

ΥΔΡΟΧΗΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ ΤΟΥ ΗΦΑΙΣΤΕΙΟ-ΙΖΗΜΑΤΟΓΕΝΟΥΣ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΣΚΥΔΡΑΣ (ΒΟΡΕΙΑ ΕΛΛΑΔΑ)

Δ. Ράπτη* και Γ. Σούλιος*

ΣΥΝΟΨΗ

Από τη μελέτη του χημισμού των υπόγειων νερών του ηφαιστειο-ιζηματογενούς υδροφορέα της ευρύτερης περιοχής Σκύδρας προκύπτει ότι αυτά ανήκουν κυρίως στον ασβεστούχο - ασβεστομαγνησιούχο όξινο ανθρακικό τύπο.

Παρουσιάζουν αύξηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας από δυτικά προς τα ανατολικά κατά τη διεύθυνση ροής του υπόγειου νερού, ενώ θεωρούνται κατάλληλα για την άρδευση των εδαφών (C_2S_1), με διαφοροποιήσεις κατά θέσεις.

Από τα υδρογεωλογικά και υδροχημικά δεδομένα προκύπτει ότι η κύρια τροφοδοσία των υδροφόρων στρωμάτων του υπό μελέτη συστήματος γίνεται κυρίως πλευρικά από τα ανθρακικά πετρώματα της περιοχής Σεβαστιανών, Λουτροχωρίου και Μαρίνας και από τις ρηξιγενείς ζώνες των μεταμορφωμένων πετρωμάτων.

ABSTRACT

The study of the groundwater of the volcano-sedimentary aquifer of the broad area of Skidra indicates that the water is classified mainly into calcium bicarbonate and mixed cationic Ca - Mg dominating bicarbonate water type.

An increasing of the total electrical conductivity has been found from the west to the east, to coincide to the direction of groundwater flow. Additionally, the waters are considered to be suitable for irrigation purposes (C_2S_1), with some exceptions in localities.

The hydrogeological and the hydrochemical data reveal that the main supply to the studied aquifers is located mainly from a lateral formation of carbonate rocks of the Sevastiana, Loutrochori and Marina areas and from the fracture zones of the metamorphic rocks.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην εργασία αυτή μελετάται η υδρογεωλογική συμπεριφορά του ηφαιστειο-ιζηματογενούς υδροφορέα της ευρύτερης περιοχής Σκύδρας και προσδιορίζονται τα υδροχημικά χαρακτηριστικά των υπόγειων νερών.

Ειδικά καθορίζονται οι φυσικοχημικές παράμετροι, οι ιοντικές συγκεντρώσεις, οι χημικοί τύποι, οι υδροχημικές φάσεις και η καταλληλότητα του υπόγειου νερού για άρδευση.

Η περιοχή έρευνας (σχ. 1) βρίσκεται στα όρια των νομών Πέλλας και Ημαθίας,

* Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. Τομέας Γεωλογίας και Φυσικής Γεωγραφίας, 540 06, Θεσσαλονίκη.

Rapti, D. and Soulios, G. Hydrochemical characteristics of ground water of the volcano - sedimentary aquifer of the broad area of Skidra (Northern Greece).

* Aristotle University of Thessaloniki. Department of Geology and Physical Geography, 540 06, Thessaloniki Greece.

ανατολικά της οροσειράς του Βερμίου. Συγκεκριμένα ορίζεται από τις συντεταγμένες με γεωγραφικό πλάτος 40ο.38' έως 40ο.49' και γεωγραφικό μήκος 22ο.07' έως 22ο.11'.

Για την ερμηνεία των ποιοτικών χαρακτηριστικών των υπόγειων νερών έχει αναπτυχθεί σημαντικός αριθμός Τεχνικών και μεθόδων. Ο Zarogozec (1975) συνοψίζει τις διάφορες μεθόδους ερμηνείας και συζητά σχετικά με τις πιθανές χρήσεις τους. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιούνται για την ταξινόμηση των υπόγειων νερών, η μέθοδος προτεινόμενη από το Hem (1970), τα τριγωνικά διαγράμματα κατά Piper (1953), η ταξινόμηση του νερού κατά Back (1966), και το διάγραμμα ταξινόμησης των αρδευτικών νερών κατά U. S. Salinity Laboratory (1954).

ΓΕΩΛΟΓΙΑ

Η ευρύτερη περιοχή έρευνας από γεωτεκτονική άποψη ανήκει στη ζώνη Αλμπίας. Οι γεωλογικοί σχηματισμοί (σχ. 2), που απαντώνται στην ευρύτερη περιοχή είναι από τους νεότερους προς τους παλαιότερους (Mercier and Vergely 1971, Brunh 1982, Koliios et al. 1980, Ράπτη και άλλοι 1993), είναι:

Τεταρτογενείς επιφανειακές αποθέσεις (αλλουβιακές αποθέσεις, κώνοι κορημάτων). (1)

- Τραβερτίνης, [Πλειστόκαινο]. (2)

- Ηφαιστειακοί σχηματισμοί και ηφαιστειακοί τόφφοι, [Ανώτερο Πλειόκαινο - Μειόκαινο]. (3)

- Φλύσχης, [Ανώτερο Κρητιδικό - Παλαιόκαινο]. (4)

- Εναλλαγές σχιστολίθων ασβεστοσχιστολίθων, μαργαίκοι - σχιστώδεις ασβεστόλιθοι των ενότητων Νέας Ζώης και Κράστας αντίστοιχα, [Ανώτερο Κρητιδικό]. (5)

- Σχιστόλιθοι κροκαλοπαγείς κόκκινοι και ασβεστολιθικοί σχιστόλιθοι, [Κρητιδικό]. (6)

- Μαργαίκοι ασβεστόλιθοι της ενότητας Στενήμαχου, κροκαλοπαγή και ασβεστόλιθοι της ενότητας Γραμμένης Βρύσης, [Κρητιδικό]. (7)

- Κροκαλοπαγή και ασβεστόλιθοι του τεκτονικού καλύμματος του Άνω Βερμίου, [Κρητιδικό]. (8)

- Ηφαιστειοιζηματογενής σειρά (αποτελούμενη από τοφφίτες σχιστόλιθους, κ.λπ.), οφειόλιθοι, οφειολιθικά μίγματα, μαγματικά πετρώματα Μεσοζωικού (σερπεντίνες, σπιλίτες, κ.λπ.), [Ανώτερο Ιουρασικό - Κατώτερο Κρητιδικό]. (9)

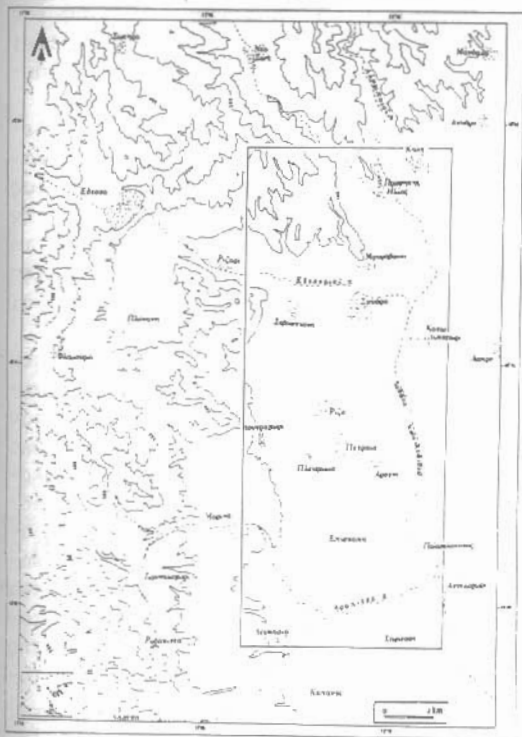
- Μάρμαρα με πυριτικές ενστρώσεις, [Τριαδικό - Ιουρασικό]. (10)

Ειδικότερα η περιοχή ενδιαφέροντος της παρούσας εργασίας, (σχ. 1, σε πλαίσιο) με βάση τα στρωματογραφικά δεδομένα των στηλών των γεωτρήσεων και τα αποτελέσματα των γεωφυσικών διασκοπήσεων (Ράπτη Δ., Ρόκκα Α. και Σούλιος Γ., 1993), συνίσταται από ένα ηφαιστειο-ιζηματογενή σχηματισμό, το πάχος του οποίου κυμαίνεται από 25 έως 270 μέτρα (σχ. 3). Πρόκειται για ηφαιστειακούς τόφφους, τραχειανδσειτικής σύστασης (Ελευθεριάδης 1977), που εμφανίζονται άλλοτε υγείς και άλλοτε εξαλλοιωμένοι, μέσα στους οποίους συναντάμε λεπτές ενστρώσεις άμμων, χαλικιών και αργίλων. Το πάχος των ενστρώσεων κυμαίνεται από 1 έως 6 μέτρα.

Η πλειο - τεταρτογενής τεκτονική δραστηριότητα που έλαβε χώρα στη ζώνη Αλμπίας, είχε ως αποτέλεσμα της δημιουργία ενός εκτεταμένου συστήματος κανονικών ρηγμάτων με την επαναδραστηριοποίηση των ήδη υπαρχόντων και τη δημιουργία νέων, με κύριες διευθύνσεις ΒΔ - ΝΑ και Α.ΒΑ - Δ.ΒΔ (Μουντράκης 1985, Lalechos 1986).

ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Στην υπό μελέτη περιοχή διακρίνουμε τους εξής υδρογεωλογικούς σχηματισμούς



Σχ. 1: Γεωγραφική θέση της περιοχής έρευνας.

S , p 1.45×10^{-3} , έως 2.5×10^{-4} , (πρόκειται για υδροφόρο στρώμα το οποίο βρίσκεται υπό πίεση), και της ειδικής παροχής q/δ , από 2.3 έως 15.5 (m^3/h)/m.

Τα βάθη των γεωτρήσεων κυμαίνονται από 80 έως 130 μέτρα ενώ οι παροχές αυτών από 60 έως 140 m^3/h (Ράπτη και άλλοι 1993, Βαφειάδης και άλλοι 1993).

Από τον πιεζομετρικό χάρτη του σχήματος 4, που κατασκευάστηκε με βάση τις μετρήσεις της στάθμης των υδροφόρων στρωμάτων (Μάιος 1993), και τη χρήση στη συνέχεια γεωστατιστικών μεθόδων επεξεργασίας των δεδομένων (surfer), παρατηρούμε ότι:

α. Η κύρια διεύθυνση ροής του υπόγειου νερού είναι από δυτικά προς τα ανατολικά με μικρές αποκλίσεις από αυτή.

β. Η υδραυλική κλίση κυμαίνεται από 0.52% έως 1.42%, ενώ η πιεζομετρική επιφάνεια βρίσκεται σε απόλυτο υψόμετρο από 14 έως 65 μέτρα.

ΥΔΡΟΧΗΜΕΙΑ

Στην περιοχή μελέτης πραγματοποιήθηκαν δειγματοληψίες νερού (Μάιος 1993) σε 18 γεωτρήσεις (σχ. 5) και στη συνέχεια έγιναν οι χημικές αναλύσεις αυτών (Πίνακας Ι).

Από τον προσδιορισμό των φυσικοχημικών σταθερών του υπόγειου νερού παρατηρούμε ότι η τιμή του pH κυμαίνεται από 7.0 έως 7.37, πρόκειται δηλαδή για νερά ουδέτερα ως ελαφρώς βασικά, το σύνολο των διαλυμένων στερεών (TDS) από 330 έως 495 mg/l , ενώ, η ηλεκτρική αγωγιμότητα, στους 22°C, από 542.6 έως 829.3 $\mu S/cm$, τιμές που υποδηλώνουν μέτριο χρόνο παραμονής του νερού στο υπέδαφος.

Από την κατανομή των τιμών της ηλεκτρικής αγωγιμότητας, σχήμα 5, παρατηρού-

(Ράπτη Δ., Ρόκκα Α. και Σούλιος Γ., 1993):

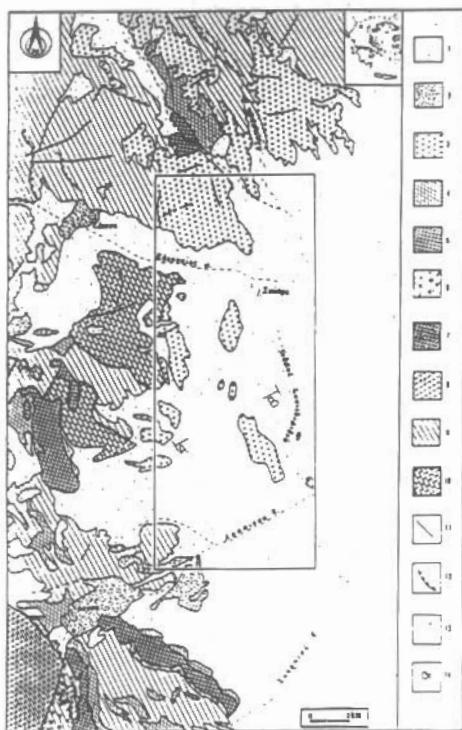
α. Τις τεταρτογενείς επιφανειακές αποθέσεις, οι οποίες αποτελούνται από ενστρώσεις άμμων, χαλκικών και αργίλων. Το πάχος τους κυμαίνεται από 0 έως 30 μέτρα.

β. Τον ηφαιστειο-ιζηματογενή σχηματισμό, ο οποίος αποτελεί και τον κύριο υδροφόρα στην υπό μελέτη περιοχή, και τέλος,

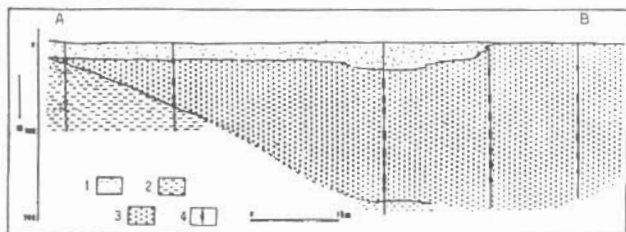
γ. Ένα αργιλικό στρώμα, σε βάθη που κυμαίνονται από 15 έως -275 μέτρα σε απόλυτο υψόμετρο, το οποίο αποτελεί το αδιαπέρατο υπόβαθρο του υπερκείμενου υδροφόρα.

Οι υδραυλικές παράμετροι των υδροφορέων (K , T , S , q/δ) υπολογίστηκαν με βάση τα δεδομένα των δοκιμαστικών αντιλήσεων που πραγματοποιήθηκαν σε γεωτρήσεις, (Ράπτη Δ., Σούλιος Γ. και Francani V. 1993).

Έτσι η τιμή του συντελεστή περατότητας K , κυμαίνεται από 1.6×10^{-3} έως 4×10^{-6} m/sec, του συντελεστή υδραυλικής αγωγιμότητας T , από 1.2×10^{-2} έως 2.3×10^{-4} m^2/sec , του συντελεστή εναποθήκευσης



Σχ. 2: Γεωλογικός χάρτης, (Ράπτη Δ., Σούλιος Γ. και Francani V., 1993). 11: ρήγμα, 12: επώθηση, 13: υδρογραφικό δίκτυο, 14: πηγή και Α - Β: γεωλογική τομή (για τους άλλους συμβολισμούς βλέπε στο κείμενο).



Σχ. 3: Γεωλογική τομή. (1) τεταρτογενείς επιφανειακές αποθέσεις, (2) άργιλος, (3) ηφαιστειακοί τόφφοι με ενστρώσεις αργίλων, άμμων και χαλικιών, (4) γεωτρήσεις - φίλτρα (κατά Ράπτη Δ. Σούλιος Γ. και Francani V. 1993).

με γενικά αύξηση της από δυτικά προς τα ανατολικά, κατά τη διεύθυνση ροής του υπόγειου νερού, γιατί αυτό παραμένει περισσότερο χρόνο στο υπέδαφος με αποτέλεσμα να εμπλουτίζεται σε ιόντα.

Οι συγκεντρώσεις των ιόντων ασβεστίου που είναι και το κυρίαρχο κατιόν αντιπροσωπεύουν το 26.6% έως 74.16% της ολικής συγκέντρωσης των κατιόντων, των ιόντων μαγνησίου το 19.43% έως 69.14%, των ιόντων καλίου και νατρίου το 0.26% έως 3.14% και 3.9% έως 17.13% αντίστοιχα.

Ο λόγος Mg/Ca παίρνει τιμές που κυμαίνονται από 0.54 έως 0.15, γεγονός που επιβεβαιώνει την κίνηση του νερού δια μέσω πετρωμάτων με μεγάλο ποσοστό ασβεστούχων υλικών (κροκαλοπαγή, αργιλικό σχηματισμοί, ασβεστολιθικά πετρώματα και κυρίως μάρμαρα), με εξαίρεση την περιοχή Λευκαδίων (Mg/Ca=1.58) όπου η κίνηση του υπόγειου νερού γίνεται δια μέσου των ρηξιγενών ζωνών των πετρωμάτων της ηφαιστειο-ιζηματογενούς σειράς (οφειόλιθοι κ.λπ.).

Ο λόγος (Ca+Mg)/(K+Na) παίρνει τιμές από 7.5 έως 13, γεγονός που υποδηλώνει ότι στην περιοχή πραγματοποιείται εμπλουτισμός των υδροφόρων στρωμάτων.

Οι τιμές του λόγου SiO₂/Ca κυμαίνονται από 0.11 έως 0.94. Οι τιμές αυτές θεωρούνται αρκετά χαμηλές, δεδομένου ότι, για νερά προερχόμενα από ηφαιστειακούς σχηματισμούς, ο λόγος SiO₂/Ca παίρνει τιμές μεγαλύτερες της μονάδας (0.85 έως 3).

Οι συγκεντρώσεις των οξυανθρακικών ιόντων, που αποτελούν το κυρίαρχο ιόν, αντιπροσωπεύουν 70.2% έως 91.2% της ολικής συγκέντρωσης των ανιόντων, των θετικών ιόντων το 5.3% έως 23.5%, των χλωριούχων και νιτρικών ιόντων το 2.08% έως 9.82% και το 0.26% έως 4.26% αντίστοιχα.

Αυξημένες συγκεντρώσεις νιτρικών ιόντων παρατηρούνται στα νερά των γεωτρή-

Πίνακας 1: Δεδομένα χημικών αναλύσεων

α/α	°C	pH	E.C.*	TDS	mg/l								σκληρότητα	SO ₄ /Ca ²⁺	..	***
					Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻				
1	25,9	7,1	807,9	495	4,19	3,05	0,76	0,62	0,38	2,08	0,18	6,21	36,2	0,29	Ca-Mg-HCO ₃	C3S1
2	25,7	7,19	673,4	458	4,39	2,99	0,06	0,59	0,26	1,04	0,11	6,73	36,9	0,12	Ca-Mg-HCO ₃	C2S1
3	25,7	7,17	630,8	380	3,91	3,33	0,09	0,40	0,30	0,90	0,14	6,75	36,2	0,27	Ca-Mg-HCO ₃	C2S1
4	26,4	7,31	794,4	356	5,01	2,81	0,04	0,32	0,22	0,42	0,02	6,9	39,1	0,11	Ca-HCO ₃	C3S1
5	26,4	7,05	544,1	455	4,37	1,93	0,16	0,36	0,21	0,25	0,22	5,66	31,5	0,51	Ca-HCO ₃	C2S1
6	26,2	7,35	722,8	312	5,79	2,05	0,15	0,34	0,29	0,77	0,26	6,7	39,2	0,43	Ca-HCO ₃	C3S1
7	26,2	7,16	633,0	413	4,91	1,88	0,20	0,39	0,53	0,40	0,32	6,26	34,0	0,22	Ca-HCO ₃	C2S1
8	26,1	7,03	542,6	360	3,71	2,73	0,08	0,45	0,25	0,90	0,22	5,77	32,2	0,13	Ca-Mg-HCO ₃	C2S1
9	26,2	7,25	581,2	309	3,87	2,83	0,02	0,33	0,14	0,31	0,10	6,16	33,5	0,24	Ca-Mg-HCO ₃	C2S1
10	26,2	7,13	829,3	333	5,29	3,56	0,12	0,67	0,24	1,27	0,19	7,65	45,7	0,14	Ca-HCO ₃	C3S1
11	26,2	7,3	737,8	475	4,65	3,09	0,07	0,59	0,37	1,21	0,16	7,2	38,7	0,32	Ca-Mg-HCO ₃	C3S1
12	26,2	7,17	601,3	424	5,11	1,27	0,16	0,36	0,36	0,40	0,17	5,62	31,9	0,58	Ca-HCO ₃	C2S1
13	26,2	7,0	666,7	344	4,89	3,13	0,03	0,35	0,23	1,08	0,22	6,4	40,1	0,11	Ca-Mg-HCO ₃	C2S1
14	26,3	7,4	586,1	375	2,0	5,2	0,02	0,30	0,28	0,40	0,16	6,62	35,9	0,11	Mg-HCO ₃	C2S1
15	25,9	7,17	760,9	330	4,51	2,75	0,04	0,38	0,25	1,02	0,25	6,41	36,3	0,12	Ca-Mg-HCO ₃	C3S1
16	26,3	7,12	765,6	427	4,39	3,92	0,04	0,3	0,32	1,08	0,31	6,39	41,5	0,13	Ca-Mg-HCO ₃	C3S1
17	26,2	7,08	573,8	437	3,67	1,18	0,17	1,04	0,66	0,58	0,05	5,43	24,3	0,94	Ca-HCO ₃	C2S1
18	27,7	7,37	589,7	347	4,89	2,1	0,02	0,37	0,27	0,02	0,03	7,32	35,0	0,61	Ca-HCO ₃	C2S1

σκληρότητα σε γαλλικούς βαθμούς, ** τύπος νερού, *** τύπος αρδευτικού νερού κατά USDA (1954)

C.E: ηλεκτρική αγωγιμότητα στους 20ο C, σε μS/cm, TDS: σύνολο διαλυμένων στερεών.

σεων 7 και 16 οι οποίες βρίσκονται αντίστοιχα στους οικισμούς Πετραίας και Πλευρώματος. Οι αυξημένες τιμές οφείλονται κυρίως στη μόλυνση των νερών από τα οικιακά απόβλητα.

Από την κατανομή των τιμών της ολικής σκληρότητας (από 24.3 έως 45.7 γαλλικούς βαθμούς) το νερό χαρακτηρίζεται έως πολύ σκληρό, (Hem 1970).

Με βάση τη φθίνουσα περιεκτικότητα σε ανιόντα και κατιόντα κατά (Hem 1970), διακρίνουμε τους εξής υδροχημικούς τύπους νερού:

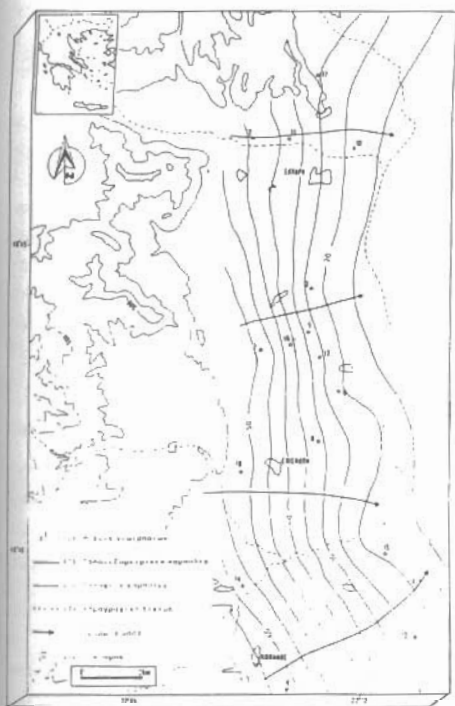
α. ασβεστομαγνησιούχο - οξυανθρακικό, με κυρίαρχα τα οξυανθρακικά ιόντα, και μη επικρατούντα τύπο κατιόντων (γεωτρήσεις: 1, 2, 3, 8, 9, 11, 13, 15, 16),

β. ασβεστόχο - οξυανθρακικό (γεωτρήσεις: 4, 5, 6, 7, 10, 12, 17, 18),

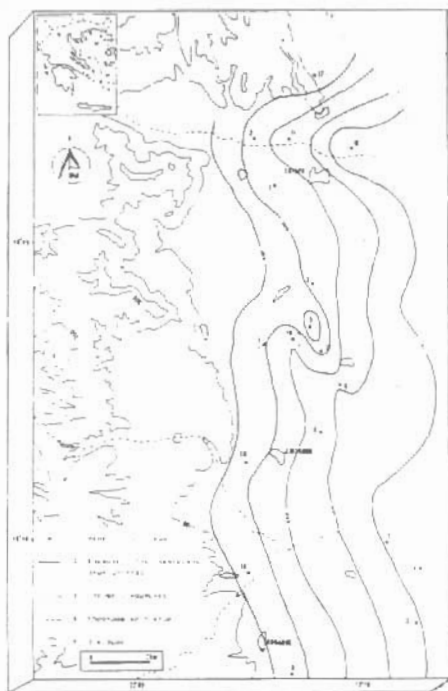
γ. και μαγνησιούχο - οξυανθρακικό (δείγμα με γεώτρησης 14).

Η απεικόνιση των δεδομένων των χημικών αναλύσεων στο τριγωνικό διάγραμμα κατά Piper (1953), σχήμα 6, μας επιτρέπει τον καθορισμό ι) των ομοιοτήτων και διαφορών που παρουσιάζουν οι διάφοροι τύποι νερού, και, ιι) της α-νάμειξης διαφορετικών τύπων νερού (Walton 1970). Έτσι με βάση το τριγωνικό διάγραμμα κατά Piper (1953) διακρίνουμε τις εξής υδροχημικές φάσεις (πίνακας II), Back 1966):

Διάφορα κριτήρια αναπτύχθηκαν όσο α-



Σχ. 4: Πιεζομετρικός χάρτης.



Σχ. 5: Χάρτης καμπυλών ίσης ηλεκτρικής αγωγιμότητας σε $\mu\text{S}/\text{cm}$.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από την αξιολόγηση των υδρογεωλογικών δεδομένων και των αποτελεσμάτων των χημικών αναλύσεων διαπιστώνουμε ότι, ο ηφαιστειο-ιζηματογενής υδροφόρος της ευρύτερης περιοχής Σκύδρας, δεν αποτελεί μία αυτόνομη υδρογεωλογική ενότητα, αλλά υποενότητα, της οποίας η κύρια τροφοδοσία του γίνεται κυρίως πλευρικά από τα ανθρακικά πετρώματα της περιοχής Σεβαστιανών, Λουτροχωρίου και Μαρίνας, και από τις ρηξιγενείς ζώνες των άλλων πετρωμάτων (οφειολίθων κ.λπ.). Στο γεγονός αυτό συνηγορούν α) οι από δυτικά προς τα ανατολικά διευθύνσεις των γραμμών ροής του υπόγειου νερού, όπως αυτές προκύπτουν από το χάρτη των ισοπιεζομετρικών καμπυλών, και β) οι χαμηλές τιμές του λόγου $\text{SiO}_2/$

Πίν. ΙΙ: Ταξινόμηση υδροχημικών φάσεων (Back, 1966).

Υδροχημική φάση	φάση κατιόντων	φάση ανιόντων	αριθμός δείγματος
1	ασβεστο-νατρίουχα	οξυανθρακική-χλωριοθειική	1, 17
2	ασβεστο-μαγνησιούχα	οξυανθρακική-χλωριοθειική	2, 3, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16
3	ασβεστο-μαγνησιούχα	οξυανθρακική	4, 9, 18

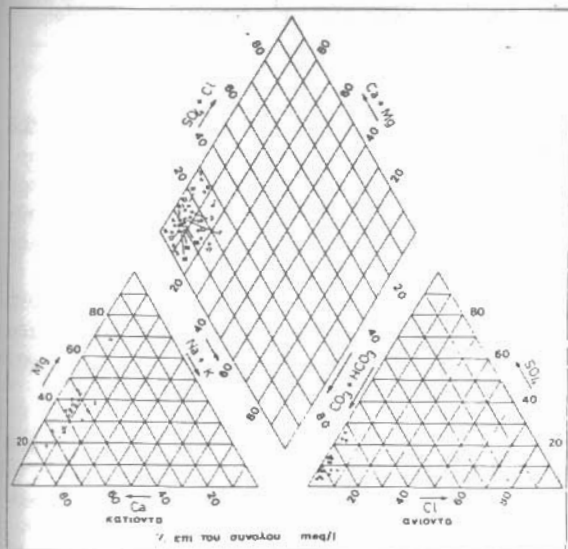
φορά την ερμηνεία των επιδράσεων του νερού στην άρδευση. Τόσο το TDS, όσο και ο συντελεστής προσρόφησης νατρίου χρησιμοποιούνται σαν βασικά κριτήρια καταλληλότητας του νερού για άρδευση.

Με βάση τη διακύμανση των τιμών του TDS (330 - 495 mg/l), το νερό θεωρείται άριστης ποιότητας για την άρδευση των εδαφών (Unesco 1978).

Από την κατανομή των τιμών του συντελεστή προσρόφησης νατρίου (SAR) και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του νερού στους 25°C , στο διάγραμμα ταξινόμησης των αρδευτικών νερών (U.S. Salinity Laboratory, 1954), διαπιστώνουμε ότι (σχ. 7):

α. Το νερό των γεωτρήσεων 2, 3, 5, 7, 8, 9, 12, 13, 14, 17 και 18 είναι μέσης αλατότητας με χαμηλές τιμές του συντελεστή προσρόφησης νατρίου (κατηγορία C_2S_1), και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για αρδευτικούς σκοπούς, ενώ

β. Το νερό των γεωτρήσεων 1, 4, 6, 10, 11, 15 και 16 είναι υψηλής αλατότητας με χαμηλές τιμές του συντελεστή προσρόφησης νατρίου (κατηγορία C_3S_1) και θεωρείται ακατάλληλο για την άρδευση εδαφών περιορισμένης στράγγισης.



Εχ. 6: Τριγωνικό διάγραμμα κατά Piper (1953).

Geological Survey Prof. Paper 498 - A, 42 pp.

ΒΑΦΕΙΑΔΗΣ Π., ΣΟΥΛΙΟΣ Γ., ΠΑΝΩΡΑΣ Α. (1993). Δοκιμές άντλησης σε ηφαιστειογενή υδροφόρα στρώματα της πεδινής περιοχής νότια της Σκύδρας (νομός Πέλλας). Ανακοίνωση στο 2ο Υδρογεωλογικό συνέδριο, Πάτρα, σελ. 14, (υπό τύπωση).

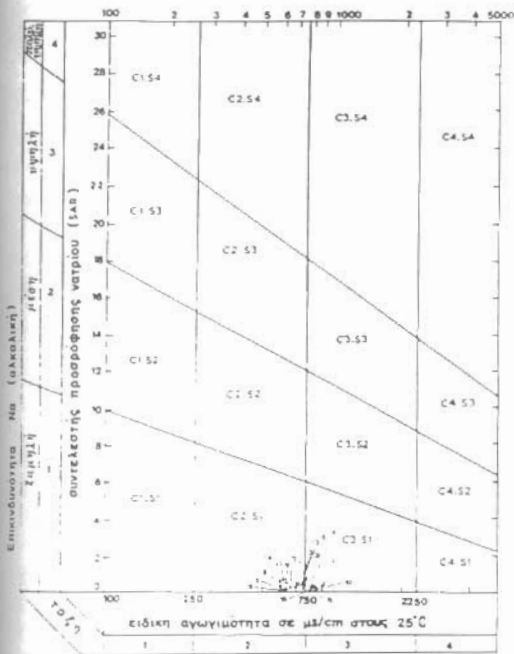
BRUNN, J. (1982). Γεωλογικός χάρτης Ελλάδος. Φύλλο Βέροια, κλίμακα 1:50.000, Ι.Γ.Μ.Ε., Αθήνα.

ΕΛΕΥΘΕΡΙΑΔΗΣ, Γ. (1977). Συμβολή εις την μελέτην των ηφαιστειογενών πετρωμάτων της Νοτίου Αλμωπίας. Διατριβή επί διδακτορία, Θεσσαλονίκη, σελ. 173.

HEM, J.D. (1970). Study and interpretation of chemical characteristics of natural waters, 2nd edition.

KOlios, N., INNOCENTI, F., MANETTI, P., PECCERILLO, A. and GIULIANI, O. (1980). The Pliocene Volcanism of the Voras Mts (Central Macedonia Greece). Bull. Volcanol., Vol. 43 - 3, p. 553 - 568.

LALECHOS, N. (1986). Correlations and observations in molassic sediments in onshore and offshore areas of northern Greece. Ορυ-



Εχ. 7: Διάγραμμα ταξινόμησης του αρδευτικού νερού κατά USDA (1954).

- κτός Πλούτος, τόμος 42, 7 - 34, σελ. Αθήνα.
- MERCIER, J. και VERGELY, P. (1971). Γεωλογικός χάρτης Ελλάδος. Φύλλο Έδεσσα, κλίμακα 1:50.000, Ι.Γ.Μ.Ε., Αθήνα.
- ΜΟΥΝΤΡΑΚΗΣ, Δ. (1985). Γεωλογία της Ελλάδος, University Studio, Θεσσαλονίκη, σελ. 207.
- PIPER, A. (1953). A graphical procedure in the geochemical interpretation of water analysis. U.S. Geological Survey Ground Water Note 12, 160 pp.
- ΡΑΠΤΗ, Δ., ΡΟΚΚΑ, Α. και ΣΟΥΛΙΟΣ, Γ. (1993). Συσχέτιση υδρογεωλογικών και γεωφυσικών παραμέτρων του ηφαιστειο-ιζηματογενούς υδροφορέα της ευρύτερης περιοχής Σκύδρας (νομός Πέλλας). Ανακοίνωση στο 2ο Συνέδριο Συλλόγου Γεωφυσικών Ελλάδος, Φλώρινα, σελ. 11, (υπό τύπωση).
- ΡΑΠΤΗ, Δ., ΣΟΥΛΙΟΣ, Γ. και FRANCANI, V., 1993, Καθορισμός - εφαρμογή μαθηματικού μοντέλου προσομοίωσης στον υδροφορέα της ευρύτερης περιοχής Σκύδρας (νομός Πέλλας). Ανακοίνωση στο 2ο Υδρογεωλογικό Συνέδριο, Πάτρα, σελ. 13, (υπό τύπωση).
- UNESCO - WHO (1978). Water quality surveys, 350 pp.
- U.S. SALINITY LABORATORY (1954). Giagnosis and improvement of saline and alkaline soils. U.S. Department Agriculture Handbook 60.
- WALTON, W.C. (1970). Ground water resource evaluation. New York, McGraw-Hill Book Co.
- ZAPOROZEC, A. (1972). Graphical interpretation of water quality data. Ground water, v. 70, no. 12, p. 32 - 43.