

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΤΗΣ ΑΚΟΡΕΣΤΗΣ ΖΩΝΗΣ ΤΩΝ ΥΔΡΟΦΟΡΩΝ ΓΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ: Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΟΥ ΕΛΕΥΘΕΡΟΥ ΠΡΟΣΧΩΜΑΤΙΚΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΟΥ ΤΗΣ ΚΟΙΛΑΔΑΣ ΤΟΥ ΠΟΤΑΜΟΥ ΕΥΡΩΤΑ *

ΑΝΤΩΝΑΚΟΣ Α.¹

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σε υδρογεωλογικές και περιβαλλοντικές μελέτες και έρευνες είναι απαραίτητη η γνώση χαρακτηριστικών παραμέτρων ποσοτικοποίησης της ακόρεστης ζώνης, που συνδέονται άμεσα με την ικανότητα της να συγκρατεί τους διάφορους ρύπους οι οποίοι μέσω αυτής προχωρούν προς τους υδροφόρους ορίζοντες. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται διεθνώς είναι απλές και με μικρό κόστος ενώ τα αποτελέσματα που εξάγονται είναι σημαντικά. Στην παρούσα **εργασία περιγράφονται** μέθοδοι προσδιορισμού των κοκκομετρικών χαρακτηριστικών και της περιεκτικότητας σε οργανικό υλικό του ιζήματος, της υδραυλικής αγωγιμότητας κάτω από συνθήκες κορεσμού καθώς και των κυριότερων υδροχημικών χαρακτηριστικών της εδαφικής υγρασίας οι οποίες εφαρμόστηκαν στην ακόρεστη ζώνη του ελεύθερου προσχωματικού υδροφόρου της κοιλάδας του ποταμού Ευρώτα.

ABSTRACT

In hydrogeological and environmental studies and investigations it is necessary to know the characteristic parameters that quantify the features of the vadose zone and are related directly to the capability of restraining various pollutants which through this zone percolate to the underneath aquifers. The methods that are used for this purpose worldwide, are simple and of low cost, although they give very important results. In the present study methods of determination for the grain size distribution, the organic matter content of the sediment, the saturated hydraulic conductivity and the concentration of the major ions of the soil moisture.

The apparatus that are mainly used and described is the soil sampler known as "gauge auger" and the soil moisture sampler known as "suction cup sampler". The application of the research methods for the study area (S – E Peloponnesus) is analyzed and the difficulties of this application are located. Also methods of confrontation of these difficulties are suggested. More precisely the methods of determination of the saturated hydraulic conductivity are compared with regard to their difficulty of application. The spatial distribution of all parameters determined for the study area are presented by the form of contour maps and diagrams.

KEY WORDS: Vadose zone, soil, soil moisture, aquifers, organic matter, hydraulic conductivity .

* DETERMINATION OF THE CHARACTERISTIC PROPERTIES OF THE ZONE OF AERATION OF THE AQUIFERS AND THEIR APPLICATION TO STUDY ENVIRONMENTAL PROBLEMS: THE CASE OF THE ALLUVIAL AQUIFER OF EVROTAS BASIN.

¹ Γεωλόγος, μεταπτυχιακός φοιτητής του Παν/μίου Πατρών. Εργαστήριο Υδρογεωλογίας, Πανεπιστήμιο **Ψηφιακή Βιβλιοθήκη "Θεόφραστος"** - Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Εδαφική υγρασία, υδροφόρος ορίζοντας, οργανικό υλικό, υδραυλική αγωγιμότητα ακόρεστης ζώνης.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται οι μεθοδολογίες που χρησιμοποιήθηκαν για την έρευνα της ρύπανσης του υδροφόρου ορίζοντα των αλλουβιακών σχηματισμών της ευρύτερης περιοχής της Σπάρτης. Αναφέρονται οι δυσκολίες που παρουσιάζονται στην εφαρμογή τους και γίνεται αξιολόγηση των αποτελεσμάτων σε σχέση με τις δυσκολίες εφαρμογής των μεθοδολογιών.

Φυσιογραφικά η περιοχή έρευνας αποτελεί μια μακρόστενη κοιλάδα με ΒΑ-ΝΑ διεύθυνση, η οποία διατρέχεται κατά μήκος και στο ανατολικό της άκρο από τον ποταμό Ευρώτα και κατά μήκος από μια σειρά δρυτερενόντων υδρορευμάτων παροδικής ροής. Η περιοχή έρευνας παρουσιάζει τυπικό μεσογειακό κλίμα με μέση ετήσια θερμοκρασία 16°C, μέση ετήσια βροχόπτωση 931.6 mm και μέση ετήσια εξατμισοδιαπνοή κατά Thornthwaite 668 mm ισοδύναμου ύψους βροχής.

Τα Πλειο-πλειστοκαινικά ιζήματα της περιοχής έρευνας αποτελούνται από κροκαλοπηγή, αργιλοχυς και πηλόχυς άμμιους αλλά και μάργες. Η απόθεσή τους έλαβε χώρα σε διαδοχικά ποτάμια και λιμναία περιβάλλοντα. Αντίστοιχα, τα ολοκαινικά ιζήματα της περιοχής δομοίνονται από αλλουβιακά υλιτάρια στα δυτικά και αποθέσεις πεδιάδας πλημμύρας ποταμιού στα ανατολικά (D.J.W. Piper et. al., 1983).

Η υδρογεωλογία της περιοχής χαρακτηρίζεται από την ύπαρξη μιας σειράς παράλληλων, ελεύθερων-ημικλεισμένων και υπό πίεση, υδροφόρων στρωμάτων στις αποθέσεις του Ολοκαινίου και Πλειστοκαινίου, οι οποίοι περιορίζονται στα δυτικά από τα κροταλλικά πετρώματα του υποβάθρου και ανατολικά από τις αποθέσεις του Νεογενούς. Ο ελεύθερος υδροφόρος, ο οποίος μεταπίπτει σε ημικλεισμένο στο κέντρο της κοιλάδας έχει πάχος 5-15 m, υδραυλική αγωγιμότητα από $1 * 10^{-4}$ έως και $6 * 10^{-4}$ m/sec και υδροχωρητικότητα από $1.1 * 10^{-2}$ έως $1.3 * 10^{-3}$.

2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΡΓΑΣΙΩΝ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Στα πλαίσια της έρευνας για την ρύπανση των υπόγειων υδάτων του αλλουβιακού υδροφόρου Σπάρτης προσδιορίστηκαν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά της ακόρεστης ζώνης:

- Κοκκομετρία και ξηρό φαινόμενο βάθος του ιζήματος, για το βάθος του 1 m.
- Περιεκτικότητα σε οργανικό υλικό του ιζήματος για το βάθος του 1 m.
- Υδραυλική αγωγιμότητα σε κατάσταση κορεσμού ως προς την εδαφική υγρασία για τα βάθη του 0,5 και 1 m.
- Χημική ανάλυση σε δείγματα εδαφικής υγρασίας που λήφθηκαν με την χρήση ειδικού δειγματολήπτη για τα στοιχεία NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ , SO_4^{2-} , Fe_{total} , Mn^{++} και COD

Για τη μελέτη της κοκκομετρίας και του ξηρό φαινόμενου βάθους χρησιμοποιήθηκαν τα στοιχεία από την "Εδαφολογική μελέτη μέσω και άνω του Ευρώτα (ΛΑΚΩΝΙΑΣ)" που πραγματοποιήθηκε το 1969 για λογαριασμό του Υπουργείου Γεωργίας, ενώ πραγματοποιήθηκαν και δυο κοκκομετρικές αναλύσεις σε ταυτόσημα σημεία για τον μερικό έλεγχο της ορθότητας των προαναφερθέντων δεδομένων, με την μέθοδο του πιννομέτρου γνωστή και ως μέθοδο Stokes. Η περιεκτικότητα σε αργιλικό υλικό σε συνδυασμό με την περιεκτικότητα σε οργανικό υλικό, χρησιμοποιήθηκαν στον υπολογισμό της ικανότητας κατιονταλλαγής (CEC) του υλικού, σύμφωνα με τη σχέση (Breeuwsma et al. 1986) :

$$\text{CEC}(\text{meq}/100\text{g})=0,7 (\% \text{ αργιλος})+ 3,5 (\% \text{ οργανικό υλικό}) \quad (1)$$

Για τον προσδιορισμό του οργανικού υλικού διεξήχθησαν 19 εδαφοληψίες στην περιοχή έρευνας με τη βοήθεια του εδαφολήπτη Gouge auger διαμέτρου 30mm (μοντέλο 04.02.01.30B της εταιρείας Fijkelkamp).

Στα δείγματα αυτά, αφού ξηράθηκαν για 24 ώρες στους 105⁰ C, έγινε ανάλυση για τον προσδιορισμό του οργανικού υλικού % με τη μέθοδο του λιθωμικού καλίου ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) και τη χρησιμοποίηση του ελασματοποιητή HACH DR2000.

Για τον προσδιορισμό της υδραυλικής αγωγιμότητας σε συνθήκες κορεσμού της εδαφικής υγρασίας χρησιμοποιήθηκαν οι 19 οπές, που ανοίχθηκαν για τις εδαφοληψίες για τον προσδιορισμό του οργανικού υλικού. Χρησιμοποιήθηκαν τρεις διαφορετικές μέθοδοι, οι οποίες σε 4 περιπτώσεις εφαρμόστηκαν ταυτόχρονα ώστε να διαπιστωθεί η διαφοροποίηση ως προς το αποτέλεσμα, που εισάγει η επιλογή της μεθόδου. Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκαν δυο μέθοδοι, που εφαρμόζει το U.S.B.R. (United States Bureau of Reclamation) (D. B. Stephens et. al. 1982), οι οποίες απαιτούν σταθερό υδραυλικό φορτίο, καθώς και μια μέθοδος, που προτείνεται από τον Philip (J. R. Philip 1993), η οποία απαιτεί μεταβλητό υδραυλικό φορτίο. Στη μέθοδο αυτή, καθώς και στην δεύτερη από τις δυο προηγούμενες, απαιτείται σωληνωμένη οπή με ελεύθερο πυθμένα. Η εφαρμογή του σωλήνα πρέπει να είναι τέλεια ιδίως στο τέλος της τρύπας. Η τρίτη μέθοδος απαιτεί ασωληνώτη οπή. Συνολικά, η θεωρία και οι αρχές εφαρμογής της κάθε μεθόδου έχουν ως εξής:

α) Μέθοδος U.S.B.R. για ανοιχτή οπή και σταθερό φορτίο

Για την εφαρμογή της μεθόδου απαιτείται μια οπή ακτίνας r και βάθους H , η οποία γεμίζεται με νερό ενώ διατηρείται σταθερή η στάθμη του νερού στο χείλος της οπής. Η διαδικασία αυτή συνεχίζεται μέχρι η παροχή Q , που απαιτείται για να παραμένει η στάθμη στο χείλος της τρύπας, σταθεροποιηθεί σε μια τελική τιμή Q_s . Στη συνέχεια, χρησιμοποιώντας την εξίσωση (Nasberg-Terletska, 1978):

$$K_s = 0.423 \cdot Q_s \cdot \frac{\log\left(\frac{2H}{r}\right)}{H^2} \quad (2)$$

υπολογίζεται η κορεσμένη υδραυλική αγωγιμότητα K_s για όλο το πάχος του σχηματισμού H .

β) Μέθοδος U.S.B.R. για σωληνωμένη οπή και σταθερό φορτίο

Η μέθοδος αυτή ομοιάζει με την προηγούμενη, με τη διαφορά ότι η οπή είναι σωληνωμένη. Η εξίσωση, που χρησιμοποιείται σ' αυτήν την περίπτωση για τον προσδιορισμό του συντελεστή υδραυλικής αγωγιμότητας, είναι ((D. B. Stephens et. al. 1982):

$$K_s = \frac{Q_s}{5.5 \cdot r \cdot H} \quad (4)$$

Όπως είναι φανερό, με τη μέθοδο αυτή προσδιορίζεται το K_s , όχι ολόκληρης της στήλης αλλά μόνο του στρώματος, που υπόκειται του σημείου, όπου καταλήγει η οπή.

γ) Μέθοδος Philip για σωληνωμένη οπή και μεταβλητό φορτίο.

Για την εφαρμογή της μεθόδου απαιτείται μια σωληνωμένη οπή ακτίνας r και μήκους D , η οποία γεμίζεται με νερό. Στην συνέχεια και ενώ η οπή αδειάζει, μετράται ο χρόνος $t_{(D/2)}$, που απαιτείται για να φτάσει η στάθμη του νερού στο $D/2$ και ο χρόνος $t_{(D)}$, που απαιτείται για ν' αδειάσει εντελώς η οπή.

Για τον υπολογισμό της κορεσμένης υδραυλικής αγωγιμότητας K_s χρησιμοποιείται η εξίσωση (J. R. Philip, 1993):

$$K_s = \pi^2 \cdot r_0 \cdot \frac{t_{\max}}{8 \cdot t_{(D)}} \quad (5)$$

όπου $r_0 = r/2$

Η παράμετρος τ είναι μια αδιάστατη παράμετρος, η οποία υπολογίζεται από την εξίσωση (J. R. Philip, 1993):

$$\tau = 1 + \left(\frac{1}{2 \cdot A}\right) \cdot \ln\left(\frac{A^2 - 1}{A^2 - Q}\right) - \frac{3}{2A} \cdot \ln\left(\frac{A - 1}{A - Q}\right) + \frac{\sqrt{3}}{A}$$

$$\left[\tan^{-1}\left(\frac{A + 2 \cdot Q}{\sqrt{3} \cdot A}\right) - \tan^{-1}\left(\frac{A + 2 \cdot Q}{\sqrt{3} \cdot A}\right)\right] \quad (6)$$

όπου

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

$$A = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot \left(C + D_0 + \frac{\pi^2 \cdot r_0}{8} \right)}{r_0 \cdot (\theta_1 - \theta_0)}} \quad (7) \quad \varrho = \sqrt[3]{\frac{1 + 3 \cdot D_0}{r_0 \cdot (\theta_1 - \theta_0)}} \quad (8)$$

όπου θ_1 = εδαφική υγρασία πριν τη δοκιμή
 θ_0 = εδαφική υγρασία αμέσως μετά τη δοκιμή

Όπως φαίνεται από τις εξισώσεις αυτές, για τον υπολογισμό του τ άρα και του K , χρειάζεται να γνωρίζουμε την υγρασία του εδάφους, πριν και μετά τη δοκιμή. Στην παρούσα εργασία, αυτό έγινε εδαφοληψία πριν και μετά τη δοκιμή, από το επιθυμητό βάθος, και ξήρανση στους 105^o για 24 ώρες.

Στα πλαίσια της προσπάθειας διερεύνησης των υδροχημικών διεργασιών πραγματοποιήθηκαν ενδεικτικά δειγματοληψία από δύο σημεία και από 3 βάθη για το κάθε σημείο εδαφικής υγρασίας δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε με την χρήση δειγματολήπτη εδαφικής υγρασίας "suction lysime" τύπου 12.01 S.A της εταιρίας Eijkelkamp. Η αρχή λειτουργίας του οργάνου αυτού βασίζεται στην δημιουργία υποπίεσης μέσα στο θάλαμο του δειγματολήπτη ο οποίος προσθίζεται στο έδαφος επιθυμητό βάθος και δημιουργεί ροή υγρασίας προς αυτόν. Η εφαρμογή της μεθόδου είναι δύσκολη υλικά με μεγάλο ποσοστό χαλίκων ενώ μπορούμε να πούμε ότι είναι εύκολη για δειγματοληψίες εδάφη με ποσοστά χαλίκων < 20%.

Εκτός από τα δείγματα της εδαφικής υγρασίας, ελήφθησαν και δείγματα υπόγειου νερού σε παραπλήσια (απόσταση < 10 m) κατάντι πηγάδια των σημείων δειγματοληψίας τα οποία αποθηκεύτηκαν στους 4^o C, αναλύθηκαν σε σύντομο χρονικό διάστημα για τα στοιχεία Cl⁻, NO₃⁻, NH₄⁺, SO₄⁻², Fe_(total), Mn⁺⁺ και COD. Για την ανάλυση του Cl⁻ χρησιμοποιήθηκε η σφομετρική μέθοδος με **πυροδοσίωση** και πιο συγκεκριμένα η μέθοδος του Νιτρικού αργύρου (AgNO₃). Για τα στοιχεία N⁻, NO₂⁻, NH₄⁺ χρησιμοποιήθηκε η χρωματογραφική μέθοδος προσδιορισμού ενώ για τα στοιχεία N⁺, SO₄⁻², Fe_(total) και Mn⁺⁺ χρησιμοποιήθηκε φασματοφωτομετρική μέθοδος με την χρήση φασματοφωτομέτρου HACH DR/2000.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΧΩΡΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΠΟΥ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΤΗΚΑΝ

Τα αποτελέσματα των χημικών προσδιορισμών παρουσιάζονται γραφικά στους χάρτες κατανομής που ακολουθούν (Σχήμα 1). Παρατηρούμε μια γενική τάση αύξησης σε περιεκτικότητα αργίλου από δυτικά προς ανατολικά της περιοχής έρευνας και την δημιουργία μεγίστων κοντά ποτάμι του Ευρώτα. Τα μέγιστα αυτά παρουσιάζουν μια κατά κάποιον τρόπο ακτινική κατανομή γύρω από ένα κέντρο που τοποθετείται περίπου στην κοίτη του χειμάρρου Ξεριά. Παρόμοια αντίστροφη είναι και η κατανομή του ξηρού φαινόμενου βάρους. Τα αποτελέσματα των αναλύσεων προσδιορισμού του οργανικού υλικού παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί ενώ η χωρική κατανομή του οργανικού υλικού παρουσιάζεται στο χάρτη του σχήματος 1.

Πίνακας 1: Περιεκτικότητα σε οργανικό υλικό (%) στο βάθος των 1 m.

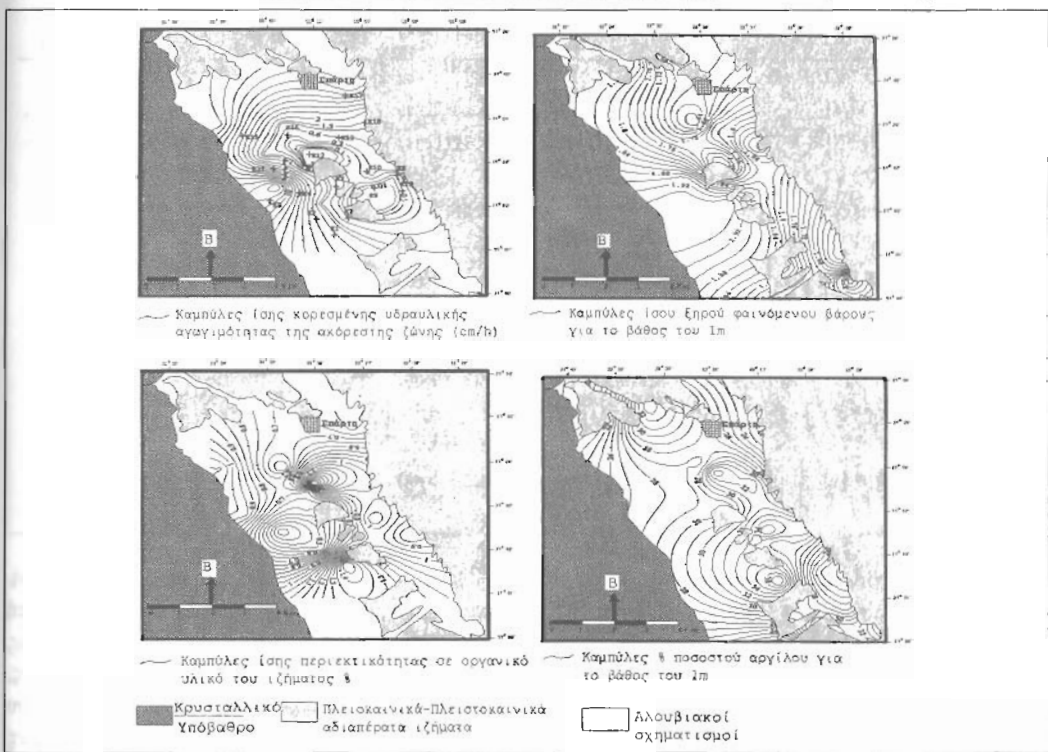
Table 1: Organic matter content of the sediment at the depth of 1 m.

Κωδικός	C%	Κωδικός	C%	Κωδικός	C%
K1	1.52	K9	0.94	K15	1.1
K2	0.52	K10	1.11	K16	0.53
K3	0.6	K11	0.82	K17	0.59
K4	0.6	K12	1.54	K18	0.75
K5	0.31	K13	1.06	K19	0.79
K7					

Παρατηρούμε ότι έχουμε μια παρόμοια τάση με αυτή του αργιλικού υλικού αλλά όχι τόσο καλά εκφρασμένη, με την κατανομή των μεγίστων τιμών, σε ένα ημισκύκλιο με κεντρικό σημείο, το κέντρο απόθεσης του αλλουβιακού ριπιδίου του χαιμάραου Ξεριά, που είναι και το μεγαλύτερο στην περιοχή.

Τα αποτελέσματα των δοκιμών προσδιορισμού της κορεσμένης υδραυλικής αγωγιμότητας παρουσιάζονται συνοπτικά στον πίνακα 2. Όπως φαίνεται από τη σύγκριση των αποτελεσμάτων των τριών μεθόδων στα κοινά σημεία εφαρμογής, η μέθοδος Philip δίνει στα υλικά υψηλής αγωγιμότητας (K2, K4, K5) ελαφρά μεγαλύτερες τιμές από τις μεθόδους U.S.B.R. και "Nasberg et. al." ενώ στα υλικά χαμηλής αγωγιμότητας (K7) αισθητά χαμηλότερες τιμές. Στο σημείο αυτό πρέπει να προσθέσουμε ότι η μέθοδος Philip σε υλικά με αγωγιμότητες 10^{-6} και κάτω, απαιτεί πολύ μεγάλα χρονικά διαστήματα της τάξης των 5-7 ημερών για την ολοκλήρωσή της, πράγμα που την καθιστά δύσκολη και αμφιβόλου αξιοπιστίας για τα υλικά αυτά.

Πρέπει επίσης να πούμε ότι η μέθοδος "Nasberg et. al." για ασωλήνοτη οπή, η οποία υπολογίζει το μέσο όρο της υδραυλικής αγωγιμότητας για όλο το πάχος της οπής, δίνει σε γενικές γραμμές μικρότερες τιμές, πράγμα που φανερώνει ότι έχουμε μια σταδιακή αύξηση του K με το βάθος στην περιοχή έρευνας. Το γεγονός αυτό μπορεί να οφείλεται στο ότι σε περιβάλλοντα απόθεσης, όπως αυτό της περιοχής μελέτης, έχουμε μια προοδευτική μείωση του λεπτόκοκκου υλικού με το βάθος. Με βάση τα δεδομένα της μεθόδου "Nasberg et. al." για ανοιχτή οπή, η οποία εφαρμόστηκε στις περισσότερες περιπτώσεις, κατασκευάστηκε κι ο χάρτης κατανομής της Ks στην αζόροστη ζώνη για το βάθος του 1 m. Παρατηρούμε ότι οι τιμές του Ks παρουσιάζουν μια σημαντική διακύμανση, με μέγιστες τιμές της τάξης του $8 \cdot 10^{-5}$ και ελάχιστες τιμές της τάξης του $2 \cdot 10^{-7}$. Η γεωγραφική του κατανομή δείχνει μια τάση μείωσης προς το κέντρο της κοιλάδας ενώ δυτικά στα αλλουβιακά ριπιδία και ανατολικά προς τις αποθέσεις πλημμύρας, παρατηρούμε μια σταδιακή αύξηση, η οποία πιθανότατα οφείλεται στη διαβάθμιση του υλικού λόγω μείωσης της ικανότητας μεταφοράς της διαδικασίας απόθεσης.



Σχήμα 1: Χάρτες κατανομής της υδραυλικής αγωγιμότητας, του ξηρού φαινομένου βάρους, της περιεκτικότητας σε οργανικό υλικό και της περιεκτικότητας σε αργιλικό υλικό του ιζήματος.

Figure 1: Maps showing the spatial distribution of the hydraulic conductivity, dry bulk density, organic matter content and clay content of the sediment.

Μια σταδιακή μείωση παρατηρούμε και κατά μήκος του Ευρώτα από βόρεια προς νότια, φαινόμενο που πιθανότατα οφείλεται στο ίδιο αίτιο.

Τα στοιχεία, τα οποία περιελήφθησαν στην ανάλυση των δειγμάτων εδαφικής υγρασίας ήταν κυρίως, αυτά που παίζουν κάποιο ρόλο σε διεργασίες ελάττωσης των NO_3^- , τα οποία αποτελούν και το βασικότερο παράγοντα υποβάθμισης της ποιότητας του υπόγειου νερού στην περιοχή έρευνας. Τα δύο σημεία δειγματοληψίας επιλέχθηκαν γιατί παρουσίαζαν μία ουσιώδη διαφορά. Στο πρώτο (EY1) είχε πραγματοποιηθεί λίπανση, με λιπάσματα σύνθεσης $[(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4]$ (21%) καθώς και σύνθετο (11% N, 15% P_2O_5 , 15% K_2O) την ίδια χρονιά με τη δειγματοληψία, ενώ στο δεύτερο (EY2) δεν είχε πραγματοποιηθεί λίπανση την ίδια αλλά την προηγούμενη από τη δειγματοληψία χρονιά. Έχοντας υπόψη αυτήν τη διαφθοροποίηση εξετάστηκαν στη συνέχεια οι κατανομές των διαφόρων παραμέτρων σε σχέση με το βάθος στα διαγράμματα του σχήματος 2 στο οποίο παρουσιάζονται συνοπτικά και γραφικά οι κατανομές αυτές. Δείγματα ελήφθησαν από τρία βάθη για την αζόρροστη ζώνη και δύο βάθη για τον υδροφόρο ένα στην επιφάνεια και ένα σε βάθος των 8 m.

Πίνακας 2: Συγκριτικά αποτελέσματα των δοκιμών μέτρησης της κορεσμένης υδραυλικής αγωγιμότητας της αζόρροστης ζώνης για την περιοχή μελέτης

Table 2: Comparative results of the saturated hydraulic conductivity tests, for the study area

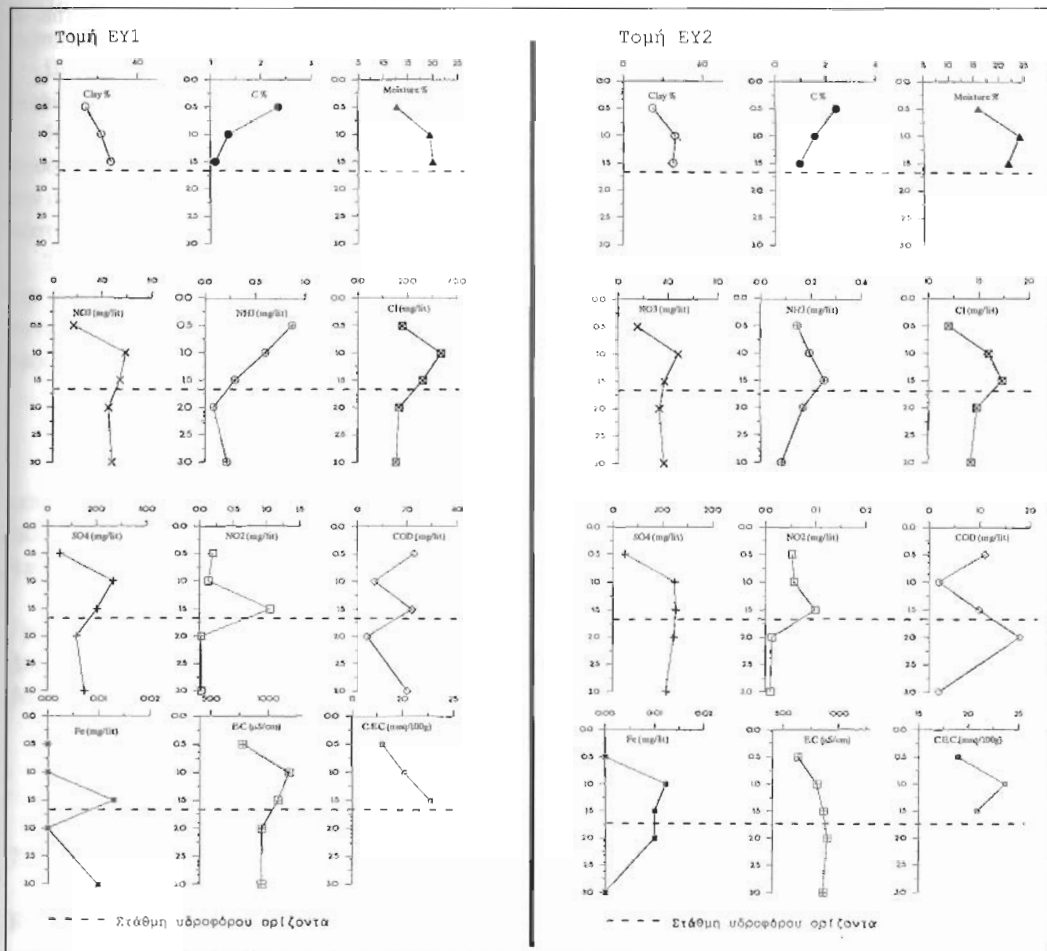
Κωδικός	Σωληνομένη τρύπα		Ασωλήνοτη	Κωδικός	Σωληνομένη τρύπα		Ασωλήνοτη
	Μέθοδος Philip (m/sec)	Μέθοδος U.S.B.R (m/sec)	Μέθοδος "Nasberg et. al." (m/sec)		Μέθοδος Philip (m/sec)	Μέθοδος U.S.B.R (m/sec)	Μέθοδος "Nasberg et. al." (m/sec)
K1 (0,5 m)	$7.71 \cdot 10^{-6}$		$1.14 \cdot 10^{-6}$	K10(1 m)			$9.4 \cdot 10^{-7}$
K1 (1 m)	$1.23 \cdot 10^{-5}$		$1.19 \cdot 10^{-6}$	K11(1 m)	$2.6 \cdot 10^{-6}$		$4.3 \cdot 10^{-6}$
K2 (0,5 m)	$8.09 \cdot 10^{-6}$			K12(0,5m)			$1.59 \cdot 10^{-6}$
K2 (1 m)	$1.52 \cdot 10^{-5}$	$3.2 \cdot 10^{-6}$	$8.39 \cdot 10^{-7}$	K12(1 m)		$1 \cdot 10^{-6}$	$1.48 \cdot 10^{-6}$
K3 (0,5 m)	$5.9 \cdot 10^{-8}$			K13(1 m)			$3.55 \cdot 10^{-6}$
K3 (1 m)	$9 \cdot 10^{-9}$		$3.54 \cdot 10^{-7}$	K14(1 m)	$1.68 \cdot 10^{-4}$		$8.53 \cdot 10^{-5}$
K4 (0,5 m)	$1.9 \cdot 10^{-6}$	$6.6 \cdot 10^{-6}$	$9.89 \cdot 10^{-6}$	K15(1 m)			$3.42 \cdot 10^{-5}$
K4 (1 m)			$5.83 \cdot 10^{-7}$	K16(0,5m)			$7.79 \cdot 10^{-7}$
K5 (0,5 m)	$3.4 \cdot 10^{-5}$			K16(1 m)			$2.33 \cdot 10^{-6}$
K5 (1 m)	$7.6 \cdot 10^{-5}$	$3.9 \cdot 10^{-5}$	$8.33 \cdot 10^{-6}$	K17(1 m)			$2.49 \cdot 10^{-5}$
K7 (0,5 m)	$5.8 \cdot 10^{-8}$	$5.7 \cdot 10^{-7}$	$1.99 \cdot 10^{-6}$	K18(0,5m)			$8.49 \cdot 10^{-6}$
K7 (1 m)	$5 \cdot 10^{-9}$			K18(1 m)			$4.55 \cdot 10^{-6}$
K8 (1 m)	$5.56 \cdot 10^{-6}$		$4.21 \cdot 10^{-6}$	K19(1 m)			$2.37 \cdot 10^{-6}$
K9 (1 m)			$2.16 \cdot 10^{-7}$				

Τα χαρακτηριστικά του ιζήματος για τις δύο τομές παρουσιάζουν παρόμοια κατανομή. Παρατηρείται δηλαδή μια σταδιακή αύξηση της περιεκτικότητας σε οργανικό υλικό και μια σταδιακή μείωση της περιεκτικότητας σε οργανικό υλικό, με το βάθος. Από τις κατανομές της εδαφικής υγρασίας, της συγγέντρωσης των NO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- καθώς και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας, διαπιστώνεται αυξημένη αλατότητα του νερού της αζόρροστης ζώνης, σε σχέση με το νερό του υδροφόρου οριζοντία. Η παρατήρηση αυτή είναι πολύ σημαντική διότι, εάν υποθεθεί ότι οι δύο τομές αντιπροσωπεύουν την γενικότερη κατάσταση στην περιοχή μελέτης, διαπιστώνεται ότι έχουμε αραίωση του εδαφικού νερού που κατεισχύει από την αζόρροστη ζώνη μέσα στον υδροφόρο, αραίωση που φανερώσει μια συνεισφορά στην τροφοδοσία του υδροφόρου και από άλλες πηγές εκτός των ατμοσφαιρικών και φηφιακή Βιβλιοθήκη Θεσσαλονίκης Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ. του νερού. Μια σημαντική

επίσης παρατήρηση είναι ότι παρόλο που στην τομή EY2 δεν είχαμε λίπανση το παρόν υδρολογικό έτος έχουμε υψηλές τιμές NO_3^- , πράγμα που φανερώνει ότι στο έδαφος και κατ' επέκταση στην εδαφική υγρασία έχουμε ήδη ένα δυναμικό συγκέντρωσης NO_3^- χωρίς απαραίτητα να έχουμε ανανέωση μέσω της λίπανσης σε ετήσια βάση.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Οι μεθοδολογίες που αναλύθηκαν και εφαρμόστηκαν στις προηγούμενες παραγράφους για τον προσδιορισμό των παραμέτρων της ακόρεστης ζώνης είναι απλές και χαμηλού κόστους διαδικασίες οι οποίες μπορούν να καθορίσουν γρήγορα και με ακρίβεια τις ιζηματολογικές και υδροχημικές παραμέτρους της ακόρεστης ζώνης. Αν και στην παρούσα εργασία η έρευνα περιορίστηκε στο πάχος του 1 m πρέπει να τονίσουμε ότι όλα τα απαραίτητα όργανα επεκτείνονται εύκολα για έρευνες μέχρι και το πάχος των 9 m. Η σημασία του προσδιορισμού των παραμέτρων αυτών για τις μελέτες που αφορούν την πιθανή μόλυνση των υδροφόρων οριζώντων είναι εμφανής, αφού παίζουν καθοριστικό ρόλο στις διαδικασίες μείωσης των ουσιών που ευθύνονται για την ποιοτική υποβάθμιση του υπόγειου νερού, όπως τα νιτρικά ιόντα ή τα βαρέα μέταλλα ή ακόμα και οργανικές ουσίες όπως τα φυτοφάρμακα.



Σχήμα 2: Διαγράμματα διακύμανσης των υδροχημικών και ιζηματολογικών παραμέτρων της ακόρεστης ζώνης και του υδροφόρου στην επιφάνεια και το βάθος του για τις τομές EY1 και EY2

Figure 2: Diagrams showing the distribution of the sediment and soil moisture parameters with depth.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- BREEUWSMA, A., WOSTEN, J. H. M., VLEESHOUWER, J. J., VAN SLOBE, A. M. and BOUMA J., (1986). "Derivation of land qualities to assess environmental problems from soil surveys". *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 50: pp. 186-190
- JACOBSHAGEN, V., RICHTER, D., MAKRIS, J., BACHMANN, G. H., GIESE, P. and RISCH, H. (1978). "Alpidic development and structure of the Peloponnesus." In H. Closs et al. (eds): *Alps, Apennines, Hellenides.*, 38: pp. 415-423
- LEKKAS, S. (1980). "Les phyllades du Peloponnese: un metaflysch ionien chevauche par la serie de Gavrovo-Tripolitza (Grece)." *C.R. Acad. Sc. Paris.*, 268: pp. 1361-1363
- ΜΕΜΜΟΣ Ν., (1969). "Εδαφολογική μελέτη μέσου και κάτω οροσ Ειρώτα". Υπουργείο Γεωργίας .
- NASBERG, V. M. and TERLETSKATA, N. M. (1978). "Determination of permability in dry soils", *Hydroelectric Waterworks No. 2, Moscow, Soviet Union*
- PHILIP J. R., (1993). "Approximate analysis of falling-head lined borehole permeameter". *Water Resour. Res.*, 29: pp. 3763-3768.
- PIPER D.J.W, PANAGOS A. G., and KONTOΠΟΥΛΟΣ Ν., (1983). "Plio-Pleistocene sedimentation of the Western Lakonia Graben", *N.Jh.Geol. Palaont.Mh.* 63: pp. 679-671
- STEPHENS D. B., and NEUMAN S. P., (1982). "Vadose zone permeability tests: Summary". *Journal of the Hydraulics Division, ASCE.*, 108: pp 623-639