

Τρωτότητα των υπόγειων νερών της πεδινής ζώνης του Νομού Ημαθίας. Εφαρμογή της τροποποιημένης μεθοδολογίας DRASTIC.

Κ. Παπαθεοδώρου*

Επίκουρος Καθηγητής, Τμήμα Γεωπληροφορικής & Τοπογραφίας, ΤΕΙ Σερρών
Τέρμα Μαγνησίας, 62124, Σέρρες

Ν. Βεράνης

Υδρογεωλόγος, Ινστιτούτο Γεωλογικών & Μεταλλευτικών Ερευνών
Φράγκων 1, 54326, Θεσσαλονίκη

Π. Πατσιαρός

Τοπογράφος Μηχανικός
Δελιγιάννη 6, 54641 Θεσσαλονίκη

Τηλ.: 2321049400, Φαξ: 2321049117, E-mail: conpap@teiser.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Το υπόγειο νερό είναι λιγότερο ή περισσότερο επιδεκτικό σε ρύπανση από φυσικά ή ανθρωπογενή αίτια. Σε κάθε περίπτωση, η πρόληψη της ρύπανσης αντί της διαχείρισης, είναι η διαδικασία η οποία μπορεί να βοηθήσει αποτελεσματικά στην προστασία της ποιότητας των υπόγειων νερών. Στα πλαίσια αυτά, έγινε προσπάθεια εκτίμησης της τρωτότητας των υπόγειων νερών με βάση τη διεθνώς αποδεκτή μεθολογία DRASTIC όπως τροποποιήθηκε και εφαρμόζεται λαμβάνοντας υπόψη και τις χρήσεις γής, προκειμένου να υπάρξει η δυνατότητα σχεδιασμού μέτρων πρόληψης. Την περιοχή έρευνας αποτελεί το πεδινό τμήμα του Νομού Ημαθίας, μία από τις σημαντικότερες αγροτικές περιοχές της Ελλάδας, όπου καλλιεργητικές πρακτικές εφαρμόζονται σ' ένα πλήθος καλλιεργειών, γεγονός που, σε συνδυασμό με την παρουσία πλήθους βιομηχανιών, βιοτεχνιών και άλλων ρυπογόνων δραστηριοτήτων έχει ως αποτέλεσμα την παρουσία αυξημένου κινδύνου ρύπανσης των υπόγειων νερών. Από την έρευνα προέκυψαν χάρτες τρωτότητας των υπόγειων νερών, των οποίων τα αποτελέσματα συμφωνούν με την χωρική κατανομή Νιτρικών ιόντων στα υπόγεια νερά της περιοχής, γεγονός ενδεικτικό της αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων της έρευνας.

Λέξεις Κλειδιά: ρύπανση, τρωτότητα υπόγειου νερού, modified DRASTIC, υδρογεωλογία, νιτρικά ιόντα

ABSTRACT: Groundwater is subjected to contamination from various natural and anthropogenic sources. In any case, contamination prevention compared to management can more effectively help in groundwater resources protection.

An effort to estimate groundwater vulnerability using the Modified DRASTIC method is presented. The research area is the plain of Emathia, one of the most important agricultural areas in Greece, where a number of cultivating practices has been applied for a number of years. In the same area, the presence of numerous industrial and other potentially hazardous installations pose a significant hazard in groundwater contamination.

As resulted, areas of high groundwater vulnerability were delineated, indicating a relatively high groundwater contamination hazard. Vulnerability maps compared to Nitrate concentration in groundwater samples collected from a number of borings in the area, showed a considerable coincidence, indicating the validity of the vulnerability estimation results.

Keywords: groundwater vulnerability, DRASTIC, hydrogeology, nitrate.

I. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το υπόγειο νερό είναι λιγότερο ή περισσότερο επιδεκτικό σε ρύπανση από φυσικά ή ανθρωπογενή αίτια. Η αποκατάσταση της ποιότητάς του σε περίπτωση ρύπανσης είναι ιδιαίτερα δαπανηρή, απαιτεί εξαιρετικά μεγάλο χρονικό διάστημα και για τους παραπάνω λόγους είναι συχνά ανέφικτη. Για τον λόγο αυτόν, ο σχεδιασμός μέτρων πρόληψης αντί των παρεμβάσεων μετά τη ρύπανση, είναι η διαδικασία, η οποία μπορεί να βοηθήσει αποτελεσματικά στην προστασία της ποιότητας των υπόγειων νερών.

Οι χάρτες τρωτότητας των υπόγειων νερών αποσκοπούν στην ανάδειξη περιοχών με ιδιαίτερη ευαισθησία στη ρύπανση του υπόγειου νερού από φυσικά ή ανθρωπογενή αίτια. Βασίζονται σε μοντέλα διασποράς ρύπων μέσω του κατεισδύοντος μετεωρικού νερού και υπόκεινται σε νόμους και παραμέτρους του υδρογεωλογικού επιστημονικού πεδίου. Από τις περισσότερες χρησιμοποιούμενες διεθνώς μεθοδολογίες εκτίμησης της τρωτότητας υπόγειων νερών, είναι η μέθοδος D.R.A.S.T.I.C. (Aller et al, 1987), όπως αυτή τροποποιήθηκε και βελτιώθηκε από άλλους ερευνητές (Canter, 1997). Ανήκει στις μεθόδους υπέρθεσης και δεικτών. Η μέθοδος αυτή έχει πολυπαραμετρικό χαρακτήρα ενώ δίνει στον ερευνητή την ευχέρεια να συμπεριλάβει και άλλους παράγοντες στην εκτίμηση της τρωτότητας ή ακόμη να παραλείψει κάποιους σε περίπτωση ανασφαλών ή ελλιπών δεδομένων. Θεωρείται η μέθοδος που λαμβάνει υπόψη τις περισσότερες των υδρογεωλογικών παραμέτρων ενός υδροφόρου συστήματος, περιγράφοντας όσο το δυνατόν ακριβέστερα τις επικρατούσες υδρογεωλογικές συνθήκες.

Η μέθοδος τιτλοδοτήθηκε από τα ακρωνύμια των παραμέτρων τις οποίες λαμβάνει υπόψη: Depth to groundwater (βάθος υπόγειου νερού), Recharge rate (τιμή ενεργού κατείδυσης), Aquifer media (υλικό υδροφορέα), Soil media (επιφανειακό εδαφικό υλικό), Topography (κλίση αναγλύφου), Impact of the vadose zone (επίδραση της ακόρεστης ζώνης), hydraulic Conductivity of the aquifer (υδραυλική αγωγιμότητα υδροφορέα). Ο καθορισμός του δείκτη DRASTIC

(Drastic Index ή DI) σε μια περιοχή, προκύπτει από τον πολλαπλασιασμό της αντίστοιχης βαθμολογίας για κάθε παράμετρο, με ένα συντελεστή βαρύτητας που είναι συγκεκριμένος για κάθε παράμετρο και εξαρτάται από τις υδρογεωλογικές συνθήκες. Η τρωτότητα του υδροφορέα όπως προκύπτει από τη μεθοδολογία, είναι ανάλογη της τιμής του τελικού δείκτη DI. Κάθε μία από τις παραμέτρους (X_r) που συμμετέχουν βαθμοδοτείται σε κλίμακα από 1 έως 10. Η αντίστοιχη τιμή αντιπροσωπεύει το σχετικό δυναμικό κάθε παραμέτρου στη ρύπανση. Οι συντελεστές βαρύτητας (X_w) με τους οποίους πολλαπλασιάζονται οι τιμές των παραμέτρων, αποτιμώνται από 1 έως 5 και καθορίζουν στην πράξη, τη σχετική «σπουδαιότητα» κάθε παραμέτρου σε σχέση με τις υπόλοιπες.

Η τελική τιμή του δείκτη DRASTIC (DI) προκύπτει από το άθροισμα των προκύπτοντων γινομένων:

$$\text{DRASTIC Index} = D_r \times D_w + R_r \times R_w + A_r \times A_w + S_r \times S_w + T_r \times T_w + I_r \times I_w + C_r \times C_w$$

όπου:

r : η βαθμολογία (rating) για κάθε παράμετρο, χωρικά κατανομημένη στην περιοχή μελέτης και

w : ο αντίστοιχος συντελεστής βαρύτητας (weight).

Πίνακας 1 – Τιμές των συντελεστών βαρύτητας για την τυπική μεθοδολογία DRASTIC

Παράγοντας	Συντελεστές βαρύτητας
D	5
R	4
A	3
S	2
T	1
I	5
C	3

Η μέθοδος αρχικά αναπτύχθηκε για την εκτίμηση της τρωτότητας των υπόγειων νερών σε ρύπανση, στη συνέχεια όμως εξελίχθηκε και τροποποιήθηκε, εκτιμώντας την ειδική τρωτότητα ενός υδροφορέα για συγκεκριμένο ρυπαντή (συγκεκριμένα για έρευνες σε περιοχές με νιτρορύπανση) και ονομάστηκε Pesticide DRASTIC.

Από τους πίνακες (1) και (2), φαίνεται ότι οι παράμετροι στις οποίες δίδεται η μεγαλύτερη βαρύτητα στην «τυπική» μέθοδο είναι το βάθος της στάθμης του υπόγειου νερού και η επίδραση της ακόρεστης ζώνης ενώ στην Pesticide DRASTIC, προστίθεται και η φύση του εδαφικού υλικού το οποίο συμμετέχει στις διαδικασίες εξασθένισης των ρύπων με τη δράση της οργανικής ύλης και των αργιλικών ορυκτών που πιθανά περιέχει.

Βασικές παραδοχές για την εφαρμογή της μεθοδολογίας είναι: i) ο κάθε είδους ρυπαντής εισάγεται από την επιφάνεια του εδάφους, ii) ο ρυπαντής φτάνει στο υπόγειο νερό παρασυρόμενος από το κατεισδύον νερό των ατμοσφαιρικών

κατακρημνισμάτων, iii) ο ρυπαντής έχει την ίδια ικανότητα κίνησης με αυτή του νερού.

Πίνακας 2 – Τιμές των συντελεστών βαρύτητας για την μεθοδολογία PESTICIDE DRASTIC.

Παράγοντας	Συντελεστές βαρύτητας
D	5
R	4
A	3
S	5
T	3
I	4
C	2

Επειδή η τυπική μέθοδος DRASTIC δεν λαμβάνει υπόψη τις διάφορες χρήσεις γής, ενώ αντίθετα, οι κύριες αιτίες ρύπανσης των υπόγειων νερών είναι ανθρωπογενείς, προτάθηκε η τροποποιημένη μέθοδος DRASTIC (Modified DRASTIC), που λαμβάνει υπόψη της και τις χρήσεις γής. Οι τιμές του τροποποιημένου δείκτη DRASTIC στην περίπτωση αυτήν, υπολογίζονται από την παρακάτω σχέση (Secunda et al. (1998), Al-Adamat et al. (2003), Thirumalaivasan et al. (2003)):

$$MDI = DI + L_r \times L_w$$

όπου: DI είναι ο τυπικός δείκτης DRASTIC (DI),

L_r είναι η τιμή της παραμέτρου χρήσης γης και

L_w είναι η βαρύτητα αυτής.

II. Η ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΡΕΥΝΑΣ

Την περιοχή έρευνας αποτελεί το πεδινό τμήμα του Νομού Ημαθίας (Σχ. 1). Ο νομός Ημαθίας είναι πλούσιος σε φυσικούς πόρους. Έχει μεγάλες και εύφορες πεδινές εκτάσεις υψηλής παραγωγικότητας, άφθονο υδάτινο δυναμικό το οποίο περιλαμβάνει πηγαίο, υπόγειο και επιφανειακό. Χαρακτηρίζεται ως αγροτικός από άποψη κύριας απασχόλησης και πηγής εισοδήματος, με έμφαση στις εντατικές καλλιέργειες (φρούτα, τεύτλα, βαμβάκι, κηπευτικά κ.λ.π.) καθώς επίσης και στην κτηνοτροφία. Το κλίμα του νομού Ημαθίας είναι ηπειρωτικό, με μέση ετήσια θερμοκρασία 11,5° C και ύψη βροχής που κυμαίνονται μεταξύ 400 και 600mm για το πεδινό τμήμα ενώ φτάνουν τα 1200mm στο ορεινό. Μορφολογικά διακρίνεται σε τρία τμήματα:

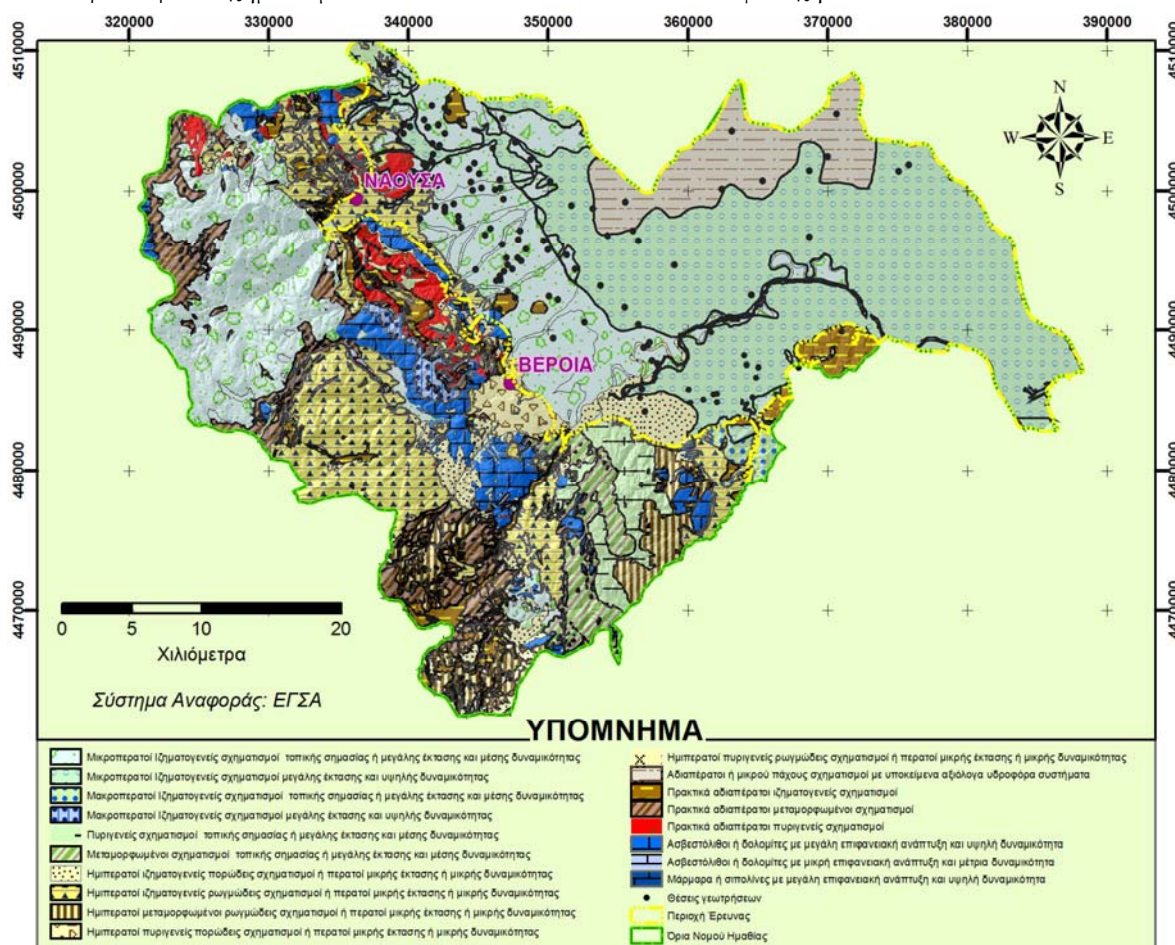
- Πεδινό..
- Ημιορεινό. Καλύπτει το 5,00% και συνολική έκταση 85 Km²,
- Ορεινό. Καλύπτει το 49,85% του Νομού και συνολική έκταση 857 Km².

Το πεδινό τμήμα αποτελεί το 46,15% της επιφάνειας του νομού και καλύπτει συνολική έκταση 767 Km² ενώ φθάνει μέχρι το υψόμετρο των 200μ. Το τμήμα αυτό, είναι πυκνοκατοικημένο ενώ εδώ είναι εγκατεστημένες και οι περισσότερες βιομηχανικές και βιοτεχνικές μονάδες του Νομού. Ως εύφορη περιοχή με άφθονο

υδάτινο πλούτο- επιφανειακό και υπόγειο, καλλιεργείται στο σύνολό της με όλα τα είδη δυναμικών καλλιεργειών. Η παρουσία βιομηχανικών, βιοτεχνικών και κτηνοτροφικών μονάδων καθώς και η συνεχής εφαρμογή καλλιεργητικών πρακτικών σ' ένα πλήθος καλλιεργειών, αυξάνουν τον κίνδυνο ρύπανσης των υπόγειων νερών της περιοχής με προφανείς επιπτώσεις στην υγεία των κατοίκων και στην οικονομία της ευρύτερης περιοχής.

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί που δομούν το υπέδαφος του ορεινού τμήματος του Ν. Ημαθίας ανήκουν από γεωτεκτονική άποψη στις ζώνες Αξιού και Πελαγονικής ενώ το πεδινό τμήμα καλύπτεται από μεταλλικά και σύγχρονα ιζήματα. Συγκεκριμένα από δυτικά προς ανατολικά, το υπέδαφος του Νομού αποτελούν γεωλογικοί σχηματισμοί:

- του Μεσοζωικού καλύμματος της Πελαγονικής ζώνης που περιλαμβάνει σειρά ανθρακικών ιζημάτων (δολομίτες, δολομιτικά μάρμαρα, ασβεστόλιθους κρυσταλλικούς) τριαδικής έως ιουρασικής ηλικίας, ορίζοντα οφιολίθων ιουρασικής ηλικίας, επικλυσιογενή σειρά που βρίσκεται σε συμφωνία επί των οφιολίθων και σπανιότερα επί των τριάδικο-ιουρασικών σχηματισμών και περιλαμβάνει κροκαλοπαγή, απολιθωματοφόρους ασβεστόλιθους μέσων-άνω κρητιδικής ηλικίας και φλύσχη.
- της υπο-ζώνης Αλμωπίας (ζώνη Αξιού) που περιλαμβάνει από τα παλαιότερα προς τα νεότερα πετρώματα, οφιολίθους, κροκαλοπαγή, κρυσταλλικούς ασβεστόλιθους και φλύσχη.



Σχήμα 1 – Υδρολιθολογικός χάρτης του Νομού Ημαθίας. Διακρίνεται η περιοχή Ξέρυνας καθώς και οι θέσεις των σημείων δειγματοληψίας και επιτόπου παρατηρήσεων.

- του Κρυσταλλοσχιστώδους υποβάθρου της Πελαγονικής ζώνης, που περιλαμβάνουν σύστημα οφθαλμογενεύσιων και αστριούχων σχιστόλιθων με παρεμβολές μικρών σερπεντινικών σωμάτων. Σε συμφωνία επί αυτών βρίσκεται σύστημα γνευσίων, μαρμαρυγιακών σχιστόλιθων, αμφιβολιτικών σχιστόλιθων και μαρμάρων.

Το πεδινό τμήμα της περιοχής, δομείται από μεταλλικά ιζήματα που περιλαμβάνουν Νεογενή ιζήματα που εμφανίζονται στα περιθώρια της πεδιάδας και καλύπτονται συχνά από πλευρικά κορήματα και Τεταρτογενείς αποθέσεις, οι οποίες περιλαμβάνουν κώνους κορημάτων, ποτάμιες αναβαθμίδες, αργίλους, άμμους χάλικες και μίγματα αυτών.

Οι εναλλαγές οριζόντων αργίλων, άμμων, χαλίκων, κροκαλών και μιγμάτων των σχηματισμών αυτών, αποτελούν το υδροφόρο σύστημα που αναπτύσσεται στο υπέδαφος της πεδινής περιοχής του Νομού.

III. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ

Για τον υπολογισμό των επιμέρους παραμέτρων των δεικτών τρωτότητας DRASTIC και MDI (Modified DRASTIC) χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα 115 υδρογεωτρήσεων της ευρύτερης περιοχής με δεδομένα που αφορούν λιθολογικές τομές, σταθμημετρήσεις, αποτελέσματα δοκιμαστικών αντλήσεων και αποτελέσματα χημικών αναλύσεων ενώ επιπλέον συγκεντρώθηκαν στοιχεία από επιτόπου παρατηρήσεις, από την ψηφιοποίηση τοπογραφικών χαρτών κλίμακας 1:50000 και 1:5000 καθώς και γεωλογικών χαρτών της ευρύτερης περιοχής έρευνας. Οι τιμές των παραμέτρων της μεθοδολογίας καθώς και αυτές των αντιστοιχών συντελεστών βαρύτητας, υπολογίστηκαν σύμφωνα με όσα καθορίζονται στην τυπική μέθοδο DRASTIC (Aller et al., 1987).

Α. Βάθος στάθμης υπόγειων νερών (D). Αποτελεί μια σημαντική παράμετρο καθώς καθορίζει την κατακόρυφη απόσταση που πρέπει να διανύσει ένας ρύπος προκειμένου να φτάσει στον υδροφόρο ορίζοντα. Η παράμετρος, σε συνδυασμό με το συντελεστή υδροπερατότητας μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό του χρονικού διαστήματος για το οποίο το κατεισδύον νερό θα έρθει σε επαφή με τα υλικά της ακόρεστης ζώνης του υδροφορέα (Aller et al. 1987, Canter, 1997). Από τα δεδομένα σταθμημετρήσεων σε 115 γεωτρήσεις της περιοχής, την αντίστοιχη βαθμονόμηση σύμφωνα με τη μεθοδολογία (Πιν. 1) και με συντελεστή βαρύτητας ίσο με 5, προέκυψε η τιμή της παραμέτρου Dr.

Πίνακας 3 – Βαθμονόμηση της παραμέτρου D σύμφωνα με τη μεθοδολογία DRASTIC.

Παράμετρος D (βάθος υπόγειου νερού)		
Τιμή (σε ft)	Τιμή (σε m)	Βαθμολογία
0-5	0-1,524	10
5-15	1,524-4,572	9
15-30	4,572-9,144	7
30-50	9,144-15,24	5
50-75	15,24-22,86	3
75-100	22,86-30,48	2
> 100	> 30,48	1

Β. Ρυθμός αναπλήρωσης (Recharge Rate). Η μεθοδολογία DRASTIC θεωρεί ως τρόπο αναπλήρωσης των υπόγειων νερών την άμεση κατείσδυση μετεωρικού νερού. Η τιμή της ενεργού κατείσδυσης αναφέρεται στη συνολική ποσότητα του νερού που

εμπλουτίζει τα αποθέματα του υπόγειου υδροφορέα. Η τιμή αυτή υπολογίστηκε με βάση βροχομετρικά δεδομένα της περιοχής που υποδεικνύουν ετήσια ύψη βροχής μεταξύ 400 και 600mm για το πεδινό τμήμα του Νομού, λαμβάνοντας υπόψη τον τυπικό συντελεστή περατότητας υδροπερατότητας των γεωλογικών σχηματισμών και την εξάπλωσή τους (Σχ. 1). Η βαρύτητα της παραμέτρου αυτής ελήφθη ίση με 4.

Πίνακας 4 – Βαθμονόμηση της παραμέτρου R σύμφωνα με τη μεθοδολογία DRASTIC

Παράμετρος R (τιμή ενεργής κατείσδυσης)		
Τιμή (σε in)	Τιμή (σε mm)	Βαθμολογία
0-2	50,8	1
2-4	50,8-101,6	3
4-7	101,6-177,8	6
7-10	177,8-254	8
> 10	> 254	9

Γ. Υλικό υδροφορέα (Aquifer media). Το υλικό του υδροφορέα αποτελεί σημαντική παράμετρο για την εκτίμηση της τρωτότητας, όσον αφορά την ικανότητά του να συμμετέχει στην εξασθένιση του ρυπαντικού φορτίου.

Πίνακας 5 – Βαθμονόμηση της παραμέτρου A σύμφωνα με τη μεθοδολογία DRASTIC

Παράμετρος A (υλικό υδροφορέα)		
Χαρακτηρισμός	Βαθμολογία	Τυπική Βαθμολογία
Μαζώδης σχιστή άργιλος	1-3	2
Μεταμορφωμένα / Πυριγενή	2-5	3
Αποσπασμένα Μεταμορφωμένα / Πυριγενή	3-5	4
Παγετώδεις αποθέσεις	4-6	5
Ενστροφές ψαμιτών, ασβεστόλιθοι, ενστροφές σχιστής άργιλου	5-9	6
Μαζώδης ψαμιτίτης	4-9	6
Μαζώδης ασβεστόλιθος	4-9	6
Άμμοι και κροκάλες	4-9	8
Βασάλτης	2-10	9
Καρστικοποιημένος ασβεστόλιθος	9-10	10

Ο χαρακτηρισμός και η ταξινόμηση του υλικού του υδροφορέα, έγινε για κάθε γεώτρηση με βάση τα στοιχεία της λιθολογικής της τομής, όπως αυτά προέκυψαν από τη δειγματοληψία κατά τη διάρκεια της διάτρησης. Η βαρύτητα της παραμέτρου αυτής ελήφθη ίση με 3.

Δ. Εδαφικό υλικό (Soil media). Το εδαφικό υλικό συμμετέχει στις διαδικασίες εξασθένισης των ρύπων με τη δράση της οργανικής ύλης και των αργιλικών ορυκτών που κατά κανόνα, περιέχει. Ο χαρακτηρισμός και η ταξινόμηση του εδαφικού υλικού έγινε με βάση δεδομένα του ΙΓΜΕ και επιτόπου παρατηρήσεις, ενώ η βαρύτητα της παραμέτρου ελήφθη ίση με 2.

Πίνακας 6 – Βαθμονόμηση της παραμέτρου **S** σύμφωνα με τη μεθοδολογία DRASTIC

Παράμετρος S (εδαφικό υλικό)	
Χαρακτηρισμός	Βαθμολογία
Πολύ λεπτό εδαφικό κάλυμμα ή απόν	10
Χαλίκια	10
Άμμος	9
Διογκούμενη άργιλος και/ή άργιλος με συσσωματώματα	7
Αμμόδης πηλός	6
Πηλός	5
Πυλώδης πηλός	4
Αργιλώδης πηλός	3
Μη διογκούμενη και / ή άργιλος άνευ συσσωματωμάτων	1

Ε. Ανάγλυφο (Topography). Επειδή η ποσότητα του κατεισδύοντος μετεωρικού νερού εξαρτάται και από την κλίση της επιφάνειας του εδάφους, η μεθοδολογία λαμβάνει υπόψη της και την παράμετρο αυτή. Με δεδομένο το ήπιο ανάγλυφο της περιοχής έρευνας, χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό της κλίσης της επιφάνειας του εδάφους δεδομένα που περιέλαβαν, ψηφιακά δεδομένα τοπογραφικών διαγραμμάτων κλίμακας 1:5000, τριγωνομετρικά σημεία (όσα δεν βρίσκονται πάνω σε κατασκευές) και τα υψόμετρα των γεωτρήσεων όπως αυτά αποτυπώθηκαν με τη χρησιμοποίηση ζευγών δεκτών GPS υψηλής ακρίβειας. Για την κατασκευή του αντίστοιχου Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους, χρησιμοποιήθηκε επίσης η θέση του υδρογραφικού δικτύου και της ακτογραμμής. Η βαρύτητα της παραμέτρου εκτιμήθηκε ίση με 1.

Πίνακας 7 – Βαθμονόμηση της παραμέτρου **T** σύμφωνα με τη μεθοδολογία DRASTIC

Παράμετρος T (κλίση αναγλύφου)		
Τιμή (% κλίση)	Τιμή (°)	Βαθμολογία
0-2	0 - 1,15°	10
2-6	1,15° - 3,43°	9
6-12	3,43° - 6,84°	5
12-18	6,84° - 10,2	3
> 18	> 10,2°	1

ΣΤ. Επίδραση της ακόρεστης ζώνης (Impact of the vadose zone)

Η ακόρεστη ζώνη ορίζεται σαν η ζώνη του υδροφορέα που υπέρκειται του υδροφόρου ορίζοντα και παίζει έναν ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο στην επιδεκτικότητα του υδροφορέα σε ρύπανση με κυρίαρχες παραμέτρους την κοκκομετρία του υλικού που την αποτελεί, την ορυκτολογική σύσταση των εδαφικών υλικών και κυρίως την περιεκτικότητα σε αργιλικά ορυκτά καθώς και την περιεκτικότητά της σε οργανική ύλη. Εξαιτίας της, σχετικά με την κορεσμένη ζώνη νερού, βραδύτερης κίνησης του κατεισδύοντος νερού στη ζώνη αυτή, υπάρχει η δυνατότητα συγκράτησης διαφόρων ρυπαντών είτε από τις ρίζες των φυτών οπότε ενσωματώνονται στον φυσικό ιστό. Επίσης, η μείωση της ποσότητας του εδαφικού νερού λόγω της εξάτμισης προκαλεί αύξηση της διάρκειας παραμονής των ρύπων για περισσότερο χρόνο στην ακόρεστη ζώνη και τελικά μπορεί να οδηγήσει στη συγκράτησή τους μέσω

διαδικασιών ρόφησης από τα διάφορα συστατικά του εδάφους, με συνέπεια τη φυσική απορρόπηση του κατεισδύοντος μετεωρικού νερού.

Η ταξινόμηση της ακόρεστης ζώνης στη μέθοδο DRASTIC, έγινε με βάση τα στοιχεία λιθολογικών τομών των γεωτρήσεων της περιοχής έρευνας και έδειξε ότι αυτή αποτελείται από αργίλους, άμμος, χάλικες, κροκάλες και μίγματα αυτών ενώ κατά θέσεις εμφανίζονται και μαργαϊκοί σχηματισμοί. Η βαθμονόμηση της παραμέτρου έγινε ανα γεώτρηση με βάση την αντίστοιχη λιθολογική τομή ενώ η βαρύτητά της ελήφθη ίση με 5.

Πίνακας 8 – Βαθμονόμηση της παραμέτρου **I** σύμφωνα με τη μεθοδολογία DRASTIC

Παράμετρος I (επίδραση της ακόρεστης ζώνης)		
Χαρακτηρισμός	Βαθμολογία	Τυπική Βαθμολογία
Εστρώμα υπό πίεση	1	1
Εύς / άργιλος	2-6	3
Σχιστή άργιλος	2-5	3
Ασβεστόλιθος	2-7	6
Ψαμίτης	4-8	6
Στροματώδης ασβεστόλιθος, ψαμίτης, σχιστή άργιλος	4-8	6
Άμμοι & χάλικα με σημαντικό ποσοστό ύψος και αργίλου	4-8	6
Μεταμορφωμένα / Πυριγενή	2-8	4
Άμμοι & χάλικα	6-9	8
Βασάλτης	2-10	9
Καρστικοποιημένος ασβεστόλιθος	8-10	10

Ζ. Υδραυλική αγωγιμότητα (hydraulic Conductivity of the aquifer)

Η υδραυλική αγωγιμότητα αποτελεί καθοριστική παράμετρο που αφορά την κίνηση του υπόγειου νερού αλλά και τη διασπορά των ρύπων σ' ένα υπόγειο υδροφόρο σύστημα. Οι τιμές της υδραυλικής αγωγιμότητας προέκυψαν από την επεξεργασία δεδομένων δοκιμαστικών αντλήσεων στις γεωτρήσεις της περιοχής (Τζιμούρτας 2001, Βεράνης 2008, Βεράνης 2009) καθώς και από τις λιθολογικές περιγραφές στις τομές γεωτρήσεων με βάση βιβλιογραφικά δεδομένα (Domeniko and Swartz 1998), ενώ η βαρύτητα της παραμέτρου ελήφθη ίση με 3.

Πίνακας 9 – Βαθμονόμηση της παραμέτρου **C** σύμφωνα με τη μεθοδολογία DRASTIC

Παράμετρος C (υδραυλική αγωγιμότητα υδροφορέα)		
Τιμή (gpd/ft ²)	Τιμή (m/sec)	Βαθμολογία
1-100	4,72×10 ⁻⁷ - 4,72×10 ⁻⁵	1
100-300	4,72×10 ⁻⁵ - 1,42×10 ⁻⁴	2
300-700	1,42×10 ⁻⁴ - 3,3×10 ⁻⁴	4
700-1000	3,3×10 ⁻⁴ - 4,72×10 ⁻⁴	6
1000-2000	4,72×10 ⁻⁴ - 9,43×10 ⁻⁴	8
> 2000	> 9,43×10 ⁻⁴	10

$$1 \text{ m/sec} = 2,12 \times 10^6 \text{ gal/day/ft}^2$$

Η μονάδα gpd/ft² αντιστοιχεί σε γαλόνια ανά ημέρα ανά τετραγωνικό πόδι (U.S.gal/day/ft²)

Η. Υπολογισμός του Δείκτη DRASTIC

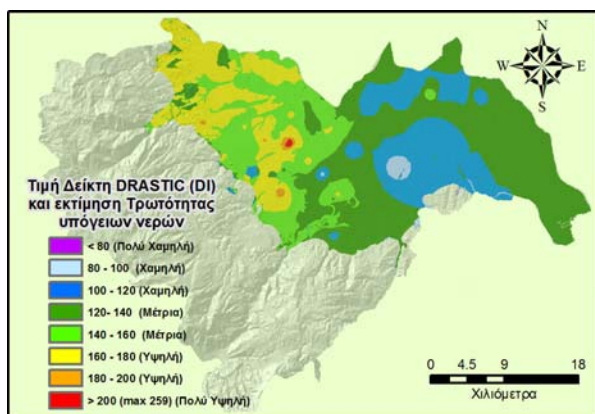
Η τιμή του δείκτη DRASTIC (DI) προκύπτει από το άθροισμα των γινομένων:

$$\text{DRASTIC Index} = Dr \times Dw + Rr \times Rw + Ar \times Aw + Sr \times Sw + Tr \times Tw + Ir \times Iw + Cr \times Cw$$

όπου:

r: η βαθμολογία (rating) για κάθε παράμετρο χωρικά κατανεμημένη στην περιοχή μελέτης και

w: ο αντίστοιχος συντελεστής βαρύτητας (weight).



Σχήμα 2 – Χωρική κατανομή του Δείκτη DRASTIC (DI) στην περιοχή έρευνας. Η μέγιστη τιμή ανέρχεται σε 217.

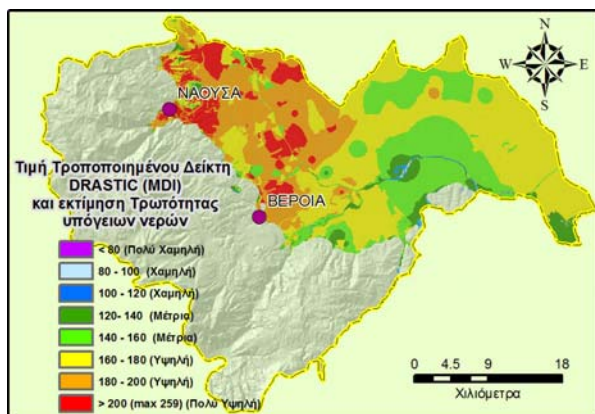
Όπως προέκυψε (Σχ. 2), η τιμή του δείκτη DRASTIC κυμαίνεται από 77 έως 217 τιμές που χαρακτηρίζουν σύμφωνα με τη μεθοδολογία, «Πολύ Χαμηλή» και «Πολύ Υψηλή» τρωτότητα αντίστοιχα.

Από την κατανομή του δείκτη προκύπτει ότι υψηλή τρωτότητα παρουσιάζουν οι υπόγειοι υδροφορείς που αναπτύσσονται στο Δυτικό κυρίως τμήμα της περιοχής έρευνας ενώ το υπόλοιπο τμήμα της περιοχής χαρακτηρίζεται από Μέτρια έως και Χαμηλή τρωτότητα των υπόγειων της νερών.

Η Υπολογισμός του Δείκτη MDI (Modified DRASTIC) Λαμβάνοντας υπόψη τις χρήσεις γής όπως αυτές καθορίζονται στο Corine Land Cover 2000 (European Environment Agency) και σύμφωνα με την πρόταση των Secunda et al. (1998), Al-Adamat et al. (2003), Thirumalaivasan et al. (2003), οι τιμές του τροποποιημένου δείκτη DRASTIC υπολογίζονται από τη σχέση:

$$MDI = DI + Lr \times Lw$$

όπου: DI, ο τυπικός δείκτης DRASTIC (DI), Lr, η τιμή της παραμέτρου χρήσης γης και Lw, η βαρύτητα αυτής. Οι τιμές της παραμέτρου Lr και οι αντίστοιχες τιμές βαρύτητας, δίνονται από αντίστοιχους πίνακες.



Σχήμα 3 – Χωρική κατανομή του Τροποποιημένου Δείκτη DRASTIC (MDI) στην περιοχή έρευνας. Η μέγιστη τιμή ανέρχεται σε 256.

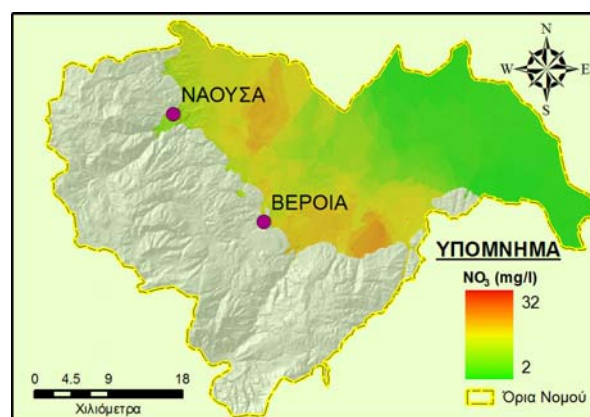
Όπως προκύπτει, η τιμή του τροποποιημένου δείκτη DRASTIC (MDI) κυμαίνεται από 81 έως 256, τιμές που χαρακτηρίζουν σύμφωνα με τη μεθοδολογία, «Χαμηλή» και «πολύ Υψηλή» τρωτότητα αντίστοιχα. Από την κατανομή του τροποποιημένου δείκτη (Σχ. 3) προκύπτει ότι τα υπόγεια νερά του δυτικού και μέρους του βόρειου τμήματος της περιοχής έρευνας χαρακτηρίζονται από «υψηλή» έως και «πολύ υψηλή» τρωτότητα. Το μεγαλύτερο τμήμα της υπόλοιπης περιοχής που αποτελεί το ανατολικό τμήμα της περιοχής έρευνας, χαρακτηρίζεται από «μέτρια» έως και «χαμηλή» τρωτότητα.

IV. ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Η συγκέντρωση των Νιτρικών ιόντων στα υπόγεια νερά έχει προταθεί ως δείκτης ρύπανσης από ανθρωπογενείς δραστηριότητες στην επιφάνεια και συνδέεται με την αξιολόγηση μεθοδολογιών εκτίμησης της τρωτότητας (Rupert M.G, 1999).

Για τον έλεγχο των αποτελεσμάτων της έρευνας, χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα υδροχημικών αναλύσεων και συγκεκριμένα της συγκέντρωσης Νιτρικών ιόντων (NO_3) σε 130 υδρογεωτρήσεις (Βεράνης 2008, Βεράνης 2009, Τζιμούρτας 2001).

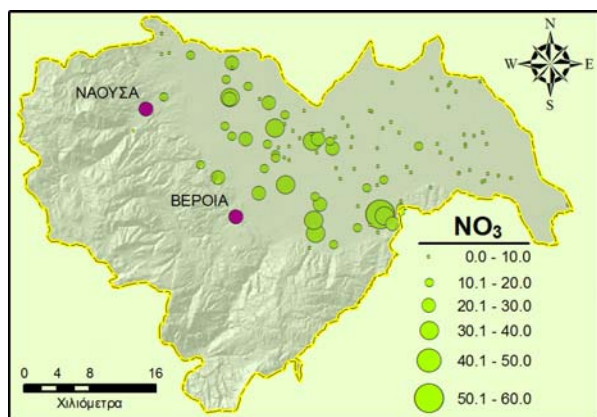
Από τη σύγκριση της χωρικής κατανομής της συγκέντρωσης Νιτρικών ιόντων στα υπόγεια νερά της περιοχής (Σχ. 4) με τα αποτελέσματα της εκτίμησης της τρωτότητας με την τροποποιημένη μέθοδο DRASTIC MDI (Σχ. 3), προκύπτει ότι υπάρχει σαφέστατη σύγκλιση των εκτιμήσεων της μεθοδολογίας με τα αποτελέσματα των υδροχημικών αναλύσεων. Συγκεκριμένα, σε ό,τι αφορά το δυτικό και τμήμα της περιοχής έρευνας που χαρακτηρίζονται ως περιοχές «υψηλής» και «πολύ υψηλής» τρωτότητας φαίνεται να υπάρχει πλήρης σύμπτωση. Το ίδιο φαίνεται να ισχύει και για το Ανατολικό τμήμα της περιοχής, που εκτιμάται ως περιοχή «μέτριας» έως «χαμηλής» τρωτότητας.



Σχήμα 4 – Χωρική κατανομή της συγκέντρωσης Νιτρικών ιόντων (mg/l) στα υπόγεια νερά της περιοχής έρευνας.

Στο τμήμα αυτό εμφανίζονται χαμηλότερες συγκεντρώσεις νιτρικών στα υπόγεια νερά της περιοχής (Σχ. 4).

Θα πρέπει στο σημείο αυτό να επισημανθεί το γεγονός ότι, καθώς η δειγματοληψία νερού πραγματοποιήθηκε στο αντλούμενο νερό των γεωτρήσεων και όχι στο νερό του φρεάτιου υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα, οι τιμές συγκέντρωσης των νιτρικών ιόντων και τα αντίστοιχα συμπεράσματα, έχουν κυρίως ποιοτικό χαρακτήρα, δεδομένου ότι το νερό του φρεάτιου υδροφόρου ορίζοντα αναμιγνύεται κατά την άντληση, με νερό των βαθύτερων υδροφόρων οριζόντων του υδροφόρου συστήματος της πεδιάδας. Παρ' όλα αυτά, οι αυξημένες συγκεντρώσεις νιτρικών ιόντων στο αντλούμενο νερό των υδρογεωτρήσεων (Σχ. 5) αποτελούν μία ισχυρή ένδειξη της επιβάρυνσης των υπόγειων νερών της περιοχής σε νιτρικά ιόντα. Οι τιμές των συγκεντρώσεων αυτών, είναι προφανώς πολύ μικρότερες των αντιστοίχων συγκεντρώσεων νιτρικών στον φρεάτιο υδροφόρο ορίζοντα.



Σχήμα 5 – Τιμές συγκέντρωσης Νιτρικών ιόντων (mg/l) στα υπόγεια νερά της ευρύτερης περιοχής έρευνας.

V. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Όπως προέκυψε από την εφαρμογή της τυπικής και της τροποποιημένης μεθοδολογίας DRASTIC για την εκτίμηση της τρωτότητας των υπόγειων νερών της πεδινής ζώνης του Ν. Ημαθίας, το δυτικό τμήμα της πεδιάδας το οποίο δομείται κυρίως από μικροπερατούς γεωλογικούς σχηματισμούς μέσης δυναμικότητας, παρουσιάζει υψηλή έως πολύ υψηλή τρωτότητα με τιμές του συντελεστή MDI να κυμαίνονται μεταξύ 164 και 256.

Για το υπόλοιπο (ανατολικό) τμήμα της περιοχής έρευνας το οποίο δομείται από γεωλογικούς σχηματισμούς υψηλής δυναμικότητας, εκτιμάται ότι αυτό εμφανίζει μέτρια έως χαμηλή τρωτότητα με τιμές του συντελεστή MDI να κυμαίνονται μεταξύ 81 και 165.

Για τον υπολογισμό των δεικτών DRASTIC και MDI (Modified Drastic Index), χρησιμοποιήθηκαν στην

παρούσα έρευνα, δεδομένα αναγλύφου υψηλής ανάλυσης, τα οποία έδωσαν τη δυνατότητα ακριβέστερου υπολογισμού της κλίσης του αναγλύφου (S). Επιπλέον, η παράμετρος του ρυθμού αναπλήρωσης (R) υπολογίστηκε τόσο με βάση τη βροχοβαθμίδα της περιοχής όσο και με βάση την υδροπερατότητα του κάθε γεωλογικού σχηματισμού που αποκαλύπτεται στην περιοχή έρευνας. Εκτιμάται ότι η προσθήκη αυτή έδωσε τη δυνατότητα βελτιστοποίησης της εκτίμησης της τρωτότητας δεδομένου ότι η παράμετρος R έχει επιπλέον, υψηλό συντελεστή βαρύτητας. Για τον λόγο αυτόν, προτείνεται, ο υπολογισμός της παραμέτρου του ρυθμού αναπλήρωσης (R) να λαμβάνει υπόψη την υδροπερατότητα του κάθε γεωλογικού σχηματισμού που αποκαλύπτεται στην περιοχή έρευνας, σε κάθε περίπτωση εφαρμογής της μεθοδολογίας DRASTIC.

Από τη σύγκριση των αποτελεσμάτων χημικών αναλύσεων που πραγματοποιήθηκαν σε 104 δείγματα νερού υδρογεωτρήσεων της περιοχής για τη μέτρηση της συγκέντρωσης νιτρικών ιόντων (NO_3), με την εκτίμηση της τρωτότητας στην περιοχή έρευνας, προέκυψε ότι στις περιοχές που χαρακτηρίζονται από υψηλή έως και πολύ υψηλή τρωτότητα, εμφανίζονται πράγματι αυξημένες τιμές συγκέντρωσης Νιτρικών ιόντων. Αντίθετα στις περιοχές που χαρακτηρίζονται από μέτρια έως χαμηλή τρωτότητα, εμφανίζονται συγκριτικά χαμηλότερες τιμές συγκέντρωσης νιτρικών. Η συγκριτικά αυξημένη συγκέντρωση νιτρικών ιόντων στο νερό των υδρογεωτρήσεων των τμημάτων της περιοχής που χαρακτηρίζονται από μεγάλη τρωτότητα, είναι ενδεικτική της ορθότητας των εκτιμήσεων της έρευνας που πραγματοποιήθηκε στην περιοχή αλλά και των δυνατοτήτων της τροποποιημένης μεθοδολογίας Modified DRASTIC.

Οι σχετικά αυξημένες αυτές συγκεντρώσεις υποδεικνύουν την ήδη αυξημένη ανθρωπογενή επίδραση στο υπόγειο νερό της περιοχής έρευνας.

Για τον λόγο αυτόν, ο χάρτης εκτίμησης της τρωτότητας των υπόγειων νερών του πεδινού τμήματος του Ν. Ημαθίας, μπορεί να συμβάλλει στον σχεδιασμό δράσεων και παρεμβάσεων, οι οποίες μπορεί να αφορούν γενικά πλαίσια χωροταξικού σχεδιασμού και χρήσεων γης της περιοχής (επιλογή χώρων για δημιουργία κτηνοτροφικών πάρκων, για δημιουργία βιομηχανικών ζωνών, αρχική επιλογή χώρων απόθεσης αποβλήτων, περιοχές συστηματικού ελέγχου της ποιότητας των υπόγειων νερών), προκειμένου να υπάρξει πρόληψη της ρύπανσης των υπόγειων νερών από ανθρωπογενείς παράγοντες και συνεπώς, ουσιαστική προστασία του σημαντικού φυσικού αυτού πόρου.

VI ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Οι συγγραφείς επιθυμούν να ευχαριστήσουν το ΙΓΜΕ Θεσσαλονίκης για την παροχή εδαφολογικών και γεωλογικών στοιχείων της περιοχής έρευνας.

VII. ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [1] "DRASTIC: A Standardized System for Evaluating Ground Water Pollution Potential Using Hydrogeologic Settings". Aller L., Bennett T., Lehr J. and Hackett G, pp. 622. Robert Kerr Environmental Research Lab., United States Environmental Protection Agency, EPA, 1987.
- [2] "Calibration of the DRASTIC Vulnerability Method", M.G. Rupert, Ground Water July-August 2001, pp. 625-630.
- [3] "Groundwater vulnerability and risk mapping for the Basaltic aquifer of the Azraq basin of Jordan using GIS, Remote Sensing and DRASTIC", R.A.N. Al-Adamat, I.D.L. Foster and S.M.J. Baban Applied Geography Nr.23, 2003, pp.303-324.
- [4] "Groundwater vulnerability assessment using a composite model combining DRASTIC with extensive agricultural land use in Israel's Sharon region.", Secunda, S., Collin, M.L., Melloul, A. Journal of Environmental Management 54, 3957.
- [5] "Predicting Spatial Distributions of Vulnerability of Indiana State Aquifer Systems to Nitrate Leaching Using GIS", Kumar, C. S., Navular, and Engle, B. A., http://www.ncgia.uscb.edu/conf/SANTA_FE_CD_ROW/sf_papers/navular_ruma/my_paper.html
- [6] "Aquifer Vulnerability Assessment using Analytical Hierarchy Process and GIS for Upper Palar Watershed", Thitumalaivasan D., 22nd Asian Conference on Remote Sensing, 5-9 Nov. 2001, Singapore.
- [7] "Estimating groundwater vulnerability to nonpoint source pollution from nitrates and pesticides, on a regional scale", Engel B., Kumar N., Cooper B., HydroGIS 96, Application of Geographic Information Systems in Hydrology and Water Resources Management (Proceedings of the Vienna Conference, April 1996). IAHS Publ. no. 235, 1996.
- [8] "Mapping groundwater vulnerable zones using modified DRASTIC approach of an alluvial aquifer in parts of central Ganga plain, Western Uttar Pradesh", Rashid Umar, Izrar Ahmed and Fakhre Alam, Journal of the Geological Society of India, Springer, Vol. 73, Feb. 2009.
- [9] "CORINE Land Cover-Data for year 2000", European Environmental Agency Publication, 2000, <http://www.eea.europa.eu/themes/landuse/clc-download>.
- [10] "Εκτίμηση της τρωτότητας των υπόγειων νερών με τη μέθοδο DRASTIC: η περίπτωση του αλλουβιακού υδροφορέα της λεκάνης Γλαύκου (Ν. Αχαΐας)", Κ. Βουδούρης, Δ. Μανδηλαράς. N.D. Hatzigargyriou, T.S. Karakatsanis, IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 15, Nr. 2, May 2000, pp. 687-693.
- [11] Domenico, P. and Schwartz, F. (1998). Physical and Chemical Hydrogeology. John Wiley & Sons, pp. 506
- [12] Βεράνης, Ν. (2008). Υδρογεωλογική αναγνώριση και αποτύπωση των συνθηκών ύδρευσης στο Δήμο Πλατέως Ν. Ημαθίας. Αδμ. Μελέτη ΙΓΜΕ, Θεσσαλονίκη, σελ.60, χάρτες, πίνακες.

- [13] Τζιμούρτας, Σ. (2001). Ποιοτική Παρακολούθηση και Έλεγχος Υδάτινων Πόρων Κ. Μακεδονίας, Ν. Ημαθίας. ΕΡΓΟ: Β ΚΠΣ. Μελέτη ποιοτικής κατάστασης υπόγειων νερών παράκτιας περιοχής Θερμαϊκού κόλπου. Αδ. μελ. ΙΓΜΕ, Θεσσαλονίκη, σελ. 44.
- [13] Βεράνης, Ν. (2009). Υδρογεωλογική αναγνώριση και αποτύπωση των συνθηκών ύδρευσης στο Δήμο Μελίκης, Ν. Ημαθίας. Αδμ. Μελέτη ΙΓΜΕ, Θεσσαλονίκη, σελ. 64, χάρτες, πίνακες.

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ

Κωνσταντίνος Παπαθεοδώρου

Τμήμα Γεωπληροφορικής & Τοπογραφίας
Τεχνολογικός Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Σερρών
Τέρμα Μαγνησίας
62124 Σέρρες - ΕΛΛΑΣ

Τηλ.: 2321049400, Φαξ: 2321049117

E-mail: conpapa@teiser.gr

Χωρογραφίες/ Τόμος 1/ Αρ 1/ 2010 – σελ 17-24