

**ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ**

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ ΓΕΝΙΚΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ  
ΘΕΤΙΚΕΣ ΕΠΙΣΤΗΜΕΣ ΣΤΗ ΓΕΩΠΟΝΙΑ**

**ΚΛΑΔΟΣ**

**ΓΕΩΛΟΓΙΚΟ & ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΣΤΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ  
ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ**

**ΤΟΜΕΑΣ**

**ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΚΑΙ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΥ  
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

**Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία με τίτλο:  
«ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΒΑΡΥΝΣΕΙΣ ΣΕ ΕΛΔΑΦΟΣ ΚΑΙ ΝΕΡΟ  
ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΓΑΡΩΝ»**

**ΘΕΟΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ  
ΓΕΩΠΟΝΟΣ**

**ΑΘΗΝΑ, ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2010**

Πενταμελής Εξεταστική Επιτροπή :

Καθηγητής Γ.Μιγκίρος

Καθηγητής Ε. Γκάρτζος

Αναπληρωτής Καθηγητής Γ.Σταμάτης

Επικ. Καθηγητής Ι. Τσίρος

Επικ. Καθηγητής Κ.Σερέλης

ΑΘΗΝΑ, ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2010

## Πρόλογος

Η παρούσα εργασία με θέμα «Περιβαλλοντικές επιβαρύνσεις σε έδαφος και νερό περιοχής Μεγάρων», αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι για την επιτυχή ολοκλήρωση του Μεταπτυχιακού κύκλου Σπουδών «Θετικές Επιστήμες στην Γεωπονία» με ειδίκευση στον κλάδο «Γεωλογικό και Ατμοσφαιρικό Περιβάλλον στο Σχεδιασμό Έργων Υποδομής» του Γενικού Τμήματος του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών.

Από τη θέση αυτή θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Καθηγητή κ. Γ.Μιγκίρο για την ανάθεση του θέματος, την πολύτιμη βοήθεια του στην ύπαιθρο την επιστημονική και ηθική υποστήριξη που μου προσέφερε στην όλη μου προσπάθεια. Η συνεργασία που είχαμε ήταν άψογη σε όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας, η εμπειρία του και η γνώσεις του αποτέλεσαν οδηγό για τη μελέτη μου.

Ευχαριστώ τον Αναπληρωτή Καθηγητή Υδρογεωλογίας κ. Γ.Σταμάτη για τις πολύτιμες συμβουλές του κατά τη διάρκεια της διαμόρφωσης της εργασίας. Παρά το ασφυκτικό πιεστικό πρόγραμμα του πάντα έβρισκε χρόνο να διαθέσει και λύση να μου προτείνει.

Ευχαριστώ τον Επίκουρο Καθηγητή κ. Κ.Σερέλη για την πρόθυμη και άμεση ανταπόκριση σε ένα δύσκολο μέρος της εργασίας όπου οι υποδείξεις και συμβουλές του υπήρξαν καθοριστικές για την διεκπεραίωση της .

Ευχαριστώ θερμά τα μέλη της εξεταστικής επιτροπής, τον Καθηγητή κ. Ε. Γκάρτζο και τον Επικ. Καθηγητή Ι. Τσίρο για την κριτική ανάγνωση του κειμένου της μεταπτυχιακής μου εργασίας.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω την συνάδελφο Γεωλόγο MSc. κ.Δ.Γαμβρουλά και τον MSc.κ.Μ.Ψωμιάδη για την βοήθεια και την τεχνική υποστήριξη που μου προσέφεραν σε προγράμματα που χρησιμοποιήθηκαν για την εκπόνηση της εργασίας.

Τέλος ευχαριστώ τους γονείς μου για την ηθική στήριξη και συμπαράσταση που μου παρείχαν όλο αυτό το διάστημα στην εκπόνησης της εργασίας αυτής.

## Περιβαλλοντικές επιβαρύνσεις σε έδαφος και νερό περιοχής Μεγάρων

### Περίληψη

Δείγματα επιφανειακού νερού συλλέχθηκαν από την λεκάνη των Μεγάρων προκειμένου να διερευνηθεί η σχέση ανάμεσα στην ποιότητα του νερού και στην γεωλογία, λιθολογία και τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες.

Δέκα δείγματα εδαφών συλλέχθηκαν προκειμένου να διερευνηθεί η σχέση ανάμεσα στην ποιότητα των εδαφών με τις υφιστάμενες γεωλογικές και ανθρωπογενείς συνθήκες.

Η γεωλογία της περιοχής περιλαμβάνει ασβεστόλιθους Τριαδικής και Κρητιδικής ηλικίας με εμφανίσεις βωξιτικών λατυπών, δολομίτες, σχιστόλιθους, αργιλικούς σχιστόλιθους, ψαμμίτες, ηφαιστειοϊζηματογενείς σχηματισμούς (Πέρμιο). Αυτοί καλύπτονται από Νεογενή και Τεταρτογενή ιζήματα. Τα Νεογενή ιζήματα της περιοχής έρευνας αποτελούνται από μαργαϊκούς ασβεστόλιθους, κροκαλοπαγή και μάργες. Τεταρτογενή ιζήματα αποτελούνται από χαλαρά καστανόχρωμα με αργιλοαμμώδη υλικά με διάσπαρτες κροκαλολάτυπες.

Οι εργασίες που έγιναν στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας περιλαμβάνουν εκτέλεση και ερμηνεία χημικών αναλύσεων νερού, χημικών και μηχανικών αναλύσεων εδαφών, χημικών αναλύσεων βιοδιαθέσιμων μορφών των βαρέων μετάλλων στα εδάφη, χωρική κατανομή της ολικής συγκέντρωσης των βαρέων μετάλλων των εδαφών και συσχέτισμό με την βιοδιαθέσιμη μορφή τους, ανάλυση συσχέτισης, δημιουργία διαγραμμάτων ταξινόμησης νερών κατά Piper και Durov, έγινε έλεγχος καταλληλότητας νερού για άρδευση με διαγράμματα Richards, Wilcox και Pattern και τέλος δημιουργία ψηφιακής βάσης γεωγραφικών δεδομένων

Στα νερά οι τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας κυμαίνονται από 385 έως 38.300  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Η συγκέντρωση των στοιχείων και ιχνοστοιχείων είναι: Ca 35,10-223,0  $\text{mg L}^{-1}$ , Mg 14,60-620,00  $\text{mg L}^{-1}$ , Na 23,10-7.241,00  $\text{mg L}^{-1}$ , K 6,64-172,00  $\text{mg L}^{-1}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  170,8-329,20  $\text{mg L}^{-1}$ , Cl 31,9-12.092,00  $\text{mg L}^{-1}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  26,4-1.650,00  $\text{mg L}^{-1}$ ,  $\text{NO}_3^-$  6,40-115,00  $\text{mg L}^{-1}$ , Fe 0,011-0,040  $\text{mg L}^{-1}$ , Cu 0,002-0,009  $\text{mg L}^{-1}$ , Mn 0,005-0,031  $\text{mg L}^{-1}$ , Ni 0,01-0,065  $\text{mg L}^{-1}$ .

Στα εδάφη η συγκέντρωση της ολικής μορφής των βαρέων μετάλλων είναι: Cu 0,8- 3,9  $\text{mg Kg}^{-1}$ , Zn 1,7-3,9  $\text{mg Kg}^{-1}$ , Fe 4,0-13,0  $\text{mg Kg}^{-1}$ , Cd 0,1-1,3  $\text{mg Kg}^{-1}$ , Mn 4,2-17,0  $\text{mg Kg}^{-1}$ , Pb 11,0-38,0  $\text{mg Kg}^{-1}$  και Ni 190,0- 304,0  $\text{mg Kg}^{-1}$ . Η συγκέντρωση της βιοδιαθέσιμης μορφής των βαρέων μετάλλων είναι: Cu 0,10- 0,67  $\text{mg Kg}^{-1}$ , Zn 0,05-0,61  $\text{mg Kg}^{-1}$ , Fe 0,11-0,51  $\text{mg Kg}^{-1}$ , Cd 0,03-0,27  $\text{mg Kg}^{-1}$ , Mn 0,79-3,37  $\text{mg Kg}^{-1}$ , Pb 1,20-4,90  $\text{mg Kg}^{-1}$  και Ni 46,43- 91,55  $\text{mg Kg}^{-1}$ .

Σύμφωνα με το διάγραμμα Durov τα επιφανειακά νερά της περιοχής έρευνας κατατάσσονται σε δύο κατηγορίες: Πρώτη κατηγορία (πεδίο 2 Durov) είναι τα όξινα ανθρακικά-μαγνησιοασβεστούχα όπου κυρίαρχα ιόντα είναι τα  $\text{HCO}_3^-$ , Mg, Ca και δεύτερη κατηγορία (πεδίο 9 Durov) τα Νάτριο-χλωριούχα όπου είναι υποβαθμισμένα ποιοτικά και έχουν κυριαρχήσει τα ιόντα  $\text{Na}^+$  και  $\text{Cl}^-$ .

Ως προς την καταλληλότητα για άρδευση γενικά τα νερά στην ενδοχωρική περιοχή χαρακτηρίζονται κατάλληλα (πεδίο C2-S1, κατά Richards), με περιορισμούς κατά θέσεις χρήσης τους μόνο (C3-S1 κατά Richards) σε εδάφη με καλή περατότητα και με χρήση υψηλού ποσοστού έκπλυσης. Στον αντίποδα τα δείγματα στις εκβολές κρίθηκαν ως ακατάλληλα για άρδευση τόσο κατά Richards όσο και κατά Wilcox με την επίδραση της αναμίξεως των υδάτων του ποταμού με τα θαλάσσια ύδατα να διαμορφώνει καθοριστικό ρόλο στις πολύ υψηλές συγκεντρώσεις  $\text{Na}^+$  και  $\text{Cl}^-$ .

Οι ολικές συγκεντρώσεις των πέντε (Fe, Cu, Zn, Mn, Cd) από τα επτά βαρέων μετάλλων στα εδάφη που μελετήθηκαν είναι κάτω των ορίων που υπάρχουν για ρυπασμένα εδάφη και βρέθηκαν να είναι παρόμοιες με αντίστοιχες άλλων γεωργικών περιοχών της Ελλάδος αλλά και σε παγκόσμιο επίπεδο.



Ο ολικός μόλυβδος παρουσίασε μέση τιμή στη συγκέντρωσή του  $21,7 \text{ mg Kg}^{-1}$  και οι τιμή αυτή είναι οριακή για τιμές που δίνονται για ρυπασμένα από μόλυβδο εδάφη, πιθανή αιτία για τις αυξημένες συγκεντρώσεις σε κάποια σημεία είναι το γεγονός ότι τοπογραφικά βρίσκονται εκατέρωθεν της Εθνικής οδού Αθηνών-Πατρών.

Στα εδάφη το ολικό νικέλιο παρουσίασε υψηλές τιμές συγκέντρωσης με μέση τιμή  $288,3 \text{ mg Kg}^{-1}$  και σε όλα τα δείγματα οι αντίστοιχες τιμές είναι κατά πολύ υψηλότερες από αυτές που δίνονται στη διεθνή βιβλιογραφία για ρυπασμένα από νικέλιο εδάφη. Διαπιστώθηκε ότι το γεγονός αυτό οφείλεται στην ύπαρξη, εντός της ευρύτερης περιοχής της λεκάνης των Μεγάρων, στο μητρικό πέτρωμα φακών βωξίτη και κυρίως σιδηρονικελιούχων συγκεντρώσεων. Οπότε λόγω των εξαλλοιωτικών διεργασιών έχει εμπλουτιστεί ο περιβάλλον χώρος με νικέλιο. Οι υπάρχουσες μεταλλικές συγκεντρώσεις της περιοχής έχουν σύμφωνα με τη βιβλιογραφία κατά μέσο όρο συγκέντρωση νικελίου  $533 \text{ mg Kg}^{-1}$ .

Στα εδάφη η γραμμική συσχέτιση των ολικών και βιοδιαθέσιμων μορφών των βαρέων μετάλλων: Zn, Mn, Cd και Pb βρέθηκε πολύ καλή που σημαίνει ότι οι δύο αυτοί παράγοντες είναι αλληλοεξαρτώμενοι.

## Environmental research in soil and water in Megara

### Abstract

Surface water samples were collected from an area included in Megara basin in order to describe the groundwater quality in relation to geology, lithology and anthropogenic activities of the study area.

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

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

The type of methodology applied in this study consists of water chemical analysis, soil chemical analysis, chemical analysis of bioavailable forms of heavy metals in soils correlation analysis, factor analysis, Durov and Piper classification diagrams, Richards and Wilcox irrigation diagrams and Geographical Information System database.

Electrical conductivity values range between 385 and 38.300  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . The contents of Megara surfacewater are: Ca 35,10-223,0  $\text{mg L}^{-1}$ , Mg 14,60-620,00  $\text{mg L}^{-1}$ , Na 23,10-7.241,00  $\text{mg L}^{-1}$ , K 6,64-172,00  $\text{mg L}^{-1}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  170,8-329,20  $\text{mg L}^{-1}$ , Cl 31,9-12.092,00  $\text{mg L}^{-1}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  26,4-1.650,00  $\text{mg L}^{-1}$ ,  $\text{NO}_3^-$  6,40-115,00  $\text{mg L}^{-1}$ , Fe 0,011-0,040  $\text{mg L}^{-1}$ , Cu 0,002-0,009  $\text{mg L}^{-1}$ , Mn 0,005-0,031  $\text{mg L}^{-1}$ , Ni 0,01-0,065  $\text{mg L}^{-1}$ .

The contents of total concentration of Megara soils are: Cu 0,8- 3,9  $\text{mg Kg}^{-1}$ , Zn 1,7-3,9  $\text{mg Kg}^{-1}$ , Fe 4,0-13,0  $\text{mg Kg}^{-1}$ , Cd 0,1-1,3  $\text{mg Kg}^{-1}$ , Mn 4,2-17,0  $\text{mg Kg}^{-1}$ , Pb 11,0-38,0  $\text{mg Kg}^{-1}$  and Ni 190,0- 304,0  $\text{mg Kg}^{-1}$ . The contents of the bioavailable form of heavy metals of Megara soils are : Cu 0,10- 0,67  $\text{mg Kg}^{-1}$ , Zn 0,05-0,61  $\text{mg Kg}^{-1}$ , Fe 0,11-0,51  $\text{mg Kg}^{-1}$ , Cd 0,03-0,27  $\text{mg Kg}^{-1}$ , Mn 0,79-3,37  $\text{mg Kg}^{-1}$ , Pb 1,20-4,90  $\text{mg Kg}^{-1}$  και Ni 46,43- 91,55  $\text{mg Kg}^{-1}$ .

Durov diagram classify the surfacewater chemical data set into two-types: First type ( second field in Durov diagram) where sovereign ions are  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Mg}^{+1}$ ,  $\text{Ca}^{+1}$  and second type ( ninth field in Durov diagram) where sovereign ions are  $\text{Na}^{+1}$  and  $\text{Cl}^{-1}$ .

As long as it concerns the appropriateness of the surface waters for irrigation, in the hinterland of the study area the waters are characterized as suitable ( C2-S1 field in Richards diagram) with restrictions in some places for use in soils with good permeability and use of high soil degradation. In the antipode the samples of the surface waters in the estuaries are inappropriate for irrigation as shown in Richards and Wilcox diagrams.

The total concentration of the five elements (Fe, Cu, Zn, Mn, Cd) from the seven heavy metals in the soils which have been analyzed are below polluted limits and are similar with other agricultural areas in Greece as well as in other countries.

The concentration of the total form of the lead (Pb) in the study area are close to polluted limits and came up with a mean value of 21,7  $\text{mg Kg}^{-1}$ . The event of high values of total Pb in some places probably it is owed to the fact that they are close to the National road of Athens-Patra.

In soils the total form of nickel (Ni) shows high concentrations which are over the polluted limits with a mean value of 288,3  $\text{mg Kg}^{-1}$ . Those concentrations are due to the presence of bauxite in the parent rock which has a mean concentration of 533  $\text{mg Ni Kg}^{-1}$ .

In soils the linear cross-correlation between the total and the bioavailable forms of the following heavy metals : Zn, Mn, Cd and Pb is very good.

## **ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ**

### **ΠΡΟΛΟΓΟΣ**

### **ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....</b>	<b>1</b>
1.1 Η κοινωνικοοικονομική σημασία των ποτάμιων συστημάτων.....	1
1.2 Χημική σύσταση των ποτάμιων υδάτων και παράγοντες που τη διαμορφώνουν.....	2
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ.....</b>	<b>6</b>
2.1 Ευρύτερη περιοχή μελέτης.....	6
2.2 Περιοχή έρευνας.....	10
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΓΕΩΛΟΓΙΑ.....</b>	<b>13</b>
3.1 Στρωματογραφία.....	13
3.1.1 Νεοπαλαιοζωϊκό .....	13
3.1.2 Μεσοζωϊκό.....	13
3.1.3 Νεογενές.....	14
3.1.4 Τεταρτογενές.....	16
3.1.5 Μεταλλοφορεία.....	22
3.2 Τεκτονική δομή.....	23
3.3 Υδρογεωλογία.....	23
3.3.1 Γενικά.....	23
3.3.2 Υδρολιθολογία.....	24
3.3.3 Υπόγεια νερά-Υδροφόροι Ορίζοντες.....	28
3.3.3.1 Ποιότητα υπογείων υδάτων και υφαλμύρωση.....	28
3.3.3.2 Καρστική Υπολεκάνη Περιοχής μεταξύ του Υψώματος «ΔΙΟΣΚΟΥΡΟΙ» Μεγάρων και Ν.Περάμου.....	29
3.3.3.3 Καρστική Υπολεκάνη Περιοχής Βόρειων Παρυφών Πεδιάδας Μεγάρων.....	29
3.3.3.4 Λεκάνη Νεογενούς - Τεταρτογενούς Πεδιάδας Μεγάρων.....	30
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ.....</b>	<b>32</b>
4.1 Υδρογραφικό δίκτυο.....	32
4.2 Κλιματολογικά στοιχεία.....	35
4.2.1 Κλίμα.....	35
4.2.2 Ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα και θερμοκρασία.....	36
4.3 Χρήσεις γης.....	39
4.3.1 Γεωργία στη λεκάνη των Μεγάρων.....	39
4.3.1.1 Η επίδραση της γεωργίας στην υποβάθμιση των υδατικών πόρων.....	39
4.3.2 Η πτηνοτροφία στη λεκάνη των Μεγάρων.....	47
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΥΔΡΟΧΗΜΕΙΑ .....</b>	<b>48</b>
5.1 Πειραματικό μέρος.....	48
5.1.1 Δειγματοληψίες-Μετρήσεις πεδίου.....	48
5.1.2 Εργαστηριακές χημικές αναλύσεις.....	48
5.1.3 Έλεγχος αποτελεσμάτων χημικών αναλύσεων.....	49
5.1.4 Επεξεργασία των δεδομένων.....	52
5.2 Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των επιφανειακών νερών της υπό μελέτη περιοχή.....	52
5.3 Κύρια ανιόντα και κατιόντα στα επιφανειακά νερά της υπό μελέτη περιοχής.....	57
5.4 Τα θρεπτικά στοιχεία στα επιφανειακά νερά της υπό μελέτη περιοχής.....	68

5.5 Μεταλλικά ιχνοστοιχεία.....	72
5.5.1 Τα μεταλλικά ιχνοστοιχεία στο υδάτινο σώμα.....	72
5.5.2 Η χημική διαφοροποίηση των μετάλλων.....	73
5.5.3 Τα μεταλλικά ιχνοστοιχεία στα επιφανειακά νερά της υπό μελέτη περιοχής .....	75
5.6 Υδροχημική ταξινόμηση των επιφανειακών νερών κατά Piper και Duron.....	83
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΈΛΕΓΧΟΣ ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑΣ ΧΡΗΣΗΣ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΓΙΑ ΑΡΔΕΥΣΗ....</b>	<b>89</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΑ ΝΕΡΑ.....</b>	<b>96</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8. ΡΥΠΑΝΣΗ ΕΔΑΦΩΝ ΚΑΙ ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ.....</b>	<b>99</b>
8.1 Γενικά.....	99
8.2 Τα κάδμιο (Cd).....	101
8.3 Το νικέλιο (Ni).....	103
8.4 Ο ψευδάργυρος (Zn).....	105
8.5 Ο Μόλυβδος (Pb).....	110
8.6 Ο Σίδηρος (Fe).....	114
8.7 Ο χαλκός (Cu).....	118
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9. ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ ΕΔΑΦΩΝ , ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΥΛΙΚΑ.....</b>	<b>122</b>
9.1 Δειγματοληψία και προετοιμασία εδαφικών δειγμάτων.....	122
9.2 Εργαστηριακές αναλύσεις .....	124
9.2.1 Μηχανική ανάλυση με τη μέθοδο Βουγιούκου.....	124
9.2.2 Ηλεκτρική αγωγιμότητα - ενεργότητα ιόντων υδρογόνου (pH).....	126
9.2.3 Οργανική ουσία.....	126
9.2.4 Ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων – κατιόντα ασβεστίου , μαγνησίου.....	127
9.2.5 Διαθέσιμος εδαφικός φώσφορος.....	128
9.2.6 Ολικές μορφές βαρέων μετάλλων.....	128
9.2.7 Αφομοιώσιμες μορφές βαρέων μετάλλων.....	129
9.2.8 Ελεύθερο ανθρακικό ασβέστιο.....	129
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10 . ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΓΙΑ ΤΑ ΕΔΑΦΗ.....</b>	<b>131</b>
10.1 Κοκκομετρική σύσταση.....	131
10.2 Ανθρακικό ασβέστιο.....	132
10.3 Οργανική ουσία.....	133
10.4 Ph.....	134
10.5 Ηλεκτρική αγωγιμότητα.....	135
10.6 Ανταλλάξιμα κατιόντα.....	136
10.7 Διαθέσιμος εδαφικός φώσφορος.....	137
10.8 Βαρέα μέταλλα.....	138
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΑ ΕΔΑΦΗ.....</b>	<b>149</b>
<b>ΒΙΒΛΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	<b>151</b>

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1.1 Η κοινωνικοοικονομική σημασία των ποτάμιων συστημάτων

Το φρέσκο νερό συνιστά πολύτιμη και σπάνια πηγή για τον άνθρωπο αφού αποτελεί μόλις το 1/10.000 του συνολικού διαθέσιμου νερού στον πλανήτη. Από αυτό λιγότερο από το 1% αντιστοιχεί στα ποτάμια ύδατα (Pepper et al, 1996).

Παρόλη τη μικρή αναλογία των ποτάμιων υδάτων στο σύνολο του όγκου των επιφανειακών νερών, τα ποτάμια αποτελούν σημαντική πηγή φρέσκου νερού για τον άνθρωπο. Η κοινωνική, οικονομική και πολιτική εξέλιξη κατά το παρελθόν έχει συσχετισθεί άμεσα με την διαθεσιμότητα και την κατανομή των νερών των ποτάμιων συστημάτων. Οι κυριότερες χρήσεις των ποτάμιων υδάτων μπορούν να συνοψιστούν στις παρακάτω (Charman, 1996):

- Χρήση για αρδευτικούς σκοπούς
- Πηγή πόσιμου νερού
- Βιομηχανική και οικιακή χρήση
- Βιομηχανική και οικιακή διάθεση αποβλήτων
- Πλοήγηση
- Δραστηριότητες αναψυχής (ψάρεμα, κολύμβηση κ.α.)
- Αισθητική αξία

Η χρήση των ποτάμιων υδάτων αποτελεί αντικείμενο πολιτικών διαπραγματεύσεων σε όλα τα επίπεδα. Η ορθολογική και αειφόρος χρήση των συστημάτων αυτών επιβάλλει την δημιουργία ενός προγράμματος παρακολούθησης και ελέγχου (monitoring) με στόχο:

- Τον προσδιορισμό των βραχυχρόνιων και μακροχρόνιων διακυμάνσεων της ποσότητας των υδάτων σε σχέση με τα χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής και τις κλιματικές συνθήκες.
- Τον προσδιορισμό των απαιτούμενων ποιοτικών κριτηρίων προκειμένου να βελτιωθούν και να διατηρηθούν οι χρήσεις νερού.
- Τον προσδιορισμό των βραχυχρόνιων και μακροχρόνιων τάσεων της ποσότητας και ποιότητας των νερών σε σχέση με τις δημογραφικές μεταβολές και τις μεταβολές στις χρήσεις.
- Τον σχεδιασμό στρατηγικών για την προστασία της ποιότητας των υδάτων.

## 1.2 Χημική σύσταση των ποτάμιων υδάτων και παράγοντες που τη διαμορφώνουν.

### Φυσικοί παράγοντες

Σε κάθε περιοχή που δεν έχει επηρεαστεί από την ανθρώπινη δραστηριότητα η ποιότητα των φυσικών νερών εξαρτάται από τους ακόλουθους περιβαλλοντικούς παράγοντες (Meybeck et al., 1989):

➤ **Την χημική αποσάθρωση ευδιάλυτων ή εύκολων προς αποσάθρωση επιφανειακών πετρωμάτων**

Τα πετρώματα σε μεγαλύτερη αφθονία παγκοσμίως είναι οι σχιστόλιθοι (33,1%), οι γρανίτες-γνεύσιοι (20,8%), τα ανθρακικά πετρώματα (15,9%) και οι βασάλτες (4,1%). Επίσης οι εβαπορίτες και οι γύψοι παρότι απαντώνται σπανιότερα ως επιφανειακά πετρώματα (1,3%) επηρεάζουν σημαντικά την χημική σύσταση των υδάτων λόγω της μεγάλης διαλυτότητας τους (Charman, 1996). Η σχέση μεταξύ χημείας νερού και πετρωμάτων παρουσιάζεται στον Πίνακα 1.1.

**Πίνακας 1.1.:** Χημική σύσταση του νερού σε σχέση με τον τύπο πετρωμάτων (Aswathanarayana, 1995)

Τύπος πετρώματος	Επικρατούντα ιόντα	Ολική συγκέντρωση σε ιόντα	Εύρος pH	Περιεκτικότητα σε SiO <sub>2</sub>
Γρανίτης, Ρυόλιθος	Na <sup>+</sup> , HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Χαμηλή	6,3-7,9	Μέτρια προς υψηλή
Γάββρος, Βασάλτης	Ca <sup>2+</sup> , Mg <sup>2+</sup> , HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Μέτρια	6,7-8,5	Υψηλή
Ψαμμίτης, Αρκόζη	Ca <sup>2+</sup> , Mg <sup>2+</sup> , Na <sup>+</sup> , HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Υψηλή	5,6-9,2	Χαμηλή προς μέτρια
Ιλυόλιθος	Ca <sup>2+</sup> , Mg <sup>2+</sup> , Na <sup>+</sup> , HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2+</sup> , Cl <sup>-</sup>	Υψηλή	4-8,4	Χαμηλή προς μέτρια
Ασβεστόλιθος, Δολομίτης	Ca <sup>2+</sup> , Mg <sup>2+</sup> , HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Υψηλή	7-8,2	Χαμηλή
Σχιστόλιθος, Γνεύσιος	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , Ca <sup>2+</sup> , Na <sup>+</sup>	Χαμηλή προς μέτρια	5,2-8,1	Χαμηλή

➤ **Τις ατμοσφαιρικές αποθέσεις φυσικής προέλευσης**

Το σύνολο των ανακυκλούμενων ωκεάνιων σταγονιδίων (aerosols) πλούσια σε Na<sup>+1</sup>, Cl<sup>-1</sup>, Mg<sup>+2</sup> και SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> που αποτίθενται στα ηπειρωτικά ενδότερα, βαίνουν μειούμενα κατά την απομάκρυνση από τις παράκτιες περιοχές προς το ηπειρωτικό μέρος (Apello and Postma, 1993).

➤ **Την αποστράγγιση των οργανικών εδαφών**

Με τη διαδικασία αυτή πραγματοποιείται εμπλουτισμός των επιφανειακών υδάτων σε νιτρικά ( $\text{NO}_3^{-1}$ ) και αμμωνιακά ( $\text{NH}_4^{+1}$ ) ιόντα καθώς και σε διαλυτή οργανική ουσία.

➤ **Το υδρολογικό καθεστώς των υδατορευμάτων**

Οι διακυμάνσεις της παροχής ενός ποταμού καθώς και η συχνότητα και η ένταση των πλημμυρών αποτελούν σημαντικό παράγοντα της χημικής σύστασης των υδάτων. Γενικά η υδρογραφία των ποταμών δομείται από επιμέρους εισροές που καταλήγουν στον ποταμό μέσω διαφορετικών οδών (Singh, 1995). Κατά την διάρκεια πλημμυρικών φαινομένων η ποιότητα του νερού εμφανίζει σημαντικές διακυμάνσεις λόγω της διαφορετικής προέλευσης αυτού: επιφανειακή απορροή, υποεπιφανειακή απορροή (διακίνηση ύδατος δια μέσου του εδαφικού στρώματος) και ανάβλυση του υπόγειου ύδατος. Τα νερά της επιφανειακής απορροής έχουν υψηλό βαθμό θολερότητας ενώ μεταφέρουν μεγάλα ποσοστά ολικών αιωρούμενων στερεών συμπεριλαμβανόμενων και τεμαχιδίων οργανικής σύστασης (Μιμίδης, 2006).

➤ **Τα αιωρούμενα σωματίδια**

Τα αιωρούμενα τεμαχίδια των ποτάμιων υδάτων διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στη μεταφορά και διακίνηση των διαλυμένων συστατικών και ρυπαντικών ουσιών, καθώς βρίσκονται σε δυναμική ισορροπία με το νερό και την βιομάζα. Οι κύριες κατηγορίες σωματιδιακών ρυπαντών περιγράφονται παρακάτω (Thomas, 1988):

1) Η σωματιδιακή οργανική ύλη που αφορά τόσο την διαλυτή οργανική ουσία προσροφημένη στα ορυκτά τεμάχια όσο και τα οργανικής φύσης τεμάχια εξωτερικής ή αυτόχθονης προέλευσης.

2) Τα θρεπτικά συστατικά που βρίσκονται προσροφημένα στην επιφάνεια των ορυκτών τεμαχίων, απαραίτητα για την ανάπτυξη των φυτών (κυρίως P και N) τα οποία εναλλάσσονται μεταξύ στερεάς και υγρής φάσης.

3) Οι τοξικοί ανόργανοι ρυπαντές όπως τα προσροφημένα βαρέα μέταλλα, τα οποία κάτω από ειδικές συνθήκες pH μπορεί να ανακυκλώνονται μεταξύ στερεάς και υγρής φάσης.

4) Οι τοξικοί οργανικοί μικρορυπαντές που συνδέονται με την σωματιδιακή ύλη μέσω διαδικασιών που σχετίζονται με υδρόφιλες-υδρόφοβες καταστάσεις.

**Ανθρωπογενείς παράγοντες :**

➤ **Αλλαγές στα φυσικά χαρακτηριστικά των υδάτων**

Η θερμοκρασία, η θολερότητα και τα ολικά διαλυμένα στερεά των ποταμών επηρεάζονται άμεσα από ανθρωπογενείς δραστηριότητες όπως την γεωργία, την αποψίλωση των δασών και την χρήση νερού ψύξης.

➤ **Βιολογική μόλυνση**

Το πρόβλημα αφορά τόσο τις αγροτικές όσο και τις αστικές περιοχές είναι εντονότερο στις ταχέως αναπτυσσόμενες αστικές περιοχές όπου ο ρυθμός αύξησης του πληθυσμού υπερβαίνει την δυνατότητα ανάπτυξης επαρκούς τεχνολογίας και υποδομών διαχείρισης των αποβλήτων (Meybeck et al, 1989).

➤ **Η οργανική ουσία.**

Η διάθεση ανεπεξέργαστων οικιακών και βιομηχανικών αποβλήτων υψηλής περιεκτικότητας σε οργανική ουσία στα ποτάμια ύδατα έχει ως αποτέλεσμα μια αξιοσημείωτη μείωση της συγκέντρωσης των υδάτων σε διαλυτό οξυγόνο (DO) και παράλληλα την έκλυση αμμωνίας κατάντη του σημείου έκχυσης των αποβλήτων. Η διεργασία αυτή ονομάζεται αποξυγόνωση (deoxygenation).

➤ **Ο ευτροφισμός των ποταμών**

Ήδη από την δεκαετία του 70' τα αυξανόμενα ποσοστά εισροών φωσφορικών και νιτρικών κυρίως τις ανεπτυγμένες χώρες, προερχόμενα από την εντατικοποίηση της γεωργίας σχετίζονται άμεσα με την δημιουργία ευτροφικών συνθηκών (εμπλουτισμός σε θρεπτικά που αυξάνει την πρωτογενή παραγωγή) και στα ποτάμια ύδατα (Charman, 1996).

➤ **Η αλάτωση των υδάτων**

Οι κύριοι παράγοντες που οδηγούν σε αυξημένες συγκεντρώσεις αλάτων στα ποτάμια ύδατα είναι τα βιομηχανικά απόβλητα, τα απόβλητα ορυχείων και οι συνθήκες εξάτμισης και εξατμισοδιαπνοής που επικρατούν στη λεκάνη απορροής. . Οι αλλαγές στην σύσταση των ιόντων και οι ιοντικοί λόγοι των υδάτων συνδέονται άμεσα και με τις διακυμάνσεις του Ph.

➤ **Η οξίνιση των υδάτων**

Η οξίνιση των τρεχούμενων υδάτων είναι αποτέλεσμα: α) των αμέσων εισροών όξινων αποβλήτων είτε υπό μορφή σημειακών πηγών είτε ως διάχυτες πηγές όπως από χώρους εξόρυξης και β) των έμμεσων εισροών μέσω όξινων ατμοσφαιρικών αποθέσεων, κυρίως υπό μορφή νιτρικών και θειϊκών ιόντων προερχόμενα κυρίως από τις εκπομπές αυτοκινήτων και την καύση πετρελαίου (στην περίπτωση αυτή η οξίνιση των επιφανειακών υδάτων λαμβάνει χώρα μόνο όταν η ρυθμιστική ικανότητα των υδάτων είναι χαμηλή).

➤ **Οι ανόργανοι τοξικοί ρυπαντές**

Οι πηγές των τοξικών ρυπαντών και κυρίως των βαρέων μετάλλων μπορούν να συνοψιστούν στα βιομηχανικά απόβλητα, τα απόβλητα μεταλλείων και ορυχείων, την επιφανειακή απορροή από αστικές περιοχές, την στράγγιση αγροτικών εκτάσεων και τις ατμοσφαιρικές αποθέσεις. Στα επιφανειακά νερά, υπό φυσιολογικές συνθήκες pH, το μεγαλύτερο ποσοστό των βαρέων μετάλλων βρίσκεται προσροφημένο στα αιωρούμενα τεμαχίδια. Η διαδικασία της προσρόφησης εξαρτάται άμεσα από την ενεργό επιφάνεια των τεμαχίων. Αυτό σημαίνει ότι τα λεπτόκοκκα τεμάχια λόγω της μεγαλύτερης ενεργού επιφάνειας που παρουσιάζουν εμφανίζουν υψηλό ποσοστό προσροφημένων μετάλλων. Οι κυριότερες μορφές με τις οποίες απαντούν τα βαρέα μέταλλα στη σωματιδιακή φάση κατά φθίνουσα ενεργότητα είναι οι παρακάτω (Gray, 2005):

- Προσροφημένα (ηλεκτροστατικά ή εκλεκτικά) στα ορυκτά τεμαχίδια
- Συνδεδεμένα στην οργανική ουσία
- Συνδεδεμένα με ανθρακικούς υποκαταστάτες
- Συνδεδεμένα με θειϊκούς υποκαταστάτες
- Προσαρτημένα σε οξείδια  $Mn^{2+}$  και  $Fe^{2+}$  που απαντούν ως συστατικά των αιωρούμενων τεμαχίων
- Ενσωματωμένα στο κρυσταλλικό πλέγμα διαφόρων ορυκτών
- Σε πυριτικά και άλλα σταθερά ορυκτά

Τα μεταλλικά ιόντα έχουν επίσης την ικανότητα να σχηματίζουν υδατοδιαλυτά οργανομεταλλικά σύμπλοκα, συνδεδεμένα με οργανικούς υποκαταστάτες (χουμικά και φουλβικά οξέα). Ο σχηματισμός υδατοδιαλυτών συμπλόκων των τοξικών μετάλλων με φουλβικά οξέα συμβάλλει στην αύξηση των συγκεντρώσεων των μετάλλων στα φυσικά νερά (Ross, 1994).



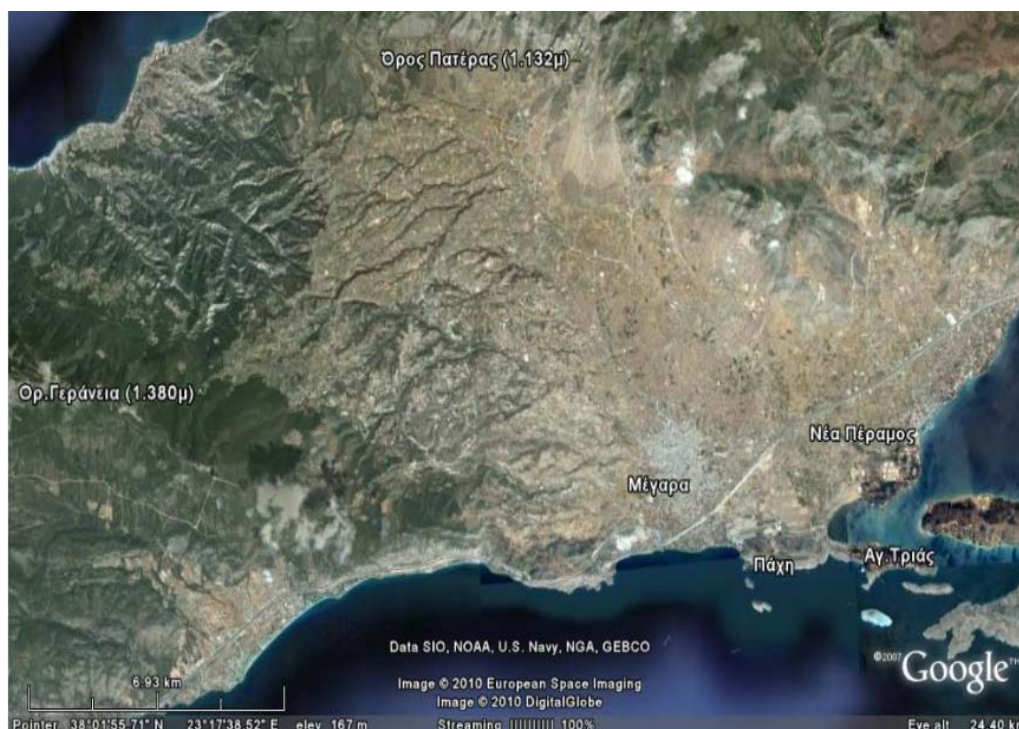
➤ **Οι οργανικοί μικρορυπαντές**

Οι οργανικοί μικρορυπαντές (κυρίως συνθετικά χημικά, οργανικοί διαλύτες, φυτοφάρμακα) είναι ένας κρίσιμος παράγοντας της ποιότητας των υδάτων στις ανεπτυγμένες και αναπτυσσόμενες χώρες.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ

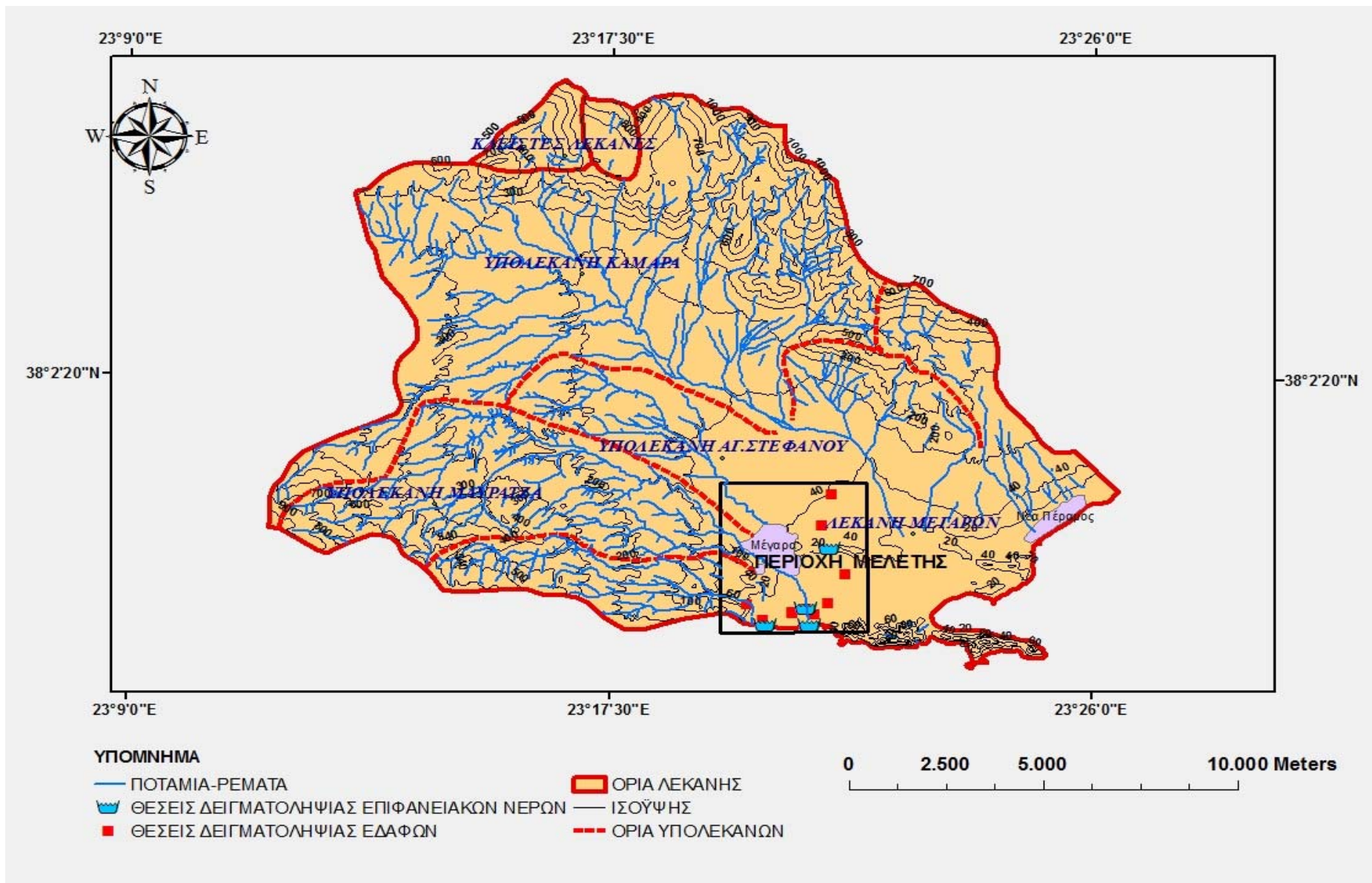
### 2.1 ΕΥΡΥΤΕΡΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

Η λεκάνη των Μεγάρων αναπτύσσεται μεταξύ δύο παράλληλων οροσειρών, της οροσειράς του «Πατέρα» (υψόμετρο 1.132μ) στα βορειοανατολικά και της οροσειράς των «Γερανείων» (υψόμετρο 1.380μ) στα δυτικά-νοτιοδυτικά. Παρουσιάζει διεύθυνση ανάπτυξης ΒΔ-ΝΑ. Στα νοτιοανατολικά βρέχεται από τα νερά του Σαρωνικού κόλπου ενώ στα βορειοδυτικά από τα νερά του Κορινθιακού κόλπου και συγκεκριμένα από τα νερά του μικρότερου κόλπου, των Αλκυονίδων (βλ. Εικόνα 2.1).

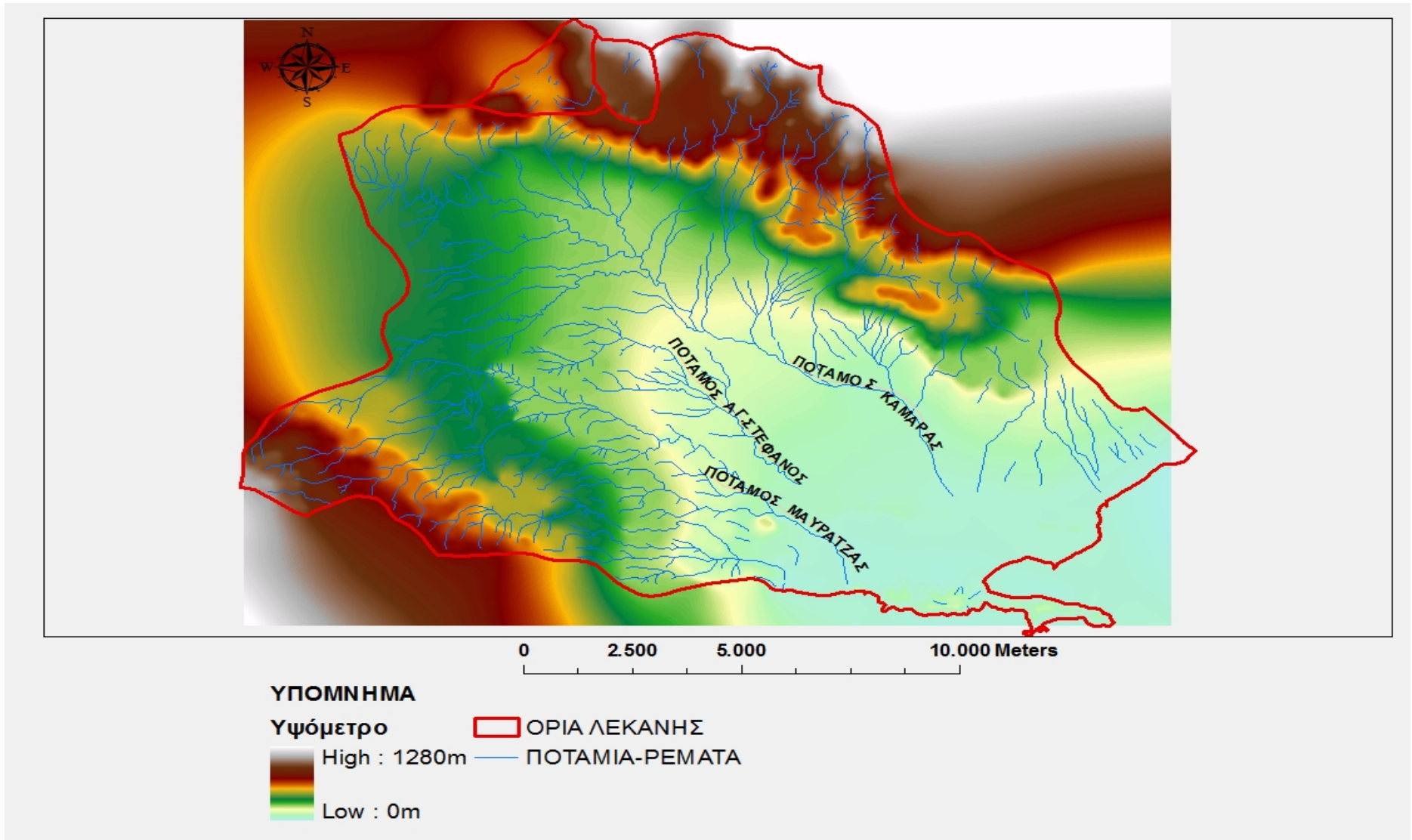


**Εικόνα 2.1 :** Δορυφορική λήψη της ευρύτερης περιοχής των Μεγάρων (www.googleearth.com)

Η λεκάνη των Μεγάρων βρίσκεται στο δυτικό τμήμα του νομού Αττικής). Η συνολική έκταση της είναι 210 km<sup>2</sup>. και ορίζεται από τις συντεταγμένες: 37 ,5' - 38 ,9' βόρειο πλάτος και 23 ,7' - 23 ,25' ανατολικό μήκος. Στα σχήματα 2.2, 2.3 2.4 παρουσιάζεται ο γεωμορφολογικός χάρτης της λεκάνης των Μεγάρων, το υδρογραφικό δίκτυο και η θέση της περιοχής που πραγματοποιήθηκε η εργασία αυτή καθώς τα σημεία δειγματοληψίας των νερών και των εδαφών.

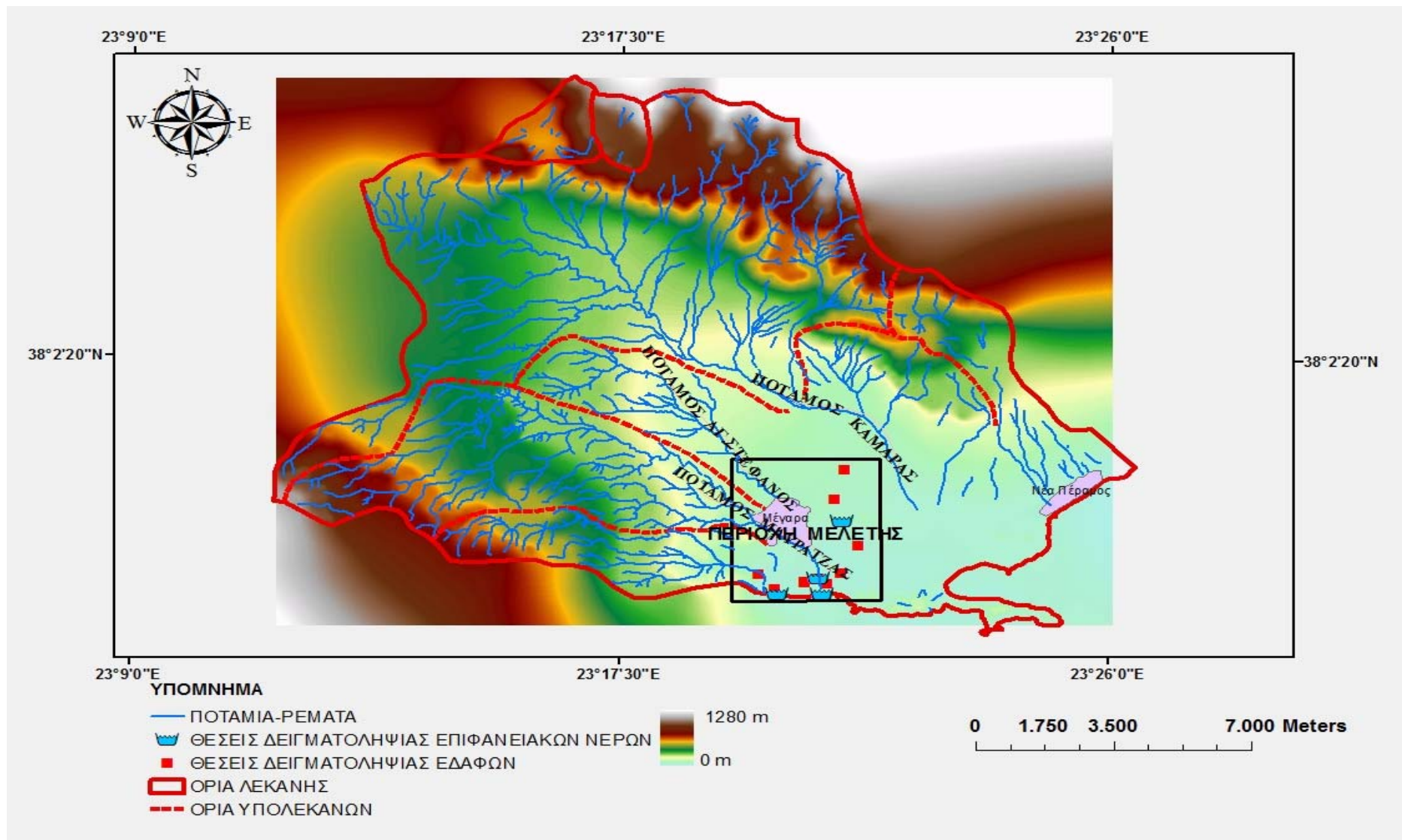


Σχήμα 2.2 Γεωμορφολογικός ψηφιοποιημένος χάρτης της λεκάνης των Μεγάρων που απεικονίζει την περιοχή μελέτης .



**ΣΧΗΜΑ 2.3** Απεικόνιση της μορφολογίας και του υδρογραφικού δικτύου της λεκάνης των Μεγάρων .

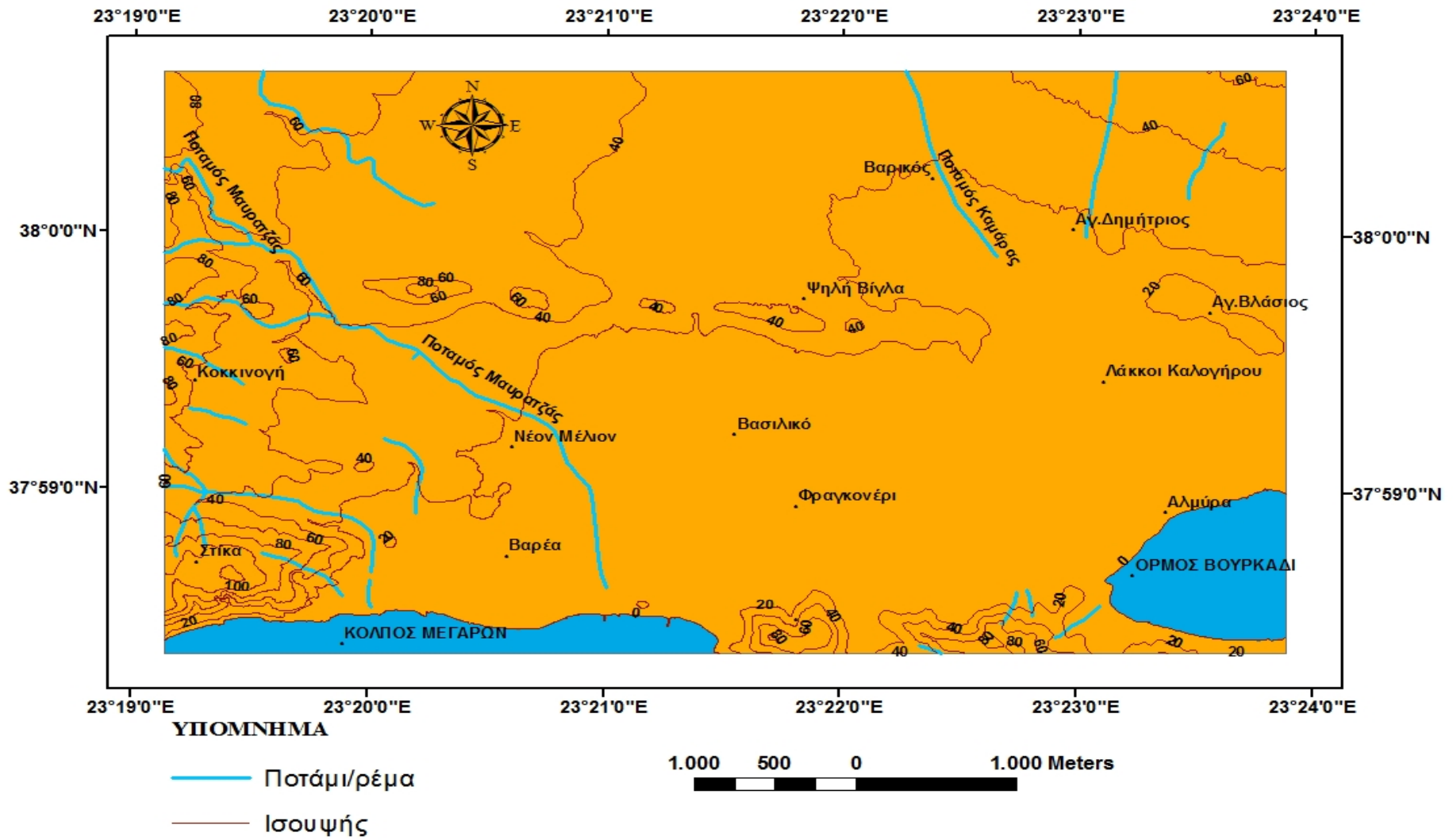




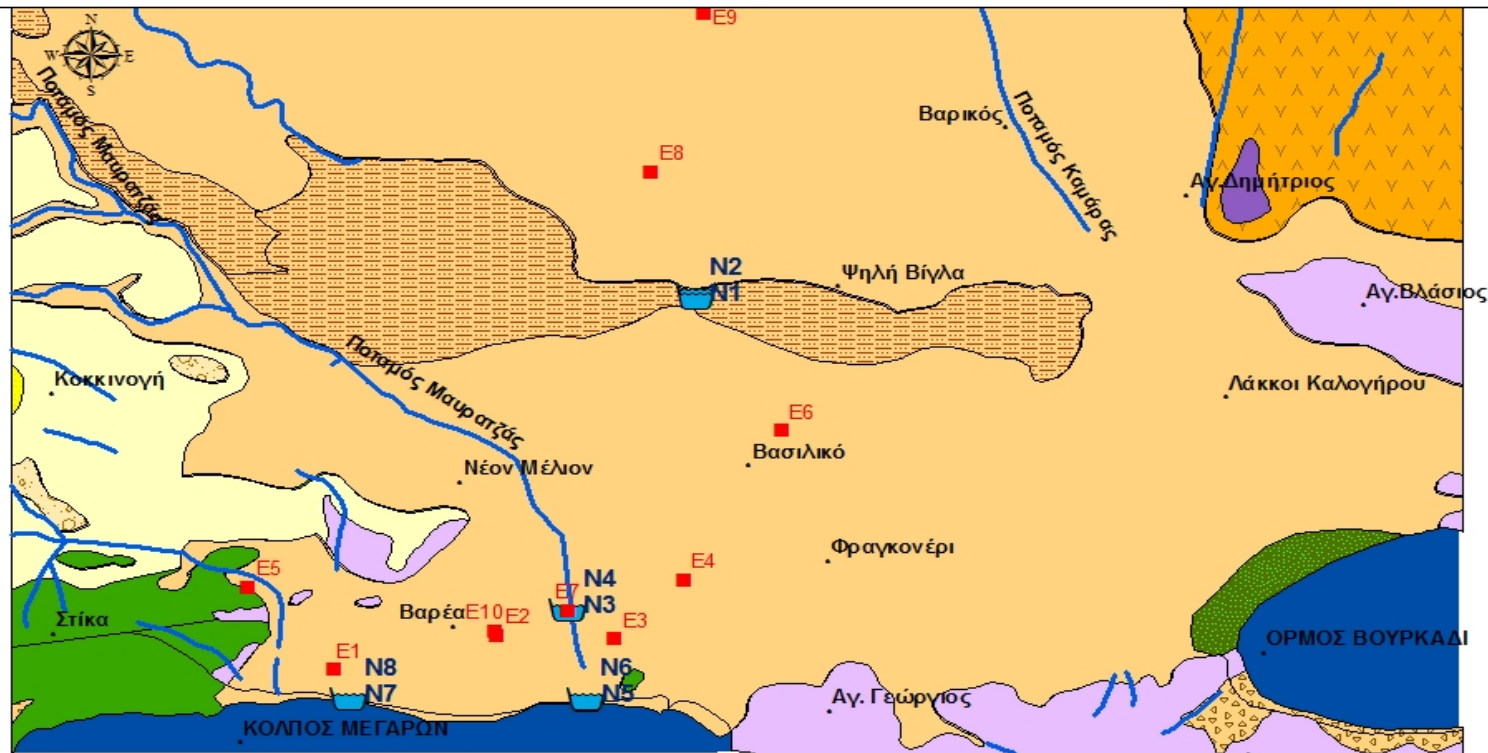
**Σχήμα 2.4** Γεωμορφολογικός χάρτης της λεκάνης των Μεγάρων, με τα όρια των υδρολογικών υπολεκανών ,τα όρια της περιοχής μελέτης και τις θέσεις δειγματοληψίας.

## **2.2 ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ**

Η υπό μελέτη περιοχή αποτελεί τμήμα της λεκάνης των Μεγάρων και βρίσκεται μεταξύ γεωγραφικού πλάτους  $37^{\circ}58'$  και  $38^{\circ}01'$  και γεωγραφικού μήκους  $23^{\circ}19'$  και  $23^{\circ}24'$ . Η περιοχή μελέτης οριοθετείται νοτιοδυτικά από την περιοχή Στίκα και βορειοανατολικά από τις απολήξεις του ποταμού Καμάρα. Καλύπτει μια περιοχή με προσανατολισμό από νότια μέχρι και ανατολικά της πόλης των Μεγάρων διασχίζοντας τις υπό μέρους περιοχές Βαρέα, Βασιλικό και Ψηλή Βίγλα όπως φαίνεται εμφανώς στα σχήματα 2.5 και 2.6.



Σχήμα 2.5 Χάρτης περιοχής έρευνας.



**ΥΠΟΜΝΗΜΑ**

- N1...N8 Θέσεις δειγματοληψίας επιφανειακών υδάτων
- E1...E10 Θέσεις δειγματοληψίας εδαφών
- Ποτάμι/ρέμα

**ΓΕΩΛΟΓΙΑ**

- Παράκτιες αποθέσεις. ΤΕ ΤΑΡΤ ΟΓΕ ΝΕΣ-ΟΛΟΚΑΙΝΟ
- Χερσαίοι σχηματισμοί (άργιλοι, πηλοί, άμμος, ψαμμίτες). ΝΕ ΟΓΕ ΝΕΣ-ΠΛΕΙΟΚΕ ΝΟ
- Ασβεστόλιθοι μαργαίκοι ασβεστόλιθοι, μάρμαρα. ΥΠΟΠΕΛΑΓΟΝΙΚΗ ΖΩΝΗ-ΚΕ ΝΟΜΑΝΙΟ-ΤΟΥΡΩΝΙΟ
- Ασβεστόλιθοι ΥΠΟΠΕΛΑΓΟΝΙΚΗ ΖΩΝΗ(ΚΕ ΝΟΜΑΝΙΟΝ-ΤΟΥΡΩΤΙΟΝ-ΣΕΝΩΝΙΟΝ)
- Μάρμαρα, άργιλοι, ψαμμίτες, τραβερτίνες, κροκαλλοπαγή. ΝΕ ΟΓΕ ΝΕΣ-ΚΑΤ. ΠΛΕΙΟΚΕ ΝΟ-ΑΝΩΤ. ΣΥΣΤΗΜΑ

1.000 500 0 1.000 Meters

- Αργιλοι, πηλοί. ΝΕ ΟΓΕ ΝΕΣ-ΚΑΤ. ΠΛΕΙΟΚΕ ΝΟ-ΑΝ. ΣΥΣΤΗΜΑ
- Παλαιά πλευρικά κορήματα, κόνιοι κορημάτων. ΠΛΕΙΟΚΕ ΝΟ
- Ποτάμια αναβαθμίδια. ΠΛΕΙΟΚΕ ΝΟ
- Παλαιές προσχώσεις. ΤΕ ΤΑΡΤ ΟΓΕ ΝΕΣ-ΠΛΕΙΟΚΕ ΝΟ
- Ασβεστόλιθοι, δολομιτικοί ασβεστόλιθοι, δολομίται. ΜΕΣΟ-ΑΝΩΤ. ΤΡΙΑΔΙΚΟ
- Σύγχρονα πλευρικά κορήματα, κόνιοι κορημάτων. ΤΕ ΤΑΡΤ ΟΓΕ ΝΕΣ-ΟΛΟΚΑΙΝΟ
- Ασβεστόλιθοι, δολομιτικοί ασβεστόλιθοι, δολομίτες. ΜΕΣΟ-ΑΝΩΤ. ΤΡΙΑΔΙΚΟ
- Αλλουβιακές αποθέσεις. ΤΕ ΤΑΡΤ ΟΓΕ ΝΕΣ-ΟΛΟΚΑΙΝΟ

**Σχήμα 2.6** Γεωλογικός χάρτης περιοχής έρευνας όπου αποτυπώνονται τα σημεία δειγματοληψίας των νερών και των εδαφών.



## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΓΕΩΛΟΓΙΑ**

### **3.1. ΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑ**

Η ερευνηθείσα περιοχή αποτελείται από σχηματισμούς του Νεοπαλαιοζωϊκού, του Μεσοζωϊκού, του Νεογενούς και του Τεταρτογενούς.

#### **3.1.1. ΝΕΟΠΑΛΑΙΟΖΩΪΚΟ (ΑΝΩΤ. ΛΙΘΑΝΘΡΑΚΟΦΟΡΟ - ΠΕΡΜΙΟ)**

Οι σχηματισμοί του Νεοπαλαιοζωϊκού αποτελούνται κυρίως από αργλικούς σχιστόλιθους και ψαμμίτες, οι οποίοι εναλλάσσονται με γραουβάκες, κροκαλοπαγή τοφφίτες και τόφφους και τοπικά ασβεστόλιθους στρωσιγενείς. Συχνά παρεμβάλλονται και βασικά εκρηξιγενή πετρώματα. Οι σχηματισμοί είναι ασθενώς μεταμορφωμένοι και σχιστοποιημένοι. Το πάχος του κυμαίνεται μεταξύ 300 και 400μ.

#### **3.1.2. ΜΕΣΟΖΩΪΚΟ (ΤΡΙΑΔΙΚΟ, ΚΡΗΤΗΔΙΚΟ)**

Το μεσοζωϊκό της περιοχής αντιπροσωπεύεται από το Τριαδικό και το ανώτερο Κρητιδικό. Το Ιουρασικό και το κατώτερο Κρητιδικό δεν εμφανίζεται επειδή η περιοχή την περίοδο αυτή είχε αναδυθεί και ήταν χέρσα. Στα βαθύτερα τμήματα της Πελαγονικής ζώνης της περιόδου αυτής εκχύθηκαν σε υποθαλάσσιο περιβάλλον μεγάλες ποσότητες βασικού μάγματος, το οποίο έδωσε οφιολιθικά πετρώματα και κυρίως περιδοτίτες. Οι σχηματισμοί του μεσοζωϊκού είναι οι εξής (Δούνας, 1971):

##### **Φυλλίτες και ψαμμίτες με παρεμβολές ασβεστόλιθων του κατώτερου-μέσου Τριαδικού**

Πρόκειται για ποικιλόχρωμο σχηματισμό, ο οποίος λιθολογικά αποτελείται κυρίως από ελαφρώς μεταμορφωμένους σχιστόλιθους (φυλλίτες) και ψαμμίτες, στους οποίους συχνά παρεμβάλλονται και λεπτοστρωματώδεις ασβεστόλιθοι-δολομίτες, χρώματος ερυθρού έως ερυθρομέλανου, καθώς και κερατόλιθοί και ηφαιστειακοί τόφφοι.

### **Ασβεστόλιθοι και δολομίτες μέσου-ανώτερου Τριαδικού**

Αποτελείται από παχυστρωματώδεις έως και άστρωτους (μαζικοί) , συχνά δολομιτωμένους, ασβεστόλιθους , χρώματος λευκού έως λευκότεφρου. Το πάχος τους είναι της τάξης των 300-700 μ. Επιφανειακά είναι πάντοτε κερματισμένοι και έντονα καρστικοποιημένοι.

### **Ασβεστόλιθοι και δολομίτες ανώτερου Τριαδικού**

Αποτελείται από σκουρόχρωμους έως μελανότεφρους λεπτοστρωματώδεις ασβεστόλιθους και δολομίτες, έντονα πτυχωμένους και στολιδωμένους , οι οποίοι συχνά περικλείουν ενστρώσεις και κονδύλους κερατολίθων. Το πάχος τους γενικά είναι 200-250μ. Όμως λόγω έντονης διάβρωσης στις περισσότερες φορές έχουμε μικρά υπολείμματα.

### **Ασβεστόλιθοι ανώτερου Κρητιδικού**

Στους κατώτερους ορίζοντες λεπτοστρωματώδεις ασβεστόλιθοι εναλλασσόμενοι συχνά με μαργαϊκούς ασβεστόλιθους, πάχους 100μ, η ηλικία των οποίων τοποθετείται στο Κενομάνιο.

Ακολουθούν παχυστρωματώδεις λευκότεφροι ασβεστόλιθοι με έντονη οσμή βιτουμενίων, οι οποίοι περικλείουν πλήθος απολιθωμάτων ρουδιστών, οστράκων κλπ. Το πάχος των ασβεστόλιθων αυτών είναι περίπου 80μ και η ηλικία τους τοποθετείται στο Τουρώνιο.

Στους ανώτατους ορίζοντες έχουμε λεπτοστρωματώδεις ασβεστόλιθους πρασινότεφροι έως κεραμόχρωμοι, οι οποίοι σταδιακά μεταπίπτουν σε ασβεστολιθικούς ψαμμίτες και αμιγείς ψαμμίτες. Το πάχος τους- είναι περίπου 40μ. και η ηλικία τους ανήκει στο Σενώνιο.

### **3.1.3. ΝΕΟΓΕΝΕΣ**

Στο τεκτονικό βύθισμα των Μεγάρων αναπτύσσεται κυρίως το Νεογενές. Στρωματογραφικά διακρίνεται σε δύο συστήματα: α) στο **Κατώτερο** και β) στο Ανώτερο σύστημα.

**Το Κατώτερο σύστημα** αποτελείται από θαλάσσια και λιμναία ιζήματα, αποτελούμενα κυρίως από λευκοκίτρινες μάργες (άλλοτε περισσότερο ασβεστολιθικές και άλλοτε περισσότερο ψαμμιτικές), μαργαϊκούς ασβεστόλιθους και τοπικά από αμμοψαμμίτες και κροκαλοπαγή μικρού πάχους και έκτασης λόγω γρήγορων πλευρικών αποσφηνώσεων.

Το πάχος του συστήματος αυτού φθάνει τα 200-300μ και η ηλικία του τοποθετείται στο Μειόκαινο. Σημειώνουμε ότι στο Κατώτερο σύστημα και κυρίως εντός των μαργών παρατηρούνται τοπικά και στρώματα λιγνίτη και σαπροπηλού, πάχους 0,1 έως 0,5 μ.

**Το Ανώτερο σύστημα** γενικά αποτελείται από σχετικά χαλαρές αποθέσεις, ηπειρογενετικής προέλευσης. Πρόκειται κυρίως για ερυθρές αργίλους και πηλούς, στους οποίους παρεμβάλλονται κυρίως κροκαλοπαγή συνδεδεμένα με αμμοαργιλιού. Το σύστημα κλείνει με στρώματα κροκαλοπαγούς, πάχους 10-15μ. Το σύστημα αυτό κάθετα πάνω στο Κατώτερο σύστημα, αλλά επεκτείνεται και πέραν αυτού, επικαθήμενο απευθείας και στους ασβεστόλιθους του Μεσοζωϊκού. Αυτό συμβαίνει στην ΒΑ πλευρά της λεκάνης των Μεγάρων.

Το πάχος του Ανώτερου συστήματος εκτιμάται περίπου στα 150μ. και η ηλικία του τοποθετείται στο Πλειόκαινο με πιθανή συνέχιση του και στο Κατώτερο Πλειστόκαινο.

Η γενική στρωματογραφική-λιθολογική στήλη της λεκάνης των Μεγάρων από τα παλιότερα προς τα νεότερα έχει ως εξής(Μαρίνος, 1951):

- Βασικό κροκαλοπαγές, πάχους περίπου 2-5μ
- Μάργες φυλλώδεις έως λεπτοστρωματώδεις, εναλλασσόμενες με αργλικές μάργες, πάχους περίπου 80μ
- Μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι και ασβεστολιθικές μάργες με παρεμβολές αργλικών μαργών, ψαμμιτών και λεπτών στρωμάτων λιγνίτη (0,10-0,50μ), πάχους περίπου 60μ
- Μάργες αργλικές-αργιλούχες με μαργαϊκούς ασβεστόλιθους και λεπτά στρώματα τραβερτίτη (πορόλιθος) και λιγνίτη, πάχους περίπου 30 μ
- Ερυθροί άργιλοι και πηλοί με παρεμβολές φακών ψαμμιτών και κροκαλοπαγών, συνδεδεμένων με αμμοαργιλιού, πάχους 80μ περίπου.
- Κροκαλοπαγή παχυστρωματώδη, χερσαίας προέλευσης, προσμειγμένα με άργιλο, πάχους 80μ.

### 3.1.4. ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΣ

Οι περισσότεροι από τους ερευνητές όπως ο Philipsson και ο Θεοδωρόπουλος που ασχολήθηκαν με τις τεταρτογενείς αποθέσεις ενδιαφέρθηκαν κυρίως για τον καθορισμό του σχηματισμού βάσης (σύσταση, ηλικία), θεωρώντας, το σύνολο των Τεταρτογενών αποθέσεων ενιαίο (Δρίτσα, Μυτσκίδου 1993). Από τις περιορισμένες στο αριθμό προσπάθειες υποδιαίρεσης των τεταρτογενών αποθέσεων της λεκάνης των Μεγάρων, η πιο λεπτομερής διακρίνει τις τεταρτογενείς αποθέσεις αρχικά σε διλουβιακές και αλλουβιακές και ανάλογα με τη σύσταση και τον τρόπο σχηματισμού τους, προχωρεί σε περαιτέρω διαχωρισμό. Συγκεκριμένα, στις:

α) **διλουβιακές αποθέσεις** διακρίνουμε:

- τις αποθέσεις χειμάρρων
- τις αποθέσεις κλειστών λεκανών και
- τα διλουβιακά πλευρικά κορήματα

β) **αλλουβιακές αποθέσεις** διακρίνουμε:

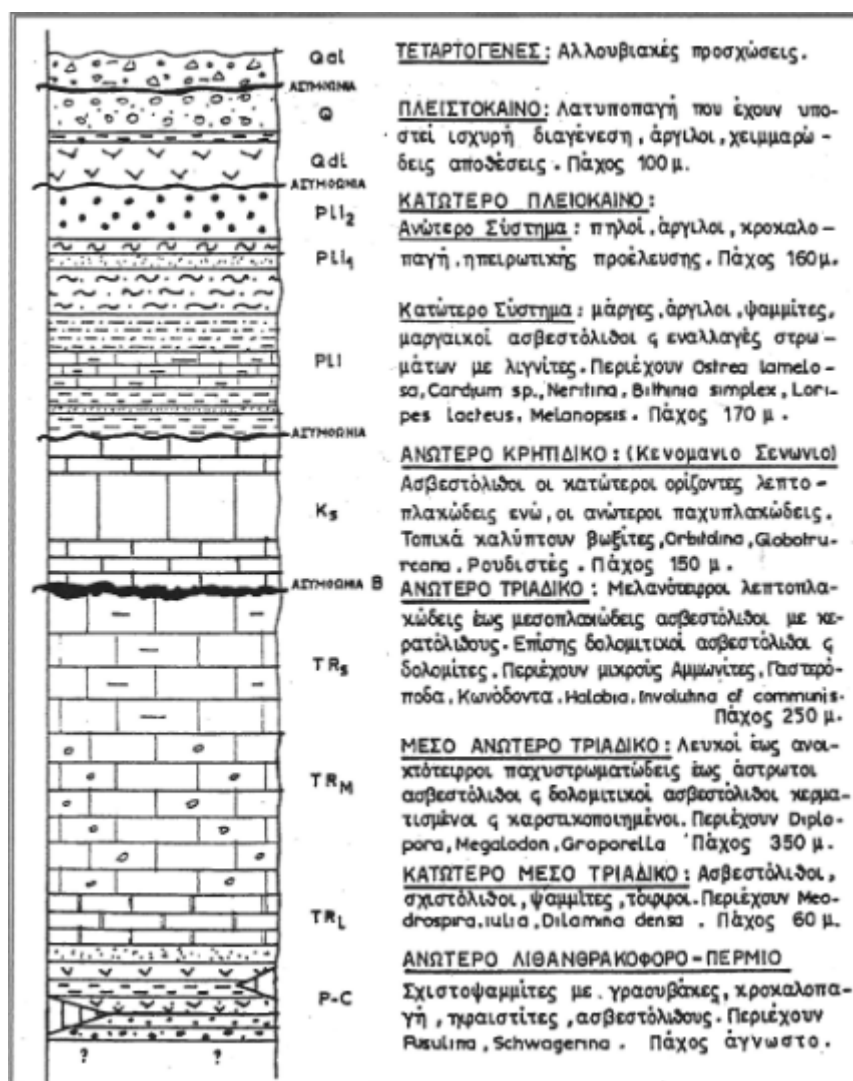
- τις σύγχρονες αποθέσεις χειμάρρων
- τις αποθέσεις κοιλάδων και κλειστών λεκανών
- τις αναβαθμίδες χειμάρρων και
- τα κορήματα κλιτύων

Συνοπτικά μπορούμε να αναφέρουμε τα εξής:

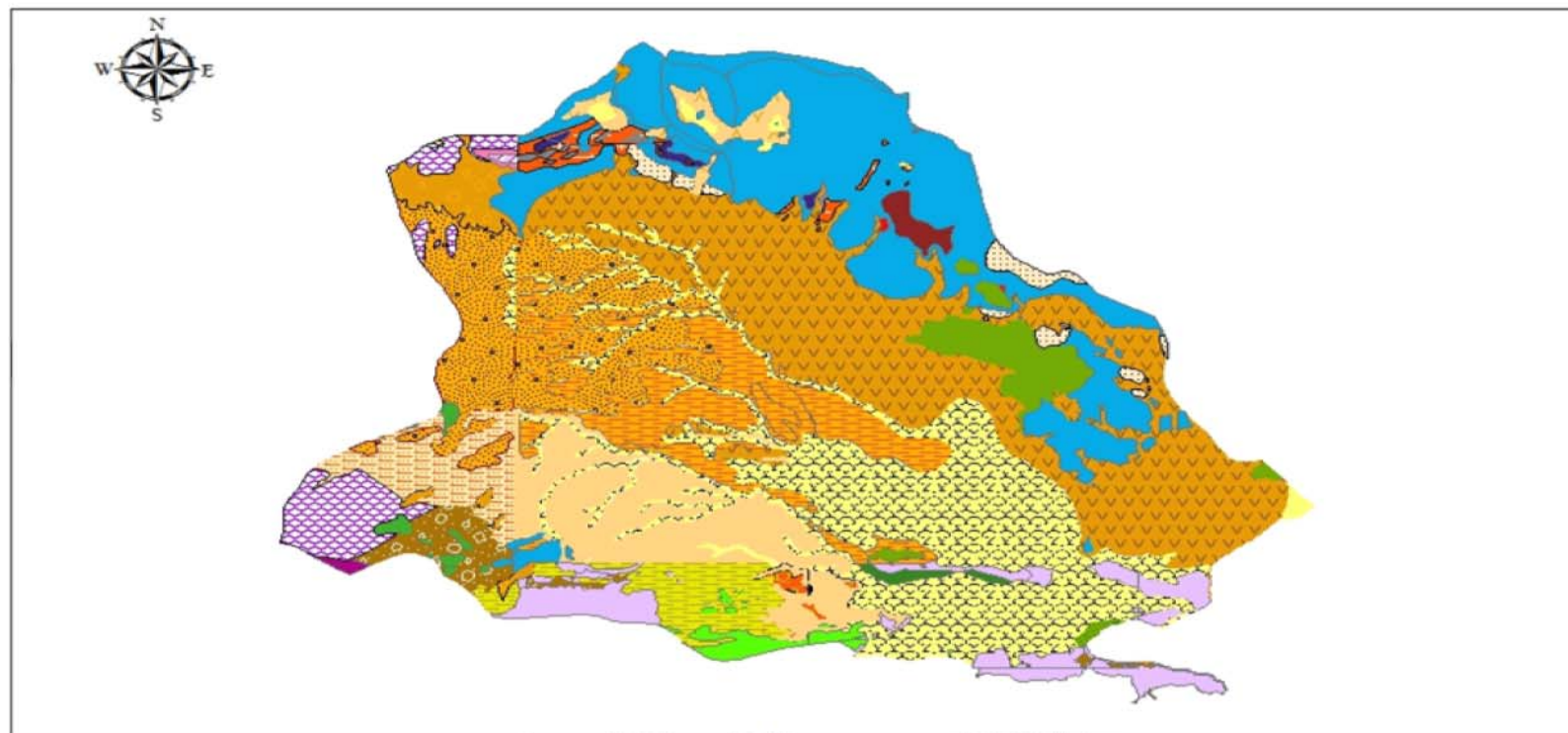
- οι αποθέσεις χειμάρρων αποτελούνται από αδρομερή υλικά. Κροκάλες, άμμος παρατηρούνται στις κοίτες των χειμάρρων.
- οι αποθέσεις κοιλάδων και κλειστών λεκανών αποτελούνται συνήθως από λεπτομερή υλικά - αργίλους, αμμούχους αργίλους, άμμο και ενίοτε από αδρομερέστατα, όπως λατύπες και κροκάλες (από την διάβρωση των ασβεστόλιθων που δομούν τα κράσπεδα).
- οι αναβαθμίδες χειμάρρων αποτελούνται από αδρομερή υλικά που προέρχονται από ποτάμια και αναπτύσσονται κατά μήκος των κοιτών των χειμάρρων ή στις πλευρές των κοιλάδων.

- Τα πλευρικά κορήματα αποτελούνται από λατύπες ποικίλου μεγέθους και βαθμού στρογγυλοποίησης οι οποίες σε ορισμένες περιπτώσεις είναι συγκολλημένες με ασβεσταργλικό υλικό, ενώ σε άλλες είναι ασύνδετες.

Οι τεταρτογενείς αποθέσεις της λεκάνης των Μεγάρων είναι στην πλειονότητα τους διαπερατοί με πάχη που υπερβαίνουν τοπικά τα 60μ.



ΣΧΗΜΑ 4: Στρωματογραφική στήλη περιοχής Μεγάρων-Ερυθρών( Δούνας, 1971)



0 2.500 5.000 10.000 Meters

**ΥΠΟΜΝΗΜΑ**

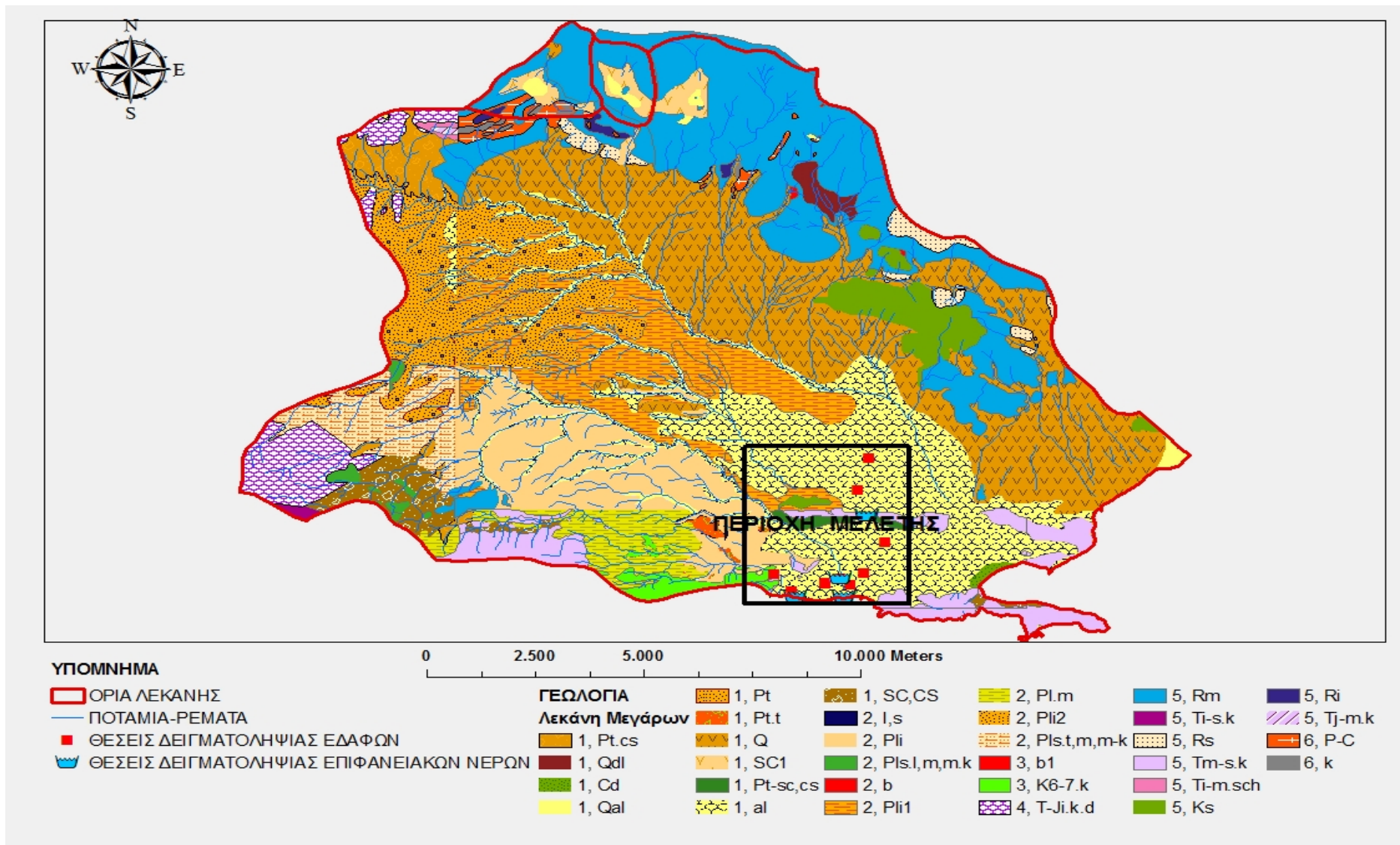
**ΓΕΩΛΟΓΙΑ**

1, Qal	1, Pt-sc.cs	2, Pls.l,m,m.k	2, Pls.t,m,m-k	5, Ti-s.k	5, Ri
Λεκάνη Μεγάρων	1, Pt	1, al	2, b	3, b1	5, Rs
1, Pt.cs	1, Pt.t	1, SC,CS	2, Pli1	3, K6-7.k	5, Tm-s.k
1, Qdl	1, Q	2, l,s	2, Pl.m	4, T-Ji.k.d	5, Ti-m.sch
1, Cd	1, SC1	2, Pli	2, Pli2	5, Rm	6, k
				5, Ks	

**Σχήμα 3.1** Γεωλογικός χάρτης της υδρολογικής λεκάνης των Μεγάρων. 1)Τεταρτογενές, 2)Νεογενές,3)Κρητιδικό  
4)Ιουρασικό, 5) Τριαδικό , 6)Νεοπαλαιοζωικό (Πέρμιο-Ανώτερο Λιθανθρακοφόρο).

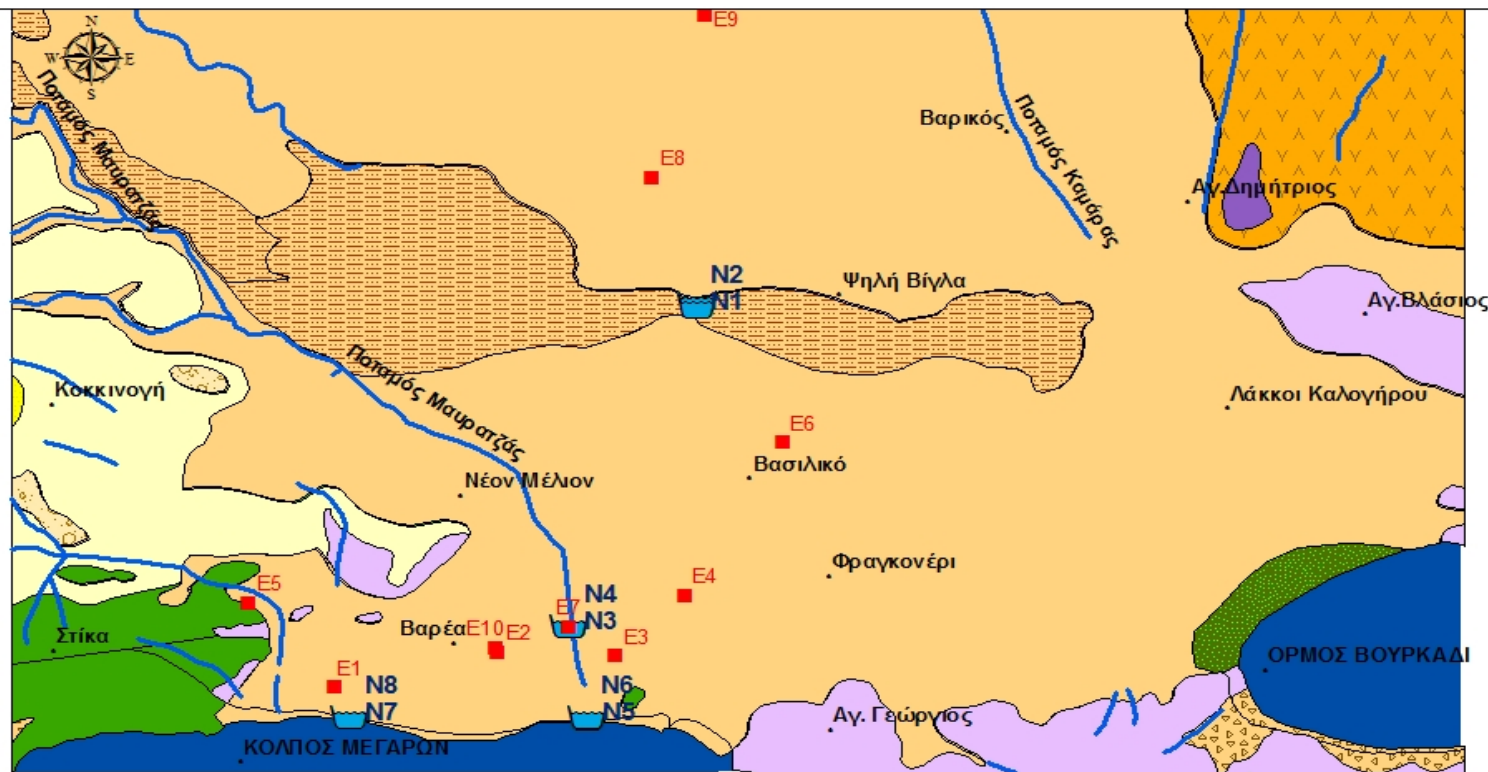
Γεωλογικοί Συμβολισμοί	Γεωλογικός Σχηματισμός	Ηλικία Σχηματισμού		
<b>cd</b>	Παράκτιες αποθέσεις(άμμοι και ιλύς τεναγών)	Ολόκαινο	<b>ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΣ</b>	
<b>Qal</b>	Αλλουβιακές προσχώσεις			
<b>al</b>	Αλλουβιακές αποθέσεις			
<b>SC,CS</b>	Σύγχρονα πλευρικά κορήματα και κώνοι κορημάτων			
<b>Pt.cs</b>	Παλαιοί κώνοι κορημάτων	Πλειστόκενο		
<b>Qdl</b>	Παλαιά συνεκτικά κορήματα			
<b>Pt</b>	Ποταμοχερσαίες αποθέσεις			
<b>Pt.t</b>	Ποτάμιες αναβαθμίδες			
<b>Q</b>	Παλαιές προσχώσεις			
<b>SC1</b>	Σύγχρονα πλευρικά κορήματα			
<b>Pt-sc,cs</b>	Παλαιά πλευρικά κορήματα και κώνοι κορημάτων			
<b>Pls.t,m,m-k</b>	Άργιλοι, μάργες(λίμναίας-υφαλμούρου φάσεως)	Ανώτερο Πλειόκενο	<b>ΝΕΟΓΕΝΕΣ</b>	
<b>Pls.l,m,m.k</b>	Άργιλοι, μάργες εναλλάσσονται με:Αμμούχες άργιλοι, μαργαικοί ασβεστόλιθοι και κροκαλοψαμμιτικά καστανού χρώματος			
<b>l,s</b>	Χερσαίοι σχηματισμοί κόκκινου χρώματος(άργιλοι, πηλοί άμμος, ψαμμίτες)			
<b>Pl.m</b>	Μάργες,άργιλοι και μαργαικοί ασβεστόλιθοι			
<b>Pli1</b>	Άργιλοι και πηλοί			Κατώτερο Πλειόκενο-Ανώτερο Σύστημα
<b>Pli2</b>	Κροκαλοπαγή			
<b>Ks</b>	Ασβεστόλιθοι	Ανώτερο Κρητιδικό- (Κενομάνιον- Τουρώτιον- Σενώνιον)		<b>(ΜΕΣΟΖΩΙΚΟ)</b>
<b>Tji.k.d</b>	Ασβεστόλιθοι-δολομίτες	Βοιωτική Ζώνη- Μέσο- Ανωτ.Τριαδικό- Κατ.Ιουρασικό		
<b>Rs</b>	Ασβεστόλιθοι,δολομιτικοί ασβεστόλιθοι,δολομίται	Ανώτερο Τριαδικό		
<b>Tm-s.k</b>	Ασβεστόλιθοι,δολομιτικοί ασβεστόλιθοι,δολομίτες	Αυτόχθονη Σειρά - (Μέσο-Ανώτερο Τριαδικό)		
<b>Rm</b>	Ασβεστόλιθοι,δολομιτικοί ασβεστόλιθοι,δολομίται	Μέσο-Ανώτερο Τριαδικό		
<b>Ti-s.k</b>	Ασβεστόλιθοι,δολομίτες	Βοιωτική Ζώνη- (Μέσο- Ανωτ.Τριαδικό)		
<b>Ti-m.sch</b>	Σύμπλεγμα από κερατόλιθους, ψαμμίτες και σχιστόλιθους	Βοιωτική Ζώνη- Κατ.-Μέσο τριαδικό		
<b>Tj-m.k</b>	Ερυθρότεφροι στιφροί μαργαικοί ασβεστόλιθοι	Βοιωτική Ζώνη- Κατ.-Μέσο τριαδικό		
<b>Ri</b>	Ασβεστόλιθοι,κερατόλιθοι,ψαμμίται,σχιστόλιθοι και ηφαιστειικοί τόφφων	Υποπελαγονική Ζώνη-Κατώτερο- Μέσο- Τριαδικό		
<b>P-C</b>	Αργιλικό σχιστόλιθοι και ψαμμίτες	(Πέρμιο-Ανώτερο Λιθανθρακοφόρο)	<b>Νεοπαλαιζωϊκό</b>	
<b>k</b>	Φακοί ασβεστολιθων			

**Πίνακας 3.1** Γεωλογικοί σχηματισμοί που αναπτύσσονται στη λεκάνη των Μεγάρων.



Σχήμα 3.2 Ψηφιοποιημένος γεωλογικός χάρτης της υδρολογικής λεκάνης των Μεγάρων όπου διαφαίνεται η περιοχή δειγματοληψίας και μελέτης





**ΥΠΟΜΝΗΜΑ**

N1...N8 Θέσεις δειγματοληψίας επιφανειακών υδάτων

E1...E10 Θέσεις δειγματοληψίας εδαφών

Ποτάμι/ρέμα

**ΓΕΩΛΟΓΙΑ**

Παράκτιες αποθέσεις, ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΣ-ΟΛΟΚΑΙΝΟ

Χερσαίοι σχηματισμοί (άργιλα, πηλοί, άμμος, ψαμμίτες), ΝΕΟΓΕΝΕΣ-ΠΛΕΙΣΤΟΚΕΝΟ

Ασβεστόλιθοι μαργαίκοι, ασβεστόλιθοι, μάρμαρα, ΥΠΟΠΕΛΑΓΟΝΙΚΗ ΖΩΝΗ-ΚΕΝΟΜΑΝΙΟ-ΤΟΥΡΩΝΙΟ

Ασβεστόλιθοι, ΥΠΟΠΕΛΑΓΟΝΙΚΗ ΖΩΝΗ(ΚΕΝΟΜΑΝΙΟΝ-ΤΟΥΡΩΤΙΟΝ-ΣΕΝΩΝΙΟΝ)

Μάρμαρα, άργιλα, ψαμμίτες, τραβερτίνες, κροκαλλοπαγή, ΝΕΟΓΕΝΕΣ-ΚΑΙ ΠΛΕΙΣΤΟΚΕΝΟ-ΑΝΩΤ.ΣΥΣΤΗΜΑ

Αργίλοι, πηλοί, ΝΕΟΓΕΝΕΣ-ΚΑΙ ΠΛΕΙΣΤΟΚΕΝΟ-ΑΝΩΤ.ΣΥΣΤΗΜΑ

Παλαιά πλευρικά κορήματα, κώνια κορημάτων, ΠΛΕΙΣΤΟΚΕΝΟ

Ποτάμιες αναβαθμίδες, ΠΛΕΙΣΤΟΚΕΝΟ

Παλαιές προσχώσεις, ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΣ-ΠΛΕΙΣΤΟΚΕΝΟ

Ασβεστόλιθοι, δολομιτικοί ασβεστόλιθοι, δολομίται, ΜΕΣΟ-ΑΝΩΤ.ΤΡΑΔΙΚΟ

Σύγχρονα πλευρικά κορήματα, κώνια κορημάτων, ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΣ-ΟΛΟΚΑΙΝΟ

Ασβεστόλιθοι, δολομιτικοί ασβεστόλιθοι, δολομίτες, ΜΕΣΟ-ΑΝΩΤ.ΤΡΑΔΙΚΟ

Αλλουβιακές αποθέσεις, ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΣ-ΟΛΟΚΑΙΝΟ

**Σχήμα 3.3** Γεωλογικός χάρτης της περιοχής μελέτης όπου φαίνονται τα σημεία δειγματοληψίας νερών και εδαφών.

### ***3.1.5 Μεταλλοφορεία***

Εντός της ευρύτερης περιοχής της λεκάνης των Μεγάρων, υπάρχουν στο μητρικό πέτρωμα βωξιτικές-σιδηρονικελιούχες εμφανίσεις. Οπότε λόγω των εξαλλοιωτικών διεργασιών έχει εμπλουτιστεί ο περιβάλλον χώρος με νικέλιο. Οι υπάρχουσες βωξιτικές-σιδηρονικελιούχες εμφανίσεις στη περιοχή έχουν σύμφωνα με την βιβλιογραφία κατά μέσο όρο συγκέντρωση νικελίου  $533 \text{ mg Kg}^{-1}$  (Κριτσοτάκης .Κ.Γ, Πανάγος Α.Γ., 1984).

### **3.2 ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΔΟΜΗ**

Η νεογενής λεκάνη των Μεγάρων είναι ένα ασύμμετρο τεκτονικό βύθισμα μεταξύ του τεκτονικού κέρατος του όρου Πατέρα στα Β-ΒΑ και του κέρατος των Γερανείων προς Ν-ΝΔ. Οριοθετείται από μεγάλες ρηξιγενείς ζώνες διεύθυνσης **ΔΒΔ-ΑΝΑ**(Παρασχούδης, 2002).

Η τεκτονική παραμόρφωση, που παρουσιάζεται στην λεκάνη των Μεγάρων και στην ευρύτερη περιοχή του Ανατολικού Κορινθιακού Κόλπου είναι πολυσύνθετη από κινηματικής και δυναμικής άποψης. Πιστοποιείται έντονη νεοτεκτονική δράση από διαρρήξεις και μετατοπίσεις των ιζημάτων της λεκάνης - μία από τις πιο γνώστες δραστηριοποιήσεις είναι εκείνη των σεισμών του 1981(Παρασχούδης, 2002).

Τα ρήγματα της ευρύτερης περιοχής ταξινομούνται σε τρία συστήματα(Παρασχούδης, 2002):

- Τα ρήγματα του πρώτου συστήματος έχουν γενική διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ. Αυτά υπήρξαν πολύ βαθιά και ευθύνονται για την δημιουργία της λεκάνης των Μεγάρων. Πλέον το σύστημα αυτό θεωρείται ανενεργό έως ελάχιστα ενεργό(Παρασχούδης, 2002).
- Το δεύτερο σύστημα με διεύθυνση Α.ΒΑ-Δ.ΝΔ, είναι υπεύθυνο για την απότομη ανύψωση των ΒΔ τμημάτων των Γερανείων και του όρους Πατέρα σε αντίθεση με τις ΝΑ απολήξεις τους που παρουσιάζουν ένα σχετικά ομαλό ανάγλυφο. Αυτό το σύστημα σχετίζεται με αρκετές σεισμικές εκδηλώσεις.
- Το τρίτο σύστημα είναι το ασθενέστερο και έχει διεύθυνση **Β-Ν**.

### **3.3 ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ**

#### **3.3.1 ΓΕΝΙΚΑ**

Τα υπόγεια νερά αναπτύσσονται μέσα σε γεωλογικούς σχηματισμούς και εφόσον αυτοί είναι πορώδεις και υδατοπερατοί, αποτελούν τους υδροφόρους ορίζοντες από τους οποίους μπορεί να γίνει η άντληση του νερού. Οι περισσότεροι υδροφόροι έχουν μεγάλη επιφανειακή έκταση και μπορούν να θεωρούνται σαν υπόγειες αποθήκες νερού. Το νερό εισέρχεται στην υπόγεια αποθήκη με τον φυσικό ή τεχνητό εμπλουτισμό και ρέει κάτω από την δράση της βαρύτητας.

Οι υπόγειοι υδροφόροι ορίζοντες διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες, τους "φρεάτιους" ή "ελεύθερους" και τους "αρτεσιανούς" ανάλογα με την παρουσία ή απουσία μιας ελεύθερης υδροστατικής (φρεάτιας) επιφάνειας.

Οι ελεύθεροι υδροφόροι της περιοχής τροφοδοτούνται με επιφανειακό νερό σε όλη τους την έκταση και αναπτύσσονται πάνω από στρώσεις με μειωμένη υδραυλική αγωγιμότητα.

Έχουν ως δάπεδο στεγανό πέτρωμα ενώ το ανώτερο τους όριο αποτελεί η λεγόμενη ελεύθερη ή φρεάτια επιφάνεια που είναι ο γεωμετρικός τόπος των σημείων όπου το νερό βρίσκεται κάτω από πίεση ίση με την ατμοσφαιρική. Ανυψώσεις και ταπεινώσεις του νερού αντιστοιχούν σε μεταβολές του αποθηκευμένου όγκου του στον υδροφόρο.

### **3.3.2 ΥΔΡΟΛΙΘΟΛΟΓΙΑ**

Στο υποκεφάλαιο αυτό περιγράφεται η υδρολιθολογική συμπεριφορά των διαφόρων γεωλογικών σχηματισμών που αναπτύσσονται στην περιοχή μελέτης. Η συμπεριφορά αυτή εξαρτάται κατά κύριο λόγο από την υδροπερατότητα των σχηματισμών. Στους χαλαρούς σχηματισμούς η υδροπερατότητα εξαρτάται από το ενεργό πορώδες και στους βραχώδεις σχηματισμούς από τον βαθμό κατάτμησης-κερματισμού.

Οι σχηματισμοί που αναπτύσσονται στην υπό μελέτη περιοχή μπορούν να διακριθούν σε σχηματισμούς με:

- Πολύ μεγάλη περατότητα
- Μεγάλη περατότητα
- Μέτρια περατότητα
- Χαμηλή περατότητα και
- Αδιαπέρατοι

#### **• ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ ΜΕ ΠΟΛΥ ΜΕΓΑΛΗ ΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑ**

Στην κατηγορία αυτή κατατάσσονται οι έντονα καρστικοί ασβεστόλιθοι και δολομίτες του Μεσοζωνκού, οι οποίοι, λόγω κερματισμού και κυρίως λόγω ισχυρής επιφανειακής και κατακόρυφης καρστικής διάβρωσης, έχουν αναπτύξει ιδιαίτερα μεγάλο και συνεχόμενο δευτερογενές πορώδες (διακλάσεις, διαρρήξεις, ρήγματα, καρστικοί αγωγοί, σπήλαια).

Οι σχηματισμοί αυτοί είναι οι ασβεστόλιθοι και δολομίτες του Μέσου-Ανώτερου Τριαδικού ( $K_1$ ), οι ασβεστόλιθοι και οι δολομίτες του Ανώτερου Τριαδικού (K) και το Ανώτερο τμήμα των Κρητιδικών ασβεστόλιθων ( $K_3$ ).

Ο συντελεστής K στους σχηματισμούς αυτούς εκτιμάται γενικά σε  $1,5 \cdot 10^{-2}$  cm/sec ή 12,96 m/day. Ο συντελεστής αυτός είναι ενδεικτικός και διαφέρει από θέση σε θέση ανάλογα με το βαθμό κερματισμού και αποκαρστικοποίησης (Παρασκούδης, 2002).

#### **• ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ ΜΕ ΜΕΓΑΛΗ ΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑ**

Στην κατηγορία αυτή κατατάσσονται οι χαλαρές επιφανειακές αποθέσεις, όπως οι πρόσφατες αλλουβιακές αποθέσεις, τα πρόσφατα χαλαρά πλευρικά κορήματα, οι αποθέσεις της κοίτης των ρεμάτων, οι παραθαλάσσιες αναβαθμίδες, κτλ.

Ο συντελεστής περατότητας  $K$  στους σχηματισμούς αυτούς εκτιμάται σε  $10^{-2}$ - $10^{-3}$  cm/sec ή 8,64-0,864 m/day ανάλογα πάντα με την λιθολογική σύσταση των σχηματισμών (Παρασχούδης, 2002).

#### • ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ ΜΕ ΜΕΤΡΙΑ ΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑ

Στην κατηγορία αυτή κατατάσσονται οι ασβεστόλιθοι του Παλαιοζωικού (λεπτοστρωματώδεις, κονδύλώδεις, μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι), το κατώτερο τμήμα των ασβεστόλιθων του Κρητιδικού, οι διλουβιακές αποθέσεις, οι κώννοι κορημάτων που συχνά περιέχουν και λίγη άργιλο και οι αποθέσεις των κλειστών λεκανών.

Ο συντελεστής περατότητας  $K$  στις αποθέσεις αυτές εκτιμάται σε  $10^{-3}$  cm/sec ή 0,864 m/day και τοπικά ακόμη και σε  $10^{-4}$  cm/sec ή  $8,64 \cdot 10^{-2}$  m/day ανάλογα πάντα με την συμμετοχή της αργίλου (Παρασχούδης, 2002).

#### • ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ ΜΕ ΜΙΚΡΗ ΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑ

Στους σχηματισμούς αυτούς κατατάσσεται το τμήμα του Νεογενούς της λεκάνης των Μεγάρων, το οποίο δεν είναι καλυμμένο από τη στρώση με ερυθρές αργίλους και πηλούς. Το τμήμα αυτό αποτελείται από ασβεστολιθικές μάργες, στις οποίες παρεμβάλλονται ασβεστοψαμμίτες, κροκαλοπαγή και τοπικά τραβερτινοειδείς ασβεστοψαμμίτες. Επιφανειακά και μέχρι ένα βάθος 5-10μ ο σχηματισμός είναι χαλαροποιημένος, γεγονός που αυξάνει την περατότητα του. Η περατότητα, πάντως, μειώνεται με την αύξηση του βάθους.

Ο συντελεστής περατότητας  $K$  στους σχηματισμούς αυτούς εκτιμούμε ότι είναι της τάξης του  $10^{-4}$  cm/sec ή  $8,64 \cdot 10^{-2}$  m/day και βαθύτερα ακόμη μικρότερος (Παρασχούδης, 2002).

#### • ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ ΑΔΙΑΠΕΡΑΤΟΙ-ΣΧΕΔΟΝ ΑΔΙΑΠΕΡΑΤΟΙ

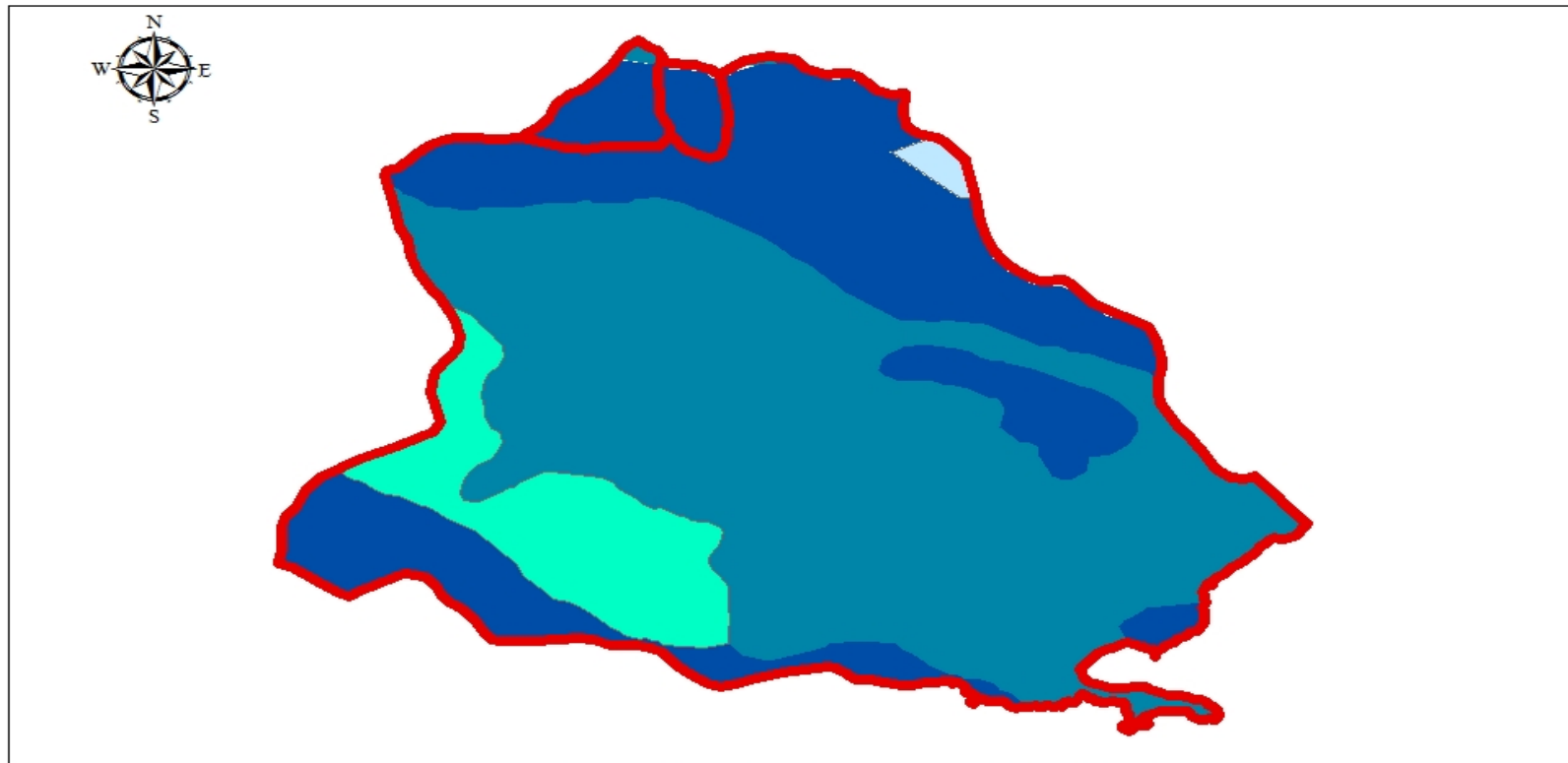
Σ' αυτήν την κατηγορία κατατάσσονται οι σχηματισμοί του Παλαιοζωικού (αργιλικόι σχιστόλιθοι, ψαμμίτες, γραουβάκες, πολύ συνεκτικά κροκαλοπαγή χωρίς πορώδες, κλπ), ο φλύσχης και οι ενστρώσεις των ερυθρών αργίλων του Πλειόκαινου που καλύπτει πολύ μεγάλο τμήμα της λεκάνης των Μεγάρων .

Σε ότι αφορά το Παλαιοζωικό, στην επιφανειακή του ζώνη, πάχους 2-5μ, λόγω χαλάρωσης και κερματισμού έχει μικρή περατότητα, χωρίς όμως πρακτική σημασία.

Ο συντελεστής περατότητας  $K$  της κατηγορίας αυτής των σχηματισμών είναι της τάξης του  $10^{-5}$  έως  $10^{-7}$  cm/sec ή  $8,64 \cdot 10^{-3}$  έως  $8,64 \cdot 10^{-5}$  m/day


Παρά τη στεγανότητα των σχηματισμών αυτών η υδρογεωλογική σημασία τους είναι ιδιαίτερα μεγάλη, επειδή οι μεν του Παλαιοζωικού καθορίζουν την κίνηση των καρστικών υδροφόρων οριζόντων, οι δε του Νεογενούς και Τεταρτογενούς απαγορεύουν κυριολεκτικά τη διήθηση-κατείσδυση και ως εκ τούτου και την ετήσια αναπλήρωση των υδροφόρων οριζόντων που τυχόν υπάρχουν βαθύτερα (Παρασχούδης, 2002). Παρακάτω ακολουθεί





σχήμα που αποτυπώνει την περατότητα των γεωλογικών σχηματισμών στην λεκάνη των Μεγάρων(Σχήμα 3.4)



0 2.500 5.000 10.000 Meters

**ΥΠΟΜΝΗΜΑ**

**ΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ**  **ΟΡΙΑ ΛΕΚΑΝΗΣ**

-  Κυμαινόμενη
-  Μικρή έως πολύ μικρή
-  Μέτρια έως πολύ μικρή
-  Μέτρια έως υψηλή

**Σχήμα 3.4** Χάρτης περατότητας των γεωλογικών σχηματισμών στην υδρολογική λεκάνη των Μεγάρων

### 3.3.3 ΥΠΟΓΕΙΑ ΝΕΡΑ-ΥΔΡΟΦΟΡΟΙ ΟΡΙΖΟΝΤΕΣ

#### 3.3.3.1 Ποιότητα υπογείων υδάτων-υφαλμύρωση

Η πρώτη μελέτη για τον προσδιορισμό των ποιοτικών χαρακτηριστικών των υπογείων υδάτων σε τμήμα της λεκάνης των Μεγάρων εκπονήθηκε από το Ι.Γ.Μ.Ε (ΜέμουΤζ.) το 1980 και προσδιόρισε πιθανά υφαλμυρωμένες περιοχές βόρεια και δυτικά-βορειοδυτικά της πόλης των Μεγάρων.

Ακολούθησε πιο εκτεταμένη έρευνα το 1994 (Δελτίο Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας τομ. ΧΧΧ/4) σε επιμέρους τμήματα της λεκάνης των Μεγάρων όπου και εξήχθησαν τα παρακάτω συμπεράσματα:

- 1) Στη λεκάνη των Μεγάρων γίνεται συστηματική υπεράντληση από το 1980 μέχρι και το 1992 σε βαθμό που το αντλούμενο νερό να μην αναπληρώνεται ετήσια με συνέπεια τη συνεχή πτώση της στάθμης. Έτσι παρατηρείται μια σταδιακή εξάντληση των υδροφόρων οριζόντων . Ήδη έχουν εξαντληθεί οι ορίζοντες που βρίσκονται σε απόλυτα υψόμετρα 90-80 m, ενώ οι υδροφόροι ορίζοντες των 60-50 m παρουσιάζουν μείωση της παροχής τους κατά 65%. Ο υδροφόρος ορίζοντας των 30-20 m παρουσιάζει ανάλογη εξέλιξη, με μείωση της απόδοσης κατά 50% της αρχικής. Οι μόνοι ανεπηρέαστοι μέχρι το 1992 υδροφόροι ορίζοντες είναι αυτοί που βρίσκονται σε απόλυτο υψόμετρο 5 έως 0 m.
- 2) Όσον αφορά την ποιότητα του υπογείου νερού παρατηρήθηκε μια σταθερότητα στις περιοχές Τουτούλη , Στέρνα Ορφανού, Αγία Παρασκευή κατά την 15ετία 1979-1994.
- 3) Αμμωνιακά, νιτρικά, νιτρώδη ανιχνεύτηκαν τοπικά μόνο σε ορισμένες γεωτρήσεις των περιοχών Κολλάτα και Αγία Ελεούσα και οφείλονται στην παρουσία πτηνοτροφείων, ποιμνιοστασίων και στην υπερβολική χρήση λιπασμάτων λόγω κηπευτικών καλλιεργειών.
- 4) Σε ορισμένες γεωτρήσεις ανιχνεύτηκαν δείκτες μόλυνσης, που οφείλονται σε πετατροπή αυτών σε βόθρους.
- 5) Οι περιεκτικότητες ιόντων χλωρίου (μεγαλύτερες των 500mg/l) , μαγνησίου (μεγαλύτερες των 250 mg/l ) στην περιοχή της Κοκκινόγης, που αντιστοιχήθηκαν με υψηλές συγκεντρώσεις αλάτων  $MgSO_4$  και  $MgCl_2$ , αποτελούν ενδεικτικά στοιχεία διεύθυνσης του θαλασσινού νερού εφόσον δεν προέρχονται από εβαπορίτες. Ο δείκτης REVEL (λόγος της συγκεντρώσεως των ιόντων χλωρίου προς τη συγκέντρωση των όξινων ανθρακικών ) είναι μεγαλύτερος του 10 για τα δείγματα των νερών των γεωτρήσεων σε αυτή την περιοχή. Οι αγωγιμότητες φτάνουν μέχρι 9900  $\mu S/cm$  και οι σκληρότητες μέχρι 160 Γαλλικούς βαθμούς. Οι γεωτρήσεις της περιοχής αυτής αντλούν από αρνητικά απόλυτα υψόμετρα και οι περισσότερες έχουν εγκαταλειφθεί λόγω της ακαταλληλότητας του νερού. Λαμβάνοντας υπόψη τα προαναφερθέντα μπορούμε να πούμε με βεβαιότητα ότι η περιοχή αυτή έχει επιβαρυνθεί ποιοτικά από τη διεύθυνση της θάλασσας.
- 6) Όσο αφορά τον προσδιορισμό του μετώπου υφαλμύρωσης τα στοιχεία δείχνουν μια σταδιακή μείωση των περιεκτικότητων των περιεκτικότητων των των υπό εξέταση ιόντων προς τα ΒΒΔ. Συγκεκριμένα οι τιμές φτάνουν τα 400 mg/l ως προς τα ιόντα χλωρίου, 120 mg/l ως προς τα ιόντα μαγνησίου και 250 mg/l ως προς τα θειικά ιόντα. Οι σκληρότητες φτάνουν τους 90 Γαλλικούς βαθμούς και η αγωγιμότητα τα 3000  $\mu S/cm$  . Έτσι, ένα θεωρητικό όριο θα μπορούσε να χαραχθεί με βάση τα υπάρχοντα στοιχεία μεταξύ των περιοχών Αγ. Ελεούσας προς το νότο και Αγ.Παρασκευής Κολλάτα προς βορρά-βορειοδυτικά.



Η πιο εμπειριστατωμένη και πρόσφατη έρευνα με το ίδιο αντικείμενο μελέτης εκπονήθηκε το 2002 από το Γραφείο Γεωλογικών-Υδρογεωλογικών Μελετών «ΒΑΣ. ΠΑΡΑΣΧΟΥΔΗΣ».

Πιο συγκεκριμένα παρακάτω δίδονται τα σημαντικότερα υδρογεωλογικά μεγέθη των κυριότερων υπολεκανών της ευρύτερης λεκάνης των Μεγάρων και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των υπογείων υδάτων ύστερα από εκτεταμένη .

### 3.3.3.2 Καρστική Υπολεκάνη Περιοχής μεταξύ του Υψώματος «ΔΙΟΣΚΟΥΡΟΙ» Μεγάρων και Ν. Περάμου(Παρασχούδης, 2002).

Μέγεθος υδρογεωλογικής λεκάνης :	28,00 χλμ <sup>2</sup>
Μέσο ετήσιο ύψος βροχής :	0,460μ
Μέσος ετήσιος όγκος βροχής :	12,90×10 <sup>6</sup> μ <sup>3</sup>
Εξατμισοδιαπνοή:	6,70×10 <sup>6</sup> μ <sup>3</sup>
Απορροή:	0,85×10 <sup>6</sup> μ <sup>3</sup>
Διήθηση:	5,35×10 <sup>6</sup> μ <sup>3</sup>
Απολήψεις νερού :	~4,10×10 <sup>6</sup> μ <sup>3</sup>

Οι απολήψεις αφορούν νερό κακής ποιότητας έως και υφάλμυρο-αλμυρό. Η υπολεκάνη αυτή βρίσκεται σε υπερεκμετάλλευση.

Η ζώνη μεταξύ της θάλασσας και της Νέας Εθνικής Οδού ήταν εξ αρχής ποιοτικά βεβαρυμένη λόγω δυσμενών γεωλογικών-υδρογεωλογικών συνθηκών (ανοιχτό στη θάλασσα και βαθύ KARST) και στη συνέχεια επιδεινώθηκε λόγω υπεράντλησης (Ζώνη. Περάμου-Μεγάρων).

Ανάντη της Εθνικής Οδού και μέχρι τη θέση «Αρτυκίες» η καρστική υδροφορία είναι επίσης σημαντικά βεβαρυμένη με :

Αγωγιμότητα :	2.500 - 3.000 μS/cm
Χλώρια :	600 - 800 ppm
Νάτριο :	200 - 500 ppm
S.A.R. :	3 - 8
Κατηγορία :	C <sub>3</sub> Si έως C <sub>4</sub> S <sub>2</sub>
Βαθμός αλκαλίωσης:	55-65
Νιτρικά:	45-65 ppm
Συντελεστής αλμυρότητας Revel:	3,3-7,0

και σαφώς επηρεασμένη από τη διείσδυση θαλασσινού νερού.

Επιπλέον οι υδροφόροι ορίζοντες της περιοχής υπόκεινται σε έντονη εκμετάλλευση που φθάνει τις μέσες ετήσιες κατεισχύσεις. Γι' αυτό η περιοχή αυτή θεωρείται εξαντλημένη. Μόνο σε μικρή περιοχή νοτιοδυτικά του όρους «Κανδήλι» εμβαδού ≈0,5 χλμ<sup>2</sup>, έχει νερό σχετικά καλύτερο και αυτό επειδή ο αντλούμενος υδροφόρος αναπτύσσεται μάλλον μόνο στα λατυποκροκαλοπαγή του Πλειστοκαίνου με μικρότερη περατότητα και όχι στους ασβεστόλιθους.

### 3.3.3.3 Καρστική Υπολεκάνη Περιοχής Βόρειων Παρυφών Πεδιάδας Μεγάρων (Άνω Βένιζα, Πεύκα Σταμούλη-Μελίσσια, Καλογήρου και Ζιχούλη-Λούμπα) (Παρασχούδης, 2002)

Μέγεθος υδρογεωλογικής λεκάνης :	46,00 χλμ <sup>2</sup>
Μέσο ετήσιο ύψος βροχής:	0,550μ
Μέσος ετήσιος όγκος βροχής :	25,30×10 <sup>6</sup> μ <sup>3</sup>
Εξατμισοδιαπνοή :	13,30×10 <sup>6</sup> μ <sup>3</sup>
Απορροή:	1,90×10 <sup>6</sup> μ <sup>3</sup>
Διήθηση:	10,10×10 <sup>6</sup> μ <sup>3</sup>
Απολήψεις νερού :	~2,00×10 <sup>6</sup> μ <sup>3</sup>

Μεγάλο μέρος των διηθήσεων, όμως, κινείται υπογείως προς τα ανατολικά και τελικά εκφορτίζεται υπογείως στον Ελευσινιακό κόλπο. Ο εκμεταλλεύσιμος όγκος

Πρόκειται για την ζώνη πλευρικής επαφής των μεσοζωϊκών ασβεστόλιθων και των νεογενών. Η ποιότητα των νερών γενικά είναι πολύ καλή με Αγωγιμότητα : 500-700  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , Χλώρια: 50-65 ppm, S.A.R : 0,8-1,1, κλπ.

Στην περιοχή λειτουργούν περί τις είκοσι γεωτρήσεις με παροχή 40-60  $\mu^3/\text{ώρα}$ . Σύμφωνα με το υπολογισθέν ισοζύγιο της περιοχής αυτής, υπάρχουν δυνατότητες απόληψης με γεωτρήσεις ακόμη 2,5-3,0.10<sup>6</sup>  $\mu^3$  ετησίως.

### 3.3.3.4 Λεκάνη Νεογενούς - Τεταρτογενούς Πεδιάδας Μεγάρων

Μέγεθος περιοχής Νεογενούς- Τεταρτογενούς :	64,00 $\text{χλμ}^2$
Μέσο ετήσιο ύψος βροχής:	0,440 $\mu$
Μέσος ετήσιος όγκος βροχής :	28,16 $\times 10^6 \mu^3$
Εξατμισοδιαπνοή :	17,28 $\times 10^6 \mu^3$
Απορροή:	3,80 $\times 10^6 \mu^3$
Διήθηση:	7,10 $\times 10^6 \mu^3$ (αντλήσιμο μόνο το 50%)
Απολήψεις νερού :	~3,00 $\times 10^6 \mu^3$

Με αντλήσιμες ποσότητες 3,5  $\times 10^6 \mu^3$  και πραγματοποιούμενες απολήψεις 3,0  $\times 10^6 \mu^3$  προκύπτει ότι η περιοχή υπόκειται σε σχεδόν πλήρη εκμετάλλευση. Παρακάτω περιγράφονται οι ιδιομορφίες της περιοχής αυτής.

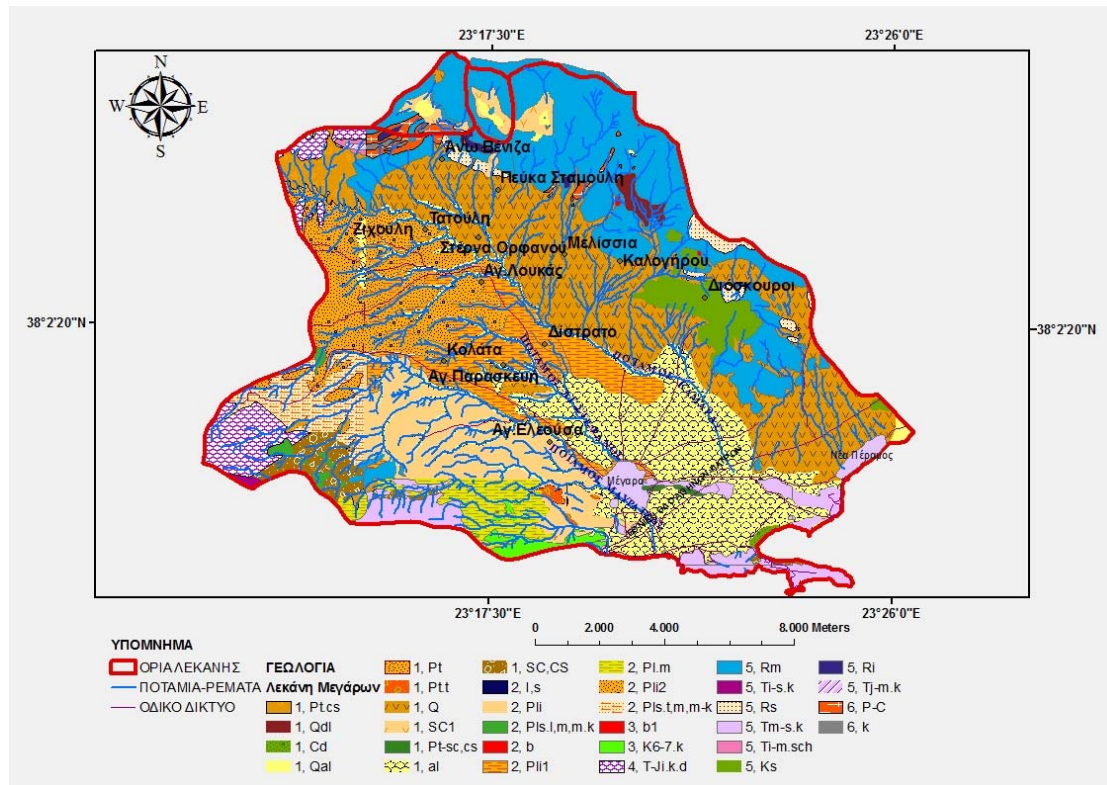
Σχεδόν στο σύνολο της περιοχής της Πεδιάδας Μεγάρων, που δομείται από αποθέσεις του Νεογενούς, υπάρχουν λίγα εγκλωβισμένα υπόγεια νερά σε στρώματα ή φακούς κροκαλοπαγών και ψαμμιτών, που παρεμβάλλονται στις αδιαπέρατες μάργες, αργίλους, κλπ. Λόγω των συνθηκών αυτών, τα εν λόγω νερά δεν υπόκεινται σε ετήσια επαναπλήρωση, με αποτέλεσμα τη σχετικά γρήγορη εξάντληση τους σε περίπτωση άντλησεων. Η παροχή των γεωτρήσεων κυμαίνεται συνήθως μεταξύ 5 και 10  $\mu^3/\text{ώρα}$  και η διάρκεια ζωής των γεωτρήσεων κυμαίνεται μεταξύ 5 και 10 ετών ανάλογα με το βαθμό άντλησης. Εξαιρεση αποτελεί η ζώνη της πλευρικής επαφής των νεογενών με τους ασβεστόλιθους-δολομίτες, της ορεινής μάζας του όρους «Πατέρας» (Τούτουλη, Αγ. Λουκάς-Καμάρας), όπου λόγω των παλαιογεωγραφικών συνθηκών κατά την απόθεση του Νεογενούς στην ζώνη αυτήν αποτέθηκαν περισσότερο αδρομερή ιζήματα (παράκτια ζώνη της θάλασσας ή της λίμνης Νεογενούς).

Επίσης σημειώνουμε ότι στην ζώνη αυτήν είναι πολύ πιθανόν να επικοινωνούν μεταξύ τους η υδροφορία των νεογενών με την καρστική υδροφορία των ασβεστολίθων-δολομιτών σχηματίζοντας έναν σχεδόν ενιαίο ορίζοντα, από τον οποίο μπορούν να αποληφθούν περίπου 2,5-3,0  $\times 10^6 \mu^3$  νερού. Στην ζώνη αυτή, λόγω των παρακείμενων καρστικών ασβεστολίθων-δολομιτών, και της περισσότερο αδρομερούς σύστασης των νεογενών, ο υπόγειος υδροφόρος ορίζοντας τροφοδοτείται-επαναπληρώνεται από τις ετήσιες κατεισδύσεις.

Στην αμιγή, περιοχή των Νεογενών της Πεδιάδας Μεγάρων, όπως αναφέραμε, τα συναντούμενα από τις πάρα πολλές γεωτρήσεις λίγα υπόγεια νερά δεν (ή σχεδόν δεν) συμμετέχουν στον ετήσιο υδρογεωλογικό κύκλο, πράγμα που σημαίνει ότι δεν επαναπληρώνονται και ως εκ τούτου δεν μπορούν να αποτελέσουν πόρο απόληψης-άντλησης υπόγειων νερών για εκτεταμένες και συστηματικές αρδεύσεις.

Από πλευράς ποιότητας, τα νερά του νεογενούς είναι πάρα πολύ καλά στην περιοχή «Τούτουλη-Αγ.Λουκάς» (Αγωγιμότητα:600-650  $\mu\text{S}/\text{cm}$  σε 25°C), Χλώρια:60-70 ppm, Νάτριο:30-40 ppm, Ολική Σκληρότητα : 14 - 15 γερμ. βαθμούς, S.A.R.: 0,8 - 1,4, Κατηγορία : C<sub>2</sub>S<sub>1</sub>, Νιτρικά:5-8 ppm, Revel : 0,20 ,60), πολύ καλά στην περιοχή

"Δίστρατο-Καμάρας" (Αγωγιμότητα: 900-1.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , Χλώρια:80-90 ppm, Νάτριο:70-90 ppm, Σκληρότητα:20-22 γερμ.βαθμοί, S.A.R.:1,5-2,0, Κατηγορία:C<sub>3</sub> S<sub>1</sub>, Νιτρικά:7-12 ppm, Revel:0,40-0,80) και λιγότερο καλά προς μέτρια στις περιοχές : α) «Μέγαρα-Μονή Πανάχραντου» και β) «Μέγαρα-Κολάτα-Χάνι» κατά μήκος του Μαυρατζά (Αγωγιμότητα:1.200-1.700  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), Χλώρια: 140-250 ppm, Νάτριο:80-130 ppm, Σκληρότητα:24-28 γερμ.βαθμοί, S.A.R.:1,5-3,0, Κατηγορία:C<sub>3</sub>S<sub>1</sub>, Νιτρικά:200-250 ppm στην περιοχή «Ι. Μ. Πανάχραντου» και 5-12 ppm στην περιοχή "Κολάτα-Χάνι-Μαυρατζάς", Revel: 0,50-0,90).



**Σχήμα 3.5** Χάρτης των γεωλογικών σχηματισμών στην υδρολογική λεκάνη των Μεγάρων και περιοχών που έχουν γίνει έρευνες ποιότητας υπογείων υδάτων.

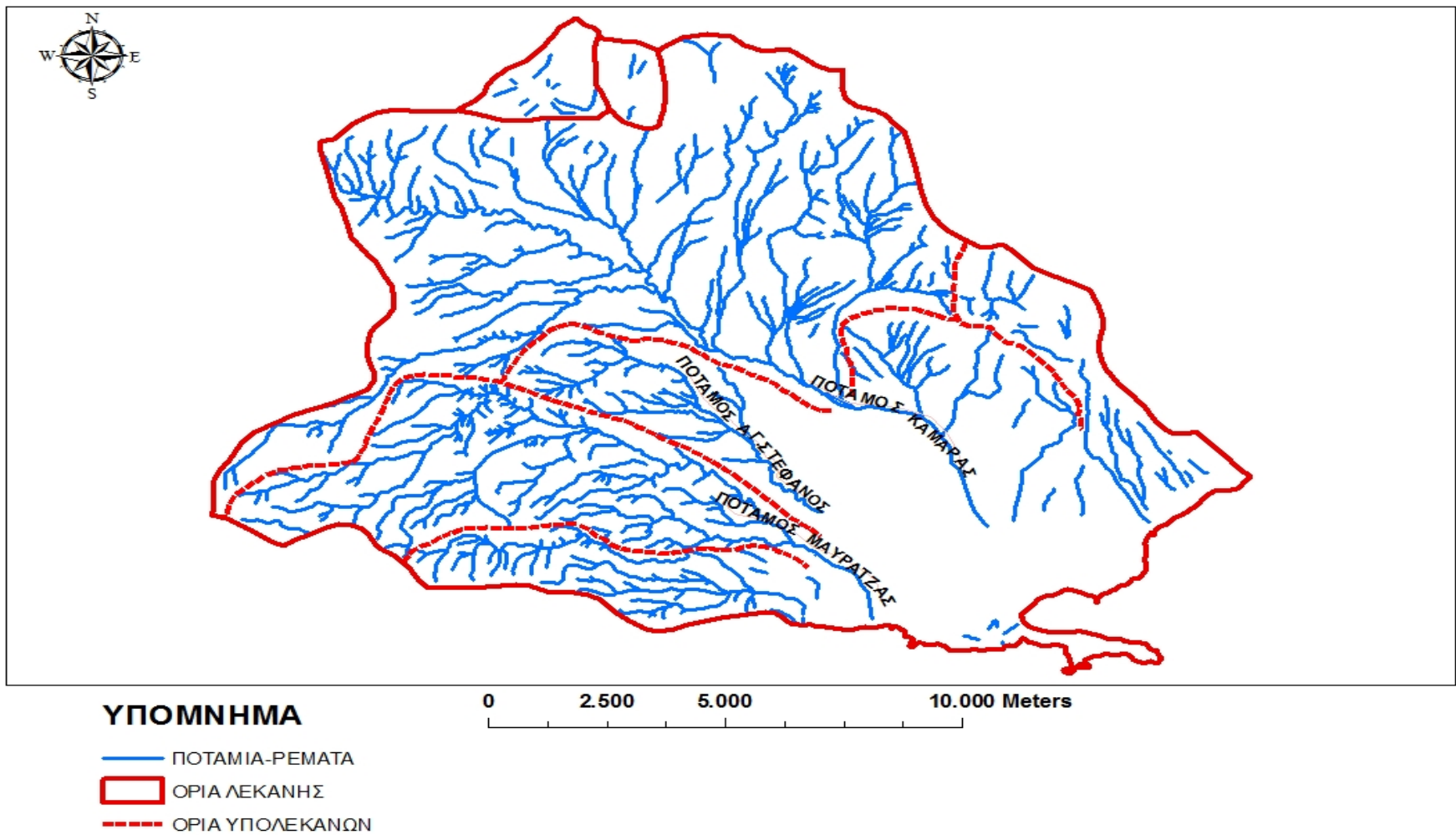
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ

### 4.1 ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ

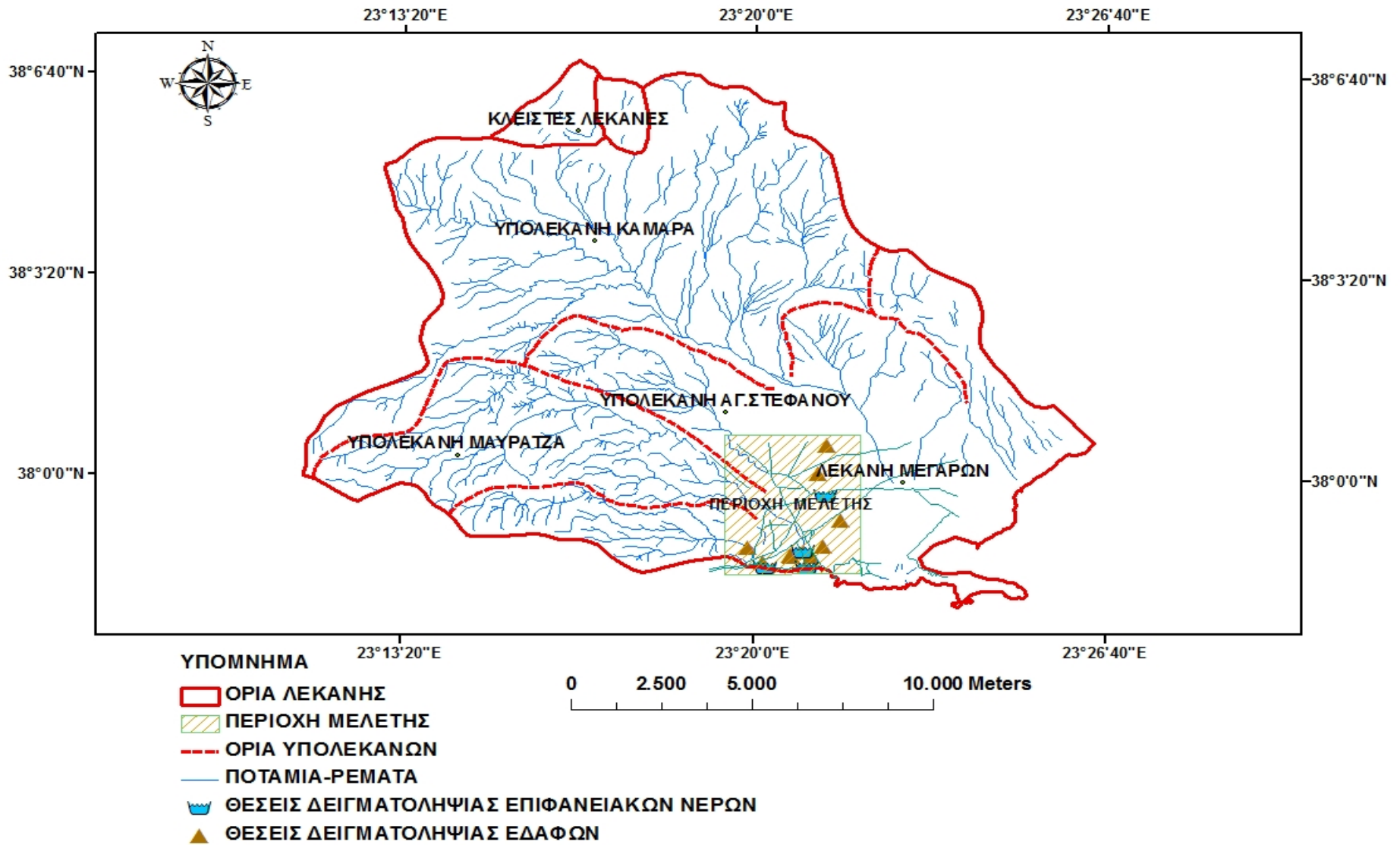
Το μεγαλύτερο μέρος της λεκάνης των Μεγάρων αποστραγγίζεται από χείμαρρους προς τα ανατολικά στον Ελευσινιακό Κόλπο. Οι σημαντικότεροι χείμαρροι της λεκάνης που ταυτόχρονα είναι και οι μοναδικοί στην περιοχή της δειγματοληψίας μας είναι οι εξής:

- 1) **Χείμαρρος «Καμάρας»** που αποστραγγίζει τη βορειοδυτική πλευρά και το κεντρικό τμήμα της ευρύτερης περιοχής των Μεγάρων. Το κυρίως ρέμα έχει μήκος περίπου 20 km και αποστραγγίζει περίπου 72 Km<sup>2</sup>. Πρόκειται για αβαθές �έμα που στο χαμηλό του τμήμα και σε μήκος 5 km, δεν έχει διαμορφωμένη κοίτη με αποτέλεσμα μετά από ισχυρές βροχοπτώσεις να κατακλύζουν προσωρινά μεγάλες πεδινές περιοχές.
- 2) **Χείμαρρος «Μαυρατζάς»** που αποστραγγίζει τη νοτιοδυτική πλευρά της λεκάνης των Μεγάρων δηλαδή έκταση εμβαδού 33 Km<sup>2</sup>. Πρόκειται για βαθύ χείμαρρο, μήκους 15 km και κατά μήκος κλίση 2% έως 3%. Το υδρογραφικό δίκτυο στο μεσαίο τμήμα είναι ιδιαίτερα πολύπλοκο, γεγονός που χαρακτηρίζει περιοχή με πολύ μικρή περατότητα και διήθηση και μεγάλη επιφανειακή απορροή.
- 3) **Χείμαρρος «Αγ. Στεφάνου»** που αποστραγγίζει μικρό τμήμα της σχεδόν πεδινής περιοχής της λεκάνης των Μεγάρων. Έχει μήκος περίπου 10 km, κατά μήκος κλίση περίπου 2%, διεύθυνση από ΒΔ προς ΝΑ και διέρχεται από το βόρειο άκρο της πόλης των Μεγάρων, την οποία και κατακλύζει σε περίπτωση βροχοπτώσεων καθώς στο τελευταίο του τμήμα (Μέγαρα-Νέα Εθνική οδός) δεν έχει σαφώς διαμορφωμένη κοίτη και η οποία επιπλέον κατά θέσεις είναι και μπαζωμένη. Είναι αβαθές �έμα και αποστραγγίζει έκταση 10 Km<sup>2</sup>, περίπου. Το υδρογραφικό δίκτυο στο υψηλό τμήμα της λεκάνης είναι πολύπλοκο με μεγάλο συντελεστή διακλάδωσης, γεγονός που χαρακτηρίζει περιοχή με πολύ μικρή περατότητα και διήθηση και μεγάλη επιφανειακή απορροή.

Το υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής, τα ποτάμια που το διαμορφώνουν καθώς και αντίστοιχη υδρολογική λεκάνη των Μεγάρων με τις υπολεκάνες που υπάγονται σε αυτή, φαίνεται στα σχήματα 4.1 και 4.2 που ακολουθούν.



Σχήμα 4.1 Το υδρογραφικό δίκτυο της υδρολογικής λεκάνης των Μεγάρων.



**Σχήμα 4.2** Το υδρογραφικό δίκτυο της υδρολογικής λεκάνης των Μεγάρων, οι υπολεκάνες που υπάγονται σε αυτή και οι θέσεις δειγματοληψίας των εδαφών και των επιφανειακών νερών.

## 4.2 ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Η μεταβολή και το μέγεθος των υδρολογικών και κλιματικών συνθηκών, όπως είναι τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα, η θερμοκρασία, η υγρασία, η εξάτμιση κ.λ.π. επηρεάζουν την υδροφορία των διαφόρων γεωλογικών σχηματισμών.

### 4.2.1 ΚΛΙΜΑ

Το κλίμα της περιοχής μελέτης ανήκει στο μεσογειακό τύπο, στον οποίο οι βροχές περιορίζονται στο ψυχρό εξάμηνο (Οκτώβριος-Μάρτιος) . Τα Μέγαρα όπως και όλη η δυτική βορειοδυτική Αττική ανήκει στην κύρια μεταβατική ζώνη μεταξύ ηπειρωτικών και γνήσιων μεσογειακών κλιμάτων (Σαχπάζης , 2001).

Ο χειμώνας αρχίζει κατά το δεύτερο δεκαήμερο του Δεκεμβρίου και συνεχίζεται έως τα μέσα Μαρτίου. Σ' αυτό το διάστημα σημειώνονται οι χαμηλότερες θερμοκρασίες του έτους και το μεγαλύτερο ύψος των βροχοπτώσεων, όπως άλλωστε συμβαίνει σε ολόκληρη τη χώρα. Στην Αθήνα ο Ιανουάριος και ο Φεβρουάριος είναι οι ψυχρότεροι μήνες του έτους.

Η ηλιοφάνεια, το κυριότερο χαρακτηριστικό του Αττικού ουρανού, συνεχίζεται και κατά το μεγαλύτερο μέρος του χειμώνα. Οι νεφοσκεπείς ημέρες δεν υπερβαίνουν τις 45 με 47 και μόνο 17 ημέρες το χρόνο είναι εντελώς ανήλιες και ο ουρανός καλύπτεται ολόκληρος από σύννεφα.

Η άνοιξη στην Αττική είναι σύντομη όπως σ' ολόκληρη τη χώρα, γιατί το καλοκαίρι αρχίζει πρώιμα, από το τρίτο δεκαήμερο του Μαΐου και παρατείνεται έως τα μέσα του Σεπτεμβρίου. Ο Μάιος είναι περισσότερο θερινός παρά εαρινός μήνας, γιατί παρατηρείται απότομη ύψωση της θερμοκρασίας. Συχνά όμως στις αρχές Μαΐου σημειώνεται εισβολή ψύχους και σημαντική πτώση της θερμοκρασίας που οφείλονται κυρίως στους ανακύκλωνες της βόρειας και της βορειοδυτικής Ευρώπης, στους κυκλώνες και ανακύκλωνες του Ατλαντικού και στις υφέσεις της ανατολικής Μεσογείου. Από τον Ιούνιο έως το Σεπτέμβριο κυρίως τον Ιούλιο και τον Αύγουστο επικρατούν οι υψηλότερες θερμοκρασίες του έτους. Σ' όλο αυτό το διάστημα ο ουρανός είναι αίθριος, η ξηρασία διαρκής, αλλά παρά τον καύσωνα της ημέρας (μέση μέγιστη θερμοκρασία 32,2 βαθμοί) οι νύχτες είναι εξαιρετικά ευχάριστες. Η θαλάσσια αύρα και τα μελτέμια μετριάζουν τον καύσωνα, ο οποίος υποχωρεί μόλις αρχίσει ο Σεπτέμβριος. Τα ετήσια μελτέμια, που δημιουργούνται υπό την επίδραση του αντικύκλωνα των Αζορών, των αντικυκλώνων της δυτικής Ρωσίας και της βορειοδυτικής Ευρώπης , πνέουν σαν βόρειοι περιοδικοί άνεμοι από τον Μάιο έως τον Σεπτέμβριο , με μεγαλύτερη συχνότητα στο τρίτο δεκαήμερο του Ιουνίου.

Το Φθινόπωρο θεωρείται η καλύτερη εποχή για την υπό εξέταση περιοχή , όπου η καλοκαιρία όχι σπάνια παρατείνεται έως τα μέσα Δεκεμβρίου. Η θερμοκρασία είναι ήπια ενώ η ξηρασία διακόπτεται από τα πρωτοβρόχια. Ιδιαίτερα ευχάριστες και αίθριες ημέρες σημειώνονται στην περίοδο των τελευταίων ημερών και των πρώτων ημερών του Νοεμβρίου.

#### 4.2.2 ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΑ ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ

Όσον αφορά τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα, στοιχεία υπάρχουν από το βροχομετρικό σταθμό των Μεγάρων και από την υδρογεωλογική έρευνα που διεξάχθηκε από την εταιρεία "ΓΕΩΔΟΜΗΣΗ" (Σαχπάζης, 2001), στην οποία περιλαμβάνεται η περιοχή μελέτης μας.

Από τις μετρήσεις αυτές φαίνεται ότι έχουμε τις υψηλότερες τιμές βροχόπτωσης τους μήνες Νοέμβριο — Δεκέμβριο και τις χαμηλότερες τιμές Ιούλιο - Αύγουστο (βλ. Σχήμα 4.3 και Πίνακας 4.1).

ΜΗΝΑΣ	ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ ΜΕΓΑΡΩΝ(ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ)		ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗ ΛΕΚΑΝΗ ΜΕΓΑΡΩΝ	
	Μέση βροχόπτωση (mm)	Μέση θερμοκρασία (0C)	Μέση βροχόπτωση (mm)	Μέση θερμοκρασία (0C)
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	44	9,6	46,8	9,5
ΦΕΒΡΟΥΆΡΙΟΣ	38,2	10	40	9,9
ΜΆΡΤΙΟΣ	39,2	12,7	40	12,6
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	29,5	16,4	28	16,2
ΜΆΙΟΣ	15,3	21,2	16	21,1
ΙΟΥΝΙΟΣ	7,7	26,1	8	25,9
ΙΟΥΛΙΟΣ	4,2	28,8	4,5	28,6
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	6,9	27,9	6,5	27,8
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	9,3	24,9	10	24,7
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	40,1	19,4	44	19,2
ΝΟΪΕΜΒΡΙΟΣ	51,6	14,4	52	14,5
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	57,4	11,3	60	11,3

Πηγή : Ε.Μ.Υ

**Πίνακας 4.1** Μετεωρολογικά στοιχεία σταθμού μετεωρολογικού σταθμού Μεγάρων (1946-88).



### Σταθμός Μεγάρων (Ε.Μ.Υ) :

Υψόμετρο σταθμού : 1μ

Περίοδος παρατηρήσεων : 1946-1988

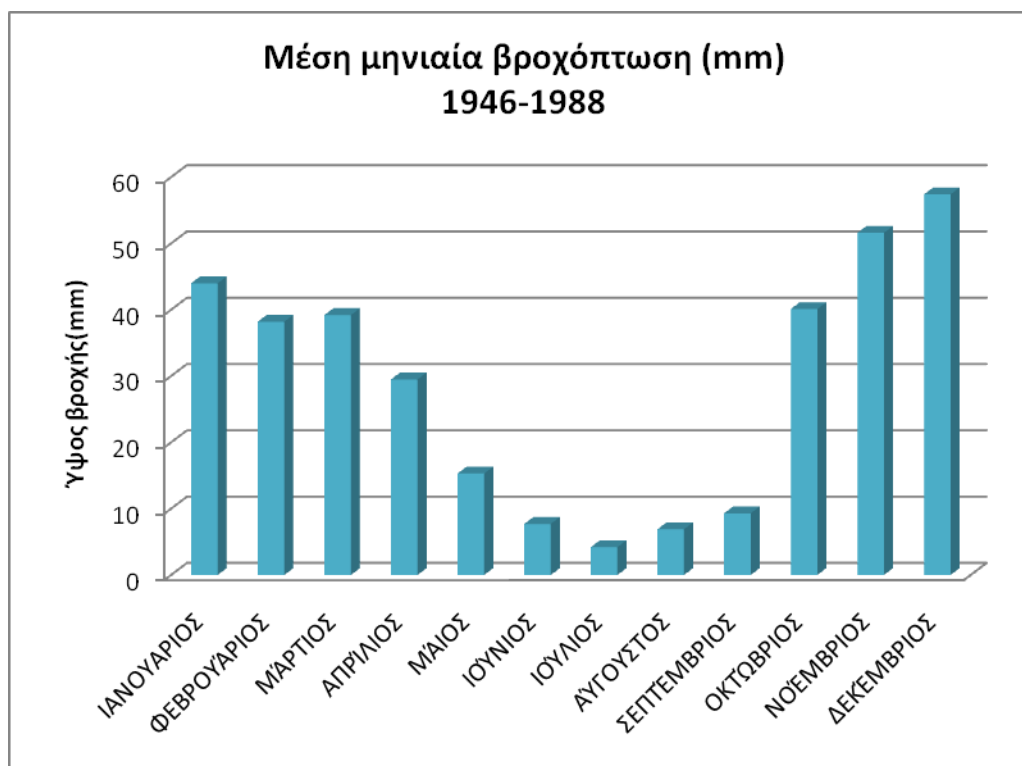
Έτη παρατηρήσεων : 43 έτη

Μέσο ετήσιο ύψος βροχής : 343,4 χιλιοστά

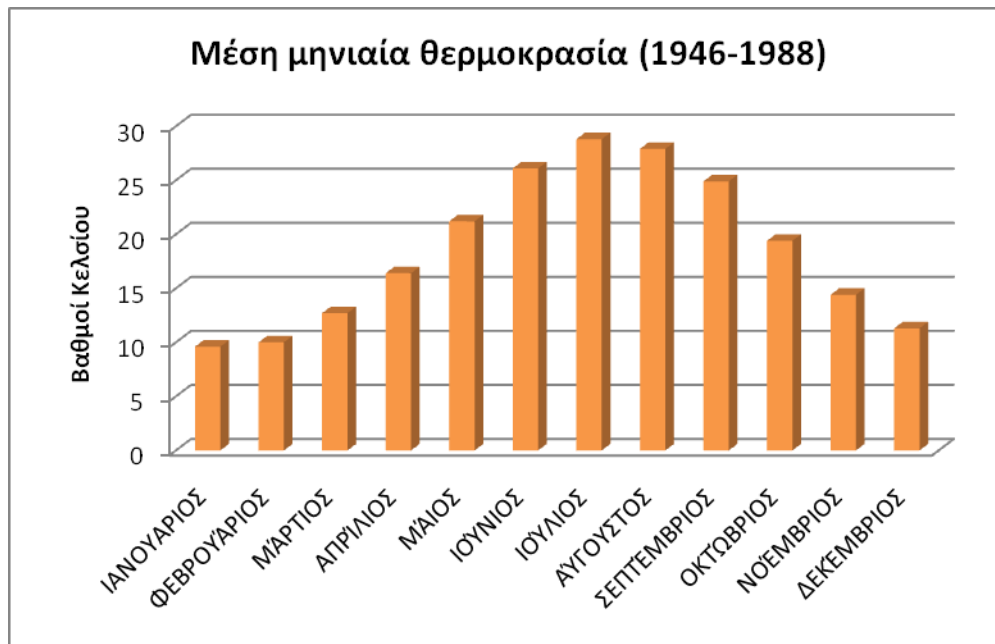
Μέγιστο ετήσιο ύψος βροχής : 738,4 χιλιοστά (1955)

Ελάχιστο ετήσιο ύψος βροχής : 109,0 χιλιοστά (1988)

Στο σχήμα 4.4 δίνεται η κατανομή της μέσης θερμοκρασίας (°C) και στο σχήμα 4.3 η κατανομή του μέσου ύψους βροχής (mm), βάσει στοιχείων του μετεωρολογικού σταθμού Μεγάρων, ενώ στο σχήμα 4.5 παρουσιάζεται το ομβροθερμικό διάγραμμα περιόδου 1946-1988.



**Σχήμα 4.3:** Κατανομή μέσου μηνιαίου ύψους βροχής (mm), (Μετεωρολογικός Σταθμός Μεγάρων).



**Σχήμα 4.4:** Κατανομή μέσης θερμοκρασίας (°C), (Μετεωρολογικός Σταθμός Μεγάρων).



**Σχήμα 4.5:** Ομβροθερμικό διάγραμμα λεκάνης Μεγάρων περιόδου 1946-1988.

Από το ομβροθερμικό διάγραμμα της περιοχής προκύπτει ότι η ξηρή περίοδος διαρκεί από τον Απρίλιο μέχρι τον Σεπτέμβριο. Το παραπάνω ομβροθερμικό διάγραμμα απεικονίζει την πορεία της μέσης θερμοκρασίας σε °C του κάθε μήνα με το αντίστοιχο μέσο μηνιαίο ύψος βροχής σε mm.

## **4.3 ΧΡΗΣΕΙΣ ΓΗΣ**

### **4.3.1 ΓΕΩΡΓΙΑ ΣΤΗ ΛΕΚΑΝΗ ΤΩΝ ΜΕΓΑΡΩΝ**

Σήμερα, στην πεδιάδα των Μεγάρων( Εθνική Στατιστική Υπηρεσία Πληροφοριών), υπάρχουν εκτεταμένοι ελαιώνες, πολλοί εκ των οποίων εμφανίζουν έντονα σημάδια «γήρανσης» και γενικά «εγκατάλειψης». Επίσης υπάρχουν εκτεταμένοι αμπελώνες που καλύπτουν κατ' εκτίμηση έκταση 3.000-4.000 στρέμματα, ενώ τις τελευταίες δεκαετίες δημιουργήθηκαν δενδροκαλλιέργειες (κυρίως φυσικόδεντρα ), οι οποίες αρδεύονται με πολύ βεβαρημένο (υφάλμυρο) νερό ( Σχήμα 4.6) .

Τέλος υπάρχουν και πολλά θερμοκήπια κηπευτικών. Η περιοχή των Μεγάρων καλύπτει σε μεγάλο ποσοστό τις ανάγκες των Αθηνών σε κηπευτικά, κυρίως χειμερινά, αφού γίνονται αρδεύσεις και το χειμώνα (Ε.Σ.Υ.Ε).

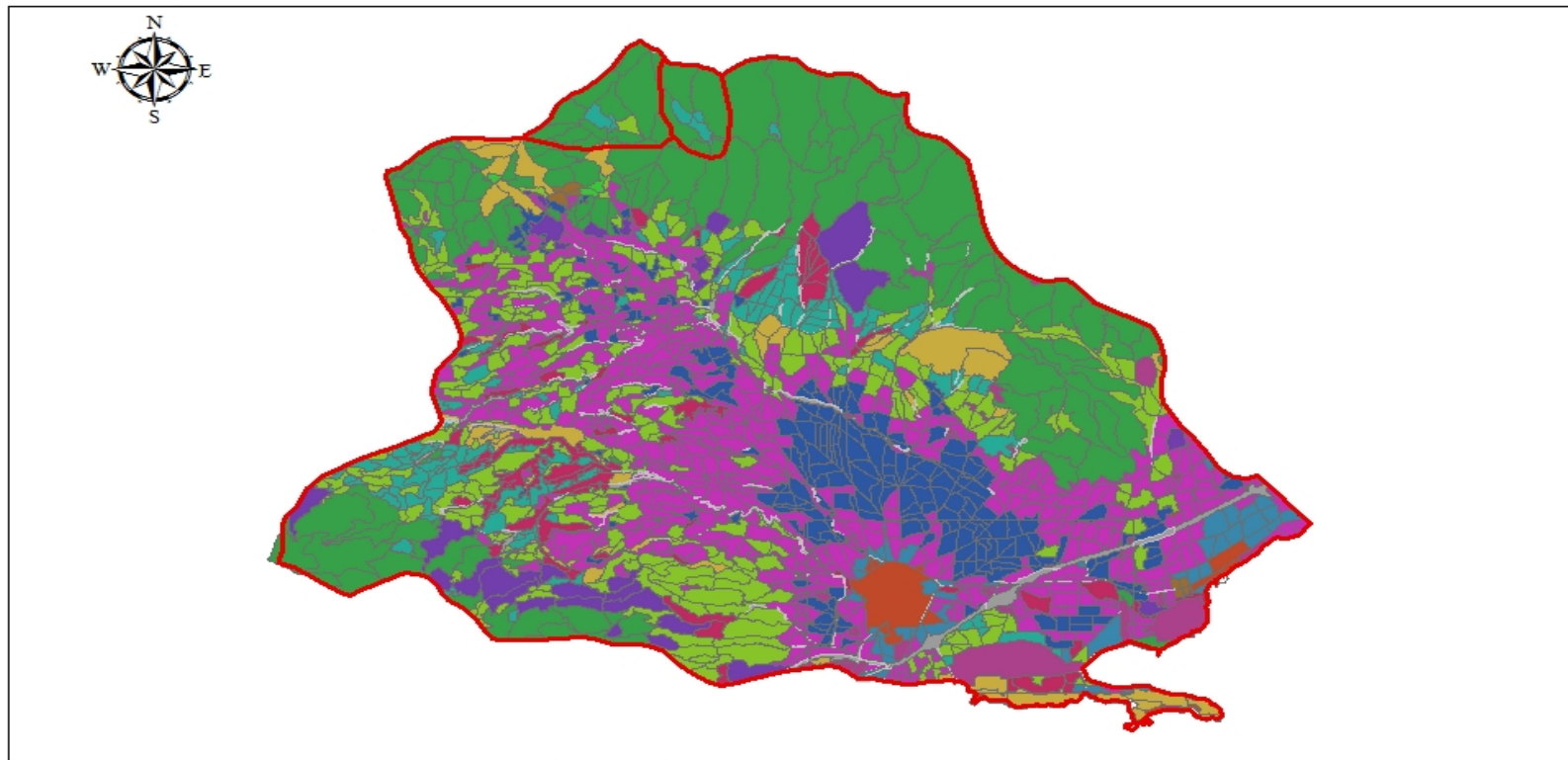
Οι εκτάσεις που αρδεύονται με υπόγεια νερά στην ευρύτερη περιοχή των Μεγάρων ανέρχονται περίπου σε 15.000 στρέμματα έναντι των 100.000 στρεμμάτων που θα μπορούσαν θεωρητικά να αρδευτούν αν υπήρχε διαθέσιμο νερό και διαθέσιμο ανθρώπινο αγροτικό δυναμικό. Η αγροτική δραστηριότητα, σήμερα, σε ποσοστό μέχρι και 70% γίνεται από αλλοδαπούς μετανάστες (Παρασχούδης, 2002).

#### **4.3.1.1 Η επίδραση της γεωργίας στην υποβάθμιση των υδατικών πόρων**

Η γεωργία αποτελεί ένα ανοικτό σύστημα παραγωγής και η ρύπανση που προκαλεί είναι ως επί το πλείστον μη σημειακή (Non Point System), γεγονός που δυσχεραίνει την διαδικασία ελέγχου και αντιμετώπισης της (Ritter and Wolfie, 2001). Με τη πάροδο του χρόνου η γεωργία με τις επιστημονικές και τεχνολογικές εξελίξεις έχει γίνει πιο αυτοματοποιημένη και πιο εντατική με στόχο την μεγιστοποίηση της παραγωγής.

Η αύξηση των εισροών της επικουρικής ενέργειας (χημικά λιπάσματα και φυτοφάρμακα) στα αγροοικοσυστήματα είχε σαν συνέπεια τις αυξημένες πιθανότητες ρύπανσης του περιβάλλοντος, με αποτέλεσμα η γεωργία να θεωρείται μια από τις μεγαλύτερες μη σημειακές πηγές ρύπανσης και υποβάθμισης των υδατικών πόρων (υπόγειων και επιφανειακών) και των εδαφικών πόρων.

Ειδικότερα οι κυριότερες αιτίες υποβάθμισης των εδαφικών και υδατικών πόρων είναι η χρήση των αγροχημικών στην γεωργία σε συνδυασμό με τις υπόλοιπες γεωργικές δραστηριότητες και πρακτικές (μηχανική καλλιέργεια, υπεράντληση υδροφόρων κ.α.).



**ΥΠΟΜΝΗΜΑ**

- |                                       |                                      |                |  |
|---------------------------------------|--------------------------------------|----------------|--|
| ΟΡΙΑ ΛΕΚΑΝΗΣ                          | <b>ΛΕΚΑΝΗ ΜΕΓΑΡΩΝ</b>                | Βοσκότοποι     | Ελαιώνες                                   |
| <b>ΧΡΗΣΕΙΣ ΓΗΣ</b>                    | Βοσκότοποι μικτοί                    | Ελαιώνες μικτό | Άλλη χρήση (πτηνοκτηνοτροφεία-στρατόπεδα)  |
| Δάσος                                 | Αροτραίες καλλιέργειες και κηπευτικά | Δάσος μικτό    | Αροτραίες καλλιέργειες και κηπευτικά μικτό |
| Αστική περιοχή                        | Μόνιμες δενδρώδεις καλλιέργειες      | Αστική περιοχή | Δρόμοι                                     |
| Μόνιμες δενδρώδεις καλλιέργειες μικτό |                                      |                |  |

**Σχήμα 4.6** Χρήσεις γης στην υδρολογική λεκάνη των Μεγάρων

Ως «αγροχημικά» χαρακτηρίζεται κάθε είδους χημική συνθετική ένωση η οποία χρησιμοποιείται από την γεωργία προκειμένου:

- να βελτιώσει ή μεγιστοποιήσει την παραγωγή (χημικά λιπάσματα),
- να μειώσει ή εξαλείψει τις απώλειες της παραγωγής (φυτοφάρμακα, ζιζανιοκτόνα, μυκητοκτόνα κ.α.) ( Muller, 2000).

Με την εφαρμογή των ανωτέρω ενώσεων στο έδαφος προκαλούνται ρυπάνσεις τόσο στο έδαφος όσο και στους επιφανειακούς και υπόγειους υδροφορείς. Από την στιγμή της εφαρμογής τους μόνο ένα μικρό ποσοστό από αυτά εκπληρώνει το στόχο για τον οποίο προορίζεται, ενώ το μεγαλύτερο ποσοστό διαχέεται στο περιβάλλον διαμέσου πολλών και διαφόρων οδών αποτελώντας μη σημειακές πηγές ρύπανσης. Οι οργανικές ενώσεις και τα θρεπτικά στοιχεία (N, P, K) μετακινούνται στο έδαφος μέσω διαφόρων διεργασιών οι οποίες παρουσιάζονται παρακάτω (Ritter and Wolfie, 2001):

### 1.Επιφανειακή απορροή

Επιφανειακή απορροή συμβαίνει όταν ο ρυθμός βροχόπτωσης υπερβαίνει την διηθητική ικανότητα του εδάφους.

Κατά την επιφανειακή μετακίνηση, η ουσία είτε είναι προσροφημένη στα σωματίδια του εδάφους και μετακινείται μαζί με αυτό, είτε βρίσκεται στην υδατική φάση και απορρέει με την επιφανειακή απορροή του νερού. Η μετακίνηση στην επιφάνεια του εδάφους των θρεπτικών ουσιών και των οργανικών ενώσεων είναι δύσκολο να προβλεφθεί με διάφορα ομοιώματα, επειδή δεν έχει στενή συσχέτιση με τις φυσικοχημικές τους ιδιότητες.

Η επιφανειακή απορροή εξαρτάται από τα μορφολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής π.χ. η κλίση του εδάφους, από το ποσοστό φυτοκάλυψης του εδάφους, τις μεθόδους καλλιέργειας όπως η χρήση βαρέων μηχανημάτων που συμπιέζουν το έδαφος και περιορίζουν την διηθητική του ικανότητα. Η επιφανειακή απορροή είναι εντονότερη όταν υπάρχει υγρό φθινόπωρο μετά από παρατεταμένο ξηρό καλοκαίρι και αποτελεί τον σημαντικότερο παράγοντα μεταφοράς των νιτρικών στα επιφανειακά νερά.

### 3.Κατακόρυφη έκπλυση

Εάν μία οργανική ένωση ή ένα θρεπτικό στοιχείο κατά την καθοδική του κίνηση κατορθώσει να περάσει από την ακόρεστη στην κορεσμένη ζώνη του εδάφους, χωρίς να προσροφηθεί ούτε να αποικοδομηθεί, τότε υπάρχει πολύ μεγάλη πιθανότητα ρύπανσης των υπόγειων νερών. Το βάθος στο οποίο βρίσκεται η κορεσμένη ζώνη αποτελεί σπουδαία παράμετρο. Ένας μηχανισμός που δεν έχει διερευνηθεί επαρκώς, αλλά παίζει σπουδαίο ρόλο στην κατακόρυφη έκπλυση είναι η μετακίνηση των προσροφημένων ρύπων στα κolloειδή του εδάφους, με την μετακίνηση των κolloειδών δια μέσου του εδαφικού διαλύματος.

Όσον αφορά τα νιτρικά υπάρχει μια σταθερή συσσώρευση τους στα υπόγεια νερά από το 1940 μέχρι σήμερα που οφείλεται τόσο στα λιπάσματα όσο και στην αποψίλωση

λειμώνων για δημιουργία αγροτικών εκτάσεων. Η συγκέντρωση των νιτρικών στα υπόγεια νερά βαίνει αυξανόμενη επειδή υπάρχει καθυστέρηση κίνησης του ρυπαντικού φορτίου προς τους υδροφόρους ορίζοντες. Αυτό έχει δυσμενείς επιπτώσεις στα ποτάμια που τροφοδοτούνται από τα υπόγεια νερά.

### 3.Διάβρωση

Διάβρωση καλείται η απομάκρυνση εδαφικού υλικού με το νερό ή σε μικρότερο βαθμό με τον άνεμο. Σε αντίθεση με τις άλλες μορφές υποβάθμισης, η διάβρωση μετακινεί έδαφος από περιοχή σε περιοχή. Η διάβρωση προκαλείται από οποιαδήποτε ανθρώπινη δραστηριότητα εκθέτει το έδαφος στην επίδραση της βροχής ή του ανέμου ή αυξάνει την ποσότητα και την ταχύτητα της επιφανειακής απορροής. Μερικές γεωργικές εργασίες, όπως η άροση κάθετα στις ισοϋψείς καμπύλες σε επικλινείς περιοχές, η αφαίρεση της εδαφοκάλυψης ή και της βλάστησης στα περιθώρια των χωραφιών, η αύξηση της έκτασης των αγροτεμαχίων, η εγκατάλειψη της καλλιέργειας σε πεζούλες, η όψιμη σπορά των χειμερινών σιτηρών, οι άκαιρες γεωργικές επεμβάσεις και η συμπίεση από βαριά μηχανήματα αποτελούν αιτίες της διάβρωσης.

Σαν συνέπεια της διάβρωσης έχουμε τη διατάραξη φυσικών οικοσυστημάτων από την απόθεση εδάφους, που αφαιρέθηκε από τις ανάντη καλλιεργούμενες εκτάσεις και πιθανότατα περιέχει ρύπους (γεωργικά φάρμακα, λιπάσματα, βαρέα μέταλλα).

Η διαδικασία της διάβρωσης των φωσφορικών πετρωμάτων είναι ο κυριότερος παράγοντας εμπλουτισμού των επιφανειακών νερών με φώσφορο δεδομένου ότι χαρακτηρίζεται σαν μη κινητικό συστατικό στο έδαφος και σχηματίζει δυσδιάλυτα σύμπλοκα που μεταφέρονται δύσκολα με την απορροή. Συνεπώς η διάβρωση αποτελεί το κύριο μηχανισμό μεταφοράς του.

### Λιπάσματα

Οι ποσότητες των λιπαντικών στοιχείων και ιχνοστοιχείων καθώς και κάθε μορφής στοιχείων που προσφεύγει στο έδαφος και στη συνέχεια εκπλύνονται είναι δύσκολο να προσδιορισθούν επακριβώς για τους εξής λόγους:

1. Απαιτείται επακριβώς προσδιορισμός των αφομοιώσιμων ποσοτήτων κατά είδος καλλιέργειας σε σχέση με τα εδαφικά χαρακτηριστικά, .
2. Προσδιορισμός βαθμού δέσμευσης των στοιχείων αυτών από το έδαφος και
3. Προσδιορισμός απωλειών λόγω έκπλυσης με την πρόσθεση των 1 και 2 και αφαίρεση από το σύνολο.

Όσον αφορά τις απώλειες των βασικών λιπαντικών στοιχείων/ ενώσεων ( $N$ ,  $P_2O_5$ ,  $K$ ) αυτές ποικίλλουν από καλλιέργεια σε καλλιέργεια και εδαφική σύσταση. Γίνεται λοιπόν κατανοητό ότι για τον επακριβή προσδιορισμό των αφαιρούμενων ποσοτήτων  $N - P - K$  απαιτείται λεπτομερής μελέτη των ισορροπιών εισροών-απωλειών (input-output) κατά καλλιέργεια.

### ➤ Φώσφορος

Για τον φώσφορο γενικά, λαμβάνεται ότι από τη συνολική προστιθέμενη ποσότητα το 10 – 30 % παραλαμβάνεται από τις καλλιέργειες αφού το μεγαλύτερο μέρος αυτού σχηματίζει στο έδαφος φωσφορικές ενώσεις μη διαθέσιμες στα φυτά (Μπόβης, 1990) . Η απομάκρυνση του φωσφόρου από το έδαφος μπορεί να λάβει χώρα με τρεις διαδικασίες (Αναλογίδης, 2000):

- Υδατοδιαλυτός και τεμαχιδιακός φώσφορος απομακρυνόμενος επιφανειακά από το έδαφος με την επιφανειακή απορροή του ύδατος των βροχοπτώσεων και με τη διάβρωση του εδάφους.
- Υδατοδιαλυτός και τεμαχιδιακός φώσφορος παρασυρόμενος με το καθοδικό ρεύμα του ύδατος των βροχοπτώσεων, το οποίο κινούμενο δια μέσου του εδάφους καταλήγει σε ρυάκια ή ποτάμια χωρίς να φτάσει στον κύριο υπεδάφιο υδροφόρο ορίζοντα (Υπεδάφια απορροή).
- Υδατοδιαλυτός και τεμαχιδιακός φώσφορος που απομακρύνεται με έκπλυση δηλαδή παραλαμβάνεται από το καθοδικό ρεύμα του εδαφικού ύδατος, φθάνει στον υδροφόρο ορίζοντα και διηθείται σε ρυάκια, ποταμούς ή λίμνες.

Λόγω της μικρής διαλυτότητας του φωσφόρου στο εδαφικό διάλυμα, το μεγαλύτερο μέρος αυτού απομακρύνεται υπό σωματιδιακή μορφή και καταλήγει στους επιφανειακούς υδατικούς αποδέκτες συντελώντας σημαντικά στην δημιουργία ευτροφικών συνθηκών.

### ➤ Άζωτο

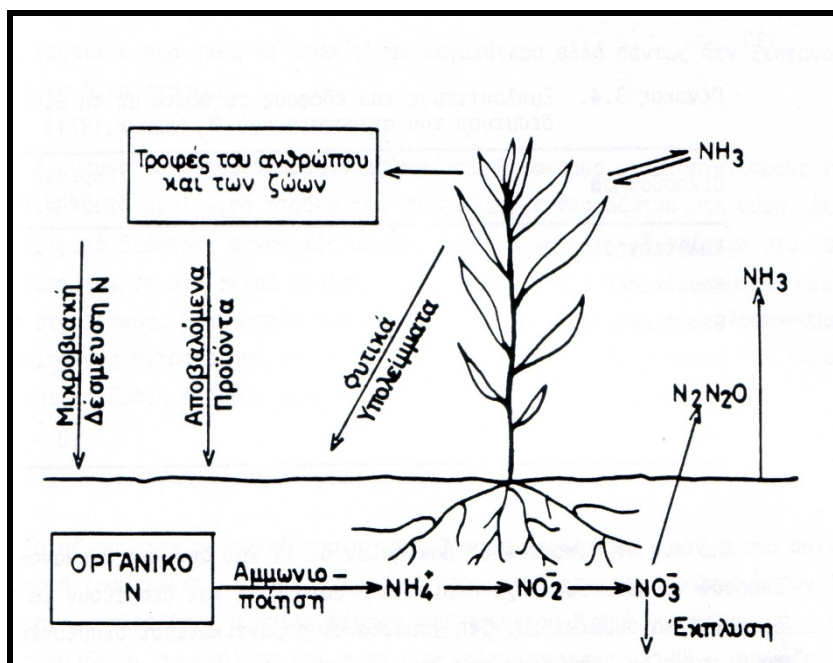
Τα φυτά παραλαμβάνουν το 40 – 75% του N από το έδαφος (σε αφομοιώσιμη μορφή). Οι απώλειες στο υδατικό διάλυμα και στη συνέχεια λόγω απορροών είναι μεγάλες για το N σε μορφή νιτρικού αζώτου και λιγότερες σε μορφή νιτρικής αμμωνίας. Ο βαθμός έκπλυσης εξαρτάται άμεσα από την ποσότητα διηθούμενου ύδατος στην κατανομή του εδάφους. Η έκπλυση των νιτρικών ιόντων είτε κατά βάθος είτε πλευρικά αποτελεί τη σοβαρότερη διαδικασία απομάκρυνσης αζώτου από το έδαφος , δεύτερη κατά σειρά σε ποσοτική σημασία μετά την πρόσληψη N από τα φυτά (Legg and Meisinger, 1982)

Δεδομένου ότι τις αζωτούχες ενώσεις τις συναντάμε στα ανώτερα στρώματα του εδάφους, η επιφανειακή διάβρωση επιφέρει σημαντικές απώλειες αζώτου. Με τη διάβρωση απομακρύνονται προς τις γραμμές απορροής όλες σχεδόν οι μορφές αζώτου (αφομοιώσιμη οργανική ουσία, στερεά συστατικά κτλ).

Πρόσθετες απώλειες μπορούν να λάβουν χώρα υπό μορφή αερίων (μοριακό άζωτο ή αέριες ενώσεις όπως είναι η αμμωνία, το οξείδιο (NO) και το υποοξείδιο (N<sub>2</sub>O) λόγω διαφορετικών αιτιών:

- i. Βιολογική
- ii. Χημική αποσύνθεση νιτρωδών
- iii. Έκλυση μοριακού αζώτου από την αντίδραση νιτρώδους με αμμώνιο σε αμινοξέα και

iv. Λόγω του φαινομένου της απονίτρωσης (δράση μικροοργανισμών). Έχει άμεση σχέση με το pH του εδάφους.



Σχήμα 5.9: Ο κύκλος του αζώτου. (Μπόβης, 1990).

### ➤ Κάλιο

Όσον αφορά το Κάλιο μία καλλιέργεια απομακρύνει περίπου 50-75% του καλίου που προστίθεται. Οι απώλειες K είναι τριών μορφών δηλαδή με τη γεωργική παραγωγή, την αποστράγγιση και τη διάβρωση. Δεν υπάρχουν απώλειες σε αέρια μορφή. Πάντως δεν εκπλύνεται εύκολα πλην ειδικών περιπτώσεων. Ουσιαστικό ρόλο παίζει το pH του εδάφους στο φαινόμενο απωλειών εναλλακτικού καλίου.

Η κινητικότητα του K στο έδαφος εξαρτάται έντονα από την παρουσία σε αυτό αργλικών ορυκτών. Σε εδάφη πλούσια σε αργίλους η δέσμευση είναι μεγάλη και η κινητικότητα και ο ρυθμός διαχύσεως είναι μικρός. Αντίθετα στα αμμώδη και οργανικά εδάφη οι απώλειες του K με τις εκπλύσεις είναι μεγάλες.

Τα εδάφη που παρουσιάζουν μικρή τιμή συνολικής εναλλακτικής ικανότητας σε κατιόντα (CEC) εμφανίζουν σημαντικές απώλειες σε κάλι δεδομένου ότι δεν μπορούν να συγκρατήσουν και να προστατέψουν το K από τη έκπλυση.

Τα οργανικά εδάφη παρουσιάζουν κατά κανόνα τις μεγαλύτερες απώλειες σε κάλιο με έκπλυση.



## Φυτοφάρμακα

Στον Ελλαδικό χώρο δεν υπάρχουν συστηματικές μετρήσεις και καταγραφές της ρύπανσης των υπόγειων νερών από φυτοφάρμακα παρά μόνο περιστασιακές μετρήσεις σε ορισμένες περιοχές. Οι κυριότερες ομάδες φυτοφαρμάκων που χρησιμοποιούνται στην Ελλάδα είναι τα εντομοκτόνα (3.520 tn/έτος), τα ζιζανιοκτόνα (3.440 tn/έτος) και τα μυκητοκτόνα (2.800 tn/έτος). Οι τριαζίνες αποτελούν το 27% των συνολικά χρησιμοποιούμενων ζιζανιοκτόνων και τα οργανοφωσφορικά το 23% των συνολικά χρησιμοποιούμενων εντομοκτόνων και συνιστούν τις κύριες χημικές ομάδες (Albanis et al.,1998).

Οι κυριότερες ιδιότητες που καθορίζουν την δυναμική των φυτοφαρμάκων στο έδαφος και την έκπλυση τους προς τους υπόγειους υδροφορείς και τους επιφανειακούς αποδέκτες είναι η διάσπαση, η προσρόφηση, η διαλυτότητα και η πτητικότητα (Αντωνόπουλος, 2001):

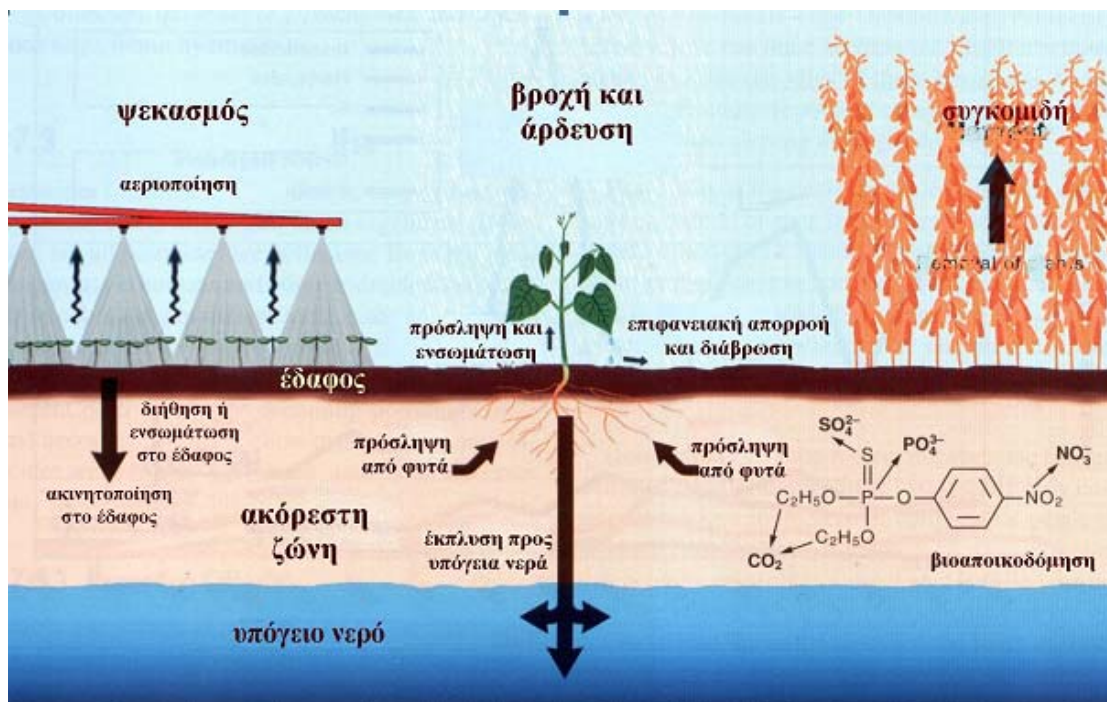
- **Διάσπαση:** τα περισσότερα φυτοφάρμακα είναι οργανικές ενώσεις που διασπώνται κάτω από κοινές περιβαλλοντικές συνθήκες (μικροβιακές, φωτοχημικές και χημικές αντιδράσεις). Η ταχύτητα διάσπασης εκφράζεται από την ημιπερίοδο ζωής, που εξαρτάται από την χημική δομή τους, την ηλιακή ακτινοβολία, τον τύπο του εδάφους, την θερμοκρασία, την περιεχόμενη υγρασία και τη θέση του στο έδαφος.
- **Προσρόφηση:** η ένταση της προσρόφησης ενός φυτοφαρμάκου εξαρτάται από τις χημικές ιδιότητες της ουσίας, τα χαρακτηριστικά του εδάφους και την περιεχόμενη οργανική ουσία του εδάφους. Ισχυρώς προσροφημένα φυτοφάρμακα (κυρίως από τα κολλοειδή της αργίλου και τα οργανικά κολλοειδή) και μάλιστα στα όρια του υδατικού διαλύματος και των κολλοειδών, δύσκολα διαλύονται στο νερό και γι' αυτό το λόγο η αποσύνθεσή τους από τους μικροοργανισμούς του εδάφους γίνεται ακόμα πιο προβληματική. Τα φυτοφάρμακα που προσροφώνται στο έδαφος δεν διηθούνται στα βαθύτερα στρώματα αλλά μεταφέρονται με την επιφανειακή απορροή, με τα υλικά της διάβρωσης του εδάφους, αποτελώντας συνιστώσα ρύπανσης των επιφανειακών υδάτων.
- **Διαλυτότητα:** Η διαλυτότητα των φυτοφαρμάκων έχει σχέση με την έκπλυση από τη εδαφική ζώνη εφαρμογής. Φυτοφάρμακα με διαλυτότητα μικρότερη των 30 mg/l θεωρούνται ότι έχουν μικρή ικανότητα για έκπλυση, ενώ εκείνα με μεγαλύτερη των 30 mg/l θεωρούνται ότι έχουν μεγάλη δυνατότητα έκπλυσης. Τα φυτοφάρμακα που έχουν μικρή διαλυτότητα και δεν συσσωρεύονται στο έδαφος χάνονται με την απορροή και την διάβρωση του εδάφους.
- **Πτητικότητα:** είναι η ικανότητα των φυτοφαρμάκων να αεριοποιούνται. Για τα περισσότερα φυτοφάρμακα οι απώλειες με την αεριοποίηση είναι ασήμαντες σε σχέση με τις απώλειες με την έκπλυση και την επιφανειακή απορροή. Οι απώλειες αυτές μπορούν να μειωθούν με την ενσωμάτωση των φυτοφαρμάκων στο έδαφος.

Το φαινόμενο της προσρόφησης είναι ο καθοριστικός παράγων παραμονής ή έκπλυσης ή βιολογικής αποσύνθεσης των υπολειμμάτων των φυτοφαρμάκων στο έδαφος. Η ένταση προσρόφησης εξαρτάται από τη σύσταση του εδάφους, την υγρασία, το pH και τη θερμοκρασία. Η άργιλος σαν συστατικό μεγάλης επιφάνειας συγκρατεί μεγάλες ποσότητες

φυτοφαρμάκων περιοριζόμενης έτσι της βιολογικής δραστηριότητας αποσύνθεσης (Cheng, 1990).

Οργανικές συνθήκες εδάφους με μεγάλη παρουσία γαιοσκωλήκων, υγρασίας, μικροοργανισμών και ανόργανων θρεπτικών στοιχείων είναι παράγοντες που βοηθούν στην αποσύνθεση των υπολειμμάτων των φυτοφαρμάκων.

Η ταχύτητα αποσύνθεσης πολλών φυτοφαρμάκων και κυρίως ζιζανιοκτόνων από μικροοργανισμούς σε γόνιμα οργανικά εδάφη δεν επιτρέπει σημαντική απόπλυση σε βαθύτερα στρώματα και σε στραγγιστικούς αγωγούς. Ο βαθμός επικινδυνότητας εμφάνισής τους σε στραγγιστικά νερά εξαρτάται από τη σύνθεση του εδάφους και το είδος του φυτοφαρμάκου (Αντωνόπουλος, 2001). Στο σχήμα 5.10 παρουσιάζονται οι πιθανές δίοδοι των γεωργικών ουσιών προς τα υδάτινα συστήματα.



**Σχήμα 5.10:** Οι δυναμικές δίοδοι των γεωργικών ουσιών προς τα υδάτινα συστήματα, (Αντωνόπουλος, 2001).

#### 4.3.2 Η ΠΤΗΝΟΤΡΟΦΙΑ ΣΤΗ ΛΕΚΑΝΗ ΤΩΝ ΜΕΓΑΡΩΝ

Άλλες δραστηριότητες στην περιοχή είναι η ύπαρξη πτηνοτροφικών και κτηνοτροφικών μονάδων. Η πτηνοτροφία είναι τόσο ανεπτυγμένη, ώστε τα Μέγαρα να χαρακτηρίζονται σαν ένα από τα μεγαλύτερα πτηνοτροφικά κέντρα της χώρας. Οι παραπάνω δραστηριότητες έχουν άμεση σχέση με την χρήση νερού που αντλείται από τους υπόγειους υδροφόρους ορίζοντες της λεκάνης και επηρεάζει την ποιότητα των επιφανειακών υδάτων .

Γενικά τα πτηνοκτηνοτροφικά απόβλητα είναι κατά κανόνα μικρού όγκου, λόγω της μικρής ποσότητας νερού που περιέχουν και κατά συνέπεια μεγάλου ρυπαντικού φορτίου σε σχέση με τα απόβλητα γεωργικών βιομηχανιών (Γεωργακάκης, 1998).

Από τα απόβλητα των πτηνοκτηνοτροφικών μονάδων, εκείνα που παρουσιάζουν ενδιαφέρον από την άποψη ρυπαντικού φορτίου είναι τα απόβλητα χοιροστασίων δεδομένου ότι στα πτηνοτροφεία και στα βουστάσια δεν παράγονται αξιόλογες ποσότητες υγρών αποβλήτων εξαιτίας της στερεάς φύσης των αποβλήτων αυτών .

Τα πτηνοκτηνοτροφικά απόβλητα χαρακτηρίζονται από υψηλές συγκεντρώσεις σε θρεπτικά συστατικά και συγκεκριμένα σε αμμωνιάκα ( $\text{NH}_4^+$ ), φωσφορικά ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) και κάλιο ( $\text{K}^+$ ), ενώ περιέχουν σε μικρότερες ποσότητες S, Ca, Mg και ιχνοστοιχεία. Επιπλέον χαρακτηρίζονται από υψηλή περιεκτικότητα σε αιωρούμενα στερεά (SS) και διαλυτά στερεά (TDS) και υψηλές τιμές BOD και COD (Γεωργακάκης, 1998).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΥΔΡΟΧΗΜΕΙΑ

### 5.1 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

#### 5.1.1 Δειγματοληψίες-Μετρήσεις πεδίου

Κατά τη διάρκεια της μελέτης πραγματοποιήθηκαν 8 δειγματοληψίες επιφανειακών υδάτων στην περιοχή μελέτης που υπάγεται στη λεκάνη των Μεγάρων. Τα δείγματα ελήφθησαν τον Ιούνιο του 2009, από την επιφάνεια του ποταμού, κατά την ξηρά περίοδο για να προσδιοριστεί η επίδραση τόσο των σημειακών όσο και των διάχυτων πηγών ρύπανσης.

Για κάθε δείγμα χρησιμοποιήθηκε ένα μπουκάλι πολυαιθυλενίου των 1000ml και ένα δοχείο πολυαιθυλενίου των 100ml όπου στο δεύτερο προστέθηκε πυκνό  $\text{HNO}_3$  για την συντήρηση των στοιχείων και των βαρέων μετάλλων. Τα δείγματα αυτά αμέσως μετά τη συλλογή τους μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο Ορυκτολογίας-Γεωλογίας του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών και διατηρήθηκαν στο ψυγείο μέχρι την ανάλυση τους. Κατά τη δειγματοληψία με τη χρήση πολυμέτρου μετρήθηκαν οι εξής φυσικοχημικές παράμετροι του νερού: η θερμοκρασία  $T(^{\circ}\text{C})$ , η ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα (E.C) και το pH.

Οι γεωγραφικές συντεταγμένες όλων των θέσεων δειγματοληψίας προσδιορίστηκαν με τη χρήση συσκευής G.P.S .

Τα σημεία δειγματοληψίας απεικονίζονται στον Πίνακα 5.1.

**Πίνακας 5.1:** Οι συντεταγμένες των σημείων δειγματοληψίας

ΚΩΔΙΚΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	X	Y
N1	443477	4205498
N2	443475	4205479
N3	442867	4203778
N4	442868	4203775
N5	442955	4203281
N6	442952	4203289
N7	441817	4203291
N8	441817	4203291

#### 5.1.2 Εργαστηριακές μετρήσεις αναλύσεις

- Πεχαμετρική διαδικασία προσδιορισμού του pH.
- Μέθοδος Τιτλοδότησης με EDTA 0,2N (EDTA Titrimetic Method) για προσδιορισμό ασβεστίου ( $\text{Ca}^{+2}$ ) και μαγνησίου ( $\text{Mg}^{+2}$ ).
- Φλογοφωτομετρικός προσδιορισμός (Flame Photometric Method) νατρίου ( $\text{Na}^{+}$ ) και καλίου ( $\text{K}^{+}$ ).

- Αργυρομετρική διαδικασία τιτλοδότησης με  $\text{AgNO}_3$  1N (Argiometric Method) για προσδιορισμό χλωρίου ( $\text{Cl}^-$ ).
- Μέθοδος τιτλοδότησης μεθειϊκό οξύ ( $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,02N) για προσδιορισμό ανθρακικών ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) και όξινων ανθρακικών ( $\text{HCO}_3^-$ ).
- Προσδιορισμός νιτρικών ( $\text{NO}_3^-$ ), νιτρώδων ( $\text{NO}_2^-$ ), θειικής ρίζας ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) με τη βοήθεια του φασματοφωτομέτρου της εταιρίας HACH τύπος DR3000 .
- Ο προσδιορισμός των βαρέων μετάλλων έγινε στην ατομική απορρόφηση GBC 908AA στο εργαστήριο Ορυκτολογίας-Γεωλογίας του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών.

Τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων παρουσιάζονται στον πίνακα 5.2.

### 5.1.3 Έλεγχος αποτελεσμάτων χημικών αναλύσεων.

Για να εξακριβωθεί αν έγινε μια πλήρης και ακριβής ανάλυση σε κάθε δείγμα υπολογίστηκε το επί της εκατό σφάλμα ισοζυγίου ιόντων (Βουτσά, 1993) ή ηλεκτρική ουδετερότητα (Appelo et al, 1999) από την σχέση:

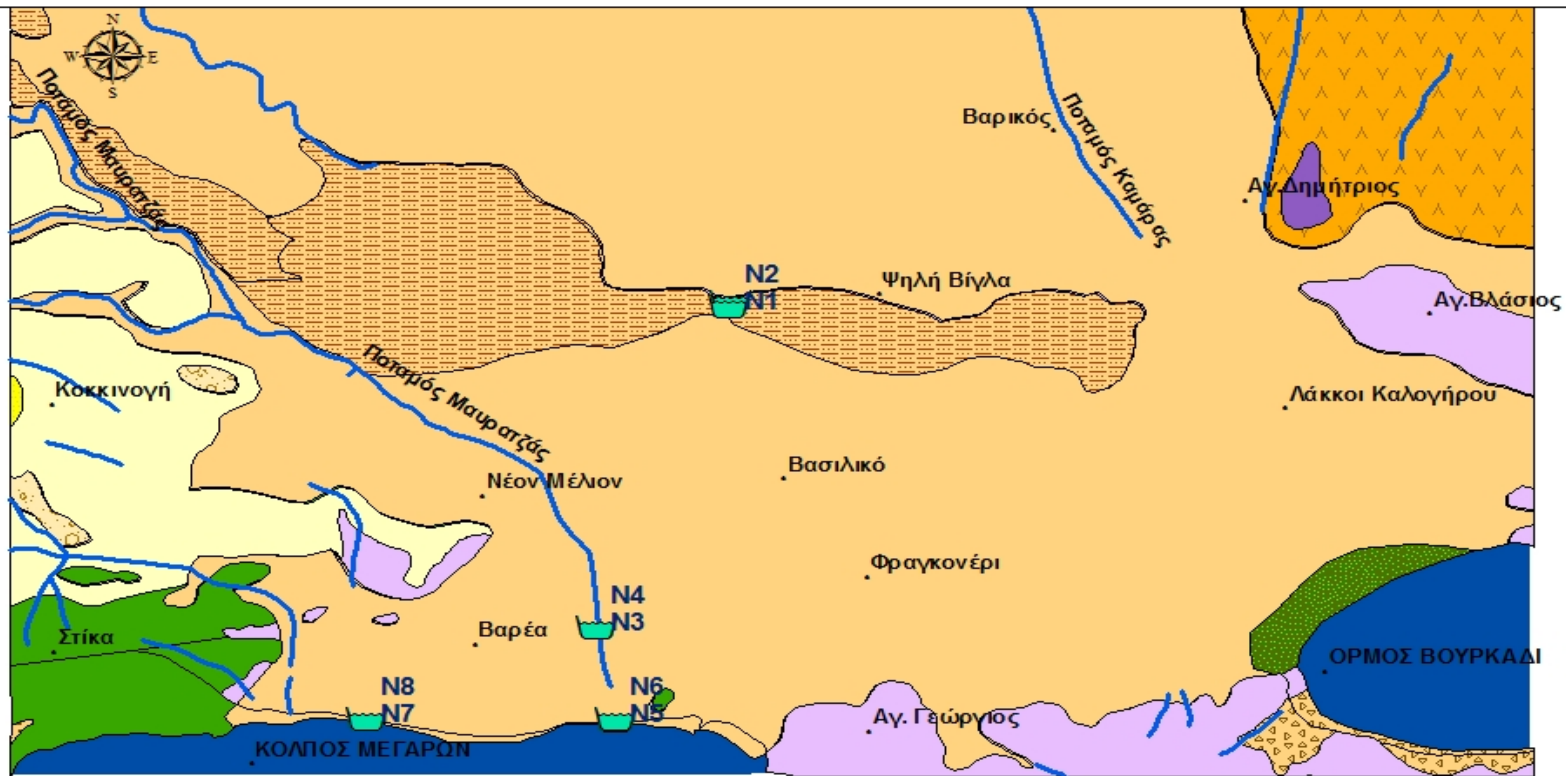
$$\text{Σφάλμα ισοζυγίου ιόντων (\%)} = \frac{\text{Σκατιόντων} - \text{Σανιόντων}}{\text{Σκατιόντων} + \text{Σανιόντων}} * 100$$

Όπου : Σκατιόντων =  $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{Na}^+ + \text{K}^+$  (meq/l)

Σανιόντων =  $\text{Cl}^- + \text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-} + \text{NO}_3^-$  (meq/l)

Διαφορές στην ηλεκτρική ουδετερότητα έως και 2% είναι αναπόφευκτες σχεδόν σε όλες τις χημικές αναλύσεις. Μερικές φορές είναι αποδεκτό μεγαλύτερο και σφάλμα έως και 5% αλλά μεγαλύτερες διαφορές πρέπει να εξετάζονται (Appelo et al, 1999).

Οι τιμές της ηλεκτρικής ουδετερότητας για όλες τις αναλύσεις που έγιναν βρίσκονται κάτω του ορίου του 5%.



1.000 500 0 1.000 Meters

**ΥΠΟΜΝΗΜΑ**

N1...N8 Θέσεις δειγματοληψίας επιφανειακών υδάτων

Ποτάμι/ρέμα

**ΓΕΩΛΟΓΙΑ**

Παράκτιες αποθέσεις. ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΣ-ΟΛΟΚΑΙΝΟ

Χερσαίοι σχηματισμοί (άργιλα, πηλοί, άμμος, ψαμίτες). ΝΕΟΓΕΝΕΣ-ΠΛΕΙΣΤΟΚΕΝΟ

Ασβεστόλιθοι μαργαικοί ασβεστόλιθοι, μάργες. ΥΠΟΠΕΛΑΓΟΝΙΚΗ ΖΩΝΗ-ΚΕΝΟΜΑΝΙΟΝ-ΤΟΥΡΩΤΙΟΝ

Ασβεστόλιθοι. ΥΠΟΠΕΛΑΓΟΝΙΚΗ ΖΩΝΗ(ΚΕΝΟΜΑΝΙΟΝ-ΤΟΥΡΩΤΙΟΝ-ΣΕΝΩΝΙΟΝ)

Μάργες, άργιλα, ψαμίτες, τραβερτίνες, κροκαλλοπαγή. ΝΕΟΓΕΝΕΣ-ΚΑΤ. ΠΛΕΙΣΤΟΚΕΝΟ-ΑΝΩΤ. ΣΥΣΤΗΜΑ

Αργίλοι, πηλοί. ΝΕΟΓΕΝΕΣ-ΚΑΤ. ΠΛΕΙΣΤΟΚΕΝΟ-ΑΝΩΤ. ΣΥΣΤΗΜΑ

Παλιά πλευρικά κορήματα, κώνοι κορημάτων. ΠΛΕΙΣΤΟΚΕΝΟ

Ποτάμιες αναβαθμίδες. ΠΛΕΙΣΤΟΚΕΝΟ

Παλιές προσχώσεις. ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΣ-ΠΛΕΙΣΤΟΚΕΝΟ

Ασβεστόλιθοι δολομιτικοί ασβεστόλιθοι, δολομίται. ΜΕΣΟ-ΑΝΩΤ. ΤΡΙΑΔΙΚΟ

Σύγχρονα πλευρικά κορήματα, κώνοι κορημάτων. ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΣ-ΟΛΟΚΑΙΝΟ

Ασβεστόλιθοι δολομιτικοί ασβεστόλιθοι, δολομίτες. ΜΕΣΟ-ΑΝΩΤ. ΤΡΙΑΔΙΚΟ

Αλλουβιακές αποθέσεις. ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΣ-ΟΛΟΚΑΙΝΟ

**Σχήμα 5.1:** Απεικόνιση των σημείων δειγματοληψίας της υπό μελέτη περιοχής.

**Πίνακας 5.2:** Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων

ΔΕΙΓΜΑ ΝΕΡΟΥ	PH	Τ ΝΕΡΟΥ	EC	ΚΥΡΙΑ ΑΝΙΟΝΤΑ ΚΑΙ ΚΑΤΙΟΝΤΑ(mg/l)								ΘΡΕΠΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ(mg/l)		ΜΕΤΑΛΛΙΚΑ ΙΧΝΟΣΤΟΙΧΕΙΑ(mg/l)			
		°C	μS/cm	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>+2</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	Cu <sup>2+</sup>	Ni <sup>2+</sup>	Fe <sup>2+</sup>	Mn <sup>2+</sup>
<b>N1</b>	8,20	22,00	847,00	58,00	32,00	7,30	73,60	88,70	65,00	317,20	0,00	10,50	0,02	0,008	0,060	0,040	0,031
<b>N2</b>	7,24	24,60	385,00	36,00	14,60	13,60	25,30	31,90	26,50	170,80	0,00	6,40	0,01	0,005	0,065	0,021	0,023
<b>N3</b>	8,07	19,10	490,00	42,00	12,90	18,10	34,20	46,10	33,65	185,90	0,00	8,80	0,02	0,004	0,050	0,013	0,009
<b>N4</b>	7,69	23,60	727,00	65,00	31,00	22,40	38,10	49,60	50,00	329,20	0,00	13,00	0,01	0,002	0,053	0,011	0,005
<b>N5</b>	8,35	18,60	400,00	35,10	21,30	11,30	23,10	41,80	29,80	195,10	0,00	11,80	0,01	0,004	0,015	0,021	0,011
<b>N6</b>	6,60	23,50	528,00	41,00	20,00	6,64	43,90	56,70	26,40	210,30	0,00	14,30	0,03	0,006	0,010	0,017	0,015
<b>N7</b>	8,13	22,80	26400,00	212,60	531,50	117,60	4712,60	8049,60	1394,20	176,80	0,00	72,67	0,05	0,009	0,035	0,021	0,022
<b>N8</b>	8,22	27,90	38300,00	223,00	620,00	172,00	7241,00	12092,00	1650,00	210,00	0,00	115,00	0,08	0,005	0,040	0,025	0,029
<b>MIN</b>	6,60	18,60	385,00	35,10	14,60	6,64	23,10	31,90	26,40	170,80	0,00	6,40	0,07	0,002	0,010	0,011	0,005
<b>MAX</b>	8,35	27,90	38300,00	223,00	620,00	172,00	7241,00	12092,00	1650,00	329,20	0,00	115,00	0,060	0,009	0,065	0,040	0,031
<b>MEAN</b>	7,75	22,86	11036,20	97,08	203,40	54,76	1945,59	3258,03	495,20	229,53	0,00	37,39	0,04	0,01	0,04	0,02	0,02

### 5.1.4 Επεξεργασία των δεδομένων

Η μελέτη παρουσιάζει μια λεπτομερή περιγραφή των υδροχημικών παραμέτρων των δειγμάτων ύδατος της λεκάνης των Μεγάρων. Κατόπιν υπολογίστηκαν τα ολικά διαλυμένα στερεά (TDS), η ολική αλκαλικότητα (TA), η παροδική και μόνιμη σκληρότητα (CH, NCH), ο λόγος προσρόφησης νατρίου (SAR), ο βαθμός αλκαλίωσης (SSP) και το υπολειπόμενο νάτριο (RSC).

Παράλληλα πραγματοποιήθηκε έλεγχος της καταλληλότητας των υδάτων για άρδευση κατά Richards και Wilcox και υδροχημική κατάταξη τους κατά Piper και Duron.

Στον πίνακα 5.3 παρουσιάζονται οι βασικές υδροχημικές παράμετροι των υδάτων της υπό μελέτη περιοχής όπως προέκυψαν ύστερα από τον υπολογισμό τους.

**Πίνακας 5.3:** Οι βασικές φυσικοχημικές παράμετροι των υδάτων της υπό μελέτη περιοχής.

ΚΩΔΙΚΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	TDS (mg/l)	TH (mg/l CaCO <sub>3</sub> )	CH (mg/l CaCO <sub>3</sub> )	NCH (mg/l CaCO <sub>3</sub> )	TA (mg/l CaCO <sub>3</sub> )
N1	652,30	275,54	259,27	16,27	259,27
N2	325,10	149,48	139,61	9,88	139,61
N3	381,65	157,48	151,95	5,53	151,95
N4	598,30	288,89	269,08	19,81	269,08
N5	369,30	174,67	159,47	15,20	159,47
N6	419,24	184,05	171,89	12,16	171,89
N7	15.267,57	2.705,76	144,51	2.561,25	144,51
N8	22.323,00	3.094,00	171,65	2.922,35	171,65

### 5.2 Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των επιφανειακών υδάτων της υπό μελέτη περιοχής.

#### ➤ Η θερμοκρασία των υδάτων (T σε °C)

Η θερμοκρασία των υδάτων αποτελεί σημαντική παράμετρο στα ποτάμια συστήματα, καθώς σχετίζεται άμεσα με τα επίπεδα διαλυμένου οξυγόνου (DO). Γενικά η αύξηση της θερμοκρασίας οδηγεί σε μείωση του διαλυτού οξυγόνου, με δυσμενείς συνέπειες για την υδρόβια ζωή. Η απόρριψη υγρών θερμικών αποβλήτων στα ποτάμια συμβάλλει στην



ανύψωση της θερμοκρασίας. Η θερμοκρασία των υδάτων της υπό μελέτη περιοχής κυμαίνεται μεταξύ 18,6 και 27,9 °C που θεωρούνται φυσιολογικές για την περίοδο της δειγματοληψίας.

#### ➤ **Η τιμή του pH**

Το pH αποτελεί σημαντική παράμετρο της ποιότητας των επιφανειακών υδάτων καθώς επηρεάζει πολλές βιολογικές και χημικές διαδικασίες σε ένα υδάτινο σώμα. Σε μια συγκεκριμένη θερμοκρασία το pH αποτελεί δείκτη του όξινου ή αλκαλικού χαρακτήρα ενός διαλύματος και εξαρτάται από τα διαλυτά χημικά συστατικά και τις βιοχημικές διαδικασίες του διαλύματος. Στα φυσικά νερά το pH ελέγχεται κυρίως από την ισορροπία μεταξύ του διαλυτού CO<sub>2</sub> των ιόντων HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> και CO<sub>3</sub><sup>-2</sup> καθώς και από την φυσική παρουσία χουμικών και φουλβικών οξέων.

Το pH στην πλειονότητα των δειγμάτων της υπό μελέτη περιοχής είναι ελαφρώς όξινο έως αλκαλικό και κυμαίνεται μεταξύ 6,60-8,35 που ερμηνεύεται βάσει της ασβεστολιθικής σύστασης του υποβάθρου της αντίστοιχης περιοχής.

#### ➤ **Ολικά διαλυτά στερεά (TDS)**

Τα TDS εκφράζουν το σύνολο των διαλυμένων στο νερό αλάτων. Τα TDS των δειγμάτων εκφρασμένα σε mg/l κυμαίνονται μεταξύ 325,1- 22.323,0. Παρατηρείται μια φυσιολογική για επιφανειακά νερά διακύμανση των τιμών στο χώρο που ελήφθησαν τα δείγματα με εξαίρεση τις τιμές των δειγμάτων N7-N8 όπου παρατηρείται αξιοσημείωτη αύξηση που εξηγείται από τη διείσδυση του θαλάσσιου ύδατος λόγω των εκβολών και μικρής παροχής των νερών που διαπιστώθηκε μακροσκοπικά. Η κατανομή των τιμών TDS παρουσιάζει αναλογία με την κατανομή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας.

Διάφορες ταξινομήσεις έχουν προταθεί ανάλογα με την περιεκτικότητα των υπόγειων και επιφανειακών νερών σε ολικά διαλυμένα άλατα όπως κατά Hem (1970) και Davis and De Wiest (1966):

#### **A) ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΚΑΤΑ HEM (1970)**

Γλυκό νερό (fresh)	: TDS<1.000 mg/l
Μέτρια αλατούχο νερό (moderate saline)	: 3.000 – 10.000 mg/l
Πολύ αλατούχο νερό (very saline)	: 10.000 – 35.000 mg/l
Υπεράλμυρο (brines – άλμες)	: TDS>35.000 mg/l

## **B) ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΚΑΤΑ DAVIS AND DE WIEST (1966)**

Γλυκό νερό (fresh)	: 0 – 1.000 mg/l
Υφάλμυρο ή γλυφό νερό ( brackish)	: 1.000 – 10.000 mg/l
Αλμυρό (salt or saline)	: 10.000 – 100.000 mg/l
Άλμες (brine)	: TDS>100.000 mg/l

Βάσει των παραπάνω συστημάτων κατάταξης προκύπτει για τα δείγματα N1-N6 (TDS < 1000 mg/l) το νερό χαρακτηρίζεται γλυκό (fresh) ενώ στις εκβολές του ποταμού(δείγματα N7-8) χαρακτηρίζεται ως πολύ αλατούχο (κατά Hem) ή αλμυρό (κατά Davis and De Wiest) και συνεπώς ακατάλληλο για άρδευση.

### ➤ **Η τιμή της Ηλεκτρικής Αγωγιμότητας** (EC σε 25 °C)

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) είναι ένα μέτρο της ικανότητας ενός υδατικού διαλύματος να μεταφέρει ηλεκτρικό ρεύμα. Το ηλεκτρικό ρεύμα άγεται στο διάλυμα από την κίνηση των ιόντων και έτσι όσο υψηλότερος είναι ο αριθμός των ιόντων, τόσο υψηλότερη είναι η ιοντική κινητικότητα και άρα υψηλότερο το μέγεθος της EC.

Το χημικά καθαρό νερό δεν άγει το ηλεκτρικό ρεύμα επειδή περιέχει μόνο ιόντα H<sup>+</sup> και OH<sup>-</sup> και έτσι παρουσιάζει EC μόλις 0,05 μS/cm στους 25 °C. Από την άλλη μεριά το θαλάσσιο νερό με υψηλή συγκέντρωση σε άλατα έχει EC περίπου 40.000 μS/cm στους 25 °C.

### Τυπικές τιμές αγωγιμότητας διαφόρων κατηγοριών νερού (Lloyd and Heathcote, 1985)

Χημικά καθαρό: 0.05 μS/cm

Απεσταγμένο νερό: 0.5 – 5.0 μS/cm

Νερό βροχής: 5.0 – 30.0 μS/cm

Επιφανειακό νερό: 250 – 1200 μS/cm

Φυσικό υπόγειο νερό: 30 – 2000 μS/cm

Νερό ωκεανού: 45.000 – 55.000 μS/cm

Άλμες πεδίου πετρελαίου: 100.000 μS/cm

Η EC των δειγμάτων της υπό μελέτη περιοχής κυμαίνεται μεταξύ 385,0-38.300  $\mu\text{S}/\text{cm}$  με μια κατανομή για τα δείγματα N1,N2,N3,N4,N5 και N6 που φαίνεται φυσιολογική για επιφανειακά μη επιβαρυμένα με ρύπους νερά, ενώ στις εκβολές (δείγματα N7, N8, ) παρατηρείται κατακόρυφη αύξηση της EC λόγω της ανάμιξης με τα θαλάσσια ύδατα.

#### ➤ **Αλκαλικότητα**

Αλκαλικότητα είναι η ικανότητα του νερού να δέχεται ιόντα  $\text{H}^+$ . Είναι ένα μέτρο της ικανότητάς του να εξουδετερώνει οξέα, η οποία είναι γνωστή και σαν ρυθμιστική (buffer) ικανότητα. Η όξινη ανθρακική ρίζα  $\text{HCO}_3^-$  αντιπροσωπεύει την κύρια μορφή αλκαλικότητας. Σε μερικές περιπτώσεις μπορεί να συνεισφέρουν τα ιόντα  $\text{NH}_4^+$  και  $\text{OH}^-$ . Τα άλατα αυτά λειτουργούν σαν ρυθμιστικά διαλύματα σε κάθε ταπείνωση του pH που θα επέλθει με την προσθήκη ενός όξινου υγρού.

Η ολική αλκαλικότητα (T.A.) εκφράζεται ως το άθροισμα :

$$(T.A.) = \text{αλκαλικότητα } \text{CO}_3^{-2} (\text{C.A.}) + \text{αλκαλικότητα } \text{HCO}_3^- (\text{B.A.})$$

Οι τιμές αλκαλικότητας των υδάτων της υπό μελέτη περιοχής εκφρασμένες σε  $\text{mg}/\text{l}$  ισοδυνάμου  $\text{CaCO}_3$  κυμαίνονται μεταξύ 139,61-269,08 και σχετίζονται όπως προαναφέρθηκε κυρίως με την ασβεστολιθική σύσταση του υποβάθρου της λεκάνης. Στον πίνακα 5.4 δίνονται μερικές τυπικές τιμές αλκαλικότητας για διάφορα νερά.

**Πίνακας 5.4:** Τυπικές τιμές αλκαλικότητας για διάφορα νερά, (Μιμίδης, 2005)

α/α	Νερό	TA (mgr/liter σαν $\text{CaCO}_3$ )
1	Ποτάμι που πηγάζει από ασβεστόλιθους	50 – 200
2	Λίμνη σε χαμηλά υψόμετρα	10 – 30
3	Πόσιμο νερό	50 - 200
4	Οικιακό υγρό απόβλητο	200 – 400
5	Υγρό απόβλητο υπονόμων (αναερόβιες συνθήκες)	2.000 – 8.000
6	Υδαρές απόβλητο χοιροτροφείων	15.000 – 20.000
7	«όξινο ποτάμι»	10 – 20
8	«μη όξινο ποτάμι»	550 – 750
9	Όξινο νερό ακόρεστης ζώνης	10 – 20

➤ **Σκληρότητα** (mg/l σε ισοδύναμα CaCO<sub>3</sub>)

Η σκληρότητα είναι η ιδιότητα του νερού να εμποδίζει τον σχηματισμό αφρού με το σαπούνι και προέρχεται από την παρουσία στο νερό των δισθενών μεταλλικών κατιόντων. Η ολική σκληρότητα (TH) εκφράζεται σαν το άθροισμα των δισθενών μεταλλικών κατιόντων (M<sup>++</sup>). Τα ιοντικά συστατικά του νερού που είναι υπεύθυνα για τη δημιουργία σκληρότητας στα νερά παρουσιάζονται στον πίνακα 5.5.

**Πίνακας 5.5:** Ιοντικά συστατικά του νερού που είναι υπεύθυνα για τη δημιουργία σκληρότητας στα νερά , (Μιμίδης, 2005).

<b>Κατιόντα</b>	<b>Ανιόντα</b>
Ca <sup>2+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
Mg <sup>2+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
Sr <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>
Fe <sup>2+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
Mn <sup>2+</sup>	SiO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>
Fe <sup>3+</sup> , Al <sup>3+</sup> *	OH <sup>-</sup>

\* Μερικές φορές η διαλυτότητα τους για συνήθεις τιμές pH είναι πολύ μικρή με αποτέλεσμα οι ιοντικές συγκεντρώσεις τους είναι αμελητέες.

Πριν από τη καθιέρωση της μονάδας mg/l σε ισοδύναμα CaCO<sub>3</sub> , οι διάφορες χώρες είχαν αναπτύξει η κάθε μια δική τους κλίμακα και δικούς τους βαθμούς μέτρησης της σκληρότητας του νερού:

Ο Γαλλικός βαθμός που ισοδυναμεί με 10 mg/l CaCO<sub>3</sub>

Ο Γερμανικός βαθμός που ισοδυναμεί με 17,9 mg/l CaCO<sub>3</sub>

Ο Αγγλικός βαθμός που ισοδυναμεί με 14,3 mg/l CaCO<sub>3</sub>

Ο Αμερικάνικος βαθμός που ισοδυναμεί με 1 mg/l CaCO<sub>3</sub>

Ο Ρωσικός βαθμός που ισοδυναμεί με 0,001 gr/liter Ca<sup>++</sup>

Ανάλογα με την Τ.Η. του νερού, προκύπτουν οι δυο πιο κάτω ταξινομήσεις:

Χαρακτηρισμός	Κατά Sawyer – McCarty (1967)	Κατά Hem (1970)
Μαλακό	0 -75	0 -60
Μέτρια σκληρό	76 – 150	61 - 120
Σκληρό	150 – 300	121 - 180
Πολύ σκληρό	>300	>180

Το νερό για οικιακή χρήση δεν πρέπει να έχει Τ.Η. μεγαλύτερη από 80 mg/l.

Η ολική σκληρότητα εκφράζεται σαν το άθροισμα της ανθρακικής και της μη ανθρακικής σκληρότητας. Η ανθρακική σκληρότητα (C.H.) καλείται και παροδική διότι εξαφανίζεται μετά από παρατεταμένο βράσιμο με τη μορφή ιζήματος  $[CaCO_3, Mg(OH)_2]$ . Η μη ανθρακική σκληρότητα (N.C.H.) καλείται και μόνιμη διότι δεν καθιζάνει μετά από βράσιμο.

Οι τιμές Τ.Η. της λεκάνης των Μεγάρων κυμαίνονται μεταξύ 149,5-3.094 mg/l  $CaCO_3$ . Αύξηση της σκληρότητας παρατηρείται στις εκβολές λόγω αυξημένων συγκεντρώσεων  $Ca^{+2}$  και  $Mg^{+2}$  προερχόμενα από την ανάμιξη με τα θαλάσσια ύδατα. Σύμφωνα με το σύστημα ταξινόμησης κατά Sawyer–McCarty τα νερά της λεκάνης των Μεγάρων χαρακτηρίζονται από σκληρά έως πολύ σκληρά, ενώ κατά Hem ως πολύ σκληρά.

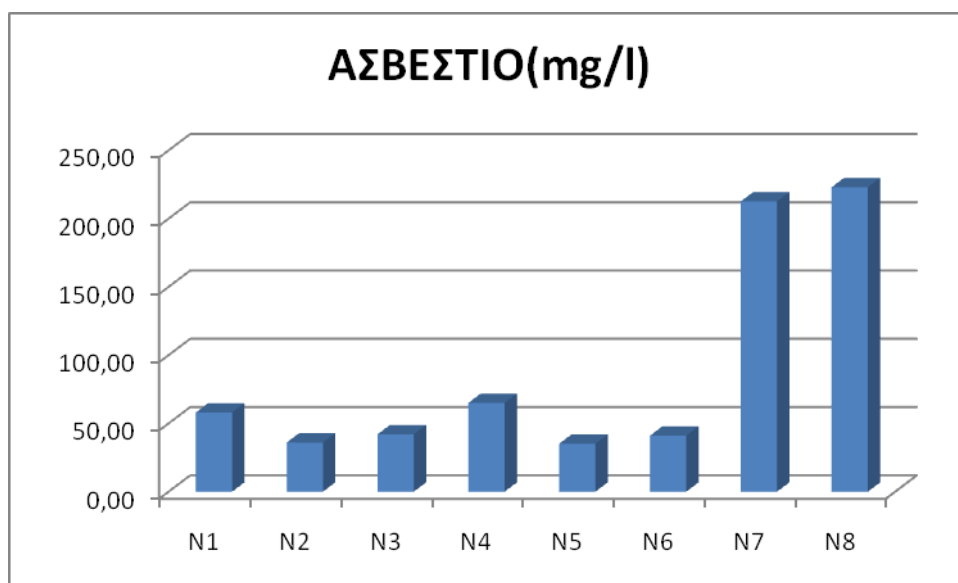
### 5.3 Τα ανιόντα και κατιόντα στα επιφανειακά νερά της υπό μελέτη περιοχής.

#### **ΑΣΒΕΣΤΙΟ $Ca^{+2}$**

Η μέση κατά βάρος περιεκτικότητα του φλοιού της γης σε ασβέστιο είναι περίπου 3,64% (Μπόβης, 1990). Βρίσκεται σε διάφορα πρωτογενή ορυκτά όπως τα μετά Ca αργιλοπυριτικά (άστριοι και αμφίβολοι), τα φωσφορικά και τα ανθρακικά. Τα ανθρακικά απαντούν στα ασβεστούχα εδάφη υπό τη μορφή του ασβεστίτη ( $CaCO_3$ ) και του δολομίτη ( $CaCO_3 \cdot MgCO_3$ ).

Η αποδόμηση των πρωτογενών ορυκτών του ασβεστίου συνδέεται με την δημιουργία όξινου περιβάλλοντος στο έδαφος και το νερό. Τα ιόντα  $H^+$  προσβάλλουν το ασβέστιο της κρυσταλλικής δομής του ορυκτού και το διαλυτοποιούν. Στη διαδικασία αυτή συμβάλλει και η διαλυτοποίηση του ατμοσφαιρικού  $CO_2$  στα ύδατα. Η εύκολη διαλυτοποίηση των ανθρακικών ορυκτών σε συνδυασμό με την εκτόπιση του εναλλακτικού  $Ca^{+2}$  από τα κολλοειδή του εδάφους από άλλα ανταγωνιστικά κατιόντα, είναι υπεύθυνες για τις μεγάλες απώλειες ασβεστίου με έκπλυση στις υγρές περιοχές και την υψηλή συγκέντρωση του στα επιφανειακά ύδατα. Επιπλέον η έκχυση βιομηχανικών και αστικών αποβλήτων και η όξινη βροχή συντελούν στην έκπλυση του ασβεστίου από τα εδάφη (Charman et al, 1996). Η

συγκέντρωση του ασβεστίου στα φυσικά νερά είναι συνήθως μικρότερη από 15 mg/l, ωστόσο σε περιοχές πλούσιες σε ανθρακικά πετρώματα μπορεί να κυμανθεί στα 30-100 mg/l. Η κατανομή του ασβεστίου στα επιφανειακά νερά της υπό μελέτη περιοχής παρουσιάζεται στο σχήμα 5.2 που ακολουθεί.



**Σχήμα 5.2:** Οι συγκεντρώσεις του ασβεστίου στα επιφανειακά νερά της υπό μελέτη περιοχής.

Οι συγκεντρώσεις ασβεστίου στα υπό μελέτη δείγματα κυμαίνονται μεταξύ 35,1-223 mg/l. Οι συγκεντρώσεις αυτές είναι ως επί το πλείστον γεωγενούς προέλευσης λόγω της ασβεστολιθικής σύστασης του γεωλογικού υποβάθρου της περιοχής έρευνας. Ωστόσο παρατηρείται μια αξιοσημείωτη αύξηση των συγκεντρώσεων στις εκβολές. Αυτό πιθανόν να οφείλεται στο ότι στο τμήμα αυτό του ποταμού παρατηρείται ανάμιξη με τα θαλάσσια ύδατα τα οποία έχουν μέση περιεκτικότητα σε  $\text{Ca}^{+2}$  400 mg/l (Lloyd and Heathcote, 1985).

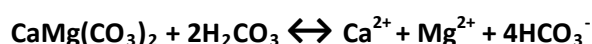
Παράλληλα, στο τμήμα των εκβολών (N7, N8) παρατηρείται κατακόρυφη αύξηση των κατιόντων  $\text{Na}^+$  που οδηγούν στην συνέχεια σε αύξηση της διαλυτότητας των ιόντων  $\text{Ca}^{+2}$  λόγω του φαινομένου της κατιοντοανταλλαγής. Η αυξημένη συγκέντρωση  $\text{Na}^+$  (4712,6-7241,0 mg/l) λόγω της διείσδυσης του θαλάσσιου ύδατος, πιθανόν να εκτοπίζει τα προσροφημένα ιόντα  $\text{Ca}^{+2}$  από το εδαφικό κολλοειδές με αποτέλεσμα να τα καθιστά διαλυτά στο υδάτινο σώμα γεγονός που ερμηνεύει την αύξηση της συγκέντρωσης τους (Appelo and Postma, 1993).

Μια δεύτερη υπόθεση μπορεί να στηριχτεί στην υδρολογία του ποταμού στο τμήμα αυτό. Στις εκβολές παρατηρείται μειωμένη ροή που τείνει να δημιουργήσει συνθήκες στασιμότητας. Βάσει αυτού ο χρόνος επαφής του υπερκείμενου ύδατος με τον πυθμένα (contact time) είναι μεγάλος με αποτέλεσμα να παρατηρείται αυξημένη διαλυτοποίηση και έκπλυση των υποκείμενων εδαφικών στρωμάτων (Nash et al, 2002).

Επιπλέον, στο τμήμα αυτό λόγω της περιορισμένης παροχής παρατηρείται συσσώρευση του στοιχείου λόγω ανθρωπογενών επιδράσεων μέσω της επιφανειακής απορροής (χρήση ασβεστούχων λιπασμάτων).

## ΜΑΓΝΗΣΙΟ $Mg^{+2}$

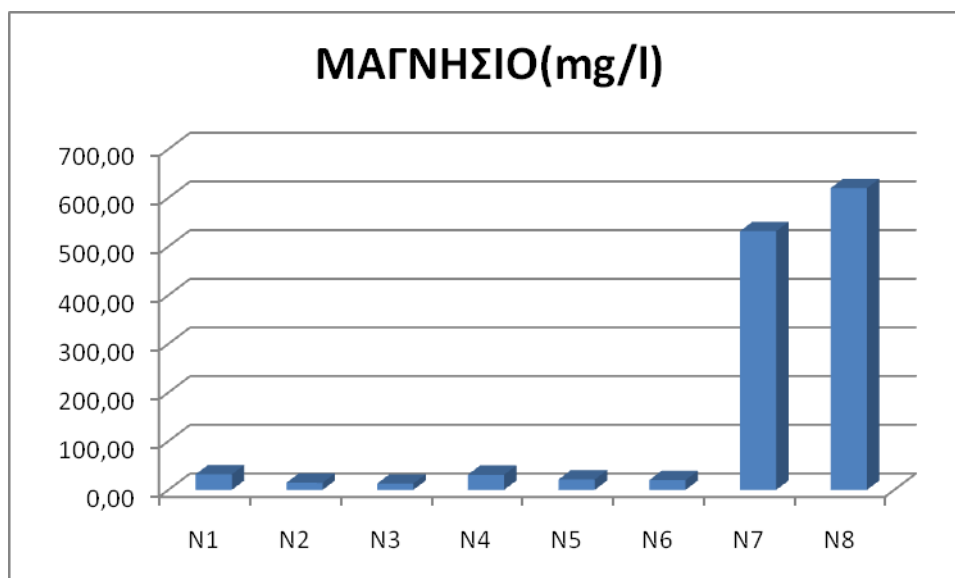
Στα περισσότερα εδάφη το Mg κυμαίνεται μεταξύ 0,05% για τα αμμώδη και 0,5% για τα αργιλώδη. Βρίσκεται σε αφθονία στα εύκολα αποσαθρούμενα πρωτογενή ορυκτά (σιδηρομαγνησιούχα, βιοτίτης, κερροσίλβη, σερπεντίνης και ολιβίνης). Επίσης βρίσκεται και στα δευτερογενή ορυκτά όπως τον χλωρίτη, τον βερμικουλίτη, τον ιλλίτη και τον μοντμοριλονίτη. Σε μερικά εδάφη βρίσκεται ως  $MgSO_4$  ή δολομίτης ( $CaCO_3 \cdot MgCO_3$ ). Ο δολομίτης καθιστά την πιο κοινή πηγή μαγνησίου στα επιφανειακά νερά. Η διαλυτοποίηση του δολομίτη εξαρτάται από την συγκέντρωση διαλυτού  $CO_2$  στο υδάτινο σώμα και περιγράφεται από την ακόλουθη αντίδραση (Tan, 1994):



Οι μορφές του μαγνησίου στο σύστημα έδαφος-νερό περιλαμβάνουν το μη εναλλακτικό, το εναλλακτικό και το διαλυτό κλάσμα. Εκπλύνεται σχετικά εύκολα από το έδαφος με ρυθμό που εξαρτάται από το ποσό των μαγνησιούχων ορυκτών, τον ρυθμό αποσαθρώσεως τους και τις συνθήκες εκπλύσεως (Μπόβης, 1990).

Το μαγνήσιο είναι άφθονο στοιχείο στα φυσικά νερά και απαντά σε συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από 1-100 mg/l ή και μεγαλύτερες, ανάλογα τη γεωλογική σύσταση της λεκάνης. Στο υδάτινο σώμα υφίσταται ως κατιόν  $Mg^{2+}$  ή συνδεδεμένο με  $HCO_3^-$ ,  $SO_4^{2-}$  και  $Cl^-$ . Χρησιμοποιείται ευρέως σε διάφορες βιομηχανικές διαδικασίες και στην γεωργία γεγονός που συμβάλλει στην συγκέντρωση του στα επιφανειακά νερά.

Η κατανομή του μαγνησίου στα επιφανειακά νερά της υπό μελέτη περιοχής παρουσιάζεται στο σχήμα 5.3 που ακολουθεί.



**Σχήμα 5.3:** Οι συγκεντρώσεις του μαγνησίου στα επιφανειακά νερά της υπό μελέτη περιοχής.

Η συγκέντρωση του μαγνησίου στα επιφανειακά νερά της υπό μελέτη περιοχής κυμαίνεται μεταξύ 12,9-620,0 mg/l. Η προέλευση του για την πλειονότητα των δειγμάτων είναι κατά κύριο λόγο γεωγενής (δολομίτες, πολύμικτα κροκαλοπαγή ασβεστολιθικής και οφιολιθικής σύστασης) . Παράλληλα μια sporadική αύξηση των συγκεντρώσεων που παρατηρείται προφανώς οφείλεται στην επίδραση της ανθρωπογενούς δραστηριότητας κυρίως από μη σημειακές πηγές (επιφανειακή απορροή καλλιεργούμενων εκτάσεων). Τέλος στις εκβολές παρατηρείται αύξηση των συγκεντρώσεων λόγω ανάμιξης με τα θαλάσσια ύδατα που χαρακτηρίζονται από μέση περιεκτικότητα σε μαγνήσιο ίση με 1.350 mg/l (Lloyd and Heathcote, 1985).

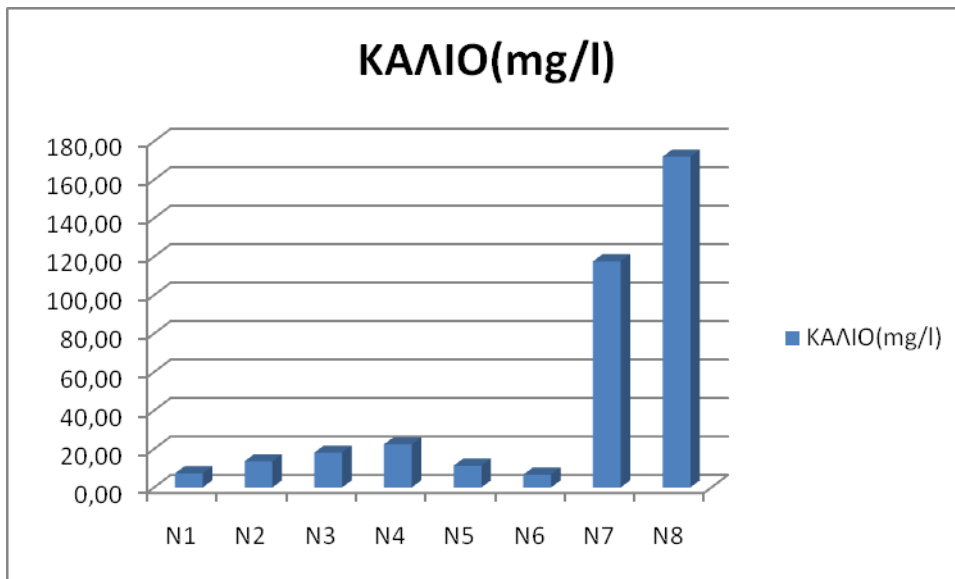
### **Κάλιο $K^+$**

Η μέση περιεκτικότητα του φλοιού της γης σε κάλιο είναι περίπου 2,5%. Το μεγαλύτερο μέρος είναι δεσμευμένο σε πρωτογενή ορυκτά (καλιούχοι άστριοι, άστριοι μετά Ca-Na, μοσχοβίτης, βιοτίτης) και σε δευτερογενή αργιλικά ορυκτά (ιλλίτης, βερμικουλιτής, μοντμοριλλονίτης). Εδάφη πλούσια σε άργιλο έχουν υψηλή περιεκτικότητα καλίου που μπορεί να φτάνει μέχρι και 4%. Οι μορφές καλίου στο σύστημα έδαφος – νερό περιλαμβάνουν το μη εναλλακτικό  $K^+$  ( $K^+$  εντός του κρυσταλλικού πλέγματος των φυλλωδών πυριτικών και αργιλικών ορυκτών), το εναλλακτικό  $K^+$  (προσροφημένο στα κολλοειδή του εδάφους, την άργιλο και την οργανική ουσία) και το διαλυτό κλάσμα καλίου. Η απελευθέρωση του ενδοφυλλικού  $K^+$  εξαρτάται από την δομική σύσταση των διαφόρων ορυκτών και γενικά ευνοείται σε όξινο περιβάλλον (Μπόβης, 1990).

Στα φυσικά νερά το κάλιο βρίσκεται σε σχετικά χαμηλά επίπεδα λόγω της αντίστασης των ορυκτών στη διάβρωση. Ωστόσο η εκτεταμένη χρήση του στη γεωργία αυξάνει τις εισροές στα φυσικά νερά μέσω σημειακών πηγών και της επιφανειακής απορροής. Το  $K^+$  στα ύδατα βρίσκεται κυρίως υπό ιοντική μορφή και τα άλατα του είναι πολύ ευδιάλυτα. Ενσωματώνεται ταχύτατα στο κρυσταλλικό πλέγμα των διαφόρων ορυκτών και συσσωρεύεται στην υδατική βιομάζα καθώς αποτελεί βασικό θρεπτικό στοιχείο. Η συγκέντρωση του διαλυτού  $K^+$  στα φρέσκα νερά είναι συνήθως μικρότερη από 10 mg/l (Charman, 1996).

Η κατανομή του καλίου στα επιφανειακά νερά της υπό μελέτη περιοχής παρουσιάζεται στο σχήμα 5.4 που ακολουθεί.





**Σχήμα 5.4:** Οι συγκεντρώσεις του καλίου στα επιφανειακά νερά της υπό μελέτη περιοχής.

Η συγκέντρωση του καλίου στα επιφανειακά νερά της υπό μελέτη περιοχής κυμαίνεται μεταξύ 6,64-172,0 mg/l. Η προέλευση του σχετίζεται κυρίως με τη χρήση καλιούχων λιπασμάτων. Αυξημένες συγκεντρώσεις παρατηρούνται στις εκβολές. Γενικά στις εκβολές παρατηρείται αυξημένη συγκέντρωση των θρεπτικών συστατικών που αποτελεί ένδειξη ευτροφικών συνθηκών στο τμήμα αυτό. Σε αυτό συντελεί και η περιορισμένη παροχή του ποταμού στο τμήμα αυτό που ευνοεί την συσσώρευση των θρεπτικών στοιχείων. Παράλληλα η ανάμιξη με τα θαλάσσια ύδατα στο τμήμα αυτό, αποτελεί επιπρόσθετη πηγή εμπλουτισμού σε κάλιο καθώς η μέση σύσταση των θαλάσσιων υδάτων σε κάλιο ανέρχεται στα 380 mg/l (Lloyd and Heathcote, 1985).

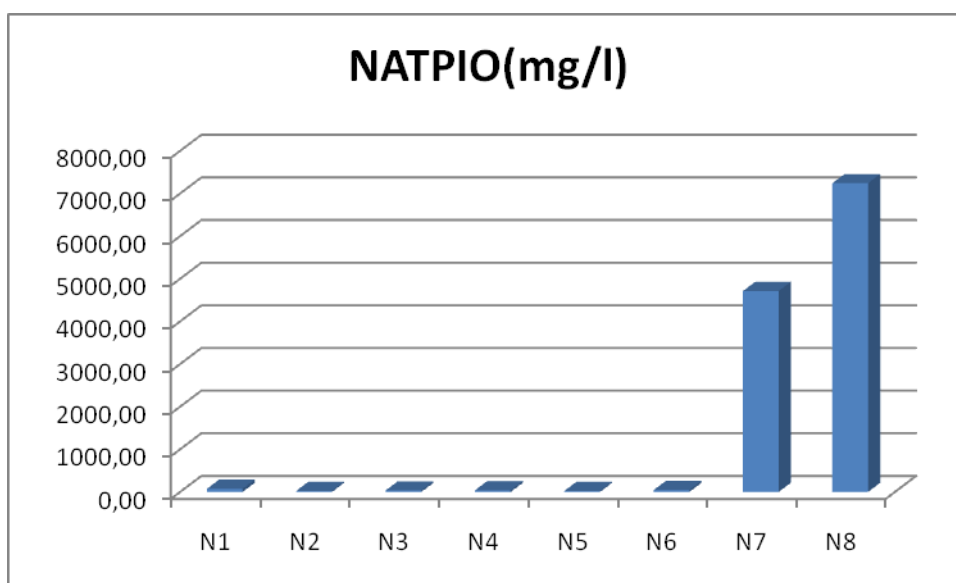
### **Νάτριο Na<sup>±</sup>**

Το νάτριο είναι πολύ διαδεδομένο στοιχείο στη φύση. Η μέση περιεκτικότητα των εδαφών σε νάτριο ανέρχεται στα 0,63%. Κύρια ορυκτολογική πηγή νατρίου αποτελούν τα αργιλικά ορυκτά, ενώ μπορεί να υφίσταται και υπό τη μορφή χλωριούχων και θειικών ορυκτών (Tan, 1994). Η διαλυτοποίηση του νατρίου από τα αργιλικά ορυκτά αποδίδεται σε αντιδράσεις υδρόλυσης. Το NaOH είναι ευδιάλυτο και συμβάλλει στην αύξηση των συγκεντρώσεων του Na<sup>+</sup> στα ύδατα. Στα έδαφος το ιόν Na<sup>+</sup> υφίσταται κυρίως υπό μορφή ανταλλάξιμη ενώ είναι πολύ σταθερό στην υδατική φάση καθώς σχηματίζει ευδιάλυτα άλατα που κατακρημνίζονται πολύ δύσκολα.

Όλα τα φυσικά νερά περιέχουν νάτριο καθώς τα άλατα του νατρίου είναι πολύ ευδιάλυτα στο νερό και είναι ένα από τα πιο άφθονα στοιχεία στη φύση. Στο υδάτινο σώμα βρίσκεται υπό ιοντική μορφή και ενσωματωμένο στη φυτική και ζωική ύλη. Η αυξημένη περιεκτικότητα στα επιφανειακά νερά μπορεί να προέρχεται από διαρροές υπονόμων, βιομηχανικά απόβλητα και τις ατμοσφαιρικές αποθέσεις των ωκεάνιων σταγονιδίων ειδικά στις παράκτιες περιοχές (Charman, 1996).

Οι συγκεντρώσεις νατρίου στα επιφανειακά ύδατα ποικίλουν ανάλογα με τις γεωλογικές συνθήκες της περιοχής και τις ανθρωπογενείς επιδράσεις και μπορεί να κυμανθούν από 1-50 mg/l . Η συγκέντρωση ιόντων νατρίου έχει εξαιρετική σημασία στα νερά που προορίζονται για άρδευση. Αυτό οφείλεται στο μικρό σθένος και τη μεγάλη ακτίνα ενυδατώσεως του νατρίου το οποίο ευρισκόμενο σε υψηλές συγκεντρώσεις στο εδαφικό διάλυμα δύναται να εκτοπίσει τα κατιόντα ασβεστίου και μαγνησίου από τα αργιλικά ορυκτά, προκαλώντας έτσι αύξηση του πάχους της διάχυτης διπλής στοιβάδας αυτών, που συντελεί στην διασπορά του εδαφικού κολλοειδούς. Αυτό έχει σαν συνέπεια την μείωση της διηθητικής ικανότητας του εδάφους (Stumm, 1992).

Η κατανομή του νατρίου στα επιφανειακά νερά της υπό μελέτη περιοχής παρουσιάζεται στο σχήμα 5.5 που ακολουθεί.



**Σχήμα 5.5:** Οι συγκεντρώσεις του νατρίου στα επιφανειακά νερά της υπό μελέτη περιοχής.

Από την κατανομή του  $\text{Na}^+$  στη λεκάνη των Μεγάρων προέκυψε ένα εύρος συγκεντρώσεων 23,10-7241,00 mg/l. Στην πλειονότητα των δειγμάτων εκτός των N7 και N8, οι συγκεντρώσεις είναι χαμηλές σε κάποια δείγματα όπου παρατηρείται μικρή αύξηση προφανώς οφείλεται στην αποστράγγιση γεωργικών εκτάσεων. Τέλος στα δείγματα που ελήφθησαν από τις εκβολές παρατηρείται κατακόρυφη αύξηση των συγκεντρώσεων γεγονός που υποδηλώνει την ανάμιξη με τα θαλάσσια ύδατα, τα οποία χαρακτηρίζονται με μέση

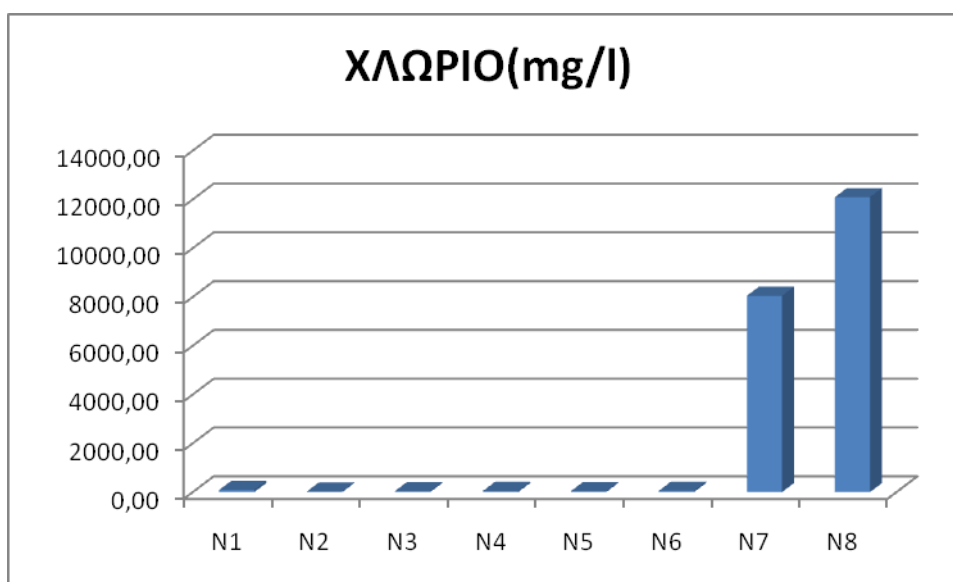
περιεκτικότητα σε νάτριο 10.500 mg/l αλλά και την ατμοσφαιρική απόθεση θαλάσσιων αερολυμάτων (Lloyd and Heathcote, 1985).

## Χλώριο Cl

Το χλώριο είναι κοινό στοιχείο σε χερσαίες συνθήκες, με συγκεντρώσεις που ποικίλουν κυρίως στα ιζηματογενή πετρώματα. Δεν υπάρχουν πολλά σταθερά ορυκτά χλωρίου εκτός από το αλάτι ενώ συχνά συνδέεται με ορυκτά τύπου micas, απατίτες κ.α. Το ιόν Cl<sup>-</sup> και όλες οι ανόργανες ενώσεις του είναι ευδιάλυτες, εκπλένονται εύκολα από το εδαφικό στρώμα και μεταφέρονται στο υδάτινο σώμα καθώς δεν συγκρατούνται από το εδαφικό κολλοειδές (Kabata-Pendias et al, 1992).

Το χλώριο εισέρχεται στα επιφανειακά νερά κυρίως μέσω των ατμοσφαιρικών αποθέσεων των ωκεάνιων σταγονιδίων, μέσω της αποσάθρωσης μερικών ιζηματογενών πετρωμάτων και μέσω βιομηχανικών αποβλήτων και επιφανειακών απορροών από γεωργικά εδάφη. Στα φρέσκα νερά η συγκέντρωση Cl<sup>-</sup> είναι συνήθως μικρότερη από 10 mg/l, ενώ υψηλές συγκεντρώσεις σχετίζονται με διαρροές υπονόμων, βιομηχανικών αποβλήτων και τη διείσδυση του θαλάσσιου ύδατος.

Η κατανομή του χλωρίου στα επιφανειακά νερά της υπό μελέτη περιοχής παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.6 που ακολουθεί.



**Σχήμα 5.6:** Οι συγκεντρώσεις του χλωρίου στα επιφανειακά νερά της υπό μελέτη περιοχής.

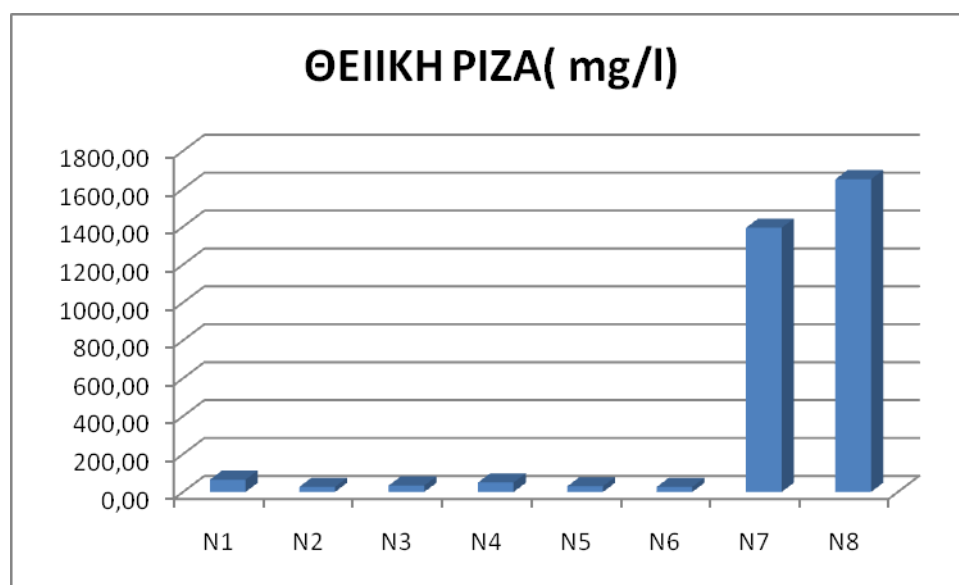
Οι συγκεντρώσεις χλωρίου στα επιφανειακά νερά της υπό μελέτη περιοχής κυμαίνονται μεταξύ 31,9-12.092,0 mg/l. Η κατανομή των συγκεντρώσεων του Cl<sup>-</sup> είναι ανάλογη με εκείνη των ιόντων νατρίου. Παρατηρείται αύξηση των συγκεντρώσεων στις

εκβολές λόγω ανάμιξης με τα θαλάσσια ύδατα παρατηρείται κατακόρυφη αύξηση των συγκεντρώσεων καθώς τα θαλάσσια ύδατα χαρακτηρίζονται από μια μέση συγκέντρωση σε ιόντα Cl ίση με 19.000 mg/l (Lloyd and Heathcote, 1985).

### **ΘΕΙΙΚΗ ΡΙΖΑ $SO_4^{-2}$**

Το θείο βρίσκεται στα επιφανειακά νερά υπό τη μορφή της θειικής ρίζας ( $SO_4^{-2}$ ). Προέρχεται κυρίως από τις ατμοσφαιρικές αποθέσεις και την αποστράγγιση των εδαφών. Στα εδάφη το θείο βρίσκεται υπό την οργανική μορφή κυρίως ως συστατικό των πρωτεϊνών και αμινικών οξέων, που αποτελεί την κύρια πηγή S και την ανόργανη μορφή (Tan, 1994). Προέρχεται κυρίως από θειικά ορυκτά όπως ο γύψος και θειούχα ορυκτά όπως ο πυρίτης και είναι πολύ ευδιάλυτο υπό την μορφή  $SO_4^{-2}$  συνδυαζόμενο με κατιόντα  $Ca^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$ ,  $K^+$ ,  $Na^+$  και  $NH_4^+$ . Η ανιονική του φύση το καθιστά ευδιάλυτο καθώς δεν προσροφάται στο εδαφικό κολλοειδές. Η συγκέντρωση των  $SO_4^{-2}$  στα επιφανειακά ύδατα κυμαίνεται μεταξύ 2-80 mg/l, ωστόσο η έκχυση αποβλήτων και οι βροχοπτώσεις μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά την συγκέντρωση σε  $SO_4^{-2}$  (Charman, 1996).

Η κατανομή της θειικής ρίζας στα επιφανειακά νερά της υπό μελέτη περιοχής παρουσιάζεται στο σχήμα 5.7 που ακολουθεί.

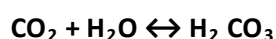


**Σχήμα 5.7:** Οι συγκεντρώσεις των θειικών ιόντων στα επιφανειακά νερά της υπό μελέτη περιοχής.

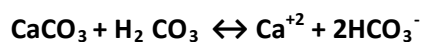
Οι συγκεντρώσεις των  $SO_4^{-2}$  στα επιφανειακά νερά της υπό μελέτη περιοχής κυμαίνονται μεταξύ 26,4-1650 mg/l. Δεν παρατηρούνται υψηλές συγκεντρώσεις στην πλειονότητα των δειγμάτων. Ιδιαίτερη αύξηση των συγκεντρώσεων παρατηρείται στις εκβολές του ποταμού (δείγματα N7,N8) γεγονός που μπορεί να ερμηνευθεί από την απόθεση των θαλάσσιων σταγονιδίων και την ανάμιξη των υδάτων του ποταμού με τα θαλάσσια ύδατα που χαρακτηρίζονται από μια μέση σύσταση σε  $SO_4^{-2}$  ίση με 2.700 mg/l (Lloyd and Heathcote, 1985).

### **ΟΞΙΝΗ ΑΝΘΡΑΚΙΚΗ ΡΙΖΑ $\text{HCO}_3^-$**

Η όξινη ανθρακική ρίζα είναι το πιο κοινό ανιόν στα φυσικά νερά σε ένα εύρος pH 6-8,2 και σχετίζεται άμεσα με την παρουσία ανθρακικών γεωλογικών σχηματισμών και τη διαλυτοποίηση του ατμοσφαιρικού  $\text{CO}_2$  στο νερό. Αμέσως μετά την διάλυση του στο νερό το  $\text{CO}_2$  αλληλεπιδρά με αυτό προς το σχηματισμό  $\text{H}_2\text{CO}_3$  κατά την αντίδραση :

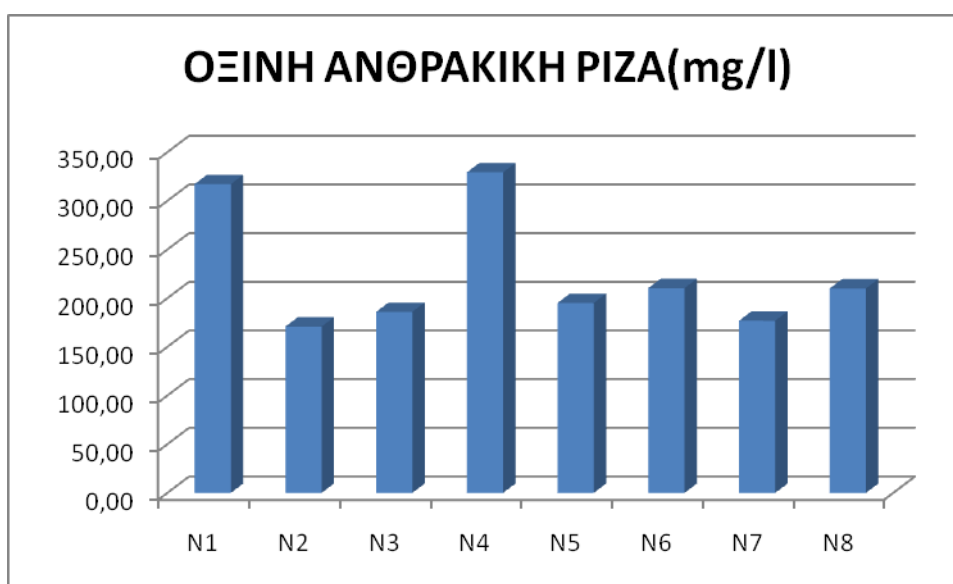


Το  $\text{H}_2\text{CO}_3$  επιδρά επί των ανθρακικών πετρωμάτων και τα διαλυτοποιεί κατά την αντίδραση:



Η διαδικασία αυτή έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση τόσο της σκληρότητας ( $\text{Ca}^{+2}$ ) όσο και της αλκαλικότητας ( $\text{HCO}_3^-$ ) των επιφανειακών υδάτων (Michelcic, 1999).

Η κατανομή της όξινης ανθρακικής ρίζας στη λεκάνη των Μεγάρων παρουσιάζεται στο σχήμα 5.8 που ακολουθεί.



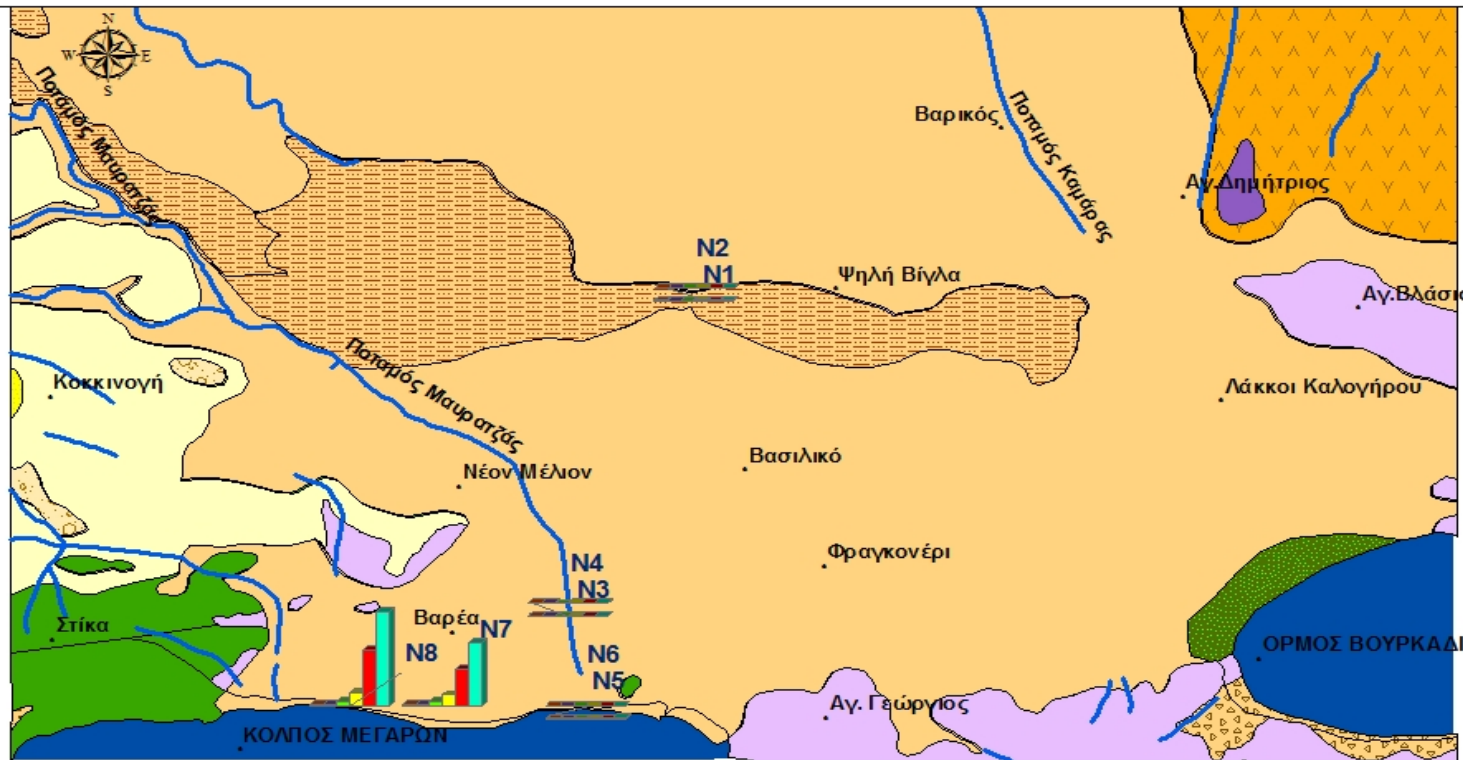
**Σχήμα 5.8:** Οι συγκεντρώσεις της όξινης ανθρακικής ρίζας στα επιφανειακά νερά της υπό μελέτη περιοχής.

Από την κατανομή της όξινης ανθρακικής ρίζας στα επιφανειακά νερά της υπό μελέτη περιοχής προέκυψε ένα εύρος συγκεντρώσεων μεταξύ 170,8-329,2 mg/l . Η προέλευση της είναι κατά κύριο λόγο γεωγενής. Αυτό μπορεί να ερμηνευθεί βάσει του ανθρακικού γεωλογικού υποβάθρου της περιοχής (Τεταρτογενείς-Νεογενείς αποθέσεις, ασβεστολιθικοί

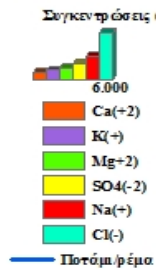
σχηματισμοί). Ωστόσο παρατηρείται κατά τόπους αυξημένη συγκέντρωση. Αυτό πιθανόν οφείλεται στην απόρριψη αποβλήτων υψηλού οργανικού φορτίου βιομηχανικής κυρίως προελεύσεως (απόβλητα βιομηχανιών , ελαιουργείων κ.α.) και αστικών λυμάτων, η μικροβιακή οξείδωση των οποίων συμβάλλει στην αύξηση της συγκέντρωσης σε  $\text{HCO}_3^-$ .

Παράλληλα, στα σημεία δειγματοληψίας N1 και N4 παρατηρήθηκε υδρόβια βλάστηση με έντονη ανάπτυξη που αποτελεί συμπληρωματική πηγή  $\text{CO}_2$  στα ύδατα γεγονός που καθιστά εντονότερη τη διαδικασία διαλυτοποίησης των ανθρακικών πετρωμάτων με την διαδικασία που αναφέρθηκε παραπάνω, ενισχύοντας έτσι την παρουσία  $\text{HCO}_3^-$  και  $\text{Ca}^{+2}$  (Neal et al, 2006). Πρέπει να τονίσουμε ότι ο παραπάνω συλλογισμός ενισχύεται από το γεγονός της αυξημένης συγκέντρωσης ασβεστίου  $\text{Ca}^{+2}$  στις αντίστοιχες θέσεις δειγματοληψίας( N1 και N4)(σχήμα 5.2).

Η χαρτογραφική απεικόνιση των κύριων ανιόντων και κατιόντων στα επιφανειακά νερά της υπό μελέτη περιοχής παρουσιάζεται στο σχήμα 5.9 που ακολουθεί.



**ΥΠΟΜΝΗΜΑ**



- ΓΕΩΛΟΓΙΑ**
- Παράκτες αποθέσεις. ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΣ-ΟΛΟΚΑΙΝΟ
  - Χερσαίοι σχηματισμοί (άργιλοι, πηλοί, άμμος, γραμμίτες). ΝΕΟΓΕΝΕΣ-ΠΛΑΙΟΚΕΝΟ
  - Ασβεστόλιθοι μαργαίτοι ασβεστόλιθοι, μάρμαρες. ΥΠΟΠΕΛΑΓΟΝΙΚΗ ΖΩΝΗ (ΚΕΝΟΜΑΝΙΟΝ-ΤΟΥΡΩΝΙΟ)
  - Ασβεστόλιθοι ΥΠΟΠΕΛΑΓΟΝΙΚΗ ΖΩΝΗ (ΚΕΝΟΜΑΝΙΟΝ-ΤΟΥΡΩΤΙΟΝ-ΣΕΝΩΝΙΟΝ)
  - Μάρμαρες, άργιλοι, γραμμίτες, πρσβερίνες, κροκαλλισπηγή. ΝΕΟΓΕΝΕΣ-ΚΑΤ. ΠΛΑΙΟΚΕΝΟ-ΑΝΩΤ. ΣΥΣΤΗΜΑ
  - Αργίλοι, πηλοί. ΝΕΟΓΕΝΕΣ-ΚΑΤ. ΠΛΑΙΟΚΕΝΟ-ΑΝ. ΣΥΣΤΗΜΑ

- Παλιό πλευρικά κρημάτα, κόνιοι κορημάτων. ΠΛΑΙΣΤΟΚΕΝΟ
- Ποτάμιες αναβθμίδες. ΠΛΑΙΣΤΟΚΕΝΟ
- Παλιές προσχώσεις. ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΣ-ΠΛΑΙΣΤΟΚΕΝΟ
- Ασβεστόλιθοι δολομτικοί ασβεστόλιθοι, δολομίται. ΜΕΣΟ-ΑΝΩΤ. ΤΡΙΑΔΙΚΟ
- Σύγχρονα πλευρικά κρημάτα, κόνιοι κορημάτων. ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΣ-ΟΛΟΚΑΙΝΟ
- Ασβεστόλιθοι δολομτικοί ασβεστόλιθοι, δολομίτες. ΜΕΣΟ-ΑΝΩΤ. ΤΡΙΑΔΙΚΟ
- Αλλουβιακές αποθέσεις. ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΣ-ΟΛΟΚΑΙΝΟ

Σχήμα 5.9: Κύρια ανιόντα και κατιόντα στα επιφανειακά νερά της υπό μελέτη περιοχής.

#### 5.4 Τα θρεπτικά στοιχεία στα επιφανειακά νερά της υπό μελέτη περιοχής.

Η εισαγωγή στο περιβάλλον πλεονασματικών ποσοτήτων θρεπτικών συστατικών (κυρίως N και P) αποτελεί σημαντικό παράγοντα υποβάθμισης των επιφανειακών υδάτων. Κύρια πηγή θρεπτικών αποτελεί η εκτεταμένη χρήση αγροχημικών και λιπασμάτων τα οποία μέσω των μηχανισμών της επιφανειακής απορροής και της έκπλυσης των γεωργικών εκτάσεων καταλήγουν στους επιφανειακούς υδάτινους όγκους.

Η συσσώρευση των θρεπτικών σε ένα υδάτινο σώμα προκαλεί την υπέρμετρη ανάπτυξη της πρωτογενούς παραγωγής (φύκη, φυτοπλαγκτόν, άλγες), ενισχύοντας την δραστηριότητα των ετερότροφων αερόβιων οργανισμών με παράλληλη κατανάλωση οξυγόνου (Garnier et al, 2005). Σημαντικό ρόλο στην εκδήλωση ευτροφικών συνθηκών σε ένα ποτάμιο σύστημα διαδραματίζει η υδρολογία του ποταμού και το καθεστώς ροής καθώς σε συνθήκες χαμηλής παροχής ευνοείται η συσσώρευση θρεπτικών δεδομένου ότι αυξάνεται ο χρόνος παραμονής τους.

#### **$NO_3^-/NO_2^-$**

Τα ποσά των  $NO_3^-$  στα υπόγεια και επιφανειακά εμφανίζουν μια γενική τάση αύξησης, ιδιαίτερα εμφανή κατά τις τελευταίες τρεις δεκαετίες (Heathwait et al, 1996). Ως κύριο θρεπτικό συστατικό των φυτών εφαρμόζεται σε μεγάλες ποσότητες στην γεωργία. Εισέρχεται επίσης στο περιβάλλον μέσω ατμοσφαιρικών αποθέσεων ιδιαίτερα σε περιοχές με έντονη βιομηχανική δραστηριότητα. Παρόλο που η ρύπανση από  $NO_3^-$  είναι αποτέλεσμα ποικίλων πηγών, οι μη σημειακές πηγές γεωργικής προέλευσης αποτελούν τον κύριο προμηθευτή  $NO_3^-$  στα υδάτινα οικοσυστήματα (Heathwait et al, 1993).

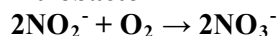
Η διαδικασία κατά την οποία το ατμοσφαιρικό  $N_2$  μετατρέπεται τελικά σε  $NO_3^-$  είναι γνωστή ως κύκλος του αζώτου (Μπόβης, 1990). Η δέσμευση του ατμοσφαιρικού αζώτου από διάφορους μικροοργανισμούς είναι το πρώτο βιολογικό στάδιο της ανακυκλώσεως του αζώτου στη φύση.

Στη συνέχεια το οργανικό άζωτο διασπάται προς αμμωνία (πρωτεόλυση-αμμωνιοποίηση) και στη συνέχεια σε αερόβιο περιβάλλον η αμμωνία οξειδώνεται προς νιτρώδη ιόντα και στη συνέχεια αυτά σε νιτρικά, με αντίστοιχη κατανάλωση οξυγόνου από αυτότροφα βακτήρια σύμφωνα με τις αντιδράσεις:

#### **nitromonas**



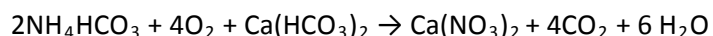
#### **nitrobacter**



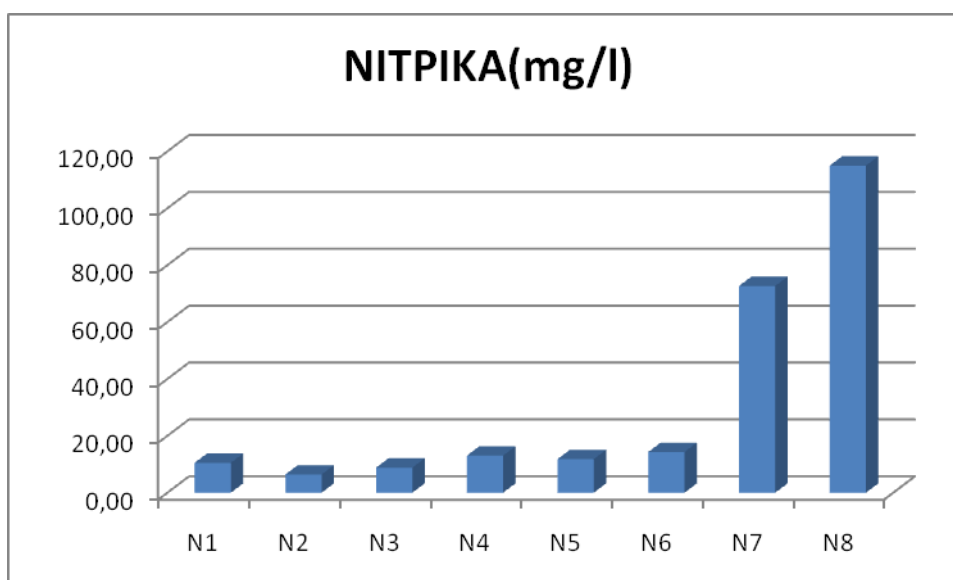
Η παραπάνω διαδικασία είναι γνωστή σαν αζωτοποίηση (nitrification).



Αζωτοποιητές είναι ειδικά αυτότροφα βακτήρια τα οποία καταλύουν την παρακάτω αντίδραση για την παραγωγή ενέργειας η οποία θα τους χρησιμεύσει για την περαιτέρω ανάπτυξη και αναπαραγωγή τους:

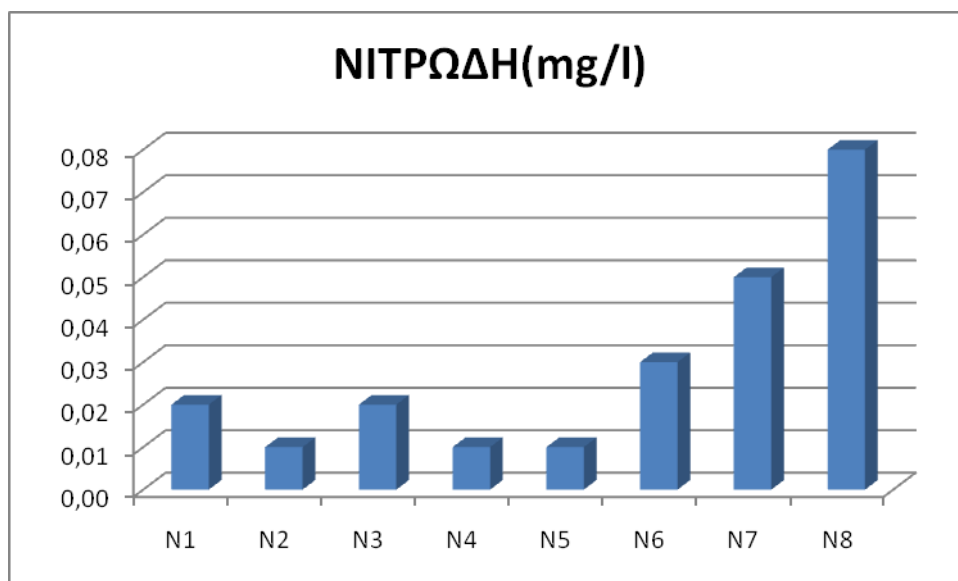


Τα νιτρικά ιόντα λόγω του αρνητικού τους φορτίου δεν συγκρατούνται από το εδαφικό κολλοειδές γεγονός που τα καθιστά ευκίνητα στο εδαφικό προφίλ. Υπάρχουν δύο οδοί διαφυγής των  $\text{NO}_3^-$  προς τα υδάτινα οικοσυστήματα (Hatch et al, 2002) : 1) μέσω της οριζόντιας ροής σε εδάφη με μικρή περατότητα και 2) μέσω της κατακόρυφης ροής (δια μέσου του εδαφικού προφίλ). Η διάρκεια και η ένταση των βροχοπτώσεων αποτελούν καθοριστικό παράγοντα στη μεταφορά των νιτρικών μέσω επιφανειακής απορροής. Η συγκέντρωση των νιτρικών στα φυσικά νερά είναι μικρότερη από 1 mg/l (Evangelou, 1998). Η κατανομή των νιτρικών ιόντων στα επιφανειακά νερά της υπό μελέτη περιοχής παρουσιάζεται στο σχήμα 5.10 που ακολουθεί.



**Σχήμα 5.10:** Οι συγκεντρώσεις των νιτρικών στα επιφανειακά νερά της υπό μελέτη περιοχής.

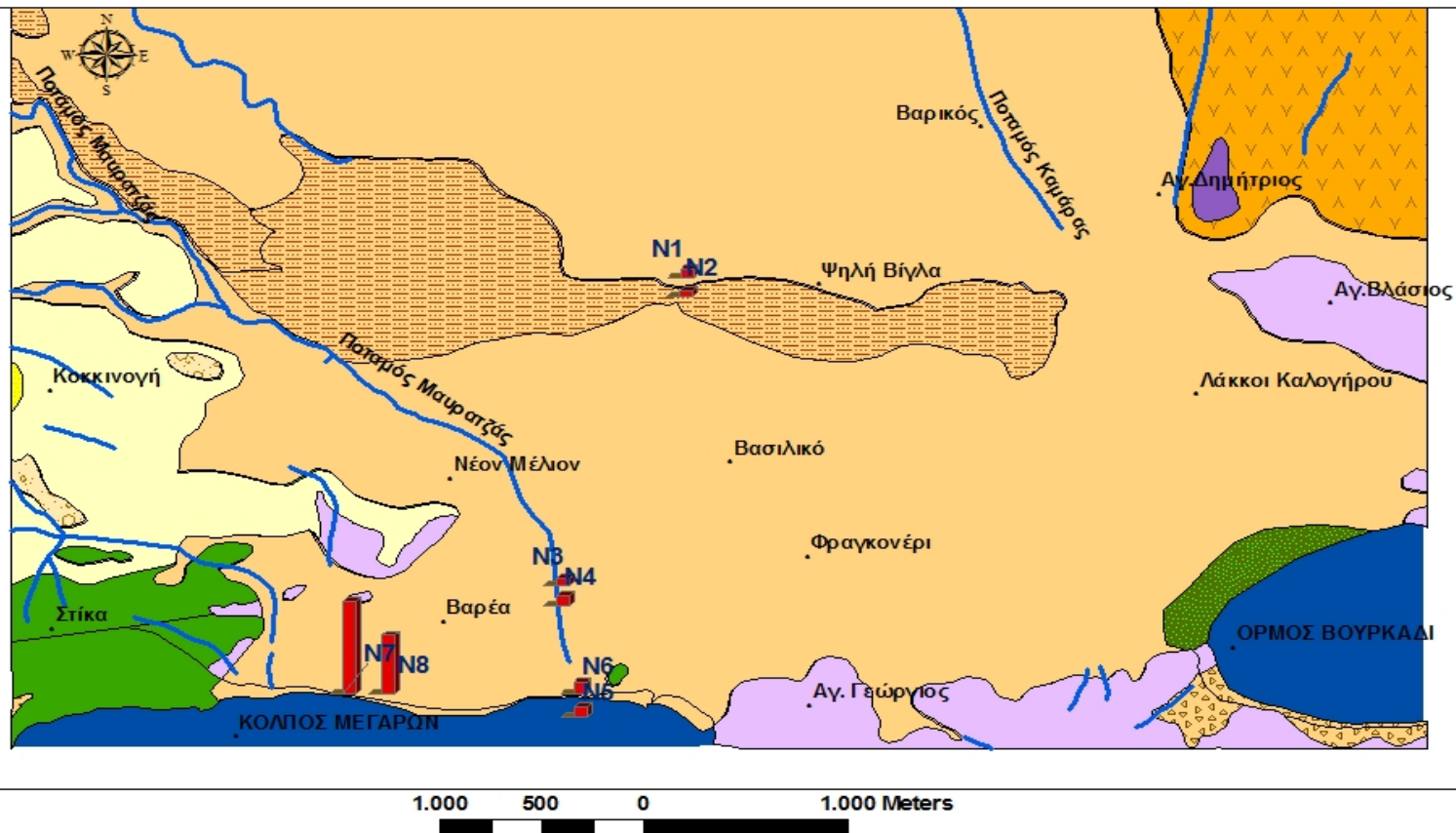
Οι συγκεντρώσεις  $\text{NO}_3^-$  στα επιφανειακά νερά της υπό μελέτη περιοχής κυμαίνονται μεταξύ 6,4- 115,0 mg/l. Οι υψηλές συγκεντρώσεις που παρατηρούνται στις εκβολές (N1- N4) προφανώς οφείλονται στην συνδυασμένη συσσώρευση από σημειακές (πτηνοτροφικές μονάδες) και μη σημειακών πηγές (λίπανση γεωργικών εκτάσεων) καθώς και των ατμοσφαιρικών αποθέσεων. Δεδομένου ότι η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε κατά την περίοδο της χαμηλής στάθμης αναμένεται η επίδραση των σημειακών πηγών μέσω της επιφανειακής απορροής να είναι σημαντική. Η κατανομή των νιτρικών ιόντων στα επιφανειακά νερά της υπό μελέτη περιοχής παρουσιάζεται στο σχήμα 5.11 που ακολουθεί.



**Σχήμα 5.11:** Οι συγκεντρώσεις των νιτρωδών στα επιφανειακά νερά της υπό μελέτη περιοχής.

Η συγκέντρωση των νιτρωδών στα φρέσκα νερά είναι συνήθως πολύ μικρή, της τάξεως των 0,0001 mg/l ενώ σπάνια ξεπερνά το 1 mg/l, λόγω της ταχείας οξειδώσεως τους προς νιτρώδη με την διαδικασία που περιγράφηκε παραπάνω. Υψηλές συγκεντρώσεις σε νιτρώδη είναι ενδεικτικές της διάθεσης βιομηχανικών αποβλήτων στους υδάτινους αποδέκτες και σχετίζονται με μη ικανοποιητική μικροβιακή ποιότητα των υδάτων (Charman, 1996). Ο προσδιορισμός των νιτρικών και νιτρωδών αποτελεί δείκτη της θρεπτικής κατάστασης των υδάτων και της επιβάρυνσης τους με οργανικό φορτίο.

Οι συγκεντρώσεις των  $\text{NO}_2^-$  στα επιφανειακά νερά της υπό μελέτη περιοχής κυμάνθηκαν μεταξύ των τιμών 0,02 και 0,08. Ενδιάμεσες αυξήσεις των τιμών σχετίζονται κυρίως με τη χρήση αζωτούχων λιπασμάτων και με διαρροές αστικών αποβλήτων.



**ΥΠΟΜΝΗΜΑ**

Συγκεντρώσεις (mg/l) ΓΕΩΛΟΓΙΑ

- |   |   |   |
|---|---|---|
| <p>58</p> <p>NO<sub>2</sub></p> <p>NO<sub>3</sub></p> <p>Ποτάμια/ρέμα</p> | <p>Παράκτιες αποθέσεις, ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΣ-ΟΛΟΚΑΙΝΟ</p> <p>Χερσαίοι σχηματισμοί (άργιλοι, πηλοί, άμμος, ψαμίτες) ΝΕΟΓΕΝΕΣ-ΠΛΑΙΟΚΕΝΟ</p> <p>Ασβεστόλιθοι, μαργαίκοι ασβεστόλιθοι, μάρμαρα, ΥΠΟΠΕΛΑΓΟΝΙΚΗ ΖΩΝΗ-ΚΕΝΟΜΑΝΙΟ-ΤΟΥΡΩΝΙΟ</p> <p>Ασβεστόλιθοι, ΥΠΟΠΕΛΑΓΟΝΙΚΗ ΖΩΝΗ(ΚΕΝΟΜΑΝΙΟΝ-ΤΟΥΡΩΤΙΟΝ-ΣΕΝΩΝΙΟΝ)</p> <p>Μάρμαρα, άργιλοι, ψαμίτες, πρ. αβερτίνες, κροκαλλοσπηγή, ΝΕΟΓΕΝΕΣ-ΚΑΤ. ΠΛΑΙΟΚΕΝΟ-Ο-ΑΝΩΤ. ΣΥΣΤΗΜΑ</p> <p>Άργιλοι, πηλοί, ΝΕΟΓΕΝΕΣ-ΚΑΤ. ΠΛΑΙΟΚΕΝΟ-ΑΝ. ΣΥΣΤΗΜΑ</p> | <p>Παλιά πλεονικά κορήματα, κώνοι κορημάτων ΠΛΑΙΣΤΟΚΕΝΟ</p> <p>Ποτάμιας αναβολής ΠΛΑΙΣΤΟΚΕΝΟ</p> <p>Παλιές προσχώσεις, ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΣ-ΠΛΑΙΣΤΟΚΕΝΟ</p> <p>Ασβεστόλιθοι, δολομιτικοί ασβεστόλιθοι, δολομίται, ΜΕΣΟ-ΑΝΩΤ. ΤΡΙΑΔΙΚΟ</p> <p>Σύγχρονα πλεονικά κορήματα, κώνοι κορημάτων, ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΣ-ΟΛΟΚΑΙΝΟ</p> <p>Ασβεστόλιθοι, δολομιτικοί ασβεστόλιθοι, δολομίτες, ΜΕΣΟ-ΑΝΩΤ. ΤΡΙΑΔΙΚΟ</p> <p>Άλλουβιακές αποθέσεις, ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΣ-ΟΛΟΚΑΙΝΟ</p> |
|---|---|---|

Σχήμα 5.13: Οι συγκεντρώσεις των θρεπτικών στοιχείων στα επιφανειακά νερά της υπό μελέτη περιοχής.

## 5.5 *Μεταλλικά ιχνοστοιχεία .*

### 5.5.1 Τα μεταλλικά ιχνοστοιχεία στο υδάτινο σώμα

Γενικά από την συνολική ποσότητα μετάλλων που απαντά στα υδάτινα οικοσυστήματα ένα μικρό μόνο μέρος βρίσκεται εν διαλύσει στο νερό καθώς το μεγαλύτερο μέρος είτε κατακρημνίζεται είτε βρίσκεται προσροφημένο στην στερεά φάση (αιωρούμενα τεμαχίδια και ιζήματα του πυθμένα) με διαδικασίες που εξαρτώνται έντονα από το pH του υδάτινου περιβάλλοντος (Singh et al, 2005, Okonkwo et al, 2005, Farkas et al, 2007).

Η σωματιδιακή φάση καθιστά την κύρια μορφή της διεπιφάνειας μεταξύ στερεάς και υδάτινης φάσης και διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στην μεταφορά και τύχη των μετάλλων και άλλων ιχνοστοιχείων στο υδάτινο σώμα. Η μεγάλη ειδική επιφάνεια των σωματιδίων, τα καθιστά αποτελεσματικούς προσροφητές των ρυπαντικών ουσιών. Η σωματιδιακή φάση χαρακτηρίζεται από μεγάλη πολυπλοκότητα και ανομοιογένεια, περιλαμβάνοντας μικροοργανισμούς, βιολογικά υπολείμματα, οργανικά μακρομόρια, αργιλικά ορυκτά και διάφορα οξείδια (Stumm, 1992). Τα σωματίδια στα φυσικά συστήματα παρουσιάζουν μια συνέχεια στην κατανομή του μεγέθους τους, με τα μικρότερα τεμαχίδια, διαμέτρου μικρότερης των 10 μm να συγκροτούν την κολλοειδή φάση, που περιλαμβάνει τα στερεά σωματίδια που διατηρούνται εν αιωρήσει στο υδάτινο σώμα.

Προσρόφηση καλείται η καθαρή συσσώρευση μάζας στην διεπιφάνεια μεταξύ της στερεάς και υδατοδιαλυτής φάσης (Sposito, 1989). Η προσρόφηση στην στερεά φάση λαμβάνει χώρα μέσω τριών μηχανισμών: 1) τον σχηματισμό συμπλόκων εσωτερικής περιοχής με τις ενεργές ομάδες των εδαφικών τεμαχιδίων (inner sphere complexes), 2) τον σχηματισμό συμπλόκων εξωτερικής περιοχής με τις ενεργές επιφανειακές ομάδες (outer-sphere complexes) και 3) την ηλεκτροστατική προσρόφηση λόγω επιφανειακού φορτίου (διάχυτη φάση). Ο μηχανισμός 1 χαρακτηρίζει την εκλεκτική προσρόφηση με τη δημιουργία σταθερών συμπλόκων και πραγματοποιείται κυρίως μέσω ομοιοπολικών δεσμών ενώ οι μηχανισμοί 2 και 3 χαρακτηρίζουν την μη εκλεκτική ή ηλεκτροστατική προσρόφηση και πραγματοποιούνται μέσω ηλεκτροστατικών δεσμών μικρότερης σταθερότητας.

Η προσρόφηση σχετίζεται με τρεις σημαντικές διαδικασίες όσον αφορά την χημεία των υδάτων (Stumm, 1987): 1) την κατανομή των ιχνοστοιχείων μεταξύ της υδατικής και σωματιδιακής φάσης που επηρεάζει την μετακίνηση τους στην υδρόσφαιρα, 2) τις ηλεκτροστατικές ιδιότητες των αιωρούμενων τεμαχιδίων που καθορίζουν την συσσωμάτωση και την διασπορά τους και 3) την ενεργότητα των στερεών επιφανειών επηρεάζοντας τις διαδικασίες διάλυσης και κατακρήμνισης των στοιχείων. Το φαινόμενο της προσρόφησης περιλαμβάνει την αλληλεπίδραση μεταξύ μιας διαλυμένης ουσίας και μιας στερεής επιφάνειας και χαρακτηρίζεται από τις φυσικές και χημικές ιδιότητες του διαλύτη, της διαλυμένης ουσίας και του προσροφητή.

Η κατανομή και μεταφορά των μετάλλων στα υδάτινα συστήματα, συνεπώς, καθορίζεται από την αλληλεπίδραση μεταξύ των ιζημάτων του πυθμένα, των αιωρούμενων στερεών και της υδατικής φάσης. Η κινητικότητα ή δέσμευση των μετάλλων από τα ιζήματα του πυθμένα εξαρτάται από τα φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά των ιζημάτων τα οποία καθορίζουν την ένταση με την οποία συγκρατούνται τα μεταλλικά κατιόντα. Οι

φυσικοχημικές ιδιότητες του υπερκείμενου ύδατος καθορίζουν τους τρόπους μεταφοράς των μετάλλων στην υδατική φάση είτε υπό την μορφή των αιωρούμενων τεμαχίων, είτε ως διαλυτά ιόντα, είτε υπό την μορφή διαλυτών ενώσεων. Οι φυσικές και ανθρωπογενείς εισροές επηρεάζουν την συμπεριφορά της ενεργού επιφάνειας των ιζημάτων του πυθμένα και της υδατικής φάσης. Συνεπώς η κατανομή και μεταφορά των μετάλλων στα υδάτινα συστήματα ποικίλει ανάλογα με τις ιδιαίτερες συνθήκες που επικρατούν κατά περίπτωση (Moore and Ramamoorthy, 1984).

### 5.5.2 Η χημική διαφοροποίηση των μετάλλων

Τα μεταλλικά ιχνοστοιχεία στα φυσικά νερά δύνανται να βρεθούν σε διάφορες οξειδωτικές καταστάσεις και υπό τη μορφή διαλυτών συμπλόκων με ανόργανους και οργανικούς υποκαταστάτες (ligands). Η ιδιότητα των μετάλλων να απαντούν σε διαφορετικές χημικές μορφές εν διαλύσει ονομάζεται χημική διαφοροποίηση κατά είδος (McBride, 1994). Κάθε μέταλλο έχει ξεχωριστή τάση διαφοροποίησης, η οποία καθορίζει την τοξικότητα του και επηρεάζει την τύχη του μέσω διαδικασιών προσρόφησης, καθίζησης και πτητικοποίησης (Schnoor, 1996).

Οι υδατοδιαλυτές μορφές των μετάλλων στα φυσικά νερά είναι η ιοντική (ευδατωμένα ιόντα), τα σύμπλοκα με ανόργανους υποκαταστάτες ( $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{OH}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$  κ.α) και τα σύμπλοκα με οργανικούς υποκαταστάτες (χουμικά και φουλβικά οξέα). Η δημιουργία συμπλόκων ευνοεί την κινητικότητα των μετάλλων στο υδάτινο σώμα.

Ένα σύμπλοκο ιόν ή σύμπλοκη ένωση αποτελείται από ένα κεντρικό μέταλλο ή κατιόν μετάλλου στο οποίο συναρμολογούνται ορισμένα ανιόντα ή μόρια (υποκαταστάτες). Αν το κεντρικό ιόν και οι υποκαταστάτες είναι σε άμεση επαφή το σύμπλοκο χαρακτηρίζεται ως σύμπλοκο εσωτερικής περιοχής, ενώ αν μεταξύ τους παρεμβάλλονται ένα ή περισσότερα μόρια νερού το σύμπλοκο ορίζεται ως εξωτερικής περιοχής (Sposito, 1994). Όταν ο υποκαταστάτης συναρμολογείται με το κεντρικό ιόν με δύο ή περισσότερους δεσμούς το σύμπλοκο καλείται πολυδοτικό. Τα πολυδοτικά σύμπλοκα που σχηματίζουν ετεροκυκλικές δομές καλούνται χηλικά.

Η δημιουργία συμπλόκων ενώσεων είναι σημαντική στα φυσικά νερά για τους παρακάτω λόγους (Langmuir, 1997):

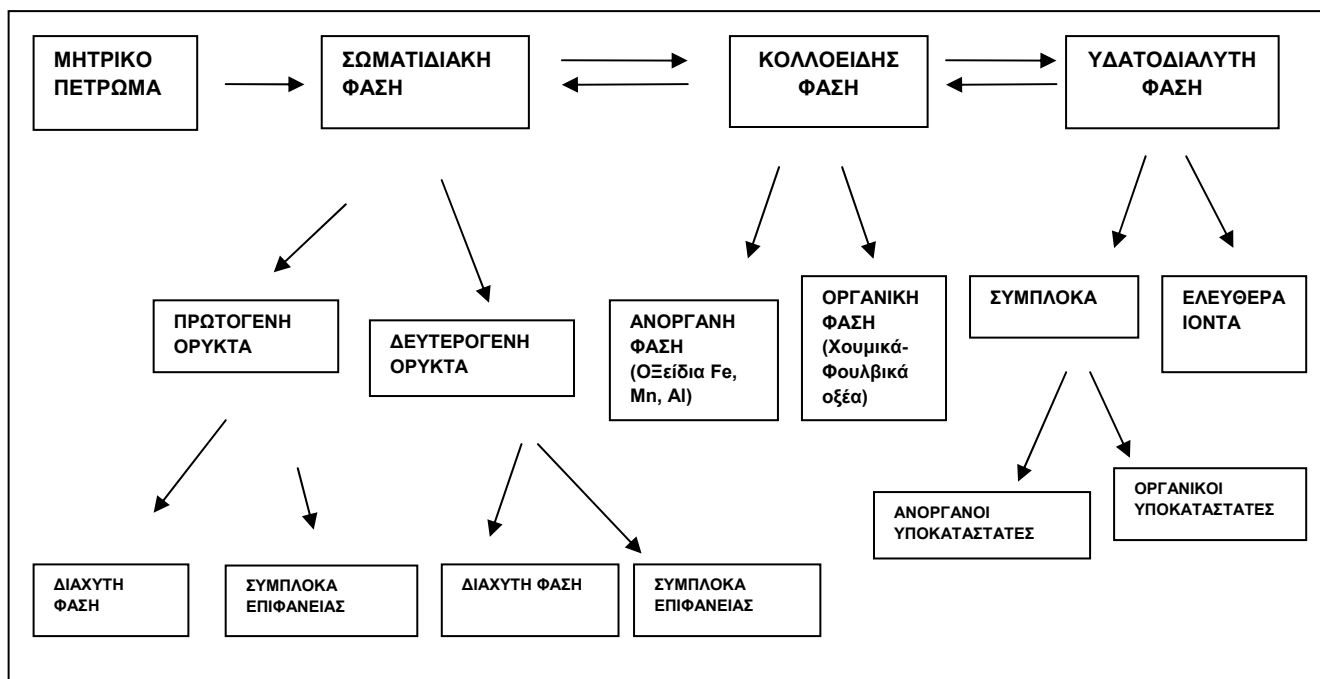
- Η συμπλοκοποίηση μετάλλων που υφίστανται και στα ορυκτά της στερεάς φάσης του υδάτινου σώματος, τείνει να αυξήσει την διαλυτοποίηση των ορυκτών, γεγονός που οδηγεί σε υψηλές συγκεντρώσεις των διαλυτών μορφών σε σχέση με την συγκέντρωση στη στερεά φάση.
- Πολλά στοιχεία υφίστανται εν διαλύσει περισσότερο υπό την μορφή συμπλόκων παρά υπό την ιοντική μορφή.
- Η διαδικασία της προσρόφησης επηρεάζεται έντονα από την παρουσία συμπλόκων. Γενικά τα ανθρακικά και θειικά σύμπλοκα των μετάλλων εμφανίζουν μικρή προσρόφηση, ενώ τα σύμπλοκα των φωσφορικών και υδροξυλικών ομάδων προσροφώνται άμεσα από τα οξείδια και υδροξείδια.
- Η τοξικότητα και βιοδιαθεσιμότητα των μετάλλων στα φυσικά νερά εξαρτάται από το είδος των συμπλόκων ενώσεων.

Τόσο οι ανόργανοι όσο και οι οργανικοί υποκαταστάτες έχουν την τάση να αυξάνουν σε συγκέντρωση με την αύξηση του pH. Παράλληλα και οι διαδικασίες της προσρόφησης ευνοούνται σε υψηλές τιμές pH, καθώς χαρακτηρίζονται από ένα στενό εύρος pH, διαφορετικό για κάθε στοιχείο, όπου η προσρόφηση αυξάνεται σχεδόν 100% (αιχμή προσρόφησης). Συνεπώς η ολική διαλυτότητα των μετάλλων χαρακτηρίζεται από δύο τάσεις: τη σταδιακή μείωση της διαλυτότητας μέχρι ενός εύρους pH 7-8 λόγω ισχυρής προσρόφησης και κατακρήμνισης επιφανείας και στη συνέχεια σε υψηλότερες τιμές pH την αύξηση της διαλυτότητας λόγω συμπλοκοποίησης. Τέλος, σε έντονα αλκαλικό περιβάλλον επικρατεί συνήθως η απομάκρυνση των μετάλλων από την υδατική φάση υπό τη μορφή αδιάλυτων υδροξειδίων (McBride, 1994).

Οι κύριες φάσεις στις οποίες απαντούν τα μέταλλα στο σύστημα έδαφος-νερό είναι οι παρακάτω (Yong, 2001):

- Τα ανταλλάξιμα μέταλλα (ανταλλάξιμη φάση): Περιλαμβάνουν τα μέταλλα που δεν είναι προσροφημένα σε εξειδικευμένες θέσεις αλλά ηλεκτροστατικά και δύναται να αντικατασταθούν από αλλά ανταγωνιστικά κατιόντα.
- Μέταλλα συνδεδεμένα με κρυσταλλικά ή άμορφα οξειδία του Fe, Al και Mn: Ο διαφορετικός βαθμός κρυστάλλωσης των οξειδίων των μετάλλων οδηγεί σε διαφορετικούς τύπους δέσμευσης με τα βαρέα μέταλλα: ανταλλάξιμες μορφές μέσω αλληλεπίδρασης με τις επιφανειακές ενεργές ομάδες των οξειδίων (υδροξύλια, καρβοξύλια, καρβονύλια), μερικώς ανταλλάξιμες μορφές ή μη ανταλλάξιμες μορφές με άμορφα οξειδία.
- Μέταλλα συνδεδεμένα με την οργανική ουσία (οργανική φάση): Οι μηχανισμοί αλληλεπίδρασης της οργανικής ουσίας με τα μέταλλα περιλαμβάνει προσρόφηση, συμπλοκοποίηση και δημιουργία χηλικών ενώσεων. Τα μέταλλα αντιδρούν με την οργανική ουσία σχηματίζοντας τοξικά οργανομεταλλικά σύμπλοκα. Επίσης σχηματίζουν χηλικές ενώσεις με χουμικά και φουλβικά οξέα υπό μορφή μη βιοδιαθέσιμη.
- Μέταλλα συνδεδεμένα με ανθρακικά ιόντα (ανθρακική φάση): Περιλαμβάνει τα μέταλλα που κατακρημνίζονται υπό την μορφή ανθρακικών αλάτων.
- Μέταλλα του υπολειμματικού κλάσματος (υπολειμματική φάση): Περιλαμβάνει τα μέταλλα που είναι προσαρτημένα στο κρυσταλλικό πλέγμα των πυριτικών ορυκτών.

Στο Σχήμα 5.14 παρουσιάζονται οι φάσεις των μετάλλων στο σύστημα έδαφος – νερό.



Σχήμα 5.14: Οι φάσεις των μετάλλων στο σύστημα έδαφος-νερό (Ross, 1994)

### 5.5.3 Τα μεταλλικά ιχνοστοιχεία στα επιφανειακά νερά της υπό μελέτη περιοχής.

#### ΝΙΚΕΛΙΟ Ni<sup>+2</sup>

Το νικέλιο είναι το εικοστό τέταρτο πιο άφθονο στοιχείο του φλοιού της γης με μέση συγκέντρωση 75 mg/Kg πετρώματος (Alloway, 1995). Η περιεκτικότητα του νικελίου είναι μεγαλύτερη στα υπερβασικά πετρώματα και οι συγκεντρώσεις μειώνονται με την αύξηση της οξύτητας των πετρωμάτων.

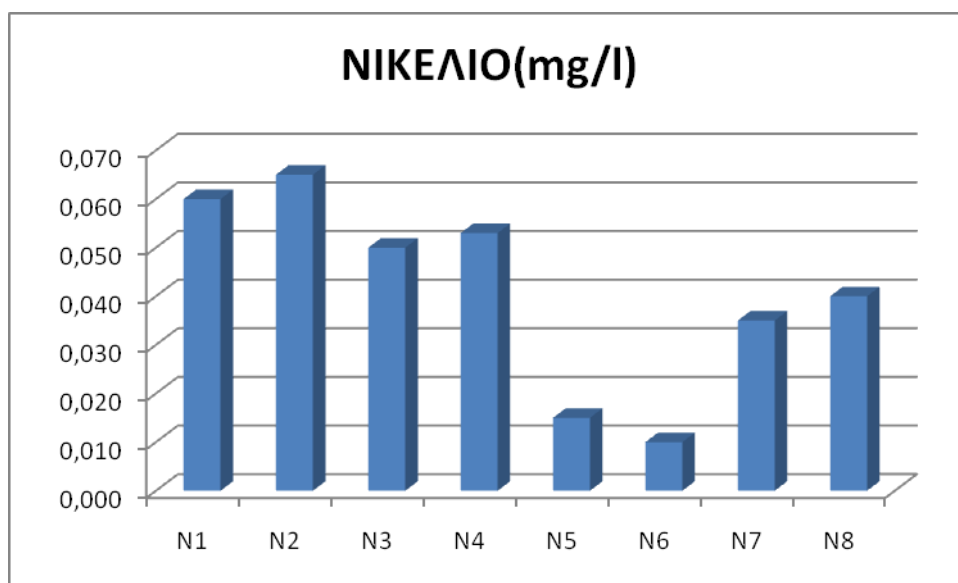
Η συγκέντρωση του διαλυτού νικελίου στο φρέσκα νερά κυμαίνεται μεταξύ 1-3 µg/l. (Snodgrass, 1980). Οι εισροές βιομηχανικών και αστικών αποβλήτων δύνανται να μεταβάλλουν την συγκέντρωση από 10-50 µg/l ενώ σε περιοχές με πετρώματα πλούσια σε νικέλιο έχουν παρατηρηθεί συγκεντρώσεις της τάξεως των 200 µg/l στα υπερκείμενα ύδατα (Agrawal et al, 1978).

Η δισθενής οξειδωτική κατάσταση του νικελίου είναι η μόνη σταθερή. Το νικέλιο σχηματίζει σταθερές ενώσεις με τα οξείδια του σιδήρου και του μαγγανίου καθώς και με την οργανική ουσία σχηματίζοντας κυρίως οργανομεταλλικές ενώσεις ένα μέρος των οποίων μπορεί να είναι και ευδιάλυτες χηλικές ενώσεις. Εμφανίζει εκλεκτική προσρόφηση στα φυλλοπυριτικά ορυκτά της αργίλου σε pH>6, αλλά χαμηλότερες τιμές pH ευνοούν τις ανταλλάξιμες και υδατοδιαλυτές μορφές νικελίου. Εξαιτίας της τάσης του να κατακρημνίζεται υπό τη μορφή των οξειδίων Fe, Mn η διαλυτότητα του χαρακτηρίζεται μέτρια στο όξινο περιβάλλον ενώ παρουσιάζει αξιοσημείωτη μείωση αυξανόμενου του pH (McBride, 1994).

Ο σημαντικότερος παράγοντας που καθορίζει την κατανομή του νικελίου μεταξύ στερεάς – υδατικής φάσης είναι το pH ενώ ακολουθεί η περιεκτικότητα σε αργιλικά ορυκτά

και άμορφα οξείδια Fe και Mn. Το υδρόξυ-σύμπλοκο  $\text{Ni}(\text{OH})^+$  και το ιόν  $\text{Ni}^{2+}$  καθιστούν τις κύριες μορφές στην υδατική φάση σε  $\text{pH} > 8$ , ενώ σε όξινο περιβάλλον υφίσταται υπό την μορφή των  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{NiSO}_4$  και  $\text{NiCO}_3$  (Alloway, 1995).

Η μεταφορά του νικελίου στα υδάτινα οικοσυστήματα πραγματοποιείται κυρίως μέσω των αιωρούμενων τεμαχίων (Wilson, 1976). Οι ανθρωπογενούς προέλευσης εισροές προέρχονται κυρίως από τον κλάδο της μεταλλουργίας (γαλβανισμός), τα αστικά απόβλητα (κυρίως υπό μορφή διαλυτών χηλικών ενώσεων) καθώς και τις ατμοσφαιρικές αποθέσεις από την καύση άνθρακα και πετρελαίου. Η κατανομή του νικελίου στα επιφανειακά νερά της υπό μελέτη περιοχής παρουσιάζεται στο σχήμα 5.15 που ακολουθεί.

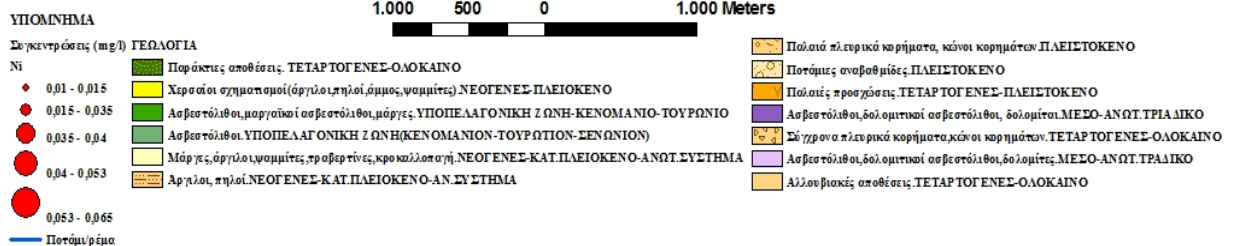
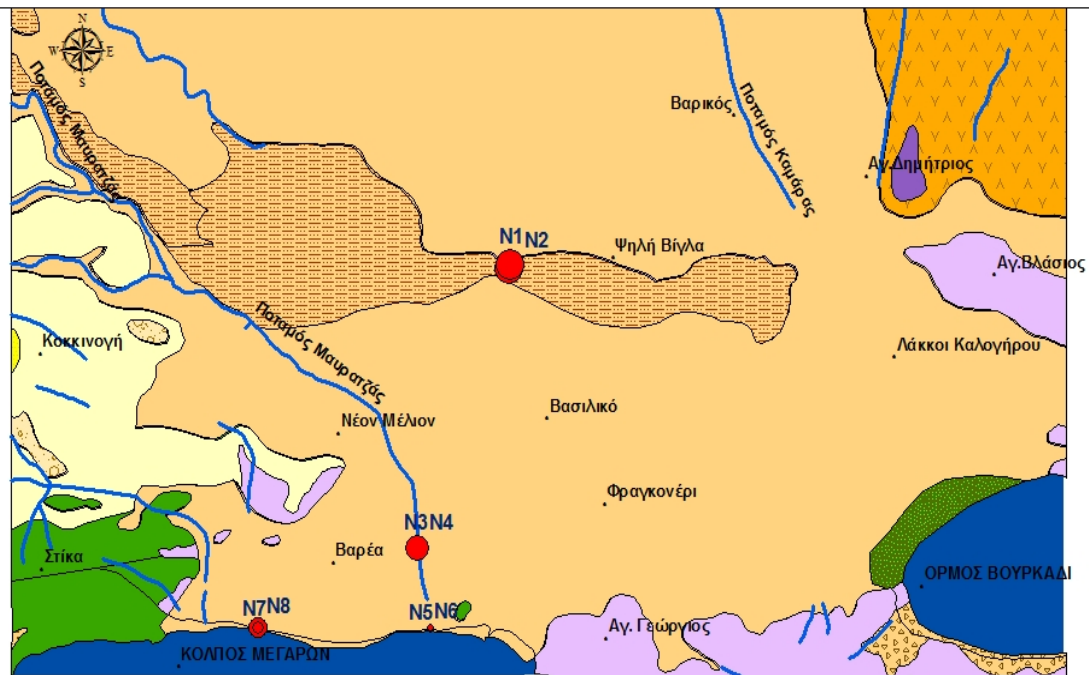


**Σχήμα 5.15:** Οι συγκεντρώσεις του νικελίου στα επιφανειακά νερά της υπό μελέτη περιοχής.

Οι συγκεντρώσεις του νικελίου στα επιφανειακά νερά της υπό μελέτη περιοχής κυμαίνονται μεταξύ 0,01-0,065 mg/l, με τις υψηλότερες συγκεντρώσεις να παρατηρούνται στα δείγματα N1-N2-N3-N4 (0,06-0,065) όσο και στις εκβολές (0,035-0,040). Γεγονός που οφείλεται στην ύπαρξη, εντός της ευρύτερης περιοχής της λεκάνης των Μεγάρων, στο μητρικό πέτρωμα βωξιτικών-σιδηρονικελιούχων εμφανίσεων. Οπότε λόγω των εξαλλοιωτικών διεργασιών έχει εμπλουτιστεί ο περιβάλλον χώρος με νικέλιο. Οι υπάρχουσες βωξιτικές-σιδηρονικελιούχες εμφανίσεις στη περιοχή έχουν σύμφωνα με την βιβλιογραφία κατά μέσο όρο συγκέντρωση νικελίου  $533 \text{ mg Kg}^{-1}$ .



Η χαρτογραφική απεικόνιση της συγκέντρωσης  $Ni^{2+}$  στα επιφανειακά νερά της υπό μελέτη περιοχής παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.16.



**Σχήμα 5.16:** Χαρτογραφική απεικόνιση των συγκεντρώσεων νικελίου στα επιφανειακά νερά της υπό μελέτη περιοχής.

## ΧΑΛΚΟΣ $Cu^{2+}$

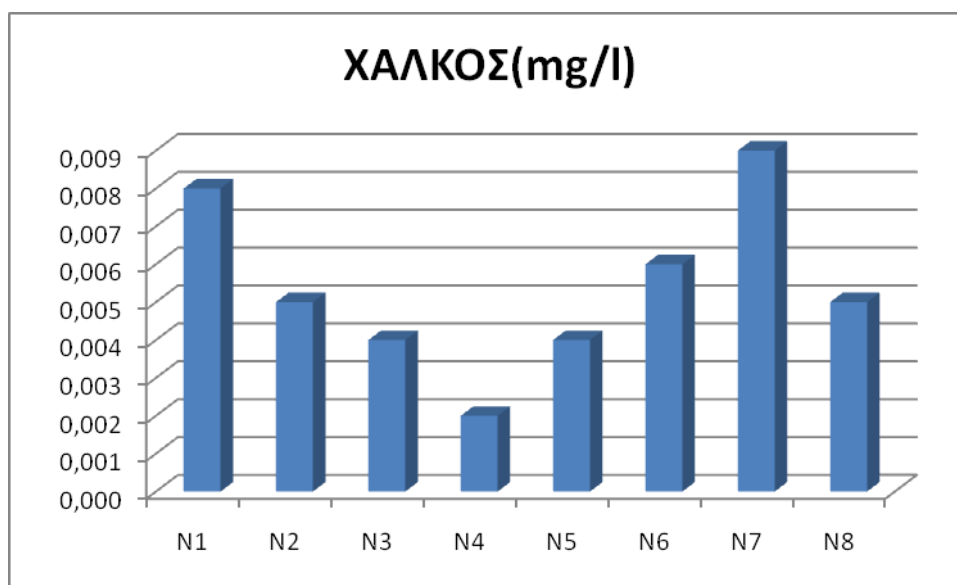
Ο χαλκός στο φλοιό της γης βρίσκεται σε αφθονία στα βασαλτικά και γρανιτικά πετρώματα ενώ έχει την τάση να αποκλείεται από τα ανθρακικά πετρώματα. Στο έδαφος το μεγαλύτερο μέρος του χαλκού βρίσκεται υπό διασθενή μορφή στο κρυσταλλικό πλέγμα των πρωτογενών και δευτερογενών ορυκτών σε ποσά που ανέρχονται σε 5-150 ppm (Μπόβης, 1990).

Στο υδάτινο περιβάλλον ο χαλκός βρίσκεται υπό την μορφή τριών μεγάλων κατηγοριών (Moore and Ramamoorthy, 1984) : την σωματιδιακή, την κολλοειδή και την διαλυτή. Η κατανομή του χαλκού στα φυσικά νερά καθορίζεται από τις φυσικοχημικές ιδιότητες, τα υδροδυναμικά χαρακτηριστικά και την βιολογική κατάσταση του ύδατος. Ο χαλκός βρίσκεται συνήθως υπό μορφή μη ανταλλάξιμη, καθώς εμφανίζει μεγάλη τάση

εκλεκτικής δέσμευσης με υδροξείδια Fe, Mn, ανθρακικά, φωσφορικά άλατα, πυριτικά άλατα και την οργανική ουσία. Η δέσμευση είναι εντονότερη αυξανόμενου του pH και της οργανικής ουσίας του εδάφους καθώς τα οργανομεταλλικά του σύμπλοκα χαρακτηρίζονται από μεγάλη σταθερότητα.

Ωστόσο ένα κλάσμα αυτού είναι υπό μορφή ανταλλάξιμη, προσροφημένο στην άργιλο και στα οξείδια του σιδήρου, αργιλίου και μαγγανίου ή υπό μορφή υδατοδιαλυτή συνδεδεμένο με οργανικούς και ανόργανους υποκαταστάτες. Γενικά στην υδατοδιαλυτή φάση επικρατούν τα οργανομεταλλικά σύμπλοκα. Σε συνθήκες υψηλού pH σχηματίζονται ευδιάλυτα σύμπλοκα κυρίως υδροξυλικά, ανθρακικά και οργανικά αυξάνοντας την κινητικότητα του χαλκού (McBride,1994).

Το διαλυτό κλάσμα του χαλκού στα φρέσκα νερά κυμαίνεται μεταξύ 0,5-1  $\mu\text{g/l}$  αυξανόμενο σε 2  $\mu\text{g/l}$  σε αστικές περιοχές. Ωστόσο πολύ υψηλότερες συγκεντρώσεις (500-1000  $\mu\text{g/l}$ ) έχουν παρατηρηθεί σε περιοχές που γειτνιάζουν με ορυχεία μετάλλων κατά την περίοδο της υψηλής στάθμης (Duinker et al, 1977). Η κατανομή του χαλκού στα επιφανειακά νερά της υπό μελέτη περιοχής παρουσιάζεται στο σχήμα 5.17 που ακολουθεί.



**Σχήμα 5.17:** Οι συγκεντρώσεις του χαλκού στα επιφανειακά νερά της υπό μελέτη περιοχής.

Οι συγκεντρώσεις του χαλκού στα επιφανειακά νερά της υπό μελέτη περιοχής κυμαίνονται μεταξύ 0,002-0,009  $\text{mg/l}$ .

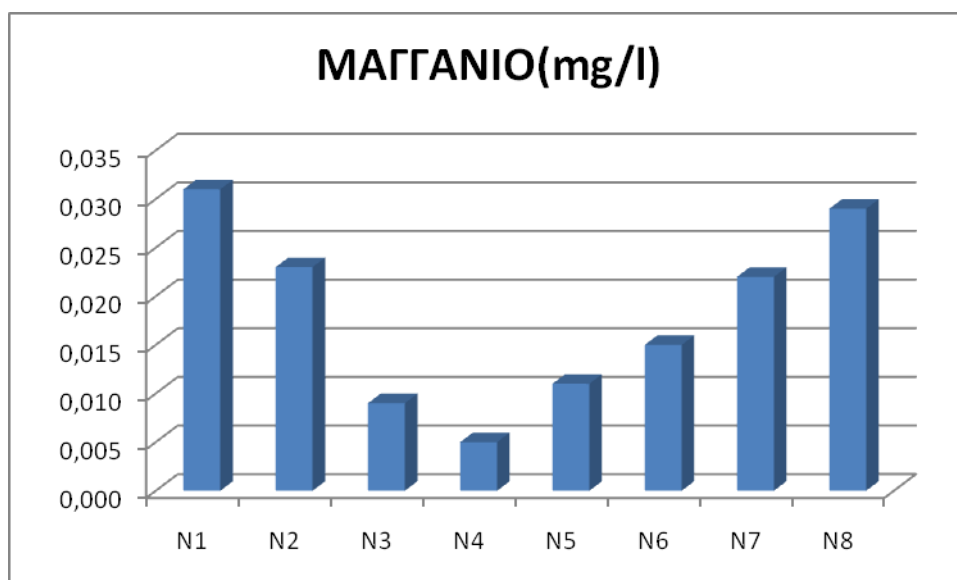
Από την κατανομή των συγκεντρώσεων του  $\text{Cu}^{+2}$  στη λεκάνη των Μεγάρων προκύπτουν χαμηλές συγκεντρώσεις σε όλα τα σημεία γιατί προφανώς δεν έχουν επηρεαστεί από την παρουσία σημειακών πηγών ρύπανσης (μεταλλουργική δραστηριότητα, βιομηχανία λιπασμάτων).

## ΜΑΓΓΑΝΙΟ Mn<sup>+2</sup>

Το μαγγάνιο βρίσκεται σε διάφορα πρωτογενή ορυκτά, κυρίως σιδηρομαγνησιούχα από τα οποία απελευθερούμενο με τις διαδικασίες της αποσάθρωσης σχηματίζει ένα πλήθος δευτερογενών ορυκτών. Τα κυριότερα από αυτά είναι ο πυρολουσίτης (MnO<sub>2</sub>) και ο μαγγανίτης [Mn(OH)]. Τα σπουδαιότερα κλάσματα του μαγγανίου είναι το δισθενές μαγγάνιο Mn<sup>2+</sup> και τα οξείδια του τρισθενούς (Mn<sup>+3</sup>) και τετρασθενούς (Mn<sup>+4</sup>) μαγγανίου. Το δισθενές μαγγάνιο είναι κυρίως προσροφημένο ηλεκτροστατικά υπό μορφή ανταλλάξιμη στα αιωρούμενα τεμάχια ενώ οι υψηλότερα οξειδωμένες μορφές σχηματίζουν δυσδιάλυτα οξείδια και υδροξείδια ποικίλης δομής. Στην υδατική φάση επικρατεί η δισθενής μορφή.

Η διαλυτότητα του μαγγανίου ελέγχεται από τα δυναμικό οξειδοαναγωγής και το pH του υδάτινου περιβάλλοντος. Το κατιόν Mn<sup>2+</sup> είναι πολύ ευδιάλυτο στα φυσικά νερά ενώ μόνο σε υψηλές τιμές pH (>7) σχηματίζει δυσδιάλυτες μορφές και κατακρημνίζεται υπό τη μορφή υδροξειδίων και ανθρακικών αλάτων (McBride, 1994).

Η διαλυτότητα του μαγγανίου είναι μεγαλύτερη σε όξινο περιβάλλον λόγω της μεγάλης διαλυτότητας των ενώσεων του στις συνθήκες αυτές. Σε αλκαλικό περιβάλλον το διαλυτό δισθενές μαγγάνιο σχηματίζει σύμπλοκα με την οργανική ουσία, με οξείδια και πυριτικά ορυκτά και η διαλυτότητα του μειώνεται. Στα φυσικά νερά το μαγγάνιο απαντά σε ίχνη (Μπόβης, 1990). Η κατανομή του μαγγανίου στα επιφανειακά νερά της υπό μελέτη περιοχής παρουσιάζεται στο σχήμα 5.18 που ακολουθεί.



**Σχήμα 5.18:** Οι συγκεντρώσεις του μαγγανίου στα επιφανειακά νερά της υπό μελέτη περιοχής.

Από την κατανομή του μαγγανίου στα επιφανειακά νερά της υπό μελέτη περιοχής προκύπτει ένα εύρος συγκεντρώσεων 0,005-0,031 mg/l. Δεν αποτελούν υψηλές συγκεντρώσεις όπου σχετίζονται συνήθως με την ύπαρξη τοπικών αγωγών διάθεσης βιομηχανικών αποβλήτων.

## ΣΙΔΗΡΟΣ Fe<sup>+2</sup>

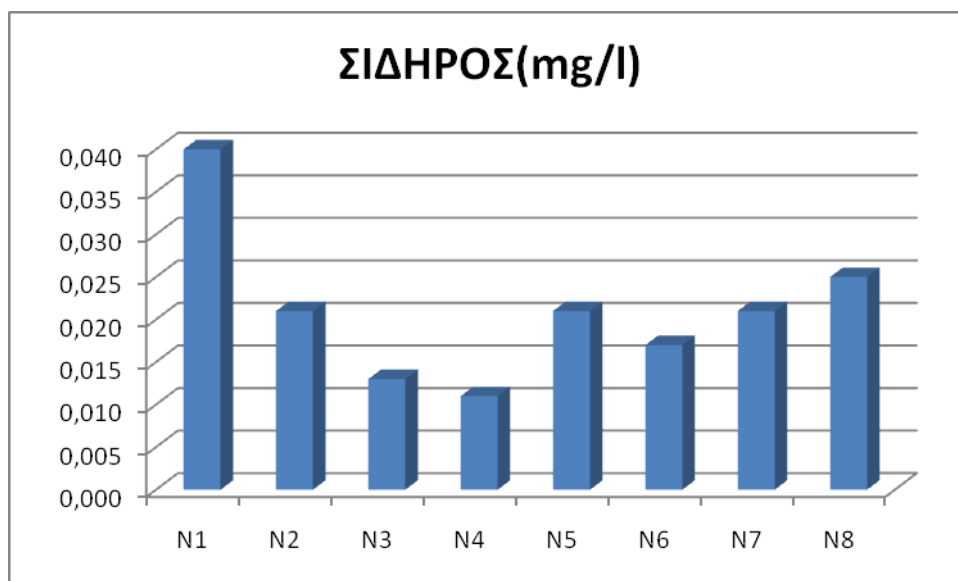
Ο σίδηρος είναι πολύ κοινό μέταλλο στην λιθόσφαιρα και απαντά σε υψηλά ποσοστά στα εδάφη και τα πετρώματα στα οποία βρίσκεται κυρίως υπό μορφή μη διαλυτή (Tan, 1994). Τα κυριότερα ορυκτά του σιδήρου είναι ο αιματίτης ( $Fe_2O_3$ ), ο μαγνητίτης ( $Fe_3O_4$ ), ο πυρίτης ( $FeS_2$ ) και ο ιλμενίτης ( $FeTiO_3$ ). Το μεγαλύτερο μέρος του βρίσκεται στο κρυσταλλικό πλέγμα διαφόρων πρωτογενών και δευτερογενών ορυκτών και στην οργανική ουσία του εδάφους. Παρόλα αυτά εξαιτίας μιας σειράς περίπλοκων διεργασιών που λαμβάνουν χώρα στα εδάφη, σχηματίζονται διαλυτές μορφές σιδήρου που μπορούν να επηρεάσουν τα υπερκείμενα ύδατα. Η διαλυτότητα του σιδήρου εξαρτάται έντονα από το pH και το δυναμικό οξειδοαναγωγής καθώς μικρές διακυμάνσεις αυτών μπορεί να επιφέρουν σημαντική αλλαγή στις μορφές του σιδήρου (Gray, 2005).

Γενικά οξειδωτικές συνθήκες και υψηλό pH ευνοούν την κατακρήμνιση του σιδήρου υπό την μορφή αδιάλυτων υδροξειδίων, ενώ αναγωγικές συνθήκες και όξινο περιβάλλον ευνοούν την διαλυτοποίησή του (Kabata-Pendias et al, 1992).

Στην υδατική φάση ο σίδηρος απαντά σε δύο οξειδωτικές καταστάσεις: τη δισθενή ( $Fe^{2+}$ ) σε αναερόβιες συνθήκες και την τρισθενή ( $Fe^{3+}$ ) σε αεροβικές. Η διαλυτότητα του εξαρτάται έντονα από το δυναμικό οξειδοαναγωγής και από τη διαλυτότητα των ένυδρων οξειδίων του  $Fe^{3+}$ , καθώς τα προϊόντα υδρόλυσης του καταλήγουν στο στερεό  $Fe(OH)_3$ . Σε αναερόβιες συνθήκες λαμβάνει χώρα αναγωγή του  $Fe^{3+}$  σε  $Fe^{2+}$  που καθιστά την πιο υδατοδιαλυτή μορφή.

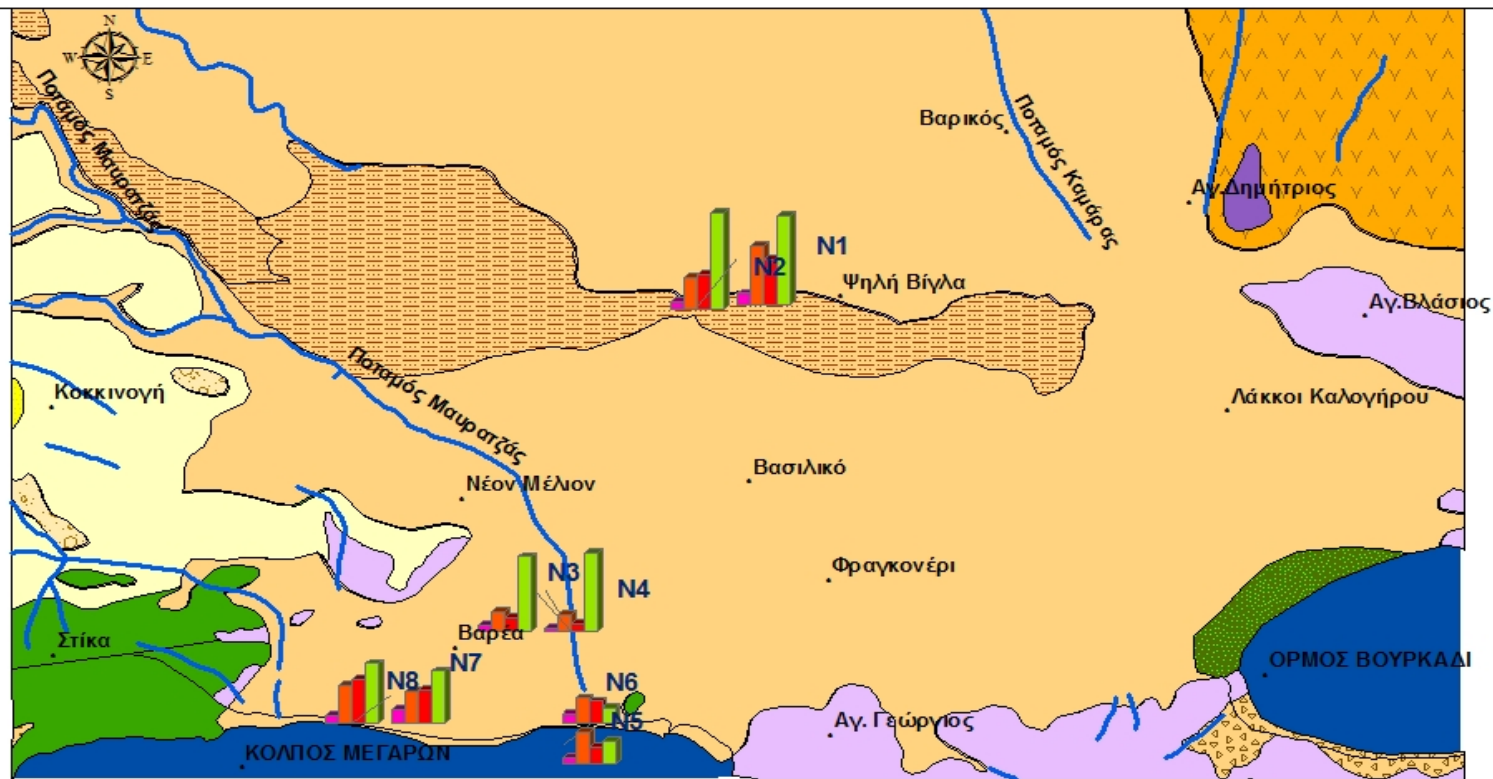
Η διαλυτότητα του σιδήρου επηρεάζεται σημαντικά από τις αντιδράσεις υδρόλυσης και συμπλοκοποίησης. Το κλάσμα του υδατοδιαλυτού σιδήρου είναι εξαιρετικά χαμηλό σε σχέση με το ολικό. Οι διαλυτές ανόργανες μορφές περιλαμβάνουν τα σύμπλοκα  $Fe(OH)_2^+$ ,  $FeOH^{2+}$ ,  $Fe(OH)_3^-$  και  $Fe(OH)_4^{2-}$ . Παράλληλα ο σίδηρος εμφανίζει έντονη τάση δημιουργίας ευδιάλυτων οργανομεταλλικών συμπλόκων και χηλικών ενώσεων. Τα σύμπλοκα αυτά είναι σε μεγάλο βαθμό υπεύθυνα για την απομάκρυνση του σιδήρου από το εδαφικό στρώμα (Kabata-Pendias et al, 1992).

Η κατανομή των ποσοτήτων μεταξύ διαλυτού και ανταλλάξιμου Fe εξαρτάται σημαντικά και από το pH. Γενικά σε όξινο περιβάλλον και αναγωγικές συνθήκες αυξάνεται η διαλυτότητα του  $Fe^{+2}$  ενώ σε  $pH > 8$  η ποσότητα του υδατοδιαλυτού σιδήρου είναι ίχνη. Η κατανομή του σιδήρου στα επιφανειακά νερά της υπό μελέτη περιοχής παρουσιάζεται στο σχήμα 5.19 που ακολουθεί.



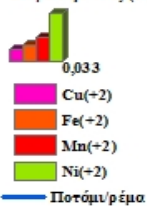
**Σχήμα 5.19 :** Οι συγκεντρώσεις του σιδήρου στα επιφανειακά νερά της υπό μελέτη περιοχής.

Από την κατανομή του διαθετού σιδήρου στα επιφανειακά νερά της υπό μελέτη περιοχής προκύπτει ένα εύρος συγκεντρώσεων 0,011-0,04 mg/l. Γενικά δεν παρατηρούνται υψηλές συγκεντρώσεις αφού αυτές σχετίζονται συνήθως με την παρουσία σημειακών πηγών ρύπανσης (απόβλητα μονάδων επεξεργασίας μετάλλων, κλωστοϋφαντουργίας). Επίσης πρέπει να τονίσουμε το γεγονός ότι λόγω του αλκαλικού περιβάλλοντος που διαπιστώσαμε στα επιφανειακά δείγματα με pH να κυμαίνεται στο 8, ο  $Fe^{2+}$  βρίσκεται υπό μορφή μη διαλυτή.



**ΥΠΟΜΝΗΜΑ**

Συγκεντρώσεις (mg/l) ΓΕΩΛΟΓΙΑ



- Παράκτιες αποθέσεις, ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΣ-ΟΛΟΚΑΙΝΟ
- Χερσαίοι σχηματισμοί (άργιλοι, πηλοί, άμμος, ψαμμίτες) ΝΕΟΓΕΝΕΣ-ΠΛΑΙΟΚΕΝΟ
- Ασβεστόλιθοι, μαργαίτικοι ασβεστόλιθοι, μάργες, ΥΠΟΠΕΛΑΓΟΝΙΚΗ ΖΩΝΗ-ΚΕΝΟΜΑΝΙΟ-ΤΟΥΡΩΝΙΟ
- Ασβεστόλιθοι, ΥΠΟΠΕΛΑΓΟΝΙΚΗ ΖΩΝΗ(ΚΕΝΟΜΑΝΙΟΝ-ΤΟΥΡΩΤΙΟΝ-ΞΕΝΩΝΙΟΝ)
- Μάργες, άργιλοι, ψαμμίτες, πρ. σβερτίνες, κροκαλλοσπηλή, ΝΕΟΓΕΝΕΣ-ΚΑΤ.ΠΛΑΙΟΚΕΝΟ-ΑΝΩΤ.ΣΥΣΤΗΜΑ
- Αργιλοι, πηλοί, ΝΕΟΓΕΝΕΣ-ΚΑΤ.ΠΛΑΙΟΚΕΝΟ-Α.Ν.ΣΥΣΤΗΜΑ

- Πολυά πλειυρικά κορήματα, κώνοι κορημάτων ΠΛΑΙΣΤΟΚΕΝΟ
- Ποτάμιες αναβροθιές ΠΛΑΙΣΤΟΚΕΝΟ
- Πολυάες προσχώσεις, ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΣ-ΠΛΑΙΣΤΟΚΕΝΟ
- Ασβεστόλιθοι, δολομιτικοί ασβεστόλιθοι, δολομίται, ΜΕΣΟ-ΑΝΩΤ. ΤΡΙΑΔΙΚΟ
- Σύγγραμμα πλειυρικά κορήματα, κώνοι κορημάτων, ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΣ-ΟΛΟΚΑΙΝΟ
- Ασβεστόλιθοι, δολομιτικοί ασβεστόλιθοι, δολομίτες, ΜΕΣΟ-ΑΝΩΤ. ΤΡΙΑΔΙΚΟ
- Αλλουβιακές αποθέσεις, ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΣ-ΟΛΟΚΑΙΝΟ

Σχήμα 5.20: Τα μεταλλικά ιχνοστοιχεία στα επιφανειακά νερά της υπό μελέτη περιοχής.

## 5.6 Υδροχημική ταξινόμηση των επιφανειακών νερών κατά Piper και Durov

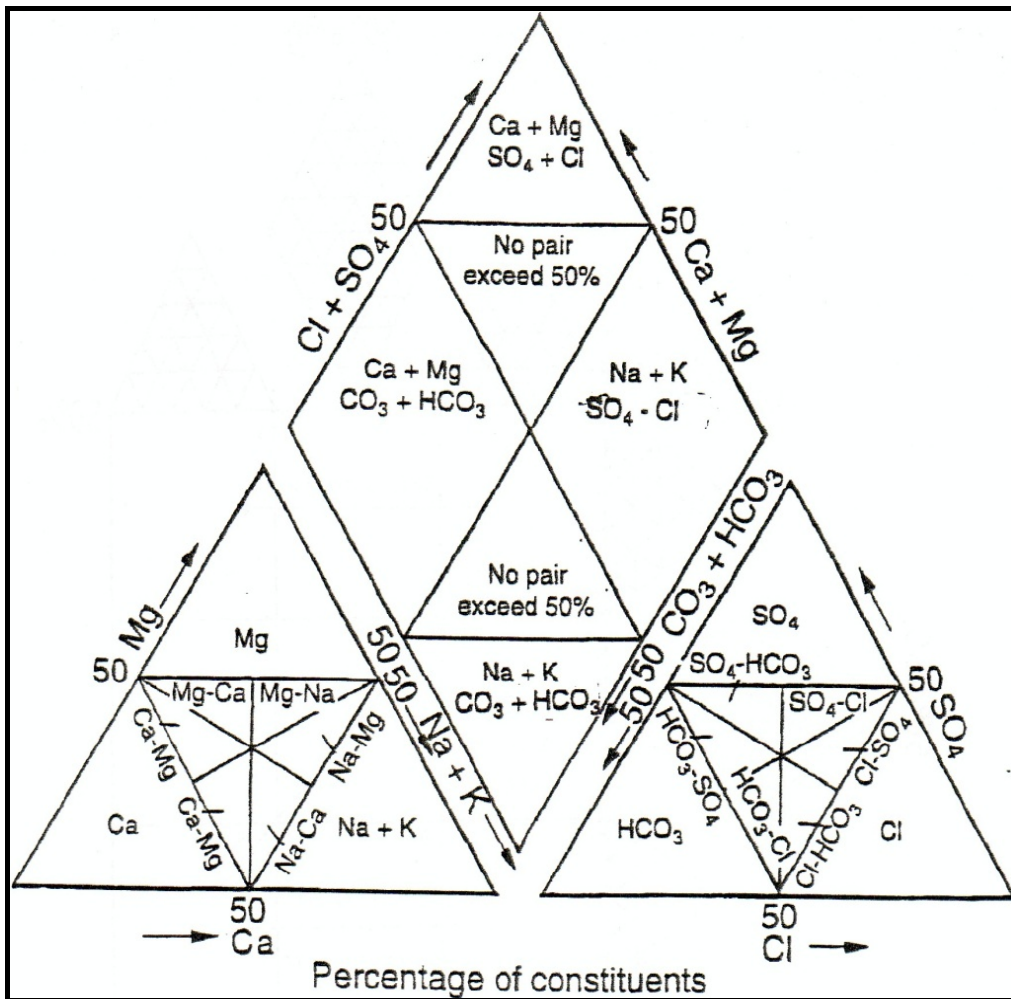
Στα πλαίσια της παρούσας μελέτης πραγματοποιήθηκε ταξινόμηση των επιφανειακών νερών της υπό μελέτη περιοχής κατά Piper και Durov. Οι υδροχημικοί τύποι των υδάτων παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.6 που ακολουθεί.

**Πίνακας 5.6:** Οι υδροχημικοί τύποι των επιφανειακών νερών της υπό μελέτη περιοχής.

ΚΩΔΙΚΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	ΥΔΡΟΧΗΜΙΚΟΣ ΤΥΠΟΣ
N1	Na-Mg-Cl-HCO <sub>3</sub>
N2	Na-Mg-Cl-HCO <sub>3</sub>
N3	Na-Mg-Cl-HCO <sub>3</sub>
N4	Ca-Mg-Na-HCO <sub>3</sub>
N5	Mg-Ca-Na-HCO <sub>3</sub> -Cl
N6	Ca-Na-Mg-HCO <sub>3</sub> -Cl
N7	Na-Cl
N8	Na-Cl

### ➤ Ταξινόμηση κατά Piper

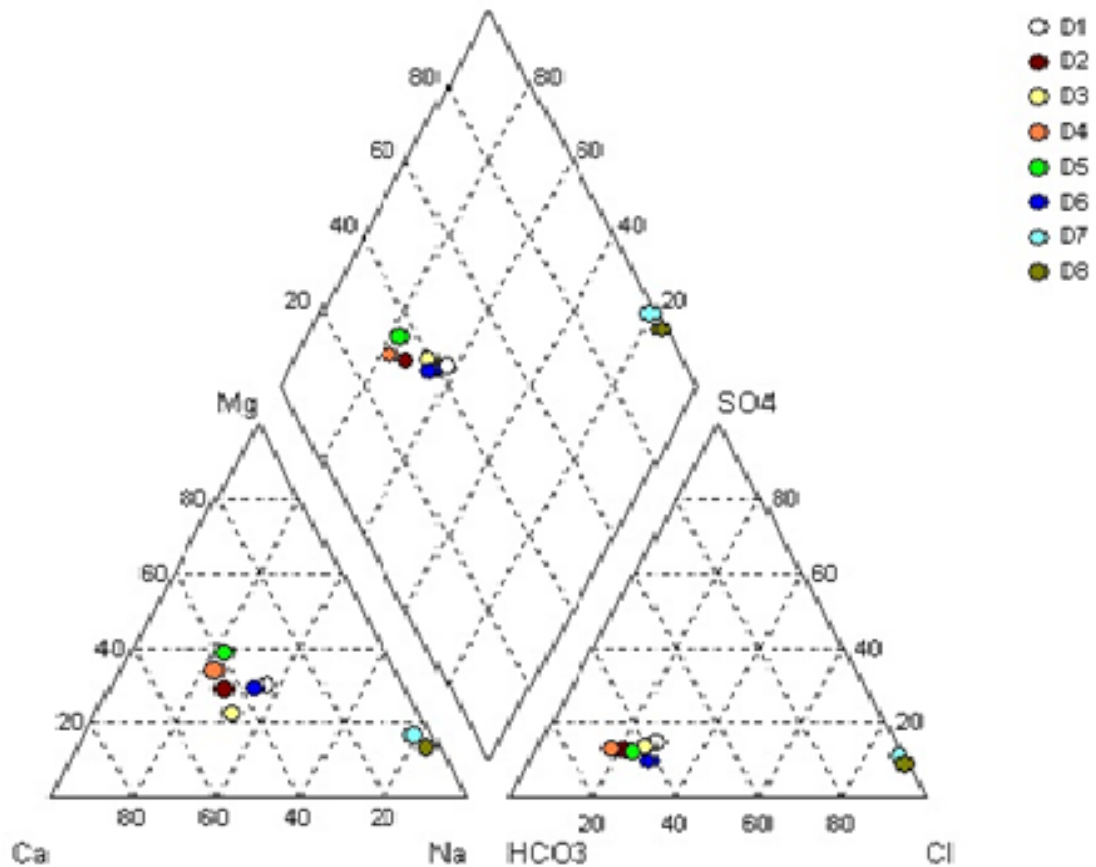
Ο Piper το 1944 πρότεινε ένα σύστημα ταξινόμησης των υπόγειων και επιφανειακών υδάτων ανάλογα με το ανιόν ή κατιόν που κυριαρχεί στον υδροχημικό τύπο. Στην περίπτωση που δεν υπάρχει κυρίαρχο ανιόν ή/και κατιόν, τότε γίνονται συνδυασμοί μεταξύ των κύριων πεδίων του Mg<sup>+2</sup>, Ca<sup>+2</sup>, SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> και Cl<sup>-</sup>. Το διάγραμμα Piper απεικονίζεται στο σχήμα 5.21 που ακολουθεί.



Σχήμα 5.21: Διάγραμμα Piper.

Από την απεικόνιση των επιφανειακών νερών της υπό μελέτη περιοχής στο διάγραμμα Piper (σχήμα 5.22) παρατηρούμε ότι τα 6 πρώτα δείγματα (N1-N6) βρίσκονται στο πεδίο επικράτησης των  $Mg^{+2}$ ,  $Ca^{+2}$  και  $HCO_3^-$  που υποδηλώνει φρέσκα νερά που σχετίζονται με ασβεστόλιθους και δολομίτες, ενώ τα τελευταία 2 δείγματα (N7-N8) των εκβολών ανήκουν στο πεδίο επικράτησης Na-Cl λόγω ανάμιξης με τα θαλάσσια ύδατα.

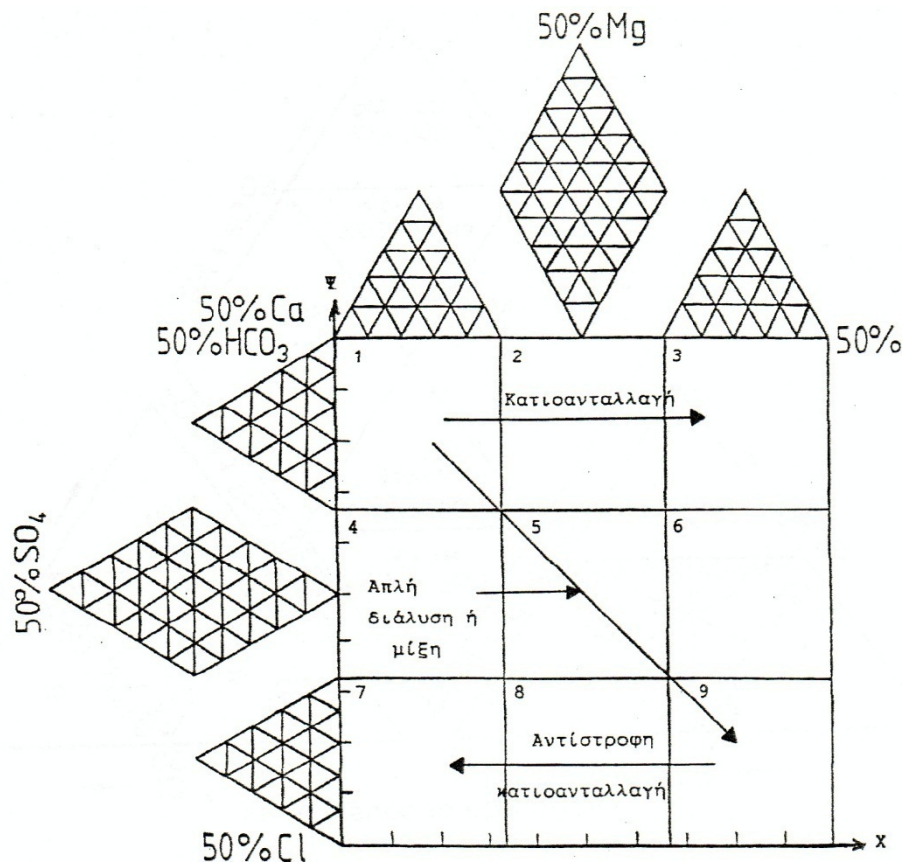




Σχήμα 5.22: Απεικόνιση των δειγμάτων σε διάγραμμα Riper.

➤ **Ταξινόμηση κατά Durov**

Για την πιο παραστατική και καλύτερη ερμηνεία των αποτελεσμάτων χρησιμοποιείται το διαστελλόμενο διάγραμμα Durov, όπως αυτό περιγράφεται από τους Lloyd and Heathcote (1985). Στο διάγραμμα απεικονίζονται 9 πεδία όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.23 που ακολουθεί:



**Σχήμα 5.23:** Διάγραμμα Durov.

1. Κυριαρχούν τα  $\text{HCO}_3^-$  και τα  $\text{Ca}^{2+}$  και συνήθως φανερώνει φρέσκα νερά φυσικής αναπλήρωσης που κατεισδύουν διαμέσου ασβεστόλιθων, ψαμμιτών αλλά και άλλων ανθρακικών πετρωμάτων.

2. Κυριαρχεί η  $\text{HCO}_3^-$  και είτε κυριαρχεί το  $\text{Mg}^{2+}$  είτε κανένα κατιόν. Πρόκειται για νερά που έχουν σχέση με δολομίτες. Αν παρατηρηθεί ότι το  $\text{Na}^+$  αρχίζει να αυξάνεται, αυτό φανερώνει ότι ο μηχανισμός 3 έχει αρχίσει να ενεργοποιείται.

3. Κυριαρχούν τα  $\text{HCO}_3^-$  και τα  $\text{Na}^+$  και το φαινόμενο κατιοανταλλαγής βρίσκεται σε πλήρη εξέλιξη (μηχανισμός 3).

4. Κυριαρχεί το  $\text{Ca}^{2+}$  και είτε η  $\text{SO}_4^{2-}$  είτε κανένα ανιόν. Στην περίπτωση εκείνη όπου κυριαρχούν τόσο τα  $\text{Ca}^{2+}$  όσο και τα  $\text{SO}_4^{2-}$  αυτό υποδηλώνει νερά που προέρχονται από ζώνες αναπλήρωσης διαμέσου ηφαιστειακών λαβών και γύψων. Διαφορετικά αυτό ερμηνεύεται απλά σαν ένα νερό μικτό ή νερό διαλυτοποίησης.

5. Κανένα κυρίαρχο ιόν. Πρόκειται για μικτά νερά ή νερά διαλυτοποίησης.

6. Κυριαρχεί το  $\text{Na}^+$  και είτε κυριαρχεί η  $\text{SO}_4^{2-}$ , είτε κανένα ανιόν.

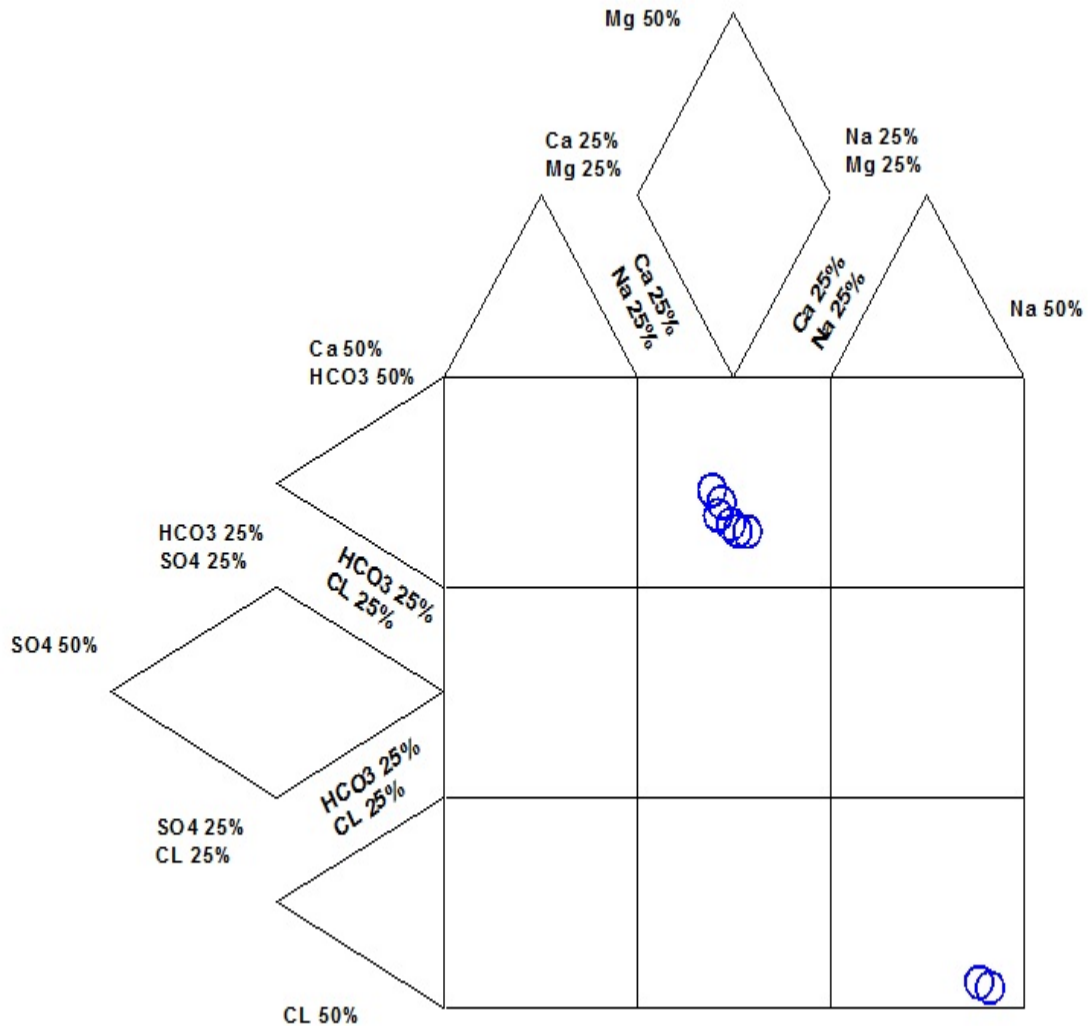
7. Κυριαρχούν τα  $\text{Ca}^{2+}$  και τα  $\text{Cl}^-$ .

8. Κυριαρχεί το  $\text{Cl}^-$ , χωρίς να κυριαρχεί και κανένα κατιόν.

9. Κυριαρχούν τα  $\text{Na}^+$  και τα  $\text{Cl}^-$ . Τελικά νερά πεδίου ροής.

Από την απεικόνιση των δειγμάτων στο διάγραμμα Durov (Σχήμα 5.23) φαίνεται χαρακτηριστικά ότι τα περισσότερα δείγματα (N1-N6) ανήκουν στο πεδίο 2 και είναι χημικού

τύπου  $Mg-HCO_3$ . Αυτό μπορεί να αποδοθεί στο γεγονός ότι αποτελούν νερά φυσικής αναπλήρωσης που αναβλύζουν δια μέσω ασβεστόλιθων, δολομιτών και Νεογενών ιζημάτων. Τέλος στις εκβολές για τα δείγματα που ελήφθησαν από σχεδόν στάσιμα νερά (N7-N8) , μεταβαίνουμε στο πεδίο 9 όπου κυριαρχούν τα ιόντα  $Na^+$  και  $Cl^-$ .



**Σχήμα 5.23:** Ταξινόμηση των επιφανειακών νερών της υπό μελέτη περιοχής βάσει του διαγράμματος Durov .

**Πίνακας 5.24:** Κατάταξη των επιφανειακών υδάτων κατά Durov.

<b>ΔΕΙΓΜΑ</b>	<b>ΠΕΔΙΟ DUROV</b>	<b>ΚΥΡΙΑΡΧΑ ΙΟΝΤΑ</b>	<b>ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ</b>
<b>N1</b>	2	HCO <sub>3</sub> , Mg	Μαγνησιούχα οξιανθρακικά
<b>N2</b>	2	HCO <sub>3</sub> , Mg	Μαγνησιούχα οξιανθρακικά
<b>N3</b>	2	HCO <sub>3</sub> , Mg	Μαγνησιούχα οξιανθρακικά
<b>N4</b>	2	HCO <sub>3</sub> , Mg	Μαγνησιούχα οξιανθρακικά
<b>N5</b>	2	HCO <sub>3</sub> , Mg	Μαγνησιούχα οξιανθρακικά
<b>N6</b>	2	HCO <sub>3</sub> , Mg	Μαγνησιούχα οξιανθρακικά
<b>N7</b>	9	Na, Cl	Νάτριο-χλωριούχα
<b>N8</b>	9	Na, Cl	Νάτριο-χλωριούχα

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΈΛΕΓΧΟΣ ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑΣ ΧΡΗΣΗΣ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΓΙΑ ΑΡΔΕΥΣΗ

### ➤ Λόγος προσρόφησης νατρίου ( SAR)

Είναι ένα βασικό κριτήριο της καταλληλότητας του νερού για άρδευση και υπολογίζεται από τη σχέση:

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

όπου οι συγκεντρώσεις Na, Ca, Mg εκφράζονται σε meq/l.

Αποτελεί μέτρο κορεσμού του εδαφικού διαλύματος σε νάτριο και του βαθμού προσρόφησης του νατρίου από το εδαφικό κολλοειδές αντικαθιστώντας τα ιόντα  $Ca^{+2}$  και  $Mg^{+2}$ . Η προσρόφηση  $Na^{+}$  στο εδαφικό κολλοειδές λόγω του μικρού σθένους και της μεγάλης ένυδρης ακτίνας του συντελεί στη διασπορά της αργίλου και την καταστροφή της δομής και περατότητας του εδάφους. Αυτό συμβαίνει όταν τα ιόντα  $Ca^{+2}$  και  $Mg^{+2}$  αντικαθίστανται από ιόντα  $Na^{+}$  με αποτέλεσμα να δημιουργείται περίσσεια αρνητικού φορτίου στην επιφάνεια της αργίλου και διασπορά αυτής. Στον πίνακα 6.1 παρουσιάζονται οι τιμές SAR που προκύπτουν για τα επιφανειακά νερά της υπό μελέτη περιοχής .

**Πίνακας 6.1:** Οι τιμές SAR των επιφανειακών νερών της υπό μελέτη περιοχής.

ΚΩΔΙΚΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	SAR
N1	1,93
N2	0,90
N3	1,18
N4	0,97
N5	0,76
N6	1,41
N7	39,34
N8	56,53

Η συνδυασμένη επίδραση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (κίνδυνος αλατώσεως) και του λόγου προσρόφησης νατρίου (κίνδυνος αλκαλιώσεως) απεικονίζεται στο διάγραμμα κατά Richards όπως αυτό προτάθηκε από Ινστιτούτο Αλατώσεως των ΗΠΑ το 1954. Σύμφωνα με αυτό διακρίνονται 4 κατηγορίες κινδύνου αλατώσεως και 4 κατηγορίες κινδύνου αλκαλιώσεως του αρδευτικού νερού:

#### **Κατηγορίες κινδύνου αλατώσεως αρδευτικού νερού.**

**Κατηγορία C1.** Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την άρδευση των περισσότερων φυτών σε όλες σχεδόν τις κατηγορίες εδαφών χωρίς ουσιαστικό κίνδυνο για πρόκληση αλατώσεως του εδάφους. Μικρό ποσοστό έκπλυσης απαιτείται, που συνήθως καλύπτεται από την τρέχουσα πρακτική άρδευσης.

**Κατηγορία C2.** Μπορεί να χρησιμοποιηθεί αν εφαρμόζεται ένα μέσο ποσοστό έκπλυσης. Για καλλιέργειες μετρίως ανθεκτικών στην αλατότητα φυτών, μπορεί να χρησιμοποιηθεί χωρίς κανένα μέτρο για τον έλεγχο της αλατότητας του εδάφους.

**Κατηγορία C3.** Δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε εδάφη με προβλήματα στράγγισης. Ακόμα και σε εδάφη με καλή στράγγιση πρέπει να εφαρμόζονται υψηλά ποσοστά έκπλυσης για τον έλεγχο της αλατότητας του εδάφους και πρέπει να χρησιμοποιείται για την άρδευση αρκετά ανθεκτικών στα άλατα καλλιεργειών.

**Κατηγορία C4.** Θα πρέπει να αποφεύγεται ή χρήση του για άρδευση. Κάτω από εξαιρετικές συνθήκες, θα πρέπει να χρησιμοποιείται σε εδάφη με πολύ καλή στράγγιση, εφαρμόζοντας πολύ μεγάλα ποσοστά έκπλυσης και σε πολύ ανθεκτικές καλλιέργειες.

#### **Κατηγορίες κινδύνου αλκαλιώσεως αρδευτικού νερού.**

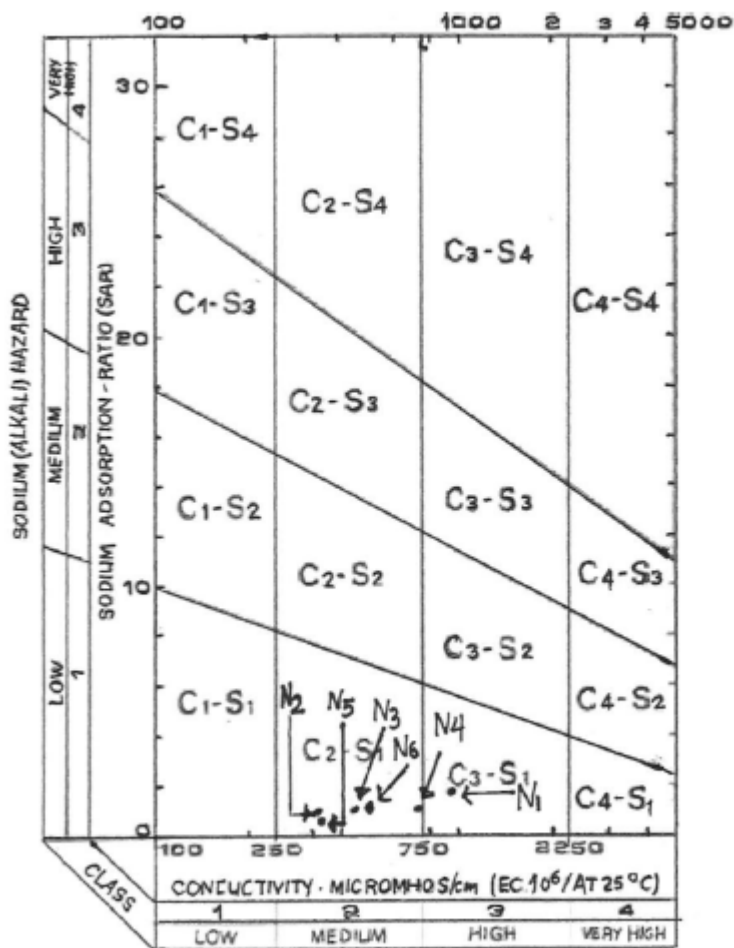
**Κατηγορία S1.** Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για άρδευση σε όλα τα εδάφη χωρίς ουσιαστικό κίνδυνο να προκληθεί πρόβλημα αλκαλίωσης του εδάφους. Όσον αφορά στην τοξικότητα νατρίου, μόνο τα πολύ ευαίσθητα στο νάτριο φυτά (πυρηνόκαρπα, εσπεριδοειδή) μπορεί να εμφανίσουν κάποιο πρόβλημα τοξικότητας.

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

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

**Κατηγορία S4.** Είναι γενικά ακατάλληλο για άρδευση , εκτός αν συνδυάζεται με χαμηλή ή μέτρια περιεκτικότητα σε άλατα (κατηγορία C1-S4 ή S4) και με προσθήκη γύψου.

Στο Σχήμα 6.1 παρουσιάζεται η απεικόνιση των τιμών SAR- EC σε διάγραμμα Richards



**Σχήμα 6.1:** Η απεικόνιση των τιμών SAR- EC σε διάγραμμα Richards.

Σύμφωνα με το σύστημα κατάταξης κατά Richards, όσον αφορά στον κίνδυνο αλατώσεως στα δείγματα παρατηρείται ότι τα 4 από αυτά (N2,N3,N4,N5,N6) ανήκουν στο πεδίο C2 με μια τάση προς το πεδίο C3( δείγμα N1) που υποδηλώνει την επίδραση ανθρωπογενών δραστηριοτήτων (γεωργική λίπανση, λύματα) όπου και φτάνουμε στα δείγματα N7,N8 όπου έχουμε προφανώς ανάμιξη με τα θαλάσσια ύδατα σε βαθμό όπου τα τελευταία δυο δείγματα να μη δύναται να αποτυπωθούν στο διάγραμμα. Όσον αφορά στον κίνδυνο αλκαλιώσεως τα περισσότερα δείγματα βρίσκονται στο πεδίο S1 χωρίς να παρατηρείται μετάβαση προς κάποιο άλλο πεδίο. Στον πίνακα 6.2 παρουσιάζεται η κατηγορία αρδευσιμότητας για κάθε δείγμα.

**Πίνακας 6.2:** Κατάταξη υδάτων ως προς την καταλληλότητα άρδευσης.

ΚΩΔΙΚΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	ΠΕΔΙΟ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ
N1	C3-S1	Κίνδυνος αλατώσεως
N2	C2-S1	Κατάλληλο
N3	C2-S1	Κατάλληλο
N4	C2-S1	Κατάλληλο
N5	C2-S1	Κατάλληλο
N6	C2-S1	Κατάλληλο
N7	Εκτός πεδίου	Ακατάλληλο
N8	Εκτός πεδίου	Ακατάλληλο

➤ **Βαθμός αλκαλίωσης ESP (Exchangeable Sodium Percentage) ή SSP**

Η περιεκτικότητα σε Na εκφράζεται και σαν ποσοστό επί τις εκατό σε ανταλλάξιμο νάτριο σύμφωνα με τη σχέση:

$$SSP = (Na+K)100/(Ca+Mg+Na+K)$$

Όπου όλες οι συγκεντρώσεις εκφράζονται σε meq/l.

Αλκαλικό έδαφος θεωρείται εκείνο με pH 8.5 ή και υψηλότερο και SSP 15% ή και μεγαλύτερο. Όσο αυξάνεται η τιμή του SSP τόσο παρατηρείται στο έδαφος μεγαλύτερο έλλειμμα σε ασβέστιο.

Οι τιμές του SSP των δειγμάτων κυμαίνονται μεταξύ 26,98 και 83,72 (Πίνακας 6.3) με τις υψηλότερες τιμές να εμφανίζονται στα δείγματα N7,N8 της υψηλής περιεκτικότητας σε νάτριο, που τα καθιστά ακατάλληλα για άρδευση.

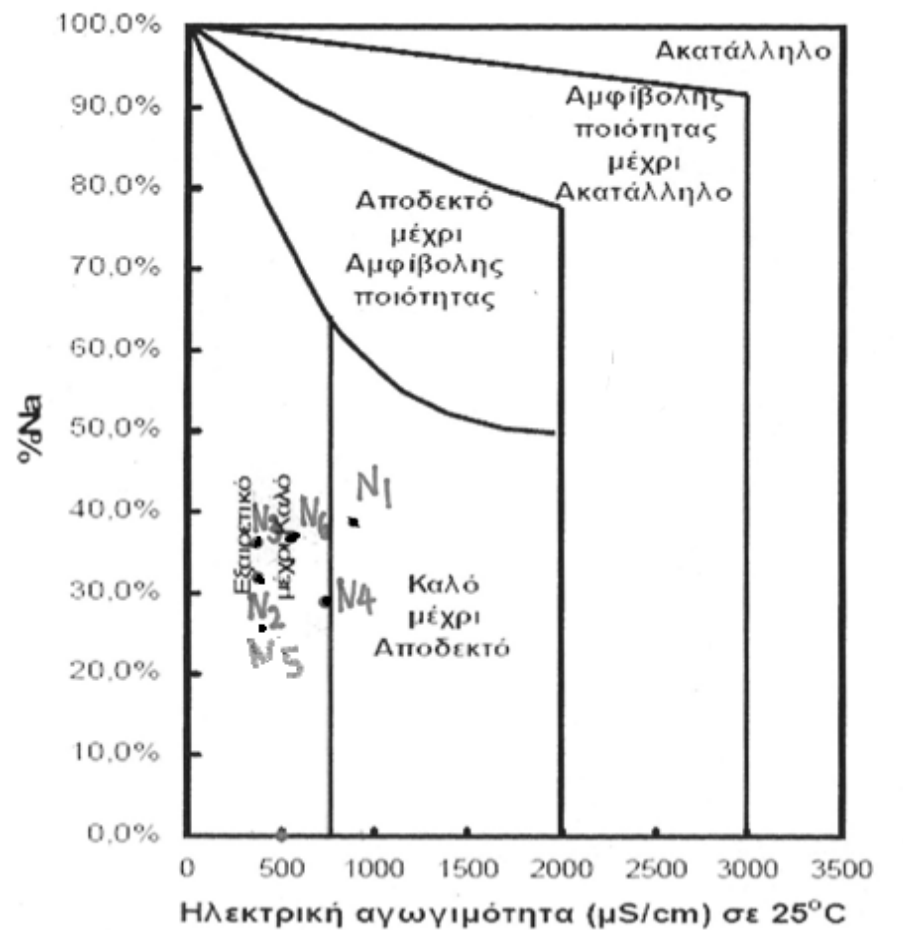
Η συνδυασμένη επίδραση του βαθμού αλκαλίωσης και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας στην ποιότητα του νερού άρδευσης παρουσιάζεται από το διάγραμμα Wilcox (1955) στο Σχήμα 6.2, ενώ στον Πίνακα 6.4 παρουσιάζεται η ποιοτική κατάταξη του αρδευτικού νερού κατά Wilcox.

Σύμφωνα με το σύστημα κατάταξης κατά Wilcox τα ύδατα N1,N2,N3,N4,N5 και N6 χαρακτηρίζονται καλά, ενώ τα ύδατα N7 και N8 των εκβολών χαρακτηρίζονται ως ακατάλληλα.



ΔΕΙΓΜΑ ΝΕΡΟΥ	EC	ΟΛΙΚΗ ΙΟΝΤΙΚΗ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ(meq/l)	Na(meq/l)	SSP
	μS/cm			
N1	847,00	18,14	3,20	38,02
N2	385,00	8,80	1,10	32,59
N3	490,00	10,30	1,49	38,20
N4	727,00	16,07	1,66	27,81
N5	400,00	9,98	1,00	26,98
N6	528,00	11,60	1,91	36,05
N7	26400,00	522,37	205,00	79,30
N8	38300,00	762,09	314,98	83,72

Πίνακας 6.3 Δείγματα επιφανειακών υδάτων της λεκάνης Μεγάρων και αντίστοιχες τιμές SSP



Σχήμα 6.2: Ταξινόμηση των επιφανειακών νερών της υπό μελέτη περιοχής βάσει του διαγράμματος Wilcox.

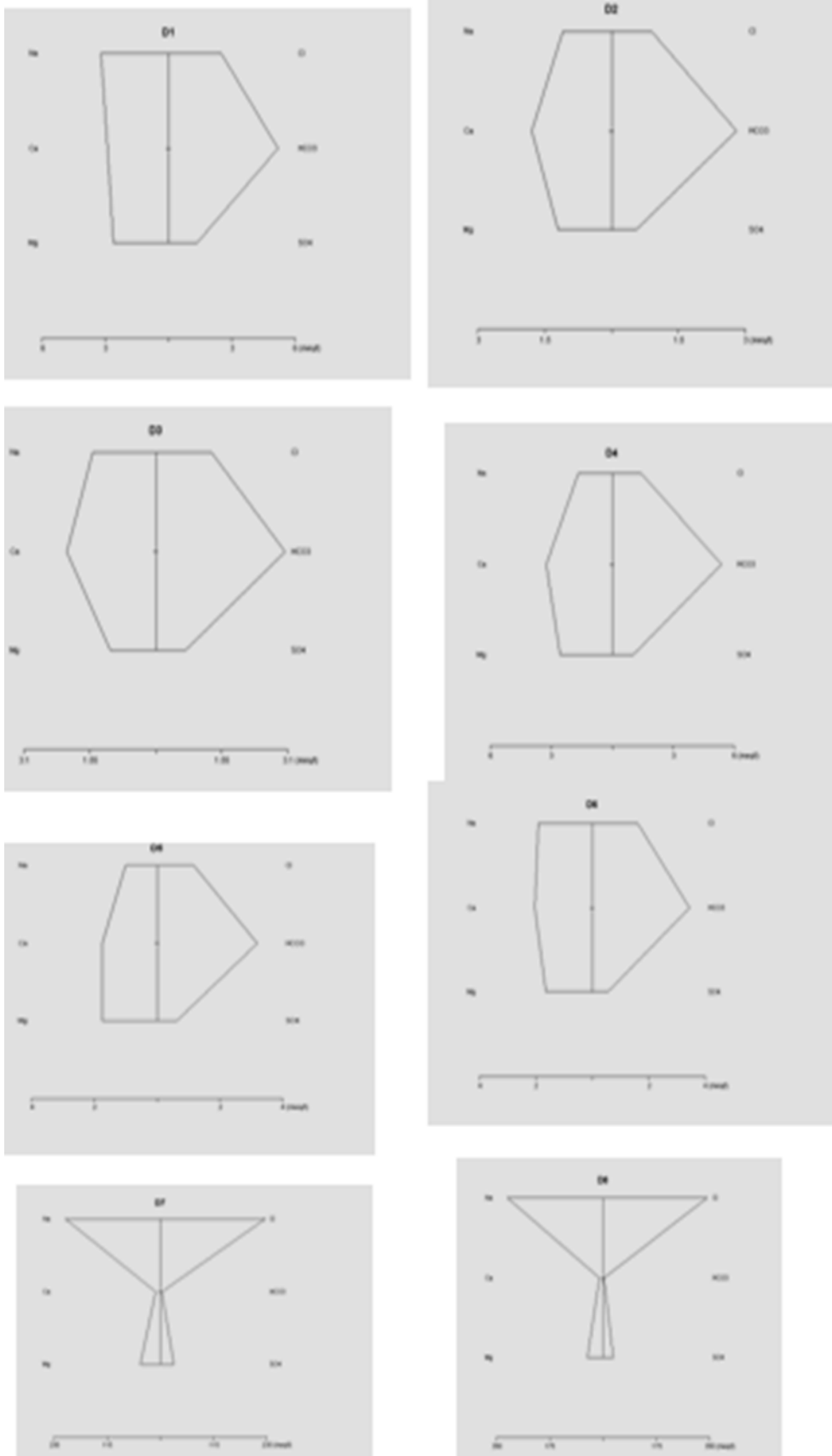
**Πίνακας 6.4:** Ποιοτική ταξινόμηση αρδευτικού νερού κατά Wilcox

Ποιότητα νερού	% Na	Ειδική Αγωγιμότητα ( $\mu\text{s/cm}$ )
Εξαιρετική	<20	<250
Καλή	20-40	250-750
Αποδεκτή	40-60	750-2000
Αμφίβολη	60-80	2.000-3.000
Ακατάλληλη	> 80	> 3.000

➤ **Ταξινόμηση στα Πολυγωνικά διαγράμματα (Pattern diagrams)**

Ο Stiff (1951) καθιέρωσε τα πολυγωνικά διαγράμματα (Pattern diagrams). Σε τέσσερις παράλληλους άξονες παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων. Οι τιμές των ανιόντων σημειώνονται στα δεξιά ενός κατακόρυφου άξονα σε meq/lit ενώ στα αριστερά σημειώνονται οι τιμές των κατιόντων, επίσης σε meq/lit. Ένα πολυγωνικό σχήμα σχηματίζεται από την ένωση των σημείων. Νερά τα οποία έχουν περίπου την ίδια ποιότητα και χημική σύσταση παρουσιάζουν το ίδιο πολυγωνικό σχήμα.

Από τα πολυγωνικά διαγράμματα των δειγμάτων επιφανειακών νερών της λεκάνης των Μεγάρων (Σχήμα 6.3) όπου παρατηρούμε ότι τα νερά N1 έως N6 έχουν με μικρές διαφοροποιήσεις το ίδιο σχήμα με μικρές αυξομειώσεις στο μέγεθος αυτού που σημαίνει ότι παρουσιάζουν μια σχετική ομοιογένεια στην ποιότητα και τη χημική τους σύσταση. Αντιθέτως τα νερά που αντιστοιχούν στα δείγματα N7 και N8 μοιάζουν μεταξύ τους αλλά διαφέρουν εντελώς από τα υπόλοιπα οπότε τεκμαίρεται αυτό που διαπιστώθηκε και σε προηγούμενες κατατάξεις των με διάφορα κριτήρια, ότι τα νερά N7 και N8 έχουν υποβαθμιστεί ποιοτικά σε σχέση με τα υπόλοιπα πρωτίστως λόγω διεύδυσης του θαλάσσιου νερού.



**Σχήμα 6.3** Πολυγωνικά διαγράμματα των δειγμάτων επιφανειακών νερών της υπό μελέτη περιοχής (Stiff 1951).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΑ ΝΕΡΑ

### 7.1 Η ποιοτική κατάταξη των επιφανειακών υδάτων της υπό μελέτη περιοχής.

Στην παρούσα μελέτη έγινε προσπάθεια εντοπισμού των υφιστάμενων πηγών ρύπανσης των επιφανειακών νερών της υπό μελέτη περιοχής και διαχωρισμός τους σε σημειακές και διάχυτες. Παράλληλα βάσει των αποτελεσμάτων των χημικών αναλύσεων που πραγματοποιήθηκαν και παρουσιάστηκαν αναλυτικά, πραγματοποιήθηκε αξιολόγηση της ποιότητας των υδάτων και προσδιορισμός της προέλευσης της ρύπανσης. Από την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων προέκυψε ότι :

Για όλα τα επιφανειακά δείγματα νερού οι τιμές των συγκεντρώσεων των βαρέων μετάλλων νικελίου , χαλκού , μαγγανίου και σιδήρου κυμαίνονται σε χαμηλά επίπεδα και η προέλευση τους οφείλεται κυρίως στη διαλυτοποίηση των ορυκτών του εδάφους (γεωγενής προέλευση) και σε μη σημειακές πηγές (χρήση λιπασμάτων, φυτοφαρμάκων). Επιπλέον εκεί όπου παρατηρούνται σχετικά λίγο υψηλότερες συγκεντρώσεις του Ni οφείλεται στην ύπαρξη, εντός της ευρύτερης περιοχής της λεκάνης των Μεγάρων, στο μητρικό πέτρωμα βωξιτικών-σιδηρονικελιούχων εμφανίσεων. Οπότε λόγω των εξαλλοιωτικών διεργασιών έχει εμπλουτιστεί ο περιβάλλον χώρος με νικέλιο. Οι υπάρχουσες βωξιτικές-σιδηρονικελιούχες εμφανίσεις στη περιοχή έχουν σύμφωνα με την βιβλιογραφία κατά μέσο όρο συγκέντρωση νικελίου 533 mg Kg<sup>-1</sup>. Οι μέσες συγκεντρώσεις (mg/l) σε βαρέα μέταλλα στην υδρολογική λεκάνη των Μεγάρων είναι κατά φθίνουσα σειρά:

**[Ni<sup>+2</sup>:0,04] > [Fe<sup>+2</sup>:0,021] > [Mn<sup>+2</sup>:0,02] > [Cu<sup>+2</sup>:0,01]**

Οι συγκεντρώσεις σε θρεπτικά στοιχεία είναι σχετικά χαμηλές για τα δείγματα N1 έως N6. Ωστόσο για τα δείγματα N7 και N8 που σχετίζονται με τις εκβολές παρατηρείται κατακόρυφη αύξηση της συγκέντρωσης σε άλατα, θρεπτικά(νιτρικά), γεγονός που σχετίζεται με την αθροιστική επίδραση της ανάμιξης με θαλάσσια ύδατα, της επιφανειακής απορροής που αποστραγγίζει τις αγροτικές εκτάσεις αποθετικά στις εκβολές στην εκδήλωση ευτροφικών συνθηκών που δημιουργούνται λόγω της μειωμένης παροχής των υδάτων .

Τα κύρια ανιόντα και κατιόντα που επικρατούν στα δείγματα N1 έως N6 τα : Mg<sup>2+</sup> και HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> (πεδίο 2 κατά Durov) και χαρακτηρίζουν φρέσκα νερά φυσικής αναπλήρωσης που διέρχονται μέσω ανθρακικών σχηματισμών (ασβεστόλιθων, δολομιτών, οφιόλιθων και νεογενών ιζημάτων). Για τα δείγματα N7 και N8 που ελήφθησαν στις εκβολές και σε σχεδόν στάσιμα νερά έχουμε μετάβαση προς το πεδίο 9 κατά Durov που υποδηλώνει υποβάθμιση της ποιότητας των υδάτων με επικράτηση των Na<sup>+</sup> και Cl<sup>-</sup> λόγω κυρίως ανάμιξης με θαλάσσια ύδατα.

Ως προς την καταλληλότητα για άρδευση γενικά τα νερά στις θέσεις N2, N3, N4, N5 και N6 χαρακτηρίζονται κατάλληλα (πεδίο C2-S1, κατά Richards) . Τα νερά που αντιστοιχούν

στη θέση N1, ( C3-S1 κατά Richards) πρέπει να εφαρμόζονται μόνο σε εδάφη με καλή περατότητα και με χρήση υψηλού ποσοστού έκπλυσης. Στον αντίποδα τα δείγματα N7 και N8 κρίθηκαν ως ακατάλληλα για άρδευση τόσο κατά Richards όσο και κατά Wilcox η επίδραση της αναμίξεως των υδάτων του ποταμού στις εκβολές του, με τα θαλάσσια ύδατα δημιούργησαν πολύ υψηλές συγκεντρώσεις  $\text{Na}^+$  και  $\text{Cl}^-$  που τα καθιστούν ακατάλληλα για πολλές χρήσεις.

Τα δείγματα N5,N6 και N7,N8 ελήφθησαν σε δυο διαφορετικούς τόπους εκβολών που απείχαν μικρή απόσταση μεταξύ τους αλλά παρουσιάζουν τελείως διαφορετικές χημικές ιδιότητες στη σύστασή τους. Καθοριστικό ρόλο διαδραματίζει το γεγονός της παροχής στις εκβολές των δυο υδατορευμάτων. Μακροσκοπικά παρατηρήθηκε ότι στα σημεία δειγματοληψίας N5 και N6 υπήρξε ικανοποιητική ροή ενώ στα σημεία N7 και N8 μικρή ροή και σε μερικά σημεία ήταν σχεδόν στάσιμα, γεγονός που ευνοεί την διείσδυση θαλασσινού νερού και την ποιοτική τους υποβάθμιση.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8. ΡΥΠΑΝΣΗ ΕΔΑΦΩΝ ΚΑΙ ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ

### 8.1.ΓΕΝΙΚΑ

Τα βαρέα μέταλλα απαντώνται σε μικρές συγκεντρώσεις στη φύση και αποτελούν μόλις το 1% των πετρωμάτων του φλοιού της γης ( συνήθως λιγότερο από 0,01% ή  $100 \text{ mg kg}^{-1}$  ) (Alloway, 1995). Προέρχονται κυρίως από φυσικές διεργασίες, όπως είναι η ηφαιστειακή δραστηριότητα, η αποσάθρωση και από άλλους εδαφογενετικούς μηχανισμούς, με τους οποίους δημιουργούνται τα εδάφη.

Ορισμένα από τα μέταλλα, σε μικρές συγκεντρώσεις, είναι απαραίτητα στοιχεία για την ανάπτυξη των ζώντων οργανισμών (Kahle, 1993; Taiz and Zeiger, 1998; Brady and Weil 1999; Reeves and Baker, 2000), όταν όμως οι συγκεντρώσεις τους ξεπεράσουν κάποια όρια μπορούν να γίνουν τοξικά ( Brady and Weil, 1999; Monni et al 2000; Blaylock and Huang, 2000; Denkhous and Salinikow, 2002).

Τα βαριά μέταλλα διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με την επικινδυνότητα τους : α) στα μη επικίνδυνα, β) στα τοξικά, αλλά σπάνια ή ιδιαίτερα δυσδιάλυτα και γ) στα τοξικά (πίνακας 1) (Prasad, 2004).

**Πίνακας 8.1:** Μη επικίνδυνα και τοξικά μέταλλα (Prasad, 2004).

Μη επικίνδυνα	Τοξικά αλλά σπάνια	Τοξικά
Na, K, Mg, Ca, Fe, Li, Sr, Al	Ti, Hf, Zr, W, Nb, Ta, Re, Ga, La, Os, Rh, Ir, Ru, Ba	Be, Co, Ni, Cu, Zn, Sn, As, Se, Te, Pd, Ag, Cd, Pt, Au, Hg, Tl, Pb, Sb, Bi

Διάφορες ανθρωπογενείς δραστηριότητες έχουν προκαλέσει την αύξηση της συγκέντρωσης των μετάλλων στο περιβάλλον, με αποτέλεσμα να αποτελούν κίνδυνο για τη χλωρίδα, την πανίδα και τον άνθρωπο.

Στις περιοχές με αυξημένα επίπεδα ρύπανσης, ενδημικά φυτικά και ζωικά είδη έχουν ελαττωθεί ή εξαφανιστεί, αφήνοντας την περιοχή βιολογικά στείρα. Παράλληλα υπάρχει πάντα ο κίνδυνος της μεταφοράς ρύπων σε άλλες περιοχές, μέσω της διάβρωσης των εδαφών και της αέριας μεταφοράς τους, καθώς επίσης και της ρύπανσης των υπόγειων υδροφορέων, μέσω της διήθησης και της κατείσδυσής τους. Είναι δυνατόν, με φυσικές διεργασίες, να ξεκινήσει η εξυγίανση ενός οικοσυστήματος, αλλά χωρίς ανθρωπογενείς επεμβάσεις μπορεί να διαρκέσει για αιώνες ή και περισσότερο. Στο μεταξύ, οι επιβαρυμένες περιοχές εξακολουθούν να αποτελούν σοβαρό κίνδυνο για τους ανθρώπους και το περιβάλλον και να απαιτούν άμεση αντιμετώπιση. Ενδεικτικά αναφέρεται το παράδειγμα της ασθένειας 'itai-itai' , που εμφανίστηκε στην Ιαπωνία πριν από μερικά χρόνια, η οποία οφειλόταν στην κατανάλωση κυρίως ρυζιού και σόγιας από περιοχές ιδιαίτερα επιβαρυμένες με κάδμιο, που βρίσκονταν κοντά σε εργοστάσια μεταλλείας και μεταλλουργίας ( Kobayashi. 1970).

Επίσης, στην περιοχή Zhangshi της Κίνας, διαπιστώθηκαν αυξημένες συγκεντρώσεις καδμίου στο έδαφος, μετά από άρδευση με επιβαρυσμένα νερά. Από αναλύσεις που έγιναν σε χοιρινά της περιοχής, τα οποία είχαν διατραφεί με υπολείμματα από τις καλλιέργειες ρυζιού, διαπιστώθηκε ότι οι συγκεντρώσεις καδμίου στα σπλάχνα των ζώων ήταν ιδιαίτερα αυξημένες. Προσδιορίστηκαν ακόμη αυξημένες συγκεντρώσεις στον πλακούντα των χοιρομητέρων και στο συκώτι και στα νεφρά των εμβρύων, γεγονός που υποδεικνύει ότι η επιβάρυνση με Cd μπορεί να μεταφερθεί με τη μητρότητα στις επόμενες γενιές. (Chen et al., 2000).

Αρκετά από τα βαριά μέταλλα είναι συστατικά πολλών ενζύμων, που παίρνουν μέρος στο μεταβολισμό των φυτών και των ζώων και καταλήγουν, με την τροφική αλυσίδα, έως τον άνθρωπο, στον οποίο, όταν οι συγκεντρώσεις τους βρίσκονται σε τοξικά επίπεδα, προκαλούν χρόνιες ή οξείες βλάβες. Οι σπουδαιότεροι τρόποι διακίνησης των βαρέων μετάλλων προς τον άνθρωπο παρουσιάζονται στην εικόνα 8.1.



**Εικόνα 8.1.** Τρόποι μεταφοράς των βαρέων μετάλλων στον άνθρωπο (Κουιμτζής κ.α., 1998).

Σημαντική παράμετρο για τη συγκέντρωση των βαρέων μετάλλων στους εδαφικούς και υδατικούς πόρους αποτελεί η αθροιστική τους ικανότητα, διότι με την πάροδο του χρόνου μπορεί ακόμα και οι μικρές συγκεντρώσεις να φτάσουν σε τοξικά επίπεδα.

Η πρώτη διάρκεια ημιζωής των βαρέων μετάλλων στα εύκρατα κλίματα είναι για το κάδμιο από 75 έως 1100 έτη και για το Ni, Pb, Zn, από 1000 έως 3000 έτη (Kabata-Pendias and Pendias, 1992; Alloway 1995). Ενδεικτικά αναφέρεται το παράδειγμα της μικρής πόλης Mundelstrup στη Δανία, στην οποία εντοπίστηκαν το 1987 εδάφη με συγκέντρωση Pb 67560 mg kg<sup>-1</sup>. Η ρύπανση αυτή προήλθε από τη λειτουργία ενός μικρού εργοστασίου παραγωγής λιπασμάτων, το οποίο λειτούργησε από το 1871 έως το 1921 (Alloway, 1995).

Οι κύριες ανθρωπογενείς πηγές των βαρέων μετάλλων είναι η καύση ορυκτών καυσίμων, η μεταλλεία και η καμίνευση των μεταλλουργικών προϊόντων, τα βιομηχανικά απόβλητα (αέρια, στερεά και υγρά), τα αστικά λύματα και τα στερεά απορρίμματα, τα μέσα μεταφοράς, η κεντρική θέρμανση και οι γεωργικές δραστηριότητες, με τη χρήση λιπασμάτων, φυτοφαρμάκων και βελτιωτικών εδάφους (πίνακας 8.2) (Adriano, 1986; Kabata-Pendias and Pendias, 1992; Vangronsveld and Cunningham, 1998).

Στοιχείο	Απόβλητα	Φωσφορούχα Λιπάσματα	Ασβεστόλιθοι	Αζωτούχα Λιπάσματα	Κοπριά	Φυτο- φάρμακα
As	2 - 26	2 - 1200	0,1 - 24	2,2 - 120	3 - 25	22 - 60
B	15 - 1000	5 - 115	10	-	0,3 - 0,6	-
Ba	150 - 4000	200	120 - 250	-	270	-
Be	4 - 13	-	1	-	-	-
Br	20 - 165	3 - 5	-	185 - 716	16 - 41	20 - 85
Cd	2 - 1500	0,1 - 170	0,04 - 0,1	0,05 - 8,5	0,3 - 0,8	-
Ce	20	20	12	-	-	-
Co	2 - 260	1 - 12	0,4 - 3	5,4 - 12	0,3 - 24	-
Cr	20 - 40600	66 - 245	10 - 15	3,2 - 19	5,2 - 55	-
Cu	50 - 3300	1 - 300	2 - 125	<1 - 15	2 - 60	12 - 50
F	2 - 740	8500 - 38000	300	-	7	18 - 45
Ge	1 - 10	-	0,2	-	19	-
Hg	0,1 - 55	0,01 - 1,2	0,05	0,3 - 2,9	0,09 - 0,2	0,8 - 42
In	-	-	-	-	1,4	-
Mn	60 - 3900	40 - 2000	40 - 1200	-	30 - 550	-
Mo	1 - 40	0,1 - 60	0,1 - 15	1 - 7	0,05 - 3	-
Ni	16 - 5300	7 - 38	10 - 20	7 - 34	7,8 - 30	-
Pb	50 - 3000	7 - 225	20 - 1250	2 - 27	6,6 - 15	60
Rb	4 - 95	5	3	-	0,06	-
Sc	0,5 - 7	7 - 36	1	-	5	-
Se	2 - 9	0,5 - 25	0,08 - 0,1	-	2,4	-
Sn	40 - 700	3 - 19	0,5 - 4	1,4 - 16,0	3,8	-
Sr	40 - 360	25 - 500	610	-	80	-
Te	-	20 - 23	-	-	0,2	-
U	-	30 - 300	-	-	-	-
V	20 - 400	2 - 1600	20	-	-	45

**Πίνακας 8.2.** Γεωργικές πηγές ρύπανσης των εδαφών με βαριά μέταλλα (ppm) (Kabata-Pendias and Pendias, 1992).



## 8.2 ΤΟ ΚΑΔΜΙΟ (Cd)

Το Cd ανήκει στη ομάδα ΠΒ του Περιοδικού Συστήματος και είναι 67<sup>ο</sup> στη συχνότητα εμφάνισης των στοιχείων στη φύση. Δεν είναι απαραίτητο στοιχείο για τη βιολογική λειτουργία των οργανισμών και είναι πολύ τοξικό για τα φυτά, τα ζώα και τον άνθρωπο (Das et al., 1997).

Η ρύπανση του περιβάλλοντος με Cd έχει αυξηθεί κατά πολύ τις τελευταίες δεκαετίες, λόγω αυξημένης χρησιμοποίησης του από τη βιομηχανία. Αντίθετα με το Pb, Cu και Hg που χρησιμοποιούνται εδώ και αιώνες, το Cd άρχισε να χρησιμοποιείται ευρέως μόλις τον περασμένο αιώνα. Η παγκόσμια παραγωγή Cd αυξήθηκε από 11.000 τόνους το 1960 σε 20.200 τόνους το 1990 (Nriagu, 1988).

Οι βασικές χρήσεις του είναι: α) σαν προστατευτικό επίχρισμα του χάλυβα, β) σε διάφορα κράματα μετάλλων, γ) στις βαφές και τα σιλβωτικά, δ) σαν σταθεροποιητικό σε πλαστικά, ε) στις μπαταρίες Ni-Cd και στ) σε διάφορες άλλες χρήσεις, όπως στα φωτοβολταϊκά κύτταρα και στους πυρηνικούς αντιδραστήρες (Alloway, 1995).

Το Cd θεωρείται σημαντικός ρυπαντής του περιβάλλοντος, διότι είναι ιδιαίτερα τοξικό και ευδιάλυτο στο νερό και αποτελεί σοβαρή απειλή για τα υδατικά οικοσυστήματα (Das et al., 1997).

Η πρόσληψη Cd από τα φυτά εξαρτάται τόσο από τα χαρακτηριστικά των εδαφών, όσο και από το φυτικό είδος. Αρκετές έρευνες έχουν γίνει για την επίδραση των χαρακτηριστικών του εδάφους, όπως το pH, η άργιλος, η οργανική ουσία και η παρουσία άλλων κατιόντων στην πρόσληψη του Cd από τα φυτά (Tyler, 2001; Kim et al., 2002; Brekken and Steinnes, 2004).

### Η συγκέντρωση του Cd στο έδαφος

Από την ανασκόπηση της βιβλιογραφίας, οι Kabata-Pendias and Pendias (1992) αναφέρουν ότι η συγκέντρωση Cd στο έδαφος κυμαίνεται μεταξύ 0,06 και 1,1 mg kg<sup>-1</sup>, ενώ ο παγκόσμιος μέσος όρος είναι 0,53 mgkg<sup>-1</sup> Cd στα επιφανειακά εδάφη. Στο εδαφικό προφίλ το Cd συνήθως βρίσκεται στον επιφανειακό ορίζοντα, διότι : α) είναι η ζώνη με την υψηλότερη συγκέντρωση οργανικής ουσίας, η οποία προσροφά τα μέταλλα, β) καταλήγει εκεί σαν αποτέλεσμα ανακύκλωσης μέσω της βλάστησης, γ) προστίθεται στο έδαφος με την εφαρμογή λιπασμάτων ή κοπριάς, που περιέχουν Cd και δ) προστίθεται επιφανειακά με υγρή ή ξηρή απόθεση από την ατμόσφαιρα. Πάντως, αντίθετα με τον Cu και τον Pb, το Cd (μαζί με το Ni και το Zn) έχει μια τάση να μετακινείται προς τα κάτω στον εδαφικό ορίζοντα και το ποσοστό και ο ρυθμός της μετακίνησης εξαρτώνται από διάφορους παράγοντες (Alloway, 1995).

## Πηγές Cd

Οι κυριότερες πηγές προέλευσης του Cd είναι:

### Μητρικό πέτρωμα

Όταν το μητρικό πέτρωμα, από το οποίο προήλθε ένα έδαφος, έχει αυξημένη περιεκτικότητα σε Cd, τότε η συγκέντρωση του μετάλλου στο έδαφος είναι επίσης αυξημένη. Τα εδάφη που προήλθαν από πυριγενή πετρώματα παρουσιάζουν συγκέντρωση Cd τις τάξεων του 0,1-0,3 mg kg<sup>-1</sup> από μεταμορφωμένα πετρώματα 0,1-1,0 mg kg<sup>-1</sup> και αυτά που προήλθαν από ιζηματογενή πετρώματα 0,3-11 Cd mg kg<sup>-1</sup> εδάφους (Alloway, 1995).

Συνήθως η συγκέντρωση Cd είναι μικρότερη από 1 mg kg<sup>-1</sup> εκτός από τα εδάφη που ρυπάνθηκαν από κάποια άλλα πηγή ή αναπτύχθηκαν σε μητρικά πετρώματα με υψηλές συγκεντρώσεις Cd.

### Γεωργικές- δραστηριότητες

Τη σημαντικότερη πηγή ρύπανσης της γεωργικής γης με Cd αποτελούν τα Ρ-ούχα λιπάσματα. Οι Φωσφορίτες, που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία λιπασμάτων, πολλές φορές έχουν σχετικά υψηλές συγκεντρώσεις Cd (έως και 500 mg kg<sup>-1</sup>). Η συγκέντρωση του μετάλλου αυτού στα Ρ-ούχα λιπάσματα ποικίλει ανάλογα με την προέλευση του κοιτάσματος φωσφορίτη που χρησιμοποιήθηκε. Παράλληλα, η ίδια βιομηχανία φωσφορικών λιπασμάτων αποτελεί μια σημαντική πηγή ρύπανσης του περιβάλλοντος (υγρά απόβλητα και εκροές). Στην Ευρωπαϊκή Ένωση η προσθήκη Cd στο περιβάλλον με τη χρήση λιπασμάτων υπολογίζεται σε 346 τόνους το χρόνο (Alloway, 1995).

Αυξημένες συγκεντρώσεις προσδιορίστηκαν επίσης στη ζωική κοπριά (0,3-1,8 mg kg<sup>-1</sup> ξηρού βάρους) (Kabata-Pendias and Pendias, 1992). Μακροχρόνιες έρευνες, που έγιναν στο ερευνητικό κέντρο του Rothamsted στην Αγγλία, έδειξαν ότι η προσθήκη, σε ετήσια βάση, μεγάλης ποσότητας κοπριάς (35 t νωπού βάρους / εκτάριο) αποτελεί σημαντικότερη πηγή Cd από ότι η επιβάρυνση, που προέρχεται από τα φωσφορούχα λιπάσματα και τις ατμοσφαιρικές αποθέσεις (Jones et al., 1987).

### Ατμοσφαιρικές αποθέσεις Cd

Οι συγκεντρώσεις Cd στον αέρα συνήθως κυμαίνονται από 1-50 ng m<sup>-3</sup> ανάλογα με την απόσταση από τις πηγές εκπομπής (Jones et al., 1987). Τυπικές τιμές της συγκέντρωσης του ατμοσφαιρικού Cd στην Ευρώπη είναι 1-6 ng m<sup>-3</sup> στις αγροτικές περιοχές, 3,6-20 ng m<sup>-3</sup> στις αστικές περιοχές και 16,5-54 ng m<sup>-3</sup> στις βιομηχανικές περιοχές, φθάνοντας τα 11.000 ng m<sup>-3</sup> κοντά σε εργοστάσια μεταλλουργίας, που παράγουν Zn/Pb (Alloway, 1995).

Η συνολική ετήσια ατμοσφαιρική εκπομπή Cd ανά τον κόσμο υπολογίστηκε από τον Nriagu (1980) σε 8.100 τόνους (800 τόνοι από φυσικές πηγές και 7.300 τόνοι από

ανθρωπογενείς δραστηριότητες). Επίσης ο ίδιος ερευνητής υπολόγισε την παγκόσμια απόθεση Cd από την ατμόσφαιρα σε 5.700 τόνους το έτος στην ξηρά και 2.400 t/έτος στους ωκεανούς.

Οι Nriagu and Pacyna (1988) προσδιόρισαν ότι οι παγκόσμιες ατμοσφαιρικές αποθέσεις Cd στα εδάφη για το 1988 κυμαίνονταν μεταξύ 2.200-8.400 τόνοι Cd το χρόνο. Οι Sposito and Page (1984) υπολόγισαν ότι οι αποθέσεις Cd στα εδάφη στην Ευρώπη και τις Η.Π.Α κυμαίνονται από < 0,2 έως 97,8 g /στρέμμα και ανά έτος, με υψηλότερα επίπεδα αποθέσεων στην Ευρώπη.

#### Απόβλητα

Η περιεκτικότητα Cd στα απόβλητα ποικίλει και έχουν αναφερθεί διάφορες συγκεντρώσεις σε όλο τον κόσμο. Οι Nriagu and Pacyna (1988) αναφέρουν ότι στα αστικά απόβλητα περιέχονται 1-20 mg Cd kg<sup>-1</sup> εδάφους. Η μέση περιεκτικότητα του μετάλλου σε εδάφη που έχουν δεχθεί λύματα ανέρχεται σε 0,55 mg Cd kg<sup>-1</sup> (τα μέγιστα επιτρεπτά όρια που έθεσε η Ε.Ε (86/278) είναι 3 mg Cd kg<sup>-1</sup>).

### **8.3 ΤΟ ΝΙΚΕΛΙΟ (Ni)**

Το Ni είναι ένα στοιχείο μεταπτώσεως και ανήκει στην ομάδα VIII του Περιοδικού Συστήματος. Απαντάται σχεδόν παντού πάνω στη γη, καταλαμβάνοντας περίπου το 0,008% κατά βάρος του φλοιού της και κατατάσσεται 24<sup>ο</sup> στη συχνότητα εμφάνισης των στοιχείων στη φύση (Zumdahl, 1997). Σε μικρές συγκεντρώσεις είναι απαραίτητο στοιχείο για την ανάπτυξη των οργανισμών (Kahle, 1993; Reeves and Baker, 2000; Peralta-Videa et al., 2002), σε μεγαλύτερες όμως συγκεντρώσεις γίνεται τοξικό (Blaylock and Huang, 2000; Monni et al., 2000). Απελευθερώνεται στο περιβάλλον κυρίως από το κάρβουνο, τα ορυχεία, τα χυτήρια, την παραγωγή χάλυβα, την ηλεκτρική ενέργεια και το πετρέλαιο (Costa, 2000). Η παγκόσμια παραγωγή Ni φθάνει τα 0,8\*10<sup>6</sup> τόνους το έτος (Alloway, 1995) και η κυριότερη χρήση είναι η Παρασκευή ανοξειδωτού χάλυβα. Τον 19<sup>ο</sup> αιώνα δημιουργήθηκαν διάφορα κράματα Ni-χάλυβα και η ανθεκτικότητά τους στη διάβρωση είχε σαν αποτέλεσμα να χρησιμοποιηθούν στη βιομηχανία αυτοκινήτων, σε στρατιωτικούς εξοπλισμούς και στη Παρασκευή επιτραπέζιων σκευών. Πιο πρόσφατες χρήσεις του είναι στην παραγωγή μπαταριών Ni-Cd και ηλεκτρονικών εξαρτημάτων.

#### **Η συγκέντρωση του Ni στο έδαφος**

Τα εδάφη συνήθως περιέχουν ολικό Ni σε συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από 5-5.000 mg kg<sup>-1</sup>, σε ορισμένα όμως μεταλλοφόρα εδάφη της Βραζιλίας και του Ζαΐρ οι συγκεντρώσεις Ni φτάνουν τα 11.260 και 9.800 mg kg<sup>-1</sup> (Reeves and Baker, 2000).

## Πηγές Ni

Οι κυριότερες πηγές του Ni είναι:

### Μητρικό πέτρωμα

Η συγκέντρωση Ni στο έδαφος εξαρτάται κυρίως από την περιεκτικότητα του στο μητρικό πέτρωμα. Τα υπερβασικά πετρώματα, όπως οι περιδοτίτες, οι δουνίτες και οι πυροξενίτες έχουν τη μεγαλύτερη συγκέντρωση Ni ( $270-3.600 \text{ mg kg}^{-1}$ ). Ακολουθούν τα βασικά πετρώματα, όπως οι γάββροι και οι βασάλτες ( $45-410 \text{ mg kg}^{-1}$ ) και τα όξινα και ενδιάμεσα πυριγενή όπως οι γρανίτες ( $2-20 \text{ mg kg}^{-1}$ ). Τα πυριγενή πετρώματα με μεγάλη περιεκτικότητα σε σίδηρομαγνησιούχα και θειούχα ορυκτά (πυρόξενους, ολιβίνες, βιοτίτες) είναι επίσης πλούσια σε Ni (Kabata-Pendias and Pendias, 1992; Alloway, 1995).

### Γεωργικές δραστηριότητες

Η επιβάρυνση των γεωργικών εδαφών με Ni από την προσθήκη λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων δεν είναι ιδιαίτερα σημαντική. Σε αντίθεση με το Cd τα φωσφορούχα λιπάσματα περιέχουν μικρές μόνο ποσότητες Ni. Επίσης μικρές μόνο ποσότητες περιέχει και η ζωική κοπριά (Alloway, 1995).

### Ατμοσφαιρικές αποθέσεις Ni

Η κυριότερη ανθρωπογενής πηγή ατμοσφαιρικών εκπομπών Ni είναι η καύση ορυκτών καυσίμων, με την οποία απελευθερώνονται παγκοσμίως 26.700 τόνοι Ni το έτος. Η περιεκτικότητα Ni στα καυσαέρια του πετρελαίου ανέρχεται στα  $500-10.000 \text{ mg L}^{-1}$  και έχει διαπιστωθεί μια βαθμιαία μεταβολή της συγκέντρωσης του τόσο στο έδαφος, όσο και σε ορισμένα φυτά, ανάλογα με την απόσταση από μεγάλες οδικές αρτηρίες (Alloway, 1995). Η καύση του κάρβουνου είναι η επόμενη σπουδαιότερη πηγή εκπομπών Ni στην ατμόσφαιρα και ακολουθούν τα εργοστάσια μεταλλείας και μεταλλουργίας.

Οι Nriagu and Pacyna (1988) αναφέρουν ότι οι παγκόσμιες αποθέσεις Ni από την ατμόσφαιρα στο έδαφος ανέρχονται σε  $11-37 \cdot 10^3$  τόνους το έτος. Οι μετρηθείσες συνολικές αποθέσεις Ni στο έδαφος ποικίλουν από  $2 \text{ kg Km}^{-2}$  το έτος σε αγροτικές περιοχές, έως  $88 \text{ kg Km}^{-2}$  το έτος σε βιομηχανικές και αστικές περιοχές (Alloway, 1995).

### Απόβλητα

Η περιεκτικότητα του Ni στα απόβλητα εξαρτάται από την πηγή προέλευσης των αποβλήτων. Το μεγαλύτερο ποσοστό Ni στα απόβλητα (70%) προέρχεται από τα εργοστάσια γαλβανισμού, αλλά το μέταλλο αυτό υπάρχει και σε πολλά οικιακά απορρυπαντικά επιβαρύνοντας τα αστικά λύματα. Οι Nriagu and Pacyna (1988) υπολόγισαν ότι παγκοσμίως προστίθενται 5-22 τόνοι Ni στο έδαφος κάθε έτος από τη διάθεση υγρών αποβλήτων. Η Ε.Ε (86/278) έθεσε τα  $75 \text{ mg kg}^{-1}$  ως το μέγιστο επιτρεπτό όριο συγκέντρωσης Ni σε εδάφη, που έχουν δεχθεί λύματα (Παπάζογλου, 2004).

## **8.4 Ο ΨΕΥΔΑΡΓΥΡΟΣ ( Ζη)**

### **Ο ψευδάργυρος στο έδαφος**

Η ολική συγκέντρωση του ψευδαργύρου στα εδάφη κυμαίνεται συνήθως μεταξύ των 10 και 300 ppm. Γενικά εδάφη προερχόμενα από αποσάθρωση αλκαλικών και ασβεστολιθικών πετρωμάτων είναι πλουσιότερα σε ψευδάργυρο σε σύγκριση με αυτά που σχηματίστηκαν από γνεύσιους ή χαλαζία. Τα αμμώδη εδάφη θεωρούνται φτωχότερα σε διαθέσιμο Ζη από ότι τα λεπτότερης υφής εδάφη (Καλλιάνου, 2007).

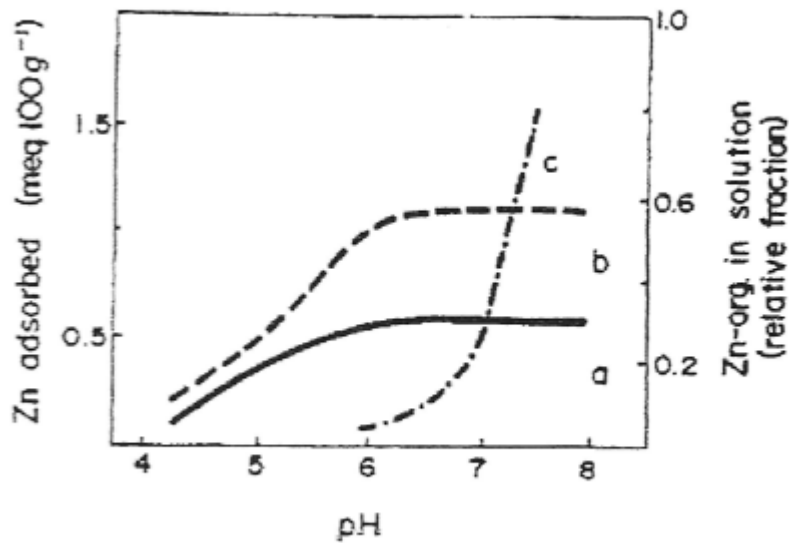
Ο ψευδάργυρος του εδάφους προέρχεται από την αποσάθρωση του ορυκτού σφαλερίτη (ZnS) καθώς και διαφόρων σίδηρομαγνησιούχων ορυκτών (αυγίτης, κεροσίλβης, βιοτίτης κτλ), και δευτερογενών ορυκτών της αργίλου, όπου ο Ζη βρίσκεται σαν δευτερεύον συστατικό τους. Σημαντική επίσης πηγή ψευδαργύρου ιδιαίτερα στα οργανικά εδάφη, είναι τα διάφορα φυτικά και ζωικά υπολείματα που με την αποικοδόμησή τους απελευθερώνουν Ζη στο έδαφος (Καλλιάνου, 2007).

Το ιόν Ζη<sup>2+</sup> που απελευθερώνεται με τις παραπάνω διαδικασίες μπορεί να παραμένει στο εδαφικό διάλυμα σαν ενυδατωμένο ιόν ή σαν διαλυτό σύμπλοκο με ενώσεις του χούμου ή άλλες διαλυτές βιοχημικές ενώσεις που εκκρίνονται από τις ρίζες των φυτών. Όπως αναφέρουν οι Hodgson et al (1965, 1966), ένα σημαντικό ποσοστό (60%) του υδατοδιαλυτού ψευδαργύρου στο έδαφος είναι συμπλοκοποιημένο με διάφορα διαλυτά οργανικά μόρια (Καλλιάνου, 2007).

Παρόλα αυτά, ένα σημαντικό μέρος του απελευθερωμένου, από τις διαδικασίες, αποσάθρωσης και αποικοδόμησης, ψευδαργύρου, απορροφάται από την άργιλο, την οργανική ουσία και τα οξείδια του εδάφους ( Fe, Μη, ΑΙ ). Μέρος του απορροφούμενου, από τα συστατικά του εδάφους, ψευδαργύρου, συγκρατείται πολύ ισχυρά υπό μη ανταλλάξιμη μορφή (το Ζη<sup>2+</sup> που απορροφάται δεν ανταλλάσσεται με ιόντα Ca<sup>+2</sup> ) και αναφέρεται συχνά στη βιβλιογραφία σαν 'ειδικά προσροφημένο κλάσμα'. Ο μηχανισμός της συγκράτησης αυτής από τα εδαφικά συστατικά, που έχει παρατηρηθεί σε μικρότερο ή μεγαλύτερο βαθμό και για τα κατιόντα άλλων βαριών μετάλλων όπως του χαλκού, του κοβαλτίου και του καδμίου, δεν έχει πλήρως διευκρινιστεί αλλά φαίνεται να περιλαμβάνει την υδρόλυση του μετάλλου και την χημική προσρόφηση της ενυδατωμένης μορφής (ΜΟΗ<sup>+</sup>). Η εξήγηση αυτή ενισχύεται από το γεγονός ότι η ειδική προσρόφηση των μετάλλων αυξάνεται με την αύξηση του pH του εδάφους (Καλλιάνου, 2007).

### **Η δέσμευση και μετασηματισμοί του ψευδαργύρου στο έδαφος.**

Το pH του εδάφους έχει συσχετιστεί έντονα με τη συγκράτηση και τη διαθεσιμότητα του ψευδαργύρου στα εδάφη. Σε γενικές γραμμές η διαθεσιμότητα του ψευδαργύρου είναι μεγαλύτερη σε όξινα εδάφη (Καλλιάνου, 2007).



**Σχήμα 8.1** Επίδραση του εδαφικού pH στην προσρόφηση του Ζη στα a) 20 ppm, στα b) 40 ppm Ζη στα αρχικά διαλύματα και c) στο σχηματισμό οργανο-Ζη συμπλοκών στο διάλυμα των SiL εδαφών.

Οι McBride & Blasiak (1979) βρήκαν ότι η συγκέντρωση του υδατοδιαλυτού ψευδαργύρου σε ένα αρχικά όξινο έδαφος μειωνόταν ολοένα και περισσότερο καθώς το pH του εδάφους ανερχόταν από το 4 έως το 5,4. Σε αυτήν την περιοχή του pH η αυξανόμενη δέσμευση του ψευδαργύρου αποδόθηκε στη δημιουργία νέων φορτισμένων θέσεων ανταλλαγής στη άργιλο και στην οργανική ουσία και συνεχώς μειωμένο ανταγωνισμό του  $Al^{3+}$  για τις ίδιες θέσεις. Στο ίδιο πείραμα η δέσμευση του ψευδαργύρου σε pH 5,4-7,2 ήταν μεγαλύτερης έκτασης, σταθερή και ειδική, καθώς το  $Zn^{2+}$  που δεσμεύτηκε ήταν μη ανταλλάξιμο με ιόντα  $Ca^{2+}$  και αποδόθηκε χημειοπροσρόφηση μιας υδρολυμένης μορφής του ψευδαργύρου πάνω σε οξείδια Fe και Al και σε πυριτικές στοιβάδες. Σε παρόμοιες περιοχές pH 6-7 οι Kalbasi et al (1978) βρήκαν ότι ο ειδικά προσροφημένος ψευδάργυρος αποτελούσε το 61-86% και 56-92% του ολικού ψευδαργύρου που προσροφήθηκε από οξείδια του Al και Fe αντίστοιχα με τα μεγαλύτερα ποσοστά να αντιστοιχούν στις υψηλότερες τιμές του pH. Παράλληλα, στην ίδια περιοχή του pH οι Msaky & Calvet (1990) παρατήρησαν μια έντονη αύξηση της προσρόφησης του ψευδαργύρου από ένα έδαφος με υψηλό περιεχόμενο σε οργανική ουσία, που αποδόθηκε στη δέσμευση του  $Zn^{2+}$  υπό μορφή οργανομεταλλικών συμπλοκών (Καλλιάνου, 2007).

Στο πείραμα των McBride & Blasiak (1979) παρατηρήθηκε μια αύξηση του υδατοδιαλυτού ψευδαργύρου ( $Zn^{+2}$ ) σε pH μεγαλύτερο του 7 που αποδόθηκε στην διαλυτοποίηση και απελευθέρωση μέσα στο εδαφικό διάλυμα οργανικών συμπλοκών του Ζη. Στην ίδια παρατήρηση και συμπέρασμα έφτασαν και οι Saeed & Fox (1977) μελετώντας τη διαλυτότητα του Ζη σε ένα αρχικά όξινο έδαφος.

Σε ασβεστούχα εδάφη με υψηλό pH (>7) είναι επίσης δυνατή η καθίζηση υδροξειδίων ( $Zn(OH)_2$ ), ανθρακικών αλάτων ( $ZnCO_3$ ) και βασικών ανθρακικών αλάτων του ψευδαργύρου του τύπου  $ZnCO_3 \cdot \gamma Zn(OH)_2$  (Mistra & Tiwari 1968), Saeed & Fox (1977) και η προσρόφηση του  $Zn^{2+}$  από ανθρακικά άλατα του ασβεστίου και μαγνησίου (Καλλιάνου, 2007).

Αν και οι μελέτες που αναφέρθηκαν παραπάνω αναφέρονται σε εδάφη που βρίσκονται σε κατάσταση οξείδωσης, εν τούτοις υποδεικνύουν το τι μπορεί να συμβεί, όσον αφορά τη διαθεσιμότητα του Ζη, σε ένα κατακλιζόμενο έδαφος. Οι διάφορες μορφές του Ζη δεν εμπλέκονται σε αντιδράσεις οξείδωσης-αναγωγής που ακολουθούν την κατάκλιση. Αλλά η αναγωγική διαλυτοποίηση των οξειδίων του Fe(III) και του Mn(IV), στα πρώτα στάδια της κατάκλισης, αναμένεται να προκαλέσει την απελευθέρωση του δεσμευμένου ή εγκλωβισμένου, στα οξείδια αυτά, ψευδαργύρου (και άλλων βαρέων μετάλλων), ενώ ακολουθεί η ακόλουθη καθίζηση έλυδρων οξειδίων Fe και Mn που, όπως αναφέρουν οι Jenne (1967), Kalbashi et al (1978) και άλλοι, είναι ιδιαίτερα δραστικά στη δέσμευση βαρέων μετάλλων, όπως ο Ζη και ο Cu, με ταυτόχρονη εδραίωση του pH σε τιμές 6-7, μπορεί να προκαλέσουν τη μείωση του διαθέσιμου στα φυτά Ζη, ιδιαίτερα σε αρχικά όξινα εδάφη. Επιπλέον, το ουδέτερο pH που παρατηρείται στα κατακλυσμένα εδάφη, μπορεί να προκαλέσει τη καθίζηση του Ζη στο υδροξείδιο ή ανθρακικό άλας (Καλλιάνου, 2007).

Οι Takkar & Sidhu (1979) μελετώντας τους μετασχηματισμούς του Ζη σε κατακλυσμένα αλκαλικά εδάφη αναφέρουν ότι ο Ζη του εδαφικού διαλύματος μειωνόταν συνεχώς με την πάροδο του χρόνου. Κατέληξαν δε στο συμπέρασμα ότι στα υψηλής περιεκτικότητας σε ανθρακικό ασβέστιο κατακλυσμένα αλκαλικά εδάφη, ο ανθρακικός ψευδάργυρος ( $ZnCO_3$ ) ελέγχει τη διαλυτότητα του Ζη, ενώ αντίθετα στα χαμηλής περιεκτικότητας σε  $CaCO_3$  κατακλυσμένα αλκαλικά εδάφη η διαλυτότητα του Ζη ελέγχεται από μια άγνωστη στερεή φάση του εδάφους, πιθανόν προϊόν προσρόφησης και συνιζηματοποίησης του Ζη με υλικά έλυδρων οξειδίων του Fe και του Mn (Καλλιάνου, 2007).

Οι Dutta et al (1989) αναφέρουν μια μείωση του εκχυλίσμου με DTPA ψευδαργύρου σε όξινα ως ουδέτερα εδάφη κατά την κατάκλιση τους. Η μείωση αυτή σχετίστηκε ισχυρά και αρνητικά με το αρχικό pH του εδάφους (Καλλιάνου, 2007).

Ο Kittrick (1976) αναφέρει ότι στα ευρισκόμενα σε κατάσταση αναγωγής εδάφη είναι πιθανή η κατακρήμνιση του Ζη σαν  $ZnS$  (σφαλερίτης) καθώς στα εδάφη αυτά αυξάνεται η συγκέντρωση των σουλφιδίων από τη δράση των υποχρεωτικά αναερόβιων βακτηρίων που ανάγουν τα θειικά σε πολύ χαμηλά Eh (Καλλιάνου, 2007).

Οι Sajwan & Lindsay (1986) παρατήρησαν σε μια εργαστηριακή μελέτη επώασης σε κατακλυσμένα εδάφη ότι καθώς το Eh του εδαφικού διαλύματος μειωνόταν, η συγκέντρωση του υδατοδιαλυτού σιδήρου (Fe) και Mn αυξανόταν ενώ αυτή του ψευδαργύρου έπεφτε κάτω από το επίπεδο ανίχνευσης και πρότειναν σαν ένα πιθανό λόγο για τον τόσο χαμηλό υδατοδιαλυτό Ζη το σχηματισμό  $ZnFe_2O_4$  ή ενός παρομοίου, με αυτό, στερεού ορυκτού (Καλλιάνου, 2007).

Την μείωση του υδατοδιαλυτού και ανταλλάξιμου Ζη και του δεσμευμένου σε κρυσταλλικά οξείδια του Fe και του Al, με την ταυτόχρονη αύξηση του δεσμευμένου Ζη σε άμορφα οξείδια του Fe και του Al σε κατακλυζόμενα εδάφη παρατήρησαν οι Hazra et al (1987) και Mandal & Mandal (1986), ενώ οι παρατηρήσεις τους διέφεραν όσον αφορά το κλάσμα του δεσμευμένου στην οργανική ουσία Ζη για το οποίο οι μεν πρώτοι παρατήρησαν μια μείωση, ενώ οι δεύτεροι μια αύξηση του κατά την κατάκλιση. Τα αποτελέσματα από τις δυο αυτές μελέτες υποδεικνύουν την ύπαρξη δυναμικής ισορροπίας ανάμεσα στις 4 μορφές του Ζη (υδατοδιαλυτός και ανταλλάξιμος Ζη, δεσμευμένος Ζη σε κρυσταλλικά οξείδια του Fe και του Al, δεσμευμένος Ζη σε άμορφα οξείδια του Fe και του Al, δεσμευμένος στη οργανική ουσία).

### **Ο Ζη στα φυτά**

Τα συνήθη επίπεδα Ζη στους φυτικούς ιστούς για τις περισσότερες αγρωστώδεις και δενδρώδεις καλλιέργειες κυμαίνονται στα 10-100 ppm. Το περιεχόμενο των φυτών σε Ζη είναι γενικά ψηλότερο στα νεαρά φυτάρια και μειώνεται με την ηλικία. Το φαινόμενο αυτό πιθανόν να μπορεί να εξηγηθεί από το σχηματισμό ζώνης έλλειψης Ζη γύρω από τις ρίζες του αναπτυσσόμενου φυτού (Καλλιάνου, 2007).

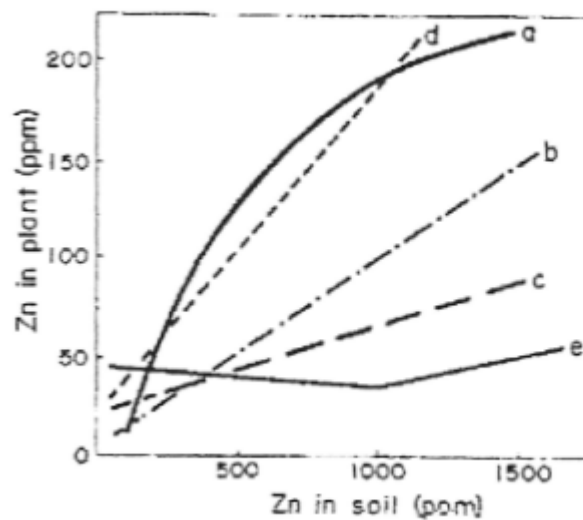
Τα διάφορα φυτικά είδη και ποικιλίες διαφέρουν σημαντικά όσον αφορά την ικανότητα τους να προσλαμβάνουν ακόμα και από το ίδιο θρεπτικό υπόστρωμα. Οι διάφορες οργανικές ενώσεις που δημιουργούν διαλυτά χημικά σύμπλοκα με τον Ζη αν και γενικά θεωρούνται ότι διατηρούν τον Ζη του εδάφους σε αφομοιώσιμη μορφή και διευκολύνουν την μετακίνηση τους προς τις ρίζες, εν τούτοις συχνά έχουν μια βλαβερή επίδραση στη πρόσληψη του Ζη λόγω του υφιστάμενου ανταγωνισμού ανάμεσα στις φυτικές ρίζες και χουμοϊνικές οργανικές ενώσεις για το μέταλλο. Το φαινόμενο αυτό μπορεί να ενταθεί σε ψηλά pH ( Lindsay, 1972 ). Είναι επίσης δυνατό ολόκληρο το οργανικό χηλικό σύμπλοκο να προσληφθεί από το φυτό.

Ο τρόπος πρόσληψης του ψευδαργύρου ( ενεργή ή παθητική πρόληψη ) δεν έχει ακόμα διευκρινιστεί. Πειράματα που έχουν γίνει πάνω σε αυτό το θέμα έχουν καταλήξει σε αντικρουόμενα αποτελέσματα (Καλλιάνου, 2007).

### **Ελλείψεις και τοξικότητες Ζη**

Η έλλειψη Ζη είναι η δεύτερη περισσότερο συνηθισμένη έλλειψη μικροστοιχείου, μετά την τροφopenία Fe, που παρατηρείται σε πολλές ετήσιες καλλιέργειες. Από τα διάφορα καλλιεργούμενα φυτά, ευαίσθητα στην έλλειψη Ζη θεωρούνται τα εσπεριδοειδή, πολλά πυρηνόκαρπα ( ροδακινιά, βερικοκιά, κερασιά ), τα μηλοειδή, το αμπέλι, διάφορα ψυχανθή (σόγια, φασόλια κλπ ) ο αραβόσιτος, το σόργο, το λινάρι, και πολλά λαχανικά (Καλλιάνου, 2007).





**Σχήμα 8.4.** Ληφθείσες τιμές Ζη από φυτά σε εδάφη επιβαρυμένα από αυτό το μέταλλο, a) χλόη λιβαδιών, b) σπόροι δημητριακών, c) βλαστοί πατάτας, d) βολβοί πατάτας.

Οι ελλείψεις Ζη είναι συνηθισμένες σε εδάφη με χαμηλό ολικό περιεχόμενο σε Ζη, όπως αμμώδη εδάφη, τυρφώδη ή οργανικά εδάφη καθώς και σε ισχυρώς αποπλυμένα όξινα εδάφη. Πολλές φορές η έλλειψη Ζη δεν οφείλεται στο χαμηλό περιεχόμενο του εδάφους σε ολικό Ζη αλλά στη μειωμένη διαθεσιμότητα του στα φυτά που επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες. Έτσι ελλείψεις Ζη έχουν παρατηρηθεί σε ασβεστούχα εδάφη με χαμηλό pH. Συχνά το ολικό περιεχόμενο σε Ζη των εδαφών αυτών είναι ψηλότερο από αυτό των μη ασβεστούχων εδαφών (Καλλιάνου, 2007).

Ελλείψεις Ζη έχουν συχνά παρατηρηθεί σε εδάφη με υψηλή περιεκτικότητα σε φώσφορο. Ο Ρ φαίνεται να επιδρά στη πρόσληψη, στη μετακίνηση και στο μεταβολισμό του Ζη. Ο ακριβής μηχανισμός του ανταγωνισμού δεν είναι μέχρι σήμερα γνωστός. Κατιόντα αλκαλικών γαιών κυρίως το  $Mg^{2+}$  αλλά και  $Ca^{2+}$ ,  $Ba^{2+}$ , και  $Sr^{2+}$  έχουν βρεθεί ότι μειώνουν την πρόσληψη του Ζη στο σιτάρι (Lindsay, 1977). Αλληλεπιδράσεις στην πρόσληψη και μετακίνηση του Ζη παρατηρούνται επίσης με το  $Cd^{2+}$  και το  $Cu^{2+}$ . Το  $Cu^{2+}$  φαίνεται να απορροφάται από τις ρίζες από τις ίδιες θέσεις πρόσληψης που απορροφάται το  $Zn^{2+}$ . Υψηλές συγκεντρώσεις Νί προκαλούν επίσης έλλειψη Ζη (Καλλιάνου, 2007).

Η τοξικότητα του Ζη έχει αποκτήσει ιδιαίτερο ενδιαφέρον καθώς η εισαγωγή του στοιχείου αυτού στα εδάφη είναι αρκετά εκτεταμένη τα τελευταία χρόνια σαν συστατικό βιομηχανικών ή αστικών αποβλήτων και σαν συστατικό φυτοφαρμάκων και λιπασμάτων (Καλλιάνου, 2007).

Το όριο τοξικότητας για τον Ζη εξαρτάται από το φυτικό είδος, το γονότυπο και το στάδιο ανάπτυξης του φυτού. Συγκέντρωση Ζη στους φυτικούς ιστούς της τάξεως των 300 ppm αναφέρθηκε ως τοξική σε νεαρές καλλιέργειες κριθαριού, ενώ σε αρχικά στάδια καλλιέργειας βρώμης η τοξική συγκέντρωση του Ζη στους ιστούς βρέθηκε να είναι 400 ppm (Καλλιάνου, 2007).

Τυπικά συμπτώματα τοξικότητας Ζη καθώς και άλλων βαρέων μετάλλων είναι η καχεκτική ανάπτυξη και η εμφάνιση χλώρωσης στα φύλλα παρόμοια με αυτή που παρατηρείται σε περιπτώσεις έλλειψης Fe. Αν και γενικά είναι γνωστό ότι ο υπερβολικός Ζη παρεμποδίζει την μετακίνηση του Fe από τις ρίζες στους βλαστούς, η εμφάνιση έλλειψης Fe λόγω υπερβολικού Ζη στο έδαφος εξαρτάται και από άλλους παράγοντες όπως το pH το περιεχόμενο του εδάφους σε διαθέσιμο προς τα φυτά Fe, το φυτικό είδος ή πουλιά και το κλίμα. Ελλείψεις Fe σε μολυσμένα με Ζη εδάφη παρατηρήθηκαν σε όξινα pH και σε ουδέτερου pH εδάφη με χαμηλή περιεκτικότητα σε Ρε, ενώ δεν παρατηρήθηκαν σε μολυσμένα με Ζη αλλά επαρκή σε Fe ουδέτερα εδάφη (Foy et al 1978). Διάφορες καλλιεργούμενες ποικιλίες που έχουν διαφορετική ευαισθησία στην έλλειψη Fe. αντιδρούν διαφορετικά στην ύπαρξη υπερβολικού Ζη. Αυτές οι διαφορετικές ανταποκρίσεις έχουν αναφερθεί για ποικιλίες σόγιας καλαμποκιού, ντομάτας και σόργου (Brown et al 1973, 1977a, 1977b), (Καλλιάνου, 2007).

Υπάρχουν σημαντικές διαφορές ανάμεσα στα φυτικά είδη και ποικιλίες όσον αφορά την ανθεκτικότητα τους σε υψηλές συγκεντρώσεις Ζη. Ενδιαφέρον παρουσιάζει η εμφάνιση οικοτύπων ανθεκτικών στον Ζη σε μολυσμένα εδάφη. Η ικανότητα ορισμένων φυτών να δεσμεύουν τον Ζη και τα βαρέα μέταλλα, στα κυτταρικά τοιχώματα της ρίζας είναι ένας παράγοντας που προσδίδει σε αυτά ανθεκτικότητα σε υψηλές συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων. Ένας άλλος φυσιολογικός μηχανισμός που έχει βρεθεί σε ανθεκτικά σε Ζη φυτά, είναι η μετακίνηση του Ζη στο κυτταρικό κυτόπλασμα στα χυμοτόπια υπό μορφή χηλικού συμπλόκου με μηλικό οξύ (Foy et al 1978) (Καλλιάνου, 2007).

## **8.5 ΜΟΛΥΒΔΙΟΣ (Pb)**

### **Πηγές Pb στο έδαφος**

Το έδαφος είναι ο αποδέκτης του Pb που προέρχεται από ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Πηγές, λοιπόν, Pb είναι οι εξορύξεις και χυτήρια Pb, λιπάσματα και αστικά απόβλητα που χρησιμοποιούνται στη γεωργία καθώς και η ρύπανση την οποία προκαλούν τα αέρια που εκπέμπονται από τις εξατμίσεις των οχημάτων. Σε οπυζροφόρα δέντρα εφαρμόστηκε PbHAsO<sub>4</sub> για τον έλεγχο των επιβλαβών εντόμων, με αποτέλεσμα τα εδάφη αυτά να περιέχουν υψηλές συγκεντρώσεις Pb. Η εμπορική χρήση αυτών των φαρμάκων είναι σήμερα σποραδική αφού αντικαταστάθηκαν από οργανικά εντομοκτόνα (Alloway, 1995).

### **Pb προεργόμενος από εξατμίσεις αυτοκινήτων**

Με την ανακάλυψη της μηχανής εσωτερικής καύσης κατά τη διάρκεια των πρώτων δεκαετιών του 20<sup>ου</sup> αιώνα, παρατηρήθηκε αυξημένη ζήτηση βενζίνης με υψηλότερα ποσοστά οκτανίων με σκοπό να αποφεύγεται η ανομοιογενής καύση στους κυλίνδρους της μηχανής. Στις αρχές του 1920 ανακαλύφθηκε ότι τα αλκύλια του Pb όταν προστεθούν στη βενζίνη γίνεται καλύτερη καύση. Το 1923 για πρώτη φορά πουλήθηκε βενζίνη εμπλουτισμένη με Pb και από τότε καθιερώθηκε πολύ γρήγορα η χρήση της στην αγορά (Alloway, 1995).

Οι Warren και Delanault ανέφεραν ότι δείγματα εδάφους και φυτών που συλλέχθηκαν κοντά σε δρόμους, περιείχαν ασυνήθιστα υψηλή ποσότητα Pb και παρατήρησαν ότι η ποσότητα του Pb που εκπεμπόταν από τις εξατμίσεις των οχημάτων που χρησιμοποιούσαν βενζίνη με Pb, έφριζε προσοχής. Μεταγενέστερα, οι Cannon και Bowles απέδειξαν ότι η βλάστηση είχε ρυπανθεί με Pb σε απόσταση ως και 152m από το δρόμο στο Denver, Colorado των ΗΠΑ και η σχέση μεταξύ ποσότητας Pb και απόστασης από το δρόμο ήταν εκθετική. Υπάρχουν παρόμοιες αναφορές από άλλες χώρες όπως Ελβετία, Ν. Ζηλανδία, Αυστραλία, Ιαπωνία, Βέλγιο, Αίγυπτος, Ιταλία, Ελλάδα. Η βιβλιογραφία αναφέρει την ύπαρξη μιας ζώνης πλάτους 15m περίπου και στις 2 πλευρές του δρόμου, στην οποία η συγκέντρωση του Pb ξεπερνά τα τοπικά επιθυμητά επίπεδα και επισημαίνει ότι η ρύπανση του περιβάλλοντος γύρω από τους δρόμους οφείλεται, παγκοσμίως, στη χρήση βενζίνης που περιέχει Pb (Alloway, 1995).

### **Ο Pb από την ατμόσφαιρα στο έδαφος και στη βλάστηση**

Τα σταγονίδια του Pb που εκλύονται στην ατμόσφαιρα από τις εξατμίσεις των αυτοκινήτων ή από τις βιομηχανίες μπορούν να μεταφερθούν σε μεγάλες αποστάσεις. Ο Steinnes έδειξε πως η περιεκτικότητα του επιφανειακού εδάφους σε Pb, στη Νορβηγία, μειώνεται από μια μέση τιμή μικρότερη των 120mg Pb/kg νότια της χώρας σε μια τιμή μικρότερη των 10mg Pb/kg στις βόρειες περιοχές της χώρας και απέδωσε τις χαμηλές τιμές των βόρειων περιοχών στη μεγάλη απόσταση από τις βιομηχανίες της Δυτικής Ευρώπης (Alloway, 1995).

### **Ο Pb στα αστικά εδάφη**

Αν και τα εδάφη σε αστικές περιοχές είναι μικρής αγροτικής σημασίας, δε θα έπρεπε να τα θεωρούμε ασήμαντα. Τα λαχανικά που καλλιεργούνται σε αστικούς κήπους συνεισφέρουν στην οικιακή κατανάλωση και τα παιδιά που παίζουν σε κήπους και πάρκα, όπου το έδαφος είναι ρυπασμένο, διατρέχουν μεγάλο κίνδυνο να εισπνεύσουν ή να μεταφέρουν το Pb και τα μέταλλα που βρίσκονται σε αυτό, μέσω των χεριών, στο στόμα (Alloway, 1995).

Οι Purves και Purves-Mackenzie ήταν οι πρώτοι ερευνητές που ανέφεραν αυξημένα επίπεδα ιχνοστοιχείων σε αστικά εδάφη που περιείχαν σχεδόν 4 φορές περισσότερο Pb από τα αγροτικά εδάφη στη ΝΑ Σκωτία. Ο Warren και οι συνεργάτες του ανέφεραν την ποσότητα Pb σε εδάφη του Λίβερπουλ, στην Αγγλία, και αρκετών πόλεων του Καναδά. Τα εδάφη της πόλης, συλλογικά, έτειναν να παρουσιάζουν διάφορα επίπεδα ρύπανσης και η αύξηση των τιμών ήταν του ίδιου βαθμού και της ίδιας σπουδαιότητας με τη ρύπανση περιοχών στις οποίες γίνονταν εξορύξεις μεταλλευμάτων και υπήρχαν χυτήρια (Καλλιάνου, 2007).

### **Ρύπανση από ορυχεία και χυτήρια Pb**

Από το 1908 ως το 1913 ο Griffith μελέτησε τα συχνά παράπονα των γεωργών για την στειρότητα των εδαφών στην περιοχή Aberystwyth της Ουαλίας και συμπέρανε ότι κύρια αιτία ήταν η παρουσία στο έδαφος υπολογίσιμων ποσοτήτων Pb ο οποίος προερχόταν από τις εξορύξεις Pb το 19<sup>ο</sup> αιώνα. Αργότερα οι Alloway και Davies περιέγραψαν μια περιεκτική έρευνα σχετικά με τα ρυπασμένα από Pb εδάφη στην Ουαλία. Βρήκαν ότι αλλουβιακά εδάφη στην κοιλάδα του ποταμού Ystwyth περιείχαν 90-2.900 mg Pb/kg εδάφους, συγκρινόμενη με τα 24-56 mg Pb/kg εδάφους σε μια γειτονική κοιλάδα-μάρτυρα (Alloway, 1995).

Η μεγάλη κλίμακα της σύγχρονης βιομηχανίας Pb, αναπόφευκτα, οδηγεί σε συσσώρευση Pb στο έδαφος γύρω από τα εργοστάσια παρά τους αυστηρούς περιβαλλοντικούς ελέγχους. Επιπρόσθετα, μερικά από τα σύγχρονα ορυχεία και χυτήρια βρίσκονται στις θέσεις των παλαιότερων, πιο ακάθαρτων εργοστασίων τα οποία άφησαν ως κληρονομιά τη ρύπανση του περιβάλλοντος (Alloway, 1995).

Σε έρευνες που έγιναν γύρω από χυτήρια, η μέγιστη συγκέντρωση Pb λάμβανε χώρα κοντά στις καμινάδες. Υπάρχει απότομη μείωση της συγκέντρωσης μακριά από την καμινάδα και η καμπύλη της απόστασης με τη μείωση της συγκέντρωσης Pb είναι συνήθως εκθετική. Γενικά είναι δύσκολο να είμαστε απόλυτοι σχετικά με τα επίπεδα Pb στο έδαφος (Alloway, 1995).

### **Pb προερχόμενος από γεωργικά υλικά**

Τα υπολείμματα από τις αυλές αγροικών έχουν αναγνωριστεί ως επιθυμητά υλικά διόρθωσης της δομής του εδάφους. Αποτελούν χρήσιμη, τόσο βραχυπρόθεσμα όσο και μακροπρόθεσμα, πηγή των απαραίτητων για τα φυτά θρεπτικών στοιχείων N, P και K από τότε που η μικτή εφαρμογή γεωργίας και κτηνοτροφίας αντικαταστάθηκε από μεμονωμένες, εξειδικευμένες, αρόσιμες καλλιέργειες, τα αποθέματα της κοπριάς σε οικονομική τιμή μειώθηκαν αρκετά. Οι γεωργοί για το λόγο αυτό έχουν στραφεί στη χρήση εναλλακτικών υλών. Στην Ολλανδία, τα υπολείμματα από τα νοικοκυριά κομποστοποιούνται όλο και περισσότερο μόνο που χρίζει προσοχής ο Pb που περιέχεται σε αυτά (Alloway, 1995).

Σε πολλές χώρες στις οποίες απαγορεύεται η απευθείας διάθεση των αστικών λυμάτων σε υδάτινους αποδέκτες, οι δημοτικές αρχές έχουν επενδύσει σε εργοστάσια επεξεργασίας αστικών λυμάτων τα οποία έχουν σχεδιαστεί έτσι ώστε να συγκρατούν το οργανικό φορτίο των λυμάτων. Η οργανική ύλη υφίσταται ζύμωση με αποτέλεσμα να καταστρέφονται οι παθογόνοι μικροοργανισμοί και μετά από ξήρανση της διατίθεται ως οργανική ύλη πλούσια σε θρεπτικά στοιχεία για τα φυτά (N,P). το υπόλειμμα αυτό είναι διαθέσιμο στους γεωργούς και χρησιμοποιείται σαν εναλλακτικός τρόπος λίπανσης. Σύμφωνα με τον Davies, 30 εκ. τόνοι υγρής λάσπης παράγονται ετησίως στο Ηνωμένο Βασίλειο, το 40% των οποίων εφαρμόζεται στο έδαφος (Alloway, 1995).

Η υγρή αυτή λάσπη των αποβλήτων παρουσιάζει την ανεπιθύμητη ιδιότητα να περιέχει μεγάλες ποσότητες βαρέων μετάλλων. Υπάρχουν αρκετές δημοσιευμένες αναφορές σχετικά με τη συγκέντρωση μετάλλων στην υγρή λάσπη των αποβλήτων.

### **Ο Pb στο εδαφικό προφίλ**

Ο Pb φαίνεται να συγκεντρώνεται εκ φύσεως στους επιφανειακούς ορίζοντες του εδάφους. Ο Lounamaa ανέφερε το φαινόμενο αυτό για εδάφη που συνέλλεξε από απομακρυσμένες περιοχές της Φιλανδίας. Παρατήρησε ότι ο Pb διαφέρει από άλλα στοιχεία στο ότι δείγματα εδάφους από διαφορετικά επιφανειακά σημεία πάνω από το έδαφος μονίμως περιείχαν περισσότερο Pb από αυτόν που περιείχαν τα πετρώματα. Είναι αξιοσημείωτος ο έντονος εμπλουτισμός των εδαφών που βρίσκονται σε πυριτικά πετρώματα.

Υπάρχουν λίγες αποδείξεις ότι ο Pb χάνεται εύκολα από το εδαφικό προφίλ μέσω τις στράγγισης. Τα περισσότερα βαρέα μέταλλα, συμπεριλαμβανομένου και του Pb, παραμένουν σε αδιάλυτη μορφή στα επιφανειακά στρώματα μετά από εφαρμογή αποβλήτων. Οι Zumdaht και Skogerboe απέδειξαν ότι τα εδάφη έχουν σχετικά μεγάλες ικανότητες να ακινητοποιούν το Pb, δηλαδή το οργανικό κλάσμα του εδάφους ευθυνόταν για την παρατηρούμενη καθήλωση των μετάλλων, με αποτέλεσμα ο Pb που εκλύεται από τις εξατμίσεις των αυτοκινήτων να έχει την τάση να παραμένει κοντά στην επιφάνεια του εδάφους (Καλλιάνου, 2007).

### **Χημική συμπεριφορά του Pb στο έδαφος.**

Σε αντίθεση με τις εργασίες που έχουν γίνει για την αναγνώριση των πηγών και τον προσδιορισμό της ποσότητας του Pb που υπάρχει στο έδαφος, η γνώση για τη χημεία και τη κινητικότητα του Pb στο έδαφος είναι περιορισμένη. Μετρήσεις του ολικού Pb έχουν μεγάλη αξία για την αναγνώριση και την περιγραφή περιοχών των οποίων ο εδαφικός μανδύας έχει ρυπανθεί. Αλλά, αναλογικά με τη συμπεριφορά των θρεπτικών στοιχείων, μπορεί να θεωρηθεί ότι μόνο ένα μέρος από το συνολικό Pb είναι διαθέσιμο να προσληφθεί από τα φυτά και οι ενώσεις του Pb, καθώς εισχωρούν στο έδαφος διαιρούνται στα διάφορα στρώματα του εδάφους. Οι κύριες φάσεις του εδάφους στις οποίες μπορεί να υπάρχει ο Pb είναι: το εδαφικό διάλυμα, οι επιφάνειες απορρόφησης ανάμεσα στις στρώσεις άργιλο-

χουμικών συμπλοκών και δευτερευόντως οξείδια του Fe και του Mn, αλκαλικές γαίες, χουμικές ενώσεις και τετράεδρα Si (Alloway, 1995).

## 8.6 Σίδηρος (Fe)

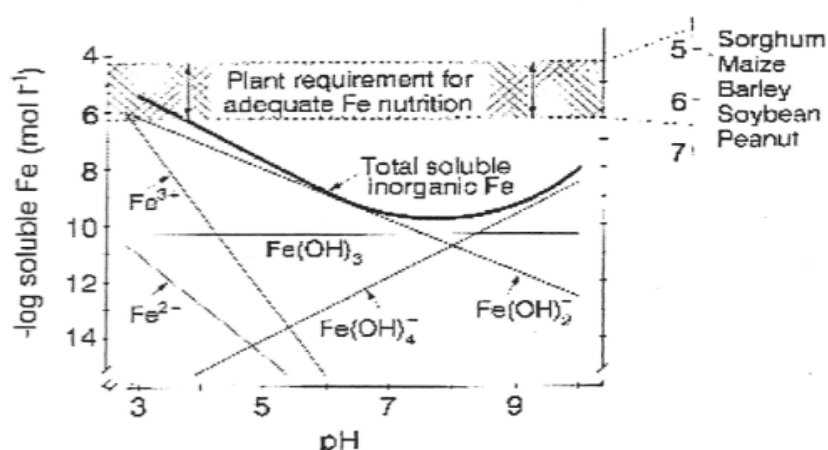
Ο σίδηρος αποτελεί το 5,1% του φλοιού της γης. Το μεγαλύτερο μέρος του εδαφικού σιδήρου βρίσκεται στο πλέγμα ποικίλων πρωτογενών και δευτερογενών αργιλικών ορυκτών. Συνήθως απαντάται από τις εξής μορφές:

- Στο πλέγμα των 2:1 αργιλικών ορυκτών.
- Στο πλέγμα των πρωτογενών σιδηρομαγνησιούχων ορυκτών όπως ο ολιβίνης, οι πυρόξενι.
- Σε σιδηρούχα ανθρακικά και φωσφορικά άλατα.
- Σαν ελεύθερα οξείδια του σιδήρου, όπως ο αιματίτης ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), ο γκαϊτίτης ( $\gamma\text{-FeOOH}$ ) και ο λεπιδοχρωσίτης.

Τα ανόργανα εδάφη περιέχουν κατά μέσο όρο 2% κ.β σίδηρο. Σε καλώς αεριζόμενα εδάφη με υψηλά pH, οι τιμές των  $\text{Fe}^{2+}$  και στο εδαφικό διάλυμα είναι πολύ χαμηλές και η συνολική συγκέντρωση ανόργανων μορφών σιδήρου (pH 7-9) κυρίως  $\text{Fe(OH)}_2^+$ ,  $\text{Fe(OH)}_3$ ,  $\text{Fe(OH)}_4^-$  στο εδαφικό διάλυμα είναι μόνο  $10^{-10}$  M. (Σχήμα 8.5). Οι συγκεντρώσεις του χηλικού σιδήρου που απαιτούνται για τη βέλτιστη ανάπτυξη των φυτών είναι  $10^{-6}$  με  $10^{-5}$  M (Lindsay, 1979).

Η απελευθέρωση του σιδήρου από το κρυσταλλικό πλέγμα των ορυκτών είναι συνάρτηση του δυναμικού οξειδοαναγωγής και του pH του περιβάλλοντος των ορυκτών.

Ο απελευθερωμένος σίδηρος κατακρημνίζεται με τη μορφή οξειδίων ή υδροξειδίων ή υποκαθιστά το Mg και το Al σε άλλα ορυκτά ή τέλος σχηματίζει σύμπλοκα με οργανικούς υποκατάστατες. Στα εδάφη παρουσιάζεται κυρίως με τη μορφή των οξειδίων και υδροξειδίων παρόλο που σε οριζόντες με υψηλό ποσοστό οργανικής ουσίας βρίσκεται με χηλική μορφή.



**Σχήμα 8.5.** Διαλυτότητα ανόργανου σιδήρου σε σχέση με τα οξείδια του σιδήρου σε καλώς αεριζόμενα εδάφη, σε αντίθεση με τις απαιτήσεις του διαλυτού σιδήρου στη επιφάνεια των ριζών διαφόρων φυτικών ειδών (Marschner H., 1995).

Σιδηρούχα οξειδία που σχηματίζονται εδαφογενετικά είναι (Lindsay, 1979):

1. Αιματίτης ( $\alpha\text{Fe}_2\text{O}_3$ ): Σχηματίζεται κυρίως σε τροπικές ζώνες και κληρονομείται συνήθως από το μητρικό υλικό.
2. Μαγεμίτης ( $\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$ ): Συναντάται σε πολύ αποσαθρωμένα εδάφη τροπικών περιοχών και συνοδεύεται συνήθως από αιματίτη, μαγνητίτη ή γκαιτίτη.
3. Μαγνητίτης ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ): Κυρίως κληρονομείται από το μητρικό υλικό και σχετίζεται με την παρουσία μαγκεμίτη.
4. Φερριδρίτης ( $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{NH}_2\text{O}$ ): Είναι γνωστό σιδηρούχο ορυκτό αλλά δεν είναι σταθερό, εύκολα μετατρέπεται σε αιματίτη σε ζεστές περιοχές.
5. Γκαιτίτης ( $\alpha\text{FeOOH}$ ): Είναι το πιο διαδεδομένο οξείδιο του σιδήρου από τις εύκρατες περιοχές έως τις τροπικές.
6. Λεπιδοχρωσίτης ( $\gamma\text{FeOOH}$ ): Συναντάται σε εδάφη με φτωχή άρδευση καθώς και σε εδάφη υγρών εύκρατων περιοχών, ο σχηματισμός του ευνοείται από χαμηλό pH, χαμηλή θερμοκρασία και απουσία  $\text{Fe}^{3+}$ .
7. Ιλμενίτης ( $\text{FeTiO}_3$ ): Συνήθως δεν εμφανίζεται στα εδάφη.
8. Σιδηροπυρίτης ( $\text{FeS}_2$ ): Εμφανίζεται συνήθως σε όξινα εδάφη που περιέχουν θείο.

Πολλές χημικές αντιδράσεις καθορίζουν τη διαλυτότητα του σιδήρου στα εδάφη, αλλά η υδρόλυση φαίνεται να είναι από τις πιο σημαντικές. Η περιεκτικότητα των εδαφών σε διαλυτό σίδηρο είναι εξαιρετικά χαμηλή εάν συγκριθεί με την συνολική περιεκτικότητα τους σε σίδηρο. Ο Lindsay (1979) αναφέρει ότι η κινητικότητα του σιδήρου στα εδάφη ελέγχεται κυρίως από τη διαλυτότητα των ένυδρων οξειδίων του  $\text{Fe}^{2+}$  και  $\text{Fe}^{3+}$ .

Η συμπεριφορά του σιδήρου στο έδαφος συνδέεται στενά με τους κύκλους των στοιχείων οξυγόνου, θείου και άνθρακα. Η συμμετοχή του σιδήρου με τις αντιδράσεις του στις διαδικασίες της αποσάθρωσης εξαρτάται από το δυναμικό οξειδοαναγωγής και το pH του συστήματος καθώς επίσης και από το βαθμό οξείδωσης των σιδηρούχων ενώσεων που εμπλέκονται. Η γενική αρχή που διέπει το σχηματισμό και την κινητικότητα του σιδήρου είναι ότι οξειδωτικές και αλκαλικές συνθήκες ευνοούν την κατακρήμνιση του σιδήρου ενώ όξινες και αναγωγικές προωθούν την διάλυση των ενώσεων του σιδήρου. Ο σίδηρος

βρίσκεται σε διάφορες περιεκτικότητες σε πολλά ορυκτά μερικά από τα οποία φαίνονται στον πίνακα που ακολουθεί.

Από τον παρακάτω πίνακα παρατηρούμε ότι ξεκινώντας από τα υπερβασικά πετρώματα και πηγαίνοντας προς τα όξινα το ποσοστό του περιεχόμενου σιδήρου μειώνεται. Μάλιστα τη μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε σίδηρο παρουσιάζουν οι δουνίτες ,περιδοίτες και πυροξενίτες που ανήκουν και οι τρεις στην κατηγορία των υπερβασικών πετρωμάτων.

**Πίνακας 8.6.** Περιεκτικότητα διαφόρων πετρωμάτων σε Fe, Co, Ni (Kabata-Pendias, 1992).

Πέτρωμα	Fe(% κ.β)	Co(ppm)	Ni(ppm)
Δουνίτης, περιδοίτης, πυρόξενιοι	9,4-100	100-200	1400-2000
Βασάλτης, γάββρος	5,6-8,7	3,5-50	130-160
Διορίτης	3,7-5,9	1-10	5-55
Γρανίτης, γνεύσιος	1,4-2,7	1-7	5-15
Ρυόλιθος, δακίτης	2,6	15	20

Ο σίδηρος κατά τη διάρκεια της εδαφογένεσης μπορεί να συγκεντρώνεται ή να υπόκειται σε έκπλυση μέσα στο εδαφικό σύστημα. Έτσι η συγκέντρωση του στο έδαφος ποικίλλει από 0,7-55%κ.β, με μέσο όρο περίπου 3,8%κ.β. Η διαλυτότητα των περισσότερων μορφών σιδήρου είναι πολύ μικρή. Κάτω από αερόβιες συνθήκες η διαλυτότητα του σιδήρου είναι πολύ μικρή, ενώ αντίθετα σε αναερόβιες συνθήκες η συγκέντρωση του υδατοδιαλυτού σιδήρου είναι πολύ μεγαλύτερη. Οι διαλυτές ανόργανες μορφές του σιδήρου είναι  $Fe^{3+}$ ,  $Fe^{2+}$ ,  $Fe(OH)^{2+}$ ,  $Fe(OH)^{2-}$ . Σε αναερόβιες συνθήκες η αναγωγή του σιδήρου (III), σε σίδηρο (II) συνοδεύεται με αύξηση του pH, απελευθέρωσης  $H^+$ . Η διαλυτότητα του σιδήρου στο εδαφικό διάλυμα εξαρτάται κυρίως από το pH.

Ο σίδηρος απορροφάται από τα φυτά υπό μορφή  $Fe^{2+}$  και μεταφέρεται προς την επιφάνεια της ρίζας με χηλική μορφή. Ο ρυθμός απορρόφησης σιδήρου είναι υψηλότερος στο ακραίο από ότι στο βασικό τμήμα της ρίζας, ιδιαίτερα όταν ο σίδηρος είναι σε έλλειψη. Η μικρή διαλυτότητα των ενώσεων που περιέχουν  $Fe^{3+}$  έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της διαθεσιμότητας και απορρόφησης  $Fe^{2+}$ . Η μεταφορά του σιδήρου από το εδαφοδιάλυμα στην επιφάνεια της ρίζας γίνεται με μαζική ροή και διάχυση. Ο σίδηρος δεν μετακινείται μέσα στο φυτό, με αποτέλεσμα τα συμπτώματα τροφοπενίας σιδήρου να εμφανίζονται πρώτα στα νεαρά φύλλα. Η υψηλή συγγένεια του σιδήρου με τα οργανικά οξέα και ανόργανα φωσφορικά, καθιστούν απίθανο τα τρισθενή ή δισθενή ιόντα του σιδήρου να έχουν καμιά σπουδαιότητα στη μεταφορά σιδήρου μέσα στο φυτό, για κοντινές ή μακρινές αποστάσεις ή ότι τα ιόντα αυτά σχετίζονται με αντιδράσεις μέσα στα κύτταρα.



Το οριακό επίπεδο έλλειψης του σιδήρου από τα φύλλα είναι μεταξύ 50-150 ppm ξηρού βάρους. Είναι πολύ συνήθης η έλλειψη σε ασβεστούχα εδάφη, σύμπτωμα είναι η χλώρωση του φύλλου εκτός των νεύρων. Σε έντονη έλλειψη τα νεαρά φύλλα είναι χλωρωτικά και κατόπιν ξηραίνονται.

Η οργανική ουσία σχηματίζει σύμπλοκα με το σίδηρο, πολλά από τα οποία είναι υπό μορφή χηλικών ενώσεων που είναι διαθέσιμες στα φυτά. Η πρόσθεση χηλικών ενώσεων σιδήρου στο εδαφοδιάλυμα έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση απορόφησης σιδήρου. Συγκεντρώσεις σιδήρου υπό χηλική μορφή  $10^{-7}$ -  $10^{-8}$  M είναι ικανοποιητικές για τα φυτά όταν οι μηχανισμοί μεταφοράς αυτών προς την επιφάνεια της ρίζας είναι μαζική ροή και διάχυση.

Παράγοντες που επηρεάζουν τη διαθεσιμότητα του σιδήρου (Lindsay, 1979):

### **PH**

Η διαλυτότητα του σιδήρου λαμβάνει μια ελάχιστη τιμή μεταξύ 7,4 και 8,5, η απορρόφηση σιδήρου στη περιοχή αυτή από τα φυτά θα είναι ελάχιστη ή δεν θα γίνεται καθόλου. Εδάφη που περιέχουν ανθρακικό ασβέστιο, εμφανίζουν έλλειψη σιδήρου και δεν είναι αποτέλεσμα έλλειψης σιδήρου στο έδαφος, αλλά οφείλεται στην παρουσία  $\text{HCO}_3$  που επηρεάζει την πρόσληψη και μεταφορά σιδήρου στο φυτό.

### **Eh (Δυναμικό οξειδοαναγωγής)**

Στα κατακλυζόμενα εδάφη, όπου λόγω αύξησης της συγκέντρωσης  $\text{Fe}^{2+}$  υπάρχει αύξηση της διαθεσιμότητας και απορρόφησης σιδήρου από τα φυτά. Σε ορισμένες περιπτώσεις όπου η συγκέντρωση  $\text{Fe}^{2+}$  είναι πολύ μεγάλη, υπάρχει η πιθανότητα εμφάνισης τοξικών φαινομένων.

### **Οργανική ουσία**

Η πρόσθεση οργανικής ουσίας σε καλώς αποστραγγιζόμενα εδάφη έχει σαν αποτέλεσμα τη διόρθωση έλλειψης σιδήρου, επειδή περιέχει χηλικές ενώσεις σιδήρου. Παράλληλα βελτιώνεται η δομή, ο αερισμός, αυξάνεται η μικροβιακή δραστηριότητα, αυξάνοντας τα επίπεδα του  $\text{CO}_2$ , έχοντας δυσμενείς επιπτώσεις στην απορρόφηση του σιδήρου.

### **Ανταγωνισμός με άλλα στοιχεία**

Έλλειψη σιδήρου παρατηρείται σε περιπτώσεις υψηλών συγκεντρώσεων Co, Mn, Cu, Zn. Επίσης μεγάλες ποσότητες P και Mo εντείνουν τη μείωση απορρόφησης σιδήρου από τα φυτά. Υψηλές συγκεντρώσεις φωσφόρου συνήθως πολλαπλασιάζουν την έλλειψη σιδήρου.

### **8.7 Χαλκός (Cu)**

Το μεγαλύτερο κλάσμα του χαλκού βρίσκεται στο πλέγμα των πρωτογενών και δευτερογενών αργιλικών ορυκτών σε ποσά που ανέρχονται σε 5-150 ppm . Η μέση περιεκτικότητα της λιθόσφαιρας σε χαλκό είναι 70 mg/kg ,ενώ αντίστοιχα η συγκέντρωση στον φλοιό είναι 24-55 mg/kg . Στα εδάφη ο οι τιμές του χαλκού είναι 30 mg/kg.

**Πίνακας 3.7** Περιεκτικότητα χαλκού σε διάφορα υλικά (Alloway, 1995)

Υλικό	Εύρος(mg/kg)	Μέση τιμή(mg/kg)
Βασάλτης	30-160	90
Γρανίτης	4-30	15
Ηφαιστειακό πέτρωμα	5-20	
Ανθρακικό πέτρωμα	5-20	
Λιθόσφαιρα		70
Έδαφος	2-100	20-30

Ο χαλκός υπάρχει στα εδαφικά κολλοειδή, οργανικά και ανόργανα σαν ανταλλάξιμο κατιόν(Lindsay, 1979). Ο χαλκός βρίσκεται με αυξανόμενη σειρά σε οργανική ουσία > Fe οξείδια >>> αργιλικά ορυκτά. Η συγκέντρωση του χαλκού στο εδαφικό διάλυμα είναι πάρα πολύ χαμηλή και κυμαίνεται από  $10^{-8}$  ως  $6 \cdot 10^{-8}$  M. Το 98% του χαλκού που βρίσκεται στο εδαφικό διάλυμα βρίσκεται με τη μορφή συμπλοκών με την οργανική ουσία. Υψηλές συγκεντρώσεις του Cu στον επιφανειακό ορίζοντα αποτελούν ένδειξη για απόθεση του μετάλλου από αγροχημικά, υψικαμίνους βιομηχανιών. Οργανικά εδάφη και ανόργανα εδάφη με υψηλή συγκέντρωση οργανικής ουσίας είναι πιθανό να εμφανίζουν τροφопενία Cu. Ακόμα και σε εδάφη με φυσιολογικές τιμές οργανικής ουσίας (1-5%) ο χαλκός βρίσκεται σε μορφή συμπλόκου(Lindsay, 1979).

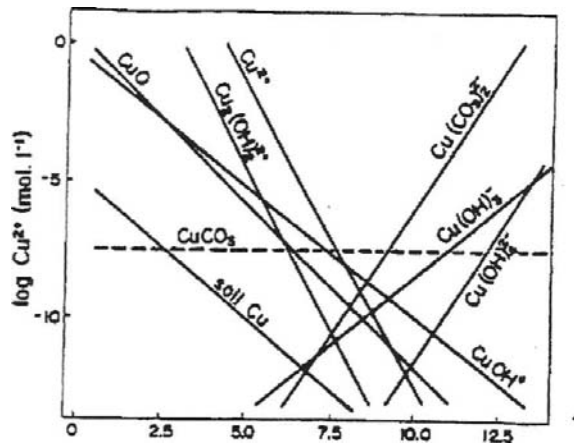
Στα περισσότερα εδάφη με  $pH > 5.5$  ο χαλκός βρίσκεται προσροφημένος και σε μορφή συμπλόκου. Ο προσροφημένος χαλκός δεν ανταλλάσσεται με κατιόντα όταν προστίθενται σημαντικές ποσότητες χαλκού ή άλλα ανταλλάξιμα κατιόντα στο έδαφος. Η προσρόφηση  $Cu^{2+}$  κατά βάρος σε άργιλο ακολουθεί τη σειρά Καολινίτης > Ιλλίτης > Σμεκίτης (Lindsay, 1979).

Η προσρόφηση εξαρτάται κυρίως από το  $pH$  και λιγότερο από την I.A.K. Ο δεσμός χαλκού και οργανικής ουσίας είναι πολύ πιο ισχυρός από ότι είναι με άλλα κατιόντα π.χ  $Zn^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$ , με αποτέλεσμα ο προστιθέμενος χαλκός στο έδαφος να περιορίζεται στους ανώτερους (επιφανειακούς) ορίζοντες. Απομάκρυνση χαλκού από το έδαφος μπορεί να γίνει με τη χρήση ισχυρών οξέων ή χρήση οργανικών ενώσεων. Σύμπλοκα χαλκού στο εδαφικό διάλυμα  $M.B < 1000$  είναι περισσότερο διαθέσιμα στα φυτά από ότι σύμπλοκα  $M.B > 5000$ .

Ο χαλκός απορροφάται σε μικρές ποσότητες από τα φυτά. Η περιεκτικότητα των φυτών σε χαλκό κυμαίνεται από 2-20 ppm επί της ξηράς ουσίας, κυρίως σε χλωροπλάστες. Η διαθεσιμότητα του χαλκού στα φυτά αναφέρεται στην ικανότητα με την οποία το ιόν  $\{Cu(H_2O)_6\}^{2+}$  απορροφάται από τα φυτά σε όξινα εδάφη και το  $Cu(OH)_2^0$  στα ουδέτερα και όξινα εδάφη. Η διαθεσιμότητα του χαλκού εξαρτάται από (Lindsay, 1979):

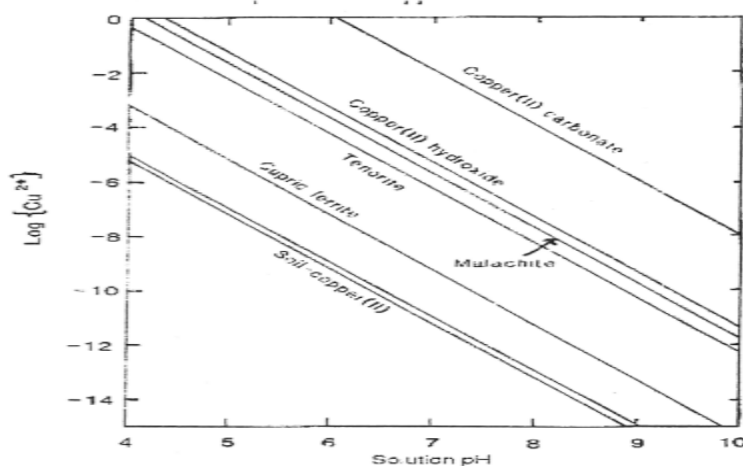
- Μηχανική σύσταση του εδάφους
- Εδαφικό  $pH$
- Η σχέση με άλλα στοιχεία

Ο χαλκός απορροφάται από το φυτό υπό μορφή ιόντων  $Cu^{+2}$ . Λόγω της ικανότητας των ιστών της ρίζας να συγκρατούν ισχυρά το χαλκό, ενάντια στη μεταφορά του προς τους βλαστούς, έχει παρατηρηθεί μεγαλύτερη συγκέντρωση στα φύλλα. Συμπτώματα έλλειψης χαλκού παρατηρούνται πρώτα στα νεαρά όργανα του φυτού, λόγω της μικρής κινητικότητας του μέσα στο φυτό. Στο χυμό της ρίζας και των ξυλωδών αγγείων πάνω από το 99% του χαλκού βρίσκεται σε συμπλοκή μορφή. Στο χυμό των ξυλωδών αγγείων και αυτών του ηθμού συνήθως είναι σύμπλοκο με αμινοξέα και σχετικές ενώσεις. Οι περισσότερες λειτουργίες ίου χαλκού ως ανόργανο θρεπτικό των φυτών βασίζονται στη συμμετοχή του ενζυμικά συνδεδεμένου χαλκού στις αντιδράσεις οξειδοαναγωγής. Το όριο έλλειψης για τα βλαστικά μέρη είναι 3-5 ppm Ξ.Β. Τα συμπτώματα είναι μείωση μεσογονατίων, κακοσηματισμός νεαρών φύλλων, νέκρωση του επάκριου μεριστώματος (Lindsay, 1979).



**Σχήμα 3.8** Σχηματικό διάγραμμα της διαλυτότητας των ιόντων και συμπλοκών του Cu στα εδάφη σε σχέση με το pH. (Lindsay et al., 1978)

Παρουσία Zn στο έδαφος, λόγω του ότι ο Cu και ο Zn απορροφούνται από τα φυτά με τον ίδιο μηχανισμό, παρεμποδίζει την απορρόφηση του χαλκού. Ανταγωνισμός υπάρχει μεταξύ Fe και Cu, υψηλά επίπεδα χαλκού στο φυτό μειώνουν την περιεκτικότητα του σιδήρου στους χλωροπλάστες. Για διαφορετικά είδη των φυτών η αναλογία Fe / Cu για άριστη απόδοση αυτών ποικίλει. Στη πράξη τοξικά φαινόμενα χαλκού μπορούν να αντιμετωπιστούν με τη πρόσθεση σιδήρου. Αντιδράσεις Cu με το Fe είναι συνδεδεμένες με τον μεταβολισμό του αζώτου. Τα δύο αυτά στοιχεία παρεμποδίζουν την ενζυμική αναγωγή του νιτρικού αζώτου. Υψηλά επίπεδα φωσφορικών στο έδαφος μειώνουν την απορρόφηση του Cu ενώ ισχύει και το αντίθετο. Τα ανθρακικά άλατα έχουν μεγάλη τάση σχηματισμού αδιάλυτων συμπλοκών με τον χαλκό. Σε εδάφη με μεγάλη περιεκτικότητα σε ανθρακικά άλατα υπάρχει μεγάλη πιθανότητα έλλειψης Cu.



**Σχήμα 3.9** Η σχέση μεταξύ της συγκέντρωσης του χαλκού στο διάλυμα και του pH. (Lindsay et al., 1979)

Υψηλές συγκεντρώσεις Cu στο εδαφοδιάλυμα προκαλούν τοξικά φαινόμενα στα φυτά όπως μείωση ανάπτυξης των φυτών και χλώρωση των φύλλων. Η συγκέντρωση στα φυτά δεν υπερβαίνει τα 20 ppm Ξ.Β. Τιμές μεγαλύτερες πιθανόν να οδηγήσουν σε τοξικότητα χαλκού. Τιμές από 1,5-4,5 mg/kg καταστρέφουν το ριζικό σύστημα των αναπτυσσόμενων φυτών (Lindsay, 1979).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9. ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ ΕΛΑΦΩΝ, ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΥΛΙΚΑ

### 9.1 Δειγματοληψία και προετοιμασία εδαφικών δειγμάτων

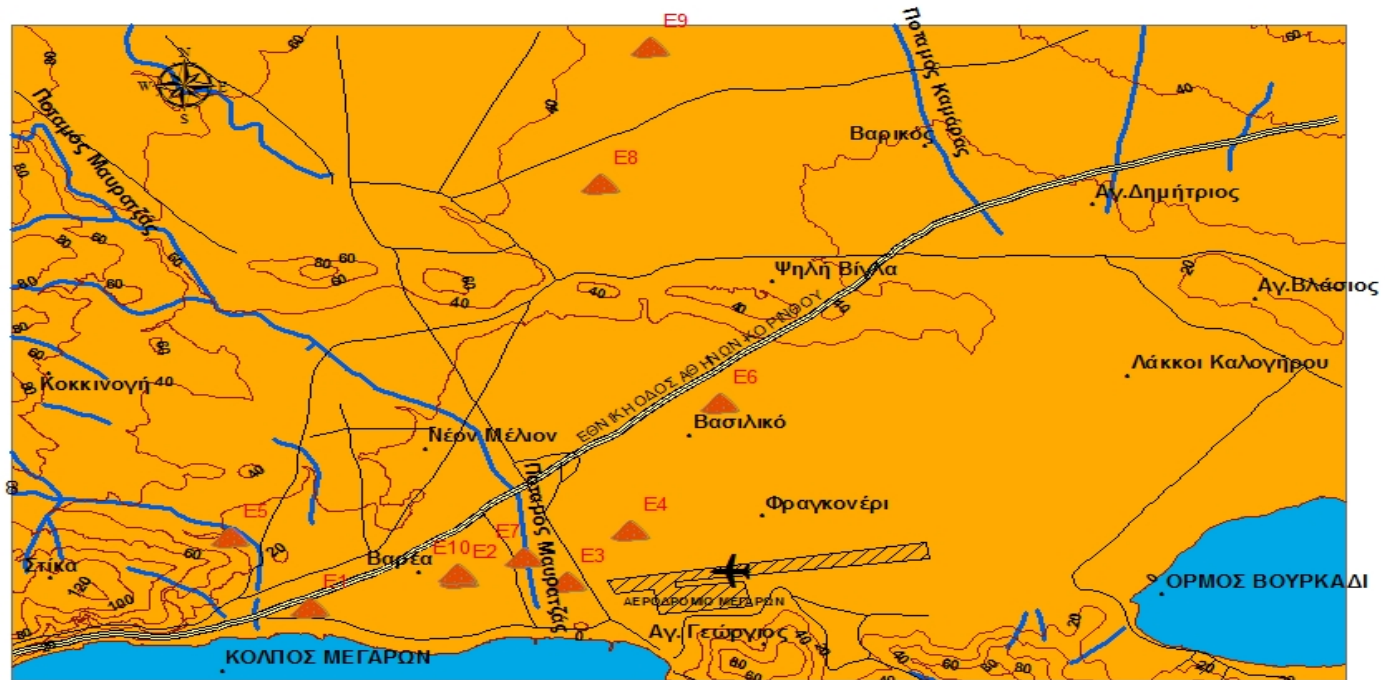
Τα δείγματα ελήφθησαν τον Ιούνιο του 2009, κατά την ξηρά περίοδο για προσδιοριστεί η επίδραση τόσο των ανθρωπογενών και των γηγενών παραγόντων στην ρύπανση των εδαφών.

Η δειγματοληψία των δειγμάτων έγινε στην περιοχή της υδρολογικής λεκάνης των Μεγάρων και στα σημεία που φαίνονται στο Σχήμα 9.1. Σκοπός της δειγματοληψίας αυτής ήταν να είναι αντιπροσωπευτικό της περιοχής μελέτης το εκάστοτε δείγμα και η ποσότητά του επαρκής για την διεξαγωγή των αναγκαίων χημικών αναλύσεων. Για το σκοπό αυτό ελήφθησαν δείγματα εδάφους α) πλησίον και εκατέρωθεν της Εθνικής οδού Αθηνών-Κορίνθου β) δυτικά του αεροδρομίου των Μεγάρων γ) παραπλεύρως του ποταμού Μαυρατζά και επί των καλλιεργήσιμων εκτάσεων.

Οι γεωγραφικές συντεταγμένες όλων των θέσεων δειγματοληψίας προσδιορίστηκαν με τη χρήση συσκευής G.P.S .Τα σημεία δειγματοληψίας απεικονίζονται στον πίνακα 9.1.

**Πίνακας 9.1:** Οι συντεταγμένες των σημείων δειγματοληψίας

ΚΩΔΙΚΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	X	Y
E1	441745	4203456
E2	442524	4203641
E3	443088	4203622
E4	443418	4203945
E5	441332	4203906
E6	443885	4204757
E7	442867	4203778
E8	443265	4206168
E9	443519	4207038
E10	442515	4203667



**ΥΠΟΜΝΗΜΑ**

- Ισουψής
- Ποτάμι/ρέμα
- ▲ Θέσεις δειγματοληψίας εδαφών (E1...E10)

**ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ**

**ΕΙΔΗ ΔΡΟΜΩΝ**

- ΤΟΠΙΚΟ ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ ΜΕΓΑΡΩΝ
- === ΕΘΝΙΚΗ ΟΔΟΣ ΑΘΗΝΩΝ ΚΟΡΙΝΘΟΥ
- ▨ ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΟ

1.000 500 0 1.000 Meters



**Σχήμα 9.1:** Χάρτης απεικόνισης των σημείων δειγματοληψίας των εδαφών της υπό μελέτη περιοχής.

Ο δειγματολήπτης που χρησιμοποιήθηκε ήταν για πετρώδη εδάφη ώστε να καλύπτει όλο το εύρος των αναγκών και το βάθος που διείσδυσε ήταν έως 15 cm. Η διείσδυση του επιτυγχάνεται με την ταυτόχρονη πίεση προς τα κάτω και περιστροφή κατά τη φορά των δεικτών του ρολογιού. Στη συνέχεια αφού τελείωσε η δειγματοληψία μεταφέραμε τα δείγματα στο εργαστήριο εδαφολογικών αναλύσεων ΕΘ.Ι.Α.Γ.Ε (Εθνικό Ίδρυμα Αγροτικής Έρευνας-Ινστιτούτο Εδαφολογίας Αθηνών) όπου ακολουθήσαμε τα στάδια προκατεργασίας: α) ξήρανσης, β) λειοτριβίσης ,γ) κοσκινίσματος , δ) διαίρεσης και αποθήκευσης των δειγμάτων .

Μετά την αεροξήρανση ακολουθήθηκε μια ήπια λειοτριβήση των δειγμάτων με ιγδίων πορσελάνης και κοσκινίστηκαν με κόσκινο με διάμετρο οπών 2mm . Το τελικό αεροξηραμένο, λειοτριβημένο και κοσκινισμένο κλάσμα του κάθε δείγματος που είναι < 2mm, αποθηκεύτηκε σε ευρύλαιμο δοχείο πολυαιθυλενίου των 500ml όπου και πωματίστηκε μέχρι την ολοκλήρωση των αναλύσεων που πραγματοποιήθηκαν.

## **9.2 Εργαστηριακές αναλύσεις**

Οι αναλύσεις που διεξήχθησαν αφορούσαν :

- 9.2.1) Μηχανική ανάλυση
- 9.2.2) Ηλεκτρική αγωγιμότητα - ενεργότητα ιόντων υδρογόνου (pH)
- 9.2.3) Οργανική ουσία
- 9.2.4) Ικανότητα Ανταλλαγής κατιόντων
- 9.2.5) Διαθέσιμος εδαφικός φώσφορος
- 9.2.6) Ολικές μορφές μορφές βαρέων μετάλλων
- 9.2.7) Αφομιώσιμες μορφές βαρέων μετάλλων
- 9.2.8) Ελεύθερο ανθρακικό ασβέστιο

### **9.2.1 Μηχανική ανάλυση με τη μέθοδο Βουγιούκου**

Η μηχανική ανάλυση του εδάφους αφορά την κοκκομετρική σύσταση του, δηλαδή την επί τοις εκατό περιεκτικότητα του στα 3 κλάσματα της μηχανικής σύστασης τα οποία είναι η άμμος, η ιλύς και η άργιλος. Αρχή της μεθόδου ανάλυσης είναι η καταστροφή των παραγόντων εκείνων που προάγουν τη συσσωμάτωση των εδαφικών τεμαχιδίων, επειδή ο προσδιορισμός των τριών κλασμάτων στηρίζεται στην αρχή ότι, η ταχύτητα καθίζησης σ' ένα αιώρημα εδάφους-νερού είναι σταθερή και μπορεί να υπολογισθεί από το νόμο του Stokers. Δηλαδή, σε μια στήλη αιωρήματος, μπορεί να υπολογισθεί σε τι βάθος θα βρίσκονται τεμαχίδια με ορισμένο μέγεθος μετά από ορισμένο χρόνο.

**Μεθοδολογία ανάλυσης** :Παίρνουμε 50gr. εδάφους και 50ml δ/τος εξαμεταφωσφορικού Na. Τα βάζουμε σε ένα πλαστικό μπωλ του εδαφολογικού αναδευτήρα και προσθέτουμε απιονισμένο νερό έως μια ορισμένη στάθμη. Θέτουμε το μίξερ σε λειτουργία για 7 λεπτά και τελειώνοντας βάζουμε το διάλυμα σε ένα ογκομετρικό κύλινδρο των 1000ml. Ξεπλένουμε καλά το μπωλ του μίξερ ώστε να μην μείνει έδαφος και προσθέτουμε απιονισμένο στον ογκομετρικό έως τα 900ml. Στη συνέχεια βάζουμε το



πυκνόμετρο στον ογκομετρικό και η στάθμη ανεβαίνει. Προσθέτουμε τότε απιονισμένο νερό μέχρις ότου η στάθμη του υγρού να φτάσει τα 1000ml. Έπειτα βγάζουμε το πυκνόμετρο, το ξεπλένουμε και μετά πωματίζοντας τον κύλινδρο τον ανακινούμε μέχρι να απομακρυνθεί το έδαφος απ' τα τοιχώματα και τον πάτο του κυλίνδρου. Κατόπιν τούτου βάζουμε το πυκνόμετρο στον ογκομετρικό με το διάλυμα και αφού μετρήσουμε 40 δευτερόλεπτα σημειώνουμε την πρώτη ένδειξη πυκνότητας και θερμοκρασίας. Το αφήνουμε σε ηρεμία για 2 ώρες και έπειτα παίρνουμε την δεύτερη ένδειξη.

Για τον υπολογισμό της κοκκομετρικής σύστασης χρησιμοποιήθηκαν οι εξής τύποι:  
Διόρθωση της  $\theta$  °C σε 40sec

$$\Delta_{\alpha\rho\chi.} = (\theta_{\alpha\rho\chi.} - 20 \text{ } ^\circ\text{C}) * 0,30$$

Στα 40sec:

$$\text{Διορθωμένη Ένδειξη Υδρομέτρου}_{\alpha\rho\chi.} = \text{Πραγματική Ένδειξη (αρχική)} + \Delta_{\alpha\rho\chi.}$$

Υπολογισμός Ιλύος + Αργίλλου

$$\text{Διορθωμένη Ένδειξη Υδρομέτρου}_{\alpha\rho\chi.} * 2 = (\text{Ιλύς} + \text{Άργιλλος}) \%$$

Άμμος

$$100 - (\text{Ιλύς} + \text{Άργιλλος}) = \text{Άμμος} \%$$

Άργιλλος

Επαναλαμβάνω την διόρθωση της  $\theta$  °C σε 40sec αλλά με τις τελικές τιμές.  $\Delta_{\tau\epsilon\lambda.} = (\theta_{\tau\epsilon\lambda.} - 20^\circ\text{C}) * 0,30$

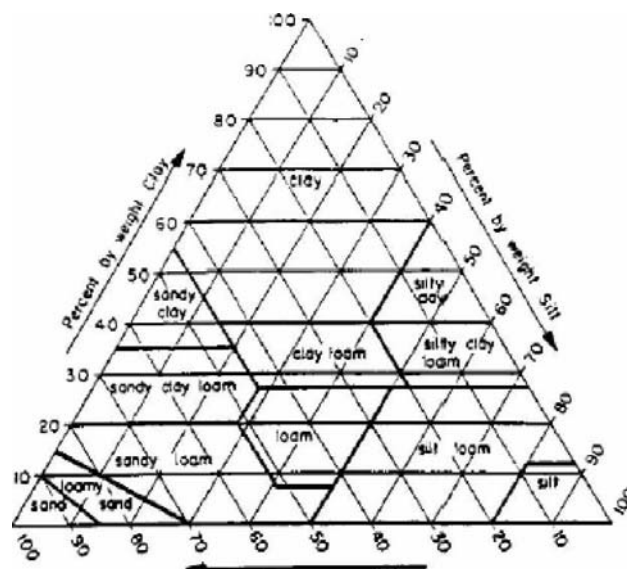
$$\text{Διορθωμένη Ένδειξη Υδρομέτρου}_{\tau\epsilon\lambda.} = \text{Πραγματική Ένδειξη (τελική)} + \Delta_{\tau\epsilon\lambda.}$$

$$\text{Διορθωμένη Ένδειξη Υδρομέτρου}_{\tau\epsilon\lambda.} * 2 = \text{Άργιλλος} \%$$

Ιλύς

$$\text{Συνεπώς Ιλύς} \% = 100 - \text{Άργιλλος} - \text{Άμμος}$$

Έπειτα για τον χαρακτηρισμό του κάθε δείγματος χρησιμοποιούμε το παρακάτω τρίγωνο κλάσεων κοκκομετρικής σύστασης του εδάφους.



## 9.2.2 Ηλεκτρική αγωγιμότητα - ενεργότητα ιόντων υδρογόνου (pH)

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα είναι ανάλογη της συγκέντρωσης του διαλύματος σε ιόντα. Ως pH του εδάφους ορίζεται η συγκέντρωση των ιόντων H<sup>+</sup> στο εδαφικό διάλυμα, το οποίο βρίσκεται σε ισορροπία με τη στερεή φάση.

Για την μέτρηση και των δύο αυτών μεγεθών η διαδικασία που ακολουθείται είναι η ίδια. Κατ' αρχήν πρέπει να δημιουργήσουμε ένα εκχύλισμα προσδιορισμού (πάστα) το οποίο επιτυγχάνεται λαμβάνοντας 200 γραμμάρια εδάφους που μεταφέρουμε σε ένα πλαστικό δοχείο και προσθέτοντας σε αυτό απιονισμένο νερό έως τον κορεσμό του. Αντιλαμβανόμαστε ότι έχει φτάσει στο σημείο κορεσμού του όταν παρουσιάζει τα εξής χαρακτηριστικά : α ) Η επιφάνεια της πάστας πρέπει να γυαλίζει χωρίς να εμφανίζει περίσσεια νερού. β ) Χαράζοντας ένα αυλάκι στην πάστα θα πρέπει να κλείνει σιγά-σιγά με μετακίνηση υγρής μάζας εδάφους. γ ) Η πάστα πρέπει να γλιστρά ελεύθερα πάνω στη σπάτουλα όταν αφεθεί να πέσει από αυτήν.

Έπειτα εφ' όσον έχει βεβαιωθεί ο κορεσμός της την αφήνουμε σε ηρεμία το λιγότερο για 4 ώρες. Σημειώνεται ότι εάν παρατηρηθεί ότι η ποσότητα του νερού που προστέθηκε στο έδαφος υπερβαίνει το νερό κορεσμού, προστίθεται ακόμη μια ποσότητα εδάφους προκειμένου να επανακτήσει την προαναφερθείσα μορφή.. Στη συνέχεια με τη βοήθεια του πεχάμετρου και του αγωγιμόμετρου λαμβάνονται οι ζητούμενες μετρήσεις από την εδαφική πάστα.

## 9.2.3 Οργανική ουσία

Η οργανική ουσία του εδάφους είναι πηγή θρεπτικών στοιχείων (Αζώτου, Φωσφόρου, Καλίου κ.λ.π.) για τα φυτά. Επί πλέον πολλές ιδιότητες του εδάφους όπως η απορρόφηση και συγκράτηση του ύδατος, η συγκράτηση υπό ανταλλάξιμη μορφή κατιόντων και η δημιουργία και διατήρηση καλής δομής, εξαρτώνται κατά μεγάλο ποσοστό από την περιεκτικότητα του σε οργανική ουσία. Από τα παραπάνω είναι φανερή η σπουδαιότητα της γνώσεως του ποσοστού της οργανικής ουσίας του εδάφους.

Η διαδικασία που ακολουθείται για τον προσδιορισμό της γίνεται με τη μέθοδο Walkley-Black και είναι η εξής :

Ζυγίζουμε 1 γραμμάριο εδάφους το οποίο και μεταφέρουμε σε μια κωνική φιάλη των 500ml, προσθέτουμε με τη βοήθεια ενός σιφωνίου 10ml K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> και ακολουθεί ήπια ανάδευση με περιστροφική κίνηση. Σημειώνεται ότι πρέπει να προσέχουμε κατά τη μεταφορά της ποσότητας εδάφους να πέσει στον πυθμένα της κωνικής και όχι στα τοιχώματά της. Έπειτα ακολουθεί η προσθήκη 20ml πυκνού H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> και επαναλαμβάνεται ανάδευση για 1 λεπτό σε επαγωγό εστία όπου και αφήνεται το διάλυμα σε ηρεμία για μισή ώρα. Μετά το πέρας αυτού του χρονικού διαστήματος προσθέτουμε 200ml απιονισμένου νερού, 10ml πυκνού H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, 0.2 γραμμάρια NaF και 1-2 ml δείκτης διφαινυλαμίνη. Αφού το δείγμα πάρει ένα σκούρο μπλε χρώμα όπως και πρέπει, τιτλοδοτούμε την περίσσεια του K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> με το διάλυμα δισθενούς θειικού σιδήρου. Προς το τέλος της τιτλοδότησης το χρώμα γίνεται σκούρο κυανοιώδες και από το σημείο αυτό η προσθήκη του διαλύματος

θεικού σιδήρου θα πρέπει να γίνει με σταγόνες και υπό ανάδευση έως ότου το διάλυμα αιφνιδίως αποκτήσει το επιθυμητό πράσινο χρώμα. Παράλληλα δημιουργούμε έναν μάρτυρα ακολουθώντας την ίδια διαδικασία προσθήκης αντιδραστηρίων στις ίδιες ποσότητες χωρίς την προσθήκη ποσότητας εδάφους. Θεωρείται απαραίτητη η παρουσία του μάρτυρα για τον έλεγχο της κανονικότητας του διαλύματος του δισθενούς σιδήρου.

Για το υπολογισμό της οργανικής ουσίας χρησιμοποιήθηκε ο παρακάτω τύπος:

$$\text{Οργανική ουσία σε g\% εδάφους} = 10 \times (1 - v_{\Delta}/v_{\Gamma}) \times (0,3 \times 1,3 \times 1,724 / B)$$

Όπου  $V_{\Gamma}$  = Ο όγκος σε mL του διαλύματος εναμμώνιου θεικού σιδήρου 0,5N που καταναλώθηκαν για την ογκομέτρηση των 10mL 1N  $K_2Cr_2O_7$  στο τυφλό.

$v_{\Delta}$  = Ο όγκος σε mL του διαλύματος εναμμώνιου θεικού σιδήρου 0,5N που  $B = T$  α g του χρησιμοποιηθέντος εδάφους

**0,30** = Συντελεστής μετατροπής του 1 mL  $K_2Cr_2O_7$  1N σε g άνθρακα %. (Ο συντελεστής αυτός προκύπτει από τη σχέση  $12/4000 \times 100 = 0,30$ . Το πηλίκιο αντιπροσωπεύει το βάρος σε g ενός mmol<sub>c</sub> άνθρακα και το 100 χρησιμοποιείται για να γίνει η αναγωγή του αποτελέσματος σαν ποσοστό επί τοις εκατό).

**1,30** = Συντελεστής, που αναφέρεται στο ποσοστό του άνθρακα της οργανικής ουσίας που οξειδώνεται με τη μέθοδο αυτή. Όπως ήδη αναφέρθηκε παραπάνω, μόνο ένα ποσοστό του άνθρακα της οργανικής ουσίας οξειδώνεται με τη μέθοδο αυτή. Το ποσοστό αυτό είναι κατά μέσο όρο ίσο με 77%.

**1,724** = Συντελεστής, που αναφέρεται στη μετατροπή του ποσοστού του άνθρακα σε ποσοστό οργανικής ουσίας. Προκύπτει από την παραδοχή ότι το ποσοστό του άνθρακα στις οργανικές ενώσεις του εδάφους είναι κατά μέσο όρο 58%.

#### **9.2.4 Ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων – ανταλλάξιμα κατιόντα ασβεστίου, μαγνησίου.**

##### **Αρχή μεθόδου**

Η ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων των εδαφικών δειγμάτων προσδιορίζεται στο pH του εδάφους και σε χαμηλή συνολική ιοντική ισχύ (0,01mol/l περίπου). Αρχικά προκαλείται στο έδαφος κορεσμός ως προς την περιεκτικότητά του σε βάριο, προσθέτοντας στο έδαφος τρεις φορές διάλυμα χλωριούχου βαρίου 0,1mol/l. Με αυτόν τον τρόπο, προκαλείται στο έδαφος εξισορρόπηση με διάλυμα χλωριούχου βαρίου 0,1mol/l. Κατόπιν, προστίθεται γνωστή περίσσεια θεικού μαγνησίου 0,02mol/l. Το υπάρχον βάριο, τόσο αυτό του διαλύματος όσο και αυτό που έχει προσροφηθεί από το έδαφος, συμπυκνώνεται σε εξαιρετικά αδιάλυτο θειικό βάριο και οι θέσεις ανταλλαγής ιόντων καταλαμβάνονται αμέσως από το μαγνήσιο. Η περίσσεια μαγνησίου μετράται με φασματοφωτόμετρο ατομικής απορρόφησης με φλόγα (FAAS). Επίσης, η συγκέντρωση νατρίου, καλίου, ασβεστίου και μαγνησίου (καθώς και άλλων στοιχείων) είναι δυνατό να προσδιοριστεί στο εδαφικό εκχύλισμα με χλωριούχο βάριο 0,1mol/l.

Στο διάλυμα προστίθεται οξινισμένο διάλυμα λανθανίου και ακολουθεί μέτρηση του μαγνησίου μέσω FAAS. Το λανθάνιο προστίθεται προκειμένου να αποφευχθεί ο σχηματισμός σταθερών ενώσεων του μαγνησίου με τα φωσφορικά ιόντα, το αργίλιο κ.λπ. στη φλόγα.

### 9.2.5 Διαθέσιμος εδαφικός φώσφορος

#### Αρχή μεθόδου

Έδαφος αεροξηραμένο και κοσκινισμένο (< 2mm) υφίσταται επεξεργασία με διάλυμα όξινου ανθρακικού νατρίου (pH=8,50), προκειμένου να μειωθεί η συγκέντρωση ιόντων ασβεστίου, αργιλίου και σιδήρου μέσω της καθίζησης του ανθρακικού ασβεστίου, του υδροξειδίου του αργιλίου και του σιδήρου και να απελευθερωθούν φωσφορικά ιόντα στο έδαφος.

Το καθαρό διάλυμα αναλύεται για τον προσδιορισμό του φωσφόρου μέσω φασματοφωτομετρικής μεθόδου που περιλαμβάνει τον σχηματισμό συμπλόκου αντιμονίου-φωσφόρου-μολυβδενίου (σε θερμοκρασία περιβάλλοντος), ενώ προστίθεται ασκορβικό οξύ, για να σχηματιστεί σύμπλοκο βαθυγάλανου χρώματος.

### 9.2.6 Ολικές μορφές βαρέων μετάλλων

Για τον προσδιορισμό των ολικών μορφών των βαρέων μετάλλων χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος των Gasparatos *et al.* (2001) για όλα τα μεταλλικά στοιχεία εκτός του Καδμίου. Σε 1 gr εδάφους προστέθηκαν 15ml βασιλικού ύδωρ (aqua regia) το οποίο είναι μείγμα πυκνού υδροχλωρίου με πυκνό νιτρικό οξύ και πραγματοποιήθηκε υγρή καύση στους 120<sup>o</sup> C για 16 ώρες. Ο ποσοτικός προσδιορισμός των ολικών τιμών των βαρέων μετάλλων έγινε με φασματοφωτόμετρο ατομικής απορρόφησης και φούρνο γραφίτη εκεί που κρίθηκε απαραίτητο. Σε ορισμένα δείγματα χρειάστηκε να γίνει αραίωση. Τα αποτελέσματα εκφράστηκαν σε mg/kg ξηρού εδάφους.

Για τον προσδιορισμό του Καδμίου ακολουθήθηκε μέθοδος σύμφωνα με την οποία: Το αεροξηραμένο δείγμα εκχυλίζεται με HNO<sub>3</sub> σε μονάδα μικροκυμάτων στους 175 ±5<sup>o</sup>C . Το εκχύλισμα στη συνέχεια διηθείται και αραιώνεται μέχρις όγκου με νερό. Ο προσδιορισμός του καδμίου (Cd) στο εκχύλισμα πραγματοποιείται με φασματο-φωτόμετρο ατομικής απορρόφησης και με ηλεκτροθερμική ατομοποίηση (φούρνος γραφίτη). Συγκεκριμένη ποσότητα δείγματος εισάγεται στο φούρνο γραφίτη με τη βοήθεια αυτόματου δειγματολήπτη και ακολουθούν τρία στάδια θερμικής κατεργασίας του δείγματος. Στο πρώτο στάδιο πραγματοποιείται η ξήρανση του δείγματος με απομάκρυνση του διαλύτη. Στο δεύτερο στάδιο και σε υψηλότερη θερμοκρασία πραγματοποιείται η πυρόλυση του δείγματος για την απομάκρυνση του υποστρώματος (matrix). Στο τρίτο στάδιο, σε ακόμα υψηλότερη θερμοκρασία, πραγματοποιείται η ατομοποίηση του καδμίου. Η απορρόφηση της ακτινοβολίας της λάμπας συγκεκριμένου μήκους κύματος που περνά μέσα από το φούρνο γραφίτη είναι ανάλογη της ποσότητας των ατόμων του μετάλλου. Η τελική κορυφή της απορρόφησης σχηματίζεται από επαναλαμβανόμενες

μετρήσεις στη μονάδα του χρόνου που ολοκληρώνονται στο ολικό χρόνο της μέτρησης. Το εμβαδόν της σχηματιζόμενης κορυφής (peak area) εκφράζει τον ποσοτικό προσδιορισμό του μετάλλου σύμφωνα με την πρότυπη καμπύλη αναφοράς (μέθοδος εξωτερικού προτύπου).

### 9.2.7 Βιοδιαθέσιμες μορφές βαρέων μετάλλων

Για τον προσδιορισμό των βιοδιαθέσιμων μορφών βαρέων μετάλλων χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος των Lindsay and Norvell ( 1978 ).

Σε 10 g εδαφικού δείγματος προστέθηκαν 20 ml 0,005 M DTPA ( pH = 7,3 ), (diethylene triaminopentaacetic acid) και ακολούθησε μηχανική ανατάραξη για δυο ώρες, φυγοκέντρηση στις 3000 RPM για 10 min, καθώς και διήθηση του εκχυλίσματος.

Ο ποσοτικός προσδιορισμός των βιοδιαθέσιμων μορφών των βαρέων μετάλλων έγινε με το φασματοφωτόμετρο της ατομικής απορρόφησης. Τα αποτελέσματα εκφράστηκαν σε mg/kg ξηρού εδάφους.

### 9.2.8 Ελεύθερο ανθρακικό ασβέστιο

Το  $\text{CaCO}_3$  απαντάται και στα 3 κλάσματα μηχανικής σύστασης του εδάφους με μεγάλες διακυμάνσεις του ποσοστού του σε καθένα απ' αυτά. Η περιεκτικότητα των εδαφών σε αυτό παρουσιάζει διακυμάνσεις και οι 2 διαδεδομένες μορφές του είναι ο ασβεστίτης και ο δολομίτης.

Πριν προχωρήσουμε στον προσδιορισμό του ελεύθερου ανθρακικού ασβεστίου, (μέθοδος Bernard), πρέπει να λάβουμε μια σχετική γνώση της περιεκτικότητας του κάθε εδάφους σε αυτό, ώστε η ποσότητα εδάφους που θα χρησιμοποιηθεί να είναι ανάλογη της περιεκτικότητας και να αποφευχθεί ενδεχόμενο λάθους, δηλαδή ο όγκος του εκλυόμενου  $\text{CO}_2$  να είναι υπερβολικά μικρός ή υπερβολικά μεγάλος. Έτσι σε φύλλο αλουμινοχαρτου βάζουμε μια μικρή ποσότητα εδάφους, προσθέτουμε με σταγονόμετρο λίγες σταγόνες διαλύματος HCl και αν το άφρισμα που προκαλείται είναι ισχυρό τότε η ποσότητα του εδάφους που λαμβάνουμε για τον προσδιορισμό είναι μικρότερη απ' ότι όταν ο αφρισμός είναι ασθενής. Αν λοιπόν το άφρισμα είναι ήπιο ή ισχυρό, τότε χρησιμοποιούνται 1-2 γραμμάρια εδάφους, ενώ όταν δεν έχουμε καθόλου τότε χρησιμοποιούνται έως και 10 γραμμάρια. Στη συνέχεια λαμβάνοντας υπ' όψιν αυτό, ζυγίζουμε την ποσότητα εδάφους που πρέπει, την οποία και μεταφέρουμε σε μια κωνική φιάλη των 500ml και φροντίζουμε να πέσει στην μια άκρη του πυθμένα. Έπειτα στο δοκιμαστικό σωλήνα της συσκευής του ασβεστομέτρου τύπου Bernard, γεμίζονται τα 2/3 του όγκου του με διάλυμα HCl και με τη βοήθεια μιας λαβίδας τοποθετείται σε κλίση ως προς την επιφάνεια του πυθμένα έτσι ώστε να μην αδειάσει το περιεχόμενο του πριν ταπωθεί η κωνική φιάλη και δοθεί σε σ' αυτήν κλίση. Ρυθμίζουμε το υγρό που περιέχεται στο ασβεστόμετρο ώστε να είναι σε ισορροπία και στους 3 κυλίνδρους που έχει και στη συνέχεια ταπώνουμε την κωνική φιάλη, της δίνουμε μια τέτοια κλίση ώστε το υδροχλώριο να πέσει στην ποσότητα εδάφους και την

ανακινούμε για να βραχεί όλη η ποσότητα εδάφους. Προσέχουμε να μην εκπωματισθεί η φιάλη κατά την ανακίνηση και παρατηρούμε ότι το παραγόμενο CO<sub>2</sub> πιέζει την στήλη του υγρού στον βαθμονομημένο κύλινδρο με αποτέλεσμα να κατέρχεται η στάθμη του. Με το πέρας της έκλυσης η στάθμη του υγρού παύει να κατέρχεται και έτσι λαμβάνεται η μέτρηση απ' τον βαθμονομημένο κύλινδρο. Εάν θέλουμε μεγαλύτερη ακρίβεια για την μέτρηση αυτή μπορούμε να επαναλάβουμε την διαδικασία προσδιορισμού 3 φορές και να ληφθεί υπ' όψη ο μέσος όρος των μετρήσεων αυτών.

Το ελεύθερο CaCO<sub>3</sub> υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\text{CaCO}_3 \text{ σε g\%} = \frac{V_{\text{CO}_2}}{B} \times K$$
 όπου:  $V_{\text{CO}_2}$  = Ο όγκος του CO<sub>2</sub> σε mL που μετρήθηκε με τη βοήθεια του ασβεστομέτρου B = Τα g εδάφους που χρησιμοποιήθηκαν

K = Συντελεστής μετατροπής του ενός mL CO<sub>2</sub> σε g CaCO<sub>3</sub> ανά 100g εδάφους

Η τιμή του K μεταβάλλεται ανάλογα με τη θερμοκρασία και την πίεση, έτσι: K = 0,44 για θερμοκρασία 0 °C και πίεση 760mmHg K = 0,42 για θερμοκρασία 15 °C και πίεση 760mmHg K = 0,41 για θερμοκρασία 20 °C και πίεση 760mmHg K = 0,40 για θερμοκρασία 30 °C και πίεση 760mmHg.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΓΙΑ ΤΑ ΕΔΑΦΗ

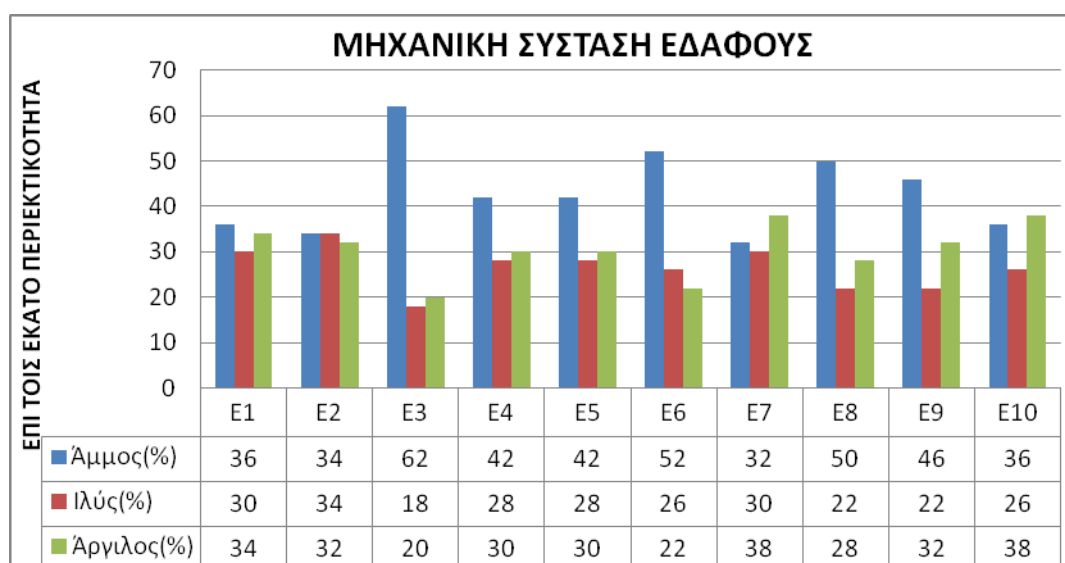
### 10.1 Κοκκομετρική σύσταση

Στον πίνακα 10.1 παρουσιάζονται οι επί τοις εκατό περιεκτικότητες των 3 κλασμάτων μηχανικής σύστασης στα 10 σημεία δειγματοληψίας:

**Πίνακας 10.1** . Μηχανική ανάλυση των εδαφών από τα 10 σημεία δειγματοληψίας

Σημεία	Άμμος %	Ιλύς %	Άργιλος %	Ονομασία
E1	36	30	34	ΑΡΓΥΛΟΠΗΛΩΔΕΣ
E2	34	34	32	ΑΡΓΥΛΟΠΗΛΩΔΕΣ
E3	62	18	20	ΑΜΜΟΑΡΓΥΛΟΠΗΛΩΔΕΣ
E4	42	28	30	ΑΡΓΥΛΟΠΗΛΩΔΕΣ
E5	42	28	30	ΑΡΓΥΛΟΠΗΛΩΔΕΣ
E6	52	26	22	ΑΜΜΟΑΡΓΥΛΟΠΗΛΩΔΕΣ
E7	32	30	38	ΑΡΓΥΛΟΠΗΛΩΔΕΣ
E8	50	22	28	ΑΜΜΟΑΡΓΥΛΟΠΗΛΩΔΕΣ
E9	46	22	32	ΑΜΜΟΑΡΓΥΛΟΠΗΛΩΔΕΣ
E10	36	26	38	ΑΡΓΥΛΟΠΗΛΩΔΕΣ
<b>Μέσος Όρος</b>	<b>42,87</b>	<b>28,39</b>	<b>28,40</b>	

Όπως παρατηρούμε από το διάγραμμα εμφανές είναι ότι το ποσοστό της άμμου υπερτερεί των άλλων 2 κλασμάτων στα περισσότερα σημεία δειγματοληψίας. Ως εκ τούτου προκύπτει ότι τα εδάφη είναι ελαφριά στην πλειοψηφία τους. Απ' την άλλη αρκετά είναι και τα εδάφη τα οποία χαρακτηρίζονται βαριά και αυτό γιατί η άργιλος συμμετέχει σε μεγάλο ποσοστό στη σύστασή τους.



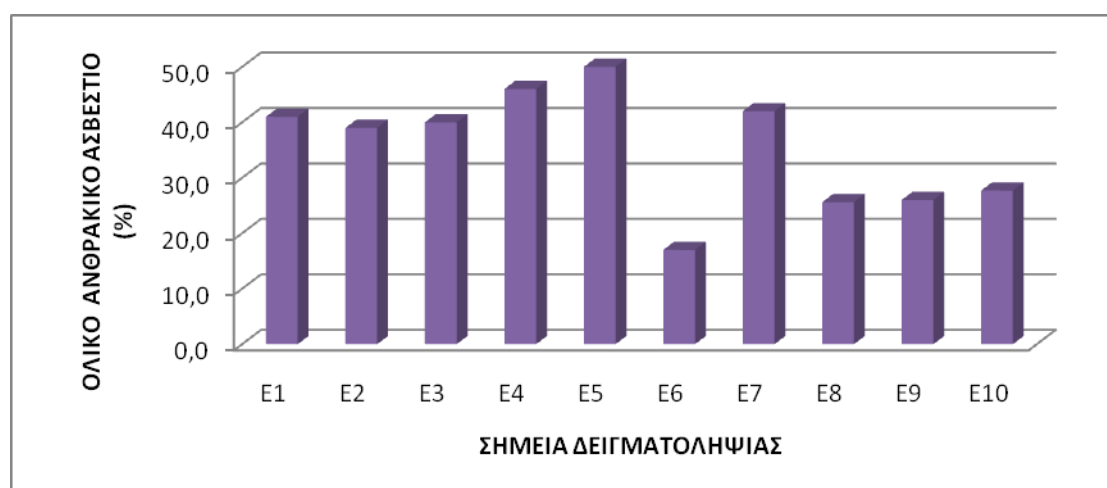
**Εικόνα 10.1** Διαγραμματική παρουσίαση της μηχανικής ανάλυσης του εδάφους των 10 σημείων δειγματοληψίας.

## 10.2 Ανθρακικό ασβέστιο

Στον πίνακα 10.2 απεικονίζονται οι επί τοις εκατό περιεκτικότητα του ανθρακικού ασβεστίου στα 10 σημεία δειγματοληψίας:

**Πίνακας 10.2.** Ποσοστά του ελεύθερου ανθρακικού ασβεστίου στα 10 σημεία.

Σημεία	Ολικό ασβέστιο %
E1	41,0
E2	39,0
E3	40,0
E4	46,0
E5	50,0
E6	17,0
E7	42,0
E8	25,6
E9	26,0
E10	27,7
<b>Μέσος Όρος</b>	<b>35,43</b>



**Εικόνα 10.2** Διαγραμματική παρουσίαση του ελεύθερου ανθρακικού ασβεστίου στα 10 σημεία δειγματοληψίας.

Παρατηρούμε ότι τα ποσοστά του ελεύθερου ανθρακικού ασβεστίου παρουσιάζουν μια σχετική ομοιογένεια όσο αναφορά την κύμανση του ποσοστού του ανθρακικού ασβεστίου στις υψηλές τιμές και τις χαμηλές τιμές. Το ελάχιστο ποσοστό διακρίνεται στο σημείο E6 με τιμή 17,0% ενώ το μέγιστο στο σημείο E8 με τιμή 50%. Η μέση τιμή των σημείων αυτών είναι 35,43%. Τα περισσότερα από αυτά τα εδάφη έχουν πολύ υψηλή ποσότητα ανθρακικού ασβεστίου. Όλα τα εδάφη έχουν ποσότητες ελεύθερου ανθρακικού ασβεστίου άνω του 17% με αποτέλεσμα να χαρακτηρίζονται υψηλής ποσότητας (Κουκουλάκης, 1992). Σύμφωνα όμως με τον Τσαπικούνη (2004) η ποσότητα του ανθρακικού ασβεστίου που είναι μικρότερη του 0,5 θεωρείται ανεπαρκής, η ποσότητα μεταξύ των τιμών 0,5-2,0 χαρακτηρίζεται μέτρια ενώ από 2,0 έως 20 καλή.



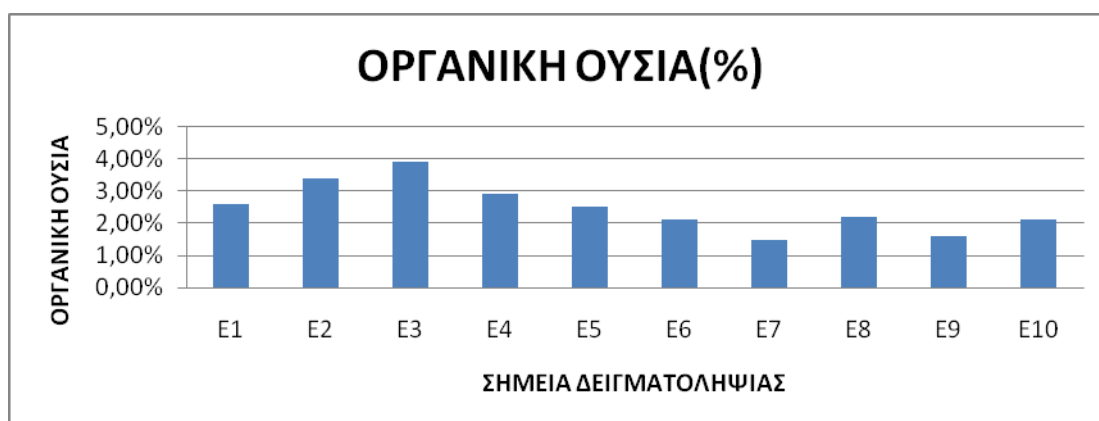
### 10.3 Οργανική ουσία

Στον πίνακα 10.3 παρουσιάζονται οι επί τοις εκατό περιεκτικότητες σε οργανική ουσία των 10 σημείων δειγματοληψίας:

Παρατηρούμε ότι οι τιμές της οργανικής ουσίας δεν παρουσιάζουν μεγάλες διακυμάνσεις. Η μέγιστη τιμή διακρίνεται στο σημείο E3 με τιμή 3,9% ενώ η ελάχιστη στο E9 με τιμή 1,6%. Η μέση τιμή των σημείων είναι 2,48. Η περιεκτικότητα των περισσότερων ελληνικών εδαφών σε οργανική ουσία κυμαίνεται από 1-2,5 % και με αυτό το ποσοστό μπορούμε να πάρουμε θαυμάσιες σοδιές αν και οι υπόλοιπες καλλιεργητικές φροντίδες γίνουν σωστά (Σινάνης, 2003). Επίσης αναφέρεται ότι για τιμές 2-3% είναι επαρκής η ποσότητα, για <1% είναι χαμηλή, για 1-2% μέση και για >2% υψηλή (Τσαπικούνης, 2004). Σύμφωνα με αυτές τις αναφορές η πλειονότητα των 10 σημείων έχουν υψηλές περιεκτικότητες σε οργανική ουσία.

**Πίνακας 10.3.** Επί τοις εκατό περιεκτικότητα των εδαφών στα 10 σημεία δειγματοληψίας σε οργανική ουσία.

Σημεία	Οργανική ουσία %
E1	2,6
E2	3,4
E3	3,9
E4	2,9
E5	2,5
E6	2,1
E7	1,5
E8	2,2
E9	1,6
E10	2,1
<b>ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ</b>	<b>2,48</b>



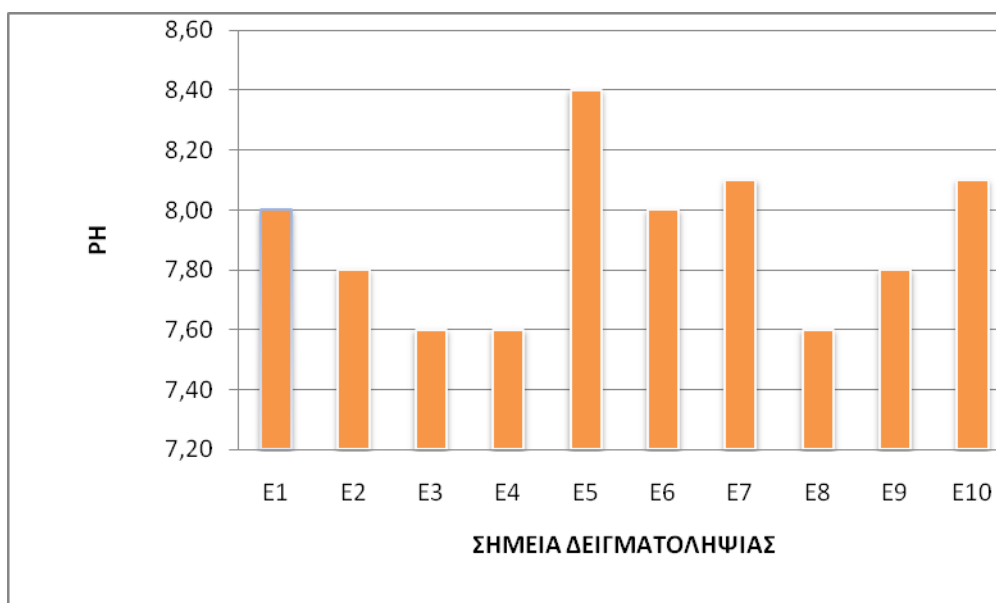
Εικόνα 10.3 Διαγραμματική παρουσίαση της επί τοις εκατό περιεκτικότητας των σημείων σε οργανική ουσία.

## 10.4 pH

Στον πίνακα 10.4 παρουσιάζονται οι τιμές του pH στα 10 σημεία δειγματοληψίας:

**Πίνακας 10.4** Τιμές pH των εδαφών στα 10 σημεία δειγματοληψίας.

Σημεία	pH
E1	8,00
E2	7,80
E3	7,60
E4	7,60
E5	8,40
E6	8,00
E7	8,10
E8	7,60
E9	7,80
E10	8,10
<b>Μέσος Όρος</b>	<b>7,90</b>



**Εικόνα 10.3** Διαγραμματική παρουσίαση των τιμών pH στα 10 σημεία δειγματοληψίας.

Βλέπουμε ότι υπάρχουν μεγάλες διακυμάνσεις των τιμών είναι ενώ οι πλειοψηφία των εδαφών ανήκει στα αλκαλικά εδάφη. Η μέγιστη τιμή είναι 8,4 και παρουσιάζεται στο σημείο E5, ενώ η ελάχιστη τιμή είναι 7,6 και παρουσιάζεται στα σημεία E3, E4 και E8. Η μέση τιμή των σημείων είναι 7,90. Συγκεκριμένα για τιμές 5,3-6,5 το έδαφος χαρακτηρίζεται μέσο όξινο, για 6,6-6,9 ελαφρώς όξινο, για 7,0 ουδέτερο, για 7,1-7,5 ελαφρώς αλκαλικό και

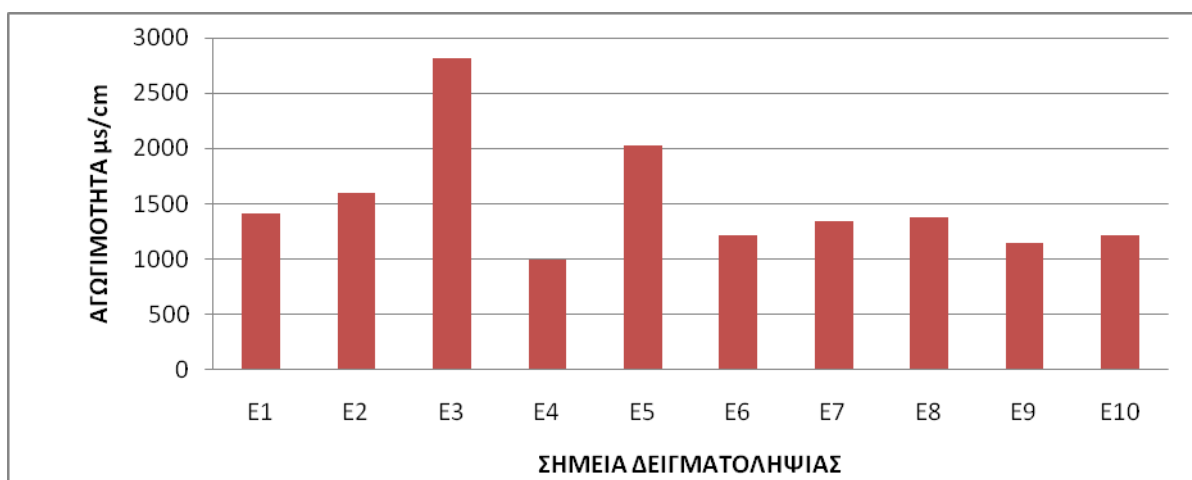
για 7,6-8,2 μέσο αλκαλικό. Σύμφωνα με αυτούς τους χαρακτηρισμούς όλα τα εδάφη των σημείων, ανήκουν στα μέσα αλκαλικά.

### 10.5 Ηλεκτρική αγωγιμότητα

Στον πίνακα 10.5 παρουσιάζονται οι τιμές της αγωγιμότητας στα 10 σημεία δειγματοληψίας. Οι τιμές της αγωγιμότητας παρουσιάζουν σχετικά μεγάλες διακυμάνσεις με ελάχιστη τιμή 990  $\mu\text{S}/\text{cm}$  στο σημείο E4 και μέγιστη τιμή 2820  $\mu\text{S}/\text{cm}$  στο σημείο E3. Η μέση τιμή των 10 σημείων είναι 1516  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Η τιμή αγωγιμότητας που θεωρείται οριακή, κάτω απ' την οποία τα εδάφη δεν παρουσιάζουν πρόβλημα αλατότητας, είναι 4 mmho/cm ή 4000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Εμφανές λοιπόν είναι ότι τα εδάφη μας είναι κάτω του ορίου, συνεπώς δεν εμφανίζουν προβλήματα που οφείλονται στις μεγάλες συγκεντρώσεις αλάτων. Επίσης πρέπει να σημειωθεί ότι τα εδάφη μας βρίσκονται στην συντριπτική πλειονότητα τους και κάτω απ' το όριο που υπάρχει για τις που υπάρχει για τις δενδρώδεις καλλιέργειες που είναι 2 mmho/cm εκτός της μέγιστης τιμή μας που είναι ίση με 2820  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (σημείο E3).

**Πίνακας 10.5** Τιμές αγωγιμότητας των εδαφών στα 10 σημεία δειγματοληψίας.

Σημεία	Αγωγιμότητα ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )
E1	1410
E2	1600
E3	2820
E4	990
E5	2030
E6	1220
E7	1340
E8	1380
E9	1150
E10	1220
<b>Μέσος Όρος</b>	<b>1516</b>



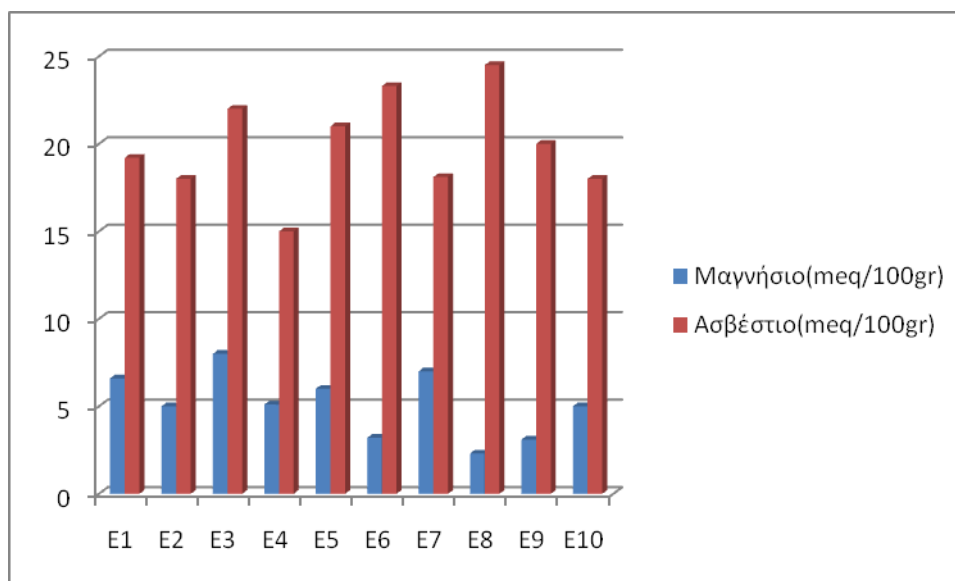
**Εικόνα 10.4** Διαγραμματική παρουσίαση των τιμών αγωγιμότητας στα 10 σημεία δειγματοληψίας.

### 10.6 Ανταλλάξιμα κατιόντα

Στον πίνακα 10.6 παρουσιάζονται οι τιμές των ανταλλάξιμων κατιόντων (ασβεστίου και μαγνησίου) στα 10 σημεία δειγματοληψίας:

**Πίνακας 10.6** Τιμές ανταλλάξιμων κατιόντων στα 26 σημεία δειγματοληψίας.

Σημεία	Μαγνήσιο (meq/100gr εδάφους)	Ασβέστιο (meq/100gr εδάφους)
E1	6,6	19,2
E2	5,0	18,0
E3	8,0	22,0
E4	5,1	15,0
E5	6,0	21,0
E6	3,2	23,3
E7	7,0	18,1
E8	2,3	24,5
E9	3,1	20,0
E10	5	18,0
<b>Μέσος Όρος</b>	<b>5,13</b>	<b>19,91</b>



**Εικόνα 10.5** Διαγραμματική παρουσίαση των ανταλλάξιμων κατιόντων (ασβεστίου και μαγνησίου) στα 10 σημεία δειγματοληψίας.

Το ανταλλάξιμο μαγνήσιο παρουσιάζει τη μέγιστη τιμή του 8,00 meq/100g στο σημείο E3 και την ελάχιστη τιμή 2,3 meq/100g στο σημείο E8. Η μέση τιμή των σημείων είναι 5,13 meq/100g. Το ανταλλάξιμο ασβέστιο παρουσιάζει τη μέγιστη τιμή του 24,5 meq/100g στο σημείο E8 και την ελάχιστη τιμή 15,0 meq/100g στο σημείο E4. Η μέση τιμή των σημείων είναι 19,9 meq/100g.

Από τις τιμές του ανταλλάξιμου μαγνησίου συμπεραίνουμε ότι τα μελετηθέντα εδάφη έχουν επάρκεια σε μαγνήσιο αφού οι τιμές είναι μεγαλύτερες του 3 meq/100gr. Απ' την άλλη το ανταλλάξιμο ασβέστιο έχει τιμές μεγαλύτερες των 10 meq/100gr πλειοψηφικά, γεγονός που υποδεικνύει ότι τα μελετηθέντα εδάφη έχουν μεγάλη επάρκεια σε ασβέστιο (Τσαπικούνης, 2004).

### 10.7 Διαθέσιμος εδαφικός φώσφορος

Στον πίνακα 10.7 παρουσιάζονται οι τιμές του αφομοιώσιμου φωσφόρου στα 10 σημεία δειγματοληψίας.

Η ελάχιστη τιμή εντοπίζεται στο σημείο E4 με τιμή 5,2 ppm και η μέγιστη στο σημείο E1 με τιμή 83,0 ppm. Η μέση τιμή των σημείων είναι 51,8 ppm. Οι τιμές γενικά παρουσιάζουν μεγάλες διακυμάνσεις, ενώ παρατηρούμε ότι σε όλα τα σημεία δειγματοληψίας εκτός του E4 οι τιμές κυμαίνονται σε τιμές άνω των 25 ppm, που σημαίνει ότι η ποσότητα φωσφόρου είναι υψηλή.

**Πίνακας 10.7** Τιμές του αφομοιώσιμου φωσφόρου στα 10 σημεία δειγματοληψίας.

Σημεία	Αφομοιώσιμος φώσφορος (ppm)
E1	83,0
E2	81,0
E3	39,0
E4	5,2
E5	52,0
E6	81,0
E7	71,0
E8	26,0
E9	32,0
E10	48,0
<b>Μέσος Όρος</b>	<b>51,8</b>

**Εικόνα 10.6** Διαγραμματική παρουσίαση του αφομοιώσιμου φωσφόρου στα 10 σημεία



δειγματοληψίας.

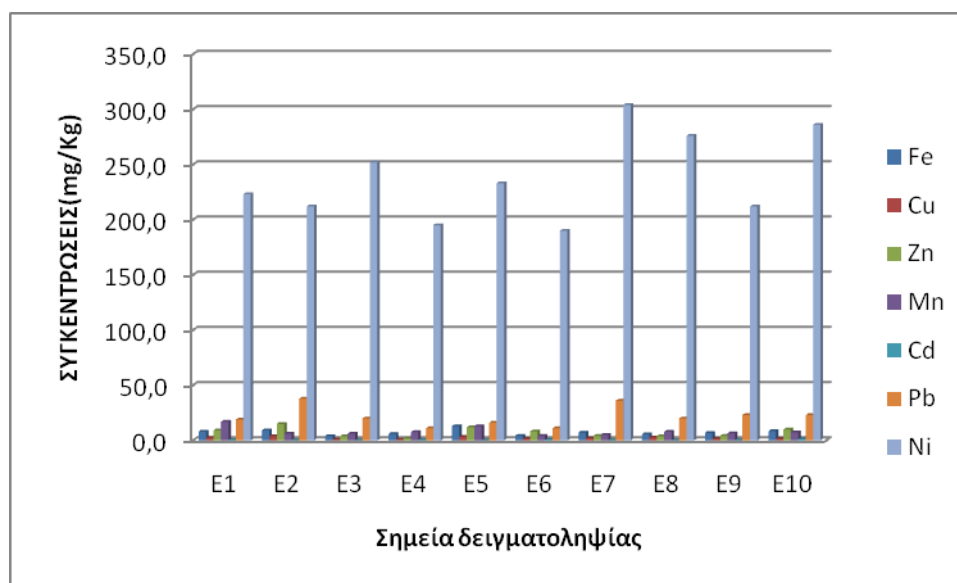
## 10.8 Βαρέα μέταλλα

Στον πίνακα 10.8 παρουσιάζονται οι τιμές των ολικών μορφών βαρέων μετάλλων στα 10 σημεία δειγματοληψίας:

**Πίνακας 10.8** Τιμές ολικών μορφών βαρέων μετάλλων για 7 μέταλλα στα 10 σημεία δειγματοληψίας.

ΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΔΑΦΩΝ	ΟΛΙΚΕΣ ΜΟΡΦΕΣ ΒΑΡΕΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ(ppm)						
	Fe	Cu	Zn	Mn	Cd	Pb	Ni
E1	8,0	2,4	9,2	17,0	0,3	19,0	223,0
E2	9,1	3,9	15,0	6,2	0,2	38,0	212,0
E3	4,0	0,8	3,8	6,2	0,2	20,0	252,0
E4	5,8	0,8	1,7	7,5	0,3	11,0	195,0
E5	13,0	3,3	12,0	13,0	0,1	16,0	233,0
E6	4,2	1,4	8,2	4,2	0,6	11,0	190,0
E7	7,2	2,0	4,1	5,1	0,2	36,0	304,0
E8	5,6	2,8	3,8	7,8	0,2	20,0	276,0
E9	6,9	1,6	4,2	6,5	0,2	23,0	212,0
E10	8,4	1,6	9,9	7,4	1,3	23,0	286,0
<b>ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ</b>	<b>7,2</b>	<b>2,1</b>	<b>7,2</b>	<b>8,1</b>	<b>0,4</b>	<b>21,7</b>	<b>238,3</b>

Σημείωση: 1ppm = 1mg/kg



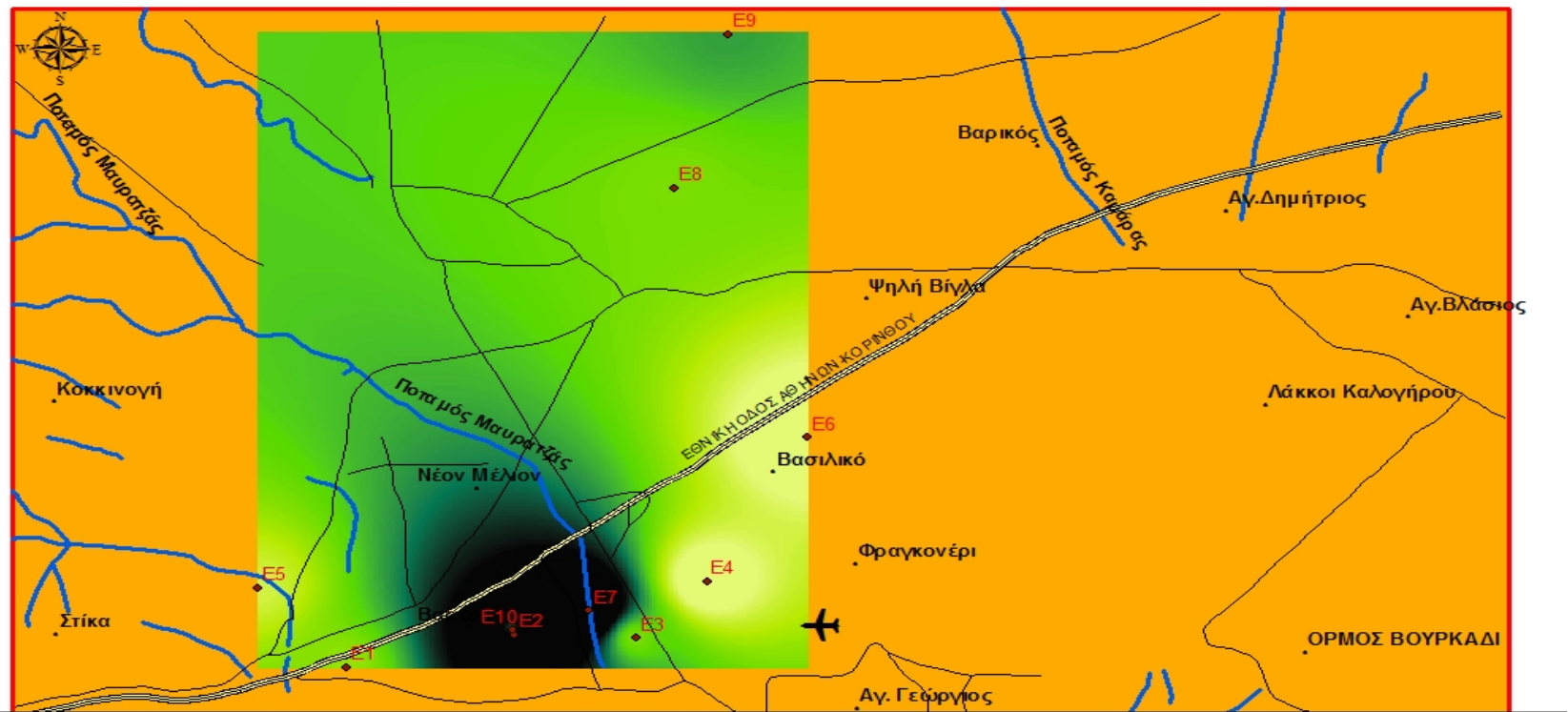
**Εικόνα 10.7** Διαγραμματική παρουσίαση της συγκέντρωσης της ολικής μορφής των βαρέων μετάλλων στα 10 σημεία δειγματοληψίας.

Το ολικό κάδμιο κυμαίνεται από 0,1 ppm στο σημείο E5 έως 1,3 ppm στο σημείο E10, με μέση τιμή 0,4 ppm. Παρόμοια αποτελέσματα βρέθηκαν από τους Page και Bingham (1981) οι οποίοι υποστηρίζουν ότι τα εδάφη περιέχουν κάδμιο 0,1-1 mg/kg.

Ο ολικός χαλκός κυμαίνεται από 0,8 ppm στο σημείο E3 έως 3,9 ppm στο σημείο E2, με μέση τιμή 2,1 ppm. Οι τιμές αυτές της συγκέντρωσης του χαλκού θεωρούνται πολύ μικρές αφού σύμφωνα με τους Aubert και Pinda (1977) ότι η μέση τιμή του χαλκού στο έδαφος κυμαίνεται από 20-30 mg/kg.

Ο ολικός ψευδάργυρος κυμαίνεται από 1,7 ppm στο σημείο E4 έως 15 ppm στο σημείο E2, με μέση τιμή 7,2 ppm. Σύμφωνα με ομάδες ερευνητών η μέση συγκέντρωση του ψευδαργύρου στο έδαφος κυμαίνεται από 10-300 mg/kg.

Ο ολικός μόλυβδος κυμαίνεται από 11,0 ppm στα σημεία E4 και E6 έως 38,0 ppm στο σημείο E2, με μέση τιμή 21,7 ppm. Οι τιμές αυτές είναι οριακές για την ρύπανση των εδαφών από το μόλυβδο σύμφωνα με τον Μήτσιο (2004) όπου αναφέρει, ότι σε μη ρυπασμένα εδάφη ο μόλυβδος βρίσκεται σε συγκεντρώσεις μικρότερες του 20mg/kg. Ωστόσο παρατηρώντας τα σημεία δειγματοληψίας και τη χωρική κατανομή της συγκέντρωσης του μολύβδου (Εικόνα 10.8) αντιλαμβανόμαστε ότι πιθανή αιτία για τις αυξημένες συγκεντρώσεις σε κάποια σημεία (E2, E7, E10) είναι το γεγονός ότι τοπογραφικά βρίσκονται πλησίον της Εθνικής οδού Αθηνών-Κορίνθου και συγκεκριμένα στον κόμβο εισόδου προς την πόλη των Μεγάρων και εξόδου προς την Εθνική οδό . Η Εθνική οδός είναι δρόμος συχνής διέλευσης αυτοκινήτων και σε κοντινή απόσταση όπως έχει διαπιστωθεί από πολλούς ερευνητές. η συγκέντρωση του Pb που ξεπερνά τα τοπικά επιθυμητά επίπεδα οφείλεται, παγκοσμίως, στη χρήση βενζίνης που περιέχει Pb (Alloway, 1995) .



**ΥΠΟΜΝΗΜΑ**

**ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ**

**ΕΙΔΗ ΔΡΟΜΩΝ**

- ΤΟΠΙΚΟ ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ ΜΕΓΑΡΩΝ
- === ΕΘΝΙΚΗ ΟΔΟΣ ΑΘΗΝΩΝ ΚΟΡΙΝΘΟΥ
- Ποτάμι/ρέμα

**Χωρική κατανομή Pb(ppm)**

**Value**

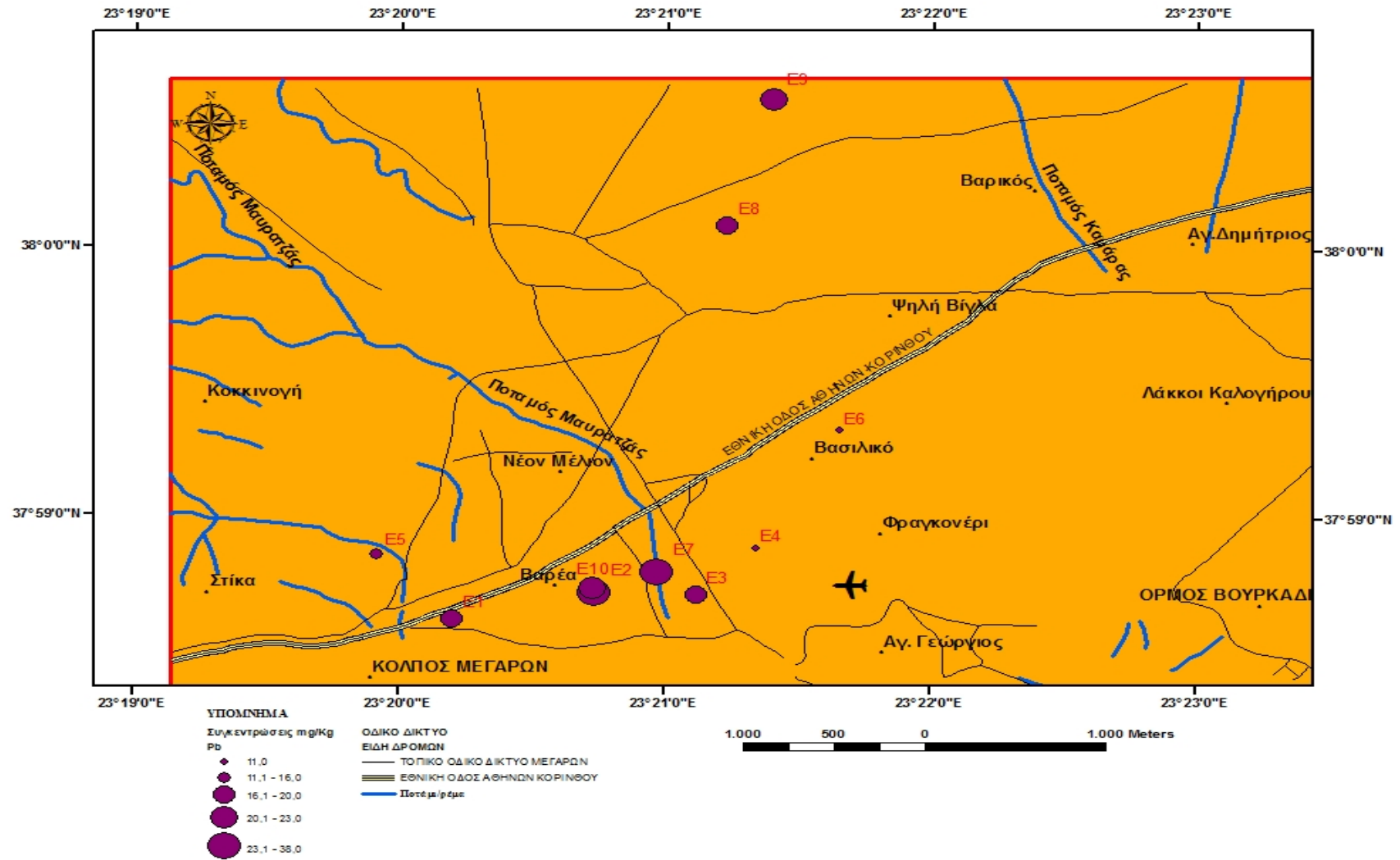
High : 37.8

Low : 11.0

- ♦ E1...E10 Σημεία δειγματοληψίας εδαφών

**Εικόνα 10.7** Χωρική κατανομή της συγκέντρωσης του Μολύβδου στην περιοχή μελέτης όπου αποτυπώνονται και τα σημεία δειγματοληψίας των εδαφών.





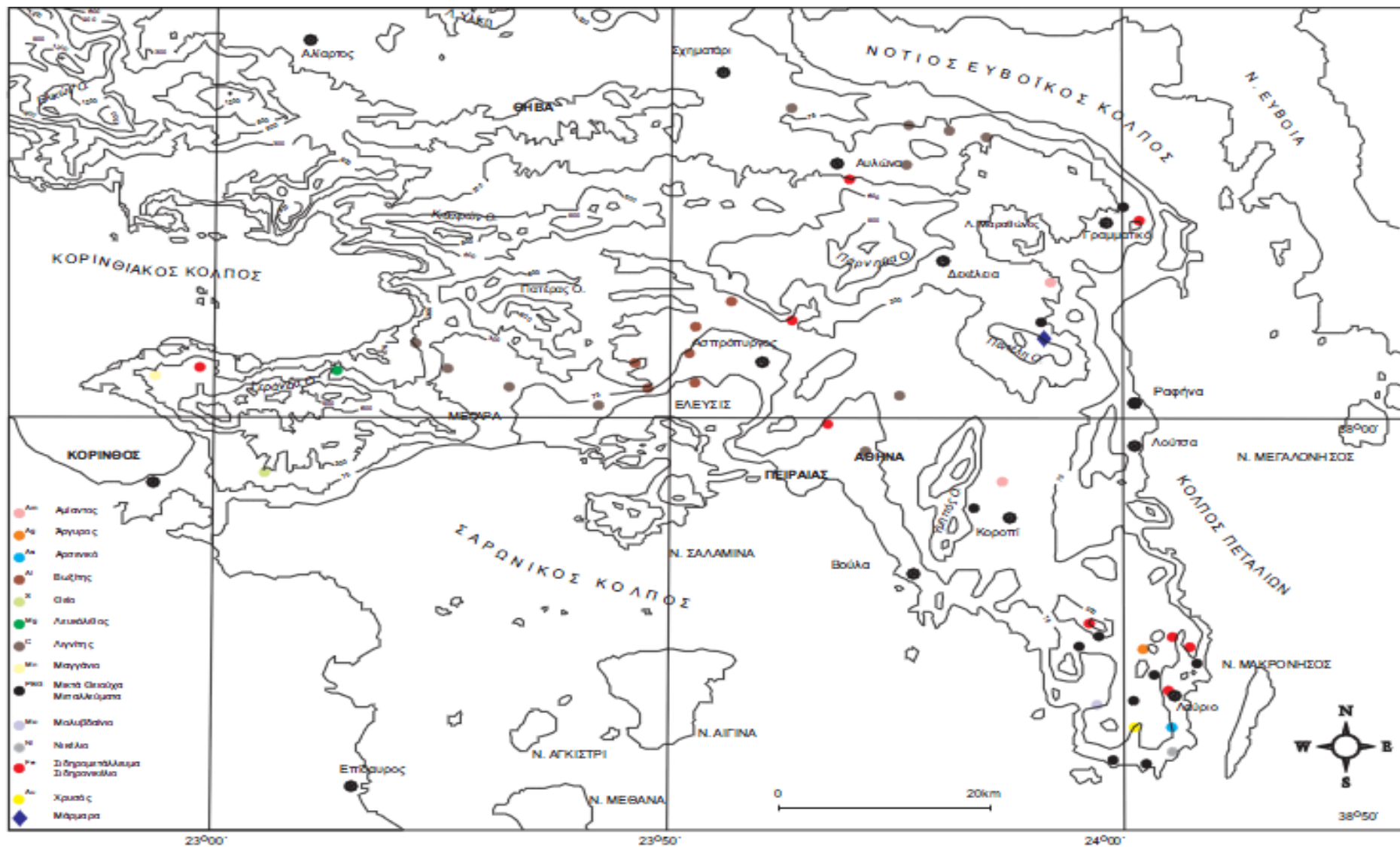
Εικόνα 10.8 Σημεία δειγματοληψίας εδαφών όπου αποτυπώνεται συγκέντρωσή τους σε μόλυβδο

Σύμφωνα με τον Alloway (1990), οι τιμές των ολικών βαρέων μετάλλων σε μη ρυπασμένα εδάφη έχουν ως εξής:

<b>Cu</b>	20-30 mg/kg
<b>Zn</b>	50 mg/kg
<b>Pb</b>	10-30 mg/kg
<b>Cd</b>	0-1 mg/kg

Σύμφωνα με τις παραπάνω αναφορές συμπεραίνουμε ότι τα μελετηθέντα εδάφη μας μπορούν να θεωρηθούν μη ρυπασμένα εφ' όσον οι συγκεντρώσεις των ολικών μορφών των βαρέων μετάλλων είναι παρεμφερείς με τις προσδιδόμενες τιμές, με εξαίρεση το νικέλιο όπου φαίνεται να λαμβάνει εμφανώς υψηλές σε όλες τις θέσεις δειγματοληψίας.

Το ολικό νικέλιο κυμαίνεται από 190 ppm στο σημείο E6 έως 304 ppm στο σημείο E7, με μέση τιμή 288,3 ppm. Γεγονός που οφείλεται στην ύπαρξη, εντός της ευρύτερης περιοχής της λεκάνης των Μεγάρων, στο μητρικό πέτρωμα βωξιτικών-σιδηρονικελιούχων εμφανίσεων. Οπότε λόγω των εξαλλοιωτικών διεργασιών έχει εμπλουτιστεί ο περιβάλλον χώρος με νικέλιο. Οι υπάρχουσες βωξιτικές-σιδηρονικελιούχες εμφανίσεις στη περιοχή έχουν σύμφωνα με την βιβλιογραφία κατά μέσο όρο συγκέντρωση νικελίου  $533 \text{ mg Kg}^{-1}$ . (Κ.Γ.Κριτσοτάκης, Α.Γ. Πανάγος, 1984)



Εικόνα 10.9 Χάρτης των σημαντικότερων ορυκτών πόρων της ευρύτερης περιοχής της Αττικής

Στον πίνακα 10.9 παρουσιάζονται οι τιμές των βιοδιαθέσιμων μορφών βαρέων μετάλλων στα 10 σημεία δειγματοληψίας:

**Πίνακας 10.9** Τιμές των βιοδιαθέσιμων μορφών βαρέων μετάλλων για 7 μέταλλα στα 10 σημεία δειγματοληψίας.

ΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΔΑΦΩΝ	ΒΙΟΔΙΑΘΕΣΙΜΕΣ ΜΟΡΦΕΣ ΒΑΡΕΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ(ppm)						
	Fe	Cu	Zn	Mn	Cd	Pb	Ni
E1	0,25	0,27	0,27	3,37	0,07	2,23	60,66
E2	0,26	0,67	0,61	1,07	0,03	4,94	53,42
E3	0,11	0,20	0,08	1,02	0,03	2,68	56,95
E4	0,29	0,10	0,05	1,60	0,05	1,70	63,77
E5	0,49	0,30	0,35	2,43	0,03	1,82	48,70
E6	0,14	0,12	0,23	0,81	0,09	1,20	66,60
E7	0,30	0,25	0,11	0,97	0,04	3,11	64,14
E8	0,14	0,34	0,10	1,10	0,04	2,72	88,60
E9	0,51	0,21	0,13	0,79	0,04	2,29	46,43
E10	0,34	0,40	0,28	1,22	0,27	3,09	91,55
<b>ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ</b>	<b>0,28</b>	<b>0,30</b>	<b>0,21</b>	<b>1,41</b>	<b>0,07</b>	<b>2,64</b>	<b>64,52</b>

Σημείωση: 1ppm = 1mg/kg

Η βιοδιαθέσιμη μορφή του σιδήρου κυμαίνεται μεταξύ 0,11 ppm στο σημείο E3 έως 0,51 ppm στο σημείο E9, με μέση τιμή 0,28 ppm.

Η βιοδιαθέσιμη μορφή του χαλκού κυμαίνεται μεταξύ 0,10 ppm στο σημείο E4 έως 0,67 ppm στο σημείο E2, με μέση τιμή 0,30 ppm.

Η βιοδιαθέσιμη μορφή του ψευδαργύρου κυμαίνεται από 0,05 ppm στο σημείο E4 έως 0,61 ppm στο σημείο E2, με μέση τιμή 0,21 ppm.

Η βιοδιαθέσιμη μορφή του μαγγανίου κυμαίνεται μεταξύ 0,97 ppm στο σημείο E2 έως 3,98 ppm στο σημείο E25, με μέση τιμή 2,28 ppm.

Η βιοδιαθέσιμη μορφή του καδμίου κυμαίνεται από 0,03 ppm στα σημεία E2 και E3 έως 0,27 ppm στο σημείο E10, με μέση τιμή 0,07 ppm.

Η βιοδιαθέσιμη μορφή του μολύβδου κυμαίνεται από 1,20 ppm στο σημείο E6 έως 4,94 ppm στο σημείο E2, με μέση τιμή 2,64 ppm.

Η βιοδιαθέσιμη μορφή του νικελίου κυμαίνεται από 46,43 ppm στο σημείο E9 έως 91,55 ppm στο σημείο E10, με μέση τιμή 64,52 ppm.

Οι συγκεντρώσεις των βιοδιαθέσιμων μορφών των βαρέων μετάλλων είναι σχετικά χαμηλές με εξαίρεση τις συγκεντρώσεις του νικελίου.

Στον πίνακα 10.10 παρουσιάζεται η περιεκτικότητα των βιοδιαθέσιμων μορφών των βαρέων μετάλλων σαν ποσοστό της περιεκτικότητας των ολικών μορφών στα 10 σημεία δειγματοληψίας.

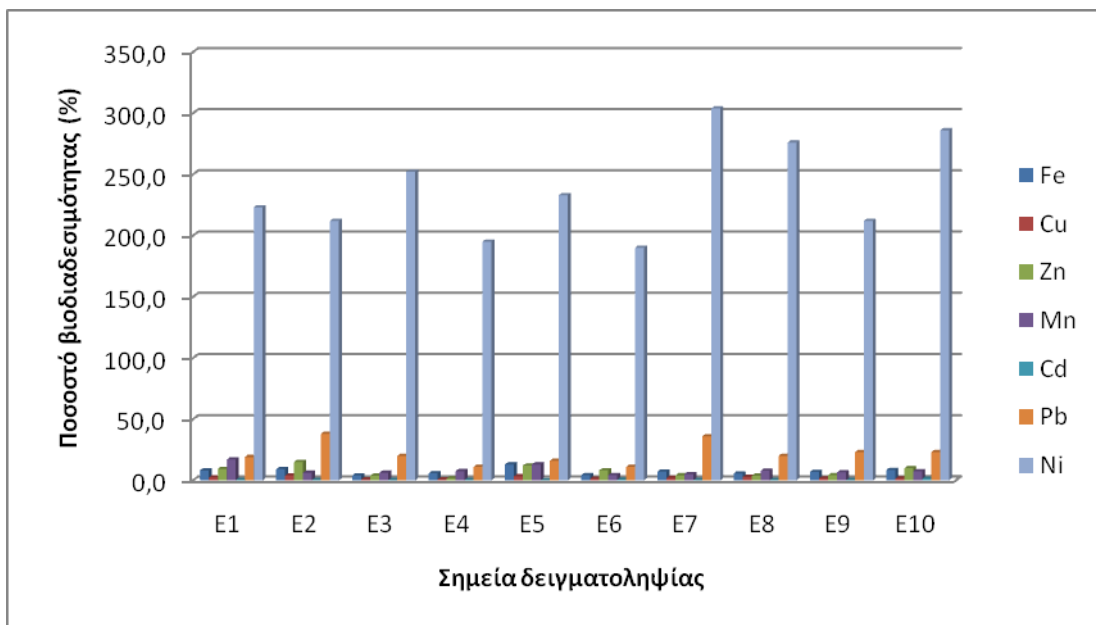
**Πίνακας 10.10** Τιμές ποσοστών βιοδιαθεσιμότητας βαρέων μετάλλων για τα 7 βαρέα μέταλλα στα 10 σημεία δειγματοληψίας.

ΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΔΑΦΩΝ	ΠΟΣΟΣΤΟ ΒΙΟΔΙΑΘΕΣΙΜΟΤΗΤΑΣ ΜΕΤΑΛΛΩΝ(%)						
	Fe	Cu	Zn	Mn	Cd	Pb	Ni
<b>E1</b>	3,07	11,11	2,95	19,80	21,00	11,72	27,20
<b>E2</b>	2,82	17,13	4,06	17,20	15,00	13,00	25,20
<b>E3</b>	2,66	24,20	2,10	16,50	18,81	13,40	22,60
<b>E4</b>	4,98	12,58	2,85	21,30	16,47	15,45	32,70
<b>E5</b>	3,78	9,05	2,94	18,70	19,51	11,38	20,90
<b>E6</b>	3,31	8,61	2,84	19,20	16,67	10,88	35,05
<b>E7</b>	4,11	12,39	2,68	19,10	23,50	8,65	21,10
<b>E8</b>	2,45	12,03	2,58	14,05	17,95	13,60	32,10
<b>E9</b>	7,45	13,35	3,02	12,08	21,58	9,96	21,90
<b>E10</b>	4,00	25,10	2,81	16,50	20,92	13,45	32,01
<b>ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ</b>	<b>3,86</b>	<b>14,56</b>	<b>2,88</b>	<b>17,44</b>	<b>19,14</b>	<b>12,15</b>	<b>27,08</b>

Το μικρότερο βιοδιαθέσιμο κλάσμα είναι του ψευδαργύρου με μέση τιμή 2,88% και εύρος από 2,1% (σημείο E3) έως 4,06% (σημείο E2). Ακολουθεί το επίσης χαμηλό βιοδιαθέσιμο κλάσμα του σιδήρου με μέση τιμή 3,86% και διακύμανση από 2,45% (σημείο E8) έως 7,45% (σημείο E9). Πιο υψηλό από αυτό βιοδιαθέσιμο κλάσμα είναι του μολύβδου με μέση τιμή 12,15% και εύρος από 8,65% (σημείο E7) έως 15,45% (σημείο E4). Το αμέσως υψηλότερο βιοδιαθέσιμο κλάσμα είναι του χαλκού με μέση τιμή 14,56% και εύρος από 8,61% (σημείο E6) έως 25,1% (σημείο E10). Παρόμοια αποτελέσματα βρέθηκαν από τους Covelo και Andade (2003) στην πόλη Galicia της Ισπανίας όπου η μέση τιμή ήταν 16,1% στα εδάφη που εξέτασαν. Το υψηλότερο απ' όλα βιοδιαθέσιμο κλάσμα είναι του νικελίου με μέσο όρο 27,08% και εύρος από 21,10% (σημείο E7) έως 35,05% (σημείο E6).

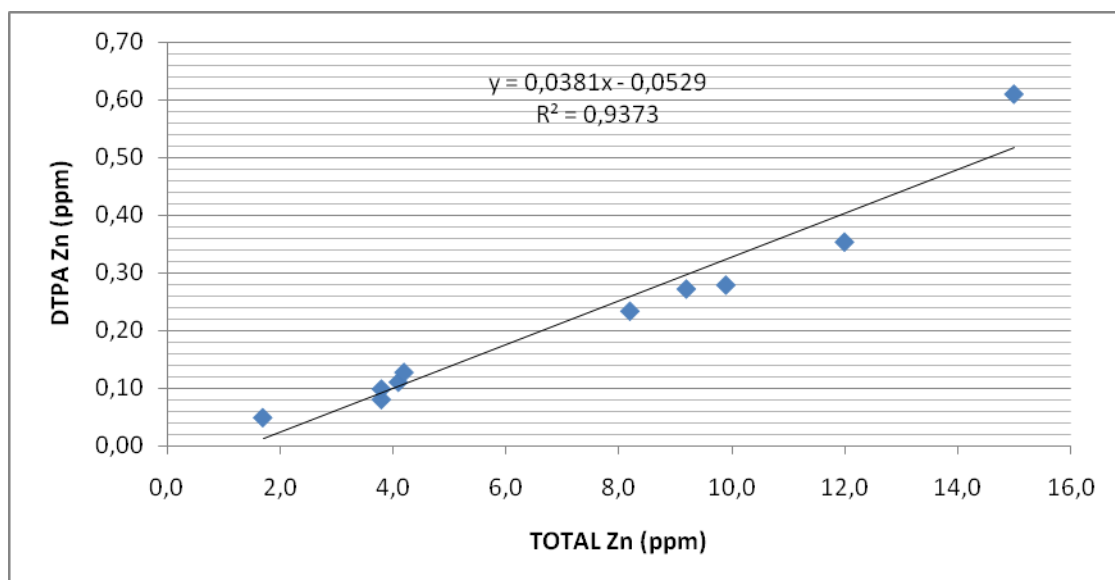
Η δυναμική βιοδιαθεσιμότητα των μελετηθέντων μετάλλων μειώνεται κατά τη σειρά Ni > Cd > Mn > Cu > Pb > Fe > Zn . Αυτό προκύπτει απ' τους μέσους όρους των ποσοστών βιοδιαθεσιμότητας των βαρέων μετάλλων. Τα κλάσματα του βιοδιαθέσιμου νικελίου, καδμίου, μαγγανίου, χαλκού, μολύβδου μπορεί να είναι περισσότερο δυναμικά βιο διαθέσιμα στην πρόσληψη των φυτών, σε σχέση με αυτά του σιδήρου και του ψευδαργύρου, διότι κατά μέσο όρο είναι υψηλότερα του 10 %.

Μεταξύ των βαρέων μετάλλων, ο χαλκός έχει μία υψηλή σχέση με τα χουμικά συστατικά και το μεγάλο ποσοστό συμμετοχής του στο οργανικό κλάσμα φαίνεται να είναι υπεύθυνο για την υψηλή βιοδιαθεσιμότητα του, σε σχέση με τα άλλα μέταλλα.

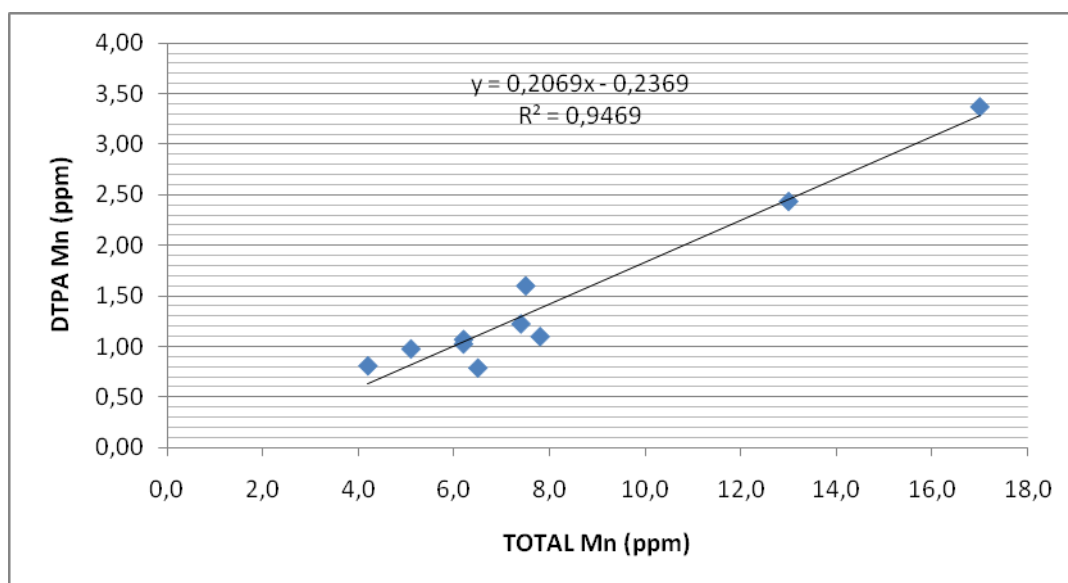


**Εικόνα 10.10** Διαγραμματική παρουσίαση των ποσοστών βιοδιαθεσιμότητας των βαρέων μετάλλων στα 10 σημεία δειγματοληψίας.

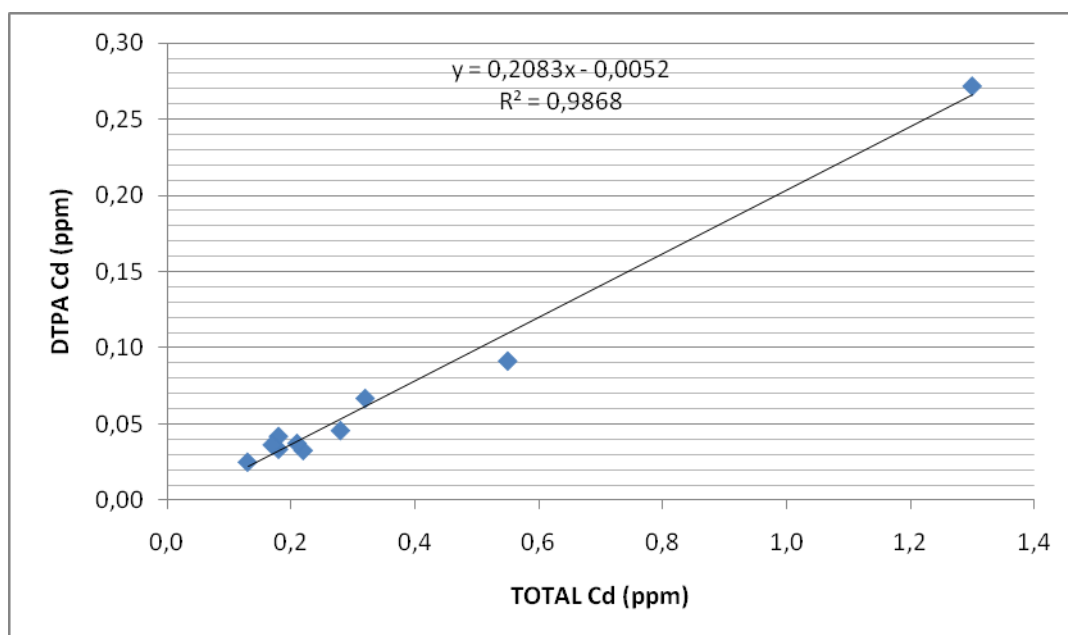
Παρακάτω παρουσιάζεται η γραμμική συσχέτιση μεταξύ των ολικών και των βιοδιαθέσιμων μορφών των βαρέων μετάλλων.



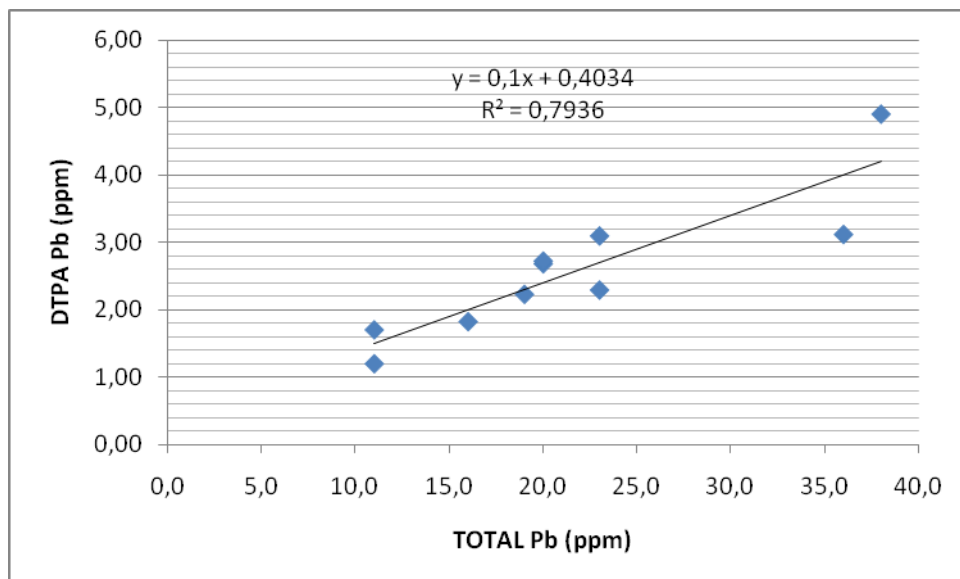
**Διάγραμμα 3.** Γραμμική συσχέτιση μεταξύ ολικής και βιοδιαθέσιμης μορφής του ψευδάργυρου (Zn).



**Διάγραμμα 4.** Γραμμική συσχέτιση μεταξύ ολικής και βιοδιαθέσιμης μορφής του Μαγγανίου (Mn).



**Διάγραμμα 5.** Γραμμική συσχέτιση μεταξύ ολικής και βιοδιαθέσιμης μορφής του Καδμίου (Cd).



**Διάγραμμα 6.** Γραμμική συσχέτιση μεταξύ ολικής και βιοδιαθέσιμης μορφής του Μολύβδου (Pb).

Η γραμμική συσχέτιση μεταξύ των ολικών και των βιοδιαθέσιμων μορφών των μελετηθέντων βαρέων μετάλλων βρέθηκε πολύ καλή για τα βαρέα μέταλλα: Cd, Mn, Zn και καλή για το Pb. Αυτό σημαίνει ότι οι δύο αυτοί παράγοντες είναι αλληλοεξαρτώμενοι.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΑ ΕΔΑΦΗ

Από τις αναλύσεις των 10 εδαφικών δειγμάτων της περιοχής της λεκάνης Μεγάρων συνάγονται τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Τα περισσότερα εδάφη βάσει της κοκκομετρική τους σύστασης χαρακτηρίζονται σε ελαφριά έως μέσα.
- Η ποσότητα του ανθρακικού ασβεστίου των μελετηθέντων εδαφών θεωρείται γενικά πολύ υψηλή εφ' όσον τα περισσότερα έχουν ποσοστό ολικού ανθρακικού ασβεστίου άνω του 25% με μέσο όρο 35,4 %.
- Η περιεκτικότητα των εδαφών σε οργανική ουσία αφού κυμαίνεται μεταξύ 1,6-3,9% χαρακτηρίζεται επαρκής, λαμβάνοντας υπ' όψιν τις περιεκτικότητες των ελληνικών εδαφών.
- Οι τιμές του pH κυμαίνονται μεταξύ 7,6-8,4 και συνεπώς τα εδάφη θεωρούνται έως ελαφρώς έως μέσος αλκαλικά. Όσον αφορά την ηλεκτρική αγωγιμότητα τους βρέθηκε ότι έχει μέση τιμή 1516  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , με εύρος 990-2820  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Τα μελετηθέντα εδάφη είναι κάτω του ορίου που δίδεται απ' τη βιβλιογραφία, συνεπώς δεν εμφανίζουν προβλήματα αλατότητας.
- Οι συγκεντρώσεις του αφομοιώσιμου φωσφόρου βρέθηκαν να είναι υψηλές για τα περισσότερα εδάφη ενώ εξαίρεση αποτελεί ένα έδαφος (E4) του οποίου οι συγκεντρώσεις είναι χαμηλή. Οι συγκεντρώσεις του ανταλλάξιμου ασβεστίου και μαγνησίου βρέθηκαν να είναι επαρκής έως υψηλές για τα περισσότερα μελετηθέντα εδάφη.
- Οι ολικές συγκεντρώσεις των πέντε (Fe, Cu, Zn, Mn, Cd) εκ των επτά βαρέων μετάλλων που μελετήθηκαν βρέθηκαν να είναι παρόμοιες με αντίστοιχες άλλων γεωργικών περιοχών σε παγκόσμιο επίπεδο. Τα εδάφη της υπό μελέτη περιοχής θεωρούνται μη ρυπασμένα με βαρέα μέταλλα, οι συγκεντρώσεις τους κυμαίνονται εντός των ορίων, που δίνονται από τη βιβλιογραφία για τα μη ρυπασμένα εδάφη.
- Ο ολικός μόλυβδος παρουσίασε τιμές στην συγκέντρωση του με κύμανση από 11,0 - 38,0  $\text{mg Kg}^{-1}$  στο σημείο και μέση τιμή 21,7  $\text{mg Kg}^{-1}$ . Οι τιμές αυτές είναι οριακές για την ρύπανση των εδαφών από το μόλυβδο σύμφωνα με κάποιους ερευνητές αλλά όχι ιδιαίτερα υψηλές. Ωστόσο παρατηρώντας τα σημεία δειγματοληψίας και τη χωρική κατανομή της συγκέντρωσης του μολύβδου αντιλαμβανόμαστε ότι πιθανή αιτία για τις αυξημένες συγκεντρώσεις σε κάποια σημεία είναι το γεγονός ότι τοπογραφικά βρίσκονται πλησίον της Εθνικής οδού Αθηνών-Κορίνθου και αποτελούν αποδέκτες καυσαερίων λόγω της συχνής διέλευσης των αυτοκινήτων. Παρόμοιες διαπιστώσεις για συγκέντρωση του Pb που ξεπερνά τα τοπικά επιθυμητά επίπεδα και οφείλεται, στη χρήση βενζίνης που περιέχει Pb έχουν γίνει παγκοσμίως από πολλούς ερευνητές.
- Το ολικό νικέλιο παρουσίασε υψηλές τιμές συγκέντρωσης με κύμανση από 190  $\text{mg Kg}^{-1}$  στο σημείο E6 έως 304  $\text{mg Kg}^{-1}$  στο σημείο E7, με μέση τιμή 288,3  $\text{mg Kg}^{-1}$ . Γεγονός που οφείλεται στην ύπαρξη, εντός της ευρύτερης περιοχής της λεκάνης των Μεγάρων, στο μητρικό πέτρωμα βωξιτικών-σιδηρονικελιούχων εμφανίσεων. Οπότε λόγω των εξαλλοιωτικών διεργασιών έχει εμπλουτιστεί ο περιβάλλον χώρος με νικέλιο. Οι υπάρχουσες βωξιτικές-σιδηρονικελιούχες εμφανίσεις στη περιοχή έχουν σύμφωνα με την βιβλιογραφία κατά μέσο όρο συγκέντρωση νικελίου 533  $\text{mg Kg}^{-1}$ .

- Οι συγκεντρώσεις των βιοδιαθέσιμων μορφών των βαρέων μετάλλων, οι οποίες αποτελούν τις ποσότητες των μετάλλων που είναι προσλήψιμες από τους οργανισμούς, βρέθηκαν να είναι χαμηλές με εξαίρεση την συγκέντρωση του νικελίου. Η βιοδιαθεσιμότητα ακολουθεί τη δυναμική σειρά σειρά  $Ni > Cd > Mn > Cu > Pb > Fe > Zn$ .
- Το μεγαλύτερο ποσοστό βιοδιαθεσιμότητας βρέθηκε για το νικέλιο, ενώ το μικρότερο βρέθηκε για τον ψευδάργυρο.
- Η γραμμική συσχέτιση μεταξύ των ολικών και των βιοδιαθέσιμων μορφών των βαρέων μετάλλων βρέθηκε πολύ καλή για τα βαρέα μέταλλα: Cd, Mn, Zn και καλή για το Pb. Αυτό σημαίνει ότι οι δύο αυτοί παράγοντες είναι αλληλοεξαρτώμενοι.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

### **ΕΛΛΗΝΙΚΗ**

- Αναλογίδης Δ., 2000. Έδαφος – Θρεπτικά στοιχεία και φυτική παραγωγή. Εκδόσεις Αγρότυπος, Αθήνα, σελ: 293.
- Αντωνόπουλος Β., 2001. Ποιότητα και ρύπανση υπογείων νερών. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσ/νίκη, σελ:269-275,350.
- Γεωργακάκης Δ., 1998. Διαχείριση Αποβλήτων. Εκδόσεις Γ.Π.Α, Αθήνα.
- Δελτίο Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας τομ. XXX/4, 183-190, 1994
- Δούνας Α.Γ. 1971 Η γεωλογία της μεταξύ Μεγάρων και Ερυθρών περιοχών, Γεωλογικές και γεωφυσικές μελέτες (Ι.Γ.Μ.Ε.) , Αθήνα
- Δρίτσα. Χ., Μυτσκίδου Ε. 1993 Υδροχημική Μελέτη στη Λεκάνη των Μεγάρων Διπλωματική εργασία του τμήματος Γεωλογίας , ΕΚΓΤΑ, Αθήνα
- ΕΣΥΕ. Δημογραφικά δεδομένα περιόδου 1961-2001. Εθνικός κατάλογος χρήσεων γης 2005.
- Ιωάννης Κ. Μήτσιος 2004. Γονιμότητα εδαφών (θρεπτικά στοιχεία φυτών και Βαρέα Μέταλλα) Μέθοδοι και Εφαρμογές
- Καλλιάνου Χ.,( 2007). Ρύπανση και αποκατάσταση εδαφών, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα.
- Κουϊμτζής, Θ., Φυτιάνος , Κ., Σαμαρά-Κωνσταντίνου, Κ., 1998. Χημεία περιβάλλοντος. University Studio Press, Θεσσαλονίκη. 376
- Κριτσοτάκης .Κ.Γ, Πανάγος Α.Γ. Μεταλλειολογικά-Μεταλλουργικά Χρονικά. Μια νέα προσέγγιση στο θέμα προέλευσης των Ελληνικών Βωξιτών.1984.
- Μέμου, Τζ. (1979). Γεωφυσική έρευνα στην πεδιάδα των Μεγάρων Αττικής.-Ι.Γ.Μ.Ε. Αθήνα
- Μετεωρολογικά δεδομένα σταθμού Μεγάρων περιόδου 1946-1988, ΕΜΥ.
- Μαρίνος Γ. 1951. Λιγνιτοφόρος Λεκάνη Μεγάρων, Γεωλογικές αναγνώρισεις (Ι.Γ.Μ.Ε), 14 σελ., Αθήνα.
- Μιμίδης Θ., 2005.Υδροχημεία και Μικροβιολογία Υπόγειων νερών. Πανεπιστημιακές Σημειώσεις, Εκδόσεις Γ.Π.Α.
- Μιμίδης Θ., 2006. Επίδραση της γεωργίας στην υποβάθμιση των εδαφικών και υδατικών πόρων. Πανεπιστημιακές Σημειώσεις, Εκδόσεις Γ.Π.Α., σελ: 31,59.
- Μπόρης Κ.Π. Θρέψη του φυτού. Μέρος Α΄, Β΄. Εκδόσεις Γ.Π.Α., Αθήνα 1990, σελ: 129,166-168.

- Παπάζογλου Ελένη, 2004. Άρδευση του ενεργειακού φυτού *Arundo Donax L.* με νερά επιβαρημένα με βαριά μέταλλα και δυνατότητες χρήσης του για την απορρύπανση του περιβάλλοντος. Διδακτορική Διατριβή
- Παρασκούδης Β. 2002 *Υδρογεωλογική Μελέτη Δυτ. Αττικής (Πεδιάδας Μεγάρων-Θριάσιου Πεδίου)* τεύχος 1<sup>ο</sup>: Υδρογεωλογική Έκθεση, Αθήνα
- Πρακτικά Τόμος 2-80 Διεθνές Υδρογεωλογικό Συνέδριο της Ελλάδας, Αθήνα 2008 ,p.577-586
- Σαχπάζης. Κ. (Γεωδόμηση Ε.Π.Ε.) 1994 Ολοκληρωμένο σύστημα διαχείρισης υδάτινων πόρων Ν. Αττικής, Αθήνα
- Σινάνης Κωνσταντίνος 2003. Εργαστηριακές ασκήσεις εδαφολογίας.
- Τσαπικούνης Φάνης, 2004. Θρέψη-Λίπανση των Φυτών.

## ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ

- Adriano, D.C, 1986. Trace elements in the terrestrial environment. Springer Verlag, New York. 290
- Agrawal Y. K. Raj K. and Patel M. .,1978. Metal Contents in the drinking Water of Cambay. *Water, Air and Soil Pollution* 9. p: 429-431.
- Albanis T.A., D.G. Hela, J. M. Sakelarides and I. K. Konstantinou., 1998. Pesticide residues in surface water, groundwater and rainfall of Imathia (Greece). *Proceeding of Environmental Protection and Restoration, Sani, Chalkidiki*, pp.119-126.
- Alloway, B.J., 1990. Heavy metals in soils. Blackie, Glasgow and London
- Alloway B.,1995. Heavy Metals in Soils. Blackie Academic Professional, Chapman & Hall. Second Edition, p:155-164.
- Appelo C., A., J. and Postma D., 1993. *Geochemistry, groundwater and pollution*. A.A Balkema/ Rotterdam/ Brookfield, The Netherlands, p: 22-23, 143-144.
- Appelo C.A.J., Postman D.,1999: *Geochemistry groundwater and pollution*. 4<sup>th</sup> Ed.,A.A.Balkema, pp.521
- Aswathanarayana U.,1995. *Geoenvironment: An Introduction*. A.A Balkema/Rotterdam/Brookfield, Netherlands, p: 27, 77.
- Aubert, H., and M. Pinta, 1977. *Trace Elements in Soils*. Elsevier. Amsterdam
- Baker. A.J.M., McGrath, S.P., Reeves, R.D., Smith, J.A.C., 2000. Metal Hyperaccumulator Plants: A review of the ecology and physiology of a biological resource for Phytoremediation of metal-polluted soils. In: Terry, N, Banuelos , G.(Eds). *Phytoremediation of contaminated soil and water*. Lewis Publishers, Florida. 85-107.
- Blaylock , M.J., Huang, J.W., 2000. Phytoextraction of metals. In: Raskin, I., Ensley, B.D., (Eds). *Phytoremediation of toxic metals : using plants to clean up the environment*. John Wiley and Sons, New York. 53-70.

- Brady, N.C. and Weil, R.R., (1996). *The Nature and Properties of Soils*. Prentice Hall International, INC., Eleventh Edition.
- Brekken, A., Steinnes, E., 2004. Seasonal concentrations of cadmium and zinc in native pasture plants: consequences for grazing animals. *Science of the Total Environment*. In Press.
- Chapman D., *Water Quality Assessments: A guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring*. University Press, Cambridge, Great Britain, 1996, p:128,253,274-286.
- Chen, H.M., Zheng, C.R., Tu, C, Shen, Z.G.,2000. Chemical methods and phyto-remediation of soil contaminated with heavy metals. *Chemosphere* 41: 229-234.
- Covelo E, and Andade M, 2003. Relationships between heavy metals content and soil properties in minesoils. Spain
- Das, P., Samantaray, P.H.T., 1997. Studies on cadmium toxicity in plants: a review. *Environmental Pollution* 98: 29-36.
- Davis S.N. and DeWiest R.J.M., 1966. *Hydrogeology*. John Wiley and Sons, New York. p: 463.
- Denkhaus, E., Salnikow, K., 2002. Nickel essentiality, toxicity and carcinogenicity. *Critical Reviews in Oncology/Hematology* 42: 35-56
- Duinker J.C. and Nolting R.F., 1977. Dissolved and particulate trace metals in the Rhine estuary and the Southern Bight. *Marine Pollution Bulletin*, p:65-71.
- Evangelou V,1998. *Environmental Soil and Water Chemistry: Principles and Applications*. John Wiley and Sons, Inc., Canada. p: 485.
- Garnier J., Nemery J., Billen G., They S., 2005. Nutrient dynamics and control of eutrophication in the Marne River System: Modeling of the role of exchangeable phosphorus. *Journal of Hydrology*, p: 397-412.
- Gasparatos D. and Haidouti C. ,2001. A comparison of wet oxidation methods of total phosphorus in soils, *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*.
- Hatch D., Goulding K. and Murphy D., 2002. *Agriculture, Hydrology and Water Quality*. Cp.1: Nitrogen. CABI Publishing ,UK. P:7-20.
- Heathwait A., Burt T. and Trudgill S., 1993. The Nitrate Issue. In: Burt T., Heathway A. and Trudgill S. (eds) *Nitrate, Processes, Patterns and Management*. John Wiley and Sons, Chichester UK, p: 3-21.
- Hem J.D., 1970. Study and interpretation of the chemical characteristics of natural waters. *Geological Survey Water-Supply Paper*, p: 1.473.
- Hodgson J. F., Geering H.R. and Norvell W.A (1966) "Micronutrient cation complexes in soil solution" *Soil Sci. Am. Proc* 1,29,665, 2 ,30 ,723.

- Jeene E.A (1977) "Trace element sorption by sediments and soil-sites and processes" in the Molybdenum in the Environment Vol. Chappell, \_ W. R. and Petersen, K. K Eds. Marcel Dekker, N.Y, 555
- Kabata-Pendias A., Pendias H., 1992. Trace Elements in Soils and Plants. CRC Press LLC, 2<sup>nd</sup> Edition, p: 251, 271-277.
- Kahle. H., 1993. Response of roots of trees to heavy metals. Environmental and experimental Botany 33: 99-119.
- Kim, Y.Y., Yang, Y.Y., Lee, Y, 2003. Pb and Cd uptake in rice roots. *Physiol Plantarum* 116: 369-372.
- Kobayashi. J.. 1970. relation between the 'itai-itai'disease and the pollution of river water by cadmium from a mine. International Association on Water Pollution Research 25: 1-8.
- Langmuir D., 1997. Aqueous Environmental Geochemistry. Pentic – Hall Inc., New Jersey, p: 82-83.
- Legg J.O. and J.J. Meisinger.,1982. Nitrogen in agricultural systems, American Society Agronomy, Madison, Wisconsin, USA, pp 503-566.
- Lindsay W.L. and Norvell W.A., 1978 Development of a DTPA test for zinc, iron, manganese, and copper, Soil Science Society of America Journal.
- Lindsay, W.L., (1979). Chemical Equilibria in Soils, Wiley, New York.
- Lloyd J.W. and Heathcote J.A., 1985. Natural inorganic hydrochemistry in relation to groundwater. Clarendon Press-Oxford, p: 131-133,146-147, 248.
- McBride M.B., 1994. Environmental Chemistry of soils. Oxford University Press, New York, p:312-313,329.
- Meybeck M., Chapman D. and Helmer R.,1989. Global Freshwater Quality: A first assessment. Blackwell reference, Oxford, 306 pp.
- Mihelcic J. R. ,1999. Fundamentals of environmental engineering. John Willey and Sons ,Inc p: 92-98.
- Monni, S., Salemaa, M., Millar, N., 2000. the tolerance of *Empetrum nigrum* to copper and nickel. Environmental Pollution 109: 221-229.
- Moore J.,Ramamoorthy S., 1984. Heavy Metals in Natural Waters: Applied Monitoring and Impact Assessment. Springer-Verlang New York Inc. p: 62-65, 82-85,167-170.
- Muller F. 2000. Agrochemicals: Composition, Production, Toxicology, Applications. WILEY-VCH, Germany.
- Nash D., Halliwell D. and Cox J.2002. Hydrological Mobilization of Pollutants at the Field/Slope scale. In: Agriculture, Hydrology and Water Quality. CAB International, p: 225-231.

- Neal C., Neal M., Hill L., Wickham H., 2006. River water quality of the river Cherwell: An agricultural clay dominated catchments in the upper Thames Basin, Southeastern, England. *Science of the total Environment* 360. p: 272-289.
- Nriagu. J.D., 1988. Cadmium in the aquatic environment. *Environmental Pollution* 54: 75.
- Okonkwo S., Mothiba M., 2005. Physico-Chemical characteristics and pollution levels of heavy metals in the river Thohoyandous, South Africa. *Journal of Hydrology* 308. p:122-127.
- Page, A. L., F. T. Bingham, 1981. In *Effect of Heavy Metal Pollution on Plants*. London
- Pepper I, Gerba C.,Brusseau M., 1996. *Pollution Science*. Academic Press Inc., California, USA, p.189-194
- Piper A. M., 1944. A graphic procedure in the geochemical interpretation of water-analyses, *Trans Americ. Geophysical union*, V. 25, p: 919-928.
- Prasad, M.N.V., 1995. Cadmium toxicity and tolerance in vascular plants. *Environmental Experimental Botany* 35: 525-545.
- Richards I.A., 1954. *Diagnosis and Improvement of saline and alkali soils*. Agric. Handbook 60 U.S. Department Agric., Washington, D.C., p: 160.
- Ritter W. F., Wolfie M. *Agricultural Non- Point Source Pollution*. Lewis Publishers CRS Press LLC, USA 2001.
- Ross S. M., 1994. *Toxic Metals in Soil-Plant Systems*. John Wiley & Sons Ltd, Chichester, England, p: 109.
- Sawyer C.D. and McCarty P.L 1978. *Chemistry for environmental engineering*. McGraw – Hill Kogakusha Ltd. p: 421.
- Schnoor J.L.,1996. *Environmental Modeling, Fate and Transport of Pollutants in water, air and soil*. John Wiley & Sons, p:263-274, 427-428.
- Singh V.P., 1995. *Environmental Hydrology*. Kluwer Academic Publishers, The Netherlands. p:137-157.
- Singh K., Malik A., Sinha S., 2005. Water quality assessment and apportionment of pollution sources of Ganti River (India) using multivariate statistical techniques - A case study. *Analytica Chimica Acta* 538, p: 355-374.
- Snodgrass W.J., 1980. Distribution and behavior of nickel in the aquatic environment. In J.O. Nriagu (Ed.), *Nickel in the environment*, p:203-274.
- Sposito, G., Page A.L., 1984. *Metal ions in biological systems*. Sigel, Marcel, Dekker, New York.
- Sposito G., 1989. *The chemistry of soils*. Oxford University Press, Inc, New York, p: 132-133.
- Sposito G., 1994. *Chemical Equilibria and Kinetics in Soils*. Oxford University Press, Inc, New York, p: 37-38.

- Stiff H.A., 1951: The interpretation of chemical water analysis by means of patterns, Jour.Petr.Technology, v.3.,no. 10,pp. 15-17.
- Stumm W., 1987. Aquatic Surface Chemistry: Chemical processes at the particle-water interface. John Wiley & Sons Inc, Canada. p:3.
- Stumm W., 1992. Chemistry of the solid-water interface: Processes at the mineral-water and particle-water interface in natural systems, p:130, 243.
- Taiz, L., Zeiger, E., 1998. Plant physiology, 2nd edition. Sinauer Associates Inc, Massachusetts. 792.
- Tan K. H., 1994. Environmental Soil Science. Markel Dekker, Inc., New York, p: 127,147.
- Thomas R.L. 1988. Lake sediments as indicators of changes in land erosion rates. In: A. Lerman and M. Meybeck (Eds) Physical and Chemical Weathering in Geochemical Cycles, Kluwer, Dordrecht, p: 143-164.
- Tyler. G.. 1981. Leaching of metals from A-horizon of a spruce forest soil. Water. Air and Soil Pollution: 353-369.
- Vangronsveld, J., Cunningham, S.D., 1998. Introduction to the concepts. In: Vangronsveld, J., Cunningham, S.D. (Eds). Metal contaminated soils. In situ inactivation and phytoremediation. Springer-Verlag, New York. 1-15.
- Wilcox L.V., 1955. Classification and use of irrigation waters. U.S. Dept. Agric. Circ. 969, Washington , D.C., p: 19.
- Wilson A. L., 1976. Concentrations of Heavy Metals in river waters, a review. Technical report No 16, Water Research Center, Medmenham Laboratory and Stevenage Laboratory, U.K.
- Yong R., N., 2001. Geoenvironmental Engineering: Contaminated Soils, Pollutant Fate and Mitigation. CRC Press LLC, Florida. p: 173-175.
- Zumdahl, S.S., 1997. Chemistry, 4th edition. Houghton Mifflin Co. 1118

## **ΧΑΡΤΕΣ**

1. Γεωλογικός χάρτης, φύλλο ΚΑΠΑΡΕΛΛΙ, κλίμακα 1:50.000, Ι.Γ.Μ.Ε
2. Γεωλογικός χάρτης, φύλλο ΜΕΓΑΡΑ, κλίμακα 1:50.000, Ι.Γ.Μ.Ε
3. Γεωλογικός χάρτης, φύλλο ΣΟΦΙΚΟΝ, κλίμακα 1:50.000, Ι.Γ.Μ.Ε
4. Γεωργικός χάρτης, φύλλο ΕΡΥΘΡΑΙ, κλίμακα 1:50.000, Ι.Γ.Μ.Ε
5. Τοπογραφικός χάρτης, φύλλο ΕΡΥΘΡΑΙ, κλίμακα 1:50.000, Γ.Υ.Σ.
6. Τοπογραφικός χάρτης, φύλλο ΚΑΠΑΡΕΛΑΙ, κλίμακα 1:50.000, Γ.Υ.Σ.
7. Τοπογραφικός χάρτης, φύλλο ΜΕΓΑΡΑ, κλίμακα 1:50.000, Γ.Υ.Σ.
8. Τοπογραφικός χάρτης, φύλλο ΣΟΦΙΚΟΝ, κλίμακα 1:50.000, Γ.Υ.Σ.