

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΝΕΡΟΥ ΤΟΥ ΚΑΡΣΤΙΚΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΟΥ ΟΡΙΖΟΝΤΑ ΝΔ ΤΡΙΦΥΛΙΑΣ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΙΣ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΠΟΥ ΕΠΙΚΡΑΤΟΥΝ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ*

Γ. ΠΑΝΑΓΟΠΟΥΛΟΣ¹, Ν. ΛΑΜΠΡΑΚΗΣ¹

ΣΥΝΟΨΗ

Ο καρστικός υδροφόρος ορίζοντας ΝΔ Τριφυλίας παρουσιάζει σημαντικό πλεόνασμα των υδατικών του αποθεμάτων που οφείλεται στον έντονο φυσικό εμπλουτισμό του από τις διαδικασίες της κατεύθυνσης και της διήθησης νερού από την κοίτη των ποταμοχειμάρων. Έτσι οι αυξημένες αντλήσεις για αρδεύσεις των τελευταίων δέκα ετών φαίνεται να μην έχουν προκαλέσει σημαντικά προβλήματα υποβάθμισης του ποιοτικού και ποσοτικού του χαρακτήρα. Η αυξημένη αλατότητα του καρστικού νερού οφείλεται κυρίως σε πρωτογενείς μηχανισμούς υφαλμύρισης, που προκαλούν μίξη του καρστικού με το θαλασσινό νερό. Οι αυξημένες θερμοκρασίες που παρατηρήθηκαν πιθανόν οφείλονται σε κατεύθυνση μετεωρικού νερού σε μεγάλο βάθος, όπου το νερό θερμαίνεται και κατόπιν ανέχεται στην επιφάνεια διαλύοντας ισθώματα ανυδρίτη.

ABSTRACT

This paper deals with the hydrogeological-hydrochemical conditions of the SW Trifilia karstic aquifer. The geological bedrock of the research area consists from the Eocene limestones and dolomites and the Oligocene flysch of Gravouvi-Tripolitsa zone which are overlying by the Pleiocene and Quaternary recent sediments.

The faulted and folded carbonate sediments comprise an extensive karstic aquifer due to the fissuring and solution processes. The general flow direction of groundwater is N towards S from the Filiatra area towards the Mati coastal karstic spring. The mean hydraulic gradient is 1.1‰ and the mean hydraulic head is more than +10 m.

During last decade, the annual pumping quantities of the aquifer have been dramatically increased because of the large number of the irrigated wells. In the frames of this research, quantitative analysis of the hydrological water balance parameters and detailed piezometric measurements were conducted. These data showed that the karstic aquifer has a positive annual budget due to the high physical recharge from the processes of infiltration and the surface water inflow. The water levels at the wells, have not been changed during the last ten years, that we have information, due to this high recharge and prevents the inland seawater intrusion which can cause the overpumpings from the aquifer.

The hydrochemical conditions of this aquifer were determined with in situ and laboratorial chemical analyses of water samples. These analyses showed increased salinity of the karstic water (mean Cl⁻ concentration is 157 mg/l), which is caused by physical mixing mechanisms of fresh with seawater - mainly at the Mati coastal karstic spring area (Venturi pipes e.t.c.). Increased salt contents are also present due to the significant amounts of the surface water inflows from recent marine sediments (Pleiocene). The relative high temperatures of karstic water (19.7-24.3 °C) are probably caused from upcoming processes of meteoric water. This water infiltrates through fault zones in great depths where becomes warmer and returns upwards dissolving anhydrite beds which is probably the main reason for the increased sulfide concentrations. The evaporitic influence on karstic water chemistry, is presented at the SO₄²⁻-Cl⁻ cross-plot.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Καρστικός υδροφόρος, ισοζύγιο υπόγειων νερών, υπεραντλήσεις, υφαλμύριση, διεύθυνση θαλασσινού νερού, εβαπορίτες

KEY WORDS: Karstic aquifer, water-balance, overpumpings, salinization, seawater intrusion, evaporates

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η περιοχή έρευνας βρίζεται στο ΝΔ τμήμα της επαρχίας Τριφυλίας, Ν. Μεσσηνίας, καταλαμβάνοντας

* INVESTIGATION OF THE GROUNDWATER QUALITY OF THE SW TRIFILIA KARSTIC AQUIFER IN RESPECT WITH THE HYDROGEOLOGICAL CONDITIONS. Πηγάκη Βιβλιοθήκη "Θεόφραστος" - Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.

1. Γεωλογικό Τμήμα Πανεπίου Πατρών, 26500, Ρίο

συνολική έκταση 40 Km² και περιλαμβάνει στα όρια της τους δήμους Φιλιατρών και Γαργαλιάνων.

Το κλίμα της περιοχής χαρακτηρίζεται από Δ και ΒΔ/ζής διεύθυνσης ανέμους, μέση ετήσια θερμοκρασία 16.3 °C ενώ το μέσο ετήσιο ύψος βροχόπτωσης ανέρχεται σε 784.23 mm (Βοχομετρικός σταθμός Γαργαλιάνων).

Πρόκειται για μία καθαρά αγροτική περιοχή με μεγάλες καλλιέργειες θερμοκηπιακών προϊόντων και ελαιοδένδρων, που απαιτούν αυξημένες ποσότητες αρδευτικού νερού. Την τελευταία δεκαετία έχουν ανορθωθεί στην περιοχή εκατοντάδες γεωτρήσεις στον καρστικό υδροφόρο ορίζοντα, κυρίως για την άρδευση των ελαιοδένδρων, που έχει οδηγήσει σε εκρηκτική αύξηση των ετήσιων αντλήσεων.

Ο σκοπός της μελέτης αυτής είναι η περιγραφή και ερμηνεία των υδρογεωλογικών συνθηκών που επικρατούν στον καρστικό υδροφόρο ορίζοντα της ΝΔ Τριφυλίας και η διάκριση – με κατάλληλες υδροχημικές μεθόδους – των κυρίαρχων μηχανισμών που συνεισφέρουν στην αυξημένη αλατότητα του καρστικού νερού.

2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Οι ερευνητικές εργασίες στην περιοχή περιέλαβαν απογραφή των σημείων ύδατος, μετρήσεις της στάθμης του καρστικού υδροφόρου ανά τρεις περιόδους των υδρολογικών ετών 1998-00 και δειγματοληψίες νερού σε συνδυασμό με υπαίθριες και εργαστηριακές χημικές αναλύσεις.

Οι ασταθείς παράμετροι του υπόγειου νερού – θερμοκρασία, pH, ηλεκτρική αγωγιμότητα, δυναμικό οξειδοαναγωγής, διαελυμένο οξυγόνο και CO₂ – μετρήθηκαν επί τόπου στην ύπαιθρο με χρήση ειδικών φορητών συσκευών της HACH. Τα SO₄²⁻ ιόντα μετρήθηκαν με φασματοφωτόμετρο DR/2000 της HACH ενώ τα ιόντα Cl με τη μέθοδο τιτλοδότησης της HACH. Η ανάλυση των κατιόντων Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ και Na⁺ έγινε με τη μέθοδο της ατομικής απορρόφησης.

Η επεξεργασία των αποτελεσμάτων των χημικών αναλύσεων πραγματοποιήθηκε με το υδροχημικό πρόγραμμα CH45 (ΛΑΜΠΡΑΚΗΣ, Ν. 1991).

3. ΓΕΩΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

Το γεωλογικό υπόβαθρο της περιοχής έρευνας συνίσταται από τους Ηωκαινικούς ανθρακικούς σχηματισμούς και τον Ολιγοκαινικό φλύσχη της ζώνης Γαβρόβου-Τριπόλεως, πάνω στους οποίους επικαθόνται με στρωματογραφική ασυμφωνία τα Πλειοκαινικά ιζήματα και οι Τεταρογενείς αλλουβιακές αποθέσεις (σχήμα 1).

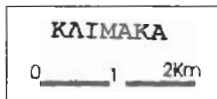
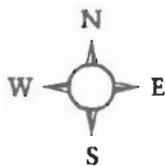
Οι TABITIAN κ.ά (1993) αναφέρουν ότι στη δημιουργία και εξέλιξη της περιοχής πρωταρχικό ρόλο έπαιξαν οι ανοδικές κινήσεις που άρχισαν στο Τυρρήνιο και συνεχίζονται μέχρι σήμερα. Οι κινήσεις αυτές διαπιστώνονται από την παρουσία των Τεταρογενών αναβαθμιδών και της αντικλιτικής δομής των Ηωκαινικών ασβεστόλιθων (KELLETTAT et al., 1976).

Κυρίαρχο ρόλο στη γεωλογική κατασκευή της περιοχής παρουσιάζουν οι «ασβεστόλιθοι Φιλιατρών». Πρόκειται για λευκούς έως τερφούς στρωματώδεις ασβεστόλιθους και δολομιτικούς ασβεστόλιθους με λίγους πυριτόλιθους και με αξιόλογη περιεκτικότητα σε βιτουμένια. Κύριο τεκτονικό χαρακτηριστικό τους είναι η διάταξή τους σε δομή αντικλίνας, του οποίου ο άξονας διευθύνεται ΒΒΔ-ΝΝΑ. Τα στρώματα παρουσιάζουν γενική διεύθυνση ΒΒΔ και μέση κλίση 20° ΒΒΑ.

Οι ασβεστόλιθοι αυτοί παρουσιάζουν αυξημένη καρστικότητα κατά μήκος των μεγάλων ρηγμάτων. Τα πιο χαρακτηριστικά καρστικά φαινόμενα της περιοχής είναι τα ανοιχτά σπήλαια – ενδείξεις παλαιωκατής – που δημιουργήθηκαν από το «σκάψιμο» των κυμάτων που προσέχρουν στη λοφοσειρά και διατηρήθηκαν και μετά τη βαθμιαία ανάδυση της περιοχής.

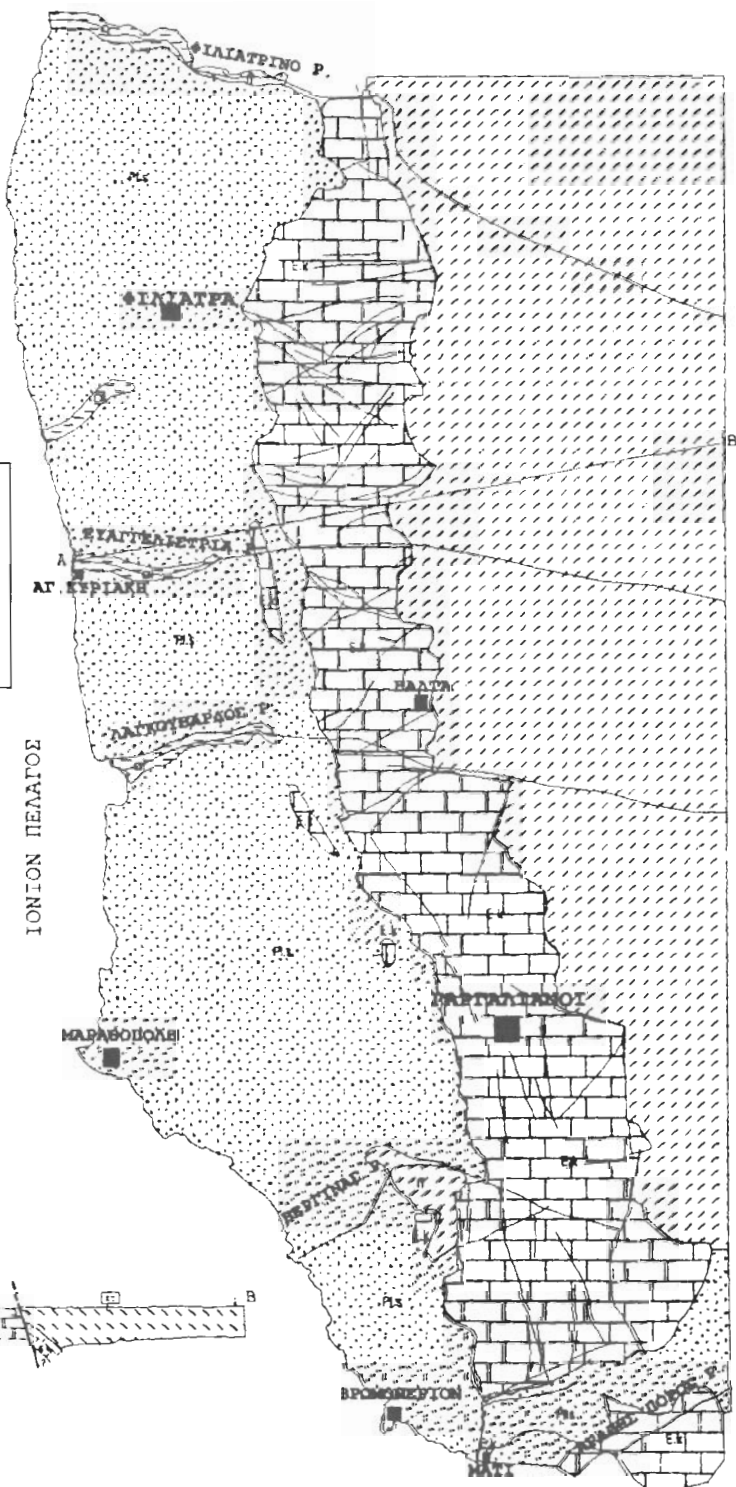
Ο σημαντικότερος υδροφόρος ορίζοντας της περιοχής έρευνας φιλοξενείται στα ανθρακικά ιζήματα της ζώνης Γαβρόβου-Τριπόλεως. Η αυξημένη υδροφορία τους είναι αποτέλεσμα του δευτερογενούς πορώδους, που οφείλεται στη δράση τεκτονικών τάσεων εφελκυσμού και διάτμησης που οδήγησαν στον κατακερματισμό των πετρωμάτων και το σχηματισμό των απαραίτητων αγωγών κυκλοφορίας του καρστικού νερού. Οι διεργασίες αυτές ενισχύονται από τη διαλυτική δράση του καρστικού νερού που προκαλεί τη διεύθυνση των καρστικών αγωγών.

Το νερό των καρστικών πετρωμάτων υφίσταται, την τελευταία δεκαετία, εντατική εκμετάλλευση από τους κατοίκους για αρδευτικούς σκοπούς. Εντούτοις, η εκρηκτική αύξηση των αντλήσεων στην περιοχή δεν φαίνεται να επηρέασε καθόλου τη δίατα του καρστικού υδροφόρου ορίζοντα, όπως προέβλεπε από σταθμημετρήσεις



ΥΠΟΜΝΗΜΑ

	ΑΛΛΟΥΒΙΑΚΕΣ ΑΠΘΕΣΕΙΣ
	ΠΑΛΕΟΚΑΙΝΙΚΑ ΙΖΗΜΑΤΑ
	ΦΛΥΣΧΗΣ ΟΛΙΓΟΚΑΙΝΟΥ
	ΜΕΣΟΚΑΙΝΙΚΟΙ ΑΣΒΕΣΤΟΙΣ
	ΚΑΝΟΝΙΚΟ ΡΗΤΜΑ

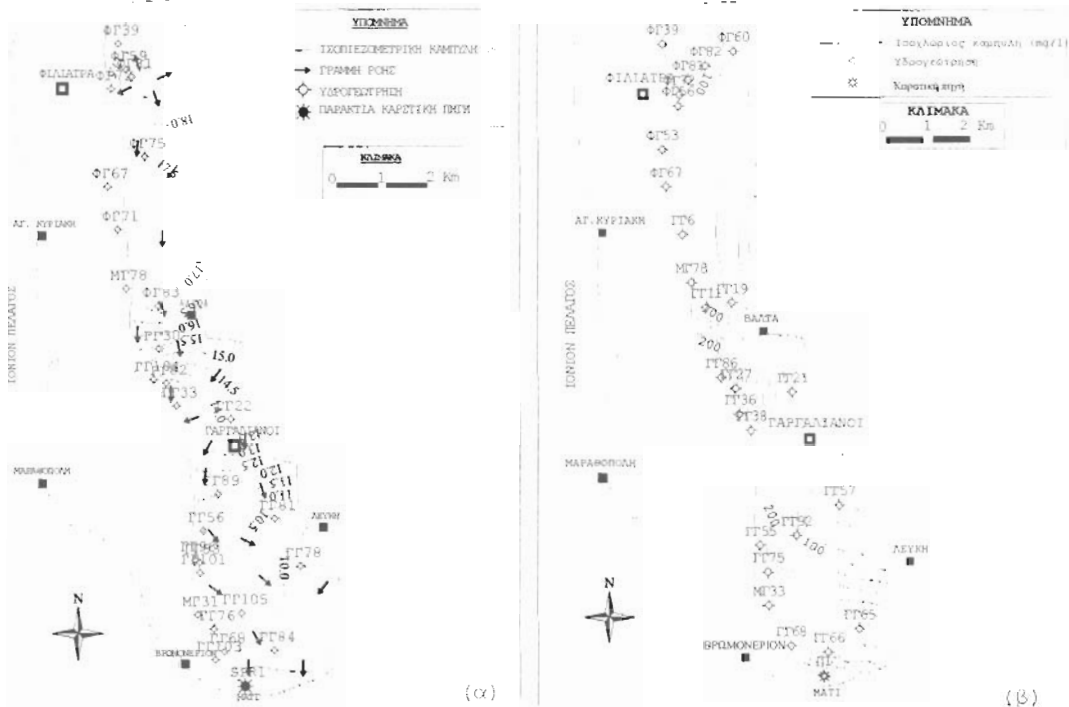


αλλά και το ισοζύγιο υπόγειων νερών που καταρτίστηκε για τον υδροφόρο αυτόν.

Σχήμα 1: Φηφιακή Βιβλιοθήκη Θεοφράστου, Τμήμα Γεωλογίας (Α.Π.Θ. 1980)

3.1 ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Η κατασκευή αξιόπιστων πιεζομετρικών χαρτών στον καρστικό υδροφόρο ορίζοντα της ΝΔ τριφυλίας πραγματοποιήθηκε μετά τη διασφάλιση συνθηκών ηρεμίας του υδροφόρου κατά τη διάρκεια των μετρήσεων και τη διενέργεια χωροσταθμικών μετρήσεων υψηλής ακρίβειας στα σημεία μέτρησης. Στο σχήμα 2α παρουσιάζεται ο πιεζομετρικός χάρτης που αντιστοιχεί στην περίοδο υψηλής στάθμης του καρστικού υδροφόρου



(Απρίλιος 2000).

Σχήμα 2: (α) Πιεζομετρικός χάρτης και (β) χάρτης γεωγραφικής κατανομής των χλωριδίων στον καρστικό υδροφόρο ορίζοντα ΝΔ Τριφυλίας (Μάιος 2000)
 Figure 2: (a) Piezometric map and (b) map of the geographical distribution of chlorides at the SW Trifilia karstic aquifer (May 2000)

- Από τη μελέτη του παραπάνω χάρτη προκύπτουν τα εξής:
- Η γενική διεύθυνση ροής του υπόγειου καρστικού νερού είναι από Β προς Ν προς την περιοχή της παράκτιας καρστικής πηγής Μάτι Γαργαλιάνων. Αποκλίσεις παρατηρούνται στην περιοχή ΒΔ των Γαργαλιάνων, όπου το νερό φαίνεται να κινείται σε μία διεύθυνση περίπου Α προς Δ και στην περιοχή ΒΑ του Βριομονερίου όπου η φορά ζίνησης μετατρέπεται σε ΝΑ.
 - Το υδραυλικό φορτίο του καρστικού υδροφόρου ορίζοντα παρουσιάζει θετικές τιμές σε όλη του την έκταση, ακόμη και στις παράκτιες περιοχές και μειώνεται σταδιακά από την περιοχή των Φιλιατρών προς την περιοχή της παράκτιας καρστικής πηγής Μάτι Γαργαλιάνων, με απόλυτες στάθμες που ξεπερνούν τα +10 m.
 - Η μέση υδραυλική γλίση ανέρχεται σε 1.1‰ και κυμαίνεται από 0.17 έως 3.2‰.
- Από τη σύγκριση διαδοχικών πιεζομετρικών χαρτών από ξηρές και υγρές περιόδους προκύπτει ότι η μέση ετήσια διακύμανση της στατικής στάθμης του καρστικού υδροφόρου ορίζοντα ανέρχεται σε 1.055 m για το Ψηφιακή Βιβλιοθήκη "Θεόφραστος" - Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.

υδρολογικό έτος 1999-00 ενώ για το έτος 1998-99 ανήλθε σε 2.645 m.

3.2 ΙΣΟΖΥΓΙΟ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ

Το ισοζύγιο υπόγειων νερών εκφράζεται από τη σχέση (TODD, D. 1980): Εισροές = Εκροές ± υπόγεια αποθήκευση. Για την περιοχή έφρευνας η σχέση αυτή μπορεί να γραφτεί ως εξής:

$$I_p + I_w = Q_1 + Q_2 + q \pm R_t \text{ όπου}$$

I_p η κατείδουση, I_w η διήθηση από την κοίτη των ποταμοχειμάρων, Q_1 οι υπόγειες εκροές, Q_2 η παροχή της καρστικής πηγής, q οι ετήσιες αντλούμενες ποσότητες νερού και R_t τα ρυθμιστικά αποθέματα.

Η παράμετρος της διήθησης, μέσω της κοίτης του χειμάρρου Λαγκούβαρδου, μετρήθηκε σε ημερήσια βάση, με χρήση μιλίσζου, ως η διαφορά της απορροής στα σημεία εισόδου και εξόδου του χειμάρρου στους ασβεστόλιθους Φιλιατρών. Από τις μετρήσεις αυτές εκτιμήθηκε και ο συντελεστής κατείδουσης των ασβεστόλιθων, που ανέρχεται στο 50% της ετήσιας βροχοπτώσης. Η παροχή της καρστικής πηγής Μάτι Γαργαλιάνων προσδιορίστηκε με μετρήσεις μιλίσζου, οι ετήσιες αντλούμενες ποσότητες νερού από στοιχεία που χορηγήθηκαν από τον Τ.Ο.Ε.Β Φιλιατρών και από στοιχεία των ιδιοκτητών των γεωτρήσεων ενώ τα ρυθμιστικά αποθέματα από τα δεδομένα των πιεζομετρικών μετρήσεων. Τέλος, οι υπόγειες εκροές προσδιορίστηκαν ως η διαφορά μεταξύ των συνολικών εισροών και εκροών από την υδρογεωλογική λεκάνη. Στον πίνακα 1 που ακολουθεί παρουσιάζεται το ισοζύγιο υπόγειων νερών του καρστικού υδροφόρου οριζοντα για το υδρολογικό έτος 1999-2000.

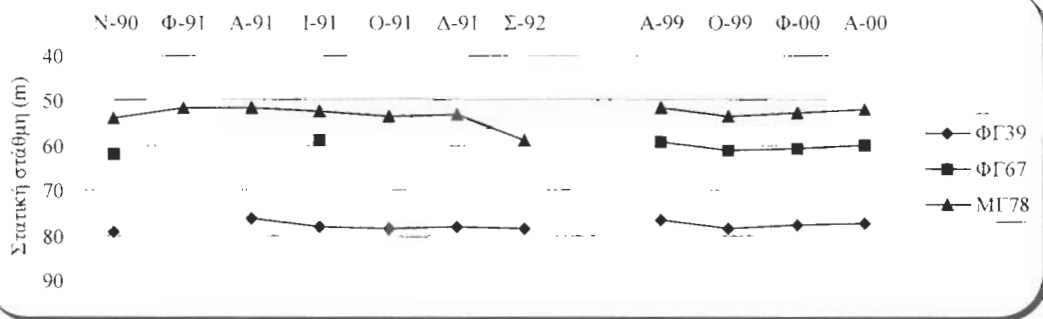
Πίνακας 1: Ισοζύγιο υπόγειων νερών του καρστικού υδροφόρου οριζοντα ΝΑ Τριφυλίας για το υδρολογικό έτος 1999-2000 (m³)

Table 1: Hydrogeological water balance of SW-Trifilia karstic aquifer for the

Υδρολογικό Έτος	Εκτασή (Km ²)	I_p (x 10 ⁶)	I_w (x 10 ⁶)	Q_1 (x 10 ⁶)	Q_2 (x 10 ⁶)	Q (x 10 ⁶)	R_t (x 10 ⁶)
1999-2000	40	11.64	4.14	4.83	0.15	10.8	0.84

hydrological year 1999-2000 (m³)

Από το ισοζύγιο αυτό φαίνεται καθαρά ότι ο συνολικός ετήσιος φυσικός εμπλουτισμός του υδροφόρου οριζοντα είναι μεγαλύτερος από τις ετήσιες αντλήσεις, γεγονός που εξηγεί τη χρονικά σταθερή πορεία της πιεζομετρικής του επιφάνειας (σχήμα 3). Η διαφορά εισροών και εκροών του ισοζυγίου αντιστοιχεί στην



ποσότητα του καρστικού νερού που εκρέει υποθαλάσσια από τον υδροφόρο.

Σχήμα 3: Χρονική εξέλιξη των επιπέδων στάθμης σε κρατικές γεωτρήσεις Φιλιατρών
Figure 3: Temporal evolution of the water levels at the Filiatra public wells

4. ΥΔΡΟΧΗΜΕΙΑ

Προκειμένου να διερευνηθεί ο γεωχημικός χαρακτήρας του καρστικού νερού πραγματοποιήθηκαν ετεταγμένες δειγματοληψίες σε 4 συνολικά υδρολογικές περιόδους των ετών 1999-2000 και χημική ανάλυση των φυσικοχημικών του παραμέτρων επί τόπου στην ύπαιθρο και των αντίστοιχων χημικών του στο εργαστήριο Υδρογεωλογίας του Πανεπιστημίου Πατρών.

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

Στον πίνακα 2 που ακολουθεί απεικονίζεται η στατιστική ανάλυση των κυριότερων φυσικοχημικών παραμέτρων του καρστικού νερού (ελάχιστη, μέγιστη και μέση τιμή καθώς και η τυπική τους απόκλιση).

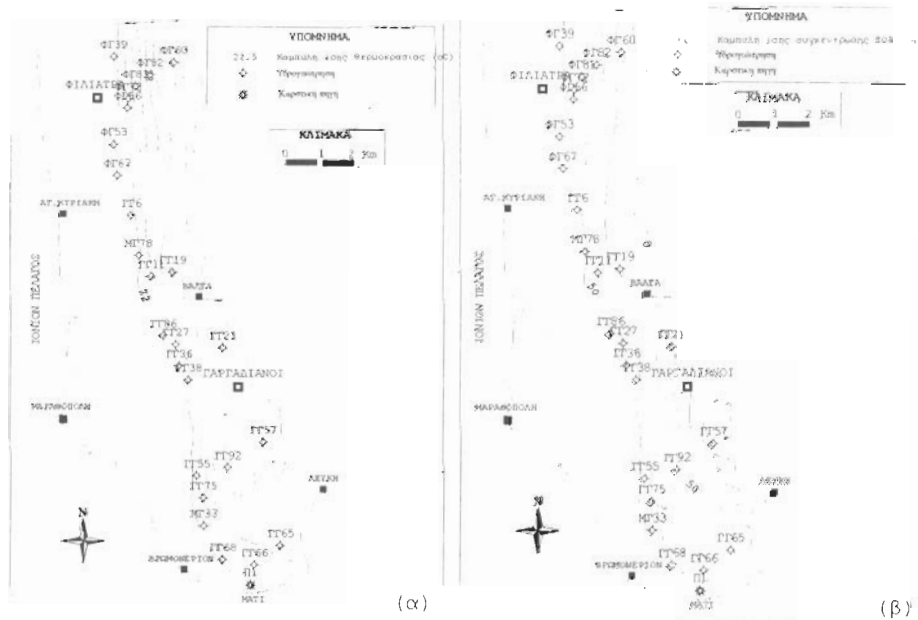
Πίνακας 2: Στατιστικά υδροχημικά χαρακτηριστικά του καρστικού υδροφόρου οριζοντα (Μάιος 2000). T: Θερμοκρασία (°C), Eh: Δυναμικό οξειδοαναγωγής (mV), EC: Ηλεκτρική αγωγιμότητα (μS/cm). Ιοντικές συγκεντρώσεις σε mg/l
Table 2: Statistical hydrochemical characteristics of the karstic aquifer (May 2000). T: Temperature (°C), Eh: Redox potential, EC: electrical conductivity (μS/cm). Ionic concentrations in mg/l

	T	pH	Eh	DO ₂	CO ₂	EC	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻
Min	19.7	7.28	-1	1.02	24	681	17.4	72.1	11	0.13	18	0
Max	24.3	8.15	276	5.3	135	2290	51.5	165	218	8.03	338	124
Aver	21.8	7.65	139	2.92	68.1	1440	36.8	103	92.8	3.88	157	53.9
St.D	1.15	0.23	71.5	1.36	27.7	427	8.15	21.7	56.1	1.96	98	30.6

conductivity (μS/cm). Ionic concentrations in mg/l

Στο σχήμα 2β παρουσιάζεται η χωρική κατανομή των χλωριόντων στον καρστικό υδροφόρο οριζοντα, ενός στοιχείου που σχετίζεται άμεσα με τις διαδικασίες της υφαλμύρισης. Από το σχήμα αυτό φαίνεται ότι οι συγκεντρώσεις των χλωριόντων αυξάνονται γενικά κατά τις διευθύνσεις Β προς Ν και Α προς Δ, που συμπίπτουν και με τη διεύθυνση ροής του υπόγειου νερού.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι μετρήσεις της θερμοκρασίας του καρστικού νερού, οι οποίες κυμαίνονται από 19.7 έως 24.3 °C (σχήμα 4α). Οι μικρότερες τιμές απαντώνται στο ανατολικό τμήμα του υδροφόρου, το οποίο και γενικά χαρακτηρίζεται από νερό Ca²⁺-HCO₃⁻ τύπου ενώ οι μεγαλύτερες τιμές στο βόρειο τμήμα, δηλαδή στην ευρύτερη περιοχή Φιλιατρών. Οι αυξημένες αυτές τιμές της θερμοκρασίας μπορούν να αποδοθούν σε κατεύθυνση μεταωριζού νερού σε μεγάλα βάθη μέσω ρηγμάτων, όπου θερμαίνεται, εμπλουτίζεται σε συστατικά του υποβάθρου και κατόπιν ανέρχεται και αναμειγνύεται με το καρστικό νερό. Κατά την άνοδο του διαλύει στρωμάτια ανυδρίτη και εμπλουτίζεται σεθειικά ιόντα ενώ η παρουσία H₂S (περιοχή Βρωμονερίου) οφείλεται στην αναγωγή των SO₄²⁻ ιόντων, όπως συμβαίνει και σε άλλες περιοχές της δυτικής Πελοποννήσου (KALLERGIS, G. & LAMBRAKIS, N. 1992). Τα στρωμάτια ανυδρίτη αυτά έχουν διατηρηθεί σε

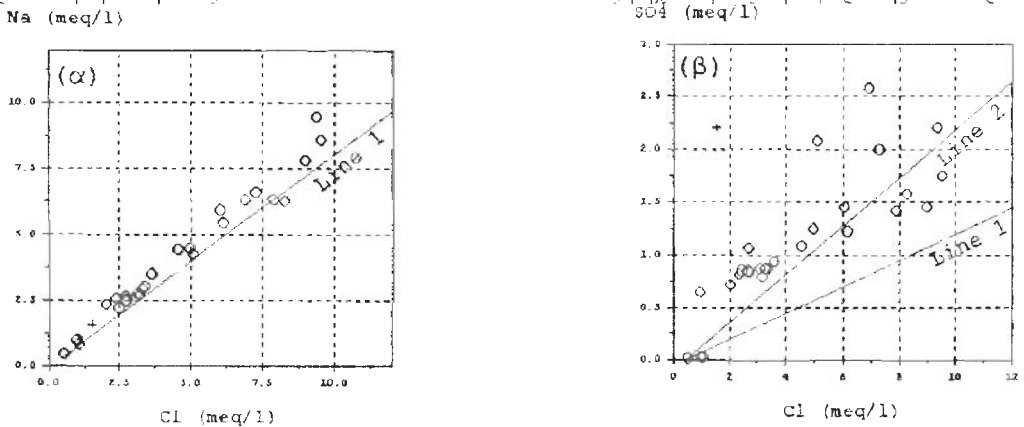


γεώτερη βάθους 3754 m της B.P στην περιοχή Φιλιατρών (ΚΑΜΠΕΡΗΣ, Ε. 1987).

Σχήμα 4: (α) Γεωγραφική κατανομή της θερμοκρασίας και (β) των θειικών ιόντων
 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστου - Τμήμα Γεωλογίας, Αθήνα 2000
Figure 4: (a) Geographical distribution of temperature and (b) sulfides at the

Προκειμένου να διαχωριστούν, οι υδροχημικοί μηχανισμοί που συνεισφέρουν στην υφαλίμωση του καρστικού νερού χρησιμοποιήθηκαν τα διαγράμματα ιοντικών συγγεντώσεων (cross-plots) $\text{Na}^+ - \text{Cl}^-$ και $\text{SO}_4^{2-} - \text{Cl}^-$, μία μέθοδος που έχει εφαρμοστεί με επιτυχία σε ανάλογες περιπτώσεις από διάφορους ερευνητές (TELLAM, J. H. & LLOYD, J. W. 1986, FIDELIBUS, M.D. & TULIPANO, L. 1990, SANCHEZ MARTOS, F. et al., 1999). Στο σχήμα 5α παρουσιάζεται το διάγραμμα $\text{Na}^+ - \text{Cl}^-$, από το οποίο προκύπτει η γραμμική συσχέτιση των δύο αυτών ιόντων, που δηλώνει την κοινή προέλευσή τους. Η προέλευσή τους έχει άμεση σχέση με το θαλασσίνο νερό, δεδομένου ότι τα δείγματα διατάσσονται σχεδόν παράλληλα με τη γραμμή μίξης και θαλασσίνο νερού (Line 1).

Αντίθετα από το σχήμα 5β προκύπτει ότι τα SO_4^{2-} ιόντα δεν προέρχονται από μηχανισμούς μίξης γλυκού και θαλασσίνο νερού αφού όλα τα δείγματα διατάσσονται πάνω από την αντίστοιχη γραμμή μίξης (Line 1). Η διάταξη των ιόντων πολύ κοντά στη γραμμή μίξης 2 (Line 2) υποδηλώνει ότι το καρστικό νερό έχει έρθει σε επαφή με εβαποριτικά στρώματα, από τα οποία έχει εμπλουτιστεί σε θειικά ιόντα. Η παρατήρηση αυτή σε συνδυασμό με τη γεωγραφική κατανομή των ιόντων αυτών (σχήμα 4β, από την οποία φαίνεται η αυξημένη συγγέντρωσή τους σε όλη την έκταση του υδροφόρου ορίζοντα - με αιχμή τιμών στην ευρύτερη περιοχή Βρωμονερίου - και τις αυξημένες τιμές θερμοκρασίας του καρστικού νερού, δείχνει ότι η κατείδωση μετεωριστού νερού σε μεγάλο βάθος αποτελεί πολύ πιθανόν έναν από τους μηχανισμούς υφαλίμωσης του καρστικού



υδροφόρου ορίζοντα.

Σχήμα 5: Διαγράμματα ιοντικών συγγεντώσεων (α) $\text{Na}^+ - \text{Cl}^-$ και (β) $\text{SO}_4^{2-} - \text{Cl}^-$ στον καρστικό υδροφόρο ορίζοντα ΝΔ Τριφυλίας Μάιος 2000). ο: καρστικό νερό, +: χείμαρρος Λαγούβαδος. Line 1: Γραμμή μίξης γλυκού θαλασσίνο νερού, Line 2: Γραμμή μίξης γλυκού νερού και νερού εβαποριτικών ιζημάτων.

Figure 5: Cross-plots (a) $\text{Na}^+ - \text{Cl}^-$ and (b) $\text{SO}_4^{2-} - \text{Cl}^-$ in the SW Trifilia karstic aquifer (May 2000). ο: karstic water, +: Lagouvardos stream. Line 1: Fresh water - sea water mixing line, Line 2: Mixing line of fresh water with water of evaporitic sediments

Σημαντικό ρόλο επίσης στην αυξημένη αλατότητα του καρστικού νερού παίζει και η διήθηση μεγάλων ποσοτήτων νερού ετησίως από την κοίτη των ποταμοχειμάρρων της περιοχής ($4.14 \times 10^6 \text{ m}^3$). Το νερό των χειμάρρων αυτών παρουσιάζει υψηλές τιμές Ca^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , SO_4^{2-} και Cl^- , λόγω απόπλυσης των Πλειοκαινικών θαλασσίων ιζημάτων (ασβεστοφαιμίτες), με αποτέλεσμα να συμβάλλει στην αύξηση των τιμών της αλατότητας του καρστικού νερού.

Η συμμετοχή του θαλασσίνο νερού στις υδροχημικές διαδικασίες υφαλίμωσης του καρστικού υδροφόρου ορίζοντα δια μηχανισμών π.χ. σωλήνων Venturi ή παρόμοιων, φαίνεται πολύ πιθανή. Η ανάμιξή του με το γλυκό νερό δεν προκαλείται όμως από τη γνωστή διαδικασία μείωσης ή αναστροφής της φυσικής υδραυλικής κλίσης του υδροφόρου προς τη θάλασσα που προκαλούν οι έντονες αντλήσεις σε παράλιες περιοχές (ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ, Π. & ΜΑΚΡΗΣ, Α., 1993 και ΤΑΒΙΤΙΑΝ, C. & ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ, Π., 1994). Αντίθετα, φαίνεται να υπάχει μηχανισμός υφαλίμωσης που προκύπτει από την επαφή του καρστικού νερού, τουλάχιστον όσον αφορά την παράλια υφαλίμωση καρστική πηγή Μάτι Γαργαλιάνων. Το ίδιο είναι πιθανόν να συμβαίνει και στο

δεύτερο μεγάλο μετώπο υφαλιμύρωσης ΝΔ της Βάλτας (βλ. σχήμα 2β), όπου υπάρχει και το μεγάλο κατακόρυφο ρήγμα του Λαγζούβαδου.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η υδρογεωλογική έρευνα στον χαροσιζό υδροφόρο ορίζοντα ΝΔ Τριφυλίας έδειξε τα εξής:

- Υπάρχει πλεόνασμα στο ισοζύγιο εισροών-εξροών στον χαροσιζό υδροφόρο ορίζοντα ΝΔ Τριφυλίας. Εξαιτίας του αυξημένου αυτού φυσικού εμπλουτισμού, οι έντονες αντλήσεις της τελευταίας δεκαετίας ($10.8 \times 10^6 \text{ m}^3$ ετησίως) δεν φαίνεται να έχουν προκαλέσει περαιτέρω προβλήματα ποιοτικής υποβάθμισης του χαροσιζού νερού.
- Παρατηρήθηκαν αυξημένες θερμοκρασίες του υπόγειου χαροσιζού νερού, ιδιαίτερα στην περιοχή Φιλιατρών, που αποτελούν ένδειξη κατείδυσης μετωριζού νερού σε μεγάλο βάθος και διάλυσης σιταταζών του υποβάθρου. Οι σχετικά αυξημένες συγκεντρώσεις θεϊκών ιόντων πιθανόν να οφείλονται σε διάλυση εβατοριζών στρωμάτων, που υπάρχουν σε μεγάλο βάθος στην περιοχή, όπως φάνηζε από την ανάλυση του διαγράμματος $\text{SO}_4^{2-} - \text{Cl}$.
- Η διείδυση του θαλασσινού νερού στον χαροσιζό υδροφόρο ορίζοντα δεν προκαλείται από ανθρωπίνες επεμβάσεις (υπεραντλήσεις) αλλά πρωτογενώς από φυσικούς μηχανισμούς επιζωονίας του γλυκού με το αλμυρό νερό.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα έρευνα χρηματοδοτήθηκε από την Επιτροπή Ερευνών του Πανεπιστημίου Πατρών στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος «Διερεύνηση των υδροχημικών μηχανισμών υφαλιμύρωσης των παράκτιων υδροφόρων οριζώντων».

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- FIDELIBUS, M.D. & TULIPANO, L. 1990. *Major and minor ions as natural tracers in mixing phenomena in coasta carbonates aquifers of the Apulia*. Proceedings of the 11th Salt Water Intrusion Meeting, 283-293.
- Γ.Γ.Μ.Ε. 1980. *Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδας 1:50.000, Φύλλο Φιλιατρά*.
- KALLERGIS, G. & LAMBRAKIS, N. 1992. *Contribution à l' étude des sources thermominérales de Kaiafa*. Hydrogéologie, 3, 127-136.
- ΚΑΜΠΕΡΗΣ, Ε. 1987. *Γεωλογική και Πετρελαιολογική μελέτη της ΒΔ Πελοποννήσου*. Διδακτορική διατριβή, Ε.Μ.Π., σελ. 143.
- KELLETTAT, D., KOWALCZYC, G., SCHRÖDER, B. & WINTER, K.P. 1976. *A synoptic view on the neotectonic development of the Peloponnesian coastal region*. Z. dt. geol. Ges. 127, Hannover, 447-465.
- ΛΑΜΠΡΑΚΗΣ, Ν. 1991. *Επεξεργασία των δεδομένων αναλύσεων των νερών*. Ορυκτός Πλούτος, 74, 53-60.
- ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ, Π. & ΜΑΚΡΗ, Α. 1993. *Φαινόμενα υφαλιμύρωσης και δυναμότητες ορθολογικής διαχείρισης σε παράκτιους υδροφόρους της ΝΔ και της ΝΑ Πελοποννήσου*. Πρακτικά 2^{ου} Πανελληνίου Υδρογεωλογικού Συνεδρίου, 821-841.
- SANCHEZ MARTOS, F., PULIDO BOSCH, A. & CALAFORRA, J. 1999. *Hydrochemical processes in an arid region Europe (Almeria, SE Spain)*. Applied Geochemistry, 14, 735-745.
- ΤΑΥΠΤΙΑΝ, C. & ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ, Π. 1994. *Aspects of groundwater salinization in Filiatra limestones*. Bulletin of the Geological Society of Greece, XXX/4, 201-210.
- TELLAM, J.H. & LLOYD, J. W. 1986. *Problems in the recognition of seawater intrusion by chemical means: an example of apparent chemical equivalence*. Quarterly Journal of Engineering Geology, 19, 389-398.
- TODD, D. 1980. *Groundwater Hydrology*, 535pp. (John Wiley & Sons, 2nd edition).
- TABITIAN, K., ΘΗΝΙΑΚΟΣ, Α. & ΚΑΛΛΕΡΓΗΣ, Γ. 1993. *Συντελεστής διήθησης στις κοίτες των χερμύρων σε Ηωζαινιζούς ασβεστόλιθους της ζώνης Τριπόλεως στη Δ. Τριφυλία*. Πρακτικά 2^{ου} Υδρογεωλογικού Συνεδρίου, 447-460.