



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ – ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

«ΕΠΙΣΤΗΜΗ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ
ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ»

**ΔΙΑΧΡΟΝΙΚΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΠΟΙΟΤΙΚΩΝ
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ
ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΖΩΝΗ
ΤΟΥ ΦΑΛΗΡΙΚΟΥ ΔΕΛΤΑ**

ΕΥΣΤΑΘΙΑ Κ. ΛΥΜΠΕΡΟΠΟΥΛΟΥ

Αθήνα, Οκτώβριος 2019

**«ΕΠΙΣΤΗΜΗ &
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ
ΥΔΑΤΙΚΩΝ
ΠΟΡΩΝ»**

Επιβλέπων:

Ομότιμος Καθηγητής Ι. Κουμαντάκης

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία με τίτλο «Διαχρονική μεταβολή ποιοτικών χαρακτηριστικών υπόγειων νερών στην παράκτια ζώνη του Φαληρικού Δέλτα» πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του Διατμηματικού-Διεπιστημονικού προγράμματος μεταπτυχιακών σπουδών «Επιστήμη και τεχνολογία υδατικών πόρων» του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Για την ολοκλήρωσή της έγινε επεξεργασία των δεδομένων που συλλέχθηκαν στην περιοχή μελέτης και αναλύθηκαν στη συνέχεια στο εργαστήριο.

Με το πέρας της μεταπτυχιακής μου εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα κ. Ιωάννη Κουμαντάκη – Ομότιμο Καθηγητή της σχολής Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργών του Ε.Μ.Π., για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον θέμα.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ θα ήθελα να πω στον κ. Κωνσταντίνο Μαρκαντώνη διδάκτορα του τομέα Γεωλογικών Επιστημών της σχολής Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργών του Ε.Μ.Π., για τη πολύτιμη βοήθειά του στη διαδικασία των εργαστηριακών αναλύσεων.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την κ. Ελένη Βασιλείου διδάκτορα της σχολής Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργών του Ε.Μ.Π. για την τεράστια βοήθεια και καθοδήγηση που μου παρείχε καθόλη τη διάρκεια της διπλωματικής εργασίας.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	2
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	7
ABSTRACT	8
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	9
1.1. Εισαγωγή – Ιστορία περιοχής.....	9
1.2. Δήμοι – Γενικές πληροφορίες.....	10
1.3. Γεωφυσικά – Κλιματολογικά χαρακτηριστικά.....	11
1.4. Χρήσεις γης.....	11
1.5. Δίκτυο ύδρευσης.....	11
1.6. Όμβρια ύδατα – Αντιπλημμυρικά έργα.....	11
1.7. Αποκομιδή αποβλήτων – Καθαριότητα.....	12
1.8. Κατάσταση υπογείων νερών – Σύνομη περιγραφή.....	12
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΕΙΔΗ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΥΔΡΟΦΟΡΕΩΝ	13
2.1. Γεωμορφολογικά στοιχεία.....	13
2.2. Στρωματογραφία περιοχής μελέτης.....	15
2.2.1. Τεταρτογενές.....	15
2.2.1.1. Ολόκαινο.....	15
2.2.1.2. Ανώτερο πλειστόκαινο.....	15
2.2.1.3. Πλειστόκαινο.....	15
2.2.2. Νεογενές.....	15
2.2.2.1. Πλειόκαινο.....	15
2.2.2.2. Ανώτερο μειόκαινο.....	15
2.2.3. Υποπελαγονική ζώνη.....	16
2.2.3.1. Αυτόχθονη σειρά.....	16
2.2.3.2. Νόριο - Πιθανόν λιάσιο.....	16
2.2.4. Αλλόχθονη σειρά.....	17
2.2.4.1. Κενομάνιο – Τουρώνιο.....	17
2.3. Είδη υπόγειων υδροφορέων.....	17
2.3.1. Αβαθείς φρεάτιοι υδροφορείς.....	20
2.3.2. Επάλληλοι υπό πίεση.....	20
2.3.3. Υδροφόροι των νεογενών.....	21

2.3.4. Υδροφόροι τεταρτογενών.....	21
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΒΑΣΙΚΕΣ ΈΝΝΟΙΕΣ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑΣ	22
3.1. Υδρολογικός κύκλος.....	22
3.2. Υδρογεωλογική συμπεριφορά γεωλογικών σχηματισμών.....	23
3.2.1. Πορώδες.....	24
3.2.2. Υδροπερατοί σχηματισμοί	25
3.2.3. Αδιαπέρατοι σχηματισμοί.....	25
3.3. Το υπόγειο νερό.....	26
3.4. Κατακόρυφη κατανομή του υπόγειου νερού.....	26
3.5. Ακόρεστη ζώνη.....	28
3.6. Υδραυλικά χαρακτηριστικά των υδροφορέων.....	28
3.7. Κίνηση του υπόγειου νερού.....	31
3.8. Υφαλμύρωση.....	31
3.8.1. Είδη υφαλμύρωσης.....	31
3.8.2. Στατική ισορροπία διεπιφάνειας: νόμος των Ghyben και Herzberg.....	32
3.8.3. Μαθηματικά μοντέλα.....	33
3.8.4. Ανύψωση της διεπιφάνειας.....	34
3.8.5. Ο «πόδας» της διεπιφάνειας.....	34
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ - ΥΔΡΟΧΗΜΕΙΑ	36
4.1. Δειγματοληψία.....	36
4.2. Ποιοτικά χαρακτηριστικά υπόγειων νερών.....	36
4.3. Υδροχημικοί τύποι υπόγειων νερών.....	39
4.3.1. Προέλευση ιόντων.....	40
4.4. Υδροχημικά διαγράμματα.....	41
4.4.1. Ταξινόμηση κατά Piper.....	42
4.4.2. Ταξινόμηση κατά Durov.....	42
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	45
5.1. Σημεία υδροληψίας.....	45
5.1.1. Υδροληψία στον δήμο Παλαιού Φαλήρου.....	45
5.1.2. Υδροληψία στον δήμο Καλλιθέας.....	48
5.1.3. Υδροληψία στον δήμο Αλίμου.....	51

5.1.4. Υδροληψία στον δήμο Ελληνικού.....	52
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΟΡΓΑΝΑ ΧΗΜΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ.....	56
6.1. Πολυπαραμετρικό.....	56
6.2. Φασματοφωτόμετρο – Όργανα τιτλοδότησης.....	57
6.3. Φλογοφωτόμετρο.....	61
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ.....	62
7.1. Στατιστικά αποτελέσματα αναλύσεων.....	65
7.2. Ιδανικές τιμές ιόντων στα υπόγεια νερά.....	65
7.2.1. Συγκέντρωση Ca^{2+}	65
7.2.2. Συγκέντρωση Mg^{2+}	66
7.2.3. Συγκέντρωση Cl^{-}	66
7.2.4. Συγκέντρωση SO_4^{2-}	66
7.2.5. Συγκέντρωση HCO_3^{-}	67
7.2.6. Συγκέντρωση NO_3^{-}	67
7.2.7. Συγκέντρωση K^{+}	67
7.2.8. Συγκέντρωση Na^{+}	67
7.2.9. Ηλεκτρική αγωγιμότητα (E.C.).....	67
7.2.10. Θερμοκρασία.....	68
7.2.11. Ενεργός οξύτητα (pH).....	68
7.2.12. Αλατότητα (T.D.S.).....	69
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8. ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ.....	70
8.1. Εισαγωγή.....	70
8.2. Συντελεστής συσχέτισης του Pearson.....	70
8.3. Υδροχημικά διαγράμματα των χημικών αναλύσεων.....	73
8.3.1. Durov.....	73
8.3.2. Ludwig-Langelier.....	74
8.3.3. Piper.....	76
8.3.4. Schoeller.....	80
8.3.5. Wilcox.....	80
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ – ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΟΥ 2009.....	83
9.1. Εισαγωγή.....	83

9.2. Παράθεση διαγραμμάτων συσχέτισης και συγκρίσεις.....	84
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10. ΚΑΤΑΝΟΜΕΣ ΙΟΝΤΩΝ – ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΟΥ 2009.....	92
10.1. Εισαγωγή.....	92
10.2. Παράθεση διαγραμμάτων κατανομών ιόντων και συγκρίσεις.....	92
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11. ΧΑΡΤΕΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΙΟΝΤΩΝ – ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΟΥ 2009.....	101
11.1. Εισαγωγή.....	101
11.2. Χάρτες συγκέντρωσης ηλεκτρικής αγωγιμότητας (E.C.).....	101
11.3. Χάρτες τιμών pH.....	103
11.4. Χάρτες συγκέντρωσης ασβεστίου (Ca^{2+}).....	104
11.5. Χάρτες συγκέντρωσης μαγνησίου (Mg^{2+}).....	106
11.6. Χάρτες συγκέντρωσης χλωριόντων (Cl^{-}).....	107
11.7. Χάρτες συγκέντρωσης θειικών (SO_4^{2-}).....	109
11.8. Χάρτες συγκέντρωσης νιτρικών (NO_3^{-}).....	110
11.9. Χάρτες συγκέντρωσης όξινων ανθρακικών (HCO_3^{-}).....	112
11.10. Χάρτες συγκέντρωσης καλίου (K^{+}).....	113
11.11. Χάρτες συγκέντρωσης νατρίου (Na^{+}).....	115
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	117
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	118
ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ.....	119

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική έχει ως αντικείμενο τη χωροχρονική διερεύνηση των ποιοτικών χαρακτηριστικών των υπόγειων νερών του Φαληρικού Δέλτα. Η περιοχή έρευνας προσδιορίζεται στο νοτιοδυτικό τμήμα της Αττικής που ανήκει το Φαληρικό Δέλτα και περιλαμβάνει τους δήμους Π. Φαλήρου, Καλλιθέας, Αλίμου και Ελληνικού.

Γεωλογικά η περιοχή έρευνας δομείται κυρίως από τεταρτογενείς και νεογενείς αποθέσεις, ενώ παράλληλα συναντώνται και ασβεστόλιθοι, σχιστόλιθοι, οφιόλιθοι, μάργες και χαλαζίτες.

Στα πλαίσια αυτής της διατριβής διεξήχθησαν δειγματοληψίες υπογείων νερών από 21 γεωτρήσεις και συγκεκριμένα 2 από το Π. Φάληρο, 7 από την Καλλιθέα, 5 από τον Άλιμο και 7 από το Ελληνικό. Η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε τον Οκτώβριο του 2018, στο τέλος της ξηρής περιόδου. Οι χημικές αναλύσεις των δειγμάτων διεξήχθησαν στο εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας, στον Τομέα Γεωλογικών Επιστημών, της σχολής Μηχανικών Μεταλλείων - Μεταλλουργών του Ε.Μ.Π. και ακολούθησε η επεξεργασία των αποτελεσμάτων, καθώς και η σύγκριση και συναξιολόγηση με όλες τις διαθέσιμες χρονοσειρές μετρήσεων στην περιοχή έρευνας.

Από τα αποτελέσματα των αναλύσεων διαπιστώθηκαν περιοχές με έντονη υφαλμύρωση κοντά στην παραλιακή ζώνη, ενώ περιοχές απομακρυσμένες από τη θάλασσα δεν παρουσίασαν δείσδυση θαλασσινού νερού. Τα ιόντα χλωρίου, νατρίου καθώς και η ηλεκτρική αγωγιμότητα φανέρωσαν το συγκεκριμένο φαινόμενο, καθώς είχαν υψηλές τιμές σε γεωτρήσεις που βρίσκονται κοντά στη θάλασσα και χαμηλές στις υπόλοιπες.

Σχετικά με την αξιολόγηση των δειγμάτων για ύδρευση παρατηρήθηκε ακαταλληλότητα για όλες τις γεωτρήσεις εκτός από μια του Αλίμου, ενώ για άρδευση με εξαίρεση κάποιες γεωτρήσεις στην Καλλιθέα και το Ελληνικό οι υπόλοιπες μπορούν να αξιοποιηθούν με ελέγχους όμως ως προς την αλατότητα.

ABSTRACT

Main objective of this diplomacy is to examine the quality characteristics of Delta Faliro underground waters in space and time. The investigated area is located in the south-western part of Attica which belongs to the Delta Faliro and covers the municipalities of P. Faliro, Kallithea, Alimos and Elliniko.

Geologically, the investigated area mainly consists of quaternary and neonatal deposits, while limestones, schists, ophiolites, marls and quartzites are also met at the same time.

During this diplomacy, groundwater samples were taken from 21 boreholes, namely 2 from P. Faliro, 7 from Kallithea, 5 from Alimos and 7 from Elliniko. The sampling took place in October 2018, at the end of the dry season. Chemical analyzes of the samples were carried out at the laboratory of Technical Geology and Hydrogeology, Department of Geological Sciences, School of Mining and Metallurgy, NTUA, followed by the processing of the results, as well as comparison and evaluation with all available time series measurements in the research area.

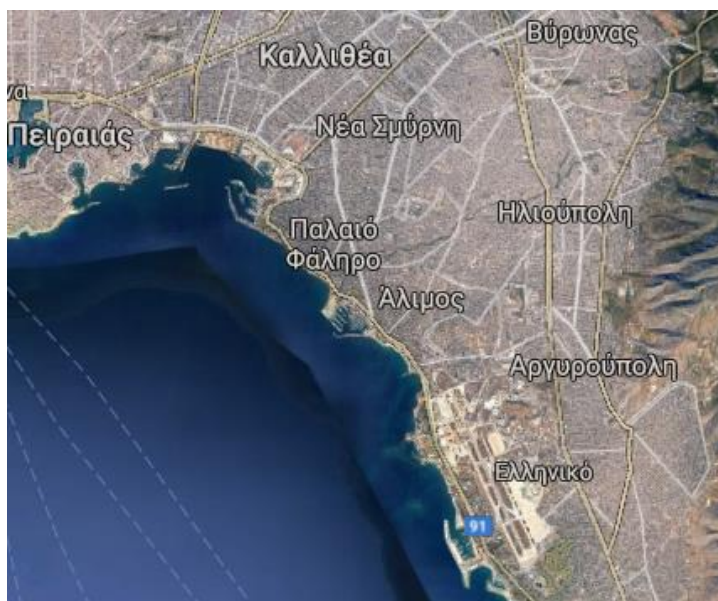
The results of the analyzes revealed areas of severe salinity near the coastal zone, while areas remote from the sea showed no seawater penetration. Chlorine, sodium as well as electrical conductivity revealed this phenomenon, as they were high in drilling nearshore and low in others.

Regarding the evaluation of the samples for water supply, it was inappropriate for all boreholes except one of Alimos, while for irrigation with the exception of some boreholes in Kallithea and Elliniko, the others can be used with salinity controls.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

1.1. Εισαγωγή – Ιστορία περιοχής

Η περιοχή έρευνας της μεταπτυχιακής διατριβής είναι το Φαληρικό Δέλτα του νομού Αττικής και πιο συγκεκριμένα μελετήθηκαν δείγματα υπογείων νερών από 21 γεωτρήσεις στους δήμους Π.Φαλήρου, Καλλιθέας, Αλίμου και Ελληνικού. Τα δείγματα συλλέχθηκαν και αναλύθηκαν τον Οκτώβριο και Νοέμβριο του 2018, με σκοπό να συγκρηθούν με τις αντίστοιχες παλαιότερες μετρήσεις του 2009. Στην εικόνα 1.1. παρατίθεται απόσπασμα από το Google Earth, όπου φαίνεται μια γενική εικόνα της περιοχής και στην εικόνα 1.2. οι θέσεις υδροληψίας.



Εικόνα 1.1. Γενική εικόνα περιοχής μελέτης



Εικόνα 1.2. Περιοχή μελέτης με τα σημεία υδροληψίας

Το Φαληρικό Δέλτα είναι ένας πολύ υποβαθμισμένος υγρότοπος. Έχει όμως εξέχουσα σημασία και δυναμική αξία επειδή προσφέρει προνομιακό σημείο επαφής φύσης και ανθρώπου στο θαλάσσιο μέτωπο του Λεκανοπεδίου. Σήμερα αξιολογείται ως ένας από τους 15 σημαντικότερους υγρότοπους για τη προστασία και την ανάδειξη των υγρότοπων της Αττικής.

Κατά το παρελθόν αποτελούσε ένα φυσικό οικοσύστημα με ιδιαίτερα χαρακτηριστικά. Ήταν ένα αλίπεδο, μια αμμώδης πεδιάδα, στην οποία υπήρχαν αμμοθίνες και πλούσια χλωρίδα και πανίδα. Μια από τις σημαντικότερες ιδιαιτερότητες του φαληρικού όρμου είναι ότι αποτελεί φυσικό τόπο εκβολής του μεγαλύτερου αθηναϊκού χειμάρρου, του Κηφισού και αργότερα και του Ιλισού. Από τις αρχές του 20^{ου} αιώνα ξεκινά σταδιακά η αλλοίωση του φυσικού οικοσυστήματος, εξαιτίας της ανθρώπινης δραστηριότητας. Ωστόσο οι μεγαλύτερες μεταβολές στην τοπογραφία και κατ'επέκταση και στο οικοσύστημα της περιοχής επήλθαν τα τελευταία σαράντα χρόνια. Το 1969 ξεκίνησε η επιχωμάτωση της παράκτιας ζώνης. Η εντατικοποίηση των χρήσεων γης, τα μεγάλης κλίμακας δημόσια έργα και οι εκτεταμένες επιχωματώσεις μετέτρεψαν το Φαληρικό Δέλτα σε δομημένο περιβάλλον. Από τις σημαντικότερες αιτίες περιβαλλοντικής υποβάθμισης με αρκετές προεκτάσεις είναι η μετατροπή των αθηναϊκών ρεμάτων σε αποχετευτικούς αγωγούς που επιβάρυναν ιδιαίτερος τον κύριο τόπο εκβολής τους, τον φαληρικό όρμο. Ωστόσο, οι ροές των δύο ιστορικών ποταμών-Κηφισού και Ιλισού-συνέχισαν να εμπλουτίζουν τη θάλασσα με ιζήματα με αποτέλεσμα να διαμορφωθεί εκεί ένας νέος μικρός υδροβιότοπος παρά την ολική επιχωμάτωση του παλαιού υγροτόπου ([Ινστιτούτο Θαλασσίων Βιολογικών Πόρων και Εσωτερικών Υδάτων, 2015](#)).

1.2. Δήμοι – Γενικές πληροφορίες

Το Παλαιό Φάληρο είναι παραλιακό προάστιο στα νοτιοδυτικά της Αθήνας. Η έκτασή του είναι 4,6 km², ενώ το μήκος της παραλίας του στο Σαρωνικό είναι περίπου 4 km. Απέχει περίπου 9 km από το κέντρο της Αθήνας (συνδέεται με τη Λεωφόρο Συγγρού), 13 km από από το λιμάνι Πειραιά (συνδέεται με τη Λεωφόρο Ποσειδώνως) και περίπου 40 km από το Διεθνές Αεροδρόμιο Ελευθέριος Βενιζέλος. Το Παλαιό Φάληρο βρίσκεται στη νότια πλευρά του νομού Αττικής και συνορεύει με τους δήμους Καλλιθέας, Νέας Σμύρνης, Αγίου Δημητρίου και Αλίμου. Ο πληθυσμός του ήταν 64.759 κάτοικοι κατά την απογραφή του 2011 (<http://www.statistics.gr/el/2011-census-pop-hous>).

Η Καλλιθέα με πληθυσμό που προσεγγίζει τις 100.641 κατοίκους, απλώνεται ανάμεσα στην Αθήνα και το Φαληρικό Όρμο, σε μια έκταση 4,5 Km². Καταλαμβάνει μια μακρόστενη εν γένει έκταση: εκτείνεται από τις οδούς Λαγουμιτζή και Καλλιρρόης στα βόρεια ως τον Φαληρικό όρμο στα νότια. Από βορρά προς νότο, διατρέχεται από την κεντρική της λεωφόρο, τη λεωφόρο Θησέως, συνολικού μήκους 4 km. Στα ανατολικά οριοθετείται από τη λεωφόρο Ανδρέα Συγγρού, η οποία χωρίζει από τον Νέο Κόσμο, τη Νέα Σμύρνη και το Παλαιό Φάληρο (http://www.kallithea.gr/?page_id=190).

Ο Άλιμος συνορεύει με το Ελληνικό στο νότο, με το Φάληρο στα βορειοδυτικά, τον Άγιο Δημήτριο στα βορειοανατολικά και με την Αργυρούπολη και την Ηλιούπολη στα ανατολικά. Περικλύεται δυτικά από τη λεωφόρο Ποσειδώνος και ανατολικά από τη λεωφόρο Βουλιαγμένης. Έχει έκταση περίπου 7,5 Km² και πληθυσμό 41.720 κατοίκους βάση απογραφής του 2011 (<http://www.statistics.gr/el/2011-census-pop-hous>).

Το Ελληνικό είναι δημοτική ενότητα του Δήμου Αργυρούπολης - Ελληνικού του Νοτίου τομέα Αθηνών της Αττικής. Η συνολική έκτασή του ανέρχεται σε 7,5 Km². Συνορεύει με τον Άλιμο, την Αργυρούπολη και τη Γλυφάδα και ο πληθυσμός του ανέρχεται στις 17.259 (<http://www.statistics.gr/el/2011-census-pop-hous>), (<http://www.dimosellinikou.gr/>).

1.3. Γεωφυσικά – Κλιματολογικά χαρακτηριστικά

Το κλίμα στην περιοχή του Παλαιού Φαλήρου, της Καλλιθέας, του Αλίμου και του Ελληνικού χαρακτηρίζεται ως μεσογειακό, ημίξερο με ήπιο χειμώνα και θερμά καλοκαίρια σύμφωνα με τα στοιχεία από τον Μετεωρολογικό Σταθμό Ελληνικού, ο οποίος αποτελεί τον πλησιέστερο μετεωρολογικό σταθμό της Ε.Μ.Υ. (Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας). Έτσι για το Φαληρικό Δέλτα διακρίνουμε μια περίοδο βροχών και μια περίοδο ξηρασίας. Η πρώτη κάνει την εμφάνισή της το φθινόπωρο και κυρίως το χειμώνα, ενώ η δεύτερη ξεκινά κατά τους ανοιξιάτικους μήνες με το αποκορύφωμά της κατά τους θερινούς, όπου μαζί με την θερμοκρασία ακολουθεί μια ξηροθερμική περίοδος, η οποία διαρκεί από τον Απρίλιο έως τον Οκτώβριο (Σκριμιζέα Ε., 2011).

1.4. Χρήσεις γης

Οι συγκρούσεις των χρήσεων γης στο περιβάλλον των δήμων του Φαληρικού Δέλτα, μπορούν να δημιουργήσουν λειτουργικά προβλήματα, αλλά ακόμα και να υποβαθμίσουν την ποιότητα ζωής. Οι πιέσεις στο φυσικό περιβάλλον των δήμων προέρχονται κυρίως από την ανθρώπινη δραστηριότητα στην περιοχή και κυρίως πιέσεις για αστικοποίηση. Οι πιέσεις για δημιουργία κατοικίας τα τελευταία χρόνια οδηγούν στην υπερεκμετάλλευση της γης, με αποτέλεσμα την αύξηση της πυκνότητας κατοίκησης και την απειλή αλλοίωσης του ιδιαίτερου φυσικού περιβάλλοντος (Πετροπούλου Χ., 2016).

1.5. Δίκτυο ύδρευσης

Οι δήμοι της περιοχής καλύπτουν τις ανάγκες τους από το δίκτυο ύδρευσης της ΕΥΔΑΠ. Η Καλλιθέα εντάσσεται σε ένα σύνολο των δήμων του κέντρου της Αθήνας με χαρακτηριστικά μικρή ετήσια κατανάλωση νερού ανά νοικοκυριό τα 100-250 m³, το Παλαιό Φάληρο καταναλώνει το έτος 250-500 m³ όπως και ο Άλιμος, ενώ ο δήμος Ελληνικού καταναλώνει το περισσότερο 2500-3500 m³ ανά νοικοκυριό (Σκριμιζέα Ε., 2011).

1.6. Όμβρια ύδατα – Αντιπλημμυρικά έργα

Στο Παλαιό Φάληρο το δίκτυο συλλογής και αποχέτευσης των όμβριων υδάτων γενικά καλύπτει το σύνολο σχεδόν της έκτασης του δήμου και αγγίζει τα 23,5 χλμ. Λόγω εκτενούς επιχωμάτωσης των τελευταίων δεκαετιών

παρουσιάζονται αυξημένες πλημμύρες στις περιοχές του Φαληρικού μετώπου και καθίσταται άμεση η ανάγκη υλοποίησής τους. Οι αντιπλημμυρικές υποδομές προβλέπονται ήδη από το θεσμικό πλαίσιο (ΦΕΚ Δ 233 – 26.03.2002) και ξεκίνησαν το καλοκαίρι του 2019. Η αντιπλημμυρική προστασία των περιοχών αυτών είναι άμεσα συνδεδεμένη με τη κατάσταση του Κηφισού, του Ιλισού και της Πικροδάφνης. Σύμφωνα με τη Σκριμιζέα η λάθος διευθέτηση του Κηφισού ιδιαίτερα σε συδυασμό με διαχρονικές λανθασμένες κινήσεις της πολιτείας, όπως παράνομες απορρίψεις λυμάτων και βιομηχανικών αποβλήτων είχε σαν αποτέλεσμα να δημιουργηθούν κλειστές λεκάνες οι οποίες κινδυνεύουν από πλημμύρες.

1.7. Αποκομιδή αποβλήτων – Καθαριότητα

Τόσο ο δήμος Παλαιού Φαλήρου όσο και οι υπόλοιποι εξυπηρετούνται από τον ΧΥΤΑ των Άνω Λιοσίων μέχρι πρόσφατα και τώρα πλέον με αυτόν της Φυλής. Παρά τις προσπάθειες χωροθέτησης ολοκληρωμένων εγκαταστάσεων επεξεργασίας (και ΧΥΤΑ) σε άλλα σημεία του λεκανοπεδίου στο πλαίσιο του Περιφερειακού Σχεδιασμού Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων Αττικής, ο ΧΥΤΑ της Φυλής εξακολουθεί να είναι ο μοναδικός και εξυπηρετεί το σύνολο σχεδόν του λεκανοπεδίου. Σε περίπτωση που δεν είναι δυνατή η διάθεση των απορριμάτων στο μοναδικό ΧΥΤΑ του λεκανοπεδίου, λόγω ατυχήματος, απεργίας, αποκλεισμού του κ.λπ., οι δήμοι δε μπορούν να πραγματοποιήσουν τη συλλογή και απομάκρυνση των απορριμάτων τους, με προφανείς συνέπειες για τη ποιότητα ζωής αλλά και την υγεία των πολιτών τους, καθώς δεν υπάρχουν εναλλακτικές διέξοδοι (Σκριμιζέα Ε., 2011).

1.8. Κατάσταση υπογείων νερών – Σύνομη περιγραφή

Τα υπόγεια νερά στην Αττική έχουν υποβαθμιστεί λόγω πολλαπλών περιβαλλοντικών πιέσεων: υπαλμύρωσης κυρίως λόγω υπεράντλησης, αλλά και επιβάρυνσης με νιτρικά σε περιοχές με έντονη αγροτική δραστηριότητα έως πρόσφατα (π.χ. Μεσόγεια) ή έλλειψη αποχετευτικού δικτύου, ή ακόμη λόγω παράνομης απόρριψης βιομηχανικών αποβλήτων σε πολλά σημεία ιδίως στη λεκάνη του Κηφισού.

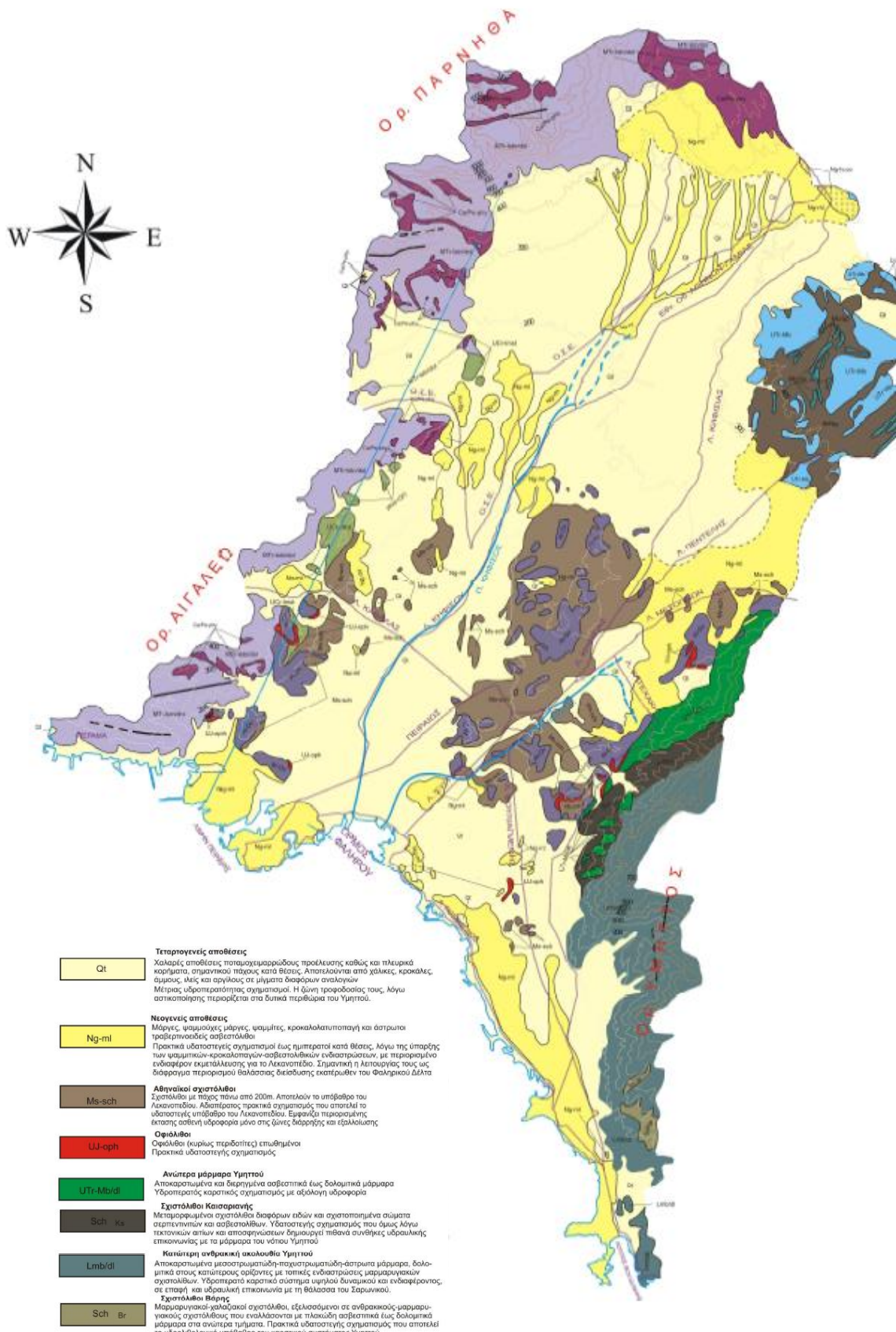
Οι παράκτιες ζώνες είναι ευαίσθητες και δυναμικές περιοχές. Έρευνες και μελέτες δείχνουν μια αυξητική τάση ρύπανσης του παράκτιου περιβάλλοντος, ενός περιβάλλοντος το οποίο γίνεται ολοένα και περισσότερο πυκνοκατοικημένο. Λόγω της πληθυσμιακής πίεσης και των πολλαπλών χρήσεων στις παράκτιες ζώνες, προκύπτουν διάφορες συγκρούσεις, καθώς και περιβαλλοντικά προβλήματα, ιδίως, αφού μερικές από τις χρήσεις είναι ανταγωνιστικές ή μη συμβατές με τις υπόλοιπες (Σκριμιζέα Ε., 2011).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΕΙΔΗ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΥΔΡΟΦΟΡΕΩΝ

2.1. Γεωμορφολογικά στοιχεία

Το Λεκανοπέδιο των Αθηνών αποτελεί ένα μεγάλο βύθισμα γενικής διεύθυνσης ΒΒΑ-ΝΝΔ, που οριοθετείται από τα όρη Πάρνηθα προς τα ΒΒΔ, Πεντέλη προς τα ΒΑ, Υμηττό προς τα Α και Αιγάλεω και Ποικίλο προς τα Δ, ενώ προς τα ΝΔ ανοίγεται στον Σαρωνικό Κόλπο (Παπανικολάου Δ., κ.ά. 2004). Έχει μήκος περίπου 22 km από ΒΑ προς ΝΔ και πλάτος 11 km εγκάρσιως. Στο εσωτερικό του Λεκανοπεδίου και κατά μήκος του κεντρικού του άξονα αναπτύσσεται μια σειρά από λόφους όπως: Τουρκοβούνια, Λυκαβηττός, Στρέφη, Ακρόπολη, Φιλοπάππου, Αρδηττός, Ζωοδόχος Πηγή και άλλοι μικρότεροι, οι οποίοι διαμορφώθηκαν με την επίδραση καταρχήν των τεκτονικών παραγόντων και στη συνέχεια της διάβρωσης (Κουμαντάκης Ι., κ.ά., 1997).

Πρόκειται για μια περιοχή με χαμηλό μέσο υψόμετρο, η οποία περιβάλλεται από ορεινούς όγκους διαφόρων διευθύνσεων. Στο εσωτερικό του λεκανοπεδίου παρατηρούνται γενικά περιοχές πολύ μικρής κλίσης που διακόπτονται από σχετικά λόφους μικρού μεγέθους, στις οποίες εμφανίζονται κυρίως νεογενείς σχηματισμοί και αλλουβιακές και δολουβιακές αποθέσεις.



Εικόνα 2.1. Υδρογεωλογικός χάρτης Λεκανοπεδίου Αθηνών (περίοδος 1996-1997) (Κουμαντάκης Ι., κ.ά., 1997)

2.2. Στρωματογραφία περιοχής μελέτης

Η περιοχή μελέτης περιλαμβάνει όπως έχει αναφερθεί τους δήμους Παλαιού Φαλήρου, Καλλιθέας, Αλίμου και Ελληνικού. Οι γεωλογικοί σχηματισμοί που συμμετέχουν από τους νεώτερους προς τους παλαιότερους είναι οι ακόλουθοι:

2.2.1. Τεταρτογενές

2.2.1.1. Ολόκαινο

Αλλουβιακές αποθέσεις: Πρόκειται για σύγχρονες αποθέσεις χειμάρρων που αποτελούνται από άργιλους, άμμους και χαλίκια. Εμφανίζονται στον δήμο Καλλιθέας, τόσο αριστερά και δεξιά του ποταμού Ιλισού, όσο και στην παραλιακή ζώνη του δήμου. Επιπλέον, εμφανίζεται σε ένα μικρό τμήμα του δήμου Παλαιού Φαλήρου που συνορεύει με τον δήμο Καλλιθέας, σε τμήμα του δήμου Αλίμου και στην παράκτια ζώνη του δήμου Ελληνικού.

2.2.1.2. Ανώτερο πλειστόκαινο

Διλουβιακές αποθέσεις: Πρόκειται για ερυθρούς πηλούς, άργιλους και άμμους στα κατώτερα μέλη που εναλλάσσονται με κροκαλολατυποπαγή μικρής συνεκτικότητας. Εμφανίζεται σε μεγάλο τμήμα του δήμου Καλλιθέας, στον δήμο Παλαιού Φαλήρου, Αλίμου και Ελληνικού.

Παλαιοί κώνοι κορημάτων: οι οποίοι εξελίσσονται σε συνεκτικά κροκαλοπαγή. Εμφανίζονται στα ορεινά τμήματα των Δήμων Αλίμου και κυρίως Ελληνικού.

2.2.1.3. Πλειστόκαινο

Ποτάμιες αποθέσεις: Πρόκειται για κροκαλοπαγή εναλλασσόμενα με λεπτές ενστρώσεις λατυποπαγών, πηλών, ψαμμιτών και ερυθρών ψαμμούχων μαργών με παρεμβολές κίτρινης ψαμμούχας μάργας σε διασταυρούμενες ενστρώσεις. Παρατηρούνται σε ανώτατο πάχος 20-25 m. Εμφανίζονται σε πολύ μικρό τμήμα του δήμου Καλλιθέας, αλλά κυρίως στους δήμους Παλαιού Φαλήρου και Αλίμου (Κουμαντάκης Ι., κ.ά. 1997).

2.2.2. Νεογενές

2.2.2.1. Πλειόκαινο

Μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι και ψαμμίτες: Πρόκειται για επικλυσιογενή ιζήματα θαλάσσιας ή παράκτιας φάσεως. Στη βάση τους απαντούν κροκαλοπαγή (μέγεθος κροκάλων 5-20 cm) με παρεμβολές ψαμμιτών και ψαμμούχων μαργών. Στα ανώτατα μέλη εναλλάσσονται με λιμναία και χερσαία ιζήματα, κυρίως κροκαλοπαγή και η διάκρισή τους από τους υπερκείμενους σχηματισμούς του Πλειστόκαινου είναι δύσκολη. Το μέγιστο πάχος τους είναι 60-80 m. Εμφανίζονται στους δήμους Καλλιθέας, Παλαιού Φαλήρου, Αλίμου και Ελληνικού.

2.2.2.2. Ανώτερο μειόκαινο

Άμμοι, ίλυς: Είναι ερυθρότεφρες έως καστανές, τοπικά πολύ αργιλούχες, με επιπλέοντα γωνιώδη έως ελαφρά αποστρογγυλωμένα κροκαλολατυποπαγή

αδιαβάθμητα, κυρίως από σχιστόλιθους. Πάνω στους σχηματισμούς αυτούς παρατηρούνται ασβεστόλιθοι κοραλλιογενείς με αφθονία απολιθωμάτων (Βρυόζωα, Ελασματοβράγχια). Το μέγιστο πάχος τους είναι μέχρι τα 50 m και εμφανίζονται σε φακοειδή μορφή στον δήμο Αλίμου (Κουμαντάκης Ι., κ.ά. 1997).

2.2.3. Υποπελαγονική ζώνη

2.2.3.1. Αυτόχθονη σειρά

Αθηναϊκοί σχιστόλιθοι: Πρόκειται για φλύσχη που έχει υποστεί έντονη διαγένεση έως ελαφριά μεταμόρφωση και αποτελείται από σερικικούς και χλωριτικούς σχιστόλιθους που εναλλάσσονται με αργιλικούς σχιστόλιθους, φακούς ψαμμιτών και ψαμμούχων κρυσταλλικών ή μικροκλαστικών ασβεστόλιθων, οι οποίοι σχηματίζουν τις κορυφές των λόφων από τον Αρδητό και ανατολικά. Οι σχιστόλιθοι Αθηνών κατά θέσεις διασχίζονται από φλέβες χαλαζία και από θύλακες με εξαλλοιωμένα εκρηξιγενή οφειολιθικά πετρώματα (περιδοτίτες, σπηλίτες και τόφφους). Το πάχος τους εκτιμάται στα 200-250 m.

Οι σχιστόλιθοι Αθηνών καλύπτουν όλη σχεδόν τη λεκάνη των Αθηνών, στο μεγαλύτερο όμως τμήμα τους καλύπτονται από νεογενείς σχηματισμούς. Εμφανίζονται στον Δήμο Καλλιθέας και σε φακοειδή μορφή στους δήμους Αλίμου και Ελληνικού.

Κατώτερο μάρμαρο: Το Κατώτερο Μάρμαρο αποτελείται κυρίως από μεσοκρυσταλλικά έως χονδροκρυσταλλικά μεσοστρωματώδη, παχυστρωματώδη έως και άστρωτα μάρμαρα τα οποία αποτελούν την προς τα άνω στρωματογραφική εξέλιξη του Δολομιτικού Μαρμάρου Πιρναρής, έστω και αν οι δύο ανθρακικές σειρές βρίσκονται τοπικά σε στρωματογραφική ασυμφωνία.

Η παχυστρωματώδης έως άστρωτη πρωτογενής δομή σε συνδυασμό με την τεκτονική καταπόνηση ευνοεί την καρστικοποίηση του πετρώματος, η οποία φαίνεται ότι είναι έντονη κατά θέσεις. Το πάχος του Κατώτερου Μαρμάρου εκτιμάται ότι φτάνει τα 500 m. Στην περιοχή μελέτης εμφανίζεται σε τμήμα του δήμου Ελληνικού κοντά στην περιοχή «Σούρμενα».

2.2.3.2. Νόριο - Πιθανόν λιάσιο

Δολομίτης πιρναρής: Πρόκειται για την κατώτερη ανθρακική ενότητα των μεταμορφωμένων λιθολογικών ενότητων του Υμητού. Είναι μεσοστρωματώδη έως παχυστρωματώδη δολομιτικά μάρμαρα. Στη βάση τους είναι συνήθως λεπτοστρωματώδη και κλαστικά. Τα δολομιτικά αυτά μάρμαρα παρουσιάζουν κατά θέσεις κυψελωτή όψη. Σε ορισμένες περιπτώσεις παρατηρούνται μέσα στη δολομιτική αυτή σειρά και ενστρώσεις μαρμαρυγιακών σχιστόλιθων και πρασινιτών.

Ο τεκτονικός τους κατακερματισμός δικαιολογεί τη σε βάθος καρστική διάβρωση, η οποία όμως δυσχεραίνεται εκεί όπου υπάρχουν ενστρώσεις μαρμαρυγιακών σχιστολίθων.

Το πάχος τους κυμαίνεται μεταξύ 100 και 300 m και απαντούν στο νότιο τμήμα του Υμηττού, δηλαδή στους Δήμους Ελληνικού και Γλυφάδας (Κουμαντάκης Ι., 1997).

2.2.4. Αλλόχθονη σειρά

2.2.4.1. Κενομάνιο – Τουρώνιο

Ασβεστόλιθοι: Είναι πλακώδεις, κονδυλώδεις, στη βάση τους τεφροί έως σκοτεινότεφροι βιοαρενίτες και μεταπίπτουν προς τα πάνω σε λεπτοστρωματώδεις, παχυστρωματώδεις ή άστρωτους τεφρούς, τεφρομέλανες βιομικρίτες. Στην περιοχή μελέτης βρίσκονται επωθημένοι πάνω στους Αθηναϊκούς σχιστόλιθους και επομένως εμφανίζονται στους δήμους Καλλιθέας, Αλίμου και Ελληνικού (Κουμαντάκης Ι., 1997).

2.3. Είδη υπόγειων υδροφορέων

Γενικά το υπόγειο νερό που προέρχεται από την κατείδυση των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων διαχωρίζεται σε:

- Βαρυτικό νερό: είναι το νερό που υπακούει στους νόμους της βαρύτητας και παίρνει μέρος στην υπόγεια κυκλοφορία. το νερό αυτό μπορεί να ληφθεί άμεσα ή έμμεσα.
Ειδική απόδοση S_y (specific yield) ενός γεωλογικού σχηματισμού είναι ο λόγος του βαρυτικού νερού (V_w) προς τον όγκο του σχηματισμού αυτού (V): $S_y = V_w / V$.
Η ειδική απόδοση ταυτίζεται με το ενεργό πορώδες.
- Νερό κατακράτησης: είναι το νερό που δεν υπακούει στους νόμους της βαρύτητας και συνεπώς δεν παίρνει μέρος στην υπόγεια κυκλοφορία.
Ειδική κατακράτηση S_r (specific retention) ενός γεωλογικού σχηματισμού είναι ο λόγος του νερού κατακράτησης (V_r) προς τον όγκο του σχηματισμού αυτού (V): $S_r = V_r / V$.

(http://www.geo.auth.gr/courses/ggg/ggg887e/PDF/XYTA_1.pdf)

Υδροφορείς ή Υδροφόροι (aquifers) είναι οι γεωλογικοί σχηματισμοί που περιέχουν αρκετό κορεσμένο με νερό υλικό, ώστε να τροφοδοτήσουν με σημαντικές ποσότητες νερού γεωτρήσεις ή πηγές. Οι υδροφορείς έχουν αυξημένη ικανότητα να αποθηκεύουν και να μεταβιβάζουν νερό.

Το υδροφόρο στρώμα αποτελείται από το γεωλογικό σχηματισμό (σκελετό) και το υπεδαφικό νερό, που βρίσκεται σε βαρυτική μορφή και ως νερό συγκράτησης. Ως υδροφόρος ορίζοντας θεωρείται η άνω επιφάνεια του υδροφόρου, αν και οι έννοιες υδροφορέας, υδροφόρος, υδροφόρο στρώμα, υδροφόρος ορίζοντας χρησιμοποιούνται για να δηλώσουν το ίδιο πράγμα.

Οι κυριότεροι τύποι υπόγειων υδροφορέων είναι:

- Ελεύθεροι υδροφορείς, δηλαδή οι υδροφόροι που έχουν ως δάπεδο στεγανό στρώμα και στην οροφή τους δεν παρεμβάλλεται αδιαπέρατο γεωλογικό στρώμα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα στην ελεύθερη επιφάνεια (φρεάτια) των υπόγειων νερών η υδροστατική πίεση να είναι ίση με την

ατμοσφαιρική. Οι μεταβολές της στάθμης του νερού αντιστοιχούν σε μεταβολές του όγκου του αποθηκευμένου νερού στον υδροφόρο. Ειδική περίπτωση ελεύθερων υδροφόρων είναι οι κρεμαστοί ή επικρεμάμενοι υδροφόροι.

- Υπό πίεση υδροφόροι ή εγκλωβισμένοι, όπου στα υδροφόρα αυτά στρώματα το νερό είναι εγκλωβισμένο ανάμεσα στα αδιαπέρατα στρώματα του δαπέδου και της οροφής. Είναι κορεσμένοι σε όλο το πάχος τους και η πίεση του νερού είναι μεγαλύτερη της ατμοσφαιρικής. Για τον λόγο αυτό η πιεζομετρική επιφάνεια, η οποία είναι μια εικονική επιφάνεια και συμπίπτει με το επίπεδο της υδροστατικής επιφάνειας στον υδροφόρο, βρίσκεται ψηλότερα από τη βάση της αδιαπέρατης οροφής. Όταν η πιεζομετρική επιφάνεια βρίσκεται πάνω από την επιφάνεια του εδάφους, τότε παρατηρείται αυτόματη ροή με τη μορφή πίδακα (αρτεσιανισμός).
- Ημιαρτεσιανοί (υπό μερική πίεση) υδροφορείς, δηλαδή υπόγειοι υδροφορείς ανάλογοι με τους υπό πίεση με τη διαφορά ότι το υπερκείμενο στρώμα είναι ημιπερατό, παρουσιάζει δηλαδή μικρή υδροπερατότητα. Από πετρογραφικής άποψης διακρίνονται δύο μεγάλες κατηγορίες υδροφορέων:
 1. Καρστικοί (karst aquifers), που αναπτύσσονται στα ανθρακικά πετρώματα.
 2. Πορώδεις (porous aquifers), που αναπτύσσονται σε κοκκώδεις σχηματισμούς (τεταρτογενείς και αδρομερείς νεογενείς αποθέσεις).

http://www.geo.auth.gr/courses/ggg/ggg887e/PDF/XYTA_1.pdf

Στην περιοχή της Αττικής το υδρογραφικό δίκτυο παρουσιάζει ασύμμετρη ανάπτυξη. Στο βόρειο τμήμα είναι σαφώς πιο ανεπτυγμένο, ενώ στο νότιο τμήμα εμφανίζονται εποχιακοί κλάδοι μικρής τάξης και μικρού μήκους, οι οποίοι εκβάλλουν στον Σαρωνικό κόλπο. Ο υδροκρίτης της λεκάνης απορροής του Λεκανοπεδίου ορίζεται από την κορυφογραμμή των οροσειρών που προαναφέρθηκαν. Η λεκάνη δηλαδή έχει σχήμα **U** και είναι ανοικτή στη Ν και ΝΔ πλευρά που συνορεύει με το Σαρωνικό κόλπο (Κουμαντάκης Ι. κ.ά.1996).

Πιο συγκεκριμένα, οι πορώδεις υδροφορείς αναπτύσσονται σε ιζηματογενείς κοκκώδεις σχηματισμούς (νεογενείς σχηματισμοί, αλλούβια, κορήματα, αναβαθμίδες), οι καρστικοί (karst) αναπτύσσονται σε ανθρακικά πετρώματα, ενώ οι υδροφορείς σκληρών-διερρηγμένων πετρωμάτων (hard-fissured rocks), αναπτύσσονται σε πλουτωνικά και κρυσταλλικά πετρώματα μέσα σε ζώνες διάρρηξης και διακλάσεις.

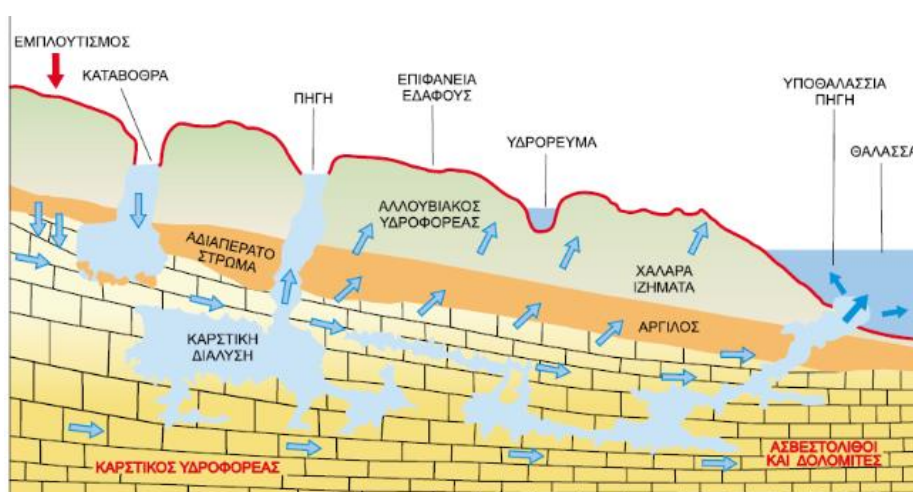
Στη συνέχεια βλέπουμε τη μορφή ενός καρστικού και ενός διερρηγμένου σχηματισμού και το που συναντώνται στη χώρα.



Εικόνα 2.2. Καρστική δομή (Καζάκης Ν., 2013)



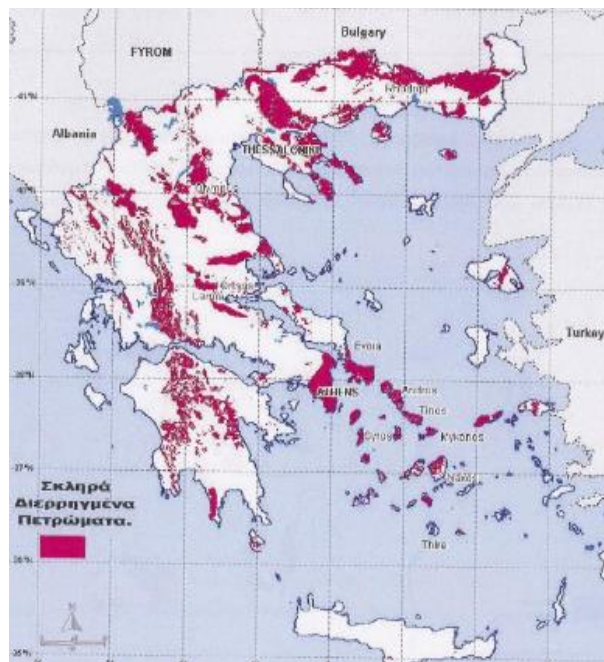
Εικόνα 2.3. Κάρστ στην Ελλάδα (Σούλιος Γ., 2004)



Εικόνα 2.4. Τυπική δομή και λειτουργία καρστικού συστήματος (Βουδούρης Κ., 2013)



Εικόνα 2.5. Διερρηγμένους σχηματισμός (Καζάκης Ν., 2013)



Εικόνα 2.6. Διερρηγμένα πετρώματα στην Ελλάδα (Βουδούρης Κ., 2013)

2.3.1. Αβαθείς φρεάτιοι υδροφορείς

Συναντώνται κυρίως σε περιοχές μικρού υψομέτρου πεδινές περιοχές, όπου αναπτύσσονται οι τεταρτογενείς προσχωματικές αποθέσεις. Ίδιοι υδροφόροι ορίζοντες αλλά πολύ περιορισμένου ενδιαφέροντος αναπτύσσονται στις ζώνες αποσάθρωσης και σε τοπογραφικές υφέσεις του αναγλύφου, στις οποίες υπάρχει συσσώρευση υλικών αποσάθρωσης των περιοχών που τις περιβάλλουν.

2.3.2. Επάλληλοι υπό πίεση

Σχηματίζονται στις περιοχές ανάπτυξης των μεταλπικών νεογενών αποθέσεων και των τεταρτογενών, σε όλες τις περιπτώσεις που έχουμε εναλλασσόμενα υδροπερατά και υδροστεγανά πετρώματα. Το δυναμικό τους

και η απόδοσή τους εξαρτάται από το αθροιστικό πάχος των υδροπερατών υδροφόρων μελών και του συντελεστή υδροπερατότητας αυτών.

2.3.3. Υδροφόροι των νεογενών

Στις περιοχές που αναπτύσσονται οι νεογενείς σχηματισμοί (κυρίως στα νοτιοδυτικά τμήματα των δήμων Αλίμου και Ελληνικού και σε τμήματα των δήμων Καλλιθέας και Παλαιού Φαλήρου) λόγω της εναλλαγής υδροστεγανών και υδροπερατών πετρωμάτων σε στρώσεις, φακούς και ακανόνιστης μορφής ενδιαστρώσεις, σχηματίζονται υπό πίεση υδροφόροι ορίζοντες. Οι υδροφόροι αυτοί μπορεί να είναι από πολύ φτωχοί έως μέτριοι εξαιτίας της υδροπερατότητας των στρωμάτων και τις συνθήκες τροφοδοσίας.

2.3.4. Υδροφόροι τεταρτογενών

Η κατάσταση αυτών των υδροφόρων είναι λίγο καλύτερη από θέμα απόδοσης από αυτούς των νεογενών. Πρόκειται είτε για αβαθείς ελεύθερους είτε βαθύτερους υπό πίεση στα χαμηλότερα τμήματα της περιοχής. Οι κώννοι κορημάτων που αναπτύσσονται στις εξόδους των χειμάρρων είναι μικρής έκτασης και πάχους, έχουν φτωχή τροφοδοσία, λόγω ελάχιστων επιφανειακών απορροών από τα γύρω ασβεστολιθικά βουνά και η τροφοδοσία τους είναι φτωχή.

Λόγω της οικιστικής ανάπτυξης η τροφοδοσία των υδροφόρων των τεταρτογενών από τις απευθείας κατεισδύσεις των βροχών και τις διηθήσεις των χειμάρρων και ρευμάτων έχει σημαντικά ελαττωθεί (Μερτήρη Ε., 2008).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΒΑΣΙΚΕΣ ΈΝΝΟΙΕΣ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

3.1. Υδρολογικός κύκλος

Ο υδρολογικός κύκλος περιλαμβάνει μια σειρά διαδικασιών με τις οποίες το νερό κυκλοφορεί μεταξύ υδρόσφαιρας, ατμόσφαιρας, ξηράς και θάλασσας. Σε αυτή την αλυσίδα το νερό εμφανίζεται με όλες τις μορφές: υγρό, αέριο (υδρατμοί), στερεό (χιόνι, χαλάζι). Το σύνολο της ενέργειας που κατευθύνει τον κύκλο του νερού προέρχεται σχεδόν αποκλειστικά από τον ήλιο.

Το συνολικό φαινόμενο της κυκλοφορίας και κατανομής του νερού στην ατμόσφαιρα και τη γη μπορεί να εκφρασθεί από τη σχέση: $P=R+E+I$, όπου:

- P = τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα (precipitation)
- E = η πραγματική εξατμισοδιαπνοή (evapotranspiration)
- R = η επιφανειακή απορροή (runoff)
- I = η κατείσδυση (infiltration)

Τα παραπάνω μεγέθη μπορούν να εκφραστούν σε ύψος νερού (mm) ή σε όγκο νερού (m^3) ή σε ποσοστό επί τοις εκατό (%).

Το νερό στην ατμόσφαιρα βρίσκεται με τη μορφή υδρατμών και αφού υποστεί συμπύκνωση πέφτει στην επιφάνεια της γης σε υγρή ή στερεή μορφή. Με τον όρο ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα περιλαμβάνονται όλες οι μορφές με τις οποίες το νερό φθάνει στη γη. Όλες οι μορφές κατακρημνισμάτων ανάγονται σε ισοδύναμο ύψος βροχής.

Η εξατμισοδιαπνοή αντιπροσωπεύει τις ποσότητες του νερού, που επανέρχονται στην ατμόσφαιρα με τη συνδυασμένη δράση της εξάτμισης και της διαπνοής.

Εξάτμιση είναι η διαδικασία μεταφοράς, με τη μορφή υδρατμών, του νερού από την επιφάνεια της γης στην ατμόσφαιρα με σύγχρονη κατανάλωση ηλιακής ενέργειας, απαραίτητης για την αλλαγή της φάσης του νερού από υγρή σε αέρια. Με τον όρο διαπνοή εννοούνται οι διαδικασίες εκείνες με τις οποίες το νερό μεταβαίνει από την υγρή στην αέρια φάση διαμέσου του σώματος των φυτών.

Η εξατμισοδιαπνοή εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως: θερμοκρασία εδάφους-αέρα, υγρασία εδάφους-αέρα, ταχύτητα ανέμου, βαρομετρική πίεση, ηλιακή ακτινοβολία, είδος χλωρίδας, πορώδες, κ.λπ. Υπάρχουν πολλοί εμπειρικοί τύποι υπολογισμού της πραγματικής ή δυνητικής εξατμισοδιαπνοής (Turc, Coutagne, Thornthwaite κ.ά.).

Η δυνητική εξατμισοδιαπνοή είναι ένας κλιματικός δείκτης και εκφράζει τη μέγιστη ποσότητα νερού που θα εξατμιζόταν ή διαπνεόταν από τα φυτά, αν τα αποθέματα ήταν αρκετά για να πληρώσουν τις απώλειες.

Η πραγματική εξατμισοδιαπνοή σε ημίξερους λεκάνες της Ελλάδας ανέρχεται σε 70-85% του ετήσιου ύψους βροχόπτωσης, ενώ στις ορεινές περιοχές φθάνει έως 55%.



Εικόνα 3.1. Υδρολογικός κύκλος (<https://www.usgs.gov>)

Η απορροή αντιπροσωπεύει το μέρος των κατακρημνισμάτων το οποίο, αφού πέσει στην επιφάνεια της γης και ένα μέρος του κατακρατηθεί για τη συμπλήρωση των αναγκών του εδάφους, παραλαμβάνεται από τους χειμάρρους και οδηγείται με τη βαρύτητα στους τελικούς αποδέκτες (θάλασσα, λίμνες). Η ολική απορροή περιλαμβάνει τόσο την επιφανειακή, όσο και την υπόγεια απορροή δηλαδή το νερό το οποίο αφού αρχικά διηθηθεί βρίσκει διέξοδο και επανέρχεται στην επιφάνεια προστιθέμενο στα επιφανειακά νερά.

Κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν την επιφανειακή απορροή είναι: κλιματικοί (ένταση βροχοπτώσεων, υγρασία αέρα, άνεμοι, εξάτμιση), γεωμορφολογικοί (κλίση λεκάνης απορροής, υδρογραφική πυκνότητα), λιθολογικοί (είδος πετρωμάτων, περατότητα), καθώς και το είδος της φυτοκάλυψης.

Η κατείσδυση αποτελεί τη σημαντικότερη διεργασία για τον καθορισμό της υδρο-οικονομίας μιας περιοχής γιατί συμβάλλει στην ανανέωση των αποθεμάτων των υπόγειων υδροφορέων. Αντιπροσωπεύει το μέρος εκείνο των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων που διαπερνά την επιφάνεια του εδάφους (αφού κάποια ποσότητα δεσμευτεί ως νερό κατακράτησης) και φθάνει στους υπόγειους υδροφόρους ορίζοντες προστιθέμενο στα αποθέματα των υπόγειων νερών και μετέχει στις κινήσεις του υπόγειου νερού. Η ικανότητα κατείσδυσης εξαρτάται από την υγρασία του εδάφους, τη λιθολογία, την κλίση και τον τύπο του εδάφους, τη βλάστηση, την ένταση και κατανομή των βροχοπτώσεων κ.λπ.

(http://www.geo.auth.gr/courses/ggg/ggg887e/PDF/XYTA_1.pdf).

3.2. Υδρογεωλογική συμπεριφορά γεωλογικών σχηματισμών

Οι υδρογεωλογικές συνθήκες μιας περιοχής προσδιορίζονται από τα επιμέρους υδροεωλογικά χαρακτηριστικά των γεωλογικών σχηματισμών που καθορίζουν τη δομή της. Οι υδρογεωλογικοί χαρακτήρες προσδιορίζονται από

τα λιθολογικά χαρακτηριστικά των πετρωμάτων και τον βαθμό ικανότητάς τους να επιτρέπουν την κυκλοφορία και την αποθήκευση του νερού στα πρωτογενή ή δευτερογενή διάκενα που υπάρχουν στη μάζα τους. Η ιδιότητα αυτή προσδιορίζεται από δύο παραμέτρους, το πορώδες και την υδροπερατότητα.

Όσον αφορά στο πορώδες, υδρογεωλογικό ενδιαφέρον παρουσιάζει το ενεργό πορώδες, το οποίο αντιστοιχεί στο τμήμα του ολικού πορώδους στο οποίο ο όγκος του ελεύθερου νερού μπορεί να αποληφθεί με άντληση.

Υδροπερατότητα είναι η ιδιότητα των πετρωμάτων και των γεωλογικών σχηματισμών να επιτρέπουν τη διακίνηση του νερού δια μέσω αυτών. Στα κοκκώδη πετρώματα και σχηματισμούς η περατότητα οφείλεται στο πρωτογενές πορώδες, δηλαδή στους κενούς χώρους που υπάρχουν μεταξύ κόκκων των πετρωμάτων.

Το πρωτογενές πορώδες ρυθμίζεται κυρίως από το σχήμα και την διάταξη των κόκκων. Στα συμπαγή ή ρωγμώδη πετρώματα η περατότητα οφείλεται στο δευτερογενές πορώδες τους, το οποίο είναι συνάρτηση της πυκνότητας και του μεγέθους των τεκτονικών και στρωματογραφικών ασυνεχειών τους (ρωγμές, διαρρήξεις, μεσοστρωματικά δάκενα, στρώσεις κ.α.), καθώς και της πυκνότητας και του μεγέθους των καρστικών εγκοίλων στα ανθρακικά πετρώματα.

Οι υδροφορείς μπορούν να διακριθούν με βάση το γεωλογικό σχηματισμό που φιλοξενούνται (πετρογραφικός διαχωρισμός) σε πορώδεις υδροφορείς, καρστικούς και υδροφορείς σκληρών-διερρηγμένων πετρωμάτων (Καζάκης Ν., 2014).

3.2.1. Πορώδες

Το πορώδες (n) ή ολικό πορώδες είναι ένα μέτρο των διακένων (πόρων, κενών, ρωγμών) που υπάρχουν σε ένα πέτρωμα ή έδαφος και εκφράζεται με το λόγο του συνολικού όγκου των διακένων (Vκ) προς τον συνολικό όγκο του πετρώματος/εδάφους (Vολ): $n=Vκ/Vολ$.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται ενδεικτικές τιμές ολικού πορώδους από 0-60%.

Προσχώσεις	Πορώδες (%)	Ιζηματογενή πετρώματα	Πορώδες (%)	Κρυσταλλικά πετρώματα	Πορώδες (%)
Μικρά χαλίκια	24-36	Ψαμμίτες	5-30	Ρωγματομένα	0-10
Μεγάλα χαλίκια	25-38	Πυλόλιθοι	21-41	Μη ρωγματομένα	0-5
Χονδρόκοκκη άμμος	31-48	Ασβεστόλιθοι	0-40	Βασάλτες	3-35
Λεπτόκοκκη άμμος	26-53	Καρστοποιημένοι ασβεστόλιθοι	0-40	Αποσαθρωμένοι γρανίτες	34-57
Πλύς	34-61	Σχιστόλιθοι	0-10		
Άργιλος	34-60				

Εικόνα 3.2. Τιμές ολικού πορώδους (Καλλέργης Γ., 1999)

Το ενεργό πορώδες (Effective porosity) αναφέρεται στο ποσό των διακένων που επικοινωνούν μεταξύ τους και επιτρέπουν τη ροή του υπόγειου νερού υπό την επίδραση της βαρύτητας ή της υδροστατικής πίεσης. Τα διάκενα που δεν συνεισφέρουν στη ροή αυτή καταλαμβάνονται από νερό συγκράτησης. Στους κοκκώδεις σχηματισμούς το ενεργό πορώδες κυμαίνεται από 0-3% (άργιλος) έως 20% (χαλίκια).

Το πορώδες χαρακτηρίζεται σαν πρωτογενές, δηλαδή το πορώδες που οφείλεται στα διάκενα που δημιουργήθηκαν κατά τη διάρκεια σχηματισμού του πετρώματος και σαν δευτερογενές, δηλαδή το πορώδες που οφείλεται στα διάκενα που δημιουργήθηκαν λόγω τεκτονισμού, αποσάθρωσης, διάλυσης, δράσης του έμβριου κόσμου κ.ά. Το πρωτογενές πορώδες εξαρτάται από τη διάταξη, το μέγεθος και τη μορφή των κόκκων.

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί ταξινομούνται ανάλογα με τη δυνατότητα που παρέχουν στο νερό να διεισδύσει και να κινηθεί μέσα στη μάζα τους με την επίδραση της βαρύτητας σε δύο μεγάλες κατηγορίες: τους υδροπερατούς και τους αδιαπέρατους σχηματισμούς (http://www.geo.auth.gr/courses/ggg/ggg887e/PDF/XYTA_1.pdf).

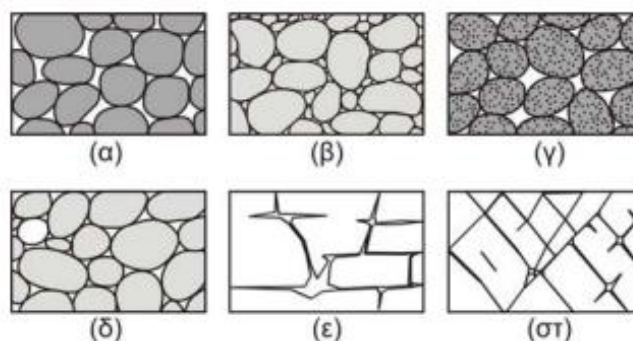
3.2.2. Υδροπερατοί σχηματισμοί

Ονομάζονται οι γεωλογικοί σχηματισμοί που επιτρέπουν τη διείσδυση και κυκλοφορία του νερού διαμέσου της μάζας τους και διακρίνονται σε δύο κατηγορίες:

- Μικροδιαπερατά, δηλαδή χαλαρά υλικά (άμμοι, χάλικες, κροκάλες) ή συμπαγή πετρώματα που η υδροπερατότητά τους οφείλεται στο πρωτογενές πορώδες.
- Μακροδιαπερατά, δηλαδή πετρώματα που η υδροπερατότητά τους οφείλεται στο δευτερογενές πορώδες. Είναι σύνηθες οι διάφοροι γεωλογικοί σχηματισμοί να είναι μικρο- και μακρο- διαπερατοί.

3.2.3. Αδιαπέρατοι σχηματισμοί

Είναι οι γεωλογικοί σχηματισμοί που δεν επιτρέπουν την κίνηση των νερών διαμέσου της μάζας τους, υπό την επίδραση της βαρύτητας ή της υδροστατικής πίεσης.



Εικόνα 3.3. Παραδείγματα διάκενων (Meinzer O., 1923)

3.3. Το υπόγειο νερό

Το υπόγειο νερό είναι αυτό που βρίσκεται κάτω από την επιφάνεια του εδάφους, ανεξαρτήτως κατάστασης, βάθους και προέλευσης. Τα υπόγεια νερά αποτελούν μέρος του υδρολογικού κύκλου και αντιστοιχούν σε 0,61% του συνολικού νερού στον πλανήτη. Η κυριότερη προέλευσή τους είναι τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα (μετεωρικά νερά).

Μικρό ποσοστό των υπόγειων νερών είναι μαγματικής ή κοσμικής προέλευσης που εισέρχεται για πρώτη φορά στον υδρολογικό κύκλο (νεαρό νερό, juvenile). Το συγγενετικό (connate) είναι το νερό που δεν έχει έρθει σε επαφή με την ατμόσφαιρα για μεγάλο χρονικό διάστημα. Το μαγματικό και το μεταμορφωμένο νερό συνδέονται με την άνοδο του μάγματος και τις διαδικασίες της μεταμόρφωσης των πετρωμάτων, αντίστοιχα.

Το νερό εισέρχεται στο υπέδαφος από την επιφάνεια του εδάφους, είτε κατευθείαν από τις βροχοπτώσεις, είτε από σώματα επιφανειακού νερού (ποτάμια, λίμνες). Μετά κινείται αργά σε ποικίλες αποστάσεις μέχρι να επιστρέψει στην επιφάνεια του εδάφους είτε με φυσική εκφόρτιση (πηγές), είτε με ανθρώπινη παρέμβαση (πηγάδια, γεωτρήσεις), είτε τέλος με τη διαπνοή των φυτών.

Ο χρόνος παραμονής του υπόγειου νερού στο υπέδαφος αποτελεί την ηλικία του νερού, η οποία μπορεί να προσδιορισθεί με φυσικά ραδιοϊσότοπα, κυρίως το τρίτιο (H^3) και τον άνθρακα 14 (C^{14}).

3.4. Κατακόρυφη κατανομή του υπόγειου νερού

Η παρουσία του υπόγειου νερού στο υπέδαφος μπορεί να διακριθεί σε δύο ζώνες:

1. Ζώνη αερισμού (Zone of aeration)

Η ζώνη αυτή αποτελείται από διάκενα, που κατέχονται μερικώς από νερό και μερικώς από αέρα (διφασική ροή). Υποδιαιρείται σε:

- Υποζώνη εδαφικού νερού μικρού πάχους, ανάλογα με τον τύπο του εδάφους και τη βλάστηση, όπου η υγρασία μεταβάλλεται ανάλογα με τους κλιματικούς παράγοντες.
- Ενδιάμεση ζώνη όπου το νερό συγκρατείται με υγροσκοπικές και τριχοειδείς δυνάμεις και από την οποία το νερό πρέπει να περάσει κινούμενο προς τη ζώνη κορεσμού.
- Τριχοειδή υποζώνη με ύψος που μεταβάλλεται, αντιστρόφως ανάλογα, με το μέγεθος των διακένων (20-πλάσια στη λεπτόκοκκη άμμο από τους χάλικες). Η τριχοειδής ανύψωση (h_c) δίνεται από τη σχέση $h_c = (2\tau/\epsilon R)\sin\phi$ όπου τ =η επιφανειακή τάση, ϵ =το ειδικό βάρος του νερού, R =η ακτίνα του τριχοειδούς σωλήνα και ϕ =η γωνία συνεπαφής ανάμεσα στα τοιχώματα του σωλήνα και το μηνίσκο.

Για καθαρό νερό στους 20°C, το ύψος της τριχοειδούς ανύψωσης είναι $h_c = 0,153/R$.

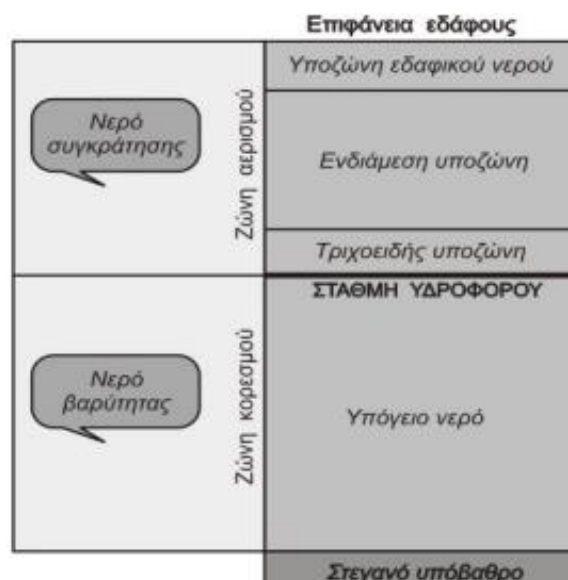
Στα αργιλώδη εδάφη το αναπτυσσόμενο δυναμικό από τριχοειδή φαινόμενα είναι μεγάλο, σε αντίθεση με τα αμμώδη εδάφη στα οποία είναι ασήμαντο.

2. Ζώνη κορεσμού (Zone of saturation)

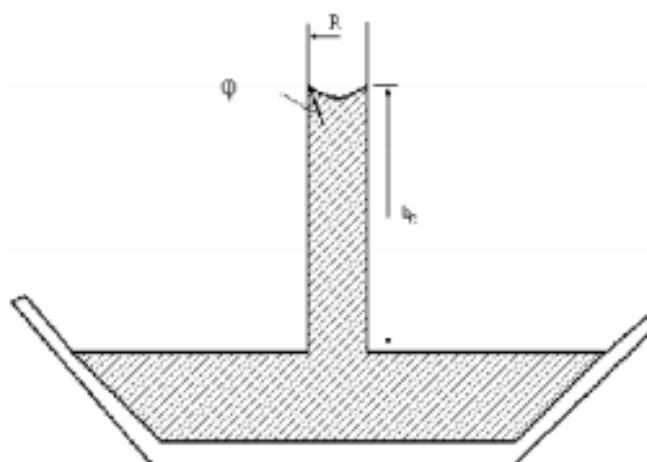
Όλα τα διάκενα της ζώνης αυτής είναι γεμάτα νερό κάτω από υδροστατική πίεση (μονοφασική ροή). Αντιπροσωπεύει ουσιαστικά το υδροφόρο στρώμα και η επάνω επιφάνεια της ζώνης αυτής είναι η ελεύθερη (φρεάτια) επιφάνεια. Η ζώνη αυτή μπορεί να μας τροφοδοτήσει με νερό και ως εκ τούτου έχει ιδιαίτερη σημασία.

Το επιφανειακό νερό με την επίδραση της βαρύτητας, της υδροστατικής πίεσης, των τριχοειδών δυνάμεων κ.λπ. διεισδύει στο έδαφος διαμέσου των διακένων και κινείται προς την κορεσμένη ζώνη, εμπλουτίζοντας τους υπόγειους υδροφόρους ορίζοντες.

Η κατείσδυση δηλαδή αναφέρεται στην κατακόρυφη κίνηση του νερού στη ζώνη αερισμού και η διήθηση στην κίνηση του νερού στην κορεσμένη ζώνη.



Εικόνα 3.4. Ζώνες υπόγειου νερού



Εικόνα 3.5. Τριχοειδής ανύψωση (Fetter, 1994)

3.5. Ακόρεστη ζώνη

Η ακόρεστη ζώνη (vadose or unsaturated) ή μερικά κορεσμένη ζώνη (partially saturated zone) καταλαμβάνει το τμήμα μεταξύ της στάθμης του υπόγειου νερού και της επιφάνειας του εδάφους. Με εξαίρεση τμημάτων των τριχοειδών κροσσών, οι πόροι περιέχουν νερό και αέρα.

Η ποσότητα του νερού σε ένα μερικώς κορεσμένο μέσο εκφράζεται με την περιεκτικότητα κατ'όγκο σε νερό (θ), που ορίζεται ως: $\theta = V_w/V_T$ όπου V_w είναι ο όγκος του νερού και V_T είναι ο όγκος του μέσου.

Αν οι πόροι είναι πλήρως κορεσμένοι, ο περιεχόμενος όγκος νερού είναι ίσος με το πορώδες (n). Συνεπώς στην ακόρεστη ζώνη το περιεχόμενο νερό κυμαίνεται μεταξύ $0 \leq \theta \leq n$.

Η ροή στην ακόρεστη ζώνη έχει ως κύρια συνιστώσα την κατακόρυφη. Η κίνηση μπορεί να είναι ανοδική (εξάτμιση) ή καθοδική (κατείσδυση). Ο ρόλος της ακόρεστης ζώνης στην εξασθένηση της ρύπανσης και την τρωτότητα των υπόγειων νερών είναι σημαντικός.

3.6. Υδραυλικά χαρακτηριστικά των υδροφορέων

Τα σημαντικότερα υδραυλικά χαρακτηριστικά των υπόγειων υδροφορέων είναι:

- Το υδραυλικό φορτίο (Hydraulic head), όπου τα υπόγεια νερά κινούνται με την επίδραση της συνολικής ενέργειας που φέρουν. Πρακτικά η ενέργεια αυτή (H) ανά μονάδα βάρους (ή υδραυλικό φορτίο) είναι ίση με το άθροισμα του φορτίου πίεσης P/γ (pressure head) και του φορτίου ύψους της απόστασης, δηλαδή από το επίπεδο αναφοράς z (elevation head): $H = (P/\gamma) + z$ όπου $P = \eta$ υδροστατική πίεση και $\gamma = \rho g$ ειδικό βάρος του νερού ίσο με την πυκνότητά του επί την επιτάχυνση της βαρύτητας.

Το φορτίο H αναφέρεται και ως πιεζομετρικό φορτίο ή πιεζομετρικό δυναμικό και ταυτίζεται με τα απόλυτο υψόμετρο της στάθμης του υπόγειου νερού σε μια γεώτρηση ανορυγμένη σε ελεύθερο υδροφορέα. Στους υπό πίεση υδροφορείς το φορτίο είναι το απόλυτο υψόμετρο που θα έφτανε το νερό, αν ο σωλήνας της γεώτρησης επεκτεινόταν πάνω από την επιφάνεια του εδάφους. Οι γραμμές ίσου υδραυλικού φορτίου (ισοδυναμικές γραμμές) μπορεί να απεικονισθούν με τη βοήθεια χαρτών. Οι γραμμές ροής είναι κάθετες στις ισοδυναμικές γραμμές.

Η μεταβολή του υδραυλικού φορτίου ανά μονάδα μήκους κατά τη διεύθυνση της υπόγειας ροής ονομάζεται υδραυλική κλίση και δίνεται από τη σχέση: $\Phi = H \cdot g$. Με άλλα λόγια το Φ είναι η ενέργεια ανά μονάδα μάζας και το H η ενέργεια ανά μονάδα βάρους. Το υδραυλικό φορτίο δεν μένει σταθερό, αλλά μειώνεται κατά την κίνηση του υπόγειου νερού, λόγω απωλειών (τριβές).

- Διαπερατότητα - Υδροπερατότητα (Permeability-Hydraulic conductivity), όπου η πρώτη είναι μια σταθερά, που εξαρτάται μόνο από τα χαρακτηριστικά του πορώδους μέσου (το σχήμα, το μέγεθος, τη διάταξη των κόκκων) με διαστάσεις L^2 . Η υδροπερατότητα ή υδραυλική αγωγιμότητα (k) χρησιμοποιείται στην υδρογεωλογία γιατί το ρευστό είναι το νερό. Ένα μέσο έχει υδραυλική αγωγιμότητα ίση με τη μονάδα, όταν μεταβιβάζει στη μονάδα του χρόνου κάθετα στη διεύθυνση της υπόγειας ροής, τη μονάδα του όγκου νερού από μοναδιαία διατομή με υδραυλική κλίση ίση με τη μονάδα.

Η υδραυλική αγωγιμότητα έχει διαστάσεις ταχύτητας LT^{-1} και υπολογίζεται από τον νόμο του Darcy.

Γενικά οι γεωλογικοί σχηματισμοί χαρακτηρίζονται ως:

- Πολύ υδροπερατοί όταν $k \geq 10^{-1}$ m/s
- Υδροπερατοί όταν $10^{-6} < k < 10^{-1}$ m/s
- Λίγο υδροπερατοί όταν $10^{-9} < k < 10^{-6}$ m/s
- Πρακτικά στεγανοί όταν $k \leq 10^{-9}$ m/s

Υλικό	k (m/s)
Μεγάλα χαλίκια	$1,7 \cdot 10^{-3}$
Χαλίκια μεσαίου μεγέθους	$3,1 \cdot 10^{-3}$
Χαλίκια μικρού μεγέθους	$5,2 \cdot 10^{-3}$
Χονδρόκοκκη άμμος	$5,2 \cdot 10^{-4}$
Μεσόκοκκη άμμος	$1,4 \cdot 10^{-4}$
Λεπτόκοκκη άμμος	$2,9 \cdot 10^{-5}$
ΐλος	$9,2 \cdot 10^{-7}$
Άργιλος	$2,3 \cdot 10^{-9}$

Εικόνα 3.6. Τιμές υδραυλικής αγωγιμότητας (Καλλέργης Γ., 1999)

Η διαπερατότητα (K_S) συνδέεται με την υδραυλική αγωγιμότητα (k) με τη σχέση: $K_S = k\mu/\gamma$ όπου μ =το δυναμικό ιξώδες (μονάδες $ML^{-1}T^{-1}$) και γ =το ειδικό βάρος του ρευστού N/m^3 .

Η υδραυλική αγωγιμότητα υπολογίζεται από επιτόπου πειραματικές μετρήσεις, από δοκιμαστικές αντλήσεις, από την κοκκομετρία με τη βοήθεια εμπειρικών τύπων, με εργαστηριακές μεθόδους και με ιχνηθετήσεις.

Η ακόρεστη υδραυλική αγωγιμότητα, ως μέτρο κίνησης του νερού σε ακόρεστο μέσο, είναι μικρότερη από την τιμή της υδραυλικής αγωγιμότητας σε κορεσμένο μέσο. Με βάση την περιεκτικότητα του νερού, η υδραυλική αγωγιμότητα ενός ακόρεστου μέσου (K_{unsat}) σε σχέση με την κορεσμένη τιμή (k) δίνεται από τη σχέση: $K_{unsat} = k[(S_S - S_0)/(1 - S_0)]^3$, όπου $S_S = 0$ βαθμός κορεσμού και $S_0 = 0$ υπολειμματικός κορεσμός που αντιπροσωπεύει το νερό

των πόρων που δεν κινείται και δεσμεύεται από τις τριχοειδείς δυνάμεις (Καλλέργης κ.ά, 2004).

- Μεταβιβαστικότητα (Transmissivity), δηλαδή το γινόμενο της υδραυλικής αγωγιμότητας (k) επί το πάχος του υδροφόρου στρώματος (D): $T_a = k \cdot D$. Η μεταβιβαστικότητα εκφράζει τον όγκο νερού που περνά από μια μοναδιαία διατομή του υδροφόρου στρώματος με υδραυλική κλίση ίση με τη μονάδα και την επικράτηση του κινηματικού ιξώδους.
- Αποθηκευτικότητα (Storativity). Ο συντελεστής εναποθήκευσης ή αποθηκευτικότητας ή υδροχωρητικότητας (S) είναι ο όγκος νερού που μπορεί να ληφθεί ή αποθηκευτεί από ένα κατακόρυφο πρίσμα ενός υδροφόρου στρώματος με μοναδιαία επιφάνεια ανά μονάδα μεταβολής του φορτίου. Έτσι η αποθηκευτικότητα ορίζεται από τη σχέση: $S = \Delta V / (A \cdot \Delta h)$, όπου ΔV είναι ο όγκος νερού που απελευθερώνεται (ή προστίθεται) από τη μονάδα οριζόντιας επιφάνειας A , εξαιτίας μοναδιαίας πτώσης (ή αύξησης) του φορτίου Δh .

Από τον ανωτέρω ορισμό προκύπτει ότι ο ρυθμός ταπείνωσης της στάθμης ($\Delta h / \Delta t$) σε έναν υδροφορέα επιφάνειας A και συντελεστή αποθηκευτικότητας S , για άντληση με παροχή Q , χωρίς να συμβαίνει εμπλουτισμός, δίνεται από τη σχέση:

$$\Delta h / \Delta t = Q / (S \cdot A)$$

Ο συντελεστής αποθηκευτικότητας είναι καθαρός αριθμός και στους ελεύθερους υδροφορείς παίρνει τιμές που κυμαίνονται από 1%-30%, ενώ στους υπό πίεση από 0,0001%-0,5%. Η διαφορά αυτή οφείλεται στον διαφορετικό μηχανισμό απελευθέρωσης νερού από τα ανωτέρω είδη υδροφορέων. Στους υπό πίεση υδροφορείς η αφαίρεση ή η προσθήκη νερού οφείλεται σε διόγκωση του νερού και συμπίεση του υδροφορέα και συνεπώς η αποθηκευτικότητα είναι συνάρτηση της ελαστικότητας του υδροφορέα και της συμπιεστότητας του περιεχομένου σ' αυτόν υπόγειου νερού. Πρακτικά σημαίνει ότι για να πάρουμε αξιόλογες ποσότητες από τα υπό πίεση υδροφόρα στρώματα απαιτούνται μεγάλες πτώσεις της πιεζομετρικής στάθμης και σε μεγάλη έκταση υδροφορέα. Ο συντελεστής αποθηκευτικότητας S στους ελεύθερους υδροφορείς συμπίπτει με το ενεργό πορώδες, ενώ στους υπό πίεση υδροφορείς ισχύει:

$$S = \gamma \cdot D \cdot (\alpha + \beta \cdot S_y)$$

όπου γ =το ειδικό βάρος του νερού, D =το πάχος του υδροφορέα, S_y =το ενεργό πορώδες, α =ο συντελεστής συμπιεστότητας του υδροφορέα και β =ο συντελεστής συμπιεστότητας του νερού (http://www.geo.auth.gr/courses/ggg/ggg887e/PDF/XYTA_1.pdf).

3.7. Κίνηση του υπόγειου νερού

Η κίνηση των υπόγειων νερών ακολουθεί τους νόμους των Νευτώνιων ρευστών. Το νερό είναι Νευτώνειο ρευστό και αυτό σημαίνει ότι η διατμητική τάση (τ =δύναμη ανά μονάδα επιφάνειας) είναι ανάλογη της βαθμίδας ταχύτητας (du/dy) και του δυναμικού ιξώδους (μ): $\tau=\mu(du/dy)$. Η σχέση αυτή αποτελεί το νόμο της εσωτερικής τριβής (ιξώδες) του Νεύτωνα. Ιξώδες είναι η αντίσταση ενός υγρού στη ροή και συσχετίζεται με τους διαμοριακούς δεσμούς. Η εσωτερική τριβή κατά την κίνηση του νερού, παράγει έργο το οποίο μετατρέπεται σε θερμότητα αυξάνοντας τη θερμοκρασία του νερού. Σε προβλήματα ροής, όπου αντεπιδρούν δυνάμεις αδρανείας και δυνάμεις τριβής εμφανίζεται ο λόγος του δυναμικού ιξώδους (μ) προς την πυκνότητα (ρ). Ο λόγος αυτός ονομάζεται κινηματικό ιξώδες: $\nu=\mu/\rho$. Οι συντελεστές μ και ν μειώνονται με την αύξηση της θερμοκρασίας και έχουν διαστάσεις: $\mu=L^{-1}M^1T^{-1}$ και $\nu=L^2M^0T^{-1}$.

Οι εξισώσεις που διέπουν τη κίνηση των υπόγειων ροών είναι ο νόμος του Darcy και ο νόμος της συνέχειας (εξίσωση διατήρησης της μάζας).

3.8. Υφαλμύρωση

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

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

3.8.1. Είδη υφαλμύρωσης

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

Χαρακτηρίζεται όμως και ενεργή όταν προκύπτει μετά από τεχνητή παρέμβαση στις διακινούμενες ποσότητες (περίπτωση υπεραντλήσεων). Αυτό οφείλεται κυρίως στη σημειακή εξαγωγή (άντληση) υπόγειου νερού που δημιουργεί ένα βαθύ κώνο κατάπτωσης. Η ζώνη τότε του ορίου, σε αντίθεση

με τη περίπτωση της παθητικής διείσδυσης, μετακινείται πολύ γρηγορότερα προς την ενδοχώρα και με αλλαγή της υδραυλικής κλίσης. Επιπλέον, η μετακίνηση αυτή δεν θα σταματήσει παρά μόνο όταν φτάσει στο χαμηλότερο σημείο της υδραυλικής κλίσης στο κέντρο της άντλησης.

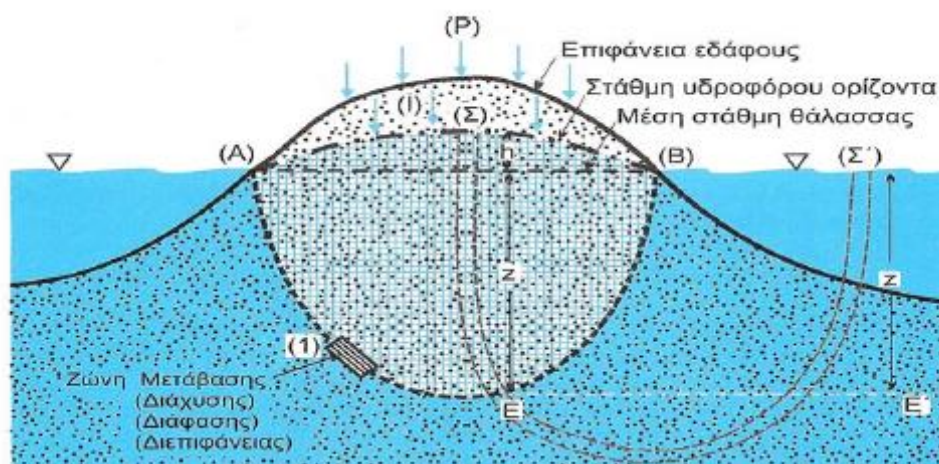
Δηλαδή οι υπερβολικές αντλήσεις υπόγειων νερών σε παράκτιους υδροφορείς, σε πολλές περιοχές, προκαλούν μια ανάστροφη ροή των υπόγειων νερών με αποτέλεσμα μια αξιοσημείωτη θαλάσσια διείσδυση στην αντλούμενη περιοχή, όταν η στάθμη υποβιβάζεται κάτω από το επίπεδο της υποθαλάσσιας εμφάνισης της αντλούμενης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

(http://library.tee.gr/digital/m1701_1750/m1707/m1707_diamantis.pdf).

3.8.2. Στατική ισορροπία διεπιφάνειας: νόμος των Ghyben και Herzberg

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

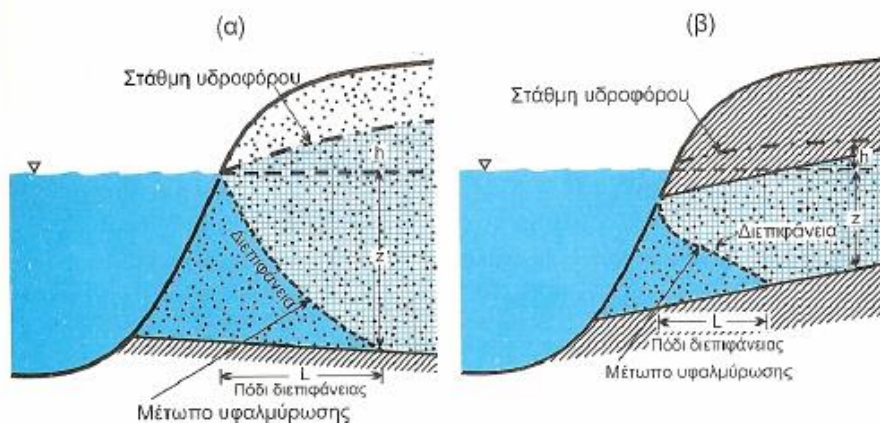
Οι δύο αυτοί επιστήμονες θεώρησαν τη διεπιφάνεια σε στατική κατάσταση και όχι σε δυναμική κατάσταση, χωρίς δηλαδή να παίρνουν υπόψη τους τις ροές που αναγκαστικά γίνονται. Αυτή θα πρέπει να αρχίζει ακριβώς από την ακτή, όπως φαίνεται στη συνέχεια. Θα υπάρξει τότε μια στατική ισορροπία.



Εικόνα 3.7. Επαφή γλυκού-αλμυρού νερού

Είναι γνωστό ότι σε ένα οποιοδήποτε σημείο ενός υδροφόρου στρώματος, άρα και ενός παράκτιου, η στάθμη μεταβάλλεται μέσα στο χρόνο δηλαδή μεταβάλλεται το h (το ύψος της στάθμης του υδροφόρου στρώματος από τη μέση στάθμη της θάλασσας). Άρα θα μεταβάλλεται και το z (το βάθος του γλυκού νερού από τη μέση στάθμη της θάλασσας), η θέση της διεπιφάνειας. Αν αυτή η διεπιφάνεια ανέβει για ορισμένο χρονικό διάστημα και στη συνέχεια κατέβει, τότε αφήνει κάποια ίχνη αλμυρότητας από εμπότισμό και

ιοντοανταλλαγές της στερεάς φάσης με το θαλασσινό νερό και από εγκλωβισμό υπολειμμάτων αλμυρού νερού ως νερό κατακράτησης. Έτσι με την υποχώρηση της διεπιφάνειας παραμένουν κάποια άλατα για αρκετό χρονικό διάστημα. Γι' αυτό το λόγο η επαφή γλυκού-αλμυρού νερού δεν είναι μια γραμμή σε τομή αλλά μια ζώνη. Αλλά ακόμη και αν δεν υπήρχε μετακίνηση της διεπιφάνειας θα δημιουργούνταν αυτή η ζώνη λόγω μοριακής διάχυσης, δηλαδή για φυσικοχημικούς λόγους, όμως τότε το πάχος της θα ήταν μικρότερο. Στο παρακάτω σχήμα έχουμε τη διάφαση σε έναν ελεύθερο παράκτιο υδροφόρο (α) και σε έναν υπό πίεση (β) σύμφωνα με τον νόμο των Ghyben-Herzberg.



Εικόνα 3.8. Ζώνη διεπιφάνειας σε ελεύθερο και σε υπό πίεση υδροφόρο στρώμα

Παρά την ευχρηστία του τύπου Ghyben και Herzberg πρέπει να αναγνωρίσουμε ότι αποτελεί μια υπεραπλούστευση του φαινομένου που οδηγεί πολλές φορές σε εσφαλμένα αποτελέσματα. Η υπεραπλούστευση συνίσταται στο γεγονός ότι ο παραπάνω τύπος εμπεριέχει την παραδοχή ότι το πιεζομετρικό φορτίο στον υδροφόρο ορίζοντα είναι το ίδιο με το πιεζομετρικό φορτίο του γλυκού νερού στη διεπιφάνεια, κάτι που υπονοεί ότι δεν υπάρχει κατακόρυφη υδραυλική κλίση (γνωστή και σαν παραδοχή Dupuit). Το πιο προφανές παραπλανητικό αποτέλεσμα από την παραπάνω παραδοχή είναι ότι το πάχος της ζώνης του γλυκού νερού εμφανίζεται μηδενικό στην ακτή, όπου ο υδροφόρος ορίζοντας βρίσκεται στο μηδέν. Πάντως το γεγονός ότι γλυκό νερό εκβάλλει στη θάλασσα, φανερώνει ότι η ζώνη γλυκού νερού πρέπει να έχει κάποιο πεπερασμένο πάχος στην ακτή (<http://www.geo.auth.gr/courses/ggg/ggg763e/ch5.htm>).

3.8.3. Μαθηματικά μοντέλα

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

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

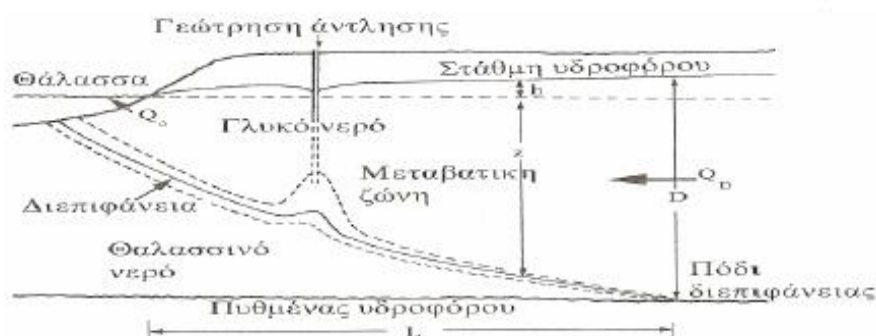
Η ορθή εφαρμογή μοντέλων ροής, όπως ο κώδικας MODFLOW αλλά και μοντέλων μεταφοράς, όπως το SHARP και το SUTRA μπορούν να συμβάλουν σημαντικά στην αντιμετώπιση της θαλάσσιας διείσδυσης και στην καλύτερη εφαρμογή των μεθόδων παρεμπόδισης παρέχοντας πληροφορίες οι οποίες θα ήταν αδύνατο να ληφθούν με τις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

3.8.4. Ανύψωση της διεπιφάνειας

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

3.8.5. Ο «πόδας» της διεπιφάνειας

Η απόσταση μέχρι την οποία η διεπιφάνεια συναντά το αδιαπέρατο υπόβαθρο λέγεται «πόδας» της διεπιφάνειας. Δηλαδή ο πόδας ή το πόδι όπως αλλιώς αποκαλείται αρχίζει από το σημείο στο οποίο η κατακόρυφος που περνάει από το σημείο της ακτής συναντάει τη βάση του υδροφόρου μέχρι το σημείο που η ίδια η διεπιφάνεια συναντάει τη βάση του υδροφόρου και έχει μήκος L . Ανάντι του ποδιού ο υδροφόρος περιέχει μόνο γλυκό νερό.



Εικόνα 3.9. Η απόσταση L του ποδιού της διεπιφάνειας από την ακτή

Η μεταβολή της στάθμης του υδροφόρου έχει δύο συνέπειες:

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

Δοθέντος ότι όταν το υπόγειο νερό περιέχει έστω και 4% θαλασσινό νερό, είναι ακατάλληλο για τις πιο πολλές χρήσεις, η εκμετάλλευση των παράκτιων υδροφορέων θα πρέπει να γίνεται με τρόπο που να εξασφαλίζεται η βέλτιστη απόσταση του ποδίου της διεπιφάνειας από την ακτή. Η κρίσιμη ανύψωση της διεπιφάνειας είναι περίπου ίση με το μισό της αρχικής απόστασης διεπιφάνειας-πυθμένα υδρογεώτρησης. Αυτό σημαίνει ότι στις παράκτιες υδρογεωτρήσεις θα πρέπει να τοποθετείται φιλτροσωλήνας αρκετά πιο ψηλά από τη διεπιφάνεια, ενώ παράλληλα οι πτώσεις στάθμης θα πρέπει να διατηρούνται σε χαμηλά επίπεδα (Τρούσσα Σ., 2009).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ - ΥΔΡΟΧΗΜΕΙΑ

4.1. Δειγματοληψία

Στην υπό μελέτη περιοχή θα πρέπει να καθορίζονται από πριν:

- Ο αριθμός και η θέση των σημείων δειγματοληψίας.
- Ο αριθμός των δειγμάτων (κατά βάθος).
- Ο χρόνος και η συχνότητα δειγματοληψίας.

Τα σημεία δειγματοληψίας θα πρέπει να επιλέγονται με βάση την συλλογή αντιπροσωπευτικού δείγματος, καλύπτοντας όλους τους υδροφορείς. Όσο πιο πολλά τα σημεία δειγματοληψίας τόσο πιο πολλές οι πληροφορίες που συγκεντρώνονται.

Στους πορώδεις υδροφορείς η πυκνότητα των θέσεων δειγματοληψίας ποικίλει από 25-40 δείγματα ανά 100 Km². Η ελάχιστη πυκνότητα είναι 1 θέση παρακολούθησης ανά 20 Km² υδροφορέα. Υδροφορείς με υψηλό συντελεστή κατείσδυσης (καρστικοί) πρέπει να παρακολουθούνται συχνότερα, γιατί είναι πιο ευάλωτοι στην εξωτερική ρύπανση. Η ελάχιστη συχνότητα για τα υπόγεια νερά είναι 2 δείγματα το έτος από κάθε θέση δειγματοληψίας, ένα όταν η στάθμη είναι χαμηλή (τέλος ξηρής περιόδου) και ένα όταν η στάθμη είναι υψηλή (τέλος υγρής περιόδου) (Βουδούρης Κ., 2009).

Το δείγμα του νερού για να είναι αντιπροσωπευτικό πρέπει να είναι φρέσκο. Αυτό εξασφαλίζεται, με άντληση για τον καθαρισμό της γεώτρησης και μέτρηση σε τακτικά χρονικά διαστήματα του pH και της αγωγιμότητας του νερού μέχρις ότου να σταθεροποιηθούν οι τιμές. Η συλλογή γίνεται σε πλαστικούς δειγματολήπτες χωρητικότητας 1,5 lt, αφού ξεπλυθούν αρκετές φορές με το ίδιο νερό που θα αναλυθεί. Τα δείγματα μεταφέρονται στο εργαστήριο για ανάλυση το συντομότερο δυνατόν για να εξασφαλιστεί η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων. Στο εργαστήριο, πριν τη χημική ανάλυση, προηγείται η διήθηση του δείγματος από ηθμό 0,45 μm για να απομακρυνθούν τυχόν αιωρούμενα σωματίδια μη ορατά στο γυμνό μάτι. Προκειμένου να αναλυθούν μέταλλα, μέρος του δείγματος οξινίζεται με προσθήκη 5ml HCL (0,5N) για να κρατηθούν τα μέταλλα σε αιώρηση (Καζάκης Ν., 2014).

4.2. Ποιοτικά χαρακτηριστικά υπόγειων νερών

Η ποιότητα των υπόγειων νερών, καθορίζεται από πολλούς παράγοντες:

- Αποσάθρωση και διάλυση των πετρωμάτων.
- Απόθεση ορυκτών.
- Οργανική ύλη (έκλυση CO₂, αναγωγή Fe, NO₃⁻, SO₄²⁻, μεθανογένεση).
- Παρουσία βλάστησης (πρόσληψη καλίου, φωσφόρου, αερίων από την ατμόσφαιρα).
- Αντιδράσεις ιοντοανταλλαγής.
- Ανθρώπινες δραστηριότητες (χρήση φυτοφαρμάκων, εντομοκτόνων και λιπασμάτων στη γεωργία, διάθεση αστικών λυμάτων και βιομηχανικών

αποβλήτων στο έδαφος, διαρροές από χωματερές, διαφυγές ρυπαντών).

Από τις κυριότερες παραμέτρους του υπόγειου νερού που εξετάζονται είναι:

Φυσικές:

- Θερμοκρασία, η οποία καθορίζεται κυρίως από τη θερμοκρασία των πετρωμάτων που τα περιβάλλουν αλλά επηρεάζεται και από τις μεταβολές της πιεζομετρικής επιφάνειας του υδροφόρου. Η μέτρηση γίνεται σε C.
- Χρώμα, το οποίο είναι ανεπιθύμητο όταν το νερό προορίζεται για πόσιμο. Μονάδες χρώματος σε κλίμακα Pt/Co.
- Θολότητα, είναι η ιδιότητα του νερού να διαχέει και να απορροφάει το φως χωρίς να επιτρέπει την διέλευσή του όταν περιέχει αιωρούμα σωματίδια. Η μέτρηση γίνεται σε μονάδες θολότητας NTU (nephelometric turbidity unit).

Χημικές:

- Ενεργός οξύτητα (pH). Είναι τρόπος έκφρασης της συγκέντρωσης των κατιόντων H_3O^+ στο υδατικό διάλυμα. Είναι καθαρός αριθμός και προσδιορίζεται είτε χρωματομετρικά (χρήση δεικτών) είτε ηλεκτρομετρικά.
- Ηλεκτρική αγωγιμότητα, η οποία συνδέεται άμεσα με την ποσότητα των διαλυμένων αλάτων, η οποία μεταβάλλεται ανάλογα με την θερμοκρασία, γι' αυτό και η μέτρησή της πρέπει να γίνεται στους 25 °C (ή ανάγεται σε αυτή). Η ενδεικτική τιμή της αγωγιμότητας του πόσιμου νερού είναι 400 $\mu S/cm$. Μετρώντας την αγωγιμότητα του νερού μπορούμε να γνωρίζουμε κατά προσέγγιση τη σκληρότητα του νερού.
- Αλκαλικότητα. Αποτελεί μέτρο της ικανότητας του νερού να εξουδετερώνει υδρογονοκατιόντα εξαιτίας της παρουσίας ιόντων OH^- , CO_3^{2-} , HCO_3^- . Ισχύει $Alk=0,81967HCO_3^-$ (mg/L).
- Σκληρότητα. Η παρουσία ιόντων Ca^{2+} και Mg^{2+} είναι η αιτία της σκληρότητας του νερού. Διακρίνεται σε:

Παροδική ή ανθρακική

Οφείλεται στη διάλυση του ανθρακικού ασβεστίου $CaCO_3$ και του ανθρακικού μαγνησίου $MgCO_3$, που υπάρχουν στα διάφορα πετρώματα ή στο έδαφος μέσα από τα οποία διέρχεται το νερό.

Μόνιμη ή μη ανθρακική

Προέρχεται από την παρουσία αλκαλικών γαιών, ενωμένων με το θειικό ιόν, το ιόν χλωρίου και το νιτρικό ιόν. Η κύρια πηγή των θειικών ιόντων είναι η οξειδωση του σιδηροπυρίτη, εκτός και αν συμβαίνει απόθεση εβαποριτών.

Ολική

Είναι το άθροισμα ανθρακικής και μόνιμης σκληρότητας. Εκφράζεται σε mg/L $CaCO_3$, meq/L και σε βαθμούς σκληρότητας. Ένας γαλλικός

βαθμός (f) ισούται με 10mg/L CaCO₃, 1 γερμανικός βαθμός (d) με 17,9 mg/L Ca(HCO₃)₂ και 1 αγγλικός βαθμός (e) με 1mg/L Ca(HCO₃)₂.

Όταν η αλκαλικότητα είναι μεγαλύτερη από την ολική σκληρότητα, η μόνιμη είναι μηδενική και η παροδική είναι με την ολική. Όταν είναι μικρότερη, η παροδική ισούται με την αλκαλικότητα και η μόνιμη με τη διαφορά της παροδικής από την ολική.

- Συνολικά διαλυμένα στερεά (T.D.S.). Εκφράζει τη συνολική συγκέντρωση διαλυμένων αλάτων στο νερό. Εξαιρούνται τα αιωρούμενα ιζήματα, τα κολλοειδή και τα διαλυμένα αέρια. Το T.D.S. αποτελεί δείκτη αλατότητας. Τιμές T.D.S. από 0-1000mg/L χαρακτηρίζουν το νερό γλυκό, 1.000-10.000mg/L υφάλμυρο, 10.000-100.000mg/L αλμυρό και πάνω από 100.000mg/L υπερυφάλμυρο. Η αλατότητα αυξάνει με το βάθος, έτσι τα υπόγεια νερά είναι περισσότερο αλμυρά από τα επιφανειακά. Το αποσταγμένο νερό δεν περιέχει καθόλου διαλυμένα άλατα.
- Συντελεστής προσρόφησης Na ή κίνδυνος Na (SAR). Αποτελεί βασικό κριτήριο για την καταλληλότητα ενός νερού για άρδευση. Ισούται με: $SAR = Na / [(Ca + Mg) / 2]^{0,5}$ (συγκεντρώσεις ιόντων σε meq/L). Για EC ίσο με 750μS/cm και SAR < 6, ο κίνδυνος Na είναι μικρός, 6-12 μέσος, 12-18 μεγάλος και > 18 πολύ μεγάλος.

Η ποιότητα των αρδευτικών νερών ταξινομείται με βάση το διάγραμμα Richards ως εξής:

C1-S1: καλή

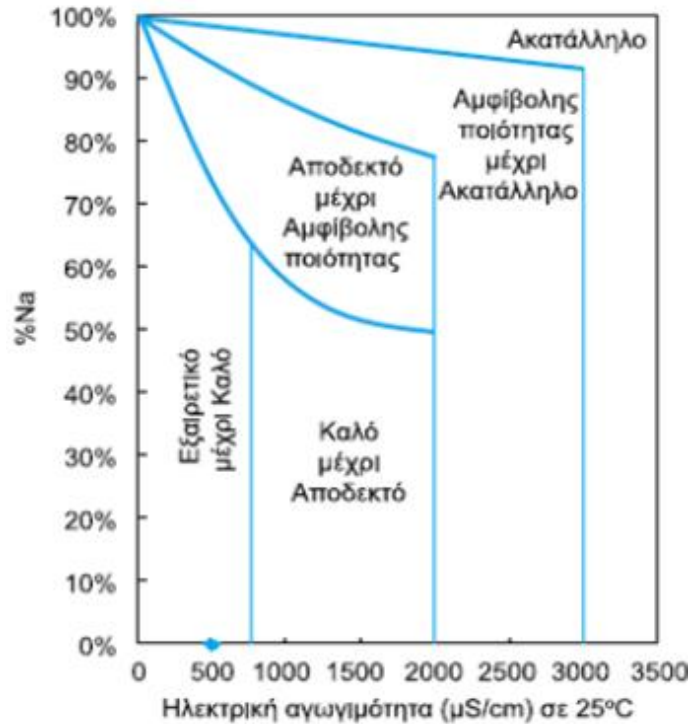
C1-S2, C2-S1: καλή έως μέτρια

C1-S3, C2-S2, C3-S1: μέτρια έως πολύ μέτρια

C1-S4, C2-S3, C3-S2, C4-S1: πολύ μέτρια έως κακή

C3-S4, C4-S3, C4-S4: πολύ κακή

Ο βαθμός αλκαλίωσης εκφράζει την περιεκτικότητα του Na σε % και δίνεται από τη σχέση $\%Na = (Na + K) * 100 / (Ca + Mg + Na + K)$ (συγκεντρώσεις ιόντων σε meq/L).



Εικόνα 4.1. Διάγραμμα Wilcox για την ταξινόμηση των αρδευτικών νερών (Βουδούρης Κ., 2009)

- Κύρια ιόντα: Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^- .
- Δευτερεύοντα ιόντα: Fe^{2+} , Fe^{3+} , Mn^{2+} , NH_4^+ , F^- , CO_3^{2-} , Al^{3+} κ.ά.
- Βαρέα μέταλλα: Pb, Cr, Hg, As, Cd κ.ά.
- Θρεπτικές ενώσεις του N, P

Πρωτεΐνες, οργανικές ενώσεις, αέρια (O_2 , N_2 , H_2S , NH_3 , CH_4)

Άλλα χαρακτηριστικά:

- Θρεπτικά άλατα.
- Οργανικές ουσίες.
- Ραδιενέργεια.
- Οσμή και γεύση.
- Ίνες αμιάντου.
- Βιομηχανικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD)-Χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (COD). Είναι η ποσότητα του οξυγόνου που απαιτείται από τους οργανισμούς για τη βιομηχανική αποδόμηση των οργανικών ουσιών που περιέχονται στα νερά. Εκφράζεται σε mg οξυγόνου που καταναλώνεται ανά λίτρο δείγματος σε 5 ημέρες στους 20°C.

(http://www.geo.auth.gr/courses/ggg/ggg887e/PDF/XYTA_3.pdf)

4.3. Υδροχημικοί τύποι υπόγειων νερών

Η ταξινόμηση των υπόγειων νερών βασίζεται στη συγκέντρωση σε διάφορα ιόντα ή με τη βοήθεια λόγων, όπως Cl/SO_4 , Na/K , Cl/Br , Mg/Ca . Οι επικρατέστεροι υδροχημικοί τύποι υδροφορέων είναι τα ανθρακικά ($\text{Ca}^{2+} >$

$Mg^{2+} > Na^+$ και $HCO_3^- > SO_4^{2-} > Cl^-$) και τα χλωριούχα ($Na^+ > Ca^{2+} > Mg^{2+}$ και $Cl^- > HCO_3^- > SO_4^{2-}$)

- Υπόγεια νερά που κινούνται από κρυσταλλικά πετρώματα ανήκουν στον Ca – HCO₃ – SO₄ υδροχημικό τύπο.
- Υπόγεια νερά από ασβεστολιθικά πετρώματα ανήκουν στον Ca – HCO₃ υδροχημικό τύπο. Αν όμως αυτά περιέχουν γύψο, ο κυρίαρχος τύπος είναι Ca-Mg-HCO₃-SO₄.
- Υπόγεια νερά από εβαπορίτες ανήκουν στον Ca-Mg-SO₄ – HCO₃ υδροχημικό τύπο.
- Υπόγεια νερά από μολλασικά ιζήματα ανήκουν στην πλειοψηφία τους στον Ca-Mg-HCO₃ υδροχημικό τύπο.
- Υπόγεια νερά από φλύσχη ανήκουν στον Ca-HCO₃ ή Ca(Mg)-HCO₃ υδροχημικό τύπο.
- Υπόγεια νερά από αλλουβιακούς σχηματισμούς συνήθως ανήκουν στον Ca-HCO₃ υδροχημικό τύπο.
- Ο λόγος SO_4^{2-}/Cl^- (meq/L) όταν παίρνει τιμές >0,2, το υπόγειο νερό χαρακτηρίζεται χλωριούχο. Όταν παίρνει τιμές <5 χαρακτηρίζεται θειούχο.

4.3.1. Προέλευση ιόντων

Κατιόντα:

- Ασβέστιο-Μαγνήσιο. Κύρια προέλευση του Ca στα υπόγεια νερά είναι οι ασβεστόλιθοι και τα μάρμαρα. Η προέλευση Mg συνδέεται με την παρουσία ολιβίνης, μαγνησίτη και δολομίτη που το περιέχουν στο πλέγμα τους, αλλά και την παρουσία βιοτίτη και χλωρίτη στα μεταμορφωμένα πετρώματα.
- Νάτριο-Κάλιο. Κύρια προέλευση των αλκαλίων Na και K είναι οι άστριοι. Η παρουσία τους σχετίζεται επίσης με διείσδυση της θάλασσας ή αερομεταφερούμενα σταγονίδια από τη θάλασσα. Το K δε επιπρόσθετα συνδέεται με K-ούχα λιπάσματα.
- Ολικός σίδηρος. Συναντάται με τη δισθενή (Fe₂₊) και τρισθενή (Fe₃₊) μορφή, καλά όμως οξυγονωμένα επιφανειακά νερά δεν περιέχουν σχεδόν καθόλου διαλυμένο σίδηρο. Ο Fe απαντάται στα μαγματικά πετρώματα, σε οξειδία Fe όπως αιματίτης, λειμονίτης, μαγνητίτης, σουλφίδια Fe όπως σιδηροπυρίτης και στον σιδηρίτη.

Ανιόντα:

- Χλώριο. Προέρχεται από τα αργιλικά ορυκτά θαλάσσιας γένεσης στα ιζηματογενή πετρώματα, τους εβαπορίτες και τις θερμές πηγές. Σχετίζεται επίσης με διείσδυση της θάλασσας ή αερομεταφερούμενα σταγονίδια από την θάλασσα.
- Όξινα ανθρακικά ιόντα. Υπερτερούν όλων των άλλων ανιόντων στα γλυκά υπόγεια νερά. Προέρχεται από το CO₂ της ατμόσφαιρας ή

ελευθερώνονται από το έδαφος ή εξαιτίας της διαλυτικής δράσης του νερού στα ανθρακικά πετρώματα.

- Νιτρικά ιόντα. Πιθανή προέλευση των NO_3^- είναι τα ζωικά περιττώματα και τα λιπάσματα.
- Νιτρώδες ανιόν. Αποτελεί ενδιάμεσο στάδιο οξειδωσης της αμμωνίας. Και τα δύο αποτελούν ένδειξη ρύπανσης.
- Θειικά ανιόντα. Προέρχονται κυρίως από τη διάλυση του γύψου και του ανυδρίτη, την οξειδωση θειούχων ενώσεων που υπάρχουν στα αργιλικά πετρώματα και τη χρήση θειικών λιπασμάτων.
- Φθόριο. Προέρχεται από τον απατίτη των ηφαιστειογενών πετρωμάτων.
- Φωσφορικά ιόντα. Η παρουσία τους στο υπόγειο νερό υποδηλώνει ρύπανση από λιπάσματα και αστικά λύματα.

Στον πίνακα δίνονται τυπικές περιεκτικότητες σε κύρια ιόντα του νερού της βροχής, της θάλασσας και διαφόρων τύπων υδροφορέων.

Στοιχείο	Βροχή	Θάλασσα	Ανθρακικός	Αλλουβιακός	Γρανιτικός	Φλοσχικός
Ca^{2+}	0,4-20,0	214	28-125	70-120	7-26	24-97
Mg^{2+}	0,05-6,0	670	0,2-19	10-31	0,2-2	1,5-24
Na^+	0,15-18	11.150	0,5-40	10-35	0,5-24	0,3-10
K^+	0,25-0,78	414	<0,2-6,5	0,5-2	<0,2-3,2	<0,2-3
Cl^-	0,16-44,5	20.000	1-50	4-25	1-17	<1-3,5
HCO_3^-	0,001-34	146	95-450	300-400	18-67	137-380
SO_4^{2-}	0,002-20	1.400	2-150	10-38	3-40	2,5-36
NO_3^-	0,1-2,1	0,0003	<1-30	1-9	1-5	0,5-8

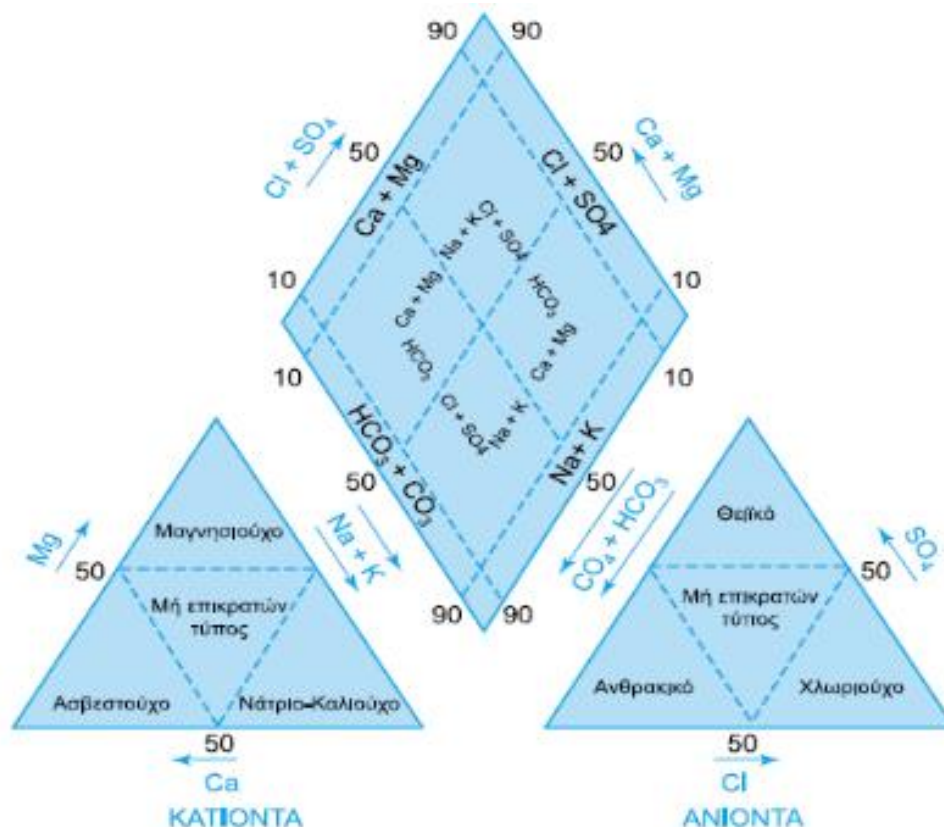
Εικόνα 4.2. Περιεκτικότητες ιόντων νερού ανά τύπο υδροφόρου
(Βουδούρης Κ., 2009)

4.4. Υδροχημικά διαγράμματα

Στην υδρογεωλογική έρευνα τηρείται μητρώο δεδομένων με τα δεδομένα που συλλέγονται από την ύπαιθρο και το εργαστήριο. Τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων επιδέχονται στατιστικής επεξεργασίας για την εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων. Η παρουσίασή τους γίνεται με τη χρήση υδροχημικών διαγραμμάτων όπως ραβδοδιαγράμματα, κυκλικά, ιστογράμματα συχνότητας, ακτινικά, πολυγωνικά, ημιλογαριθμικά (κατά Schoeller), τετραγωνικά (κατά Langelier-Ludwig), διαγράμματα Stiff, τριγωνικά Piper και Durog κ.ά. Επίσης, οι υδροχημικοί χάρτες είναι πολύ χρήσιμο εργαλείο στη μελέτη της ποιότητας του υπόγειου νερού. Δείχνουν την γεωγραφική κατανομή μιας παραμέτρου με καμπύλες ίσης συγκέντρωσης. Με παρόμοιες μεθόδους και τεχνικές κατασκευάζονται και οι υδροχημικές τομές. Η ταξινόμηση κατά Piper και Durog είναι οι δύο πιο γνωστές και αναλύονται στη συνέχεια.

4.4.1. Ταξινόμηση κατά Piper

Τα τριγωνικά διαγράμματα προτάθηκαν από τον Piper το 1944 και ταξινομούν τα υπόγεια νερά σε διάφορους τύπους. Οι συγκεντρώσεις (meq/L) των ιόντων εκφράζονται σε % και προβάλλονται στα 2 τρίγωνα, ένα για κατιόντα και ένα για ανιόντα. Τα σημεία που προκύπτουν προβάλλονται και αυτά με τη σειρά τους στο ρόμβο και η τομή των προβολών τους αντιπροσωπεύουν το δείγμα. Ο Durov τροποποίησε τα τριγωνικά διαγράμματα το 1950. Τα διαγράμματα Durov αποτελούνται από 2 τρίγωνα και ένα τετράγωνο, πάνω στο οποίο πραγματοποιείται η προβολή του δείγματος.



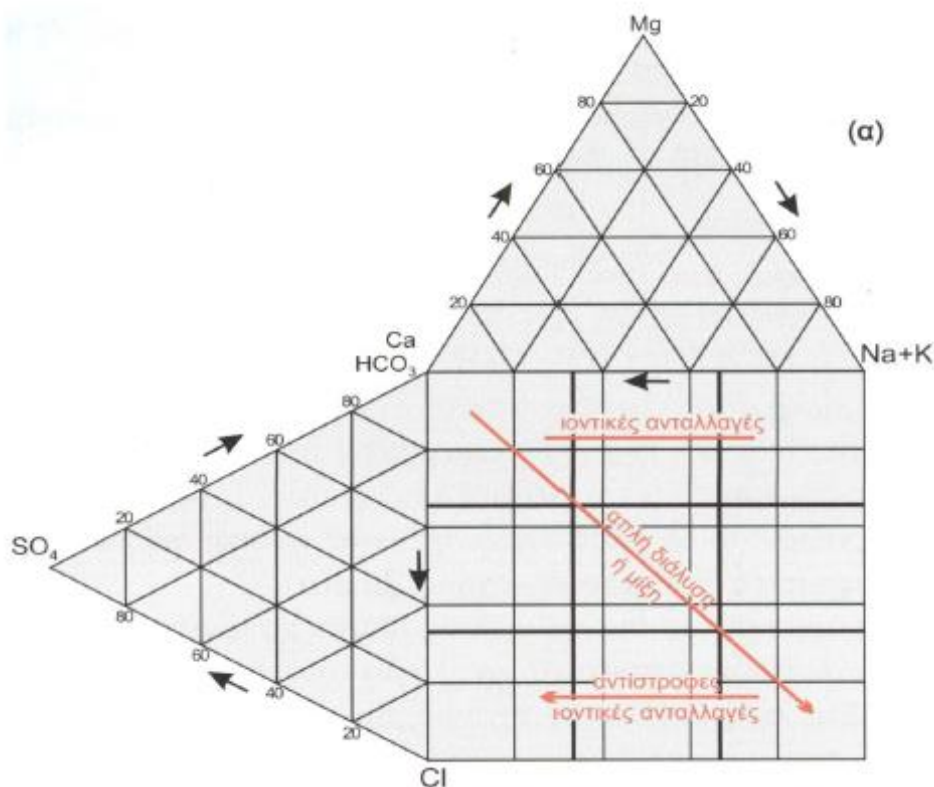
Εικόνα 4.3. Κύριοι υδροχημικοί τύποι υπόγειων νερών στο διάγραμμα Piper (Βουδούρης Κ., 2009)

4.4.2. Ταξινόμηση κατά Durov

Το διάγραμμα πρωτοεισήχθη από τον Durov, S.A. (1948) και τροποποιήθηκε από τον Hem, από τον Zarogozec και από τους Loyd-Heathcote. Η πιο εύχρηστη παραλλαγή του είναι αυτή με δύο τριγωνικά διαγράμματα, ένα για τα ανιόντα και ένα για τα κατιόντα, που συνδέονται με ένα τετραγωνικό, διαχωριζόμενο σε 9 επί μέρους τετραγωνίδια, τα οποία αντιστοιχούν σε κατηγορίες νερού, αλλά και σε περιοχές στις οποίες συμβαίνουν στο νερό διάφορες υδροχημικές διαδικασίες.

Προβάλλονται στα χωριστά τρίγωνα τα ανιόντα και κατιόντα σε meq/L (%). Στη συνέχεια, η προέκταση των καθέτων στις βάσεις των ισόπλευρων τριγώνων, που ξεκινούν από τα σημεία που παριστάνουν την %

περιεκτικότητα του νερού σε ανιόντα και κατιόντα, τέμνονται σε ένα σημείο που παριστάνει την κύρια ιοντική συγκέντρωση % στο νερό.



Εικόνα 4.4. Διάγραμμα Durov (Βουδούρης Κ., 2009)

Τα 9 πεδία του διαγράμματος Durov είναι τα ακόλουθα:

1. Στο πεδίο αυτό, από τα κατιόντα επικρατεί το Ca^{2+} και από τα ανιόντα τα όξινα ανθρακικά. Πρόκειται για φρέσκα νερά φυσικής τροφοδοσίας, που κατεισδύουν σε ασβεστόλιθους, ψαμμίτες και άλλα ανθρακικά πετρώματα.
2. Από τα ανιόντα επικρατούν τα όξινα ανθρακικά, ενώ από τα κατιόντα, είτε το Mg^{2+} , είτε κανένα κατιόν. Πρόκειται για νερά που φιλοξενούνται ή έχουν κινηθεί μέσα σε δολομιτικά πετρώματα. Όταν παρατηρείται αύξηση των ιόντων νατρίου, αρχίζει να ενεργοποιείται ο μηχανισμός της κατιοανταλλαγής.
3. Από τα ανιόντα επικρατούν τα όξινα ανθρακικά, ενώ από τα κατιόντα το νάτριο. Στο πεδίο αυτό το φαινόμενο της κατιοανταλλαγής βρίσκεται σε πλήρη εξέλιξη.
4. Επικρατεί το Ca^{2+} και είτε το SO_4^{2-} , είτε κανένα ανιόν. Όταν έχουμε επικράτηση τόσο των Ca^{2+} όσο και των SO_4^{2-} , τα υπόγεια νερά προέρχονται από ζώνες τροφοδοσίας μέσω ηφαιστειακών λαβών ή γύψων. Σε διαφορετική περίπτωση, πρόκειται για μεικτά υπόγεια νερά, ή νερά διαλυτοποίησης.
5. Δεν επικρατεί κανένα ιόν. Πρόκειται για μικτά νερά ή νερά διαλυτοποίησης.

6. Επικρατεί το Na^+ και τα SO_4^{2-} , ή κανένα άλλο ανιόν. Πρόκειται για υπόγειο νερό που συναντάται σπάνια και τις περισσότερες φορές είναι προϊόν μείξης.
7. Επικρατούν τα Ca^{2+} και τα Cl^- . Σπάνιο υπόγειο νερό εκτός αν έχει προέλθει σαν τελικό προϊόν αντίστροφης κατιοανταλλαγής από νερά.
8. Επικρατεί το Cl^- , χωρίς επικράτηση κάποιου κατιόντος. Πρόκειται για υπόγεια νερά στα οποία το φαινόμενο της αντίστροφης κατιοανταλλαγής βρίσκεται σε πλήρη εξέλιξη.
9. Επικρατούν τα ιόντα νατρίου και χλωρίου. Πρόκειται για υπόγεια νερά από ζώνες εκφόρτισης παράκτιων υδροφόρων ([Βουδούρης Κ., 2009](#)).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

5.1. Σημεία υδροληψίας

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι να ελέγξει τη διαχρονική μεταβολή των ποιοτικών χαρακτηριστικών των υπόγειων νερών στην παράκτια ζώνη του Φαληρικού Δέλτα. Αυτό πραγματοποιήθηκε με τη λήψη δειγμάτων από γεωτρήσεις των περιοχών του Φαληρικού Δέλτα και συγκρίνοντας τα αποτελέσματα αυτά με εκείνα παλαιότερης διπλωματικής.

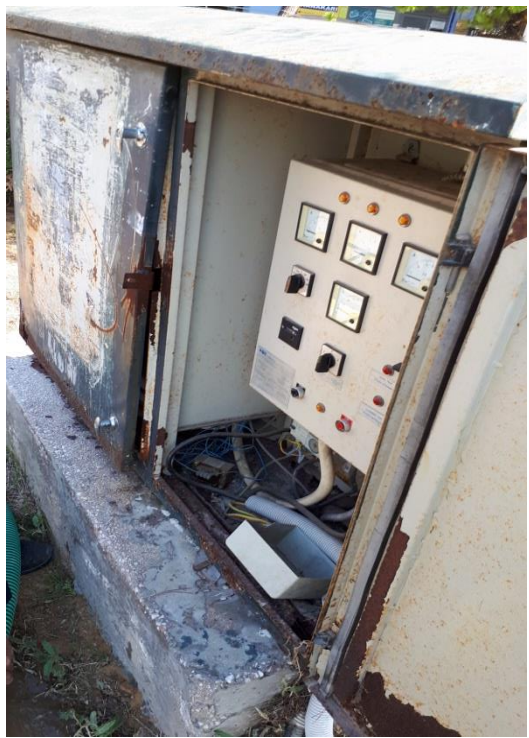
Επιλέχθηκαν οι δήμοι Π.Φαλήρου, Καλλιθέας, Αλίμου και Ελληνικού προκειμένου να πραγματοποιηθούν οι δειγματοληψίες. Στον πίνακα που ακολουθεί εμφανίζεται το σύνολο των σημείων υδροληψίας που μελετήθηκαν στην περιοχή μελέτης.

A/A	ΟΝΟΜΑΣΙΑ	ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ	ΙΔΙΟΚΤΗΤΗΣ
ΔΗΜΟΣ ΠΑΛΑΙΟΥ ΦΑΛΗΡΟΥ			
1	1ΠΦ	Τερψιθέας	Δήμος Π. Φαλήρου
2	2ΠΦ	Πλατεία Παμφυλίας	Δήμος Π. Φαλήρου
ΔΗΜΟΣ ΚΑΛΛΙΘΕΑΣ			
1	1Κ	Μεταμορφώσεως	Δήμος Καλλιθέας
2	2Κ	Φιλαρέτου	Δήμος Καλλιθέας
3	3Κ	Ιφιγενείας	Δήμος Καλλιθέας
4	4Κ	Γρηγορίου Λαμπράκη	Δήμος Καλλιθέας
5	5Κ	Ύδρας	Δήμος Καλλιθέας
6	6Κ	Ευαγγελιστρίας	Δήμος Καλλιθέας
7	7Κ	Π. Τσαλδάρη	Δήμος Καλλιθέας
ΔΗΜΟΣ ΑΛΙΜΟΥ			
1	1Α	Γερούλανου	Δήμος Αλίμου
2	2Α	Μεγίστης	Δήμος Αλίμου
3	3Α	Πλατεία Καραϊσκάκη	Δήμος Αλίμου
4	4Α	Λεωφόρος Κυθηρίων	Ιδιώτης
5	5Α	Ρήγα Φεραίου	Ιδιώτης
ΔΗΜΟΣ ΕΛΛΗΝΙΚΟΥ			
1	1Ε	Μυστρά	Δήμος Ελληνικού
2	2Ε	Αναστάσεως	Δήμος Ελληνικού
3	3Ε	Πλατεία Σμύρνης	Δήμος Ελληνικού
4	4Ε	Ελ. Βενιζέλου	Δήμος Ελληνικού
5	5Ε	Λεωφόρος Κύπρου	Δήμος Ελληνικού
6	6Ε	Αναστάσεως	Δήμος Ελληνικού
7	7Ε	Πατριάρχου Γρηγορίου	Δήμος Ελληνικού

Πίνακας 5.1. Το σύνολο γεωτρήσεων που μελετήθηκαν

5.1.1. Υδροληψία στον δήμο Παλαιού Φαλήρου

Οι δημοτικές γεωτρήσεις του Π.Φαλήρου σε λειτουργία ήταν δύο. Αυτή της οδού Τερψιθέας και αυτή της Πλατείας Παμφυλίας.





Εικόνες 5.1. - 5.5. Γεώτρηση οδού Τερψιθέας (1ΠΦ) – Π.Φάληρο



Εικόνες 5.6., 5.7. Γεώτρηση Πλατείας Παμφιλίας (2ΠΦ) – Π.Φάληρο

Στην εικόνα 5.8 φαίνονται οι θέσεις των σημείων υδροληψίας.



Εικόνα 5.8. Γεωγραφικός προσδιορισμός των δύο γεωτρήσεων – Π.Φάληρο

5.1.2. Υδροληψία στον δήμο Καλλιθέας

Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκαν επισκέψεις στους τοπικούς φορείς των υπόλοιπων δήμων και κανονίστηκαν οι ημερομηνίες δειγματοληψίας.

Μετά από συνάντηση με τον υπεύθυνο του Τμήματος Πρασίνου του δήμου Καλλιθέας ορίστηκε η ημερομηνία δειγματοληψίας που αφορούσε φυσικά τις κοντινότερες προς το Φαληρικό Δέλτα γεωτρήσεις του δήμου. Αξίζει εδώ να αναφερθεί ότι ο συγκεκριμένος δήμος αξιοποιεί ορθολογικά τις γεωτρήσεις του και όλα του τα πάρκα υδρεύονται με νερό τους χωρίς να σπαταλάται νερό της ΕΥΔΑΠ, όπως συμβαίνει στον δήμο Π.Φαλήρου.

Έτσι, λοιπόν, στις 29/10/2018 πάρθηκαν δείγματα από 7 γεωτρήσεις του δήμου Καλλιθέας που ανήκαν στη ζώνη ενδιαφέροντός μας από τις 13 συνολικά. Ακολουθούν οι εικόνες 5.9-5.16 των γεωτρήσεων αυτών, με τη χρονική σειρά που έγιναν οι δειγματοληψίες.



Εικόνα 5.9. Γεώτρηση Τροπικάλ (1Κ)



Εικόνες 5.10., 5.11. Γεώτρηση Φιλαρέτου (2Κ) και Ιφιγενείας (3Κ)



Εικόνες 5.12., 5.13. Γεώτρηση Γηπ. Λαμπράκη (4Κ) και Ύδρας (5Κ)



Εικόνες 5.14., 5.15. Γεώτρηση Σαλαμίνας (6Κ) και Άτλαντα (7Κ)



Εικόνα 5.16. Γεωγραφικός προσδιορισμός των επτά γεωτρήσεων – Καλλιθέα

5.1.3. Υδροληψία στον δήμο Αλίμου

Στις 31/10/2018 έγιναν μετρήσεις και δειγματοληψίες σε 3 γεωτρήσεις του δήμου Αλίμου και 2 ιδιωτών. Οι δημοτικές γεωτρήσεις απεικονίζονται στη συνέχεια.



Εικόνες 5.17., 5.18. Γεώτρηση Γερουλάνου (1Α) και Μεγίστης (2Α)



Εικόνα 5.19. Γεώτρηση Πλατείας Καραϊσκάκη (3Α) – Άλιμος



Εικόνα 5.20. Γεωγραφικός προσδιορισμός των πέντε γεωτρήσεων – Άλιμος

5.1.4. Υδροληψία στον δήμο Ελληνικού

Τέλος στη 1/11/2018 συλλέχθηκαν 7 δείγματα στον δήμο Ελληνικού, όπως εικονίζονται παρακάτω μαζί με υπεύθυνους του δήμου.



Εικόνες 5.21., 5.22. Γεώτρηση Μυστρά (1Ε) και Σούρμενων (2Ε)



Εικόνες 5.23., 5.24. Γεώτρηση Πλατείας Σμύρνης (3Ε)
και Μετρό Ελληνικού (4Ε)



Εικόνες 5.25., 5.26. Γεώτρηση Ιμέρας (5Α)



Εικόνες 5.27., 5.28. Γεώτρηση Αναστάσεως (6Α)



Εικόνες 5.29., 5.30. Γεώτρηση Κύπρου (7Ε)



Εικόνα 5.31. Γεωγραφικός προσδιορισμός των επτά γεωτρήσεων - Ελληνικό

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΎΡΓΑΝΑ ΧΗΜΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ

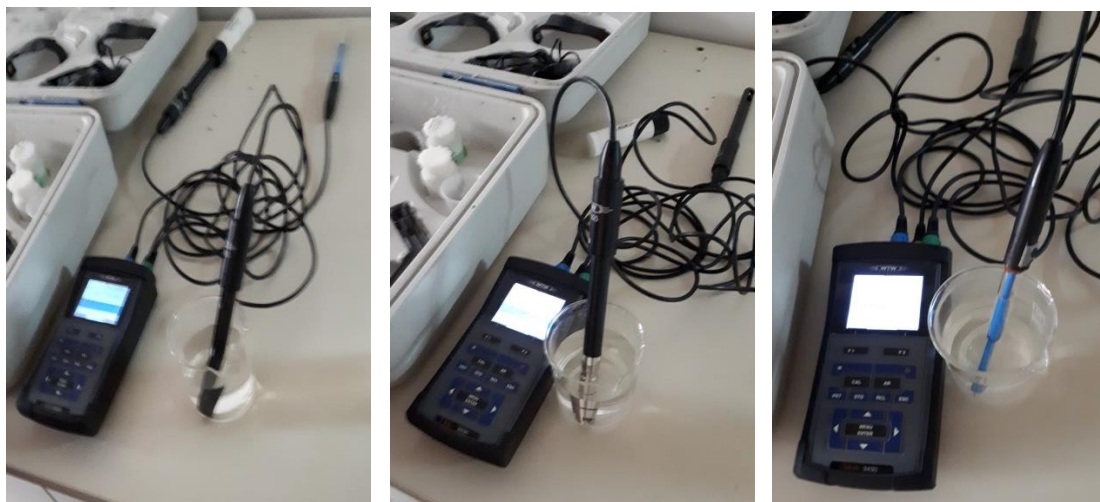
Μετά τη συλλογή των δειγμάτων από τον κάθε δήμο ακολουθούσε η μεταφορά τους στο Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας – Υδρογεωλογίας του τμήματος Μηχανικών Μεταλλείων του Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου σε βραχύ χρονικό διάστημα. Εκεί πραγματοποιούνταν οι μετρήσεις των φυσικών χαρακτηριστικών (αγωγιμότητα, οξύνο, pH) και οι χημικές αναλύσεις των δειγμάτων της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας. Σε περιπτώσεις που μεσολαβούσε μεγάλο χρονικό διάστημα μεταξύ των μετρήσεων μέχρι το πέρας τους τα δείγματα τοποθετούνταν στο ψυγείο.

6.1. Πολυπαραμετρικό

Πιο συγκεκριμένα, οι μετρήσεις των φυσικών χαρακτηριστικών έγιναν με το πολυπαραμετρικό, το οποίο διαθέτει αγωγιμόμετρο, θερμομέτρο και ψηφιακό pH-μετρο όπως φαίνεται στη συνέχεια.



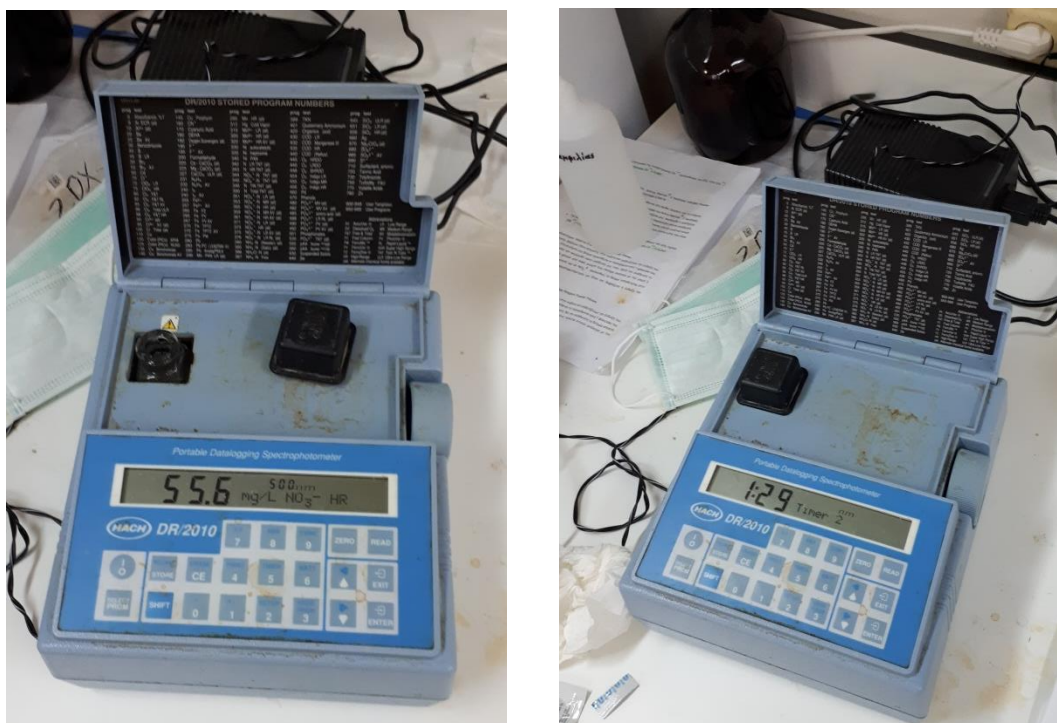
Εικόνα 6.1. Πολυπαραμετρικό



Εικόνες 6.2. - 6.4. Μετρήσεις Αγωγιμότητας, Οξυγόνου και pH αντίστοιχα

6.2. Φασματοφωτόμετρο – Όργανα τιτλοδότησης

Ακολούθως έγιναν οι μετρήσεις των Νιτρικών (NO_3^-) και των Θειικών (SO_4^{2-}) με χρήση φασματοφωτόμετρου DR3000 του εργαστηρίου.



Εικόνες 6.5., 6.6. Αποτέλεσμα μέτρησης NO_3^- και χρονόμετρο μέτρησης

Η λειτουργία της συσκευής βασίζεται στη δίοδο φωτός μέσα από κυβέτα 1cm, η οποία περιέχει διάλυμα, που δημιουργείται από κάθε δείγμα νερού για τον εκάστοτε ποσοτικό προσδιορισμό ιόντων.

Αρχικώς τοποθετείται η κυβέτα στο φασματοφωτόμετρο με απιονισμένο νερό, για να ελεγχθεί η αξιοπιστία του οργάνου σε περιεκτικότητα 0.

NO_3^-

- Αντιδραστήριο: NitraVer 5 Nitrate Reagent Powder Pillows

- Διαδικασία: Βάζουμε 25 ml δείγματος στην κυβέτα και μηδενίζουμε την ένδειξη του οργάνου. Στη συνέχεια στο δείγμα προστίθεται το περιεχόμενο από 1 φακελάκι του αντιδραστηρίου και ακολουθεί καλή ανάδευση για 1 min. Μετά την ανάδευση το δείγμα αποκτά χρώμα από καφέ ανοιχτό έως σκούρο ανάλογα με την μικρή ή μεγάλη περιεκτικότητα του σε NO_3^- . Ακολούθως το δείγμα τοποθετείται στην ειδική θέση του φασματοφωτόμετρου για 5 min και διαβάζεται η ένδειξη του οργάνου.

SO_4^{2-}

- Αντιδραστήριο: SulfaVer 4 Sulfate Reagent Powder Pillows
- Διαδικασία: Βάζουμε 25 ml δείγματος στην κυβέτα και μηδενίζουμε την ένδειξη του οργάνου. Στη συνέχεια στο δείγμα προστίθεται το περιεχόμενο από 1 φακελάκι του αντιδραστηρίου και ακολουθεί καλή ανάδευση. Με την ανάδευση το δείγμα αποκτά ένα λευκό γαλακτώδες χρώμα από ανοιχτό έως αρκετά έντονο ανάλογα με την μικρή ή μεγάλη περιεκτικότητά του σε SO_4^{2-} . Ακολούθως γίνεται τοποθέτηση του δείγματος στην ειδική θέση του φασματοφωτόμετρου για 5 min και διαβάζεται η ένδειξη του οργάνου.

Σημειώνεται πως σε κάθε περίπτωση αν υπάρχουν αιωρούμενα σωματίδια στο δείγμα νερού, τότε πραγματοποιείται απομάκρυνσή τους με διήθηση γιατί διαφορετικά θα υπάρξουν σφάλματα στις μετρήσεις του οργάνου. Σε δείγματα που κατά την ανάδευση παρατηρείται έντονη αλλαγή χρώματος θα πρέπει να ελέγχεται κατά τη διάρκεια των 5 min η ένδειξη του οργάνου διότι υπάρχει πιθανότητα η περιεκτικότητα του δείγματος σε όποιο από τα παραπάνω στοιχεία να είναι μεγαλύτερη από την ανώτερη που μπορεί να μετρήσει το όργανο. Στην περίπτωση αυτή γίνεται αραιώση του δείγματος νερού και επανάληψη της μέτρησης.

Στη συνέχεια ακολούθησαν μετρήσεις Cl^- , HCO_3^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} .

Cl^-

- Αντιδραστήρια: Δείκτης Diphenylcarbazone reagent Powder Pillows, ένεση Mercuric Nitrate Titration Cartridge 2,256N
- Διαδικασία: Σε 100 ml δείγματος προστίθεται 1 φακελάκι του δείκτη Diphenylcarbazone reagent Powder Pillows. Ακολουθεί χορήγηση του Mercuric Nitrate Titration Cartridge 2,256N με ένεση ενώ παράλληλα γίνεται ανάδευση. Μόλις το χρώμα του διαλύματος γίνει ανοιχτό ροζ, έχουν εξουδετερωθεί όλα τα ιόντα Cl και αυτό δηλώνει το πέρας της τιτλοδότησης.

HCO_3^-

- Αντιδραστήρια: Δείκτης Bromcresol Green – Methyl Red Indicator, Ένεση Sulfuric Acid Titration Cartridge 1,6N

- Διαδικασία: Σε 100 ml δείγματος προστίθεται 1 φακελάκι του δείκτη Bromocresol Green – Methyl Red Indicator και το διάλυμα χρωματίζεται μπλε. Ακολουθεί χορήγηση του Sulfuric Acid Titration Cartridge 1,6N με ένεση ενώ παράλληλα γίνεται η ανάδευση. Το διάλυμα κατά τη διάρκεια της τιτλοδότησης αλλάζει χρωματισμούς από μπλε σε πράσινο-μπλε-γκρι, ροζ-γκρι και τελικά γίνεται ροζ που δηλώνει το πέρας της τιτλοδότησης.
- Για τον υπολογισμό της συγκέντρωσης των HCO_3^- ακολουθούμε τον εξής τύπο: $[\text{HCO}_3^-] = (\text{τιμή τιτλοδότησης } \text{HCO}_3^-) \times 1,22$.

Ca²⁺

- Αντιδραστήρια: Potassium Hydroxide Solution (KOH) 8N, Δείκτης CalVer^R 2 Calcium Indicator Powder Pillows, Ένεση EDTA Titration Cartridge 0,800 M.
- Διαδικασία: Σε 100 ml δείγματος προστίθενται 2 ml Potassium Hydroxide Solution (KOH) 8N, για τη ρύθμιση του pH=13. Έπειτα προστίθεται 1 φακελάκι του δείκτη CalVer^R 2 Calcium Indicator Powder Pillows και το διάλυμα χρωματίζεται κόκκινο - βιολετί. Ακολουθεί η χορήγηση του EDTA Titration Cartridge 0,800 M με ένεση ενώ παράλληλα γίνεται ανάδευση. Μόλις το χρώμα του διαλύματος γίνει μπλε, έχει απομακρυνθεί όλο το Ca^{2+} και αυτό είναι το τελικό σημείο της τιτλοδότησης.
- Για τον υπολογισμό της συγκέντρωσης Ca^{2+} ακολουθούμε τον εξής τύπο $[\text{Ca}^{2+}] = (\text{τιμή τιτλοδότησης } \text{Ca}^{2+}) / 2,497$.

Mg²⁺

- Αντιδραστήρια: Buffer Solution, Δείκτης ManVer^R 2 Hardness Indicator Powder Pillows, Ένεση EDTA Titration Cartridge 0,800M
- Διαδικασία: Σε 100 ml δείγματος προστίθενται 2 ml Buffer Solution, για τη ρύθμιση του pH=10 – 10,1. Έπειτα προστίθεται 1 φακελάκι του δείκτη ManVer^R 2 Hardness Indicator Powder Pillows και το διάλυμα χρωματίζεται ροζ. Ακολουθεί η χορήγηση του EDTA Titration Cartridge 0,800M με ένεση ενώ παράλληλα γίνεται ανάδευση. Το χρώμα του διαλύματος κατά τη διάρκεια της τιτλοδότησης γίνεται μωβ και τελικά με τη χορήγηση 1 – 2 σταγόνων επιπλέον EDTA το διάλυμα γίνεται μπλε που είναι το τελικό σημείο της τιτλοδότησης.
- Για τον υπολογισμό της συγκέντρωσης των Mg^{2+} ακολουθούμε την εξής σχέση:

$$[\text{Mg}^{2+}] = (\text{τιμή τιτλοδότησης για } \text{Mg}^{2+} - \text{τιμή τιτλοδότησης για } \text{Ca}^{2+}) \times 0,243.$$



Εικόνα 6.7., 6.8. Διαδικασία μετρήσεων Cl^- , HCO_3^- , Ca^{2+} , Mg^{2+}



Εικόνα 6.9. Όργανο πιλοδότησης

6.3. Φλογοφωτόμετρο

Τέλος ακολούθησαν οι μετρήσεις K^+ και Na^+ με τη χρήση φλογοφωτόμετρου (Digital Flame Analyser).



Εικόνα 6.10. Digital Flame Analyser

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ

Σε προηγούμενα κεφάλαια αναλύθηκε η διαδικασία δειγματοληψίας στην περιοχή του Φαληρικού Δέλτα, καθώς και τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν για τη δειγματοληψία αλλά και την επεξεργασία των δειγμάτων στο Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας-Υδρογεωλογίας του τμήματος Μηχανικών Μεταλλείων του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Στον πίνακα 7.1. παρατίθενται τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων των 21 δειγμάτων νερού.

A/A	ΚΩΔΙΚΟΣ	ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ	X	Y	Z	ΒΑΘΟΣ	pH	E.C. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	T.D.S.	ΟΞΥΓ.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻
ΔΗΜΟΣ ΠΑΛΑΙΟΥ ΦΑΛΗΡΟΥ																		
1	1ΠΦ	Τερψιθέας	474374	4197373	24	100	7,059	2150	1322,12	7,88	83,30	75,82	244	7,2	385,52	302	134	82,4
2	2ΠΦ	Παμφυλίας	474170	4198382	19	125	7,390	1507	885,62	6,51	53,66	42,77	180	3,6	285,48	196	62	55,6
ΔΗΜΟΣ ΚΑΛΛΙΘΕΑΣ																		
1	1Κ	Τροπικάλ	473194	4200277	11	100	7,444	943	772,94	9,91	79,30	34,51	73	10,5	361,12	58	90	56,6
2	2Κ	Φιλαρέτου	474061	4199927	28	150	7,862	1503	967,91	9,68	50,46	29,65	239,6	5	312,32	177	86	58,3
3	3Κ	Ιφιγενείας	474259	4200342	29	150	7,832	1449	990,48	9,83	82,50	15,07	220,5	3,5	297,68	172	132	57,4
4	4Κ	Γήπεδο Γρ. Λ.	474741	4201134	43	150	7,718	1147	770,15	9,52	80,90	17,01	161,5	3	324,52	94	75	4,7
5	5Κ	Ύδρας	474727	4201542	37	100	7,317	878	627,6	9,67	113,74	17,01	58	15	297,68	18	52	46,5
6	6Κ	Σαλαμίνας	474203	4201480	32	120	7,276	953	690,75	8,68	94,51	12,64	99	9,5	300,12	58	82	26,3
7	7Κ	Άτλαντας	473696	4201283	26	130	7,137	959	833,12	9,14	123,35	18,95	78	18,5	395,28	36	98	55,9
ΔΗΜΟΣ ΑΛΙΜΟΥ																		
1	1Α	Γερουλάνου	475737	419485	16	-	6,876	2180	1417,55	6,07	163,40	50,06	229,5	11	312,32	376	45	224,2
2	2Α	Μεγίστης	475422	4196344	50	90	7,838	1508	877,78	7,18	49,66	38,88	227	4	253,76	216	70	11,3
3	3Α	Πλ. Καραϊσκάκη	476962	4196980	75	130	7,235	1209	1046,53	7,94	126,55	30,62	109	4,5	324,52	54	132	257,4
4	4Α	Λ. Κυθηρίων	476456	4195437	52	-	7,051	1468	1026,13	5,84	95,31	36,94	170,5	3	283,04	174	148	109,5
5	5Α	Ρήγα Φεραίου	475018	4196780	28	-	7,488	307	203,30	8,41	52,86	15,55	6,3	0,8	102,48	8	2	6,9
ΔΗΜΟΣ ΕΛΛΗΝΙΚΟΥ																		
1	1Ε	Μυστρά	477320	4193925	50	-	6,836	1311	877,92	4,43	89,71	75,82	82,5	3	351,36	112	96	63,1

2	2E	Σούρμενα	477596	4193050	57	-	7,425	996	710,11	9,12	121,75	32,08	46,2	2,2	326,96	32	74	65,8	
3	3E	Πλ. Σμύρνης	476063	4192743	8	25	7,444	3140	1730,15	10,40	116,94	49,09	541	3,6	287,92	628	45	48,2	
4	4E	Μετρό Ελληνικού	477622	4193567	61	-	7,607	832	584,83	11,88	81,70	25,27	58	4,5	200,08	44	112	47,4	
5	5E	Ιμέρας	477344	4195419	56	-	7,348	1059	794,60	9,34	166,60	3,40	70	1,7	278,16	24	124	117,4	
6	6E	Αναστάσεως	478373	4194085	85	-	7,551	1498	697,66	12,86	112,94	90,88	77,5	1,8	261,08	42	20	78,6	
7	7E	Κύπρου	478684	4193992	102	180	7,324	994	671,15	9,88	109,73	34,02	66,5	5,4	214,72	62	74	94,9	
ΌΡΙΑ							6,5-8,5	<400				100-200	30-50	20-150	10-12	10-500	<200	25-250	25-50

Πίνακας 7.1. Αποτελέσματα αναλύσεων εργαστηρίου

Στον παραπάνω πίνακα με κόκκινο χρώμα στην τελευταία γραμμή αναγράφονται οι οριακά αποδεκτές τιμές των συγκεντρώσεων σύμφωνα με την Οδηγία 80/778 της ΕΟΚ. Το βάθος της γεώτρησης δεν ήταν εύκολο να υπολογιστεί σε όλα τα σημεία υδροληψίας και γι'αυτό δεν αναγράφεται παντού.

7.1. Στατιστικά αποτελέσματα αναλύσεων

Στον επόμενο πίνακα βλέπουμε τα στατιστικά στοιχεία των αναλύσεων που προηγήθηκαν, δηλαδή η μέγιστη και ελάχιστη τιμή των συγκεντρώσεων, η μέση τιμή, η τυπική απόκλιση, ο συντελεστής μεταβλητότητας και ο συντελεστής ασυμμετρίας.

Παράμετρος	Μονάδες	Max Τιμή	Min Τιμή	Μέση Τιμή	Τυπική Απόκλιση	Συντ. Μεταβλητότητας (%)	Συντ. Ασυμμετρίας
Ca ²⁺	mg/l	166,6	49,66	97,565	33,182	34,01	0,011946
Na ⁺	mg/l	541	6,3	144,64	117,2	81,029	0,01905
K ⁺	mg/l	18,5	0,8	5,7762	4,6227	80,029	0,01784
Mg ²⁺	mg/l	90,88	3,4	35,526	22,677	63,833	0,015277
Cl ⁻	mg/l	628	8	137,29	149,88	109,17	0,022383
SO ₄ ²⁻	mg/l	148	2	83,476	38,609	46,252	0,012526
HCO ₃ ⁻	mg/l	395,28	102,48	293,15	65,218	22,248	0,010962
pH	-	7,862	6,836	7,3837	0,29354	3,9755	0,010415
E.C.	μS/cm	3140	307	1332,9	595,82	44,701	0,013456
NO ₃ ⁻	mg/l	7,862	6,836	7,3837	0,29354	3,9755	0,010415

Πίνακας 7.2. Στατιστικά στοιχεία αναλύσεων

Η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή για κάθε συγκέντρωση προήλθε από απλή παρατήρηση των μετρήσεων, η μέση τιμή είναι το άθροισμα των τιμών της κάθε παραμέτρου δια το άθροισμά τους, δηλαδή έγινε χρήση της εξίσωσης $\bar{x} = \sum_{i=1}^n X_i / n$.

Η τυπική απόκλιση υπολογίστηκε μέσω της σχέσης $s = \sqrt{\sum (X_i - \bar{X})^2 / (n - 1)}$ και

δείχνει κατά πόσο οι τιμές τείνουν να είναι κοντά στον μέσο όρο ή όχι.

Ο συντελεστής μεταβλητότητας ή διακύμανσης είναι ο λόγος της τυπικής απόκλισης προς τη μέση τιμή και εκφράζεται επί τοις εκατό, δηλαδή $CV = (s/\bar{X}) * 100\%$. Όσο μεγαλύτερο είναι το ποσοστό τόσο μεγαλύτερη ομοιογένεια υπάρχει στο δείγμα μας.

7.2. Ιδανικές τιμές ιόντων στα υπόγεια νερά

7.2.1. Συγκέντρωση Ca²⁺

Το ασβέστιο στα επιφανειακά και στα υπόγεια νερά είναι φυσικής προέλευσης και οφείλεται στη χημική σύσταση που έχουν τα πετρώματα από τα οποία διέρχεται το νερό. Η κύρια προέλευση του ασβεστίου είναι τα ανθρακικά ιζηματογενή πετρώματα και τα μάρμαρα.

Το ενδεικτικό επίπεδο της συγκέντρωσης ασβεστίου στα πόσιμα νερά σύμφωνα με την οδηγία 80/778 της ΕΟΚ είναι 100 mg/l, ενώ πάνω από τα

200 mg/l το νερό είναι ακατάλληλο για πόση σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (1963).

7.2.2. Συγκέντρωση Mg^{2+}

Το μαγνήσιο συνήθως συναντάται στους δολομίτες, τους χλωρίτες και τα ανθρακικά πετρώματα. Προέρχεται από τη διάλυση αργιλικών ορυκτών, όπου βρίσκεται προσροφημένο στο πλέγμα τους. Ο λόγος Ca/Mg στο θαλασσινό νερό είναι περίπου 0,25, σε υφάλμυρα νερά 1,5-3,7, ενώ σε ασβεστολιθικά νερά 1,6 και σε δολομιτικά νερά 1,25.

Για το πόσιμο νερό τα 30 mg/l είναι η κατώτερη επιτρεπτή τιμή, ενώ τα 50 mg/l είναι η ανώτερη επιτρεπτή.

7.2.3. Συγκέντρωση Cl^-

Τα χλωριόντα κυρίως συναντώνται κατά τη διείσδυση του θαλασσινού νερού που συχνά μολύνει τους παράκτιους υδροφόρους. Επιπλέον, συγκεντρώσεις υψηλές οφείλονται στα οικιακά και βιομηχανικά απόβλητα των σκουπιδότοπων, καθώς και τα εβαποριτικά και εγκλωβισμένα ορυκτά όπου συνήθως είναι αργιλικά πετρώματα απολιθωμένων υπόγειων νερών. Το χλώριο χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό του εμπλουτισμού των υπόγειων υδροφορέων.

Η αλατότητα του βρόχινου νερού στις νησιωτικές και παράκτιες περιοχές είναι υψηλότερη σε σύγκριση με τις περιοχές στην 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 σημαντικά στη χημική σύσταση των υπόγειων νερών των νησιών (Dazy et al., 1997, Lambrakis et al., 2000).

Η συγκέντρωση του χλωρίου στο νερό πρέπει να είναι μικρότερη από 200 mg/l. Η ενδεικτική τιμή είναι αυτή των 25 mg/l σύμφωνα με την οδηγία 80/778 της ΕΟΚ, ενώ σε συγκεντρώσεις μεγαλύτερες από 500 mg/l το νερό έχει ανεπιθύμητη γεύση για τον άνθρωπο όμως τα ζώα μπορούν να πιουν άφοβα.

7.2.4. Συγκέντρωση SO_4^{2-}

Τα θειικά ανιόντα δημιουργούνται από τη διάλυση του $CaSO_4$ της γύψου και του ανυδρίτη, η χρήση θειικών λιπασμάτων τύπου $(NH_4)_2SO_4$, καθώς και η οξείδωση θειούχων ενώσεων (πυριτών), που εμφανίζονται σε αργιλικά πετρώματα.

Το πόσιμο νερό θα πρέπει σύμφωνα με την οδηγία 80/778 της ΕΟΚ να διαθέτει ποσότητα θειικών από 25 mg/l έως 250 mg/l. Μεγαλύτερες συγκεντρώσεις δεν ενδείκνυνται για πόση, καθώς υπερισχύουν καθαρικές ιδιότητες και έντονη οσμή.

7.2.5. Συγκέντρωση HCO_3^-

Οι συγκεντρώσεις των όξινων ανθρακικών ιόντων επικρατούν στα γλυκά υπόγεια νερά και δείχνουν εάν υπάρχει οργανική ουσία ή όχι.

Η περιεκτικότητα των ανθρακικών ιόντων στο πόσιμο νερό κυμαίνεται από 10-500 mg/l, όμως για να θεωρηθεί πλήρως ακατάλληλο το νερό για πόση πρέπει να ξεπερνά τα 1500 mg/l.

7.2.6. Συγκέντρωση NO_3^-

Η αποσύνθεση ζωικής και φυτικής πρωτεΐνης έχει σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία των νιτρικών ιόντων. Τα λιπάσματα και τα ζωικά περιττώματα αποτελούν κυρίαρχες πηγές εμφάνισης νιτρικών. Επιπλέον, τα νιτρικά ιόντα παρουσιάζουν ιδιαίτερα μεγάλη κινητικότητα στο υπόγειο νερό.

Σύμφωνα με την οδηγία της ΕΟΚ 25 mg/l αποτελούν την ειδική συγκέντρωση νιτρικών για το πόσιμο νερό με τα 50 mg/l να είναι το ανώτατο όριο. Τα 15ppm θεωρούνται οριακά αποδεκτά μιας και περισσότερα ppm είναι επικίνδυνα για την εμφάνιση καρκινογόνων νιτρικών ριζών.

7.2.7. Συγκέντρωση K^+

Προέρχεται από την αποσάθρωση καλιούχων αστρίων και είναι συνδεδεμένο με πετρώματα που περιέχουν ορθόκλαστο, ενώ συχνά βρίσκεται σε ιζηματογενείς σχιστόλιθους. Κάλιο εμπειριέχεται και σε πολλά λιπάσματα, γι' αυτό και σε περιοχές με καλλιέργειες οι υπόγειοι υδροφόροι είναι επιβαρυμένοι.

Τα ιόντα καλίου πρέπει να βρίσκονται μεταξύ 10 και 12 mg/l για να είναι στα επιτρεπτά όρια.

7.2.8. Συγκέντρωση Na^+

Το νάτριο συνήθως συναντάται στα πλαγιόκλαστα και σε μικρότερες ποσότητες στα ανθρακικά πετρώματα. Οι αργιλικοί σχιστόλιθοι και τα ορυκτά των αργίλων, λόγω της ιοντοεναλλακτικής τους ικανότητας, προσδίδουν στα υπόγεια νερά σχετικά μεγάλη περιεκτικότητα σε Na^+ .

Η διείσδυση της θάλασσας σε παράκτιους υδροφόρους ορίζοντες προκαλεί την εμφάνιση αλκαλίων χωρίς να επηρεάζει τη σκληρότητα του νερού, γι' αυτό όταν το νερό προορίζεται για άρδευση χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή.

Για το πόσιμο νερό οι ενδεικτικές τιμές των ιόντων νατρίου είναι από 20 mg/l έως 150 mg/l. Στο θαλασσινό νερό η τιμή ανέρχεται στα 10.000 mg/l.

7.2.9. Ηλεκτρική αγωγιμότητα (E.C.)

Η E.C. μετράει το δυναμικό μεταφοράς ηλεκτρικού ρεύματος μέσω του νερού, η οποία είναι γνωστή ως γραμμομοριακή αγωγιμότητα και εκφράζεται ως siemens (S). Τα ηλεκτρόνια ρέουν από μια σειρά ηλεκτροδίων σε μια άλλη μέσα στο νερό, όχι λόγω των μορίων του νερού αλλά λόγω των ιόντων του νερού. Τα ιόντα μεταφέρουν τα ηλεκτρόνια και περιορίζουν την ποσότητα των ηλεκτρονίων που μπορούν να ταξιδέψουν στο χώρο με τον αριθμό των ιόντων

που είναι διαθέσιμα ή μπορούν να μεταφέρουν. Όσο μεγαλύτερη είναι η συγκέντρωση τόσο μεγαλύτερη είναι η ροή. Το ίδιο καθαρό νερό είναι ένας κακός αγωγός, οπότε ένας μετρητής E.C. θα διαβάζει την τιμή 0,0 σε νερό βροχής, νερό αντίστροφης ώσμωσης ή νερό απομάκρυνσης του νερού. Αντίθετα, το αλμυρό θαλασσινό νερό είναι ένας πολύ καλύτερος αγωγός.

Όταν προσθέτουμε θρεπτικά συστατικά στο νερό, αυξάνουμε έτσι την μοριακή του αγωγιμότητα και κατά συνέπεια αυξάνουμε την ηλεκτρική του αγωγιμότητα (E.C.). Εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι οι μετρήσεις αγωγιμότητας επηρεάζονται άμεσα από τη θερμοκρασία, γι' αυτό θα πρέπει οι μετρήσεις να γίνονται σε θερμοκρασία 25 °C.

Η τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας εξαρτάται από παράγοντες όπως:

- Η υδροπερατότητα και το εμβαδόν της συνολικής επιφάνειας του πετρώματος που βρίσκεται σε επαφή με το νερό.
- Η ορυκτολογική σύσταση του υδροφόρου και η διαλυτότητα των πετρωμάτων.
- Η περιεκτικότητα του νερού σε ηλεκτρολύτες.
- Η θερμοκρασία του νερού.

Η αγωγιμότητα στο πόσιμο νερό θα πρέπει να είναι γύρω στα 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Περισσότερη συνεπάγεται αυξημένη αλατότητα που μπορεί να οδηγήσει σε προβλήματα υγείας.

7.2.10. Θερμοκρασία

Η θερμοκρασία των υπόγειων νερών καθορίζεται κυρίως από τη θερμοκρασία των πετρωμάτων, τα οποία τα περιβάλλουν. Οι θερμοκρασίες του υπόγειου νερού τείνουν να παραμείνουν σταθερές, εκτός από τα επιφανειακά νερά που παρουσιάζουν διακυμάνσεις ως αποτέλεσμα των μεταβολών της ηλιακής ενέργειας πάνω στην επιφάνεια της γης. Η θερμοκρασία του υπόγειου νερού επηρεάζεται και από τις μεταβολές της πιεζομετρικής επιφάνειας του υδροφορέα.

Κατά την ανάμειξη θερμού και ψυχρού νερού με θερμοκρασίες T_{θ} και T_{ψ} με όγκους V_{θ} και V_{ψ} , ισχύει αντίστοιχα:

$$V_{\text{mix}} * T_{\text{mix}} = V_{\theta} * T_{\theta} + V_{\psi} * T_{\psi} \text{ και } V_{\text{mix}} = V_{\theta} + V_{\psi} = 100\%$$

Λύνοντας ως προς V_{θ} υπολογίζεται ο όγκος του θερμού νερού (%) στο μίγμα:

$$V_{\theta} = \frac{(T_{\text{mix}} - T_{\psi}) * 100}{(T_{\theta} - T_{\psi})}$$

7.2.11. Ενεργός οξύτητα (pH)

Το pH του υπόγειου νερού καθορίζεται από τις διάφορες χημικές αντιδράσεις και ισορροπίες μεταξύ των διαλυμένων ιόντων μέσα σε αυτό. Το pH που οφείλεται στην παρουσία του CO_2 αποτελεί το pH ισορροπίας ή pHs κορεσμού. Αν το pH του νερού είναι μικρότερο από το pHs κορεσμού τότε το

νερό έχει μεγάλη διαλυτική ικανότητα και μπορεί να διαλύσει το CaCO_3 . Στην αντίθετη περίπτωση το διάλυμα είναι κορεσμένο και αποθέτει το CaCO_3 .

Το pH των νερών γενικά μειώνεται όσο η υδάτινη μάζα ενηλικιώνεται. Μια νέα υδάτινη μάζα είναι συνήθως αλκαλική ($\text{pH}>7$) και σιγά-σιγά με τον χρόνο γίνεται όξινη ($\text{pH}<7$). Αυτό οφείλεται κυρίως στη συγκέντρωση οργανικού υλικού, που εκλύει CO_2 όταν αποσυντίθεται.

Η όξινη βροχή που οφείλεται στην έκλειση οξειδίων (SO_2 , NO_x) από την καύση των υδρογονανθράκων και τη μετατροπή τους σε οξέα στην ατμόσφαιρα, συμβάλλει στη μείωση του pH και στη δημιουργία όξινων υπόγειων νερών.

Το pH του νερού του υπεδάφους είναι σημαντικός παράγοντας αποσάθρωσης. Όξινο περιβάλλον ευνοεί την αφαίρεση Fe και Al από τα μητρικά ορυκτά, καθώς και τη συγκέντρωση SiO_2 . Το pH επίσης μπορεί να μειωθεί από την οξείδωση της αμμωνίας, που προέρχεται από τη χρήση της κοπριάς σαν λίπασμα, καθώς και την οξείδωση των πυριτών.

Σε κανονικές συνθήκες το pH του φυσικού νερού στους 25 °C είναι 7.0. Όταν είναι μικρότερο από 7.0 τότε το νερό είναι όξινο και μπορεί να προσβάλει τα ανθρακικά πετρώματα, ενώ όταν είναι μεγαλύτερο από 7.0, τότε είναι αλκαλικό.

7.2.12. Αλατότητα (T.D.S.)

Η αλατότητα αφορά τον δείκτη της μεταλλικότητας των υπόγειων νερών και εκφράζει τη συνολική συγκέντρωση των διαλυμένων αλάτων. Βρίσκεται σε άμεση σχέση με την ηλεκτρική αγωγιμότητα και κατά αντιστοιχία εκφράζει έμμεσα τις συνθήκες τροφοδοσίας και ανανέωσης, καθώς και τη γενική εικόνα της υποβάθμισης της φυσικής ποιότητας των υπόγειων νερών. Η σχέση της με την ηλεκτρική αγωγιμότητα εκφράζεται από τον τύπο: $\text{T.D.S.}=0,65*\text{E.C.}$

Από τη πιο πρόσφατη ταξινόμηση (Hem-1970) ισχύουν τα ακόλουθα:

T.D.S.	Περιγραφή νερού
<1.000 mg/l	Γλυκό
1.000-10.000 mg/l	Μέτριο αλατούχο
10.000-35.000 mg/l	Πολύ αλατούχο
>35.000 mg/l	Υπεράλμυρο

Πίνακας 7.3. Περιγραφή νερού με βάση την αλατότητα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8. ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ

8.1. Εισαγωγή

Η ανάλυση συσχέτισης αποτελεί στατιστική μέθοδο μέτρησης της σχέσης που έχουν μεταξύ τους οι δύο μεταβλητές. Αυτό που ενδιαφέρει στην περίπτωση που επιλέγεται αυτή η μέθοδος είναι να καθορισθεί κατά πόσο δύο μεταβλητές μέτρησης μεταβάλλονται μαζί, δηλαδή, κατά πόσο μεγάλες τιμές της μιας μεταβλητής σχετίζονται με μεγάλες τιμές της άλλης (θετική συσχέτιση), κατά πόσο μικρές τιμές της μιας μεταβλητής σχετίζονται με μεγάλες τιμές της άλλης (αρνητική συσχέτιση) ή κατά πόσο οι τιμές και των δύο μεταβλητών είναι άσχετες μεταξύ τους (σχεδόν μηδενική συσχέτιση). Στην περίπτωση που δύο μεταβλητές παρουσιάζουν ισχυρή συσχέτιση, μπορεί αυτή η σχέση να αποτελέσει εργαλείο πρόβλεψης για τις τιμές της μιας μεταβλητής γνωρίζοντας τις τιμές της άλλης. Παρόλα αυτά με την ανάλυση συσχέτισης, δεν μπορεί να υποθεθεί ότι η μια μεταβλητή είναι υπεύθυνη για την μεταβολή της άλλης. Στην περίπτωση αυτή η αντίστοιχη ανάλυση είναι γνωστή ως ανάλυση παλινδρόμησης (η οποία συνδέει μια εξαρτημένη και μια ανεξάρτητη μεταβλητή).

Το είδος και το μέγεθος της γραμμικής σχέσης μεταξύ δύο ποσοτικών μεταβλητών που ακολουθούν την κανονική κατανομή εκτιμάται με το συντελεστή συσχέτισης του Pearson, ενώ όταν έστω και μια από τις δύο ποσοτικές μεταβλητές δεν ακολουθεί την κανονική κατανομή, τότε χρησιμοποιείται ο συντελεστής συσχέτισης διατάξεων του Spearman. Επιπλέον, ο τελευταίος χρησιμοποιείται και στην περίπτωση που η μία ή και οι δύο μεταβλητές είναι σε διατεταγμένη κλίμακα.

8.2. Συντελεστής συσχέτισης του Pearson

Ο συντελεστής συσχέτισης του Pearson με ρ όταν αφορά σε ολόκληρο τον πληθυσμό και με r όταν υπολογίζεται για ένα συγκεκριμένο δείγμα πληθυσμού (αποτελώντας έτσι εκτίμηση για τον πληθυσμό από τον οποίο προέρχεται το δείγμα). Προσδιορίζεται από τον λόγο της συνδιασποράς (ή συμμεταβλητότητας) δύο μεταβλητών προς το γινόμενο των τυπικών αποκλίσεων των μεταβλητών, δηλαδή:

$$\rho_{X,Y} = \frac{\text{cov}(X,Y)}{\sigma_X \sigma_Y} = \frac{E[(X-\hat{\mu}_X)(Y-\hat{\mu}_Y)]}{\sigma_X \sigma_Y}$$

όπου X , Y είναι δύο τυχαίες μεταβλητές, ενώ στους μέσους όρους και τυπικές αποκλίσεις που προσδιορίζονται για τις μεταβλητές αυτές έχει συμπεριληφθεί η μεταβλητή ως δείκτης, ώστε να είναι ξεκάθαρο σε ποια μεταβλητή αναφέρεται το κάθε μέτρο θέσης και διασποράς. Επίσης, στην παραπάνω σχέση με E συμβολίζεται ο μέσος όρος. Ο συντελεστής συσχέτισης του Pearson δεν έχει μονάδες μέτρησης και λαμβάνει τιμές από -1 έως +1. Εάν το μέγεθος της μιας μεταβλητής τείνει να αυξάνεται όπως αυξάνεται το μέγεθος και της άλλης μεταβλητής, τότε υπάρχει θετική συσχέτιση μεταξύ των δύο μεταβλητών και ο συντελεστής συσχέτισης είναι >0 . Αντίθετα, εάν το μέγεθος

της μιας μεταβλητής τείνει να αυξάνεται όπως ελαττώνεται το μέγεθος της άλλης μεταβλητής, τότε υπάρχει αρνητική συσχέτιση μεταξύ των δύο μεταβλητών και ο συντελεστής συσχέτισης είναι <0 . Ανάλογα με την τιμή του συντελεστή συσχέτισης υπάρχει η παρακάτω διάκριση:

- +0.75 ως +1: πολύ καλή θετική συσχέτιση,
- +0.50 ως +0.75: καλή θετική συσχέτιση,
- +0.30 ως +0.50: μέτρια θετική συσχέτιση,
- -0.75 ως -1: πολύ καλή αρνητική συσχέτιση,
- -0.50 ως -0.75: καλή αρνητική συσχέτιση,
- -0.30 ως -0.50: μέτρια αρνητική συσχέτιση.

Οι τιμές -1 έως +1 συμβαίνουν όταν υπάρχει μια τέλεια (αρνητική ή θετική, αντίστοιχα) γραμμική σχέση μεταξύ των δύο μεταβλητών. Όταν ο συντελεστής συσχέτισης λαμβάνει την τιμή 0 σημαίνει ότι δεν υπάρχει γραμμική σχέση μεταξύ των δύο μεταβλητών, αλλά δεν αποκλείεται η ύπαρξη μιας άλλης μη γραμμικής σχέσης. Ο συντελεστής συσχέτισης του Pearson παρουσιάζει ορισμένα μειονεκτήματα, καθώς: (α) ποσοτικοποιεί τη σχέση μεταξύ δύο μεταβλητών μόνο στην περίπτωση κατά την οποία η σχέση αυτή είναι γραμμική, (β) είναι πολύ ευαίσθητος σε ακραίες τιμές και η ύπαρξή τους σε αρκετές περιπτώσεις οδηγεί σε λανθασμένα συμπεράσματα, (γ) η εκτιμηθείσα συσχέτιση δεν μπορεί να επεκταθεί πέρα από το παρατηρούμενο εύρος των μεταβλητών.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα εφαρμογής του Pearson με χρήση του προγράμματος του Excel, έχοντας πρώτα κάνει εφαρμογή του AquaChem στο οποίο εισήχθηκαν όλα τα χημικά αποτελέσματα των δειγμάτων μας.

Total Number of Samples: 21															
Correlation coefficient															
		pH	Cl	Na	Cond	pH	K	Na	Ca	Mg	Cl	SO4	HCO3	NO3	Dissolved_Oxygen
pH		1	-0,096	0,121	-0,138	1	-0,334	0,121	-0,512	-0,333	-0,096	-0,158	-0,342	-0,502	0,586
Cl	mg/l		1	0,952	0,947	-0,096	-0,059	0,952	0,042	0,367	1	-0,078	0,166	0,117	-0,198
Na	mg/l			1	0,92	0,121	-0,097	1	-0,049	0,245	0,952	0,0071	0,203	0,02	-0,068
Cond	uS/cm				1	-0,138	-0,068	0,92	0,175	0,52	0,947	0,009	0,325	0,233	-0,123
pH						1	-0,334	0,121	-0,512	-0,333	-0,096	-0,158	-0,342	-0,502	0,586
K	mg/l						1	-0,097	0,247	-0,172	-0,059	0,021	0,48	0,068	0,0027
Na	mg/l							1	-0,049	0,245	0,952	0,0071	0,203	0,02	-0,068
Ca	mg/l								1	-0,03	0,042	0,096	0,25	0,638	0,062
Mg	mg/l									1	0,367	-0,16	0,223	0,163	-0,146
Cl	mg/l										1	-0,078	0,166	0,117	-0,198
SO4	mg/l											1	0,455	0,294	-0,207
HCO3	mg/l												1	0,215	-0,224
NO3	mg/l													1	-0,258
Dissolved_Oxygen	mg/l														1

Πίνακας 8.1. Αποτελέσματα Pearson με χρήση του AquaChem

Σύμφωνα με τον πίνακα αυτόν βλέπουμε ότι για το σύνολο των δειγμάτων μας τα χλώρια παρουσιάζουν πολύ καλή θετική συσχέτιση με τα νάτρια (+0,952), ενώ με τα άλλα χημικά αποτελέσματα η συσχέτιση είναι μέτρια. Το ίδιο αντίστοιχα ισχύει και για τα νάτρια.

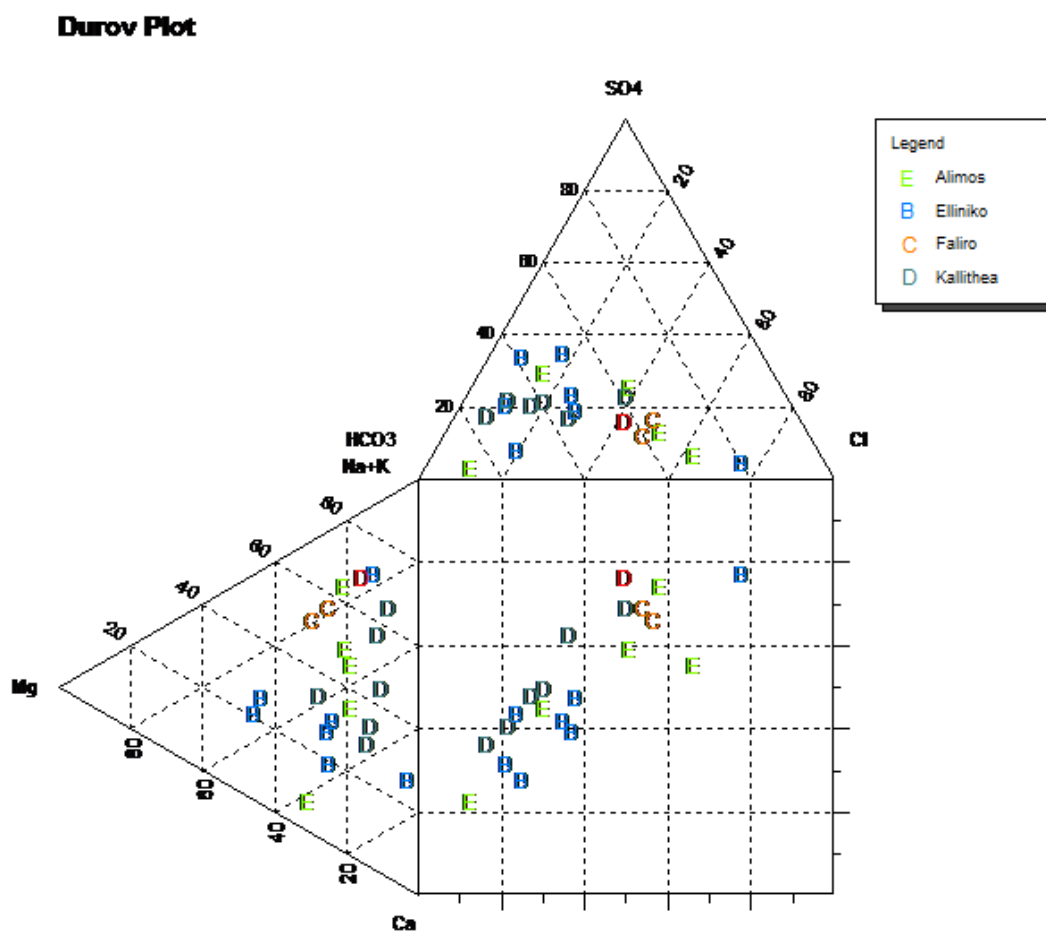
Τα κάλια δεν συσχετίζονται πολύ με κάποια ιόντα πέραν από τα όξινα ανθρακικά με μέτρια θετική συσχέτιση (+0,48), τα μαγνήσια έχουν επίσης μέτρια θετική συσχέτιση με τα χλώρια (+0,367) και λιγότερη με τα όξινα ανθρακικά (+0,223) και τα νιτρικά (+0,163).

Τα θειικά έχουν πάρα πολύ μικρή συσχέτιση με όλες τις χημικές ουσίες εκτός από τα όξινα ανθρακικά, με τα οποία έχουν μέτρια θετική συσχέτιση (+0,455), ενώ τέλος τα νιτρικά εμφανίζουν καλή θετική συσχέτιση με τα ασβέστια (+0,638).

8.3. Υδροχημικά διαγράμματα των χημικών αναλύσεων

Τα αποτελέσματα των υδροχημικών αναλύσεων απεικονίζονται σε διαγράμματα Durov, Ludwig, Piper, Scoeller και Wilcox με την χρήση του προγράμματος AquaChem.

8.3.1. Durov



Εικόνα 8.1. Αποτελέσματα διαγράμματος Durov

Παρατηρούμε ότι οι περισσότερες μετρήσεις ανήκουν στο πεδίο 4, που σημαίνει ότι επικρατεί το Ca^{2+} από τα κατιόντα και είτε το SO_4^{2-} είτε και κανένα από τα ανιόντα. Τα δείγματα της Καλλιθέας και του Ελληνικού στη πλειοψηφία τους ανήκουν σε αυτό το πεδίο.

Άλλες μετρήσεις τοποθετούνται στο πεδίο 2, κάτι που δείχνει ότι από τα κατιόντα επικρατούν είτε το Mg^{2+} είτε κανένα κατιόν και από τα ανιόντα τα όξινα ανθρακικά. Όλα τα δείγματα του Παλαιού Φαλήρου ανήκουν στο πεδίο αυτό, καθώς και κάποια της Καλλιθέας και του Αλίμου.

Λίγες μετρήσεις ανήκουν στο πεδίο 3, 5, 6 και 7 ενώ καμία μέτρηση δεν περιλαμβάνει το πεδίο 1, 8 και 9.

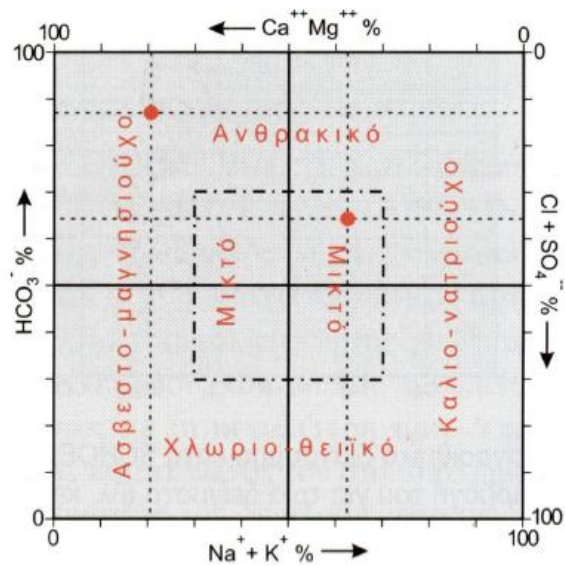
Βλέπουμε ότι η διασπορά των μετρήσεων είναι αυξημένη στον Άλιμο, μικρή στο Παλιό Φάληρο, ενώ στη Καλλιθέα και το Ελληνικό υπάρχει σε έναν μέτριο βαθμό διασπορά.

8.3.2. Ludwig-Langelier

Το διάγραμμα Ludwig Langelier εμφανίζει τη κατανομή των δειγμάτων σε σχέση με το χλωριο-θειικό και καλιο-νατριούχο χαρακτήρα τους. Κατάλληλες ομάδες κατιόντων και ανιόντων επιλέγονται και απεικονίζονται ως ποσοστά των συγκεντρώσεων εκφρασμένων σε χιλιοσσοδύναμα (meq). Κατά συνθήκη, το άθροισμα των επιλεγμένων κατιόντων απεικονίζονται στον άξονα y και το άθροισμα των επιλεγμένων ανιόντων απεικονίζονται στον x-άξονα. Κάθε άξονας κυμαίνεται από 0 έως 50 meq%. Εμφανίζονται τα σχετικά ποσοστά συγκεντρώσεων ιόντων και όχι οι απόλυτες συγκεντρώσεις τους.

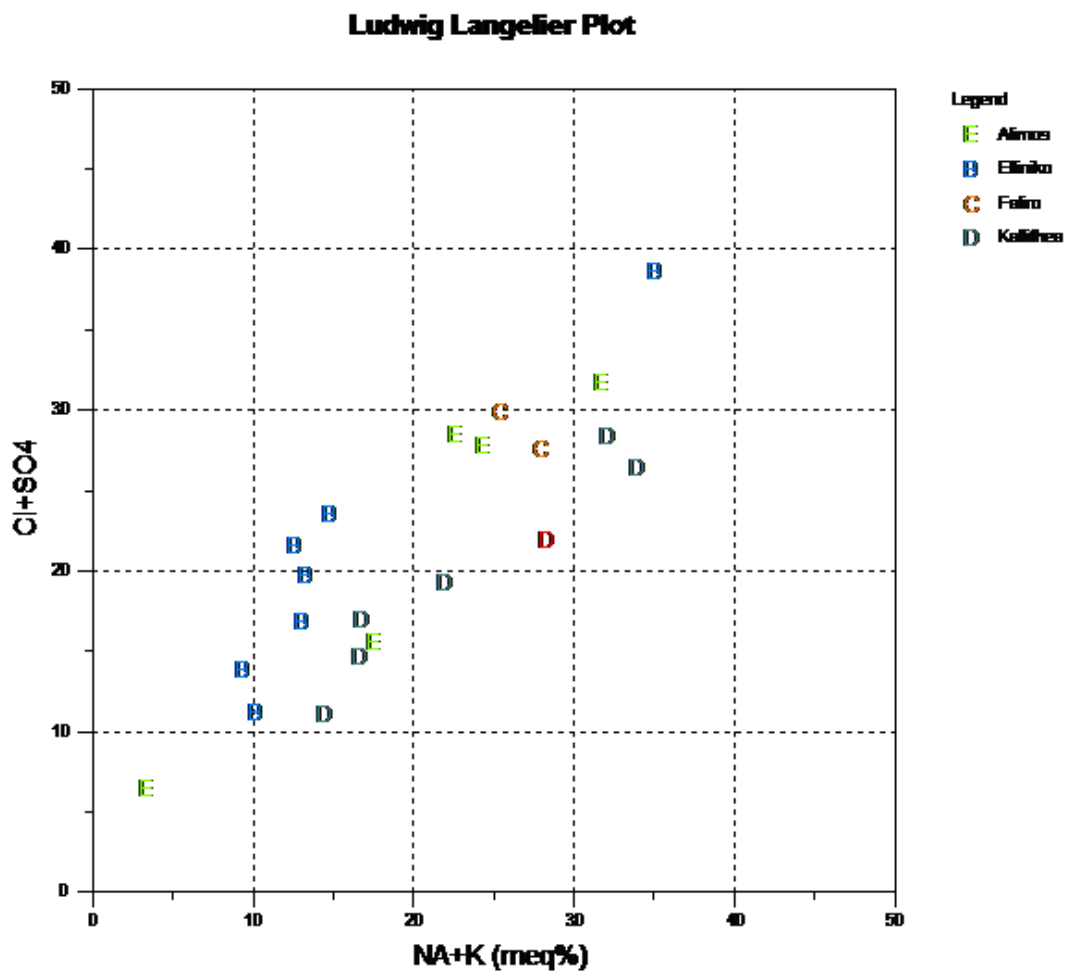
Όσο τα δείγματα απομακρύνονται από την αρχή των αξόνων τόσο ισχυροποιείται ο χαρακτήρας που έχουν (σε όσα δείγματα πλησιάζουν τον άξονα των $\text{Cl} + \text{SO}_4$ υπερισχύει ο χλωριο-θειικός χαρακτήρας και αντίστοιχα σε όσα πλησιάζουν τον άξονα $\text{Na} - \text{K}$ υπερισχύει ο καλιο-νατριούχος, ενώ σε αυτά που σχεδόν ισαπέχουν ο χαρακτήρας είναι ισομερής, δηλαδή χλωριο-θειικός και καλιο-νατριούχος). Αντικαθιστώντας τους άξονες του διαγράμματος με $\text{Ca} - \text{Mg}$ και αντίστοιχα HCO_3 , θα δημιουργούνταν η κατανομή των δειγμάτων με βάση τον ασβεστο-μαγνησιούχο και ανθρακικό χαρακτήρα τους.

Στη μορφή που το διάγραμμα έχει και τους τέσσερις άξονες (HCO_3 , $\text{Na} - \text{K}$, $\text{Ca} - \text{Mg}$, $\text{Cl} - \text{SO}_4$) εμφανίζεται η κατανομή των δειγμάτων και ως προς τους τέσσερις υδροχημικούς χαρακτήρες. Κάθε τομή των αξόνων σε σχέση με το κέντρο του διαγράμματος ορίζει μια τετραγωνική περιοχή όπου υπερισχύουν κάθε φορά δύο από τους τέσσερις χαρακτήρες. Στο κέντρο του διαγράμματος ορίζεται και μια μικτή περιοχή που όλοι σχεδόν οι χαρακτήρες είναι ισομερείς.



Εικόνα 8.2. Διάγραμμα Ludwig

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα δείγματα νερού της περιοχής μελέτης με το διάγραμμα Ludwig.



Εικόνα 8.3. Αποτελέσματα διαγράμματος Ludwig

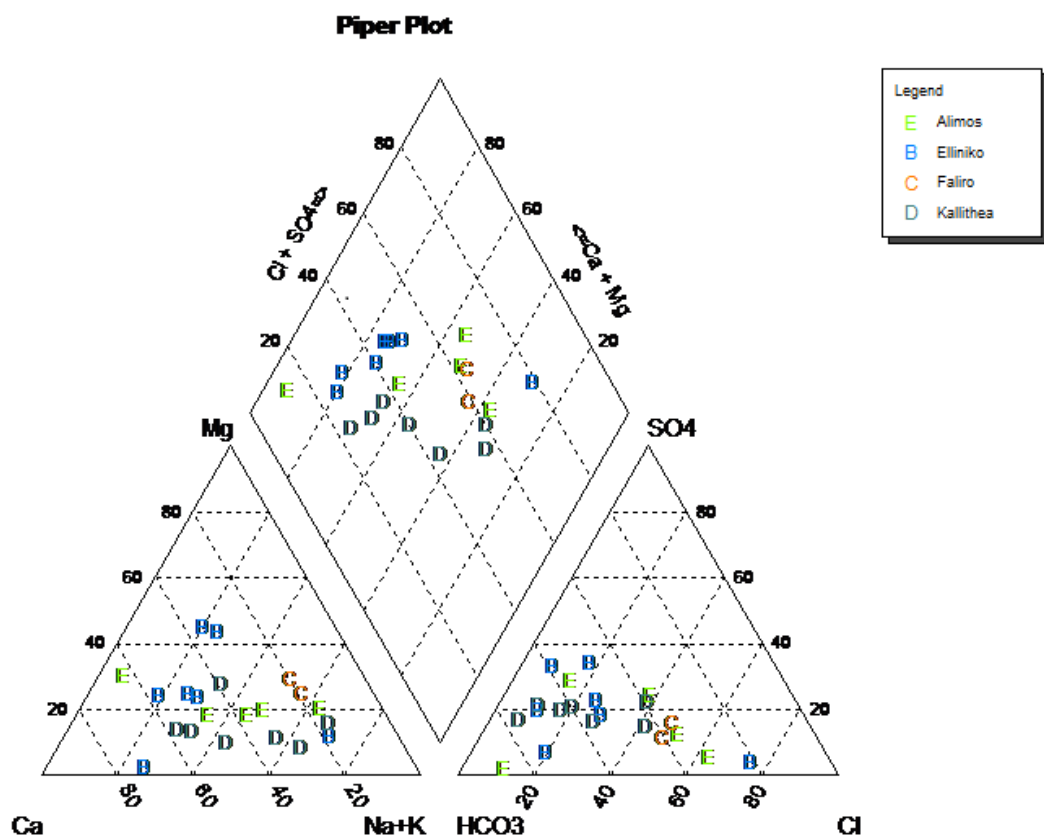
Στα δείγματα των δήμων που συγκεντρώσαμε υπάρχει μεγάλη διακύμανση στα δείγματα του Αλίμου τα οποία ξεκινούν από πολύ μικρά ποσοστά και καταλήγουν σε πολύ μεγάλα. Τα δείγματα του δήμου του Ελληνικού έχουν μεγάλη ομοιογένεια μεταξύ τους με μικρές τιμές ποσοστών συγκεντρώσεων με εξαίρεση μια η οποία είναι υψηλή. Το Παλαιό Φάληρο εμφανίζει παρόμοιες τιμές στα δύο του δείγματα και σχετικά υψηλές, ενώ ο δήμος Καλλιθέας εμφανίζει μέτριες έως υψηλές τιμές με σχετικά καλή διασπορά.

8.3.3. Piper

Το διάγραμμα Piper δημιουργήθηκε από τον Piper (1944). Αποτελείται από δύο τριγωνικά διαγράμματα, ένα για τα ανιόντα, ένα για τα κατιόντα και ένα ενδιάμεσο ρομβικό που στο σύνολο συνιστούν ένα τρίγωνο. Οι γειτονικές πλευρές των δύο τριγώνων βρίσκονται 60 χωριστά. Η θέση του αντίστοιχου δείγματος νερού στο διάγραμμα το κατατάσσει σε μια κατηγορία, τόσο ως προς τα κατιόντα ή ανιόντα όσο ως προς το σύνολο. Δίνει επομένως την υδροχημική φάση του δείγματος. Το διάγραμμα Piper επιτρέπει τόσο την άμεση, εποπτική σύγκριση διαφόρων δειγμάτων νερού, όσο και την ταξινόμησή τους σε κατηγορίες (φάσεις), ακόμα και όταν έχουμε πολλά και διαφορετικά δείγματα νερού.

Στο διάγραμμα Piper τα κατιόντα Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ και K^+ με βάση τη συγκέντρωσή τους ως ποσοστό επί τοις εκατό (%) του συνόλου των κατιόντων προβάλλονται στο αριστερό τρίγωνο, ενώ τα ανιόντα Cl^- , HCO_3^- και SO_4^{2-} στο δεξί τρίγωνο. Τα δύο αυτά σημεία (ένα σε κάθε τρίγωνο) προβάλλονται στη συνέχεια στον κεντρικό ρόμβο παράλληλα προς τις δύο πάνω πλευρές του. Το σημείο τομής των δύο προβολών δίνει τη συνολική εικόνα της ιοντικής κατανομής (Σούλιος Γ., 2006).

Τέσσερα βασικά συμπεράσματα μπορούν να εξαχθούν από τη προβολή των δειγμάτων σε αυτά τα διαγράμματα. Αυτά είναι: ο τύπος νερού, η καθίζηση ή διάλυση, η μίξη και η ιοντοανταλλαγή.



Εικόνα 8.5. Αποτελέσματα διαγράμματος Piper

Από το παραπάνω διάγραμμα διαπιστώνεται, ότι τα υπόγεια νερά στα οποία ανήκουν τα δείγματα που ελήφθησαν, έχουν τους τύπους που παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

ΥΔΡΟΣΗΜΕΙΟ	ΠΕΡΙΟΧΗ	ΚΩΔΙΚΟΣ	ΤΥΠΟΣ ΝΕΡΟΥ
ΓΕΡΟΥΛΑΝΟΥ	ΑΛΙΜΟΣ	1Α	Na-Ca-Cl-HCO ₃
ΜΕΓΙΣΤΗΣ	ΑΛΙΜΟΣ	2Α	Na-Mg-Cl-HCO ₃
ΠΛ. ΚΑΡΑΪΣΚΑΚΗ	ΑΛΙΜΟΣ	3Α	Ca-Na-HCO ₃ -NO ₃ -SO ₄
Λ. ΚΥΘΗΡΙΩΝ	ΑΛΙΜΟΣ	4Α	Na-Ca-Mg-Cl-HCO ₃ -SO ₄
ΡΗΓΑ ΦΕΡΑΙΟΥ	ΑΛΙΜΟΣ	5Α	Ca-Mg-HCO ₃
ΜΥΣΤΡΑ	ΕΛΛΗΝΙΚΟ	1Ε	Mg-Ca-Na-HCO ₃ -Cl
ΣΟΥΡΜΕΝΑ	ΕΛΛΗΝΙΚΟ	2Ε	Ca-Mg-Na-HCO ₃
ΠΛ. ΣΜΥΡΝΗΣ	ΕΛΛΗΝΙΚΟ	3Ε	Na-Ca-Cl
ΜΕΤΡΟ ΕΛΛΗΝΙΚΟΥ	ΕΛΛΗΝΙΚΟ	4Ε	Ca-Na-Mg-HCO ₃ -SO ₄
ΙΜΕΡΑΣ	ΕΛΛΗΝΙΚΟ	5Ε	Ca-Na-HCO ₃ -SO ₄
ΑΝΑΣΤΑΣΕΩΣ	ΕΛΛΗΝΙΚΟ	6Ε	Mg-Ca-Na-HCO ₃

ΚΥΠΡΟΥ	ΕΛΛΗΝΙΚΟ	7Ε	Ca-Na-Mg-HCO ₃
ΤΡΟΠΙΚΑΛ	ΚΑΛΛΙΘΕΑ	1Κ	Ca-Na-Mg-HCO ₃
ΦΙΛΑΡΕΤΟΥ	ΚΑΛΛΙΘΕΑ	2Κ	Na-HCO ₃ -Cl
ΙΦΙΓΕΝΕΙΑΣ	ΚΑΛΛΙΘΕΑ	3Κ	Na-Ca-HCO ₃ -Cl
ΓΗΠΕΔΟ ΓΡ. ΛΑΜΠΡΑΚΗ	ΚΑΛΛΙΘΕΑ	4Κ	Na-Ca-HCO ₃ -Cl
ΎΔΡΑΣ	ΚΑΛΛΙΘΕΑ	5Κ	Ca-Na-HCO ₃
ΣΑΛΑΜΙΝΑΣ	ΚΑΛΛΙΘΕΑ	6Κ	Ca-Na-HCO ₃
ΑΤΛΑΝΤΑΣ	ΚΑΛΛΙΘΕΑ	7Κ	Ca-Na-HCO ₃
ΤΕΡΨΙΘΕΑΣ	Π. ΦΑΛΗΡΟ	1ΠΦ	Na-Mg-Ca-Cl-HCO ₃
ΠΑΜΦΥΛΙΑΣ	Π.ΦΑΛΗΡΟ	2ΠΦ	Na-Mg-Ca-Cl-HCO ₃

Πίνακας 8.2. Τύπος νερού ανά σημείο υδροληψίας

Από το άθροισμα των κατιόντων επικρατούν τα ιόντα ασβεστίου και νατρίου, ενώ από τα ανιόντα επικρατούν τα όξινα ανθρακικά και τα χλωριόντα. Πρόκειται για υπόγεια νερά ακαθόριστου τύπου και θεωρούνται νερά μείξης, στα οποία οι διαδικασίες κατιοανταλλαγής βρίσκονται σε στάδιο εξέλιξης.

Από τα παραπάνω διακρίνουμε τους εξής τύπους νερού:

- Τύπος I (Ca-Na-HCO₃ ή Ca-Na-Mg-HCO₃)

Τα νερά αυτού του τύπου έχουν προέλθει από ανάμειξη νερού από ζώνες τροφοδοσίας με νερά του υδροφόρου συστήματος ή και διαδικασίες διαλυτοποίησης. Η ύπαρξη του ιόντος νατρίου υποδηλώνει πιθανές διεργασίες ανάμειξης με θαλασσινό νερό.

Τέτοια νερά συναντώνται κυρίως στη περιοχή της Καλλιθέας και λίγα στο Ελληνικό.

- Τύπος II (Na-Mg-Ca-Cl-HCO₃ ή Na-Ca-HCO₃-Cl)

Η παρουσία του Cl σε αυτά τα νερά υποδηλώνει διαδικασίες έντονης ανάμειξης με θαλασσινό νερό παρά την ύπαρξη των όξινων ανθρακικών.

Τα νερά του Παλαιού Φαλήρου ανήκουν εξ' ολοκλήρου σε αυτόν τον τύπο νερού. Επιπλέον, τρία από τα επτά δείγματα των γεωτρήσεων της Καλλιθέας και δύο από την περιοχή του Αλίμου φανερώνουν την ύπαρξη αυτού του νερού.

- Τύπος III (Ca-Na-Mg-HCO₃-SO₄ ή Ca-Na-HCO₃-NO₃-SO₄)

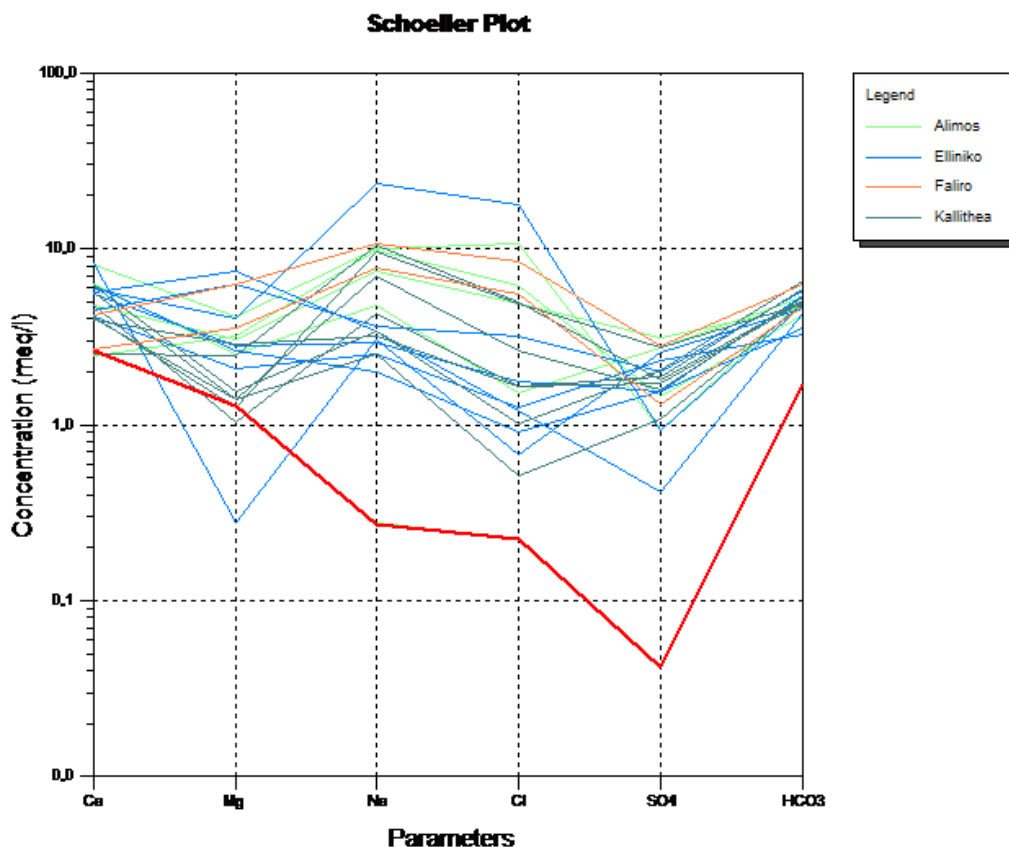
Εδώ υπάρχει έντονη ανάμειξη του υπόγειου νερού με θαλασσινό νερό κυρίως λόγω ανάμειξης ή διαδικασιών διαλυτοποίησης.

Υπόγεια νερά του δήμου Ελληνικού και του Αλίμου συνδέονται με αυτόν τον τύπο νερού. Στην γεώτρηση της Πλατείας Καραϊσκάκη στον Άλιμο βλέπουμε και την ύπαρξη νιτρικών που δεν υπήρξε σε άλλη γεώτρηση της περιοχής μελέτης.

8.3.4. Schoeller

Πρόκειται για ένα διάγραμμα που στον κατακόρυφο άξονα έχει τιμές διαφόρων ιόντων σε ημιλογαριθμική κλίμακα και στον οριζόντιο σε δεκαδική κλίμακα τα διάφορα ιόντα με την εξής σειρά: Ca, Mg, Na+K, Cl, SO₄, HCO₃. Οι τιμές των ιόντων κάθε δείγματος ενώνονται στο διάγραμμα με μια καμπύλη γραμμής. Όταν η καμπύλη αυτή έχει το κυρτό μέρος προς τα επάνω το νερό είναι υφάλμυρο, ενώ όταν έχει το κοίλο το νερό είναι γλυκό. Ακόμη όσο πιο «πάνω» βρίσκεται αυτή, τόσο πιο μεγάλη είναι η συνολική περιεκτικότητα σε ιόντα (δηλαδή ουσιαστικά το T.D.S.)

Στην περίπτωση μας φαίνεται ότι το νερό σε πολλά υδροσημεία από τα οποία ελήφθησαν δείγματα είναι υφάλμυρο όπως συνέβη με τις γεωτρήσεις του Παλαιού Φαλήρου και κάποιες των άλλων δήμων, καθώς παρατηρείται υψηλή ποσότητα Cl⁻, όμως υπάρχουν και σημεία στον Άλιμο, το Ελληνικό και τη Καλλιθέα που δεν παρατηρείται υφαλμύρωση στο νερό.



Εικόνα 8.6. Αποτελέσματα διαγράμματος Schoeller

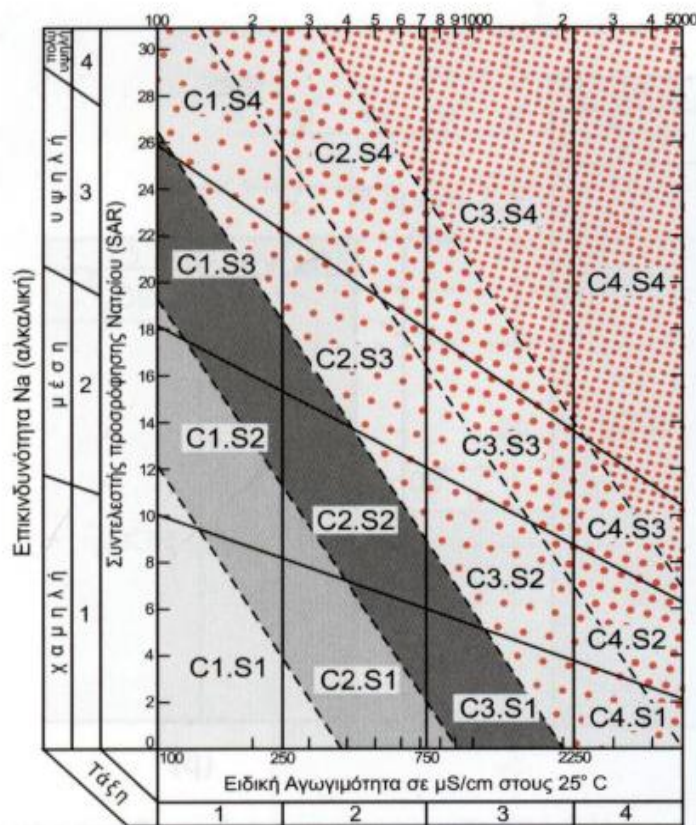
8.3.5. Wilcox

Το διάγραμμα Wilcox (1955) αποτελεί μια σημαντική μέθοδο ελέγχου της καταλληλότητας του αρδευτικού νερού σε σχέση με τη φύση και τις ιδιότητες των καλλιεργούμενων εδαφών. Χρησιμοποιεί το δείκτη S.A.R. και την ηλεκτρική αγωγιμότητα E.C.

Με βάση το διάγραμμα αυτό μπορούμε να διακρίνουμε τις εξής κατηγορίες αρδευτικού νερού:

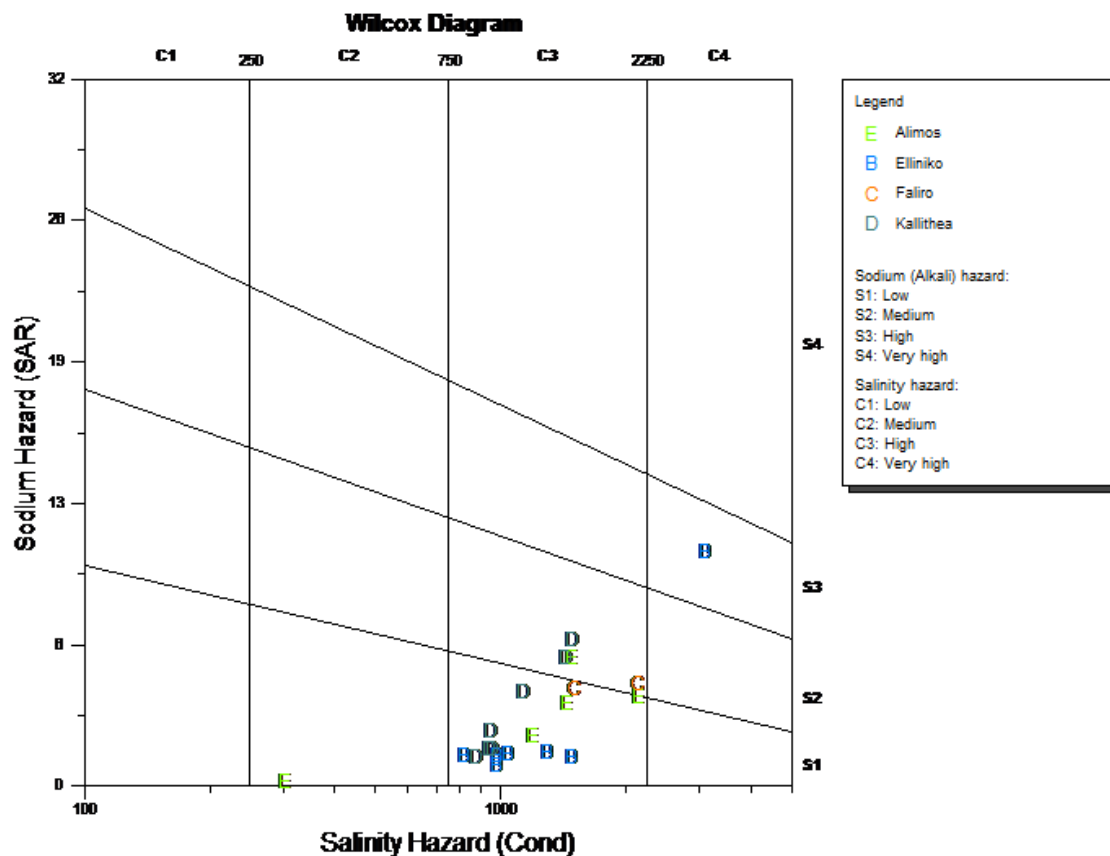
1. C1-S1: Ποιότητα καλή.
2. C1-S2, C2-S1: Ποιότητα καλή έως μέτρια. Το νερό να χρησιμοποιείται με προφύλαξη στα βαριά εδάφη που δεν αποστραγγίζονται καλά και επίσης με επιφύλαξη για ευαίσθητα φυτά.
3. C1-S3, C2-S2, C3-S1: Ποιότητα μέτρια έως πολύ μέτρια. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί παίρνοντας μέτρα προφύλαξης. Το έδαφος πρέπει να αποστραγγίζεται καλά ή πρέπει να προστίθεται σε αυτό γύψος.
4. C1-S4, C2-S3, C3-S2, C4-S1: Ποιότητα πολύ μέτρια έως κακή. Δεν πρέπει να χρησιμοποιείται για ευαίσθητα φυτά, ούτε γενικά για βαριά εδάφη. Μπορεί να χρησιμοποιείται με μέτρα προφύλαξης σε ελαφρά εδάφη που αποστραγγίζονται καλά ή να προστίθεται γύψος.
5. C2-S4, C3-S3, C4-S2: Ποιότητα κακή. Δεν πρέπει να χρησιμοποιείται παρά μόνο για ανθεκτικά φυτά σε ελαφρά εδάφη καλώς αποστραγγιζόμενα, με προσθήκη γύψου.
6. C3-S4, C4-S3, C4-S4: Πολύ κακή ποιότητα. Δεν πρέπει να χρησιμοποιείται σε καμία περίπτωση.

Να αναφερθεί ότι το C είναι ο κίνδυνος αλμυρότητας (salinity hazard) με τιμή C1 να είναι η χαμηλότερη και C4 η υψηλότερη, ενώ S είναι η επικινδυνότητα σε νάτριο (sodium hazard) με ελάχιστη τιμή το S1 και μέγιστη το S4.



Εικόνα 8.7. Διάγραμμα Wilcox

Στη συνέχεια παρουσιάζεται το διάγραμμα Wilcox των δειγμάτων της περιοχής μελέτης.



Εικόνα 8.8. Αποτελέσματα διαγράμματος Wilcox

Είναι εμφανές ότι η πλειοψηφία των δειγμάτων ανήκει στις κατηγορίες C3-S1 και C3-S2, δηλαδή νερά με μέτρια ποιότητα έως πολύ μέτρια που μπορούν να χρησιμοποιούνται με κάποια μέτρα προφύλαξης ή νερά με ποιότητα πολύ μέτρια έως κακή που δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται για ευαίσθητα φυτά, ούτε γενικά για βαριά εδάφη. Εξαιρέση αποτελούν δύο μόνο δείγματα από τα 21 που ανήκουν σε άλλες κατηγορίες. Ένα από την περιοχή του Αλίμου που είναι καλής ποιότητας έως μέτριας (κατηγορία C2-S1) και ένα από το Ελληνικό το οποίο είναι πολύ κακής ποιότητας (C4-S3) και δε θα πρέπει να χρησιμοποιείται καθόλου για άρδευση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ – ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΟΥ 2009

9.1. Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό φαίνεται η συσχέτιση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (E.C.) με τη συγκέντρωση ιόντων μαγνησίου (Mg^{2+}), νατρίου (Na^+) και χλωρίου (Cl^-), καθώς και συγκεντρώσεων ιόντων νατρίου (Na^+) με χλωρίου (Cl^-). Γίνεται αναφορά σε αυτές τις συσχετίσεις, γιατί είχαν μεγάλο βαθμό συσχέτισης σε σχέση με άλλες.

Ο βαθμός συσχέτισης, ο οποίος έκκρινε τα ζεύγη που μελετήθηκαν, υπολογίστηκε με βάση το πλήθος των δειγμάτων μας, τα οποία ήταν 21. Οπότε $\frac{2}{\sqrt{21}} \approx 0,4$ και με βάση αυτό μελετήθηκαν οι συσχετίσεις που αναφέρθηκαν οι οποίες είχαν συντελεστή συσχέτισης $R > 0,4$ και χρησιμοποιήθηκε η γραμμική και πολυωνυμική παλινδρόμηση.

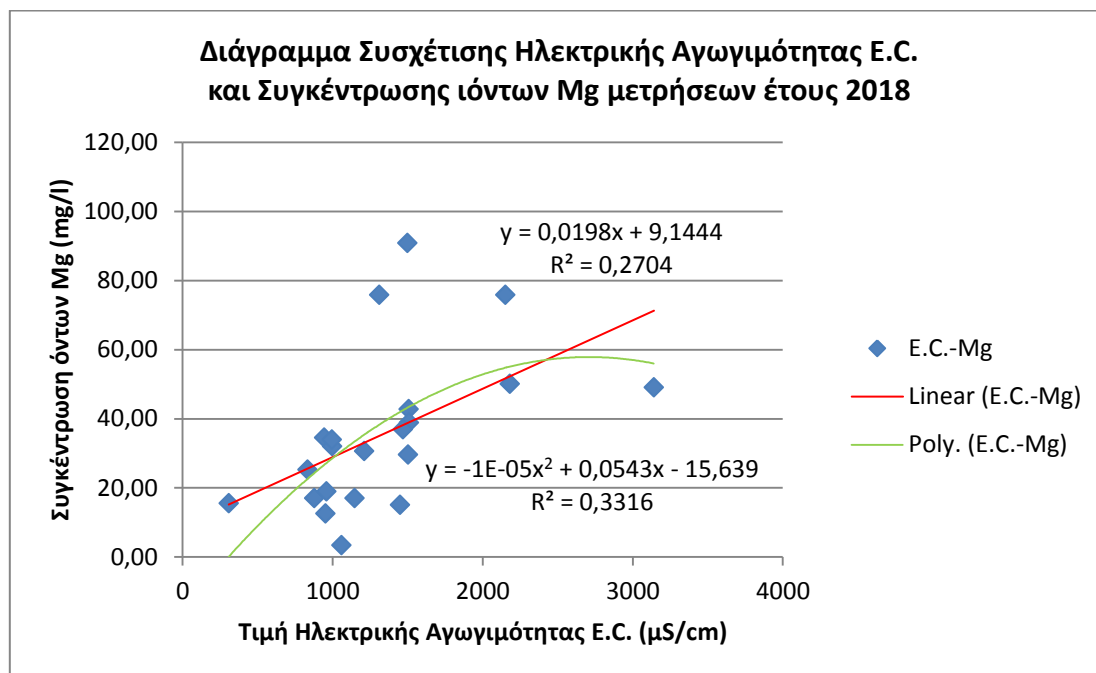
Ακολουθεί ο πίνακας με τις γραμμικές και πολυωνυμικές συσχετίσεις R^2 των ζευγών που αναφέρθηκαν με τους αντίστοιχους συντελεστές συσχέτισης R.

α/α	Συσχετισμοί	Γραμμική συσχέτιση (R^2)	Συντελεστής γραμμικής συσχέτισης (R)	Πολυωνυμική συσχέτιση (R^2)	Συντελεστής πολυωνυμικής συσχέτισης (R)
1	E.C. - Mg^{2+}	0,2704	0,5200	0,3316	0,5758
2	E.C. - Na^+	0,7324	0,8559	0,8681	0,9317
3	E.C. - Cl^-	0,6539	0,8086	0,9285	0,9636
4	Na^+ - Cl^-	0,8784	0,9372	0,9001	0,9487

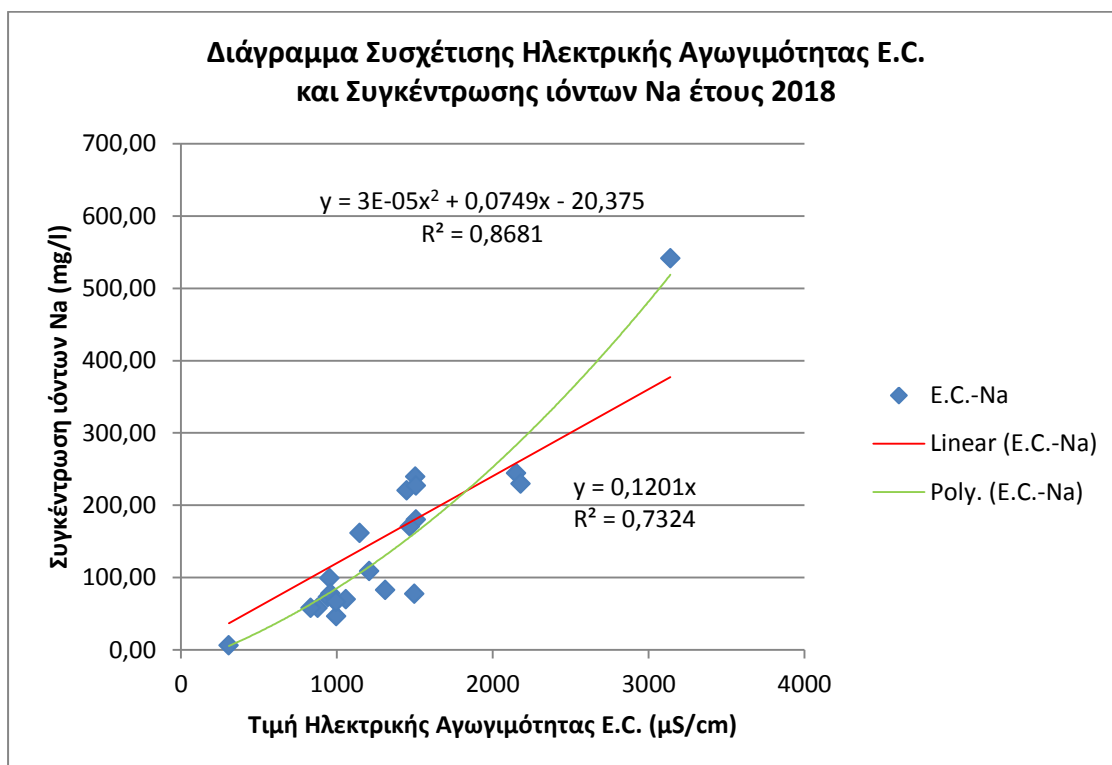
Πίνακας 9.1. Γραμμικές και πολυωνυμικές συσχετίσεις

Αυτές οι συσχετίσεις υποδηλώνουν την εμφάνιση υφάλμυρων νερών και στη συνέχεια βλέπουμε τα διαγράμματά τους.

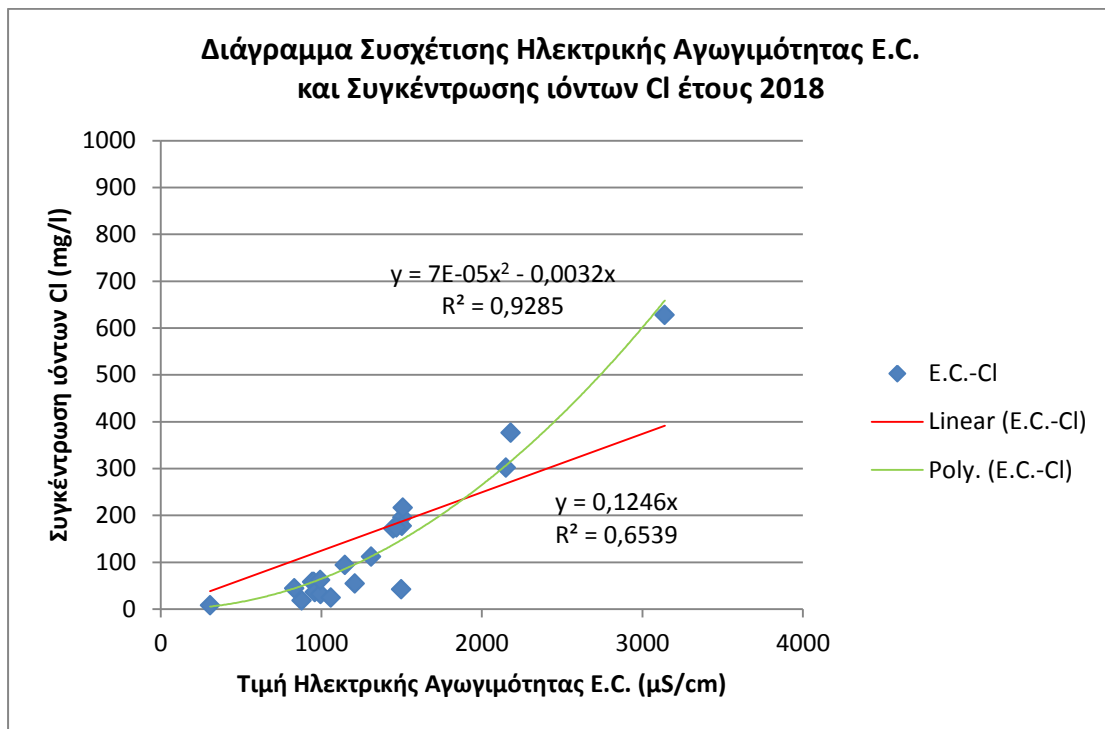
9.2. Παράθεση διαγραμμάτων συσχέτισης και συγκρίσεις



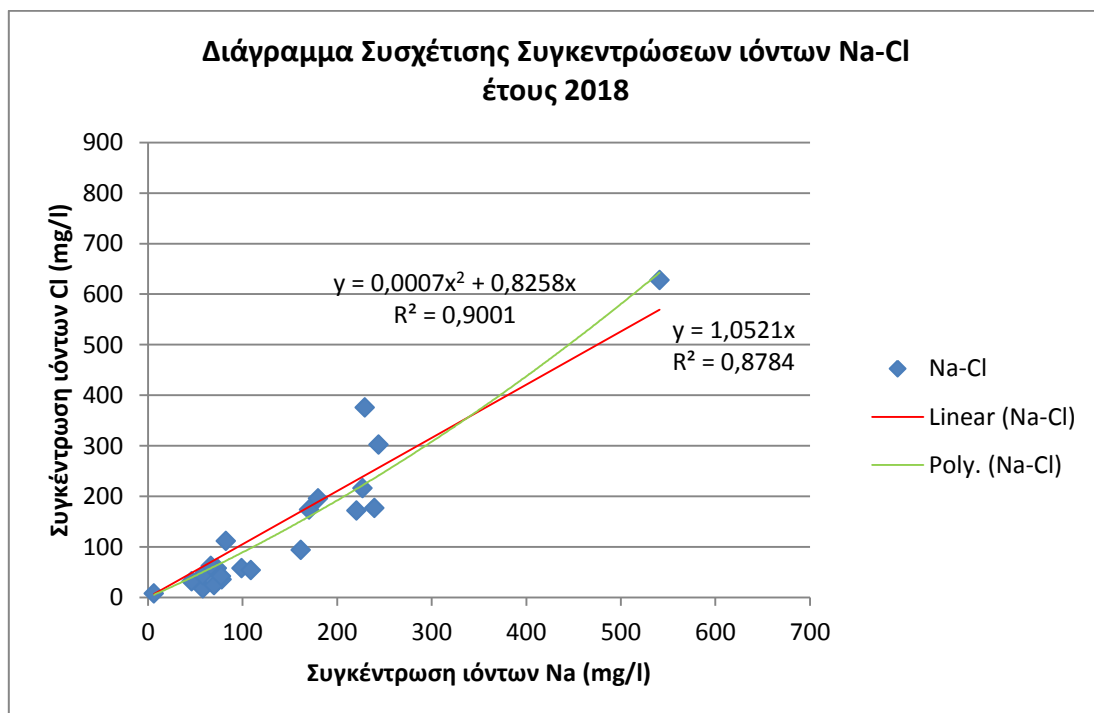
Διάγραμμα 9.1. Συσχέτιση ηλεκτρικής αγωγιμότητας και συγκέντρωσης Mg^{2+} 2018



Διάγραμμα 9.2. Συσχέτιση ηλεκτρικής αγωγιμότητας και συγκέντρωσης Na^+ 2018



Διάγραμμα 9.3. Συσχέτιση ηλεκτρικής αγωγιμότητας και συγκέντρωσης Cl⁻ 2018

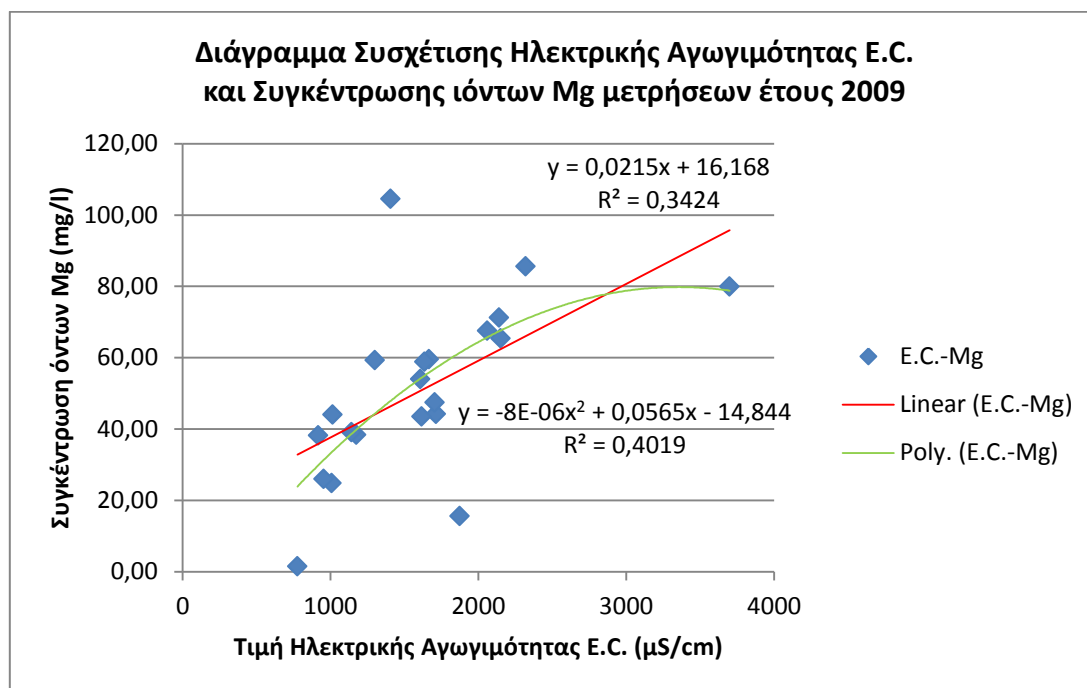


Διάγραμμα 9.4. Συσχέτιση συγκέντρωσης Na⁺ και Cl⁻ έτους 2018

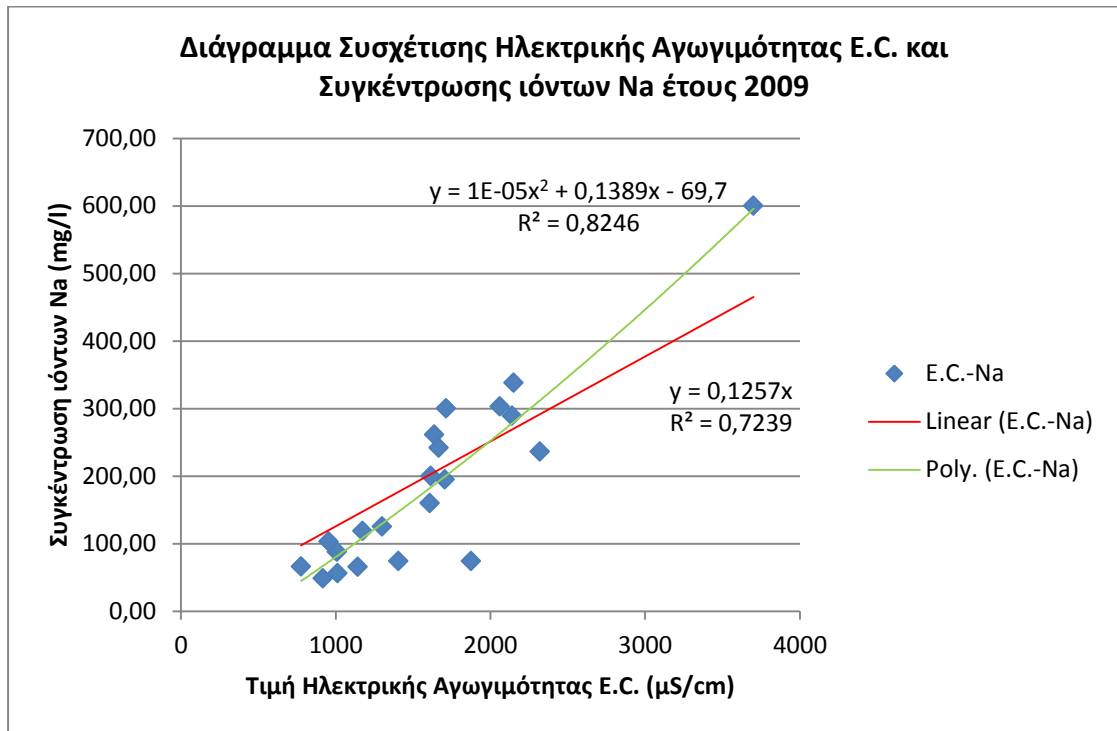
Οι εξισώσεις που προκύπτουν από τις γραμμικές αυτές συσχετίσεις είναι οι ακόλουθες:

1. $Mg^{2+} = 0,0198 * E.C. + 9,1444$
2. $Na^+ = 0,1201 * E.C.$
3. $Cl^- = 0,1246 * E.C.$
4. $Cl^- = 1,0521 * Na^+$

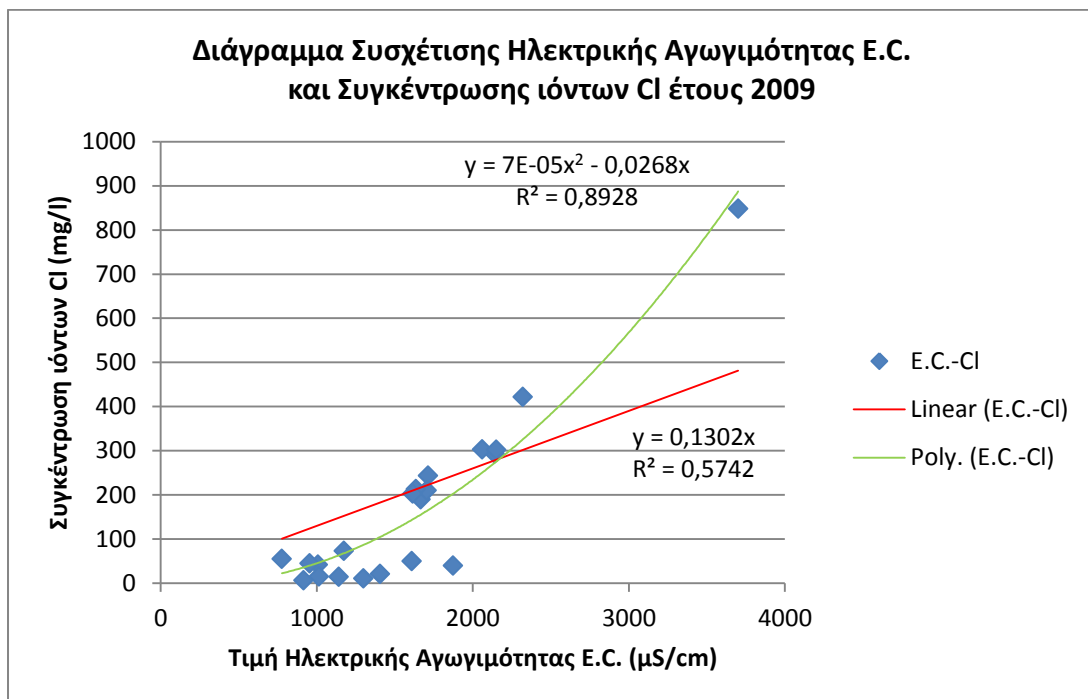
Στο σημείο αυτό θα παρατεθούν τα αντίστοιχα διαγράμματα για το 2009 σύμφωνα με μετρήσεις παλαιότερης διπλωματικής, από την οποία απομονώθηκαν οι μετρήσεις των 21 ίδιων γεωτρήσεων όπως φαίνεται στη συνέχεια.



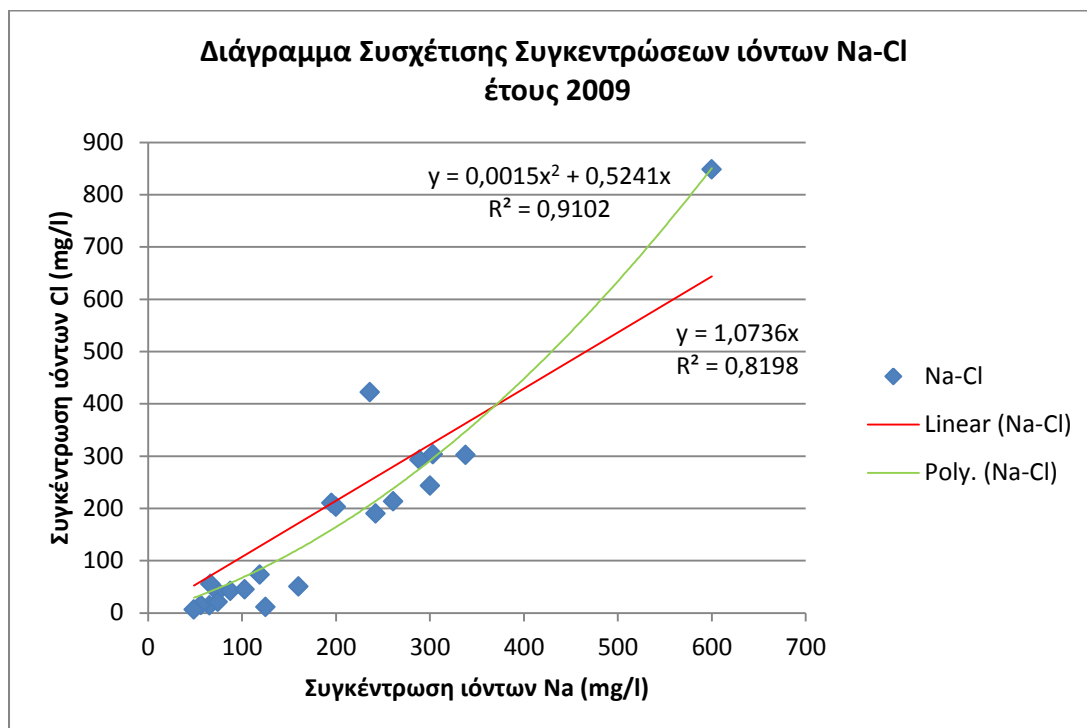
Διάγραμμα 9.5. Συσχέτιση ηλεκτρικής αγωγιμότητας και συγκέντρωσης Mg^{2+} 2009 (Μπιτζιλέκη Χ., 2010)



Διάγραμμα 9.6. Συσχέτιση ηλεκτρικής αγωγιμότητας και συγκέντρωσης Na^+ 2009 (Μπιτζιλέκη Χ., 2010)



Διάγραμμα 9.7. Συσχέτιση ηλεκτρικής αγωγιμότητας και συγκέντρωσης Cl^- 2009 (Μπιτζιλέκη Χ., 2010)



Διάγραμμα 9.8. Συσχέτιση συγκέντρωσης Na^+ και Cl^- 2009
(Μπιτζιλέκη Χ., 2010)

Οι εξισώσεις που προκύπτουν από τις γραμμικές αυτές συσχετίσεις είναι οι ακόλουθες:

1. $\text{Mg}^{2+} = 0,0215 * \text{E.C.} + 16,168$
2. $\text{Na}^+ = 0,1257 * \text{E.C.}$
3. $\text{Cl}^- = 0,1302 * \text{E.C.}$
4. $\text{Cl}^- = 1,0736 * \text{Na}^+$

Στη συνέχεια ακολουθεί πίνακας, ο οποίος περιλαμβάνει τις γραμμικές και πολυωνυμικές συσχετίσεις με τους αντίστοιχους συντελεστές συσχέτισης των ετών 2018 και 2009 συγκριτικά.

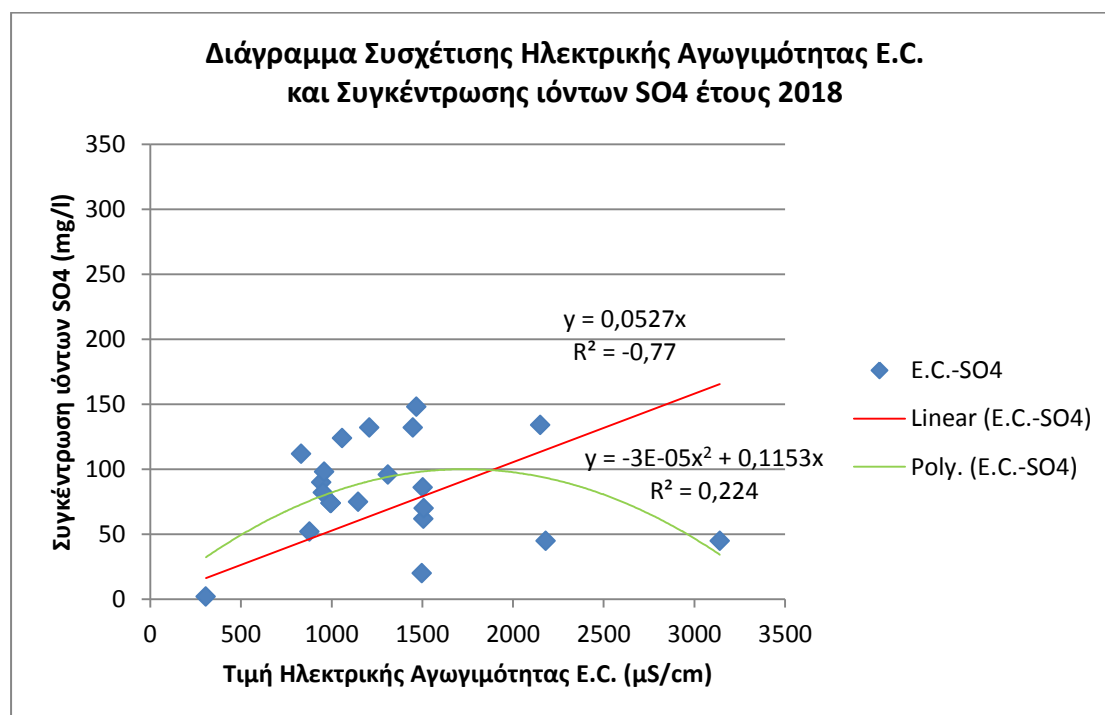
α/α	Συσχετισμοί	Γραμμική συσχέτιση (R^2)		Συντελεστής γραμμικής συσχέτισης (R)		Πολυωνυμική συσχέτιση (R^2)		Συντελεστής πολυωνυμικής συσχέτισης (R)	
		2018	2009	2018	2009	2018	2009	2018	2009
1	E.C. - Mg^{2+}	0,2704	0,3424	0,5200	0,5851	0,3316	0,4019	0,5758	0,6340
2	E.C. - Na^+	0,7324	0,7239	0,8559	0,8508	0,8681	0,8246	0,9317	0,9081
3	E.C. - Cl^-	0,6539	0,5742	0,8086	0,7578	0,9285	0,8928	0,9636	0,9449
4	Na^+ - Cl^-	0,8784	0,8198	0,9372	0,9054	0,9001	0,9102	0,9487	0,9540

Πίνακας 9.1. Σύγκριση των συσχετίσεων και των συντελεστών τους για τα δύο έτη

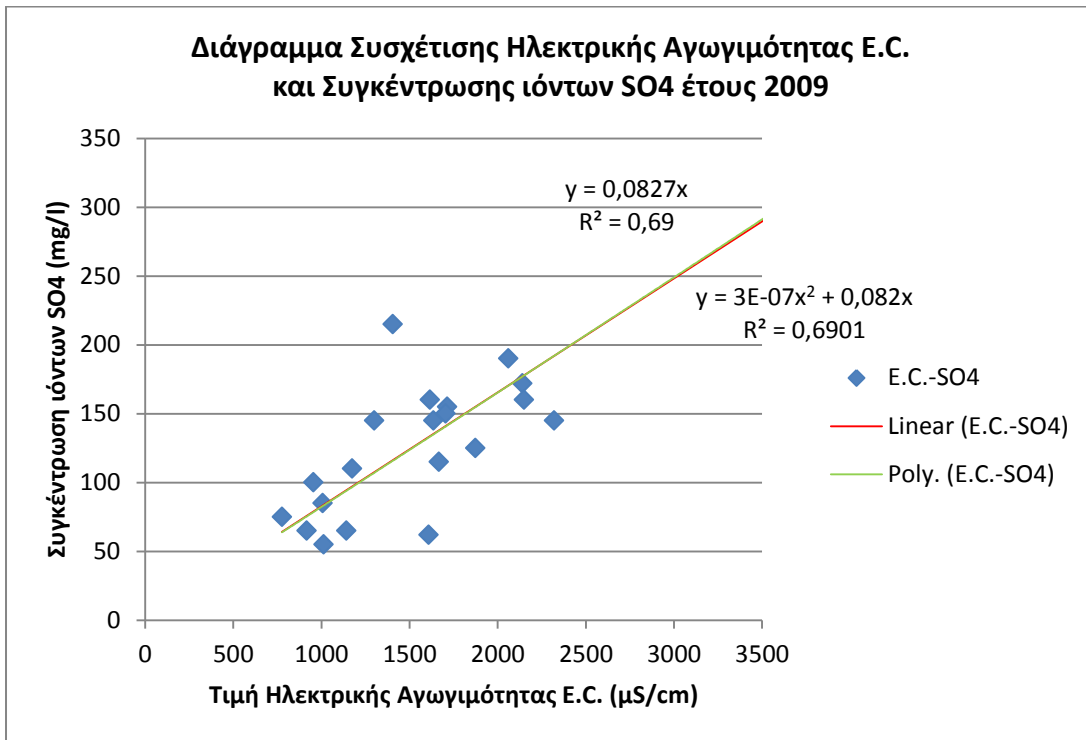
Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των 2 ετών παρατηρούμε ότι για το 2018 υπάρχει μεγαλύτερη γραμμική και πολυωνυμική συσχέτιση μεταξύ ηλεκτρικής αγωγιμότητας και συγκέντρωσης ιόντων νατρίου (E.C.- Na⁺), καθώς και μεταξύ ηλεκτρικής αγωγιμότητας και ιόντων χλωρίου (E.C.- Cl⁻) απ' ό τι το 2009. Αντίθετα, οι συσχετίσεις μεταξύ ηλεκτρικής αγωγιμότητας και μαγνησίου (E.C. - Mg²⁺) είναι μεγαλύτερες το 2009 από το 2018.

Για τη σχέση μεταξύ ιόντων νατρίου και χλωρίου (Na⁺ - Cl⁻), ενώ γραμμικά υπάρχει μεγαλύτερη συσχέτιση το 2018, πολυωνυμικά παρατηρείται το αντίθετο με μια πολύ μικρή διαφορά ανάμεσα στις δύο χρονολογίες.

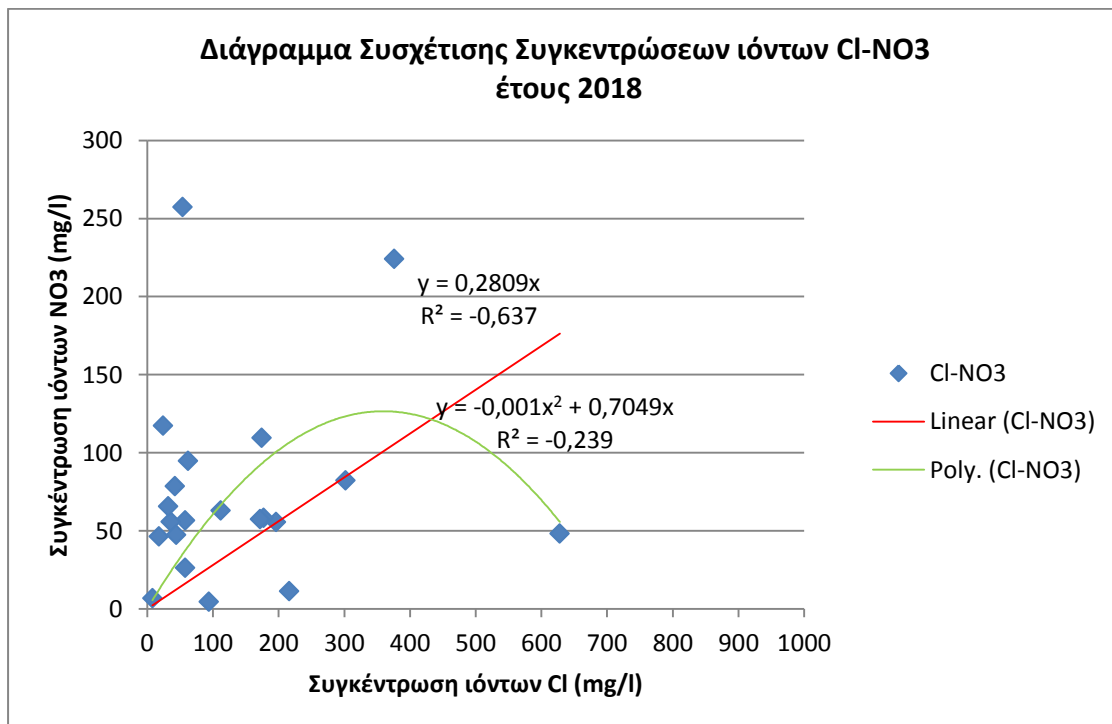
Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφερθεί η μεγάλη διαφορά συσχέτισης μεταξύ ηλεκτρικής αγωγιμότητας και συγκέντρωσης ιόντων θείου (E.C. – SO₄²⁻), καθώς και χλωριόντων με νιτρικά (Cl⁻ – NO₃⁻) για τις δύο χρονιές στις 21 γεωτρήσεις του Φαληρικού όρμου. Ακολουθούν τα αντίστοιχα διαγράμματα από τα οποία βλέπουμε αρκετά ισχυρή συσχέτιση το 2009 και εμφανώς μικρή συσχέτιση το 2018 για το ζεύγος των (E.C. – SO₄²⁻), ενώ για τα χλωριόντα και τα νιτρικά παρατηρούμε πολύ καλή αρνητική συσχέτιση το 2009 και καλή αρνητική συσχέτιση το 2018, χωρίς όμως να υπάρχει τελικά μεγάλη διαφοροποίηση μεταξύ των δύο ετών.



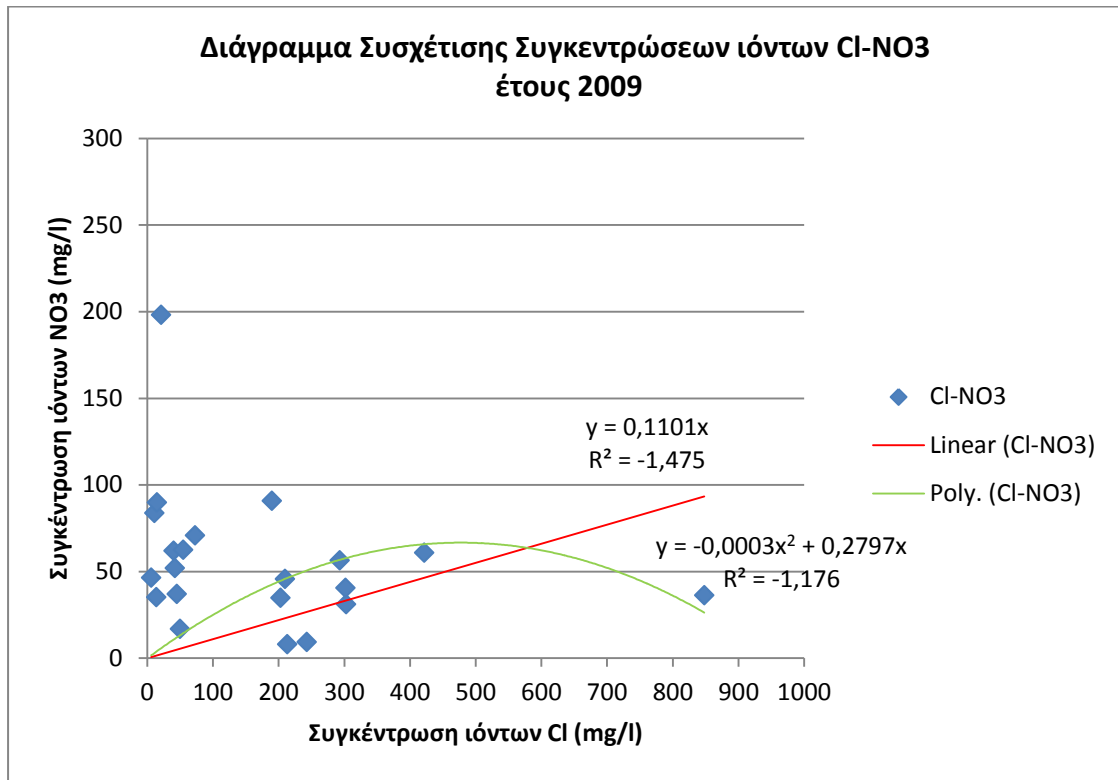
Διάγραμμα 9.9. Συσχέτιση ηλεκτρικής αγωγιμότητας και συγκέντρωσης SO₄²⁻ 2018



Διάγραμμα 9.10. Συσχέτιση ηλεκτρικής αγωγιμότητας και συγκέντρωσης SO₄²⁻ 2009 (Μπιτζιλέκη Χ., 2010)



Διάγραμμα 9.11. Συσχέτιση χλωριόντων Cl⁻ και νιτρικών NO₃⁻ 2018



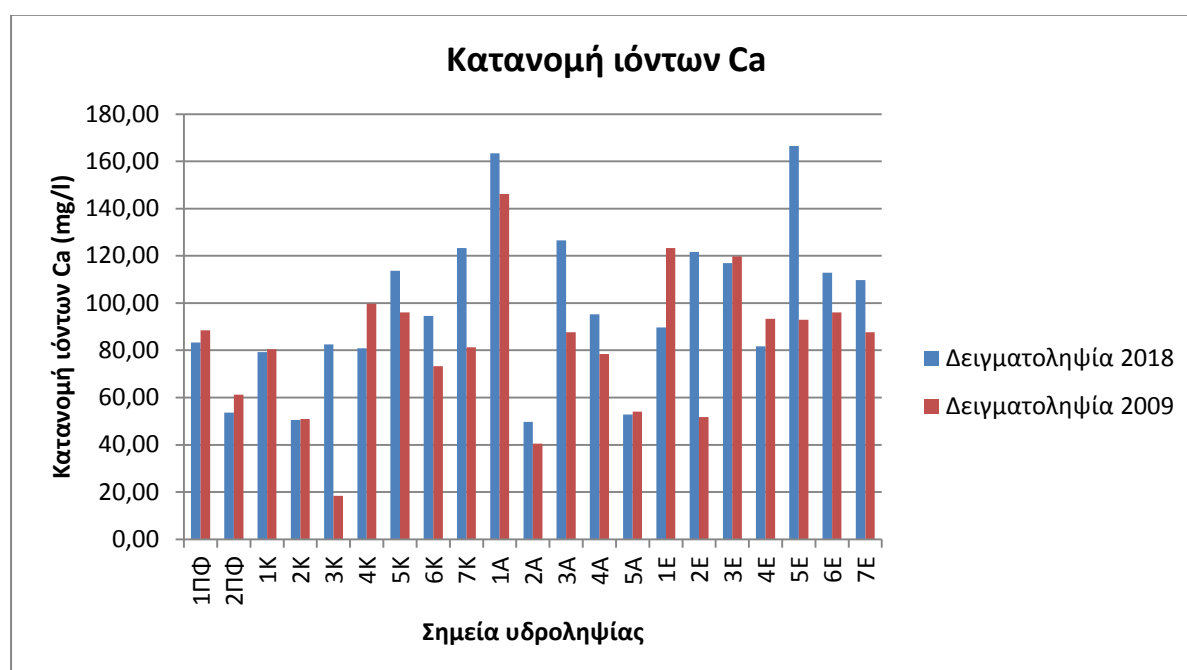
Διάγραμμα 9.12. Συσχέτιση χλωριόντων Cl⁻ και νιτρικών NO₃⁻ 2009
(Μπιτζιλέκη Χ., 2010)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10. ΚΑΤΑΝΟΜΕΣ ΙΟΝΤΩΝ – ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΟΥ 2009

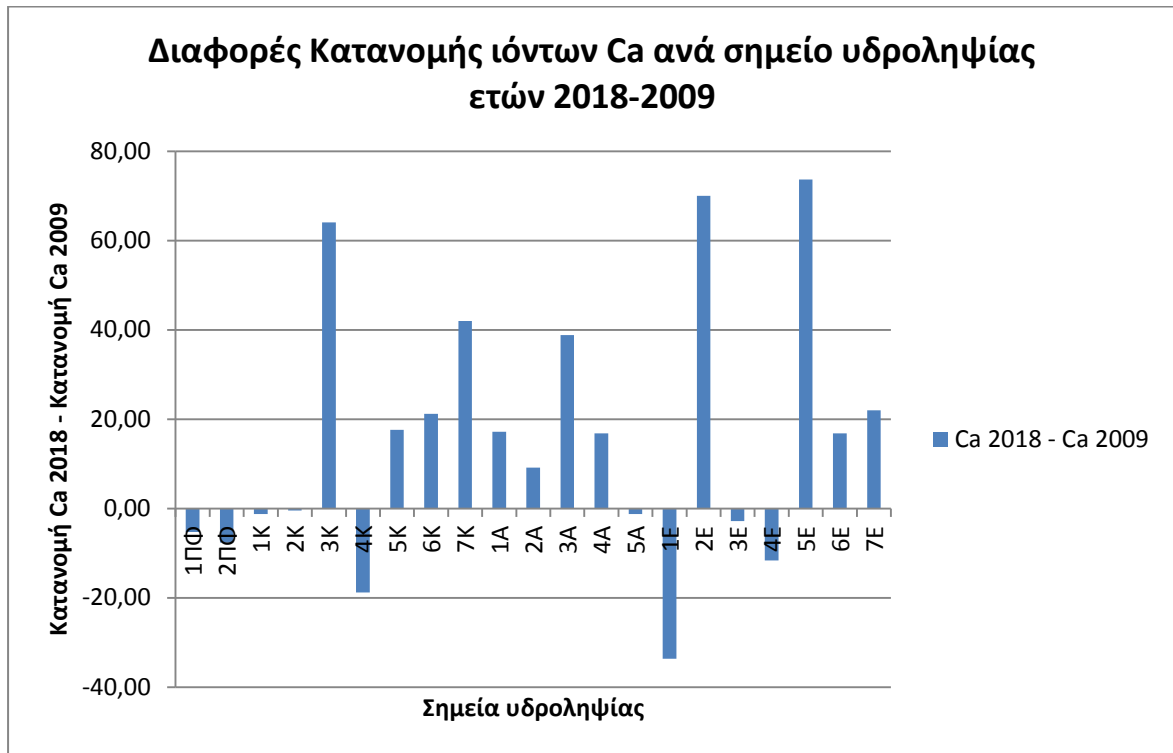
10.1. Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται αναφορά στη σύγκριση των ιόντων ασβεστίου, μαγνησίου, καλίου, νατρίου, όξινων ανθρακικών, χλωρίου, θειϊκών και νιτρικών μεταξύ των ετών 2018 και 2009, προκειμένου να βγουν συμπεράσματα για τη χημική σύσταση των υπόγειων νερών σε διάστημα μιας δεκαετίας σχεδόν. Ακολουθούν τα αντίστοιχα διαγράμματα κατανομής ανά ιόν για τις 21 γεωτρήσεις των δύο ετών, καθώς και διαγράμματα των διαφορών κατανομής του έτους 2009 από το 2018 ανά ιόν και ανά σημείο υδροληψίας.

10.2. Παράθεση διαγραμμάτων κατανομών ιόντων και συγκρίσεις

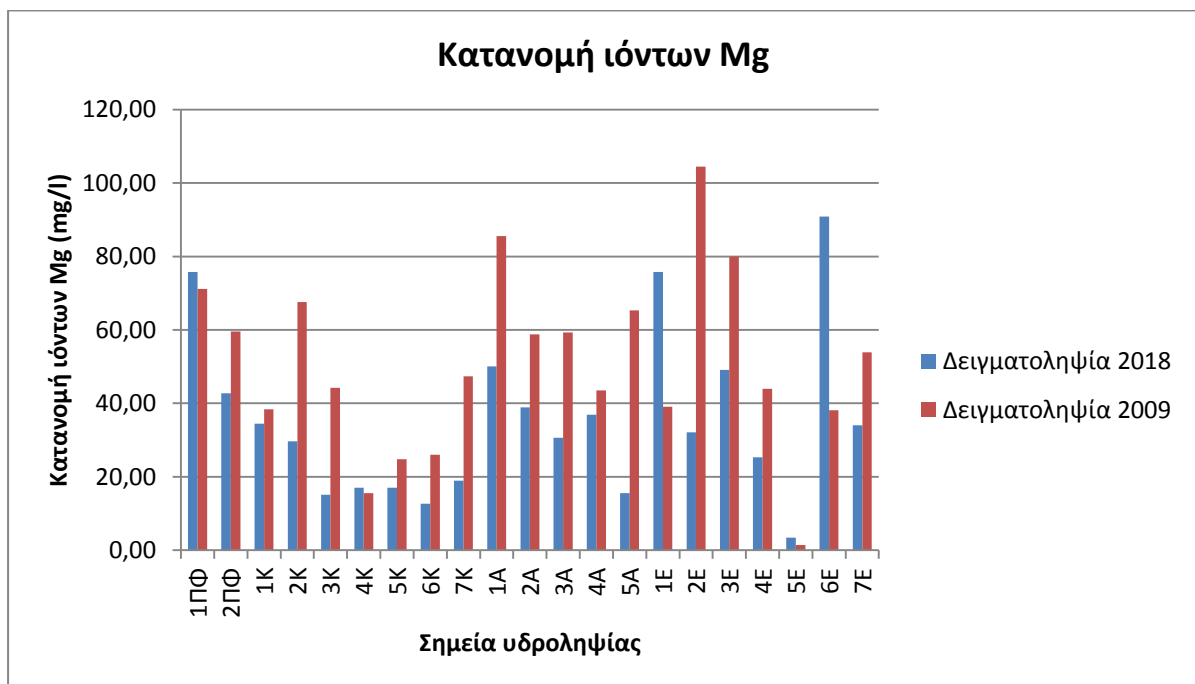


Διάγραμμα 10.1. Κατανομή ιόντων Ca^{2+} για τις δύο χρονολογίες ανά γεώτρηση

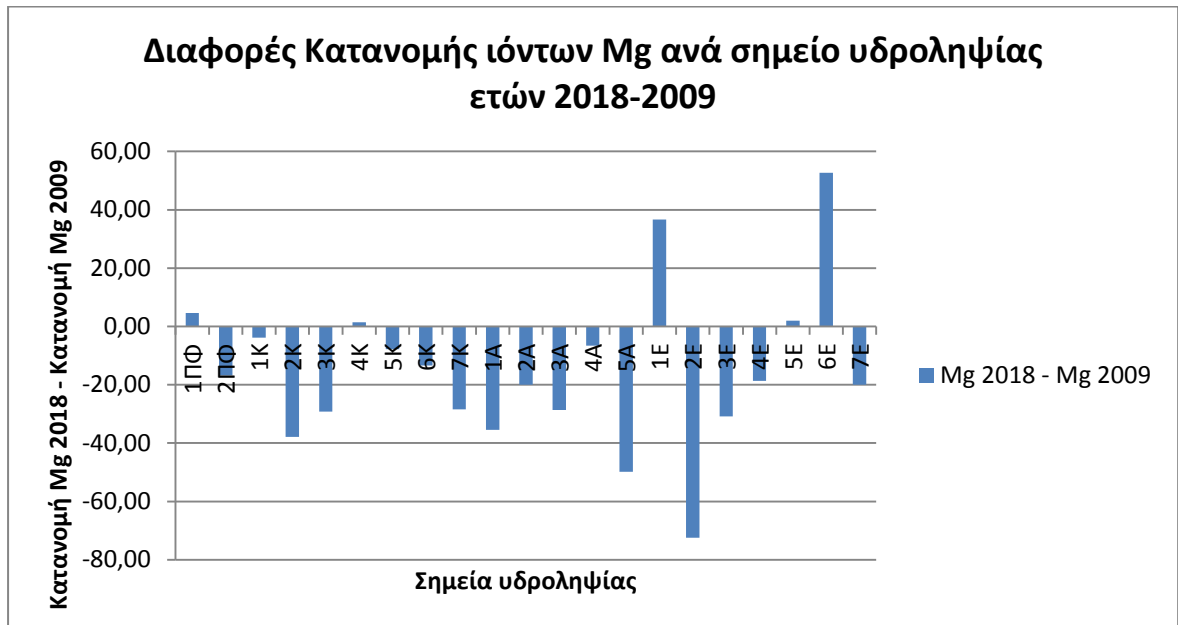


Διάγραμμα 10.2. Διαφορές κατανομής ιόντων Ca²⁺ των δύο ετών ανά γεώτρηση

Σύμφωνα με τα δύο διαγράμματα για τα ιόντα ασβεστίου παρατηρούμε ότι οι κατανομές είναι πολύ κοντά για τις δύο χρονιές με τις μεγαλύτερες διαφορές να φαίνονται στη γεώτρηση 3Κ της Καλλιθέας, όπου το 2018 η τιμή της ήταν μεγαλύτερη κατά 63 mg/l περίπου απ' ότι το 2009, στις γεωτρήσεις 2Ε και 5Ε του Ελληνικού με διαφορά 70 mg/l και στη γεώτρηση 1Ε του Ελληνικού όπου η διαφορά είναι αρνητική κάτι το οποίο φανερώνει ότι το 2018 υπήρχε κατά 35 mg/l λιγότερη εμφάνιση ιόντων ασβεστίου απ' ότι το 2009.

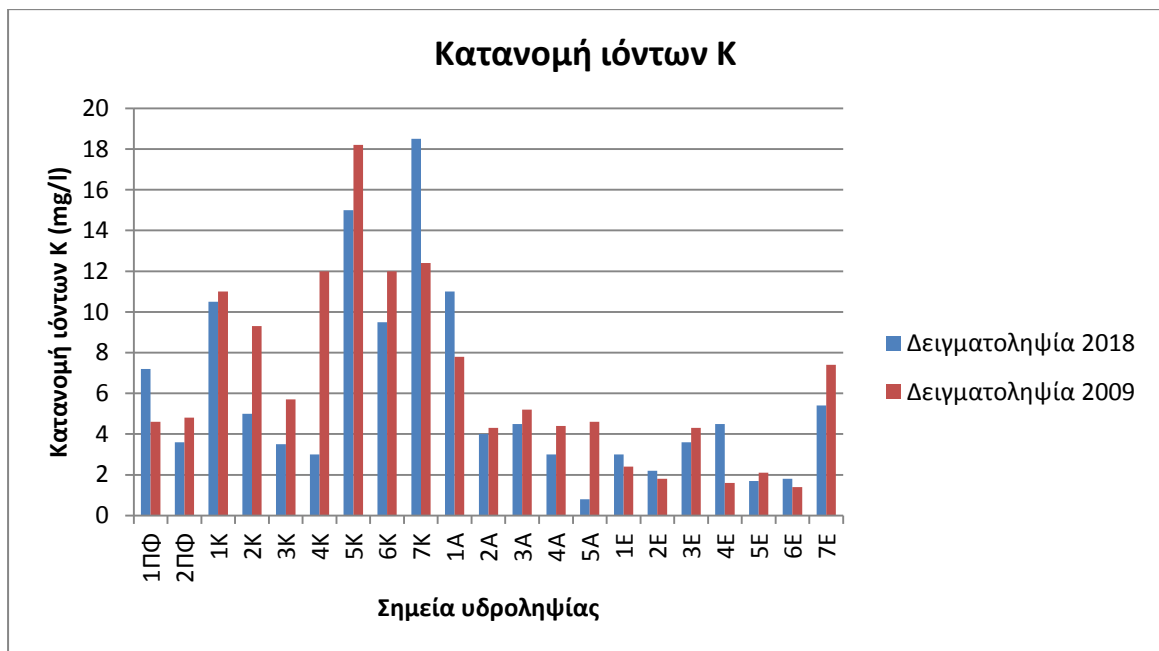


Διάγραμμα 10.3. Κατανομή ιόντων Mg²⁺ για τις δύο χρονολογίες ανά γεώτρηση



Διάγραμμα 10.4. Διαφορές κατανομής ιόντων Mg²⁺ των δύο ετών ανά γεώτρηση

Στα ιόντα μαγνησίου οι αυξομειώσεις ανάμεσα στις δύο χρονιές είναι ομαλότερες με τις κυρίαρχες να είναι στις γεωτρήσεις 5Α, 2Ε και 6Ε που είναι της τάξης των 50 mg/l μεγαλύτερη για το 2009, της τάξης των 72 mg/l μεγαλύτερη πάλι για το 2009 και των 53 mg/l μεγαλύτερη για το 2018.

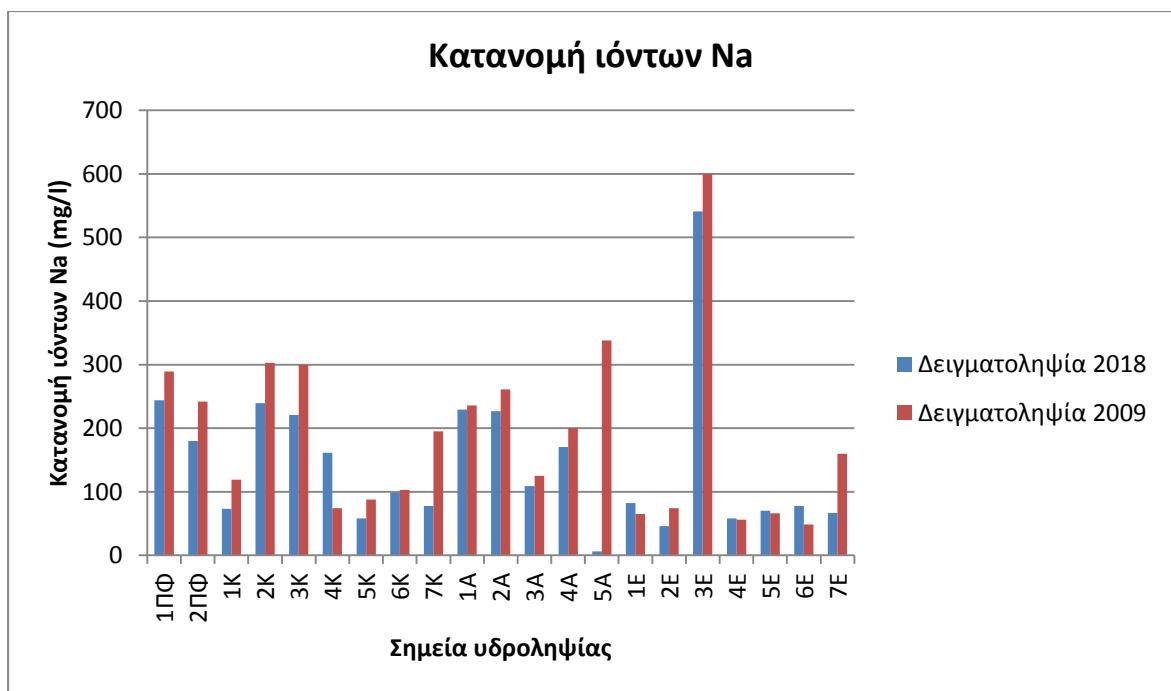


Διάγραμμα 10.5. Κατανομή ιόντων K⁺ για τις δύο χρονολογίες ανά γεώτρηση

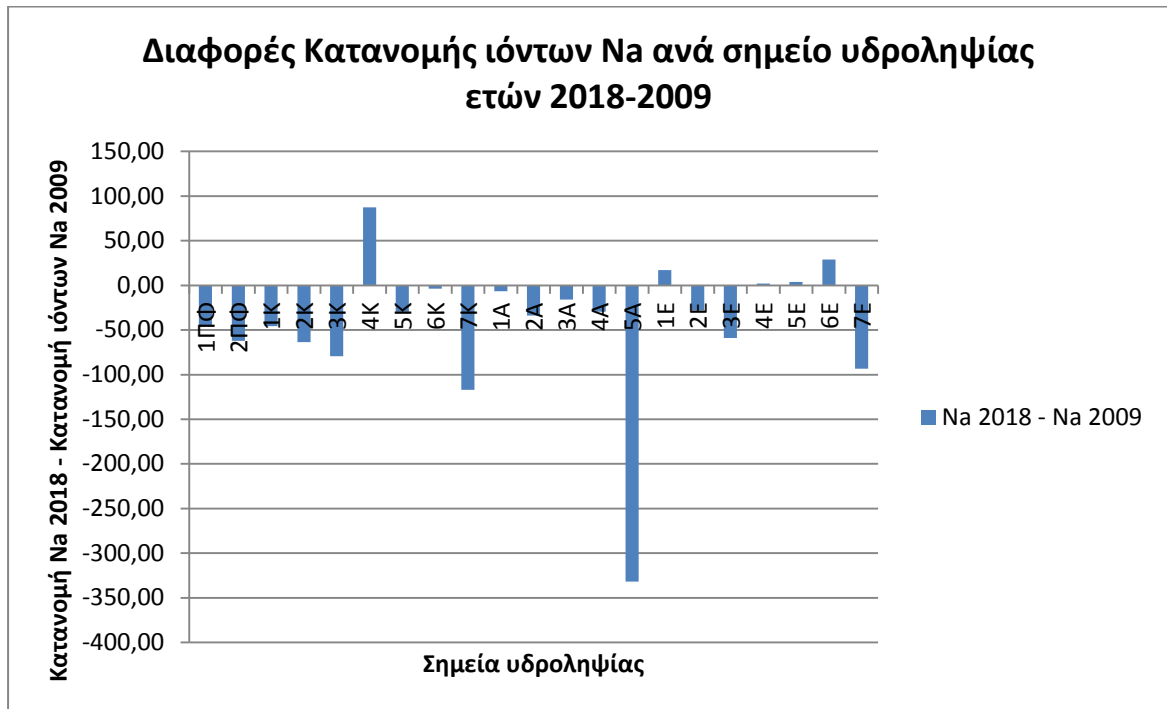


Διάγραμμα 10.6. Διαφορές κατανομής ιόντων K⁺ των δύο ετών ανά γεώτρηση

Ως προς τη συγκέντρωση καλίου η γεώτρηση 4Κ παρουσιάζει μεγαλύτερη τιμή το 2009 κατά 9 mg/l, ενώ η 7Κ μεγαλύτερο το 2018 κατά 6 mg/l.

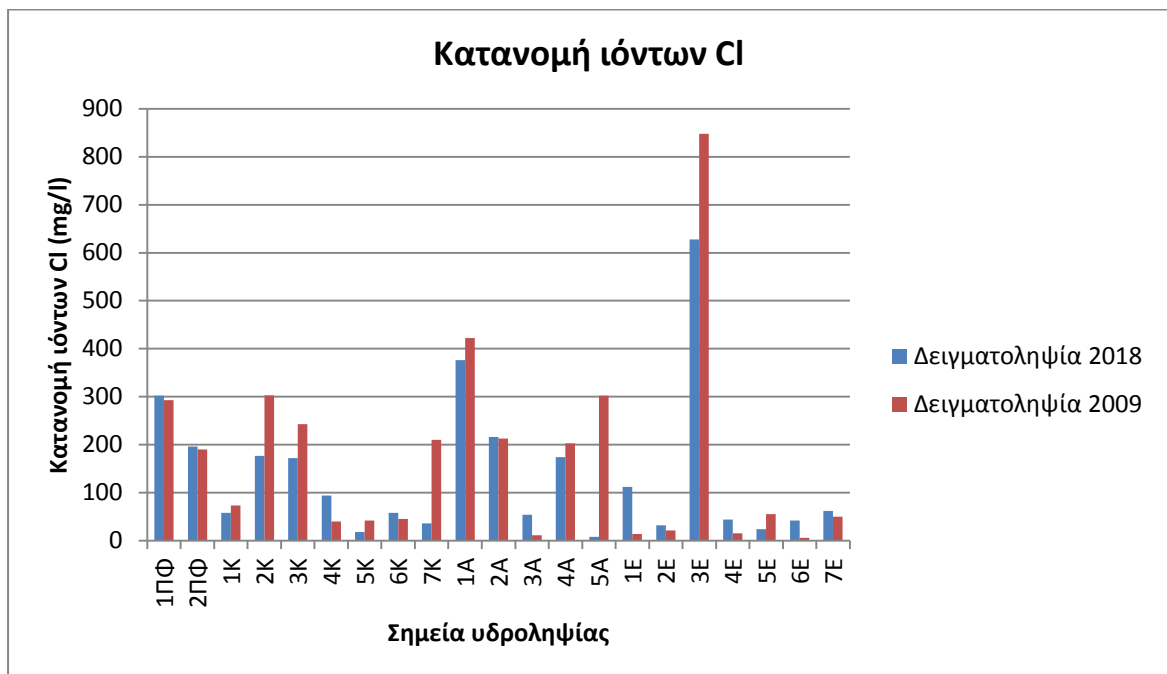


Διάγραμμα 10.7. Κατανομή ιόντων Na⁺ για τις δύο χρονολογίες ανά γεώτρηση

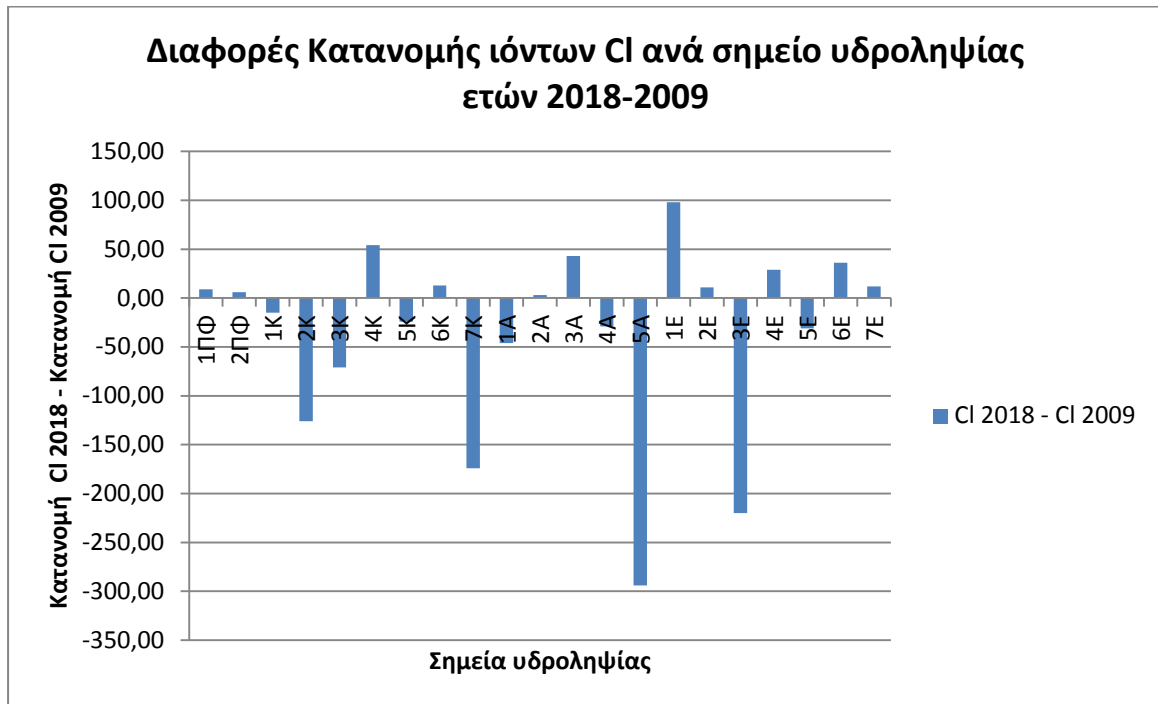


Διάγραμμα 10.8. Διαφορές κατανομής ιόντων Na⁺ των δύο ετών ανά γεώτρηση

Το νάτριο εμφανίζει πολύ κοντινές τιμές τα δύο έτη που μελετώνται με τη μόνη σημαντική διαφορά να εμφανίζεται στη γεώτρηση 5Α του Αλίμου, η οποία είναι της τάξης των 330 mg/l περισσότερη το 2009.

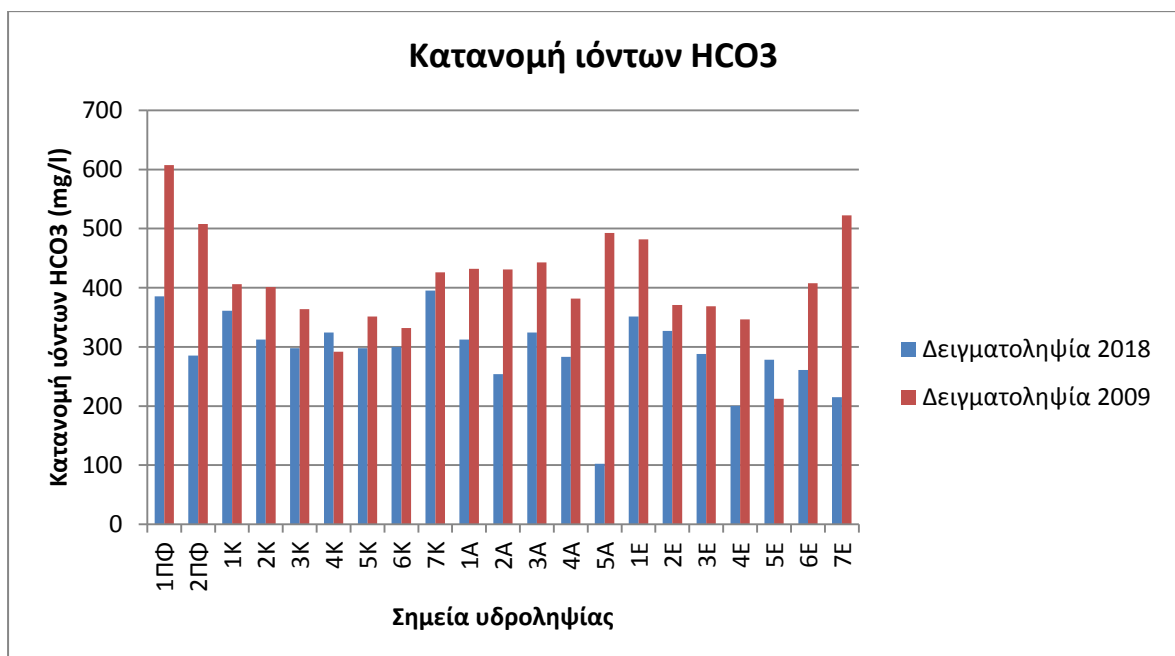


Διάγραμμα 10.9. Κατανομή ιόντων Cl⁻ για τις δύο χρονολογίες ανά γεώτρηση

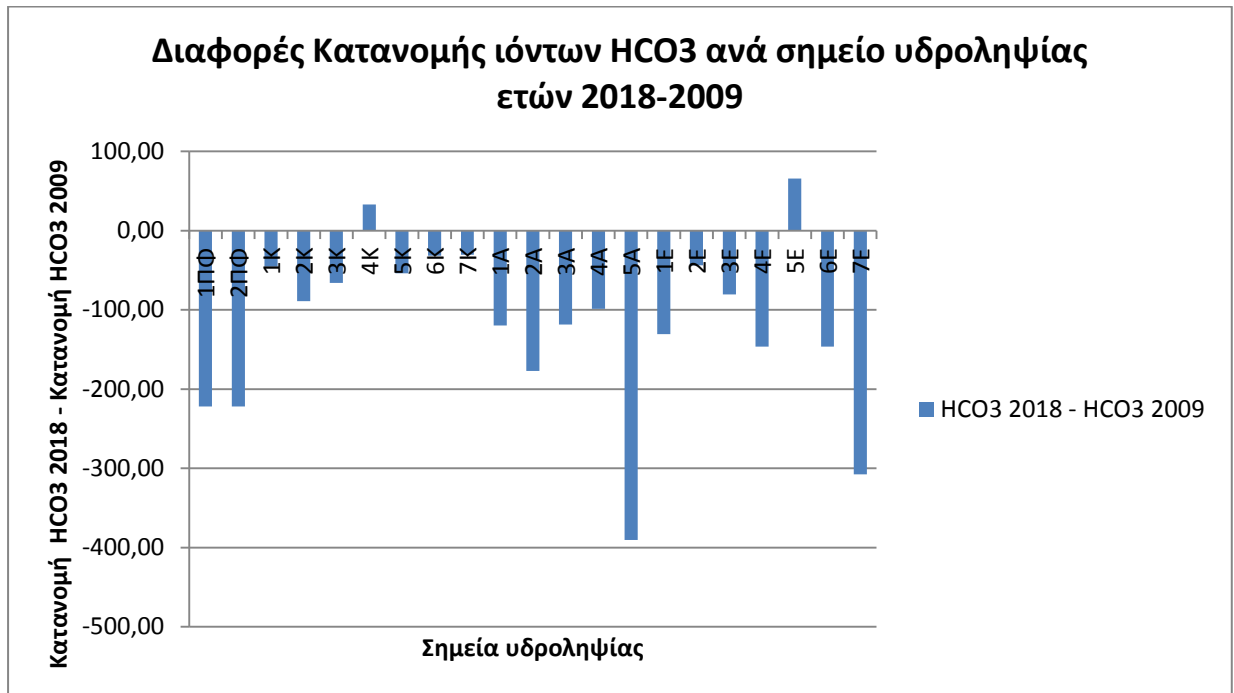


Διάγραμμα 10.10. Διαφορές κατανομής ιόντων Cl⁻ των δύο ετών ανά γεώτρηση

Αυξημένη εμφάνιση χλωρίων παρατηρείται το 2009 σε δύο γεωτρήσεις της Καλλιθέας, σε μια στον Άλιμο και σε μια στο Ελληνικό με 130 mg/l, 170 mg/l, 290 mg/l και 220 mg/l έναντι των περσινών τιμών, ενώ για 100 mg/l μια γεώτρηση στο Ελληνικό έχει μεγαλύτερη συγκέντρωση χλωρίου το 2018 απ' ότι το 2009.

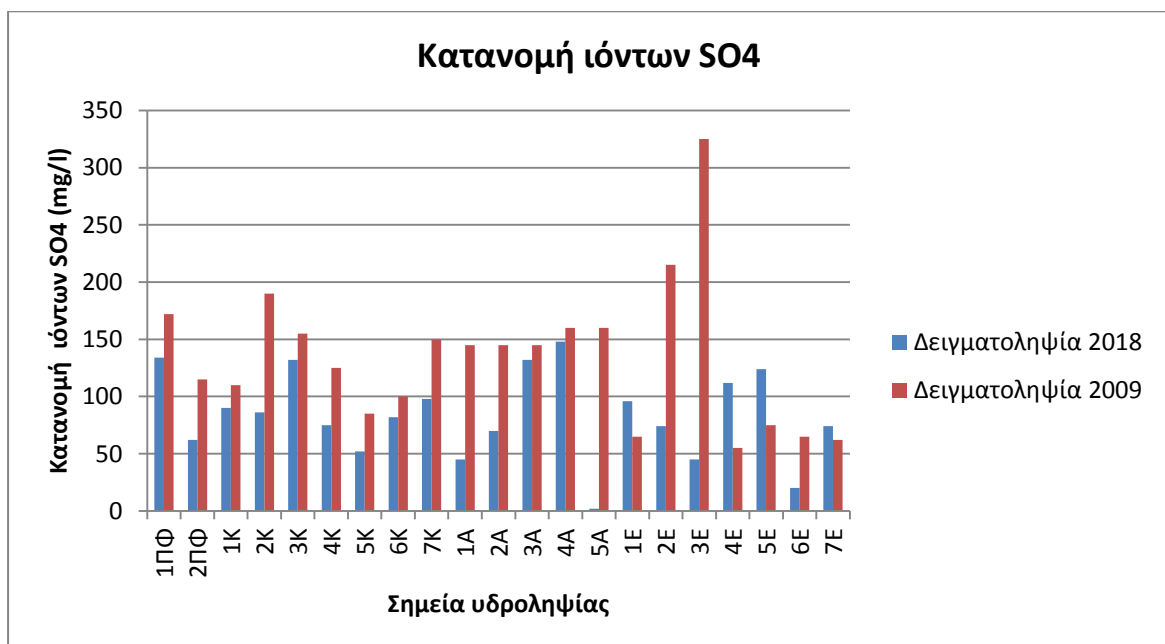


Διάγραμμα 10.11. Κατανομή ιόντων HCO₃⁻ για τις δύο χρονολογίες ανά γεώτρηση

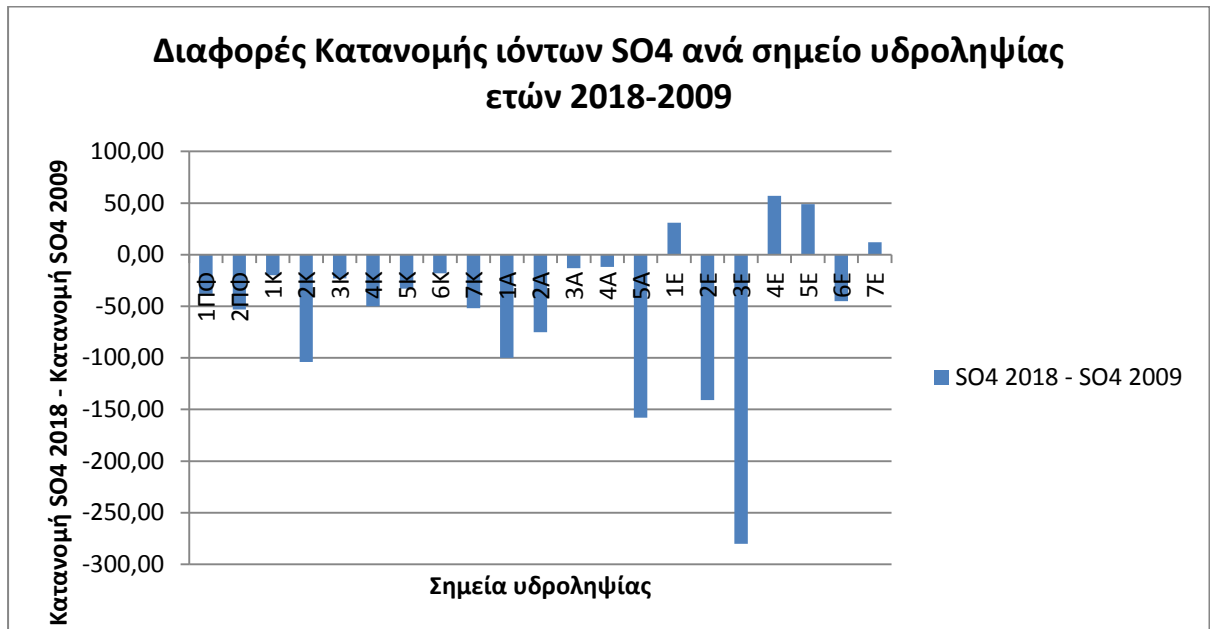


Διάγραμμα 10.12. Διαφορές κατανομής ιόντων HCO₃ των δύο ετών ανά γεώτρηση

Εδώ παρατηρούνται πολλές διαφοροποιήσεις με το γενικό συμπέρασμα να είναι η μεγάλη μείωση των όξινων ανθρακικών με το πέρασμα των ετών και αυτό σημαίνει ότι το νερό ανανεώνεται συχνά λόγω της συχνής χρήσης και έτσι έρχεται σε επαφή με τα ανθρακικά πετρώματα για μικρό χρονικό διάστημα. Η υπεράντληση εμφανίζεται πάρα πολύ έντονα σε όλα τα σημεία υδροληψίας, με τη πιο έντονη να είναι στη γεώτρηση 5Α του Αλίμου με μια διαφορά 390 mg/l και στην 7Ε του Ελληνικού με 310 mg/l.

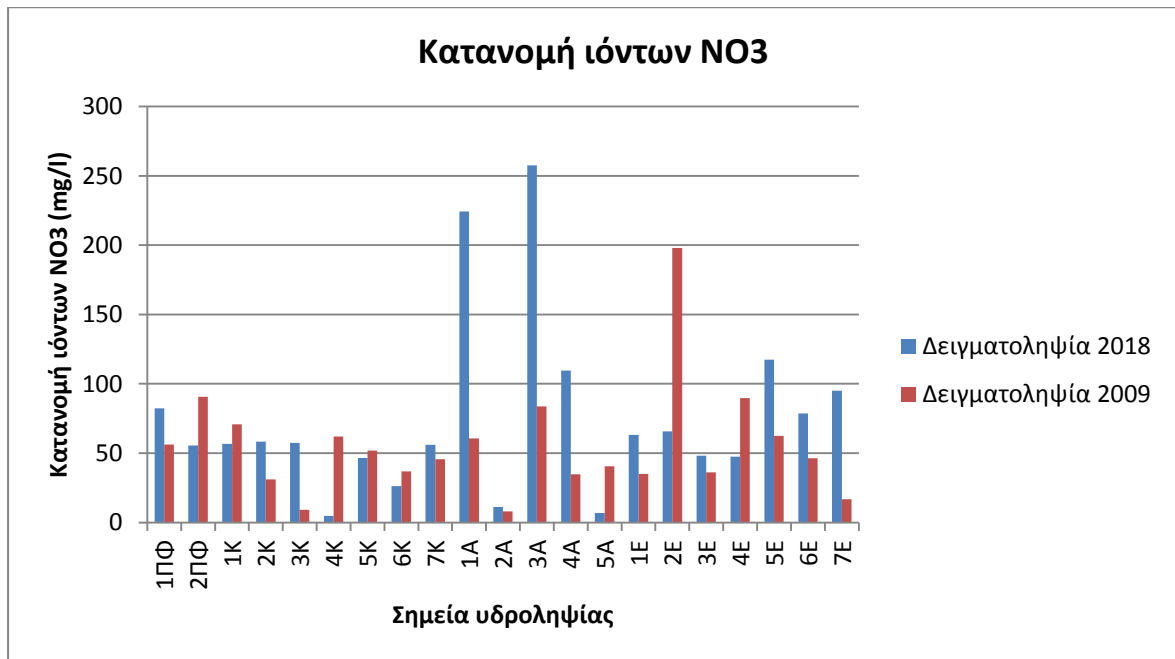


Διάγραμμα 10.13. Κατανομή ιόντων SO₄²⁻ για τις δύο χρονολογίες ανά γεώτρηση

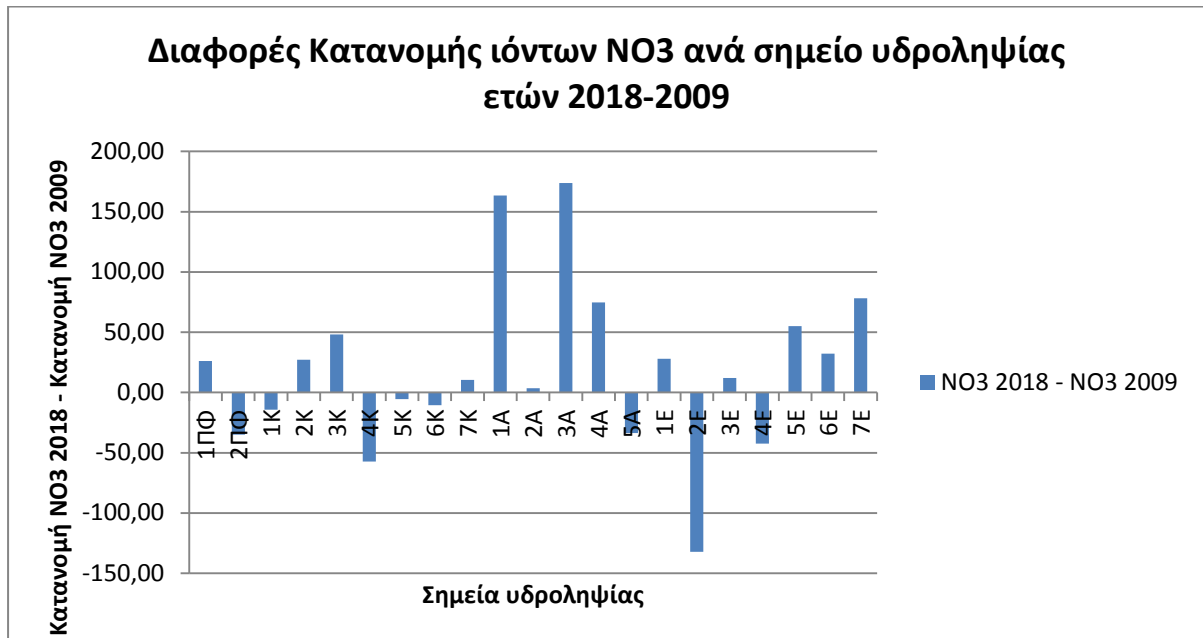


Διάγραμμα 10.14. Διαφορές κατανομής ιόντων SO₄²⁻ των δύο ετών ανά γεώτρηση

Τα θειικά παρουσιάζουν και αυτά μια συνολική μείωση με το πέρασμα των ετών με τη μεγαλύτερη διαφορά να εμφανίζεται σε γεώτρηση του Ελληνικού της τάξης των 280 mg/l.



Διάγραμμα 10.15. Κατανομή ιόντων NO₃ για τις δύο χρονολογίες ανά γεώτρηση



**Διάγραμμα 10.16. Διαφορές κατανομής ιόντων NO₃⁻ των δύο ετών
ανά γεώτρηση**

Έντονη είναι η παρουσία των νιτρικών σε δύο γεωτρήσεις του Αλίμου το 2018 κατά 160 mg/l και 170 mg/l περισσότερα απ' ό τι το 2009, ενώ το 2009 υπήρχε κατά 140 mg/l περισσότερη συγκέντρωση νιτρικών στη γεώτρηση 2Ε. Οι διαφορές αυτές ενδέχεται να δημιουργήθηκαν από λιπάσματα σε περιοχές με μεγάλη φυτοκάλυψη, τα οποία περιέχουν νιτρικά και λόγω της μεγάλης διαλυτότητάς τους στο νερό εκπλένονται γρήγορα από το έδαφος. Συγκεκριμένα, η 2Ε βρίσκεται σε χώρο γηπέδου ποδοσφαίρου όπου δίνεται αυξημένη προσοχή στη φροντίδα του γκαζόν.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11. ΧΑΡΤΕΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΙΟΝΤΩΝ – ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΟΥ 2009

11.1. Εισαγωγή

Για την καλύτερη κατανόηση των αποτελεσμάτων, έχοντας το υπόβαθρο της Αττικής, δημιουργήθηκαν χάρτες κατανομής για το κάθε ιόν ξεχωριστά με την εισαγωγή των αποτελεσμάτων των χημικών αναλύσεων στο QGis. Μέσω αυτών των χαρτών είναι πολύ εμφανής η διαφοροποίηση των τιμών από το ένα σημείο υδροληψίας στο άλλο, καθώς και όλης της περιοχής ενδιαφέροντος μέσω των χρωμάτων που επιλέχθηκαν.

Έγινε πρώτα η εισαγωγή των 21 σημείων στο υπόβαθρο και στη συνέχεια με μια σειρά από εντολές όπως το “interpolation” του QGis δημιουργήθηκαν 10 χάρτες για τα αποτελέσματα του 2018 και 10 για τα αντίστοιχα αποτελέσματα του 2009.

11.2. Χάρτες συγκέντρωσης ηλεκτρικής αγωγιμότητας (E.C.)

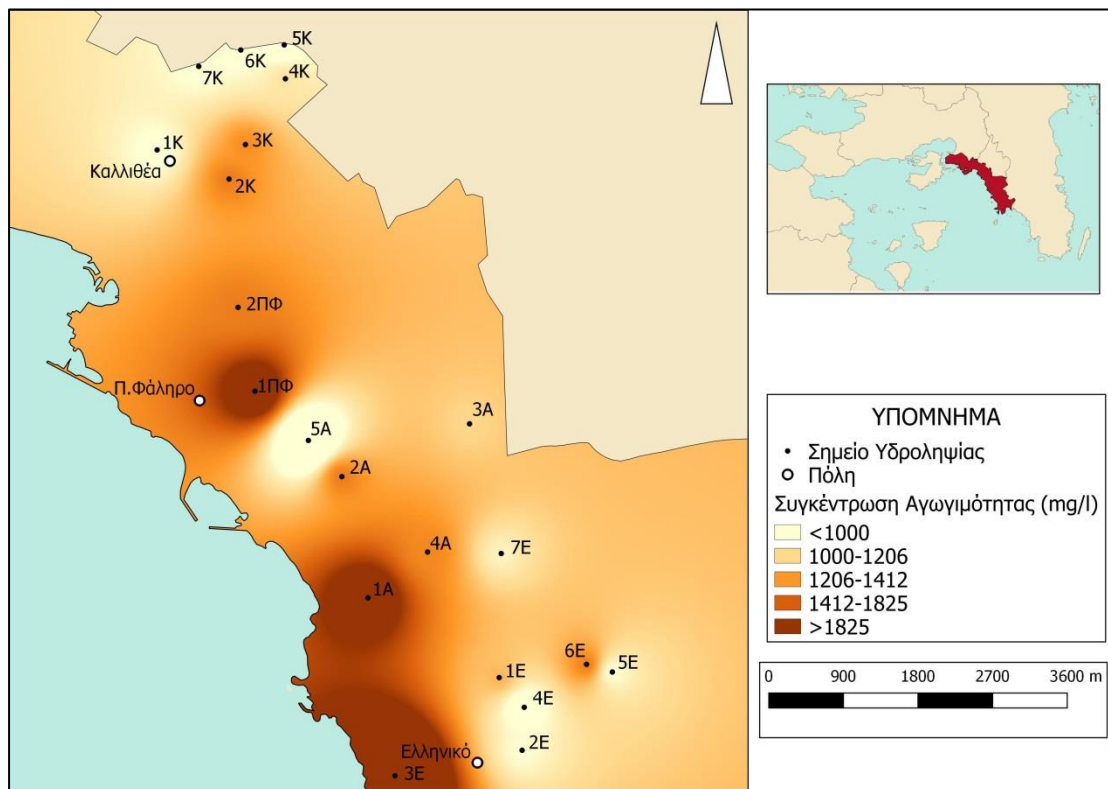
Η υψηλότερη τιμή ηλεκτρικής αγωγιμότητας παρατηρήθηκε στη γεώτρηση 3E του Ελληνικού με τιμή 3140 $\mu\text{S}/\text{cm}$ και η χαμηλότερη στην 5A του Αλίμου με τιμή 307 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Για το πόσιμο νερό το επίπεδο της αγωγιμότητας είναι 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ και με βάση αυτό η γεώτρηση του Αλίμου έχει τιμή επιτρεπτή για πόσιμο, ενώ του Ελληνικού καθόλου επιτρεπτή.

Οι υψηλές τιμές ακολουθούν μια κατεύθυνση από την γεώτρηση 3E του Ελληνικού προς την 1A με 2180 $\mu\text{S}/\text{cm}$ και 1ΠΦ με 2150 $\mu\text{S}/\text{cm}$ του Αλίμου και του Παλαιού Φαλήρου αντίστοιχα.

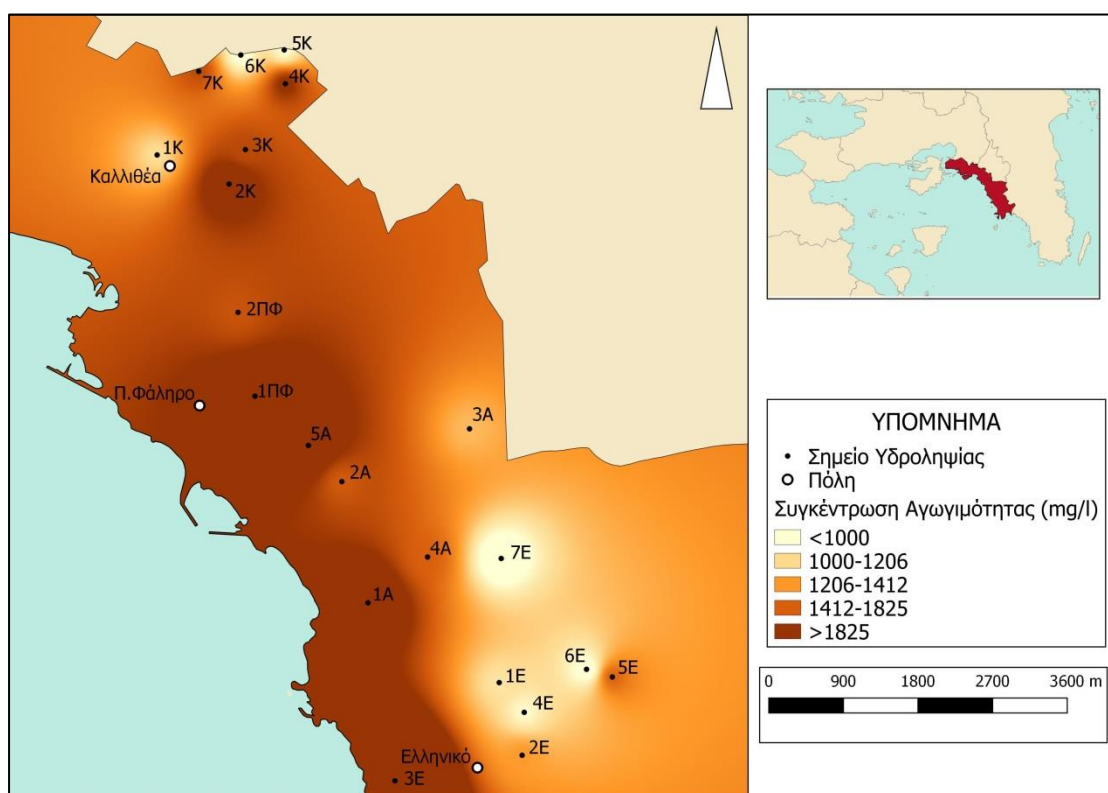
Για τις αντίστοιχες γεωτρήσεις πριν από εννέα χρόνια η μεγαλύτερη τιμή συναντήθηκε πάλι στην 3E του Ελληνικού με τιμή 3700 $\mu\text{S}/\text{cm}$, ενώ η μικρότερη στην 5E με 776 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Η υψηλή αγωγιμότητα είναι ένδειξη διείσδυσης του θαλασσινού νερού στο υπόγειο, το οποίο έτσι γίνεται υφάλμυρο.

Ακολουθούν οι χάρτες με τα αποτελέσματα των μετρήσεων του 2018 και τα αντίστοιχα του 2009 για τα 21 υδροσημεία.



Χάρτης 11.1. Συγκέντρωση ηλεκτρικής αγωγιμότητας (E.C.) έτους 2018



Χάρτης 11.2. Συγκέντρωση ηλεκτρικής αγωγιμότητας (E.C.) έτους 2009 (Μπιτζιλέκη Χ., 2010)

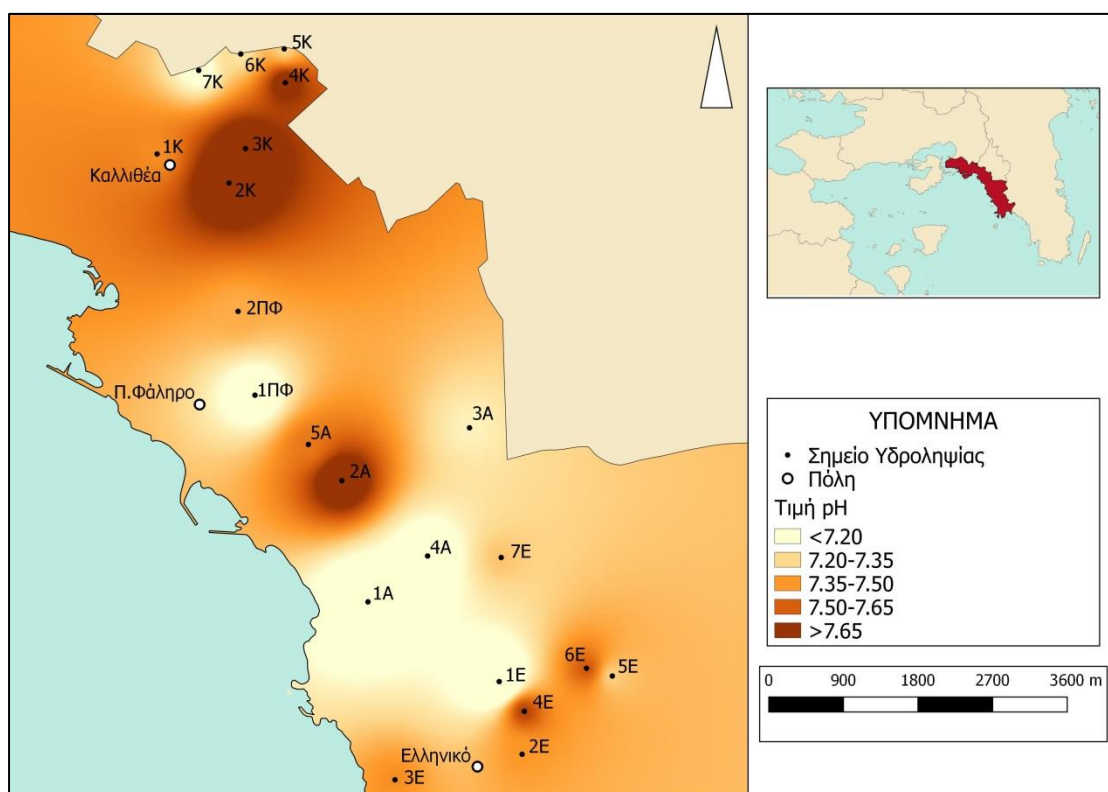
11.3. Χάρτες τιμών pH

Οι τιμές των pH είναι σχετικά κοντά με μικρές διαφοροποιήσεις λόγω και της τάξης του μεγέθους. Το μεγαλύτερο pH παρατηρείται σε δύο γεωτρήσεις της Καλλιθέας και συγκεκριμένα την 2K και 3K με τιμές 7,86 και 7,83. Η πιο μικρή τιμή συναντάται στην γεώτρηση 1E του Ελληνικού με τιμή 6,84.

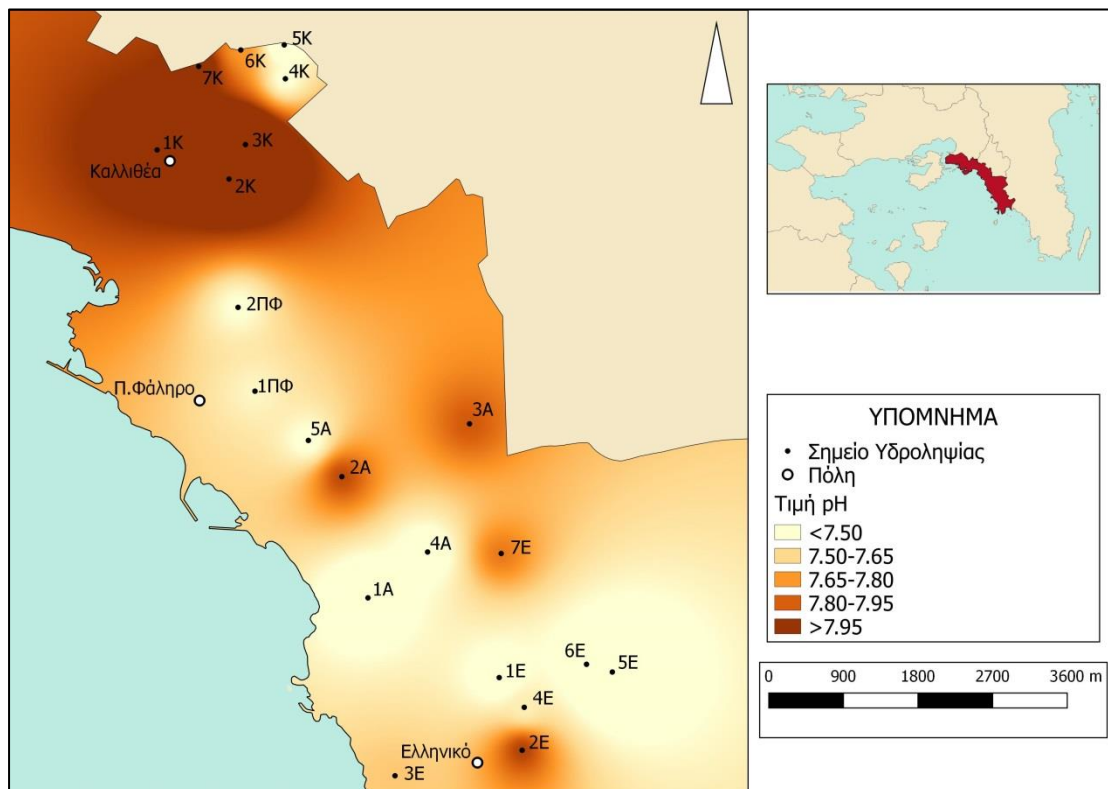
Ειδικότερα από το σχήμα που ακολουθεί βλέπουμε τις υψηλότερες τιμές με σκούρο χρώμα στη περιοχή της Καλλιθέας και του Αλίμου, ενώ οι πιο μικρές είναι με το ανοιχτό χρώμα στο Παλαιό Φάληρο και το Ελληνικό.

Το 2009 η μεγαλύτερη τιμή ήταν στο υδροσημείο 3K της Καλλιθέας με pH 8,60 και η μικρότερη στο 6E του Ελληνικού με 7,27. Άρα όλα τα δείγματα ήταν αλκαλικά (>7) κάτι που δεν ισχύει πλέον.

Ακολουθούν οι χάρτες που δημιουργήθηκαν για τις μετρήσεις του 2018 και του 2009 για πιο σαφή συμπεράσματα.



Χάρτης 11.3. Τιμές pH έτους 2018



Χάρτης 11.4. Τιμές pH έτους 2009
(Μπιτζιλέκη Χ., 2010)

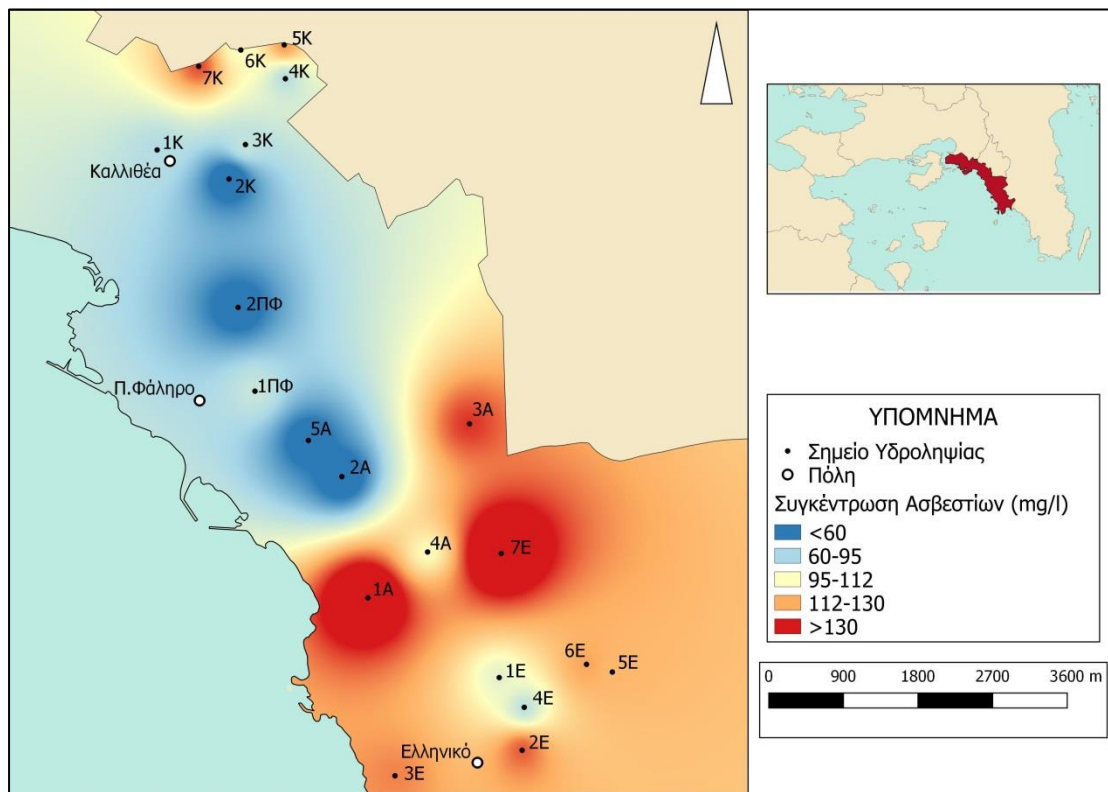
11.4. Χάρτες συγκέντρωσης ασβεστίου (Ca^{2+})

Η μεγαλύτερη τιμή συγκέντρωσης ασβεστίου παρατηρήθηκε στο Ελληνικό με τιμή 166,40 mg/l, ενώ η μικρότερη στην γεώτρηση 2A στον Άλιμο με 49,66 mg/l.

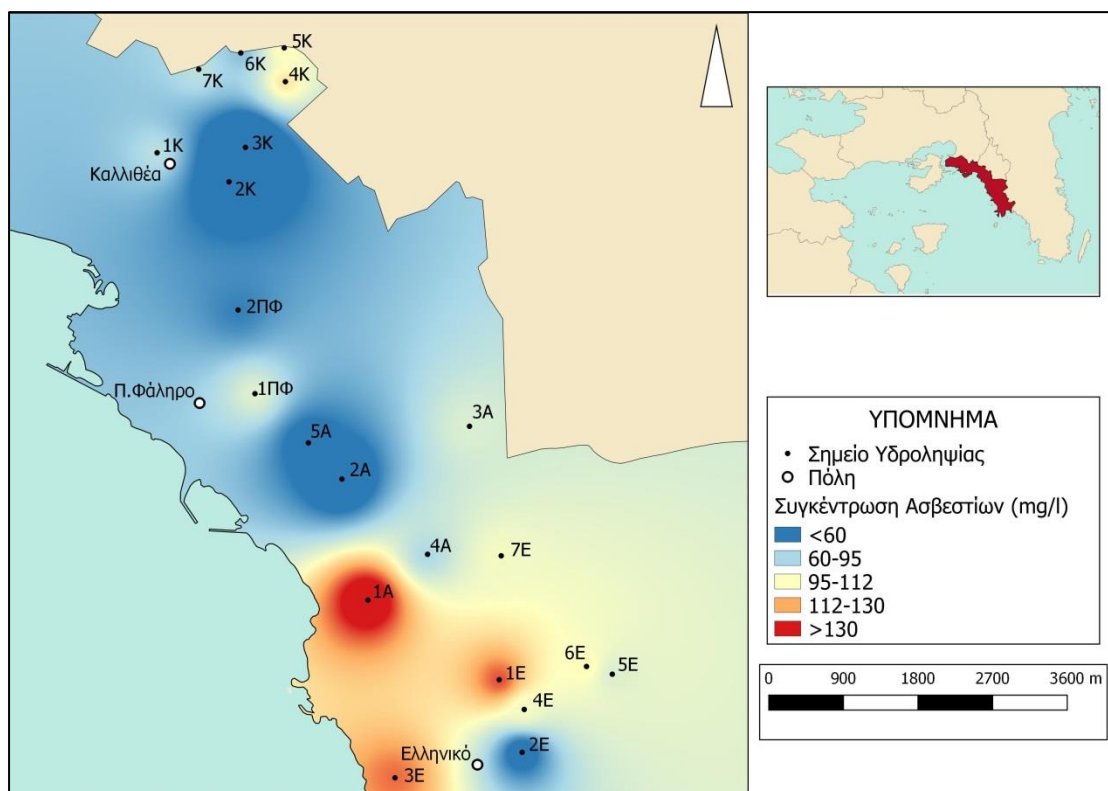
Τα αντίστοιχα μεγέθη για την προηγούμενη διπλωματική ήταν 146,18 mg/l στην 1A και 18,42 mg/l στην 3K.

Τα 100 mg/l είναι η ιδανική τιμή για το πόσιμο νερό σύμφωνα με την οδηγία 80/778 της ΕΟΚ .

Από τους χάρτες που παρατίθενται βλέπουμε με λεπτομέρεια το τι συμβαίνει. Με κόκκινο φαίνονται οι μεγάλες τιμές συγκέντρωσης, με μπλε οι χαμηλές και με λευκό οι ενδιάμεσες.



Χάρτης 11.5. Συγκεντρώσεις ασβεστίου (Ca^{2+}) έτους 2018

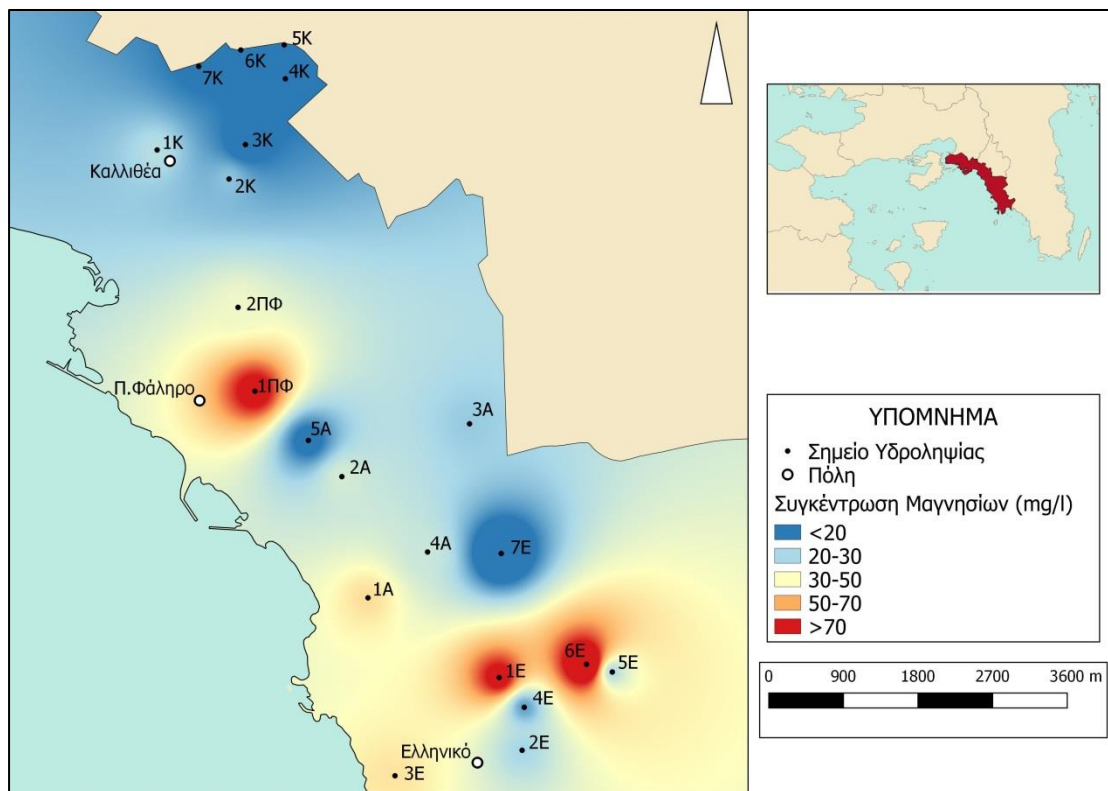


Χάρτης 11.6. Συγκεντρώσεις ασβεστίου (Ca^{2+}) έτους 2009
(Μπιτζιλέκη Χ., 2010)

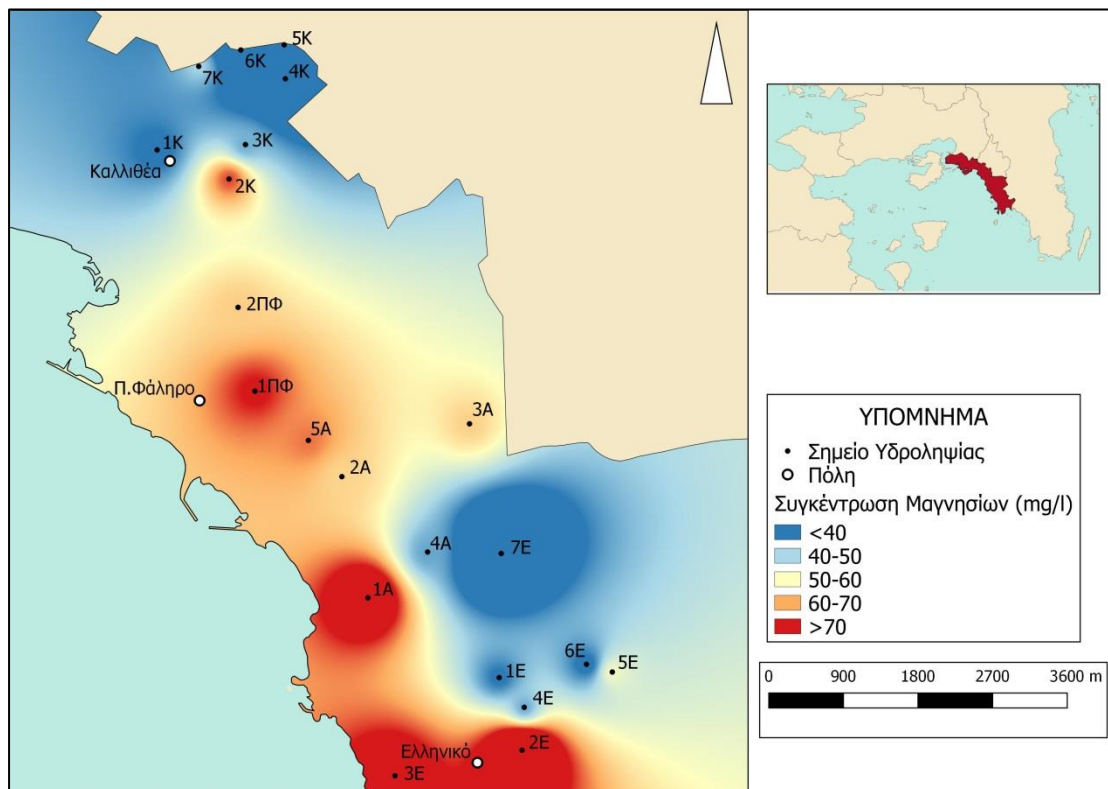
11.5. Χάρτες συγκέντρωσης μαγνησίου (Mg^{2+})

Για το μαγνήσιο η πιο μεγάλη τιμή είναι τα 90,88 mg/l στην περιοχή του Ελληνικού και για το 2009 η μέγιστη τιμή ήταν τα 104,49 mg/l στη γεώτρηση 2E του Ελληνικού.

Τα 50 mg/l αποτελούν την ιδανική τιμή μαγνησίου σύμφωνα με την οδηγία της ΕΟΚ.



Χάρτης 11.7. Συγκεντρώσεις μαγνησίου (Mg^{2+}) έτους 2018



Χάρτης 11.8. Συγκεντρώσεις μαγνησίου (Mg^{2+}) έτους 2009
(Μπιτζιλέκη Χ., 2010)

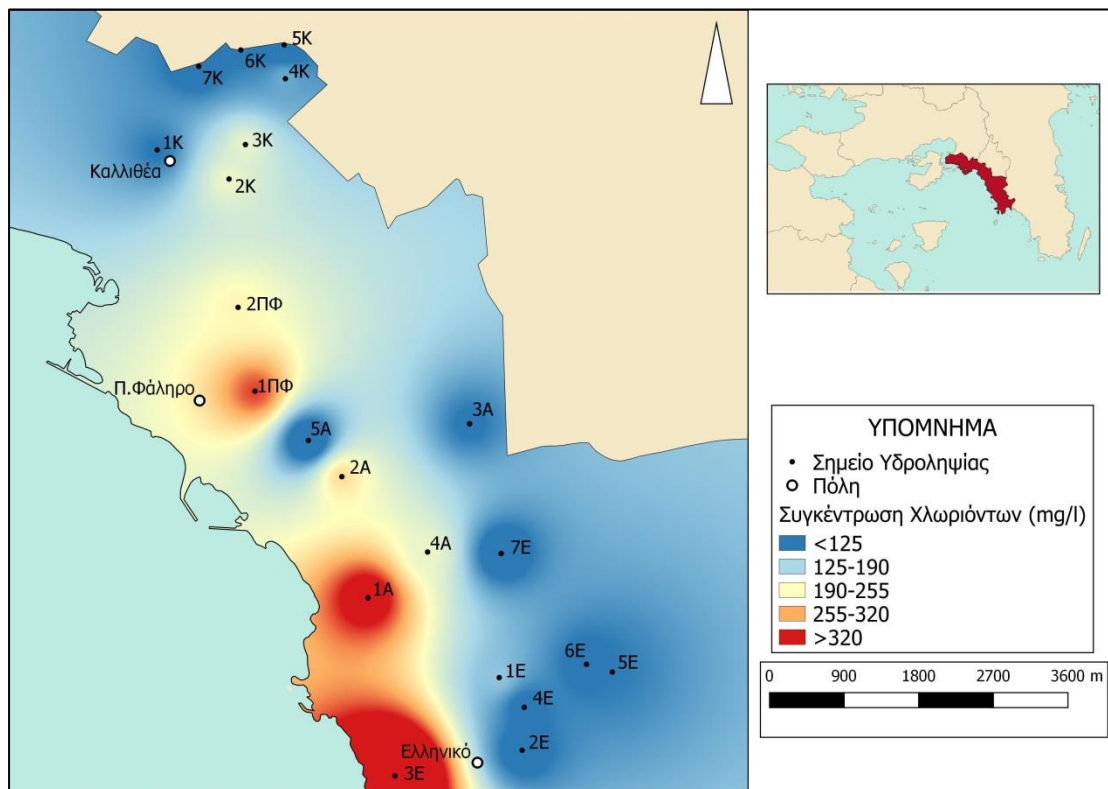
11.6. Χάρτες συγκέντρωσης χλωριόντων (Cl^{-})

Στις μετρήσεις μας η μεγαλύτερη τιμή συγκέντρωσης ιόντων χλωρίου παρατηρείται στην περιοχή του Ελληνικού στη γεώτρηση 3E με 628 mg/l, ενώ η μικρότερη στην 5A του Αλίμου με 8 mg/l.

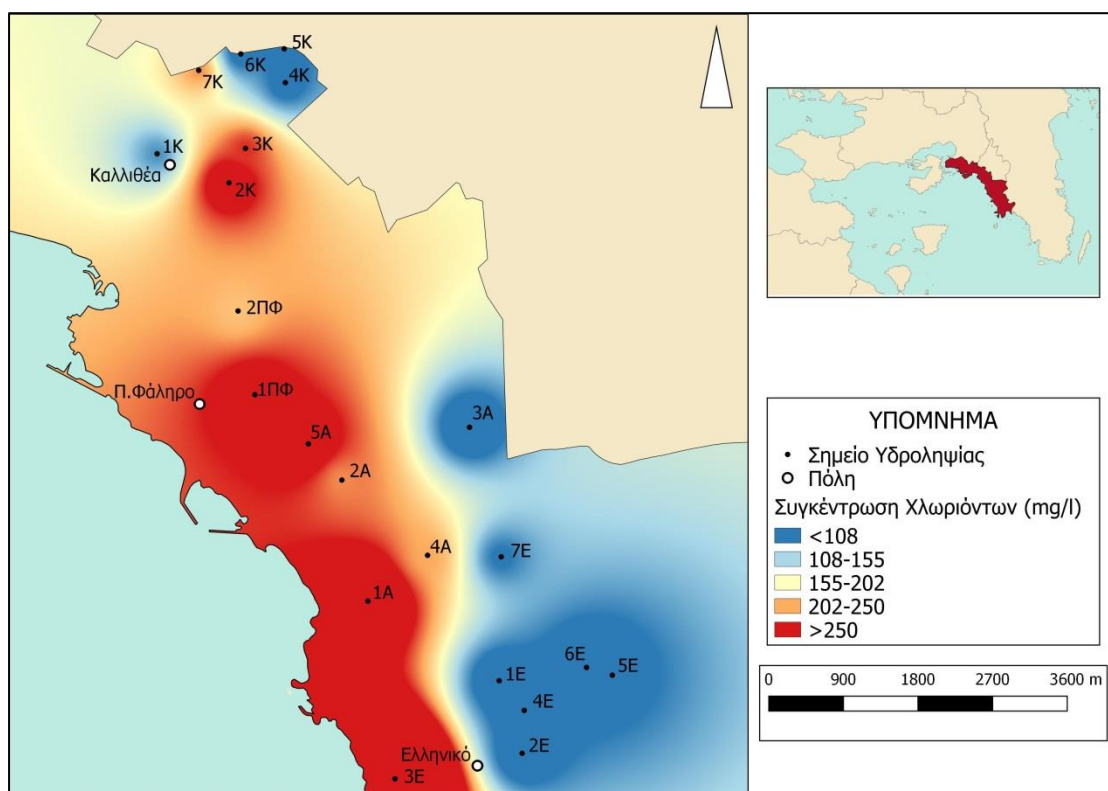
Αντίστοιχα οι παλιές αναλύσεις έχουν σαν μέγιστη τιμή τα 848 mg/l στο Ελληνικό στην 3E που συμπίπτει με τις περσινές μετρήσεις και η μικρότερη στο 6E με 6 mg/l.

Το όριο ποσιμότητας για τα χλωριόντα είναι τα 100 mg/l.

Όπως φαίνεται και από τους χάρτες στη συνέχεια οι περιοχές που βρίσκονται κοντά στη θάλασσα είναι πιο επιβαρυνμένες λόγω και της διείσδυσης του θαλάσσιου νερού. Αντίθετα απομακρυσμένες από τη θάλασσα περιοχές βρίσκονται σε καλύτερα επίπεδα συγκέντρωσης χλωρίου. Επιπλέον, σύμφωνα με τους παρακάτω χάρτες το 2009 το παραλιακό μέτωπο είναι εμφανώς πιο επιβαρυνμένο απ' ό τι το 2018.



Χάρτης 11.9. Συγκεντρώσεις χλωριόντων (Cl^-) έτους 2018



Χάρτης 11.10. Συγκεντρώσεις χλωριόντων (Cl^-) έτους 2009
(Μπιτζιλέκη Χ., 2010)

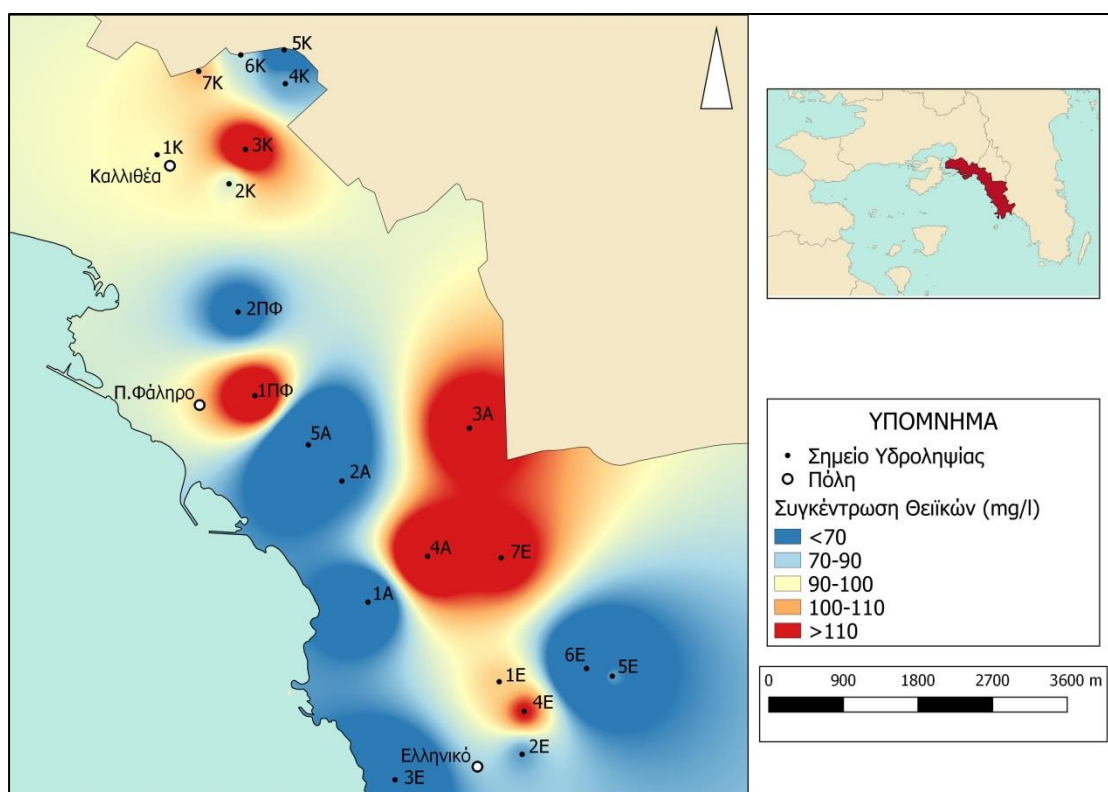
11.7. Χάρτες συγκέντρωσης θειικών (SO_4^{2-})

Η 4A γεώτρηση του Αλίμου έχει τη μεγαλύτερη τιμή με 148 mg/l και η μικρότερη παρουσιάζεται στην 5A με 2 mg/l μόνο.

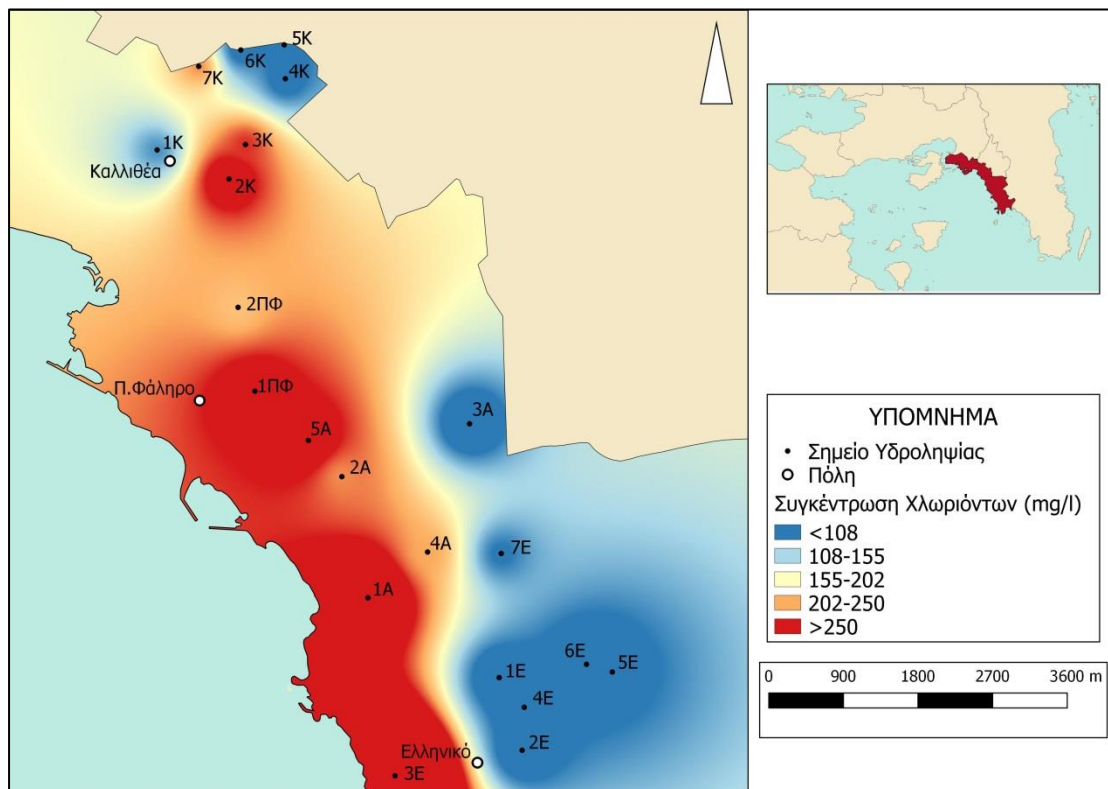
Τα αντίστοιχα μεγέθη παλαιότερα ήταν 325 mg/l στην 3E και 55 mg/l στην 4E, όπως φαίνεται στη συνέχεια.

Τα όρια καταλληλότητας πόσιμου νερού για τα θειικά είναι 25-250 mg/l.

Το 2018 οι τιμές των θειικών είναι πιο μικρές κοντά στη θάλασσα και αυξημένες στις πιο απομακρυσμένες από αυτήν περιοχές, ενώ το 2009 παρατηρούμε ακριβώς το αντίθετο.



Χάρτης 11.11. Συγκεντρώσεις θειικών (SO_4^{2-}) έτους 2018



Χάρτης 11.12. Συγκεντρώσεις θειικών (SO_4^{2-}) έτους 2009
(Μπιτζιλέκη Χ., 2010)

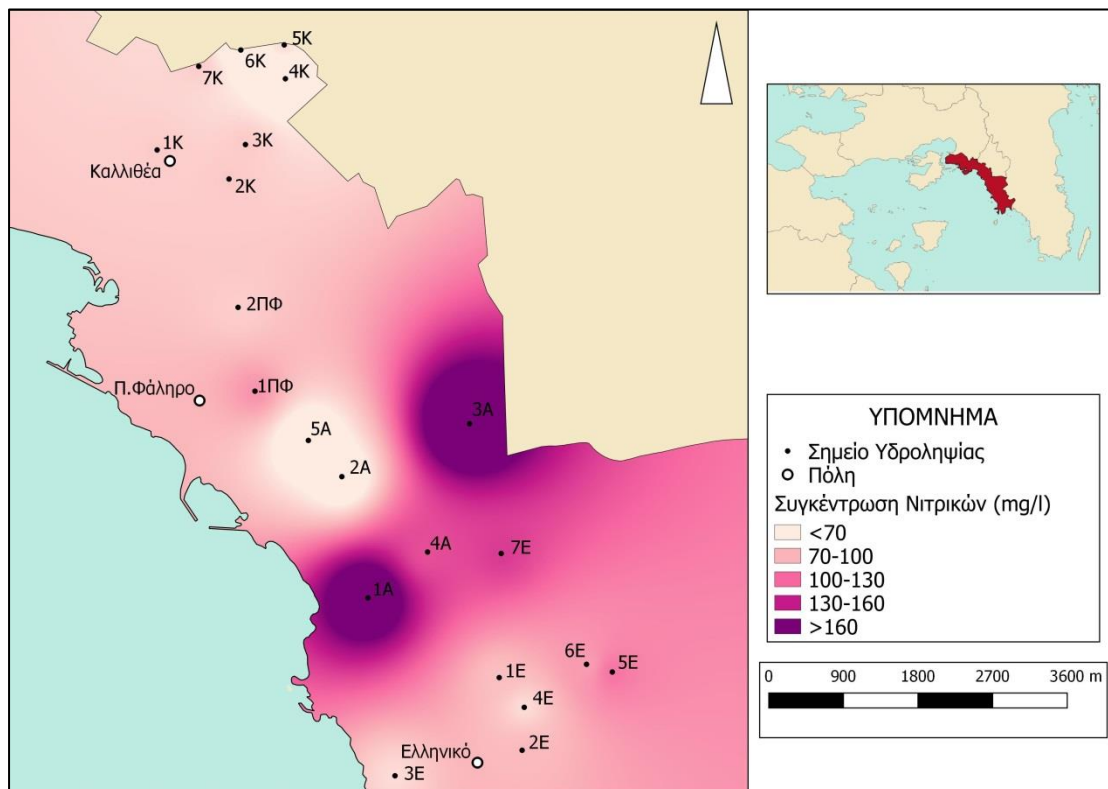
11.8. Χάρτες συγκέντρωσης νιτρικών (NO_3^-)

Στον Άλιμο και συγκεκριμένα στην 1Α γεώτρηση με 224,2 mg/l έχουμε σύμφωνα με τις μετρήσεις μας τη μεγαλύτερη συγκέντρωση νιτρικών, ενώ η μικρότερη συναντάται στην 4Κ γεώτρηση του δήμου Καλλιθέας με 4,7 mg/l.

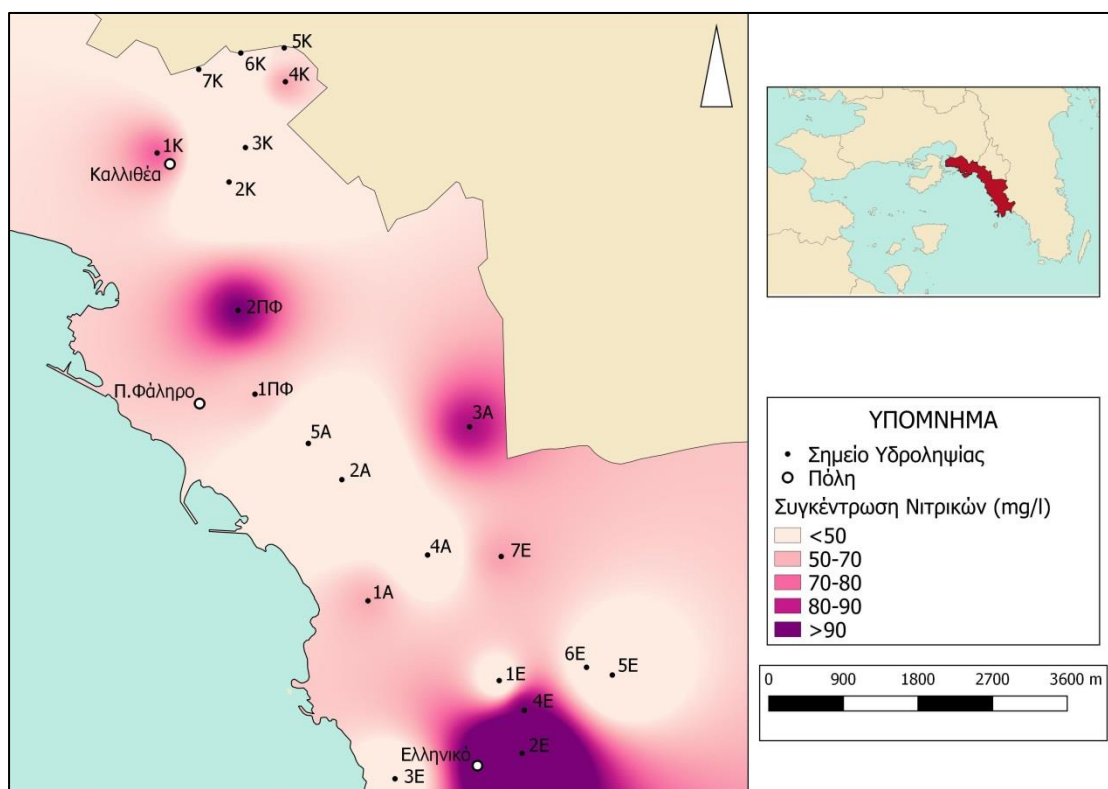
Υπάρχει διαφορά ως προς τα αντίστοιχα μεγέθη του 2009 τα οποία είναι 198 mg/l στην 2Ε και 7,90 mg/l στην 2Α.

Να επισημάνουμε ότι για το πόσιμο νερό τα νιτρικά δε θα πρέπει να ξεπερνάνε τα 50 mg/l.

Με το σκούρο μωβ χρώμα είναι οι περιοχές με μεγάλες συγκεντρώσεις νιτρικών και βλέπουμε ότι ανήκουν σε δύο υδροσημεία στην περιοχή του Αλίμου για το 2018, ενώ το 2009 σε ένα υδροσημείο του Παλαιού Φαλήρου και δύο του Ελληνικού.



Χάρτης 11.13. Συγκεντρώσεις νιτρικών (NO_3^-) έτους 2018

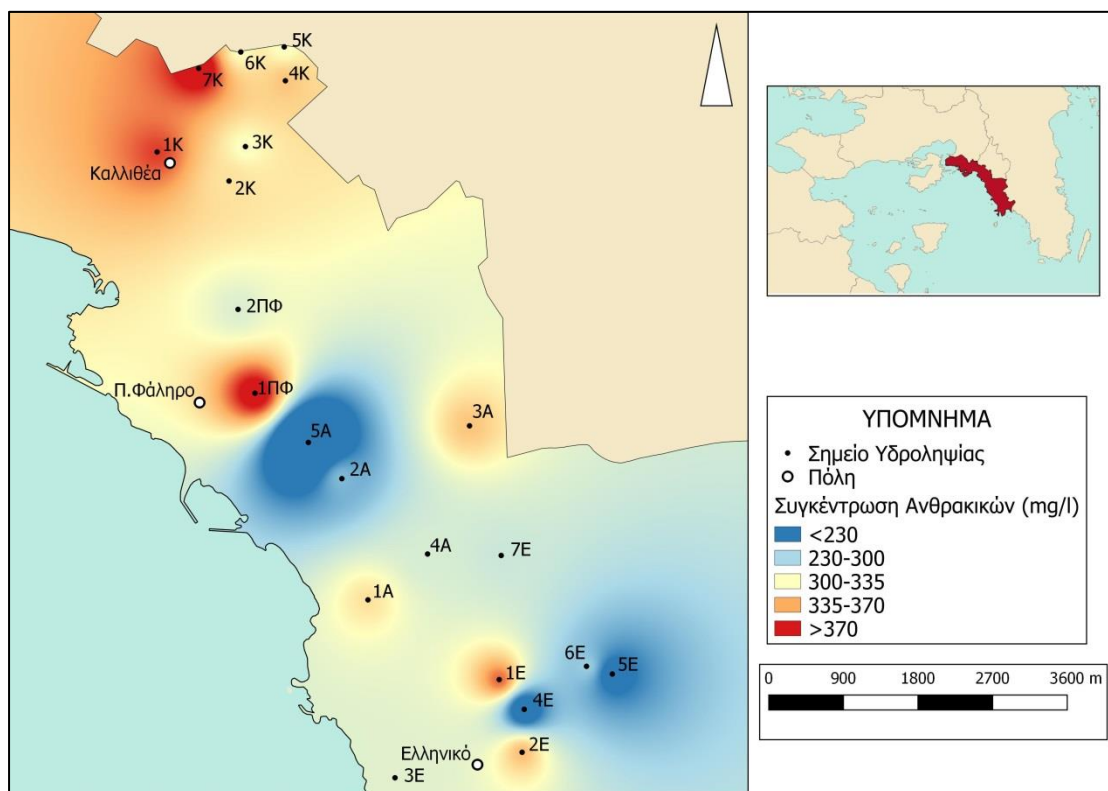


Χάρτης 11.14. Συγκεντρώσεις νιτρικών (NO_3^-) έτους 2009
(Μπιτζιλέκη Χ., 2010)

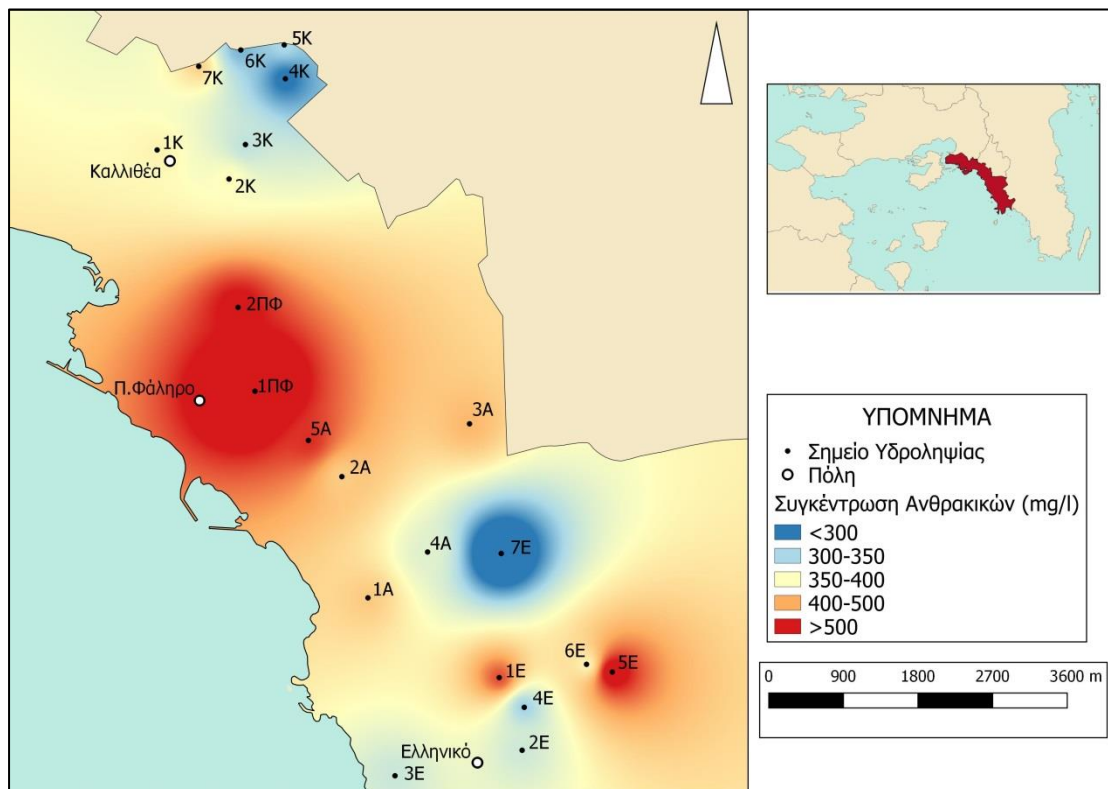
11.9. Χάρτες συγκέντρωσης όξινων ανθρακικών (HCO_3^-)

Το σημείο με την υψηλότερη συγκέντρωση όξινων ανθρακικών είναι το 7K με 395,28 mg/l και το σημείο με τη χαμηλότερη το 5A με 102,48 mg/l.

Για τη προηγούμενη ανάλυση τη μέγιστη τιμή κατείχε το υδροσημείο 1ΠΦ και την ελάχιστη το 7E για τις 21 αντίστοιχες γεωτρήσεις.



Χάρτης 11.15. Συγκεντρώσεις όξινων ανθρακικών (HCO_3^-) έτους 2018

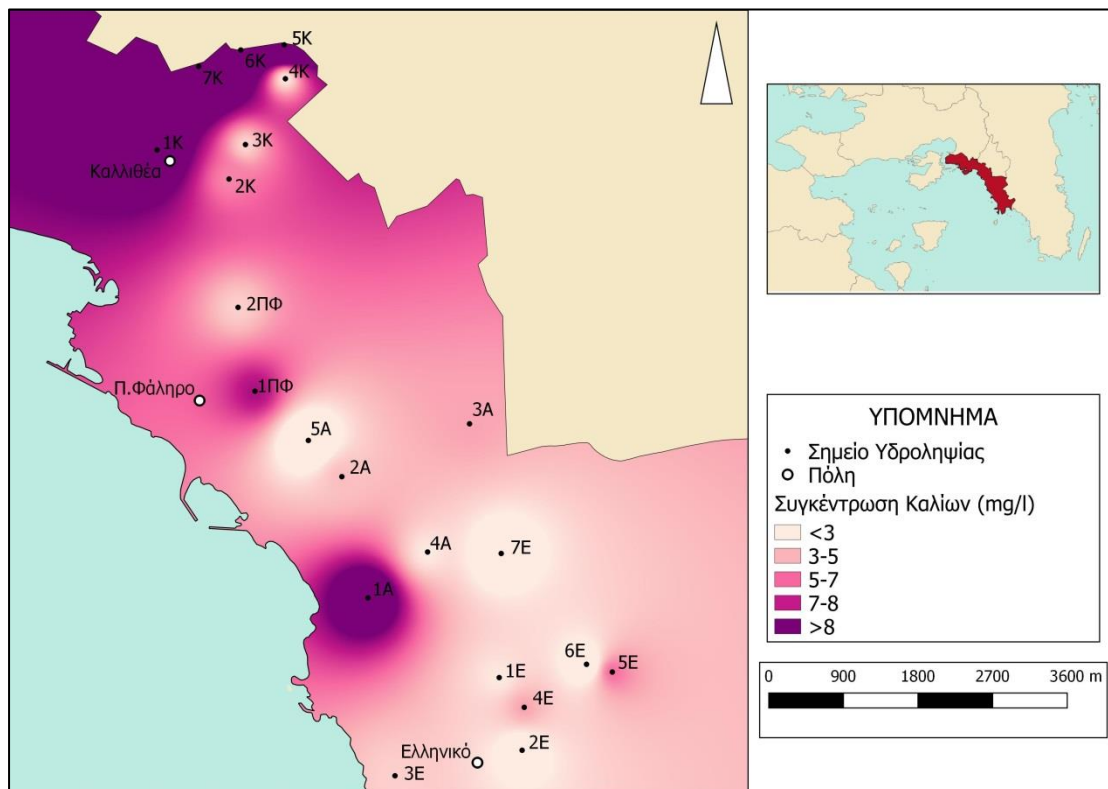


Χάρτης 11.16. Συγκεντρώσεις όξινων ανθρακικών (HCO_3^-) έτους 2009
(Μπιτζιλέκη Χ., 2010)

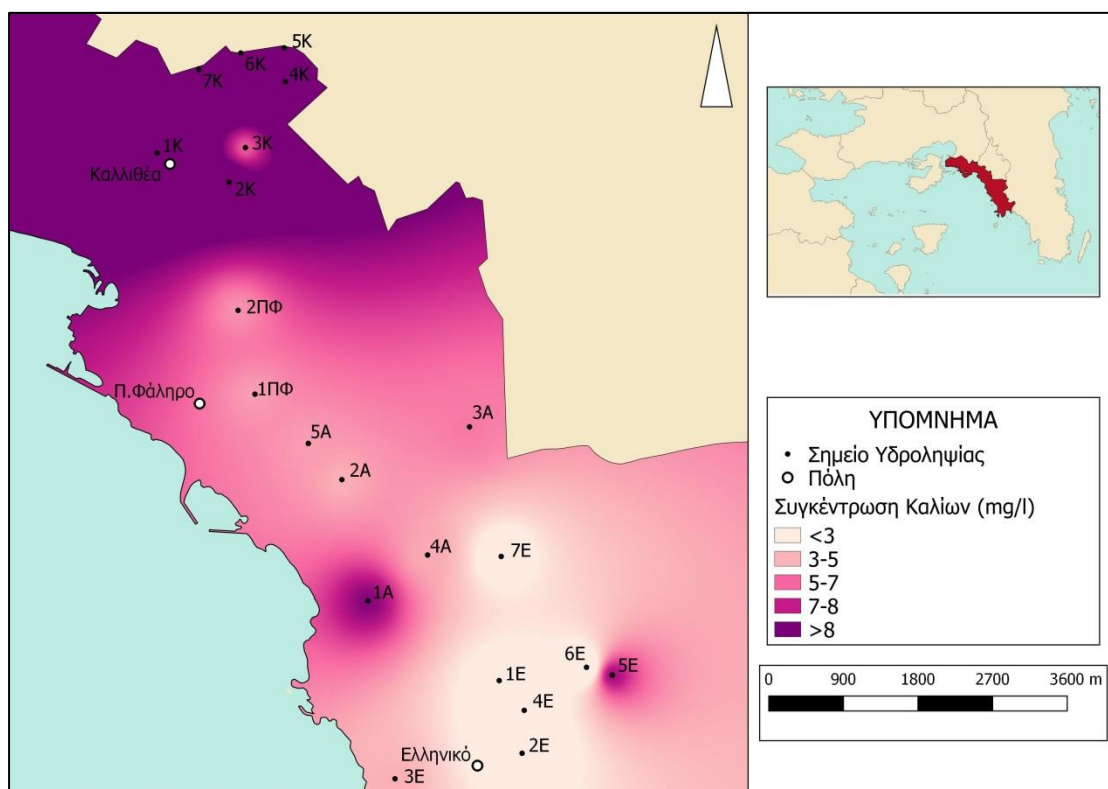
11.10. Χάρτες συγκέντρωσης καλίου (K^+)

Η γεώτρηση 7K της Καλλιθέας έχει τη μεγαλύτερη τιμή με 18,5 mg/l και η μικρότερη παρουσιάζεται στην 5A με 0,8 mg/l μόνο.

Τα αντίστοιχα μεγέθη παλαιότερα ήταν 18,5 mg/l στην 5K και 1,40 mg/l στην 6E.



Χάρτης 11.17. Συγκεντρώσεις καλίου (K^+) έτους 2018



Χάρτης 11.18. Συγκεντρώσεις καλίου (K^+) έτους 2009
(Μπιτζιλέκη Χ., 2010)

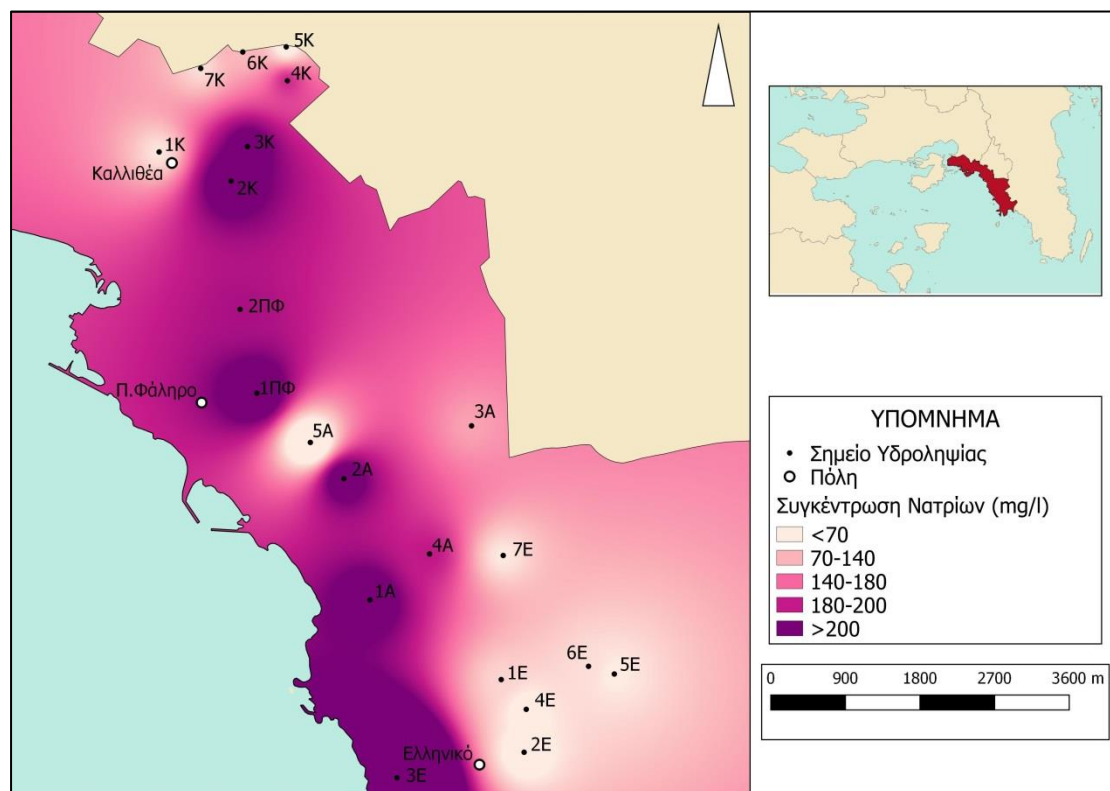
11.11. Χάρτες συγκέντρωσης νατρίου (Na^+)

Στις μετρήσεις μας η μεγαλύτερη τιμή συγκέντρωσης ιόντων νατρίου παρατηρείται στην περιοχή του Ελληνικού στην γεώτρηση 3E με 541 mg/l, ενώ η μικρότερη στην 5A του Αλίμου με 6,3 mg/l.

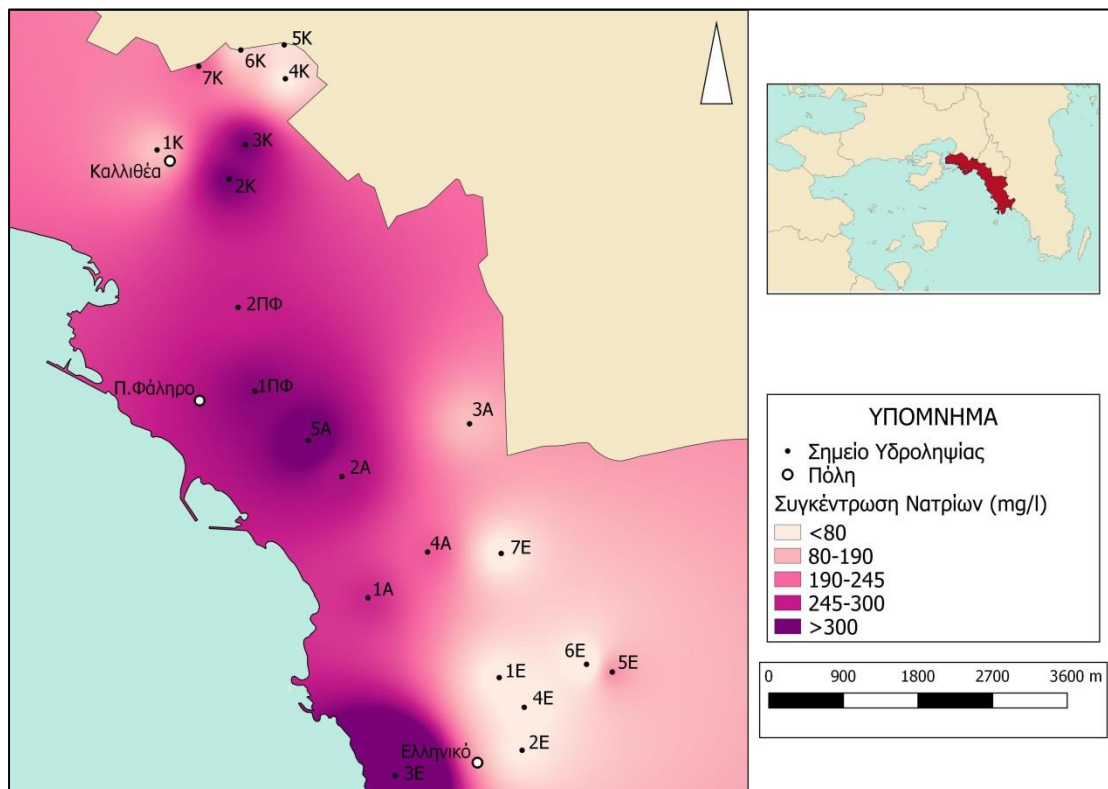
Αντίστοιχα οι παλιές αναλύσεις έχουν σαν μέγιστη τιμή τα 600 mg/l στο Ελληνικό στην 3E που συμπίπτει με τις φετινές μετρήσεις και η μικρότερη στο 6E με 6 mg/l.

Παρατηρούμε ότι στις ίδιες ακριβώς γεωτρήσεις είχαν αναφερθεί οι μέγιστες και ελάχιστες τιμές για τα χλωριόντα.

Όπως φαίνεται και από τους χάρτες στη συνέχεια οι περιοχές που βρίσκονται κοντά στην παράκτια ζώνη έχουν υψηλές συγκεντρώσεις ιόντων νατρίου λόγω της διείσδυσης του θαλάσσιου νερού. Αντίθετα απομακρυσμένες από τη θάλασσα περιοχές βρίσκονται σε καλύτερα επίπεδα συγκέντρωσης νατρίου. Το Na^+ είναι το αφθονότερο μεταλλικό ιόν στο θαλασσινό νερό, γι' αυτό και οι υδροληψίες είναι επιβαρυμένες.



Χάρτης 11.19. Συγκεντρώσεις νατρίου (Na^+) έτους 2018



Χάρτης 11.20. Συγκεντρώσεις νατρίου (Na^+) έτους 2009
(Μπιτζιλέκη Χ., 2010)

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα υπόγεια νερά έχουν μια ευρεία περιοχή χημικής σύστασης, που εξαρτάται από την προέλευσή τους, τον ρυθμό εμπλουτισμού τους, την αλληλεπίδραση με την ατμόσφαιρα, τις ανθρώπινες δραστηριότητες και τις συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης.

- Η περιοχή μελέτης τη χρονική περίοδο Οκτωβρίου 2018 είχε διαφορετικές τιμές ιόντων ανά περιοχή κάτι για το οποίο έπαιξε ρόλο και η γεωλογία και η απόσταση της κάθε γεώτρησης από τη θάλασσα.
- Υπάρχουν υδροσημεία στα οποία η ένδειξη υφαλμύρωσης του υπόγειου νερού είναι μεγάλη και αυτό παρατηρείται όπως ήταν αναμενόμενο στις γεωτρήσεις που είναι κοντά στο παραλιακό μέτωπο.
- Οι γεωτρήσεις που βρίσκονται πιο ανατολικά, δηλαδή πιο μακριά από τη θάλασσα δε παρουσιάζουν το πρόβλημα της διείσδυσης θαλασσινού νερού, λόγω του μεγαλύτερου υψομέτρου. Στο παραλιακό μέτωπο οι αυξημένες τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (E.C.), των χλωριόντων (Cl^-) και του νατρίου (Na^+) υποδηλώνουν το συγκεκριμένο φαινόμενο.
- Σε κάποια από τα σημεία με χαμηλή ένδειξη χλωριόντων και νατρίου παρατηρείται αυξημένη η παρουσία ιόντων ασβεστίου (Ca^{++}) και μαγνησίου (Mg^{++}). Αυτό μπορεί να συμβαίνει λόγω της φυσικής τροφοδοσίας του υδροφόρου. Επίσης, είναι εμφανές ότι οι υφάλμυρες περιοχές έχουν τις χαμηλότερες τιμές σε θειικά (SO_4^-) και αντιθέτως έχουν υψηλή συγκέντρωση θειικών οι απομακρυσμένες από τη θάλασσα γεωτρήσεις.
- Ως προς την καταλληλότητα για πόση μόνο ένα δείγμα καθιστάται κατάλληλο, το οποίο βρίσκεται στον Άλιμο. Τα υπόλοιπα είναι ακατάλληλα για πόση και μπορούν να χρησιμοποιούνται μόνο για άρδευση με την προϋπόθεση να ελέγχονται ως προς την αλατότητα. Εξαιρούνται κάποια δείγματα του δήμου Καλλιθέας και Ελληνικού που καλύτερα να μη χρησιμοποιούνται ούτε για άρδευση.

Σύμφωνα με όσα μελετήθηκαν στην περιοχή θα πρέπει να ληφθούν κάποια μέτρα προκειμένου τα υπόγεια νερά του Φαληρικού Δέλτα να μπορέσουν να γίνουν περισσότερο αξιοποιήσιμα. Τα αποτελέσματα των δειγματοληψιών του 2009 και του 2018 δείχνουν μια ολοκληρωμένη εικόνα για την ποιότητα των υπόγειων νερών στο Φαληρικό Δέλτα και θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν, προκειμένου να επιτευχθεί η καλύτερη ικανοποίηση των αναγκών σε νερό.

Το νερό είναι ό,τι σημαντικότερο για την ανθρώπινη ζωή και την ποιότητά της. Στο Φαληρικό Δέλτα όπως και σε όλη την Αττική και ευρύτερα την Ελλάδα υπάρχει μεγάλος πλούτος υδάτινων πόρων και θα πρέπει να αξιοποιηθεί με γνώμονα την αειφορία και την ισορροπία του φυσικού περιβάλλοντος.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Βουδούρης Κ., 2006, Υδρογεωλογία περιβάλλοντος, Θεσσαλονίκη.
- Βουδούρης Κ., 2009, Υδρογεωλογία περιβάλλοντος: υπόγεια νερά και περιβάλλον, Θεσσαλονίκη.
- Καζάκης Ν., 2014, Υδρογεωλογικές αρχές: Υδροχημεία, γεωλογικοί σχηματισμοί και υπόγειοι υδροφορείς, Θεσσαλονίκη.
- Καλλέργης Γ. 1999, Εφαρμοσμένη Περιβαλλοντική Υδρογεωλογία, Έκδοση Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας 2^η Έκδοση.
- Κουμαντάκης Ι., 1984, Κεφάλαια Υδρογεωλογίας, Αθήνα.
- Κουμαντάκης Ι. και συνεργάτες, 1996-1997, Έρευνα υδρογεωλογικών συνθηκών και καθεστώτος εκμετάλλευσης υπογείων νερών Λεκανοπεδίου Αθηνών, Αθήνα.
- Κουμαντάκης Ι., 2007, Αξιοποίηση, διαχείριση και προστασία υπόγειων υδροφορέων - Σημειώσεις μαθήματος μεταπτυχιακού Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων, Αθήνα.
- Μερτήρη Ε., 2008, Υδρογεωλογικές συνθήκες σε τμήμα της επέκτασης του μετρό Νίκαια - Πειραιάς, αλληλεπίδραση σήραγγας - υπόγειων νερών, Αθήνα.
- Μπιτζιλέκη Χ., 2010, Οριοθέτηση ζώνης υφαλμύρωσης υπόγειων νερών μετώπου Μοσχάτου-Γλυφάδας νομού Αττικής, Αθήνα.
- Παπανικολάου Δ., Μπάση Ε., Κράνης Χ., Δανάμος Γ., 2004, Παλαιογεωγραφική εξέλιξη του Λεκανοπεδίου Αθηνών από το άνω μειόκαινο έως σήμερα, Αθήνα.
- Πετροπούλου Χ., Βακάκη Σ., Γαλαθρή Δ., Δαγκλή Ε., 2016, Αστική ανάπτυξη του δήμου Π. Φαλήρου Αττικής, Μυτιλήνη.
- Σκριμιζέα Ε., 2011, Επιχειρησιακό πρόγραμμα για τη διαχείριση τμήματος παράκτιας ζώνης της νοτιοδυτικής Αττικής, Αθήνα.
- Σούλιος Γ., 2004, Γενική υδρογεωλογία – Τόμος Γ', Αποθέματα και διαχείριση του υπόγειου νερού, Αθήνα.
- Τρούσσα Σ., 2009, Υφαλμύρωση υπόγειων υδροφορέων νομού Χανίων, Χανιά.
- Φιλιππαίου Κ., 2013, Υδατικοί πόροι με έμφαση στα υπόγεια νερά νήσου Κύθνου, Αθήνα.
- Fetter C., 1994, Applied hydrogeology – 3d edition, New York.
- Meinzer O., 1923, The occurrence of ground water in the United States, with a discussion of principles, USA.

ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ

- <https://www.google.gr/maps/@37.9038342,23.6858733,18848m/data=!3m1!1e3>
- http://www.arch.ntua.gr/sites/default/files/project/11851_/afentakh_meleths_x_atzhbasileioy.pdf
- http://dspace.lib.ntua.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/3707/skrimizeae_c_oastalarea.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- http://www.geo.auth.gr/ege2004/articles/ST9_290.pdf
- <https://docplayer.gr/38483581-Protasi-fysiko-parko-falirikoy-delta-paralia-moshatoy-ekvoles-kifisoy-kai-ilisoy.html>
- <http://www.statistics.gr/el/2011-census-pop-hous>
- http://www.kallithea.gr/?page_id=190
- <http://www.dimosellinikou.gr/>
- http://www.geo.auth.gr/courses/ggg/ggg887e/PDF/XYTA_1.pdf
- http://new.ims.forth.gr/water/sites/new.ims.forth.gr.water/files/documents/thesis/mertiri_eleni_full.pdf
- <https://docplayer.gr/2696337-Ydrogeologikes-arhes-ydrohimeia-geologikoi-shimatismoi-kai-ypogeioi-ydroforeis.html>
- <https://books.google.gr/books?id=3F4GDAAQBAJ&pg=PA190&dq=%CE%9A%CE%AC%CF%81%CF%83%CF%84+%CE%83%CF%84%CE%B7%CE%BD+%CE%95%CE%BB%CE%BB%CE%AC%CE%B4%CE%B1+%CE%A3%CE%BF%CF%8D%CE%BB%CE%B9%CE%BF%CF%82+%CE%93.,+2004&hl=el&sa=X&ved=0ahUKEwi0pbiTppzIAhUPWZoKHZIOB7AQ6AEIKDAA#v=onepage&q=%CE%9A%CE%AC%CF%81%CF%83%CF%84%20%CF%83%CF%84%CE%B7%CE%BD%20%CE%95%CE%BB%CE%BB%CE%AC%CE%B4%CE%B1%20%CE%A3%CE%BF%CF%8D%CE%BB%CE%B9%CE%BF%CF%82%20%CE%93.%2C%202004&f=false>
- <https://www.edeya.gr/imerides/teχνologies-afalatwsis-anaduomenes-taseis-1/288-boudouriskiraklio2015springs/file>
- <https://www.usgs.gov>
- <https://pubs.er.usgs.gov/publication/wsp489>
- [https://www.scirp.org/\(S\(351jmbntvnsjt1aadkposzje\)\)/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1968625](https://www.scirp.org/(S(351jmbntvnsjt1aadkposzje))/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1968625)
- http://library.tee.gr/digital/m1701_1750/m1707/m1707_diamantis.pdf
- <http://www.geo.auth.gr/courses/ggg/ggg763e/ch5.htm>
- <http://artemis.library.tuc.gr/DT2000-0107/DT2000-0107.pdf>
- http://www.geo.auth.gr/courses/ggg/ggg887e/PDF/XYTA_3.pdf
- <https://docplayer.gr/57744774-Ethniko-metsovio-polytehneio.html>