper diagram of the whole set of analyses of Table 1.

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στο σύνολο των εξετασθέντων δειγμάτων οι αλκαλικές γαίες υπερισχύουν των αλκαλίων, ενώ στα περισσότερα δείγματα τα ασθενή οξέα υπερισχύουν των ισχυρών οξέων. Το αντίθετο συμβαίνει (υπερισχύουν τα ισχυρά οξέα) μόνο σε 4 δείγματα που προέρχονται από τα παλαιογενή ιζήματα (3) και από τον νομιμοιλιτοφόρο ασβεστόλιθο (1). Στο σύνολο των δειγμάτων επίσης (με εξαίρεση τα 4 προηγούμενα) υπερισχύει η ανθρακική σκληρότητα (δευτερογενής αλκαλικότητα) η οποία ξεπερνά το 50%, γεγονός που σημαίνει ότι, όσον αφορά τις χημικές ιδιότητες των υπόγειων νερών έχουμε επικράτηση των αλκαλικών γαιών και των ασθενών οξέων. Στα υπόλοιπα 4 δείγματα κανένα ζεύγος ανιόντων και κατιόντων δεν ξεπερνά το 50%.

Ιδιαίτερης σημασίας είναι το γεγονός ότι, ένα δείγμα από τον μεγαλύτερο χείμαρρο της περιοχής (Ειρήνης) εντοπίζεται στην ίδια περιοχή του διαγράμματος με το σύνολο των δειγμάτων των υπόγειων νερών. Αυτό φανερώνει ότι τα επιφανειακά νερά που εμπλουτίζουν τους υδροφόρους ορίζοντες της περιοχής έχουν τροποποιηθεί σε περιορισμένο βαθμό ή ελάχιστα όσον αφορά τον χημικό τους χαρακτήρα κατά την υπόγεια διαδρομή τους. Ελάχιστος αριθμός δειγμάτων από τα υπόγεια νερά επιδεικνύει τάση να τροποποιηθεί ο ποιοτικός τους χαρακτήρας μέσω διαδικασιών όπως η ανταλλαγή ιόντων ή και η ανάμιξη.

Τα περισσότερα δείγματα ανεξαρτήτως λιθολογικής προέλευσης εντοπίζονται στην υποπεριοχή (1) του διαγράμματος Duron, γεγονός που υποδηλώνει νερά εμπλουτισμού. Λίγα δείγματα από τους ηφαιστίτες, ένα δείγμα από τα παλαιογενή ιζήματα και ένα δείγμα από τους φυλλίτες, εμφανίζουν σημαντική παρουσία Ca^{2+} και Na^+ και μερική ανταλλαγή ιόντων. Τρία δείγματα από τα παλαιογενή ιζήματα και ένα από τον νομιμοιλιτοφόρο ασβεστόλιθο στα οποία έχουμε κυριαρχία Ca^{2+} και καμία σαφή κυριαρχία ανιόντος, υποδηλώνουν με την απεικόνισή τους στην υποπεριοχή (4) νερά ανάμιξης, ή νερά που προήλθαν από απλή διάλυση. Επιβεβαιώνεται έτσι η διαπίστωση ότι τα υπόγεια νερά της περιοχής Αλεξάνδρουπολης, παρά την διαφορετική λιθολογική προέλευση εμφανίζουν παρόμοιο υδροχημικό χαρακτήρα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- ARPELO, C.A.J. and D. POSTMA, (1993). *Geochemistry, Groundwater and Pollution*, 536 p., ed. A.A. Balkema, Rotterdam.
- CHAVEZ,R.,(1988). Region 10, Faja Volcanica Transmexicano, in Back, W., Rosenshein, J.S. and Seaber, P.R., eds., *Hydrogeology: Boulder, Colorado*, Geological Society of America, *The Geology of North America*, v. O-2, pp. 93-98.
- DAVIS, S.N.,(1988). Sandstones and shales, in Back, W., Rosenshein, J.S. and Seaber, P.R., eds., *Hydrogeology: Boulder, Colorado*, Geological Society of America, *The Geology of North America*, v. O-2, pp. 323-332.
- ΔΙΑΜΑΝΤΗΣ, Ι.Β.,(1997). Συμβολή στη διερεύνηση της υδρογεωλογικής συμπεριφοράς των συμπλεγών πετρωμάτων(χριστοβαλλικά-ιζηματογενή). Πρακτικά 3ου Υδρογεωλογικού Συνεδρίου της Ελληνικής Επιτροπής Υδρογεωλογίας σελ. 151-164.
- ΔΗΜΟΥ, Ε.,(1993). Συγκριτική και ορυκτολογική μελέτη των μεταλλοφοριών στις θέσεις Αχλά Τσαλά και Αγ. Φίλιππος περιοχής Κίρκης (Β.Α. Ελλάδα), Δελτ. Ελλην. Γεωλ. Εταιρ., τομ. XXVIII/2, σελ. 37-54.
- GROENEWOLD, G. H., B. W. Rehm, and J.A. Cherry, (1981). Depositional setting and groundwater quality, in *Coal-Bearing Sediments and Soils in Western North Dakota*. In F. G. Ethridge and R. M. Flores (eds.) "Recent and ancient non-marine depositional environments: Models for exploration". SEPM Special Publication, No. 31, pp. 157-167.
- HEM, J.D.,(1970). Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water, second Edition. U.S. Geological Survey Water Supply Paper 1473, U.S. Department of the Interior, Washington, D.C.

- LARSSON, I.,(1984). Ground Water in Hard Rocks. Studies and Report in Hydrology 33, Unesco, 228 p.
- LEGRAND, H.E.,(1967). Ground water of the Piedmont and Blue Ridge provinces in the southeastern States: U.S. Geological Survey Circular 538,11 p.
- MATTHESS, G. and J.C. HARVEY, (1982). The Properties of Groundwater. John Wiley & Sons, New York, 406 p.
- TRAINER, F.W.,(1988).Hydrogeology of the plutonic and metamorphic rocks, in Back, W., Rosenshein, J.S. and Seaber, P.R., eds., Hydrogeology: Boulder, Colorado, Geological Society of America, The Geology of North America, v.O-2, pp.367-380.
- LLOYD, J.W., (1965). The hydrochemistry of the aquifers of northeastern Jordan, J. Hydrol., V.3, pp. 319-330.
- PIPER, A.M., (1953). A graphical procedure in the geochemical interpretation of water analyses. U.S.G.S., Ground Water Note 12.
- ΣΙΔΕΡΗΣ, Κ., Κ. ΚΑΤΙΡΤΖΟΓΛΟΥ και Α. ΧΑΤΖΗΚΥΡΚΟΥ, (1991). Πετρολογία και γεωχημεία τριτογενών ηφαιστειακών πετρωμάτων Λισύμης-Κίρκης, Ανατολική Ροδόπη. Δελτίο Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας, τομ. XXV/2, σελ. 19-31.
- WOOD, W.W., and L.A. FERNANDEZ, (1988). Volcanic rocks, in Back, W., Rosenshein, J.S. and Seaber, P.R., eds., Hydrogeology: Boulder, Colorado, Geological Society of America, The Geology of North America, v. O-2, pp. 353-365.