

ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΚΑΙ ΓΕΩΧΗΜΙΚΕΣ ΕΡΕΥΝΕΣ ΣΤΟ ΝΟΜΟ ΑΧΑΪΑΣ*

Κ. ΝΙΚΑΣ¹, Ι. ΑΓΓΕΛΙΚΑΚΗΣ¹, Α. ΒΕΡΓΟΥ¹ ΚΑΙ Ε. ΒΑΣΙΛΕΙΑΔΗΣ¹

ΣΥΝΟΨΗ

Στην παρούσα εργασία αναφέρονται τα αποτελέσματα Υδρογεωλογικής και Γεωχημικής έρευνας που διεξήχθη από το Ι.Γ.Μ.Ε. στην περιοχή του Ν. Αχαΐας. Διαπιστώνεται για πρώτη φορά μια φυσική μόλυνση των εδαφών και νερών Fe^{+2} και Mn^{+2} λόγω διασποράς των στοιχείων αυτών από το μητρικό πέτρωμα, δηλαδή από τους ραδιολαρίτες της ζώνης Ωλονού-Πίνδου.

Ανθρωπογενείς παρεμβάσεις, στην χαμηλή πεδινή και παραθαλάσσια ζώνη οδήγησαν την περιοχή σε κατά τόπους ποιοτική υποβάθμιση των υπόγειων νερών. Οι παρεμβάσεις αναφέρονται κυρίως σε ανεξέλεγκτη διάθεση χημικών λιπασμάτων, φυτοφαρμάκων, οικιακών και βιομηχανικών αποβλήτων αλλά και σε υπεραντλήσεις ιδίως στην παράλια ζώνη. Μέσα από την εφαρμογή της μεθοδολογίας DRASTIC σκιαγραφούνται στην περιοχή ευαίσθητες και τρωτές περιοχές, ως προς τον παράγοντα υποβάθμισης των υπόγειων νερών.

ABSTRACT

The ground water pollution in Achaia prefecture lower plain and coastal areas can be attributed depending on its sources to three different causes. Firstly, there is a naturally induced, geologically mainly controlled pollution through the process of weathering, and dispersion of trace minerals of the core deposits of Radiolarites of the isopic zone of Olonos- Pindos, the main indicators being Fe^{+2} , Mn^{+2} , detected in soils and ground waters. Secondly, there is a man induced pollution mainly through the uncontrolled application of chemical fertilizers, pesticides e.t.c., main indicator being the NO_3^- ions. Thirdly, there is a man induced sea water intrusion in coastal areas through overpumping, the Cl^- ions serving as indicator. Using methodology of DRASTIC, areas sensitive and vulnerable to ground water pollution can further be delineated. The project was carried out by I.G.M.E. within the European Union 2nd framework supporting programs. 600 streambed samples and 1,389 soil samples (taken from 3 soil horizons, 0-30 cm, 30-60 cm and 60-150 cm) were collected during 1996-1997 period as well as 240 ground water samples collected during 1997-1998 high water level season. All the samples were analyzed in the geochemical and hydrochemical labs of IGME.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Ν. Αχαΐας, εδάφη, υδροφόρος, μόλυνση υπόγειου νερού, Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (Γ.Σ.Π.), τρωτότητα.

KEY WORDS: Achaia Prefecture, soils, aquifer, groundwater pollution, Geographical Information Systems (G.I.S.), vulnerability

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

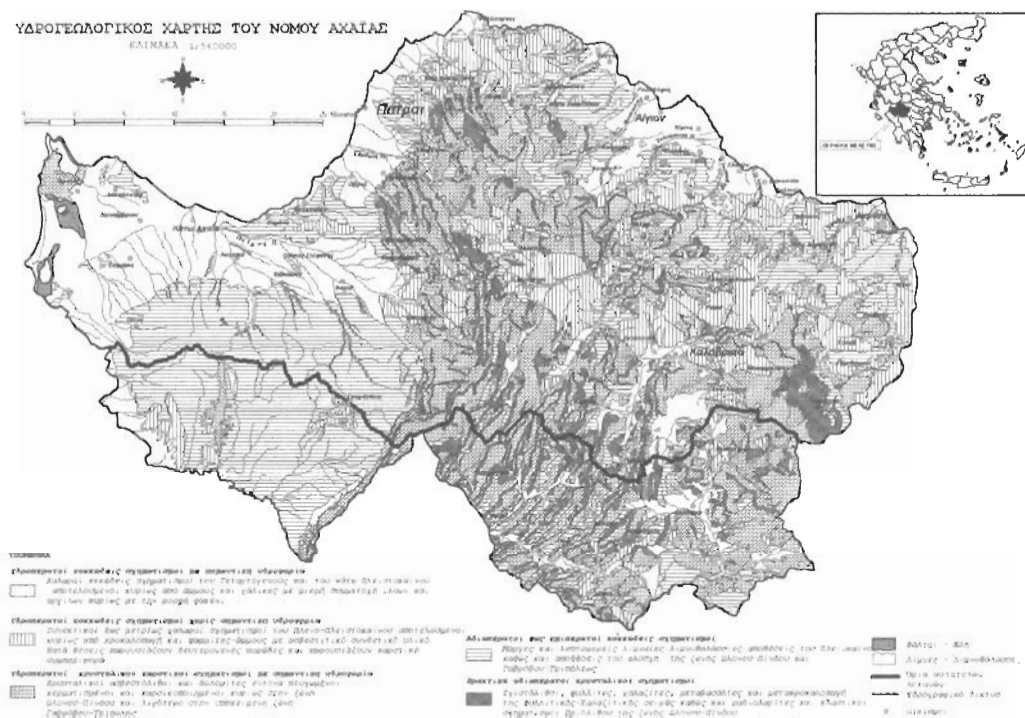
Στα πλαίσια προγράμματος Β ΚΠΣ διεξήχθη από τον Τομέα Υδρογεωλογίας του ΙΓΜΕ, υδρογεωλογική έρευνα στο Νομό Αχαΐας, η οποία περιελάμβανε εκτός των άλλων εργασιών και ένα υποπρόγραμμα γεωχημικής έρευνας που εκτελέστηκε από την Διεύθυνση Γεωχημείας. Τα αποτελέσματα των εργασιών αυτών παρουσιάζονται στην παρούσα εργασία και επιχειρείται η σύνδεσή τους με τον περιβαλλοντολογικό παράγοντα, μέσω ενός προγράμματος σκιαγράφησης ευαίσθητων και τρωτών, ως προς την ποιοτική υποβάθμιση, περιοχών.

Γεωλογικά, το αλπικό πτυχωμένο υπόβαθρο της περιοχής αποτελούν τρεις ισοπικές, ζώνες, της Ωλονού-Πίνδου στο ανατολικό και κεντρικό τμήμα, της Γαβρόβου- Τριπόλεως, στο κεντρικό και δυτικό τμήμα και της Ιονίου, σε ένα μικρής έκτασης, βορειοδυτικό τμήμα. Τεκτονικά η Ωλονού- Πίνδου είναι επωθημένη στην Γαβρόβου-Τριπόλεως με λεπιοειδή διάταξη και διεύθυνση μετώπου επωθήσεως ΒΔ-ΝΑ, η δε Γαβρόβου -Τριπόλεως είναι επίσης επωθημένη επί της Ιονίου. Τη σειρά κλείνει το πλειο-τεταρτογενές επικάλυμμα που εμφανίζεται κυρίως στα βόρεια και βορειοδυτικά πεδινά (Tsoflias, 1969).

* HYDROGEOLOGICAL AND GEOCHEMICAL SURVEY IN ACHAIA PREFECTURE AREA
1. Ι.Γ.Μ.Ε., Μεσογείων 70, 115 27, Αθήνα
Ψηφιακή Βιβλιοθήκη "Θεόφραστος" - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

Οι αυτοτελείς υδρολογικές λεκάνες (1/3 περίπου της έκτασης περιλαμβάνεται σε μη αυτοτελείς λεκάνες - λεκάνες που διοχετεύουν τα νερά τους σε όμορους νομούς), οι υδρογεωλογικές ενότητες, οι λιθοστρωματογραφικοί σχηματισμοί που τους αποτελούν, η ικανότητα απόδοσης τους και άλλα υδρογεωλογικά στοιχεία φαίνονται στον χάρτη του Σχ. 1. Γενικά τους πλέον αποδοτικούς υδροφόρους αποτελούν οι καρστιικοί σχηματισμοί



Σχήμα 1. Υδρογεωλογικός χάρτης της περιοχής έρευνας
Figure 1. Hydrogeological map of the study area

της ζώνης Ωλονού – Πίνδου , οι κώνοι κορημάτων , τα χαλαρά προκαλοπαγή του Πλειστοζαίνου καθώς και οι παλιές και πρόσφατες κοίτες των τοπικών υδρορευμάτων. Οι οριζόντες ραδιολαριτών που παρεμβάλλονται στην ανθρακική σειρά της ζώνης Ωλονού – Πίνδου είναι αδιαπέρατοι, συνιστούν επίπεδα βάσεως σε υψηλά υψόμετρα, οριοθετούν αυτόνομα υδρογεωλογικά συστήματα και είναι η γενεσιουργός αιτία πολυαριθμών διασπαρτων , μικρής παροχής, πηγών. Τέλος το πλειο-τεταρτογενές επιβάλημα , στο σύνολό του χαρακτηρίζεται από εναλλαγές αργίλων, άμμων, αμμουχών αργίλων, ενώ στο ανώτερο τμήμα συνήθως εμφανίζεται μια αδρομερέστερη σειρά από προκαλοπαγή. Το όλο σύστημα χαρακτηρίζεται από μικρή έως μέτρια δυναμικότητα.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΓΕΩΧΗΜΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Στα πλαίσια της έρευνας εξετάστηκαν πολλά γεωχημικά στοιχεία- δείκτες, μέσo από 600 δείγματα ιζημάτων υδρορευμάτων, και 1389 εδαφών, τα τελευταία ληφθέντα από 3 εδαφικούς οριζόντες (0-30, 30-60 & 60-150 cm.).

Ο κύριος στόχος της έρευνας αυτής ήταν ο εντοπισμός περιοχών με θετικές γεωχημικές ανωμαλίες ιχνοστοιχείων (κυρίως Mn-Fc) οι οποίες ενδέχεται να έχουν σχέση με μεταλλορύπανση φυσικής προέλευσης (επιπλοασμός από ραδιολαριτές). Στον πίνακα 1 παρουσιάζονται οι κυριότεροι γεωχημικοί παράγοντες που εξετάστηκαν και οι κυριότερες οπιαστικές τους παραμέτροι.

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

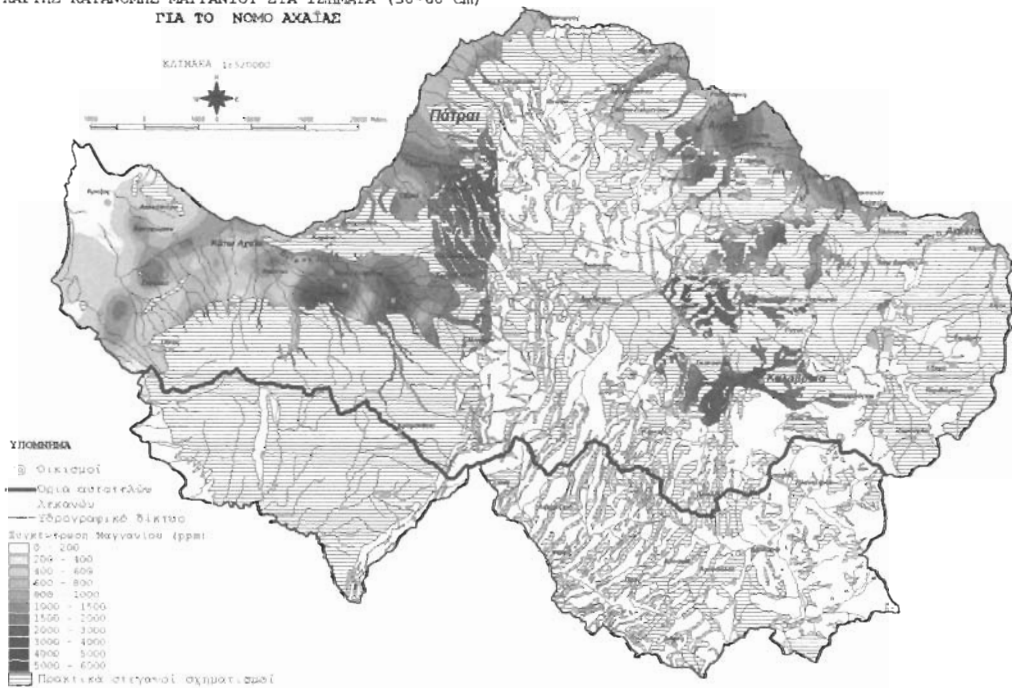
Πίνακας 1. Στατιστικές παράμετροι των χημικών αναλύσεων ιζημάτων και εδαφών.
Table 1. Statistical parameters of sediments and soils chemical analysis.

Στοιχείο (ppm)	Μέση σύσταση Γήινου φλοιού*	Ιζήματα υδρορευμάτων				Εδάφη		Τυπ. Αποκλίση
		Μέση σύσταση Εδαφών*	Ελάχιστο	Μέγιστο	Τυπ. Απόκλιση	Ελάχιστο	Μέγιστο	
Fe (%)		1,4-4,0	0,04	7,55	1,25	0,42	6,2	0,998
Mn	950	850	119	4968	566,41	150	5800	692
Co	25	1-40	1	70	6,42	3	59	7,9
Ni	75	5-500	8	316	33,8	6	530	44,1
Cr	100	5-1000	6	1286	54,83	3	223	23,8
Cu	55	2-100	2	905	46,8	11	366	38,1
Zn	70	10-300	3	1657	20,68	16	730	35,2
Pb	12,5	2-200	2	721	10,07	3	450	17,3

*(LEVINSON, 1974)

Στον χάρτη του Σχ. 2 φαίνεται η χωρική κατανομή του μαγγανίου (η κατανομή του σιδήρου ακολουθεί παραλλήλως σχεδόν συμπεριφορά). Από τον χάρτη αυτό φαίνεται μια

**ΧΑΡΤΗΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΜΑΓΓΑΝΙΟΥ ΣΤΑ ΙΖΗΜΑΤΑ (30-60 cm)
ΓΙΑ ΤΟ ΝΟΜΟ ΑΧΑΪΑΣ**



Σχήμα 2. Χάρτης κατανομής Mn²⁺ στα ιζήματα της περιοχής έρευνας
Figure 2. Map of Mn²⁺ distribution within sediments for the study area

ευρεία διασπορά του μετάλλου στα εδάφη της Αχαΐας. Η αρχική πηγή συσσωρευμένου σιδήρου-μαγγανίου αποδίδεται στον σχηματισμό των ραδιολαριτών της ζώνης Πίνδου- Ωλονού, ενώ για τον σίδηρο μια δευτερεύουσα πηγή είναι δυνατόν να αποτελούν οι τοπικές συσσωματώσεις αποσπασθωμένων σχηματισμών ασβεστολιθού και υπερβασικών πετρωμάτων της ζώνης Γαβροβού- Τριπόλεως.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΥΔΡΟΧΗΜΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Στα πλαίσια της υδροχημικής έρευνας, στην εδώ παρουσίαση, εξετάζονται χωρικά τα αποτελέσματα 240 δειγμάτων υπόγειου νερού της περιοχής έρευνας, τα οποία λήφθηκαν από τον 1970-1975, καταθέτοντά στο χημείο ΓΓΜΕ.

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

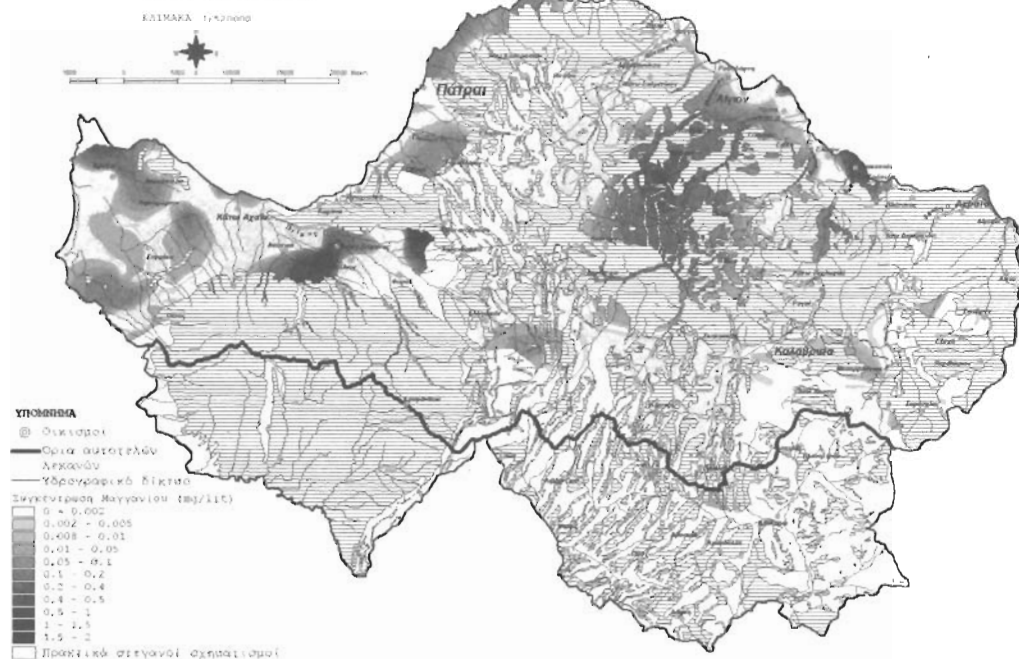
Στο πίνακα 2 φαίνονται οι κυριότεροι υδροχημικοί παράγοντες που εξετάστηκαν και το εύρος κύμανσής τους.

Πίνακας 2. Στατιστικές παράμετροι χημικής ανάλυσης υπόγειου νερού.
Table 2. Statistical parameters of the groundwater chemical analysis.

Παράμετρος	Μέσος	Ελάχιστο	Μέγιστο	Εύρος	Τυπ. απόκλιση
E.C (μS/cm)	753,35	181,00	3590,00	3409,00	476,47
Cl ⁻ (mg/lit)	58,90	3,50	471,56	468,06	88,12
NO ₃ ⁻ (mg/lit)	45,57	1,20	372,10	370,90	65,71
Fe ²⁺ (mg/lit)	0,2144	0,0005	8,3100	8,3095	0,8050
Mn ²⁺ (mg/lit)	0,07	0,0005	1,85	1,85	0,20

Σε γενικές γραμμές οι πλειονότητα των νερών της υψηλής και μεσαίας ζώνης κατατάσσεται στον υδροχημικό τύπο Ca²⁺/HCO₃⁻ (Σχήμα 6) που περιλαμβάνει γενικά νερά με καλή τροφοδοσία και ανανέωση κυρίως κατά μήκος των αξόνων αποστράγγισης. Στην χαμηλή πεδινή και παράκτια ζώνη, ιδίως στην ΒΑ Αχαΐα, εντοπίζονται γενικά περιοχές με ποιοτικά υποβαθμισμένα νερά, (υποβάθμιση η οποία σε πολλές περιπτώσεις ξεφερνά το όριο ποιότητας), το δε αίτιο υποβάθμισης είναι δυνατό να αναχθεί περαιτέρω α) σε φυσικά αίτια (π.χ. διασπορά ιχνοστοιχείων σιδήρου, μαγγανίου από τα αρχικά κοιτάσματα ραδιοαριτών), β) αίτια ανθρωπογενούς παρέμβασης στον ποιοτικό υδρολογικό κύκλο (κυρίως υπερβολική χρήση χημικών λιπασμάτων κ.λ.π.) κυριότερος δείκτης των οποίων είναι τα νιτρικά ιόντα.

ΧΑΡΤΗΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΜΑΓΓΑΝΙΟΥ ΣΤΟ ΥΠΟΓΕΙΟ ΝΕΡΟ ΓΙΑ ΤΟ ΝΟΜΟ ΑΧΑΪΑΣ



Σχήμα 3. Χάρτης κατανομής Mn²⁺ στο υπόγειο νερό για την περιοχή έρευνας
Figure 3. Map of Mn²⁺ distribution in groundwater for the study area

γ)αίτια ανθρωπογενούς παρέμβασης στον ποιοτικό υδρολογικό κύκλο μέσω υπεραντλήσεων στην παράκτια κυρίως ζώνη- παρέμβαση η οποία καταλήγει τελικά όμως σε ποιοτική, μέσω της επακόλουθης διεύθυνσης θαλασσινού νερού στα υπόγεια, με αποτέλεσμα να κυριότερο δείκτη να είναι η νιτρική περιεκτικότητα στην περίπτωση αυτή τα χλωριόντα.

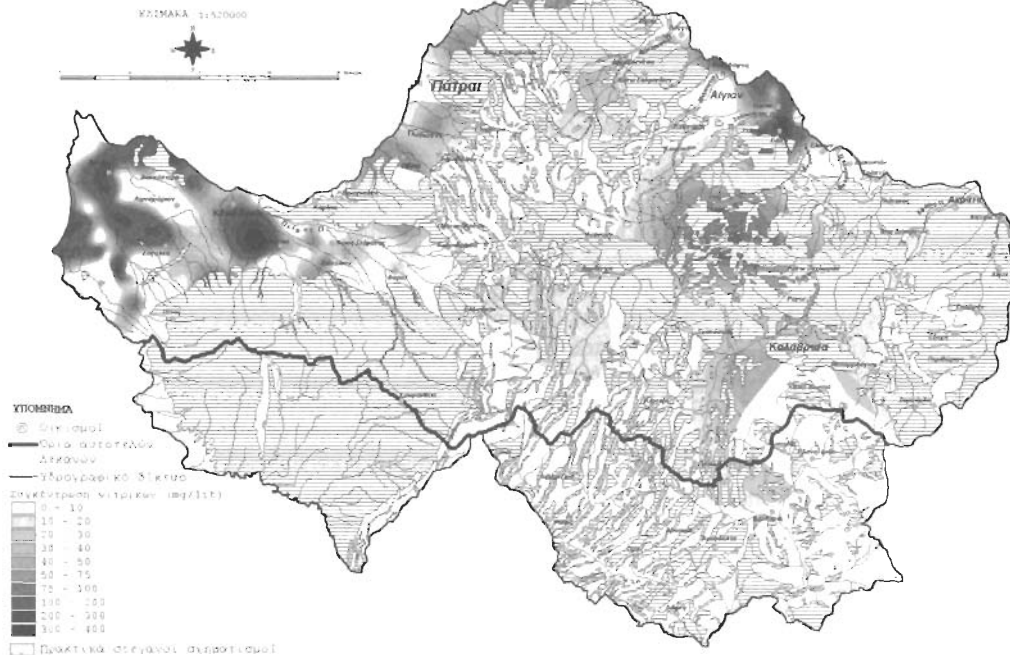
Φηφιάκη Βιβισθήκη Θεοφράστου - Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ.

Η χωρική κατανομή μαγγανίου στα υπόγεια νερά φαίνεται στον χάρτη του Σχ.3 (η κατανομή του σιδήρου ακολουθεί παρόμοια συμπεριφορά). Οι υψηλές συγκεντρώσεις αποδίδονται όπως προαναφέρθηκε σε φυσικά αίτια. Παρατηρείται μεγαλύτερη διασπορά από εκείνη των εδαφών και ιζημάτων, λόγω μεγαλύτερης κινητικότητας των στοιχείων αυτών στο νερό, η δε εκλεκτική συγκέντρωσή τους σε επί μέρους περιοχές (Αράξος, Άγιος Στέφανος, Βασιλιάς, Κορινιά, Άνω Διαζοπτό κ.α.) οφείλεται μάλλον στις κατά τόπους υδροδυναμικές και οξειδοαναγωγικές συνθήκες.

Η χωρική κατανομή των νιτρικών στα υπόγεια νερά (Σχήμα 4) αποκαλύπτει εκτεταμένη επιβάρυνση στην Β.Δ. Αχαΐα και κυρίως στην έκταση των τέως κοινοτήτων Λουσιζών, Κ. Αχαΐας, Λαζόπετρας, Αράξου, Λάπα. Σαγρέζων και στην Β.Α. στην έκταση των τέως κοινοτήτων Ροδοδάφνης, Τέμενης, Ελίτζης(η κατανομή των θεικών ακολουθεί παρόμοια συμπεριφορά). Στις περιοχές αυτές υπάρχουν εντατικές καλλιέργειες (οπωροφόρα δένδρα- ελαιώνες, μονοετείς καλλιέργειες), όπου γίνεται έντονη χρήση γεωργικών λιπασμάτων. Την μοναδική διαδικασία μείωσης των νιτρικών στο υπόγειο νερό αποτελεί η αναγωγή τους σε μονοξείδιο του αζώτου και αέριο άζωτο (απονίτρωση), η οποία για να επιτευχθεί απαιτεί περιβάλλον με χαμηλές συγκεντρώσεις διαλυμένου οξυγόνου. Από το γεγονός αυτό προκύπτει και μια αντίστροφη σχέση των συγκεντρώσεων διασθενούς σιδήρου και νιτρικών. Η αντίστροφη αυτή σχέση παρατηρείται και στην περιοχή έρευνας, όπου περιοχές με υψηλή συγκέντρωση διασθενούς σιδήρου δεν ταυτίζονται γενικά με περιοχές υψηλών συγκεντρώσεων νιτρικών και αντιστρόφως.

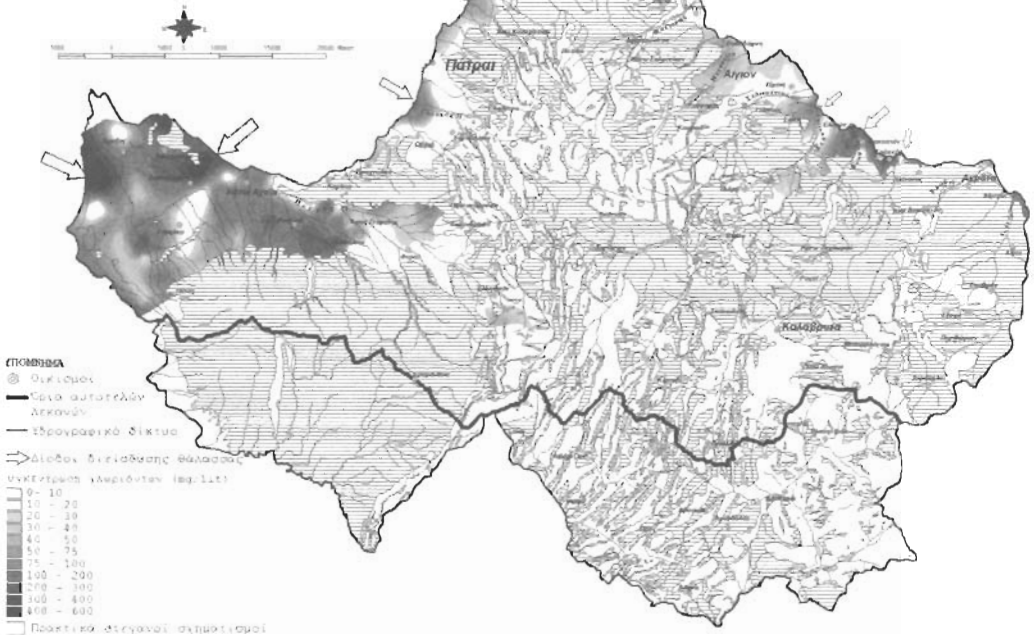
Η χωρική κατανομή των χλωριόντων στα υπόγεια νερά (Σχήμα 5) μας αποκαλύπτει εκλεκτικές διόδους διείδυσης της θάλασσας στην παράκτια ζώνη, κυρίως μέσω οδών υψηλής υδραυλικής αγωγιμότητας. Δύο τέτοιες δίοδοι έχουν εντοπισθεί και καταγραφεί στην Β.Δ. Αχαΐα (Καλογοριά-Μετόχι-Λάππας, Λαζόπετρα-Λιμνοχώρι). Διείδυση της θάλασσας παρατηρείται και στην περιοχή Γλαυζίου, όπως έχει διαπιστωθεί και από άλλους ερευνητές (Λαμπράκης κ.α.), ενώ στην Β.Α. Αχαΐα το φαινόμενο παρουσιάζεται σε περιορισμένη κλίμακα (Ζαχλωρίτζα, Τράπεζα), λόγω γεωτεκτονικών κυρίως συνθηκών που οδηγούν τα τοπικά υδροφόρα συστήματα σε υψηλότερα γενικά φορτία και διατηρούν ως εκ τούτου την ισορροπία στην διεπιφάνεια γλυκού!

ΧΑΡΤΗΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΝΙΤΡΙΚΩΝ ΣΤΟ ΥΠΟΓΕΙΟ ΝΕΡΟ ΓΙΑ ΤΟ ΝΟΜΟ ΑΧΑΪΑΣ



Σχήμα 4. Χάρτης κατανομής NO_3^- στο υπόγειο νερό για την περιοχή έρευνας
 Figure 4. Map of NO_3^- distribution in groundwater for the study area
 Φηφιακή Βιβλιοθήκη Θεοφράστου - Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ.

Κλίμακα 1:50000



Σχήμα 5. Χάρτης κατανομής Cl στο υπόγειο νερό για την περιοχή έρευνας
Figure 5. Map of Cl distribution in groundwater for the study area

αίμουρου νερού π.χ. στις περιοχές Ψαθόπουρου, Ελίκης και Διακοπτού. Η κατανομή των στοιχείων στο διάγραμμα Ripper (Σχήμα 6) συνηγορεί ως προς αυτό.

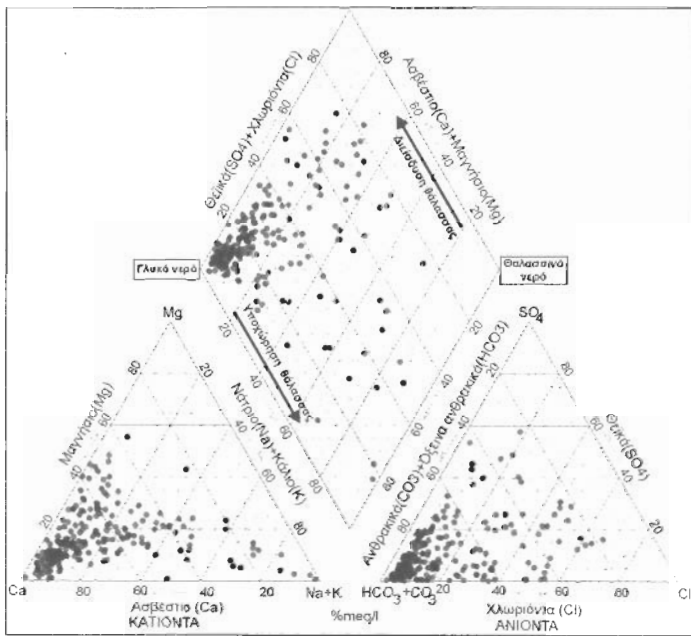
ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ ΥΔΡΟΦΟΡΩΝ

Όπως διαπιστώθηκε από την υδροχημική έρευνα, στην περιοχή εντοπίζεται εκτεταμένη μόλυνση των υπόγειων νερών λόγω ανθρωπογενών δραστηριοτήτων, μόλυνση η οποία εκφράζεται κυρίως από τις υψηλές συγκεντρώσεις νιτρικών (Σχήμα 4), προέλευση των οποίων είναι κυρίως τα γεωργικά λιπάσματα και κατ'ελάχιστο λόγο τα αστικά και βιομηχανικά απόβλητα κ.α. Κατόπιν τούτου κρίθηκε σκόπιμη η διερεύνηση της τρωτότητας των υδροφόρων της περιοχής ως προς τις πηγές αυτές. Μια από τις μεθοδολογίες που έχουν αναπτυχθεί για το σκοπό αυτό είναι η μεθοδολογία DRASTIC (Aller et al., 1987). Το μοντέλο DRASTIC χρησιμοποιεί επτά υδρογεωλογικές παραμέτρους οι οποίες έχει αποδειχθεί ότι επηρεάζουν την πιθανότητα μόλυνσης ενός υδροφόρου από επιφανειακές πηγές: 1)Βάθος του υδροφόρου ορίζοντα (D), 2)μέση ετήσια τροφοδοσία του υδροφόρου (R), 3)τύπος του υδροφόρου ορίζοντα (A), 4)τύπος του εδαφικού ορίζοντα (S), 5) κλίση του αναγλύφου (T), 6)τύπος πετρώματος της αζόμεστης ζώνης (I), 7) υδραυλική αγωγιμότητα του υδροφόρου (C).

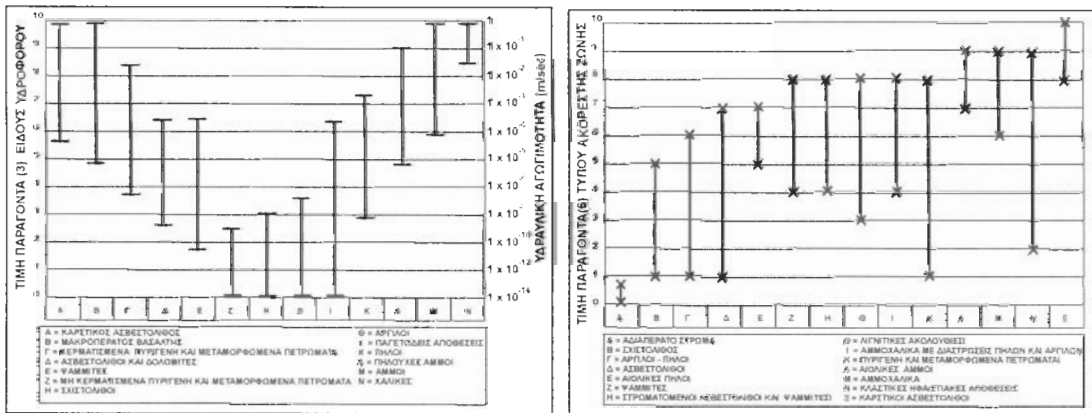
Στην παρούσα εργασία οι παράγοντες (3) και (7) εκφράζονται με ένα κοινό παράγοντα δυναμιζότητας του υδροφόρου, όπως αυτός προσδιορίστηκε από το διάγραμμα του σχήματος 7, αλλά και από την κατανομή της δυναμιζότητας των υδροφόρων όπως φαίνεται στο χάρτη του σχήματος 1. Η σχετική σπουδαιότητα γενικά κάθε παράγοντα του DRASTIC καθορίζεται από ένα συντελεστή βαρύτητας ο οποίος προκύπτει σύμφωνα με τους Aller et al., από την διεθνή εμπειρία στα θέματα μόλυνσης υπόγειου νερού και ο οποίος παρουσιάζεται στον πίνακα 3.

Πίνακας 3. Συντελεστές βαρύτητας παραγόντων μοντέλου DRASTIC (Aller et al., 1987).
Table 3. Weighting factors for parameters in DRASTIC model (Aller et al., 1987).

	λ_D	λ_R	λ_A	λ_S	λ_T	λ_I	λ_C
Συντελεστής ανά παράγοντα	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,5



Σχήμα 6. Διάγραμμα Piper
Figure 6. Piper diagram



Σχήμα 7. Ανάγραμματα βαθμονόμησης για τους παράγοντες (3) και (6)
Figure 7. Rating diagrams for DRASTIC factors (3) and (6)

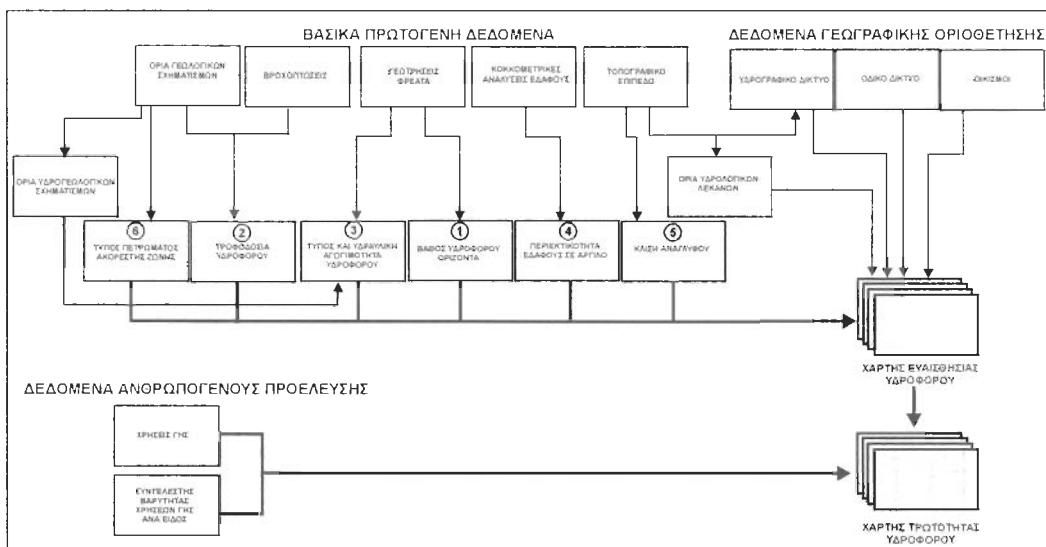
Σε κάθε παράγοντα για λόγους σχετικής μεταξύ τους σύγκρισης αποδίδονται τιμές από 1 έως 10. Η μετατροπή των φυσικών τιμών των παραμέτρων (1), (4), (5) στην κλίμακα αυτή έγινε με βάση τον πίνακα 4, ενώ για την μετατροπή των παραγόντων (3) και (6) χρησιμοποιήθηκε η βαθμονόμηση του σχήματος 7. Τέλος για την μετατροπή του παράγοντα (2) χρησιμοποιήθηκε η σχέση:

$$\text{Τιμή παράγοντα (2)} = [(Μέση \text{ ετήσια τροφοδοσία (mm)} \times 0,0839)]^{1,2} + 1$$

Η σχέση αυτή χρησιμοποιείται διότι ανάγει τις τιμές ετήσιας τροφοδοσίας της περιοχής, οι οποίες κυμαίνονται από 50 έως 950 mm, σε απόλυτη κλίμακα από 1 έως 10, στην οποία ανάγονται και οι υπόλοιποι παράγοντες.

Table 4. Conversion scale of natural values to DRASTIC factor values

Βάθος υδροφόρου (m)	Τιμές παράγοντα (1)	Περιεκτικότητα α εδάφους σε άργιλο %	Τιμές παράγοντα (4)	Κλίση αναγλύφου %	Τιμές παράγοντα (5)
0-1	10	0-5	10	0-1	10
1-5	9	5-10	9	1-2	9
5-10	8	10-15	8	2-4	8
10-20	7	15-20	7	4-6	7
20-40	6	20-25	6	6-8	6
40-60	5	25-30	5	8-10	5
60-80	4	30-35	4	10-15	4
80-100	3	35-40	3	15-20	3
100-150	2	40-50	2	20-50	2
>150	1	>50	1	>50	1



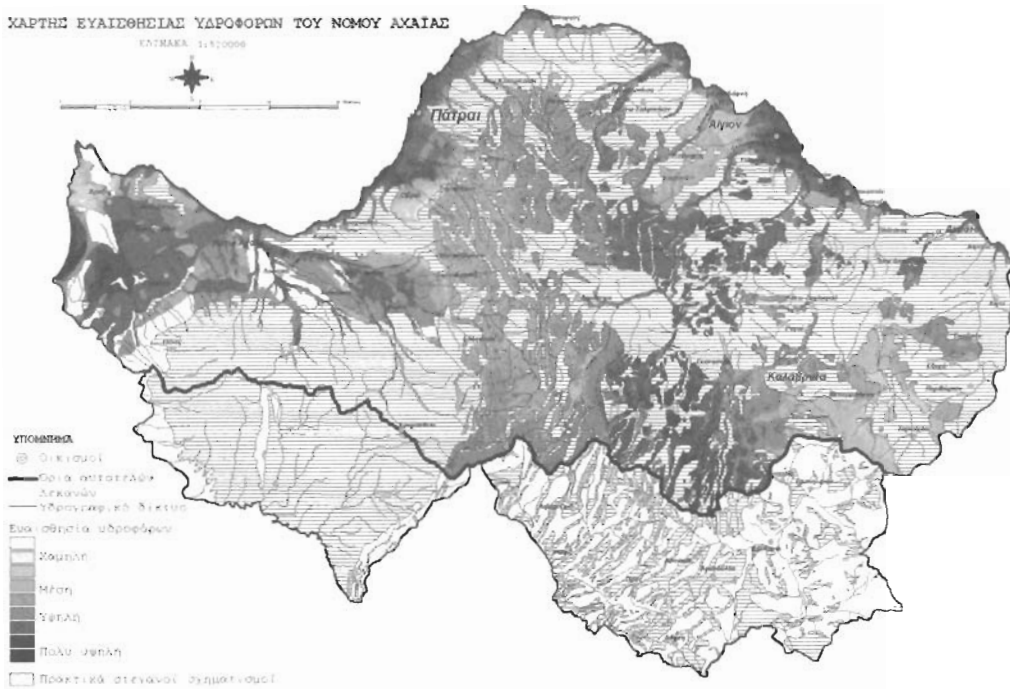
Σχήμα 8. Διαγραμματική απεικόνιση της διαδικασίας για την δημιουργία του χάρτη τρωτότητας της περιοχής έρευνας

Figure 8. Diagram showing the steps for the vulnerability map production for the study area.

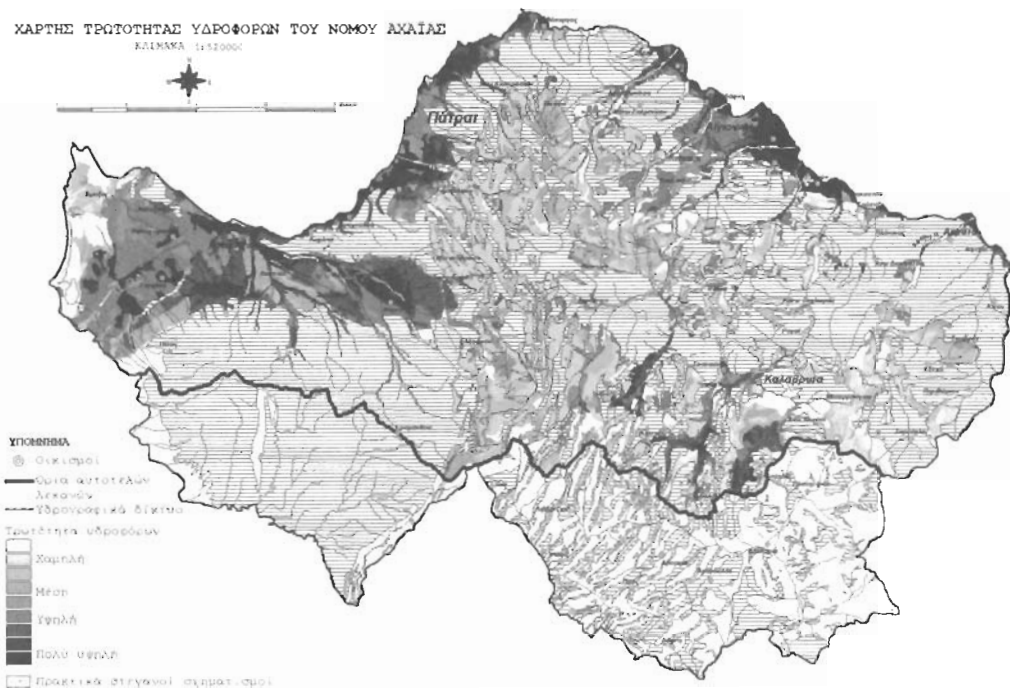
Ο προσδιορισμός των τιμών ευαισθησίας του υδροφόρου καθορίζεται από την εξίσωση:

$$Ds = D\lambda_{D_1} + R\lambda_{R_2} + A\lambda_{A_3} + S\lambda_{S_4} + T\lambda_{T_5} + V\lambda_{V_6}$$

ενώ για τον προσδιορισμό των τιμών τρωτότητας οι τιμές ευαισθησίας πολλαπλασιάζονται με ένα συντελεστή ο οποίος καθορίζεται από την σχετική βαθμολόγηση των χρήσεων γης. Όλη η διαδικασία για την κατασκευή των χαρτών ευαισθησίας και τρωτότητας των υδροφόρων με την μέθοδο DRASTIC και με την τεχνική του Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών (Γ.Π.Σ), παρουσιάζεται στο σχήμα 8. Παρατηρώντας τους χάρτες ευαισθησίας (Σχήμα 9) και τρωτότητας (Σχήμα 10) σε συνδυασμό με τον χάρτη κατανομής νιτροζών (Σχήμα 6) καταλήγουμε σε χρήσιμα συμπεράσματα τα οποία συνοψίζονται στα εξής: (α) Σε γενικές γραμμές υψηλές τρωτότητες παρουσιάζουν οι κοκκώδεις υδροφόροι της πεδινής ζώνης λόγω της αυξημένης ευαισθησίας τους αλλά και των έντονων καλλιεργητικών δραστηριοτήτων στις αντίστοιχες περιοχές. (β) Οι καρστικοί ασβεστολιθοί της ορεινής ζώνης παρουσιάζουν γενικά υψηλές ευαισθησίες όχι όμως και υψηλές τρωτότητες λόγω απουσίας έντονων ανθρωπογενών δραστηριοτήτων στις αντίστοιχες περιοχές. (γ) Στις περισσότερες περιοχές όπου έχουμε υψηλές τρωτότητες έχουμε αντίστοιχα και υψηλές συγκεντρώσεις νιτροζών (Περιοχές Τέμενης, Λουσικών, Σαργείων) πράγμα που επιβεβαιώνει την σε γενικές γραμμές ορθή λειτουργία του μοντέλου. (δ) Στις περιοχές Μετοχίου και Πέτρης παρουσιάζεται ο συνδυασμός υψηλής ευαισθησία-χαμηλή τρωτότητα-υψηλή συγκεντρωσή νιτροζών στο γεγονός ότι η μόλυνση στις περιοχές αυτές προέρχεται αποκλειστικά από σημειακές πηγές μόλυνσης οι οποίες δεν λαμβάνονται άμεσα υπόψη στο μοντέλο της παρούσας εργασίας διότι τα δεδομένα ανθρωπογενούς τρωτότητας του αντίστοιχου χάρτη του αντίστοιχου χωρικού μέσου τάσεως.



Σχήμα 9. Χάρτης ευαισθησίας για τους υδροφόρους της περιοχής έρευνας
 Figure 9. Sensitivity map for aquifers of the study area



Σχήμα 10. Χάρτης ευαλωπότητας για τους υδροφόρους της περιοχής έρευνας
 Figure 10. Vulnerability map for aquifers of the study area

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- ALLER L., BENNETT T., LEHR J.H., PETTY R. AND HACKET G., 1987. DRASTIC: a Standardized System for Evaluating Ground Water Pollution Potential Using Hydrogeologic Settings. U.S. Environmental Protection Agency. EPA/600/S2-87/035. Cincinnati, Ohio.
- ΛΑΜΠΡΑΚΗΣ Ν., ΒΟΥΔΟΥΡΗΣ Κ., ΤΗΝΙΑΚΟΣ Α. ΚΑΙ ΚΑΛΕΡΓΗΣ Γ., 1994. Τα αποτελέσματα της συνδιασμένης δράσης ξηρασίας και υπερεντατικών αντλήσεων στον υδροφόρο ορίζοντα της λεκάνης του Γλαΐζου ποταμού. Πρακτικά 7^{ου} Συνεδρίου της Ελλ. Γεωλ. Εταιρ. σελ. 411-419
- LEVINSON A.A., (1974) Introduction to Exploration Geochemistry, Applied Publishing Ltd., CALGARY.
- TSOFLIAS P., 1969. Etude geologique d'un secteur du Nord du Peloponese (Achaie). Ann. Geol. Pays Hellen., 21: 554-650, Athens.