

ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΘΕΡΜΩΝ - ΝΙΓΡΙΤΑΣ* (ΛΕΚΑΝΗ ΣΤΡΥΜΟΝΑ, ΒΟΡΕΙΑ ΕΛΛΑΔΑ)

A. ΑΡΒΑΝΙΤΗΣ¹, Μ. ΦΥΤΙΚΑΣ¹ & Ε. ΝΤΟΣΣΙΚΑ²

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η περιοχή Θερμών-Νιγρίτας παρουσιάζει αξιόλογο γεωθερμικό ενδιαφέρον. Η γεωθερμική ανωμαλία εμφανίζεται κυρίως λόγω της διασταύρωσης δύο συστημάτων ρηγμάτων με διεύθυνση ΒΒΑ-ΝΝΔ και ΒΔ-ΝΑ, ενώ σημαντικό ρόλο παίζουν και τα ρήγματα Α-Δ. Οι χάστες των ισοθερμών χαμηλών συνδράμουν στην κατανομή της μορφής του πεδίου. Ο κύριος γεωθερμικός ταμειντήρας αναπτύσσεται στο χροαλοπαγές βάσης με νερό μέχρι 62°C, που περιέχει συνήθως διαλυμένο CO₂. Στα υπερχειμένα του χροαλοπαγούς βάσης Νεογενή ιζήματα υπάρχουν στρώματα που φιλοξενούν επιφανειακά νερά θερμοκρασίας 19-27°C. Τα νερά κατατάσσονται σε δύο κύριους χημικούς τύπους: Na-HCO₃ και Ca,Mg,Na-HCO₃. Από τα χημικά γεωθερμόμετρα εκτιμάται ότι η θερμοκρασία των ρευστών στο βάθος είναι της τάξης των 130-140°C. Το συνολικό δυναμικό του πεδίου φαίνεται ότι είναι πολύ σημαντικό (γατά πολύ >500 m³/h).

ABSTRACT

The area of Therma - Nigrita is of primary geothermal interest. The geothermal anomaly manifests itself mainly by the intersection of the fault systems trending NNE-SSW and NW-SE, whereas of considerable importance are the faults with an E-W direction. The maps of isothermal curves provide wealth information on the form of the field. The main geothermal reservoir is located at the basal conglomerate containing water at a highest temperature of 62°C. The waters contain dissolved CO₂. In the Neogene sediments above the basal conglomerate, there are aquifers with surface waters at a temperature of 19-27°C. The waters are classified in two main chemical types: Na-HCO₃ and Ca,Mg,Na-HCO₃. With the aid of chemical geothermometers the deep temperature is estimated in 130-140°C. The total potential of the field seems to be very important (more over than 500 m³/h).

KEY WORDS: faults, isothermal curves, reservoir, conglomerate, Neogene sediments, CO₂, geophysical data, hydrochemistry, geothermometers

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ευρύτερη περιοχή Θερμών-Νιγρίτας προζάλεσε από καιρό το γεωθερμικό ενδιαφέρον του Γ.Γ.Μ.Ε. (Καρυδάκης, 1983) και πολλών ερευνητών εξαιτίας των θερμών πηγών και των ευνοϊκών γεωλογικών συνθηκών.

Με την παρούσα εργασία προστίθενται καινούργια στοιχεία (λεπτομερές θερμο-μετρική έρευνα,

* GEOTHERMAL CONDITIONS IN THERMA - NIGRITA AREA (STRYMON BASIN, NORTHERN GREECE)

¹ Τομέας Γεωλογίας & Φυσ. Γεωγραφίας, Τμήμα Γεωλογίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 54006, Θεσσαλονίκη

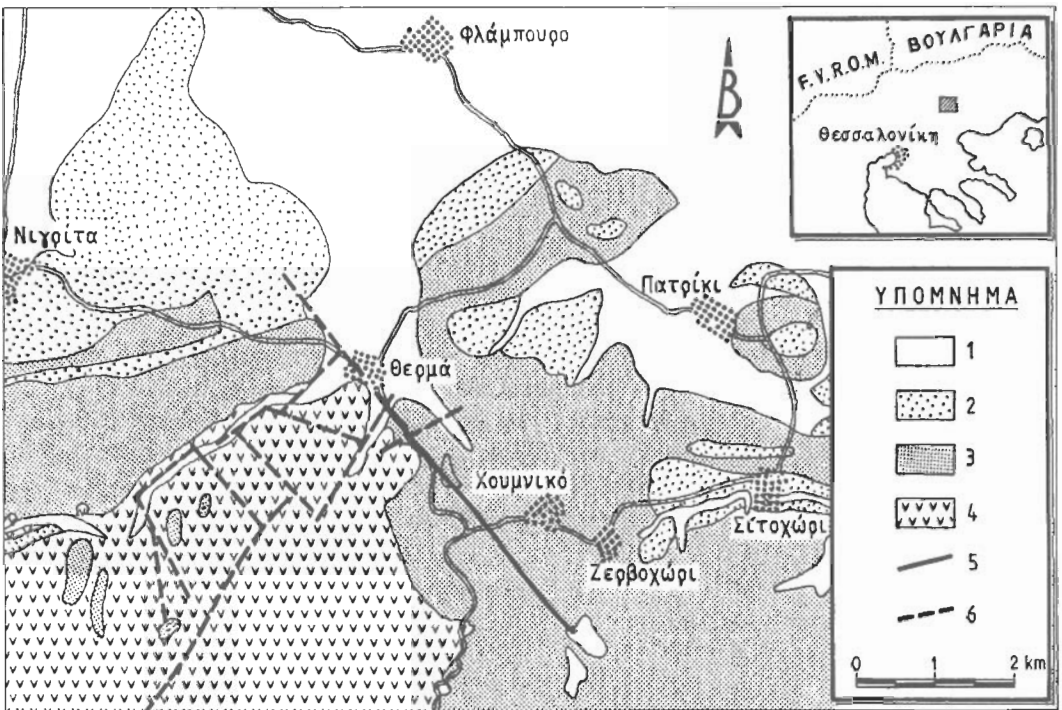
² Εργαστήριο Ισοτοπικής Βιβλιοθήκη Θεσσαλονίκης, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., 10 - Αγία Παρασκευή, Αθήνα

δευγματοληψίες, χημικές αναλύσεις, αξιολόγηση γεωλογικών και γεωφυσικών δεδομένων). Αυτά, σε συνδυασμό με τα υπάρχοντα δεδομένα, βοηθούν στην περιχάραξη των ορίων του πεδίου και στην καλύτερη γνώση της υπόγειας κυκλο-φορίας των υερυστών, της δομής, της λειτουργίας και των χαρακτηριστικών του γεωθερμικού πεδίου.

2. ΓΕΩΛΟΓΙΑ - ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ

Η περιοχή έρευνας τοποθετείται στα Δ περιθώρια του τεκτονικού βυθίσματος του Στροιμόνα. Το βύθισμα αυτό δημιουργήθηκε από σταδιακή τεκτονική δράση εφελκυστικού τύπου, που άρχισε κατά το Μειόκαινο και συνεχίζεται μέχρι σήμερα, με ενδιάμεσες παύσεις και πιθανές ενάλλαγές του πεδίου τάσεων.

Το γεωλογικό υπόβαθρο (Σχ. 1) είναι η Στεριά Βεητίσζου της Σερβομακεδονικής μάζας (γενεύοι, μαρμαρυγματοί σχιστόλιθοι, λεπτά στρώματα μαρμάρων, μεταγύββροι-μεταδιαβάσες και αμφιβολίτες) (Μουντρούκης & Κίλιας, 1992). Στα περιθώρια του γεωθερμικού πεδίου εμφανίζονται οι μεταμορφωμένοι οφιόλιθοι, οι δε θερμές πηγές (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 στο Σχ. 3) αναβλύζουν δίπλα σ' αυτούς. Πάνω στο υπόβαθρο αποτέθηκαν συντεκτονικά, Νεογενή και Τεταρογενή ιζήματα.



Σχ.1: Απλοποιημένος γεωλογικός χάρτης της περιοχής Θερμών-Νιγρίτας με βάση το γεωλογικό χάρτη του Ι.Γ.Μ.Ε. (Ι.Γ.Μ.Ε., 1970). [1. Αμμούχες άσγλιοι, άμμοι, χάλιζες, οπτίδια προαχώσεων (Ολόκαινο), 2. Άμμοι, χάλιζες, άσγλιοι, πηλοί (Πλειστόκαινο), 3. Λεπτοστρωματώδης ιλύς, άσγλιοι, αμμούχες άσγλιοι, λιμναίοι ασβεστόλιθοι, μάργες, αμμούχες μάργες, μαργαζοί ασβεστόλιθοι, ιλύς, παρομβολές στρωματίων με χάλιζια, άμμοι, προαλωπιταγές βάσης (Νεογενές), 4. Οφιόλιθοι (υπόβαθρο), 5. Ρήγματα, 6. Πιθανά ρήγματα].

Fig.1: Simplified geological map of Therma - Nigrita area, on the basis of the geological map of I.G.M.E. (I.G.M.E., 1970). [1. Sandy clays, sands, gravels, alluvial fans (Holocene), 2. Sands, gravels, clays, loams (Pleistocene), 3. Fine-layered silts, clays, sandy clays, lacustrine limestones, marls, sandy marls, marly limestones, silts, intercalations of gravel layers, sands, basal conglomerate (Neogene), 4. Ophiolites, 5. Faults, 6. Probable faults].

Ψηφιακή Βιβλιοθήκη "Θεόφραστος" - Τμήμα Γεωλογίας. Α.Π.Θ.

Τα Νεογενή ιζήματα (μάργες, αργίλοι, άμμοι, ασβεστόλιθοι, ψαμίτες, ακόμη και λιγνίτες) αορίζουν συνήθως με ένα κοοκαλοπαγές βάσης και στη συνέχεια διαφοροποιούνται ακόμη και πλειοζικά, ανάλογα με την παλαιομορφολογία και τις τότε συνθήκες (θαλάσσιες, λιμνοθαλάσσιες, υφάλμυρες και τοπικά χερσαίες). Οι Τεταογενείς αποθέσεις αποτελούνται κυρίως από χαλίτες, άμμοις, αμμοχες αργίλους, και ερυθροσφώματα. Στα μεταλιτικά ιζήματα της περιοχής κυριαοχέ γενικά η μαργαίτη και η αοργιλιτή ούσταση με παρεμβολές άμμοιο, χαλίτιο και λιμναίων ασβεστολιθών. Τα ιζήματα είναι πλούσια σε διαοενημένο αοργιλικό υλικό, γεγονός που τα καθιστά γενικά υδατοστεγανά, απομονώνοντας τους βαθύτερους γεωθερμικούς υδροφόρους από τα επιφανειακά νερά.

Οι πιο πρόσφατες ρηξιγενείς δομές σχηματίζουν δύο κύριες ομάδες ρηγιμάτων, ΒΔ-ΝΑ και ΒΒΑ-ΝΝΔ, που είναι οριζόντιες μετατόπισης αλλά και κανονικά (Μουνταζής & Κίλιας, 1992). Τα ρηγματα διεύθυνσης ΒΔ-ΝΑ διευκολύνουν γενικά την κυκλοφορία και την άνοδο θερμών ρευστών από μεγαλύτερα βάθη, αφού πρόκειται για μεγάλα και βαθεία ρηγματα. Οι τεκτονικές δομές αυτού του είδους δεν είναι πάντα ορατές στην επιφάνεια λόγω της φάσεως των πετρωμάτων και προούπτουν από γεωφυσικά και γεωθερμικά στοιχεία.

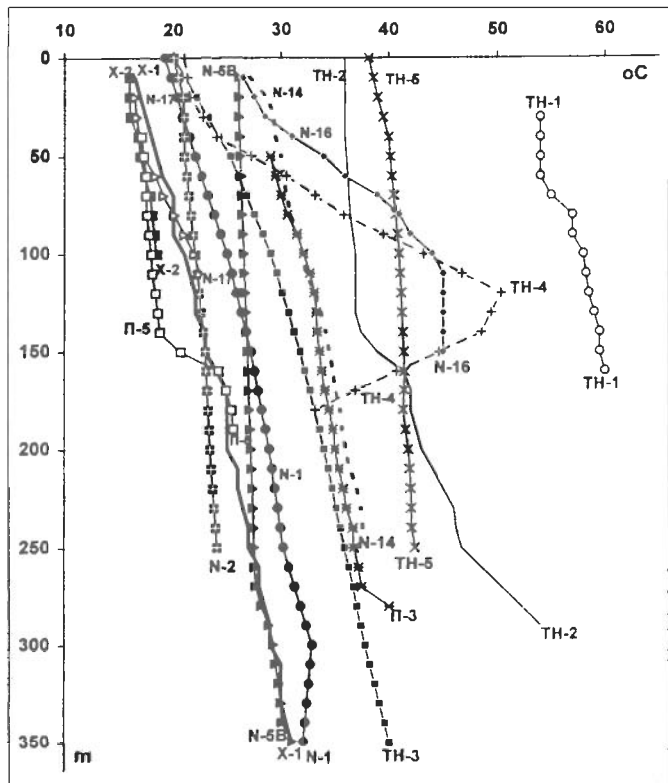
Από τις γεωηλεκτρικές διαοκοπήσεις (Βαογειζής κ.ά. 1988, Κυριαζίδης κ.ά. 1988) προούπτει και ένα άλλο σύστημα ρηγιμάτων διεύθυνσης Α-Δ, που οφείλεται στο ακόμη ενεργό πεδίο τάσεων με διεύθυνση εφελυοισμού Β-Ν. Είναι αυτό που επανενεργοποιεί προούπαοχουσες μεγάλες τεκτονικές δομές.

3. ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

Πραοματοποιήθηκαν θεομομετρήσεις σε 40 περίπου γεωτρήσεις, κυρίως στην οαφαλή, γιατί οι περισσότερες από αυτές έχουν στο εσωτερικό τους αντλητικό σιγχοότιμα. Σε λίγες μόνον περιπτώσεις πραγματοποιήθηκαν θεομομετρήσεις μέσα στις γεωτρήσεις και συντάχθηκαν οι οαετιές καμπύλες θεομοβαθμίδας (Σο. 2).

Οι γεωτρήσεις έχουν ποικίλα βάθη και παρέχουν από διαφορετικούς υδροφόρους, γι' αυτό χωρίστηκαν σε δύο κύριες ομάδες, με όριο τους 26°C. Κατασκευάστηκαν έτσι 2 χάρτες επιφανειακών ισοθέομων καμπυλών (Σο. 3,4).

Στο Σο. 3 (T<26°C) περιλαμβάνονται κυρίως οι ρηχές γεωτρήσεις με "επιφανειαοούς" υδροφόρους που έχουν ελάχιστη έως καθόλου ανάμιξη με "γεωθερμικά" βαθύτερης προέλευσης νερά. Οι γεωτρήσεις αυτές κατανέονται σε δύο υποπεριοχές. Γύρω από τα Θεομά υπάρχουν γεωτρήσεις που παράγουν νερά υψηλότερης θεομοκρασίας. Η περιοχή στα Δ της πόλης



Σο. 2: Καμπύλες μεταβολής της θεομοκρασίας με το βάθος για γεωτρήσεις της περιοχής Θεομών-Νιγρίτας.

Ψηφιακή Βιβλιοθήκη "Εοδοφράοτος" από το Γεωλογικό Τμήμα της Α.Π.Θ. <http://www.geology.upatras.gr/>

γραμμής Θεομών-Φλάμπουρου παρουσιάζει γεωθερμική ανωμαλία στο νότιο και κεντρικό της τμήμα. Η ανωμαλία προσανατολίζεται σε δύο διευθύνσεις, ΒΔ-ΝΑ και ΒΑ-ΝΔ, με μέγιστη θερμοκρασία 23°C στη γεώτρηση Θ-6. Στο ανατολικό περιθώριο αυτής της ανωμαλίας διακρίνεται απότομη μεταβολή, η οποία συνδέεται με την ύπαρξη ενός πολύ πιθανού ορήματος ΒΑ-ΝΔ διεύθυνσης και πιθανής κλίσης προς ΒΔ, που διέρχεται πλησίον των γεωτρήσεων Θ-7 και Θ-8. Για την ύπαρξη του ορήματος αυτού συνηγρεί και η διαφορά αλατότητας και αγωγιμότητας των γεωτρήσεων εκατέρωθεν του ορήματος. Η ένταση της θερμικής ανωμαλίας εξασθενεί σημαντικά πλησιάζοντας στην περιοχή της Νιγρίτας εξ' αιτίας της βύθισης του υποβάθρου, κατά συνέπεια και του υδροφόρου ζοροκαλοπαγούς, και της απομάκρυνσης από το σύστημα ορημάτων ανόδου των γεωθερμικών ρευστών. Ανατολικά της γραμμής Θεομών-Φλάμπουρου και όπου υπάρχουν δεδομένα γεωτρήσεων η γεωθερμική ανωμαλία γεννιέεται και γίνεται εντονότερη προς Β. Οι ισόθερμες χαμπύλες παρουσιάζουν αύξηση της θερμοκρασίας από ΝΝΑ προς ΒΒΔ, γεγονός που συμπίπτει με ένα ορήμα του υποβάθρου.

Από τις μετρήσεις των γεωτρήσεων με $T > 26^{\circ}\text{C}$ προέκυψε ότι το κέντρο της θερμομικής ανωμαλίας εντοπίζεται ΒΑ των Θεομών, με μέγιστη τιμή 62°C (Σχ. 4). Η μορφή των ισόθερων χαμπύλων αναλοιθεί διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ, που είναι παράλληλη και πολύ κοντά στο μεγάλο ορήμα, που έχει προεκταση ΝΔ των Θεομών. Διεύθυνση παράλληλη προς το προηγούμενο ορήμα διαγράφεται από τις ισόθερμες κατά μήκος των γεωτρήσεων Θ-11 και ΓΗ-2. Υπάρχει και εδώ δραστηριή ελάττωση της θερμικής ανωμαλίας μέχρι και εκμηδενισμός της προς Δ. Παρόμοια κατάσταση επιζωρεί και Ν. της νοητής γραμμής Θεομών-Νιγρίτας.

Οι ισόθερμες χαμπύλες αναφέρονται και από Dimopoulos (1990) περιλαμβάνοντας μικρότερης έντασης περιοχή εξαιτίας του μικρότερου αριθμού γεωτρήσεων και μετρήσεων. Οι ισόθερμες χαμπύλες των Σχ. 3 και 4 δίνουν παρόμοια αποτελέσματα για την περιοχή που εξετάστηκε και από Dimopoulos (1990) αλλά εμπλουτίζουν τις γνώσεις μας για την ευρύτερη περιοχή του γεωθερμικού πεδίου.

4. ΓΕΩΦΥΣΙΚΑ ΚΑΙ ΛΙΘΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Από τα γεωφυσικά στοιχεία (PPC 1981, BRGM-IGME 1982, Βαργεμέζης κ.ά. 1988, Κυριαζίδης κ.ά. 1988, Μέμον 1983, Στάμιου 1989) προέκυψαν χρήσιμες πληροφορίες για τη δομή του πεδίου. Τα σεισμικά της ΔΕΠ σταματούν στα Β περιθώρια του πεδίου.

Στην περιοχή παρατηρούνται εναλλαγές μαργών, φαμιτών, άμιων και κυρίως αργίλων που συχνά αποτελούν το συνδετικό υλικό. Η ανομοιογένεια και η ποικιλία των λιθολογικών τύπων και στρωμάτων μικρού πάχους, επιτρέπει την ένταξη τους ενιαία σαν Νεογενή και Τεταρτογενή ιζημάτα.

Τα Νεογενή ξεκινούν σχεδόν παντού με ένα ζοροκαλοπαγές βάσης, που έχει αξιόλογο πολλές φορές πάχος (αρχετών δεκάδων μέτρων) και αποτελεί σημαντικό υδροφόρο ορίζοντα γεωθερμικών ρευστών (μέχρι 62°C), τα οποία περιέχουν μεγάλες ποσότητες αερίου CO_2 σε διάλυση (Καράμπελας κ.ά. 1993). Η διάκριση του σχηματισμού είναι σχετικά εύκολη με τις γεωηλεκτρικές διασκοπήσεις, επειδή έχει μικρές τιμές ηλεκτρικής αντίστασης, λόγω της υδροφορίας του και της σχετικά μεγάλης θερμοκρασίας του νερού, ενώ το υποκείμενο υπόβαθρο έχει μεγαλύτερες τιμές.

Από τα υπάρχοντα γεωφυσικά στοιχεία, σε συνδυασμό με τις τομές των γεωτρήσεων, προέκυψαν τα εξής:

Τα Νεογενή-Τεταρτογενή ιζημάτα έχουν μικρό γενικά πάχος, που δεν ξεπερνά τα 500 m (συνήθως 100 - 300 m). Αντίθετα, η λεκάνη βόρεια της περιοχής βυθίζεται απότομα και το πάχος των ιζημάτων ξεπερνά τα 1000 m. Αυτή η βύθιση ελαττώνει το γεωθερμικό ενδιαφέρον αφού μειώνεται η γεωθερμική βαθμίδα.

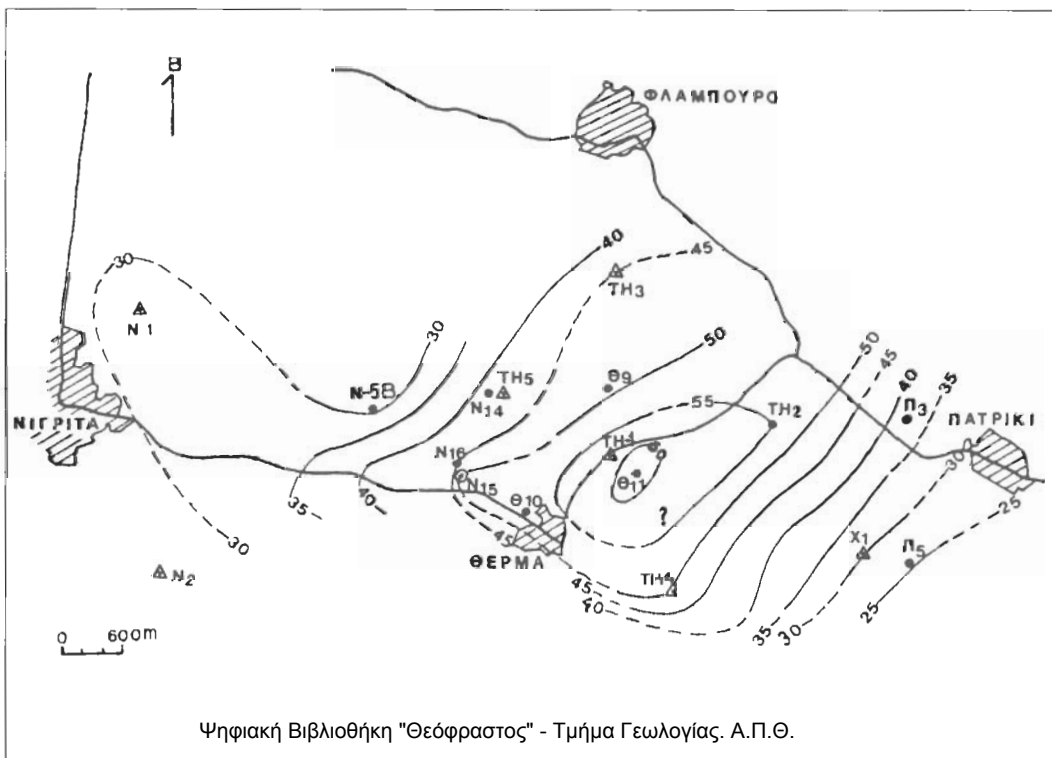
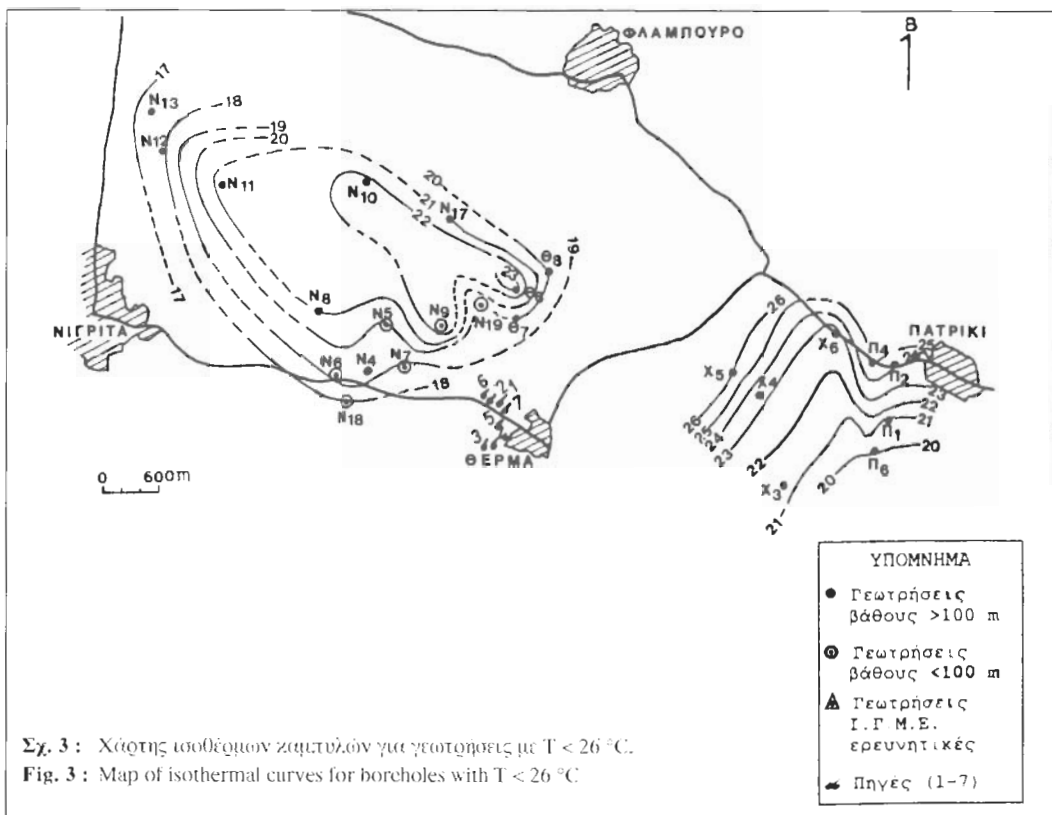
Το υπόβαθρο είναι πολύ διαταραγμένο, λόγω της έντονης ρηξιγενούς τεκτονικής. Η κύρια διεύθυνση ορημάτων είναι ΒΑ-ΝΔ με δύο κύρια ορήματα που είναι εμφανή και στους χάρτες των ισόθερων χαμπύλων (Σχ. 3,4). Η διεύθυνση ΔΒΔ-ΑΝΑ είναι παράλληλη προς τα περιθωριακά συστήματα ορημάτων του βυθίσματος καθώς και τα μεγάλα ορήματα που δημιουργούν τη μεγάλη καταβύθιση στο κέντρο της λεκάνης Στρομόνα. Δημιουργούνται διάφορα τεκτονικά κέρατα και βυθίσματα, γεγονός που επηρεάζει σημαντικά την οριζόντια μετατόπιση των ορημάτων (Σχ. 5). Υπάρχουν ενδείξεις ορήματος Β-Ν, μεταξύ των χωριών Πατρίτσι και Ζερβοχώρι.

Πιν. 1. Γεωτρήσεις της ευρύτερης περιοχής Θεσμών Νιγρίτας.

Table 1. Wells in the wider area of Therma - Nigrita.

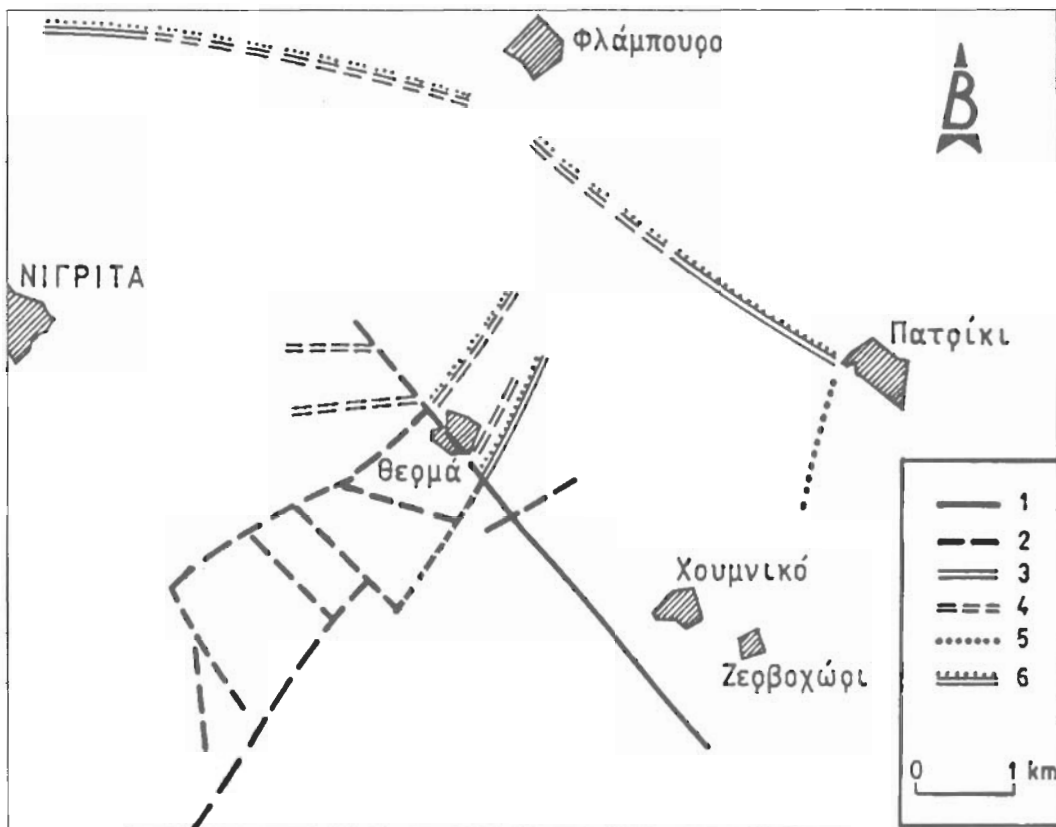
ΚΩΔΙΚΟΣ ΓΕΩΤΡ.	ΒΑΘΟΣ (m)	Τ στην ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ (°C)	Τ στον ΠΥΘΜΕΝΑ (°C)	ΥΔΡΟΣΤ. ΣΤΑΘΜΗ (m)	ΠΑΡΟΧΗ (m ³ /h)
N-1	359	32.0	33.6	0	—
N-2	254	27.0	28.1	—	—
N-3	330	28.0	28.9	—	30
N-4	150	19.2	—	39	30
N-5	80	19.9	—	—	25
N-5B	354	27.0	31.7	—	—
N-6	70	19.2	—	35	15
N-7	100	18.8	—	17	20
N-8	150	21.0	—	—	20
N-9	80	22.7	—	18	20
N-10	120	22.2	—	—	—
N-11	120	21.5	—	—	—
N-12	150	17.8	—	14	—
N-13	150	17.3	—	14	60
N-14	351	41.9	37.6 (238 m)	0	70
N-15	84	51.7	—	0	35-40
N-16	195	45.0	45.0	0	67
N-17	110.5	21.0	22.4	—	—
N-18	78	18.0	—	3	—
N-19	85	20.0	—	7-14	—
TH-1	160	59.0	61.0	0	55
TH-2	338	55.0	—	—	—
TH-3	472	45.0	47.5	—	—
TH-4	177	50.0	51.0	—	—
TH-5	262	42.0	42.4	0	75
Θ-6	150	23.0	—	6	30
Θ-7	110	20.1	—	14	20-40
Θ-8	120	19.8	—	13	45
Θ-9	372	47.8	—	0	100
Θ-10	130	53.0	—	0	>20
Θ-11	130	62.0	—	0	—
X-1	358	30.0	33.00	—	—
X-2	100	18.0	18.50	—	—
X-3	165	21.2	—	17	30
X-4	154	23.3	—	25	65
X-5	150	26.2	—	0	50
X-6	160	22.4	—	8	45
Π-1	150	20.9	—	6	30
Π-2	145	24.1	—	—	34
Π-3	320	38.5	40.1 (275 m)	0	—
Π-4	200	25.1	—	4	>100
Π-5	195	26.0	25.6(192 m)	30	40
Π-6					

Ψηφιακή Βιβλιοθήκη "Θεόφραστος" - Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.



5. ΥΔΡΟΧΗΜΙΚΗ ΚΑΙ ΓΕΩΘΕΡΜΟΜΕΤΡΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

Η επεξεργασία των χημικών αναλύσεων (Πίν. 2) των νερών των γεωτρήσεων αλλά και των πηγών έδειξε ότι τα θερμά νερά (>26°C) είναι του τύπου Na-HCO₃ (Σχ. 6) Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τα νερά TH-1, TH-2, TH-5, Θ-9, Θ-11, N-2, N-14, N-15, N-16, 1, 2, 3, 5 και 7.



Σχ. 5: Διάγραμμα της περιοχής με τα κύρια ρήγματα από τα γεωλογικά, γεωθερμικά και γεωφυσικά δεδομένα. Ρήγματα (1) και πιθανά ρήγματα (2) χαρτογραφημένα από Ι.Γ.Μ.Ε. - Ρήγματα (3) και πιθανά ρήγματα (4) με βάση τα γεωφυσικά στοιχεία - Πιθανά ρήγματα (5) από τις ισοθερμές - Ρήγματα (6) με βάση το συνδυασμό γεωλογικών, γεωφυσικών και θερμομετρικών στοιχείων.

Fig. 5: Sketch map of the area with the main faults on the basis of the geological, geothermal and geophysical data. Faults (1) and Probable faults (2) mapped by I.G.M.E.- Faults (3) and probable faults (4) on the basis of geophysical data - Probable faults (5) after the interpretation of isothermal curves - Faults (6) on the basis of geophysical, geological and temperature data.

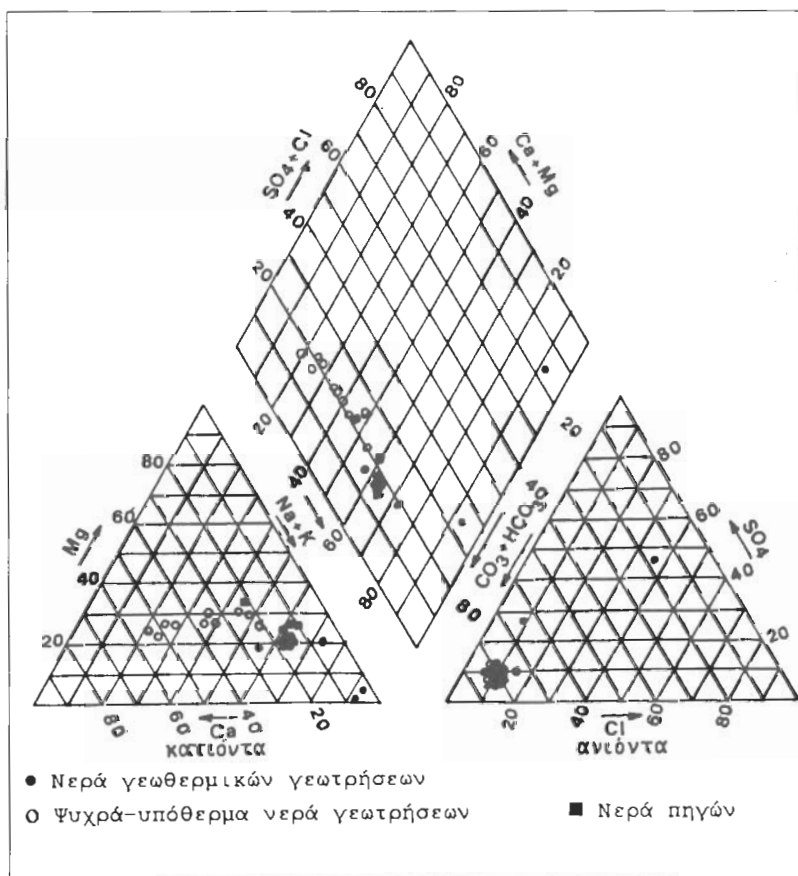
Αντίθετα, τα "υπόθερμα" νερά (19.3-27.0°C) είναι Ca,Mg,Na-HCO₃ τύπου, που χαρακτηρίζονται και ως "μικτού τύπου", υποδεικνύοντας πιθανότητα ότι κυκλοφορούν στα Νεογενή και Τεταρτογενή ιζήματα της περιοχής. Εδώ ανήκουν τα νερά N-4, N-5B, N-6, N-8, N-9, N-10, N-11, N-17, Θ-7, Θ-8, 4 και 6.

Το διάγραμμα του Σχ. 7 συσχετίζει τις περιεκτικότητες Na⁺ και Cl⁻ με τη θερμοκρασία. Παρατηρείται μια γενική αύξηση των ιοντικών συγκεντρώσεων με τη θερμοκρασία, δείχνοντας ότι τα στοιχεία αυτά είναι αντιπροσωπευτικά των γεωθερμικών ρευστών. Επίσης διακρίνεται μετά τη θερμοκρασία των 40°C μια σταθερότητα των ιοντικών τιμών που πιθανά φανερώνει τον κορεσμό του νερού ως προς τα στοιχεία.

Το σύνολο των σημείων που εκπροσωπούν τα δείγματα κατανέμονται ανάμεσα σ' ένα πόλο μικρής περιεκτικότητας σε Cl^- και Na^+ , που εκπροσωπείται από τα δείγματα των "κρύων" νερών, και σ' ένα θερμό που αντιπροσωπεύει ένα διάλυμα σαν αυτό του νερού των γεωθερμικών TH-1 και Θ-11 (Σχ. 7). Προκύπτει μια πολύ εμφανής γραμμή ανάμιξης, η οποία υποδεικνύει τη "μόλυνση" του γεωθερμικού νερού, μετρωτικής πάντα αρχικής προέλευσης, με ένα νερό που έχει μικρότερη ποσότητα αλάτων (Σχ. 7,8). Δεν είναι δυνατό να καθορισθεί η ποσότητα συμμετοχής του γεωθερμικού νερού για κάθε ένα δείγμα. Φαίνεται όμως (Σχ. 7) ότι τα δείγματα TH-1 , TH-2 , TH-5 , Θ-9 , Θ-11 , N-14 , N-15 , N-16 , 1, 2, 3, βρίσκονται πιο κοντά στον αρχικό ζεστό πόλο, ο οποίος είναι εμπλουτισμένος σε Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , SO_4^{2-} και Cl^- . Οι αυξημένες κατά θέσεις συγκεντρώσεις NO_3^- μπορούν να αποδοθούν στην ανθρωπίνη δραστηριότητα.

Οι πιο υψηλές συγκεντρώσεις Ca^{2+} που παρατηρούνται στα θερμά νερά πιθανά οφείλονται και στη διάλυση ασβεστούχων ορυκτών κατά την άνοδο των γεωθερμικών ρευστών. Οι αυξημένες τιμές pCO_2 ευνοούν τη διάλυση αυτή. Ως γνωστόν, τα νερά της περιοχής Νιγρίτας είναι πλούσια σε CO_2 (π.χ. $\text{pCO}_2 = 3.7 \times 10^{-1}$ για τη Θ-11).

Οι τιμές του Ca^{2+} παρουσιάζουν σημαντικές διακυμάνσεις στα νερά του τύπου Ca , Mg , Na-HCO_3 . Αυτό μπορεί να αποδοθεί ή στο διαφορετικό βαθμό ανάμιξης του γεωθερμικού ρευστού με τα "κανονικά" επιφανειακά νερά ή στην επαφή του ρευστού με διαφορετικά γεωλογικά περιβάλλοντα.



Σχ. 6: Παρουσίαση των αποτελεσμάτων των χημικών αναλύσεων των νερών της περιοχής Θερμών-Νιγρίτας πάνω σε τριγωνικό διάγραμμα κατά Piper.

Fig. 6: Presentation of the values of chemical analyses of the waters from Thermo-Nigrita area on a trilinear diagram according to Piper.

Τα "γεωθερμικά" ρευστά κατά την άνοδό τους τροφοδοτούν το κροαλοπαγές βάσης κι άλλους μικρότερους υδροφόρους. Ένα μικρό μέρος τους βγαίνει μέσω ορημάτων στην επιφάνεια ή πολύ κοντά σ' αυτήν, τροφοδοτώντας σε περιορισμένο βαθμό επιφανειακούς υδροφόρους.

Για να προσδιοριστεί η θερμοκρασία του βαθμού γεωθερμικού ρευστού εφαρμόστηκαν τα χημικά γεωθερμόμετρα του SiO_2 (Fournier, 1981), Na/K (Arnorsson et al., 1983), Na-K-Ca (Fournier & Turesell, 1973), Na-Li (Fouillac & Michard, 1981), K/Mg (Giggenbach et al., 1983), Mg/Li (Kharaka & Mariner, 1989) που προτείνουν τις θερμοκρασίες του Πίνακα 3.

Πίνακας 2. Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων νερών από την περιοχή Θερμών - Νιγρίτας. Οι συγκεντρώσεις των ιόντων είναι σε mg/l.

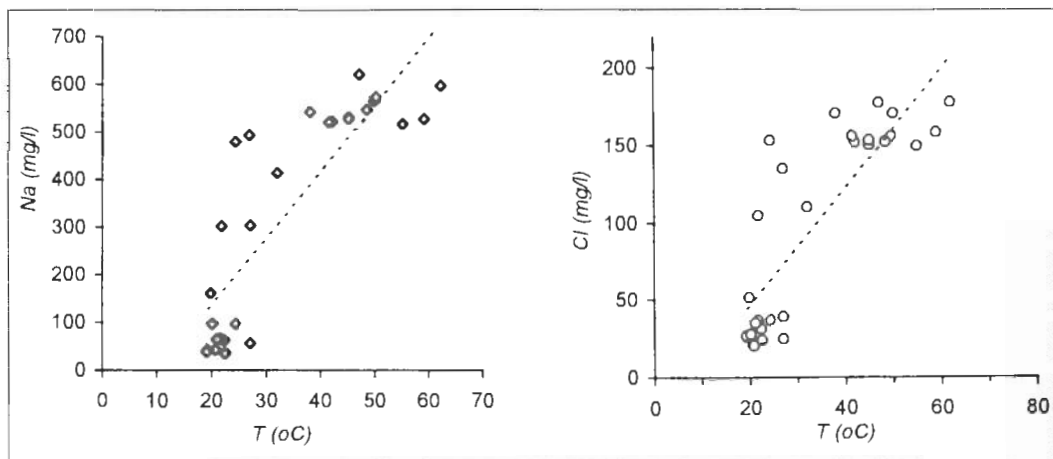
Table 2. The results of chemical analyses of waters from the Therma-Nigrita area. The concentrations of ions are expressed in mg/l.

ΕΓΧΡΗΣΗ ΚΑΙ ΠΗΓΗ	T	ΑΛΥΤΙΜΟ-ΤΗΤΑ (μS/cm)	pH	Na	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Li	Sr	NH4	Cl	HCO3	CO3	SO4	F	NO3	SiO2	B
** TH-1	59,0	3400	6,80	528,7	82,1	121,8	95,3	0,37	0,100	1,45	1,26	0,44	157,7	1963,4	0,0	104,7	2,20	1,60	71,0	3,50
** TH-2	55,0	2440	7,90	517,3	78,2	52,1	82,7	0,09	...	...	...	0,40	148,9	1662,2	0,0	127,3	0,40	0,00	70,8	2,80
** TH-3	45,0	4450	7,07	533,3	97,8	235,7	105,0	0,16	...	0,75	2,45	0,81	150,6	2362,4	0,0	141,7	0,35	0,00	50,4	2,50
** TH-5	42,0	4420	7,07	524,1	89,9	129,9	109,4	0,07	...	0,77	1,26	0,87	152,4	2025,6	0,0	139,3	0,72	0,00	55,8	3,40
* TH-8-11	62,0	3370	7,24	597,7	78,2	140,3	102,1	0,03	0,017	0,87	0,97	...	177,2	2166,0	0,0	128,2	0,70	...	84,0	3,41
* TH-9	47,0	3490	6,60	620,7	78,2	148,3	116,7	0,03	0,042	0,88	0,79	...	177,2	2252,6	0,0	129,7	0,70	...	85,0	3,42
* TH-14	41,5	4040	6,90	523,0	80,4	131,1	102,0	3,00	0,070	1,00	1,20	0,28	155,8	2209,3	0,0	128,0	...	1,50	90,0	3,40
* TH-15	50,0	3180	6,70	574,7	78,2	138,3	113,1	0,21	0,030	0,79	0,69	0,42	170,1	2112,9	0,0	125,8	0,70	...	94,0	3,15
* TH-16	45,0	3400	6,70	531,0	94,6	137,1	109,4	0,36	0,063	1,07	0,85	0,42	153,6	2074,0	0,0	130,0	1,05	1,50	58,0	3,50
** -1	32,0	2600	10,9	413,8	9,39	27,3	3,40	1,43	...	0,02	0,09	0,30	109,9	219,0	104,4	456,3	3,00	0,00	...	2,35
** -2	27,0	1690	8,66	303,4	3,91	11,2	5,35	1,80	...	0,02	0,12	0,08	39,0	565,0	7,2	172,9	3,25	0,00	...	1,65
** N-4	19,3	603	7,23	44,8	1,96	80,6	26,0	...	<0,005	0,01	0,34	...	26,6	397,2	0,0	29,3	0,25	...	23,0	0,13
** N-5B	27,0	640	7,30	55,8	3,20	51,4	21,3	0,05	0,050	0,00	0,50	0,00	24,8	329,4	0,0	33,3	0,67	3,60	29,4	...
* N-6	19,2	690	7,30	41,4	1,64	82,8	22,0	2,26	0,030	0,48	0,67	...	27,3	494,0	0,0	36,0	0,38	0,15	21,0	...
* N-8	20,7	733	6,90	46,0	2,35	81,4	28,5	0,09	0,020	0,01	0,40	...	21,3	414,9	0,0	51,9	0,15	...	24,0	<0,1
* N-9	22,4	686	6,90	37,9	2,35	92,2	25,3	0,02	0,067	<0,01	0,34	...	24,8	404,5	0,0	36,5	0,10	...	29,0	<0,1
* N-10	22,2	630	7,08	64,4	3,52	50,5	24,3	0,06	<0,005	0,01	0,48	...	31,9	345,9	0,0	23,5	0,05	6,20	26,0	<0,1
* N-11	21,5	690	7,13	67,8	3,52	57,7	30,6	0,03	<0,005	0,01	0,57	...	37,2	392,3	0,0	26,4	0,03	6,20	25,0	<0,1
* N-17	21,0	577	7,15	66,7	11,7	29,3	23,3	0,06	0,013	0,03	0,13	...	35,5	301,4	0,0	31,2	0,12	...	8,0	0,21
* N-7	20,1	944	6,73	98,9	31,3	57,7	42,3	0,04	<0,005	0,18	0,25	...	28,4	539,4	0,0	60,5	0,16	9,30	38,0	0,50
* N-8	19,8	1100	7,88	160,9	19,6	59,3	44,3	0,04	<0,005	0,19	0,30	...	51,4	661,4	0,0	58,6	0,20	9,30	33,0	0,83
* N-8	1	3680	7,20	567,2	85,9	100,2	111,9	0,04	...	0,86	0,29	0,47	156,0	2021,9	0,0	130,8	1,80	0,00	80,0	3,60
* 2	48,3	3220	6,60	550,0	100,0	88,8	125,0	0,05	0,043	1,15	0,56	...	152,7	2141,1	0,0	96,1	1,73	3,12	96,6	...
* 3	38,0	3000	6,45	543,8	93,8	93,3	118,8	0,11	0,043	1,15	0,68	...	170,4	2116,7	0,0	72,5	1,62	3,61	95,4	...
* 4	24,2	970	6,40	98,0	15,4	54,0	33,0	0,09	0,033	0,18	0,29	...	37,0	531,0	0,0	51,0	0,42	0,41	32,2	...
* 5	24,3	3100	6,31	480,0	75,5	84,6	120,0	0,09	0,033	1,02	0,76	...	153,0	1860,5	0,0	84,0	1,26	12,3	73,5	...
* 6	21,8	2300	6,34	302,5	53,8	110,5	103,0	0,10	...	0,65	0,54	...	104,4	1413,2	0,0	128,0	...	...	59,5	...
* 7	26,9	3000	6,20	493,8	79,0	98,8	125,0	0,09	0,054	0,52	0,71	...	135,0	1910,0	0,0	200,0	1,46	11,2	81,2	...

** Χημικές αναλύσεις Ι.Γ.Μ.Ε. (στοιχεία αδημοσίευτα)

* Dimopoulos, 1990

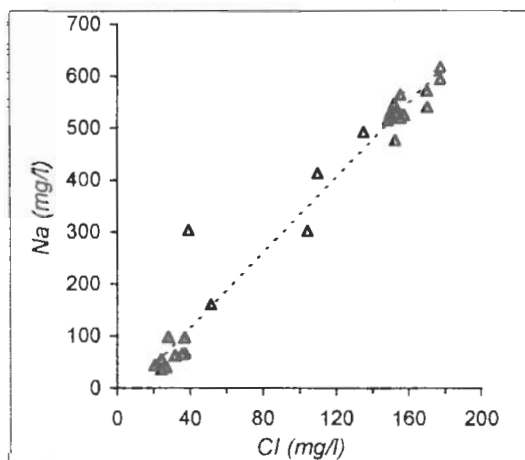
Χημικός ενδεικτικός σημείο : Χημικές αναλύσεις στα πλαίσια της παρούσας εργασίας



Σχ. 7: Οι ιοντικές συγκεντρώσεις Na⁺ και Cl⁻ με τη θερμοκρασία (°C).

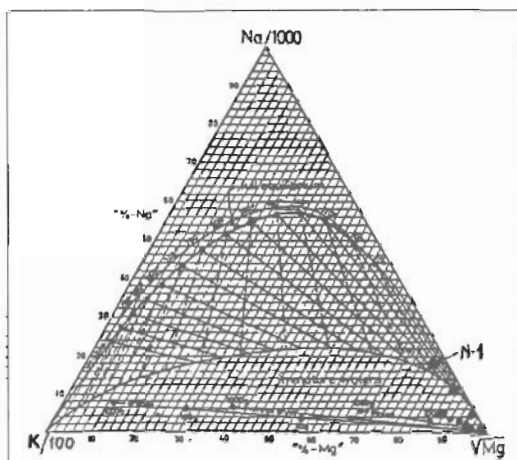
Fig. 7: Ionic Na⁺ and Cl⁻ contents vs temperature (°C).

Οι θερμοκρασίες που προτείνονται από τη χρήση του γεωθερμο-μέτρου SiO₂ είναι χαμηλότερες από αυτές που δίνονται από τα γεωθερμόμετρα που χρησιμοποιούν το λόγο Na/K. Η υδροχημική μελέτη έδειξε ότι τα ζεστά νερά περιέχουν ποσοστό μεταμορφικού νερού, αν και φαίνεται ότι τα δείγματα TH-1 και Θ-11 είναι τα πιο αντιπροσωπευτικά του ζεστού διαλύματος. Η εφαρμογή του θερμοδυναμικού μοντέλου WATEQ-F (Truesdell & Jones, 1974) έδειξε ότι τα νερά είναι υπερχλωριμένα ως προς τον χλωράσιο. Άρα η τιμή της θερμοκρασίας που υπολογίζεται με το γεωθερμόμετρο του SiO₂ θα πρέπει να θεωρηθεί σαν η ελάχιστη δυνατή του γεωθερμικού πεδίου.



Σχ. 8: Η μεταβολή της περιεκτικότητας του Na⁺ σε σχέση με τα Cl⁻.

Fig. 8: Na⁺ contents vs Cl⁻ contents.



Σχ. 9: Απεικόνιση των νερών στο τριγωνικό διάγραμμα του Giggenbach (1988)

Fig. 9: Presentation of the waters on the trilinear diagram according to Giggenbach (1988)

Τα γεωθερμόμετρα Na/K και Na-K-Ca δίνουν θερμοκρασίες πολύ υψηλότερες του προηγούμενου. Η μελέτη της μεταβολής του λόγου της ενεργότητας Na/K σε σχέση με τη θερμοκρασία δείχνει ότι η χαμηλή δεν είναι υπερβολή, δηλώνοντας την εξάρτηση αυτού από την ανάμιξη. Επομένως, ο λόγος Na/K δεν μπορεί να θεωρηθεί ότι εξαρτάται την ισορροπία σε βάθος. Επίσης το γεωθερμόμετρο αυτό δεν δίνει αξιόπιστα αποτελέσματα για τα ζεστά νερά της περιοχής γιατί αέριον περιεχόμενο CO₂ (α) ή η πλεονημία αυτών είναι μεγάλη.

Πίνακας 3. Εκτίμηση των θερμοκρασιών (°C) του βαθύτερου ταμιευτήρα με τη χρήση γεωθερμομέτρων.**Table 3.** Estimation of temperature (°C) in the deeper reservoir by the use of geothermometers.

ΔΕΙΓΜΑ	T(°C) SiO2	T(°C) Na/K	T(°C) Na-K-Ca	T(°C) Na-Li	T(°C) K/Mg	T(°C) Li-Mg
TH-1	118.9	244.7	210.5	138.3	91.5	76.3
TH-2	118.8	241.3	217.2	—	92.0	—
TH-3	102.2	266.2	214.2	94.4	94.8	60.0
TH-5	107.0	257.4	215.9	97.0	92.0	60.2
Θ-11	127.7	224.1	201.2	96.5	89.3	63.6
Θ-9	128.3	219.8	199.2	95.0	87.6	62.4
N-14	131.4	261.1	216.8	113.4	90.0	66.8
N-15	133.8	228.7	202.9	93.2	88.0	60.4
N-16	108.9	262.4	218.0	116.5	93.4	67.5
N-1	—	80.6	122.0	—	—	22.9
N-2	37.3	50.5	93.1	—	53.8	19.0
1	125.1	241.5	212.4	—	90.5	62.4
2	135.3	265.1	224.7	119.4	93.1	67.7
3	134.6	258.1	220.5	120.2	92.0	68.3
4	82.3	246.1	91.2	109.3	63.8	42.5
5	120.7	246.2	213.0	120.1	86.3	65.4
6	110.1	262.1	208.4	121.1	79.7	57.2
7	125.9	248.4	213.1	78.4	87.0	50.4

Το εμπειρικό γεωθερμοόμετρο Na-Li δίνει σαν πιθανότερη θερμοκρασία αυτή των 138 °C.

Η προβολή των νερών στο τριγωνικό διάγραμμα του Giggenbach (1988) κατατάσσει αυτά στην περιοχή όπου δεν επικρατεί χημική ισορροπία νερού-πετρώματος, με εξαίρεση το δείγμα N-1 που τοποθετείται στην περιοχή όπου επικρατεί μερική χημική ισορροπία νερού-πετρώματος (Σχ. 9). Για το δείγμα αυτό, η προτεινόμενη με βάση το τριγωνικό διάγραμμα του Giggenbach (1988) θερμοκρασία είναι της τάξης των 130 °C. Για τα νερά στα οποία δεν υπάρχει χημική ισορροπία νερού-πετρώματος ο Giggenbach (1988) προτείνει τη μη χρησιμοποιήση του γεωθερμομέτρου Na/K ενώ θεωρεί ευνοϊκή τη χρήση του γεωθερμομέτρου K/Mg.

Οι θερμοκρασίες που λαμβάνονται με τη χρήση του γεωθερμομέτρου Li-Mg (Kharaka & Mariner, 1989) είναι υποβαθμισμένες (60-76 °C) και συμπίπτουν σχεδόν με τις θερμοκρασίες που εμφανίζουν κατά την εξοδό τους τα γεωθερμικά ρευστά.

Η πιθανότερη θερμοκρασία για τα νερά του Ξεστού πόλου είναι αυτή των 130-140 °C. Αυτή η τιμή είναι αρκετά κοντά σ' αυτήν που υπολογίσθηκε με την εφαρμογή του ισοτοπικού γεωθερμομέτρου $O^{18}(SO_4^{2-}-H_2O)$ (Dotsika, 1991) και η οποία ήταν της τάξης των 150°C. Επίσης είναι ίση με τη θερμοκρασία που μετρήθηκε στην ερευνητική γεώτρηση της ΑΕΗ STR-1(στο κέντρο της λεκάνης του Στριμόνα) και έδωσε τιμή 135°C στη βάση των Νεογενών και σε βάθος 3651m (PPC, 1988). Η προτεινόμενη από Dimopoulos (1990) θερμοκρασία είναι 176°C. Η μέχρι τώρα γεωθερμομετρική έρευνα κατατάσσει το πεδίο Θερμών Νεγρίτας στα χαμηλής ενθαλπίας γεωθερμικά πεδία.

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τη συνεκτίμηση του συνόλου των στοιχείων (θερμομετρήσεις, υδροχημεία, γεωφυσικά δεδομένα, γεωλογία και τεκτονική) προκύπτουν τα παρακάτω :

- Στα περιθώρια του γεωθερμικού πεδίου εμφανίζονται οι μεταμορφωμένοι οφιολίθιοι, που έχουν διασφαλεί από σύστημα των οφιολίθιων, τα οποία έχουν τηρήσει ενδογενή γεωθερμικών ρευστών.

Το υπόβαθρο δεν έχει ιδιαίτερα αυξημένη θερμοκρασία, όπως αποδείχθηκε και από τη γεωθερμική βαθμίδα της ΤΗ-4, όπου η θερμοκρασία ελαττώνεται αντί να αυξάνει μέσα στο υπόβαθρο (Σχ. 2).

- Στα νεότερα ιζημάτα κυριαρχεί το αργιλικό στοιχείο, γι' αυτό λειτουργούν συνολικά σαν υδατοστεγανό γενικά κάλυμμα των γεωθερμικών ρευστών. Υπάρχουν όμως μέσα σ' αυτά και υδροπερατά στρώματα, με κυριώτερο το κροκαλοπαγές βάσης, αλλά και ενδιάμεσες εντορώσεις με νερά από ανάμιξη "επιφανειακών" κρύων νερών με βαθύτερης προέλευσης γεωθερμικά ρευστά (νερά και διαλυμένα αέρια).

- Τα υδροφόρα στρώματα δεν επικοινωνούν απασπαστήτως μεταξύ τους υδραυλικά. ο βαθμός τροφοδοσίας με γεωθερμικά ρευστά εξαρτάται από την οριζόντια απόσταση που έχουν από το ρήγμα ανόδου των ρευστών. Αυτό διαπιστώνεται και από τη θερμοκρασία του κάθε επιμέρους υδροφόρου, που μειώνεται με την απομάκρυνση από το ρήγμα, συγχρόνως με τη συνολική περιεκτικότητα σε άλατα, που επίσης ελαττώνεται.

- Η ρήξιγενής τεκτονική στο Τεταρτογενές που πολύ πιθανόν επαναδραστηριοποιεί και τα Μειο-Πλειοκαινικά ρήγματα της λεκάνης, φαίνεται να είναι η κύρια αιτία της γεωθερμικής ανωμαλίας και ουθιμίζει τη λειτουργία του πεδίου.

- Από τη μορφή των ισοθέρμων χαμπυλών (Σχ. 3 και 4) διακρίνονται αρκετά καλά τα κροαπεδικά ρήγματα ΒΑ-ΝΑ διεύθυνσης, που επηρεάζουν τη θερμοκή κατάσταση και επομένως την υπόγεια κυκλοφορία των γεωθερμικών ρευστών.

- Η γεωθερμία επηρεάζεται ακόμα πιο έντονα από τα ΒΑ-ΝΑ ρήγματα (Σχ. 3, 4). Η διασταύρωση των δύο συστημάτων ρημάτων στην κοντινή περιοχή που βρίσκεται βόρεια των Θερμών, πολύ πιθανά αποτελεί την κυριώτερη δίοδο ανόδου των γεωθερμικών ρευστών από βαθύτερα σημεία. Τα ρευστά τροφοδοτούν στη συνέχεια τους νεότερους ιζηματογενείς υδροφόρους και κυρίως το κροκαλοπαγές της βάσης. Όσο απομακρύνεται κανείς από τη διασταύρωση, τόσο ελαττώνεται η γεωθερμική ανωμαλία, καθώς όλο και περισσότερο συμμετέχουν στους υδροφόρους τα επιφανειακά νερά. Σ' αυτό συμβάλλει και η μεγαλύτερη διαδρομή κυκλοφορίας του νερού. Αυτό ενισχύεται και από την παρατήρηση ότι τα νερά των γεωτρήσεων Θ-9, Ν-14, Ν-15 και Ν-16 έχουν σημαντική ελάττωση της θερμοκρασίας (40-50°C αντί 60 °C της ΤΗ-1).

- Η νέα τεκτονική, όπως προκύπτει και από τις στρωματογραφικές τομές των γεωτρήσεων, αλλά και τα γεωφυσικά στοιχεία, έχει δημιουργήσει σειρά από "ρηξιτεμάχην" (blocks). Αυτά έχουν κινηθεί διαφορετικά μεταξύ τους και διακόπτουν τη συνέχεια των γεωλογικών σχηματισμών και επομένως των υδροφόρων, εμποδίζοντας τη μεταξύ τους επικοινωνία και διαφοροποιώντας τη σχετική συμπεριφορά. Είναι γι' αυτό πολύ δύσκολο να προσδιοριστεί με ακρίβεια ο τρόπος κυκλοφορίας των γεωθερμικών ρευστών στο χώρο του πεδίου.

- Στο πεδίο αυτό αναπτύσσεται σχεδόν παντού το κροκαλοπαγές βάσης, ο κύριος γεωθερμικός ταμειντήρας, με νερό μέγιστης θερμοκρασίας 62°C και μέτριας αλατότητας (Σ.Λ.Α. 2-3 g/l). Υπάρχουν όμως και υπερχείμνοι υδροφόροι με θερμοκρασία 25-35°C και πολύ μικρή αλατότητα που έχουν κατά θέσει αξιόλογη υδροφορία.

- Η υδροχημική έρευνα έδειξε την πιθανή ανάμιξη των γεωθερμικών ρευστών τύπου Na-HCO₃ με επιφανειακά νερά μικρότερης περιεκτικότητας σε άλατα. Οι ιοντικές συγκεντρώσεις των δειγμάτων ΤΗ-1, ΤΗ-2, ΤΗ-5, Θ-9, Θ-11, Ν-14, Ν-15, Ν-16, 1, 2, 3 βρίσκονται πιο κοντά σ' αυτές του βαθύτερου γεωθερμικού ρευστού, παρόλο που το Σ.Λ.Α. είναι σχετικά χαμηλό. Η "αραίωση" των θερμών νερών λόγω ανάμιξης με τα συνεπακόλουθα γεωχημικά φαινόμενα, φαίνεται ότι επηρέασε τα περισσότερα χημικά γεωθερμόμετρα, δημιουργώντας σοβαρό πρόβλημα στην προσέγγιση της πραγματικής θερμοκρασίας των βαθύτερων γεωθερμικών ρευστών. Η προτεινόμενη θερμοκρασία αυτών είναι της τάξης των 130 - 140 °C.

- Τα γεωθερμικά ρευστά του πεδίου περιέχουν ονιήτως σε διάλυση μεγάλες ποσότητες αερίων εκ των οποίων κυριαρχεί σε ποσοστό μέχρι και 99.3% το CO₂. Αυτό, σε συνδυασμό με τη θερμοκρασία και την υδροστατική πίεση (π.χ. 27 atm στην ΤΗ-1), δημιουργούν ένα σταθερό αστεϊανισμό των γεωθερμικών υδροφόρων.

- Αν θεωρηθούν εκμεταλλεύσιμα τα ρευστά με $T > 30^{\circ}\text{C}$ σε βάθη έως 500 m, η έκταση του πεδίου είναι περίπου 16 km^2 (μεταξύ Νυγρίτας και Πατοικίου).

- Παρά το γεγονός ότι δεν έχουν γίνει συστηματικές μετρήσεις παραγωγής των γεωτρήσεων της περιοχής, η πολυετής συμπεριφορά τους, σε συνδυασμό με τη συνεχή λειτουργία των περισσότερων γεωτρήσεων εξ αιτίας διαρροών και αρτεσιανισμού, καθώς και η σταθερότητα της θερμοκρασίας, μας επιτρέπει να συμπεράνουμε ότι το συνολικό δυναμικό του πεδίου ξεπερνάει κατά πολύ τα $500 \text{ m}^3/\text{h}$ και ίσως φθάνει τα $1000 \text{ m}^3/\text{h}$. Ήδη η παραγόμενη χωρίς άντληση ποσότητα γεωθερμικού νερού από τις γεωτρήσεις, μαζί με τις διαρροές από τα τοιχώματα αυτών, φθάνει τα $400 \text{ m}^3/\text{h}$.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- ARNORRSON, S., GUNNLAUGSSON, E. & SVARARSSON, H. 1983. The chemistry of geothermal waters in Iceland III. Chemical geothermometry in geothermal investigations. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **47**, 547-566.
- ΒΑΡΓΕΜΕΖΗΣ, Γ., ΒΟΪΛΟΜΑΤΗΣ, Φ., ΞΑΝΘΟΠΟΥΛΟΣ, Γ., ΚΥΡΙΑΚΙΔΗΣ, Λ. & ΤΣΟΚΑΣ, Γ. 1988. Γεωηλεκτρική Έκθεση περιοχής Θεριών-Νυγρίτας. Σύνδεσμος Δήμων και Κοινοτήτων Ιαματικών Πηγών Ελλάδας (Σ.Α.Κ.Ι.Π.Ε.), Θεσ/νίκη, 15 σελ.
- B.R.G.M. - I.G.M.E. 1982. Etude de faisabilité d'un projet geothermique a Serres (Grece), Partie 1, Rapp.82-SGN-801 GTH, 84 pp.
- DIMOPOULOS, CH. G. 1990. Preliminary Hydrothermal - Geothermal Investigations of Nigrita Serres Geothermal Field (C. Macedonia, Greece). *Steir.Beitr.z. Hydrologie*, **41**, Graz, 133-148.
- DOTSIKA, E. 1991. Utilisation du geothermometre isotopique sulfate-eau en milieux de haute temperature sous influence marine potentielle: les systemes geothermaux de Grece. These en Science, Univ. Paris-Sud, 184 pp.
- FOUILLAC, C. & MICHARD, G. 1981. Sodium lithium ratio in water applied to geothermometry of geothermal reservoirs. *Geothermics*, **10**, 55-70.
- FOURNIER, R. O. & TRUESDELL, A.H. 1973. An empirical Na-K-Ca geothermometer for natural waters. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **37**, 1255-1275.
- FOURNIER, R.O. 1981. Application of water geochemistry to geothermal exploration and reservoir engineering. In: *Geothermal Systems: Principles and Case Histories*, Ryback L. and Muffler L.J.P. (Eds), Wiley, New York, 109-143.
- GIGGENBACH, W. F., GONFIANTINI, R., JANGI, B.L. & TRUESDELL, A.H. 1983. Isotopic and chemical composition of Parbati Valley geothermal recharges, NW Himalaya, India. *Geothermics*, **12**, 199-222.
- GIGGENBACH, W. F. 1988. Geothermal solute equilibria. Derivation of Na-K-Mg-Ca geoindicators. *Geochim. Cosmochimica Acta*, **52**, 2749-2765.
- I.G.M.E. 1970. Γεωλογικός Χάρτης Ελλάδος, Κλίμακα 1:50000, Φ. ΣΙΤΟΧΩΡΙΟΝ, Αθήνα.
- ΚΑΡΑΜΠΕΛΑΣ, Α.Ι., ΑΝΔΡΙΤΣΟΣ, Ν. & ΚΑΡΥΔΑΚΗΣ, Γ. 1993. α) Προκαταρκτική εκτίμηση για την αξιοποίηση του CO_2 , β) Μελέτη για επιλογή διαμέτρου σωληνώσεων για αύξηση της απόδοσης σε αρτεσιανές γεωτρήσεις. ΕΠΧΗΛ / ΓΓΜΕ, Θεσ/νίκη, 47 σελ.
- ΚΑΡΥΔΑΚΗΣ, Γ. 1983. Έκθεση - Μελέτη του Γεωθερμικού Πεδίου Χαμηλής Ενθαλπίας στην περιοχή Θεριά Νυγρίτας. I.G.M.E., Αθήνα, 45 σελ.
- KHARAKA, Y.K. & MARINER, R.H. 1989. Chemical geothermometers and their application to formation waters from sedimentary basins. In : Naeser, N.D. and Mc Collon, T.H. (eds) *Thermal History of sedimentary Basins*, Springer-Verlag, N. York, 99-117.
- ΚΥΡΙΑΚΙΔΗΣ, Λ., ΤΣΟΚΑΣ, Γ., ΒΑΡΓΕΜΕΖΗΣ, Γ., ΒΟΪΛΟΜΑΤΗΣ, Φ. & ΞΑΝΘΟΠΟΥΛΟΣ, Γ. 1988. Γεωηλεκτρική Μελέτη περιοχής Θεριών Νυγρίτας. Σ.Δ.Κ.Ι.Π.Ε., 37 σελ.
- ΜΕΜΟΥ, ΤΖ. 1983. Γεωφυσική συμβολή στην διερεύνηση γεωλογικών δομών της λεκάνης του Στριμόνα. Διδακτορική Διατριβή, Αθήνα, 171 σελ.

- ΜΟΥΝΤΡΑΚΗΣ, Α. & ΚΙΛΙΑΣ, Α. 1992. Γεωλογική χαρτογράφηση των τμημάτων της Σερβομακεδονικής μάζας και της λεκάνης του Στριμόνα μεταξύ των Κοινοτήτων Κερκίνης και Λιθοτόπου. Σε μελέτη "Έρευνα Γεωθερμικών Πεδίων Ν. Σερρών", Νομαρχία Σερρών - Α.Π.Θ. / Τμ. Γεωλογίας, Θεσ/νίκη, 10-20.
- P.P.C. (Public Petroleum Corporation) 1988. Evaluation of deep oil holes. Athens, 42-53.
- P.P.C. (Public Power Corporation) 1981. Geothermal Energy Project. Serres basin area. Geoelectrical survey. IIG (Prof. Dr. J. Makris), Hambourg.
- ΣΤΑΜΟΥ, Θ. 1989. Σεισμικές τομές στην περιοχή Νυγρίτας. Ι.Γ.Μ.Ε., Αθήνα, 6 σελ.
- TRUESDELL, A.H. & JONES, B.F. 1974. WATEQF a computed programme for calculating chemical equilibria of natural waters. U.S. Geol. Surv. Journ. Res., **2**, 233-248.