

Ακρωνύμιο έργου: WATER IQ

Τίτλος έργου:

Δράσεις για τη βελτίωση της ποιοτικής και ποσοτικής κατάστασης του παράκτιου Υπόγειου Υδατικού Συστήματος π. Λαρισσού της ΛΑΠ Πείρου-Βέργα-Πηνειού του Υδατικού Διαμερίσματος Βόρειας Πελοποννήσου και την προσαρμογή του στην κλιματική αλλαγή

Παραδοτέο Π2.4

Δίκτυο παρακολούθησης της ποιότητας των υπόγειων υδάτων στην πιλοτική περιοχή

Ημερομηνία
25/04/2024

ΧΡΗΜΑΤΟΔΟΤΙΚΟΣ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ	Χρηματοδοτικός Μηχανισμός Ευρωπαϊκού Οικονομικού Χώρου (ΧΜ ΕΟΧ 2014-2021)
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ	Διαχείριση Υδάτων
ΤΙΤΛΟΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ	Εφαρμογή ερευνητικών μέτρων των σχεδίων διαχείρισης λεκανών απορροής ποταμών
ΑΚΡΩΝΥΜΙΟ ΕΡΓΟΥ	WATER IQ
ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΑ ΕΡΓΟΥ URL	https://wateriq-eeagrants.gr/
ΑΡΙΘΜΟΣ ΠΑΡΑΔΟΤΕΟΥ	Π2.4
ΤΙΤΛΟΣ ΠΑΡΑΔΟΤΕΟΥ	Δίκτυο παρακολούθησης της ποιότητας των υπόγειων υδάτων στην πιλοτική περιοχή
ΠΑΚΕΤΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	ΠΕ 2: Προσαρμογή και αντιμετώπιση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής και της υφαλμύρισης
ΥΠΕΥΘΥΝΗ ΠΑΡΑΔΟΤΕΟΥ	Ελένη Ζαγγανά
ΦΟΡΕΑΣ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΠΑΡΑΔΟΤΕΟΥ	ΕΛΚΕ Πανεπιστημίου Πατρών
ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΠΑΡΑΔΟΤΕΟΥ	Ολοκληρωμένο
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΠΑΡΑΔΟΣΗΣ	25/04/2024

Ιστορικό Παραδοτέου

Έκδοση	Ημερομηνία	Υπεύθυνοι Παραδοτέου	Μεταβολές	Απασχολούμενοι
1	24/04/2024	Ελένη Ζαγγανά	Αρχική έκδοση	Μ. Παπαηλιοπούλου, Σ. Περδίκης
2	25/04/2024	Νικόλαος Δεπουντής	Τελική έκδοση	

Περίληψη Παραδοτέου

Το έργο WaterIQ αποσκοπεί στη βελτίωση της ποιοτικής και ποσοτικής κατάστασης του παράκτιου Υπόγειου Υδατικού Συστήματος π. Λαρισσού της ΛΑΠ Πείρου- Βέργα-Πηνειού του Υδατικού Διαμερίσματος Βόρειας Πελοποννήσου και την προσαρμογή του στην κλιματική αλλαγή.

Στο πλαίσιο υλοποίησης του έργου εγκαταστάθηκε μόνιμο σύστημα παρακολούθησης της ποσοτικής και ποιοτικής κατάστασης των υδάτων του ΥΥΣ Λαρισσού και εφαρμόστηκε πιλοτικό πρόγραμμα τεχνητού εμπλουτισμού σε υφιστάμενες αδειοδοτημένες γεωτρήσεις.

Η διάδοση και αξιοποίηση των αποτελεσμάτων του έργου θα συνεχιστεί για τουλάχιστον 5 έτη από την τελική πληρωμή της πράξης. Επίσης, θα πραγματοποιηθούν όλες οι απαραίτητες ενέργειες που αφορούν στις εφαρμογές δράσεων, στον σχεδιασμό της επικοινωνίας και στη δημοσιοποίηση των αποτελεσμάτων του έργου .

Στο Παραδοτέο Π2.4 περιγράφεται το δίκτυο παρακολούθησης της ποιότητας των υπόγειων υδάτων που δημιουργήθηκε στην πιλοτική περιοχή του ΥΥΣ Λαρισσού για τη διαρκή παρακολούθηση της χημικής κατάστασης του υπόγειου συστήματος που έχει υποστεί υφαλμύριση και ποιοτική υποβάθμιση.

Στο παραδοτέο παρουσιάζονται τα υδροσημεία (γεωτρήσεις), στα οποία πραγματοποιήθηκαν δειγματοληψίες των υπόγειων υδάτων, τα αποτελέσματα των υδροχημικών αναλύσεων των δειγματοληψιών, η επεξεργασία και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων, υδροχημικοί χάρτες και διγράμματα και συμπεράσματα για το καθεστώς υφαλμύρισης και ποιοτικής υποβάθμιση του ΥΥΣ Λαρισσού.

Πίνακας Περιεχομένων

1	Εισαγωγή.....	1
2	Περιγραφή του δικτύου παρακολούθησης.....	2
3	Υδροχημικές Αναλύσεις.....	3
3.1	Πρωτόκολλο δειγματοληψίας.....	3
3.2	Μετρήσεις πεδίου.....	3
3.3	Εργαστηριακές αναλύσεις.....	3
3.4	Έλεγχος εργαστηριακών δοκιμών.....	4
4	Χωρική κατανομή των κύριων στοιχείων.....	5
4.1	Νάτριο (Na +).....	5
4.2	Κάλιο (K +).....	5
4.3	Ασβέστιο (Ca ²⁺).....	6
4.4	Μαγνήσιο (Mg ²⁺).....	7
4.5	Χλώριο (Cl ⁻).....	7
4.6	Θειικά ιόντα (SO ₄ ⁻²).....	8
4.7	Νιτρικά ιόντα (NO ₃ ⁻).....	9
5	Προέλευση στοιχείων.....	10
5.1	Ιοντικοί Λόγοι.....	10
5.1.1	Ιοντικός λόγος Mg/Ca.....	12
5.1.2	Ιοντικός λόγος Na/Cl.....	13
5.1.3	Ιοντικός λόγος Cl/SO ₄	14
5.1.4	Ιοντικός λόγος (Ca+Mg)/(K+Na).....	15
5.2	Δείκτες Κορεσμού.....	15
5.3	Αναγνώριση φρέσκου (γλυκού) και θαλασσινού νερού.....	16
6	Αξιολόγηση ποιότητας και Υδροχημική ταξινόμηση των υδάτων.....	18
6.1	SAR (Sodium Absorption Ratio).....	18
6.2	Περιεκτικότητα σε Νάτριο (Βαθμός Αλκαλίωσης).....	20
6.3	Ταξινόμηση κατά Piper.....	22
6.4	Ταξινόμηση κατά Duron.....	23
6.5	Ιοντική σχέση και προέλευση της διαλυμένης ουσίας.....	24
7	Συμπεράσματα.....	27
8	Βιβλιογραφία.....	28

1 Εισαγωγή

Η Υδροχημεία αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι της υδρογεωλογικής έρευνας με σκοπό την μέγιστη δυνατή κατανόηση των υδρογεωλογικών συνθηκών της περιοχής μελέτης. Επιπλέον, συνεισφέρει σημαντικά στον εντοπισμό περιβαλλοντικών προβλημάτων, τα οποία συνδέονται με την ποιοτική υποβάθμιση του υπόγειου νερού που οφείλεται σε φυσικά ή ανθρωπογενή αίτια.

Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του πόσιμου νερού αλλά και γενικότερα η χημική σύσταση του νερού εξαρτάται από:

- i. Τη χημική σύσταση του εδάφους μέσω του οποίου το νερό διηθείται για να φτάσει στους υδροφόρους ορίζοντες,
- ii. Τη χημική σύσταση των πετρωμάτων με τα οποία το νερό έρχεται σε επαφή,
- iii. Τις ανθρωπογενείς παρεμβάσεις που αλλοιώνουν τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του νερού,
- iv. Την προέλευση και τον όγκο νερού που εισέρχεται στον υδροφόρο ορίζοντα,
- v. Την ταχύτητα του υπόγειου νερού, η οποία καθορίζει τον χρόνο επαφής με τα πετρώματα,
- vi. Την συγκέντρωση των αλάτων του νερού, η οποία καθορίζεται από την απόσταση που διανύει μέσα στο έδαφος και
- vii. Τη χημική σύσταση του ατμοσφαιρικού αέρα.

Ωστόσο, εκτός από τις φυσικές διαδικασίες καθοριστικό ρόλο στη χημική σύσταση του υπόγειου νερού παίζουν οι ανθρωπογενείς παρεμβάσεις. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η ρύπανση από ενώσεις αζώτου, οι οποίες βρίσκονται στα λιπάσματα που χρησιμοποιεί ο άνθρωπος, καθώς και η υφαλμύριση στις παράκτιες περιοχές λόγω της υπεράντλησης των υπόγειων υδάτων.

Στο παρόν Παραδοτέο περιγράφεται το δίκτυο παρακολούθησης της ποιότητας των υπόγειων υδάτων που δημιουργήθηκε στην πιλοτική περιοχή του ΥΥΣ Λαρισσού για τη διαρκή παρακολούθηση της χημικής κατάστασης του υπόγειου συστήματος που έχει υποστεί υφαλμύριση και ποιοτική υποβάθμιση

2 Περιγραφή του δικτύου παρακολούθησης

Για τη διαρκή παρακολούθηση της χημικής κατάστασης του Υπόγειου Υδατικού Συστήματος (ΥΥΣ) Λαρισσού, που έχει υποστεί υφαλμύριση και ποιοτική υποβάθμιση, λόγω ανθρωπογενών παρεμβάσεων, δημιουργήθηκε ένα σταθερό δίκτυο παρακολούθησης που περιλαμβάνει 38 υδροσημεία (γεωτρήσεις), στα οποία πραγματοποιήθηκαν δειγματοληψίες υδάτων σε τρεις διαφορετικές χρονικές περιόδους (Μάιος 2023, Σεπτέμβριος 2023 και Μάρτιος 2024). Στη συνέχεια έγιναν οι χημικές αναλύσεις των δειγμάτων για τον προσδιορισμό των κύριων ιόντων καθώς και η επεξεργασία και η ερμηνεία αυτών.



3 Υδροχημικές Αναλύσεις

3.1 Πρωτόκολλο δειγματοληψίας

Η δειγματοληψία του αντλούμενου από τις γεωτρήσεις νερού, πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με τις ισχύουσες προδιαγραφές. Τα δείγματα ελήφθησαν σε πλαστικά μπουκάλια πολυαιθυλενίου του ενός λίτρου για την ανάλυση ανιόντων, αφού πρώτα έγινε άντληση τουλάχιστον μισής ώρας ώστε να ανανεωθεί το νερό της γεώτρησης. Τα μπουκάλια αρχικά είχαν πλυθεί πολύ καλά με υδροχλωρικό οξύ (HCl) 5%κ.β., ενώ πριν τη λήψη του δείγματος «ξεπλένονταν» 3 φορές με το νερό της γεώτρησης που επρόκειτο να αναλυθεί. Στην συνέχεια, για την ανάλυση των κατιόντων αποθηκεύτηκε δείγμα σε φιάλη των 100ml, το οποίο πρώτα είχε διηθηθεί και οξινιστεί. Η οξίνιση των δειγμάτων έγινε με την προσθήκη 0,5 ml πυκνού υπερκάθαρου νιτρικού οξέος (HNO₃), ώστε το pH να είναι μικρότερο από 2 (Arpelo and Postma, 1994), ώστε να αποφευχθεί η ανάπτυξη βακτηρίων, οι οξειδωτικές αντιδράσεις και η προσρόφηση ή καθίζηση κατιόντων (Lloyd and Heathcote, 1985). Τα δείγματα σφραγίζονταν καλά με διπλό κούμπωμα και φυλάσσονταν στο ψυγείο (4°C) μέχρι την περάτωση των αναλύσεων.

3.2 Μετρήσεις πεδίου

Κατά τη διάρκεια της δειγματοληψίας γίνονταν επί τόπου μετρήσεις pH, θερμοκρασίας και ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Οι μετρήσεις αυτές πραγματοποιήθηκαν με φορητή συσκευή της YSI.

3.3 Εργαστηριακές αναλύσεις

Οι εργαστηριακές αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν στο Εργαστήριο Υδρογεωλογίας του Τμήματος Γεωλογίας, του Πανεπιστημίου Πατρών. Οι χημικές αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν εντός μίας εβδομάδας ώστε να αποφευχθούν πιθανές αλλοιώσεις των αποτελεσμάτων.

Αναλυτικά:

- Με τη μέθοδο φασματοφωτομετρίας μοριακής απορρόφησης σε Φασματόμετρο της Hach® DR/2900 πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις για τα νιτρικά (NO⁻³), νιτρώδη (NO⁻²), αμμωνιακά (NH⁺⁴), θειικά (SO⁻⁴) φωσφορικά (PO⁻³) και χλωριόντα (Cl⁻).
- Η ολική και ανθρακική σκληρότητα προσδιορίστηκαν με τη μέθοδο τιτλοδότησης της Hach®.
- Τα ιόντα ασβεστίου (Ca⁺²) και μαγνησίου (Mg⁺²) εκτιμήθηκαν με τη μέθοδο της φασματομετρίας της ατομικής απορρόφησης σε φασματόμετρο της εταιρείας Perkin Elmer®.
- Τα ιόντα νατρίου (Na⁺) και καλίου (K⁺) εκτιμήθηκαν με τη μέθοδο του φλογοφωτόμετρου Corning®.

Πίνακας 1 Αναλυτική παρουσίαση των μεθόδων προσδιορισμού κάθε χημικού στοιχείου

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΜΕΘΟΔΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ	ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ ΔΙΑΠΙΣΤΕΥΣΗΣ
K^+	Μέτρηση σε φλογοφωτόμετρο	-
Na^+	Μέτρηση σε φλογοφωτόμετρο	-
NH_4^+	Μέτρηση σε φασματοφωτόμετρο UV-VIS σε 210 και 270 nm	-
HCO_3^-	Ογκομετρικός προσδιορισμός/εξουδετέρωση H_2SO_4	Ποτενσιομετρική μέθοδος, ΕΛΟΤ EN ISO 9963-1 : 1996
SO_4^{-2}	Μέθοδος $BaCl_2$ /μέτρηση σε φασματοφωτόμετρο UV-VIS σε 600 nm	-
Cl^-	Ογκομετρικός προσδιορισμός/εξουδετέρωση $AgNO_3$	Μέθοδος Mohr, ISO 9297 : 1989
NO_3^-	μέτρηση σε φασματοφωτόμετρο UV-VIS σε 210 και 270 nm	-
NO_2^-	μέτρηση σε φασματοφωτόμετρο UV-VIS σε 210 και 270 nm	-

3.4 Έλεγχος εργαστηριακών δοκιμών

Για τον έλεγχο της αξιοπιστίας των χημικών αναλύσεων έγινε υπολογισμός του σφάλματος ισοζυγίου ανιόντων-κατιόντων (Λαμπράκης, 1991):

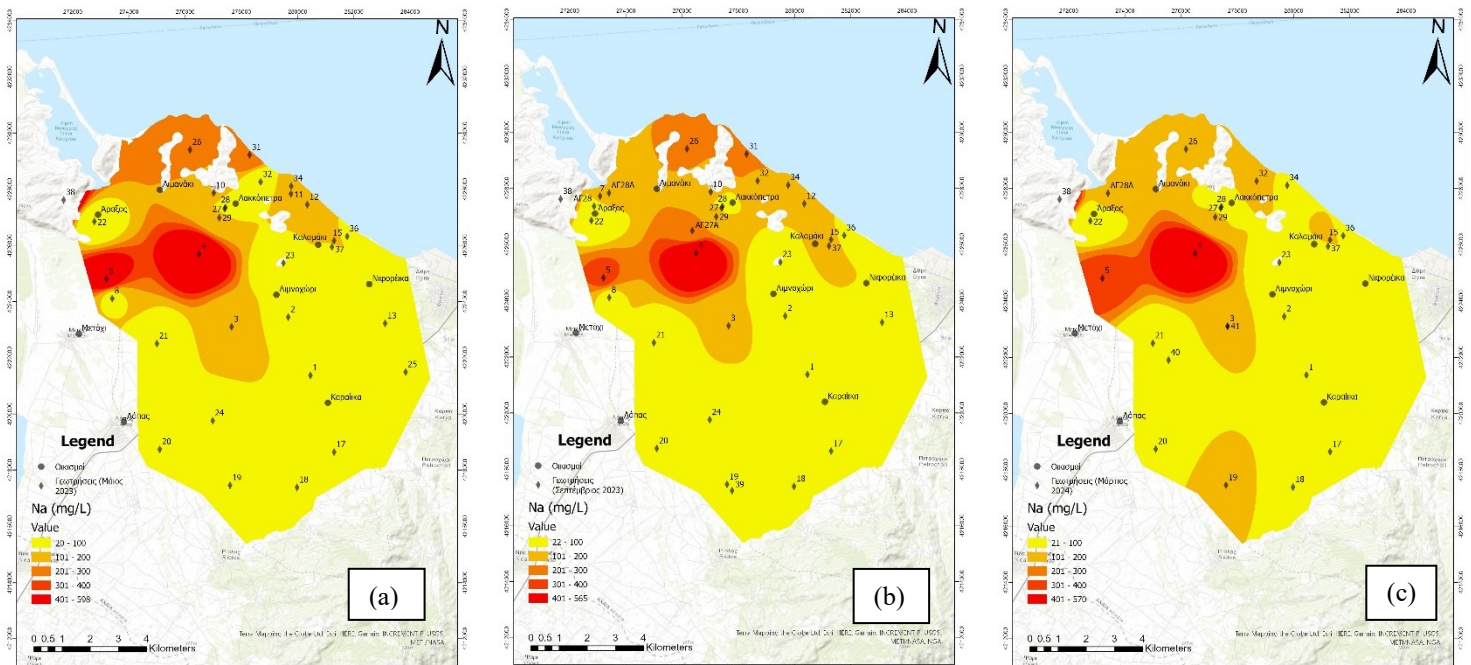
$$\text{Σφάλμα Ισοζυγίου} = \frac{\text{Σκατιόντων} - \text{Σανιόντων}}{\text{Σκατιόντων} + \text{Σανιόντων}} * 100$$

Το σφάλμα από το ισοζύγιο κατιόντων και ανιόντων εκφράζεται ως ποσοστό επί τις % του λόγου της διαφοράς τους προς το άθροισμα τους και δεν θα πρέπει να υπερβαίνει το 5-7 %. Σε όλες τις αναλύσεις που έγιναν ελέγχθηκαν τα σφάλματα και επαναλήφθηκαν ορισμένες εξ αυτών που είχαν σφάλμα μεγαλύτερο από 7%.

4 Χωρική κατανομή των κύριων στοιχείων

4.1 Νάτριο (Na^+)

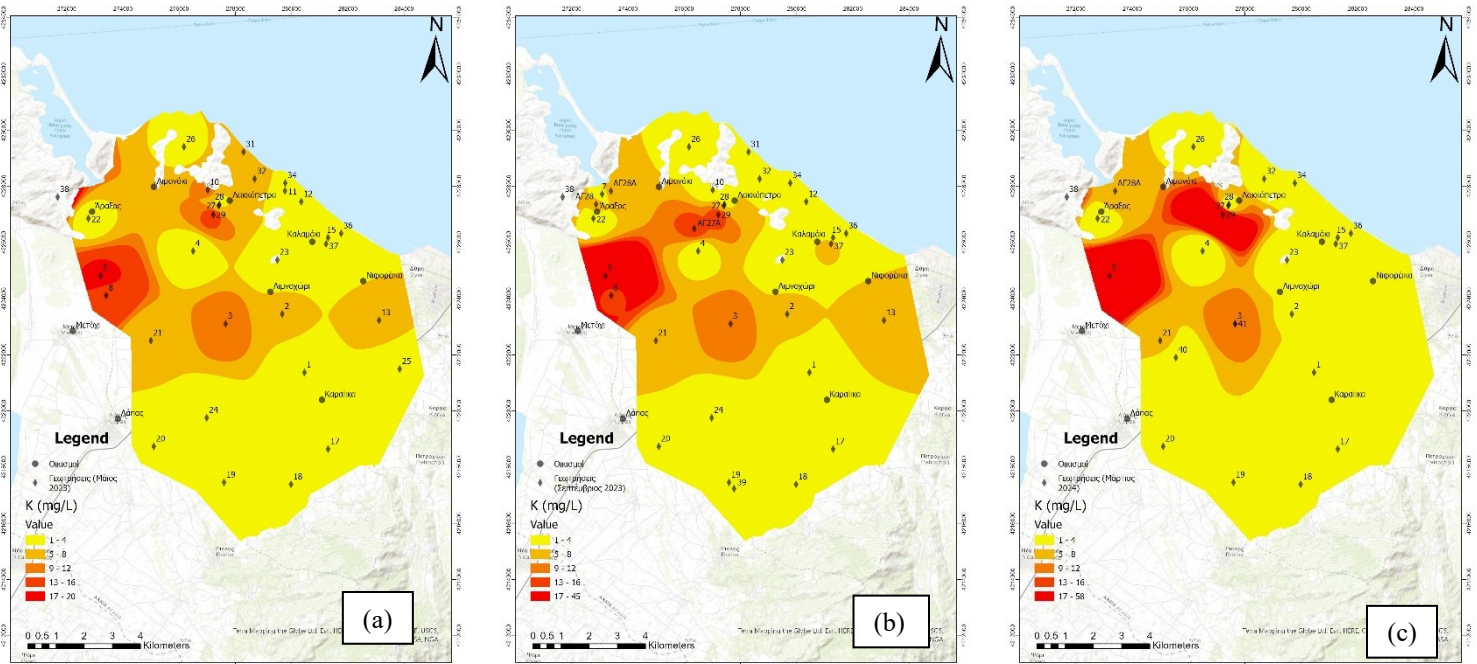
Οι τιμές του νατρίου κυμαίνονται από 20-598 (mg/L). Γενικά υψηλές τιμές νατρίου στα υπόγεια νερά οφείλονται στη διείσδυση του θαλασσινού νερού. Συγκεκριμένα για την δειγματοληψία του Μαΐου 2023 οι τιμές κυμαίνονται από 20 έως 598 (mg/L). Τον Σεπτέμβριο 2023 δεν σημειώθηκε κάποια άνοδος των τιμών οι οποίες κυμαίνονται από 22-565 (mg/L). Για τη δειγματοληψία του Μαρτίου 2024 (20-570 mg/L) είναι σχεδόν ίδιες με την ξηρή περίοδο. Αυξημένες συγκεντρώσεις νατρίου οι οποίες ξεπερνούν τα 200 (mg/L) εμφανίζονται και για τις τρεις περιόδους στο δυτικό και βόρειο τμήμα της περιοχής μελέτης (Εικόνα 1).



Εικόνα 1 Χάρτες κατανομής των Na (mg/L): (a)Μάρτιος 2023,(b)Σεπτέμβριος 2023,(c)Μάιος 2024

4.2 Κάλιο (K^+)

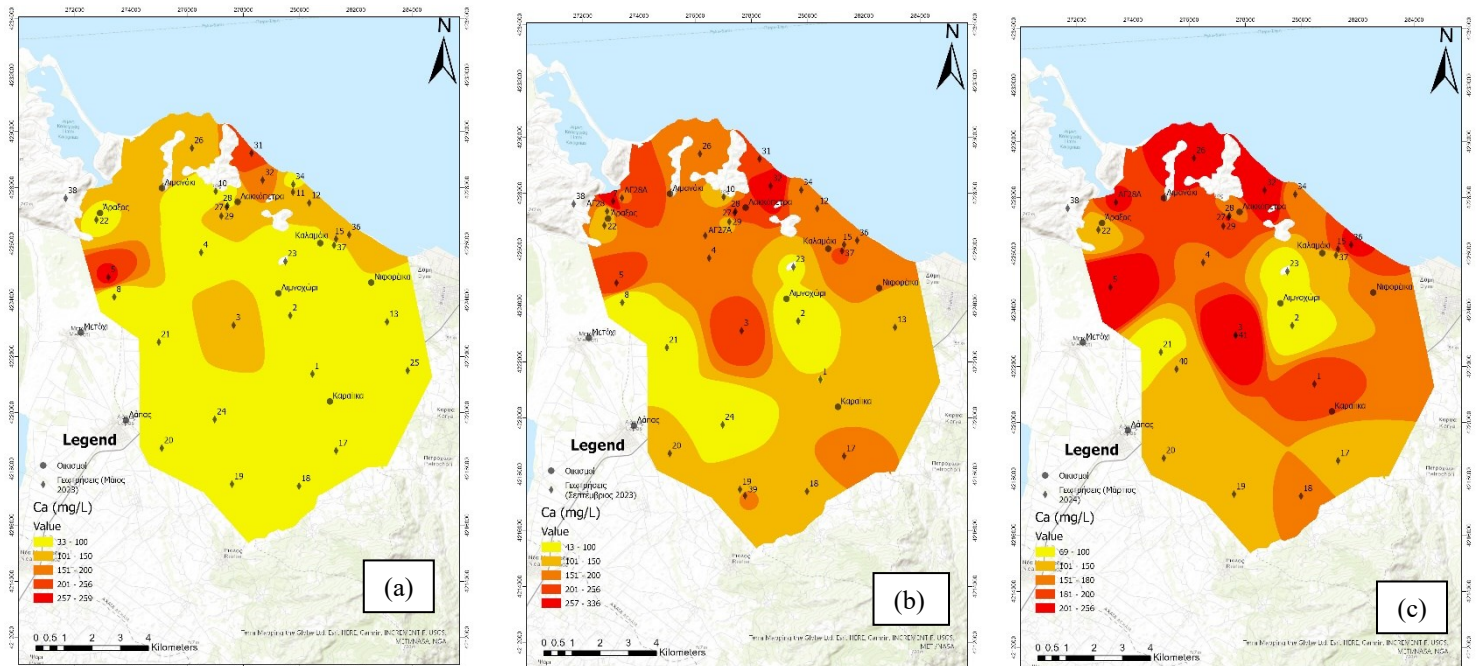
Στην περιοχή μελέτης οι συγκεντρώσεις καλίου κυμαίνονται από 1-58 (mg/L). Το κάλιο ανήκει στην ίδια ομάδα με το νάτριο και βρίσκεται σε αφθονία σε ιζηματογενή πετρώματα (Λαμπράκης, 2019). Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του Μαΐου 2023 οι τιμές κυμαίνονται από 1-20 (mg/L). Για τον Σεπτέμβριο 2023 φαίνεται να υπάρχει μια αύξηση των ιόντων καλίου στο νερό με τιμές να κυμαίνονται από 1-45 (mg/L). Οι συγκεντρώσεις των ιόντων καλίου για τον Μάρτιο 2024 είναι 1-58 (mg/L). Υψηλές τιμές των ιόντων καλίου εμφανίζονται και για τις τρεις περιόδους στις περιοχές Αραξός και Λακκόπετρα (Εικόνα 2).



Εικόνα 2 Χάρτες κατανομής του K (mg/L): (a) Μάρτιος 2023, (b) Σεπτέμβριος 2023, (c) Μάιος 2024

4.3 Ασβέστιο (Ca^{2+})

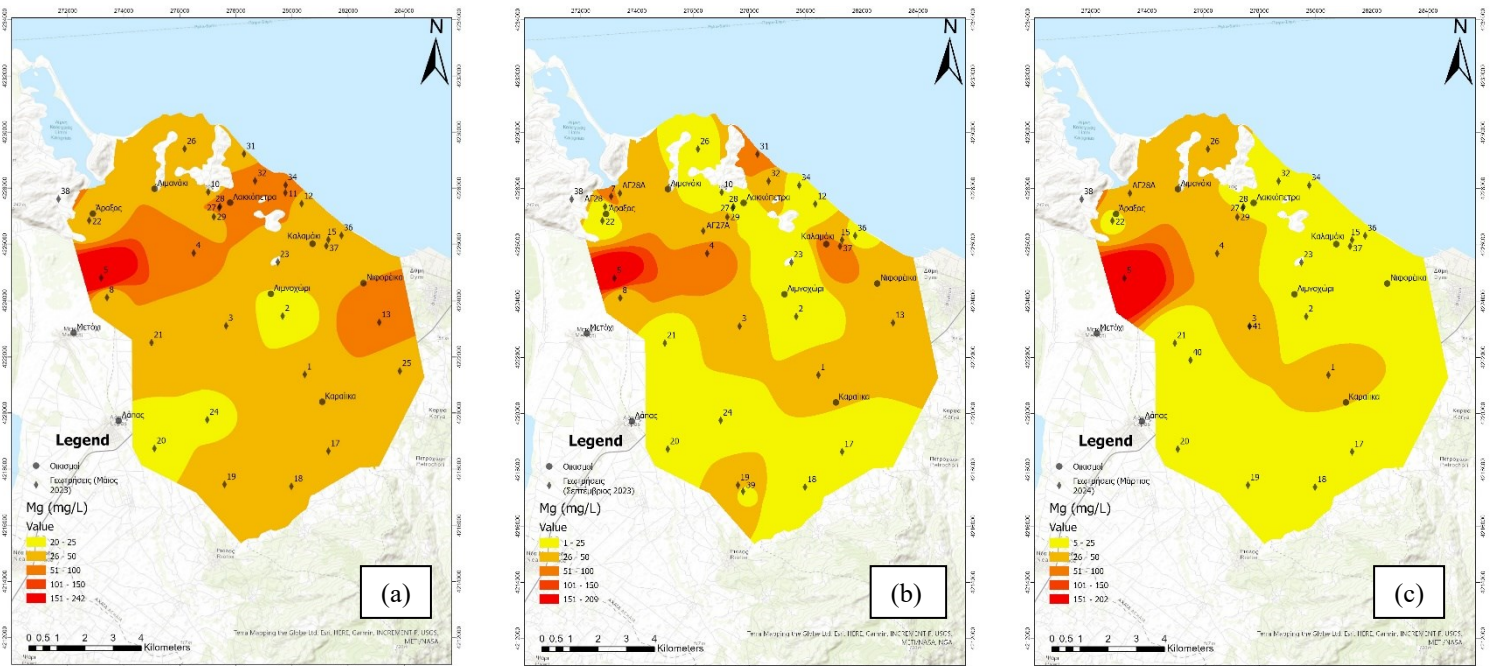
Το ασβέστιο είναι συνηθισμένο στοιχείο στο νερό και η συμπεριφορά του σχετίζεται με τη διαθεσιμότητα των ανθρακικών ορυκτών (Λαμπράκης, 2019). Στο ΥΥΣ Λαρισσού οι τιμές κυμαίνονται από 33 έως 336 (mg/L). Τον Μάιο 2023 φαίνεται οι υψηλές τιμές να εμφανίζονται μόνο στην ευρύτερη περιοχή του Αράξου και της Λακκόπετρας. Σημαντικές αυξήσεις των ιόντων ασβεστίου φαίνεται να συμβαίνουν στις επόμενες δύο δειγματοληψίες (Εικόνα 3).



Εικόνα 3 Χάρτες κατανομής του Ca (mg/L): (a) Μάρτιος 2023, (b) Σεπτέμβριος 2023, (c) Μάιος 2024

4.4 Μαγνήσιο (Mg^{2+})

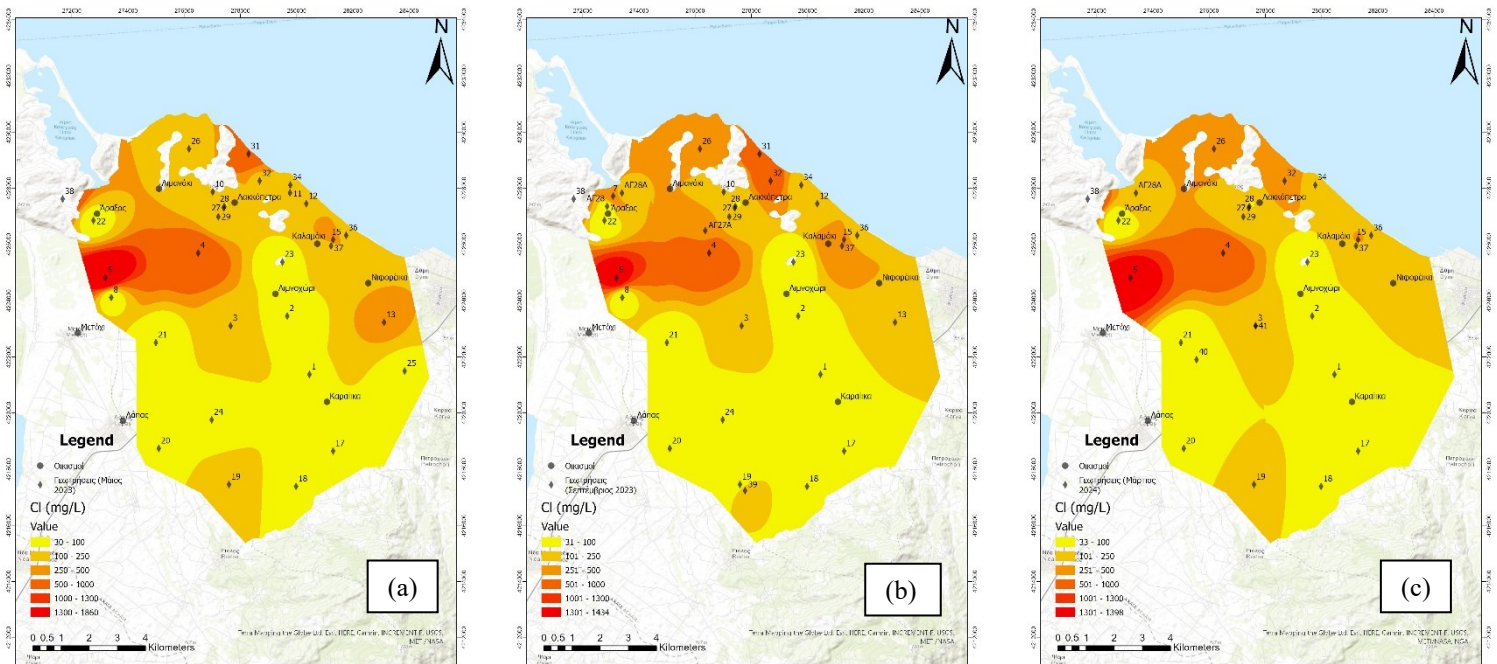
Το μαγνήσιο έχει παρόμοια συμπεριφορά με το ασβέστιο και η διαλυτότητα του στο νερό εξαρτάται από μηχανισμούς ανάλογους με αυτού του ασβεστίου (Λαμπράκης, 2019). Οι τιμές για το Μάρτιο 2023 κυμαίνονται από 20-242 (mg/L) (Εικόνα 4). Για τον Σεπτέμβριο 2023 οι τιμές είναι 1-209 (mg/L) και για τον Μάρτιο 2024 είναι 5-202 (mg/L).



Εικόνα 4 Χάρτες κατανομής του Mg (mg/L): (a) Μάρτιος 2023, (b) Σεπτέμβριος 2023, (c) Μάιος 2024

4.5 Χλώριο (Cl^{-})

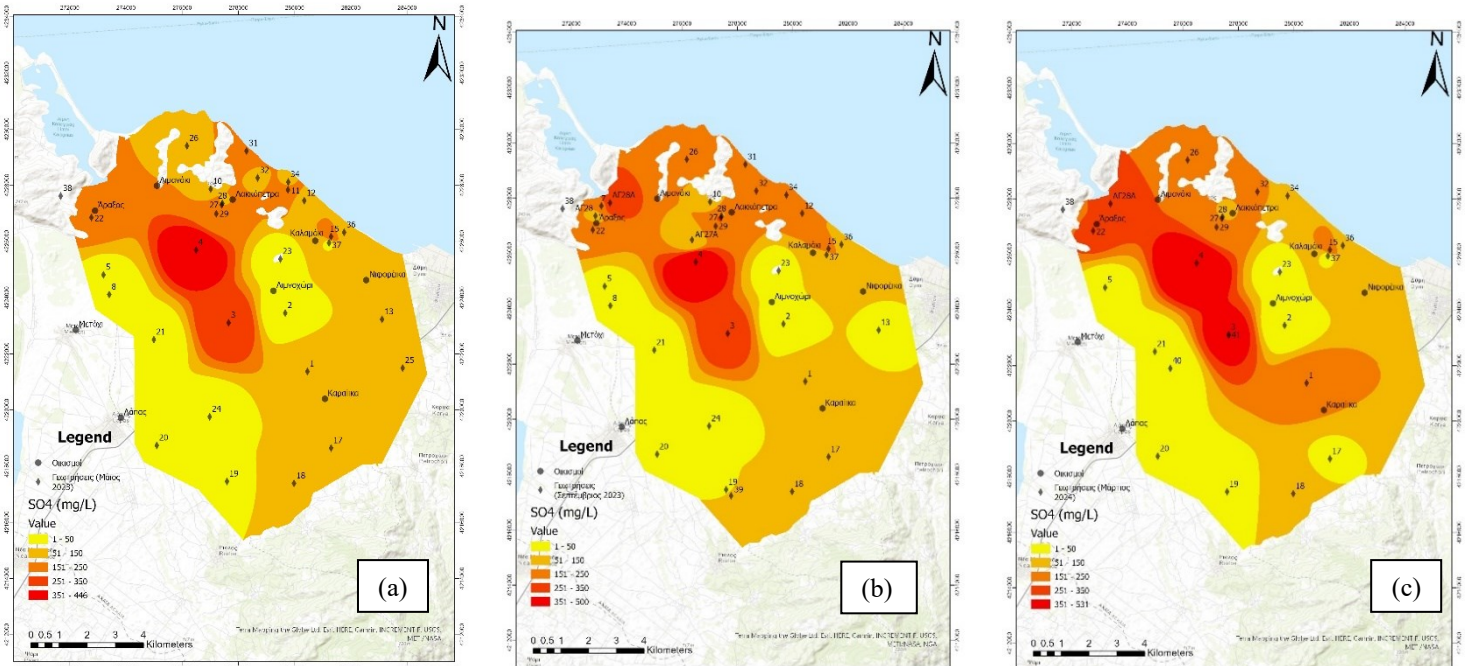
Το χλώριο ανήκει στην ομάδα των αλογόνων είναι σχετικά ένα αδρανές ιόν και έτσι δεν συμμετέχουν σε διαδικασίες οξειδοαναγωγής (Λαμπράκης, 2019). Τα χλώρια χρησιμοποιούνται ως δείκτης για την υφαλμύριση των παράκτιων υδροφόρων. Οι τιμές του χλωρίου κυμαίνονται από 30 έως 1860 (mg/L). Με βάση την κατανομή των χαρτών και για τις τρεις δειγματοληψίες υψηλές τιμές εμφανίζονται στις περιοχές Άραξος, Λακκόπετρα, Λιμανάκι, Καλαμάκι και Νιφοραίικα (Εικόνα 5).



Εικόνα 5 Χάρτες κατανομής του Cl (mg/L): (a) Μάρτιος 2023, (b) Σεπτέμβριος 2023, (c) Μάιος 2024

4.6 Θειικά ιόντα (SO_4^{2-})

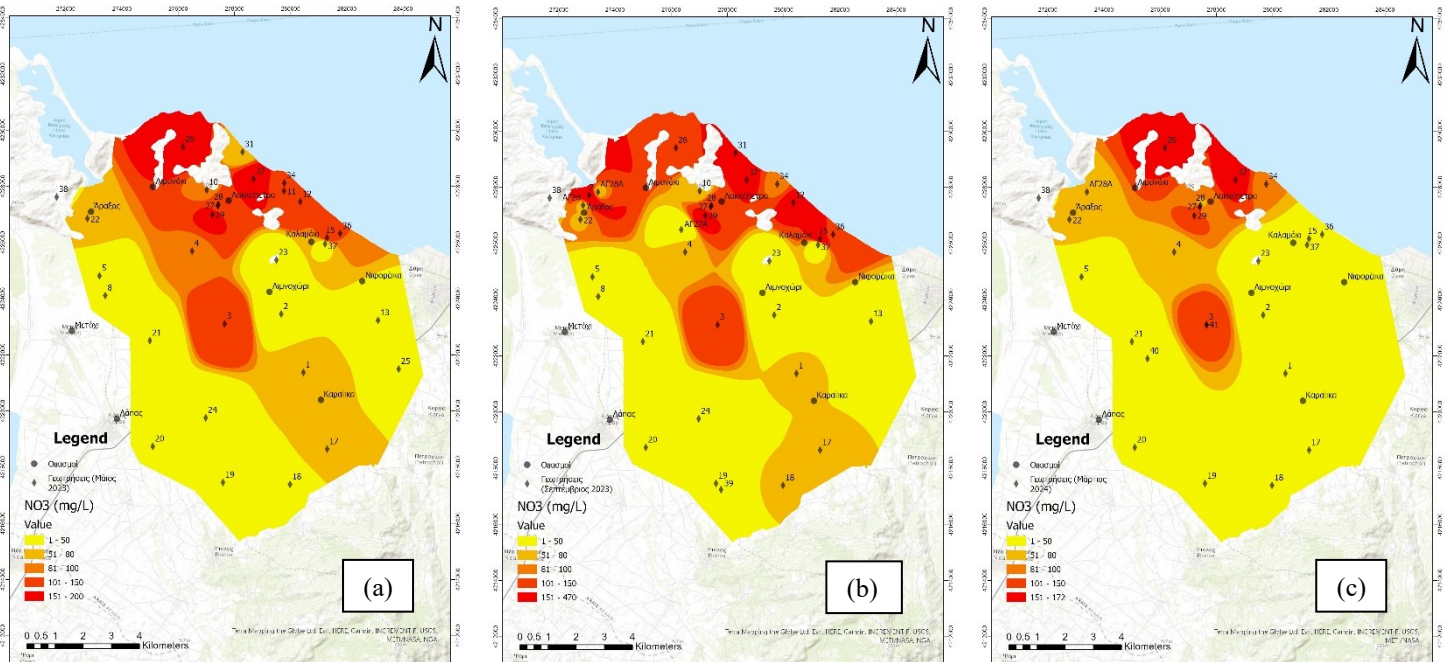
Οι τιμές των θειικών ιόντων της περιοχής έρευνας κυμαίνονται από 1-531 (mg/L). Σύμφωνα με τους χάρτες κατανομής για τις τρεις δειγματοληψίες οι περιοχές με το έντονο κόκκινο και το πορτοκαλί είναι αυτές που ξεπερνούν το όριο ποσιμότητας των 250 (mg/L). Οι περιοχές αυτές είναι ιδιαίτερα επιβαρυνμένες (Εικόνα 6).



Εικόνα 6 Χάρτες κατανομής των SO_4 (mg/L): (a) Μάρτιος 2023, (b) Σεπτέμβριος 2023, (c) Μάιος 2024

4.7 Νιτρικά ιόντα (NO_3^-)

Η αυξημένη παρουσία των νιτρικών ιόντων στο υπόγειο νερό οφείλεται στην αλόγιστη χρήση εδαφοβελτιωτικών ουσιών. Οι τιμές κυμαίνονται από 1-470 (mg/L) (Εικόνα 7). Σύμφωνα με τους χάρτες κατανομής των νιτρικών ιόντων η κίτρινη περιοχή στους χάρτες είναι αυτές δεν ξεπερνάει το όριο ποσιμότητας των 50 (mg/L). Οι υπόλοιπες περιοχές στους χάρτες είναι αρκετά επιβαρυνμένες με υψηλές συγκεντρώσεις των νιτρικών ιόντων.



Εικόνα 7 Χάρτες κατανομής των NO_3 (mg/L): (a) Μάρτιος 2023, (b) Σεπτέμβριος 2023, (c) Μάιος 2024

5 Προέλευση στοιχείων

5.1 Ιοντικοί Λόγοι

Οι ιοντικοί λόγοι χρησιμοποιούνται γιατί δίνουν πληροφορίες για το πέτρωμα του υδροφόρου που φιλοξενεί το νερό και αν ο υδροφόρος έχει υποστεί σε κάποιο βαθμό θαλάσσια διείσδυση. Για τους ιοντικούς λόγους οι συγκεντρώσεις των ιόντων που χρησιμοποιήθηκαν ήταν σε meq/L και δίνονται στους παρακάτω Πίνακες.

Πίνακας 2 Τιμές ιοντικών λόγων για την περίοδο Μάιος 2023

Γεώτρηση	Mg/Ca	Na/Cl	Cl/SO ₄	(Ca+Mg)/(K +Na)
ΥΔΡΧ_1	0.56	1.46	0.914	1.88
ΥΔΡΧ_2	0.99	2.81	-	1.00
ΥΔΡΧ_3	0.43	1.15	0.886	1.52
ΥΔΡΧ_4	1.00	1.20	2.166	0.35
ΥΔΡΧ_5	1.55	0.41	59.997	1.49
ΥΔΡΧ_8	1.32	2.48	7.411	0.93
ΥΔΡΧ_10	1.06	1.96	1.212	0.97
ΥΔΡΧ_11	0.87	0.90	1.414	1.92
ΥΔΡΧ_12	0.77	0.93	2.710	1.37
ΥΔΡΧ_13	1.18	0.59	5.663	2.23
ΥΔΡΧ_15	0.74	0.85	2.161	1.19
ΥΔΡΧ_17	0.75	0.90	1.126	4.40
ΥΔΡΧ_18	0.65	0.89	0.852	5.04
ΥΔΡΧ_19	0.73	0.80	5.002	1.88
ΥΔΡΧ_20	0.48	0.90	6.774	3.78
ΥΔΡΧ_21	1.01	1.77	-	2.53
ΥΔΡΧ_22	0.56	0.94	0.462	3.58
ΥΔΡΧ_23	1.05	0.50	4.441	5.41
ΥΔΡΧ_24	1.15	2.93	7.935	1.10
ΥΔΡΧ_25	0.68	1.49	1.241	2.24
ΥΔΡΧ_26	0.34	2.85	1.324	0.83
ΥΔΡΧ_27	0.91	0.78	0.931	3.26
ΥΔΡΧ_28	1.06	1.24	1.104	2.90
ΥΔΡΧ_29	0.69	1.30	1.252	1.15
ΥΔΡΧ_31	0.28	0.55	5.240	1.22
ΥΔΡΧ_32	0.59	0.22	2.240	8.37
ΥΔΡΧ_34	0.88	1.08	1.790	1.57
ΥΔΡΧ_36	0.37	0.55	2.820	3.07
ΥΔΡΧ_37	0.70	0.58	4.766	2.65
ΥΔΡΧ_38	0.77	0.88	8.491	0.41

Πίνακας 3 Τιμές ιοντικών λόγων για την περίοδο Σεπτέμβριος 2023

Γεώτρηση	Mg/Ca	Na/Cl	Cl/SO ₄	(Ca+Mg)/(K +Na)
ΥΔΡΧ 1	0.52	2.70	0.77	1.76
ΥΔΡΧ 2	0.13	2.28	29.81	1.46
ΥΔΡΧ 3	0.28	1.04	0.73	2.89
ΥΔΡΧ 4	0.60	1.29	1.82	0.59
ΥΔΡΧ 5	1.35	0.34	47.15	1.99
ΥΔΡΧ 7	0.34	0.42	2.61	4.06
ΥΔΡΧ 8	1.04	2.55		1.04
ΥΔΡΧ 10	0.22	1.63	1.30	1.49
ΥΔΡΧ 12	0.16	1.03	1.31	2.20
ΥΔΡΧ 13	0.41	0.93	4.30	2.34
ΥΔΡΧ 15	0.31	0.95	1.78	1.70
ΥΔΡΧ 17	0.16	1.16	0.62	7.37
ΥΔΡΧ 18	0.15	0.98	1.11	5.35
ΥΔΡΧ 19	0.46	1.49	2.00	2.96
ΥΔΡΧ 20	0.19	1.29	13.28	3.49
ΥΔΡΧ 21	0.38	1.02	56.45	3.81
ΥΔΡΧ 22	0.23	1.06	0.41	4.51
ΥΔΡΧ 23	0.01	1.05	2.09	5.28
ΥΔΡΧ 24	0.42	3.40		1.37
ΥΔΡΧ 26	0.18	1.07	2.61	1.21
ΥΔΡΧ 27	0.03	0.95	0.85	2.42
ΥΔΡΧ 28	0.07	1.54	0.76	3.45
ΥΔΡΧ 29	0.37	1.50	1.00	1.30
ΥΔΡΧ 31	0.67	0.81	3.32	1.36
ΥΔΡΧ 32	0.23	0.51	3.90	2.37
ΥΔΡΧ 34	0.15	1.18	1.52	1.63
ΥΔΡΧ 36	0.16	0.50	2.62	4.08
ΥΔΡΧ 37	0.64	0.40	4.85	3.71
ΥΔΡΧ 38	0.42	0.72	9.08	0.66
ΥΔΡΧ 39	0.26	0.93	2.63	2.78
ΑΓ28	0.18	0.96	0.80	3.60
ΑΓ28Α	0.35	0.83	0.97	2.66
ΑΓ27Α	0.25	0.71	9.42	1.20

Πίνακας 4 Τιμές ιοντικών λόγων για την περίοδο Μάρτιος 2024

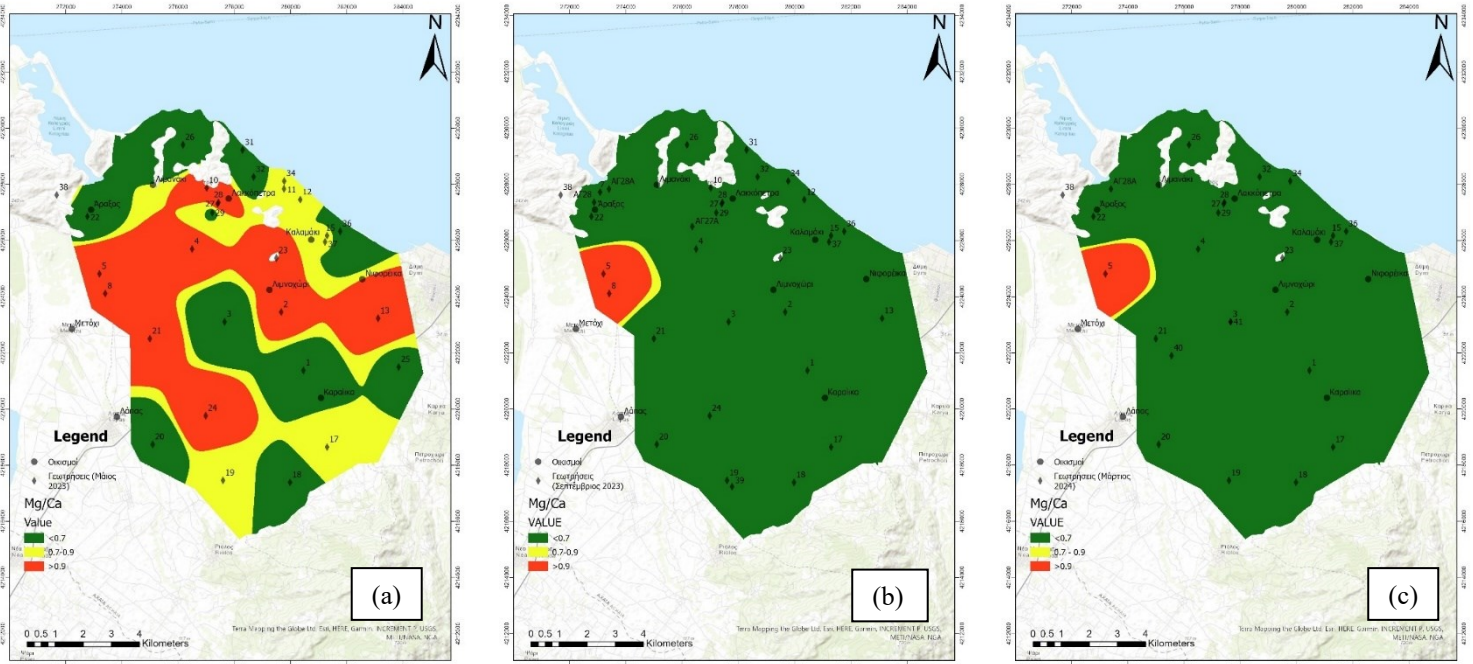
Γεώτρηση	Mg/Ca	Na/Cl	Cl/SO ₄	(Ca+Mg)/(K +Na)
ΥΔΡΧ 1	0.25	1.37	0.58	3.38
ΥΔΡΧ 2	0.25	2.64	-	1.58
ΥΔΡΧ 3	0.22	0.83	0.80	2.81
ΥΔΡΧ 4	0.45	1.30	1.73	0.52
ΥΔΡΧ 5	1.31	0.36	105.22	1.92
ΥΔΡΧ 15	0.15	0.83	1.59	1.87
ΥΔΡΧ 17	0.11	1.16	1.23	5.27
ΥΔΡΧ 18	0.19	1.21	0.92	4.91
ΥΔΡΧ 19	0.27	1.47	6.57	1.24
ΥΔΡΧ 20	0.21	1.81	-	3.19
ΥΔΡΧ 21	0.26	1.66	-	3.25
ΥΔΡΧ 22	0.30	0.81	0.33	5.53
ΥΔΡΧ 23	0.08	0.84	2.76	5.47
ΥΔΡΧ 26	0.21	0.79	2.43	1.77
ΥΔΡΧ 27	0.17	0.87	0.96	3.49
ΥΔΡΧ 28	0.25	1.27	1.08	2.97
ΥΔΡΧ 29	0.29	1.00	1.06	1.76
ΥΔΡΧ 32	0.15	0.52	3.41	2.52
ΥΔΡΧ 34	0.21	0.72	2.05	2.64
ΥΔΡΧ 36	0.12	0.52	2.90	3.54
ΥΔΡΧ 37	0.22	0.58	6.39	2.99
ΥΔΡΧ 38	0.72	0.77	10.65	0.60
ΑΓ28Α	0.39	0.74	1.02	2.82
ΥΔΡΧ 40	0.10	1.51	-	4.11
ΥΔΡΧ 41	0.60	1.91	-	1.39
ΥΔΡΧ 42	0.53	0.86	2.48	1.67

5.1.1 Ιοντικός λόγος Mg/Ca

Ο ιοντικός λόγος rMg/rCa (Πίνακες 2,3,4) δίνει πληροφορίες εάν το γεωυλικό του υδροφόρου προέρχεται από ασβεστολιθικό ή μαγνησιούχο μητρικό πέτρωμα. Με βάση την παρακάτω ταξινόμηση τα νερά χαρακτηρίζονται ως εξής:

- ✓ rMg/rCa < 0,5-0,7: υδροφόροι ασβεστολιθικοί
- ✓ rMg/rCa = 0,7-0,9: υδροφόροι δολομιτικοί
- ✓ rMg/rCa > 0,9: υδροφόροι πυριτικών πετρωμάτων

Σύμφωνα με τους χάρτες κατανομής για τον Μάιο 2023 στην περιοχή έρευνας επικρατούν και οι τρεις παραπάνω κατηγορίες υδροφορέων, ενώ στις επόμενες δύο δειγματοληψίες επικρατούν οι ασβεστολιθικοί υδροφόροι (Εικόνα 8).



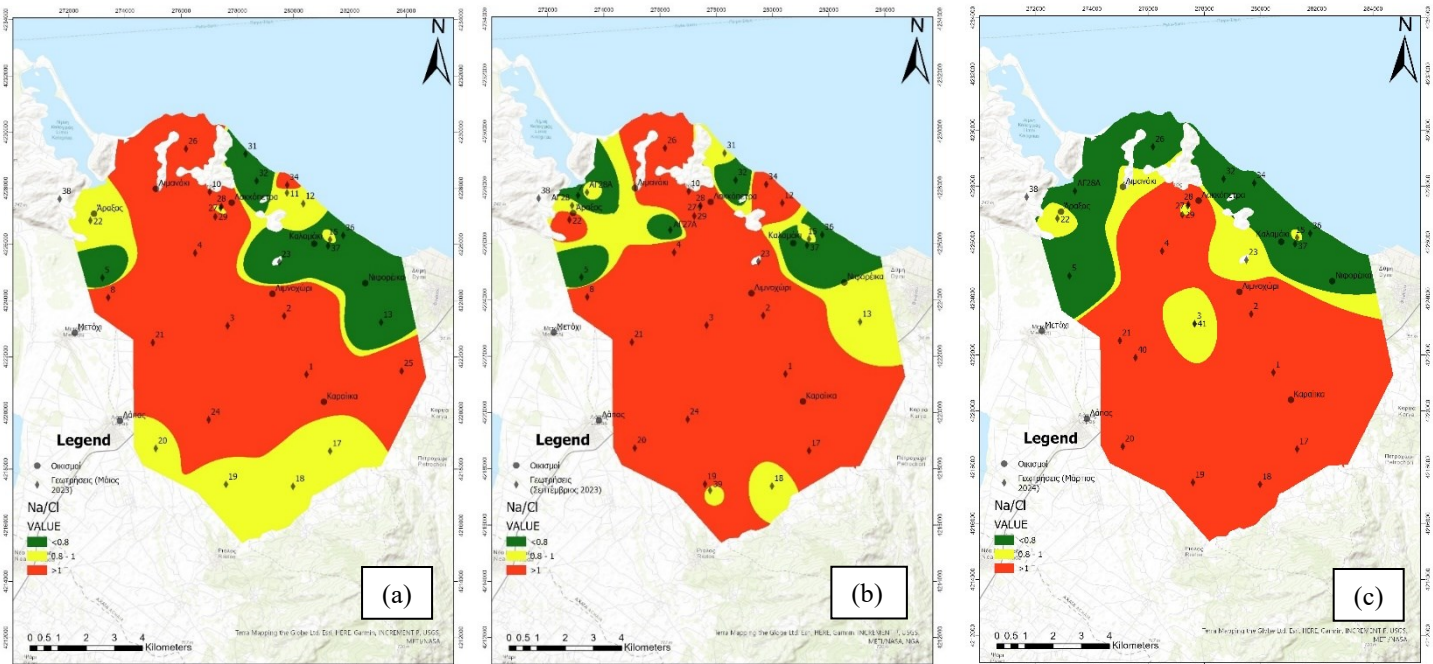
Εικόνα 8 Χάρτες κατανομής του ιοντικού λόγου rMg/rCa : (a) Μάρτιος 2023, (b) Σεπτέμβριος 2023, (c) Μάιος 2024

5.1.2 Ιοντικός λόγος Na/Cl

Ο ιοντικός λόγος rNa/rCl (Πίνακες 2,3,4) σχετίζεται με την υφαλμύριση και τη θαλάσσια διείσδυση ή με την ύπαρξη υδροφορέων εντός των οποίων υπάρχουν υπολείμματα θαλασσιών αλατούχων αποθέσεων (Σούλιος, Γ. 2006). Οπότε με βάση την ταξινόμηση αυτή τα υπόγεια νερά της περιοχής έρευνας νερά χαρακτηρίζονται ως ακολούθως:

- ✓ $rNa/rCl = 0,876 \pm 10\%$ κανονικό υπόγειο νερό
- ✓ $rNa/rCl > 1$ νερό από αλκαλικά πυριγενή ή μεταμορφωμένα πετρώματα
- ✓ $rNa/rCl < 0,876 \pm 10\%$ αλμύριση υδροφορέα (θαλάσσια διείσδυση, εγκλωβισμένες αλμύρες)

Στο μεγαλύτερο μέρος της περιοχής έρευνας ο λόγος Na/Cl έχει τιμές > 1 με εξαίρεση το παράκτιο τμήμα. Συγκεκριμένα για την δειγματοληψία του Μαρτίου 2024 φαίνεται να υπάρχει μια ζώνη στο βόρειο και δυτικό τμήμα της περιοχής όπου έχει τιμές $< 0,8$ το οποίο σημαίνει 'ότι υπάρχει θαλάσσια διείσδυση' (Εικόνα 9).



Εικόνα 9 Χάρτες κατανομής του ιοντικού λόγου rNa/rCl : (a) Μάρτιος 2023, (b) Σεπτέμβριος 2023, (c) Μάιος 2024

5.1.3 Ιοντικός λόγος Cl/SO_4

Πρόκειται για έναν λόγο ο οποίος δείχνει την εξέλιξη της αλατότητας μιας περιοχής (Πίνακες 2,3,4). Με βάση την παρακάτω ταξινόμηση και τις τιμές που λαμβάνει ο ιοντικός λόγος (Λαμπράκης Ν., 2019, Καλλέργης, Γ. 2001) τα νερά χαρακτηρίζονται ως εξής:

- ✓ $rCl/rSO_4 = 10$ θαλασσινό νερό
- ✓ $rCl/rSO_4 > 5$ χλωριούχο νερό
- ✓ $rCl/rSO_4 = 1-5$ χλωριοθεικό νερό
- ✓ $rCl/rSO_4 = 0,2-1$ θειοχλωριούχο νερό
- ✓ $rCl/rSO_4 < 0,2$ θειικό νερό

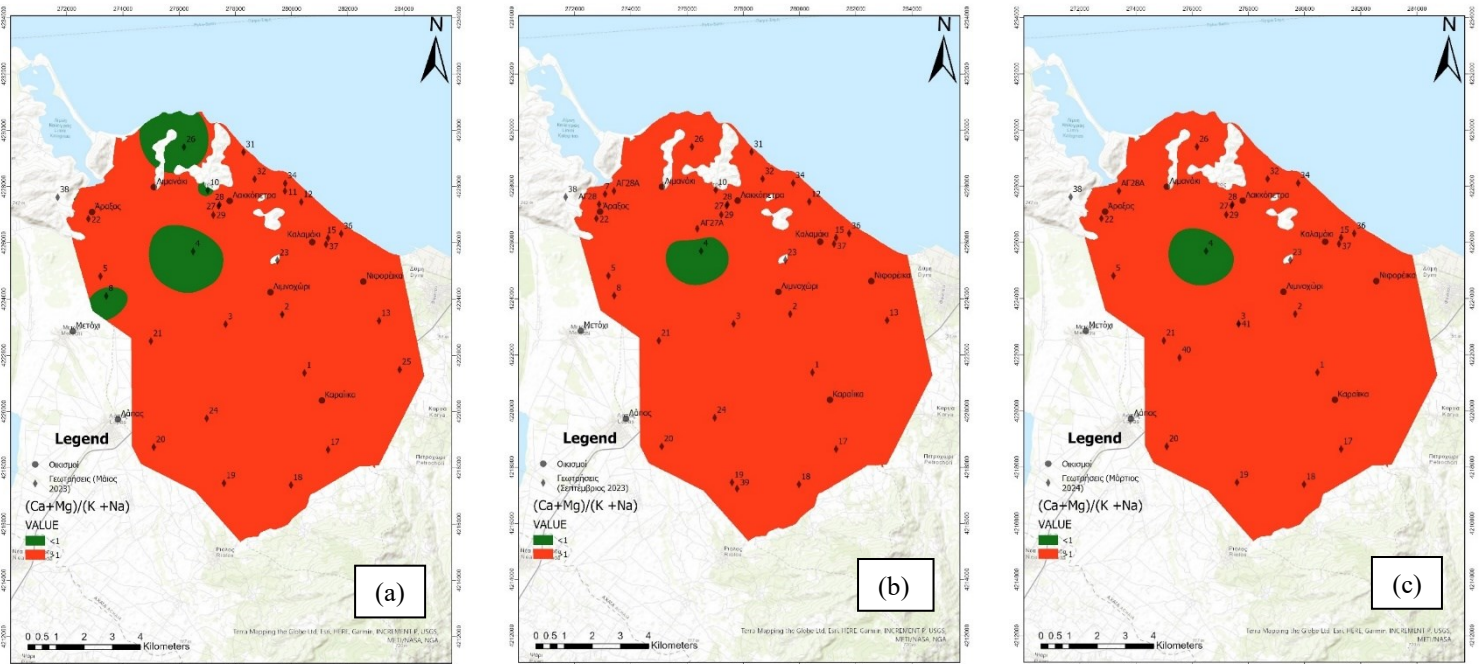
Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του ιοντικού λόγου για τη δειγματοληψία του Μαΐου 2023 οι γεωτρήσεις ΥΔΡΧ_5, 8, 13, 19, 20, 24, 31 και 38 έχουν νερό χλωριούχο. Για τον Σεπτέμβριο του 2023 οι γεωτρήσεις οι οποίες εμφανίζουν $Cl/SO_4 > 5$ (νερό χλωριούχο) είναι οι ΥΔΡΧ_2, 5, 20, 21, 38 και ΑΓ27Α. Στη δειγματοληψία του Μαρτίου 2024 οι γεωτρήσεις οι οποίες εμφανίζουν $Cl/SO_4 > 5$ (νερό χλωριούχο) είναι οι ΥΔΡΧ_5, 19, 37 και 38.

5.1.4 Ιοντικός λόγος (Ca+Mg)/(K+Na)

Ο ιοντικός λόγος $r(\text{Ca}+\text{Mg})/r(\text{K}+\text{Na})$ (Πίνακες 1,2,3) δίνει πληροφορίες για τις περιοχές όπου γίνεται εμπλουτισμός του υδροφόρου. Οπότε με βάση την ταξινόμηση κατά Σούλιο (2006) τα νερά χαρακτηρίζονται ως ακολούθως:

- ✓ $r(\text{Ca}+\text{Mg})/r(\text{K}+\text{Na}) > 1$ υδροφόρο στρώμα με συνεχή τροφοδοσία
- ✓ $r(\text{Ca}+\text{Mg})/r(\text{K}+\text{Na}) < 1$ παλαιό νερό στα κατάντη τμήματα του υδροφορέα

Σύμφωνα με τους χάρτες κατανομής και για τις τρεις δειγματοληψίες οι τιμές του λόγου έχουν τιμές >1 το οποίο σημαίνει ότι τα υδροφόρα στρώματα έχουν συνεχή τροφοδοσία (Εικόνα 10).

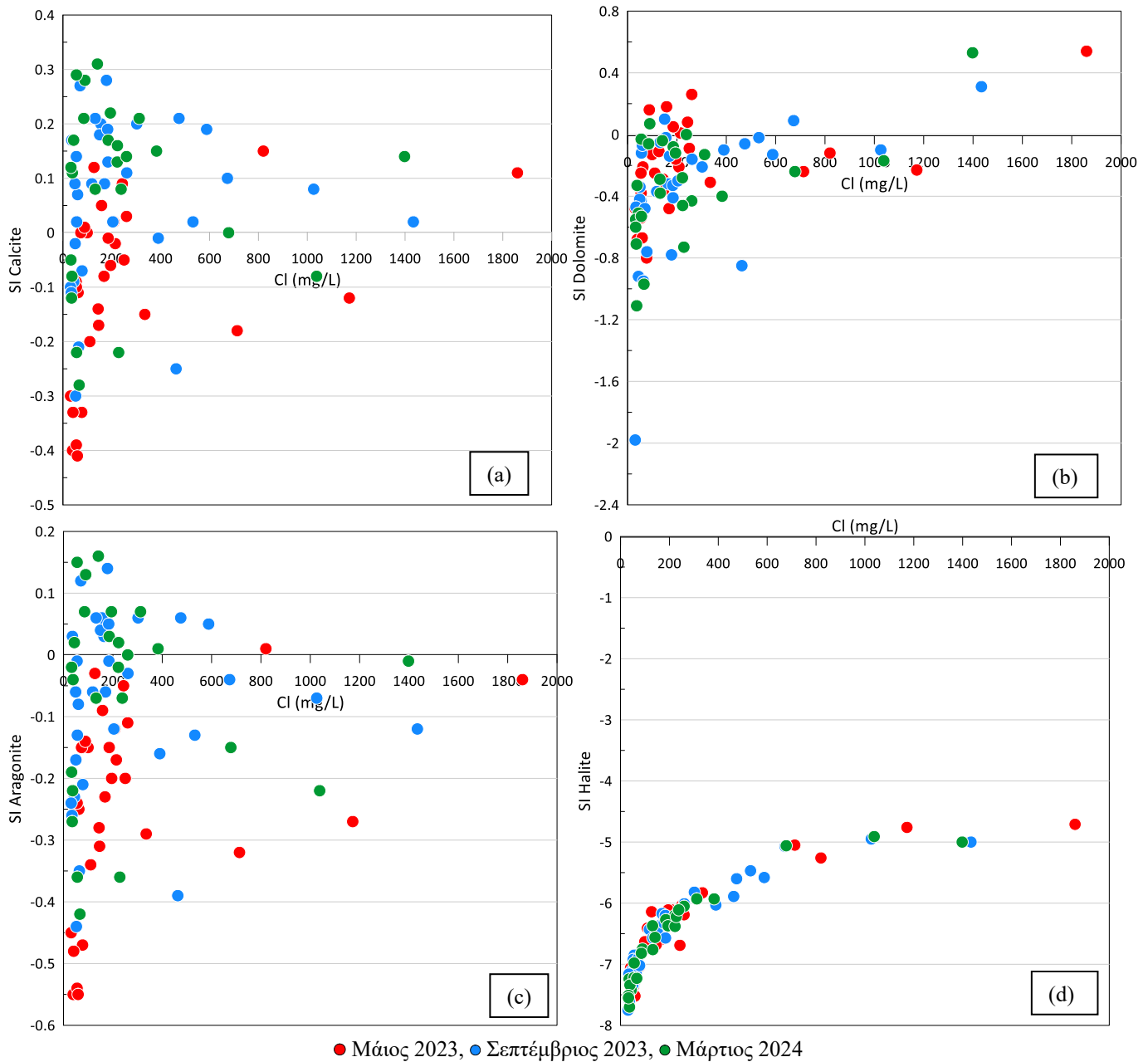


Εικόνα 10 Χάρτες κατανομής του ιοντικού λόγου $r(\text{Ca}+\text{Mg})/r(\text{K}+\text{Na})$: (a) Μάρτιος 2023, (b) Σεπτέμβριος 2023, (c) Μάιος 2024

5.2 Δείκτες Κορεσμού

Οι συντελεστές κορεσμού υπολογίστηκαν για τα κύρια ιόντα. Οι κύριες φάσεις που υπολογίστηκαν είναι ο ασβεστίτης, δολομίτης, αραγωνίτης και αλίτης. Κατασκευάστηκαν τα διαγράμματα για τις τρεις δειγματοληψίες. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα στο πρώτο διάγραμμα (Εικόνα 11a) τα δείγματα του Μαρτίου 2023 έχουν αρνητικές τιμές το οποίο σημαίνει ότι είναι ακόρεστα σε σχέση με τα δείγματα του Σεπτεμβρίου 2023 και του Μαρτίου 2024 με τα περισσότερα να έχουν θετικές τιμές και να είναι κορεσμένα σε ασβεστίτη. Για τον δείκτη κορεσμού του δολομίτη (Εικόνα 11b) σχεδόν όλα τα δείγματα και για τις τρεις δειγματοληψίες φαίνεται να είναι ακόρεστα έχοντας αρνητικές τιμές. Ο δείκτης κορεσμού του αραγωνίτη (Εικόνα 11c) έχει αρνητικές τιμές για τον Μάιο 2023 σε σχέση σε σχέση με μερικά δείγματα του Σεπτεμβρίου 2023 και Μαρτίου 2024 όπου φαίνεται να έχουν

κορεστεί. Ο δείκτης κορεσμού για τον αλίτη (Εικόνα 11d) κυμαίνεται μεταξύ -8 έως -5 με υψηλές αρνητικές τιμές.



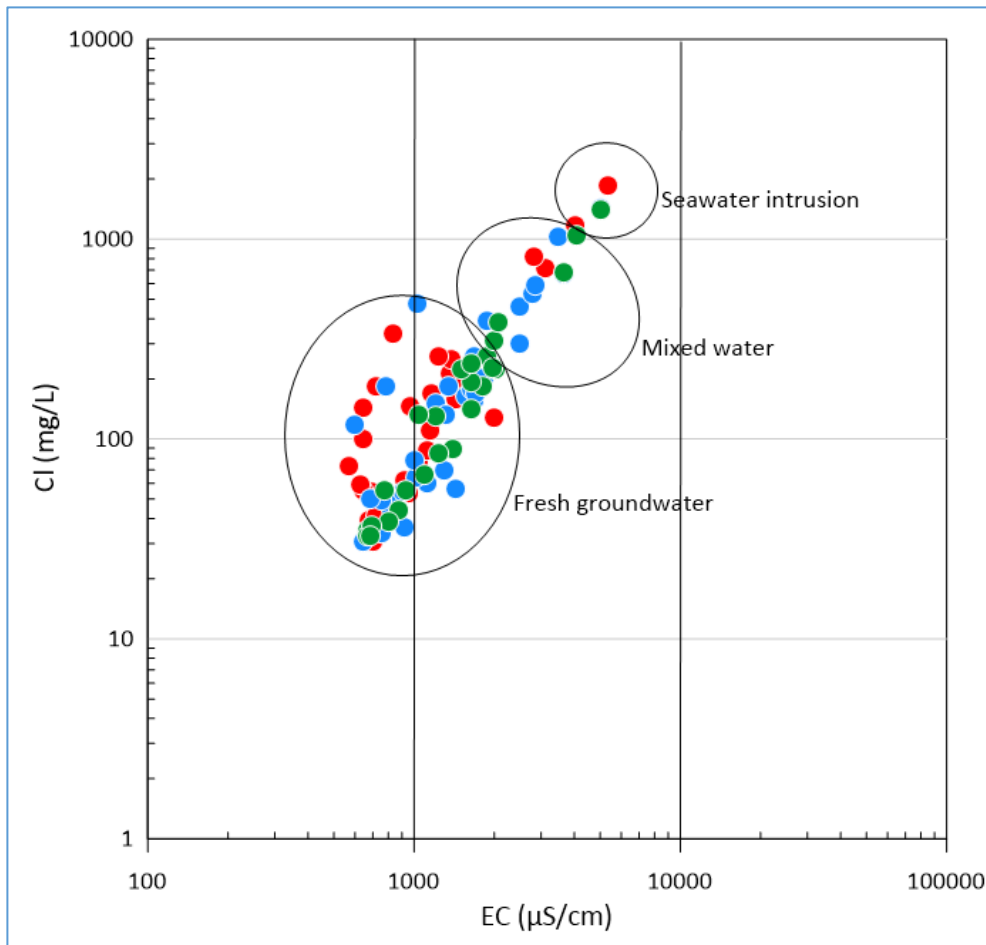
● Μάιος 2023, ● Σεπτέμβριος 2023, ● Μάρτιος 2024

Εικόνα 11 Δείκτες κορεσμού για (a) Ασβεστίτη, (b) Δολομίτη, (c) Αραγονίτη και (d) Αλίτη σε σχέση με τα Cl (mg/L)

5.3 Αναγνώριση φρέσκου (γλυκού) και θαλασσινού νερού

Τα δείγματα νερού και για τις τρεις δειγματοληψίες σχεδιάστηκαν στο διάγραμμα (Εικόνα 12) και εξετάζεται η σχέση μεταξύ των Cl και της EC. Η διαφορά κορεσμού μεταξύ των Cl και της EC σε αυτό το διάγραμμα έδειξε μια γραμμική σχέση που υποδεικνύει διείσδυση θαλασσινού νερού. Το διάγραμμα δείχνει ότι τα περισσότερα δείγματα συγκαταλέγονται στην κατηγορία fresh water.

Υπάρχουν 10 δείγματα τα οποία δείχνουν ότι έχουν mixed water. Τα 2 δείγματα τα οποία δείχνουν θαλάσσια διείσδυση είναι από την ίδια γεώτρηση, την ΥΔΡΧ_5.



● Μάιος 2023, ● Σεπτέμβριος 2023, ● Μάρτιος 2024

Εικόνα 12 Διάγραμμα EC vs Cl των υπόγειων δειγμάτων για την περιοχή μελέτης

6 Αξιολόγηση ποιότητας και Υδροχημική ταξινόμηση των υδάτων

6.1 SAR (Sodium Absorption Ratio)

Ο δείκτης SAR είναι γνωστός και ως κίνδυνος νατρίου. Εκφράζει την ιδιότητα που έχει το νερό σύμφωνα με την οποία μέρος των κατιόντων του μπορούν να αντικατασταθούν από τα κατιόντα του εδάφους (Λαμπράκης, 2017). Το νάτριο δημιουργεί αποκροκίδωση του εδάφους, προκαλώντας μείωση του αερισμού και της περατότητας του εδάφους. Ο δείκτης SAR υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση:

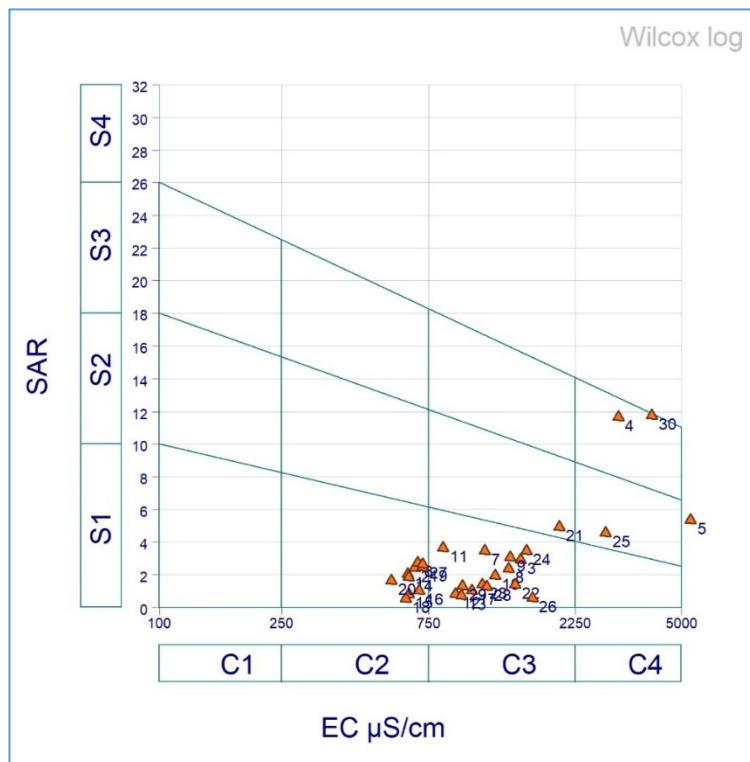
$$SAR = \frac{rNa}{\sqrt{\frac{r(Ca^{2+} + Mg^{2+})}{2}}}$$

Με βάση τα αποτελέσματα του δείκτη SAR σε συνδυασμό με την ηλεκτρική αγωγιμότητα στους 25°C έγινε η ταξινόμηση του νερού της κάθε γεώτρησης για τις 3 δειγματοληψίες. Σύμφωνα με τα πεδία του διαγράμματος του δείκτη SAR ισχύουν τα εξής:

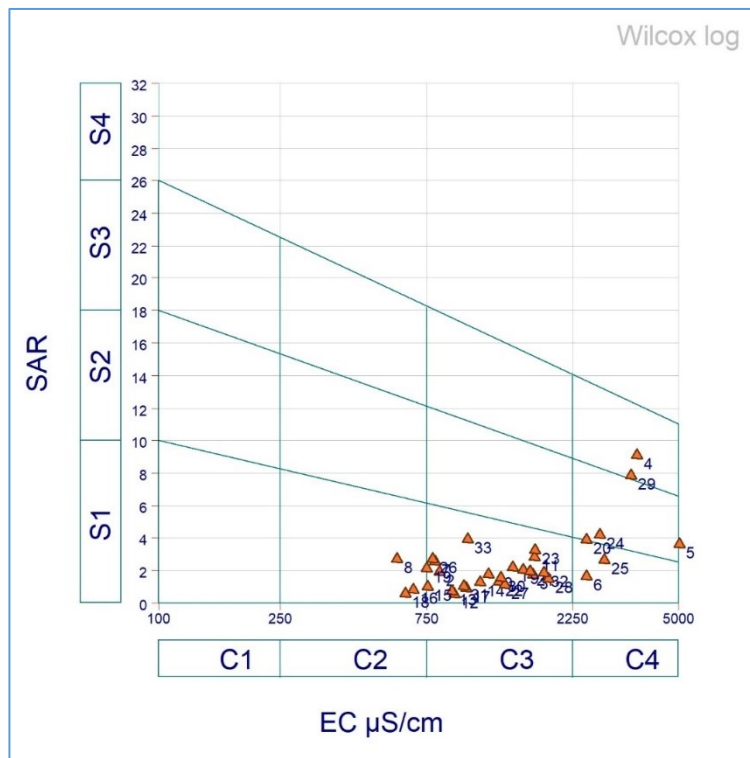
1. C2, S1, νερά μέτριας αλατότητας με χαμηλό συντελεστή προσρόφησης νατρίου.
2. C3, S1, νερά υψηλής αλατότητας με χαμηλό συντελεστή προσρόφησης νατρίου, ακατάλληλα για άρδευση όταν τα εδάφη έχουν περιορισμένη στράγγιση.
3. C3, S2, νερά υψηλής αλατότητας με μέτριο συντελεστή προσρόφησης νατρίου, ακατάλληλα για άρδευση όταν τα εδάφη έχουν περιορισμένη στράγγιση.
4. C4, S1, νερά πολύ υψηλής αλατότητας με χαμηλό συντελεστή προσρόφησης νατρίου ακατάλληλα για άρδευση υπό συνηθισμένες συνθήκες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνο σε ειδικές συνθήκες, δηλ. σε εδάφη πολύ περατά.
5. C4, S2, νερά πολύ υψηλής αλατότητας με μέτριο συντελεστή προσρόφησης νατρίου, ακατάλληλα για άρδευση υπό συνηθισμένες συνθήκες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνο σε ειδικές συνθήκες, δηλ. σε εδάφη πολύ περατά.
6. C4, S3 νερά πολύ υψηλής αλατότητας με υψηλό συντελεστή προσρόφησης νατρίου ακατάλληλα για άρδευση υπό συνηθισμένες συνθήκες.

Αρχικά για την δειγματοληψία του Μαΐου 2023 (Εικόνα 13) τα περισσότερα νερά των γεωτρήσεων κατατάσσονται στα πεδία C3, S1. Επιπλέον με βάση το διάγραμμα τα νερά των γεωτρήσεων ΥΔΡΧ_21, 25, 4, 30 και 5 χαρακτηρίζονται ως νερά με υψηλή αλατότητα και είναι ακατάλληλα για άρδευση. Όσον αφορά το διάγραμμα για τον Σεπτέμβριο 2023 (Εικόνα 14) φαίνεται να δείγματα νερού να έχουν μετακινηθεί προς τα πεδία C3, C4 έχει αυξηθεί η αλατότητα τους και χαρακτηρίζονται ακατάλληλα προς άρδευση. Επί πρόσθετα για την δειγματοληψία του Μαρτίου

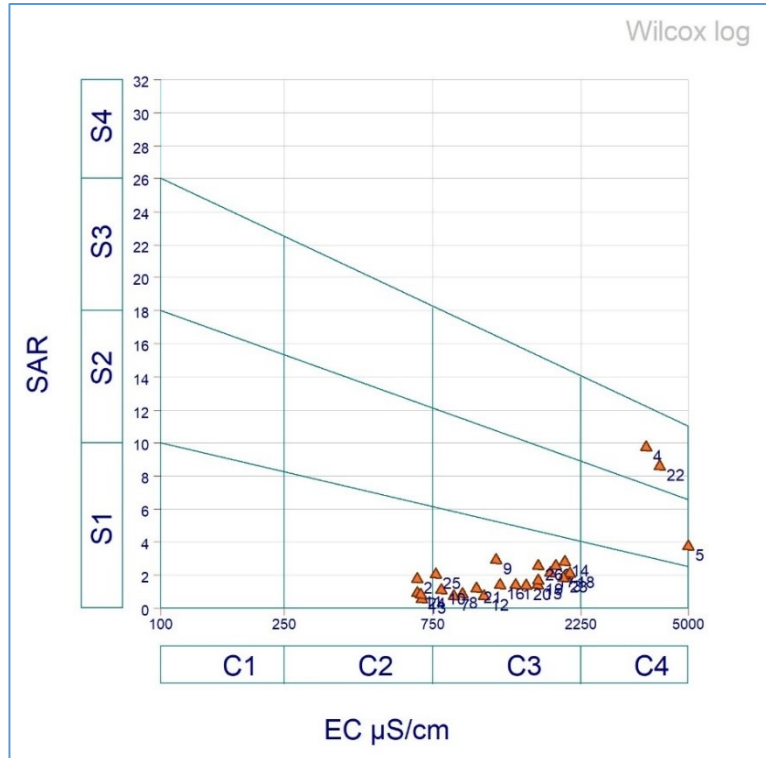
2024 (Εικόνα 15) τα δείγματα νερού των γεωτρήσεων κατατάσσονται τα περισσότερα στο πεδίο C3, S1 τα οποία είναι ακατάλληλα προς άρδευση.



Εικόνα 13 Διάγραμμα ταξινόμησης αρδευτικών νερών Μάιος 2023 (Richards, 1954)



Εικόνα 14 Διάγραμμα ταξινόμησης αρδευτικών νερών Σεπτέμβριος 2023 (Richards, 1954)



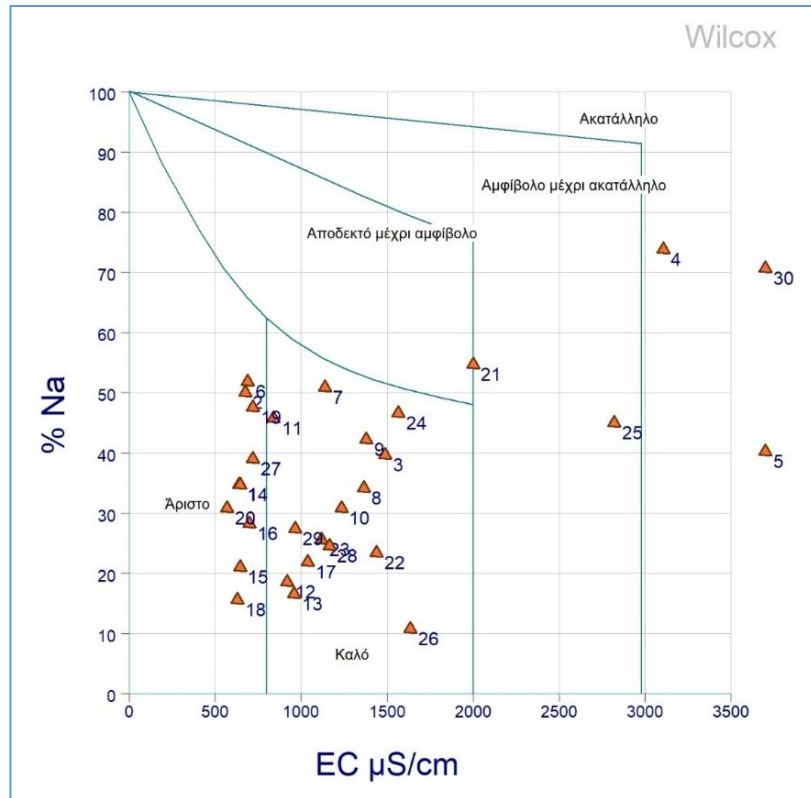
Εικόνα 15 Διάγραμμα ταξινόμησης αρδευτικών νερών Μάρτιος 2024 (Richards, 1954)

6.2 Περιεκτικότητα σε Νάτριο (Βαθμός Αλκαλίωσης)

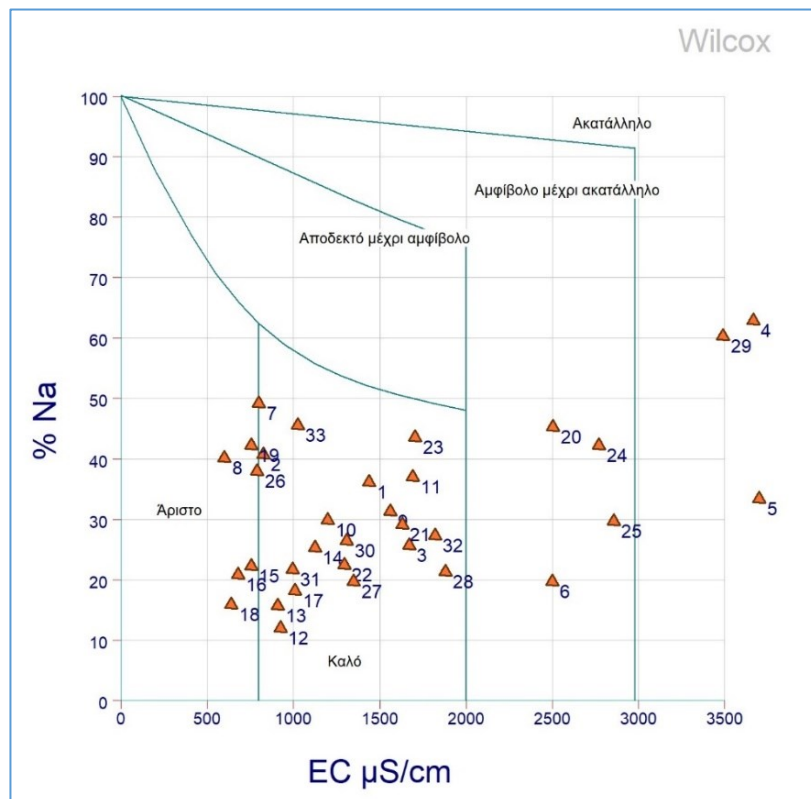
Η διαβρωτική ικανότητα του νερού ή η ικανότητα απόθεσης αλάτων, κυρίως CaCO_3 παίζει σημαντικό ρόλο στις χρήσεις του και εξαρτάται από τη θερμοκρασία, το διαλυμένο οξυγόνο, την ταχύτητα ροής του νερού και το pH. Τα βακτήρια επίσης δρουν καταλυτικά επιταχύνοντας τις χημικές αντιδράσεις. Σύμφωνα με τον Wilcox, 1995 το νερό ταξινομείται με βάση την επί τοις εκατό περιεκτικότητα του σε νάτριο και την ηλεκτρική αγωγιμότητα σε $\mu\text{S}/\text{cm}$. Ο βαθμός αλκαλίωσης υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση:

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

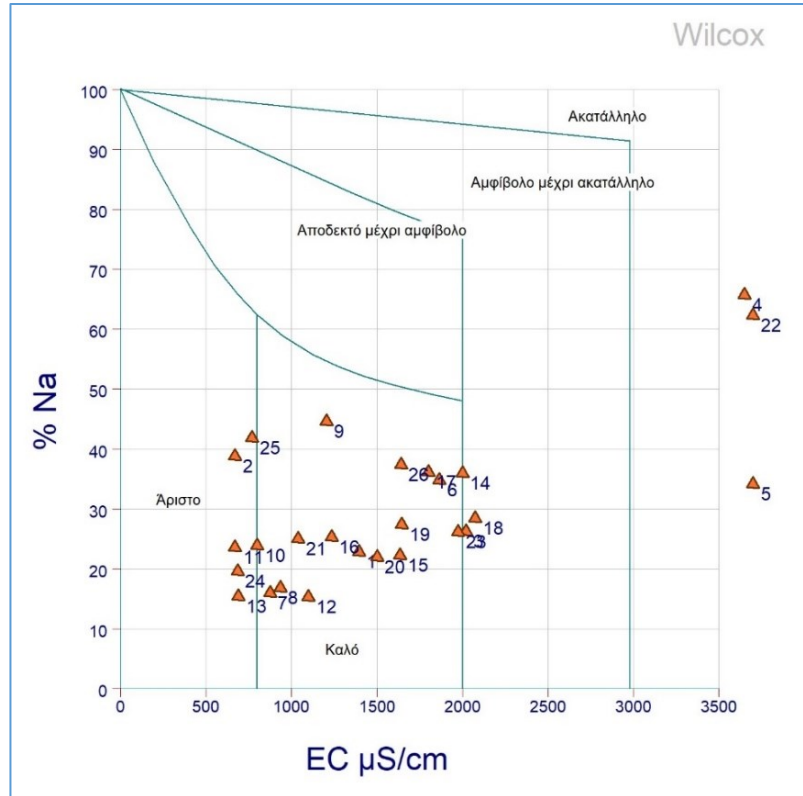
Σύμφωνα με τα παρακάτω διαγράμματα και τα αποτελέσματα της ηλεκτρικής αγωγιμότητας τα νερά των γεωτρήσεων για τον Μάιο 2023 (Εικόνα 16) κατατάσσονται τα περισσότερα στο πεδίο με καλό βαθμό αλκαλίωσης. Με εξαίρεση τις γεωτρήσεις ΥΔΡΧ_4, 5 και 30 οι οποίες χαρακτηρίζονται ως ακατάλληλες. Στο διάγραμμα του Σεπτεμβρίου 2023 (Εικόνα 17) τα δείγματα έχουν μετακινηθεί από το πεδίο άριστο στο καλό βαθμό αλκαλίωσης με τις γεωτρήσεις ΥΔΧΡ_4, 5 και 30 να χαρακτηρίζονται ως ακατάλληλες. Στο διάγραμμα του Μαρτίου 2024 (Εικόνα 18) τα δείγματα νερού των περισσότερων γεωτρήσεων βρίσκονται στο πεδίο με καλό βαθμό αλκαλίωσης.



Εικόνα 16 Κατάταξη των υδάτων με βάση το βαθμό αλκαλίωσης Μάιος 2023



Εικόνα 17 Κατάταξη των υδάτων με βάση το βαθμό αλκαλίωσης Σεπτέμβριος 2023

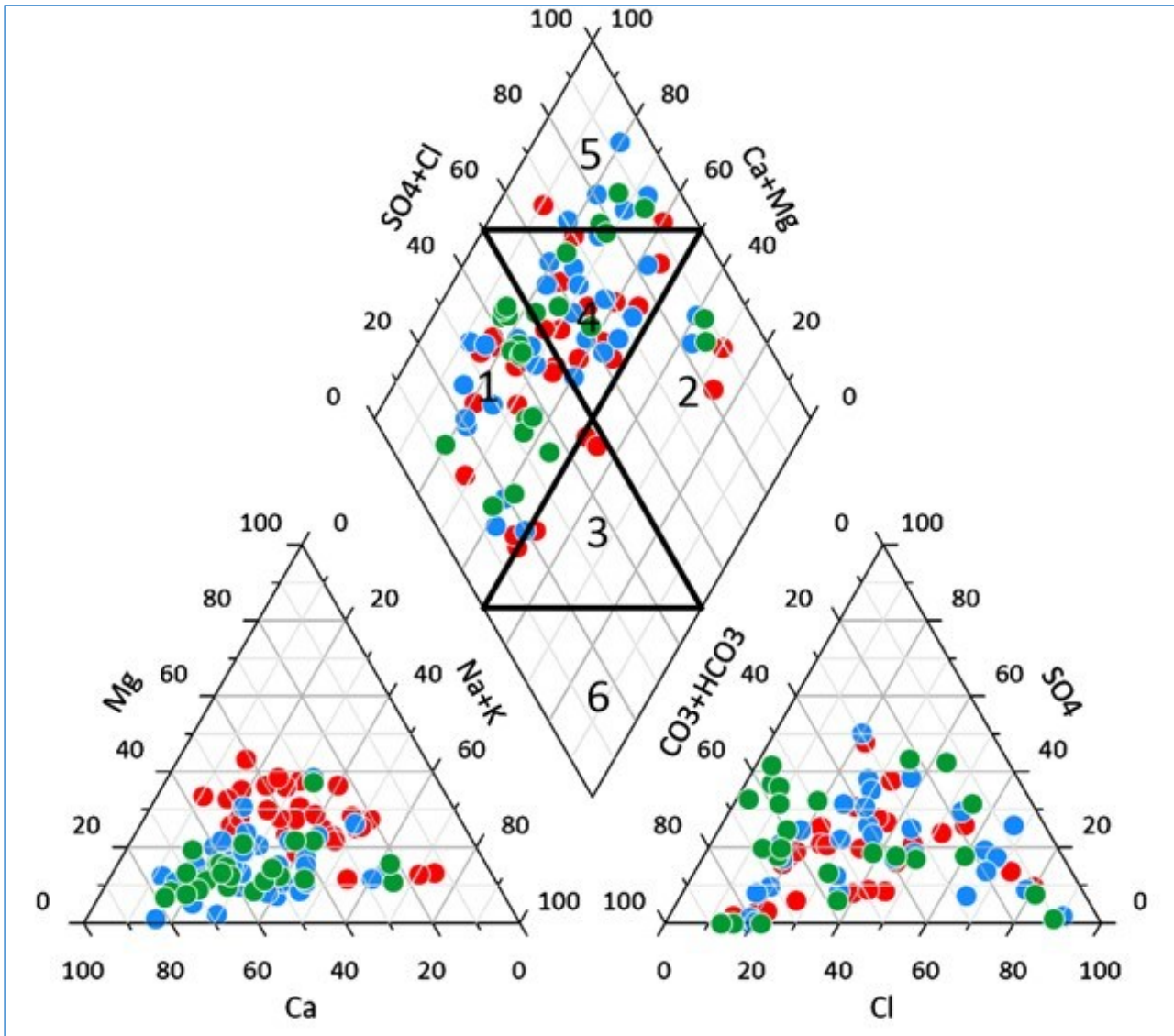


Εικόνα 18 Κατάταξη των υδάτων με βάση το βαθμό αλκαλίωσης Μάρτιος 2024

6.3 Ταξινόμηση κατά Piper

Η ταξινόμηση κατά Piper βασίζεται στη χημική σύσταση των νερών των γεωτρήσεων. Οι συγκεντρώσεις υπολογίζονται σε μονάδες (meq/L) και προσδιορίζεται η εκατοστιαία αναλογία τους στην ανάλυση. Η εκατοστιαία αναλογία αναφέρεται στο 100% τόσο των ανιόντων όσο και των κατιόντων. Το νερό ταξινομείται με βάση ανιόντα και κατιόντα τα οποία συνεισφέρουν περισσότερο από 50% στην ολική συγκέντρωση. Οι συγκεντρώσεις (meq/L) των ιόντων προβάλλονται στα 2 τρίγωνα, ένα για κατιόντα και ένα για ανιόντα. Έτσι λαμβάνονται για κάθε χημική ανάλυση δύο σημεία τα οποία προβάλλονται με παράλληλη μετατόπιση προς τις εξωτερικές πλευρές των τριγώνων στον ρόμβο (Λαμπράκης, Ν. 2017).

Στο διάγραμμα στο οποίο προβάλλονται τα αποτελέσματα και των τριών δειγματοληψιών. Το πεδίο 1 έχει χημική σύσταση νερού Ca-HCO₃ πρόκειται για φρέσκο νερό. Τα δείγματα που προβάλλονται στο πεδίο 2 πρόκειται για νερά με χημικό τύπο Na-Cl. Στο πεδίο 3 όπου βρίσκονται δείγματα μόνο από τη δειγματοληψία του Μάιου 2023 πρόκειται για νερό μίξης Ca-Na-HCO₃. Στο πεδίο 4 στο οποίο προβάλλονται τα περισσότερα δείγματα νερού των γεωτρήσεων έχουν χημικό τύπο νερό μίξης Ca-Mg-Cl. Επιπλέον το πεδίο 5 έχει χημικό τύπο Ca-Cl πρόκειται για τα νερά τα οποία έχει συμβεί η ιοντοανταλλαγή και το Ca που βρίσκεται στο πέτρωμα του υδροφόρου ορίζοντα έχει ανταλλαχθεί με το Na του νερού της θάλασσας.

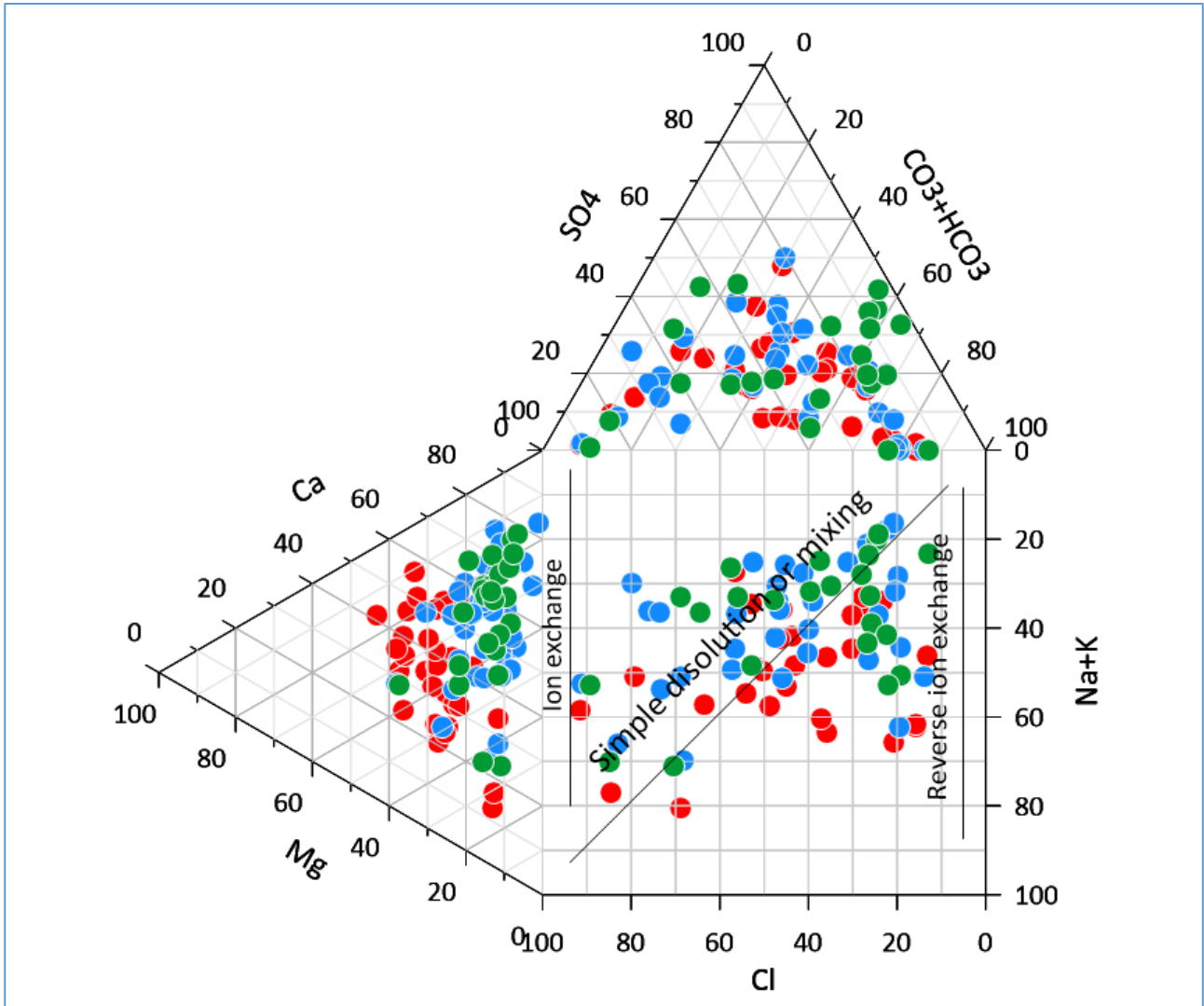


● Μάιος 2023, ● Σεπτέμβριος 2023, ● Μάρτιος 2024

Εικόνα 19 Τριγωνικά διαγράμματα Piper για τις δειγματοληψίες Μάιος 2023, Σεπτέμβριος 2023 και Μάρτιος 2024

6.4 Ταξινόμηση κατά Durov

Στο παρακάτω διάγραμμα Durov (Εικόνα 20) παρουσιάζονται τα δείγματα για τις τρεις δειγματοληψίες. Η θέση των περισσότερων δειγμάτων είναι πάνω στη γραμμή διάλυσης-μίξης, που σημαίνει ότι επηρεάζονται από τις διαδικασίες ιοντοανταλλαγής.



● Μάιος 2023, ● Σεπτέμβριος 2023, ● Μάρτιος 2024

Εικόνα 20 Διάγραμμα Durov που προβάλλεται η ιοντοανταλλαγή

6.5 Ιοντική σχέση και προέλευση της διαλυμένης ουσίας

Τα παρακάτω διαγράμματα παρουσιάζουν τα δείγματα σε σχέση δύο παραμέτρων με τις συγκεντρώσεις των ιόντων δίνονται σε mg/L. Η ευθεία των διαγραμμάτων ονομάζεται ευθεία αραιώσης-συγκέντρωσης και ενώνει τα δείγματα του νερού της βροχής και του θαλασσινού νερού που προβάλλονται στα διαγράμματα.

Η Εικόνα 21α δείχνει τη σχέση μεταξύ Na^+ και Cl^- να εμφανίζει θετική συσχέτιση και να προβάλλεται κατά μήκος της ευθείας αραιώσης-συγκέντρωσης.

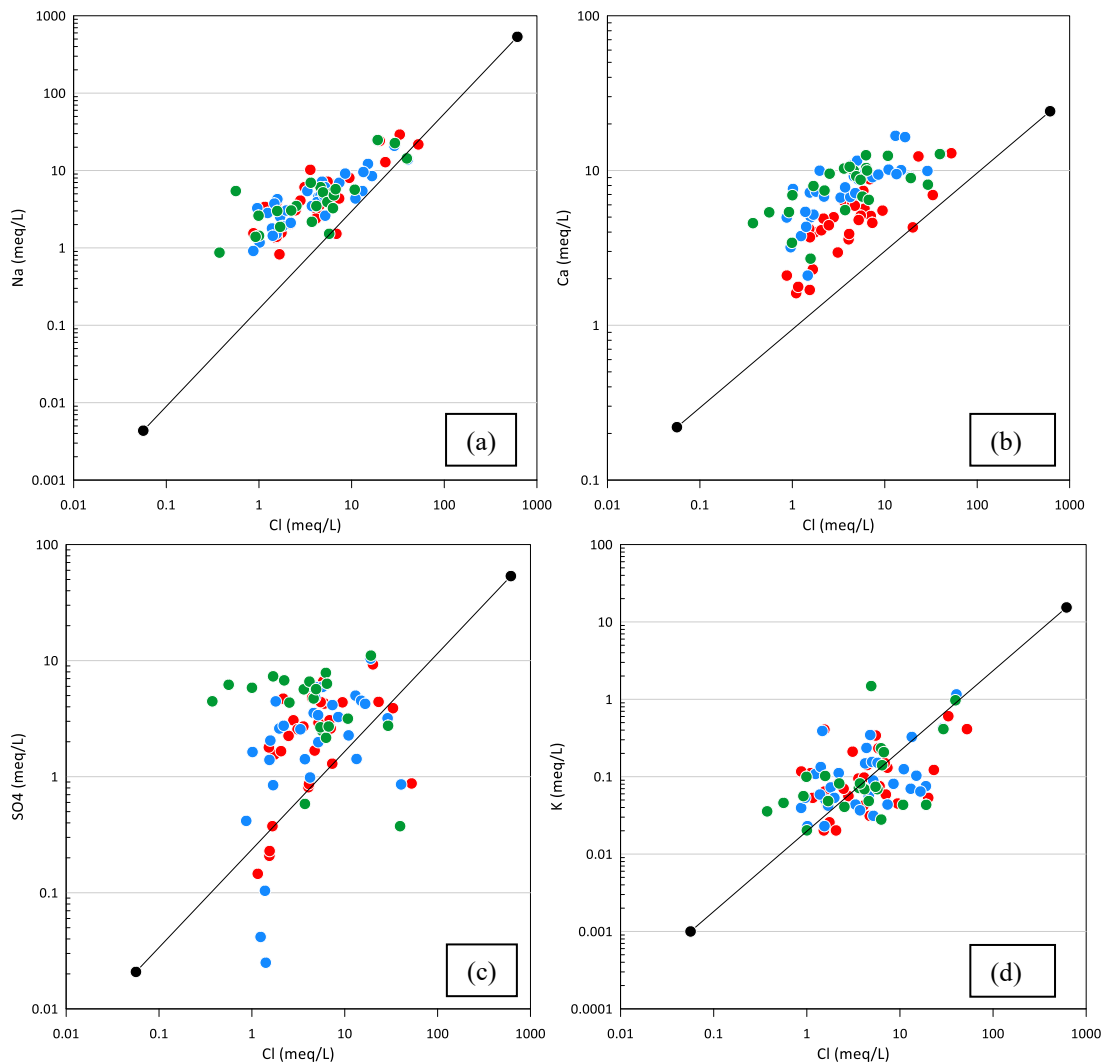
Η Εικόνα 21β δείχνει τη σχέση μεταξύ Ca^{2+} και Cl^- με τα δείγματα να προβάλλονται ανάντη της ευθείας αραιώσης-συγκέντρωσης και να δείχνουν ότι είναι εμπλουτισμένα σε Ca^{2+} .

Στο διάγραμμα της Εικόνας 21c που δείχνει τη σχέση μεταξύ SO_4^{-2} and Cl^{-} τα περισσότερα δείγματα προβάλλονται ανάντη της ευθείας αραιώσης-συγκέντρωσης. Γενικά υπάρχουν αρκετές πηγές προέλευσης για αυτό το στοιχείο κυρίως είναι η διάλυση της γύψου και της γεωργικής ρύπανσης.

Στην Εικόνα 21d παρουσιάζονται αρκετά δείγματα ανάντη της ευθείας αραιώσης-συγκέντρωσης, το οποίο σημαίνει ότι είναι εμπλουτισμένα σε K^{+} .

Στην Εικόνα 21e τα δείγματα του Σεπτεμβρίου 2023 και του Μαρτίου 2024 προβάλλονται επί της ευθείας και κατάντη της ευθείας σε σχέση με τα δείγματα Μαΐου 2023 τα οποία είναι εμπλουτισμένα σε Mg^{2+} λόγω της διάλυσης της γύψου και των ανθρακικών πετρωμάτων.

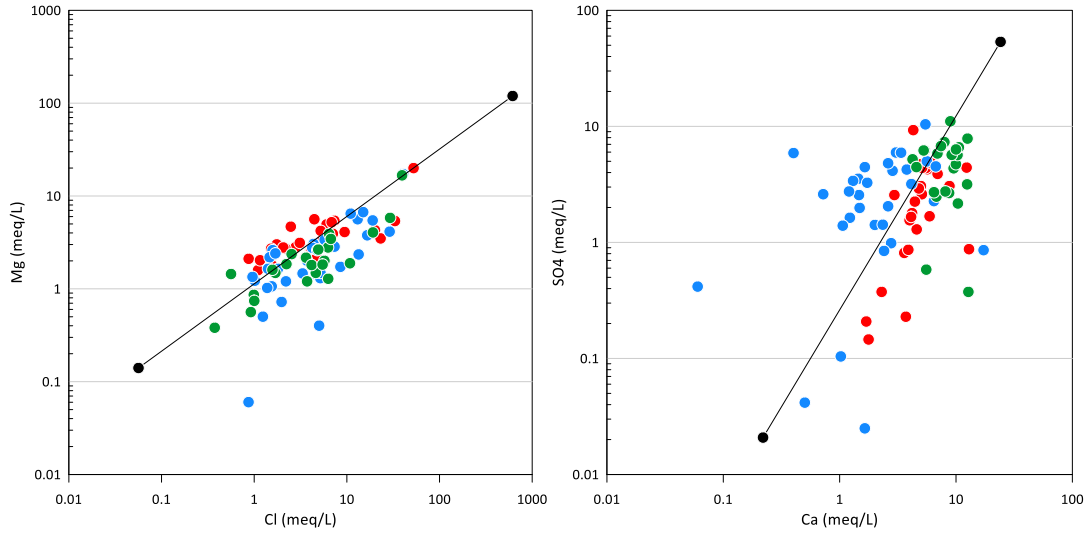
Στην Εικόνα 21f η σχέση του Ca^{2+} με SO_4^{-2} δείχνει υψηλή διάλυση της γύψου για τον Σεπτέμβριο 2023 σε σχέση με τον ασβεστίτη για τις δειγματοληψίες Μαΐου 2023 και Μαρτίου 2024.



● Μάιος 2023, ● Σεπτέμβριος 2023, ● Μάρτιος 2024, ●—● Ευθεία αραιώσης συγκέντρωσης

Εικόνα 21 Υδροχημική σχέση μεταξύ ιόντων (a) Na vs Cl, (b) Ca vs Cl, (c) SO_4 vs Cl, (d) K vs Cl.

Η ευθεία αραιώσης-συγκέντρωσης ενώνει το βρόχινο νερό με το θαλασσινό νερό.



● Μάιος 2023, ● Σεπτέμβριος 2023, ● Μάρτιος 2024, ●—● Ευθεία αραίωσης συγκέντρωσης

**Εικόνα 22 Υδροχημική σχέση μεταξύ ιόντων (e) Mg vs Cl; (f) SO₄ vs Ca.
Η ευθεία αραίωσης-συγκέντρωσης ενώνει το βρόχινο νερό με το θαλασσινό νερό.**

7 Συμπεράσματα

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την υδροχημική έρευνα που πραγματοποιήθηκε στο δίκτυο παρακολούθησης του ΥΥΣ Λαρισσού είναι τα εξής:

- ✓ Η πλειονότητα των υπόγειων νερών στην περιοχή έρευνας είναι Ca-Mg-Cl νερά, ενώ υπάρχουν και αρκετά δείγματα που έχουν υδροχημικό τύπο Ca-HCO₃. Επιπλέον φαίνεται να υπάρχει σημαντική ποιοτική υποβάθμιση των υπόγειων υδάτων λόγω των παρατηρούμενων υψηλών συγκεντρώσεων Na, Cl και NO₃.
- ✓ Στην περιοχή έρευνας εμφανίζονται υψηλές τιμές Cl οι οποίες ξεπερνούν το όριο ποσιμότητας των 250 mg/L. Αυτές οι τιμές εμφανίζονται κατά τόπους στις παράκτιες περιοχές Άραξος, Λακκόπετρα, Λιμανάκι, Καλαμάκι και Νιφοραίικα.
- ✓ Υψηλές τιμές των νιτρικών ιόντων εμφανίζονται στο μεγαλύτερο μέρος της περιοχής μελέτης με τιμές να ξεπερνούν τα 50 mg/L, ενώ η μέγιστη τιμή είναι 470 mg/L. Υψηλές τιμές εμφανίζονται κυρίως στις περιοχές Άραξος, Λιμανάκι, Λακκόπετρα και Καλαμάκι.
- ✓ Σύμφωνα με το διάγραμμα SAR η πλειονότητα των υπόγειων υδάτων της περιοχής μελέτης και στις τρεις δειγματοληψίες αντιστοιχεί σε νερά υψηλής αλατότητας με χαμηλό συντελεστή προσρόφησης νατρίου, ακατάλληλα για άρδευση όταν τα εδάφη έχουν περιορισμένη στράγγιση. Στην περιοχή του Αράξου τα υπόγεια ύδατα χαρακτηρίζονται ως πολύ υψηλής αλατότητας με υψηλό συντελεστή προσρόφησης νατρίου, ακατάλληλα για άρδευση υπό συνηθισμένες συνθήκες.
- ✓ Τα διαγράμματα διασποράς εντοπίζουν αν υπάρχει το φαινόμενο της ιοντικής ανταλλαγής. Στις τρεις δειγματοληψίες παρατηρείται πλεόνασμα των νατρίων και του ασβεστίου σε σχέση με τα χλώρια. Αυτό αφορά υπόγεια νερά που υπόκεινται σε καθεστώς θαλάσσιας διείσδυσης αφού λαμβάνει χώρα το φαινόμενο της ιοντοανταλλαγής.
- ✓ Με βάση τα αποτελέσματα των ιοντικών λόγων και συγκεκριμένα του ιοντικού λόγου Na/Cl, τιμές <0,8 Na/Cl που υποδεικνύουν ότι υπάρχει θαλάσσια διείσδυση (μέτωπο υφαλμύρισης), εμφανίζονται σε όλη την παράκτια ζώνη της περιοχής μελέτης. Από τα στοιχεία της δειγματοληψίας του Μαρτίου 2024 φαίνεται να υπάρχει διεύρυνση αυτού του μετώπου υφαλμύρισης.

8 Βιβλιογραφία

- Wilcox L.V. 1995. Classification and use of irrigation water, U.S. Dept. Agric. Circ. 969, Washington
- Καλλέργης Γ. 2001. Εφαρμοσμένη περιβαλλοντική υδρογεωλογία, Έκδοση τεχνικού επιμελητηρίου Ελλάδα. Δεύτερη έκδοση, τόμος Γ, Αθήνα
- Λαμπράκης, Ν. 2017. Εισαγωγή στην Υδροχημεία, Σημειώσεις, Πανεπιστήμιο Πατρών
- Λαμπράκης, Ν. 2019. Μαθήματα εφαρμοσμένης και περιβαλλοντικής υδρογεωλογίας, Έκδ. Liberal Books, Αθήνα
- Σούλιος, Γ. 2004. Γενική Υδρογεωλογία, Τόμος Γ'. Αποθέματα και διαχείριση του υπόγειου νερού Έκδ. Κυριακίδη, Θεσσαλονίκη