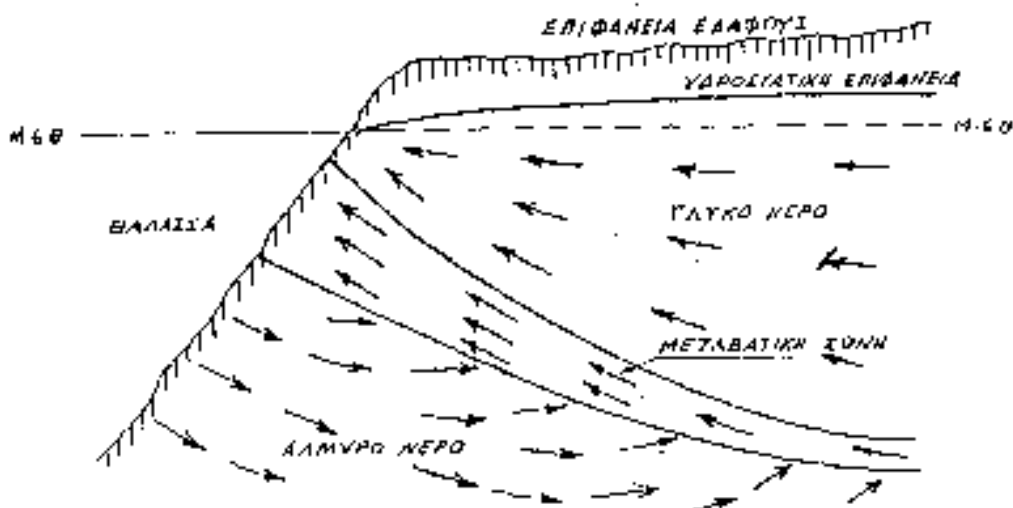




ΥΦΑΛΜΥΡΙΝΣΗ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ

Η ένταση της υφαλμύρισης του νερού των γεωτρήσεων Δήμου Μαλίων



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΔΑΣΚΑΛΑΚΗ ΑΓΓΕΛΙΚΗ

ΧΑΝΙΑ 2008



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΤΟΜΕΑΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΛΕΓΧΟΥ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ & ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ



«Η ένταση της υπαλμύρισης του νερού των γεωτρήσεων Δήμου Μαλίων»

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΔΑΣΚΑΛΑΚΗ ΑΓΓΕΛΙΚΗ

Επιβλέπων :

**Δρ Γ Σταυρουλάκης
Καθηγητής**

Επιτροπή Αξιολόγησης :

**Παπαφιλιππάκη Ανδρονίκη (MSc)
Εργαστηριακός Συνεργάτης**

**Δρ. Κώττη Μέλινα – Σπυριδούλα
Καθηγήτρια Εφαρμογών**

Ημερομηνία παρουσίασης

Αύξων Αριθμός Πτυχιακής Εργασίας : 21

Ευχαριστίες

Ευχαριστώ όλους τους ανθρώπους της Δ.Ε.Υ.Α. Μαλίων για την βοήθεια, αλλά και την εμπιστοσύνη που μου έδειξαν όλο το διάστημα συνεργασίας μας. Ιδιαίτερα ευχαριστώ τους κ.Πολυχρονάκη Γιώργο, κ/α Παπαδάκη Εύα και κ.Παπαδακάκη Κώστα.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ σε όλους τους καθηγητές του ΤΕΙ Κρήτης – Παραρτήματος Χανίων που με δίδαξαν όλα αυτά τα χρόνια φοίτησής μου. Κυρίως ευχαριστώ τον κύριο Σταυρουλάκη Γιώργο για την βοήθεια, την ανεξάντλητη υπομονή και κατανόηση που μου έδειξε.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω συμφοιτητές, φίλους, σ/φους και την οικογένειά μου που με βοήθησαν σ'αυτή μου την προσπάθεια πολλές φορές χωρίς να το γνωρίζουν.

Η παρούσα εργασία είναι αφιερωμένη στον «δάσκαλο» Μεταξάκη Μανώλη. Σ'ευχαριστώ για τις αξίες ζωής που μου δίδαξες.

1. Εισαγωγή.....	7
2. Χημικά χαρακτηριστικά του θαλασσινού νερού.....	8
2.1 Θαλασσινό νερό.....	8
2.2 Αλμυρότητα - Χλωρινότητα – Χλωριότητα.....	10
2.3 Σκληρότητα – Αλκαλικότητα.....	10
3. Το φαινόμενο της υφαλμύρισης.....	12
3.1 Η διείσδυση του θαλασσινού νερού	12
3.2 Ο Νόμος Ghyben – Herzberg.....	13
3.3 Μηχανισμός υφαλμύρισης παράκτιων υδροφόρων.....	13
3.4 Υφαλμύριση Παράκτιων Υδροφορέων.....	16
3.5 Επίδραση της Υφαλμύρισης στην ποιότητα των υδατικών πόρων.....	16
3.5.1 Πηγές ρύπανσης.....	17
3.5.2 Από το βρόχινο στο υπόγειο νερό.....	19
3.5.3 Η αλατότητα και οι πηγές της.....	21
3.5.4 Χλωριούχα – Επίδραση στην ανθρώπινη υγεία.....	23
4. Πως εντοπίζεται το φαινόμενο (μέθοδοι).....	24
4.1 Χλώριο.....	24
4.2 Μέθοδοι μέτρησης.....	24
4.3 Αλατότητα.....	24
4.4 Μέθοδοι μέτρησης της αλατότητας.....	25
5. Τρόποι αντιμετώπισης του φαινομένου.....	26
5.1 Βελτιστοποίηση αντλήσεων παράκτιων υδροφορέων για πρόληψη υφαλμύριση.....	26
5.2 Αντιμετώπιση της διείσδυσης της θάλασσας στους παράκτιους Υδροφόρους.....	27
5.3 Μέθοδοι αφαλάτωσης.....	28
5.4 Κατάταξη των μεθόδων αφαλάτωσης.....	29
5.5 Γεωφυσικές μέθοδοι.....	30
5.6 Τρόποι προσομοίωσης διεπιφάνειας αλμυρού-γλυκού νερού.....	30
6. Υφαλμύριση στην Ελλάδα.....	31
6.1 Γεωγραφική κατανομή των βροχοπτώσεων και των επιφανειακών απορροών.....	31
6.2 Εποχιακή κατανομή των βροχοπτώσεων και των επιφανειακών απορροών.....	31
6.3 Υπερετήσια διακύμανση των βροχοπτώσεων.....	32
6.4 Η κατάσταση στην Ελλάδα.....	33
7. Υφαλμύριση στην Κρήτη.....	34
7.1 Υδατικό ισοζύγιο – Υδατικό δυναμικό Κρήτης.....	34
7.2 Χρήσεις.....	34
7.3 Διαπιστώσεις.....	35
7.4 Προτάσεις.....	36
7.5 Κίνδυνοι υφαλμύρισης πηγών και υπόγειων υδροφορέων.....	37
7.6 Συνθήκες υφαλμύρισης.....	38
8. Υφάλμυρα νερά Κρήτης.....	40
8.1 Γεωλογία και συνθήκες υφαλμύρισης.....	40
8.2 Υφάλμυρες πηγές Κρήτης.....	41
8.3 Αξιοποίηση υφάλμυρων υδροφοριών.....	41
8.4 Συμπεράσματα.....	42

9. Υφαλμύριση Γεωτρήσεων του Δήμου Μαλίων.....	44
9.1 Περιοχή Μελέτης.....	44
9.2 Πληθυσμιακά στοιχεία.....	44
9.3 Χρήσεις γης.....	44
9.4 Υδατικές ανάγκες.....	45
9.5 Γεωλογία της περιοχής.....	45
9.5.1 Υδρογεωλογική δομή της λεκάνης των Μαλίων.....	45
9.6 Υδραυλικά χαρακτηριστικά του υδροφόρου.....	46
10. Υλικά και μέθοδοι.....	47
10.1 Δειγματοληψίες.....	47
10.2 Συλλογή και συντήρηση δειγμάτων.....	47
10.3 Αναλυτική μεθοδολογία.....	48
10.3.1 pH (Συγκέντρωση ιόντων υδρογόνου).....	48
10.3.2 Ηλεκτρική Αγωγιμότητα.....	48
10.3.3 Χλωριόντα.....	49
10.3.4 Σκληρότητα (Ογκομέτρηση με EDTA).....	50
10.3.5 Νιτρικά.....	51
10.3.6 Αμμωνιακά.....	51
10.3.7 Φωσφορικά.....	53
10.3.8 Ολικά κολοβακτήρια (Total Coli.).....	53
10.3.9 Κοπρανώδη κολοβακτήρια (Faecal Coli.).....	54
11. Αποτελέσματα.....	56
11.1 Γεώτρηση 2.....	56
11.1.1 Μετρήσεις Γεώτρησης 2.....	58
11.2 Γεώτρηση 3.....	59
11.2.1 Μετρήσεις Γεώτρησης 3.....	60
11.3 Γεώτρηση 8.....	61
11.3.1 Μετρήσεις Γεώτρησης 8.....	63
11.4 Γεώτρηση 10.....	64
11.4.1 Μετρήσεις Γεώτρησης 10.....	65
11.5 Γεώτρηση 13.....	66
11.5.1 Μετρήσεις Γεώτρησης 13.....	68
12. Συζήτηση και συμπεράσματα.....	69
12.1 Μεταβολή των παραμέτρων μαζί με το ιστορικό στο νερό των Γεωτρήσεων.....	71
12.1.1 Γεώτρηση 2.....	71
12.1.2 Γεώτρηση 3.....	76
12.1.3 Γεώτρηση 8.....	79
12.1.4 Γεώτρηση 10.....	82
12.1.5 Γεώτρηση 13.....	85
12.2 Μεταβολή της κάθε παραμέτρου στο νερό των Γεωτρήσεων κατά την περίοδο μελέτης.....	86
Βιβλιογραφία.....	88

Σύνοψη

Στην παρούσα εργασία εξετάζεται ο ποιοτικός χαρακτήρας των υπόγειων υδροφόρων του Δήμου Μαλίων.

Οι συνεχώς αυξανόμενοι ρυθμοί άντλησης για την κάλυψη υδρευτικών αναγκών, ιδιαίτερα την καλοκαιρινή περίοδο, οδηγούν αφενός σε μία προοδευτική μείωση των υδατικών αποθεμάτων της περιοχής, αλλά αφετέρου αυξάνουν οι πιθανότητες υφαλμύρισης των παραλιακών γεωτρήσεων.

Στα πλαίσια αυτής της μελέτης, εκτιμώνται τα στοιχεία που έχουν συλλεχθεί και αφορούν ποιοτικές αναλύσεις νερού.

Abstract

The present study deals the quality characteristics of area Malia groundwater.

During the last few years the amounts of pumped water from the wells are steadily increasing due to summer, because of hugeness water needs, lead on the one hand to reliction decrease of, but on the other hand to increase eventualities seawater intrusion along the coastal boreholes.

The objective of this work was to determinate the present condition of the aquifer.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η διερεύνηση του φαινομένου της υφαλμύρισης (seawater intrusion) είναι εξαιρετικά σημαντική επειδή αποτελεί την συνηθέστερη αιτία υποβάθμισης του γλυκού νερού, και σοβαρό περιβαλλοντικό πρόβλημα σε πολλές παράκτιες περιοχές ανά τον κόσμο. Οι αυξανόμενες ανάγκες σε νερό είναι το κατεξοχήν αίτιο, καθώς προκαλεί μεγαλύτερους ρυθμούς άντλησης με αποτέλεσμα την διείσδυση του αλμυρού νερού σε υδροφορείς που βρίσκονται σε μικρή ή και μεγάλη απόσταση από την ακτή. Επίσης η μείωση του εμπλουτισμού των υδροφορέων λόγω της ελάττωσης των βροχοπτώσεων αποτελεί ένα δεύτερο σημαντικό παράγοντα που τείνει να αυξηθεί με τον χρόνο. Το θέμα έχει απασχολήσει ένα σημαντικό αριθμό ερευνητών σε παγκόσμια κλίμακα. Σήμερα υπάρχει εκτενής βιβλιογραφία τόσο σε θέματα που αφορούν τα χαρακτηριστικά του φαινομένου όσο και τους τρόπους ανίχνευσης του φαινομένου με διάφορες μεθόδους.

Αποκλειστική πηγή νερού για κάθε είδους ανάγκη στην περιοχή των Μαλίων, όπως και σε πολλές παραθαλάσσιες περιοχές, αποτελεί το υπόγειο νερό που αντλείται στην επιφάνεια των πηγαδιών και γεωτρήσεων. Η βιωσιμότητα και η οικονομική ανάπτυξη της περιοχής συνδέονται άρρηκτα με τη διατήρηση και αύξηση των πηγών νερού υψηλής ποιότητας, για την κάλυψη των αυξημένων αναγκών που επάγει η αγροτική και τουριστική ανάπτυξη. Μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί στην περιοχή έχουν περιγράψει το υδρογεωλογικό υπόβαθρό της, την υδροχημεία και τις διαδρομές εμπλουτισμού του υδροφορέα με φρέσκο μετεωρικό νερό (Κνιθάκης 1989, Αλεξόπουλος 1990, Καλλέργης 2000, Παρίσης 2001, Μορφουλάκη 2002).

Ο σκοπός της παρούσας ερευνητικής εργασίας είναι η μελέτη του ρυθμού υφαλμύρισης του υπόγειου υδροφορέα του Δήμου Μαλίων, σύμφωνα με τα υπάρχοντα στοιχεία με τα οποία εντοπίζουμε σε τι σημείο βρίσκεται τώρα και κατά πόσο εξαπλώνεται κυρίως τους καλοκαιρινούς μήνες. Επίσης η μελέτη της μικροβιακής επιβάρυνσης του υπόγειου υδροφορέα, που προκαλείται από τα κτηνοτροφικά απόβλητα της περιοχής.

Η παρούσα εργασία χωρίζεται ουσιαστικά σε πέντε ενότητες:

- Η πρώτη ενότητα αναφέρεται γενικά στην υποβάθμιση της ποιότητας των υδάτων, κυρίως των υπόγειων και στο φαινόμενο της υφαλμύρισης, περιγράφονται η κατάσταση και οι συνθήκες που επικρατούν στην Ελλάδα και στην Κρήτη και αναφέρονται κάποιοι τρόποι αντιμετώπισης του προβλήματος. Η ενότητα αυτή αποτελείται από τα Κεφάλαια 2 – 8.
- Ακολουθεί στη δεύτερη ενότητα (Κεφάλαιο 9) η περιγραφή της περιοχής Μαλίων στην οποία μελετήθηκε ο βαθμός υφαλμύρισης των γεωτρήσεων μελέτης.
- Στην τρίτη ενότητα περιγράφονται τα υλικά και οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν στις εργαστηριακές αναλύσεις των δειγμάτων (Κεφάλαιο 10).
- Η τέταρτη ενότητα αφορά την παρουσίαση των αποτελεσμάτων με πίνακες και διαγράμματα (Κεφάλαιο 11).
- Στην πέμπτη ενότητα ακολουθεί συζήτηση και συμπεράσματα και παρουσιάζονται διαγραμματικά οι δικές μας μετρήσεις μαζί με τα ιστορικά στοιχεία των γεωτρήσεων μελέτης (όπου υπάρχουν) μετά από επεξεργασία του διαθέσιμου υλικού της ΔΕΥΑΜ. Επίσης παρουσιάζονται συνολικά διαγράμματα όλων των γεωτρήσεων ανά παράμετρο (Κεφάλαιο 12).

2. ΧΗΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΘΑΛΑΣΣΙΝΟΥ ΝΕΡΟΥ

2.1 Θαλασσινό νερό

Οι ιδιότητες του θαλασσινού νερού είναι παρόμοιες μ' εκείνες του νερού. Οι υψηλές λανθάνουσες θερμότητες τήξης και εξάτμισης, η μεγάλη θερμοχωρητικότητα και τα υψηλά σημεία ζέσης και πήξης, που προσδίδουν στο νερό χαρακτηριστικές ιδιότητες, συναντώνται και στο θαλασσινό νερό.

Το θαλασσινό νερό περιέχει διάφορα άλατα, ιχνοστοιχεία και αέρια. Η σύσταση της θάλασσας μπορεί να μεταβάλλεται βραχυπρόθεσμα λόγω βιολογικών διεργασιών (π.χ. επίδραση της θερμοκρασίας), αλλά κυρίως λόγω της εισροής αποβλήτων και τοξικών ουσιών. Στον Πίνακα 2.1, δίνεται η συγκέντρωση των στοιχείων σε mg/l που περιέχονται στο θαλασσινό νερό και οι ενώσεις με τις οποίες κυρίως εμφανίζονται. Το μεγαλύτερο μέρος των στοιχείων είναι διαλυμένο στο θαλασσινό νερό με τη μορφή αλάτων, ενώ ένα μικρό μέρος βρίσκεται με τη μορφή διαλυμένων αερίων. Τα πιο σημαντικά διαλυμένα αέρια είναι το οξυγόνο και το διοξείδιο του άνθρακα. Όπως φαίνεται και από τον Πίνακα 2.1, τα περισσότερα στοιχεία βρίσκονται σε μικρές συγκεντρώσεις και για το λόγο αυτό, παρά τα τεράστια αποθέματα, η ανάκτησή τους δεν είναι οικονομικά συμφέρουσα.

Πίνακας 2.1: Συγκέντρωση στοιχείων (mg/l) που περιέχονται στο θαλασσινό νερό. [1]

Στοιχείο	Συγκέντρωση (mg/l)	Κυριότερες ενώσεις με τις οποίες εμφανίζονται	Χρόνος παραμονής σε έτη
C	28	HCO ₃ ⁻ , H ₂ CO ₃ , CO ₃ ²⁻ , οργανικές ενώσεις	-
N	0.5	NO ₃ ⁻ , NO ₂ ⁻ , NH ₄ ⁺ , N ₂ (g), οργανικές ενώσεις	-
O	857.000	H ₂ O, O ₂ (g), SO ₄ ²⁻ και άλλα ανιόντα	-
F	1.3	F ⁻	-
Ne	0.0001	Ne(g)	-
Na	10.500	Na ⁺	2.6 × 10 ⁸
Mg	1350	Mg ²⁺ , MgSO ₄	4.5 × 10 ⁷
Al	0.01	-	1.0 × 10 ³
Si	3	Si(OH) ₄ , Si(OH) ₃ O ⁻	8.0 × 10 ³
P	0.07	HPO ₄ ²⁻ , H ₂ PO ₄ ⁻ , PO ₄ ³⁻ , H ₃ PO ₄	-
S	885	SO ₄ ²⁻	-
Cl	19.000	Cl ⁻	-
K	380	K ⁺	1.1 × 10 ⁷
Ca	400	Ca ²⁺ , CaSO ₄	8.0 × 10 ⁶
V	0.002	VO ₂ (OH) ₃ ²⁻	1.0 × 10 ⁴
Cr	0.00005	-	3.5 × 10 ²
Mn	0.002	Mn ²⁺ , MnSO ₄	1.4 × 10 ²
Fe	0.01	Fe(OH) ₃ (s)	1.4 × 10 ²
Co	0.0005	Co ²⁺ , CoSO ₄	1.8 × 10 ⁴
Ni	0.02	Ni ²⁺ , NiSO ₄	1.8 × 10 ⁴
Cu	0.003	Cu ₂ ⁺ , CuSO ₄	5.0 × 10 ⁴
Zn	0.01	Zn ²⁺ , ZnSO ₄	1.8 × 10 ⁶
As	0.003	HAsO ₄ ²⁻ , H ₂ AsO ₄ ⁻ , H ₃ AsO ₄ , H ₃ AsO ₃	-
Br	65	Br ⁻	-
Rb	0.12	Rb ⁺	2.7 × 10 ⁶
Sr	8	Sr ²⁺ , SrSO ₄	1.9 × 10 ⁷
Ag	0.00004	AgCl ₂ , AgCl ₃ ²⁻	2.1 × 10 ⁶
Cd	0.00011	Cd ²⁺ , CdCl ⁺	5.7 × 10 ²
Sn	0.0008	-	1.0 × 10 ⁵
Ba	0.03	Ba ²⁺ , BaSO ₄	8.4 × 10 ⁴
Au	0.000004	AuCl ₄ ⁻	5.6 × 10 ⁵
Hg	0.00003	HgCl ₂ , HgCl ₄ ²⁻	5.6 × 10 ⁵
Pb	0.00003	Pb ²⁺ , PbSO ₄	1.0 × 10 ³

Το κυριότερο χαρακτηριστικό στοιχείο του θαλασσινού νερού είναι το χλώριο που βρίσκεται διαλυμένο σ' αυτό, με τη μορφή του ανιόντος Cl^- (19 g/kg). Άλλα στοιχεία είναι το νάτριο, ως Na^+ (11 g/kg) το μαγνήσιο, ως Mg^{2+} (1,3 g/kg) και το θείο με τη μορφή θειικών SO_4^{2-} (0,9 g/kg). Τα στοιχεία ασβέστιο Ca, κάλιο K, τα όξινα ανθρακικά ιόντα HCO_3^- και τα βρωμιούχα Br^- βρίσκονται σε συγκεντρώσεις $> 0,001\%$, ενώ τα υπόλοιπα στοιχεία βρίσκονται σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις και πολλά από αυτά κάτω από το όριο ανίχνευσης. Η αλατότητα του θαλασσινού νερού κυμαίνεται μεταξύ 32-37,5‰. Όταν η αλατότητα βρεθεί μικρότερη από 32‰, σημαίνει ότι έχει αναμιχθεί με γλυκά νερά.

Η οριζόντια κατανομή της αλατότητας παρουσιάζει ελάχιστα στους πόλους και μέγιστα στις τροπικές ζώνες. Αυτό σχετίζεται με την εξάτμιση και τις βροχοπτώσεις. Στην Ερυθρά θάλασσα, όπου έχουμε μεγάλο ποσοστό εξάτμισης και μικρό ποσοστό βροχοπτώσεων η αλατότητα φθάνει μέχρι και 43‰. Η συγκέντρωση του οξυγόνου στο θαλασσινό νερό κυμαίνεται από 0 μέχρι 9 mg/l. Οι υψηλές συγκεντρώσεις παρατηρούνται στην επιφάνεια του νερού. Στα μεγάλα βάθη η συγκέντρωση του οξυγόνου ελαττώνεται σημαντικά και πλησιάζει το μηδέν, λόγω κυρίως της εντατικής δράσης των βακτηριδίων που καταναλώνουν οξυγόνο.

Το pH του θαλασσινού νερού κυμαίνεται στην περιοχή 7,5 - 8,4. Η σταθερότητα του pH οφείλεται κυρίως στην παρουσία των ανθρακικών ιόντων. Η θερμοκρασία του θαλασσινού νερού στις θάλασσες και τους ωκεανούς παρουσιάζει ορισμένες διακυμάνσεις τόσο κάθετα, όσο και οριζόντια. Στα μεγάλα βάθη η θερμοκρασία είναι 2-4 °C σ' όλα τα πλάτη. Αντίθετα, στην επιφάνεια παρατηρούνται σημαντικές διαφορές ανάμεσα στα χαμηλά και υψηλά γεωγραφικά πλάτη.

Τα διάφορα φυσικά νερά των πηγών, των ποταμών και των λιμνών έχουν πολύ χαμηλή περιεκτικότητα αλάτων ενώ στο θαλάσσιο νερό η περιεκτικότητα των αλάτων είναι μεγαλύτερη, περίπου 0.5M., κυρίως σε χλωριούχο νάτριο (το κοινό αλάτι) το οποίο του προσδίδει την αλμυρότητα. Το θαλάσσιο νερό και τα αλμυρά νερά κατατάσσονται στην ομάδα των υδατικών διαλυμάτων και οι περισσότερες ιδιότητές τους υπολογίζονται από τις αντίστοιχες εξισώσεις των αραιών διαλυμάτων κατόπιν προσαρμογής των αριθμητικών συντελεστών.

Τόσο η ποσότητα όσο και η χημικές ιδιότητες των διαλυμένων αλάτων επηρεάζουν την γεύση και την χρησιμότητα του νερού γενικά. Ανάλογα με την ποσότητα των ολικώς διαλυμένων αλάτων (TDS), κατατάσσονται σε :

- 1:** Κατάλληλο πόσιμο νερό με 500 ppm TDS.
- 2:** Ελαφρώς αλμυρό νερό με 1.000 ppm TDS, το οποίο γίνεται αποδεκτό και ως πόσιμο νερό.
- 3:** Αλμυρό νερό με 1.000 έως 2.000 ppm, το οποίο μόνο σε ακραίες περιπτώσεις γίνεται αποδεκτό για οικιακή χρήση.
- 4:** Γλυφό νερό με περιεκτικότητα αλάτων από 2.000 έως 10.000 ppm TDS. Η χρησιμοποίησή του σαν πόσιμο νερό προκαλεί διάφορες διαταραχές.
- 5:** Πολύ αλμυρό νερό με $\text{TDS} > 10.000$ ppm.
- 6:** Θαλάσσιο και ωκεάνιο νερό με περιεκτικότητα αλάτων από 10.000 έως περίπου 42.000 ppm TDS.

Αυτή η κατηγοριοποίηση είναι σχετική. Υπάρχουν διαβαθμίσεις ανάλογα με την σκοπιμότητα της χρήσης του [2].

Η περιεκτικότητα σε άλατα και η χημική σύσταση των αλάτων παρουσιάζει μεγάλη διαφορά όχι μόνο μεταξύ των διαφόρων φυσικών πηγών, αλλά και για μια και την αυτή πηγή ανάλογα με την αυξομείωση της άντλησης του νερού και την βροχόπτωση. Το νερό στις μεγάλες υδάτινες λεκάνες, όπως ωκεανούς, θάλασσες και μεγάλες λίμνες, είναι ως επί το πλείστον ομοιόμορφο, ακόμα και κοντά σε εκβολές ποταμών, διότι τα ισχυρά θαλάσσια ρεύματα βοηθούν στην ομοιογενοποίηση των υδάτινων όγκων. Οι ανά τον κόσμο θάλασσες παρουσιάζουν τεράστιες διαφορές στην περιεκτικότητα ολικά διαλυμένων

αλάτων. Το θαλάσσιο νερό θεωρείται ότι περιέχει όλα τα χημικά στοιχεία υπό μορφή διαφόρων ενώσεων. Μερικά από αυτά περιέχονται σε μεγαλύτερη αναλογία, ενώ τα περισσότερα ευρίσκονται ως ιχνοστοιχεία σε ελάχιστες ποσότητες.

Για την μελέτη των φυσικών και χημικών ιδιοτήτων του θαλάσσιου νερού χρησιμοποιείται συνθετικό νερό το οποίο ονομάζεται «πρότυπο» ή «κανονικό». Παρασκευάζεται από αποσταγμένο νερό μεγάλης καθαρότητας και την προσθήκη χημικών αντιδραστηρίων, μεγάλης επίσης καθαρότητας, στην ακριβή αναλογία των προδιαγραφών. Το κανονικό νερό παρασκευάζεται μόνο από τα άλατα που βρίσκονται σε συγκέντρωση μεγαλύτερη του 0.1 ppm, ιχνοστοιχεία δεν προστίθενται. Μεγάλη προσοχή πρέπει να δίνεται στην καθαρότητα των αντιδράσεων, διότι οι προσμίξεις είναι δυνατόν να υπερβούν το όριο περιεκτικότητας των μικροστοιχείων.

2.2 Αλμυρότητα - Χλωρινότητα – Χλωριότητα

Η ολική συγκέντρωση των ιόντων σε ένα υδατικό διάλυμα, όπως το θαλάσσιο νερό είναι μια σημαντική παράμετρος που καθορίζει όχι μόνο τις ιδιότητές του αλλά και την χρησιμότητά του. Η χημική ιδιαιτερότητα των ιόντων έχει μικρότερη επίδραση στις ιδιότητες του θαλάσσιου νερού. Η ολική συγκέντρωση των ιόντων στο θαλάσσιο νερό καλείται “αλμυρότητα” “S”, και ορίζεται ως “το ολικό ποσό των στερεών συστατικών που περιέχονται σε ένα κιλό θαλάσσιου νερού, όταν όλα τα ανθρακικά έχουν μετατραπεί σε οξειδία και όλα τα βρωμιούχα και ιωδιούχα έχουν αντικατασταθεί ως ισοδύναμα χλωριούχα”.

Ο αναλυτικός προσδιορισμός της αλμυρότητας είναι πολύπλοκος και όχι πολύ ακριβής διότι οι διάφορες προσμίξεις, ιδίως οι οργανικές, που περιέχονται στα δείγματα του φυσικού θαλάσσιου νερού αλλοιώνουν τα αναλυτικά αποτελέσματα. Για την αποφυγή του αναλυτικού προσδιορισμού καθιερώθηκε μια δεύτερη παράμετρος η χλωρινότητα, η οποία ορίζεται ως “το ολικό ποσό των ιόντων χλωρίου σε g/kg θαλάσσιου νερού, όταν όλα τα βρωμιούχα και τα ιωδιούχα έχουν αντικατασταθεί από τα ισοδύναμα χλωριούχα. Μια τρίτη παράμετρος η χλωριότητα, ορίζεται ως το ολικό ποσό των χλωριούχων, στα οποία περιλαμβάνονται τα βρωμιούχα και τα ιωδιούχα, ως ισοδύναμα, εις γραμμάρια ανά κυβικό μέτρο θαλάσσιου νερού θερμοκρασίας 20 °C.

Η χλωρινότητα προσδιορίζεται ή με αναλυτικό προσδιορισμό των αλογόνων στο δείγμα ή με μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας σε θερμοκρασία 15 °C. Τόσο η αλμυρότητα όσο και η χλωρινότητα με την χλωριότητα είναι παράμετροι που αφορούν μόνο το θαλάσσιο νερό, κανονικό, αραιωμένο ή συμπυκνωμένο. Σε αλμυρά ή υφάλμυρα νερά δεν έχουν εφαρμογή. Για τις μεθόδους αφαλάτωσης του θαλάσσιου νερού η αλμυρότητα είναι βασικός παράγοντας στους υπολογισμούς, τόσο για το νερό τροφοδότησης όσο και για τα διάφορα στάδια συμπυκνώσεως. Η αλμυρότητα και η χλωρινότητα εκφράζονται πάντοτε σε γραμμάρια περιεχομένου άλατος ανά κιλό διαλύματος, g/kg ή σε μέρη ανά χίλια που συμβολίζεται ως ‰ [2].

2.3 Σκληρότητα – Αλκαλικότητα

Το ασβέστιο και το μαγνήσιο, μετά το νάτριο, βρίσκονται σε μεγαλύτερη αναλογία στο θαλάσσιο νερό το οποίο για μια μέση αλμυρότητα 35 g/kg περιέχει περίπου 0.05 M μαγνήσιο, 0.01 M ασβέστιο και 0.0001 M στρόντιο, η μικρή περιεκτικότητά του οποίου μπορεί να αγνοηθεί. Το ασβέστιο και το μαγνήσιο αποτελούν τα στοιχεία της σκληρότητας του νερού ανεξάρτητα από τα ανιόντα με τα οποία είναι ενωμένα. Η σκληρότητα εκφράζεται ως η “ολική ποσότητα του μαγνησίου και του ασβεστίου σε eq/m³”.

Η σκληρότητα συνδέεται άμεσα με τον σχηματισμό αποθεμάτων στις μεταλλικές επιφάνειες των σωληνώσεων και των εξατμιστηρίων σε εγκαταστάσεις αφαλάτωσης με την μέθοδο της απόσταξης. Τα αποθέματα

αποτελούνται από πέτρινα στρώματα που ανάλογα με τις χημικές ενώσεις που τα απαρτίζουν είναι μαλακά έως πολύ σκληρά. Η σκληρότητα του θαλάσσιου νερού έχει ουσιώδη σημασία για την καλή λειτουργία μιας εγκατάστασης αφαλάτωσης διότι καθορίζει τόσο την μέθοδο προκατεργασίας του νερού τροφοδότησης, όσο και την όλη οικονομία της μεθόδου.

3. ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΗΣ ΥΦΑΛΜΥΡΙΝΣΗΣ

Ο εμπλουτισμός του υπόγειου - γλυκού νερού με διαλελυμένα άλατα και συγκεκριμένα με ιόντα χλωρίου και νατρίου προερχόμενα από το άλας του χλωριούχου νατρίου, δύναται να ορισθεί στην συγκεκριμένη περίπτωση ως ποιοτική υποβάθμιση ή υφαλμύριση. Κύρια πηγή του άλατος του χλωριούχου νατρίου είναι η θάλασσα καθώς επίσης και τα κοιτάσματα ορυκτού άλατος, περίπτωση όχι τόσο συχνή για τον Ελλαδικό χώρο. Κατά καιρούς έχουν εκδοθεί διάφοροι πίνακες που αναφέρουν την ανεκτή συγκέντρωση των ιόντων χλωρίου καθώς και των άλλων στοιχείων που περιέχονται στα υπόγειο νερό που προορίζεται για ύδρευση. Βέβαια ως γίνεται αντιληπτό η Ελλάδα και συγκεκριμένα οι νησιωτικές και παραθαλάσσιες της περιοχές παρουσιάζουν πολλές φορές έντονα προβλήματα στο θέμα αυτό.

3.1 Η διείσδυση του θαλασσινού νερού

Με τον όρο διείσδυση του αλμυρού νερού εννοούμε την αύξηση της αλατότητας του υπόγειου νερού για δεδομένη τοποθεσία και βάθος. Το φαινόμενο αυτό, ιδιαίτερα έντονο σε παράκτιους υδροφόρους ορίζοντες, προκαλεί σημαντικό πρόβλημα όσον αφορά την ποιότητα του υπόγειου νερού. Η διερεύνηση του φαινομένου αυτού είναι εξαιρετικά σημαντική αφού αποτελεί ίσως τη συνηθέστερη πηγή μόλυνσης του γλυκού νερού.

Γενικά το αλμυρό νερό που παρατηρείται σε υδροφορίες μπορεί να προέλθει από τις παρακάτω πηγές:

- Θαλασσινό νερό, σε παράκτιες περιοχές
- Θαλασσινό νερό που διείσδυσε σε υδροφορίες κατά το παρελθόν
- Αλάτι, από δόμους αλατιού ή λεπτές στρώσεις αλατιού ή από διασπορά σε γεωλογικούς σχηματισμούς
- Υπολείμματα εξάτμισης νερού σε παλιρροιακές λίμνες, κοιλάδες κ.α.
- Νερό από αρδευόμενη γη που καταλήγει σε ρυάκια
- Λύματα υψηλής αλατότητας ανθρώπινης προέλευσης

Η υφαλμύριση των υδάτων των υπόγειων υδροφόρων σε περιοχές που γειτνιάζουν με τη θάλασσα οφείλεται κυρίως σε πρωτογενείς και δευτερογενείς παράγοντες :

♦ Οι πρωτογενείς παράγοντες σχετίζονται με την μεταβολή του φυσικού εμπλουτισμού του υδροφορέα και συνήθως συνδέεται με την ελάττωση των ποσοτήτων υδάτων που φθάνουν στους υδροφορείς. Τέτοιες περιπτώσεις αφορούν κυρίως καρστικούς υδροφορείς και πρόκειται για μια περιοδική αλμυρότητα που σχετίζεται με τις βροχοπτώσεις.

♦ Οι δευτερογενείς παράγοντες είναι αυτοί που συνδέονται με την υπερβολική άντληση. Τέτοια φαινόμενα είναι συνήθη στη χώρα μας, κυρίως στις εντατικά καλλιεργούμενες παράκτιες πεδινές εκτάσεις και λαμβάνουν χώρα τόσο στους ελεύθερους όσο και στους περιορισμένους (υπό πίεση) υδροφόρους ορίζοντες.

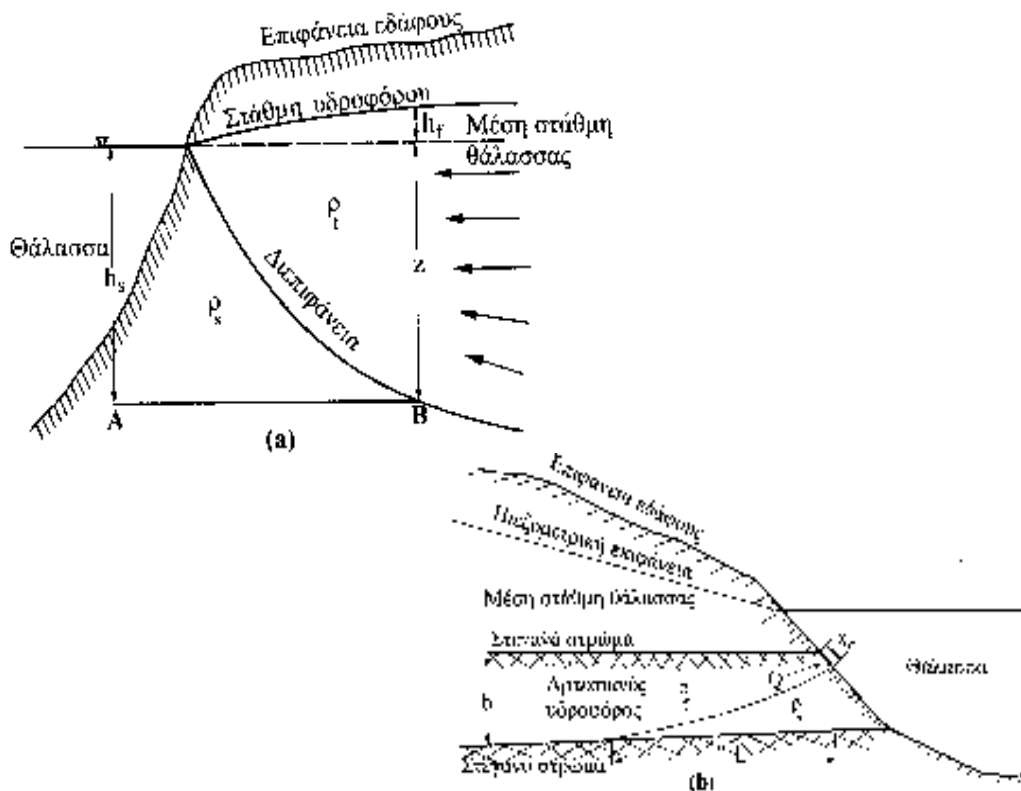
Στην περίπτωση της εντατικής εκμετάλλευσης παρατηρείται επίσης το φαινόμενο της εξατμισοδιαπνοής όπου κατά τη διάρκεια της ξηρής περιόδου η υγρασία της ανώτερης εδαφικής ζώνης, που αποτελείται από λεπτόκοκκο υλικό, παρασύρει το αλάτι το οποίο δε αποπλένεται επαρκώς κατά τη διάρκεια της υγρής περιόδου. Με την πάροδο των ετών, συσσωρεύεται με διάφορους ρυθμούς που εξαρτώνται από το έδαφος και το κλίμα προκαλώντας έτσι υποβάθμιση του εδάφους.

Η συσσώρευση αλατιού στα ανώτερα τμήματα του εδάφους παρατηρείται σε ξηρές και ημίξηρες περιοχές. Το φαινόμενο αυτό όμως είναι πιθανό στο μέλλον να επεκταθεί και σε άλλες παράκτιες περιοχές αν το πρόβλημα της διείσδυσης αλμυρού νερού επιδεινωθεί και δεν αντιμετωπιστεί κατάλληλα. Αυτό συμβαίνει επειδή η κατείσδυση κατά την βροχερή περίοδο δεν είναι ικανή να διαλύσει και να παρασύρει όλη την ποσότητα αλατιού κάτω από τη ζώνη τριχοειδών φαινομένων.

3.2 Ο Νόμος Ghyben – Herzberg

Οι παράκτιοι υδροφόροι, κάτω από φυσικές συνθήκες, αποστραγγίζονται προς τη θάλασσα. Οι έντονες αντλήσεις, στις παράκτιες περιοχές, ελαττώνουν ή αναστρέφουν τη φυσική υδραυλική βαθμίδα προς τη θάλασσα. Το φαινόμενο αυτό της μείωσης ή αναστροφής της υδραυλικής κλίσης αποτελεί τη διείδυση του θαλασσινού νερού προς την ενδοχώρα. Έτσι, αντλούμενα κατακόρυφα υδρομαστευτικά έργα, μολύνονται από το θαλασινό νερό, με αποτέλεσμα καταστρεπτικό, όχι μόνο για τους υδροφόρους, αλλά συχνά και για την οικονομική ζωή της περιοχής (π.χ. Αργολικό πεδίο).

Αν δεχθούμε ότι το γλυκό και το θαλασινό νερό δεν αναμιγνύονται και δεδομένου ότι έχουν διαφορετικές πυκνότητες, σχηματίζεται ανάμεσά τους **μία διεπιφάνεια** που το σχήμα της καθορίζεται από το υδροδυναμικό ισοζύγιο, οπουδήποτε τα δύο ρευστά βρίσκονται σε επαφή. Η Εικόνα 3.1 δείχνει μια παράκτια διατομή ενός ελεύθερου υδροφόρου. Κατά τους Ghyben (1888, 1889) και Herzberg (1901), υπάρχει ένα σημείο, όπου συναντώνται οι διατομές της ακτής, της διεπιφάνειας, της στάθμης της θάλασσας και του υδροφόρου.



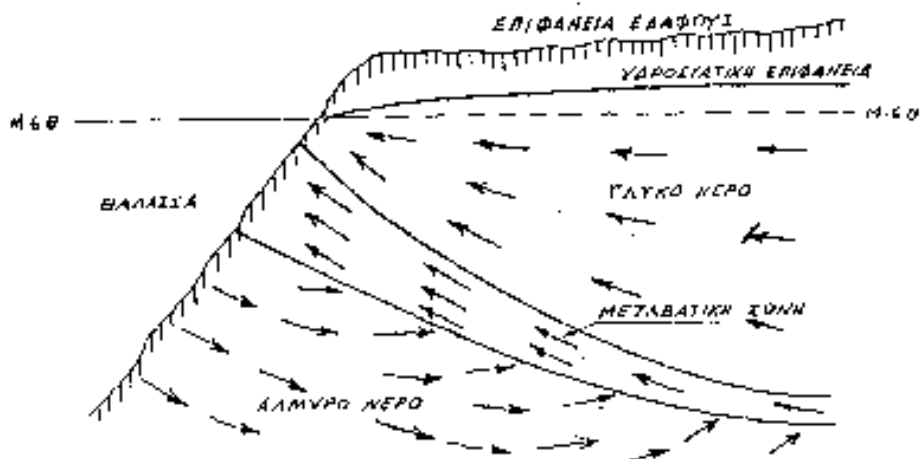
Εικόνα 3.1: Κατανομή γλυκού και αλμυρού νερού σε παράκτιους ελεύθερο (α) και αρτεσιανό (β) υδροφόρους. X_0 , το μέτωπο εκφόρτισης γλυκού νερού. [3]

3.3 Μηχανισμός υπαλμύρισης παράκτιων υδροφόρων

Το φαινόμενο της υπαλμύρισης παρατηρείται τόσο στους κοκκώδεις υδροφόρους οριζόντες, όσο και στους καρστικούς με διαφορετικό ενίοτε μηχανισμό και τρόπο στον κάθε ένα απ' αυτούς. Οι παράκτιοι κοκκώδεις υδροφόροι οριζόντες (ομογενή πορώδη μέσα) κάτω από φυσικές συνθήκες εκφορτίζονται - αποστραγγίζονται προς την θάλασσα, δηλαδή υφίσταται μία φυσική υδραυλική βαθμίδα -κλίση προς αυτή. Οι έντονες αντλήσεις γλυκού νερού στις παράκτιες περιοχές μειώνουν την υδραυλική αυτή βαθμίδα με αποτέλεσμα η ελάττωση του φορτίου του γλυκού νερού να προκαλεί την διείδυση του θαλασσινού νερού προς την ενδοχώρα.

Έτσι τα αντλούμενα υδρομαστευτικά έργα μολύνονται από το θαλασσινό νερό με καταστροφικά αποτελέσματα όχι μόνο για τους υδροφόρους ορίζοντες αλλά και για την οικονομική ζωή του τόπου. Αν δεχθούμε ότι το θαλασσινό και το γλυκό νερό δεν αναμιγνύονται και λόγω του ότι έχουν διαφορετικές πυκνότητες ($\rho_{\theta} = 1,025 \text{ gr/cm}^3, \rho_{\gamma} = 1,00 \text{ gr/cm}^3$) δημιουργείται ανάμεσά τους μία διεπιφάνεια (διαχωριστική ζώνη), που το σχήμα της καθορίζεται από το υδροδυναμικό ισοζύγιο οπουδήποτε τα δύο ρευστά βρίσκονται σε επαφή.

Είναι φυσικό ότι αν τα δύο ρευστά, θαλασσινό και γλυκό νερό, βρίσκονται σε πραγματικές στατικές συνθήκες δεν υπήρχε δηλαδή η υδραυλική βαθμίδα, τότε η πιεζομετρική επιφάνεια του γλυκού νερού θα ήταν οριζόντια και τούτο θα επέπλεε στο θαλασσινό λόγω διαφοράς πυκνότητας. Στην πραγματικότητα η διεπιφάνεια που αναφέρουμε παραπάνω είναι μία μεταβατική ζώνη γλυκού - αλμυρού νερού της οποίας το πάχος γίνεται μεγαλύτερο κοντά στην ακτή εκεί που τα παλιρροιακά φαινόμενα είναι έντονα. Επίσης εντός της διεπιφάνειας η αλατότητα αυξάνεται προοδευτικά με το βάθος (Εικόνα 3.2):



Εικόνα 3.2: Διάγραμμα ροής γλυκού και αλμυρού νερού σε ελεύθερο παράκτιο υδροφόρο (Μ.σ.θ = Μέση στάθμη θάλασσας. [4]

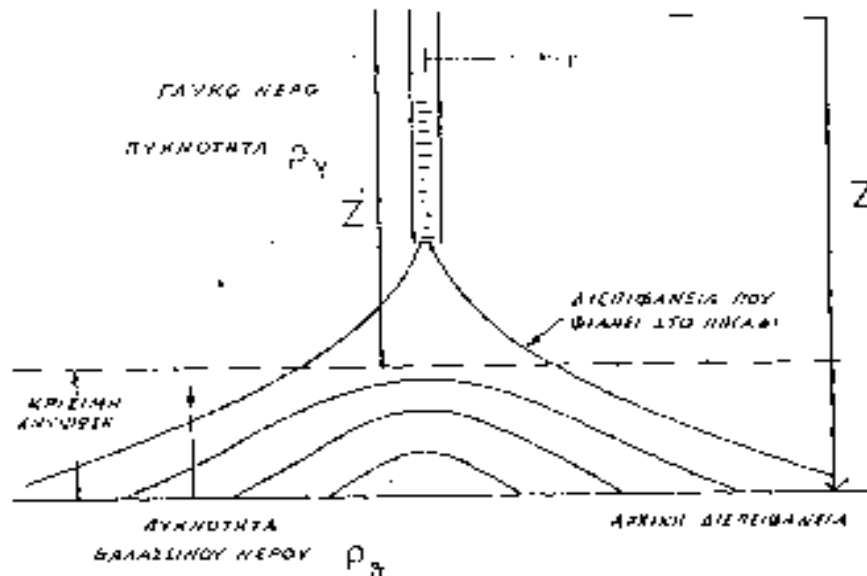
Αν τώρα ένας παράκτιος υδροφόρος ορίζοντας περιέχει ένα στρώμα αλμυρού νερού και αντλείται από υδρομαστευτικό έργο (πηγάδι - γεώτρηση) που φθάνει μόνο στο ανώτερο τμήμα του που περιέχει γλυκό νερό, τότε παρατηρείται μία τοπική ανύψωση της διεπιφάνειας κάτω από υδρομαστευτικό έργο. Εφ' όσον δηλαδή ελαττώνεται η στάθμη του υδροφόρου με την άντληση και συνεπώς το h , ελαττώνεται και το Z με αποτέλεσμα την ανύψωση της διεπιφάνειας προς το υδρομαστευτικό έργο με μορφή ενός ανεστραμμένου κώνου κατάπτωσης που υφίσταται αντλήσεις (Εικόνα 3.3). Η ανύψωση της διεπιφάνειας σε μία νέα θέση ισορροπίας είναι ευθέως ανάλογη προς την παροχή άντλησης υδρομαστευτικού έργου σε σχέση πάντα με την δυναμικότητα υδροφορέα. Όταν όμως το υδρομαστευτικό μας έργο αντλεί νερό από την διεπιφάνεια αυτή, λογικό είναι να αντλούμε υφάλμυρο νερό.

Στα ομογενή πορώδη μέσα (κοκκώδεις υδροφόροι ορίζοντες) η ανύψωση της διεπιφάνειας αντιμετωπίζεται με την κατασκευή υδροληπτικών έργων,

- α) που να απέχουν κατακόρυφα όσο το δυνατόν περισσότερο από την ζώνη του αλμυρού νερού,
- β) να βρίσκονται διάσπαρτα στο πεδίο και όχι το ένα πλησίον του άλλου,
- γ) με τον περιορισμό των παροχών- άντλησης ώστε να επιτυγχάνεται η μικρότερη δυνατή πτώση στάθμης και

δ) με την ταυτόχρονη άντληση γλυκού και αλμυρού νερού αφ' ενός μεν από τον υδροφόρο ορίζοντα που περιέχει γλυκό νερό και αφ' ετέρου από την ζώνη του αλμυρού νερού που βρίσκεται κάτω από το γλυκό νερό.

Οι υδρογεωλογικές συνθήκες στα παράκτια καρστικά συστήματα (ασβεστολιθικοί - δολομιτικοί υδροφόροι ορίζοντες) είναι κάπως διαφορετικές από εκείνες που ορίζει ο νόμος Ghyben – Herzberg για τα πορώδη ομογενή μέσα.



Εικόνα 3.3 : Διάγραμμα της «άνυψωσης» αλμυρού νερού σε αντλούμενο πηγάδι. [4]

Θεωρητικά ο νόμος αυτός ισχύει αλλά δεν μπορεί όμως να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό του βάθους μέχρι το οποίο φθάνει η ζώνη του γλυκού νερού κάτω από την στάθμη της θάλασσας. Στην περίπτωση των παράκτιων καρστικών συστημάτων η υδροδυναμική ισορροπία μεταξύ γλυκού και αλμυρού γίνεται περισσότερο πολύπλοκη από το γεγονός ότι η διεπιφάνεια εδώ έχει μεγάλο πάχος, είναι ανώμαλη ως προς το σχήμα της και στην ουσία αποτελεί μία μεγάλη μεταβατική ζώνη της οποίας το μέγεθος και το σχήμα εξαρτώνται από τα φυσικά χαρακτηριστικά των αγωγών καρστικού συστήματος.

Η ετερογένεια του πορώδους μέσου στα καρστικά συστήματα και οι μεγάλες τιμές της υδραυλικής αγωγιμότητας προς την θάλασσα που επικρατούν εν γένει σ' αυτά, έχουν σαν αποτέλεσμα την μη δημιουργία μίας οριακής επιφάνειας (διεπιφάνειας) μεταξύ γλυκού και αλμυρού νερού αλλά την δημιουργία μίας ανώμαλης ζώνης υφάλμυρου νερού.

Θεωρητικά στην διεπιφάνεια δεν συμβαίνει ανταλλαγή μεταξύ των δύο ρευστών, αλλά διάχυση και διασπορά που γίνονται εντονότερες όταν μεγαλώνει η ενεργός διατομή των καρστικών αγωγών και κατά συνέπεια πιο εύκολη η επικοινωνία τους. Στην πράξη στα καρστικά παράκτια συστήματα η μεταβατική ζώνη (εύρος διεπιφάνειας) είναι δυνατόν να καλύπτει όλη την ζώνη του γλυκού νερού από την ελεύθερη επιφάνεια μέχρι την διεπιφάνεια. Γι' αυτό τον λόγο συναντώνται παράκτιες υφάλμυρες πηγές ή υπόγειες υδροφορίες σε πολύ μικρά θετικά υψόμετρα. Επίσης προς την ενδοχώρα η διεπιφάνεια βρίσκεται σε μικρότερα βάθη απ' ό τι ορίζει ο νόμος του Ghyben – Herzberg.

3.4 Υφαλμύριση Παράκτιων Υδροφορέων

Η εκμετάλλευση και διαχείριση των υπόγειων νερών παράκτιων υδροφορέων είναι άμεσα συνδεδεμένη με το φαινόμενο της διείσδυσης της θάλασσας σε αυτούς, δηλαδή της εισροής θαλάσσιου νερού στο σύστημα των εν λόγω υδροφορέων. Η εισροή αυτή μπορεί να είναι μόνιμη ή συνηθέστερα μη

μόνιμη ροή. Έτσι το αλμυρό νερό αντικαθιστά ίσες ποσότητες γλυκού νερού. Αποτέλεσμα της διείσδυσης αυτής της θάλασσας είναι η υφαλμύριση των υδροφορέων αυτών.

Με τον όρο «υφαλμύριση υπόγειων υδροφορέων» εννοείται ύπαρξη όχι μόνο γλυκού αλλά και υφάλμυρου νερού στους υδροφορείς αυτούς. Αιτία ύπαρξης της υφαλμύρωσης μπορεί να είναι γεωλογικοί παράγοντες, συνήθως όμως το φαινόμενο παρατηρείται κατά τη διείσδυση θαλάσσιου νερού στους παράκτιους υδροφορείς. Η διείσδυση αλμυρού νερού σε παράκτιους υδροφορείς μπορεί να οφείλεται τόσο σε φυσικούς παράγοντες (πχ. ανύψωση της στάθμης της θάλασσας), όσο και σε ανθρωπογενείς (υπεραντλήσεις) ή πολλές φορές συνδυασμό των δύο. Η υφαλμύριση υπόγειων υδροφορέων αποτελεί ειδική περίπτωση υπόγειας ροής και αφορά συγκεκριμένους υδροφορείς, με γνωστά υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά. Όταν ο ρυθμός άντλησης σε φρέατα κοντά στη θάλασσα υπερβεί το ρυθμό φυσικής ή τεχνητής επαναφόρτισης του υδροφορέα, τότε θαλάσσιο νερό εισρέει στους υδροφορείς, καταστρέφοντάς τους από πηγή πόσιμου νερού. Πρέπει να τονισθεί ότι το φαινόμενο δεν μπορεί να θεωρηθεί αναστρέψιμο, γι' αυτό η αντιμετώπισή του συνδέεται πρακτικά με πρόβλεψη και ορθή διαχείριση.

Το πρόβλημα της υφαλμύρισης στις περισσότερες περιπτώσεις αναγνωρίζεται από τους υπεύθυνους υδρογεωλόγους και μηχανικούς. Συνήθως όμως είναι άγνωστη η έκτασή του, λόγω έλλειψης στοιχείων. Δεν είναι δηλαδή εύκολη η ποσοτικοποίηση του προβλήματος. Κατά την εισροή της θάλασσας σε έναν υδροφορέα συνθήκες μόνιμης ροής στην πραγματικότητα δεν αποκαθίστανται εύκολα. Επιπλέον τις περισσότερες φορές το πρόβλημα φθάνει 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.

Προβλήματα υφαλμύρισης παρατηρούνται σε μεγάλη-περιφερειακή ή μικρή-τοπική κλίμακα. Στην πρώτη περίπτωση επηρεάζονται μεγαλύτερες εκτάσεις από διάφορες ανθρώπινες δραστηριότητες όπως πχ. από εγγειοβελτιωτικά έργα. Λέγοντας μικρής κλίμακας προβλήματα, εννοείται η επίδραση που παρατηρείται στην διεπιφάνεια αλμυρού-γλυκού νερού στην περιοχή γύρω και κάτω από ένα φρέαρ άντλησης.

Τα προβλήματα αυτά είναι ιδιαίτερα σύνθετα και δεν είναι απλός ο τρόπος προσέγγισής τους. Μία τεχνική η οποία ακολουθείται είναι η εφαρμογή κατά τη διαχείριση των υπόγειων υδροφορέων μεθόδων μαθηματικής προσομοίωσης. Επομένως για την αντιμετώπισή τους απαιτούνται αφενός εξειδικευμένες γνώσεις ενός ιδιαίτερα δυσχερούς φαινομένου, όπως είναι η υφαλμύριση και αφετέρου δυνατότητα χρήσης μεθόδων εφαρμοσμένων μαθηματικών προσομοιώσεων και προσαρμογής των τεχνικών αυτών στις απαιτήσεις του υπό εξέταση προβλήματος.

3.5 Επίδραση της Υφαλμύρισης στην ποιότητα των υδατικών πόρων

Μπροστά στο δίλημμα των τελευταίων δεκαετιών «περισσότερο νερό χειρότερης ποιότητας, ή λιγότερο νερό καλύτερης ποιότητας;» έχει γίνει πλέον κοινώς αποδεκτό, ότι η ποιότητα του υπόγειου νερού είναι εξίσου σημαντικός παράγοντας με την ποσότητά του. Όλα τα υπόγεια νερά περιέχουν διαλυμένα άλατα, που τα έχουν πάρει κατά τη διαδρομή τους μέσα από τα πετρώματα. Εξάλλου, οι ποιοτικές απαιτήσεις των διαφόρων καταναλωτών νερού ποικίλουν σημαντικά. Για τη δημιουργία κριτηρίων ποιότητας του νερού, πρέπει να καθορίζονται με αξιοπιστία οι περιεκτικότητές του σε χημικά, βιολογικά, φυσικά και ραδιενεργά συστατικά και να καθιερώνονται σταθερότυπα για την παρουσίαση και σύγκριση των αποτελεσμάτων των χημικών αναλύσεων. Η παρουσία εξάλλου αερίων, διαλυμένων στο νερό, είναι επικίνδυνη αν δεν αναγνωρισθεί έγκαιρα.

Γενικά, ιδιότητες που μπορεί να κάνουν το νερό τελείως ακατάλληλο για κάποια συγκεκριμένη χρήση, π.χ. ύδρευση, μπορεί να μην επηρεάζουν την καταλληλότητά του για άλλες χρήσεις, π.χ. βιομηχανική κ.λ.π. Τα κριτήρια ποιότητας καθορίζονται, κατά συνέπεια, ανάλογα με τη χρήση για την οποία προορίζεται το υπόγειο νερό. Τα πιο συνηθισμένα κριτήρια είναι:

- **Φυσικά χαρακτηριστικά**

- Θολότητα
- Σύνολο διαλυμένων (TDS) και αιωρούμενων (TSS) στερεών
- Οσμή
- Θερμοκρασία
- Χρώμα

- **Χημικά χαρακτηριστικά**

- **Ανόργανα συστατικά**

- **Κύρια ιόντα:** (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^-)

- **Δευτερεύοντα ιόντα:** (Al^{3+} , NH_4^+ , As^+ , Ba^{2+} , BO_3^{3-} , B^{3-} , Cu^{2+} , Fe^{2+} , Fe^{3+} , Mn^{2+} , HSO_4^- , HSO_3^- , CO_3^{2-} , F^- , OH^- , H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} , PO_4^{3-} , S^{4-} , SO_3^{2-})

- **Ανόργανα σε μη ιοντική μορφή:** SiO_2

- **Ανόργανα εισαγόμενα από τον άνθρωπο:** (As^{3+} , Ba^{2+} , Cd^{2+} , Cr^{6+} , Pb^{2+} , Hg^{2+} , Se , Ag^{2+} , Zn^{2+})

- **Θρεπτικά εισαγόμενα από τον άνθρωπο:** (Ενώσεις αζώτου και φωσφόρου)

- **Ραδιενέργεια**

- **pH, Ec, σκληρότητα, ηλεκτρική αγωγιμότητα και αλκαλικότητα**

- **Φυσικές οργανικές ενώσεις:** (πρωτεΐνες, υδρογονάνθρακες, λιπίδια)

- **Συνθετικές οργανικές ενώσεις:** (επιφανειοδραστικά, φυτοφάρμακα, διαλυτικά, χλωριωμένοι υδρογονάνθρακες κ.λ.π.)

Η μέτρηση των οργανικών ενώσεων γίνεται με τον εργαστηριακό προσδιορισμό των COD (χημικά απαιτούμενο οξυγόνο), TOC (ολικός οργανικός άνθρακας), TOD (ολικά απαιτούμενο οξυγόνο), BOD (βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο).

- **Αέρια:** (N_2 , O_2 , CO_2 , H_2S , NH_3 , CH_4 κ.ά.)

- **Βιολογικά χαρακτηριστικά:** (Βακτήρια, ιοί, μύκητες, φύκη, πρωτόζωα, σκώληκες, τροχόζωα, καρκινοειδή κ.ά.)

3.5.1 Πηγές ρύπανσης

Σύμφωνα με το Ν 1650/1986 για την προστασία του περιβάλλοντος, **ρύπανση** του περιβάλλοντος είναι η παρουσία στο περιβάλλον ρύπων, δηλαδή κάθε είδους ουσιών (βαρέα μέταλλα, εντομοκτόνα, ζιζανιοκτόνα, CO_2 , κ.τ.λ), θορύβου, ακτινοβολίας ή άλλων μορφών ενέργειας σε ποσότητα, συγκέντρωση ή διάρκεια που μπορούν να προκαλέσουν αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία, στους ζωντανούς οργανισμούς και στα οικοσυστήματα ή υλικές ζημιές και γενικά να καταστήσουν το περιβάλλον ακατάλληλο για τις επιθυμητές χρήσεις του.

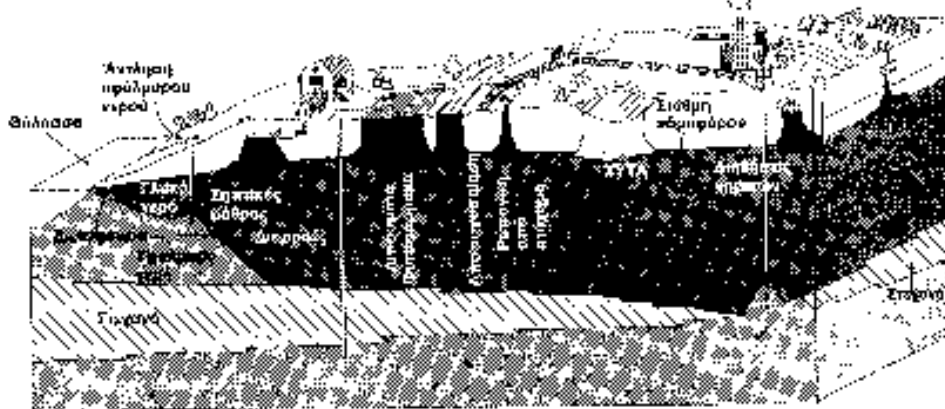
Μόλυνση του περιβάλλοντος είναι η μορφή ρύπανσης που χαρακτηρίζεται από την παρουσία παθογόνων μικροοργανισμών στο περιβάλλον ή δεικτών που υποδηλώνουν την πιθανότητα παρουσίας τέτοιων μικροοργανισμών. Μόλυνση – ρύπανση είναι αποτέλεσμα εξ ορισμού ανθρωπογενών δραστηριοτήτων, σπάνια φυσικών καταστάσεων (φυσική ρύπανση – γουανό σε αποικίες θαλάσσιων πτηνών).

Υποβάθμιση του περιβάλλοντος είναι η πρόκληση από ανθρώπινες δραστηριότητες ρύπανσης ή οποιασδήποτε άλλης μεταβολής στο περιβάλλον η οποία είναι πιθανόν να έχει αρνητικές επιπτώσεις στην οικολογική ισορροπία, στην ποιότητα ζωής και στην υγεία των κατοίκων, στην ιστορική και πολιτιστική κληρονομιά και στις αισθητικές αξίες.

Ρύπανση των υπόγειων νερών, είναι η τεχνητά προκαλούμενη υποβάθμιση της φυσικής ποιότητάς τους. Η υποβάθμιση της ποιότητας του νερού αναφέρεται στη βιβλιογραφία και σαν μόλυνση. Τελικά η χρησιμοποίηση

των δύο αυτών όρων, άλλοτε με ταυτόσημο και άλλοτε με διαφορετικό περιεχόμενο, έχει προκαλέσει κάποια σύγχυση. Προσπάθειες διαχωρισμού των δύο όρων, στηριζόμενες είτε στο αίτιο που προκαλεί την υποβάθμιση της ποιότητας του νερού —φυσικά ή χημικά αίτια της μεταβολής της ποιότητας στη ρύπανση, μικροβιολογικά αίτια της πιο πάνω μεταβολής στη μόλυνση— είτε στο αποτέλεσμα που προκύπτει από την υποβάθμιση της ποιότητας, μάλλον μεγάλωσαν τη σύγχυση. Ως ρύπανση ή μόλυνση θα αναφέρουμε οποιαδήποτε υποβάθμιση της φυσικής ποιότητας του νερού, που είναι αποτέλεσμα των δραστηριοτήτων του ανθρώπου. Η ρύπανση μπορεί να αποβεί απαγορευτικός παράγοντας στη χρήση του νερού ή να δημιουργήσει κινδύνους στη δημόσια υγεία, μέσω της τοξικότητας ή της μετάδοσης ασθενειών. Έχει αναφερθεί, ότι η επιδημία χολέρας στο Λονδίνο, το 1854, που στοίχισε τη ζωή σε περισσότερα από 500 άτομα, μέσα σε 10 ημέρες, προήλθε από τη χρήση του νερού, για ύδρευση, μιας μολυσμένης υδρογεώτρησης. Οι περισσότερες πηγές ρύπανσης προέρχονται από την απόρριψη των απόβλητων, που δημιουργούνται μετά από κάθε χρήση νερού

Σε αντίθεση με τη ρύπανση των επιφανειακών νερών, η ρύπανση των υπόγειων νερών είναι πολύ δύσκολο να εντοπισθεί και ακόμη πιο δύσκολο να αντιμετωπισθεί ενώ μπορεί να διατηρηθεί για δεκαετίες. Στον Πίνακα 3.1 δίνονται τα αίτια υποβάθμισης της ποιότητας του υπόγειου νερού. Οι πιθανοί ρύποι του υπόγειου νερού είναι στην πραγματικότητα απεριόριστοι. Οι πηγές και οι αιτίες της ρύπανσης των υπόγειων νερών συνδέονται στενά με τη χρήση του νερού από τον άνθρωπο. Το μεγαλύτερο μέρος της ρύπανσης προέρχεται από την απόρριψη των απόβλητων πάνω ή μέσα στο έδαφος (Εικόνα 3.4).



Εικόνα 3.4: Μηχανισμοί ρύπανσης των υπόγειων νερών. [3]

Οι πιο συνηθισμένοι τρόποι απόρριψης των απόβλητων, είναι η τοποθέτησή τους :

- σε λεκάνες διήθησης
- στην επιφάνεια του εδάφους (κατάκλιση ή άρδευση)
- σε ορύγματα και τάφρους διήθησης
- σε ξερά υδατορεύματα
- σε σκουπιδοτόπους
- σε αβαθείς γεωτρήσεις απόρριψης
- σε βαθιές γεωτρήσεις έκχυσης

Αναφορικά με τη γεωμετρία της εστίας και της ρύπανσης αυτές διακρίνονται σε:

- σημειακές , όταν προέρχονται από μία μοναδική θέση,
- γραμμικές όταν οι πηγές ή αιτίες της ρύπανσης παρουσιάζουν μία επικρατούσα γραμμική διάταξη (ευθυγραμμία),
- διάχυτες , όταν η πηγή ρύπανσης κατέχει μία εκτεταμένη περιοχή τελείως καθορισμένη ή όχι.

Πίνακας 3.1 : Αίτια υποβάθμισης της ποιότητας των υπόγειων νερών. [3]

Μόλυνση και ρύπανση
i) Οικιακά και δημόσια λύματα
ii) Βιομηχανικά απόβλητα <ul style="list-style-type: none">- Οργανικά απόβλητα- Επεξεργασία τροφίμων- Επεξεργασία σκουπιδιών - παλιών αντικειμένων κ.λπ.
iii) Μεταλλευτικά απόβλητα <ul style="list-style-type: none">- Μεταλλουργικές βιομηχανίες- Μεταλλευτικές βιομηχανίες - εξόρυξη μεταλλευμάτων- Διυλιστήρια πετρελαίου-εξόρυξη πετρελαίου- Χημικές βιομηχανίες- Διάφορες άλλες δραστηριότητες
iv) Νερό ψύξης
v) Στερεά και ημιστερεά σκουπίδια
Υποβάθμιση της ποιότητας
i) Ανάπτυξη, χρήση και επαναχρησιμοποίηση νερού <ul style="list-style-type: none">- Επιστροφές από το νερό άρδευσης- Επιφανειακή στράγγιση- Διήθηση- Επικοινωνία υδροφόρων, λόγω κακής κατασκευής ή εγκατάλειψης γεώτρησης- Εξάντληση υδροφόρων, λόγω υπεράντλησης- Εξάντληση υδροφόρων- Διείσδυση της θάλασσας- Διαταραχή του ισοζυγείου αλάτων- Άνοδος νεαρού ή συγγεντικού νερού λόγω υπεράντλησης- Μόλυνση από επιφανειακά νερά λόγω κακής κατασκευής γεωτρήσεων
ii) Φυσικές αιτίες <ul style="list-style-type: none">- Εισροές ή διηθήσεις μεταλλικών νερών από πηγές ή υδρορεύματα
iii) Άλλες αιτίες <ul style="list-style-type: none">- Επιταχυνόμενη διάβρωση- Διαπνοή των φυτών και/ή έντονη εξάτμιση

3.5.2 Από το βρόχινο στο υπόγειο νερό

Η βροχή δεν αποτελείται από καθαρό νερό, αλλά περιέχει σε μικρές συγκεντρώσεις ένα ευρύ φάσμα διαλυμένων ουσιών, όπως είναι χλώριο και νάτριο, που προέρχονται από τη θάλασσα, ασβέστιο, μαγνήσιο, κάλιο και οργανικές ενώσεις από τη διάλυση εδαφικής σκόνης, ενώσεις του θείου και του αζώτου από αέριες εκπομπές του εδάφους και των φυτών και τη βιομηχανία.

Η σύνθεση του βρόχινου νερού καθορίζεται από την προέλευση των υδατμών και από τα ιόντα που προσλαμβάνονται ή χάνονται από το νερό κατά τη μεταφορά τους στην ατμόσφαιρα. Κοντά στην ακτή το βρόχινο νερό μοιάζει με αραιωμένο θαλασσινό νερό. Καθώς η απόσταση από την ακτή αυξάνει, η συγκέντρωση ιόντων που προέρχονται άμεσα από το θαλασσινό νερό μειώνεται. Κατά τον Ridder (1978), στην Ολλανδική ακτή η συγκέντρωση χλωριόντων στο βρόχινο νερό είναι υψηλή (περίπου 30 mg/l) ενώ μειώνεται εκθετικά με την απόσταση από την ακτή, φτάνοντας τα 1-2 mg/l σε απόσταση 200-400 χλμ. (βλ. Πίνακα 3.2). Η εικόνα που λαμβάνεται όταν η δειγματοληψία περιορίζεται στους βροχογράφους ή τα βροχόμετρα δεν είναι αντιπροσωπευτική, δοθέντος ότι κατά τις ξηρές περιόδους όταν ο “δειγματολήπτης” είναι συνεχώς ανοικτός, μαζί με το βρόχινο νερό συλλέγονται και “αερολύματα” αλλά και ακαθαρσίες από πτηνά (Galloway – Likens 1978). Η δειγματοληψία του βρόχινου νερού θα πρέπει να γίνεται μόνο κατά τη διάρκεια της βροχοπτώσης.

Πίνακας 3.2: Συγκέντρωση ορισμένων συστατικών στο βρόχινο νερό σε σχέση με την απόσταση από τη θάλασσα, σε mg/l (UNESCO, 1975). [3]

Συστατικό	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Ca	1,43	1,18	2,74	1,90	1,56	1,91
Mg	1,79	2,40	0,52	0,37	0,27	0,22
Na	18,45	2,36	0,74	0,38	0,19	0,16
K	0,78	0,37	0,33	0,26	0,76	0,38
NH ₃	0,38	0,79	0,80	0,70	0,29	0,38
Cl	37,60	4,52	2,00	0,88	0,65	0,28
NO ₃	1,64	1,59	2,12	1,73	0,60	1,28

(1)Westerland 0,2 km από την ακτή, (2) Schlesswig 50 km από την ακτή, (3) Braunschweig 450 km από την ακτή, (4)Augustenberg 800 km από την ακτή, (5) Hohenspeissenberg 900 km από την ακτή, (6) Retz 1200 km από την ακτή.

Η θάλασσα αποτελεί την πηγή του 30% τουλάχιστον των βροχοπτώσεων στις ηπειρωτικές περιοχές. Πειραματικές έρευνες έχουν δείξει ότι τα υγρά σταγονίδια, που παράγονται όταν οι φυσαλίδες διασπώνται στην επιφάνεια της θάλασσας, προκαλούν τη δημιουργία θαλάσσιων αερολυμάτων, λόγω εξάτμισης του νερού από τα σταγονίδια διαφόρων διαμέτρων, (το μεγαλύτερο μέγεθος ξεπερνά τα 10 μικρά) τα οποία διατηρούν χημική σύνθεση παρόμοια με το θαλασσινό νερό. Στα μικρότερα σωματίδια λαμβάνει χώρα εξάτμιση του χλωρίου, κυρίως με τη μορφή του HCl, με αποτέλεσμα την εξάντληση του Cl⁻ σε σχέση με το Na⁺ μέχρι ποσοστού 40% (Muller, 1990). Παρ' όλα αυτά όμως, σύμφωνα με τη σχέση Na/Cl, η τελική χημική σύσταση του βρόχινου νερού στις παράκτιες περιοχές είναι παρόμοια με εκείνη του θαλασσινού λόγω δημιουργίας HCl.

Όμως, στις βιομηχανικές περιοχές υπάρχουν πρόσθετες πηγές Cl⁻ (καύση πλαστικών απορριμμάτων, θερμοηλεκτρικά εργοστάσια, εξάτμιση αλμυρού νερού που χρησιμοποιείται στη βιομηχανία για ψύξη). Όσον αφορά στις πηγές Na⁺ στα αερολύματα, πέραν από το NaCl του θαλασσινού νερού, θα πρέπει να προστεθεί και η σκόνη των περιοχών με ξηρά κλίματα ή των θερινών βροχοπτώσεων στον Ελληνικό χώρο που προέρχονται από υδρατμούς που συγκεντρώνονται στη Β. Αφρική.

Η μείωση ή αύξηση ιόντων στο βρόχινο νερό αντανακλάται στη μεταβολή του λόγου της ιοντικής συγκέντρωσης του βρόχινου προς το θαλασσινό νερό, η οποία εκφράζεται με το “συντελεστή κλασματοποίησης”. Οι συντελεστές κλασματοποίησης του νατρίου για τα πιο συνηθισμένα ιόντα στα θαλάσσια αερολύματα έχουν όπως στον Πίνακα 3.3.

Η επίδραση της χημικής σύστασης του βρόχινου νερού, της απόθεσης αλάτων ‘εν ξηρό’, της εποχικής διακύμανσης της κατεύθυνσης, της ξηρασίας κ.λ.π. στο χημισμό των υπόγειων νερών είναι πια ορατή στην ακόρεστη ζώνη και ιδιαίτερα όταν τα πετρώματα δεν περιέχουν ισχυρώς αντιδρώντα ορυκτά όπως τα ανθρακικά.

Πίνακας 3.3: Το εύρος των συντελεστών κλασματοποίησης των ιόντων θαλασσινού νερού στα θαλάσσια “αερολύματα” (Apello – Postma, 1994). [3]

F _{Na}	Mg ²⁺	Ca ²⁺	K ⁺	Sr ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Br ⁻	Οργανικό Άζωτο
Μέγιστη τιμή	1,07	1,22	1,05	0,89	1,0	?	12	10 ⁶
Ελάχιστη τιμή	0,98	0,97	0,97	0,84	0,93	1	1	2*10 ⁶

Μεγάλες διακυμάνσεις της συγκέντρωσης TDS (Total Dissolved Solids – Ολικά Διαλυμένα Στερεά, 180 °C) οφείλονται κυρίως στις μεταβολές της συγκέντρωσης Na και Cl, θαλάσσιας προέλευσης, ιδιαίτερα στις παράκτιες περιοχές. Στις περιοχές αυτές εκτιμάται (Apello – Postma, 1994) ότι ο μέσος ετήσιος ρυθμός μεταφοράς θαλασσινού νερού μέσα από την ακόρεστη ζώνη ανέρχεται σε 5m. Κατά τις βροχοπτώσεις, αρχίζει η κατείσδυση και ταυτόχρονα η απόπλυση των αλάτων που αποτέθηκαν κατά την προηγούμενη ξηρά περίοδο, καθώς και η μεταφορά τους στην κορεσμένη ζώνη. Κατά την υγρά εξάλλου περίοδο, ιδιαίτερα στον Ελληνικό χώρο, οι καταιγίδες που ως επί το πλείστον προέρχονται από τις θαλάσσιες περιοχές, αποθέτουν μεγάλες ποσότητες χλωριούχου νατρίου.

Τα εδάφη αποτελούνται από ορυκτά που προέρχονται από την αποσύνθεση των πετρωμάτων, άλατα που σχηματίζονται κατά την απομάκρυνση του νερού μέσω της εξατμισοδιαπνοής και οργανικό υλικό που προέρχεται από την αποσύνθεση των φυτών με τη δράση μικροοργανισμών. Μία από τις χαρακτηριστικές ιδιότητες του νερού είναι η μεγάλη διαλυτική ικανότητα ανόργανων και οργανικών ενώσεων. Όταν το νερό της βροχής έρθει σε επαφή με την επιφάνεια της γης η σύστασή του αλλάζει δραστικά. Προσλαμβάνει συστατικό από τη δράση γεωχημικών διεργασιών, δηλαδή από τη διάλυση και αποσάθρωση αλάτων και ορυκτών του εδάφους και των πετρωμάτων, ενώ παράλληλα τροφοδοτεί τα φυτά με θρεπτικά συστατικά (ενώσεις του αζώτου και του φωσφόρου). Η διαδικασία της διάλυσης και αποσάθρωσης των ορυκτών προϋποθέτει την ύπαρξη κάποιου οξέος. Το οξύ αυτό είναι το ανθρακικό οξύ. Προέρχεται από τη διάλυση διοξειδίου του άνθρακα στο νερό που σχηματίζεται κατά την αποσύνθεση οργανικού υλικού μέσα στο έδαφος. Έτσι το επιφανειακό νερό εμπλουτίζεται με συστατικά. Σε αντίθεση με το επιφανειακό, το υπόγειο νερό, χαρακτηρίζεται από μεγαλύτερες συγκεντρώσεις σε ανόργανα συστατικά, γιατί κινείται με πολύ μικρότερη ταχύτητα μέσα στα πετρώματα του υπεδάφους και έρχεται σε επαφή με τα ορυκτά τους για μεγάλο χρονικό διάστημα, αποσπώντας από αυτά συστατικό σε διάλυση.

3.5.3 Η αλατότητα και οι πηγές της

Όλα τα υπόγεια νερά περιέχουν διαλυμένα άλατα που η συγκέντρωσή τους κυμαίνεται από 25 mg/l ή και λιγότερο ακόμη στις πηγές μέσα σε πυριτικά πετρώματα, μέχρι πάνω από 300.000 mg/l σε υπεράλμυρα νερά («σαλαμούρες»).

Το είδος και η συγκέντρωση των διαλυμένων αλάτων εξαρτάται από τη φύση των πετρωμάτων - μέσω των οποίων κινείται το υπόγειο νερό - την ταχύτητα ροής κ.λ.π. Κατά κανόνα τα υπόγεια νερά παρουσιάζουν υψηλότερη συγκέντρωση διαλυμένων αλάτων από τα επιφανειακά νερά, γιατί τα πρώτα βρίσκονται για μεγαλύτερο χρόνο σε επαφή με ευδιάλυτα υλικά στα γεωλογικά στρώματα. Τα ευδιάλυτα αυτά άλατα προέρχονται κυρίως από τη διάλυση υλικών των πετρωμάτων.

Η οξυανθρακική ρίζα, που είναι συνήθως το επικρατέστερο ανιόν στα υπόγεια νερά, προέρχεται από το διοξείδιο του άνθρακα που ελευθερώνεται κατά την οργανική αποσύνθεση στο έδαφος. Οι τιμές της αλατότητας είναι μεγαλύτερες εκεί που η κίνηση του νερού είναι μικρότερη. Έτσι, η αλατότητα γενικά αυξάνει με το βάθος. Μία συνηθισμένη γεωχημική ακολουθία στα υπόγεια νερά, είναι εκείνη κατά την οποία κοντά στην επιφάνεια απαντούν δισανθρακικά νερά για να μεταπέσουν σε χλωριούχα νερά στους βαθύτερους σχηματισμούς.

Το νερό της βροχής, που φτάνει στην επιφάνεια του εδάφους, περιέχει πολύ μικρές ποσότητες διαλυμένων αλάτων (Πίνακας 3.4). Το υπόγειο νερό εμπλουτίζεται σε άλατα, τα οποία προέρχονται από τα διαλυτά συστατικά των πετρωμάτων μέσα από τα οποία κινείται.

Πίνακας 3.4: Σύσταση του νερού της βροχής και του χιονιού σε mg/l. [3]

Συστατικό	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
SO ₂	0,0	0,1	-	0,25	0,6	-	0,9	-	-	-	-	-	-	-	-
Ca	0,0	0,0	1,2	0,77	0,53	1,42	0,42	0,26	0,16	0,06	1,99	0,92	1,19	0,67	3,26,3
Mg	0,2	0,0	0,5	0,42	0,15	0,29	0,09	0,17	0,05	0,55	0,36	0,46	0,09	0,27	0,19-0,97
Na	0,6	0,4	2,46	0,74	0,25	2,75	0,28	0,92	0,1	3,82	0,85	4,65	0,39	1,79	0,46-3,49
K	0,6	0,2	0,27	0,95	0,14	0,35	0,13	0,18	0,06	0,02	0,27	0,23	0,27	-	0,46-3,46
NH ₄	0,0	-	-	-	0,6	0,4	0,49	0,11	0,2	1,42	0,33	-	-	-	0,46-3,75
HCO ₃	0	0,0	-	1,03	-	-	-	1,26	-	-	0,55	-	-	1,20	1,54-26,05
NO ₃	1,3	2,1	-	1,76	0,45	2,19	0,74	2,02	2,02	6,24	0,25	0,57	0,98	0,96	-
Cl	1,2	0,2	4,43	0,75	0,22	3,47	0,38	0,29	0,25	1,42	1,62	8,19	0,06	2,73	0,2-9,7
NO ₂	0,1	-	-	0,15	0,4	0,27	0,26	0,31	0,74	0,91	0,61	-	-	0,21	2,2
TDS	4,8	5,1	-	12,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
pH	5,6	-	-	5,8	5,3	5,5	4,1	5,6	4,1	4,4	4,75	-	-	-	7,45-8,25

(1)Χιόνι, Νεβάδα ΗΠΑ, υψόμετρο 2344 μέτρα (1958), (2) ΒΔ Καρολίνα ΗΠΑ, 33 αναλύσεις (1962-63) σε 8 θέσεις, (3)ΝΑ Αυστραλία σε 28 θέσεις επί 36 μήνες (1956-57), (4) Mainio – Park Cal. ΗΠΑ χειμώνες 1957-58, (5) ΒΔ Οντάριο, Καναδάς, 40 αναλύσεις (1972), (6) Βροχή και Χιόνι, Β. Ευρώπη, σε 60 θέσεις επί μήνες (1955-56), (7) Βροχή και Χιόνι, Β. Βαλτιμόρη, Μαγ ΗΠΑ, 1970-71, (8) Kiruna, Σουηδία 1955-57, (9) Hubbard Brook, ΗΠΑ, 1963-1974, (10) De Kooy, Ολλανδία 1978-1983, (11) Beek, Ολλανδία, 1978-1983, (12) Thumba, Ινδία 1975, (13) Delhi, Ινδία, 1975, (14) Καταιγίδα, Ισραήλ, (15) Δυτική Θεσσαλία τρεις θέσεις, 1968-1969.

Το πλεόνασμα του αρδευτικού νερού που εισέρχεται στον υδροφόρο συχνά προσθέτει συμπληρωματικές ποσότητες από άλατα. Το νερό που περνά από τη ζώνη των ριζών σε καλλιεργούμενες περιοχές, περιέχει συνήθως πολύ μεγαλύτερες συγκεντρώσεις αλάτων από τα αρχικό νερό. Η αύξηση αυτή των αλάτων προέρχεται κατά κύριο λόγο από τη διαδικασία της εξατμισοδιαπνοής, η οποία προκαλεί συμπύκνωση των διαλυμένων στο νερό αλάτων. Επιπρόσθετα, διαλυτά υλικά του εδάφους, λιπάσματα και εκλεκτική απορρόφηση ορισμένων αλάτων από τα φυτά, μεταβάλλουν τη συγκέντρωση αλάτων των διηθούμενων νερών.

Οι παράγοντες που ελέγχουν την αύξηση αυτή των αλάτων στο υπόγειο νερό είναι η υδραυλική αγωγιμότητα του εδάφους, η δυνατότητα στράγγισης του αρδευτικού, η ποσότητα του χρησιμοποιούμενου νερού, το κλίμα και το είδος της καλλιέργειας. Ψηλές αλατότητες συναντώνται σε εδάφη και υδροφόρους των ξηρών γενικά κλιμάτων, όπου η έκπλυση από τη βροχή είναι ασήμαντη ώστε να προκαλέσει διάλυση των άλλων αλάτων. Περιοχές με κακή στράγγιση, ιδιαίτερα λεκάνες που έχουν εσωτερική στράγγιση, συχνά παρουσιάζουν υψηλές συγκεντρώσεις. Επίσης μερικές περιοχές περιέχουν υπολείμματα ιζηματογενών αποθέσεων σε αλμυρά νερά οι οποίες είναι γνωστές σαν “**badlands**” δηλαδή πρόκειται για υποβαθμισμένα (άγονα) εδάφη. Σ’ αυτά η έλλειψη παραγωγικότητας οφείλεται και στην περίσσεια αλάτων στο έδαφος και στο νερό.

Στις περιοχές που μεγάλες ποσότητες επιφανειακού νερού εμπλουτίζουν τα υδροφόρα στρώματα (υδατορεύματα - κανάλια - έργα τεχνητού

εμπλουτισμού), η ποιότητα του νερού τους επηρεάζεται σημαντικά από την ποιότητα των νερών που το εμπλουτίζουν. Τοπικά, η απορρόφηση αερίων μαγματικής προέλευσης εμπλουτίζει με διαλυμένα «μεταλλικά» συστατικά το υπόγειο νερό (π.χ. θερμομεταλλικές πηγές). Το απολιθωμένο νερό συνήθως είναι πλούσιο σε μεταλλικό συστατικά, μια και το νερό αυτό προέρχεται από το αρχικά εγκλωβισμένο στα ιζηματογενή στρώματα, από την εποχή της απόθεσης των τελευταίων, αν και η χημική του σύσταση έχει αλλάξει σε σχέση με την αρχική, με διάφορες χημικές και φυσικές διεργασίες που έχουν λάβει χώρα.

Στις συνηθισμένες περιπτώσεις, τα χλωριόντα απαντούν σε μικρές ποσότητες. Οι πιο σημαντικές πηγές χλωριούχων είναι τα λύματα, το απολιθωμένο νερό και το θαλασσινό νερό που συχνά μολύνει τους παράκτιους υδροφόρους. Καμιά φορά η νιτρική ρίζα είναι ένα σημαντικό φυσικό συστατικό, όμως οι υψηλές συγκεντρώσεις της συχνά αποτελούν δείκτη κάποιας ρύπανσης.

3.5.4 Χλωριούχα – Επίδραση στην ανθρώπινη υγεία

Αποτελούν από ποσοτική άποψη τα πιο σημαντικά ανιόντα του οργανισμού. Χρειάζονται για την παρασκευή υδροχλωρικού οξέος στο στομάχι και ακολουθούν παθητικά τα πρωτόνια για να διατηρηθεί η ηλεκτρική ουδετερότητα. Παίζουν επίσης σημαντικό ρόλο στη διατήρηση της ηλεκτρικής ουδετερότητας των ερυθρών αιμοσφαιρίων, όταν απ' αυτά αποβάλλονται τα όξινα ανθρακικά ιόντα κατά τις αντιδράσεις της αναπνοής. Σε μεγάλες συγκεντρώσεις (μεγαλύτερες από 250 mg/l) δίνουν αλατώδη γεύση στο νερό αλλά δεν είναι επικίνδυνα, με εξαίρεση στα άτομα που πάσχουν από ασθένειες της καρδιάς και των νεφρών. Όταν υπάρχουν στο νερό ιόντα ασβεστίου και μαγνησίου, η γεύση αυτή δεν εμφανίζεται ακόμη και σε συγκεντρώσεις 1000 mg/l. Ανώτερο επιθυμητό όριο συγκέντρωσης των χλωριούχων στο πόσιμο νερό είναι τα 200 mg/l.

4. ΠΩΣ ΕΝΤΟΠΙΖΕΤΑΙ ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ (ΜΕΘΟΔΟΙ)

4.1 Χλώριο

Το χλώριο υπό τη μορφή χλωριόντων, αποτελεί ένα από τα βασικά ανόργανα ανιόντα των υδάτων και αποβλήτων. 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. Στη χώρα μας, σε πολλές περιοχές, παρατηρούνται υψηλές τιμές χλωριόντων στα υπόγεια νερά. Υψηλές τιμές χλωριόντων παρατηρούνται και σε όλα σχεδόν τα υπόγεια νερά των παράκτιων περιοχών, λόγω των υπεραντλήσεων και της προέλασης του θαλάσσιου μετώπου.

Στα αστικά λύματα, η συγκέντρωση των χλωριόντων είναι υψηλότερη από εκείνη των πόσιμων υδάτων, γιατί κατά τη χρήση του από τον άνθρωπο, το νερό επιβαρύνεται με άλατα και κυρίως με χλωριούχο νάτριο, το οποίο προστίθεται ως βελτιωτικό γεύσης σε όλες σχεδόν τις τροφές. Το μεγαλύτερο μέρος της προστιθέμενης ποσότητας αλατιού στις τροφές, καταλήγει, αναλλοίωτα, στα λύματα. Σε πολλές χώρες της Ευρώπης τα ποτάμια που χρησιμοποιούν τόσο για ύδρευση όσο και για αποχέτευση των λυμάτων παρουσιάζουν υψηλές συγκεντρώσεις χλωριόντων, παρόλο που τα λύματα υφίστανται προωθημένη επεξεργασία (τριτογενής καθαρισμός), πριν την διάθεσή τους στον τελικό αποδέκτη.

Αλλά και πολλές κατηγορίες βιομηχανιών επιβαρύνουν με μεγάλες τιμές χλωριόντων, το απόβλητά τους και στη συνέχεια τους φυσικούς αποδέκτες, στους οποίους καταλήγουν. Υψηλές συγκεντρώσεις χλωριόντων, αλλοιώνουν τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του πόσιμου νερού, αυξάνουν το ρυθμό διάβρωσης μεταλλικών επιφανειών και έχουν βλαβερές συνέπειες στην ανάπτυξη των περισσότερων φυτών. Το ανώτατο επιτρεπτό όριο χλωριόντων στο πόσιμο νερό, σύμφωνα με την νομοθεσία μας, είναι 200 mg/l.

4.2 Μέθοδοι μέτρησης

Υπάρχουν πολλές μέθοδοι για τον προσδιορισμό των χλωριόντων. Η μέθοδος νιτρικού αργύρου είναι η παλαιότερη και συνηθέστερα χρησιμοποιούμενη μέθοδος, κατάλληλη για σχετικά καθαρά νερά με συγκέντρωση χλωριόντων από 1,5 ως 100 mg/l. Πρόκειται για ογκομετρική μέθοδο που στηρίζεται στη δέσμευση των χλωριόντων υπό τη μορφή AgCl_2 , παρουσία δείκτη χρωμικού καλίου κατά την ογκομέτρηση ορισμένης ποσότητας δείγματος, με διάλυμα νιτρικού αργύρου (AgNO_3).

4.3 Αλατότητα

Η αλατότητα είναι μια από τις σημαντικότερες παραμέτρους για ωκεανογραφικές έρευνες, υδατοκαλλιέργειες και για τον έλεγχο ορισμένων βιομηχανικών αποβλήτων. Στα θαλάσσια οικοσυστήματα, η αλατότητα μαζί με τη θερμοκρασία και το οξυγόνο καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό τα είδη και τον αριθμό των διαφόρων ειδών χλωρίδας και πανίδας που τα συνθέτουν ενώ στους ιχθυογεννητικούς σταθμούς, ο έλεγχος και η ρύθμιση της αλατότητας αποτελεί καθοριστικό παράγοντα στην εκκόλαψη και τα πρώτα στάδια ανάπτυξης των ιχθυοειδών.

Ως αλατότητα του νερού ορίζεται η συγκέντρωση των ολικών στερεών που περιέχονται στο θαλάσσιο νερό όταν όλα τα ανθρακικά άλατα έχουν μετατραπεί σε οξείδια, όλα τα βρωμιούχα και ιωδιούχα έχουν αντικατασταθεί από χλωριούχα και όλες οι οργανικές ουσίες έχουν πλήρως οξειδωθεί. Ο εργαστηριακός προσδιορισμός των αλάτων που περιέχονται σε ένα δείγμα νερού με ξήρανση και ζύγιση δεν είναι εύκολο στην πράξη, γιατί κάποια συστατικά χάνονται κατά τη διάρκεια της θέρμανσης. Ο μόνος αξιόπιστος τρόπος για τον προσδιορισμό της "απόλυτης αλατότητας" του νερού είναι η πλήρης χημική ανάλυση. Όμως, κάτι τέτοιο θα ήταν εξαιρετικά χρονοβόρο.

Έτσι, στην πράξη, η αλατότητα προσδιορίζεται με έμμεσες μεθόδους οι οποίες βασίζονται κυρίως στις φυσικές ιδιότητες του νερού, όπως η αγωγιμότητα, πυκνότητα κλπ.

Η αριθμητική τιμή της αλατότητας είναι συνήθως μικρότερη από την τιμή των ολικών διαλυμένων στερεών. Η αλατότητα, εκφράζεται σε γραμμάρια ανά χιλιόγραμμο (g/kg) ή ως ποσοστό επί τοις χιλίοις (‰) και συνηθίζεται η αλατότητα να συμβολίζεται ως S (‰).

Η αλατότητα εξαρτάται από την περιεκτικότητα του νερού σε χλωριούχα, βρωμιούχα και ιωδιούχα. Συναφής όρος με την αλατότητα είναι και η χλωριότητα, που ορίζεται ως η περιεκτικότητα του δείγματος σε χλωριούχα, βρωμιούχα και ιωδιούχα (σε g) που περιέχεται (σε 1 kg) θαλασσινού νερού, αν υποτεθεί ότι το βρώμιο και το ιώδιο έχουν αντικατασταθεί από χλώριο.

4.4 Μέθοδοι μέτρησης της αλατότητας

Η αλατότητα μπορεί να μετρηθεί με πολλές μεθόδους. Τρεις είναι οι κυριότερες:

- α)** Μέθοδος ηλεκτρικής αγωγιμότητας, κατά την οποία μετράται, με αγωγιμόμετρο, η ηλεκτρική αγωγιμότητα του δείγματος και συσχετίζεται με την αλατότητα.
- β)** Υδρομετρική μέθοδος, κατά την οποία η πυκνότητα μετράται με πυκνόμετρο και στη συνέχεια, με τη χρήση πινάκων βρίσκεται η αλατότητα.
- γ)** Υδρομετρική μέθοδος, κατά την οποία προσδιορίζεται η συγκέντρωση των χλωριόντων και με τη χρήση πινάκων, υπολογιστικά, βρίσκεται η αλατότητα (μέθοδος Mohr)

5. ΤΡΟΠΟΙ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΤΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ

5.1 Βελτιστοποίηση αντλήσεων παράκτιων υδροφορέων για πρόληψη υφαλμύριση

Οι ανάγκες για νερό στις παράκτιες περιοχές και τα νησιά αυξάνονται συνεχώς λόγω της βελτίωσης του βιοτικού επιπέδου και της μεγάλης αύξησης του πληθυσμού κατά τους θερινούς μήνες λόγω του τουρισμού. Οι αντλήσεις των υδροφορέων κατά τους θερινούς μήνες είναι εντατικές, πολλές φορές πάνω από τα όρια βιωσιμότητας, με αποτέλεσμα την υφαλμύριση των παράκτιων υδροφορέων. Επίσης η τροφοδοσία των υδροφορέων μεταβάλλεται ανάλογα με τις βροχοπτώσεις και σε περιόδους παρατεταμένης ξηρασίας δεν επαρκεί για την επαναπλήρωσή τους.

Λόγω των περιορισμένων διαθέσιμων υδατικών πόρων στις παράκτιες περιοχές και τα νησιά, οι υπάρχοντες υδατικοί πόροι είναι πολύτιμοι και θα πρέπει να χρησιμοποιούνται όσο το δυνατό καλύτερα ώστε να προστατευτούν και να συνεχίσουν να καλύπτουν και στο μέλλον τις ανάγκες με βιώσιμο τρόπο. Η χρήση και αποκατάσταση παράκτιων υδροφορέων πρέπει να αποτελεί μέρος ενός γενικότερου πλαισίου ολοκληρωμένης διαχείρισης των υδατικών πόρων των παράκτιων περιοχών η οποία περιλαμβάνει τα επιφανειακά καθώς και τα υπόγεια νερά, εξετάζει τα ποσοτικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά των υδάτινων πόρων και θεωρώντας τις υπάρχουσες αλλά και τις μελλοντικές ανάγκες καθώς και τη μεταβλητότητα και διαρκή αύξηση των αναγκών ιδιαίτερα κατά τους θερινούς μήνες. Αυτού του είδους η διαχείριση απαιτεί επιστημονική έρευνα, ανάλυση, μελέτες και σχεδιασμό, κατάλληλη νομοθεσία και διατάξεις, καθώς και καλή πληροφόρηση και συνεργασία φορέων και πληθυσμού.

Στο πλαίσιο της ολοκληρωμένης διαχείρισης υπάρχει ανάγκη να καθοριστούν οι βέλτιστες ποσότητες που μπορούν να αντληθούν από τους υδροφορείς και να καθοριστεί η σχέση αυτή σαν συνάρτηση των γεωμετρικών και υδραυλικών χαρακτηριστικών και παραμέτρων του υδροφορέα καθώς και της κατεΐσθισης. Για να υπολογιστεί με ακρίβεια η μέγιστη βιώσιμη άντληση σαν ποσοστό της τροφοδοσίας του υδροφορέα, πρέπει να κατανοηθεί καλά η λειτουργία του φυσικού συστήματος και να περιγραφεί με μαθηματικά μοντέλα προσομοίωσης. Δυστυχώς το σύστημα είναι πολύπλοκο και είναι πολύ δύσκολο αν όχι αδύνατο να το κατανοήσουμε πλήρως και να το περιγράψουμε επακριβώς με μαθηματικές εξισώσεις. Η πολυπλοκότητα του προβλήματος υφαλμύρισης παράκτιων υδροφορέων οφείλεται σε παράγοντες όπως οι ακόλουθοι:

A) Ύπαρξη δύο φάσεων ρευστών καθώς και μιας ευρείας ζώνης ανάμιξης (ζώνη υφαλμύρισης) μεταξύ των δύο υγρών φάσεων,

B) Η κίνηση καθώς και η διασπορά του ενός ρευστού στο άλλο εξαρτάται από την πυκνότητα των ρευστών στην ζώνη υφαλμύρισης η οποία μεταβάλλεται σαν συνάρτηση του χώρου και 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.

Γ) Η περιγραφή του φυσικού φαινομένου περιπλέκεται ακόμα περισσότερο λόγω της ανομοιογένειας των υδραυλικών παραμέτρων του υδροφορέα. Ιδιαίτερα σε καρστικούς υδροφορείς η ανάμιξη του γλυκού και αλμυρού νερού είναι εντελώς διαφορετικής φύσης από αυτήν σε ομοιογενείς και ιστροπικούς πορώδεις υδροφορείς. Η ροή σε καρστ συχνά δεν ακολουθεί το νόμο του Darcy αφού γίνεται σε κοιλότητες και σε ανοίγματα που είναι συχνά είναι μεγάλων διαστάσεων με αποτέλεσμα να είναι πολύπλοκη και να μην μπορεί να περιγραφεί με γενικές διαφορικές εξισώσεις ροής αφού κάθε ιδιαίτερο σύστημα έχει τη δική του ιδιότυπη συμπεριφορά.

Επομένως, εκτός από τα φυσικά μοντέλα που βασίζονται σε φυσικούς νόμους και διαφορικές εξισώσεις ροής και διασποράς, συχνά αρκούμαστε και

σε εμπειρικές σχέσεις ή και σε απλά στατιστικά μοντέλα (μοντέλα μαύρου κουτιού). Είναι χρήσιμο πάντως όπου είναι δυνατόν να χρησιμοποιούμε τα φυσικά μοντέλα αφού βοηθούν να κατανοήσουμε την λειτουργία του συστήματος.

5.2 Αντιμετώπιση της διείσδυσης της θάλασσας στους παράκτιους υδροφόρους

Για την αντιμετώπιση της μόλυνσης των υδροφόρων από τη θάλασσα, ανάλογα με την έκταση της μόλυνσης, τη γεωλογία της περιοχής, τη χρήση του νερού κ.λ.π. υπάρχει η δυνατότητα της επιλογής μιας από τις πιο κάτω μεθόδους.

α) Τροποποίηση του «γενικού σχεδίου άντλησης»

Μεταβάλλοντας τις θέσεις των γεωτρήσεων άντλησης, ιδιαίτερα διασπείροντάς τις στην ενδοχώρα, είναι δυνατόν να αποκατασταθεί μια υδραυλική κλίση, προς την ακτή, πιο μεγάλη. Το ίδιο αποτέλεσμα μπορεί να φέρει η μείωση της παροχής άντλησης των υφιστάμενων υδρογεωτρήσεων.

β) Τεχνητός εμπλουτισμός

Μπορεί να προκληθεί ανύψωση της στάθμης του νερού στις υφιστάμενες γεωτρήσεις και να διατηρηθεί έτσι, με την επιφανειακή κατάκλιση (τάφος εμπλουτισμού κατά μήκος της ακτής) ή λεκάνες εμπλουτισμού στην περίπτωση των ελεύθερων υδροφόρων και τη χρήση υδρογεωτρήσεων εμπλουτισμού σε περίπτωση των αρτεσιανών υδροφόρων. Θα πρέπει πάντως, να εξευρεθεί συμπληρωματική πηγή νερού προκειμένου να χρησιμοποιηθεί για τον εμπλουτισμό.

Ένα παράδειγμα τεχνητού εμπλουτισμού, είναι η εφαρμογή του στο Αργολικό πεδίο. Ο τεχνητός εμπλουτισμός στο Αργολικό πεδίο εφαρμόστηκε αρχικά κατά την περίοδο 1964 - 68 με νερά της πηγής Κεφαλαρίου επιφέροντας άμεσα και ενθαρρυντικά αποτελέσματα. Κατά την τελευταία δεκαετία, μετά από τις έντονες ανομβρίες της περιόδου 1989-90, ο τεχνητός εμπλουτισμός εφαρμόζεται και πάλι, με ποικίλες ποσότητες νερού και πρωτοβουλίες των τοπικών φορέων και υπηρεσιών. Το διαθέσιμο νερό εμπλουτισμού διοχετεύεται σε γεωτρήσεις και φρέατα της πεδιάδας, διαμέσου των υφιστάμενων δικτύων μεταφοράς των διωρύγων Νέας Κίου και Κιβερίου. Τακτικές μετρήσεις της στάθμης και της ποιότητας των υπόγειων νερών έδειξαν ότι η τάση υποβάθμισης και εξάντλησής τους περιορίστηκε σημαντικά. Τα αποτελέσματα της τελευταίας δεκαετίας καθώς και η ποσοτική επεξεργασία των διαθέσιμων στοιχείων έδειξαν ότι με την εφαρμογή του τεχνητού εμπλουτισμού στο Αργολικό είναι δυνατή η αποθήκευση αξιόλογων ποσοτήτων πηγαίων υδάτων στους υδροφόρους σχηματισμούς και η διατήρηση της διακύμανσης της στάθμης και της ποιότητας των υπόγειων νερών σε επιθυμητά πλαίσια, καθιστώντας έτσι τα υπόγεια νερά ως σημαντική και βιώσιμη πηγή νερού άρδευσης.

γ) Δημιουργία υπόγειου φραγμού

Η κατασκευή ενός στεγανού διαφράγματος, παράλληλα προς την ακτή και σ' όλο το πάχος του υδροφόρου, εμποδίζει τη διείσδυση του θαλασσινού νερού προς την ενδοχώρα. Τα κύρια προβλήματα είναι το ψηλό κόστος της κατασκευής και η ευπάθεια του διαφράγματος στους σεισμούς και τη χημική διάβρωση.

δ) Φραγμός από υπεράντληση στην ακτή

Η συνεχής άντληση από μια σειρά γεωτρήσεων κοντά στη θάλασσα, δημιουργεί ροή του θαλασσινού νερού προς τη συστοιχία των γεωτρήσεων ενώ το γλυκό νερό ρέει από το εσωτερικό της λεκάνης προς τη θάλασσα (προς τις αντλούμενες γεωτρήσεις). Το αντλούμενο νερό είναι υφάλμυρο και ρίχνεται στη θάλασσα.

ε) Φραγμός από τεχνητό εμπλουτισμό.

Η μέθοδος αυτή δημιουργεί ένα ύβωμα ψηλής πιεζομετρικής στάθμης, κατά μήκος μιας συστοιχίας γεωτρήσεων εμπλουτισμού, που βρίσκεται κοντά και παράλληλα στην ακτή. Αντιμετώπιση της διείσδυσης της θάλασσας, με την κατασκευή στεγανού υπόγειου διαφράγματος, παράλληλα στην ακτή. Το νερό που διαβιβάζεται στις γεωτρήσεις, ρέει προς τη θάλασσα και προς το εσωτερικό της λεκάνης. Το νερό του εμπλουτισμού πρέπει να είναι υψηλής ποιότητας.

Ένας συνδυασμός φραγμών από υπεράντληση και από εμπλουτισμό είναι απόλυτα δυνατός, ελαττώνει τις παροχές άντλησης και εμπλουτισμού αλλά απαιτεί μεγάλο αριθμό υδρογεωτρήσεων.

Οι πιθανές αιτίες αλμύρισης των υπόγειων νερών είναι:

- η διείσδυση της θάλασσας,
- η παρουσία «σαλαμούρας», ιδιαίτερα στα πεδία πετρελαίου,
- η παρουσία γύψου ή ανυδρίτη ή ορυκτού αλατιού στον υδροφόρο,
- η έντονη άρδευση (έντονη εξατμισοδιαπνοή),
- η παρουσία συγγεντικού νερού σε μικρό βάθος.

5.3 Μέθοδοι αφαλάτωσης

Η αφαλάτωση είναι μια φυσική διεργασία αποχωρισμού αλάτων και νερού από υδατικά διαλύματα και χρησιμοποιείται σε μεγάλη κλίμακα, ως καθαρά βιομηχανική μέθοδος, για την παραγωγή καθαρού νερού για κάθε χρήση, οικιακή, ως πόσιμο νερό, βιομηχανική και αγροτική. Είναι μια καθαρά βιομηχανική διεργασία η οποία εφαρμόζεται με διάφορες μεθόδους που είτε απομακρύνουν τα άλατα από το νερό ή το νερό από τα άλατα. Επειδή είναι βιομηχανικό προϊόν, το κόστος του αφαλατωμένου νερού είναι πάντοτε κατά πολύ μεγαλύτερο από το κόστος του φυσικού νερού το οποίο μεταφέρεται από μια πηγή σε σχετικά μέτρια χιλιομετρική απόσταση.

Ως πρώτη ύλη για την τροφοδότηση μιας εγκατάστασης αφαλάτωσης χρησιμοποιείται θαλάσσιο ή αλμυρό νερό, ή ακόμα και υφάλμυρα νερά που η περιεκτικότητά τους σε άλατα είναι μεγαλύτερη από το ανώτατο επιτρεπτό όριο των προδιαγραφών για την συγκεκριμένη χρήση. Το μεγαλύτερο ποσοστό του αφαλατωμένου νερού που παράγεται από τις βιομηχανικές εγκαταστάσεις αφαλάτωσης ανά τον κόσμο είναι για κοινοτική χρήση. Μεγάλες βιομηχανίες έχουν επίσης εγκαταστήσει συστήματα αφαλάτωσης τόσο για την παραγωγή καθαρού νερού όσο και για τον καθαρισμό των λυμάτων.

Η εκλογή μεταξύ μιας εγκατάστασης αφαλάτωσης ή μεταφοράς νερού από μια σχετικά μεγάλη χιλιομετρική απόσταση εξαρτάται κυρίως από το κόστος και πρέπει πάντοτε να μελετάται κάθε δυνατότητα μεταφοράς από φυσική πηγή, εφ' όσον υπάρχει, ως η καλύτερη λύση.

Το κόστος του νερού το οποίο μεταφέρεται και διανέμεται με συμβατικά συστήματα, οφείλεται κυρίως στην απόσβεση του κεφαλαίου μιας νέας εγκατάστασης, όπου στην αρχή της λειτουργίας της η κατανάλωση είναι σχετικά χαμηλή και το κόστος σχετικά μεγάλο. Όσο αυξάνει η ζήτηση νερού τόσο ελαττώνεται η τιμή του νερού, όταν όμως η κατανάλωση φθάσει στο ανώτατο σημείο παροχής, συνήθως η πηγή έχει εξαντληθεί και πρέπει να βρεθεί νέα πηγή, συνήθως πολύ μακρύτερα από την ήδη εξαντλημένη.

Αντίθετα, μια εγκατάσταση αφαλάτωσης έχει μεγαλύτερη ευελιξία στις αυξομειώσεις ζήτησης του νερού και έχει επιπλέον την δυνατότητα εγκατάστασης νέων μονάδων, στο ίδιο σημείο συνήθως, όταν υπάρξει μεγάλη αύξηση της ζήτησης. Το αφαλατωμένο νερό όμως είναι ένα βιομηχανικό προϊόν και το κόστος του παραμένει υψηλό, εξαρτάται δε κυρίως από τα πάγια έξοδα και το κόστος λειτουργίας της εγκατάστασης.

Στον πλανήτη μας υπάρχουν τεράστιες άγονες περιοχές όπου οι κλιματολογικές συνθήκες προσφέρουν ελάχιστη έως μηδενική βροχόπτωση, όπου η έλλειψη του νερού είναι απόλυτη, εκτός από την υγρασία της

ατμόσφαιρας και όπου η ηλιακή ακτινοβολία κατακαίει πλουσιοπάροχα την φτωχή, ελάχιστη βλάστηση η οποία αγωνίζεται να επιβιώσει σε ένα ξερό έδαφος. Το ίδιο πρόβλημα παρουσιάζουν πολλές παράκτιες περιοχές όπου η έλλειψη πόσιμου νερού, έστω και υφάλμυρου, είναι η ίδια όπως και στις ηπειρωτικές ερήμους. Υπολογίζεται ότι σε όλη την γη υπάρχουν περίπου 33000 km άγονες ακτές, το μεγαλύτερο μέρος των οποίων βρίσκεται στον Ινδικό Ωκεανό, στην Αραβική Χερσόνησο και κατά μήκος των Αφρικανικών ακτών. Για παρόμοιες περιοχές και εφόσον δεν έχει βρεθεί άλλη, οικονομικότερη συμβατική λύση, το μόνο μέσο παροχής νερού είναι η αφαλάτωση, εάν και εφόσον το επιτρέπουν οι τοπικές οικονομικές συνθήκες.

Σε άλλες περιοχές μπορεί το πρόβλημα να μην είναι τόσο οξύ, τα φυσικά όμως αποθέματα να εξαντλούνται με αυξανόμενη ταχύτητα καθώς αυξάνονται οι απαιτήσεις για όλο και μεγαλύτερες ποσότητες νερού, ενώ αρκετές περιοχές διαθέτουν μεγάλες ποσότητες από υφάλμυρα νερά που η καταλληλότητά τους για οικιακή ή βιομηχανική χρήση βαθμιαία ελαττώνεται καθώς η συνεχής άντληση αυξάνει την περιεκτικότητά τους σε άλατα.

5.4 Κατάταξη των μεθόδων αφαλάτωσης

Από μια πληθώρα μεθόδων που έχουν μελετηθεί σε μέγεθος εγκαταστάσεων πιλότου, ελάχιστες είναι αυτές που τελικά εφαρμόστηκαν σε μεγάλη βιομηχανική κλίμακα και σήμερα λειτουργούν με τις βέλτιστες συνθήκες, ενώ μερικές έχουν βρει περιορισμένη εφαρμογή σε μικρές εγκαταστάσεις. Από τις μεθόδους αφαλάτωσης που έχουν προταθεί, αυτές που βρήκαν ευρεία εφαρμογή έχουν πλήρως δοκιμαστεί και κυκλοφορούν στο εμπόριο τα τελευταία 30 έως 40 χρόνια, είναι οι εξής:

1. Η εξάτμιση ή όπως συνήθως αναφέρεται η απόσταξη
2. Η ηλεκτροδιάλυση
3. Η ανάστροφος ώσμωσης ή αντίστροφος ώσμωσης
4. Οι υβριδικές μέθοδοι
5. Η ψύξη

Η εξάτμιση είναι η πιο διαδεδομένη μέθοδος αφαλάτωσης και σήμερα αποτελεί το 76.0% των συνολικών μεθόδων αφαλάτωσης για εγκαταστάσεις με παροχή μεγαλύτερη των 4000 m³/d και το 59.4% των εγκαταστάσεων με παροχή 100 έως 4000 m³/d. Η εξάτμιση λειτουργεί με ενέργεια που προσφέρεται κυρίως ως θερμότητα από ατμό θέρμανσης και σε μεμονωμένες περιπτώσεις, συνήθως σε εγκαταστάσεις μικρής παροχής, ως ηλεκτρικό ρεύμα ή ως διάφορες άλλες εναλλακτικές πηγές θερμότητας.

Η θερμότητα η οποία προσάγεται αποχωρίζει το νερό από τα άλατα, ως ατμό, ο οποίος συμπυκνώνεται σε καθαρό νερό. Η διεργασία αυτή γίνεται μέσα σε συσκευές που ονομάζονται εξατμιστήρια, η λειτουργία των οποίων στηρίζεται στην αλλαγή φάσης: υγρό – αέριο - υγρό.

Ανάλογα με τις παραμέτρους στις οποίες δίνεται η έμφαση κατά την λειτουργία των εξατμιστηρίων μορφοποιούνται διάφορες παραλλαγές της μεθόδου με αποτέλεσμα τα εξατμιστήρια να διαφέρουν ριζικά μεταξύ τους, τόσο κατασκευαστικά όσο και λειτουργικά.

5.5 Γεωφυσικές μέθοδοι

Σήμερα οι γεωφυσικές μέθοδοι καλούνται να δώσουν λύση σε πλήθος περιβαλλοντικών προβλημάτων, μεταξύ των οποίων και η υπαλμύριση. Η εξάπλωσή τους οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι παρέχουν σημαντικές πληροφορίες για το υπέδαφος γρήγορα και με χαμηλό κόστος με τη μικρότερη δυνατή υποβάθμιση του περιβάλλοντος.

Οι ζώνες υψηλής αλατότητας και οι διεπιφάνειές τους με τις μάζες γλυκού νερού μπορούν να ανιχνευτούν με τις παρακάτω μεθόδους:

- Ηλεκτρική μέθοδος (χαρτογράφηση, βυθοσκόπηση, αυτοδυναμικό)
Η μέτρηση του φυσικού δυναμικού και της ηλεκτρικής αντίστασης επιτρέπουν το διαχωρισμό των ζωνών γλυκού και αλμυρού νερού που διαπερνούν τη γεώτρηση.
- Ηλεκτρομαγνητική μέθοδος
Είναι φθηνότερη και ταχύτερη από την ηλεκτρική μέθοδο αν και πιο πολύπλοκη στην ερμηνεία της. Σήμερα είναι συνήθης και η χρήση ελικοπτέρου.
- Γεωφυσικές μέθοδοι σε γεώτρηση
Οι πλέον ενδεδειγμένες για την περίπτωση είναι οι μέθοδοι ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης και αυτοδυναμικού.
- Σεισμικές μέθοδοι (διάθλασης και ανάκλασης)
Χαρακτηρίζονται από ακρίβεια αλλά και υψηλό κόστος. Συνήθως ακολουθούν άλλη γεωφυσική μέθοδο.

5.6 Τρόποι προσομοίωσης διεπιφάνειας αλμυρού-γλυκού νερού

Δύο είναι οι τρόποι αντιμετώπισης προβλημάτων υπαλμύρινσης παράκτιων υδροφορέων με προσομοίωση διεπιφάνειας αλμυρού-γλυκού νερού:

- Θεώρηση διεπιφάνειας πεπερασμένου πάχους, λόγω υδροδυναμικής διασποράς
- Θεώρηση απότομης διεπιφάνειας, εάν το πάχος της διεπιφάνειας είναι μικρό σε σχέση με το πάχος του υδροφορέα

6. ΥΦΑΛΜΥΡΙΝΣΗ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

6.1 Γεωγραφική κατανομή των βροχοπτώσεων και των επιφανειακών απορροών

Το μέσο ύψος βροχής στην Ελλάδα είναι 856 mm, ενώ ο συνολικός όγκος των βροχοπτώσεων που δέχεται φθάνει τα 112 km³. Λόγω του πολυσχιδούς ανάγλυφου η γεωγραφική διανομή και η εποχιακή κατανομή των βροχοπτώσεων είναι εξαιρετικά ανώμαλη, με μέσο μέγιστο 1.567 mm (Ήπειρος) και μέσο ελάχιστο 462 mm (Αττική). Οι μεγάλες οροσειρές που διασχίζουν την Ελληνική χερσόνησο από ΒΒΔ προς ΝΝΑ (Πίνδος, Άγραφα, Τυμφρηστός, Παναϊτωλικό, Οίτη, Βαρδούσια, Γκιόνα, Παρνασσός στην Ήπειρο και Στερεά Ελλάδα, όπως και Παναχαϊκό, Ερύμανθος, Αρόνια, Κυλλήνη, Μαίναλο, Πάρνων στα Πελοπόννησο) προσδίδουν σημαντική υπεροχή στη δυτική Ελλάδα ως προς τα όμβρια νερά της ανατολικής και ιδιαίτερα ως προς τα νότια διαμερίσματά της. Η προς τα ανατολικά μείωση των βροχοπτώσεων ανακόπτεται στη δυτική Μακεδονία από τους εκεί ορεινούς όγκους (Βέρνο, Σιναϊτικό, Βούρινος, Βέρμιο, Πάικο) που προκαλούν μεγάλα ύψη βροχής. Στην ανατολική Μακεδονία και Θράκη η κατανομή των βροχών παρουσιάζει σημαντική αύξηση από το νότο προς τις βόρεια κείμενες οροσειρές (Κερκίνη, Ορβηλος, Φαλακρό και Ροδόπη).

Λόγω της δυσμενούς εποχιακής κατανομής των βροχοπτώσεων και των γενικότερων κλιματολογικών συνθηκών της χώρας οι απώλειες από την εξατμισοδιαπνοή είναι εξαιρετικά μεγάλες και φθάνουν το 54 % των βροχοπτώσεων (60 km³). Απομένουν 52 km³ νερού που απορρέουν επιφανειακά και υπόγεια. Το ποσοστό των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων που τροφοδοτεί τα υπόγεια υδροφόρα στρώματα εξαρτάται από τη γεωλογία και κυμαίνεται μεταξύ 5 % όταν τα πετρώματα είναι στεγανά (άργιλοι, φλύσχης, σχιστόλιθοι) μέχρι 50 % για πολύ υδατοπερατά πετρώματα (καρστικοί σχηματισμοί). Ο όγκος της επιφανειακής απορροής της χώρας εκτιμάται σε 45 km³.

Η γεωγραφική κατανομή των βροχοπτώσεων σε συνδυασμό με τη θερμοκρασία και τα γεωλογικά επιδρά στην κατανομή της βλάστησης και των επιφανειακών νερών. Το δυτικό και βόρειο τμήμα της Ελληνικής χερσονήσου χαρακτηρίζεται από πλούσια βλάστηση και περισσότερους ποταμούς με άφθονα νερά ακόμη και κατά τη ξηρή περίοδο. Αντίθετα στο ανατολικό και βορειοανατολικό μέρος της χώρας πολλά βουνά είναι γυμνά από βλάστηση και οι ποταμοί το καλοκαίρι παρουσιάζουν πολύ χαμηλή παροχή, ενώ πολλοί από αυτούς ξηραίνονται τελείως. Βάσει των υδροκριτών που υπαγορεύονται από το ανάγλυφο η Ελλάδα χωρίζεται σε δεκατρία υδατικά διαμερίσματα, κάθε ένα από τα οποία αποτελείται από μία ή περισσότερες λεκάνες απορροής. Από τους ποταμούς της χώρας οι Έβρος, Άρδας, Νέστος και Στρυμόνας προέρχονται από τη Βουλγαρία, ο Αξιός από την Πρώην Δημοκρατία της Γιουγκοσλαβίας, ενώ ο Αώος είναι ο μοναδικός ποταμός που πηγάζει στην Ελλάδα και ρέει σε άλλη χώρα (Αλβανία). Ο πολυυδρότερος ποταμός που διασχίζει τη χώρα είναι ο Έβρος (6,8 km³ / έτος) που έχει το μεγαλύτερο μήκος (530 km) και τη μεγαλύτερη λεκάνη απορροής της Βαλκανικής Χερσονήσου (50,425 km²). Από τους ποταμούς που βρίσκονται εξ' ολοκλήρου στην Ελλάδα τη μεγαλύτερη απορροή παρουσιάζει ο Αχελώος (5,67 km³ / έτος), ενώ ο Αλιάκμονας έχει το μεγαλύτερο μήκος (320 km) και ο Πηνειός τη μεγαλύτερη λεκάνη απορροής (10.225 km²).

6.2 Εποχιακή κατανομή των βροχοπτώσεων και των επιφανειακών απορροών

Τα μεγαλύτερα ύψη βροχής σημειώνονται κατά τη διάρκεια του χειμώνα και στη συνέχεια κατά το φθινόπωρο. Τα θερινά ύψη βροχής κυμαίνονται από λιγότερο του 5 % των συνολικών βροχοπτώσεων στα νότια έως πάνω από 20

% στα βόρεια της χώρας . Ο πιο βροχερός μήνας είναι ο Δεκέμβριος και ο πιο ξηρός ο Ιούλιος.

Οι έντονες εποχιακές διακυμάνσεις της δίκαιας των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων και της θερμοκρασίας προκαλούν σημαντική αυξομείωση στις ποτάμιες απορροές κατά τη διάρκεια του έτους. Οι Ελληνικοί ποταμοί παρουσιάζουν μέγιστες παροχές το χειμώνα (Ιανουάριο - Μάρτιο) και την άνοιξη (Απρίλιο - Μάιο) όταν λιώνουν τα χιόνια. Ελάχιστη παροχή παρουσιάζουν ποτάμια λίγο πριν την έναρξη των φθινοπωρινών βροχοπτώσεων (Αύγουστος - Σεπτέμβριος). Κατά τη περίοδο αιχμής των ποτάμιων παροχών η ροή τους είναι χειμαρρώδης και συχνά πλημμυρίζουν προκαλώντας μεγάλες καταστροφές στη γεωργία αλλά και σε κατοικημένες περιοχές. Κατά τη ξηρή περίοδο τα νερά των μεγάλων ποταμών ελαττώνονται τόσο πολύ ώστε οι περισσότεροι να είναι βατοί με τα πόδια. Η κατανάλωση νερού για αρδευτικούς σκοπούς μειώνει ακόμα περισσότερο τη στάθμη των ποταμών με αποτέλεσμα μεγάλα τμήματά τους ορισμένες άνομβρες χρονιές να ξεραίνονται τελείως.

Η λειτουργία αρδευτικών και υδροηλεκτρικών φραγμάτων που παρεμβάλλονται σε πολλούς ποταμούς της χώρας είναι μια άλλη αιτία που προκαλεί μεταβολές στα παροχή των ποταμών, κατάντη των φραγμάτων αυτών, διαταράσσοντας τις φυσικές εποχιακές διακυμάνσεις. Τα αρδευτικά φράγματα και κανάλια λειτουργούν κατά τη διάρκεια της αρδευτικής περιόδου (κύρια μεταξύ Μαΐου Οκτωβρίου) με αποτέλεσμα τα ποτάμια κατάντη των φραγμάτων να παρουσιάζουν μικρή παροχή, στάσιμα νερά ή και να στερεύουν τελείως. Αλλά και σε ποτάμια που δεν υπάρχουν αρδευτικά φράγματα η κατανάλωση επιφανειακών και υπόγειων υδατικών πόρων στην άρδευση προκαλεί σημαντική μείωση της παροχής. Στη περίπτωση των υδροηλεκτρικών φραγμάτων αυτά απελευθερώνουν σε άτακτα χρονικά διαστήματα μεγάλες ποσότητες νερού ανάλογα με τις ανάγκες για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η απότομη απελευθέρωση του νερού από τα φράγματα αυτά προκαλεί φαινόμενα διάβρωσης στις όχθες και τη κοίτη των ποταμών, καταστροφές στην υδρόβια βλάστηση και το βένθος των ποταμών.

Αντίθετα, η συγκράτηση νερού από αρδευτικά και υδροηλεκτρικά φράγματα προκαλεί σε πολλές περιπτώσεις διείσδυσης θαλασσινού νερού αρκετά χιλιόμετρα προς τα ανάντη, Οι σημαντικές χρονικές εναλλαγές της αλατότητας έχουν καταστροφικές επιπτώσεις στους ζωικούς και φυτικούς οργανισμούς, όπως στα βακτηριδιακή πανίδα, στα μικροφύκη και τα μακρόφυτα, στη παρόχθια βλάστηση, στα ψάρια, τα αμφίβια, τα ερπετά και τα θηλαστικά που διαβιούν σε γλυκά νερά και προκαλούν μεγάλες διαταραχές στην ισορροπία του οικοσυστήματος. Με τη καταστροφή της βακτηριδιακής πανίδας μειώνεται η ικανότητα αυτοκαθαρισμού του ποτάμιου οικοσυστήματος, ενώ με την απομάκρυνση των μακροφύτων περιορίζεται η συγκράτηση ρυπαντών στη παρόχθια ζώνη.

6.3 Υπερετήσια διακύμανση των βροχοπτώσεων

Οι υπερετήσιες διακυμάνσεις των βροχοπτώσεων στη χώρα μας είναι μεγάλες. Συνήθως παρατηρούνται ομάδες τεσσάρων έως έξι χρόνων με ύψη βροχής μικρότερα του κανονικού που χωρίζονται μεταξύ τους με ένα, δύο ή σπανιότερα, περισσότερα χρόνια πολυομβρίας. Ιδιαίτερα αισθητή τα τελευταία χρόνια έγινε η περίοδος ξηρασίας 1984 - 1990 με ακραίο σημείο το υδρολογικό έτος 1989/90.

Η μείωση αυτή των βροχοπτώσεων κατά τη περίοδο 1984-90 είχε σαν αποτέλεσμα αντίστοιχη μείωση των ποτάμιων απορροών. Αλλά και στο διάστημα της τελευταίας δεκαπενταετίας, για την οποία υπάρχουν δεδομένα (Υπ. Γεωργίας) η παροχή των Ελληνικών ποταμών παρουσιάζει τάση ελάττωσης. Η κύρια αιτία για τη μείωση των ποτάμιων απορροών της χώρας είναι η εντατική χρήση των υδατικών αποθεμάτων στην άρδευση. Επιπλέον,

κλιματικές αλλαγές, που οφείλονται σε φυσιολογικές διακυμάνσεις αλλά και που πιθανά ενισχύονται από το φαινόμενο του θερμοκηπίου, επηρεάζουν τις επιφανειακές απορροές. Αναφέρουμε συγκεκριμένα την αύξηση της μέσης θερμοκρασίας και εξατμισοδιαπνοής στην Ευρώπη κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του '80 και τις αρχές της δεκαετίας του '90, που εκφράστηκε με την έντονη ξηρασία στις αρχές της δεκαετίας του '90, όπως αναφέρεται πιο πάνω. Άλλα αίτια μείωσης των απορροών που αφορά τα διασυννοριακά ποτάμια είναι η κατακράτηση μεγάλων ποσοτήτων νερού στις γειτονικές χώρες.

6.4. Η κατάσταση στην Ελλάδα

Λόγω του μεγάλου μήκους των ακτών της, η Ελλάδα παρουσιάζει εξαιρετική ευαισθησία στη θαλάσσια δεισδυση που προκύπτει:

1. Λόγω διαταραχών στην ισορροπία του συστήματος γλυκού - θαλασσινού νερού, που οφείλονται σε ανθρωπογενείς επεμβάσεις σε λεκάνες κοκκωδών κυρίως ή καρστικών παράκτιων σχηματισμών
2. Λόγω ιδιαιτεροτήτων της γεωλογικής δομής (καρστική διεργασία - επίπεδο βάσης του καρστ)

Η αλμύριση των παράκτιων καρστικών υδροφόρων οριζόντων είναι δυνατόν να λάβει χώρα υπό τα εξής σενάρια:

- Όταν καρστικοί αγωγοί βρίσκονται σε υδραυλική επικοινωνία με τη θάλασσα σε όλο τους το μήκος
- Όταν το στεγανό διάφραγμα ανάμεσα στο καρστικό σύστημα και τη θάλασσα διαταραχθεί κατά θέσεις από τη διάβρωση ή τον τεκτονισμό
- Όταν το στεγανό διάφραγμα είναι πολύ ρηχό, οπότε η κυκλοφορία γίνεται κάτω από αυτό

Οι παραπάνω μηχανισμοί μπορούν να οδηγήσουν και σε αυτογενή υφαλμύρωση, χωρίς τη ύπαρξη ανθρώπινης δραστηριότητας.

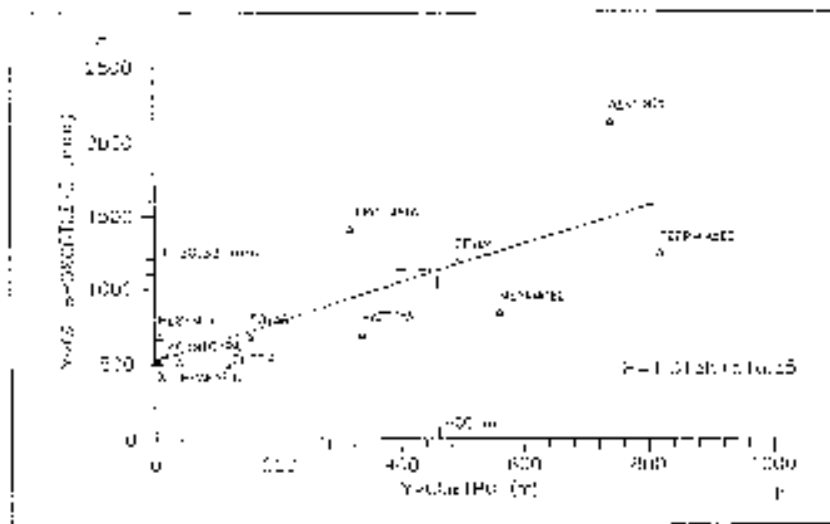
7. ΥΦΑΛΜΥΡΙΝΣΗ ΣΤΗΝ ΚΡΗΤΗ

7.1 Υδατικό ισοζύγιο – Υδατικό δυναμικό Κρήτης

Η Κρήτη έχει έκταση 8.260 τ.χλμ., μέσο υψόμετρο 460 μ. και δέχεται μέση ετήσια βροχόπτωση γύρω στα 1120 χιλ/στά (500 χιλ/στά στα πεδινά και περισσότερο από 2.000 χιλ/στά στα ορεινά, (Σχήμα 7.1).

Με άλλα λόγια το νησί δέχεται ατμοσφαιρικό κατακρημνίσματα πάνω από 9 δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα νερού το χρόνο.

Εάν λάβουμε υπόψη μας τις γεωλογικές συνθήκες του νησιού θα διαπιστώσουμε ότι το 6% καταλαμβάνεται από παλαιοζωικούς και αλπικούς ασβεστόλιθους και μάρμαρα. Τα Νεογενή αποτελούν το 35-40% της επιφάνειας, από το οποίο το 10-15% εκπροσωπούνται από μαργαϊκούς ασβεστόλιθους και ασβεστολιθικά κροκαλοπαγή. Έτσι το 45-50% της έκτασης του νησιού καλύπτεται από ανθρακικά πετρώματα. Τα πετρώματα αυτά εντοπίζονται κύρια στους ορεινούς όγκους, όπου λόγω υψομέτρου το ύψος βροχής και χιονιού είναι αναλογικά μεγαλύτερο. Γι' αυτό ενώ καλύπτουν το 45- 50% της επιφάνειας υπολογίζουμε ότι δέχονται πλέον του 60% του όγκου των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων. Κατ' αυτό τον τρόπο εκτιμάται ότι, για το σύνολο του νησιού, το 68% των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων απορρέει στην θάλασσα ή εξατμίζεται, ενώ το 32% κατεισδύει στο υπέδαφος εμπλουτίζοντας τους υπόγειους ταμειυτήρες.



Σχήμα 7.1: Σχέση βροχόπτωσης και υψόμετρου. [4]

Το γεγονός αυτό μας δίνει ανανεώσιμο ετήσιο όγκο υπόγειων νερών της τάξης των 3 και πλέον δισεκατομμυρίων κυβικών μέτρων.

Ο σχετικά υψηλός συντελεστής κατείσδυσης αποδίδεται στο γεγονός ότι το 45-50% της επιφάνειας του νησιού κατέχεται προσομοίωσης διεπιφάνειας αλμυρού-γλυκού νερού από ανθρακικά πετρώματα (ασβεστόλιθοι, δολομίτες, μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι και ασβεστολιθικά κροκαλοπαγή του Παλαιοζωικού μέχρι και του Νεογενούς), τα οποία έχουν συντελεστή κατείσδυσης πολύ κοντά στο 50% των βροχοπτώσεων.

7.2 Χρήσεις

Δεχόμενοι ένα λογικό συντελεστή κατανάλωσης για αγροτο-αστικούς πληθυσμούς γύρω στα 200 λίτρα νερού την ημέρα κατ' άτομο, η αναλογούσα ετήσια κατανάλωση για ύδρευση υπολογίζεται σε 43 εκατομμύρια κυβικά μέτρα.

Οι ανάγκες σε βιομηχανικό νερό είναι περιορισμένες. Οι μεγαλύτεροι καταναλωτές είναι τα ελαιοτριβεία, τα συσκευαστήρια και τα εμφιαλωτήρια. Η

συνολική βιομηχανική κατανάλωση δεν θα πρέπει να ξεπερνά το μισό της αστικής κατανάλωσης δηλαδή περί το 21 εκατ. κυβικά μέτρα το χρόνο. Σύμφωνα με στοιχεία του 1983 οι αρδευόμενες εκτάσεις της Κρήτης ήταν 588.000 στρέμματα περίπου.

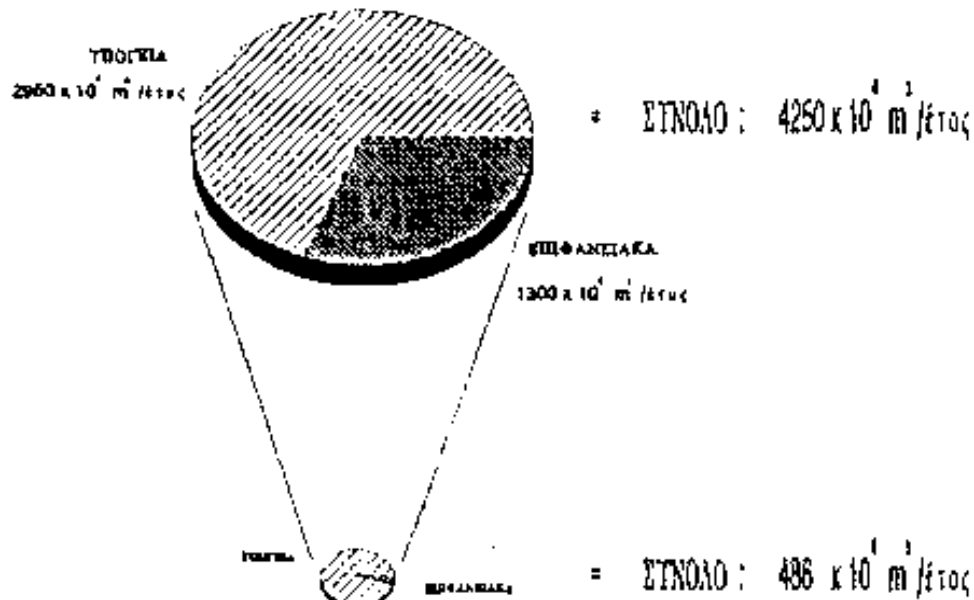
Αν το ποσό αυτό το προσαυξήσουμε κατά 10%, λόγω της θεωρητικής επέκτασης των αρδεύσεων στην 10ετία που εν τω μεταξύ μεσολάβησε, τότε οι συνολικά αρδευόμενες εκτάσεις υπολογίζονται σήμερα σε 650.000 στρέμματα. Δεχόμενοι ετήσια στρεμματική κατανάλωση νερού γύρω στα 650 κυβ. μέτρα, η αναλογούσα ετήσια σημερινή αρδευτική κατανάλωση αναβιβάζεται σε 422 εκατομμύρια κυβικά μέτρα.

Τα παραπάνω υπολογιστικό δεδομένα βρίσκονται πολύ κοντά στην εμπειρική προσέγγιση, η οποία θέλει την αρδευτική (422 εκ.κ.μ.) και βιομηχανική χρήση (21 εκ. κ.μ.) των μεσογειακών χωρών δεκαπλάσια περίπου εκείνης της υδρευτικής χρήσης (43 εκ.κ.μ.).

7.3 Διαπιστώσεις

Με βάση τα προηγηθέντα, τα ανανεώσιμα αποθέματα υπόγειων νερών της Κρήτης εκτιμώνται περίπου σε 3 δισεκατομμύρια κυβ. μέτρα το χρόνο, ενώ η ετήσια συνολική κατανάλωση δεν ξεπερνά με τα σημερινά δεδομένα τα 450 εκατ. κυβ. μέτρα (Σχήμα 7.2).

Οι ποσότητες αυτές προέρχονται σχεδόν αποκλειστικά από υπόγεια νερά (πηγές, γεωτρήσεις, πηγάδια) και ελάχιστα από επιφανειακά νερά (ίσως λιγότερο από 5%). Από το παραπάνω συνάγεται ότι το σύνολο των υπόγειων νερών που σήμερα χρησιμοποιούνται δεν υπερβαίνει το 1/6(+15%) των υπόγειων νερών που ετήσια διακινούνται στο νησί και που θεωρητικά θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν. Αν, επιπλέον, συνυπολογίσουμε και τα μη χρησιμοποιούμενα διαθέσιμα επιφανειακά νερά τότε ο συνολικός συντελεστής χρήσης επιφανειακών και υπόγειων νερών ίσως είναι μικρότερος του 1/9 (+10%) των διαθέσιμων πόρων νερού.



Σχήμα 7.2: Ετήσια ανανεώσιμα αποθέματα νερού (Υπόγεια + Επιφανειακά). [4]

Με βάση τα παραπάνω αριθμητικά δεδομένα συνάγεται αβίαστα το βασικό συμπέρασμα - διαπίστωση: ότι το σημερινό πρόβλημα λειψυδρίας της Κρήτης

μπορεί ευχερώς να αντιμετωπισθεί με εντατικότερη και ορθολογική εκμετάλλευση των υπόγειων και επιφανειακών νερών του νησιού.

Δεδομένα από διάφορες πηγές αναβιβάζουν την γεωργική γη της Κρήτης σε 3.200.000 στρέμματα, από τα οποία τα 630.000-650.000 στρέμματα αρδεύομενα, δηλαδή μόλις το 20% περίπου, ενώ το αντίστοιχο ποσοστό για το Ισραήλ είναι της τάξης του 62%. Εάν το παράδειγμα του Ισραήλ θεωρηθεί ρεαλιστική επιδίωξη της Κρήτης τότε θα πρέπει να τριπλασιασθεί η αρδευτική κατανάλωση, χωρίς βέβαια να συνυπολογίζουμε τις ήδη υφιστάμενες υδρευτικές ελλείψεις μεγάλων αστικών και τουριστικών κέντρων του νησιού και την αύξηση που συνεπάγεται ή μελλοντική τους κάλυψη.

Κατ' αυτό τον τρόπο καταλήγουμε στο δεύτερο βασικό συμπέρασμα διαπίστωση: ότι για να καλύψουμε, στο εγγύς μέλλον, ρεαλιστικές ανάγκες του νησιού αναμένεται να αυξηθεί η κατανάλωση κατά 3 – 5 φορές σε σχέση με την σημερινή (έτος δεδομένων 1993) [4].

7.4 Προτάσεις

Από που και πώς μπορούν να εξασφαλισθούν οι αναγκαίες ποσότητες νερού; Η εντατικοποίηση της εκμετάλλευσης των υπόγειων και επιφανειακών νερών θα μπορούσε κύρια να περιλάβει τους εξής βασικούς άξονες δραστηριότητας:

1. Την αξιοποίηση των καρστικών υδροφορέων του νησιού που αποτελούν τους ογκωδέστερους, και ελκυστικότερους υπόγειους ταμιευτήρες και των οποίων τα νερά, κατά συντριπτικό ποσοστό, απορρέουν σήμερα αναξιοποίητα στην θάλασσα με την μορφή υποθαλάσσιων και παράκτιων υφάλμυρων πηγών. Δόκιμες μέθοδοι που θα ήταν δυνατό να χρησιμοποιηθούν για την εκμετάλλευση των καρστικών υδροφορέων είναι:
 - Αναρρύθμιση πηγών υπερχείλισης (παραδείγματα. Αγυιά, Μεσκλά, Κουρταλιώτης κ.α.)
 - Μεμονωμένες γεωτρήσεις δίκτυα και συστοιχίες γεωτρήσεων για βαθύτερες ζώνες υδροφορίας (παραδείγματα: όλες σχεδόν οι καρστικές υδροφορίες του νησιού).
 - Στοές, συνδυασμός στοών και φρεάτων, δικτύων και συστοιχιών γεωτρήσεων, φράγματα και ειδικές τεχνικές για παράκτιες υδροφορίες (παραδείγματα Αλμυρός Ηρακλείου, Αλμυρός Αγ. Νικολάου Μαλάβρα, Μπαλί κα).
2. Τον εμπλουτισμό των ενδοχωρικών και κύρια των παράκτιων υπόγειων υδροφορέων με σκοπό την αποταμίευση των χειμερινών πλεονασμάτων νερού και την παράλληλη προστασία των υδροφόρων από την εξάντληση και την αλμύριση (παραδείγμα: το σύνολο σχεδόν των παράκτιων προσχωματικών και νεογενών λεκανών των οποίων η υπερεκμετάλλευση έχει οδηγήσει σε αλμύριση και υπερβολική ρυπογόνο φόρτιση).
3. Την κατασκευή επιφανειακών ταμιευτήρων και λιμνοδεξαμενών για την συγκέντρωση των χειμερινών πλεονασμάτων.
4. Την ανακύκλωση χρησιμοποιημένων και την χρήση υποβαθμισμένων νερών. Μέρα με την ημέρα οι ανάγκες σε νερό αυξάνουν. Ίσως πολύ σύντομα αποδειχθεί τέλεια ανεδαφικό και μη ορθολογικό το γεγονός ότι δεν κάνουμε συστηματική χρήση νερών μερικά υποβαθμισμένων (π.χ. ελαφρώς υφάλμυρα, βεβαρημένα επιφανειακά, χρησιμοποιημένα). Θα πρέπει σιγά να προσαρμοζόμαστε στην ιδέα ότι σε ορισμένες τουλάχιστον προβληματικές περιοχές της Κρήτης θα ήταν δυνατό να χρησιμοποιηθεί (βιομηχανία-άρδευση) νερό μέτρια υποβαθμισμένο.

Οι διαπιστώσεις που αναφέρονται στη συνέχεια πιστεύεται ότι μπορεί να αποτελέσουν κριτήρια αποφασιστικής σημασίας για την τακτική που πρέπει να ακολουθηθεί προς αυτή την κατεύθυνση:

α. Οι απολήψεις από τα ανανεώσιμα υπόγεια νερά της Κρήτης μπορούν να αυξηθούν στο διπλάσιο ή ακόμη και στο τριπλάσιο των σημερινών χρήσεων.

β. Τα επιφανειακά νερά είναι τα πρώτα και ισχυρότερα επηρεαζόμενα αρνητικά σε περιόδους ξηρασίας.

γ. Το κόστος εκμετάλλευσης των επιφανειακών είναι κατά κανόνα υψηλότερο από το κόστος της εκμετάλλευσης των υπόγειων νερών.

δ. Η ποιότητα των υπόγειων πλεονεκτεί συνήθως σημαντικά εκείνης των επιφανειακών νερών.

Συμπερασματικά λοιπόν θα μπορούσαμε να πούμε ότι η εκμετάλλευση των υπόγειων νερών πλεονεκτεί οικονομοτεχνικά έναντι της εκμετάλλευσης νερών άλλης προέλευσης.

Παρ' όλα αυτά:

Τα σοβαρά πλεονεκτήματα που εμφανίζει η εκμετάλλευση των υπόγειων νερών, δεν θα πρέπει να γίνουν αφορμή να παραγνωρίζουμε (α) την αναγκαιότητα παράλληλης αξιοποίησης των επιφανειακών νερών, (β) την προστασία και τον εμπλουτισμό των υφισταμένων αποθεμάτων και (γ) την εξυγίανση και την αξιοποίηση χρησιμοποιημένων και γενικά υποβαθμισμένων νερών.

7.5 Κίνδυνοι υφαλμύρισης πηγών και υπόγειων υδροφορέων

Η Κρήτη στο σύνολό της αποτελεί μια αυτόνομη υδρογεωλογική ενότητα της οποίας η υδάτινη οικονομία εξαρτάται κατά το μεγαλύτερο ποσοστό της από τα υπόγεια νερά των καρστικών υδροφοριών. Η έκταση των ανθρακικών εν γένει σχηματισμών ανέρχεται περίπου σε 3.000 km² επί συνολικής έκτασης του νησιού τα 8.300 km². Στους ανθρακικούς αυτούς σχηματισμούς συμπεριλαμβάνονται και ορεινοί, όγκοι των Λευκών Ορέων, Ψηλορείτη, Τάλεων Ορέων, Δίκτης, Θρύπτης και, τα όρη Σητείας που δομούνται από αυτά και τα οποία δέχονται πολύ μεγαλύτερες βροχοπτώσεις (βροχές > 1500 mm) σε σχέση με το πεδινά τμήματα.

Οι υδρογεωλογικές συνθήκες που επικρατούν στην Κρήτη σε συνδυασμό πάντα με την μεγάλη ανάπτυξη των ανθρακικών σχηματισμών, ευνοούν την κατείσδυση μεγάλου ποσοστού των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων με άμεσο αποτέλεσμα την τροφοδοσία των πλούσιων υπόγειων υδροφοριών, που στις περισσότερες περιπτώσεις συνδέονται με αναβλύσεις μεγάλων ή μικρών καρστικών πηγών. Αρνητικό στοιχείο για την πλούσια καρστική υδροφορία της Κρήτης στο σύνολο της είναι το φαινόμενο της υφαλμύρισης που παρουσιάζεται κυρίως σε παράκτιες περιοχές.

Το φαινόμενο αυτό οφείλεται κυρίως σε δύο λόγους:

α) Στην ανθρωπογενή επέμβαση και

β) Στις γεωλογικές συνθήκες που επικρατούν στην Κρήτη (στρωματογραφία – τεκτονική - κινήσεις θάλασσας κ.λ.π.)

Από τους δύο παραπάνω παράγοντες αυτός που επηρεάζει δυσμενώς το υδατικό δυναμικό της Κρήτης σ' αυτό τον τομέα είναι αυτός των γεωλογικών συνθηκών. Αναφέρουμε ότι από το ποσό της βροχής που κατεισδύει στους ανθρακικούς σχηματισμούς μία σημαντικότερη ποσότητα νερού της τάξης περίπου του 1.1019 m³/ετησίως απορρέει στην θάλασσα ανεκμετάλλευτο ως υφάλμυρο. Η αναφορά του μεγέθους αυτού δείχνει και τη σπουδαιότητα του προβλήματος τόσο από πρακτική όσο και από την θεωρητική άποψη και δίδει επίσης το ερέθισμα για ολοκληρωμένη και σοβαρή αντιμετώπιση του προβλήματος.

Κοινό πρόβλημα των υπόγειων υδροφοριών που αναπτύσσονται στον νησιωτικό χώρο καθώς και σε περιοχές που βρέχονται ή βρίσκονται πλησίον της θάλασσας είναι η ΥΦΑΛΜΥΡΙΝΣΗ με άμεσο αποτέλεσμα την υποβάθμιση

της ποιότητας των υπογείων και πηγαίων υδάτων. Στην Κρήτη το φαινόμενο της ύπαρξης υφάλμυρων υπόγειων υδροφοριών και των αντίστοιχων πηγών δυστυχώς είναι πολύ εκτεταμένο. Κύριο αίτιο της δημιουργίας και κατά συνέπεια της ύπαρξης υφάλμυρων υδροφοριών και πηγών είναι η θάλασσα σε συνδυασμό κατά περίπτωση με την τεκτονική δράση ή και τις υπεραντλήσεις. Υπάρχουν αρκετές υφάλμυρες πηγές της Κρήτης που έχουν σχέση με υπόγειες καρστικές υδροφορίες που έχουν υφαλμυρισθεί, οι οποίες αναφέρονται παρακάτω (§8.2).

7.6 Συνθήκες υφαλμύρισης

Στο φαινόμενο της υφαλμύρισης υπόγειων υδροφόρων οριζόντων εκτός βέβαια από την ύπαρξη της θάλασσας πρωτεύοντα ρόλο διαδραματίζουν οι γεωλογικές, υδρολιθολογικές, στρωματογραφικές, τεκτονικές κ.λ.π. συνθήκες που επικρατούν στην στενή και ευρύτερη περιοχή.

Πολλές φορές βέβαια το φαινόμενο αυτό οφείλεται και στην ανθρώπινη δραστηριότητα και, συγκεκριμένα στην υπεράντληση των υπόγειων υδροφόρων οριζόντων που μετά από ένα ορισμένο σημείο διαταράσσει την φυσική ισορροπία. Το φαινόμενο της υφαλμύρισης σ' αυτή την περίπτωση δύσκολα γίνεται αντιστρεπτό και συνήθως μέτρο προστασίας λαμβάνονται μετά την εκδήλωση του φαινομένου.

Η στρωματογραφία των γεωλογικών σχηματισμών που δομούν μία περιοχή σε συνδυασμό με την υδροπερατότητά τους είναι καθοριστικής σημασίας στην δυνατότητα ή μη της υφαλμύρισης των υπόγειων υδροφοριών. Μπορούμε να αναφέρουμε την παρουσία της πρακτικά αδιαπέρατης από το νερό φυλλιτικής - σχιστολιθικής ενότητας η οποία στην Κρήτη παρουσιάζει μεγάλη εξάπλωση, και πολλές φορές η ύπαρξη της προστατεύει υπόγειους υδροφόρους ορίζοντες που αναπτύσσονται σε Προνεογενείς σχηματισμούς (ανθρακικά πετρώματα) από τις δυσμενείς επιδράσεις της διείσδυσης της θάλασσας (περιοχή Φόδελε).

Επίσης η παρουσία των αδιαπέρατων μαργών του Νεογενούς, σχηματισμός με μεγάλη περιεκτικότητα σε άργιλο, που καταλαμβάνουν ως επί το πλείστον περιοχές με χαμηλά υψόμετρα πλησίον της θάλασσας, δρα ανασταλτικά υπό μορφή "μπαράζ" στην υφαλμύριση υδροφόρων οριζόντων που μπορεί αναπτύσσονται στην ενδοχώρα (Λεκάνη Ηρακλείου). Βέβαια η παρουσία των αδιαπέρατων από το νερό γεωλογικών - υδρολιθολογικών ενότητων (σχιστόλιθοι - φυλλίτες, μάργες, φλύσχης κ.ά.) σχετικά με το φαινόμενο της υφαλμύρισης, δρα κατά ποικίλους τρόπους εξαρτώμενη από πλήθος γεωλογικών παραγόντων που επικρατούν στην ευρύτερη περιοχή με αποτέλεσμα άλλοτε να εμποδίζουν και άλλοτε όχι την ποιοτική υποβάθμιση των υπόγειων νερών.

Η τεκτονική μίας περιοχής διαδραματίζει σημαντικό και πολλές φορές καθοριστικό ρόλο στο φαινόμενο της υφαλμύρισης των υπόγειων υδροφορέων. Η παρουσία ρηγμάτων καταλλήλου διεύθυνσης και κλίσης δύναται να προωθούν το θαλάσσιο νερό προς την ενδοχώρα. Για περιοχές όπως η Κρήτη που η γενικότερη γεωλογική της δομή με τα αυτόνομα ορεινά συστήματα των Λεύκων Ορέων Ψηλορείτη, Δίκτης, Λασιθιώτικων βουνών κ.ά. οφείλεται σε πολλά και μεγάλα ρήγματα (ρηγματογενείς ζώνες), αυτά πάρα πολλές φορές είναι υπεύθυνα για την υφαλμύριση που παρατηρείται σε πολλές και μεγάλες πηγές του νησιού (Αλμυρός Χανίων, Αλμυρός Ηρακλείου κ.ά.)

Πολλές φορές η παρουσία των ρηγμάτων μπορεί να οδηγήσει το μέτωπο της υφαλμύρισης ενός υπόγειου υδροφορέα εντός της ενδοχώρας σε μεγάλη απόσταση από τις παράκτιες περιοχές χωρίς να επικρατούν δυναμικές συνθήκες άντλησης υπόγειων νερών. Επίσης σημαντικός παράγοντας που έπαιξε κυρίαρχο ρόλο στο καθεστώς της υφαλμύρισης είναι ασφαλώς οι

κινήσεις της θάλασσας κατά την διάρκεια της Τεταρτογενούς περιόδου (μεσοπαγετώδεις περίοδοι).

Οι κινήσεις αυτές είχαν σαν αποτέλεσμα το ενεργό καρστ των ανθρακικών σχηματισμών να μετακινηθεί σε αρνητικά ή θετικά υψόμετρα με συνέπεια την υφαλμύρινσή του. Άλλος παράγοντας υφαλμύρινσης είναι οι περιπτώσεις που επικρατούν συνθήκες άντλησης και κυρίως μη ελεγχόμενες από άποψη ποιότητας και ποσότητας νερού. Τότε το μέτωπο της υφαλμύρινσης προωθείται ταχύτατα με αποτέλεσμα την ποιοτική υποβάθμιση υδροφορέων, φαινόμενα που πολύ δύσκολα γίνεται αντιστρεπτό όπως αναφέραμε προηγούμενα.

Το καταστρεπτικό φαινόμενο της υφαλμύρινσης γίνεται ακόμη δυσμενέστερο και η αντιμετώπισή του δυσκολότερη όταν ανθρακικοί σχηματισμοί έρχονται σε απ' ευθείας επαφή με την θάλασσα. Σ' αυτές τις περιπτώσεις εκτός από την τεκτονική δράση κύριο ρόλο διαδραματίζει και αυτή καθ' εαυτή η υδροπερατότητα του σχηματισμού που συνήθως είναι μεγάλη οφειλόμενοι στο δευτερογενές πορώδες του (διακλάσεις, ρωγμές, αγωγοί κυκλοφορίας νερού κ.λ.π.)

Τέλος θα πρέπει να τονίσουμε ότι οι παραπάνω παράγοντες που αναφέραμε ως κύριους υπαίτιους του φαινομένου της υφαλμύρινσης δρουν συγχρόνως και πολλές φορές υποβοηθούμενοι ή αναιρούμενοι μεταξύ τους με αποτέλεσμα την σημερινή κατάσταση των υπόγειων υδροφορέων.

8. ΥΦΑΛΜΥΡΑ ΝΕΡΑ ΚΡΗΤΗΣ

8.1 Γεωλογία και συνθήκες υφαλμύρισης

Η Κρήτη είναι μία αυτόνομη υδρολογική περιφέρεια με πλούσιο υδατικό δυναμικό όσο αφορά τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα, που όμως παρουσιάζει και οξύτατο το πρόβλημα της υφαλμύρισης. Το φαινόμενο της ποιοτικής αυτής υποβάθμισης των νερών παρουσιάζεται κυρίως σε παράκτιες περιοχές που καλύπτονται από ανθρακικά πετρώματα ή Νεογενείς και σύγχρονες Τεταρτογενείς αποθέσεις (κάμπος Ρεθύμνου, Γάζι, Μάλια, Ιεράπετρα κ.ά.). Το κυριότερο όμως πρόβλημα λόγω του όγκου του υδατικού δυναμικού εστιάζεται στους ανθρακικούς σχηματισμούς. Τα υδροπερατά ανθρακικά πετρώματα λόγω της συνολικής έκτασης που καταλαμβάνουν στην Κρήτη αποτελούν ένα θετικό στοιχείο στο κύκλο του νερού όσο αφορά το υδατικό δυναμικό των υπογείων νερών, λαμβανομένου υπόψη ότι οι ορεινοί όγκοι της Κρήτης δομούνται στο σύνολο τους σχεδόν από αυτά. Ποσοστό τουλάχιστον 50% των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων που πέφτουν στην επιφάνεια τους κατεισδύουν και τροφοδοτούν ενεργά τις υπόγειες υδροφορίες του νησιού.

Οι γεωλογικές συνθήκες της Κρήτης με τα αλληπάλληλα τεκτονικά καλύμματα είναι ευνοϊκές ώστε να δημιουργούνται υπόγειες υδροφορίες οι οποίες στο σύνολο τους είναι πλούσιες. Επίσης λόγω των συνθηκών αυτών και σε συνδυασμό με την τεκτονική παρουσιάζονται διάφορα επίπεδα σχηματισμού των υδροφοριών αυτών τόσο στην ενδοχώρα όσο και πλησίον της θάλασσας. Σε πολλές απ' αυτές τις υδροφορίες έχουμε και την εμφάνιση αντιστοιχών καρστικών πηγών μικρής ή μεγάλης παροχής με γλυκό ή υφάλμυρο νερό κοντά στην θάλασσα. Το θέμα μας είναι οι υφάλμυρες υδροφορίες οι οποίες είναι ένα σημαντικό τμήμα του συνόλου των υπογείων νερών του νησιού. Ενδεικτικά υπολογίζουμε ότι μόνο από τις υφάλμυρες πηγές μία ποσότητα νερού της τάξης του 1.1019 m^3 σε ετήσια βάση απορρέει προς τη θάλασσα ανεκμετάλλευτο. Η αναφορά του μεγέθους αυτού δείχνει και την σπουδαιότητα του προβλήματος τόσο από θεωρητική όσο και από πρακτική πλευρά. Το φαινόμενο της υφαλμύρισης των καρστικών υδροφοριών της Κρήτης που αναφερόμαστε, οφείλεται κύρια σε δύο παράγοντες:

α) τους μορφολογικούς και

β) στην τεκτονική - ρήγματα - ανοδικές, καθοδικές κινήσεις.

Οι μορφολογικοί παράγοντες που συμβάλουν στην υφαλμύριση είναι κυρίως το μικρό πλάτος της Κρήτης σε συνδυασμό με το γεγονός ότι τα αν πετρώματα και ειδικότερα αυτά των ορεινών όγκων που αποτελούν αυτόνομα καρστικά υδροσυστήματα έρχονται πολλές φορές σε απ' ευθείας επαφή με το ανοικτό μέτωπο της θάλασσας. Για την Κρήτη τα "ανοικτά μέτωπα" αυτά έχουν μεγάλο συνολικό μήκος και κατά περίπτωση αντιπροσωπεύουν μικρής και μεγάλης δυναμικότητας υπόγειες υδροφορίες.

Αποτέλεσμα των παραπάνω είναι τα υπόγεια νερά να έχουν μικρό μήκος διαδρομής διαμορφωμένης υδροφορίας προς την θάλασσα. Οι τεκτονικοί παράγοντες πέρα από την διαμόρφωση της γενικής γεωλογικής δομής της Κρήτης, συνετέλεσαν ουσιαστικά σε όλη την διαδικασία της υφαλμύρισης και αναφερόμαστε συγκεκριμένα στα ρήγματα καθώς και στις ανοδικές και καθοδικές κινήσεις της θάλασσας. Αποτέλεσμα της τεκτονικής αυτής δράσης είναι να συναντάται το καρστ σε διάφορα κατά περιοχή υψόμετρα, ως και η δημιουργία των "ανοικτών μετώπων" επικοινωνίας των καρστικών υδροφοριών προς την θάλασσα.

8.2 Υφάλμυρες πηγές Κρήτης

Σύμφωνα με τους παράγοντες που υπεισέρχονται στο φαινόμενο της υπαλμύρισης στην Κρήτη, παρουσιάζεται η παρακάτω γεωγραφική κατανομή των υφάλμυρων πηγών. Η ύπαρξη πολλών και μεγάλων υφάλμυρων πηγών μας δείχνουν και το μέγεθος του προβλήματος. **α)** Στα ανατολικά στο Νομό Λασιθίου έχουμε τους ορεινούς όγκους της Δίκτης - Ελούντας, της Θρύπτης και τα όρη Σητείας. Από τους όγκους αυτούς έχουμε τις υφάλμυρες πηγές Αλμυρού Αγίου Νικολάου (Cl = 3.000 ppm), της Ελούντας, της Μαλάβρας, των Καλών Νερών κ.ά.

Επίσης η υφάλμυρη πηγή των Μαλίων συνδέεται με ορεινό όγκο της Δίκτης. **β)** Στο Νομό Ηρακλείου, στο νοτιοδυτικό άκρο της οροσειράς Δίκτης έχουμε υπόγειες υδροφορίες πλησίον της θάλασσας με ενδείξεις υπαλμύρισης λόγω υπεράντλησης (περιοχή Άρβης). Στα Αστερούσια έχουμε εκφορτίσεις υφάλμυρων νερών με γνωστότερη πηγή του Τσούτσουρα. Για τον ορεινό όγκο του Ψηλορείτη έχουμε την βασικότερη και μεγαλύτερη πηγή της Κρήτης, τον Αλμυρό Ηρακλείου (Cl < 100 έως 4.500 ppm). **γ)** Στο Νομό Ρεθύμνου εξίσου σημαντική υφάλμυρη υδροφορία είναι αυτή που εκφορτίζεται με τις υποθαλάσσιες - αμφίδρομες πηγές στον όρμο του Μπαλί οι οποίες παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον τόσο από πρακτική όσο και από θεωρητική άποψη.

Άλλες πηγές στην περιοχή του Νομού Ρεθύμνου είναι η πηγή Κατσιρίδι και ο Άγιος Παύλος στο νότιο τμήμα αυτού. **δ)** Στο Νομό Χανίων έχουμε περισσότερες πηγές συγκριτικά με τους άλλους Νομούς της Κρήτης απ' όσα τουλάχιστον γνωρίζουμε, οι οποίες σχετίζονται με τον ορεινό όγκο των Λευκών Ορέων με ανεξάρτητες ανθρακικές ενότητες στο δυτικό τμήμα του Νομού.

Αναφέρουμε τις πηγές Γεωργιούπολης (Αλμυρός Χανίων), Καλαμίου, Καλύβες, Βλυχάδα, αυτής της λίμνης Κουρνά στην θέση Αμάτι με ελαφρώς αυξημένα χλώρια καθώς και αυτές τη νότιας πλευράς των Λευκών Ορέων. Πηγές που συνδέονται με ανεξάρτητες ανθρακικές ενότητες είναι αυτές της χερσονήσου Ροδωπού κ.ά. Εκ του συνόλου των υφάλμυρων πηγών της Κρήτης γίνεται μία προσπάθεια μελέτης με σκοπό την αξιοποίηση ορισμένων εξ αυτών όσων βέβαια είναι εφικτό και σκόπιμο.

8.3 Αξιοποίηση υφάλμυρων υδροφοριών

Στόχος για την αξιοποίηση υφάλμυρων υδροφοριών είναι η εκμετάλλευση ποσοτήτων γλυκού νερού πριν αυτό υπαλμυρισθεί και υποβαθμισθεί από την επίδραση της θάλασσας. Οι μέθοδοι αξιοποίησης των υδροφοριών αυτών εξαρτώνται από τις εκάστοτε μορφολογικές και γεωλογικές εν γένει συνθήκες που επικρατούν σε κάθε περιοχή. Από βιβλιογραφικά δεδομένα καθώς και από εμπειρία αναφέρουμε τους βασικούς άξονες αντιμετώπισης του θέματος:

α) Εκτέλεση γεωτρήσεων στην ανάντη περιοχή πριν υπαλμυρισθεί το γλυκό υπόγειο νερό.

β) Υπόγειες στοές κεκλιμένες ή μη με σκοπό την σύλληψη γλυκού νερού ή στήλης γλυκού νερού πάνω από το υφάλμυρο.

γ) Υπόγεια φράγματα ανάσχεσης του εισερχομένου μετώπου υπαλμύρισης προς την ενδοχώρα τα οποία συνδυάζονται με κατάλληλα έργα υδροσύλληψης.

δ) Επιφανειακά ρυθμιστικά φράγματα είτε για την εμπόδιση της εισόδου της θάλασσας, είτε για αύξηση του υδραυλικού φορτίου του γλυκού νερού και της αντίστοιχης μείωσης του αλμυρού.

Στην Κρήτη σχετικά με το θέμα της αξιοποίησης των υφάλμυρων υδροφοριών αναφέρουμε τα παρακάτω:

α) Πηγή Καλών Νερών. Αξιοποίηση της υδροφορίας με εκτέλεση ερευνητικών γεωτρήσεων από το ΙΓΜΕ.

β) Πηγή Μαλάβρας. Μελέτη και αξιοποίηση από το Υπουργείο Γεωργίας με την κατασκευή υδρομαστευτικής τάφρου.

γ) Πηγή Αλμυρού Αγίου Νικολάου. Μελέτη καρστικού υδροφορέα της πηγής ερευνητικών γεωτρήσεων (Νομαρχία – ΙΓΜΕ). Επίσης επιχειρείται η μοντελοποίηση του συστήματος όσο αφορά τη διαχείριση σε συνεργασία ΙΓΜΕ και C.N.R.S της Γαλλίας

δ) Πηγή Αλμυρού Ηρακλείου. Μελέτη της υφάλμυρης καρστικής πηγής και της εκτεταμένης υδροφορίας που αναπτύσσεται στην ευρύτερη περιοχή. Στο εν λόγω σύστημα ασχολούνται το Υπουργείο Γεωργίας (κατασκευή φράγματος) η Δ.Ε.Υ.Α.Η με γεωτρητικό πρόγραμμα και το ΙΓΜΕ με την μελέτη της πηγής και την εκτέλεση κυρίως ερευνητικών γεωτρήσεων. Ήδη φαίνονται τα πρώτα αποτελέσματα των προσπαθειών για την αξιοποίηση του σημαντικότερου αυτού καρστικού υδροφορέα.

ε) Πηγές Μπαλί. Παρακολούθηση - μελέτη της συμπεριφοράς των αμφίδρομων πηγών του όρμου από το ΙΓΜΕ.

στ) Πηγή Αμάτι Λίμνης Κουρνά. Άντληση ποσοτήτων ύδατος από την πηγή με έργα που έχει εκτελέσει ο Ο.Α.Δ.Υ.Κ. Επίσης από το ΙΓΜΕ έχουν γίνει και γεωτρήσεις στην ευρύτερη περιοχή με σκοπό την μελέτη της υφάλμυρης υδροφορίας και την σχέση της με το γεωλογικό υπόβαθρο των Λευκών Ορέων.

ζ) Στο σύστημα των πηγών της Γεωργιούπολης έχουν αρχίσει από το ΙΓΜΕ ερευνητικές εργασίες με σκοπό την διαπίστωση της έκτασης του υφάλμυρου υδροφορέα της περιοχής.

8.4 Συμπεράσματα

Ο εμπλουτισμός του υπόγειου γλυκού νερού με διαλελυμένα άλατα δύναται να ορισθεί ως υφαλμύριση ή ποιοτική υποβάθμιση αυτού. Η συγκέντρωση αλάτων στο υπόγειο νερό πέρα από ένα ορισμένο όριο καθιστούν τούτο ακατάλληλο για να καλύψει τι υδρευτικές και πολλές φορές τις αρδευτικές ανάγκες με αποτέλεσμα να υφίστανται άμεσες επιπτώσεις στην εν γένει οικονομική ανάπτυξη του τόπου.

Στην Κρήτη το φαινόμενο της ύπαρξης υφάλμυρων υπόγειων υδροφοριών που στις περισσότερες περιπτώσεις συνδέονται με αναβλύσεις μεγάλων ή μικρών πηγών είναι δυστυχώς πολύ εκτεταμένα. Το φαινόμενο της υφαλμύρισης παρατηρείται τόσο στους κοκκώδεις υδροφόρους ορίζοντες όσο και στους καρστικούς με διαφορετικό ενίοτε μηχανισμό στον κάθε ένα απ' αυτούς, αλλά με κοινή προέλευση το θαλάσσιο νερό. Στον γεωγραφικό χώρο της Κρήτης τα προβλήματα υφαλμύρισης εστιάζονται κυρίως στους παράκτιους ανθρακικούς - καρστικούς υδροφορείς λόγω της μεγάλης συνολικής έκτασης που καταλαμβάνουν τα ανθρακικά πετρώματα, ως και των πλούσιων υδροφοριών που αναπτύσσονται σ' αυτά.

Υπεύθυνοι παράγοντες για τα προβλήματα αυτά του νησιού είναι:

α) Η ανθρωπογενείς επέμβαση που επικεντρώνεται κυρίως στις υπεραντλήσεις των παράκτιων υδροφορέων και

β) Οι εν γένει γεωλογικές (στρωματογραφία - τεκτονική - κινήσεις θάλασσας κ.λ.π.) και μορφολογικές συνθήκες που επικρατούν στην Κρήτη.

Εκ των δύο αυτών παραγόντων σημαντικότερος και με μεγαλύτερη δυσμενή επίδραση στο φαινόμενο της υφαλμύρισης των υπόγειων υδροφορέων γενικά, είναι αυτός των γεωλογικών και μορφολογικών συνθηκών. Οι υφάλμυρες υδροφορίες της Κρήτης αποτελούν ένα σημαντικό τμήμα του συνόλου των υπόγειων νερών του νησιού. Οι υδροφορίες αυτές το νερό των οποίων απορρέει ανεκμετάλλευτο στην θάλασσα, είναι ανάγκη και μόνο από τις βραχυπρόθεσμες και μακροπρόθεσμες απαιτήσεις της Κρήτης να γίνει μία συστηματική προσπάθεια αξιοποίησης αυτών.

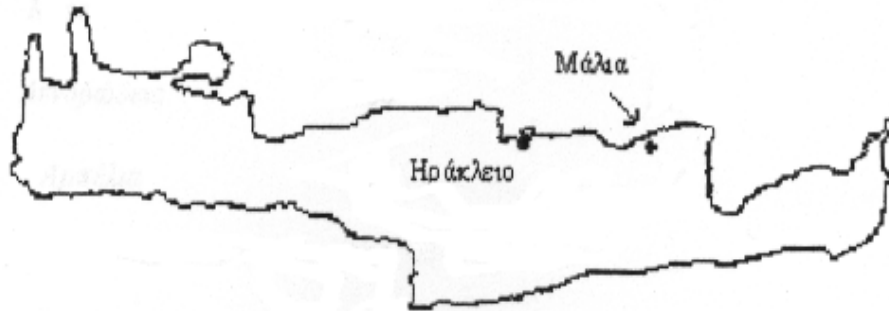
Ασφαλώς η προσπάθεια αυτή χρειάζεται σοβαρές υδρογεωλογικές μελέτες που απαιτούν χρόνο και φυσικά τους ανάλογους χρηματικούς πόρους που πρέπει να παρέχει Πολιτεία (Περιφέρεια, Νομαρχίες, Υπηρεσίες), οι Οργανισμοί ανάπτυξης της Κρήτης (Ο.Α.ΔΥ.Κ. και Ο.Α.Ν.Α.Κ.) ως και άλλοι φορείς (Ι.Γ.Μ.Ε. κ.ά.). Τονίζουμε βέβαια ότι λόγω των πολύπλοκων συνθηκών υφαλμύρισης

που επικρατούν (γεωλογικές υδρογεωλογικές τεκτονικές, μορφολογικές συνθήκες - υδραυλικά φαινόμενα), οι μελέτες αυτές έχουν αρκετές δυσκολίες και πολλές φορές τα αποτελέσματα τους είναι αμφίβολα σ' ότι αφορά την αξιοποίηση πρόσθετων ποσοτήτων νερού καλής ποιότητας. Οι απαιτήσεις όμως της εξέλιξης και της προόδου του παρόντος και του μέλλοντος όσο και η συνεχώς αυξανόμενη ανάγκη για την προστασία του περιβάλλοντος και του υδάτινου δυναμικού μας αναγκάζουν να προβούμε σ' αυτές τις μελέτες.

9. ΥΦΑΛΜΥΡΙΝΣΗ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ ΤΟΥ ΔΗΜΟΥ ΜΑΛΙΩΝ

9.1 Περιοχή Μελέτης

Ο Δήμος Μαλίων βρίσκεται στη βόρεια Κρήτη, στο βορειοανατολικό άκρο του Νομού Ηρακλείου. Τα Μάλια απέχουν 40 Km από την πόλη του Ηρακλείου. Το Δημοτικό διαμέρισμα των Μαλίων βρέχεται στο Βορρά από το Κρητικό πέλαγος, δυτικά συνορεύει με το Δήμο Χερσονήσου και Ανατολικά με το Δήμο Νεαπολέως. Στην εικόνα που ακολουθεί σημειώνεται η θέση της περιοχής μελέτης (Εικόνα 9.1).



Εικόνα 9.1 : Θέση της περιοχής μελέτης. [5]

9.2 Πληθυσμιακά στοιχεία

Σύμφωνα με στοιχεία της εθνικής στατιστικής υπηρεσίας ο πληθυσμός του Δημοτικού διαμερίσματος των Μαλίων ήταν ίσος με 3.600 κατοίκους και ο πληθυσμός ολόκληρου του Δήμου ίσος με 6.500 κατοίκους, κατά την απογραφή του 2001.

Η περιοχή παρουσιάζει έντονη τουριστική ανάπτυξη που τετραπλασιάζει τον πληθυσμό της τους θερινούς μήνες. Ο αριθμός των κλινών στο Δημοτικό διαμέρισμα των Μαλίων, σύμφωνα με στοιχεία του Δήμου, ανέρχεται σήμερα περίπου στις 13.500 κλίνες. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση των αναγκών σε νερό για οικιακή χρήση, που για να καλυφθούν αυξάνονται οι αντλήσεις από τον υδροφόρα σε σχέση με τους χειμερινούς μήνες.

9.3 Χρήσεις Γης

Η έκταση του δημοτικού διαμερίσματος των Μαλίων ανέρχεται σε 35 Km². Η καλλιεργούμενη έκταση καταλαμβάνει 8.500 στρ. περίπου. Το μεγαλύτερο ποσοστό των καλλιεργούμενων εκτάσεων καλύπτεται από ελαιώνες και αροτραίες καλλιέργειες, με κύρια την καλλιέργεια της πατάτας. Σε μικρότερα ποσοστά καλλιεργούνται αμπέλια και κηπευτικές καλλιέργειες. Από τα 5.390 στρ. που καλλιεργούνται αρδεύεται περίπου ποσοστό 80% (Πίνακας 9.1).

Στην καλλιεργητική πρακτική χρησιμοποιούνται αρκετά αγροχημικά και λιπάσματα. Τα κυριότερα φυτοπροστατευτικά σκευάσματα που χρησιμοποιούνται στην περιοχή, είναι το ζιζανιοκτόνο Gramoxone και τα νηματοδοκτόνα Nematicur και Vydate.

Πίνακας 9.1: Χαρακτηριστικά καλλιεργούμενων εκτάσεων στο δημοτικό διαμέρισμα των Μαλίων. [5]

<i>Είδος καλλιέργειας</i>	<i>Έκταση (στρ.)</i>	<i>Αρδευόμενη έκταση (στρ.)</i>
<i>Αροτραίες (πατάτες)</i>	1365	1330
<i>Κηπευτικά</i>	255	180
<i>Δενδρώδεις</i>	3700	2800
<i>Αμπέλια</i>	70	30
<i>Αγροανάπαυση</i>	3110	-
<i>Σύνολο</i>	8500	4340

9.4 Υδατικές ανάγκες

Μία μέση κατανάλωση σε νερό κατ' άτομο θεωρούνται τα 200 λίτρα ημερησίως το Χειμώνα και τα 250 το Καλοκαίρι.

Σύμφωνα με τα στοιχεία της ΔΕΥΑ Μαλίων για την κάλυψη των αναγκών ύδρευσης απαιτούνται περίπου 1.200.000 m³. Ο όγκος νερού που απαιτείται για την κάλυψη των ετησίων αναγκών του Δήμου για ύδρευση και άρδευση, ανέρχεται στα 2.700.000 m³.

Από την περιοχή του Δήμου Μαλίων αντλούνται ετησίως 9,5 εκ. κυβ. μέτρα νερό, με κατανομή 40 % το Χειμώνα και 60 % το Καλοκαίρι. Υπό τις παρούσες συνθήκες εκμετάλλευσης, το δημοτικό διαμέρισμα των Μαλίων αντιμετωπίζει σοβαρό πρόβλημα κάλυψης των υδατικών του αναγκών, λόγω της ετήσιας άντλησης από τη ΔΕΥΑΗ και από το Δήμο Χερσονήσου από τους πόρους που χωρικά κατανέμονται σε αυτό [6].

9.5 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Η περιοχή μελέτης αποτελείται από ανθρακικά της Ζώνης της Τρίπολης και σημαντικές σε εξάπλωση εμφανίσεις του σχηματισμού της Φυλλιτικής – Χαλαζιτικής Σειράς στο νότιο δυτικό τομέα του Δήμου. Το τεκτονικό βύθισμα της βόρειας παραλιακής ζώνης έχει πληρωθεί με Τεταρτογενείς και αλλουβιακές αποθέσεις καθώς και ασβεστόλιθους του σχηματισμού της Αγίας Βαρβάρας, ενώ τα βυθίσματα του Μοχού και Κρασίου από αλλουβιακές αποθέσεις.

9.5.1 Υδρογεωλογική δομή της λεκάνης των Μαλίων

Οι υπόγειοι υδατικοί πόροι της περιοχής περιλαμβάνονται στην καρστικοποιημένη υδρογεωλογική λεκάνη των ανθρακικών της Ζώνης της Τρίπολης υποκείμενων Πλακωδών Ασβεστόλιθων (υδρογεωλογική λεκάνη Μαλίων) που εκτείνεται έως το Οροπέδιο Λασιθίου και εκφορτίζει κατά μήκος της παραλιακής ζώνης. Εκφορτίσεις ρηγμάτων στο μέτωπο αυτό ευθύνονται για τη δημιουργία πλήθους καρστικών υφάλμυρων πηγών που απαντώνται κατά μήκος της ακτής του Δήμου Μαλίων. Η υδροφορία αυτή υφίσταται εκμετάλλευση από 40 περίπου γεωτρήσεις και 150 περίπου πηγάδια. Το υδρογεωλογικά ενεργό βάθος της λεκάνης δεν είναι γνωστό.

9.6 ΥΔΡΑΥΛΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΟΥ

Η εκμετάλλευση του υπόγειου νερού της περιοχής των Μαλίων πραγματοποιείται με αντλήσεις από πηγάδια (περισσότερα από 500) που έχουν ανορυχθεί στην παραλιακή ζώνη (φρεάτιος υδροφορέας) και από 50 περίπου γεωτρήσεις που βρίσκονται στο βαθύτερο υδροφόρο των ασβεστόλιθων.

Η ροή του υπόγειου νερού έχει βορινή διεύθυνση καθώς ο εμπλουτισμός του υδροφόρου πραγματοποιείται κυρίως από την ορεινή περιοχή ανάντη του οικισμού των Μαλίων διαμέσου ασβεστολιθικών πετρωμάτων.

Η μέση βροχόπτωση τα τελευταία 28 χρόνια ήταν 815,3 mm/έτος (Σταθμός Αβδού) και η μέση ετήσια θερμοκρασία 16 °C. Η μέση ετήσια εξαμισοδιαπνοή υπολογίστηκε ότι αποτελεί το 51 % της ετήσιας βροχόπτωσης (0,415 m) και η συνολική επιφανειακή απορροή και βαθιά διήθηση το 49 % (0,399 m). Περίπου $14 \times 10^6 \text{ m}^3$ νερού διηθείται ετησίως στον υδροφόρο.

Ο χρόνος ανανέωσης του αποθεματικού νερού στον υδροφόρο των Μαλίων είναι 15 χρόνια περίπου. Το γεγονός της σύντομης χρονικά ανανέωσης του υδάτινου αποθέματος, οφείλεται στο χαμηλό πορώδες σε συνδυασμό με τη χαμηλή ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων και τον υψηλό ρυθμό εμπλουτισμού του υδροφόρου.

Κατά την ξηρή περίοδο του έτους, παρατηρείται πτώση της στάθμης αντλήσεων μέχρι και 20 μέτρα. Η μέγιστη ανύψωση της στάθμης παρατηρείται συνήθως τον Απρίλιο και η μέγιστη ταπείνωση το Νοέμβριο. Η μεγάλη αυξομείωση που παρατηρείται στις στάθμες των γεωτρήσεων οδηγεί στο συμπέρασμα ότι το ποσοστό κατείσδυσης του βρόχινου νερού στους ασβεστόλιθους είναι μεγάλο και ότι η δυναμικότητα του υπόγειου νερού στους ασβεστόλιθους είναι μεγάλο και η δυναμικότητα του υπόγειου υδροφορέα εξαρτάται άμεσα από το ετήσιο ύψος βροχόπτωσης.

10. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

10.1 Δειγματοληψίες

Στα πλαίσια της μελέτης πραγματοποιήθηκαν δειγματοληψίες, κατά τις οποίες συλλέχθηκαν δείγματα υπόγειου νερού από την υδρογεωλογική λεκάνη των Μαλιών. Οι θέσεις δειγματοληψίας ήταν γεωτρήσεις βάθους έως 200 m.

Η επιλογή των θέσεων δειγματοληψίας έγινε με βάση τα στοιχεία που είχαμε στην διάθεσή μας μέχρι σήμερα. Η τελική επιλογή έγινε με τρόπο που να καλύπτει γεωτρήσεις στις οποίες εμφανίστηκε το φαινόμενο της υπαλμύρισης παλαιότερα, αλλά και γεωτρήσεις οι οποίες έχουν την τάση να εμφανίσουν το φαινόμενο αυτό στο μέλλον, αλλά πολύ σύντομα.

Δειγματοληψίες πραγματοποιήθηκαν από τον Ιούλιο του 2003 έως τον Απρίλιο του 2004, περίπου μία για κάθε μήνα. Μετρήσεις pH, Αγωγιμότητας, Σκληρότητας, Χλωριόντων, Νιτρικών, Αμμωνιακών, Φωσφορικών αλλά και Ολικών και Κοπρανωδών Κολοβακτηρίων πραγματοποιήθηκαν για όλες τις θέσεις δειγματοληψίας που επιλέχθηκαν.

Ο στόχος ήταν η μελέτη του φαινομένου υπαλμύρισης στην περιοχή των Μαλιών, με τη διερεύνηση συγκεκριμένων ποιοτικών χαρακτηριστικών του υπόγειου νερού της περιοχής αυτής και του ρυθμού μεταβολής τους στο χώρο και το χρόνο.

Τα σημεία δειγματοληψίας μας ήταν 5 γεωτρήσεις με τα εξής χαρακτηριστικά:

Σημείο 1. ΓΕΩΤΡΗΣΗ 2, Περιοχή: Μάλια – Καφούρο, Υψόμετρο: 90,71 m, Λιθολογία: Ανθρακικά Τρίπολης, Παροχή: 100 m³ /h, Βάθος: 112 m

Σημείο 2. ΓΕΩΤΡΗΣΗ 3, Περιοχή: Μάλια – Μπουρκωτό, Υψόμετρο: 107,5 m, Λιθολογία: Ανθρακικά Τρίπολης, Παροχή: 60 m³ /h, Βάθος: 114 m

Σημείο 3. ΓΕΩΤΡΗΣΗ 8, Περιοχή: Σταλίδα – Κάβα Καπετανάκη, Υψόμετρο: 93,87 m, Λιθολογία: Ανθρακικά Τρίπολης, Παροχή: 12 m³ /h, Βάθος: 200 m

Σημείο 4. ΓΕΩΤΡΗΣΗ 10, Περιοχή: Σταλίδα – Αλωνάκι, Γέφυρα, Υψόμετρο: 136,9 m, Λιθολογία: Ανθρακικά Τρίπολης, Παροχή: 22 m³ /h, Βάθος: 90 m

Σημείο 5. ΓΕΩΤΡΗΣΗ 13, Περιοχή: Σταλίδα – Αλωνάκι, Υψόμετρο: 147,4 m, Λιθολογία: Ανθρακικά Τρίπολης, Παροχή: 13 m³ /h, Βάθος: 200 m

Για την παραπάνω μελέτη χρειάστηκε να μετρήσουμε τις εξής παραμέτρους: pH (Συγκέντρωση ιόντων υδρογόνου), ηλεκτρική αγωγιμότητα, ιόντα χλωρίου, σκληρότητα, νιτρικά ιόντα, αμμωνιακά ιόντα, φωσφορικά ιόντα, ολικά κολοβακτήρια (Total Coliform) και κοπρανώδη κολοβακτήρια (Faecal Coliform).

Με την βοήθεια των τεσσάρων πρώτων παραμέτρων (pH, αγωγιμότητα, χλωριόντα, σκληρότητα), μελετήθηκε η υπαλμύριση, με την βοήθεια των τριών παραμέτρων που ακολουθούν (νιτρικά, αμμωνιακά, φωσφορικά), μελετήθηκε περαιτέρω η ποιότητα του νερού όσον αφορά τις φυσικοχημικές παραμέτρους και τέλος, τα ολικά και κοπρικά κολοβακτηρίδια, βοήθησαν στο να εντοπιστεί τυχόν μικροβιακή μόλυνση του υδροφορέα της περιοχής.

10.2 Συλλογή και συντήρηση δειγμάτων

Τα δείγματα νερού φυλάσσονταν, χωρίς κενό αέρα, σε πλαστική (πολυαιθυλένιο) φιάλη χωρητικότητας 1000 ml, η οποία συντηρούνταν σε φορητό ψυγείο μέχρι τη μεταφορά τους στο Εργαστήριο. Η διαφορά μεταξύ ώρας δειγματοληψίας και ώρας έναρξης της ανάλυσης ήταν περίπου 3-4 ώρες καθώς τα δείγματα μεταφέρονταν από τα Μάλια στο Εργαστήριο Ελέγχου Ποιότητας Υδατικών & Εδαφικών Πόρων του Τμήματος Φυσικών Πόρων & Περιβάλλοντος του Παραρτήματος Χανίων του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Κρήτης.

Τα δείγματα νερού, χρησιμοποιούνταν για μέτρηση pH και αγωγιμότητας (EC), για τον ποσοτικό προσδιορισμό ανιόντων και κατιόντων, καθώς και για τον εντοπισμό ολικών και κοπρανωδών κολοβακτηρίων. Όλες οι παράμετροι

μετρούνταν αμέσως μετά τη συλλογή και μεταφορά των δειγμάτων στο εργαστήριο.

10.3 Μεθοδολογίες

Κατά τη διάρκεια του πειράματος χρησιμοποιήθηκαν κατάλληλες αναλυτικές τεχνικές για τον ποσοτικό προσδιορισμό των φυσικοχημικών παραμέτρων που μελετώνται.

10.3.1 pH (Συγκέντρωση ιόντων υδρογόνου)

Το pH αποτελεί μέτρο της συγκέντρωσης των ιόντων υδρογόνου σ' ένα διάλυμα. Καθώς το pH μικραίνει αυξάνεται η οξύτητα του διαλύματος. Το pH πρέπει να μετρείται άμεσα μετά τη δειγματοληψία γιατί υπάρχει η τάση να διαμορφωθεί στο 7, λόγω διαλυτοποίησης διοξειδίου του άνθρακα της ατμόσφαιρας.

Το pH μετράται είτε με χρωματομετρική μέθοδο, είτε με ηλεκτρομετρική μέθοδο. Στην παρούσα εργασία η μέτρηση του pH έγινε ηλεκτρομετρικά. Το πεχάμετρο μετράει ηλεκτρικό δυναμικό (mV) που οφείλεται στη κινητικότητα των ιόντων υδρογόνου στο διάλυμα και αντιστοιχίζεται σε συγκέντρωση ιόντων υδρογόνου. Ένα πεχάμετρο αποτελείται από ένα ηλεκτρόδιο υάλου που μετράει το ηλεκτρικό δυναμικό καθώς βυθίζεται στο υδατικό διάλυμα, ως διαφορά δυναμικού με ένα ηλεκτρόδιο αναφοράς που έχει σταθερό ηλεκτρικό δυναμικό. Ειδική διάταξη αντισταθμίζει τη μέτρηση ανάλογα με τη θερμοκρασία του δείγματος. Η διαφορά δυναμικού μεταξύ των δύο ηλεκτροδίων είναι γραμμική συνάρτηση του pH του διαλύματος.

Πριν από κάθε χρήση ελέγχεται η ορθότητα της μέτρησης του οργάνου, μέσω ρυθμιστικών διαλυμάτων γνωστού pH, συνήθως 4 και 7, ανάλογα με το που κυμαίνεται το pH των δειγμάτων.

Οι συσκευές που χρησιμοποιήθηκαν για τη μέτρηση του pH είναι pHmeter CONSORT (multi-parameter analyzer, C532) και HACH (sension TM156).

10.3.2 Ηλεκτρική Αγωγιμότητα

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα αποτελεί ποσοτικό μέτρο της ικανότητας ενός διαλύματος να άγει το ηλεκτρικό ρεύμα. Η τιμή της αγωγιμότητας εξαρτάται:

- από τη συνολική συγκέντρωση των ιόντων στο διάλυμα
- από το είδος των ιόντων (όσο πιο μικρό είναι το μέγεθος των ιόντων, τόσο πιο ευκίνητα είναι και τόσο πιο μεγάλη αύξηση προκαλούν στην ηλεκτρική αγωγιμότητα)
- από τη θερμοκρασία του διαλύματος.

Η αγωγιμότητα των ηλεκτρολυτών αυξάνει με τη θερμοκρασία, από 1 έως 3% ανά βαθμό Κελσίου. Για να είναι συγκρίσιμα τα αποτελέσματα και λόγω του ότι οι θερμοκρασίες των δειγμάτων ενδέχεται να είναι διαφορετικές, απαραίτητη είναι η αναγωγή των μετρήσεων στην ίδια θερμοκρασία, που συνήθως είναι αυτή των 25 °C. Η αναγωγή γίνεται αυτόματα, μέσω ενσωματωμένου στη συσκευή θερμομέτρου.

Η μονάδα μέτρησης της αγωγιμότητας είναι το 1 mmhos/cm ή mS/cm. Πρακτικά, συνήθως η αγωγιμότητα μετράται σε μmhos/cm (1 mS/cm = 10 μmhos/cm).

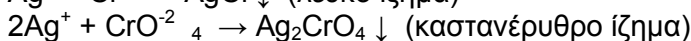
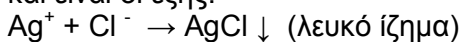
Ανά τακτά διαστήματα ελέγχεται η καλή λειτουργία του οργάνου, με τη μέτρηση της αγωγιμότητας σειράς προτύπων διαλυμάτων KCl.

Η μέτρηση της ειδικής αγωγιμότητας του νερού γίνεται με τη βοήθεια της γέφυρας Wheastone. Στη γέφυρα αυτή εξισορροπείται η αγωγιμότητα του αγνώστου δείγματος, με την αγωγιμότητα γνωστών διαλυμάτων. Για τη μέτρηση της αγωγιμότητας χρησιμοποιήθηκαν τα ηλεκτρικά αγωγιμόμετρα / πεχάμετρα CONSORT (multi-parameter analyzer, C532) και HACH (sension TM156). Οι συσκευές αυτές είναι ίδιες με αυτές που χρησιμοποιήθηκαν στη μέτρηση του pH με διαφορετικά ηλεκτρόδια.

10.3.3 Χλωριόντα

Αρχή της μεθόδου: Για τη μέτρηση των ιόντων χλωρίου χρησιμοποιήθηκε η αναλυτική μέθοδος νιτρικού αργύρου (μέθοδος Mohr). Σύμφωνα με την μέθοδο, το δείγμα ογκομετρείται με διάλυμα νιτρικού αργύρου και με δείκτη τελικού σημείου διάλυμα χρωμικού καλίου.

Οι αντιδράσεις λαμβάνουν χώρα σε ελαφρά αλκαλικό περιβάλλον (pH 8,3) και είναι οι εξής:



Όπως φαίνεται από τις αντιδράσεις, τα χλωριόντα δεσμεύονται από το νιτρικό άργυρο (AgNO_3) σε μορφή ιζήματος χλωριούχου αργύρου (AgCl) παρουσία δείκτη χρωμικού καλίου. Αρχικά καταβυθίζεται ο AgCl και μετά ο χρωμικός άργυρος (Ag_2CrO_4) με μία ελάχιστη περίσσεια διαλύματος AgNO_3 . Με την εμφάνιση καστανέρυθρου χρώματος έχει ολοκληρωθεί ποσοτικά η καταβύθιση του AgCl .

Απαιτούμενος εξοπλισμός: Για την εκτέλεση της μεθόδου χρησιμοποιήθηκαν σιφώνια των 10 ml και 1ml, κωνικές φιάλες των 250 ml και προχοϊδα των 25 ml.

Αντιδραστήρια: Τα αντιδραστήρια που χρησιμοποιήθηκαν παρασκευάστηκαν και είναι τα εξής:

Νερό απαλλαγμένο ιόντων χλωρίου, απιονισμένο με χρήση στήλης (IONIL).

Πρότυπο διάλυμα νιτρικού αργύρου 0,01 N. Διαλύονται 1,659 gr AgNO_3 σε 500 ml αποσταγμένο νερό, μεταφέρονται ποσοτικά σε ογκομετρική φιάλη του λίτρου και αραιώνονται μέχρι της χαραγής. Το διάλυμα διατηρείται σε σκουρόχρωμη γυάλινη φιάλη με εσφυρισμένο πώμα, σε θερμοκρασία δωματίου.

Δείκτης χρωμικού καλίου 2 %. Διαλύονται 2,000 gr K_2CrO_4 σε 50 ml απεσταγμένο νερό, μεταφέρονται ποσοτικά σε ογκομετρική φιάλη των 100 ml και αραιώνονται μέχρι της χαραγής. Το διάλυμα αφήνεται σε ηρεμία, προστατευόμενο από το φως.

Διαδικασία μέτρησης: Με χρήση του σιφωνίου των 10 ml, μεταφέρονται σε κωνικές φιάλες των 250 ml, 25 ml απιονισμένου νερού + 25 ml δείγματος + 1 ml K_2CrO_4 (διχρωμικό κάλιο). Για καλύτερα αποτελέσματα, χρησιμοποιούμε 3 κωνικές των 250 ml για κάθε δείγμα δηλ. κάνουμε 3 φορές την ογκομέτρηση με AgNO_3 για κάθε ένα δείγμα και παίρνουμε τον μέσο όρο των ml του νιτρικού αργύρου που καταναλώθηκε κάθε φορά μέχρι να παρατηρηθεί αλλαγή του χρώματος από κίτρινο σε καστανέρυθρο. Αυτό το μέσο όρο των ml του νιτρικού αργύρου χρησιμοποιούμε στον τύπο για να βγάλουμε αποτέλεσμα.

Για να πάρουμε την ποσότητα των χλωριόντων που περιέχονται σε κάθε δείγμα σε mg/lit, χρησιμοποιούμε τον παρακάτω τύπο:

$$\text{mg/lit (Cl}^-) = [(A - B) * N * 35.450] / C$$

όπου:

A= ο μέσος όρος των ml του νιτρικού αργύρου κατά την ογκομέτρηση κάθε δείγματος

B= ο όγκος του νιτρικού αργύρου που καταναλώθηκε κατά την ογκομέτρηση του τυφλού διαλύματος (μάρτυρας)

N= η κανονικότητα του διαλύματος AgNO_3 (εδώ N= 0,01)

C= ο όγκος του δείγματος σε ml (εδώ 25 ml)

10.3.4 Σκληρότητα (Ογκομέτρηση με EDTA)

Αρχή Μεθόδου: Ο προσδιορισμός της σκληρότητας βασίζεται στην από κοινού δέσμευση των ιόντων ασβεστίου και μαγνησίου από το EDTA (δινάτριο άλας του αιθυλενο-διαμινο-τετραοξικού οξέος) σε αλκαλικό περιβάλλον (pH: 10 ± 0,1), παρουσία δείκτη Eriochrome Black T.

Εργαστηριακός εξοπλισμός – Αντιδραστήρια: Προχοϊδα των 25 ή 30 ml, βαθμονομημένη ανά 0,05 ml, ή ισοδύναμο όργανο, Ρυθμιστικό διάλυμα, Δείκτης

Eriochrome Black T, Δείκτης ερυθρό του μεθυλίου, Πρότυπο διάλυμα ασβεστίου 0,01 mole/lit, Διάλυμα EDTA 0,01 N.

Υπολογισμός:

Σκληρότητα (EDTA) σε mg/lit CaCO₃ : $A \cdot B \cdot 1000 / \text{ml δείγματος}$
όπου:

A= ml του διαλύματος EDTA που χρησιμοποιήθηκαν

B=mg του CaCO₃ που περιέχονται σε 1,00 ml διαλύματος EDTA

- Για το A: 50 ml δείγματος , 1 ml NH₃ 25 % , 1 ταμπλέτα , ογκομέτρηση με EDTA 0,01 N
- Για το B:

Πρότυπο Διάλυμα:

→ Ζυγίζουμε 0.250 gr CaCO₃ το οποίο ξεραίνεται στο φούρνο για απορρόφηση της υγρασίας, για 1 ώρα στους 105 °C. Σε μια ογκομετρική φιάλη των 250 ml βάζουμε 30 – 40 ml απιονισμένο νερό και 3 ml HCl 2M. Συμπληρώνουμε την κωνική με απιονισμένο νερό.

→ Παίρνουμε 25 ml από το πρότυπο διάλυμα + 25 ml απιονισμένο νερό + 1 ml NH₃ 25 % + 1 ταμπλέτα και στη συνέχεια γίνεται ογκομέτρηση με EDTA 0,01 N. Αυτό που θα βρω είναι το B. Το χρώμα γίνεται από οινέρυθρο σε καθαρό κυανό (πράσινο).

→ Με τον ίδιο τρόπο ογκομετρούνται 2 ακόμα δείγματα και υπολογίζεται ο τύπος του διαλύματος EDTA, δηλ το βάρος του ανθρακικού ασβεστίου, εκφρασμένο σε mg, το οποίο ισοδυναμεί με 1 ml διαλύματος EDTA. Αν V ml είναι ο όγκος του διαλύματος EDTA που καταναλώθηκε, ο τίτλος του διαλύματος EDTA υπολογίζεται από τη σχέση:

$$B \text{ (mg CaCO}_3 \text{ / ml EDTA)} = [\text{mg CaCO}_3 \cdot (25/250)] / V(\text{ml}) \text{ EDTA}$$

Λαμβάνεται ο μέσος όρος των τριών τιμών.

Εκτέλεση προσδιορισμού: Το άγνωστο διάλυμα αραιώνεται με νερό σε ογκομετρική φιάλη των 250 ml ακριβώς μέχρι τη χαραγή. Σε κωνική φιάλη 250 ml φέρονται με σιφώνιο 50 ml από το παραπάνω διάλυμα , 4 ml ρυθμιστικού διαλύματος, 4 σταγόνες δείκτη EBT και το διάλυμα ογκομετρείται με το πρότυπο διάλυμα EDTA, όπως προηγουμένως με την τιτλοδότηση. Με τον ίδιο τρόπο ογκομετρούνται 2 ακόμη δείγματα. Αν V' ml είναι ο όγκος του που καταναλώθηκε (μέσος όρος των τριών τιμών), η σκληρότητα του άγνωστου διαλύματος σε γαλλικούς βαθμούς υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\text{Γαλλικοί βαθμοί (F}^\circ \text{)} = V' \text{ (ml) EDTA} \cdot B \text{ (mg CaCO}_3 \text{ / ml EDTA)} \cdot 2$$

Η μετατροπή των Γερμανικών βαθμών σε άλλες μονάδες σκληρότητας γίνεται με βάση τις παρακάτω σχέσεις :

- 1 Γερμανικός βαθμός = 17.8 CaCO₃ (mg/lit)
- 1 Γερμανικός βαθμός = 1.78 Γαλλικοί βαθμοί
- 1 Γερμανικός βαθμός = 0.18 αλκαλικά ιόντα (mmole/lit)
- 1 Γερμανικός βαθμός = 0.357 αλκαλικά ιόντα (meq/lit)

10.3.5 Νιτρικά

Στην παρούσα εργασία για την μέτρηση των νιτρικών ιόντων χρησιμοποιήθηκε ημιποσοτική φωτομετρική μέθοδος με kit της εταιρίας Merck Γερμανίας. Χρησιμοποιήθηκε το Nitrate Reagent Test MERCK 09713, με εύρος ανάλυσης 0,5 – 25,0 mg/lit NO₃ -N. Τα νιτρικά ιόντα σύμφωνα με τη μεθοδολογία αυτή εκφράζονται ως νιτρικό άζωτο (NO₃ -N).

Αρχή της μεθόδου: Σ' ένα διάλυμα που έχει οξεινωθεί με θειικό και φωσφορικό οξύ, το νιτρικό άλας αντιδρά με 2,6-διμεθυλοφαινόλη για να

σχηματίσει 4-νιτρο-2,6-διμεθυλοφαινόλη πορτοκαλί χρώματος, η οποία προσδιορίζεται φωτομετρικά.

Nitrate Reagent Test MERCK 09713

Κατά τη διαδικασία μέτρησης χρησιμοποιώντας μία από τις δύο βαθμονομημένες σύριγγες που περιέχονται στο πακέτο, τοποθετούνται 4,0 ml του αντιδραστήριου NO_3^-1 , σε ένα δοκιμαστικό σωλήνα. Προστίθεται με τη βοήθεια ρυθμιζόμενου σιφωνίου ακριβείας 0,5 ml δείγματος στο δοκιμαστικό σωλήνα χωρίς να ακολουθήσει ανάδευση. Προστίθενται 0,5 ml του αντιδραστήριου NO_3^-2 , χρησιμοποιώντας σιφώνιο. Το φιαλίδιο ζεσταίνεται καθώς η αντίδραση είναι εξώθερμη. Ακολουθεί ανάδευση σε αναδευτήρα (Minishaker MS2, IKA WORKS). Ο δοκιμαστικός σωλήνας διατηρείται σε ηρεμία για 10 min. Έπειτα το περιεχόμενό του μεταφέρεται με προσοχή δε ορθογώνια κυψελίδα των 10 mm για να μετρηθεί στο φωτόμετρο. Χρησιμοποιείται γυάλινη κυψελίδα λόγω της τοξικότητας των αντιδραστηρίων που χρησιμοποιήθηκαν.

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. Η κυψελίδα τοποθετείται στον υποδοχέα των ορθογώνιων κυψελίδων του φωτόμετρου. Κατόπιν εμφανίζεται η ένδειξη 'measuring' (μέτρηση) και το αποτέλεσμα εμφανίζεται στην οθόνη.

Η ανάλυση πρέπει να γίνεται αμέσως μετά την δειγματοληψία. Θολά δείγματα θα πρέπει να φιλτράρονται, διότι δίνουν θετικά σφάλματα. Δείγματα που περιέχουν $\text{Cl}^- > 1000 \text{ mg/l}$ πρέπει να αραιώνονται με απιονισμένο νερό. Το μήκος κύματος του φωτόμετρου για τα νιτρικά ιόντα είναι 3,38 nm.

10.3.6 Αμμωνιακά

Στην παρούσα εργασία για την μέτρηση των αμμωνιακών ιόντων χρησιμοποιήθηκε ημιποσοτική φωτομετρική μέθοδος με kit της εταιρίας Merck Γερμανίας. Χρησιμοποιήθηκε το Ammonium Reagent Test MERCK 14752, με εύρος ανάλυσης 0,05 – 3,00 mg/l $\text{NH}_4^- \text{N}$. Τα αμμωνιακά ιόντα σύμφωνα με τη μεθοδολογία αυτή εκφράζονται ως αμμωνιακό άζωτο ($\text{NH}_4^- \text{N}$).

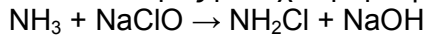
Αρχή της μεθόδου: Το αμμωνιακό άζωτο υφίσταται μερικώς με τη μορφή αμμωνιακών ιόντων και μερικώς με τη μορφή αμμωνίας. Μεταξύ των δύο αυτών μορφών υπάρχει μία δυναμική ισορροπία, εξαρτημένη από το pH. Σε ισχυρά αλκαλικά διαλύματα το $\text{NH}_4^- \text{N}$ βρίσκεται ως επί το πλείστον με τη μορφή αμμωνίας, η οποία αντιδρά με τα υποχλωριώδη ιόντα σχηματίζοντας μονοχλωραμίνες. Οι μονοχλωραμίνες παρουσία φαινόλης σχηματίζουν την μπλε ινδοφαινόλη, η συγκέντρωση της οποίας προσδιορίζεται φωτομετρικά.

Μετά από ρύθμιση του pH σε 13 (με το αντιδραστήριο $\text{NH}_4^- 1\text{B}$) η αμμωνία αντιδρά με υποχλωριώδες άλας (αντιδραστήριο $\text{NH}_4^- 2\text{B}$) σχηματίζοντας μονοχλωραμίνη, η οποία με τη σειρά της σχηματίζει μία χρωστική ουσία, την μπλε ινδοφαινόλη, σε μία αντίδραση δύο σταδίων, παρουσία καταλύτη, με θυμόλη (αντιδραστήριο $\text{NH}_4^- 3\text{B}$).

Χαρακτηριστικό σημείο της μεθόδου σχηματισμού της μπλε ινδοφαινόλης είναι η χρήση ενός ισχυρά αλκαλικού μέσου σε σχετικά υψηλό pH, το οποίο θα πρέπει να είναι $13 \pm 0,1\%$.

Μετά την προσθήκη του αντιδραστήριου $\text{NH}_4^- 1\text{B}$ συνίσταται να ελέγχεται το pH σε περίπτωση όξινου δείγματος. Μετά την προσθήκη του αντιδραστήριου $\text{NH}_4^- 2\text{B}$, ένα αντιδραστήριο χλωρίωσης ρυθμισμένης δραστηριότητας, το

αμμώνιο που σε αυτό το pH υφίσταται αποκλειστικά σαν αμμωνία, αντιδρά ποσοτικά προς μονοχλωραμίνη σε διάστημα 5 λεπτών:



Το ισχυρά αλκαλικό μέσο που χρησιμοποιείται παρεμποδίζει το σχηματισμό διχλωραμίνης και τριχλωραμίνης. Το δείγμα δε θα πρέπει να περιέχει ουσίες που καταναλώνουν ή απελευθερώνουν χλώριο, εφόσον μία ασήμαντη ποσότητα υποχλωριώδων προϊόντων μπορεί να προκαλέσει μία μη ποσοτική αντίδραση, ενώ μία περίσσεια θα μπορούσε να οδηγήσει στον απευθείας σχηματισμό αζώτου.

Το επόμενο στάδιο είναι η αντίδραση της μονοχλωραμίνης με τα συστατικά του αντιδραστήριου $\text{NH}_4 -3\text{B}$, νιτροπρωσικό νάτριο (καταλύτης) και θυμόλη (2-ισοπροπυλο-5-μεθυλοφαινόλη) σε N-χλωρο-2-ισοπροπυλο-5-μεθυλοκινόνη μονομερή αμίνη.

Στο τελικό στάδιο της αντίδρασης, η κινόνη μονομερής αμίνη αντιδρά με ένα μεγαλύτερο μόριο θυμόλης για να σχηματίσει την αντίστοιχη χρωστική ουσία της ινδοφαινόλης, η οποία σε ένα αλκαλικό μέσο έχει μπλε χρώμα.

Ammonium Reagent Test MERCK 14752

Κατά τη διαδικασία μέτρησης με το Ammonium Reagent Test MERCK 14752, με χρήση σιφωνίου μεταφέρονται 5,0 ml του εξεταζόμενου δείγματος σε δοκιμαστικό σωλήνα. Προστίθενται με τη βοήθεια ρυθμιζόμενου σιφωνίου ακριβείας 0,6 ml του αντιδραστήριου $\text{NH}_4 -1\text{B}$ και ο δοκιμαστικός σωλήνας αναδεύεται σε αναδευτήρα (Minishaker MS2, IKA WORKS). Προστίθεται μία δόση του αντιδραστήριου $\text{NH}_4 -2\text{B}$ και ακολουθεί ανάδευση για να διαλυθεί το στερεό αντιδραστήριο. Ο σωλήνας αφήνεται σε ηρεμία για 5 min. Κατόπιν προστίθενται 4 δόσεις (σταγόνες) του αντιδραστήριου $\text{NH}_4 -3\text{B}$ και ακολουθεί ανάδευση. Ο σωλήνας διατηρείται σε ηρεμία για ακόμη 5 min.

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 πλαστική κυψελίδα πάχους 10 mm, η οποία τοποθετείται στον υποδοχέα των ορθογώνιων κυψελίδων του φωτόμετρου. Κατόπιν εμφανίζεται η ένδειξη 'measuring' (μέτρηση) και το αποτέλεσμα εμφανίζεται στην οθόνη.

Η ανάλυση πρέπει να γίνεται αμέσως μετά την δειγματοληψία. Επίσης θολά δείγματα θα πρέπει να φιλτράρονται, διότι διαφορετικά δίνουν θετικά σφάλματα. Για τις φωτομετρικές μετρήσεις οι κυψελίδες που χρησιμοποιούνται πρέπει να είναι καθαρές. Το μήκος κύματος του φωτόμετρου για τα αμμωνιακά ιόντα είναι 690 nm.

10.3.7 Φωσφορικά

Στην παρούσα εργασία για την μέτρηση των ορθοφωσφορικών ιόντων χρησιμοποιήθηκε ημιποσοτική φωτομετρική μέθοδος με kit της εταιρίας Merck Γερμανίας. Χρησιμοποιήθηκε το Phosphate Reagent Test MERCK 14848, με εύρος ανάλυσης 0,05 – 5,00 mg/lit $\text{PO}_4 -\text{P}$.

Αρχή της μεθόδου: Σ' ένα διάλυμα που έχει οξιμιστεί με θειικό οξύ, τα ορθοφωσφορικά ιόντα αντιδρούν με μολυβδαινικά ιόντα και σχηματίζουν μολυβδοφωσφορικό οξύ. Το ασκορβικό οξύ το ανάγει σε φωσφορο-

μολυβδαινικό σύμπλοκο του αντιμονίου μπλε χρώματος (PMB), το οποίο προσδιορίζεται φωτομετρικά.

Phosphate Reagent Test MERCK 14848.

Κατά τη διαδικασία μέτρησης, προστίθενται 5 σταγόνες του αντιδραστήριου P-1A σε ένα δοκιμαστικό σωλήνα και ακολουθεί ανάδευση σε αναδευτήρα (Minishaker MS2, IKA WORKS). Κατόπιν προστίθεται 1 δόση του αντιδραστήριου P-2A με το μπλε μικρό κουταλάκι. Ακολουθεί έντονη ανάδευση έως ότου διαλυθεί το ίζημα. Ο σωλήνας διατηρείται σε ηρεμία για 5 min.

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 πλαστική κυψελίδα πάχους 10 mm, η οποία τοποθετείται στον υποδοχέα των ορθογώνιων κυψελίδων του φωτόμετρου. Κατόπιν εμφανίζεται η ένδειξη 'measuring'(μέτρηση) και το αποτέλεσμα εμφανίζεται στην οθόνη.

Η ανάλυση πρέπει να γίνεται αμέσως μετά την δειγματοληψία. Θολά δείγματα θα πρέπει να φιλτράρονται, διότι δίνουν θετικά σφάλματα. Δείγματα που περιέχουν $Cl^- > 1000$ mg/lit πρέπει να αραιώνονται με απιονισμένο νερό.

Για τη διασφάλιση της ποιότητας του test μπορεί να χρησιμοποιηθεί πρότυπο διάλυμα με 0,80 mg/lit $PO_4 -P$ (Spectroquant Combichack 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. Το μήκος κύματος του φωτόμετρου για τα φωσφορικά ιόντα είναι 710 nm.

10.3.8 Ολικά κολοβακτήρια (Total Coli.)

Αρχή της μεθόδου: Μετά από διήθηση του δείγματος υπό κενό, το φίλτρο που χρησιμοποιήθηκε στη διήθηση εμποτίζεται σε θρεπτικό υλικό τύπου Endo και επώαζεται σε θάλαμο επώασης ρυθμισμένης θερμοκρασίας για 22 – 24 hours.

Απαιτούμενος εξοπλισμός και διαλύματα: Κατά την διαδικασία μέτρησης των ολικών κολοβακτηριδίων χρησιμοποιήθηκαν αντλία κενού (Buchi Vac® V-500), αποστειρωμένα φίλτρα 47 mm – 0,45 μm (Pall GN-6 mertical® Grid), μαγνητική χοάνη διήθησης 300 ml (Pall), μεταλλική λαβίδα με στρογγυλεμένα άκρα, πιπέτες ρυθμιζόμενου όγκου 1-10 ml, ογκομετρικοί κύλινδροι, θάλαμος επώασης (Heraeus kentro UB6) ρυθμισμένος σε θερμοκρασία 35 °C.

Χρησιμοποιήθηκαν αποστειρωμένα τρυβλία Petri 50 mm με αποστειρωμένες απορροφητικές βάσεις διαμέτρου 47 mm, αποστειρωμένες αμπούλες θρεπτικού υλικού MF-Endo Broth (Gelman Laboratory PN 68105), αποστειρωμένα φίλτρα διαμέτρου πόρων 0,45 μm και αιθανόλη.

Περιγραφή διαδικασίας ανάλυσης – μέτρησης

Δειγματοληψία: Η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε σε αποστειρωμένες φιάλες όγκου 500 ml τυλιγμένες με αλουμινόχαρτο.

Αραίωση δειγμάτων: Για τον προσδιορισμό των ολικών κολοβακτηριδίων γίνεται αραίωση 1:2 (10 ml δείγματος + 10 ml απιονισμένο νερό).

Προετοιμασία τρυβλίων με θρεπτικό υλικό: Σε κάθε αποστειρωμένο τρυβλίο διαμέτρου 50 mm τοποθετείται μία ειδική απορροφητική βάση και μία αμπούλα με 2 ml έτοιμο αποστειρωμένο θρεπτικό υλικό.

Διήθηση: Η χοάνη προσαρμόζεται στη συσκευή διήθησης. Η λαβίδα για την αποστείρωσή της εμβαπτίζεται σε αιθανόλη, περνιέται πάνω από φλόγα και περιμένουμε να σβήσει. Με τη λαβίδα λαμβάνεται ένα αποστειρωμένο φίλτρο (Pall GN-6 mertical® Grid) και τοποθετείται πάνω στην βάση της αποστειρωμένης μαγνητικής χοάνης (Pall) της συσκευής διήθησης.

Ανοίγεται η αντλία κενού (Buchi Vac® V-500) και διηθείται πρώτα ένα δείγμα απιονισμένου νερού (30 ml), το οποίο θα χρησιμοποιηθεί για την αραίωση του δείγματος.

Όταν έχει περάσει όλο το δείγμα του απιονισμένου νερού από το φίλτρο (πριν στεγνώσει εντελώς το φίλτρο) διακόπτεται η διήθηση και τοποθετείται το φίλτρο πάνω σε ένα τρυβλίο με θρεπτικό υλικό MF-Endo Broth (Gelman Laboratory PN 68105).

Το φίλτρο αυτό χρησιμοποιείται σα μάρτυρας για τον έλεγχο του απιονισμένου νερού.

Ακολουθείται η ίδια διαδικασία και για το δείγμα. Στα ολικά κολοβακτηρίδια διηθούνται 20 ml δείγματος στο οποίο έχει γίνει αραίωση 1:1 (10 ml δείγματος και 10 ml απιονισμένο νερό).

Το φίλτρο κάθε δείγματος ξεπλένεται με 20-30 ml απιονισμένου νερού πριν το τοποθετήσουμε στο αντίστοιχο τρυβλίο.

Επώαση: Τα τρυβλία των ολικών κολοβακτηριδίων τοποθετούνται σε θάλαμο επώασης (Heraeus kentro UB6) στους 35 °C για 22-24 ώρες.

Καταμέτρηση αποικιών: Τα ολικά κολοβακτηρίδια δημιουργούν αποικίες που έχουν ένα βαθύ κόκκινο χρώμα με μεταλλική γυαλάδα. Στα τρυβλία των ολικών κολοβακτηριδίων παρατηρούνται επίσης αποικίες απροσδιορίστου μορφής, με βαθύ κόκκινο χρώμα χωρίς μεταλλική γυαλάδα, που θεωρούνται πιθανώς εντεροβακτήρια. Ο ιδανικός αριθμός αποικιών ανά φίλτρο είναι μεταξύ 20 και 80.

Αν ο αριθμός των αποικιών ανά τρυβλίο είναι υψηλότερος και οι αποικίες αλληλοκαλύπτονται, η ανάλυση πρέπει να επαναληφθεί χρησιμοποιώντας υψηλότερες αραιώσεις.

Υπολογισμός: Το αποτέλεσμα εκφράζεται σε αποικίες / 100 ml και δίνεται από τον τύπο:

$$\text{αριθμός αποικιών /100 ml} = [\text{αριθμός αποικιών στο τρυβλίο} * \text{συντελεστή αραίωσης} * 100] / \text{όγκο διηθ. δ/τος}$$

Εδώ ο όγκος του δείγματος που χρησιμοποιήσαμε είναι 20 ml και ο συντελεστής αραίωσης είναι 2.

Σημείωση : Δεν ξεχνάμε κάθε φορά να αφαιρούμε τις αποικίες του μάρτυρα, αν υπάρχουν, (συνήθως είναι μηδέν), από τις αποικίες του κάθε δείγματος.

10.3.9 Κοπρανώδη κολοβακτήρια (Faecal Coli.)

Αρχή της μεθόδου: Μετά από διήθηση του δείγματος υπό κενό, το φίλτρο που χρησιμοποιήθηκε στη διήθηση εμποτίζεται σε θρεπτικό υλικό τύπου Endo και επωάζεται σε θάλαμο επώασης ρυθμισμένης θερμοκρασίας για 22 – 24 hours.

Απαιτούμενος εξοπλισμός και διαλύματα: Κατά την διαδικασία μέτρησης των κοπρανωδών κολοβακτηριδίων χρησιμοποιήθηκαν αντλία κενού (Buchi Vac® V-500), αποστειρωμένα φίλτρα 47 mm – 0,45 μm (Pall GN-6 mertical® Grid), μαγνητική χοάνη διήθησης 300 ml (Pall), μεταλλική λαβίδα με στρογγυλεμένα άκρα, πιπέτες ρυθμιζόμενου όγκου 1-10 ml, ογκομετρικοί κύλινδροι, θάλαμος επώασης (G® –Cell 075) ρυθμισμένος σε θερμοκρασία 44,5 °C.

Χρησιμοποιήθηκαν αποστειρωμένα τρυβλία Petri 50 mm με αποστειρωμένες απορροφητικές βάσεις διαμέτρου 47 mm, αποστειρωμένες αμπούλες θρεπτικού υλικού M-FC Broth with Rosolic acid (Gelman Laboratory PN 4302), αποστειρωμένα φίλτρα διαμέτρου πόρων 0,45 μm και αιθανόλη.

Περιγραφή διαδικασίας ανάλυσης – μέτρησης

Δειγματοληψία: Η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε σε αποστειρωμένες φιάλες όγκου 500 ml τυλιγμένες με αλουμινόχαρτο.

Αραίωση δειγμάτων: Για τον προσδιορισμό των κοπρανωδών κολοβακτηριδίων δε γίνεται αραίωση. Χρησιμοποιούνται 200 ml δείγματος.

Προετοιμασία τρυβλίων με θρεπτικό υλικό: Σε κάθε αποστειρωμένο τρυβλίο διαμέτρου 50 mm τοποθετείται μία ειδική απορροφητική βάση και μία αμπούλα με 2 ml έτοιμο αποστειρωμένο θρεπτικό υλικό M-FC Broth with Rosolic acid (Gelman Laboratory PN 4302).

Διήθηση: Η χοάνη προσαρμόζεται στη συσκευή διήθησης. Η λαβίδα για την αποστείρωσή της εμβαπτίζεται σε αιθανόλη, περνιέται πάνω από φλόγα και περιμένουμε να σβήσει. Με τη λαβίδα λαμβάνεται ένα αποστειρωμένο φίλτρο (Pall GN-6 mertical® Grid) και τοποθετείται πάνω στην βάση της αποστειρωμένης μαγνητικής χοάνης (Pall) της συσκευής διήθησης.

Ανοίγεται η αντλία κενού (Buchi Vac® V-500) και διηθείται πρώτα ένα δείγμα απιονισμένου νερού (30 ml), το οποίο θα χρησιμοποιηθεί για την αραίωση του δείγματος.

Όταν έχει περάσει όλο το δείγμα του απιονισμένου νερού από το φίλτρο (πριν στεγνώσει εντελώς το φίλτρο) διακόπτεται η διήθηση και τοποθετείται το φίλτρο πάνω σε ένα τρυβλίο με θρεπτικό υλικό.

Το φίλτρο αυτό χρησιμοποιείται σα μάρτυρας για τον έλεγχο του απιονισμένου νερού.

Ακολουθείται η ίδια διαδικασία και για το δείγμα. Στα κοπρανώδη κολοβακτηρίδια διηθούνται 200 ml δείγματος.

Το φίλτρο κάθε δείγματος ξεπλένεται με 20-30 ml απιονισμένου νερού πριν το τοποθετήσουμε στο αντίστοιχο τρυβλίο.

Επώαση: Τα τρυβλία των κοπρανωδών κολοβακτηριδίων τοποθετούνται σε θάλαμο επώασης (G® –Cell 075) στους 44,5 °C για 22-24 ώρες.

Καταμέτρηση αποικιών: Τα κοπρανώδη κολοβακτηρίδια δημιουργούν αποικίες που έχουν ένα μπλε χρώμα.

Υπολογισμός: Το αποτέλεσμα εκφράζεται σε αποικίες / 100 ml και δίνεται από τον τύπο:

$$\text{αριθμός αποικιών /100 ml} = [\text{αριθμός αποικιών στο τρυβλίο} * 100] / \text{όγκο διηθ. δ/τος}$$

Εδώ ο όγκος του δείγματος που χρησιμοποιήσαμε είναι 200 ml και ο συντελεστής αραίωσης είναι 1 γι' αυτό και δεν τον βάζουμε στον τύπο, αφού για τα κοπρανώδη κολοβακτηρίδια δεν κάνουμε αραίωση.

Σημείωση : Δεν ξεχνάμε κάθε φορά να αφαιρούμε τις αποικίες του μάρτυρα, αν υπάρχουν, (συνήθως είναι μηδέν), από τις αποικίες του κάθε δείγματος.

11. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ:

11.1 Γεώτρηση 2

Η τιμή του pH του νερού στη Γεώτρηση 2, κυμάνθηκε μεταξύ 7,55 και 7,81 κατά την περίοδο μελέτης (Σχήμα 11.1.A), εύρος που δεν ξεπερνά το διάστημα τιμών που ορίζεται από τη νομοθεσία για το πόσιμο νερό (παραμετρική τιμή για το πόσιμο νερό: $\geq 6,5$ και $\leq 8,5$). Κατά τη διάρκεια των δειγματοληψιών, η υψηλότερη τιμή του pH (7,81), σημειώθηκε στις 29/9/03 και η χαμηλότερη (7,55) στις 28/8/03.

Η αγωγιμότητα στη Γεώτρηση 2 ήταν 1170 $\mu\text{S}/\text{cm}$ στην πρώτη δειγματοληψία (30/7/03) και ακολούθησε αυξητική πορεία μέχρι και την τέταρτη δειγματοληψία, φτάνοντας τα 2040 $\mu\text{S}/\text{cm}$ στις 6/11/03 (Σχήμα 11.1.B). Στις επόμενες τρεις δειγματοληψίες έχουμε μείωση της αγωγιμότητας μέχρι τα 1200 $\mu\text{S}/\text{cm}$, στις 2/4/04. Παρατηρείται επίσης ότι οι τιμές της αγωγιμότητας, είναι υψηλές, πάνω από το επιθυμητό όριο που έχει τεθεί από τη νομοθεσία για το πόσιμο νερό (παραμετρική τιμή για το πόσιμο νερό: 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ στους 20 °C).

Η συγκέντρωση των ιόντων χλωρίου (Σχήμα 11.1.Δ), ακολουθεί παράλληλη εποχιακή μεταβολή με την αγωγιμότητα. Η συγκέντρωση των ιόντων χλωρίου στη Γεώτρηση 2 κυμαίνεται από 296,4 mg/lt έως 595,56 mg/lit. Η υψηλότερη τιμή σημειώθηκε στις 6/11/03, την ίδια ημερομηνία που σημειώθηκε και η υψηλότερη τιμή της αγωγιμότητας κατά την περίοδο μελέτης. Η συγκέντρωση των ιόντων χλωρίου, ξεπερνά σε όλες τις δειγματοληψίες το αντίστοιχο όριο που έχει τεθεί από τη νομοθεσία για το νερό ανθρώπινης κατανάλωσης.

Οι τιμές της σκληρότητας, κυμάνθηκαν από 10,4 – 25,3 Γερμανικούς Βαθμούς στο νερό της Γεώτρησης 2 (Σχήμα 11.1.Γ). Η υψηλότερη τιμή σκληρότητας παρουσιάστηκε στις 6/11/03, τότε που έχουμε και την υψηλότερη τιμή αγωγιμότητας και ιόντων χλωρίου. Η ελάχιστη απαιτούμενη συγκέντρωση σκληρότητας (σε νερά που έχουν υποστεί αποσκλήρυνση), είναι 150 mg/lit CaCO_3 ή περίπου 8,4 Γερμανικοί Βαθμοί. Μπορούμε να πούμε, με βάση και τα παραπάνω, ότι οι τιμές της σκληρότητας στο νερό της Γεώτρησης 2 είναι αρκετά υψηλές.

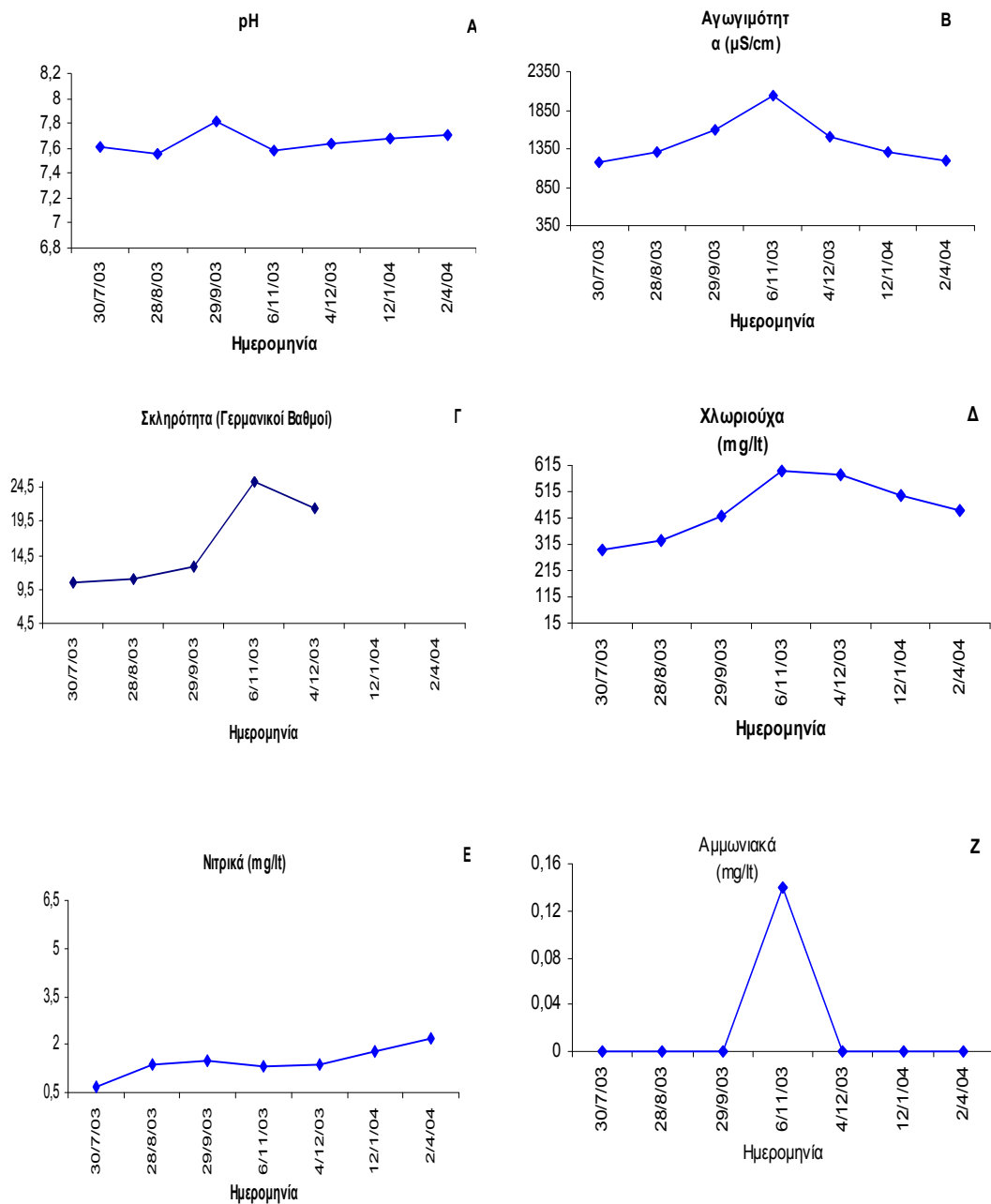
Φαίνεται λοιπόν, ότι οι παράμετροι της αγωγιμότητας, των ιόντων χλωρίου και της σκληρότητας, ακολουθούν παράλληλη εποχιακή μεταβολή με σταδιακή αύξηση από τον Ιούλιο ως τις αρχές Νοεμβρίου και μείωση από Δεκέμβριο ως Απρίλιο.

Η συγκέντρωση του νιτρικού αζώτου είναι αξιοσημείωτη, αφού σε όλες τις δειγματοληψίες ξεπερνά τα 0,5 mg/lit $\text{NO}_3 - \text{N}$ (Σχήμα 11.1.E). Από 30/7/03 έως και 29/9/03 παρατηρείται αύξηση του νιτρικού αζώτου, που φτάνει μέχρι τα 1,5 mg/lit, ακολουθεί μικρή μείωση έως 4/12/03 και στη συνέχεια έχουμε αύξηση του νιτρικού αζώτου που φτάνει και τα 2,2 mg/lit $\text{NO}_3 - \text{N}$ στις 2/4/04. Το εύρος των test kit μέτρησης του νιτρικού αζώτου ήταν 0,05 – 25,0 mg/lit $\text{NO}_3 - \text{N}$. Σε καμία περίπτωση η συγκέντρωση του νιτρικού αζώτου που μετρήσαμε, δεν ξεπερνά την παραμετρική τιμή που ορίζεται από τη νομοθεσία για το νερό ανθρώπινης κατανάλωσης.

Το αμμωνιακό άζωτο διατηρήθηκε σε πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις σε όλες σχεδόν τις δειγματοληψίες (Σχήμα 11.1.Z), με εξαίρεση αυτήν της 6/11/03, που παρατηρείται μία απότομη αυξημένη τιμή του, παρουσιάζοντας συγκέντρωση 0,14 mg/lit. Λόγω του εύρους του test kit που χρησιμοποιήθηκαν για τη μέτρηση του αμμωνιακού αζώτου (ελάχιστο όριο ανίχνευσης του test kit είναι 0,05 mg/lit $\text{NH}_4 - \text{N}$), μηδενικές συγκεντρώσεις ή συγκεντρώσεις μικρότερες του 0,05 mg/lit, μετρήθηκαν σε όλες τις δειγματοληψίες, εκτός από τις 6/11/03. Η μοναδική όμως αυξημένη τιμή, είναι πολύ υψηλότερη από το αντίστοιχο όριο (0,05 mg/lit) που έχει τεθεί από τη νομοθεσία για το πόσιμο νερό.

Για να μετρήσουμε τα ορθοφωσφορικά ιόντα, χρησιμοποιήσαμε test kit με εύρος 0,05 – 5,00 mg/lit PO₄ – P. Άρα ήταν αδύνατον να προσδιοριστούν με ακρίβεια συγκεντρώσεις ορθοφωσφορικών ιόντων, μικρότερες από 0,05 mg/lit PO₄ – P. Σε όλες τις δειγματοληψίες, οι τιμές των ορθοφωσφορικών ιόντων, συμπίπτουν με το θεωρητικό μηδέν της κλίμακας των συγκεντρώσεων του test kit.

Σε ότι αφορά το μικροβιακό φορτίο της Γεώτρησης 2 (ένθετος Πίνακας στο Σχήμα 11.1), κατά την περίοδο των δειγματοληψιών (30/7/2003 έως 2/4/2004), δεν παρατηρήθηκε μόλυνση, αφού τόσο η συγκέντρωση των ολικών κολοβακτηριδίων (Total Coliform) όσο και των κοπρανωδών κολοβακτηριδίων (Faecal Coliform) ήταν μηδενικές.



Σχήμα 11.1 Μεταβολή των παραμέτρων **Α. pH**, **Β. αγωγιμότητα** (μS/cm), **Γ. σκληρότητας** (Γερμ. Βαθμούς), **Δ. χλωριόντων** (mg/l), **Ε. νιτρικών ιόντων** (mg/l) και **Ζ. αμμωνιακών ιόντων** (mg/l) στο νερό της Γεώτρησης 2 (χημικές αναλύσεις από 30/7/2003 έως 2/4/2004). Η συγκέντρωση των **φωσφορικών** στο νερό της Γεώτρησης 2, που μετρήθηκε στις 30/7/2003, 28/8/2003, 29/9/2003, 6/11/2003, 4/12/2003, 12/1/2003, 2/4/2003 ήταν **0 mg/l** σε όλες τις περιπτώσεις. Στον ένθετο πίνακα παρουσιάζονται οι μετρήσεις ολικών και κοπρανωδών κολοβακτηριδίων στην Γεώτρηση 2 (χημικές αναλύσεις από 30/7/2003 έως 2/4/2004).

Ημερομηνία	Total Coli (αποικίες/100 ml)	Faecal Coli (αποικίες/100 ml)
30/7/2003	0	0
28/8/2003	0	0
29/9/2003	0	0
6/11/2003	0	0
4/12/2003	0	0
12/1/2004	0	0
2/4/2004	0	0

11.2 Γεώτρηση 3

Η τιμή του pH του νερού της Γεώτρησης 3, κυμάνθηκε μεταξύ 6,95 και 8 κατά την περίοδο μελέτης. Όπως και στην Γεώτρηση 2, το εύρος που κυμαίνεται το pH δεν ξεπερνά το διάστημα των τιμών που ορίζεται από τη νομοθεσία για το πόσιμο νερό (Σχήμα 11.2.A). Η χαμηλότερη τιμή σημειώθηκε στις 29/9/03, ενώ η υψηλότερη τιμή σημειώθηκε στις 4/12/03.

Οι τιμές της αγωγιμότητας, κυμάνθηκαν την περίοδο μελέτης από 368 $\mu\text{S/cm}$ έως 585 $\mu\text{S/cm}$ (Σχήμα 11.2.B). Τιμές πολύ χαμηλότερες από το όριο των 1000 $\mu\text{S/cm}$ που ορίζεται από τη νομοθεσία για το νερό ανθρώπινης κατανάλωσης.

Η συγκέντρωση των ιόντων χλωρίου (Σχήμα 11.2.Δ) στην Γεώτρηση 3 κυμαίνεται μεταξύ 19,85 – 93,6 mg/lit, ακολουθώντας παράλληλη εποχιακή μεταβολή με την αγωγιμότητα. Η μεγαλύτερη τιμή καταγράφηκε στις 6/11/03, την ίδια ημερομηνία που σημειώθηκε και η μεγαλύτερη τιμή της αγωγιμότητας. Οι τιμές που μετρήθηκαν, ήταν πολύ χαμηλότερες από το επιθυμητό όριο των 200 mg/lit που ορίζεται από τη νομοθεσία για το πόσιμο νερό.

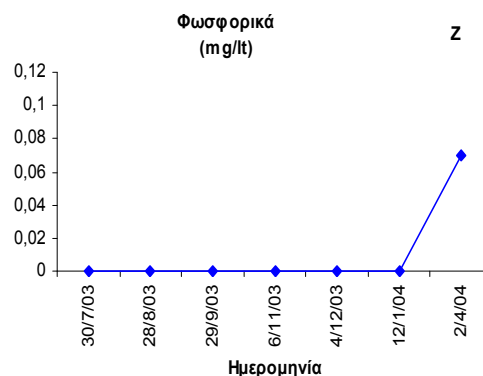
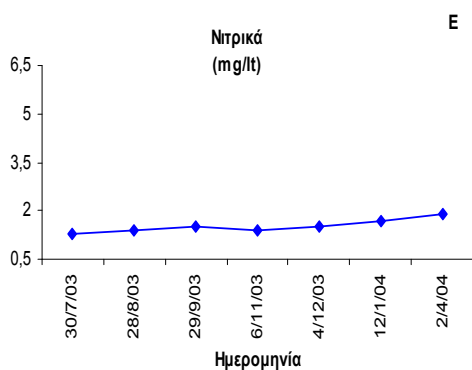
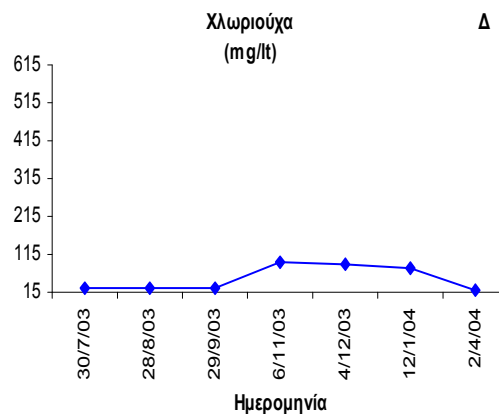
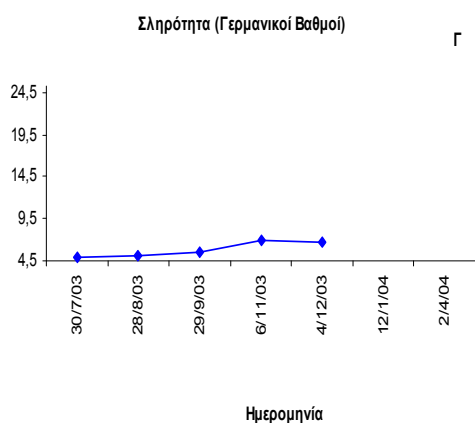
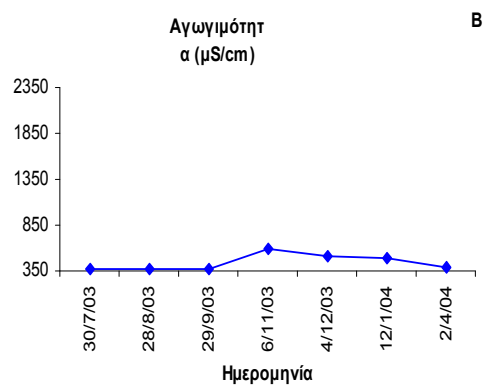
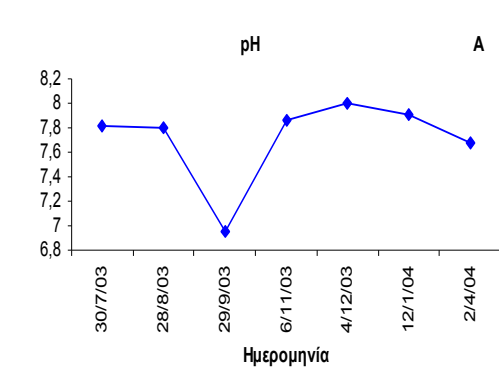
Η σκληρότητα κυμάνθηκε μεταξύ 5 – 7 Γερμανικούς Βαθμούς (Σχήμα 11.2.Γ). Η υψηλότερη τιμή σκληρότητας (7 Γερμανικοί Βαθμοί), παρουσιάστηκε την ίδια ημερομηνία (6/11/03) που παρουσιάστηκε η υψηλότερη τιμή της αγωγιμότητας και η υψηλότερη τιμή συγκέντρωσης των ιόντων χλωρίου. Οι τιμές της σκληρότητας στο νερό της Γεώτρησης 3 είναι χαμηλότερες από την ελάχιστη απαιτούμενη συγκέντρωση σκληρότητας – σε νερά που έχουν υποστεί αποσκλήρυνση – (8,4 Γερμανικοί Βαθμοί).

Η συγκέντρωση του νιτρικού αζώτου κυμάνθηκε μεταξύ 1,3 – 1,9 mg/lit $\text{NO}_3 - \text{N}$ (Σχήμα 11.2.E). Στις τρεις πρώτες δειγματοληψίες, η συγκέντρωση του νιτρικού αζώτου ακολούθησε ανοδική πορεία, έχουμε μείωση στις 6/11/03 και ξανά αύξηση μέχρι και την τελευταία δειγματοληψία (2/4/04), όπου έχουμε και την μέγιστη τιμή της συγκέντρωσης του νιτρικού αζώτου. Όλες οι τιμές είναι πολύ χαμηλότερες από το όριο που ορίζεται για το πόσιμο νερό (25 mg/lit).

Όσον αφορά το αμμωνιακό άζωτο, παρατηρούνται πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις (< 0,05 mg/lit $\text{NH}_4 - \text{N}$) σε όλες τις δειγματοληψίες. Λόγω του εύρους των test kit που χρησιμοποιήθηκαν για τη μέτρησή του (ελάχιστα όρια ανίχνευσης των test kit 0,05 mg/lit) δεν ήταν δυνατόν να προσδιοριστούν συγκεντρώσεις μικρότερες του 0,05 mg/lit στα δείγματα που αναλύθηκαν.

Οι συγκεντρώσεις των ορθοφωσφορικών ιόντων (Σχήμα 11.2.Z) στις έξι πρώτες δειγματοληψίες ήταν μηδενικές ή ήταν συγκεντρώσεις μικρότερες των 0,05 mg.lit, που σημαίνει ότι δεν ήταν ανιχνεύσιμες λόγω του ότι το εύρος του test kit που χρησιμοποιήθηκε ήταν 0,05 – 5,00 mg/lit $\text{PO}_4 - \text{P}$. Στην τελευταία δειγματοληψία (2/4/04), η συγκέντρωση των ορθοφωσφορικών ιόντων μετρήθηκε 0,07 mg/lit, τιμή που είναι πολύ μικρότερη από την παραμετρική τιμή για το πόσιμο νερό (0,4 mg/lit).

Οι συγκεντρώσεις τόσο των ολικών (Total Coliform) όσο και των κοπρανωδών κολοβακτηριδίων (Faecal Coliform), ήταν μηδενικές κατά την περίοδο μελέτης στην Γεώτρηση 3 (30/7/03 – 2/4/04) (ένθετος Πίνακας στο Σχήμα 11.2).



Σχήμα 11.2 Μεταβολή των παραμέτρων **A**.pH, **B**.αγωγιμότητα (μS/cm), **Γ**.σκληρότητας (Γερμ. Βαθμούς), **Δ**.χλωριόντων (mg/l), **E**.νιτρικών ιόντων (mg/l) και **Z**.φωσφορικών ιόντων (mg/l) στο νερό της Γεώτρησης 3 (χημικές αναλύσεις από 30/7/2003 έως 2/4/2004). Η συγκέντρωση **των αμμωνιακών** στο νερό της Γεώτρησης 3, που μετρήθηκε στις 30/7/2003, 28/8/2003, 29/9/2003, 6/11/2003, 4/12/2003, 12/1/2003, 2/4/2003 και ήταν 0 mg/l σε όλες τις περιπτώσεις. Στον ένθετο πίνακα παρουσιάζονται οι μετρήσεις ολικών και κοπρανωδών κολοβακτηριδίων στην Γεώτρηση 3 (χημικές αναλύσεις από 30/7/2003 έως 2/4/2004).

Ημερομηνία	Total Coli (αποικίες/100 ml)	Faecal Coli (αποικίες/100 ml)
30/7/2003	0	0
28/8/2003	0	0
29/9/2003	0	0
6/11/2003	0	0
4/12/2003	0	0
12/1/2004	0	0
2/4/2004	0	0

11.3 Γεώτρηση 8

Η τιμή του pH του νερού της Γεώτρησης 8, κυμάνθηκε μεταξύ 7,34 και 7,72 κατά την περίοδο μελέτης, εύρος δεν ξεπερνά το διάστημα των τιμών που ορίζεται από τη νομοθεσία για το πόσιμο νερό (Σχήμα 11.3.A).

Οι τιμές της αγωγιμότητας (Σχήμα 11.3.B) του νερού της Γεώτρησης 8, κυμάνθηκαν μεταξύ 684 – 740 $\mu\text{S/cm}$, καθ' όλη την περίοδο μελέτης με την μεγαλύτερη τιμή (740 $\mu\text{S/cm}$) να παρουσιάζεται σε δύο δειγματοληψίες, στις 28/8/03 και στις 6/11/03. Η αμέσως επόμενη μεγαλύτερη τιμή παρουσιάστηκε στις 2/4/04. Οι τιμές της αγωγιμότητας, διατηρούνται χαμηλότερες από το όριο που έχει τεθεί από τη νομοθεσία για το πόσιμο νερό.

Η συγκέντρωση των ιόντων χλωρίου (Σχήμα 11.3.Δ), ακολουθεί παράλληλη εποχιακή μεταβολή με την αγωγιμότητα, με τις υψηλότερες τιμές να παρουσιάζονται τις ίδιες ημερομηνίες που παρουσιάζονται και οι υψηλότερες τιμές της αγωγιμότητας (28/8/03, 6/11/03 και 2/4/04). Κυμαίνεται από 95,7 – 118,4 mg/lit. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 11.3.Δ, η συγκέντρωση των ιόντων χλωρίου δεν ξεπερνά το αντίστοιχο όριο που έχει τεθεί από τη νομοθεσία για το πόσιμο νερό, σε καμία δειγματοληψία.

Από τα παραπάνω, φαίνεται ότι οι παράμετροι της αγωγιμότητας και των ιόντων χλωρίου ακολουθούν παράλληλη εποχιακή μεταβολή, με τις μεγαλύτερες και μικρότερες τιμές να σημειώνονται τις ίδιες ημερομηνίες.

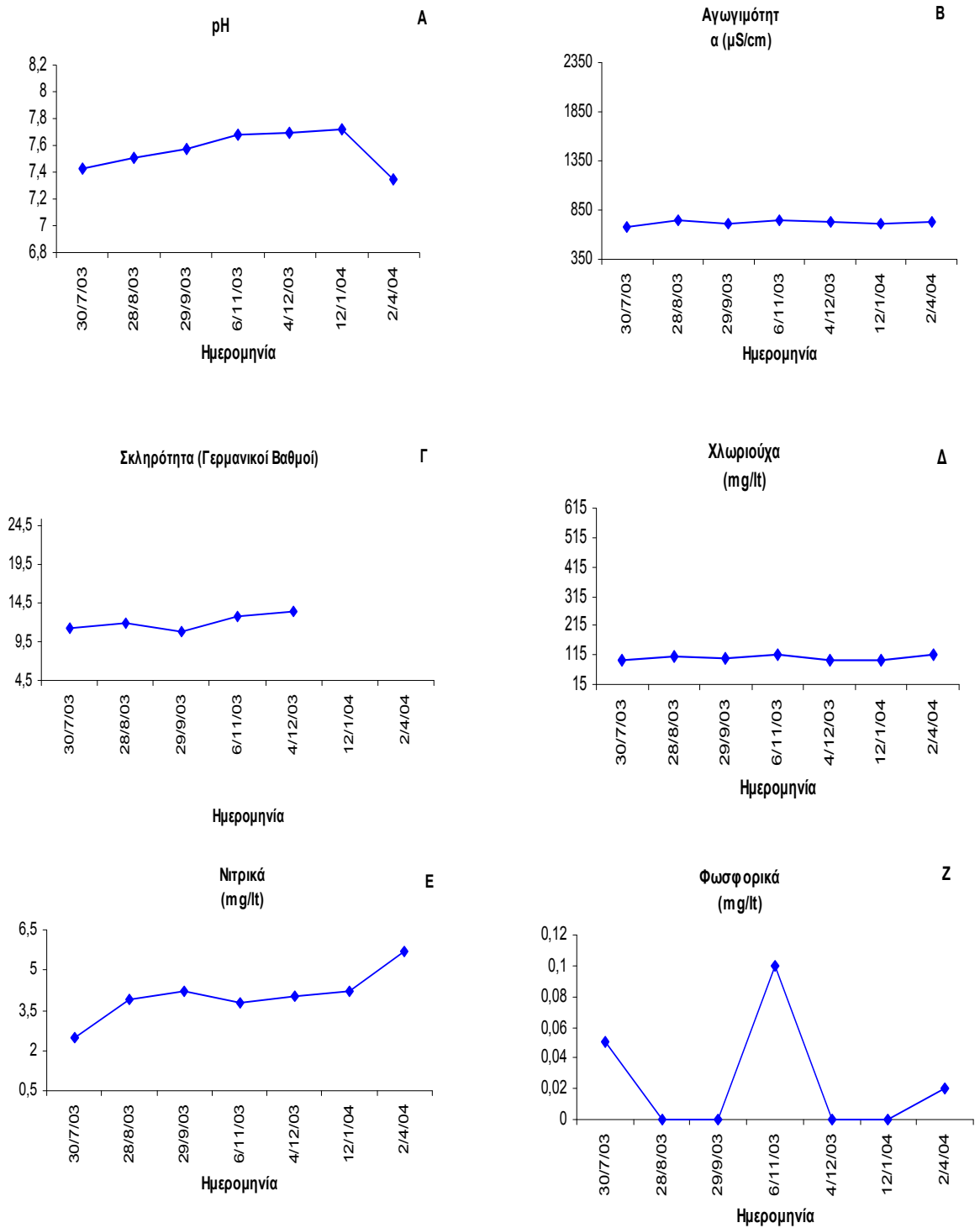
Μικρή εποχιακή διακύμανση παρουσίασαν οι τιμές της σκληρότητας (Σχήμα 11.3.Γ), οι οποίες διατηρήθηκαν σε χαμηλά επίπεδα κατά την περίοδο δειγματοληψίας. Οι τιμές της σκληρότητας κυμάνθηκαν από 11,2 – 13,4 Γερμανικούς Βαθμούς. Η υψηλότερη τιμή της σκληρότητας (13,4 Γερμανικοί Βαθμοί), παρουσιάστηκε στις 4/12/03.

Η συγκέντρωση του νιτρικού αζώτου είναι αξιοσημείωτη, καθώς στις περισσότερες δειγματοληψίες ξεπερνά τα 3,00 mg/lit $\text{NO}_3 - \text{N}$ (Σχήμα 11.3.Ε). Παρ' όλο που οι τιμές του νιτρικού αζώτου στην Γεώτρηση 8 είναι υψηλές στην διάρκεια των δειγματοληψιών, σε καμία περίπτωση δεν ξεπερνά το όριο που έχει τεθεί από τη νομοθεσία για το πόσιμο νερό (25 mg/lit) αφού η υψηλότερη τιμή που μετρήθηκε είναι 5,7 mg/lit $\text{NO}_3 - \text{N}$. Η τιμή της πρώτης δειγματοληψίας (30/7/03), είναι μικρότερη από την τιμή της τελευταίας δειγματοληψίας (2/4/04) κατά 50% περίπου.

Το αμμωνιακό άζωτο διατηρήθηκε σε πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις σε όλες τις δειγματοληψίες. Λόγω του εύρους των test kit που χρησιμοποιήθηκαν για τη μέτρηση του αμμωνιακού αζώτου (ελάχιστο όριο ανίχνευσης των test kit 0,05 mg/lit), μηδενικές συγκεντρώσεις ή συγκεντρώσεις μικρότερες του 0,05 mg/lit μετρήθηκαν κατά την περίοδο 30/7/03 ως 2/4/04.

Οι συγκεντρώσεις των ορθοφωσφορικών ιόντων διατηρήθηκαν σε χαμηλές συγκεντρώσεις στις περισσότερες δειγματοληψίες (Σχήμα 11.3.Ζ). Στην πρώτη δειγματοληψία (30/7/03), η συγκέντρωση των ορθοφωσφορικών ιόντων μετρήθηκε 0,05 mg/lit $\text{PO}_4 - \text{P}$, ενώ στις επόμενες δύο δειγματοληψίες οι τιμές των ορθοφωσφορικών ιόντων συμπίπτουν με το θεωρητικό μηδέν της κλίμακας των συγκεντρώσεων του test kit (εύρος των test kit μέτρησης των ορθοφωσφορικών ιόντων 0,05 – 5,00 mg/lit $\text{PO}_4 - \text{P}$). Στις 6/11/03, παρατηρείται μία απότομα αυξημένη τιμή, παρουσιάζοντας συγκέντρωση 0,1 mg/lit, η οποία είναι και η μεγαλύτερη τιμή των ορθοφωσφορικών ιόντων στο νερό της Γεώτρησης 8, κατά την περίοδο μελέτης της Γεώτρησης. Ακολουθούν οι τιμές των δύο επόμενων δειγματοληψιών, οι οποίες συμπίπτουν με το θεωρητικό μηδέν. Στις 2/4/04 μικρή αύξηση των ορθοφωσφορικών ιόντων παρατηρήθηκε στο δείγμα που λήφθηκε από τη Γεώτρηση 8, με την τιμή τους να φτάνει τα 0,02 $\text{PO}_4^3 - \text{P/lit}$. Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 11.3.Ζ, η συγκέντρωση των ορθοφωσφορικών ιόντων σε όλες τις δειγματοληψίες είναι πολύ χαμηλότερη από το αντίστοιχο όριο που έχει τεθεί από τη νομοθεσία για το νερό ανθρώπινης κατανάλωσης.

Σε ότι αφορά το μικροβιακό φορτίο της Γεώτρησης 8, (ένθετος Πίνακας στο Σχήμα 11.3), η συγκέντρωση των ολικών κολοβακτηριδίων ήταν μηδενική σε όλες τις δειγματοληψίες (περίοδος δειγματοληψιών από 30/7/'03 έως 2/4/'04), ενώ η συγκέντρωση των κοπρανωδών κολοβακτηριδίων, είναι μηδενική στις τρεις πρώτες δειγματοληψίες (30/7/'03, 28/8/'03, 29/9/'03), στην τέταρτη δειγματοληψία (6/11/'03) παρουσιάζει μία τιμή 2 αποικίες / 100 ml και στις επόμενες τρεις δειγματοληψίες (4/12/'03, 12/1/'04, 2/4/'04), η συγκέντρωση των κοπρανωδών κολοβακτηριδίων είναι πάλι μηδενική. Η μετρούμενη τιμή της συγκέντρωσης των κοπρανωδών κολοβακτηριδίων είναι πολύ μικρή και δεν ξεπερνάει την επιθυμητή τιμή που ορίζεται από τη νομοθεσία για το πόσιμο νερό (20 αποικίες / 100 ml).



Σχήμα 11.3 Μεταβολή των παραμέτρων **Α**.pH, **Β**.αγωγιμότητα (μS/cm), **Γ**.σκληρότητας (Γερμ. Βαθμούς), **Δ**.χλωριόντων (mg/l), **Ε**.νιτρικών ιόντων (mg/l) και **Ζ**.φωσφορικών ιόντων (mg/l) στο νερό της Γεώτρησης 8 (χημικές αναλύσεις από 30/7/2003 έως 2/4/2004). Η συγκέντρωση των **αμμωνιακών** στο νερό της Γεώτρησης 8 που μετρήθηκε στις 30/7/2003, 28/8/2003, 29/9/2003, 6/11/2003, 4/12/2003, 12/1/2004, 2/4/2004 ήταν 0 mg/l σε όλες τις περιπτώσεις. Στον ένθετο πίνακα παρουσιάζονται οι μετρήσεις ολικών και κοπρανωδών κολοβακτηριδίων στην Γεώτρηση 8 (χημικές αναλύσεις από 30/7/2003 έως 2/4/2004).

Ημερομηνία	Total Coli (αποικίες/100 ml)	Faecal Coli (αποικίες/100 ml)
30/7/2003	0	0
28/8/2003	0	0
29/9/2003	0	0
6/11/2003	0	2
4/12/2003	0	0
12/1/2004	0	0
2/4/2004	0	0

11.4 Γεώτρηση 10

Η τιμή του pH του νερού στη Γεώτρηση 10, κυμάνθηκε μεταξύ 7,19 και 7,62 κατά την περίοδο μελέτης Όπως και στις προηγούμενες Γεωτρήσεις το εύρος που κυμαίνεται το pH δεν ξεπερνά το διάστημα τιμών που ορίζεται από τη νομοθεσία για το πόσιμο νερό (παραμετρική τιμή για το πόσιμο νερό: $\geq 6,5$ και $\leq 8,5$) (Σχήμα 11.4.A). Στις 4/12/03 το pH της Γεώτρησης 10 ήταν 7,62 και αποτελεί την υψηλότερη τιμή του κατά την διάρκεια των δειγματοληψιών, ενώ στις 2/4/04, η τιμή του pH της Γεώτρησης 10 ήταν 7,19 και αποτελεί την χαμηλότερη τιμή του που καταγράφηκε στην Γεώτρηση 10 σε όλες τις δειγματοληψίες. Η εποχιακή διακύμανση των τιμών είναι πολύ μικρή.

Η αγωγιμότητα στην πρώτη δειγματοληψία (30/7/03) είναι 1600 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (ελάχιστη τιμή), ακολουθεί σταδιακή αύξηση φτάνοντας την τιμή 1845 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (μέγιστη τιμή) στις 6/11/03, ακολουθεί μείωση στις επόμενες δύο δειγματοληψίες (4/12/03 και 12/1/04) και στην τελευταία δειγματοληψία έχουμε αύξηση που φτάνει τα 1710 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Σχήμα 11.4.B). Όλες οι τιμές της αγωγιμότητας στη Γεώτρηση 10, είναι υψηλές, υψηλότερες από το επιθυμητό όριο των 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, που ορίζεται από τη νομοθεσία για το πόσιμο νερό.

Η συγκέντρωση των ιόντων χλωρίου (Σχήμα 11.4.Δ) στην Γεώτρηση 10, κυμαίνεται μεταξύ 407-514 mg/lt , ακολουθώντας παράλληλη εποχιακή μεταβολή με την αγωγιμότητα. Την ίδια ημερομηνία όπου παρατηρείται η μέγιστη τιμή της αγωγιμότητας 1845 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (6/11/03), παρατηρείται και η μέγιστη τιμή ιόντων χλωρίου 514 mg/lt . Όλες οι τιμές των ιόντων χλωρίου ξεπερνάνε το επιθυμητό όριο που ορίζεται από τη νομοθεσία.

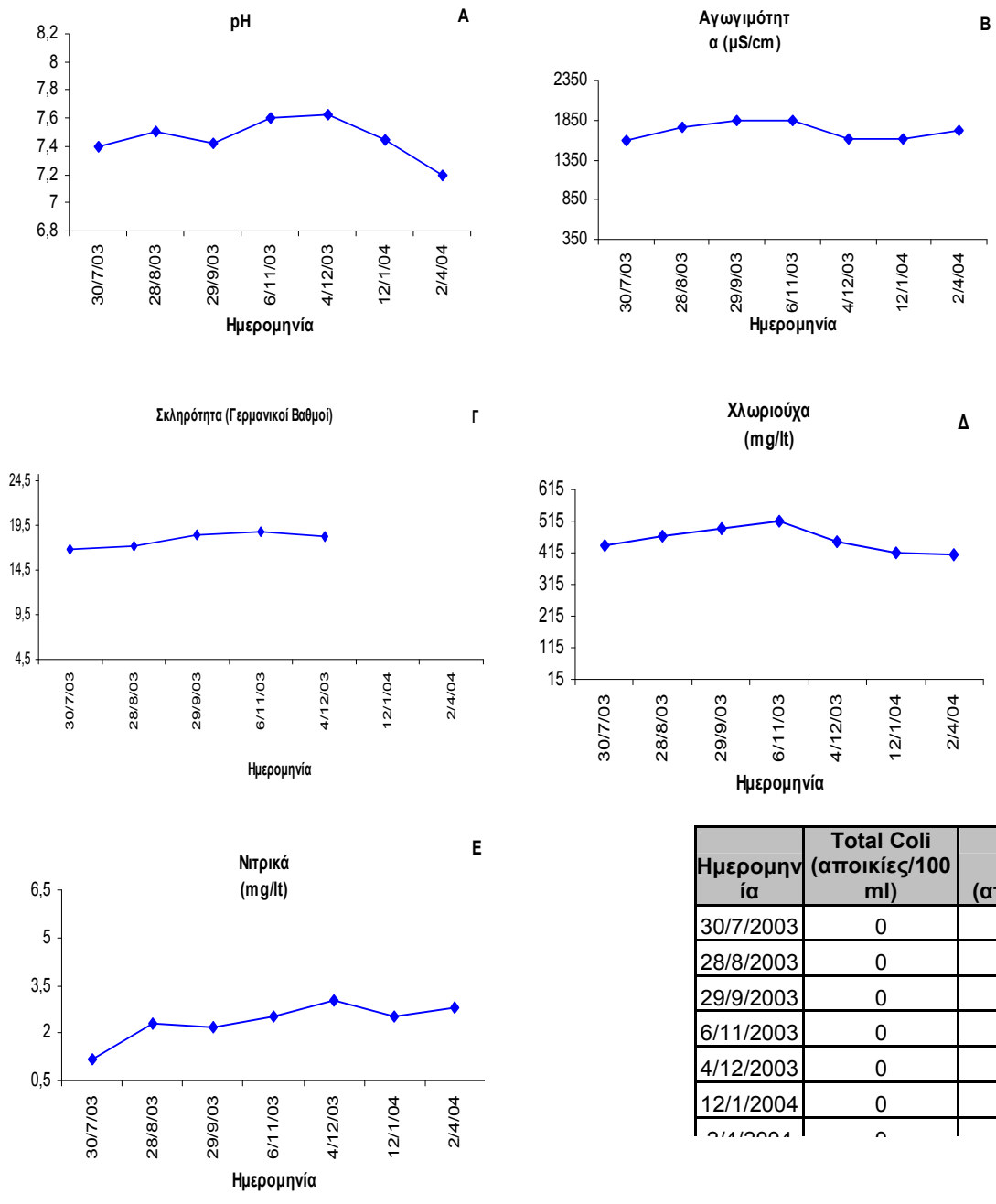
Η σκληρότητα κυμάνθηκε μεταξύ 16,9 – 18,87 Γερμανικούς Βαθμούς, παρουσιάζοντας την μέγιστη τιμή στις 6/11/03 (Σχήμα 11.4.Γ), την ίδια ημερομηνία που παρουσιάστηκαν και οι μέγιστες τιμές αγωγιμότητας και χλωρίων. Οι τιμές της σκληρότητας στο νερό της Γεώτρησης 10 είναι αρκετά υψηλές και κατά πολύ μεγαλύτερες από την ελάχιστη απαιτούμενη συγκέντρωση σκληρότητας (σε νερά που έχουν υποστεί αποσκλήρυνση), που είναι 150 mg/lt CaCO_3 ή περίπου 8,4 Γερμανικοί Βαθμοί. Η διακύμανση των τιμών αγωγιμότητας, των τιμών χλωρίων και των τιμών της σκληρότητας στη Γεώτρηση 10, όπως φαίνεται και από τα αντίστοιχα Σχήματα 11.4.B, 11.4.Δ και 11.4.Γ είναι η ίδια.

Η συγκέντρωση του νιτρικού αζώτου κυμάνθηκε μεταξύ 1,2 – 3 mg/lt στην Γεώτρηση 10 (Σχήμα 11.4.E). Όλες οι τιμές, αν και σχετικά υψηλές, είναι χαμηλότερες από το όριο που ορίζεται από τη νομοθεσία για το πόσιμο νερό.

Όσον αφορά το αμμωνιακό άζωτο, παρατηρούνται πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις ($< 0,05$ mg/lt $\text{NH}_4 - \text{N}$) σε όλες τις δειγματοληψίες. Λόγω του εύρους των test kit που χρησιμοποιήθηκαν για τη μέτρησή του (ελάχιστο όριο ανίχνευσης των test kit 0,05 mg/lt), δεν ήταν δυνατόν να προσδιοριστούν οι συγκεντρώσεις μικρότερες των 0,05 mg/lt στα δείγματα που αναλύθηκαν.

Οι συγκεντρώσεις των ορθοφωσφορικών ιόντων είναι επίσης πολύ χαμηλές ($< 0,05$ mg/lt $\text{PO}_4 - \text{P}$). Το εύρος του test kit που χρησιμοποιήθηκε ήταν 0,05 – 5,00 mg/lt $\text{PO}_4^3 - \text{P}$ κι έτσι μηδενικές συγκεντρώσεις ή συγκεντρώσεις μικρότερες των 0,05 mg/lt δεν ήταν ανιχνεύσιμες κατά τις δειγματοληψίες.

Η συγκέντρωση των ολικών κολοβακτηρίων (Total Coliform) (Πίνακας 11.4), κατά την περίοδο μελέτης της Γεώτρησης 10 ήταν μηδενική, όπως επίσης και η συγκέντρωση των κοπρανωδών κολοβακτηριδίων (Faecal Coliform) (Πίνακας 11.4) κατά την περίοδο μελέτης της Γεώτρησης 10 ήταν μηδενική.



Σχήμα 11.4 Μεταβολή των παραμέτρων **A**.pH, **B**.αγωγιμότητα (μS/cm), **Γ**.σκληρότητας (Γερμ. Βαθμούς), **Δ**.χλωριόντων (mg/l) και **Ε**.νιτρικών ιόντων (mg/l) στο νερό της Γεώτρησης 10 (χημικές αναλύσεις από 30/7/2003 έως 2/4/2004). Οι συγκεντρώσεις **των αμμωνιακών και των φωσφορικών** στο νερό της Γεώτρησης 10, που μετρήθηκαν στις 30/7/2003, 28/8/2003, 29/9/2003, 6/11/2003, 4/12/2003, 12/1/2003, 2/4/2003 ήταν 0 mg/l σε όλες τις περιπτώσεις. Στον ένθετο πίνακα παρουσιάζονται οι μετρήσεις ολικών και κοπρανωδών κολοβακτηριδίων στην Γεώτρηση 10 (χημικές αναλύσεις από 30/7/2003 έως 2/4/2004).

11.5 Γεώτρηση 13

Η τιμή του pH του νερού στη Γεώτρηση 13, κυμάνθηκε μεταξύ 7,01 και 7,63 κατά την περίοδο μελέτης (Σχήμα 11.5.A). Όπως και σε όλες τις προηγούμενες Γεωτρήσεις που μελετήθηκαν, έτσι και το εύρος που κυμαίνεται το pH της Γεώτρησης 13, δεν ξεπερνά το διάστημα τιμών που ορίζεται από τη νομοθεσία για το πόσιμο νερό. Κατά τη διάρκεια των δειγματοληψιών, η υψηλότερη τιμή του pH (7,63), σημειώθηκε στις 4/12/03 και η χαμηλότερη (7,01) στις 2/4/04 (τελευταία δειγματοληψία).

Η αγωγιμότητα της Γεώτρησης 13 ήταν 1660 $\mu\text{S}/\text{cm}$ στην πρώτη δειγματοληψία (Σχήμα 11.5.B). Ακολούθησε αυξητική πορεία μέχρι τις 29/9/03, φτάνοντας τα 2210 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Στη συνέχεια, στις 6/11/03 παρατηρείται μία εμφανής μείωση στην τιμή της, καθώς είναι μικρότερη από την τιμή της δειγματοληψίας στις 29/9/03 κατά τέσσερις φορές. Τέλος, μέχρι και την δειγματοληψία στις 2/4/04 (τελευταία δειγματοληψία), σημειώθηκε αυξητική πορεία της αγωγιμότητας που φτάνει μέχρι τα 1070 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Οι τιμές της αγωγιμότητας, είναι αρκετά υψηλές, υψηλότερες από το επιθυμητό όριο που έχει τεθεί από τη νομοθεσία για το πόσιμο νερό (1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$).

Η συγκέντρωση των ιόντων χλωρίου (Σχήμα 11.5.Δ), ακολουθεί παράλληλη εποχιακή μεταβολή με την αγωγιμότητα. Η συγκέντρωση των ιόντων χλωρίου στην Γεώτρηση 13, κυμαίνεται από 107,5 ως 587,76 mg/lit, παρουσιάζοντας σταδιακή αύξηση από την πρώτη δειγματοληψία μέχρι τις 29/9/03. Ακολούθησε απότομη μείωση στις 6/11/03 που φτάνει κατά έξι φορές μικρότερη τιμή από αυτή στις 29/9/03 και στην συνέχεια σημειώθηκε μέχρι και την τελευταία δειγματοληψία αυξητική πορεία που φτάνει τα 200 mg/lit στις 2/4/04 (τελευταία δειγματοληψία). Όπως φαίνεται στο Σχήμα 11.5.Δ, η συγκέντρωση των ιόντων χλωρίου στις τρεις πρώτες δειγματοληψίες, ξεπερνά το αντίστοιχο όριο που έχει τεθεί από τη νομοθεσία για το πόσιμο νερό, από 2 έως 2,5 φορές περίπου.

Μεγάλη εποχιακή διακύμανση παρουσίασαν οι τιμές της σκληρότητας (Σχήμα 11.5.Γ), οι οποίες διατηρήθηκαν σε υψηλά επίπεδα (κυμαίνονται πάνω από 17 Γερμανικούς Βαθμούς) από 30/7/03 έως και 29/9/03. Στη συνέχεια σημειώθηκε απότομη πτώση στους 10,85 Γερμανικούς Βαθμούς και στην τελευταία δειγματοληψία σημειώθηκε μικρή άνοδο στους 13,5 Γερμανικούς Βαθμούς. Οι τιμές της σκληρότητας στην Γεώτρηση 13, φτάνουν πάνω από 2 φορές μεγαλύτερες από την ελάχιστη απαιτούμενη συγκέντρωση σκληρότητας (σε νερά που έχουν υποστεί αποσκλήρυνση), που είναι περίπου 8,4 Γερμανικοί Βαθμοί.

Φαίνεται λοιπόν, ότι οι παράμετροι της αγωγιμότητας, των ιόντων χλωρίου και της σκληρότητας ακολουθούν παράλληλη εποχιακή μεταβολή με σταδιακή αύξηση από τον Ιούλιο ως τον Σεπτέμβριο, απότομη μείωση από Σεπτέμβριο ως το Νοέμβριο και μικρή αύξηση από Νοέμβριο ως Μάρτιο.

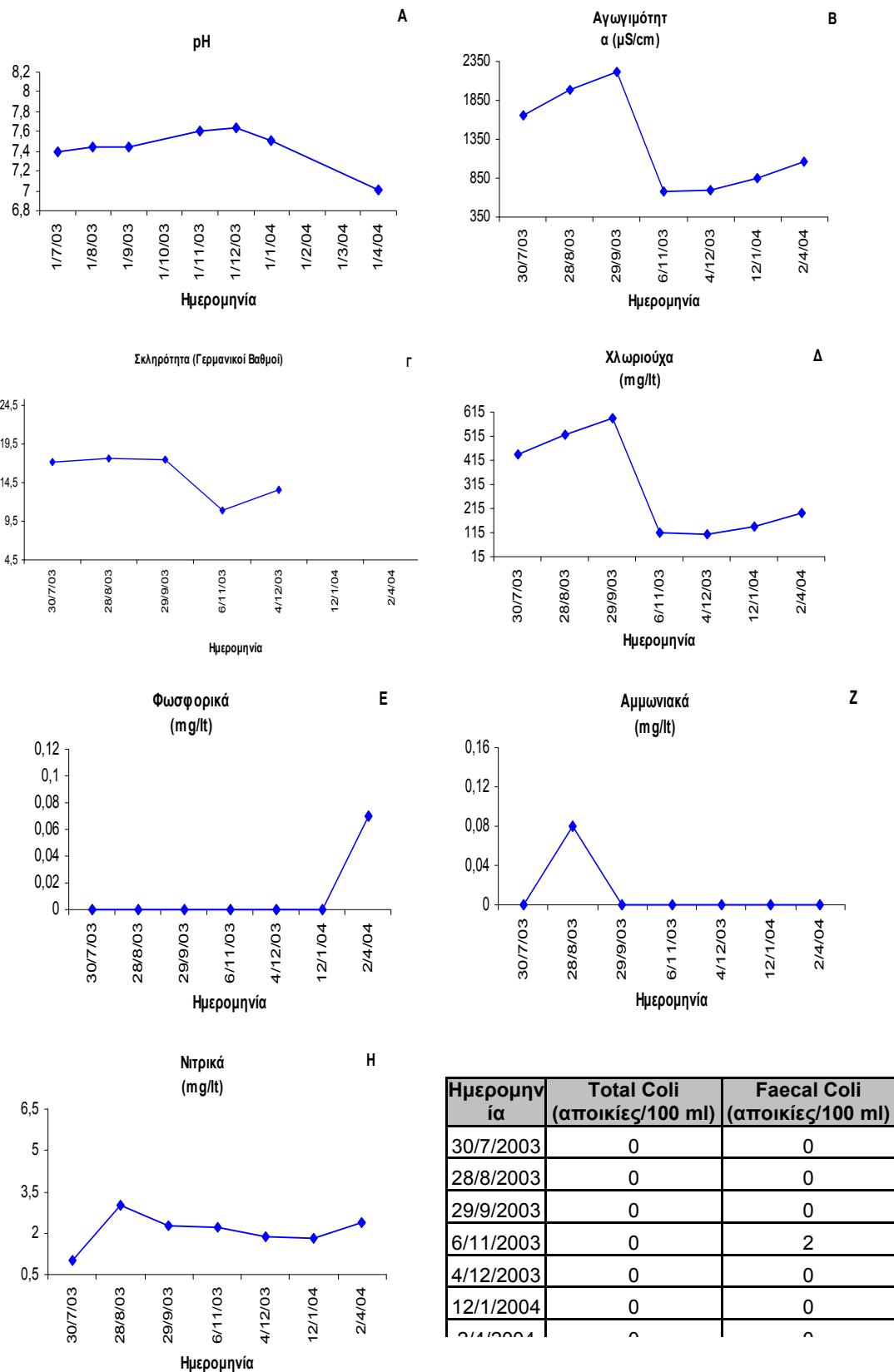
Η συγκέντρωση του νιτρικού αζώτου, είναι αξιοσημείωτη καθώς σε όλες τις δειγματοληψίες ξεπερνά τα 0,5 mg/lit $\text{NO}_3 - \text{N}$ (Σχήμα 11.5.H). Η συγκέντρωση του νιτρικού αζώτου στην Γεώτρηση 13, κυμαίνεται από 1–3 mg/lit. Η παραμετρική τιμή που ορίζεται από τη νομοθεσία για το πόσιμο νερό (25 mg/lit), είναι σε όλες τις περιπτώσεις πολύ μεγαλύτερη από τη μετρούμενη τιμή.

Το αμμωνιακό άζωτο, διατηρήθηκε σε πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις σε όλες σχεδόν τις δειγματοληψίες (Σχήμα 11.5.Z) της Γεώτρησης 13, με εξαίρεση αυτήν της 28/8/03 που παρατηρείται μία απότομα αυξημένη τιμή του, παρουσιάζοντας συγκέντρωση 0,08 mg/lit. Λόγω του εύρους των test kit που χρησιμοποιήθηκαν για τη μέτρηση του αμμωνιακού αζώτου (ελάχιστο όριο ανίχνευσης των test kit 0,05 mg/lit) μηδενικές συγκεντρώσεις ή συγκεντρώσεις μικρότερες των 0,05 mg/lit μετρήθηκαν στις 30/7/03 και κατά την περίοδο 29/9/03 ως 2/4/04. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 11.5.Z, η συγκέντρωση του αμμωνιακού αζώτου σε όλες τις δειγματοληψίες είναι χαμηλότερη από το αντίστοιχο όριο που έχει τεθεί από τη νομοθεσία για το νερό ανθρώπινης

κατανάλωσης (0,05 mg/l), εκτός από την απότομα αυξημένη τιμή του που ξεπερνάει το επιθυμητό όριο.

Καθώς το εύρος των test kit μέτρησης των ορθοφωσφορικών ιόντων ήταν 0,05 –5,00 mg/l $\text{PO}_4^{3-} \text{P}$, συγκεντρώσεις ορθοφωσφορικών ιόντων μικρότερες από 0,05 mg/l $\text{PO}_4^{3-} \text{P}$, ήταν αδύνατο να προσδιοριστούν με ακρίβεια οι τιμές των ορθοφωσφορικών ιόντων κατά την διάρκεια των δειγματοληψιών 30/7/03 ως 12/1/04 (Σχήμα 11.5.Ε). Οι τιμές των ορθοφωσφορικών ιόντων στις δειγματοληψίες μέχρι τις 12/1/04 συμπίπτουν με το θεωρητικό μηδέν της κλίμακας των συγκεντρώσεων των test kit. Στις 2/4/04 (τελευταία δειγματοληψία) μικρή αύξηση των ορθοφωσφορικών παρατηρήθηκε στο δείγμα που λήφθηκε από τη Γεώτρηση 13, με την τιμή τους να φτάνει τα 0,07 mg/l $\text{PO}_4^{3-} \text{P}$. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 11.5.Ε, η συγκέντρωση των ορθοφωσφορικών ιόντων σε όλες τις δειγματοληψίες είναι πολύ χαμηλότερη από το αντίστοιχο όριο που έχει τεθεί από τη νομοθεσία για το νερό ανθρώπινης κατανάλωσης.

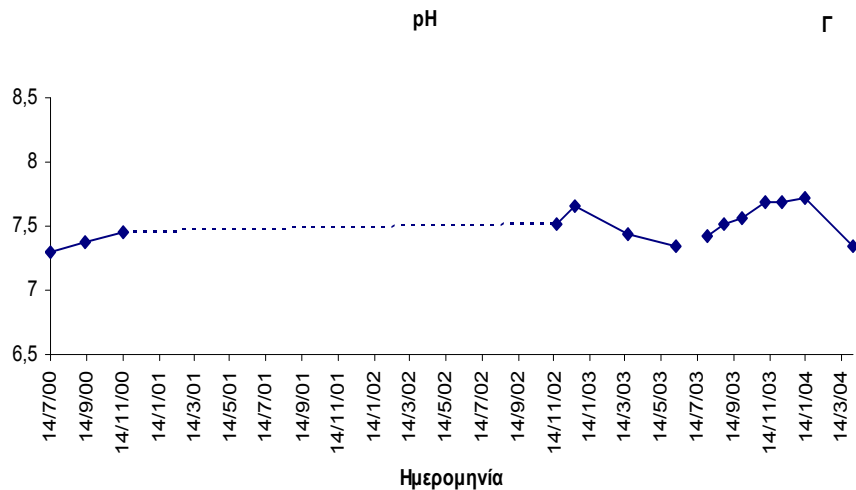
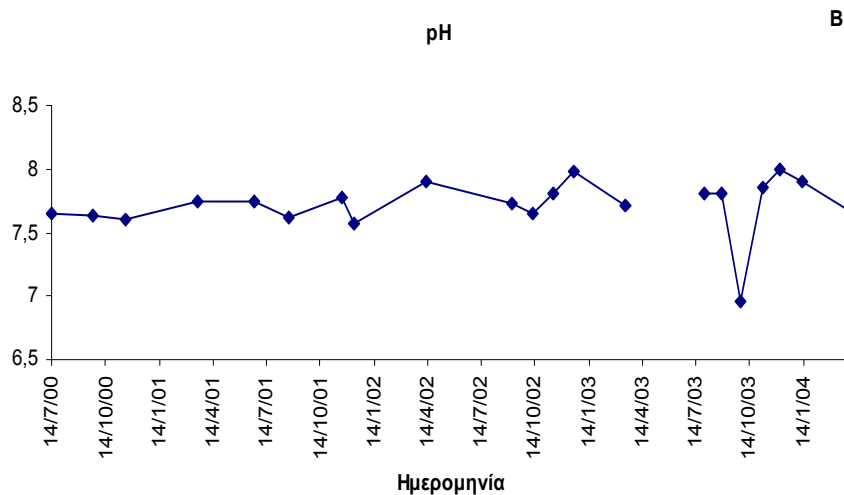
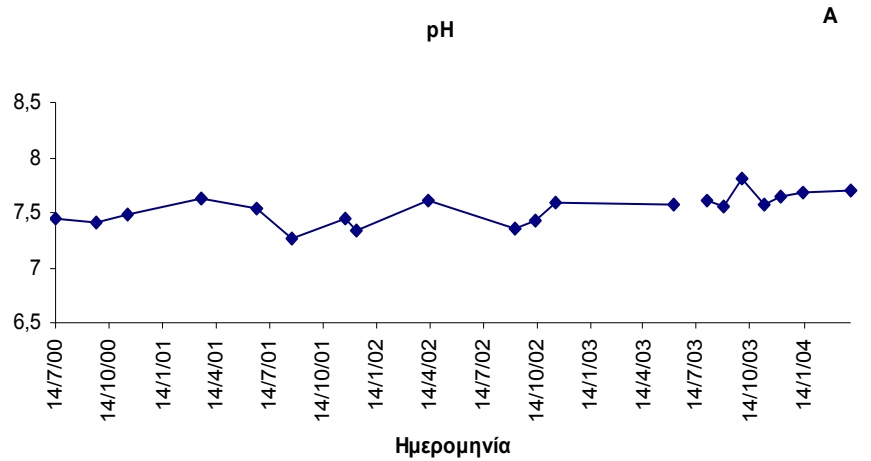
Σε ότι αφορά το μικροβιακό φορτίο σε όλες τις δειγματοληψίες (ένθετος Πίνακας στο Σχήμα 11.5), οι τιμές των ολικών κολοβακτηρίων στη Γεώτρηση 13 είναι μηδενικές. Η συγκέντρωση των κοπρανωδών κολοβακτηρίων, στις τρεις πρώτες δειγματοληψίες είναι μηδενική, στην δειγματοληψία στις 6/11/03 η συγκέντρωσή τους φτάνει τις 2 αποικίες/100ml, η οποία δεν ξεπερνάει το όριο που ορίζεται από τη νομοθεσία για το πόσιμο νερό που είναι 20 αποικίες/100 ml και στις επόμενες τρεις δειγματοληψίες η συγκέντρωση των κοπρανωδών κολοβακτηρίων είναι ξανά μηδενική.

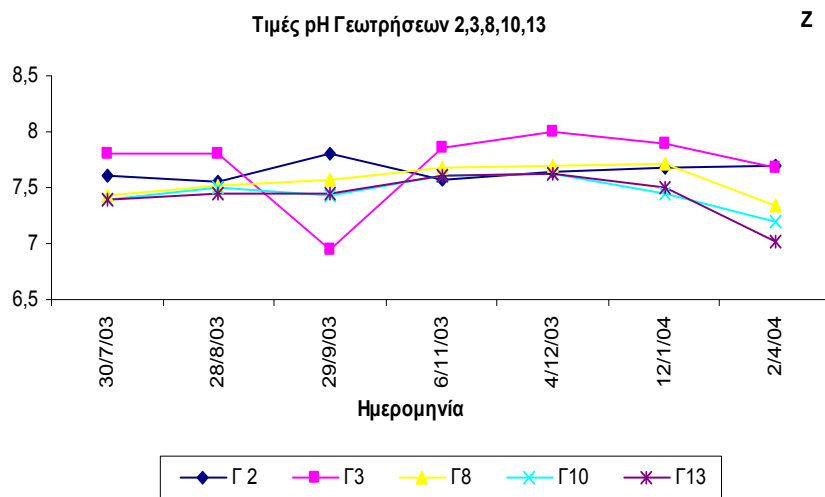
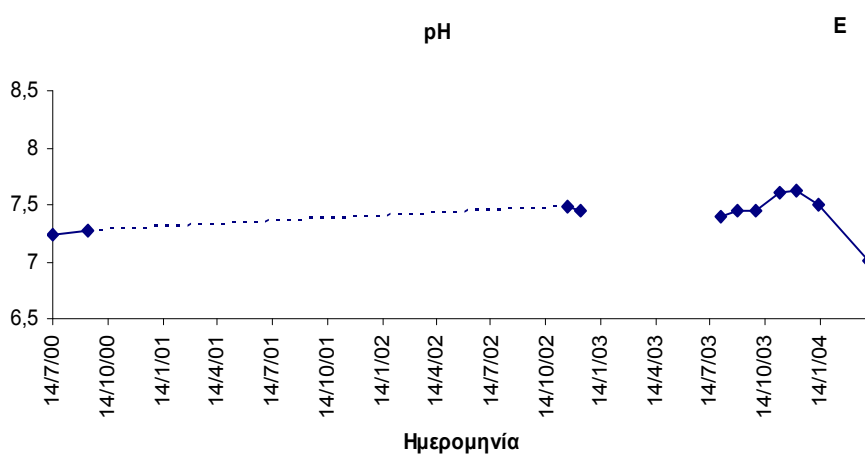
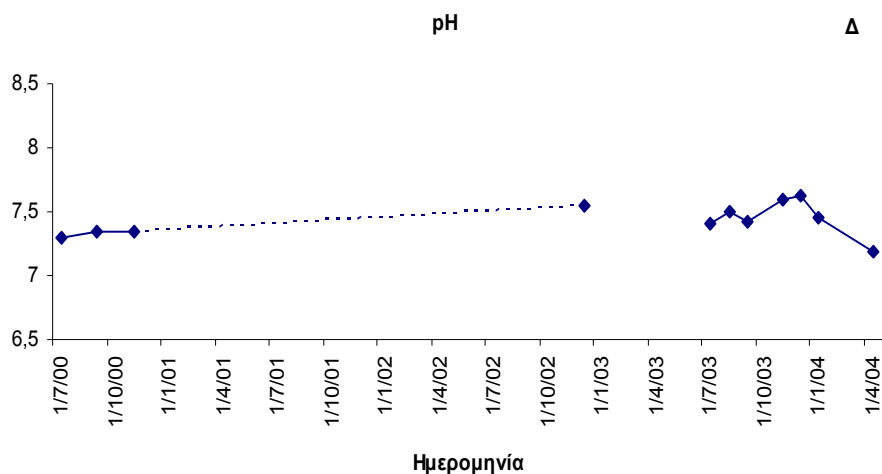


Σχήμα 11.5 Μεταβολή των παραμέτρων **Α**.pH, **Β**.αγωγιμότητα (µS/cm), **Γ**.σκληρότητας (Γερμ. Βαθμούς), **Δ**.χλωριόντων (mg/Lt), **Ε**.φωσφορικών ιόντων (mg/Lt), **Ζ**.αμμωνιακών ιόντων (mg/Lt) και **Η**.νιτρικών ιόντων (mg/Lt) στο νερό της Γεώτρησης 13 (χημικές αναλύσεις από 30/7/2003 έως 2/4/2004). Στον ένθετο πίνακα παρουσιάζονται οι μετρήσεις ολικών και κοπρανωδών κολοβακτηριδίων στην Γεώτρηση 13 (χημικές αναλύσεις από 30/7/2003 έως 2/4/2004).

12. ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ:

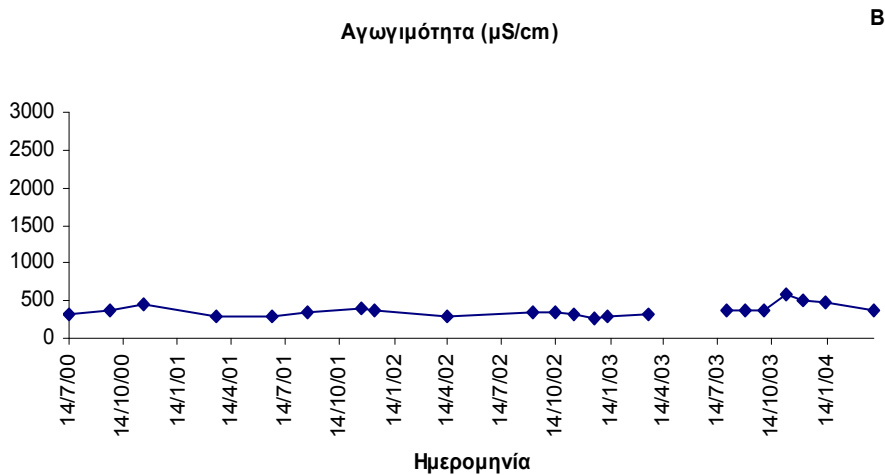
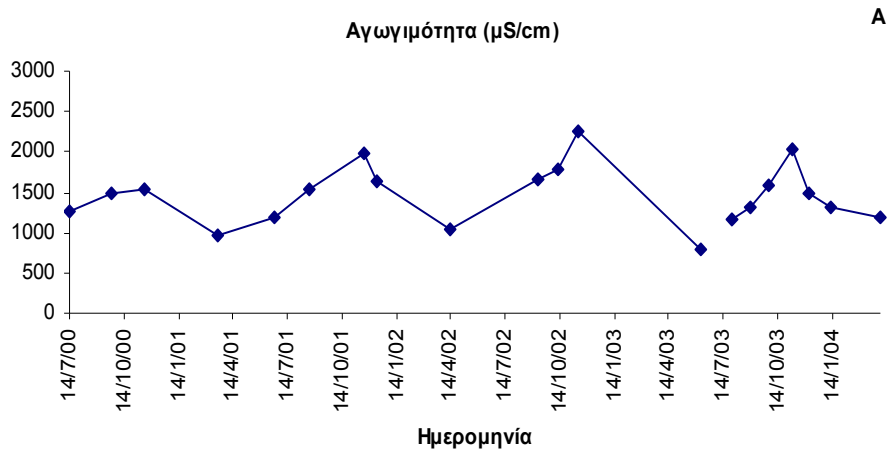
Παρατηρείται ότι η διακύμανση του pH του νερού των Γεωτρήσεων που μελετήθηκαν είναι μικρή (από 6,95 έως 8 βαθμούς μέτρησης του pH), κάτι που προκύπτει από τις δειγματοληψίες κατά την περίοδο μελέτης (Σχήμα 12.1.Ζ), αλλά και από το ιστορικό των Γεωτρήσεων (Σχήματα 12.1.Α, 12.1.Β, 12.1.Γ, 12.1.Δ, 12.1.Ε).





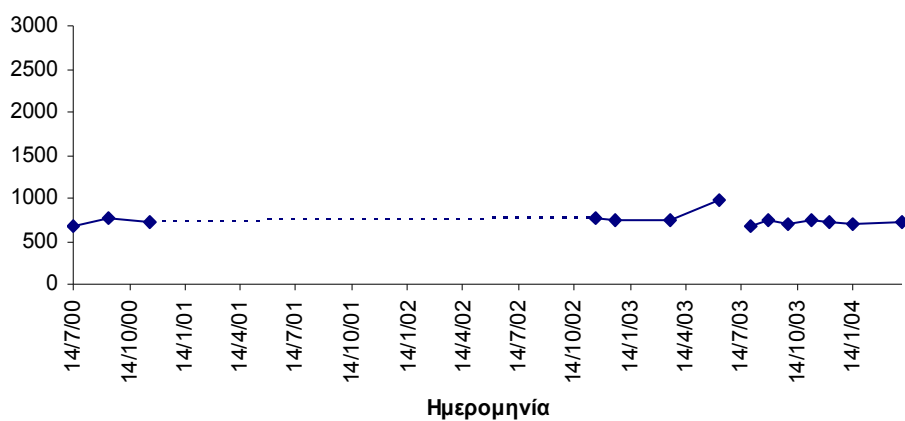
Σχήμα 12.1 Μεταβολή του pH μαζί με ιστορικό στο νερό των Γεωτρήσεων μελέτης **Α.**Γεώτρηση 2, **Β.**Γεώτρηση 3, **Γ.**Γεώτρηση 8, **Δ.**Γεώτρηση 10, **Ε.**Γεώτρηση 13, **Ζ.**Μεταβολή του pH στο νερό των Γεωτρήσεων κατά την περίοδο μελέτης (από 30/7/2003 έως 2/4/2004).

Όσον αφορά την αγωγιμότητα, την σκληρότητα και την συγκέντρωση των ιόντων χλωρίου διαπιστώνεται ανάλογη τάση εποχιακής μεταβολής τους, σε όλες τις Γεωτρήσεις που μελετήθηκαν, κατά την διάρκεια των δειγματοληψιών (Σχήματα 12.2.Z, 12.3.Z, 12.4.Z), αλλά και κατά το ιστορικό τους (Σχήματα 12.2.A, 12.2.B, 12.2.Γ, 12.2.Δ, 12.2.E, 12.3.A, 12.3.B, 12.3.Γ, 12.3.Δ, 12.3.E, 12.4.A, 12.4.B, 12.4.Γ, 12.4.Δ, 12.4.E). Συγκεκριμένα, οι Γεωτρήσεις 2, 10, 13 παρουσιάζουν μεγάλη διακύμανση στις τιμές της αγωγιμότητας (από 620 $\mu\text{S}/\text{cm}$ έως 2710 $\mu\text{S}/\text{cm}$), στις τιμές της σκληρότητας (από 10,4 έως 36,5 Γερμανικούς Βαθμούς) και στις τιμές της συγκέντρωσης ιόντων χλωρίου (από 92,3 mg/lt έως 763,2 mg/lt). Οι Γεωτρήσεις 3 και 8 παρουσιάζουν πολύ μικρή διακύμανση στις τιμές των παραπάνω παραμέτρων.



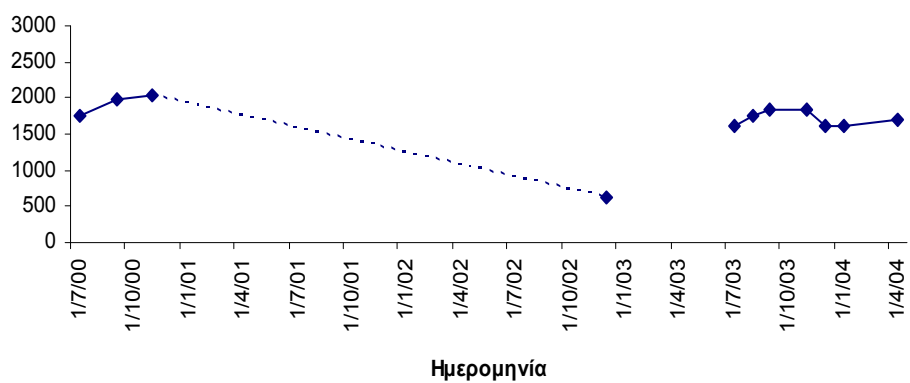
Αγωγιμότητα (μS/cm)

Γ



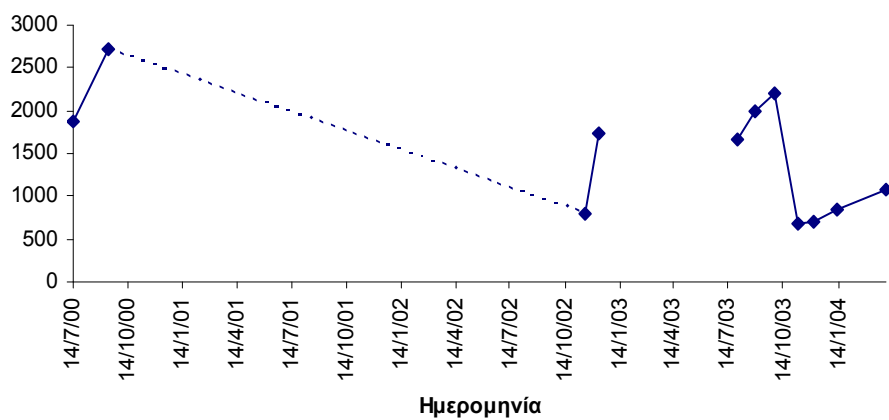
Αγωγιμότητα (μS/cm)

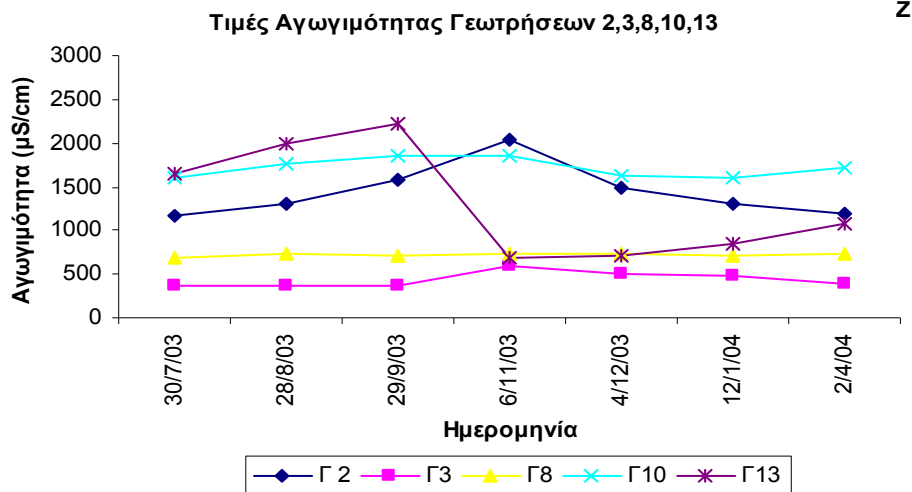
Δ



Αγωγιμότητα (μS/cm)

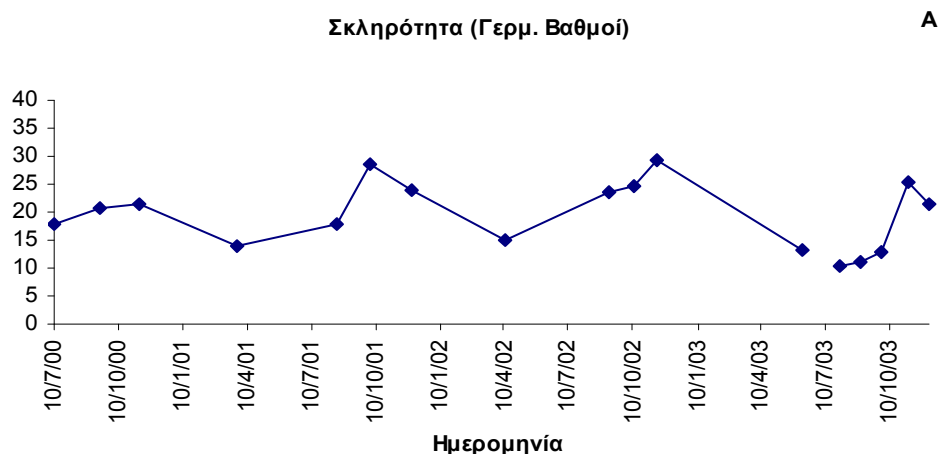
Ε





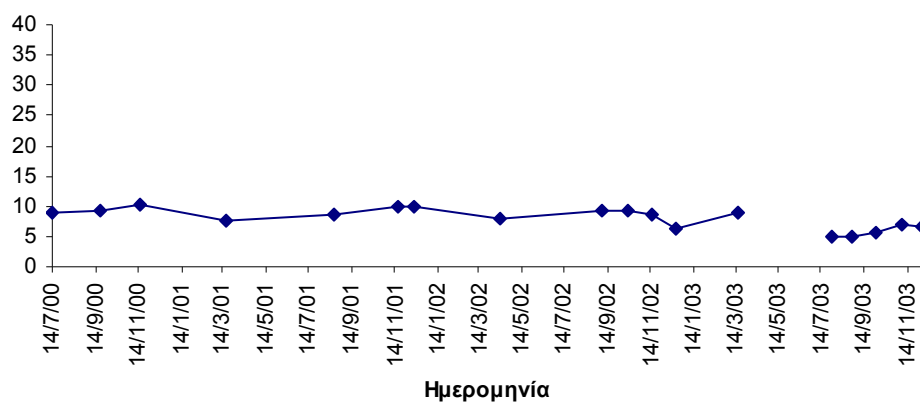
Σχήμα 12.2 Μεταβολή της αγωγιμότητας μαζί με ιστορικό στο νερό των Γεωτρήσεων μελέτης **A**.Γεώτρηση 2, **B**.Γεώτρηση 3, **Γ**.Γεώτρηση 8, **Δ**.Γεώτρηση 10, **Ε**.Γεώτρηση 13, **Z**.Μεταβολή της αγωγιμότητας στο νερό των Γεωτρήσεων κατά την περίοδο μελέτης (από 30/7/2003 έως 2/4/2004).

Η παράλληλη αύξηση της τιμής της ηλεκτρικής αγωγιμότητας, της σκληρότητας και της συγκέντρωσης ιόντων χλωρίου, ιδιαίτερα κατά την φθινοπωρινή περίοδο, αποδεικνύει την ύπαρξη του φαινομένου της υφαλμύρισης, ιδιαίτερα στις Γεωτρήσεις που παρουσιάζουν μεγάλη διακύμανση σε αυτές τις παραμέτρους. Ανάλογα αποτελέσματα έχουν παρουσιαστεί σε προηγούμενες μελέτες για το νερό των Γεωτρήσεων του Δήμου Μαλίων, όπου η μέγιστη περιεκτικότητα σε ιόντα χλωρίου στις Γεωτρήσεις 2, 10, 13 κυμαίνεται από 400 mg/lit έως 1400 mg/lit, ενώ στις Γεωτρήσεις 3 και 8 εντοπίζεται μικρότερη των 200 mg/lit.



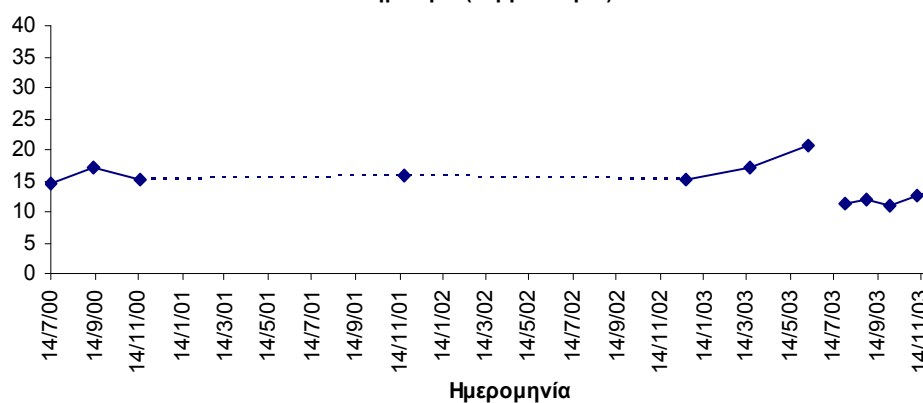
Σκληρότητα (Γερμ. Βαθμοί)

Β



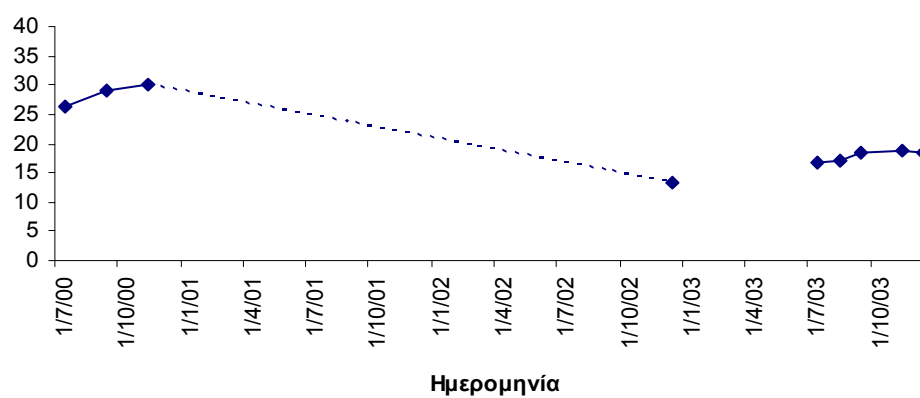
Σκληρότητα (Γερμ. Βαθμοί)

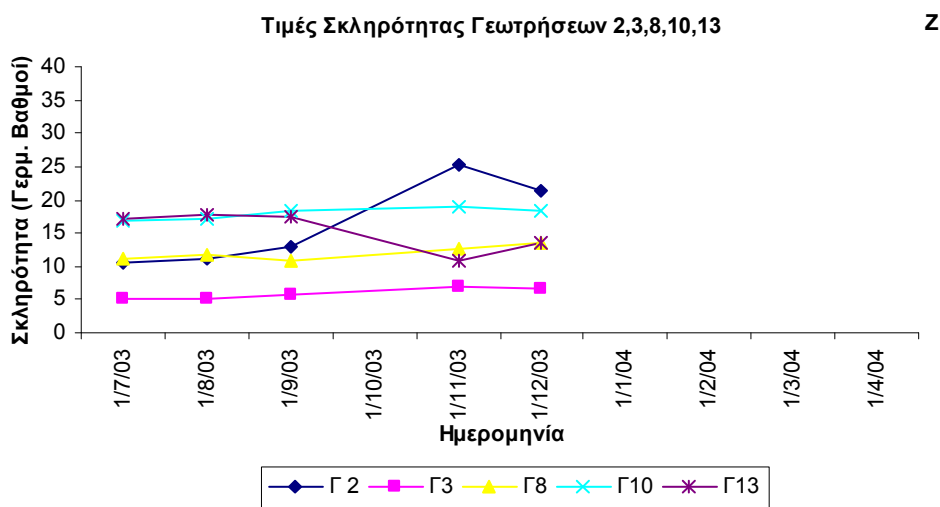
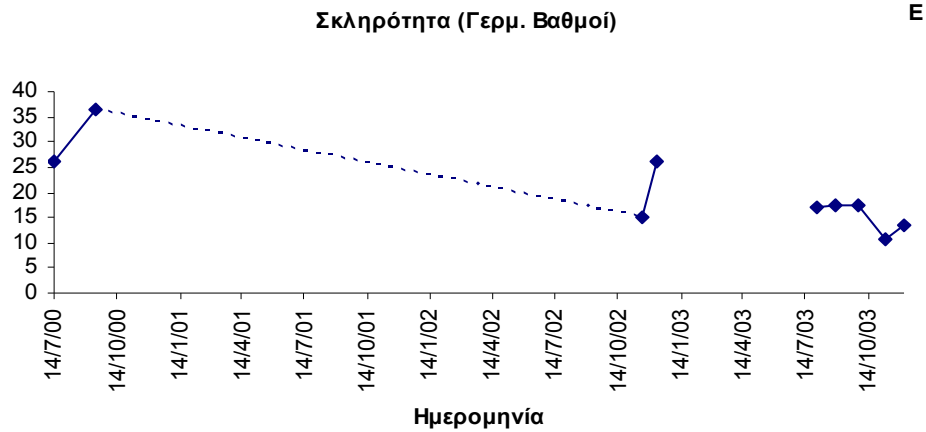
Γ



Σκληρότητα (Γερμ. Βαθμοί)

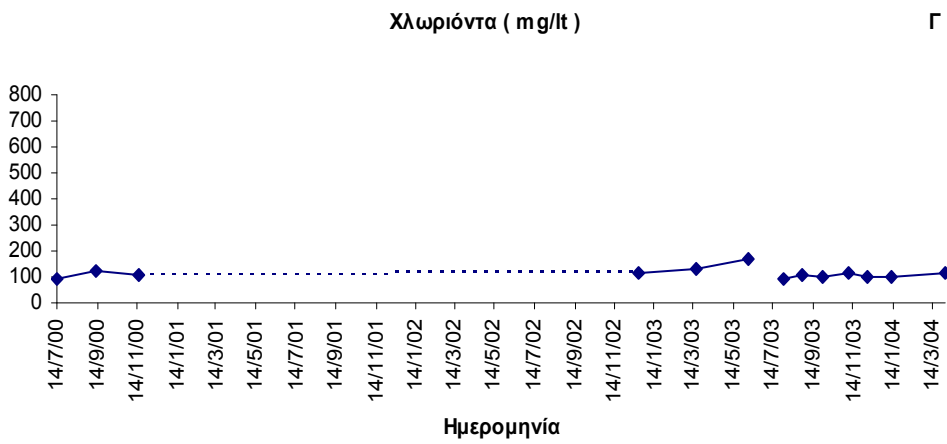
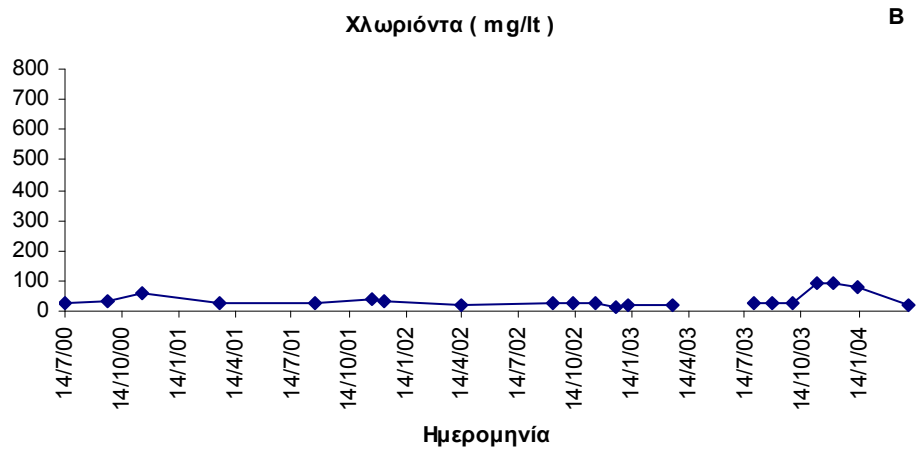
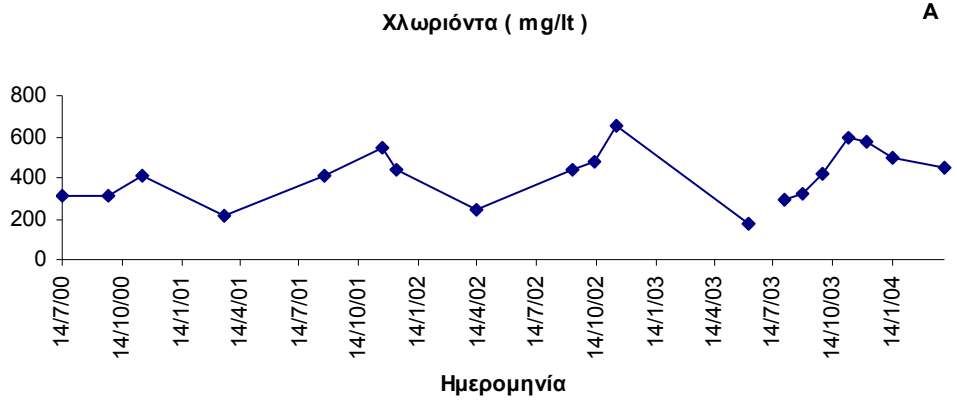
Δ

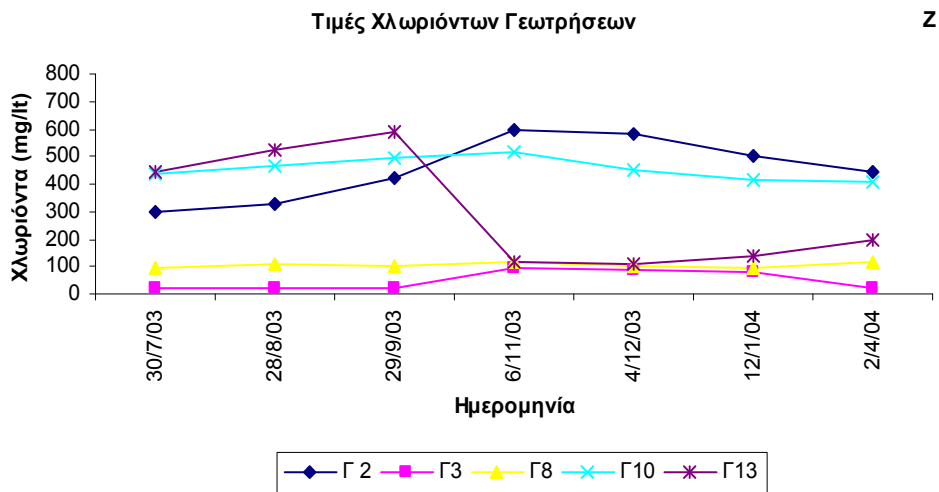
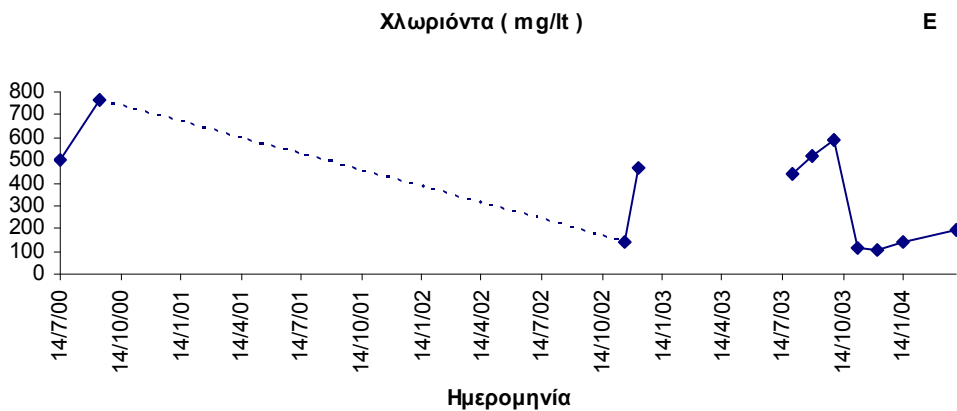
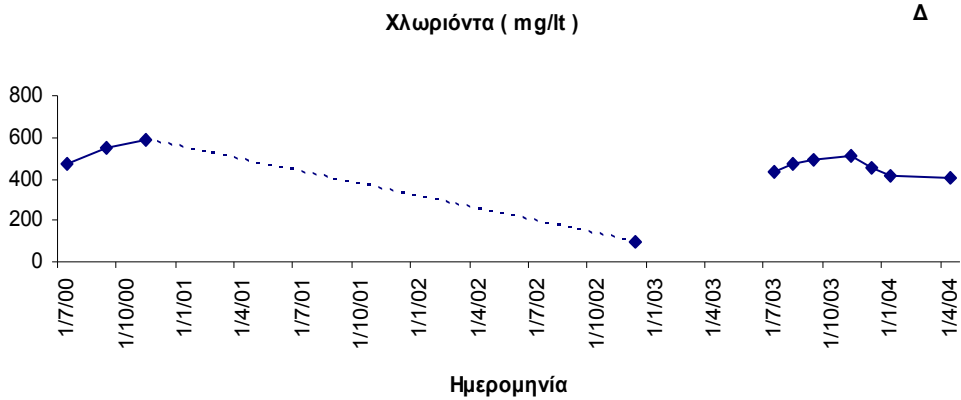




Σχήμα 12.3 Μεταβολή της σκληρότητας μαζί με ιστορικό στο νερό των Γεωτρήσεων μελέτης **A.**Γεώτρηση 2, **B.**Γεώτρηση 3, **Γ.**Γεώτρηση 8, **Δ.**Γεώτρηση 10, **E.**Γεώτρηση 13, **Z.**Μεταβολή της σκληρότητας στο νερό των Γεωτρήσεων κατά την περίοδο μελέτης (από 30/7/2003 έως 2/4/2004).

Δεδομένου ότι η περιεκτικότητα σε ιόντα χλωρίου μιας γεώτρησης πρακτικά συναρτάται από την απόστασή της από την ακτή, το βάθος της, το ρυθμό άντλησης, καθώς και την χρονική μεταβολή της πιεζομετρίας της, αναμένεται ότι οι πλησιέστερες προς την ακτή και βαθύτερες Γεωτρήσεις, να παρουσιάζουν μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε ιόντα χλωρίου. Σε γενικές γραμμές οι παραπάνω γεωτρήσεις ακολουθούν τον κανόνα αυτό. Εξαίρεση αποτελεί η Γεώτρηση 8 της Σταλίδας, αλλά θα πρέπει να σημειωθεί ότι για τις γεωτρήσεις της ΔΕΥΑΜ δεν υπάρχει πληρότητα χρονοσειρών. Επιπροσθέτως, σημαντικές αυξήσεις στις περιεκτικότητες ιόντων χλωρίου, δύναται να παρατηρούνται κατά τις περιόδους εντατικής αντλητικής δραστηριότητας, προφανώς λόγω της δημιουργίας κώνων ανύψωσης της διεπιφάνειας γλυκού – αλμυρού νερού [6].





Σχήμα 12.4 Μεταβολή της συγκέντρωσης ιόντων χλωρίου μαζί με ιστορικό στο νερό των Γεωτρήσεων μελέτης **Α.**Γεώτρηση 2, **Β.**Γεώτρηση 3, **Γ.**Γεώτρηση 8, **Δ.**Γεώτρηση 10, **Ε.**Γεώτρηση 13, **Ζ.**Μεταβολή της συγκέντρωσης ιόντων χλωρίου στο νερό των Γεωτρήσεων κατά την περίοδο μελέτης (από 30/7/2003 έως 2/4/2004).

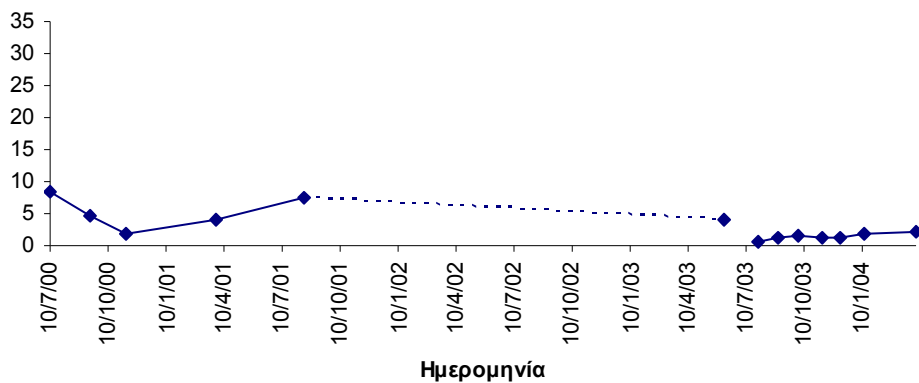
Χαρακτηριστικές είναι οι υψηλές τιμές νιτρικού αζώτου σε όλες τις γεωτρήσεις που μελετήθηκαν, με αυξητική τάση τον μήνα Απρίλιο (Σχήμα 12.5.Ζ). Σε καμία περίπτωση η συγκέντρωση του νιτρικού αζώτου που μετρήσαμε, δεν ξεπερνά την παραμετρική τιμή που ορίζεται από τη νομοθεσία

για το πόσιμο νερό. Δεν ισχύει όμως το ίδιο και για τις συγκεντρώσεις του νιτρικού αζώτου κατά ιστορικό των γεωτρήσεων (Σχήματα 12.5.A, 12.5.B, 12.5.Γ, 12.5.Δ, 12.5.Ε). Παρατηρείται ότι κατά το ιστορικό της Γεώτρησης 8, η μέγιστη τιμή της συγκέντρωσης του νιτρικού αζώτου, που μετρήθηκε στις 7/6/2003, είναι 29,3 mg/lit, τιμή μεγαλύτερη από το όριο που έχει τεθεί από τη νομοθεσία για το πόσιμο νερό (25 mg/lit). Όπως επίσης παρατηρείται στην Γεώτρηση 10 κατά το ιστορικό της, στις 14/7/2000 να εμφανίζεται μέγιστη τιμή της συγκέντρωσης του νιτρικού αζώτου, 10,5 mg/lit, τιμή όχι πολύ υψηλή όπως αυτή της Γεώτρησης 8 και που δεν ξεπερνάει την παραμετρική τιμή που ορίζεται από τη νομοθεσία για το πόσιμο νερό. Τέλος, το ίδιο παρατηρείται και κατά το ιστορικό της Γεώτρησης 13, όπου στις 18/11/2002 εμφανίζεται μέγιστη τιμή του νιτρικού αζώτου 10,1 mg/lit, τιμή επίσης όχι πολύ υψηλή που δεν ξεπερνάει το όριο που έχει τεθεί από τη νομοθεσία για το πόσιμο νερό.

Στα επιφανειακά νερά και υπόγεια νερά, οι συγκεντρώσεις των νιτρικών είναι συνήθως μικρές. Η παρουσία υψηλών συγκεντρώσεων στα επιφανειακά και υπόγεια νερά, είναι δείκτης ρύπανσης των υδάτων από λιπάσματα ή λύματα και απόβλητα [10]. Με βάση τα παραπάνω, μπορούμε να αιτιολογήσουμε τη μέτρηση υψηλών τιμών νιτρικού αζώτου κατά το ιστορικό των Γεωτρήσεων, αφού η Γεώτρηση 8 βρίσκεται λίγα μέτρα μόλις από εργοστάσιο παραγωγής και εμφιάλωσης αναψυκτικών (Κάβα Καπετανάκη), ενώ οι Γεωτρήσεις 10 και 13 παρόλο που δεν είναι αστικοποιημένες και δεν ανήκουν σε βιομηχανικές ζώνες, βρίσκονται όμως πολύ κοντά σε περιοχές εκτροφής αιγοπροβάτων.

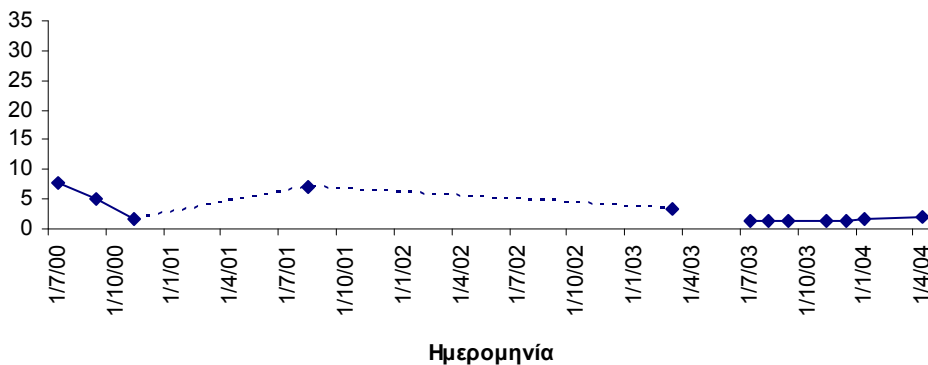
Νιτρικά (mg/lit)

A



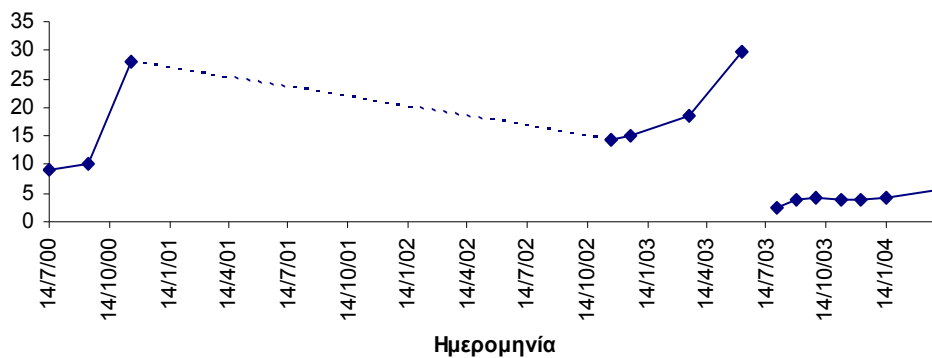
Νιτρικά (mg/lit)

B



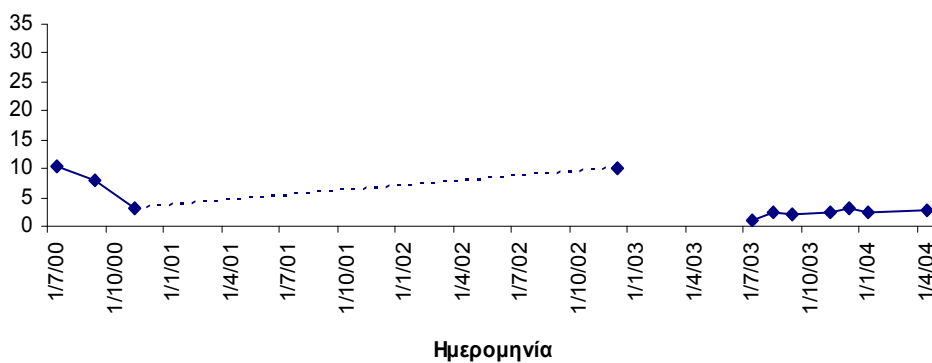
Νιτρικά (mg/l)

Γ



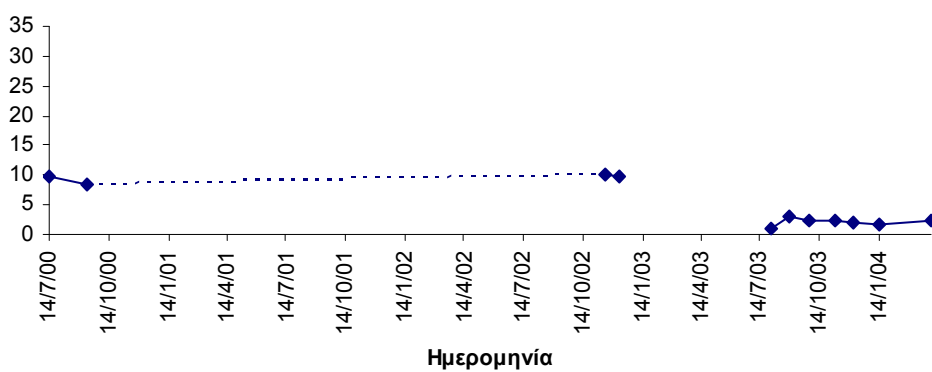
Νιτρικά (mg/l)

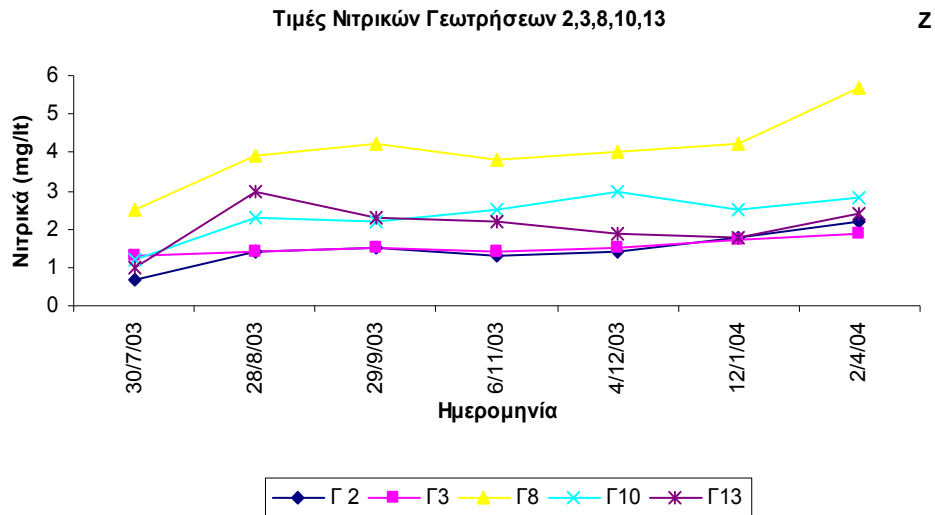
Δ



Νιτρικά (mg/l)

Ε

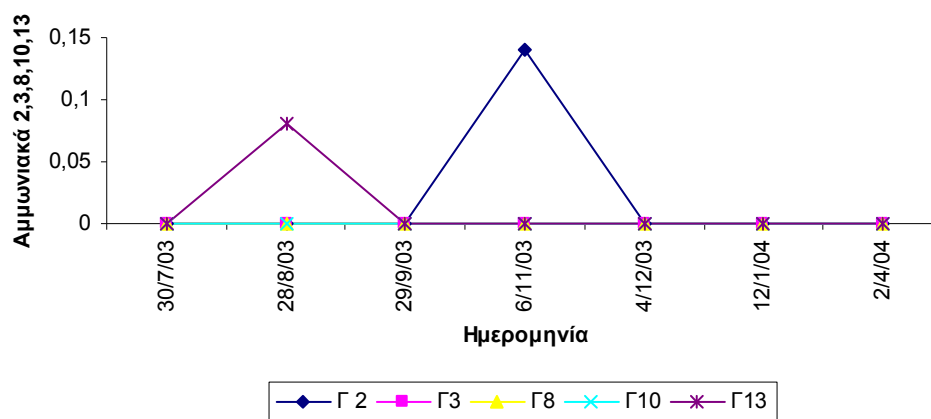




Σχήμα 12.5 Μεταβολή της συγκέντρωσης νιτρικού αζώτου μαζί με ιστορικό στο νερό των Γεωτρήσεων μελέτης **A.**Γεώτρηση 2, **B.**Γεώτρηση 3, **Γ.**Γεώτρηση 8, **Δ.**Γεώτρηση 10, **Ε.**Γεώτρηση 13, **Z.**Μεταβολή της συγκέντρωσης νιτρικού αζώτου στο νερό των Γεωτρήσεων κατά την περίοδο μελέτης (από 30/7/2003 έως 2/4/2004).

Οι τιμές του αμμωνιακού αζώτου σε όλες τις γεωτρήσεις είναι μηδενικές ή μικρότερες από 0,05 mg/l (ελάχιστο όριο ανίχνευσης του test kit μέτρησης αμμωνιακών είναι 0,05 mg/l $\text{NH}_4 - \text{N}$), με εξαίρεση τη δειγματοληψία της 6/11/2003 στην Γεώτρηση 2, που η συγκέντρωσή του φτάνει τα 0,14 mg/l και τη δειγματοληψία της 28/8/2003 στην Γεώτρηση 13, που η συγκέντρωσή του φτάνει τα 0,08 mg/l (Σχήμα 12.6.A). Απότομα αυξημένες τιμές όπως αυτές, μπορούν να αποδοθούν αποκλειστικά σε εξωτερικές επιδράσεις.

Στα επιφανειακά νερά και απόβλητα, το άζωτο δεν απαντάται σε αέρια μορφή (ως N_2) αλλά βρίσκεται δεσμευμένο, ως οργανικό άζωτο, σε υπολείμματα ή προϊόντα φυτών και ζώων από τη μορφή πρωτεϊνών, πεπτιδίων κ.τ.λ. ή υπό τη μορφή ανόργανων ενώσεων όπως αμμωνία, νιτρικά και νιτρώδη ιόντα. Οι ανόργανες μορφές του αζώτου, προέρχονται από την οξείδωση του οργανικού αζώτου, εκπλύσεις γεωργικών εκτάσεων, επιβαρυμένων με λιπάσματα ή από λύματα και βιομηχανικά απόβλητα [10]. Δεδομένου ότι η Γεώτρηση 2 βρίσκεται πολύ κοντά σε περιοχή με θερμοκήπια και η Γεώτρηση 13 σε κτηνοτροφική περιοχή, αιτιολογούνται οι απότομες αυξήσεις του αμμωνιακού αζώτου στο νερό των γεωτρήσεων αυτών. Παρ' όλα αυτά η συγκέντρωση των 0,14 mg/l $\text{NH}_4 - \text{N}$ και 0,08 mg/l $\text{NH}_4 - \text{N}$ δεν θεωρείται επικίνδυνη για το υδάτινο οικοσύστημα. Τα παραπάνω συμπεράσματα βγαίνουν μόνο κατά την περίοδο μελέτης του νερού των γεωτρήσεων, αφού υπάρχει έλλειψη ιστορικού όσον αφορά το αμμωνιακό άζωτο.



Σχήμα 12.6.A. Μεταβολή της συγκέντρωσης αμμωνιακού αζώτου στο νερό των Γεωτρήσεων κατά την περίοδο μελέτης (από 30/7/2003 έως 2/4/2004).

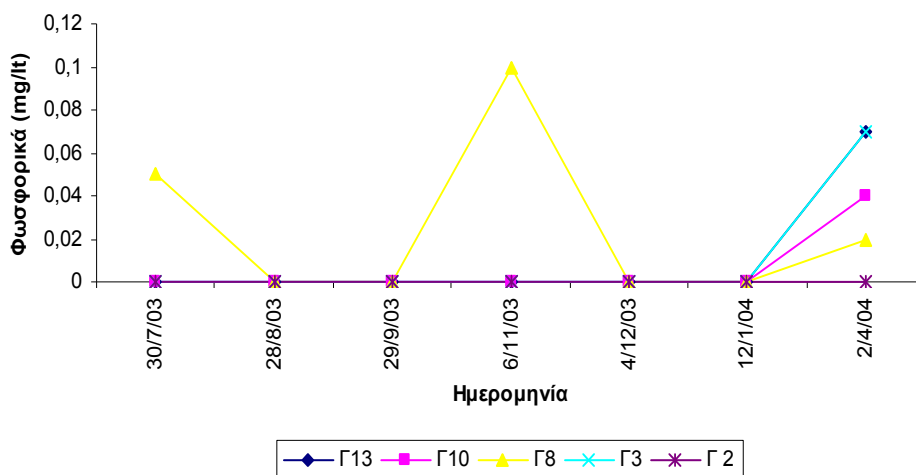
Οι τιμές των συγκεντρώσεων των ορθοφωσφορικών ιόντων στις Γεωτρήσεις 2 και 10 είναι μηδενικές ή μικρότερες του 0,05 mg/l $\text{PO}_4 - \text{P}$ (ελάχιστο όριο ανίχνευσης του test kit μέτρησης ορθοφωσφορικών ιόντων είναι 0,05 mg/l $\text{PO}_4 - \text{P}$). Στις Γεωτρήσεις 3 και 13, παρουσιάζεται απότομα αυξημένη τιμή, 0,07 mg/l $\text{PO}_4 - \text{P}$, κατά την τελευταία δειγματοληψία (2/4/2004) και στις δύο γεωτρήσεις. Στην Γεώτρηση 8 παρουσιάστηκαν δυο απότομα αυξημένες τιμές 0,05 mg/l $\text{PO}_4 - \text{P}$ στις 30/7/2003 και 0,1 mg/l $\text{PO}_4 - \text{P}$ στις 6/11/2003, ενώ όλες οι υπόλοιπες τιμές συμπίπτουν με το θεωρητικό μηδέν (Σχήμα 12.7.A).

Στα επιφανειακά νερά και απόβλητα, ο φώσφορος 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. Πολλά από τα χρησιμοποιούμενα απορρυπαντικά, οικιακής ή βιομηχανικής χρήσης περιέχουν πολυφωσφορικά ιόντα για την αποσκλήρυνση του νερού. Έτσι λύματα και απόβλητα καταλήγουν στους επιφανειακούς αποδέκτες, επιβαρυνόμενα με σημαντικές ποσότητες φωσφόρου. 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 οργανικός φώσφορος δημιουργείται κυρίως από βιολογικές διαδικασίες. Οργανικός φώσφορος περιέχεται στα περιττώματα και υπολείμματα τροφών και συνεπώς στα λύματα. Φώσφορος υπάρχει ακόμα, στα ιζήματα λιμνών, λιμνοθαλασσών και κλειστών θαλάσσιων κόλπων και στη βιολογική ιλύ (προέρχεται από τον βιολογικό καθαρισμό των λυμάτων) υπό την μορφή ανόργανων αλάτων ή δεσμευμένος σε οργανικές ενώσεις [10].

Με δεδομένο ότι η Γεώτρηση 3 βρίσκεται κοντά σε καλλιεργήσιμη γη και θερμοκήπια, ότι η Γεώτρηση 13 βρίσκεται κοντά σε καλλιεργήσιμη και κτηνοτροφική περιοχή και η Γεώτρηση 8 βρίσκεται κοντά σε εργοστάσιο παραγωγής και εμφιάλωσης αναψυκτικών (Κάβα Καπετανάκη), αιτιολογούνται οι απότομα αυξημένες τιμές των ορθοφωσφορικών ιόντων στις γεωτρήσεις αυτές. Λόγω έλλειψης ιστορικού του νερού των Γεωτρήσεων που μελετήθηκαν σχετικά με τα ορθοφωσφορικά ιόντα, καταλήγουμε στα παραπάνω συμπεράσματα μόνο κατά την περίοδο των δειγματοληψιών.

Τιμές Φωσφορικών Γεωτρήσεων 2,3,8,10,13

A



Σχήμα 12.7.A. Μεταβολή της συγκέντρωσης ορθοφωσφορικών ιόντων στο νερό των Γεωτρήσεων κατά την περίοδο μελέτης (από 30/7/2003 έως 2/4/2004). **Σημείωση :** Για τα αμμωνιακά και τα φωσφορικά ιόντα δεν υπάρχει ιστορικό.

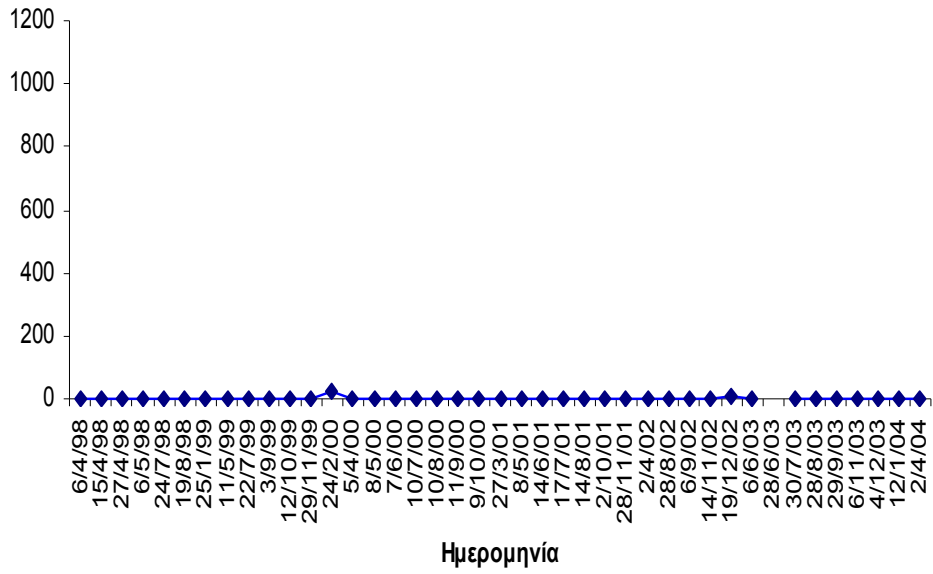
Όσον αφορά το μικροβιακό φορτίο των Γεωτρήσεων που μελετήθηκαν, ενώ κατά την περίοδο των δειγματοληψιών είναι μηδενικό ή πολύ μικρό το οποίο στη συνέχεια εξαλείφεται (Σχήμα 12.9.Ζ, Αντίστοιχο σχήμα για την μεταβολή των ολικών κολοβακτηριδίων δεν υπάρχει αφού οι συγκεντρώσεις τους ήταν μηδενικές κατά την περίοδο των δειγματοληψιών από 30/7/2003 έως 2/4/2004), κατά το ιστορικό παρουσιάζεται έντονη διακύμανση σε όλες τις Γεωτρήσεις, φτάνοντας και τιμές πάρα πολύ μεγάλες και επικίνδυνες για το πόσιμο νερό.

Στις περιπτώσεις των Γεωτρήσεων 2, 3 και 10, τόσο τα ολικά κολοβακτήρια, όσο και τα κοπρικά είναι μηδενικά κατά την περίοδο μελέτης, ενώ κατά το ιστορικό τους στην Γεώτρηση 2 παρουσιάζεται διακύμανση από 0 έως 21 col/100 ml (24/4/2000) στα ολικά κολοβακτήρια, ενώ στα κοπρικά κολοβακτήρια όλες οι τιμές κατά το ιστορικό είναι μηδενικές, εκτός από μία (1 col/100 ml), η οποία παρουσιάζεται στις 17/10/2000. Στην Γεώτρηση 3 έχουμε επίσης κατά το ιστορικό, έντονη διακύμανση του μικροβιακού φορτίου, με τα ολικά κολοβακτήρια να κυμαίνονται από 0 έως 1000 col/100 ml και τα κοπρικά κολοβακτήρια να κυμαίνονται από 0 έως 210 col/100 ml (10/12/1999). Στην Γεώτρηση 10, τα ολικά κολοβακτήρια κυμαίνονται από 0 έως 78 col/100 ml (10/4/2000) και τα κοπρικά κολοβακτήρια από 0 έως 78 col/100 ml (10/4/2000). Στις περιπτώσεις των Γεωτρήσεων 8 και 13, τα ολικά κολοβακτήρια είναι μηδενικά κατά την περίοδο μελέτης, ενώ στα κοπρικά κολοβακτήρια εντοπίζεται μία τιμή της τάξης των 2 col/100 ml την ίδια ημερομηνία και στις δύο Γεωτρήσεις (6/11/2003).

Η Γεώτρηση 8 κατά το ιστορικό της παρουσιάζει έντονη διακύμανση στο μικροβιακό της φορτίο, από 0 έως 10 col/100 ml στα ολικά κολοβακτήρια και από 0 έως 9 col/100 ml στα κοπρικά κολοβακτήρια. Η Γεώτρηση 13 παρουσιάζει μία μόνο αυξημένη τιμή στα ολικά κολοβακτήρια κατά το ιστορικό της 4 col/100 ml (9/6/2000), ενώ οι συγκεντρώσεις των κοπρικών κολοβακτηρίων ήταν μηδενικές σε όλες τις περιπτώσεις (Σχήματα 12.8.A, 12.8.B, 12.8.Γ, 12.8.Δ, 12.8.E, 12.9.A, 12.9.B, 12.9.Γ, 12.9.Δ, 12.9.E). Να σημειωθεί ότι η παραμετρική τιμή που ορίζεται από τη νομοθεσία για το πόσιμο νερό, για τα ολικά κολοβακτηρίδια είναι 50 col /100 ml και για τα κοπρικά κολοβακτήρια, είναι 20 col/100 ml.

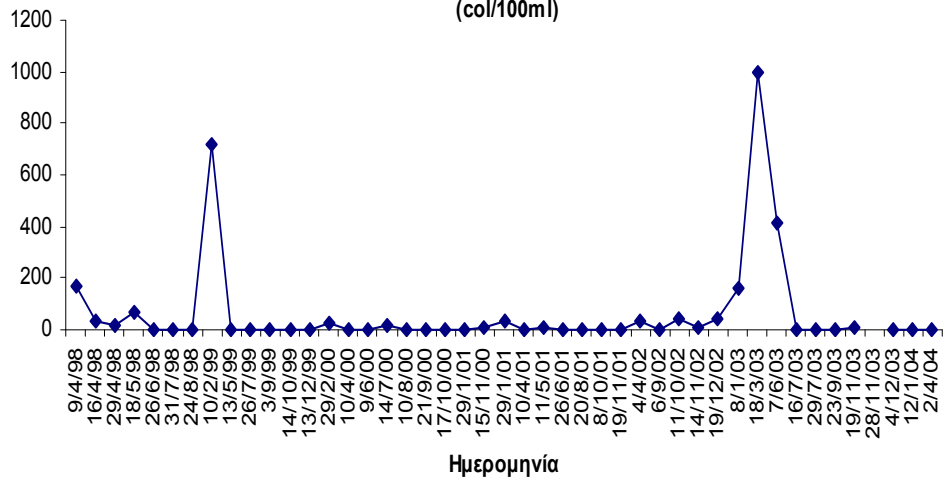
Total Coli (col/100ml)

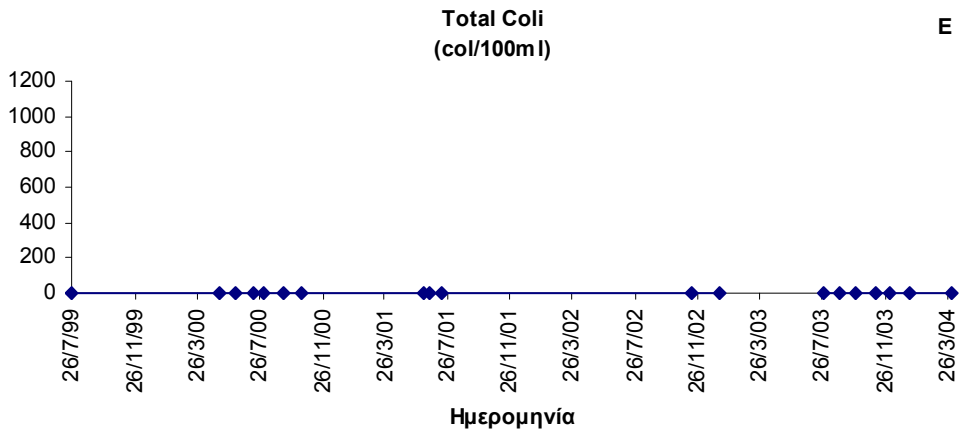
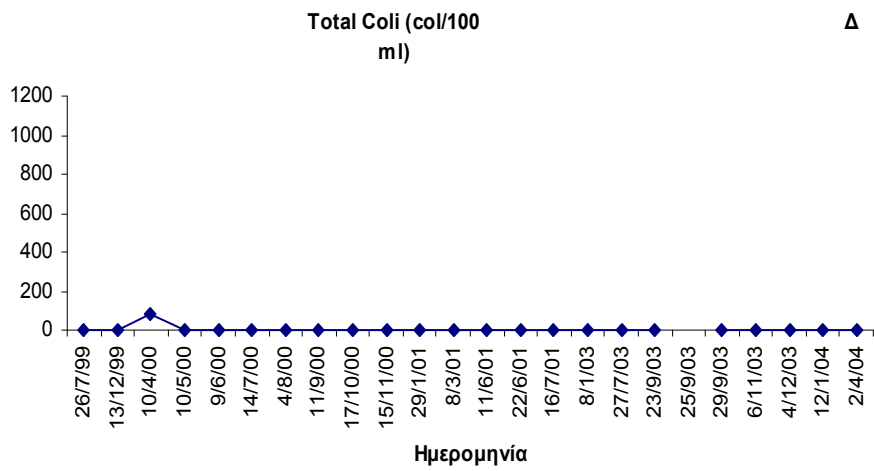
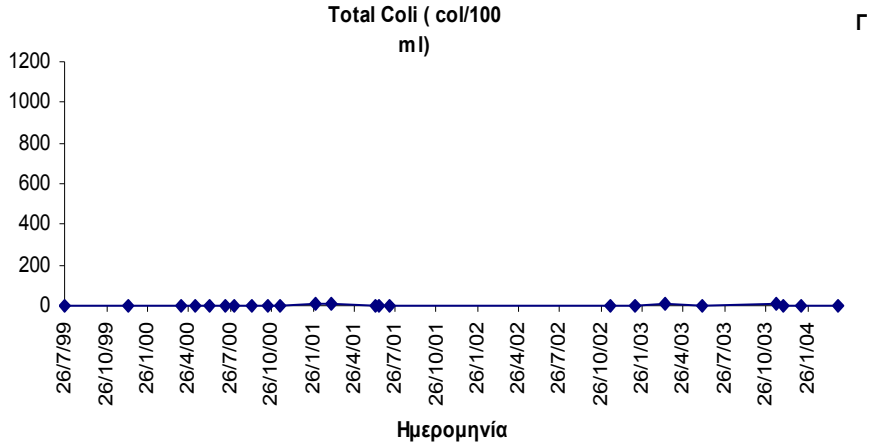
A



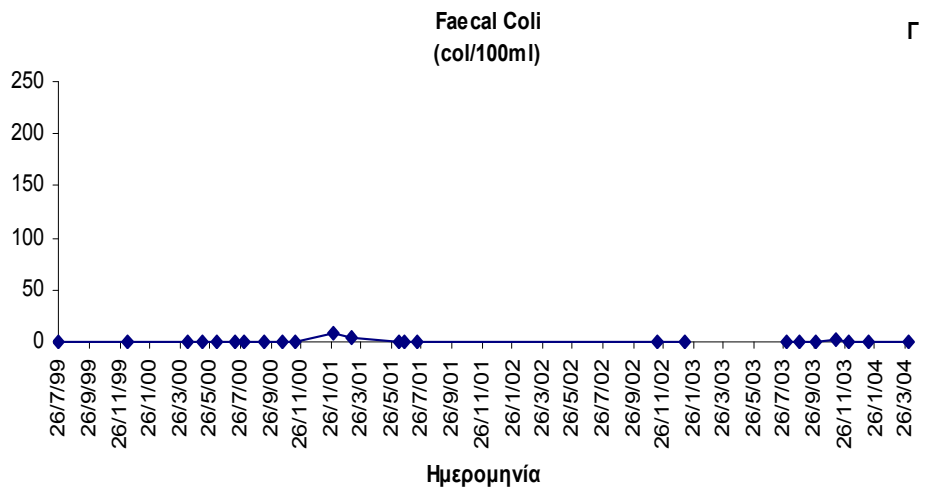
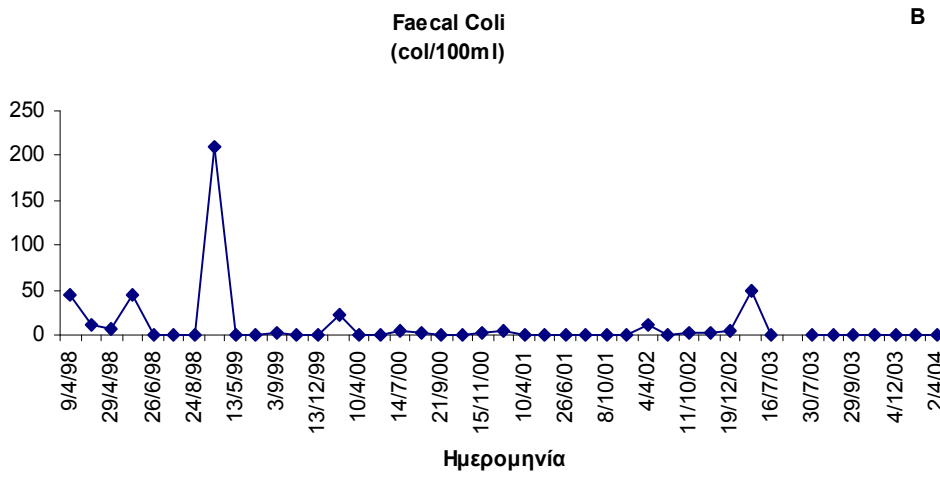
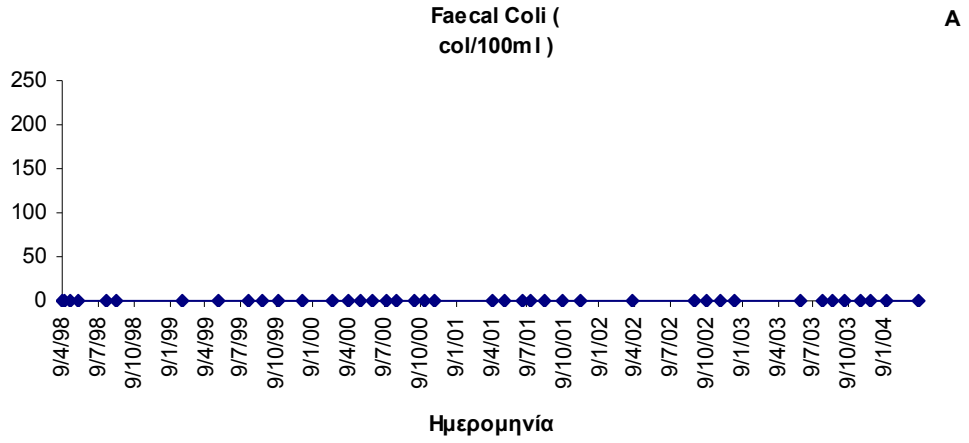
Total Coli (col/100ml)

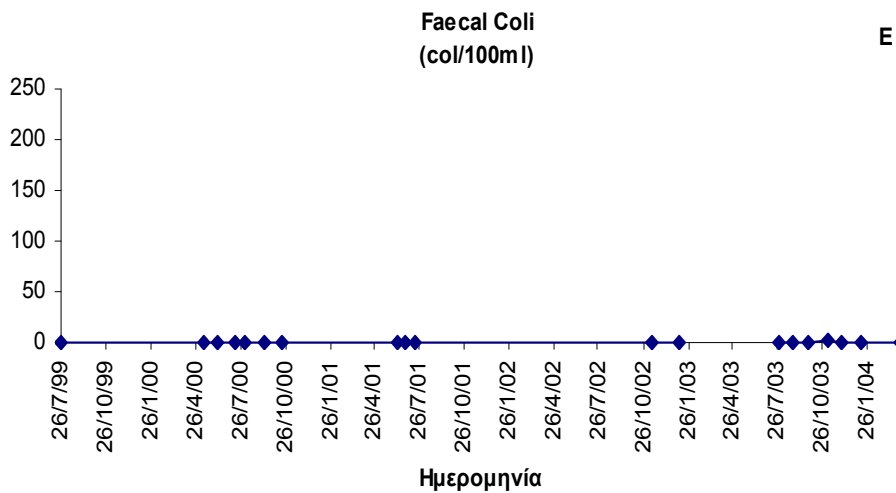
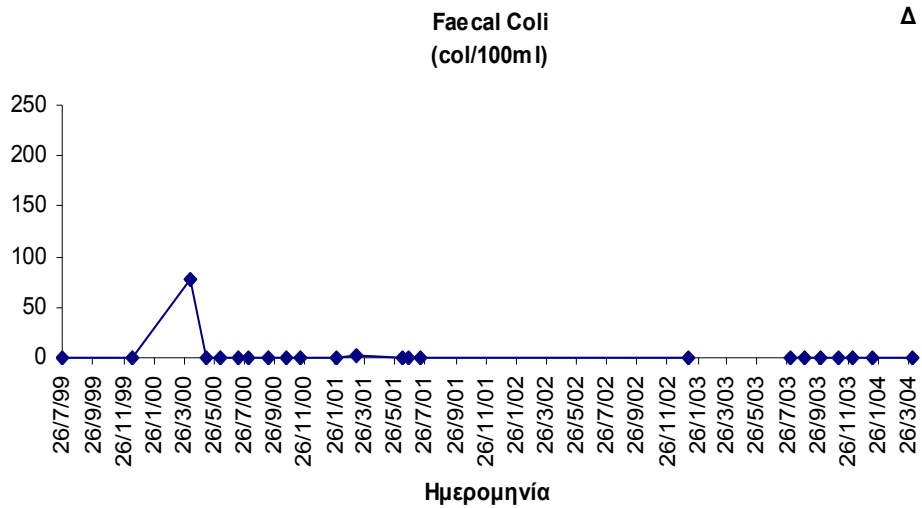
B



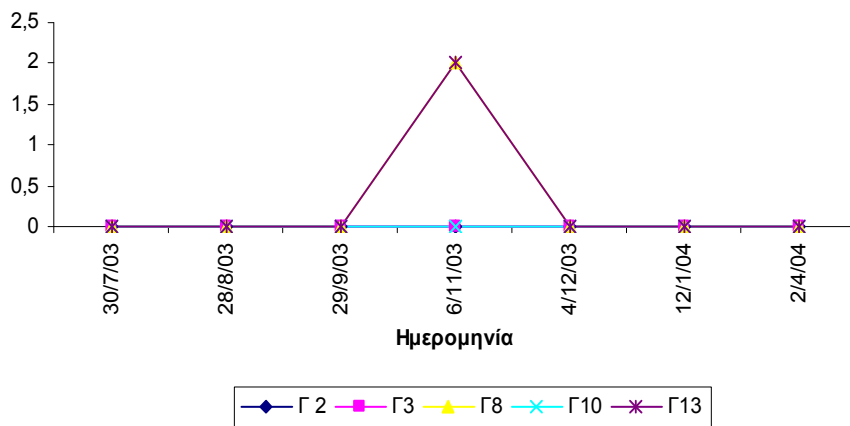


Σχήμα 12.8 Μεταβολή των ολικών κολοβακτηριδίων μαζί με ιστορικό στο νερό των Γεωτρήσεων μελέτης **Α.**Γεώτρηση 2, **Β.**Γεώτρηση 3, **Γ.**Γεώτρηση 8, **Δ.**Γεώτρηση 10, **Ε.**Γεώτρηση 13.





Τιμές Faecal Coli. Γεωτρήσεων 2,3,8,10,13 **Ζ**



Σχήμα 12.9 Μεταβολή των κοπρικών κολοβακτηριδίων μαζί με ιστορικό στο νερό των Γεωτρήσεων μελέτης **Α.**Γεώτρηση 2, **Β.**Γεώτρηση 3, **Γ.**Γεώτρηση 8, **Δ.**Γεώτρηση 10, **Ε.**Γεώτρηση 13, **Ζ.**Μεταβολή των κοπρικών κολοβακτηριδίων στο νερό των Γεωτρήσεων κατά την περίοδο μελέτης (από 30/7/2003 έως 2/4/2004).

Σημείωση : Όπου υπάρχουν διακεκομμένες γραμμές στα σχήματα σημαίνει ότι το συγκεκριμένο διάστημα δεν έχουμε στοιχεία για την διακύμανση των τιμών των

παραμέτρων που μετράμε.

Οι πηγές των μικροοργανισμών ενδεχομένως είναι ανθρώπινα και ζωικά λύματα και απόβλητα. Μόλυνση μπορεί να προκληθεί από την εδάφια διάθεση των λυμάτων των σταθμών επεξεργασίας αστικών λυμάτων και σηπτικών δεξαμενών, τις εκπλύσεις από τους σκουπιδότοπους και τις ποικίλες γεωργικές πρακτικές, όπως η διάθεση στο έδαφος της ζωικής κόπρου για οργανική λίπανση. Μικροί οικισμοί και εποχιακή αύξηση του πληθυσμού, χαρακτηριστικό και των δύο περιοχών μελέτης, δημιουργούν επίσης συχνά τοπικά προβλήματα από την παραγωγή και διάθεση των λυμάτων [16]. Εδώ αξίζει να σημειωθεί ότι την περιοχή μελέτης κατά την διάρκεια των δειγματοληψιών δεν εξυπηρετούσε κάποιος βιολογικός καθαρισμός αστικών αποβλήτων.

Δεδομένου ότι όλες οι Γεωτρήσεις που μελετήθηκαν, βρίσκονται κοντά σε κατοικημένες και καλλιεργήσιμες περιοχές, σε περιοχές εκτροφής ζώων κ.τ.λ. δικαιολογημένα ανιχνεύτηκε μικροβιακό φορτίο στο νερό των Γεωτρήσεων αυτών, ιδιαίτερα κατά το ιστορικό τους. Το γεγονός, ότι το μικροβιακό φορτίο σχεδόν εξαφανίζεται κατά την περίοδο των δειγματοληψιών, μάλλον οφείλεται στο ότι εκείνη την περίοδο είχε εγκατασταθεί σύστημα χλωρίωσης του νερού από τη ΔΕΥΑ Μαλίων σχεδόν σε όλες τις Γεωτρήσεις.

Τα αποτελέσματα των παραμέτρων που μετρήθηκαν συγκρίθηκαν με τις τιμές των προτύπων απαιτούμενης ποιότητας των επιφανειακών νερών που προορίζονται για πόσιμα, σε συμμόρφωση με τις οδηγίες του Συμβουλίου των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων 75/440/ΕΟΚ, 76/160/ΕΟΚ, 78/659/ΕΟΚ, 79/923/ΕΟΚ και 79/869/ΕΟΚ.

Συμπερασματικά, όλες οι Γεωτρήσεις που μελετήθηκαν έχουν κατάλληλο νερό για πόσιμο, αρκεί να γίνεται κατάλληλη επεξεργασία πριν την ανθρώπινη κατανάλωση. Επίσης, πρέπει ο ρυθμός άντλησης του νερού κατά τους καλοκαιρινούς μήνες να μειωθεί, ιδιαίτερα στις Γεωτρήσεις 2,10 και 13, στις οποίες παρατηρείται και ο μεγαλύτερος ρυθμός υφαλμύρισης την καλοκαιρινή περίοδο.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Κουϊμτζής Θεμιστοκλής Αθ., Κ. Φυτιάνου, Κ. Σαμαρά – Κωνσταντίνου, 1998, Χημεία Περιβάλλοντος, Εκδόσεις Επιστημονικών Βιβλίων και Περιοδικών, Θεσσαλονίκη
2. Δεληγιάννη Ε.– Β. Μπελεσιώτης, 1995, “ Μέθοδοι και Συστήματα Αφαλάτωσης ”, Αθήνα 1995
3. Καλλέργη Γ. Α., 2000, Εφαρμοσμένη – Περιβαλλοντική Υδρογεωλογία, 2^η Έκδοση, Τόμος Β, Αθήνα
4. Πρακτικά 2/Ημερίδας 27 – 28 Μαΐου 1993, Διαχείριση Υδατικών Πόρων Κρήτης, Γεωτεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, Παρ/μα Κρήτης– Χανιά
5. Μορφουλάκη Βικτωρία, 2002, Χωροχρονική διερεύνηση της ιοντικής σύστασης των υπόγειων υδάτων στην παράκτια περιοχή των Μαλίων στα πλαίσια υποβάθμισης από την έντονη αγροτουριστική ανάπτυξη, Διατριβή Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης Πανεπιστήμιο Κρήτης – Τμήμα Βιολογίας – Διαχείριση Χερσαίων και Θαλάσσιων Βιολογικών Πόρων
6. Παρίσης Σ.Ν., 2001, Μελέτη Διαχείρισης Υδατικών Πόρων του Δήμου Μαλίων, Οργανισμός Ανάπτυξης Ανατολικής Κρήτης (Ο.ΑΝ.Α.Κ)
7. Βροντάκη Ευαγ, 2001, Υφαλμύρωση σε παράκτιους υδροφορείς – Τρόποι ανίχνευσης με τη χρήση Γεωφυσικών Μεθόδων, Διπλωματική Εργασία – Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος Πολυτεχνείο Κρήτης
8. Τυροβολά Κων, 2001, Παραγωγή Βρωμικών Ιόντων κατά την Οζόνωση Υφάλμυρων Υπόγειων Νερών, Διπλωματική Εργασία – Πολυτεχνείο Κρήτης – Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος
9. Μανασσής Μήτρακας, 2001, Ποιοτικά Χαρακτηριστικά και Επεξεργασία Νερού, 2^η Έκδοση, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη
10. Ζανάκη Κατ, 2001, Έλεγχος Ποιότητας Νερού, 2^η Έκδοση, Εκδόσεις Ίων, Αθήνα
11. Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση Αιτωλοακαρνανίας, 1997, Βιώσιμη Ανάπτυξη με την Περιβαλλοντική Αγωγή, Έκδοση Νομαρχιακής Αυτοδιοίκησης Αιτωλοακαρνανίας, Μεσολόγγι
12. Κουϊμτζής Θεμιστοκλής, 1997, Χημεία Περιβάλλοντος, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη
13. Νάνου – Γιάνναρου Α., “Υφαλμύρωση Παράκτιων Υδροφορέων”, Πρακτικά Συμποσίου “Αιγαίο – Νερό – Βιώσιμη Ανάπτυξη”, 6 & 7 Ιουλίου 2001, Πάρος
14. Μαντόγλου Αριστ. και Γιαννουλόπουλος Παν. “Βελτιστοποίηση Αντλήσεων Παράκτιων Υδροφορέων για Πρόληψη Υφαλμύρωσης”, Πρακτικά Συμποσίου “Αιγαίο – Νερό – Βιώσιμη Ανάπτυξη” 6 & 7 Ιουλίου 2001, Πάρος
15. Πουλοβασίλης Α., Γιαννουλόπουλος Π., Ζύμης Α., 2002, “Η Εφαρμογή του Τεχνητού Εμπλουτισμού στο Αργολικό Πεδίο, Πρόσφατα Αποτελέσματα και Προοπτικές”, Πρακτικά 6ου Πανελληνίου Υδρογεωλογικού Συνεδρίου, Ξάνθη
16. Καλημέρη Μ., 2004, Ποιοτικός έλεγχος των υδάτων των ποταμών Κοιλιάρη και Ταυρωνίτη, Πτυχιακή Εργασία – ΤΕΙ Κρήτης – Τμήμα Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Χανιά