

Πρακτικά	4ου Συνεδρίου	Μάιος 1988		
Δελτ. Ελλην. Γεωλ. Εταιρ.	Τομ. XXIII/3	σελ. 61-76	Αθήνα	1989
Bull. Geol. Soc. Greece	Vol.	pag.	Athens	

ΥΠΕΡΑΛΜΥΡΑ ΝΕΡΑ ΣΕ ΕΓΚΛΩΒΙΣΜΕΝΟΥΣ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΥΣ ΤΗΣ ΚΕΦΑΛΟΝΙΑΣ

I. ΚΟΥΜΑΝΤΑΚΗ, Θ. ΜΙΜΙΔΗ*

ΣΥΝΟΨΗ

Σε ένα μικρό ασβεστολιθικό σώμα στην περιοχή Θηνιάς στη βόρεια Κεφαλονιά, εγκλωβισμένο από μειοκαινικές μάργες, ελεύθερο στην επιφάνεια σε έκταση 20 στρ., διαπιστώθηκε από γεώτρηση υπεράλμυρο νερό σε βάθος 258 μ.

Το νερό αυτό περιέχει: σύνολο διαλυμένων αλάτων 56.292 mg/l, Cl^- 26.140, Na^+ 15.292, SO_4^{2-} 9.850, Ca^{2+} 2.704, Mg^{2+} 1.446 (όλα σε mg/l) και γενικά συγκεντρώσεις πολύ μεγαλύτερες απ' αυτές του θαλασσινού νερού.

Η μελέτη τους έδειξε ότι πρόκειται για υπεράλμυρά νερά ιζηματογένεσης, εμπλουτισμένα σε Cl και Na και κατά δεύτερο λόγο σε Ca και Mg, τα οποία δημιουργήθηκαν σε αρχικά στάδια εξάτμισης του θαλασσινού νερού. Εκτοτε, εγκλωβίστηκαν και παρέμειναν για εκατομμύρια χρόνια χωρίς καμιά υδραυλική επικοινωνία με την επιφάνεια του εδάφους ή γειτονική υπόγεια υδροφορία.

ABSTRACT

Brine groundwater was encountered at a depth of 258 m after drilling operation within a small limestone body of Thinia area of North Kefalonia. This limestone body, covering an area of 20.000 m² at the surface, is enclosed from Miocene marls.

The brine water has the following composition: total dissolved solids 56.292 mg/l, Cl^- 26.140, Na^+ 15.292, SO_4^{2-} 9.850, Ca^{2+} 2.704, Mg^{2+} 1.446 (in mg/l) and concentrations which are generally greater than that of sea water.

This study showed that we have to deal with a hypersaline formation water enriched primarily with Cl and Na and secondarily with Ca and Mg. These waters were formed at an early stage of a sea water evaporation. Since then, these waters were enclosed and remained there for million of years, without any hydraulic connection with the surface or adjacent groundwaters.

J. KOUAMANTAKIS and T. MIMIDES - Brines in an enclosed limestone body of Kefalonia
* Nat. Tech. Univ., 42 Patission str., Athens 106 82

1. ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στα πλαίσια ενός εκτεταμένου υδρογεωλογικού ερευνητικού προγράμματος, που εκπονούμε για ολόκληρη την Κεφαλονιά, από το 1985, εκτελούνται γεωτρήσεις σε διάφορα σημεία του νησιού σε ασβεστολίθους της ζώνης Παξών.

Σε μία απ' αυτές βάθους 260 μ., που ανορύχθηκε σε ηφκαινικούς ασβεστολίθους της περιοχής Θηνιάς, συναντήθηκαν στα 258 μ. άλμες (brines) χλωριονατρίουχου σύστασης, με σύνολο διαλυμένων αλάτων 56.292 mg/l, Cl^- 26.140 mg/l, Na^+ 15.292 mg/l, SO_4^{--} 9.850 mg/l, Ca^{++} 2.704 mg/l, Mg^{++} 1.446 mg/l και γενικά συγκεντρώσεις πολύ μεγαλύτερες του θαλασσινού νερού. Οι παραπάνω τιμές πρέπει να αυξηθούν κατά 20% τουλάχιστον, λόγω αραιώσης της άλμης από εισροή νερού με $\text{EC}=2.950 \mu\text{S}/\text{cm}$ από το βάθος 230 μ.

Οι ασβεστόλιθοι, μέσα στους οποίους βρέθηκαν οι άλμες, είναι περιφερειακά εγκλωβισμένοι από νεογενείς μάργες. Η επιφανειακή τους εξάπλωση ανέρχεται σε 20.000 μ² περίπου και, όπως διαπιστώθηκε, δεν έχουν υδραυλική επικοινωνία ούτε με τη θάλασσα ούτε με τους γειτονικούς ασβεστολίθους. Αυτό αποδεικνύεται, αφ' ενός, από τις υφιστάμενες υδρογεωλογικές συνθήκες, αφ' ετέρου δε, από τη συσχέτιση της χημικής σύστασης των υπεράλμυρων νερών, των θαλάσσιων και των υπόγειων νερών του γειτονικού περιβάλλοντος. Η απουσία ελεύθερου οξυγόνου και η ύπαρξη μεγάλης ποσότητας H_2S δείχνουν ότι δεν υπάρχει επικοινωνία ούτε με την επιφάνεια του εδάφους και, ως εκ τούτου, τροφοδοσία από κατεισδύσεις βρόχινων νερών είναι ανύπαρκτη. Πρόκειται, δηλαδή, για ασβεστολίθους με συντελεστή κατεΐσδυσης μηδέν.

Από το συσχετισμό της ιοντικής σύστασης των αλμών με αυτή: θαλάσσιου νερού, θαλάσσιου νερού βεβαρυμένου σε άλατα λόγω εξάτμισης, νερού ορυχείων αλάτων και νερού ιζηματογένεσης, διαπιστώνεται ότι πρόκειται για υπεραλμυρά υπόγεια νερά ιζηματογένεσης Na-Cl, εμπλουτισμένα σε Ca και Mg, που δημιουργήθηκαν σε αρχικά στάδια εξάτμισης θαλάσσιου νερού.

Το διάλυμα αυτό εμπότισε ηφκαινικούς ασβεστολίθους, που αποτελούσαν τότε τμήμα του βυθού της θαλάσσιας λεκάνης. Στη συνέχεια, μετά την πτύχωση και τη δράση της κατακόρυφης και σμιασματικής τεκτονικής, ένας μικρός όγκος των ασβεστολίθων αυτών εγκλωβίστηκε από υδροστεγανές μάργες, με συνέπεια την παραμονή της άλμης μέσα σ' αυτούς, λόγω δε στεγανότητας της ανώτερης ζώνης έγινε αδύνατη αραιώσή της από κατεΐσδυση νερών βροχοπτώσεων.

2. ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΚΑΙ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

Όπως είναι γνωστό, η Κεφαλονιά κατά το μεγαλύτερο τμήμα της δομείται από ασβεστολίθους της ζώνης Παξών, ενώ η νοτιοανατολική ορεινή έκταση αποτελείται από ανθρακικά κυρίως ιζήματα της Ιονίου ζώνης, επωθημένα στη ζώνη Παξών. Πέραν αυτών, σημαντική επίσης εξάπλωση παρουσιάζουν νεογενείς σχηματισμοί (Μειόκαινο - Πλειόκαινο), καθώς και τεταρτογενείς θαλάσσιες και χερσαίες αποθέσεις.

Η περιοχή ενδιαφέροντος ανήκει στον τώως Δήμο Θηνιάς και βρίσκεται 12 χλμ. βόρεια του Αργοστολίου, στην κοινοτική έκταση των Πετρικάτων (σχ. 1). Η ευρύτερη χαμηλή έκταση μεταξύ κόλπων των Αργοστολίου και Αγίας Κυριακής αποτελεί διερρηγμένο σύγκλινο διεύθυνσης Β-Ν, μήκους 7 χλμ. και πλάτους 1-3 χλμ., μεταξύ του μεγάλου ασβεστολιθικού όγκου του κυρίως κορμού του νησιού και του μικρότερου όγκου όμοιων ασβεστολίθων, που αποτελούν τη βορειοδυτική χερσόνησό του. Όλοι οι ασβεστολίθοι ανήκουν στη ζώνη Παξών και είναι ανωκρητιδικής ηλικίας, με εξαίρεση μία ζώνη ηφκαινικών ασβεστολίθων μικρού πλάτους, με διεύθυνση περίπου

B-N, με την οποία τελειώνουν προς βορρά οι ασβεστόλιθοι του κυρίως κορμού της Κεφαλονιάς (B.P.Co, 1971). Σύμφωνα με άλλους ερευνητές (G. BIZON, J. UNDERHILL), στην περιοχή διαπιστώθηκαν τόσο Παλαιοκαινικοί όσο και Ολιγόκαινικοί ασβεστόλιθοι.

Το σύγκλινο της Θηνιάς νότια καταλήγει στον κόλπο Αργοστολίου - Λειβαδίου και βόρεια στον όρμο Αγ. Κυριακής. Μέσα σ' αυτό έχουν διασωθεί από τη διάβρωση θαλάσσιες τριτογενείς αποθέσεις, που αποτελούνται κυρίως από μάργες και, κατά δεύτερο λόγο, από μαργαίτους ασβεστόλιθους και λίγους φαμίτες.

Η G. BIZON (1967) έχει περιγράψει δύο τομές στο τριτογενές αυτό σύγκλινο της Θηνιάς, μία στα Κοντογουράτα και άλλη στον Αγκώνα, δίδοντας λιθολογική περιγραφή και στρωματογραφική κατάταξη, με βάση τη μικροπανίδα που μελέτησε: Στην τομή των Κοντογουράτων διέκρινε τις εξής σειρές:

- ασβεστόλιθους του Σενωνίου, κοκκώδεις - θρομβώδεις, με θραύσματα ρουδιστών (κλίση NA 60°)
- ασβεστόλιθους κοκκώδεις - θρομβώδεις και μικρολατυποπαγείς, του ανώτερου Παλαιοκαινού (κλίση NA 55°, πάχος 3 μ.).
- Μάργες μπεζ, λίγο ιλιούχες, του ανώτερου Βουρδιγαλιού (πάχος 4 μ.).
- Μάργες μπεζ, εναλλασσόμενες με μπεζ μαργαίτους ασβεστολίθους, ηλικίας Ελβετίου, κλίσης NA 50° και πάχους περίπου 13 μ.

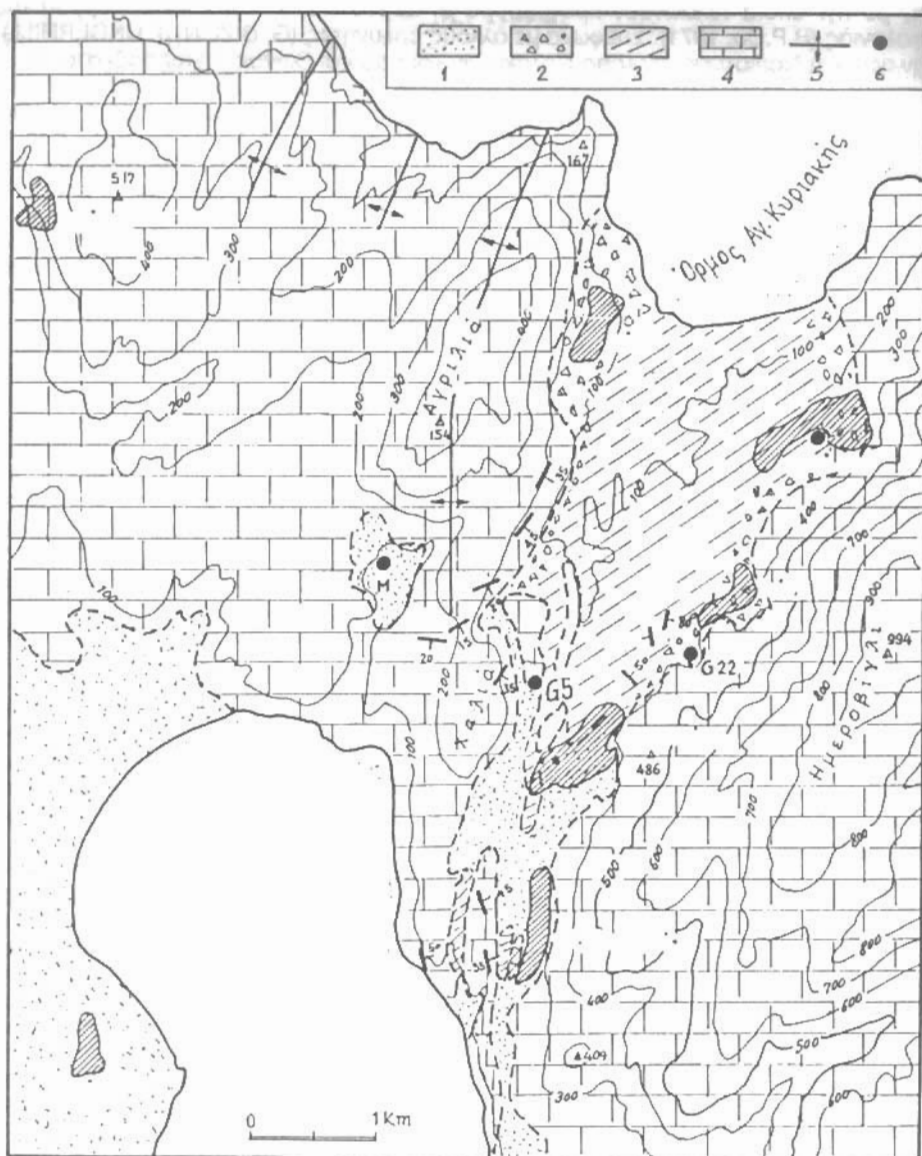
Αυτή η τομή δείχνει το ανώτερο Βουρδιγάλιο να κάθεται χωρίς γωνιώδη ασυμφωνία πάνω στο ανώτερο Παλαιοκαινό, με στρωματογραφικό κενό το Ηώκαινο, το Ολιγόκαινο και το κατώτερο Μειόκαινο. Η πιθανότητα ρήγματος κατά την G. BIZON φαίνεται να αποκλείεται.

Εξήμι χιλιόμετρα πιο βόρεια (τομή Ανω Αγκώνα) βρίσκεται μια σειρά σχεδόν πλήρης από το Ολιγόκαινο μέχρι το κατώτερο Τορτόνιο, την οποία έχει μελετήσει επίσης η G. BIZON. Η σειρά αυτή έχει πάχος περίπου 500 μ. και βρίσκεται ανεστραμμένη κάτω από τους ηωκαινικούς ασβεστολίθους, οι οποίοι είναι ορατοί στο χωριό. Κατεβαίνοντας από τον Ανω Αγκώνα προς τη θάλασσα, από τα ανατολικά δηλαδή προς τα δυτικά, συναντούνται διαδοχικά:

- Ασβεστόλιθοι με νουμμουλίτες και αλβεολίνες του κατώτερου Ηωκαινού, με κλίση σχεδόν οριζόντια.
- Μία ολιγόκαινική σειρά, πάχους περίπου 100 μ., αποτελούμενη από μαργαίτους ασβεστολίθους και εναλλαγή από μάργες και ασβεστολίθους, με κλίση 20° Α.
- Μία ανάλογη λιθολογική σειρά και με ίδιο περίπου πάχος, ηλικίας Ακουιτάνιου.
- Μία σειρά πάχους περίπου 50 μ., λιθολογικά ανάλογη με την προηγούμενη, ηλικίας Βουρδιγαλιού.
- Μία μαργαίτη σειρά, τέλος, με μάργες μπλε, μέχρι γκρι - μπλε, μερικές φορές λιγνιτούχες, με αραιές ενστρώσεις πάγκων από φαμίμωδεις ασβεστολίθους βιοκλαστικούς, η οποία ανήκει στο Ελβετίο και στο κατώτερο Τορτόνιο.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, το "μέγεθος" του στρωματογραφικού κενού ποικίλλει σημαντικά σε πολύ μικρή απόσταση. Στα Κοντογουράτα το ανώτερο Παλαιοκαινό βρίσκεται επικλυσιγενές πάνω στο Σενωνίο και η κορυφή του Βουρδιγαλιού επικείται του Παλαιοκαινού. Εξήμι χιλιόμετρα πιο βόρεια συναντάται μια σειρά σχεδόν συνεχής από το Ολιγόκαινο μέχρι το κατώτερο Τορτόνιο.

Ο De MOULDER (1975) περιγράφει μια άλλη τομή στην περιοχή των Κοντογουράτων, κατά μήκος του δρόμου Ανω Αγκώνα - Αργοστολίου, 1.200 μ. βόρεια της διασταύρωσης προς Ληξούρι. Σ' αυτήν, μια σειρά από κλαστικούς ασβεστολίθους και μερικές εκατοντάδες μέτρα από λιγνιτούχες μάργες, υπέκκειται Ηωκαινικών ασβεστολίθων με *Noummulites* και *Discocyclus*.



Σχ. 1. Γεωλογικός χάρτης περιοχής Θηνιάς. Χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία των χαρτών ΙΓΜΕ (1985) και Β.Ρ. (1971), καθώς και παρατηρήσεις μας (Ι.Κ.).
 1: αλλούβια, 2: πλευρικά κορήματα, 3: μειοκαινικοί σχηματισμοί (κυρίως μάργες), 4: ασβεστόλιθοι (ανωκρητιδικό - ηώκαινο), 5: άξονας αντικλίνου, 6: θέσεις γεωτρήσεων (G₅: γεώτρηση με άλμες, Μ: γεώτρηση Μεταξάτου).

Fig. 1. Geological map of Thinia area, after IGME (1985), B.P. (1971) and our observations (J.K.).
 1: alluvium, 2: screes, 3: miocene (mainly marls), 4: limestones (upper cretaceous - eocene), 5: anticline axis, 6: boreholes (G₅: boreholes with brines, Μ: Metaxatos borehole).

Εκτός από την διαπίστωση της BIZON, σύμφωνα με την οποία η σειρά Ολιγοκαινού - κατώτερου Τορτονίου του Ανώ Αγκώνα βρίσκεται ανεστραμμένη κάτω από τους ηωκαινικούς ασβεστολίθους, ο D. SOREL (1976) θεωρεί ότι οι ανατολικά του μεγάλου ρήγματος κρητιδικοί ασβεστόλιθοι έχουν επωθηθεί προς τα δυτικά πάνω στα νεογενή. Επίσης, ο J. UNDERHILL (1985) υποστηρίζει ότι ολόκληρη η σειρά Κρητιδικού - Ολιγοκαινού της νοτιοανατολικής πλευράς του βυθίσματος (Κοντογουράτων - Νίφι - Ανώ Αγκώνα - ανατολικές ακτές κόλπου Αγ. Κυριακής) είναι επωθημένη προς τα βορειοδυτικά πάνω στα μειοκαινικά στρώματα. Την επώθηση αυτή θεωρεί προέκταση προς τα βόρεια της μεγάλης επώθησης (κατ' αυτόν) του Αίνου, που θεωρεί ως την πλέον εξωτερική επώθηση των Ελληνίδων, η οποία έχει προσβάλει την Προαπούλια ζώνη.

Εκτός από τους Μειοκαινικούς σχηματισμούς, που αναφέρουν οι προηγούμενοι ερευνητές, στο χάρτη της Β.Ρ.Σ. σημειώνονται με μεγάλη εξάπλωση νότια του όρμου της Αγ. Κυριακής Μειο-πλειοκαινικές μπλε - γκρι μάργες, καθώς και Πλειοκαινικές ομοιόχρωμες μάργες σε μικρότερη εξάπλωση στην περιοχή των Ζολών.

Επίσης, ο H. BERGMAN, που έχει χαρτογραφήσει την περιοχή αυτή (βλ. γεωλογικό χάρτη του ΙΓΜΕ, 1985), σημειώνει νότια των Ζολών μικρή εμφάνιση πλειοκαινικών μαργών.

Στα πλαίσια της δικής μας έρευνας, εκτός από τους σχηματισμούς που περιγράψαμε ως εδώ, διαπιστώσαμε την παρουσία και ενός λίαν συνεκτικού ασβεστολιθικού κροκαλοπαγούς στη βάση της κλαστικής σειράς, επικείμενο των ηωκαινικών ασβεστολίθων νότια των χωριών Νύφι και Ζόλα. Ομοιο κροκαλοπαγές στη Νότια Κεφαλονιά (κροκαλοπαγές Αληματά) έχει προσδιοριστεί από τον Κ. ΝΙΚΟΛΑΟΥ (1986) σαν ανωμειοκαινικό.

Μέσα στο χώρο ανάπτυξης των πρακτικά υδροστεγανών μαργαϊκών σχηματισμών, είναι εγκλωβισμένος ένας μικρός επιμήκης ασβεστολιθικός όγκος, μήκους 1 χλμ. και μέσου πλάτους 200 μ. Η συνολική έκτασή του είναι περίπου 20.000 μ², με μεγαλύτερο υψόμετρο 213 μ. και μικρότερο 120 μ. στο βόρειο άκρο της περιφέρειάς του.

Στην επιφάνεια, οι ασβεστόλιθοι αυτοί είναι λευκοί, κρυσταλλικοί, πλούσιοι σε θραύσματα ρουδιστών και νουμμουλίτες ηωκαινικής ηλικίας, καλυμμένοι με θαμνώδη βλάστηση. Δυτικά του ασβεστολιθικού λόφου ένα πολύ στενό τεκτονικό βύθισμα γεμάτο με μάργες, διαχωρίζει υδραυλικά τους ασβεστολίθους του, απ' αυτούς της υπόλοιπης κρητιδικής ασβεστολιθικής μάζας των υψωμάτων Χαλιά - Μαύρη Ράχη, που καταλήγουν στη θάλασσα του κόλπου Αργοστολίου - Λειβαδίου (βλ. σχ. 1).

Υπ' αυτές τις γεωλογικές - τεκτονικές συνθήκες, ο μικρός ασβεστολιθικός όγκος αποτελεί μια περιορισμένου ενδιαφέροντος, λόγω μεγέθους, εξατομικευμένη υδρογεωλογική ενότητα, περιβαλλόμενη από υδροστεγανούς σχηματισμούς.

Παρόλο, όμως, το περιορισμένο ενδιαφέρον της, επειδή τα γεωλογικά στοιχεία της ευρείας περιοχής είχαν δείξει ότι αποτελεί τη μόνη υδατοπιθανή ζώνη στην ευρύτερη περιοχή της Θηνιάς, που με βεβαιότητα δεν έχει υδραυλική σύνδεση με τη θάλασσα, προτεινάμε τη διάνοιξη μιας ερευνητικής γεώτρησης, επηρεασμένοι βεβαίως και από την κοινωνική πίεση, για κάλυψη των υδατικών αναγκών. Δεν αναμενόταν ασφαλώς πλούσια υδροφορία, όμως και μια μικρή ποσότητα θα ανακούφιζε από το οξύ υδατικό πρόβλημα.

Η γεώτρηση αυτή, ολικού βάθους 260 μ., διέτρησε εξ ολοκλήρου λευκούς ηωκαινικούς ασβεστολίθους. Το απόλυτο υψόμετρο του εδάφους στην κεφαλή

της γεώτρησης είναι 191,62 μ., επομένως ο πυθμένας της βρίσκεται 68,38 μ. κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας.

Μέχρι το βάθος των 230 μ. οι ασβεστόλιθοι ήταν στεγνοί. Στο βάθος αυτό συναντήθηκε πτωχή υδροφορία ($=2 \mu^3/\omega\rho$). Η ηλεκτρική αγωγιμότητα του νερού αυτού ήταν $2.950 \mu\text{S}/\text{cm}$.

Πλουσιότερη υδροφορία συναντήθηκε στο βάθος των 258 μ., δηλαδή σε απόλυτο υψόμετρο -66.38 μ. Το νερό, ευρισκόμενο υπό πίεση, ανήλθε μέσα στη γεώτρηση και ισορρόπησε σε βάθος περί τα 190 μ. (13.11.85: 190,44 μ., 19/11/85: 190,19 μ., 17/2/86: 189,99 μ.). Η μικρή ανύψωση που παρατηρήθηκε το χειμώνα 1985-86 οφείλεται στη δυνατότητα που δημιουργήθηκε να εισρεύσει νερό της βροχής διά μέσου της οπής της γεώτρησης. Αυτό αναφέρεται εδώ για να αιτιολογηθεί η μικρή ανύψωση, δεδομένου ότι, όπως θα αποδειχθεί στη συνέχεια, οι ασβεστόλιθοι έχουν συντελεστή κατεισδυσης μηδέν.

Η παροχή ήταν της τάξης των $30 \mu^3/\omega\rho.$, δυστυχώς όμως για τους κατοίκους της περιοχής, δεν επρόκειτο να λύσει το νερό αυτό το οξύ υδατικό πρόβλημά τους.

Διαπιστώθηκε ότι ήταν υπεράλμυρο και μη αναπληρούμενο. Εγκαταλήφθηκε, ως εκ τούτου, η γεώτρηση στην αρχική μικρή διάμετρο και η αναζήτηση νερού καλής ποιότητας στράφηκε σε άλλη θέση με θετικά αποτελέσματα (βλ. γεώτρηση G22 εικ. 1).

Τα αποτελέσματα της υδροχημικής μελέτης δειγμάτων του υπεράλμυρου αυτού νερού δίδονται στη συνέχεια.

3. ΥΔΡΟΧΗΜΕΙΑ

3.1. Γενικά

Στα αλμυρά νερά, η περιεκτικότητα σε διαλυμένα άλατα κυμαίνεται από 1.000 ppm μέχρι και 7 φορές μεγαλύτερη του θαλασσινού νερού. Παρόλο ότι ένας μεγάλος αριθμός στοιχείων είναι δυνατόν να βρεθεί σε νερά αυτού του είδους, η αλμυρότητά τους είναι συνήθως συνάρτηση των υψηλών συγκεντρώσεων νατρίου, ασβεστίου ή μαγνησίου, σε συνδυασμό με χλώριο και θειικά. Σαν άλμες χαρακτηρίζονται νερά αυτού του είδους, στα οποία η περιεκτικότητα σε διαλυμένα άλατα ξεπερνάει το όριο των 35.000 ppm.

Σπουδαιάς σημασίας ερευνητική δραστηριότητα παρουσιάζεται στον τομέα των αλμυρών εκείνων νερών που προέρχεται από την εξάτμιση του θαλασσινού [Kriger (1983), Ozoray (1977), Chapman (1979), Faith, Spiegler and Rehfeldt (1983), Bassett, Bentley et al. (1981), Glasbergen (1981)].

Με τον όρο "θαλασσινό νερό" εννοούμε στην Υδροχημεία ένα πολυσύνθετο ρυθμιστικό διάλυμα (σύστημα) με pH, που κυμαίνεται από 8,0 έως 8,4 λόγω χημικών αντιδράσεων, οι οποίες οφείλονται κυρίως στο H_2CO_3 , HCO_3^- , CO_3^{2-} και CaCO_3 , σε ιοντο-ανταλλαγές με ορυκτά των αργίλων και σε μικρότερη έκταση σε αντιδράσεις με συμμετοχή του H_3BO_3 και H_2BO_3^- . Το αλκαλικό pH δηλώνει ότι το μεγαλύτερο μέρος από τα ιόντα του Ca^{++} και HCO_3^- , που μεταφέρονται από τα ποτάμια στις θάλασσες, θα πρέπει να καθιζήσουν σαν CaCO_3 , με αποτέλεσμα η υψηλή συγκέντρωση σε ηλεκτρολύτες, που απομένει, να οδηγεί σε ταχεία θρόμβωση των κολλοειδών οξειδίων του σιδήρου και αργιλίου. Όπως αναμένεται, λοιπόν, αυξάνεται η κινητικότητα των ιόντων Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , Mg^{++} και K^+ . Αυτά τα πέντε ιόντα, μαζί με το ιόν του Ca^{++} , που περίσσευσε, μετά την καθίζηση του CaCO_3 , κυριαρχούν στη σύσταση

ΠΙΝΑΚΑΣ Ι. Χημική σύσταση άλμης Θηνιάς (Γ5), παραπλήσιων γλυκών νερών και μέσης σύστασης θαλασσινού νερού

ΣΤΟΙΧΕΙΑ	ΘΗΝΙΑ Γ5	ΘΗΝΙΑ ΜΕΤΑΞΑΤΟΥ	ΘΗΝΙΑ Γ22	ΑΓΚΩΝΑΣ ΚΟΙΝΟΤΙΚΗ	ΘΑΛΑΣΣΙΝΟ ΝΕΡΟ
ΔΕΙΓΜ. ΣΗΜΕΙΟ	B/THIN G5	B/METX. THN.	B/THIN. G22	B/AGONAS	-
ΑΡΙΘΜ. ΔΕΙΓΜ.	196	47	255	49	-
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	8/11/85	10/5/85	15/10/86	30/4/85	-
ΣΤΡΩΜ. ΚΩΔΙΚΕΣ	2	2	2-1	6-5	-
ΒΑΘΟΣ ΔΕΙΓΜ.	190,0	105,0	13,5	60,0	-
T C	22,8	19,0	20,0	16,0	-
pH	7,89	6,94	8,52 ¹	6,91	-
Eh (mV)	22,5	-	-	-	-
Θ ολετ. /Χρώμα**	5,6/65,5	0,70,	0,70	0,70,	-
E.C.***	52.300	560	612	519	-
Σκλ. (ppm CaCO ₃)	12.785	224,7	-	238,3	-
D.O	0	-	-	-	0,1-6
H ₂ S	≥5,0	0,	-	0,	-
CO ₂	0	38,6	-	31,2	-
HCO ₃ ⁻	171,4	332,4	301,6	348,9	142,0
SO ₄ ⁻²	9050,0	15,86	4,82	5,56	2710,0
Cl ⁻	26.140,0	5,5	2,7	15,3	17.350,0
Br ⁻	0,104	0,100	0,021	0,051	67,0
I ⁻	0,162	0,236	0,150	0,170	0,060
F ⁻	1,433	0,671	0,838	0,949	1,300
H ₃ BO ₃	4,35	0,	-	0,	4,50
NO ₃ ⁻	2,06	6,68	2,01	3,96	0,005-2
NO ₂ ⁻	0,0036	0,019	0,002	0,007	-
NH ₄ ⁺	63,851	0,089	0,061	0,087	-
PO ₄ ⁻⁸	0,014	0,249	-	0,791	0,001-0,0
P ₅ ⁺	0,004	0,081	-	0,258	-
Ca ⁺²	2.704,0	86,13	69,60	84,72	411,0
Mg ⁺²	1.446,0	2,22	7,86	6,32	1,290
Na ⁺	15.296,0	18,37	24,82	39,84	10.760,0
K ⁺	774,0	0,58	1,35	5,68	397,0
Li ⁺	0,199	≤0,07	≤0,07	≤0,07	0,180
Ba ⁺²	6,95	1,97	0,85	2,21	0,002
Fe ₂ ⁺	0,068	0,071	0,055	0,067	0,002
Fe ₃ ⁺	0,037	0,	0,001	0,001	-
Fe ⁺²	0,105	0,071	0,054	0,066	-
Mn ₂	0,815	0,100	0,275	0,307	0,0002
SiO ₂	0,272	0,402	0,568	0,760	0,5-10
Al ⁺³	0,001	0,	0,	0,	0,002
Cu	0,250	1,110	0,651	0,671	0,0905
Ni	0,737	≤0,30	≤0,30	≤0,30	0,0005
Cr	0,013	0,011	0,019	0,022	0,0003
Zn	1,170	0,760	0,035	0,080	0,002
Ti	≤3,800	≤3,800	≤3,800	≤3,800	0,001
Pb	≤1,00	≤1,00	≤1,00	≤1,00	0,00003
Co	0,117	0,	0,	0,	0,00005

* FTU Formazin Turbidity Units

** 1 colour unit= 1mg/lt platinum as chloroplatinate ion

*** microsiemens/cm σε 25°C

(1) τιμή pH εργαστηρίου

του θαλασσινού νερού (Πίνακας I) [Riley and Chester (1971), Wilson (1975) και Brewer (1975)].

Ο Butler (1969) δίνει μία εικόνα από τη σημερινή εποχή, φυσικής εξάτμισης του θαλασσινού νερού, μιας παράκτιας λεκάνης εξάτμισης θαλασσινού και υπόγειου νερού (Sabkha), κοντά το Abu Dhabi του Περσικού Κόλπου (Σχήμα 2). Ο Kinsman (1976) συσχέτισε την ενεργότητα του νερού με την αλμυρότητά του και τη σχετική ατμοσφαιρική υγρασία, κατά τη διάρκεια της εξάτμισης. Βρήκε ότι, σε κατάσταση ισορροπίας, η ενεργότητα του νερού ισούται με τη σχετική ατμοσφαιρική υγρασία, η οποία αυξάνει, καθώς η αλμυρότητα του νερού αυξάνει. Εδωσε, μάλιστα, και το Σχήμα 3, στο οποίο έχει προβληθεί και το νερό της γεώτρησης G₅ της Θηνιάς.

Μια εικόνα παρουσίασης του θαλασσινού νερού κατά Stiff (1951) φαίνεται στο Σχήμα 4, στο οποίο έχουν προβληθεί τα στοιχεία της άλμης της Κεφαλονιάς, ενώ η σχέση μεταξύ Na⁺ και Cl⁻ για άλμες και αλμυρά νερά κατά Kriger (1963) φαίνεται στο Σχήμα 5, στο οποίο επίσης έχουν προβληθεί οι μελετούμενες άλμες.

3.2. Υπαιθρια και εργαστηριακή εργασία

Η πρώτη εμφάνιση του νερού στη γεώτρηση Θηνιάς με E=2.950 μS/cm, στο βάθος των 230 μ., έγινε παρουσία μας (Θ.Μ.). Αυτή η τιμή, καθώς και η αυξημένη αγωγιμότητα της άλμης των 260 μέτρων μετρήθηκαν επιτόπου. Άλλη επί τόπου καταγραφή παραμέτρων περιέλαβε θερμοκρασία pH, Eh, D.O. (διαλυμένο οξυγόνο), H₂S, CO₂, HCO₃⁻ και Cl⁻.

Η ανάλυση του δείγματος ως προς τις υπόλοιπες παραμέτρους έγινε στο εργαστήριο Γενικής και Εφαρμοσμένης Γεωλογίας ΕΜΠ. Χρησιμοποιήθηκαν τεχνικές, όπως η τιτλοδότηση, η φασματοφωτομετρία και η ατομική απορρόφηση με τη βοήθεια γραφίτου.

3.3. Αποτελέσματα

Τα αποτελέσματα φαίνονται στον Πίνακα I, στον οποίο περιλαμβάνονται για συγκριτικούς λόγους και τα στοιχεία των αναλύσεων θαλασσινού νερού, καθώς και του νερού τριών άλλων γεωτρήσεων από τη γύρω περιοχή.

Όπως διαπιστώνεται από τα στοιχεία των αναλύσεων, τα νερά των γεωτρήσεων Μεταξάτου, Αγκώνα και Γ₂₂ είναι γλυκά και δεν έχουν καμία σχέση με αλμύρανση. Απ' αυτές, οι γεωτρήσεις Μεταξάτου και Γ₂₂ έχουν διατρήσει ασβεστολίθους και η γεώτρηση Αγκώνα πλευρικά κορήματα και νεογενή.

Στον Πίνακα II δίδονται τα αποτελέσματα επεξεργασίας της άλμης γεώτρησης της Θηνιάς (G₅) με ηλεκτρονικό υπολογιστή, ενώ στον Πίνακα III φαίνονται τα αποτελέσματα ενός υδρογεωχημικού μοντέλου. Ελήφθησαν υπόψη οι οξειδαναγωγικές ιδιότητες της άλμης, το pH και στοιχεία στο πάνω μέρος του Πίνακα, που τροφοδότησαν τον ηλεκτρονικό υπολογιστή σαν δεδομένα εισαγωγής. Σαν αποτελέσματα εξαγωγής παίρνουμε την ιοντική ισχύ του νερού, την ενεργότητα του νερού, τις διάφορες ιοντικές μορφές των κυρίων ανιόντων και κατιόντων στο διάλυμα, καθώς και τους δείκτες κορεσμού για 40 ορυκτά.

Από τις περιεκτικότητες επί τοις εκατό σε κύρια ανιόντα και κατιόντα στο διάγραμμα Duron και Piper (ή και κατά τις χ και ψ συντεταγμένες) προκύπτει ότι το νερό κατατάσσεται στην κατηγορία του Na-Cl (Σχήμα 6).

ΠΙΝΑΚΑΣ ΙΙ. Επεξεργασία με ηλεκτρονικό υπολογιστή του δείγματος G₅ (πρόγραμμα HYDROGEOCH). Οι χημικοί λόγοι των διαφόρων στοιχείων σε mg/l. Περί δεικτών καταλληλότητας νερού για άρδευση; S.A.R., SSP, RSC, PI και SI βλέπε Sarma και Swamy (1983) και Raghunath (1982)).

TDS=56392.3 MG/CA =.8816 CA/SR = -
 EH= 22.30 MG+CA/NA =.3316 BR/B =4.0776E-03
 PH FIELD= 7.89 SO4/CL =.2781 BR/CL =0.1764E-05
 PH LAB= - CL/HCO3 =262.5 B/CL =1.6355E-03
 EC=52300.0 CL-NA/CL =0.9768E-01 K/CL =0.2684E-01
 CO2= 0.00 SO4/HCO3 =73.00 SR/CL = -
 DO= 0.00 NA/CL =0.9023 MG/CL =0.1613
 TEMP = 22.30 K/NA =0.2974E-01 CA/CL =0.1830
 DEPTH = 190.00 NA+K/CA+MG = 2.899 I/CL =0.1731E-05
 STR. CODE = 2.00 I/SR =0.9812 RB/K = -
 H2S =>5.0000 BA/K =0.5113E-02 LI/NA =0.4310E-04

NO	ION	MG/L	MEQ/L	PIPER%	DUROV%
1)	CALCIUM (CA+2)	2704.000	134.92961	14.37	7.18
2)	MAGNESIUM (MG+2)	1446.000	118.94796	12.67	6.33
3)	SODIUM (NA+)	15298.000	665.37598	72.96	36.48
4)	POTASSIUM (K+)	774.000	19.79118	0.00	0.00
5)	STRONTIUM (SR+2)	-	-	0.00	0.00
6)	LITHIUM (LI+)	0.199	0.02868	0.00	0.00
7)	BARIUM (BA+2)	6.950	0.10119	0.00	0.00
8)	RUBIDIUM (RB+)	-	-	0.00	0.00
9)	BICARBTE (HCO3-)	171.400	2.80925	0.30	0.15
10)	CARBONAT (CO3-2)	0.000	0.00000	0.00	0.00
11)	SULPHATE (SO4-2)	9550.000	205.97699	21.69	10.85
12)	CHLORIDE (CL-)	26140.000	737.40938	78.01	39.00
13)	FLUORIDE (F-)	1.433	0.07543	0.00	0.00
14)	BROMIDE (BR-)	0.104	0.00130	0.00	0.00
15)	IODIDE (I-)	0.102	0.00128	0.00	0.00
16)	NITRATE (NO3-)	2.060	0.03323	0.00	0.00
17)	PHOSPHATE (PO4-3)	0.011	0.00044	0.00	0.00
18)	BORON (H3BO3)	4.350	1.20608	0.00	0.00

TOTAL CATIONS = 939.14537
 TOTAL ANIONS = 945.40723
 ERROR X = -0.33

196
 DATE:08/11/85

TOTAL ALKALINITY= 140.40
 CARBONATE HARDNESS= 140.40
 NON CARBONATE HARDNESS= 12644.51
 TOTAL HARDNESS= 12785.11
 S.A.R.= 59.06
 SSP= 72.96
 RSC= -251.07
 PI= 72.56
 SI= 85.17
 CALCITE SATURATION INDEX= 1.45
 ARAGONITE SATURATION INDEX= 1.31
 DOLOMITE SATURATION INDEX= 2.72
 ΔΥΡΟΝ Χ ΕΞΟΡΩΣΗ= 36.20
 ΔΥΡΟΝ Υ ΕΞΟΡΩΣΗ= 7.43
 KHCO3= 0.372916E-11
 PHS= 0.44

$$SSP = \frac{Na^+ + K^+}{Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+ + K^+} \%$$

$$RSC = CO_3^{2-} + HCO_3^- - (Ca^{2+} + Mg^{2+})$$

$$PI = \frac{Na^+ + \sqrt{HCO_3^-}}{Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+} \%$$

σε μονάδες mg/l

$$SI = \text{total } Na^+ - 24.5 - 4.85(\text{total } Ca^{2+} - Ca \text{ in } CaCO_3) \text{ \#B pp100 thousand}$$

**** INPUT DATA IN MG/LITER EXCEPT FOR ALK=HC03*CO3 IN MEQ/LITER
 CA 2704.00 MG 1446.00 NA 15296.00 K 774.00 CL 26140.00 ALK 2.80 S04 9850.00
 AL 0.00100 FE 0.06800 SR 6.95000 BA 6.95000 LI 0.19900 H03 2.06000
 S102 3.27200 B 4.35000 BR 0.10400 H2S > 5.00000 NH4 63.85100

NH4+ AND PE DATA GIVEN: NH4+, PH AND PE IMPLY NO3- MOLARITY = 0.00000

NO3- AND PE DATA GIVEN: NO3-, PH AND PE IMPLY NH4+ MOLARITY = 0.1012E+35

**** CONVERTED INPUT DATA (MOLES/LITER) EXCEPT FOR ALKALINITY (HC03+CO3) IN EQ/LITER)
 CA 0.6746E+01 MG 0.5947E+01 NA 0.6654E+00 K 0.1979E-01 CL 0.7374E+00 ALK 0.2800E-02
 S04 0.1025E+00 AL 0.3715E-07 FE 0.1218E-05 SR ———— LI 0.5040E-04 LI 0.2868E-06
 NO3 0.3323E-04 S102 0.4524E-05 B 0.4024E-03 BR 0.1301E-05 H2S 0.1559E-03 NH4 0.3540E-02

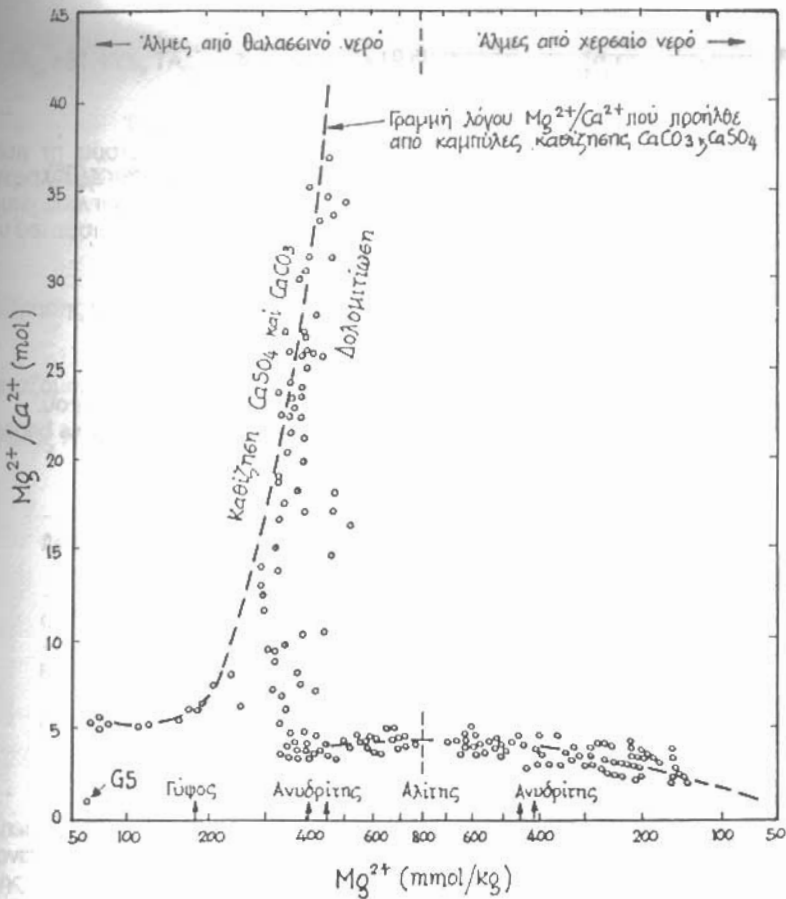
PH = 7.89 PE = 0.38 TEMP = 22.80 DEG C DENSITY = 1.0000 GM/CC
 -LOG(PCO2) = 3.05 -LOG(PO2) = 99.99 -LOG(PCN4) = 45.92
 IONIC STRENGTH = 1.05256 TOTAL DISSOLIDS = 56.47 GM/LITER SOLN TOTAL INORG CARBON MOLARITY = 0.2605E-02
 ION BALANCE ERROR = -0.15 PERCENT CATION EXCESS = -0.2759E-02 (CHARGE*MOLES) H2O ACTIVITY = 0.9713

**** INDIVIDUAL SPECIES MOLARITIES ****

OH-	0.1112E-05	CO3--	0.2070E-04	HC03-	0.1662E-02	S04--	0.4709E-01	CL-	0.7770E*00
CAH4+	0.3277E-06	CAHCO3	0.5557E-04	CAHCO3	0.2174E-03	CASO4	0.1555E-01		
MCH+	0.2159E-05	MGCO3	0.4004E-04	MGHCO3	0.3054E-03	MGSO4	0.1401E-01		
NA+	0.6731E+00	NAHCO3-	0.4530E-04	NAHCO3	0.2319E-03	NASO4-	0.2740E-01	NACLO	0.6441E-02
BAOH+	0.1998E-01	BAOH+	0.3834E-10			KS04-	0.8324E-03	KCLO	0.1131E-03
SRH+	—								
LI+	0.2943E-04	LIHO	0.1482E-10			LIS04-	0.9641E-06		
H2SiO6	0.4715E-05	H2SiO4	0.8199E-07	H2SiO4	0.3300E-10	ALSO4+	0.2636E-15	ALSO4**	0.1480E-15
FE++	0.2170E-05	ALOH++	0.5083E-13	ALOH2+	0.1606E-10	FE0H4-	0.3349E-09	FECL+	0.2949E-17
	0.6648E-18	FE0H++	0.6256E-13	FE0H2+	0.3099E-10	FE0H+	0.6306E-17		
		FECL+	0.2156E-17	FELCO	0.9935E-19	FE04+	0.1949E-06		
FE++	0.1084E-05	FE0H+	0.1050E-7	FE0H2	0.1955E-11	FE0OH-	0.3515E-12		
NH4+	0.4412E-05	NH3A	0.3939E-07			NH4SO4	0.3767E-02	NO3-	0.3322E-04
H+	0.1735E-07					H2SO4	0.8196E-19	HCLO	0.2951E-14
H2SO4	0.8537E-05	HS-	0.1567E-03	S--	0.6435E-03	HSO4-	0.1553E-07	BR-	0.1379E-05
H3BO3	0.3618E-03	H2BO3-	0.6464E-04			H2CO3*	0.2527E-04	O2A0	—

**** MINERAL SATURATION INDICES ****

ADULARIA	-4.36	ALBITE	-5.35	AMYDRIT	-8.00	ARAGONIT	0.92	BARITE	2.60	BOEMHITE	-1.92
BRUCITE	-2.93	CAICITE	1.18	CA-MONT	-7.32	CELESTIT	-90.99	CHALCEDN	-1.65	CHLORITE	2.46
GIBBSITE	-2.54	GOSHWITE	3.43	GRISITE	14.15	GYPSUM	0.57	HALITE	-2.22	HALLOYST	10.13
HUMITE	1.92	HYDRONM	1.55	ILLITE	-4.11	KOLIMNIT	-4.18	K-MICA	-0.50	MACKINAW	1.32
MAGNETIT	10.46	MONTIC	-0.22	MONTIC	-2.77	MONTIC	-4.22	NYCITE	0.34	NYCITE	0.94
STROBELT	10.46	STROBELT	10.46	STROBELT	10.46	STROBELT	10.46	STROBELT	10.46	STROBELT	10.46



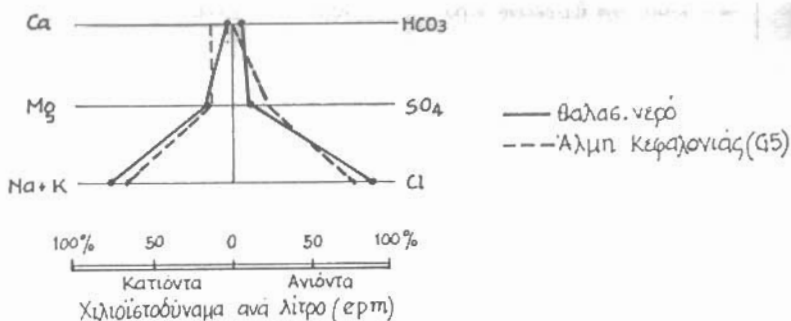
Σχ. 2. Ο λόγος Mg^{2+}/Ca^{2+} σαν συνάρτηση της συγκέντρωσης του Mg^{2+} από τη Sabkha του Abu Dhabi. G₅: άλμες Θηνιάς.

Fig. 2. The ratio Mg^{2+}/Ca^{2+} as a function of Mg^{2+} concentration for Abu Dhabi subkha. G₅: Thinia's brines.

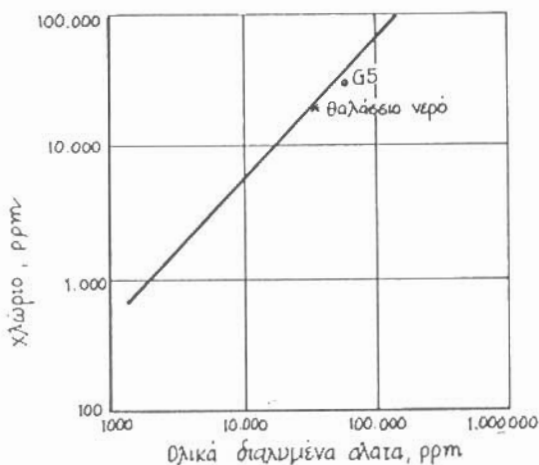


Σχ. 3. Χημική ενεργότητα νερού (α_{H₂O}) υπό εξαέρωση (Kinsman, 1976). Προβάλλονται οι άλμες της G₅ Θηνιάς.

Fig. 3. Chemical activity of brine water (α_{H₂O}) under evaporation (Kinsman, 1976). G₅: Thinia's brine.



Σχ. 4. Πολύγωνο κατά Stiff (1951) για την παρουσίαση της ποιότητας του νερού.
Fig. 4. Stiff polygon (1951) of water quality. See water, Thinia's brines.



Σχ. 5. Σχέση μεταξύ Cl^- και TDS σε αλμυρά νερά και άλμες (Kriger, 1963).
Προβάλλονται οι άλμες της G_5 Θηνιάς.

Fig. 5. Relationship between Cl^- and TDS for saline waters and brines (Kriger, 1963)
 G_5 = Thinia's brines, * = see water

Στο Σχήμα 7 γίνεται σύγκριση της κατιοντικής σύστασης της μελετούμενης άλμης με θαλασσινό νερό βεβαρυσμένο σε άλατα λόγω εξάτμισης. Στα τριγωνικά αυτά διαγράμματα απεικονίζεται το μέγεθος "τιμή αντίδρασης" (reaction value) επί τοις εκατό κατά Kumar και Martinez (1981), σύμφωνα με τον τύπο:

$$TA = (\text{τιμή αντίδρασης}) = (\text{συγκέντρωση ιόντος, ppm}) \times (\text{σθένος ιόντος})$$

(M.B. ιόντος)

Παίρνουμε, λοιπόν, για το τριγωνικό διάγραμμα Na, Cl, Mg:

$TA_{Na} = 72.38\%$, $TA_{Ca} = 14.67\%$ και $TA_{Mg} = 12.95\%$, ενώ για το τριγωνικό διάγραμμα Na, Ca,

Κ' $TA_{Na} = 81.43\%$, $TA_{Ca} = 16.44\%$ και $TA_K = 2.43\%$.

Τα σημεία προβολής στα τριγωνικά διαγράμματα της άλμης της G_5 με βάση τη σύσταση των κατιόντων της, μας επιτρέπει να πούμε ότι πρόκειται για υπεραλμυρό υπόγειο νερό ιζηματογένεσης, εμπλουτισμένο κυρίως σε Na και δευτερευόντως σε Ca και Mg, το οποίο δημιουργήθηκε σε αρχικά στάδια εξάτμισης του θαλασσινού νερού.

Αυτή η άποψη ενισχύεται και από την προβολή του δείγματος της γεώτρησης G_5 της Θηνιάς στα διαγράμματα των σχ. 2, 3, 4 και 5.

Από τη σύγκριση των ιοντικών λόγων (Πίν. IV) φαίνεται καθαρά ότι τα εξεταζόμενα νερά αποκλείεται να είναι άλμες πετρελαϊκών πεδίων.

Πίνακας IV. Σύγκριση ιοντικών λόγων νερού της G_5 (ιόντα σε ppm) με διάφορα αλατούχα νερά (από Johnson, 1981).

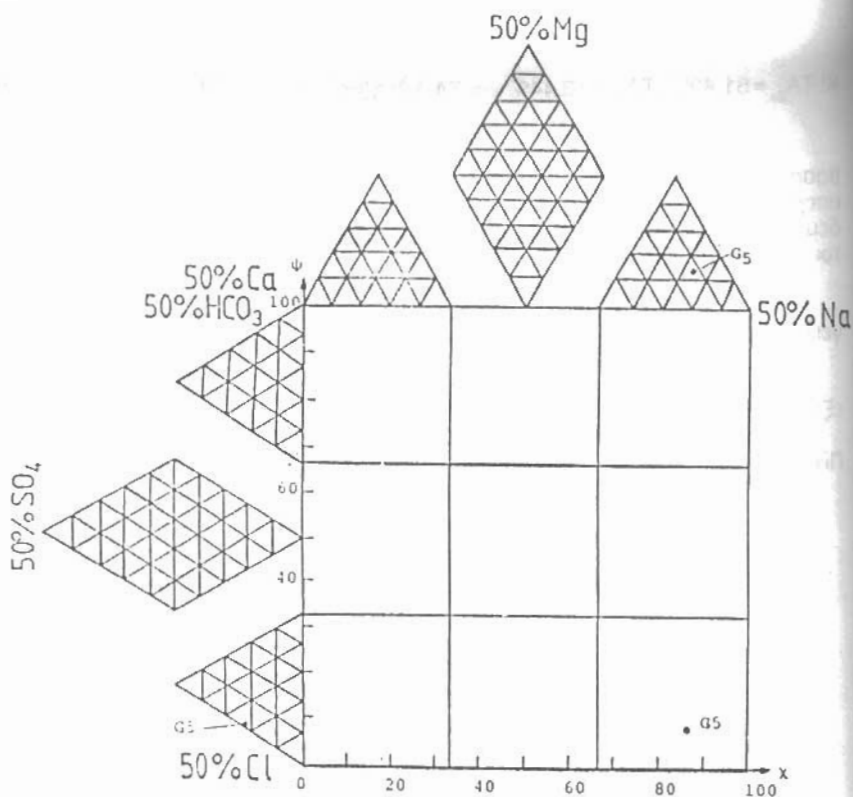
Λόγος	Θηνιά G_5	Θαλασσινό νερό	Αλατούχες άλμες	Άλμες πεδίων πετρελαίων
Ca/SO ₄	0,27	0,15	0,20-0,70	10-100
Mg/SO ₄	0,14	0,47	0,10-0,70	2-10
Ca+Mg/SO ₄	0,42	0,62	0,40-0,14	10-100

Σε καθαρό κρύσταλλο NaCl ο λόγος Na/Cl είναι ίσος με 0.65. Ο Johnson (1981), εξάλλου, έδειξε ότι για άλμες πεδίων πετρελαίων ο παραπάνω λόγος παίρνει την τιμή 0.55 και ελαττούται συνεχώς, καθώς τα ολικά διαλυμένα άλατα μιας άλμης αυξάνουν. Για την άλμη της γεώτρησης G_5 της Θηνιάς ο λόγος Na/Cl έχει την τιμή 0.58. Η τιμή αυτή δεν συμφωνεί απόλυτα με αυτή του 0.65 (διάλυση κρυστάλλων NaCl), διότι το δείγμα μας δεν αντιπροσωπεύει καθαρά αυτό των υπεράλμυρων νερών των 260 μέτρων, επειδή έχει υποστεί αραιώση 10-20%, λόγω μίξης του με το γλυκύτερο των 230 μέτρων. Η κοιλότητα στο βάθος αυτό έδωσε νερό χαμηλής αλμυρότητας, ο δε αφρός του γεωτρυπανού, όταν διέτρησε το συγκεκριμένο τμήμα, έφερε στην επιφάνεια θραύσματα αργίλικών σωματιών μορφής λαιμού μπουκαλιού. Αυτό δείχνει κατά Κ. Johnson ύπαρξη κοιλότητας, που δημιουργήθηκαν στον ασβεστόλιθο είτε από παλιά είτε από πρόσφατη διαλυτοποίηση αλάτων και απόθεση αργίλου στις πλευρές των κοιλότητων.

Το ότι ακόμα και σήμερα κυριαρχούν οι μηχανισμοί διάλυσης σε σχέση με αυτούς της απόθεσης φαίνεται από την κυριαρχία των αρνητικών δεικτών κορεσμού έναντι των δεικτών απόθεσης (Πίνακας III).

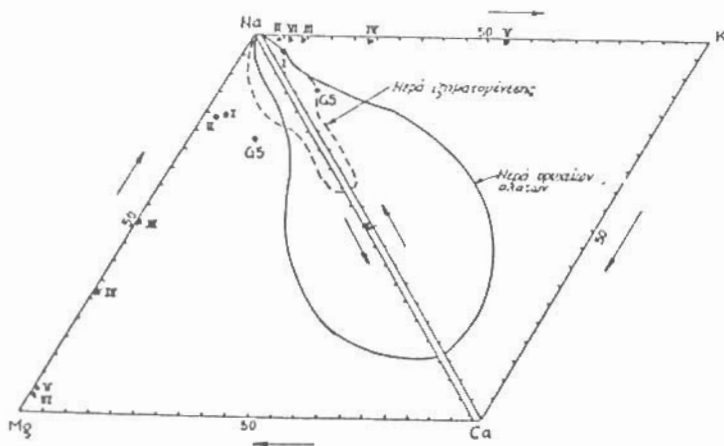
Τέλος, σχολιάζοντας την απουσία CO₂ και D.O. στο νερό, κατά τη στιγμή της δειγματοληψίας, καθώς και τη μικρή τιμή Eh, που συνοδεύτηκε με έντονη οσμή H₂S (> 5ppm), συμπεραίνουμε ότι το υπεραλμυρό αυτό νερό δεν πρέπει να έχει καμία επικοινωνία με την επιφάνεια του εδάφους. Οι αναγωγικές του αυτές ιδιότητες αντανακλούν και στις μικρές τιμές μετάλλων λόγω καθίζησής τους υπό μορφή ορυκτών (Πίνακας III).

Το υδροχημικό μοντέλο έδωσε επίσης πολύ μεγάλες θεωρητικές τιμές για το NH₃, καθώς και για το CH₄, γεγονός που δηλώνει νερό παλαιάς ηλικίας, το οποίο δεν έχει έρθει σε επαφή με τον αέρα για εκατομμύρια χρόνια. Η τιμή, επίσης, του NH₄⁺, που μετρήθηκε στο εργαστήριο (63,85 ppm), κατά την άποψή μας,



Σχ. 6. Ταξινότηση κατά DUROV

Fig. 6. Durov diagram



- *ΘΑΛΑΣΣΙΟ ΝΕΡΟ ΠΛΟΥΣΙΟ ΣΕ ΛΟΓΩ ΕΞΑΤΜΗΣΗΣ ΚΑΤΑ ΤΑ ΜΕΤΕΞΤΑΔΙΑ.
- I- ΑΡΧΙΚΟ ΘΑΛΑΣΣΙΟ ΝΕΡΟ ΜΕΤΕΞΤΑΣΗΣ.
- II- ΠΡΟΚΥΨΑΣΑ ΑΛΜΗ ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΟΞΥΔΩΣΗ ΤΟΥ CaSO_4 .
- III- ΠΡΟΚΥΨΑΣΑ ΑΛΜΗ ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΟΞΥΔΩΣΗ ΤΟΥ NaCl .
- IV- ΠΡΟΚΥΨΑΣΑ ΑΛΜΗ ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΟΞΥΔΩΣΗ ΤΟΥ MgSO_4 .
- V- ΠΡΟΚΥΨΑΣΑ ΑΛΜΗ ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΟΞΥΔΩΣΗ ΤΟΥ KCl .
- VI- ΠΡΟΚΥΨΑΣΑ ΑΛΜΗ ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΟΞΥΔΩΣΗ ΤΟΥ MgCl .

Σχ. 7. Τριγωνική απεικόνιση σχετικών συγκεντρώσεων (επι τοις εκατό τιμών αντίδρασης) νεράν ορυχείων αλάτων, θαλασσινού νερού, συγγεντικών νεράν, ιζηματογένεσης και Υπερθεοφραστός - Τμήμα Γεωλογίας. Α.Π.Θ.

μόνο εγκλωβισμό μπορεί να δικαιολογήσει.

3.4. Συμπεράσματα

Η άλμη της Θηνιάς σε εγκλωβισμένο ασβεστόλιθο του Ηωκαινού ήρθε σε επαφή με την ατμόσφαιρα για πρώτη φορά στις 8.11.85 μετά από εκατομμύρια χρόνια. Πρόκειται για υπεράλμυρο νερό ιζηματογένεσης εμπλουτισμένο σε Na και Cl και δευτερευόντως σε Ca και Mg, το οποίο δημιουργήθηκε σε αρχικά στάδια εξάτμισης του θαλασσινού νερού. Κυριαρχούν μεσαίες θερμοκρασίες και έντονες αναγωγικές ιδιότητες.

Λόγω αδυναμίας άντλησης της γεώτρησης, δεν είναι γνωστό αν με την πάροδο του χρόνου η αλατότητα του υπεράλμυρου νερού αυξάνει, πράγμα που θα οδηγούσε στη σκέψη ότι στο υπέδαφος της περιοχής υπάρχουν μειοκαινικοί ή τριαδικοί εβαπορίτες, με τους οποίους έρχεται σε επαφή και εμπλουτίζεται με άλατα από τη διάλυσή τους, κατά τη ροή του νερού προς τη γεώτρηση.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

1. BIZON G. (1967). Contribution à la connaissance des foraminifères planctoniques d' Epire et des îles Ioniennes depuis le Paléogène supérieur jusqu'au Pliocène. "Technip", Paris, (These).
2. Bornovas J. (1960). Observations nouvelles sur la géologie des zones Préapulienne et Ioniennne.
3. B.P.Co.LTD (1967). Γεωλογικός χάρτης Κεφαλονιάς και Ιθάκης κλ. 1:100.000.
4. B.P.Co.LTD (1971). Γεωλογικά αποτελέσματα εκ της ερεύνης δι' αναζήτησιν πετρελαίων εις δυτικήν Ελλάδα. ΙΓΜΕ "Ειδικά μελέται επί της Γεωλογίας της Ελλάδος" No 10.
5. BRAUNÉ K. and K.O. HEIMANN (1972). Miocene evaporites on the Ionian Islands. *Bul. Geol. Soc. Gr.* V X1, 1973.
6. BRAUNE, F.H. FABRICIUS and K.O. HEIMANN (1973). Sedimentation and Facies of late Miocene strata on Cephalonia / Greece.- In C.W. DROGGER (edit.). "Messinian Events in the Mediterranean" p.p. 192-201, Amsterdam.
7. BRAUNE F.H. FABRICIUS and K.O. HEIMANN (1978). The late miocene evaporitic sequence on the Ionian Islands and geodynamic implication for the eastern Mediteranean sea. "Alps, Apennines, Hellenides" p.p. 529-531.
8. DE MULDER, E.F.J. (1975). Microfauna and sedimentary - tectonic History of the Oligo - Miocene of the Ionian Islands and Western Epirus (Greece). "Utrecht Micropaleont. Bul." 13.
9. FABRICIUS F. (1983). Neogene to Quaternary geodynamics of the area of the Ionian Sea and surrounding land mass.
10. HEIMANN K.O. (1976). The evaporitic - bearing late Miocene on the Ionian Islands. *Mem. Soc.G.It.*, 16, p.p. 319-325.
11. Ι.Γ.Μ.Ε. (1985). Γεωλογικός Χάρτης Κεφαλονιάς, κλ. 1:50.000.
12. JENKINS D.A. (1972). Structural development of Western Greece. *A.A.P.G.* 56/1 p.p. 128-149.
13. JONES W.D.V. (1965). The stratigraphy and Structure of central-western Greece.
14. MAURIN V. and J. ZOTL (1965). Salt Water Encroachment in the low altitude karst water horizons of the Island of Kephallinia. "Hydrology of fractured rocks". Vol. II, Proc. Dubrovnik Symp., p.p. 423-438.
15. MERCIER J., B. BOUSQUET, N. DELIBASSIS, I. DRAKOPOULOS, B. KERAUDREN, F. LEMELLE et D. SOREL (1972). Deformation en compression dans le quaternaire de rivages ioniens (Cephalonie). *Donees neotectoniques et seismiques.* *Boul. Soc. Geol. Gr.* v.X, 1 (1973) και C.R.Ac.Sc.Paris (1972).
16. MONOPOLIS D., A. BRUNETON (1982). Ionian sea (Western Greece). Its strutral outline deduced from drilling and geophysical data. "Tectonophysics" 83.
17. ΝΙΚΟΛΑΟΥ Κ. (1986). Συμβολή στη γνώση του νεογενούς και της Γεωλογίας και Ψηφιακή Βιβλιοθήκη "Θεόφραστος" - Τμήμα Γεωλογίας. Α.Π.Θ.

οριοθέτησης των ζωνών Ιόνιας και Προαπλούλιας σε σχέση με πετρελαιογεωλογικές παρατηρήσεις κυρίως στα νησιά Στροφαδες, Ζάκυνθος, Κεφαλληνία. Διδακτορική διατριβή, Πανεπιστήμιο Αθηνών.

18. SOREL D. (1976). Néotectonic dans l'arc Egéen externe occidental. Univ. Paris XI (These 3^{ème} cycle).
19. UNDERHILL S. (1985). Neogene and Quaternary tectonics and sedimentation in Western Greece. Thesis Ph.D. University of Wales.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ ΥΔΡΟΧΗΜΕΙΑΣ

1. BASSET R.L., M.E. BENTLEY, E.A. DUNCAN and J.A. GRIFFIN (1981). "Predicting the reaction of brines in proposed region of nuclear waste isolation". Scien. Basis for Nucl. Waste Manag., Vol. 3. Ed. by J.G. Moore, pp. 27-34. Plenum Press - N. York and London.
2. BREWER P.G. (1975). "Minor elements in sea water". Chemical Oceanography, 2nd ed., Vol. 1, ed. J.P. Riley and G. Skirrow. Academic Press, New York, pp. 415-496.
3. BUTLER G.P. (1969). "Modern evaporite deposition and geochemistry of coexisting brines, the sabkha, Trucial Coast, Arabian Gulf". J. of Sediment. Petrol., Vol. 39, pp. 70-89.
4. CHAPMAN N.A. (1979). "Geochemical considerations in the choice of a host rock for the disposal of high - level radioactive wastes". Institute of Geological Sciences, Natural Environmental Research Council, Report 79/14, pages 36, Her Majesty's Stationery Office - London.
5. FAITH S., P. SPIEGLER and K.R. REHFELDT (1983). The geochemistry of two pressurized brines from the Castile formation in the vicinity of the Waste Isolation Pilot Plant (WIPP) Site". EEG-21, April, pages 71. Environmental Evaluation Group, Environmental Improvement Division, Health and Environment Department, P.O. Box 968, Santa Fe, New Mexico.
6. GRASBERGEN P. (1981). "Extreme salt concentrations in deep aquifers in the Netherlands". The Science of Total Environment, Vol. 21, pp. 251-259.
7. JOHNSON K.S. (1981). "Dissolution of salt on the East Flank of the Permian Basin in the southwestern U.S.A.". Jour. of Hydrology, Vol. 54, pp. 75-93.
8. KINSMAN D.J.J. (1976). "Evaporites: relative humidity control of primary mineral facies". J. of Sediment. Petrol., Vol. 46, pp. 273-279.
9. KRIGER R.A. (1963). "The chemistry of saline waters". Ground water. Vol. 1, No 4, pp. 7-12.
10. KUMAR M. and J.D. MARTINEZ (1981). "Character of brines from the Belle Isle and Weeks Island salt mines, Louisiana, U.S.A.". Jour. of Hydrology, Vol. 54, pp. 107-140.
11. OZORAY G. (1977). "The Athabasca carbonate and evaporite buried Karst". Karst Hydrogeology (Memoirs of the 12th Congress of the International Association of Hydrogeologists), Vol. XII, p.p. 85-98, Huntsville, Alabama - U.S.A.
12. RAGHUNATH H.M. (1982). Ground water. Wiley Eastern Limited, N. Dethi, Bangalore, Bombay, Calcutta.
13. RILEY J.P. and R. CHESTER (1971). Introduction to Marine Chemistry. Academic press, New York, 465 p.
14. SARMA V.V.J and A.N. SWAMY (1983). "Common composition characteristics of fluoride bearing groundwaters", Water, Air and Soil Pollution, Vol. 20, pp. 29-39.
15. STIFF H.A., Jr. (1951). "The interpretation of chemical water analysis by means of patterns. Jour. Petrol. Tech., Tech. Note 84.
16. VAN EVERDINGEN R.O. (1968). "Studies of formation waters in Western Canada. Geochemistry and hydrodynamics. "Canadian J. of Earth Science, Vol. 5, pp. 523-543.
17. WILSON T.R.S. (1975). "Salinity and the major elements of sea water". Chemical oceanography, 2nd ed., Vol. 1 ed. J.P. Riley and G. Skirrow. Academic Press, New York, pp. 365-413.

Φρονιμάκη Βιβλιοθήκη Θεοφράστου - Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.