



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ – ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

«ΕΠΙΣΤΗΜΗ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ»

ΟΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΩΝ ΑΓΡΟΤΙΚΩΝ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΩΝ ΣΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΕΔΑΦΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ ΣΤΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΤΩΝ ΨΑΧΝΩΝ ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΕΥΒΟΙΑΣ

Στυλιανός Δ. Βασιλάκης

Αθήνα, Φεβρουάριος 2021

«ΕΠΙΣΤΗΜΗ &
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ
ΥΔΑΤΙΚΩΝ
ΠΟΡΩΝ»

Επιβλέπουσα: Δρ. Ε.Δι.Π Ε. Βασιλείου

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους με βοήθησαν στη προσπάθειά μου να τη φέρω εις πέρας.

Αρχικά οφείλω να ευχαριστήσω την επιβλέπουσα μου, την Δρ. ΕΔΙΠ Ελένη Βασιλείου, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε στην ανάθεση του θέματος, στη διαρκή καθοδήγησή της, χωρίς την οποία η ολοκλήρωση της μελέτης δεν θα ήταν εφικτή, στην έμπρακτη βοήθεια της, στις δειγματοληψίες, στις εργαστηριακές αναλύσεις, όπου και όταν οι συνθήκες το απαιτήσαν, αλλά και στον χρόνο που αφιέρωσε στη διόρθωση και στη βελτίωση της διάρθρωσης της εργασίας.

Στη συνέχεια θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κύριο Ιωάννη Κουμαντάκη, Ομότιμο Καθηγητή της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου για τη πολύτιμη καθοδήγησή του αλλά και για τον χρόνο που αφιέρωσε στη διόρθωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τον κύριο Ηλία Παπακωνσταντή, Λέκτορα της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, για τον χρόνο που αφιέρωσε και αυτός στη διόρθωση της διπλωματικής εργασίας.

Στη συνέχεια θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαιτέρως τον Ομότιμο Καθηγητή Γεώργιο Σταμάτη, του τμήματος της Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, ο οποίος με βοήθησε στις αναλύσεις των εδαφολογικών δειγμάτων, οι οποίες πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο Ορυκτολογίας – Γεωλογίας του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών. Τόσο η διαρκής καθοδήγηση του όσο και ο προσωπικός χρόνος που ο ίδιος αφιέρωσε, ήταν ίσως οι σημαντικότεροι παράγοντες που συντέλεσαν στην επιτυχή έκβαση των αναλύσεων. Χωρίς τη βοήθεια του πιθανώς ένα μεγάλο κομμάτι της εργασίας να ήταν αδύνατο να ολοκληρωθεί και γι' αυτό τον ευχαριστώ θερμά.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω την Δρ. Μαρία Περράκη, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Η κα Περράκη συνέβαλε καταλυτικά στην ολοκλήρωση της παρούσας

εργασίας και στην πλήρη ανάλυση μετάλλων/μεταλλοειδών των νερών με τη στήριξη της. Ο πλούτος των στοιχείων αυτών προήλθε από εξειδικευμένο εργαστήριο στον Καναδα με τη συμβολή της. Επίσης η διάθεση της και οι συμβουλές της καθ' όλη τη διάρκεια της διατριβής αλλά και του εξοπλισμού που μου διέθεσε, την καθιστούν αναπόσπαστο κομμάτι της εργασίας αυτής.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ επίσης στο Δρ. Γεωλόγο, ΕΔΙΠ ΕΜΠ, Κωνσταντίνο Μαρκαντώνη για τη συνδρομή του τόσο στη διαδικασία της δειγματοληψίας όσο και στη καθοδήγηση του στις αναλύσεις των κύριων ιόντων, που πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο Υδρογεωλογίας της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Να ευχαριστήσω επίσης την Επικ. Καθηγήτρια Μαρία Ψυχογιού του τμήματος της Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, για την πολύτιμη βοήθεια της στις εδαφικές αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο Γεωργικής Υδραυλικής.

Ευχαριστώ επίσης τον Δρ. Γεωλόγο Παναγιώτη Παπαζώτο, για τη συνδρομή του στη διαδικασία των δειγματοληψιών, αλλά και για τα εποικοδομητικά σχόλιά του πάνω στο φυσικό αντικείμενο της εργασίας.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου που στέκεται στο πλευρό μου όλα αυτά τα χρόνια, στηρίζοντας με στην πραγματοποίηση των στόχων μου.

Σας ευχαριστώ όλους θερμά!

Περιεχόμενα

1	Εισαγωγή.....	10
1.1	Οδηγία Πλαίσιο 2000/60/ΕΚ περί Υδάτων	11
1.2	Περιβαλλοντικές Πιέσεις Υδάτων	12
1.2.1	Σημειακές πηγές	13
1.2.2	Διάχυτες πηγές	13
1.3	Επιπτώσεις του αγροτικού τομέα στο περιβάλλον.....	14
1.4	Μέταλλα και περιβάλλον	17
1.4.1	Κύρια βαρέα μέταλλα	22
1.4.2	Νομοθεσία σχετικά με τα βαρέα μέταλλα	25
1.4.3	Η ρύπανση από βαρέα μέταλλα στην Ελλάδα	28
2	Περιοχή Μελέτης.....	30
2.1	Γεωγραφικά και Διοικητικά Χαρακτηριστικά	30
2.2	Γεωμορφολογικά Χαρακτηριστικά και Χρήσεις Γης.....	31
2.3	Γεωλογία της Ευρύτερης Περιοχής της Κεντρικής Εύβοιας.....	33
2.3.1	Στρωματογραφία	34
2.4	Υδρογεωλογία της περιοχής	38
2.4.1	Προσχωματική Λεκάνη Ψαχνών.....	40
3	Έδαφος	43
3.1	Γένεση του εδάφους.....	43
3.2	Σύσταση του εδάφους.....	47
3.3	Οργανική ουσία του εδάφους	51
3.4	Ανθρακικά άλατα	54
3.5	Οξύτητα του εδάφους	55
3.6	Ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους.....	56

3.7	Μέθοδοι ανάλυσης εδαφικών δειγμάτων.....	57
3.7.1	Προσδιορισμός εδαφικής οξύτητας (pH), δυναμικού οξειδοαναγωγής (eh) και ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC).....	58
3.7.2	Προσδιορισμός ανθρακικών αλάτων κατά Bernard.....	60
3.7.3	Μέθοδος προσδιορισμού της οργανικής ουσίας κατά «Walkey – Black» 63	
3.7.4	Προσδιορισμός της κοκκομετρικής σύστασης του εδάφους.....	65
3.7.5	Προσδιορισμός των ολικών συγκεντρώσεων των βαρέων μετάλλων	67
4	Νερό.....	68
4.1	Ποιότητα νερού.....	68
4.2	Υπόγεια Νερά	69
4.2.1	Ποιότητα υπόγειου νερού	70
4.3	Ποιότητα αρδευτικού νερού.....	71
4.4	Προβλήματα από την ποιότητα του αρδευτικού νερού.....	72
4.4.1	Αλατότητα του εδάφους.....	73
4.4.2	Αλκαλίωση του εδάφους	74
4.4.3	Προβλήματα τοξικότητας	75
4.5	Ανάλυση Δειγμάτων Νερού	76
4.5.1	Δειγματοληψία - Προετοιμασία δειγμάτων – Μέθοδοι ανάλυσης.....	76
5	Θρέψη φυτών – Λιπάσματα	84
5.1	Γονιμότητα του εδάφους	84
5.2	Θρέψη των φυτών	84
5.3	Κύρια θρεπτικά στοιχεία	86
5.3.1	Άζωτο N	86
5.3.2	Φώσφορος P	88
5.3.3	Κάλιο K.....	89

5.3.4	Μικροθρεπτικά στοιχεία (ιχνοστοιχεία)	90
5.4	Επιπτώσεις στο περιβάλλον	91
5.5	Βαρέα μέταλλα στα λιπάσματα	92
6	Αποτελέσματα	95
6.1	Αποτελέσματα αναλύσεων εδαφικών δειγμάτων	95
6.2	Αποτελέσματα αναλύσεων δειγμάτων νερού	109
6.2.1	Χημικές αναλύσεις	109
6.2.2	Συσχέτιση αποτελεσμάτων και διαγράμματα	142
6.2.3	Αξιολόγηση της ποιότητας των υπογείων νερών και εκτίμηση της τρωτότητας των υπόγειων υδροφόρων στρωμάτων	152
7	Συμπεράσματα – Συζήτηση	174

Περίληψη

Οι κύριες επιπτώσεις των αγροτικών δραστηριοτήτων στο περιβάλλον, λόγω της εντατικής και αλόγιστης χρήσης αγροχημικών προϊόντων είναι οι εξής: α) επιβάρυνση ποιότητας εδαφών (αύξηση As, Cd, Cu κλπ), β) υποβάθμιση ποιότητας των υπογείων νερών (αύξηση NO₃⁻, PO₄³⁻, Cr κλπ).

Στην παρούσα εργασία, προσδιορίζονται οι επιπτώσεις και ο ρόλος των εκτεταμένων αγροτικών δραστηριοτήτων, συνεργιστικά με το γεωχημικό περιβάλλον (υπερβασικά πετρώματα εμπλουτισμένα σε As, Co, Cr, Ni κ.α.), στη λεκάνη των Ψαχνών Ευβοίας.

Πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία 14 δειγμάτων υπογείων νερών και μετρήθηκαν επιτόπου οι φυσικές παράμετροι (pH, Eh, E.C. κ.α.), ενώ αναλύθηκαν τα κύρια ιόντα (Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, Cl⁻, NO₃⁻ κ.α.) και ένα πλήθος μετάλλων/μεταλλοειδών (As, Co, Cr, Mn, Ni κ.α.). Παράλληλα ελήφθησαν 13 δείγματα εδαφικά σε διάφορα βάθη (0-30 cm) στα οποία μετρήθηκαν pH, E.C., Eh, οργανική ουσία (%), περιεκτικότητα % CaCO₃, και έγιναν κοκκομετρικές και γεωχημικές (Cr, Fe, Mn κ.α.) αναλύσεις.

Στα υπόγεια νερά καταγράφηκαν συγκεντρώσεις: α) NO₃⁻ με μέση τιμή τα 166 mg/L και εύρος 39,1-468,2 mg/L β) Cl⁻ με μέση τιμή τα 85 mg/L και εύρος 31-420 mg/L, γ) Cr_{tot} με μέση τιμή τα 79,5 mg/L και εύρος 18-135,2 mg/L. Στα εδαφικά δείγματα, αναλύθηκαν περιεκτικότητες: α) Fe με μέση τιμή τα 38243 mg/Kg και εύρος 32000-56000 mg/Kg, β) Cr με μέση τιμή τα 1540 mg/Kg και εύρος 1325-1925 mg/Kg, γ) Mn με μέση τιμή τα 1048 mg/Kg και εύρος 885-1385 mg/Kg. Τα εδάφη χαρακτηρίζονται από μετρίως λεπτόκοκκα έως μετρίως χονδρόκοκκα και η ολική οργανική ουσία εμφανίζει ένα εύρος 0,7-2,3%.

Εκτός της στατιστικής επεξεργασίας των δεδομένων και των γεωχημικών διαγραμμάτων, πραγματοποιήθηκε εκτίμηση της ρύπανσης των υπογείων νερών με τη χρήση κατάλληλων δεικτών και καθορισμός ζωνών τρωτότητας νιτρορύπανσης στον υπόγειο υδροφόρο (DRASTIC).

Από το σύνολο της επεξεργασίας των δεδομένων, υψηλές τιμές Cr καταγράφονται σε νερά και εδάφη και NO₃⁻ στα υπόγεια νερά. Το γενικό συμπέρασμα που προκύπτει είναι, ότι η επιβάρυνση εδαφών και η υποβάθμιση των υπογείων νερών στη λεκάνη των Ψαχνών

είναι αποτέλεσμα συνισταμένης δράσης, του γεωχημικού περιβάλλοντος (υπερβασικά πετρώματα) και των αγροτικών δραστηριοτήτων (χρήση αγροχημικών προϊόντων). Τα υπερβασικά πετρώματα αποδεσμεύουν μέσω διαφόρων γεωχημικών διεργασιών το Cr στο περιβάλλον, ενώ η παρουσία NO_3^- ευνοεί τη διαλυτοποίηση και κινητοποίηση του Cr στα υπόγεια νερά.. Ένδειξη που προκύπτει από τη θετική συσχέτιση NO_3^- και Cr στα υπόγεια νερά από το 2012 έως σήμερα σε όλες τις περιόδους δειγματοληψιών από διάφορους ερευνητές και μέσω ενός διπτού μηχανισμού. Χημικές αναλύσεις λιπασμάτων στην περιοχή, υπέδειξαν ότι δυνητικά αποτελούν πρόσθετες πηγές χρωμίου και άλλων δυνητικά τοξικών στοιχείων στο περιβάλλον, που η παρουσία τους στα υπόγεια νερά ευνοείται από τα εδαφικά χαρακτηριστικά της περιοχής, όπως αποτυπώθηκαν στην παρούσα έρευνα.

Abstract

The main consequences of agricultural activities to the environment, due to intensive and irresponsible use of agrochemicals, are the degradation of water and soil quality

In this study, the synergistic role of agriculture and the geogenic environment (ultramafic rocks rich in trace elements such as As, Co, Cr, Ni) in groundwater quality at Psachna Basin, Central Euboia, is studied.

A sampling of total 14 water samples was conducted. Physical parameters were measured instantly (T, pH, Eh, EC) where major ions (NO_3^- , Ca^{2+} , Cl^- , Na^+ etc.) and trace elements (Cr, As, Ni, Mn etc.) were analyzed in the lab. A total of 13 soil samples were also taken at several depths (0 – 30 cm) in which soil pH, Eh, EC, organic matter, calcium carbonate, soil texture and chemical composition (Fe, Mn, Cr, Ni) were analyzed.

The groundwater concentration in NO_3^- was found between 39,1 and 468,2 mg/L with an average of 166 mg/L, Cl was found between 31 and 420 with an average of 85 mg/L, Cr was found between 18 and 135,2 with an average of 79,5 mg/L. The analysis in the soil samples showed the concentration of Fe being between 32.000 and 56.000 with an average of 38.243 mg/Kg, the concentration of Cr was found between 1.325 and 1.925 with an average of 1540 mg/Kg, the concentration of Mn was found between 885 and 1.385 with an average of 1.048 mg/Kg. As far as the soil texture is concerned, the soil was classified as

sandy loam and sandy clay loam. The percentage of the organic matter was found between 0,7 and 2,3%.

Besides the statistical analysis of the results that was carried out and the geochemical plots, certain indices were used to determine the quality state of the groundwater. In addition, DRASTIC model was used to determine the vulnerability of the aquifer to surface pollution.

By analyzing the results, high concentrations of Cr came up both in water and soil samples. Moreover, the majority of water samples showed very high concentrations of NO_3^- . The general conclusion that was made, suggested that the degradation of the quality of groundwater in Psachna basin, is caused by both the geochemical environment (ultramafic rocks) and agricultural activities (agrochemical usage). Ultramafic rocks, in a series of geochemical processes, release Cr in the environment, and then the high concentrations of NO_3^- makes Cr more soluble and has a positive impact in its mobilization. This dual process is also suggested by various researchers, as a positive correlation between NO_3^- and Cr is found in all groundwater samples, taken from studies from 2012 to this day. Chemical analyses of fertilizers sold at local markets showed an additional potential source of Cr and also a variety of other Potentially Harmful Trace Elements, and their presence in groundwater is favored by the soil characteristics of the study area.

1 Εισαγωγή

Είναι γνωστό ότι το νερό αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα στοιχεία στο πλανήτη, τόσο εξαιτίας του καθοριστικού ρόλου στη διατήρηση της ζωής, όσο και για το γεγονός ότι αποτελεί έναν σημαντικό δείκτη για την υγεία ενός οικοσυστήματος. Ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο στις παραπάνω διεργασίες διαδραματίζουν οι λεγόμενοι ως «ανανεώσιμοι υδατικοί πόροι» (renewable water resources). Τα Ηνωμένα Έθνη ορίζουν ως ανανεώσιμους υδατικούς πόρους όλους εκείνους τους πόρους επιφανειακών και υπόγειων νερών, που ανανεώνονται σε ετήσια βάση χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η ικανότητα συλλογής και εκμετάλλευσης του πόρου αυτού.

Από το συνολικό νερό της γης μόνο το 0,6% αποτελεί τα διαθέσιμα αποθέματα γλυκού νερού για οποιεσδήποτε χρήσεις. Από αυτό το 1,2% είναι τα επιφανειακά νερά (λίμνες, ποτάμια) και το υπόλοιπο είναι τα υπόγεια νερά. Το 50% των αποθεμάτων υπόγειου νερού εντοπίζεται σε βάθος μεγαλύτερο από 800 m και ουσιαστικά δεν μπορεί να αξιοποιηθεί, οπότε παραμένει ανεκμετάλλευτο. Το 0,6% από το συνολικό ποσοστό των διαθέσιμων αποθεμάτων νερού αποτελεί το εδαφικό. Σε παγκόσμια κλίμακα, το γλυκό νερό που χρησιμοποιείται προέρχεται κατά 95% από τα υπόγεια νερά. Στην Ελλάδα η χρήση των υπόγειων νερών, σταδιακά αυξάνεται. Χαρακτηριστική είναι η αύξηση της κατανάλωσης νερού από το 1989 έως το 1991, σε 40% (Αντωνόπουλος, 2001).

Παρά το γεγονός ότι τα ανανεώσιμα ύδατα είναι άφθονα στην Ευρώπη, υπάρχουν ενδείξεις από μακροπρόθεσμες κλιματικές και υδρολογικές εκτιμήσεις, συμπεριλαμβανομένης της δυναμικής του πληθυσμού, που δείχνουν ότι υπήρξε μείωση κατά 24% των ανανεώσιμων υδάτινων πόρων κατά κεφαλήν σε όλη την Ευρώπη μεταξύ 1960 και 2010, ιδίως στη νότια Ευρώπη. Οι πυκνοκατοικημένες λεκάνες απορροής ποταμών σε διάφορα μέρη της Ευρώπης, που αντιστοιχούν στο 11% της συνολικής έκτασης της Ευρώπης, εξακολουθούν να αποτελούν περιοχές στις οποίες οι πιέσεις στους υδατικούς πόρους είναι μεγάλες και, το καλοκαίρι του 2014, υπήρχαν 86 εκατομμύρια κάτοικοι σε αυτές τις περιοχές. Περίπου το 40% των κατοίκων στην περιοχή της Μεσογείου ζούσαν κάτω από συνθήκες κάποιας υδατικής καταπόνησης το καλοκαίρι του 2014 (πηγή: Ευρωπαϊκή Επιτροπή Περιβάλλοντος, ΕΕΑ).

Οι υπόγειοι υδατικοί πόροι και τα ποτάμια εξακολουθούν να υφίστανται υπερεκμετάλλευση σε πολλά μέρη της Ευρώπης, ιδίως στις λεκάνες της Δυτικής και Ανατολικής Ευρώπης. Η γεωργία εξακολουθεί να είναι η κύρια πίεση στους ανανεώσιμους υδάτινους πόρους. Την άνοιξη του 2014, ο τομέας αυτός αποτελούσε τον κύριο καταναλωτή με αντλούμενες ποσότητες της τάξης 66% των συνολικών αποθεμάτων νερού που είναι σε καθεστώς εκμετάλλευσης στην Ευρώπη. Περίπου το 80% της συνολικής άντλησης νερού για τη γεωργία πραγματοποιήθηκε στην περιοχή της Μεσογείου. Η συνολική αρδευόμενη περιοχή στη νότια Ευρώπη αυξήθηκε κατά 12% μεταξύ του 2002 και του 2014, αλλά η συνολική συγκομιδή γεωργικής παραγωγής μειώθηκε κατά 36% την ίδια περίοδο σε αυτήν την περιοχή. Ένα θετικό στοιχείο είναι ότι η ποσότητα του αντλούμενου νερού μειώθηκε περίπου κατά 7% μεταξύ του 2002 και του 2014 (πηγή: ΕΕΑ 2018)

1.1 Οδηγία Πλαίσιο 2000/60/ΕΚ περί Υδάτων

Οι εντατικοί ρυθμοί ανάπτυξης έχουν προκαλέσει πολλαπλές επιπτώσεις στο περιβάλλον. Οι κυριότερες επιπτώσεις σημειώνονται στους υδατικούς πόρους, με αποτέλεσμα την υποβάθμιση των ποσοτικών και ποιοτικών χαρακτηριστικών τους. Για την επίλυση του προβλήματος αυτού η Ευρωπαϊκή Ένωση στις 22/12/2000/60 εξέδωσε την Οδηγία Πλαίσιο για το νερό, (Water Framework Directive, WFD), η οποία άλλαξε την εθνική στρατηγική των κρατών μελών για τη διαχείριση των υδατικών πόρων. Σκοπός της Οδηγίας είναι να εφαρμοστεί ένα κοινό νομοθετικό πλαίσιο για την ορθή διαχείριση των υδατικών πόρων και την προστασία των οικοσυστημάτων που εξαρτώνται από αυτούς, από όλα τα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης, η διατήρηση των οποίων αποτελεί πρωτεύοντα στόχο μιας αναπτυξιακής πολιτικής που δεν συγκρούεται με το περιβάλλον.

Στην Ελλάδα η ενσωμάτωση της οδηγίας επιτεύχθηκε με το Ν.3199/2003 (ΦΕΚ 280/τΑ/9-12-2003), «Προστασία και διαχείριση υδάτων και εναρμόνιση με την Οδηγία 2000/60/ΕΚ». Σύμφωνα με το Νόμο αυτό, οι περιφέρειες και τα υδατικά διαμερίσματα ταυτίζονται γεωγραφικά και κάθε περιφέρεια είναι αρμόδια για τη διαχείριση και την προστασία των υδάτων που βρίσκονται εντός των διοικητικών της ορίων. Στη συνέχεια συντάχθηκε το Προεδρικό Διάταγμα υπ' αριθμόν 51 (ΦΕΚ 54/τΑ/8- 03-2007), «Καθορισμός μέτρων και διαδικασιών για την ολοκληρωμένη προστασία και 5 διαχείριση των υδάτων σε

συμμόρφωση με τις διατάξεις της Οδηγίας 2000/60/ΕΚ». Στόχος του διατάγματος είναι, η ολοκληρωμένη προστασία και ορθολογική διαχείριση των εσωτερικών, επιφανειακών, μεταβατικών, παράκτιων και υπόγειων υδάτων και συνίσταται:

1. Στην προώθηση της βιώσιμης χρήσης του νερού βάσει μακροπρόθεσμης προστασίας των διαθέσιμων υδατικών πόρων
2. Στην ενίσχυση της προστασίας και τη βελτίωση του υδάτινου περιβάλλοντος με ειδικά μέτρα για την προοδευτική μείωση ή την παύση των απορρίψεων, εκπομπών και διαρροών ουσιών προτεραιότητας.
3. Στη διασφάλιση της προοδευτικής μείωσης της ρύπανσης των υπόγειων υδάτων και την αποτροπή της περαιτέρω μόλυνσής τους και
4. Στον μετριασμό των επιπτώσεων από πλημμύρες και ξηρασίες.

Στην Οδηγία αναφέρεται πως «Το ύδωρ δεν είναι εμπορικό προϊόν όπως όλα τα άλλα, αλλά αποτελεί κληρονομιά που πρέπει να προστατεύεται και να τυγχάνει της κατάλληλης μεταχείρισης» (ΥΠΕΚΑ, 2013).

1.2 Περιβαλλοντικές Πιέσεις Υδάτων

Η απρόσκοπτη πρόσβαση σε καθαρό νερό αποτελεί βασική προϋπόθεση για την ανθρώπινη υγεία και ευεξία. Οι περισσότεροι άνθρωποι στην Ευρώπη έχουν πρόσβαση σε πόσιμο νερό καλής ποιότητας. Ωστόσο, σε ορισμένα μέρη, η ποιότητα εξακολουθεί ακόμη να μην πληροί βασικά πρότυπα. Το καθαρό, μη μολυσμένο νερό, είναι επίσης απαραίτητο για την υγεία και αειφορική ανάπτυξη των οικοσυστημάτων. Τα φυτά και τα ζώα που ζουν εντός ή πλησίον υδάτινων οικοσυστημάτων (λίμνες, ποτάμια κ.λ.π.) είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα σε μεταβολές της φυσικής ή της χημικής κατάστασης των υδάτων αυτών. Αλλαγές στη σύνθεση των ειδών ενός οικοσυστήματος που οφείλεται σε αλλαγή των ποιοτικών στοιχείων βιολογικής σημασίας μπορούν να προκληθούν από αλλαγές σε φυσικές συνθήκες όπως το κλίμα, αλλά μπορεί επίσης να υποδηλώνουν αλλαγές στην ποιότητα των υδάτων που προκαλούνται από ευτροφισμό, οργανική ρύπανση, επικίνδυνες ουσίες, κλπ.

Σχεδόν όλες οι ανθρώπινες δραστηριότητες δυνητικά επιφέρουν πολλαπλές επιπτώσεις στους υδατικούς πόρους. Η ποιότητα των υδάτων επηρεάζεται από πηγές τόσο

σημειακής, όσο και διάχυτης ρύπανσης, όπως είναι οι αστικές και οι αγροτικές περιοχές, οι ατμοσφαιρικές αποθέσεις, βιομηχανικές εκπομπές, η μεταλλευτική δραστηριότητα, οι γεωργικές δραστηριότητες κ.λπ. . Κύριες πηγές σημειακής ρύπανσης θεωρούνται η επεξεργασία λυμάτων και τα βιομηχανικά απόβλητα, ενώ η γεωργία θεωρείται η κύρια πηγή διάχυτης ρύπανσης. Οι βασικοί ρύποι της γεωργίας θεωρούνται τα θρεπτικά συστατικά, τα φυτοφάρμακα και τα μικροβιακά φορτία των κοπράνων των γεωργικών ζώων.

1.2.1 Σημειακές πηγές

Στατικές τοποθεσίες ή εγκαταστάσεις από τις οποίες απορρίπτονται ρύποι, όπως οι απορρίψεις από την επεξεργασία λυμάτων, η βιομηχανία και οι ιχθυοκαλλιέργειες, ορίζονται ως σημειακές πηγές ρύπανσης. Οι απορρίψεις από αυτές τις δραστηριότητες προκαλούν ρύπανση τόσο μέσω των διαφόρων ουσιών που καταναλώνουν το διαλυμένο οξυγόνο του νερού, όσο και εξαιτίας της συσσώρευσης θρεπτικών συστατικών και επικίνδυνων ουσιών. Οι αρνητικές επιπτώσεις των δραστηριοτήτων αυτών εξαρτώνται άμεσα από τον βαθμό επεξεργασίας που υφίστανται οι απορρίψεις αυτές προτού αφεθούν στο περιβάλλον.

Οι σημειακές πηγές ρύπανσης είναι μία από τις κύριες πιέσεις που υφίστανται οι υδατικοί πόροι της Ευρώπης. Σύμφωνα με το 2^ο Σχέδιο Διαχείρισης Λεκανών Απορροής (ΣΔΛΑΠ), το 18% των επιφανειακών και το 14% των υπόγειων αναφερόμενων υδατικών πόρων βρίσκονται υπό τη σημαντική πίεση, εξαιτίας των σημειακών πηγών (πηγή ΕΕΑ).

Οι απορρίψεις ρύπων από σημειακές πηγές έχουν μειωθεί σημαντικά τις τελευταίες δεκαετίες. Το γεγονός αυτό αφείλεται κυρίως στον βελτιωμένο καθαρισμό αστικών λυμάτων και στη μείωση των βιομηχανικών απορρίψεων. Στις χώρες της Δυτικής Ευρώπης, ο καθαρισμός είναι πλέον πολύ αποτελεσματικός, ενώ και οι χώρες της Ανατολικής Ευρώπης στρέφονται σιγά σιγά προς αυτή τη κατεύθυνση (πηγή ΕΕΑ).

1.2.2 Διάχυτες πηγές

Η διάχυτη ρύπανση μπορεί να προκληθεί από μεγάλο εύρος δραστηριοτήτων που δεν έχουν ένα συγκεκριμένο σημείο απόρριψης. Η γεωργία είναι η βασική πηγή διάχυτης

ρύπανσης, αλλά και ο αστικός ιστός καθώς και η ατμοσφαιρική εναπόθεση μπορούν επίσης να είναι σημαντικές πηγές. Εξ ορισμού, η διαχείριση της διάχυτης ρύπανσης είναι πολύ πιο σύνθετη συγκριτικά με τη σημειακή και χρειάζεται εξειδικευμένη μελέτη και κατανόηση των διαφόρων φυσικών και ανθρωπογενών διεργασιών.

Η σύγχρονη εντατική γεωργία απαιτεί τη χρήση μεγάλων ποσοτήτων λιπασμάτων και κοπριάς, ώστε να μπορεί να διατηρηθεί η παραγωγή των αγροτικών προϊόντων σε υψηλά επίπεδα. Άμεση συνέπεια αυτού, είναι η αύξηση της συγκέντρωσης διαφόρων θρεπτικών στοιχείων (πχ, αζώτου και φωσφόρου) στους υδάτινους αποδέκτες. Εκτός από τα λιπάσματα, σημαντική είναι και η επιβάρυνση που προκύπτει από τη χρήση φυτοπροστατευτικών προϊόντων (εντομοκτόνα, μυκητοκτόνα, ζιζανιοκτόνα). Τα αγροχημικά αυτά προϊόντα μεταφέρονται και αυτά τόσο σε επιφανειακούς όσο και σε υπόγειους υδάτινους αποδέκτες, γεγονός που αποτελεί κίνδυνο τόσο για την άγρια ζωή, όσο και για την ανθρώπινη υγεία. Επιπλέον, οι παθογόνοι μικροοργανισμοί που προέρχονται από τα κόπρανα των αγροτικών ζώων, μπορούν να δημιουργήσουν σημαντικά προβλήματα στην ανθρώπινη υγεία αλλά και στην υγεία των ζώων.

Οι αρνητικές επιπτώσεις όλων των παραπάνω γεωργικών ρύπων, επιδεινώνονται με τη χρήση μεγάλων ποσοτήτων νερού με τη μορφή άρδευσης. Το συνδυαστικό αυτό φαινόμενο, συντελεί ακόμα περισσότερο στην αύξηση της συγκέντρωσης των ρύπων στα υδατικά συστήματα. Η παρουσία θρεπτικών ουσιών, φυτοφαρμάκων, ιζημάτων και παθογόνων μικροοργανισμών στα υδάτινα σώματα δημιουργεί την ανάγκη πρόσθετης επεξεργασίας του νερού, όταν αυτό προορίζεται για παροχή πόσιμου νερού, γεγονός που δημιουργεί επιπλέον κόστος.

Στην Ευρώπη, σύμφωνα με το 2^ο Σχέδιο Διαχείρισης Λεκανών Απορροής (ΣΔΛΑΠ), το 38% των επιφανειακών υδατικών πόρων υπόκεινται σε σημαντικές πιέσεις που προκαλούνται από διάχυτες πηγές ρύπανσης (πηγή ΕΕΑ).

1.3 Επιπτώσεις του αγροτικού τομέα στο περιβάλλον.

Οι γεωργικές δραστηριότητες επηρεάζουν τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των νερών με πολλούς τρόπους. Τα λιπάσματα που περιέχουν άζωτο και φώσφορο είναι ζωτικής σημασίας για τη γεωργία. Μόλις απελευθερωθούν στο περιβάλλον, τα στοιχεία αυτά είτε

αφομοιώνονται από τις καλλιέργειες, είτε αποθηκεύονται στο έδαφος, είτε μεταφέρονται αλλού. Το άζωτο και ο φώσφορος μετατρέπονται σε πολλές διαφορετικές χημικές μορφές, αλλά δεν εξαφανίζονται. Συνεχίζουν να βρίσκονται κάπου, σε κάποια μορφή. Γενικά, υπάρχει η συνήθεια να εφαρμόζονται με τα λιπάσματα ποσότητες αζώτου ή και φωσφόρου, μεγαλύτερες από αυτές που χρειάζεται η καλλιέργεια, με συνέπεια να καταλήγει συχνά η περίσσεια αυτή είτε σε επιφανειακούς υδατικούς αποδέκτες μέσω της επιφανειακής απορροής, είτε σε υπόγειους μέσω της βαθιάς διήθησης. Πολλές μορφές αζώτου και φωσφόρου βρίσκονται σε όλα τα συστατικά του υδρολογικού κύκλου, συμπεριλαμβανομένων των επιφανειακών υδάτων και των ιζημάτων τους, στα υπόγεια νερά, στον αέρα, τη βροχή, το έδαφος, το εδαφικό νερό και στους βιοτόπους (Paul D. Carpel et al., 2018). Με βελτίωση των εκτιμήσεων των ποσοτήτων αζώτου και φωσφόρου που πραγματικά απαιτούνται από τις καλλιέργειες και με βελτιστοποίηση της μεθόδου εφαρμογής, οι ποσότητες των χρησιμοποιούμενων λιπασμάτων θα μπορούσαν να μειωθούν και, συνεπώς, να μειωθούν και οι διαφυγές των στοιχείων τους, στο ευρύτερο περιβάλλον τους (Sharpley et al, 2005).

Η υπερβολική χρήση αγροχημικών προϊόντων, εκτός από την άμεση επιβάρυνση του περιβάλλοντος (εδαφών - νερού), επιβαρύνει και έμμεσα τη ποιοτική κατάσταση των υδάτων, καθώς ορισμένα στοιχεία δημιουργούν συνθήκες διαλυτοποίησης και κινητοποίησης κατά τα άλλα αδιάλυτων ιχνοστοιχείων, τα οποία βρίσκονται φυσικά στο γεωγενές περιβάλλον (Papazotos et al., 2019, Turdi, M., & Yang, L. 2016). Σε πολλές περιοχές εντατικής γεωργίας έχουν παρατηρηθεί αυξημένες συγκεντρώσεις νιτρικών, φωσφορικών, ζιζανιοκτόνων, εντομοκτόνων, μυκητοκτόνων καθώς και των παραγώγων τους, διαφόρων διαλυμένων στερεών, καθώς και ιχνοστοιχείων όπως σελήνιο, αρσενικό, ουράνιο, χρώμιο (Paul D. Carpel et al., 2018).

Σε πολλές περιοχές επίσης, λόγω των εκτεταμένων καλλιεργούμενων και αρδευόμενων εκτάσεων, καταγράφονται υπερεντατικές αντλήσεις και υπερεκμετάλλευση των υπογείων νερών, με αποτέλεσμα συχνά να παρατηρείται της στάθμης των υπόγειων υδροφόρων και η δημιουργία κώνου ταπείνωσης της στάθμης, με συνέπεια την εμφάνιση καθιζήσεων κι άλλων επιπτώσεων. Η αλόγιστη άντληση υπέρμετρων ποσοτήτων νερού συχνά υπερβαίνει τη φυσική επαναπλήρωση των υπόγειων υδροφόρων συστημάτων με αποτέλεσμα τη διατάραξη της υδατικής ισορροπίας. Ο συνδυασμός της υποβάθμισης της

ποιότητας του υπογείου νερού μαζί με την πτώση της στάθμης των υδροφόρων οριζόντων μπορεί να επιφέρει πολύ σοβαρές, αν όχι μη αντιστρεπτές, επιπτώσεις στους υδατικούς πόρους μιας περιοχής.

Μία άλλη επίπτωση που έχει η υπερβολική χρήση των λιπασμάτων είναι η αύξηση των συγκεντρώσεων θρεπτικών ουσιών που βοηθούν την ανάπτυξη φαινόμενων ευτροφισμού στα υδάτινα σώματα, με συνέπεια την απώλεια φυτικών και ζωικών ειδών. Η ύπαρξη υψηλών συγκεντρώσεων θρεπτικών στοιχείων σε συνδυασμό με επαρκή ηλιακή ακτινοβολία ευνοεί την ανάπτυξη φυκών στα υδάτινα σώματα, φυτών τα οποία δυσχεραίνουν τη ροή των καναλιών και αύξηση του πλαγκτόν που μετατρέπει το νερό σε θολό πράσινο. Μπορεί επίσης να συμβεί εξάντληση του διαλυμένου οξυγόνου, απελευθέρωση τοξινών ή άλλων ενώσεων που παράγονται από φυτά, μειωμένη διαύγεια νερού και θανάτωση ψαριών. Τα υπερβολικά επίπεδα θρεπτικών συστατικών μπορεί να είναι επιζήμια για την ανθρώπινη υγεία (EEA, 2018).

Οι παθογόνοι μικροοργανισμοί από τα κόπρανα των ζώων μπορούν να δημιουργήσουν σημαντικό κίνδυνο για τη δημόσια υγεία και την υγεία των ζώων. Οι υψηλές συγκεντρώσεις μπορούν να περιορίσουν τις χρήσεις του νερού, όπως αναψυχή και παροχή πόσιμου νερού, προκαλούν ασθένειες και απώλεια παραγωγικότητας στα βοοειδή και να περιορίζουν την υδατοκαλλιέργεια οστρακοειδών (EEA, 2018).

Μια σημαντική επίπτωση της γεωργίας στην ποιότητα του εδάφους στην περιοχή της Μεσογείου είναι η αυξανόμενη ηλεκτρική αγωγιμότητα και αλατότητα των εδαφών, όπως και η εμφάνιση φαινομένων υφλαμύρινσης στους παράκτιους υδροφορείς. Η συσσώρευση αλάτων στα εδάφη της Μεσογείου είναι μια φυσική διαδικασία που ευνοείται από τις οικολογικές συνθήκες της περιοχής (Zalidis et al., 1999). Η κίνηση των αλάτων στο εδαφικό προφίλ γίνεται μέσω του εδαφικού διαλύματος. Έτσι, η συσσώρευση αλάτων σε μια συγκεκριμένη περιοχή ελέγχεται κυρίως από το υδατικό ισοζύγιο και ιδιαίτερα από την εξατμισοδιαπνοή και την αποστράγγιση (Allison and Richards, 1954). Οι δύο τελευταίες διαδικασίες ελέγχονται από φυσικούς παράγοντες, τόσο αβιοτικούς (κλίμα, γεωμορφολογία, υδρογεωλογία, κ.λπ.) όσο και βιοτικούς (χλωρίδα και πανίδα). Οι ανθρώπινες δραστηριότητες μπορεί να επηρεάσουν αυτούς τους οικολογικούς παράγοντες με πολλούς άμεσους και έμμεσους τρόπους και, ως εκ τούτου, μπορεί να προκαλέσουν

συσσώρευση αλάτων (Misorolinos, 1990). Οι αλλαγές αυτές επηρεάζουν κυρίως επίπεδες αρδευόμενες εκτάσεις.

Τα αποτελέσματα του ανθρώπινου παράγοντα έχουν καταγραφεί σε πολλές χώρες της Μεσογείου (Konda et al., 1973). Η αύξηση της αλατότητας έχει άμεση αρνητική επίδραση τη παραγωγικότητα των γεωργικών εδαφών, τη βιολογία τους καθώς την απώλεια της σταθερότητας του εδάφους μέσω αλλαγών στη δομή του εδάφους (Szabolcs, 1996). Τέλος, άλλες επιπτώσεις της αγροτικής δραστηριότητας στα εδάφη είναι η διάβρωση, η αλκαλίωση, η συμπίεση και η μείωση της οργανικής ουσίας των εδαφών. Ως εκ τούτου, η υποβάθμιση της ποιότητας του εδάφους έχει σαν αποτέλεσμα τη διαφυγή αγροχημικών προϊόντων στα επιφανειακά και στα υπόγεια νερά, αφού μειώνεται η ικανότητα κατακράτησής τους από το έδαφος (Zalidis et al., 2002).

1.4 Μέταλλα και περιβάλλον

Η ρύπανση του περιβάλλοντος από τοξικά και βαρέα μέταλλα αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα του περιβάλλοντος. Τα βαρέα μέταλλα συσσωρεύονται με διάφορους μηχανισμούς τόσο σε οργανικές όσο και ανόργανες ενώσεις, μετακινούνται μέσω του νερού και του εδάφους με αποτέλεσμα να παρατηρείται η βιοσυσσώρευση τους στη τροφική αλυσίδα, με άμεσες αλλά και έμμεσες συνέπειες για την υγεία του ανθρώπου. Βιοσυσσώρευση ονομάζεται το φαινόμενο κατά το οποίο ορισμένες χημικές ενώσεις έχουν τη δυνατότητα να συσσωρεύονται με συνεχώς αυξανόμενες συγκεντρώσεις στα διάφορα μέλη της τροφικής αλυσίδας (Βασιλείου, 2013).

Οι πηγές προέλευσης των αυξημένων συγκεντρώσεων των βαρέων μετάλλων είναι είτε οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες, είτε η φυσική παρουσία τους εντός των μητρικών πετρωμάτων στα οποία βρίσκονται. Συγκεκριμένα για στα υδατικά συστήματα, φυσικές πηγές εισόδου είναι η εδαφική διάβρωση, τα νεογενή ιζήματα, η σκόνη, η κίνηση του νερού μέσω γεωλογικών σχηματισμών πλούσιων σε μεταλλοφορία (πχ. υπερβασικά πετρώματα), εντός των οποίων, μέσω χημικών διαδικασιών ιοντοανταλλαγής ή διάλυσης, το νερό εμπλουτίζεται σε διάφορες συγκεντρώσεις μετάλλων. Η ορυκτολογική σύσταση του μητρικού πετρώματος, στο οποίο βρίσκεται το κάθε μέταλλο, διαμορφώνει το ανάλογο αναγωγικό ή οξειδωτικό περιβάλλον, επιταχύνοντας ή επιβραδύνοντας τις αντίστοιχες

χημικές διαδικασίες, καθιστώντας το τοξικό ή μη. Άλλες φυσικές, μη σημειακές, πηγές επιβάρυνσης είναι η αποικοδόμηση φυτικών οργανισμών καθώς και τα απορρήματα των ζώων, η εναπόθεση των αερομεταφερόμενων μορίων από την ηφαιστειακή δραστηριότητα, η διάβρωση που προκαλεί ο αέρας, ο καπνός δασικής πυρκαγιάς κλπ. Λόγω της φυσικής τους προέλευσης, τα επιφανειακά νερά περιέχουν πάντοτε ίχνη βαρέων μετάλλων (Βασιλείου, 2013).

Στις ανθρωπογενείς πηγές ρύπανσης εντάσσονται οι επιφανειακές απορροές από μεταλλεία και μεταλλευτικές δραστηριότητες, οι οποίες έχουν συνήθως χαμηλό pH και περιέχουν υψηλά επίπεδα βαρέων μετάλλων όπως ο σίδηρος, το μαγγάνιο, ο ψευδάργυρος, το κοβάλτιο, ο χαλκός και το νικέλιο. Η καύση των ορυκτών καυσίμων ρυπαίνει την ατμόσφαιρα με σύμπλοκα μετάλλων τα οποία στη συνέχεια αποτίθενται στην επιφάνεια του εδάφους. Οι απορροές των όμβριων υδάτων σε αστικές περιοχές είναι συχνά εμπλουτισμένες με βαρέα μέταλλα από τους δρόμους και την ατμοσφαιρική σκόνη. Επίσης στα αστικά απόβλητα περιέχονται μέταλλα τόσο από τα μεταβολικά απόβλητα και τα διάφορα καταναλωτικά προϊόντα όσο και από την ίδια τη διάβρωση των σωληνώσεων. Οι γεωργικές δραστηριότητες με τη χρήση λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων συχνά οδηγούν σε αύξηση των συγκεντρώσεων τόσο στα επιφανειακά υδάτινα οικοσυστήματα, μέσω της επιφανειακής απορροής, όσο και στα υπόγεια, μέσω της βαθιάς διήθησης του νερού. Επιπλέον τα απόβλητα καθώς και η λάσπη αποβλήτων από τη βιομηχανική δραστηριότητα που σχετίζεται με τη χρήση μετάλλων (μεταλλουργία, κατασκευή μεταλλικών αντικειμένων, ηλεκτρονικών, χρωμάτων και χρωστικών, υφασμάτων, χάρτου κλπ.) αυξάνουν το φορτίο των μετάλλων σε παρακείμενα υδατικά συστήματα (Βασιλείου, 2013).

Τα βαρέα μέταλλα στα επιφανειακά νερά βρίσκονται είτε διαλυμένα είτε δεσμευμένα σε υδροξειδία, οξειδία κλπ. Η διαλυτή φάση είναι συνήθως σε ιοντική μορφή και σύμπλοκα οργανικών μετάλλων. Η δράση τους στα επιφανειακά νερά, εξαρτάται από τη σύσταση των ιζημάτων (ορυκτές φάσεις, οργανικό υλικό) και της χημείας του νερού. Ένα ίζημα που αποτελείται από λεπτή άμμο και λάσπη, συνήθως περιέχει υψηλές συγκεντρώσεις προσροφημένων μετάλλων, ενώ η παρουσία χουμικών οξέων, οργανο-αργίλων και οργανο-οξειδίων δρα ως περιοριστικός παράγοντας ως προς τη διαλυτή διαθεσιμότητα τους. Η χημική κατάσταση του νερού καθορίζει το ποσοστό απορρόφησης και εκρόφησης των βαρέων μετάλλων από και προς το ίζημα. Η απορρόφηση επιστρέφει το

μέταλλο στην υδάτινη στήλη, όπου αυτό επανακυκλοφορεί και είναι διαθέσιμο για την αφομοίωση από τους ζωντανούς οργανισμούς. Τα μέταλλα μπορούν να εκροφηθούν από το ίζημα, εάν το νερό εμφανίσει συνθήκες αύξησης της αλατότητας, μείωσης της οξειδοαναγωγικής ικανότητας ή μείωσης του pH (Ζαμπετάκης et al. 2011).

Στο περιβάλλον έχουν ανιχνευθεί περισσότερα από 40 στοιχεία που ανήκουν στην κατηγορία των μετάλλων. Επικίνδυνα είναι τα αποκαλούμενα βαρέα μέταλλα όπως το βηρύλλιο (Be), το κάδμιο (Cd), ο μόλυβδος (Pb), ο υδράργυρος (Hg), το νικέλιο (Ni), ο άργυρος (Ag), ο χρυσός (Au), το χρώμιο (Cr), ο ψευδάργυρος (Zn), και ο χαλκός (Cu). Τα πολύτιμα μέταλλα (άργυρος και χρυσός) ανακτώνται από τα υγρά απόβλητα, λόγω της τιμής τους και πρακτικά δε θεωρούνται ρύποι. Θεωρούνται τοξικά όσα μέταλλα έχουν δυσμενή επίδραση στους οργανισμούς, ακόμη και σε πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις (Ζαμπετάκης et al. 2011).

Ενδεικτικά παρατίθεται ο πίνακας 1.1 με τα κυριότερα μέταλλα και τις βασικές πηγές από τις οποίες προέρχονται.

Πίνακας 1.1: Συνοπτικός πίνακας απόθεσης βιομηχανικής απόθεσης βιομηχανικών μετάλλων στο περιβάλλον (Πηγή: Νομοθεσία Τροφίμων και διατροφικοί κίνδυνοι 2011)

Μέταλλο ενδιαφέροντος	Βιομηχανική δραστηριότητα
Αρσενικό	Χρωστικές και χρώματα, εντομοκτόνα/ζιζανιοκτόνα, μεταλλουργική επεξεργασία μετάλλων, γυαλί και κεραμικά, βυρσοδεψία
Χρώμιο και ενώσεις του	Ανοδίωση, τσιμέντο, χρωστικές, χρώματα, επιμεταλλώσεις, βυρσοδεψία
Κοβάλτιο και ενώσεις του	Καταλύτες, ίνες, χρώματα, χαρτί και χαρτοπολτός
Χαλκός και ενώσεις του	Επιμεταλλώσεις, ηλεκτρικά/ηλεκτρονικά, επεξεργασία επιφανειών, εντομοκτόνα, απόσταξη άνθρακα, οξειδωση κυανιούχων, πλαστικά
Σίδηρος και ενώσεις του	Αλουμίνιο, επιμεταλλώσεις, χρωστικές, ηλεκτρονικά, διοξείδιο του τιτανίου
Μόλυβδος και ενώσεις του	Μπαταρίες, τυπογραφία, εξότμιση αυτοκινήτων, εκρηκτικά, πυροτεχνήματα, εντομοκτόνα, χρώματα, διυλιστήρια, πετροχημικά
Μαγγάνιο και ενώσεις του	Καταλύτες, μπαταρίες, γυαλί, χρώματα, πυροτεχνήματα
Υόραργυρος: οργανικός	Βακτηριακή δραστηριότητα από ανόργανο, εντομοκτόνα
Υδράργυρος: ανόργανος	Ηλεκτρικά/ηλεκτρονικά, εντομοκτόνα, μπαταρίες, φωτογραφικά, επιστημονικά όργανα, χλωράλκαλι, χρώματα, φαρμακευτικά, χαρτί /χαρτοπολτός, καταλύτες, τσιμέντο, καύση άνθρακα/πετρελαίου
Κασσίτερος και ενώσεις	Επιμεταλλώσεις
Ψευδάργυρος και ενώσεις	Συνθετικές ίνες, επιμεταλλώσεις, χαρτί/χαρτοπολτός, επεξεργασία ελαστικού
Βηρύλλιο και ενώσεις του	Πυρηνική βιομηχανία, σιδηρούχα και μη κράματα αεροναυπηγικής
Νικέλιο και ενώσεις του	Επιμεταλλώσεις, συσσωρευτές, καταλύτες
Κάδμιο και ενώσεις του	Χρωστικές, χρώματα, επιμεταλλώσεις, πολυμερή

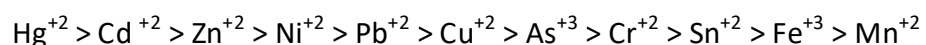
Τα μέταλλα σε αντίθεση με τις περισσότερες τοξικές οργανικές ενώσεις, δεν αποικοδομούνται και γι' αυτό συσσωρεύονται στο περιβάλλον. Τα μέταλλα δεν αφομοιώνονται, καθώς οι οργανισμοί παρουσιάζουν αδυναμία στην αναγνώριση τους, ούτε όμως και αποβάλλονται εύκολα από το σύστημα τους και κατά συνέπεια συσσωρεύονται τελικά και μάλιστα εμφανίζουν αυξημένες συγκεντρώσεις σε συγκεκριμένους ιστούς (νεφρό, συκώτι). Τις περισσότερες φορές, η αυξημένη συγκέντρωση εντός ζωντανών οργανισμών οδηγεί σε καρκινογενέσεις. Για τη δράση τους έχει διαπιστωθεί, ότι ο μηχανισμός της άμεσης προσθήκης στο κυτταρικό DNA με συνέπεια την πρόκληση μεταλλάξεων, είναι δευτερεύουσας σημασίας σε σχέση με τη δράση μέσω οξειδωτικών βλαβών στο DNA, που προκαλούνται από την παραγωγή ελευθέρων ριζών (Ζαμπετάκης et al. 2011).

Τα βαρέα μέταλλα είναι φυσικά συστατικά του φλοιού της Γης και εμφανίζονται σε ποικίλες συγγεντώσεις σε όλα τα οικοσυστήματα, εξαιτίας των διαφόρων γεωχημικών κύκλων και ανθρωπογενών δραστηριοτήτων. Ως βαρέα μέταλλα ορίζονται τα μέταλλα εκείνα, που έχουν ειδικό βάρος μεγαλύτερο από εκείνο του σιδήρου (Fe) και κυρίως:

- Ο μόλυβδος (Pb)
- Ο υδράργυρος (Hg)
- Ο χαλκός (Cu)
- Το κάδμιο (Cd)
- Το χρώμιο (Cr)

Τα βαρέα μέταλλα εμφανίζονται σε διάφορες μορφές, ως ιόντα διαλυμένα στο νερό, ως ατμοί ή ως άλατα ή μεταλλεύματα σε πετρώματα, στην άμμο και στο έδαφος. Επίσης δεσμεύονται στα οργανικά ή στα ανόργανα μόρια ή προσκολλούνται στα μόρια του αέρα. Μερικά από αυτά είναι απαραίτητα ως ιχνοστοιχεία σε μικρές συγκεντρώσεις τόσο για τους φυτικούς όσο και για τους ζωικούς οργανισμούς. Ορισμένες μορφές των μετάλλων μπορεί να είναι τοξικές και κατά συνέπεια επικίνδυνες την υγεία των ζώων και του ανθρώπου.

Τοξικές είναι οι ενώσεις, οι οποίες όταν υπερβαίνουν συγκεκριμένες συγκεντρώσεις και σε ορισμένες φυσικοχημικές συνθήκες (pH, παρουσία άλλων ουσιών) προκαλούν μόνιμη παύση των φυσιολογικών βιολογικών λειτουργιών ή παρέκκλιση από τη φυσιολογική βιολογική λειτουργία με αποτέλεσμα τη πρόκληση μη αναστρέψιμης βλάβης. Η επίδραση των μετάλλων εξαρτάται από τη μορφή τους και τη δυνατότητα πρόσληψης του από τους φυτικούς και ζωικούς οργανισμούς. Η τοξικότητά των βαρέων μετάλλων εξαρτάται από το είδος του μετάλλου, τη συγκέντρωσή τους, τη συνδυαστική δράση άλλων μετάλλων και το είδος του οργανισμού. Η σειρά τοξικότητας για τα διάφορα μέταλλα είναι η εξής:



Τα μέταλλα εισέρχονται στον ανθρώπινο οργανισμό μέσω της αναπνοής, της κατάποσης και της επαφής μέσω του δέρματος. Μόλις απορροφηθούν, μεταφέρονται μέσω της κυκλοφορίας του αίματος και συσσωρεύονται σε ορισμένα ζωτικά όργανα. Συχνά

στον οργανισμό πραγματοποιείται ένας χημικός μετασχηματισμός, που καθιστά τα μέταλλα κάποιες φορές λιγότερο τοξικά κι άλλες περισσότερο επιβλαβή. (Βασιλείου, 2013)

1.4.1 Κύρια βαρέα μέταλλα

Παρακάτω αναφέρονται ενδεικτικά οι κύριες επιπτώσεις από τις αυξημένες συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων που απαντώνται συχνότερα και ορισμένα γενικά στοιχεία, όσον αφορά την παρουσία τους στη καθημερινή ζωή του ανθρώπου (Ζαμπετάκης et al. 2011).

1.4.1.1 Αρσενικό (As)

Το αρσενικό είναι το εικοστό πιο κοινό στοιχείο του στερεού φλοιού της γης. Είναι ευρέως διαδεδομένο στη φύση και μεταφέρεται στο περιβάλλον μέσω του νερού. Η έκθεση στο αρσενικό μπορεί να προκαλέσει αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου. Η παρουσία του στο φυσικό περιβάλλον συνήθως συνδέεται με: α) ιζηματογενή πετρώματα θαλάσσιας προέλευσης, β) εξαλλοιωμένα ηφαιστειακά πετρώματα, γ) ορυκτά καύσιμα, δ) γεωθερμικά πεδία, ε) αγροχημικά προϊόντα, στ) περιοχές που έχουν υψηλές συγκεντρώσεις οξειδίων Fe, ένυδρων οξειδίων μετάλλων ή σιδηροπυριτών. Σε αυξημένες συγκεντρώσεις είναι τοξικό για τους οργανισμούς και η κύρια πηγή πρόσληψης είναι το πόσιμο νερό. Η τοξικότητα και η βιοδιαθεσιμότητα του στοιχείου αυτού εξαρτάται από τη φύση των χημικών ενώσεών του. Το αρσενικό μπορεί να εμφανίζεται στο περιβάλλον σε διάφορες οξειδωτικές καταστάσεις (-3, 0, +3 και 5), αλλά στο φυσικό νερό εμφανίζεται κυρίως με τη μορφή ανόργανων ενώσεων ως οξυανιόντα τρισθενούς (arsenite, As(III)) και πεντασθενούς (arsenate, As(V)) αρσενικού. Ο ρυθμιστικός παράγοντας που καθορίζει ποιο θα είναι το επικρατέστερο είδος του ανόργανου αρσενικού είναι το οξειδοαναγωγικό δυναμικό και το pH. Η τρισθενής οξειδωτική κατάσταση του αρσενικού είναι περισσότερο τοξική απ' ό τι η πεντασθενής. Η τοξικότητα του αρσενικού στον άνθρωπο εξαρτάται από την συγκέντρωσή του καθώς και χρόνο της έκθεσης του ανθρώπου στο αρσενικό. Το μέγιστο επίπεδο ρύπανσης (MCL) για το αρσενικό στο πόσιμο νερό πρόσφατα μειώθηκε στα 10 μg/L. Έχει καταγραφεί στη διεθνή βιβλιογραφία ότι οι άνθρωποι που καταναλώνουν νερό αυξημένης συγκέντρωσης σε As για μεγάλα χρονικά διαστήματα παρουσιάζουν προβλήματα υγείας. Επιδημιολογικές μελέτες έχουν δείξει ότι οι ενώσεις του As, μπορεί να προκαλέσουν νευρολογικά προβλήματα, γαστρεντερικές

διαταραχές, δερματολογικά προβλήματα, ενώ έχει συσχετιστεί και με καρκίνους της ουροδόχου κύστης, του πνεύμονα και των νεφρών Σύμφωνα με την οδηγία ΕΕ 2000/60 και την εθνική νομοθεσία ΚΥΑ 2600/2001 και 1811/2011 ορίζεται ως παραμετρική τιμή του αρσενικού τα 10 µg/l (Ζαμπετάκης et al., 2011).

1.4.1.2 Κάδμιο (Cd)

Το κάδμιο εμφανίζει μεγάλη συσχέτιση στην εμφάνιση του μαζί με τον ψευδάργυρο. Συναντάται στον αέρα, στο έδαφος και στο νερό. Μέσω της τροφικής αλυσίδας συσσωρεύεται στα φυτά και τα ζώα. Αποτελεί απαραίτητο στοιχείο για την ομαλή ανάπτυξη των φυτών, όμως σε μεγάλες συγκεντρώσεις καθίσταται ιδιαίτερα τοξικό. Το κάδμιο χρησιμοποιείται ευρέως στη βιομηχανία, κυρίως ως αντιδιαβρωτικό σε χάλυβες, ως προσθετικό βαφής πλαστικών, σε μπαταρίες, ηλεκτρονικά στοιχεία και πυρηνικούς αντιδραστήρες. Το μεγαλύτερο μέρος του καδμίου παράγεται ως προϊόν χύτευσης του ψευδαργύρου. Κάδμιο απελευθερώνεται από ανθρωπογενείς δραστηριότητες όπως η καύση του άνθρακα και η αποτέφρωση στερεών αποβλήτων. Μια ακόμα σημαντική πηγή ρύπανσης του περιβάλλοντος με κάδμιο είναι τα λιπάσματα που συνθέτονται από φωσφορούχα μεταλλεύματα. Στο φυσικό νερό, το κάδμιο βρίσκεται προσροφημένο σε σωματίδια ή σε αιωρούμενα ιζήματα. Πιθανή πηγή ρύπανσης τους πόσιμοι νερού από κάδμιο μπορεί να προέλθει από τις προσμίξεις του με τον ψευδάργυρο στους γαλβανισμένους σωλήνες. Η συσσώρευση του καδμίου στους ιστούς αυξάνεται με την ηλικία, ενώ τα νεφρά και το συκώτι αποτελούν φυσικές αποθήκες καδμίου στους ζωικούς οργανισμούς. Το 30-60% αποθηκεύεται στα νεφρά ενώ το 20-25% στο συκώτι. Ο βιολογικός χρόνος ημιζωής του καδμίου στον άνθρωπο είναι από 10 έως 35 χρόνια. Σύμφωνα με την οδηγία ΕΕ 2000/60 και την εθνική νομοθεσία (ΚΥΑ 2600/2001 και 1811/2011) ορίζεται ως παραμετρική τιμή του καδμίου τα 5 µg/l (Ζαμπετάκης et al., 2011).

1.4.1.3 Μόλυβδος (Pb)

Ο μόλυβδος είναι ένα μέταλλο το οποίο χρησιμοποιείται ευρέως και είναι ιδιαίτερα διαδεδομένος στο περιβάλλον. Σημαντικά προβλήματα ρύπανσης προκαλούνται όταν ο μόλυβδος διαλύεται στο νερό, ενώ τα οργανικά παράγωγα του που χρησιμοποιούνται στη ως πρόσθετα βενζίνης (τετραμεθυλιούχος και τεταίθυλιούχος) ευθύνονται κυρίως για την έκθεση του ανθρώπου στο μόλυβδο. Η εύκολη εξόρυξη αλλά και οι πολλαπλές χρήσεις του (σκεύη, κοσμήματα, σωλήνες νερού, χρώματα, μπαταρίες, εξατμίσεις αυτοκινήτων,

κονσέρβες, βιομηχανικά απόβλητα, σκουπιδότοποι κ.α.) συνέβαλαν στην άμεση μόλυνση του περιβάλλοντος. Περίπου το 10% του καταναλωμένου μολύβδου μέσω τροφίμων και νερού απορροφάται από τον ανθρώπινο οργανισμό. Σύμφωνα με την οδηγία ΕΕ 2000/60 και την εθνική νομοθεσία (ΚΥΑ 2600/2001 και 1811/2011) ορίζεται ως παραμετρική τιμή του μολύβδου τα 10 µg/l (Ζαμπετάκης et al., 2011).

1.4.1.4 Υδράργυρος (Hg)

Ο υδράργυρος χρησιμοποιείται στη παραγωγή χλωρίου και καυστικής σόδας, σε ηλεκτρικές συσκευές, επιστημονικά και βιομηχανικά όργανα, σε οδοντιατρικά αμαλώματα, παρασιτοκτόνα, αντισηπτικά, συντηρητικά και φαρμακευτικά προϊόντα. Η συγκέντρωση του υδραργύρου στα υπόγεια και επιφανειακά νερά είναι συνήθως κάτω από 0,5 µg/, αν και έχουν παρατηρηθεί υψηλότερες τιμές σε υπόγεια νερά που κινούνται σε γεωλογικό περιβάλλον που υπάρχουν ορυκτά του υδραργύρου. Η απορρόφηση του ανόργανου υδραργύρου μέσω της τροφής είναι περίπου 8%, ενώ από το νερό 15%. Ο μεθυλϋδράργυρος περνάει γρήγορα στο αίμα και ενσωματώνεται στα ερυθρά αιμοσφαίρια. Η μεγαλύτερη τοξικότητα του, σε σχέση με τον ανόργανο, οφείλεται στην ικανότητα λιποδιάλυσής του, που του επιτρέπει να διαπερνά τις βιολογικές μεμβράνες ευκολότερα, ειδικά στον εγκέφαλο και στο νωτιαίο μυελό. Σύμφωνα με την οδηγία ΕΕ 2000/60 και την εθνική νομοθεσία (ΚΥΑ 2600/2001 και 1811/2011) ορίζεται ως παραμετρική τιμή του υδραργύρου το 1 µg/l (Ζαμπετάκης et al., 2011).

1.4.1.5 Χρώμιο (Cr)

Το χρώμιο και τα άλατα του χρησιμοποιούνται ευρέως σε διάφορες ανθρώπινες δραστηριότητες. Κύριες χρήσεις του είναι στη βυρσοδεψία, στη παραγωγή καταλυτών, στα χρώματα, στα μυκητοκτόνα, στη βιομηχανία γυαλιού και κεραμικών, για την Παρασκευή κραμάτων ή στις επιμεταλλώσεις αντιδιαβρωτικής προστασίας. Τα άλατα του εξασθενούς χρωμίου είναι πιο ευδιάλυτα από του τρισθενούς, οπότε και καθίσταται ευνοϊκότερη η διασπορά του στα υδάτινα συστήματα. Στα επιφανειακά νερά οι συγκεντρώσεις του χρωμίου κυμαίνονται από 1 έως µg/l. Η συγκέντρωση στα επιφανειακά νερά είναι απόλυτα συνδεδεμένη με τη βιομηχανική ρύπανση. Στα υπόγεια νερά συνήθως η συγκέντρωση είναι κάτω από µg/l, αν και σε ρηχές γεωτρήσεις σε περιοχές ιδιαίτερα επιβαρυνμένες με ρυπαντικά φορτία, φτάνουν μέχρι και τα 10 µg/l. Σύμφωνα με την οδηγία ΕΕ 2000/60 και

την εθνική νομοθεσία (ΚΥΑ 2600/2001 και 1811/2011) ορίζεται ως παραμετρική τιμή του ολικού χρωμίου τα 50 µg/l (Ζαμπετάκης et al. 2011).

1.4.1.6 Νικέλιο (Ni)

Το νικέλιο χρησιμοποιείται ευρέως σε κράματα μετάλλων, μπαταρίες, καταλύτες και από βιομηχανίες επιμεταλλώσεων. Η συγκέντρωση νικελίου στο πόσιμο νερό μπορεί να βρεθεί αυξημένη σε περιοχές έντονης βιομηχανικής δραστηριότητας ή σε γεωλογικά περιβάλλοντα πλούσια σε νικέλιο. Είναι ευρέως διαδεδομένο ιχνοστοιχείο που βρίσκεται στο έδαφος, στο νερό, στον αέρα και στη βιόσφαιρα. Η συνήθης έκθεση των ανθρώπων στο νικέλιο από την ατμόσφαιρα παρατηρείται σε αστικές και αγροτικές περιοχές. Το πόσιμο νερό περιέχει λιγότερα από 10 µg νικελίου ανά λίτρο, επειδή όμως μπορεί να απελευθερωθεί από τις υδραυλικές σωληνώσεις, η συγκέντρωση του δύναται να φτάσει μέχρι και τα 500 µg/l. Η Γερμανική Εταιρεία Διατροφής (DGE,2000) έχει θέσει ως εκτιμώμενη ημερήσια ποσότητα πρόσληψης τα 25-30 µg/ημέρα. Σύμφωνα με την οδηγία ΕΕ 2000/60 και την εθνική νομοθεσία (ΚΥΑ 2600/2001 και 1811/2011) ορίζεται ως παραμετρική τιμή του νικελίου τα 20 µg/l (Ζαμπετάκης et al., 2011).

1.4.1.7 Χαλκός (Cu)

Το σώμα ενός ενήλικα περιέχει 100 µg χαλκού. Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις παρατηρούνται στο συκώτι, στον εγκέφαλο, στη καρδιά και στα νεφρά. Μόνο το 1/3 του χαλκού που λαμβάνεται μέσω διατροφής απορροφάται από τον ανθρώπινο οργανισμό. Σε περιεκτικότητα μεγαλύτερη από 200 mg/kg μπορεί να επιφέρει τον θάνατο (Ζαμπετάκης et al., 2011).

1.4.2 Νομοθεσία σχετικά με τα βαρέα μέταλλα

Τα υπόγεια νερά αποτελούν πολύτιμο φυσικό και ανανεώσιμο φυσικό πόρο, ο οποίος θα πρέπει να τυγχάνει ιδιαίτερης προστασίας, αφενός λόγω της τρωτότητας που εμφανίζει σε διαφόρων ειδών ρυπάνσεις και αφετέρου λόγω της ιδιαίτερης σημασίας της χρήσης τους τόσο για υδρευτικούς όσο και αρδευτικούς σκοπούς. Σε αυτή την κατεύθυνση συντάχθηκε η κοινοτική Οδηγία 2000/60/ΕΚ με σκοπό τη θέσπιση ενός κοινού πλαισίου κοινοτικής δράσης στον τομέα της πολιτικής υδάτων.

Η οδηγία 2006/118/EK περιέχει διατάξεις σχετικές με την προστασία και διαχείριση των υπόγειων νερών, συμπληρωματικά με την οδηγία 2000/60/EK. Προκειμένου να διασφαλιστεί η προστασία των υπογείων νερών, καθορίζονται ποιοτικά πρότυπα και ανώτερες αποδεκτές τιμές για την κοινή προσέγγιση του προβλήματος από όλες τις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Σύμφωνα με την οδηγία αυτή, «*Τα υπόγεια ύδατα αποτελούν πολύτιμο φυσικό πόρο και ως τέτοιος θα πρέπει να προστατεύεται από την υποβάθμιση και από τη χημική ρύπανση..... τα υπόγεια ύδατα αποτελούν το μεγαλύτερο και πιο ευαίσθητο σύστημα γλυκών υδάτων στην ΕΕ, αλλά και κύρια πηγή εφοδιασμού του κοινού με πόσιμο νερό σε πολλές περιοχές*»

«Ως ρύπανση ορίζεται η άμεση ή έμμεση εισαγωγή στα νερά ή στο έδαφος, ως αποτέλεσμα της ανθρώπινης δραστηριότητας, ουσιών, κραδασμών, θερμότητας ή θορύβου που ενδέχεται να προκαλέσουν βλάβη στην ανθρώπινη υγεία ή στο περιβάλλον, να υποβαθμίσουν υλικά αγαθά, να υποβαθμίσουν υλικά αγαθά, να παραβλέψουν ή να παρεμποδίσουν τις ανέσεις και τις άλλες νόμιμες χρήσεις του περιβάλλοντος, να προκαλέσουν βλάβη στους ζωντανούς οργανισμούς που διαβιούν στα νερά ή στο έδαφος, να βλάψουν το υδατικό ή εδαφικό οικοσύστημα, ή να καταστρέψουν βιολογικούς πόρους..... Οι διατάξεις σχετικά με τη χημική σύσταση των υπογείων υδάτων δεν εφαρμόζονται σε υψηλές συγκεντρώσεις ουσιών ή ιόντων που ανευρίσκονται στη φύση ή των δεικτών τους, που περιέχονται σε σύστημα υπογείων υδάτων λόγω υδρογεωλογικών συνθηκών, οι οποίες δεν καλύπτονται από τον ορισμό της ρύπανσης.....»

Τα παραπάνω αποσπάσματα από την κοινοτική οδηγία προσδιορίζουν την έννοια της ρύπανσης και τη διαχωρίζουν από τη φυσική επιβάρυνση των νερών σε βαρέα μέταλλα, λόγω της γεωχημικής σύστασης των πετρωμάτων, τα οποία διασχίζουν τα υπόγεια νερά. Το γεγονός αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό, αν αναλογιστεί κανείς την πλούσια μεταλλοφορία της χώρας μας.

Για την αξιολόγηση της χημικής σύστασης ενός συστήματος υπογείων νερών σύμφωνα με το παράρτημα V της οδηγίας πλαίσιο 2000/60/EK τα κράτη μέλη χρησιμοποιούν τα ακόλουθα κριτήρια:

- Ποιοτικά πρότυπα υπογείων νερών

- Ανώτερες αποδεκτές τιμές που ορίζονται από τα κράτη μέλη για τους ρύπους, τις ομάδες ρύπων και τους δείκτες ρύπανσης οι οποίοι, εντός του κράτους μέλους, έχει διαπιστωθεί ότι συμβάλλουν στο χαρακτηρισμό των συστημάτων ως απειλούμενων.

Σήμερα στη χώρα μας το βασικό ρυθμιστικό πλαίσιο για το νερό αποτελείται από την οδηγία 2000/60/ΕΚ (άρθρο 7), που μεταφέρθηκε στο εσωτερικό δίκαιο με το Ν. 3199/2003 και το ΠΔ 51/2007 (ΦΕΚ Α 54/8-3-2007), από την οδηγία 80/68/ΕΟΚ περί προστασίας των υπογείων υδάτων από τη ρύπανση που προέρχεται από ορισμένες επικίνδυνες ουσίες, όπως τροποποιήθηκε και από την οδηγία 98/93/ΕΚ για την ποιότητα του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης που μεταφέρθηκε στο εσωτερικό με την ΚΥΑ αρ. Υ2/2600/2001 (ΦΕΚ Β 892/11-7-2001), όπως τροποποιήθηκε με την ΚΥΑ αρ. ΔΥΓ2.Γ.Π. οικ. 38295/2007 (ΦΕΚ Β 630/26-4-2007) (Ζαμπετάκης et al. 2011).

Τα τελευταία χρόνια έχουν εντοπιστεί σε πολλές περιοχές αυξημένες συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων, όπως π.χ. στον Ασωπό και στο Δήμο Μεσσαπίας, όπου το πρόβλημα της ύπαρξης εξασθενούς χρωμίου στο πόσιμο νερό είναι ιδιαίτερος σοβαρό.

Η σχετική νομοθεσία που ορίζει τα μέγιστα επιτρεπτά όρια βαρέων μετάλλων, είναι ο ΕΚ 1881/2006. Στον κανονισμό αυτό περιέχονται τα ανώτατα επιτρεπτά όρια μόνο για τα εξής στοιχεία: Pb, Cd, Hg και Sn σε διάφορα τρόφιμα. Για τα υπόλοιπα μέταλλα, όπως το νικέλιο και το χρώμιο, δεν υπάρχει μια συγκεκριμένη νομοθεσία που να καθορίζει τα ανώτατα επιτρεπτά όρια, παρά την τοξικότητα που εμφανίζουν ορισμένα από αυτά.

Πίνακας 1.2: Προτεινόμενα αναθεωρημένα επιτρεπτά όρια από την ΕΕ (όρια για έδαφος) Πηγή: Νομοθεσία τροφίμων και διατροφικοί κίνδυνοι 2011

Στοιχείο	5≤pH≤6	6≤pH≤7	pH≥7
	mg /kg ξηράς ουσίας		
Cd	0.5	1	1.5
Cr (ολικό)	30	60	100
Cu	20	50	100
Hg	0.1	0.5	1
Ni	15	50	70
Pb	70	70	100
Zn	60	150	200

Πίνακας 1.3: Προτεινόμενα όρια συγκέντρωσης μετάλλων στο νερό που προορίζεται για άρδευση και επιδράσεις στις καλλιέργειες

Μέταλλο	Μέγιστη προτεινόμενη συγκέντρωση (mg/l)	Παρατηρήσεις
As	0.1	Η επίδραση στα φυτά ποικίλει ανάλογα με το είδος της καλλιέργειας (από 12 mg/l για το γρασιδί μέχρι λιγότερο από 0,05 mg/l για το ρύζι)
Be	0.1	Η επίδραση στα φυτά ποικίλει ανάλογα με το είδος της καλλιέργειας (από 5mg/ για το λάχανο μέχρι 0,5 mg/l για τα φασόλια)
Cd	0.01	Τοξικό για τα φασόλια, τα πατζάρια και γογγύλια σε συγκεντρώσεις 0,1 mg/l στο νερό. Προτείνεται χαμηλό όριο εξαιτίας του ότι η συσσώρευση του στα φυτά μπορεί να είναι επικίνδυνη για τον άνθρωπο
Co	0.05	Τοξικό για τις καλλιέργειες ντομάτας σε συγκέντρωση 0,1 mg/l στο νερό. Τείνει να αδρανοποιείται στα ουδέτερα και βασικά εδάφη.
Ci]	0.10	Το χαμηλό όριο προτείνεται εξαιτίας της έλλειψης γνώσεων αναφορικά με την τοξικότητα που προκαλεί στα φυτά.
Cu	0.20	Τοξικό για ορισμένες καλλιέργειες σε συγκεντρώσεις 0,1 μέχρι 1,0 mg/l στο νερό.
F	1.0	Αδρανοποιείται σε ουδέτερα και αλκαλικά εδάφη
Fe	5.0	Μη τοξικό για φυτά σε αεριζόμενα εδάφη, αλλά μπορεί να συνεισφέρει στην οξίνιση του εδάφους και στη μείωση της διαθεσιμότητας φωσφόρου και μολυβδαινίου. Άρδευση με sprinkler μπορεί να προκαλέσει εναπόθεση στα φυτά, στον εξοπλισμό και στα κτήρια
Li	2.5	Είναι ανεκτό στις περισσότερες καλλιέργειες μέχρι 5 mg/l. Παρουσιάζει αυξημένη κινητικότητα στο έδαφος. Είναι τοξικό για τα εσπεριδοειδή σε χαμηλές συγκεντρώσεις στο νερό (<0,075 mg/l). Η δράση του είναι παρόμοια με αυτή του βορίου.
Mn	0.2	
Mo	0.01	
Ni	0.20	
Pb	5.0	
Se	0.02	
Sn	-	
Ti	-	
W	-	
V	0.10	
Zn	2.0	

1.4.3 Η ρύπανση από βαρέα μέταλλα στην Ελλάδα

Στην Ελλάδα έχουν διαπιστωθεί πολλές περιπτώσεις ποιοτικής υποβάθμισης των νερών, λόγω αυξημένης συγκέντρωσης βαρέων μετάλλων. Ενδεικτικά αναφέρονται οι εξής περιπτώσεις, όπως αυτές έχουν δημοσιευθεί στον τύπο και σε επιστημονικές μελέτες:

Στην Ελλάδα: Στη Βεργίνα χρώμιο έως 91 μg/l (Dermatas et al, 2015), στην Εύβοια χρώμιο 2-360 μg/l, στον Αυλώνα χρώμιο 2-90 μg/l, στον Ωρωπό χρώμιο 4-140 μg/l, στην Αυλίδα χρώμιο 13-160 μg/l (Economou et al, 2013; Moraki, 2010; Vasileiou et al 2014; Parazotos et al 2019), στο Κορωπί και στο Μαρκόπουλο χρώμιο 29-123μg/l (Kaitantzian et al, 2013), στο Σχίνο χρώμιο από 44 μg/l έως 460 μg/l, στο Λουτράκι έως 74 μg/l (Pyrgaki et al, 2016 ; Papadopoulos and Larras, 2014), στον Ανθεμόντα χρώμιο έως 74 μg/l (Kazakis et al, 2015), στη Θεσσαλονίκη και στη Χαλκιδική εξασθενές χρώμιο έως 105 μg/l, στο Βούρινο, σε εποχιακές πηγές που χρησιμοποιούνται για ύδρευση εξασθενές χρώμιο έως 99 μg/l, στη Θεσσαλία ολικό χρώμιο έως 76 μg/l, όπως αναφέρονται στην εργασία E. Kaprara, N. Kazakis, K. Simeonidis, S. Coles, A.I. Zouboulis, P. Samaras, M. Mitrakas (2015) Occurrence of

Cr(VI) in drinking water of Greece and relation to the geological background. Journal of Hazardous Materials, vol.281, p. 2-11, και αποδίδονται σε γεωγενή προέλευση.

Σε άλλες περιοχές στον κόσμο: Στο Abu Dhabi χρώμιο έως 400 $\mu\text{g/l}$ (Wood et al. 2001), στη Nevada, στο Νέο Μεξικό χρώμιο έως 300 $\mu\text{g/l}$ (Robertson et al. 1991), στο Valley Paradise χρώμιο έως 220 $\mu\text{g/l}$ (Robertson 1976), στο Sao Paolo- Brazil χρώμιο έως 120 $\mu\text{g/l}$ (Bourotte et al. 2009), στο Yilgran Carton χρώμιο έως 430 $\mu\text{g/l}$ (Gray et al. 2003), Bauru Basin, São Paulo Brazil χρώμιο έως 130 $\mu\text{g/l}$ (Bertolo et al. 2011). Συγκεντρώσεις χρωμίου έως 150 $\mu\text{g/l}$ στα υπόγεια νερά περιοχών που δομούνται από υπερβασικά πετρώματα, θεωρούνται ως γεωγενούς προέλευσης.

Σύμφωνα και με την ελληνική και διεθνή βιβλιογραφία, στις περιοχές που δομούνται από υπερβασικά πετρώματα, έχουν καταγραφεί σημαντικές συγκεντρώσεις ολικού και εξασθενούς χρωμίου στα υπόγεια νερά των περιοχών αυτών.

Η λεκάνη των Ψαχνών επιλέχθηκε να μελετηθεί στα πλαίσια αυτής της διατριβής, επειδή δομείται από ένα ιδιαίτερο γεωλογικό περιβάλλον, αυτό των υπερβασικών πετρωμάτων που είναι ιδιαίτερα "εμπλουτισμένο" σε δυνητικά τοξικά στοιχεία. Στη λεκάνη παράλληλα λαμβάνουν χώρα πλήθος ανθρωπογενών δραστηριοτήτων (μεταλλευτικές, αγροτικές, πτηνοτροφικές κλπ), που ασκούν σημαντικές περιβαλλοντικές πιέσεις στα εδάφη και τα νερά της περιοχής. Η παρούσα διατριβή, στοχεύει να καταγράψει κυρίως τις επιπτώσεις των εκτεταμένων αγροτικών δραστηριοτήτων στο περιβάλλον της λεκάνης. Παράλληλα προσδιορίζεται και αξιολογείται η συνισταμένη δράση του γεωλογικού περιβάλλοντος με τις αγροτικές δραστηριότητες και οι επιπτώσεις αυτής της αλληλεπίδρασης των δυο αυτών συνιστωσών στα ποιοτικά χαρακτηριστικά των υπογείων νερών.

2 Περιοχή Μελέτης

2.1 Γεωγραφικά και Διοικητικά Χαρακτηριστικά

Ο νομός Ευβοίας είναι ένας από τους 51 νομούς της Ελλάδας και διοικητικά ανήκει στη περιφέρεια Στερεάς Ελλάδας. Ο νομός περιλαμβάνει τα νησιά της Ευβοίας και της Σκύρου και ένα μικρό τμήμα της ηπειρωτικής Στερεάς Ελλάδας. Η Εύβοια είναι το δεύτερο μεγαλύτερο νησί της Ελλάδας μετά την Κρήτη. Το νησί χωρίζεται από την κυρίως χώρα της Ελλάδας από την Ευβοϊκή Θάλασσα, η οποία αποτελείται από δυο μεγάλους κόλπους, τον Βόρειο και τον Νότιο Ευβοϊκό.

Το νησί της Εύβοιας, μετά την εφαρμογή του «Καλλικράτη», αποτελείται από 8 δήμους. Η περιοχή μελέτης της παρούσας εργασίας εντοπίζεται κυρίως στην Κεντρική Εύβοια και συγκεκριμένα στο Δήμο Διρφύων-Μεσσαπίων



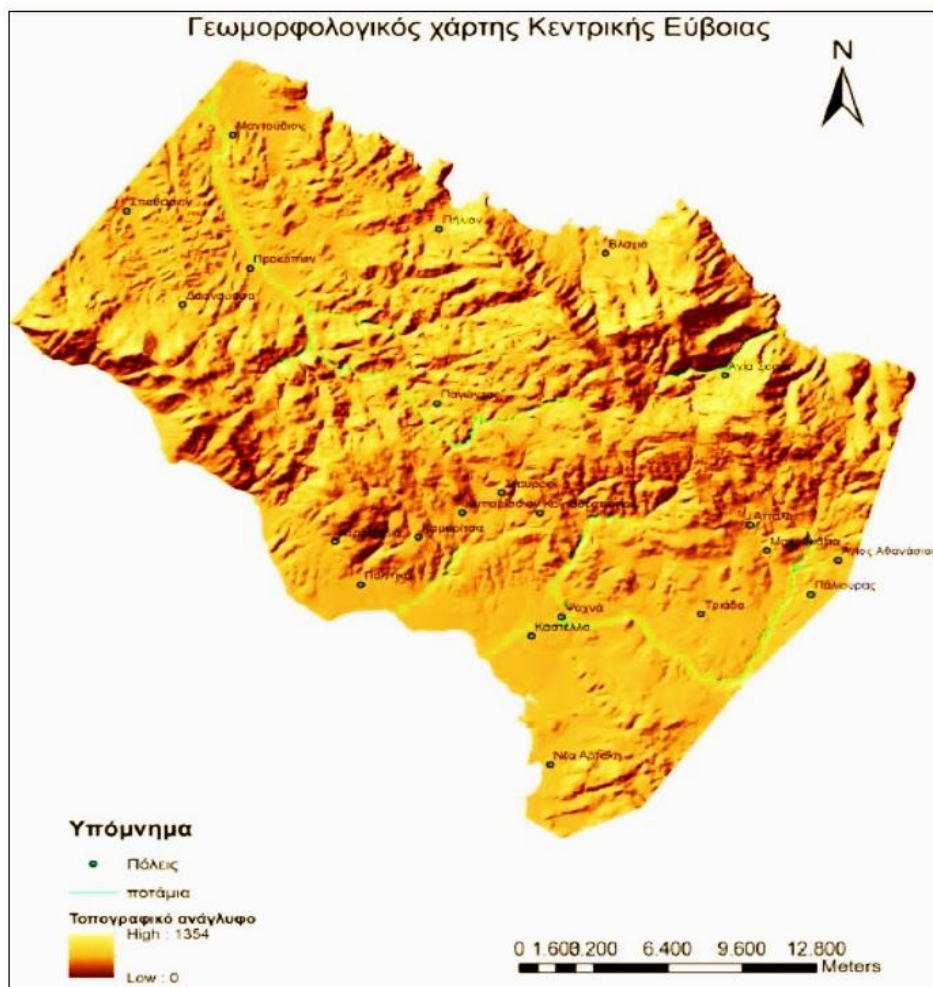
Εικόνα 2.1: Δήμος Διρφύων-Μεσσαπίων (Φιλίππου 2015)

Ο Δήμος Διρφύων-Μεσσαπίων καλύπτει έκταση 779,86 km², καθιστώντας τον, τον μεγαλύτερο σε έκταση δήμο Εύβοιας, ενώ ο πληθυσμός του δήμου ανέρχεται σε 18.800 κατοίκους, σύμφωνα με την απογραφή της ΕΣΥΕ του 2011. Έδρα του δήμου είναι τα Ψαχνά.

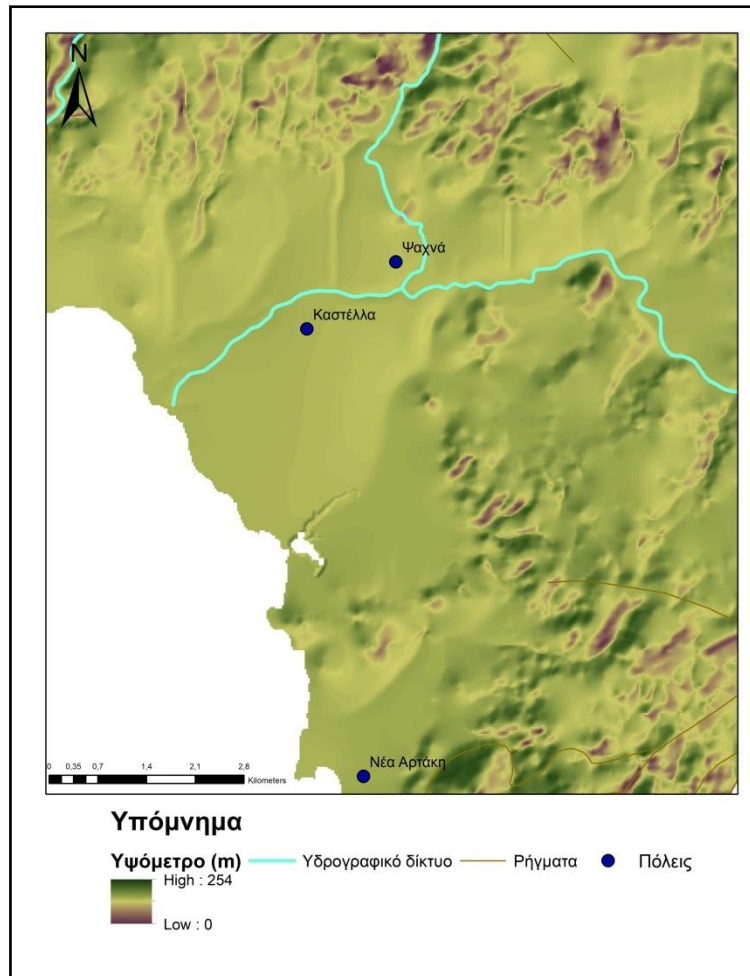
Στα κεντρικά του δήμου απλώνεται η Μεσσαπία πεδιάδα, που αποτελεί κέντρο πολλών δραστηριοτήτων των κατοίκων της περιοχής, ενώ την πεδιάδα διασχίζει ο Μεσσάπιος ποταμός.

2.2 Γεωμορφολογικά Χαρακτηριστικά και Χρήσεις Γης

Παρατηρώντας τις εικόνες 2.2 και 2.3 διακρίνεται ότι στο νότιο τμήμα της Κεντρικής Ευβοίας, γύρω από τις περιοχές Πολιτικών, Ψαχνών, Καστέλας και Αγ. Τριάδας, οι κλίσεις είναι αρκετά ήπιες, ενώ το μέσο υψόμετρο της περιοχής είναι 335 m και η μέση κλίση του τοπογραφικού ανάγλυφου 28% (Βασιλείου, 2013). Αντίθετα, στα βόρεια και δυτικά, το ανάγλυφο είναι αρκετά πιο ορεινό (500-800 m) ενώ νότια και δυτικά απαντάται το μεγαλύτερο υψόμετρο της περιοχής (800-1340 m).



Εικόνα 2.2 Γεωμορφολογικός χάρτης κεντρικής Ευβοίας (Βασιλείου, 2013)



Εικόνα 2.3 Τοπογραφικό ανάγλυφο λεκάνης Ψαχνών, Κεντρικής Ευβοίας

Όσον αφορά στις χρήσεις γης της περιοχής μελέτης, χάρη στη μορφολογία του εδάφους, οι περισσότεροι κάτοικοι της περιοχής απασχολούνται στη γεωργία και την κτηνοτροφία, που εντοπίζονται κατά κύριο λόγο στον κάμπο των Ψαχνών αλλά και των γύρω χωριών της Καστέλας και Μακρυκάπα. Επιπλέον, στην περιοχή υπάρχει έντονη μεταλλευτική δραστηριότητα, η οποία έχει επιβαρύνει το περιβάλλον σποραδικά.

Το μεγαλύτερο τμήμα της περιοχής μελέτης καλύπτεται από μεταβατικές δασώδεις εκτάσεις, δάση κωνοφόρων και αγροτικές καλλιέργειες (Corine, 2012). Τα κυριότερα προϊόντα που παράγονται από τις εκτεταμένες αγροτικές δραστηριότητες στον κάμπο των Ψαχνών Ευβοίας, σύμφωνα με στοιχεία του Οργανισμού Πληρωμών και Ελέγχου Κοινοτικών Ενισχύσεων Προσανατολισμού και Εγγυήσεων (ΟΠΕΚΕΠΕ) (<https://www.opেকেpe.gr/el/>) είναι τα σιτηρά και τα κηπευτικά, ενώ τα δευτερεύοντα προϊόντα είναι ελιές-λάδι και όσπρια. Από επιτόπια έρευνα στην περιοχή μελέτης κατά τις περιόδους δειγματοληψίας, παρατηρήθηκαν σημαντικές καλλιέργειες από καρότα,

πατάτες, μπρόκολα, κρεμμύδια και λάχανα (Parazotos et al., 2019a). Πιο συγκεκριμένα, στην ευρύτερη περιοχή επικρατούν οι καλλιέργειες κηπευτικών, περιμετρικά του κάμπου στα υψηλότερα σημεία, ΒΒΔ του κάμπου κυριαρχεί η ελαιοκαλλιέργεια, ενώ στο ανατολικό τμήμα της περιοχής μελέτης (Τριάδα, Πισσώνας) συναντώνται κατά κύριο λόγο καλλιέργειες σιτηρών και κηπευτικών (Παπαζώτος 2020).

Στην περιοχή αυτή, λόγω των έντονων ανθρωπογενών δραστηριοτήτων, είναι ιδιαίτερα σημαντική η συγκριτική διερεύνηση της ποιότητας των υπόγειων νερών σε σχέση με αυτήν υπόγειων υδατικών συστημάτων που αναπτύσσονται σε περιοχές όπου δεν υπάρχουν ανθρωπογενείς δραστηριότητες, προκειμένου να προσδιοριστεί ο βαθμός επίδρασης των δραστηριοτήτων αυτών. Επιπλέον, στην περιοχή αυτή, υπάρχει σημαντική μεταλλευτική δραστηριότητα και εκμετάλλευση των Fe-Ni-ούχων κοιτασμάτων, η οποία έχει διαμορφώσει ιδιαίτερες περιβαλλοντικές συνθήκες (Μεγρεμή, 2010, Βασιλείου, 2013). Τέλος, στην ευρύτερη περιοχή μελέτης υπάρχουν μεταλλευτικές λίμνες (Βασιλείου, 2013, Βασιλείου κ.α., 2014, Remoundaki et al., 2016), οι οποίες έχουν δημιουργηθεί μετά το πέρας της εκμετάλλευσης, από τις αποθέσεις των στείων υλικών της εκσκαφής και του μεταλλεύματος χαμηλής περιεκτικότητας.

2.3 Γεωλογία της Ευρύτερης Περιοχής της Κεντρικής Εύβοιας

Η περιοχή της Κεντρικής Εύβοιας χαρακτηρίζεται από πληθώρα τεκτονικών ενοτήτων, οι οποίες έχουν γίνει ομογενείς χάρη στην Ανωκρητιδική επίκλυση (Παπανικολάου, 1986). Ειδικότερα, η Κεντρική Εύβοια ανήκει στην «Υποπελαγονική» ζώνη, η οποία βρίσκεται στη δυτική πλευρά της Πελαγονικής ζώνης και εμφανίζεται στην Ανατολική Στερεά Ελλάδα, Βόρεια Αττική, Αργολίδα, Κεντρική και Βόρεια Εύβοια, Όρθυ, ορεινό όγκο της Πίνδου και σε μερικά νησιά των Κυκλάδων (Μουντράκης 1985, Κατσικάτσος 1992, Βουτσης 2011), αλλά και στην Πελαγονική ζώνη.

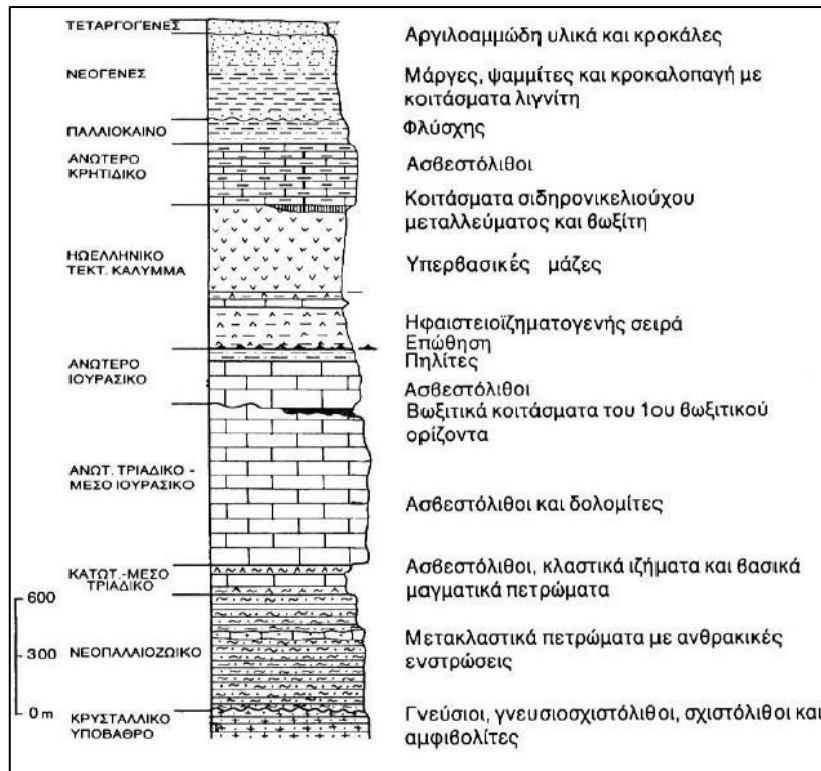
2.3.1 Στρωματογραφία

Στρωματογραφικά, σύμφωνα με τον Κατσικάτσο (1992), στην περιοχή της Βόρειας και Κεντρικής Εύβοιας από κάτω προς τα πάνω απαντώνται οι εξής σχηματισμοί (εικόνα 2.7)

- Το **κρυσταλλικό υπόβαθρο** ηλικίας προ-μέσο-Λιθαναθρακοφόρου.
- **Νεοπαλαιοζωικής ηλικίας σχηματισμοί** (μέσο-άνω Λιθανθρακικού).
- **Ασβαστόλιθοι, κλαστικά ιζήματα και βασικά μαγματικά πετρώματα.**
- **Άνω Τριαδικά – άνω Ιουρασικά κυρίως νηριτικού τύπου ανθρακικά ιζήματα** (ασβεστόλιθοι και δολομίτες).

Η σχιστοκερατολιθική διάπλαση αποτελείται από πηλίτες, μάργες, ψαμμίτες, κερατόλιθους, ραδιολαρίτες, ασβεστόλιθους και οδιολιθικά τεμάχη στα ανώτερα μέλη της, κατά το πλείστον σερπεντινωμένα.

Οι Valeton et al. (1987) επιβεβαιώνουν τα παραπάνω, ενώ όπως φαίνεται στην εικόνα 8. Η σχιστοκερατολιθική διάπλαση στο ανώτερο τμήμα της παίρνει τη μορφή τεκτονικού μίγματος (mélange) που υπόκεινται του καλύμματος των οφιολίθων.

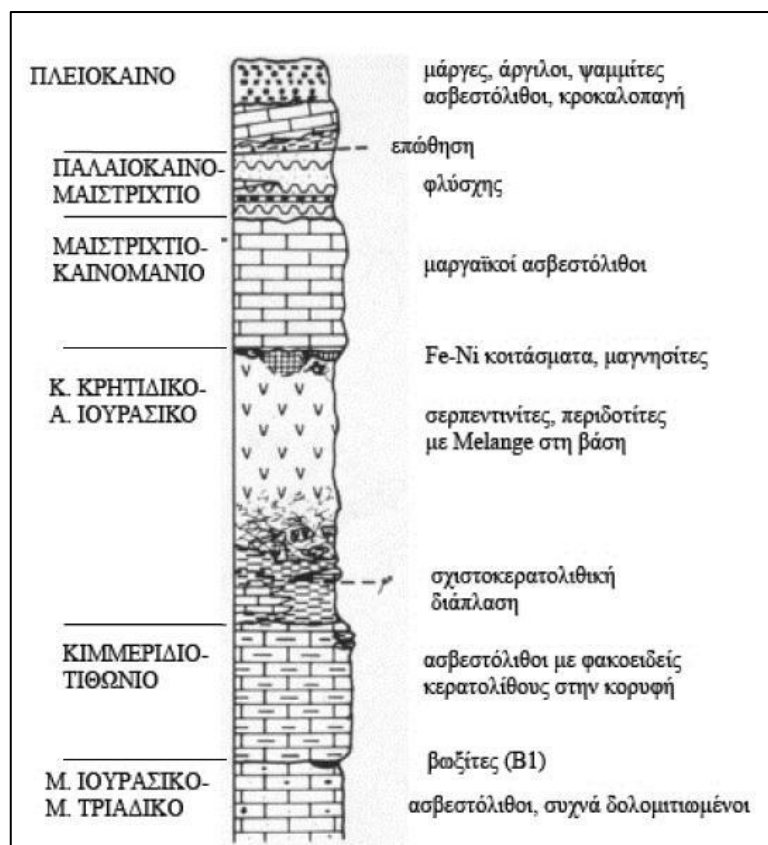


Εικόνα 2.4 Στρωματογραφική στήλη της Πελαγονικής της Κεντρικής και Βόρειας Εύβοιας (Katsikatsos et al. 1986)

Το τεκτονικό αυτό μείγμα αποτελείται από σερπεντινίτες στη κύρια μάζα και από ένα μπλόκ πετρωμάτων όπως κερατόλιθοι, αμφιβολίτες, ψαμμίτες και ασβεστόλιθοι, το οποίο είναι όμοιο με άλλες αποθέσεις *mélange* στην Ελλάδα (Κεντρική Ελλάδα, περιοχή Όρθυος, Δειναρίδες). Στην Εύβοια, η πιο χαρακτηριστική εμφάνιση αυτού του μείγματος είναι στην περιοχή Πάγωντας (*Pagodas mélangé*) (Robertson 1991, Βούτσης 2011).

Οι οφιόλιθοι της Εύβοιας έχουν μελετηθεί εκτεταμένα και έχουν περιγραφεί μάζες που περιλαμβάνουν βασικά και υπερβασικά πετρώματα. Από πετρολογικής άποψης, ο βασικός τύπος που επικρατεί στο οφιολιθικό σύμπλεγμα της Εύβοιας είναι οι σερπεντινωμένοι περιδοτίτες, οι οποίοι εγκλείουν κοιτάσματα λευκόλιθου και σε μερικές περιπτώσεις κοιτάσματα χρωμίτη (Κατσικάτσος 1992). Προηγούμενες έρευνες έδειξαν ότι τα υπερβασικά πετρώματα της Εύβοιας διακρίνονται σε σερπεντινίτες, δουνίτες, χαρτζουργίτες και λερζόλιθους (Valeton et al. 1987, Γκάρτζος κ.α. 1994).

Σύμφωνα με τον Παπανικολαου, οι οφιόλιθοι της Κεντρικής και Βόρειας Εύβοιας, ανήκουν στο τεκτοστρωματογραφικό πεδίο H4 (πεδίο Vardar-Αξιού) και η τεκτονική τοποθέτησή τους έλαβε χώρα κατά το Ιουρασικό-Κάτω Κρητιδικό.

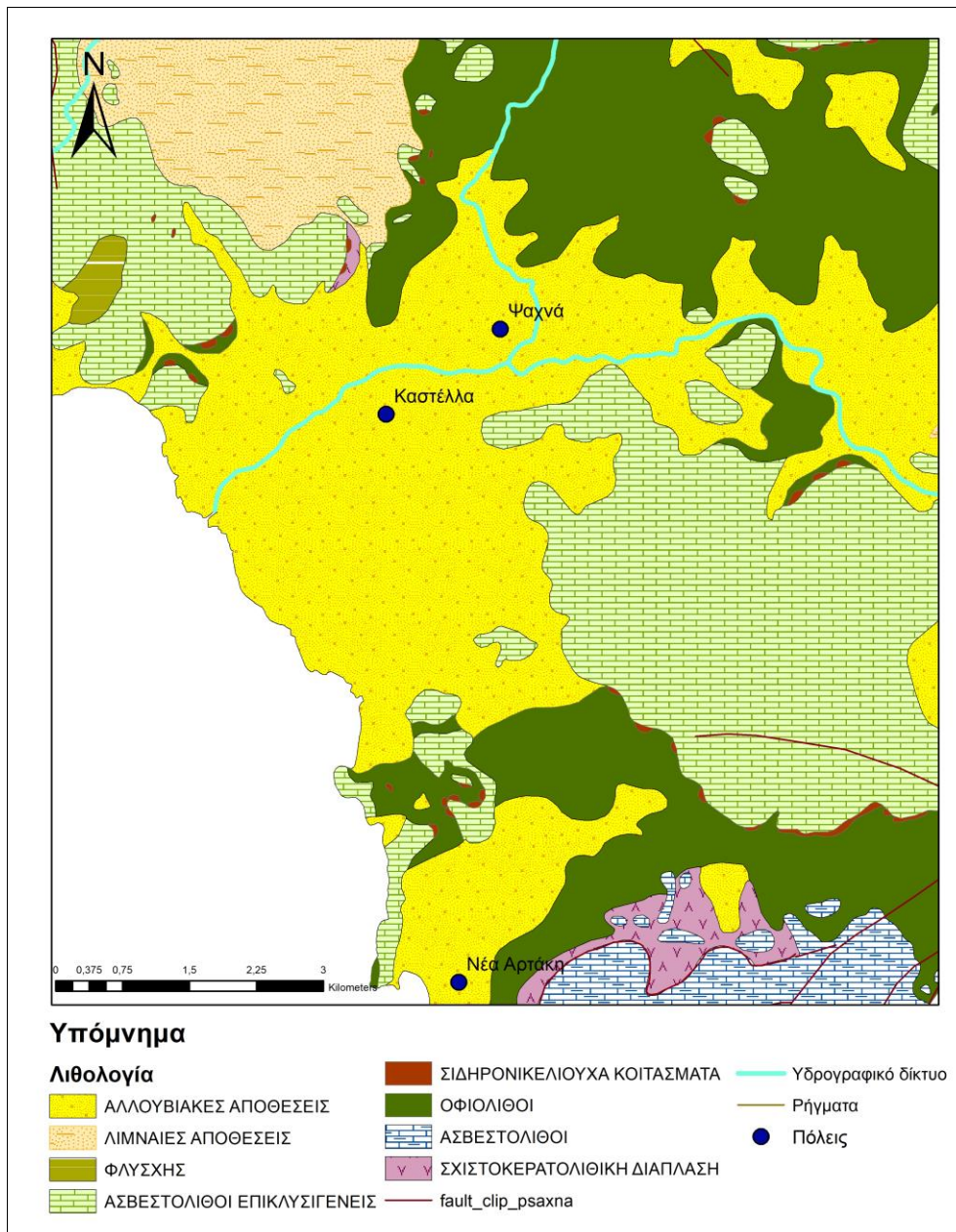


Εικόνα 2.5 Στρωματογραφική θέση των σερπεντινιτών, περιδοτιτών, του στο κάτω μέρος του οφιολιθικού καλύμματος και των Fe-Ni κοιτασμάτων (Valenton et al. 1987)

Στη συνέχεια βρίσκονται οι Ανωκρητιδικοί επικλυσιογενείς ασβεστόλιθοι, στη βάση αυτών των οποίων απαντώνται συχνά μεγάλα κοιτάσματα σιδηρονικελιούχου μεταλλεύματος (Κατσικάτσος 1992). Οι ασβεστόλιθοι του ορίζοντα αυτού είναι άλλοτε νηριτικοί (με ρουδιστές) και άλλοτε πελαγικοί μαργαϊκοί, μέσα στους οποίους παρεμβάλλονται μικτού μήκους ψαμμίτικα και μαργαϊκά στρώματα (Μουντράκης 1985). Οι μαιστριχτιακοί ασβεστόλιθοι μεταβαίνουν βαθμιαία προς τα πάνω σε ιζήματα φλύσχη. Σύμφωνα με τον Αλμπαντάκη (1974) η επαφή των Ανωκρητιδικών ασβεστολίθων και του φλύσχη είναι κυρίως τεκτονική. Οι Κατσικάτσος κ.α. (1969) ισχυρίζονται ότι τα ιζήματα του φλύσχη αναπτύσσονται σύμφωνα επί της Άνω-Κρητιδικής ασβεστολιθικής σειράς στην Κεντρική Εύβοια. Ο φλύσχη αποτελείται κυρίως από ψαμμίτες, αργλικούς ασβεστόλιθους και σπανιότερα κροκαλοπαγή (Guert 1975, Robertson 1990, Βούτσης 2011). Ακολουθούν τα νεογενή ιζήματα, τα οποία παρουσιάζουν παρόμοια λιθολογία με μια κατώτερη ακολουθία λιμναίων ιζημάτων συχνά με λιγνιτικές ενδιαστρώσεις και μια ανώτερη ακολουθία από ποτάμια ιζήματα. Τα νεογενή αυτά ιζήματα συχνά εγκλείουν κοιτάσματα λιγνίτη (Katsikatsos et al. 1981). Τέλος συναντάμε τις Τεταρτογενείς αποθέσεις της Εύβοιας, οι

οποίες διακρίνονται σε αλλουβιακές αποθέσεις, κώνους κορημάτων, υλικά χειμαρρωδών αναβαθμίδων και παράκτιους σχηματισμούς

Ειδικότερα, στις περιοχές Αρτάκης-Αφράτης-Ψαχνών-Πολιτικών που αφορούν τη συγκεκριμένη μελέτη, απαντώνται Μεσοτριάδικοί-Ιουρασικοί ασβεστόλιθοι και δολομίτες στους οποίους υπέρκειται οι σχηματισμοί του Προ-ανω-κρητιδικού καλύμματος. Διαμελισμένες μάζες υπερβασικών πετρωμάτων (σερπεντινωμένοι χαρτζβουργίτες και κάποιοι λερζόλιθοι) βρίσκονται έντονα επωθημένες πάνω στους ασβεστόλιθους. Οι Άνω-Κρητιδικοί επικλυσιογενείς ασβεστόλιθοι υπέρκειται των υπερβασικών πετρωμάτων.



Εικόνα 2.6 Γεωλογικός χάρτης της λεκάνης των Ψαχνών, Κεντρικής Ευβοίας

2.4 Υδρογεωλογία της περιοχής

Δύο κύριες ομάδες πετρωμάτων διακρίνονται στη περιοχή έρευνας από υδρολογικής απόψεως. Στην πρώτη ομάδα εντάσσονται τα κοκκώδη πετρώματα, η διαπερατότητα των οποίων οφείλεται στα κενά μεταξύ των κόκκων των πετρωμάτων και είναι σχηματισμοί του Τεταρτογενούς-Νεογενούς. Στη δεύτερη ομάδα εντάσσονται τα συμπαγή πετρώματα όπως οι οφιόλιθοι και οι ασβεστόλιθοι της περιοχής, των οποίων η διαπερατότητα οφείλεται στις ρωγματώσεις, διαρρήξεις, στους καρστικούς αγωγούς και σε

άλλες ασυνέχειες που υπάρχουν στη μάζα τους (Φιλίππου 2015). Με βάση τις ενότητες πετρωμάτων εντός των οποίων αναπτύσσονται, οι υδροφόροι ορίζοντες της περιοχής είναι οι εξής (Βασιλείου 2013):

Οι **υδροφόροι προσχωματικών αποθέσεων**, οι οποίοι αναπτύσσονται στην περιοχή του δέλτα των ποταμών Μεσσάπιου και Λίλαντα. Ορίζοντες μικρής δυναμικότητας διαμορφώνονται στις Τεταρτογενείς αποθέσεις που συναντώνται σε μεγάλα υψόμετρα και έχουν ως υπόβαθρο υδροστεγανούς σχηματισμούς. Οι υδροφόροι των Τεταρτογενών αποθέσεων είναι γενικά ελεύθεροι και μόνο όταν μεταπίπτουν στην περιοχή του δέλτα μετατρέπονται σε υπό πίεση.

Οι **υδροφόροι συνεκτικών πετρωμάτων του Νεογενούς** είναι επάλληλοι υδροφόροι σχηματισμοί, υπό πίεση, μικρής έως μέτριας δυναμικότητας. Οι Νεογενείς σχηματισμοί εντοπίζονται νότια του χωριού Κοντοδεσπότι, ενώ οι Τεταρτογενείς σχηματισμοί μεταξύ των οικισμών Ψαχνών και Καστέλλας, αλλά και στα Πολιτικά. Οι συγκεκριμένοι σχηματισμοί διακρίνονται από έντονη υδροφορία σε ρηγματογενείς ζώνες και ιδιαίτερα όταν πρόκειται για κροκαλοπαγή ή ψαμμίτες (Μεγρεμή 2010).

Οι **καρστικοί υδροφόροι**, δηλαδή οι υδροφόροι ορίζοντες των ανθρακικών πετρωμάτων και συγκεκριμένα των Άνω Κρητιδικών ασβεστολίθων της περιοχής, είναι αρκετά δυναμικοί (Τσιούμα και Ζόραπα 2002). Οι ορίζοντες αυτοί διοχετεύουν νερό στις προσχώσεις της περιοχής, εντός των οποίων τα διανοιχθέντα αβαθή φρέατα παρουσιάζουν μεγάλη υδροδυναμικότητα και καλή ποιότητα νερού (Κακαβάς 1978). Η δυναμικότητα του σχηματισμού καθορίζεται από το δευτερογενές πορώδες και κυρίως από την τεκτονική καταπόνηση και των μορφών ανάπτυξης καρστικής διάβρωσης (Βασιλείου 2013). Αντίστοιχα, οι Ιουρασικοί-Τριαδικοί ασβεστόλιθοι εκφορτίζονται κυρίως μέσω μεγάλων πηγών, ενώ το καρστικό σύστημα που αναπτύσσεται εντός αυτών, το εκμεταλλεύεται ο Δήμος Χαλκιδέων μέσω γεωτρήσεων (Κακαβάς 1978)).

Οι **υδροφόροι σχιστοκερατολιθικής διάπλασης με οφιόλιθους**, των οποίων η περατότητα τους είναι μικρή και εντοπίζεται είτε στα ανώτερα στρώματα λόγω της αποσάρθρωσης, είτε στα βαθύτερα στρώματα κατά μήκος των τεκτονικών διαρρήξεων. Γενικά το βάθος τους δεν υπερβαίνει τα 50 m, και ενώ πολλά πηγάδια των Ψαχνών και της

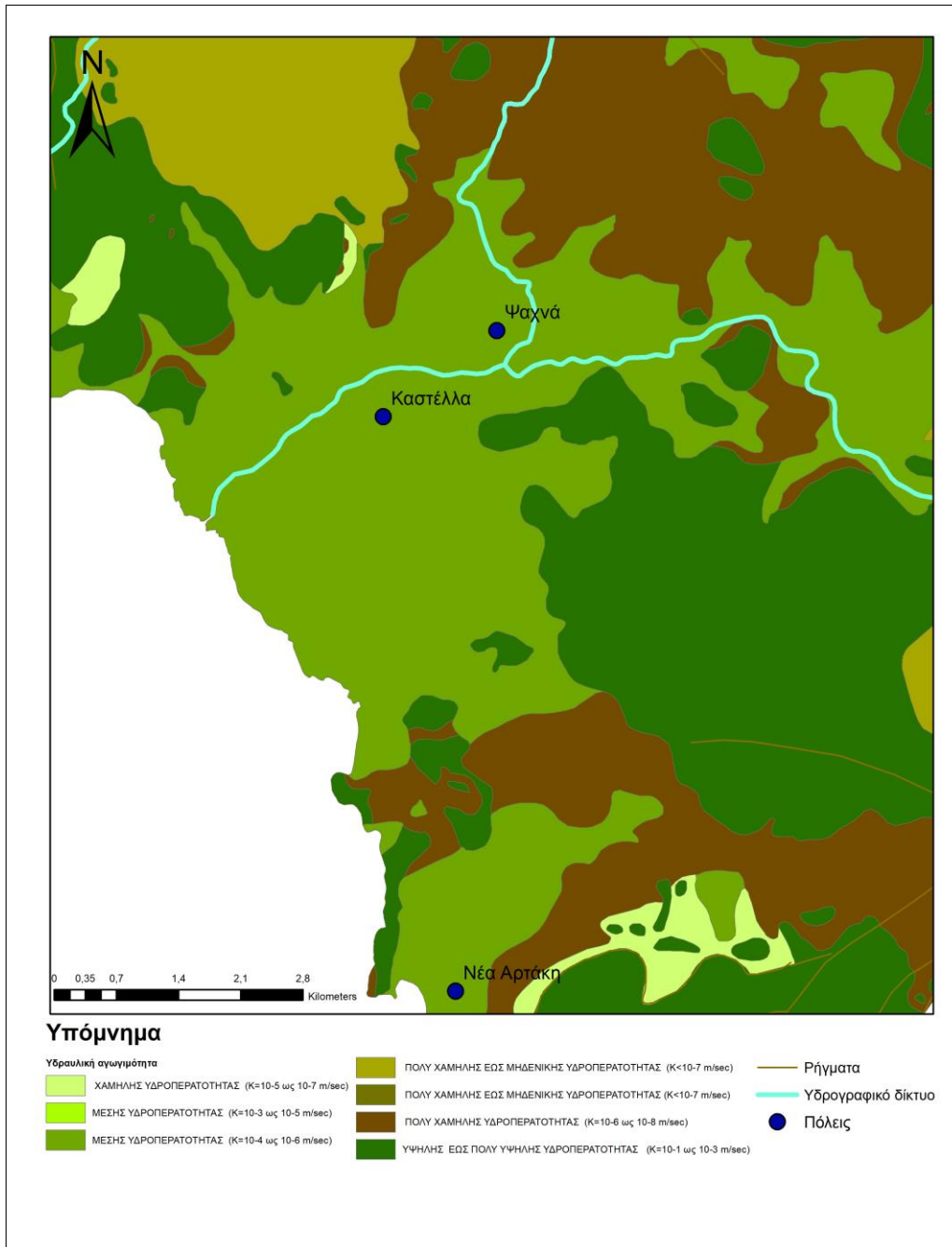
Αγ. Τριάδας εκμεταλλεύονται αυτούς τους υδροφόρους, η απόδοσή τους είναι μικρή (Φιλίππου 2015).

2.4.1 Προσχωματική Λεκάνη Ψαχνών

Στην περιοχή των προσχώσεων της λεκάνης των Ψαχνών, ο προσχωματικός υδροφόρος που αναπτύσσεται στην παράκτια ζώνη της λεκάνης έχει υψόμετρο περίπου 40 m και έκταση περίπου 23,98 km². Δύο τμήματα μπορούμε να διακρίνουμε μορφολογικά στη περιοχή, το χαμηλό πεδινό έως ημιορεινό τμήμα με χαμηλό ανάγλυφο και το υψηλό ορεινό, με ισχυρό ανάγλυφο (Βασιλείου 2013).

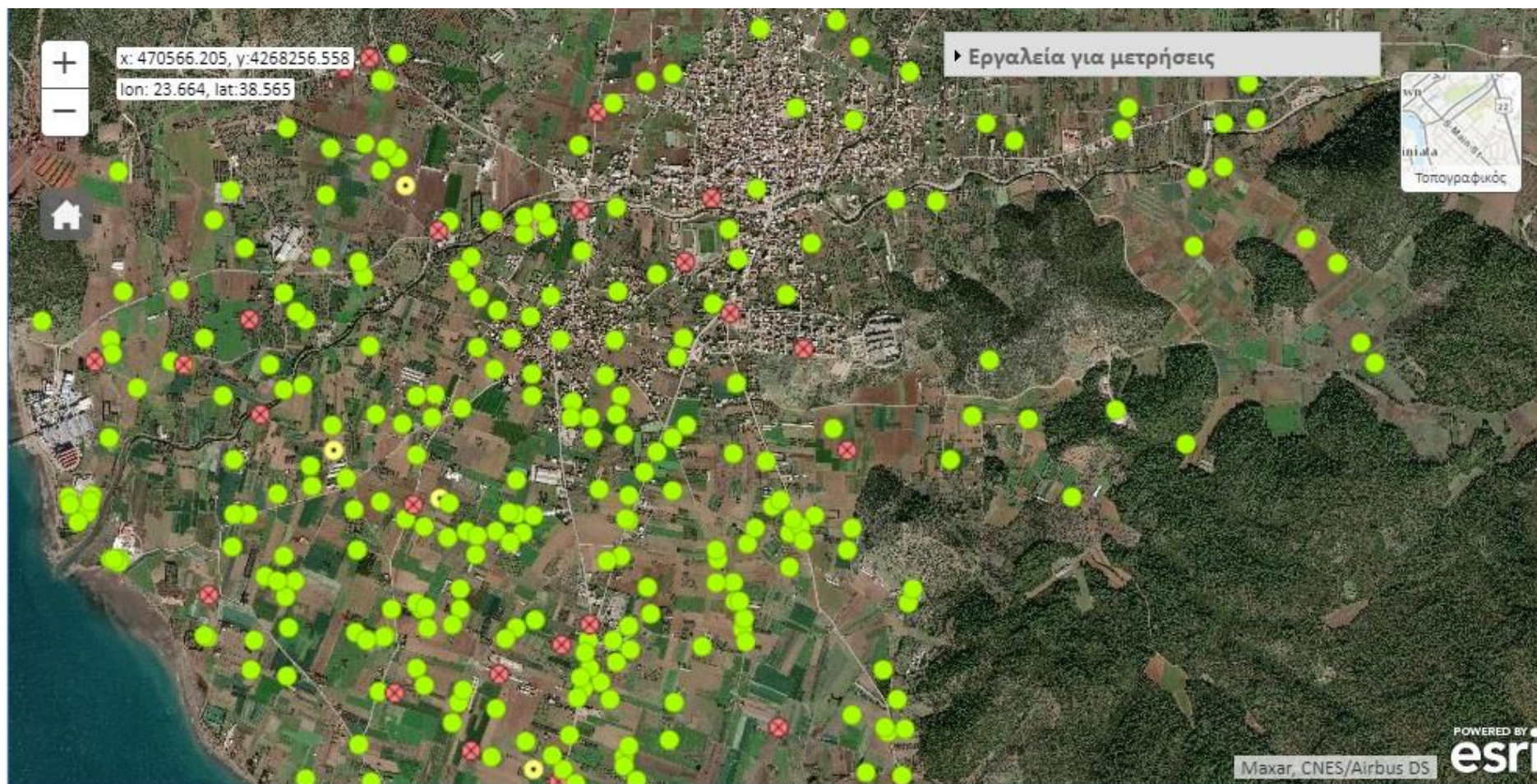
Στις Τεταρτογενείς αποθέσεις, όπου αυτές εμφανίζουν σημαντικό πάχος και σύσταση αδρομερούς υλικού, αναπτύσσονται προσχωματικοί υδροφόροι οριζόντες ικανοποιητικής απόδοσης (Βασιλείου 2013). Οι προσχωματικοί υδροφόροι τροφοδοτούνται μέσω των διαφόρων κατακρημνίσεων, από την επιφανειακή απορροή των χειμάρρων και από υπόγεια τροφοδοσία νερού από παράπλευρους καρστικούς σχηματισμούς.

Στους νεογενείς σχηματισμούς αναπτύσσονται υδροφόροι επάλληλοι, υπό πίεση και μικρής δυναμικότητας, με κατά τόπους κατακόρυφη και πλευρική επικοινωνία. Οι απολήψεις πραγματοποιούνται σε μεγάλο αριθμό πηγαδιών και γεωτρήσεων, με μέγιστο βάθος 70 m. Στους σχηματισμούς αυτούς αναπτύσσεται υδροφορία μέτριας δυναμικότητας, η οποία εκδηλώνεται με την εμφάνιση πηγών. Ειδικά στα κροκαλοπαγή, οι γεωτρήσεις που έχουν διανοιχθεί φθάνουν τα 150 -200 m και είναι κυρίως υδρευτικές (ΙΓΜΕ Γ' ΚΠΣ 2010, Φιλίππου 2015)



Εικόνα 2.7 Υδρολιθολογικός χάρτης της λεκάνης των Ψαχνών, Κεντρικής Ευβοίας

Τέλος, οι προσχωματικοί υδροφόροι βρίσκονται υπό καθεστώς εντατικής εκμετάλλευσης για αρδευτικούς σκοπούς, καθώς η αγροτική δραστηριότητα της περιοχής είναι ιδιαίτερα ανεπτυγμένη. Οι υπεραντλήσεις έχουν προκαλέσει υφαλμύριση των νερών στη παράκτια ζώνη (ΙΓΜΕ Γ' ΚΠΣ 2010). Αξιοσημείωτο είναι το πλήθος των γεωτρήσεων και πηγαδιών που έχουν ανορυχθεί στην περιοχή (Εικόνα 2.8), σύμφωνα με επίσημα στοιχεία του Εθνικού Μητρώου Σημείων Υδροληψίας από την Ειδική Γραμματεία Υδάτων του ΥΠΕΚΑ.



Εικόνα 2.8 Αρδευτικές γεωτρήσεις της λεκάνης των Ψαχνών, Κεντρικής Ευβοίας (πράσινο: ενεργές, κόκκινο: ανενεργές, πηγή: ΥΠΕΚΑ)

3 Έδαφος

3.1 Γένεση του εδάφους

Το μη στερεό ορυκτό ή οργανικό υλικό στην επιφάνεια της Γης που έχει υποστεί επιδράσεις γενετικών (μακρο- και μικροοργανισμών) και περιβαλλοντικών παραγόντων (κλίμα), οι οποίοι ενεργούν σε μητρικό υλικό για μια χρονική περίοδο, ονομάζεται έδαφος. Ένα προϊόν-έδαφος διαφέρει από το υλικό από το οποίο προέρχεται σε πολλές φυσικές, χημικές, βιολογικές και μορφολογικές ιδιότητες και χαρακτηριστικά. Το έδαφος χρησιμεύει ως ένα φυσικό μέσο για την ανάπτυξη των χερσαίων φυτών. Συνεπώς το έδαφος είναι ένα ανοικτό φυσικό δυναμικό σύστημα (Αλιφραγκής 2008).

Σύμφωνα με τον ορισμό αυτό, οι ιδιότητες του εδάφους εξαρτώνται από ανεξάρτητες παραμέτρους. Οι παράμετροι αυτοί αναφέρονται ως παράγοντες εδαφογένεσης. Η σχέση μεταξύ των παραγόντων της εδαφογένεσης και των εδαφικών ιδιοτήτων μπορεί να παρασταθεί από την πιο κάτω συνάρτηση, γνωστή ως εξίσωση του Jenny (1941, 1958).

$s = f(p, r, c, o, t, \dots)$, όπου:

s = εδαφική ιδιότητα

p, r, c, o, t = παράγοντες εδαφογένεσης

- (p) = μητρικό υλικό
- (r) = τοπογραφία
- (c) = κλίμα
- (o) = οργανισμοί
- (t) = χρόνος
- Οι τελείες υποδηλώνουν άλλους παράγοντες

Ως μητρικό υλικό ορίζεται το θρυμματισμένο υλικό το οποίο προέρχεται από αποσάθρωση πετρωμάτων και έχει υποστεί μικρή επίδραση, κυρίως από το κλίμα. Ενδέχεται να προέρχεται από θρυμματισμένα υλικά του υποκείμενου πετρώματος, άρα μιλάμε για αυτόχθονα εδάφη ή από ήδη θρυμματισμένα ασύνδετα υλικά, που

μεταφέρθηκαν από την αρχική τους θέση, οπότε πρόκειται για αλλόχθονα εδάφη. Το μητρικό πέτρωμα επηρεάζει τις ιδιότητες του μητρικού υλικού και άρα τις ιδιότητες του εδάφους, που θα σχηματιστεί. Στην Ελλάδα το 32% της επιφάνειας της είναι καλυμμένη με εδάφη που έχουν ως μητρικό πέτρωμα ασβεστολιθικό. Με τον όρο κλίμα εννοούμε τις κλιματικές συνθήκες που επικρατούν στο τμήμα της ατμόσφαιρας που υπέρκειται του υπό μελέτη εδάφους καθώς και τα χαρακτηριστικά που επηρεάζουν την εξέλιξη των εδαφικών συστημάτων (πχ θερμοκρασία, υγρασία). Το κλίμα καθορίζει την φύση των προϊόντων αποσάθρωσης. Το τοπογραφικό ανάγλυφο επηρεάζει τις διεργασίες εδαφογένεσης είτε ανεξάρτητα, είτε σε συνδυασμό με άλλους παράγοντες. Σημαντικό ρόλο στην μεταβολή του εδάφους παίζει και ο χρόνος. Οι μεταβολές αυτές είναι γρηγορότερες από τις γεωλογικές αλλά αρκετά αργές για να τις αντιληφθεί ο άνθρωπος. Χαρακτηριστικό είναι ότι για να δημιουργηθούν 30 cm εδάφους, χρειάζονται μερικές εκατοντάδες χρόνια. Τέλος, ως «οργανισμοί» αναφέρονται τόσο οι φυτικοί, όσο και οι ζωικοί, που συνήθως δεν αποτελούν ανεξάρτητη μεταβλητή, καθώς επηρεάζονται τόσο από το κλίμα, όσο και από το έδαφος.

Ο ελάχιστος όγκος εδάφους στον οποίο μπορούμε να περιγράψουμε μορφολογικά χαρακτηριστικά (χρώμα, δομή, ορίζοντες κ.τ.λ.), δηλαδή μπορούμε να διακρίνουμε ζώνες σε μια κατακόρυφη τομή του και στον οποίο μπορεί να αναπτυχθούν φυτά ονομάζεται εδαφικό πέδο (pedon). Η κατακόρυφη τομή ενός πέδου ονομάζεται εδαφοτομή (soil profile). Εκτείνεται από την επιφάνεια του εδάφους έως και το τμήμα του μητρικού υλικού.

Εδαφικές ιδιότητες όπως η κοκκομετρική σύσταση, το χρώμα, η δομή και άλλα εδαφικά χαρακτηριστικά (εξανθήσεις, επικαλύψεις κ.τ.λ), διαφοροποιούνται κατά βάθος σε ζώνες. Οι ζώνες αυτές ορίζονται ως εδαφικοί ορίζοντες, όταν αυτές είναι προϊόντα εδαφογενετικών διεργασιών, ή λιθολογικές στρώσεις, εάν είναι κληροδοτήματα από το μητρικό υλικό. Οι εδαφικοί ορίζοντες επομένως είναι στρώσεις εδάφους, παράλληλοι προς την επιφάνεια του εδάφους, οι οποίοι μπορεί να διαφέρουν μεταξύ τους μακροσκοπικά αλλά σχετίζονται εδαφογενετικά.

Το έδαφος αποτελείται από πέντε βασικούς ορίζοντες, τον O, τον A, τον E, τον B και τον C. Υπάρχει επίσης και ο ορίζοντας R, που συμβολίζει το μητρικό πέτρωμα.

Ο **ορίζοντας O** είναι οργανικός ορίζοντας που επικάθεται στο ανόργανο έδαφος. Προέρχεται από νεκρά φυτικά υπολείμματα. Ορίζοντας O σχηματίζεται στα δασικά οικοσυστήματα και είναι ταυτόσημος με τον όρο εδαφικός τάπητας.

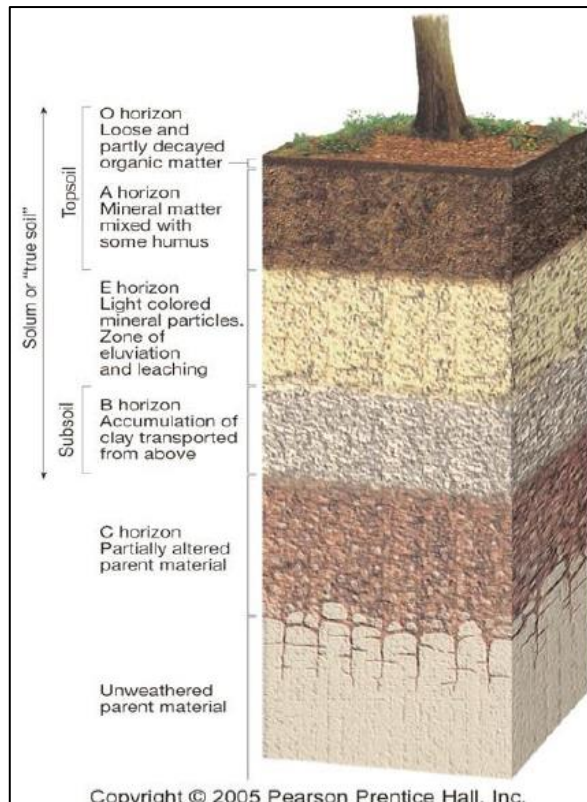
Ο **ορίζοντας A** είναι επιφανειακός, πλούσιος σε οργανική ουσία ορίζοντας με σκούρο χρώμα. Συνήθως, ο ορίζοντας A έχει μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε άμμο και μικρότερη σε άργιλο σε σχέση με τους υποκείμενους ορίζοντες. Αυτό οφείλεται είτε στην ενδοεδαφική μετακίνηση των λεπτόκοκκων τεμαχιδίων της αργίλου, είτε στη διάβρωση και την απομάκρυνση τους.

Ο **ορίζοντας E** ανήκει στη ζώνη της μέγιστης έκπλυσης και μετακίνησης αργίλου οξειδίων του σιδήρου και αργίλου (eluviation zone). Η έκπλυση αυτή έχει ως αποτέλεσμα τη σχετική αύξηση των υλικών που αντιστέκονται στη μετακίνηση, όπως είναι ο χαλαζίας, η άμμος και η ιλύς. Ο ορίζοντας αυτός είναι περισσότερο ανοικτού χρώματος σε σχέση με τον υπερκείμενο A ορίζοντα και τον υποκείμενο B ορίζοντα. Οι ορίζοντες αυτοί εμφανίζονται κυρίως στα όξινα εδάφη.

Ο **ορίζοντας B** είναι υποεπιφανειακός ορίζοντας. Τα υλικά από τα οποία αποτελείται ο ορίζοντας αυτός παρουσιάζουν μεγάλη διαφορά σε σχέση με από τα οποία αποτελούνται τα μητρικά υλικά, καθώς και με αυτά του ορίζοντα A. Σε πολλές περιπτώσεις στον ορίζοντα αυτόν αποτίθενται τα υλικά που εκπλύνονται από τους υπερκείμενους ορίζοντες O, A και E. Στις υγρές περιοχές, στον ορίζοντα B συσσωρεύονται μεγάλες ποσότητες υλικών όπως οξείδια του σιδήρου και αργίλου καθώς και άργιλος. Στις ξηρές περιοχές, παρατηρείται συσσώρευση CaCO_3 και CaSO_4 .

Ο **ορίζοντας C** αποτελείται από το αποσαθρωμένο υλικό που βρίσκεται κάτω από τον B ορίζοντα και το οποίο δεν έχει μεταβληθεί σημαντικά από τις εδαφογενετικές διεργασίες ώστε να μετατραπεί σε B ορίζοντα και διατηρεί ορισμένες από τις βασικές ιδιότητες του μητρικού πετρώματος. Ο ορίζοντας C σε ορισμένες περιπτώσεις είναι το μητρικό υλικό από το οποίο προέρχεται το έδαφος ενώ σε άλλες όχι.

Τέλος, ο **ορίζοντας R** είναι το μη αποσαθρωμένο ή ελαφρά αποσαθρωμένο πέτρωμα το οποίο με την πάροδο της αποσάθρωσης θα μετατραπεί σε C ορίζοντα.



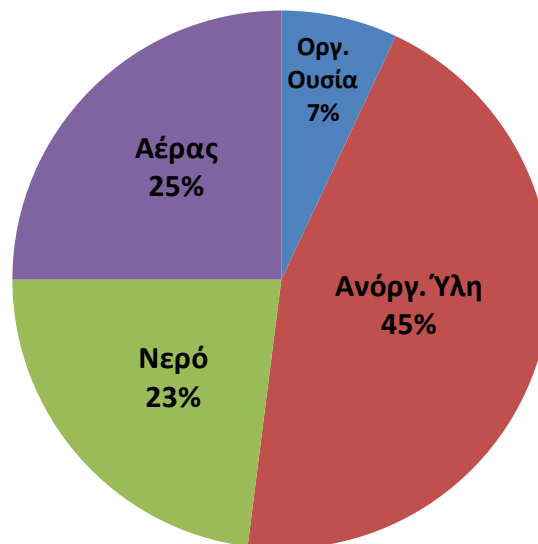
Εικόνα 3.1 Εδαφικοί ορίζοντες (πηγή: www.vassoils.weebly.com/horizons.html)

Εξαιτίας των αυξημένων πιέσεων που δέχεται το έδαφος από τις διάφορες χρήσεις γης, είναι σημαντική η διερεύνηση της ποιότητας του εδάφους. Ως ποιότητα του εδάφους ορίζεται «η ικανότητα του εδάφους να διατηρεί την παραγωγικότητα των φυτών και των ζώων, να βελτιώνει την ποιότητα του νερού και του αέρα, καθώς και να υποστηρίζει την υγεία του ανθρώπου και του περιβάλλοντος, ανεξάρτητα αν το έδαφος αποτελεί μέρος ενός φυσικού ή διαχειριζόμενου οικοσυστήματος» (Karlen et al. , 1997) δηλαδή η ποιότητα του εδάφους είναι το αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης των φυσικών, χημικών και βιολογικών ιδιοτήτων του (Αλιφραγκής 2008).

Οι βασικές λειτουργίες του εδάφους είναι η ροή και η αποθήκευση του νερού, η παροχή φυσικής σταθερότητας και στήριξης, η συμμετοχή στην κίνηση διαφόρων θρεπτικών στοιχείων, το φιλτράρισμα πιθανών τοξικών στοιχείων και η διατήρηση της βιοποικιλότητας. Οι λειτουργίες αυτές δε μπορούν να συμπεριληφθούν όλες σε έναν και μοναδικό δείκτη ποιότητας, αλλά ανάλογα με τη χρήση του εδάφους επιλέγεται κάποια από τις παραπάνω δραστηριότητες για την αξιολόγηση της ποιότητας του. Γι' αυτό, ορίζεται πάντα εκ των προτέρων ο στόχος της δραστηριότητας (Rowell D. I. 1994, Σακκαλής 2011).

3.2 Σύσταση του εδάφους

Το έδαφος αποτελείται από τέσσερα κύρια συστατικά, τα ανόργανα συστατικά, την οργανική ουσία, το νερό και τον αέρα. Τα ανόργανα συστατικά του εδάφους είναι τεμαχίδια πετρωμάτων, πρωτογενή και δευτερογενή ορυκτά, καθώς και διάφορα άλλα υλικά, όπως άμορφα οξείδια και υδροξείδια. Τα οργανικά συστατικά αποτελούνται από την πανίδα του εδάφους, την χλωρίδα, τις ρίζες και τα οργανικά υπολείμματα σε διάφορα στάδια αποσύνθεσης.



Διάγραμμα 3.1 Μέση σύσταση λιβαδικού εδάφους κ.ο. (πηγή: Αλιφραγκής 2008)

Για τη μελέτη της κοκκομετρικής σύστασης των εδαφών, γίνεται κατάταξη των τεμαχιδίων (κόκκων) του σε κατηγορίες ανάλογα με το μέγεθός τους και ανεξάρτητα από τη χημική και ορυκτολογική τους σύσταση. Οι ομάδες αυτές ονομάζονται μηχανικά κλάσματα (soil separates). Η πρώτη ομάδα περιλαμβάνει τεμαχίδια με διάμετρο μεγαλύτερη από 2 mm και αναφέρονται σα χονδρόκοκκα υλικά (coarse fragments) και η δεύτερη ομάδα περιλαμβάνει τεμαχίδια με διάμετρο μικρότερη από 2 mm και αναφέρονται σαν λεπτή γη (fine earth). Τα τεμαχίδια που είναι μεγαλύτερα από 2 mm, υποδιαιρούνται στις παρακάτω ομάδες:

Πίνακας 3.1 Κλάσεις χονδρόκοκκων υλικών

Ομάδα	Διάμετρος (mm)
Πολύ λεπτά χαλίκια	2-5
Λεπτά χαλίκια	5-20
Χονδρά χαλίκια	20-75
Πέτρες	75-250
Λίθοι	250-600
Βράχοι	>600

Η σημαντικότερη επίδραση των χονδρόκοκκων υλικών στις εδαφικές ιδιότητες είναι η μείωση του όγκου του εδάφους που είναι διαθέσιμος για την κίνηση του νερού, του αέρα και των ριζών.

Τα τεμαχίδια που είναι μικρότερα από 2 mm, κατατάσσονται σε τρεις ομάδες μηχανικών κλασμάτων

Πίνακας 3.2 Μηχανικά Κλάσματα (Μουστάκας, 2009)

Ομάδα	Διάμετρος (mm)
Άμμος (S)	2,00 – 0,05
Ιλύς (Si)	0,05 – 0,002
Άργιλος (C)	<0,002

Η Άμμος (S) περιλαμβάνει τεμαχίδια από 2 mm έως 0,05 mm και υποδιαιρείται στις παρακάτω ομάδες:

Πίνακας 3.3 Υποδιαιρέσεις κλάσματος άμμου (Μουστάκας, 2009)

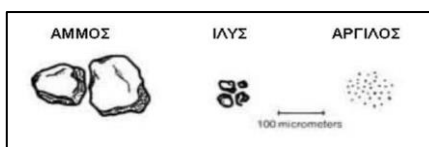
Ομάδα	Διάμετρος (mm)
Πολύ χονδρή άμμος	2,00 – 1,00
Χονδρή άμμος	1,00 – 0,50
Μέση άμμος	0,50 – 0,25
Λεπτή άμμος	0,25 – 0,10
Πολύ λεπτή άμμος	0,10 – 0,05

Κάθε μηχανικό κλάσμα εδάφους έχει διαφορετικές φυσικές και χημικές ιδιότητες. Τα κλάσματα της άμμου έχουν πολύ μικρή ειδική επιφάνεια, στερούνται πλαστικότητας, συνοχής και συνάφειας, έχουν πολύ μικρή ικανότητα συγκράτησης νερού και επιτρέπουν την απρόσκοπτη κίνηση του νερού και του αέρα. Επομένως, εδάφη με μεγάλα ποσοστά άμμου έχουν ευνοϊκές συνθήκες στράγγισης και αερισμού. Από ορυκτολογικής άποψης, το κλάσμα της άμμου αποτελείται από πρωτογενή ορυκτά, κυρίως χαλαζία και δευτερευόντως από αστρίους και μαρμαρυγίες. Οι κόκκοι της άμμου είναι ορατοί με γυμνό μάτι.

Η ιλύς είναι πιο λεπτόκοκκη συγκριτικά με την άμμο, συνεπώς η ειδική της επιφάνεια είναι μεγαλύτερη. Επιπλέον, η ιλύς περιβάλλεται από αργιλικά ορυκτά. Τα παραπάνω χαρακτηριστικά της προσδίδουν μεγαλύτερη συνεκτικότητα και πλαστικότητα, ενώ αυξάνεται και η ικανότητα προσρόφησης κατιόντων, τα οποία διαθέτει στη συνέχεια για την ανάπτυξη των φυτών. Εάν η ιλύς δεν συνοδεύεται από αρκετές ποσότητες άμμου αργίλου και οργανικής ουσίας, δημιουργεί ασθενή και συμπαγή δομή, δηλαδή δυσμενείς συνθήκες ανάπτυξης των φυτών. Πολλές φορές, οι κόκκοι της άμμου αλλά και της ιλύος, περιβάλλονται από επικαλύψεις οξειδίων του σιδήρου και του αργιλίου. Οι κόκκοι της ιλύος είναι ορατοί με το κοινό μικροσκόπιο.

Τέλος, η άργιλος είναι το πιο λεπτόκοκκο κλάσμα από όλα και αποτελείται από πεπλατυσμένα τεμαχίδια (φυλλώδη μορφή), τα οποία σε υγρή κατάσταση είναι πού πλαστικά. Όταν η άργιλος διαβραχεί, γίνεται κολλώδης και αποβάλλει θερμότητα. Επίσης παρουσιάζει μεγάλη ικανότητα συγκράτησης νερού και κατιόντων. Λόγω του μεγέθους της εμφανίζει ιδιότητες κολλοειδών και έχει χιλιάδες φορές μεγαλύτερη ειδική επιφάνεια από την άμμο και την ιλύ. Η άργιλος είναι ορατή με το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο.

Τα κλάσματα της άμμου και της ιλύος είναι χημικά αδρανή, αποτελούν τα σκελετικά υλικά του εδάφους, συνήθως είναι χαλαζιακά υλικά και συνεισφέρουν ελάχιστα στη γονιμότητά του. Η άργιλος αποτελείται από δευτερογενή ορυκτά, κυρίως αργιλοπυριτικά ορυκτά, οξείδια του σιδήρου, του αργιλίου και άμορφα συστατικά. Τα κλάσματα της αργίλου φέρουν αρνητικά φορτία και λειτουργούν σαν αποθήκες θρεπτικών στοιχείων για τα φυτά.



Εικόνα 3.2 Κλάσματα μηχανικής σύστασης εδάφους (πηγή: www.lib.teiher.gr)

Τα εδάφη αποτελούνται από μείγματα των παραπάνω μηχανικών κλασμάτων. Ανάλογα με το ποσοστό της άμμου, της ιλύος και της αργίλου που συμμετέχει στη σύνθεση του εδάφους, αυτό εκδηλώνει και διαφορετικές ιδιότητες. Για την καλύτερη μελέτη των εδαφών, έχουν καθοριστεί ορισμένες κλάσεις μηχανικής σύστασης. Κάθε κλάση μηχανικής σύστασης περιέχει ένα εύρος ποσοτικών συνδυασμών άμμου, ιλύος και αργίλου οι οποίοι προσδίδουν σε κάθε κλάση ορισμένες ιδιότητες

Στα εδάφη αναγνωρίζονται τρεις μεγάλες ομάδες μηχανικής σύστασης: οι άμμοι, οι πηλοί και οι άργιλοι. Ανάλογα σε ποια ομάδα ανήκουν, τα εδάφη χαρακτηρίζονται σαν αμμώδη ή ελαφρά, πηλώδη ή μέσης σύστασης και αργιλώδη ή βαριά αντίστοιχα. Σε κάθε ομάδα αντιστοιχεί μία ή περισσότερες κλάσεις μηχανικής σύστασης. Παρακάτω ακολουθεί συνοπτικός πίνακας με τις ομάδες και τις κλάσεις μηχανικής σύστασης.

Πίνακας 3.4 Κλάσεις Μηχανικής Σύστασης (Μουστάκας, 2009)

Ομάδα Μηχανικής Σύστασης	Κλάση Μηχανικής Σύστασης	Χαρακτηρισμός
Αμμώδη	Αμμώδης (S)	Χονδρόκοκκα
	Πηλοαμμώδης (LS)	
	Αμμοπηλώδης (SL)	Μετρίως Χονδρόκοκκα
Πηλώδη	Πολύ λεπτή αμμοπηλώδης (vfSL)	Μέσης Σύστασης
	Πηλώδης (L)	
	Ιλοοπηλώδης (SiL)	
	Ιλυώδης (Si)	
	Αμμοαργιλοπηλώδης (SCL)	Μετρίως Λεπτόκοκκα
	Αργιλοπηλώδης (CL)	
	Ιλοαργιλοπηλώδης (SiCL)	
Αργιλώδη	Αργιλώδης (C)	Λεπτόκοκκα
	Αμμοαργιλώδης (SC)	
	Ιλοαργιλώδης (SiC)	



Εικόνα 3.3 Τρίγωνο κλάσεων μηχανικής σύστασης (USDA)

3.3 Οργανική ουσία του εδάφους

Η οργανική ουσία αποτελείται από φυτικά και ζωικά υπολείμματα σε διάφορα στάδια αποσύνθεσης, ενώσεις οι οποίες είναι αποτέλεσμα της συνθετικής δραστηριότητας των μικροοργανισμών του εδάφους επί των προϊόντων αποδόμησης καθώς και ζωντανούς μικροοργανισμούς του εδάφους. Δεν περιλαμβάνει αδρομερή φυτικά υπολείμματα (πχ. βλαστούς) και σπονδυλωτά. Χαρακτηριστικό των ουσιών που σχηματίζονται είναι ο σχηματισμός τόσο διαλυτών όσο και αδιάλυτων στο νερό συμπλόκων με μεταλλικά κατιόντα και ενυδατωμένα οξείδια, καθώς και η αντίδραση τους με αργιλικά ορυκτά και άλλες οργανικές ενώσεις. Είναι ένα από τα πολύ σημαντικά χαρακτηριστικά του εδάφους, καθώς συμβάλλει στην εδαφική δομή και σταθερότητα, αυξάνει το πορώδες, βελτιώνει τη σχέση νερού και αέρα και μειώνει τη διάβρωση και αυξάνει τη σταθερότητα παρουσιάζουν τα εδαφικά συσσωματώματα.

Η οργανική ουσία αποτελείται από οργανικές ενώσεις (10 – 20%), που εντάσσονται σε γνωστές ομάδες της οργανικής χημείας, συνεπώς έχουν χαρακτηριστικές φυσικές ιδιότητες (σημείο πήξεως – τήξεως κ.τ.λ.). Οι ενώσεις αυτές προέρχονται κυρίως από τη μη χουμοποιημένη οργανική ουσία του εδάφους και περιλαμβάνουν τις παρακάτω ομάδες:

- I. Υδατάνθρακες
- II. Αμινοξέα και πρωτεΐνες
- III. Λιπίδια
- IV. Νουκλειϊά Οξέα
- V. Λιγνίνη
- VI. Οργανικά οξέα

Οι παραπάνω οργανικές ενώσεις, που είναι αποτέλεσμα της αποδομητικής δραστηριότητας των μικροοργανισμών του εδάφους, αποσυντίθενται εκ νέου από τους μικροοργανισμούς με αποτέλεσμα την απελευθέρωση πολύτιμων ανόργανων συστατικών για τα φυτά. Η διαδικασία αυτή της απελευθέρωσης ανόργανων συστατικών από τις οργανικές ενώσεις καλείται ανοργανοποίηση.

Η πλειοψηφία των οργανικών συστατικών (80 – 90%) αποτελείται από οργανικές ενώσεις οι οποίες δεν εντάσσονται σε χαρακτηριστικές ομάδες της οργανικής χημείας και ξεχωρίζουν για το μεγάλο μοριακό βάρος τους. Η διαδικασία σχηματισμού των χουμικών αυτών ενώσεων ονομάζεται χουμοποίηση και οι χουμικές αυτές ενώσεις αποτελούν τον χούμο. Συνεπώς χούμος ορίζεται ως ένα μίγμα πολύπλοκων οργανικών ενώσεων, κολλοειδούς φύσεως, άμορφος, μεγάλου μοριακού βάρους, χρώματος κίτρινου έως μαύρου και είναι αποτέλεσμα της συνθετικής δραστηριότητας μικροοργανισμών (Μουστάκας, 2009). Ανάλογα με τη διαλυτότητα τους σε οξέα και βάσεις διακρίνονται σε:

- **Φουλβικά οξέα:** οργανικές ενώσεις μικρού μοριακού βάρους, χρώματος κίτρινου, διαλυτές σε βάσεις, οξέα και νερό.
- **Χουμικά οξέα:** οργανικές ενώσεις μεγάλου μοριακού βάρους, σκοτεινού χρώματος (μαύρου) διαλυτές σε βάσεις αλλά όχι σε οξέα και νερό.
- **Χουμίνη:** Οργανικές ενώσεις πολύ μεγάλου μοριακού βάρους οι οποίες είναι αδιάλυτες.

Η μεγάλη σημασία της οργανικής ουσίας στο έδαφος συνοψίζεται παρακάτω:

1. Αποτελεί κύρια πηγή αζώτου (90 – 95%) για τα φυτά τα οποία αναπτύσσονται σε εδάφη που δε λιπαίνονται.
2. Αποτελεί τη βασικότερη πηγή φωσφόρου και θείου, όταν ο χούμος βρίσκεται σε ποσότητες μεγαλύτερες του 2%.
3. Συνεισφέρει σε μεγάλο ποσοστό στην Ικανότητα Ανταλλαγής Κατιόντων, δηλαδή στη γονιμότητα, του εδάφους.
4. Διαθέτει υψηλό αριθμό θέσεων ανταλλαγής και συνεπώς έχει υψηλή ικανότητα προσρόφησης θρεπτικών στοιχείων αλλά και βαρέων μετάλλων επομένως βοηθά στην απομάκρυνση βαρέων μετάλλων από νερά που εμφανίζουν μεγάλες συγκεντρώσεις στα μέταλλα αυτά.
5. Αυξάνει την υδατοικανότητα σε αμμώδη εδάφη και βελτιώνει τον αερισμό και την κίνηση του νερού σε λεπτόκοκκα εδάφη.
6. Όταν βρίσκεται στην επιφάνεια του εδάφους, επιδρά θετικά στη μείωση της διάβρωσης και στην απώλεια υγρασίας.

Ανάλογα με το ποσοστό της οργανικής ουσίας, το έδαφος αξιολογείται ως εξής:

Πίνακας 3.5 Αξιολόγηση εδάφους ανάλογα με το ποσοστό οργανικής ουσίας

Οργανική Ουσία (%)	Αξιολόγηση
<2	Πολύ Χαμηλή
2-4	Χαμηλή
4-10	Μέση
10-20	Υψηλή
>20	Πολύ Υψηλή

3.4 Ανθρακικά άλατα

Τα ανόργανα ανθρακικά άλατα συνήθως βρίσκονται στα εδάφη με τη μορφή του ασβεστίτη (CaCO_3), του δολομίτη [$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$] και του Μαγνησιακού Ασβεστίτη ($\text{Ca}_{1-x}\text{Mg}_x\text{CO}_3$) και προέρχονται από αποσάθρωση των πρωτογενών ή των δευτερογενών ορυκτών. Τα ανθρακικά άλατα που προέρχονται από δευτερογενή ορυκτά είναι κυρίως μίγμα κρυστάλλων Ασβεστίτη, μεγέθους ιλύος ή αργίλου και βρίσκονται συνήθως σε μεγάλες συγκεντρώσεις. Οι μεγαλύτεροι κρύσταλλοι τόσο του Ασβεστίτη, όσο και του Δολομίτη, προέρχονται συνήθως από πρωτογενή ορυκτά. Στα περισσότερα εδάφη, επικρατεί ο ασβεστίτης. Εδάφη σε ξηρές και ημίξηρες περιοχές μπορεί να περιέχουν 40% Ασβεστίτη ή και περισσότερο (Γασπαράτος et al., 2011).

Ο ποιοτικός και ποσοτικός προσδιορισμός των ανθρακικών αλάτων και ιδιαίτερα των ανθρακικών αλάτων Ca και Mg, είναι σημαντικός για μελέτη γένεσης και ταξινόμησης εδαφών, αλλά και για τη μελέτη προσρόφησης των μικροθρεπτικών στοιχείων και του φωσφόρου.

Τα ανθρακικά άλατα κατά την αποσάθρωσή τους, παρέχουν στο έδαφος ιόντα Ca^{2+} και Mg^{2+} τα οποία μπορεί:

1. Να προσροφηθούν από τα κολλοειδή του εδάφους, βελτιώνοντας έτσι τις ιδιότητες του
2. Να προσροφηθούν από τα φυτά
3. Να εκλυθούν

Το ασβέστιο και το μαγνήσιο είναι απαραίτητα μακροστοιχεία για τη θρέψη των φυτών. Τα ανθρακικά άλατα του εδάφους επιδρούν στο ριζικό σύστημα των φυτών, στην κίνηση του νερού στο έδαφος και στο pH του εδάφους (Γασπαράτος et al., 2011)

Στις περισσότερες μεθόδους προσδιορισμού των ανθρακικών αλάτων, η συγκέντρωσή τους αντιστοιχεί με τη συγκέντρωση του ανθρακικού ασβεστίου. Στη πραγματικότητα όμως υπάρχουν και άλλα άλατα εκτός του CaCO_3 όπως για παράδειγμα το MgCO_3 . Τελικά αυτό που προσδιορίζεται είναι το ισοδύναμο CaCO_3 .

Τα εδάφη ανάλογα με την περιεκτικότητά τους σε CaCO_3 διακρίνονται:

Πίνακας 3.6 Χαρακτηρισμός εδαφών ανάλογα με την περιεκτικότητά τους σε CaCO₃

Περιεκτικότητα σε CaCO ₃ (%)	Χαρακτηρισμός
3-5	Εφοδιασμένα
5-10	Επαρκώς Εφοδιασμένα
10-20	Μαργώδη
20-40	Μάργες
>40	Ασβεστώδη

3.5 Οξύτητα του εδάφους

Ανάλογα με τη συγκέντρωση ιόντων υδρογόνου [H⁺] στο εδαφικό διάλυμα, ένα έδαφος χαρακτηρίζεται όξινο, αλκαλικό ή ουδέτερο. Ως μέτρο οξύτητας του εδάφους ορίζεται ο αρνητικός λογάριθμος της συγκέντρωσης των ιόντων υδρογόνου και υπολογίζεται:

$$pH = -\log[H^+] = \log(1/[H^+])$$

Τα ιόντα υδρογόνου είναι συνήθως ενυδατωμένα με ένα μόριο νερού και σχηματίζουν οξόνια H₃O⁺ ή με τέσσερα μόρια νερού και σχηματίζουν H(H₂O)₄⁺. Η κλίμακα τιμών pH είναι λογαριθμική και καλύπτει τιμές από 0 έως 14, όπου σε τιμή pH = 0 η [H⁺] = 10⁰ = 1 mol L⁻¹ και σε τιμή pH = 14 η [H⁺] = 10⁻¹⁴ mol L⁻¹. Τιμές pH μικρότερες του 7 ορίζουν την όξινη περιοχή της κλίμακας ενώ μεγαλύτερες την αλκαλική περιοχή.

Πίνακας 3.7 Κατηγορίες εδαφικής οξύτητας (Μουστάκας, 2009)

Κατηγορίες εδαφικής Οξύτητας	
Τιμή pH	Χαρακτηρισμός εδάφους
<4,5	Υπερβολικά όξινο
4,6-5,0	Πολύ ισχυρά όξινο
5,1-5,5	Ισχυρά όξινο
5,6-6,0	Μετρίως όξινο

6,1-6,5	Ελαφρά όξινο
6,6-7,3	Ουδέτερο
7,4-7,8	Ελαφρά Αλκαλικό
7,9-8,4	Μετρίως Αλκαλικό
8,5-9,0	Ισχυρά Αλκαλικό
>9,0	Πολύ Ισχυρά Αλκαλικό

Γενικά η τιμή pH 6,0-7,5 είναι ευνοϊκή, όσον αφορά τις συνθήκες θρέψης, για τα περισσότερα καλλιεργούμενα φυτά. Ανάλογα με τη περιοχή του βέλτιστου pH, τα φυτά χαρακτηρίζονται σαν οξεόφιλα (ασβεστόφοβα) ή βασεόφιλα (ασβεστόφιλα) ανάλογα με το αν το pH στο οποίο αναπτύσσονται καλύτερα είναι προς την όξινη ή την αλκαλική περιοχή αντίστοιχα. Η προσθήκη υλικών για την αύξηση του pH σε ένα έδαφος συμβάλλει αφενός στη θρέψη των φυτών και αφετέρου στη δημιουργία κατάλληλων συνθηκών για την ανάπτυξή τους.

Οι διάφορες τιμές του pH δημιουργούν διαφορετικές συνθήκες διαλυτοποίησης των ορυκτών του εδάφους. Ορισμένα στοιχεία είναι πιο διαλυτά σε όξινα εδάφη ενώ άλλα σε αλκαλικά. Για παράδειγμα σε όξινα εδάφη υπάρχει διαλυτοποίηση και εμφάνιση τοξικότητας αργιλίου, μαγγανίου και μερικές φορές σιδήρου. Αντίθετα στα εδάφη αυτά εμφανίζονται τροφοπενίες ασβεστίου, μαγνησίου και μολυβδαινίου.

3.6 Ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους (EC) είναι ένα μέτρο της εκτίμησης της αλατότητας του εδάφους. Είναι ένας σημαντικός δείκτης της ποιοτικής κατάστασης του εδάφους καθώς επηρεάζει τις αποδόσεις και την καταλληλότητα των καλλιεργειών, τη διαθεσιμότητα των θρεπτικών συστατικών για τα φυτά και τη δραστηριότητα των μικροοργανισμών που επηρεάζουν βασικές διεργασίες εδάφους. Η ύπαρξη περίσσειας αλάτων στο έδαφος εμποδίζει την ανάπτυξη των φυτών επηρεάζοντας το ισοζύγιο εδάφους-νερού. Εδάφη που περιέχουν μεγάλες ποσότητες αλάτων εντοπίζονται ιδιαίτερα σε ξηρά και ημίξηρα κλίματα. Τα επίπεδα αλατότητας μπορούν να αυξηθούν ως αποτέλεσμα εντατικής καλλιέργειας, άρδευσης και διαχείρισης γης. Παρόλο που η μέτρηση

της EC δεν παρέχει πληροφορίες για συγκεντρώσεις συγκεκριμένων ιόντων ή ενώσεις άλατος, έχει συσχετιστεί με την ύπαρξη υψηλών συγκεντρώσεων ιόντων καλίου, νατρίου, χλωρίου, θειικών, νιτρικών αλλά και αμμωνιακών.

Η εδαφική αλατότητα επηρεάζει την ανάπτυξη των φυτών με δύο τρόπους:

1. Μειώνεται το δυναμικό όσμωσης του εδαφικού διαλύματος, με αποτέλεσμα το φυτό να δυσκολεύεται να προσλάβει επαρκή ποσότητα νερού, ακόμα και όταν υπάρχει επαρκής εδαφική υγρασία. Στη περίπτωση αυτή τα φυτά υποβάλλονται σε οσμωτική καταπόνηση, με αποτέλεσμα τη μείωση της βλάστησης και της καρποφορίας και σε πιο σοβαρές καταστάσεις την μάρανση τους.
2. Μερικά άλατα ή ιόντα, όπως το B , Na^+ , Cl^- , τα οποία είναι ωφέλιμα σε μικρές συγκεντρώσεις, όταν συγκεντρωθούν στο εδαφικό διάλυμα σε μεγάλες ποσότητες, αλλοιώνουν τον μεταβολισμό των φυτών, οδηγώντας τα σε ιοντικό στρες, με άμεση συνέπεια την εκδήλωση τοξικοτήτων. Από την αντίθετη πλευρά, μπορεί να εμφανιστούν τροφοπενίες για στοιχεία που περιέχονται σε μικρότερες ποσότητες από το επιθυμητό.

3.7 Μέθοδοι ανάλυσης εδαφικών δειγμάτων

Η δειγματοληψία του εδάφους διενεργήθηκε με βάση τις παρακάτω αρχές:

1. Οι θέσεις δειγματοληψίας να βρίσκονται μακριά από θέσεις μη γεωργικής δραστηριότητας όπως δρόμους, εργοστάσια, χώρους υγειονομικής ταφής απορριμμάτων κ.τ.λ..
2. Η θέση δειγματοληψίας να είναι αντιπροσωπευτική του εδάφους που πρόκειται να εξετασθεί.
3. Η ποσότητα και το είδος του δείγματος (διαταραγμένο ή αδιατάρακτο) καλύπτουν τις ανάγκες των αναλύσεων που θα πραγματοποιηθούν.

Από διάφορες θέσεις και διάφορα βάθη του επιφανειακού ορίζοντα κάθε εδαφικής μονάδας λαμβάνονται δείγματα. Τα δείγματα από τα διάφορα βάθη αναμιγνύονται και αποτελούν σύνθετα δείγματα κάθε εδαφικής θέσης. Τέλος τα δείγματα από τις διάφορες

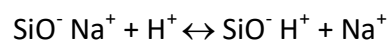
θέσεις αναμιγνύονται με τη σειρά τους μεταξύ τους και αποτελούν τα σύνθετα δείγματα κάθε εδαφικής μονάδας. Για τη παρούσα εργασία ελήφθησαν 13 εδαφικά δείγματα.

Όλες οι αναλύσεις των εδαφικών δειγμάτων πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο Γεωλογίας – Ορυκτολογίας του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών. Οι παρακρατώ οδηγίες για την εκτέλεση των πειραμάτων προέρχονται από τις σημειώσεις των εργαστηρίων Γεωλογίας και Εδαφολογίας του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών.

3.7.1 Προσδιορισμός εδαφικής οξύτητας (pH), δυναμικού οξειδοαναγωγής (eh) και ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC)

Αρχή της μεθόδου

Το πεχάμετρο αποτελείται από ένα βολτόμετρο, ένα ηλεκτρόδιο υάλου, ένα ηλεκτρόδιο αναφοράς και έναν αισθητήρα θερμοκρασίας. Στο εσωτερικό του ηλεκτροδίου υπάρχει σύρμα αργύρου βυθισμένο σε ένα διάλυμα 0,1 M HCl, δηλαδή γνωστής ενεργότητας ιόντων υδρογόνου. Εξωτερικά του διαλύματος υπάρχει γυάλινη μεμβράνη πάχους 0,2-0,5 cm κατασκευασμένης από γυαλί ειδικής ποιότητας (SiO₂, Na₂O). Όταν το ηλεκτρόδιο εμβαπτιστεί στο αιώρημα εδάφους διαλύματος, η γυάλινη μεμβράνη ενυδατώνεται σχηματίζοντας ένα λεπτό επιφανειακό στρώμα σαν gel και δρα ως ιοντοεναλλάκτης. Συνεπώς, σε ένα διάλυμα άγνωστης συγκέντρωσης, τα ιόντα H⁺ διαχέονται και αντικαθιστούν τα ιόντα Na⁺ του ενυδατωμένου στρώματος, με αποτέλεσμα την ανάπτυξη ισορροπίας σύμφωνα με την αντίδραση:



Με τη διαδικασία αυτή δημιουργείται ένα δυναμικό στη διαχωριστική επιφάνεια της κάθε πλευράς της γυάλινης μεμβράνης, του οποίου η ένταση εξαρτάται από τη συγκέντρωση των ιόντων H⁺ του διαλύματος. Αν λοιπόν το ηλεκτρόδιο υάλου βυθιστεί σε διάλυμα άγνωστου pH και συνδεθεί με ένα ηλεκτρόδιο αναφοράς, μπορεί να υπολογισθεί η άγνωστη συγκέντρωση των ιόντων H⁺ του διαλύματος.

Πριν από κάθε χρήση του πεχαμέτρου απαιτείται πάντοτε διαδικασία βαθμονόμησης. Η βαθμονόμηση του οργάνου πραγματοποιείται με τη χρήση ρυθμιστικών διαλυμάτων γνωστού pH. Αρχικά χρησιμοποιείται ένα ρυθμιστικό διάλυμα με τιμή pH = 7

για την ουδέτερη ζώνη, στη συνέχεια ένα δεύτερο ρυθμιστικό διάλυμα με τιμή pH = 4 για την όξινη περιοχή και τέλος ένα διάλυμα με τιμή pH = 10 για την αλκαλική.

Για τη μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους επιλέχθηκε η μέτρηση σε υδατικό εκχύλισμα εδάφους με σταθερή αναλογία εδαφικού δείγματος - ασπασταγμένου νερού.

Διαδικασία - Εκτέλεση

Αρχικά 20g εδάφους τοποθετούνται σε ποτήρι ζέσεως ή πλαστικό των 50 mL και προστίθενται στη συνέχεια 20 mL απιονισμένου νερού (αναλογία 1:1). Στη συνέχεια ακολουθεί ανάδευση του αιωρήματος κάθε 10 λεπτά για μία ώρα. Μετά το πέρας της μίας ώρας, τα ηλεκτρόδια και ο αισθητήρας θερμοκρασίας καταβυθίζονται στο αιώρημα και λαμβάνεται η μέτρηση του pH. Το όργανο που χρησιμοποιήθηκε για τις μετρήσεις έφερε και αισθητήρα μέτρησης δυναμικού οξειδοαναγωγής. Μετά τη μέτρηση, τα ηλεκτρόδια του οργάνου ξεπλένονται με απιονισμένο νερό. Στη συνέχεια με τη χρήση αγωγιμόμετρου μετρήθηκε η ηλεκτρική αγωγιμότητα του διαλύματος.

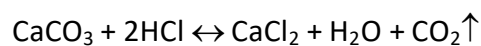


Εικόνα 3.4 Όργανα μέτρησης ηλεκτρικής αγωγιμότητας και pH

3.7.2 Προσδιορισμός ανθρακικών αλάτων κατά Bernard

Αρχή της μεθόδου

Ο προσδιορισμός του επί % CaCO_3 στηρίζεται στην ογκομέτρηση του εκλυόμενου CO_2 το οποίο παράγεται κατά την αντίδραση του HCl με τα ανθρακικά άλατα του εδάφους:



Με τη μέθοδο αυτή, προσδιορίζονται όλες οι μορφές των ανθρακικών αλάτων του εδάφους, κυρίως του Ca και του Mg , και εκφράζονται σε $\text{CaCO}_3 / 100\text{g}$ εδάφους.

Αν V ο όγκος του εκλυόμενου CO_2 σε mL, σε ένα δείγμα εδάφους G g, υπό συνθήκες πειραματισμού $t = t_x \text{ } ^\circ\text{C}$ και $P = P_0 - h$ (όπου h η τάση των ατμών του νερού σε $t = t_x \text{ } ^\circ\text{C}$), τότε ο όγκος του V_0 του CO_2 σε κανονικές συνθήκες ($t = 0 \text{ } ^\circ\text{C}$ και $P = P_0 = 700\text{mmHg}$) θα είναι:

$$V_0 = \frac{(P_0 - h) * V}{P_0 * (1 + a * t_x)} \quad (1)$$

Όπου $a = 1/273$

Η τιμή του λόγου $\frac{(P_0-h)}{P_0}$ σε θερμοκρασίες δωματίου είναι πολύ μικρή και μπορεί να θεωρηθεί αμελητέα, συνεπώς η εξίσωση (1) γίνεται:

$$V_0 = \frac{V}{1 + a * t_x}$$

Επομένως:

$$\text{Ισοδύναμα g CaCO}_3 / G \text{ εδάφους} = \frac{100 * V}{22.400 * (1 + a * t_x)}$$

ή

$$\text{Ισοδύναμο CaCO}_3 \% = \frac{100 * 100 * V}{22.400 * (1 + a * t_x) * G} = k * \frac{V}{G}$$

Συνοπτικά, οι τιμές που λαμβάνει το k , ανάλογα με την εποχή είναι:

- $k = 0,42$ για Χειμώνα
- $k = 0,41$ για Άνοιξη και Φθινόπωρο
- $k = 0,40$ για Καλοκαίρι

Αντιδραστήρια

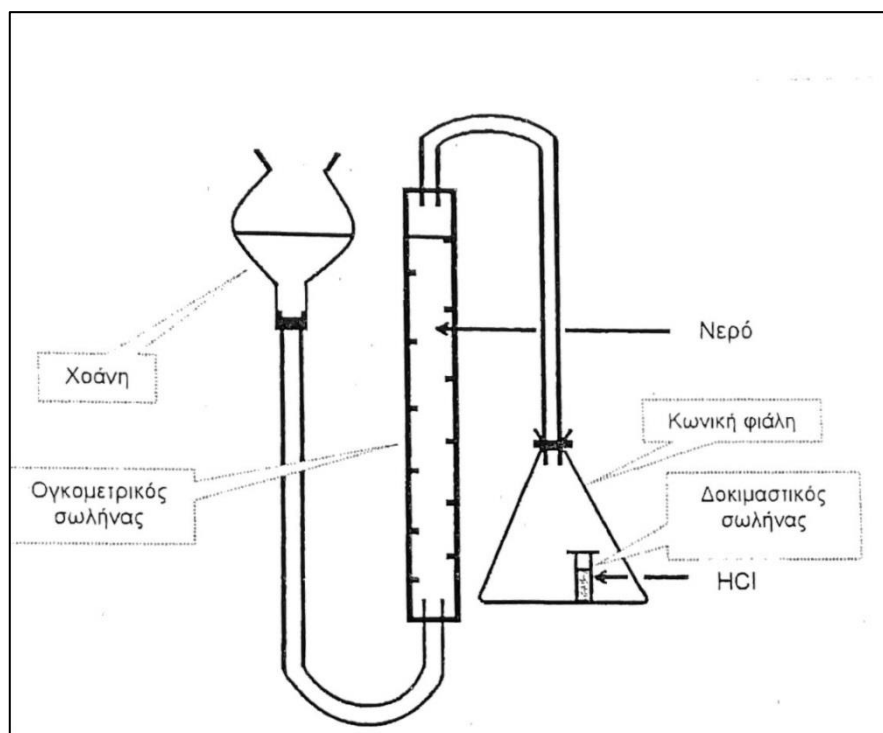
- 1M HCl

Εκτέλεση πειράματος

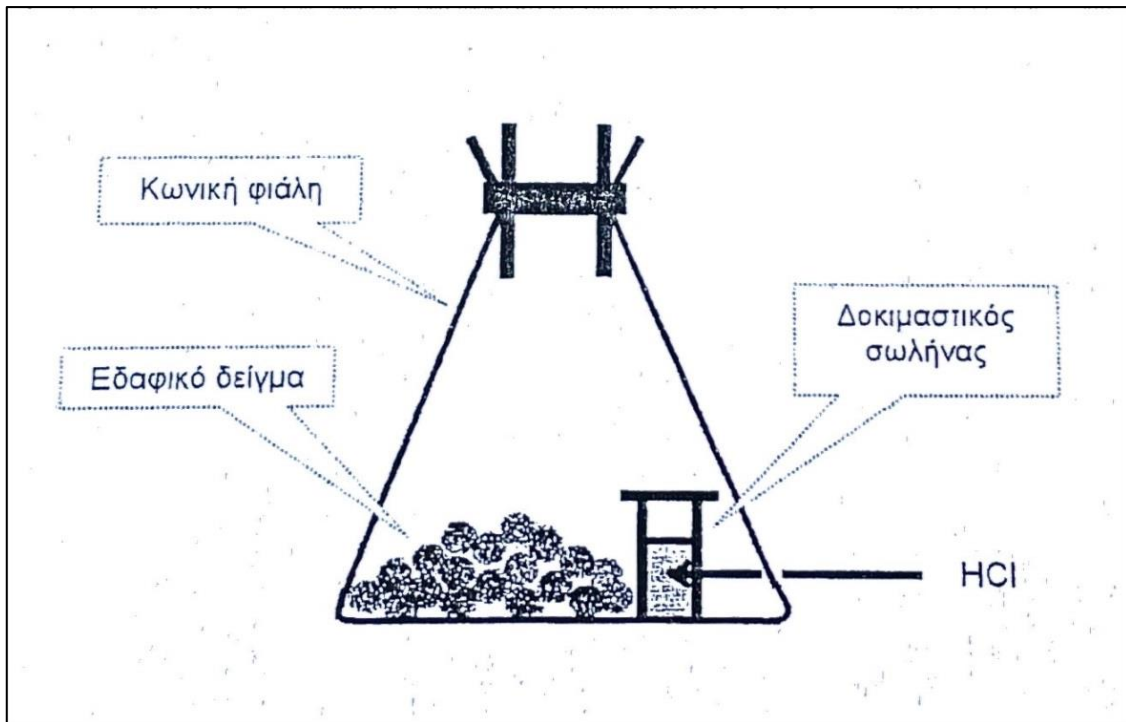
Ζυγίζονται 1,0 g εδάφους και τοποθετείται στη κωνική φιάλη της εικόνας 3.5. Στην ίδια φιάλη εισάγεται ένας μικρός δοκιμαστικός σωλήνας, στον οποίο προστίθεται διάλυμα

1 M HCl, που καταλαμβάνει τα 2/3 του όγκου του. Ο μικρός δοκιμαστικός σωλήνας τοποθετείται με μεγάλη προσοχή στη κωνική φιάλη, ώστε να μην έρθει σε επαφή το διάλυμα του HCl με το εδαφικό δείγμα, διότι θα χαθεί ποσότητα εκλυόμενου CO₂. Η συσκευή επίσης περιλαμβάνει την χοάνη και τον ογκομετρικό σωλήνα. Ο ογκομετρικός σωλήνας είναι γεμάτος με νερό και συγκοινωνεί με τη χοάνη. Πριν την αντίδραση του εδάφους με το HCl, πωματίζεται η κωνική φιάλη, έτσι ώστε η στάθμη του νερού της χοάνης να βρίσκεται στο ίδιο επίπεδο με το μηδέν της κλίμακας του ογκομετρικού σωλήνα.

Η κωνική φιάλη κρατιέται με το δεξί χέρι από τον λαιμό και όχι από τη βάση της, προκειμένου να αποφευχθούν προβλήματα που ίσως παρουσιαστούν από τη θέρμανση της. Η κωνική φιάλη πρέπει πάντα να βρίσκεται στο επίπεδο χοάνης – δοκιμαστικού σωλήνα. Η κωνική φιάλη ανακινείται κατά τέτοιο τρόπο ώστε να χυθεί το διάλυμα HCl του δοκιμαστικού σωλήνα και να γίνει πλήρη ανάμειξή του με το εδαφικό δείγμα. Εάν υπάρχουν ανθρακικά ορυκτά θα γίνει έκλυση CO₂. Το εκλυόμενο CO₂ στη προσπάθειά του να διαφύγει, θα πιέσει τη στάθμη του νερού του κυλινδρικού σωλήνα και στη συνέχεια θα ανέβει η στάθμη του νερού στη χοάνη. Όταν η έκλυση CO₂ σταματήσει, διαβάζονται τα cm³ CO₂ στον ογκομετρικό σωλήνα.



Εικόνα 3.5 Η συσκευή Bernard και ο δοκιμαστικός σωλήνας, πριν την διαδικασία ανάμιξης του εδαφικού δείγματος (πηγή: Εργαστηριακές Σημειώσεις Εδαφολογίας 2011, ΓΠΑ)



Εικόνα 3.6 Κωνική φιάλη και δοκιμαστικός σωλήνας μετά την προσθήκη 1 g εδαφικού δείγματος (πηγή: Εργαστηριακές Σημειώσεις Εδαφολογίας 2011, ΓΠΑ)

3.7.3 Μέθοδος προσδιορισμού της οργανικής ουσίας κατά «Walkey – Black»

Αρχή της μεθόδου

Ο προσδιορισμός της οργανικής ουσίας του εδάφους κατά Walkey – Black στηρίζεται στην οξείδωση του οργανικού άνθρακα, από ισχυρό οξειδωτικό μέσο ($K_2Cr_2O_7$), σε ισχυρά όξινο περιβάλλον (πυκνό H_2SO_4). Η μέθοδος αυτή δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα, ενώ χρησιμοποιούνται μικρές ποσότητες αντιδραστηρίων.

Αντιδραστήρια – Τρόπος παρασκευής τους

1. 1 N διχρωμικό κάλιο ($K_2Cr_2O_7$) – Ζυγίζονται 49,04 g $K_2Cr_2O_7$ και διαλύονται σε 1 L H_2O
2. Πυκνό φωσφορικό οξύ (H_3PO_4 85%)
3. Διφαινυλαμινοσουλφονικό βάριο (0,15% w/v) ή διάλυμα διφαινυλαμίνης 0,5% (δείκτης) – Ζυγίζονται 0,5 g δείκτη και διαλύονται σε 20 mL H_2O και 100 mL H_2SO_4 .

4. 0.5 N Δισθενής θειικός σίδηρος ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) – Σε μία φιάλη 1 L διαλύονται 139 g $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. Κατόπιν προστίθενται 10 – 20 mL πυκνού H_2SO_4 και συμπληρώνεται με νερό μέχρι την κατάλληλη χαραγή. Το διάλυμα αυτό είναι πολύ ευαίσθητο και πρέπει να ελέγχεται ο τίτλος του ανά τακτά χρονικά διαστήματα.
5. Πυκνό θειικό οξύ ($\text{H}_2\text{SO}_4 >96\%$)

Εκτέλεση πειράματος

Ζυγίζονται 1,0 g δείγματος και μεταφέρονται σε κωνική φιάλη των 500 mL. Με τη βοήθεια προχοΐδας προστίθενται 10 mL διαλύματος 1 N $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ενώ συγχρόνως γίνεται ανάδευση προκειμένου να αναμειχθεί πολύ καλά το δείγμα με το αντιδραστήριο.

Σε ένα ογκομετρικό κύλινδρο μετρούνται 20 mL πυκνού H_2SO_4 και προστίθενται στη κωνική φιάλη. Γίνεται ανάδευση περιστρέφοντας τη φιάλη για 30-60 δευτερόλεπτα με προσοχή διότι δεν είναι πρέπει να κολλήσουν τμήματα του εδαφικού δείγματος στα τοιχώματα της φιάλης. Η φιάλη αφήνεται σε ηρεμία για 30 λεπτά περίπου.

Σε συνέχεια, προστίθενται 200 mL απιονισμένου νερού και 10 mL H_3PO_4 και αφήνεται να ψυχθεί.

Μετά τη ψύξη προστίθενται 10-12 σταγόνες διαλύματος δείκτη διφαινυλαμινοσουλφονικού βαρίου και γίνεται τιτλοδότηση της περίσσειας του $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ με δισθενή θειικό σίδηρο ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$). Όταν η τιτλοδότηση φτάνει προς στο τέλος, το διάλυμα αποκτά κυανό χρώμα. Από αυτό το σημείο και μετά, προστίθεται σταγόνα σταγόνα ο θειικός σίδηρος, ενώ ταυτόχρονα αναδεύεται πολύ καλά. Στο σημείο της εξουδετέρωσης, το χρώμα του διαλύματος θα αλλάξει απότομα σε πράσινο. Σε αυτό το σημείο σταματά η τιτλοδότηση. Σημειώνεται με προσοχή ο όγκος του θειικού σιδήρου που καταναλώθηκε στη τιτλοδότηση.

Η ίδια τεχνική ακολουθείται και για την τιτλοδότηση μάρτυρα, με τη διαφορά όμως ότι δεν προστίθεται καθόλου εδαφικό δείγμα. Η τιμή των mL του μάρτυρα δίνει τον τίτλο του διαλύματος του δισθενούς θειικού σιδήρου.

3.7.4 Προσδιορισμός της κοκκομετρικής σύστασης του εδάφους

Αρχή της μεθόδου

Η εργαστηριακή διαδικασία με την οποία προσδιορίζονται τα κατά βάρος ποσοστά των τριών κλασμάτων του εδάφους (άμμος, ιλύς, άργιλος), ονομάζεται μηχανική ανάλυση του εδάφους. Ο προσδιορισμός της κοκκομετρικής σύστασης των εδαφών πραγματοποιείται με τη μέθοδο Βουγιούκου η οποία έχει πάρει το όνομά της από τον ερευνητή που την ανέδειξε.

Τα κύρια στάδια της μεθόδου Βουγιούκου είναι:

1. Απομάκρυνση με κοσκίνισμα των εδαφικών τεμαχιδίων που έχουν διάμετρο >2,00 mm, ώστε η ανάλυση να πραγματοποιηθεί στο κλάσμα της λεπτής γης.
2. Απομάκρυνση των παραγόντων συσσωμάτωσης, έτσι ώστε τα συσσωματώματα να διαχωριστούν στα επιμέρους μηχανικά κλάσματα.
3. Διασπορά των εδαφικών τεμαχιδίων με μηχανικά και χημικά μέσα
4. Δείγμα γνωστού ξηρού βάρους μεταφέρεται σε στήλη νερού και η πυκνότητα του αιωρήματος μετριέται σε προκαθορισμένα χρονικά διαστήματα. Επειδή τα χονδρόκοκκα υλικά καθιζάνουν γρηγορότερα σε σχέση με τα λεπτόκοκκα, οι χρόνοι μέτρησης της πυκνότητας επιλέγονται έτσι ώστε να έχει καθιζήσει πρώτα η άμμος και ύστερα η ιλύς (η άργιλος παραμένει σε αιώρηση).

Διασπορά του εδαφικού δείγματος επιτυγχάνεται μετά την απομάκρυνση των παραγόντων συσσωμάτωσης με το συνδυασμό διαφόρων μεθόδων.. Η χημική διασπορά στηρίζεται στην άπωση των εδαφικών τεμαχιδίων μετά από κορεσμό της κολλοειδούς φάσης του εδάφους με νάτριο. Αντιδραστήρια όπως το εξαμεταφωσφορικό νάτριο ((NaPO₃)₆), καυστικό νάτριο (NaOH), ανθρακικό νάτριο (Na₂CO₃) έχουν χρησιμοποιηθεί για διασπορά εδάφους. Η αποτελεσματικότητα του μέσου διασποράς εξαρτάται από την ικανότητά του όχι μόνο να δημιουργεί, αλλά και να διατηρεί ισχυρές δυνάμεις άπωσης μεταξύ των εδαφικών τεμαχιδίων. Από τα διάφορα μέσα διασποράς, το εξαμεταφωσφορικό νάτριο σε συνδυασμό με το ανθρακικό νάτριο (Calgon) είναι το

αντιδραστήριο που χρησιμοποιείται ευρύτατα. Η χημική διασπορά ακολουθείται από μηχανική διασπορά, η οποία πραγματοποιείται με τη βοήθεια μηχανικών αναδευτήρων.

Μεθοδολογία

Απαιτούμενα υλικά

1. Εργαστηριακή ζυγαριά
2. Ηλεκτρικός αναμείκτης μηχανικής ανάλυσης
3. Κύλινδρος Βουγιούκου
4. Πλαστικά πώματα κυλίνδρων Βουγιούκου
5. Πυκνόμετρο (ASTM-152H)
6. Θερμόμετρο

Αντιδραστήρια

1. Διάλυμα διασποράς: Διαλύονται 102 g μεταφωσφορικού νατρίου (NaPO_3)₆ + 21g Na_2CO_3 σε 1L απιονισμένου νερού (Calgon)
2. Αμυλική αλκοόλη

Διαδικασία

Από το αεροξηραμένο, λειοτριβημένο και κοσκινισμένο (διάμετρος εδαφικών κόκκων < 2,00mm) αντιπροσωπευτικό εδαφικό δείγμα ζυγίζονται 50g (100g αν το δείγμα έχει μεγάλη περιεκτικότητα σε άμμο) και τοποθετούνται στο κύπελλο του αναμείκτη. Στη συνέχεια προστίθενται 40mL από το διάλυμα διασποράς και απιονισμένο νερό μέχρι 5cm κάτω από το χείλος του κυπέλλου. Πραγματοποιείται ανάδευση σε χαμηλές στροφές για 5 λεπτά (εάν το δείγμα έχει μεγάλη περιεκτικότητα σε άργιλο, ο χρόνος ανάδευσης φτάνει τα 8 λεπτά). Το περιεχόμενο του κυπέλλου μεταφέρεται ποσοτικά στον ειδικό ογκομετρικό κύλινδρο (Βουγιούκου) και τοποθετείται το πυκνόμετρο. Συμπληρώνεται ο όγκος με απιονισμένο νερό, μέχρι την πρώτη χαραγή του κυλίνδρου (ώστε να περιέχει 1000mL H₂O + δείγμα + Calgon + πυκνόμετρο, δηλ. 1130 mL για 50g δείγματος) και στη συνέχεια απομακρύνεται το πυκνόμετρο. Ταυτόχρονα ένας άλλος κύλινδρος Βουγιούκου πληρώνεται μόνο με απιονισμένο νερό και διάλυμα διασποράς και σημειώνεται η ένδειξη του πυκνόμετρου (μάρτυρας)

Το στόμιο του κυλίνδρου κλείνεται με πλαστικό πώμα και αναμειγνύεται το περιεχόμενό του αναστρέφοντας τον κύλινδρο αρκετές φορές. Αφήνεται ο κύλινδρος σε σταθερό σημείο και γρήγορα τοποθετείται το πυκνόμετρο. Σταγόνες αμυλικής αλκοόλης προστίθενται για την απομάκρυνση των αφρών που εμποδίζουν την ανάγνωση του

πυκνόμετρου. Με την πάροδο 40 δευτερολέπτων λαμβάνεται η πρώτη ένδειξη του πυκνόμετρου (ένδειξη Α) και ταυτόχρονα με το θερμόμετρο σημειώνεται η θερμοκρασία του αιωρήματος. Στη συνέχεια απομακρύνεται προσεκτικά το πυκνόμετρο και ξεπλένεται με άφθονο απιονισμένο νερό. Η ένδειξη Α αποτελεί το σύνολο των εδαφικών κόκκων με διάμετρο < 0,05 mm, δηλαδή του αθροίσματος της ιλύος και της αργίλου, εφόσον το σύνολο της άμμου έχει καθιζάνει. Ο κύλινδρος αφήνεται σε απόλυτη ηρεμία και με την παρέλευση δύο ωρών, λαμβάνονται και πάλι μετρήσεις με το πυκνόμετρο (ένδειξη Β) και το θερμόμετρο. Η ένδειξη Β αντιστοιχεί στους εδαφικούς κόκκους, με διάμετρο < 0,002mm, δηλαδή της αργίλου, εφόσον το σύνολο της ιλύος έχει καθιζάνει.

3.7.5 Προσδιορισμός των ολικών συγκεντρώσεων των βαρέων μετάλλων

Για τον προσδιορισμό των ολικών συγκεντρώσεων των βαρέων μετάλλων στα εδαφικά δείγματα ακολουθήθηκε η παρακάτω διαδικασία, Σε 1 g εδάφους προστέθηκαν 4 ml aqua regia (HNO₃ – HCl 1:3 v/v) και στη συνέχεια το δείγμα τοποθετήθηκε εντός φούρνου μικροκυμάτων σε πρόγραμμα θερμοκρασίας 170 °C και μέγιστης ισχύς 1000 W για 30 λεπτά (Perkin – Elmer, 1996). Κατόπιν, ο όγκος του δείγματος συμπληρώθηκε έως τα 50 ml με απιονισμένο νερό. Τέλος το δείγμα διηθείται με φίλτρο Macherey – Nagel 615^¼ σε μπουκαλάκι, έτσι ώστε το υγρό να αναλυθεί φασματοσκοπικά με τη μέθοδο της ατομικής απορρόφησης και να προσδιοριστούν οι ολικές συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων.

4 Νερό

4.1 Ποιότητα νερού

Με τον όρο ποιότητα του νερού αναφερόμαστε σε μια σειρά παραμέτρων που αφορούν στα φυσικά, χημικά και βιολογικά χαρακτηριστικά του νερού.

Στις φυσικές παραμέτρους, περιλαμβάνονται οι ιδιότητες τους νερού οι οποίες μπορούν να γίνουν αντιληπτές την όραση, την όσφρηση, την αφή και τη γεύση. Στις χημικές παραμέτρους περιλαμβάνονται το pH, η αλκαλικότητα, η σκληρότητα, τα ολικά διαλυμένα στερεά, τα μέταλλα, οι οργανικές ουσίες και τα θρεπτικά στοιχεία. Τέλος στις βιολογικές παραμέτρους περιλαμβάνονται οι μικροοργανισμοί ζώα που βρίσκονται στο νερό. Επιπλέον, η ποιότητα του νερού αναφέρεται και στην ενεργειακή κατάσταση του νερού (θερμότητα, ακτινοβολία). Η ποιότητα του νερού προσδιορίζεται με βάση την περιεκτικότητα του σε ουσίες ή ομάδες ουσιών, που μπορεί να είναι οργανικές, ανόργανες, βαρέα μέταλλα και ιχνοστοιχεία. Η κατάταξη του νερού σε καλής ή κακής ποιότητας γίνεται σε σχέση με τη χρήση για την οποία προορίζεται και με τις τιμές των παραπάνω παραμέτρων.

Με την αλματώδη ανάπτυξη του ανθρώπινου πληθυσμού εμφανίστηκαν και τα πρώτα προβλήματα στα νερά. Αρχικά το πρόβλημα ήταν κυρίως ποσοτικό, αλλά καθώς η πολυπλοκότητα και η τοξικότητα των ουσιών που απέρριπταν οι άνθρωποι αύξανε με τη πρόοδο της τεχνολογίας, μετατράπηκε και σε ποιοτικό. Πολλές ήταν και οι ασθένειες που ξεκίνησαν από μολυσμένα νερά, όπως η χολέρα και οι εντερολοιμώξεις. Για αυτό το λόγο καθορίστηκαν κριτήρια, που είχαν σχέση με την υγεία του ανθρώπου, για τον χαρακτηρισμό μιας πηγής νερού ως πόσιμης ή μη.

Όμως, η χρήση του νερού δεν αφορά μόνο την κάλυψη των υδρευτικών αναγκών του ανθρώπου, άλλα και άλλες ανάγκες του, όπως η γεωργία και η βιομηχανία. Κάθε μια χρήση έχει τα δικά της κριτήρια ποιότητας (Αντωνόπουλος, 2003).

4.2 Υπόγεια Νερά

Το υπόγειο νερό βρίσκεται κάτω από την επιφάνεια της Γης, εντός του εδαφικού και των γεωλογικών σχηματισμών σε διάφορα βάθη. Το νερό αυτό, όταν βρίσκεται εντός των σχηματισμών αυτών, είτε καταλαμβάνει όλο το διαθέσιμο πορώδες, οπότε μιλάμε για κορεσμένο μέσο, είτε καταλαμβάνει μόνο ένα μέρος αυτών, οπότε έχουμε ακόρεστο μέσο. Σε μια κατακόρυφη τομή του εδάφους θα βλέπαμε ότι οι δύο αυτές ζώνες είναι εύκολα διακριτές. Από την επιφάνεια του εδάφους έως και την υπόγεια στάθμη ηρεμίας έχουμε την ακόρεστη ζώνη (vadose), ενώ από την στάθμη έως και το αδιαπέρατο υπόστρωμα την κορεσμένη.

Στην ακόρεστη ζώνη το άθροισμα των πιέσεων που ασκούνται στο νερό του εδάφους είναι μικρότερο της ατμοσφαιρικής. Στην ζώνη αυτή η κατάσταση και η δυναμική του νερού εξαρτάται από την εξατμισοδιαπνοή των φυτών, από την βροχόπτωση, την άρδευση και τις υδροδυναμικές συνθήκες (Αντωνόπουλος 2001). Αντίθετα, στην κορεσμένη ζώνη η πίεση που δέχεται το νερό είναι μεγαλύτερη της ατμοσφαιρικής.

Υδροφορείς ή υδροφόροι (aquifers) ονομάζονται οι γεωλογικοί σχηματισμοί στους οποίους, το μεγαλύτερο ποσοστό του πορώδους τους είναι κορεσμένο με νερό και έχουν τη δυνατότητα να τροφοδοτήσουν με μεγάλες ποσότητες νερού τόσο γεωτρήσεις όσο και πηγές. Οι υδροφόροι έχουν αυξημένη ικανότητα να αποθηκευτικότητα και να μεταβιβαστικότητα νερού. Οι υπόγειοι υδροφορείς διακρίνονται σε ελευθέρους, υπό πίεση και ημίκλειστους, ανάλογα με την διαπερατότητα των οριακών τους στρωμάτων. Γενικά, ένα υπόγειο υδροφόρο στρώμα χαρακτηρίζεται από την αποθηκευτικότητα, την μεταβιβαστικότητα, τη διαπερατότητα και το υδραυλικό φορτίο του (Τερζίδης και Καραμούζης, 2001).

Χαρακτηριστικό του υπόγειου νερού είναι ότι μετακινείται πολύ αργά. Αποτέλεσμα αυτού είναι η μεσολάβηση μεγάλου χρονικού διαστήματος από το επεισόδιο που προκάλεσε μια ρύπανση μέχρι να επηρεαστεί η ποιότητα του υπογείου νερού. Αντίστοιχα όμως μπορεί να χρειαστούν χρόνια για την αποκατάσταση του υδροφορέα και λόγω αυτού πολλές φορές τα ρυπασμένα φρεάτια εγκαταλείπονται. Τελικά συμπεραίνουμε ότι η καλύτερη μέθοδος προστασίας ενός υπόγειου υδροφορέα είναι η πρόληψη (Αντωνόπουλος, 2001).

4.2.1 Ποιότητα υπόγειου νερού

Η ποιότητα των υπόγειων υδάτων περιλαμβάνει το σύνολο των φυσικών, χημικών και βιολογικών ιδιοτήτων των υπογείων νερών. Η θερμοκρασία, το χρώμα, η γεύση, η θολότητα και η οσμή αποτελούν τις φυσικές παραμέτρους ποιότητας του νερού. Δεδομένου ότι τα περισσότερα υπόγεια νερά είναι άχρωμα, άοσμα και χωρίς συγκεκριμένη γεύση, συνήθως εστιάζουμε στις χημικές και βιολογικές του ιδιότητες.

Το υπόγειο νερό περιέχει διαλυμένα ιόντα. Αυτά διαλύονται αργά από σωματίδια του εδάφους, ιζήματα και πετρώματα καθώς το νερό κινείται εντός του εδάφους και των γεωλογικών σχηματισμών, διαμέσου των πόρων ή των ρηγμάτων των προαναφερθέντων μέσων. Αναφέρονται ως διαλυμένα στερεά και ορισμένα από αυτά μπορεί να προέρχονται από τα κατακρημνίσματα και από νερά επιφανειακών υδάτινων σωμάτων που τροφοδοτούν τους υδροφόρους. Τα διαλυμένα στερεά στο νερό μπορούν να χωριστούν σε τρεις ομάδες: τα κύρια συστατικά, τα δευτερεύοντα συστατικά και τα ιχνοστοιχεία. Ο η συνολική μάζα των διαλυμένων συστατικών αναφέρεται ως ολικά διαλυμένα στερεά (TDS). Όλα τα διαλυμένα στερεά είναι είτε αρνητικά φορτισμένα ιόντα (ανιόντα) είτε θετικά φορτισμένα ιόντα (κατιόντα). Το συνολικό αρνητικό φορτίο των ανιόντων ισούται με το συνολικό θετικό φορτίο των κατιόντων. Όσο περισσότερα είναι τα ιόντα τόσο αυξάνεται και η ηλεκτρική αγωγιμότητα του νερού (EC). Νερά με TDS άνω των 1.500 έως 2.600 mg/L (EC μεγαλύτερη από 2.25 έως 4 mS/cm) θεωρούνται γενικά προβληματικά για άρδευση και η χρήση του συνίσταται μόνο σε καλλιέργειες με μεγάλη αντοχή στην αλατότητα (Harter, 2003).

Εκτός από αυτά που προέρχονται από την οργανική ύλη που προέρχεται από την ανώτερη εδαφική στρώση, όλα τα διαλυμένα στερεά είναι ανόργανα συστατικά (μέταλλα, θρεπτικά συστατικά, ιχνοστοιχεία). Στις περισσότερες περιπτώσεις, τα ιχνοστοιχεία εμφανίζονται σε τόσο χαμηλές συγκεντρώσεις που δεν συντελούν απειλή για την υγεία του ανθρώπου, αντιθέτως πολλά από τα ιχνοστοιχεία είναι απαραίτητα συστατικά του μεταβολισμού. Ωστόσο, κοντά σε εστίες ρύπανσης, μπορούν να σημειωθούν υψηλές συγκεντρώσεις ιχνοστοιχείων στα νερά, που μπορούν να προκαλέσουν σημαντικά προβλήματα στην ανθρώπινη υγεία. Η μικροβιακή ύλη επίσης είναι ένα φυσικό συστατικό

των υπόγειων υδάτων. Σε ορισμένες υδρογεωλογικές εφαρμογές χρησιμοποιούνται μικροοργανισμοί για βιοαποκατάσταση υπόγειων ρυπασμένων νερών (Harter, 2003).

Οι ανθρώπινες δραστηριότητες μπορούν να αλλάξουν τη φυσική σύνθεση του υπόγειου νερού μέσω της διάθεσης χημικών ουσιών και μικροβιακής ύλης στο έδαφος, ή μέσω έγχυσης απευθείας στους υπόγειους υδροφόρους ορίζοντες. Η ρύπανση των υπόγειων υδάτων (ή η μόλυνση των υπόγειων υδάτων) ορίζεται ως η ανεπιθύμητη αλλαγή στην ποιότητα των υπόγειων υδάτων που προκύπτει από ανθρώπινες δραστηριότητες (Harter, 2003).

4.3 Ποιότητα αρδευτικού νερού

Η εντατική γεωργία είναι άμεσα εξαρτημένη από την παροχή επαρκούς ποσότητας και καλής ποιότητας αρδευτικού νερού. Με την ολοένα μειωμένη ποσότητα καλής ποιότητας αρδευτικού νερού που συναντάμε στη σημερινή εποχή, καλούμαστε να αρδεύσουμε τις καλλιέργειες με νερό που υπό άλλες συνθήκες θα αποφεύγαμε. Συνεπώς, για την αποφυγή προβλημάτων από τη χρήση νερού κακής ποιότητας, έχουν καθοριστεί συγκεκριμένες απαιτήσεις ποιότητας για συγκεκριμένες χρήσεις. Διεθνώς έχουν καθιερωθεί οριακές τιμές της ποιότητας του νερού που χρησιμοποιείται για αστική, γεωργική και βιομηχανική χρήση. Οι πρώτοι που θέσπισαν πρότυπα για το αρδευτικό νερό είναι οι Richards 1954, Wilcox 1955, Ayres et al. 1975, Bower et al. 1968 και Shainberg and Oster 1975. Στον παρακάτω πίνακα δίνονται οι συνήθεις προσδιορισμοί, που απαιτούνται για την εκτίμηση της ποιότητας του αρδευτικού νερού, καθώς και τα συνήθη όρια για τα ανιόντα και τα κατιόντα στα αρδευτικά νερά.

Πίνακας 4.1 Συνήθεις προσδιορισμοί για την εκτίμηση της ποιότητας του αρδευτικού νερού (Ayers and Westcott, 1985)

	Σύμβολα	Όρια	Μονάδες
Ηλεκτρική Αγωγημότητα	EC	0-3	mS/cm
Ολικά Διαλυτά Στερεά	TDS	0-2000	mg/l
Ασβέστιο	Ca ²⁺	0-20	meq/l
Μαγνήσιο	Mg ²⁺	0-5	meq/l
Νάτριο	Na ⁺	0-40	meq/l
Όξινα ανθρακικά	HCO ₃ ⁻	0-0,1	meq/l
Ανθρακικά	CO ₃ ²⁻	0-10	meq/l
Χλώριο	Cl ⁻	0-30	meq/l
Θειικά	SO ₄ ²⁻	0-20	meq/l
Νιτρικά	NO ₃ -N	0-10	meq/l
Αμμωνιακά	NH ₄ -N	0-5	meq/l
Φωσφορικά	PO ₄ -P	0-2	meq/l
Κάλιο	K ⁺	0-2	meq/l
Βόριο	B	0-2	meq/l
pH	pH	6-8,5	
SAR	SAR	0-15	meq/l

4.4 Προβλήματα από την ποιότητα του αρδευτικού νερού

Η ποιότητα του αρδευτικού νερού εξαρτάται από τον τύπο των διαλυμένων αλάτων που περιέχει. Με την άρδευση τα διαλυμένα αυτά άλατα είτε χρησιμοποιούνται από την καλλιέργεια, εάν είναι ωφέλιμα, είτε συσσωρεύονται στο έδαφος προκαλώντας προβλήματα όπως την αύξηση της αλατότητας του εδάφους, τη τοξικότητα ορισμένων στοιχείων στα φυτά, την αλκαλίωση του εδάφους και κάποια ειδικά προβλήματα που χρειάζονται ειδικές καλλιεργητικές τεχνικές για την αποφυγή τους. Τα προβλήματα αυτά διαφέρουν σε είδος και ένταση και εξαρτώνται από το είδος των αλάτων, τα χαρακτηριστικά του εδάφους, του κλίματος και της καλλιέργειας. Όλα τα παραπάνω αποτελούν βάση για την εκτίμηση της ποιότητας του αρδευτικού νερού (Ayers and Westcot, 1985).

4.4.1 Αλατότητα του εδάφους

Η χρήση αρδευτικού νερού με υψηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα οδηγεί στην αύξηση της αλατότητας του εδάφους. Η ανάπτυξη και η απόδοση των καλλιεργειών επηρεάζεται σημαντικά από την συγκέντρωση των αλάτων στο ριζόστρωμα. Το νερό, κατά τη δίοδό του μέσα από γεωλογικούς σχηματισμούς, εμπλουτίζεται φυσικά με διαλυτά άλατα. Αυξημένες συγκεντρώσεις ηλεκτρικής αγωγιμότητας προκύπτουν είτε όταν οι γεωλογικοί σχηματισμοί εμπλουτίζουν έντονα το νερό με άλατα, είτε από την εκτεταμένη χρήση λιπασμάτων, είτε από φαινόμενα θαλάσσιας διείσδυσης. Τέλος, συσσώρευση των αλάτων στη ζώνη ριζοστρώματος μπορεί να προκληθεί από την ανοδική κίνηση νερού, κάτω από συνθήκες έντονης εξάτμισης, από υφάλμυρο υπόγειο ορίζοντα που βρίσκεται σε μικρό βάθος από την επιφάνεια του εδάφους.

Η αύξηση της αλατότητας του εδάφους επηρεάζει την ανάπτυξη των φυτών με τους εξής τρόπους:

- Πρόκληση Οσμωτικής Υδατικής Καταπόνησης: Η ύπαρξη υψηλών συγκεντρώσεων αλάτων στο έδαφος επηρεάζει την ανάπτυξη των φυτών εξαιτίας της αύξησης της οσμωτικής πίεσης του εδάφους. Σε τέτοιες περιπτώσεις, το φυτό αδυνατεί να προσλάβει την απαραίτητη ποσότητα νερού, ακόμα και όταν υπάρχει επαρκής εδαφική υγρασία. Στη περίπτωση αυτή τα φυτά υποβάλλονται σε οσμωτική καταπόνηση, που έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της βλάστησης και της καρποφορίας και σε πιο σοβαρές καταστάσεις την αποξήρανσή τους.
- Μερικά άλατα ή ιόντα, όπως το B , Na^+ , Cl^- , τα οποία είναι ωφέλιμα σε μικρές συγκεντρώσεις, μπορεί να συγκεντρωθούν στο εδαφικό διάλυμα σε τέτοιες ποσότητες, που να αλλοιώσουν το μεταβολισμό των φυτών, οδηγώντας τα σε ιοντικό στρες, με άμεση συνέπεια την εκδήλωση τοξικοτήτων. Από την αντίθετη πλευρά, μπορεί να εμφανιστούν τροφοπενίες λόγω ανταγωνιστικής δράσης ορισμένων στοιχείων μεταξύ τους.

4.4.2 Αλκαλίωση του εδάφους

Σε υψηλές συγκεντρώσεις αλάτων στο εδαφικό διάλυμα υπάρχει κίνδυνος καταστροφής της δομής του εδάφους λόγω διασποράς. Όταν το ποσοστό προσροφημένου νατρίου (ESP) είναι μεγαλύτερο του 15%, το έδαφος χαρακτηρίζεται αλκαλιωμένο.

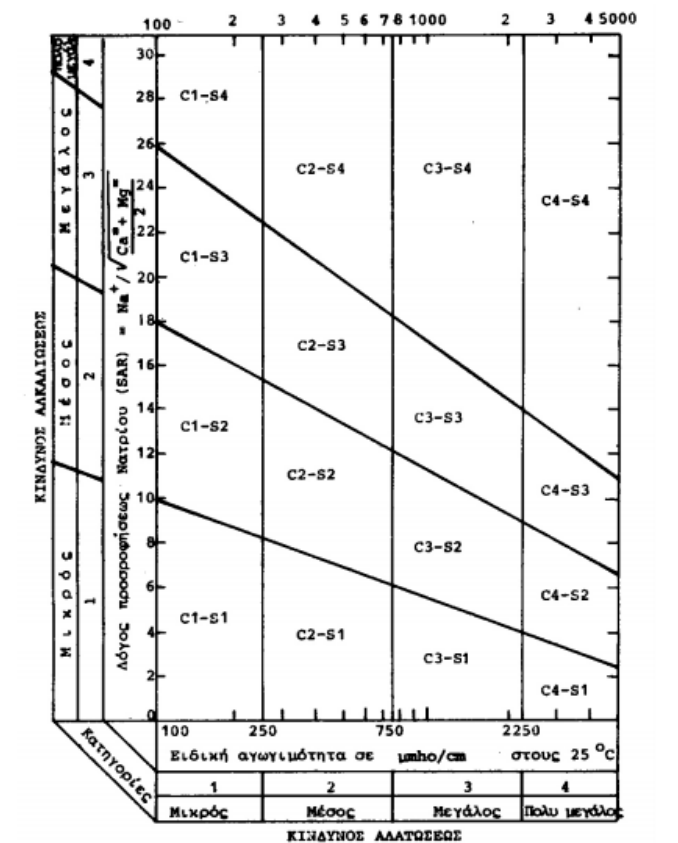
$$ESP = \frac{\text{Ανταλλάξιμο Νάτριο } \left(\frac{\text{meq}}{100\text{gr}} \text{ εδάφους}\right)}{\text{Σύνολο προσροφημένων κατιόντων } \left(\frac{\text{meq}}{100\text{gr}} \text{ εδάφους}\right)} \times 100$$

Δεδομένου ότι η σύσταση του εδαφικού διαλύματος επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από τη σύσταση του νερού άρδευσης, μπορούμε να εκτιμήσουμε τον κίνδυνο αλκαλίωσης του εδάφους από τον λόγο προσρόφησης του νατρίου (SAR) στο αρδευτικό νερό. Ο λόγος προσρόφησης του νατρίου (SAR), δίνεται από τη σχέση:

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

όπου τα ιόντα νατρίου (Na^+), ασβεστίου (Ca^{2+}) και μαγνησίου (Mg^{2+}) εκφράζονται σε χιλιοστοϊσοδύναμα ανά λίτρο (meq/l).

Οι κατηγορίες του αρδευτικού νερού με βάση τον κίνδυνο αυξήσεως του ποσοστού προσροφημένου νατρίου ορίζονται με βάση τις τιμές SAR και την Ηλεκτρική Αγωγιμότητα του αρδευτικού νερού. Για να αντιμετωπιστεί ο κίνδυνος αλκαλίωσης του εδάφους από την χρήση αρδευτικού νερού με υψηλό SAR μπορούν να προστεθούν στο νερό ή στο έδαφος διάφορα βελτιωτικά. Τα βελτιωτικά αυτά προσφέρουν ασβέστιο και μειώνουν τον λόγο νατρίου προς ασβέστιο, κατά συνέπεια την πιθανότητα να προσροφηθούν από το σύμπλοκο μεγάλες ποσότητες νατρίου. Το πλέον διαδεδομένο και αποτελεσματικό βελτιωτικό είναι ο γύψος ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$). Στη παρακάτω εικόνα φαίνεται ένα σύστημα ταξινόμησης του αρδευτικού νερού σε κλάσεις καταλληλότητας με βάση τον δείκτη SAR και την ηλεκτρική αγωγιμότητα ανάλογα με τα προβλήματα που μπορεί να προκαλέσει το έδαφος



Εικόνα 4.1 Σύστημα ταξινόμησης νερού άρδευσης (US Salinity Laboratory Staff, 1954)

4.4.3 Προβλήματα τοξικότητας

Προβλήματα τοξικότητας εμφανίζονται όταν κάποια στοιχεία που βρίσκονται διαλυμένα στο νερό ή στο έδαφος, προσλαμβάνονται από φυτά και συσσωρεύονται σε μεγάλες ποσότητες, προκαλώντας έτσι ζημιές ή μείωση των αποδόσεων τους. Τα κυριότερα ιόντα που προκαλούν τοξικότητες είναι το άζωτο, το χλώριο, το νάτριο και το βόριο. Το μέγεθος της ζημιάς εξαρτάται από την κατανάλωση του νερού και την ευαισθησία των καλλιεργειών. Οι πολυετείς και μόνιμες καλλιέργειες είναι πιο ευαίσθητες, αφού η συσσώρευση αυξάνεται με το χρόνο. Το πρόβλημα αυτό συνοδεύει συχνά το πρόβλημα της αλατότητας (Αντωνόπουλος, 2003).

4.5 Ανάλυση Δειγμάτων Νερού

4.5.1 Δειγματοληψία - Προετοιμασία δειγμάτων – Μέθοδοι ανάλυσης

Η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε στο τέλος της ξηρής περιόδου (τέλη Ιουλίου-αρχές Οκτωβρίου) του 2019. Στον αρχικό σχεδιασμό υπήρχε στο πρόγραμμα να γίνει και μία επαναληπτική δειγματοληψία την Άνοιξη του 2020 που όμως δεν μπόρεσε να πραγματοποιηθεί λόγω της πανδημίας του κορωνοϊού και της απαγόρευσης μετακίνησης. Σε κάθε θέση δειγματοληψίας, λαμβάνονταν δύο δείγματα, που συντηρήθηκαν με διαφορετικό τρόπο, προκειμένου να πραγματοποιηθούν οι αντίστοιχες αναλύσεις. Συνολικά στις 2 περιόδους ελήφθησαν 14 δείγματα νερών. Σε όλες τις περιπτώσεις, τα φιαλίδια πολυαιθυλενίου, στα οποία αποθηκευόταν το δείγμα, ξεπλένονταν αρχικά με το νερό του δείγματος. Στη συνέχεια μεταφέρθηκαν με φορητό ψυγείο, προκειμένου να μην αλλοιωθούν. Χρησιμοποιήθηκαν, φιαλίδια των 500 mL και των 100 mL.

Αρχικά έγινε επιτόπιος προσδιορισμός των φυσικών παραμέτρων του νερού, κατά τη δειγματοληψία, ο οποίος περιλαμβάνει μέτρηση ηλεκτρικής αγωγιμότητας (E.C.), pH, διαλυμένου οξυγόνου (D.O.), δυναμικού οξειδοαναγωγής (Eh, redox) και θερμοκρασίας με φορητά όργανα. Η μέτρηση της θερμοκρασίας, του διαλυμένου οξυγόνου, της ηλεκτρικής αγωγιμότητας, του pH, του Eh, έγινε με το φορητό όργανο της YSI ProDSS Multiparameter Water Quality Meter

Στο πρώτο φιαλίδιο των 500 ml, που αφορούσε τις χημικές αναλύσεις των κύριων ανιόντων και κατιόντων, δεν χρειάστηκε κανενός είδους συντήρηση. Τα κύρια ανιόντα και κατιόντα που μετρήθηκαν είναι: Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{+} , K^{+} , NO_3^{-} , SO_4^{2-} , Cl^{-} , HCO_3^{-}

Το δεύτερο δείγμα, αποθηκεύτηκε σε φιαλίδιο των 100 ml. Το δείγμα υπέστη διήθηση μέσω ειδικού φίλτρου 0.2μm, το οποίο προσαρμόστηκε σε σύριγγα των 20 ml και στη συνέχεια οξινίστηκε με πυκνό νιτρικό οξύ (10 μL HNO_3 65% w/w), ώστε το pH να διατηρείται <2, για τη σωστή μέτρηση των βαρέων μετάλλων. Τα δείγματα απεστάλησαν στο εξειδικευμένο εργαστήριο AcmeLabs, Mineral Laboratories, Bureau Veritas Commodities Canada Ltd (Quality Management System ISO 9001:2008, FM 6307, 10 August 2015), στο Βανκούβερ του Καναδά, για χημικές αναλύσεις των Cr_{tot} , Ni, Fe, Mn, Pb, Cu, Zn, Cd, As, Hg, Co, Hg, Mo, Se, P, Ag, V, Ba, B, Sr, U, La, Be, Bi, Y, Ti, Zr (και άλλων 43 στοιχεία),

οι οποίες πραγματοποιήθηκαν σε υδατικά διαλύματα >0.1% TDS σε ICP-MS. Το όργανο επαγωγικής μεθόδου συνδυαστικής φασματομετρίας μάζας-πλάσματος (ICP-MS), έχει τη δυνατότητα να αναλύσει συγκεντρώσεις χρωμίου και άλλων βαρέων μετάλλων της τάξης των 0,5 μg/l.

Πίνακας 4.2 : Όρια ανιχνευσιμότητας αναλυθέντων στοιχείων στις χημικές αναλύσεις των νερών (ανάλυση με ICP-MS).

Στοιχείο	Μονάδες	Όριο		Στοιχείο	Μονάδες	Όριο		Στοιχείο	Μονάδες	Όριο	
		ανιχνευσιμότητας				ανιχνευσιμότητας				ανιχνευσιμότητας	
Ag	μg/l	0,05		Hf	μg/l	0,02		S	mg/l	1,00	
Al	μg/l	1,00		Hg	μg/l	0,10		Sb	μg/l	0,05	
As	μg/l	0,50		Ho	μg/l	0,01		Sc	μg/l	1,00	
Au	μg/l	0,05		In	μg/l	0,01		Se	μg/l	0,50	
B	μg/l	5,00		K	mg/l	0,05		Si	μg/l	40,00	
Ba	μg/l	0,05		La	μg/l	0,01		Sm	μg/l	0,02	
Be	μg/l	0,05		Li	μg/l	0,10		Sn	μg/l	0,05	
Bi	μg/l	0,05		Lu	μg/l	0,01		Sr	μg/l	0,01	
Br	μg/l	5,00		Mg	mg/l	0,05		Ta	μg/l	0,02	
Ca	mg/l	0,05		Mn	μg/l	0,05		Tb	μg/l	0,01	
Cd	μg/l	0,05		Mo	μg/l	0,10		Te	μg/l	0,05	
Ce	μg/l	0,01		Na	mg/l	0,05		Th	μg/l	0,05	
Cl	mg/l	1,00		Nb	μg/l	0,01		Ti	μg/l	10,00	
Co	μg/l	0,02		Nd	μg/l	0,01		Tl	μg/l	0,01	
Cr	μg/l	0,50		Ni	μg/l	0,20		Tm	μg/l	0,01	
Cs	μg/l	0,01		P	μg/l	10,00		U	μg/l	0,02	
Cu	μg/l	0,10		Pb	μg/l	0,10		V	μg/l	0,20	
Dy	μg/l	0,01		Pd	μg/l	0,20		W	μg/l	0,02	
Er	μg/l	0,01		Pr	μg/l	0,01		Y	μg/l	0,01	
Eu	μg/l	0,01		Pt	μg/l	0,01		Yb	μg/l	0,01	
Fe	μg/l	10,00		Rb	μg/l	0,01		Zn	μg/l	0,50	
Ga	μg/l	0,05		Re	μg/l	0,01		Zr	μg/l	0,02	
Gd	μg/l	0,01		Rh	μg/l	0,01					
Ge	μg/l	0,05		Ru	μg/l	0,05					

Μετά τη συλλογή τους, τα δείγματα μεταφέρθηκαν σε σύντομο χρονικό διάστημα στο Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας – Υδρογεωλογίας του τμήματος Μηχανικών Μεταλλείων του Εθνικού Μετσόβιου. Εκεί πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις των κύριων ιόντων της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Σε περιπτώσεις όπου μεσολαβούσε μεγάλο χρονικό διάστημα μεταξύ των μετρήσεων, μέχρι το πέρας των αναλύσεων, τα δείγματα τοποθετούνταν στο ψυγείο.



Εικόνα 4.2 Πολυπαραμετρικό Όργανο YSI ProDSS Multiparameter Water Quality Meter της YSI

Ακολούθως έγιναν οι μετρήσεις των Νιτρικών (NO_3^-) και των Θειικών (SO_4^-) με χρήση φασματοφωτόμετρου DR2010 του εργαστηρίου.



Εικόνα 4.3 Φασματοφωτόμετρο DR2010 του οίκου HACH

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

Αρχικώς τοποθετείται η κυβέτα στο φασματοφωτόμετρο με απιονισμένο νερό, για να ελεγχθεί η αξιοπιστία του οργάνου σε περιεκτικότητα 0. Ακολουθεί περιγραφή των αναλύσεων όλων των κύριων ιόντων:



Αντιδραστήριο: NitraVer 5 Nitrate Reagent Powder Pillows

Διαδικασία: Τοποθετούμε 25ml δείγματος στην κυβέτα και θέτουμε την ένδειξη του οργάνου στο 0. Στη συνέχεια προσθέτουμε στο δείγμα το περιεχόμενο από ένα φακελάκι αντιδραστηρίου και αναδεύουμε καλά για ένα λεπτό. Μετά το τέλος της ανάδευσης το χρώμα του δείγματος γίνεται από καφέ ανοιχτό έως σκούρο ανάλογα με τη χαμηλή ή την υψηλή περιεκτικότητα του σε NO_3^- . Ακολούθως το δείγμα τοποθετείται στην στο φασματοφωτόμετρο για 5min και διαβάζουμε την ένδειξη του οργάνου.



Εικόνα 4.4 Μέτρηση NO_3^- (σκουρότερο χρώμα σημαίνει υψηλότερη συγκέντρωση)



Αντιδραστήριο: SulfaVer 4 Sulfate Reagent Powder Pillows

Διαδικασία: Τοποθετούμε 25ml δείγματος στην κυβέτα και θέτουμε την ένδειξη του οργάνου στο 0. Στη συνέχεια προσθέτουμε στο δείγμα το περιεχόμενο από ένα φακελάκι αντιδραστηρίου και αναδεύουμε καλά για ένα λεπτό. Μετά το τέλος της ανάδευσης το χρώμα του δείγματος γίνεται λευκό γαλακτώδες, ανοιχτό έως αρκετά έντονο ανάλογα με τη χαμηλή ή την υψηλή περιεκτικότητά του σε SO_4^- . Ακολούθως το δείγμα τοποθετείται στην ειδική θέση του φασματοφωτόμετρου για 5 λεπτά και διαβάζουμε την ένδειξη του οργάνου.



Αντιδραστήρια: Δείκτης Diphenylcarbazone reagent Powder Pillows, ένεση Mercuric Nitrate Titanion Cartridge 2,256N

Διαδικασία: Σε 100ml δείγματος προσθέτουμε 1 φακελάκι του δείκτη Diphenylcarbazone reagent Powder Pillows. Ακολουθεί έκχυση Mercuric Nitrate Titanion Cartridge 2,256N με ένεση ενώ ταυτόχρονα το διάλυμα αναδεύεται καλά. Μόλις το διάλυμα αποκτήσει χρώμα ανοιχτό ροζ, όλα τα ιόντα Cl έχουν εξουδετερωθεί και αυτό δηλώνει το τέλος της τιτλοδότησης.



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

Διαδικασία: Σε 100ml δείγματος προσθέτουμε 1 φακελάκι του δείκτη Bromcresol Green – Methyl Red Indicator και το διάλυμα αποκτά μπλε χρώμα. Ακολουθεί έκχυση του Sulfaric Acid Titration Cartridge 1,6N ενώ ταυτόχρονα το διάλυμα αναδεύεται καλά. Το χρώμα του διαλύματος κατά την εξέλιξη της τιτλοδότησης αλλάζει από μπλε σε ροζ, που δηλώνει το τέλος της τιτλοδότησης.

Για τον υπολογισμό της συγκέντρωσης των HCO_3^- ακολουθούμε τον εξής τύπο: $[\text{HCO}_3^-] = (\text{τιμή τιτλοδότησης HCO}_3^-) \times 1,22$.

Ca⁺⁺

Αντιδραστήρια: Pottasium Hydroxide Solution (KOH) 8N, Δείκτης CalVerR 2 Calcium Indicator Powder Pillows, Ένεση EDTA Titration Cartridge 0,800 M.

Διαδικασία: Σε 100ml δείγματος προσθέτουμε 2ml Pottasium Hydroxide Solution (KOH) 8N, για τη ρύθμιση του pH σε 13. Στη συνέχεια προσθέτουμε 1 φακελάκι του δείκτη CalVerR 2 Calcium Indicator Poeder Pillows και το διάλυμα αποκτά χρώμα κόκκινο. Στη συνέχεια πραγματοποιείται έκχυση του EDTA Titration Cartridge 0,800 M με ένεση ενώ παράλληλα πραγματοποιείται ανάδευση. Μόλις το διάλυμα αποκτήσει μπλέ χρώμα έχει απομακρυνθεί όλο το Ca⁺⁺ και αυτό σηματοδοτεί το τέλος της τιτλοδότησης.

Για τον υπολογισμό της συγκέντρωσης Ca⁺⁺ ακολουθούμε τον εξής τύπο $[Ca^{++}] = (\text{τιμή τιτλοδότησης } Ca^{++}) / 2,497$.

Mg⁺⁺

Αντιδραστήρια: Buffer Solution, Δείκτης ManVerR 2 Hardness Indicator Powder Pillows, Ένεση EDTA Titration Cartridge 0,800 M

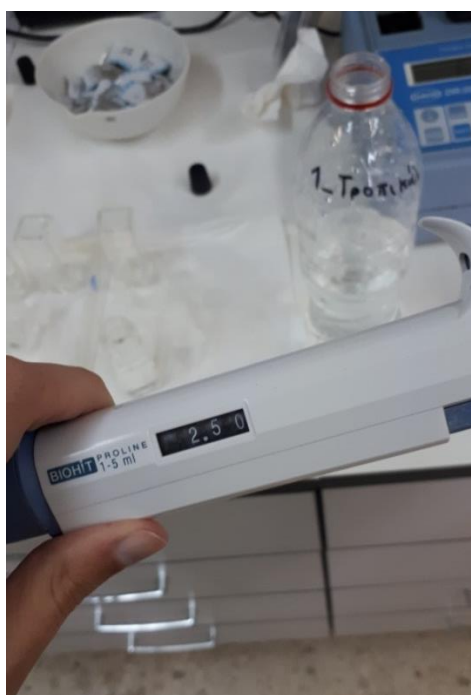
Διαδικασία: Σε 100ml δείγματος προσθέτουμε 2ml Buffer Solution, για τη ρύθμιση του pH σε 10. Στη συνέχεια προσθέτουμε 1 φακελάκι του δείκτη ManVerR 2 Hardness Indicator Powder Pillows και το διάλυμα αποκτά ροζ χρώμα. Κατόπιν πραγματοποιείται έκχυση του EDTA Titration Cartridge 0,800 M με ένεση ενώ παράλληλα το διάλυμα αναδεύεται καλά. Το διάλυμα κατά τη διάρκεια της τιτλοδότησης αποκτά χρώμα μωβ και τελικά με τη χορήγηση 1 – 2 επιπλέον σταγόνων EDTA, γίνεται μπλε που σηματοδοτεί το τέλος της τιτλοδότησης.

Για τον υπολογισμό της συγκέντρωσης των Mg⁺⁺ ακολουθούμε την εξής σχέση:

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



Εικόνα 4.5 Διαδικασία μετρήσεων Cl^- , HCO_3^- , Ca^{++} , Mg^{++}



Εικόνα 4.6 Όργανο τιτλοδότησης

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



Εικόνα 4.7 Φλογοφωτόμετρο

5 Θρέψη φυτών - Λιπάσματα

5.1 Γονιμότητα του εδάφους

Γονιμότητα του εδάφους ορίζεται η ικανότητα ενός εδάφους να εφοδιάζει με θρεπτικά στοιχεία τα φυτά προκειμένου να διασφαλίζεται η ομαλή ανάπτυξή τους. Η έννοια της γονιμότητας πρέπει να διαχωριστεί από την έννοια της παραγωγικότητας της γεωργικής γης, καθώς αυτή είναι ευρύτερη και ορίζεται ως «η αποδοτικότητα της Γεωργικής Γης για την παραγωγή οικονομικής σημασίας φυτικών προϊόντων συναρτήσει της ποιότητάς της, των κλιματικών συνθηκών και των τοπικών ιδιαιτεροτήτων κάθε περιοχής» (ΦΕΚ 1528/7-9-10).

Ένα στοιχείο ορίζεται ως θρεπτικό, δηλαδή απαραίτητο για την ανάπτυξη των φυτών όταν:

- 1) Συμμετέχει αποδεδειγμένα στις μεταβολικές λειτουργίες του φυτού, το οποίο δεν μπορεί να συμπληρώσει με επιτυχία τον βιολογικό του κύκλο χωρίς αυτό.
- 2) Όταν το φυτό παρουσιάζει ορατή ή μη συμπτωματολογία εξαιτίας της έλλειψης αυτού του στοιχείου.
- 3) Η έλλειψη είναι συγκεκριμένη για το στοιχείο αυτό, δηλαδή προκαλεί μια ειδική δυσλειτουργία και το στοιχείο αυτό δεν μπορεί να αντικατασταθεί από κανένα άλλο στοιχείο.

5.2 Θρέψη των φυτών

Από το σύνολο των στοιχείων που υπάρχουν στη φύση, απαραίτητα για την ομαλή λειτουργία και ανάπτυξη των φυτών θεωρούνται τα εξής (Μάσσας 2011):

C, H, O, N, P, K, Ca, Mg, S, Cl, Fe, B, Mn, Zn, Cu, Mo

Τα στοιχεία C, H και O προσλαμβάνονται μέσω της ατμόσφαιρας (CO₂) και από το νερό (H₂O). Τα υπόλοιπα στοιχεία προσλαμβάνονται από το εδαφικό διάλυμα (εκτός του N που προσλαμβάνεται και από την ατμόσφαιρα) και κατατάσσονται ανάλογα με τη σχετική

ανάγκη των φυτών σε κάθε στοιχείο σε **μακροθρεπτικά** και **μικροθρεπτικά** (ή ιχνοστοιχεία).

Πίνακας 5.1 Διαχωρισμός θρεπτικών στοιχείων ανάλογα με την ανάγκη των φυτών σε αυτά

Μακροθρεπτικά	Μικροθρεπτικά
N, P, K, Ca, Mg, S	Cl, Fe, B, Mn, Zn, Cu, Mo

Επιπλέον, τα στοιχεία Na, Co, I, Ni, και V έχουν θεωρηθεί ότι είναι απαραίτητα για ορισμένα είδη φυτών ή ότι μπορούν να διαδραματίσουν θετικό ρόλο στη θρέψη τους, είτε άμεσα, είτε έμμεσα ως απαραίτητα στοιχεία ορισμένων μικροοργανισμών του εδάφους. Εκτός από τα παραπάνω θρεπτικά στοιχεία, στα φυτά έχουν ανιχνευθεί άλλα 40 στοιχεία τα οποία προσλαμβάνονται παθητικά από τα φυτά και τα περισσότερα από αυτά δεν συμμετέχουν σε καμία φυσιολογική λειτουργία ή βιοχημική αντίδραση, μετά την πρόσληψη τους (Μάσσας 2011).

Τα θρεπτικά στοιχεία τα οποία προσλαμβάνονται από το έδαφος, δεν αρκεί μόνο να βρίσκονται σε ικανοποιητικές ποσότητες για την κάλυψη των αναγκών των φυτών, αλλά θα πρέπει επίσης να είναι σε μορφές κατάλληλες για την προσρόφησή τους. Θα πρέπει με άλλα λόγια να βρίσκονται στο έδαφος σε **αφομοιώσιμη** ή **διαθέσιμη** μορφή, δηλαδή είτε σε διαλυτή μορφή στο εδαφικό διάλυμα είτε προσροφημένα σε ανταλλάξιμη μορφή στα κolloειδή του εδάφους. Η περιεκτικότητα ενός εδάφους σε θρεπτικά στοιχεία, καθώς και η διαθεσιμότητα των στοιχείων αυτών στα φυτά, εξαρτώνται κυρίως από:

- Τη χημική σύσταση του μητρικού υλικού του εδάφους
- Την οξύτητα του εδάφους
- Τις οξειδοαναγωγικές συνθήκες που επικρατούν στο έδαφος
- Πρόσθετα (λιπάσματα κ.τ.λ.)

Τα θρεπτικά στοιχεία δεν προσλαμβάνονται από το φυτό σε ατομική μορφή, αλλά με τη μορφή κατιόντων και ανιόντων, ενώ το άζωτο (N) μπορεί να προσληφθεί από τα φυτά τόσο ως κατιόν (NH_4^+) όσο και ως ανιόν (NO_3^-).

Πίνακας 5.2 Αφομοιώσιμες μορφές μακροθρεπτικών

Μακροθρεπτικά		
Θρεπτικό Στοιχείο	Κατιόντα	Ανιόντα
N	NH_4^+	NO_3^-
K	K^+	
Ca	Ca^{2+}	
Mg	Mg^{2+}	
P		$\text{HPO}_4^{2-}, \text{H}_2\text{PO}_4^-$
S		SO_4^{2-}

Πίνακας 5.3 Αφομοιώσιμες μορφές μικροθρεπτικών

Μικροθρεπτικά		
Θρεπτικό Στοιχείο	Κατιόντα	Ανιόντα
Cl		Cl^-
Fe	$\text{Fe}^{2+}, \text{Fe}^{3+}$	
Mn	$\text{Mn}^{2+}, \text{Mn}^{4+}$	
Zn	Zn^{2+}	
B		BO_3^{2-}
Cu	Cu^{2+}	
Mo		MoO_4^{2-}

5.3 Κύρια θρεπτικά στοιχεία

5.3.1 Άζωτο N

Το άζωτο είναι ένα από τα τρία (N, P, K) θρεπτικά στοιχεία των φυτών του οποίου παρατηρείται συχνότατα έλλειψη στο έδαφος, η οποία έχει σαν αποτέλεσμα τον περιορισμό της ανάπτυξης των φυτών. Η κύρια πηγή αζώτου για το έδαφος είναι η ατμόσφαιρα, με τις κυριότερες αζωτούχες ενώσεις να είναι τα N_2 , NO, NO_2 , N_2O , NH_3 καθώς και μικρές ποσότητες NO_3^- και NH_4^+ (Αλιφραγκής 2008).

Το άζωτο είναι ένα στοιχείο μεγάλης σημασίας για το φυτό διότι αποτελεί σημαντικό τμήμα των αμινοξέων και κατά συνέπεια των πρωτεϊνών, καθώς και των ενζύμων τα οποία ελέγχουν τις βιολογικές διεργασίες. Συμμετέχει επίσης στη σύσταση των νουκλεϊκών οξέων και της χλωροφύλλης και διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην αξιοποίηση των υδατανθράκων εντός των φυτών. Ο εφοδιασμός του φυτού με επαρκή ποσότητα αζώτου βοηθά στην ανάπτυξη των ριζών, των υπέργειων φυτικών ιστών αλλά και στην πρόσληψη και άλλων θρεπτικών στοιχείων από το φυτό. Η τροφοπενία αζώτου έχει σαν αποτέλεσμα την εμφάνιση χλωρωτικών φαινομένων ιδιαίτερα στα παλαιότερα φύλλα, καθώς και περιορισμένη ανάπτυξη (Αλιφραγκής 2008).

Οι μεγαλύτερες ποσότητες του αζώτου των φυτικών και ζωικών υπολειμμάτων νε τα οποία εμπλουτίζεται το έδαφος είναι πρωτεϊνικής φύσεως. Οι πρωτεΐνες αυτές με τη δράση διαφόρων ενζύμων που εκκρίνουν διάφοροι μικροοργανισμοί του εδάφους υδρολύονται (**aminization**). Με τη διάσπαση των πρωτεϊνών σχηματίζονται διάφορα αμινοξέα τα οποία προσλαμβάνονται με τη σειρά τους από άλλους ετερότροφους μικροοργανισμούς με αποτέλεσμα το σχηματισμό αμμωνίας στο έδαφος (**ammonification**). Η αμμωνία που σχηματίζεται με τη διαδικασία αυτή μετατρέπεται στο έδαφος σε αμμωνιακό ιόν (NH_4^+). Ένα ποσοστό της αμμωνίας αυτής, με τη δράση ορισμένων αυτότροφων οργανισμών, οξειδώνεται σε δύο στάδια (**nitrification**). Στο πρώτο στάδιο σχηματίζονται νιτρώδη ιόντα (NO_2^-) και στο δεύτερο στάδιο γίνεται περαιτέρω οξείδωση σε νιτρικά ιόντα (NO_3^-). Λόγω της απελευθέρωσης ιόντων υδρογόνου [H^+], κατά τη διαδικασία της νιτροποίησης παρατηρείται ελάττωση του εδαφικού pH (Αλιφραγκής 2008).

Οι παραπάνω διαδικασίες ονομάζονται και **ανοργανοποίηση** του οργανικού αζώτου. Στη φύση όμως είναι δυνατόν να παρατηρηθεί και το αντίθετο, δηλαδή ανόργανες μορφές αζώτου να μετατραπούν σε οργανικές μορφές. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται ακινητοποίηση (**immobilization**) και αποδίδεται στη δράση των μικροοργανισμών οι οποίοι δεσμεύουν τις ανόργανες ενώσεις αζώτου για την κάλυψη των αναγκών τους.

Λόγω της φύσεως των ενώσεων του αζώτου, παρατηρείται το φαινόμενο της σταδιακής μείωσης των επιπέδων αζώτου στα εδάφη. Αρχικά έχουμε απώλειες NH_3 λόγω πτητικοποίησης η οποία παρατηρείται σε αλκαλικά εδάφη και οι απώλειες αυτές μπορεί να είναι σημαντικές όταν το pH του εδάφους αυξάνεται από την υδρόλυση των λιπασμάτων

ουρίας που προστίθεται στα επιφανειακά εδάφη. Επιπλέον πολλά είδη βακτηρίων μπορούν να ανάγουν τα νιτρικά ιόντα σε αέριες μορφές αζώτου (NO , N_2O , N_2) οι οποίες αποβάλλονται στη συνέχεια στην ατμόσφαιρα, με τη διαδικασία αυτή να ονομάζεται **απονιτροποίηση**. Τέλος, μία πολύ σημαντική αιτία απώλειας αζώτου από τα εδάφη είναι η έκπλυση των νιτρικών σε βαθύτερα στρώματα. Τα νιτρικά, ως ανιόντα, εκπλύνονται από το έδαφος καθώς λόγω του φορτίου τους συγκρατούνται από τα κolloειδή του εδάφους σε πολύ μικρές ποσότητες και ασθενώς. Επίσης από το έδαφος εκπλύνονται και οι διαλυτές αζωτούχες οργανικές ενώσεις (Αλιφραγκής 2008).

Όπως γίνεται εύκολα αντιληπτό, λόγω της μεγάλης σημασίας του αζώτου για τα φυτά, σε συνδυασμό με τη μικρή ικανότητα που έχει να παραμένει σε ικανοποιητικά επίπεδα στο βάθος του ριζωστρώματος ώστε να είναι αξιοποιήσιμο από αυτά, είναι απαραίτητη η προσθήκη του με τη μορφή λιπασμάτων στα γεωργικά εδάφη.

5.3.2 Φώσφορος P

Ο φώσφορος είναι το δεύτερο κύριο θρεπτικό στοιχείο που χρειάζονται τα φυτά σε μεγάλες ποσότητες. Ο φώσφορος αποτελεί ένα κύριο θρεπτικό στοιχείο των φυτών διότι είναι βασικό συστατικό των οργανικών ενώσεων που παίζουν σημαντικό ρόλο τόσο στο μεταβολισμό τους, όσο και στη μεταφορά ενέργειας στα κύτταρα (πχ. ATP). Παράλληλα ο φώσφορος είναι βασικό συστατικό του DNA, του RNA και των φωσφορολιπιδίων. Η φωτοσύνθεση, η αζωτοδέσμευση, η ανθοφορία, η καρποφορία η ανάπτυξη του ριζικού συστήματος και ιδιαίτερα η ανάπτυξη του λεπτού ριζικού συστήματος εξαρτώνται από την ύπαρξη επαρκούς ποσότητας φωσφόρου. Η τροφοπενία φωσφόρου είναι συχνά δύσκολο να διαγνωσθεί και τα συχνότερα συμπτώματά της είναι η μειωμένη ανάπτυξη, το σκούρο φύλλωμα τα οποία εμφανίζονται κυρίως στα παλαιότερα φύλλα (Αλιφραγκής 2008).

Στο έδαφος ο φώσφορος βρίσκεται σε οργανική και ανόργανη μορφή. Και οι δύο αυτές μορφές, προέρχονται σχεδόν αποκλειστικά από τα πρωτογενή και δευτερογενή ορυκτά που περιέχουν το στοιχείο αυτό. Σαν ανόργανος στη στερεά φάση του εδάφους απαντάται συνήθως σε άλατα αλλά και σε σύμπλοκα του φωσφορικού οξέος με τα στοιχεία Al, Fe, Mn, Mg και Ca. Οι παραπάνω μορφές συνεισφέρουν P στο εδαφικό διάλυμα, αλλά η μεγαλύτερη ποσότητά του είναι μικρής διαλυτότητας και μη διαθέσιμη για πρόσληψη από

τα φυτά. Ο οργανικός φώσφορος αποτελεί το 20 – 60% του ολικού P του εδάφους. Στα εδάφη, ο φώσφορος ακινητοποιείται και ανοργανοποιείται από την οργανική ουσία με τις ίδιες περίπου διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα και με το άζωτο (Αλιφραγκής 2008).

Η ικανότητα των εδαφών να δεσμεύουν φώσφορο αυξάνει με την περιεκτικότητα τους σε άργιλο, ανθρακικό ασβέστιο και με τη συγκέντρωση σιδήρου, αργιλίου και μαγγανίου. Επιπλέον, η μικρότερη δέσμευση φωσφόρου στα εδάφη πραγματοποιείται σε τιμές pH μεταξύ 6 και 7. Για τη διατήρηση ικανοποιητικής ποσότητας διαθέσιμου φωσφόρου στο έδαφος είναι απαραίτητη η προσθήκη του με λιπάσματα και εδαφοβελτιωτικά καθώς και με την κατά το δυνατόν ρύθμιση των διαδικασιών που είναι υπεύθυνες για τη δέσμευσή του.

5.3.3 Κάλιο K

Το κάλιο είναι το τρίτο κύριο θρεπτικό στοιχείο που χρειάζονται τα φυτά σε μεγάλες ποσότητες. Το κάλιο που βρίσκεται στο έδαφος και προσλαμβάνουν τα φυτά προέρχεται από την αποσάθρωση καλιούχων ορυκτών. Σε αντίθεση με τα υπόλοιπα μακροθρεπτικά, το κάλιο βρίσκεται στο εδαφικό διάλυμα μόνο στην ιοντική του μορφή [H⁺]. Το κάλιο δεν είναι τοξικό και δεν δημιουργεί περιβαλλοντικά προβλήματα όταν απομακρύνεται από το έδαφος (P, N – ευτροφισμός). Παραμένει στην ιοντική μορφή του και στα κύτταρα των οργανισμών και ενεργοποιεί περισσότερα από 80 ένζυμα που είναι υπεύθυνα για τον μεταβολισμό της ενέργειας, τη σύνθεση του αμύλου, την αναγωγή των νιτρικών, τη φωτοσύνθεση και επηρεάζει τους πεπτιδικούς δεσμούς κατά τη σύνθεση των πρωτεϊνών (Αλιφραγκής 2008).

Το κάλιο, κατά τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης, βοηθά στην καλύτερη αξιοποίηση του φωτός κατά τη διάρκεια ψυχρού και συννεφιασμένου καιρού. Σαν συστατικό του κυτοπλάσματος, ρυθμίζει το οσμωτικό δυναμικό του νερού, μειώνοντας έτσι τις απώλειες του νερού από τα στομάτια των φύλλων και αυξάνει την πρόσληψη νερού από τις ρίζες. Συμβάλλει επίσης στην αντοχή των φυτών στη ξηρασία και αυξάνει την αντοχή των φυτών σε ασθένειες και προσβολές από έντομα. Τέλος βελτιώνει την ποιότητα των ανθέων, των καρπών και του φυλλώματος και εξουδετερώνει τα αποτελέσματα της τοξικότητας του αζώτου.

Το κάλιο βρίσκεται στα εδάφη σε διάφορες μορφές. Αρχικά το 90 – 98% της ολικής συγκέντρωσης του καλίου βρίσκεται στο κρυσταλλικό πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών (**δομικό κάλιο**), σε μορφή δηλαδή μη διαθέσιμη στα φυτά. Τα ορυκτά αυτά είναι ανθεκτικά στην αποσάθρωση και απελευθερώνουν μικρές ποσότητες K κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου. Το 1 – 10% της ολικής συγκέντρωσης του καλίου βρίσκεται δεσμευμένο στα ορυκτά της αργίλου τύπου 2:1 στο διαστιβαδικό χώρο αυτών, με αποτέλεσμα να καθίσταται μέρος του κρυστάλλου και για το λόγο αυτό ονομάζεται **μη ανταλλάξιμο** κάλιο. Παρόλα αυτά αποτελεί μια σημαντική αποθήκη καλίου για το έδαφος. Τέλος το 1 – 2% της ολικής συγκέντρωσης του καλίου στα εδάφη είναι το άμεσα διαθέσιμο κάλιο. Το κλάσμα αυτό βρίσκεται στην ανταλλάξιμη φάση του εδάφους (**ανταλλάξιμο** κάλιο) και στο εδαφικό διάλυμα. Από αυτές τις προσιτές μορφές, το ανταλλάξιμο κάλιο αποτελεί τη μεγαλύτερη ποσότητα (>90%) και το υπόλοιπο είναι αυτό του εδαφικού διαλύματος. Λόγω λοιπόν της μικρής διαθεσιμότητας καλίου για το φυτό αλλά και της μεγάλης σημασίας του στοιχείου, είναι απαραίτητη η προσθήκη καλίου με λιπάσματα (Μάσσας 2011).

5.3.4 Μικροθρεπτικά στοιχεία (ιχνοστοιχεία)

Τα μικροθρεπτικά στοιχεία θεωρούνται εξίσου σημαντικά με τα μακροστοιχεία και η έλλειψη τους προκαλεί διάφορα συμπτώματα όπως ξήρανση κορυφής, περιορισμένη ανάπτυξη, μικρή παραγωγικότητα κ.α.. Τα μικροθρεπτικά αποτελούν βασικά συστατικά των ενζύμων και των ορμονών των φυτών και συμμετέχουν σε βιοχημικές αντιδράσεις οφείδωσης και αναγωγής. Σε εξαιρετικές περιπτώσεις η έλλειψή τους προκαλεί ολική ξήρανση των φυτών.

Η διαθεσιμότητα στοιχείων όπως ο σίδηρος, το μαγγάνιο, ο χαλκός και ο ψευδάργυρος αυξάνεται με τη μείωση της τιμής του pH, με αποτέλεσμα σε πολύ όξινες συνθήκες οι συγκεντρώσεις αυτών των μικροθρεπτικών στο εδαφικό διάλυμα να φτάνουν σε επίπεδα τοξικότητας για τα φυτά. Σε αλκαλικές συνθήκες, η διαθεσιμότητα αυτών των στοιχείων μειώνεται τόσο πολύ που παρουσιάζονται συχνά συμπτώματα τροφοπενίας στα φυτά. Τέλος, σε εδάφη πλούσια σε οργανική ουσία, παρατηρείται μείωση της διαθεσιμότητας των Fe, Mn, Cu, Zn γιατί τα συγκεκριμένα μικροθρεπτικά προσροφώνται ισχυρά στα μόρια του χούμου (Μάσσας 2011).

5.4 Επιπτώσεις στο περιβάλλον

Στη μόνιμη γεωργική γη, το έδαφος είναι συχνά πολύ φτωχό σε θρεπτικά συστατικά, εξαιτίας της εντατικής του εκμετάλλευσης και ως αποτέλεσμα, μη παραγωγικό. Επομένως, οι παραγωγοί, είναι υποχρεωμένοι να χρησιμοποιήσουν λιπάσματα για την αύξηση της γονιμότητας του. Πολλές μελέτες, ωστόσο, έχουν δείξει ότι η υπερβολική και αλόγιστη χρήση λιπασμάτων αυξάνει την αλατότητα του εδάφους, συμβάλει στη συσσώρευση βαρέων μετάλλων και εντείνει φαινόμενα ευτροφισμού. Συγκεκριμένα ο Παγκόσμιος Οργανισμός Τροφίμων (FAO/ECE 1991) έχει καταδείξει τα παρακάτω:

- Μια από τις κυριότερες αιτίες εμπλουτισμού επιφανειακών υδάτων (ευτροφισμός) είναι η χρήση τόσο οργανικών λιπασμάτων (κοπριά) όσο και η χρήση ανόργανων λιπασμάτων, σαν αποτέλεσμα έκπλυσης νιτρικών και φωσφορικών από το έδαφος.
- Ρύπανση των υπόγειων υδάτων ως αποτέλεσμα έκπλυσης, ειδικά των νιτρικών. Τα φωσφορικά άλατα ξεπλένονται λιγότερο εύκολα, αλλά σε περιοχές όπου το έδαφος είναι κορεσμένο με φωσφορικό άλας αυτή η ουσία βρίσκεται στα υπόγεια ύδατα όλο και πιο συχνά.
- Τα επιφανειακά αλλά και τα υπόγεια ύδατα επιβαρύνονται από βαρέα μέταλλα τα οποία περιέχονται τόσο στα οργανικά όσο και στα ανόργανα λιπάσματα. Οι υψηλές συγκεντρώσεις αυτών των ουσιών αποτελούν απειλή για την υγεία του ανθρώπου και των ζώων. Τα βαρέα μέταλλα συσσωρεύονται στο έδαφος, από το οποίο προσλαμβάνονται από καλλιέργειες.

Ο ακριβής ρόλος της γεωργίας στον ευτροφισμό των επιφανειακών υδάτων και τη μόλυνση των υπόγειων υδάτων είναι δύσκολο να ποσοτικοποιηθεί. Η χρήση σταθερών ισοτόπων μπορεί να βοηθήσει στη διάγνωση της πορείας ρύπων προς και εντός των υπογείων υδάτων. Το Εθνικό Ινστιτούτο Δημόσιας Υγείας και Περιβάλλοντος της Ολλανδίας (RIVM, 1992) υπολόγισε ότι η ευρωπαϊκή γεωργία ευθύνεται για το 60% της συνολικής ροής αζώτου των ποταμών προς τη Βόρεια Θάλασσα και το 25% της συνολικής φόρτωσης φωσφόρου. Η γεωργία συμβάλλει επίσης σημαντικά στη συνολική ατμοσφαιρική φόρτωση αζώτου στη Βόρεια και τη Βαλτική Θάλασσα. Αυτό ανέρχεται σε 65% και 55% αντίστοιχα. Η

Τσεχοσλοβακία ανέφερε ότι η γεωργία συμβάλλει στο 48% της ρύπανσης των επιφανειακών υδάτων. Η Νορβηγία και η Φινλανδία ανέφεραν τοπικά σημαντικό ευτροφισμό των επιφανειακών υδάτων που προέρχονται από τη γεωργία (Ongley 1996). Τα υψηλά επίπεδα χρήσης των N και P θεωρούνται υπεύθυνα για τον πολλαπλασιασμό των φυκών στην Αδριατική. παρόμοιες παρατηρήσεις γίνονται στα παράκτια ύδατα της Δανίας. Αναφέρθηκε επίσης σημαντική ρύπανση των υπόγειων υδάτων από νιτρικά άλατα στις Κάτω Χώρες (FAO / ECE, 1991). Το 50% των αβαθών υδροφόρων που τροφοδοτούν περισσότερους από ένα εκατομμύριο κατοίκους της υπαίθρου στη Λιθουανία είναι ακατάλληλοι για κατανάλωση από τον άνθρωπο λόγω ενός ευρέος φάσματος ρύπων που περιλαμβάνουν φυτοφάρμακα και είδη αζώτου (B.G. Appelgren, FAO, 1994b). Στη δεκαετία του 1960 η λίμνη Erie (μία από τις Μεγάλες Λίμνες της Βόρειας Αμερικής) κηρύχθηκε "νεκρή" από τον τύπο λόγω των υψηλών επιπέδων θρεπτικών συστατικών που συνοδεύονταν από υπερβολική ανάπτυξη φυκών, νεκρών ψαριών και αναερόβιων ιζημάτων.

Πλήθος μελετών έχει καταδείξει τη συμβολή των λιπασμάτων στην επιβάρυνση των υδατικών πόρων με βαρέα μέταλλα (Hariprasad N. V., Dayananda H. S. 2013, Atafar et al. 2010, Cheraghi et al. 2012). Στοιχεία όπως Cd, Cu, Zn, κα βρίσκονται τόσο σε μερικά φωσφορικά λιπάσματα, όσο και σε άλλα χημικά λιπάσματα. Η παρατεταμένη υπερβολική χρήση των λιπασμάτων αυτών μπορεί να οδηγήσει στη συσσώρευση των στοιχείων αυτών. Εκτός όμως από την άμεση επιβάρυνση των λιπασμάτων, σε ορισμένες περιοχές με κατάλληλο γεωλογικό υπόβαθρο (υπερβασικά πετρώματα), η παρουσία των νιτρικών ιόντων στα υπόγεια νερά οξειδώνει το γεωγενές και μη τοξικό Cr^{3+} στο πολύ τοξικό Cr^{6+} (Papazotos et al., 2018)

5.5 Βαρέα μέταλλα στα λιπάσματα

Οι εισροές βαρέων μετάλλων στο έδαφος μέσω της εκτεταμένης εφαρμογής των λιπασμάτων αποτελεί ένα σημαντικό αντικείμενο μελέτης, εξαιτίας των σοβαρών επιπτώσεών τους τόσο στην ανθρώπινη υγεία, όσο και στη ποιοτική κατάσταση του περιβάλλοντος. Εντός του εδάφους, τα στοιχεία αυτά, είτε προσοφώνονται στα κολλοειδή του εδάφους και καθίστανται δυσδιάλυτα στο νερό, με αποτέλεσμα στη συνέχεια να

προσλαμβάνονται από τα φυτά και να καταλήγουν εντός της τροφικής αλυσίδας, είτε παρασύρονται με την κίνηση του νερού στους υπόγειους υδροφόρους ορίζοντες μέσω της βαθιάς διήθησης και της διάβρωσης. Τα ανόργανα λιπάσματα είναι μια καθαρή πηγή βαρέων μετάλλων και η μακροχρόνια εφαρμογή τους μπορεί να αυξήσει την περιεκτικότητα των εδαφών σε αυτά και κατά συνέπεια την περιεκτικότητά τους εντός της τροφικής αλυσίδας. (Jones et al., 1987a).

Από το σύνολο των ορυκτών λιπασμάτων, τα φωσφορικά λιπάσματα είναι η κύρια πηγή βαρέων μετάλλων (McLaughlin et al., 1996; Sager, 1997; Nicholson et al., 2003). Τα λιπάσματα αυτά προέρχονται από την επεξεργασία του ορυκτού φωσφόρου (φωσφορίτης). Ο φωσφορίτης περιέχει ευρύ φάσμα βαρέων μετάλλων σε μικρές ποσότητες στα ορυκτά του. Οι ποσότητες αυτές μεταφέρονται στα φωσφορικά λιπάσματα κατά τη διαδικασία παραγωγής τους και στη συνέχεια καταλήγουν στα εδάφη. Η συγκέντρωση των μετάλλων εξαρτάται από την πηγή προέλευσης του ορυκτού φωσφόρου, με χαμηλές συγκεντρώσεις να παρατηρούνται σε πυριγενή ορυκτά φωσφόρου και υψηλές σε ιζηματογενή (Van Kauwenbergh, 2002). Χαρακτηριστικά βαρέα μέταλλα που συναντώνται στα φωσφορικά λιπάσματα είναι το κάδμιο (Cd), το αρσενικό (As), το χρώμιο (Cr), ο μόλυβδος (Pb), ο υδράργυρος (Hg), το νικέλιο (Ni), και το βανάδιο (V) (Mortvedt 1996).

Πίνακας 5.4 Μέση περιεκτικότητα ΒΜ σε κοιτάσματα φωσφορίτη (Kongshaug et al., 1992)

Κοίτασμα Φωσφορίτη	Συγκέντρωση βαρέων μετάλλων (mg/Kg)						
	As	Cd	Cr	Pb	Hg	Ni	V
Ρωσία	1	0.1	13	3	0.01	2	100
ΗΠΑ	12	11	109	12	0,05	37	82
Νότια Αφρική	6	0,2	1	35	0,06	35	3
Μαρόκο	11	30	225	7	0,04	26	87
Βόρεια Αφρική	15	60	105	6	0,05	33	300
Μέση Ανατολή	6	9	129	4	0,05	29	122

Παρακάτω ακολουθεί συγκεντρωτικός πίνακας με τα αποτελέσματα προηγούμενων μελετών σχετικά με τη συγκέντρωση φωσφορικών λιπασμάτων σε διάφορα μέρη του κόσμου.

Πίνακας 5.5 Περιεκτικότητα φωσφορικών λιπασμάτων σε διάφορα μέρη του κόσμου

	As	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Αργεντινή ¹	na	0-56,8	na	10,4-72,7	2,8-182,6	7-26,9	5,1-30,7	8,8-180,6
ΗΠΑ ²	0 - 21	0-163	na	na	na	na	na	na
Βραζιλία ³	0,54-26,72	0,4-40,03	na	10,72-341,75	na	na	0,35-102,46	na
Σαουδική Αραβία ⁴	na	22,7-36,8	na	199,9-410	na	52,8-85,2	11,2-32,4	na
Χιλή ⁵	8,3-19,7	2,6-57,9	1,7-3,8	66,8-924	1,5-155	1,8-17,9	3,8-22,3	28,6-883
Ευρώπη ^{6*}	7,6	7,4	na	89,5	na	14,8	2,9	166

na not available

*Μέσες τιμές

¹ De López Camelo et al. (1997)

² Chen et al. (2007)

³ Da Silva et al. (2007)

⁴ Modaihsh et al. (2004)

⁵ Molina et al. (2009)

⁶ Nziguheba and Smolders (2008)

Όσον αφορά τη περιοχή μελέτης, έχει γίνει ανάλυση της περιεκτικότητας σε 3 λιπάσματα (P1, P2, P3) που κυκλοφορούν στη τοπική αγορά (Parazotos et al., 2019) σύστασης 0-46-0, 17,5-44-0 και 28-28-0 και θεωρούνται αντιπροσωπευτικά για τη περιοχή. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται τα αποτελέσματα της ανάλυσής τους:

Πίνακας 5.6 Περιεκτικότητα λιπασμάτων σε βαρέα μέταλλα (mg/Kg), (Parazotos et al., 2019)

	As	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
P1	8,7	11,1	<1	230	26	36	4	323
P2	20,8	<0,1	<0,2	<10	0,3	0,5	<0,1	16
P3	7,6	16,3	0,4	54,74	23,8	28,6	1,6	547

6 Αποτελέσματα

6.1 Αποτελέσματα αναλύσεων εδαφικών δειγμάτων

Στα πλαίσια της διερεύνησης της ποιότητας του εδάφους της περιοχής, ελήφθησαν 13 εδαφικά δείγματα από την περιοχή μελέτης. Η εργαστηριακή ανάλυση των δειγμάτων αυτών πραγματοποιήθηκε στο εργαστήριο Γεωλογίας του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών. Η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε τον Οκτώβριο του 2019. Τα σημεία δειγματοληψίας ήταν 13 και, εκτός από την πρώτη θέση, όλα ανήκαν στο επιφανειακό στρώμα εδάφους (0 – 30 cm). Στον πίνακα που ακολουθεί φαίνονται τα σημεία της δειγματοληψίας και οι γεωγραφικές συντεταγμένες τους.

Πίνακας 6.1 Συντεταγμένες εδαφικών δειγμάτων

Θέση	Γεωγραφικό Πλάτος	Γεωγραφικό Μήκος
PW1α (0 – 30 cm)	38,582333	23,640367
PW1β (30 – 60 cm)		
PW1γ (60 – 90)		
PW2	38,574133	23,644500
PW3	38,564867	23,638467
PW4	38,561233	23,648167
PW5	38,582133	23,617400
PW6	38,568103	23,616606
PW8	38,578600	23,621400
PW9	38,566540	23,626953
PW10	38,579620	23,629973
PW11	38,561267	23,642733
PW12	38,568317	23,627567
PW13	38,576933	23,620867
PW14	38,571567	23,633567



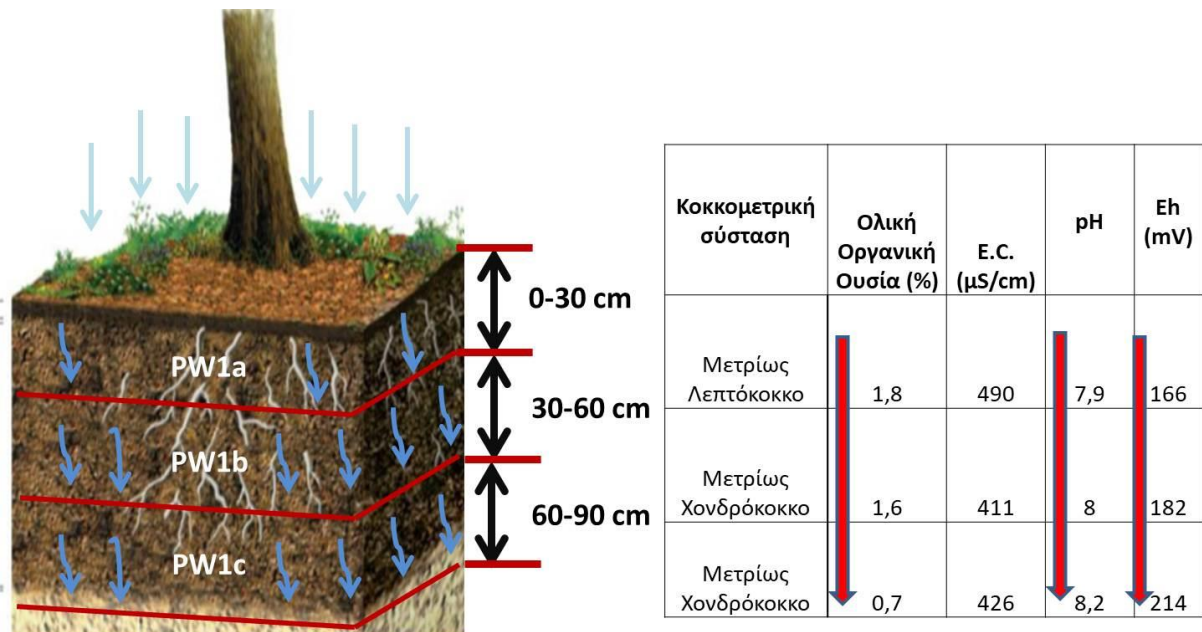
Εικόνα 6.1 Θέσεις Εδαφικών Δειγμάτων στη λεκάνη των Ψαχνών, Κεντρικής Ευβοίας

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται τα αποτελέσματα των αναλύσεων pH, ηλεκτρικής αγωγιμότητας, ανθρακικών αλάτων, οργανικής ουσίας και κοκκομετρικής σύστασης.

Πίνακας 6.2 Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά εδαφικών δειγμάτων στη λεκάνη των Ψαχνών, Κεντρικής Ευβοίας

	EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	pH	Eh	CaCO ₃		Ολική Οργανική Ουσία		Κοκκομετρική Σύσταση				
				(%)	Χαρακτηρισμός	(%)	Χαρακτηρισμός	Sand (%)	Clay (%)	Silt (%)	Κλάση	Χαρακτηρισμός
PW1 α	490	7,9	166	12,68	Μαργώδη	1,8	Πολύ χαμηλή	58	21	21	Sandy Clay Loam	Μετρίως Λεπτόκοκκο
PW1 β	411	8	182	13,68	Μαργώδη	1,6	Πολύ χαμηλή	60	18	22	Sandy Loam	Μετρίως Χονδρόκοκκο
PW1 γ	426	8,2	214	10,24	Μαργώδη	0,7	Πολύ χαμηλή	61	15	24	Sandy Loam	Μετρίως Χονδρόκοκκο
PW2	525	7,95	182,5	14,4	Μαργώδη	1,7	Πολύ χαμηλή	56	17	27	Sandy Loam	Μετρίως Χονδρόκοκκο
PW3	697	7,95	215,5	13,52	Μαργώδη	1,4	Πολύ χαμηλή	55	24	21	Sandy Clay Loam	Μετρίως Λεπτόκοκκο
PW4	458	7,85	177	14,96	Μαργώδη	2,2	Χαμηλή	60	18	22	Sandy Loam	Μετρίως Χονδρόκοκκο
PW5	470	8	202	15,04	Μαργώδη	2,3	Χαμηλή	62	17	21	Sandy Loam	Μετρίως Χονδρόκοκκο
PW6	593	7,95	218	15,2	Μαργώδη	1,7	Πολύ χαμηλή	58	14	28	Sandy Loam	Μετρίως Χονδρόκοκκο
PW8	1113	7,8	202	13,6	Μαργώδη	2,0	Χαμηλή	55	28	17	Sandy Clay Loam	Μετρίως Λεπτόκοκκο
PW9	650	7,8	209	14,72	Μαργώδη	1,9	Πολύ χαμηλή	63	14	23	Sandy Loam	Μετρίως Χονδρόκοκκο
PW10	567	8	207	12,88	Μαργώδη	2,1	Χαμηλή	68	15	17	Sandy Loam	Μετρίως Χονδρόκοκκο
PW11	890	7,9	207	20,96	Μάργες	1,7	Πολύ χαμηλή	56	24	20	Sandy Clay Loam	Μετρίως Λεπτόκοκκο
PW12	493	8,1	203	15,36	Μαργώδη	1,8	Πολύ χαμηλή	59	19	22	Sandy Loam	Μετρίως Χονδρόκοκκο
PW13	376	8	206	14,32	Μαργώδη	1,6	Πολύ χαμηλή	66	18	16	Sandy Loam	Μετρίως Χονδρόκοκκο
PW14	395	8,2	210	12,28	Μαργώδη	1,7	Πολύ χαμηλή	65	15	20	Sandy Loam	Μετρίως Χονδρόκοκκο

Τα εδάφη της περιοχής με βάση τη κοκκομετρική τους σύσταση χαρακτηρίζονται από μετρίως χονδρόκοκκα έως μετρίως λεπτόκοκκα. Όσον αφορά το ποσοστό οργανικής ουσίας που περιέχουν, χαρακτηρίζονται από πολύ χαμηλή έως χαμηλή, με τα ποσοστά για τον επιφανειακό ορίζοντα να κυμαίνονται από 1,4 έως 2,3%, κάτι που ισχύει γενικά για τα ελληνικά εδάφη τα οποία κυμαίνονται από 1 – 5% και ειδικά για τα γεωργικά εδάφη, όπου το ποσοστό βρίσκεται γύρω στο 2% (Μουστάκας 2011).



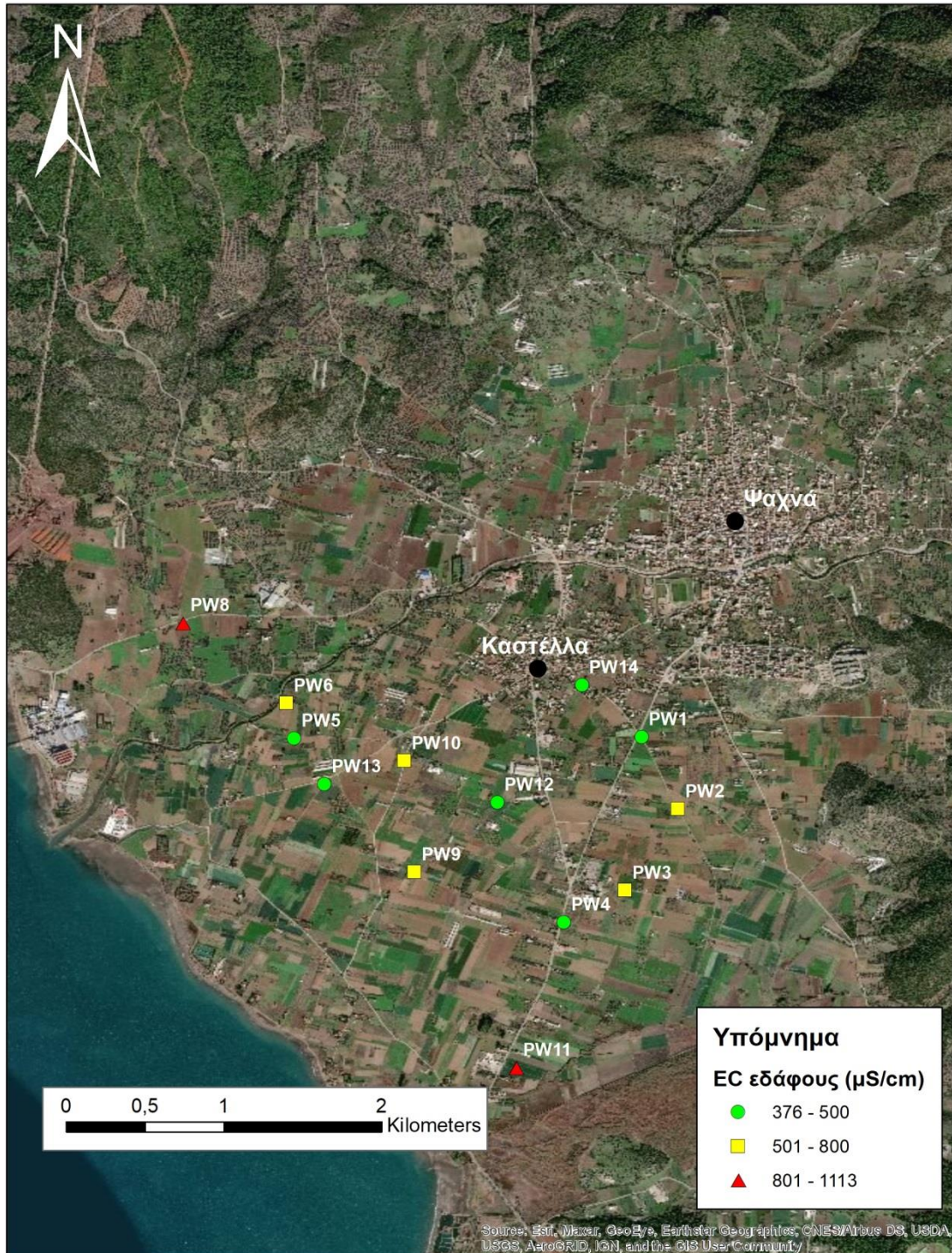
Εδαφοτομή δειγματοληψίας

Εικόνα 6.2 Απεικόνιση εδαφοτομής δειγματοληψίας

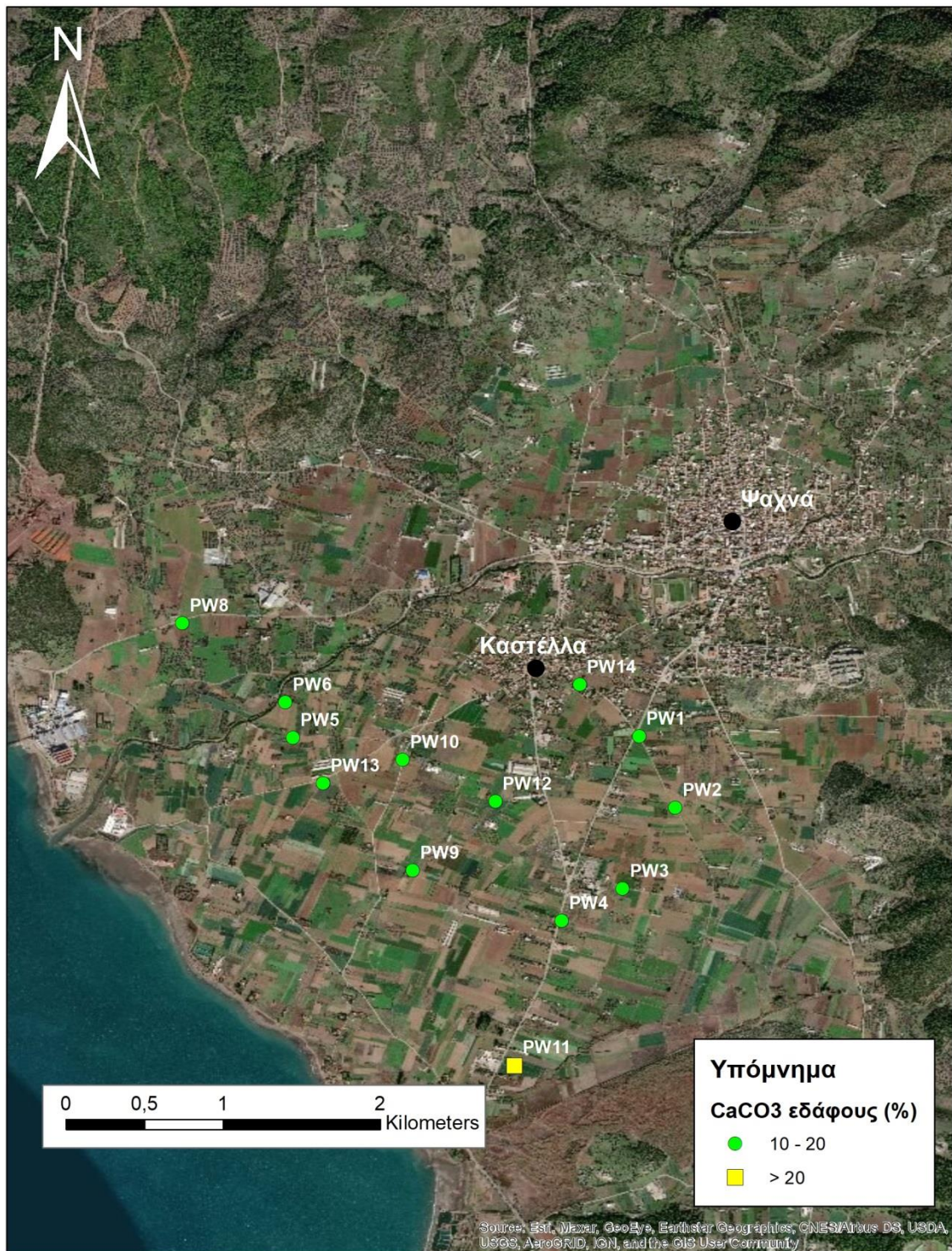
Στην εδαφοτομή στη θέση ένα παρατηρούμαι ότι το ποσοστό οργανικής ουσίας μειώνεται με το βάθος, κάτι το οποίο είναι αναμενόμενο. Με βάση τις μετρήσεις του pH που πραγματοποιήθηκαν, όλες οι τιμές που καταγράφηκαν υπερέβαιναν την τιμή 7, συμπερασματικά τα εδάφη χαρακτηρίζονται ως αλκαλικά, με εύρος από 7,9 έως 8,2. Όσον αφορά στην ηλεκτρική αγωγιμότητα, εύρος της κυμαίνεται από 376 έως 1113 με μέση τιμή τα 570 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Τέλος, όσον αφορά την περιεκτικότητά τους σε ανθρακικό ασβέστιο, το εύρος της τιμής του κυμάνθηκε από 10 έως 21% με μέση τιμή το 14%. Τα εδάφη χαρακτηρίζονται ως μαργώδη, με εξαίρεση το έδαφος στη θέση PW11 που εμπίπτει στη κατηγορία «μάργες». Το γεγονός της σχετικά υψηλής περιεκτικότητας των εδαφών σε ανθρακικό ασβέστιο εξηγεί και τις αυξημένες τιμές εδαφικού pH που παρατηρούνται.

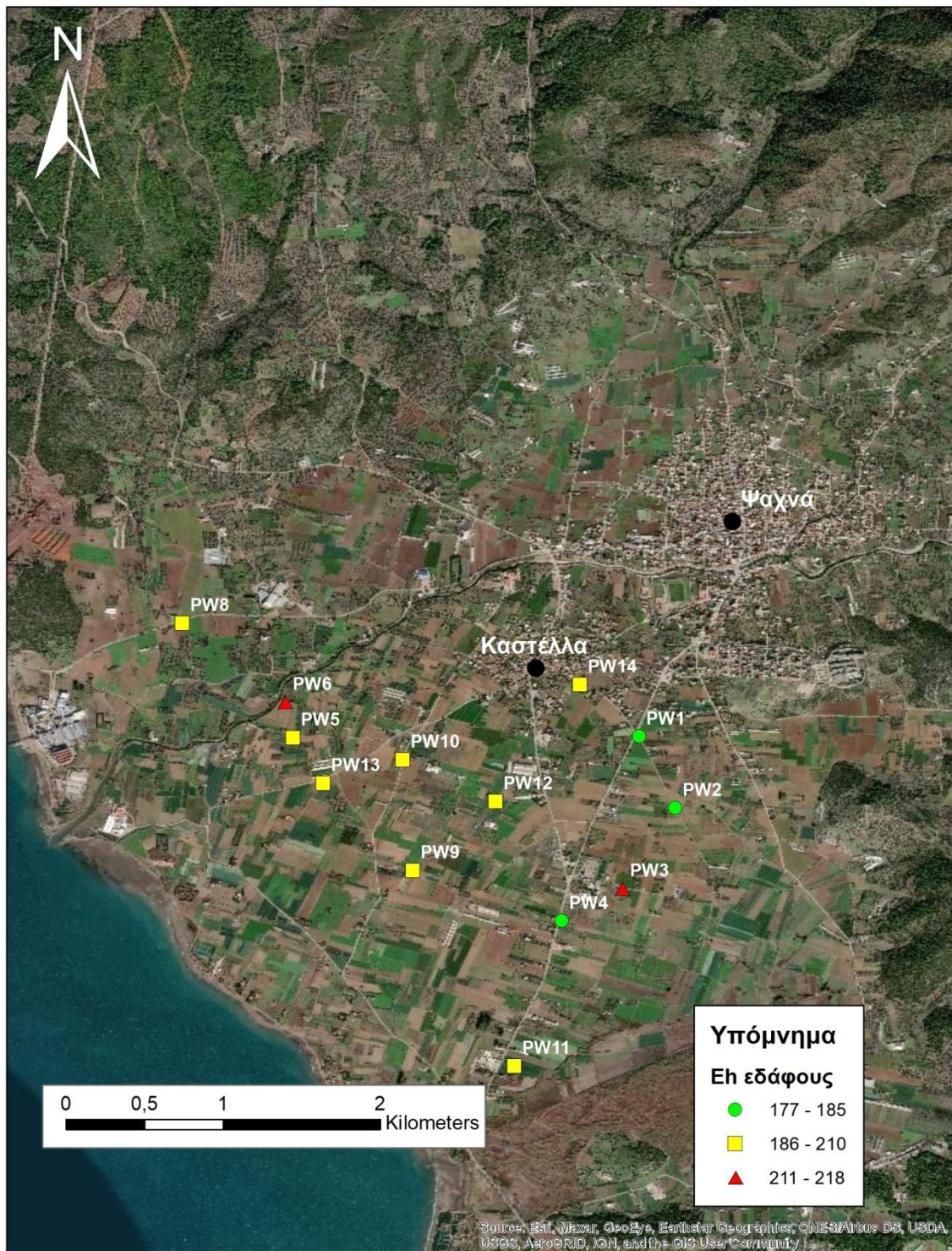
Στις εικόνες που ακολουθούν, παρατίθεται η χωρική κατανομή των παραπάνω αποτελεσμάτων.



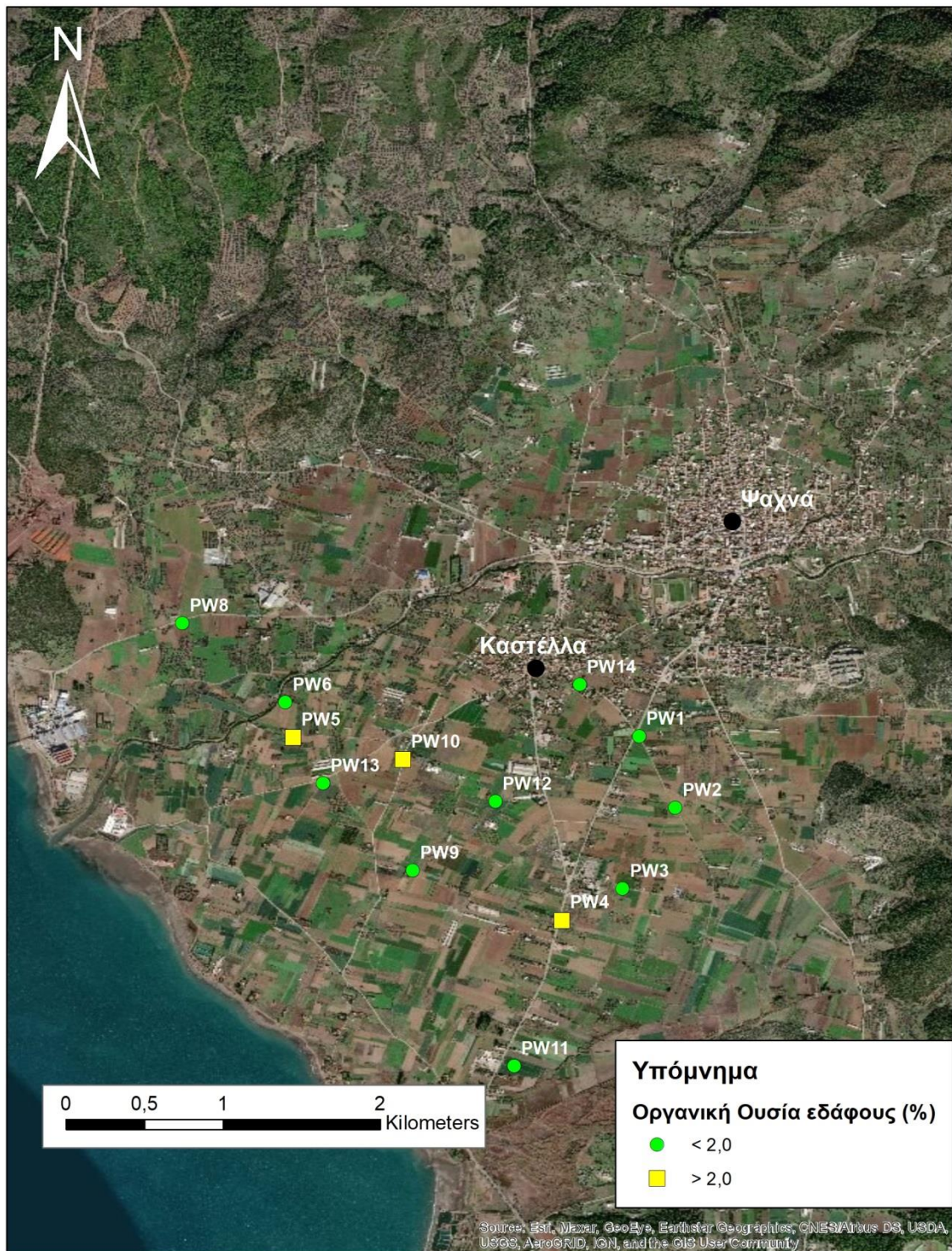
Εικόνα 6.3 Τιμές Ηλεκτρικής αγωγιμότητας των εδαφών στη λεκάνη των Ψαχνών, Κεντρικής Ευβοίας



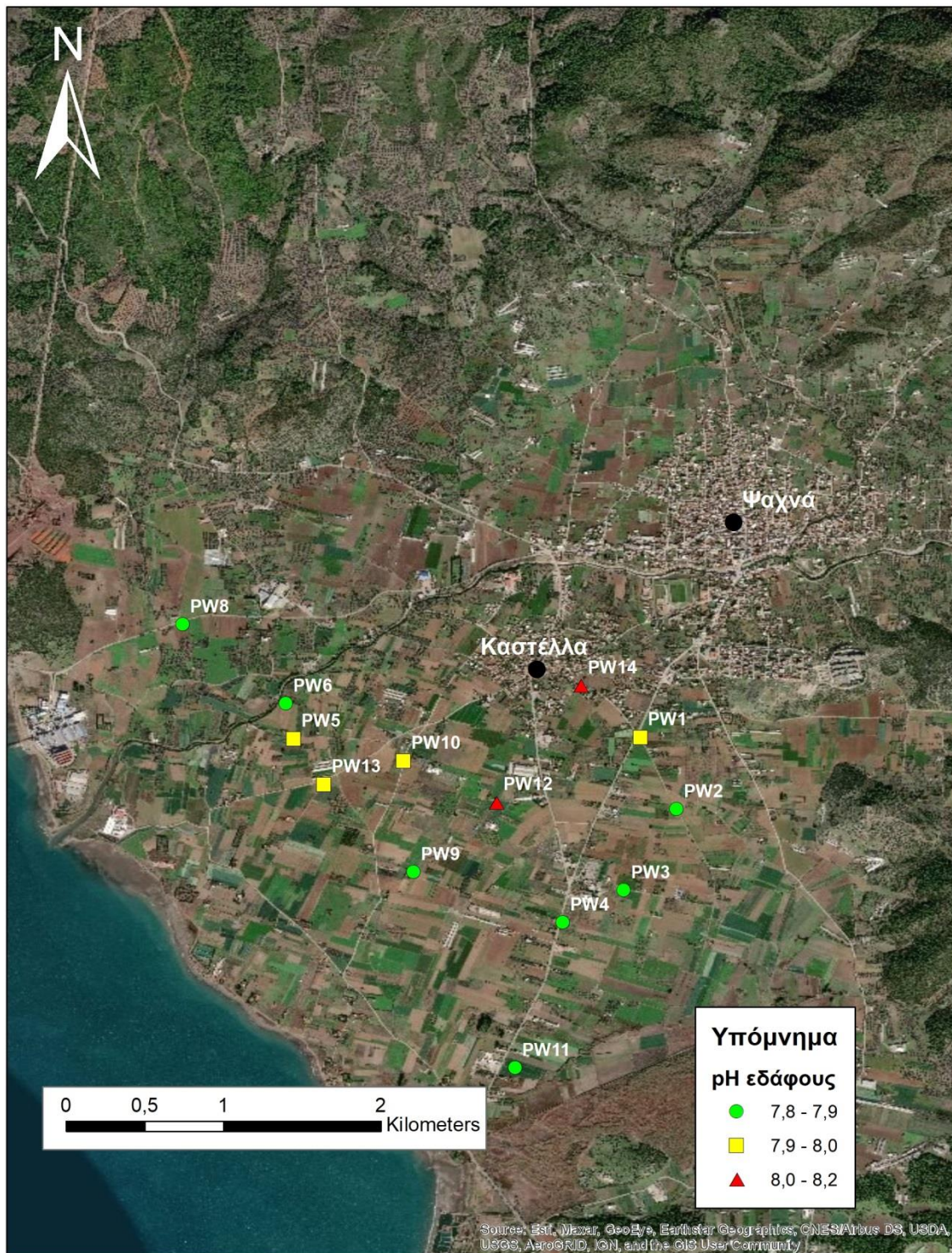
Εικόνα 6.4 Τιμές ολικού ανθρακικού ασβεστίου των εδαφών στη λεκάνη των Ψαχνών, Κεντρικής Ευβοίας



Εικόνα 6.5 Τιμές δυναμικού οξειδοαναγωγής των εδαφών στη λεκάνη των Ψαχνών, Κεντρικής Ευβοίας



Εικόνα 6.6 Τιμές ολικής οργανικής ουσίας των εδαφών στη λεκάνη των Ψαχνών, Κεντρικής Ευβοίας



Εικόνα 6.7 Τιμές pH των εδαφών στη λεκάνη των Ψαχνών, Κεντρικής Ευβοίας

Εκτός από τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των εδαφικών δειγμάτων, πραγματοποιήθηκαν και γεωχημικές αναλύσεις των εδαφικών δειγμάτων. Τα αποτελέσματα των αναλύσεων φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

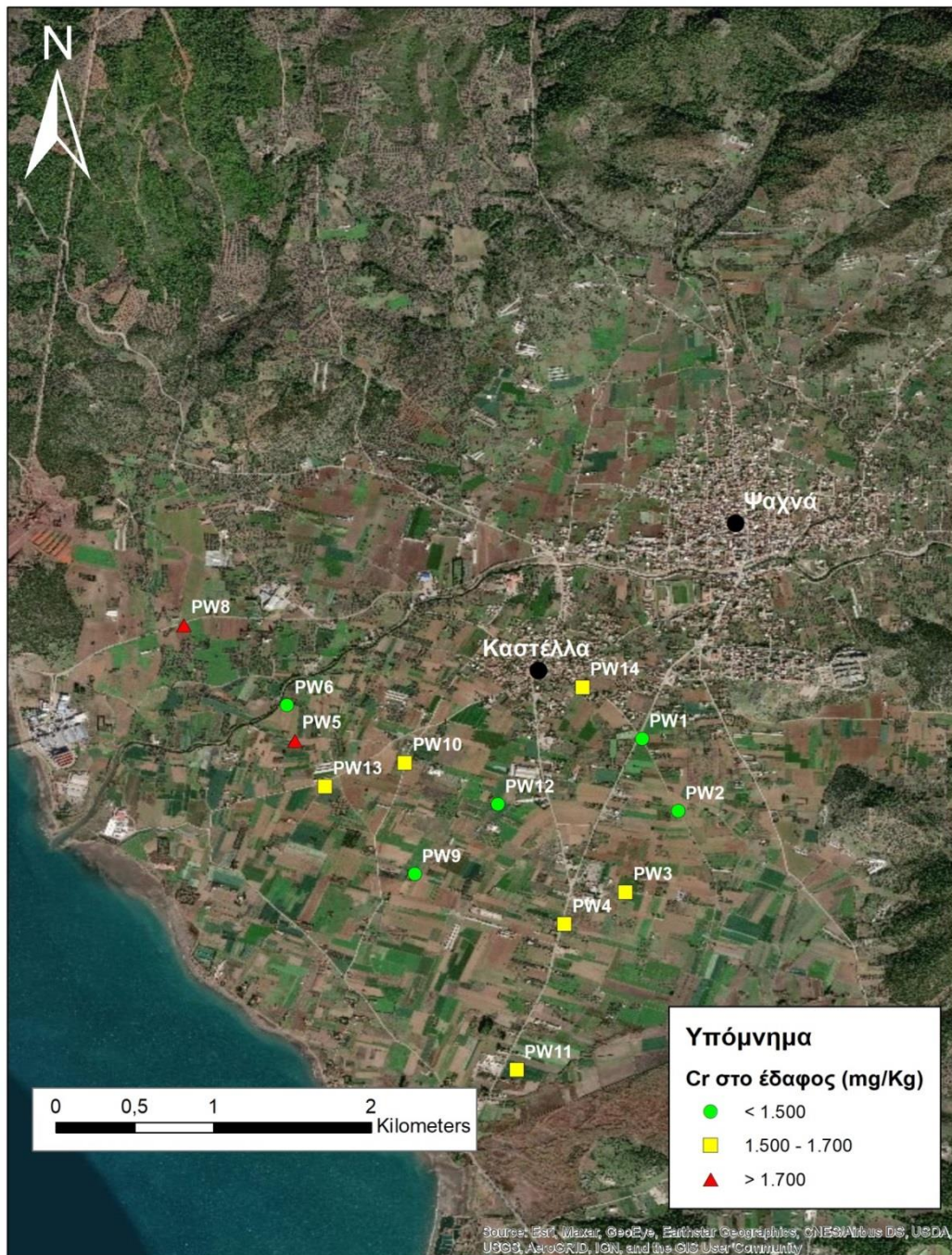
Πίνακας 6.3 Συγκέντρωση Βαρέων Μετάλλων σε mg ανά Kg ξηρού εδάφους

	Fe (mg/Kg)	Mn (mg/Kg)	Ni (mg/Kg)	Cr (mg/Kg)
PW1α	39.295	1.340	625	1.325
PW1β	35.625	1.105	1.305	1.500
PW1γ	36.330	985	510	1.470
PW2	39.683	1.033	1.503	1.498
PW3	39.825	1.073	788	1.520
PW4	35.003	908	1.408	1.538
PW5	35.685	1.070	1.530	1.925
PW6	33.618	1.005	1.658	1.488
PW8	56.000	1.385	720	1.800
PW9	37.375	1.005	1.275	1.490
PW10	38.160	1.080	715	1.510
PW11	32.080	895	1.390	1.565
PW12	35.360	960	995	1.485
PW13	37.170	955	1.905	1.575
PW14	45.450	1.095	905	1.670
Average	38.444	1.060	1.149	1.557
Min	32.080	895	510	1.325
Max	56.000	1.385	1.905	1.925
St.dv	5.791	139	426	145

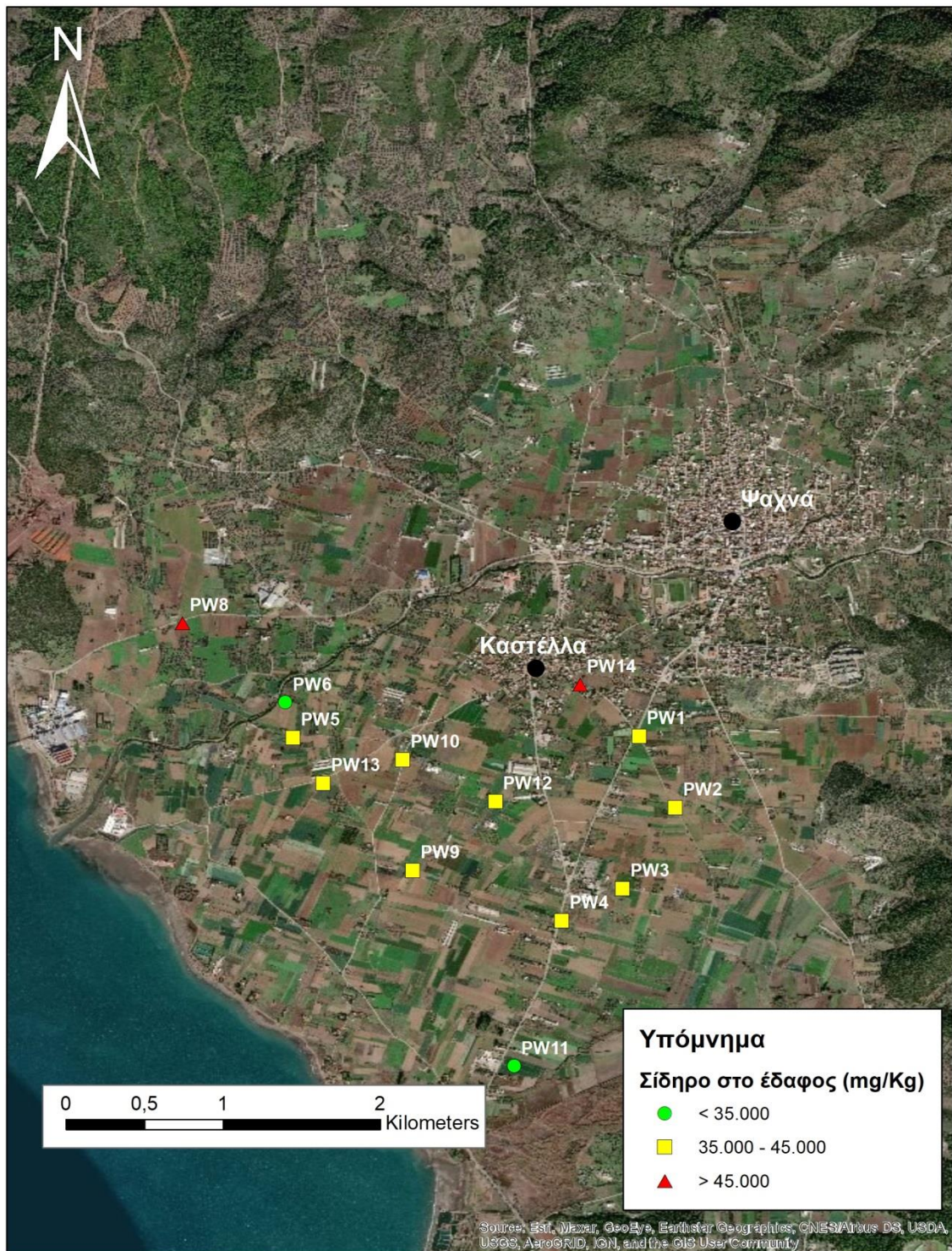
Από τον παραπάνω πίνακα φαίνεται ότι το εύρος της τιμής του σιδήρου ήταν από 32.080 έως 56.000 με μέση τιμή τα 38.444 mg/Kg, το εύρος του μαγγανίου ήταν από 895 έως 1.385 με μέση τιμή τα 1.060 mg/Kg, το εύρος του νικελίου ήταν από 510 έως 1385 με μέση τιμή τα 1.149 mg/Kg και τέλος το εύρος του χρωμίου ήταν από 1.325 έως 1.925 με μέση τιμή τα 1.557 mg/Kg.

Συγκρίνοντας με άλλες εργασίες που μελετάνε συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων στον Ελλαδικό χώρο (Μπαλωμένου 2009, Kelepertzis 2014), παρατηρούμε ότι οι συγκεντρώσεις του χρωμίου και του νικελίου είναι σε πολύ αυξημένες. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι στη περιοχή του Αργολικού πεδίου, η μέση τιμή των συγκεντρώσεων αυτών ήταν 148 mg/Kg για το νικέλιο και 83 mg/Kg για το χρώμιο (Kelepertzis 2014). Επιπλέον, οι τιμές Ni και Cr που μετρήθηκαν στα πλαίσια της συγκεκριμένης εργασίας είναι στα όρια παρέμβασης σύμφωνα με τη Νέα Ολλανδική Λίστα (Dutch List), με τις ανώτερες τιμές τους να προσδιορίζονται σε 210 mg/kg στο Ni και 380 mg/Kg για το Cr. Το γεγονός αυτό δικαιολογείται από την προέλευση των εδαφών αυτών, καθώς όπως έχει ήδη αναφερθεί, η

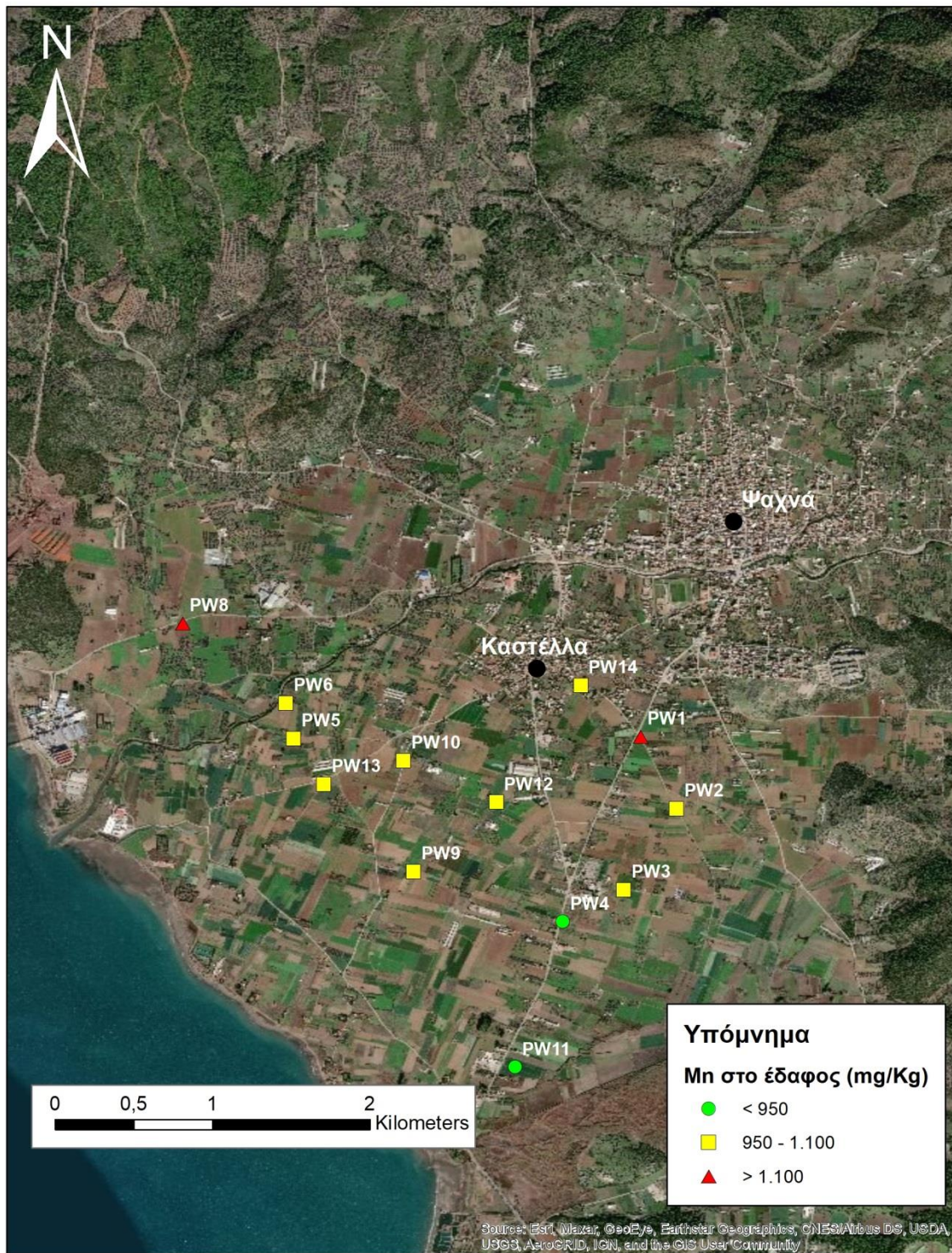
ευρύτερη περιοχή της Κεντρικής Εύβοιας είναι πλούσια σε υπερβασικά πετρώματα, τα οποία είναι γνωστά για την υψηλή περιεκτικότητά τους, μεταξύ άλλων και σε νικέλιο και χρώμιο. Όσον αφορά τις συγκεντρώσεις σιδήρου και μαγγανίου, αυτές βρίσκονται εντός φυσιολογικών ορίων συγκριτικά με άλλα γεωργικά εδάφη (Kelepertzis 2014). Στις παρακάτω εικόνες αποτυπώνεται η χωρική κατανομή των παραπάνω στοιχείων.



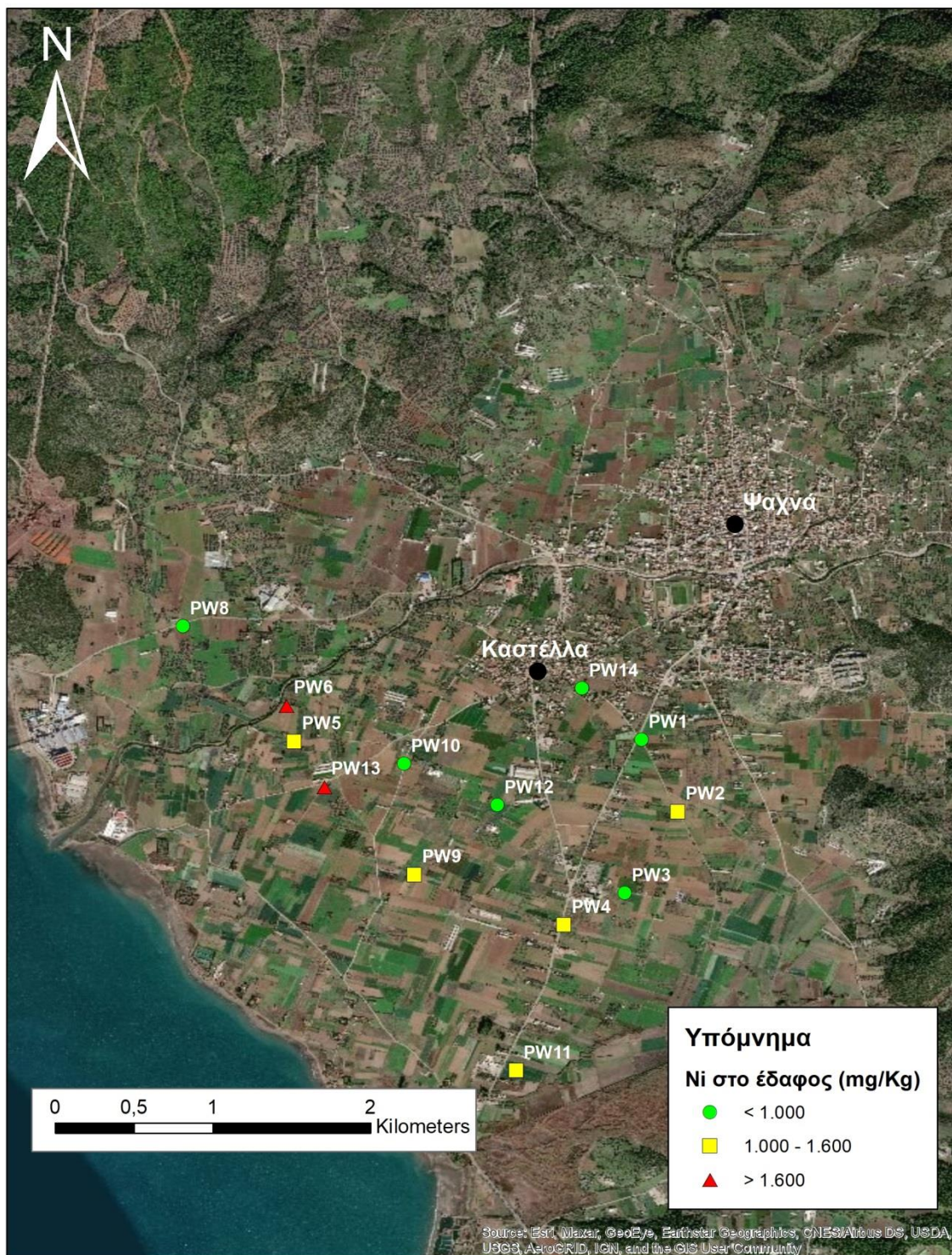
Εικόνα 6.8 Τιμές ολικού χρωμίου των εδαφών στη λεκάνη των Ψαχνών, Κεντρικής Ευβοίας



Εικόνα 6.9 Τιμές σιδήρου των εδαφών στη λεκάνη των Ψαχνών, Κεντρικής Ευβοίας



Εικόνα 6.10 Τιμές μαγγανίου των εδαφών στη λεκάνη των Ψαχνών, Κεντρικής Ευβοίας



Εικόνα 6.11 Τιμές νικελίου των εδαφών στη λεκάνη των Ψαχνών, Κεντρικής Ευβοίας

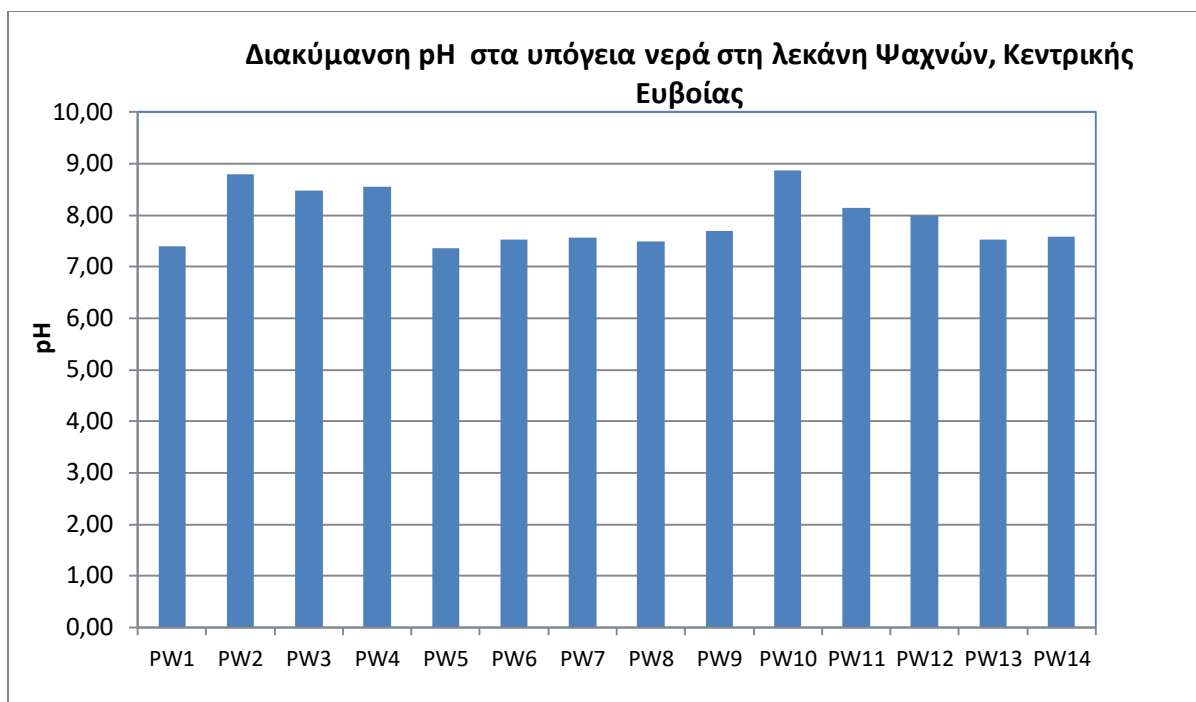
6.2 Αποτελέσματα αναλύσεων δειγμάτων νερού.

6.2.1 Χημικές αναλύσεις

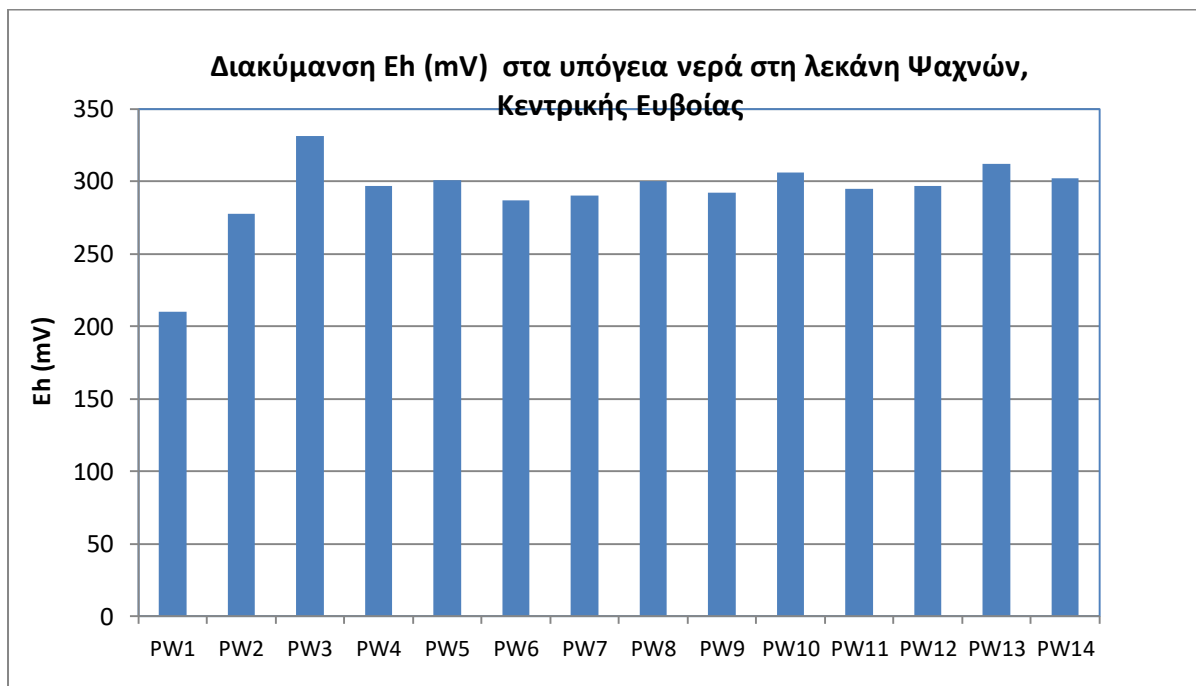
Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων των δειγμάτων νερού. Στη συνέχεια παρατίθενται αντίστοιχα διαγράμματα για την καλύτερη απεικόνιση των αποτελεσμάτων αλλά και χάρτες που δείχνουν τη χωρική κατανομή των αποτελεσμάτων αυτών.

Πίνακας 6.4 Αποτελέσματα αναλύσεων φυσικοχημικών παραμέτρων και κυρίων ιόντων των υπογείων νερών της λεκάνης των Ψαχνών, Κεντρικής Ευβοίας

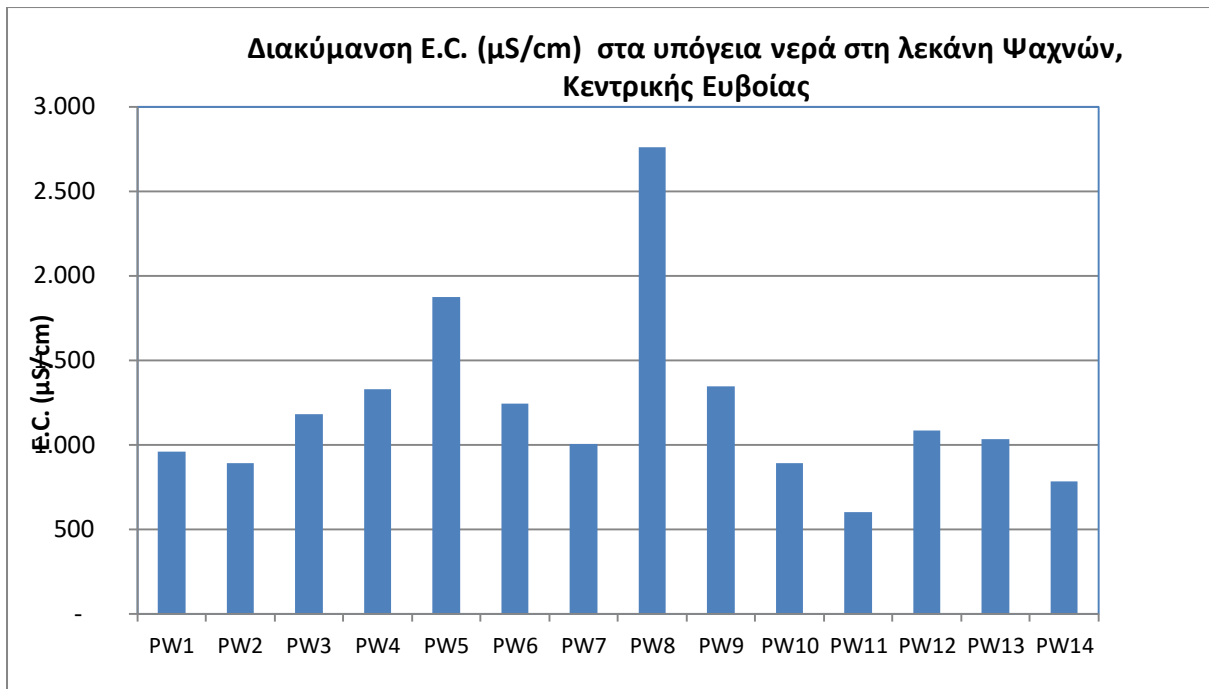
Θέση	φ	λ	T (°C)	DO (mg/l)	EC (μS/cm)	pH	Eh	Κύρια Ανιόντα				Κύρια Κατιόντα			
								NO ₃ ⁻ (mg/l)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	Ca ²⁺ (mg/l)	K ⁺ (mg/l)	Na ⁺ (mg/l)	Mg ²⁺ (mg/l)
PW1	38,5823	23,6404	20,0	8,8	960	7,4	210	81,6	72	301	30	75,3	1,6	34,5	62,3
PW2	38,5741	23,6445	18,7	7,9	895	8,8	278	92,3	61	250	26	81,5	1,4	25,5	49,9
PW3	38,5649	23,6385	18,5	8,8	1.185	8,5	331	238	86	253	44	98,4	1,7	42,3	68,6
PW4	38,5612	23,6482	18,6	6,5	1.329	8,6	297	213,2	63	243	57	115,4	2,4	40,8	73,5
PW5	38,5821	23,6174	20,1	8,3	1.877	7,4	301	239,4	120	598	72	150,2	0,9	71,9	161,6
PW6	38,5681	23,6166	21,2	7,5	1.244	7,5	287	161,4	74	301	56	115,7	1,3	36,4	93,6
PW7	38,5700	23,6385	19,4	9,7	1.005	7,6	290	154,3	66	378	38	86,5	9,4	46,5	70,9
PW8	38,5786	23,6214	20,0	8,6	2.763	7,5	300	468,2	130	259	396	143,5	4,6	156,1	215,9
PW9	38,5665	23,6270	20,3	8,9	1.345	7,7	292	155,2	84	378	61	116,9	1,4	51,5	100,6
PW10	38,5796	23,6300	21,9	6,0	896	8,9	306	175,6	84	238	52	19,4	3,1	52,3	95,9
PW11	38,5613	23,6427	19,8	9,2	603	8,1	295	67,8	21	235	89	68,5	3,4	31,3	62,3
PW12	38,5683	23,6276	19,8	9,0	1.085	8,0	297	137	86	293	82	91,9	2,1	43,6	83,6
PW13	38,5769	23,6209	19,5	7,9	1.034	7,5	312	111,5	50	355	47	86,3	2,9	49,5	77,9
PW14	38,5716	23,6336	18,6	8,4	785	7,6	302	39,1	32	348	30	75,3	1,0	30,3	60,5
Average			19,7	8,3	1214	7,9	292	166,8	74	316	77	94,6	2,6	50,9	91,2
Min			18,5	6,0	603	7,4	210	39,1	21	235	26	19,4	0,8	25,5	49,9
Max			21,9	9,7	2763	8,9	331	468,2	130	597	396	150,2	9,4	156,1	215,9
St. Dev			1,0	1,0	539	0,5	26,8	106,2	29,4	96,2	93,7	33,1	2,2	32,5	45,0



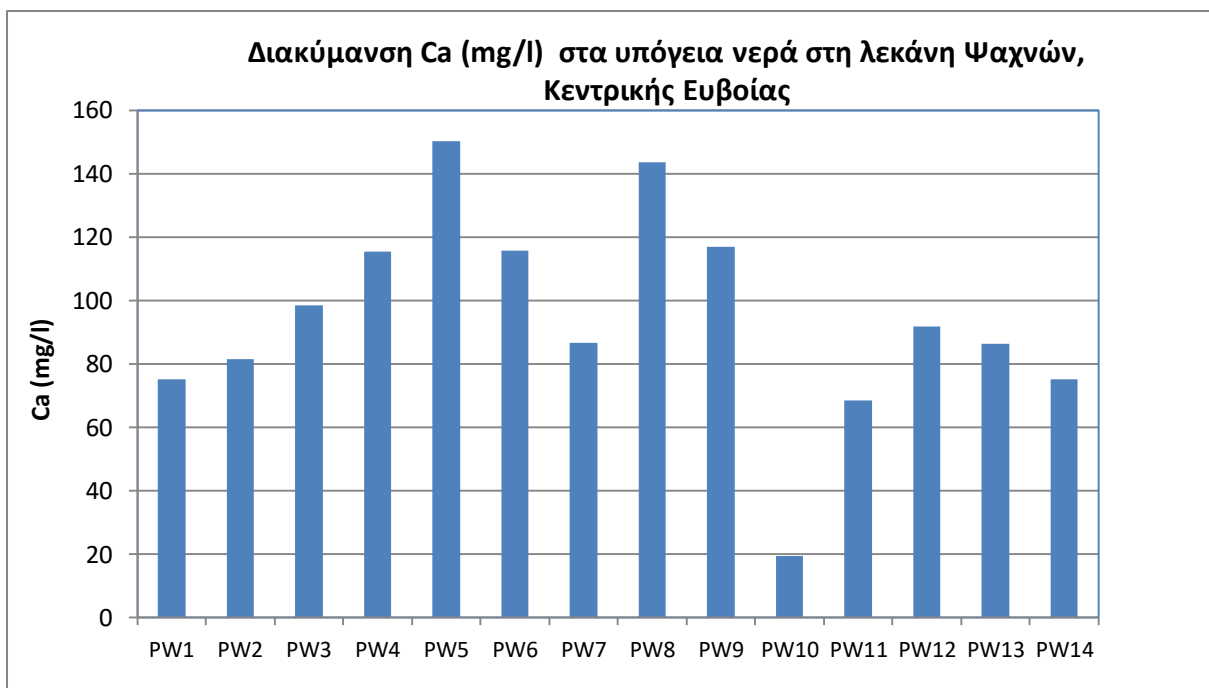
Διάγραμμα 6.1 Διακύμανση pH στα υπόγεια νερά στη λεκάνη Ψαχνών, Κεντρικής Ευβοίας



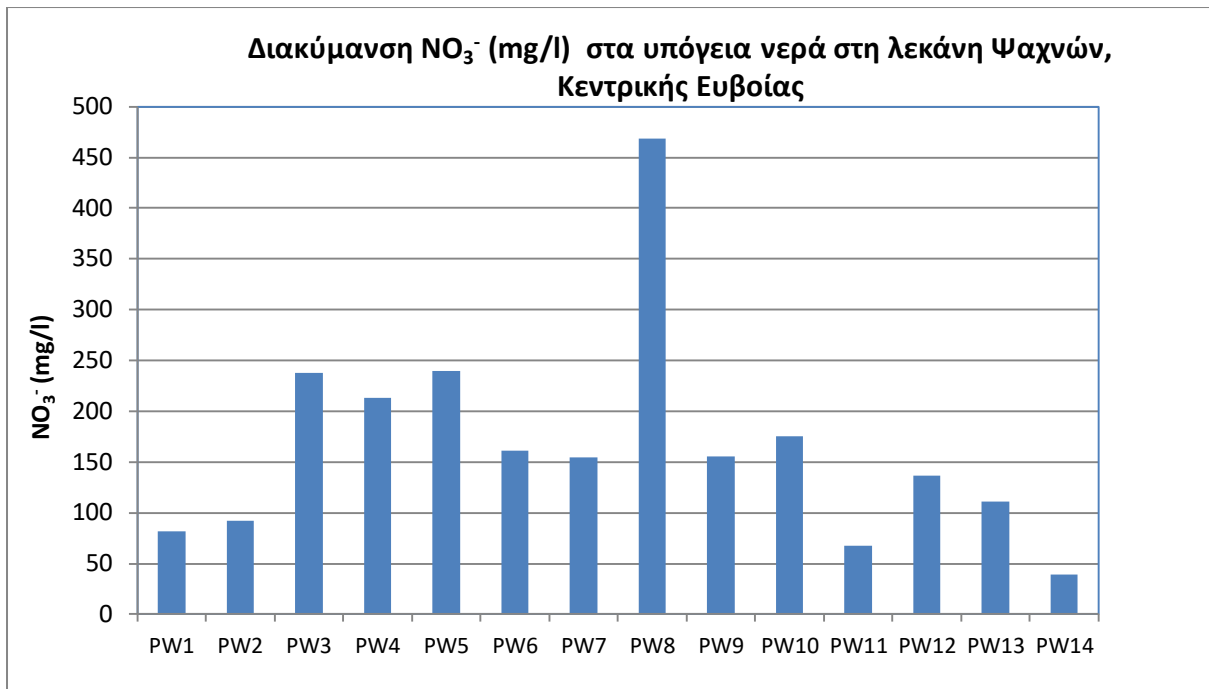
Διάγραμμα 6.2 Διακύμανση Eh (mV) στα υπόγεια νερά στη λεκάνη Ψαχνών, Κεντρικής Ευβοίας



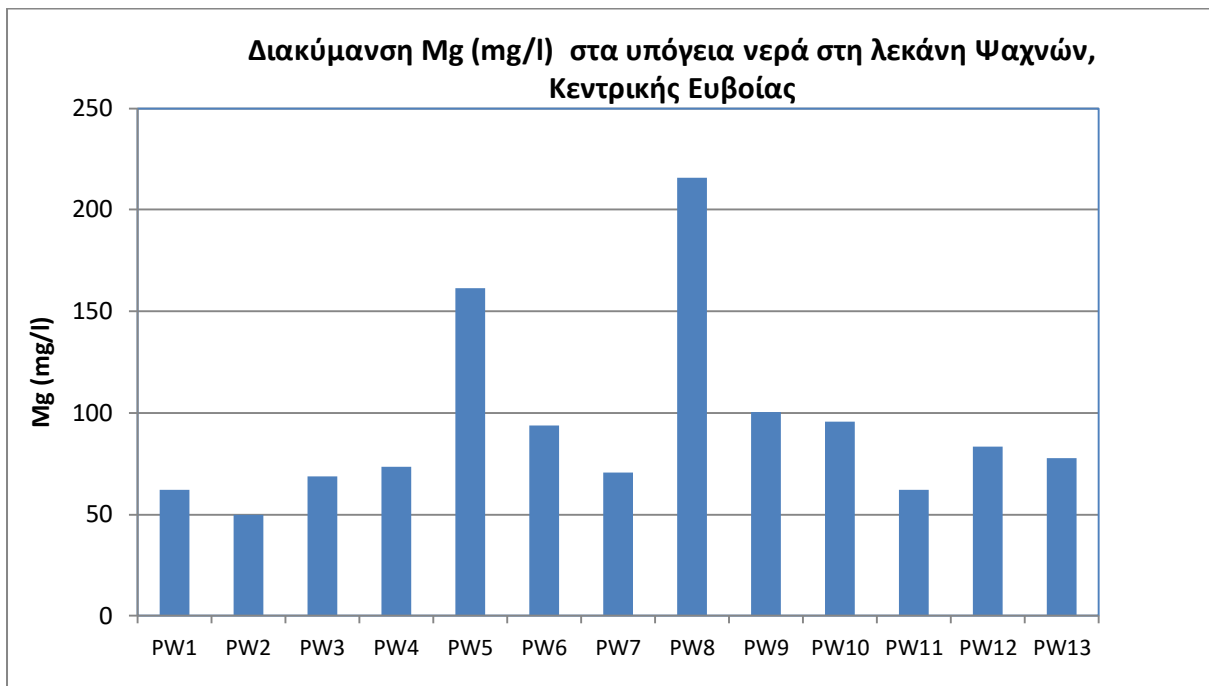
Διάγραμμα 6.3 Διακύμανση E.C. ($\mu\text{S}/\text{cm}$) στα υπόγεια νερά στη λεκάνη Ψαχνών,
Κεντρικής Ευβοίας



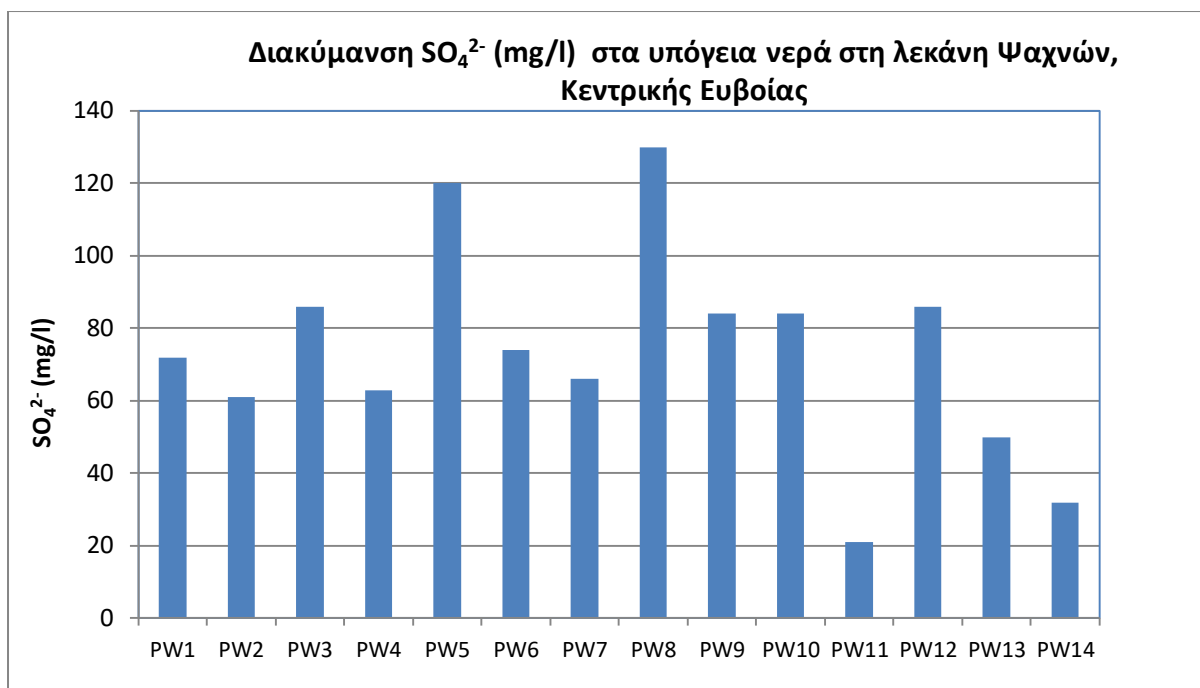
Διάγραμμα 6.4 Διακύμανση Ca (mg/l) στα υπόγεια νερά στη λεκάνη Ψαχνών, Κεντρικής
Ευβοίας



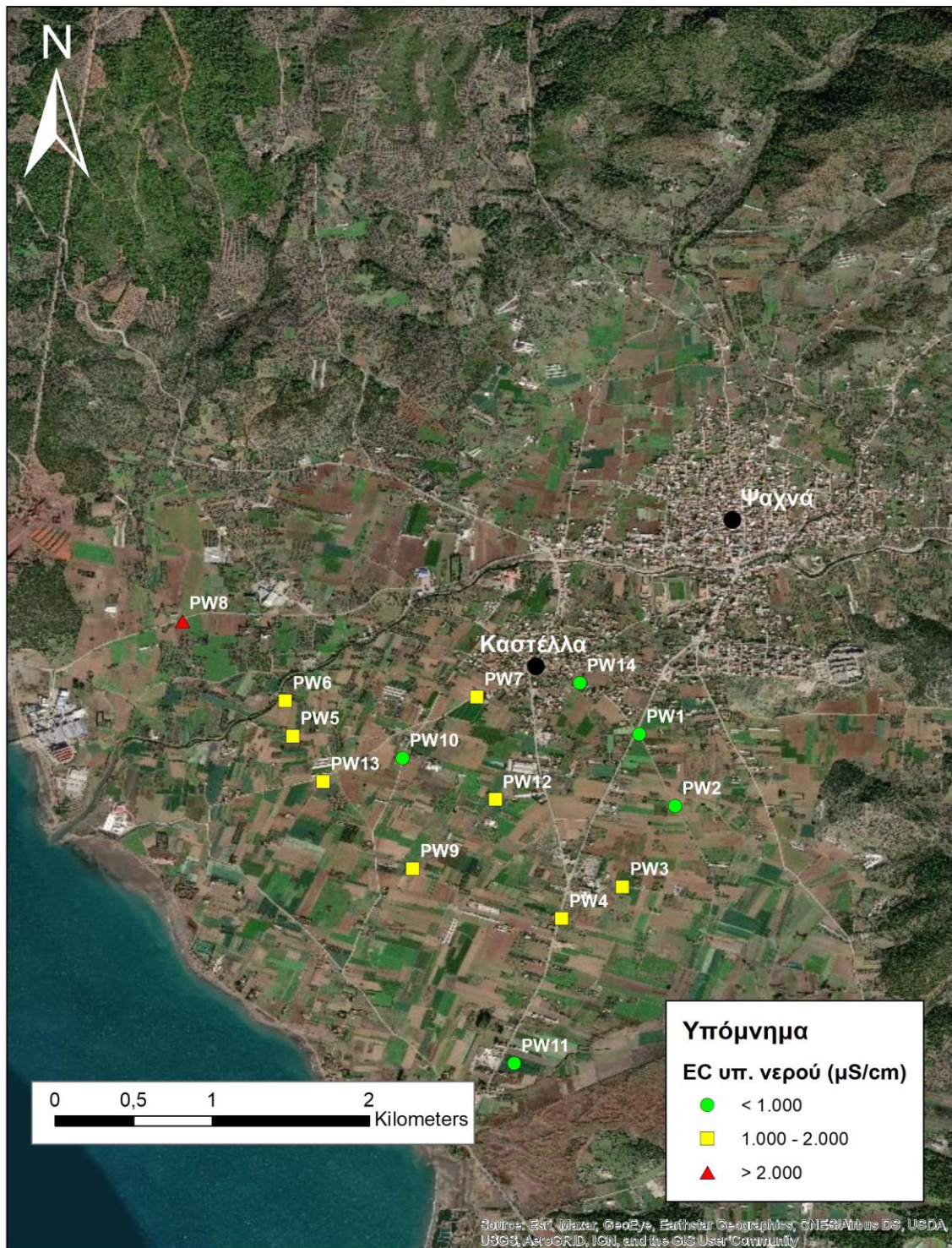
Διάγραμμα 6.5 Διακύμανση NO₃⁻ (mg/l) στα υπόγεια νερά στη λεκάνη Ψαχνών, Κεντρικής Ευβοίας



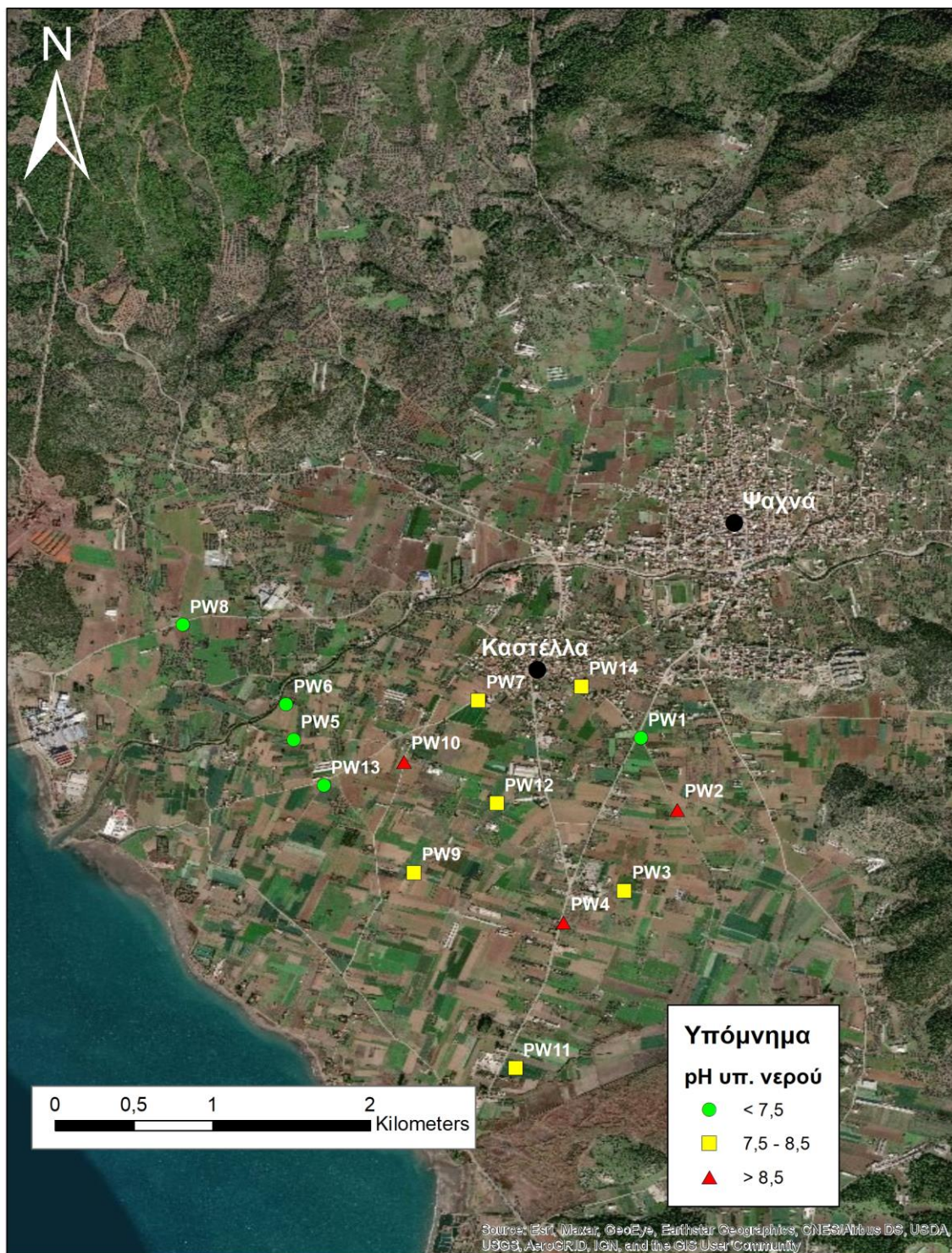
Διάγραμμα 6.6 Διακύμανση Mg (mg/l) στα υπόγεια νερά στη λεκάνη Ψαχνών, Κεντρικής Ευβοίας



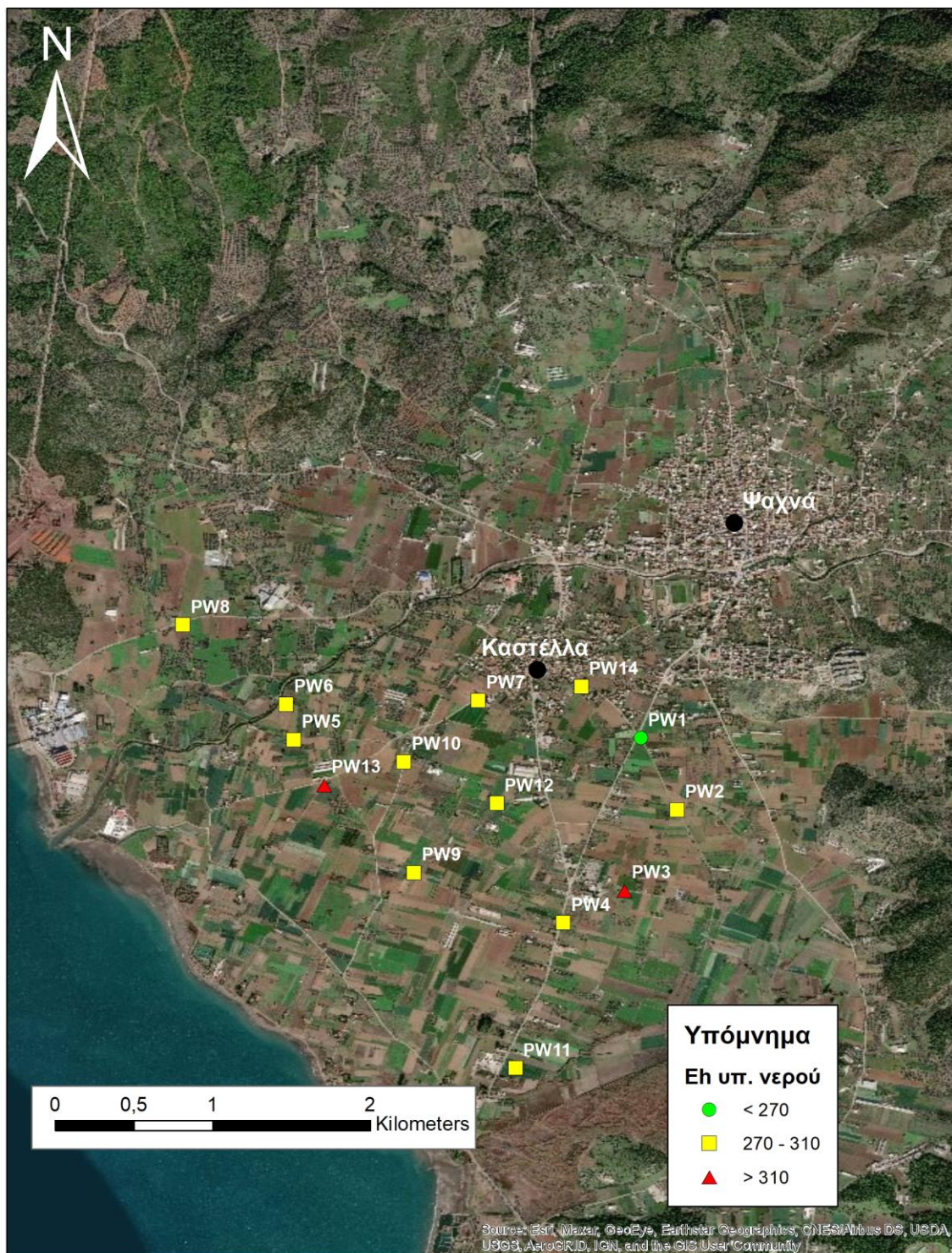
Διάγραμμα 6.7 Διακύμανση SO_4^{2-} (mg/l) στα υπόγεια νερά στη λεκάνη Ψαχνών, Κεντρικής Ευβοίας



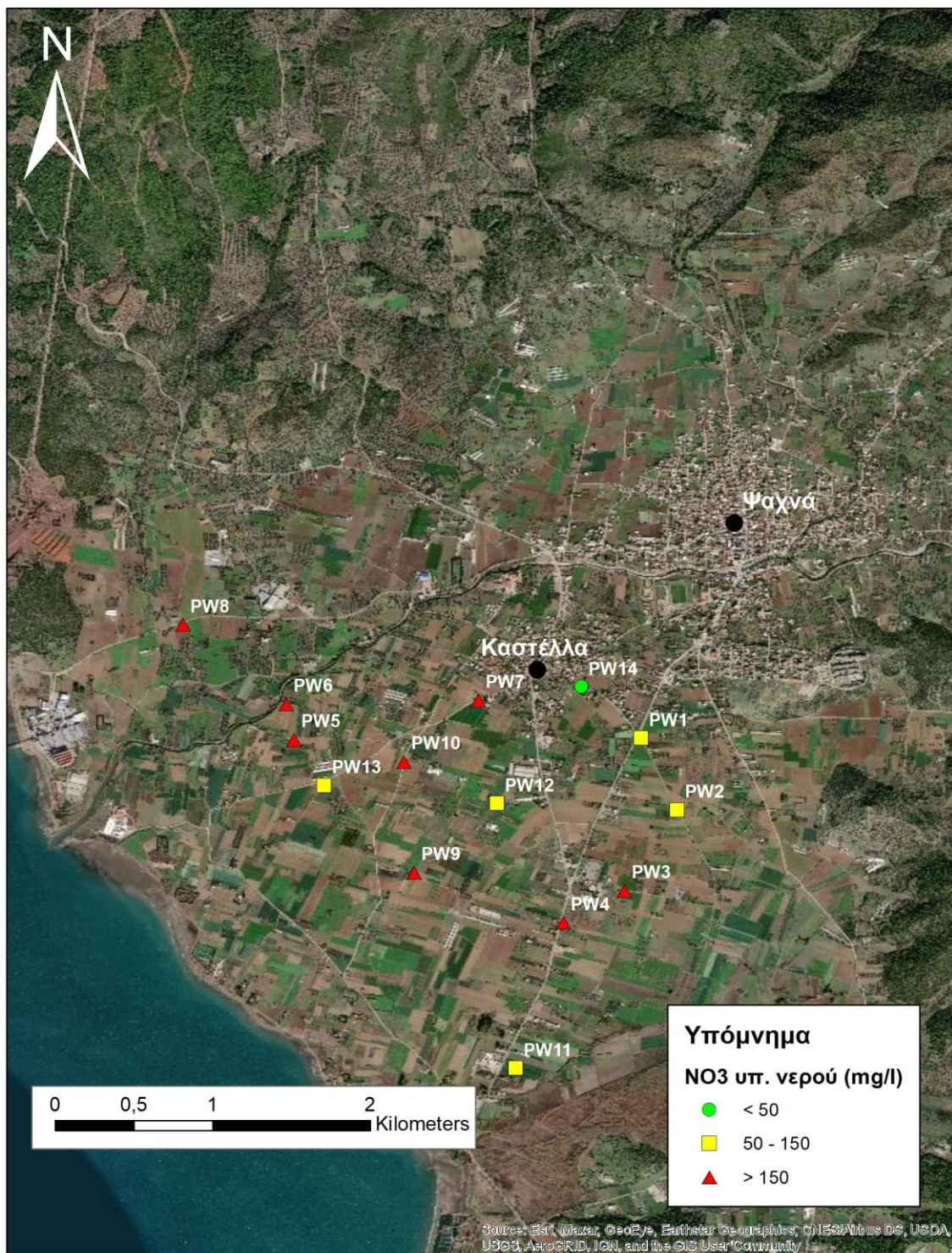
Εικόνα 6.12 Τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας των υπογείων νερών της λεκάνης των Ψαχνών, Κεντρικής Ευβοίας



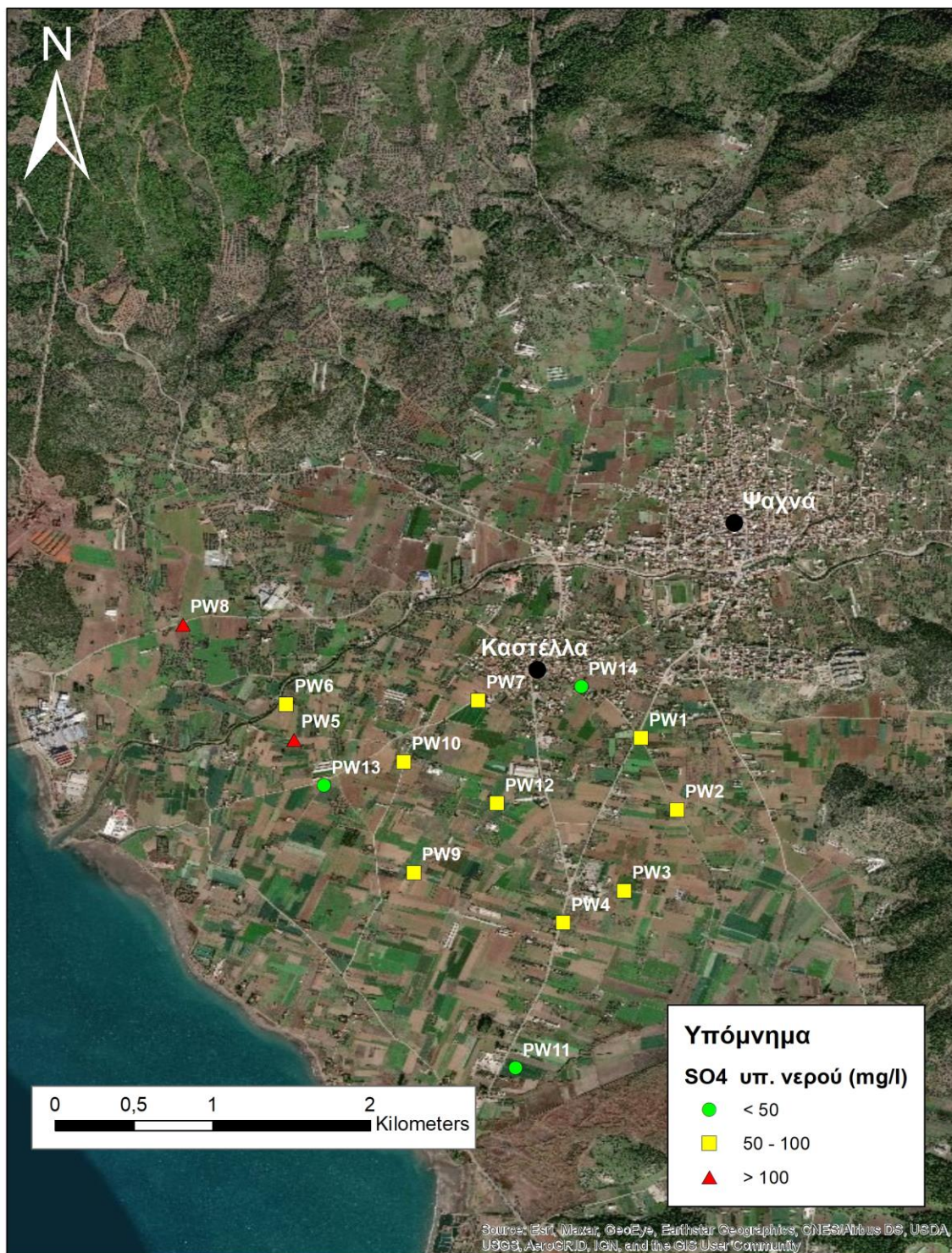
Εικόνα 6.13 Τιμές pH των υπογείων νερών της λεκάνης των Ψαχνών, Κεντρικής Ευβοίας



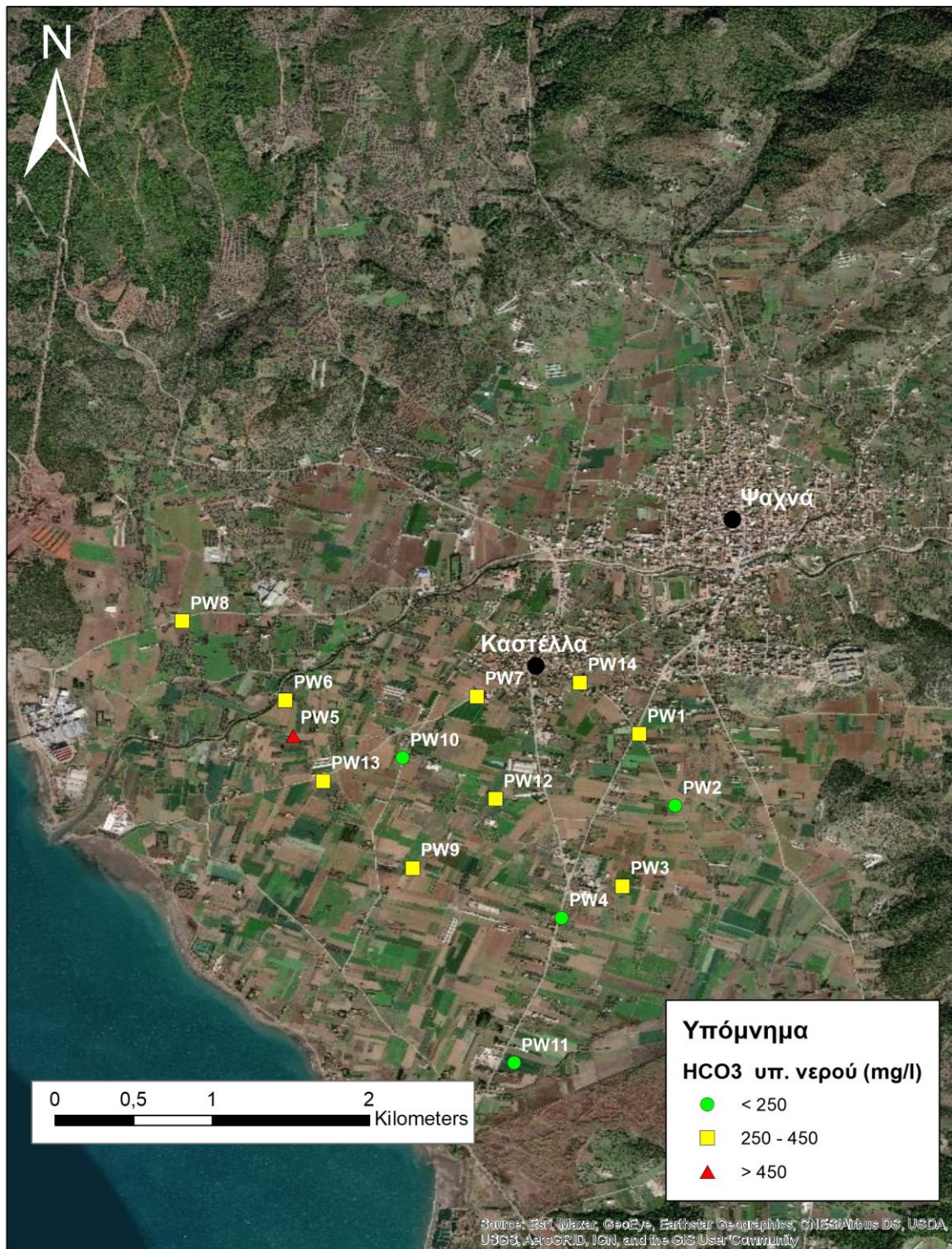
Εικόνα 6.14 Τιμές Εη των υπογείων νερών της λεκάνης των Ψαχνών, Κεντρικής Ευβοίας



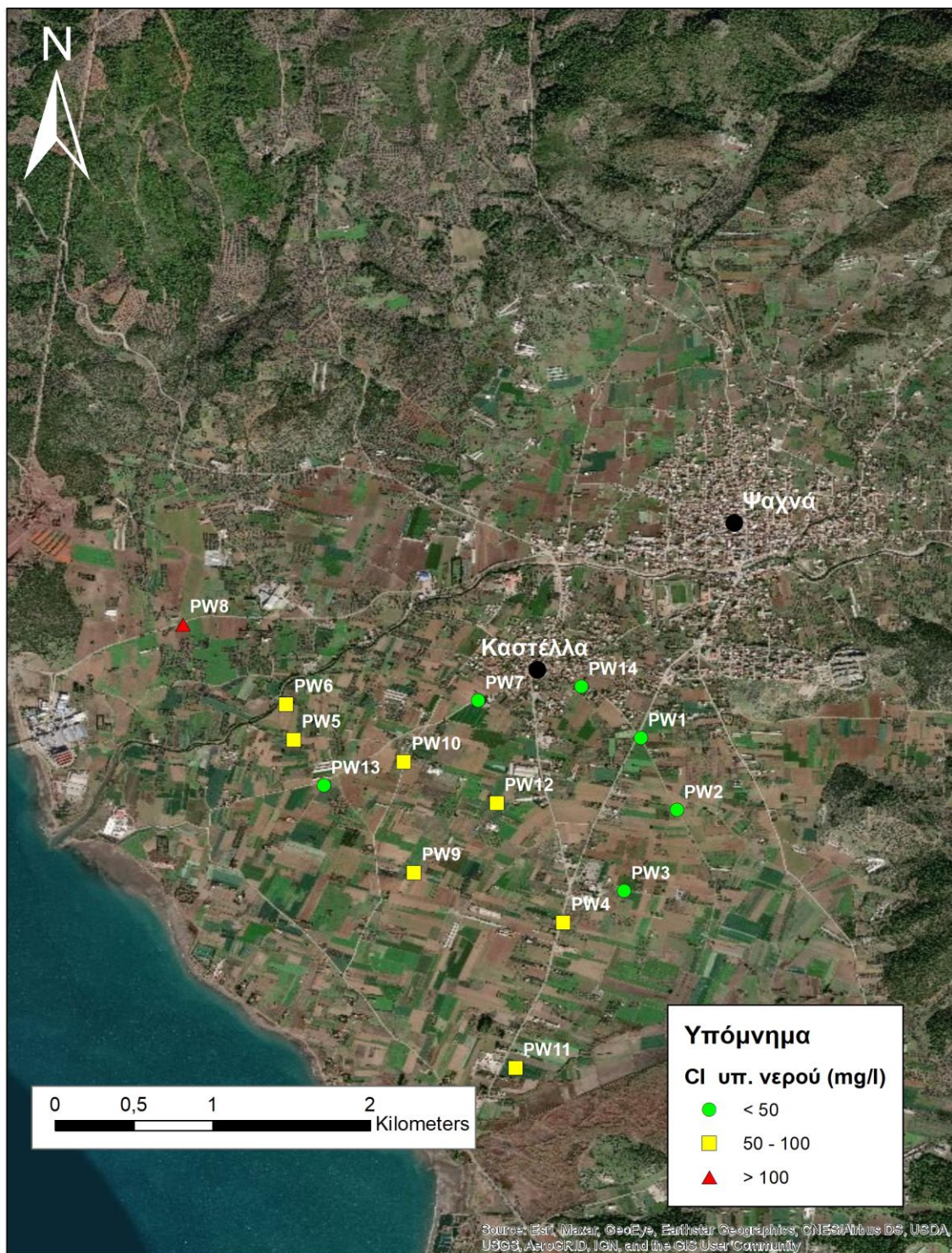
Εικόνα 6.15 Τιμές νιτρικών των υπογείων νερών της λεκάνης των Ψαχνών, Κεντρικής Ευβοίας



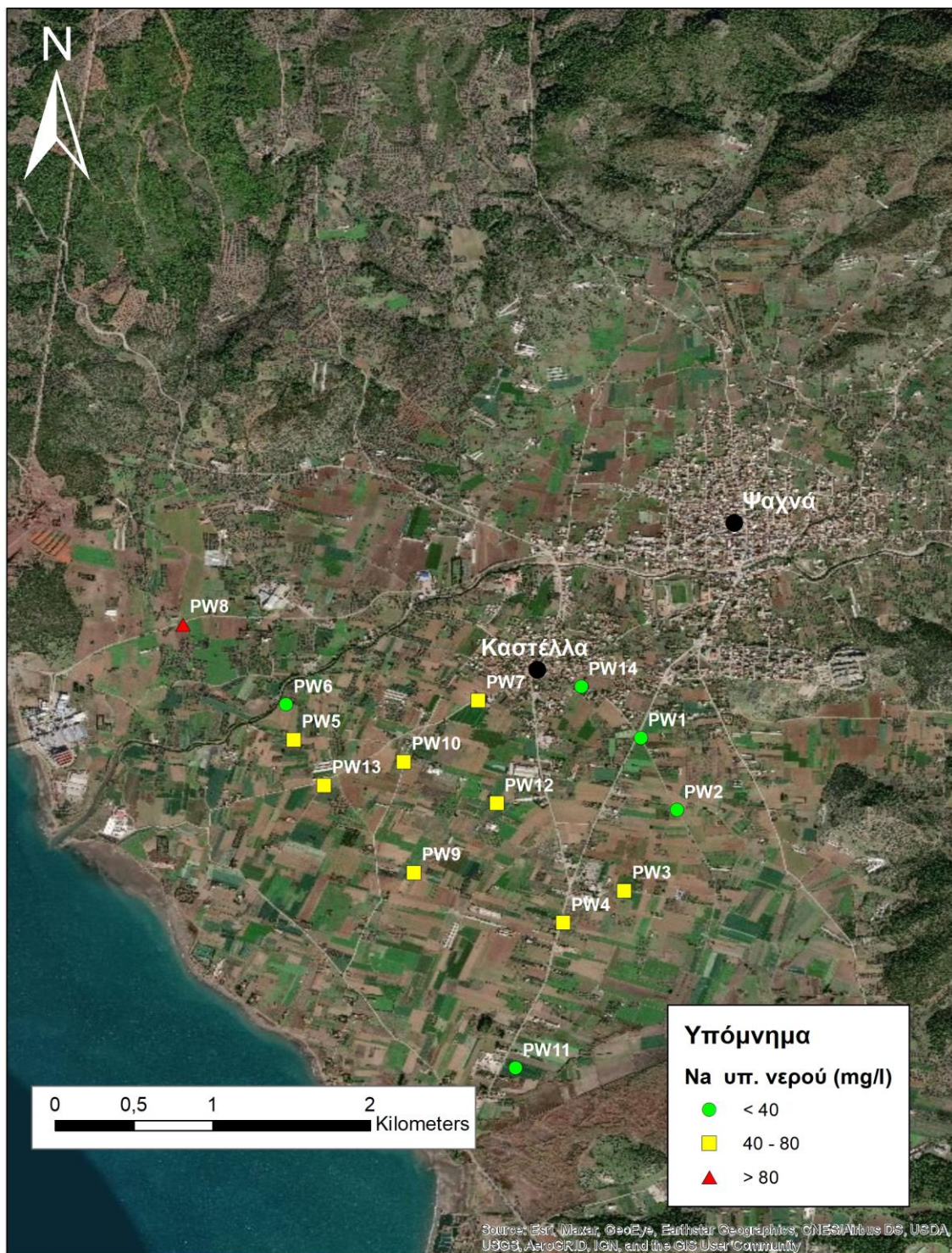
Εικόνα 6.16 Τιμές θεικών των υπογείων νερών της λεκάνης των Ψαχνών, Κεντρικής Ευβοίας



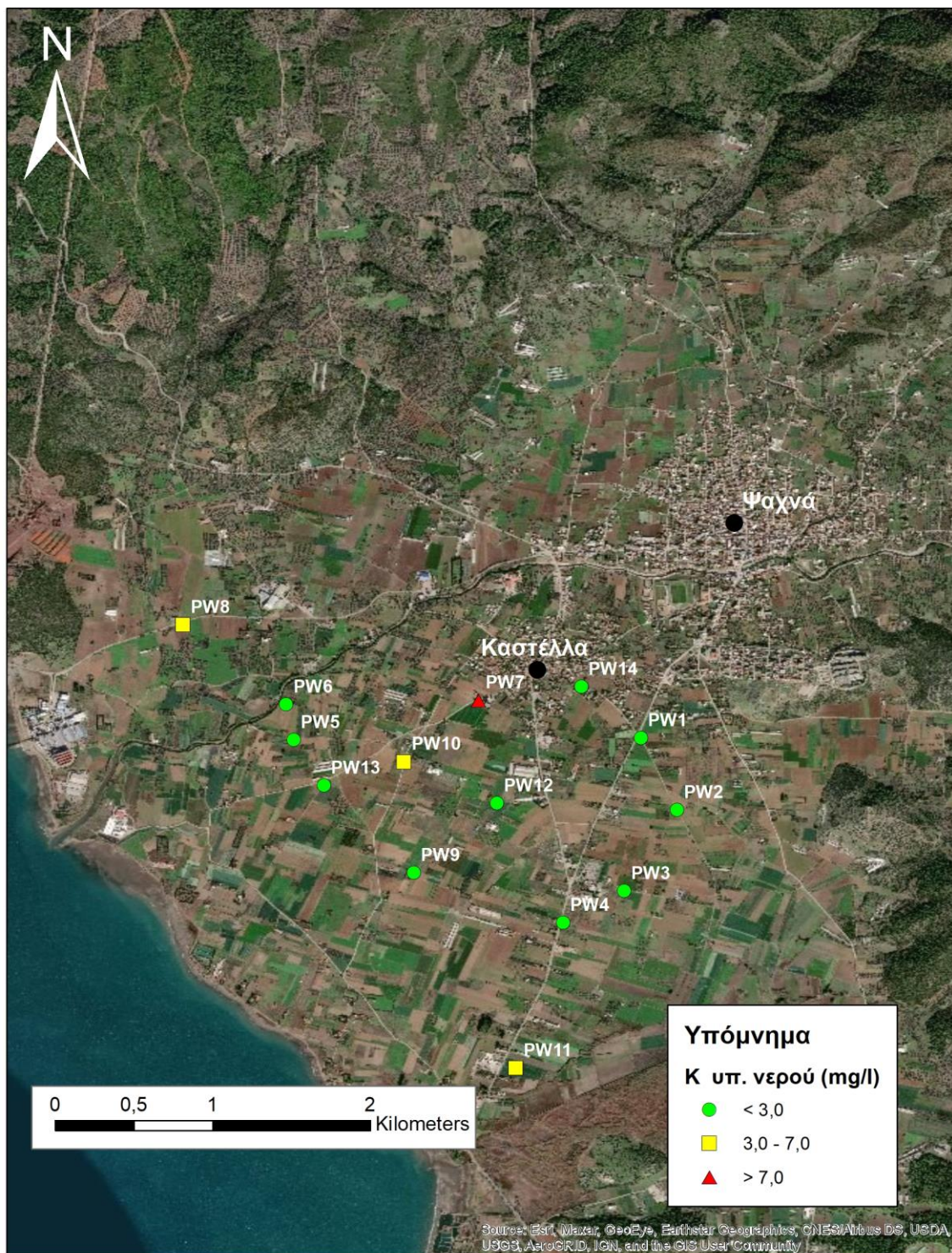
Εικόνα 6.17 Τιμές ανθρακικών των υπογείων νερών της λεκάνης των Ψαχνών, Κεντρικής Ευβοίας



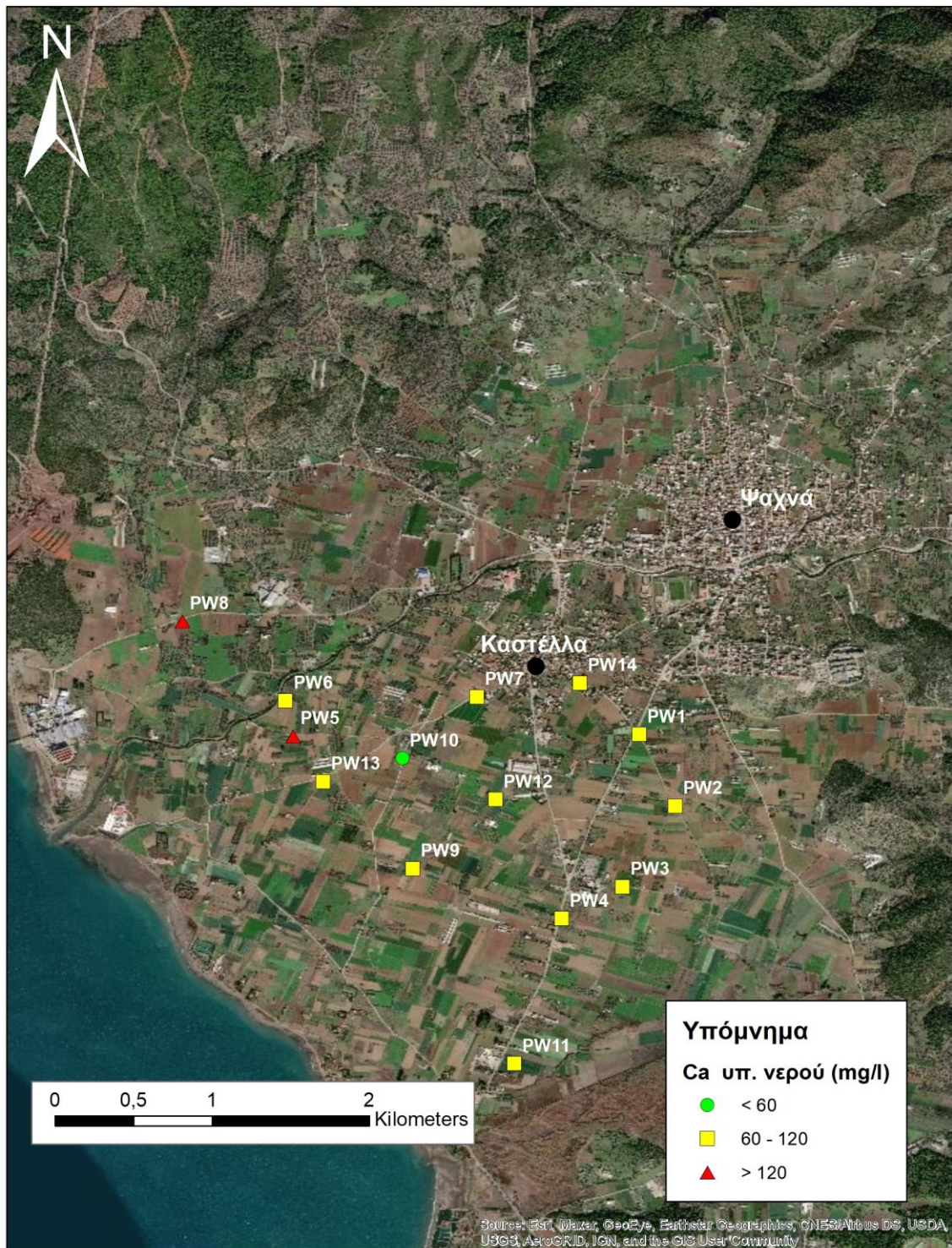
Εικόνα 6.18 Τιμές χλωριόντων των υπογείων νερών της λεκάνης των Ψαχνών, Κεντρικής Ευβοίας



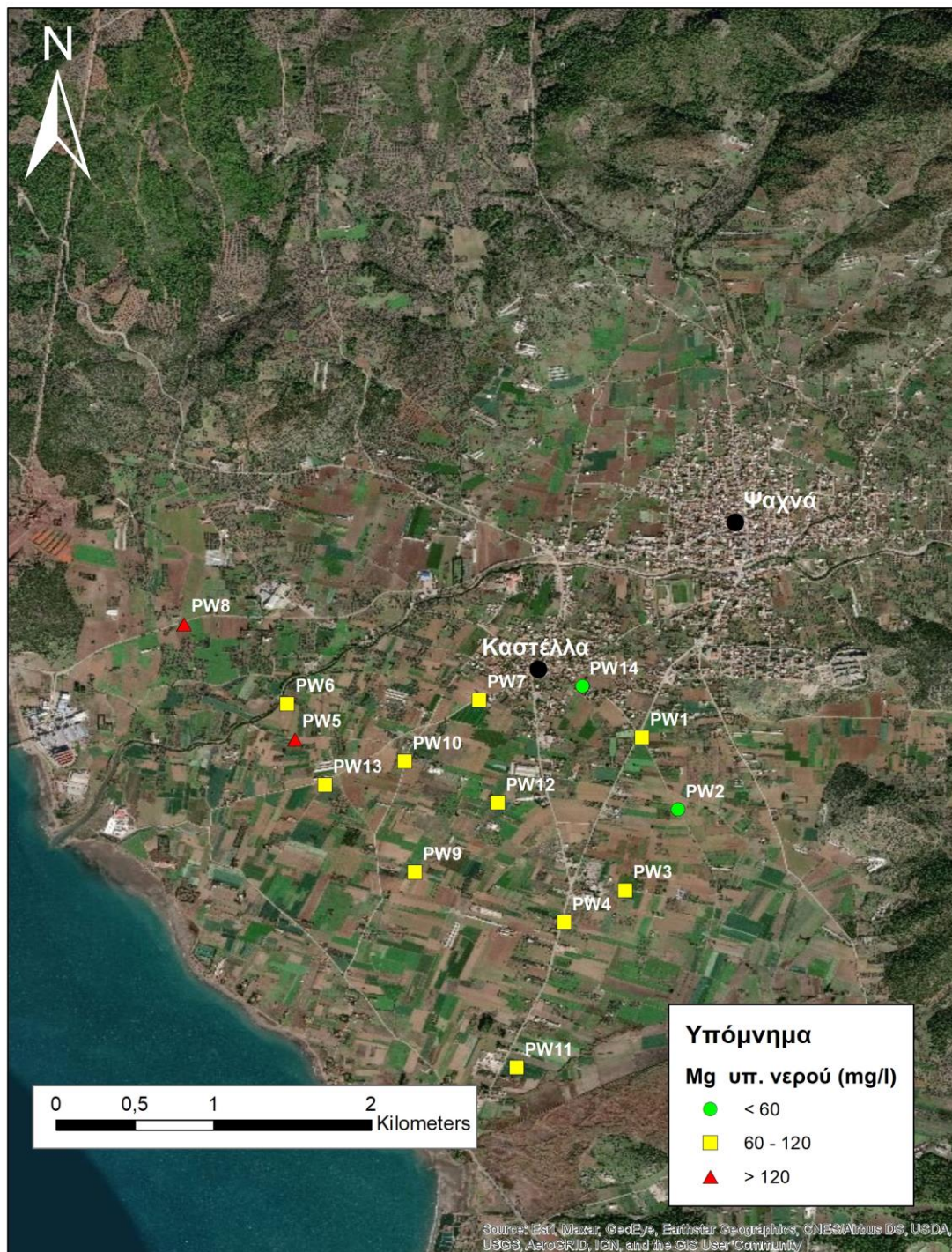
Εικόνα 6.19 Τιμές νατρίου των υπογείων νερών της λεκάνης των Ψαχνών, Κεντρικής Ευβοίας



Εικόνα 6.20 Τιμές καλίου των υπογείων νερών της λεκάνης των Ψαχνών, Κεντρικής Ευβοίας



Εικόνα 6.21 Τιμές ασβεστίου των υπογείων νερών της λεκάνης των Ψαχνών, Κεντρικής Ευβοίας



Εικόνα 6.22 Τιμές μαγνησίου των υπογείων νερών της λεκάνης των Ψαχνών, Κεντρικής Ευβοίας

Με βάση τις παραπάνω αναλύσεις προκύπτουν τα εξής:

- Τα νερά χαρακτηρίζονται από ελαφρώς αλκαλικά έως έντονα αλκαλικά. Η ελάχιστη τιμή pH που μετρήθηκε είναι 7,4 (PW1) και η μέγιστη 8,9 (PW10).

Κανένα δείγμα δεν υπερβαίνει το ανώτερο αποδεκτό όριο τιμής $pH=9,5$, βάσει των ΚΥΑ 1811/2011 (για τα φυσικά υπόγεια νερά) και ΚΥΑ 2600/2001 (για ανθρώπινη κατανάλωση).

- Η μέγιστη τιμή διαλελυμένου οξυγόνου $9,7 \text{ mg/l}$ μετρήθηκε στην αρδευτική γεώτρηση PW7 και η ελάχιστη τιμή 6 mg/l μετρήθηκε στην αρδευτική γεώτρηση PW10.
- Η μέγιστη θερμοκρασία $21,9 \text{ }^\circ\text{C}$ καταγράφηκε στην αρδευτική γεώτρηση PW10, ενώ η ελάχιστη θερμοκρασία $18,5^\circ\text{C}$ καταγράφηκε στην αρδευτική γεώτρηση PW3.
- Η μέγιστη τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC) είναι $2763 \text{ } \mu\text{S/cm}$, στην αρδευτική γεώτρηση PW8, ενώ η ελάχιστη τιμή είναι $603 \text{ } \mu\text{S/cm}$, στην αρδευτική γεώτρηση PW11. Με εξαίρεση το δείγμα PW8, οι τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας είναι μικρότερες του ανώτερου αποδεκτού ορίου των $2500 \text{ } \mu\text{S/cm}$, βάσει των ΚΥΑ 1811/2011 (για τα φυσικά υπόγεια νερά) και ΚΥΑ 2600/2001 (για ανθρώπινη κατανάλωση).
- Η μέγιστη τιμή του δυναμικού οξειδοαναγωγής (Eh) είναι 331 mV και μετρήθηκε στην αρδευτική γεώτρηση PW3, ενώ η ελάχιστη τιμή είναι 210 mV και μετρήθηκε στην αρδευτική γεώτρηση PW1.
- Οι συγκεντρώσεις ασβεστίου και μαγνησίου κυμαίνονται από $19,4$ έως $150,2 \text{ mg/l}$ και από $49,9$ έως $215,9 \text{ mg/l}$ αντίστοιχα. Η μέγιστη συγκέντρωση ασβεστίου μετρήθηκε στην αρδευτική γεώτρηση PW5, ενώ η μέγιστη συγκέντρωση μαγνησίου καταγράφηκε στην αρδευτική γεώτρηση PW8.
- Οι συγκεντρώσεις νατρίου και καλίου, κυμαίνονται από $25,5 \text{ mg/l}$ έως $156,1 \text{ mg/l}$ και από $0,8 \text{ mg/l}$ έως $9,4 \text{ mg/l}$ αντίστοιχα. Η μέγιστη συγκέντρωση νατρίου καταγράφηκε στην αρδευτική γεώτρηση PW8, ενώ η μέγιστη συγκέντρωση καλίου καταγράφηκε στην αρδευτική γεώτρηση PW7. Σε καμία θέση τα δείγματα δεν υπερβαίνουν το ανώτερο αποδεκτό όριο των 200 mg/l για το νάτριο και τα 12 mg/l για το κάλιο, βάσει των ΚΥΑ 1811/2011 (για τα φυσικά υπόγεια νερά) και ΚΥΑ 2600/2001 (για ανθρώπινη κατανάλωση).
- Οι συγκεντρώσεις των νιτρικών ιόντων κυμαίνονται από $39,1 \text{ mg/l}$ έως $468,2 \text{ mg/l}$. Εκτός από το δείγμα PW14, όλα τα δείγματα υπερβαίνουν το ανώτερο

αποδεκτό όριο των 50 mg/l, βάσει των ΚΥΑ 1811/2011 (για τα φυσικά υπόγεια νερά) και ΚΥΑ 2600/2001 (για ανθρώπινη κατανάλωση).

- Οι συγκεντρώσεις χλωριόντων κυμαίνονται από 26 mg/l έως 396 mg/l. Ένα δείγμα (PW8) υπερβαίνει το ανώτερο αποδεκτό όριο των 250 mg/l, βάσει των ΚΥΑ 1811/2011 (για τα φυσικά υπόγεια νερά) και ΚΥΑ 2600/2001 (για ανθρώπινη κατανάλωση).
- Οι συγκεντρώσεις θεικών ιόντων κυμαίνονται από 21 mg/l έως 130 mg/l. Κανένα δείγμα δεν υπερβαίνει το ανώτερο αποδεκτό όριο των 250 mg/l, βάσει των ΚΥΑ 1811/2011 (για τα φυσικά υπόγεια νερά) και ΚΥΑ 2600/2001 (για ανθρώπινη κατανάλωση).
- Οι συγκεντρώσεις όξινων ανθρακικών ιόντων κυμαίνονται από 235,5 mg/l έως 597,8 mg/l.

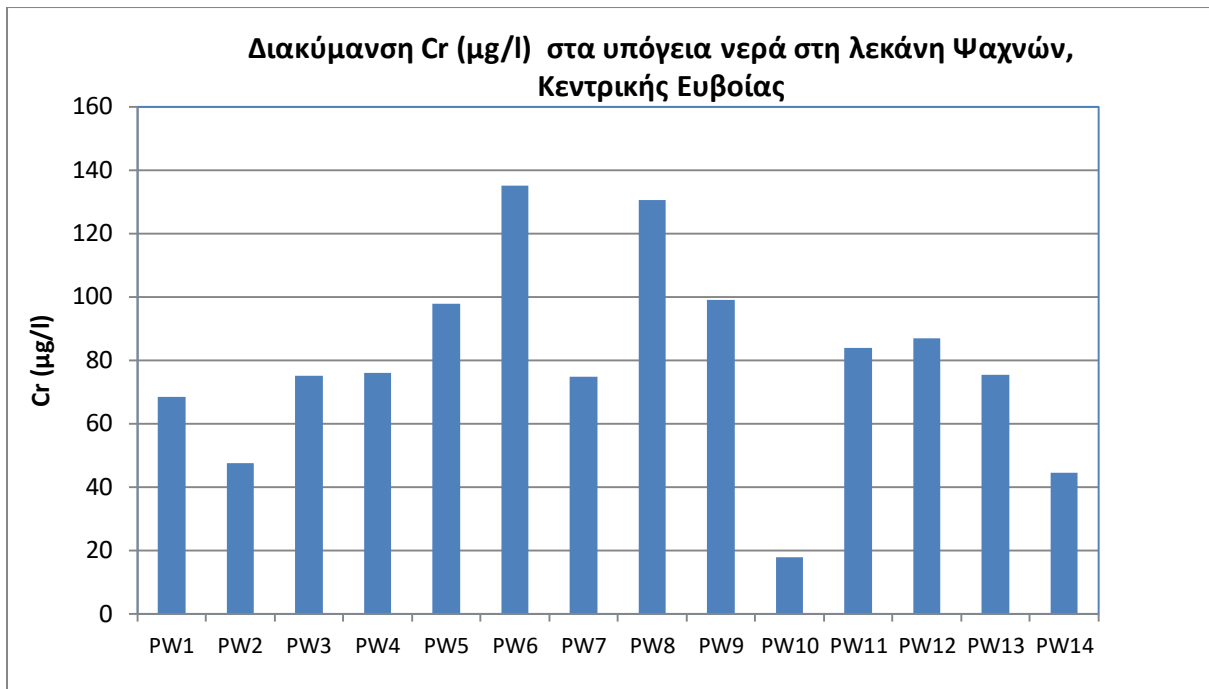
Στους παρακάτω πίνακες παρατίθενται οι αναλύσεις των ιχνοστοιχείων των δειγμάτων των υπογείων νερών. Στη συνέχεια παρατίθενται διαγράμματα για την καλύτερη απεικόνιση των αποτελεσμάτων αλλά και χάρτες για την αποτύπωση της χωρικής διακύμανσης των τιμών αυτών.

Πίνακας 6.5 Αναλύσεις ιχνοστοιχείων δειγμάτων υπογείου νερού της λεκάνης των Ψαχνών, Κεντρικής Ευβοίας

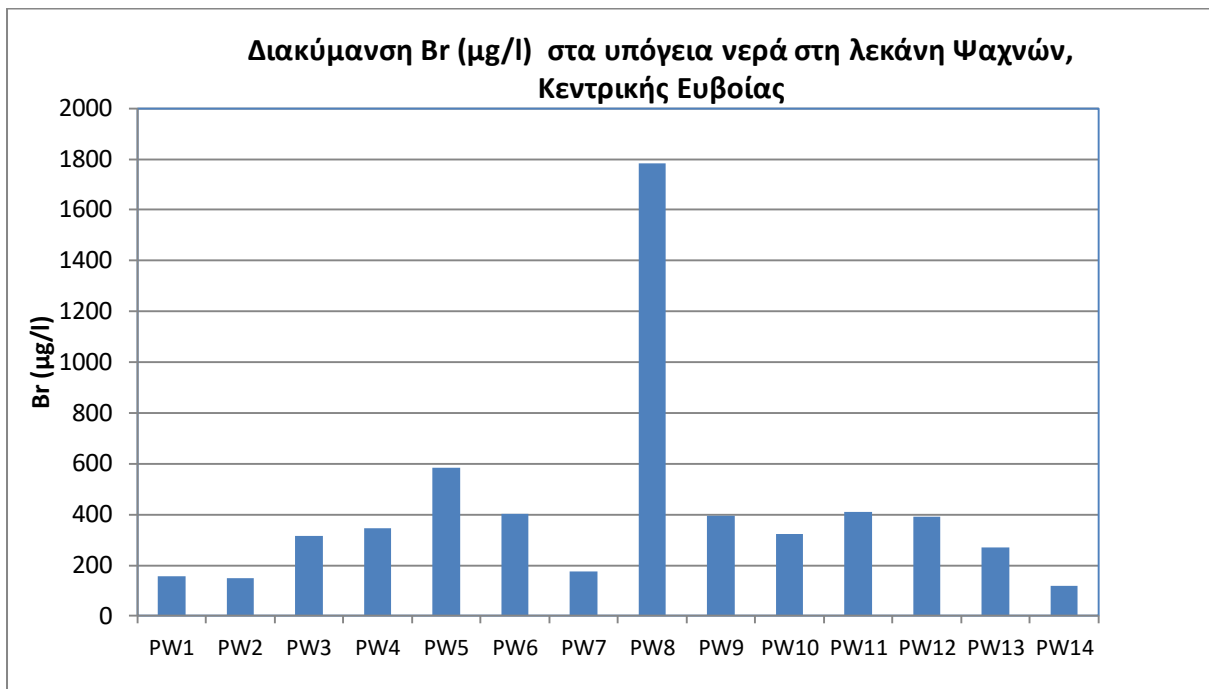
Θέση	φ	λ	Al (μg/L)	As (μg/L)	B (μg/L)	Ba (μg/L)	Br (μg/L)	Ce (μg/L)	Co (μg/L)	Co (μg/L)	Cu (μg/L)	La (μg/L)	Li (μg/L)	Mn (μg/L)	Mo (μg/L)	Ni (μg/L)
PW1	38,5823	23,6404	14	*	46	50,7	156	0,02	0,08	0,08	2,9	0,01	3,5	1,78	0,2	7,3
PW2	38,5741	23,6445	12	*	34	38,66	150	0,05	0,11	0,11	1,9	0,03	3,1	2,73	0,2	3,9
PW3	38,5649	23,6385	8	*	37	58,62	317	0,03	0,13	0,13	2,2	0,02	4,4	1,64	0,2	3,6
PW4	38,5612	23,6482	12	0,6	35	66,33	346	0,03	0,13	0,13	3	0,02	5,5	1,61	0,2	4,1
PW5	38,5821	23,6174	<1	1	71	79,08	584	*	0,19	0,19	2,4	*	9,6	1,07	0,2	6,9
PW6	38,5681	23,6166	4	0,8	31	72,76	403	0,02	0,11	0,11	2	*	5,9	1,78	0,2	4
PW7	38,5700	23,6385	6	0,6	109	71,85	174	0,02	0,5	0,5	2,4	0,01	5,5	0,84	*	7,9
PW8	38,5786	23,6214	19	2,3	80	197,24	1785	0,02	0,44	0,44	2,9	0,01	18	0,76	0,2	6,9
PW9	38,5665	23,6270	11	0,8	54	67,89	394	0,04	0,36	0,36	2,7	0,02	5,3	0,98	0,1	7,3
PW10	38,5796	23,6300	4	*	72	10,33	323	0,02	0,09	0,09	1,5	0,01	5	9,77	0,3	1,5
PW11	38,5613	23,6427	5	1,1	27	56,24	412	0,01	<0,02	<0,02	0,8	*	6,6	0,42	0,2	0,8
PW12	38,5683	23,6276	8	0,9	33	45,07	392	0,04	0,08	0,08	1,4	0,02	5,4	0,81	0,3	3,1
PW13	38,5769	23,6209	2	0,8	49	42,75	269	0,01	0,08	0,08	1,4	*	4,6	0,22	0,2	3,3
PW14	38,5716	23,6336	2	*	57	28,31	119	*	0,07	0,07	0,8	*	3,1	2,34	0,1	3,8
		Max	19,0	2,3	109,0	197,2	1785,0	0,1	0,5	0,5	3,0	0,0	18,0	9,8	0,3	7,9
		Min	2,0	0,6	27,0	10,3	119,0	0,0	0,07	0,1	0,8	0,0	3,1	0,2	0,1	0,8
		Average	8,2	1,0	52,5	63,3	416,0	0,0	0,1823077	0,2	2,0	0,0	6,1	1,9	0,2	4,6
		St. Dev	5,118	0,518	23,418	42,971	414,517	0,012	0,1492846	0,149	0,751	0,007	3,794	2,372	0,058	2,266

Πίνακας 6.6 Αναλύσεις ιχνοστοιχείων δειγμάτων υπογείου νερού της λεκάνης των Ψαχνών, Κεντρικής Ευβοίας

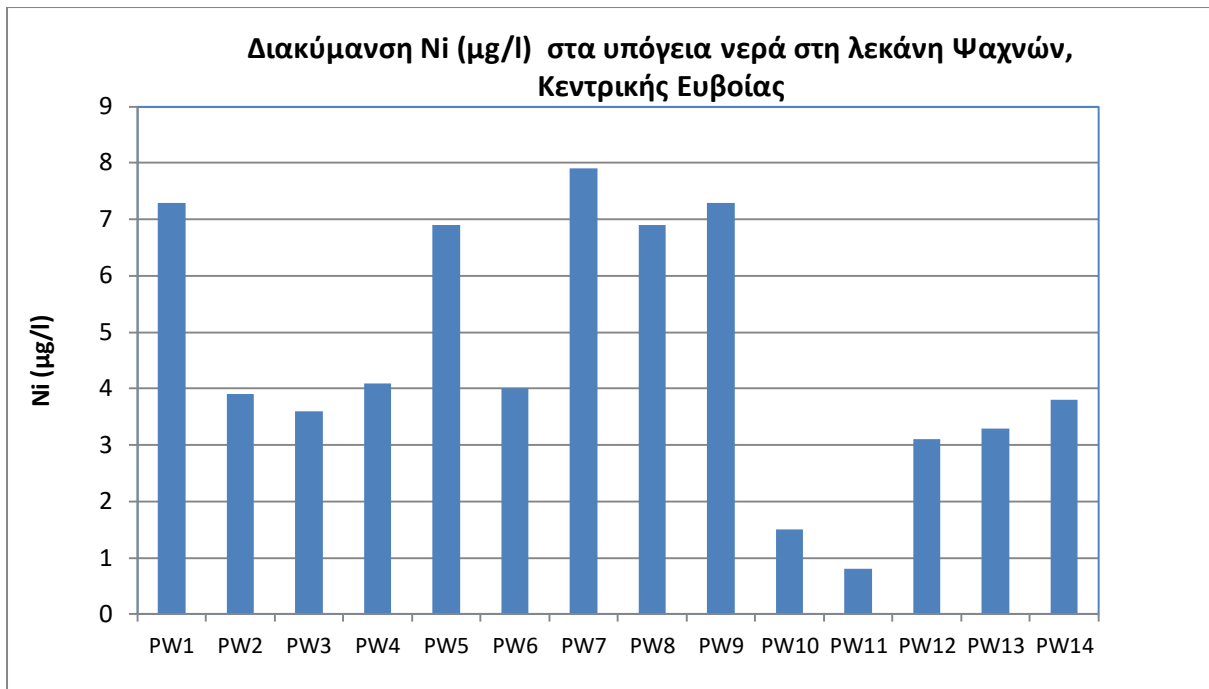
Θέση	φ	λ	P (μg/L)	Pb (μg/L)	Pd (μg/L)	Rb (μg/L)	S (mg/l)	Sb (μg/L)	Se (μg/L)	Si (μg/L)	Sn (μg/L)	Sr (μg/L)	U (μg/L)	V (μg/L)	Y (μg/L)	Zn (μg/L)
PW1	38,5823	23,6404	45	0,5	0,01	0,64	16	0,09	0,6	13664	0,4	240,87	1,91	1,7	0,01	94,4
PW2	38,5741	23,6445	65	0,3	0,01	0,43	15	0,12	*	10651	0,66	210,39	1,37	1,4	0,03	79,6
PW3	38,5649	23,6385	53	0,6	0,01	0,63	30	0,12	1,1	11452	0,45	311,89	2,27	1,5	0,02	90,1
PW4	38,5612	23,6482	59	0,4	*	0,83	39	0,08	1	12417	0,35	349,76	3,29	1,7	0,03	29,6
PW5	38,5821	23,6174	34	1,2	0,01	0,64	58	0,17	1,9	20356	<0,05	594,96	4,81	3,5	0,04	76,6
PW6	38,5681	23,6166	27	0,4	0,01	0,51	34	0,15	1,6	16316	<0,05	392,2	2,18	3,2	0,03	35,8
PW7	38,5700	23,6385	33	0,4	0,01	0,78	19	0,12	0,6	18769	0,06	274,98	1,76	2,5	0,01	38,5
PW8	38,5786	23,6214	16	0,3	0,02	1,17	49	<0,05	5,2	17737	<0,05	812,71	2,96	6,9	0,01	26,7
PW9	38,5665	23,6270	35	0,3	*	0,41	47	0,05	1,5	14886	0,06	384	4,42	2	0,03	12,6
PW10	38,5796	23,6300	15	<0,2	0,02	0,5	38	<0,05	1,2	4069	<0,05	61,48	0,37	0,4	*	5,2
PW11	38,5613	23,6427	35	1,2	0,02	0,92	9	<0,05	1,2	14349	<0,05	365,12	0,27	2,7	*	64,1
PW12	38,5683	23,6276	36	0,3	0,01	0,66	36	0,08	1,5	14728	<0,05	340,14	1,69	2,4	0,02	10,1
PW13	38,5769	23,6209	34	<0,2	0,01	0,52	26	<0,05	0,9	15827	<0,05	291,75	1,8	2,2	*	13,4
PW14	38,5716	23,6336	25	0,4	*	0,29	11	0,08	0,5	17195	0,17	224,15	0,88	1,7	0,02	56,5
		Max	65,0	1,2	0,0	1,2	58,0	0,2	5,2	20356,0	0,7	812,7	4,8	6,9	0,0	94,4
		Min	15,0	0,3	0,0	0,3	9,0	0,1	0,5	4069,0	0,1	61,5	0,3	0,4	0,0	5,2
		Average	36,6	0,5	0,0	0,6	30,5	0,1	1,4	14458,3	0,3	346,7	2,1	2,4	0,0	45,2
		St. Dev	14,669	0,328	0,005	0,230	15,159	0,037	1,204	4052,209	0,222	179,353	1,349	1,511	0,010	31,275



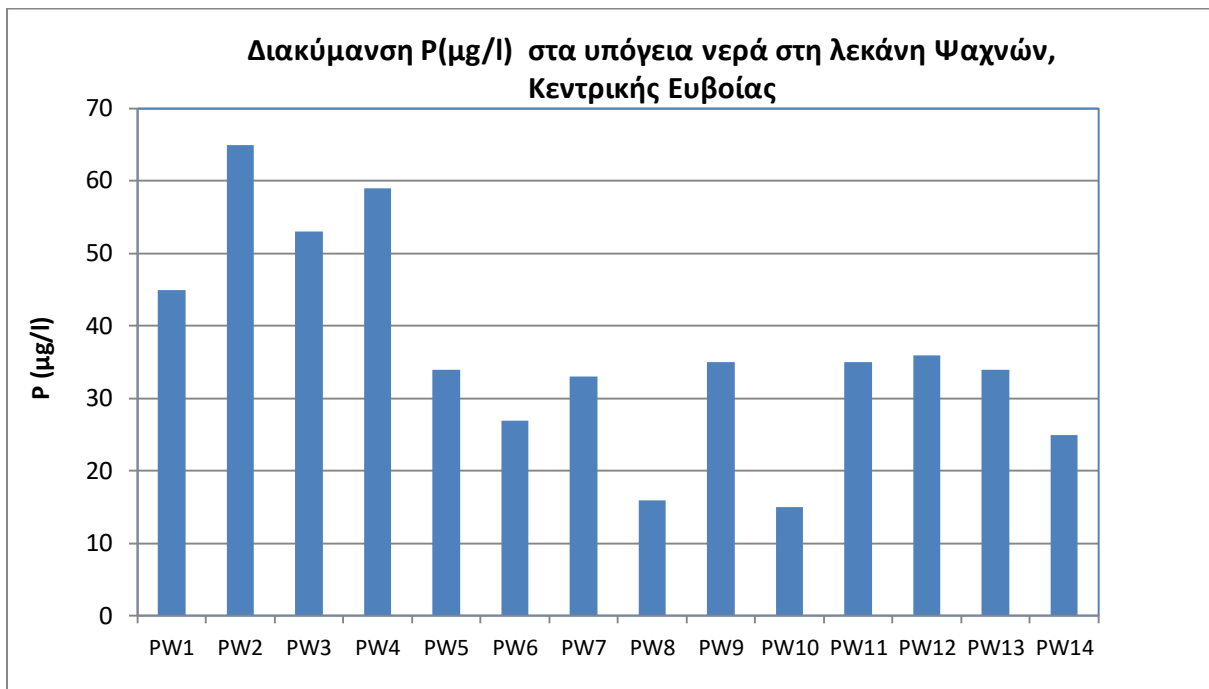
Διάγραμμα 6.8 Διακύμανση Cr (μg/l) στα υπόγεια νερά στη λεκάνη Ψαχνών, Κεντρικής Ευβοίας



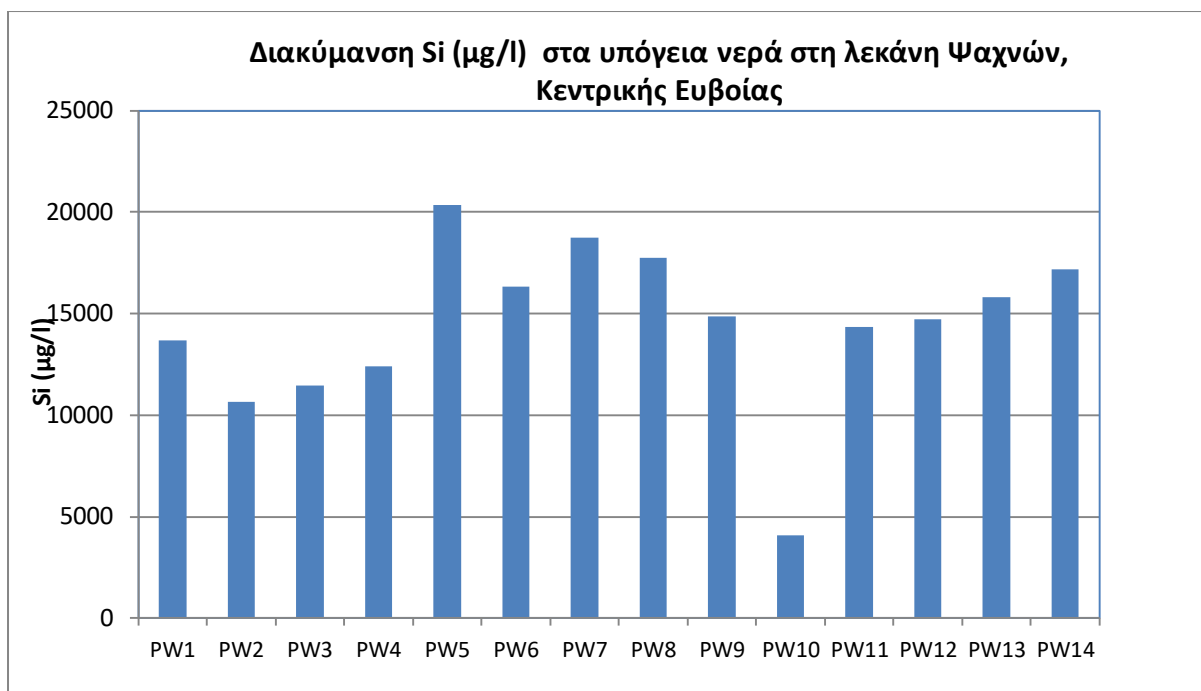
Διάγραμμα 6.9 Διακύμανση Br (μg/l) στα υπόγεια νερά στη λεκάνη Ψαχνών, Κεντρικής Ευβοίας



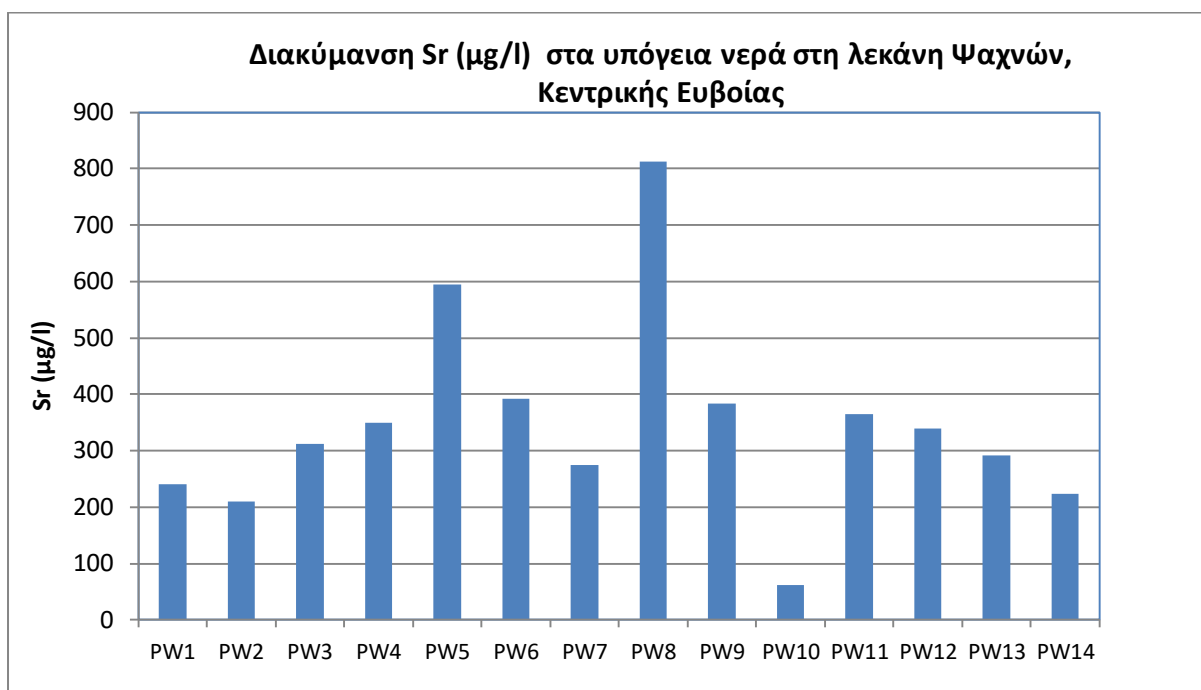
Διάγραμμα 6.10 Διακύμανση Ni (μg/l) στα υπόγεια νερά στη λεκάνη Ψαχνών,
Κεντρικής Ευβοίας



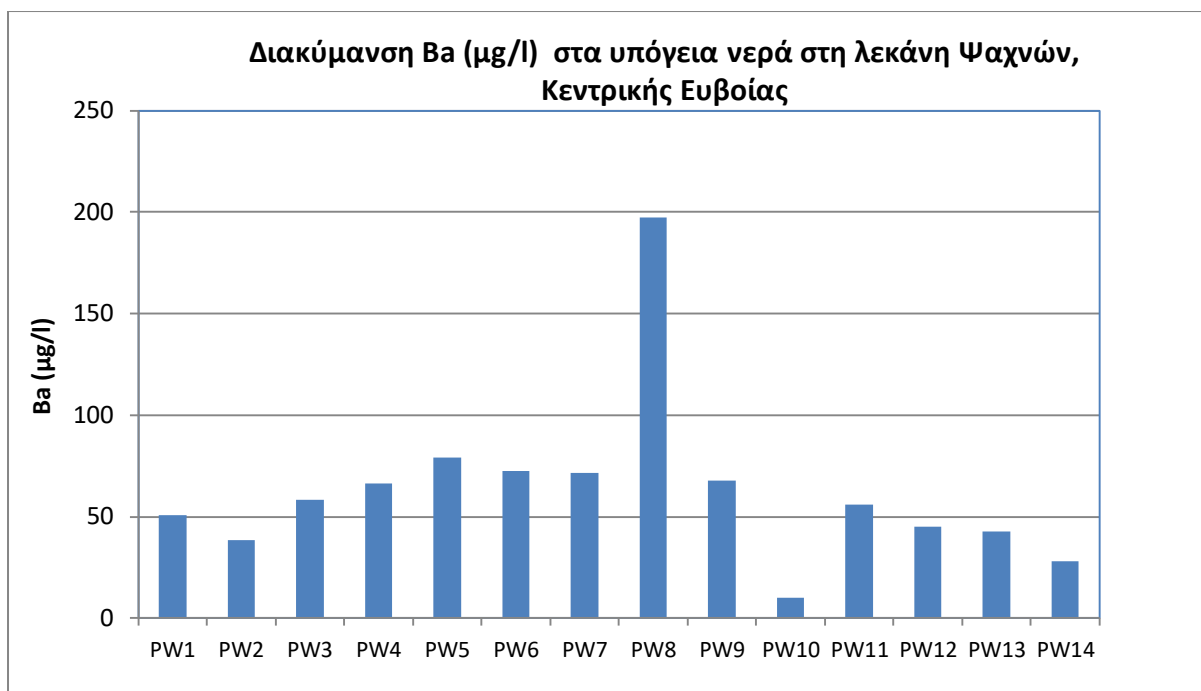
Διάγραμμα 6.11 Διακύμανση P (μg/l) στα υπόγεια νερά στη λεκάνη Ψαχνών,
Κεντρικής Ευβοίας



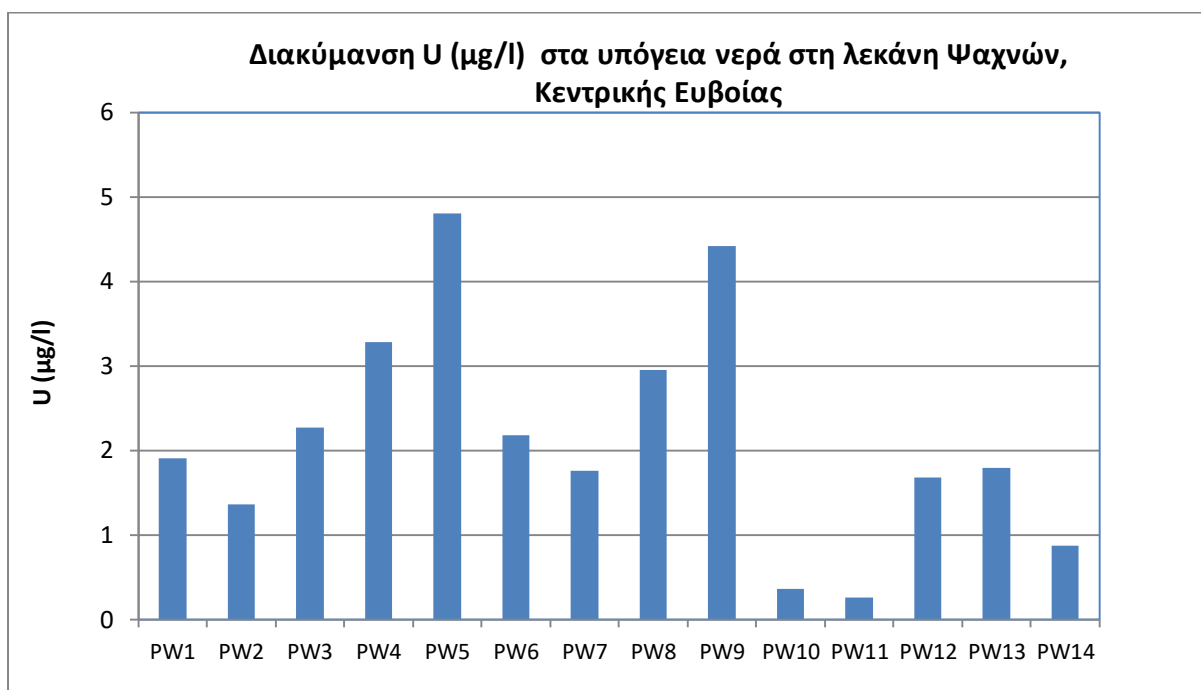
Διάγραμμα 6.12 Διακύμανση Si (μg/l) στα υπόγεια νερά στη λεκάνη Ψαχνών, Κεντρικής Ευβοίας



Διάγραμμα 6.13 Διακύμανση Sr (μg/l) στα υπόγεια νερά στη λεκάνη Ψαχνών, Κεντρικής Ευβοίας



Διάγραμμα 6.14 Διακύμανση Ba (μg/l) στα υπόγεια νερά στη λεκάνη Ψαχνών, Κεντρικής Ευβοίας



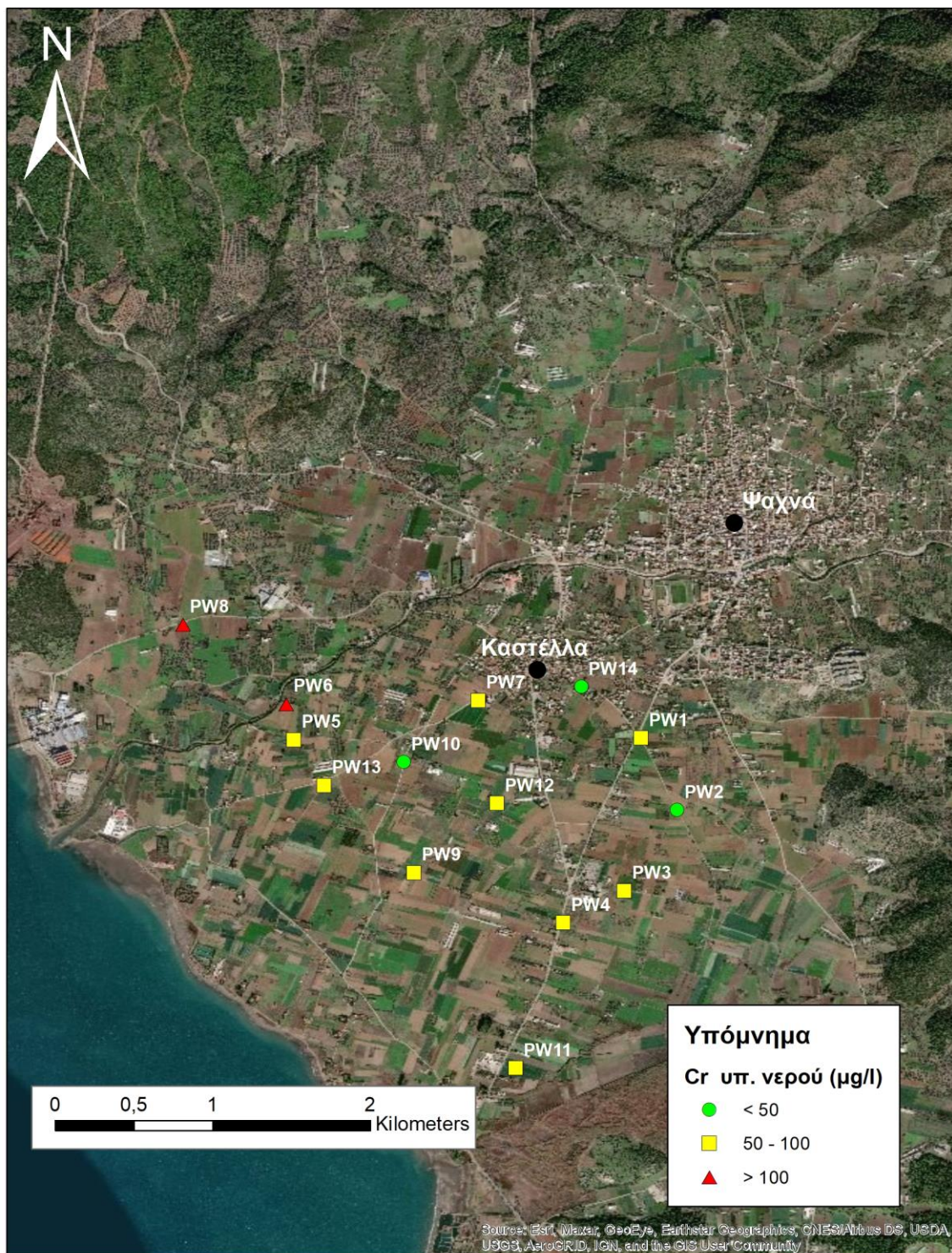
Διάγραμμα 6.15 Διακύμανση U (μg/l) στα υπόγεια νερά στη λεκάνη Ψαχνών, Κεντρικής Ευβοίας

Αναλυτικά με βάση τις χημικές αναλύσεις των ιχνοστοιχείων προκύπτουν τα εξής:

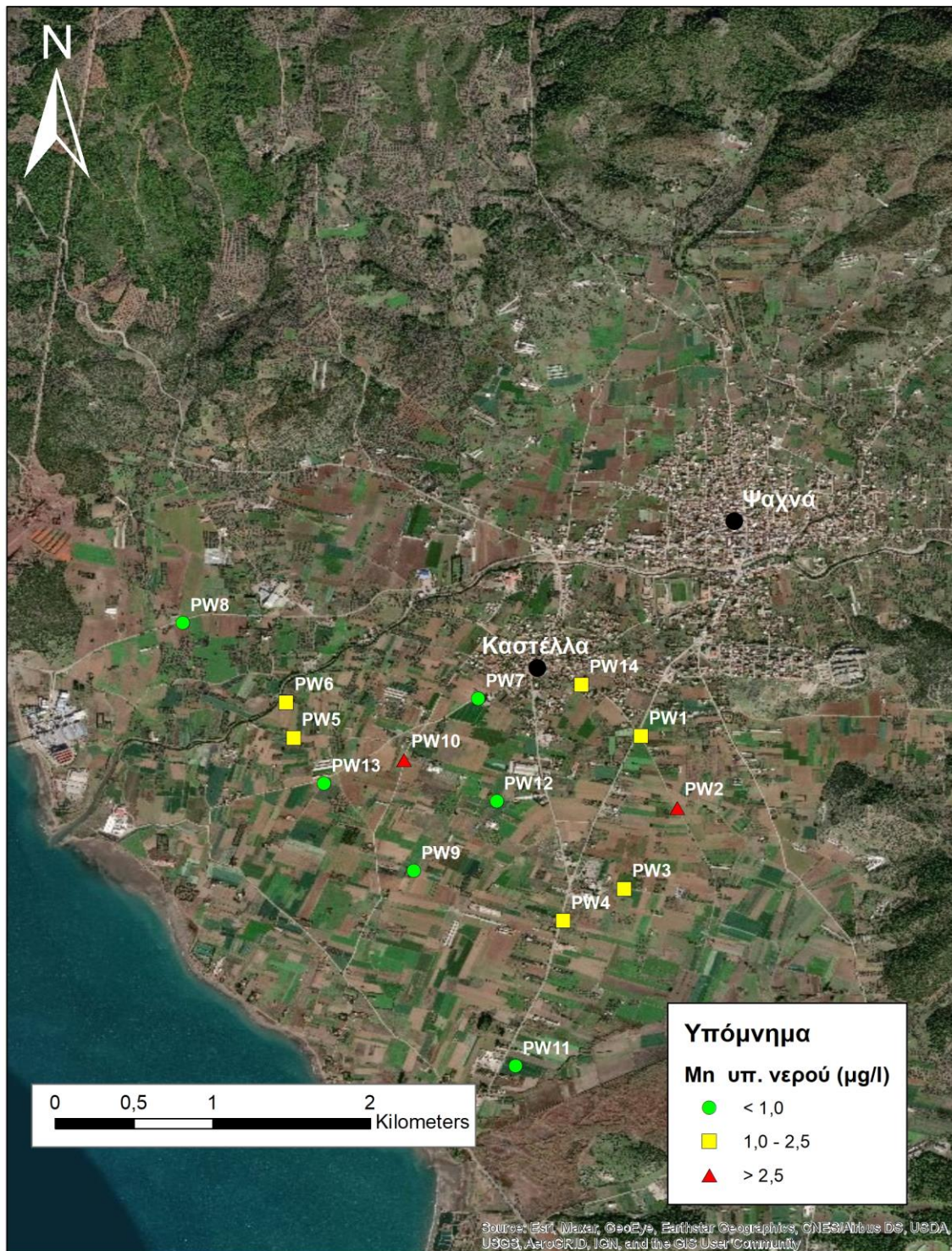
- Οι συγκεντρώσεις βρωμίου κυμαίνονται από 119 έως 1785 με μέση τιμή τα 416 $\mu\text{g/l}$. Η μέγιστη συγκέντρωση βρωμίου καταγράφηκε στο δείγμα PW8. Τα δείγματα PW3, PW4, PW5, PW6, PW8, PW9, PW10, PW11, PW12, PW13 υπερβαίνουν το ανώτερο αποδεκτό όριο των 200 $\mu\text{g/l}$, βάσει των ΚΥΑ 3832/2017(για τα φυσικά υπόγεια νερά) και ΚΥΑ 2600/2001 (για ανθρώπινη κατανάλωση).
- Οι συγκεντρώσεις του βαρίου κυμαίνονται από 10,3 έως 197,2 με μέση τιμή τα 63,3 $\mu\text{g/l}$. Κανένα δείγμα δεν υπερβαίνει το ανώτερο αποδεκτό όριο των 700 $\mu\text{g/l}$, βάσει των ΚΥΑ 3832/2017 (για τα φυσικά υπόγεια νερά) και ΚΥΑ 2600/2001 (για ανθρώπινη κατανάλωση).
- Οι συγκεντρώσεις του αρσενικού κυμαίνονται από 0,6 έως 2,3, με μέση τιμή τα 1 $\mu\text{g/l}$. Κανένα δείγμα δεν υπερβαίνει το ανώτερο αποδεκτό όριο των 10 $\mu\text{g/l}$, βάσει των ΚΥΑ 3832/2017 (για τα φυσικά υπόγεια νερά) και ΚΥΑ 2600/2001 (για ανθρώπινη κατανάλωση).
- Οι συγκεντρώσεις του βορίου κυμαίνονται από 27 έως 109 με μέση τιμή τα 52,5 $\mu\text{g/l}$
- Οι συγκεντρώσεις ολικού χρωμίου κυμαίνονται από 18 έως 135,2 με μέση τιμή τα 79,6 $\mu\text{g/l}$. Η ελάχιστη συγκέντρωση ολικού χρωμίου μετρήθηκε στο δείγμα PW10, και η μέγιστη συγκέντρωση μετρήθηκε στο δείγμα PW6. Έντεκα δείγματα (PW1, PW3, PW4, PW5, PW6, PW7, PW8, PW9, PW11, PW12, PW13) σε σύνολο 14, υπερβαίνουν το ανώτερο αποδεκτό όριο των 50 $\mu\text{g/l}$, βάσει των ΚΥΑ 3832/2017 (για τα φυσικά υπόγεια νερά) και ΚΥΑ 2600/2001 (για ανθρώπινη κατανάλωση). Με βάση τη Νέα Ολλανδική Λίστα Ορίων Αναφοράς και Παρέμβασης (2000) για τα νερά, δεκατρία δείγματα υπερβαίνουν το όριο παρέμβασης των 30 $\mu\text{g/l}$.
- Οι συγκεντρώσεις του λιθίου κυμαίνονται από 3,1 έως 18 με μέση τιμή τα 6,1 $\mu\text{g/l}$
- Οι συγκεντρώσεις του μαγγανίου κυμαίνονται από 0,2 έως 9,2 με μέση τιμή τα 1,9 $\mu\text{g/l}$. Η ελάχιστη συγκέντρωση μετρήθηκε στο δείγμα PW13 και η μέγιστη συγκέντρωση καταγράφηκε στο δείγμα PW10. Κανένα δείγμα δεν υπερβαίνει το ανώτερο αποδεκτό όριο των 50 $\mu\text{g/l}$, βάσει των ΚΥΑ 3832/2017 (για τα φυσικά υπόγεια νερά) και ΚΥΑ 2600/2001 (για ανθρώπινη κατανάλωση).
- Οι συγκεντρώσεις φωσφόρου κυμαίνονται από 15 έως 65 με μέση τιμή τα 36,6 $\mu\text{g/l}$.

- Οι συγκεντρώσεις στροντίου κυμαίνονται από 61,5 έως 812,7 με μέση τιμή τα 346,7 $\mu\text{g/l}$
- Οι συγκεντρώσεις πυριτίου κυμαίνονται από 4.069 έως 20.356 με μέση τιμή τα 14.458,3 $\mu\text{g/l}$
- Οι συγκεντρώσεις νικελίου κυμαίνονται από 0,8 έως 7,9 με μέση τιμή τα 4,6 $\mu\text{g/l}$. Κανένα δείγμα δεν υπερβαίνει το ανώτερο αποδεκτό όριο των 20 $\mu\text{g/l}$, βάσει των ΚΥΑ 3832/2017 (για τα φυσικά υπόγεια νερά) και ΚΥΑ 2600/2001 (για ανθρώπινη κατανάλωση).
- Οι συγκεντρώσεις του ουρανίου κυμαίνονται από 0,3 έως 4,8 με μέση τιμή τα 4,8 $\mu\text{g/l}$
- Οι συγκεντρώσεις του βαναδίου κυμαίνονται από 0,4 έως 6,9 με μέση τιμή τα 2,4 $\mu\text{g/l}$
- Οι συγκεντρώσεις του ψευδαργύρου κυμαίνονται από 5,2 έως 94,4 με μέση τιμή τα 45,2 $\mu\text{g/l}$

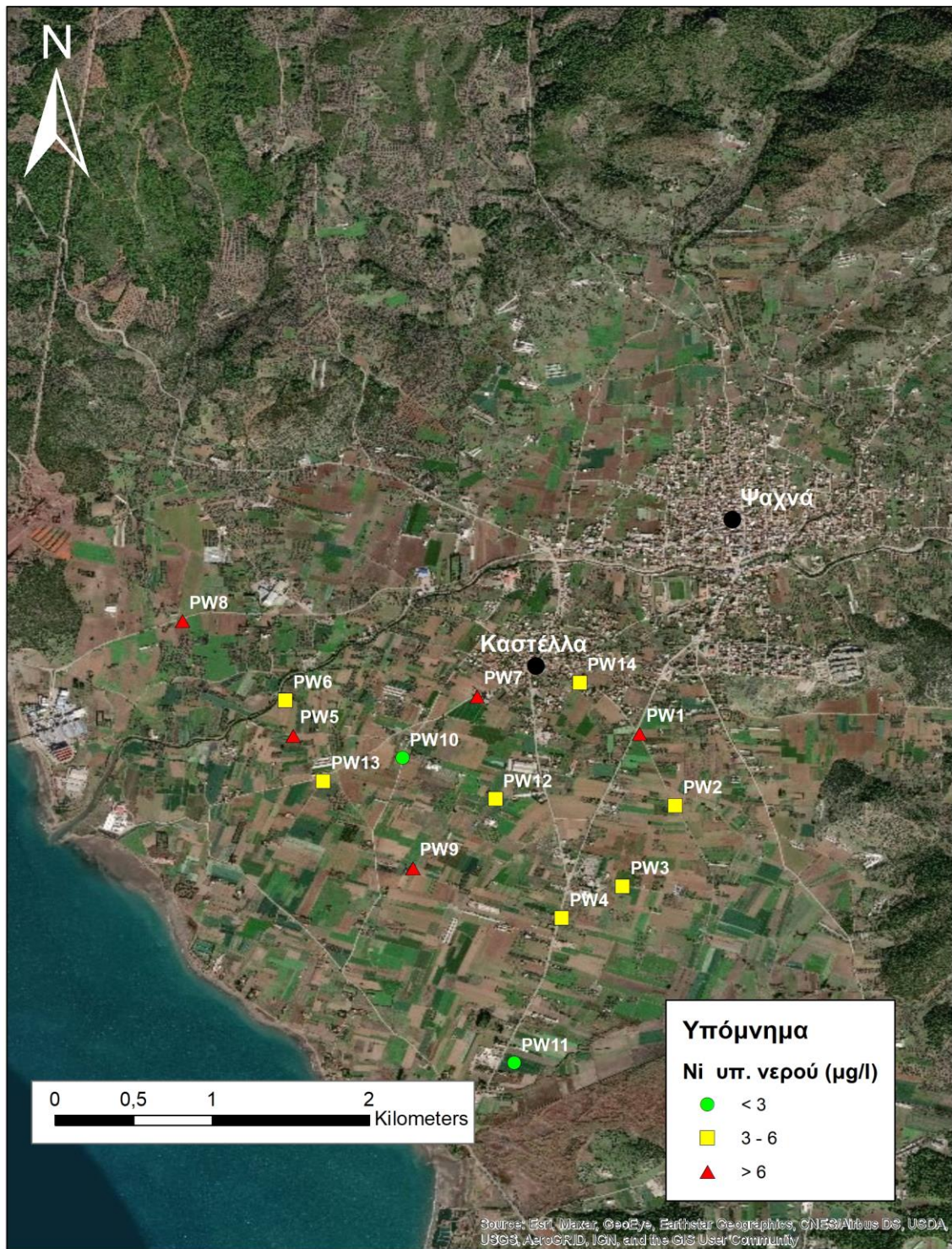
Στη συνέχεια ακολουθούν χάρτες με την απεικόνιση της χωρικής διακύμανσης των συγκεντρώσεων ορισμένων στοιχείων.



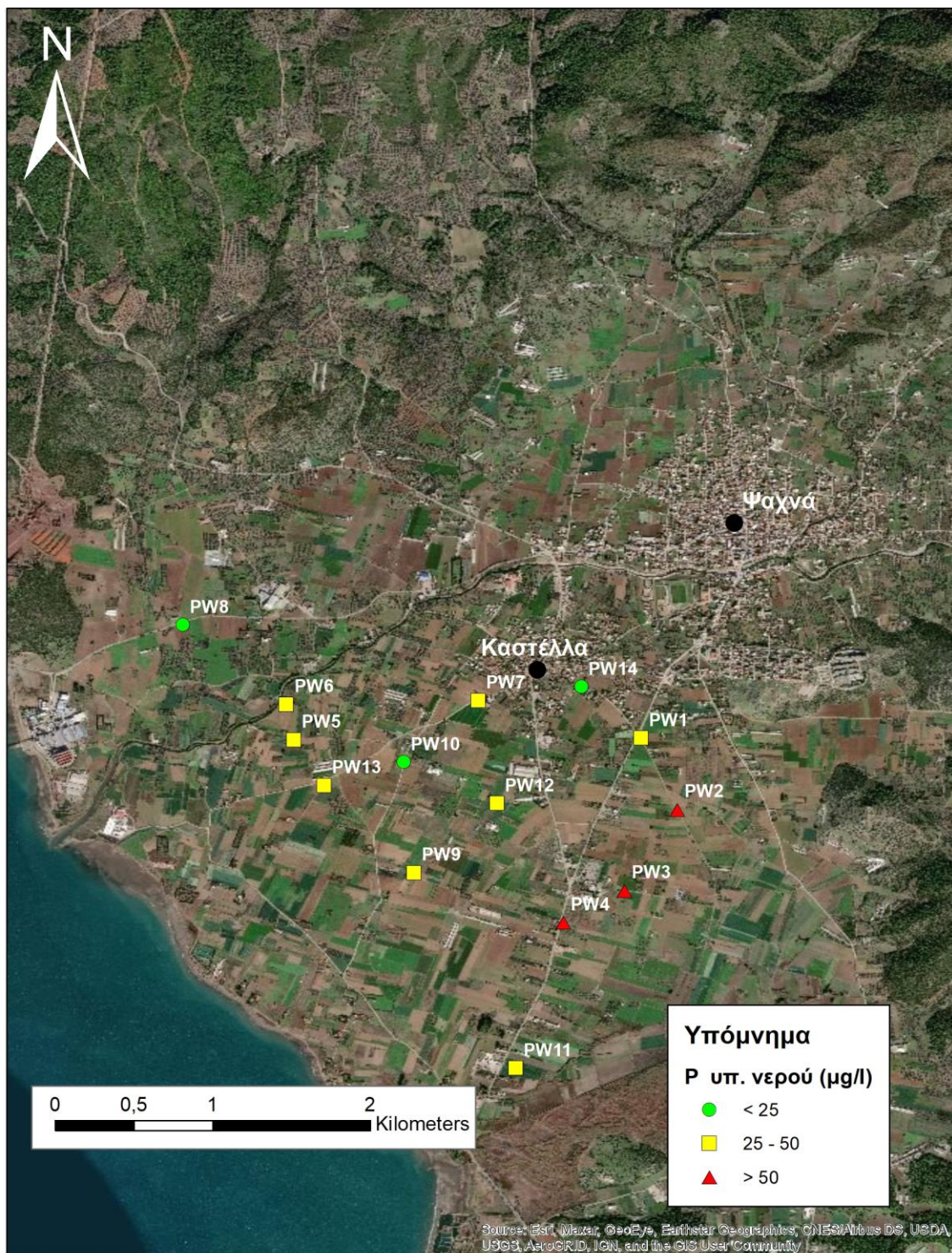
Εικόνα 6.23 Τιμές ολικού χρωμίου των υπογείων νερών της λεκάνης των Ψαχνών, Κεντρικής Ευβοίας



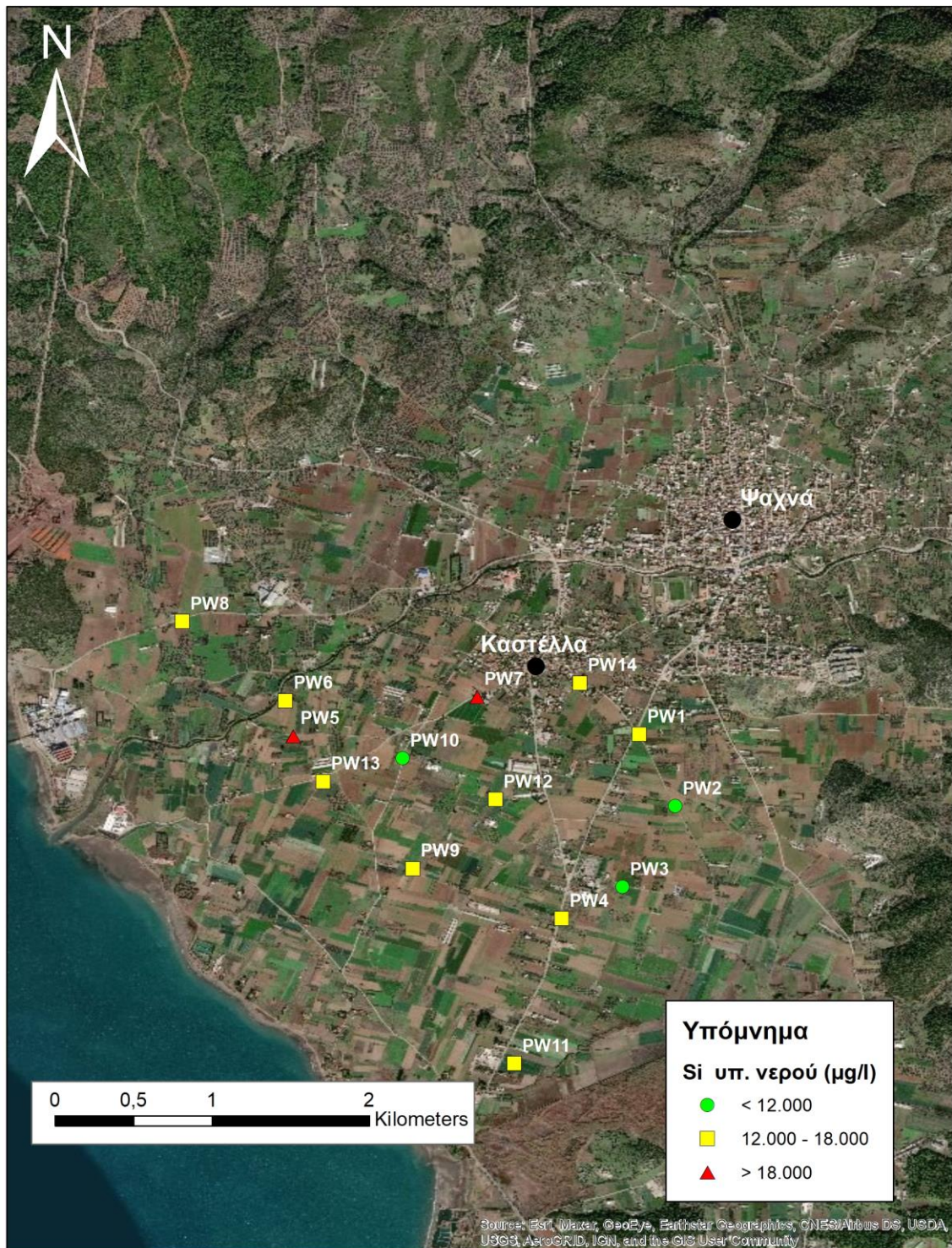
Εικόνα 6.24 Τιμές μαγγανίου των υπογείων νερών της λεκάνης των Ψαχνών, Κεντρικής Ευβοίας



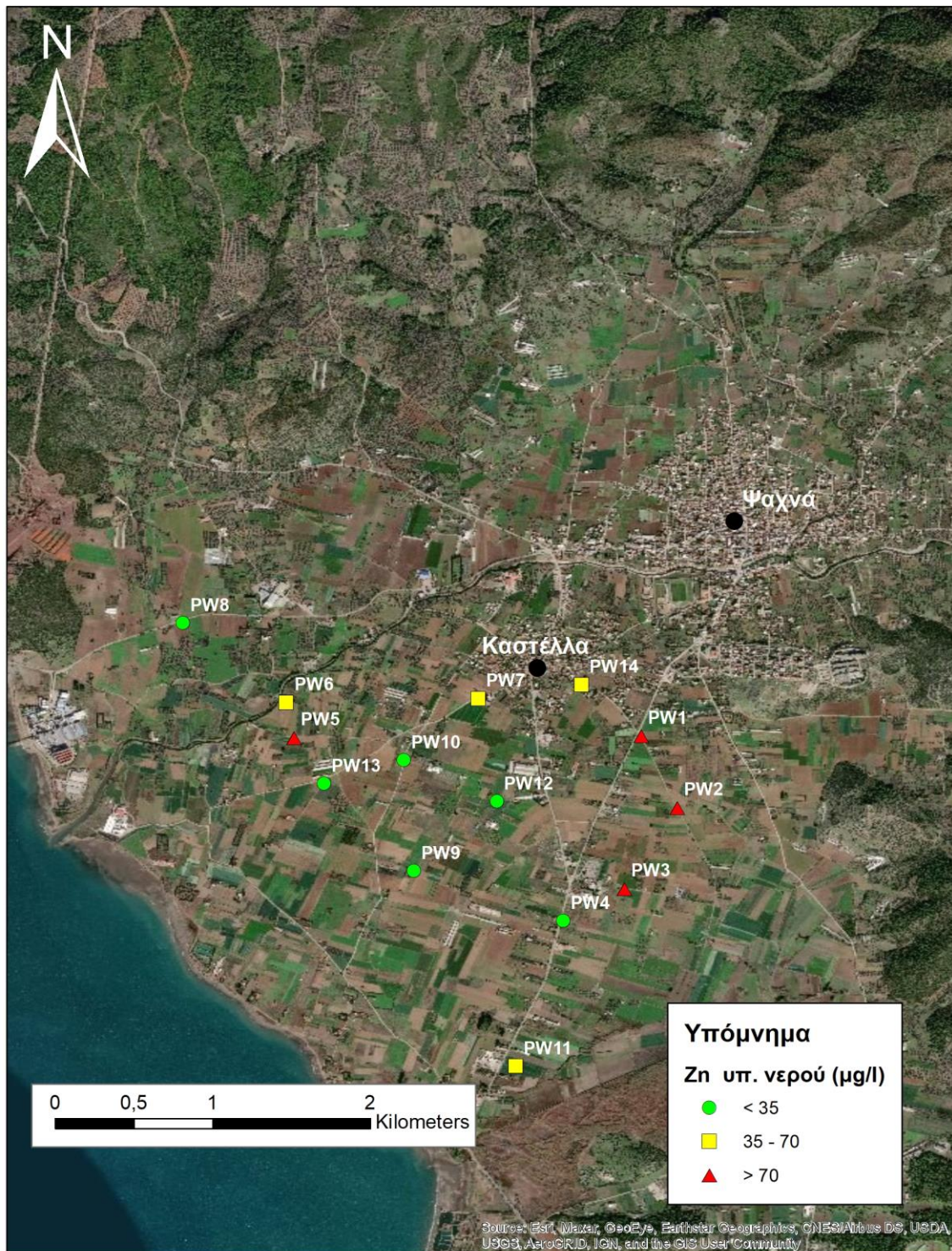
Εικόνα 6.25 Τιμές νικελίου των υπογείων νερών της λεκάνης των Ψαχνών, Κεντρικής Ευβοίας



Εικόνα 6.26 Τιμές φωσφόρου των υπογείων νερών της λεκάνης των Ψαχνών, Κεντρικής Ευβοίας



Εικόνα 6.27 Τιμές πυριτίου των υπογείων νερών της λεκάνης των Ψαχνών, Κεντρικής Ευβοίας



Εικόνα 6.28 Τιμές ψευδαργύρου των υπογείων νερών της λεκάνης των Ψαχνών, Κεντρικής Ευβοίας

6.2.2 Συσχέτιση αποτελεσμάτων και διαγράμματα

Στη συνέχεια ακολουθεί πίνακας που εξετάζει τη συσχέτιση (Συντελεστής συσχέτισης Pearson) μεταξύ των διαφόρων παραμέτρων και στοιχείων. Οι συσχετίσεις υπολογίστηκαν με βάση το στατιστικό πακέτο SPSS 22/0, ανάλογα αποτελέσματα έδωσαν και οι υπολογισμοί συντελεστών συσχέτισης κατά Spearman και Kendall.

Πίνακας 6.7 Δείκτης συσχέτισης αποτελεσμάτων (Pearson)

	T (οC)	DO (g/l)	EC (μS/cm)	pH	eH	NO3 (mg/l)	SO4 (mg/l)	HCO3 (mg/l)	As (μg/L)	B (μg/L)	Ba (μg/L)	Br (μg/L)	Ca (mg/l)	Cl (mg/l)	Cr (μg/L)	K (mg/l)	Li (μg/L)	Mg (mg/l)	Mn (μg/L)	Na (mg/l)	Ni (μg/L)	P (μg/L)	Si (μg/L)	Sr (μg/L)	U (μg/L)	V (μg/L)	Zn (μg/L)	
T (οC)	1																											
DO (g/l)	-,317	1																										
EC (μS/cm)	,115	,027	1																									
pH	-,119	-,523	-,354	1																								
eH	-,138	-,161	,152	,278	1																							
NO3 (mg/l)	,131	-,074	,927**	-,090	,309	1																						
SO4 (mg/l)	,324	-,033	,839**	-,185	,076	,822**	1																					
HCO3 (mg/l)	,068	,253	,248	-,612*	,030	,014	,320	1																				
As (μg/L)	,177	,220	,807**	-,364	,147	,748**	,513	,005	1																			
B (μg/L)	,185	,180	,360	-,339	,068	,369	,382	,414	,225	1																		
Ba (μg/L)	,014	,271	,898**	-,412	,050	,850**	,612*	,047	,895**	,324	1																	
Br (μg/L)	,197	,068	,899**	-,251	,183	,885**	,660*	-,042	,960**	,274	,918**	1																
Ca (mg/l)	-,190	,255	,771**	-,499	,114	,597*	,570*	,482	,543*	,063	,720**	,550*	1															
Cl (mg/l)	,138	,121	,834**	-,237	,138	,828**	,565*	-,145	,960**	,281	,905**	,984**	,460	1														
Cr (μg/L)	,153	,331	,641*	-,578*	,021	,522	,431	,209	,659*	-,052	,746**	,602*	,810**	,541*	1													
K (mg/l)	,011	,315	,066	-,106	,071	,212	-,009	-,074	,204	,700**	,287	,162	-,115	,235	,025	1												
Li (μg/L)	,214	,113	,904**	-,327	,179	,875**	,669**	,109	,954**	,382	,922**	,976**	,595*	,947**	,620*	,251	1											
Mg (mg/l)	,350	,000	,940**	-,387	,191	,863**	,818**	,328	,846**	,440	,817**	,906**	,629*	,836**	,574*	,082	,936**	1										
Mn (μg/L)	,510	-,690**	-,230	,573*	,053	-,054	,058	-,279	-,328	,152	-,427	-,168	-,662**	-,178	-,647*	-,076	-,206	-,080	1									
Na (mg/l)	,203	,066	,924**	-,316	,187	,903**	,736**	,098	,897**	,487	,885**	,960**	,522	,940**	,495	,258	,954**	,937**	-,104	1								
Ni (μg/L)	-,055	,426	,523	-,617*	-,397	,347	,519	,533*	,210	,573*	,505	,251	,580*	,223	,389	,257	,317	,404	-,376	,390	1							
P (μg/L)	-,667**	,017	-,283	,428	-,185	-,261	-,229	-,166	-,462	-,504	-,258	-,439	,087	-,441	-,178	-,246	-,463	-,530	-,274	-,492	-,005	1						
Si (μg/L)	-,222	,619*	,400	-,851**	-,026	,157	,142	,651*	,409	,295	,496	,275	,706**	,256	,642*	,186	,386	,370	-,788**	,297	,571*	-,178	1					
Sr (μg/L)	,006	,293	,892**	-,499	,141	,768**	,621*	,303	,881**	,181	,915**	,863**	,861**	,807**	,818**	,051	,897**	,853**	-,546*	,810**	,438	-,235	,639*	1				
U (μg/L)	-,031	,076	,657*	-,377	,042	,495	,642*	,611*	,262	,156	,465	,329	,848**	,205	,555*	-,202	,377	,540*	-,396	,385	,675**	,134	,461	,615*	1			
V (μg/L)	,092	,326	,838**	-,548*	,069	,732**	,532	,163	,942**	,287	,942**	,900**	,699**	,889**	,784**	,239	,926**	,830**	-,480	,850**	,395	-,404	,629*	,936**	,364	1		
Zn (μg/L)	-,438	,326	-,141	-,016	-,353	-,184	-,103	,114	-,233	-,205	-,064	-,220	,080	-,232	-,099	-,257	-,184	-,232	-,205	-,258	,145	,511	,111	-,016	-,010	-,095	1	

** Η συσχέτιση είναι σημαντική στο 0,01 επίπεδο

* Η συσχέτιση είναι σημαντική στο 0,05 επίπεδο

Από την ανάλυση των δειγμάτων νερού προέκυψε ότι στα υπόγεια νερά της λεκάνης των Ψαχνών επικρατούν αλκαλικές συνθήκες, καθώς το pH κυμαίνεται από 7,4 έως 8,9, με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας αλλά και την ΚΥΑ 3832/2017, να θέτει ως επιτρεπτό εύρος τιμών pH από 6,5 έως 8,5. Αυτές οι συνθήκες είναι τυπικές για υδροφόρους σχηματισμούς που σχετίζονται με ανθρακικά και υπερβασικά πετρώματα (Barnes and O'Neil, 1969). Όσον αφορά στην ηλεκτρική αγωγιμότητα, η μέση τιμή της είναι 1215 $\mu\text{S}/\text{cm}$, με ελάχιστη και μέγιστη τιμή 603 και 2763 $\mu\text{S}/\text{cm}$ αντίστοιχα.

Σύμφωνα με τον πίνακα 6.7, η ηλεκτρική αγωγιμότητα φαίνεται ότι έχει πολύ ισχυρή συσχέτιση με τα περισσότερα κύρια ιόντα και ιδιαίτερα με τα νιτρικά ιόντα, τα θειικά ιόντα, το χλώριο, το μαγνήσιο και το νάτριο. Επίσης παρουσιάζει ισχυρή συσχέτιση με το ασβέστιο και το χρώμιο. Αυτό οφείλεται στην ύπαρξη τόσο διαλυμένων αλάτων, όσο και ότι πρόκειται για παράκτια ζώνη. Οι υψηλότερες τιμές χλωρίου και νατρίου καταγράφηκαν στα δείγματα τα οποία λήφθηκαν από θέσεις γειτνιαζουσες στην ακτογραμμή, σε συνδυασμό και με τις εκτεταμένες υπεραντλήσεις από τις αρδευτικές γεωτρήσεις της περιοχής, υποδεικνύεται η ύπαρξη θαλάσσιας διείσδυσης.

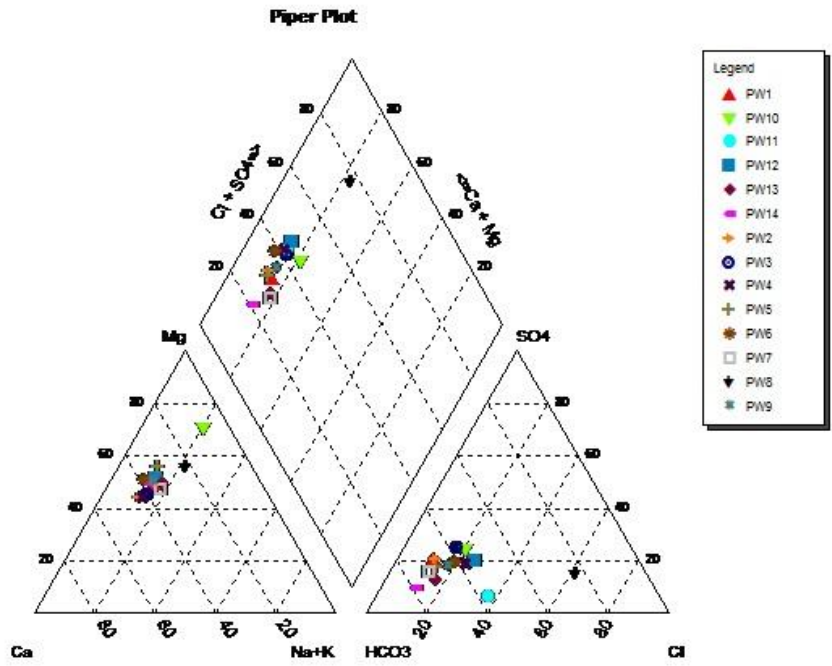
Πολύ ισχυρές συσχετίσεις παρατηρούνται μεταξύ As και Ba (0,90), As και Br (0,96), As και Cl (0,96), As και Li (0,95), As και Mg (0,85), As και Na (0,90), As και Sr (0,88), As και V (0,94), Ba και Br (0,92), Ba και Cl (0,90), Ba και Li (0,92), Ba και Na (0,89), Ba και Sr (0,92), Br και Cl (0,98), Br και Li (0,98), Br και Mg (0,91), Br και Na (0,96), Br και Sr (0,86), Br και V (0,90), NO_3^- και Ba (0,85), NO_3^- και Br (0,89), NO_3^- και SO_4^{2-} (0,82), NO_3^- και Cl^- (0,83), NO_3^- και Mg^{2+} (0,86), NO_3^- και Na^+ (0,90), SO_4^{2-} και Mg^{2+} (0,81), Ca^{2+} και Cr (0,81), Cl^- και Mg^{2+} (0,84), Cl^- και Na^+ (0,94), Mg^{2+} και Na^+ (0,94), ισχυρές μεταξύ NO_3^- και Ca^{2+} (0,60), SO_4^{2-} και Na^+ (0,74), HCO_3^- και Si (0,65), Ca^{2+} και Mg^{2+} (0,63), Ca^{2+} και Si (0,70), Cr και Si (0,64), Ni και Si (0,57) και μέτριες μεταξύ SO_4^{2-} και Ca^{2+} (0,57), SO_4^{2-} και Cl^- (0,57), SO_4^{2-} και Ni (0,52), HCO_3^- και Ca^{2+} (0,48), HCO_3^- και Ni (0,53), Ca^{2+} και Na^+ (0,52), Ca^{2+} και Ni (0,58), Cl^- και Cr (0,54), Cr και Mg^{2+} (0,57), NO_3^- και Cr (0,52), Cr και Na (0,50), Ni και Si (0,57) και τέλος P και Zn (0,51)

Για τον προσδιορισμό του υδροχημικού τύπου των υπογείων νερών της περιοχής χρησιμοποιήθηκε το διάγραμμα Piper (εικόνα 6.29). Όσον αφορά τα κατιόντα, από το διάγραμμα παρατηρούμε ότι κυριαρχούν τα ιόντα Ca^{2+} και Mg^{2+} , ενώ για τα ανιόντα κυριαρχεί το HCO_3^- , ενώ σε ένα δείγμα υπάρχει και σημαντική παρουσία ιόντων Cl^- . Από το

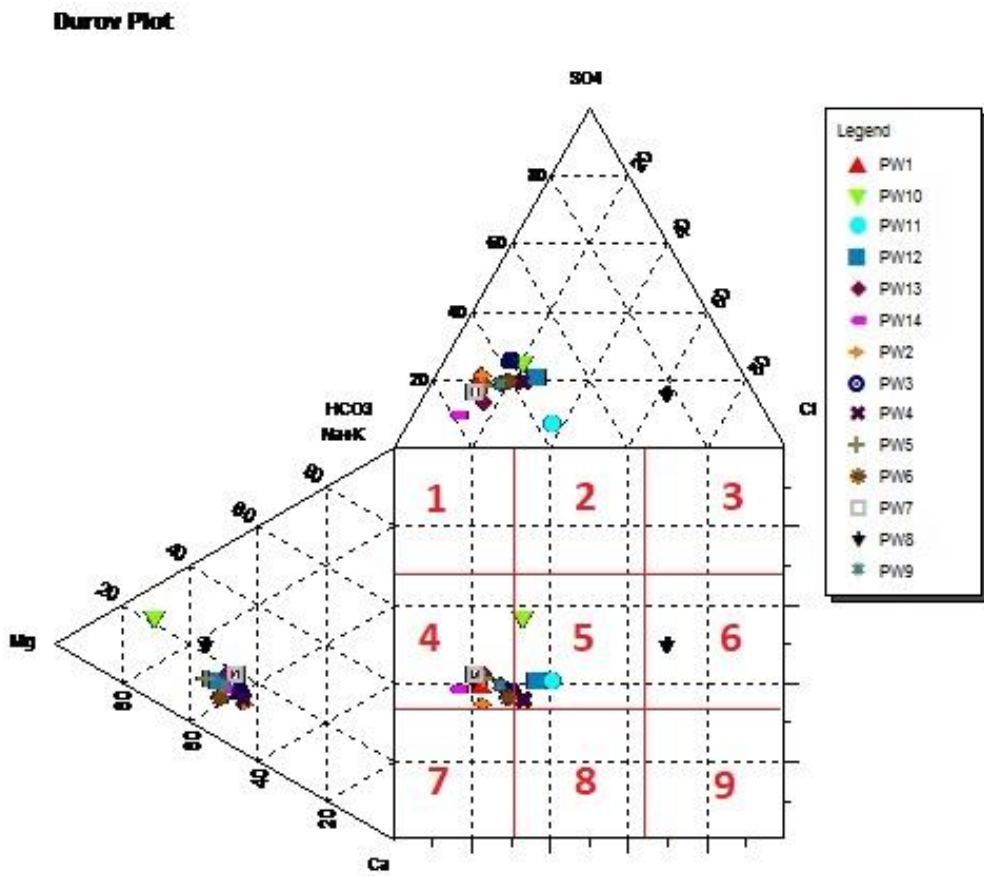
συνδυαστικό σχήμα παρατηρούμε ότι ο υδροχημικός τύπος νερών που κυριαρχεί είναι Mg-Ca-HCO₃. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται αναλυτικά οι υδροχημικοί τύποι όλων των δειγμάτων. Τα διαγράμματα Piper, Durov, Wilcox προέκυψαν μετά από επεξεργασία των χημικών αναλύσεων των δειγμάτων στο λογισμικό AQUACHEM 5.0 .

Πίνακας 6.8 Υδροχημικοί τύποι δειγμάτων

Δείγμα	Υδροχημικός Τύπος
PW1	Mg-Ca-HCO ₃
PW2	Mg-Ca-HCO ₃
PW3	Mg-Ca-HCO ₃ -NO ₃
PW4	Mg-Ca-HCO ₃ -NO ₃
PW5	Mg-Ca-HCO ₃
PW6	Mg-Ca-HCO ₃ -NO ₃
PW7	Mg-Ca-HCO ₃ -NO ₃
PW8	Mg-Ca-Na-Cl-NO ₃
PW9	Mg-Ca-HCO ₃
PW10	Mg-Na-HCO ₃ -NO ₃
PW11	Mg-Ca-HCO ₃ -Cl
PW12	Mg-Ca-HCO ₃
PW13	Mg-Ca-HCO ₃
PW14	Mg-Ca-HCO ₃



Εικόνα 6.29 Διάγραμμα Piper



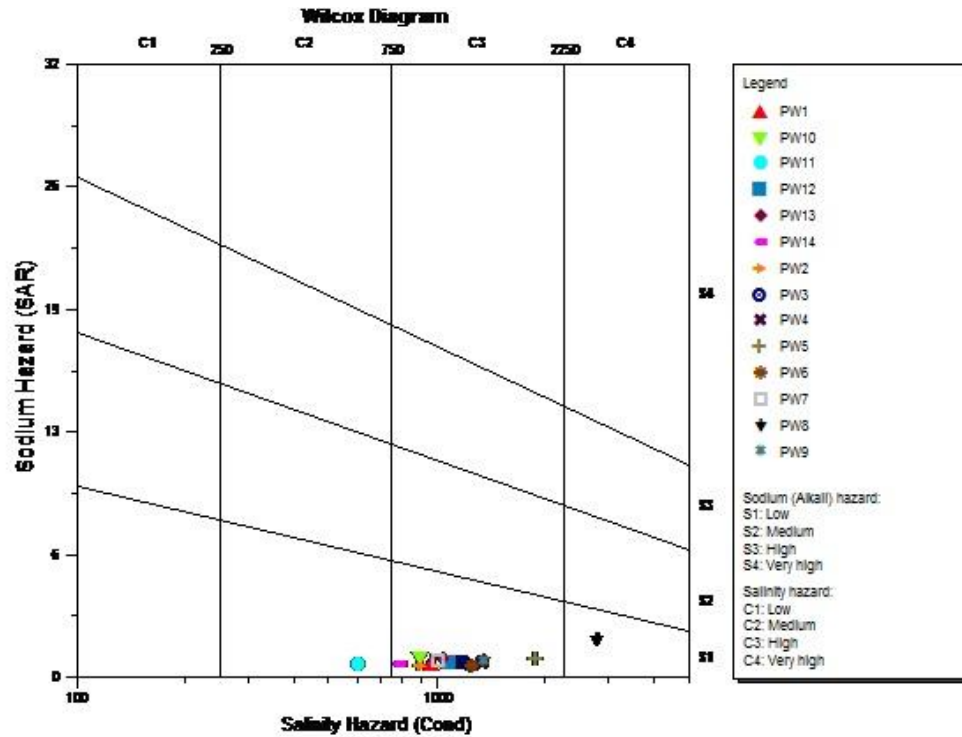
Εικόνα 6.30 Διάγραμμα Durov

Τα 9 πεδία του διαγράμματος Durov (Εικόνα 6.30) είναι τα ακόλουθα:

- 1) Από τα ανιόντα επικρατούν τα όξινα ανθρακικά, ενώ από τα κατιόντα το νάτριο. Το φαινόμενο της κατιοανταλλαγής βρίσκεται σε εξέλιξη.
- 2) Επικρατεί το νάτριο και τα θειικά ή κανένα άλλο ανιόν. Πρόκειται για υπόγειο νερό που συναντάται σπάνια και τις περισσότερες φορές είναι προϊόν μείξης.
- 3) Επικρατούν τα ιόντα νατρίου και χλωρίου. Πρόκειται για υπόγεια νερά από ζώνες εκφόρτισης παράκτιων υδροφόρων.
- 4) Από τα ανιόντα επικρατούν τα όξινα ανθρακικά, ενώ από τα κατιόντα, είτε το μαγνήσιο είτε κανένα κατιόν. Πρόκειται για νερά που φιλοξενούνται ή έχουν κινηθεί μέσα σε δολομητικά πετρώματα. Όταν παρατηρείται αύξηση των ιόντων νατρίου, αρχίζει να ενεργοποιείται ο μηχανισμός της κατιοανταλλαγής.
- 5) Δεν επικρατεί κανένα ιόν. Πρόκειται για νερά μικτά ή νερά διαλυτοποίησης.
- 6) Επικρατεί το χλώριο, χωρίς την επικράτηση κάποιου κατιόντος. Πρόκειται για υπόγεια νερά στα οποία το φαινόμενο της αντίστροφης κατιοανταλλαγής βρίσκεται σε πλήρη εξέλιξη
- 7) Από τα κατιόντα επικρατεί το ασβέστιο και από τα ανιόντα τα όξινα ανθρακικά. Πρόκειται για φρέσκα νερά, φυσικής τροφοδοσίας, που κατεισδύουν από ασβεστόλιθους, ψαμμίτες, και άλλα ανθρακικά πετρώματα.
- 8) Επικρατεί το ασβέστιο και ή τα θειικά ή κανένα ανιόν. Όταν έχουμε επικράτηση τόσο του ασβεστίου όσο και των θειικών, τα υπόγεια νερά προέρχονται από ζώνες τροφοδοσίας μέσω ηφαιστειακών λαβών ή γύψων. Σε διαφορετική περίπτωση πρόκειται για μεικτά νερά ή νερά διαλυτοποίησης.
- 9) Επικρατούν το ασβέστιο και το χλώριο. Πρόκειται για σπάνιο υπόγειο νερό, εκτός και αν έχει προέλθει σαν τελικό προϊόν αντίστροφης κατιοανταλλαγής από νερά Na-Cl

Σύμφωνα λοιπόν με την ταξινόμηση κατά Durov, διαπιστώνεται ότι στα νερά της περιοχής επικρατεί ο υδροχημικός τύπος Mg – HCO₃. Πρόκειται δηλαδή είτε για νερά όπου από από τα ανιόντα επικρατούν τα όξινα ανθρακικά, ενώ από τα κατιόντα το μαγνήσιο, δηλαδή για νερά που φιλοξενούνται ή έχουν κινηθεί μέσα υπερβασικά, είτε για νερά στα οποία δεν επικρατεί κανένα ιόν οπότε πρόκειται για νερά μίξης ή διαλυτοποίησης.

Εξάιρεση αποτελεί ένα δείγμα στο οποίο επικρατεί το χλώριο και πρόκειται για νερό στο οποίο η διαδικασία της αντίστροφης κατιοανταλλαγής βρίσκεται σε πλήρη εξέλιξη.



Εικόνα 6.31 Διάγραμμα Wilcox

Πίνακας 6.9 Κατηγοριοποίηση δειγμάτων υπογείων νερών ως προς την καταλληλότητα του για χρήση στην άρδευση

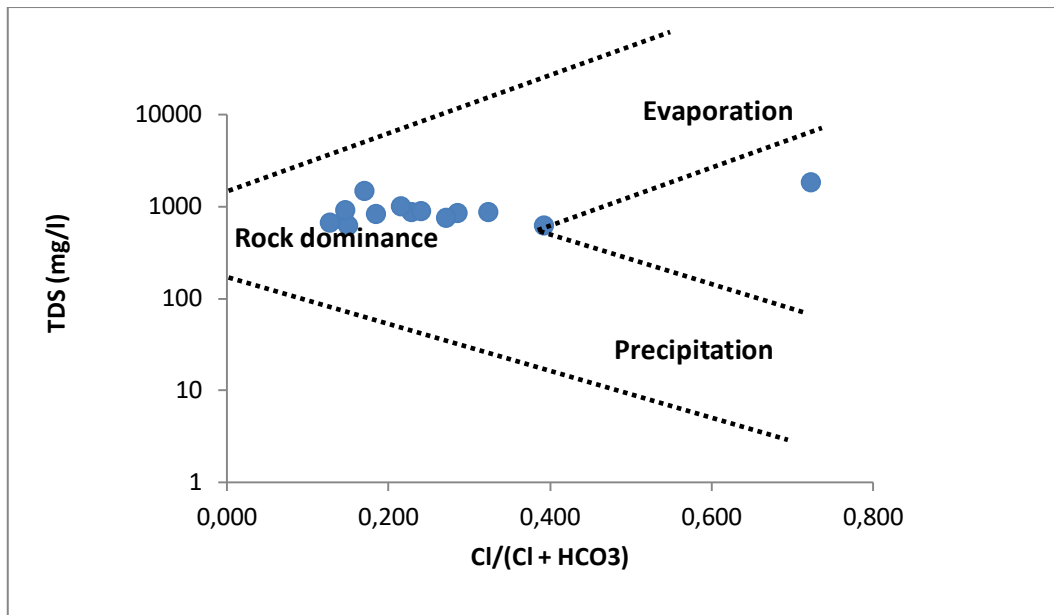
Κατηγορία	Δείγμα	Καταλληλότητα για άρδευση
C2-S1	PW11	Μεγάλη
C3-S1	PW1, PW2, PW3, PW4, PW5, PW6, PW7, PW9, PW10, PW11, PW12, PW13, PW14	Μέτρια
C4-S1	PW8	Ακατάλληλο

Από το διάγραμμα Wilcox της εικόνας 6.26, το οποίο χρησιμοποιείται κατά κόρον στον προσδιορισμό της ποιότητας του αρδευτικού νερού, έγινε η κατηγοριοποίηση των δειγμάτων ως προς την καταλληλότητα τους για χρήση στην άρδευση (πίνακας 6.7).

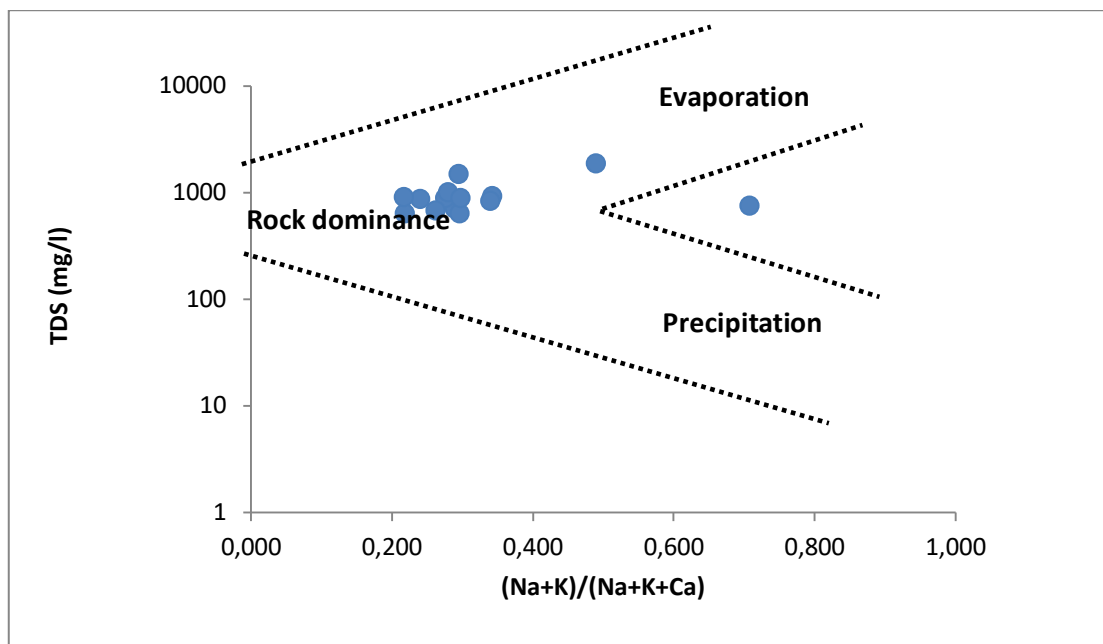
Αναλυτικά το δείγμα PW11 ανήκει στην κλάση C2-S1 και χαρακτηρίζεται από μικρή επικινδυνότητα αλκαλίωσης του εδάφους και μέτρια επικινδυνότητα αύξησης της αλατότητας του, τα δείγματα PW1, PW2, PW3, PW4, PW5, PW6, PW7, PW9, PW10, PW11, PW12, PW13, PW14 χαρακτηρίζονται από μικρή επικινδυνότητα αλκαλίωσης του εδάφους και μεγάλη αύξησης της αλατότητας και τέλος το δείγμα PW8 χαρακτηρίζεται από μικρή επικινδυνότητα αλκαλίωσης του εδάφους και πολύ εγάλη επικινδυνότητα αύξησης της αλατότητας του εδάφους.

Διαγράμματα Gibbs

Το διάγραμμα Gibbs (εικόνα 6.32, 6.33) χρησιμοποιείται ευρέως για τη διερεύνηση της σχέσης μεταξύ της σύνθεσης του νερού και των λιθολογικών χαρακτηριστικών του υδροφορέα. Στο διάγραμμα Gibbs διακρίνονται τρία ξεχωριστά πεδία, η επικράτηση των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων, η επικράτηση-επίδραση εξάτμισης και επικρατούσα η επίδραση της αλληλεπίδρασης πετρώματος-νερού (Gibbs, 1970). Τα δείγματα των υπογείων νερών της λεκάνης, δείχνουν να επηρεάζονται κυρίως από την αλληλεπίδραση πετρώματος-νερού και από την εξάτμιση σύμφωνα με το διάγραμμα Gibbs. Το επικρατέστερο σενάριο για τη γεωχημική σύσταση των υπογείων νερών είναι η αλληλεπίδραση πετρωμάτων και νερών, όπου το νερό εμπλουτίζεται κατά μήκος της διαδρομής του διαμέσου των γεωλογικών σχηματισμών, βάσει των γεωχημικών διεργασιών που λαμβάνουν χώρα.

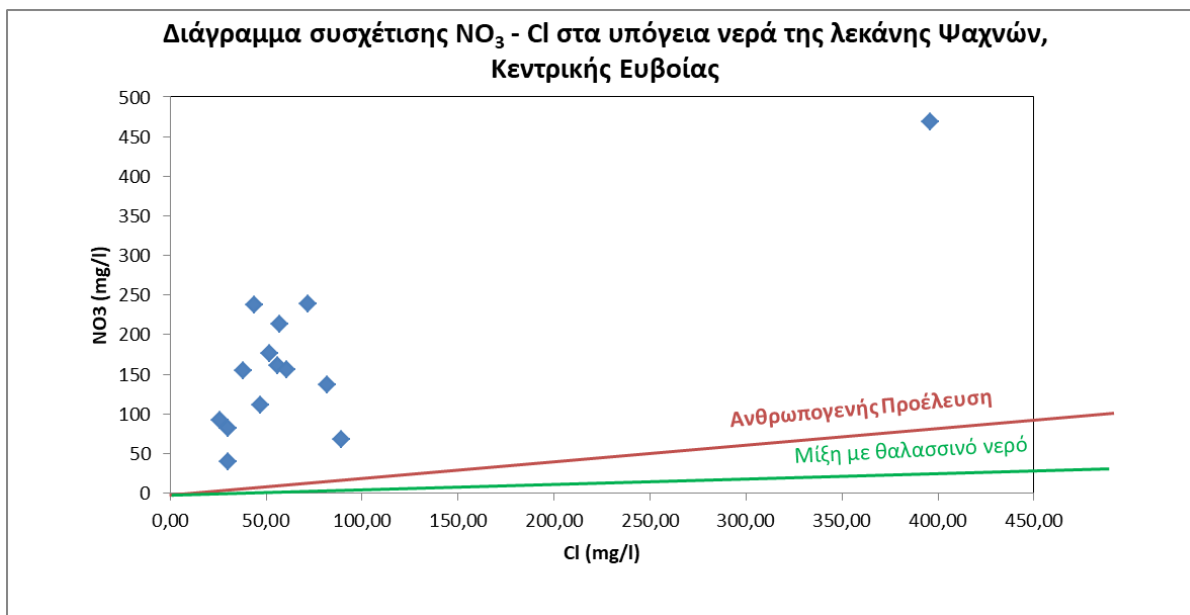


Εικόνα 6.32 Διάγραμμα Gibbs I των υπογείων νερών της λεκάνης των Ψαχνών, Κεντρικής Ευβοίας



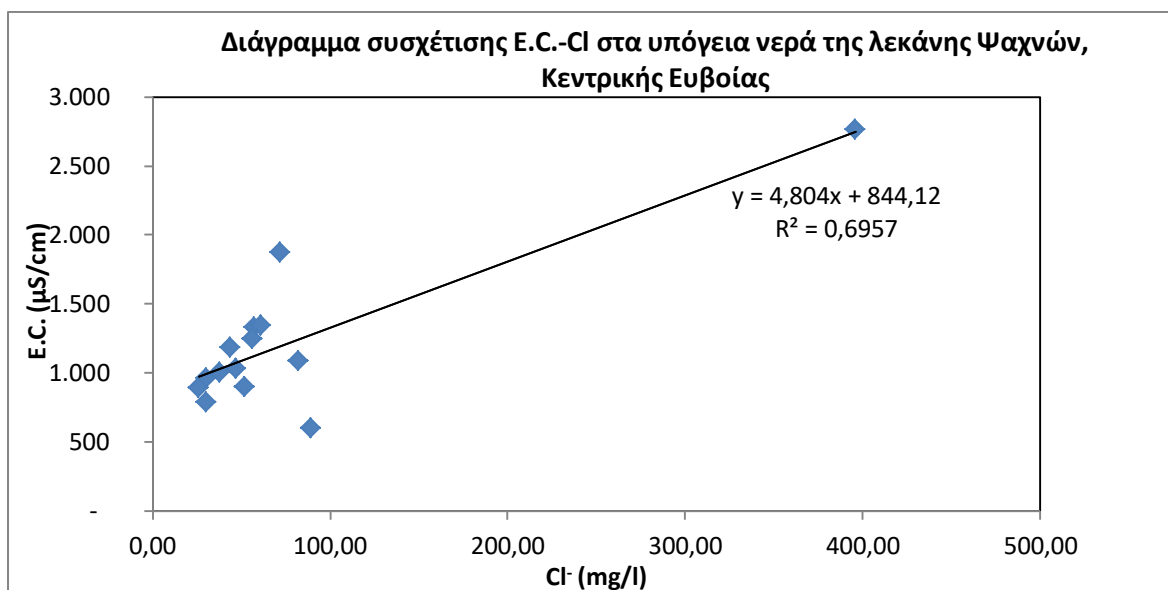
Εικόνα 6.33 Διάγραμμα Gibbs II των υπογείων νερών της λεκάνης των Ψαχνών, Κεντρικής Ευβοίας

Στη συνέχεια σχεδιάστηκαν διάφορα διαγράμματα συσχετίσεων προκειμένου να προσδιοριστεί ο μηχανισμός δράσης των διαφόρων παραμέτρων, στα υπόγεια νερά.



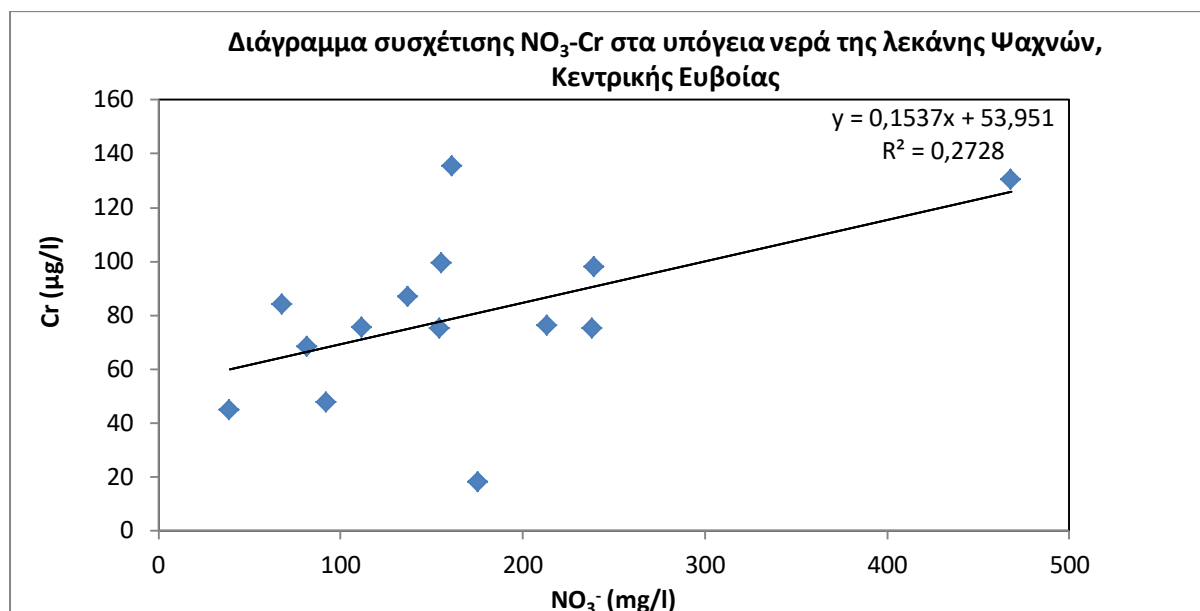
Διάγραμμα 6.16 Διάγραμμα συσχέτισης NO₃ - Cl στα υπόγεια νερά της λεκάνης Ψαχνών, Κεντρικής Ευβοίας

Το παραπάνω διάγραμμα (διάγραμμα 6.16) χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό της ρύπανσης των νιτρικών ιόντων NO₃⁻ μεταξύ ανθρωπογενών αιτιών (απορρίψεις οικιακών λυμάτων, αζωτούχα λιπάσματα, διαρροή από σηπτικές δεξαμενές κα.) και το ρόλο της θαλάσσιας διείσδυσης. Σύμφωνα με το διάγραμμα, σε όλα ανεξαιρέτως τα δείγματα, η κύρια πηγή προέλευσης ρυπαντικού φορτίου ήταν οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες.



Διάγραμμα 6.17 Διάγραμμα συσχέτισης E.C.-Cl στα υπόγεια νερά της λεκάνης Ψαχνών, Κεντρικής Ευβοίας

Στο παραπάνω διάγραμμα απεικονίζεται η στατιστικά σημαντική ($p < 0.01$) ισχυρή θετική συσχέτιση ($r=0.86$) μεταξύ ηλεκτρικής αγωγιμότητας και συγκέντρωσης χλωριόντων. Η συσχέτιση αυτή υποδηλώνει ισχυρή σχέση μεταξύ της αυξημένης τιμής της συγκέντρωσης χλωριόντων με την αυξημένη τιμή ηλεκτρικής αγωγιμότητας.



Διάγραμμα 6.18 Διάγραμμα συσχέτισης NO_3^- – Cr στα υπόγεια νερά της λεκάνης Ψαχνών, Κεντρικής Ευβοίας

Στο παραπάνω διάγραμμα απεικονίζεται η συσχέτιση της συγκέντρωσης των νιτρικών ιόντων με τη συγκέντρωση ολικού χρωμίου στα δείγματα. Από τον συντελεστή συσχέτισης ($r = 0,52$) φαίνεται πως υπάρχει ένας συνεργηστικός μηχανισμός μεταξύ των αυξημένων συγκεντρώσεων νιτρικών ιόντων και ολικού χρωμίου στα υπόγεια νερα.

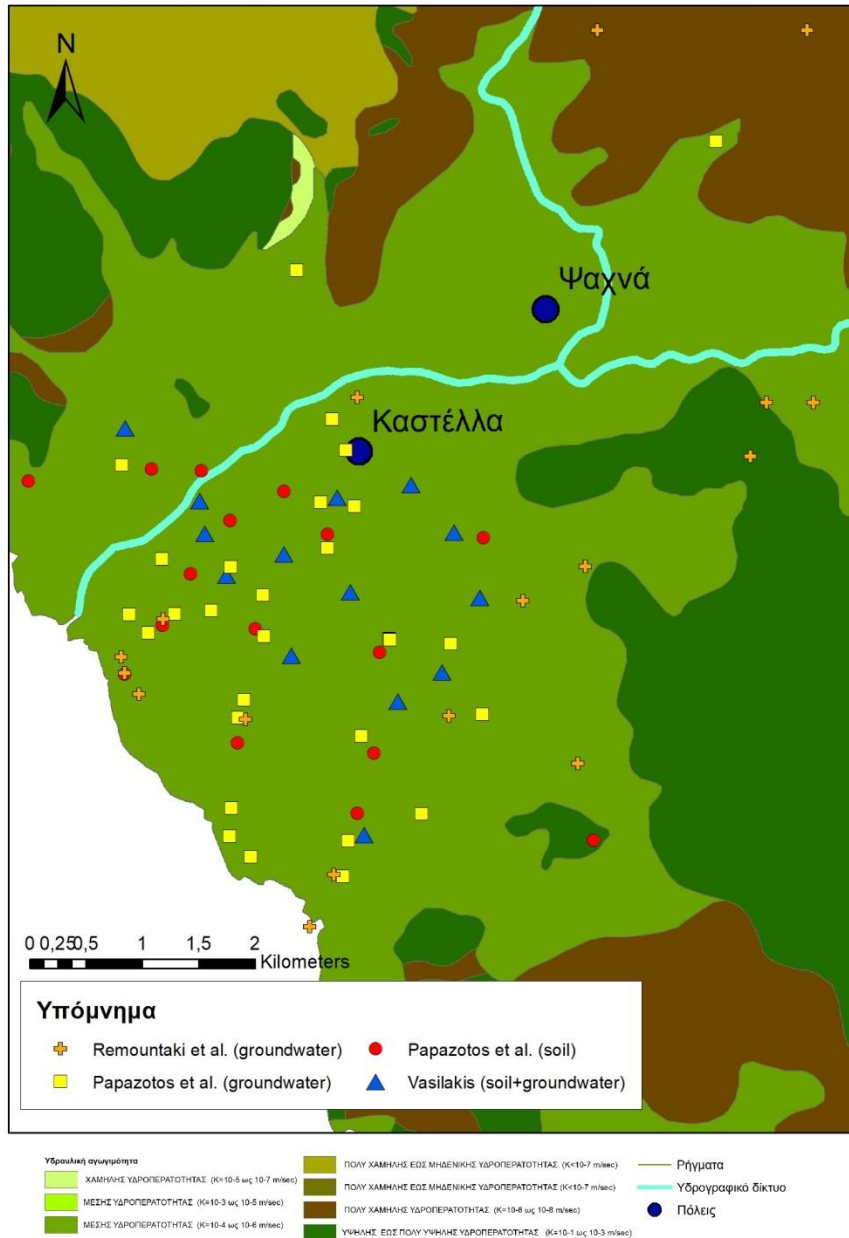
6.2.3 Αξιολόγηση της ποιότητας των υπογείων νερών και εκτίμηση της τρωτότητας των υπόγειων υδροφόρων στρωμάτων

Προκειμένου να γίνει μια αξιολόγηση της ποιοτικής κατάστασης των υπογείων νερών της περιοχής μελέτης, χρησιμοποιήθηκαν οι δείκτες Heavy metal Pollution Index (HPI), Heavy metal Evaluation Index (HEI), Pollution Index (PI) και Water Quality Index (WQI). Η συμβολή των δεικτών αυτών στην εκτίμηση της ποιότητας των υπογείων νερών έχει αναφερθεί εκτενώς στη διεθνή βιβλιογραφία (Gad et al. 2019, Kumar et al. 2019, Ameen 2019, Egbueri et al. 2020, Son et al. 2020). Για την απόκτηση μίας πιο ολοκληρωμένης εικόνας της ποιοτικής κατάστασης των νερών, για την εξαγωγή των

δεικτών χρησιμοποιήθηκαν, εκτός από τα δείγματα που αναλύθηκαν στα πλαίσια της παρούσας εργασίας, αποτελέσματα χημικών αναλύσεων και από άλλες μελέτες που διενεργήθηκαν στην περιοχή (Parazotos et al., 2019, Remoundaki et al. 2016).

Για τη διερεύνηση της τρωτότητας των υπογείων νερών της περιοχής, χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο DRASTIC. Το μοντέλο αυτό χρησιμοποιείται ευρέως για την αξιολόγηση της τρωτότητας των υπογείων νερών και αναπτύχθηκε από την Υπηρεσία Προστασίας του Περιβάλλοντος των Ηνωμένων Πολιτειών (U.S. Environmental Protection Agency) για την αξιολόγηση των επιπέδων δυνητικής ρύπανσης σε όλες τις Ηνωμένες Πολιτείες.

Η χωρική κατανομή των σημείων που χρησιμοποιήθηκαν παρατίθεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 6.34 Κατανομή των σημείων που χρησιμοποιήθηκαν στην παραγωγή των δεικτών και του μοντέλου DRASTIC σε υδρολιθολογικό χάρτη της λεκάνης των Ψαχνών, Κεντρικής Ευβοίας

6.2.3.1 Heavy metal pollution index (HPI)

Ο δείκτης HPI εκφράζει τη συνολική ποιότητα των υπογείων νερών σε σχέση με τα βαρέα μέταλλα. Υπολογίζεται από τη σχέση:

$$HPI = \frac{\sum_{i=1}^n W_i Q_i}{\sum_{i=1}^n W_i}$$

$$Q_i = \sum_{i=1}^n \frac{\{M_i(-)I_o\}}{(S_i - I_o)} \times 100$$

$$W_i = \frac{w_i}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

$$w_i = \frac{K}{S_i}$$

Όπου K, η σταθερά αναλογικότητας

$$K = \frac{1}{\sum_{i=1}^n (1/S_i)}$$

Όπου W_i ο συντελεστής βαρύτητας του i ΒΜ, Q_i ο υπο-δείκτης του i ΒΜ, και n ο αριθμός των ΒΜ που χρησιμοποιήθηκαν για την εξαγωγή του δείκτη, στη προκειμένη περίπτωση 9 (Ba, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Se, Zn), M_i είναι η μετρούμενη τιμή του i ΒΜ και S_i και I_o είναι η οριακή και η ιδανική τιμή του κάθε ΒΜ. Όταν η τιμή του HPI είναι κάτω από 100, σημαίνει ότι η ρύπανση από βαρέα μέταλλα είναι μικρή, ενώ πάνω από 100 είναι πιθανό να προκύψουν προβλήματα στην ανθρώπινη υγεία από την κατανάλωση του (Kumar et al., 2019). Για τον καθορισμό των οριακών και των ιδανικών τιμών, ακολουθήθηκαν οι προτεινόμενες τιμές από την Ολλανδική Λίστα για τα Βαρέα Μέταλλα. Οι αριθμητικές τιμές του δείκτη HPI παρατίθενται στο παράρτημα. Τα αποτελέσματα του δείκτη HPI φαίνονται συνοπτικά στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 6.10 Δείκτης HPI

HPI	Κλάση	Σημείο
< 100	Χαμηλή Ρύπανση	A1, A2, A3, A4, A5, A6, A10, A15, A16, A18, A19, A22, A23, A25, A27, A29, A30, A32, A34, PW1, PW2, PW7, PW10, PW14
> 100	Υψηλή Ρύπανση	A7, A8, A9, A11, A12, A13, A14, A17, A20, A21, A24, A26, A28, A31, A33, PW3, PW4, PW5, PW6, PW8, PW9, PW11, PW12, PW13

Το εύρος της τιμής του δείκτη HPI ήταν από 25 έως 196, η μέση τιμή του ήταν 97 με κρίσιμη τιμή για τον χαρακτηρισμό ενός δείγματος ως χαμηλά ή υψηλά ρυπασμένο σε σχέση με τη περιεκτικότητά του σε βαρέα μέταλλα να είναι το 100.

Βάσει της κατηγοριοποίησης του δείκτη HPI, τα δείγματα A1, A2, A3, A4, A5, A6, A10, A15, A16, A18, A19, A22, A23, A25, A27, A29, A30, A32, A34, PW1, PW2, PW7, PW10 και PW14 χαρακτηρίζονται ως υπόγεια νερά με χαμηλή ρύπανση ενώ τα δείγματα A7, A8, A9, A11, A12, A13, A14, A17, A20, A21, A24, A26, A28, A31, A33, PW3, PW4, PW5, PW6, PW8, PW9, PW11, PW12 και PW13 χαρακτηρίζονται ως δείγματα με υψηλή ρύπανση.

6.2.3.2 Heavy metal evaluation index (HEI)

Ο δείκτης αυτός περιγράφει την ποιοτική κατάσταση του νερού και εκτιμήθηκε με την παρακάτω σχέση:

$$HEI = \sum_{I=1}^n \frac{H_c}{H_{mac}}$$

Όπου, H_c η μετρούμενη συγκέντρωση ενός στοιχείου και H_{mac} η μέγιστη επιτρεπτή (Gad et al., 2019). Οι αριθμητικές τιμές του δείκτη HPI παρατίθενται στο παράρτημα. Τα αποτελέσματα του δείκτη και ο χαρακτηρισμός τους φαίνονται συνοπτικά στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 6.11 Δείκτης HEI

Τιμή HEI	Χαρακτηρισμός	Κλάση	Δείγμα
< 0,3	Πολύ καθαρό	1	
0,3 - 1	Καθαρό	2	A3, A4, A30, PW10
1,0 - 2,0	Ελαφρώς επιβαρυσμένο	3	A1, A2, A5, A16, A18, A19, A27, A29, A32, PW2, PW14
2,0 - 3,0	Μετρίως επιβαρυσμένο	4	A6, A7, A10, A15, A22, A23, A24, A25, A34, PW1, PW3, PW4, PW7, PW13
3,0 - 6,0	Έντονα επιβαρυσμένο	5	A8, A9, A11, A12, A13, A14, A17, A20, A21, A26, A28, A31, A33, PW5, PW6, PW8, PW9, PW11, PW12
> 6,0	Σημαντικά επιβαρυσμένο	6	-

Βάσει της κατηγοριοποίησης του δείκτη HEI, ως καθαρά χαρακτηρίστηκαν τα δείγματα A3, A4, A30, PW10, ως ελαφρώς επιβαρυμένα τα δείγματα A1, A2, A5, A16, A18, A19, A27, A29, A32, PW2, PW14, ως μετρίως επιβαρυμένα τα δείγμα A6, A7, A10, A15, A22, A23, A24, A25, A34, PW1, PW3, PW4, PW7, PW13 και ως έντονα επιβαρυμένα τα δείγματα A8, A9, A11, A12, A13, A14, A17, A20, A21, A26, A28, A31, A33, PW5, PW6, PW8, PW9, PW11, PW12 ως προς την περιεκτικότητα τους σε βαρέα μέταλλα. Τα εύρος της τιμής του HEI ήταν από 0,6 έως 6,0 με μέση τιμή το 2,7. Οι τιμές του HEI υποδεικνύουν ότι τα υπόγεια νερά τις περιοχής κυμαίνονται από καθαρά έως έντονα επιβαρυμένα με βαρέα μέταλλα σύμφωνα με την κατηγοριοποίηση του δείκτη HEI.

6.2.3.3 Pollution Index (PI)

Ο δείκτης αυτός μετράει την επίδραση των ρύπων στα υπόγεια νερά και υπολογίζεται για κάθε ρύπο από την παρακάτω σχέση

$$PI = \frac{\sqrt{\left[\left(\frac{C_i}{S_i} \right) \max_2 + \left(\frac{C_i}{S_i} \right) \min_2 \right]}}{2}$$

Όπου C_i είναι η συγκέντρωση του κάθε ΒΜ και S_i η οριακή τιμή. Στη συνέχεια τα μέταλλα κατηγοριοποιούνται ανάλογα με την επίδραση τους στην ποιότητα των υπογείων νερών (Gad et al., 2019). Τα εύρη των κλάσεων του δείκτη PI φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 6.12 Όρια κλάσεων PI

Κλάση	Τιμή PI	Επιρροή
1	< 1	Καμία επιρροή
2	1 - 2	Μικρή επιρροή
3	2 - 3	Μέτρια επιρροή
4	3 - 4	Ισχυρή επιρροή
5	> 5	Πολύ ισχυρή επιρροή

Τα αποτελέσματα του δείκτη αυτού φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 6.13 Αποτελέσματα δείκτη PI

Στοιχείο	PI	Επιρροή
Ba	0,16	Καμία επιρροή
Co	0,00	Καμία επιρροή
Cr	2,69	Μέτρια επιρροή
Cu	0,24	Καμία επιρροή
Mn	0,13	Καμία επιρροή
Ni	0,14	Καμία επιρροή
Pb	0,02	Καμία επιρροή
Se	0,38	Καμία επιρροή
Zn	0,01	Καμία επιρροή

Βάσει της κατηγοριοποίησης του δείκτη PI, από τα βαρέα μέταλλα μόνο το χρώμιο φαίνεται να επηρεάζει σε σημαντικό βαθμό την ποιότητα των υπογείων νερών της λεκάνης των Ψαχνών. Το εύρος του δείκτη αυτού ήταν από 0,0 έως και 2,69 με μέση τιμή το 0,42.

6.2.3.4 Water Quality Index (WQI)

Ο δείκτης WQI ακολουθεί την ίδια μεθοδολογία με τον δείκτη HPI για την εξαγωγή του, με τη διαφορά ότι αντί για τις συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων, χρησιμοποιεί άλλους παράγοντες που επηρεάζουν την ποιότητα του νερού (pH, συγκέντρωση κυρίων ιόντων κ.). Τα όρια για τις ιδανικές και οριακές τιμές των παραμέτρων που εξετάστηκαν λήφθηκαν από τη βιβλιογραφία (Ameen 2019). Πίνακας με τις τιμές του WQI παρατίθεται στο παράρτημα. Τα αποτελέσματα και οι κλάσεις του δείκτη WQI φαίνονται συνοπτικά στον παρακάτω πίνακα

Πίνακας 6.14 Δείκτης WQI

WQI	Ποιότητα Νερού	Πιθανές Χρήσεις	Δείγματα
0-25	Εξαιρετική	Υδρευτική, Αρδευτική, Βιομηχανική	-
26-50	Καλή	Υδρευτική, Αρδευτική, Βιομηχανική	A3, A4, A5, A6, A18, A22, A26, A27, A29, A30, PW1, PW14
51-75	Κακή	Αρδευτική, Βιομηχανική	A1, A2, A7, A8, A10, A11, A12, A15, A16, A19, A20, A21, A23, A24, A25, A28, A31, A32, A34, PW6, PW9, PW11, PW12, PW13
76-100	Πολύ κακή	Βιομηχανική	A9, A33, PW2, PW5, PW7
> 100	Ακατάλληλη	Απαιτείται επεξεργασία πριν την οποιαδήποτε χρήση	A13, A14, A17, PW3, PW4, PW8, PW10

Το εύρος της τιμής του WQI κυμάνθηκε από 37,5 έως 205 με μέση τιμή το 69,4. Από τα δείγματα κανένα δε βρέθηκε σε εξαιρετική κατάσταση, τα δείγματα A3, A4, A5, A6, A18,

A22, A26, A27, A29, A30, PW1, PW14 βρέθηκαν σε καλή κατάσταση και βάσει του WQI κρίνονται κατάλληλα για υδρευτική, αρδευτική και βιομηχανική χρήση, τα δείγματα A1, A2, A7, A8, A10, A11, A12, A15, A16, A19, A20, A21, A23, A24, A25, A28, A31, A32, A34, PW6, PW9, PW11, PW12, PW13 βρέθηκαν σε κακή κατάσταση και σύμφωνα με τον WQI κρίθηκαν κατάλληλα για αρδευτική και βιομηχανική χρήση, τα δείγματα A9, A33, PW2, PW5, PW7 βρέθηκαν σε πολύ κακή κατάσταση και βάσει του WQI κρίθηκαν κατάλληλα μόνο για βιομηχανική χρήση και τέλος τα δείγματα A13, A14, A17, PW3, PW4, PW8, PW10 κατηγοριοποιήθηκαν ως ακατάλληλα για οποιαδήποτε χρήση και κρίθηκε η απαραίτητη η επεξεργασία τους πριν από οποιαδήποτε χρήση βάσει του δείκτη WQI.

6.2.3.5 Μοντέλο DRASTIC

Η λέξη DRASTIC προκύπτει από τα ακρωνύμια των παραμέτρων του βάθους στην στάθμη του υπογείου νερού **D** (depth), της ενεργής κατείσδυσης **R** (recharge), του υδροφόρου **A** (aquifer), του εδάφους **S** (soil), της τοπογραφικής κλίσης **T** (topography), της επίδρασης της ακόρεστης ζώνης **I** (impact of vadose zone) και της υδραυλικής αγωγιμότητας του υδροφόρου **C** (conductivity of the aquifer).

Το μοντέλο DRASTIC κάνει τις παραδοχές ότι:

- Κάθε ρύπος εισάγεται από την επιφάνεια του εδάφους
- Ο ρύπος εισέρχεται στο υπόγειο νερό από την κατείσδυση του νερού βροχόπτωσης
- Ο ρύπος ακολουθεί την ταχύτητα του νερού
- Η ελάχιστη επιφάνεια για την εφαρμογή της μεθόδου είναι 0,4 Km²

Η παράμετρος του βάθους στους ελεύθερους υδροφορείς αντιστοιχεί μέχρι τη στάθμη του υπογείου νερού, ενώ στους υπό πίεση αντιστοιχεί μέχρι την οροφή του υδροφόρου. Για έναν ρύπο είναι ευκολότερο να φτάσει στην επιφάνεια του υπογείου νερού όταν ο υδροφόρος σχηματισμός είναι ρηχός. Μεγάλο βάθος σημαίνει καλύτερη προστασία και χαμηλή τρωτότητα (Μανδηλαράς 2005).

Ο εμπλουτισμός δηλώνει την ποσότητα νερού ανά μονάδα επιφάνειας που κατεισδύει. Μεγαλύτερος εμπλουτισμός υποδηλώνει μεγαλύτερη πιθανότητα του ρύπου να φτάσει στον υδροφόρο σχηματισμό (Voudouris et al. 2010).

Το υλικό του υδροφόρου καθορίζει την ταχύτητα του ρύπου. Η μείωση της ταχύτητας του ρύπου μέσα στον υδροφόρο έχει ως αποτέλεσμα την εξασθένηση της ρύπανσης (Βασιλείου 2011).

Το έδαφος, ως το ανώτερο τμήμα της ακόρεστης ζώνης, χαρακτηρίζεται από έντονες βιολογικές διεργασίες και επιπλέον παίζει σημαντικό ρόλο στην ποσότητα νερού που τελικά κατεισδύει στην επιφάνεια του υπόγειου νερού, λειτουργεί δηλαδή σαν ένα φίλτρο αλλά και σαν μία αποθήκη νερού. Εδάφη με υψηλή παρουσία αργίλου και ιλύος έχουν μεγαλύτερη ικανότητα συγκράτησης νερού και έτσι μειώνουν την ταχύτητα κίνησης του ρύπου, μειώνοντας έτσι το ρυπαντικό δυναμικό του (Μανδηλαράς 2005).

Μεγάλες τοπογραφικές κλίσεις ευνοούν την επιφανειακή απορροή σε βάρος της κατεισδυσης και έτσι μειώνουν το ρυπαντικό δυναμικό (Μανδηλαράς 2005).

Η σύσταση της ακόρεστης ζώνης καθορίζει το χρόνο κίνησης του νερού μέχρι τη στάθμη του υπογείου νερού (Βασιλείου 2011).

Η υδραυλική αγωγιμότητα καθορίζει την ταχύτητα κίνησης του νερού στην κορεσμένη ζώνη και συνεπώς την ικανότητα μετανάστευσης του ρύπου (Βουδούρης 2009).

Η κάθε παράμετρος του μοντέλου DRASTIC χωρίζεται σε κλάσεις ανάλογα με την αντίστοιχη επίδραση που έχει στην τρωτότητα του υδροφόρου σχηματισμού, με την κάθε κλάση να λαμβάνει τιμή από 1 έως 10. Στη συνέχεια, στη κάθε παράμετρο δίνεται ένας συντελεστής βαρύτητας που κυμαίνεται από το 1 έως το 5, αντικατοπτρίζοντας τη σχετική τους σημασία. Τέλος ο δείκτης DRASTIC υπολογίζεται από το γραμμικό συνδυασμό όλων των παραμέτρων σύμφωνα με την παρακάτω σχέση:

$$\text{DRASTIC index} = DrDw + RrRw + ArAw + SrSw + TrTw + Irlw + CrCw$$

Στη συνέχεια επιλέχθηκαν οι κατάλληλοι δείκτες βαρύτητας, όπως αυτοί προτείνονται από την U.S. EPA. Η τελική μορφή της σχέσης φαίνεται παρακάτω:

$$\text{DRASTIC index} = 5Dr + 4Rr + 3Ar + 2Sr + 1Tr + 5Ir + 3Cr$$

Εφαρμογή του μοντέλου DRASTIC στον κάμπο των Ψαχνών

Βαθος Στάθμης (D)

Το βάθος της στάθμης του υπογείου νερού αποτελεί έναν σημαντικό παράγοντα που επηρεάζει την τρωτότητα ενός υδροφόρου σχηματισμού στη ρύπανση. Καθορίζει τον χρόνο που απαιτείται για έναν ρύπο για να φτάσει από την επιφάνεια του εδάφους στην επιφάνεια του υπογείου νερού. Για τον καθορισμό του βάθους του υδροφόρου, χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από το ΙΓΜΕ αλλά και από άλλες μελέτες της περιοχής (Γύφτουλας 2014). Το βάθος του υδροφόρου στη λεκάνη των Ψαχνών κυμάνθηκε από 22 m έως 1 m. Η βαθμονόμηση του βάθους έγινε σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα

Πίνακας 6.15 Βαθμονόμηση παραμέτρου βάθους Dw

Βάθος (m)	Dr
<1	10
1-3	9
3-5	8
5-10	7
10-20	6
20-50	5
50>	3

Στη συνέχεια κάθε τιμή βάθους πολλαπλασιάστηκε με τον συντελεστή βαρύτητας Dw (5) και έτσι προέκυψε η τιμή DrDw για κάθε σημείο και κατασκευάστηκε ο αντίστοιχος χάρτης. Αναλυτικός πίνακας παρατίθεται στο παράρτημα. Το εύρος των τιμών DrDw κυμαίνεται μεταξύ 25 και 45, με τις υψηλότερες τιμές να παρατηρούνται νοτιοδυτικά (παραθαλάσσια) της λεκάνης των Ψαχνών.

Εμπλουτισμός (R)

Ο εμπλουτισμός αντιπροσωπεύει την ετήσια ποσότητα νερού σε χιλιοστά, που κατεισδύει από την επιφάνεια του εδάφους στον υδροφόρο. Η ποσότητα του κατεισδύοντος νερού είναι, μεταξύ άλλων, συνάρτηση του συνολικού ετησίου ύψους βροχόπτωσης και της κοκκομετρικής σύστασης του εδάφους. Το ισοδύναμο ύψος βροχής για την περιοχή των Ψαχνών έχει εκτιμηθεί σε 1073,69 mm (Βασιλείου 2013). Η

κατηγοριοποίηση έγινε βάσει της σύστασης του εδάφους σύμφωνα με την παραδοχή ότι τα πιο χονδρόκοκκα εδάφη επιτρέπουν μεγαλύτερη ποσότητα νερού να κατεισδύσει στον υδροφόρο συγκριτικά με τα λεπτόκοκκα. Η κατηγοριοποίηση έγινε σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 6.16 Βαθμονόμηση παραμέτρου εμπλουτισμού

Υψος νερού (mm)	Rr
700-800	7
800-900	8
900-1000	9
>1000	10

Στη συνέχεια η τιμή της παραμέτρου Rr πολλαπλασιάστηκε με τον συντελεστή βαρύτητας για την κατείσδυση R_w (4) και προέκυψε η τιμή $R_r R_w$ για κάθε σημείο και κατασκευάστηκε ο αντίστοιχος χάρτης. Αναλυτικός πίνακας παρατίθεται στο παράρτημα. Το εύρος των τιμών του $R_r R_w$ κυμαίνεται από 28 έως 36. Οι υψηλότερες τιμές βρέθηκαν στο κεντρικό τμήμα της λεκάνης των Ψαχνών και προς τα ανατολικά.

Υδροφόρο Μέσο (A)

Με βάση τη λιθολογική περιγραφή της περιοχής μελέτης, το υδροφόρο μέσο ταξινομήθηκε σε 4 κλάσεις: ασβεστολιθικό, αλλουβιακό, αλλουβιακό με άργιλο, οφιολιθικό. Η βαρύτητα της παραμέτρου εκτιμήθηκε σε τρία (3). Η κατηγοριοποίηση του A_r σε κλάσεις ανάλογα με το υδροφόρο μέσο φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 6.17 Βαθμονόμηση παραμέτρου υδροφόρου μέσου

Υδροφόρο Μέσο	A_r
ασβεστολιθικό	9
αλλουβιακό	8
αλλουβιακό με αργιλικά	7
οφιολιθικό	5

Στη συνέχεια η τιμή της παραμέτρου A_r πολλαπλασιάστηκε με τον συντελεστή βαρύτητας A_w (3) και έτσι προέκυψε η τιμή $A_r A_w$ για κάθε σημείο και κατασκευάστηκε ο αντίστοιχος χάρτης. Αναλυτικός πίνακας παρατίθεται στο παράρτημα. Το εύρος των τιμών του $A_r A_w$ ήταν από 15 έως 27. Οι χαμηλότερες τιμές παρατηρήθηκαν στα βόρεια της

λεκάνης ενώ οι μεγαλύτερες στα νότια. Ενδιάμεσες τιμές παρατηρούνται στην κύρια έκταση του κάμπου των Ψαχνών.

Έδαφος (S)

Η μηχανική σύσταση του εδάφους παίζει σημαντικό ρόλο στη μετακίνηση των ρύπων. Τόσο τα φυτά μέσω του ριζικού τους συστήματος όσο και οι μικροοργανισμοί, των οποίων η δραστηριότητα είναι πιο έντονη στα ανώτερα τμήματα του εδάφους, παίζουν σημαντικό ρόλο στην αποικοδόμηση των διάφορων ρύπων. Κατά συνέπεια όσο περισσότερο παραμένουν στο βάθος του ριζοστρώματος, τόσο μειώνεται το ρυπαντικό φορτίο τους. Τα λεπτόκοκκα εδάφη δυσχεραίνουν περισσότερο την κίνηση του νερού, και κατά συνέπεια των ρύπων, σε σχέση με τα λεπτόκοκκα. Το έδαφος στη περιοχή ταξινομήθηκε σε δύο κλάσεις: αμμοπηλώδη (sandy loam) και αμμοαργιλοπηλώδη (sandy clay loam). Η κατηγοριοποίηση του Sr σε κλάσεις ανάλογα με τη μηχανική σύσταση του εδάφους έγινε βάσει του παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 6.18 Βαθμονόμηση παραμέτρου εδάφους

Κοκκομετρική Σύσταση Εδάφους	Sr
Αμμώδες	9
Αμμοπηλώδες	7
Αμμοαργιλοπηλωδες	6
Ιλυοπυλωδες	4
Αργιλοπηλωδες	3

Στη συνέχεια η τιμή της παραμέτρου Sr πολλαπλασιάστηκε με τον συντελεστή βαρύτητας S_w (2) και έτσι προέκυψε η τιμή $S_r S_w$ για κάθε σημείο και κατασκευάστηκε ο αντίστοιχος χάρτης. Αναλυτικός πίνακας παρατίθεται στο παράρτημα. Το εύρος των τιμών του $S_r S_w$ είναι από 12 έως 14.

Τοπογραφική κλίση (T)

Το ανάγλυφο της περιοχής είναι κατά κύριο λόγο ομαλό. Πολύ μικρές κλίσεις συναντάμε στα δυτικά της περιοχής όσο κατευθυνόμαστε προς την θάλασσα, ενώ προς τα ανατολικά και τα βόρεια, το υψόμετρο και οι κλίσεις αυξάνονται. Η βαρύτητα της παραμέτρου T_w εκτιμήθηκε σε ένα (1). Η κατηγοριοποίηση του T_r σε κλάσεις ανάλογα με την τοπογραφική κλίση έγινε με βάση τον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 6.19 Βαθμονόμηση παραμέτρου τοπογραφικής κλίσης

Τοπογραφική κλίση ανάγλυφου (%)	Tr
0-2	10
2-6	9
6-12	5
12-18	3
18>	2

Στη συνέχεια πολλαπλασιάστηκε ο συντελεστής βαρύτητας T_w με την εκάστοτε παράμετρο T_r και προέκυψε η τιμή $T_r T_w$ και κατασκευάστηκε ο αντίστοιχος χάρτης. Αναλυτικός πίνακας των αποτελεσμάτων παρατίθεται στο παράρτημα. Το εύρος των τιμών του $T_r T_w$ είναι από 2 έως 10.

Επίδραση της ακόρεστης ζώνης (I)

Η ακόρεστη ζώνη παίζει σημαντικό ρόλο στη μείωση της ρύπανσης, λόγω της βραδείας κίνησης του νερού καθώς και των διαφόρων διαδικασιών που λαμβάνουν χώρα σε αυτή όπως: προσρόφηση και ανταλλαγή κατιόντων, χημικές αντιδράσεις, μείωση παθογόνων μικροοργανισμών κ.α. (Βασιλείου 2011). Ο βαθμός εξασθένησης των ρύπων στην ακόρεστη ζώνη εξαρτάται από τη λιθολογία της, την κοκκομετρία της, το πάχος της, τα χαρακτηριστικά και την συγκέντρωση του ρύπου κλπ. Στην παρούσα εργασία, λόγω έλλειψης λιθολογικής τομής, η βαθμονόμηση έγινε με βάση το πάχος της ακόρεστης ζώνης. Η κατηγοριοποίηση του I_r σε κλάσεις έγινε βάσει του παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 6.20 Βαθμονόμηση της παραμέτρου της επίδρασης της ακόρεστης ζώνης

Κλάση (m)	I_r
<1	10
1-3	9
3-5	8
5-10	7
10-20	6
20-50	5
50>	3

Στη συνέχεια η παράμετρος I_r πολλαπλασιάστηκε με τον συντελεστή βαρύτητας της παραμέτρου I_w και προέκυψε η τιμή $I_r I_w$. Κατόπιν κατασκευάστηκε ο αντίστοιχος χάρτης $I_r I_w$. Οι υψηλότερες τιμές του εμφανίζονται στο δυτικό κομμάτι της λεκάνης το οποίο είναι

και παραθαλάσσιο, ενώ οι χαμηλότερες εμφανίζονται στο ανατολικό. Αναλυτικός πίνακας των τιμών I_{glw} παρατίθεται στο παράρτημα.

Υδραυλική Αγωγιμότητα (C)

Η υδραυλική αγωγιμότητα καθορίζει την ταχύτητα κίνησης του υπογείου νερού στη κορεσμένη ζώνη και κατά συνέπεια την ταχύτητα κίνησης των ρύπων. Ο προσδιορισμός της έγινε με βάση το υλικό του υδροφόρου σχηματισμού της περιοχής. Η κατηγοριοποίηση του Cr σε κλάσεις έγινε με βάση τον παρακάτω πίνακα:

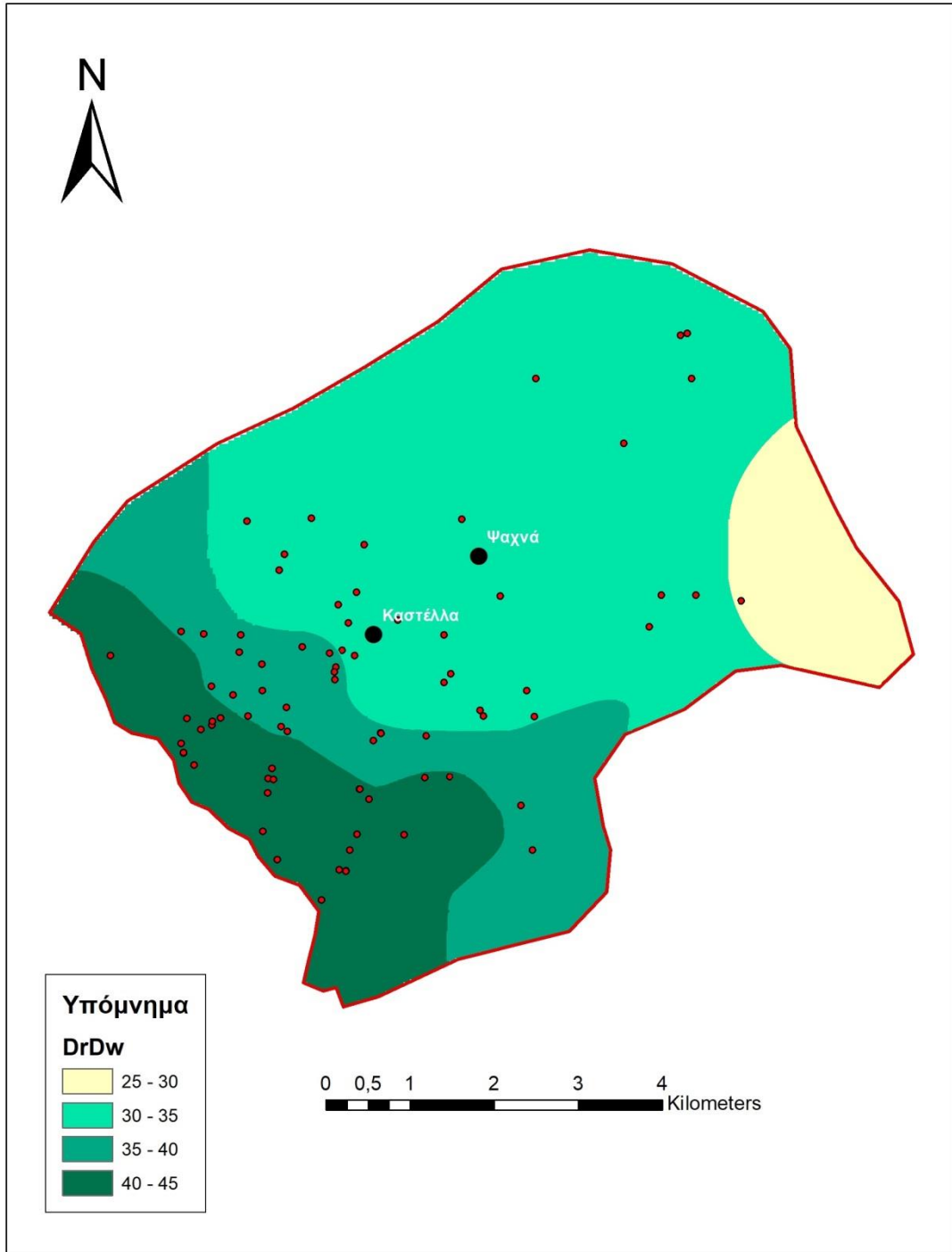
Πίνακας 6.21 Βαθμονόμηση της παραμέτρου της επίδρασης της υδραυλικής αγωγιμότητας

Υδραυλική Αγωγιμότητα (m/sec)	Cr
10^{-1} ως 10^{-3}	9
10^{-4} - 10^{-5}	8
10^{-5} - 10^{-6}	7
10^{-6} - 10^{-8}	4

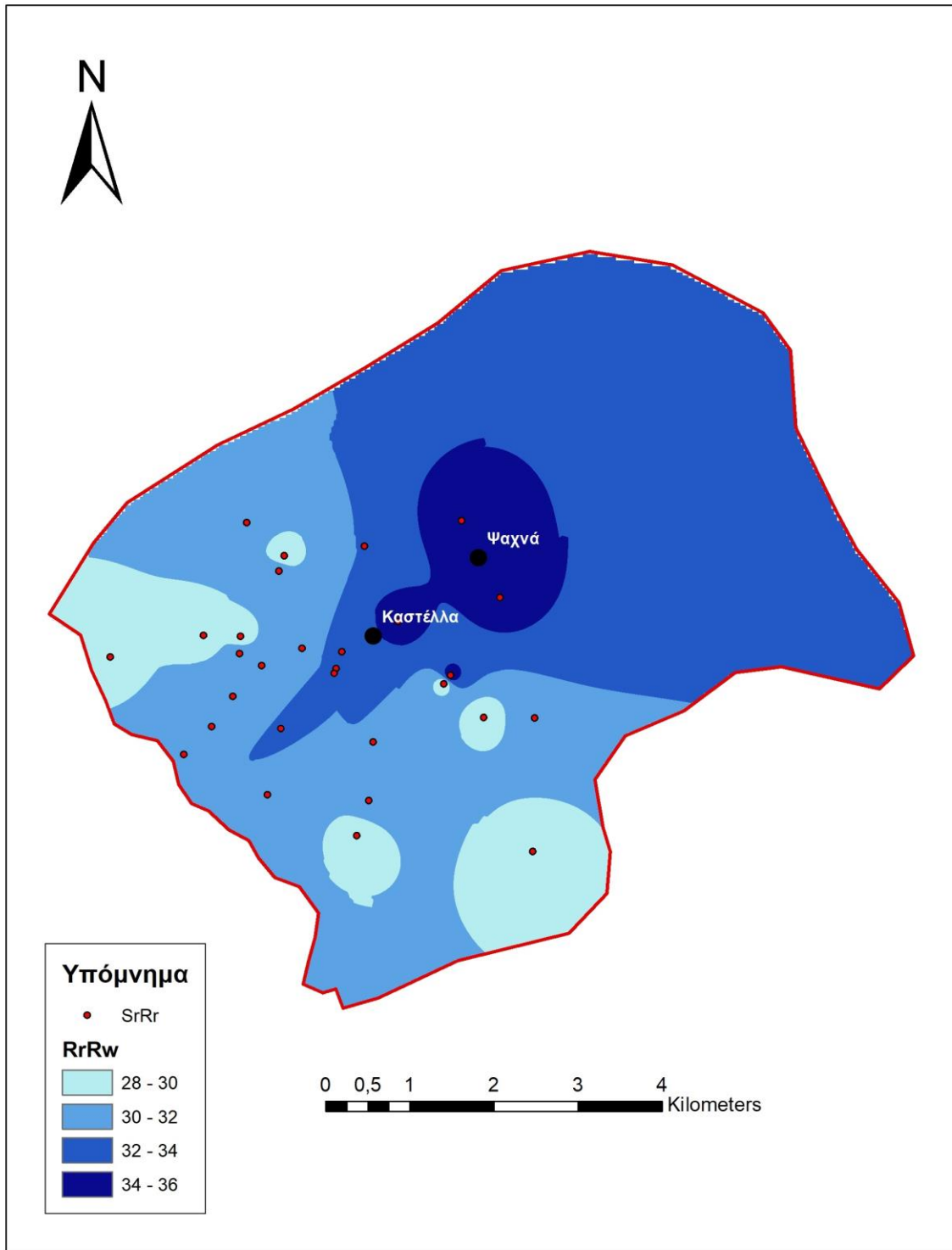
Κατόπιν, η κάθε παράμετρος Cr πολλαπλασιάστηκε με τον συντελεστή βαρύτητας C_w (3) και έτσι προέκυψε η τιμή CrC_w για κάθε σημείο. Στη συνέχεια κατασκευάστηκε ο χάρτης χωρικής κατανομής της τιμής CrC_w . Το εύρος της είναι από 12 έως 27, με τις υψηλότερες τιμές να εμφανίζονται στα νότια και νοτιοανατολικά της λεκάνης και τις χαμηλότερες στα βορειοανατολικά. Αναλυτικός πίνακας των τιμών CrC_w παρατίθεται στο παράρτημα.

Αποτελέσματα μοντέλου DRASTIC

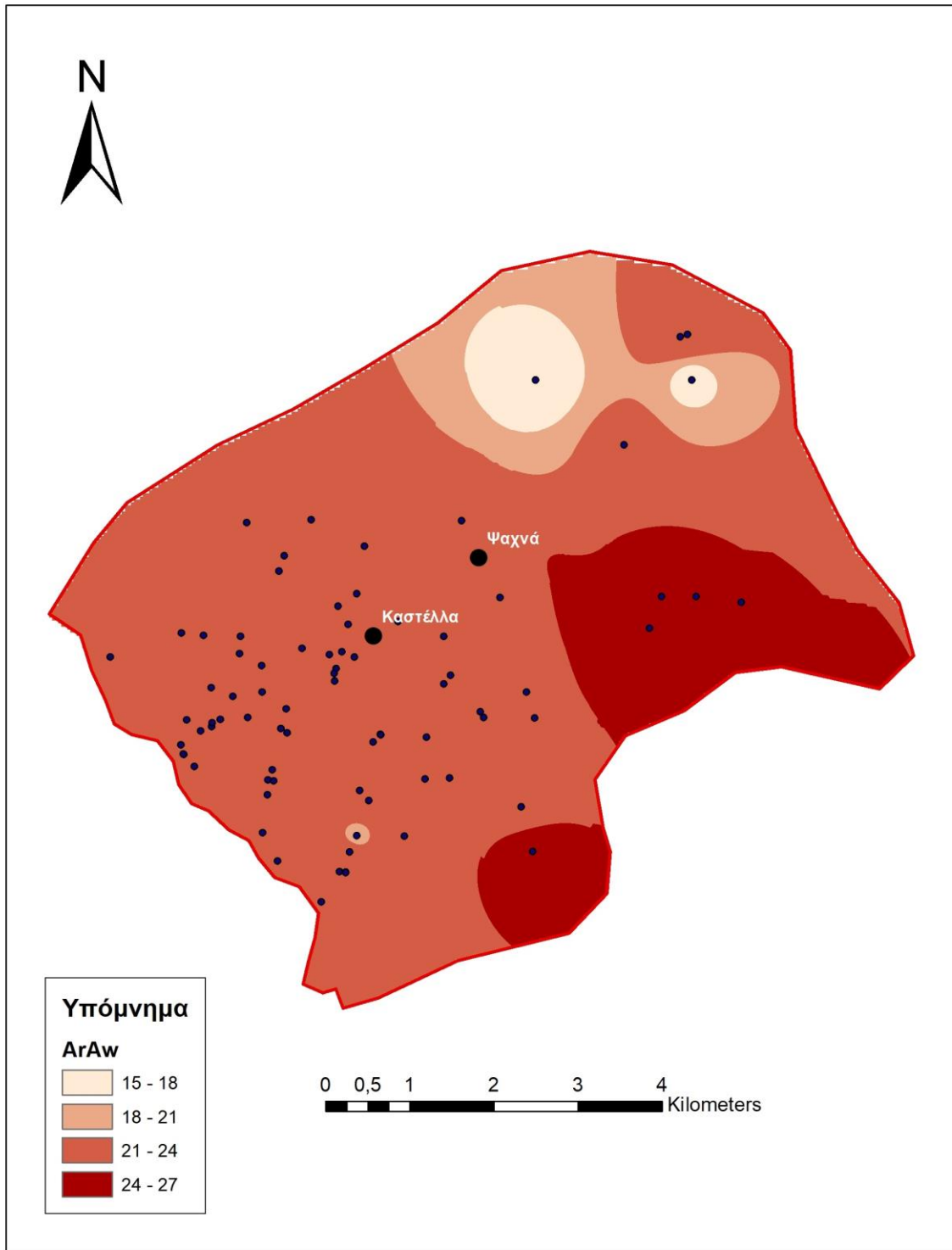
Για την τελική εκτίμηση του μοντέλου DRASTIC, έγινε πρόσθεση του κάθε επιμέρους χάρτη (raster file) σε περιβάλλον GIS μέσω του εργαλείου raster calculator βάσει της σχέσης του μοντέλου που προαναφέρθηκε.



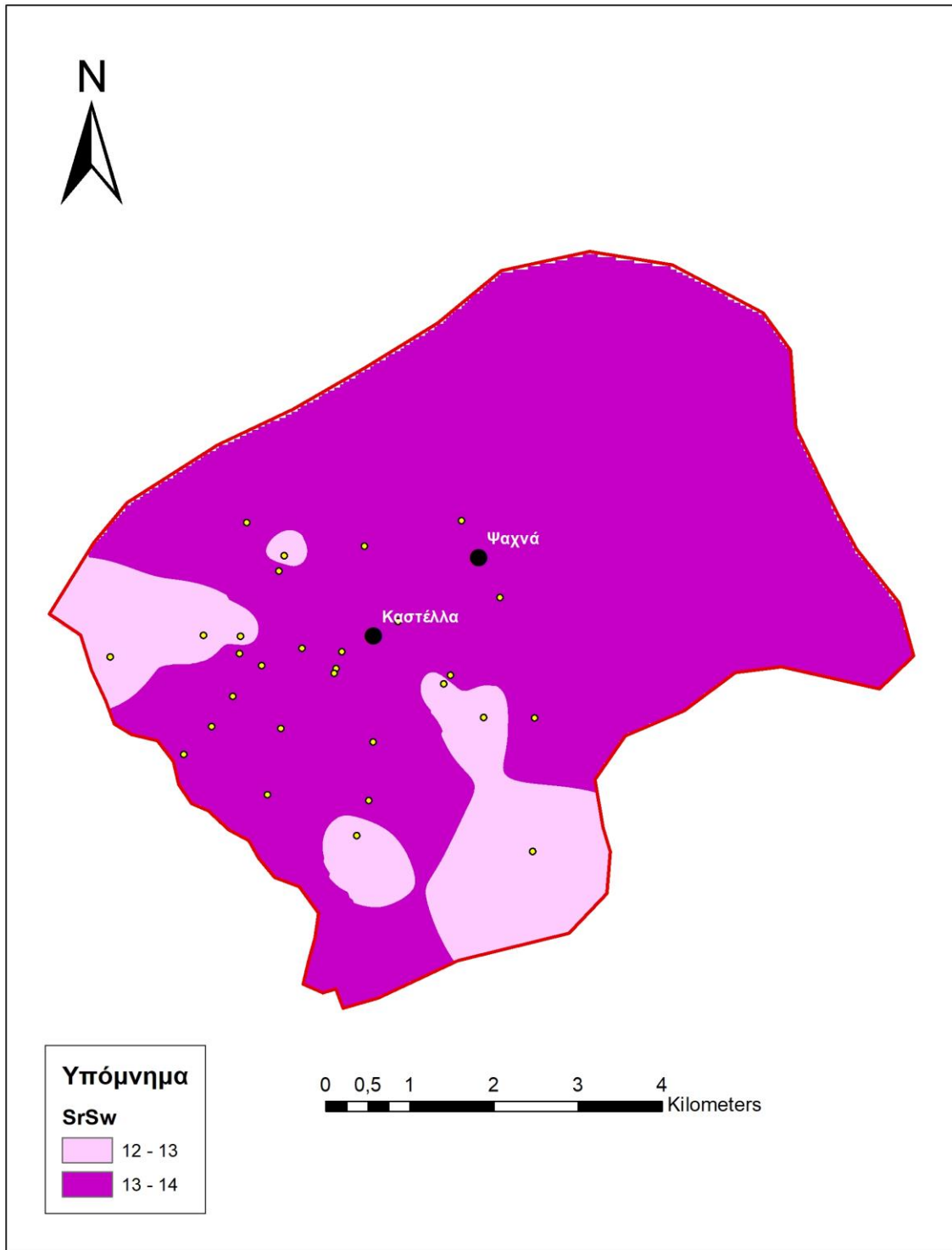
Εικόνα 6.35 Χάρτης βαθμονόμησης της παραμέτρου του βάθους στάθμης (D)



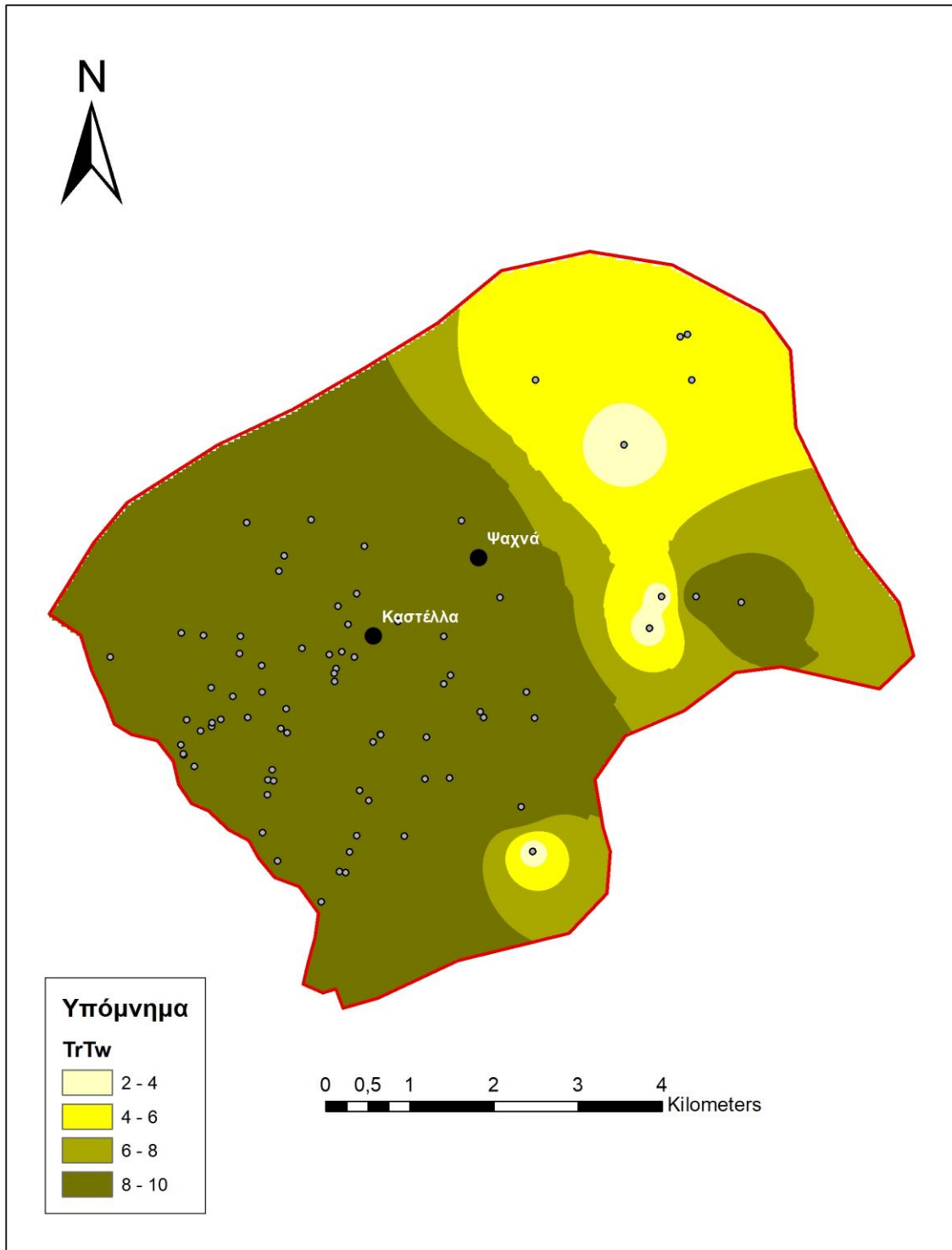
Εικόνα 6.36 Χάρτης βαθμονόμησης παράγοντα εμπλουτισμού του υδροφόρου (R)



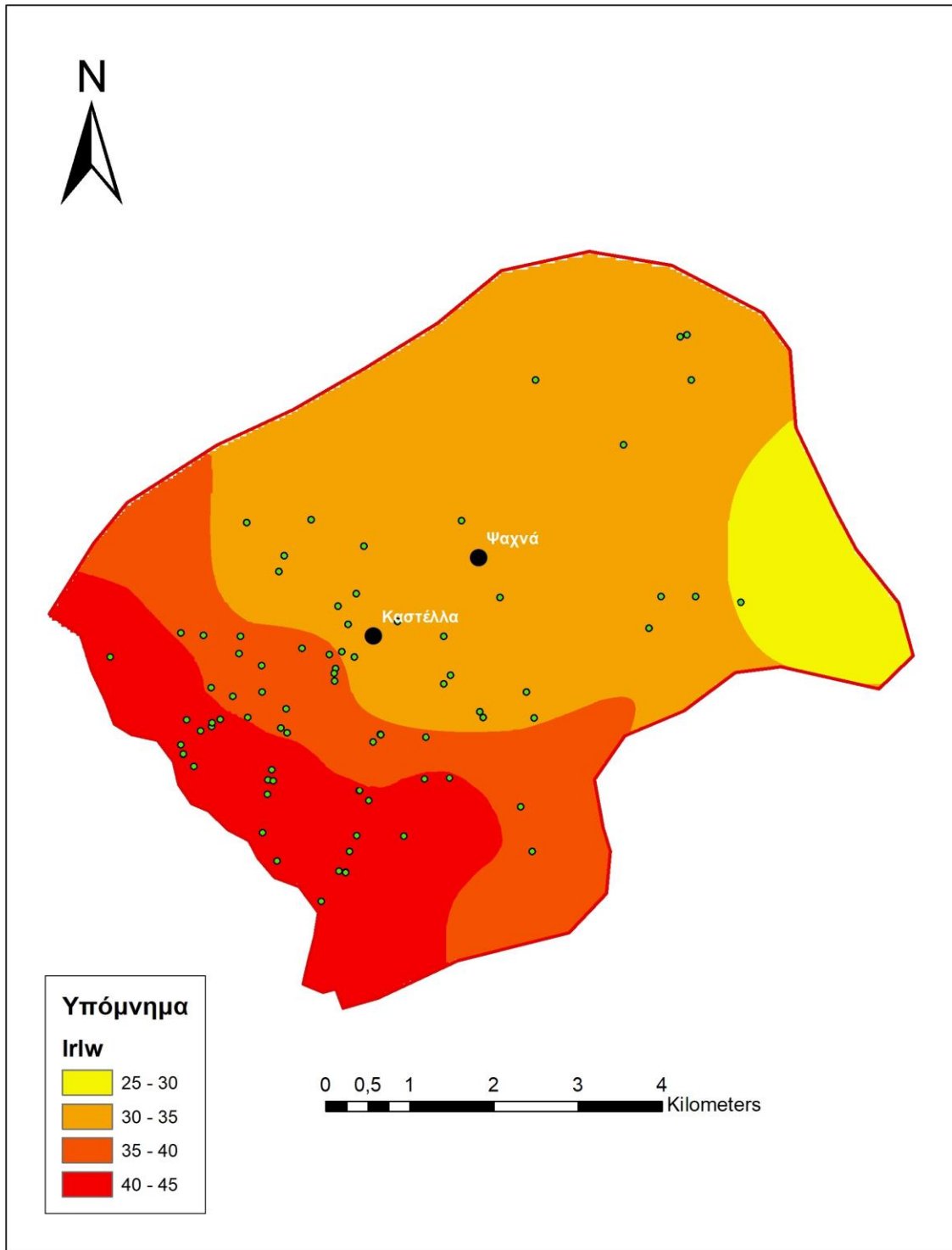
Εικόνα 6.37 Χάρτης βαθμονόμησης της παραμέτρου του υλικού του υδροφόρου μέσου (A)



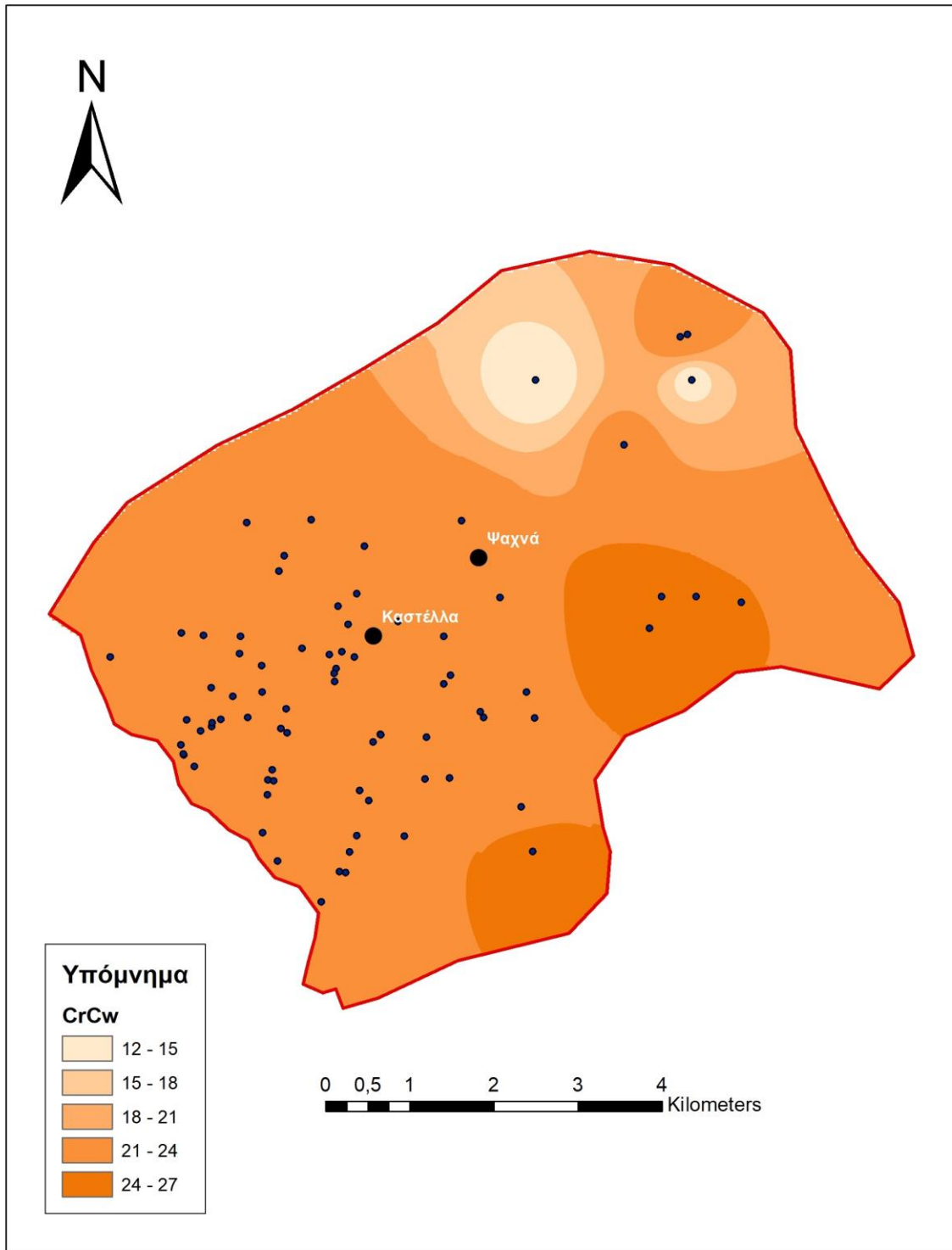
Εικόνα 6.38 Χάρτης βαθμονόμησης της παραμέτρου της υφής του εδάφους (S)



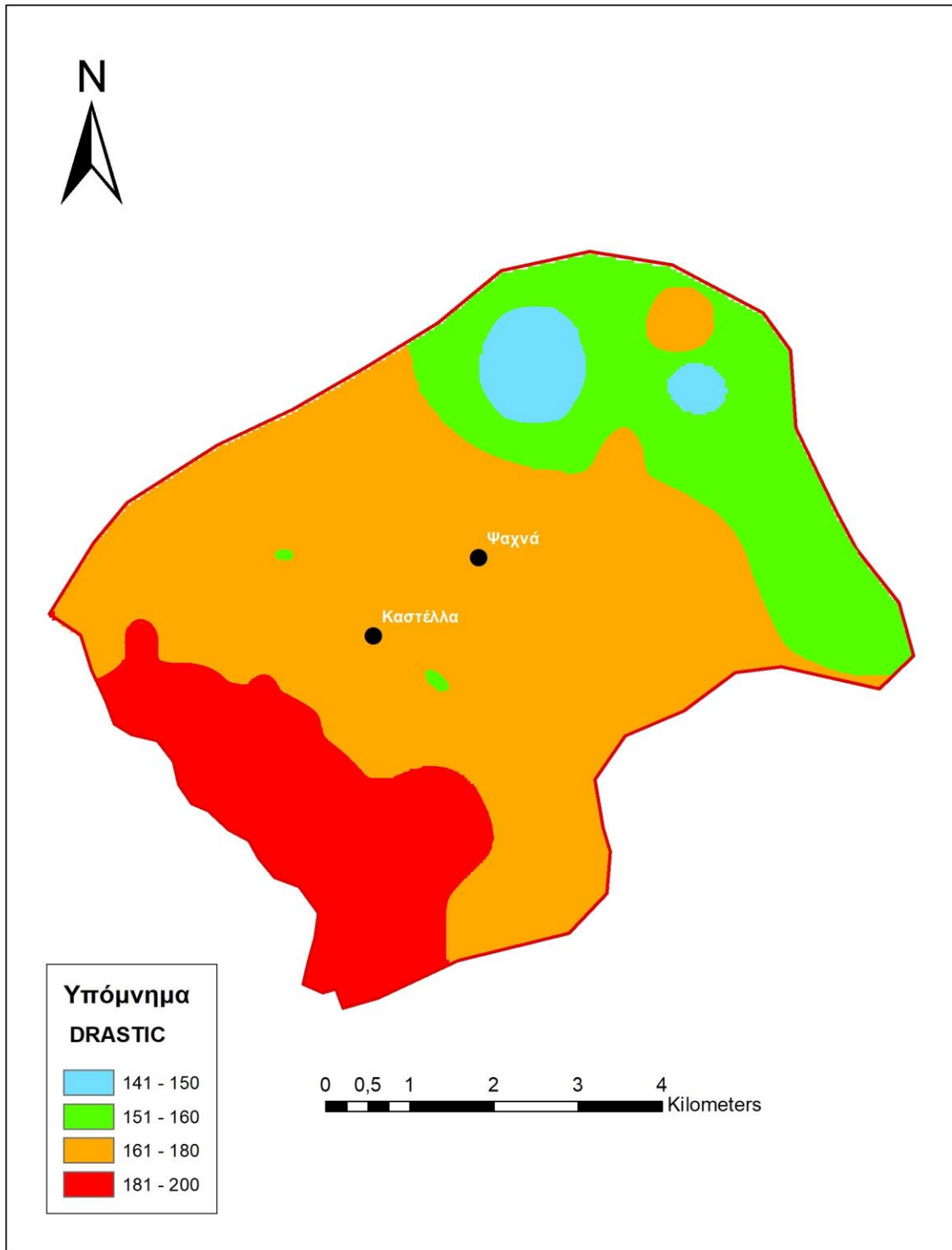
Εικόνα 6.39 Χάρτης βαθμονόμησης της παραμέτρου της τοπογραφικής κλίσης (T)



Εικόνα 6.40 Χάρτης βαθμονόμησης της παραμέτρου του υλικού της ακόρεστης ζώνης του υδροφόρου (I)



Εικόνα 6.41 Χάρτης βαθμονόμησης της παραμέτρου της υδραυλικής αγωγιμότητας (C)



Εικόνα 6.42 Χάρτης τρωτότητας υδροφόρου στη λεκάνη των Ψαχνών, βάσει του μοντέλου DRASTIC

Σύμφωνα με την εφαρμογή του μοντέλου DRASTIC, προέκυψε ο χάρτης τρωτότητας των υδροφόρων σχηματισμών στη περιοχή των Ψαχνών Ευβοίας (εικόνα 6.42). Οι

υψηλότερες τιμές τρωτότητας εμφανίζονται δυτικά νοτιοδυτικά της λεκάνης των Ψαχνών, πλησίον της θάλασσας, με εύρος διακύμανσης από 142 έως 194. Οι χαμηλότερες τιμές καταγράφονται στα βόρεια και βορειοανατολικά της περιοχής, όπου το ανάγλυφο γίνεται πιο έντονο και οι γεωργικές δραστηριότητες περιορίζονται. Στο βορειοανατολικό κομμάτι υπάρχει μικρή πυκνότητα δεδομένων και συνεπώς η αξιοπιστία της τρωτότητας σε αυτό το κομμάτι δεν είναι αξιόπιστη. Αντιθέτως, λόγω πολύ υψηλής πυκνότητας δεδομένων στο κεντρικό και δυτικό κομμάτι της περιοχής, όπου δηλαδή η γεωργική δραστηριότητα είναι έντονη, η αξιοπιστία της μεθόδου είναι μεγάλη.

7 Συμπεράσματα - Συζήτηση

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η διερεύνηση της ποιοτικής κατάστασης των εδαφών και των υπογείων νερών της περιοχής και η αποτύπωση των επιπτώσεων των γεωργικών δραστηριοτήτων σε αυτά. Με την ανάλυση των αποτελεσμάτων που προαναφέρθηκαν προέκυψαν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Τα εδάφη της περιοχής ανήκουν κυρίως στη κατηγορία των μετρίως χονδρόκοκκων (ελαφρά εδάφη) άρα ευνοείται η ταχεία κατείσδυση του νερού, με ότι φορτίο περιέχει, στα υπόγεια νερά. Επιπλέον μετά από ανάλυση εδαφικών δειγμάτων, βρέθηκε ότι τα εδάφη είναι φτωχά σε οργανική ουσία, η οποία παίζει σημαντικό ρόλο στη κατακράτηση ιχνοστοιχείων στο ριζόστρωμα, με αποτέλεσμα τη διαθεσιμότητα τους στα φυτά. Ο συνδυασμός αυτών των δύο γεγονότων, διευκολύνουν τη διασπορά και διάχυση ρυπαντικών φορτίων από τη χρήση των υδατοδιαλυτών αγροχημικών προϊόντων που εφαρμόζονται στα καλλιεργούμενα εδάφη (λιπάσματα, φυτοφάρμακα) στα υπόγεια νερά
- Μετά από την ανάλυση της χημικής σύστασης του εδάφους εντοπίστηκαν πολύ υψηλές συγκεντρώσεις χρωμίου (μ.ο. 1557 mg/Kg) και νικελίου (μ.ο. 1.149 mg/Kg). Οι συγκεντρώσεις αυτές, που είναι έως και δέκα φορές μεγαλύτερες από άλλα γεωργικά εδάφη της Ελλάδας, αποδίδονται στο γεγονός ότι το μητρικό υλικό των εδαφών αυτών είναι υπερβασικά πετρώματα, τα οποία είναι γνωστά για τις υψηλές συγκεντρώσεις τους στα στοιχεία αυτά.

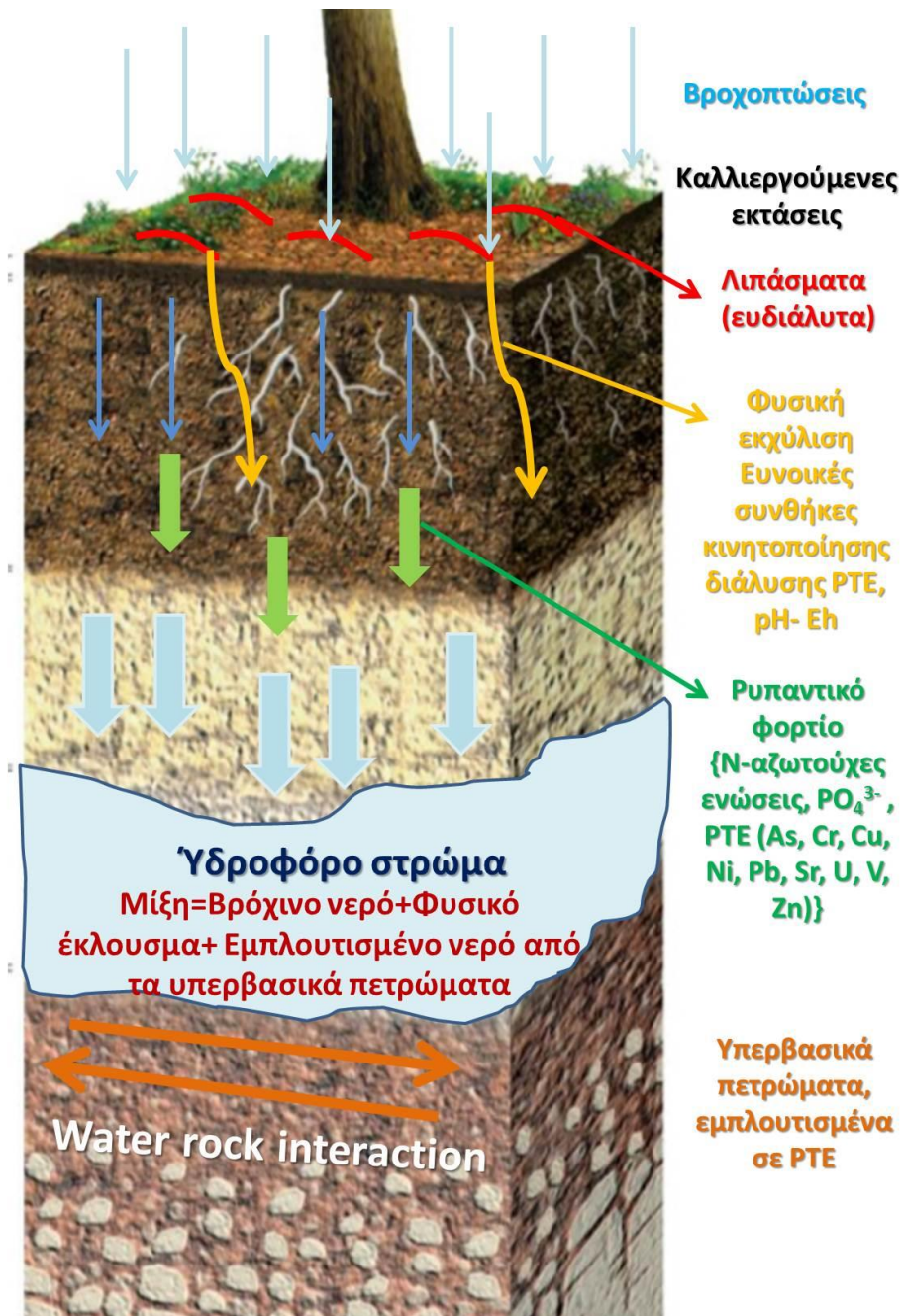
- Η μεγάλη επίδραση των αγροτικών δραστηριοτήτων στη ποιότητα των υπογείων νερών της λεκάνης των Ψαχνών αποτυπώνεται με τις πολύ υψηλές συγκεντρώσεις των νιτρικών ιόντων στα νερά, με τη μέγιστη τιμή να ανέρχεται στα 468,2 mg/l.
- Η αποκλειστική πηγή NO_3^- στα υπόγεια νερά είναι οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες, κυρίως η χρήση αγροχημικών προϊόντων και δευτερευόντως βόθροι, κοιμητήρια .
- Η πολύ υψηλή συσχέτιση μεταξύ NO_3^- και SO_4^{2-} (0,82) υποδηλώνει ότι η χρήση λιπασμάτων είναι μια πολύ πιθανή πηγή θειικών ιόντων στα υπόγεια νερά.
- Η πολύ υψηλή συσχέτιση μεταξύ NO_3^- και Mg^{2+} (0,86) αλλά και Cl^- και Mg^{2+} (0,84) υποδηλώνει ότι η προέλευση του μαγνησίου στα υπόγεια νερά είναι συνδυασμός της εκτεταμένης χρήσης λιπασμάτων, αλλά και της θαλάσσιας διείσδυσης, στην παράκτια ζώνη.
- Οι υψηλές συγκεντρώσεις χρωμίου στα εδάφη και στα νερά, είναι αποτέλεσμα της συνεργιστικής δράσης, ανθρωπογενών δραστηριοτήτων και γεωγενούς προέλευσης. Τα εδάφη της περιοχής, έχουν προέλθει από την αποσάθρωση των υπερβασικών πετρωμάτων στα βόρεια της περιοχής των Ψαχνών, για αυτό εμφανίζονται και εμπλουτισμένα σε Cr (μέσος όρος 1.557 mg/Kg) και Ni (μέσος όρος 1.149 mg/Kg),. Επίσης η εκτεταμένη χρήση αγροχημικών επιβαρύνει τα εδάφη με Fe, Cr, Cd, Cu όπως έχει προκύψει από πολλές μελέτες διαφόρων ερευνητών.
- Στα υπόγεια νερά, η παρουσία του χρωμίου, προέρχεται από γεωγενή και ανθρωπογενή αίτια μέσω ενός διττού μηχανισμού. Η τροφοδοσία των νερών της λεκάνης γίνεται σύμφωνα με το ΙΓΜΕ από τα βόρεια προς τα νότια, μέσω των ρωγματομένων υπερβασικών πετρωμάτων, και του υλικού αποσάθρωσης αυτών, οπότε τα υπόγεια νερά μέσω της αλληλεπίδρασης του με τα υπερβασικά πετρώματα εμπλουτίζονται σε χρώμιο.
- Από τα διαγράμματα Gibbs (εικόνες 6.32, 6.33) φάνηκε η ισχυρή αλληλεπίδραση μεταξύ των πετρωμάτων της περιοχής και των υπογείων νερών (water rock interaction) και πως τα πετρώματα εμπλουτίζουν τα

υπόγεια νερά, ενισχύοντας τη γεωγενή πηγή προέλευσης κάποιων στοιχείων μεταξύ αυτών και του χρωμίου.

- Επίπρόσθετα η θετική συσχέτιση που σημειώθηκε μεταξύ NO_3^- και Cr και έχει αναφερθεί και σε παρόμοιες μελέτες (Parazotos et al 2019, Remoundaki et al. 2016, Megremi et al. 2019, Φιλίππου 2015, Βασιλείου 2012) υποδηλώνει τον συνεργιστικό ρόλο των αζωτούχων λιπασμάτων στη παρουσία του χρωμίου στα υπόγεια νερά. Όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο για την αζωτούχο λίπανση, η νιτροποίηση της αμμωνίας δημιουργεί πλεόνασμα H^+ στο έδαφος με αποτέλεσμα τη μείωση του εδαφικού pH το οποίο ευνοεί τη διάλυση του Cr^{3+} με συνέπεια μεγαλύτερες ποσότητες του δυσδιάλυτου στο νερό Cr^{3+} να υφίστανται οξείδωση στο ευδιάλυτο Cr^{6+} . Εκτός από τα αζωτούχα λιπάσματα, έχει αναφερθεί σε άλλες μελέτες η επίδραση που έχουν τα φωσφορικά λιπάσματα στη ποιότητα των εδαφών και των νερών λόγω της υψηλής τους περιεκτικότητας σε Βαρέα Μέταλλα (De Lopez Camelo et al. 1997, Da Silva et al. 2007, Molina et al. 2009, Nziguheba & Smolders 2008, Chen et al. 2007). Τα λιπάσματα είναι ευδιάλυτα στο νερό και αναλόγως των χαρακτηριστικών του εδάφους, “μεταφέρονται” στην κορεσμένη ζώνη, με πλούσιο ρυπαντικό φορτίο σε δυνητικά τοξικά στοιχεία π.χ. Cr, V, U, As, κα
- Η χρήση των δεικτών για την εκτίμηση της ποιότητας των υπογείων νερών της λεκάνης των Ψαχνών, ανέδειξε ότι υπάρχει σημαντικό πρόβλημα υποβάθμισης της ποιότητάς τους. Συγκεκριμένα, σύμφωνα με τον δείκτη HPI, το 50% των δειγμάτων χαρακτηρίζονται ως νερά με υψηλή ρύπανση σε βαρέα μέταλλα, σύμφωνα με τον δείκτη HEI το 92% των δειγμάτων χαρακτηρίζεται από ελαφρώς επιβαρυμένα ως έντονα επιβαρυμένα με βαρέα μέταλλα και σύμφωνα με τον δείκτη PI, από τα βαρέα μέταλλα μόνο το χρώμιο Cr συντελεί στην ποιοτική αυτή υποβάθμιση. Τέλος σύμφωνα με τον δείκτη WQI, ο οποίος λαμβάνει υπόψη άλλες χημικές παραμέτρους εκτός των βαρέων μετάλλων, το 75% των δειγμάτων χαρακτηρίζεται από κακή ποιοτική κατάσταση έως εντελώς ακατάλληλη. Στον δείκτη αυτό τα νιτρικά ιόντα NO_3^- παίζουν τον κύριο ρόλο στην ποιοτική υποβάθμιση.

- Από την εφαρμογή του μοντέλου DRASTIC διαπιστώθηκε η τρωτότητα των υπογείων νερών της λεκάνης των Ψαχνών. Τα ελαφρά εδάφη, οι περατοί γεωλογικοί σχηματισμοί, η μικρή κλίση του αναγλύφου, αλλά και το μικρό βάθος του υδροφόρου, δημιουργούν τις κατάλληλες προϋποθέσεις για τη σημαντική ποιοτική υποβάθμιση των υπογείων νερών της περιοχής.
- Ο συνδυασμός της έντονης γεωργικής δραστηριότητας που εμφανίζεται στην περιοχή των Ψαχνών, η ήδη επιβαρυσμένη ποιοτική κατάσταση των υπογείων νερών όπως αυτή αποτυπώθηκε από τους δείκτες που προαναφέρθηκαν και τέλος η μεγάλη τρωτότητα στη ρύπανση που εμφανίζει ο υπόγειος προσχωματικός υδροφόρος της λεκάνης των Ψαχνών, δημιουργούν την ανάγκη κατάστροφης ενός σχεδίου ολοκληρωμένης διαχείρισης των υδατικών πόρων της περιοχής. Ένα καλό πρώτο βήμα που προτείνεται είναι η συμμόρφωση των αγροτικών εκμεταλλεύσεων με τον Κώδικα Ορθής Γεωργικής Πρακτικής που θα έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση των ποσοτήτων των λιπασμάτων που τελικά θα φτάνουν στον υπόγειο υδροφόρο.

Παρακάτω παρατίθεται μία σχηματική απεικόνιση της κίνησης του νερού και των ρύπων από τα ανώτερα προς τα κατώτερα στρώματα, καθώς και η αλληλεπίδρασή τους με το γεωγενές περιβάλλον, σαν ένα είδος συνοπτικής γραφικής περιγραφής των αποτελεσμάτων της παρούσας εργασίας.



Εικόνα 7.1 Απεικόνιση της κίνησης και των ρύπων και του νερού και η αλληλεπίδραση τους με το γεωγενές περιβάλλον

Βιβλιογραφία

Ελληνική

1. Αλιφραγκής Δημήτριος (2008), «Το έδαφος Γένεση-Ιδιότητες-Ταξινόμηση»
2. Αλμπαντάκης Ν., (1974). Τα νικελιούχα σιδηρομεταλλεύματα Λοκρίδος και Εύβοιας.
3. Αντωνόπουλος Β. (2001) «Ποιότητα και Ρύπανση Υπόγειων Νερών», Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη 2001.
4. Αντωνόπουλος Β. (2003) «Υδραυλική Περιβάλλοντος και Ποιότητα Επιφανειακών Υδάτων», Εκδόσεις Γιαχούδη, Θεσσαλονίκη 2003.
5. Βασιλείου Ε. (2011). Υδρογεωλογικές συνθήκες της ευρύτερης περιοχής της Ποταμιάς Ελασσόνας: Επιπτώσεις από τη μελλοντική εκμετάλλευση των λιγνιτικών κοιτασμάτων στο υδατικό καθεστώς. Διδακτορική Διατριβή. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
6. Βασιλείου Ε. (2013). Διερεύνηση της παρουσίας βαρέων μετάλλων και ιδιαίτερα των μορφών τρισθενούς σιδήρου και εξασθενούς χρωμίου στα υπόγεια νερά των οφιολιθικών μαζών και των χαλαρών σχηματισμών Κεντρικής Ευβοίας. Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία. Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
7. Βασιλείου, Ε., Περράκη, Μ., Σταμάτης, Γ., & Γκάτζος, Ε. (2014). Υδροχημικά χαρακτηριστικά των υπόγειων νερών κεντρικής Εύβοιας, με έμφαση στην παρουσία του εξασθενούς χρωμίου. 10ο υδρογεωλογικό συνέδριο της Ελλάδας, 8-10 Οκτωβρίου 2014, Θεσσαλονίκη, Ελλάδα.
8. Βουδούρης Κ. (2009). Υδρογεωλογία Περιβάλλοντος, υπόγεια νερά και περιβάλλον. Εκδόσεις Τζιόλα.
9. Βουτσής, Ν. Ν. (2011). Ρυθμοί αποσάθρωσης υπερβασικών πετρωμάτων της νήσου Εύβοιας και έλεγχοι επί της χημικής σύστασης των υπόγειων και επιφανειακών νερών (Doctoral dissertation, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών (ΕΚΠΑ). Σχολή Θετικών Επιστημών. Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος. Τομέας Οικονομικής Γεωλογίας και Γεωχημείας).
10. Γκάρτζος, Ε. Γ., Μιγκίρος, Γ. Π., Σερέλης, Κ., & Παρχαρίδης, Ι. Α. (1994). Τα υπερβασικά πετρώματα της Ευβοιας-Ανατολικής Θεσσαλίας και οι χρωματικές συγκεντρώσεις που φιλοξενούν= The ultramatif rocks of Evia-Eastern Thessaly and the hosted chromites. Δελτίον της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας, 30(3), 137-153.

11. Γύφτουλας Γ. (2014). Διερεύνηση των υπογείων ροών και διάχυσης ρύπων στο φρεάτιο υδροφορέα την λεκάνης των Ψαχνών (Κεντρική Εύβοια) με εφαρμογή του μοντέλου MODFLOW. Μεταπτυχιακή Διατριβή. Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
12. Ζαμπετάκης Γ., Θεοχάρης Στ., Καραντώνης Χ., Κιρκιλλής Χρ., Παντελόγλου Α., Στασινός Σ. (2011) Νομοθεσία Τροφίμων και διατροφικοί κίνδυνοι. Εκδόσεις Αθ. Σταμούλης.
13. Κακαβάς Ι.Ν., (1978). Έκθεσις επί της γεωλογικής αναγνώρισεως της κοινότητος Ν. Αρτάκης νήσου Ευβοίας. Έκθεση ΙΓΜΕ.
14. Κατσικάτσος Γ. (1992) Γεωλογία της Ελλάδας, Πανεπιστήμιο Πάτρας
15. Μανδηλαράς Δ. (2005). Περιβαλλοντική – Υδρογεωλογική έρευνα στη λεκάνη του Γλαύκου. Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Πατρών.
16. Μάσσας Ιωάννης (2011). Σημειώσεις Λιπασματολογίας. Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
17. Μεγαδούκα Δ., (2011) Προσδιορισμός και στατιστική επεξεργασία βιοδιαθέσιμων βαρέων μετάλλων σε επιβαρυμένα εδάφη της περιοχής Βάρης – Κορωπίου. Σύγκριση των αποτελεσμάτων με αντίστοιχα άλλης περιοχής της Αττικής. Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία. Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
18. Μεγρεμή, Ι. (2010). Παράγοντες που ελέγχουν την κινητικότητα και τη βιοδιαθεσιμότητα του χρωμίου και άλλων μετάλλων στο περιβάλλον Νι/λατεριτών. Διδακτορική διατριβή, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα.
19. Μουντράκης Δ.Μ., (1985) Γεωλογία της Ελλάδας. Βιβλίο. Univeristy Press Studio Θεσσαλονική
20. Μουστάκας Ν. (2011) «Σημειώσεις γενικής εδαφολογίας», Πανεπιστημιακές Σημειώσεις, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
21. Μπαλωμένου Γ. (2009). Προσδιορισμός βαρέων μετάλλων στα νερά, στο έδαφος και στα λαχανικά στις αγροτικές περιοχές του Νομού Αιτωλοακαρνανίας και χρήση ειδικών αδρανοποιητών στα υποστρώματα καλλιέργειας για ελαχιστοποιημένη περιεκτικότητα σε βαρέα μέταλλα. Διδακτορική Διατριβή. Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων.
22. Παπαζώτος Π. (2020). Γεωχημικό αποτύπωμα υπερβασικών περιβαλλόντων στην ποιότητα των υπογείων νερών, με έμφαση στο χρώμιο και το αρσενικό. Διδακτορική Διατριβή. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
23. Παπανικολάου Δ. (1986). Γεωλογία Ελλάδος. Πανεπιστήμιο Αθήνας. Εκδόσεις Επτάλοφος.

24. Σακκαλής Μ. (2011). Σημειώσεις εδαφολογίας, Δασικός Λειτουργός.
25. Τερζίδης Γ. Α. και Καραμούζης Δ.Ν.(2001) « Υδραυλική Υπόγειων Νερών», Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη 2001.
26. Φιλίππου Α. (2015). Μελέτη των μηχανισμών οξειδωσης χρωμίου στα φυσικά νερά των Ψαχνών Ευβοίας. Μεταπτυχιακή Διπλωματική. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Ξένη

27. Allison, L. E., & Richards, L. A. (1954). Diagnosis and improvement of saline and alkali soils (No. 60). Soil and Water Conservative Research Branch, Agricultural Research Service, US Department of Agriculture.
28. Ameen, H. A. (2019). Spring water quality assessment using water quality index in villages of Barwari Bala, Duhok, Kurdistan Region, Iraq. *Applied Water Science*, 9(8), 1-12.
29. Appelgren, B.G. (1994). Agricultural and Environmental Legislation - Lithuania, Technical Report. FAO-LEG: TCP/LIT/2352, Technical Cooperation Programme, FAO, Rome
30. Atafar, Z., Mesdaghinia, A., Nouri, J., Homae, M., Yunesian, M., Ahmadimoghaddam, M., & Mahvi, A. H. (2010). Effect of fertilizer application on soil heavy metal concentration. *Environmental monitoring and assessment*, 160(1-4), 83.
31. Atafar, Z., Mesdaghinia, A., Nouri, J., Homae, M., Yunesian, M., Ahmadimoghaddam, M., & Mahvi, A. H. (2010). Effect of fertilizer application on soil heavy metal concentration. *Environmental monitoring and assessment*, 160(1), 83-89.
32. Ayers, R. S., & Westcot, D. W. (1985). *Water quality for agriculture* (Vol. 29, p. 174). Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
33. Barnes, I., & O'Neil, J. R. (1969). The relationship between fluids in some fresh alpine-type ultramafics and possible modern serpentinization, western United States. *Bulletin of the Geological Society of America.*, 80, 1947. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1969\)80\[1947:TRBFIS\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1969)80[1947:TRBFIS]2.0.CO;2).
34. Bertolo, R., Bourotte, C., Hirata, R., Marcolan, L., & Sracek, O. (2011). Geochemistry of natural chromium occurrence in a sandstone aquifer in Bauru Basin, São Paulo State, Brazil. *Applied geochemistry*, 26(8), 1353-1363.

35. Bourotte, C., Bertolo, R., Almodovar, M., & Hirata, R. (2009). Natural occurrence of hexavalent chromium in a sedimentary aquifer in Urânia, State of São Paulo, Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 81(2), 227-242.
36. Brady, N.C., and R.R. Weil, 1996. *The Nature and Properties of Soil* 11th edition. (ed) P.H.I. printed in the USA
37. Chen, W., Chang, A. C., & Wu, L. (2007). Assessing long-term environmental risks of trace elements in phosphate fertilizers. *Ecotoxicology and Environmental Safety*., 67, 48–58.
38. Cheraghi, M., Lorestani, B., & Merrikhpour, H. (2012). Investigation of the effects of phosphate fertilizer application on the heavy metal content in agricultural soils with different cultivation patterns. *Biological trace element research*, 145(1), 87-92.
39. da Silva, F. B. V., Williams Araújo do Nascimento, C., & Renata Muniz Araújo, P. (2017). Environmental risk of trace elements in P-containing fertilizers marketed in Brazil. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 17.
40. De López Camelo, L. G., De Miguez, S. R., & Marbán, L. (1997). Heavy metals input with phosphate fertilizers used in Argentina. *Science of the Total Environment*., 204, 245–250.
41. Dermatas, D., Mpouras, T., Chrysochoou, M., Panagiotakis, I., Vatsaris, C., Linardos, N., ... & Sakellariou, L. (2015). Origin and concentration profile of chromium in a Greek aquifer. *Journal of Hazardous Materials*, 281, 35-46.
42. EEA, 1995. In: Stanners, D., Boureau, P. (Eds.), *Europe's Environment: The Dobris Assessment*. Office for Official Publications of the European Communities, Luxemburg.
43. FAO/ECE. (1991). *Legislation and Measures for the Solving of Environmental Problems Resulting from Agricultural Practices (With Particular Reference to Soil, Air and Water), Their Economic Consequences and Impact on Agrarian Structures and Farm Rationalization*. United Nations Economic Commission for Europe (UNECE) and FAO, *Agri/Agrarian Structures and Farm Rationalization Report No. 7*. United Nations, Geneva
44. Gad, M., & El-Hattab, M. (2019). Integration of water pollution indices and DRASTIC model for assessment of groundwater quality in El Fayoum depression, western desert, Egypt. *Journal of African Earth Sciences*, 158, 103554.
45. Gartley, K., 1995. *Recommended soluble salts tests, Recommended soil testing procedures for the Northeastern United States*. 2nd edition. Northeastern Reg. Publ. 493. Revised. NEC-67.

46. Gasparatos, D., Roussos, P. A., Christofilopoulou, E., & Haidouti, C. (2011). Comparative effects of organic and conventional apple orchard management on soil chemical properties and plant mineral content under Mediterranean climate conditions. *Journal of soil science and plant nutrition*, 11(4), 105-117.
47. Gray, D. J. (2003). Naturally occurring Cr⁶⁺ in shallow groundwaters of the Yilgarn Craton, Western Australia. *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis*, 3(4), 359-368.
48. Guernet C., (1975). Sur l'existence en Bugey moyenne d'une nappe constituée principalement de roches vertes et de leur couverture mésozoïque. *Ann. SOC. Géol. Du Nord* XCV, 59-66.
49. Hariprasad, N. V., & Dayananda, H. S. (2013). ECO-ENGINEERED TREATMENT OF COFFEE PROCESSING WASTEWATER.
50. Harter, T. (2003). Groundwater quality and groundwater pollution. UC Agriculture & Natural Resources
51. Jones KC, Symon CJ, Johnston AE. (1987α) Retrospective analysis of an archived soil collection. II. Cadmium. *Sci Total Environ*;67:75–89.
52. Kaitantzian, A., Kelepertzis, E., & Kelepertzis, A. (2013). Evaluation of the sources of contamination in the suburban area of Koropi–Markopoulo, Athens, Greece. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, 91(1), 23-28.
53. Kaprara, E., Kazakis, N., Simeonidis, K., Coles, S., Zouboulis, A. I., Samaras, P., & Mitrakas, M. (2015). Occurrence of Cr(VI) in drinking water of Greece and relation to the geological background. *Journal of Hazardous Materials*. doi:10.1016/j.jhazmat.2014.06.084
54. Karlen, D. L., Mausbach, M. J., Doran, J. W., Cline, R. G., Harris, R. F., & Schuman, G. E. (1997). Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation (a guest editorial). *Soil Science Society of America Journal*, 61(1), 4-10.
55. Katsoyiannis, I. A., & Katsoyiannis, A. A. (2006). Arsenic and other metal contamination of groundwaters in the industrial area of Thessaloniki, Northern Greece. *Environmental Monitoring and Assessment*. doi:10.1007/s10661-006-9204-y
56. Katsoyiannis, I. A., Hug, S. J., Ammann, A., Zikoudi, A., & Hatziliontos, C. (2007). Arsenic speciation and uranium concentrations in drinking water supply wells in Northern

- Greece: Correlations with redox indicative parameters and implications for groundwater treatment. *Science of the Total Environment*. doi:10.1016/j.scitotenv.2007.04.035
57. Kelepertzis, E. (2014). Accumulation of heavy metals in agricultural soils of Mediterranean: insights from Argolida basin, Peloponnese, Greece. *Geoderma*, 221, 82-90.
 58. Kovda, V.A., Van Der Berg, C., Hagan, R.B. (Eds.), 1973. *Irrigation, Drainage, and Salinity. An International Source Book*, FAO/UNESCO.
 59. Kumar, V., Parihar, R. D., Sharma, A., Bakshi, P., Sidhu, G. P. S., Bali, A. S., ... & Rodrigo-Comino, J. (2019). Global evaluation of heavy metal content in surface water bodies: A meta-analysis using heavy metal pollution indices and multivariate statistical analyses. *Chemosphere*, 236, 124364.
 60. Logan, T.J., 1990. Chemical degradation of soil. In: Lal, R., Stewart, B.A. (Eds.), *Soil Degradation*. Springer, New York. NY, pp. 187–222.
 61. McLaughlin MJ, Tiller KG, Naidu R, Stevens DP. (1996) Review: the behaviour and environment impact of contaminants in fertilizers. *Austr J Soil Res*;34:1–54.
 62. McLean, F., 1982. Soil pH and Lime requirement. In A.L. Page (ed.). *Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and microbiological Properties*. Agronomy, 9. ASA and SSSA, Madison WI, pp. 199-223.
 63. Megremi, I., Vasilatos, C., Vassilakis, E., & Economou-Eliopoulos, M. (2019). Spatial diversity of Cr distribution in soil and groundwater sites in relation with land use management in a Mediterranean region: The case of C. Evia and Assopos-Thiva Basins, Greece. *Science of The Total Environment*, 651, 656-667.
 64. Misopolinos, N., 1990. Salinization and soil conservation — physicochemical and practical aspects. *Eur. Soc. Soil Conserv. (ESSC) NEWSLETTER* 1, 8–9.
 65. Misopolinos, N., 1990. Salinization and soil conservation — physicochemical and practical aspects. *Eur. Soc. Soil Conserv. (ESSC) NEWSLETTER* 1, 8–9.
 66. Modaihsh, A., Al-Swailem, M., & Mahjoub, M. (2004). Heavy metals content of commercial inorganic fertilizers used in the Kingdom of Saudi Arabia. *Agricultural and Marine Sciences*, 9, 21–25.
 67. Molina, M., Aburto, F., Calderón, R., Cazanga, M., & Escudey, M. (2009). Trace element composition of selected fertilizers used in Chile: phosphorus fertilizers as a source of long-term soil contamination. *Soil and Sediment Contamination*

68. Moraki, A. (2010). Assessment of groundwater contamination by hexavalent chromium and its remediation at Avlida area, Central Greece. *Hellenic Journal of Geosciences*, 45, 175-184..
69. Mortvedt, J. J. (1996). Heavy metal contaminants in inorganic and organic fertilizers. In *Fertilizers and environment* (pp. 5-11). Springer, Dordrecht.
70. Nelson D.W., and L.E. Sommers, 1982. Total carbon, organic carbon and organic matter. In A.L. Page et al. (ed.) *Methods of soil Analysis, Part 2, Chemical and Microbiological Properties*, 2nd ed, Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI., pp. 561-580
71. Nicholson FA, Smith SR, Alloway BJ, Carlton-Smith C, Chambers BJ. (2003) An inventory of heavy metal trace metal inputs to agricultural soils in England and Wales. *Sci Total Environ*;311:205–19.
72. Nikolaidis, C., Zafiriadis, I., Mathioudakis, V., & Constantinidis, T. (2010). Heavy metal pollution associated with an abandoned lead–zinc mine in the Kirki Region, NE Greece. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, 85(3), 307-312.
73. Nziguheba, G., & Smolders, E. (2008). Inputs of trace elements in agricultural soils via phosphate fertilizers in European countries. *Science of the Total Environment*., 390, 53–57.
74. Ongley E.D. (1996), *Control of water pollution from agriculture*, FAO Irrigation and Drainage Paper 55
75. Papadopoulos, K., & Lappas, I. (2014). Groundwater quality degradation due to Cr⁶⁺ presence in Schinos area, prefecture of Corinth, Central Greece. 10th International Hydrogeological Congress of Greece, Thessaloniki.
76. Papazotos, P., Vasileiou, E., & Perraki, M. (2019). The synergistic role of agricultural activities in groundwater quality in ultramafic environments: the case of the Psachna basin, central Euboea, Greece. *Environmental monitoring and assessment*, 191(5), 317.
77. Paul D. Capel, Kathleen A. McCarthy, Richard H. Coupe, Katia M. Grey, Sheila E. Amenumey, Nancy T. Baker, and Richard L. Johnson (2018). *Agriculture—A River Runs through It—The Connections Between Agriculture and Water Quality*. National Water-Quality Program - National Water-Quality Assessment Project
78. Remoundaki, E., Vasileiou, E., Philippou, A., Perraki, M., Kousi, P., Hatzikioseyan, A., & Stamatis, G. (2016). Groundwater Deterioration: The Simultaneous Effects of Intense

- Agricultural Activity and Heavy Metals in Soil. In *Procedia Engineering*. doi:10.1016/j.proeng.2016.11.099
79. Richards, L.A., 1969. *Diagnosis and Improvement of Saline and Alkaline Soils*. USDA Agricultural Handbook No. 60, US Department of Agriculture, Washington, DC.
 80. Richards, L.A., 1969. *Diagnosis and Improvement of Saline and Alkaline Soils*. USDA Agricultural Handbook No. 60, US Department of Agriculture, Washington, DC.
 81. RIVM. 1992. *The Environment in Europe: A Global Perspective*. National Institute of Public Health and Environmental Protection (RIVM), Netherlands.
 82. Robertson F.N. (1976). Groundwater, Hexavalent chromium in the groundwater in Paradise Valley, Arizona, 13, 6, 516-527.
 83. Robertson, A. H. F., Clift, P. D., Degnan, P. J., & Jones, G. (1991). Palaeogeographic and palaeotectonic evolution of the Eastern Mediterranean Neotethys. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 87(1-4), 289-343.
 84. Rowell, D. M., Prescott, C. E., & Preston, C. M. (2001). Decomposition and nitrogen mineralization from biosolids and other organic materials: relationship with initial chemistry. *Journal of Environmental Quality*, 30(4), 1401-1410.
 85. Sager M. (1997) Possible trace metal load from fertilizers. *Die Bodenkultur*;48:217–33.
 86. Serpil Savci An Agricultural Pollutant: Chemical Fertilizer *International Journal of Environmental Science and Development*, Vol. 3, No. 1, February 2012
 87. Sharpley, A.N., Withers, P.J.A., Abdalla, C., and Dodd, A., 2005, Strategies for the sustainable management of phosphorus, in Sims, J.T., and Sharpley, A.N., eds., *Phosphorus—Agriculture and the Environment*: Madison, Wis., American Society of Agronomy Monograph 46, p. 1,069–1,101.
 88. *Soil Survey Laboratory Methods Manual 2004*. Rebecca Burt, Editor. Soil Survey Investigations report No. 42 Version 4.0.
 89. Son, C. T., Giang, N. T. H., Thao, T. P., Nui, N. H., Lam, N. T., & Cong, V. H. (2020). Assessment of Cau River water quality assessment using a combination of water quality and pollution indices. *Journal of Water Supply: Research and Technology—AQUA*, 69(2), 160-172. Egbueri, J. C., & Enyigwe, M. T. (2020). Pollution and ecological risk assessment of potentially toxic elements in natural waters from the Ameka Metallogenic District in southeastern Nigeria. *Analytical Letters*, 53(17), 2812-2839.

90. Szabolcs, I., 1996. An overview of soil salinity and alkalinity in Europe. In: Misopolinos, N., Szabolcs, I. (Eds.), *Soil Salinization and Alkalization in Europe*. European Society for Soil Conservation. Giahudis Giapulis. Thessaloniki, Greece, pp. 1–12 (special publication).
91. Szabolcs, I., 1996. An overview of soil salinity and alkalinity in Europe. In: Misopolinos, N., Szabolcs, I. (Eds.), *Soil Salinization and Alkalization in Europe*. European Society for Soil Conservation. Giahudis Giapulis. Thessaloniki, Greece, pp. 1–12 (special publication).
92. Thomas, G. W. 1996. Soil pH and soil acidity. In D.L. Sparks (ed.) *Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical methods. No. 5*. ASA and SSSA, Madison, WI, p. 475-490.
93. Tiessen H., and J.O. Moir, 1993. Total and organic carbon. In Martin R. Carter, (ed.), *Soil Sampling and Methods of Analysis, A special publication of the Canadian Society of Soil Science*. Boca Raton, FL: Lewis Publishers
94. Turdi, M., & Yang, L. (2016). Trace elements contamination and human health risk assessment in drinking water from the agricultural and pastoral areas of Bay County, Xinjiang, China. *International journal of environmental research and public health*, 13(10), 938.
95. Tziritis, E., Kelepertzis, E., Korres, G., Perivolaris, D., & Repani, S. (2012). Hexavalent chromium contamination in groundwaters of Thiva Basin, Central Greece. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. doi:10.1007/s00128-012-0831-4
96. Valetou, I., Biermann, M., Reche, R., & Rosenberg, F. (1987). Genesis of nickel laterites and bauxites in Greece during the Jurassic and Cretaceous, and their relation to ultrabasic parent rocks. *Ore Geology Reviews*, 2(4), 359-404.
97. Van Kauwenbergh SJ. Cadmium content of phosphate rocks and fertilizers, International Fertilizer Industry Association (IFA) Technical Conference, Chennai, India, September 2002; 2002.
98. Vasileiou, E., Papazotos, P., Dimitrakopoulos, D., & Perraki, M. (2019). Expounding the origin of chromium in groundwater of the Sarigkiol basin, Western Macedonia, Greece: a cohesive statistical approach and hydrochemical study. *Environmental monitoring and assessment*, 191(8), 509.
99. Voudouris K., Kazakis., Polemio M. and Kareklas K. (2010). Assessment of Intrinsic Vulnerability using the DRASTIC model and GIS in the Kriti Aquifer, Cyprus. *European Water* 30: 13-24, E.W. Publications.

100. Walkey A., and I.A. Black, 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37
101. Wood W., Clark D., Imes L., Councell J., Terry B. (2001) Eolian transport of geogenic Hexavalent Chromium to Ground Water *Ground Water* 28, no. 1: 19-29.
102. Zalidis, G., Gerakis, A., Misopolinos, N., Prodromou, K., Apostolakis, A., 1999. The impact of soil and water resources management on salt accumulation in Greece. In: Leone, A.P., Steduto, P. (Eds.), *Salinity as a Limiting Factor for Agricultural Productivity in the Mediterranean Basin. Proceedings of the First Trans-National Meeting, Naples, 24–25 March 1997*, pp. 87–95.
103. Zalidis, G., Stamatiadis, S., Takavakoglou, V., Eskridge, K., & Misopolinos, N. (2002). Impacts of agricultural practices on soil and water quality in the Mediterranean region and proposed assessment methodology. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 88(2), 137-146.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Kendall Correlations

	T (oC)	DO (g/lit)	EC (μS/cm)	pH	eH	NO3 (mg/l)	SO4 (mg/l)	HCO3 (mg/l)	Al (μg/L)	As (μg/L)	B (μg/L)	Ba (μg/L)	Br (μg/L)	Ca (mg/l)	Cl (mg/l)	Co (μg/L)	Cr (μg/L)	Cu (μg/L)	K (mg/l)	Li (μg/L)	Mg (mg/l)	Mn (μg/L)	Na (mg/l)	Ni (μg/L)	P (μg/L)	Rb (μg/L)	S (mg/l)	Se (μg/L)	Si (μg/L)	Sr (μg/L)	U (μg/L)	V (μg/L)	Zn (μg/L)			
T (oC)	1,000																																			
DO (g/lit)	-,156	1,000																																		
EC (μS/cm)	,156	-,121	1,000																																	
pH	-,258	-,133	-,265	1,000																																
eH	-,146	-,221	,133	,122	1,000																															
NO3 (mg/l)	,179	-,231	,670	-,066	,243	1,000																														
SO4 (mg/l)	,271	-,033	,589	-,179	,156	,633	1,000																													
HCO3 (mg/l)	,124	,177	,265	-,500	-,011	,066	,134	1,000																												
Al (μg/L)	-,091	,079	,169	,158	-,294	,079	,136	-,271	1,000																											
As (μg/L)	,292	,227	,442	-,324	,048	,203	,254	,120	-,086	1,000																										
B (μg/L)	,067	-,011	,187	-,221	,155	,253	,233	,354	-,034	-,060	1,000																									
Ba (μg/L)	,201	,165	,626	-,420	-,155	,473	,389	,265	,101	,514	,077	1,000																								
Br (μg/L)	,380	,033	,582	-,199	,044	,473	,411	-,022	-,011	,729	-,099	,560	1,000																							
Ca (mg/l)	,067	-,077	,824	-,309	,088	,582	,500	,354	,124	,442	,099	,670	,495	1,000																						
Cl (mg/l)	,236	,110	,486	-,100	,100	,331	,358	-,056	,023	,781	-,044	,376	,818	,376	1,000																					
Co (μg/L)	,034	,045	,588	-,148	-,034	,588	,480	,239	,208	,123	,430	,520	,249	,543	,148	1,000																				
Cr (μg/L)	,380	,055	,604	-,354	-,110	,363	,300	,177	,056	,657	-,165	,626	,714	,604	,575	,271	1,000																			
Cu (μg/L)	,034	-,034	,506	-,203	-,181	,461	,352	,113	,471	,012	,214	,416	,146	,416	,045	,659	,214	1,000																		
K (mg/l)	-,045	,187	-,099	,155	,044	,055	-,033	-,331	,214	,179	,143	,011	,099	-,187	,221	,090	-,011	,034	1,000																	
Li (μg/L)	,271	,122	,456	-,246	-,045	,433	,303	,045	-,057	,713	,033	,633	,789	,411	,715	,320	,589	,193	,300	1,000																
Mg (mg/l)	,469	-,121	,648	-,265	,155	,582	,567	,221	-,056	,514	,275	,451	,626	,516	,575	,407	,516	,303	,077	,522	1,000															
Mn (μg/L)	,056	-,376	-,243	,256	-,100	0,000	-,067	-,100	,023	-,625	,022	-,309	-,354	-,199	-,522	-,193	-,420	-,045	-,354	-,402	-,243	1,000														
Na (mg/l)	,335	-,033	,473	-,243	,287	,582	,544	,265	-,101	,370	,495	,319	,407	,297	,442	,452	,297	,281	,253	,367	,780	-,331	1,000													
Ni (μg/L)	,045	,167	,411	-,380	-,313	,167	,213	,425	,239	-,012	,344	,433	-,011	,389	-,112	,594	,144	,580	-,144	,056	,100	-,067	,100	1,000												
P (μg/L)	-,339	,056	-,033	,313	-,201	-,144	-,146	-,156	,375	-,157	-,456	-,100	-,211	,011	-,134	-,046	-,078	,170	-,122	-,258	-,344	,022	-,344	,034	1,000											
Rb (μg/L)	-,079	,265	,221	-,122	-,033	,243	,112	-,189	,226	,456	-,066	,376	,376	,133	,411	,125	,265	,271	,464	,514	,044	-,456	,133	,067	,067	1,000										
S (mg/l)	,313	-,231	,802	-,155	,199	,692	,633	,155	,101	,370	,253	,429	,604	,670	,552	,520	,451	,393	,011	,433	,758	-,133	,626	,233	-,144	,110	1,000									
Se (μg/L)	,434	-,034	,596	-,271	,090	,528	,557	,045	-,057	,611	,011	,506	,865	,483	,723	,277	,708	-,172	,011	,682	,708	-,249	,528	-,011	-,261	,249	,618	1,000								
Si (μg/L)	,112	,209	,275	-,685	0,000	,077	,100	,575	-,258	,394	,341	,429	,253	,407	,177	,226	,407	,056	-,077	,344	,275	-,309	,231	,367	-,500	,110	,165	,258	1,000							
Sr (μg/L)	,246	,121	,670	-,376	-,022	,429	,322	,155	,034	,705	-,099	,736	,780	,670	,641	,294	,846	,236	-,033	,678	,538	-,442	,319	,167	-,100	,376	,516	,753	,429	1,000						
U (μg/L)	,134	-,099	,758	-,376	,022	,516	,478	,331	,146	,227	,121	,604	,341	,714	,243	,543	,451	,596	-,209	,256	,407	-,177	,363	,500	,122	,110	,604	,371	,253	,516	1,000					
V (μg/L)	,273	,291	,358	-,551	-,101	,201	,203	,326	-,183	,765	,045	,648	,559	,425	,517	,195	,626	,091	,089	,701	,402	-,528	,268	,181	-,362	,416	,201	,503	,670	,693	1,000					
Zn (μg/L)	-,313	,143	-,187	-,133	-,221	-,165	-,167	,022	,079	-,275	-,121	,055	-,165	-,099	-,354	-,088	-,143	,079	-,231	-,100	-,451	,221	-,407	,144	,300	,022	-,341	-,258	,055	-,077	,011	-,045	1,000			

Sample Summary Report

Sample ID	PW1			
Sample Date				
Station	PW1			
Location				
Geology				
Watertype	Mg-Ca-HCO3			
Temperature (°C)	20,00			
pH	7,40			
Conductivity	960,00 uS/cm			
Sum of Anions	8,60	meq/L		
Sum of Cations	10,44	meq/L		
Balance	9,64	%		
Total dissolved solids	695,08	mg/L		
Total hardness	444,44	mg/l CaCO3		
Alkalinity	246,87	mg/l CaCO3		
SAR	0,71277			
Major ion composition	mg/l	mmol/l	meq/l	
Na	34,53	1,50	1,50	
K	1,56	0,040	0,040	
Ca	75,25	1,88	3,76	
Mg	62,29	2,56	5,13	
Cl	30,00	0,85	0,85	
SO4	72,00	0,75	1,50	
NO3	81,60	1,32	1,32	
HCO3	301,00	4,93	4,93	
Ratios			Comparison to Seawater	
	mg/l	mmol/l	mg/l	mmol/l
Ca/Mg	1,21	0,73	0.319	0.194
Ca/SO4	1,05	2,50	0.152	0.364
Na/Cl	1,15	1,77	0.556	0.858
Cl/Br	192	433	287	648
Mg/Si	4,5587			

Sample Summary Report

Sample ID	PW10			
Sample Date				
Station	PW10			
Location				
Geology				
Watertype	Mg-Na-HCO3-NO3			
Temperature (°C)	21,90			
pH	8,86			
Conductivity	896,00 uS/cm			
Sum of Anions	9,96	meq/L		
Sum of Cations	11,21	meq/L		
Balance	5,91	%		
Total dissolved solids	734,86	mg/L		
Total hardness	443,18	mg/l CaCO3		
Alkalinity	195,20	mg/l CaCO3		
SAR	1,0803			
Major ion composition	mg/l	mmol/l	meq/l	
Na	52,26	2,27	2,27	
K	3,10	0,079	0,079	
Ca	19,39	0,48	0,97	
Mg	95,86	3,94	7,89	
Cl	52,00	1,47	1,47	
SO4	84,00	0,88	1,75	
NO3	175,60	2,83	2,83	
HCO3	238,00	3,90	3,90	
Ratios			Comparison to Seawater	
	mg/l	mmol/l	mg/l	mmol/l
Ca/Mg	0,20	0,12	0.319	0.194
Ca/SO4	0,23	0,55	0.152	0.364
Na/Cl	1,01	1,55	0.556	0.858
Cl/Br	161	363	287	648
Mg/Si	23,559			

Sample Summary Report

Sample ID PW11
 Sample Date
 Station PW11
 Location
 Geology
 Watertype Mg-Ca-HCO3-Cl
 Temperature (°C) 19,80
 pH 8,14
 Conductivity 603,00 uS/cm

Sum of Anions 7,90 meq/L
 Sum of Cations 10,01 meq/L
 Balance 11,76 %

Total dissolved solids 617,16 mg/L
 Total hardness 427,45 mg/l CaCO3
 Alkalinity 192,74 mg/l CaCO3
 SAR 0,65944

Major ion composition	mg/l	mmol/l	meq/l
Na	31,33	1,36	1,36
K	3,38	0,086	0,086
Ca	68,48	1,71	3,42
Mg	62,27	2,56	5,12
Cl	89,00	2,51	2,51
SO4	21,00	0,22	0,44
NO3	67,80	1,09	1,09
HCO3	235,00	3,85	3,85

Ratios	Comparison to Seawater			
	mg/l	mmol/l	mg/l	mmol/l
Ca/Mg	1,10	0,67	0.319	0.194
Ca/SO4	3,26	7,81	0.152	0.364
Na/Cl	0,35	0,54	0.556	0.858
Cl/Br	216	487	287	648
Mg/Si	4,3397			

Sample Summary Report

Sample ID	PW12			
Sample Date				
Station	PW12			
Location				
Geology				
Watertype	Mg-Ca-HCO3			
Temperature (°C)	19,80			
pH	8,00			
Conductivity	1085,00 uS/cm			
Sum of Anions	11,12	meq/L		
Sum of Cations	13,43	meq/L		
Balance	9,39	%		
Total dissolved solids	858,59	mg/L		
Total hardness	573,92	mg/l CaCO3		
Alkalinity	240,31	mg/l CaCO3		
SAR	0,79163			
Major ion composition	mg/l	mmol/l	meq/l	
Na	43,58	1,90	1,90	
K	2,06	0,053	0,053	
Ca	91,94	2,29	4,59	
Mg	83,61	3,44	6,88	
Cl	82,00	2,31	2,31	
SO4	86,00	0,90	1,79	
NO3	137,00	2,21	2,21	
HCO3	293,00	4,80	4,80	
Ratios			Comparison to Seawater	
	mg/l	mmol/l	mg/l	mmol/l
Ca/Mg	1,10	0,67	0.319	0.194
Ca/SO4	1,07	2,56	0.152	0.364
Na/Cl	0,53	0,82	0.556	0.858
Cl/Br	209	471	287	648
Mg/Si	5,6769			

Sample Summary Report

Sample ID	PW13			
Sample Date				
Station	PW13			
Location				
Geology				
Watertype	Mg-Ca-HCO3			
Temperature (°C)	19,50			
pH	7,53			
Conductivity	1034,00 uS/cm			
Sum of Anions	9,99	meq/L		
Sum of Cations	12,95	meq/L		
Balance	12,91	%		
Total dissolved solids	820,32	mg/L		
Total hardness	536,35	mg/l CaCO3		
Alkalinity	291,16	mg/l CaCO3		
SAR	0,92937			
Major ion composition	mg/l	mmol/l	meq/l	
Na	49,46	2,15	2,15	
K	2,89	0,074	0,074	
Ca	86,28	2,15	4,31	
Mg	77,92	3,21	6,41	
Cl	47,00	1,33	1,33	
SO4	50,00	0,52	1,04	
NO3	111,50	1,80	1,80	
HCO3	355,00	5,82	5,82	
Ratios			Comparison to Seawater	
	mg/l	mmol/l	mg/l	mmol/l
Ca/Mg	1,11	0,67	0.319	0.194
Ca/SO4	1,73	4,13	0.152	0.364
Na/Cl	1,05	1,62	0.556	0.858
Cl/Br	175	394	287	648
Mg/Si	4,9232			

Sample Summary Report

Sample ID PW14
 Sample Date
 Station PW14
 Location
 Geology
 Watertype Mg-Ca-HCO3
 Temperature (°C) 18,60
 pH 7,58
 Conductivity 785,00 uS/cm

Sum of Anions 7,85 meq/L
 Sum of Cations 10,08 meq/L
 Balance 12,43 %

Total dissolved solids 659,48 mg/L
 Total hardness 436,94 mg/l CaCO3
 Alkalinity 285,42 mg/l CaCO3
 SAR 0,63080

Major ion composition	mg/l	mmol/l	meq/l
Na	30,30	1,32	1,32
K	0,97	0,025	0,025
Ca	75,28	1,88	3,76
Mg	60,45	2,49	4,97
Cl	30,00	0,85	0,85
SO4	32,00	0,33	0,67
NO3	39,10	0,63	0,63
HCO3	348,00	5,70	5,70

Ratios	Comparison to Seawater			
	mg/l	mmol/l	mg/l	mmol/l
Ca/Mg	1,25	0,76	0.319	0.194
Ca/SO4	2,35	5,64	0.152	0.364
Na/Cl	1,01	1,56	0.556	0.858
Cl/Br	252	568	287	648
Mg/Si	3,5156			

Sample Summary Report

Sample ID	PW2			
Sample Date				
Station	PW2			
Location				
Geology				
Watertype	Mg-Ca-HCO3			
Temperature (°C)	18,70			
pH	8,80			
Conductivity	895,00 uS/cm			
Sum of Anions	7,60	meq/L		
Sum of Cations	9,33	meq/L		
Balance	10,23	%		
Total dissolved solids	617,34	mg/L		
Total hardness	408,94	mg/l CaCO3		
Alkalinity	205,04	mg/l CaCO3		
SAR	0,54832			
Major ion composition	mg/l	mmol/l	meq/l	
Na	25,48	1,11	1,11	
K	1,38	0,035	0,035	
Ca	81,53	2,03	4,07	
Mg	49,86	2,05	4,10	
Cl	26,00	0,73	0,73	
SO4	61,00	0,64	1,27	
NO3	92,30	1,49	1,49	
HCO3	250,00	4,10	4,10	
Ratios			Comparison to Seawater	
	mg/l	mmol/l	mg/l	mmol/l
Ca/Mg	1,64	0,99	0.319	0.194
Ca/SO4	1,34	3,20	0.152	0.364
Na/Cl	0,98	1,51	0.556	0.858
Cl/Br	173	391	287	648
Mg/Si	4,6813			

Sample Summary Report

Sample ID	PW3			
Sample Date				
Station	PW3			
Location				
Geology				
Watertype	Mg-Ca-HCO3-NO3			
Temperature (°C)	18,50			
pH	8,48			
Conductivity	1185,00 uS/cm			
Sum of Anions	11,03	meq/L		
Sum of Cations	12,46	meq/L		
Balance	6,10	%		
Total dissolved solids	864,62	mg/L		
Total hardness	528,41	mg/l CaCO3		
Alkalinity	207,51	mg/l CaCO3		
SAR	0,80079			
Major ion composition	mg/l	mmol/l	meq/l	
Na	42,30	1,84	1,84	
K	1,69	0,043	0,043	
Ca	98,40	2,46	4,91	
Mg	68,64	2,82	5,65	
Cl	44,00	1,24	1,24	
SO4	86,00	0,90	1,79	
NO3	238,00	3,84	3,84	
HCO3	253,00	4,15	4,15	
Ratios	Comparison to Seawater			
	mg/l	mmol/l	mg/l	mmol/l
Ca/Mg	1,43	0,87	0.319	0.194
Ca/SO4	1,14	2,74	0.152	0.364
Na/Cl	0,96	1,48	0.556	0.858
Cl/Br	139	313	287	648
Mg/Si	5,9937			

Sample Summary Report

Sample ID	PW4			
Sample Date				
Station	PW4			
Location				
Geology				
Watertype	Mg-Ca-HCO3-NO3			
Temperature (°C)	18,60			
pH	8,55			
Conductivity	1329,00 uS/cm			
Sum of Anions	10,35	meq/L		
Sum of Cations	13,66	meq/L		
Balance	13,78	%		
Total dissolved solids	840,53	mg/L		
Total hardness	590,81	mg/l CaCO3		
Alkalinity	199,30	mg/l CaCO3		
SAR	0,73064			
Major ion composition	mg/l	mmol/l	meq/l	
Na	40,81	1,78	1,78	
K	2,36	0,060	0,060	
Ca	115,39	2,88	5,76	
Mg	73,49	3,02	6,05	
Cl	57,00	1,61	1,61	
SO4	63,00	0,66	1,31	
NO3	213,20	3,44	3,44	
HCO3	243,00	3,98	3,98	
Ratios			Comparison to Seawater	
	mg/l	mmol/l	mg/l	mmol/l
Ca/Mg	1,57	0,95	0.319	0.194
Ca/SO4	1,83	4,39	0.152	0.364
Na/Cl	0,72	1,10	0.556	0.858
Cl/Br	165	371	287	648
Mg/Si	5,9185			

Sample Summary Report

Sample ID	PW5			
Sample Date				
Station	PW5			
Location				
Geology				
Watertype	Mg-Ca-HCO3			
Temperature (°C)	20,10			
pH	7,36			
Conductivity	1877,00 uS/cm			
Sum of Anions	18,21	meq/L		
Sum of Cations	23,97	meq/L		
Balance	13,66	%		
Total dissolved solids	1464,58	mg/L		
Total hardness	1040,85	mg/l CaCO3		
Alkalinity	490,47	mg/l CaCO3		
SAR	0,96956			
Major ion composition	mg/l	mmol/l	meq/l	
Na	71,88	3,13	3,13	
K	0,84	0,021	0,021	
Ca	150,24	3,75	7,50	
Mg	161,64	6,65	13,30	
Cl	72,00	2,03	2,03	
SO4	120,00	1,25	2,50	
NO3	239,40	3,86	3,86	
HCO3	598,00	9,80	9,80	
Ratios			Comparison to Seawater	
	mg/l	mmol/l	mg/l	mmol/l
Ca/Mg	0,93	0,56	0.319	0.194
Ca/SO4	1,25	3,00	0.152	0.364
Na/Cl	1,00	1,54	0.556	0.858
Cl/Br	123	278	287	648
Mg/Si	7,9407			

Sample Summary Report

Sample ID	PW6			
Sample Date				
Station	PW6			
Location				
Geology				
Watertype	Mg-Ca-HCO3-NO3			
Temperature (°C)	21,20			
pH	7,53			
Conductivity	1244,00 uS/cm			
Sum of Anions	10,67	meq/L		
Sum of Cations	15,11	meq/L		
Balance	17,25	%		
Total dissolved solids	880,66	mg/L		
Total hardness	674,56	mg/l CaCO3		
Alkalinity	246,87	mg/l CaCO3		
SAR	0,60939			
Major ion composition	mg/l	mmol/l	meq/l	
Na	36,37	1,58	1,58	
K	1,32	0,034	0,034	
Ca	115,68	2,89	5,77	
Mg	93,65	3,85	7,71	
Cl	56,00	1,58	1,58	
SO4	74,00	0,77	1,54	
NO3	161,40	2,60	2,60	
HCO3	301,00	4,93	4,93	
Ratios			Comparison to Seawater	
	mg/l	mmol/l	mg/l	mmol/l
Ca/Mg	1,24	0,75	0.319	0.194
Ca/SO4	1,56	3,74	0.152	0.364
Na/Cl	0,65	1,00	0.556	0.858
Cl/Br	139	313	287	648
Mg/Si	5,7398			

Sample Summary Report

Sample ID	PW7			
Sample Date				
Station	PW7			
Location				
Geology				
Watertype	Mg-Ca-HCO3-NO3			
Temperature (°C)	19,40			
pH	7,57			
Conductivity	1005,00 uS/cm			
Sum of Anions	11,14	meq/L		
Sum of Cations	12,43	meq/L		
Balance	5,45	%		
Total dissolved solids	897,63	mg/L		
Total hardness	507,97	mg/l CaCO3		
Alkalinity	310,03	mg/l CaCO3		
SAR	0,89822			
Major ion composition	mg/l	mmol/l	meq/l	
Na	46,52	2,02	2,02	
K	9,37	0,240	0,240	
Ca	86,54	2,16	4,32	
Mg	70,87	2,92	5,83	
Cl	38,00	1,07	1,07	
SO4	66,00	0,69	1,38	
NO3	154,30	2,49	2,49	
HCO3	378,00	6,19	6,19	
Ratios			Comparison to Seawater	
	mg/l	mmol/l	mg/l	mmol/l
Ca/Mg	1,22	0,74	0.319	0.194
Ca/SO4	1,31	3,14	0.152	0.364
Na/Cl	1,22	1,89	0.556	0.858
Cl/Br	218	492	287	648
Mg/Si	3,7759			

Sample Summary Report

Sample ID	PW8			
Sample Date				
Station	PW8			
Location				
Geology				
Watertype	Mg-Ca-Na-Cl-NO3			
Temperature (°C)	20,00			
pH	7,48			
Conductivity	2763,00 uS/cm			
Sum of Anions	25,70	meq/L		
Sum of Cations	31,87	meq/L		
Balance	10,70	%		
Total dissolved solids	1820,48	mg/L		
Total hardness	1247,43	mg/l CaCO3		
Alkalinity	212,43	mg/l CaCO3		
SAR	1,9235			
Major ion composition	mg/l	mmol/l	meq/l	
Na	156,11	6,79	6,79	
K	4,58	0,117	0,117	
Ca	143,50	3,58	7,16	
Mg	215,89	8,88	17,77	
Cl	396,00	11,17	11,17	
SO4	130,00	1,35	2,71	
NO3	468,20	7,55	7,55	
HCO3	259,00	4,24	4,24	
Ratios			Comparison to Seawater	
	mg/l	mmol/l	mg/l	mmol/l
Ca/Mg	0,66	0,40	0.319	0.194
Ca/SO4	1,10	2,64	0.152	0.364
Na/Cl	0,39	0,61	0.556	0.858
Cl/Br	222	500	287	648
Mg/Si	12,172			

Sample Summary Report

Sample ID	PW9			
Sample Date				
Station	PW9			
Location				
Geology				
Watertype	Mg-Ca-HCO3			
Temperature (°C)	20,30			
pH	7,69			
Conductivity	1345,00	uS/cm		
Sum of Anions	12,18	meq/L		
Sum of Cations	16,40	meq/L		
Balance	14,76	%		
Total dissolved solids	988,15	mg/L		
Total hardness	705,94	mg/l CaCO3		
Alkalinity	310,03	mg/l CaCO3		
SAR	0,84284			
Major ion composition	mg/l	mmol/l	meq/l	
Na	51,46	2,24	2,24	
K	1,40	0,036	0,036	
Ca	116,87	2,92	5,83	
Mg	100,55	4,14	8,27	
Cl	61,00	1,72	1,72	
SO4	84,00	0,88	1,75	
NO3	155,20	2,50	2,50	
HCO3	378,00	6,19	6,19	
Ratios	Comparison to Seawater			
	mg/l	mmol/l	mg/l	mmol/l
Ca/Mg	1,16	0,70	0.319	0.194
Ca/SO4	1,39	3,33	0.152	0.364
Na/Cl	0,84	1,30	0.556	0.858
Cl/Br	155	349	287	648
Mg/Si	6,7547			