

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΙΧΘΥΟΛΟΓΙΑΣ
ΚΑΙ ΥΔΑΤΙΝΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

ΠΡΟΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Υδρογεωχημική έρευνα για τον εντοπισμό-εκτίμηση και οριοθέτηση της υφαλμύρωσης στην ευρύτερη περιοχή του δήμου Αλμυρού Ν.Μαγνησίας.»

Γούναρη Χριστίνα

ΒΟΛΟΣ 2011

**«Υδρογεωχημική έρευνα για τον εντοπισμό-εκτίμηση και οριοθέτηση της
υφαλμύρωσης στην ευρύτερη περιοχή του δήμου Αλμυρού Ν.Μαγνησίας.»**

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή :

1) Χρήστος Νεοφύτου, Καθηγητής, Ιχθυολογία-Υδροβιολογία, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, **Επιβλέπων**

2) Άρης Ψιλοβίκος, Επίκουρος Καθηγητής, Αειφορική Διαχείριση Υδατικών Πόρων, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, **Μέλος**

3) Κωνσταντίνος Σκόρδας, Λέκτορας, Περιβαλλοντική Γεωχημεία, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, **Μέλος**

Στους γονείς μου Αλέξανδρο και Αντωνία

και στον παππού μου Χρήστο-Φέλιξ

που περίμενε το πτυχίο μου

αλλά δυστυχώς δεν το πρόλαβε

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς μου ευχαριστίες σε όσους συνέβαλαν στο να φέρω σε πέρας την παρούσα Προπτυχιακή Διπλωματική Εργασία. Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Επιβλέποντα της εργασίας αυτής, κ. Νεοφύτου Χρήστο για την πολύτιμη βοήθεια του και τη διαρκή υποστήριξη του, τόσο κατά τη διεξαγωγή του πειράματος, όσο και κατά τη συγγραφή της παρούσας εργασίας, καθώς και τα υπόλοιπα μέλη της εξεταστικής επιτροπής μου, αποτελούμενη από τους Σκόρδα Κωνσταντίνο και Ψιλοβίκο Άρη, για τις χρήσιμες συμβουλές τους και την καθοδήγησή τους καθ' όλα τα στάδια διεκπεραίωσης της εργασίας.

Πρωτίστως όμως, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον πατέρα μου, Αλέξανδρο Γούναρη, για την άμεση βοήθειά του όσον αφορά την προμήθεια του εργαστηριακού υλικού και την συμπαράσταση του κατά τη διάρκεια του πειράματος. Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου και στη μητέρα μου για την αμέριστη συμπαράσταση, βοήθεια και προ πάντων κατανόηση και ανοχή καθ' όλο το χρονικό διάστημα των σπουδών μου.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Γενικά

Η συνολική ποσότητα του νερού στη φύση είναι περίπου της τάξης των 1.336.800.000 km². Από αυτά το 97% είναι αλμυρό νερό (θάλασσες και ωκεανοί) και το υπόλοιπο 3% γλυκό, που αφορά το νερό των παγετώνων, το υπόγειο και το επιφανειακό νερό. Από το 3% το μεγαλύτερο μέρος καλύπτει το νερό των παγετώνων, ενώ το περισσότερο υπόγειο νερό βρίσκεται εγκλωβισμένο σε μεγάλα βάθη. Το γλυκό νερό το οποίο μπορεί να αξιοποιήσει ο άνθρωπος αντιπροσωπεύει ένα πολύ μικρό ποσοστό, που αντιστοιχεί σε ανώτερους υδροφόρους ορίζοντες, νερό ποταμών και άλλα (Λατινόπουλος 2007).

Η χημεία των υπογείων νερών ελέγχεται από πληθώρα παραγόντων οι κυριότεροι από τους οποίους είναι η εξάτμιση, εξατμισοδιαπνοή, η χημική σύσταση των πετρωμάτων, η κατείδυση, καθώς επίσης και η εκλεκτική πρόσληψη ιόντων από τη χλωρίδα, η αποσύνθεση οργανικής ύλης, η οποία μπορεί να διεγείρει σημαντικές αντιδράσεις όπως η αναγωγή οξειδίων του σιδήρου, θεικών, νιτρικών, ο σχηματισμός μεθανίου, η αποσάθρωση - διάλυση των ανθρακικών πυριτικών και εβαποριτών, η απόθεση ορυκτών, οι αντιδράσεις ιοντικής ανταλλαγής (για παράδειγμα λόγω διείσδυσης της θάλασσας, επέκτασης θύσανου ρύπανσης ή κατείδυσης όξινης βροχής). Ακόμα, η χημεία των υπογείων νερών μπορεί να επηρεαστεί από την ανάμιξη διαφορετικών νερών αλλά και από ανθρωπογενείς δραστηριότητες όπως η χρήση χλωριούχου νατρίου και απορρυπαντικών, η χρήση λιπασμάτων, βελτιωτικών εδάφους και φυτοφαρμάκων αλλά και διαρροές από σκουπιδότοπους (Αβραμίδου 2007).

Σκοπός της μελέτης

Η παρούσα μελέτη έχει σαν κύριο στόχο την εκτίμηση και την οριοθέτηση της υφαμύρωσης στην ευρύτερη περιοχή του δήμου Αλμυρού Ν. Μαγνησίας. Σκοπός της έρευνας είναι ο προσδιορισμός των συγκεντρώσεων των ιόντων και των υπόλοιπων φυσικοχημικών παραγόντων, που αποδεικνύουν τη διείσδυση θαλασσινού νερού στα υπόγεια υδροφόρα στρώματα.

1.2. Βιβλιογραφικά στοιχεία

1.2.1 Περιοχή μελέτης

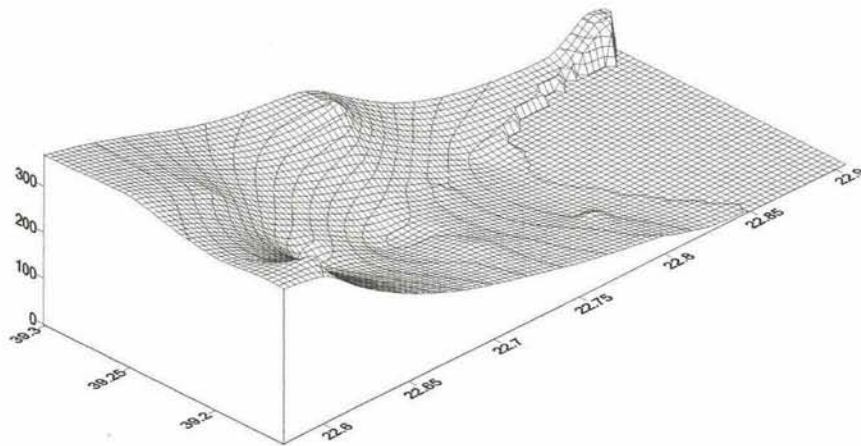
Η περιοχή μελέτης είναι η λεκάνη Αλμυρού – Νέας Αγχιάλου στην Περιφερειακή Ενότητα Μαγνησίας, και προσδιορίζεται από τις συντεταγμένες: 22.5752 °Ε, 39.1561 °Ν και 22.9071 °Ε, 39.3081 °Ν (Σχ. 1.1).



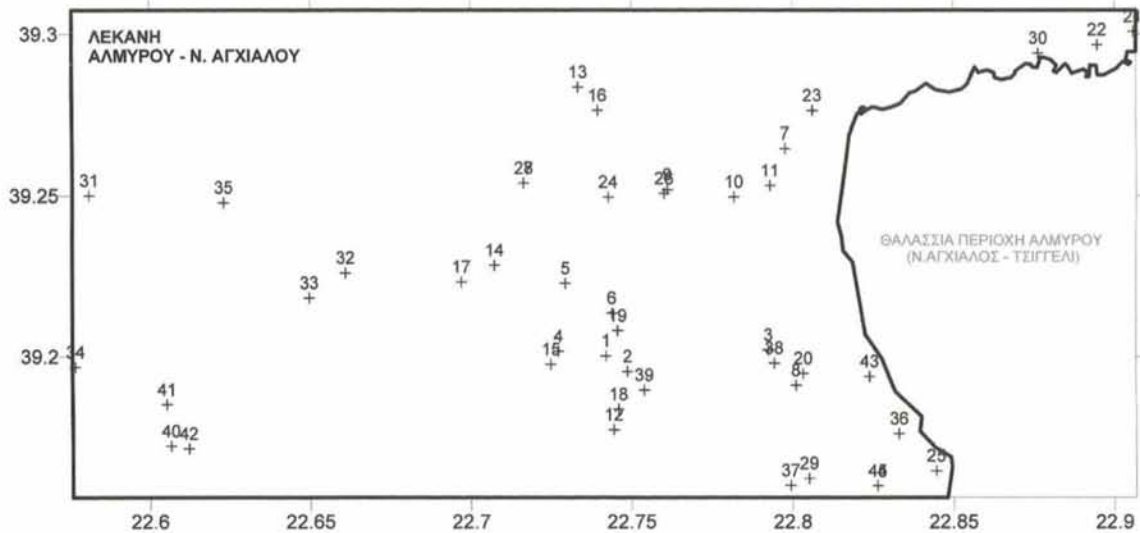
Σχήμα 1.1 : Περιοχή μελέτης ποιότητας υπόγειων νερών

Η λεκάνη Αλμυρού – Νέας Αγχιάλου απαντάται στη νοτιοανατολική Θεσσαλία και έχει έκταση περίπου 865 km και μέσο υψόμετρο περίπου 93 m (Σχ. 1.2.). Εκτείνεται ανατολικά μέχρι τον Παγασητικό κόλπο και περιορίζεται νότια και δυτικά από τον ορεινό όγκο της Όθρυος. Βόρεια διακρίνεται η υπολεκάνη της Νέας Αγχιάλου και νότια

η υπολεκάνη της Σούρπης. Η λήψη των δειγμάτων έγινε από διάσπαρτες, αντιπροσωπευτικές γεωτρήσεις της περιοχής μελέτης (Σχ. 1.3.).



Σχήμα 1.2. : Υψομετρία περιοχής μελέτης



Σχήμα 1.3. : Σημεία δειγματοληψίας και περιοχή μελέτης

1.2.2. Κλιματολογικά στοιχεία της περιοχής

Με βάση τα στοιχεία της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας (ΕΜΥ) το κλίμα της περιοχής είναι ηπειρωτικό και μεταβάλλεται σε μεσογειακό στο ανατολικό τμήμα. Ο ψυχρότερος μήνας είναι ο Ιανουάριος και ο θερμότερος ο Ιούλιος. Το ύψος βροχής κυμαίνεται από 400-600 mm.

1.2.3. Υδρολογικά στοιχεία της περιοχής

Η περιοχή διαθέτει πλούσιο επιφανειακό υδρογραφικό δίκτυο εξαιτίας των αδιαπέρατων πετρωμάτων. Οι χείμαρροι που τη διατρέχουν είναι: Πλατανόρεμα, Χολόρεμα και Ξηριάς Αλμυρού, Ξηρόρεμα Σούρπης, Καλόρεμα Πτελεού (ΥΠΕΧΩΔΕ, Ε.Ε., Ν.Α.Μ, Α.Ν.Ε.Μ. 2001).

1.2.4. Γεωλογία περιοχής

Το ανάγλυφο της περιοχής μελέτης και η μορφή του υδρογραφικού δικτύου φείλουν την σημερινή τους μορφή στις έντονες νεοτεκτονικές δυνάμεις που δρουν στην περιοχή. Η περιοχή του πρώην νομού Μαγνησίας ανήκει στην Πελαγονική ζώνη και αποτελείται από αλούβια ολοκαίνου στα παράλια, νεογενείς λιμναίες αποθέσεις κροκαλοπαγών μαργών και αργίλου με στρώματα λιγνίτη στην περιοχή του Αλμυρού, στην Ν. Αγχίαλο εμφανίζεται σχιστοκερατολιθική διαπλαση (κερατόλιθοι, ψαμμίτες, πηλίτες, φακοί ασβεστολίθων) και εγλωβισμένα στρώματα οφιολίθων, ενώ στην περιοχή Πτελεού πρασινοσχιστόλιθοι, φυλλίτες και γραουβάκες (ΥΠΕΧΩΔΕ 1984).

1.3. Χαρακτηριστικά υπογείων νερών

1.3.1. Αλατότητα των υπογείων νερών

Όλα τα υπόγεια νερά περιέχουν διαλυμένα άλατα που η συγκέντρωσή τους κυμαίνεται από 25 mg/l, έως και πάνω από 300.000 mg/l σε υπεράλμυρα νερά. Κατά κανόνα τα υπόγεια νερά παρουσιάζουν υψηλότερη συγκέντρωση διαλυμένων αλάτων από τα επιφανειακά νερά γιατί βρίσκονται για μεγαλύτερο χρόνο σε επαφή με ευδιάλυτα υλικά των γεωλογικών στρωμάτων (Μαλεφάκης 1998α).

Οι τιμές της αλατότητας είναι μεγαλύτερες εκεί που η κίνηση του νερού είναι μικρότερη. Έτσι η αλατότητα γενικά αυξάνει με το βάθος. Το υπόγειο νερό εμπλουτίζεται με άλατα τα οποία προέρχονται από τα διαλυτά συστατικά των πετρωμάτων μέσα από τα οποία κινείται (Αλεξιάδης 1980). Σύμφωνα με τους Hergert & Knudseny (1977) το νερό που περνά από τη ζώνη των ριζών σε καλλιεργούμενες περιοχές, περιέχει συνήθως πολύ μεγαλύτερες συγκεντρώσεις αλάτων από το αρχικό νερό. Αυτό συμβαίνει λόγω της εξατμισοδιαπνοής, η οποία προκαλεί συμπύκνωση των διαλυμένων στο νερό αλάτων, αλλά και εξαιτίας των διαλυτών υλικών του εδάφους, όπως λιπάσματα αλλά και της εκλεκτικής απορρόφησης ορισμένων αλάτων από τα φυτά (Αλεξιάδης 1980).

Η αλατότητα του βρόχινου νερού στις νησιωτικές και παράκτιες περιοχές είναι υψηλότερη σε σύγκριση με την ενδοχώρα, γιατί οι υγρές αέριες μάζες πάνω από τη θάλασσα μεταφέρουν και σταγονίδια πλούσια σε άλατα. Η απόθεση αυτών των αλάτων με τη βροχόπτωση επιδρά επίσης σημαντικά στη χημική σύσταση των υπόγειων νερών (Dazy et al. 1997, Lambrakis et al. 2000).

1.3.2. Υφαλμύρωση

Παρ' όλο που η περιεκτικότητα του υπόγειου νερού σε αλάτι (NaCl) μπορεί όπως αναφέραμε να προέλθει από διάφορα αίτια (διάλυση πετρωμάτων, θαλασσινό σπρέυ, βιομηχανικές εκπομπές κλπ), με τον όρο υφαλμύρωση, αποδίδουμε τον εμπλουτισμό του γλυκού υπόγειου νερού με αλμυρό θαλασσινό νερό, που προέρχεται από την εισχώρηση του τελευταίου, στα παράκτια υδροφόρα στρώματα. Ο παραπάνω ορισμός της υφαλμύρωσης, έχει καθιερωθεί επίσημα από τον Ευρωπαϊκό Περιβαλλοντικό Οργανισμό (European Environmental Agency, EEA).

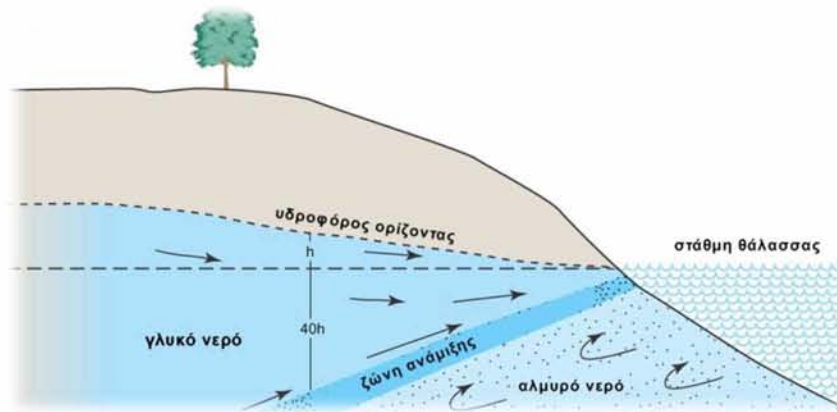
Το γλυκό νερό των υδροφορέων και το αλμυρό θαλασσινό νερό δεν αναμειγνύονται, λόγω των διαφορετικών ειδικών βαρών τους, αλλά σχηματίζεται μία ζώνη η οποία ως μια νοητή επιφάνεια χωρίζει το θαλασσινό από το γλυκό νερό (Αβραμίδου 2007).

Την επαφή του γλυκού με το αλμυρό νερό μελέτησαν πρώτοι ο Ολλανδός Ghyben και ο Γερμανός Herzberg. Στο απλοποιημένο μοντέλο, γνωστό ως μοντέλο Ghyben-Herzberg δεν λαμβάνονται υπόψη οι ροές που πραγματικά συμβαίνουν. Θεωρώντας λοιπόν τη διεπιφάνεια στάσιμη, το βάρος μιας στήλης γλυκού νερού, που βρίσκεται επάνω από τη διεπιφάνεια, θα ισορροπεί λόγω της υδροστατικής πίεσης της στήλης του αλμυρού νερού.

Εάν είναι γνωστό το ύψος (h) της στάθμης του υδροφόρου στρώματος σε κάποιο σημείο μπορεί εύκολα να υπολογισθεί το βάθος (z) του γλυκού νερού στο σημείο αυτό, καθώς θα είναι 25 με 40 φορές μεγαλύτερο από το h σύμφωνα με την εξίσωση:

$$z = 25 \cdot h \text{ ως } z = 40 \cdot h$$

Η φυσική σημασία της εξίσωσης είναι πως το γλυκό νερό επιπλέει επάνω στο θαλασσινό με συγκεκριμένο βάθος (Σούλιος 2004, Λατινόπουλος 2007).



Σχήμα 1.4 : Σχηματική παράσταση επαφής γλυκού με αλμυρό νερό

Όσο μειώνεται η στάθμη του υδροφόρου στρώματος, τόσο μεγαλώνει το μήκος του ποδιού της διεπιφάνειας και το αλμυρό νερό εισχωρεί στη στεριά. Με τον τρόπο αυτό ρυπαίνεται ο υδροφορέας και το υφάλμυρο νερό μπορεί να αντληθεί από υπάρχουσες γεωτρήσεις της περιοχής (Αβραμίδου 2007).

Η υφαλμύρωση είναι μία κατάσταση πολύ δύσκολα αντιστρεπτή με αποτέλεσμα το νερό που έχει μετατραπεί σε υφάλμυρο να μην μπορεί πλέον να χρησιμοποιηθεί. Μπορεί να θεωρηθεί ως ένα είδος περιβαλλοντικής ρύπανσης που οφείλεται σε ανθρώπινες δραστηριότητες, όπως υπερεκμετάλλευση των παράκτιων υδροφόρων οριζόντων ή και σε γεωλογικούς παράγοντες όπως τεκτονικές κινήσεις, διάλυση πετρωμάτων, άνοδος της θαλάσσιας στάθμης (Voudouris et al. 2004).

Η υφαλμύρωση διαπιστώνεται από τις υψηλές συγκεντρώσεις διαφόρων χημικών στοιχείων υπό μορφή ιόντων (π.χ. Na, Cl, και άλλα), που προσδιορίζονται κατ' απόλυτη τιμή ή κάτω από μια σταθερή αναλογία.

Έτσι, όσον αφορά την περιεκτικότητα των χλωριόντων, γενικά ισχύει ότι για τιμές $Cl < 300 \text{ mg/l}$ το νερό θεωρείται γλυκό, για τιμές $300 < Cl < 4.000-5.000 \text{ mg/l}$ υφάλμυρο και για τιμές $Cl > 5.000 \text{ mg/l}$ θεωρείται αλμυρό (Σούλιος 2004).

Ένας άλλος δείκτης είναι η τιμή των ολικών διαλυμένων στερεών (total dissolve solids, TDS). Σύμφωνα με το Βουδούρη (2003), το νερό θεωρείται γλυκό για τιμές του $TDS < 1.000 \text{ mg/l}$, ελαφρά αλμυρό για τιμές $1.000-3.000 \text{ mg/l}$ και μέτρια υφάλμυρο

όταν οι τιμές του TDS κυμαίνονται από 3.000-10.000 mg/l. Τέλος, για τιμές του TDS μεγαλύτερες από 10.000 mg/l το νερό χαρακτηρίζεται ως πολύ αλμυρό.

Από τους πλέον διαδεδομένους και αξιόπιστους δείκτες για τον προσδιορισμό της διείσδυσης της θάλασσας στους υπόγειους υδροφορείς, είναι ο συντελεστής Revelle που υπολογίζεται με τον τύπο:

$$R = rCl / (rCO_3^{2-} + rHCO_3^-)$$

Το γράμμα r χρησιμοποιείται ώστε να εξηγήσει ότι οι συγκεντρώσεις των ιόντων είναι εκφρασμένες σε meq/l. Γενικά, τιμές του $R \geq 1$ αποτελούν ασφαλή ένδειξη θαλάσσιας διείσδυσης (Voudouris et al., 2004). Στον Πίνακα 1.1 φαίνεται ο χαρακτηρισμός του νερού ανάλογα με το δείκτη Revelle.

Πίνακας 1.1: Χαρακτηρισμός του βαθμού υφαλμύρωσης του νερού, με βάση τον δείκτη Revelle (Voudouris et al. 2004)

Προτεινόμενο όριο Revelle	Προτεινόμενο όριο Simpson	Χαρακτηρισμός νερού
< 1	0,5	Καλό υπόγειο νερό, χωρίς υφαλμύρωση
1–2	1,3	Ελαφρά υφαλμύρωση νερού
2–6	2,8	Μέτρια υφαλμυρωμένο νερό
2–10	6,6	Σοβαρά υφαλμυρωμένο υπόγειο νερό
10–150	15,5	Επικίνδυνα υφαλμυρωμένο υπόγειο νερό
>150	200	Θαλασσινό νερό

Εκτός από το συντελεστή Revelle χρησιμοποιούνται διάφοροι ιοντικοί λόγοι όπως:

Ο **λόγος rNa/rK** , ο οποίος για τιμές > 47 ισοδυναμεί με θαλασσινό νερό, ενώ για τιμές από 50 ως 70 αναφέρεται σε παλιό νερό, το οποίο έχει απορροφήσει Na.

Ο **λόγος rCl/rSO_4** , ο οποίος όταν έχει την τιμή 10 σημαίνει ότι το νερό είναι θαλασσινό και όταν οι τιμές κυμαίνονται από 5 ως 10 τα νερά είναι υφάλμυρα, λαμβάνει χώρα δηλαδή ανάμειξη γλυκού με αλμυρό νερό.

Ο **ιοντικός λόγος rCl/rBr** , στον οποίο η τιμή 300 συνδέεται με το θαλασσινό νερό και οι τιμές ανάμεσα σε 300- 4.000 αφορούν νερό εβαποριτών.

Ο ιοντικός λόγος rCa^{2+}/rMg^{2+} με τιμές να κυμαίνονται για το θαλασσινό νερό από 0,2 έως 0,3 και σε καρστικά υπόγεια νερά οι τιμές του γλυκού νερού είναι μεταξύ 1 και 7. Νερά που προέρχονται από οφειόλιθους ή δολομίτες έχουν τιμή μικρότερη από 1. Τέλος, **ο ιοντικός λόγος rNa/rCl** έχει για το θαλασσινό νερό την τιμή 0,8 (Αβραμίδου, 2007).

1.3.3. Φυσικοχημικές παράμετροι των υπόγειων νερών

Η θερμοκρασία των υπόγειων νερών καθορίζεται κυρίως από τη θερμοκρασία των πετρωμάτων και το βάθος προέλευσης. Σε θερμοκρασία μεγαλύτερη των 25° τα νερά δεν έχουν ευχάριστη γεύση ενώ όταν ξεπεράσουν τους 35° κρίνονται ακατάλληλα για άρδευση (Μαλεφάκης 1998α).

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα είναι μια έμμεση μέτρηση της αλατότητας του νερού. Αυξημένη αγωγιμότητα υποδηλώνει αυξημένες ποσότητες αλάτων, που ανάλογα με τη φύση τους και τη συγκέντρωσή τους μπορεί να δημιουργήσουν προβλήματα υγείας (Sundaram et al. 2009). Σύμφωνα με την ΚΥΑ Υ2/2600/2001, το ενδεικτικό επίπεδο της αγωγιμότητας στο πόσιμο νερό είναι 400 $\mu S/cm$.

Η ενεργός οξύτητα, δηλαδή το pH των νερών, μειώνεται όσο η υδάτινη μάζα ενηλικιώνεται. Μια νέα υδάτινη μάζα είναι συνήθως αλκαλική ($pH > 7$) και σιγά-σιγά με τον χρόνο γίνεται όξινη ($pH < 7$). Αυτό οφείλεται κυρίως στη συγκέντρωση οργανικού υλικού, που εκλύει CO_2 όταν αποσυντίθεται. Επίσης στη μείωση του pH συμβάλλουν η όξινη βροχή και οξείδωση της αμμωνίας, που προέρχεται από τη χρήση της κοπριάς σαν λίπασμα. (Μαλεφάκης 1998α).

Το οξυγόνο παρουσιάζει μικρή διαλυτότητα στο νερό, η οποία κυμαίνεται από 6 έως 15 ppm. Μικρές τιμές περιεκτικότητας σε οξυγόνο παρατηρούνται σε παλαιά νερά που δεν ανανεώνονται και φανερώνουν έντονα ρυπασμένα νερά με οργανικές ουσίες.

Η αλκαλικότητα είναι ένα μέτρο της ικανότητας των νερών να εξουδετερώνουν ορισμένη ποσότητα υδρογονοκατιόντων. Η εξουδετέρωση αυτή οφείλεται στην παρουσία των ιόντων OH^- , CO_3^{2-} και HCO_3^- . Η παρουσία οργανικής ύλης μπορεί να έχει σημαντική επίδραση στον καθορισμό της αλκαλικότητας των υπόγειων νερών. Η ολική αλκαλικότητα ισούται με $Total\ Alkalinity = 0,81967\ HCO_3^-$ (mg/L).

Η σκληρότητα των νερών δείχνει την τάση για σχηματισμό ανθρακικών επικαθίσεων στους λέβητες και τις ψυκτικές δεξαμενές, την ικανότητα δέσμευσης σαπώνων και χρωμάτων (Μήτρακας 2001). Η σκληρότητα του πόσιμου νερού μεταξύ

των άλλων συνδέεται και με την υγεία του ανθρώπου και συγκεκριμένα σχετίζεται με καρδιακές παθήσεις.

Η σκληρότητα διακρίνεται σε:

α) Παροδική ή ανθρακική σκληρότητα: παρουσία $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ και $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$.

β) Μόνιμη σκληρότητα ή μη ανθρακική: παρουσία αλκαλικών γαιών, ενωμένων με το θειικό ιόν, το ιόν χλωρίου και το νιτρικό ιόν.

γ) Ολική σκληρότητα: το άθροισμα της ανθρακικής και της μόνιμης σκληρότητας. Εκφράζεται σε ισοδύναμο CaCO_3 (mg/L), αλλά και σε βαθμούς σκληρότητας.

Η ολική σκληρότητα (TH) δίνεται από τη σχέση: $\text{TH}=2,5\text{Ca}+4,1\text{Mg}$ αν οι περιεκτικότητες των ιόντων είναι εκφρασμένες σε mg/L και $\text{TH}=50 (\text{Ca}+\text{Mg})$ αν είναι εκφρασμένες σε meq/L (Μαλεφάκης 1998α).

Τα νερά με βάση τη σκληρότητα ταξινομούνται όπως φαίνεται στον Πίνακα 1.2.

Πίνακας 1.2 : Ταξινόμηση των νερών με βάση τη σκληρότητα.

Ισοδύναμο CaCO_3 (ppm)	Γαλλικοί βαθμοί	Χαρακτηρισμός του νερού
0-100	0-10	Μαλακό
101-200	10-20	Μέτρια σκληρό
201-300	20-30	Σκληρό
>300	>30	Πολύ σκληρό

1.3.4. Συντελεστής προσρόφησης Νατρίου ή κίνδυνος Νατρίου (SAR)

Ο συντελεστής προσρόφησης νατρίου (Sodium Adsorption Ratio) δίδεται από τη σχέση:

$$\text{SAR} = \frac{\text{Na}}{\sqrt{\frac{\text{Ca} + \text{Mg}}{2}}}$$

όπου οι συγκεντρώσεις των ιόντων είναι εκφρασμένες σε meq/l (Αλεξιάδης 1980).

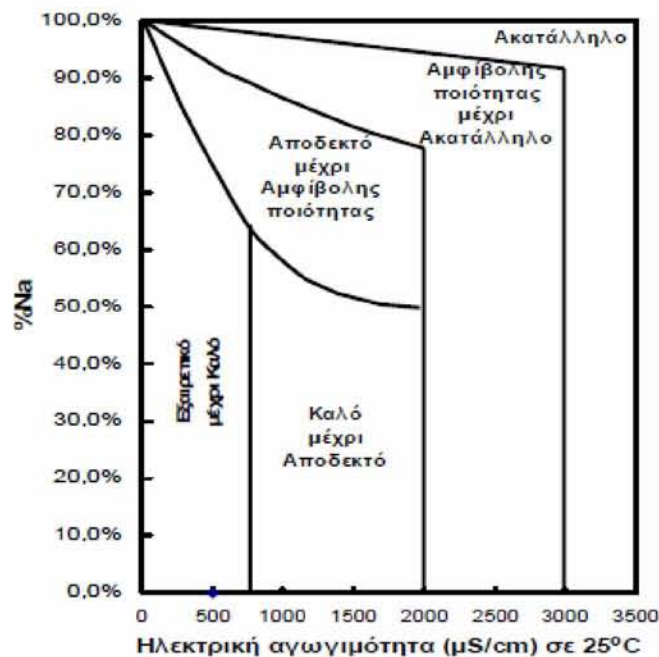
Ο SAR αποτελεί ένα βασικό κριτήριο της καταλληλότητας ενός νερού για άρδευση. Το νάτριο δημιουργεί αποκροκίδωση του εδάφους, προκαλώντας μείωση του αερισμού και της περατότητας του εδάφους. Για ηλεκτρική αγωγιμότητα 750 $\mu\text{S}/\text{cm}$, τιμές του $\text{SAR} < 10$ υποδηλώνουν μικρό κίνδυνο νατρίου, 10 - 18 μέσο κίνδυνο

νατρίου, 18 - 26 μεγάλο κίνδυνο νατρίου και τιμές SAR > 26 πολύ μεγάλο κίνδυνο νατρίου (Nishanthiny et al. 2010). Η περιεκτικότητα σε νάτριο (βαθμός αλκαλίωσης) εκφράζεται σαν ποσοστό επί τοις εκατό (Na%) από τη σχέση:

$$\text{Na \%} = (\text{Na}^+) \times 100 / (\text{Ca}^{2++} \text{Mg}^{2++} \text{Na}^{++} \text{K}^+)$$

όπου όλες οι συγκεντρώσεις είναι εκφρασμένες σε meq/l (Nishanthiny et al. 2010).

Με βάση τον βαθμό αλκαλίωσης και την ηλεκτρική αγωγιμότητα, τα νερά ταξινομούνται σε πέντε κατηγορίες κατά Wilcox (Σχ. 1.5).



Σχήμα 1.5: Διάγραμμα ταξινόμησης με βάση το βαθμό αλκαλίωσης Na (Wilcox)

1.3.5. Δείκτης κορεσμού και δείκτης σταθερότητας

Ο δείκτης κορεσμού Langelier (Saturation index) χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό των παραμέτρων που συμβάλλουν στη διάβρωση ή την απόθεση ασβεστίτη ή γύψου ή δολομίτη από το νερό στους σωλήνες μεταφοράς.

Η γενική μορφή του δείκτη κορεσμού είναι: $SI = pH - pH_s$

όπου pH = το μετρούμενο pH του νερού και pH_s = το pH κορεσμού

Θετικές τιμές του δείκτη κορεσμού δηλώνουν την τάση του νερού για απόθεση CaCO_3 , ενώ οι αρνητικές την τάση να διαλύει CaCO_3 (Hadi & Al-Ruwaih 2008).

Ο Ryznar πρότεινε το δείκτη σταθερότητας StI (Stability index) που δίνεται από τη σχέση: $\text{StI} = 2 \text{pH} - \text{pHs}$. Τιμές του StI μεγαλύτερες από 7 δηλώνουν διαβρωτικό νερό. Όταν ο δείκτης StI είναι μικρότερος από 7, το νερό έχει την τάση να αποθέσει άλατα (Djidel et al. 2010).

1.3.6. Κύρια ιόντα

Το σημαντικότερα ιόντα των υπογείων νερών, είναι κάτω από Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , HCO_3^- και NO_3^- . Υπάρχει στενή σχέση μεταξύ του εδάφους και της αλατότητας του νερού (Ashraf et al. 2011).

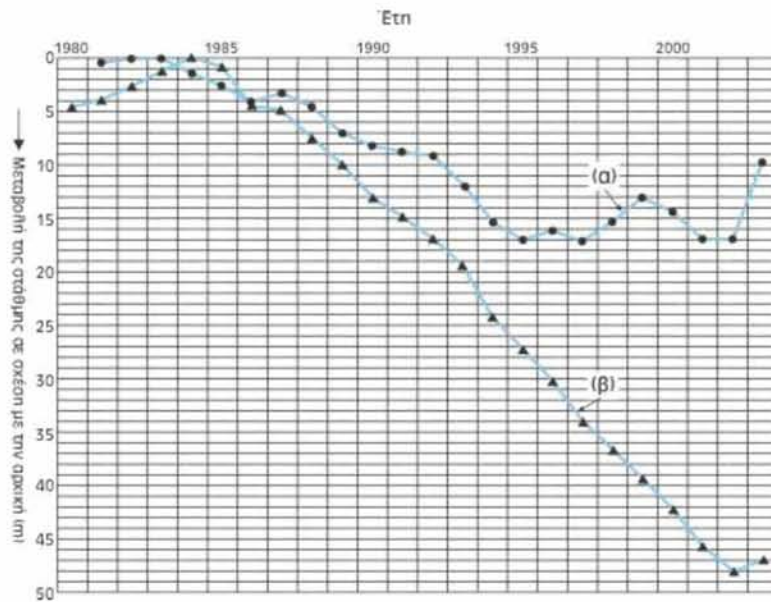
Το ασβέστιο (Ca) προέρχεται από τα ανθρακικά ιζηματογενή πετρώματα και τα μάρμαρα, ενώ **το μαγνήσιο** (Mg^{2+}) απαντάται στον ολιβίνη, μαγνησίτη, δολομίτη και τους χλωρίτες (Μαλεφάκης 1998α). Η υπέρβαση του ασβεστίου και του μαγνησίου σημαίνει σκληρότητα στο νερό (Kumar & Chandel 2010).

Το νάτριο (Na) και το **κάλιο** (K) σχετίζονται με τη διείσδυση της θάλασσας σε παράκτιους υδροφόρους ορίζοντες ή με αερομεταφερόμενα σταγονίδια από τη θάλασσα. Με βάση την ΚΥΑ Υ2/2600/2001, το ενδεικτικό επίπεδο συγκέντρωσης νατρίου στα υπόγεια νερά είναι τα 20 mg/L. Στο θαλασσινό νερό ανέρχεται σε 10.000 mg/L. Περισσότερο από 50 mg/L νατρίου προκαλούν σαπυνοποίηση που επιταχύνει τη διάβρωση στους λέβητες, και επιφέρουν προβλήματα στην υγεία, αυξάνοντας την αρτηριακή πίεση (Κατσίμπας 2009).

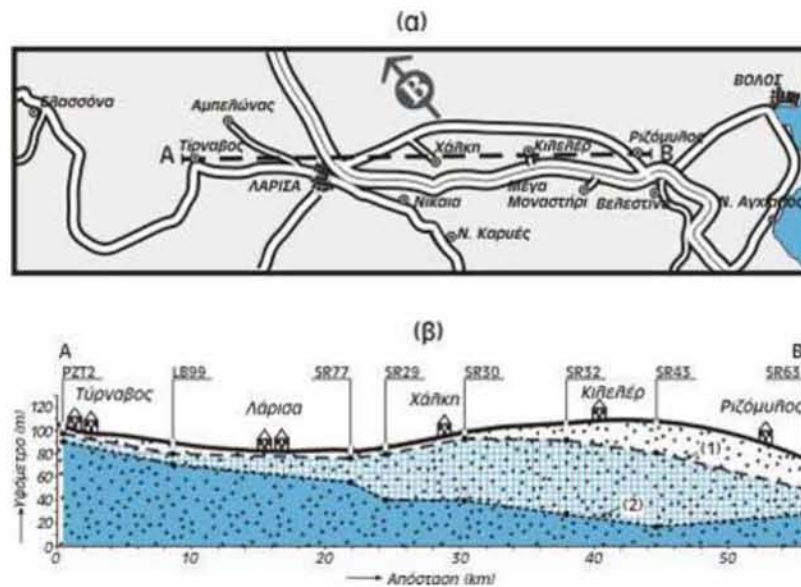
Το χλώριο επηρεάζει την αλατότητα του νερού. Για συγκεντρώσεις $\text{Cl} < 300$ mg/l το νερό θεωρείται γλυκό, για συγκεντρώσεις $300 < \text{Cl} < 4.000-5.000$ mg/l υφάλμυρο και για συγκεντρώσεις $\text{Cl} > 5.000$ mg/l θεωρείται αλμυρό. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι το πόσιμο νερό έχει περιεκτικότητα σε $\text{Cl} < 150-250$ mg/l, ενώ το νερό της θάλασσας από 18.000-34.000 mg/l Cl (Σούλιος 2004).

Επιθυμητό όριο συγκέντρωσης των χλωριόντων στο πόσιμο νερό είναι 25 mg/L και το ανώτατο 250 mg/L σύμφωνα με την ΚΥΑ Υ2/2600/2001.

Αν το ισοζύγιο της φυσικής αναπλήρωσης – άντλησης είναι αρνητικό, τότε η στάθμη του υδροφόρου υποχωρεί κάθε χρόνο πιο κάτω από αυτήν του προηγούμενου έτους (Σχ. 1.6),(Σχ. 1.7.).



Σχήμα 1.6.: Εξέλιξη της ανώτατης ετήσιας στάθμης στη γεώτρηση LB232 στη Γυρτώνη Λάρισας (α) και στη γεώτρηση SR30 στη Χάλκη Λάρισας (β) (κατά Ευαγγελόπουλο Α., 2004, ανασχεδιασμένο).



Σχήμα 1.7.: Υποχώρηση της στάθμης από περίπου 10 m στη περιοχή Τυρνάβου έως περίπου 60 m στην περιοχή Κάρλας (Ευαγγελόπουλος 2004).

Τα όξινα ανθρακικά ιόντα (HCO_3^-) σε υψηλές συγκεντρώσεις στο νερό, αυξάνουν τον κίνδυνο νατρίου. Οι υψηλές συγκεντρώσεις HCO_3^- έχουν την τάση να σχηματίζουν ίζημα ανθρακικού ασβεστίου (CaCO_3) και ανθρακικό μαγνήσιο (MgCO_3), όταν το εδαφικό διάλυμα επικεντρώνεται κατά την ξήρανση του εδάφους (Hergert & Knudsen 1977).

Τα νιτρικά ιόντα (NO_3^-) στο νερό, προέρχονται από τη μη ορθολογική χρήση των λιπασμάτων. Η υπερσυγκέντρωση νιτρικών στο έδαφος, προκαλεί ρύπανση των υπόγειων υδροφορέων, καθώς αυτό ξεπλένεται από τα κατεισδύοντα νερά. Σύμφωνα με την ΚΥΑ Υ2/2600/2001, το ανώτατο όριο συγκέντρωσης νιτρικών στο πόσιμο νερό έχει καθορισθεί σε 50 mg/L, ενώ το επιθυμητό επίπεδο μέχρι 25 mg/L.

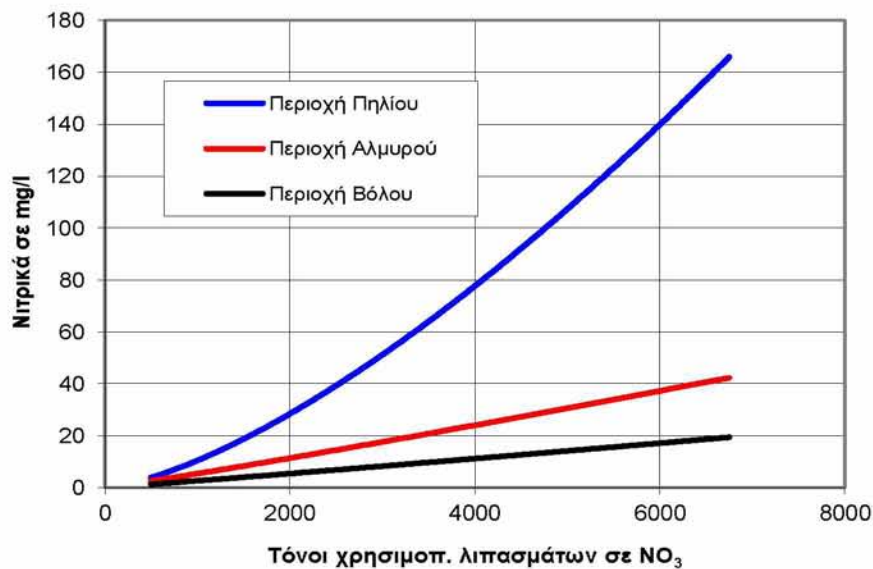
Αυξημένες περιεκτικότητες σε νιτρικά ιόντα προκαλούν διάφορες μορφές καρκινογένεσης και μετά την μετατροπή τους σε νιτρώδη, ευθύνονται και για την κοινά ονομαζόμενη ασθένεια των "μπλέ παιδιών" (Blue babies syndrome) (Kumar & Chandel 2010).

Σύμφωνα με τους Ανδρίτσο, Γούναρη, Κανλή, (1990), το μαθηματικό μοντέλο που συνδέει την συγκέντρωση των νιτρικών με την εφαρμοσθείσα λίπανση, ακολουθεί τη σχέση :

$$C = K \cdot X^n$$

- όπου
- C : η συγκέντρωση των νιτρικών στο υπόγειο νερό (σε mg/l)
 - K : συντελεστής που έχει να κάνει με την ταυτότητα της περιοχής
 - X : η χρησιμοποιηθείσα ποσότητα λιπασμάτων σε tn
 - n : εμπειρικός εκθέτης που εξαρτάται από την διαπερατότητα

Η συσχέτιση της εφαρμοσθείσας αζωτούχας λίπανσης με τη συγκέντρωση νιτρικών στα υπόγεια νερά φαίνεται στο Σχήμα 1.8.



Σχήμα 1.8.: Συγκέντρωση νιτρικών στα υπόγεια νερά του πρώην Νομού Μαγνησίας σε σχέση με την εφαρμοσθείσα αζωτούχα λίπανση ανά περιοχή (Ανδρίτσος, Γούναρης, Κανλής, 2^ο Πανελλήνιο - Παγκύπριο Συνέδριο Χημείας 1990).

Το νιτρώδες ανιόν (NO_2^-) εμφανίζεται ως ένα ενδιάμεσο στάδιο της βιολογικής ανασύνθεσης από ενώσεις που περιέχουν οργανικό άζωτο. Η παρουσία νιτρωδών αλλά και αμμωνίας υποδηλώνει ρύπανση από λύματα (Μαλεφάκης 1998α). Σαν ανώτατη παραδεκτή συγκέντρωση νιτρωδών έχουν ορισθεί τα 0,1 (ΚΥΑ Υ2/2600/2001).

Τα θειϊκά ανιόντα (SO_4^{2-}) προέρχονται κυρίως από τη διάλυση του γύψου και του ανυδρίτη, τη χρήση θειϊκών λιπασμάτων καθώς και την οξείδωση θειούχων ενώσεων που εμφανίζονται σε αργιλικά πετρώματα. Συγκεντρώσεις μεγαλύτερες από 250 mg/L, καθιστούν τη χρήση των νερών ακατάλληλη για πόση και βιομηχανική χρήση, καθώς προκαλούν προβλήματα οσμών και διαβρώσεων (Μαλεφάκης 1998α).

Τα φωσφορικά ιόντα στο νερό οφείλονται στη χρήση φωσφορικών λιπασμάτων, καθώς και τη ρύπανση από αστικά λύματα (Voudouris et al. 2005). Μαζί με τα νιτρικά αποτελούν τους σπουδαιότερους παράγοντες δημιουργίας φαινομένων ευτροφισμού. Σαν ανώτατη παραδεκτή συγκέντρωση φωσφορικών στο νερό θεωρούνται τα 5 ενώ σαν ενδεικτικό τα 0,4 mg/L (ΚΥΑ Υ2/2600/2001).

1.4. Ταξινόμηση υπογείων νερών

1.4.1. Υδροχημικοί τύποι υπόγειων νερών διαφόρων υδροφορέων

Η ποιότητα του υπόγειου νερού καθορίζεται από τη λιθολογία των γεωλογικών σχηματισμών στους οποίους κινείται. Υπόγεια νερά από κρυσταλλικά πετρώματα (γρανίτες, γνεύσιοι) ανήκουν στον Ca-HCO₃-SO₄ υδροχημικό τύπο. Σε μερικές περιπτώσεις τα ιόντα Na⁺, K⁺, Mg²⁺ και F⁻ εμφανίζονται επιπλέον σαν κύρια κατιόντα και ανιόντα, αντίστοιχα. Επίσης τα νερά από γρανίτες και γνεύσιους χαρακτηρίζονται από την παρουσία υψηλών συγκεντρώσεων ιχνοστοιχείων, όπως: Fe, As, Mo, U (Μαλεφάκης 1998α).

Ο υδροχημικός τύπος Na-HCO₃ δείχνει φαινόμενα ανταλλαγής ιόντων και ο τύπος Na-Cl δείχνει τυπικά υφάλμυρο νερό από παράκτιους υδροφορείς που επηρεάζονται από τη θαλάσσια διείσδυση (Voudouris et al. 2005).

Υπόγεια νερά από ασβεστολιθικά πετρώματα ανήκουν στον Ca-HCO₃ υδροχημικό τύπο, ενώ από δολομιτικά στον Mg-HCO₃ τύπο. Στις περιπτώσεις που τα ανθρακικά πετρώματα περιέχουν γυψούχα στρώματα, ο κυρίαρχος τύπος νερού είναι Ca-Mg-HCO₃-SO₄ (Μαλεφάκης 1998α).

Υπόγεια νερά από εβαπορίτες εμφανίζουν υψηλή μεταλλικότητα και ανήκουν στον Ca-Mg-SO₄-HCO₃ υδροχημικό τύπο (Molina et al. 2003).

Η πλειονότητα των υπόγειων νερών προερχόμενα από υδροφόρους που φιλοξενούνται σε μολασσικά ιζήματα ανήκει στον Ca-Mg-HCO₃ υδροχημικό τύπο με υψηλές διακυμάνσεις μεταλλικότητας. Υψηλή συγκέντρωση SO₄²⁻ καταγράφεται σε μολασσικά ιζήματα στη βορειοανατολική Ελβετία (Kilchmann et al. 2004).

Τα υπόγεια νερά που προέρχονται από φλύσχη ανήκουν στον Ca-HCO₃ ή Ca(Mg)-HCO₃ υδροχημικό τύπο. Τα νερά από πηγές φλύσχη έχουν χαμηλή συγκέντρωση σε Na⁺, K⁺, Cl⁻, SO₄²⁻ και SiO₂. Γενικά έχουν χαμηλές συγκεντρώσεις ιχνοστοιχείων, με εξαίρεση το Ba.

Τα νερά των αλλουβιακών σχηματισμών εμφανίζουν μεγάλες ποιοτικές διακυμάνσεις, που οφείλονται στις συνθήκες τροφοδοσίας και τη λιθολογία των σχηματισμών εντός των οποίων κινείται. Συνήθως ανήκουν στον Ca-HCO₃ υδροχημικό τύπο. Η παρουσία Mg-HCO₃ χαρακτηρίζει τα πετρώματα ως δολομιτικούς ασβεστόλιθους. Η διάλυση του ασβεστίτη και του δολομίτη είναι υπεύθυνη για τις υψηλές συγκεντρώσεις HCO₃⁻, Ca²⁺, Mg²⁺ στα υπόγεια νερά όλων των τύπων των υδροφόρων (Μαλεφάκης 1998α).

Οι δύο κύριοι υδροχημικοί τύποι υπόγειων νερών είναι:

Ανθρακικά: $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+$

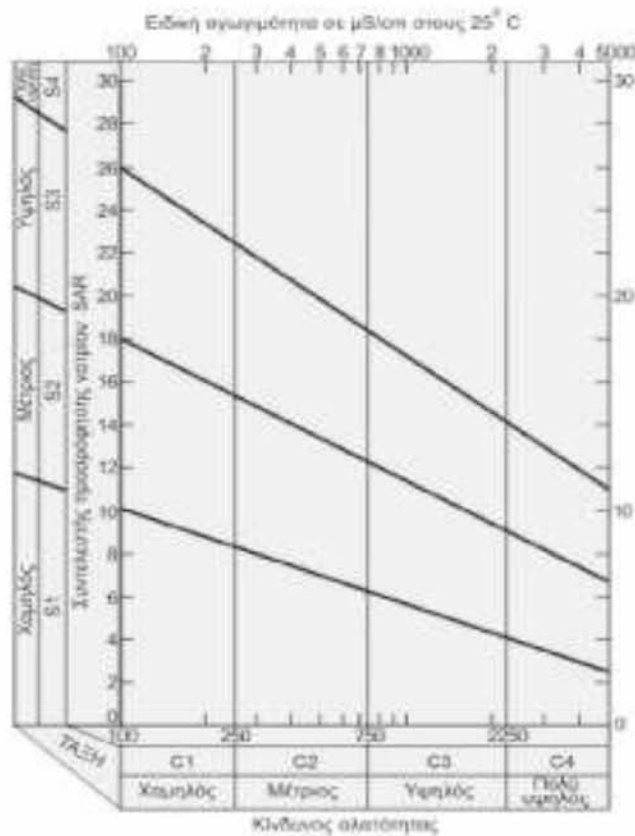
$\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}$

Χλωριούχα: $\text{Na} > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$

$\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^-$

1.4.2. Ταξινόμηση νερών σύμφωνα με την αγωγιμότητά τους και το βαθμό αλκαλιώσεως.

Η συνδυασμένη επίδραση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (κίνδυνος αλατώσεως) και του λόγου προσρόφησης νατρίου (κίνδυνος αλκαλιώσεως) όπως απεικονίζεται στο διάγραμμα κατά Richards (Σχ. 1.9.) αποτελεί κριτήριο καταλληλότητας ενός νερού για εφαρμογή σε εδάφη που υποστηρίζουν φυτικές ή ζωικές καλλιέργειες – εκτροφές.



Σχήμα 1.9.: Διάγραμμα ταξινόμησης νερών (Richards).

Σύμφωνα με το διάγραμμα διακρίνονται 4 κατηγορίες κινδύνου αλατώσεως και 4 κατηγορίες κινδύνου αλκαλιώσεως του νερού:

Κατηγορίες κινδύνου αλατώσεως νερού

Κατηγορία C1: Κατάλληλο για χρήση στα περισσότερα είδη σε όλες σχεδόν τις κατηγορίες εδαφών.

Κατηγορία C2: Για χρήση στα μετρίως ανθεκτικά στην αλατότητα είδη, μπορεί να χρησιμοποιηθεί χωρίς κανένα μέτρο για τον έλεγχο της αλατότητας του εδάφους.

Κατηγορία C3: Ακατάλληλο για εδάφη με προβλήματα στράγγισης. Απαιτείται εφαρμογή υψηλών ποσοστών έκπλυσης και πρέπει να χρησιμοποιείται για αρκετά ανθεκτικά στα άλατα είδη.

Κατηγορία C4: Γενικά ακατάλληλο για κάθε χρήση. Κάτω από εξαιρετικές συνθήκες, θα πρέπει να χρησιμοποιείται σε εδάφη με πολύ καλή στράγγιση, εφαρμόζοντας πολύ μεγάλα ποσοστά έκπλυσης και σε πολύ ανθεκτικά είδη (Μαλεφάκης 1998β).

Κατηγορίες κινδύνου αλκαλιώσεως νερού

Κατηγορία S1: Κατάλληλο για χρήση σε όλα τα εδάφη χωρίς ουσιαστικό κίνδυνο να προκληθεί πρόβλημα αλκαλίωσης του εδάφους. Μόνο τα πολύ ευαίσθητα στο νάτριο είδη μπορεί να εμφανίσουν κάποιο πρόβλημα τοξικότητας.

Κατηγορία S2: Σε λεπτόκοκκα εδάφη (π.χ. αργιλώδη), δημιουργεί σημαντικό κίνδυνο για την προσρόφηση μεγάλων ποσοτήτων νατρίου, εκτός αν το έδαφος περιέχει γύψο. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί χωρίς ιδιαίτερο πρόβλημα σε ελαφρά εδάφη ή σε οργανικά εδάφη με καλή περατότητα.

Κατηγορία S3: Προκαλεί μεγάλη αύξηση του ποσοστού προσροφημένου νατρίου σχεδόν σε όλα τα εδάφη και για να χρησιμοποιηθεί θα πρέπει να ληφθούν κάποια μέτρα όπως καλή στράγγιση του εδάφους, υψηλό ποσοστό έκπλυσης και προσθήκη οργανικής ουσίας. Επίσης ενδείκνυται η χρήση βελτιωτικών όπως ο γύψος.

Κατηγορία S4: Είναι γενικά ακατάλληλο, εκτός αν συνδυάζεται με χαμηλή ή μέτρια περιεκτικότητα σε άλατα (κατηγορία C1 - S4) και με προσθήκη γύψου (Hergert & Knudseny 1977, Μαλεφάκης 1998β).

1.4.3. Ταξινόμηση σύμφωνα με την καταλληλότητά του για ανθρώπινη κατανάλωση

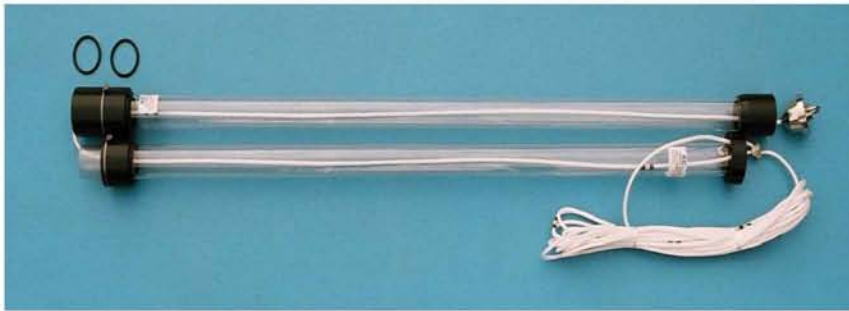
Τα υπόγεια νερά που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν για ανθρώπινη κατανάλωση (πόση, μαγείρεμα, ατομική υγιεινή, πλύσιμο σκευών, πλύσιμο και επεξεργασία τροφίμων, παρασκευή πάγου κλπ), θα πρέπει να πληρούν τις προϋποθέσεις της ΚΥΑ Υ2/2600/2001 η οποία τροποποιήθηκε το 2007 και είναι εναρμονισμένη με την Ευρωπαϊκή Οδηγία 98/83. Σύμφωνα με αυτή, οι παραμετρικές τιμές που καθορίζονται στους σχετικούς πίνακες ενδεικτικών και υποχρεωτικών παραμέτρων, θα πρέπει να βρίσκονται κάτω από τα όρια προδιαγραφών. Στην περίπτωση αυτή το νερό χαρακτηρίζεται κατάλληλο για πόση και ανθρώπινη κατανάλωση γενικότερα.

Νερά που δεν παρουσιάζουν υπερβάσεις των υποχρεωτικών τιμών, αλλά μικρές (σε ποσοστό, συχνότητα και χρονική διάρκεια) υπερβάσεις ενδεικτικών παραμέτρων, χαρακτηρίζονται ύποπτα για τη δημόσια υγεία, ενώ εκείνα που εμφανίζουν υπερβάσεις υποχρεωτικών τιμών, χαρακτηρίζονται ακατάλληλα για ανθρώπινη κατανάλωση, ως και επικίνδυνα, ανάλογα με το είδος και το ποσοστό των υπερβάσεων.

2. ΥΛΙΚΑ & ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1. Δειγματοληψία

Η δειγματοληψία έγινε σύμφωνα με το πρωτόκολλο ISO 5667, από τους κρουνοί δειγματοληψίας των καταθλιπτικών σωλήνων των αντλιών γεωτρήσεων ή με δειγματολήπτη σχοινού bailer sampler (Εικ. 2.1.), ο οποίος βυθίζεται στο σωλήνα γεωτρήσεως, όπως δείχνει η Εικόνα 2.2. Το νερό του δείγματος πρέπει να είναι αντιπροσωπευτικό του υδροφορέα, δηλαδή να λαμβάνεται μετά από άντληση της γεώτρησης για ικανοποιητικό χρόνο (τουλάχιστον μιας ώρας), ώστε να ανανεωθεί. Οι Appelo & Postma (1994) θεωρούν ότι πρέπει να αντληθεί το 4-πλάσιο του όγκου του νερού που παραμένει στο σωλήνα της γεώτρησης.



Εικόνα 2.1: Δειγματολήπτης σχοινού bailer sampler 1000 – 2000 ml



Εικόνα 2.2.: Λήψη δείγματος από γεώτρηση με δειγματολήπτη bailer sampler. <http://www.epa.state.il.us/land/lust/introduction.html>

Το στίγμα (γεωγραφικές συντεταγμένες) του σημείου λήψης των δειγμάτων λήφθηκε με φορητές συσκευές GPS των οίκων Garmin.

Η συλλογή των δειγμάτων έγινε σε φιάλες 1½ λίτρου από πολυαιθυλένιο, αφού πρώτα ξεπλύθηκαν καλά με το ίδιο νερό των δειγμάτων. Οι γυάλινες φιάλες πρέπει να αποφεύγονται, γιατί έχει παρατηρηθεί προσρόφηση και ανταλλαγή ιόντων. Τα δείγματα τοποθετούνταν αμέσως σε ισόθερμο 8°C και μεταφέρονταν αυθημερόν στο εργαστήριο για τις περαιτέρω εργαστηριακές εξετάσεις. Έτσι επιτυγχάνεται η αναστολή ανεπιθύμητων βιολογικών και χημικών αντιδράσεων, που μπορεί να λάβουν χώρα, εάν τα δείγματα εκτεθούν σε υψηλές θερμοκρασίες για μεγάλο χρονικό διάστημα από την στιγμή της δειγματοληψίας μέχρι την ανάλυση. Γενικά, η συντήρηση, μεταφορά και χειρισμός των δειγμάτων, έγινε σύμφωνα με το πρωτόκολλο ISO 5667-3.

2.2. Εργαστηριακές εξετάσεις

Οι φυσικοχημικές παράμετροι, όπως το pH, η αγωγιμότητα, η θολερότητα, η διαύγεια, το χρώμα και η θερμοκρασία των δειγμάτων, μετρήθηκαν με τα διακριβωμένα όργανα: CRISON 2001, pH μετρα και θερμομέτρα HANNA pH-211 (Εικ. 2.3.α), αγωγιμόμετρο CRISON CM-2201 (Εικ. 2.3.β), HACH 2100P (θολερόμετρο), σύμφωνα με τα πρωτόκολλα ASTM D 1293-84, ASTM D 1125-91 και ASTM D 1889-88 αντίστοιχα, στο πεδίο δειγματοληψίας.



(α)

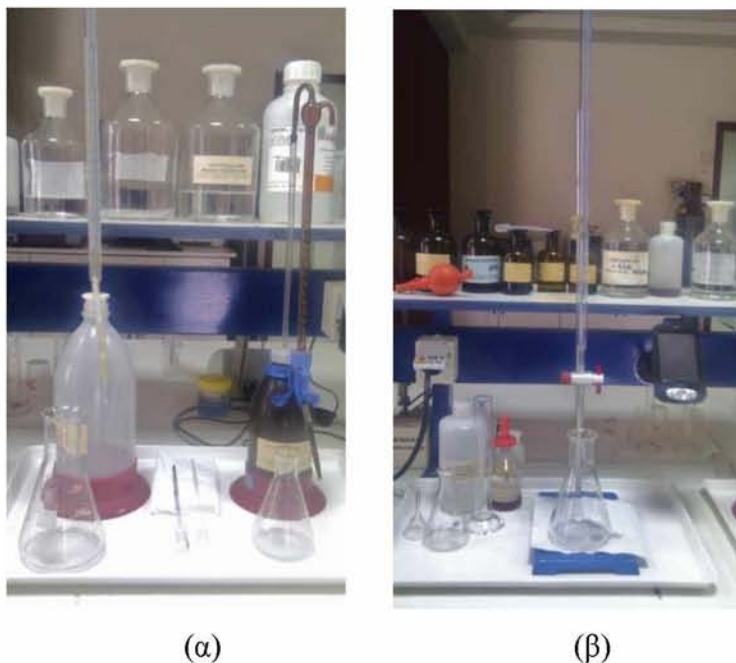


(β)

Εικόνα 2.3.: (α) pH μετρο HANNA pH-211, (β) Αγωγιμόμετρο CRISON CM-2201

Η σκληρότητα προσδιορίστηκε συμπλοκομετρικά (Εικ. 2.4.α) με EDTA (μέθοδος APHA 2340C 21th Ed) και η τιμή συγκρίθηκε με την εξ υπολογισμών τιμή που προκύπτει από τις συγκεντρώσεις Ca και Mg των δεδομένων της IC-CD προσδιορισμών.

Η αλκαλικότητα των δειγμάτων, μετρήθηκε ογκομετρικά, με βάση το πρωτόκολλο APHA 2320, 21η ΕΚΔΟΣΗ 2005 (Εικ. 2.4.β).



Εικόνα 2.4.: (α) Προσδιορισμός σκληρότητας με EDTA και χλωριούχων με νιτρικό άργυρο, (β) Ογκομετρική μέτρηση αλκαλικότητας.

Τα ανιόντα και συγκεκριμένα χλωριούχα (Cl^-), Νιτρώδη (NO_2^-), Νιτρικά (NO_3^-), ορθοφωσφορικά (HPO_4^{2-}), και θειικά (SO_4^{2-}), προσδιορίστηκαν με ιοντική χρωματογραφία IC-CD, σύμφωνα με το πρωτόκολλο ASTM D4327.

Η τιμή των χλωριόντων συγκρίθηκε με τις αντίστοιχες τιμές από αργυρομετρικούς προσδιορισμούς (μέθοδος νιτρικού αργύρου - APHA 4500-Cl- B 21th Ed) που έγιναν παράλληλα σε ορισμένα δείγματα.

Οι μετρήσεις έγιναν με χημική καταστολή (μείωση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εκλουστικού διαλύματος) για μεγαλύτερη ακρίβεια.

Με ανάλογη διάταξη IC (χρωματογραφία κατιόντων) μετρήθηκαν τα κατιόντα Na^+ , K^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} και NH_4^+ σύμφωνα με το πρωτόκολλο ISO 14911:1998, στις ιοντικές χρωματογραφίες IC 790 και IC 761 του οίκου Metrhom με αυτόματο τροφοδότη δειγμάτων Autosampler 728 της Micrometrics (Εικ. 2.5.).



Εικόνα 2.5.: Ιοντική χρωματογραφία IC 761 του οίκου Metrhom και αυτόματος τροφοδότης δειγμάτων Autosampler 728 της Micrometrics.

Πριν την εισαγωγή των δειγμάτων, προηγήθηκε διήθηση από φίλτρα υάλου 0.45 μ , προκειμένου να προστατευθεί το σύστημα των χρωματογράφων από την σωματιδιακή αιωρούμενη ύλη. Ρύθμιση του pH των δειγμάτων δεν απαιτήθηκε διότι όλα τα δείγματα ήταν μέσα στο εύρος τιμών pH που προβλέπεται από το πρωτόκολλο ανάλυσης (4,0 – 9,5).

Με φασματοφωτομετρικές, μεθόδους, μετρήθηκαν τα ιόντα, Αμμώνιο, (ASTM D1426-93) και τα Νιτρώδη, (APHA 4500-NO₂ B, 99) σε συγκεντρώσεις που ήταν μικρότερες του ορίου ποσοτικοποίησης της ιοντικής χρωματογραφίας. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε το Φασματοφωτόμετρο UV-Vis Spectronic Genesis-5 του οίκου Milton Roy, το Φασματοφωτόμετρο UV-Vis Specord 205 της Analytic Jena (Εικ. 2.7.) και το φασματοφωτόμετρο HACH DR2500 (Εικ. 2.6.).

Συγκεκριμένα, τα νιτρικά και θειικά ιόντα, μετρήθηκαν με φασματοφωτομετρικές μεθόδους HACH, σύμφωνα με τις τυποποιημένες μεθόδους του οίκου για το φωτόμετρο DR2500 (Odyssey).

Στη συνέχεια μετρήθηκαν και με τις πρότυπες φασματοφωτομετρικές μεθόδους, (κατά ΑΡΗΑ) σε φασματοφωτόμετρο διπλής δέσμης UV/Vis Specord 205 του οίκου Analytic Jena.



Εικόνα 2.6.: Φασματοφωτόμετρο ορατού HACH DR2500



Εικόνα 2.7.: Φασματοφωτόμετρο UV-Vis Specord 205 της Analytic Jena

Ειδικά για το φασματοφωτομετρικό προσδιορισμό των νιτρικών με τη μέθοδο αναγωγής με κάδμιο, κατασκευάστηκαν πρότυπες καμπύλες βαθμονόμησης, σε διαφορετικές αλατότητες, προκειμένου να προσαρμοστούν οι πειραματικές συνθήκες στον ιοντικό χαρακτήρα των δειγμάτων.

Τα αναλυτικά αποτελέσματα συγκρίθηκαν μεταξύ τους προκειμένου να ελεγχθεί η ισοδυναμία των μεθόδων για τα δείγματα του συγκεκριμένου χημικού χαρακτήρα. Η διαδικασία αυτή δεν ακολούθηθηκε για τα ιόντα αμμωνίου, τα νιτρώδη και τα φωσφορικά, διότι βρέθηκαν κάτω από τα όρια ανίχνευσης των μεθόδων.

2.3. Εκφράσεις τιμών και επεξεργασία των αναλυτικών δεδομένων

Η περιεκτικότητα των ιόντων εκφράζεται κυρίως σε χλιοστόγραμμα ανά λίτρο (mg/L) και σε χλιοστοϊσοδύναμα ανά λίτρο (meq/L).

$$\text{Ισχύει } 1 \text{ meq/L} = 1 \text{ mg/L} \times \Sigma\text{M},$$

$$\text{όπου } \Sigma\text{M} = 1 / \text{Ισοδ. Βάρος} = 1 / (\text{ιοντικό βάρος} / \text{σθένος ιόντος})$$

Ο Πίνακας 2.1. δείχνει τους συντελεστές μετατροπής των ιόντων από mg/L σε meq/L.

Πίνακας 2.1: Συντελεστές μετατροπής (ΣΜ) από mg/L σε meq/L.

Ca ⁺²	0,0499	HCO ₃ ⁻	0,0164	NH ₄ ⁺	0,0554
Mg ⁺²	0,0823	Cl ⁻	0,0282	CO ₃ ⁻²	0,0333
Na ⁺	0,0435	NO ₃ ⁻	0,0161	SO ₄ ⁻²	0,0208
K ⁺	0,0256	NO ₂ ⁻	0,0217	PO ₄ ⁻³	0,0316

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα εκφράζεται σε μS/cm.

Η σύγκριση της ισοδυναμίας των μεθόδων έγινε με στατιστική επεξεργασία των ομάδων των αναλυτικών δεδομένων με βάση το κριτήριο Student's για βαθμό εμπιστοσύνης 95%.

Η απόρριψη αμφίβολων τιμών, έγινε με βάση το κριτήριο Q.

Ο έλεγχος της συμβατότητας των αποτελεσμάτων έγινε με βάση το ισοζύγιο ανιόντων – κατιόντων, αφού μετατράπηκαν οι συγκεντρώσεις τους σε greq/l.

$$\text{Σφάλμα ισοζυγίου ιόντων (\%)} = \frac{\Sigma_{\text{κατιόντων}} - \Sigma_{\text{ανιόντων}}}{\Sigma_{\text{κατιόντων}} + \Sigma_{\text{ανιόντων}}} \times 100$$

Αν το σφάλμα είναι μεγαλύτερο από 5%, σημαίνει ότι έχει παραληφτεί κάποια σημαντική χημική παράμετρος στην ανάλυση, ή έχει γίνει λάθος σε κάποιο προσδιορισμό, και η χημική ανάλυση θα πρέπει να επαναληφτεί (Appelo et al 1999).

Επικουρικά, σαν επί πλέον κριτήριο ελέγχου, συγκρίθηκε η μετρηθείσα τιμή της αγωγιμότητας με την θεωρητική τιμή, που προκύπτει από το άθροισμα των φορτίων του συνόλου των ιόντων των δειγμάτων (*APHA-AWWA-WEF Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater*, 20th edition).

Η αγωγιμότητα ενός δείγματος νερού, μπορεί κατά προσέγγιση να υπολογιστεί από τις συγκεντρώσεις των βασικότερων ιόντων του, με βάση τον τύπο :

$$EC = (C_i \times f_i)$$

Όπου, C_i η συγκέντρωση του ιόντος i , σε mg/L και

f_i , ο συντελεστής αγωγιμότητας του ιόντος i (Πίν. 2.2.)

Το σφάλμα σύγκρισης της μετρηθείσας από την θεωρητική τιμή της αγωγιμότητας θα πρέπει να είναι < 20% (Wright 2007).

Πίνακας 2.2.: Συντελεστές αγωγιμότητας κυριότερων ιόντων (f) από mg/L σε $\mu\text{S}/\text{cm}$.

HCO_3^-	0.715	Ca^{+2}	2.6
CO_3^{-2}	2.82	Mg^{+2}	3.82
Cl^-	2.14	K^+	1.84
NO_3^-	1.15	Na^+	2.13
SO_4^{-2}	1.54	OH^+	5.56

Ένα επιπλέον κριτήριο ελέγχου της συνάφειας των στοιχείων της ανάλυσης, αποτελεί η σύγκριση της θεωρητικής τιμής των ολικών διαλυμένων στερεών (TDS), που προκύπτει από την υπολογισθείσα τιμή της αγωγιμότητας (εκ των συγκεντρώσεων των επι μέρους ιόντων), ως:

$$\text{TDS}_C [\text{mg}/\text{l}] = \text{EC} [\text{S}/\text{cm}] \times 0,64$$

και της μετρηθείσας τιμής (TDS_M), σύμφωνα με την πρότυπη σταθμική μέθοδο APHA 2540, 21η ΕΚΔΟΣΗ 200, ή την EPA Method 160.1 (μέτρηση στερεού υπολείμματος μετά από διήθηση, εξάτμιση και ξήρανση στους 180°C) (Εικ. 2.7.).

Το αποτέλεσμα, δεν θα πρέπει να διαφέρει πάνω από 20%

$$1.0 < (TDS_M/TDS_C) < 1.2$$



Εικόνα 2.7: Μέτρηση TDS μετά από διήθηση, εξάτμιση και ξήρανση

Στη συνέχεια τα εργαστηριακά δεδομένα καταχωρήθηκαν και επεξεργάστηκαν με το ειδικό λογισμικό GeoReport, που αναπτύχθηκε ειδικά για εφαρμογές ποιοτικού ελέγχου υπογείων και επιφανειακών νερών, σύμφωνα με τις διαδικασίες του ISO 17025, σε Microsoft Excel και χρήση κώδικα VBA.

Η παρουσίαση των αποτελεσμάτων των χημικών αναλύσεων έγινε με τη βοήθεια υδροχημικών διαγραμμάτων (τριγωνικά και πολυγωνικά διαγράμματα PIPER, Richards), όπως και μέσω υδροχημικών χαρτών.

Οι υδροχημικοί χάρτες που δείχνουν τη γεωγραφική κατανομή διαφόρων παραμέτρων είναι πολύ χρήσιμοι στη μελέτη της ποιότητας των υπόγειων νερών. Συνήθως κατασκευάζονται χάρτες ίσης συγκέντρωσης μιας παραμέτρου π.χ. ισοχλώριες, ίσης αγωγιμότητας κ.λπ. που αποτυπώνονται με γραμμές ή σε χρωματική κλίμακα.

Η επεξεργασία των δεδομένων έγινε με το λογισμικό πακέτο SURFER ve.7 της Golden Software Ltd με βάση τα μοντέλα Shepard ή της δυναμικής προσέγγισης Inverse Distance to a Power (IDP).

Η ταξινόμηση των υπόγειων νερών με βάση το χημισμό τους (που προέρχεται από τις αλληλεπιδράσεις νερού και υπεδάφους) γίνεται με τη βοήθεια διαφόρων λόγων

Cl/SO₄, Na/K, Cl/Br, Mg/Ca, ή με βάση την περιεκτικότητα σε διάφορα ιόντα κατά Piper. Επίσης χρησιμοποιείται η ταξινόμηση με βάση τη σκληρότητα, το σύνολο των διαλυμένων στερεών, την κατηγορία άρδευσης, τον συντελεστή προσρόφησης νατρίου, αλκαλίωσης κ.ά., σύμφωνα με τα διεθνώς ισχύοντα σταθερότυπα των Hem (1970), Sawyer - McCarty (1967), Davis and Wiest (1966), ή τις απόλυτες τιμές των συγκεντρώσεων, με δείκτες τις αντιπροσωπευτικές συγκεντρώσεις σε διάφορους τύπους νερών (Lloyd and Heathcot , 1985)

Οι υπολογισμοί των τύπων των υδροφόρων, δηλαδή της γεωχημικής σύστασης των νερών σε σχέση με τους γεωλογικούς σχηματισμούς (καρστικά νερά, οφιολιθικά, αλουβιακά κλπ) και η κατασκευή των υδροχημικών διαγραμμάτων, έγιναν με το πρόγραμμα AquaChem.

Η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων, έγινε με βάση τα σταθερότυπα της σκοπούμενης ή της εν δυνάμει χρήσης των υπογείων νερών.

Βαρύτητα δόθηκε στη χρήση ή πιθανή χρήση του νερού για ανθρώπινη κατανάλωση (πόσιμο), που οι στόχοι των παραμετρικών τιμών και οι προδιαγραφές της ποιότητας καθορίζονται από την ΚΥΑ Υ2/2600/01 και τις μεταγενέστερες τροποποιήσεις της (ΔΥΓ2/Γ.Π. οικ 38295/2007).

Στον Πίνακα 2.3 παρουσιάζονται οι συντεταγμένες, το υψόμετρο, και η περιοχή από την οποία προέρχονται τα δείγματα.

Πίνακας 2.3.: Χαρακτηρισμός και προέλευση δειγμάτων

ΚΩΔ. ΣΗΜΕΙΟΥ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΠΕΡΙΟΧΗ	ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ		ΥΨΟΜ. m
			Lat	Lon	
1	ΦΟΥΝΤΑΣ ΓΡΗΓΟΡΗΣ	ΕΥΞΕΙΝΟΥΠΟΛΗ (ΚΟΥΡΙ)	39.2002	22.7420	68
2	ΚΑΡΑΠΤΣΙΑΣ ΕΥΑΓΓ.	ΕΥΞΕΙΝΟΥΠΟΛΗ (ΝΤΑΓΙΑΣ)	39.1954	22.7487	62
3	ΝΤΟΥΜΑΝΑΚΟΣ	ΑΛΜΥΡΟΣ	39.2021	22.7925	17
4	ΦΟΥΝΤΑΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ	ΕΥΞΕΙΝΟΥΠΟΛΗ (ΑΥΛΑΓΑΔΕΣ)	39.2017	22.7272	87
5	ΜΠΑΤΣΑΡΑΣ	ΚΡΟΚΙΟ (ΜΠΟΖΑΓΛΟ)	39.2228	22.7294	77
6	ΜΠΑΤΣΑΡΑΣ	ΚΡΟΚΙΟ	39.2136	22.7439	61
7	ΠΗΓΑΔΑΚΙΑ	ΑΓΧΙΑΛΟΣ	39.2646	22.7976	7
8	ΤΕΤΡΙΜΙΔΑΣ ΣΠΥΡΟΣ	ΑΛΜΥΡΟΣ	39.1911	22.8011	19
9	ΝΤΑΛΟΥΚΑ	ΑΓΧΙΑΛΟΣ	39.2519	22.7610	43
10	ΚΟΚΚΙΝΑ	ΑΓΧΙΑΛΟΣ	39.2496	22.7818	20
11	ΕΞΑΜΙΣΑΡΙΑ	ΑΓΧΙΑΛΟΣ	39.2531	22.7930	8
12	ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΜΠΟΥΡΛΗ	ΑΛΜΥΡΟΣ	39.1773	22.7444	70
13	ΑΝΤΛΙΟΣΤΑΣΙΟ ΜΑΝΕΣ	ΑΓΧΙΑΛΟΣ	39.2836	22.7335	220
14	ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΜΑΜΑΛΕΙΚΑ	ΑΛΜΥΡΟΣ	39.2284	22.7073	77
15	ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΚΑΡΑΚΩΣΤΑ	ΚΟΥΡΙ	39.1976	22.7249	94
16	ΑΡΤΕΣΙΑΝΟ	ΑΓΧΙΑΛΟΣ	39.2763	22.7395	149
17	ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΧΟΡΤΑΡΙΑ	ΑΛΜΥΡΟΣ	39.2233	22.6970	83
18	ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΤΑΣΙΚΟ	ΕΥΞΕΙΝΟΥΠΟΛΗ	39.1837	22.7459	68
19	ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΥΔΡΕΥΣΗΣ	ΚΡΟΚΙΟ	39.2081	22.7456	60
20	ΤΕΤΡΙΜΙΔΑΣ ΓΙΑΝΝΗΣ	ΑΛΜΥΡΟΣ	39.1948	22.8033	15
21	ΓΕΩΤΡΗΣΗ - 1170	ΚΡΙΘΑΡΙΑ	39.3009	22.9057	75
22	ΓΕΩΤΡΗΣΗ - 1172	ΜΑΡΑΘΟΣ	39.2967	22.8946	90
23	ΝΕΚΡΟΤΑΦΕΙΟ - 312	ΝΕΑ ΑΓΧΙΑΛΟΣ	39.2763	22.8062	25
24	ΦΥΛΑΚΕΣ ΚΑΣΑΒΕΤ.	ΑΙΔΙΝΙΟ	39.2495	22.7427	70
25	ΒΑΛΤΟΣ ΣΟΒΕΛ	ΤΣΙΓΚΕΛΙ ΑΛΜΥΡΟΥ	39.1646	22.8445	2
26	ΚΟΚΚΙΝΕΣ	ΑΙΔΙΝΙΟ	39.2507	22.7601	55
27	ΣΙΟΡΕΜΑ	ΑΙΔΙΝΙΟ	39.2539	22.7164	120
28	ΕΛΑΙΟΥΡΓΙΑ ΜΑΓΝΗΣΙΑΣ	ΠΛΑΤΑΝΟΣ	39.2539	22.7164	30
29	ΧΑΛΥΒΟΥΡΓΙΑ	ΠΛΑΤΑΝΟΡΕΜΑ	39.1622	22.8051	30
30	ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ ΥΔΡΕΥΣΗΣ	Μ.ΒΕΛΑΝΙΔΙΑ	39.2941	22.8762	20
31	ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ ΥΔΡΕΥΣΗΣ	ΦΥΛΑΚΗ	39.2501	22.5812	370
32	ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ ΥΔΡΕΥΣΗΣ	ΜΑΥΡΟΛΟΦΟΣ (ΡΕΜΑ)	39.2260	22.6610	160
33	ΝΕΑ ΓΕΩΤΡ. ΥΔΡΕΥΣΗΣ	ΑΡΓΙΛΟΧΩΡΙ	39.2183	22.6497	140
34	ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ ΥΔΡΕΥΣΗΣ	ΖΑΡΚΑΔΟΧΩΡΙ	39.1968	22.5769	330
35	ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ ΥΔΡΕΥΣΗΣ	ΠΕΡΔΙΚΑ ΕΝΤΟΣ ΟΙΚΙΣΜΟΥ	39.2479	22.6230	300
36	ΧΟΡΟΣΤΑΣΙ	ΠΛΑΤΑΝΟΣ	39.1761	22.8330	6
37	ΓΗΠΕΔΟ	ΠΛΑΤΑΝΟΣ	39.1600	22.7993	40
38	ΠΛΑΤΑΝΟΡΕΜΑ	ΠΛΑΤΑΝΟΣ	39.1980	22.7943	35
39	ΚΟΣΜΑΣ ΕΥΡ.	ΚΟΥΛΟΥΡΙΩΤΙΚΑ (ΑΛΜΥΡΟΣ)	39.1897	22.7539	60
40	ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΥΔΡΕΥΣΗΣ	ΝΕΡΑΙΔΑ (ΕΝΤΟΣ ΟΙΚΙΣΜΟΥ)	39.1723	22.6066	335
41	ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΥΔΡΕΥΣΗΣ	ΑΝΘΟΤΟΠΟΣ (ΠΑΝΩ ΣΕ ΑΓΡ.)	39.1852	22.6054	290
42	ΣΑΡΡΑ (ΡΕΜΑ)	ΝΕΟΧΩΡΑΚΙ	39.1715	22.6121	280
43	ΓΕΩΤΡΗΣΗ - 1035/1212	ΠΑΡΑΛΙΑ ΑΓ. ΙΩΑΝΝΗΣ	39.1939	22.8239	4
44	ΑΓΡΙΛΑΚΑ	ΠΛΑΤΑΝΟΣ	39.1600	22.8263	9
45	ΙΣΩΜΑ	ΠΛΑΤΑΝΟΣ	39.1600	22.8263	9

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ

3.1. Παρουσίαση αποτελεσμάτων χημικών αναλύσεων

Τα αποτελέσματα των αναλύσεων των ιόντων και των φυσικοχημικών παραμέτρων από τα δείγματα των 45 γεωτρήσεων παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.1.

Όσον αφορά τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στο πεδίο, οι τιμές του pH κυμαίνονται από 7,13 στο δείγμα 1 έως 8,12 στο δείγμα 30 και η ηλεκτρική αγωγιμότητα έχει τιμές από 417 $\mu\text{S}/\text{cm}$ στο δείγμα 15 έως 7400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ στο δείγμα 25.

Όσον αφορά τα κατιόντα, οι συγκεντρώσεις του Na^+ κυμαίνονται από 9,4 mg/l στο δείγμα 14 έως 1174,0 mg/l στο δείγμα 25, του K^+ από 0,6 mg/l στο δείγμα 42 έως 38,2 mg/l στο δείγμα 25, του Ca^{+2} από 34 mg/l στο δείγμα 24 έως 234 mg/l στο δείγμα 25 και του Mg^{+2} από 7,5 mg/l στο δείγμα 28 έως 115 mg/l στο δείγμα 25.

Όσον αφορά τα ανιόντα, τα νιτρικά (NO_3^-) βρέθηκαν σε συγκεντρώσεις από 0 mg/l στο δείγμα 34 έως 138 mg/l στο δείγμα 39. Τρία δείγματα ξεπερνούν το ανώτατο όριο του πόσιμου νερού σε συγκέντρωση νιτρικών (δηλαδή τα 50 mg/l) ενώ μεγάλο ποσοστό αυτών παρουσιάζουν γενικά αυξημένες συγκεντρώσεις. Οι συγκεντρώσεις των χλωριούχων (Cl^-) κυμαίνονται από 19 mg/l στο δείγμα 31 έως 2185 mg/l στο δείγμα 25, των θειικών ιόντων (SO_4^{-3}) από 2 mg/l στο δείγμα 32 έως 214 mg/l στο δείγμα 25. Το μοναδικό δείγμα όπου ανιχνεύτηκαν νιτρώδη ιόντα (NO^{2-}) είναι το δείγμα 25 με συγκέντρωση 0,05 mg/l, ενώ τα υπόλοιπα έχουν συγκεντρώσεις μικρότερες από το ποσοστό ποσοτικοποίησης και το ποσοστό ανίχνευσης, όπως και στην περίπτωση των φωσφορικών ιόντων (PO_4^{-3}).

Τέλος, οι φυσικοχημικοί παράμετροι που μετρήθηκαν είναι τα ολικά διαλυμένα στερεά, με συγκεντρώσεις από 267 ppm στο δείγμα 15 έως 4736 ppm στο δείγμα 25, η ολική σκληρότητα που κυμαίνεται από 194 ppm CaCO_3 στο δείγμα 15 έως 1064 ppm CaCO_3 στο δείγμα 25 και η αλκαλικότητα με τιμές να κυμαίνονται από 140 ppm HCO_3 στο δείγμα 45 έως 540 ppm HCO_3 στο δείγμα 13.

Πίνακας 3.1: Αναλυτικά αποτελέσματα

ΚΩΔΙΚΟΣ ΔΕΙΓΜ.	ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΕΔΙΟΥ		ΒΑΣΙΚΑ ΚΑΤΙΟΝΤΑ				ΒΑΣΙΚΑ ΑΝΙΟΝΤΑ					ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΟΙ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ		
	pH	EC [μS/cm]	Na ⁺ (mg/l)	K ⁺ (mg/l)	Ca ⁺² (mg/l)	Mg ⁺² (mg/l)	NO ₃ ⁻ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	SO ₄ ⁻² (mg/l)	NO ₂ ⁻ (mg/l)	PO ₄ ⁻³ (mg/l)	TDS ppm = [EC] x 0,64	ΟΛΙΚΗ ΣΚΗΡΟΤΗΣ ppmCaCO ₃	ΑΛΚΑΛΙΚ. ppm HCO ₃
1	7,13	826	13,6	1,0	133,2	15,1	48	26	12	< 0,02	< 0,1	529	396	390
2	7,20	753	10,9	1,0	132,0	12,8	49	28	34	< 0,02	< 0,1	482	383	350
3	7,41	669	21,8	1,2	110,3	13,7	29	46	8	< 0,02	< 0,1	428	333	340
4	7,41	734	14,4	1,2	128,0	13,2	48	27	23	< 0,02	< 0,1	470	375	360
5	7,42	769	14,9	1,3	126,6	16,1	46	27	21	< 0,02	< 0,1	492	384	370
6	7,40	771	12,3	1,1	134,0	10,5	49	21	17	< 0,02	< 0,1	493	379	380
7	7,68	925	14,6	1,2	70,5	76,6	43	43	17	< 0,02	< 0,1	592	495	480
8	7,54	790	24,8	1,9	118,5	31,7	49	39	48	< 0,02	< 0,1	506	428	390
9	7,80	608	25,5	1,7	47,9	47,1	2	25	6	< 0,02	< 0,1	389	316	390
10	7,79	782	13,5	1,1	58,3	68,5	26	39	3	< 0,02	< 0,1	500	431	440
11	7,71	820	19,0	1,0	35,7	56,1	30	43	13	< 0,02	< 0,1	525	323	325
12	7,73	735	29,3	2,2	77,7	40,0	19	41	7	< 0,02	< 0,1	470	361	410
13	7,90	822	17,4	1,3	57,7	85,0	13	30	20	< 0,02	< 0,1	526	498	540
14	7,63	548	9,4	1,1	86,7	28,5	15	27	18	< 0,02	< 0,1	351	335	350
15	7,88	417	16,2	2,0	51,5	15,6	46	28	8	< 0,02	< 0,1	267	194	175
16	7,90	820	14,0	0,9	64,9	75,3	16	28	20	< 0,02	< 0,1	525	476	510
17	7,80	628	20,9	1,2	64,2	37,2	26	43	27	< 0,02	< 0,1	402	316	300
18	7,67	668	15,7	1,2	104,3	18,6	46	28	14	< 0,02	< 0,1	428	338	320
19	7,74	556	18,4	1,4	74,0	18,0	35	32	3	< 0,02	< 0,1	356	260	250
20	7,64	780	28,0	0,7	106,2	15,2	50	39	60	< 0,02	< 0,1	499	329	275
21	7,46	2120	192,0	5,3	145,0	60,0	18	503	50	< 0,02	< 0,1	1357	613	260
22	7,77	2270	223,0	5,5	139,0	67,0	19	549	55	< 0,02	< 0,1	1453	627	280
23	7,56	1120	101,0	4,2	54,0	48,0	34	237	63	< 0,02	< 0,1	717	335	145
24	7,40	880	26,0	1,2	34,0	70,0	17	57	96	< 0,02	< 0,1	563	377	275
25	7,62	7400	1174,0	38,2	234,0	115,0	7	2185	214	0,05	< 0,1	4736	1064	370
26	7,35	790	19,6	1,9	94,4	50,2	20	27	8	< 0,02	< 0,1	506	445	490
27	7,73	908	20,2	1,1	63,0	78,0	15	34	18	< 0,02	< 0,1	581	483	495
28	7,34	610	9,5	0,9	108,0	7,5	40	23	9	< 0,02	< 0,1	390	301	290
29	7,40	805	39,0	1,0	110,0	9,0	12	92	14	< 0,02	< 0,1	515	313	275
30	8,12	1345	53,0	1,5	122,0	70,0	21	287	29	< 0,02	< 0,1	861	597	280
31	7,94	794	32,0	2,2	109,0	37,0	12	19	51	< 0,02	< 0,1	508	427	490
32	7,49	810	146,0	1,3	37,0	19,1	16	51	2	< 0,02	< 0,1	518	172	450
33	7,83	910	190,0	0,7	27,0	8,0	3	61	3	< 0,02	< 0,1	582	101	490
34	7,16	880	42,0	1,8	130,0	28,1	0	48	85	< 0,02	< 0,1	563	442	425
35	7,47	790	34,0	0,4	98,0	29,0	84	22	20	< 0,02	< 0,1	506	366	375
36	7,38	840	64,8	2,4	94,0	19,0	18	128	16	< 0,02	< 0,1	538	314	270
37	7,42	640	17,0	0,9	74,0	29,5	30	61	24	< 0,02	< 0,1	410	308	250
38	7,78	480	12,0	0,7	64,0	26,2	17	22	18	< 0,02	< 0,1	307	269	275
39	7,71	870	35,9	1,0	135,0	14,1	138	31	24	< 0,02	< 0,1	557	396	330
40	7,18	914	28,0	1,4	153,0	27,0	67	26	31	< 0,02	< 0,1	585	495	485
41	7,34	882	97,0	1,4	73,0	31,1	7	34	56	< 0,02	< 0,1	564	312	470
42	7,53	650	41,0	0,6	100,0	17,0	15	28	16	< 0,03	< 0,2	416	321	390
43	7,55	500	12,8	2,8	85,0	14,0	18	22	6	< 0,04	< 0,3	320	271	280
44	7,24	1480	149,0	5,2	106,0	25,7	13	352	48	< 0,05	< 0,4	947	372	165
45	7,64	780	43,0	1,9	99,0	9,2	32	133	28	< 0,06	< 0,5	499	286	140

3.1.1. Κατανομή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας των υπογείων νερών

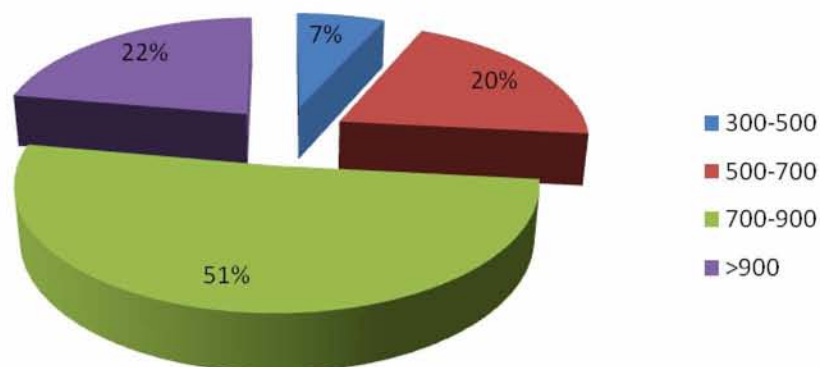
Όπως έδειξαν τα αποτελέσματα των αναλύσεων, οι τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας κυμαίνονται από 417 μS/cm έως 7400 μS/cm, με τα περισσότερα δείγματα να βρίσκονται στα επιθυμητά επίπεδα. Όπως φαίνεται και στον Πίνακα 3.2, ακραίες τιμές, μεγαλύτερες από 900 μS/cm, βρέθηκαν σε 10 δείγματα τα οποία κατά το πλείστον προέρχονται από γεωτρήσεις που δεν απέχουν πολύ από τη θάλασσα.

Πίνακας 3.2: Αριθμός και ποσοστό δειγμάτων με βάση την EC

EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	ΑΡΙΘ. ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ	ΠΟΣΟΣΤΟ
300-500	3	7%
500-700	9	20%
700-900	23	51%
>900	10	22%

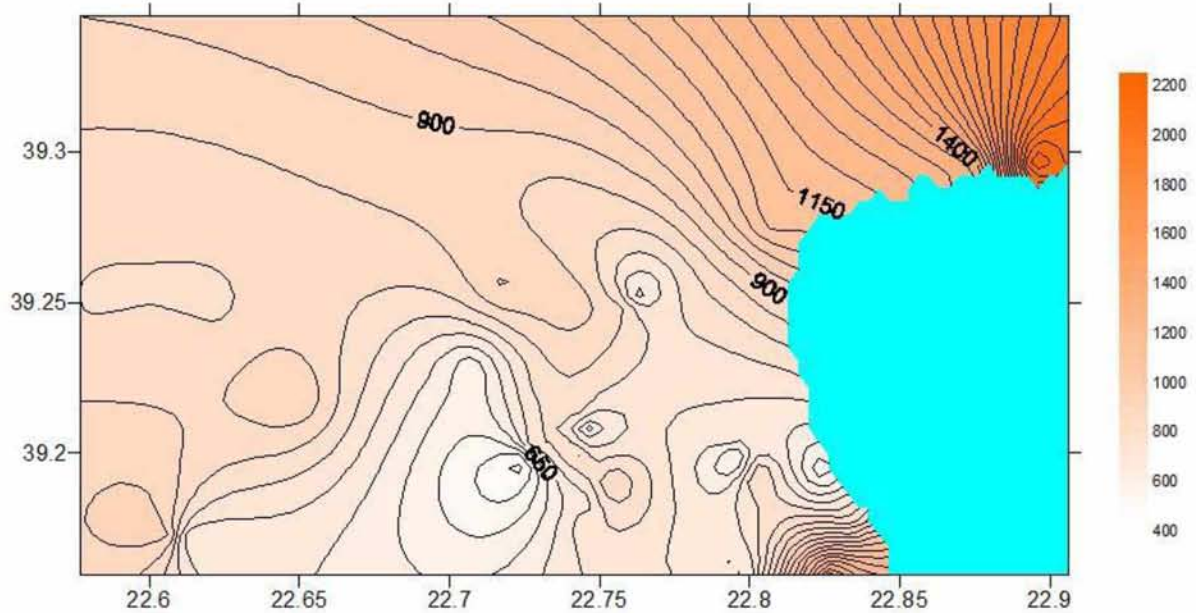
Όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.1., στο μεγαλύτερο ποσοστό των δειγμάτων (51%) η αγωγιμότητα κυμαίνεται από 700 έως 900 $\mu\text{S}/\text{cm}$, ενώ στο 22% είναι πολύ αυξημένη, με τιμές μεγαλύτερες των 900 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Η υψηλή αγωγιμότητα οφείλεται σε πιθανή έλλειψη βροχοπτώσεων και στην υπεράντληση των υδατικών πόρων (Ashraf et al. 2011), και υποδηλώνει αυξημένες ποσότητες αλάτων (Lee & Song 2006).

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ



Σχήμα 3.1: Ποσοστά δειγμάτων με βάση την ηλεκτρική αγωγιμότητα EC.

Στο Σχήμα 3.2. φαίνεται η κατανομή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας στην περιοχή μελέτης, με χαμηλές τιμές στην ενδοχωρική περιοχή και τις υψηλές τιμές να εντοπίζονται σε νερά προερχόμενα από παραθαλάσσιες γεωτρήσεις (έντονο κόκκινο χρώμα).



Σχήμα 3.2: Κατανομή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας των υπογείων νερών της περιοχής Αλμυρού – Νέας Αγκιάλου (σε $\mu\text{S}/\text{cm}$).

3.1.2. Κατάταξη των νερών σύμφωνα με τον συντελεστή προσρόφησης νατρίου (SAR)

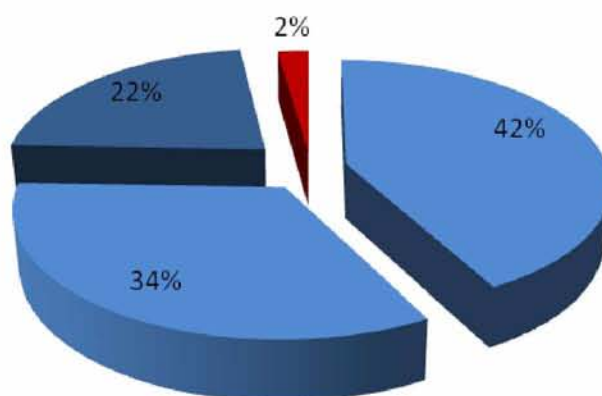
Το μεγαλύτερο ποσοστό δειγμάτων είχε τιμές SAR μικρότερες του 1, με μικρότερη όλων το 0,24 στο δείγμα 2, ενώ 10 δείγματα βρέθηκαν με τιμές SAR μεγαλύτερες του 10, με υψηλότερη το 15,65 στο δείγμα 25, όπως φαίνεται και στον Πίνακα 3.1 με τα αναλυτικά αποτελέσματα, Στον Πίνακα 3.3 και στο Σχήμα 3.3, φαίνονται ο αριθμός και το ποσοστό δειγμάτων με βάση το συντελεστή προσρόφησης νατρίου SAR.

Πίνακας 3.3: Αριθμός και ποσοστό δειγμάτων με βάση το SAR

SAR	ΑΡΙΘ. ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ	ΠΟΣΟΣΤΟ
<0,5	19	42%
0,5-1,0	16	34%
1,0-10	9	22%
>10	1	2%

ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟ SAR

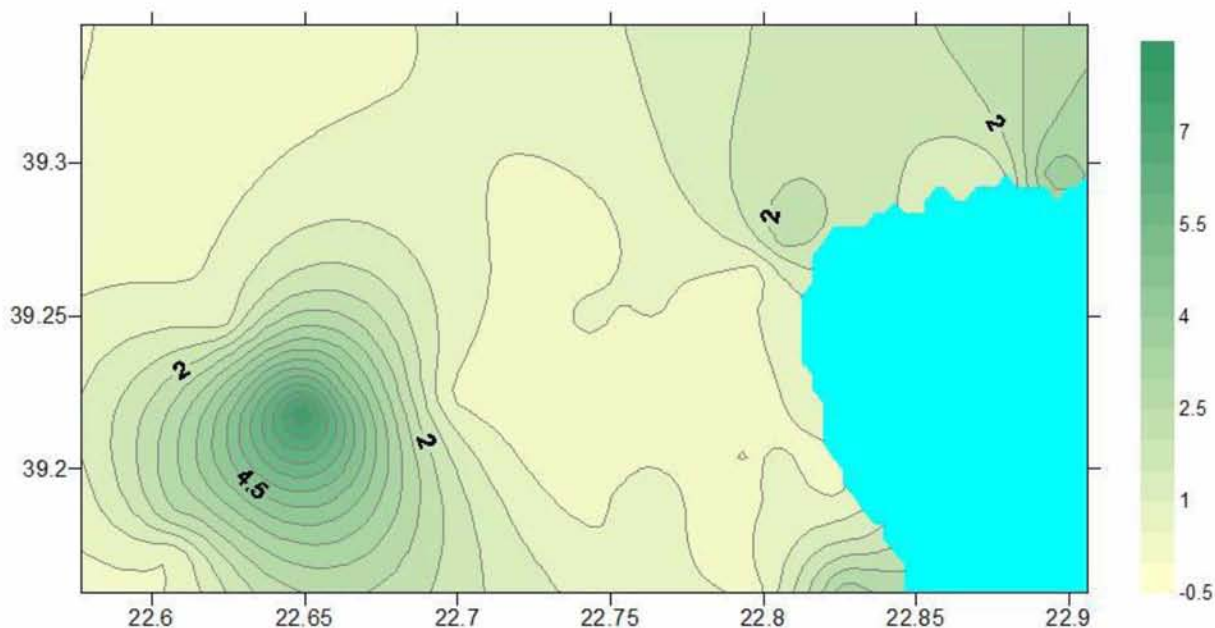
■ <0,5 ■ 0,5-1,0 ■ 1,0-10 ■ >10



Σχήμα 3.3 : Ποσοστά δειγμάτων σύμφωνα με το SAR

Το 98% των δειγμάτων είχαν τιμές SAR μικρότερες του 10, οι οποίες για ηλεκτρική αγωγιμότητα 750 $\mu\text{S}/\text{cm}$ υποδηλώνουν μικρό έως μέτριο κίνδυνο νατρίου, ενώ το 2% αυτών, παρουσιάζουν μεγάλο κίνδυνο νατρίου (Ashraf et al. 2011) και η συνεχής χρήση τους μπορεί να οδηγήσει σε κατάρρευση της φυσικής δομής του εδάφους με αποτέλεσμα τη μείωση της περατότητας και της αποστράγγισης του (Nishanthiny et al. 2010).

Το Σχήμα 3.4 δείχνει την κατανομή της σχέσης προσρόφησης Na (SAR) στα υπόγεια νερά της περιοχής μελέτης.

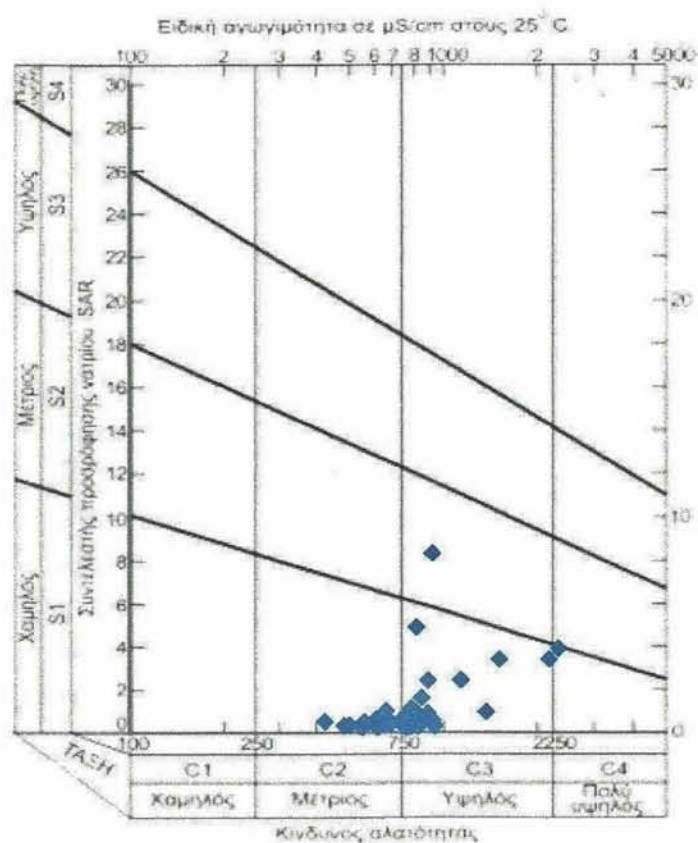


Σχήμα 3.4: Κατανομή της σχέσης προσρόφησης Na (SAR) στα υπόγεια νερά της περιοχής Αλμυρού – Νέας Αγχιάλου.

3.1.3. Κατάταξη των νερών σύμφωνα με την περιεκτικότητα σε άλατα και το βαθμό αλκαλίωσης.

Η συνδυασμένη επίδραση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας EC (κίνδυνος αλατώσεως) και του λόγου προσρόφησης νατρίου SAR (κίνδυνος αλκαλίωσης), όπως απεικονίζεται στο διάγραμμα κατά Richards (1954), αποτελεί κριτήριο για την κατάταξη των νερών. Τα δείγματα λοιπόν των 45 γεωτρήσεων κατατάχθηκαν σε 4 κατηγορίες.

Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3.5, τα περισσότερα δείγματα ανήκουν στην κατηγορία S1. Μπορούν, δηλαδή, να χρησιμοποιηθούν σε όλα τα εδάφη χωρίς ουσιαστικό κίνδυνο να προκληθεί πρόβλημα αλκαλίωσης του εδάφους και στην κατηγορία C3, που υποδηλώνει πως δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε εδάφη με προβλήματα στράγγισης, λόγω υψηλής αλατότητας (Hergert & Knudseny 1977).



Σχήμα 3.5.: Διάγραμμα ταξινόμησης νερών κατά Richards

Στον Πίνακα 3.4 θα δούμε αναλυτικότερα τον αριθμό των δειγμάτων που ανήκουν σε κάθε κατηγορία.

Πίνακας 3.4: Αριθμός και ποσοστό δειγμάτων με βάση την κατηγορία τους

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	ΑΡΙΘ. ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ	ΠΟΣΟΣΤΟ
S1-C2	14	31.1%
S1-C3	29	64.4%
S1-C4	1	2.2%
S2-C4	1	2.2%

Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3.6, το 31% των δειγμάτων, δηλαδή 14 δείγματα, ανήκει στην κατηγορία S1-C2. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε όλα τα εδάφη χωρίς ουσιαστικό κίνδυνο να προκληθεί πρόβλημα αλκαλίωσης του εδάφους και χωρίς

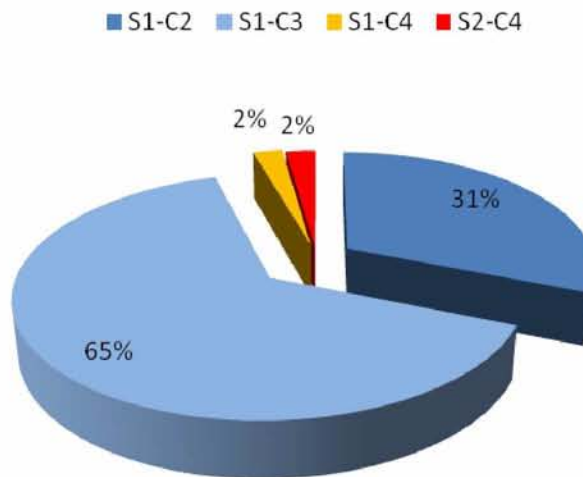
κανένα μέτρο για τον έλεγχο της αλατότητάς του (Hergert & Knudseny 1977, Μαλεφάκης 1998β).

Το 65% των δειγμάτων, δηλαδή 29 δείγματα, ανήκει στην κατηγορία S1-C3. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε όλα τα εδάφη χωρίς ουσιαστικό κίνδυνο να προκληθεί πρόβλημα αλκαλίωσης του εδάφους. Όσον αφορά την αλατότητα, δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε εδάφη με προβλήματα στράγγισης (Hergert & Knudseny 1977, Μαλεφάκης 1998β).

Το 2% των δειγμάτων, που αντιστοιχεί σε ένα δείγμα, ανήκει στην κατηγορία S1-C4. Πρόκειται για νερό που δεν μπορεί να προκαλέσει προβλήματα αλκαλίωσης στα εδάφη αλλά όσον αφορά την αλατότητα, θα πρέπει να αποφεύγεται ή χρήση του. (Hergert & Knudseny 1977, Μαλεφάκης 1998β).

Στην κατηγορία S2-C4 ανήκει ένα δείγμα, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί χωρίς ιδιαίτερο πρόβλημα σε ελαφρά εδάφη ή σε οργανικά εδάφη με καλή περατότητα, αλλά θα πρέπει να αποφεύγεται ή χρήση του, λόγω πολύ υψηλής αλατότητας. (Hergert & Knudseny 1977, Μαλεφάκης 1998β).

ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΝΕΡΩΝ ΚΑΤΑ RICHARDS



Σχήμα 3.6: Κατάταξη δειγμάτων κατά Richards

3.1.4. Κατάταξη των νερών σύμφωνα με τον βαθμό αλκαλίωσης

Ο βαθμός αλκαλίωσης, δηλαδή η περιεκτικότητα σε νάτριο, εκφράζεται σαν ποσοστό επί τοις εκατό από την σχέση:

$$\text{Na}(\%) = (\text{Na} + \text{K}) * 100 / (\text{Ca} + \text{Mg} + \text{Na} + \text{K})$$

όπου όλες οι συγκεντρώσεις είναι εκφρασμένες σε meq/l (Kaur & Singh 2011).

Ο Πίνακας 3.5 δείχνει τον αριθμό των δειγμάτων αλλά και τον χαρακτηρισμό τους με βάση τον βαθμό αλκαλίωσης.

Πίνακας 3.5: Αριθμός, ποσοστό και χαρακτηρισμός δειγμάτων με βάση τον βαθμό αλκαλίωσης (Kaur & Singh 2011)

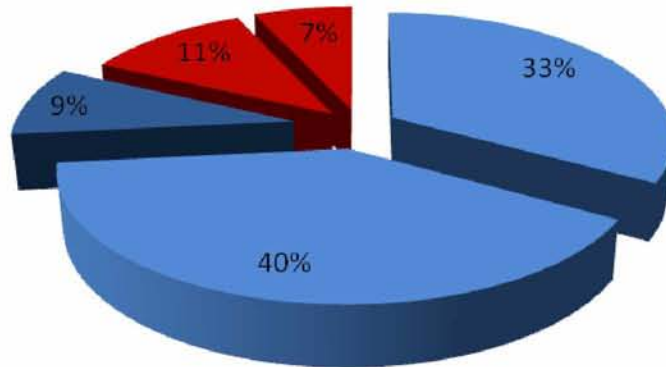
ΒΑΘΜΟΣ ΑΛΚΑΛΙΩΣΗΣ Na(%)	ΑΡΙΘ. ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ	ΠΟΣΟΣΤΟ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ
<10%	15	33%	ΕΞΑΙΡΕΤΙΚΟ
10-20%	18	40%	ΕΞΑΙΡΕΤΙΚΟ
20-40%	4	9%	ΚΑΛΟ
40-60%	5	11%	ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΟ
>60%	3	7%	ΑΜΦΙΒΟΛΟ

Σύμφωνα με τους Kaur & Singh (2011), το νερό μπορεί να χαρακτηριστεί ως «εξαιρετικό» όταν ο βαθμός αλκαλίωσης του είναι < 20 Na%, ως «καλό» όταν έχει βαθμό αλκαλίωσης 20-40 Na%, ως «επιτρεπόμενο» με 40-60 Na% και ως «αμφίβολο» με 60-80 Na%.

Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3.7, από το σύνολο των δειγμάτων, ένα ποσοστό 11% έχει ανησυχητικές συγκεντρώσεις νατρίου, ενώ το 7% είναι αμφίβολης ποιότητας, με συγκεντρώσεις > 60 Na%.

ΒΑΘΜΟΣ ΑΛΚΑΛΙΩΣΗΣ

■ <10% ■ 10-20% ■ 20-40% ■ 40-60% ■ > 60%



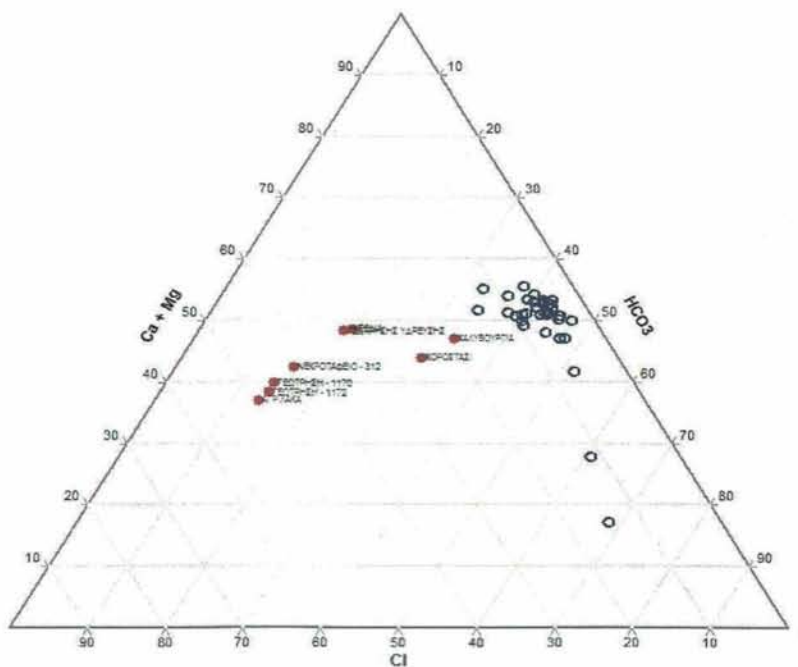
Σχήμα 3.7: Ποσοστά δειγμάτων σύμφωνα με τον βαθμό αλκαλιώσης

Όταν η συγκέντρωση των ιόντων νατρίου είναι υψηλή, το Na^+ τείνει να απορροφάται από τα σωματίδια αργίλου, εκτοπίζοντας το μαγνήσιο και τα ιόντα ασβεστίου (Kaur & Singh 2011).

3.1.5. Κατάταξη των νερών με βάση τον τύπο του υδροφορέα

Τα δείγματα ταξινομήθηκαν κατά Piper 1944, ανάλογα με το ανιόν ή κατιόν που κυριαρχεί στον υδροχημικό τύπο. Στην περίπτωση που δεν υπήρχε κυρίαρχο ανιόν ή κατιόν, τότε έγιναν συνδυασμοί μεταξύ των κύριων πεδίων του Mg^{+2} , Ca^{+2} , SO_4^{-2} , HCO_3^- και Cl^- .

Όπως έδειξε το υδροχημικό διάγραμμα Piper (Σχ. 3.8.), τα περισσότερα δείγματα έχουν κυρίαρχα ιόντα το Ca^+ και το Mg^+ αλλά και HCO_3 .



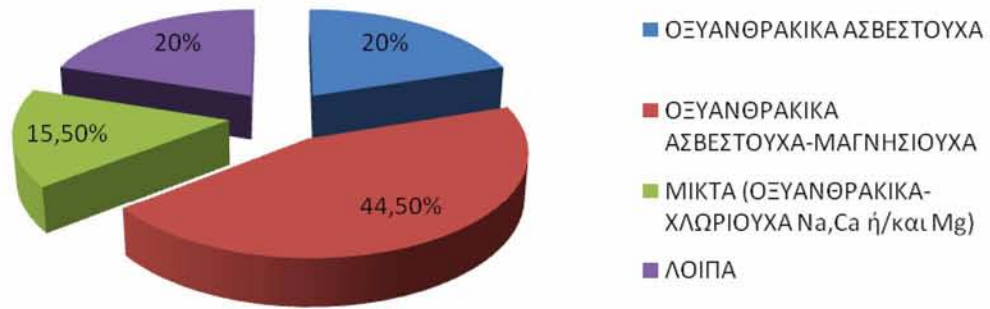
Σχήμα 3.8: Υδροχημικό διάγραμμα Piper

Ο Πίνακας 3.6 και το Σχήμα 3.9 δείχνουν τις κατηγορίες των δειγμάτων με βάση τον υδροφορέα και το ποσοστό που ανήκει σε κάθε κατηγορία.

Πίνακας 3.6: Αριθμός και ποσοστό δειγμάτων με βάση τον τύπο του υδροφορέα

ΤΥΠΟΣ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ	ΑΡΙΘ. ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ	ΠΟΣΟΣΤΟ
Ca-HCO ₃	9	20%
Mg-Ca- HCO ₃	20	44.5%
ΜΙΚΤΑ	7	15.5%
ΛΟΙΠΑ	9	20%

ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟΝ ΤΥΠΟ ΤΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ



Σχήμα 3.9: Κατάταξη των δειγμάτων με βάση τον τύπο του υδροφορέα.

Ο τύπος του νερού διαμορφώνεται από τις συσχετίσεις των ανιόντων και κατιόντων και με βάση αυτές τα νερά διαχωρίστηκαν σε κατηγορίες. Τα οξυανθρακικά ασβεστούχα, με συγκεντρώσεις οξυανθρακικών ιόντων και ασβεστίου να είναι >50% του συνόλου των ιόντων, τα οξυανθρακικά ασβεστούχα-μαγνησιούχα, με συγκεντρώσεις οξυανθρακικών ιόντων, μαγνησίου και ασβεστίου να είναι >50% και τα μικτά νερά όπου οι συγκεντρώσεις των επιμέρους ιόντων HCO_3^- , Cl^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} είναι μικρότερες του 50% του συνόλου (Μαλεφάκης 1998).

Το μεγαλύτερο ποσοστό των δειγμάτων προέρχονται από υδροφόρους που φιλοξενούνται σε μαγνησιούχους ασβεστόλιθους και σε ασβεστούχους λευκόλιθους, και ανήκουν στον Ca-Mg-HCO_3 και Mg-Ca-HCO_3 υδροχημικό τύπο αντίστοιχα. Το 20% πρόκειται για υπόγεια νερά από ασβεστολιθικά πετρώματα που ανήκουν στον Ca-HCO_3 υδροχημικό τύπο, ενώ σε μικρότερα ποσοστά εμφανίζονται τα νερά που προέρχονται από δολομιτικά πετρώματα, γρανιτικά πετρώματα και σχιστόλιθους (Μαλεφάκης 1998).

3.1.6. Κατανομές χλωριούχων – Ισοχλωρικές καμπύλες των υπογείων νερών

Οι συγκεντρώσεις των χλωριούχων στην λεκάνη Αλμυρού – Ν.Αγχιάλου, όπως φαίνεται και στον Πίνακα 3.7, βρίσκονται κατά το πλείστον σε επιθυμητά επίπεδα, με λίγες μόνο ακραίες περιπτώσεις. Πιο συγκεκριμένα, κυμαίνονται από 19 mg/l έως 2185 mg/l.

Πίνακας 3.7: Αριθμός και ποσοστό δειγμάτων με βάση την τιμή των χλωριούχων

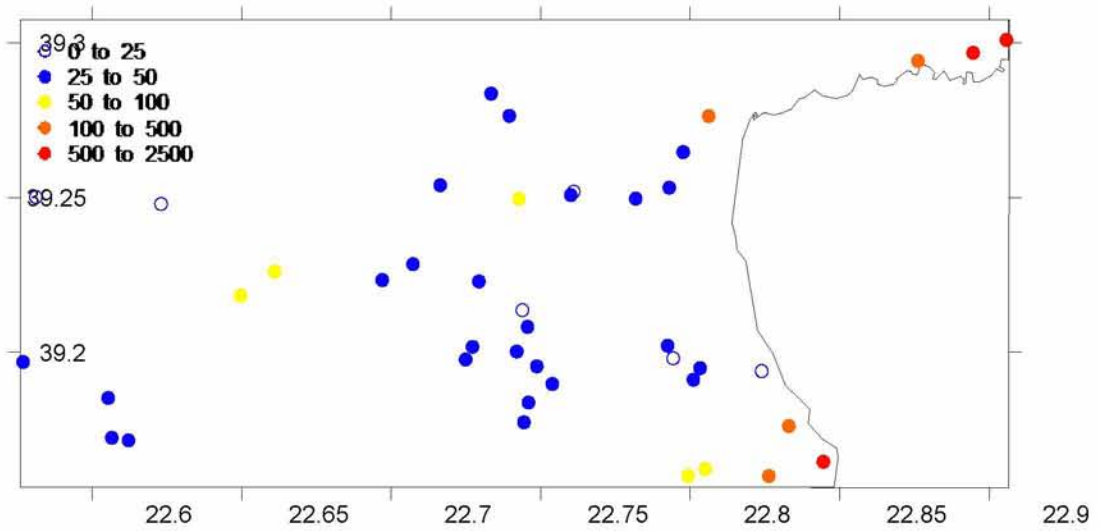
ΤΙΜΗ Cl ⁻ (mg/l)	ΑΡΙΘ. ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ	ΠΟΣΟΣΤΟ
0-25	7	15%
25-50	25	56%
50-100	5	11%
>100	8	18%

Το μεγαλύτερο ποσοστό των δειγμάτων (56%) παρουσιάζουν χαμηλές τιμές χλωριούχων, με μικρότερη όλων τα 19 mg/l, ενώ το 18% αυτών έχει τιμές άνω των 100 mg/l (Σχ. 3.10) κάποιες από τις οποίες ξεπερνούν κατά πολύ το όριο του πόσιμου νερού, το οποίο σύμφωνα με την ΚΥΑ Υ2/2600/2001 είναι τα 250 mg/l, με υψηλότερη τιμή όλων τα 2185 mg/l. Αυτές οι υψηλές συγκεντρώσεις χλωριούχων αποδίδονται σε διείσδυση θαλασσινού νερού που προκαλείται από την εντατική άντληση για άρδευση (Fass et al. 2007).

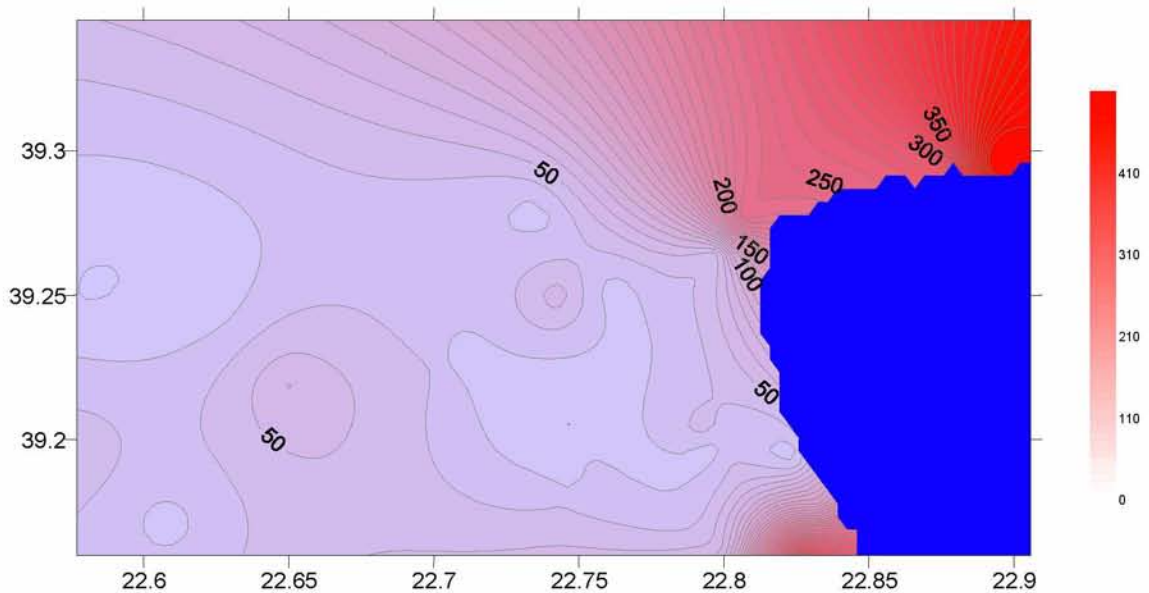


Σχήμα 3.10: Ποσοστά δειγμάτων με βάση τις τιμές των χλωριούχων.

Στα Σχήματα 3.11 και 3.12 φαίνονται οι κατανομές των χλωριούχων στην περιοχή μελέτης.



Σχήμα 3.11: Οριζόντια κατανομή χλωριούχων στα υπόγεια νερά της περιοχής Αλμυρού – Νέας Αγχιάλου (σε mg/L Cl⁻).



Σχήμα 3.12: Οριζόντια κατανομή χλωριούχων στα υπόγεια νερά της περιοχής Αλμυρού – Νέας Αγχιάλου (σε mg/L Cl⁻).

Από τις κατανομές παρατηρούμε ότι οι γεωτρήσεις με τις υψηλότερες τιμές χλωριούχων (100 έως 2500 mg/L) βρίσκονται στην ανατολική πλευρά της περιοχής

μελέτης και συγκεκριμένα σε μικρή απόσταση από τη θάλασσα, όπως παρατήρησε και ο Jeon et al. 2001 στην Κορέα.

Αυτό συμβαίνει καθώς η υδρογεωχημική σύνθεση των παράκτιων υπόγειων υδάτων επηρεάζεται από την διείσδυση του θαλάσσιου νερού και ελέγχεται κυρίως από αντιδράσεις ανταλλαγής κατιόντων (Appelo 1996).

3.1.7. Κατανομές νιτρικών – Ισονιτρικές καμπύλες των υπογείων νερών

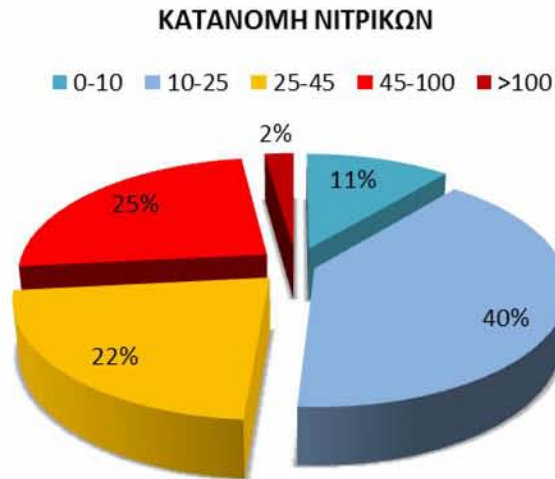
Τα νιτρικά (NO_3^-) βρέθηκαν κατά το πλείστον σε συγκεντρώσεις που δεν ξεπερνούν τα 50 mg/l, το ανώτατο όριο δηλαδή του πόσιμου νερού που έχει ορισθεί σύμφωνα με την ΚΥΑ Υ2/2600/2001, αλλά μεγάλο ποσοστό ξεπερνά το επιθυμητό επίπεδο για ανθρώπινη κατανάλωση.

Πιο συγκεκριμένα ανιχνεύτηκε σε συγκεντρώσεις από 0 mg/l στο δείγμα 34 έως 138 mg/l στο δείγμα 39. Τα δείγματα που ξεπέρασαν το όριο του πόσιμου νερού σε συγκέντρωση νιτρικών ήταν το δείγμα 39 με 138 mg/l NO_3^- , το δείγμα 40 με 67 mg/l NO_3^- και το δείγμα 35 με 84 mg/l NO_3^- , ενώ όπως δείχνει και ο Πίνακας 3.8 και το Σχήμα 3.13, αρκετά από αυτά ξεπερνούν το επιθυμητό επίπεδο για ανθρώπινη κατανάλωση, που έχει θεσπιστεί μέχρι 25 mg/l.

Πίνακας 3.8: Αριθμός και ποσοστό δειγμάτων με βάση την τιμή των νιτρικών

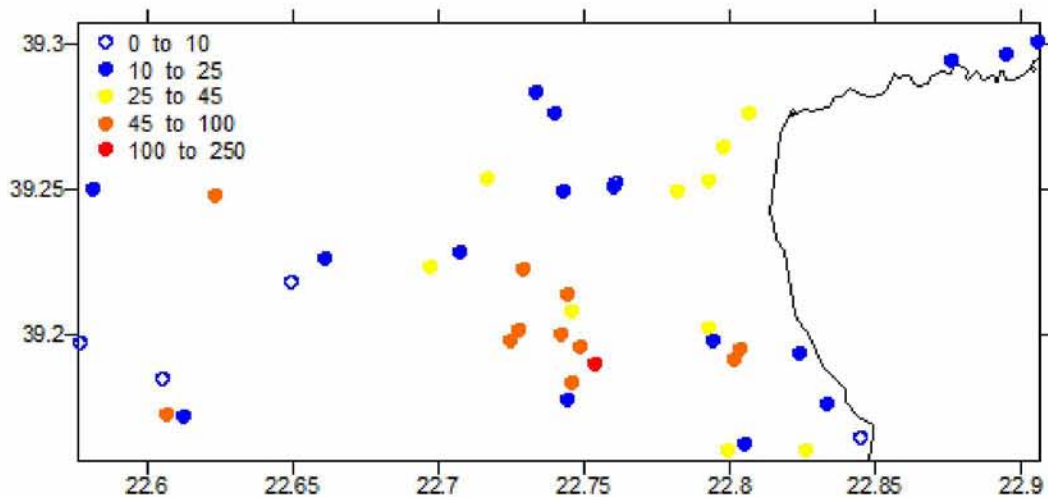
ΤΙΜΗ NO_3^- (mg/l)	ΑΡΙΘ. ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ	ΠΟΣΟΣΤΟ
0-10	5	11%
10-25	18	40%
25-45	10	22%
45-100	11	25%
>100	1	2%

Από το σύνολο των δειγμάτων, το 27% που αντιστοιχεί σε 12 δείγματα, βρέθηκαν με υψηλές συγκεντρώσεις νιτρικών, πάνω δηλαδή από το επιθυμητό όριο για ανθρώπινη κατανάλωση, ενώ το 51% αυτών βρέθηκαν μέσα στα επιθυμητά επίπεδα (Σχ. 3.13).

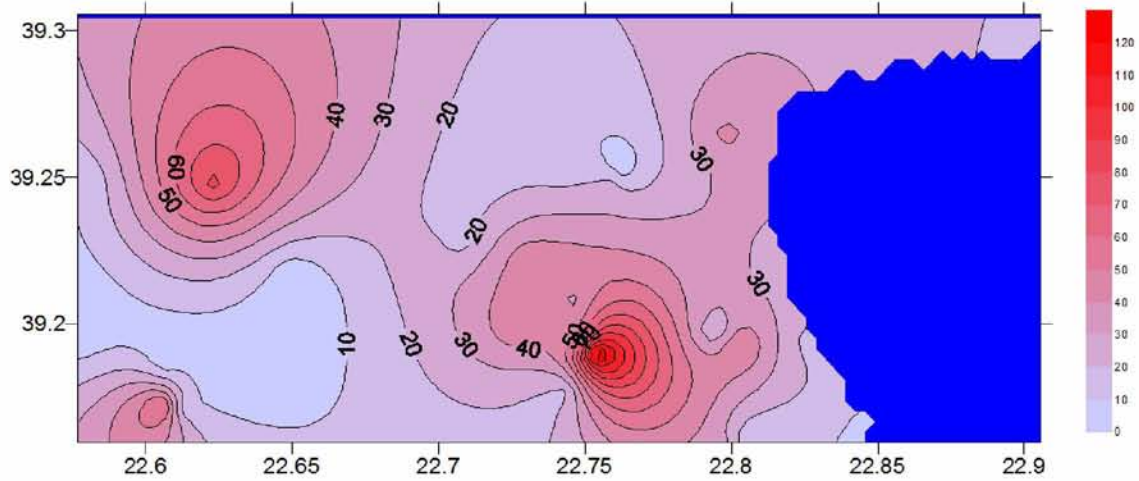


Σχήμα 3.13: Κατανομή νιτρικών στα υπόγεια νερά της περιοχής Αλμυρού – Νέας Αγχιάλου.

Στα Σχήματα 3.14 και 3.15 απεικονίζονται οι κατανομές των νιτρικών στην περιοχή μελέτης. Υψηλές συγκεντρώσεις νιτρικών (πορτοκαλί και κόκκινο χρώμα) παρατηρήθηκαν τόσο στις ακτές όσο και στην ενδοχωρική περιοχή.

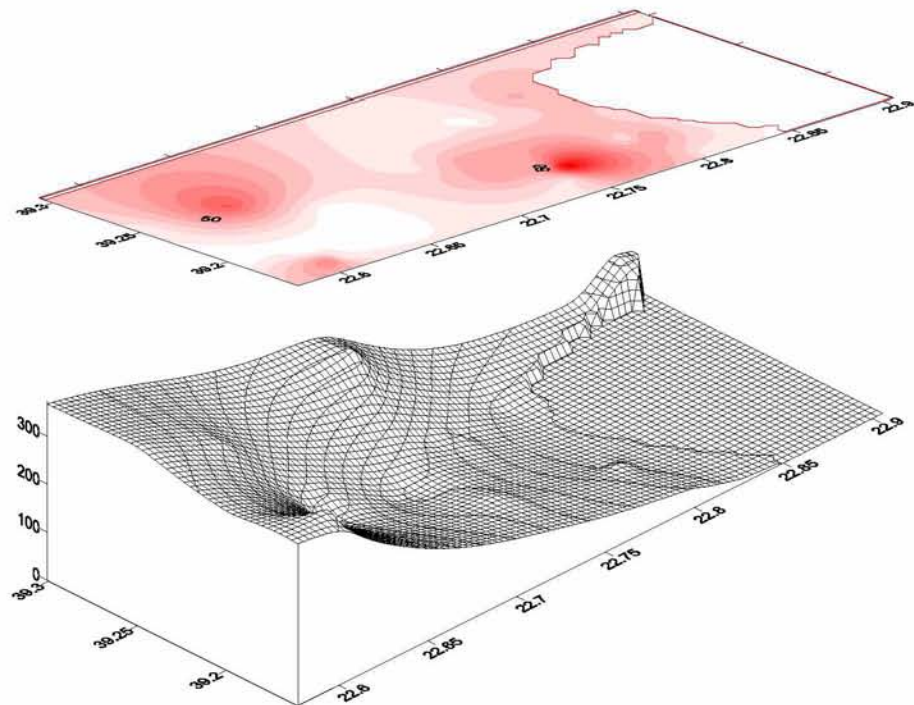


Σχήμα 3.14: Οριζόντια κατανομή νιτρικών στα υπόγεια νερά της περιοχής Αλμυρού – Νέας Αγχιάλου



Σχήμα 3.15: Οριζόντια κατανομή νιτρικών στα υπόγεια νερά της περιοχής Αλμυρού – Νέας Αγκιάλου.

Στο Σχήμα 3.16 γίνεται αλληλοπαράθεση των διαγραμμάτων και γίνεται σύγκριση της συγκέντρωσης νιτρικών με το ανάγλυφο της περιοχής μελέτης.



Σχήμα 3.16: Οριζόντια κατανομή συγκέντρωσης νιτρικών των υπογείων νερών της περιοχής Αλμυρού – Νέας Αγκιάλου, σε σχέση με την υψομετρία της λεκάνης.

Με την αλληλοπαράθεση των διαγραμμάτων του Σχήματος 3.16, διαπιστώνουμε ότι το ανάγλυφο επηρεάζει τις συγκεντρώσεις νιτρικών στα υπόγεια ύδατα. Συγκεκριμένα, διαπιστώθηκε ότι οι περιοχές υψηλών συγκεντρώσεων νιτρικών, συμπίπτουν με τις «κοιλιάδες», ενώ οι χαμηλές με τα υψώματα του υψομετρικού ανάγλυφου της περιοχής μελέτης.

Το ίδιο φαινόμενο παρατήρησαν και οι Mihaiescu et al. 2008 στη Ρουμανία, διαπιστώνοντας αύξηση της συγκέντρωσης των νιτρικών, από τα μεγαλύτερα προς τα μικρότερα υψόμετρα. Για παράδειγμα, το δείγμα 34, στο οποίο δεν ανιχνεύτηκαν νιτρικά, βρίσκεται σε υψόμετρο 330 m ενώ το δείγμα 39 με 138 mg/l NO_3^- , βρίσκεται σε υψόμετρο 60 m.

Αυτό δικαιολογεί σε μεγάλο βαθμό την προέλευση των νιτρικών από εκπλύσεις καλλιεργούμενων εδαφών, που έχουν υποστεί αζωτούχα λίπανση, και μέσω επιφανειακών και υποεπιφανειακών (στο ακόρεστο στρώμα εδάφους) απορροών, συγκεντρώνονται στα σημεία αυτά και κατεισδύουν στους υπόγειους υδροφορείς.

3.1.8. Διείσδυση θαλασσινού νερού - Κατανομή υφαλμύρωσης

Για να διαπιστωθεί η υφαλμύρωση, εκτός από τον προσδιορισμό των συγκεντρώσεων διαφόρων ιόντων (Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , Cl^- , HCO_3^-), χρησιμοποιήθηκαν και διάφοροι δείκτες (δείκτης Revelle, δολομητική σχέση $\Delta = r\text{Mg}^{+2}/r\text{Ca}^{+2}$, ιοντική ισχύς $I = 0,5\sum M_i Z_i^2$). Με βάση τους δείκτες αυτούς διαπιστώθηκε σε ποιες γεωτρήσεις λαμβάνει χώρα διείσδυση θαλασσινού νερού και σε τι βαθμό. Στον Πίνακα 3.9 βλέπουμε αναλυτικά τις τιμές των κριτηρίων υφαλμύρωσης και το βαθμό διείσδυσης του θαλασσινού νερού στα υπόγεια υδροφόρα στρώματα.

Πίνακας 3.9: Κριτήρια και αξιολόγηση υφαλμύρωσης νερών της περιοχής μελέτης

ΚΡΙΤΗΡΙΑ & ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΥΦΑΛΜΥΡΩΣΗΣ						
ΚΩΔΙΚΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	ΔΟΛΟΜΗΤ. ΣΧΕΣΗ rMg/rCa	ΔΕΙΚΤΗΣ Revelle R	ΣΧΕΣΗ rNa/rCl	ΣΧΕΣΗ rSO ₄ /rCl	ΙΟΝΤΙΚΗ ΙΣΧΥΣ I	ΔΙΕΙΣΔΥΣΗ ΘΑΛΑΣΣΙΝΟΥ ΝΕΡΟΥ
1	0,19	0,05	0,82	0,35	0,012	ΌΧΙ
2	0,16	0,06	0,6	0,88	0,012	ΌΧΙ
3	0,21	0,1	0,73	0,13	0,011	ΌΧΙ
4	0,17	0,06	0,84	0,64	0,012	ΌΧΙ
5	0,21	0,05	0,86	0,58	0,012	ΌΧΙ
6	0,13	0,04	0,89	0,59	0,012	ΌΧΙ
7	1,81	0,07	0,53	0,29	0,015	ΌΧΙ
8	0,45	0,08	0,98	0,91	0,014	ΌΧΙ
9	1,64	0,05	1,59	0,18	0,011	ΌΧΙ
10	1,96	0,07	0,54	0,06	0,013	ΌΧΙ
11	2,62	0,1	0,69	0,23	0,011	ΌΧΙ
12	0,86	0,08	1,11	0,13	0,012	ΌΧΙ
13	2,46	0,04	0,89	0,49	0,016	ΌΧΙ
14	0,55	0,06	0,55	0,5	0,011	ΌΧΙ
15	0,51	0,12	0,88	0,21	0,007	ΌΧΙ
16	1,93	0,04	0,76	0,52	0,015	ΌΧΙ
17	0,97	0,11	0,76	0,47	0,011	ΌΧΙ
18	0,3	0,07	0,85	0,36	0,011	ΌΧΙ
19	0,41	0,1	0,89	0,07	0,008	ΌΧΙ
20	0,24	0,11	1,11	1,13	0,012	ΌΧΙ
21	0,69	1,47	0,59	0,07	0,027	ΝΑΙ
22	0,8	1,49	0,63	0,07	0,029	ΝΑΙ
23	1,48	1,25	0,66	0,2	0,015	ΝΑΙ
24	3,43	0,16	0,7	1,24	0,013	ΌΧΙ
25	0,82	4,5	0,83	0,07	0,086	ΝΑΙ
26	0,89	0,04	1,12	0,22	0,014	ΌΧΙ
27	2,06	0,05	0,92	0,39	0,015	ΌΧΙ
28	0,12	0,06	0,64	0,29	0,009	ΌΧΙ
29	0,14	0,25	0,65	0,11	0,011	ΕΛΑΧΙΣΤΗ
30	0,96	0,78	0,28	0,08	0,02	ΜΙΚΡΗ
31	0,57	0,03	2,6	1,99	0,015	ΌΧΙ
32	0,86	0,09	4,42	0,02	0,011	ΌΧΙ
33	0,49	0,09	4,8	0,04	0,011	ΌΧΙ
34	0,36	0,09	1,35	1,31	0,016	ΌΧΙ
35	0,49	0,04	2,38	0,66	0,013	ΌΧΙ
36	0,34	0,36	0,78	0,09	0,012	ΜΙΚΡΗ
37	0,66	0,19	0,43	0,29	0,01	ΕΛΑΧΙΣΤΗ
38	0,68	0,06	0,85	0,61	0,009	ΌΧΙ
39	0,17	0,07	1,79	0,58	0,013	ΌΧΙ
40	0,29	0,04	1,66	0,88	0,016	ΌΧΙ
41	0,71	0,06	4,4	1,22	0,014	ΌΧΙ
42	0,28	0,05	2,26	0,41	0,011	ΌΧΙ
43	0,27	0,06	0,89	0,2	0,009	ΌΧΙ
44	0,4	1,63	0,65	0,1	0,018	ΝΑΙ
45	0,15	0,72	0,5	0,15	0,011	ΜΙΚΡΗ

Πιο συνοπτικά και με τη χρήση ποσοστών, τα δείγματα από γεωτρήσεις που παρουσιάζουν πρόβλημα υφαλμύρωσης παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.10.

Πίνακας 3.10: Αριθμός και ποσοστό δειγμάτων που δέχονται διείσδυση θαλασσινού νερού

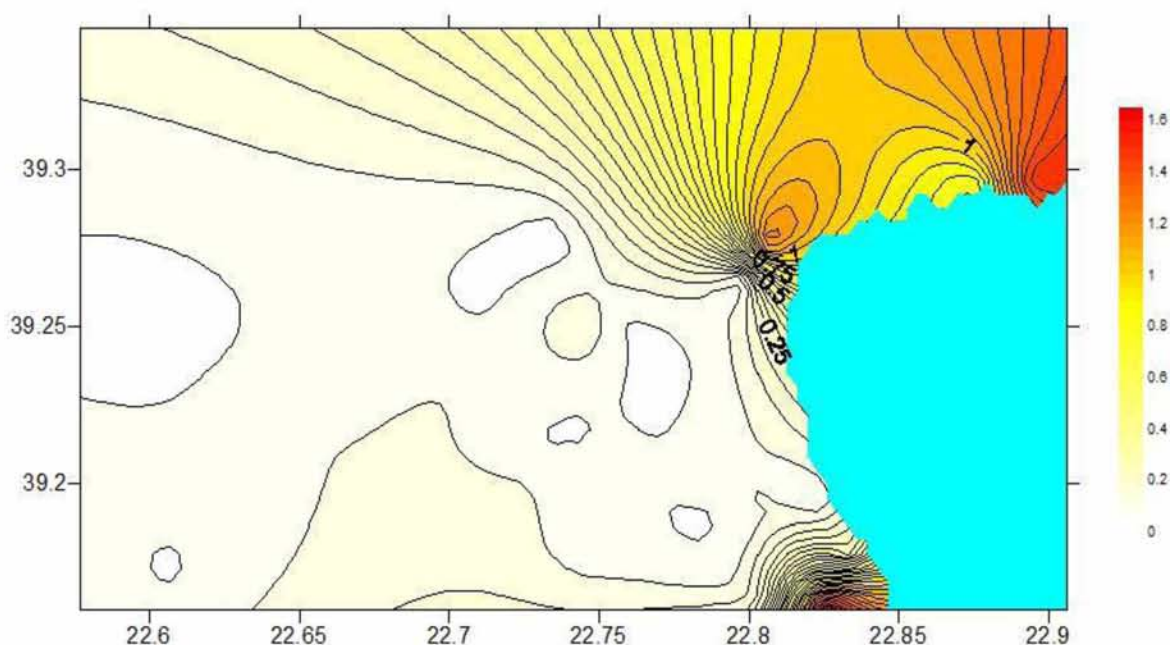
ΔΙΕΙΣΔΥΣΗ ΘΑΛΑΣΣΙΝΟΥ ΝΕΡΟΥ	ΑΡΙΘ. ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ	ΠΟΣΟΣΤΟ
ΟΧΙ	35	78%
ΕΛΑΧΙΣΤΗ	2	4%
ΜΙΚΡΗ	3	7%
ΝΑΙ	5	11%

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.17, το 78% των γεωτρήσεων δεν επηρεάζεται από το θαλασσινό νερό, ενώ το 22% αυτών παρουσιάζουν πρόβλημα υφαλμύρωσης.



Σχήμα 3.17: Διείσδυση θαλασσινού νερού στον υπόγειο υδροφόρα.

Το Σχήμα 3.18 παρουσιάζει την κατανομή του δείκτη Revelle στα υπόγεια νερά της περιοχής μελέτης. Δείχνει με άλλα λόγια την κατανομή της υφαλμύρωσης, η οποία όπως διακρίνουμε λαμβάνει χώρα σε γεωτρήσεις που βρίσκονται κατά μήκος της ακτογραμμής, σε πολύ μικρή απόσταση από τη θάλασσα και τις συναντάμε κυρίως στην περιοχή του Πλατάνου, της Ν.Αγχιάλου, της Μεγάλης Βελανιδιάς, της Κριθαριάς ενώ αυτές με τον σημαντικότερο βαθμό υφαλμύρωσης βρίσκονται στον Μάραθο και στο Τσιγκέλι Αλμυρού.



Σχήμα 3.18: Οριζόντια κατανομή δείκτη Revelle στα υπόγεια νερά της περιοχής Αλμυρού – Νέας Αγχιάλου.

Στον Πίνακα 3.11 αναφέρονται οι 10 γεωτρήσεις που παρουσιάζουν πρόβλημα υφαλμύρωσης και η κατηγορία που κατατάσσονται με βάση το διάγραμμα Richards.

Πίνακας 3.11: Περιοχές που παρουσιάζουν υφαλμύρωση και κατηγορία κατά Richards.

ΚΩΔΙΚΟΣ ΣΗΜΕΙΟΥ	ΠΕΡΙΟΧΗ	ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΚΑΤΑ Richards	ΔΙΕΙΣΔΥΣΗ ΘΑΛΑΣΣΙΝΟΥ ΝΕΡΟΥ
21	ΚΡΙΘΑΡΙΑ	S1-C3	ΝΑΙ
22	ΜΑΡΑΘΟΣ	S1-C4	ΝΑΙ
23	Ν.ΑΓΧΙΑΛΟΣ - ΝΕΚΡΟΤΑΦΕΙΟ	S1-C3	ΝΑΙ
25	ΤΣΙΓΚΕΛΙ ΑΛΜΥΡΟΥ	S2-C4	ΝΑΙ
29	ΠΛΑΤΑΝΟΡΕΜΑ - ΧΑΛΥΒΟΥΡΓΙΑ	S1-C3	ΕΛΑΧΙΣΤΗ
30	Μ.ΒΕΛΑΝΙΔΙΑ	S1-C3	ΜΙΚΡΗ
36	ΠΛΑΤΑΝΟΣ- ΧΟΡΟΣΤΑΣΙ	S1-C3	ΜΙΚΡΗ
37	ΠΛΑΤΑΝΟΣ-ΓΗΠΕΔΟ	S1-C2	ΕΛΑΧΙΣΤΗ
44	ΠΛΑΤΑΝΟΣ- ΑΓΡΙΛΑΚΑ	S1-C3	ΝΑΙ
45	ΠΛΑΤΑΝΟΣ-ΙΣΩΜΑ	S1-C3	ΜΙΚΡΗ

Όπως φαίνεται και στον Πίνακα 3.11 το νερό των γεωτρήσεων στις οποίες διεισδύει θαλασσίνο νερό, δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για κατανάλωση. Εμποδίζει τις περισσότερες χρήσεις του και σε εξαιρετικές περιπτώσεις θα πρέπει να χρησιμοποιείται σε εδάφη με πολύ καλή στράγγιση, εφαρμόζοντας πολύ μεγάλα ποσοστά έκπλυσης για τον έλεγχο της αλατότητας του. Σε περιπτώσεις πολύ μικρής διείσδυσης, όπως στο σημείο με κωδικό 37, το νερό μπορεί να χρησιμοποιηθεί εφαρμόζοντας ένα μέσο ποσοστό έκπλυσης (Μαλεφάκης 1998).

3.1.9. Διαβρωτική ικανότητα και τάση δημιουργίας αποθέσεων αλάτων

Με χρήση του δείκτη κορεσμού (L.S.I.) Langelier, προσδιορίσαμε αν τα νερά των γεωτρήσεων είναι διαβρωτικά (αρνητικές τιμές του δείκτη κορεσμού), ή αν παρουσιάζουν τάση για απόθεση CaCO_3 (θετικές τιμές) (Aiman & Ehab 2006).

$$\text{LSI} = \log([\text{Ca}^{2+}][\text{CO}_3^{2-}]) / K,$$

Όπου $[\text{Ca}^{2+}][\text{CO}_3^{2-}]$ το γινόμενο της ενεργότητας και K η σταθερά ισορροπίας.

Ακόμα, η σταθερότητα του νερού υπολογίστηκε με τη βοήθεια του δείκτη σταθερότητας Stl του Ryznar:

$$\text{Stl} = 2 \text{pH} - \text{pHs},$$

$$\text{όπου } \text{pHs} = (\text{pK}_{\text{HCO}_3^-} - \text{pK}_{\text{sp}}) + \text{p}(\text{Ca} + \text{Mg}) + \text{p}(\text{CO}_3 + \text{HCO}_3)$$

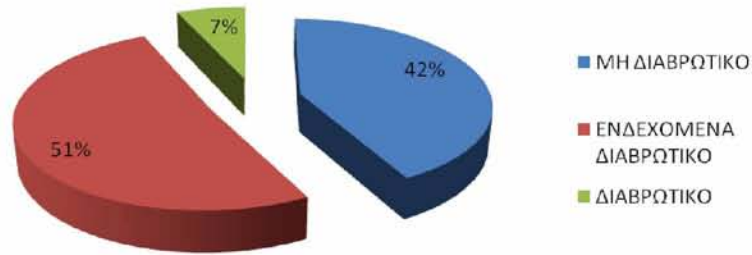
Τιμές μεγαλύτερες του 7 δηλώνουν διαβρωτικό νερό, ενώ για τιμές μικρότερες του 7, το νερό έχει τάση να αποθέτει άλατα (Aiman & Ehab 2006).

Στον Πίνακα 3.12 και το Σχήμα 3.18 ταξινομούνται τα δείγματα ως διαβρωτικά ή μη, με βάση τον δείκτη Langelier.

Πίνακας 3.12: Διαβρωτικά και μη διαβρωτικά δείγματα με βάση τον δείκτη Langelier

ΔΙΑΒΡΩΤΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ		
ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟΝ ΔΕΙΚΤΗ Langelier	ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ	ΠΟΣΟΣΤΟ
ΜΗ ΔΙΑΒΡΩΤΙΚΟ	19	42%
ΕΝΔΕΧΟΜΕΝΑ ΔΙΑΒΡΩΤΙΚΟ	23	51%
ΔΙΑΒΡΩΤΙΚΟ	3	7%

ΔΙΑΒΡΩΤΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ

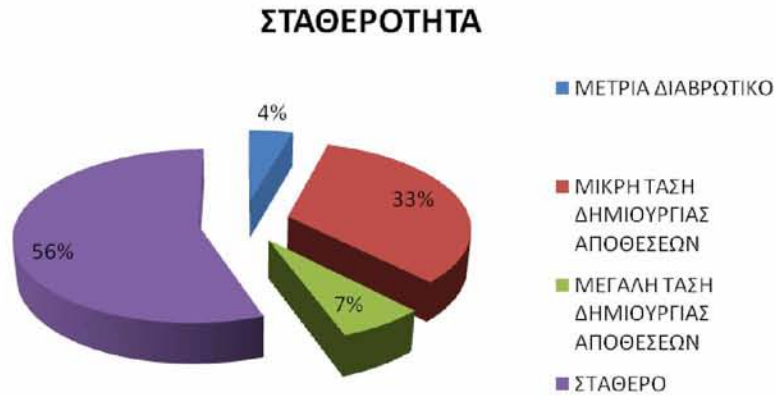


Σχήμα 3.18: Διαβρωτική ικανότητα σύμφωνα με τον δείκτη Langelier.

Στον Πίνακα 3.13 και στο Σχήμα 3.19, τα δείγματα ταξινομούνται με βάση την σταθερότητά τους, δηλαδή την τάση τους να εναποθέτουν άλατα.

Πίνακας 3.13: Αριθμός και ποσοστό δειγμάτων με τάση δημιουργίας αποθέσεων αλάτων

ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑ ΝΕΡΩΝ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟΝ ΔΕΙΚΤΗ StI	ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ	ΠΟΣΟΣΤΟ
ΜΕΤΡΙΑ ΔΙΑΒΡΩΤΙΚΟ	2	4%
ΜΙΚΡΗ ΤΑΣΗ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΑΠΟΘΕΣΕΩΝ	15	33%
ΜΕΓΑΛΗ ΤΑΣΗ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΑΠΟΘΕΣΕΩΝ	3	7%
ΣΤΑΘΕΡΟ	25	56%



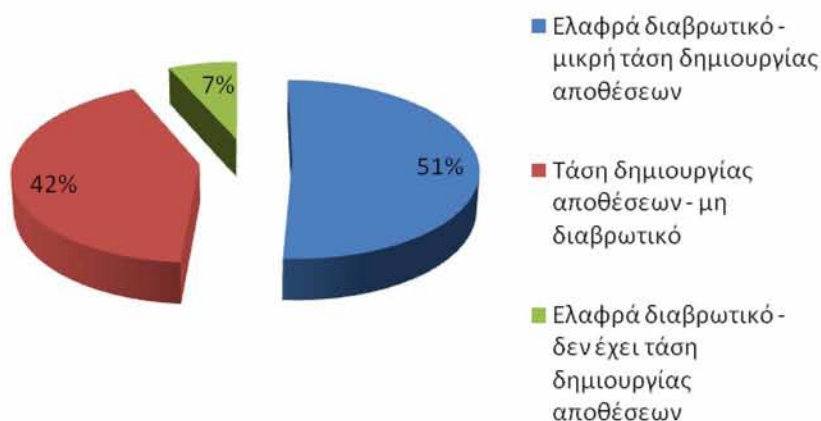
Σχήμα 3.19: Τάση δημιουργίας αποθέσεων αλάτων σύμφωνα με τον δείκτη σταθερότητας Stl του Ryznar.

Στον Πίνακα 3.14 και το Σχήμα 3.20, ταξινομούνται τα δείγματα ανάλογα με την διαβρωτική τους ικανότητα και την τάση τους να εναποθέτουν άλατα, ύστερα από συνδυασμό των δύο δεικτών, τον δείκτη κορεσμού (L.S.I.) Langelier και τον δείκτη σταθερότητας Stl του Ryznar.

Πίνακας 3.14: Αριθμός και ποσοστό δειγμάτων με βάση την διαβρωτική τους ικανότητα και την τάση τους να αποθέτουν άλατα.

ΔΙΑΒΡΩΤΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΤΑΣΗ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΑΠΟΘΕΣΕΩΝ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ	ΠΟΣΟΣΤΟ
Ελαφρά διαβρωτικό και με μικρή τάση δημιουργίας αποθέσεων αλάτων	23	51%
Τάση δημιουργίας αποθέσεων αλάτων, μη διαβρωτικό	19	42%
Ελαφρά διαβρωτικό και δεν έχει τάση δημιουργίας αποθέσεων αλάτων	3	7%

ΔΙΑΒΡΩΤΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΤΑΣΗ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΑΠΟΘΕΣΕΩΝ



Σχήμα 3.20: Διαβρωτική ικανότητα και τάση δημιουργίας αποθέσεων.

Από τον συνδυασμό των δύο δεικτών κορεσμού και σταθερότητας (Langelier και Stl), καταλήξαμε πως το μεγαλύτερο ποσοστό των δειγμάτων (51%) αφορά νερά ελαφρώς διαβρωτικά με μικρή τάση δημιουργίας αποθέσεων, το 42% πρόκειται για νερά μη διαβρωτικά που έχουν τάση δημιουργίας αποθέσεων (σταθερά), ενώ ένα μικρό ποσοστό 7% είναι νερά διαβρωτικά που δεν δημιουργούν αποθέσεις αλάτων.

3.2. Έλεγχος συμβατότητας αποτελεσμάτων

Με βάση το ισοζύγιο ανιόντων κατιόντων έγινε έλεγχος της συμβατότητας των αποτελεσμάτων. Όπως φαίνεται και στον πίνακα 3.15, το σφάλμα είναι μικρότερο από 5%, επομένως δεν έχει γίνει λάθος σε κάποιο προσδιορισμό ούτε έχει παραληφθεί κάποια σημαντική παράμετρος.

Ακόμα, υπολογίσθηκε η θεωρητική τιμή της αγωγιμότητας σε σχέση με της ευρεθείσες συγκεντρώσεις ανιόντων και κατιόντων των δειγμάτων, με βάση την εξίσωση των Debye-Huckel equation που χρησιμοποιήθηκε από τους Peter Debye και Erich Huckel, για την ανάπτυξη μεθοδολογίας υπολογισμού της ιοντικής ισχύος και ενεργότητας των διαλυμάτων. Ποσοστά απόκλισης μέχρι και 20% από τη μετρηθείσα τιμή της αγωγιμότητας θεωρούνται αποδεκτά για τη συμβατότητα των αναλυτικών δεδομένων (Wright 2007), επομένως, όπως δείχνει και ο Πίνακας 3.15, όλες οι τιμές είναι αποδεκτές.

Πίνακας 3.15: Έλεγχος συμβατότητας των αναλυτικών δεδομένων και επαλήθευση τιμών

ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ							
ΚΩΔΙΚΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	ΣΦΑΛΜΑ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ ΙΟΝΤΩΝ %	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ (< 5%)	θεωρητ. Υπολογ. HCO ₃	ΠΟΣΟΣΤΟ ΑΠΟΚΛΙΣΗΣ ΑΠΟ ΤΗ ΘΕΩΡ. ΤΙΜΗ	θεωρητ. Υπολογ. EC	ΠΟΣΟΣΤΟ ΑΠΟΚΛΙΣΗΣ ΑΠΟ ΤΗ ΘΕΩΡ. ΤΙΜΗ	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ (ΑΠΟΔΕΚΤΟ < 20%)
1	2,3	ΑΠΟΔΕΚΤΟ	413	5,6%	842	1,9%	ΑΠΟΔΕΚΤΟ
2	0,7	ΑΠΟΔΕΚΤΟ	357	2,0%	837	10,1%	ΑΠΟΔΕΚΤΟ
3	0,8	ΑΠΟΔΕΚΤΟ	347	2,0%	775	13,7%	ΑΠΟΔΕΚΤΟ
4	1,5	ΑΠΟΔΕΚΤΟ	375	4,0%	820	10,5%	ΑΠΟΔΕΚΤΟ
5	2,0	ΑΠΟΔΕΚΤΟ	390	5,2%	832	7,6%	ΑΠΟΔΕΚΤΟ
6	0,9	ΑΠΟΔΕΚΤΟ	389	2,3%	817	5,6%	ΑΠΟΔΕΚΤΟ
7	1,8	ΑΠΟΔΕΚΤΟ	503	4,5%	1019	9,2%	ΑΠΟΔΕΚΤΟ
8	2,0	ΑΠΟΔΕΚΤΟ	413	5,5%	978	19,2%	ΑΠΟΔΕΚΤΟ
9	1,2	ΑΠΟΔΕΚΤΟ	401	2,6%	705	13,8%	ΑΠΟΔΕΚΤΟ
10	2,1	ΑΠΟΔΕΚΤΟ	463	5,0%	876	10,8%	ΑΠΟΔΕΚΤΟ
11	-0,2	ΑΠΟΔΕΚΤΟ	323	-0,6%	727	-12,7%	ΑΠΟΔΕΚΤΟ
12	1,1	ΑΠΟΔΕΚΤΟ	421	2,6%	834	11,9%	ΑΠΟΔΕΚΤΟ
13	1,6	ΑΠΟΔΕΚΤΟ	561	3,7%	1011	18,7%	ΑΠΟΔΕΚΤΟ
14	0,1	ΑΠΟΔΕΚΤΟ	351	0,3%	708	22,6%	ΑΠΟΔΕΚΤΟ
15	0,3	ΑΠΟΔΕΚΤΟ	177	1,1%	483	13,7%	ΑΠΟΔΕΚΤΟ
16	1,2	ΑΠΟΔΕΚΤΟ	525	2,8%	962	14,8%	ΑΠΟΔΕΚΤΟ
17	0,8	ΑΠΟΔΕΚΤΟ	307	2,2%	733	14,3%	ΑΠΟΔΕΚΤΟ
18	2,6	ΑΠΟΔΕΚΤΟ	343	6,6%	742	10,0%	ΑΠΟΔΕΚΤΟ
19	3,3	ΑΠΟΔΕΚΤΟ	274	8,6%	595	6,6%	ΑΠΟΔΕΚΤΟ
20	0,9	ΑΠΟΔΕΚΤΟ	283	2,9%	825	5,4%	ΑΠΟΔΕΚΤΟ
21	2,2	ΑΠΟΔΕΚΤΟ	315	17,4%	2385	11,1%	ΑΠΟΔΕΚΤΟ
22	1,8	ΑΠΟΔΕΚΤΟ	328	14,8%	2583	12,1%	ΑΠΟΔΕΚΤΟ
23	1,1	ΑΠΟΔΕΚΤΟ	159	8,9%	1294	13,4%	ΑΠΟΔΕΚΤΟ
24	1,4	ΑΠΟΔΕΚΤΟ	289	4,9%	899	2,2%	ΑΠΟΔΕΚΤΟ
25	0,7	ΑΠΟΔΕΚΤΟ	429	13,7%	8897	16,8%	ΑΠΟΔΕΚΤΟ
26	2,5	ΑΠΟΔΕΚΤΟ	518	5,5%	926	14,7%	ΑΠΟΔΕΚΤΟ
27	3,9	ΑΠΟΔΕΚΤΟ	543	8,9%	978	7,1%	ΑΠΟΔΕΚΤΟ
28	1,7	ΑΠΟΔΕΚΤΟ	303	4,4%	648	5,8%	ΑΠΟΔΕΚΤΟ
29	2,4	ΑΠΟΔΕΚΤΟ	298	7,7%	834	3,5%	ΑΠΟΔΕΚΤΟ
30	2,1	ΑΠΟΔΕΚΤΟ	315	11,1%	1584	15,1%	ΑΠΟΔΕΚΤΟ
31	0,5	ΑΠΟΔΕΚΤΟ	497	1,3%	981	19,1%	ΑΠΟΔΕΚΤΟ
32	3,7	ΑΠΟΔΕΚΤΟ	492	8,6%	934	13,3%	ΑΠΟΔΕΚΤΟ
33	2,1	ΑΠΟΔΕΚΤΟ	515	4,9%	996	8,7%	ΑΠΟΔΕΚΤΟ
34	2,8	ΑΠΟΔΕΚΤΟ	461	7,8%	1076	18,2%	ΑΠΟΔΕΚΤΟ
35	1,4	ΑΠΟΔΕΚΤΟ	390	3,8%	881	10,3%	ΑΠΟΔΕΚΤΟ
36	2,7	ΑΠΟΔΕΚΤΟ	299	9,8%	972	13,6%	ΑΠΟΔΕΚΤΟ
37	0,6	ΑΠΟΔΕΚΤΟ	255	2,1%	724	11,6%	ΑΠΟΔΕΚΤΟ
38	1,1	ΑΠΟΔΕΚΤΟ	283	2,7%	584	17,8%	ΑΠΟΔΕΚΤΟ
39	2,6	ΑΠΟΔΕΚΤΟ	360	8,2%	982	11,4%	ΑΠΟΔΕΚΤΟ
40	3,3	ΑΠΟΔΕΚΤΟ	529	8,3%	1090	16,2%	ΑΠΟΔΕΚΤΟ
41	2,6	ΑΠΟΔΕΚΤΟ	502	6,4%	1021	13,6%	ΑΠΟΔΕΚΤΟ
42	2,8	ΑΠΟΔΕΚΤΟ	417	6,5%	793	18,1%	ΑΠΟΔΕΚΤΟ
43	3,4	ΑΠΟΔΕΚΤΟ	304	7,9%	585	14,5%	ΑΠΟΔΕΚΤΟ
44	0,7	ΑΠΟΔΕΚΤΟ	177	6,8%	1660	10,9%	ΑΠΟΔΕΚΤΟ
45	3,3	ΑΠΟΔΕΚΤΟ	170	17,5%	852	8,4%	ΑΠΟΔΕΚΤΟ

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Το 18% των δειγμάτων έχει συγκεντρώσεις χλωριούχων άνω των 100 mg/l, κάποιες από τις οποίες ξεπερνούν κατά πολύ το όριο του πόσιμου νερού και αποδίδονται σε διείσδυση θαλασσινού νερού.
- Το 78% των γεωτρήσεων δεν επηρεάζεται από το θαλασσινό νερό, ενώ το 22% αυτών (10 γεωτρήσεις), οι οποίες βρίσκονται κατά μήκος της ακτογραμμής σε πολύ μικρή απόσταση από τη θάλασσα, παρουσιάζουν πρόβλημα υφαλμύρωσης.
- Το 27% που αντιστοιχεί σε 12 δείγματα, βρέθηκαν με υψηλές συγκεντρώσεις νιτρικών, ακατάλληλα δηλαδή για ανθρώπινη κατανάλωση, ενώ το 51% αυτών βρέθηκαν μέσα στα επιθυμητά επίπεδα.
- Παρατηρήθηκε ότι η συγκέντρωση των νιτρικών παρουσιάζει αύξηση από τα μεγαλύτερα προς τα μικρότερα υψόμετρα, λόγω των εκπλύσεων καλλιεργούμενων εδαφών, που έχουν υποστεί αζωτούχα λίπανση, και μέσω επιφανειακών και υποεπιφανειακών απορροών, συγκεντρώνονται στα σημεία αυτά και κατεισδύουν στους υπόγειους υδροφορείς.
- Το μεγαλύτερο ποσοστό των δειγμάτων προέρχονται από υδροφόρους που φιλοξενούνται σε μαγνησιούχους ασβεστόλιθους και σε ασβεστούχους λευκόλιθους, και ανήκουν στον Ca- Mg- HCO₃ και Mg- Ca- HCO₃ υδροχημικό τύπο αντίστοιχα. Το 20% πρόκειται για υπόγεια νερά από ασβεστολιθικά πετρώματα που ανήκουν στον Ca-HCO₃ υδροχημικό τύπο, ενώ σε μικρότερα ποσοστά εμφανίζονται τα νερά που προέρχονται από δολομιτικά πετρώματα, γρανιτικά πετρώματα και σχιστόλιθους.
- Το μεγαλύτερο ποσοστό των δειγμάτων (51%) αφορά νερά ελαφρώς διαβρωτικά με μικρή τάση δημιουργίας αποθέσεων, το 42% πρόκειται για νερά μη διαβρωτικά που έχουν τάση δημιουργίας αποθέσεων (σταθερά), ενώ ένα μικρό ποσοστό 7% είναι νερά διαβρωτικά που δεν δημιουργούν αποθέσεις αλάτων.
- Τα 45 δείγματα που μελετήθηκαν, ταξινομήθηκαν σε 4 κατηγορίες κατά Richards. Το 96% δεν παρουσιάζει κίνδυνο νατρίου αλλά παρουσιάζει μέτριο έως μεγάλο κίνδυνο αλατώσεως, (κατηγορίες S1-C2 και S1-C3). Το υπόλοιπο 4% των δειγμάτων ανήκει στις κατηγορίες S1-C4 και S2-C4 και είναι γενικά ακατάλληλο λόγω υψηλής αλατότητας. Όσον αφορά τη χρήση του σε εδάφη, πρέπει να έχουν πολύ καλή στράγγιση και να εφαρμόζονται πολύ μεγάλα ποσοστά έκπλυσης για τον έλεγχο της αλατότητας.

- Το 22% των δειγμάτων (10 δείγματα) παρουσιάζουν αυξημένες τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας και δείκτη προσρόφησης νατρίου (SAR), παράμετροι που σχετίζονται άμεσα με την καταλληλότητα του νερού για άρδευση, υδροπονικές καλλιέργειες και εκτροφές.
- Το 18% των δειγμάτων έχει αυξημένο βαθμό αλκαλίωσης, με συγκεντρώσεις > 60 Na%, μειώνοντας στα εδάφη την διαπερατότητα και την αποστράγγιση.

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική Βιβλιογραφία

- Αβραμίδου Ε. (2007) Το φαινόμενο της υφαλμύρωσης στον Ελλαδικό χώρο. Μεταπτυχιακή Διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- Αλεξιάδης Κ. (1980) Φυσική και χημική ανάλυσις του εδάφους, Θεσσαλονίκη σελ. 239-370
- Ανδρίτσος Β., Γούναρης Α., Κανλής Α. (1990) Η ρύπανση των υπογείων υδάτων του νομού Μαγνησίας από τα νιτρικά των γεωργικών λιπασμάτων. Πρακτικά 2^{ου} συνεδρίου χημείας Ελλάδος και Κύπρου.
- Καλλέργης Γ. (1992) Επιπτώσεις της ξηρασίας στην ποιότητα των πηγαίων και υπογείων νερών. ΓΕΩΤ.Ε.Ε., Πρακτικά Ημερίδας «Λειψυδρία & Πλημμύρες» Θεσσαλονίκη, σελ. 309-324.
- Κατσιμπας Κ.Χ. (2009) Μελέτη υδρογεωλογικών συνθηκών στην λεκάνη Ποταμίας - Ελασσόνας. Μεταπτυχιακή Διατριβή, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Λατινόπουλος Π. (2007) Προστασία και εξυγίανση των υπόγειων νερών. Σημειώσεις Π.Μ.Σ. Προστασία Περιβάλλοντος και Βιώσιμη Ανάπτυξη. Θεσσαλονίκη.
- Μαλεφάκης Γ. (1998) Ποιότητα επιφανειακών και υπόγειων νερών, Α σελ. 32-73
- Μαλεφάκης Γ. (1998) Ποιότητα νερού εδαφοκαλλιεργειών εδαφοποιότητας εδαφοβελτίωσης, Β σελ. 122-180
- Μήτρακας Μ. (2001) Ποιοτικά χαρακτηριστικά και επεξεργασία νερού. Τζιόλα. Θεσσαλονίκη.
- Σούλιος Γ. (1996) Γενική Υδρογεωλογία, Πρώτος Τόμος, Ανατύπωση. University Studio Press. Θεσσαλονίκη, 22-23, 146.
- Σούλιος Γ. (2004) Γενική Υδρογεωλογία, Τρίτος Τόμος. Εκδοτικός Οίκος Αδελφών Κυριακίδη. Θεσσαλονίκη, 111-114, 128-129, 140, 230-234.
- ΥΠΕΧΩΔΕ (1984) Πρόγραμμα αναγνώρισης του φυσικού περιβάλλοντος της χώρας. Τελική έκθεση εργασιών πεδίου πρώτης φάσης Νομού Μαγνησίας, Αθήνα.
- ΥΠΕΧΩΔΕ, Ε.Ε., Ν.Α.Μ, Α.Ν.Ε.Μ., (2001) ΕΠΠΕΡ II Πρόγραμμα: Ανάπτυξη Πολιτικής για την Αειφόρο Διαχείριση του Παγασητικού Κόλπου, Βόλος.

Ξένη Βιβλιογραφία

- Aiman E., Ehab M. (2006) Assessment of tap water resources quality and its potential of scale formation and corrosivity in Tafila Province, South Jordan. *Desalination*, 206:322-332
- Appelo C.A.J. (1996) Multicomponent ion exchange and chromatography in natural systems. *Reviews in Mineralogy*, 34, 193-227.
- Ashraf S., Afshari H. and Ebadi A.G. (2011) Application of GIS for determination of groundwater quality suitable in crops influenced by irrigation water in the Damghan region of Iran. *International Journal of the Physical Sciences*, 6:843-854
- Djidjel M., Kherici H. B., Nezli I.-E. (2010) The Minerality Impact of Deep Groundwater, in Desert Regions, on Human and the Environment. Southeast Algeria. *European Journal of Scientific Research*, 45 (4) : 540-551
- Domenico P.A., Schwartz F.W. (1990) *Physical and Chemical hydrology*, Wiley, N.Y.
- Fass T., Cook P. G., Stieglitz T., Herczeg A. L. (2007) Development of Saline Ground Water through Transpiration of Sea Water. *Ground Water*, 45(6):703-10
- Hadi K.M. and Al-Ruwaih F.M (2008) Geochemical evolution of the fresh groundwater in Kuwait Desert. *Emirates Journal for Engineering Research*, 13 (3), 37-45
- Hergert G.W., Knudsen D. (1977) G77-328 Irrigation Water Quality Criteria. Historical Materials from University of Nebraska-Lincoln Extension in natural systems. *Reviews in Mineralogy*, 34: 193-227
- Jeen S.-W., Kim J.-M., Ko K.-S., Yum B., Chang H.-W. (2001) Hydrogeochemical characteristics of groundwater in a mid-western coastal aquifer system, Korea. *Geosciences Journal*, 15 (4): 339-348
- Kaur R. and Singh R.V., (2011) Assessment for different groundwater quality parameters for irrigation purposes in Bikaner city, Rajasthan. *Journal of applied sciences in environmental sanitation*, 6:3: 385-392
- Khodapanah L., Sulaima W.N.A., Khodapanah N., Groundwater Quality Assessment for Different Purposes in Eshtehard District, Tehran, Iran (2009) *European Journal of Scientific Research*. 36:4: 543-553

- Kumar D.T., Chandel C. P. S. (2010) Analysis Of The Major Ion Constituents In Groundwater Of Jaipur City. Department of Chemistry, University of Rajasthan, Jaipur. India, (2)5
- Lee J.-Y., Song S.-H. (2006) Evaluation of groundwater quality in coastal areas: implications for sustainable agriculture. *Environmental geology*, 52: 7: 1231-1242
- Loewenthal R.E., Wiechers H.N.S., Marais GvR. (1986) Softening and stabilization of municipal waters. Pretoria, South Africa : Water Research Commission
- Mahesha and Balasubramanian (2008) Hydrogeochemical Studies of Dalvov Lake Ecosystem of Mysore City, India. *Proceedings of Taal2007: The 12th World Lake Conference*: 337-341
- Mihaiescu T., Rusu M., Mihaiescu R., Muntean E., Muntean N. (2008) Assessment of nitrate pollution in Fizes watershed. *Bulletin UASVM, Horticulture*, 65(2)
- Nishanthiny S. C., Thushyanthy M., Barathithasan T. and Saravanan S. (2010) Irrigation Water Quality Based on Hydro Chemical Analysis, Jaffna, Sri Lanka. *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Science*, 7 (1): 100-102
- Sundaram B., Feitz, A., Caritat, P., Plazinska, A., Brodie, R., Coram, J., Ransley, T. (2009) *Groundwater Sampling and Analysis – A Field Guide*. Geoscience Australia, Record 2009/27.
- Voudouris K., Mandilaras D., Antonakos A. (2004) Methods to define the areal distribution of the salt intrusion: Examples from south Greece. *Groundwater and saline intrusion*, pp 465-480.
- Voudouris K.S., Daskalaki P., Antonakos A. (2005) Water resources and groundwater quality in North Peloponnesus (Greece). *Global NEST Journal*, 7(3) pp 340-353
- Wright M.R. (2007) *An introduction to Aqueous Electrolyte Solutions*. Wiley. ISBN 978-0-470-84293-5.

Ηλεκτρονική βιβλιογραφία

<http://www.epa.state.il.us/land/lust/introduction.html> (Πρόσβαση:12/10/2011)

6. ABSTRACT

At this study, 45 underground water samples were collected from Almyros and New Agchialos Area basin in order to describe the groundwater quality in relation to the natural and anthropogenic activities of the study area.

Ten samples of soil were collected in order to describe the relation between the quality of soils and the existing geological and anthropogenic conditions.

The geology of the area studied includes limestones of Triassic and Cretaceous age, dolomites, schists, shales, sandstones and sedimentary formations. Those are covered by Neogene and Quaternary sediments. The Neogene sediments of the area studied are composed of marly limestones, conglomerates and marls. The Quaternary sediments consist of brown coloured clayey-sandy materials with dispersed cobbles-rubbles.

The type of methodology applied to this study consists of water chemical analysis, factor analysis, Piper classification diagrams, Richards and Wilcox irrigation diagrams and Geographical Information System database.

Electrical conductivity values range between 385 and 38.300 $\mu\text{S}/\text{cm}$. The ions concentrations were found : Ca^{+2} 27-234 mg/L, Mg^{+2} 7,5-115 mg/L, Na^{+} 7,4-1.174 mg/L, K^{+} 0,4-38 mg/L, HCO_3^{-} 140-540 mg/L CaCO_3 , Cl^{-} 19-2.200 mg/L, SO_4^{-2} 2-214 mg/L, NO_3^{-} 0.40-138 mg/L.

Piper diagram classifies the surfacewater chemical data set into two types: First type: where sovereign ions are HCO_3^{-} , Mg^{+1} , Ca^{+1} and second type where sovereign ions are Na^{+} and Cl^{-} .

As long as it concerns the appropriateness of the surface water of usage, in the hinterland of the study area the water is characterized as suitable (C2-S1 field in Richards diagram) with restrictions in some places for use in soils with good permeability and use of high soil degradation. In the antipode the samples near coastal

waters in the estuaries are not suitable for usage because of salinisation, as shown in Richards and Wilcox diagrams.

The major problem in the study area, is the high level of nitrate concentrations (25-30% of samples were found over than 45-50 mg/L) which comes from drainage of crop nitrogen fertilizers.