

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΤΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ ΤΗΣ ΥΦΑΛΜΥΡΙΝΣΗΣ ΣΕ ΠΕΔΙΝΟ ΤΜΗΜΑ ΤΟΥ Ν. ΡΟΔΟΠΗΣ

Πλιάκας Φ.¹, Διαμαντής Ι.¹, Καλλιώρας Α.¹, Πεταλάς Χ.²

¹ Τομέας Γεωτεχνικής Μηχανικής, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Δημοκρ. Παν/μιο Θράκης, 67100 Ξάνθη

² Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Δημοκρ. Παν/μιο Θράκης, 67100 Ξάνθη

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

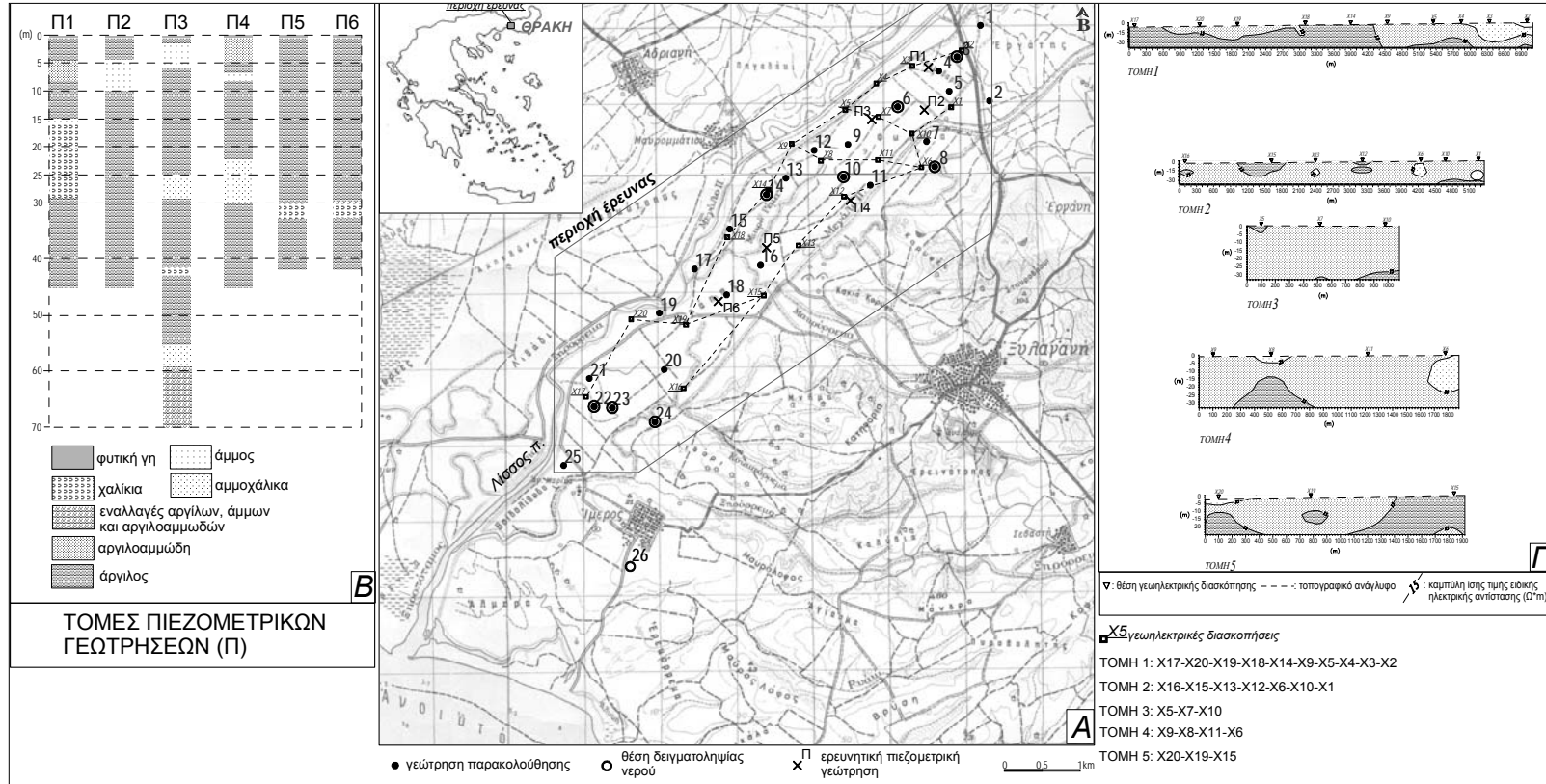
Η εργασία διερευνά την εξέλιξη της υφαλμύρισης στο πεδινό τμήμα Ξυλαγανής – Ιμέρου, στο ΝΔ τμήμα του Νομού Ροδόπης, όπως και την καταλληλότητα του υπόγειου νερού για διάφορες χρήσεις μετά από ποιοτική αξιολόγηση δειγμάτων νερού από επιλεγμένες γεωτρήσεις της περιοχής και καταλήγει σε προτάσεις για την αντιμετώπιση του προβλήματος. Η σχετική έρευνα που διεξήχθη κατά τις περιόδους 1994-1997 και 2002-2003, περιέλαβε την ανόρυξη πιεζομετρικών γεωτρήσεων, την εκτέλεση γεωφυσικών διασκοπήσεων και κοκκομετρικών αναλύσεων, παρακολούθηση και ερμηνεία της μεταβολής της στάθμης σε επιλεγμένες γεωτρήσεις της περιοχής, μετρήσεις της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και χημικές αναλύσεις σε δείγματα νερού από γεωτρήσεις της περιοχής.

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η εργασία διερευνά την πορεία εξέλιξης της υφαλμύρισης στο πεδινό τμήμα Ξυλαγανής – Ιμέρου, στο ΝΔ τμήμα του Νομού Ροδόπης, όπως και την καταλληλότητα του υπόγειου νερού για διάφορες χρήσεις μετά από ποιοτική αξιολόγηση δειγμάτων νερού από επιλεγμένες γεωτρήσεις της περιοχής και καταλήγει σε προτάσεις για την αντιμετώπιση του προβλήματος. Η σχετική έρευνα περιλαμβάνει: α) ερευνητικές εργασίες κατά την περίοδο 20/2/1994-7/12/1997, στο πλαίσιο εκπόνησης ερευνητικού προγράμματος από το Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας της Πολυτεχνικής Σχολής του Δ.Π.Θ., σε συνεργασία με το Εργαστήριο Υδραυλικών Έργων, για λογαριασμό του Υπουργείου Γεωργίας με θέμα τη μελέτη τεχνητού εμπλουτισμού υδροφορέων Ξάνθης – Ροδόπης (Πλιάκας et al., 2001, Σακκάς et al., 1998), και β) σχετικές ερευνητικές εργασίες από το Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας της Πολυτεχνικής Σχολής του Δ.Π.Θ., κατά την περίοδο 17/12/2002-18/12/2003. Στην εργασία παρατίθενται τα αποτελέσματα της πρόσφατης έρευνας και συγκρίνονται με τα αντίστοιχα αποτελέσματα της περιόδου 1994-1997.

2 ΦΥΣΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ, ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Η περιοχή Ξυλαγανής - Ιμέρου αποτελεί πεδινό τμήμα με ήπια μορφολογία με ιδιαίτερα χαμηλά υψόμετρα και εκτείνεται μεταξύ του ποταμού Λίσσου και των δυτικών κρασπέδων του όρους Ίσमारου, ενώ το νότιο τμήμα της συνορεύει με τη θάλασσα (σχ. 1Α). Η περιοχή έρευνας εντοπίζεται σ' ένα σύνολο πρόσφατων ιζημάτων, που προέκυψαν κυρίως από τις αποθέσεις του ποταμού Λίσσου και των διαφόρων κλάδων του και έχουν ως υπόβαθρο είτε τις νεογενείς αποθέσεις είτε τα παλαιογενή ιζήματα της Ροδοπικής μάζας. Η κύρια καλλιέργεια στο πεδινό τμήμα, βόρεια των παράκτιων ακαλλιέργητων εκτάσεων λόγω της υφαλμύρισης, είναι το βαμβάκι. Οι υδρογεωτρήσεις της περιοχής αριθμούν περίπου τις 55, έχουν μέσο βάθος 70 m με μέση παροχή περίπου 40 m³/h, ενώ στα βόρεια φτάνει τα 60-70 m³/h. Το υπόγειο υδροφόρο σύστημα της περιοχής εκτείνεται σε περιβάλλον όπου επικρατούν τα αργιλικά υλικά και αποτελείται από επάλληλα υδροφόρα στρώματα με αργιλοαμμώδη έως κυρίως αμμώδη υλικά πάχους 1-10 m, σε εναλλαγές με αργιλικές στρώσεις.



Σχήμα 1. (Α) Περιοχή έρευνας, γεωτρήσεις παρακολούθησης, πιεζομετρικές γεωτρήσεις*, γεωφυσικές διασκοπήσεις* και οι άξονές τους* (Β) τομές πιεζομετρικών γεωτρήσεων*, (Γ) γεωηλεκτρικές τομές* (*: από Πλιάκας et al., 2001, Σακκάς et al., 1998).

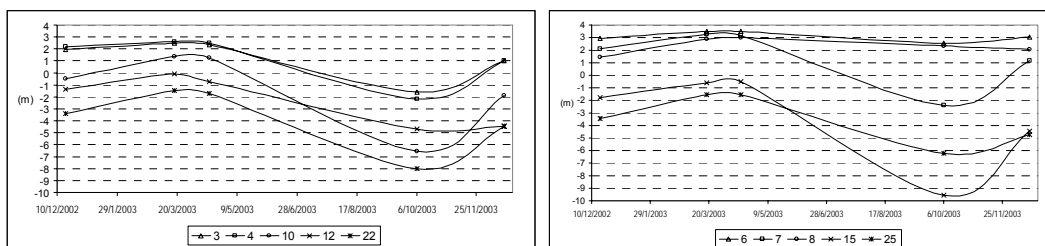
3 ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

Η σχετική υδρογεωλογική έρευνα στην περιοχή περιέλαβε τις ακόλουθες ερευνητικές εργασίες:

1. Ανόρυξη 6 πιεζομετρικών γεωτρήσεων βάθους 45-70 m (σχ. 1Α, Β), εκτέλεση 20 γεωφυσικών διασκοπήσεων (σχ. 1Α, Γ) και κοκκομετρικές αναλύσεις σε 25 εδαφικά δείγματα, τα αποτελέσματα των οποίων ανέδειξαν τη διάκριση 4 κυρίων γεωηλεκτρικών σχηματισμών, οι οποίοι σε συνδυασμό με σχετικά γεωτρητικά αποτελέσματα παλαιότερων ερευνών, διακρίνονται ανάλογα με τη διακύμανση της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης σε (ASCE, 1987, Καλλέργης, 1986): (1) άμμο χονδρόκοκκη (>40 Ohm.m), (2) άμμο λεπτόκοκκη, (40-25 Ohm.m), (3) αργιλοαμμώδη υλικά (25 - 15 Ohm.m), (4) άργιλο (<15 Ohm.m), ενώ είναι χαρακτηριστική η επικράτηση αργιλικών και αργιλοαμμωδών υλικών σε όλη την περιοχή (Γλιάκας et al., 2001, Σακκάς et al., 1998).

2. Παρακολούθηση της μεταβολής της στάθμης σε 24 γεωτρήσεις ομοιόμορφα κατανομημένες στο πεδινό τμήμα, σε τακτά χρονικά διαστήματα από 20/2/1994-7/12/1997 (Γλιάκας et al., 2001, Σακκάς et al., 1998), όπως και σε 25 γεωτρήσεις (10 από τις οποίες είναι κοινές με τις προηγούμενες) από 17/12/2002-18/12/2003 (σχ. 1). Από τα σχετικά διαγράμματα της μεταβολής του υψόμετρου της στάθμης, που σχεδιάστηκαν για όλες τις γεωτρήσεις, κατά τη 2^η περίοδο, 10 από τα οποία παρουσιάζονται στο σχ. 2, προέκυψε ότι:

- Η διακύμανση των υψόμετρων της στάθμης, του μεγαλύτερου ποσοστού των γεωτρήσεων, ακολουθεί αυξητικές τάσεις από το μήνα Δεκέμβριο έως το μήνα Απρίλιο, γεγονός που μπορεί να οφείλεται στο φυσικό εμπλουτισμό από την κατέσδυση των χειμερινών βροχοπτώσεων μέσα από τμήματα του υδροφόρου όπου αυτός εμφανίζεται μερικώς υπό πίεση και σχετικά αβαθής ή ελεύθερος, όπως και από πλευρικές διηθήσεις από τον ποταμό Λίσσο ή και από πλευρικές εισροές από το ΒΑ τμήμα της περιοχής που επικοινωνεί με την ορεινή ζώνη. Από το μήνα Απρίλιο έως τον Οκτώβριο, το υψόμετρο της στάθμης μειώνεται για να καταλήξει στις περισσότερες γεωτρήσεις κάτω από το επίπεδο της θάλασσας, γεγονός που οφείλεται στην υπερεκμετάλλευση του υπόγειου νερού κατά τη θερινή περίοδο.
- Υπάρχουν διαφορές στάθμης για ένα μέσο χρόνο οι οποίες είναι πάρα πολύ χαμηλές, όπως για παράδειγμα η γεώτρηση 6 (0,40 m), γεγονός που μαρτυρά την ύπαρξη εγκαταλελειμμένων γεωτρήσεων στην περιοχή. Επίσης είναι χαρακτηριστική η διαφορά στάθμης για ένα μέσο χρόνο μεταξύ υψηλής και χαμηλής στάθμης που φτάνει μέχρι τα 7,80 m.
- Ένα αριθμός γεωτρήσεων, οι οποίες εντοπίζονται στο νότιο τμήμα της περιοχής έρευνας, παρουσιάζουν αρνητικά υψόμετρα στάθμης, κάτω δηλ. από το επίπεδο της θάλασσας, καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, γεγονός που συντελεί στην περαιτέρω διεύδυση του θαλασσινού νερού.



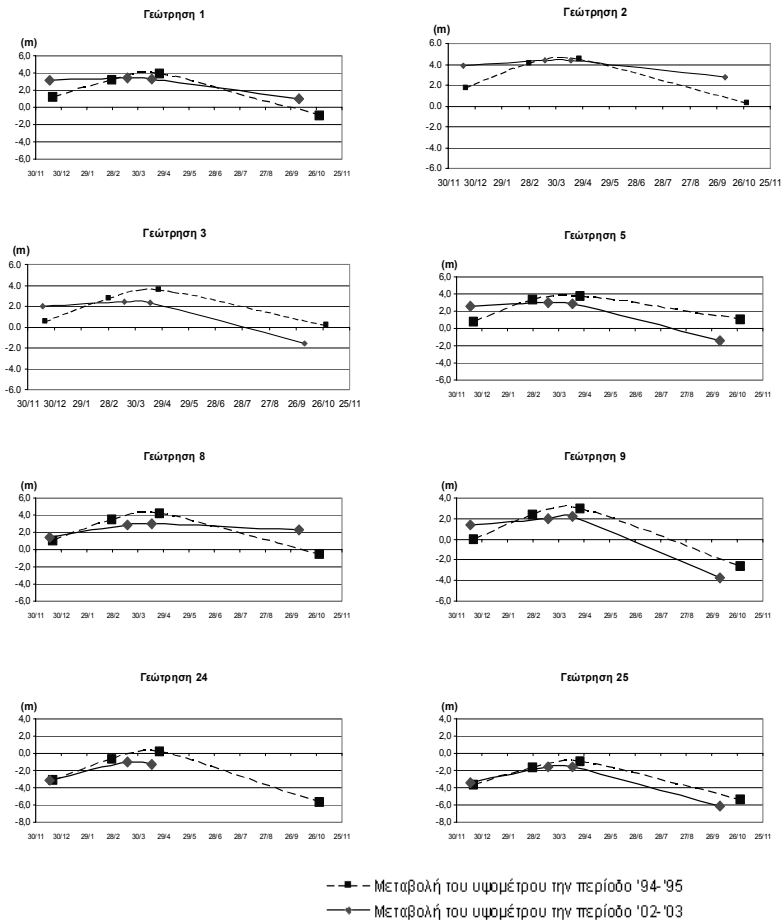
Σχήμα 2. Διαγράμματα μεταβολής του υψόμετρου της στάθμης γεωτρήσεων της περιοχής έρευνας κατά τη περίοδο 17/12/2002-18/12/2003.

Από τη σύγκριση της μεταβολής της στάθμης το διάστημα 2002-2003 με την αντίστοιχη μεταβολή της στάθμης των κοινών γεωτρήσεων του διαστήματος 1994-1997 προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα (8 κοινά διαγράμματα φαίνονται στο σχ. 3):

- Το υψόμετρο της στάθμης των γεωτρήσεων τον Δεκέμβριο του 2002 είναι σε όλες τις περιπτώσεις μεγαλύτερο από το αντίστοιχο υψόμετρο του Δεκεμβρίου του 1994. Το παραπάνω γεγονός οφείλεται μάλλον στις υψηλές βροχοπτώσεις που σημειώθηκαν το φθινόπωρο του 2002 και οι οποίες ήταν, για τη συγκεκριμένη περίοδο, από τις μεγαλύτερες των τελευταίων ετών.
- Το μέγιστο υψόμετρο που παρουσιάζουν, την περίοδο 2002-2003, είναι σε όλες τις περιπτώσεις μικρότερο του αντιστοίχου υψόμετρου της περιόδου 1994-1997, γεγονός που πιθανόν να οφεί-

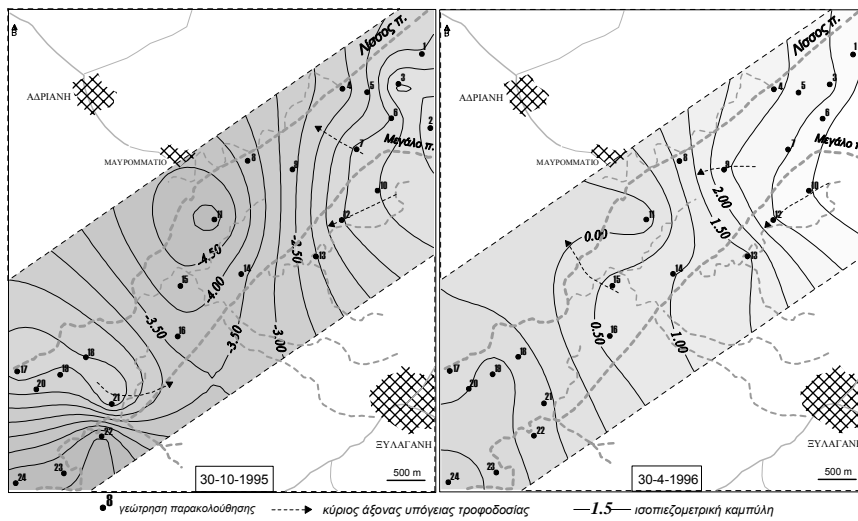
λεται στη μείωση των βροχοπτώσεων στο διάστημα που μεσολάβησε από την πρώτη μέτρηση και στην έναρξη των αντλήσεων ενωρίτερα από τα προηγούμενα έτη.

- Σε όλες τις εν ενεργεία γεωτρήσεις, η στάθμη τον μήνα Οκτώβριο του 2003 είναι χαμηλότερη από την αντίστοιχη στάθμη του Οκτωβρίου του 1995, γεγονός που μαρτυρά την αύξηση των αντλήσεων κατά τη θερινή περίοδο του 2003.

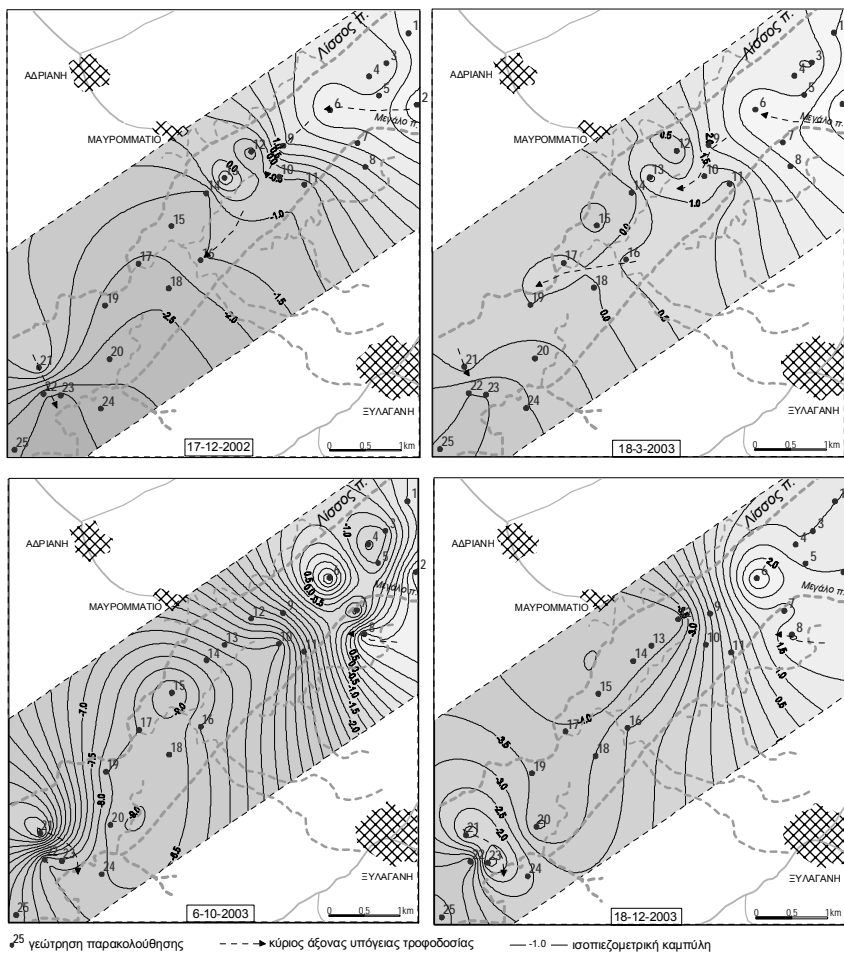


Σχήμα 3. Διαγράμματα μεταβολής της στάθμης γεωτρήσεων της περιοχής έρευνας που παρακολούθηθηκαν τις περιόδους 20/2/1994-7/12/1997 (Πλιάκας et al., 2001, Σακκάς et al., 1998) και 17/12/2002-18/12/2003.

2. Στους πιεζομετρικούς χάρτες που σχεδιάστηκαν (10 χάρτες για το χρονικό διάστημα 20/2/1994 – 30/4/1996, 2 από τους οποίους παρουσιάζονται στο σχ. 4 (Πλιάκας et al., 2001, Σακκάς et al., 1998) και 4 χάρτες (σχ. 5) για την περίοδο 17/12/2002 - 18/12/2004, εντοπίζονται 2 κύριοι άξονες υπόγειας τροφοδοσίας, ο ένας σχετικά παράλληλος προς τους κύριους άξονες επιφανειακής απορροής και ο άλλος (σε όλους τους χάρτες της περιόδου 2002-2003 και στους χάρτες των μηνών Οκτωβρίου της περιόδου 1994-1997), στο ΝΔ τμήμα της περιοχής, με κατεύθυνση ΒΔ-ΝΑ, από τον ποταμό Λίσσο προς το λοφώδες τμήμα της ανατολικής πλευράς. Στις 6/10/2003, και λόγω της μεσολάβησης της θερινής περιόδου (υπεράντληση, ανομβρία, ανύπαρκτη τροφοδοσία από τον ποταμό Λίσσο), παρατηρείται μια δραματική διαφοροποίηση της εικόνας του χάρτη από αυτή των προηγούμενων μετρήσεων.



Σχήμα 4. Πιεζομετρικοί χάρτες των υπό πίεση υδροφόρων της περιοχής έρευνας (περίοδος 1994-1996) (Πλιάκας et al., 2001, Σακκάς et al., 1998).



Σχήμα 5. Πιεζομετρικοί χάρτες των υπό πίεση υδροφόρων της περιοχής έρευνας (περίοδος 2002-2003).

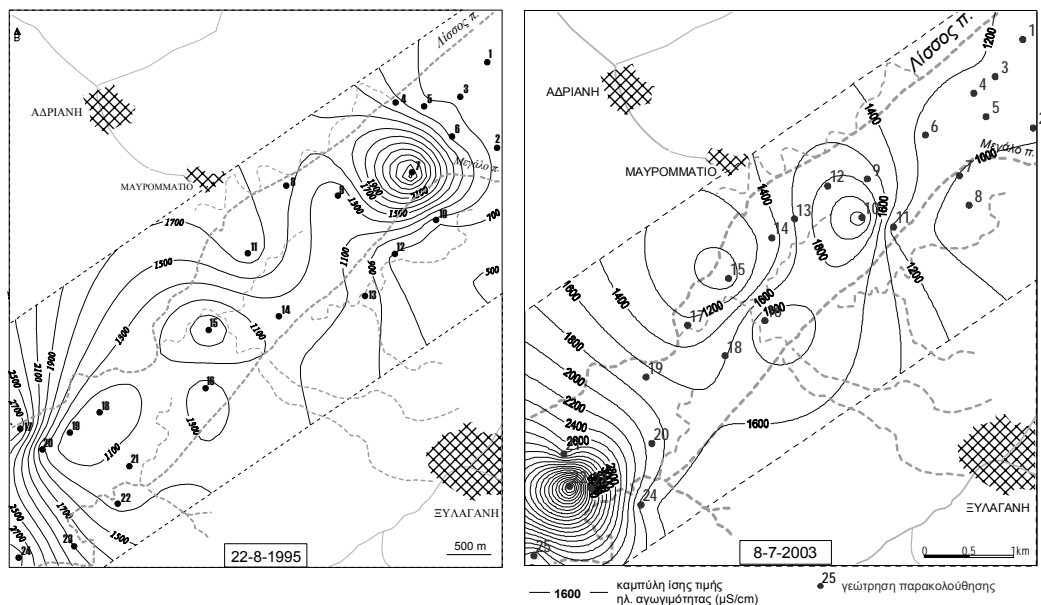
Οι κύριοι άξονες τροφοδοσίας έχουν υποχωρήσει σε πολύ μεγάλο βαθμό και εντοπίζεται μόνο ένα μικρό τους τμήμα στη ΒΔ πλευρά. Σε αντίθεση με τους κύριους άξονες τροφοδοσίας ο εγκάρσιος άξονας, ο οποίος ενισχύεται από τη θάλασσα, παρουσιάζει πολύ μεγάλη αύξηση στη δυνατότητα τροφοδοσίας, γεγονός που οφείλεται στην εντυπωσιακή μείωση της στάθμης του υδροφόρου. Οι αρνητικές τιμές στάθμης αυτή την περίοδο καταλαμβάνουν σχεδόν όλο το πεδίο και εκτείνονται μέχρι πολύ πιο βόρεια του Μαυρομματίου.

Η σημαντική διαφοροποίηση που παρατηρείται σήμερα από την περίοδο 1994-1996, είναι ότι τα υπόγεια νερά ενισχύονταν τότε με νερά τα οποία προέρχονταν από τη θάλασσα, μόνο σε ορισμένους μήνες του χρόνου, ενώ τη περίοδο 2002-2003 φαίνεται πως η τροφοδοσία από τη θάλασσα, αν και παρουσιάζει αυξομειώσεις, δεν διακόπτεται ποτέ. Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνει τις προβλέψεις που είχαν γίνει στο παρελθόν για σταδιακή επιδείνωση του φαινομένου της υφαλμύρισης και προμηνύει την αλματώδη δυσμενή εξέλιξη αυτού.

4. Μετρήσεις της ηλεκτρικής αγωγιμότητας στις 20/8/1994, σε 24 γεωτρήσεις και 22/8/1995, σε 50 γεωτρήσεις (Πλιάκας et al., 2001, Σακκάς et al., 1998), όπως και στις 8/7/2003, σε 15 γεωτρήσεις (σχ. 6). Οι τιμές κυμαίνονται από 800-3.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ για τις δυο πρώτες σειρές μετρήσεων (Σακκάς κ.ά., 1998) και 880-6290 $\mu\text{S}/\text{cm}$ για την τρίτη σειρά, ενώ οι μεγαλύτερες τιμές εντοπίζονται στο νότιο τμήμα. Από τη σύγκριση των σειρών μετρήσεων 1994-1995 και 2003, παρατηρείται μεγάλη αύξηση των τιμών στο νότιο τμήμα της εξεταζόμενης περιοχής, γεγονός που επιβεβαιώνει την ολοένα αυξανόμενη διείσδυση της θάλασσας, και μικρότερη στο βόρειο λόγω των αργιλικών στρωμάτων που μεσολαβούν.

4 ΠΟΙΟΤΙΚΟΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΕΣ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΝΕΡΟΥ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ ΚΑΙ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥΣ

Για την εκτίμηση των ποιοτικών χαρακτηριστικών του υπόγειου νερού της περιοχής έρευνας πραγματοποιήθηκαν χημικές αναλύσεις σε 9 δείγματα νερού της περιοχής έρευνας από τις γεωτρήσεις 3, 6, 8, 10, 14, 22, 23, 24, 26 (σχ. 1Α), στο Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Δ.Π.Θ., το καλοκαίρι του 2003 (ημερομηνία δειγματοληψίας: 8/7/2003). Παράμετροι που εξετάστηκαν είναι: Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} , Zn^{2+} , Mn^{2+} , NH_4^+ , Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} , NO_3^- , NO_2^- , αλκαλικότητα P, αλκαλικότητα M, σκληρότητα (παροδική, μόνιμη, ολική), pH (Πίνακας 1, σχ. 1).



Σχήμα 6. Χάρτες με την κατανομή της ηλεκτραγωγιμότητας των υπό πίεση υδροφόρων της περιοχής έρευνας (22/8/1995 από Πλιάκας et al., 2001 και Σακκάς et al., 1998).

Πίνακας 1. Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων σε δείγματα νερού από επιλεγμένες γεωτρήσεις της περιοχής έρευνας (ημερομηνία δειγματοληψίας: 8/7/2003). Επισήμανση τιμών συγκεντρώσεων μεγαλύτερων των μέγιστων επιτρεπόμενων ορίων (σταθερότυπα πόσιμου νερού από: Οδηγίες 80/778/ΕΟΚ και 98/83/ΕΚ).

Γεώτρηση	Ca ²⁺ (*1) (mg/l)	Mg ²⁺ (*2) (mg/l)	Na ⁺ (*3) (mg/l)	K ⁺ (*4) (mg/l)	Mn ²⁺ (mg/l)	Fe ²⁺ (mg/l)	Zn ²⁺ (mg/l)	NH ₄ ⁺ (*5) (mg/l)	HCO ₃ ⁻ (*6) (mg/l)	Cl ⁻ (*7) (mg/l)	SO ₄ ²⁻ (*8) (mg/l)
3	70,54	32,50	116,00	10,50	0,00	0,00	0,00	0,00	396,50	116,00	10,50
6	68,94	156,73	100,00	6,60	0,00	0,00	0,00	0,00	350,14	425,00	58,00
8	84,97	45,68	58,00	5,00	0,00	0,00	0,00	1,15	318,42	354,50	92,00
10	110,22	25,70	318,00	86,00	0,00	0,00	0,00	2,14	313,54	992,00	88,00
14	36,87	15,55	200,00	8,50	0,00	0,00	0,00	0,00	390,40	496,00	60,00
22	332,67	206,55	726,00	27,00	0,00	0,00	0,00	0,00	337,94	2375,00	128,00
23	232,47	133,65	400,00	15,00	0,00	0,00	0,00	0,00	341,60	1418,00	83,60
24	52,21	37,00	208,00	18,00	0,00	0,00	0,00	0,00	366,00	709,00	75,00
26	497,00	175,00	481,00	3,00	0,00	0,00	0,00	0,10	247,66	1773,00	300,00
Γεώτρηση	NO ₃ ⁻ (*9) (mg/l)	NO ₂ ⁻ (*10) (mg/l)	PO ₄ ³⁻ (mg/l)	Θερμοκρασία (°C)	pH	Αγωγιμότητα (EC) (μS/cm)	Αλκαλικότητα P	Αλκαλικότητα M	Παροδική Σκληρότητα (°F)	Μόνιμη Σκληρότητα (°F)	Ολική Σκληρότητα (°F)
3	2,00	0,00	0,90	18,1	8,11	1162	0,00	6,50	32,50	4,30	36,80
6	1,50	0,00	0,90	18,1	7,87	1197	0,00	5,74	28,70	53,00	81,70
8	14,00	0,06	0,95	21,6	8,20	933	0,00	5,22	26,10	13,90	40,00
10	0,00	0,00	1,26	18,1	7,99	2440	0,00	5,14	25,70	27,80	53,50
14	1,00	0,00	2,69	18,7	7,98	1384	0,00	6,40	32,00		15,60
22	3,00	0,00	0,23	18,0	7,89	6895	0,00	5,54	27,70	140,30	168,00
23	1,00	0,00	0,45	21,4	7,99	4290	0,00	5,60	28,00	86,00	114,00
24	3,00	0,00	0,21	18,6	7,78	1802	0,00	6,00	30,00	11,20	41,20
26	21,00	0,00	0,24	20,1	7,34	6100	0,00	4,06	20,30		19,60

*1: ανώτατο αποδεκτό όριο: 75 mg/l, *2: ανώτατο επιτρεπόμενο όριο: 50 mg/l, *3: ανώτατο επιτρεπόμενο όριο: 200 mg/l, *4: ανώτατο επιτρεπόμενο όριο: 12 mg/l, *5: ανώτατο επιτρεπόμενο όριο: 0,50 mg/l, *6: συνήθεις τιμές < 500 mg/l, *7: μέγιστο αποδεκτό όριο: 250 mg/l, *8: ανώτατο επιτρεπόμενο όριο: 250 mg/l, *9: ανώτατο επιτρεπόμενο όριο: 50 mg/l, *10: ανώτατο επιτρεπόμενο όριο: 0,50 mg/l.

Τα νερά των δειγμάτων, με βάση τα σταθερότυπα και τα κριτήρια ποσιμότητας (Οδηγίες 80/778/ΕΟΚ και 98/83/ΕΚ), χαρακτηρίζονται ως μη πόσιμα σχεδόν στο σύνολό τους, αφού οι συγκεντρώσεις Cl⁻, Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ ξεπερνούν τα αντίστοιχα μέγιστα αποδεκτά όρια στα περισσότερα από τα δείγματα (Πίνακας 1, έντονη γραφή). Συγκεκριμένα:

- Οι συγκεντρώσεις χλωρίου (Cl⁻) κυμαίνονται από 116,0 - 2375,0 mg/l και ξεπερνούν στο σύνολο των δειγμάτων το μέγιστο αποδεκτό όριο των 250 mg/l με εξαίρεση τη γεώτρηση 3.
- Οι συγκεντρώσεις νατρίου (Na⁺) κυμαίνονται από 58,0 - 726,0 mg/l, ενώ τιμές μεγαλύτερες από 200 mg/l παρουσιάζουν τα δείγματα από τις γεωτρήσεις 10, 14, 22, 23, 24, 26 (τα 6 από τα 9 δείγματα).
- Οι συγκεντρώσεις καλίου (K⁺) κυμαίνονται από 3,0 - 86,0 mg/l, ενώ τιμές μεγαλύτερες από 12 mg/l, που είναι το ανώτατο επιτρεπόμενο όριο, παρουσιάζουν τα δείγματα από τις γεωτρήσεις 10, 22, 23, 24 (τα 4 από τα 9 δείγματα).
- Οι συγκεντρώσεις ασβεστίου (Ca²⁺) κυμαίνονται από 36,87 - 497,0 mg/l, ενώ τιμές μεγαλύτερες από 75 mg/l, που είναι το ανώτατο αποδεκτό όριο, παρουσιάζουν τα δείγματα από τις γεωτρήσεις 8, 10, 22, 23, 26 (τα 5 από τα 9 δείγματα).
- Οι συγκεντρώσεις μαγνησίου (Mg²⁺) κυμαίνονται από 15,55 - 206,55 mg/l, ενώ τιμές μεγαλύτερες από 50 mg/l, που είναι το ανώτατο επιτρεπόμενο όριο, παρουσιάζουν τα δείγματα από τις γεωτρήσεις 6, 22, 23, 26 (τα 4 από τα 9 δείγματα).
- Τα νερά της περιοχής χαρακτηρίζονται στο σύνολό τους ως πολύ σκληρά αφού η ολική σκληρότητα ξεπερνάει τους 18° F και μάλιστα κατά πολύ.
- Οι τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC) κυμαίνονται από 933 - 6895 μS/cm, ενώ όλες οι τιμές είναι μεγαλύτερες των 1000 μS/cm, εκτός του δείγματος 8.
- Οι συγκεντρώσεις θειικής ρίζας (SO₄²⁻) κυμαίνονται από 10,50 - 300,0 mg/l και μόνο στη γεώτρηση 26 παρατηρήθηκαν τιμές μεγαλύτερες των 250 mg/l.

– Οι τιμές συγκεντρώσεων αμμωνίου (NH_4^+) είναι 0, εκτός δύο γεωτρήσεων (8, 10) που ξεπερνούν το αποδεκτό όριο των 0,50 mg/l.

Τα νερά των δειγμάτων αξιολογήθηκαν ποιοτικά:

- ως προς την επίδρασή τους στη γεωργική απόδοση με κριτήρια τις τιμές των SAR (Sodium Adsorption Ratio, Συντελεστή Προσρόφησης Νατρίου), TDS (Total Dissolved Solids, Σύνολο Διαλυμένων Στερεών) και τις συγκεντρώσεις Na^+ , HCO_3^- , Cl^- και κατατάσσονται στην κατηγορία των αυξανόμενων έως σοβαρών προβλημάτων (Πίνακας 2),
- με κριτήριο τις τιμές %Na (ή %E.sp, βαθμός αλκαλίωσης) και κατατάσσονται σε νερά αποδεκτής ποιότητας (δείγματα από τις γεωτρήσεις 3, 6, 8, 24), αμφίβολης ποιότητας (δείγματα από τις γεωτρήσεις 10, 14) και ακατάλληλης ποιότητας (δείγματα από τις γεωτρήσεις 22, 23, 26) (Πίνακας 3).
- ως προς την καταλληλότητά τους για άρδευση με κριτήρια τις τιμές των TDS (mg/l) και EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$) και κατατάσσονται σε νερά υψηλής αλατότητας και ακατάλληλα για άρδευση σε εδάφη περιορισμένης στράγγισης (δείγματα από τις γεωτρήσεις 3, 6, 8, 14, 24) έως πολύ υψηλής αλατότητας και ακατάλληλα για άρδευση κάτω από συνηθισμένες συνθήκες, χρησιμοποιήσιμα σε ειδικές συνθήκες σε εδάφη πολύ περατά με στράγγιση πολύ καλή (δείγματα από τις γεωτρήσεις 10, 23), ενώ οι τιμές TDS και EC στα δείγματα των γεωτρήσεων 22 και 26 ήταν μεγαλύτερες από τα ανώτατα όρια της σχετικής ταξινόμησης (Πίνακας 4),
- με βάση τα κριτήρια για το 'πότισμα' οικιακών ζώων (Καλλέργης, 2000) και χαρακτηρίζονται ως κατάλληλα, εκτός από τα νερά των δειγμάτων από τις γεωτρήσεις 22 και 26 που χαρακτηρίζονται ως ακατάλληλα για μικρά ζώα και κατάλληλα μόνο για το 'πότισμα' πουλερικών και μεγάλων ζώων (τιμές $\text{TDS} > 3000 \text{ mg/l}$).

Πίνακας 2. Ποιοτική αξιολόγηση δειγμάτων νερού της περιοχής έρευνας ως προς την επίδρασή τους στη γεωργική απόδοση με κριτήρια τις τιμές των SAR, TDS και τις συγκεντρώσεις Na^+ , HCO_3^- , Cl^- (Ayers, 1975, Καλλέργης, 2000).

Γεώτρηση	SAR**	TDS** (mg/l)	Αξιολόγηση με κριτήριο τις τιμές των:		Αξιολόγηση με κριτήριο τις συγκεντρώσεις των:		
			SAR	TDS	Na^{+*}	HCO_3^{-*}	Cl^{-*}
3	2,87	720,4	ΚΠ	ΑΠ	ΑΠ	ΑΠ	ΚΠ
6	1,52	742,1	ΚΠ	ΑΠ	ΑΠ	ΑΠ	ΣΠ
8	1,26	578,4	ΚΠ	ΑΠ	ΚΠ	ΑΠ	ΑΠ
10	7,09	1512,7	ΑΠ	ΑΠ	ΣΠ	ΑΠ	ΣΠ
14	6,97	858,0	ΑΠ	ΑΠ	ΣΠ	ΑΠ	ΣΠ
22	7,71	4274,6	ΑΠ	ΣΠ	ΣΠ	ΑΠ	ΣΠ
23	5,18	2659,6	ΚΠ	ΣΠ	ΣΠ	ΑΠ	ΣΠ
24	5,38	1117,2	ΚΠ	ΑΠ	ΣΠ	ΑΠ	ΣΠ
26	4,73	3781,8	ΚΠ	ΣΠ	ΣΠ	ΑΠ	ΣΠ

ΚΠ: κανένα πρόβλημα, ΑΠ: αυξανόμενα προβλήματα, ΣΠ: σοβαρά προβλήματα,

*: τιμές συγκεντρώσεων από Πίνακα 1, **: $\text{TDS} (\text{meq/l}) = 0,01 \times \text{EC} (\mu\text{S}/\text{cm})$, $\text{SAR} = \frac{\text{Na}}{\sqrt{(\text{Ca} + \text{Mg})/2}}$ (συγκεντρώσεις Na, Ca, Mg σε meq/l)

Πίνακας 3. Ποιοτική αξιολόγηση δειγμάτων νερού της περιοχής έρευνας με κριτήριο τις τιμές %Na (Καλλέργης, 2000, Wilcox, 1955).

Γεώτρηση	3	6	8	10	14	22	23	24	26
%Na* (ή %E.sp)	46,22	21,68	24,88	67,81	74,09	49,00	44,04	62,73	34,88
Ποιότητα νερού	ΑΠΟΔ.	ΑΠΟΔ.	ΑΠΟΔ.	ΑΜΦ.	ΑΜΦ.	ΑΚΑΤ.	ΑΚΑΤ.	ΑΠΟΔ.	ΑΚΑΤ.

ΑΠΟΔ. (Αποδεκτή): %Na: 40-60, EC: 750-2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, ΑΜΦ. (Αμφίβολη): %Na: 60-80, EC: 2000-3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, ΑΚΑΤ. (Ακατάλληλη): %Na: >80, EC: >3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, *: $\% \text{Na} = \frac{(\text{Na} + \text{K})100}{\text{Ca} + \text{Mg} + \text{Na} + \text{K}}$ (συγκεντρώσεις Na, K, Ca, Mg σε meq/l)

Πίνακας 4. Ποιοτική αξιολόγηση δειγμάτων νερού της περιοχής έρευνας ως προς την καταλληλότητά τους για άρδευση με κριτήρια τις τιμές των TDS* (mg/l), EC* (μS/cm) (Καλλέργης, 2000, Richards, 1954).

Γεώτρηση	3	6	8	10	14	22	23	24	26
Τάξη	C ₃	C ₃	C ₃	C ₄	C ₃	C ₄ **	C ₄	C ₃	C ₄ **

Τάξη C₃: (500<TDS<1500, 250<EC<2250). Νερό υψηλής αλατότητας, ακατάλληλο για άρδευση σε εδάφη περιορισμένης στράγγισης. Απαιτούνται μέτρα ελέγχου της αλατότητας και καλλιέργεια μόνο ανθεκτικών σε αυτή φυτών.

Τάξη C₄: (1500<TDS<3000, 2250<EC<5000). Νερό πολύ υψηλής αλατότητας, ακατάλληλο για άρδευση κάτω από συνηθισμένες συνθήκες. Χρησιμοποιήσιμο σε ειδικές συνθήκες (εδάφη πολύ περατά, στράγγιση πολύ καλή). Συνιστάται η χρησιμοποίηση πλεονάσματος νερού ώστε να επιτευχθεί η απόπλυση εδάφους και η καλλιέργεια πολύ ανθεκτικών στην αλατότητα φυτών.

*: από Πίνακα 1, **: τιμές TDS και EC μεγαλύτερες από τα ανώτατα όρια της τάξης C₄

5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Η υπό εξέταση παράκτια περιοχή μεταξύ Ξυλαγανής και Ιμέρου εξασφαλίζει τις αρδευτικές της ανάγκες από τα υπόγεια νερά της περιοχής. Χαρακτηριστικό της περιοχής, το οποίο ευνοεί το πρόβλημα της υπαλμύρισης, αποτελεί η γεωμορφολογική της διαμόρφωση η οποία χαρακτηρίζεται από πολύ μικρά υψόμετρα και κατά συνέπεια από αρνητικές τιμές στάθμης των υπογείων νερών.

Όπως αναφέρθηκε προηγούμενα, η πιθανότερη είσοδος του αλμυρού νερού στο υπόγειο υδροφόρο σύστημα της περιοχής έρευνας λαμβάνει χώρα από τον ποταμό Λίσσο, στην περιοχή του αναβαθμού και κατόπιν, μέσα από τμήματα χοντρόκοκκων υλικών που εκτείνονται στο ευρύτερο αργιλικό και κατά τόπους αργιλοαμμώδες περιβάλλον. Με βάση την παρατήρηση αυτή προτείνεται:

- Η άμεση κατασκευή αναβαθμών κατόπιν του ήδη υπάρχοντος, προς τη θάλασσα. Η δημιουργία των νέων αυτών αναβαθμών με την ταυτόχρονη διεύρυνση και εκβάθυνση της τάφρου και ίσως κάποιων άλλων διευθετήσεων, θα έχει ως αποτέλεσμα τη συγκράτηση μεγάλων ποσοτήτων γλυκού νερού, σε όλο το μήκος της ευαίσθητης περιοχής. Με αυτό τον τρόπο τα υδάτινα αυτά σώματα θα λειτουργούν ως πρόσθετοι τροφοδότες, αφού θα έχουν υψηλότερο φορτίο και θα παρεμποδίζουν την ανάμιξη αλμυρών και γλυκών νερών. Με τους αναβαθμούς θα επιτευχθεί, αφενός η παρεμπόδιση της εισόδου της θάλασσας στον υδροφόρο και αφετέρου μερικός εμπλουτισμός με γλυκό νερό των υδροφόρων, μέσω των διόδων που μέχρι σήμερα χρησιμοποιεί το αλμυρό νερό.
- Η εκπόνηση ειδικής μελέτης, όπου θα χαρτογραφηθούν επακριβώς τα τμήματα κυρίως του ποταμού, όπου παρατηρείται είσοδος του αλμυρού νερού στον υδροφόρο και θα προταθούν συγκεκριμένες τεχνικές παρεμπόδισης της θαλάσσιας διείσδυσης με ειδικούς φραγμούς σε επίμαχα σημεία.

Επίσης προτείνεται η σύνταξη σχετικής μελέτης διαχειριστικού χαρακτήρα σε επίπεδο δήμου ή νομού για την αντιμετώπιση του προβλήματος, όπου εκτός των προηγούμενων προτάσεων θα μπορούσε να περιλάβει την πρόβλεψη για τη δυνατότητα: (α) κατασκευής καναλιών, που θα επιτρέπουν στο αλμυρό νερό να μεταναστεύει προς επιλεγμένες περιοχές της ενδοχώρας, (β) εξασφάλισης εναλλακτικών πηγών διάθεσης νερού, που δεν απειλούνται από τη διείσδυση της θάλασσας, (γ) λήψης ιδιαίτερων μέτρων για το πρόβλημα των εγκαταλελειμμένων γεωτρήσεων, (δ) θέσπισης συγκεκριμένου οργανωμένου σχεδίου άντλησης για όλη την περιοχή με στόχο τον έλεγχο και τον προγραμματισμό των αντλήσεων έτσι ώστε οι στάθμες να διατηρούνται σε σχετικά υψηλά επίπεδα.

Το πρόβλημα της υπαλμύρισης στην περιοχή που εξετάστηκε φαίνεται να έχει πάρει τρομαχτικές διαστάσεις, παρουσιάζοντας μια ραγδαία επιδείνωση τα τελευταία χρόνια και από πολλούς χαρακτηρίζεται ως μη αναστρέψιμο. Η διαπίστωση αυτή καθιστά την εκπόνηση εμπειριστικών μελετών για τη περιοχή αναγκαία, άμεση και επιτακτική με σκοπό την εύρεση αποδοτικών και σίγουρων λύσεων για την περιοχή.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

ASCE, (1987). *Ground Water Management*. Third Edition, ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice No 40, New York, 263 p.

- Ayers, R., S., (1975). *Quality of water for irrigation*. Proceeding of the Irrigation and Drainage Division, Specialty Conference, ASCE, 13-15/8/1975, Logan, Utah, pp. 24-56.
- Καλλέργης, Γ., (1986). *Εφαρμοσμένη Υδρογεωλογία*. Τόμος Β'. Έκδοση ΤΕΕ, Αθήνα.
- Καλλέργης, Γ., (2000). *Εφαρμοσμένη- Περιβαλλοντική Υδρογεωλογία*. Τόμος Β'. Έκδοση ΤΕΕ, Αθήνα, 345 σελ.
- Οδηγία 80/778/ΕΟΚ του Συμβουλίου της 15^{ης} Ιουλίου 1980 περί της ποιότητας του πόσιμου νερού (ΕΕ L 229).
- Οδηγία 98/83/ΕΚ του Συμβουλίου της 3^{ης} Νοεμβρίου 1998 σχετικά με την ποιότητα του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης (L 330/32).
- Piper A. M., (1944). *A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analyses*. Trans. Amer. Geophys. Union, 25, pp. 914-923.
- Πλιάκας Φ., Ι. Διαμαντής, Χ. Πεταλάς, και Σ. Πανίλας, (2001). *Διερεύνηση δυνατότητας εφαρμογής τεχνητού εμπλουτισμού των υδροφόρων πεδινών τμημάτων του Ν. Ροδόπης στη Θράκη. Μια πρώτη προσέγγιση*. Proceedings of the 9th International Congress of the Geological Society of Greece, Athens, 26-28/9/2001, Vol. 5, pp. 1923-1932.
- Richards, L., A., (ed), (1954). *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. Agric Handbook 60, U.S. Dept. Agric., Washington, D.C., 160 p.
- Σακκάς, Ι., Διαμαντής, Ι., Πλιάκας, Φ., κ.ά., (1998). *Μελέτη τεχνητού εμπλουτισμού υδροφορέων Ξάνθης - Ροδόπης*. Ερευνητικό πρόγραμμα για λογαριασμό του Υπουργείου Γεωργίας, Τομείς Υδραυλικών Έργων και Γεωτεχνικής Μηχανικής, Δ.Π.Θ., τεύχη 5, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Δ.Π.Θ., Ξάνθη.
- Wilcox, L., (1955). *Classification and use of irrigation waters*. U.S. Dept. Agric. Circ. 969, Washington D.C., 19 p.

ABSTRACT

STUDY OF THE PROGRESS OF SEAWATER INTRUSION WITHIN A PLAIN AREA OF RHODOPE PREFECTURE

Pliakas F.¹, Diamantis I.¹, Kallioras A.¹, Petalas C.²

¹ *Section of Geotechnical Engineering, Department of Civil Engineering, Democritus University of Thrace, 67100 Xanthi*

² *Department of Environmental Engineering, Democritus University of Thrace, 67100, Xanthi*

This paper investigates the progress of seawater intrusion within the plain area of Xylagani – Imeros, in SW part of Rhodope Prefecture, as well as the suitability of groundwater for several purposes, after qualitative valuation of groundwater samples from selective wells of the study area. The conclusions also include some managerial suggestions for the confrontation of seawater intrusion. The investigation in question took place between 1994-1997 and 2002-2003, and involves the installation of piezometric wells, geoelectric sounding measurements, grain size analyses, monitoring of the groundwater level fluctuations in selective wells, specific electrical conductivity measurements and chemical analyses of water samples from selective wells of the study area.