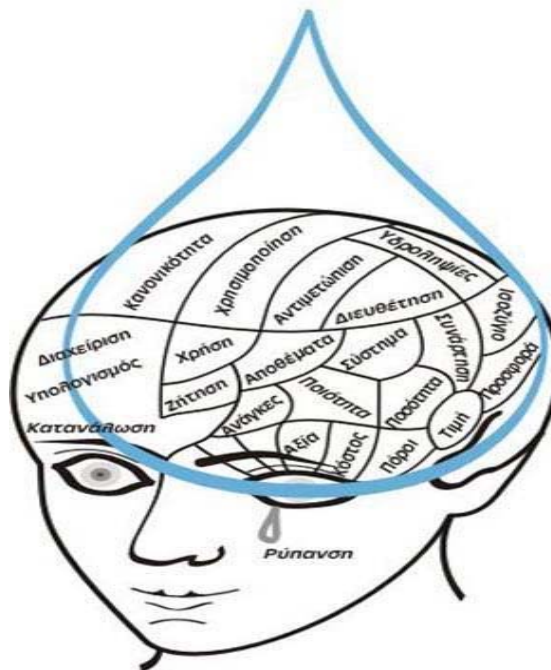




ΥΦΑΛΜΥΡΩΣΗ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΥΔΡΟΦΟΡΕΩΝ ΝΟΜΟΥ ΧΑΝΙΩΝ



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΡΟΥΣΣΑ-ΜΑΡΤΗ ΣΟΦΙΑ

ΧΑΝΙΑ 2009



ΥΦΑΛΜΥΡΩΣΗ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΥΔΡΟΦΟΡΕΩΝ ΝΟΜΟΥ ΧΑΝΙΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΡΟΥΣΣΑ-ΜΑΡΤΗ ΣΟΦΙΑ

Επιβλέπων :

Δρ Γ Σταυρουλάκης
Καθηγητής

Επιτροπή Αξιολόγησης :

Παπαφιλιππάκη Ανδρονίκη (MSc)
Εργαστηριακός Συνεργάτης

Μαυροκεφαλίδου Ελένη (MSc)
Εργαστηριακός Συνεργάτης

Ημερομηνία παρουσίασης

Αύξων Αριθμός Πτυχιακής Εργασίας : 33

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η πραγματοποίηση της εργασίας αυτής, δεν θα ήταν εφικτή χωρίς των πολύτιμη βοήθεια του επιβλέποντος καθηγητή μου κ. Σταυρουλάκη. Σημαντική ωστόσο ήταν και η συνεισφορά της κ. Παπαφιλίππáκη, όσο και της συμφοιτήτριάς μου Αννίς Χρυσικοπούλου για τη βοήθειά της στις εργαστηριακές αναλύσεις . Επίσης θα πρέπει να αναφερθεί η ανεκτίμητης αξίας στήριξη των γονέων μου σε όλες τις επιλογές μου.

Sea water intrusion in the area of Chania

ABSTRACT

The aim of the diplomatic project was to evaluate the state of groundwater salination by seawater intrusion of Municipality of Chania. The samples were taken from: Kaina, Gabalochori, Nio Chorio, Megala Chorafia, Naustathos and Kalibes. The chronical start of the sample collection began in July 2006 and it was completed in October 2006. The chemical analysis revealed serious degradation of groundwater in Kaina and Gabalochori. The state of the other samples remained stable.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	- 8 -
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : ΥΦΑΛΜΥΡΩΣΗ.....	- 9 -
1.1 Ορισμός υφαλμύρωσης	- 9 -
1.2 Είδη υφαλμύρωσης.....	- 9 -
1.3 Επαφή γλυκού-αλμυρού νερού.....	- 9 -
1.4 Πολυπλοκότητα υφαλμύρωσης	- 10 -
1.5 Τρόποι προσέγγισης του φαινομένου	- 10 -
1.5.1 Στατική ισορροπία διεπιφάνειας : νόμος των Ghyben και Herzberg.....	- 11 -
1.5.2 Οι συνθήκες ροής κατά Hubbert.....	- 13 -
1.5.3 Μαθηματικά μοντέλα	- 16 -
1.6 Δομή και σύσταση της διεπιφάνειας	- 17 -
1.6.1 Ανύψωση της διεπιφάνειας.....	- 19 -
1.6.2 Το «πόδι» της διεπιφάνειας	- 20 -
1.7 Δείκτης ανισορροπίας.....	- 21 -
1.8 Οι φυσικοχημικές διαδικασίες ρύπανσης-απορρύπανσης παράκτιων υδροφόρων από την υφαλμύρωση.....	- 22 -
1.8.1 Υπολογισμός απαιτούμενου χρόνου απόπλυσης υφάλμυρων φακών.....	- 22 -
1.9 Τρόποι διάκρισης των διαφόρων πηγών ρύπανσης.....	- 24 -
1.10 Υδροχημικά χαρακτηριστικά που συμβάλλουν στη διάκριση της θαλάσσιας διείσδυσης	- 25 -
1.10.1 Συντελεστής Revelle.....	- 25 -
1.10.2 Χλώριο.....	- 26 -
1.10.3 Λόγος Na/Cl	- 26 -
1.10.4 Τρίτιο.....	- 27 -
1.10.5 Σταθερά ισότοπα ^{18}O και δευτέριο	- 27 -
1.10.6 Λόγος $\text{Mg}^{2+} / \text{Ca}^{2+}$	- 27 -
1.10.7 Λόγος $\text{Cl} / \text{SO}_4^{2-}$	- 27 -
1.10.8 Λόγος Br / Cl	- 27 -
1.10.9 Συνδυασμός λόγων	- 28 -
1.10.10 Διάγραμμα Piper.....	- 28 -
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : ΑΙΤΙΑ ΥΦΑΛΜΥΡΩΣΗΣ.....	- 29 -
2.1 Γενικά	- 29 -
2.2 Φυσικά αίτια.....	- 29 -
2.2.1 Μείωση των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων που προκύπτει από την αλλαγή του παγκόσμιου κλίματος	- 29 -
2.2.2 Ανοδος της στάθμης της θάλασσας.....	- 30 -
2.2.3 Γεωλογικά αίτια.....	- 30 -
2.3 Ανθρωπογενή αίτια.....	- 31 -
2.3.1 Υπεράντληση.....	- 31 -
2.3.2 Παράνομες γεωτρήσεις.....	- 31 -
2.3.3 Οικιστική ανάπτυξη.....	- 32 -
2.3.4 Εγγειοβελτιωτικά έργα και αποστράγγιση	- 32 -
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : ΤΡΟΠΟΙ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΥΦΑΛΜΥΡΩΣΗΣ	- 33 -
3.1 Γενικά	- 33 -
3.2 Φραγμοί άντλησης.....	- 33 -
3.3 Φραγμοί εμπλουτισμού (έγχυσης) γλυκού νερού	- 34 -
3.4 Τεχνητοί υπόγειοι φραγμοί.....	- 36 -
3.5 Βιολογικοί φραγμοί	- 37 -
3.6 Έλεγχος αντλήσεων.....	- 37 -
3.7 Ανακατανομή αντλήσεων.....	- 38 -
3.8 Τροποποιημένα σχέδια αντλήσεων	- 38 -
3.9 Τεχνικές αφαλάτωσης.....	- 39 -
3.10 Άμεση διάθεση επιφανειακού νερού σε αντικατάσταση χρήσης του υπόγειου νερού	- 40 -
3.11 Τεχνητός εμπλουτισμός.....	- 40 -

3.11.1 Μέθοδος πλημμυρισμού (κατάκλυσης) επιφανειών.....	- 40 -
3.11.2 Μέθοδος λεκανών κατάκλυσης.....	- 41 -
3.11.3 Πλημμυρισμός ξηρών κοιτών χειμάρρων ή ποταμών.....	- 41 -
3.11.4 Τεχνητός εμπλουτισμός από τάφρους.....	- 42 -
3.12 Παραδείγματα τεχνητού εμπλουτισμού.....	- 43 -
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : ΥΦΑΛΜΥΡΩΣΗ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ.....	- 45 -
4.1 Γενικά.....	- 46 -
4.2 Υφαλμύρωση σε Μακεδονία και Θράκη.....	- 46 -
4.2.1 Πεδίου κόλπου Ορφανού Καβάλας.....	- 47 -
4.2.2 Δέλτα του ποταμού Νέστου.....	- 48 -
4.2.3 Δέλτα του ποταμού Έβρου.....	- 48 -
4.2.4 Νέα Κεσσάνη.....	- 49 -
4.2.5 Δέλτα του ποταμού Λισσού-παράκτια περιοχή νομού Ροδόπης.....	- 50 -
4.3 Υφαλμύρωση το Αργολικό πεδίο.....	- 50 -
4.4 Υφαλμύρωση στην Αχαΐα.....	- 51 -
4.5 Υφαλμύρωση στο Μαραθώνα.....	- 52 -
4.6 Υφαλμύρωση στην υπόλοιπη Ελλάδα.....	- 53 -
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΥΦΑΛΜΥΡΩΣΗ ΣΤΟΝ ΚΟΣΜΟ.....	- 55 -
5.1 Γενικά.....	- 55 -
5.2 Υφαλμύρωση στην Κίνα.....	- 55 -
5.3 Υφαλμύρωση στο Ομάν.....	- 55 -
5.4 Υφαλμύρωση στην Κύπρο.....	- 57 -
5.5 Υφαλμύρωση στην Τουρκία.....	- 57 -
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 : ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ.....	- 59 -
6.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	- 59 -
6.2 ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ.....	- 59 -
6.2.1 pH.....	- 59 -
6.2.1.1 Αρχή της μεθόδου ανάλυσης.....	- 60 -
6.2.2.2 Πειραματική διαδικασία.....	- 60 -
6.2.2 ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ.....	- 60 -
6.2.2.1 Αρχή της μεθόδου ανάλυσης.....	- 60 -
6.2.2.2 Πειραματική διαδικασία.....	- 60 -
6.2.3 ΔΙΑΛΥΜΕΝΟ ΟΞΥΓΟΝΟ (DISOLVED OXYGEN).....	- 60 -
6.2.3.1 Αρχή της μεθόδου ανάλυσης.....	- 60 -
6.2.3.2 Πειραματική διαδικασία.....	- 61 -
6.2.4 COD.....	- 61 -
6.2.4.1 Αρχή της μεθόδου ανάλυσης.....	- 61 -
6.2.4.2 Πειραματική διαδικασία.....	- 61 -
6.2.5 BOD ₅	- 61 -
6.2.5.1 Αρχή της μεθόδου ανάλυσης.....	- 61 -
6.2.5.2 Πειραματική διαδικασία.....	- 61 -
6.2.6 ΧΛΩΡΙΟΝΤΑ.....	- 62 -
6.2.6.1 Αρχή της μεθόδου ανάλυσης.....	- 62 -
6.2.6.2 Πειραματική διαδικασία.....	- 62 -
6.2.7 ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ.....	- 62 -
6.2.7.1 Αρχή της μεθόδου ανάλυσης.....	- 62 -
6.2.7.2 Πειραματική διαδικασία.....	- 63 -
6.2.8 ΘΕΠΚΑ ΙΟΝΤΑ.....	- 63 -
6.2.8.1 Αρχή της μεθόδου ανάλυσης.....	- 63 -
6.2.8.2 Πειραματική διαδικασία.....	- 63 -
6.2.9 ΝΙΤΡΙΚΑ ΙΟΝΤΑ.....	- 64 -
6.2.9.1 Αρχή της μεθόδου ανάλυσης.....	- 64 -
6.2.9.2 Πειραματική διαδικασία.....	- 64 -
6.2.10 ΦΩΣΦΟΡΙΚΑ ΙΟΝΤΑ.....	- 64 -
6.2.10.1 Αρχή της μεθόδου ανάλυσης.....	- 65 -
6.2.10.2 Πειραματική διαδικασία.....	- 65 -
6.2.11 ΑΜΜΩΝΙΑΚΑ ΙΟΝΤΑ.....	- 66 -
6.2.11.1 Αρχή της μεθόδου ανάλυσης.....	- 66 -

6.2.11.2 Πειραματική διαδικασία.....	- 66 -
6.2.12 ΝΑΤΡΙΟ	- 66 -
6.2.12.1 Αρχή της μεθόδου ανάλυσης.....	- 67 -
6.2.12.2 Πειραματική διαδικασία	- 67 -
6.2.13 ΚΑΛΙΟ	- 68 -
6.2.13.1 Αρχή της μεθόδου ανάλυσης.....	- 68 -
6.2.13.2 Πειραματική διαδικασία.....	- 68 -
6.3 ΜΙΚΡΟΒΙΟΛΟΓΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ.....	- 69 -
6.3.1 ΟΛΙΚΑ ΚΟΛΟΒΑΚΤΗΡΙΔΙΑ.....	- 69 -
6.3.1.1 Αρχή της μεθόδου ανάλυσης.....	- 69 -
6.3.1.2 Πειραματική διαδικασία	- 69 -
6.3.2 ΚΟΠΡΙΚΑ ΚΟΛΟΒΑΚΤΗΡΙΑ.....	- 69 -
6.3.2.1 Αρχή της μεθόδου ανάλυσης.....	- 70 -
6.3.2.2 Πειραματική διαδικασία	- 70 -
6.3.3 ΚΟΠΡΙΚΟΙ ΣΤΡΕΠΤΟΚΟΚΚΟΙ.....	- 70 -
6.3.3.1 Αρχή της μεθόδου ανάλυσης.....	- 71 -
6.3.3.2 Πειραματική διαδικασία	- 71 -
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 : ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	- 72 -
7.1 ΚΑΪΝΑ	- 72 -
7.2 ΓΑΒΑΛΟΧΩΡΙ	- 75 -
7.3 ΚΑΛΥΒΕΣ	- 77 -
7.4 ΝΙΟ ΧΩΡΙΟ.....	- 79 -
7.5 ΜΕΓΑΛΑ ΧΩΡΑΦΙΑ ΠΗΓΗ.....	- 82 -
7.6 ΝΑΥΣΤΑΘΜΟΣ ΑΠΟΡΡΟΗ	- 84 -
7.7 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ	- 87 -
7.7.1 Σύγκριση γεωτρήσεων για τις 22/8/06.....	- 87 -
7.7.2 Σύγκριση γεωτρήσεων για τις 5/10/06.....	- 89 -
7.8 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΧΗΜΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ.....	- 93 -
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 : ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	- 95 -
ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	- 97 -
ΕΠΙΛΟΓΟΣ	- 98 -
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	- 99 -

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η διείσδυση αλμυρού νερού σε παράκτιους υδροφορείς έχει γίνει τελευταία αντικείμενο μιας αξιολογής ερευνητικής προσπάθειας. Το ενδιαφέρον για την επίλυση αυτού του προβλήματος έχει προκληθεί και από την ανάγκη της αυξημένης ζήτησης σε νερό, τόσο για την άρδευση όσο και για την κάλυψη των αναγκών σε νερό διαφόρων άλλων δραστηριοτήτων όπως η ανάπτυξη του τουρισμού.

Η επαρκής διαχείριση των υδάτινων πόρων μιας περιοχής προϋποθέτει την ορθή πρόβλεψη, τόσο των αλλαγών στην αλμυρότητα των υδροφορέων που συνδέονται με ένα οποιοδήποτε σχήμα εκμετάλλευσης όσο και τις πηγές προέλευσής της. Η αιτία της υφαλμύρωσης δεν είναι πάντα η θάλασσα. Οι παράκτιες περιοχές φιλοξενούν συνήθως ένα σημαντικό αριθμό πηγών ρύπανσης που η εκδήλωσή τους συνδέεται με διάφορες ανθρώπινες δραστηριότητες (κυρίως αγροτικές και αστικές) και με την παρουσία φυσικών πηγών ρύπανσης.

Η κατανόηση της αλληλεξάρτησης ενός υφάλμυρου υπόγειου υδροφορέα με την εντατικοποίηση της εκμετάλλευσής του ή μη απαιτεί την ολοκληρωμένη γνώση του συνόλου του συστήματος δηλαδή το σύνολο των υδρογεωλογικών συνθηκών.

Μερικώς η αλληλεξάρτηση αυτή υπαγορεύεται από τη διάταξη του επιβαρυσμένου νερού στο χώρο και αυτή με τη σειρά της υπαγορεύεται από την πηγή προέλευσής του. Ο καθορισμός της πηγής είναι συνήθως υδροχημικός, ιδιαίτερα στην περίπτωση που η επιβάρυνση του υδροφορέα είναι αποτέλεσμα της θαλάσσιας διείσδυσης.

Η αξία της υδροχημικής διερεύνησης πρέπει οπωσδήποτε να είναι περιορισμένη στην περίπτωση που οι χημικές παρατηρήσεις μπορούν ισομερώς να ερμηνευθούν μέσω δύο ή περισσότερων σειρά διαδικασιών. Κατ'ακολουθία η ορθή γνώση των υδρογεωλογικών συνθηκών της περιοχής, όπου εντοπίζεται το πρόβλημα της επιβάρυνσης, κρίνεται σαν απαραίτητη για την αξιοποίηση των στοιχείων της υδροχημείας και προς αποφυγή εσφαλμένων συμπερασμάτων όσον αφορά τη προέλευση της επιβάρυνσης. [1]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : ΥΦΑΛΜΥΡΩΣΗ

1.1 Ορισμός υφαλμύρωσης

Ως υφαλμύρωση ορίζουμε την αύξηση της αλατότητας του υπόγειου νερού που μπορεί να οφείλεται στη διείσδυση του θαλασσινού νερού σε έναν υπόγειο υδροφόρο .

1.2 Είδη υφαλμύρωσης

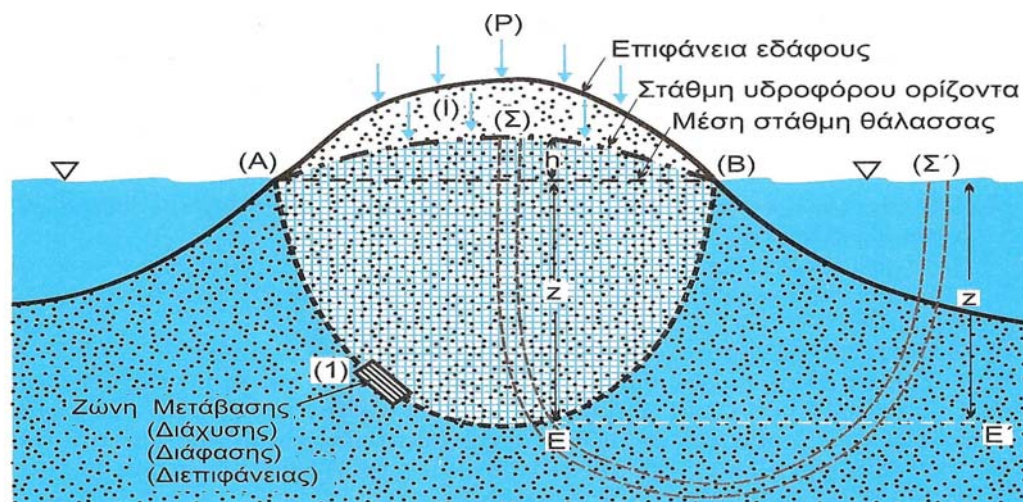
Η φυσική ισορροπία των παράκτιων υδροφόρων μπορεί να ανατραπεί, όταν η ροή του γλυκού νερού μειώνεται εξαιτίας των υπεραντλήσεων ή της μείωσης στην τροφοδοσία (φυσικό εμπλουτισμό) των υδροφόρων. Έτσι η διείσδυση του αλμυρού νερού μπορεί να χαρακτηριστεί παθητική αν με οποιοδήποτε τρόπο αλλάζουν οι ποσότητες νερού που φυσικά τροφοδοτούν τα υπόγεια στρώματα. Οι αλλαγές αυτές επηρεάζουν άμεσα τη θέση της διεπιφάνειας γλυκού-αλμυρού νερού η οποία μετατοπίζεται προς την ενδοχώρα. Πρέπει να σημειωθεί ότι μικρές αλλαγές θέσης της διεπιφάνειας σημειώνονται με τις εποχιακές ή ετήσιες διακυμάνσεις των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων, όπως επίσης και μετά από μακροχρόνιες αλλαγές στον κλιματικό τύπο ή στη σχετική θέση του επιπέδου της θάλασσας.

Χαρακτηρίζεται όμως και ενεργή όταν προκύπτει μετά από τεχνητή παρέμβαση στις διακινούμενες ποσότητες (περίπτωση υπεραντλήσεων). Αυτό οφείλεται κυρίως στη σημειακή εξαγωγή (άντληση) υπόγειου νερού που δημιουργεί ένα βαθύ κώνο κατάπτωσης. Η ζώνη τότε του ορίου, σε αντίθεση με την περίπτωση της παθητικής διείσδυσης, μετακινείται πολύ γρηγορότερα προς την ενδοχώρα και με αλλαγή της υδραυλικής κλίσης. Επιπλέον η μετακίνηση αυτή δεν θα σταματήσει παρά μόνο όταν φτάσει στο χαμηλότερο σημείο της υδραυλικής κλίσης στο κέντρο της άντλησης.

Δηλαδή οι υπερβολικές αντλήσεις υπόγειων νερών σε παράκτιους υδροφορείς, σε πολλές περιοχές, προκαλούν μια ανάστροφη ροή των υπόγειων νερών με αποτέλεσμα μια αξιοσημείωτη θαλάσσια διείσδυση στην αντλούμενη περιοχή, όταν η στάθμη υποβιβάζεται κάτω από το επίπεδο της υποθαλάσσιας εμφάνισης της αντλούμενης ενότητας ή εάν η μεταβατική ζώνη ανάμεσα στο γλυκό και στο αλμυρό νερό αποτελεί μέρος του κώνου κατάπτωσης. [1]

1.3 Επαφή γλυκού-αλμυρού νερού

Για να απλοποιήσουμε την κατάσταση δεχόμαστε ότι έχουμε ένα στρογγυλό νησί δομημένο γεωλογικά και ομοιόμορφο περατό υλικό. Τότε το νερό της κατείσδυσης θα σχηματίζει ένα υδροφόρο στρώμα από γλυκό νερό. Επειδή το γλυκό νερό της κατείσδυσης (που προέρχεται από τη βροχή) είναι ελαφρύτερο, αφού έχει ειδικό βάρος περίπου $1,004 \text{ gr/cm}^3$ ενώ το θαλασσινό νερό περίπου $1,040 \text{ gr/cm}^3$, θα επιπλέει πάνω από το θαλασσινό νερό σαν ένα παγόβουνο όπως στο σχήμα 1.1. Δηλαδή το γλυκό νερό του υδροφόρου θα επιπλέει πάνω από το θαλασσινό που θα υπόκειται και θα βρίσκεται σε βαθύτερα τμήματα του υπεδάφους, όπως συμβαίνει με δύο μη μιγνυόμενα υγρά. Όμως η επαφή αυτή του γλυκού νερού δεν γίνεται με μια απλή γραμμή, με μια επιφάνεια, αλλά με μια ζώνη όπως φαίνεται στο σχήμα 1.1, που στη βιβλιογραφία αναφέρεται σαν ζώνη διεπιφάνειας, ή ζώνη διάφρασης, ή ζώνη διάχυσης, ή ζώνη μετάβασης.



Σχήμα 1.1 : Επαφή γλυκού – αλμυρού νερού [13]

1.4 Πολυπλοκότητα υφαλμύρωσης

Η πολυπλοκότητα του προβλήματος υφαλμύρωσης παράκτιων υδροφορέων οφείλεται σε παράγοντες όπως :

- 1) Ύπαρξη δύο φάσεων ρευστών και μιας ευρείας ζώνης ανάμειξης μεταξύ των δύο υγρών φάσεων.
- 2) Η κίνηση καθώς και η διασπορά του ενός ρευστού στο άλλο εξαρτάται από την πυκνότητα των ρευστών στη ζώνη υφαλμύρωσης η οποία μεταβάλλεται σε συνάρτηση του χώρου και του χρόνου και εξαρτάται από τις συνθήκες ροής. Αυτή η αλληλεξάρτηση κάνει τις αντίστοιχες εξισώσεις μη γραμμικές και είναι πολύ δύσκολο να επιλυθούν με αριθμητικές μεθόδους αφού απαιτούνται διαδοχικές προσεγγίσεις και επαναλήψεις.
- 3) Η περιγραφή του φυσικού φαινομένου περιπλέκεται ακόμη περισσότερο λόγω της ανομοιογένειας των υδραυλικών παραμέτρων του υδροφορέα. Ιδιαίτερα σε καρστικούς υδροφορείς η ανάμιξη γλυκού και αλμυρού νερού είναι εντελώς διαφορετικής φύσης από αυτήν σε ομοιογενείς και ισοτροπικούς πορώδεις υδροφόρους. Η ροή σε καρστ συχνά δεν ακολουθεί το νόμο του Darcy αφού γίνεται σε κοιλότητες και σε ανοίγματα που είναι συχνά μεγάλων διαστάσεων με αποτέλεσμα να είναι πολύπλοκη και να μην μπορεί περιγραφεί με γενικές διαφορικές εξισώσεις ροής αφού κάθε ιδιαίτερο σύστημα έχει τη δική του ιδιότυπη συμπεριφορά. [29]

1.5 Τρόποι προσέγγισης του φαινομένου

Δύο είναι οι γενικοί τρόποι προσέγγισης του φαινομένου της διείδυσης του θαλασσινού νερού μέσα στους παράκτιους υδροφορείς που παρουσιάζονται στη βιβλιογραφία : ο τρόπος της διεσπαρμένης διεπιφάνειας (η γνωστή στην ξένη βιβλιογραφία σαν *disperse interface*) και ο τρόπος της οξείας διεπιφάνειας (ή *sharp interface*). Σύμφωνα με την πρώτη η διεπιφάνεια αναπαριστά την παρουσία μιας μεταβατικής ζώνης σημαντικής έκτασης όπου λαμβάνει χώρα ανάμειξη γλυκού και αλμυρού νερού εξαιτίας της υδροδυναμικής διασποράς. Η δεύτερη αποδέχεται της παρουσία αυτής της ζώνης, την οποία όμως θεωρεί αμελητέας έκτασης συγκρινόμενη με τις διαστάσεις του υδροφορέα οπότε την αναπαριστά σαν γραμμικό όριο μεταξύ των δύο υγρών. [2,5]

Η προσομοίωση της μεταβατικής ζώνης που διαχωρίζει τα δύο υγρά απαιτεί ταυτόχρονη λύση των εξισώσεων ροής καθώς και αυτών της μεταφοράς διαλυμένων ουσιών για τα συντηρητικά χημικά στοιχεία. Ο μεγάλος υπολογιστικός φόρτος όμως

που απαιτείται για τη λύση προβλημάτων μεταφοράς που εξαρτώνται από την πυκνότητα, έχει περιορίσει τις περισσότερες λύσεις σε δυσδιάστατες κάθετες τομές.

Η προσέγγιση της οξείας διεπιφάνειας, σε αντίθεση με την προηγούμενη προσέγγιση, διευκολύνει τη μελέτη των παράκτιων συστημάτων. Όταν λοιπόν η μεταβατική ζώνη είναι μικρή σε σχέση με το πάχος του υδροφορέα, τότε χωρίς μεγάλο σφάλμα μπορούμε να δεχτούμε ότι το γλυκό και το θαλασσινό νερό διαχωρίζονται από μια σαφή διεπιφάνεια, δηλαδή ότι τα δύο υγρά είναι μη μιγνύμενα. Τα μοντέλα αυτού του τύπου συνενώνουν τις δύο περιοχές ροής (θαλασσινού και γλυκού νερού) μέσω της οριακής συνθήκης διεπιφάνειας που στηρίζεται στη συνέχεια της ροής και της πίεσης. Σε τρεις διαστάσεις αυτή η οριακή συνθήκη παρουσιάζει υψηλή μη γραμμικότητα, αλλά θεωρώντας οριζόντια ροή και ολοκληρώνοντας τις εξισώσεις ως προς την κατακόρυφο το πρόβλημα απλοποιείται.

Κάθε μία από τις δύο προσεγγίσεις (οξείας και διεσπαρμένης επιφάνειας), έχει τα πλεονεκτήματα και τους περιορισμούς της και μπορεί να εφαρμοστεί επιτυχώς κάτω από τις κατάλληλες συνθήκες. Η προσέγγιση της διεσπαρμένης επιφάνειας είναι κατάλληλη για περιοχές όπου η μεταβατική ζώνη είναι πλατιά. Αριθμητικές αστάθειες και λάθη εμφανίζονται όταν επιχειρείται προσομοίωση σε περιοχές όπου η μεταβατική ζώνη είναι στενή, ειδικά δε όταν η ζώνη αυτή προσεγγίζει την οξεία διεπιφάνεια.

Η προσέγγιση της οξείας διεπιφάνειας, σε συνδυασμό με την ολοκλήρωση των εξισώσεων ροής ως προς την κάθετο εφαρμόζεται συνήθως σε εκτεταμένες περιοχές. Αυτή η προσέγγιση δε δίνει πληροφορίες για τη φύση της μεταβατικής ζώνης. Πάντως αναπαράγει την υδροδυναμική κατάσταση του συστήματος και τις αντιδράσεις του σε εξωτερικές επιδράσεις. Οι Volker και Rushton (1982) συνέκριναν τις λύσεις για μόνιμες ροές και για τις δύο προσεγγίσεις και έδειξαν ότι όσο ο συντελεστής διασποράς μικραίνει τόσο οι δύο λύσεις προσεγγίζουν η μία την άλλη. [2]

1.5.1 Στατική ισορροπία διεπιφάνειας : νόμος των Ghyben και Herzberg

Ο πρώτος που ασχολήθηκε ιδιαίτερα με το θέμα της επαφής γλυκού αλμυρού νερού ήταν ο Ολλανδός Ghyben (το 1889) και αυτό είναι λογικό γιατί η Ολλανδία ως «Κάτω Χώρα» αντιμετώπιζε έντονο σχετικό πρόβλημα. Επίσης ο Γερμανός Herzberg λίγο αργότερα (το 1905) ασχολήθηκε επίσης με το ίδιο πρόβλημα. Έτσι οι δυο αυτοί ερευνητές κατέληξαν στον ομώνυμό τους τύπο: τον τύπο των Ghyben-Herzberg.

Οι δύο αυτοί επιστήμονες θεώρησαν τη διεπιφάνεια σε στατική κατάσταση και όχι σε δυναμική κατάσταση, χωρίς δηλαδή να παίρνουν υπόψη τους τις ροές που αναγκαστικά γίνονται. Αυτή θα πρέπει να αρχίζει ακριβώς από την ακτή, σχήμα 1.1 σημεία (A) και (B). Θα υπάρχει τότε μία στατική ισορροπία. Θεωρούμε ένα συνεχή εικονικό σωλήνα που αρχίζει από τη στάθμη του υδροφόρου (σημείο Σ) και καταλήγει στη στάθμη της θάλασσας (σημείο Σ'), και περνάει κάτω από τη διεπιφάνεια (επίπεδο EE'). Σύμφωνα με την αρχή των συγκοινωνούντων δοχείων σε ένα οποιοδήποτε οριζόντιο επίπεδο, Π.χ. το EE' που περνάει ακριβώς από τη διεπιφάνεια, η υδροστατική πίεση P θα είναι ακριβώς ίδια και στο ένα και στο άλλο σκέλος του σωλήνα στο επίπεδο EE'. Άρα θα έχουμε:

$$P = (z + h)\rho_{\phi} \text{ (σημείο E)} \quad \text{και} \quad P = z\rho_{\theta} \text{ (σημείο E')} \quad (1)$$

Όπου ρ_{ϕ} και ρ_{θ} είναι το ειδικό βάρος του γλυκού και του Θαλασσινού νερού αντίστοιχα.

z είναι το βάθος του γλυκού νερού από τη μέση στάθμη της θάλασσας και

h είναι το ύψος της στάθμης του υδροφόρου στρώματος από τη μέση στάθμη της θάλασσας (επίπεδο 0).

Από τις δύο πιο πάνω σχέσεις έχουμε :

$$(z + h)\rho_{\phi} = z\rho_{\theta} \quad (2)$$

και τελικά

$$z = \frac{\rho_{\phi}}{\rho_{\theta} - \rho_{\phi}} * h = \frac{\rho_{\phi}}{\Delta\rho} * h = ch \quad (3)$$

$$\left(\frac{\rho_{\phi}}{\Delta\rho} = \frac{\rho_{\phi}}{\rho_{\theta} - \rho_{\phi}} = c\right)$$

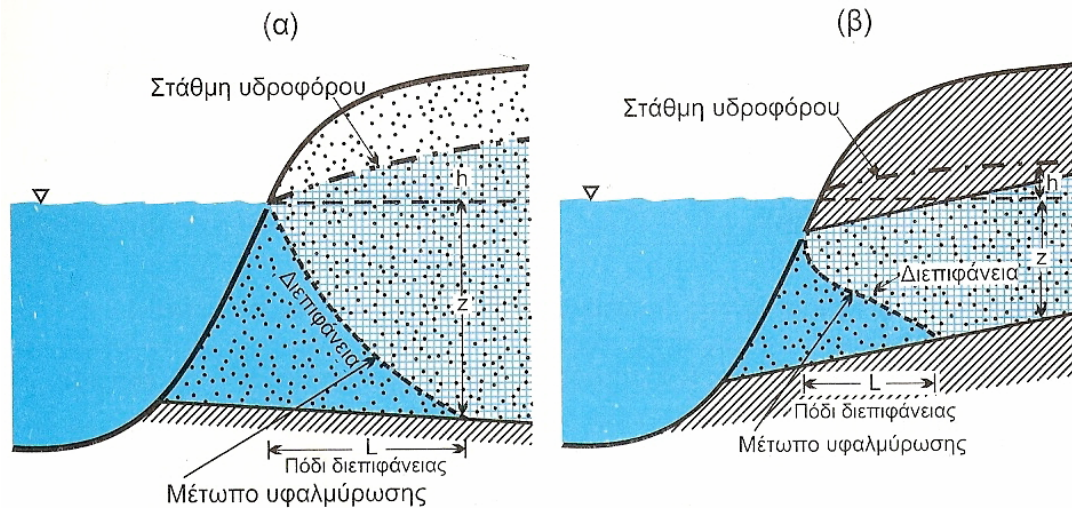
Η εξίσωση αυτή (3) είναι γνωστή ως εξίσωση των Ghyben-Herzberg και εκφράζει τον ομόνυμο νόμο. Παίρνοντας υπ' όψη τις συνήθεις διακυμάνσεις των τιμών ρ_{ϕ} και ρ_{θ} , το κλάσμα $\frac{\rho_{\phi}}{\Delta\rho} = c$ παίρνει τιμές από 25 έως 40. Άρα η εξίσωση 3 γίνεται :

$$z = 25h \text{ έως } z = 40h \quad (4)$$

Η εξίσωση λοιπόν 3 και η αντίστοιχη αριθμητική 4 σημαίνει ότι το γλυκό νερό του υδροφόρου στρώματος «επιπλέει» πάνω στο θαλασσίνο νερό ως «παγόβουνο». Αν γνωρίζουμε το υπέρ τη μέση στάθμη της θάλασσας ύψος του h σε ένα σημείο του υδροφόρου, τότε μπορούμε να υπολογίσουμε το βάθος z του γλυκού νερού στο σημείο αυτό, αν και στην πραγματικότητα συνήθως βρίσκεται σε μεγαλύτερο βάθος.

Σύμφωνα με την εξίσωση 3 και 4, αν σε ένα σημείο η στάθμη του παράκτιου υδροφόρου κατεβεί και βρεθεί για αρκετό ή πάντως εύλογο χρονικό διάστημα (ώστε να υπάρξει αντίδραση με ροές στο όλο σύστημα), στο επίπεδο της θάλασσας, δηλ. αν $h=0$, τότε εκεί δεν θα έχουμε καθόλου γλυκό νερό. Συναντάμε κατ' ευθείαν θαλασσίνο ή πάντως αλμυρό νερό.

Είναι γνωστό ότι σε ένα οποιοδήποτε σημείο ενός υδροφόρου στρώματος, άρα και ενός παράκτιου, η στάθμη μεταβάλλεται μέσα στο χρόνο δηλαδή μεταβάλλεται το h. Άρα θα μεταβάλλεται και το z, δηλαδή η θέση της διεπιφάνειας. Αν αυτή η διεπιφάνεια ανέβει για ορισμένο χρονικό διάστημα και στη συνέχεια κατέβει, τότε αφήνει κάποια ίχνη αλμυρότητας από εμποτισμό και ιοντοανταλλαγές της στερεάς φάσης με το θαλασσίνο νερό και από εγκλωβισμό υπολειμμάτων αλμυρού νερού ως νερό κατακράτησης. Έτσι με την υποχώρηση της διεπιφάνειας παραμένουν κάποια άλατα για αρκετό χρονικό διάστημα. Γι αυτό το λόγο η επαφή γλυκού – αλμυρού νερού δεν είναι μια γραμμή σε τομή αλλά μια ζώνη (δηλ. μια λωρίδα σε τομή). Αλλά ακόμη και αν δεν υπήρχε μετακίνηση της διεπιφάνειας θα δημιουργούνταν αυτή η ζώνη λόγω μοριακής διάχυσης, δηλαδή για φυσικοχημικούς λόγους, όμως τότε το πάχος της θα ήταν μικρότερο. Στο παρακάτω σχήμα έχουμε τη διάφραση σε έναν ελεύθερο παράκτιο υδροφορέα (α) και σε έναν υπό πίεση (β), σύμφωνα με το νόμο των Ghyben-Herzberg. [13]



Σχήμα 1.2 : Ζώνη διεπιφάνειας (α) σε ελεύθερο και (β) σε υπό πίεση υδροφόρο στρώμα. [13]

Παρά την ευχρηστία του τύπου Ghyben και Herzberg πρέπει να αναγνωρίσουμε ότι αποτελεί μια υπεραπλούστευση του φαινομένου που οδηγεί πολλές φορές σε εσφαλμένα αποτελέσματα. Η υπεραπλούστευση συνίσταται στο γεγονός ότι ο παραπάνω τύπος εμπεριέχει την παραδοχή ότι το πιεζομετρικό φορτίο στον υδροφόρο ορίζοντα είναι το ίδιο με το πιεζομετρικό φορτίο του γλυκού νερού στη διεπιφάνεια, κάτι που υπονοεί ότι δεν υπάρχει κατακόρυφη υδραυλική κλίση (γνωστή και σαν παραδοχή Dupuit). Το πιο προφανές παραπλανητικό αποτέλεσμα από την παραπάνω παραδοχή είναι ότι το πάχος της ζώνης του γλυκού νερού εμφανίζεται μηδενικό στην ακτή, όπου ο υδροφόρος ορίζοντας βρίσκεται στο μηδέν. Πάντως το γεγονός ότι γλυκό νερό εκβάλλει στη θάλασσα, φανερώνει ότι η ζώνη γλυκού νερού πρέπει να έχει κάποιο πεπερασμένο πάχος στην ακτή. [2]

1.5.2 Οι συνθήκες ροής κατά Hubbert

Ο Hubbert (1940) αναφερόμενος στη δυναμική ισορροπία γλυκού – θαλασσινού νερού, έδειξε ότι η εξίσωση Ghyben – Herzberg για συνθήκες ροής κοντά στην ακτή, δίνει διαφορετικά αποτελέσματα, από τα πραγματικά βάθη της διεπιφάνειας και ότι η διεπιφάνεια δεν καταλήγει στην ακτή, αλλά προς το μέρος της θάλασσας μέχρι μια απόσταση χ_0 , όπως φαίνεται στο σχήμα 1.3.α. Η απόσταση χ_0 είναι το εύρος της ζώνης εκφόρτισης του γλυκού νερού προς τη θάλασσα. [13,14]

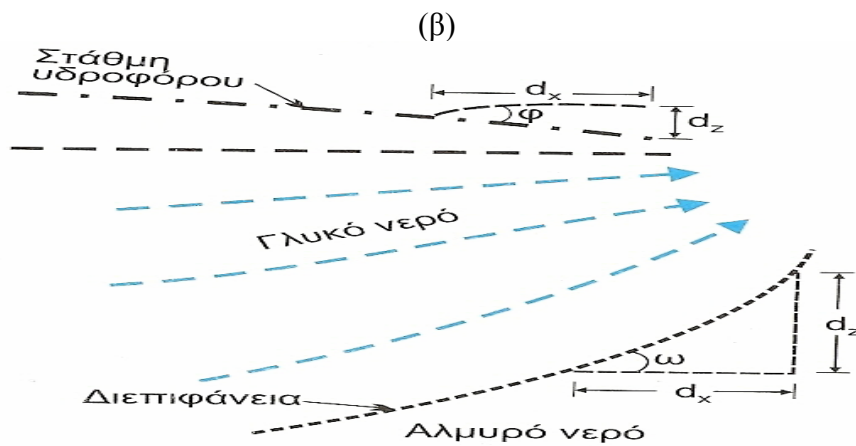
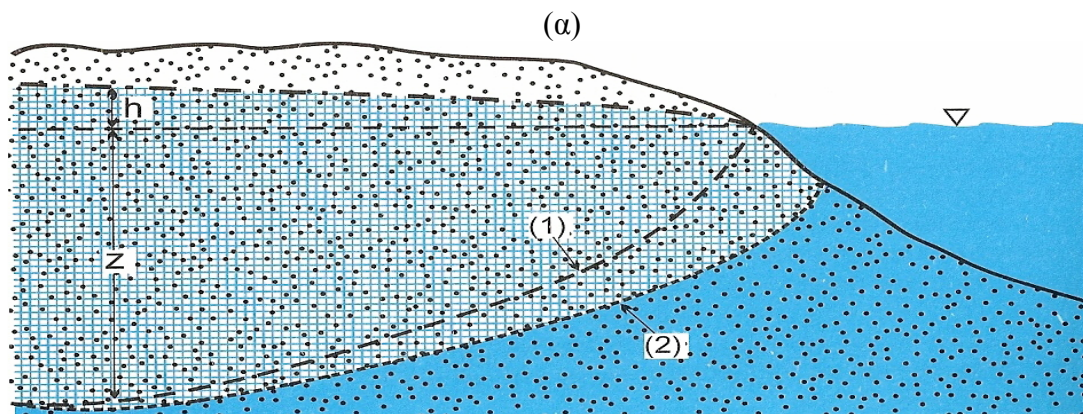
Ο Hubbert το 1940 έδειξε ότι η συνέχεια της πίεσης στο πεδίο ροής πρέπει να διατηρείται στις δύο πλευρές της υποτιθέμενης διεπιφάνειας. Έτσι η διεπιφάνεια μπορεί να αντιμετωπιστεί σαν μια οριακή επιφάνεια που συνενώνει δύο ξεχωριστά πεδία ροής. Στη συνέχεια έδειξε ότι αν οριστεί μια συνάρτηση δυναμικού (πιεζομετρικό φορτίο) για κάθε υγρό, η εξίσωση που διέπει τη διεπιφάνεια μπορεί να βρεθεί, ορίζοντας το πιεζομετρικό φορτίο του γλυκού νερού σαν hf :

$$hf = P / \rho_f * g + Z,$$

ενώ ορίζοντας το πιεζομετρικό φορτίο του θαλασσινού νερού σαν hs , έχουμε :

$$hs = P / \rho_s * g + Z$$

όπου Z είναι το υψόμετρο (πάνω από κάποιο σημείο αναφοράς) του σημείου στο



Σχήμα 1.3 : (α): Θέση της επιφάνειας διάφρασης κατά Ghyben – Herzberg (1) και κατά Hubbert (2), (β) : υπολογισμός της γωνιάς κλίσης της διεπιφάνειας κατά Hubbert. [13]

οποίο το πιεζομετρικό φορτίο μετριέται. P είναι η πίεση υγρού στο σημείο μέτρησης και g είναι η επιτάχυνση της βαρύτητας. Λαμβάνοντας υπόψη ότι η πίεση των δύο υγρών είναι ίδια σε οποιοδήποτε σημείο της διεπιφάνειας μπορούμε να πάρουμε την εξίσωση της διεπιφάνειας :

$$Z = (\rho_s^* h_s / \rho_s - \rho_f) - (\rho_f^* h_f / \rho_s - \rho_f) \quad (5)$$

Αν και η παραπάνω εξίσωση φαίνεται αρκετά απλή έχει ένα τεράστιο πλεονέκτημα συγκριτικά με τη σχέση Ghyben – Herzberg. Η σχέση Ghyben – Herzberg συνδέει το φορτίο στην ελεύθερη επιφάνεια με τη θέση της διεπιφάνειας, ενώ ο Hubbert συνδέει το φορτίο του γλυκού νερού και το φορτίο του θαλασσινού νερού στη διεπιφάνεια με τη θέση της διεπιφάνειας. [2]

Ο Hubbert υπολόγισε την κλίση ω της διεπιφάνειας προς την ακτή (σχήμα 3β) :

$$\eta\mu\omega = \frac{dz}{dx} = \left(\frac{1}{K_\phi} C V_{f,s} - \frac{1}{K_\theta} C' V_{s,s} \right) \quad (6)$$

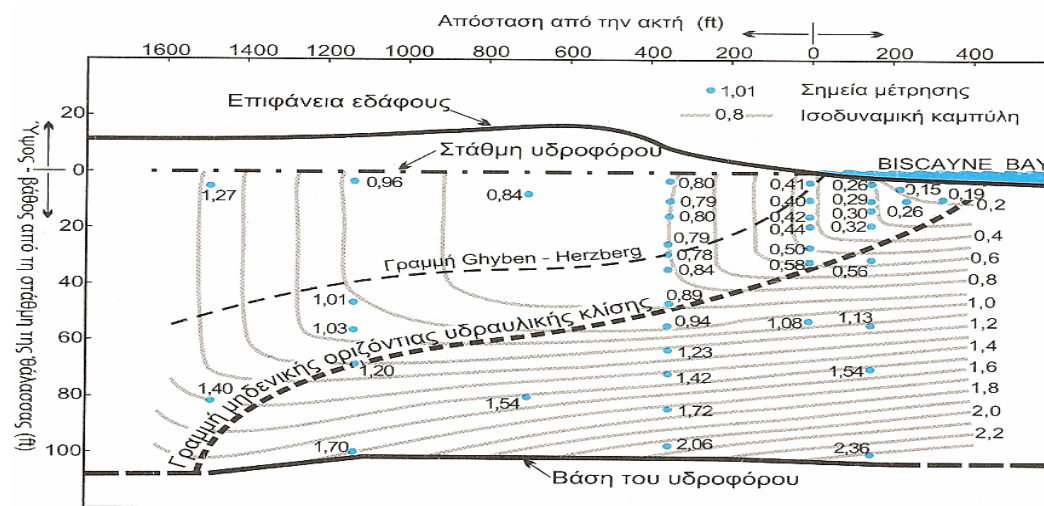
όπου K_ϕ , K_θ είναι οι ταχύτητες του γλυκού και αλμυρού νερού αντίστοιχα. $V_{f,s}$ και $V_{s,s}$ είναι οι συνιστώσες της ειδικής παροχής του γλυκού και αλμυρού νερού αντίστοιχα κατά μήκος της διεπιφάνειας (ουσιαστικά πρόκειται για ταχύτητες). [13]

Η παραπάνω εξίσωση ισχύει όπως έδειξε ο Hubbert, για κάθε σημείο που βρίσκεται ανάμεσα στα σημεία τομής οποιασδήποτε ισοδυναμικής γραμμής του ρέοντος γλυκού νερού με την ελεύθερη επιφάνεια του υδροφόρου και τη διεπιφάνεια. [14]

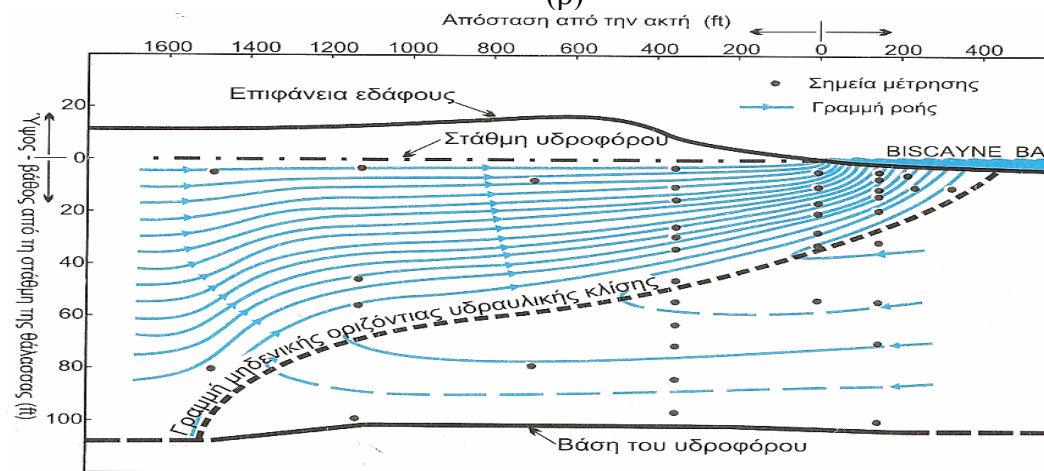
Ο παραπάνω τύπος είναι σύνθετος και δύσχρηστος και γι αυτό δεν είχε ευρεία απήχηση και εφαρμογή.[13]

Ο Kohout (1964) με βάση στοιχεία από μία παράκτια περιοχή κοντά στο Μιαμί, μελέτησε λεπτομερώς την υδραυλική κατάσταση και συγκεκριμένα το υδραυλικό φορτίο και χάραξε τις ισοδυναμικές καμπύλες όπως φαίνεται και στο σχήμα 1.4α. Σε ένα υδροφόρο στρώμα αν υποθέσουμε ότι το νερό είναι ακίνητο ή αν η ροή είναι οριζόντια, οι ισοδυναμικές καμπύλες θα είναι κατακόρυφες. Αν όμως η ροή δεν είναι οριζόντια και πολύ περισσότερο αν μεταβάλλεται το ειδικό βάρος του νερού με το βάθος (δηλαδή μετάβαση από το γλυκό στο αλμυρό νερό), τότε οι ισοδυναμικές καμπύλες δεν είναι κατακόρυφες αλλά με μεταβαλλόμενη κυρτότητα – κοιλότητα. Έτσι βρήκε ότι υπάρχει μία γραμμή πάνω στην οποία η οριζόντια συνιστώσα της υδραυλικής βαθμίδας (κλίσης) είναι μηδέν. Επομένως πάνω στη γραμμή αυτή η ροή του νερού είναι κατακόρυφη και επομένως γίνεται αντιστροφή της διεύθυνσης ροής (σχήμα 1.4.β).

(α)



(β)



Σχήμα 1.4 : (α) Ισοδυναμικές καμπύλες σε παράκτιο υδροφόρο στρώμα, (β) γραμμές ροής στο ίδιο παράκτιο στρώμα [13]

Ο Glover (1964), ύστερα από μαθηματική ανάλυση έδωσε το θεωρητικό (αλλά ουσιαστικά το πραγματικό) δίκτυο ισοδυναμικών καμπυλών και γραμμών ροής, σε ένα παράκτιο υδροφόρο στρώμα. Αυτό προέκυψε από ανάλυση των πραγματικών ισοδυναμικών καμπυλών και γραμμών ροής σε πραγματικό πεδίο. Έτσι ο Glover έδωσε την εξίσωση που περιγράφει τη θέση της διεπιφάνειας σε μία κατακόρυφη τομή κάθετη προς την ακτή σε σύστημα συντεταγμένων x, z (x οριζόντια, z κατακόρυφα) με σημείο μηδέν την ακτή.

$$z^2 - \frac{2q}{\Delta\rho k} x - \frac{q^2}{\Delta\rho^2 k^2} = 0 \quad (7)$$

όπου k είναι η περατότητα

q είναι η ανά μονάδα μήκους ακτής (1m κατά τον άξονα y) παροχή του υδροφορέα προς τη θάλασσα.

$$\Delta\rho = \rho_\theta - \rho_\phi$$

Στην εξίσωση αυτή αν θέσουμε $z = 0$ θα βρούμε την απόσταση x_0 από την ακτή μέχρι την οποία θα έχουμε ροή του υδροφόρου προς τη θάλασσα :

$$x_0 = \frac{q}{2\Delta\rho k} \quad (8)$$

Επίσης στην ίδια εξίσωση αν θέσουμε $x = 0$ θα βρούμε το βάθος z_0 της διεπιφάνειας ακριβώς στην ακτή :

$$z_0 = \sqrt{\frac{2\Delta\rho q}{k}} \quad (9)$$

Τέλος η παροχή q ανά μονάδα μήκους ακτής (1m) από τον υδροφόρο προς τη θάλασσα προκύπτει από τον τύπο αν $x = 0$ και $z = z_0$.

Οι τρεις παραπάνω εξισώσεις είναι βασικές και σημαντικές γιατί καθορίζουν το όρια των παράκτιων υδροφόρων προς τη θάλασσα. [13]

1.5.3 Μαθηματικά μοντέλα

Η ποσοτικοποίηση του προβλήματος της υφαλμύρωσης δεν είναι εύκολη υπόθεση. Κατά την εισροή της θάλασσας σε έναν υδροφόρο συνθήκες μόνιμης ροής στην πραγματικότητα δεν αποκαθίσταται εύκολα. Επιπλέον τις περισσότερες φορές, το πρόβλημα φτάνει σε ανεπίτρεπτα όρια και τα κατάλληλα μέτρα δεν παίρνονται εγκαίρως. Η εφαρμογή των μέτρων αυτών είναι συνήθως συνδεδεμένη με οικονομικούς, κοινωνικούς, νομικούς και πολιτικούς παράγοντες και αυτό δυσχεραίνει ιδιαίτερα το πρόβλημα.

Μια τεχνική η οποία ακολουθείται είναι η εφαρμογή κατά τη διαχείριση υπόγειων υδροφόρων μεθόδων μαθηματικής προσομοίωσης. Επομένως για την αντιμετώπισή τους απαιτούνται αφενός εξειδικευμένες γνώσεις ενός ιδιαίτερα δυσχερούς φαινομένου, όπως είναι η υφαλμύρωση και αφετέρου δυνατότητα χρήσης μεθόδων εφαρμοσμένων μαθηματικών προσομοιώσεων και προσαρμογής των τεχνικών αυτών στις απαιτήσεις του υπό εξέταση προβλήματος.

Η μαθηματική προσομοίωση αποτελεί για τον μελετητή ένα δυναμικό εργαλείο που διευκολύνει την εξαγωγή συμπερασμάτων για την ορθή διαχείριση υπόγειων υδροφόρων και επιτρέπει την πρόβλεψη της συμπεριφοράς τους για διάφορες υποθετικές καταστάσεις (σενάρια). Οι εφαρμοσμένες αυτές μαθηματικές

προσομοιώσεις είναι χρήσιμες και στις αναγνωριστικές έρευνες, σε φάσεις προκαταρκτικής μελέτης ή προμελέτης ενός έργου, για την ερμηνεία της συμπεριφοράς του υδροφόρου μετά από μετρήσεις πεδίου. [28]

Η μαθηματική προσομοίωση απαιτείται επίσης στις περιπτώσεις εκείνες που ένα επιτυχές πρόγραμμα παρεμπόδισης της θαλάσσιας διείσδυσης πρέπει να λαμβάνει υπόψη τεχνικές απαραίτητες στην έκδοση αδειών ανόρυξης νέων γεωτρήσεων. Η μοντελοποίηση με υπολογιστές μπορεί ακόμη να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό της θέσης και των χαρακτηριστικών των προτεινόμενων γεωτρήσεων παρεμπόδισης θαλάσσιας διείσδυσης και για την αξιολόγηση των επιπτώσεων από την εφαρμογή των προτεινόμενων προγραμμάτων εμπλουτισμού και παρακολούθησης. [12]

Βασική προϋπόθεση για τα ανωτέρω είναι τα συμπεράσματα που προκύπτουν από τη μαθηματική προσομοίωση και της εφαρμογή ενός συγκεκριμένου υπολογιστικού προγράμματος πρέπει να είναι σωστά, δηλαδή να αντιπροσωπεύουν πράγματι τον υπό μελέτη υδροφόρο. Η εκπόνηση συνεπώς αξιόπιστων εφαρμοσμένων μαθηματικών προσομοιώσεων είναι αναγκαία.

Ιδιαίτερη σημασία στις εφαρμοσμένες μαθηματικές προσομοιώσεις έχουν οι μετρήσεις πεδίου, οι οποίες έχουν διπλό ρόλο, επιτρέπουν την βαθμονόμηση του μοντέλου και χρησιμεύουν για την επαλήθευσή του και συνεπώς την αύξηση της αξιοπιστίας του. Σε συνδυασμό με την οικονομική δαπάνη που συνεπάγεται η πραγματοποίηση μετρήσεων πεδίου, είναι αντιληπτή η σημασία που έχει ο σωστός σχεδιασμός τους. [28]

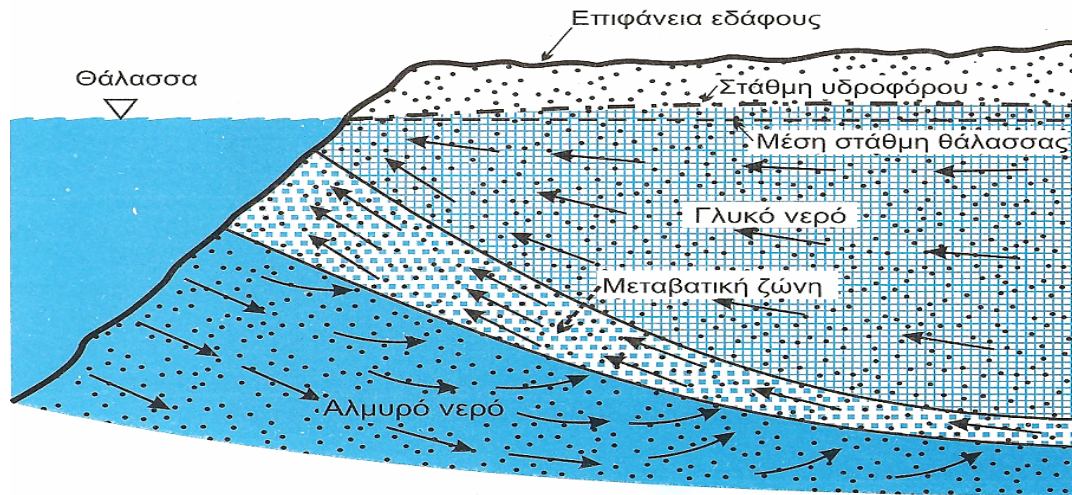
Η ορθή εφαρμογή μοντέλων ροής, όπως ο κώδικας MODFLOW αλλά και μοντέλων μεταφοράς, όπως το SHARP και το SUTRA μπορούν να συμβάλουν σημαντικά στην αντιμετώπιση της θαλάσσιας διείσδυσης και στην καλύτερη εφαρμογή των μεθόδων παρεμπόδισης παρέχοντας πληροφορίες οι οποίες θα ήταν αδύνατο να ληφθούν με τις κλασσικές έρευνες. Τα προηγούμενα μοντέλα μπορούν να συνδυαστούν με μοντέλα βελτιστοποίησης για να βοηθήσουν στην ανάπτυξη στρατηγικών άντλησης που θα εμποδίσουν ή θα αναστρέψουν τη διείσδυση της θάλασσας, ενώ παράλληλα θα συνεχίσει να ικανοποιείται η ζήτηση σε γλυκό νερό. [12]

1.6 Δομή και σύσταση της διεπιφάνειας

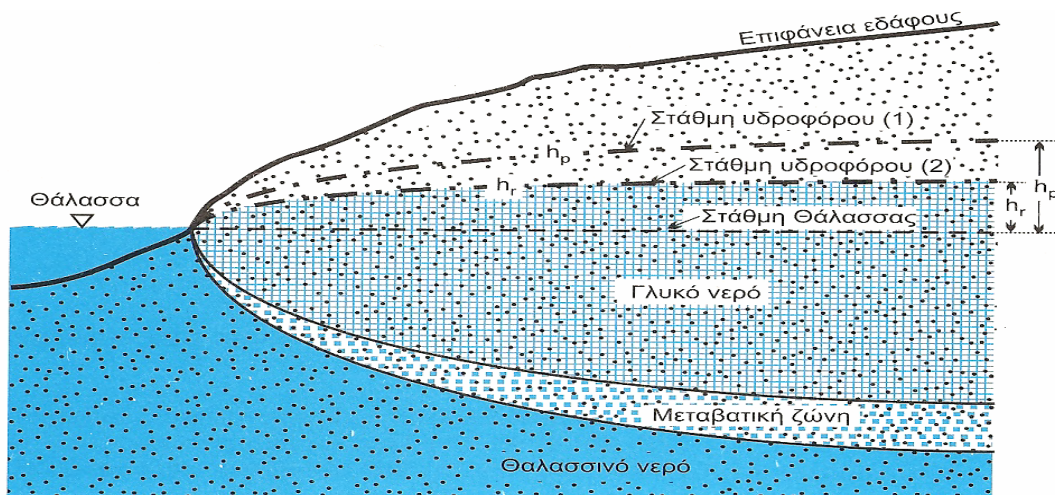
Σε ότι αφορά το πάχος της ζώνης μετάβασης υπάρχουν αντικρουόμενες απόψεις στη βιβλιογραφία. Ο Todd (1980) θεωρεί ότι η ζώνη μετάβασης έχει μεγαλύτερο πάχος κοντά στη θάλασσα, λόγω κυματισμού και άμεσης διάδοσής του στο γειτονικό υδροφόρο και ότι το πάχος αυτό μειώνεται όσο απομακρυνόμαστε από την ακτή, όπως φαίνεται και στο σχήμα 1.5.

Αντίθετα οι TULIPANO – FIDELIBUS (1998) δίνουν τιμές στις οποίες το πάχος της αυξάνεται όσο απομακρυνόμαστε από τη θάλασσα όπως φαίνεται στο σχήμα 1.6.

Φαίνεται ότι υπό φυσικές συνθήκες ισχύει μάλλον η πρώτη άποψη, ενώ υπό συνθήκες επέμβασης του ανθρώπου αυξάνεται το πάχος της ζώνης σε απομακρυσμένα σημεία από τη θάλασσα. Όμως όπως είναι φυσικό παίζει κάποιο ρόλο και η γεωλογική δομή και σύσταση μιας περιοχής (οριζόντιες ή πλάγιες στρώσεις, αλληλουχία διαπερατών και αδιαπερατών στρωμάτων κ.λ.π). Πάντως οι παρατηρήσεις πεδίου δείχνουν ότι υπό φυσικές συνθήκες το πάχος μειώνεται στην αρχή όσο απομακρυνόμαστε από τη θάλασσα σε μικρές πάντως αποστάσεις, ενώ αυξάνεται σε μεγάλες και οπωσδήποτε σε περιοχές όπου γίνονται αντλήσεις. [13]



Σχήμα 1.5 : Γεωμετρικό σχήμα της ζώνης μετάβασης κατά Todd



Σχήμα 1.6 : Γεωμετρικό σχήμα της ζώνης μετάβασης κατά TULIPANO - FIDELIBUS

Η δράση της παλίρροιας και η επίδρασή της στην κίνηση του αλμυρού νερού καθώς και οι αλλαγές της δυναμικής επιφάνειας του γλυκού νερού που οφείλονται σε εμπλουτισμό με γλυκό νερό ή σε εκροή του γλυκού νερού, είναι οι κυριότεροι μηχανισμοί που ελέγχουν τη θέση και το σχήμα της διεπιφάνειας. Στην περίπτωση των βαθέων υπό πίεση υδροφόρων οι συνθήκες είναι συνήθως διαφορετικές και η περιοχή ροής των υπόγειων νερών αντιδρά περισσότερο αργά στην ανύψωση του θαλάσσιου επιπέδου. [1]

Μέσα στη διεπιφάνεια η αλατότητα αυξάνει προοδευτικά με το βάθος, από το γλυκό στο αλμυρό νερό. Έτσι είναι προτιμότερο να υπολογίζεται η σχετική αλατότητα S_R σαν ποσοστό από τη σχέση :

$$S_R = 100 \left(\frac{C - C_F}{C_S - C_F} \right) \quad (10)$$

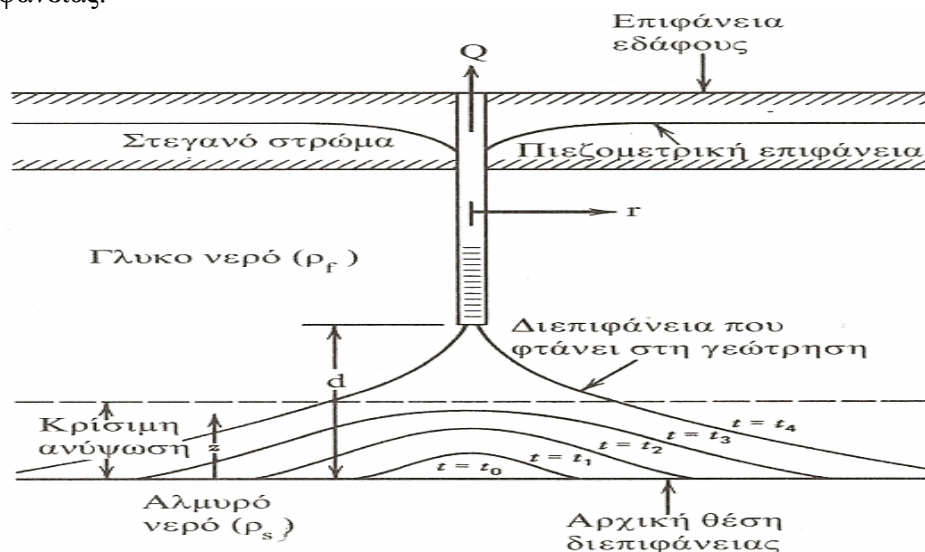
όπου C είναι η αλατότητα (μετρούμενη σαν T.D.S ή περιεκτικότητα σε χλωριόντα ή σαν ηλεκτρική αγωγιμότητα) σε ένα ορισμένο βάθος μέσα στη διεπιφάνεια και C_F και C_S οι αλατότητες του γλυκού και του αλμυρού νερού αντίστοιχα. [14]

Δημιουργείται όμως το ερώτημα : από ποια αλατότητα αρχίζει η ζώνη μετάβασης (ποιο δηλαδή θεωρείται το όριο του γλυκού νερού) και σε ποια τελειώνει (ποιο δηλαδή είναι το όριο του θαλασσινού νερού). Η απάντηση σύμφωνα με τη βιβλιογραφία είναι κάτι που ορίζεται αυθαίρετα και μπορεί να γίνει :

- με ορισμένη περιεκτικότητα σε ιόντα χλωρίου π.χ πάνω από 300 ppm μέχρι και 20.000 ppm
- με το ποσοστό ανάμειξης θαλασσινού και γλυκού νερού π.χ 1% θαλασσινό νερό μέχρι 95 % θαλασσινό νερό (ή για άλλους από 3 % μέχρι 90 %).
- με ορισμένες τιμές του συντελεστή S_R που μπορούν να καθορίζονται αυθαίρετα. [13]

1.6.1 Ανύψωση της διεπιφάνειας

Όταν ένας υδροφόρος περιέχει ένα υποκείμενο στρώμα αλμυρού νερού και αντλείται από μία υδρογεώτρηση που εισχωρεί μόνο στο ανώτερο μέρος του, το οποίο περιέχει γλυκό νερό, τότε παρατηρείται μία τοπική ανύψωση της διεπιφάνειας κάτω από την υδρογεώτρηση, με τη μορφή ενός ανεστραμμένου «κώνου κατάπτωσης», δηλαδή ενός κώνου ανόδου της διεπιφάνειας. Με τη συνεχιζόμενη άντληση, η διεπιφάνεια ανεβαίνει σε διαδοχικά υψηλότερα επίπεδα μέχρι ενδεχόμενα να φθάσει την υδρογεώτρηση. Αυτό γενικά σημαίνει ότι θα πρέπει να διακοπεί η άντληση. Μετά τη διακοπή το βαρύτερο αλμυρό νερό τείνει να επιστρέψει στην αρχική του θέση, όμως αφήνει υπολείμματα αλμυρότητας και διευρύνεται η ζώνη διεπιφάνειας.



Σχήμα 1.7 : Διάγραμμα της ανύψωσης αλμυρού νερού σε αντλούμενη υδρογεώτρηση κατά Schmorak – Mercado

Οι Schmorak – Mercado (1969), προτείνουν μια προσεγγιστική αναλυτική επίλυση της ανύψωσης, βασισμένη στις παραδοχές του Dupuit και τη σχέση των Ghyben και Herzberg, που έχει τη μορφή :

$$z = \frac{Q}{2\pi dk(\Delta\rho/\rho_\phi)} \quad (11)$$

Η σχέση αυτή φανερώνει μια τελική ανύψωση της διεπιφάνειας, σε μια νέα θέση ισορροπίας, που είναι ευθέως ανάλογη προς την παροχή άντλησης Q . Ο Kawabata (1965), έδειξε με τη χρήση μαθηματικού ομοιώματος ότι η σχέση (11)

ισχύει μόνο για μικρές ανυψώσεις. Η ανύψωση στην αρχή είναι βραδεία., όταν όμως περάσει την κρίσιμη ανύψωση αυτή γίνεται ραγδαία. Η κρίσιμη αυτή ανύψωση z/d έχει εκτιμηθεί σε 0,3 έως 0,5. Έτσι, θέτοντας ένα ανώτατο όριο $z/d = 0,3$, προκύπτει ότι το ανώτατο επιτρεπόμενο όριο παροχής άντλησης Q , χωρίς αλμύριση του νερού της υδρογεώτρησης είναι : [14]

$$Q_{\max} \leq 0,6\pi d^2 k(\Delta\rho/\rho_\phi) \quad (12)$$

Η εξίσωση (11) είναι στατική, δηλαδή δεν περιέχει τον χρόνο t και αναφέρεται σε κατάσταση ισορροπίας. Όμως στην πραγματικότητα η κατάσταση μεταβάλλεται με το χρόνο. Υπάρχει δυναμικά μεταβαλλόμενη κατάσταση. Έτσι οι Bear – Dagan (1964) πρότειναν τον πιο κάτω τύπο για τον υπολογισμό της ανύψωσης z με εισαγωγή του χρόνου άντλησης t :

$$z_t = \frac{\rho_\phi Q}{2\pi\Delta\rho k_x d} \left(1 - \frac{2\rho_\phi \theta d}{2\rho_\phi \theta d \Delta\rho k_z t}\right) \quad (13)$$

όπου k_x και k_z είναι η οριζόντια και η κατακόρυφη υδραυλική αγωγιμότητα, θ είναι το πορώδες του υδροφόρου και t είναι ο χρόνος από την έναρξη της άντλησης. όταν η άντληση γίνεται για πάρα πολύ μεγάλο χρόνο t , που πρακτικά μπορούμε να πούμε $t = \infty$ τότε η σχέση (13) γίνεται :

$$z_\infty = \frac{\rho_\phi Q}{2\pi\Delta\rho k_x d} \quad (14)$$

όπου z_∞ είναι η τελική ανύψωση. Τιμές του z που υπολογίστηκαν από την εξίσωση (13), συμφωνούν γενικά με μετρήσεις στο ύπαιθρο, μέχρι την κρίσιμη τιμή του z η οποία είναι της τάξεως του 0,3-0,5d. [13]

1.6.2 Το «πόδι» της διεπιφάνειας

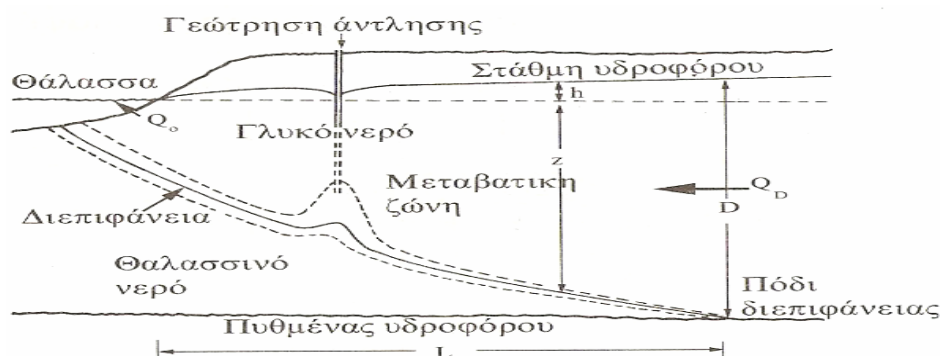
Η απόσταση μέχρι την οποία η διεπιφάνεια συναντά το αδιαπέρατο υπόβαθρο λέγεται «πόδι» της διεπιφάνειας (σχήμα 1.8). Δηλαδή το πόδι αρχίζει από το σημείο στο οποίο η κατακόρυφος που περνάει από το σημείο της ακτής συναντάει τη βάση του υδροφόρου μέχρι το σημείο που η ίδια η διεπιφάνεια συναντάει τη βάση του υδροφόρου (σχήμα 1.8), και έχει μήκος L . Ανάντι του ποδιού ο υδροφόρος περιέχει μόνο γλυκό νερό. Για τον υπολογισμό του μήκους L ο Bear (1979) έδωσε τον εξής τύπο :

$$L = D \sqrt{\frac{k}{cR}} \quad (15)$$

όπου $c = \frac{\rho_\phi}{\Delta\rho}$ και R είναι ο εμπλουτισμός σε mm/έτος της παράκτιας λωρίδας με μοναδιαίο πλάτος (y) και μήκος χ προς τη στεριά. Επίσης ο ίδιος υπολόγισε την παροχή q_0 της εκροής νερού προς τη θάλασσα ανά μονάδα μήκους ακτής :

$$q_0 = \frac{kD^2}{2cL} + \frac{RL}{2} \quad (16)$$

Οι δύο πιο πάνω τύποι έχουν ένα λεπτό σημείο στην εφαρμογή τους : τον υπολογισμό του R. [13]



Σχήμα 1.8 : Η απόσταση L του ποδιού της διεπιφάνειας από την ακτή [14]

Η μεταβολή της στάθμης του υδροφόρου έχει δύο συνέπειες :

- ⇒ η διεπιφάνεια αλλάζει θέση
- ⇒ η ζώνη ανάμειξης (μεταβατική) διευρύνεται, λόγω υδροδυναμικής διασποράς

Δοθέντος ότι όταν το υπόγειο νερό περιέχει έστω και 4% θαλασσινό νερό, είναι ακατάλληλο για τις πιο πολλές χρήσεις, η εκμετάλλευση των παράκτιων υδροφορέων θα πρέπει να γίνεται με τρόπο που να εξασφαλίζεται η βέλτιστη απόσταση του ποδιού της διεπιφάνειας από την ακτή. Οι Schmorak – Mercado (1969), όπως αναφέρθηκε, δέχονται ότι η κρίσιμη ανύψωση της διεπιφάνειας είναι περίπου ίση με το μισό της αρχικής απόστασης διεπιφάνειας – πυθμένα υδρογεώτρησης. Αυτό σημαίνει ότι στις παράκτιες υδρογεωτρήσεις θα πρέπει να τοποθετείται φιλτροσωλήνας αρκετά πιο ψηλά από τη διεπιφάνεια ενώ παράλληλα οι πτώσεις στάθμης θα πρέπει να διατηρούνται σε χαμηλά επίπεδα. [14]

1.7 Δείκτης ανισορροπίας

Ο Ελληνοϊταλός TULIPANO με τους συνεργάτες του (2002) μελετώντας τα παράκτια υδροφόρα στρώματα της Απουλίας (N.Ιταλία) και ειδικά την υδροδυναμική τους, κατέληξε στον ορισμό του «δείκτη ανισορροπίας» Δh. Σύμφωνα λοιπόν με τις απόψεις τους, (σχήμα 1.6), αν η ζώνη διεπιφάνειας βρίσκεται σε ορισμένο βάθος z, τότε η στάθμη του υδροφόρου θα έπρεπε να βρίσκεται σε ύψος h_p πάνω από το μέσο επίπεδο της θάλασσας, ενώ για κάποια στιγμή αυτό βρίσκεται μόνο σε ύψος h_r . Ο δείκτης ανισορροπίας Δh δίνεται από η σχέση :

$$\Delta h = h_p - h_r \quad (17)$$

Αν $\Delta h = 0$, η κατάσταση είναι σταθερή, δηλαδή κανονική

Αν $\Delta h > 0$, τότε θα υπάρξει τάση υποχώρησης της διεπιφάνειας και εκροές γλυκού νερού προς τη θάλασσα.

Αν $\Delta h < 0$, τότε θα υπάρξει διείσδυση θαλασσινού νερού προς τη στεριά, άνοδος της διεπιφάνειας και επιμήκυνση του ποδιού L της διεπιφάνειας.

Το h_p υπολογίζεται με βάση τη θέση της διεπιφάνειας, παίρνοντας υπόψη το μέσο ειδικό βάρος ρ_ϕ από τη βάση της ζώνης διεπιφάνειας και άνω.

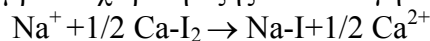
Επειδή η μετατόπιση της διεπιφάνειας δεν είναι ακαριαία με την υποχώρηση της στάθμης του υδροφόρου, αλλά συντελείται σε μεγάλο χρονικό διάστημα, ιδίως όσο απομακρυνόμαστε από την ακτή, ο δείκτης ανισορροπίας μας επιτρέπει να προβλέψουμε την εξέλιξη της δυναμικής υδραυλικής ισορροπίας σε μια παράκτια περιοχή. [13]

1.8 Οι φυσικοχημικές διαδικασίες ρύπανσης-απορρύπανσης παράκτιων υδροφόρων από την υφαλμύρωση

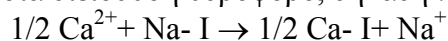
Η κατιοντική ανταλλαγή ανάμεσα στο νερό και στο σκελετό του υδροφόρου, δηλαδή ανάμεσα στην υγρή και στη στερεή φάση του, αποτελεί το βασικό μηχανισμό αποκατάστασης της ποιότητας του υφάλμυρου νερού, στους υδροφόρους των παράκτιων και νησιωτικών περιοχών.

Όμως κατά τη διαδικασία της υφαλμύρωσης λόγω διείσδυσης της θάλασσας η ιοντική ανταλλαγή δεν περιορίζεται ανάμεσα σε δύο μόνο ιόντα αλλά αποτελεί μια «πολυσιτιστώσα» διαδικασία, κατά την οποία το πορώδες μέσον αποτελεί έναν «ιοντοανταλλάκτη», το πορώδες του οποίου είναι γεμισμένο από το υφάλμυρο νερό. Ορισμένα ιόντα που επιλεκτικά «ροφούνται» από τον «ιοντοανταλλάκτη» μετατοπίζονται με μικρή ταχύτητα άλλα ιόντα του ανταλλάκτη. Οι Appelo και Postma παρατήρησαν ότι η ανταλλαγή ιόντων ενεργεί προσωρινά ως προστατευτικό σε μη σταθερές καταστάσεις που προκύπτουν από την μετατόπιση της διεπιφάνειας γλυκού και αλμυρού νερού.

Στο γλυκό νερό, στους παράκτιους εν γένει υδροφόρους, επικρατούν τα ιόντα Ca^+ και HCO_3^- λόγω διάλυσης του ασβεστίτη. Έτσι οι ιοντοανταλλάκτες των παράκτιων υδροφόρων έχουν προσροφήσει κυρίως ιόντα Ca^+ . Αντίθετα στο θαλασσίνο νερό επικρατούν τα ιόντα Na^+ και Cl^- με αποτέλεσμα ο ιοντοανταλλάκτης να έχει προσροφήσει ως επί το πλείστον ιόντα Na^+ . Εάν παρασταθεί με I ο ιοντοανταλλάκτης, κατά τη διείσδυση του θαλασσινού νερού, για οποιοδήποτε λόγο, σε παράκτιο υδροφόρο λαμβάνει χώρα η εξής ανταλλαγή ιόντων :



όπου το πορώδες μέσο προσλαμβάνει νάτριο και απελευθερώνει ασβέστιο. Δηλαδή παρατηρείται μείωση του Na^+ μαζί με αύξηση του Ca^{2+} και του Mg^{2+} έτσι ο υδροχημικός τύπος του υπόγειου νερού έτσι μετατρέπεται από οξυανθρακικό ασβεστούχο ($\text{Ca} \text{ |HCO}_3\text{|}_2$) σε χλωριοασβεστούχο (Ca-Cl_2) και τελικά σε χλωριονατριούχο (NaCl). Η αντίθετη ακριβώς διαδικασία λαμβάνει χώρα, όταν γλυκό νερό με το μηχανισμό της κατείσδυσης ή και με τεχνητό εμπλουτισμό εισέρχεται στο μολυσμένο από τη θάλασσα διείσδυση υδροφόρο, δηλαδή :



οπότε ο τύπος του νερού που προκύπτει είναι NaHCO_3 . Σε αυτό το στάδιο παρατηρείται αύξηση του Na μαζί με μείωση του Ca^{2+} και του Mg^{2+} .

Ανάλογα με τον τύπο του νερού στους παράκτιους υδροφόρους, είναι δυνατή η διαπίστωση της μετατόπισης της διεπιφάνειας αλμυρού-γλυκού νερού, πέρα από την κρίσιμη ανύψωσή της (νερά τύπου Na-Cl , Ca-Cl_2) η αντιθέτως της έκπλυσης υφάλμυρου νερού από γλυκό νερό (νερό τύπου Na-HCO_3). [3, 21,22]

1.8.1 Υπολογισμός απαιτούμενου χρόνου απόπλυσης υφάλμυρων φακών

Για την εκτίμηση του απαιτούμενου χρόνου για την αποκατάσταση υφάλμυρου υδροφορέα είναι απαραίτητη η γνώση της Ικανότητας Κατιοντικής Ανταλλαγής (CEC) του πορώδους μέσου εκφρασμένου σε meq/100gr, το φαινόμενο ειδικό βάρος ρ , το πορώδες του υδροφόρου ϵ , το πάχος του υδροφόρου b , η κατείσδυση από τις βροχοπτώσεις σε mm/yr και οι συγκεντρώσεις των ιόντων Cl^- , Na^+ , Ca^{2+} και Mg^{2+} .

Καταρχήν υπολογίζεται το περιεχόμενο νερό σε m , στη μοναδιαία στήλη του πορώδους μέσου που έχει ύψος το πάχος του υδροφόρου. Αυτή η μονάδα θα αποκαλείται εφεξής "πορώδης όγκος" του μέσου, όπου $V=b*\epsilon$. Στη συνέχεια εκτιμάται ο ρυθμός κατείσδυσης I σε mm/yr. Ο χρόνος αντικατάστασης του

υφάλμυρου νερού δίνεται από τη σχέση V/ I σε χρόνια. Ο χρόνος αυτός είναι ο χρόνος αντικατάστασης του νερού των πόρων που περιέχεται σε έναν "πορώδη όγκο" V από το γλυκό νερό, δοθέντος ότι το Cl⁻ είναι αδρανές και συνεπώς απομακρύνεται πλήρως. Έτσι το νερό από Na- Cl μεταπίπτει μετά από χρόνο be/ I σε Na- HCO₃. Μετά την απομάκρυνση μαζί με το υφάλμυρο νερό και των ανιόντων, δηλαδή των Cl⁻ αρχίζει η απομάκρυνση των ανταλλάξιμων κατιόντων. Αρχικά αντικαθίσταται το Na⁺ και όταν εξαντληθεί αυτό απομακρύνεται και το Mg²⁺ αντικαθιστάμενο και αυτό από Ca²⁺, δηλαδή ο τύπος του νερού περνά διαδοχικά από Mg- HCO₃ σε Ca-HCO₃, οπότε πλέον έχει αποκατασταθεί ο υδροφόρος πλήρως. Η χρονική διάρκεια για την ανταλλαγή των Na⁺, Mg²⁺ με Ca²⁺ δεν είναι παρά ο λόγος της ποσότητας των ανταλλάξιμων κατιόντων που περιέχει το υφάλμυρο νερό δηλαδή Na⁺ και Mg²⁺ προς την ποσότητα του Ca²⁺ που περιέχεται στο βρόχινο νερό ή στο νερό του τεχνητού εμπλουτισμού, πολλαπλασιαζόμενος επί τον χρόνο που απαιτείται για την αντικατάσταση του υφάλμυρου νερού του πορώδους όγκου του μέσου.

Για τον υπολογισμό των ανταλλάξιμων κατιόντων στο πορώδες μέσο γίνεται και πάλι χρήση του V.

Με δοσμένο το φαινόμενο ειδικό βάρος ρ υπολογίζεται το βάρος του ιζήματος της στήλης (Vρ σε gr/cm³). Δυστυχώς η κατιοντική ανταλλακτική ικανότητα των πορώδων μέσων ποικίλει ευρέως ανάλογα με τη σύσταση του πορώδους μέσου και ιδιαίτερα με την εκατοστιαία συμμετοχή σε αυτό αργίλου και οργανικού άνθρακα κατά κύριο λόγο και δευτερευόντως των οξειδίων και υδροξειδίων.

Υπολογίζεται ακολούθως το κλάσμα του ανταλλάξιμου Na⁺ που βρίσκεται σε ισορροπία με το υφάλμυρο νερό από την εξίσωση :

$$\beta_{Na}^2 \{ [Ca^{2+}] / (K_{Na/Ca} * [Na^+])^2 + [Mg^{2+}] / (K_{Na/Mg} * [Na^+])^2 \} + \beta_{Na} = 1$$

με την παραδοχή ότι οι ενεργότητες είναι ίσες με τη συγκέντρωση αντίστοιχα των Na⁺, Ca²⁺ και Mg²⁺. Για τον υπολογισμό αυτό απαιτείται η χρησιμοποίηση των τιμών των συντελεστών ανταλλαξιμότητας των κατιόντων σε σχέση με το Na, οι οποίες είναι K_{Na/Ca} = 0,4 και K_{Na/Mg} = 0,5. Έτσι υπολογίζεται η περιεκτικότητα της στήλης του ιζήματος σε Na-I. Υπολογίζονται με αυτόν τον τρόπο αρχικά τα meq του Ca²⁺ που φέρνει κάθε χρόνο το νερό εμπλουτισμού του υδροφόρου. Διαιρώντας ακολούθως ολόκληρη την ποσότητα του ανταλλάξιμου Na⁺ (σε meq) με την πιο πάνω ποσότητα του ανταλλάξιμου Ca²⁺ προκύπτει ο χρόνος T_{Na} που απαιτείται για την απόπλυση όλου του ανταλλάξιμου Na. Με τον ίδιο τρόπο υπολογίζεται ο χρόνος T_{Mg} απόπλυσης όλου του ανταλλάξιμου Mg. Ο συνολικός χρόνος T_{ολ} που απαιτείται για την πλήρη απορρύπανση του υδροφόρου είναι το άθροισμα T_{ολ} = T_{Cl} + T_{Na} + T_{Mg}.

Αυτονόητο είναι ότι για να επιτευχθεί η απορρύπανση, θα πρέπει να διακοπεί η άντληση των υδροφόρων, ώστε να διακοπεί η προσφορά Cl⁻ και Na⁺ στον υδροφόρο. Σημειώνεται ότι η αυξημένη προσφορά ανταλλάξιμου Ca²⁺ μέσω του τεχνητού εμπλουτισμού μπορεί να επιταχύνει την απορρύπανση δεδομένου ότι ο ρυθμός της τελευταίας είναι συνάρτηση του ρυθμού εισόδου στον υδροφόρο ανταλλάξιμου Ca²⁺. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα στοιχεία των περιοχών που εκτιμήθηκε ο χρόνος απορρύπανσης των υφάλμυρων υδροφόρων.

Πίνακας 1.1: Παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν για το χρόνο απορρύπανσης

Υδροφόρος	Πάχος b σε m	Πορώδες %	Κατείσδυση σε mm/yr	Συγκέντρωση ιόντων σε mol			
				Cl ⁻	Na ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺
Γλαύκου	50	12,6	115	45,9 10 ⁻³	43 10 ⁻³	7 10 ⁻³	6,8 10 ⁻³
Γουβών	30	4,5	80	24,9 10 ⁻³	29,1 10 ⁻³	2,76 10 ⁻³	5,5 10 ⁻³
Αργολικού πεδίου	56	24	150	28 10 ⁻³	3,3 10 ⁻³	3,3 10 ⁻³	14,4 10 ⁻³
Μάννα- Γαλησσά Σύρου	2	20	40	81,7 10 ⁻³	60 10 ⁻³	25,8 10 ⁻³	25,4 10 ⁻³

Για τους υπολογισμούς έγιναν οι εξής παραδοχές :

- ⇒ CEC = 1 meq/100gr. Ειδικά για των υδροφόρο των Γουβών χρησιμοποιήθηκε τιμή CEC = 1,5 meq/100gr
- ⇒ $\epsilon = 2 \text{ gr/cm}^3$
- ⇒ $K_{\text{Na/Ca}} = 0,4$ και $K_{\text{Na/Mg}} = 0,5$
- ⇒ οι ενεργότητες είναι ίσες με τη μοριακή συγκέντρωση, οπότε από την παραπάνω εξίσωση υπολογίζεται το κλάσμα του ανταλλάξιμου Na
- ⇒ Τα ιόντα Na⁺ και Mg²⁺ προέρχονται από την ιοντοανταλλαγή με το θαλασσινό νερό.

Τα αποτελέσματα από τους υπολογισμούς δίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 1.2 : Χρόνος απορρύπανσης υφάλμυρων υδροφόρων, από τη διακοπή της άντλησή τους, σε χρόνια. [3]

Υδροφόρος	T _{Cl}	T _{Na}	T _{Mg}	T _{ολ}
Γλαύκου	55	28	87	180
Γουβών	17	430	662	1108
Αργολικού πεδίου	90	66	285	441
Μάννα- Γαλησσά Σύρου	10	32	103	145

1.9 Τρόποι διάκρισης των διαφόρων πηγών ρύπανσης

Στα παράκτια πεδία, πηγή αύξησης των αλάτων δεν είναι μόνο η πρόσφατη διείσδυση της θάλασσας, αλλά μπορεί να είναι και άλλες πηγές. Αυτό σημαίνει ότι για την αποτελεσματική αντιμετώπιση των προβλημάτων αύξησης των αλάτων των υπόγειων νερών θα πρέπει αρχικά να γίνει γνωστή η πηγή ρύπανσης. [1]

Η επιστημονική έρευνα έχει αναγνωρίσει τέσσερα είδη υφάλμυρων υπόγειων νερών, με διαφορετική προέλευση όσον αφορά τη διαδικασία εναλάτωσης :

- α) υφάλμυρα νερά οφειλόμενα στη θαλάσσια διείσδυση, λόγω εξάντλησης των υδατικών αποθεμάτων από την υπεράντληση των υπόγειων υδροφορέων.
- β) υφάλμυρα νερά οφειλόμενα σε διάλυση ευδιάλυτων αλάτων που υπάρχουν στον υδροφόρο ορίζοντα. Απαντώνται κυρίως σε περιοχές παρουσίας εβαποριτικών σχηματισμών π.χ στην Ήπειρο, στην Κρήτη και στην ευρύτερη περιοχή της Κυλλήνης. Αυτοί οι υδροφορείς δεν γειτνιάζουν αναγκαστικά με τη θάλασσα.
- γ) υφάλμυρα απολιθωμένα νερά, οφειλόμενα στις διεργασίες δημιουργίας των πετρωμάτων (συγγενετικά νερά). Αυτή η κατηγορία παρουσιάζει σοβαρές δυσκολίες στην αναγνώριση και την τεκμηρίωσή της.

δ) υφάλμυρα νερά οφειλόμενα σε συμπίκνωση διαλυμένων αλάτων σε περιοχές έντονης εξατμισιοδιαπνοής.

Είναι σαφές ότι ο κύριος προσανατολισμός των ενασχολούμενων με τους υδατικούς πόρους φορέων και επιστημόνων έχει εστιαστεί στην υφαλμύρωση που έχει σχέση με τη θαλάσσια διείσδυση. Το γεγονός ίσως σχετίζεται και με την ποσοστιαία αναλογία των περιπτώσεων που στατιστικά κυριαρχεί και σχεδόν μονοπωλεί το ενδιαφέρον, τουλάχιστον για βάθη, που είναι οικονομοτεχνικά αποδεκτά για εκμετάλλευση υπόγειων υδάτων. [4]

Για τη διάκριση των διαφόρων πηγών απαιτούνται αρχικά μετρήσεις ηλεκτραγωγιμότητας στο σύνολο σχεδόν των γεωτρήσεων της περιοχής (η τιμή της ηλεκτραγωγιμότητας συνδέεται άμεσα με τη συνολική συγκέντρωση αλάτων στα υπόγεια νερά). Η κατανομή της ηλεκτραγωγιμότητας δίνει μια πρώτη προσέγγιση του είδους της πηγής. Η διενέργεια λεπτομερών χημικών αναλύσεων σε δείγματα νερού από ένα όσο το δυνατόν πιο πυκνό και αντιπροσωπευτικό δίκτυο δειγματοληψίας, είναι δυνατόν να οδηγήσουν στον ακριβή προσδιορισμό του είδους της πηγής επιβάρυνσης με :

- τη μελέτη του είδους και της κατανομής των διαφόρων χημικών παραμέτρων (Cl, NO₃, NO₂, NH₄, κ.λ.π)
- τη χρησιμοποίηση διαφόρων χημικών σχέσεων ή δυαδικών διαγραμμάτων (Ca/Mg, Na/Cl, κ.λ.π)
- με τη χρησιμοποίηση διαφόρων διαγραμμάτων που συμβάλλουν στη διάκριση νερών διαφορετικής προέλευσης ή / και
- με τη χρησιμοποίηση προχωρημένων στατιστικών τεχνικών [1]

1.10 Υδροχημικά χαρακτηριστικά που συμβάλλουν στη διάκριση της θαλάσσιας διείσδυσης

Το ενδιαφέρον πολλές φορές εστιάζεται σχεδόν αποκλειστικά στη διάκριση της θαλάσσιας διείσδυσης από άλλες πηγές. Η διάκριση αυτή στηρίζεται κυρίως στο γεγονός ότι στο θαλάσσιο νερό το Na⁺ είναι το κυρίαρχο κατιόν και το Cl⁻ είναι το κυρίαρχο ανιόν, ενώ στα περισσότερα γλυκά νερά το ασβέστιο είναι το κυρίαρχο κατιόν και τα όξινα ανθρακικά ή τα θειϊκά είναι τα κυρίαρχα ανιόντα.

Για την υδροχημική διάκριση χρησιμοποιούνται ορισμένοι χημικοί δείκτες ή χημικά στοιχεία όπως :

1.10.1 Συντελεστής Revelle

Προκειμένου να αποφευχθεί η λαθεμένη διάγνωση της διείσδυσης του θαλασσινού νερού ο Revelle (1941) πρότεινε τη χρησιμοποίηση του παρακάτω λόγου:

$$\frac{\text{Cl}}{\text{CO}_3 + \text{HCO}_3}$$

σε meq/l που είναι γνωστός σαν συντελεστής Revelle. Το Cl⁻ δεν μεταβάλλεται με τις πιο πάνω διαδικασίες μεταβολής του χημισμού του θαλασσινού νερού και απαντά συνήθως σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις στο υπόγειο νερό, ενώ η δισανθρακική ρίζα είναι το κυρίαρχο ανιόν στο υπόγειο νερό και απαντά μόνο σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις στο θαλασσινό νερό. Ο συντελεστής Revelle είναι εύχρηστος και χρησιμοποιήθηκε κατά κόρο για τη διαπίστωση της θαλάσσιας διείσδυσης. Αν η τιμή του ξεπεράσει το 1 αυτό μπορεί να θεωρηθεί ως ένδειξη διείσδυσης θαλασσινού νερού.[1,13]

Ο Simpson (1946) διέκρινε, με βάση τον συντελεστή Revelle, τα όρια ρύπανσης από τη θαλάσσια διείσδυση και δίνονται στον παρακάτω πίνακα

Πίνακας 1.3: Χαρακτηρισμός βαθμού ρύπανσης νερού από τη θαλάσσια διείσδυση κατά Simpson

Όριο Simpson	Χαρακτηρισμός νερού
0.5	Καλό υπόγειο νερό χωρίς θαλάσσια διείσδυση
1.3	Ελαφρά ρυπασμένο νερό
2.8	Μέτρια ρυπασμένο νερό
6.6	Σοβαρά ρυπασμένο νερό
15.5	Επικίνδυνα ρυπασμένο νερό
200	Θαλασσινό νερό

Επειδή όμως η αύξηση της συγκέντρωσης του Cl^- στο νερό είναι δυνατή λόγω ρύπανσής του ή και λόγω παρουσίας αλμυρών, η χρήση του συντελεστή Revelle απαιτεί επαρκή γνώση των υδρογεωλογικών συνθηκών. [1, 14]

1.10.2 Χλώριο

Ο πιο συχνά χρησιμοποιούμενος ιχνηθέτης στις απλές περιπτώσεις διείσδυσης θαλασσινού νερού είναι το ιόν του Cl^- , το οποίο είναι το πιο συντηρητικό φυσικό συστατικό στο νερό, όταν αυτό είναι σε διαλυμένη μορφή. Στις περιπτώσεις αυτές έχει ιδιαίτερη σημασία να γνωρίζουμε τη βασική σύνθεση σε Cl^- των νερών σε μία δεδομένη περιοχή, κυρίως από ιστορικές πληροφορίες ή από γεωτρήσεις που έχουν μείνει ανέπαφες από το αλμυρό νερό, διότι και μικρές ακόμη ανεπαίσθητες αλλαγές στο περιεχόμενο Cl^- είναι δυνατόν να σημαίνουν την ενεργοποίηση της θαλάσσιας διείσδυσης, έτσι ώστε να ληφθούν τα απαραίτητα μέτρα.

Οποσδήποτε η βασική γραμμή του περιεχομένου στα γλυκά υπόγεια νερά Cl^- ποικίλλει από περιοχή σε περιοχή. Η βασική σύνθεση σε Cl^- είναι δυνατόν να είναι υψηλή σε ανεπηρέαστα υπόγεια νερά ίσως και πάνω από 200 mg/l. Σε ένα γενικότερο πλαίσιο θα μπορούσαμε να χαρακτηρίσουμε το νερό ως γλυκό όταν η περιεκτικότητά του σε χλώριο είναι έως 300 mg/l. Αν η περιεκτικότητά του είναι μεγαλύτερη από 300 mg/l μέχρι 4.000-5.000 mg/l τότε είναι υφάλμυρο, ενώ αν είναι μεγαλύτερη από αυτή χαρακτηρίζεται σαν αλμυρό. Το θαλασσινό νερό έχει περιεκτικότητα σε ιόντα χλωρίου συνήθως 18.000 mg/l. [1,13]

1.10.3 Λόγος Na/Cl

Ο λόγος Na/Cl στο υφάλμυρο νερό από θαλάσσια διείσδυση είναι συνήθως μικρότερος από ότι στο θαλασσινό νερό. Για το λόγο αυτό η παραπάνω σχέση σε συνδυασμό και με άλλες γεωχημικές παραμέτρους μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν δείκτης της θαλάσσιας διείσδυσης, ακόμα και σε μικρές συγκεντρώσεις χλωρίου κατά τα πρώτα στάδια της θαλάσσιας διείσδυσης. Η τιμή της σχέσης αυτής στο θαλασσινό νερό είναι περίπου 0,876. Εάν η τιμή του είναι μεγαλύτερη του 1 τότε το νερό προέρχεται από υδροφόρους με αλκαλικά μαγματικά ή μεταμορφωμένα πετρώματα (ιοντική ανταλλαγή Ca και Mg με Na). Μικρή τιμή της σχέσης αυτής μαρτυρά ρύπανση του υδροφόρου από θαλάσσια διείσδυση. [13,14,19]

1.10.4 Τρίτιο

Η διάκριση σύγχρονης θαλάσσιας διείσδυσης από θαλάσσια διείσδυση του παρελθόντος είναι δυνατή από τη μελέτη του χρόνου παραμονής του αλμυρού νερού μέσα στον υδροφόρο. Το περιεχόμενο, τρίτιο σε πρόσφατα ηπειρωτικά νερά, υπερβαίνει τις λίγες μονάδες τριτίου, ενώ στο θαλασσινό νερό είναι σχεδόν μηδενικό σε TU. Κατά συνέπεια, η ανάμιξη γλυκού νερού με θαλασσινό αντακλάται σε μια μείωση του περιεχομένου Τριτίου στα νερά ανάμιξης. [1]

1.10.5 Σταθερά ισότοπα ^{18}O και δευτέριο

Σύμφωνα με τον Custodio (1987) παλαιά και σύγχρονη θαλάσσια διείσδυση είναι δυνατόν να διαφέρουν στη σύνθεση των περιεχομένων σταθερών ισωτόπων ^{18}O και δευτέριο, τόσο περισσότερο όσο διαφορετικές κλιματικές συνθήκες επικρατούσαν κατά τη διάρκεια της θαλάσσιας διείσδυσης. Το γλυκό νερό είναι συνήθως ισοτοπικά ελαφρύτερο εξαιτίας των διαδικασιών του κλασματικού διαχωρισμού οι οποίες συμβαίνουν κατά τη εξάτμιση του θαλασσινού νερού και της υγροποίησης που οδηγεί στην κατακρήμνιση. Το νερό που έχει υποστεί τη διαδικασία της εξάτμισης πριν την είσοδό του στο τοπικό υπόγειο νερό, μπορεί να είναι βαρύτερο από το θαλασσινό. Οι διαφορές αυτές είναι δυνατόν να επιτρέπουν τη διάκριση των πηγών αλμύρινης. Η τιμή των ανωτέρω ισωτόπων είναι πλησίον του μηδενός στο θαλασσινό νερό. Τα υπόγεια νερά είναι τυπικά ελαφρύτερα όσον αφορά το περιεχόμενο των ισωτόπων αυτών. Αλληλεπιδράσεις νερού και πετρωμάτων σε υψηλές θερμοκρασίες εμπλουτίζουν το περιεχόμενο ^{18}O του νερού, συμβάλλοντας έτσι κατά περίπτωση στη διάκριση των διαφόρων πηγών επιβάρυνσης. [1]

1.10.6 Λόγος $\text{Mg}^{2+} / \text{Ca}^{2+}$

Ο λόγος $\text{Ca}^{2+} / \text{Mg}^{2+}$ χρησιμοποιείται επίσης για τη διάκριση της θαλάσσιας διείσδυσης. Η τιμή αυτής της σχέσης στο θαλασσινό νερό είναι περίπου 5 ενώ στο γλυκό είναι συνήθως μικρότερη της μονάδας. Ο λόγος αυτός αυξάνεται με την προέλαση του μετώπου υφαλμύρωσης. Αν η τιμή του λόγου αυτού ξεπεράσει το 5 μπορεί να θεωρηθεί σαν ένδειξη θαλάσσιας διείσδυσης. [20,23]

1.10.7 Λόγος $\text{Cl}^- / \text{SO}_4^{2-}$

Η σχέση $\text{Cl}^- / \text{SO}_4^{2-}$ μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για τη διάκριση σύγχρονης θαλάσσιας διείσδυσης από προηγούμενες διεισδύσεις σε νερά με συγκεντρώσεις χλωρίου μεγαλύτερες από 500 mg/l. Οι τιμές της σχέσης $\text{Cl}^- / \text{SO}_4^{2-}$ είναι υψηλότερες στα παλαιά αλμυρά νερά σε σχέση με το σύγχρονο θαλάσσιο νερό, σαν αποτέλεσμα της αναγωγής των θειϊκών. Στο θαλασσινό νερό η τιμή της παραπάνω σχέσης είναι περίπου 10 ενώ αν η τιμή κυμαίνεται από 5 έως 10 τότε το νερό είναι υφάλμυρο. [1,13]

1.10.8 Λόγος $\text{Br}^- / \text{Cl}^-$

Η σχέση $\text{Br}^- / \text{Cl}^-$ εξαιτίας της συντηρητικής φύσης των Br^- και Cl^- μπορεί συχνά να χρησιμοποιηθεί για τη διάκριση μεταξύ πηγών αλμυρού νερού, ιδιαίτερα δε για τη διάκριση ανάμεσα στη θαλάσσια διείσδυση και σε αύξηση αλάτων λόγω παρουσίας εβαποριτών, αφού τα τελευταία επιδεικνύουν σημαντικά υψηλότερες τιμές από ότι στο θαλάσσιο νερό ή αλμύρες που προήλθαν από τη διάλυση αλίτη. [1]

1.10.9 Συνδυασμός λόγων

Σύμφωνα με τον Vengosh et all (1997) το υφάλμυρο νερό από θαλάσσια διείσδυση χαρακτηρίζεται από μικρή τιμή του λόγου Na/Cl και μεγάλη τιμή (>1) των λόγων $Ca/(HCO_3+SO_4)$ και Ca/ SO_4 . [19]

1.10.10 Διάγραμμα Piper

Η χρησιμότητα του διαγράμματος Piper στην αναγνώριση των γεωχημικών διαδικασιών που λαμβάνουν χώρα κατά τη ρύπανση των υπόγειων νερών, είτε από άμεση θαλάσσια διείσδυση είτε από έμμεση (μέσω γεωτρήσεων που φέρουν σε επικοινωνία υδροφόρους με νερό διαφορετικής ποιότητας) είναι πολύ σημαντική. Τα αποτελέσματα της ανταλλαγής κατιόντων είναι ιδιαίτερος εμφανή, όταν οι αναλύσεις απεικονίζονται σε ένα διάγραμμα Piper. Η ανταλλαγή ασβεστίου και νατρίου ανάμεσα στο υλικό του υδροφορέα και στο διεισδύον θαλάσσιο νερό γίνεται εμφανής από την παρουσία διαφόρων καμπυλών που συνδέουν τα οριακά νερά στο ρομβικό πεδίο του διαγράμματος Piper. Το είδος αυτό της ανταλλαγής ιόντων λαμβάνει χώρα στο διεισδύον νερό μέχρις ότου τα ιζήματα του υδροφορέα κορεστούν σε νάτριο.

Όταν επέλθει ο κορεσμός παύει και η απελευθέρωση Ca^{2+} από το σκελετικό υλικό του υδροφορέα. Για το λόγο αυτό, το θαλασσινό νερό που διεισδύει στον υδροφορέα πίσω από το αρχικό μέτωπο δεν θα παρουσιάζει την αύξηση σε Ca^{2+} και τη μείωση σε Na^+ που παρατηρήθηκε στο προωθημένο μέτωπο. Συχνά το στάδιο αυτό δεν γίνεται εύκολα αντιληπτό, επειδή οι γεωτρήσεις που παράγουν αυτό το είδος του νερού δεν χρησιμοποιούνται πλέον. [1]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : ΑΙΤΙΑ ΥΦΑΛΜΥΡΩΣΗΣ

2.1 Γενικά

Κύρια αιτία για την υφαλμύρωση των υπόγειων νερών που στις περισσότερες περιπτώσεις των παράκτιων υπόγειων υδροφορέων είναι δεδομένη από τη φύση, αποτελεί η ύπαρξη χαμηλής πιεζομετρίας δηλαδή η ανάπτυξη μικρού υδραυλικού φορτίου που αποτελεί την κινητήρια δύναμη των υπόγειων νερών προς τη θάλασσα. Με αυτό το δεδομένο η όποια φυσική ή ανθρωπογενής δράση που συνεπάγεται περαιτέρω μείωση του υδραυλικού φορτίου αποτελεί αφορμή για ανύψωση της διεπιφάνειας γλυκού-αλμυρού νερού. [6]

2.2 Φυσικά αίτια

Κύρια φυσικά αίτια που αποτελούν αφορμές ελάττωσης των υδραυλικών φορτίων των υπόγειων νερών είναι :

2.2.1 Μείωση των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων που προκύπτει από την αλλαγή του παγκόσμιου κλίματος

Είναι σαφές ότι σε συνθήκες κλιματικής αλλαγής, οτιδήποτε σχετίζεται με το νερό θα γνωρίσει στο μέλλον μεγάλες αλλαγές. Σε κάποιες χώρες το μέσο ύψος της βροχής θα αυξηθεί σημαντικά, όπως αναμένεται να συμβεί στην κεντρική και βόρεια Ευρώπη, σε άλλες όπως οι χώρες του τρίτου κόσμου η ανομβρία θα ενταθεί ενώ στη περιοχή της Μεσογείου, θα αλλάξει η κατανομή των βροχοπτώσεων στο χρόνο, καθώς θα έχουμε συχνότερη εμφάνιση ακραίων φαινομένων. Γεγονός που για τη χώρα μας σημαίνει ότι στο εξής, ακόμη κι αν δεχόμαστε συνολικά, σε ετήσια βάση, τα ίδια ύψη βροχής σε σχέση με το παρελθόν, η κατανομή του νερού θα είναι τέτοια, ώστε να μην ευνοεί όπως παλιά τον εμπλουτισμό των φυσικών δεξαμενών του νερού. Το έδαφος, ως γνωστό, δεν προλαβαίνει να διηθήσει το νερό όταν αυτό έρχεται σε μεγάλες ποσότητες και για σύντομα χρονικά διαστήματα, με αποτέλεσμα το μεγαλύτερο μέρος του νερού των βροχοπτώσεων μεγάλης έντασης, να απορρέει αναξιοποίητο. [32]

Πιο συγκεκριμένα στην Ελλάδα τα συνολικά αποθέματα έχουν μειωθεί κατά 700 εκατομμύρια κυβικά μέτρα, γεγονός που σημαίνει αποθέματα ενάμισι χρόνου. Η ετήσια κατανάλωση έχει ανέβει στα 450 εκατομμύρια κυβικά μέτρα, και ήδη αντλούνται 350.000 κυβικά μέτρα από την Υλίκη, και ενδεχομένως θα χρειαστεί να αντληθούν και οι γεωτρήσεις που έχουν γίνει κατά την περίοδο της λειψυδρίας, του 1990-'91. Το πρόβλημα θα οξυνθεί, δεδομένου ότι και οι στάθμες των γεωτρήσεων εμφανίζουν μείωση έως και 20 μέτρα. Η φετινή χρονιά έχει κλιματολογικά χαρακτηριστικά παρόμοια με τα περσινά, που είχαν χαρακτηριστεί από την παγκόσμια επιστημονική κοινότητα ως τα πιο ακραία ξηροθερμικά φαινόμενα από το 1880. Τα στοιχεία του Νοεμβρίου 2007, πάντως, μας δείχνουν ότι στη δυτική Ελλάδα και στη δυτική Πελοπόννησο, περιοχές που είχαν γενικά υψηλούς βροχομετρικούς δείκτες, εμφανίζονται ύψη βροχής της υγρής περιόδου, αντίστοιχες με τις βροχές της ξηρής περιόδου.

Στις γεωτρήσεις της Ηπείρου, η πτώση της στάθμης κυμαίνεται από 1-20 μέτρα και η μείωση των παροχών των μεγάλων καρστικών πηγών, κυμαίνεται στο 30%. Στην Πελοπόννησο παρατηρείται αντίστοιχη μείωση των βροχοπτώσεων και μεγάλες καρστικές πηγές έχουν στερέψει. Από τη Δυτική Μακεδονία έως τη Θράκη παρατηρείται αντίστοιχη μείωση των βροχοπτώσεων και η στάθμη των γεωτρήσεων

που εκμεταλλεύονται υδροφόρους εμφανίζει πτώση από 20-50 μέτρα. Στη Στερεά Ελλάδα, η πτώση της στάθμης των καρστικών υδροφόρων κυμαίνεται από 5-8 μέτρα. [33]

2.2.2 Άνοδος της στάθμης της θάλασσας

Η άνοδος της στάθμης της θάλασσας μπορεί να προκαλέσει αλλαγή της ροής του αλμυρού νερού εισβάλλοντας στους υπόγειους υδροφορείς. Όπως παρατηρούμε και από το νόμο Ghyben-Herzberg το βάθος του γλυκού νερού (z) εξαρτάται από το h δηλαδή το ύψος του γλυκού νερού από το μέσο επίπεδο της θάλασσας. Αυτό σημαίνει ότι για κάθε αύξηση του επιπέδου της στάθμης της θάλασσας έχει σαν συνέπεια την μείωση της χωρητικότητας του γλυκού νερού στον υδροφόρο και τη μετατόπιση της διεπιφάνειας γλυκού και αλμυρού νερού προς τα πάνω.

2.2.3 Γεωλογικά αίτια

Στους παράκτιους καρστικοποιημένους υδροφορείς οι συνθήκες για την εμφάνιση του φαινομένου της υφαλμύρισης είναι ιδιαίτερα ευνοϊκές λόγω των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών τους. Η δημιουργία καρστικών φαινομένων συνδέεται με την παρουσία πετρωμάτων τα οποία είναι ευδιάλυτα και αφήνουν ελάχιστο υπόλειμμα με αποτέλεσμα να διευρύνονται τα διάκενα με τη διάλυσή τους οπότε είναι δυνατή η κίνηση του νερού μέσω αυτών στο υπέδαφος. Τέτοια πετρώματα είναι οι εβαπορίτες, τα ανθρακικά, οι ηφαιστίτες, οι χαλαζίτες και οι υπερβασίτες.

Τα καρστικά πετρώματα που έχουν μεγάλη υδρογεωλογική σημασία για το Μεσογειακό χώρο είναι κυρίως τα ανθρακικά πετρώματα (ασβεστόλιθοι και δολομίτες). Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, καρστικοποιημένος υδροφόρος ονομάζεται ένας όγκος διαλυτού πετρώματος στο οποίο η ροή γίνεται κυρίως μέσα στα κανάλια διάλυσης, των οποίων το μέγεθος και η κατεύθυνση είναι ακανόνιστη. Η ροή μπορεί να είναι γραμμική, τυρβώδης ή/και να έχει τα χαρακτηριστικά ροής σε ανοικτό αγωγό. Η κίνηση του υπόγειου νερού μπορεί να προκαλέσει διάλυση του ασβεστόλιθου γύρω από τα υπάρχοντα κενά, με αποτέλεσμα την αύξηση του ανοίγματός τους και της υδραυλικής αγωγιμότητας του υδροφόρου. Όσον αφορά τα ρήγματα, λόγω της καρστικοποίησης αρκετά από αυτά μεγεθύνονται και μετατρέπονται σε κανάλια. Μέσο της διαδικασίας της διάλυσης, η δομή του καρστικοποιημένου υδροφόρου και τα υδραυλικά χαρακτηριστικά του μεταβάλλονται τόσο χωρικά όσο και χρονικά, με συνέπεια οι υδροφόροι αυτοί να χαρακτηρίζονται από μεγάλη ετερογένεια και ανισοτροπία.

Το κύριο χαρακτηριστικό των παράκτιων καρστικοποιημένων υδροφορέων είναι η στενή υδραυλική τους σχέση με το αλμυρό νερό και η άμεση επαφή του γλυκού με το αλμυρό νερό. Η εμφάνιση του φαινομένου της υφαλμύρισης είναι δυνατόν να προκληθεί από κανάλια που καταλήγουν στον πυθμένα της θάλασσας ακόμα και σε μεγάλη απόσταση από την ακτή. Η άμεση σύνδεση του καρστικού συστήματος και της θάλασσας, οδηγεί σε μεγάλη διακύμανση της περιεκτικότητας των χλωριόντων στην υφάλμυρη ζώνη. [31]

2.3 Ανθρωπογενή αίτια

Κύρια ανθρωπογενή αίτια που αποτελούν αφορμές ελάττωσης των υδραυλικών φορτίων των υπόγειων νερών είναι :

2.3.1 Υπεράντληση

Σε πολλές περιοχές, η υπεράντληση των υπόγειων υδάτων για την κάλυψη των τοπικών αναγκών σε ύδρευση και άρδευση, έχει ως αποτέλεσμα την πτώση του υδροφόρου ορίζοντα, την αύξηση του κινδύνου υποβάθμισης της ποιότητας του υπόγειου νερού και την παραγωγικότητα του εδάφους με υφαλμύρωση. [34]

Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η Θεσσαλία όπου η αρδευόμενη έκταση αυξήθηκε κατά 46% σε σχέση με το 1980. Σύμφωνα με έρευνα του γεωπονικού Πανεπιστημίου, όσον αφορά το βαμβάκι στη Θεσσαλία, το νερό που χρησιμοποιείται υπερβαίνει κατά 21-35% τις πραγματικές ανάγκες για άρδευση. Όσον αφορά την καλλιέργεια καλαμποκιού, οι ποσότητες του νερού που χρησιμοποιούνται υπερβαίνουν το 38-48% των αναγκών, ενώ η πατάτα αρδεύεται με 57-67% περισσότερο νερό απ'ότι χρειάζεται. [35]

Στον Αργολικό κάμπο η εντατική καλλιέργεια η οποία αυξήθηκε 300-400% σε σχέση με το 1950 καθώς και η αντικατάσταση των πολυκαλλιεργειών με μονοκαλλιέργειες που απαιτούσαν αυξημένη ποσότητα νερού, έχει οδηγήσει σε πτώση της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα κατά επτά μέτρα το χρόνο. [36]

Επιπλέον η έντονη τουριστική ανάπτυξη, η κατασκευή μεγάλων ξενοδοχειακών συγκροτημάτων, μαρινών και λοιπών υδροβόρων δραστηριοτήτων έχει οδηγήσει σε εξάντληση και υφαλμύρωση πολλούς από τους υδροφορείς των παράκτιων περιοχών και ιδιαιτέρως των νησιών.

Στα περισσότερα νησιά του Αιγαίου τα δεδομένα είναι γνωστά: μικρές υδρολογικές λεκάνες, μικρό ύψος βροχοπτώσεων, απουσία φυτοκάλυψης και το έντονο ανάγλυφο που δεν συγκρατούν το νερό έχει σαν αποτέλεσμα ο εμπλουτισμός των υδροφόρων να είναι περιορισμένος. Η παντελής έλλειψη ορθολογικής διαχείρισης των υπόγειων νερών έχει προκαλέσει σε σύντομο χρονικό διάστημα εκτεταμένη θαλάσσια διείσδυση με αποτέλεσμα την υποβάθμιση της ποιότητας του υπόγειου νερού. Το γεγονός αυτό έχει δημιουργήσει πολλά προβλήματα στα δίκτυα ύδρευσης, σε οικιακές συσκευές αλλά το κυριότερο είναι ότι η χρήση αυτού του νερού, γίνεται σχεδόν απαγορευτική για τους περισσότερους τομείς για τους οποίους προορίζεται. Οι γεωτρήσεις που έχουν γίνει σε ολόκληρη τη χώρα, υπερβαίνουν τις 170.000 κατ'εκτίμηση. Οι περιοχές με τις περισσότερες γεωτρήσεις για αγροτική χρήση είναι η Αργολίδα με 24.000 γεωτρήσεις, η Κορινθία, η Βοιωτία, η Άρτα, η Καρδίτσα, η Λάρισα και η Μαγνησία. Αντίστοιχα οι νομοί με τις περισσότερες γεωτρήσεις για αστική χρήση είναι η Αττική, η Θεσσαλονίκη, η Σύρος, η Πάρος, το Λασιθί και η Νάξος. [8,35]

Να σημειωθεί ότι τα περισσότερα νησιά έχουν γίνει «σουρωτήρια», αλλά ειδικά στις Κυκλάδες είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι οι ιδιωτικές γεωτρήσεις είναι πολλαπλάσιες των δημοτικών. Συγκεκριμένα στην Πάρο, έχουν καταμετρηθεί 50 δημοτικές και 250 ιδιωτικές. Στην Τήνο, 30 δημοτικές και 150 ιδιωτικές και στη Σύρο οι 40 ιδιωτικές και οι τρεις μονάδες αφαλάτωσης ανταγωνίζονται τις 300 και πλέον ιδιωτικές γεωτρήσεις. [37]

2.3.2 Παράνομες γεωτρήσεις

Στο 40% φτάνει το ποσοστό των παράνομων γεωτρήσεων. Οι υπάρχουσες γεωτρήσεις είναι 31% περισσότερες από αυτές που το δυναμικό του υπεδαφικού

νερού επιτρέπει. Η παρανομία συνδέεται με τους συνεχώς αυξανόμενους περιορισμούς αλλά και με τις προϋποθέσεις έκδοσης αδειών (μελέτες και κόστος).

Η αδειοδότηση κάθε μορφής παροχής νερού έχει δεσμεύσει σε ότι αφορά την ποσότητα του νερού που πρέπει να αντλείται, καθώς και το υψόμετρο ασφαλείας κάτω από το οποίο δεν πρέπει να κατέβει η στάθμη του υπόγειου υδροφόρου. Η περίοδος 1980-2000 ήταν και η πλέον επώδυνη, αφού τα έργα υδρομάστευσης υπολείπονται της αύξησης των αναγκών σε νερό άρδευσης.

Αναφέρθηκε πιο πάνω ότι οι υπάρχουσες γεωτρήσεις είναι 31% περισσότερες από όσο αντέχει το υπόγειο νερό. Αυτό σημαίνει ότι κάθε τρία χρόνια περίπου αφαιρείται και ένας χρόνος, δηλαδή μετά από 10 χρόνια άντλησης ο υπόγειος υδροφόρος για να επανέλθει θα χρειαστεί 3 τουλάχιστον συνεχή χρόνια χωρίς καμία άντληση.

Στο σύνολο αυτών των γεωτρήσεων, θα πρέπει να προστεθεί και ένας μεγάλος αριθμός από 50.000 γεωτρήσεις, οι οποίες έχουν πολύ μικρή παροχή και ενίοτε περιοδική άντληση.

Μεγάλες υπερβάσεις σε αριθμό γεωτρήσεων σε σχέση με αυτές που μπορεί να αντέξει η περιοχή, έχουν γίνει στη Θεσσαλία με 320% περισσότερες γεωτρήσεις, στην Αττική με 260, στην Πελοπόννησο και τα νησιά του Αιγαίου με 200%. Μικρότερες υπερβάσεις έχουν γίνει στην Κεντρική και Δυτική Μακεδονία με ποσοστό 20 και 30% αντίστοιχα. [38]

2.3.3 Οικιστική ανάπτυξη

Ο υδροφόρος ορίζοντας σε πολλές περιοχές (κυρίως αστικές) δεν εμπλουτίζεται πλέον. Η τιμιεντοποίηση και η ασφαλτοποίηση των μεγάλων πολεοδομικών συγκροτημάτων, η στεγανοποίηση των ρεμάτων και των κοιτών των χειμάρρων είναι μόνο ορισμένα χαρακτηριστικά παραδείγματα. Υπολογίζεται ότι στα μεγάλα πολεοδομικά συγκροτήματα η τροφοδοσία του υδροφόρου ορίζοντα από επιφανειακά νερά έχει μειωθεί ακόμη και κατά 80%. [39]

2.3.4 Εγγειοβελτιωτικά έργα και αποστράγγιση

Η ταπείνωση της υδροστατικής στάθμης εφαρμόζεται σε περιοχές με λίμνες, λιμνοθάλασσες ή έλη κατά μήκος της ακτής με στόχο τη δημιουργία νέα γης για διάφορους σκοπούς όπως γεωργία, βιομηχανία ή κατασκευή κατοικιών. Τα εγγειοβελτιωτικά έργα και η αποστράγγιση συχνά περιλαμβάνουν την ταπείνωση και τον έλεγχο της υδροστατικής στάθμης του υπόγειου νερού σε μεγάλες περιοχές. Οι δραστηριότητες αυτές προκαλούν μεγάλες αλλαγές στο υπόγειο υδατικό καθεστώς, καθώς το υπόγειο νερό (γλυκό, αλμυρό αλλά και υφάλμυρο) ρέει προς τις δημιουργούμενες ταπεινώσεις της υδροστατικής στάθμης με τους μηχανισμούς διήθησης και με πολύ αργούς ρυθμούς, έτσι ώστε απαιτείται περίοδος πολλών ετών, μέχρι να αρχίσει το πρόβλημα να παίρνει σοβαρές διαστάσεις.

Η διήθηση αυτή μπορεί αργά ή γρήγορα να γίνει αλμυρή διαδικασία που εξαρτάται από το επίπεδο της ελεγχόμενης υδροστατικής στάθμης του υπόγειου νερού, τις υδρολογικές σταθερές, τις οριζόντιες διαστάσεις της περιοχής με την ελεγχόμενη υδροστατική στάθμη και την απόστασή της από την ακτογραμμή. Οι επιπτώσεις από τις αλλαγές αυτές, όσον αφορά στην κατανομή του γλυκού και αλμυρού υπόγειου νερού, μπορεί να είναι λιγότερο ή περισσότερο ισοδύναμες με εκείνες από τις απολήψεις από μεγάλα πεδία γεωτρήσεων. [12]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : ΤΡΟΠΟΙ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΥΦΑΛΜΥΡΩΣΗΣ

3.1 Γενικά

Ο έλεγχος της θαλάσσιας διείσδυσης απαιτεί ικανοποιητική γνώση των υδραυλικών συνθηκών του υδροφόρου και της πηγής του αλμυρού νερού. Η γνώση της έκτασης ενός προβλήματος υφαλμύρωσης και η εκτίμηση της συμπεριφοράς του αλμυρού νερού κάτω από διαφορετικές συνθήκες εμπλουτισμού και εκφόρτισης είναι αναγκαία έτσι ώστε να είναι αποτελεσματική η διαχείριση του προβλήματος.

Η βέλτιστη λύση στο πρόβλημα της θαλάσσιας διείσδυσης είναι η παρεμπόδιση της με τη ρύθμιση του υδροφόρου, ώστε η σφήνα του θαλάσσιου νερού (πόδι της διεπιφάνειας) να ελέγχεται σε έναν αποδεκτό βαθμό. Όμως, σε πολλές περιπτώσεις το πρόβλημα αποτελεί "κληρονόμημα" του παρελθόντος και η προσπάθεια δεν μπορεί παρά να επικεντρωθεί στην ελαχιστοποίηση της περαιτέρω θαλάσσιας διείσδυσης ή/και στη μείωση της έκτασης του υφιστάμενου αλμυρού νερού. Σε ορισμένες περιπτώσεις ο υδροφόρος μπορεί να είναι ρυπασμένος σε τέτοιο βαθμό, ώστε η ανάκτησή του να μην μπορεί να είναι εφικτή κάτω από συνθήκες τεχνητού εμπλουτισμού. Στις περιπτώσεις αυτές η εγκατάλειψη της χρήσης του υδατικού πόρου για ύδρευση είναι η μόνη λύση, παρά το γεγονός ότι το νερό μπορεί να χρησιμοποιείται ακόμη σε ορισμένες βιομηχανικές και γεωργικές εφαρμογές.

Στην περίπτωση που πολλά βαθιά υδροφόρα συστήματα αποτελούνται από επάλληλους υδροφόρους σε εναλλαγές με βραδυδροφόρα, τότε οι βαθύτεροι αυτοί υπό πίεση υδροφόροι αξιοποιούνται συχνά όταν οι ανώτεροι υδροφόροι έχουν ρυπανθεί από θαλάσσια διείσδυση. Όμως εδώ εγκυμονεί ο κίνδυνος διαρροής από τον υπερκείμενο υδροφόρο, καθώς αυξάνουν οι διαφορές στο υδραυλικό φορτίο. Μια δυναμική απειλή για την ποιότητα του νερού στον υποκείμενο υδροφόρο εμφανίζεται στις περιπτώσεις εκείνες που οι γεωτρήσεις χαρακτηρίζονται από κακοτεχνίες. Οι γεωτρήσεις αυτές μπορεί να παρέχουν μια διαδρομή μεταβίβασης αλμυρού νερού από τον υπερκείμενο προς τον υποκείμενο υδροφόρο.

Οι μέθοδοι ελέγχου της θαλάσσιας διείσδυσης συνήθως έχουν εφαρμοστεί ή μελετηθεί σοβαρά μόνο σε περιοχές όπου οι υπεραντλήσεις του νερού προκάλεσαν την πτώση της στάθμης των υδροφόρων κάτω από το μέσο επίπεδο της θάλασσας. Σ πολλές περιοχές με σοβαρές υπεραντλήσεις, οι υδροφόροι δεν έχουν ακόμα απολέσει την ιδιότητά τους ως πηγές νερού και αυτό οφείλεται στην πολύ μικρή ταχύτητα κίνησης του αλμυρού νερού. Οι υπεύθυνοι φορείς των περιοχών αυτών βέβαια πρέπει να λύσουν το πρόβλημα, γιατί αν το αλμυρό νερό εισβάλλει στον υδροφόρο τότε απαιτούνται εκατοντάδες χρόνια για την επαναφορά του υδροφόρου στα επίπεδα εκείνα πριν την εκμετάλλευσή του.

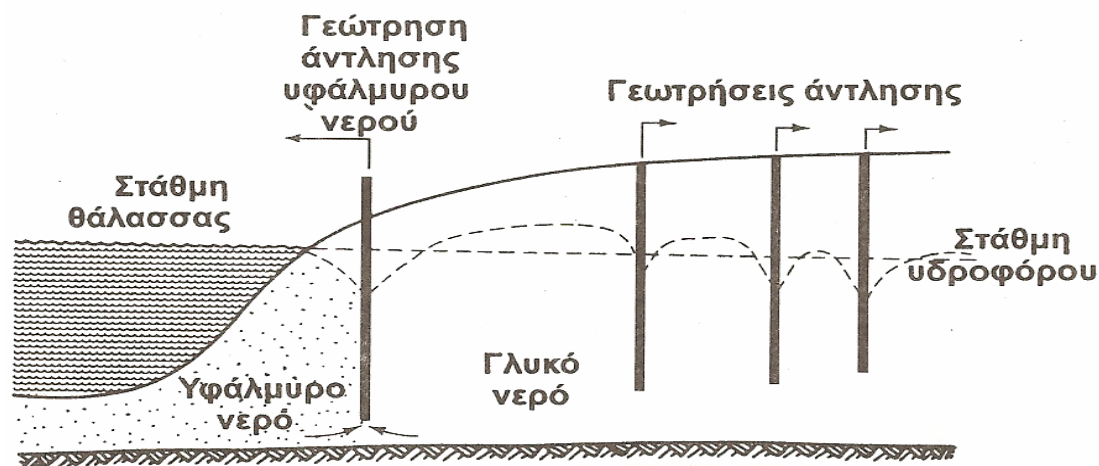
Διάφοροι φραγμοί ελέγχου μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παρεμπόδιση ή την επιβράδυνση της θαλάσσιας διείσδυσης μέσα στον υδροφόρο, όπως :

3.2 Φραγμοί άντλησης

Οι φραγμοί ή κοιλώματα άντλησης δημιουργούνται από συνεχείς αντλήσεις κατά μήκος μιας γραμμής γεωτρήσεων πολύ κοντά στη ακτογραμμή, με αποτέλεσμα το γλυκό νερό να ρέει προς τη θάλασσα. Το αντλούμενο νερό είναι υφάλμυρο και ρίχνεται στη θάλασσα. (σχήμα 3.1).

Φραγμοί άντλησης έχουν χρησιμοποιηθεί σε διάφορες περιοχές για να παρεμποδίσουν ή να μειώσουν τη θαλάσσια διείσδυση. Το 1965 ένας φραγμός άντλησης μήκους 0,8 Km στον υδροφόρο Oxnard, στην Oxnard Plain, Ventura

Country των ΗΠΑ, από το California Department of Water Resources. Ο πειραματικός αυτός φραγμός αποτελούμενος από 5 γεωτρήσεις σταμάτησε να λειτουργεί το 1968 εξαιτίας της διάβρωσης και επειδή αποδείχθηκε αναποτελεσματικός στην παρεμπόδιση της θαλάσσιας διείσδυσης. Οι φραγμοί αυτού του τύπου μπορεί να αντλήσουν και γλυκό νερό γι' αυτό θα πρέπει να αποφεύγεται σε περιοχές που το γλυκό νερό σπανίζει. [12]



Σχήμα 3.1 : Δημιουργία υδραυλικής τάφρου με άντληση υφάλμυρου νερού η οποία εμποδίζει τη θαλάσσια διείσδυση [14]

Οι Kashef (1977) και ο Stone (1978) θεωρούν ότι η διείσδυση της θάλασσας μπορεί τεχνικά να ελεγχθεί με τη μέθοδο αυτή, αλλά γενικά είναι πιο δαπανηρή από τους φραγμούς εμπλουτισμού (έγχυσης). Στις περισσότερες περιοχές όπου μελετήθηκε η δυνατότητα εφαρμογής των μεθόδων αυτών, φάνηκε ότι οι φραγμοί άντλησης δεν είναι εφαρμόσιμοι από οικονομικής πλευράς. Παρόλα αυτά σε ορισμένες περιπτώσεις, μπορεί η εφαρμογή τους να είναι οικονομικά συμφέρουσα, όπως σε χώρους απόθεσης επικίνδυνων αποβλήτων ή σε παράκτιο υδροφόρο με σχετικά περιορισμένη επικοινωνία με τη θάλασσα. Το κύριο πρόβλημα είναι ότι οι αντλήσεις προκαλούν σημαντική πτώση της στάθμης του υπόγειου νερού σε όλη την υδρογεωλογική λεκάνη, με αποτέλεσμα το κόστος άντλησης να αυξάνεται συνεχώς ή κάποιες γεωτρήσεις να στερεύουν ή την ενεργοποίηση της κατακόρυφης κίνησης αλμυρού νερού προς το γλυκό νερό. [12]

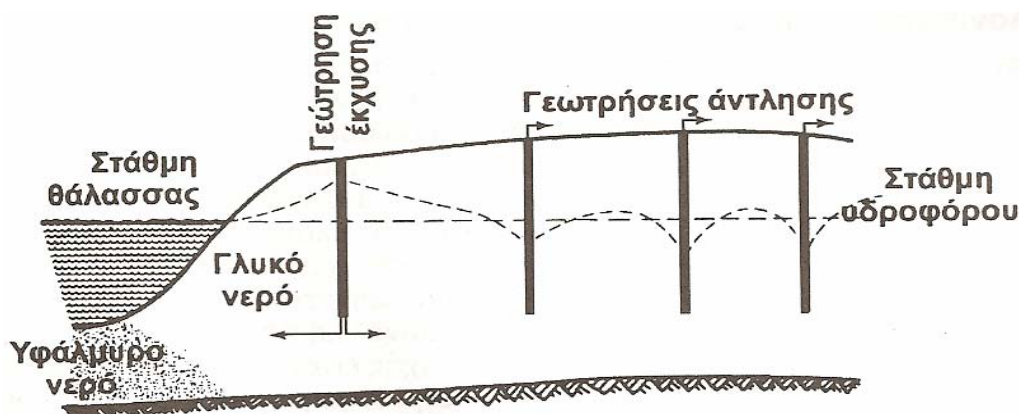
3.3 Φραγμοί εμπλουτισμού (έγχυσης) γλυκού νερού

Φραγμοί εμπλουτισμού σχηματίζονται από γεωτρήσεις εμπλουτισμού ή έγχυσης (injection well) με σκοπό τη διατήρηση ενός υβώματος πίεσης κατά μήκος της ακτογραμμής. Εδώ γλυκό νερό εγχέεται μέσα στον υδροφόρο με τη βοήθεια μιας γραμμής γεωτρήσεων παράλληλα προς την ακτή, αφού το νερό εμπλουτισμού ρέει τόσο προς την ενδοχώρα όσο και προς τη θάλασσα (σχήμα 3.2). Το δημιουργούμενο ύβωμα προστατεύει τον υδροφόρο από τη θαλάσσια διείσδυση. Ο κατάλληλος σχεδιασμός των αποστάσεων μεταξύ των γεωτρήσεων και η επιλογή των θέσεων θα διασφαλίσει ότι το νερό της θάλασσας δεν θα βρει διέξοδο μεταξύ των φραγμών για να διεισδύσει ή να κινηθεί κατακόρυφα. Γενικά απαιτείται μεγάλος αριθμός γεωτρήσεων, που έχουν υψηλό κόστος συντήρησης και το πιο σημαντικό μια πηγή γλυκού νερού υψηλής ποιότητας.

Ο σχεδιασμός και ο τρόπος κατασκευής των γεωτρήσεων εμπλουτισμού εξαρτώνται από τις ιδιαίτερες συνθήκες της θέσης της γεώτρησης, το χαλκικό φίλτρο, την πάκτωση με υδαρές τσιμέντο γύρω από τον περιφραγματικό και την αντλία. Το

νερό που θα χρησιμοποιηθεί πρέπει να είναι υψηλής ποιότητας για να μειώνει τη συχνότητα απόφραξης, να αυξάνει την περίοδο λειτουργίας της γεώτρησης και να μειώνει το κόστος καθαρισμού. Επιπροσθέτως η χλωρίωση του νερού εμπλουτισμού προστατεύει τους σωλήνες εμποδίζοντας τις δυναμικές διαρροές και μειώνει τη βιορύπανση (βιοαπόφραξη) των σχηματισμών.

Η γεώτρηση εμπλουτισμού, όταν υπάρχει απόφραξη και η στάθμη του νερού εμπλουτισμού υπερβαίνει τα αποδεκτά επίπεδα, πρέπει να υποβάλλεται στη διαδικασία της επανανάπτυξης ανά τριετία. Έτσι αποκαθίσταται η αποτελεσματικότητα της γεώτρησης και αυξάνεται η ειδική της ικανότητα. Επίσης η πίεση έγχυσης του νερού εμπλουτισμού στο σωλήνα πρέπει να παρακολουθείται και να ελέγχεται προσεκτικά για να εμποδίζονται οι διακυμάνσεις της στάθμης που θα μπορούσαν να διακόψουν τη συνέχεια του χαλικόφιλτρου ή ακόμη και προκαλέσουν βλάβες στην ίδια τη γεώτρηση. [12]



Σχήμα 3.2 : Δημιουργία υδραυλικού φραγμού με τεχνητό εμπλουτισμό για την πρόληψη αλμύρισης παράκτιου υδροφόρου [14]

Το νερό εμπλουτισμού εγχέεται στις γεωτρήσεις με πίεση μεμονωμένα ή και σε μικρές ομάδες γεωτρήσεων ταυτόχρονα, έτσι ώστε να εμποδίζεται η πλήρης υποχώρηση του φορτίου του υβόματος παρεμπόδισης σε περιπτώσεις αιφνίδιας διακοπής της λειτουργίας μιας γεώτρησης, που μπορεί να οφείλεται σε ατύχημα, κακή λειτουργία ή σε απεργίες. Θα πρέπει να κατασκευάζονται γεωτρήσεις ελέγχου πλησίον της γραμμής του φραγμού εμπλουτισμού για να παρακολουθούνται τα επίπεδα της στάθμης του υπόγειου νερού. Αυτό θα επέτρεπε τον ακριβή προσδιορισμό των ποσοτήτων του νερού εμπλουτισμού για να παρεμποδιστεί η θαλάσσια διείσδυση.

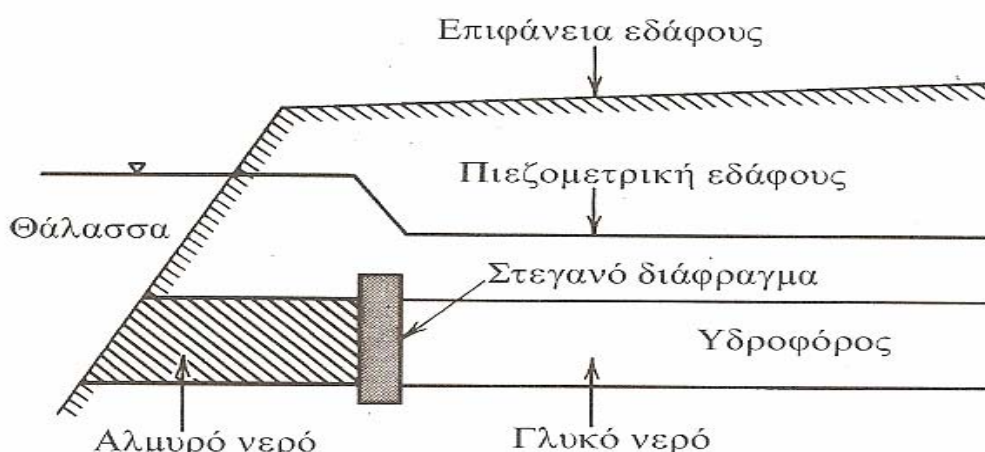
Όταν χρησιμοποιούνται γεωτρήσεις εμπλουτισμού για τον έλεγχο της θαλάσσιας διείσδυσης, η θέση σχηματισμού του υδραυλικού φραγμού θα πρέπει να προσδιορίζεται κοντά στο άκρο της αλμυρής σφήνας. Τα κριτήρια ποιότητας του νερού εμπλουτισμού θα πρέπει να τίθενται με βάση τα κύρια και δευτερεύοντα σταθερότυπα του πόσιμου νερού, όπως γίνεται στις ΗΠΑ. Οι παράμετροι που εξετάζονται στο νερό εμπλουτισμού στις ΗΠΑ είναι οι ακόλουθες : οι πτητικές οργανικές ενώσεις, όπως βρωμοφόρμιο, χλωροφόρμιο, διβρωμοχλωρομεθάνιο, οι χημικές παράμετροι Cl, PH, Ca, Mg, TDS, Na, K, θειϊκά κ.α.

Η κατασκευή του φραγμού εμπλουτισμού της Los Angeles Flood District κόστισε από το 1953 έως το 1973, 20 εκατομμύρια \$, μη συμπεριλαμβανομένου του κόστους αγοράς του νερού εμπλουτισμού και της τιμαριθμικής αναπροσαρμογής. Το ετήσιο κόστος συντήρησης και λειτουργίας του φραγμού, μήκους 32 Km ήταν κατά προσέγγιση 1,5 εκατομμύριο \$ την περίοδο 1978-1980, ενώ το ετήσιο κόστος του

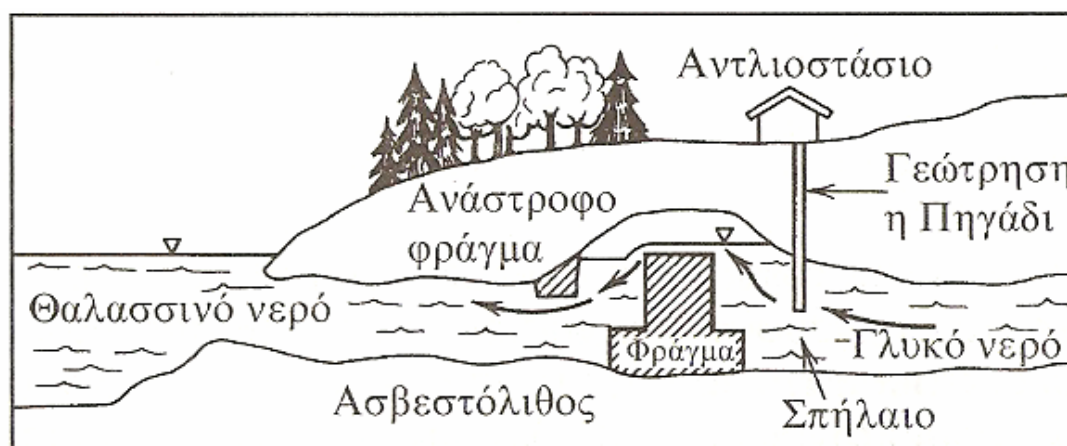
φιλτραρισμένου νερού ήταν $0,086 \text{ \$/ m}^3$ νερού. Το μέσο λειτουργικό κόστος για την περίοδο 1978-1980 ήταν 44.000 \$ ανά Km (6 γεωτρήσεις ανά Km), δηλαδή 7.000 \$ ανά γεώτρηση για μια υπολογισμένη έγχυση ανά ημέρα της τάξης των $3,8 \times 10^5 \text{ m}^3$ νερού. Το λειτουργικό κόστος εξαρτάται από το μήκος του φραγμού, τη γεωμετρία και τις φυσικές ιδιότητες του υδροφόρου, τις διαφορές στα επίπεδα της στάθμης του υδροφόρου σχετικά με το μέσο επίπεδο της θάλασσας και τους όγκους του εγχέομένου νερού. [12]

3.4 Τεχνητοί υπόγειοι φραγμοί

Η δημιουργία τεχνητών υπόγειων φραγμών, σε όλη την έκταση του υδροφόρου και παράλληλα προς την ακτογραμμή, περιλαμβάνει την κατασκευή κουρτίνας από πασσαλοσανίδες ή την κατασκευή τάφρων από άργιλο ή την έγχυση αδιαπέρατων υλικών μέσω γεωτρήσεων όπως μπετονίτη, υδατοστεγανή άργιλο και ρευστοκονίαμα από τσιμέντο (σχήματα 3.3 και 3.4).



Σχήμα 3.3 : Αντιμετώπιση θαλάσσιας διείσδυσης με την κατασκευή στεγανού υπόγειου διαφράγματος, παράλληλο στη ακτή [14]



Σχήμα 3.4 : Σχηματικό διάγραμμα ενός υπόγειου διαφράγματος για την παρεμπόδιση ανάμιξης γλυκού και αλμυρού νερού [14]

Ο Kashef δηλώνει ότι, παρά τη τεχνική αρτιότητα των μεθόδων κατασκευής τους το κόστος είναι συνήθως πάρα πολύ υψηλό, επειδή το απαιτούμενο βάθος είναι μεγάλο. Ακόμα και στις περιπτώσεις των ανώτερων στρωμάτων όπου το κόστος μπορεί να μην είναι απαγορευτικό, μπορεί να έχουμε πλημμύρισμα παράκτιων

χαμηλών περιοχών πίσω από το φραγμό. Το μοναδιαίο κόστος του για τοιχία από υδαρό κονίαμα κυμαίνεται μεταξύ 20 και 40 \$ / m³. Το κόστος σε μεγάλο βαθμό εξαρτάται από το βάθος της εκσκαφής, το μήκος του τοιχίου και το κόστος των διαθέσιμων υλικών. Φραγμοί τέτοιου είδους απαιτούν εκσκαφή μέχρι το στεγανό υπόβαθρο για να είναι αποτελεσματικοί. Τα αδιαπέρατα τοιχία μπορεί να είναι 100 % αποτελεσματικά αλλά στην πράξη πάντα υπάρχουν κενά στην κατασκευή τους επίσης είναι ευπαθή στους σεισμούς και τη χημική διάβρωση. [12]

3.5 Βιολογικοί φραγμοί

Καινοτόμες τεχνολογίες χρειάζονται για την παρεμπόδιση του μετώπου της θαλάσσιας διείσδυσης η οποία απειλεί τις παροχές πόσιμου νερού των παράκτιων κοινοτήτων. Εργαστηριακές μέθοδοι έχουν αποδείξει την αποτελεσματικότητα της μεθόδου στα πορώδη μέσα (James 2000). Η μέθοδος αυτή αποτελεί μια διαδικασία επιλεκτικής απόφραξης των πόρων μιας διαπερατής στρώσης με μικροβιακά μικροφίλμ. Η διαδικασία αυτή περιλαμβάνει την ανάπτυξη βακτηριακών μικροφίλμ, που μέσω της παραγωγής υπερκυτταρικών πολυμεροειδών ουσιών, φράζουν τις οπές της πορώδους μάζας. Αυτοί οι μικροβιακοί φραγμοί μπορούν να οδηγήσουν στην παρεμπόδιση της θαλάσσιας διείσδυσης μέσω της μείωσης της υποεπιφανειακής υδραυλικής αγωγιμότητας και να αναβαθμίσουν για το λόγο αυτό τις στρατηγικές ελέγχου με εμπλουτισμό. Για τον έλεγχο της αποτελεσματικότητας της μεθόδου χρησιμοποιήθηκε ένα δοκιμαστικό στρώμα εύρους 39,62 m, μήκους 54,86 m και βάθους 6,1 m, το οποίο αποτέλεσε έναν τεχνητό υδροφόρο. Ο σχηματισμός του φραγμού από μικροφίλμ άρχισε με την εισαγωγή βακτηρίων και διαλυμάτων με θρεπτικές ουσίες με γεωτρήσεις έγχυσης και ακολουθήθηκε ένα πρωτόκολλο που αυξάνει τη μεταφορά και την επιβίωση των βακτηρίων στο υπέδαφος. Η μέση υδραυλική αγωγιμότητα μειώθηκε πλησίον του βιοφίλμ από $2,1 \times 10^{-2}$ στο $1,3 \times 10^{-4}$ cm/sec, μια μείωση της τάξης του 99,4 %.

Μία λεπτομερής οικονομική ανάλυση πραγματοποιήθηκε για την εγκατάσταση ενός φραγμού από βιοφίλμ σε έναν παράκτιο υδροφόρο των δυτικών ΗΠΑ. Σήμερα η διείσδυση της θάλασσας ελέγχεται με γεωτρήσεις εμπλουτισμού, όπου αφού εξετάστηκαν όλα τα δεδομένα, προέκυψε το συμπέρασμα ότι οι τρέχουσες απαιτήσεις άντλησης γλυκού νερού θα μπορούσαν να μειωθούν κατά τουλάχιστον 50 % χωρίς να διακοπεί η συνεχής παροχή νερού. Η εγκατάσταση και η συντήρηση του φραγμού θα κόστιζε 5,3 εκατομμύρια \$ και θα επέφερε μειωμένο κόστος απόληψης νερού περισσότερο από 1,3 εκατομμύρια \$ ετησίως. Αντίθετα, η απόδοση της επένδυσης με τη χρήση γεωτρήσεων εμπλουτισμού είναι της τάξης του 24 % για μια περίοδο 30 ετών, χωρίς να λαμβάνεται υπόψη το πρόσθετο κόστος νερού και άντλησης. Όλα αυτά δείχνουν ότι η εφαρμογή των φραγμών με την τεχνολογία των βιοφίλμ μπορεί να είναι οικονομικά πολύ ελκυστική. Ένας αποτελεσματικός φραγμός από βιοφίλμ μπορεί να εγκατασταθεί σε πραγματικές συνθήκες, με σοβαρά πλεονεκτήματα, αφού δεν χρειάζεται εκσκαφές και επομένως έχουν χαμηλό κόστος εγκατάστασης, δεν υπάρχουν περιορισμοί στο βάθος, ενώ οι παραδοσιακοί υπόγειοι φραγμοί δεν είναι οικονομικά εφαρμόσιμοι σε βάθος μεγαλύτερο των 6 m. [12]

3.6 Έλεγχος αντλήσεων

Στην περίπτωση που ο υδροφόρος υπέρκειται ενός αλμυρού ρευστού, η άνοδος του αλμυρού ρευστού μπορεί να περιοριστεί με τον κατάλληλο σχεδιασμό και λειτουργία των γεωτρήσεων. Οι γεωτρήσεις θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν αβαθείς και να αντλούνται με μικρές ομοιόμορφες παροχές. Ένα σύστημα πολλαπλών γεωτρήσεων με μικρές επί μέρους παροχές θα ήταν προτιμότερο από μια γεώτρηση

υψηλής παροχής. Μία εναλλακτική μέθοδο αποτελεί η κατασκευή μιας στοάς διήθησης, δηλαδή μιας οριζόντιας γεώτρησης, η οποία βοηθά στη μείωση της ανοδικής κίνησης του αλμυρού νερού που είναι αποτέλεσμα υπεράντλησης από μια κατακόρυφη γεώτρηση. Οι ρυθμοί των απολήψεων μπορούν να μειωθούν όταν η ζήτηση σε νερό μειώνεται. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με τη λήψη μέτρων όπως :

- Πληροφόρηση του ευρύτερου κοινού και του τομέα της βιομηχανίας για την ανάγκη οικονομίας στο νερό και αν είναι αναγκαίο απαγόρευση ορισμένων χρήσεων.
- Μείωση των απωλειών από συστήματα μεταφοράς και διάθεσης του νερού οι οποίες μπορεί να είναι σημαντικές
- Ανακύκλωση του νερού βιομηχανικών διαδικασιών μετά από κατάλληλη επεξεργασία πριν από τις διαδοχικές χρήσεις.
- Επαναχρησιμοποίηση υποβαθμισμένων σε ποιότητα νερών, μετά από κάποια επεξεργασία, για άλλες χρήσεις όπως ψύξη, άρδευση και έγχυση στο υπέδαφος για τη διατήρηση ενός φραγμού παρεμπόδισης της θαλάσσιας διείσδυσης.
- Μείωση των απαιτήσεων σε νερό άρδευσης μέσω της επιλογής μη υδροβόρων καλλιεργειών και εφαρμογή τεχνικών άρδευσης, με μικρή κατανάλωση σε νερό, όπως η στάγδην άρδευση και η επένδυση των καναλιών. [12]

3.7 Ανακατανομή αντλήσεων

Η επανατοποθέτηση των γεωτρήσεων άντλησης στην ενδοχώρα μπορεί να βοηθήσει στην αποκατάσταση της εκροής του γλυκού υπόγειου νερού. Σύμφωνα με τους Headworth και Fox (1986), μερικά σχέδια μείωσης των επιπτώσεων της θαλάσσιας διείσδυσης χρησιμοποιούν δύο ομάδες γεωτρήσεων, η μία στην ενδοχώρα και η άλλη πλησίον της ακτής. Οι παράκτιες γεωτρήσεις αντλούνται σε περιόδους με υψηλές στάθμες υπόγειου νερού ενώ οι γεωτρήσεις της ενδοχώρας χρησιμοποιούνται σε περιόδους με χαμηλές στάθμες υπόγειου νερού. [12]

3.8 Τροποποιημένα σχέδια αντλήσεων

Είναι φανερό ότι ιδιαίτερα στους υπό πίεση υδροφόρους, η θέση μιας γεώτρησης πιο κοντά στην ενδοχώρα είναι πιο επιθυμητή από μια θέση κοντά στην ακτή και αυτό επειδή το πάχος του γλυκού φακού είναι σημαντικά μεγαλύτερο και ο κίνδυνος της ανοδικής κίνησης αλμυρού νερού είναι μικρότερος. Η τοποθέτηση των υδρομαστευτικών έργων στην ενδοχώρα επιτρέπει περαιτέρω προώθηση της αλμυρής σφήνας μέχρι την τελική σταθερή θέση της. έτσι που να επιτρέπει μικρότερο μεν ρυθμό συνεχόμενων αντλήσεων, αλλά και ελαχιστοποίηση του κινδύνου περαιτέρω διείσδυσης της αλμυρής σφήνας. Σε φρεάτιους υδροφόρους νησιών, τα υδρομαστευτικά έργα πρέπει να τοποθετούνται σε τόσο μικρή απόσταση από την ακτογραμμή, ώστε να γίνεται απόληψη της μέγιστης δυνατής ποσότητας από τον εμπλουτισμό του υδροφόρου πριν την εκροή της ποσότητας αυτής στην ακτογραμμή.

Επίσης δεν θα πρέπει η απόσταση αυτή να είναι τόσο μικρή ώστε το πάχος του υδροφόρου να είναι πολύ μικρό δημιουργώντας έτσι κινδύνους για ανοδική κίνηση του αλμυρού νερού. Η τοποθέτηση των υδρομαστευτικών έργων πιο μακριά από την ακτή, προς την ενδοχώρα, θα οδηγούσε μικρότερο διαθέσιμο όγκο γλυκού νερού, που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί σαν απόθεμα για περιόδους ξηρασίας. Για ελεύθερους ή υπό πίεση υδροφόρους με καθεστώς μέτριων αντλήσεων, μπορεί να σχεδιαστεί συντονισμένη παύση των αντλήσεων σε ορισμένες γεωτρήσεις.

Συγκεκριμένα θα μπορούσε να εφαρμοστεί λογική έκδοση αδειών ανόρυξης νέων γεωτρήσεων ή νέα σχήματα επιφανειακής κατανομής των αντλήσεων. Το κόστος μιας τέτοιας ενέργειας θα μπορούσε να είναι μεγάλο επειδή εγκαταλείπονται παλιές γεωτρήσεις, που όμως ακόμη λειτουργούν. Σύμφωνα με τον Stone το κόστος εξαρτάται από την ιδιαίτερη περίπτωση και στην Oxnard Plain για ένα δεδομένο σχέδιο το κόστος κεφαλαίου ανέρχεται στα 10 εκατομμύρια \$, με ετήσιο λειτουργικό κόστος το 1980 τις 180.000 \$. Ένα τροποποιημένο σχέδιο άντλησης θα επέτρεπε την επαναφορά της στάθμης του υπόγειο νερού σε φυσικά επίπεδα σε επικίνδυνες περιοχές, κάτι που θα επιβράδυνε την προώθηση του αλμυρού μετώπου. Η προώθηση θα συνεχιζόταν μέχρι την επίτευξη νέας ισορροπίας.

Η αποτελεσματικότητα του τροποποιημένου σχεδίου άντλησης ποικίλλει, ανάλογα με το ρυθμό εμπλουτισμού, τον ρυθμό των αντλήσεων, την καθαρή υπεράντληση, τη στάθμη του υπόγειο νερού, τη γεωμετρία του υδροφόρου και του υφιστάμενο βαθμό της θαλάσσιας διείσδυσης. Το μέτρο αυτό οδηγεί και στη μείωση των απωλειών του γλυκού νερού μέσω μη ελεγχόμενων εκροών. [12]

3.9 Τεχνικές αφαλάτωσης

Οι διάφορες τεχνικές που εφαρμόζονται σήμερα, ουσιαστικά βοηθούν στη διατήρηση των υπάρχοντων διαθέσιμων υδατικών πόρων, ενώ οι τεχνικές αφαλάτωσης μπορούν να παράγουν ανανεωμένο νερό από μη χρησιμοποιημένο νερό. Σύμφωνα με τη Διεθνή Ένωση Αφαλάτωσης, σήμερα λειτουργούν περίπου 13.600 μονάδες αφαλάτωσης σε παγκόσμια κλίμακα, οι οποίες παράγουν περίπου $25,744 \times 10^6$ m³ γλυκού νερού σε ημερήσια βάση. Οι ΗΠΑ θεωρούνται η δεύτερη χώρα στον κόσμο, με το μεγαλύτερο αριθμό μονάδων αφαλάτωσης, επεξεργάζοντας επιφανειακά και υπόγεια υφάλμυρα νερά. Στην πολιτεία του Τέξας λειτουργούν σήμερα πάνω από 100 μονάδες αφαλάτωσης, οι οποίες παράγουν μέχρι και 151,436m³ νερού ημερησίως, χρησιμοποιώντας επιφανειακό και υπόγειο υφάλμυρο νερό. Χαρακτηριστικότερες των παραπάνω μονάδων είναι οι Sherman (Λίμνη Texoma), Robinson (Ποταμός Brazos) και Granbury (Λίμνη Granbury) οι οποίες χρησιμοποιούν επιφανειακά υφάλμυρα νερά., ενώ οι Ft. Stockton και Kenedy χρησιμοποιούν υπόγεια υφάλμυρα νερά. Τα συστήματα αφαλάτωσης χωρίζονται σε αυτά που βασίζονται στη χρήση μεμβρανών, όπως η αντίστροφη όσμωση (reverse osmosis,RO), και η αντιστροφή της ηλεκτροδιάλυσης (Electrodialysis Reversal, EDR) και στα θερμικά όπως η ακτινοβολία πολλαπλής βαλβίδας (multi – stage flash,MSF) και η απόσταξη πολλαπλής επίδρασης (multiple – effect distillation MED).Η μέθοδος που χρησιμοποιείται ευρέως στην πλειοψηφία των μονάδων αφαλάτωσης σήμερα, είναι αυτή της αντίστροφης όσμωσης.

Σήμερα στη Φλόριντα (Tampa Bay) στις ΗΠΑ, κατασκευάζεται σύγχρονη μονάδα αφαλάτωσης αλμυρού νερού, το κόστος της οποίας ανέρχεται στα 100×10^6 \$ και χωρητικότητας 95.000m³ νερού. Σύμφωνα με το Texas Water Development Board, το κόστος του αφαλατωμένου νερού από την εν λόγω μονάδα υπολογίζεται περίπου στα 0.52\$ /m³ νερού, τιμή που ανέρχεται περίπου στο μισό σε σχέση με την παραγωγή αφαλατωμένου νερού στο πρόσφατο παρελθόν. Η μονάδα αφαλάτωσης του El Paso, στο δυτικό Texas, με χωρητικότητα 110,000m³ σε ημερήσια βάση, πρόκειται να χρησιμοποιεί το υπόγειο υφάλμυρο νερό του υδροφόρου Hueco Bolson με σκοπό την παροχή νερού ύδρευσης, που να εξυπηρετεί το ένα τέταρτο των αναγκών του El Paso (Texas Water Development Board, 2002).

Πρόσφατη μελέτη του M.I.T για τη λωρίδα της Gaza, έδειξε ότι η λύση της αφαλάτωσης ή η ανεύρεση νέων πηγών γλυκού νερού σε συνδυασμό με υποδομές μεταφοράς και επεξεργασίας νερού θα εμποδίσει την περαιτέρω υποβάθμιση του

υδροφόρου της περιοχής αυτής από τη θαλάσσια διείσδυση. Η μελέτη περιέλαβε τη σύνταξη μοντέλων βελτιστοποίησης για την πρόβλεψη της διαθεσιμότητας σε νερό στη λωρίδα της Gaza μέσω της ενσωμάτωσης αριθμητικών μοντέλων ροής του υπόγειου νερού και μεταφοράς αλμυρού νερού στην περιοχή, σε ένα ποσοτικό οικονομικό μοντέλο της οικιακής και αγροτικής χρήσης νερού (Huber Lee and Harvey,2001). Το κόστος της εγκατάστασης αφαλάτωσης (με απόδοση 50 εκατομμυρίων m³ ετησίως) θα είναι τουλάχιστον 100 εκατομμύρια \$ για την κατασκευή /έτος και με λειτουργικό κόστος της τάξης των 0,70\$/m³ νερού. Η μέθοδος της αφαλάτωσης θα μπορούσε να αποτελέσει ελκυστική λύση αν συνδυάζονταν με τη δημιουργία ενός φραγμού άντλησης (κοιλώματος). [12]

3.10 Άμεση διάθεση επιφανειακού νερού σε αντικατάσταση χρήσης του υπόγειου νερού

Η κάλυψη των διαφόρων αναγκών μιας περιοχής από επιφανειακές πηγές νερού σε αντικατάσταση των αντλούμενων ποσοτήτων υπόγειου νερού, θα επέτρεπε την αποκατάσταση των φυσικών συνθηκών λειτουργίας του υδροφόρου, ενώ η άνοδος της στάθμης του υπόγειου νερού θα επιβράδυνε την οποιαδήποτε υφιστάμενη προώθηση της θαλάσσιας διείσδυσης και ορισμένες περιπτώσεις θα προκαλούσε ακόμη και την υποχώρηση του αλμυρού μετώπου. [12]

3.11 Τεχνητός εμπλουτισμός

Σε περιπτώσεις παράκτιων περιοχών, όπου επαρκείς ποσότητες γλυκού νερού είναι διαθέσιμες για εμπλουτισμό σε εποχές υψηλών βροχοπτώσεων, το πλεονάζον νερό θα μπορούσε με διαδικασίες τεχνητού εμπλουτισμού να εμπλουτίζει τους υδροφόρους, να ανυψώνει τα επίπεδα της στάθμης των και να εμποδίζει τη θαλάσσια διείσδυση. [12]

Οι προϋποθέσεις του τεχνητού εμπλουτισμού είναι :

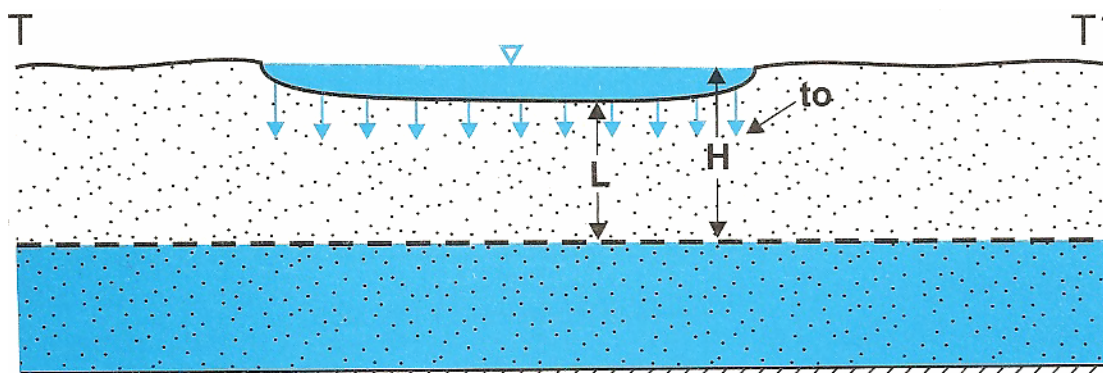
- να υπάρχει επιφανειακό νερό σε επαρκή ποσότητα
- η ποιότητα του επιφανειακού νερού να είναι κατάλληλη και χημικά συμβατή με αυτήν του υπόγειου νερού.
- να υπάρχουν κατάλληλες γεωλογικές συνθήκες (επιφάνειες με μεγάλη περατότητα, υδροφόρα στρώματα σε με αλληλουχία και υδραυλική διασύνδεση)
- το κατασκευαστικό και το λειτουργικό κόστος να μην είναι ασύμφορα. [13]

Τα μειονεκτήματα του τεχνητού εμπλουτισμού είναι : α) ότι απαιτείται συνεχής και συστηματική παρακολούθηση των συστημάτων του και β) υπάρχει κίνδυνος μόλυνσης-ρύπανσης του υπόγειου νερού, αν έστω και επεισοδιακά χρησιμοποιηθεί μολυσμένο-ρυπασμένο νερό και γ) η ελάττωση του ενεργού πορώδους εξαιτίας της έμφραξης των πόρων του υδροφορέα. [7,13]

Παρακάτω παρουσιάζονται οι μέθοδοι τεχνητού εμπλουτισμού :

3.11.1 Μέθοδος πλημμυρισμού (κατάκλυσης) επιφανειών

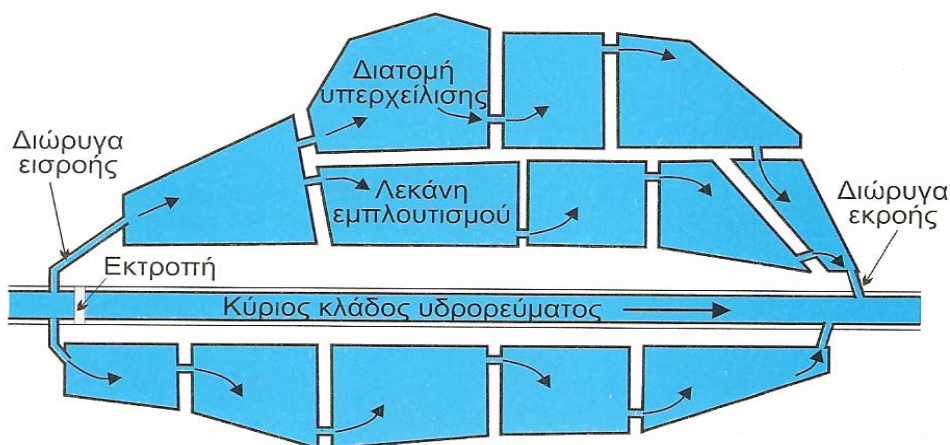
Επιλέγονται κατά το δυνατό επίπεδες επιφάνειες δίπλα ή κοντά σε ποταμό ή χείμαρρο που τα εδαφικά και γεωλογικά στρώματά τους να είναι όσο το δυνατόν περισσότερο περατά (σχήμα 3.5). Το νερό της κατάκλυσης θα προέρχεται από τον πλησιέστερο ποταμό ή χείμαρρο από τον οποίο θα διοχετεύεται με ειδικές κατασκευές με διώρυγες ή θα αντλείται από αυτόν. Η ποσότητα του νερού που θα κατεισδύσει στον υποκείμενο υδροφόρο, δηλαδή η παροχή εμπλουτισμού εξαρτάται από την επιφάνεια κατάκλυσης, το συντελεστή κατακόρυφης περατότητας των στρωμάτων που υπέρκειται του υδροφόρου και από τη χρονική διάρκεια κατά την οποία θα πραγματοποιείται ο τεχνητός εμπλουτισμός.



Σχήμα 3.5 : Τεχνητός εμπλουτισμός με τη μέθοδο του πλημμυρισμού επιφανειών [13]

3.11.2 Μέθοδος λεκανών κατάκλυσης

Δίπλα σε κάποιο ποτάμι δημιουργούνται λεκάνες με αναχώματα (σχήμα 3.6), ώστε να κατακλύζονται με νερό που θα έχει ορισμένο πάχος, άρα αυξημένο υδραυλικό φορτίο, το οποίο αυξάνει την ταχύτητα διήθησης. Ασφαλώς δεν πρόκειται για μεγάλο φορτίο, το πολύ μερικά μέτρα. Μπορούμε να έχουμε πολλές διαδοχικές λεκάνες που θα διαχωρίζονται με αναχώματα και θα επικοινωνούν με διώρυγες.



Σχήμα 3.6 : Τεχνητός εμπλουτισμός με κατάκλυση λεκανών [13]

3.11.3 Πλημμυρισμός ξηρών κοιτών χειμάρρων ή ποταμών

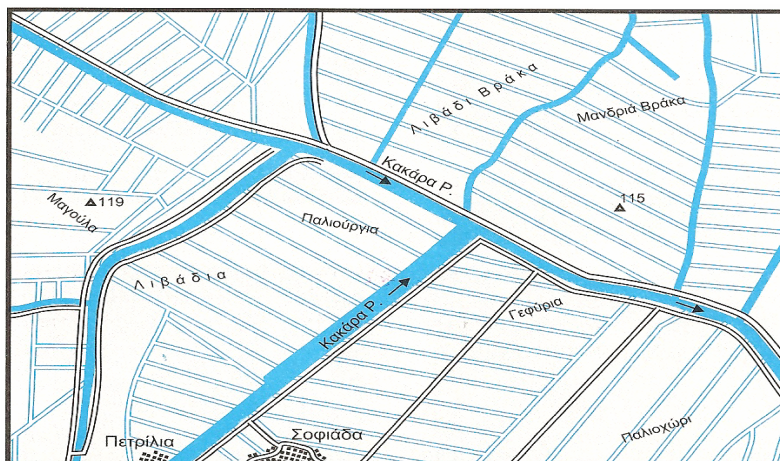
Στην Ελλάδα αλλά και σχεδόν σε όλες τις παραμεσόγειες περιοχές, έχουμε πολλούς χειμάρρους των οποίων η κοίτη έχει νερό μόνο λίγους μήνες το χρόνο. Επίσης υπάρχουν ποτάμια μη συνεχούς ροής. Οι κοίτες των χειμάρρων αυτών αποτελούνται κατά κανόνα από χοντρόκοκκο υλικό και συνεπώς είναι πολύ περατές.



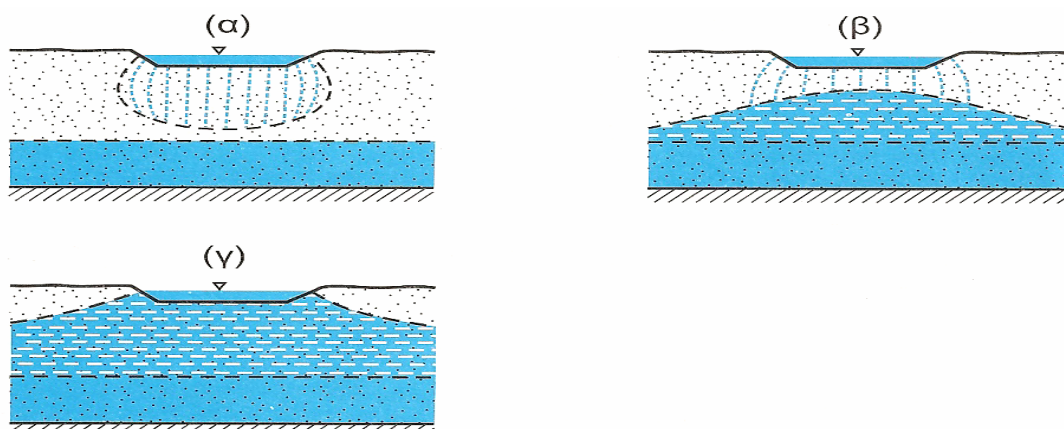
Σχήμα 3.7 : Ενδεικτική κοίτη χειμάρρου από την οποία μπορεί να γίνει τεχνητός εμπλουτισμός [13]

3.11.4 Τεχνητός εμπλουτισμός από τάφρους

Σε πολλές περιοχές και κυρίως πεδινές, υπάρχει πυκνό δίκτυο τάφρων που κατά την υγρή περίοδο λειτουργούν ως στραγγιστικές. Είναι δυνατό το δίκτυο αυτό κατά την ξηρή περίοδο να κατακλυστεί τεχνητά και από τον πυθμένα του να γίνεται τεχνητός εμπλουτισμός. Ο εμπλουτισμός αυτός πρακτικά μπορεί να γίνει σε πεδινές, σχεδόν οριζόντιες περιοχές και έχει ενδεχόμενους κινδύνους πλημμυρών.



Σχήμα 3.8 : Δίκτυο τάφρων (αποστραγγιστικών) στην περιοχή της Σοφιάδας που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τεχνητό εμπλουτισμό



Σχήμα 3.9 : Η εξέλιξη του εμπλουτισμού από μία τάφρο [13]

3.12 Παραδείγματα τεχνητού εμπλουτισμού

Συστηματικά πειράματα τεχνητού εμπλουτισμού, έγιναν για πρώτη φορά στην Αργολίδα αλλά και στην υπόλοιπη Ελλάδα, την περίοδο 1964 έως 1968. Πιο συγκεκριμένα τα πειράματα αυτά έγιναν στις περιοχές Πολύγωνου, Αγ. Ανδριανού, Ασίνης και Δρέπανου, όπου είχε παρατηρηθεί η εντονότερη υφαλμύρωση με καταστρεπτικές συνέπειες στις φυτείες εσπεριδοειδών. Για την εφαρμογή του τεχνητού εμπλουτισμού κατασκευάστηκε σωληνωτός αγωγός μεταφοράς νερού από τις πηγές Κεφαλαρίου στις παραπάνω περιοχές.

Ο τεχνητός εμπλουτισμός της περιόδου 1964 άρχισε το Μάιο και ήταν μικρής διάρκειας λόγω έλλειψης νερού, εξαιτίας της χρησιμοποίησης των εαρινών παροχών του Κεφαλαρίου για αρδεύσεις. Επαναλήφθηκε το Φεβρουάριο του 1965 σε ευρύτερη κλίμακα και ήταν διάρκειας τριών μηνών περίπου. Το δίκτυο εμπλουτισμού περιλάμβανε 22 φρέατα στην περιοχή Πολυγώνου φρέατα τα Λευκάκια και 25 φρέατα στην Ασίνη και Δρέπανο.

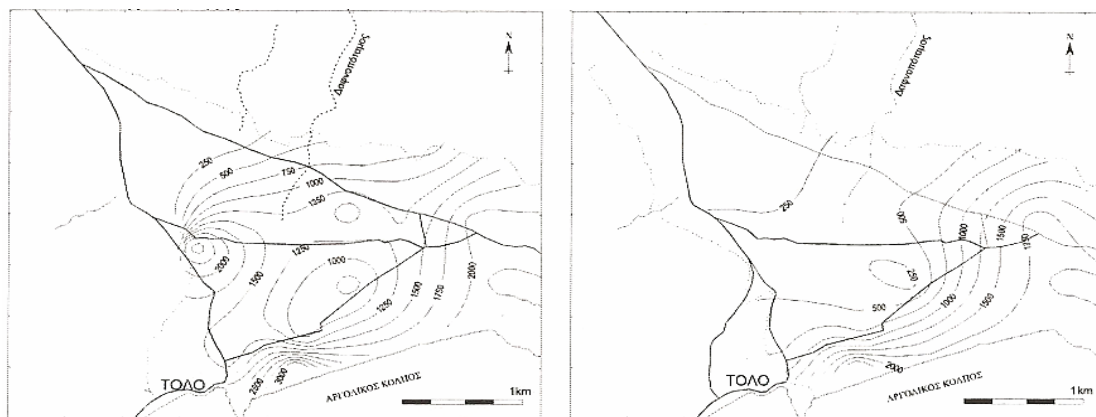
Το 1966 ο εμπλουτισμός άρχισε πάλι το Φεβρουάριο και ήταν διάρκειας 60 ημερών. Το νερό και στην περίπτωση αυτή δεν επαρκούσε για να καλύψει την απορροφητική ικανότητα των φρεάτων.

Οι συνολικές ποσότητες νερού που εφαρμόστηκαν για τεχνητό εμπλουτισμό τα έτη 1965, 1966, και 1967 ήταν αντίστοιχα 1.160.000, 745.000 και 1.400.000 m³. Τα αποτελέσματα των πειραμάτων αυτών ήταν αρκετά ενθαρρυντικά όπως φαίνεται και από το σχήμα 3.10. Η αποκατάσταση της ποιότητας των υπόγειων νερών συνέβαλε επίσης ουσιαστικά και στην ανάκαμψη των εσπεριδοειδών της περιοχής.

Κατά το τέλος του 1980, το μέτωπο της υφαλμύρωσης προωθήθηκε και στο βορειοανατολικό τμήμα της πεδιάδας. Παράλληλα η στάθμη των υπόγειων νερών, στο κεντρικό και βόρειο τμήμα της πεδιάδας, έφτασε να είναι ακόμη και πενήντα μέτρα κάτω από τη στάθμη της θάλασσας, ενώ η ολική πτώση της στάθμης μεταξύ των ετών 1964 και 1990 έφτασε να είναι ακόμα και 70 έως 80 μέτρα. Η πτώση αυτή είχε σαν αποτέλεσμα τη στέρηση ενός μεγάλου αριθμού γεωτρήσεων και ως εκ τούτου αδυναμία άρδευσης. Λαμβάνοντας υπόψη την εξαιρετικά δυσμενή κατάσταση που είχε διαμορφωθεί, υιοθετήθηκε και πάλι ο τεχνητός εμπλουτισμός σαν επανορθωτικό μέτρο. Η τροφοδοσία των γεωτρήσεων και των φρεάτων γινόταν αποκλειστικά μέσω της διώρυγας της Νέας Κίου με νερό άριστης ποιότητας από την πηγή Κεφαλαρίου. Στη συνέχεια με τη κατασκευή της νέα διώρυγας Κιβερίου κατέστη δυνατή η εφαρμογή του τεχνητού εμπλουτισμού σε ιδιωτικές γεωτρήσεις εκατέρωθεν της διώρυγας αυτής με ποσότητες μεγαλύτερες από αυτές που εφαρμόζονταν το προηγούμενα έτη. Έτσι από το 1994, ο εμπλουτισμός άρχισε να γίνεται από τη νέα διώρυγα με φυσική ροή και αναρρόφηση νερού από τη διώρυγα. Το γεγονός αυτό είχε ως αποτέλεσμα τη μετατόπιση ζώνης εμπλουτισμού βορειότερα και τη δυνατότητα εφαρμογής μεγαλύτερης ποσότητας νερού με αμελητέα κατανάλωση ενέργειας και συνεπώς με ελαχιστοποίηση του κόστους.

Ο τεχνητός εμπλουτισμός στο Αργολικό πεδίο αναμφισβήτητα επέφερε ευεργετικά αποτελέσματα στα ποιοτικά και ποσοτικά χαρακτηριστικά των υπόγειων νερών. Πριν από την εφαρμογή του εμπλουτισμού, μεγάλο τμήμα των υδροφόρων σχηματισμών στις Β και ΒΔ περιοχές της πεδιάδας συνήθιζε να εξαντλείται, ιδιαίτερα κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, ενώ το κεντρικό και νότιο είχε ήδη υφαλμυρωθεί. Η ανύψωση της στάθμης των υπόγειων νερών στο κεντρικό και βόρειο τμήμα της πεδιάδας κατέστησε και πάλι το τμήμα αυτό του υδροφόρου σχηματισμού άμεσα εκμεταλλεύσιμο ενώ από την αρχή της εφαρμογής του εμπλουτισμού δεν παρατηρήθηκε στέρηση γεωτρήσεων. Η ποιότητα των υπόγειων νερών βελτιώθηκε

σε πολλά τμήματα και γενικότερα η ποιοτική τους υποβάθμιση από την υφαλμύρωση αναστράφηκε. Σύμφωνα με στοιχεία της Νομαρχιακής Αυτοδιοίκησης Αργολίδας αξιοσημείωτος ήταν επίσης και ο άμεσος ρυθμός μείωσης ανόρυξης νέων γεωτρήσεων, αφού οι υφιστάμενες γεωτρήσεις διέθεταν επαρκείς ποσότητες νερού.



α) φθινόπωρο του 1963

β) φθινόπωρο του 1965

Σχήμα 3.10 : Ισοχλωρικές καμπύλες της περιοχής Ασίνης- Δρεπάνου –Τολού πριν και μετά από τα πειράματα εμπλουτισμού της περιόδου 1965. [9]

Ένα χαρακτηριστικό ακόμα παράδειγμα τεχνητού εμπλουτισμού πραγματοποιήθηκε στην πεδιάδα Oxnard της κεντρικής Καλιφόρνιας. Πρόκειται για μία πεδινή παραθαλάσσια έκταση 142 Km² με πλούσια αγροτική δραστηριότητα από το τέλος του περασμένου αιώνα. Οι αρδευτικές ανάγκες καλύπτονται από την πλούσια υπόγεια υδροφορία.

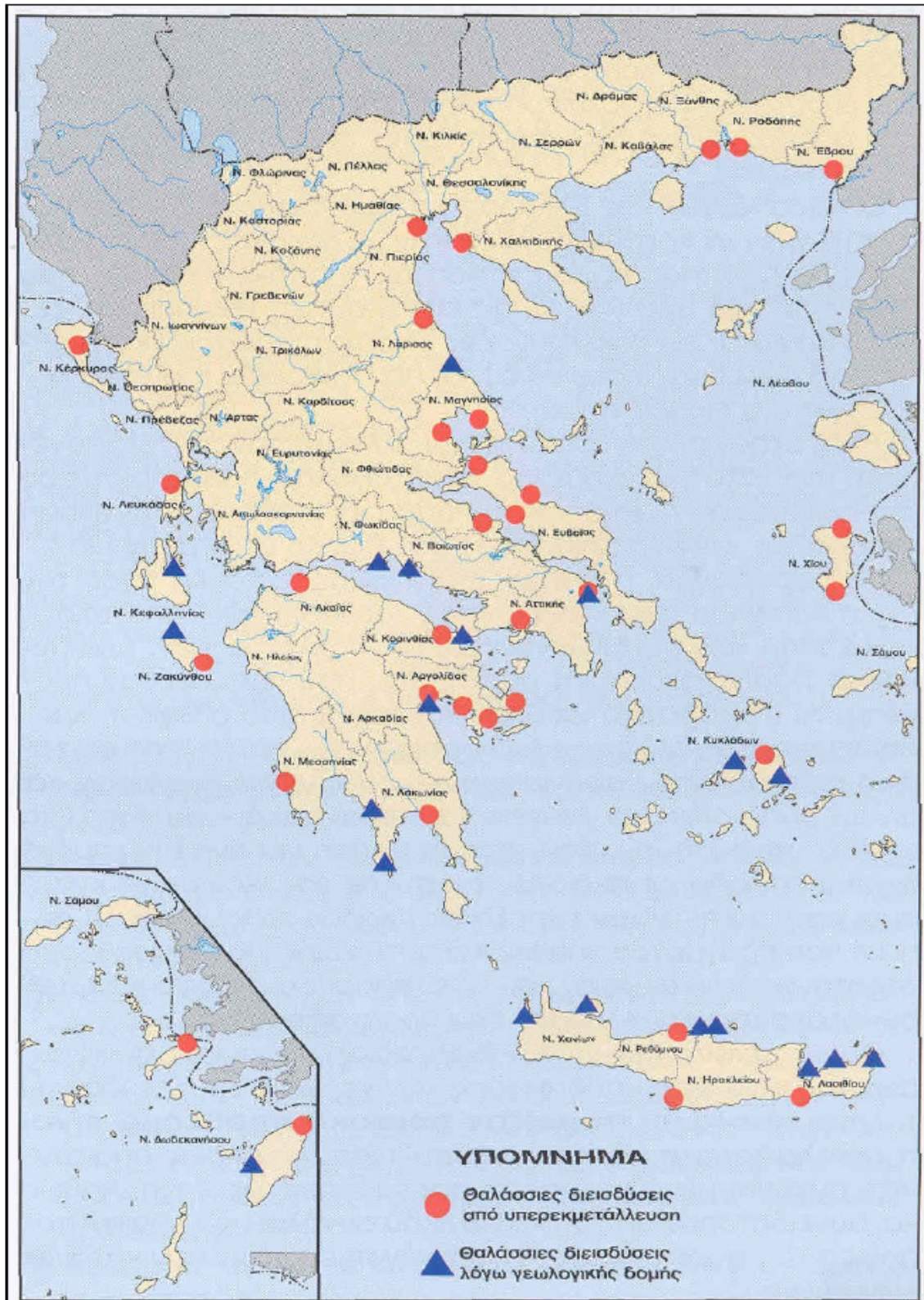
Από το 1940 η στάθμη των υπόγειων νερών προοδευτικά μειωνόταν και από το 1950 ξεκίνησε η ενεργοποίηση του φαινομένου της θαλάσσιας διείσδυσης που έγινε αισθητή τα πηγάδια και τις γεωτρήσεις της παραλιακής ζώνης. Τα 35 χρόνια που ακολούθησαν η προώθηση του μετώπου υφαλμύρωσης προς το εσωτερικό υπήρξε συνεχής και εκατοντάδες υδροληπτικά έργα αχρηστεύτηκαν.

Για να αντιμετωπιστεί η κατάσταση αυτή, άρχισαν από το 1955 να λαμβάνονται διάφορα μέτρα. Μεταξύ αυτών περιλαμβάνεται η κατασκευή φράγματος και δημιουργία ταμιευτήρα χωρητικότητας 107 x 10⁶ m³ με ελεγχόμενη διάθεση του νερού για τεχνητό εμπλουτισμό των υπόγειων υδροφόρων, μέσω της κοίτης του ποταμού Santa Clara κατάντη του φράγματος και μέσω λεκανών κατάκλυσης – διήθησης στην πεδιάδα Oxnard.

Τα ανωτέρω και άλλα επιπρόσθετα μέτρα που ελήφθησαν τη δεκαετία του 80 όπως ελάττωση των αντλήσεων, απαγόρευση διάνοιξης νέων γεωτρήσεων, δημιουργία φορέα διαχείρισης υπόγειου νερού κ.α, οδήγησαν σε σημαντική ανύψωση της στάθμης. Μέχρι το 1996 αποκαταστάθηκε σε μεγάλη έκταση το καθεστώς ροής.

Στην παραλιακή ζώνη η ροή του υπόγειου νερού είχε αποκατασταθεί από τις αρχές του 1993. Παρά το γεγονός όμως ότι η ανύψωση της στάθμης από το 1991 έως το 1993 ήταν συνεχής και έφτασε περίπου τα 17 μέτρα, η περιεκτικότητα του υπόγειου νερού σε χλωριόντα συνέχισε να αυξάνεται μέχρι το τέλος του 1993, για να ελαττωθεί έκτοτε σημαντικά και από 6000 mg/l να φτάσει σε 500 mg/l το τέλος του 1997. Πέρασαν δηλαδή περισσότερο από 40 χρόνια από την έναρξη εφαρμογής μέτρων προστασίας για να γίνει αισθητή η βελτίωση της ποιότητας του υπόγειου νερού. [11]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : ΥΦΑΛΜΥΡΩΣΗ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ



Σχήμα 4.1 : Περιοχές υφάλμυρων υπόγειων νερών λόγω θαλάσσιας διείσδυσης [40]

4.1 Γενικά

Στην Ελλάδα η κύρια πηγή κάλυψης των αναγκών σε γλυκό νερό είναι τα υπόγεια νερά. Η χρήση του νερού γίνεται κυρίως για πόση και άρδευση καθώς επίσης και για την κάλυψη των τουριστικών και βιομηχανικών αναγκών. Στις περισσότερες παράκτιες περιοχές η οικονομία βασίζεται κυρίως στον τουρισμό και τη γεωργία. Ιδιαίτερα τους καλοκαιρινούς μήνες, οι απαιτήσεις σε νερό είναι ιδιαίτερα υψηλές με αποτέλεσμα την υπεράντληση των υπόγειων υδροφόρων. Το γεγονός αυτό έχει ως συνέπεια την υφαλμύριση των υδροφόρων στρωμάτων και την υποβάθμιση της ποιότητας του γλυκού νερού, με αποτέλεσμα να είναι ακατάλληλο για κάθε χρήση. Είναι λοιπόν φανερό, ότι η μελέτη του φαινομένου της υφαλμύρισης των παράκτιων υδροφόρων είναι πολύ σημαντική για την Ελλάδα λόγω της μεγάλης ακτογραμμής και των κοινωνικοοικονομικών επιπτώσεων στις παράκτιες περιοχές. Παρακάτω παρουσιάζονται περιοχές με διαπιστωμένα προβλήματα θαλάσσιας διείσδυσης. [31]

4.2 Υφαλμύρωση σε Μακεδονία και Θράκη

Ο έντονος τεκτονικός διαμελισμός της Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης, έχει ευνοήσει τη δημιουργία εκτεταμένων παράκτιων πεδίων, όπως το πεδίο το κόλπου Ορφανού Καβάλας, το Δέλτα Νέστου, το νότιο πεδίο Ροδόπης και το Δέλτα Έβρου, πολλά από τα οποία φιλοξενούν εύφορα εδάφη με δυναμικά υπόγεια υδροφόρα στρώματα. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με τις ήπιες κλιματολογικές συνθήκες της περιοχής ευνόησε τη δημιουργία σημαντικών εστιών οικονομικής ανάπτυξης. Η παρουσία όμως της θάλασσας με τη συνεχή διακύμανση του επιπέδου της και η ευνοϊκή γεωλογική δομή των πεδίων αυτών που επιτρέπει την άμεση υδραυλική επικοινωνία των παράκτιων υδροφόρων με τη θάλασσα, σε συνδυασμό με την υπερεκμετάλλευση των υπόγειων νερών συνέβαλαν στην ενεργοποίηση του φαινομένου της θαλάσσιας διείσδυσης.

Η εικόνα που εμφανίζουν τα πεδία αυτά είναι ιδιαίτερα ανησυχητική επειδή η θάλασσα έχει διεισδύσει αρκετά χιλιόμετρα προς την ενδοχώρα σε πολλές θέσεις με αποτέλεσμα να καθίσταται προβληματική και ελλειμματική η ύδρευση αυτών των περιοχών. Από αρδευτικής άποψης τα προβλήματα που προκαλούνται είναι πολλαπλά. Παρουσιάζεται έλλειψη ικανής ποσότητας νερού, λόγω κυρίως της έλλειψης στοιχειωδών έργων υποδομής αρδευτικής ανάπτυξης, όπως έργων εκμετάλλευσης των επιφανειακών υδάτινων πόρων. Αυτό οδηγεί είτε στη ποσοτικά ελλειμματική άρδευση είτε στην κάλυψη των αρδευτικών αναγκών με υφάλμυρο νερό με αποτέλεσμα την αύξηση της αλατότητας των εδαφών. [1]

Σημαντικές εκτάσεις που συνεχώς αυξάνονται σε μέγεθος έχουν καταστεί ακατάλληλες για καλλιέργεια. Αναλυτικά η κατάσταση για τα σημαντικότερα πεδία από ανατολικά προς τα δυτικά έχει ως εξής :



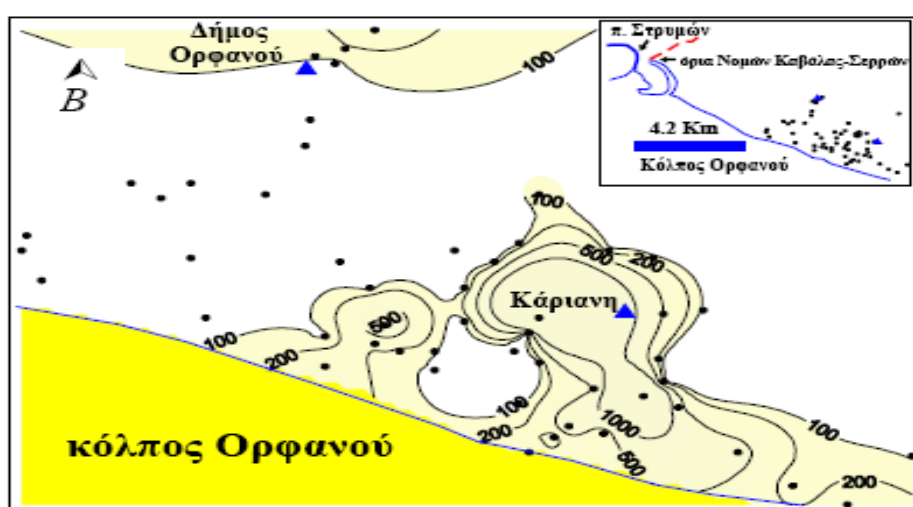
Σχήμα 4.2 : Περιοχές της Ανατ. Μακεδονίας και Θράκης όπου παρατηρήθηκε το φαινόμενο της θαλάσσιας διείσδυσης. [16]

4.2.1 Πεδίου κόλπου Ορφανού Καβάλας

Πρόκειται για ένα πεδινό πεδίο, το οποίο τα τελευταία χρόνια αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους οικονομικούς πνεύμονες του νομού, λόγω της μεγάλης και συστηματικής καλλιέργειας επιτραπέζιων εξαγωγίμων σταφυλιών.

Η εντατική καλλιέργεια της αμπέλου απαιτεί μεγάλες ποσότητες νερού ενώ η οικονομική απόδοσή τους έχει οδηγήσει στην αύξηση των εκτάσεων που καταλαμβάνουν και κατά συνέπεια και στην υπερβολική αύξηση των αντλούμενων ποσοτήτων νερού. Η ανόρυξη μεγάλου αριθμού γεωτρήσεων χωρίς προηγούμενη υδρογεωλογική μελέτη, έχει διαταράξει το υδραυλικό ισοζύγιο με αποτέλεσμα η στάθμη των υπόγειων νερών μιας μεγάλης παράκτιας έκτασης να βρίσκεται συνεχώς κάτω από τη στάθμη του επιπέδου της θάλασσας. Αποτέλεσμα αυτού του γεγονότος είναι η συνεχής υφαλμύριση των υπόγειων υδροφορέων. Η κατάσταση αυτή έγινε αντιληπτή με μετρήσεις της ηλεκτραγωγιμότητας στο σύνολο σχεδόν των υδρογεωτρήσεων και για διαδοχικές χρονικές περιόδους.

Συμπερασματικά προκύπτει ότι η θαλάσσια διείσδυση στην περιοχή του κόλπου Ορφανού οφείλεται σχεδόν αποκλειστικά στην υπερεκμετάλλευση των υπόγειων νερών σε συνδυασμό με την έλλειψη επαρκούς τροφοδοσίας από τις μικρές λεκάνες απορροής των χειμάρρων που καταλήγουν στην παράκτια περιοχή. (1)



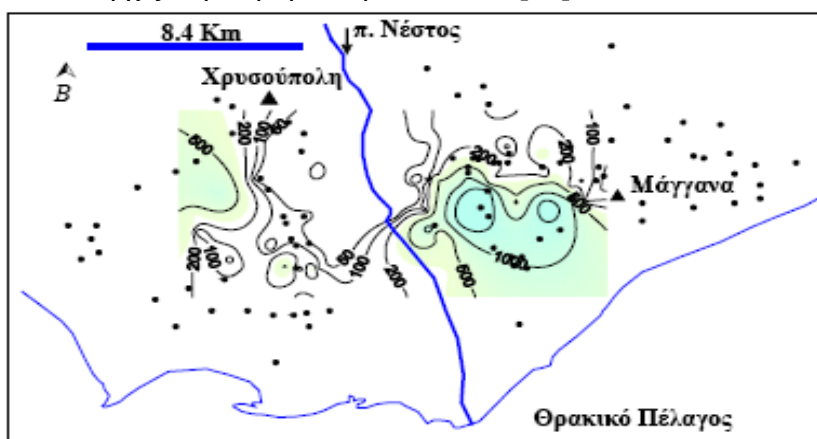
Σχήμα 4.3 : Κατανομή του Cl (mg/l) στα υπόγεια νερά της περιοχής του Δήμου Ορφανού-Ν.Καβάλας [16]

4.2.2 Δέλτα του ποταμού Νέστου

Η υποβάθμιση του Δέλτα του ποταμού Νέστου, όπως και αυτή του Δέλτα του ποταμού Έβρου, αποτελούν τα πιο χαρακτηριστικά παραδείγματα αλλοίωσης του υδρολογικού καθεστώτος της αλληλεπίδρασης υπόγειων και επιφανειακών νερών, με άμεση συνέπεια την ενεργοποίηση του φαινομένου της θαλάσσιας διείσδυσης. Ο περιορισμός των υδροβιότοπων, με στόχο να αυξηθούν οι καλλιεργούμενες εκτάσεις, και ο εγκιβωτισμός και η ευθυγράμμιση του ποταμού Νέστου, επέφεραν δραστικές αλλαγές στο υδρολογικό καθεστώς του ανατολικού τμήματος, ενώ πολύ λίγο επέδρασαν στο δυτικό τμήμα. Οι κοίτες στο ανατολικό τμήμα αποκόπηκαν τελείως από τον ποταμό. Η θαλάσσια διείσδυση είναι ιδιαίτερα έντονη τα τελευταία χρόνια, όπως και οι δραματικές συνέπειές της στους γλυκούς υδροβιότοπους.

Όπως φαίνεται και στο χάρτη κατανομής των χλωριόντων υπάρχει μια σημαντικού μήκους και έκτασης αλμυρή σφήνα στα υπόγεια νερά του ανατολικού Δέλτα και μόνο μια περιορισμένης έκτασης αλμυρή σφήνα στο δυτικό τμήμα του Δέλτα.

Και στις δύο περιπτώσεις η ποιότητα των υπόγειων νερών έχει επηρεαστεί από τη γεωθερμία και την παρουσία εγκλωβισμένων αλμυρών παλαιότερων περιόδων. Η τεχνητή ανάμιξη νερών διαφορετικών υδροφόρων μέσω των γεωτρήσεων είναι και εδώ υπαρκτή. Η βασική γραμμή του Cl⁻ στα γλυκά υπόγεια νερά είναι 50 mg/l. Πάνω από το όριο αυτό αρχίζει η επιβάρυνση σε άλατα. [16]



Σχήμα 4.4 : Κατανομή του Cl⁻ (mg/l) στα υπόγεια νερά του Δέλτα του ποταμού Νέστου

4.2.3 Δέλτα του ποταμού Έβρου

Θα πρέπει κατ'αρχήν να γίνει μια διάκριση στο τμήμα του Δέλτα που εντοπίζεται ανατολικά του χειμάρρου Λουτρού με ελάχιστες γεωτρήσεις και σε εκείνο δυτικά του χειμάρρου όπου παρατηρείται ένας αξιόλογος αριθμός αρδευτικών γεωτρήσεων. Γενικά πρόκειται για μία πεδινή περιοχή, όπου σε απόσταση 4-5 Km από την ακτή το υψόμετρο σπάνια υπερβαίνει τα +50 cm και πολλά τμήματά της βρίσκονται κάτω από το επίπεδο της θάλασσας. Την περιοχή στο παρελθόν διέσχιζαν πέντε κοίτες ποταμών, οι οποίες τροφοδοτούσαν και κάλυπταν με γλυκό νερό τις ευρύτερες τους περιοχές, το οποίο στη συνέχεια εμπλούτιζε το φρεάτιο ορίζοντα εμποδίζοντας τη θαλάσσια διείσδυση. Σήμερα νερό ρέει εποχιακά μόνο στη νέα (τεχνητή) κοίτη του Έβρου και στο χειμάρρο του Λουτρού. Η περιοχή υπόκειται σε συστηματική αποστράγγιση από το 1970 μέσω δικτύου βαθιών αποστραγγιστικών καναλιών, το οποίο λόγω του χαμηλού υψομέτρου της περιοχής, κατά το μεγαλύτερο διάστημα του έτους κατακλύζεται από αλμυρά νερά, τα οποία και τροφοδοτούν τον υδροφόρο ορίζοντα.

Η κοίτη του Έβρου και μέχρι το ύψος των Κήπων συχνά καταλαμβάνεται από αλμυρά νερά ως συνέπεια της δράσης της παλίρροιας. Ο φρεάτιος ορίζοντας του Δέλτα εμφανίζει μεν υψηλή υδροστατική στάθμη, αλλά στο μεγαλύτερο τμήμα του είναι υφάλμυρος κυρίως λόγω της απουσίας διαχείρισης των υδατικών πόρων στο ανατολικό Δέλτα. Οι ενέργειες που οδήγησαν, σε συνδυασμό με τις ευνοϊκές υδρογεωλογικές και τοπογραφικές συνθήκες, στην κατάσταση αυτή, είναι : 1) η εκβάθυνση της κοίτης και ο περιορισμός της ροής του Έβρου λόγω συγκράτησης του νερού στα ανάντη για την κάλυψη αρδευτικών αναγκών, 2) ο περιορισμός της ροής του Έβρου σε μια εγκιβωτισμένη και ευθυγραμμισμένη κοίτη και 3) η λειτουργία ενός άστοχα σχεδιασμένου αποστραγγιστικού δικτύου. Η χωρίς επιστημονικά κριτήρια ανθρώπινη παρέμβαση διατάραξε δραστικά το καθεστώς φυσικής αλληλεπίδρασης υπόγειων και επιφανειακών νερών με αποτέλεσμα τόσο στην επιφάνεια όσο και σε βάθος να κυριαρχούν αλμυρά ή υφάλμυρα νερά. Η κατάσταση στο δυτικό τμήμα του Δέλτα μπορεί να βελτιωθεί με επαναφορά των αντλήσεων στα φυσιολογικά επίπεδα ή και με την εφαρμογή τεχνητού εμπλουτισμού. Στο ανατολικό τμήμα η αντιμετώπιση της θαλάσσιας διείσδυσης αποτελεί σύνθετο πρόβλημα, επειδή η παρουσία επαρκούς ροής γλυκού νερού στον Έβρο συνιστά διακρατικό ζήτημα, δεδομένου ότι μόνο το 6,5 % της συνολικής λεκάνης του ποταμού ανήκει στην Ελλάδα. Παρακάτω παρουσιάζεται η κατανομή των χλωριόντων στα υπόγεια νερά του Δέλτα του. [16]



Σχήμα 4.5 : Κατανομή του Cl^- (mg/l) στα υπόγεια νερά του Δέλτα του ποταμού Έβρου.

4.2.4 Νέα Κεσσάνη

Το υδροφόρο σύστημα της Νέας Κεσσάνης στο Ν. Ξάνθης αποτελείται από μερικώς υπό πίεση υδροφόρους και τροφοδοτείται κυρίως, τουλάχιστον κοντά στις ακτές, με νερό της θάλασσας. Ο ιδιαίτερος ρόλος της τεκτονικής με τη μορφή ρηγμάτων που παίζουν το ρόλο του αγωγού, όσον αφορά την υδραυλική επικοινωνία του συστήματος με τη θάλασσα, είναι καθοριστικός στην όλη διαδικασία. Η εκτροπή του χειμάρρου Κόσυνθου προς τη λίμνη Βιστωνίδα απέκοψε το υδροφόρο σύστημα από την κύρια πηγή τροφοδοσίας του.

Η υπερεκμετάλλευση των υπόγειων νερών της περιοχής σε συνδυασμό με τη μείωση της τροφοδοσίας τους λόγω δυσμενών κλιματικών αλλαγών (μείωση των

βροχοπτώσεων κατά 30 % την τελευταία εικοσαετία σε σχέση με αυτές της περιόδου 1950-1981), ενέτεινε την εκδήλωση του φαινομένου της θαλάσσιας διείσδυσης. [16]

4.2.5 Δέλτα του ποταμού Λίσσου-παράκτια περιοχή νομού Ροδόπης

Ανάλογες με αυτές του ποταμού Έβρου παρουσιάζονται οι συνθήκες και στο Δέλτα του ποταμού Λίσσου. Ο φρεάτιος υδροφόρος της περιοχής με την υπερεκμετάλλευσή του λόγω της δραστηρικής ανθρώπινης παρέμβασης έγινε αποδέκτης σύγχρονης θαλάσσιας διείσδυσης, με την υποχώρηση της στάθμης σε συνδυασμό με το χαμηλό υψόμετρο (<+4 m). Ένα τεχνητό σύστημα επιβάρυνσης των υπόγειων νερών, με τη μορφή ενός άστοχα σχεδιασμένου αποστραγγιστικού συστήματος της περιοχής, εμπλουτίζει με θαλάσσιο νερό τον υδροφόρο. Οι άστοχες παρεμβάσεις με τη μορφή εκτροπής, ευθυγράμμισης, εγκιβωτισμού και εκβάθυνσης του ποταμού Λίσσου στέρησαν από τον φρεάτιο υδροφόρο της περιοχής την άμεση τροφοδοσία.

Ο υπό πίεση υδροφόρος ορίζοντας της ίδιας περιοχής τροφοδοτείται τεχνητά με αλμυρό νερό από τον φρεάτιο ορίζοντα μέσω γεωτρήσεων που επιτρέπουν (λόγω κατασκευαστικών αστοχιών) την κατακόρυφη υδραυλική επικοινωνία φυσικώς απομονωμένων υδροφόρων. Κατά την ξηρή περίοδο που οι ποταμοί δεν έχουν ροή, η θάλασσα διεισδύει σε σημαντική απόσταση προς την ενδοχώρα. Οι διαδικασίες αυτές τροφοδοτούν τον φρεάτιο υδροφόρο ορίζοντα με αλμυρό νερό καθιστώντας τον υφάλμυρο σε μεγάλο τμήμα του. Το μήκος του άξονα της αλμυρής σφήνας έχει υπολογιστεί ότι ξεπερνά τα 10 Km. [16]

4.3 Υφαλμύρωση το Αργολικό πεδίο

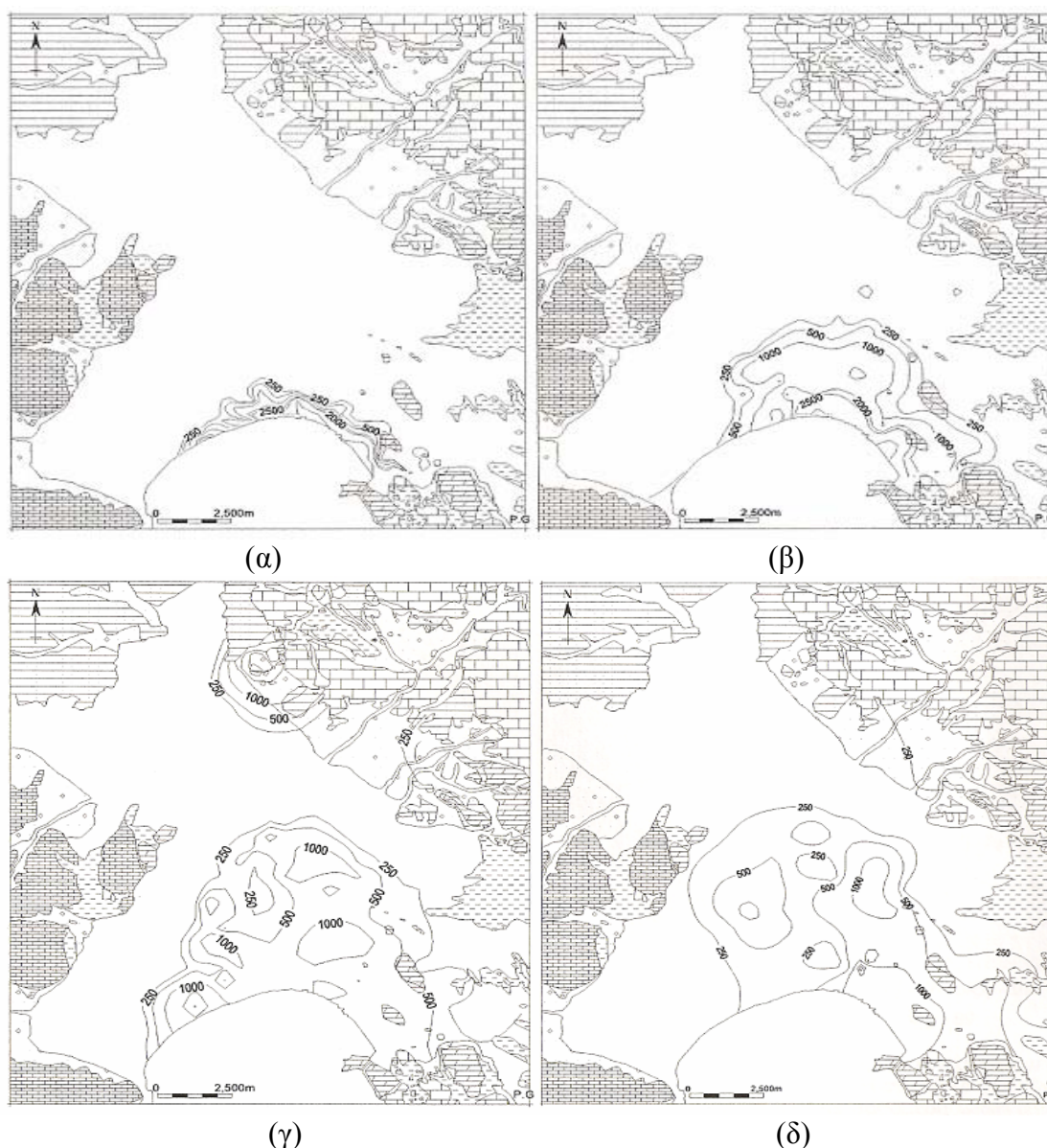
Η υφαλμύρωση στο Αργολικό πεδίο άρχισε να γίνεται αισθητή στο τέλος της δεκαετίας του 1950 μετά από την αλματώδη ανάπτυξη των αρδευόμενων καλλιεργειών και ιδιαίτερα των εσπεριδοειδών. Εντονότερη ήταν στις ανατολικές περιοχές της Αργολικής πεδιάδας, στα όρια των οικισμών Ν. Τίρυνθας, και Άριας καθώς και ανατολικότερα στην αλλουβιακή περιοχή Ασίνης-Τολού. Το φαινόμενο αυτό είχε άμεσες συνέπειες τόσο στο φυσικό περιβάλλον της περιοχής όσο και στο κοινωνικό και στο οικονομικό.

Στις αρχές του 1960 σημαντικές εκτάσεις εσπεριδοειδών στις παραπάνω περιοχές παρουσίασαν συμπτώματα ξήρανσης, λόγω αλατότητας του νερού άρδευσης, ενώ βασικό πρόβλημα σχεδόν κάθε αγροτικού νοικοκυριού, ιδιαίτερα στις παράκτιες περιοχές ήταν η αναζήτηση καλής ποιότητας υπόγειου νερού για την κάλυψη των αρδευτικών του αναγκών.

Από τα σχήματα που παρουσιάζονται παρακάτω προκύπτει ότι αρχικά η υφαλμύρωση άρχισε από το νοτιοανατολικό τμήμα του Αργολικού πεδίου και επεκτάθηκε σταδιακά καλύπτοντας περίπου το ένα τρίτο της συνολικής του έκτασης. Μετά από επεξεργασία των σχετικών μετρήσεων εκτιμήθηκε ότι την περίοδο εκείνη η ταχύτητα του μετώπου υφαλμύρωσης ήταν 500 μέτρα/έτος.

Σε ότι αφορά την κατακόρυφη διεύθυνση, η επεξεργασία των διαθέσιμων στοιχείων έδειξε ότι ο μηχανισμός της υφαλμύρωσης ενεργοποιήθηκε αρχικά σε βάθη 20-50 μέτρων, τα οποία αντιστοιχούσαν και στο μέσο βάθος εκμετάλλευσης των υδροφόρων σχηματισμών την εποχή εκείνη (1965-1975). Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με την ανεύρεση καλύτερης ποιότητας νερού σε μεγαλύτερα βάθη οδήγησε αρχικά, τους αγρότες της περιοχής, στην ψευδαίσθηση ότι βαθύτερες γεωτρήσεις θα μπορούσαν να αποδώσουν καλύτερης ποιότητας νερό. Οι υποθέσεις όμως αυτές είχαν μόνο προσωρινή επιτυχία αφού τελικά και οι βαθύτερες γεωτρήσεις υφαλμυρώθηκαν ταχύτατα. Εκτός από την υφαλμύρωση των υδροφόρων σχηματισμών του Αργολικού πεδίου επισημαίνεται ότι στις ερευνητικές γεωτρήσεις και ιδιαίτερα στα επιφανειακά στρώματα, στον φρεάτιο υδροφόρο σχηματισμό έχουν

καταγραφεί συγκεντρώσεις χλωριόντων που κυμαίνονται μεταξύ 35.000 και 40.000 mg/l. Δεδομένου ότι η συγκέντρωση σε χλωριόντα του θαλάσσιου νερού είναι περίπου 19.000 mg/l προκύπτει ότι οι παραπάνω τιμές είναι σχεδόν διπλάσιες από τις συνήθεις συγκεντρώσεις σε χλωριόντα του θαλάσσιου νερού. Οι μηδενικές εδαφικές κλίσεις σε συνδυασμό με τη διακύμανση της στάθμης της θάλασσας είχε ως αποτέλεσμα την επαναλαμβανόμενη κατάκλυση των εδαφών αυτών με θαλασσινό νερό. Στη συνέχεια, αφού βέβαια η στάθμη του υπόγειου νερού βρισκόταν σε βάθος μικρότερο του μισού μέτρου (ελώδεις εκτάσεις) ακολουθούσε έντονη εξάτμιση που είχε ως αποτέλεσμα την απομάκρυνση του νερού και τη συνεχή συσσώρευση αλάτων με συνέπεια συσσώρευση χλωριόντων στο εδαφικό νερό η οποία έφτασε έτσι τις ασυνήθιστα υψηλές τιμές των 35.000-40.000 mg/l. [10]

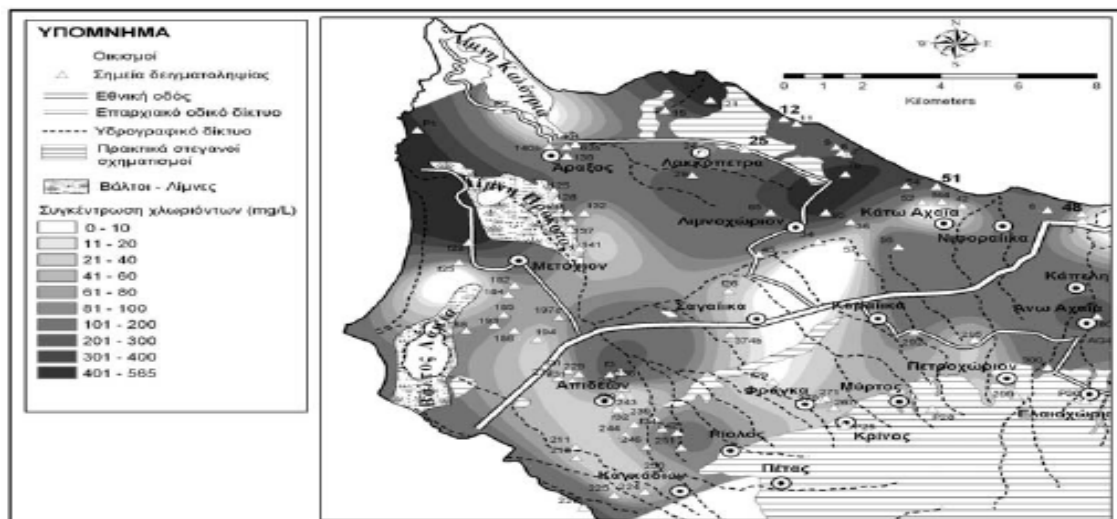


Σχήμα 4.6 : Ισοχλώριες καμπύλες (ppm) για την Άνοιξη του 1965 (α), Άνοιξη του 1975 (β), Άνοιξη του 1990 (γ), Άνοιξη του 2000 (δ).

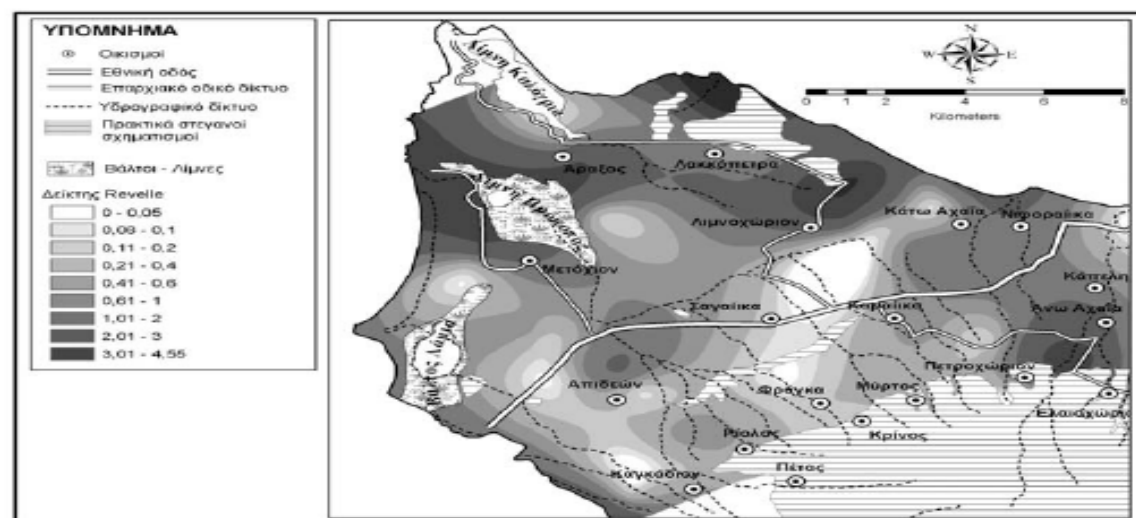
4.4 Υφαλμύρωση στην Αχαΐα

Αντίστοιχα φαινόμενα έχουν παρουσιαστεί και στο ΒΔ τμήμα του νομού Αχαΐας. Η περιοχή αυτή είναι αγροτική, ενώ παράλληλα αναπτύσσεται και

τουριστικά. Η κάλυψη των υδατικών αναγκών γίνεται κυρίως με την εκμετάλλευση των υπόγειων νερών από μεγάλο αριθμό γεωτρήσεων μεγάλου βάθους. Η εντατική εκμετάλλευση, ιδιαίτερα τις τελευταίες δεκαετίες έχει οδηγήσει σε ποσοτική μείωση με εγκατάσταση αρνητικού ισοζυγίου, καθώς και ποιοτική υποβάθμιση των υπόγειων νερών. Χαρακτηριστικά αναφέρουμε ότι το ποσοστό των καλλιεργούμενων εκτάσεων έχει αυξηθεί από 21,8 % το 1971 σε 42% το 2001. Το παραπάνω ποσοστό είναι ένα από τα υψηλότερα στην Ελλάδα. Όπως φαίνεται και από τη γεωγραφική κατανομή των χλωριόντων αλλά και του δείκτη Revelle το φαινόμενο της θαλάσσιας διείσδυσης είναι ιδιαίτερα εκτεταμένο στη ΒΔ Αχαΐα, όπου εντοπίζονται διάφορα μέτωπα υφαλμύρωσης όπως στη Λακόπετρα στον Άραξο και το Μετόχι. [17,18]



Σχήμα 4.7 : Χάρτης κατανομής χλωριόντων (mg/l) στην περιοχή της Αχαΐας

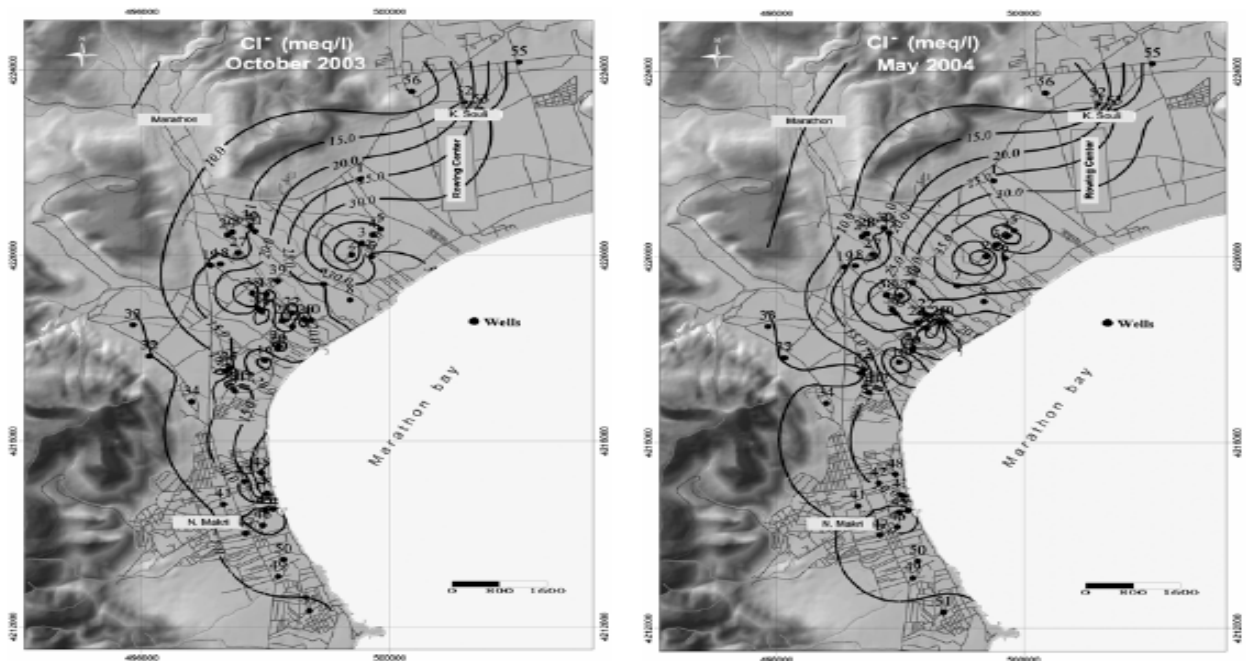


Σχήμα 4.8 : Χάρτης κατανομής του συντελεστή Revelle στην περιοχή της Αχαΐας

4.5 Υφαλμύρωση στο Μαραθώνα

Η αύξηση των αρδευόμενων καλλιεργειών και η εντατική γεωργική δραστηριότητα, αυξάνουν τον κίνδυνο υποβάθμισης του υπόγειου νερού λόγω των υψηλών ρυθμών άντλησής του. Η χρήση υποβαθμισμένης ποιότητας νερού για αρδευτικούς σκοπούς, έχει σαν αποτέλεσμα την μείωση της παραγωγής των καλλιεργειών και την υποβάθμιση των εδαφών.

Είναι προφανές ότι η ποιότητα του υπόγειου νερού είναι πολύ υποβαθμισμένη λόγω της υπεράντλησης του υδροφόρου, της ανοικτής επικοινωνίας του υδροφόρου και της θάλασσας για αρκετά μεγάλο μήκος και του χαμηλού βαθμού βροχόπτωσης. Η περιοχή όπου παρατηρείται περισσότερο η υφαλμύρωση είναι και η περιοχή με την έντονη γεωργική δραστηριότητα. Αντιθέτως στην περιοχή της Νέας Μάκρη όπου οι οικιστική ζώνη έχει επεκταθεί με ταυτόχρονη μείωση των καλλιεργειών, η ποιότητα του νερού είναι πολύ καλύτερη. Συγκριτικά με τη συμπεριφορά του υδροφόρου τον Οκτώβριο και τον Μάιο παρατηρούμε ότι η ποιότητα του υπόγειου νερού τον Μάιο (τέλος της υγρής περιόδου) δεν παρουσιάζει σημαντική βελτίωση σε σχέση με τον Οκτώβριο. Αυτό σημαίνει ότι ο φυσικός εμπλουτισμός του υδροφόρου δεν είναι επαρκής για να βελτιώσει σημαντικά την ποιότητα του νερού.



Σχήμα 4.9 : Ισοχλώριες καμπύλες (meq/l) για τον Οκτώβριο 2003 και το Μάιο 2004 [30]

4.6 Υφαλμύρωση στην υπόλοιπη Ελλάδα

Επίσης προβλήματα υφαλμύρωσης εντοπίζονται και στις παρακάτω περιοχές :

Δυτική Μεσσηνία : Η θάλασσα έχει διεισδύσει 1 - 2 χιλιόμετρα στα παράκτια υπόγεια αποθέματα της περιοχής. Το ιδιαίτερο στην περίπτωση αυτή δεν είναι το πόσο βαθιά έχει διεισδύσει η θάλασσα, αλλά πόσο επιμήκης είναι η ζώνη όπου παρουσιάζεται το πρόβλημα, η οποία ξεκινάει πλέον λίγο μετά τον Πύργο.

Αιγαίο : Μόνο υφάλμυρους υπόγειους υδροφορείς έχουν πλέον αρκετά νησιά, λόγω μικρής έκτασης της ενδοχώρας, λιγοστών βροχοπτώσεων και μεγάλης τουριστικής και οικιστικής ανάπτυξης. Σαντορίνη, Νάξος, Σύρος, Σίφνος, Αμοργός είναι μερικά από τα νησιά με οξύ πρόβλημα.

Χερσόνησος Κρήτης : Η περιοχή της Χερσονήσου, περίπου 20-30 χιλιόμετρα ανατολικά της πόλης του Ηρακλείου, αντιμετωπίζει την τελευταία δεκαετία οξύ πρόβλημα με την υποβάθμιση των παράκτιων υδροφορέων της από τη διείσδυση της θάλασσας. Η θάλασσα έχει διεισδύσει για περισσότερα από 2 χιλιόμετρα στο

εσωτερικό, με αποτέλεσμα όλες οι γεωτρήσεις -οι νόμιμες είναι περίπου 20- να δίνουν υφάλμυρο νερό. Στην περιοχή υπάρχουν μεγάλες ξενοδοχειακές μονάδες, ενώ εξακολουθεί η καλλιέργεια μεγάλων εκτάσεων. Το πρόβλημα είναι τέτοιο που ο τοπικός δήμος προσανατολίζεται στη δημιουργία μονάδας αφαλάτωσης για να καλύψει μέρος των αναγκών, ιδίως για την τουριστική περίοδο, η οποία όμως στην Κρήτη είναι διευρυμένη χρονικά.

Καμποχώρα Χίου : Ιδιαίτερα οξύ είναι το πρόβλημα της υφαλμύρισης των υπόγειων υδάτων στον Κάμπο και την Καμποχώρα της Χίου, μερικά μόλις χιλιόμετρα από την πρωτεύουσα του νησιού. Η θάλασσα έχει διεισδύσει μέσα στον υδροφόρο ορίζοντα σε βάθος 4 χιλιομέτρων ή και περισσότερο. Το νερό όχι μόνο δεν είναι πόσιμο, αλλά δεν χρησιμοποιείται ούτε για μαγείρεμα, ενώ καταστρέφει φίλτρα, βρύσες και πλυντήρια. Επιπρόσθετο ποιοτικό πρόβλημα δημιουργεί η αντίχυνση στο νερό ίχνους υδραργύρου, το οποίο όμως εκτιμάται ότι οφείλεται σε φυσικά αίτια. [41]

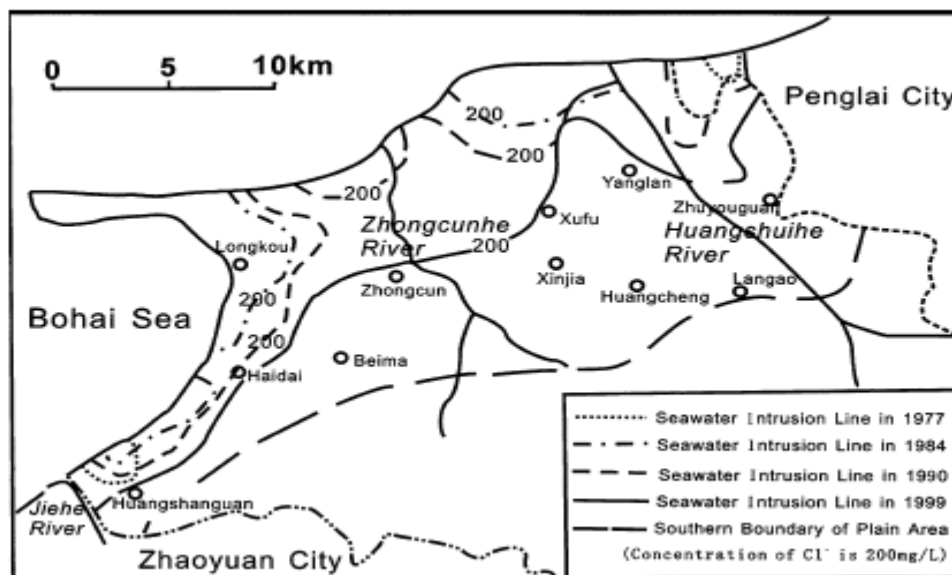
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΥΦΑΛΜΥΡΩΣΗ ΣΤΟΝ ΚΟΣΜΟ

5.1 Γενικά

Τα προβλήματα της υφαλμύρωσης παρουσιάζονται και σε πολλές περιοχές του κόσμου ως συνέπεια της υπεράντλησης. Παρακάτω παρουσιάζονται ορισμένα παραδείγματα από διάφορα μέρη με προβλήματα υποβάθμισης του υπόγειου νερού.

5.2 Υφαλμύρωση στην Κίνα

Στην Κίνα το φαινόμενο της υφαλμύρωσης έχει παρατηρηθεί από τις αρχές της δεκαετίας του 1960 σαν αποτέλεσμα της ανεξέλεγκτης άντλησης του υπόγειου νερού. Σύμφωνα με τα στοιχεία η συνολική έκταση με πρόβλημα υφαλμύρωσης το 2002 ήταν 1773 Km² και αυξανόταν κατά 12% κάθε χρόνο. Σήμερα καλύπτει μια έκταση 2000 Km². Οι περιοχές με το εντονότερο πρόβλημα εντοπίζεται στις πόλεις Longkou, Laizhou και Dalian. Στην περιοχή Laizhou, για παράδειγμα η ετήσια αύξηση της υφαλμύρωσης ήταν 4 Km² στις αρχές του 1970 και 11 Km² στις αρχές του 1980. Ωστόσο στα μέσα της δεκαετίας του 1980 ξεπέρασε τα 30 Km² το χρόνο, έτσι η συνολική περιοχή με πρόβλημα υφαλμύρωσης από 15,8 Km² το 1979 έφτασε τα 238,7 Km² το 1989 (πάνω από το 80 % της παράκτιας περιοχής). Στην επαρχία Longkou η ετήσια εξέλιξη του μετώπου υφαλμύρωσης ήταν 4,6 Km² στα μέσα της δεκαετίας του 1980, αλλά αυξήθηκε κατά 19,4 Km² μόνο το 1989, επομένως η συνολική περιοχή με πρόβλημα υφαλμύρωσης αυξήθηκε από 2 Km² το 1979 σε 85,7 Km² το 1989. Στην περιοχή Dalian, η συνολική προσβληθείσα περιοχή στα μέσα της δεκαετίας του 1960 ήταν 4,2 Km² και εξελίχθηκε ταχύτατα με αποτέλεσμα το 1981 η περιοχή να ανέρχεται σε 178,5 Km², το 1986 σε 190,2 Km² και το 1994 σε 274 Km². [24]

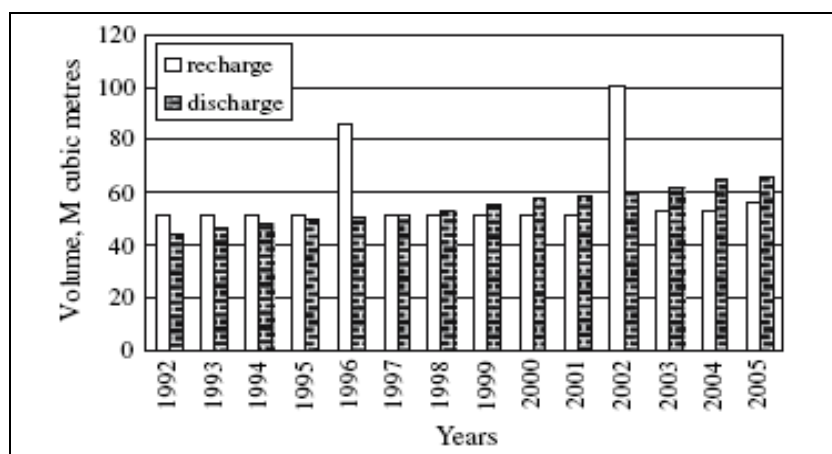


Σχήμα 5.1 : Εξέλιξη της υφαλμύρωσης από το 1977 έως το 1999 στην πόλη Longkou

5.3 Υφαλμύρωση στο Ομάν

Πρόβλημα υφαλμύρωσης εντοπίζεται και στο Ομάν στην πόλη Salalah. Το υπόγειο νερό είναι η μοναδική πηγή νερού στην περιοχή. Οι βροχοπτώσεις τροφοδοτούν τον υδροφόρο με σημαντικές ποσότητες νερού, το οποίο είχε σαν αποτέλεσμα την γεωργική και βιομηχανική ανάπτυξη της περιοχής. Από τις αρχές όμως του 1980 άρχισε η ανεξέλεγκτη άντληση του νερού για γεωργικούς (η γεωργική

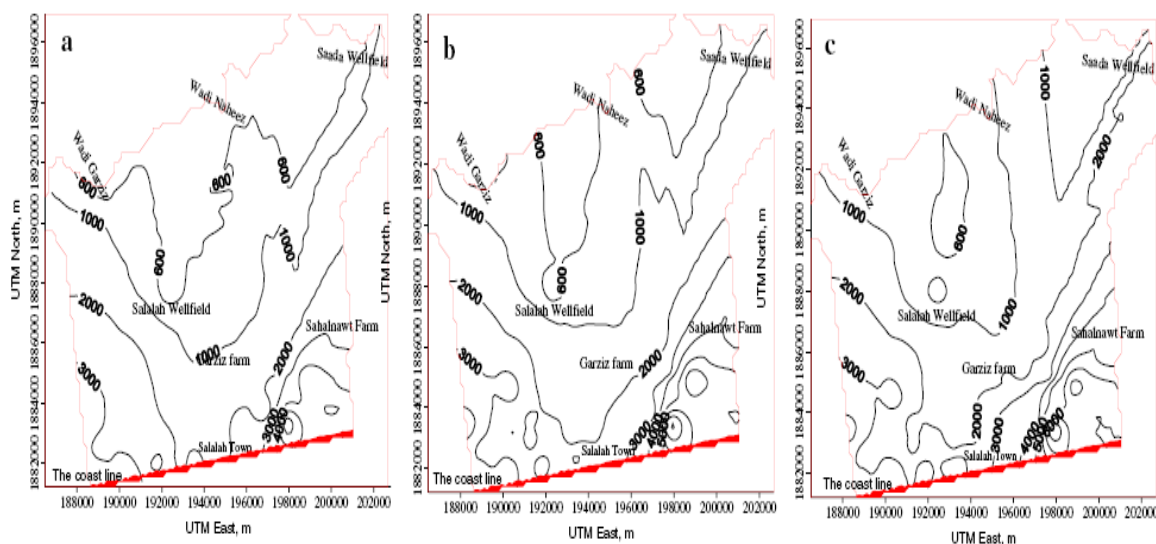
δραστηριότητα χρησιμοποιεί το 70% του νερού) και βιομηχανικούς σκοπούς σε μεγαλύτερες ποσότητες από αυτές που μπορούσαν να αναπληρωθούν. Έτσι παρατηρήθηκε σημαντική μείωση τη στάθμης του υπόγειου νερού στον υδροφόρο. [25]



Σχήμα 5.2 : Ο συνολικός ρυθμός άντλησης στην περιοχή Salalah από το 1992 έως το 2005.

Από το σχήμα 5.2 φαίνεται ότι οι ποσότητες που αντλούνται από το 1997 (με εξαίρεση το 2002) και μετά είναι μεγαλύτερες από τις ποσότητες εμπλουτισμού του υδροφόρου.

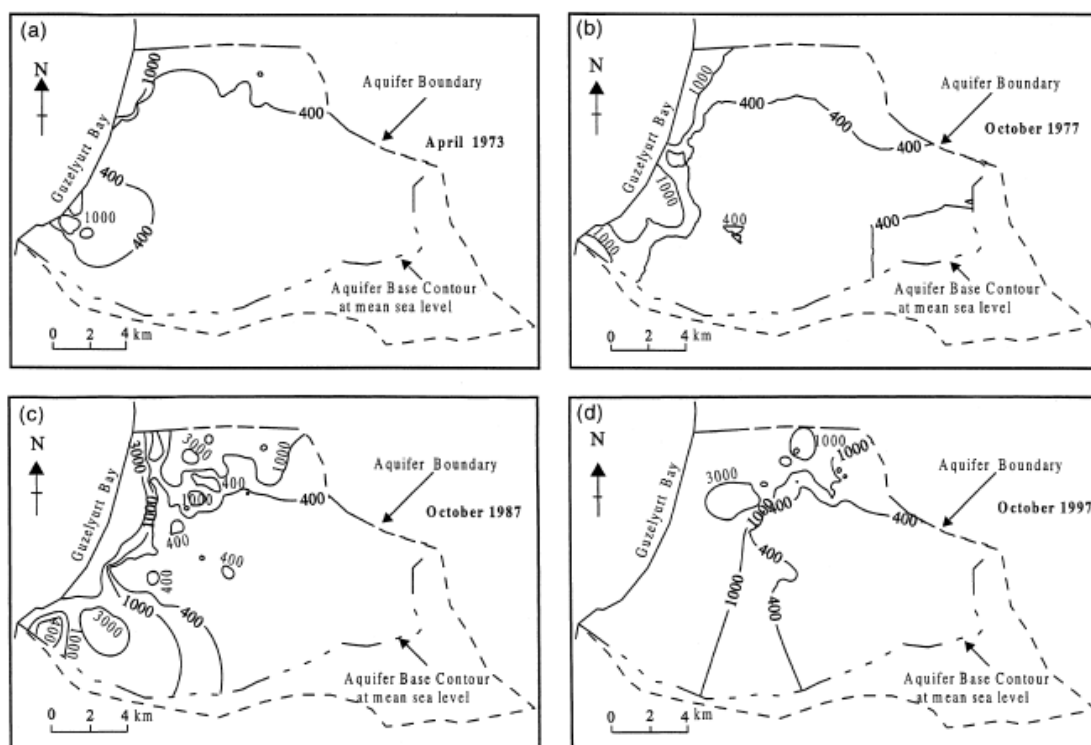
Για τη συγκεκριμένη μελέτη η περιοχή χωρίστηκε σε 4 ζώνες. Την Α που απέχει έως 1,2 Km από την ακτή, την Β που απέχει από 1,2 Km έως 2,4 Km από την ακτή, την C που απέχει από 2,5 Km έως 5,5 Km και την D που απέχει πάνω από 5,5 Km από την ακτή. Από τις μετρήσεις των T.D.S (σύνολο διαλυμένων στερεών) για τη ζώνη Α, ο μέσος όρος ήταν 3.700 mg/l με ανώτατο επιτρεπτό όριο για το πόσιμο νερό τα 1500 mg/l, ενώ για τη ζώνη Β ο μέσος όρος ήταν 2.000 mg/l. Αντίστοιχα η μέση τιμή για το Cl στη ζώνη Α ήταν 1.606 mg/l με ανώτατο όριο για το πόσιμο νερό τα 600 mg/l ενώ στη ζώνη Β 760 mg/l.



Σχήμα 5.3 : Μέση τιμή των T.D.S (mg/l) για το 1992 (a), το 1998 (b) και το 2004 (c)

5.4 Υφαλμύρωση στην Κύπρο

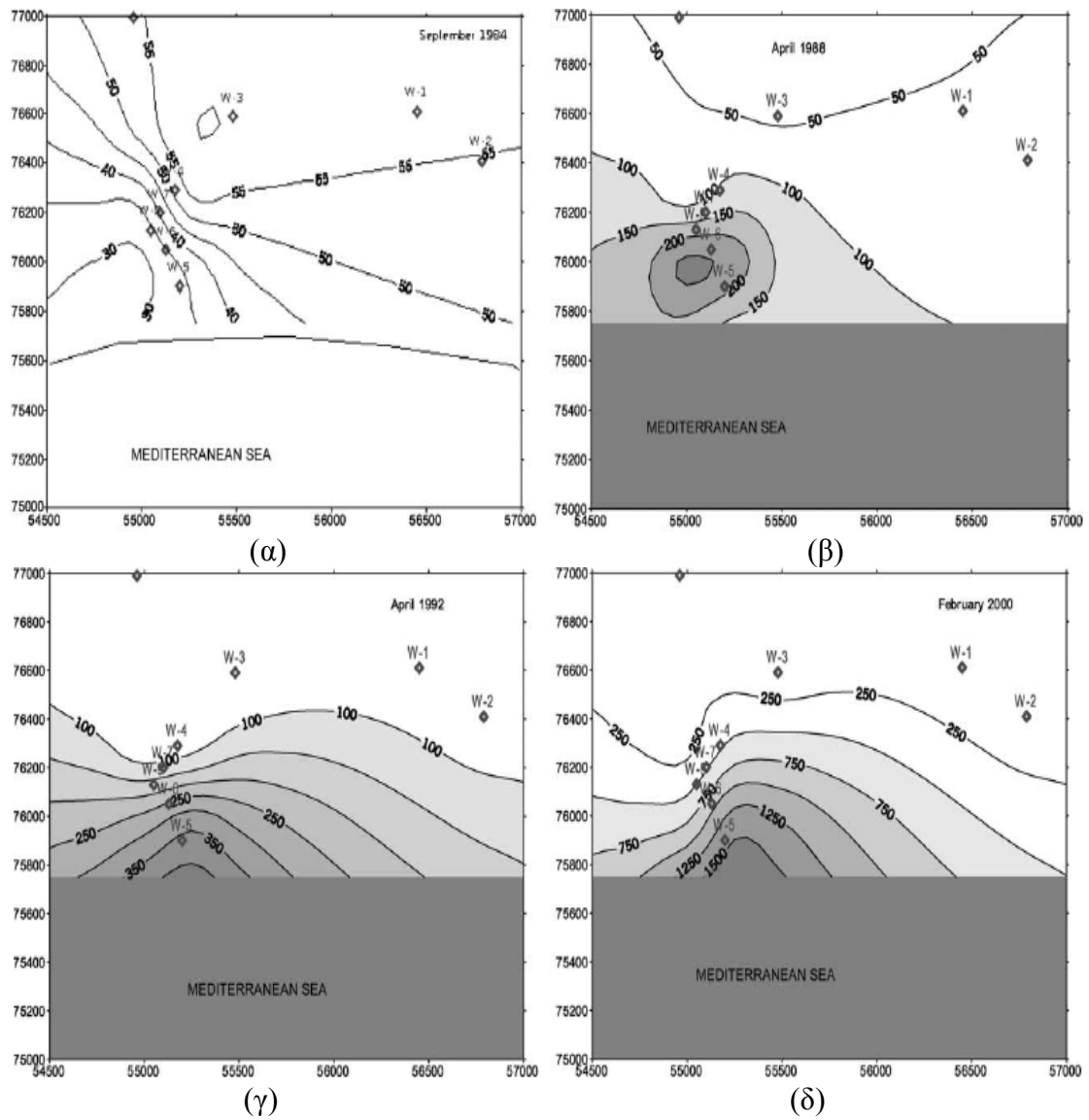
Αντίστοιχα φαινόμενα υφαλμύρωσης έχουν παρατηρηθεί και στην Κύπρο. Δύο από τις περιοχές με έντονο πρόβλημα είναι και η πόλη Guzeryurt στο βόρειο τμήμα του νησιού και η πόλη Magusa στο νότιο τμήμα του νησιού όπου η ρύπανση του νερού είναι τόσο εκτεταμένη με αποτέλεσμα να σταματήσει να αντλείται ο συγκεκριμένος υδροφόρος. Η έλλειψη νερού επηρεάζει την κοινωνική και οικονομική ανάπτυξη του τόπου αφού το 90% του νερού χρησιμοποιείται για άρδευση. Το κόστος των γεωργικών προϊόντων έχει αυξηθεί εξαιτίας της αύξησης της αλατότητας του υπόγειου νερού που οδηγεί σε άντληση νερού από μεγαλύτερα βάθη.



Σχήμα 5.4 : Ισο-NaCl καμπύλες σε ppm a) για τον Απρίλιο 1973, b) για τον Οκτώβριο 1977, c) για τον Οκτώβριο 1987 και d) για τον Οκτώβριο του 1997 [26]

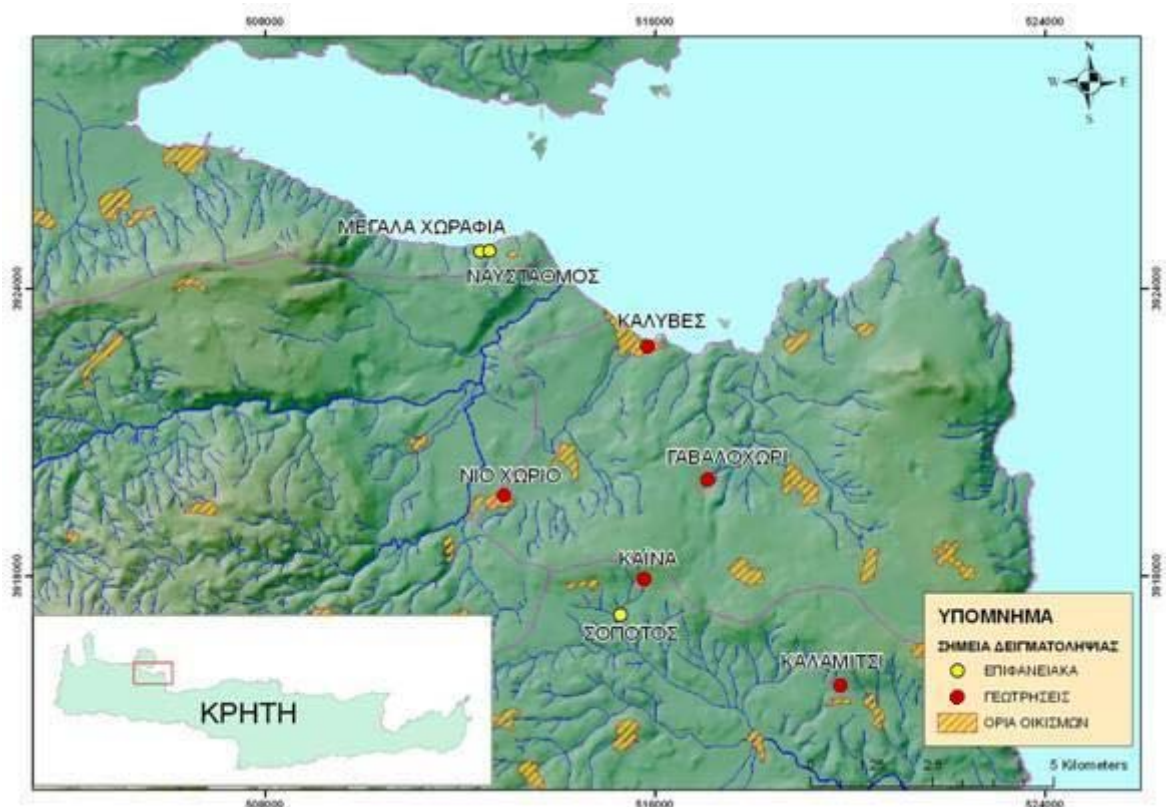
5.5 Υφαλμύρωση στην Τουρκία

Και η Τουρκία αντιμετωπίζει παρόμοιο πρόβλημα στην περιοχή Mersin-Kazanli. Η περιοχή αυτή είναι έντονα βιομηχανικοποιημένη. Υπάρχουν πολλά εργοστάσια που για την κάλυψη των αναγκών τους σε νερό χρησιμοποιούν το υπόγειο νερό. Από τις αρχές του 1980 μαζί με την οικονομική ανάπτυξη της περιοχής παρουσιάστηκαν και τα πρώτα δείγματα υποβάθμισης του υπόγειου νερού λόγω της υπεράντλησης. Στα μέσα του 1990 η υπεράντληση του υπόγειου νερού επιδείνωσε την κατάσταση με αποτέλεσμα η υφαλμύρωση να αυξάνεται με ταχύτατους ρυθμούς. [27]



Σχήμα 5.5 : Ισογλαρικές καμπύλες για το Σεπτέμβριο του 1984 (α), τον Απρίλιο του 1988 (β), τον Απρίλιο του 1992 (γ) και τον Φεβρουάριο του 2000 (δ).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 : ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ



Χάρτης 6.1 : Περιοχή μελέτης. Και σημεία δειγματοληψίας (1) Μεγάλα Χωράφια πηγή, (2) Ναύσταθμος Απορροή, (3) Καλύβες, (4) Γαβαλοχώρι, (5) Νιο Χωριό, (6) Κάινα.

6.1 ΓΕΝΙΚΑ

Στην παρούσα εργασία εξετάστηκαν επτά δείγματα νερού του νομού Χανίων, πέντε από τα οποία ήταν υπόγεια και ελήφθησαν από τις γεωτρήσεις της Κάινας, και Γαβαλοχωρίου που ανήκουν στο Δήμο Βάμου, από το δίκτυο ύδρευσης στο Νιο χωριό από ιδιωτική γεώτρηση στις Καλύβες που ανήκουν στο Δήμο Αρμένων και από τη γεώτρηση στο Καλαμίτσι στο Δήμο Γεωργιούπολης και 2 επιφανειακά τα οποία είναι : Ναύσταθμος Απορροή και Μεγάλα Χωράφια πηγή που ανήκουν στο Δήμο Σούδας. Από το Καλαμίτσι πήραμε μόνο μία φορά δείγμα νερού καθώς την επόμενη φορά δεν ήταν δυνατή η πρόσβαση. Τα δείγματα συλλέχθηκαν σε φιάλες πολυαιθυλενίου χωρητικότητας 1 lt και οι δειγματοληψίες πραγματοποιήθηκαν από τις 13/7/06 έως τις 5/10/06. Για την γεώτρηση της Κάινας χρησιμοποιήθηκαν επίσης δεδομένα χημικών αναλύσεων από τις πτυχιακές εργασίες των : Μαυροκεφαλίδου Ελένης και Βεργίδου Λουκίας. [42]

6.2 ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ

6.2.1 pH

Ο όρος pH εκφράζει τη συγκέντρωση υδρογονιόντων, που περιέχει ένα δείγμα και ορίζεται ως η αρνητική λογαριθμική συγκέντρωση υδρογονιόντων που περιέχει ένα διάλυμα. Η κλίμακα μέτρησης του pH είναι από 0 έως 14. Η ουδετερότητα αντιστοιχεί στην τιμή 7. Τιμές μικρότερες δείχνουν όξινο περιβάλλον (υπεροχή

υδρογονιόντων), ενώ τιμές μεγαλύτερες δείχνουν αλκαλικό περιβάλλον (υπεροχή υδροξυλιόντων). [15]

6.2.1.1 Αρχή της μεθόδου ανάλυσης

Ο προσδιορισμός του pH έγινε ηλεκτρομετρικά με τη χρήση πεχάμετρου. Το όργανο αυτό αποτελείται από ποτενσιόμετρο, με αισθητήριο από ηλεκτρόδιο υάλου συνδεδεμένο με ηλεκτρόδιο αναφοράς .

6.2.2.2 Πειραματική διαδικασία

Σε ποτηράκια ζέσεως των 100 ml λαμβάνονταν ικανοποιητική ποσότητα δείγματος ώστε να καλύπτει τον αισθητήρα του ηλεκτροδίου και σημειώνεται η ένδειξη του οργάνου.

6.2.2 ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ

Ηλεκτρική αγωγιμότητα είναι η αριθμητική έκφραση των ηλεκτρικών φορτίων που φέρει ένα υδατικό διάλυμα. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα ενός δείγματος νερού, εξαρτάται, κυρίως από την ολική συγκέντρωση των ιονιζόμενων ουσιών που περιέχονται στο δείγμα και τη θερμοκρασία στην οποία έγινε η μέτρηση.

Η μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως κριτήριο για την επίδραση των διαφόρων ιόντων στις χημικές ισορροπίες, τον ρυθμό διάβρωσης των μετάλλων, την ανάπτυξη φυτών και ζώων κ.λ.π.

Μονάδα μέτρησης της ηλεκτρικής αγωγιμότητας είναι το $\mu\text{S}/\text{cm}$. [15]

6.2.2.1 Αρχή της μεθόδου ανάλυσης

Η μέτρηση της αγωγιμότητας έγινε με την χρήση αγωγιμόμετρου. Το όργανο αυτό μετρά την αντίσταση του διαλύματος ή την τάση του εναλλασσόμενου ρεύματος και αποτελείται από μια πηγή εναλλασσόμενου ρεύματος, γέφυρα Wheatstone και κύτταρο αγωγιμότητας.

6.2.2.2 Πειραματική διαδικασία

Σε ποτηράκια ζέσεως των 100 ml λαμβάνονταν ικανοποιητική ποσότητα δείγματος ώστε να καλύπτει τον αισθητήρα του ηλεκτροδίου και αναδευόταν συνεχώς με τη βοήθεια μίας διάταξης. Στη συνέχεια σημειώνεται η ένδειξη του οργάνου.

6.2.3 ΔΙΑΛΥΜΕΝΟ ΟΞΥΓΟΝΟ (DISOLVED OXYGEN)

Οι παράγοντες που επηρεάζουν περισσότερο τη διαλυτότητα του οξυγόνου στο νερό είναι η θερμοκρασία, η πίεση και η αλατότητα. Έτσι κάτω από δεδομένες συνθήκες θερμοκρασίας, αλατότητας και πίεσης η διαλυτότητα του οξυγόνου είναι συγκεκριμένη. Η τιμή αυτή αντιστοιχεί στην τιμή κορεσμού του νερού σε οξυγόνο και αποτελεί μέτρο για την κατάσταση των επιφανειακών υδάτων. Υπάρχουν πολλοί παράγοντες που μπορούν να μειώσουν την περιεκτικότητα του νερού σε οξυγόνο όπως οι οργανικές ουσίες από λύματα ή απόβλητα που για την αποσύνθεσή τους απαιτούν την κατανάλωση οξυγόνου. Σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία στη χώρα μας, τα πόσιμα νερά πρέπει να έχουν διαλυμένο οξυγόνο με τιμή 75 % τουλάχιστον της τιμής κορεσμού.

Το DO εκφράζεται σε % της τιμής κορεσμού. [15]

6.2.3.1 Αρχή της μεθόδου ανάλυσης

Ο προσδιορισμός του DO έγινε ηλεκτροχημικά με οξυγονόμετρο. Η ηλεκτροχημική μέθοδος βασίζεται στη μέτρηση του ρυθμού διάχυσης του μοριακού

οξυγόνου, διαμέσου μεμβράνης. Η μέτρηση γίνεται με τη χρήση κατάλληλου ηλεκτροδίου, συνδεδεμένου με συσκευή που μετατρέπει τα προσλαμβανόμενα ηλεκτροχημικά σήματα σε αριθμητική ένδειξη.

6.2.3.2 Πειραματική διαδικασία

Για να μετρηθεί το DO βάζουμε ικανοποιητική ποσότητα δείγματος σε ποτηράκια ζέσεως των 100 ml και στη συνέχεια καταγραφόταν η ένδειξη του οργάνου.

6.2.4 COD

Το χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (COD), είναι η ισοδύναμη ποσότητα οξυγόνου που απαιτείται για την οξείδωση -σε έντονα οξειδωτικό περιβάλλον- των οργανικών ενώσεων που περιέχονται σε δείγμα υδάτων ή αποβλήτων. Είναι μία ακριβής και γρήγορη μέτρηση, χρήσιμη στην εκτίμηση της ρύπανσης των επιφανειακών νερών.

Μονάδα μέτρησης του COD είναι το mg/l. [15]

6.2.4.1 Αρχή της μεθόδου ανάλυσης

Δείγμα νερού οξειδώνεται με θερμό διάλυμα θειικού οξέος και διχρωμικού καλίου παρουσία καταλύτη θειικού αργύρου. Η περίσσεια των χρωμικών ιόντων ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$) προσδιορίζονται φωτομετρικά.

6.2.4.2 Πειραματική διαδικασία

Ο προσδιορισμός του COD έγινε με το COD Cell Test της Merck. Βάζω 3 ml από το δείγμα στο δοκιμαστικό σωλήνα που έχει το αντιδραστήριο και το τοποθετούμε στη συσκευή ανάδευσης. Στη συνέχεια το βάζουμε στο φούρνο στους 148 °C για 2 ώρες. Μετά από 2 ώρες βγάζουμε το δείγμα το αφήνουμε να κρυώσει και το μετράμε στο φωτόμετρο.

6.2.5 BOD₅

Ως βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD₅), μπορεί να οριστεί η ποσότητα οξυγόνου που καταναλώνουν αερόβια μεσόφιλα βακτήρια, σε διάστημα πέντε ημερών, για τη βιολογική οξείδωση των οργανικών κυρίως ουσιών που περιέχει ορισμένος όγκος δείγματος νερού που επώάζεται στον θάλαμο επώασης στους 20 °C. Το BOD εκφράζεται σε mg/l και συμβολίζεται ως BOD₅ όταν ο χρόνος επώασης του δείγματος είναι πέντε ημέρες. [15]

6.2.5.1 Αρχή της μεθόδου ανάλυσης

Η αρχή της μεθόδου στηρίζεται στη δέσμευση του CO₂ από το NaOH με αποτέλεσμα να δημιουργείται μία διαφορά πίεσης η οποία μετρείται από τη μαγνητική κεφαλή.

6.2.5.2 Πειραματική διαδικασία

Το pH του δείγματός μας πρέπει να είναι από 6.5 έως 7.5. Αν δεν είναι μέσα σε αυτή την περιοχή τότε το ρυθμίζω με οξύ ή βάση. Στη συγκεκριμένη εργασία το pH όλων των δειγμάτων ήταν υψηλότερο του 7,5 οπότε το ρυθμίζουμε με HCl 0.1 N. Αφού ρυθμίσουμε την τιμή του pH παίρνουμε τη φιάλη των 248 ml και τη γεμίζουμε με χωνί μέχρι να υπερχειλίσει. Στη συνέχεια αδειάζουμε το δείγμα μας στη σκουρόχρωμη φιάλη του BOD₅. Μετά πάνω στη φιάλη τοποθετούμε τη θήκη και βάζουμε 2 ταμπλέτες NaOH. Στη συνέχεια μηδενίζω τις κεφαλές και βάζω τα δείγματα χωρίς τις κεφαλές στον επωαστικό θάλαμο σε θερμοκρασία 20 °C για 30

λεπτά. Μετά τα 30 λεπτά ξαναμηδενίζουμε τις κεφαλές και τις βιδώνουμε στο μπουκάλι. Μετράμε το BOD₅ μετά από 5 ημέρες.

6.2.6 ΧΛΩΡΙΟΝΤΑ

Το χλώριο υπό τη μορφή χλωριόντων, αποτελεί ένα από τα πιο βασικά ανιόντα των υδάτων. Στα φυσικά επιφανειακά και υπόγεια νερά, η συγκέντρωση των χλωριόντων διαφέρει και εξαρτάται κυρίως από τη χημική σύσταση των πετρωμάτων από τα οποία διέρχεται το νερό όπως επίσης και από πιθανή θαλάσσια διείσδυση. Υψηλές συγκεντρώσεις χλωριόντων, αλλοιώνουν τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του πόσιμου νερού, αυξάνουν τον ρυθμό διάβρωσης μεταλλικών επιφανειών και έχουν βλαβερές συνέπειες στην ανάπτυξη των περισσότερων φυτών. Τα χλωριόντα εκφράζονται σε mg/l. [15]

6.2.6.1 Αρχή της μεθόδου ανάλυσης

Ο προσδιορισμός των χλωριόντων έγινε με τη μέθοδο του νιτρικού αργύρου. Σε ουδέτερο ή ελαφρά αλκαλικό περιβάλλον και παρουσία δείκτη χρωμικού καλίου, γίνεται ποσοτική καταβύθιση των χλωριόντων, με σχηματισμό χλωριούχου αργύρου και χρωμικού αργύρου. Ο χλωριούχος άργυρος έχει καταβυθιστεί ποσοτικά όταν αρχίζει να εμφανίζεται το κόκκινο χρώμα του χρωμικού αργύρου.

6.2.6.2 Πειραματική διαδικασία

Βάζουμε σε μια κωνική φιάλη των 250 ml, 25 ml από το δείγμα μας και προσθέτουμε 2 ml KCr₂. Μετά ξεπλένουμε την προχοΐδα με απιονισμένο νερό και στη συνέχεια τη γεμίζουμε με AgNO₃. Στη συνέχεια ογκομετρούμε έως ότου το κίτρινο χρώμα να πάρει μια ελαφριά απόχρωση προς το κεραμιδί. Η συγκέντρωση των χλωριόντων υπολογίζεται από τη σχέση :

$$\frac{(A - B) * N * 35450}{\text{ml δείγματος}}$$

όπου : A είναι τα ml του διαλύματος AgNO₃ που καταναλώθηκαν στο δείγμα

B είναι τα ml του διαλύματος AgNO₃ που καταναλώθηκαν στο τυφλό

N είναι η κανονικότητα του διαλύματος AgNO₃

6.2.7 ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ

Η σκληρότητα του νερού είναι μια χαρακτηριστική ιδιότητα του νερού που οφείλεται στην παρουσία διαλυμένων αλάτων ασβεστίου και μαγνησίου δεσμευμένων με ανθρακικά και δισανθρακικά ιόντα σχηματίζοντας τις ενώσεις Ca(HCO₃)₂, Mg(HCO₃)₂, CaCO₃ κ.λ.π. Η σκληρότητα διακρίνεται σε ανθρακική και μη ανθρακική σκληρότητα. Η ανθρακική σκληρότητα λέγεται και παροδική σκληρότητα και η μη ανθρακική λέγεται και μόνιμη σκληρότητα. Η σκληρότητα των φυσικών νερών οφείλεται στη γεωλογική σύσταση των πετρωμάτων από τα οποία διέρχεται το νερό. Στη χώρα μας, λόγω της ασβεστολιθικής σύστασης πολλών περιοχών, πολλά νερά παρουσιάζουν υψηλή σκληρότητα. Η σκληρότητα εκφράζεται σε mg/l CaCO₃. [15]

6.2.7.1 Αρχή της μεθόδου ανάλυσης

Ο προσδιορισμός της σκληρότητας έγινε με τη μέθοδο του EDTA. Η μέθοδος αυτή στηρίζεται στην από κοινού συμπλοκοποίηση των ιόντων ασβεστίου και μαγνησίου από το EDTA σε αλκαλικό περιβάλλον.

6.2.7.2 Πειραματική διαδικασία

Βάζουμε σε μία κωνική φιάλη των 250 ml, 25 ml από το δείγμα μας και προσθέτουμε μία ταμπλέτα δείκτη EBT (Eriochrome Black T) και 1 ml NH₃. Και ογκομετρούμε με EDTA μέχρι την αλλαγή του χρώματος. Η σκληρότητα υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\frac{A * B * 1000}{\text{ml δείγματος}}$$

όπου : A είναι τα ml του διαλύματος EDTA που χρησιμοποιήθηκαν

B είναι τα mg του CaCO₃ που περιέχονται σε 1ml διαλύματος EDTA

6.2.8 ΘΕΙΚΑ ΙΟΝΤΑ

Η παρουσία των θεικών ιόντων στα επιφανειακά και υπόγεια νερά μπορεί να προέρχεται από την γεωλογική σύσταση των πετρωμάτων από τα οποία διέρχεται το νερό ή από ορισμένες ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Η συγκέντρωση των θεικών ιόντων στα φυσικά νερά παρουσιάζει μεγάλες διακυμάνσεις, ανάλογα με το είδος των πετρωμάτων από τα οποία διέρχονται και το είδος και την ένταση των ανθρώπινων δραστηριοτήτων.

Ο έλεγχος των θεικών ιόντων στο νερό έχει μεγάλη σημασία γιατί έχει βρεθεί ότι τα θεικά άλατα ασβεστίου και μαγνησίου έχουν καθαρική δράση στον ανθρώπινο οργανισμό, γι' αυτό και το ανώτερο επιτρεπτό όριο θεικών ιόντων στο πόσιμο νερό είναι 250 mg/l. [15]

6.2.8.1 Αρχή της μεθόδου ανάλυσης

Τα θεικά ιόντα αντιδρούν με το ιωδιούχο βάριο, απελευθερώνοντας ιόντα ιωδίου. Τα ιόντα ιωδίου οξειδώνουν την ταννίνη σχηματίζοντας μια καστανέρυθη ένωση η οποία προσδιορίζεται φωτομετρικά.

6.2.8.2 Πειραματική διαδικασία

Για τον προσδιορισμό της περιεκτικότητας των δειγμάτων σε SO₄ χρησιμοποιήθηκε το spectroquant Sulfate Test 14791 της Merck με εύρος μέτρησης 25-300 mg/l SO₄.

Παίρνουμε από το δείγμα όγκο 2,5 ml με ένα σιφόνι και το αδειάζουμε σε ένα κενό φιαλίδιο. Στη συνέχεια προσθέτουμε 2 σταγόνες από το αντιδραστήριο SO₄-1 και ανακινούμε το φιαλίδιο. Μετά βάζουμε 1 κουταλάκι από το αντιδραστήριο SO₄-2 και αφού το αναδεύσουμε, το αφήνουμε στο υδατόλουτρο για 5 min στους 40 °C. Μετά το τέλος των 5 min προσθέτουμε 2,5 ml από το αντιδραστήριο SO₄-3 και το αναδεύουμε. Στη συνέχεια φιλτράρουμε όλο το περιεχόμενο του φιαλιδίου με απλό ηθμό σε άλλο φιαλίδιο. Προσθέτουμε 4 σταγόνες από το αντιδραστήριο SO₄-4 και το αναδεύουμε. Αφήνουμε το φιαλίδιο στο υδατόλουτρο για άλλα 7 min στους 40 °C. Μετά το πέρας του χρόνου επώασης μετράμε το δείγμα στο φωτόμετρο με τη βοήθεια κυψελίδας.

Ανοίγεται το καπάκι του φωτόμετρου (MERCK Spectroquant NOVA 60), ώστε να τεθεί σε λειτουργία το όργανο. Το φωτόμετρο διεξάγει έναν αυτοέλεγχο (self-check) όλου του συστήματος και επιλέγει αυτόματα τον τρόπο μέτρησης Concentration (συγκέντρωση). Στην οθόνη εμφανίζεται η ένδειξη "insert cell or start measurement". Η κυψελίδα αναγνώρισης (auto selector) τοποθετείται στον υποδοχέα των κυλινδρικών κυψελίδων. Με αυτόν τον τρόπο αναγνωρίζεται από το όργανο το συγκεκριμένο test που χρησιμοποιείται. Η κάθετη γραμμή (μαρκάρισμα) του auto

selector πρέπει να δείχνει προς την εγκοπή του φωτόμετρου. Το δείγμα μεταφέρεται σε μία ορθογώνια κυψελίδα χαλαζία οπτική διαδρομής 1 cm, η οποία σκουπίζεται πολύ καλά με κάποιο ύφασμα και τοποθετείται στον υποδοχέα των ορθογώνιων κυψελίδων του φωτόμετρου. Κατόπιν εμφανίζεται η ένδειξη “measuring” (μέτρηση) και το αποτέλεσμα εμφανίζεται στην οθόνη. Η μέτρηση αυτή πρέπει να πραγματοποιείται αμέσως μετά την δειγματοληψία.

Για τις φωτομετρικές μετρήσεις οι κυψελίδες που χρησιμοποιούνται πρέπει να είναι καθαρές.

6.2.9 ΝΙΤΡΙΚΑ ΙΟΝΤΑ

Τα νιτρικά ιόντα αποτελούν το τελικό στάδιο οξείδωσης των αζωτούχων ενώσεων. Στα επιφανειακά και υπόγεια νερά, οι συγκεντρώσεις των νιτρικών είναι συνήθως μικρές. Η παρουσία υψηλών συγκεντρώσεων στα επιφανειακά και υπόγεια νερά είναι δείκτης ρύπανσης από λιπάσματα ή λύματα και απόβλητα. Η ανώτατη παραδεκτή συγκέντρωση των νιτρικών στο πόσιμο νερό είναι 50 mg/l. [15]

6.2.9.1 Αρχή της μεθόδου ανάλυσης

Σε ένα δείγμα οξυνισμένο με θειικό και φωσφορικό οξύ, τα νιτρικά ιόντα αντιδρούν με την 2,6-διμεθυλοφαινόλη και δημιουργού την 4-νίτρο-2,6-διμεθυλοφαινόλη, η οποία έχει πορτοκαλί χρώμα και προσδιορίζεται φωτομετρικά.

6.2.9.2 Πειραματική διαδικασία

Για τον προσδιορισμό της περιεκτικότητας των δειγμάτων σε NO_3^- -N, χρησιμοποιήθηκε το spectroquant Nitrate test 9713 της Merck με εύρος μέτρησης 0,10-25,0 mg/l NO_3^- -N.

Με την πλαστική σύριγγα, που περιέχεται μέσα στο test, μεταφέρονται 4 ml από το αντιδραστήριο NO_3^- -1 μέσα σε δοκιμαστικό σωλήνα. Ακολούθως, προστίθενται στο δοκιμαστικό σωλήνα 0,5 ml δείγματος και 0,5 ml από το αντιδραστήριο NO_3^- -2 με πιπέτα ακριβείας. Βιδώνεται ο δοκιμαστικός σωλήνας και ανακινείται με προσοχή γιατί το περιεχόμενο του ζεσταίνεται αρκετά. Αφήνουμε το δοκιμαστικό σωλήνα για 10 λεπτά σε ηρεμία ώστε να πραγματοποιηθεί η αντίδραση.

Μετά το πέρας των 10 λεπτών, ανοίγεται το καπάκι του φωτόμετρου, ώστε να τεθεί σε λειτουργία το όργανο. Στην οθόνη εμφανίζεται η ένδειξη “insert cell or start measurement”.

Η κυψελίδα αναγνώρισης (autoselector) τοποθετείται στον υποδοχέα των κυλινδρικών κυψελίδων. Με αυτόν τον τρόπο αναγνωρίζεται από το όργανο το συγκεκριμένο test που χρησιμοποιείται. Η κάθετη γραμμή (μαρκάρισμα) του autoselector πρέπει να δείχνει προς την εγκοπή του φωτόμετρου. Το δείγμα μεταφέρεται σε μία ορθογώνια κυψελίδα χαλαζίας πάχους 10 mm, η οποία σκουπίζεται πολύ καλά με κάποιο ύφασμα και τοποθετείται στον υποδοχέα των ορθογώνιων κυψελίδων του φωτόμετρου. Κατόπιν εμφανίζεται η ένδειξη “measuring” (μέτρηση) και το αποτέλεσμα εμφανίζεται στην οθόνη.

Η μέτρηση αυτή πρέπει να διεξάγεται αμέσως μετά την δειγματοληψία, επίσης δείγματα με μεγάλη θολότητα πρέπει απαραίτητως να διηθούνται γιατί δίνουν θετικό σφάλμα στη μέτρηση. Επιπροσθέτως, τυχόν αιωρούμενα που μπορεί να υπάρχουν μέσα στο δείγμα πρέπει να διαλύονται ή να απομακρύνονται με κατάλληλη μέθοδο.

6.2.10 ΦΩΣΦΟΡΙΚΑ ΙΟΝΤΑ

Στα επιφανειακά νερά και απόβλητα απαντάται σε πολλές μορφές, πιο συχνά με τη μορφή ορθοφωσφορικών και πολυφωσφορικών ιόντων, ως οργανικός φώσφορος, δεσμευμένος σε οργανικές ενώσεις. Η παρουσία του φωσφόρου στα επιφανειακά

νερά, οφείλεται σε πολλές πηγές, φυσικής ή ανθρωπογενούς προέλευσης. Λύματα και απόβλητα καταλήγουν στους επιφανειακούς αποδέκτες, επιβαρημένα σε σημαντικές ποσότητες φωσφόρους. Τα φωσφορούχα λιπάσματα που εφαρμόζονται στις καλλιέργειες, δεν δεσμεύονται ποσοτικά από τα φυτά ή το έδαφος και έτσι οι εκπλύσεις εδαφών περιέχουν και αυτές σημαντικά φορτία φωσφόρου.

Ο φώσφορος είναι το βασικό στοιχείο για την ανάπτυξη των οργανισμών και η έλλειψη του μπορεί να περιορίσει την ανάπτυξη της πρωτογενούς παραγωγής, σε μια υδατική μάζα. Σε περιπτώσεις όπου οι φώσφορος είναι περιοριστικός παράγοντας η διοχέτευση επεξεργασμένων ή ανεπεξέργαστων λυμάτων, κτηνοτροφικών αποβλήτων, εκπλύσεων γεωργικών εδαφών ή ορισμένων βιομηχανικών αποβλήτων μπορεί να προκαλέσει την υπέρμετρη ανάπτυξη φωτοσυνθετικών, υδρόβιων φυκιών ή μακρόφυτων που με τη σειρά του προκαλούν ευτροφισμό. [15]

6.2.10.1 Αρχή της μεθόδου ανάλυσης

Σε θεικό διάλυμα τα ορθοφωσφορικά ιόντα αντιδρούν με ιόντα μολυβδαινίου και σχηματίζουν μολυβδοφωσφορικό οξύ το οποίο ανάγεται από το ασκορβικό οξύ σχηματίζοντας μπλέ του φωσφομολυβδαινίου το οποίο προσδιορίζεται φωτομετρικά.

6.2.10.2 Πειραματική διαδικασία

Για τον προσδιορισμό της περιεκτικότητας των δειγμάτων σε $\text{PO}_4\text{-P}$, χρησιμοποιήθηκε το spectroquant Phosphate test 14848 της Merck με εύρος μέτρησης 0,01-5,00 mg/l $\text{PO}_4\text{-P}$.

Κατά τη διαδικασία μέτρησης, προστίθεται 5,0 ml δείγμα, με τη χρήση πιπέτας, σε κάθε φιαλίδιο και στη συνέχεια 5 σταγόνες του αντιδραστηρίου P-1A σε ένα δοκιμαστικό σωλήνα. Ακολουθεί ανάδευση σε αναδευτήρα (Minishaker MS2, IKA WORKS). Κατόπιν προστίθεται 1 δόση του αντιδραστηρίου P-2A με μικροκουτάλακι. Ακολουθεί έντονη ανάδευση έως ότου διαλυθεί το ίζημα. Ο σωλήνας διατηρείται σε ηρεμία για 5 λεπτά.

Ανοίγεται το καπάκι του φωτομέτρου (MERCK Spectroquant NOVA 60), ώστε να τεθεί σε λειτουργία το όργανο. Το φωτομέτρο διεξάγει έναν αυτοέλεγχο (self-check) όλου του συστήματος και επιλέγει αυτόματα τον τρόπο μέτρησης Concentration (συγκέντρωση). Στην οθόνη εμφανίζεται η ένδειξη “insert cell or start measurement”. Η κυψελίδα αναγνώρισης (autoselector) τοποθετείται στον υποδοχέα των κυλινδρικών κυψελίδων. Με αυτόν τον τρόπο αναγνωρίζεται από το όργανο το συγκεκριμένο test που χρησιμοποιείται. Η κάθετη γραμμή (μαρκάρισμα) του autoselector πρέπει να δείχνει προς την εγκοπή του φωτομέτρου. Το δείγμα μεταφέρεται σε μία ορθογώνια κυψελίδα χαλαζίας πάχους 10 mm, η οποία σκουπίζεται πολύ καλά με κάποιο ύφασμα και τοποθετείται στον υποδοχέα των ορθογώνιων κυψελίδων του φωτομέτρου. Κατόπιν εμφανίζεται η ένδειξη “measuring” (μέτρηση) και το αποτέλεσμα εμφανίζεται στην οθόνη.

Η μέτρηση αυτή πρέπει να διεξάγεται αμέσως μετά την δειγματοληψία, επίσης δείγματα με μεγάλη θολότητα πρέπει απαραίτητως να διηθούνται γιατί δίνουν θετικό σφάλμα στη μέτρηση. Δείγματα που περιέχουν $\text{Cl}^- > 1000 \text{ mg/l}$ πρέπει να αραιώνονται με απιονισμένο νερό.

Για την διασφάλιση της ποσότητας του test μπορεί να χρησιμοποιηθεί πρότυπο διάλυμα με 0,80 mg/l $\text{PO}_4\text{-P}$ (Spectroquant Combicheck 10) για τον έλεγχο του φωτομετρικού συστήματος μέτρησης (αντιδραστήρια των test, της συσκευής μέτρησης, χειρισμός) και του τρόπου λειτουργίας και επίσης ένα πρόσθετο διάλυμα για τον προσδιορισμό ξένων ουσιών που ενδέχεται να επηρεάσουν το αποτέλεσμα.

Για τις φωτομετρικές μετρήσεις οι κυψελίδες που χρησιμοποιούνται πρέπει να είναι καθαρές.

6.2.11 ΑΜΜΩΝΙΑΚΑ ΙΟΝΤΑ

Το αμμωνιακό άζωτο μπορεί να βρίσκεται υπό τη μορφή αμμωνιακών ιόντων ή ελεύθερης αμμωνίας, ανάλογα με το pH και τη θερμοκρασία του διαλύματος. Σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία, στη χώρα μας, η ανώτατη παραδεκτή συγκέντρωση ιόντων αμμωνίου στο πόσιμο νερό, είναι 0,5 ml/l ενώ το ανώτατο επιτρεπτό όριο στα γλυκά νερά για τη διαβίωση της πέστροφας και ειδών της οικογένειας των Σαλμονίδων και Κυπρινίδων, είναι 0,025 mg/l. Στα απόβλητα που εκβάλουν στα επιφανειακά νερά, η τιμή της ολικής αμμωνίας, δεν πρέπει να είναι περισσότερο από 15 mg/l. [15]

6.2.11.1 Αρχή της μεθόδου ανάλυσης

Σε ισχυρά αλκαλικό διάλυμα το αμμωνιακό άζωτο ($\text{NH}_4\text{-N}$) υπάρχει σχεδόν μόνο ως αμμωνία (NH_4), η οποία αντιδρά με χλώριο και σχηματίζει μονοχλωραμίνη. Η μονοχλωραμίνη αντιδρά με την θυμόλη και σχηματίζεται παράγωγα ινδοφαινόλης με ιδιαίτερο μπλέ χρώμα το οποίο προσδιορίζεται φωτομετρικά.

6.2.11.2 Πειραματική διαδικασία

Για τον προσδιορισμό της περιεκτικότητας των δειγμάτων σε $\text{NH}_4^+\text{-N}$ χρησιμοποιήθηκε το Ammonium reagent test MERCK 14752 με εύρος μέτρησης 0,05-3,00 mg/l $\text{NH}_4^+\text{-N}$.

Με χρήση σιφωνίου λαμβάνονται 5,0ml του εξεταζόμενου δείγματος σε δοκιμαστικό σωλήνα. Προστίθεται με τη βοήθεια ρυθμιζόμενου σιφωνίου ακριβείας 0,6 ml του αντιδραστήριου $\text{NH}_4\text{-1B}$ και ο δοκιμαστικός σωλήνας αναδεύεται σε αναδευτήρα (Minishaker MS2, IKA WORKS). Προστίθεται μια δόση του αντιδραστήριου $\text{NH}_4\text{-2B}$ και ακολουθεί ανάδευση για να διαλυθεί το στερεό αντιδραστήριο. Ο σωλήνας αφήνεται σε ηρεμία για 5 λεπτά. Κατόπιν προστίθεται 4 δόσεις(σταγόνες) του αντιδραστήριου $\text{NH}_4\text{-3B}$ και ακολουθεί ανάδευση. Ο σωλήνας διατηρείται σε ηρεμία για ακόμη 5 λεπτά.

Ανοίγεται το καπάκι του φωτόμετρου (MERCK Spectroquant NOVA 60), ώστε να τεθεί σε λειτουργία το όργανο. Το φωτόμετρο διεξάγει έναν αυτοέλεγχο (self-check) όλου του συστήματος και επιλέγει αυτόματα τον τρόπο μέτρησης Concentration (συγκέντρωση). Στην οθόνη εμφανίζεται η ένδειξη “insert cell or start measurement”. Η κυψελίδα αναγνώρισης (autoselector) τοποθετείται στον υποδοχέα των κυλινδρικών κυψελίδων. Με αυτόν τον τρόπο αναγνωρίζεται από το όργανο το συγκεκριμένο test που χρησιμοποιείται. Η κάθετη γραμμή (μαρκάρισμα) του autoselector πρέπει να δείχνει προς την εγκοπή του φωτόμετρου. Το δείγμα μεταφέρεται σε μία ορθογώνια κυψελίδα χαλαζίας πάχους 10 mm, η οποία σκουπίζεται πολύ καλά με κάποιο ύφασμα και τοποθετείται στον υποδοχέα των ορθογώνιων κυψελίδων του φωτόμετρου. Κατόπιν εμφανίζεται η ένδειξη “measuring” (μέτρηση) και το αποτέλεσμα εμφανίζεται στην οθόνη. Η μέτρηση αυτή πρέπει να διεξάγεται αμέσως μετά την δειγματοληψία, επίσης δείγματα με μεγάλη θολότητα πρέπει απαραίτητως να διηθούνται γιατί δίνουν θετικό σφάλμα στη μέτρηση. Για τις φωτομετρικές μετρήσεις οι κυψελίδες που χρησιμοποιούνται πρέπει να είναι καθαρές.

Ο χρωματισμός στο διάλυμα μετά το τέλος της αντίδρασης παραμένει σταθερός για 60 λεπτά αλλά η μέτρηση πρέπει να γίνεται αυστηρά στα 15 λεπτά.

6.2.12 ΝΑΤΡΙΟ

Μέταλλο απ' την ομάδα των αλκαλίων, πολύ διαδομένο στη φύση με τη μορφή χημικών ενώσεων, όπως το χλωριούχο νάτριο, που βρίσκεται σε πολύ μεγάλες

ποσότητες στο θαλασσινό νερό, το νιτρικό νάτριο ή νίτρο της Χιλής, που είναι κρυσταλλικό και βρίσκεται μέσα στο έδαφος.

Είναι βασικό στοιχεία για τον άνθρωπο. Τα άλατα νατρίου βρίσκονται σε όλες τις τροφές και το πόσιμο νερό. Λόγω της αφθονίας του στη φύση (έκτο κατά σειρά) περιέχεται σε όλα τα φυσικά νερά σε συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από 1-500mg/lit. Στα πόσιμα νερά δεν υπερβαίνει τα 20mg/l εκτός των περιπτώσεων που έχει γίνει αποσκλήρυνση με τη μέθοδο της ιοντοανταλλαγής σε νερά με μεγάλη σκληρότητα ή παρατηρείται διείσδυση θαλασσινού νερού. Η ανώτατη παραδεκτή συγκέντρωση νατρίου στο πόσιμο νερό είναι 200 mg/l. [45]

6.2.12.1 Αρχή της μεθόδου ανάλυσης

Η φλογοφωτομετρία εφαρμόζεται γενικά στον προσδιορισμό των αλκαλίων και των μετάλλων των αλκαλίων, κυρίως στην ανάλυση του ασβεστίου, καλίου, νατρίου κ.α δηλαδή σε στοιχεία που διεγείρονται εύκολα απορροφώντας ενέργεια από μια οξειδωτική φλόγα αέρα - προπανίου. Στη συνέχεια εκπέμπουν την απορροφηθείσα ενέργεια, με μορφή ακτινοβολίας, δίνοντας φάσματα εκπομπής. [46]

6.2.12.2 Πειραματική διαδικασία

Αρχικά ανοίγουμε το φλογοφωτόμετρο. Ανοίγουμε τον αεροσυμπιεστή, στη συνέχεια ανοίγουμε το γκάζι και την κεντρική βαλβίδα στο επάνω μέρος του φλογοφωτόμετρου. Γυρίζουμε το Fuel 9 στρόφες προς τα αριστερά και τέλος πατάμε το power on. Την αντίστροφη διαδικασία ακολουθούμε για να κλείσουμε το φλογοφωτόμετρο. Περιμένουμε 30 λεπτά προτού αρχίσουμε τις μετρήσεις. Όσο περιμένουμε παρασκευάζουμε τα πρότυπα διαλύματα που θα χρησιμοποιήσουμε. Το εμπορικό πρότυπο διάλυμα που έχουμε στη διάθεσή μας είναι 1000 ppm. Για τη συγκεκριμένη εργασία παρασκευάσαμε πρότυπα διαλύματα των 30,50,70,120,150 και 180 ppm Na⁺. Για να παρασκευάσουμε το πρότυπο διάλυμα των 30 ppm από το αρχικό διάλυμα των 1000 ppm χρησιμοποιούμε το νόμο της αραιώσης :

$$C_{αρχ} * V_{αρχ} = C_{τελ} * V_{τελ}$$

και λύνοντας ως προς V_{αρχ} έχουμε :

$$V_{αρχ} = \frac{C_{τελ} * V_{τελ}}{C_{αρχ}}$$

Το C_{τελ} είναι 10 ppm, το V_{τελ} θέλουμε να είναι 250 ml και το C_{αρχ} είναι 1000 ppm. Στη συνέχεια αφού βρούμε το V_{αρχ} που στην προκειμένη περίπτωση είναι 7,5 ml, παίρνουμε με το σιφόνιο 7,5 ml και τα βάζουμε σε ογκομετρική φιάλη και γεμίζουμε μέχρι τα 250 ml με απιονισμένο νερό.

Ομοίως παρασκευάζουμε και τα υπόλοιπα πρότυπα διαλύματα που θα χρειαστούμε. Αφού περάσουν τα 30 λεπτά μπορούμε να αρχίσουμε τις μετρήσεις. Βάζουμε σε πλαστικά ποτηράκια ικανοποιητική ποσότητα από τα δείγματα που θέλουμε να μετρήσουμε. Στη συνέχεια κάνουμε τη βαθμονόμηση του οργάνου με το πρότυπο διάλυμα που πιστεύουμε ότι η συγκέντρωσή του είναι πιο κοντά στη συγκέντρωση του δείγματός μας. Βυθίζουμε το σωληνάκι αναρρόφησης του φλογοφωτόμετρου στο πρότυπο και γυρίζουμε το διακόπτη coarse έτσι ώστε να βρει τη σωστή τιμή του προτύπου, αν δεν εμφανιστεί η σωστή τιμή τότε γυρίζουμε το διακόπτη fine που είναι κατάλληλο για πιο λεπτομερή ρύθμιση. Αφού βρεθεί η σωστή τιμή της συγκέντρωσης βγάζουμε το πρότυπο και βυθίζουμε το σωληνάκι αναρρόφησης σε απιονισμένο νερό και στη συνέχεια το βυθίζουμε στο δείγμα που θέλουμε να μετρήσουμε. Αν η τιμή που εμφανίζεται απέχει αρκετά από την τιμή του

προτύπου που χρησιμοποιήσαμε τότε ακολουθούμε την ίδια διαδικασία με το πρότυπο του οποίου η συγκέντρωση είναι πιο κοντά στη συγκέντρωση του δείγματος μας.

Με τον ίδιο τρόπο μετράμε όλα τα δείγματά μας. Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων πρέπει να προσέχουμε το χρώμα της φλόγας. Όταν είναι μπλε σημαίνει ότι έχουμε καλή παροχή του καυσίμου μας, αν όμως γίνει κίτρινη θα πρέπει να αυξήσουμε την παροχή του καυσίμου γυρίζοντας προς τα αριστερά το Fuel.

6.2.13 ΚΑΛΙΟ

Το K^+ συνδέει την παρουσία του με πετρώματα όπως οι αστρίοι, τα αργιλικά ορυκτά και μερικούς μαρμαρυγίες. Επίσης το K^+ στο υπόγειο νερό μπορεί να σχετίζεται και με καλιούχα λιπάσματα. Η ανώτατη παραδεκτή συγκέντρωση καλίου στο πόσιμο νερό 12 mg/l. [45]

6.2.13.1 Αρχή της μεθόδου ανάλυσης

Η φλογοφωτομετρία εφαρμόζεται γενικά στον προσδιορισμό των αλκαλίων και των μετάλλων των αλκαλίων, κυρίως στην ανάλυση του ασβεστίου, καλίου, νατρίου κ.α δηλαδή σε στοιχεία που διεγείρονται εύκολα απορροφώντας ενέργεια από μια οξειδωτική φλόγα αέρα - προπανίου. Στη συνέχεια εκπέμπουν την απορροφηθείσα ενέργεια, με μορφή ακτινοβολίας, δίνοντας φάσματα εκπομπής. [46]

6.2.13.2 Πειραματική διαδικασία

Αρχικά ανοίγουμε το φλογοφωτόμετρο. Ανοίγουμε τον κομπρέσορα, στη συνέχεια ανοίγουμε το γκάζι και την κεντρική βαλβίδα στο επάνω μέρος του φλογοφωτόμετρου. Γυρίζουμε το Fuel 9 στροφές προς τα αριστερά και τέλος πατάμε το power on. Την αντίστροφη διαδικασία ακολουθούμε για να κλείσουμε το φλογοφωτόμετρο. Περιμένουμε 30 λεπτά προτού αρχίσουμε τις μετρήσεις. Όσο περιμένουμε παρασκευάζουμε τα πρότυπα διαλύματα που θα χρησιμοποιήσουμε. Το εμπορικό πρότυπο διάλυμα που έχουμε στη διάθεσή μας είναι 1000 ppm. Για τη συγκεκριμένη εργασία παρασκευάσαμε πρότυπα διαλύματα των 1,2,5,10 ppm K^+ . Για να παρασκευάσουμε το πρότυπο διάλυμα των 1 ppm από το αρχικό διάλυμα των 1000 ppm χρησιμοποιούμε το νόμο της αραιώσης :

$$C_{αρχ} * V_{αρχ} = C_{τελ} * V_{τελ}$$

και λύνοντας ως προς $V_{αρχ}$ έχουμε :

$$V_{αρχ} = \frac{C_{τελ} * V_{τελ}}{C_{αρχ}}$$

Το $C_{τελ}$ είναι 1 ppm, το $V_{τελ}$ θέλουμε να είναι 250 ml και το $C_{αρχ}$ είναι 1000 ppm. Στη συνέχεια αφού βρούμε το $V_{αρχ}$ που στην προκειμένη περίπτωση είναι 0,25 ml, παίρνουμε με το σιφώνιο 0,25 ml και τα βάζουμε σε ογκομετρική φιάλη και γεμίζουμε μέχρι τα 250 ml με απιονισμένο νερό.

Ομοίως παρασκευάζουμε και τα υπόλοιπα πρότυπα διαλύματα που θα χρειαστούμε. Αφού περάσουν τα 30 λεπτά μπορούμε να αρχίσουμε τις μετρήσεις. Βάζουμε σε πλαστικά ποτηράκια ικανοποιητική ποσότητα από τα δείγματα που θέλουμε να μετρήσουμε. Στη συνέχεια κάνουμε τη βαθμονόμηση του οργάνου με το πρότυπο διάλυμα που πιστεύουμε ότι η συγκέντρωσή του είναι πιο κοντά στη συγκέντρωση του δείγματός μας. Βυθίζουμε το σωληνάκι αναρρόφησης του φλογοφωτόμετρου στο πρότυπο και γυρίζουμε το διακόπτη coarse έτσι ώστε να βρει τη σωστή τιμή του

προτύπου, αν δεν εμφανιστεί η σωστή τιμή τότε γυρίζουμε το διακόπτη fine που είναι κατάλληλο για πιο λεπτομερή ρύθμιση. Αφού βρεθεί η σωστή τιμή της συγκέντρωσης βγάζουμε το πρότυπο και βυθίζουμε το σωληνάκι αναρρόφησης σε απιονισμένο νερό και στη συνέχεια το βυθίζουμε στο δείγμα που θέλουμε να μετρήσουμε. Αν η τιμή που εμφανίζεται απέχει αρκετά από την τιμή του προτύπου που χρησιμοποιήσαμε τότε ακολουθούμε την ίδια διαδικασία με το πρότυπο του οποίου η συγκέντρωση είναι πιο κοντά στη συγκέντρωση του δείγματος μας. Με τον ίδιο τρόπο μετράμε όλα τα δείγματά μας. Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων πρέπει να προσέχουμε το χρώμα της φλόγας. Όταν είναι μπλε σημαίνει ότι έχουμε καλή παροχή του καυσίμου μας δηλαδή έχουμε τέλεια καύση, αν όμως γίνει κίτρινη θα πρέπει να αυξήσουμε την παροχή του καυσίμου γυρίζοντας προς τα αριστερά το Fuel.

6.3 ΜΙΚΡΟΒΙΟΛΟΓΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ

6.3.1 ΟΛΙΚΑ ΚΟΛΟΒΑΚΤΗΡΙΔΙΑ

Στην ομάδα των ολικών κολοβακτηριδίων περιλαμβάνονται αερόβια και επαμφοτερίζοντα βακτήρια που είναι πλατιά διαδεδομένα και αναπτύσσονται στο έδαφος, τα επιφανειακά νερά, τα τρόφιμα. Η ομάδα αυτή, περιλαμβάνει είδη από τα γένη *Klebsiella*, *Enterobacter* και *Citrobacter*. Στην ομάδα των ολικών κολοβακτηριδίων περιλαμβάνονται ακόμα είδη που ζουν στο παχύ έντερο του ανθρώπου και των θερμόαιμων ζώων και αποβάλλονται με τα λύματα και κτηνοτροφικά απόβλητα. Η παρουσία αντιπροσώπων από την ομάδα των ολικών κολοβακτηριδίων στο νερό αποτελεί ένδειξη επιμόλυνσης από εξωγενείς παράγοντες αν και δεν είναι απαραίτητο η προέλευσή τους να είναι αποκλειστικά κοπρική. Για τη μέτρηση των ολικών κολοβακτηρίων καταμετρούνται οι αποικίες ανά 100 ml δείγματος.

6.3.1.1 Αρχή της μεθόδου ανάλυσης

Το θεϊκό άλας του Λαουρικού οξέος βρέθηκε ότι είναι ένα υπόστρωμα στο οποίο μπορούν να αναπτυχθούν επαρκώς τα κολοβακτηρίδια, έτσι αυτό το μέσον προτείνεται για την καταμέτρησή τους σε δείγματα νερού και αποβλήτων.

6.3.1.2 Πειραματική διαδικασία

Τοποθετούμε με αποστειρωμένη λαβίδα (πρώτα εμβαπτίζεται στο οινόπνευμα και στη συνέχεια καίγεται) ένα αποστειρωμένο φίλτρο πάνω στην πορώδη επιφάνεια της συσκευής διήθησης. Στη συνέχεια προσαρμόζω πάνω από το φίλτρο το ποτήρι και βάζω με ογκομετρικό κύλινδρο 100 ml από το δείγμα. Λίγο πριν τελειώσει η διήθηση του δείγματός μας ξεπλένουμε τα τοιχώματα του ποτηριού με αποστειρωμένο νερό. Στη συνέχεια παίρνουμε το φίλτρο με αποστειρωμένη λαβίδα και το τοποθετούμε στο τρυβλίο με το θρεπτικό υλικό. Στη συνέχεια βάζουμε τα τρυβλία στον θάλαμο επώασης στους 37°C για 24 ώρες και μετά το πέρας του απαιτούμενου χρόνου καταμετρώνται οι αποικίες, χρώματος κίτρινου.

6.3.2 ΚΟΠΡΙΚΑ ΚΟΛΟΒΑΚΤΗΡΙΑ

Στην ομάδα των κοπρικών κολοβακτηρίων, περιλαμβάνονται είδη που ζουν αποκλειστικά στο έντερο του ανθρώπου και των θερμόαιμων ζώων. Τα κοπρικά κολοβακτήρια περιέχονται σε μεγάλους αριθμούς, της τάξης των εκατομμυρίων, στα περιττώματα, λύματα και κτηνοτροφικά απόβλητα. Τα κοπρικά κολοβακτήρια, ταξινομικά, ανήκουν στην οικογένεια των *Enterobacteriaceae* που περιλαμβάνει και το είδος *Escherichia coli*. Η παρουσία κοπρικών κολοβακτηρίων στο νερό αποτελεί

σαφή ένδειξη κοπρικής επιμόλυνσης, χωρίς όμως να καθιστά το νερό υγειονομικά επικίνδυνο εάν δεν έχει ανιχνευθεί και η παρουσία συγκεκριμένων παραγόντων. Για τη μέτρηση των κοπρικών κολοβακτηρίων καταμετρούνται οι αποικίες ανά 100 ml δείγματος.

6.3.2.1 Αρχή της μεθόδου ανάλυσης

Το θεϊκό άλας του Λαουρικού οξέος βρέθηκε ότι είναι ένα υπόστρωμα στο οποίο μπορούν να αναπτυχθούν επαρκώς τα κολοβακτηρίδια, έτσι αυτό το μέσον προτείνεται για την καταμέτρησή τους σε δείγματα νερού και αποβλήτων.

6.3.2.2 Πειραματική διαδικασία

Τοποθετούμε με αποστειρωμένη λαβίδα (πρώτα εμβαπτίζεται στο οινόπνευμα και στη συνέχεια καίγεται) ένα αποστειρωμένο φίλτρο πάνω στην πορώδη επιφάνεια της συσκευής διήθησης. Στη συνέχεια προσαρμόζω πάνω από το φίλτρο το ποτήρι και βάζω με ογκομετρικό κύλινδρο 100 ml από το δείγμα. Λίγο πριν τελειώσει η διήθηση του δείγματός μας ξεπλένουμε τα τοιχώματα του ποτηριού με αποστειρωμένο νερό. Στη συνέχεια παίρνουμε το φίλτρο με αποστειρωμένη λαβίδα και το τοποθετούμε στο τρυβλίο με το θρεπτικό υλικό. Στη συνέχεια βάζουμε τα τρυβλία στον θάλαμο επώασης στους 44 °C για 24 ώρες και μετά το πέρας του απαιτούμενου χρόνου καταμετρώνται οι αποικίες χρώματος κίτρινου που έχουν δημιουργηθεί.

6.3.3 ΚΟΠΡΙΚΟΙ ΣΤΡΕΠΤΟΚΟΚΚΟΙ

Οι κοπρικοί στρεπτόκοκκοι είναι βακτήρια που ζουν συνήθως στο έντερο του ανθρώπου και των θερμόαιμων ζώων (ιπποειδή, βοοειδή, χοίροι, πουλερικά κ.λ.π). Η παρουσία κοπρικών στρεπτόκοκκων στο νερό είναι σαφής ένδειξη κοπρικής μόλυνσης. Η ομάδα των κοπρικών στρεπτόκοκκων περιλαμβάνει διαφορετικά είδη και ποικιλίες, όπως *Streptococcus faecalis*, *S. faecium*, *S. bovis* και *S. equinus*, με διαφορετικά βιοχημικά χαρακτηριστικά, το καθένα και εξειδίκευση ως προς τον ξενιστή τους. Οι διαφορές μεταξύ των ειδών και ποικιλιών του *Streptococcus*, χρησιμοποιούνται για την ταυτοποίηση της πηγής μόλυνσης των υδάτων. Για παράδειγμα, η υπεροχή των ειδών *S. bovis* και *S. equines* έναντι των άλλων ειδών σε ένα δείγμα νερού είναι δείκτης μόλυνσης των υδάτων από ζωικά περιττώματα (απόβλητα κτηνοτροφικών μονάδων, μονάδων επεξεργασία κρέατος, γαλακτοβιομηχανίες κ.λ.π). Επιπλέον, τα είδη *S. bovis* και *S. equinus* έχουν μικρό χρόνο επιβίωσης εκτός του φυσικού τους βιότοπου έτσι η παρουσία τους στο νερό δείχνει πρόσφατη επιμόλυνση.

Η σχέση κοπρικών κολοβακτηρίων προς κοπρικούς στρεπτόκοκκους σε ένα δείγμα νερού είναι ενδεικτική της φύσης του ρυπαντικού φορτίου. Τα κοπρικά κολοβακτήρια είναι περισσότερα από τους κοπρικούς στρεπτόκοκκους στα αστικά λύματα. Η συνηθέστερη σχέση κοπρικών κολοβακτηρίων προς κοπρικούς στρεπτόκοκκους στα λύματα, είναι ανώτερη του 4:1. Αντίθετα, στα περιττώματα των οικιακών και κτηνοτροφικών ζώων, οι στρεπτόκοκκοι είναι περισσότεροι αριθμητικά από τα κοπρικά κολοβακτήρια. Η συνηθέστερη σχέση ολικών κολοβακτηρίων προς κοπρικούς στρεπτόκοκκους στα κτηνοτροφικά απόβλητα είναι 0,7. Για τη μέτρηση των κοπρικών στρεπτόκοκκων καταμετρούνται οι αποικίες ανά 100 ml δείγματος.

6.3.3.1 Αρχή της μεθόδου ανάλυσης

Οι εντερόκοκκοι μειώνουν το χλωριούχο τετραζόλιο σε αδιάλυτη κόκκινη φορμόζη, παράγοντας αποικίες κόκκινου σκούρου χρώματος στην επιφάνεια του φίλτρου.

6.3.3.2 Πειραματική διαδικασία

Τοποθετούμε με αποστειρωμένη λαβίδα (πρώτα εμβαπτίζεται στο οινόπνευμα και στη συνέχεια καίγεται) ένα αποστειρωμένο φίλτρο πάνω στην πορώδη επιφάνεια της συσκευής διήθησης. Στη συνέχεια προσαρμόζω πάνω από το φίλτρο το ποτήρι και βάζω με ογκομετρικό κύλινδρο 100 ml από το δείγμα. Λίγο πριν τελειώσει η διήθηση του δείματός μας ξεπλένουμε τα τοιχώματα του ποτηριού με αποστειρωμένο νερό. Στη συνέχεια παίρνουμε το φίλτρο με αποστειρωμένη λαβίδα και το τοποθετούμε στο τρυβλίο με το θρεπτικό υλικό. Στη συνέχεια βάζουμε τα τρυβλία στον θάλαμο επώασης, στους 44 °C για 48 ώρες και μετά το πέρας του απαιτούμενου χρόνου καταμετρώνται οι αποικίες χρώματος σκούρου κόκκινου που έχουν δημιουργηθεί.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 : ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

7.1 ΚΑΪΝΑ

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα (σχήμα 7.1.1) στη γεώτρηση της Κάϊνας παρουσιάζει μία ανοδική πορεία καθόλη τη διάρκεια των δειγματοληψιών εκτός από το διάστημα 12/01/06 έως 06/04/06 που παρουσιάζει μια πτωτική τάση. Αυτό μπορεί να οφείλεται σε εμπλουτισμό του υδροφόρου καθώς το διάστημα αυτό είναι περίοδος βροχοπτώσεων. Η μέγιστη τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας παρατηρήθηκε στις 9/9/05 (1885 μS/cm) ενώ η ελάχιστη τιμή στις 9/6/04 (657 μS/cm).

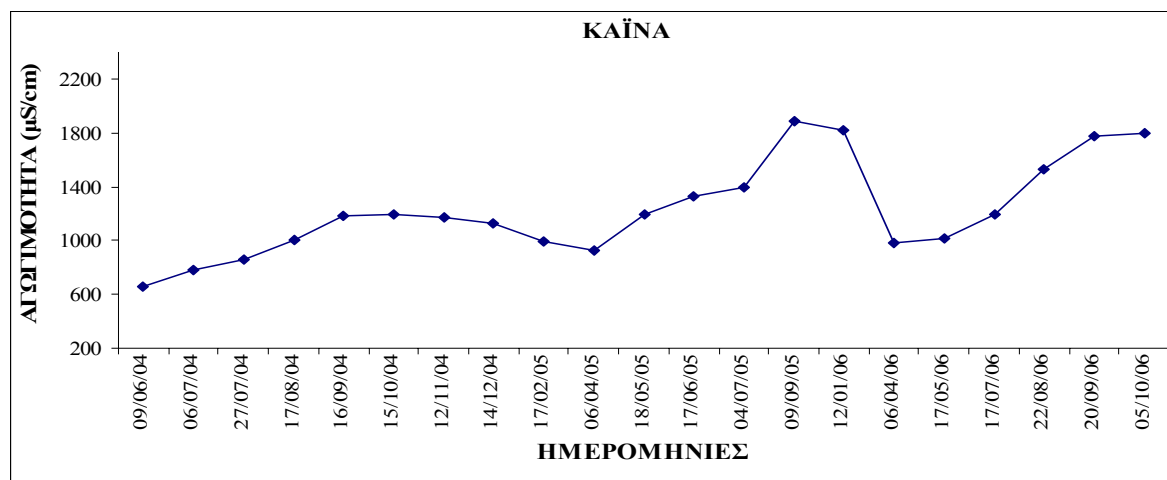
Η συγκέντρωση των χλωριόντων όπως φαίνεται και στο σχήμα 7.1.2 εμφανίζουν μία αυξητική τάση και γενικότερα ακολουθούν την πορεία της ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Η μικρότερη τιμή καταγράφηκε στις 9/6/04 (82,24 mg/l) και η μεγαλύτερη στις 20/9/06 (477,85 mg/l).

Η συγκέντρωση ιόντων νατρίου (για τις ημερομηνίες που υπάρχουν μετρήσεις) εμφανίζει επίσης αυξητική τάση με μικρότερη τιμή να έχει σημειωθεί στις 17/8/04 (74 mg/l) και τη μεγαλύτερη τιμή στις 5/10/06 (230 mg/l).

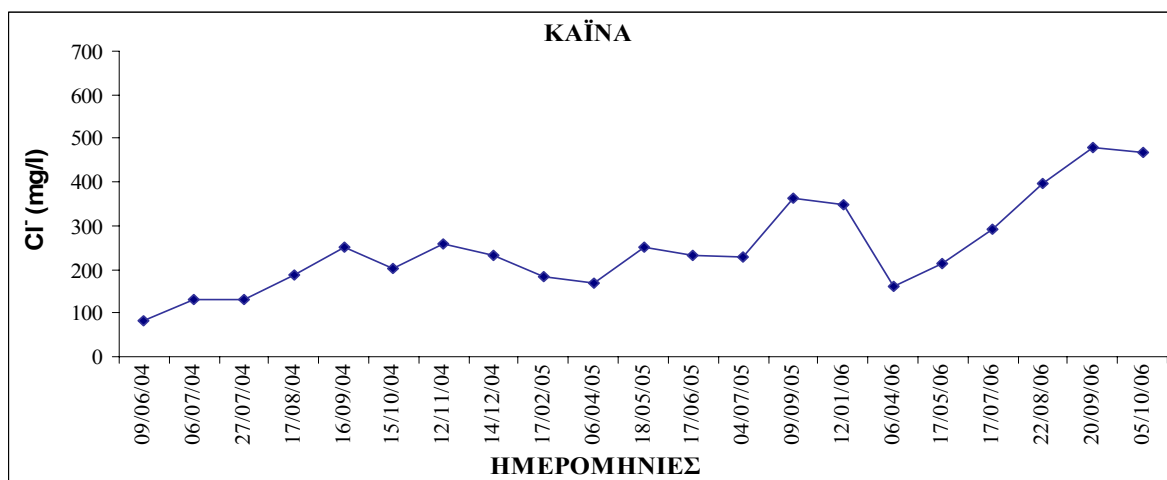
Η στάθμη της γεώτρησης (σχήμα 7.1.4) κατά το διάστημα 17/7/06 έως 22/8/06 παρουσιάζει μια πτωτική τάση και από τις 22/8/06 έως τις 5/10/06 παρουσιάζει μία πολύ μικρή αύξηση της τάξης των 3 cm.

Η σκληρότητα (σχήμα 7.1.5) επίσης παρουσιάζει αυξητική τάση που είναι πιο εμφανής το διάστημα 17/7/06 έως 5/10/06. Οι τιμές στις 15/10/04 και 17/02/05 (826,89 και 940,88 mg/l αντίστοιχα) είναι αρκετά μεγαλύτερες σε σχέση με τις υπόλοιπες μετρήσεις, κάτι που μπορεί να οφείλεται σε πειραματικό σφάλμα. Επίσης στις 17/6/05 η τιμή της σκληρότητας (80 mg/l) είναι αρκετά μικρότερη από τις υπόλοιπες κάτι που μπορεί να οφείλεται επίσης σε πειραματικό σφάλμα.

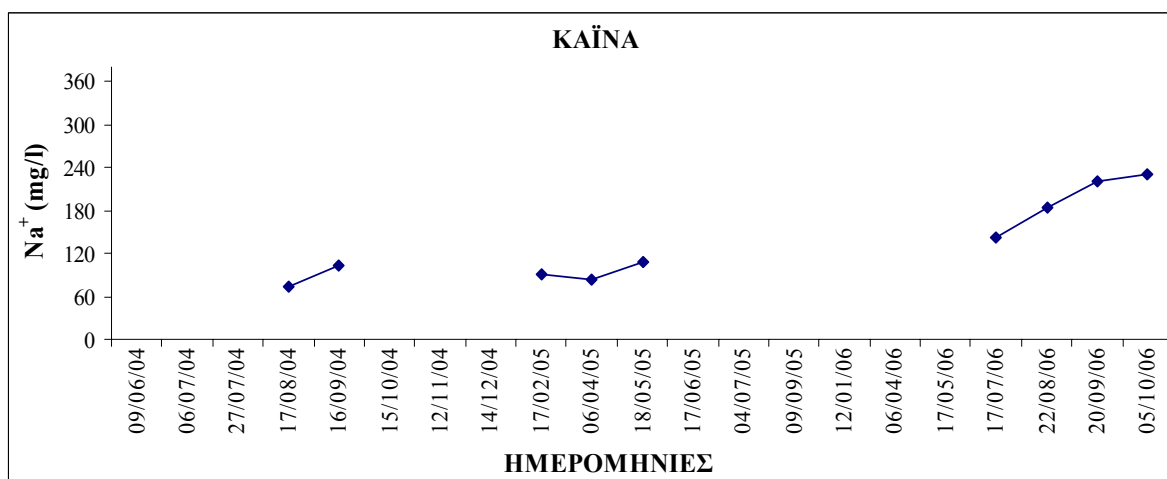
Η συγκέντρωση ιόντων καλίου (σχήμα 7.1.6) παρουσιάζει μία αυξητική πορεία με μέγιστη τιμή στις 5/10/06 (3,6 mg/l) και ελάχιστη τιμή στις 6/4/05 (1,7 mg/l). Το pH (σχήμα 7.1.7) παρουσιάζει μικρές μεταβολές. Η μέγιστη τιμή παρατηρείται στις 6/4/06 (7,9) και η ελάχιστη τιμή στις 12/11/04 (7,2).



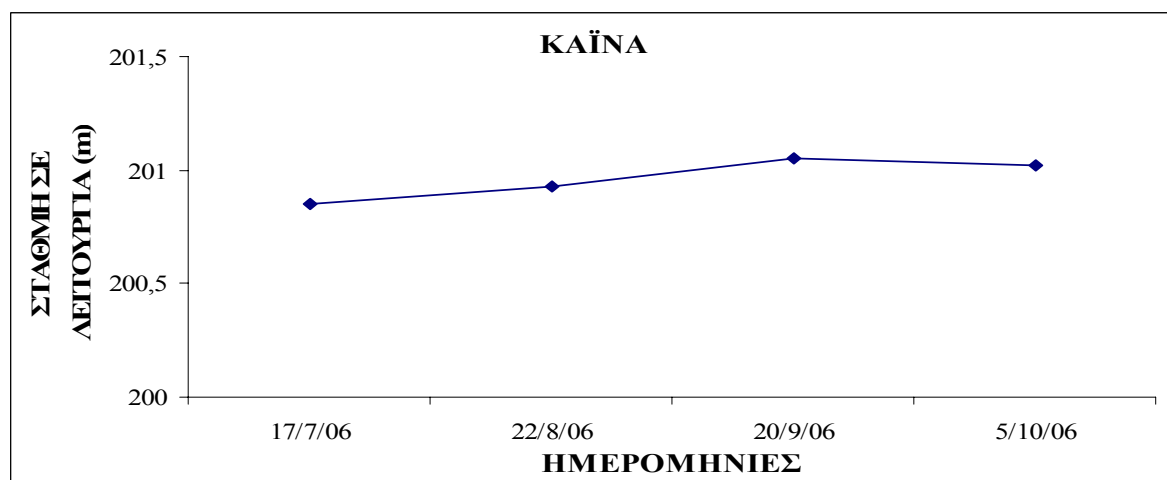
Σχήμα 7.1.1 : Μεταβολή της αγωγιμότητας (μS/cm) στη γεώτρηση της Κάϊνας από τις 09/06/04 έως τις 05/10/06.



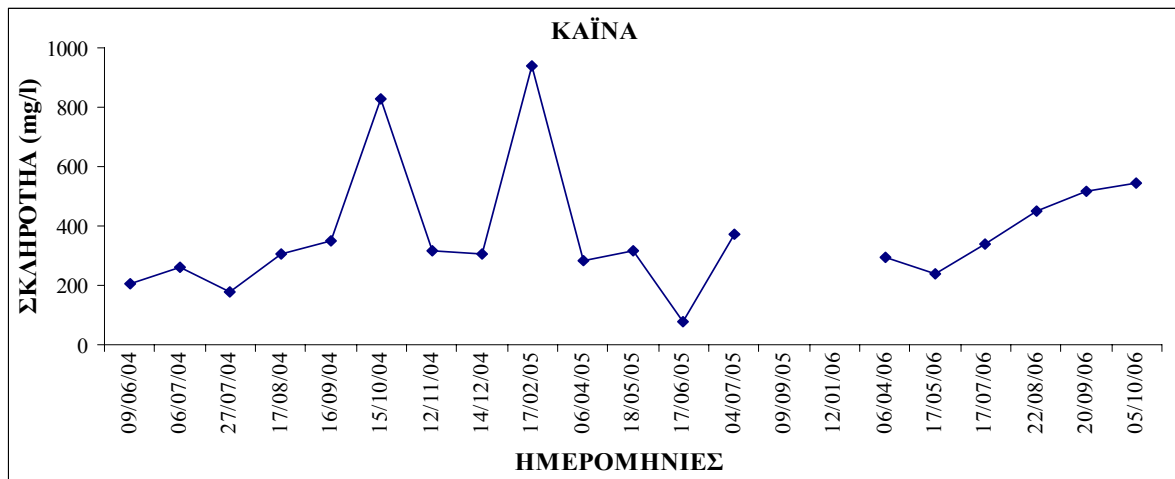
Σχήμα 7.1.2 : Μεταβολή του Cl⁻ (mg/l) στη γεώτρηση της Κάϊνας από τις 09/06/04 έως τις 05/10/06.



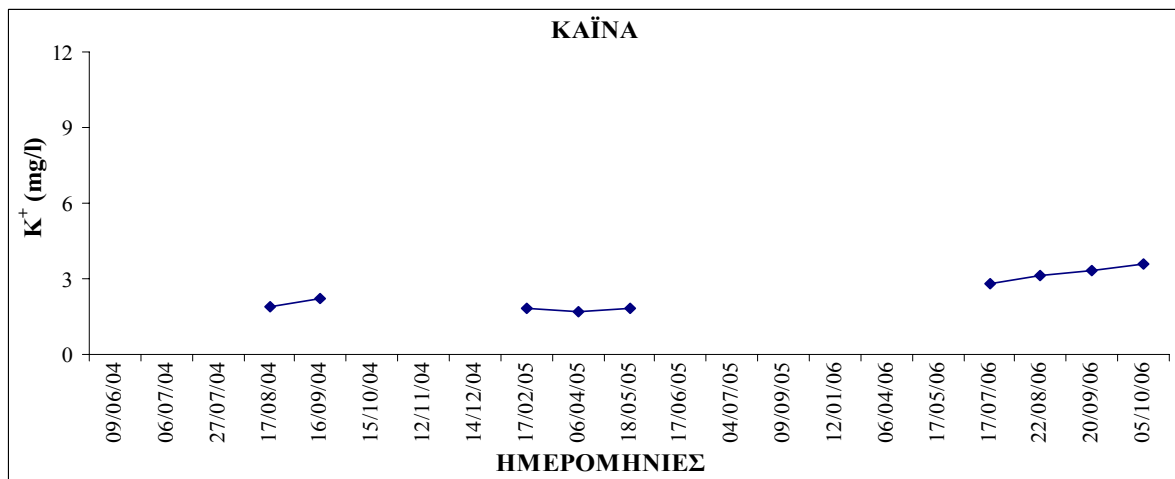
Σχήμα 7.1.3 : Μεταβολή του Na⁺ (mg/l) στη γεώτρηση της Κάϊνας από τις 09/06/04 έως τις 05/10/06.



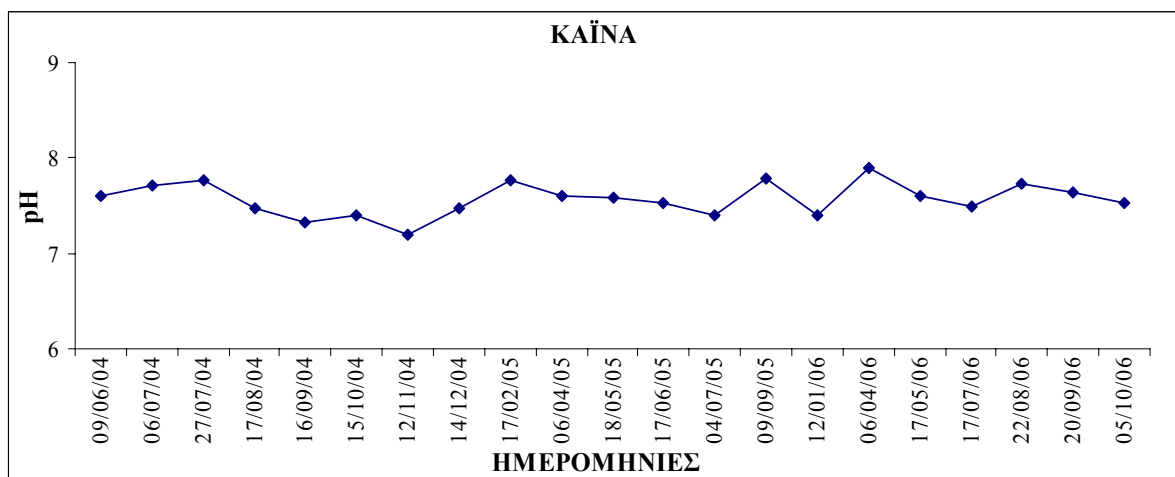
Σχήμα 7.1.4 : Μεταβολή της στάθμης (m) στη γεώτρηση της Κάϊνας από τις 17/7/06 έως τις 5/10/06.



Σχήμα 7.1.5 : Μεταβολή της σκληρότητας (mg/l) στη γεώτρηση της Κάϊνας από τις 09/06/04 έως τις 05/10/06.



Σχήμα 7.1.6 : Μεταβολή του K⁺ (mg/l) στη γεώτρηση της Κάϊνας από τις 09/06/04 έως τις 05/10/06.



Σχήμα 7.1.7 : Μεταβολή του pH στη γεώτρηση της Κάϊνας από τις 09/06/04 έως τις 05/10/06.

7.2 ΓΑΒΑΛΟΧΩΡΙ

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα στο Γαβαλοχώρι (σχήμα 7.2.1) δεν μεταβάλλεται σημαντικά. Αυτό μπορεί να οφείλεται σε μείωση του ρυθμού άντλησης της γεώτρησης.

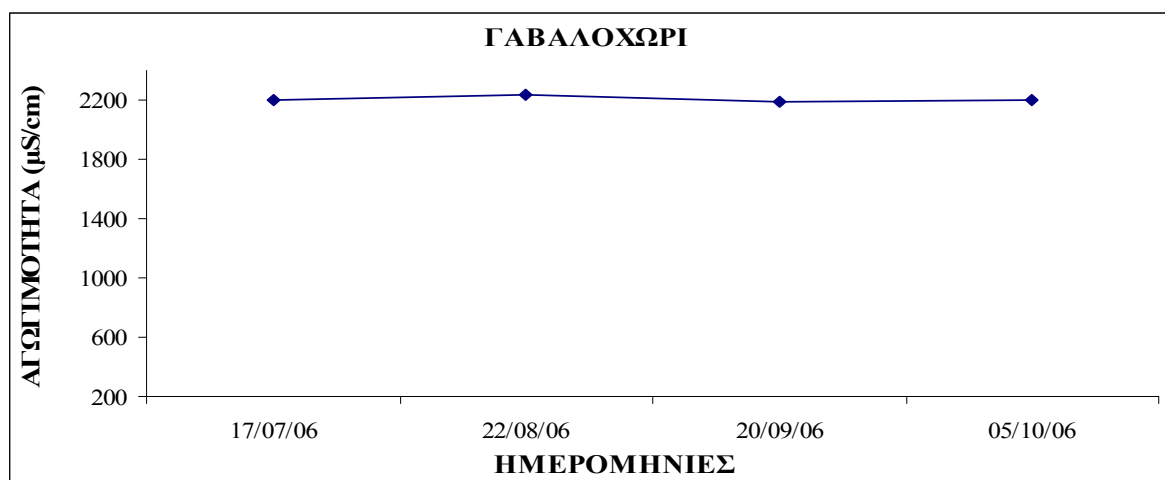
Η συγκέντρωση των χλωριόντων (σχήμα 7.2.2) παραμένει σχεδόν σταθερή και κυμαίνεται ανάμεσα στα 600 και τα 630 mg/l.

Η συγκέντρωση ιόντων νατρίου επίσης παραμένει σχεδόν σταθερή και κυμαίνεται ανάμεσα στα 360 και τα 380 mg/l.

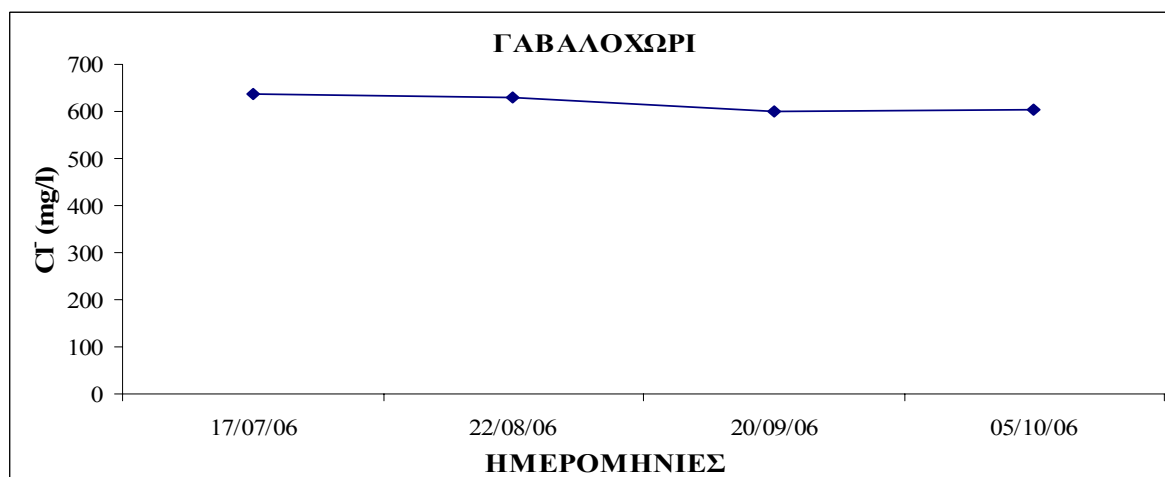
Η σκληρότητα (σχήμα 7.2.4) παραμένει και αυτή σταθερή και κυμαίνεται μεταξύ 440 και 474 mg/l.

Η συγκέντρωση των ιόντων καλίου παραμένει σχεδόν σταθερή και κυμαίνεται μεταξύ 11,1 και 11,7 mg/l.

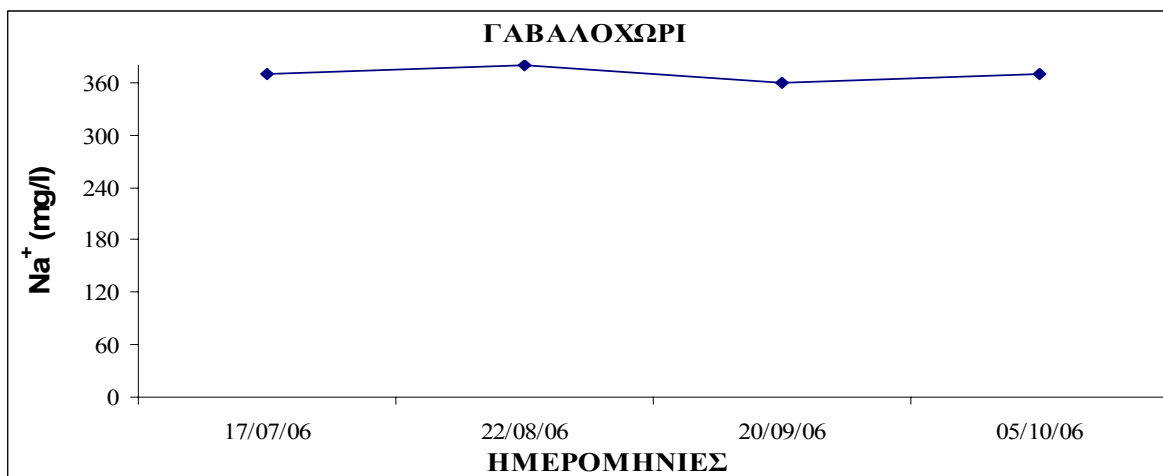
Το pH (σχήμα 7.2.6) παραμένει σχεδόν σταθερό και η τιμή του κυμαίνεται μεταξύ 7,52 και 7,69.



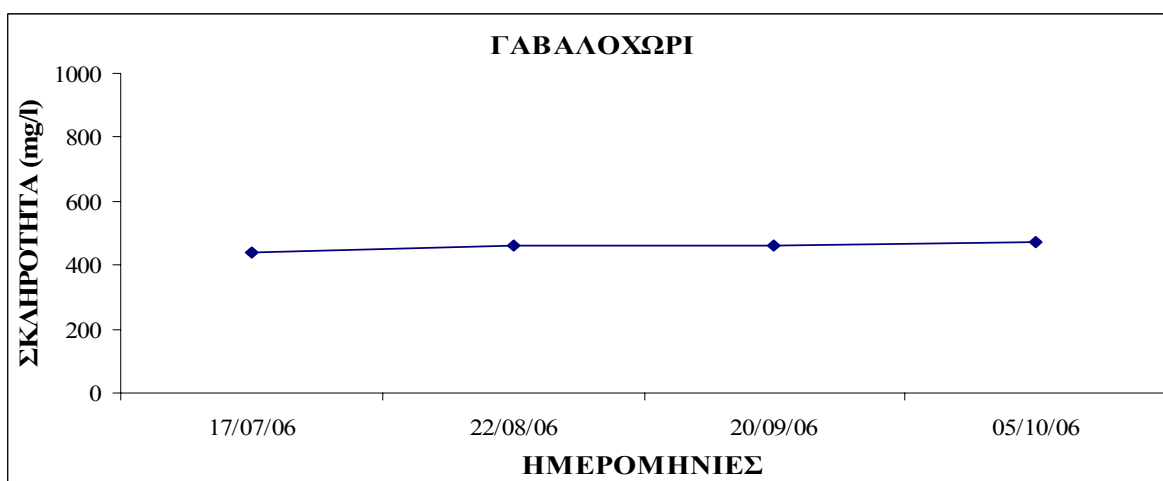
Σχήμα 7.2.1 : Μεταβολή της αγωγιμότητας (μS/cm) στη γεώτρηση του Γαβαλοχωρίου από τις 17/7/06 έως τις 05/10/06.



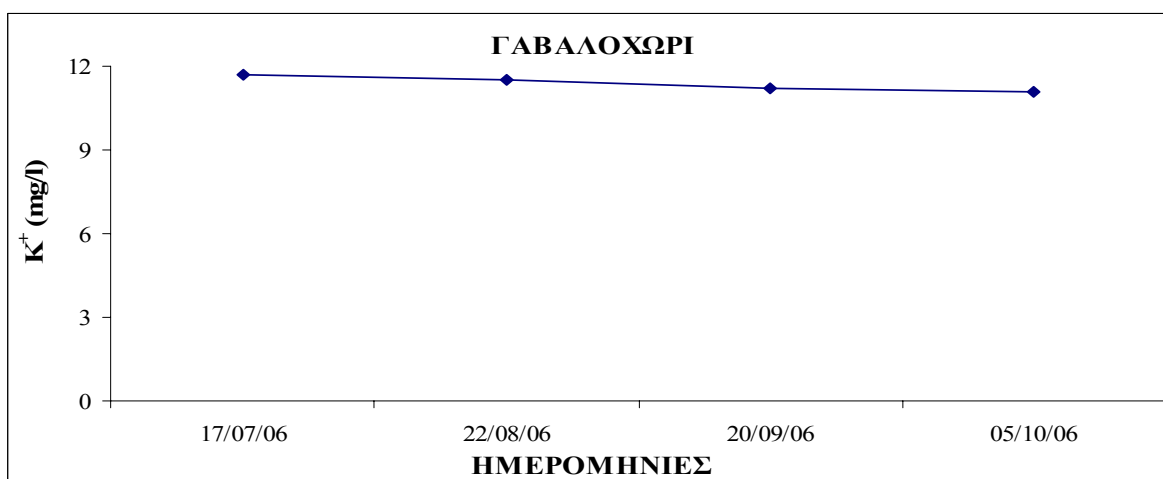
Σχήμα 7.2.2 : Μεταβολή του Cl⁻ (mg/l) στη γεώτρηση του Γαβαλοχωρίου από τις 17/7/06 έως τις 05/10/06.



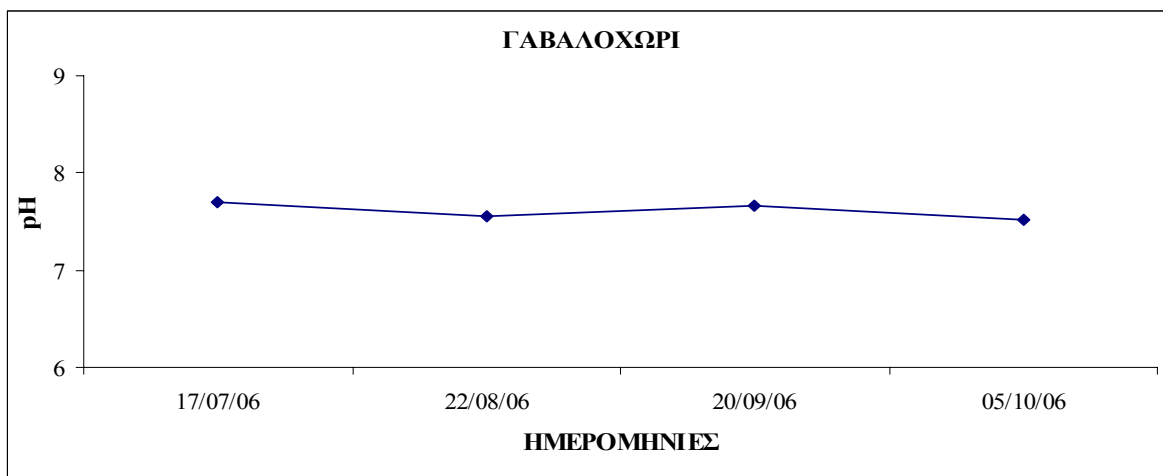
Σχήμα 7.2.3 : Μεταβολή του Na⁺ (mg/l) στη γεώτρηση του Γαβαλοχωρίου από τις 17/7/06 έως τις 05/10/06.



Σχήμα 7.2.4 : Μεταβολή της σκληρότητας (mg/l) στη γεώτρηση του Γαβαλοχωρίου από τις 17/7/06 έως τις 05/10/06.



Σχήμα 7.2.5 : Μεταβολή του K⁺ (mg/l) στη γεώτρηση του Γαβαλοχωρίου από τις 17/7/06 έως τις 05/10/06.



Σχήμα 7.2.6 : Μεταβολή του pH στη γεώτρηση του Γαβαλοχωρίου από τις 17/7/06 έως τις 05/10/06.

7.3 ΚΑΛΥΒΕΣ

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα στις Καλύβες (σχήμα 7.3.1) από τις 25/7/06 έως τις 20/9/06 παραμένει σχεδόν σταθερή, ενώ από τις 20/9/06 έως τις 5/10/06 αυξάνεται. Η ελάχιστη τιμή σημειώνεται στις 25/7/06 (1260 $\mu\text{S/cm}$) και η μέγιστη στις 5/10/06 (1463 $\mu\text{S/cm}$).

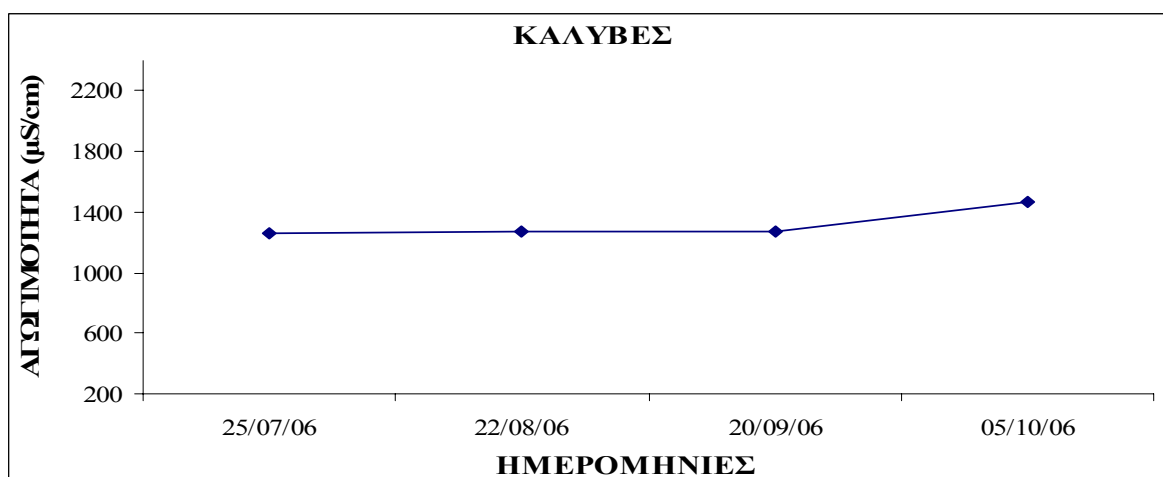
Η συγκέντρωση των χλωριόντων ωστόσο δεν μεταβάλλεται σημαντικά και η τιμή τους κυμαίνεται μεταξύ 237 και 255 mg/l.

Η συγκέντρωση ιόντων νατρίου (σχήμα 7.3.3) τείνει προς την ίδια κατεύθυνση με την ηλεκτρική αγωγιμότητα. Η ελάχιστη τιμή παρατηρείται στις 20/9/06 (150 mg/l) και η μέγιστη στις 5/10/06 (170 mg/l).

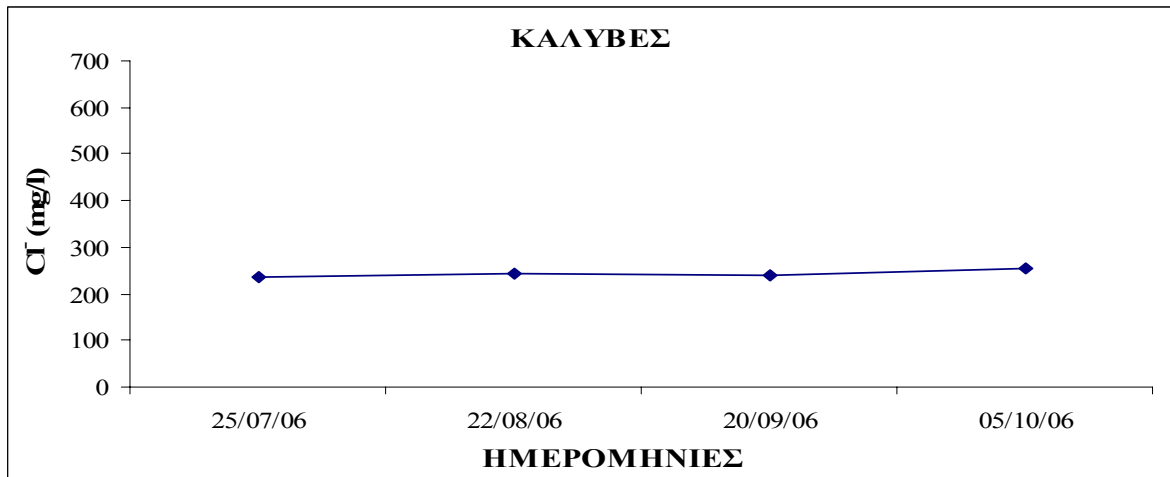
Η σκληρότητα (σχήμα 7.3.4) παραμένει σχεδόν σταθερή και η τιμή της κυμαίνεται μεταξύ 382 και 412 mg/l.

Η συγκέντρωση ιόντων καλίου (σχήμα 7.3.5) παραμένει σχεδόν σταθερή και κυμαίνεται ανάμεσα στα 7 και 7,5 mg/l..

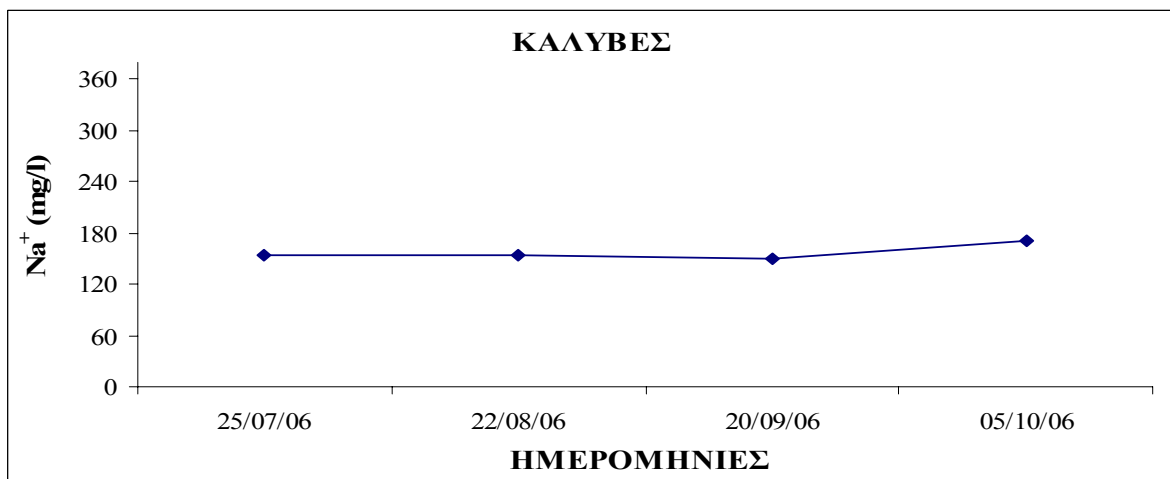
Το pH (σχήμα 7.3.6) παραμένει επίσης σταθερό και η τιμή του κυμαίνεται ανάμεσα στο 7,22 και 7,56.



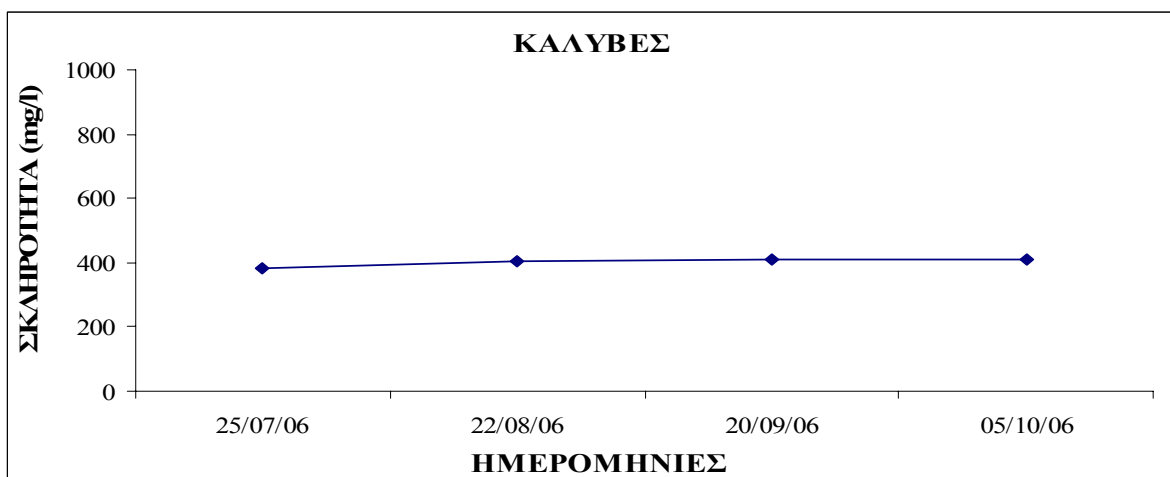
Σχήμα 7.3.1 : Μεταβολή της αγωγιμότητας ($\mu\text{S/cm}$) στη γεώτρηση των Καλυβών από τις 25/07/06 έως τις 05/10/06.



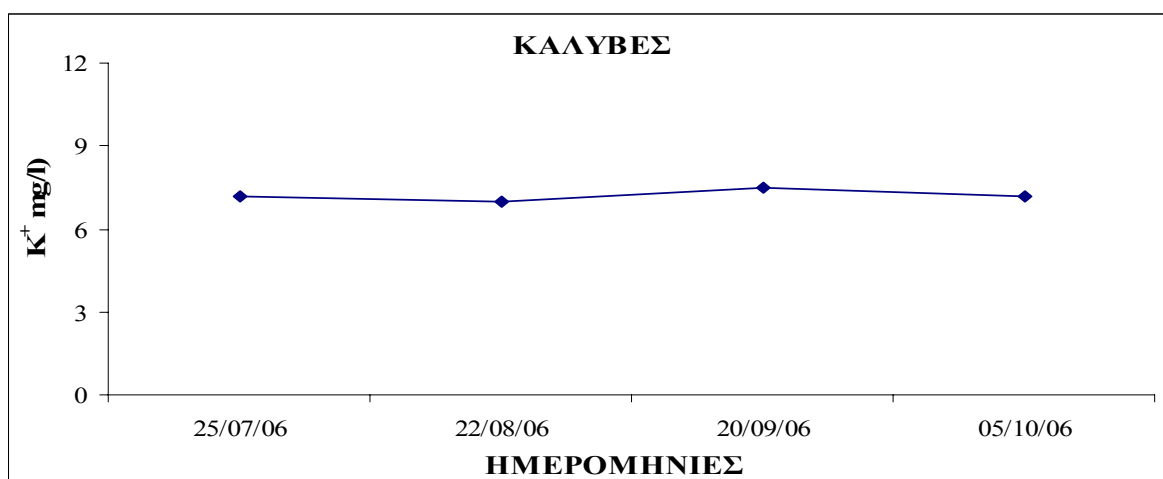
Σχήμα 7.3.2 : Μεταβολή του Cl⁻ (mg/l) στη γεώτρηση των Καλυβών από τις 25/07/06 έως τις 05/10/06.



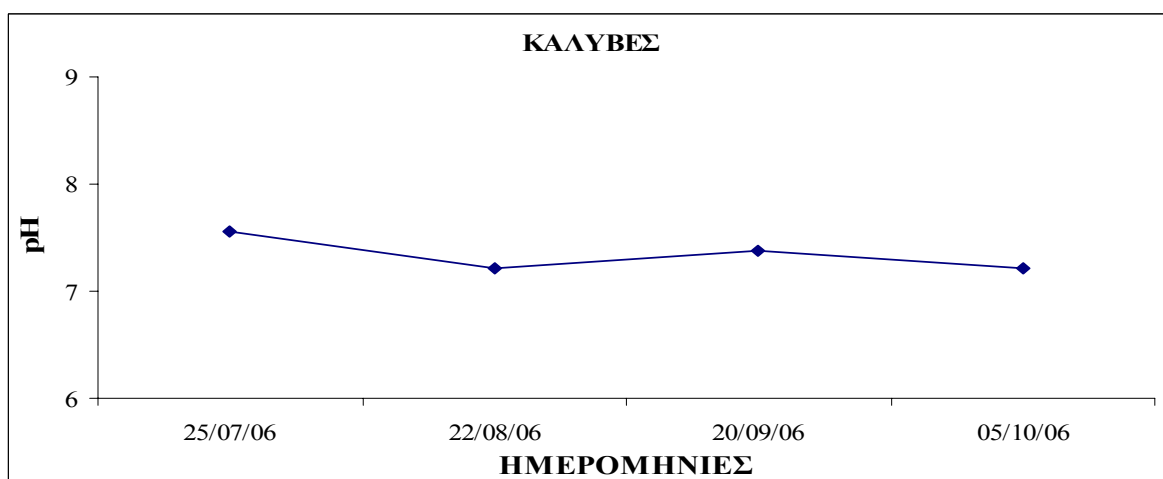
Σχήμα 7.3.3 : Μεταβολή του Na⁺ (mg/l) στη γεώτρηση των Καλυβών από τις 25/07/06 έως τις 05/10/06.



Σχήμα 7.3.4 : Μεταβολή της σκληρότητας (mg/l) στη γεώτρηση των Καλυβών από τις 25/07/06 έως τις 05/10/06.



Σχήμα 7.3.5 : Μεταβολή του K⁺ (mg/l) στη γεώτρηση των Καλυβών από τις 25/07/06 έως τις 05/10/06.



Σχήμα 7.3.6 : Μεταβολή του pH στη γεώτρηση των Καλυβών από τις 25/07/06 έως τις 05/10/06.

7.4 ΝΙΟ ΧΩΡΙΟ

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα (σχήμα 7.4.1) στο Νιο Χωριό παραμένει σχεδόν σταθερή αφού οι διαφορές είναι αμελητέες της τάξης των 3 μS/cm

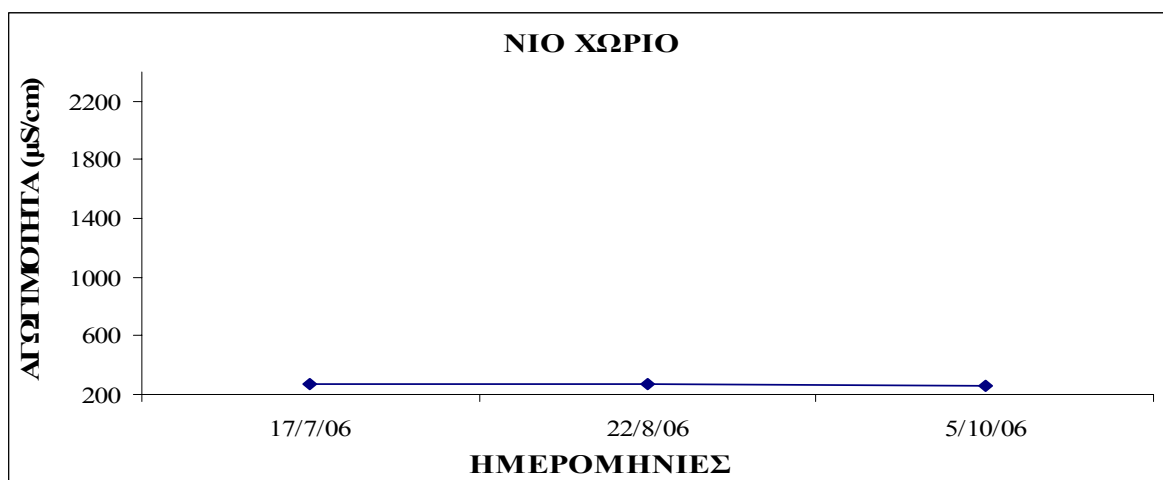
Η συγκέντρωση χλωριόντων (σχήμα 7.4.2) παραμένει σταθερό εκτός από τις 22/8/06 που παρατηρούμε μία μείωση. Αυτό μπορεί να οφείλεται σε πειραματικό σφάλμα γιατί βλέπουμε ότι η αγωγιμότητα και το νάτριο δεν παρουσιάζουν κάτι αντίστοιχο.

Η συγκέντρωση ιόντων νατρίου (σχήμα 7.4.3) παραμένει σταθερή (8 mg/l).

Η σκληρότητα (σχήμα 7.4.4) παραμένει σχεδόν σταθερή αφού η διαφορά της τάξης των 8 mg/l θεωρείται αμελητέα

Η συγκέντρωση ιόντων καλίου (σχήμα 7.4.5) παραμένει και αυτή σταθερή αφού οι διαφορές είναι της τάξης των 0,2 mg/l.

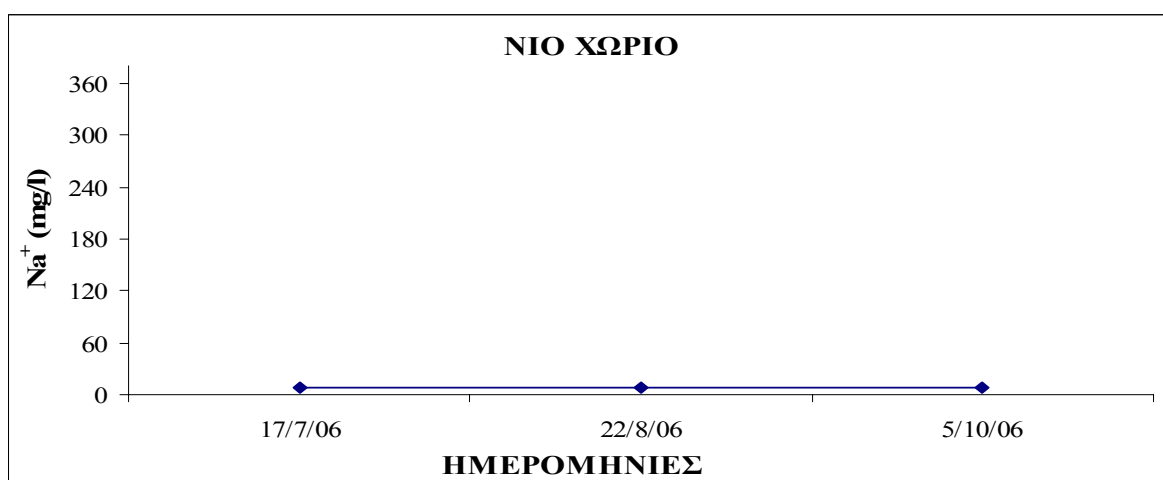
Το pH (σχήμα 7.4.6) παραμένει σχεδόν σταθερό και η τιμή του κυμαίνεται ανάμεσα στο 8,12 και 8,18.



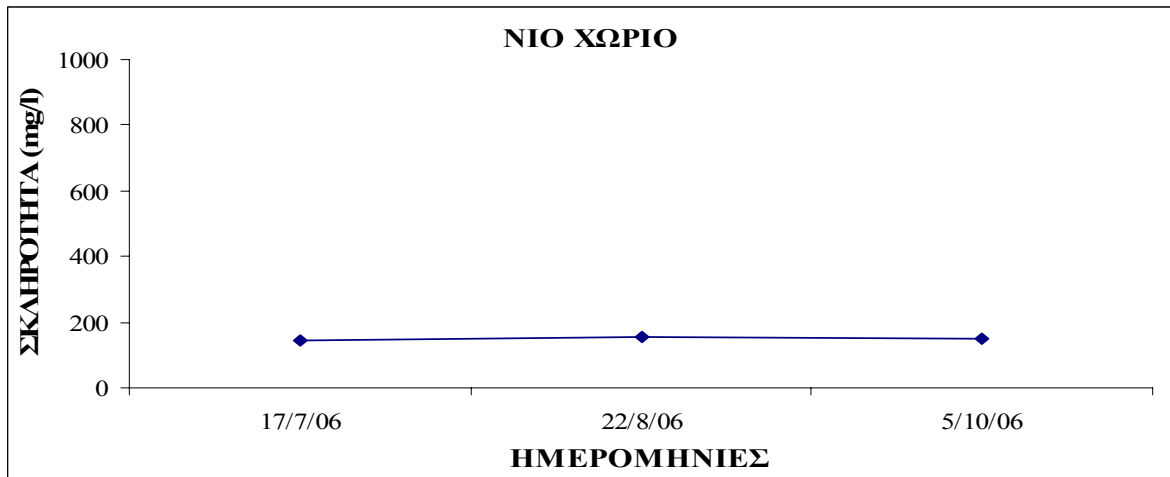
Σχήμα 7.4.1 : Μεταβολή της αγωγιμότητας (μS/cm) στο Νιο Χωριό από τις 17/07/06 έως τις 05/10/06.



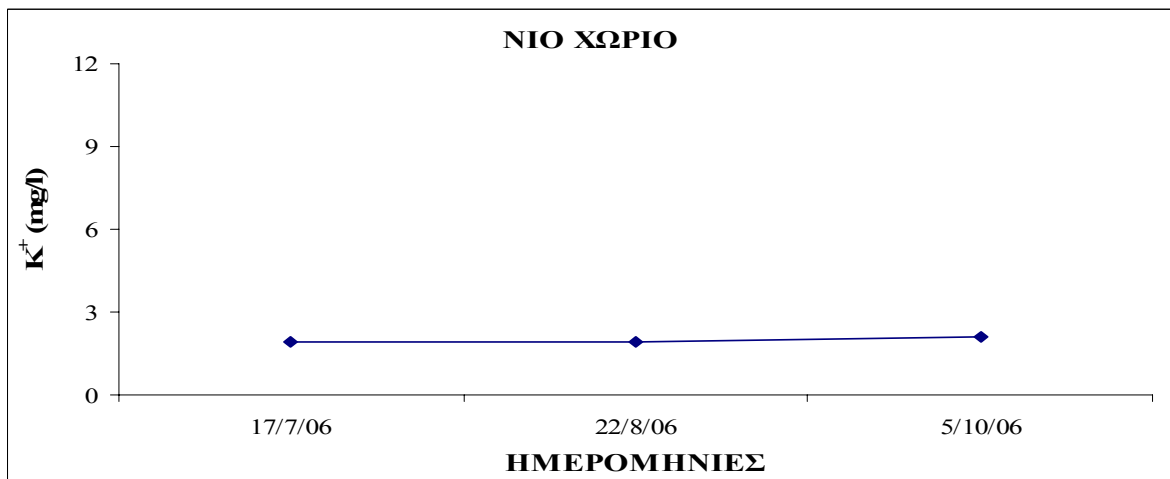
Σχήμα 7.4.2 : Μεταβολή του Cl⁻ (mg/l) στο Νιο Χωριό από τις 17/07/06 έως τις 05/10/06.



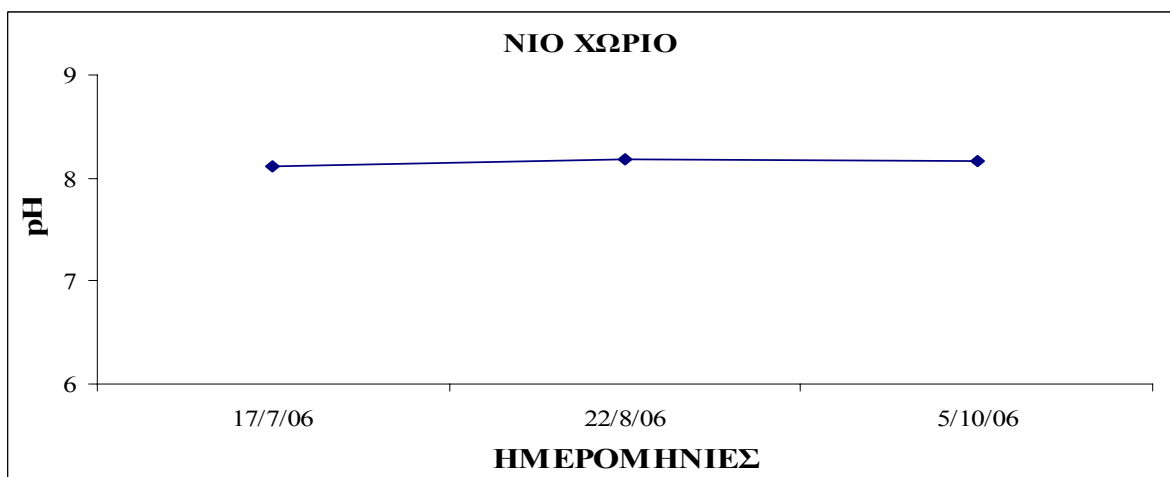
Σχήμα 7.4.3 : Μεταβολή του Na⁺ (mg/l) στο Νιο Χωριό από τις 17/07/06 έως τις 05/10/06.



Σχήμα 7.4.4 : Μεταβολή της σκληρότητας (mg/l) στο Νιο Χωριό από τις 17/07/06 έως τις 05/10/06.



Σχήμα 7.4.5 : Μεταβολή του K⁺ (mg/l) στο Νιο Χωριό από τις 17/07/06 έως τις 05/10/06.



Σχήμα 7.4.6 : Μεταβολή του pH στο Νιο Χωριό από τις 17/07/06 έως τις 05/10/06.

7.5 ΜΕΓΑΛΑ ΧΩΡΑΦΙΑ ΠΗΓΗ

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα στα Μεγάλα Χωράφια πηγή (σχήμα 7.5.1) παραμένει σταθερή και η τιμή της κυμαίνεται μεταξύ 867 και 903 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Η συγκέντρωση των χλωριόντων (σχήμα 7.5.2) παραμένει σχεδόν σταθερή μεταξύ 196 και 215 mg/l αφού η διαφορά της τάξης των 10 mg/l θεωρείται αμελητέα.

Η συγκέντρωση ιόντων νατρίου (σχήμα 7.5.3) παραμένει σταθερή στα 110 mg/l .

Η σκληρότητα (σχήμα 7.5.4) παρουσιάζει μία αυξητική τάση που είναι πιο εμφανής στις 5/10/06. Η μέγιστη τιμή της να καταγράφεται στις 5/10/06 (284 mg/l) και η ελάχιστη στις 13/7/06 (246 mg/l).

Η συγκέντρωση ιόντων καλίου (σχήμα 7.5.5) παραμένει σταθερή (4,1-4,3 mg/l).

Το pH (σχήμα 7.5.6) παραμένει σταθερό καθόλη τη διάρκεια των δειγματοληψιών και κυμαίνεται μεταξύ του 8,1 και 8,65.



Σχήμα 7.5.1 : Μεταβολή της αγωγιμότητας ($\mu\text{S}/\text{cm}$) στα Μεγάλα Χωράφια Πηγή από τις 13/07/06 έως τις 05/10/06.



Σχήμα 7.5.2 : Μεταβολή του Cl^- (mg/l) στα Μεγάλα Χωράφια Πηγή από τις 13/07/06 έως τις 05/10/06.



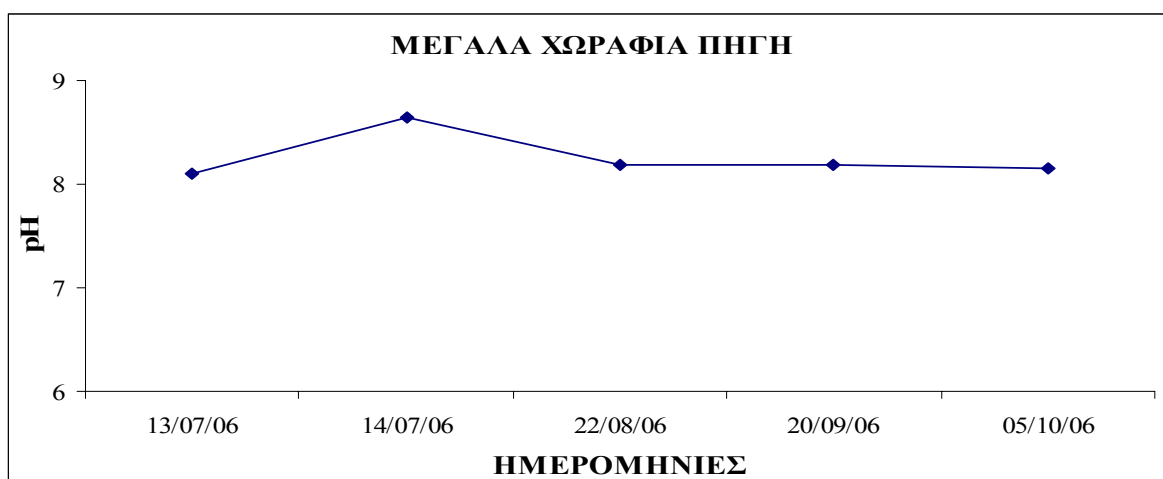
Σχήμα 7.5.3 : Μεταβολή του Na⁺ (mg/l) στα Μεγάλα Χωράφια Πηγή από τις 13/07/06 έως τις 05/10/06.



Σχήμα 7.5.4 : Μεταβολή της σκληρότητας (mg/l) στα Μεγάλα Χωράφια Πηγή από τις 13/07/06 έως τις 05/10/06.



Σχήμα 7.5.5 : Μεταβολή του K⁺ (mg/l) στα Μεγάλα Χωράφια Πηγή από τις 13/07/06 έως τις 05/10/06.



Σχήμα 7.5.6 : Μεταβολή του pH στα Μεγάλα Χωράφια Πηγή από τις 13/07/06 έως τις 05/10/06.

7.6 ΝΑΥΣΤΑΘΜΟΣ ΑΠΟΡΡΟΗ

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα στο Ναύσταθμο Απορροή δεν παρουσιάζει αξιοσημείωτη μεταβολή και η τιμή της κυμαίνεται ανάμεσα στα 880 και 920 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

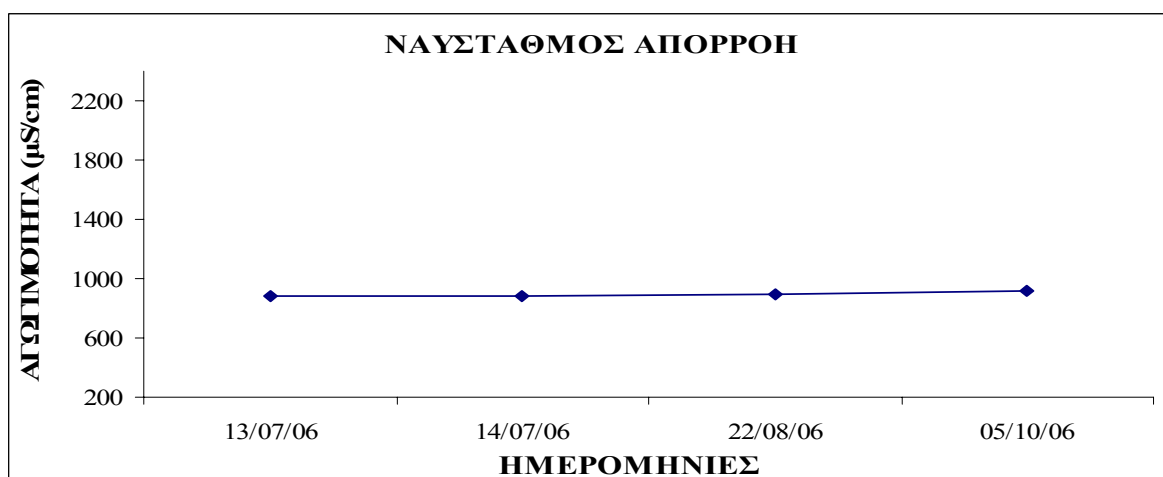
Η συγκέντρωση των χλωριόντων (σχήμα 7.6.2) παραμένει σχεδόν σταθερή μεταξύ 205 και 219 mg/l αφού η διαφορά των 10 mg/l είναι πολύ μικρή.

Η συγκέντρωση ιόντων νατρίου (σχήμα 7.6.3) παραμένει σχεδόν σταθερή μεταξύ 113 και 120 mg/l αφού η διαφορά των 7 mg/l σε σχέση με τις τιμές μπορεί να θεωρηθεί αμελητέα.

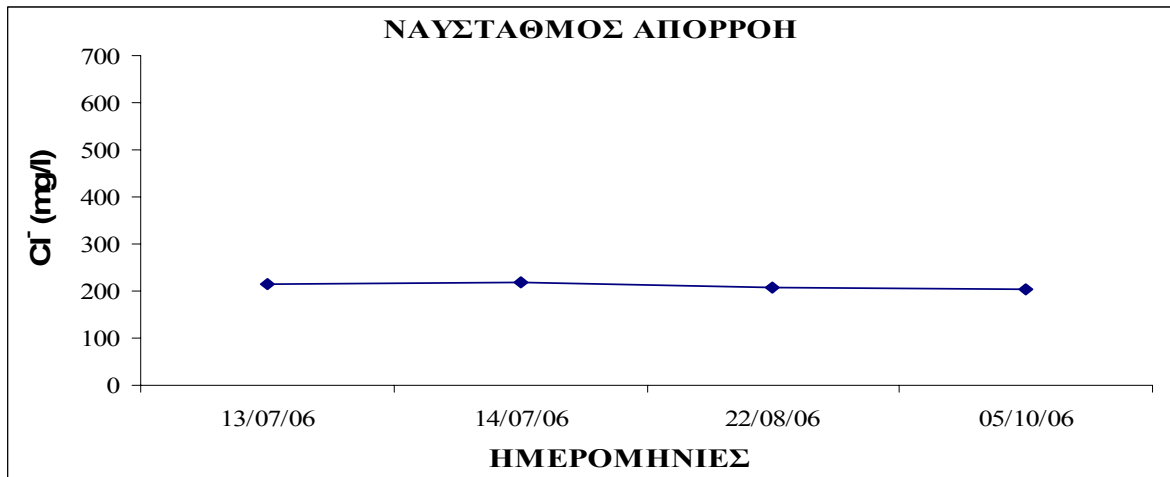
Η σκληρότητα (σχήμα 7.6.4) από τις 13/7/06 έως τις 22/8/06 παραμένει σχεδόν σταθερή και στις 5/10/06 παρατηρείται μία αύξηση. Η μέγιστη τιμή της σκληρότητας καταγράφεται στις 5/10/06 (290 mg/l) και η ελάχιστη τιμή στις 14/7/06 (248 mg/l).

Η συγκέντρωση ιόντων καλίου (σχήμα 7.6.5) παραμένει σταθερή (4 mg/l) διότι η διαφορά είναι της τάξης του 0,1 mg/l.

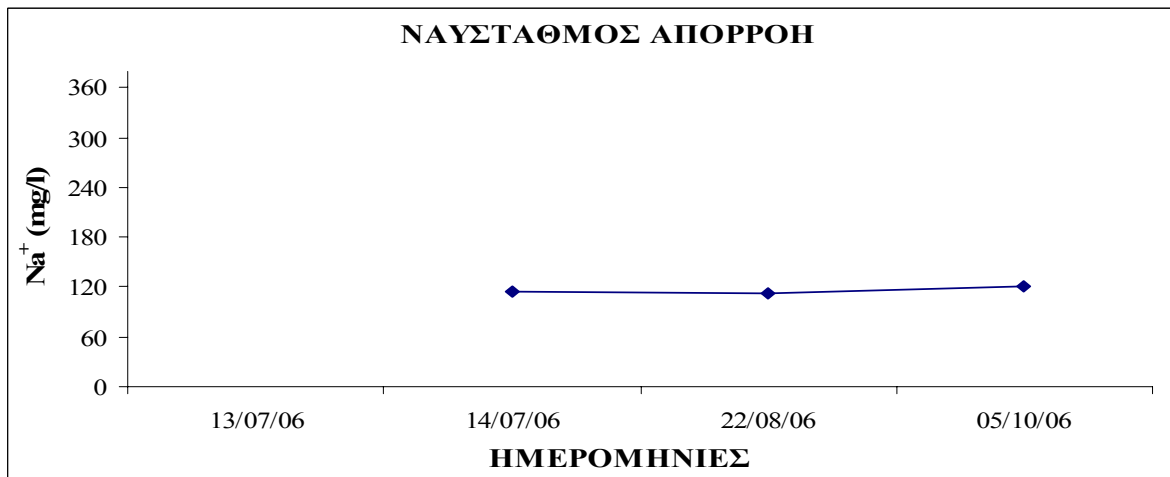
Το pH (σχήμα 7.6.6) παραμένει και αυτό σταθερό και η τιμή κυμαίνεται μεταξύ 7,78 και 7,9.



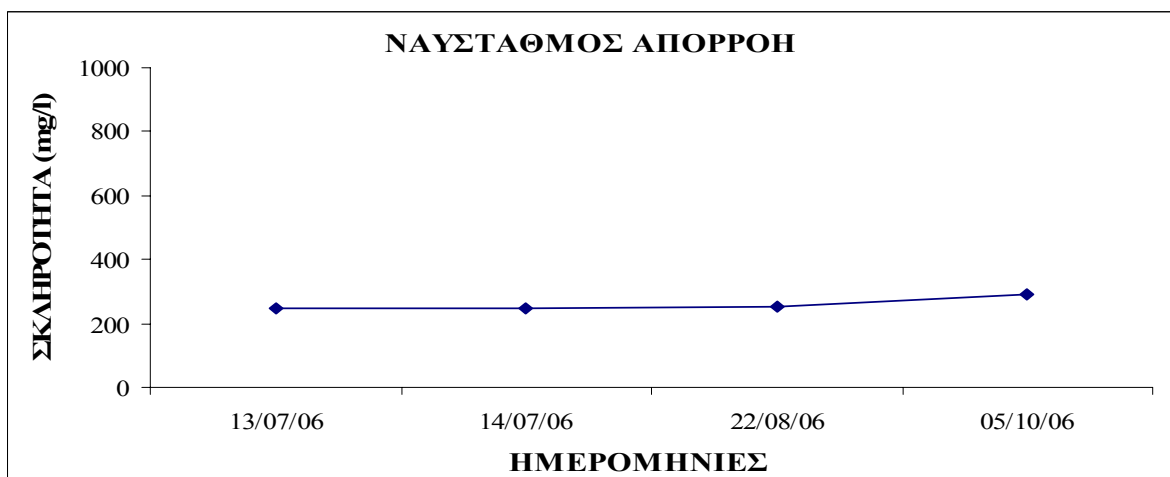
Σχήμα 7.6.1 : Μεταβολή της αγωγιμότητας ($\mu\text{S}/\text{cm}$) στο Ναύσταθμο Απορροή από τις 13/07/06 έως τις 05/10/06.



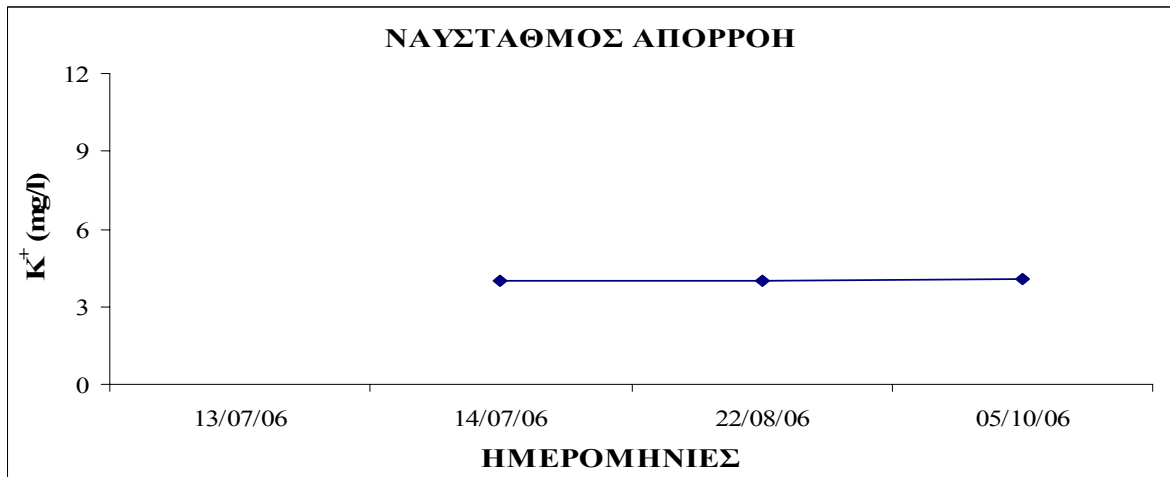
Σχήμα 7.6.2 : Μεταβολή του Cl⁻ (mg/l) στο Ναύσταθμο Απορροή από τις 13/07/06 έως τις 05/10/06.



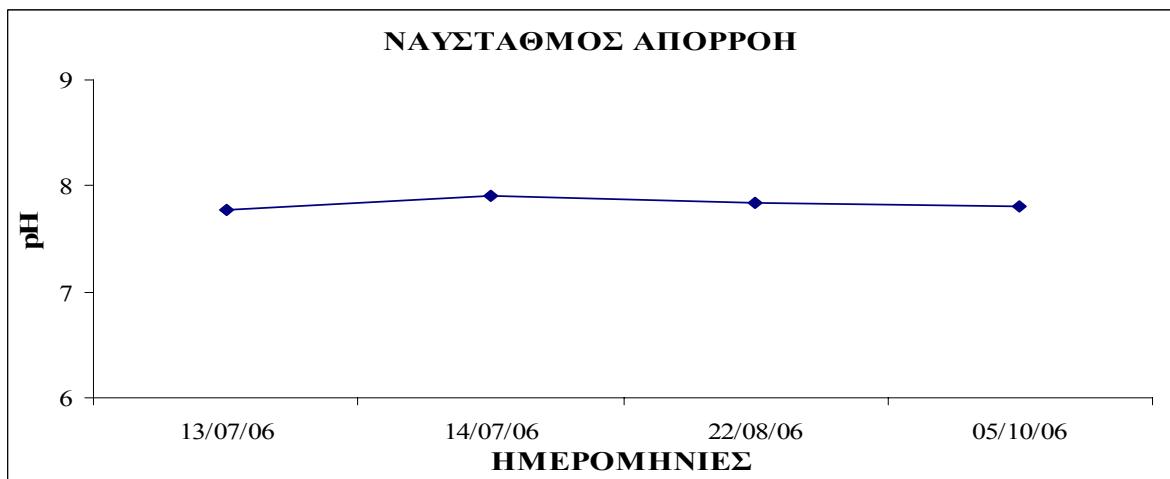
Σχήμα 7.6.3 : Μεταβολή του Na⁺ (mg/l) στο Ναύσταθμο Απορροή από τις 13/07/06 έως τις 05/10/06.



Σχήμα 7.6.4 : Μεταβολή της σκληρότητας (mg/l) στο Ναύσταθμο Απορροή από τις 13/07/06 έως τις 05/10/06.



Σχήμα 7.6.5 : Μεταβολή του K⁺ (mg/l) στο Ναύσταθμο Απορροή από τις 13/07/06 έως τις 05/10/06.

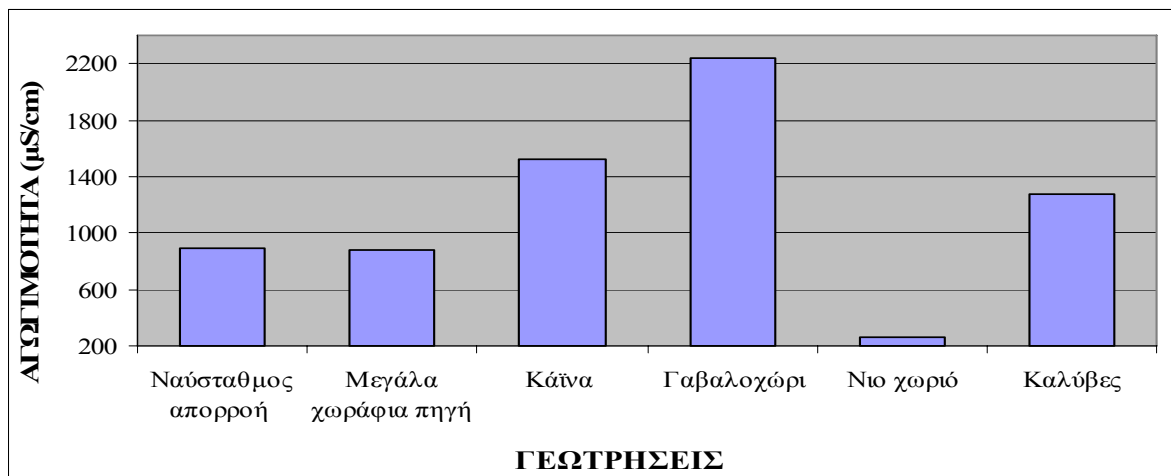


Σχήμα 7.6.6 : Μεταβολή του pH στο Ναύσταθμο Απορροή από τις 13/07/06 έως τις 05/10/06.

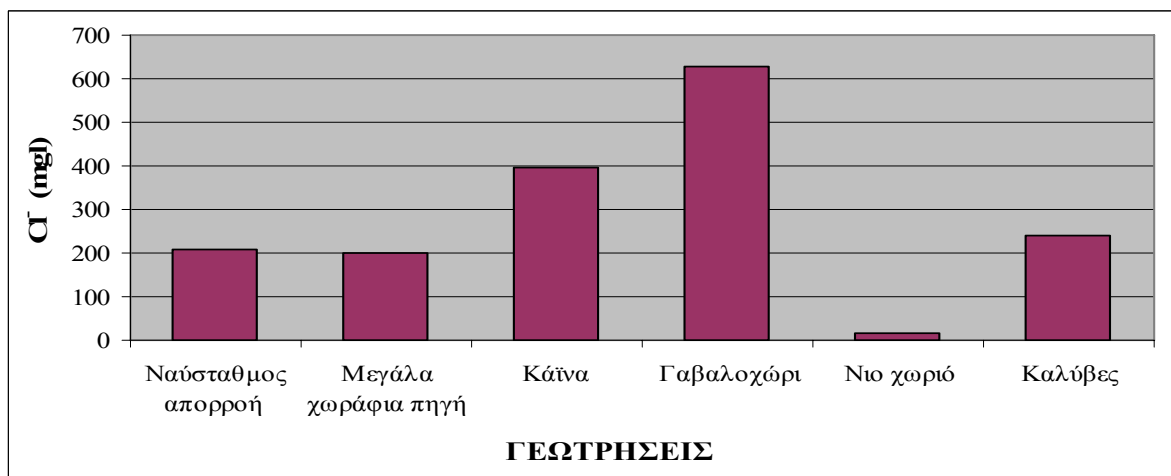
7.7 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ

7.7.1 Σύγκριση γεωτρήσεων για τις 22/8/06

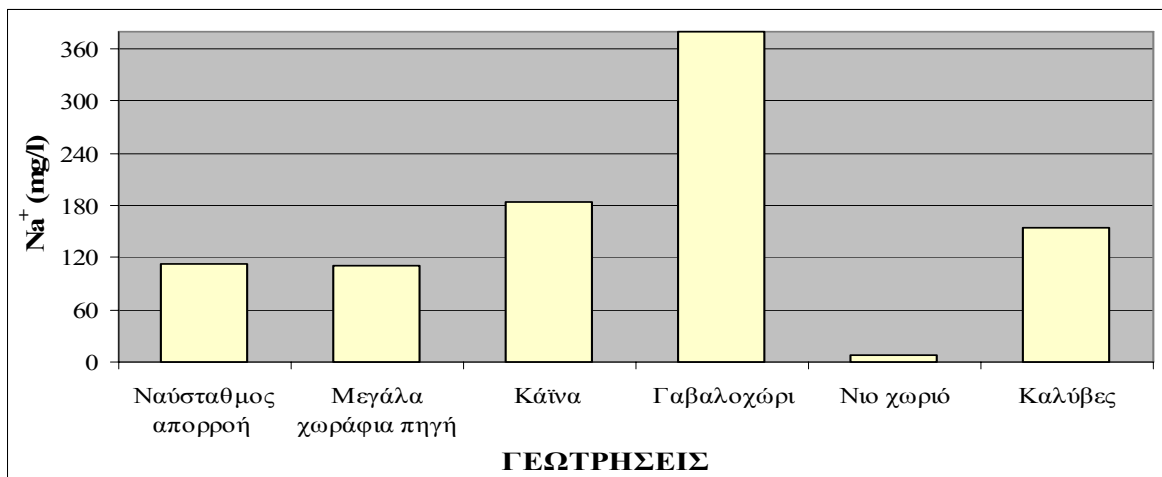
Η αγωγιμότητα στις 22/8/06 (σχήμα 7.7.1) παρουσιάζει τη μέγιστη τιμή στο Γαβαλοχώρι με 2240 $\mu\text{S}/\text{cm}$ και ακολουθούν η Κάϊνα με 1525 $\mu\text{S}/\text{cm}$, οι Καλύβες με 1275 $\mu\text{S}/\text{cm}$, ο Ναύσταθμος απορροή με 890 $\mu\text{S}/\text{cm}$, τα Μεγάλα Χωράφια με 876 $\mu\text{S}/\text{cm}$ και τέλος το Νιο Χωριό με 266 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Το χλώριο (σχήμα 7.7.2) παρατηρούμε ότι παρουσιάζει κάτι αντίστοιχο με τη μέγιστη τιμή να καταγράφεται στο Γαβαλοχώρι (629,80 mg/l) και την ελάχιστη στο Νιο Χωριό (14,66 mg/l). Το νάτριο (σχήμα 7.7.3) ακολουθεί την ίδια τάση με την μέγιστη τιμή να καταγράφεται στο Γαβαλοχώρι με 380 mg/l και την ελάχιστη στο Νιο Χωριό με 8 mg/l. Η σκληρότητα (σχήμα 7.7.4) ακολουθεί ομοίως με μέγιστη τιμή αυτή του Γαβαλοχωρίου με 462 mg/l και ελάχιστη τιμή αυτή στο Νιο Χωριό με 156 mg/l. Το κάλιο (σχήμα 7.7.5) διαφοροποιείται με μέγιστη τιμή αυτή του Γαβαλοχωρίου (11,5 mg/l) και ελάχιστη αυτή στο Νιο Χωριό (1,9 mg/l). Το pH (σχήμα 7.7.6) στις 22/8/06 παρουσιάζει τη μέγιστη τιμή στα Μεγάλα Χωράφια Πηγή (8,18) και Νιο Χωριό και την ελάχιστη τιμή στις Καλύβες (7,22).



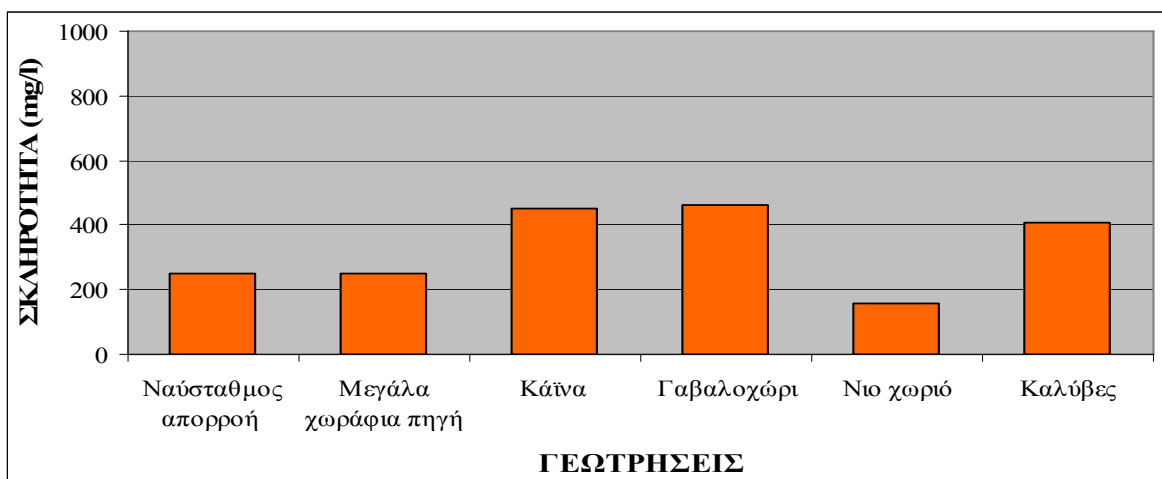
Σχήμα 7.7.1 : Μετρήσεις αγωγιμότητας ($\mu\text{S}/\text{cm}$) για όλα τα δείγματα στις 22/08/06.



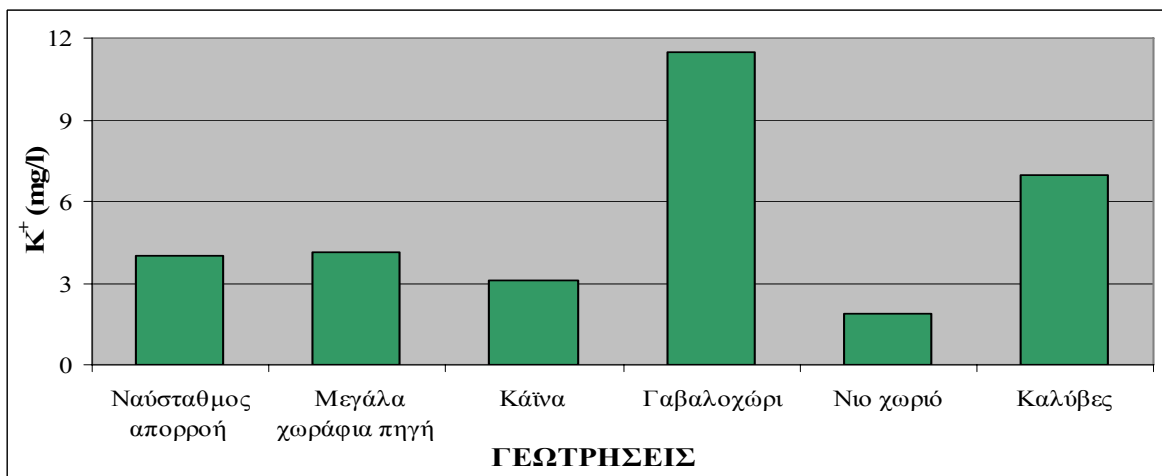
Σχήμα 7.7.2 : Μετρήσεις Cl⁻ (mg/l) για όλα τα δείγματα στις 22/08/06.



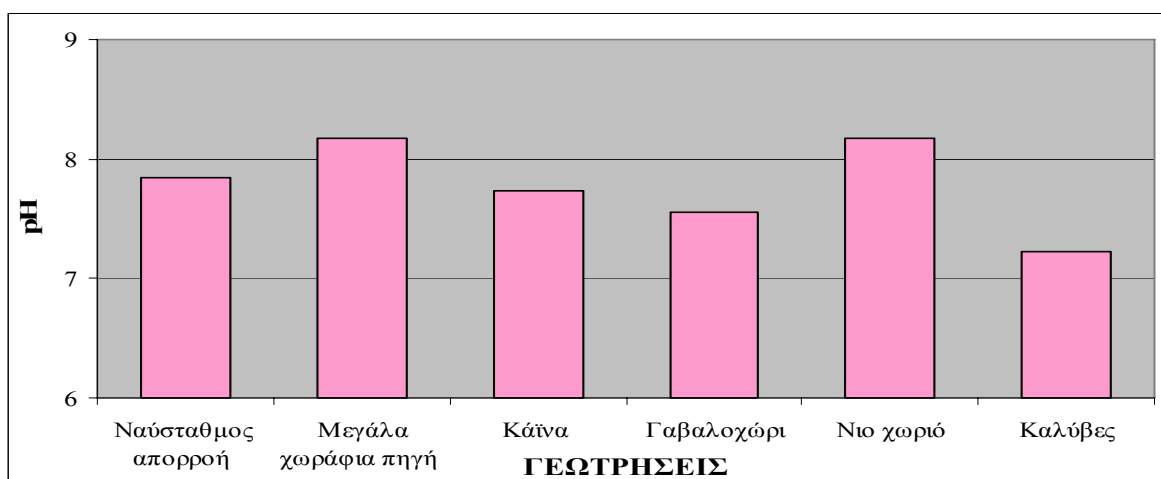
Σχήμα 7.7.3 : Μετρήσεις Na⁺ (mg/l) για όλα τα δείγματα στις 22/08/06.



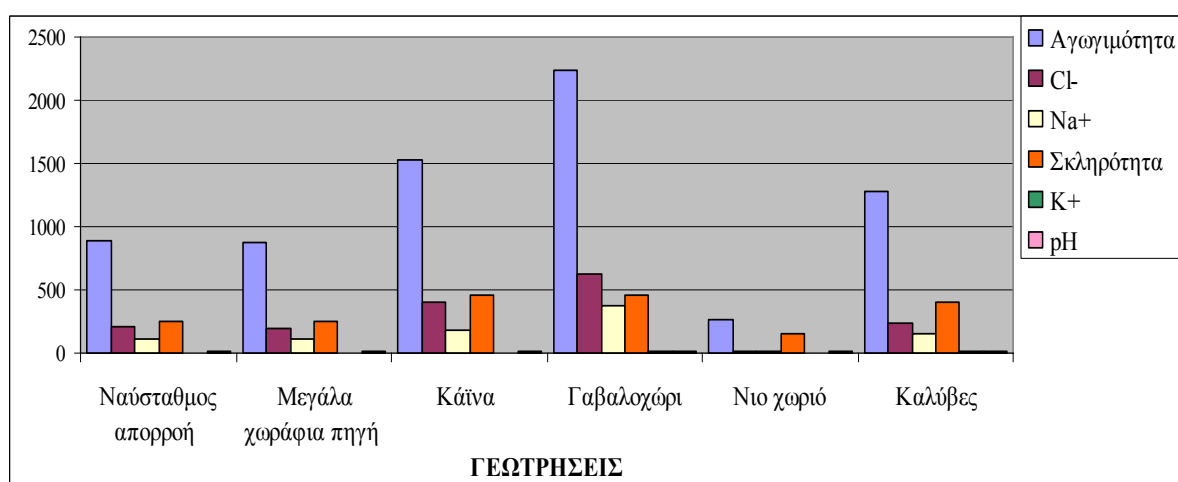
Σχήμα 7.7.4 : Μετρήσεις σκληρότητας (mg/l) για όλα τα δείγματα στις 22/08/06.



Σχήμα 7.7.5 : Μετρήσεις K⁺ (mg/l) για όλα τα δείγματα στις 22/08/06.



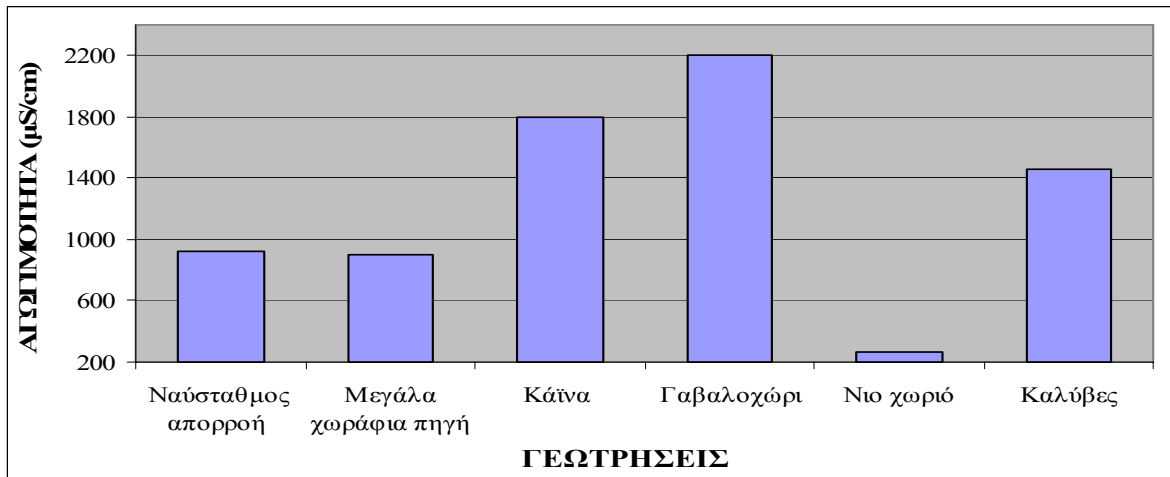
Σχήμα 7.7.6 : Μετρήσεις pH για όλα τα δείγματα στις 22/08/06.



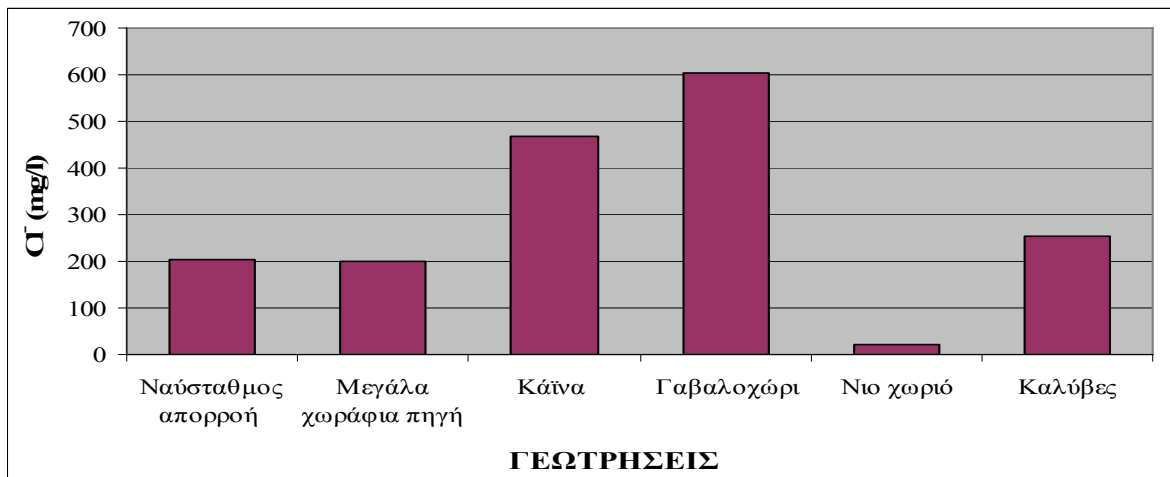
Σχήμα 7.7.7 : Σύγκριση όλων των παραμέτρων για τις 22/8/06.

7.7.2 Σύγκριση γεωτρήσεων για τις 5/10/06

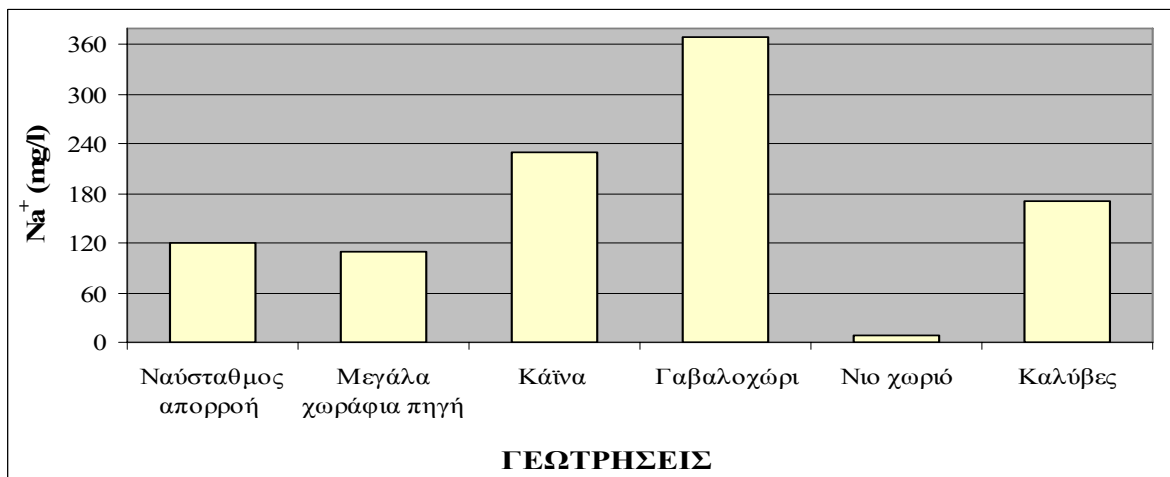
Η αγωγιμότητα (σχήμα 7.7.8) παρουσιάζει τη μέγιστη τιμή στο Γαβαλοχώρι (2200 $\mu\text{S}/\text{cm}$) και την ελάχιστη στο Νιο Χωριό (263 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Το χλώριο (σχήμα 7.7.9) ακολουθεί την ίδια τάση με μέγιστη τιμή αυτή στο Γαβαλοχώρι με 603,81 mg/l και ελάχιστη τιμή στο Νιο Χωριό με 21,33 mg/l. Το νάτριο (σχήμα 7.7.10) ακολουθεί ομοίως τα προηγούμενα. Η μέγιστη τιμή καταγράφεται στο Γαβαλοχώρι (370 mg/l) και η ελάχιστη τιμή καταγράφεται στο Νιο Χωριό με 8 mg/l. Η σκληρότητα (σχήμα 7.7.11) παρουσιάζει τη μέγιστη τιμή στην Κάϊνα (542 mg/l) και την ελάχιστη τιμή στο Νιο Χωριό (152 mg/l). Τέλος το κάλιο (σχήμα 7.7.12) παρουσιάζει τη μέγιστη τιμή στο Γαβαλοχώρι με 11,1 mg/l και την ελάχιστη τιμή στο Νιο Χωριό με 2,1 mg/l. Το pH (σχήμα 7.7.13) για τις 05/10/06 παρουσιάζει τη μέγιστη τιμή στο Νιο Χωριό (8,17) και την ελάχιστη στις Καλύβες (7,22).



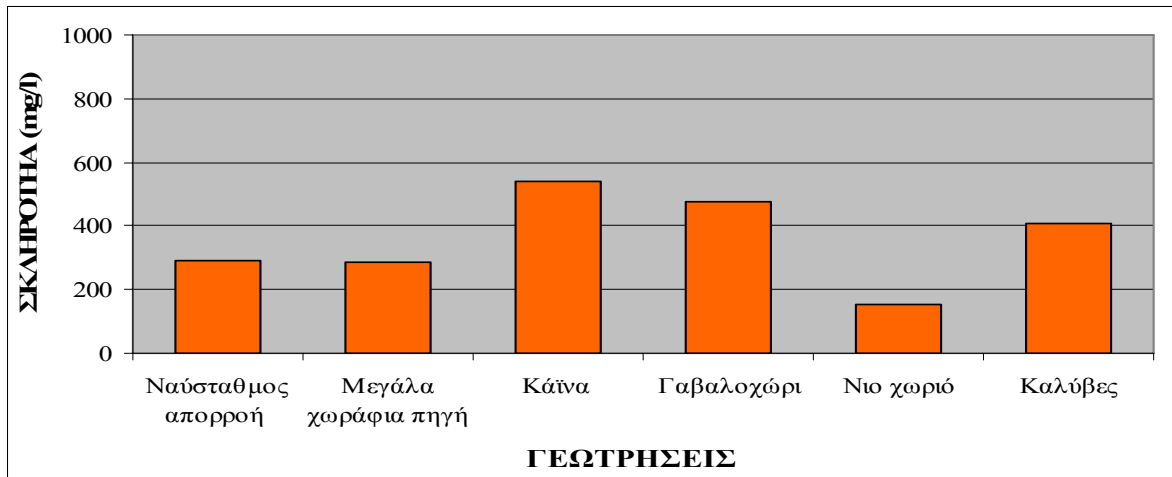
Σχήμα 7.7.8 : Μετρήσεις αγωγιμότητας (μS/cm) για όλα τα δείγματα στις 05/10/06.



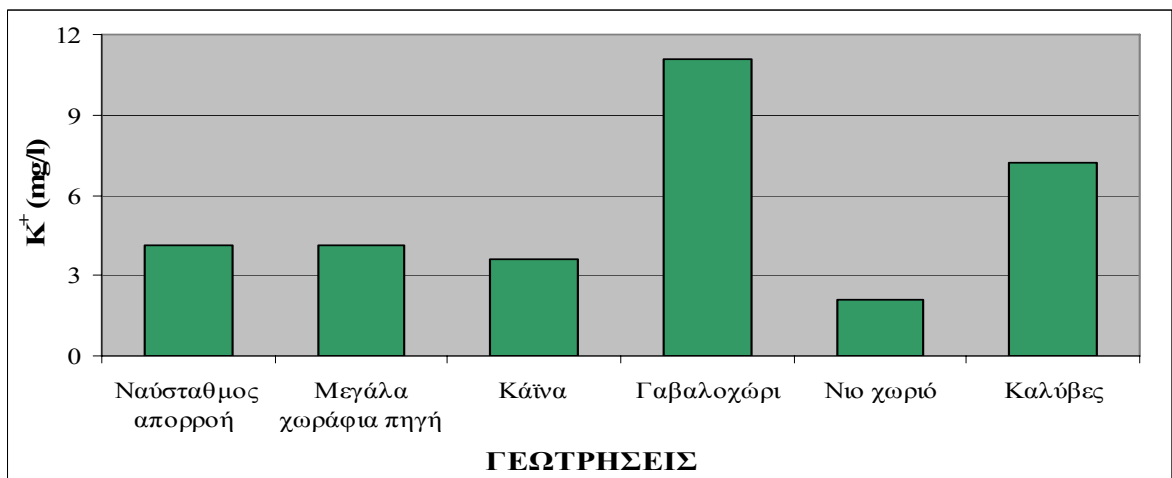
Σχήμα 7.7.9 : Μετρήσεις Cl⁻ (mg/l) για όλα τα δείγματα στις 05/10/06.



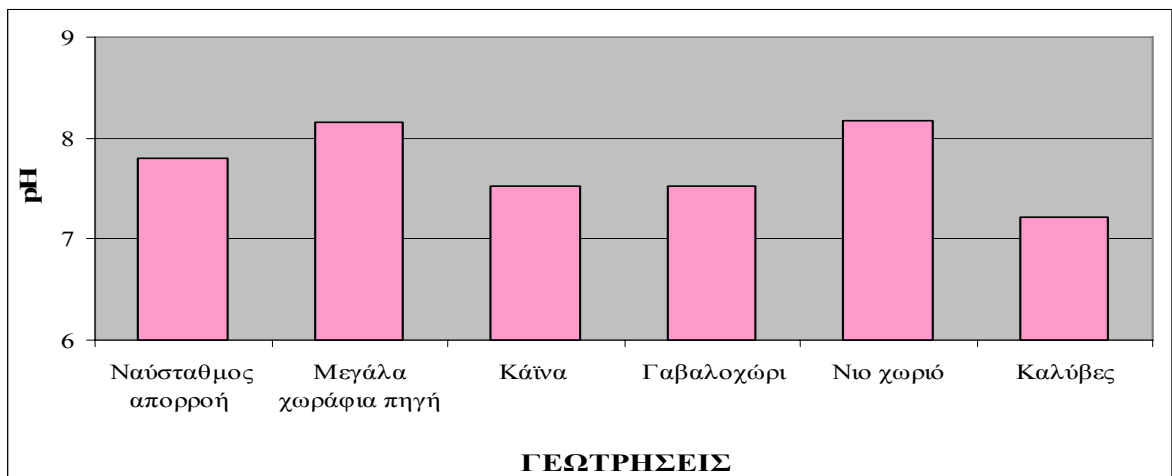
Σχήμα 7.7.10 : Μετρήσεις Na⁺ (mg/l) για όλα τα δείγματα στις 05/10/06.



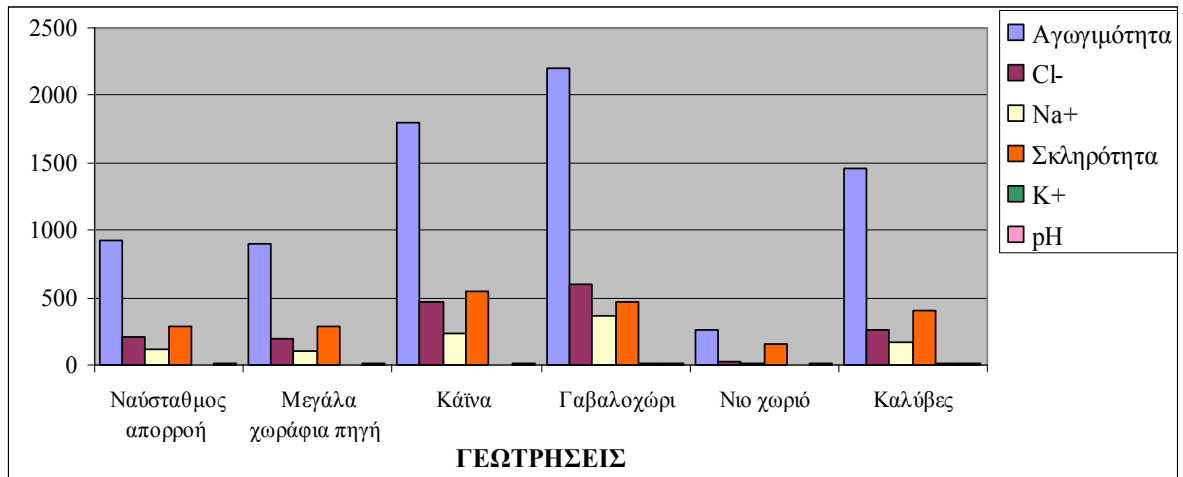
Σχήμα 7.7.11 : Μετρήσεις σκληρότητας (mg/l) για όλα τα δείγματα στις 05/10/06.



Σχήμα 7.7.12 : Μετρήσεις K⁺ (mg/l) για όλα τα δείγματα στις 05/10/06.



Σχήμα 7.7.13 : Μετρήσεις PH για όλα τα δείγματα στις 05/10/06.



Σχήμα 7.7.14 : Σύγκριση όλων των παραμέτρων για τις 05/10/06.

7.8 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΧΗΜΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ

Στους παρακάτω δύο πίνακες παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων για κάποιες παραμέτρους οι οποίες δεν ελέγχονταν τακτικά και γι αυτό δεν μπορούν να παρουσιαστούν σε διαγράμματα.

Από τους πίνακες 7.8.1 και 7.8.2 παρατηρούμε ότι οι τιμές του διαλυμένου οξυγόνου σε όλα τα δείγματά μας ήταν αρκετά υψηλές εκτός από το δείγμα από τη γεώτρηση των Καλυβών που έχει σχετικά μικρή τιμή του DO. Το BOD₍₅₎ είναι αρκετά μικρό σε όλα τα δείγματα εκτός από αυτό της Κάϊνας στις 5/10/06 που είναι αρκετά υψηλό. Το COD έχει παρομοίως μικρές τιμές σε όλα τα δείγματα. Η διαφορά που παρατηρείται στο δείγμα από τον Ναύσταθμο απορροή το διάστημα 13/7/06 και 14/07/06 πιθανόν να οφείλεται σε πειραματικό σφάλμα. Τα NH₄, NO₃, και τα PO₄ είναι επίσης μικρές και είναι εντός των ορίων νομοθεσίας για το πόσιμο νερό. Τα SO₄ παρουσιάζουν για πολύ μεγάλη αύξηση της συγκέντρωσής τους τόσο στην Κάϊνα όσο και στο Γαβαλοχώρι και σε μικρότερη κλίμακα στο Νιο Χωριό. Αυτό μπορεί να οφείλεται στη χρήση θειούχων λιπασμάτων. Όσον αφορά τις μικροβιακές παραμέτρους παρόλο που το νερό στην Κάϊνα, τον Ναύσταθμο απορροή, τα Μεγάλα Χωράφια πηγή και το Νιο Χωριό χρησιμοποιούνται σαν πόσιμο βρέθηκαν αποικίες, ενώ με βάση τη νομοθεσία δεν θα έπρεπε να υπάρχουν.

Πίνακας 7.8.1 : Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων για την Κάϊνα, τον Ναύσταθμο Απορροή και τα Μεγάλα Χωράφια Πηγή από τις 17/7/06 έως τις 5/10/06.

Ημερομηνία	Κάϊνα			Ναύσταθμος απορροή				Μεγάλα χωράφια πηγή			
	17/7/06	22/8/06	5/10/06	13/7/06	14/7/06	22/8/06	5/10/06	13/7/06	14/7/06	22/8/06	5/10/06
DO (%)	94	103.2				96.6				101.1	
BOD ₍₅₎ (mg/l)			37.3		0				0		
COD (mg/l)				15.5	2.4	6.1	4.8	4	3.8		4.3
NH ₄ (mg/l)				<0.05	<0.05			<0.05	0.06		
NO ₃ (mg/l)				1.4	0.8			1.6	1.1		
PO ₄ (mg/l)				<0.05	<0.05			0.17	0.14		
SO ₄ (mg/l)	53		111	45	43		52	43	43		
Ολικά κολοβακτηρίδια (αποικίες/100 ml)	2				24				2		
EColi (αποικίες/100ml)	0				2				0		
Ενερόκκοκος (αποικίες/100 ml)	0				2				0		

Πίνακας 7.8.2 : Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων για το Γαβαλοχώρι, το Νιο χωριό, τις Καλύβες και το Καλαμίτσι από τις 17/7/06 έως τις 5/10/06

	Γαβαλοχώρι			Νιο χωριό			Καλύβες			Καλαμίτσι
Ημερομηνία	17/7/06	22/8/06	5/10/06	17/7/06	22/8/06	5/10/06	25/7/06	22/8/06	5/10/06	24/7/06
DO (%)	101.3	86		100.6	100		52.9	60.1		
BOD ₍₅₎ (mg/l)	1			0			2			1
COD (mg/l)			11.3			8.9	3.4			11,4
NH ₄ (mg/l)							0.02			0,06
NO ₃ (mg/l)							10.2			8
PO ₄ (mg/l)							<0.05			0,05
SO ₄ (mg/l)	91		151	9		27			99	
Ολικά κολοβακτηρίδια (αποικίες/100 ml)	6			2			>2000			3
E. coli (αποικίες/100ml)	1			0			3			0
Ενερόκκοκος (αποικίες/100 ml)	0			1			0			15

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 : ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Στην γεώτρηση της Κάϊνας παρατηρούμε μία συνεχή αύξηση τόσο της αγωγιμότητας όσο και του χλωρίου και νατρίου. Η καμπύλη του χλωρίου είναι σχεδόν ίδια με την καμπύλη του χλωρίου και του νατρίου. Ειδικά την περίοδο της δειγματοληψίας η αύξηση όλων των παραμέτρων είναι συνεχής. Αυτό δείχνει μια συνεχή υποβάθμιση του υπόγειου νερού που κατά πάσα πιθανότητα οφείλεται στην υπεράντληση.

Αντίστοιχη συμπεριφορά παρατηρήθηκε και σε γεωτρήσεις της Τουρκίας, στον παράκτιο υδροφόρο Mersin, κατά τη διάρκεια μελέτης που πραγματοποιήθηκε το 2003. [27]

Η στάθμη της γεώτρησης της Κάϊνας μειώνεται διαρκώς κάτι που δικαιολογείται και από τη συμπεριφορά των υπόλοιπων χημικών παραμέτρων (αγωγιμότητα, χλώριο και νάτριο), εκτός από το διάστημα 20/9/06 έως 5/10/06, όπου παρατηρείται μία μικρή αύξηση της στάθμης. Η συγκέντρωση του χλωρίου ακολούθως το συγκεκριμένο διάστημα μειώνεται. Αλλά η διαφορά που παρατηρείται είναι πολύ μικρή. Σε αντίθεση το ίδιο διάστημα, η αγωγιμότητα και το νάτριο αυξάνονται.

Κάτι αντίστοιχο είχε διαπιστωθεί και σε μελέτη που έγινε στην περιοχή του Μαραθώνα. Στη συγκεκριμένη μελέτη εξεταζόταν ένα δίκτυο γεωτρήσεων στην ευρύτερη περιοχή τον Οκτώβριο (τέλος αρδευτικής περιόδου) και τον Μάιο (τέλος της περιόδου των βροχοπτώσεων). Μετά από μετρήσεις της στάθμης του υπόγειου νερού τον Μάιο παρατηρήθηκε αύξηση της στάθμης του υπόγειου νερού χωρίς όμως να ακολουθείται και από ποιοτική βελτίωση του υπόγειου νερού. [30]

Η γεώτρηση της Κάϊνας χρησιμοποιείται για υδρευτικούς σκοπούς, για το λόγο αυτό πρέπει οι χημικοί παράμετροι να ανήκουν εντός των ορίων της σχετικής νομοθεσίας για το πόσιμο νερό. Όσον αφορά τις παραμέτρους που έχουν εξεταστεί οι περισσότερες από αυτές είναι εντός ορίων με εξαίρεση τα χλωριόντα που υπερβαίνουν τα 250 mg/l όπου είναι η ανώτερη αποδεκτή συγκέντρωση για το πόσιμο νερό. Το νάτριο από τις 22/8/06 παρουσιάζει τιμές υψηλότερες από την ανώτατη αποδεκτή συγκέντρωση που είναι 200 mg/l. Όσον αφορά τις μικροβιολογικές παραμέτρους βρέθηκαν 2 αποικίες ολικών κολοβακτηριδίων ενώ σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία για το πόσιμο νερό δεν θα έπρεπε να υπάρχουν καθόλου αποικίες.

- Στο Γαβαλοχώρι από την αρχή των δειγματοληψιών παρουσίαζε υψηλές τιμές αγωγιμότητας, χλωρίου και νατρίου. Ωστόσο κατά τη διάρκεια των δειγματοληψιών οι παράμετροι δεν μεταβλήθηκαν σημαντικά. Η αγωγιμότητα παρέμεινε στα ίδια επίπεδα ενώ το χλώριο παρουσίασε μία πολύ μικρή μείωση. Το νάτριο παρουσιάζει μικρές αυξομειώσεις που μπορεί να αποδοθούν σε κατιοντικές ανταλλαγές του νερού με τα πετρώματα του υδροφόρου.

Οι Appelo και Postma (2005) παρατήρησαν ότι οι κατιοντικές ανταλλαγές ενεργούν σαν ένα προσωρινό εμπόδιο του φαινομένου της υφαλμύρωσης σε μη σταθερές καταστάσεις που προκύπτουν από τη μετατόπιση της διεπιφάνειας. [22]

Αντίστοιχα φαινόμενα αυξομείωσης του νατρίου αναφέρθηκε και σε μελέτη που πραγματοποιήθηκε στην νότια Ιταλία το 2004. [21]

Η γεώτρηση του Γαβαλοχωρίου χρησιμοποιείται περιστασιακά σαν αρδευτική. Παρόλο που δεν υπάρχει σχετική νομοθεσία για την ποιότητα του αρδευτικού νερού, έχουν διαπιστωθεί πειραματικά ότι η ανθεκτικότητα των φυτών στην αλατότητα του νερού ποικίλλει ανάλογα με το είδος της καλλιέργειας. [43,44] Στο Γαβαλοχώρι η ηλεκτρική αγωγιμότητα κυμαίνεται γύρω στα 2200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ και η συγκέντρωση του χλωρίου κυμαίνεται περίπου στα 600 mg/l. Αυτό το νερό μπορούμε να το χρησιμοποιήσουμε σε καλλιέργειες όπως οι ελιές, οι ροδιές οι συκίες, τα κολοκυθάκια τα σπαράγγια κ.α ενώ το ίδιο νερό μπορεί να κριθεί ακατάλληλο για καλλιέργειες όπως η φράουλα, τα φασόλια, τα κρεμμύδια, το ροδάκινο, οι πορτοκαλιές κ.α που έχουν μικρότερη αντοχή στην αλατότητα.

- Στο Ναύσταθμο απορροή, οι διαφορές που παρατηρούμε σε όλες τις παραμέτρους είναι πολύ μικρές, οπότε θα μπορούσαμε να τις χαρακτηρίσουμε αμελητέες. Συνεπώς μπορούμε να πούμε ότι η ποιότητα του νερού δεν μεταβλήθηκε σημαντικά κατά τη διάρκεια των δειγματοληψιών. Αυτό σημαίνει ότι ο υδροφόρος βρίσκεται σε κατάσταση ισορροπίας. Το νερό από τον Ναύσταθμο χρησιμοποιείται σαν πόσιμο. Σύμφωνα με τον πίνακα 7.8.1 όλες οι παράμετροι είναι εντός ορίων εκτός από τα ολικά κολοβακτηρίδια όπου βρέθηκαν 2 αποικίες. Αυτό μπορεί να οφείλεται σε λύματα ή κτηνοτροφικά απόβλητα.
- Στα Μεγάλα Χωράφια όπως και στο Ναύσταθμό οι παράμετροι της αγωγιμότητας, του χλωρίου και του νατρίου δεν μεταβάλλονται σημαντικά. Οπότε η ποιότητα του νερού παραμένει σταθερή. Στα Μεγάλα Χωράφια Πηγή το νερό χρησιμοποιείται σαν πόσιμο. Σύμφωνα με τον πίνακα 7.8.1 όλες οι παράμετροι είναι εντός ορίων εκτός από τα ολικά κολοβακτηρίδια όπου βρέθηκαν 2 αποικίες.
- Στις Καλύβες από τις 25/07/06 έως τις 20/09/06 παρατηρούμε μία σταθερή κατάσταση. Όμως στις 05/10/06 παρατηρούμε μία αύξηση στην τιμή της αγωγιμότητας και του νατρίου και μία μικρή αύξηση στην τιμή του χλωρίου. Αυτό δηλώνει ότι μετά τις 20/9/06 υπήρξε ποιοτική υποβάθμιση του νερού. Η γεώτρηση στις Καλύβες χρησιμοποιείται σαν αρδευτική. Παρόλο που δεν υπάρχει σχετική νομοθεσία για την ποιότητα του αρδευτικού νερού, έχουν διαπιστωθεί πειραματικά ότι η ανθεκτικότητα των φυτών στην αλατότητα του νερού ποικίλλει ανάλογα με το είδος της καλλιέργειας. [43,44]. Η αγωγιμότητα στο νερό αυτό κυμαίνεται από 1260 έως 1460 $\mu\text{S}/\text{cm}$ και η συγκέντρωση του χλωρίου κυμαίνεται γύρω στα 240 mg/l. Έτσι αυτό το νερό ενδείκνυται για καλλιέργειες όπως οι ντομάτες, τα αγγούρια τα πορτοκάλια, τα αμπέλια κ.α ενώ δεν ενδείκνυται για καλλιέργειες όπως η φράουλα, τα φασόλια, τα καρότα, τα μαρούλια κ.α.
- Στο Νιο Χωριό η ποιότητα του νερού μπορεί να χαρακτηριστεί αρκετά καλή λόγω των μικρών τιμών και της αγωγιμότητας και του χλωρίου και του νατρίου. Η ποιότητά του δεν μεταβλήθηκε σχεδόν καθόλου. Όσον αφορά τις μικροβιολογικές αναλύσεις βρέθηκαν 2 αποικίες ολικών κολοβακτηριδίων και 1 αποικία εντερόκοκκου που είναι εκτός των ορίων της ισχύουσας νομοθεσίας.
- Επίσης παρατηρούμε αύξηση της σκληρότητας σε όλα τα δείγματα που είναι περισσότερο εμφανής στο δείγμα νερού της γεώτρησης της Κάινας. Αυτό μπορεί να οφείλεται στις κατιοντικές ανταλλαγές που λαμβάνουν χώρα κατά τη θαλάσσια διεύθυνση είτε σε διάλυση πετρωμάτων πλούσια σε ασβέστιο ή μαγνήσιο.

- Τα θειϊκά ιόντα επίσης παρουσιάζουν αυξητική τάση στη γεώτρηση της Κάϊνας όπως και του Γαβαλοχωρίου όπως φαίνεται και από τον πίνακα 7.8.1 και 7.8.2. Αυτό μπορεί να οφείλεται είτε σε διάλυση πετρωμάτων που προσδίδουν στο νερό θειικά ιόντα (όπως ο γύψος) είτε σε χρήση θειούχων λιπασμάτων.

ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Για την αντιμετώπιση του φαινομένου της υφαλμύρωσης προτείνεται :

- ✓ Πληροφόρηση του ευρύτερου κοινού και του βιομηχανικού τομέα για την ανάγκη οικονομίας στο νερό.
- ✓ Ειδικότερα για τη γεώτρηση του Γαβαλοχωρίου που χρησιμοποιείται σαν αρδευτική προτείνεται η επαναχρησιμοποίηση υποβαθμισμένων σε ποιότητα νερών, μετά από κατάλληλη επεξεργασία για τεχνητό εμπλουτισμό έτσι ώστε να αποφευχθεί περαιτέρω υποβάθμιση.
- ✓ Μείωση των απαιτήσεων σε νερό άρδευσης μέσω της επιλογής μη υδροβόρων καλλιεργειών και η εφαρμογή τεχνικών άρδευσης με μικρή κατανάλωση σε νερό όπως η στάγδην άρδευση.
- ✓ Η τοποθέτηση των γεωτρήσεων άντλησης προς την ενδοχώρα θα μπορούσε να βοηθήσει στην αποκατάσταση της ποιότητας του υπόγειου νερού.
- ✓ Επίσης στα δείγματα νερού που χρησιμοποιούνται για ύδρευση βρέθηκαν αποικίες ολικών κοβακτηρίων και εντερόκοκκου, γι αυτό προτείνεται απολύμανση του νερού πριν δοθεί στην κατανάλωση.

ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Συμπερασματικά μπορούμε να αναφέρουμε ότι το υπόγειο νερό είναι ένας ανανεώσιμος φυσικός πόρος με την προϋπόθεση της ύπαρξης μίας ισορροπίας μεταξύ εμπλουτισμού και εκφόρτισης σε έναν υδροφορέα μίας λεκάνης. Όταν οι απολήψιμες ποσότητες υπόγειου νερού υπερβούν την ικανότητα της ασφαλούς απόδοσης (safe yield) ενός παράκτιου υδροφορέα παρατηρούνται φαινόμενα θαλάσσιας διείσδυσης που είναι ένα από τα πλέον σημαντικά προβλήματα ποιοτικής υποβάθμισης του υπόγειου νερού. [17].

Στη βιβλιογραφία υπάρχει πλήθος ιοντικών λόγων και δεικτών για τη διάκριση της θαλάσσιας διείσδυσης.

Ο Revelle (1941) πρότεινε τη χρησιμοποίηση του λόγου $Cl / CO_3 + HCO_3$ γνωστός και σαν συντελεστής Revelle εκφρασμένος σε meq/l. Αν η τιμή του είναι μεγαλύτερη του 1 υποδηλώνει ρύπανση από θαλάσσια διείσδυση. [17]

Ο Vengosh (1997) βρήκε ότι το υφάλμυρο νερό που προέρχεται από θαλάσσια διείσδυση χαρακτηρίζεται από μικρή τιμή του λόγου Na/Cl (μικρότερη τιμή από τη τιμή της ίδιας σχέσης στο θαλασσινό νερό) και μεγάλη τιμή (>1) των λόγων $Ca / HCO_3^- + SO_4^{2-}$ και Ca / SO_4^{2-} . [19]

Ωστόσο το Cl χαρακτηρίζεται από υδροχημική άποψη ως ένα από τα πλέον συντηρητικά στοιχεία και αποτελεί τον πιο αξιόπιστο ιχνηθέτη της θαλάσσιας διείσδυσης. [16]

Το πιο εντυπωσιακό φαινόμενο που χαρακτηρίζει τη θαλάσσια διείσδυση είναι η διαφορά της χημικής σύστασης ανάμεσα στο υφάλμυρο νερό και σε μία απλή ανάμιξη γλυκού και αλμυρού νερού. [19]

Οι Walraevens et al (1993) αναφέρουν ότι η υφαλμύρωση αρχίζει με αύξηση της συγκέντρωσης των ιόντων που ακολουθείται από ανταλλαγή κατιόντων κατά την οποία απελευθερώνεται Ca^{2+} και απορροφώνται ιόντα θαλάσσιας προέλευσης Na^+ , K^+ και Mg^{2+} . Η ανταλλαγή κατιόντων είναι ένας ρυθμιστικός παράγοντας των ιοντικών συγκεντρώσεων στο νερό και αποτελεί μία από τις πλέον σημαντικές γεωχημικές διαδικασίες της θαλάσσιας διείσδυσης. [17]

Ο Todd (1989) χρησιμοποιώντας τα δεδομένα πολλών χημικών αναλύσεων κατέληξε στο συμπέρασμα ότι η προώθηση του μετώπου υφαλμύρωσης χαρακτηρίζεται από υψηλές συγκεντρώσεις Cl^- συνοδευόμενες από υψηλές συγκεντρώσεις Ca^{2+} εξαιτίας του γεγονότος ότι τα ιζήματα του υδροφορέα απελευθερώνουν Ca^{2+} στο νερό και προσλαμβάνουν Na^+ από το νερό, με αποτέλεσμα να παρατηρούνται χαμηλές συγκεντρώσεις Na^+ . [19,22]

Σε αυτό το στάδιο το γλυκό νερό που ανήκει σε νερό του τύπου $Ca - HCO_3$ μετατρέπεται σταδιακά σε νερό του τύπου $Ca - Cl$ μέχρι τον κορεσμό των ιζημάτων του υδροφορέα σε Na^+ όπου το νερό τελικά μετατρέπεται σε νερό του τύπου $Na - Cl$. [16]

Η αντίθετη διαδικασία παρατηρείται κατά την απομάκρυνση του μετώπου υφαλμύρωσης. Δηλαδή παρατηρείται μία αύξηση του Na^+ εξαιτίας του γεγονότος ότι τα ιζήματα του υδροφορέα αρχίζουν να προσλαμβάνουν Ca^{2+} και να απελευθερώνουν το Na^+ που είχαν δεσμεύσει. Έτσι κατά τη διάρκεια εμπλουτισμού ενός υδροφόρου έχει αναφερθεί αύξηση της συγκέντρωσης του Na^+ . Έτσι το νερό μετατρέπεται σε νερό του τύπου $Na - HCO_3$. [21,22]

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. ΔΙΑΜΑΝΤΗΣ Ι., ΠΕΤΑΛΑΣ Χ., ΠΛΙΑΚΑΣ Φ. (1998) Προβλήματα υφαλμύρισης υπόγειων νερών παράκτιων πεδίων Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης – μέθοδοι αντιμετώπισης. Πρακτικά ημερίδας του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδος με θέμα "Υφαλμύρωση υπόγειων υδάτων" Αθήνα 10 Δεκεμβρίου 1998.
2. ΤΟΛΙΚΑΣ Δ., ΓΚΕΜΙΤΖΗ Α. (1998) Προσομοίωση της υφαλμύρωσης σε τρισδιάστατα πεδία ροής-εφαρμογή στον υδροφορέα της Γερμασογείας Κύπρου. Πρακτικά ημερίδας του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδος με θέμα "Υφαλμύρωση υπόγειων υδάτων" Αθήνα 10 Δεκεμβρίου 1998.
3. ΚΑΛΛΕΡΓΗΣ Γ. (1998) Υφαλμύρωση παράκτιων υδροφορέων – απορρύπανση. Πρακτικά ημερίδας του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδος με θέμα "Υφαλμύρωση υπόγειων υδάτων" Αθήνα 10 Δεκεμβρίου 1998.
4. ΠΕΡΓΙΑΛΙΩΤΗΣ Π., ΠΑΠΑΔΑΚΟΥ Σ. (1998) Τα υφάλμυρα υπόγεια νερά και οι γενεσιουργές αιτίες τους. Πρακτικά ημερίδας του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδος με θέμα "Υφαλμύρωση υπόγειων υδάτων" Αθήνα 10 Δεκεμβρίου 1998.
5. ΤΟΛΙΚΑΣ Δ., ΚΑΝΑΚΟΥΛΗΣ Β., ΑΡΓΥΡΙΑΔΟΥ Ι. (1998) Ολοκληρωμένο πλαίσιο αντιμετώπισης του προβλήματος της υφαλμύρωσης παράκτιων υδροφορέων. Πρακτικά ημερίδας του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδος με θέμα "Υφαλμύρωση υπόγειων υδάτων" Αθήνα 10 Δεκεμβρίου 1998.
6. ΚΟΥΜΑΝΤΑΚΗΣ Ι. (1998). Υφαλμύρωση υπόγειων υδροφόρων σε παραλιακές ζώνες Αττικής – Κορινθίας – Κεφαλλονιάς – Ιθάκης – Νάξου – Καβάλας -. Προτάσεις για συμβολή στη βελτίωσή των. Πρακτικά ημερίδας του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδος με θέμα "Υφαλμύρωση υπόγειων υδάτων" Αθήνα 10 Δεκεμβρίου 1998.
7. ΜΑΡΙΟΛΑΚΟΣ Η. (1998) Γεωοικολογική αντιμετώπιση της υφαλμύρωσης των υπόγειων υδροφορέων. Πρακτικά ημερίδας του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδος με θέμα "Υφαλμύρωση υπόγειων υδάτων" Αθήνα 10 Δεκεμβρίου 1998.
8. ΧΑΡΜΑΝΙΔΗΣ Φ. (1998) Φαινόμενα υφαλμύρωσης σε παράκτιους καρστικούς υδροφορείς νησιών Ν-ΝΑ Αιγαίου, δυνατότητες ορθολογικής διαχείρισής τους και αναστροφής του φαινομένου. Πρακτικά ημερίδας του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδος με θέμα "Υφαλμύρωση υπόγειων υδάτων" Αθήνα 10 Δεκεμβρίου 1998.
9. ΠΟΥΛΟΒΑΣΙΛΗΣ Α., ΓΙΑΝΝΟΥΛΟΠΟΥΛΟΣ Π., ΖΥΜΗΣ Α. (1999) Η εφαρμογή του τεχνητού εμπλουτισμού στο Αργολικό πεδίο. Πρόσφατα αποτελέσματα και προοπτικές. Πρακτικά ημερίδας που διοργάνωσε η Ελληνική Επιτροπή Υδρογεωλογίας με θέμα "Τεχνητός εμπλουτισμός υπόγειων υδροφορέων" Ξάνθη 28/5/1999 σελ 136-145.
10. ΓΙΑΝΝΟΥΛΟΠΟΥΛΟΣ Π., ΑΛΕΞΑΝΔΡΗΣ Σ., ΨΥΧΟΓΙΟΥ Μ., ΠΟΥΛΟΒΑΣΙΛΗΣ Α. (2002). Υφαλμύρωση και ποιοτικά χαρακτηριστικά των υπόγειων νερών του Αργολικού πεδίου. Πρακτικά 6^{ου} Υδρογεωλογικού Συνεδρίου, Ξάνθη 8-10/11/02 σελ 1-12.
11. ΚΟΥΜΑΝΤΑΚΗ Ι. (1999) Διεθνής εμπειρία σε θέματα τεχνητού εμπλουτισμού υπόγειων νερών με βάση τις εργασίες του σχετικού συμποσίου του AMSTERDAM (21-25/9/1998). Πρακτικά ημερίδας που διοργάνωσε η Ελληνική Επιτροπή Υδρογεωλογίας με θέμα "Τεχνητός εμπλουτισμός υπόγειων υδροφορέων" Ξάνθη 28/5/1999 σελ 14-30.

12. ΠΕΤΑΛΛΑΣ Χ., ΠΛΙΑΚΑΣ Φ., ΚΑΛΛΙΩΡΑΣ Α., ΔΙΑΜΑΝΤΗΣ Ι. (2002) Τεχνικά, διαχειριστικά και οικονομοτεχνικά στοιχεία σύγχρονων τάσεων αντιμετώπισης της διείσδυσης αλμυρού νερού σε παράκτιες περιοχές στο διεθνή χώρο. Πρακτικά 6^{ου} Υδρογεωλογικού Συνεδρίου, Ξάνθη 8-10/11/02 σελ 23-34.
13. ΣΟΥΛΙΟΣ Γ. (2004) Γενική Υδρογεωλογία Γ τόμος, Εκδόσεις Κυριακίδη Θεσσαλονίκη.
14. ΚΑΛΛΕΡΓΗΣ Γ.Α (2000) Εφαρμοσμένη – Περιβαλλοντική Υδρογεωλογία Β τόμος, Έκδοση Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας Αθήνα.
15. ΖΑΝΑΚΗ Κ. Έλεγχος ποιότητας νερού (2001) Εκδόσεις Ίων.
16. ΠΕΤΑΛΛΑΣ Χ., ΠΛΙΑΚΑΣ Φ., ΔΙΑΜΑΝΤΗΣ Ι. (2002) Το πρόβλημα της διείσδυσης της θάλασσας σε παράκτιους υδροφορείς της Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης και μέθοδοι αντιμετώπισής του. Τεχνολογική Επιστημονική Έκδοση ΤΕΕ, ΤΕΥΧΟΣ 1-2, σελ. 31-43.
17. ΒΟΥΔΟΥΡΗΣ Κ., ΝΙΚΑΣ Κ., ΑΝΤΩΝΑΚΟΣ Α. (2004) Μελέτη της εξέλιξης του μετώπου υφαλμύρωσης σε παράκτιος υδροφόρους ορίζοντες. Η περίπτωση του παράκτιου τμήματος της ΒΔ Αχαΐας. Πρακτικά 10^{ου} Διεθνούς Συνεδρίου Θεσσαλονίκη Απρίλιος 2004, σελ 1952-1961.
18. VOUDOURIS K., DASKALAKI P., ANTONAKOS A. (2005) Water Resources and groundwater quality in North Peloponnesus (Greece). Global Nest Journal vol.7 pp 340-353.
19. MOUJABER M. EL., BOUSAMRAB., DARWISH T., ATALLAH T. (2006) Comparison of different indicators for groundwater contamination by seawater intrusion on Lebanese coast. Water Resources Management 20, pp161-181.
20. PULIDO – LEBOEUF PABLO, PULIDO-BOSCH ANTONIO, CALVACHE MARIA LUISA, VALLEJOS ANGELA, ANDREU JOSE MIGUEL (2003). Strontium, SO_4^{2-}/Cl^- and Mg^{2+}/Ca^{2+} ratios as tracers for the evolution of seawater into coastal aquifers : the example of Castell de Ferro aquifer (SE Spain). Comptes Rendus Geosciences 335 pp. 1039-1048.
21. CAPACCIONI BRUNO, DIDERO MARIANO, PALETTA CARMELA, DIDERO LIA (2005). Saline intrusion and refreshing in a multilayer aquifer in the Catania Plain (Sicily, Southern Italy): dynamics of degradation processes according to the hydrochemical characteristics of groundwaters. Journal of Hydrology 307, pp1-16.
22. CHEN K.P., JIAO J.J. (2007) Seawater intrusion and aquifer freshening near reclaimed coastal area of Shezhen. Water science and Technology: Water supply vol 7 No2, pp137-145.
23. GHABAYEN SAID, MCKEE MAC, KEMBLOWSKI MARIUSH. (2006) Ionic and isotopic ratios for identification of salinity sources and missing data in the Gaza aquifer. Journal of Hydrology 318, pp360-373.
24. WU JICHUN, MENG FANHAI, WANG XIAOWEN, WANG DONG. (2008) The development and control of the seawater intrusion in the eastern coastal of Laizhou Bay, China. Environmental Geology 54, pp1763-1770.
25. SHAMMAS M.I., JACKS G. (2007) Seawater intrusion in the Salalah plain aquifer, Oman. Environmental Geology 53, pp575-587.
26. MUSTAFA E. ERGIL (2000) The salinization problem of the Guzelyurt aquifer, Cyprus. Water Reserve vol 34 No 4, pp 1201-1214.
27. DEMIREL ZEYNEL. (2004). The history and the evaluation of saltwater intrusion into a coastal aquifer in Mersin, Turkey. Journal of Environmental Management 70, pp 275-282.

INTERNET

28. www.waterinfo.gr/eedyp/Paros_papers/nanou_k.pdf
29. www.waterinfo.gr/eedyp/Paros_papers/mantoglou_a.pdf
30. www.desline.com/articoli/863/.pdf
31. www.etvavipe.gr/smiles/Documents/
32. www.mylopoulos.gr/?p=130
33. www.ecogreens.gr/gr/modules.php?name=Forums&file=viewtopic&=2075
34. http://library.tee.gr/digital/m2045_aggelidis.pdf
35. http://news.kathimerini.gr/4Dcgi/4Dcgi/_w_articles_civ_1100048_29/06/2008_275907
36. <http://www.tovima.gr/default.asp?pid=2&ct=75&artid=118482>
37. http://news.kathimerini.gr/4dcgi/_w_articles_ell_1_15/04/2007_223229
38. http://archive.enet.gr/online/online_text/c=112,dt=04.10.2008,id=3938880
39. <http://www.tovima.gr/default.asp?pid=2&ct=75&artid=93093>
40. http://photokathimerini.gr/kathnews/graph/graf_29_07_07/59.pdf
41. http://news.kathimerini.gr/4dcgi/_w_articles_ell_2_20/04/2008_267077
42. http://tritonchania.teicrete.gr/arxeia.pdf/epistiminika%20arth/2_KAINA%20.pdf
43. www.moa.gov.cy/moa/da/da.nsf/A;;/41522B885C2256FAA0023A6E9/file/10.2002.Ifalmira%20Nera.pdf
44. www.cyprus.gov.cy/moa/Agriculture.nsf/All/CDFFOBB25CA55E08C2256FDD00399F19/file/%CE%86%CF%81%CE%B4%CE%B5%CF%
45. www.hydropedia.gr/content.asp?contentid=658
46. <http://petrotech.teikav.edu.gr/Selides/ergastiria/ENORGANH/FLOGOFOTOMETRIA.HTM>