

ΠΟΙΟΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ ΤΩΝ ΥΔΡΟΦΟΡΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ ΤΟΥ ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΔΙΑΜΕΡΙΣΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ (ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΙΣ ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ-ΜΑΡΜΑΡΑ).*

ΔΑΣΚΑΛΑΚΗ Π.¹

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στη παρούσα εργασία εξετάζεται ο υδροχημικός χαρακτήρας των υπόγειων υδάτων των υδροπερατών σχηματισμών του υδατικού διαμερισματος της ανατολικής Μακεδονίας, με βάση τα αποτελέσματα 76 χημικών αναλύσεων από ισάριθμες θέσεις δειγματοληψίας, οι οποίες πραγματοποιήθηκαν κατά το χρονικό διάστημα 1980-1996.

Μελετώνται δέκα (10) υδροχημικές παράμετροι, pH, EC, Ca, Mg, Na, K, Cl, NO₃, SO₄, HCO₃ και παράλληλα πραγματοποιείται στατιστική επεξεργασία των υδροχημικών δεδομένων με σκοπό την ανίχνευση εσωτερικών σχέσεων μεταξύ των υπολογισθέντων υδροχημικών παραμέτρων.

ABSTRACT

The hydrochemical character of groundwaters of permeable formations of east Macedonia is studied, based on the chemical analyses of 76 water samples taken from equal in number sites, for a 16-years period (1980-1996).

Ten (10) hydrochemical parameters pH, EC, Ca, Mg, Na, K, Cl, NO₃, SO₄, HCO₃ are studied, while a statistical method is applied to the hydrochemical data in order to find any probable relationships among the hydrochemical parameters.

KEY WORDS: Υδροχημεία, Στατιστική, Υπόγεια ύδατα, Groundwater, Hydrochemistry, Statistic.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το υδατικό διαμέρισμα της ανατολικής Μακεδονίας έχει έκταση 7.791 km² και συνορεύει δυτικά με τους ορεινούς όγκους του Μαυροβουνίου, του Βερτίσκου και των Κροθιγλίων, ανατολικά με τους ορεινούς όγκους Φαλακρού, Ορβήλου και των ορέων της Λεκάνης, βόρεια με τη Βουλγαρία και νότια βρέχεται από το Θρακικό πέλαγος.

Το διαμέρισμα γεωγραφικά περιλαμβάνει το νομό Σερρών και τμήματα των νομών Καβάλας και Δράμας.

Το μεγαλύτερο μέρος του υδατικού διαμερισματος της ανατολικής Μακεδονίας καταλαμβάνεται από τη λεκάνη του ποταμού Στρυμόνα, που έχει συνολική έκταση 16.550 km² και διαιρείται σε τρεις υπολεκάνες: α) των Σερρών, β) της Δράμας και γ) του Νεροκοπιού.

* HYDROCHEMISTRY OF GROUNDWATERS OF PERMEABLE FORMATIONS IN THE WATER DISTRICT OF EAST MACEDONIA (QUATERNARY DEPOSITS-MARBLES)

¹ Γεωλόγος-Υποψήφιος διδάκτορας, Εργαστήριο Υδρογεωλογίας, Τμήμα Γεωλογίας, Πανεπιστήμιο Πατρών, 26110, Ρίο, Πατράς. Ψηφιακή Βιβλιοθήκη "Θεόφραστος" - Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.

Ο ποταμός Στρυμόνας έχει δύο κλάδους τροφοδοσίας εκτός Ελλάδας, στη Βουλγαρία και στην πρώην Γιουγκοσλαβία, διασχίζει τη λεκάνη των Σερρών και εκβάλλει στον κόλπο Ορφανού, στο Θρακικό πέλαγος.

Κατά τη διαδρομή του δέχεται τα επιφανειακά νερά του ποταμού Αγγίτη, ο οποίος αποστραγγίζει τη λεκάνη της Δράμας και του Νευροκοπίου. Παλαιότερα τα νερά του Στρυμόνα σχημάτιζαν τη λίμνη του Αχινού, η οποία όμως αποξηράθηκε και μετατράπηκε σε καλλιεργήσιμη γη. Το γεγονός αυτό οδήγησε στη δημιουργία της τεχνητής λίμνης της Κερκίνης.

Το διαμέρισμα της ανατολικής Μακεδονίας αποστραγγίζεται επίσης από τον ποταμό Μαρμαρά και ορισμένα μικρότερα ρέματα που βρίσκονται στο νότιο τμήμα του.

Στην ανατολική Μακεδονία ο μεγαλύτερος αριθμός βιομηχανικών μονάδων λειτουργεί στο νομό Σερρών γύρω από την ομώνυμη πόλη. Στους νομούς Δράμας και Σερρών υπάρχουν οριοθετημένες βιομηχανικές περιοχές. Οι βιομηχανίες που λειτουργούν είναι στο μεγαλύτερό τους ποσοστό βιομηχανίες μεταποίησης και συσκευασίας αγροτικών προϊόντων. Αποδέκτης των αποβλήτων των βιομηχανιών είναι κατά κύριο λόγο η επιφανειακή απορροή του διαμερίσματος, γεγονός που θέτει σε κίνδυνο τους υπόγειους υδροφόρους.

2. ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Το υδατικό διαμέρισμα της ανατολικής Μακεδονίας καταλαμβάνεται κυρίως από τη Σερβομακεδονική μάζα και τη μάζα της Ροδόπης. Αναλυτικότερα οι γεωλογικοί σχηματισμοί που δομούν το διαμέρισμα της ανατολικής Μακεδονίας διακρίνονται στις παρακάτω ενότητες (Μουντράκης 1985, Κατσιάτσος 1992):

α. Τεταρτογενείς αποθέσεις, που διακρίνονται: α) σε αλλουβιακές οι οποίες συνιστώνται κυρίως από υλικά αμμόδη, αργιλικά και αμμοχαλικώδη τα οποία έχουν μεταφερθεί από τους ποταμούς και τους χειμάρρους της περιοχής και β) διλουβιακές που αποτελούνται βασικά από λατυποκροκαλοπαγή και είναι σχηματισμοί παλαιών πλευρικών κορημάτων.

β. Τριτογενείς αποθέσεις: Νεογενή, που αποτελούνται από μάργες, ψαμίτες και λατυποκροκαλοπαγή που ανήκουν σε ποικίλες φάσεις σχηματισμού (θαλάσσια, υφάλμυρα, λιμναία). Η επιφανειακή ανάπτυξη του Νεογενούς είναι μεγάλη τόσο στις λεκάνες των Σερρών και Δράμας όσο και στη λεκάνη του Νευροκοπίου.

γ. Παλαιοζωϊκοί σχηματισμοί, που καταλαμβάνουν μεγάλο τμήμα του υδατικού διαμερίσματος της ανατολικής Μακεδονίας.

Συγκεκριμένα, στο δυτικό τμήμα της λεκάνης του Στρυμόνα επικρατούν σχιστόλιθοι, αμφιβολίτες και γνεύσιοι (Σερβομακεδονική μάζα) ενώ στο ανατολικό τμήμα επικρατούν μάραμα (μάζα της Ροδόπης).

δ. Μαγματικά πετρώματα. Οι εκρηξιγενείς σχηματισμοί αντιπροσωπεύονται από διάφορου τύπου και ηλικίας πετρώματα (γρανίτες Κρητιδικού και Ηνωμένου, ρυόλιθοι Πλειο-Πλειστόκαινου και περιδοτίτες Παλαιοζωϊκού) και καταλαμβάνουν μεγάλη έκταση μέσα στο χώρο της λεκάνης του ποταμού Στρυμόνα.

3. ΥΔΡΟΛΟΓΙΑ-ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ.

Το ύψος βροχής παρουσιάζει μία άνιση κατανομή σε όλη την έκταση του διαμερίσματος της ανατολικής Μακεδονίας, με τις μεγαλύτερες τιμές στους ορεινούς όγκους Βροντούς, Μπελές, Μενοϊζίου, Αγκιστρού, Φαλακρού, Λεκάνης και Παγγαίου. Το μέσο ετήσιο ύψος βροχής στο πεδινό τμήμα είναι 600 mm.

Η κατεύθυνση των νερών της βροχής και του χιονιού είναι μεγάλη στα ανθρακικά πετρώματα ενώ στους υπόλοιπους γεωλογικούς σχηματισμούς, στις ορεινές και ημιορεινές περιοχές, είναι μικρή. Η κατεύθυνση στα μήομαα και στα διλουβιακά κροκαλοπαγή υπερβαίνει το 50 % των ατμοσφαιρικών καταπονημισημάτων.

Στο δυτικό και βόρειο τμήμα του διαμερισματος η επιφανειακή απορροή είναι μεγαλύτερη από ότι στο ανατολικό στο οποίο επικρατούν οι σχηματισμοί των μαρμάρων.

Οι απώλειες νερού λόγω εξατμισοδιαπνοής είναι μεγάλες τόσο στα πεδινά, όσο και στα ορεινά-ημιορεινά τμήματα του υδατικού διαμερισματος της ανατολικής Μακεδονίας, σε όλους τους σχηματισμούς εκτός των κρυσταλλικών.

Τα υδρορεύματα κατά την πορεία τους στα πεδινά του διαμερισματος τροφοδοτούν τους υπόγειους υδροφόρους. Οι κυριότεροι υδροφόροι ορίζονται αναπτύσσονται:

α) Στις τεταρτογενείς αποθέσεις των λεκανών Σερρών, Δράμης, Νευροκοπίου καθώς και της λεκάνης του ποταμού Μαρμαρά. Η υπόγεια υδροφορία αυτών είναι πολύ πλούσια τόσο στους ανώτερους όσο και στους κατώτερους ορίζοντες.

β) Στα μάρμαρα της ζώνης Ρίλα-Ροδόπης. Στο σύνολό τους είναι κατακεραματισμένα, υδροπερατά, με μεγάλο συντελεστή κατείδυσης. Τα μάρμαρα παρουσιάζουν καθολική σχεδόν ανάπτυξη στο ανατολικό τμήμα του διαμερισματος και αποτελούν το σημαντικότερο παράγοντα στην εκδήλωση των πηγών του τμήματος αυτού. Στο δυτικό τμήμα όπου η επιφανειακή ανάπτυξη των μαρμάρων είναι πολύ μικρή, αυτά δεν επηρεάζουν τις υδρογεωλογικές συνθήκες της περιοχής σε εννύ φάσμα, εκτός από ορισμένες τοπικές και μεμονωμένες περιπτώσεις (περιοχή Ορέσσειας).

4. ΥΔΡΟΧΗΜΕΙΑ

Στα πλαίσια της υδροχημικής μελέτης των υδροπερατών σχηματισμών του υδατικού διαμερισματος της ανατολικής Μακεδονίας (Τεταρτογενείς αποθέσεις, Μάρμαρα), σχεδιάστηκε αρχικά ο αντίστοιχος υδρολιθολογικός χάρτης (Σχήμα 1).



Εικόνα 1: Υδρολιθολογικός χάρτης του υδατικού διαμερισματος της ανατολικής Μακεδονίας.

Figure 1: Hydrogeological map of the water district of east Macedonia.

Στη συνέχεια επιλέχθηκαν 76 σημεία (Σχήμα 2) δειγματοληψίας από πηγές, και γεωτρήσεις, που καλύπτουν όλη την περιοχή έρευνας και συγκεντρώθηκαν οι αντίστοιχες χημικές τους αναλύσεις οι οποίες πραγματοποιήθηκαν από το Υπουργείο Γεωργίας, το Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτι-

ζών Ερειμών (I.T.M.E.) (Κυθάζης, 1983), το Πανεπιστήμιο Αθηνών και το εργαστήριο Υδρογεωλογίας του Γεωλογικού τμήματος του Πανεπιστημίου Πατρών, κατά το χρονικό διάστημα 1980-1996.

α. **Τεταρτογενείς αποθέσεις.** Σύμφωνα με τα δεδομένα του Πίνακα 1 όπου παρουσιάζονται οι αναλύσεις των δειγμάτων στα Τεταρτογενή επιζωάεστερα από τα κατιόντα και τα ανιόντα είναι αυτά του αββεστίου και της όξινης ανθρακικής οξέας αντίστοιχα, γεγονός που δηλώνει ότι τα νερά γενικά είναι δισανθρακικά αββεστούχα (Καλλέργης 1986, Λαμπράκης 1991).

Οι συγκεντρώσεις των ιόντων Na^+ και K^+ ομαδοποιούνται σε μία κατηγορία $\text{Na}^+=0.5$ meq/l και $\text{K}^+=0.025$ meq/l. Εξαιρέση αποτελούν τα δείγματα των γεωτρήσεων Γ7, Γ8, Γ76, που εμφανίζουν υψηλές συγκεντρώσεις νατρίου ($\text{Na}^+=8-11$ meq/l), εκτός των επιτρεπτόν ορίων ($\text{Na}^+=6.5$ meq/l) πιθανώς λόγω των θέσων τους κοντά στον ποταμό Στρομηώνα (Γ7, Γ8) και στον Κόλπο Ορφέων (Γ76). Η τροφοδοσία των υπόγειων υδροφόρων των τεταρτογενών αποθέσεων από τον ποταμό Στρομηώνα (Γ7, Γ8) και η διάδοση του θαλασσινού νερού (Γ76), προκαλούν αλλαγή στη χημική σύσταση των νερών.

Στα περισσότερα δείγματα, οι συγκεντρώσεις του χλωρίου και των ιόντων της θειικής οξέας κυμαίνονται σε χαμηλά επίπεδα και μέσα στα επιτρεπτά όρια ποιότητας ($\text{Cl}^-=5.64$ meq/l, $\text{SO}_4^{2-}=5.2$ meq/l). Μοναδική εξαιρέση αποτελεί η γεώτρηση Γ76 ($\text{Cl}^-=9.01$ meq/l), υποδηλώνοντας την είσοδο του θαλασσινού νερού στην ενδοχώρα.

Από τον Πίνακα 1, παρατηρείται ότι οι συγκεντρώσεις των ιόντων αββεστίου και μαγνησίου κυμαίνονται μέσα στα επιτρεπτά όρια ποιότητας σε όλα σχεδόν τα δείγματα ($\text{Mg}^{2+}=4.11$ meq/l, $\text{Ca}^{2+}=4.99$ meq/l) εκτός από αυτά των γεωτρήσεων Γ78, Γ80, Γ81, Γ83, Γ84, Γ86, Γ88, Γ89, Γ90, Γ91, Γ93, Γ94, Γ95, Γ96, που παρουσιάζουν υψηλές τιμές ιόντων αββεστίου ($\text{Ca}^{2+}=5.19-10.58$ meq/l) λόγω των θέσων τους σε τεταρτογενείς αποθέσεις οι οποίες αποτιθενται πάνω σε σχηματισμούς μαγιάρων πλούσιους σε αββεστούχα ορυκτά (Σχήμα 1).

Σε όλα τα δείγματα της κατηγορίας αυτής τα ιόντα της νιτρικής οξέας εμφανίζουν χαμηλές τιμές και δεν υπερβαίνουν το ανώτατο αποδεκτό όριο ποιότητας ($\text{NO}_3^-=0.8$ meq/l), με εξαιρέση την γεώτρηση Γ45 ($\text{NO}_3^-=0.89$ meq/l). Η εμφάνιση υψηλών συγκεντρώσεων νιτρικών ιόντων οφείλεται πιθανότατα στην αυξημένη χρήση γεωφάρμακων και λιπασμάτων στις καλλιέργειες, καθώς και στις αγροτικές δραστηριότητες που αναπτύσσονται στην περιοχή.

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα περιλαμβάνει ένα ευρύ φάσμα τιμών μεταξύ 60-1540 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Οι τιμές του pH κυμαίνονται σε ψηλά επίπεδα ($\text{pH}>7$), φανερώνοντας τον αλκαλικό χαρακτήρα των νερών και τη γήινη αναγέννησή τους.

Ο μεγάλος αριθμός δεδομένων απαιτεί τη στατιστική επεξεργασία τους, ώστε να αναγεννηθούν οι εσφαλμένες σχέσεις των μεταβλητών καθώς και οι σχέσεις μεταξύ αυτών των μεταβλητών και των θέσων δειγματοληψίας. Για το σκοπό αυτό εφαρμόστηκε η στατιστική μέθοδος της πολυμεταβλητής ανάλυσης R-τύπου.

Η στατιστική μέθοδος της πολυμεταβλητής ανάλυσης (R-mode Factor analysis) έχει εφαρμοστεί σε πολλούς τομείς των γεωεπιστημών δίνοντας εξαιρετικά αποτελέσματα (DAVIS 1973, BRIZ-KISHORE et al 1989, ΠΑΠΑΘΕΟΔΩΡΟΥ 1993, ΛΑΣΚΑΛΑΚΗ-ΒΟΥΔΟΥΡΗΣ 1996).

Ο σκοπός της μεθόδου αυτής, είναι ο υπολογισμός ενός μικρού αριθμού παραγόντων (factors) που να εξηγούν με υψηλά ποσοστά διασπείρασης (Variance) τις αρχικές μεταβλητές.

Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται η αποκάλυψη των κυρίαρχων σχέσεων μεταξύ των μεταβλητών και συνεπώς των κυρίαρχων παραγόντων, αλλά και η μείωση της πολυπλοκότητας του πίνακα δεδομένων χωρίς σημαντική απώλεια πληροφοριών. Επίσης η παραγοντική ανάλυση παρέχει τη δυνατότητα του υπολογισμού της γεωγραφικής επίδρασης των προκύπτοντων παραγόντων.

Η εφαρμογή της R-τύπου παραγοντικής ανάλυσης στα υδροχημικά δεδομένα των χημικών αναλύσεων των δειγμάτων ολοκληρώθηκε στα παρακάτω στάδια :

α) Στο πρώτο στάδιο, έγινε η διευθέτηση των αρχικών μεταβλητών υπό τη μορφή πίνακα (data matrix) αφού πρώτα μετασχηματιστούν σε μεταβλητές υπό "τυποποιημένη μορφή" (Standardized) σύμφωνα με τη σχέση :

$$Z_i = \frac{X_i - X_m}{S} \quad \text{όπου :}$$

Z_i = μεταβλητή υπό τυποποιημένη μορφή (παρουσιάζει μέση τιμή 0 και τυπική απόκλιση 1).

X_m = μέση τιμή της μεταβλητής

S = τυπική απόκλιση μεταβλητής

α/α		pH	EC	Mg	Ca	Na	K	Cl	SO ₄	NO ₃	HCO ₃
1	Γ4	7.60	550,00	2,32	0,88	3,00	0,02	1,35	0,01	0,00	5,80
2	Γ5	7.90	450,00	0,70	1,12	3,60	0,08	0,40	0,09	0,02	5,06
3	Γ6	7.90	665,00	1,32	1,65	4,75	0,07	0,45	0,63	0,13	6,64
4	Γ7	7.95	1475,00	6,04	2,32	10,71	0,22	1,35	0,96	0,14	16,70
5	Γ8	7.50	1540,00	4,04	3,76	8,96	0,11	0,90	1,50	0,00	14,58
6	Π26	7,80	360,00	0,24	2,80	0,23	0,03	0,15	0,28	0,12	2,90
7	Π27	7,80	490,00	0,56	3,84	0,22	0,01	0,15	0,22	0,25	4,32
8	Π28	7,90	340,00	0,42	2,56	0,15	0,01	0,10	0,18	0,00	1,39
9	Π33	7,75	460,00	0,20	3,68	0,23	0,03	0,15	0,24	0,05	4,46
10	Π35	7,60	420,00	0,20	3,24	0,20	0,03	0,20	0,18	0,20	4,43
11	Π36	7,60	560,00	0,38	4,44	0,25	0,02	0,20	0,26	0,12	4,26
12	Π37	7,70	560,00	0,26	4,44	0,28	0,03	0,45	0,35	0,28	5,00
13	Γ45	7,24	500,00	0,59	4,57	0,32	0,04	0,73	0,12	0,89	5,08
14	Γ46	7,30	570,00	0,58	4,59	0,31	0,04	0,51	0,09	0,08	5,00
15	Γ47	8,10	397,00	0,66	2,46	0,96	0,06	0,75	0,48	0,25	2,95
16	Γ48	8,20	450,00	0,81	3,14	0,87	0,03	1,15	0,00	0,02	4,20
17	Γ49	7,72	315,00	0,53	1,74	0,70	0,21	0,60	0,00	0,05	2,30
18	Γ50	8,54	303,00	0,64	2,00	0,44	0,03	0,50	0,00	0,05	2,30
19	Γ51	8,43	355,00	0,56	2,58	0,39	0,03	0,50	0,29	0,10	2,80
20	Γ52	8,15	397,00	1,55	2,62	0,17	0,03	0,32	0,00	0,08	4,20
21	Γ53	7,72	474,00	0,92	3,61	0,35	0,03	0,40	0,00	0,05	4,90
22	Γ54	8,06	291,00	0,54	2,08	0,23	0,03	0,20	0,27	0,00	2,60
23	Γ55	7,98	594,00	0,72	4,46	0,64	0,05	0,41	0,59	0,50	4,60
24	Γ56	8,66	296,00	1,48	1,66	0,15	0,01	0,35	0,35	0,00	2,80
25	Γ57	8,35	233,00	1,08	1,26	0,15	0,02	0,28	0,00	0,00	2,00
26	Γ58	8,31	269,00	0,90	1,26	0,30	0,04	0,35	0,00	0,00	2,00
27	Γ59	8,31	167,00	0,34	1,10	0,35	0,07	0,35	0,00	0,00	1,35
28	Γ60	8,30	109,00	0,04	0,68	0,30	0,05	0,32	0,00	0,00	0,70
29	Γ61	8,00	154,00	0,24	1,10	0,30	0,05	0,35	0,00	0,00	1,40
30	Γ62	8,38	255,00	0,52	1,70	0,35	0,05	0,25	0,25	0,03	2,10
31	Γ63	8,43	329,00	0,73	1,70	0,57	0,11	0,58	0,29	0,07	2,20
32	Γ64	8,82	508,00	0,60	3,96	0,55	0,15	0,36	0,60	0,10	3,40
33	Γ65	8,01	271,00	0,58	1,44	0,41	0,03	0,22	0,74	0,00	1,70
34	Γ66	8,12	305,00	0,80	1,97	0,17	0,08	0,19	0,41	0,00	2,40
35	Γ67	7,82	344,00	0,76	2,48	0,15	0,02	0,16	0,61	0,00	3,00
36	Γ68	7,86	348,00	0,76	2,28	0,11	0,02	0,17	0,43	0,00	2,90
37	Γ69	8,20	275,00	0,48	2,14	0,14	0,02	0,16	0,04	0,00	2,50
38	Γ70	8,13	335,00	0,72	2,56	0,09	0,02	0,21	0,32	0,03	2,95
39	Γ71	8,02	332,00	0,52	2,60	0,17	0,03	0,20	0,15	0,00	2,80
40	Γ72	8,51	281,00	0,50	1,64	0,57	0,03	0,55	0,00	0,05	2,15
41	Γ73	8,61	523,00	1,24	3,34	1,04	0,05	0,82	0,00	0,00	4,65
42	Γ74	8,18	349,00	0,74	2,14	0,35	0,03	0,39	0,27	0,10	2,45
43	Γ75	8,14	360,00	0,56	2,12	0,67	0,03	0,34	0,18	0,25	26,50
44	Γ76	7,91	1574,00	1,90	3,16	10,88	0,26	9,01	1,36	0,00	4,90
45	Γ78	7,30	660,00	3,61	6,99	0,51	0,03	1,50	0,42	0,18	4,60
46	Γ80	7,30	660,00	2,01	6,39	0,35	0,03	0,34	0,46	0,20	5,00
47	Γ81	7,20	460,00	0,60	5,99	0,22	0,03	0,51	0,06	0,31	4,26
48	Γ83	7,40	490,00	1,41	5,19	0,69	0,14	0,59	0,54	0,20	16,06
49	Γ84	7,40	510,00	2,21	7,78	0,28	0,03	0,45	0,02	0,20	2,95
50	Γ86	7,10	730,00	0,60	10,58	0,64	0,03	0,42	1,77	0,32	5,33
51	Γ87	7,30	740,00	2,01	5,19	3,76	0,03	0,65	0,06	0,05	5,90
52	Γ89	7,70	410,00	2,01	5,59	0,15	0,02	0,56	0,04	0,27	4,29
53	Γ90	6,90	890,00	0,80	8,98	0,43	0,03	0,42	0,90	0,64	4,67
54	Π91	7,30	440,00	0,60	5,39	0,13	0,02	0,23	0,10	0,16	4,34
55	Γ93	7,20	750,00	5,82	5,79	2,21	0,02	0,79	0,73	0,15	5,79
56	Γ94	7,40	750,00	4,42	6,19	1,11	0,03	1,50	1,67	0,57	5,90
57	Γ95	7,50	360,00	0,40	3,79	1,19	0,02	0,45	0,58	0,06	5,74
58	Γ96	7,60	530,00	3,21	5,59	0,43	0,03	0,45	1,77	0,04	5,98

pH [-log(H⁺), moles/l], **EC [μS/cm]

Πίνακας 1: Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων (meq/l) στους τετατογενείς σχηματισμούς της περιοχής φοινιάς.

Table 1: Data matrix for 58 groundwater samples of Quaternary deposits of the study area. (All values in meq/l unless otherwise noted).

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

Ο μετασχηματισμός αυτός είναι απαραίτητος ώστε οι αρχικές τιμές να καταστούν αδιάστατες.

β) Ακολούθησε ο υπολογισμός των διακυρμάνσεων-συνδιακυρμάνσεων (variance/covariance) των μεταβλητών υπό τυποποιημένη μορφή ή των συντελεστών συσχέτισης των αρχικών μεταβλητών σύμφωνα με τη σχέση :

$$r = \frac{\sum_i (x_i - x_m)(y_i - y_m)}{\{[\sum_i (x_i - x_m)^2][\sum_i (y_i - y_m)^2]\}^{1/2}}$$

όπου x και y είναι η i-οστή τιμή των μεταβλητών x και y και x_m, y_m είναι οι μέσες τιμές τους. Οι συντελεστές συσχέτισης (r) διευθετούνται υπό μορφή πίνακα (correlation matrix).

γ) Στη συνέχεια επιλέγεται ο πίνακας συσχέτισης και υπολογίζονται οι ιδιοτιμές (eigenvalues) και τα αντίστοιχα ιδιοδιανύσματα (eigenvectors).

δ) Μετασχηματίζονται τα δεδομένα σε παράγοντες (factors) και επιλέγονται οι σημαντικότεροι, απορρίπτοντας αυτούς που στερούνται υδροχημικής σημασίας. Επιλέχθηκε ένα τετραμελές μοντέλο, το οποίο εξηγεί το 82,2% περίπου της ολικής διακύμανσης των δεδομένων.

ε) Ακολουθεί η περιστροφή (rotation) των αξόνων των τριών διατηρούμενων παραγόντων σε νέες θέσεις για ασφαλέστερη ερμηνεία των αποτελεσμάτων. Η περιστροφή των αξόνων έγινε με το ζήτηριο της μέγιστης διακύμανσης (Varimax) (KAISER, 1958). Τα στοιχεία των παραγόντων ονομάζονται φορτίσεις (loadings) και είναι ουσιαστικά οι συντελεστές συσχέτισης μεταξύ των μεταβλητών και των τριών παραγόντων.

στ) Στο τέλος υπολογίστηκαν οι παραγοντικές τιμές (factor scores), δηλαδή η επίδραση κάθε παράγοντα στις θέσεις δειγματοληψίας

Στον Πίνακα 2, δίνονται οι παραγοντικές φορτίσεις για το τετραμελές μοντέλο.

Μεταβλητές/Παράγοντες	1	2	3	4
pH	0,04	-0,72	-0,31	-0,06
EC	0,63	0,29	0,59	0,25
Mg	0,14	0,08	0,84	0,25
Ca	-0,07	0,86	0,31	-0,07
Na	0,73	-0,13	0,49	0,30
K	0,84	-0,15	0,04	0,22
Cl	0,88	0,04	0,16	-0,15
SO ₄	0,31	0,34	0,65	0,00
NO ₃	0,01	0,85	-0,16	0,20
HCO ₃	0,13	0,13	0,23	0,91

Πίνακας 2: Πίνακας παραγοντικών φορτίσεων για το τετραμελές μοντέλο.

Table 2: Varimax rotated factor matrix (loadings for the varimax rotated 4-factor model).

Η εφαρμογή της μεθόδου R-τύπου παραγοντικής ανάλυσης οδήγησε στην ανεύρεση μιας αρνητικής σχέσης μεταξύ του pH και των νιτρικών ιόντων στα περισσότερα δείγματα. Το γεγονός αυτό δηλώνει τη συνεχή ανανέωση των υδάτων η οποία δεν επιτρέπει τη διατήρηση των υψηλών συγκεντρώσεων NO₃⁻. Η ελάττωση του δυναμικού οξειδοαναγωγής προκαλεί απονίτρωση, που οδηγεί στη μείωση της συγγέντρωσης των νιτρικών ιόντων ενώ παράλληλα προκαλεί μείωση των υδρογονοκατιόντων και συνεπώς αύξηση του pH.

β. ΜΑΡΜΑΡΑ.

Τα υδροχημικά χαρακτηριστικά του υπόγειου νερού στους σχηματισμούς των μαρμάρων, μελετήθηκαν με βάση τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων 18 δειγμάτων από πηγές κατά το

χρονικό διάστημα 1978-1996 (Πίνακας 3).

Από τα στοιχεία του Πίνακα 3 φαίνεται ότι επικρατέστερα κατιόντα και ανιόντα είναι αυτά του ασβεστίου και της όξινης ανθρακικής ρίζας αντίστοιχα, γεγονός που δηλώνει ότι τα νερά γενικά είναι διασπαστικά ασβεστούχα.

α/α	pH	EC**	Mg	Ca	Na	K	Cl	SO ₄	NO ₃	HCO ₃	
59	Π2	7,70	335,00	1,04	1,96	0,22	0,02	0,25	0,11	0,00	2,86
60	Π3	7,80	352,00	1,42	1,88	0,21	0,02	0,25	0,15	0,00	3,06
61	Π9	7,10	432,00	0,60	3,04	0,24	0,03	0,20	0,13	0,00	3,60
62	Π10	7,40	480,00	0,66	3,24	0,39	0,03	0,20	0,46	0,00	3,70
63	Π12	7,90	310,00	0,84	2,40	0,34	0,02	0,10	0,41	0,06	3,12
64	Π13	7,60	370,00	0,78	2,94	0,28	0,01	0,15	0,50	0,18	3,26
65	Π15	7,50	400,00	0,58	2,84	0,12	0,02	0,10	0,13	0,00	3,36
66	Π22	7,60	365,00	0,14	3,08	0,10	0,02	0,13	0,34	0,23	2,90
67	Π23	8,00	510,00	0,72	3,64	0,40	0,02	0,25	0,17	0,25	4,15
68	Π24	7,70	370,00	0,64	3,11	0,22	0,04	0,15	0,33	0,24	3,70
69	Π29	7,85	480,00	0,56	3,60	0,25	0,02	0,20	0,20	0,08	4,49
70	Π30	7,95	490,00	0,80	3,52	0,25	0,02	0,20	0,22	0,25	5,00
71	Π31	7,85	440,00	0,64	3,12	0,26	0,02	0,15	0,18	0,05	2,87
72	Π32	7,90	500,00	1,14	3,20	0,26	0,03	0,20	0,26	0,05	2,95
73	Π38	7,80	175,00	0,36	2,08	0,10	0,03	0,10	0,11	0,13	2,38
74	Π39	7,90	510,00	0,90	3,44	0,26	0,03	0,25	0,24	0,18	3,08
75	Π40	7,90	340,00	0,08	2,72	0,22	0,03	0,10	0,30	0,13	2,79
76	Π41	8,00	510,00	0,70	3,60	0,28	0,03	0,25	0,30	0,23	3,15

*pH [-log(H⁺), moles/l], **EC [μS/cm]

Πίνακας 3: Αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων (meq/l) των υδροφόρων των μαρμάρων της περιοχής έρευνας.
Table 3: Data matrix for 58 groundwater samples of marbles of the study area. (All values in meq/l unless otherwise noted).

Οι τιμές του pH κυμαίνονται σε ψηλά επίπεδα (pH>7), φανερόνοντας τον αλκαλικό χαρακτήρα των νερών και τη γρήγορη ανανέωσή τους.

Οι συγκεντρώσεις όλων των ιόντων βρίσκονται μέσα στα όρια ποσικότητας (Na⁺=6,5 meq/l, K⁺=0,3 meq/l, SO₄²⁻=5,2 meq/l, Cl⁻=5,6 meq/l, Mg²⁺=0,08-1,42 meq/l, Ca²⁺=1,88-3,64 meq/l και NO₃⁻=0,8 meq/l).

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα παρουσιάζει χαμηλές τιμές, μεταξύ 130-510 μS/cm.

Η στατιστική επεξεργασία των υδροχημικών δεδομένων (VOUDOURIS et al 1997) των σχηματισμών των μαρμάρων, οδήγησε στην επιλογή ενός πενταμελούς μοντέλου που εκφράζει το 86,8% της ολικής διακύμανσης των δεδομένων.

Στον Πίνακα 4 δίνονται οι παραγοντικές φορτίσεις για τους πέντε παράγοντες.

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης οδηγούν στο συμπέρασμα ότι η σκληρότητα των νερών των πηγών οι οποίες βρίσκονται στον ορεινό όγκο του Παργαίου και κατανομούνται σε περιοχές επαφής των μαρμάρων με τεταρτογενή, οφείλεται στη διάλυση στη διάλυση του ανθρακικού ασβεστίου (CaCO₃) και του ανθρακικού μαγνησίου (MgCO₃).

Μεταβλητές/Παράγοντες	1	2	3	4	5
pH	0,04	-0,72	-0,31	-0,06	-0,06
pH	0,20	0,33	0,82	-0,13	-0,13
EC	0,86	0,36	0,15	0,07	0,01
Mg	0,06	0,89	0,02	0,00	-0,22
Ca	0,91	0,01	0,35	0,03	0,02
Na	-0,08	0,25	-0,29	0,78	0,18
K	-0,07	-0,09	0,00	-0,00	0,94
Cl	0,42	0,81	0,04	0,00	0,13
SO ₄	0,14	-0,26	0,28	0,77	-0,19
NO ₃	0,33	-0,20	0,79	0,11	0,13
HCO ₃	0,87	0,13	0,13	-0,03	-0,18

Πίνακας 4: Πίνακας παραγοντικών φορτίσεων για το πενταμελές μοντέλο.

Table 4: Varimax rotated factor matrix (loadings for the varimax rotated 5-factor model).

Αντίθετα, οι πηγές του όρους Μενόιζιον κατανέμονται στα όρια των επαφών των μαζιάρων με νεογενείς σχηματισμούς από τους οποίους μάλιστα καλύπτονται σε ορισμένες περιοχές (ΚΟΝΤΖΟΓΛΑΟΥ Ι., ΣΟΥΛΙΟΣ Γ., 1994). Τα μάρμαρα του όρους αυτού παρουσιάζουν συχνότερα ενωθώσιες οχιστολίθων, γενύσιων και αμφιβολιτών από αυτά του Παργαίου και σε ορισμένες περιοχές καλύπτονται από νεογενείς αποθέσεις.

Η σκληρότητα των νερών των πηγών αυτής της περιοχής οφείλεται στη διάλυση θειϊκού μαγνησίου (MgSO₄) και θειϊκού ασβεστίου (CaSO₄). Η πηγή των θειϊκών ιόντων στα νερά είναι τόσο οι σχηματισμοί των οχιστολίθων, γενύσιων και αμφιβολιτών, όσο και οι νεογενείς αποθέσεις.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η μελέτη της ποιότητας των νερών των υδροφόρων σχηματισμών του υδατικού διαμερισμάτος της ανατολικής Μακεδονίας οδήγησε στα παρακάτω συμπεράσματα :

α. Στις τετατογενείς αποθέσεις αναπτύσσονται υδροφόροι των οποίων τα νερά χαρακτηρίζονται διασθρακικά ασβετούχα.

Οι τιμές του pH που παρουσιάζουν είναι υψηλές, γεγονός που δηλώνει τον αλκαλικό χαρακτήρα τους καθώς και το συνεχή εμπλουτισμό τους με νέες υδάτινες μάζες.

Όσον αφορά στη ρύπανση των υπόγειων υδάτων από ενώσεις του αζώτου δεν έχει διαπιστωθεί, προς το παρόν τουλάχιστον, ιδιαίτερο πρόβλημα.

Στους νομούς Δράμας και Καβάλας λειτουργούν εκτός των ΒΙ.Π.Ε και άλλες βιομηχανίες μεταποίησης και συσκευασίας αγροτικών προϊόντων (κονοσερβοποιία "ΣΕΚΟΒΕ", ελαιουργεία κ.λ.π.), που χρησιμοποιούν τα επιφανειακά νερά για τη διοχέτευση των αποβλήτων τους.

Στο νομό Σερρών τόσο οι βιομηχανικές μονάδες (Σταθμός συγκέντρωσης γάλακτος "ΑΕΛΤΑ", κωνοσερβοποιία "ΣΕΚΟΒΕ", Ελληνική Βιομηχανία Ζαχαρώς κ.λ.π.), όσο και οι δήμοι και οι κοινότητες επέλεξαν το Στριμόνα και τους παραποτάμιους του για την ευκολότερη διοχέτευση των αποβλήτων τους.

Σε όλους τους νομούς επίσης του υδατικού διαμερισμάτος γίνεται απόρριψη στερεών αποβλήτων (σκουπιδοτόποι) κατά μήκος των υδρορευμάτων χωρίς να έχει προηγηθεί ανάλογη μελέτη.

Η μεγάλη παροχή του ποταμού Στριμόνα βοηθά στην αραίωση του φορτίου των αστικών, γεωργικών και βιομηχανικών λυμάτων που διοχετεύονται συνεχώς σ' αυτόν, ωστόσο ο κίνδυνος ρύπανσης των υπόγειων νερών δεν παύει να υφίσταται καθώς ο ποταμός Στριμόνας τροφοδοτεί τους υδροφόρους ορίζοντες των τετατογενών αποθεσών.

Η παρουσία λιμναίων ιζημάτων καθώς και παλαιών φακοειδών σχηματισμών θαλάσσιας προέλευσης που έχουν απομείνει ύστερα από την αποξήρανση της παλιάς λίμνης του Αξινού, δημιουργούν προβλήματα σε πολλές γεωτρήσεις της λεκάνης του Στουριώνα τα οποία οφείλονται στις υψηλές τιμές σκληρότητας και αγωγιμότητας που παρουσιάζουν.

Έντονο πρόβλημα υφαιμύρωσης δεν παρουσιάζεται παρά μόνο σε ένα δείγμα στην περιοχή της Νέας Καρβάλης, που αντιστοιχεί σε γεώτρηση (Γ76) που βρίσκεται πολύ κοντά στην ακτή.

β. Τα υπόγεια νερά των υδροφόρων που αναπτύσσονται στους σχηματισμούς των μαριμάτων χαρακτηρίζονται ως διασθραζικά ασβεστούχα.

Η τιμές του pH σε όλα τα δείγματα κυμαίνονται σε υψηλά επίπεδα ($pH > 7$), γεγονός που δείχνει τον αλκαλικό χαρακτήρα των νερών.

Η ποιότητα των νερών με βάση τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων είναι πολύ καλή.

Όσον αφορά στη μόλυνση των υδροφόρων από ενώσεις του αζώτου, αυτή δεν υφίσταται καθώς τα υψόμετρα των ορεινών όγκων στους οποίους αναπτύσσονται οι σχηματισμοί των μαριμάτων είναι πολύ μεγάλα (Φαλακρό 2.232 μ., Παργαίο 1.956 μ., Μενοίκιο 1.963 μ.).

Η εφαρμογή της R-τύπου παραγοντικής ανάλυσης οδήγησε στο διαχωρισμό, όσον αφορά στη σκληρότητα του νερού, μεταξύ των πηγών του όρους Μενοίκιου και αυτών του όρους Παργαίου.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- VOUDOURIS K. S., LAMBRAKIS N. J., PAPTHeODOROY G., DASKALAKI P., 1997, Factor analysis for revealing hydrochemical parameters in Pliopleistocene aquifers of NW Achaia (NW Peloponnesus, Greece). **MATHEMATICAL GEOLOGY**, vol. 29, No 1, pp. 43-59.
- BRIZ-KISHORE, B. H., MURALI, G., 1989, Factor analysis for Revealing Hydrochemical Characteristics of a Watershed. **Environmental Geology and water sciences**, vol. 19, no 1, 3-9 pp.
- DAVIS, J. C., 1973, Statistical and Data Analysis in Geology, p 850, Wiley, New York.
- ΔΑΣΚΑΛΑΚΗ, Π., ΒΟΥΛΟΥΡΗΣ, Κ., 1996, Υδροχημεία των νερών του ποταμού Εβρου-Παραγοντική ανάλυση δεδομένων. ΠΡΑΚΤΙΚΑ 2ου ΠΑΝΕΛΛΗΝΙΟΥ ΣΥΝΕΔΡΙΟΥ "ΕΓΓΕΙΟΒΕΛΤΙΩΤΙΚΑ ΕΡΓΑ-ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΥΛΑΤ. ΠΟΡΩΝ-ΕΚΜΗΧΑΝΙΣΗ ΓΕΩΡΓΙΑΣ", τομ. 2, σελ. 1293-1305.
- KACAROGLU, F.- GUNAY, G., (1997): Groundwater nitrate pollution in an alluvium aquifer, Eskisehir urban area and its vicinity, Turkey. **Environmental Geology** 31 (3/4) June 1997
- ΚΑΛΛΕΡΓΗΣ Γ. Α., 1986, ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΟΜΟΣ Α ΚΑΙ Β, ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΤΕΕ, ΑΘΗΝΑ.
- ΚΑΤΣΙΚΑΤΣΟΣ Γ., 1992, ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ, Εκδόσεις του Πανεπιστημίου Πατρών, ΑΘΗΝΑ.
- ΚΝΙΘΑΚΗΣ Μ. Α., 1983, Απογραφή καρσιζών πηγών Ελλάδας, Υδρολογικές και Υδρογεωλογικές Ερευνες, Νο 28/4, Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, Αθήνα.
- ΚΟΝΤΖΟΓΛΟΥ Ι., ΣΟΥΛΙΟΣ Γ., 1994, Συμβολή στη μελέτη των συνθηκών εκφόρτισης των καρσιζών υδροφόρων συστημάτων του όρους Μενοίκιου (Μακεδονία), Πρακτικά 2ου Υδρογεωλογικού Συνεδρίου, τόμος Α, σελ. 189-201.
- ΛΑΜΠΡΑΚΗΣ, Ν., 1991, Εισαγωγή στην Υδροχημεία, 158 σελ., Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών.
- LAMBRAKIS, N., VOUDOURIS, K., TINIAKOS, L., N., KALLERGIS, G.A., (1997): Impacts of drought and overpumping on the Quaternary aquifers of the Glafkos basin (Patras region, W. Greece). (**Environmental Geology**, 29 (3/4) February 1977, pp. 209-216).
- OLESON, S. AND CARR, J., 1990, Correspondence analysis of water Quality Data. **Mathematical Geology**, vol 22, No 6, pp. 665-698.
- ΠΑΠΑΘΕΩΔΩΡΟΥ, Γ., ΦΕΡΕΝΤΙΝΟΣ, Γ. 1993, Εφαρμογές μεθόδων στατιστικής πολλαπλής ανάλυσης σε προβλήματα μόλυνσης του θαλάσσιου περιβάλλοντος από βαρέα μέταλλα. Πρακτικά 3ου Πανελληνίου Βιβλιοθήκη "Θεόφραστους"-Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.

SRINIVASA RAO, Y., REDDY, T.V.K., Chittor district, Andhra Pradesh, India. *Environmental Geology* 31 (3/4) June 1997.

W.H.O., (1984): *Guidelines for drinking-water quality*, vol. 2, Health criteria and other supporting information. Geneva.