

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

ΓΕΝΙΚΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ

ΘΕΤΙΚΕΣ ΕΠΙΣΤΗΜΕΣ ΣΤΗ ΓΕΩΠΟΝΙΑ

**ΚΛΑΔΟΣ: ΓΕΩΛΟΓΙΚΟ ΚΑΙ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΓΙΑ ΤΟ
ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ**

**ΤΟΜΕΑΣ: ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΚΑΙ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΥ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΜΕ ΤΙΤΛΟ:**

**«ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΣΤΟΝ ΑΝΩ ΡΟΥ ΤΟΥ ΑΣΩΠΟΥ
ΠΟΤΑΜΟΥ. ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΩΝ ΠΟΙΟΤΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΟΝΤΩΝ
ΥΠΟΒΑΘΜΙΣΗΣ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΥΔΑΤΩΝ»**

**ΧΑΡΑΛΑΜΠΟΣ Α. ΤΣΑΡΑΜΠΑΡΗΣ
ΓΕΩΠΟΝΟΣ**

ΑΘΗΝΑ, ΙΟΥΛΙΟΣ 2010

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

ΓΕΝΙΚΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ

ΘΕΤΙΚΕΣ ΕΠΙΣΤΗΜΕΣ ΣΤΗ ΓΕΩΠΟΝΙΑ

**ΚΛΑΔΟΣ: ΓΕΩΛΟΓΙΚΟ ΚΑΙ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΓΙΑ ΤΟ
ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ**

**ΤΟΜΕΑΣ: ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΚΑΙ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΥ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΜΕ ΤΙΤΛΟ:**

**«ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΣΤΟΝ ΑΝΩ ΡΟΥ ΤΟΥ ΑΣΩΠΟΥ
ΠΟΤΑΜΟΥ. ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΩΝ ΠΟΙΟΤΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΟΝΤΩΝ
ΥΠΟΒΑΘΜΙΣΗΣ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΥΔΑΤΩΝ»**

**ΧΑΡΑΛΑΜΠΟΣ Α. ΤΣΑΡΑΜΠΑΡΗΣ
ΓΕΩΠΟΝΟΣ**

ΑΘΗΝΑ, ΙΟΥΛΙΟΣ 2010

Ορισμός θέματος και Επιβλέποντα Καθηγητή:

Πενταμελή Εξεταστική Επιτροπή:

1. Γεώργιος Σταμάτης, Αναπλ. Καθηγητής Γ.Π.Α (επιβλέπων Καθηγητής)
2. Γεώργιος Μιγκίρος, Καθηγητής Γ.Π.Α.
3. Ανδρέας Παυλόπουλος, Καθηγητής Γ.Π.Α.
4. Ιωάννης Τσίρος, Επίκουρος Καθηγητής Γ.Π.Α.
5. Κωνσταντίνος Σερέλης, Επίκουρος Γ.Π.Α.

Παρουσίαση Μελέτης και Εξέταση: 07/07/2010

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	ΣΦΑΛΜΑ! ΔΕΝ ΕΧΕΙ ΟΡΙΣΤΕΙ ΣΕΛΙΔΟΔΕΙΚΤΗΣ.
1.1 Σκοπός και Αντικείμενο της μελέτης	Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.
2. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	3
2.1 Γενικά στοιχεία	3
2.2 Γεωγραφική θέση	3
2.3 Διοικητική διαίρεση	5
2.4 Πληθυσμιακά στοιχεία	5
2.5 Απασχόληση	7
3. ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ	11
3.1 Ανάγλυφο της περιοχής	11
3.2 Ανάπτυξη του υδρογραφικού δικτύου	14
3.3 Γεωμορφές καρστικών επιφανειών	17
3.4 Παράγοντες ανάπτυξης του καρστ	17
3.5 Γεωμορφές του καρστ στην περιοχή μελέτης	17
4. ΚΑΛΥΨΗ - ΧΡΗΣΕΙΣ ΓΗΣ	19
4.1 Γενικά	19
4.2 Κάλυψη-χρήσεις γης περιοχής μελέτης	20
4.3 Επιπτώσεις στο υδάτινο περιβάλλον	20
5. ΚΛΙΜΑΤΙΚΑ ΚΑΙ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	26
5.1 Γενικά	26
5.2 Ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα	26
5.3 Θερμοκρασία	28
5.4 Μηνιαία πορεία της σχετικής υγρασίας	29
5.5 Μηνιαία πορεία των ανέμων	30
5.6 Χαρακτηρισμός κλίματος	30
6. ΓΕΩΛΟΓΙΑ	32
6.1 Περιγραφή γεωλογικών σχηματισμών	32
6.2 Νεοπαλαιωζωϊκό (Πέρμιο- Ανώτερο Λιθανθρακοφόρο)	32
6.3 Τριαδικοί – Ιουρασικοί Ασβεστόλιθοι	32
6.3.1 Σχηματισμοί Κατώτερου – Μέσου Τριαδικού	32
6.3.2 Σχηματισμοί Μέσου – Ανώτερου Τριαδικού	32
6.3.3 Σχηματισμοί Ανώτερου Τριαδικού- Κατώτερου Ιουρασικού	35
6.4 Μεταλλικοί σχηματισμοί	35
6.4.1 Νεογενές	35

6.4.2 Τεταρτογενές.....	35
6.5 Τεκτονική.....	36
6.6 Σεισμικότητα.....	36
7. ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ.....	38
7.1 Υδρολιθολογική ταξινόμηση.....	38
7.2 Υδροπερατοί σχηματισμοί.....	40
7.3 Ημιπερατοί σχηματισμοί.....	40
7.4 Αδιαπέρατοι σχηματισμοί.....	41
7.5 Υδροφόροι ορίζοντες.....	41
8. ΥΔΡΟΧΗΜΕΙΑ.....	43
8.1 Γενικά για την ποιοτική σύσταση των υδάτων.....	43
8.1.1 Ρύπανση επιφανειακών και υπόγειων υδροσυστημάτων.....	44
8.1.2 Πηγές και αίτια ρύπανσης των υδάτων.....	45
8.1.3 Συνηθέστεροι τύποι ρύπων.....	46
8.1.4 Μορφές και επιπτώσεις της ρύπανσης.....	47
8.1.5 Δυνητικές πηγές ρύπανσης των υδροφόρων.....	49
8.1.6 Πηγές ρύπανσης στην περιοχή μελέτης.....	50
8.2 Δειγματοληψία και υδροχημικές αναλύσεις.....	52
8.2.1 Επιτόπιες μετρήσεις.....	55
8.2.2 Εργαστηριακές αναλύσεις.....	55
8.2.3 Επεξεργασία των στοιχείων.....	56
9. ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΟΙ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ.....	58
9.1 Θερμοκρασία των υπόγειων νερών ($^{\circ}\text{C}$).....	58
9.2 Η τιμή του pH.....	59
9.3 Διαλυμένο Οξυγόνο (O_2 mg/l).....	61
9.4 Ηλεκτρική αγωγιμότητα (Ec $\mu\text{S}/\text{cm}$).....	63
9.5 Ολικά Διαλυμένα Στερεά (TDS mg/l).....	65
9.6 Σκληρότητα ($^{\circ}\text{dH}$).....	67
10. ΚΥΡΙΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	73
10.1 Ασβέστιο (Ca^{2+}).....	73
10.2 Μαγνήσιο (Mg^{2+}).....	75
10.3 Νάτριο (Na^{+}).....	77
10.4 Κάλιο (K^{+}).....	79
10.5 Όξινα Ανθρακικά (HCO_3^{-}).....	82
10.6 Χλώριο (Cl^{-}).....	83
10.7 Θειικά (SO_4^{2-}).....	86
Νιτρικά ιόντα (NO_3^{-}).....	88
10.9 Αμμωνιακά ιόντα (NH_4^{+}).....	90
10.10 Φωσφορικά ιόντα (HPO_4^{3-}).....	92
10.11 Βρώμιο (Br^{-}).....	94

10.12 Διοξείδιο του Πυριτίου (SiO_2).....	97
11. ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ	100
11.1 Γενικά.....	100
11.2 Μεθοδολογία ανάλυσης.....	101
11.2.1 Κάδμιο (Cd)	101
11.2.2 Μαγγάνιο (Mn)	104
11.2.3 Μόλυβδος (Pb)	107
11.2.4 Νικέλιο (Ni).....	110
11.2.5 Σίδηρος Ολικός (Fe_{tot}).....	Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.
11.2.6 Χαλκός (Cu)	116
11.2.7 Χρώμιο Ολικό (Cr_{tot}).....	119
11.2.8 Ψευδάργυρος (Zn).....	122
12. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ- ΥΔΡΟΧΗΜΙΚΟΙ ΤΥΠΟΙ.....	125
12.1 Ταξινόμηση κατά PIPER	125
12.2 Ταξινόμηση κατά DUROV	127
13. ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΥΔΡΟΧΗΜΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	131
13.1 Πολυμεταβλητή στατιστική ανάλυση.....	131
13.2 Εφαρμογή R-τύπου παραγοντικής ανάλυσης	131
14. ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΧΡΗΣΕΙΣ	134
14.1 Καταλληλότητα για ανθρώπινη χρήση	134
14.2 Καταλληλότητα για αρδευτική χρήση	135
14.2.1 Ταξινόμηση κατά RICHARDS (SAR)	135
14.2.2 Ταξινόμηση κατά WILCOX	138
15. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	140
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	143

I. ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Με την παρούσα διπλωματική εργασία κλείνει ο κύκλος σπουδών μου στο πρόγραμμα των Μεταπτυχιακών Σπουδών στο Γενικό τμήμα του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών στον κλάδο «Γεωλογικό και Ατμοσφαιρικό Περιβάλλον για το Σχεδιασμό Έργων Υποδομής».

Στην διάρκεια της φοίτησής μου είχα την ευκαιρία να διδαχθώ νέες γνώσεις που αφορούν την ανάπτυξη των έργων υποδομής με σεβασμό και προστασία του περιβάλλοντος από καταξιωμένους επιστήμονες αλλά και εξαιρετικούς ανθρώπους.

Η διπλωματική αυτή εργασία μου έδωσε την δυνατότητα να αποκτήσω σημαντική εμπειρία τόσο στις εργασίες της υπαίθρου όσο και στις εργαστηριακές υδροχημικές αναλύσεις. Επίσης είχα την δυνατότητα να χρησιμοποιήσω λογισμικά συστήματα και επιστημονικές μεθόδους τις οποίες δεν είχα χρησιμοποιήσει στο παρελθόν. Όλα αυτά πιστεύω ακράδαντα ότι θα αποτελέσουν στο μέλλον ένα πολύ σημαντικό εφόδιο στην περαιτέρω επαγγελματική μου σταδιοδρομία.

Στο σημείο αυτό κρίνω αναγκαίο να εκφράσω τις πιο θερμές ευχαριστίες μου στον επιβλέποντα Καθηγητή μου, κ. Σταμάτη Γεώργιο Αναπληρωτή Καθηγητή Υδρογεωλογίας, για την ανάθεση της παρούσας διπλωματικής, τις πολύτιμες συμβουλές του, τόσο στις εργασίες της υπαίθρου, όσο και στο στάδιο των εργαστηριακών χημικών αναλύσεων νερού. Οφείλω επίσης να εξάρω την αξιόλογη επιστημονική του καθοδήγηση σε θέματα υδρογεωλογίας και υδροχημείας και τις πάντα εύστοχες υποδείξεις και οδηγίες για την σωστή συγγραφή της παρούσας διπλωματικής.

Οφείλω ακόμη να ευχαριστήσω τους καθηγητές του Εργαστηρίου Ορυκτολογίας - Γεωλογίας, Καθηγητή κ. Μιγκίρο Γεώργιο Δ/ντή του Εργαστηρίου, Καθηγητή κ. Παυλόπουλο Ανδρέα, Καθηγητή κ. Γκάρτζο Ευθύμιο, Επίκουρο Καθηγητή κ. Σερέλη Κων/νο, Επίκουρο Καθηγητή κ. Παπανικολάου Ιωάννη, καθώς επίσης και τους καθηγητές του Εργαστηρίου Γενικής και Γεωργικής Μετεωρολογίας, Καθηγήτρια κ. Χρονοπούλου Αικατερίνη, Επίκουρο Καθηγητή κ. Τσίρο Ιωάννη, Λέκτορα κ. Καμούτση Αθανάσιο, οι οποίοι μου έδωσαν, όχι μόνο την ευκαιρία να παρακολουθήσω το Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών του Γενικού Τμήματος του Γ.Π.Α., αλλά και τις πολύτιμες γνώσεις που απόκτησα σε θέματα που αφορούν το γεωλογικό και ατμοσφαιρικό περιβάλλον.

Επιπλέον θα ήθελα να ευχαριστήσω τον υποψήφιο διδάκτορα κ. Ψωμιάδη Εμμανουήλ για την βοήθεια που μου προσέφερε στην ανάπτυξη των Γεωγραφικών Πληροφορικών Συστημάτων.

Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλω στα αγαπημένα πρόσωπα της οικογένειάς μου, την σύζυγο μου και την κόρη μου, για την αμέριστη ηθική συμπαράσταση που μου έδωσαν, για την παρέα τους στις εργασίες της υπαίθρου και για την κατανόησή τους για το χρόνο που διέθεσα με σκοπό την ολοκλήρωση αυτού του μεταπτυχιακού.

Θήβα, Ιούνιος 2010

Τσαραμπάρης Χαράλαμπος

II. ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία πραγματεύεται τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των υπόγειων νερών που φιλοξενούνται στους σχηματισμούς του άνω ρου της λεκάνης του Ασωπού ποταμού Βοιωτίας, διερευνά τα αίτια και το βαθμό της επιβάρυνσης αυτών από γεωγενείς ή ανθρωπογενείς παράγοντες κι εξετάζει την καταλληλότητα αυτών για διάφορες χρήσεις.

Η περιοχή μελέτης βρίσκεται στο νοτιοδυτικό τμήμα του Ν. Βοιωτίας. Το ανάγλυφο της περιοχής στο μεγαλύτερο ποσοστό της έκτασης είναι ήπιο, και αποτελεί την πεδιάδα των Ερυθρών-Λεύκτρων-Καλλιθέας, με κυμαινόμενο υψόμετρο 250-350 μέτρα. Τα πρηνή των ορεινών μαζών του Κιθαιρώνα και του Πάστρα οριοθετούν το δυτικό και νότιο άκρο της περιοχής αντίστοιχα. Το ανατολικό τμήμα οροθετείται από τα υψώματα της Ασωπίας που αποτελούνται από τριαδικό-ιουρασικούς ανθρακικούς σχηματισμούς, τα οποία, λόγω τεκτονισμού, διακόπτουν την συνέχεια της λεκάνης του Ασωπού και οριοθετούν τον άνω ρου της λεκάνης του Ασωπού.

Την λεκάνη αποστραγγίζει ο Ασωπός ποταμός ο οποίος ακολουθεί μια μέση διεύθυνση Α-Δ και εκβάλλει στο Νότιο Ευβοϊκό Κόλπο. Η μορφή του υδρογραφικού δικτύου σχετίζεται άμεσα με την νεοτεκτονική δομή του υποβάθρου με την επικράτηση των κλάδων διεύθυνσης Β-Ν έως ΒΒΑ-ΝΝΔ.

Το κλίμα της περιοχής μελέτης χαρακτηρίζεται από χαμηλό ύψος βροχής (350-450mm/a) και υψηλές θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, ακολουθώντας το ξηροθερμικό κλίμα της ευρύτερης περιοχής. Ο περιορισμένος όγκος κατακρημνισμάτων δεν μπορεί να συμβάλλει στην πλήρωση των υδροφορέων, καθότι η γεωργία είναι η κύρια δραστηριότητα των κατοίκων της περιοχής και η εκμετάλλευση των υδατικών πόρων είναι ανάλογη.

Από πλευράς γεωτεκτονικής η περιοχή αποτελεί τμήμα της Υποπελαγονικής ζώνης. Το γεωλογικό υπόβαθρο αντιπροσωπεύεται από μεγάλο πάχους μεσοζωικών ανθρακικών σχηματισμών και από σχιστόλιθους παλαιοζωικής ηλικίας σε πολύ περιορισμένη εμφάνιση.

Στο μεγαλύτερο τμήμα της περιοχής αναπτύσσονται τριτογενείς και τεταρτογενείς σχηματισμοί κι αποθέσεις. Οι τριτογενείς σχηματισμοί αποτελούνται από ασβεστόλιθους, μάρμες, ψαμμίτες και κροκαλοπαγή ενώ οι τεταρτογενείς από διλουβιακούς σχηματισμούς, κορήματα κι αλλουβιακές αποθέσεις αποτελούμενα από ασβεστολιθικά, μαργαϊκά, ψαμμιτικά υλικά, πηλούς αργίλους, χάλικες και άμμο.

Η λεκάνη έχει υποστεί την επίδραση επανειλημμένων τεκτονικών κινήσεων οι οποίες προκάλεσαν την πτύχωση και διάρρηξη των λιθολογικών σχηματισμών. Αποτελείται από δύο κύρια συστήματα ρηγμάτων με διεύθυνση Α-Δ και ΒΔ-ΝΑ.

Εντός των κοκκωδών σχηματισμών του Νεογενούς και Τεταρτογενούς αναπτύσσεται ένας ανώτερος υδροφόρος ορίζοντας. Γενικά η περατότητα των Νεογενών σχηματισμών είναι μικρή και η υδροφορία είναι μέτριας δυναμικότητας. Σημαντική υδροφορία παρουσιάζουν οι ανθρακικοί σχηματισμοί, οι οποίοι είναι έντονα καρστοποιημένοι και φιλοξενούν τον καρστικό υδροφόρο που χαρακτηρίζεται από υψηλή δυναμικότητα.

Ο ανώτερος υδροφόρος ορίζοντας αποτέλεσε αντικείμενο έρευνας στην παρούσα εργασία. Για τον ποιοτικό έλεγχο των υπόγειων της περιοχής έρευνας, πραγματοποιήθηκαν υδροχημικές αναλύσεις νερού από επιλεγμένα σημεία υδροληψίας γεωτρήσεις, φρέατα και πηγές. Τα αποτελέσματα των υδροχημικών

αναλύσεων παρουσιάζονται υπό μορφή πινάκων, διαγραμμάτων και ισοπεριεκτικών χαρτών χωρικής κατανομής.

Με βάση τα υδροχημικά χαρακτηριστικά η περιοχή διακρίνεται σε δύο υδροχημικές περιφέρειες:

- ❖ α) στην *υδροχημική περιφέρεια υψηλής αλατότητας* (2300-2770 $\mu\text{S}/\text{cm}$), στην οποία ανήκει η ανατολική περιοχή όπου εμφανίζονται υψηλής αλατότητας υπόγεια νερά. Χαρακτηρίζονται από την έντονη παρουσία των ιόντων Cl^- , Na^+ και SO_4^{2-} . Η προέλευση τους είναι γεωγενής και συνδέεται με τη διάλυση υπολειμματικών εβαποριτικών αλάτων που προφανώς συνυπάρχουν εντός των Νεογενών ιζημάτων. Η υδροχημική ταξινόμηση κατατάσσει τα νερά αυτά στην κατηγορία τύπου νερών: Na-Cl και Mg-Cl.
- ❖ β) στην *υδροχημική περιφέρεια χαμηλής έως μέτριας αλατότητας* (350-1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$), στην οποία ανήκει το κεντρικό και δυτικό τμήμα της περιοχής. Στις περιοχές αυτές παρατηρούνται χαμηλές έως μέτρια υψηλές συγκεντρώσεις αλάτων γεωγενούς προέλευσης και κατά τόπους ανθρωπογενούς δράσης. Μεταξύ των στοιχείων επικρατούν τα γεωγενούς προέλευσης Ca^{2+} και Mg^{2+} , αυξάνοντας την σκληρότητά τους και δίνοντας αντίστοιχους τύπους νερών Ca- HCO_3 και Mg- HCO_3 . Κατά τόπους εμφανίζονται υδροχημικοί τύποι νερών Na^+ - HCO_3 , η παρουσία των οποίων συνδέεται με φαινόμενα κατιοανταλλαγής.

Όσον αφορά τα μεταλλικά ιχνοστοιχεία, κυρίως μέταλλα που απαντώνται σχεδόν σε όλα τα δείγματα είναι το Cd, το Mn, ο Pb, το Ni και το Cr. Οι συγκεντρώσεις αυτών των στοιχείων οφείλονται σε γεωγενείς κυρίως παράγοντες, χωρίς να αποκλείονται και ανθρωπογενείς επιδράσεις (διάβρωση σωληνώσεων υδροληψίας, αγροχημικά προϊόντα, αστικά απόβλητα κλπ.).

Η υψηλή σκληρότητα και ιδιαίτερα η παρουσία των τοξικών βαρέων μετάλλων σε υψηλές συγκεντρώσεις καθιστούν γενικά τα υπόγεια νερά της περιοχής ακατάλληλα για ανθρώπινη κατανάλωση.

Με τη βοήθεια των μεθόδων Richards και Wilcox τα υπόγεια νερά που εντοπίζονται στην υδροχημική περιφέρεια υψηλής αλατότητας θεωρούνται ακατάλληλα για αρδευτικούς σκοπούς. Αντίθετα τα νερά που εντοπίζονται στην υδροχημική περιφέρεια χαμηλής έως μέτριας αλατότητας είναι μέτριας καταλληλότητας γι' αυτόν το σκοπό.

III. ABSTRACT

The present study treats the qualitative characteristics of underground waters that are lay at the geological formations of the upper part of Asopos' river basin in Viotia and investigates the causes and the degree of charges derived from human or geogenic factors and finally examines the appropriateness of these for various uses.

The study area is located in the south-western part of N. Viotias. The relief of the area in the bigger part is gently and constitutes the plain area of Erithre-Leuktro-Kallithea with an altitude from 250 to 350 m. The slopes of the mountain areas of Kithairona and Pastra Mt. delimit the western and southern edge of the area, respectively. The eastern part is delimited by the hills of Asopia, that are constituted by Triassic-Iourassic carbonate formations, which, because of tectonism interrupt the continuity and delimit the upper part of the basin.

The basin is drained by Asopos River which follows a direction E-W and discharges in the Southern Eubean Gulf. The shape of the drainage network is related directly with the neotectonic structure of geological background with the predominance of the branches having a N-S and NNE-SSW direction.

The climate of the area is characterized by low amount of precipitations (350-450mm/a) and high temperatures, especially during the summertime, following the xerothermic climate of the broader area. The limited volume of the precipitations cannot contribute to the load of the aquifers, because the agriculture is the main activity of the area and thus the exploitation of the water resources is proportional.

As far as it concerns the geotectonic properties, the area constitutes a part of the the Subpelagonian zone. The area is consisted of thick Mesozoic carbonate formations and from Paleozoic schists with a very limited appearance.

The bigger part of the area is consisted of Tertiary and Quaternary formations and deposits. The Tertiary formations are constituted from limestones, marbles, silts and conglomerates while the Quaternary are constituted fro diluvium formations, scree and alluvial deposit.

The basin has suffered the effect of repeated tectonic movements that caused the fold and rupture of the lithological formations. It is constituted of two main systems of faults with an E-W and NW-SE direction.

Into the grainy Neogene and Quaternary formations is developed an upper aquifer. In general the permeability of the Neogene formations is low, with a low capacity of water supply. Oppositely, carbonate formations, which are intensely karstified, are characterized by a significant water supply.

In the present study is examined the upper aquifer. For the qualitative control of the ground water, a hydrochemical analysis of several well distributed water samples from drills, wells and springs, has been made. The results of these analyses are represented in tables, diagrams and maps of spatial isolines.

According to the hydrochemical characteristics, the area is separated in two different hydrochemical units:

- ❖ a) *The hydrochemical region of high salinity* (2300-2770 $\mu\text{S}/\text{cm}$), in which belongs the eastern part where are presented groundwaters of high salinity. These waters are characterized by an intense presence of ions Cl^- , Na^+ and SO_4^{2-} . Their origin is geogenic and it is related with the dissolution of the evaporate salt that obviously coexists into the neogene sediments The

hydrochemical classification, classifies this waters into the category: Na-Cl και Mg-Cl.

- ❖ b) *The hydrochemical region of moderate salinity* (350-1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$), in which belongs the central and western part of the area. In this parts were detected low and moderate concentrations, geogenic origin and in some cases locally of anthropogenic effect. Among these elements prevail the geogenic origin Ca^{2+} and Mg^{2+} , increasing their hardness and giving corresponding types of water Ca-HCO_3 και Mg-HCO_3 . Locally are presented hydrochemical types of waters $\text{Na}^+\text{-HCO}_3$, the presence of which is related with the phenomenon of ion-exchange procedure.

As far as it concerns the minerals, Cd, το Mn, ο Pb, Ni and Cr are founded into all the water samples. The concentrations of these metals are owed mainly in geogenic factors, without exclude the possible anthropogenic effects.

The high value of hardness and particularly the presence of toxic heavy metals in high concentrations make the ground water inadequate for human consumption.

The methods of Richards and Wilcox showed that the underground water, that is located in the hydrochemical region of high salinity, is characterized as improper for irrigation purposes. On the other hand the underground water that is located in the hydrochemical region of moderate salinity is characterized of moderate appropriateness for irrigation purposes.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Σκοπός και Αντικείμενο της μελέτης

Η ολοένα αυξανόμενη οικιστική ανάπτυξη των τελευταίων δεκαετιών, η εντατικοποίηση της γεωργίας και η ανάπτυξη βιομηχανικών μονάδων έχουν οδηγήσει σε γενική αύξηση της ζήτησης του νερού. Παρά την αφθονία του υδάτινου στοιχείου στην γήινη επιφάνεια, λιγοστό είναι το ποσοστό που μπορεί να υποστεί εκμετάλλευση. Επιπρόσθετα, οι ανθρωπογενείς παράγοντες σε συνδυασμό με τις υδρογεωλογικές συνθήκες της εκάστοτε περιοχής έχουν οδηγήσει σε ποιοτική και ποσοτική υποβάθμιση των επιφανειακών και υπόγειων νερών.

Οι υδατικοί πόροι, όμως, αποτελούν κληρονομιά που πρέπει να προστατεύεται και να τυγχάνει καλύτερης μεταχείρισης. Η υποβάθμιση της ποιότητας του νερού, προϊόν της ανθρώπινης αλαζονείας, έχει στρέψει το ενδιαφέρον των ευρωπαϊκών, κυρίως, κυβερνήσεων στην ορθολογική διαχείριση των υδατικών πόρων, ενδιαφέρον που έχει μετουσιωθεί σε πράξη με την οδηγία – πλαίσιο που θεσπίστηκε από την Ευρωπαϊκή Ένωση (οδηγία 2000/60/EK) και αφορά την προστασία και διατήρηση των υδατικών πόρων. Μια από τις βασικές προϋποθέσεις για την εφαρμογή της οδηγίας – πλαίσιο είναι η καταγραφή της υπάρχουσας κατάστασης.

Η παρούσα εργασία αναφέρεται στην υπάρχουσα κατάσταση του άνω ρου του Ασωπού ποταμού που αναπτύσσεται στο νοτιοανατολικό τμήμα του νομού Βοιωτίας.

Η περιοχή βρίσκεται κοντά σε μια ενεργή σεισμοτεκτονικά περιοχή, σε ελάχιστη απόσταση στα δυτικά ανοίγεται ο Κορινθιακός Κόλπος και παρουσιάζει αυξημένες ανάγκες σε νερό άρδευσης, καθότι όλες οι Κοινότητες καλύπτουν τις ανάγκες τους σε πόσιμο νερό από το κανάλι της ΕΥΔΑΠ που έρχεται από το φράγμα του Μόρνου και τροφοδοτεί το λεκανοπέδιο των Αθηνών. Λόγω της περιορισμένης υδατικής δυναμικότητας που χαρακτηρίζει την περιοχή μεγάλο τμήμα της καλλιεργήσιμης επιφάνειας είναι ξερική και υποβαθμισμένη.

Η υδροφορία των υδροφόρων οριζόντων που αναπτύσσονται εντός των Νεογενών σχηματισμών είναι περιορισμένη και τυγχάνει έντονης εκμετάλλευσης από μεγάλο αριθμό γεωτρήσεων. Σε μεγάλο βάθος, πλέον των 300 μέτρων, αναπτύσσεται ο καρστικός υδροφόρος, ο οποίος θα μπορούσε να εκμεταλλευθεί και να λύσει τις αρδευτικές ανάγκες της περιοχής, φαίνεται να εγκυμονεί κινδύνους ποιοτικής υποβάθμισης καθότι αυτός εφάπτεται του Κορινθιακού κόλπου και η διείσδυση της θάλασσας θα γίνει αναπόφευκτη σε περίπτωση υπερεκμετάλλευσης του.

Η εν ολίγης αποτυπωθήσα κατάσταση στη περιοχή μελέτης καθιστά απαραίτητη την διερεύνηση της ποιοτικής σύστασης των υδατικών της πόρων και τα στοιχεία της παρούσας μελέτης να καταστούν η βάση για μια, σε μεγαλύτερη έκταση και λεπτομέρεια, περεταίρω έρευνα.

Σκοπός, λοιπόν, της συγκεκριμένης μελέτης είναι να περιγράψει τις επιμέρους γεωλογικές συνθήκες, να αναλύσει τις υδροχημικές παραμέτρους των υπόγειων νερών, να διερευνήσει την τυχόν επιβάρυνση των από γεωγενείς και ανθρωπογενείς παράγοντες, να περιγράψει τις πηγές προέλευσης των ρυπογόνων ουσιών και να εκτιμήσει την καταλληλότητα τους για διάφορες χρήσεις.

1.2 Μεθοδολογία εκπόνησης της έρευνας

Για την κατανόηση και πληρέστερη περιγραφή των προαναφερόμενων επί μέρους συνθηκών έγιναν οι ακόλουθες εργασίες:

- Συλλογή υπαρχόντων γεωλογικών - υδρογεωλογικών στοιχείων που αφορούν την ευρύτερη περιοχή ενδιαφέροντος.
- Εργασίες υπαίθρου που αφορούν στα ακόλουθα:
 - παρατήρηση και καταγραφή των γεωλογικών σχηματισμών και απεικόνισή τους σε χάρτη,
 - μακροσκοπική εξέταση των λιθολογικών σχηματισμών με σκοπό την βέλτιστη δυνατή προσέγγιση των υδρογεωλογικών χαρακτηριστικών τους
 - απογραφή σημείων εμφάνισης νερού (γεωτρήσεις –πηγάδια) και απεικόνισή τους σε χάρτη, προκειμένου να προσδιορισθούν και αξιολογηθούν οι συνθήκες της υπόγειας υδροφορίας στην περιοχή μελέτης,
 - επιτόπου μετρήσεις θερμοκρασίας, ηλεκτρικής αγωγιμότητας, pH και O₂ των υπόγειων νερών από τις αρδευτικές γεωτρήσεις και τα πηγάδια,
- Αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των εργασιών υπαίθρου, χημικές αναλύσεις (Εργαστήριο Ορυκτολογίας-Γεωλογίας του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών), σύνταξη των θεματικών χαρτών κατανομής στοιχείων και σύνταξη της παρούσας έκθεσης.

Τα στοιχεία που λήφθηκαν επίσης υπόψη για την εκπόνηση των παραπάνω σταδίων είναι τα εξής:

- οι τοπογραφικοί χάρτες της Γ.Υ.Σ. κλίμακας 1:50.000 που αφορούν την περιοχή μελέτης (Χαλκίς 1973 και Ερέτρια 1990)
- ο σεισμοτεκτονικός χάρτης της Ελλάδας, κλίμακα 1:500.000, Ι.Γ.Μ.Ε., Αθήνα 1989.
- ο γεωλογικός χάρτης της Ελλάδας, κλίμακα 1:50.000, Φύλλα ΘΗΒΑΙ, ΕΡΥΘΡΑΙ και ΚΑΠΑΡΕΛΛΙΟΝ, Ι.Γ.Μ.Ε..

Οι προϋπάρχουσες μελέτες και βιβλιογραφικές αναφορές από τις οποίες λήφθηκαν υπόψη στοιχεία παρατίθενται στο κεφάλαιο της Βιβλιογραφίας.

Για την ολοκλήρωση της παρούσας Μεταπτυχιακής Μελέτης χρησιμοποιήθηκαν τα παρακάτω λογισμικά:

- ArcGIS- ArcPad. Δημιουργία γεωβάσης, θεματικών χαρτών.
- Πρόγραμμα επεξεργασίας υδροχημικών αναλύσεων AQUACHEM 3,8
- Word, Excel, Access.

2. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

2.1 Γενικά στοιχεία

Με βάση τα ιστορικά στοιχεία στην αρχαία ελληνική μυθολογία ο Ασωπός ήταν ποτάμιος θεός, γιος του Ποσειδώνα και της Πηρούς. Σε μια άλλη εκδοχή όμως ήταν γιος του Ωκεανού και της Τηθύος ή του Δία και της Ευρυνόμης. Από το γάμο του με τη Μετόπη, κόρη του ποταμού και θεού Λάδωνα, απέκτησε δυο γιους, τον Ισμηνό και τον Πελάγοντα και πολλές κόρες, όπως οι: Νεμέα, Θήβη, Σαλαμίνα, Κλεώνη, Τανάγρα, Εύβοια, Σινώπη, Πλάταια, Αίγινα, που όλες έδωσαν τα ονόματά τους σε πόλεις. Την σημερινή εποχή ο Ασωπός ή Ωρωπός ή Βουριένης είναι ποταμός του νομού Βοιωτίας, αν και η ονομασία Ασωπός είναι συνηθισμένη ονομασία ποταμών και άλλων περιοχών, όπως είναι ο Ασωπός Φθιώτιδας παραπόταμος του Σπερχειού, ο Ασωπός Κορινθίας και ο Ασωπός Λακωνίας.

2.2 Γεωγραφική θέση

Η περιοχή έρευνας αφορά τον Άνω Ρου του Ασωπού ποταμού και είναι ουσιαστικά το δυτικό τμήμα της λεκάνης του Ασωπού (Εικόνα 2.1). Γεωγραφικά ο Ασωπός διατρέχει τα σύνορα των Νομών Βοιωτίας και Αττικής, που ανήκουν διοικητικά στις Περιφέρειες Στερεάς Ελλάδος και Αττικής αντίστοιχα.

Πηγάζει από τον Κιθαιρώνα (περιοχή των Λεύκτρων Βοιωτίας), περνά από τη Βοιωτία και την Αττική και χύνεται στον Ευβοϊκό κόλπο, κοντά στον Ωρωπό.

Ο Ασωπός έχει μήκος 75 km και η υδρολογική του λεκάνη έχει έκταση 721,2 km² και περίμετρο περίπου 170 km, ενώ το μέσο υψόμετρο είναι 356 m.

Η λεκάνη του εκτείνεται στο νότιο τμήμα του υδατικού διαμερίσματος Ανατολικής Στερεάς Ελλάδας και ορίζεται νότια από το όρος Πάστρα και την Πάρνηθα, βόρεια από μικρούς λόφους που τη χωρίζουν από τη κλειστή λεκάνη των Θηβών. Ανατολικά οροθετείται από την ακτογραμμή του Νότιου Ευβοϊκού Κόλπου και δυτικά από τον υδροκρίτη της λεκάνης του υδρορέματος της Άσκρης και του Λιβαδόστρα.

Αναλυτικά η περιοχή μελέτης που καταλαμβάνει το δυτικό τμήμα της λεκάνης του Ασωπού και οροθετείται νότια από την ορεινή σειρά του Κιθαιρώνα και του όρους Πάστρα, γενικής διεύθυνσης Α-Δ, που αποτελεί ουσιαστικά και τον υδροκρίτη της λεκάνης. Δυτικά από την λεκάνη του Λιβαδόστρα διεύθυνσης Α-Δ στην περιοχή Καπαρέλλι. Βορειοδυτικά από την λεκάνη του Άσκη διεύθυνσης Β-Ν, εγκάρσια στις ανατολικές απολήξεις του Ελικώνα.

Βορειοανατολικά οροθετείται από την λεκάνη Καναβάρι στην περιοχή Βάγια-Θήβα και βορειοανατολικά από το Αόνιον Πεδίο στην περιοχή της Θήβας (Εικόνα 2.1). Στα ανατολικά τα όρια της περιοχής μελέτης τοποθετούνται εγκάρσια της λεκάνης του Ασωπού μεταξύ των κοινοτήτων Καλλιθέας-Ασωπίας-Δαφνούλας. Το τμήμα αυτό αποτελεί το άνω ρου του Ασωπού και είναι αντικείμενο της παρούσας έρευνας.

Το κεντρικό τμήμα του Ασωπού, ο μέσος ρους, αποτέλεσε αντικείμενο έρευνας που πραγματοποιήθηκε από Σουλάντζο (2008), ενώ το ανατολικό τμήμα, δηλ., ο κάτω ρους του Ασωπού αποτέλεσε αντικείμενο έρευνας που πραγματοποιήθηκε από τους Ζαχαριάδη (2008) και Γαμβρουλά (2009).



Εικόνα 2.1: Η λεκάνη του Άνω Ρου του Ασωπού ποταμού που αποτελεί και το τμήμα έρευνας της παρούσης μελέτης (Τοπογραφικός χάρτης, Φύλλο Χαλκίς, κλίμακα 1:250.000).

2.3 Διοικητική διαίρεση

Η περιοχή μελέτης διοικητικά υπάγεται στην περιφέρεια Στερεάς Ελλάδας κατά κύριο λόγο και λιγότερο στην περιφέρεια Αττικής (περιοχή Ερυθρών). Περιλαμβάνει τους Δήμους Πλαταιών με τα ΔΔ Λεύκτρων, Μελισσοχωρίου και Λουτουφίου, Θηβαίων με το ΔΔ Νεοχωρακίου, Τανάγρας με τα ΔΔ Καλλιθέας και Ασωπίας, και τον Δήμο Ερυθρών.

2.4 Πληθυσμιακά στοιχεία

Τα πληθυσμιακά στοιχεία των δημοτικών και κοινοτικών διαμερισμάτων που εντάσσονται στη υπολεκάνη μελέτης του ποταμού Ασωπού σύμφωνα με στοιχεία της Εθνικής Στατιστικής Υπηρεσίας της Ελλάδας (ΕΣΥΕ) για τη χρονική περίοδο 1961-2001 παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.1

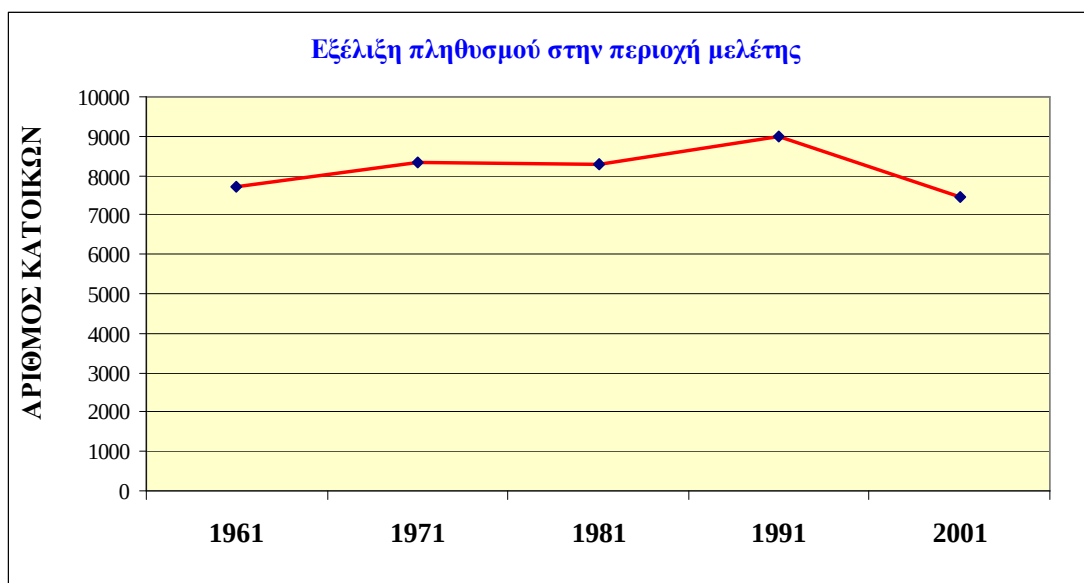
Στην εικόνα 2.2, παρουσιάζεται γραφικά η εξέλιξη του πληθυσμού που αφορά τις κοινότητες στην περιοχή μελέτης.

Κατά τις δεκαετίες 1961-1971 και 1981-1991 παρατηρείται αύξηση κατά 7.3 % και κατά 7,8% του πληθυσμού αντίστοιχα. Αντίθετα κατά τις άλλες δύο δεκαετίες παρατηρούνται μειώσεις και πιο συγκεκριμένα τη δεκαετία 1971-1981 παρατηρείται οριακή μείωση -0,7%, ενώ στην δεκαετία 1991-2001 σημαντική μείωση που φτάνει το -20,3%. Οι πληθυσμιακές αυτές μεταβολές φαίνονται γραφικά στην εικόνα 2.3.

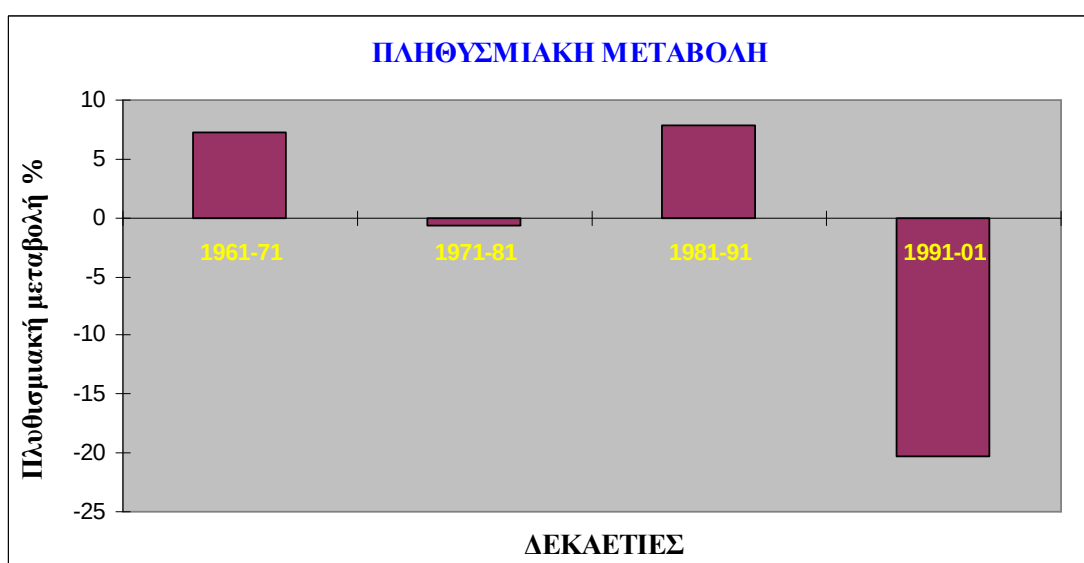
Το συγκεκριμένο γεγονός οφείλεται πιθανότατα στην εσωτερική μετανάστευση προς τα αστικά κέντρα και ιδιαίτερα αυτό της Θήβας, όπου δημιουργήθηκαν την δεκαετία 1991-2001 μεγάλες αναπτυξιακές δυνατότητες της ευρύτερης περιοχής με πολλές βιομηχανικές και βιοτεχνικές μονάδες.

Πίνακας 2.1: Πληθυσμιακή εξέλιξη περιόδου 1961-2001 (ΕΣΥΕ)

Δημοτικά/ Κοινοτικά Διαμερίσματα	Πληθυσμός 1961	Πληθυσμός 1971	Πληθυσμός 1981	Πληθυσμός 1991	Πληθυσμός 2001
ΚΑΛΛΙΘΕΑΣ	580	623	576	865	682
ΑΣΩΠΙΑΣ	1054	1094	1087	1038	1192
ΔΑΦΝΗΣ	221	295	288	233	139
ΛΟΥΤΟΥΦΙΟΥ	295	347	304	398	307
ΜΕΛΙΣΣΟΧΩΡΙΟΥ	633	751	731	800	594
ΛΕΥΚΤΡΩΝ	1137	1225	1159	1447	936
ΝΕΟΧΩΡΑΚΙΟΥ	509	550	594	695	521
ΕΡΥΘΡΩΝ	3308	3466	3550	3519	3105
ΣΥΝΟΛΟ	7737	8351	8289	8995	7476



Εικόνα 2.2: Γραφική παράσταση της εξέλιξης του πληθυσμού που παρατηρήθηκε κατά την περίοδο μεταξύ 1961-2001.



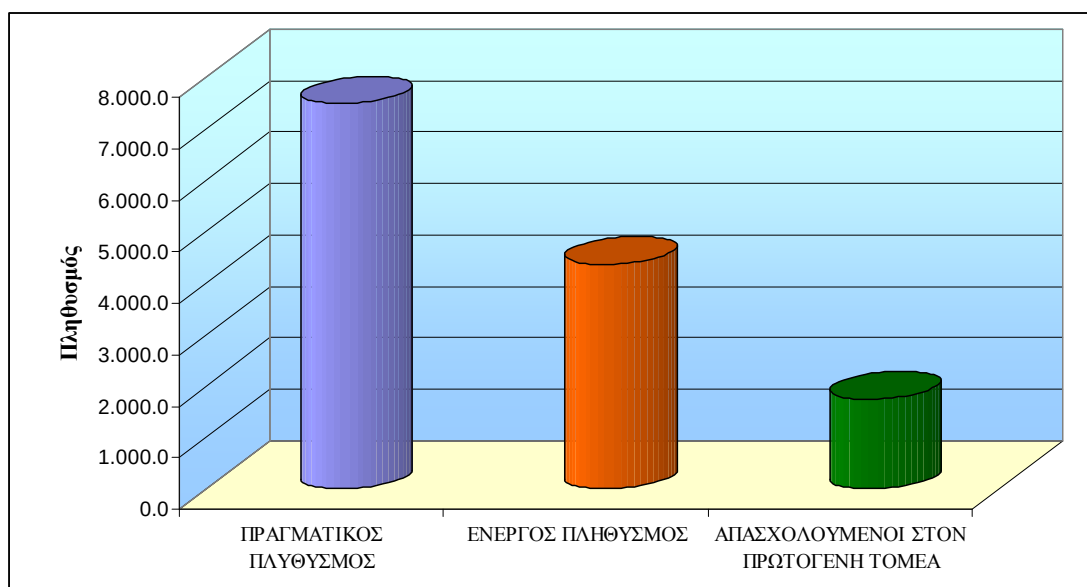
Εικόνα 2.3.: Η παρατηρούμενη πληθυσμιακή μεταβολή στην περιοχή μελέτης στο διάστημα των τελευταίων τεσσάρων δεκαετιών.

2.5 Απασχόληση

Γενικά οι οικισμοί της περιοχής μελέτης είναι αγροτικοί. Ο Δήμος Ερυθρών φαίνεται να είναι το μόνο ημιαστικό κέντρο της περιοχής με τις υψηλότερες συγκεντρώσεις υπηρεσιών κοινωνικής υποδομής. Τα συγκριτικά πλεονεκτήματα της περιοχής σε σχέση με τις δραστηριότητες του πρωτογενή τομέα εντοπίζονται στις πολύ ευνοϊκές κλιματολογικές συνθήκες και στη γεωγραφική της θέση.

Οι ευνοϊκές κλιματολογικές συνθήκες συντελούν ώστε η διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου να είναι μεγάλη και η δυνατότητα πρώιμων και αποδοτικότερων καλλιεργειών υψηλή. Επιπλέον, η γειτνίαση της περιοχής με την Αθήνα, που αποτελεί το σημαντικότερο κέντρο υποδοχής και διάθεσης των αγροτικών προϊόντων, συντελεί στη μείωση του κόστους μεταφοράς, στην ελαχιστοποίηση του κινδύνου καταστροφής των προϊόντων και παράλληλα επιτυγχάνονται καλύτερες τιμές διάθεσης.

Κτηνοτροφία υπάρχει στους ορεινούς δασικούς βοσκότοπους καθώς και στις πεδινές περιοχές που δεν καλλιεργούνται. Οι μονάδες εντατικής κτηνοτροφίας είναι υπερτοπικής κλίμακας και εξυπηρετούν κυρίως το μεγαλύτερο κέντρο της χώρας, δηλαδή την Αθήνα.



Εικόνα:2.4. Πληθυσμιακά στοιχεία που αφορούν το δυτικό τμήμα της λεκάνης Ασωπού ποταμού

Πίνακας 2.2 Τύποι καλλιεργειών στην περιοχή μελέτης

ΔΗΜΟΤΙΚΑ Ή ΚΟΙΝΟΤΙΚΑ ΔΙΑΜΕΡΙΣΜΑΤΑ	ΣΥΝΟΛΟ ΕΚΤΑΣΕΩΝ	ΣΥΤΑΡΙΣΚΛΗΡΟ	ΒΑΜΒΑΚΙ ΕΥΡΙΚΟ	ΒΑΜΒΑΚΙ ΠΟΤΙΣΤΙΚΟ	ΒΡΩΜΗ	ΚΡΙΘΑΡΙ	ΚΡΕΜΜΥΔΙΑ ΞΕΡΑ	ΠΕΠΟΝΙΑ	ΠΑΤΑΤΕΣ ΦΘΝΟΠΩΡΟΥ ΚΑΙ ΧΕΙΜΩΝΑ	ΦΑΣΟΛΑΚΙΑ ΧΛΩΡΑ	ΠΑΤΑΤΕΣ ΚΑΛΟΚΑΙΡΙΝΕΣ	ΤΟΜΑΤΑ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ	ΕΛΑΙΟΛΕΝΔΡΑ ΓΙΑ ΕΛΙΕΣ ΕΛΑΙΟΠΟΙΗΣΕΩΣ	ΑΜΠΕΛΟΙ- ΟΙΝΟΠΑΡΑΓΩΓΗΣ/Σ ΤΑΦΙΔΑΜΠΕΛΟΙ	ΑΓΡΑΝΑΠΑΥΣΗ	ΓΗ ΛΑΧΑΝΟΚΗΠΩΝ ΚΗΠΕΥΤΙΚΗ ΓΗ
Δ.δ.ΚΑΛΛΙΘΕΑΣ	16,255	8	-	0,7	0,4	0,7	1,8	0,02	0,15	1,2	-	0,6	-	1,2	-	4,6
Δ.δ.ΑΣΩΠΙΑΣ	28,855	13,3	-	0,01	0,75	1	0,23	0,06	0,16	0,06	0,02	-	4,45	7,9	-	0,51
Δ.δ.ΔΑΦΝΗΣ	8,515	6,5	0,3	-	0,4	0,175	0,03	0,23	-	0,01	-	0,08	0,13	0,5	-	0,13
Δ.δ.ΛΟΥΤΟΥΦΙΟΥ	10,8	4,75	1,5	2	0,21	0,23	0,35	0,3	0,1	-	0,05	0,03	0,6	0,18	-	0,49
Δ.δ.ΜΕΛΛΙΣΟΧΩΡΙΟΥ	12,2	3,6	1,8	2	0,13	0,18	0,6	0,8	0,25	0,02	0,1	0,1	1,2	0,3	-	1,15
Δ.δ.ΛΕΥΚΤΡΩΝ	21	7	0,5	2	0,7	1	0,8	0,7	0,2	0,02	0,1	0,15	6,06	0,35	-	1,55
Δ.δ.ΝΕΟΧΩΡΑΚΙΟΥ	18,535	11	-	0,77	0,01	0,81	1	0,03	1,2	0,02	0,55	0,7	-	0,06	-	3,745
Δ.δ.ΕΡΥΘΡΩΝ	45,56	20	6,5	1	4,35	0,4	0,4	1,5	0,1	-	-	-	0,7	3,52	5,505	0,47
ΣΥΝΟΛΟ	161,72	74,15	10,6	7,78	6,95	4,495	5,21	3,64	2,16	1,33	0,82	1,66	13,14	14,01	5,505	12,645
ΠΟΣΟΣΤΟ(%)	100	45,85	6,55	4,81	4,30	2,78	3,22	2,25	1,34	0,82	0,51	1,03	8,13	8,66	3,40	7,82

Πίνακας 2.3. Πληθυσμιακή απασχόληση περιόδου 1991-2001 (ΕΣΥΕ)

ΕΤΟΣ 2001						ΕΤΟΣ 1991				
Περιγραφή	Σύνολο					Σύνολο				
	Οικονομικώς ενεργοί				Οικονομικώς μη ενεργοί	Οικονομικώς ενεργοί				Οικονομικώς μη ενεργοί
	Σύνολο	Απασχολού μενοι	Άνεργοι			Σύνολο	Απασχολο ύμενοι	Άνεργοι		
			Σύνολο	Από αυτούς "νέοι"				Σύνολο	Από αυτούς "νέοι"	
ΝΟΜΟΣ ΒΟΙΩΤΙΑΣ	57981	51876	6105	3091	60812	50719	46905	3814	2118	64704
Δ.Δ.Νεοχωρακίου	321	298	23	9	204	356	349	7	3	258
Δ.Δ.Λεύκτρων	484	451	33	23	520	531	509	22	19	760
Δ.Δ.Λουτουφίου	166	159	7	4	141	177	167	10	9	167
Δ.Δ.Μελισσοχωρίου	319	302	17	15	283	308	290	18	16	412
Δ.Δ.Ασωπίας	619	599	20	13	528	341	327	14	13	580
Δ.Δ.Καλλιθέας	419	406	13	12	234	366	354	12	9	395
Δ.Δ.Δάφνης	79	78	1	0	63	101	90	11	0	122
Δ.Δ.Ερυθρών	1276	1167	109	71	1746	1174	1063	111	58	1917

Στον Πίνακα 2.3 παραθέτονται στοιχεία από την απογραφή της ΕΣΥΕ του 1991 και 2001 και αφορούν την καταγεγραμμένη ανεργία κατά Δημοτικό διαμέρισμα. Στην επίσημη όμως στατιστική δεν έχουν καταγραφεί αυτοί που θέλουν να μουν στην αγορά εργασίας για πρώτη φορά, ούτε φαινόμενα όπως η υποαπασχόληση, η μαύρη εργασία κ.λ.π.

Στην περιοχή των Ερυθρών καθώς και στην Ασωπία και το Νεοχωράκι παρατηρείται σημαντική υπεροχή των αροτριάων καλλιεργειών και κυρίως του σιταριού (πίνακας 2.2). Οι περισσότερες εκτάσεις δενδρωδών καλλιεργειών αφορούν κυρίως ελιές ελαιοποιήσιμες και βρίσκονται στα Λεύκτρα κατά κύριο λόγο και μετά στην περιοχή της Ασωπίας. Στην περιοχή της Ασωπίας παρατηρείται και το υψηλότερο ποσοστό γεωργικής γης που διατίθενται για καλλιέργεια αμπελών με 7,9 χιλ. στρέμματα και ακολουθεί η περιοχή των Ερυθρών με 3,52 χιλ. στρέμματα. Το ποσοστό των αμπελώνων ανέρχεται σε 8,66%. Από τις αροτριάες καλλιέργειες η περιοχή παράγει κυρίως σιτηρά (κύρια σκληρό σιτάρι) και ορισμένες ποσότητες κτηνοτροφικών φυτών (κριθάρι για σανό). Στην περιοχή μελέτης καλλιεργούνται επίσης αρκετά κηπευτικά κυρίως κρεμμύδια, καρότα, πατάτες και πεπόνια αλλά και φυτά μεγάλης καλλιέργειας όπως το βαμβάκι.

Γενικά θα λέγαμε ότι η ανάπτυξη της γεωργίας συνεπάγεται την αύξηση του γεωργικού εισοδήματος αλλά χρειάζεται την υποστήριξη από διάφορα τεχνικά έργα όπως οδοποιία, αντιπλημμυρικά, αρδευτικά, αναδασμός κλπ.

Από τα στοιχεία της Ε.Σ.Υ.Ε. του 2004 προκύπτει ότι σε σύνολο πραγματικού πληθυσμού 7.476 κατοίκων στην περιοχή μελέτης ο ενεργός πληθυσμός ανέρχεται σε 4.360. Στον πρωτογενή τομέα απασχολούνται 1.744 που σε ποσοστό μεταφράζεται σε 40% (εικόνα 2.4).

3. ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ

3.1 Ανάγλυφο της περιοχής

Η γεωμορφολογική εικόνα μιας περιοχής είναι αποτέλεσμα της λιθολογικής σύστασης, της τεκτονικής και της συνδυασμένης δράσης της διάβρωσης και αποσάθρωσης. Ο ρόλος της γεωμορφολογίας επηρεάζει σημαντικά τη διαμόρφωση υδρογεωλογικών συνθηκών μιας περιοχής.

Το σημερινό ανάγλυφο είναι αποτέλεσμα μεταλλικών τεκτονικών κινήσεων, καθώς και της εξέλιξης των διαφόρων μορφολογικών κύκλων που συνεχίζεται μέχρι σήμερα. Στην Εικόνα 3.1 παρουσιάζεται το ανάγλυφο της περιοχής, όπως αυτό αποτυπώνεται μέσω της επεξεργασίας του ΓΠΣ. Με βάση τα γεωμορφολογικά δεδομένα η περιοχή έρευνας μπορεί να διαιρεθεί σε τρεις ενότητες:

α) Στην πεδινή περιοχή που παρουσιάζει σχεδόν επίπεδη επιφάνεια και δομείται από ημισυνεκτικούς σχηματισμούς του Νεογενούς και πρόσφατες χαλαρές αποθέσεις του Τεταρτογενούς.

β) Στην λοφώδη έως ημιορεινή περιοχή που δομείται γεωλογικά από τριαδικό-ιουρασικούς ασβεστόλιθους και περιλαμβάνει τους δυτικούς όγκους των βόρειων απολήξεων του Κιθαιρώνα, και τους όγκους του Κοκκινόραχη, Ψήλωμα και Μεγάλη Ψηλοράχη. Οι κορυφές των λόφων εμφανίζονται συνήθως αποστρωγγλωμένες.

γ) Στην ορεινή περιοχή που αποτελείται από τους ορεινούς όγκους του Κιθαιρώνα και Πάστρας. Οι ορεινοί όγκοι συνίστανται κυρίως από ανθρακικούς σχηματισμούς, ασβεστόλιθοι, μάρμαρα, δολομίτες και σε περιορισμένη εμφάνιση από σχιστόλιθους. Ο τεκτονισμός είναι σημαντικός και στο τομέα αυτό σχηματίζεται ένα τραχύ πολυσχιδές ανάγλυφο με ανεπτυγμένο υδρογραφικό δίκτυο.

Η υδρολογική λεκάνη της περιοχής μελέτης παρουσιάζει μεγάλες διακυμάνσεις ανάγλυφου, με υψόμετρο από τη θάλασσα μέχρι και τα 1020m (Εικόνα 3.1). Η γεωμορφολογία της περιοχής έχει άμεση σχέση με τη γεωλογική δομή και τους λιθολογικούς σχηματισμούς.

Επειδή το μεγαλύτερο τμήμα της περιοχής αποτελείται από ασβεστόλιθους, η καρστική διάβρωση και οι καρστικές μορφές παρουσιάζουν μεγάλη ανάπτυξη. Ο βαθμός της καρστικής διαβρώσεως των ασβεστόλιθων γίνεται πιο αισθητός κατά την παρατήρηση του φαινομένου αυτού κατά μήκος του υδρογραφικού δικτύου.

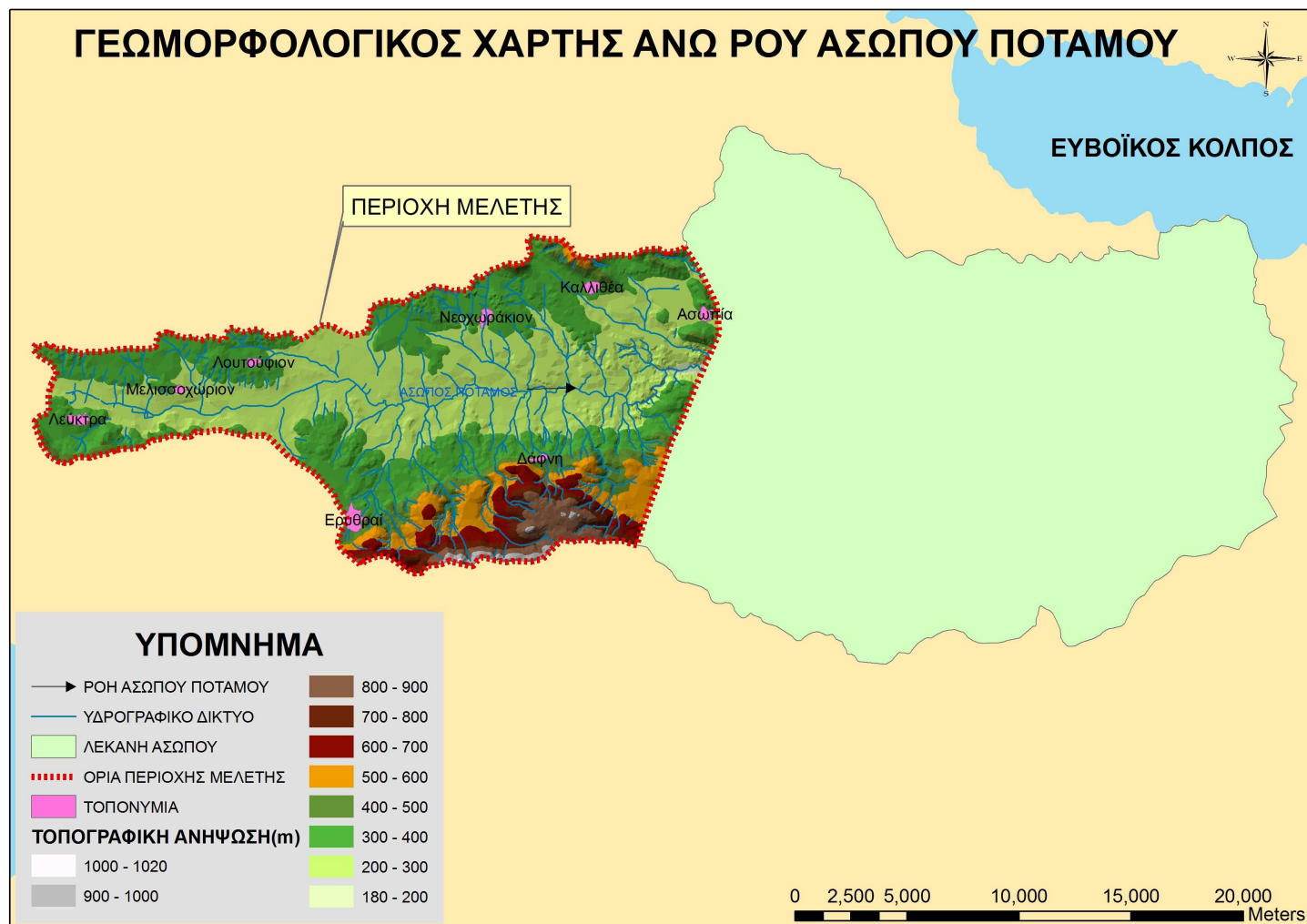
Οι κοιλάδες παρουσιάζουν απότομα και πολύ συχνά κατακόρυφα τοιχώματα, το ύψος των οποίων είναι συνήθως μεγαλύτερο από 80 μ. και επί των οποίων παρατηρούνται κατά κανόνα διάφορες καρστικές μορφές.

Η λεκάνη διακρίνεται μορφολογικά σε τρία βασικά τμήματα: α) το ορεινό νότια στην περιοχή μεταξύ Πάρνηθας – Κιθαιρώνα, β) το ημιορεινό, δυτικά στην περιοχή μεταξύ Ασωπίας – Ερυθρών – Καπαρελλίου και γ) το πεδινό που αναπτύσσεται στα κεντρικά τμήματα της λεκάνης (Εικόνα 3.1).

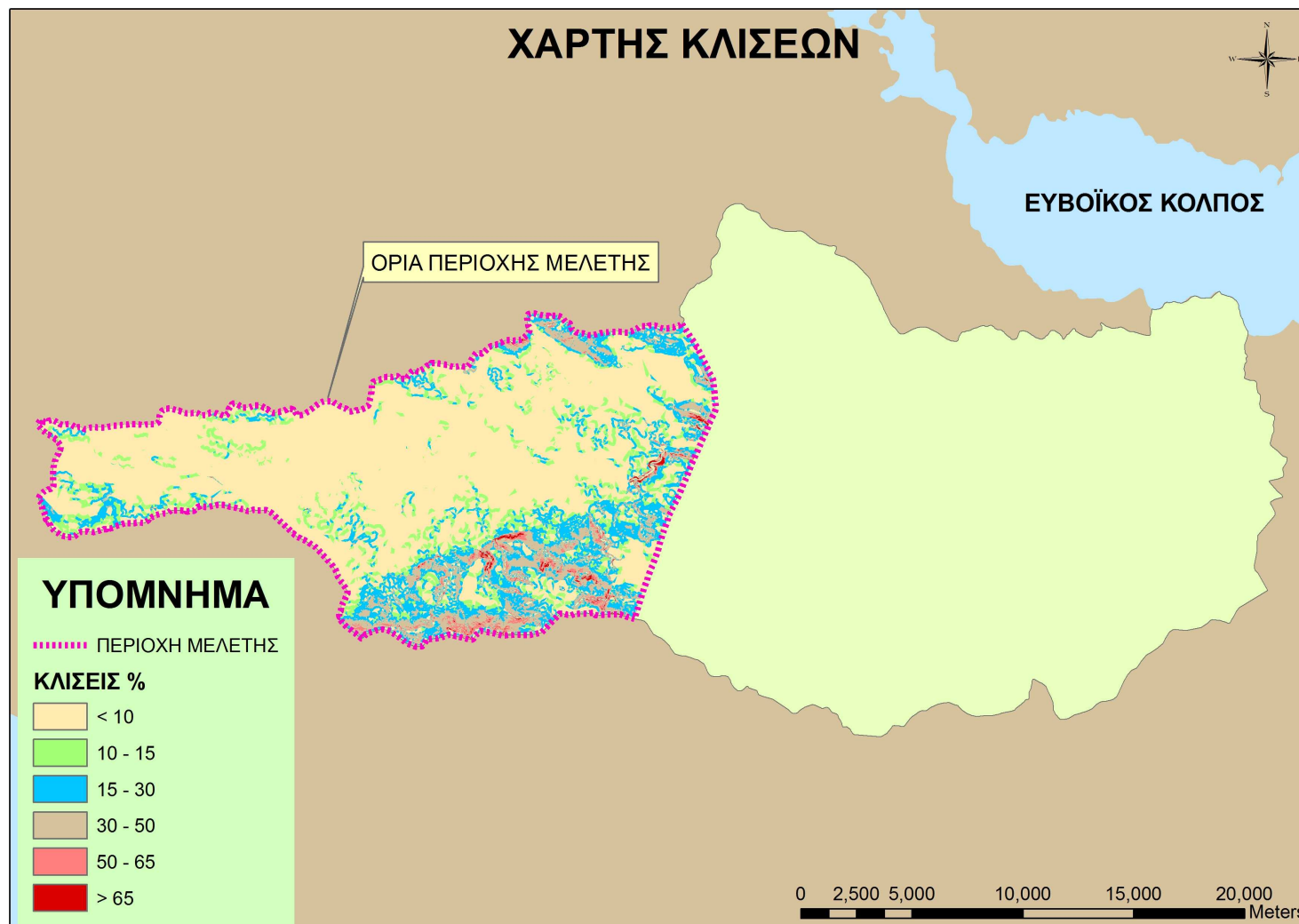
Στην Εικόνα 3.2 που ακολουθεί, παρουσιάζεται ο χάρτης με τις μορφολογικές κλίσεις του ανάγλυφου της περιοχής μελέτης. Οι τιμές των κλίσεων των πρανών της περιοχής παρουσιάζουν μεγάλες διαβαθμίσεις σε όλη την έκτασή της και κυμαίνονται από ομαλές (0 – 10%) έως πολύ απότομες (> 65%).

Οι κλίσεις ταξινομήθηκαν σε έξι κατηγορίες οι οποίες διαμορφώνονται ως εξής:

- | | |
|---------------------|---------------------|
| 1. κλίσεις 0 – 10% | 2. κλίσεις 10 – 15% |
| 3. κλίσεις 15 – 30% | 4. κλίσεις 30 – 50% |
| 5. κλίσεις 50 – 65% | 6. κλίσεις > 65% |



Εικόνα 3.1: Γεωμορφολογικός χάρτης της λεκάνης του Ασωπού.



Εικόνα 3.2: Χάρτης κλίσεων του άνω ρου της υδρολογικής λεκάνης του Ασωπού ποταμού που αποτελεί την περιοχή μελέτης.

Η ορεινή ζώνη παρουσιάζει μεγάλες τιμές μορφολογικών κλίσεων που κυμαίνονται από 50% έως >65%. Οι τιμές των κλίσεων μειώνονται από την ορεινή προς την πεδινή ζώνη, καθώς εξαφανίζονται τα ορεινά χαρακτηριστικά και η μορφολογία γίνεται ομαλή με ηπιότερες κλίσεις.

Όπως αποτυπώνεται και στο χάρτη, οι περιοχές οι οποίες εμφανίζουν τιμές μορφολογικών κλίσεων μεγαλύτερες από 65% περιορίζονται στα ορεινά τμήματα του Κιθαιρώνα και του Πάστρα. Τα πρανή των περιοχών αυτών εμφανίζονται κρημνώδη και μεγάλου ύψους.

Οι μορφολογικές κλίσεις από 30 – 65%, περιορίζονται σε πρανή περιμετρικά της ορεινής και ημιορεινής ζώνης. Αυτές οι τιμές αντιπροσωπεύουν περισσότερο διαβρωτικές διεργασίες και λιγότερο γεωλογικές και τεκτονικές.

Οι κλίσεις πρανών με τιμές από 15 – 30% χαρακτηρίζονται ως μέσες και είναι αποτέλεσμα διαβρωτικών διεργασιών. Κατανέμονται σε όλη την ορεινή και ημιορεινή έκταση της περιοχής μελέτης.

Οι μορφολογικές κλίσεις που κυμαίνονται από 10 – 15% χαρακτηρίζονται ως μέτριες και εμφανίζονται, όπως και της προηγούμενης κατηγορίας, περιμετρικά της ορεινής και ημιορεινής ζώνης. Επιπλέον παρατηρούνται κατά μήκος των κλιτύων των ρεμάτων που διασχίζουν την ευρύτερη περιοχή μελέτης.

Οι ομαλές τιμές μορφολογικών κλίσεων από 10 – 15%, εμφανίζονται και αυτές τοπικά μονάχα στις κλιτείς των ρεμάτων, κατά την έξοδό τους από τους ορεινούς όγκους και τους μεμονωμένους λόφους.

Τέλος οι ήπιες μορφολογικές κλίσεις με τιμές κυμαινόμενες από 0 έως 5%, είναι χαρακτηριστικές της πεδινής περιοχής.

3.2 Ανάπτυξη του υδρογραφικού δικτύου

Το υδρογραφικό δίκτυο μιας λεκάνης συνιστά το σύνολο των ρυακιών, χειμάρρων, παραποτάμων και ποταμών τα οποία διαρρέουν και αποστραγγίζουν τη λεκάνη αυτή. Η μορφή του υδρογραφικού δικτύου είναι συνάρτηση της λιθολογικής σύστασης, του μορφολογικού ανάγλυφου, της τεκτονικής, καθώς και των κλιματικών παραγόντων της συγκεκριμένης περιοχής.

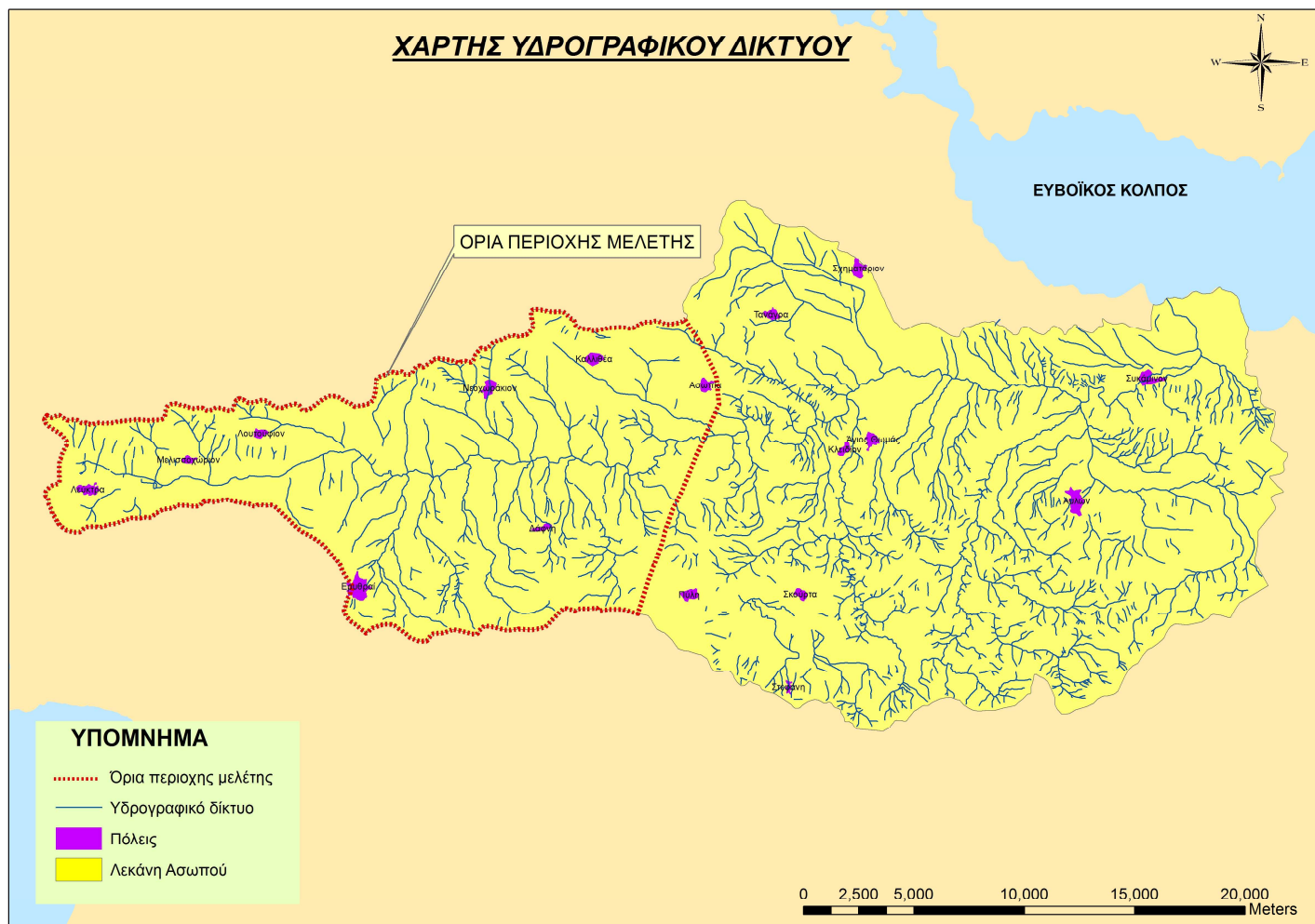
Στην **Εικόνα 3.3** παρουσιάζεται ο χάρτης ανάπτυξης του υδρογραφικού δικτύου της περιοχής μελέτης. Όπως αποτυπώνεται στον χάρτη στην περιοχή αναπτύσσεται ένα σχετικά μεγάλος αριθμός από υδρολογικές υπολεκάνες (ρέματα) που αναπτύσσονται στο βόρειο και νότιο τμήμα του Ασωπού.

Στο βόρειο τμήμα της λεκάνης εντοπίζονται τα ακόλουθα ρέματα από τα ανατολικά προς τα δυτικά:

- Το ρέμα Σκληρόρρεμα, ρέμα Ποτισιώνας και το Βαθύ ρέμα είναι τα μεγαλύτερα σε μήκος και αποστραγγίζουν το μεγαλύτερο ποσοστό της βόρειας πλευράς της λεκάνης. Μικρότερα ρέματα είναι το ρέμα Κολοκύθι και Μελισσοχωρίου που αποστραγγίζουν το δυτικό τμήμα της βόρειας πλευράς της λεκάνης.

Όλοι οι χείμαρροι του βόρειου τμήματος που διασχίζουν την περιοχή έχουν τις πηγές τους εντός των ημιορεινών όγκων, Κοκκινόραχη, Ψήλωμα, Μεγάλη Ψηλοράχη που εμφανίζονται στο ανατολικό τμήμα και εντός των λόφων που αναπτύσσονται μεταξύ των κοινοτήτων Λουτούφιοι και Λεύκτρων.

Στο νότιο τμήμα της λεκάνης εντοπίζονται τα ακόλουθα ρέματα από τα ανατολικά προς τα δυτικά:



Εικόνα 3.3: Χάρτης ανάπτυξης του υδρογραφικού δικτύου της υδρολογικής λεκάνης του Ασωπού ποταμού.

- Το ρέμα Ξεριάς, ρέμα Μπρέσικο, ρέμα Καλαμάτας, το Λυκόρρεμα και το ρέμα Αγ. Δημητρίου, τα οποία αποστραγγίζουν τις καρστικές λεκάνες που σχηματίζονται στα βόρεια πρηνή του όρους Πάστρα και τα ανατολικά πρηνή του Κιθαιρώνα. Όλοι οι χείμαρροι του νότιου τμήματος της λεκάνης που διασχίζουν την περιοχή έχουν τις πηγές τους εντός των ορεινών όγκων του Κιθαιρώνα και του Πάστρα.

Οι χείμαρροι γενικά παρουσιάζουν εποχικά κυμαινόμενη ροή. Οι χείμαρροι κατά την διέλευση τους από τα πρηνή των ορεινών και ημιορεινών όγκων διαβρώνουν τους ανθρακικούς σχηματισμούς και τα νεογενή ιζήματα, σχηματίζοντας μικρές σε έκταση προσχώσεις.

Σχετικό ποσοστό του επιφανειακού τους νερού κατεισδύει εντός των ανθρακικών σχηματισμών και ρέει υπογείως διαμέσου καρστικών αγωγών, ενώ ένα ποσοστό τροφοδοτεί τα Νεογενή και Τεταρτογενή ιζήματα της λεκάνης.

Το υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής έρευνας είναι μέτρια ανεπτυγμένο και επικρατεί η κατακόρυφη διάνοιξη των κοιλάδων, η πλειονότητα των οποίων είναι συμμετρικής μορφής. Η επικρατούσα μορφή του υδρογραφικού δικτύου είναι σε μεγάλο ποσοστό η παράλληλη και σε μικρό ποσοστό η γωνιώδης και δενδριτική.

Η εμφάνιση της παράλληλης και γωνιώδους μορφής υδρογραφικού δικτύου σχετίζεται με την παρουσία των ανθρακικών πετρωμάτων, ασβεστόλιθοι, μάρμαρα και δολομίτες. Οι μορφές αυτές διαμορφώνονται εντός της ορεινής περιοχής και υποδηλώνουν τη συμμετοχή των ρηγμάτων στη μορφογένεση της περιοχής.

Η δενδριτική μορφή εμφανίζεται κυρίως στην πεδινή και λοφώδη περιοχή και σχετίζεται με την ανάπτυξη των λιθολογικών τύπων, όπως είναι τα νεογενή ιζήματα, και οι Τεταρτογενείς αποθέσεις.

Ο κύριος άξονας στη λεκάνη του Ασωπού έχει διεύθυνση "Δύση-Ανατολή" και συμπίπτει με τη διεύθυνση των κύριων συστημάτων ρηγμάτων της περιοχής. Μεγάλος αριθμός ρεμάτων αναπτύσσεται, είτε κατά μήκος ρηγμάτων, είτε παράλληλα σ' αυτά, όπως αυτό παρατηρείται στην περιοχή νότια της Ασωπίας (Εικόνα 3.3).

Από τη σύγκριση των κυριότερων διευθύνσεων του υδρογραφικού δικτύου με τις διευθύνσεις των ρηγμάτων της περιοχής διαπιστώνεται μία τέλεια προσαρμογή που σημαίνει άμεση γενετική σχέση της διανοίξεως της κοιλάδας με τα προϋπάρχοντα ρήγματα.

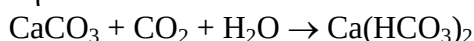
Γενικά το υδρογραφικό δίκτυο είναι αραιό με μεγάλους μήκους κλάδους. Χαρακτηρίζεται από μια άνιση ανάπτυξη του βόρειου και νότιου τμήματος εκατέρωθεν του κύριου κλάδου. Παρά το γεγονός ότι τα τμήματα αυτά αναπτύσσονται σε διαφορετικούς λιθολογικούς σχηματισμούς, πιστεύεται ότι η κυριότερη αιτία είναι η επίδραση της τεκτονικής. Με την λειτουργία του ρήγματος που διέρχεται από Ερυθρές-Δάφνη-Δαφνούλα, υπήρξε σχετική άνοδος του τμήματος, με αποτέλεσμα την αύξηση της οπισθοδρομούσας διάβρωσης προς το νότο.

Στην περιοχή μελέτης στον άνω ρου του Ασωπού σημειώνονται φαινόμενα πειρατείας σε βάρος του. Το πρώτο σημείο είναι στις Πλαταιές από τον Λιβαδόστρα. Με αυτόν τον τρόπο έχει δημιουργηθεί η λεκάνη των Πλαταιών, η οποία στο γεωλογικό παρελθόν ανήκε στη λεκάνη του Ασωπού.

Το δεύτερο και σημαντικότερο φαινόμενο πειρατείας εις βάρος του Ασωπού παρατηρείται στο δυτικό άκρο του (Λεύκτρα) από το ρέμα Άσκη. Με τον τρόπο αυτό έχει αποκοπεί το ΒΔ άκρο της λεκάνης του Ασωπού που πηγάζει από τους πρόποδες του Ελικώνα. Τα αίτια των γεγονότων που αναφέρθηκαν δεν είναι γνωστά. Η περίπτωση του Λιβαδόστρα θα πρέπει να αποδοθεί στις τεκτονικές κινήσεις (ρήγμα με στρέψη) (Φραγκόπουλος, ΙΓΜΕ 1992).

3.3 Γεωμορφές καρστικών επιφανειών

Ο όρος καρστ χρησιμοποιείται για να περιγράψει γεωμορφολογικά περιοχές που παρουσιάζουν χαρακτηριστικές γεωμορφολογικές μορφές, οι οποίες έχουν προκύψει από την διαλυτοποίηση των ανθρακικών της πετρωμάτων. Τα ανθρακικά πετρώματα, ασβεστόλιθοι και δολομίτες, διαλύονται εύκολα σε νερό που περιέχει CO₂. Αυτό παραλαμβάνεται από τα μετεωρικά νερά από την ατμόσφαιρα και από την εδαφική ζώνη, όπου λαμβάνουν χώρα διάφορες βιοχημικές διαδικασίες και απελευθερώνεται CO₂. Το διάλυμα αυτό συμπεριφέρεται ως ασθενές ανθρακικό οξύ (H₂CO₃), επενεργεί στους ασβεστόλιθους και σχηματίζει όξινο ανθρακικό ασβέστιο, διαλυτό, σύμφωνα με την αντίδραση:



Με τον τρόπο αυτό δημιουργούνται από διάλυση επιφανειακές χαρακτηριστικές μορφές και υπόγεια κενά, όπως είναι τα καρστικά έγκοιλα και τα σπήλαια.

3.4 Παράγοντες ανάπτυξης του καρστ

Τα καρστικά πετρώματα έχουν μεγάλη υδρογεωλογική σημασία για τον Ελλαδικό χώρο, λόγω της ευρείας ανάπτυξης τους. Οι σημαντικότεροι παράγοντες που συμβάλλουν στην ανάπτυξη των καρστικών συστημάτων είναι οι ακόλουθοι:

- *Ορυκτολογικός παράγοντας:* Τα ανθρακικά πετρώματα απαντούν στη φύση με προσμίξεις σε μικρότερο ποσοστό, όπως άργιλο ή διοξείδιο του πυριτίου και ίχνη μεταλλικών στοιχείων (Fe, Mn, κ.λ.π.). Η παρουσία αυτών των στοιχείων έχει σαν αποτέλεσμα την μείωση της ικανότητας καρστικοποίησης των πετρωμάτων αυτών.
- *Γεωμετρικοί χαρακτήρες:* Εκτός από αυτόν τον ορυκτολογικό παράγοντα εξίσου σημαντικό ρόλο παίζουν και οι γεωμετρικοί χαρακτήρες του ασβεστόλιθου, όπως το πάχος και η έκταση του. Σημαντικό σε αυτή την περίπτωση είναι η μορφολογία των ασβεστόλιθων.
- *Τεκτονική καταπόνηση:* Ο τεκτονισμός των πετρωμάτων επηρεάζει σημαντικά την ανάπτυξη του καρστ. Έτσι, σε μια έντονα τεκτονισμένη περιοχή με παρουσία εντόνων διαρρηγμένων πετρωμάτων το καρστ είναι πιο έντονο από την περίπτωση ενός συμπαγή ασβεστόλιθου. Στις ασυνέχειες το νερό βρίσκει την δίοδο ροής και διάλυσης μεγαλύτερης επιφάνειας του ασβεστόλιθου.
- *Ευστατικές κινήσεις:* Οι ευστατικές κινήσεις της στάθμης της θάλασσας την περίοδο του Πλειοκαίνου-Τεταρτογενούς έχουν επηρεάσει κυρίως τις παράκτιες περιοχές της Ελλάδας. Στον Μεσογειακό χώρο έχουν (Burdon & Papakis, 1963), αναγνωριστεί 9 παράκτιες αναβαθμίσεις, οι οποίες σχετίζονται με τις ευστατικές κινήσεις, αλλά και με την εν γένει ενεργό τεκτονική του χώρου.

3.5 Γεωμορφές του καρστ στην περιοχή μελέτης

Στην περιοχή μελέτης εμφανίζονται κυρίως εξωκαρστικές μορφές και μάλιστα σε έντονο βαθμό ανάπτυξής τους. Στις εξωκαρστικές μορφές συγκαταλέγονται οι γεωμορφές που παρατηρούνται στην επιφάνεια των πετρωμάτων, ενώ στις

ενδοκαρστικές μορφές αναφέρονται οι γεωμορφές που παρατηρούνται στο εσωτερικό των πετρωμάτων, όπως είναι τα σπήλαια. Δεν είναι γνωστές ενδοκαρστικές μορφές στην ευρύτερη περιοχή.

Οι **Εξωκαρστικές Μορφές** που παρατηρούνται στους ανθρακικούς σχηματισμούς της περιοχής, τριαδικο-ιουρασικούς ασβεστόλιθους και δολομίτες είναι κυρίως:

- **Γλυφές:** Οι γλυφές είναι οι πιο κοινές γεωμορφές του καρστ. Πρόκειται για τις νεότερες και τις πιο επιφανειακές μορφές του καρστ. Αναπτύσσονται κυρίως στις ρωγμές των ασβεστόλιθων.
- **Δολίνες:** Οι δολίνες προκύπτουν είτε από την διάλυση του ασβεστόλιθου εκεί όπου ενώνονται τα ρήγματα είτε από την πτώση της οροφής σπηλαίων και καρστικών αγωγών. Οι δολίνες παρατηρούνται στα περιθώρια της κλειστής λεκάνης της Οινόης που αναπτύσσεται στα νότια της περιοχής και η οποία αποτελεί μια πόλγη. Η πόλγη αυτή έχει προκύψει από την συνένωση πολλών δολινών και η οποία έχει πληρωθεί με κλαστικό υλικό, κυρίως από αλλουβιακές αποθέσεις και από ερυθρογή.
- **Φαράγγια:** Το φαράγγι είναι ένα τύπος ποταμοκαρστικής μορφής που έχει προκύψει από την ποτάμια διάβρωση και διάλυση των ανθρακικών πετρωμάτων ή από την κατάρρευση οροφής υπόγειων αγωγών και ρευμάτων. Στην περιοχή μελέτης απαντώνται μικρά φαράγγια στα βόρεια πρηνή του Κιθαιρώνα και του Πάστρα. Η διεύθυνση τους είναι κυρίως Β-Ν και ενίοτε ΒΒΑ-ΝΝΔ, παρόμοιας διεύθυνσης με τα ρήγματα των περιοχών που συναντώνται στην εν λόγω περιοχή.
- **Καταβόθρες:** Οι καταβόθρες αποτελούν την εμφάνιση στην επιφάνεια καρστικών αγωγών όπου αποστραγγίζουν τα επιφανειακά νερά και τροφοδοτούν τον καρστικό υδροφόρο. Στην περιοχή μελέτης εντοπίζονται καταβόθρες στα περιθώρια της κλειστής λεκάνης της Οινόης και στις κοίτες των καρστικών ρευμάτων.
- **Καρστικές πηγές:** Οι καρστικές πηγές είναι οι εκροές του υπόγειου νερού από καρστικούς αγωγούς που τροφοδοτούνται από τα καρστικά συστήματα. Οι περισσότερες καρστικές πηγές δεν έχουν σταθερή ροή επειδή η παροχή τους εξαρτάται άμεσα από τις βροχοπτώσεις στις περιοχές εμπλουτισμούς τους. Στην περιοχή μελέτης δεν εντοπίζονται καρστικές πηγές. Αυτές βρίσκονται εκτός περιοχής, τροφοδοτούνται από το καρστικό σύστημα της Πάρνηθας και εμφανίζονται στις παράκτιες ζώνες του Καλάμου, στον Ευβοϊκό Κόλπο και της Ψάθας, στον Κορινθιακό Κόλπο.

4. ΚΑΛΥΨΗ - ΧΡΗΣΕΙΣ ΓΗΣ

4.1 Γενικά

Ένα από τα σημαντικότερα εργαλεία για τη μελέτη μιας περιοχής, είναι ο εντοπισμός της κατανομής των διαφόρων χαρακτηριστικών της γήινης επιφάνειας, δηλαδή ο καθορισμός της χρήσης γης.

Ο σχεδιασμός των χρήσεων γης γίνεται πάντα με σκοπό τον προσδιορισμό χωροθέτησης διαφόρων δραστηριοτήτων, καθώς και την προστασία του περιβάλλοντος, διότι σωστός σχεδιασμός σημαίνει αυτόματα, σεβασμό των ορίων του περιβάλλοντος και της φέρουσας ικανότητας που αυτό μπορεί να έχει. Σαν φέρουσα ικανότητα ορίζεται το όριο το οποίο πρέπει να σεβόμαστε, ώστε να υπάρχει ισορροπία μεταξύ ανθρώπου-περιβάλλοντος, καθώς και ως ο αριθμός των οργανισμών που μπορεί να “αντέξει”, ένα περιβάλλον, σε συγκεκριμένο χρόνο.

Ο σεβασμός της φέρουσας ικανότητας μιας περιοχής μπορεί να οδηγήσει στην αειφόρο ανάπτυξη και διατήρηση του οικοσυστήματος. Ως *αειφόρος ανάπτυξη* ορίζεται: «η ανάπτυξη μιας περιοχής με τέτοιο τρόπο που θα ικανοποιεί τις ανάγκες της παρούσας γενιάς, χωρίς να εμποδίζει τις μελλοντικές γενιές να ικανοποιήσουν τις δικές τους ανάγκες και στόχους».

Για τον καθορισμό λοιπόν των χρήσεων γης της περιοχής μελέτης, ακολουθήθηκε συγκεκριμένη μεθοδολογία, η οποία βασίστηκε αρχικά, στη συλλογή βιβλιογραφικών δεδομένων που αφορούσαν μελέτες, οι οποίες σχετίζονταν με την αποτύπωση και καταγραφή της κάλυψης και χρήσης γης της ευρύτερης περιοχής. Στη συνέχεια συντάχθηκε ο θεματικός χάρτης της Κάλυψης – Χρήσης Γης και δημιουργήθηκε υπόμνημα με βάση τις βασικές χρήσεις γης που καταγράφηκαν.

Έτσι λοιπόν πραγματοποιήθηκε διαχωρισμός των πολυγωνικών ενοτήτων ως εξής:

- α) Σε εκείνες που περιλαμβάνουν μία «καθαρή» χρήση γης με ποσοστό περισσότερο του 80% του συνόλου της έκτασής τους και
- β) Σε εκείνες που χαρακτηρίζονται ως «μικτές» και περιλαμβάνουν μία κύρια χρήση γης που καταλαμβάνει ποσοστό από 50-80% του συνόλου της έκτασης κάθε πολυγώνου ενώ το υπόλοιπο ποσοστό καταλαμβάνεται από διαφορετικές χρήσεις γης που είναι δύσκολο να διαχωριστούν.

Τα κριτήρια διαχωρισμού που χρησιμοποιήθηκαν στις διάφορες κατηγορίες κάλυψης-χρήσης γης ήταν τα ακόλουθα:

Α. Γεωργικό Περιβάλλον

- *Αροτραίες καλλιέργειες.* Περιλαμβάνει περιοχές που καλλιεργούνται με χειμερινές και θερινές καλλιέργειες σιτηρών, βαμβακιού, οσπρίων, οπωρολαχανικών κ.α.
- *Αροτραίες μικτό.* Περιλαμβάνει περιοχές που καλλιεργούνται με χειμερινές και θερινές καλλιέργειες σιτηρών, βαμβακιού, οσπρίων, οπωρολαχανικών κ.α
- *Ελαιώνες.* Περιοχές φυτεμένες με ελαιόδεντρα
- *Ελαιώνες μικτό.* Περιοχές φυτεμένες με ελαιόδεντρα, ενώ ενδιάμεσα υπάρχουν σε μικρό ποσοστό και άλλου είδους χρήσεις γης που δεν μπορούν εύκολα να διαχωριστούν.
- *Μόνιμες.* Περιοχές φυτεμένες με οπωροφόρα δέντρα
- *Μόνιμες μικτό.* Περιοχές φυτεμένες με οπωροφόρα δέντρα, ενώ ενδιάμεσα υπάρχουν σε μικρό ποσοστό και άλλου είδους χρήσεις γης που δεν μπορούν εύκολα να διαχωριστούν.
- *Αμπελώνες.* Περιοχές που καλύπτονται από αμπέλια.

- *Αμπελώνες μικτό.* Περιοχές καλυμμένες από αμπέλια, ενώ ενδιάμεσα υπάρχουν σε μικρό ποσοστό και άλλου είδους χρήσεις γης που δεν μπορούν εύκολα να διαχωριστούν.

Β. Τεχνητές επιφάνειες

- *Αστικό.* Περιλαμβάνει την συνεχή αστική οικοδόμηση, δηλαδή χώρους που αποτελούνται από κτίρια. Τα κτίρια, οι οικοδομικές αρτηρίες και οι τεχνητά καλυπτόμενες επιφάνειες καλύπτουν ολόκληρο σχεδόν το έδαφος. Μη γραμμικές εκτάσεις βλάστησης και ακάλυπτα εδάφη είναι σπάνια.
- *Αστικό μικτό.* Περιγράφει διακεκομμένη αστική οικοδόμηση, δηλαδή χώρους που αποτελούνται από κτίρια που συνυπάρχουν με περιοχές βλάστησης και ακάλυπτα εδάφη, που καλύπτουν διακεκομμένες σημαντικές εκτάσεις.
- *Άλλο.* Περιλαμβάνει βιομηχανικές περιοχές, κατασκευαστικά έργα και γενικότερα τεχνητά καλυπτόμενες εκτάσεις με σκυρόδεμα, άσφαλτο ή σταθεροποιημένο, πεπιεσμένο χώμα κ.α., χωρίς βλάστηση ή κατασκευές όπως οδικά και σιδηροδρομικά δίκτυα, ζώνες λιμένων, αεροδρόμια, φράγματα, ορυχεία, θερμοκήπια, καθώς και αχαρακτήριστες χρήσεις γης.

Γ. Δάση και ημι-φυσικές περιοχές

- *Βοσκότοπος-Χέρσο.* Περιοχές που καλύπτονται από πυκνή βλάστηση χλόης ανθοκομικής σύνθεσης, αγρωστώδη και από χέρσες εκτάσεις.
- *Βοσκότοπος-Χέρσο μικτό.* Περιοχές που καλύπτονται από πυκνή βλάστηση χλόης ανθοκομικής σύνθεσης, αγρωστώδη και από χέρσες εκτάσεις. Ενδιάμεσα υπάρχουν σε μικρό ποσοστό και άλλου είδους χρήσεις γης που δεν μπορούν εύκολα να διαχωριστούν.
- *Δάσος.* Περιλαμβάνει όλων των ειδών τα δάση, πλατύφυλλα και κωνοφόρα.
- *Δάσος μικτό.* Περιλαμβάνει όλων των ειδών τα δάση, πλατύφυλλα και κωνοφόρα. Ενδιάμεσα υπάρχουν σε μικρό ποσοστό και άλλου είδους χρήσεις γης (κυρίως θαμνώδης κάλυψη) που δεν μπορούν εύκολα να διαχωριστούν. Οι θαμνώδεις εκτάσεις αφορούν σκληροφυλλική βλάστηση με χαμηλή και κλειστή κάλυψη που κυριαρχείται από θάμνους, χαμόδεντρα και ποώδη φυτά (χερσότοποι, ρείκια, αμμόχορτα, λιμπούρνο κ.α.).

Δ. Νερό – Δρόμοι – Αποστραγγιστικά έργα

Περιλαμβάνει παράκτιες ζώνες, δηλαδή περιοχές που δεν είναι δασώσεις και είναι διαποτισμένες προσωρινά ή μόνιμα από υφάλμυρο ή αλμυρό νερό, όπως βάλτοι, έλη, αμμουδιές, αλυκές κ.α. Επίσης, περιλαμβάνει όλων των ειδών τα χερσαία ύδατα, όπως ποτάμια, λίμνες και λιμνοθάλασσες και τέλος, δρόμους με πλάτος μεγαλύτερο των 10 μέτρων, ώστε να δημιουργεί ξεχωριστή πολυγωνική ενότητα.

4.2 Κάλυψη-χρήσεις γης περιοχής μελέτης

Στην εικόνα 4.1, παρουσιάζεται η κατανομή των διαφόρων τύπων χρήσεων γης αναλυτικά καθώς επίσης ενοποιημένα στις πλέον βασικές καλύψεις και χρήσεις γης, αντίστοιχα.

Η κατανομή των χρήσεων γης στις βασικές κατηγορίες στο σύνολο της λεκάνης του ποταμού Ασωπού ανά Δήμο / Κοινότητα σύμφωνα με τα στοιχεία της ΕΣΥΕ για το έτος 2005 δίνεται στους Πίνακες 4.1, και 4.2.

Από τα στοιχεία αυτά προκύπτει ότι η μεγαλύτερη από τη μισή έκταση της λεκάνης (56%) καλύπτεται από γεωργική γη, ένα σημαντικό ποσοστό (42%) από δάση και ημι-φυσικές εκτάσεις ενώ οι αστικές περιοχές αποτελούν μόλις το 2% της συνολικής της έκτασης (Εικόνα 4.1).

Η βιομηχανική δραστηριότητα εντοπίζεται στους Δήμους Οινοφύτων και Αυλώνα δηλαδή στη λεκάνη του μέσου ρου του ποταμού Ασωπού.

Εκτεταμένο συγκοινωνιακό δίκτυο εντοπίζεται στους Δήμους Σχηματαρίου, Τανάγρας και Οινοφύτων γεγονός που σχετίζεται άμεσα και με τη βιομηχανική ανάπτυξη της περιοχής.

Στον άνω ρου του Ασωπού ποταμού κύρια χρήση γης αποτελεί η γεωργία. Σε ποσοστό περίπου 65% της περιοχής καταλαμβάνεται από καλλιεργήσιμες εκτάσεις. Οι δασώδεις-ημιφυσικές περιοχές ανέρχονται σε ποσοστό περίπου 25%. Η υπόλοιπη έκταση καταλαμβάνεται από ελαιώνες, αμπελώνες και αστικοποιημένες περιοχές.

Στον πίνακα 4.1 που ακολουθεί παρουσιάζονται οι διάφορες χρήσεις γης της περιοχής με την αντίστοιχη ποσοστιαία αναλογία στο σύνολο της έκτασης της.

4.3 Επιπτώσεις στο υδάτινο περιβάλλον

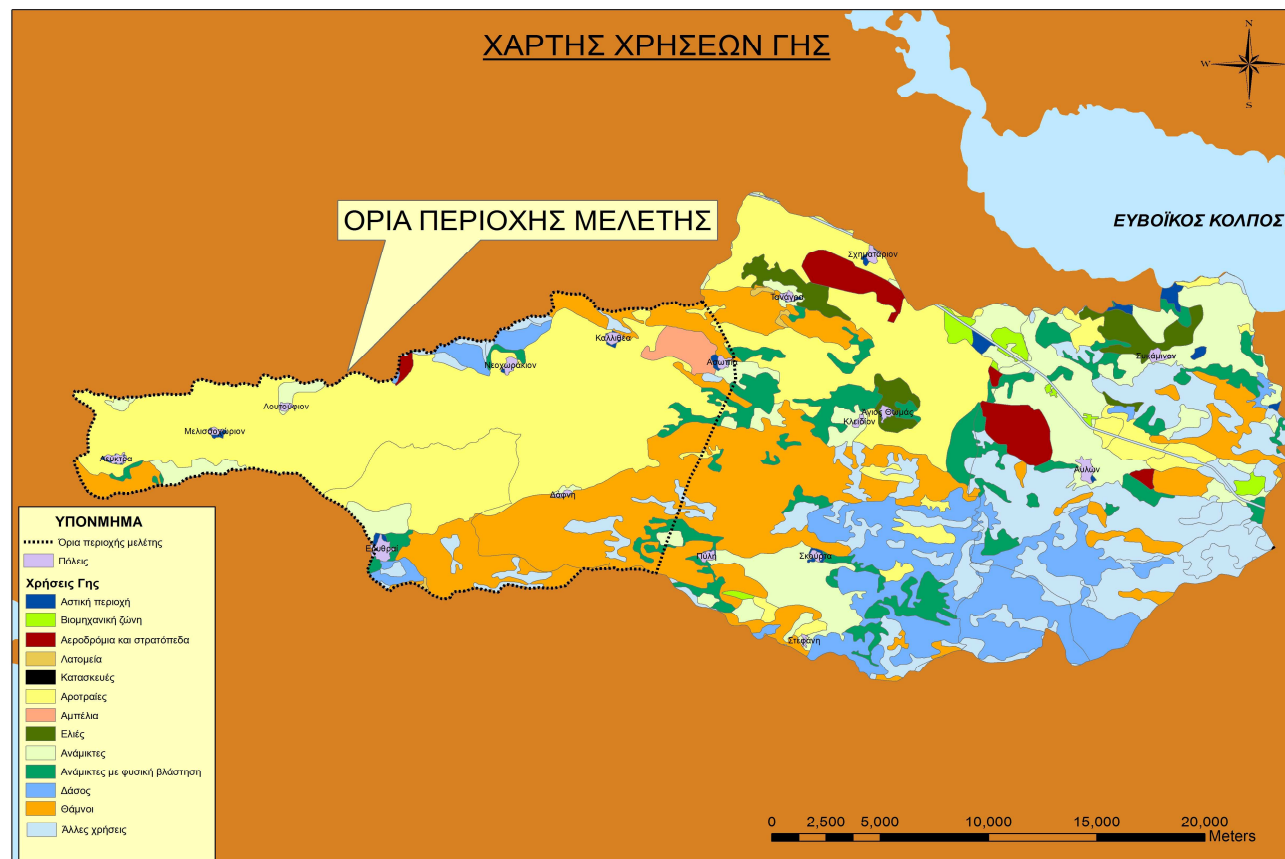
Οι διάφορες ανθρώπινες δραστηριότητες, σε σχέση με τις χρήσεις γης, επηρεάζουν αρνητικά το υδάτινο περιβάλλον μιας περιοχής. Τα επιφανειακά και υπόγεια νερά είναι πάντοτε οι τελικοί αποδέκτες των ρυπογόνων ουσιών που χρησιμοποιούνται σε κάθε ανθρώπινη δραστηριότητα.

Οι τρόποι με τους οποίους ασκείται αυτή η επίδραση είναι οι παρακάτω:

- *Η ρύπανση με ανθρωπογενή λύματα.* Είναι πολύ συνηθισμένη όταν κοντά στα υδρορέματα απαντώνται οικισμοί και αποθέτουν κάθε είδους λύματα, επιβαρύνοντας σημαντικά τα επιφανειακά νερά. Επίσης, η χρήση μη στεγανών βόθρων συμβάλλει άμεσα στην ρύπανση και μόλυνση των υπόγειων νερών.
- *Η ρύπανση με λιπάσματα και φυτοφάρμακα.* Με τις βροχές οι ουσίες αυτές καταλήγουν στα επιφανειακά νερά, προκαλώντας το φαινόμενο του ευτροφισμού, αλλά και την ρύπανση των υδροφόρων οριζόντων.
- *Η υπεράντληση των υδροφόρων οριζόντων για άρδευση.* Οι μεταβολές που επήλθαν τα τελευταία χρόνια στον προσανατολισμό της γεωργίας οδηγούν σε όλο και μεγαλύτερες ανάγκες κατανάλωσης νερού. Συνέπεια αυτής της κατάστασης είναι η σταδιακή ποιοτική υποβάθμιση των υπόγειων νερών που μπορεί να φθάσει σε πλήρη ακαταλληλότητα του νερού για οποιαδήποτε χρήση.

Τα προβλήματα αυτά είναι υπαρκτά στην λεκάνη του Ασωπού. Το μεγαλύτερο πρόβλημα είναι η ανεξέλεγκτη διάθεση των βιομηχανικών αποβλήτων της βιομηχανικής ζώνης Οινοφύτων-Σχηματαρίου που συντελείται στον φυσικό αποδέκτη ή ακόμη στον υπόγειο υδροφόρο, μέσω βαθιών γεωτρήσεων. Επίσης ιδιαίτερο πρόβλημα αντιμετωπίζουν οι παράκτιες περιοχές, όπου οι υπεραντλήσεις των υδροφόρων οριζόντων έχουν συμβάλλει στην υφαλμύρωση των υπόγειων νερών μέσω της διείσδυσης της θάλασσας.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα υποβάθμισης του υδάτινου περιβάλλοντος αποτελεί η ανατολική παράκτια περιοχή του Ασωπού ποταμού, η οποία υφίσταται τις επιπτώσεις των ανθρώπινων δραστηριοτήτων, (γεωργία, τουριστική ανάπτυξη, άναρχη οικοδόμηση κλπ.). Στην εν λόγω περιοχή η υφαλμύρωση των παράκτιων υδροφορέων είναι πολύ έντονη, καθώς επίσης η κατά τόπους εμφάνιση υψηλών συγκεντρώσεων νιτρικών αλάτων (NO_3^-) που συνδέονται με την χρήση λιπασμάτων ή την ύπαρξη σηπτικών βόθρων στην περιοχή Ζαχαριάδης 2008, Γαμβρούλα 2009, Γιαννουλόπουλος 2008).



Εικόνα 4.1: Χάρτης Κάλυψης-Χρήσεων γης στην περιοχή μελέτης.

Πίνακας 4.1: Οι γεωργικές εκτάσεις ανά Δήμο / Κοινότητα στην περιοχή(ΕΣΥΕ 2005, χιλ. στρέμματα).

ΔΗΜΟΙ ΚΟΙΝΟΤΗΤΕΣ	ΓΕΩΡΓΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ					
	Αρόσιμη γη	Μόνιμες καλλιέργειες	Βοσκότοποι& Μεταβατικές δασώδεις θαμνώδεις εκτάσεις	Βοσκότοποι& Συνδυασμοί θαμνώδους και/ή ποώδους βλάστησης	Βοσκότοποι- Εκτάσεις με αραιή ή καθόλου βλάστηση	Ετερογενείς γεωργικές περιοχές
Δ. ΔΕΡΒΕΝΟΧΩΡΙΩΝ	21,60	3,70	0,00	14,50	0,30	33,00
Δ. ΠΛΑΤΑΙΩΝ	60,50	6,80	0,30	4,80	0,30	22,80
Δ. ΟΙΝΟΦΥΤΩΝ	23,50	8,70	0,00	4,20	0,00	25,60
Δ. ΣΧΗΜΑΤΑΡΙΟΥ	9,50	2,20	0,00	0,00	0,00	15,80
Κ. ΣΥΚΑΜΙΝΟΥ	1,10	7,40	0,00	0,00	0,00	5,50
Δ. ΩΡΩΠΟΥ	0,00	3,40	0,00	0,00	0,00	4,60
Δ. ΑΥΛΩΝΟΣ	4,80	6,60	0,00	1,60	1,70	34,30
Δ. ΕΡΥΘΡΩΝ	28,90	8,90	0,00	0,00	0,00	0,00
Δ. ΤΑΝΑΓΡΑΣ	76,10	7,90	0,00	3,90	0,20	9,50
Δ.Δ. ΝΕΟΧΩΡΑΚΙΟΥ	14,70	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00
ΣΥΝΟΛΟ	226,00	55,70	0,30	29,00	2,50	151,00

Πίνακας 4.2: Οι δασώδεις – ημιφυσικές εκτάσεις ανά Δήμο / Κοινότητα (ΕΣΥΕ 2005, χιλ. στρέμματα).

ΔΗΜΟΙ/ΚΟΙΝΟΤΗΤΕΣ	ΔΑΣΗ ΗΜΙ-ΦΥΣΙΚΕΣ ΕΚΤΑΣΕΙΣ			
	Δάση	Μεταβατικές δασώδεις θαμνώδεις εκτάσεις	Συνδυασμοί θαμνώδους και /ή ποώδους βλάστησης	Εκτάσεις με αραιή ή καθόλου βλάστηση
Δ. ΔΕΡΒΕΝΟΧΩΡΙΩΝ	39,50	26,60	81,80	0,30
Δ. ΠΛΑΤΑΙΩΝ	12,80	12,70	50,80	0,20
Δ. ΟΙΝΟΦΥΤΩΝ	4,30	0,00	8,40	0,00
Δ. ΣΧΗΜΑΤΑΡΙΟΥ	0,00	0,60	4,10	0,00
Κ. ΣΥΚΑΜΙΝΟΥ	0,80	0,00	2,00	0,40
Δ. ΩΡΩΠΟΥ	0,00	0,00	3,30	0,00
Δ. ΑΥΛΩΝΟΣ	13,10	12,90	26,70	2,00
Δ. ΕΡΥΘΡΩΝ	3,40	0,10	18,20	0,80
Δ. ΤΑΝΑΓΡΑΣ	0,40	0,40	21,80	0,00
Δ.Δ. ΝΕΟΧΩΡΑΚΙΟΥ	0,40	0,10	1,00	0,00
ΣΥΝΟΛΟ	74,70	53,40	218,20	3,80

Πίνακας 4.3: Οι τεχνητές περιοχές ανά Δήμο / Κοινότητα, (ΕΣΥΕ 2005, χιλ. στρέμματα).

ΔΗΜΟΙ/ΚΟΙΝΟΤΗΤΕΣ	ΤΕΧΝΗΤΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ			
	Αστική οικοδόμηση	Βιομηχανικές και εμπορικές ζώνες	Δίκτυα συγκοινωνιών	Ορυχεία, χώρου απόρριψης απορριμμάτων και εργοτάξια
Δ. ΔΕΡΒΕΝΟΧΩΡΙΩΝ	0,50	0,00	0,00	0,20
Δ. ΠΛΑΤΑΙΩΝ	1,20	0,00	0,00	0,00
Δ. ΟΙΝΟΦΥΤΩΝ	0,90	1,00	0,30	0,10
Δ. ΣΧΗΜΑΤΑΡΙΟΥ	0,50	0,00	4,70	0,00
Κ. ΣΥΚΑΜΙΝΟΥ	0,20	0,00	0,00	0,00
Δ. ΩΡΩΠΟΥ	0,20	0,00	0,00	0,00
Δ. ΑΥΛΩΝΟΣ	0,60	2,20	0,90	0,00
Δ. ΕΡΥΘΡΩΝ	0,60	0,00	0,00	0,10
Δ. ΤΑΝΑΓΡΑΣ	0,90	0,00	2,40	0,10
Δ.Δ. ΝΕΟΧΩΡΑΚΙΟΥ	0,20	0,00	0,10	0,00
ΣΥΝΟΛΟ	5,70	3,30	8,40	0,50

5. ΚΛΙΜΑΤΙΚΑ ΚΑΙ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

5.1 Γενικά

Τα κλιματολογικά στοιχεία αποτελούν ουσιαστικούς παράγοντες διαμόρφωσης του υδρολογικού ισοζυγίου μιας περιοχής και ως εκ τούτου απαιτείται η μελέτη και ανάλυση της χωροχρονικής κατανομής κάθε κλιματικού παράγοντα ξεχωριστά, αλλά και η διερεύνηση των μεταξύ τους αλληλεπιδράσεων.

Επειδή στην περιοχή της μελέτης δεν υφίσταται κανένας μετεωρολογικός σταθμός, κρίθηκε αναγκαίο και ελήφθησαν στοιχεία από τον πλησιέστερο μετεωρολογικό σταθμό της Τανάγρας, ο οποίος θεωρείται ο πλέον αντιπροσωπευτικός σταθμός για την λεκάνη του Ασωπού γενικά. Βασικός παράγων της επιλογής υπήρξε η απόσταση από την περιοχή μελέτης και ιδιαίτερα η αξιοπιστία των τιμών.

Τα διαθέσιμα στοιχεία του προαναφερόμενου σταθμού αφορούν τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα και τη θερμοκρασία της περιόδου 1968-1992 και τα δεδομένα της τελευταίας περιόδου 2008-2009.

Στους πίνακες 5.1 και 5.2, παρουσιάζονται τα δεδομένα του εν λόγω μετεωρολογικού σταθμού.

Πίνακας 5.1: Μετεωρολογικά στοιχεία σταθμού Τανάγρας περιόδου 1986-92 (ΕΜΥ).

Μήνες	Μέση Θερμοκρ.	Μέση Μέγιστη Θερμοκρ.	Μέση Ελάχιστη Θερμοκρ.	Απόλυτη Μέγιστη Θερμοκρ.	Απόλυτη Ελάχιστη Θερμοκρ.	Σχετική Υγρασία %	Συνολικό ύψος βροχής mm	Μέγιστο ύψος βροχής mm
Ιαν.	7,4	11,7	3,2	23,4	-10,4	77,0	64,5	169,3
Φεβρ.	8,2	12,7	3,4	26,0	-16,6	74,5	49,9	54,2
Μάρτ.	10,3	14,9	4,6	26,6	-6,4	72,7	49,2	42,0
Απρ.	14,6	19,5	7,2	32,8	-6,0	66,3	27,9	47,3
Μάιος	19,9	24,9	11,1	38,2	1,1	58,9	21,7	56,0
Ιούν.	25,1	30,0	15,5	42,4	7,0	49,4	12,8	58,0
Ιούλ.	27,3	31,9	18,1	46,0	11,0	47,5	6,9	27,0
Αύγ.	26,6	31,6	18,1	43,7	10,5	49,3	10,3	55,5
Σεπτ.	22,3	27,9	14,9	39,0	5,8	58,7	20,4	51,5
Οκτ.	17,2	22,4	11,4	37,2	0,0	68,7	50,5	67,0
Νοέμβ.	12,9	17,7	8,0	29,4	-3,0	75,7	58,8	52,2
Δεκ.	9,4	13,6	4,9	23,8	-6,0	77,5	74,9	77,0
Μέση τ.	16,8	21,6	10,3	34,1	+0,9	64,7	447,8	757,0

Πίνακας 5.2: Μετεωρολογικά στοιχεία σταθμού Τανάγρας περιόδου 2008-2009 (ΕΜΥ).

Μήνας	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ	Μέση τ.
Μέση Θερμ. (°C)	7,8	7,2	11,6	14,2	19,4	24,8	27,3	26,1	21,2	17,4	13,0	10,7	16,7
Ύψος Βροχής (mm)	48,4	29,0	42,3	28,8	9,6	2,2	1,3	10,8	78,9	13,0	51,8	48,6	364,7

5.2 Ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα

Στα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα περιλαμβάνονται γενικά οι διάφορες μορφές τους, όπως βροχή, χαλάζι, χιόνι, κτλ, με τις οποίες το νερό φθάνει στην επιφάνεια του εδάφους. Η βροχόπτωση και το χιόνι αποτελούν τη σπουδαιότερη πηγή τροφοδοσίας για όλες τις παραμέτρους του υδρολογικού ισοζυγίου.

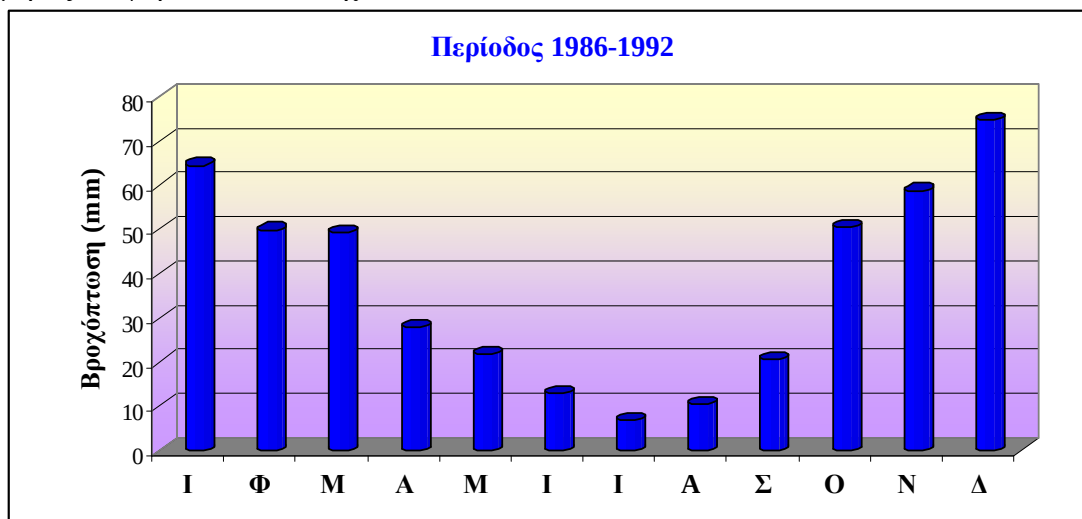
Η χιονοκάλυψη στους ορεινούς όγκους του Κιθαιρώνα και της Πάρνηθας εμφανίζεται περιοδικά μεταξύ του Νοεμβρίου και Φεβρουαρίου. Η παραμονή του χιονιού στις

ορεινές αυτές μάζες είναι περιορισμένη λόγω των έντονων καιρικών μεταβολών που παρατηρούνται στην ευρύτερη περιοχή.

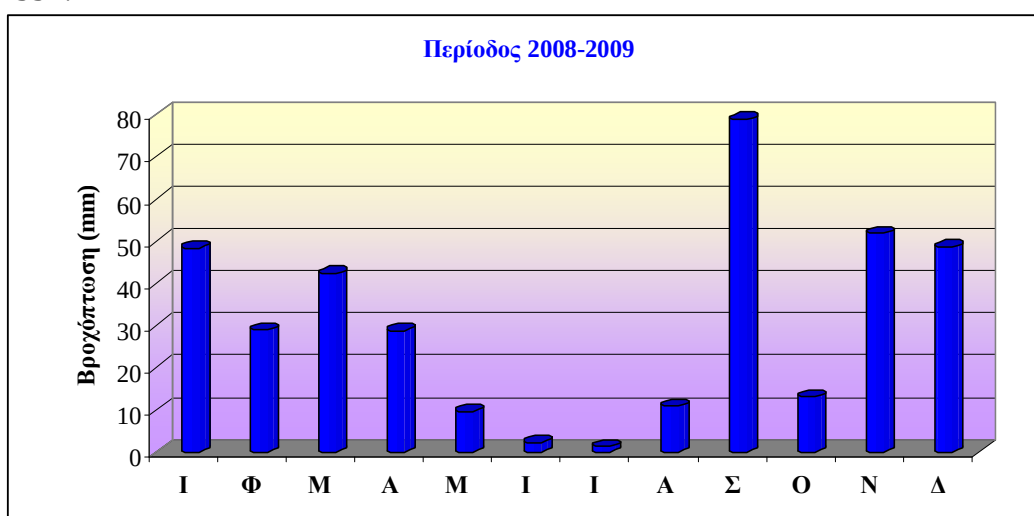
Στην εικόνα 5.1, απεικονίζεται η κατανομή του μέσου ύψους βροχής (mm), βάσει των στοιχείων του μετεωρολογικού σταθμού της Τανάγρας για το χρονικό διάστημα (1986-1992). Ο μήνας με το μεγαλύτερο ύψος βροχής είναι ο Δεκέμβριος με 74,9 mm. Το καλοκαίρι παρατηρούνται τα χαμηλότερα ύψη βροχής, όπως τον Ιούνιο 12,8 mm, τον Ιούλιο 6,9 mm και τον Αύγουστο 10,3 mm.

Στην εικόνα 5.2, απεικονίζεται η κατανομή του μέσου ύψους βροχής (mm), βάσει των στοιχείων του μετεωρολογικού σταθμού της Τανάγρας για το χρονικό διάστημα (2008-2009). Ο μήνας με το μεγαλύτερο ύψος βροχής είναι ο Σεπτέμβριος 157,8mm, ενώ το καλοκαίρι παρατηρούνται τα μικρότερα ύψη βροχής (Ιούνιος 4,4 mm, Ιούλιος 2,6 mm).

Παρατηρείται ότι ενώ το χρονικό διάστημα από 1986-1992 ο υγρότερος μήνας ήταν ο Δεκέμβριος στο χρονικό διάστημα 2008-2009 εμφανίζεται να είναι ο Σεπτέμβριος, και μάλιστα με διπλάσιο σχεδόν ύψος βροχής. Η κατάσταση για τους καλοκαιρινούς μήνες διαφοροποιείται ελάχιστα.



Εικόνα 5.1: Κατανομή του μέσου ύψους βροχής για την περίοδο μετρήσεων 1986-1992.



Εικόνα 5.2: Κατανομή του μέσου ύψους βροχής (mm) για την περίοδο μετρήσεων 2008-2009.

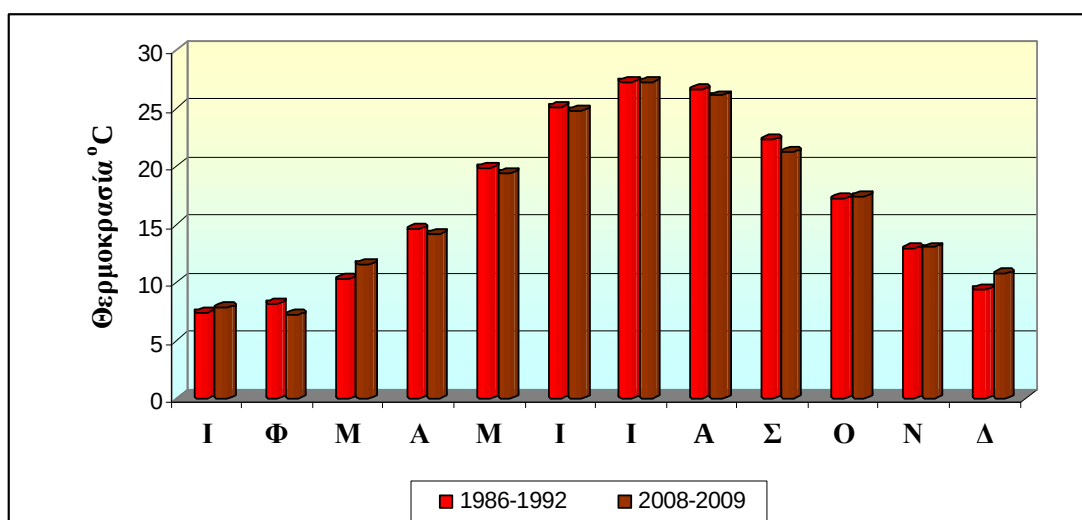
5.3 Θερμοκρασία

Η θερμοκρασία είναι μία κλιματολογική παράμετρος, η οποία παίζει καθοριστικό ρόλο στην διαμόρφωση του υδρολογικού ισοζυγίου μιας περιοχής, διότι είναι η σημαντικότερη παράμετρος που διαμορφώνει, μαζί με την ηλιακή ακτινοβολία και την ένταση των ανέμων, την εξατμισοδιαπνοή.

Η ημερησία μεταβολή της θερμοκρασίας του αέρα ακολουθεί, με κάποια καθυστέρηση, την αντίστοιχη μεταβολή της ηλιακής ακτινοβολίας. Οι μέγιστες τιμές της θερμοκρασίας καταγράφονται τις πρώτες απογευματινές ώρες και οι ελάχιστες τις πρώτες πρωινές πριν την ανατολή του ήλιου.

Από τα μετεωρολογικά στοιχεία του σταθμού της Τανάγρας (1986-92) παρατηρείται ότι το μήνα Ιούλιο εμφανίζεται η μέση μέγιστη θερμοκρασία που είναι 31,9°C ενώ η μέση ελάχιστη θερμοκρασία παρατηρείται το μήνα Ιανουάριο με 3,2°C. Τον Ιούλιο παρατηρείται η μεγαλύτερη μέση μηνιαία θερμοκρασία 27,3°C ενώ η μικρότερη το μήνα Ιανουάριο 7,4°C.

Στην εικόνα 5.3, απεικονίζεται η κατανομή της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας (°C) που αφορά την περίοδο των μετρήσεων 1986-1992 και την περίοδο των μετρήσεων 2008-2009.

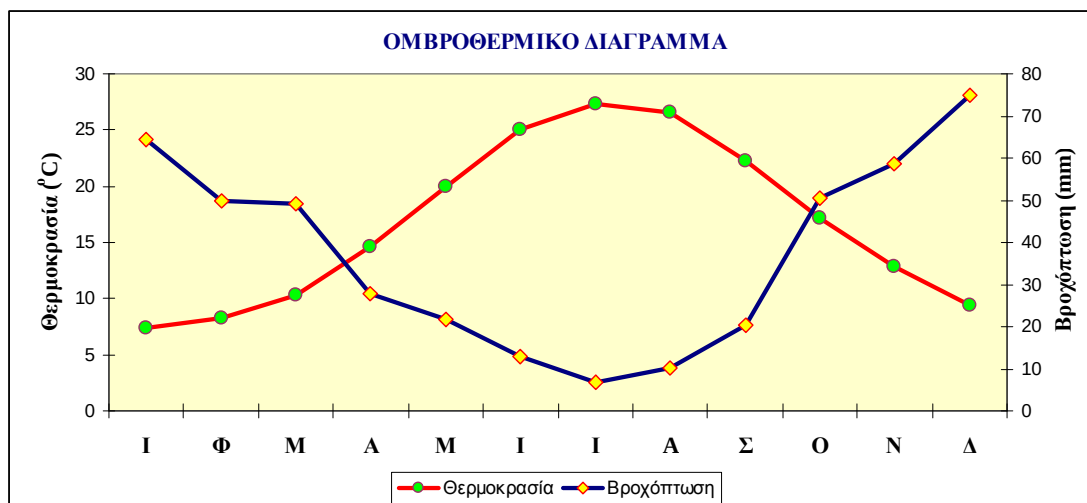


Εικόνα 5.3: Κατανομή μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας περιόδων 1986-1992 και 2008-2009.

Από την σύγκριση των δεδομένων παρατηρείται ότι το μήνα Ιούλιο εμφανίζεται η μεγαλύτερη μέση μηνιαία θερμοκρασία 27,25°C ενώ η μικρότερη το μήνα Ιανουάριο 7,8 °C (Εικόνα 2.3). Οι διαφορές λοιπόν που προκύπτουν ανάμεσα στις δυο αυτές περιόδους μετρήσεων στον σταθμό της Τανάγρας είναι σχεδόν αμελητέες.

Από την επεξεργασία των δεδομένων του μετεωρολογικού σταθμού της Τανάγρας, προέκυψε το παρακάτω θερμοϋετόγραμμα, το οποίο παρουσιάζει το γενικό κλίμα που επικρατεί στην ευρύτερη περιοχή (Εικ. ...).

Διαπιστώνεται ότι, η υγρή περίοδος διαρκεί από τα μέσα Οκτωβρίου έως αρχές του Απριλίου με το μέσο ύψος νετού να κυμαίνεται από 10 έως 75 mm. Η έναρξη της ξηρής περιόδου σημειώνεται από τα μέσα Απριλίου έως τα μέσα του Οκτωβρίου.



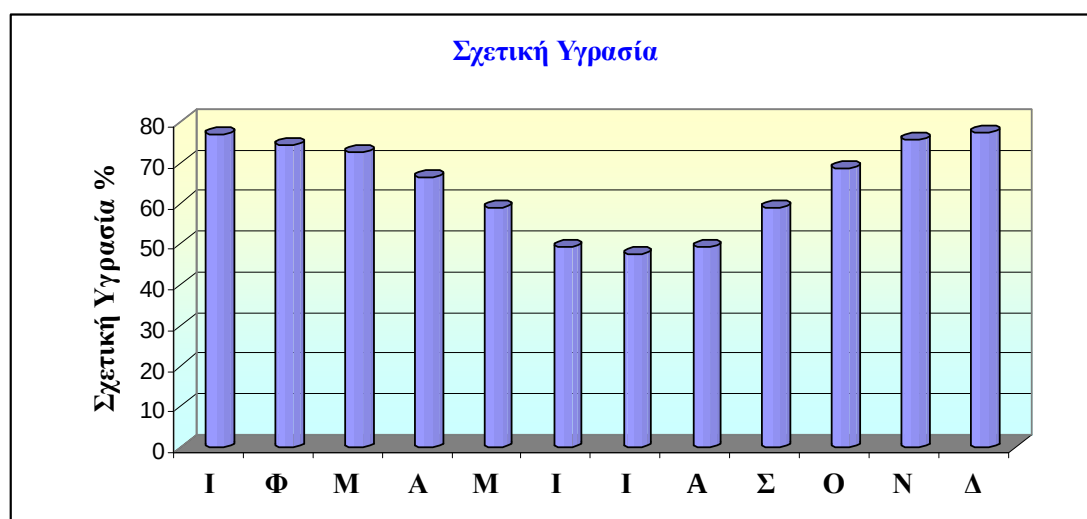
Εικόνα 5.4: Ομβροθερμικό διάγραμμα περιόδου 1986- 1992

5.4 Μηνιαία πορεία της σχετικής υγρασίας

Από τα μετεωρολογικά στοιχεία του σταθμού της Τανάγρας (1986-92) που αναφέρονται στον πίνακα 5.1 η σχετική υγρασία κυμαίνεται από 47,5 % το καλοκαίρι (Ιούλιος) και φτάνει το 77,5 % το χειμώνα (Δεκέμβριος).

Η σχετική υγρασία μεταβάλλεται με πολύ πιο γρήγορο ρυθμό κατά τους θερινούς και φθινοπωρινούς μήνες σε σχέση με τους υπόλοιπους μήνες του έτους.

Στην εικόνα, απεικονίζεται γραφικά η πορεία της μηνιαίας σχετικής υγρασίας όπως αυτή μετρήθηκε στο μετεωρολογικό σταθμό της Τανάγρας για την περίοδο 1986-1992.



Εικόνα 5.5: Διάγραμμα μηνιαίας διακύμανσης των τιμών της σχετικής υγρασίας στο σταθμό Τανάγρας.

5.5 Μηνιαία πορεία των ανέμων

Στον πίνακα 5.3 Παρουσιάζονται τα στοιχεία διεύθυνσης και έντασης των ανέμων που επικρατούν στην ευρύτερη περιοχή του μετεωρολογικού σταθμού της Τανάγρας. Όπως προκύπτει από τα στοιχεία, η ένταση των ανέμων δεν ξεπερνάει τα όρια των μετρίων ανέμων, αφού σε ποσοστό 95% κυμαίνεται μεταξύ 0 και 4 Beauforts με το ποσοστό άπνοιας να καλύπτει ποσοστό 35.879%.

Οι ισχυροί έως και πολύ ισχυροί άνεμοι έντασης 5-7 B καλύπτουν ποσοστό μόνο 4.94% ενώ οι θυελλώδεις άνω των 7B είναι σχεδόν ανύπαρκτοι.

Στην περιοχή μελέτης επικρατούν B και ΒΔ άνεμοι σε ποσοστό 16.25% και 13.87% αντίστοιχα. Έπονται οι Δ άνεμοι με ποσοστό 11.2%, οι ΒΑ με 6.32%, οι ΝΔ με 4.95%, οι Α με 4.57%, οι Ν με 4.74% και οι ΝΑ με 2.21%.

Το Νοέμβριο εμφανίζεται το μεγαλύτερο ποσοστό άπνοιας ενώ τον Ιούλιο το μικρότερο με ποσοστό 42.8% και 25.62% αντίστοιχα.

Πίνακας 5.3 : Ετήσια συχνότητα διεύθυνσης και έντασης ανέμου στο Μ.Σ Τανάγρας

Ένταση ανέμ.	B	ΒΑ	A	Α	N	Δ	Δ	ΒΔ	Νηνεμία	Σύνολο
0									35.879	35.879
1	0.252	0.120	0.197	0.077	0.077	0.055	0.449	0.340		1.567
2	3.023	1.807	1.851	0.690	0.843	0.898	4.162	4.491		17.765
3	5.422	2.903	1.796	0.745	1.413	1.380	4.042	5.246		22.947
4	5.794	1.391	0.646	0.504	1.654	1.829	1.939	3.067		16.824
5	1.413	0.088	0.055	0.120	0.537	0.591	0.427	0.581		3.812
6	0.296	0.011	0.011	0.055	0.164	0.153	0.131	0.110		0.931
7	0.044	0.000	0.011	0.011	0.044	0.033	0.033	0.022		0.198
8	0.011	0.000	0.000	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011		0.066
9	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.011	0.000		0.011
10	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		0.000
11	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		0.000
Σύν.	16.255	6.320	4.567	2.213	4.743	4.950	11.205	13.868	35.879	100.000

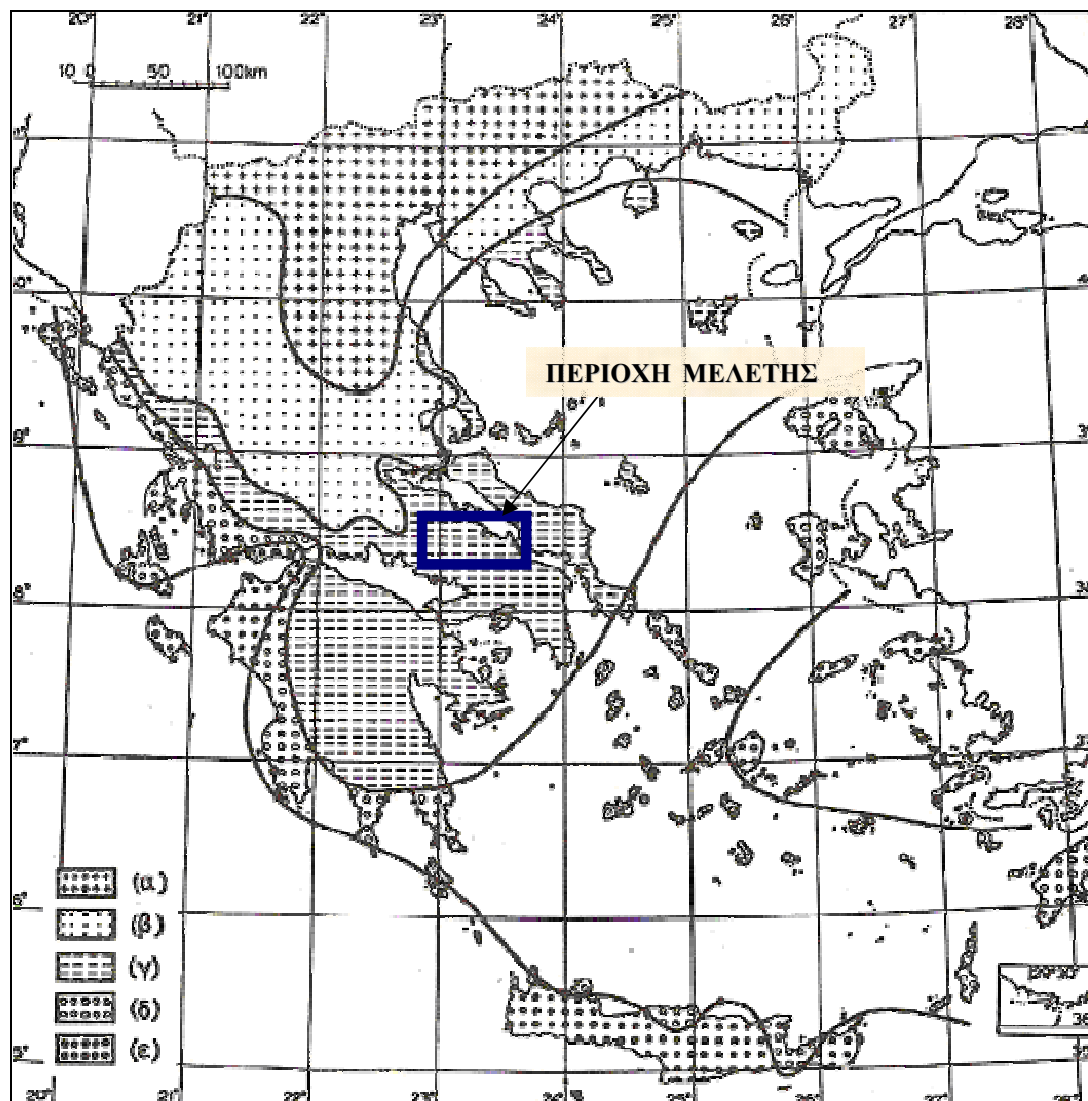
5.6 Χαρακτηρισμός κλίματος

Στο νομό Βοιωτίας τα βουνά που περιβάλλουν τα χαμηλά λεκανοπέδια εμποδίζουν τις θαλάσσιες επιδράσεις να φτάσουν στο εσωτερικό. Για το λόγο αυτό, το κλίμα στο εσωτερικό του νομού, που ουσιαστικά είναι και η περιοχή μελέτης μας, προσεγγίζει το ηπειρωτικό, με κύριο χαρακτηριστικό το μεγάλο θερμοκρασιακό εύρος.

Στην εικόνα 5.6 παρατηρούμε τις μεταβατικές κλιματικές ζώνες στην Ελλάδα και συγκεκριμένα στην περιοχή υπάρχουν οι παρακάτω κλιματικές ζώνες:

- (α) Ηπειρωτική μεσογειακή θερμού θέρους, όχι όμως τόσο ξηρού όσο η γνήσια μεσογειακή,
- (β) μεταβατική ζώνη που αποκλίνει περισσότερο προς την ηπειρωτική μεσογειακή παρά προς τη γνήσια μεσογειακή,
- (γ) κύρια μεταβατική ζώνη μεταξύ ηπειρωτικών μεσογειακών και γνήσιων μεσογειακών κλιμάτων,
- (δ) γνήσια μεσογειακή με ατμοσφαιρική ευστάθεια και
- (ε) γνήσια μεσογειακή με μεγαλύτερη ατμοσφαιρική ευστάθεια.

Βάσει της ταξινόμησης αυτής προκύπτει ότι η περιοχή μελέτης ανήκει στην ζώνη (γ) (Κοτίνη-Ζαμπάκα, 1983).



Εικόνα 5.6: Μεταβατικές κλιματικές ζώνες στην Ελλάδα (Κοτίνη-Ζαμπάκα, 1983)

6. ΓΕΩΛΟΓΙΑ

6.1 Περιγραφή γεωλογικών σχηματισμών

Σύμφωνα με τον γεωλογικό χάρτη του ΙΓΜΕ, Φύλλο Ερυθραί (Δούνας 1971), Φύλλο Θήβαι (Τάταρης κάλ. 1970) και Φύλλο Καπαρέλλιον (Μπορνόβας κάλ. 1984) στην περιοχή έρευνας αναπτύσσονται Νεοπαλαιζωϊκοί σχηματισμοί (σχιστόλιθοι και ψαμμίτες), Αλπικοί σχηματισμοί (ασβεστόλιθοι και δολομίτες) και Μεταλπικοί σχηματισμοί (Νεογενή ιζήματα και Τεταρτογενείς αποθέσεις). Γεωτεκτονικά οι σχηματισμοί του υποβάθρου ανήκουν στην Υποπελαγονική Ζώνη.

Στην εικόνα 6.1, παρουσιάζονται οι γεωλογικοί σχηματισμοί που αναπτύσσονται στην περιοχή ενδιαφέροντος. Στην εικόνα 6.2 παρουσιάζεται γεωλογική τομή όπου απεικονίζεται η δομή των στρωμάτων του βόρειου τμήματος του όρους Πάστρα (Δούνας κα. 1971) και στην εικόνα 6.3 απεικονίζεται η στρωματογραφική στήλη όπου περιγράφονται οι γεωλογικοί σχηματισμοί που αναπτύσσονται στις ορεινές μάζες Κιθαιρώνα, Πατέρα και Πάστρα (Δούνας κα. 1971). Η περιγραφή των γεωλογικών σχηματισμών, από τους αρχαιότερους προς τους νεότερους, έχει ως ακολούθως:

6.2 Νεοπαλαιζωϊκό (Πέρμιο- Ανώτερο Λιθανθρακοφόρο)

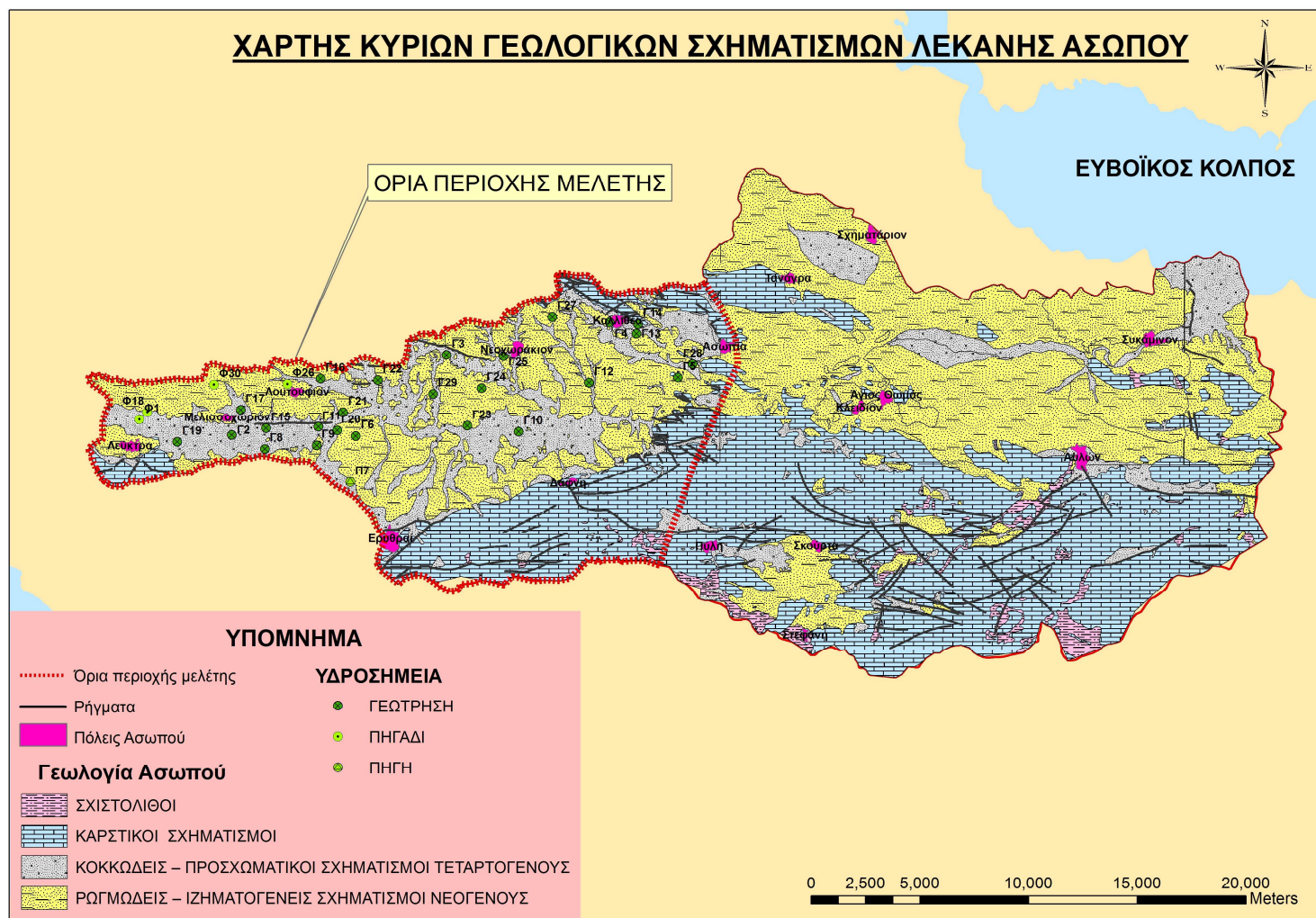
Στο νότιο ανατολικό τμήμα της περιοχής μελέτης εμφανίζονται σε περιορισμένη ανάπτυξη νεοπαλαιζωϊκοί σχηματισμοί οι οποίοι αποτελούνται από αργίλικους σχιστόλιθους και Ψαμμίτες. Μεταξύ των σχηματισμών αυτών συνυπάρχουν Γραουβάκες, Κροκαλοπαγή, Τοφίτες και Τόφοι. Μεταξύ των πετρωμάτων αυτών υπάρχουν φακοειδής ενστρώσεις από ασβεστόλιθους και στρώματα από βασικά εκρηξιγενή πετρώματα. Περιέχουν επίσης μικρές εμφανίσεις από φυλλίτες και χαλαζίτες. Οι σχηματισμοί αυτοί έχουν ασθενώς μεταμορφωθεί και προέρχονται από ιζήματα αβαθούς θάλασσας. Οι μικρές αυτές εμφανίσεις του Παλαιοζωϊκού είναι οι αρχαιότεροι σχηματισμοί που εμφανίζονται στην περιοχή μελέτης.

6.3 Τριαδικοί – Ιουρασικοί Ασβεστόλιθοι

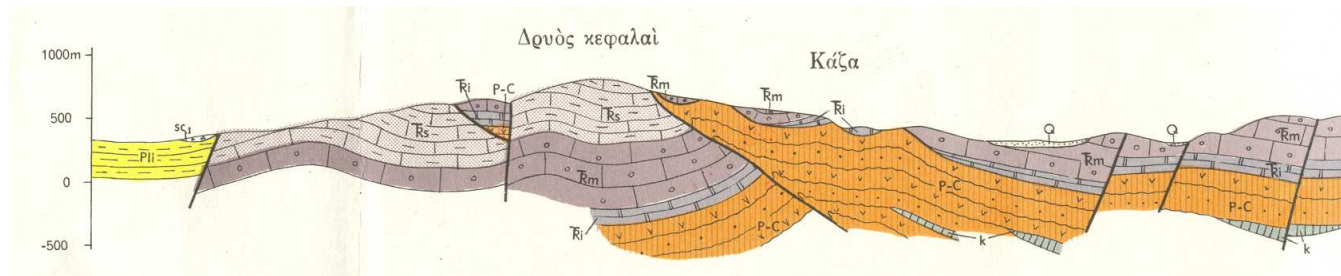
Το Τριαδικό αντιπροσωπεύεται από ασβεστόλιθους και διαιρείται σε τρεις διακριτές στιβάδες οι οποίες παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές σχετικά με την φυσιογνωμία, το χρώμα, την υφή και πετρολογική σύσταση (Δούνας κ.α, 1980).

6.3.1 Σχηματισμοί Κατώτερου – Μέσου Τριαδικού

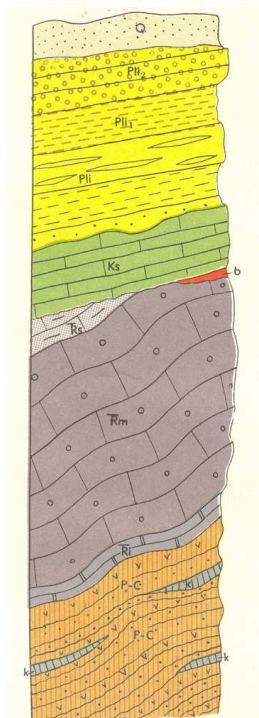
Οι σχηματισμοί αυτοί αποτελούνται από ασβεστόλιθους, κερατόλιθους και ηφαιστειακοί τόφοι. Είναι ένα σύμπλεγμα στρωμάτων ερυθροτέφρου έως ανοικτοτέφρου αποχρώσεως της φάσεως Halstatt. Οι ασβεστόλιθοι είναι λεπτοπλακώδεις, στιφροί, συχνά μαργαϊκοί που εναλλάσσονται με στρώματα κερατόλιθων. Μεταπίπτουν πλευρικά σε σχιστόλιθους και ψαμμίτες, αποτελώντας τη μετάβαση από τα υποκείμενα νεοπαλαιζωϊκά πετρώματα της βάσεως τους προς τους υπερκείμενους ασβεστόλιθους του μέσου Τριαδικού. Ο σχηματισμοί αυτοί έχουν περιορισμένη εμφάνιση και εντοπίζονται δυτικά των Πλαταιών και στο νοτιοανατολικό άκρο της περιοχής.



Εικόνα 6.1: Χάρτης των κύριων γεωλογικών σχηματισμών της περιοχής μελέτης.



Εικόνα 6.2: Γεωλογική τομή όπου απεικονίζεται η δομή των στρωμάτων του βόρειου τμήματος του όρους Πάστρα που αναπτύσσεται στο νότιο τμήμα της περιοχής μελέτης (από Δούνα κάλ. 1971)



Εικόνα 6.3: Στρωματογραφική στήλη όπου περιγράφονται οι γεωλογικοί σχηματισμοί που αναπτύσσονται στις ορεινές μάζες Κιθαιρώνα, Πατέρα και Πάστρα και στις λεκάνες του Ασωπού στα βόρεια και των Μεγάρων στα νότια, βάσει του Γεωλογικού χάρτη Φύλλο Ερυθραί (από Δούνα κάλ. 1971).

6.3.2 Σχηματισμοί Μέσον – Ανώτερου Τριαδικού

Στην ενότητα αυτή συμμετέχουν ασβεστόλιθοι, δολομιτικοί ασβεστόλιθοι και δολομίτες και καλύπτουν το νότιο τμήμα της περιοχής μελέτης. Οι ανθρακικοί αυτοί σχηματισμοί είναι λευκού χρώματος έως ανοικτότεφροι, άστρωτοι έως παχυστρωματώδεις. Είναι κρυσταλλικοί και παρουσιάζουν ισχυρό κερματισμό και είναι έντονα αποκαρστωμένοι. Το πάχος της σειράς αυτής φτάνει τα 350 μ.

6.3.3 Σχηματισμοί Ανώτερου Τριαδικού- Κατώτερου Ιουρασικού

Οι σειρά αυτοί αποτελείται από ασβεστόλιθους, δολομιτικούς ασβεστόλιθους και δολομίτες. Είναι βαθύτεροι έως μελανότεφροι λεπτοπλακώδεις έως μεσοπλακώδεις, με κονδύλους κερατόλιθων. Συχνά είναι δολομιτοποιημένοι έως δολομιτικοί. Το πάχος της σειράς αυτής είναι 250μ. Οι σχηματισμοί αυτοί δομούν την ορεινή μάζα του Κιθαιρώνα νότια των Ερυθρών. Επίσης εντοπίζονται στα βορειοανατολική της περιοχής μελέτης που δομούν την ορεινή μάζα Μουσταφάδες βόρεια της κοινότητας Καλλιθέας.

6.4 Μεταλπικοί σχηματισμοί

Οι Μεταλπικοί σχηματισμοί που καλύπτουν μεγάλη έκταση του άνω ρου της λεκάνης του Ασωπού, διακρίνονται, από τους παλαιότερους προς τους νεότερους, σε Νεογενή ιζήματα και Τεταρτογενείς αποθέσεις:

6.4.1 Νεογενές

Το Νεογενές στην περιοχή μελέτης αντιπροσωπεύεται από δύο συστήματα πετρωμάτων. Οι νεογενείς σχηματισμοί του κατώτερου συστήματος αποτελούνται από εναλλασσόμενα στρώματα λιμνοθαλάσσιας, θαλάσσιας και λιμναίας φάσης που περιέχουν λεπτά στρώματα λιγνίτη (Δούνας κ.α., 1978). ΟΙ σχηματισμοί του κατώτερου συστήματος αναπτύσσονται στο νότιο και στο βορειοανατολικό τμήμα της λεκάνης. Το πάχος των σχηματισμών αυτών ανέρχεται στα 170μ. περίπου.

Προς τα επάνω ακολουθούν οι σχηματισμοί του ανώτερου συστήματος που αποτελείται από αργίλους, πηλούς και κροκαλοπαγή. Οι σχηματισμοί αυτοί δεν αναπτύσσονται στην περιοχή μελέτης, προφανώς καλύπτονται από τους νεότερους σχηματισμούς του Πλειστοκαίνου. Τα ιζήματα του Νεογενούς καταλαμβάνουν σημαντική έκταση της λεκάνης.

6.4.2 Τεταρτογενές

Το τεταρτογενές αποτελείται από Πλειστοκαινικές και Ολοκαινικές αποθέσεις.

Οι Πλειστοκαινικές αποθέσεις διακρίνονται σε δυο κατηγορίες:

- ❖ α) Κροκαλοπαγή, ψαμμίτες, άμμοι και ερυθροί πηλοί τα οποία προέρχονται από χειμαρρώδεις ποτάμιες αποθέσεις του Διλουβίου με διαφορετικό βαθμό συνεκτικότητας. Τροφοδοτούνται κυρίως από τα ανθρακικά πετρώματα και από άλλους σχηματισμούς.
- ❖ β) Ποτάμιες αναβαθμίδες του νεωτέρου Διλουβίου. Αποτελούνται κυρίως από κλαστικά υλικά ασβεστολιθικής προέλευσης και με μεγάλη συνοχή. Συνιστώνται από λατυποκροκαλοπαγή διατεταγμένα σε παχιές τράπεζες και

υπό κλίση, με παρεμβολές λεπτών κιτρινοφαίων ασβεστομαργαϊκών ενστρώσεων.

Οι *Ολοκαινικές αποθέσεις* είναι σύγχρονοι σχηματισμοί έχουν μεγάλη εξάπλωση και καλύπτουν σε μεγάλη έκταση τις νεογενείς αποθέσεις. Ανάλογα με τις διεργασίες σχηματισμού τους διακρίνονται σε κατηγορίες:

- ❖ α) Σύγχρονες αλλουβιακές αποθέσεις, Ολοκαινικής ηλικίας, με εναλλαγές κροκαλοπαγών και ερυθρών αργίλων σε μαιανδρικές κοίτες ποταμών ή εκβολές χειμάρρων. Τοπικά εντός των χειμάρρων εμφανίζονται αναβαθμίδες μέχρι ύψος 3 μέτρα.
- ❖ β) Σύγχρονα πλευρικά κορήματα, ασύνδετα αναπτυσσόμενα επί των κλιτών των ασβεστολιθικών κυρίως ορέων.
- ❖ γ) Ελουβιακός μανδύας ο οποίος καλύπτει διάφορους σχηματισμούς σημαντικού ενίοτε πάχους, σχιστοκερατολιθική διάπλαση και φλύσχη και
- ❖ δ) παλαιοί και νέοι κώνοι κορημάτων και πλευρικά κορήματα

6.5 Τεκτονική

Σύμφωνα με τον Μέττο (1992) η λεκάνη του Ασωπού ποταμού είναι αποτέλεσμα τεκτονικών κινήσεων με κατακόρυφες μετατοπίσεις. Η δημιουργία της τάφρου άρχισε κατά το Κατώτερο Μειόκαινο. Οι παραπάνω κατακόρυφες κινήσεις ήταν διαφορετικής έντασης, με αποτέλεσμα ο χώρος που περιέχεται μέσα στη λεκάνη να μην έχει ομοιόμορφη ανάπτυξη και να έχουμε διαφορετική ιζηματογένεση από θέση σε θέση.

Εντός της λεκάνης διακρίνονται τρία συστήματα ρηγμάτων με διευθύνσεις Α-Δ, ΒΔ-ΝΑ και ΒΑ-ΝΔ, με επικρατέστερο το σύστημα με διεύθυνση Α-Δ. Το τελευταίο σύστημα συντέλεσε στη δημιουργία της τάφρου. Επίσης στο νότιο τμήμα της λεκάνης έχουμε τη δημιουργία αντιθετικών ρηγμάτων, με αποτέλεσμα τη δημιουργία μικρών υπολεκανών (Ερυθρών).

Στο δυτικό τμήμα που είναι και η περιοχή ενδιαφέροντός μας, η ταπείνωση της λεκάνης του Ασωπού γίνεται κυρίως με μία ρηξιγενή ζώνη που διέρχεται κατά μήκος των κύριων προπόδων του όρους Πάστρα τέμνοντας τις Ερυθρές (Παπανικολάου κάλ. 1988).

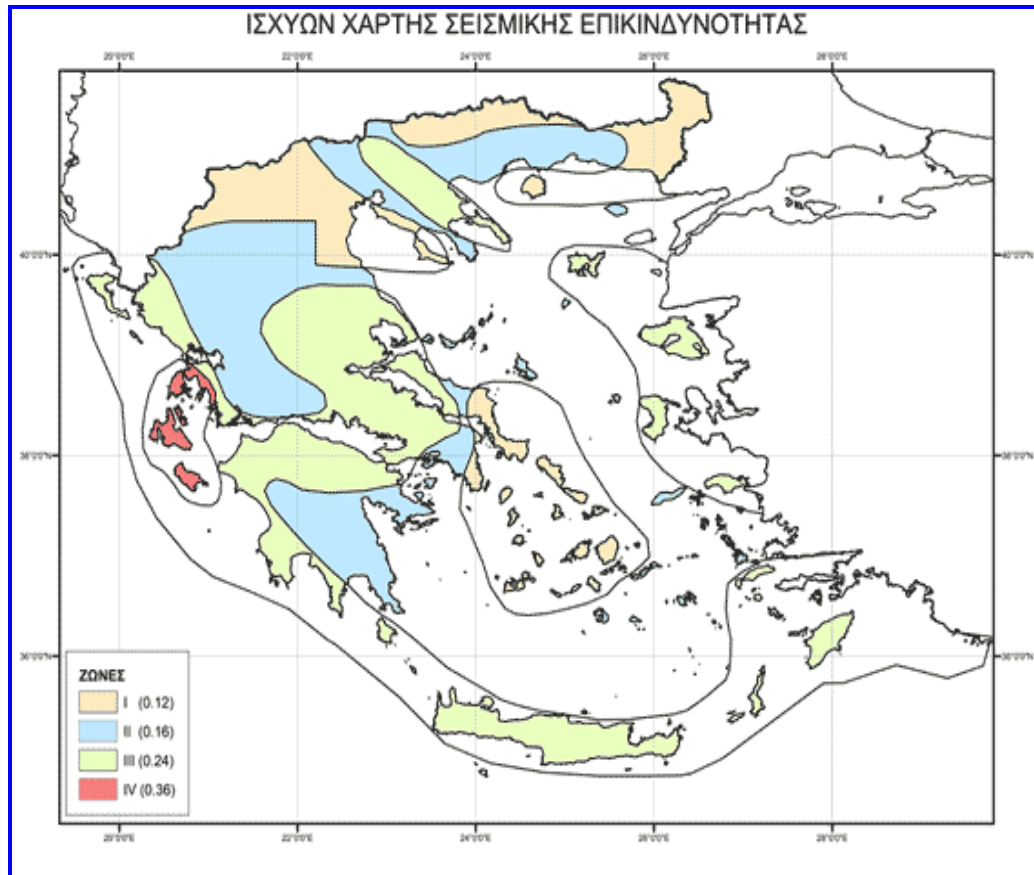
Κατά τη διάρκεια της ιζηματογένεσης εξαιτίας των έντονων τεκτονικών κινήσεων είχαμε ανόρθωση του νότιου τμήματος και στην συνέχεια διάβρωση, μεταφορά των νεογενών αποθέσεων και πλήρωση της λεκάνης ιζηματογένεσης από τα ιζήματα του Νεογενούς.

Οι τεκτονικές κινήσεις του νότιου τμήματος της τάφρου άρχισαν με την έναρξη της ιζηματογένεσης και συνεχίζονται μέχρι σήμερα. Οι κινήσεις αυτές σε συνδυασμό με τις ανοδικές κινήσεις που πιθανότατα έδρασαν στην περιοχή είχε σαν αποτέλεσμα τα νεογενή να απαντούν σήμερα μέχρι υψόμετρο 700 μ. (Μέττος 1992).

6.6 Σεισμικότητα

Αν και η ένταση των γεωδυναμικών φαινομένων είναι εξ ίσου σημαντική στο δυτικό όσο και στο ανατολικό τμήμα τα σεισμολογικά στοιχεία (Γαλανόπουλος, 1955, 1967, 1971, 1981), δείχνουν μεγαλύτερη σεισμικότητα στο δυτικό τμήμα από ότι στο ανατολικό. Είναι ενδεικτικό ότι στο δυτικό τμήμα έχουν καταγραφεί τρία σεισμικά γεγονότα μεγέθους 6,5-7,0 R (1893, 1914, 1981), ενώ στο ανατολικό τα μεγαλύτερα

γνωστά σεισμικά γεγονότα φαίνεται να μην ξεπερνούν τον μεγέθους 6 R σεισμό του 1938, κατά τον οποίο παρατηρήθηκαν ρηγματώσεις στα Κιούρκα. Με βάση τον τελευταίο Ελληνικό Αντισεισμικό Κανονισμό (ΕΑΚ, 2003) η περιοχή όπου αναπτύσσεται η λεκάνη του Ασωπού ποταμού εντάσσεται στην ενδιάμεση ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας, σεισμική ζώνη ΙΙΙ ($\alpha=0.24$) (Εικόνα 6.4).



Εικόνα 6.4: Χάρτης σεισμικής επικινδυνότητας

7. ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ

7.1 Υδρολιθολογική ταξινόμηση

Η γεωλογική δομή μιας περιοχής σε συνδυασμό με τις υδρομετεωρολογικές συνθήκες καθορίζουν την ύπαρξη και λειτουργία των υδατικών πόρων. Στη γεωλογική δομή της περιοχής μελέτης συμμετέχουν μια ποικιλία λιθολογικών σχηματισμών, που κάθε ένας από αυτούς παρουσιάζει διαφορετική υδρογεωλογική συμπεριφορά. Εκτός από την λιθολογία, σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση των υδρογεωλογικών συνθηκών, διαδραματίζει και η τεκτονική.

Οι ορεινοί όγκοι της Πάρνηθας και του Κιθαιρώνα που διαμορφώνει την φυσιογνωμία της περιοχής μελέτης, δέχεται σε ετήσια βάση ικανοποιητικό ύψος κατακρημνισμάτων. Σε συνδυασμό με την γεωλογική δομή και την επικράτηση υδροπερατών σχηματισμών (καρστικοποιημένα ανθρακικά πετρώματα), εξασφαλίζει την ύπαρξη των μεγάλων παράκτιων και υποθαλάσσιων πηγών, οι γνωστές υφάλμυρες πηγές του Καλάμου, προς τον Ευβοϊκό κόλπο και οι πηγές της Ψάθας, προς τον Κορινθιακό κόλπο, αλλά και την υπόγεια τροφοδοσία σε νερό των γεωλογικών σχηματισμών της πεδινής και της λοφώδους ζώνης που αναπτύσσεται εντός της λεκάνης του Ασωπού.

Για την κατανόηση των υδρογεωλογικών συνθηκών της περιοχής μελέτης εξετάζονται τα υδρολιθολογικά χαρακτηριστικά των σχηματισμών αυτών.

Ο τρόπος διακίνησης του κατεισδύοντος ύδατος και η διαμόρφωση υπόγειων υδροφόρων οριζόντων εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, οι σπουδαιότεροι από τους οποίους είναι η περατότητα των λιθολογικών μονάδων, η σχετική θέση μεταξύ περατών, ημιπερατών και στεγανών σχηματισμών και η τεκτονική δομή της περιοχής. Στην περιοχή ενδιαφέροντος οι λιθολογικοί τύποι, που διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην κατείσδυση, είναι οι ασβεστόλιθοι γενικά και κατά δεύτερο λόγο οι αδρομερείς σχηματισμοί του Νεογενούς και Τεταρτογενούς. Οι ασβεστόλιθοι, επειδή έχουν μεγάλη υδροπερατότητα και μεγάλη ανάπτυξη στον ευρύτερο χώρο της περιοχής, επιτρέπουν την κατείσδυση σημαντικού ποσοστού από τα ετήσια κατακρημνίσματα που δέχεται η περιοχή. Ένα κατά πολύ μικρότερο ποσοστό από αυτά, κατεισδύει μέσα στους αδρομερείς σχηματισμούς του Νεογενούς και Τεταρτογενούς.

Οι σχηματισμοί της περιοχής υδρογεωλογικά διακρίνονται σε (Εικόνα 7.1):

- ❖ **υδροπερατούς** στους οποίους περιλαμβάνονται οι μεσοζωικοί ασβεστόλιθοι, οι μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι του Νεογενούς και οι αδρομερείς αποθέσεις του Τεταρτογενούς,
- ❖ **ημιπερατούς** στους οποίους περιλαμβάνονται οι μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι του Νεογενούς, τα μεσοκοκκώδη στρώματα του Νεογενούς και του Τεταρτογενούς και οι εξ' αποσαρθρώσεως μανδύες των νεοπαλαιοζωικών στρωμάτων, των υλικών της σχιστοκερατολιθικής διαπλάσεως και των ιζημάτων του φλύσχη και
- ❖ **υδατοστεγείς** στους οποίους περιλαμβάνονται οι σχηματισμοί, οι σχιστόλιθοι του υποβάθρου, πλην των ενδιάμεσων ασβεστόλιθων, τα αργιλομαργαϊκά στρώματα του Νεογενούς και οι λεπτομερείς αποθέσεις του Τεταρτογενούς.

Πρέπει να σημειωθεί, ότι η κατείσδυση γίνεται και με πλευρική μετάγγιση των υδάτων των χειμάρρων που ρέουν κατά την υγρή κυρίως περίοδο του έτους. Κατόπιν των ανωτέρω, δυνατότητα δημιουργίας αξιόλογων υδροφόρων οριζόντων υπάρχει κυρίως για τους ασβεστόλιθους και τους αδρομερείς σχηματισμούς νεότερης ηλικίας, κατά δεύτερο λόγο.



Εικόνα 7.1: Χάρτης Υδρολιθολογικών Σχηματισμών.

7.2 Υδροπερατοί σχηματισμοί

Οι σχηματισμοί αυτοί περιλαμβάνουν, τους τεταρτογενείς σχηματισμούς (αδρόκοκκα υλικά των ποταμοχειμάρρειων αποθέσεων), τμήματα των νεογενών αποθέσεων, τα κροκαλοπαγή, οι ψαμμίτες και οι μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι, καθώς και το σύνολο των καρστικοποιημένων ανθρακικών πετρωμάτων που περιβάλλουν την λεκάνη.

Οι Τεταρτογενείς αποθέσεις καταλαμβάνουν μεγάλη έκταση. Η λιθολογική τους σύσταση ποικίλει και ανάλογα με το ποσοστό συμμετοχής σ' αυτούς αδρόκοκκων υλικών, παρουσιάζουν μικρής ή μεγάλης δυναμικότητας υδροφορίες.

Στις ποτάμιες αποθέσεις των πεδινών τμημάτων, οι οποίες συνιστώνται από στρώματα άμμων και κροκάλων, αναπτύσσεται ελεύθερη υδροφορία. Το μέγεθος των αποθεμάτων των υδροφόρων αυτών αποθέσεων, εξαρτάται άμεσα από τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα και τις πλευρικές μεταγίσεις νερού, κυρίως τους Νεογενείς σχηματισμούς και από τις άμεσες κατεισδύσεις των ρεμάτων. Τα πηγάδια που εκμεταλλεύονται την υδροφορία των σχηματισμών αυτών, έχουν κυμαινόμενο βάθος 20-30 μέτρα και κατά πληροφορίες των ιδιωτών δίνουν παροχές 5-10 m³/h.

Τα κροκαλοπαγή, οι ψαμμίτες και οι μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι των Νεογενών αποθέσεων που καταλαμβάνουν τις πεδινές περιοχές κυρίως, παρουσιάζουν υδροφορία η οποία αντιπροσωπεύεται από επάλληλους, άλλοτε ελεύθερη και άλλοτε υπό πίεση υδροφόρους ορίζοντες. Γεωτρήσεις στους σχηματισμούς αυτούς έχουν δώσει σχετικά μικρές παροχές 30-40 m³/h (Παγούνης κάλ. 1989).

Οι ανθρακικοί σχηματισμοί παρουσιάζουν αξιόλογη υδροφορία, κυρίως στις ζώνες μεγάλων διαρρήξεων και καρστικοποίησης. Η υδροφορία αυτή διαφοροποιείται ανάλογα της περιοχής και μειώνεται με την αύξηση του βάθους. Η υδροπερατότητα των πετρωμάτων αυτών οφείλεται στο δευτερογενές πορώδες, το οποίο έχει δημιουργηθεί κυρίως από τις τεκτονικές δράσεις που έχει υποστεί η ευρύτερη περιοχή. Οι δράσεις αυτές έχουν προκαλέσει έντονο κατακερματισμό των πετρωμάτων που αντικατοπτρίζονται στην παρουσία των πυκνών δικτύων ρωγμών και διακλάσεων διαφόρων διευθύνσεων.

Τα ανθρακικά πετρώματα παρουσιάζουν επίσης και δευτερογενείς ασυνέχειες, όπως είναι τα μεσοστρωματικά διάκενα. Οι προαναφερόμενες ασυνέχειες διευρύνθηκαν μέσω της καρστικής διεργασίας, η οποία έχει οδηγήσει στην δημιουργία καρστικών εγκοίλων και αγωγών από την κυκλοφορία του νερού κατεισδυσής. Στους ανθρακικούς αυτούς σχηματισμούς κατεισδύουν μεγάλες ποσότητες νερού και ως εκ τούτου δημιουργείται αξιόλογη καρστική υδροφορία, η οποία εκκενώνεται μέσω των προαναφερόμενων παράκτιων και υποθαλάσσιων αναβλύσεων. Οι αναβλύσεις αυτές χαρακτηρίζονται από μεγάλες παροχές, όπως είναι οι γνωστές υφάλμυρες πηγές του Καλάμου, προς τον Ευβοϊκό κόλπο και της Ψάθας, προς τον Κορινθιακό κόλπο, με παροχές που φθάνουν τα 500-1000 m³/h, (Δούνας κάλ. 1979,). Και οι δυο αυτές πηγαίες εκφορτίσεις του καρστικού συστήματος της Πάρνηθας και του Κιθαιρώνα εντοπίζονται εκτός περιοχής μελέτης. Στην περιοχή ενδιαφέροντος δεν εντοπίζονται καρστικές πηγές.

7.3 Ημιπερατοί σχηματισμοί

Οι υδροφόροι ορίζοντες στα Νεογενή, παρουσιάζουν μεγάλη διακύμανση από άποψη δυναμικότητας, η οποία εξαρτάται άμεσα από τη συμμετοχή των κροκαλοπαγών, των ψαμμιτών και των μαργαϊκών ασβεστόλιθων.

Οι λεπτομερείς μαργαϊκές – αργιλομαργαϊκές αποθέσεις συμπεριφέρονται ως ημιπερατοί σχηματισμοί με ασθενή υδροφορία, που αναπτύσσεται κυρίως στις μάργες λόγω του δευτερογενούς πορώδους. Στο σύνολό τους τα Νεογενή, περιορίζονται στο ρόλο του επιπέδου βάσης της κυκλοφορίας των υπόγειων υδάτων που περιέχονται στους υπερκείμενους αδρομερείς σχηματισμούς.

7.4 Αδιαπέρατοι σχηματισμοί

Στους πρακτικά αδιαπέρατους σχηματισμούς ανήκουν, ο φλύσσης ανεξαρτήτου γεωτεκτονικής ζώνης, οι οφιόλιθοι, η σχιστοκερατολιθική διάπλαση της Υποπελαγονικής ζώνης, καθώς επίσης και οι μάργες – άργιλοι των νεογενών αποθέσεων. Σε ορισμένες περιπτώσεις, οι ζώνες κατακερματισμού των σχηματισμών αυτών, παρουσιάζουν κάποια υδροφορία χωρίς όμως ιδιαίτερη σημαντικότητα.

Στην εικόνα 7.1, όπου παρουσιάζονται οι διάφορες υδρολιθολογικές ενότητες που αναπτύσσονται στη λεκάνη του άνω ρου του Ασωπού, διαπιστώνεται, ότι:

- ❖ οι σχηματισμοί υψηλής έως πολύ υψηλής υδροπερατότητας καταλαμβάνουν σχεδόν το 30% της επιφάνειας. Οι σχηματισμοί αυτοί, κυρίως τα τριαδικο-ιουρασικά ανθρακικά, παρουσιάζουν τιμές υδραυλικής αγωγιμότητας που κυμαίνονται μεταξύ $K=10^{-1}$ m/s και $K=10^{-3}$ m/s.
- ❖ οι υδροστεγανοί σχηματισμοί έως πολύ χαμηλής υδροπερατότητας καταλαμβάνουν σχεδόν το 40% της επιφάνειας. Οι σχηματισμοί αυτοί, κυρίως τα μαργαϊκά ιζήματα του Νεογενούς, παρουσιάζουν τιμές υδραυλικής αγωγιμότητας $K < 10^{-7}$ m/s
- ❖ οι σχηματισμοί μέσης υδροπερατότητας καταλαμβάνουν σχεδόν το 30% της επιφάνειας. Οι σχηματισμοί αυτοί, κυρίως οι Τεταρτογενείς αποθέσεις και τα αποσπασθέντα Νεογενή ιζήματα και τα κροκαλοπαγή, παρουσιάζουν τιμές υδραυλικής αγωγιμότητας που κυμαίνονται μεταξύ $K=10^{-3}$ m/s και $K=10^{-6}$ m/s.

7.5 Υδροφόροι ορίζοντες

Στην ευρύτερη περιοχή του άνω ρου του Ασωπού αναπτύσσονται δυο κύριοι υδροφόροι ορίζοντες:

- ❖ ο ανώτερος κοκκώδης υδροφόρος εντός των Νεογενών και Τεταρτογενών αποθέσεων, και
- ❖ ο βαθύτερος καρστικός εντός των ανθρακικών σχηματισμών των Τριαδικό – Ιουρασικών ασβεστόλιθων, ο οποίος στο πεδινό τμήμα της λεκάνης καλύπτεται από Νεογενή και Τεταρτογενή ιζήματα.

Ο υδάτινος αποδέκτης των υπερκείμενων Νεογενών και Τεταρτογενών ιζημάτων είναι σε γενικές γραμμές ο άξονας του Ασωπού ποταμού, καθώς και ο υποκείμενος καρστικός υδροφόρος ορίζοντας, ο οποίος με τη σειρά του εκφορτίζεται, όπως προαναφέρθηκε, στις παράκτιες και υποθαλάσσιες πηγές Ευβοϊκό και Κορινθιακό κόλπο.

Από τις υδρογεωλογικές έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί από το ΙΓΜΕ (Δούνας κ.α. 1978, Παγούνης κάλ. 1989,), προκύπτει ότι σε γενικές γραμμές η ροή των υπόγειων νερών της λεκάνης του Ασωπού παρουσιάζουν μια διεύθυνση ροής από τα δυτικά προς τα ανατολικά της λεκάνης. Η ροή του υπόγειου νερού στον ανώτερο

κοκκώδη υδροφόρο διαμορφώνεται από τις εκάστοτε πιεζομετρικές συνθήκες και τις ασκούμενες πιέσεις.

Σε γενικές γραμμές η ροή των υπόγειων νερών του ανώτερου υδροφόρου ορίζοντα των κοκκοδών σχηματισμών Τεταρτογενών και Νεογενών, ακολουθούν μια πορεία από δυτικά προς τα ανατολικά. Στην συνέχεια αυτά διηθούνται προς τον υποκείμενο καρστικό υδροφόρο. Το μεγαλύτερο ποσοστό της διήθησης θα πρέπει να γίνεται στον άξονα Καλλιθέα- Δάφνη, όπου οι ανθρακικοί σχηματισμοί διακόπτουν κάθετα τον άξονα της λεκάνης του Ασωπού. Στο μέτωπο αυτό των καρστικοποιημένων ανθρακικών σχηματισμών προφανώς διηθείται και ένα ποσοστό των επιφανειακών νερών του Ασωπού ποταμού. Τα διηθούμενα αυτά νερά, τόσο τα υπόγεια όσο και τα επιφανειακά, στη συνέχεια, ακολουθούν την κατεύθυνση ροής των υπόγειων νερών του υποκείμενου καρστικού υδροφόρου ορίζοντα βορειοανατολικά προς την περιοχή της λεκάνης Οινοφύτων-Αυλώνα.

Η κίνηση των νερών στο καρστικό υδροσύστημα της λεκάνης του Ασωπού σε γενικές γραμμές έχει κατεύθυνση ανατολική - βορειοανατολική και τελικό αποδέκτη τις παράκτιες και υποθαλάσσιες πηγές του Καλάμου (Δούνας κ.α. 1978).

Η υδραυλική σχέση που χαρακτηρίζει τους δύο βασικούς υδροφόρους ορίζοντες, μεταξύ του κοκκώδους και του υποκείμενου καρστικού υδροφόρου, επιτρέπει τον χαρακτηρισμό του τελευταίου ως τελικό αποδέκτη όλων των ρυπαντικών φορτίων που προέρχονται από τις διάφορες ανθρωπογενείς ρυπογόνες εστίες που βρίσκονται στην ευρύτερη λεκάνη του Ασωπού.

8. ΥΔΡΟΧΗΜΕΙΑ

8.1 Γενικά για την ποιοτική σύσταση των υδάτων

Η χημική σύσταση του υπόγειου νερού εξαρτάται άμεσα:

- ❖ α) από τη χημική σύσταση του νερού κατείσδυσης (μετεωρικό νερό, επιφανειακό νερό των ποταμών, των λιμνών, και των θαλασσών),
- ❖ β) από τις φυσικοχημικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στο υπέδαφος κατά την κίνηση του νερού στους διάφορους γεωλογικούς σχηματισμούς, όπως τη διάβρωση και διάλυση των πετρωμάτων, την υδρόλυση, την απόθεση αλάτων και δημιουργία νέων ορυκτών, τα οξειδοαναγωγικά φαινόμενα κλπ,
- ❖ γ) από τις διάφορες γεωλογικές διεργασίες, που μεταβάλλουν τοπικά τις υδρογεωλογικές συνθήκες μιας περιοχής, όπως η σεισμικότητα, η ηφαιστειότητα, οι κατολισθήσεις, κλπ, και
- ❖ δ) από τις διάφορες ανθρωπογενείς επιδράσεις, όπως η διείσδυση της θάλασσας στους παράκτιους υδροφόρους ορίζοντες και διάφοροι άλλοι παράγοντες.

Η υδροχημική έρευνα έχει ως κύριο σκοπό την ταξινόμηση των υπόγειων νερών σε υδροχημικές κατηγορίες. Επίσης παίρνουμε πληροφορίες για την προέλευση αυτών. Από την σύγκριση υπόγειων νερών που προέρχονται από επηρεασμένους και ανεπηρέαστους υδροφόρους ορίζοντες παρέχεται η δυνατότητα εκτίμησης του μεγέθους της γεωγενούς και ανθρωπογενούς επιβάρυνσης. Χαρακτηριστικό γνώρισμα των υπόγειων νερών που δεν έχουν επιβαρυνθεί από επιφανειακούς παράγοντες, αποτελούν τα σχεδόν σταθερά παραμένοντα υδροχημικά χαρακτηριστικά. Απεναντίας η ποιοτική σύσταση ενός επηρεασμένου υδροφόρου ορίζοντα χαρακτηρίζεται από έντονες διακυμάνσεις των διαφόρων χημικών στοιχείων και ιδιαίτερα εκείνων που χαρακτηρίζονται ως δείκτες ρύπανσης, όπως είναι : Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , PO_4^{3-} κ.λ.π.

Στα φυσικά νερά βρίσκονται υπό μορφή ιόντων τα ακόλουθα στοιχεία:

α) *Κύρια στοιχεία:* Ασβέστιο (Ca^{++}), Μαγνήσιο (Mg^{++}), Νάτριο (Na^+), Κάλιο (K^+), Οξειανθρακικών (HCO_3^-), Χλώρια (Cl^-), Θειικά (SO_4^{--}) και Νιτρικά (NO_3^-).

β) *Αμέταλλα Ιχνοστοιχεία:* Αμμωνιακά (NH_4^+), Φωσφορικά (PO_4^{3-}), και Φθόριο (F^-).

γ) *Μεταλλικά Ιχνοστοιχεία:* Αργίλιο (Al), Άργυρος (Ag), Αρσενικό (As), Βάριο (Ba), Βηρύλλιο (Be), Βόριο (B), Κάδμιο (Cd), Κοβάλτιο (Co), Λίθιο (Li), Μαγγάνιο (Mn), Μόλυβδος (Pb), Νικέλιο (Ni), Σελήνιο (Se), Σίδηρος (Fe), Υδράργυρος (Hg), Χαλκός (Cu), Χρώμιο (Cr), Ψευδάργυρος (Zn) κλπ.

δ) *Διαλυτές ουσίες σε μοριακή μορφή:* Διοξείδιο του πυριτίου (SiO_2).

Στα επηρεασμένα νερά βρίσκονται σε υψηλότερες συγκεντρώσεις τα προαναφερόμενα χημικά στοιχεία καθώς επίσης και κατά περίπτωση διάφορα ανόργανα και οργανικά ιχνοστοιχεία και ιχνοενώσεις:

Ανόργανες ιχνοενώσεις: Νιτρώδη (NO_2^-), Θειούχα (S^{2-}), Βοριούχα άλατα (B), Φθοριούχα άλατα (F⁻), Κυανιούχα (CN^-).

Οργανικές ιχνοενώσεις: τα χλωριομένα αλκάνια, τα χλωριομένα αιθυλένια, οι πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες (PAH), τα βενζόλια, αλκυλοβενζόλια, και χλωροβενζόλια, οι οργανοχλωριομένες ενώσεις των παρασιτοκτόνων και ζιζανιοκτόνων, οι διοξίνες, οι φαινόλες και χλωροφαινόλες, τα τριαλομεθάνια, τα απορρυπαντικά, κλπ.

Όπως είναι γνωστό οι χημικές ιδιότητες των υπόγειων νερών δίνουν σημαντικές ενδείξεις για την φύση των υδροφόρων οριζόντων, για την δημιουργία τους, την

ταχύτητα και τη διεύθυνση ροής του νερού καθώς και την σύσταση των πετρωμάτων από τα οποία διέρχονται. Σε κάθε υδροφόρο ορίζοντα μια ή περισσότερες διαδικασίες μπορεί να συμβαίνουν, οι οποίες μεταβάλλουν τη χημεία των νερών. Ποια από τις διαδικασίες θα κυριαρχήσει σε δεδομένο χρόνο, εξαρτάται από την ορυκτολογική σύνθεση του πετρώματος, στο οποίο το νερό βρίσκεται ή διέρχεται, το υδρογεωλογικό περιβάλλον, το ιστορικό της κίνησης του υπόγειου νερού, το χρόνο παραμονής του μέσα στο πέτρωμα που το φιλοξενεί, τη θερμοκρασία και τη διαλυτότητα των ορυκτών του πετρώματος καθώς και από την προέλευσή του.

Τυπικές χημικές συστάσεις υπογείων νερών προελεύσεως διαφορετικών γεωλογικών σχηματισμών αναφέρονται στον πίνακα 8.1.

Πίνακας 8.1: Τυπική χημική σύσταση υπογείων νερών από διάφορους σχηματισμούς σε mg/lit (UNESCO, 1975).

Πέτρωμα ή σχηματισμός	Ca	Mg	Na	Fe	Cl	SO ₄	HCO ₃	TDS
Ψαμμίτες και καθαρές άμμοι	41	3,4	5	0,2	23	26	63	189
	10	8	25	7	36	45	18	140
	59	37	76	-	74	84	336	482
Άμμος και ψαμμίτης	65	38	44	-	63	79	326	439
	69	27	69	0,4	77	162	200	504
Γρανίτες	7	2	18	0,1	17	4	24	83
	62	28	15	-	66	14	224	470
Ασβεστόλιθοι	44	4,3	8	-	11	27	100	210
	512	22	47	81	73	1485	-	3255
Σχιστόλιθοι	235	138	394	-	936	282	504	2236
	145	106	304	-	583	353	342	1667
	536	601	315	-	650	3368	204	5609
Εβαπορίτες	613	126	72	-	98	1887	150	2881
	1071	1974	88897	-	137788	11981	324	245300
Λιγνίτες	16	6,6	585	0,1	36	11	1506	1208
	7	8	13	7	20	16	200	472

8.1.1 Ρύπανση επιφανειακών και υπόγειων υδροσυστημάτων

Το νερό είναι το πιο διαδεδομένο φυσικό αγαθό στη γη και αποτελεί τον κυριότερο παράγοντα για την διατήρηση κάθε είδους ζωής, καθώς και τον βασικό μοχλό για κοινωνική, πολιτιστική και οικονομική ανάπτυξη. Η χρήση του νερού από τον άνθρωπο για την κάλυψη πολλαπλών αναγκών του εμφανίζεται ανάλογη με την οικονομική του ανάπτυξη. Η εξάρτησή του από το νερό αυξάνεται συνεπώς με ανάλογους ρυθμούς. Από το ολικό χρησιμοποιούμενο νερό, ένα μικρό μόνο ποσοστό καταναλώνεται από τον ίδιο τον άνθρωπο για την κάλυψη των βασικών του αναγκών. Ένα σημαντικό ποσοστό καταναλώνεται από την βιομηχανία και το οποίο διαμορφώνεται ανάλογα με την βιομηχανική ανάπτυξη της κάθε μιας χώρας. Στην Γαλλία και τις Η.Π.Α η κατανάλωση του νερού από την βιομηχανία ανέρχεται στο 50%, στην Γερμανία στο 72%, στην Μ. Βρετανία στο 65%. Στις αναπτυσσόμενες χώρες το ποσοστό αυτό δεν υπερβαίνει το 20%. Το μεγαλύτερο ποσοστό του χρησιμοποιούμενου νερού από τον άνθρωπο, που φθάνει περίπου το 80%, καταναλώνεται στη γεωργία.

Οι ποσότητες νερού μετά την χρήση τους επιστρέφουν στο περιβάλλον ρυπασμένες, μολυσμένες και γενικότερα υποβαθμισμένες ποιοτικά, σε ποσοστά που κυμαίνονται

από 80-95%. Τα υδάτινα οικοσυστήματα, επιφανειακά και υπόγεια, αποτελούν τους τελικούς αποδέκτες κάθε μορφής ρύπανσης και μόλυνσης. Η ποιοτική υποβάθμιση τόσο των επιφανειακών υδροσυστημάτων, ποτάμια, λίμνες, θάλασσες, όσο και των υπόγειων νερών, είναι αποτέλεσμα ανθρωπογενών επιδράσεων και σχετίζεται άμεσα με τη γεωργική δραστηριότητα (λιπάσματα, φυτοφάρμακα, απόβλητα γεωργικών και κτηνοτροφικών εκμεταλλεύσεων κλπ.), με τη βιομηχανία (υγρά και στερεά χημικά απόβλητα) και την οικιστική ανάπτυξη (υγρά και στερεά οικιακά λύματα).

8.1.2 Πηγές και αίτια ρύπανσης των υδάτων

Οι κυριότερες πηγές ρύπανσης των επιφανειακών και υπόγειων υδροσυστημάτων διακρίνονται σε αστικές, βιομηχανικές, γεωργικές και φυσικές:

α) Αστικές πηγές: Είναι οι κυριότερες πηγές ρύπανσης των επιφανειακών και υπόγειων υδροσυστημάτων. Αποτελούνται από οικιακά λύματα, νερά καθαρισμού των δρόμων και δημόσιων χώρων, νερά της βροχής που συμπαρασύρουν και μεταφέρουν ατμοσφαιρικούς ρύπους, σκόνη και διάφορα απορρίμματα κλπ. Την μεγαλύτερη επιβάρυνση παρουσιάζουν τα υγρά αστικά απόβλητα, τα οποία καταλήγουν στα υδροσυστήματα είτε δια μέσου των υπονόμων, είτε με την ελεύθερη επιφανειακή απορροή. Χαρακτηρίζονται από υψηλές συγκεντρώσεις οργανικών ουσιών, σημαντική περιεκτικότητα σε στερεά οργανικά και ανόργανα υλικά καθώς επίσης και μικροοργανισμούς, βακτήρια, παράσιτα και παθογόνους ιούς, που μπορούν άμεσα να μολύνουν τα νερά και συνεπώς τον άνθρωπο. Έχουν αυξημένη περιεκτικότητα σε κατάλοιπα φαρμάκων, εντομοκτόνων, απορρυπαντικών και διάφορα συνθετικά προϊόντα, που χρησιμοποιούνται για την οικιακή καθαριότητα και την υγιεινή.

Οι σηπτικοί και απορροφητικοί βόθροι, οι οποίοι απαντώνται σε οικισμούς χωρίς την απαραίτητη υποδομή, αποτελούν την πιο σημαντική ρύπανση των υπόγειων νερών της ευρύτερης περιοχής τους. Αποτελούν μόνιμη πηγή προσφοράς ανόργανων και οργανικών ουσιών στο υπέδαφος και τον υποκείμενο υδροφόρο.

Τα στερεά αστικά απορρίμματα, τα οποία μεταφέρονται στους χώρους ταφής, αποτελούν σοβαρή πηγή ρύπανσης, εφόσον κατά την αποσύνθεσή τους τα παραγόμενα εκκρίματα μπορούν να παρασυρθούν με την βροχή και να μολύνουν τα επιφανειακά και υπόγεια νερά καθώς και τα εδάφη.

β) Βιομηχανικές πηγές: Περιλαμβάνουν υγρά κατάλοιπα της παραγωγικής διαδικασίας από διάφορες βιομηχανίες. Τα λύματα αυτά προέρχονται από την χρήση του νερού για ψύξη, για την παραγωγή των προϊόντων, την διατήρηση της καθαριότητας των συσκευών και των χώρων της βιομηχανίας, κλπ. Η σύσταση των βιομηχανικών αποβλήτων ποικίλει ανάλογα με το είδος της βιομηχανίας, την χρήση διαφόρων πρώτων υλών και την εφαρμοζόμενη μέθοδο παραγωγής.

Τα καυσαέρια των εργοστασίων, των διυλιστηρίων, των εγκαταστάσεων οικιακής θέρμανσης και των αυτοκινήτων περιέχουν στο μεγαλύτερο ποσοστό της μάζας τους οξείδια του άνθρακα και του θείου. Οι υψηλές συγκεντρώσεις θειικών ιόντων, στο βρόχινο νερό αποτελούν χαρακτηριστικό γνώρισμα των βιομηχανικών περιοχών σε αντίθεση με αυτό των μη βιομηχανικών και αγροτικών περιοχών. Επίσης οι υψηλές συγκεντρώσεις ιόντων βρώμιου, χλωρίου, φθορίου, μόλυβδου και χλωριομένων υδρογονανθράκων που παρατηρούνται στην ατμόσφαιρα ιδιαίτερα σε περιοχές αστικών και βιομηχανικών κέντρων, προέρχονται από τα καυσαέρια των αυτοκινήτων, των εργοστασίων, των εγκαταστάσεων καύσης απορριμμάτων κλπ. Οι ενώσεις αυτές μπορούν να διαλυθούν στο νερό της βροχής (φαινόμενο όξινης

βροχής) και να επιβαρύνουν τόσο τα επιφανειακά όσο και τα υπόγεια υδροσυστήματα.

γ) Γεωργικές πηγές: Στη σύγχρονη εντατικοποιημένη μορφή γεωργίας η λίπανση των καλλιεργειών με χημικά λιπάσματα και φυτοφάρμακα κατέχει κυρίαρχο και αποφασιστικό ρόλο. Η χρήση αυτών σχετίζεται με την καλυτέρευση της ποιότητας των προϊόντων, την αύξηση της παραγωγής και συνεπώς την αύξηση του γεωργικού εισοδήματος. Τα χημικά λιπάσματα, τα φυτοφάρμακα, και τα απόβλητα των ζώων, τα οποία επίσης χρησιμοποιούνται για λίπανση των εδαφών, αποτελούν για τα επιφανειακά και υπόγεια υδροσυστήματα σοβαρή πηγή ρύπανσης.

Το άζωτο προστίθεται στο έδαφος υπό μορφή νιτρικών και αμμωνιακών αλάτων και ο φώσφορος υπό μορφή φωσφορικών. Τα λιπάσματα ανάλογα με την ποσότητα που έχουν προστεθεί στο έδαφος, το ρυθμό απορρόφησης τους από τα φυτά καθώς και την ένταση των βροχοπτώσεων στην περιοχή εφαρμογής μπορούν να δημιουργήσουν δυσάρεστες επιπτώσεις στα επιφανειακά και υπόγεια νερά.

Τα πτηνοτροφικά και κτηνοτροφικά απόβλητα που διατίθενται ανεξέλεγκτα στους φυσικούς αποδέκτες χωρίς προηγούμενη επεξεργασία αποτελούν σοβαρή πηγή ρύπανσης. Αυτά είναι πλούσια σε θρεπτικά στοιχεία, άζωτο, φώσφορο, κάλιο και σε οργανικά.

Τα απόβλητα των γεωργικών βιομηχανικών μονάδων, ιδιαίτερα των ελαιουργείων, οινοποιείων και μονάδων τοματοπολτού, επιβαρύνουν τους φυσικούς αποδέκτες με σημαντικές ποσότητες ρυπαντικών φορτίων ανόργανων και οργανικών ενώσεων.

δ) Φυσικές πηγές: Η επιβάρυνση των υδάτινων οικοσυστημάτων που προκαλείται από τις φυσικές διεργασίες σχετίζεται κυρίως με τον εμπλουτισμό του βρόχινου νερού κατά την επιφανειακή απορροή του ή κατά την κατείσδυση του εντός του εδαφικού ορίζοντα και των διαφόρων λιθολογικών ενοτήτων. Σημαντικές ποσότητες ανόργανου και οργανικού υλικού εκπλύνονται από τα απορρέοντα νερά, διαβρώνοντας με αυτόν τον τρόπο τα εδάφη.

Τα επιφανειακά υδροσυστήματα τροφοδοτούνται, ιδιαίτερα κατά την ξηρή περίοδο, αποκλειστικά από τους υπόγειους υδροφόρους ορίζοντες. Η χημική σύσταση των υπόγειων νερών σχετίζεται άμεσα με την ορυκτολογική σύσταση των πετρωμάτων, τα οποία διαπερνά κατά την κατείσδυση και τις γεωχημικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα μεταξύ νερού και πετρώματος. Το επιφανειακό νερό είναι αποτέλεσμα της μίξης των υπόγειων νερών διαφόρων υδροφορέων και με διαφορετικούς υδροχημικούς χαρακτήρες.

Στην μεταβολή της ποιοτικής σύστασης των επιφανειακών νερών από φυσικούς παράγοντες συμβάλουν ιδιαίτερα η μείωση της παροχής, η εξάτμιση και η υδρόβια ζωή με την αποσύνθεση της οργανικής ύλης. Χαρακτηριστικό γνώρισμα των παραγόντων αυτών είναι η αύξηση της αλατότητας του επιφανειακού νερού.

Σε περιοχές όπου η μορφολογία και τα χαρακτηριστικά του υπεδάφους το επιτρέπουν, ένα επιφανειακό υδροσύστημα τροφοδοτεί τους υπόγειους υδροφόρους ορίζοντες. Το γεγονός αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την μεταφορά των επιφανειακών ρύπων στα υπόγεια νερά. Σε περιοχές όπου εμφανίζονται ευδιάλυτοι γεωλογικοί σχηματισμοί, όπως γύψος και δόμοι αλάτων ή μεταλλοφόρα κοιτάσματα, κυρίως μικτών θειούχων ορυκτών, τα νερά επιβαρύνονται σημαντικά με άλατα ή βαρέα μέταλλα, γεγονός που σε πολλές περιπτώσεις καθίστανται ακατάλληλα για οποιαδήποτε χρήση (Σταμάτης 1999, 2004, Καλλέργης 1999, Αναγνωστόπουλος 1985, Αντωνόπουλος 1995, Δημόπουλος 1985).

8.1.3 Συνηθέστεροι τύποι ρύπων

-Ανόργανα οξέα και βάσεις π.χ. υδροχλώριο, θειϊκό οξύ, καυστικό νάτριο, νιτρικό οξύ, καυστικό κάλι, αμμωνία κλπ., που προέρχονται κυρίως από τις βιομηχανίες λιπασμάτων και χημικών προϊόντων.

-Κυανιούχα άλατα π.χ. υδροκυάνιο, που προέρχονται από εγκαταστάσεις επιμετάλλωσης.

-Βαρέα μέταλλα π.χ. υδράργυρος, μόλυβδος, χαλκός, κάδμιο, χρώμιο, κασσίτερος, ψευδάργυρος, αντιμόνιο, βισμούθιο, σελήνιο, μαγγάνιο, σίδηρος κλπ. που προέρχονται από τις βιομηχανίες επιμετάλλωσης, σωληνουργίας, εφαρμογές ηλεκτρολυτικών μεθόδων, διυλιστήρια, βιομηχανίες χρωμάτων, βυρσοδεψία κλπ.

-Υδρογονάνθρακες, που ελευθερώνονται κατά την εξώρυξη, επεξεργασία, μεταφορά και αποθήκευση.

-Πετροχημικά παράγωγα π.χ. φαινόλες, βενζόλιο, ναφθυλαμίνη κλπ. που προέρχονται από τα απόβλητα των διυλιστηρίων.

8.1.4 Μορφές και επιπτώσεις της ρύπανσης

Οι διάφορες ρυπογόνες ουσίες ή και οι ενεργειακές καταστάσεις, που προκύπτουν από την χρήση αυτών στην βιομηχανική παραγωγή, ποικίλλουν τόσο σε μέγεθος και ιδιότητες όσο και στις επιπτώσεις που έχουν επάνω στα υδάτινα οικοσυστήματα. Γενικά οι ρυπογόνες ουσίες ανάλογα με τις ιδιότητές τους διακρίνονται σε στερεές, υγρές και αέριες. Στα επιφανειακά νερά οι ρυπογόνες ουσίες διακρίνονται σε:

- επιπλέουσες ουσίες ή επιπλέοντα υλικά, όπως π.χ. τα διάφορα λάδια, τα λίπη, οι αφροί και στερεά υλικά ελαφρύτερα του νερού,
- αιωρούμενα υλικά, τα οποία αιωρούνται μέσα στην μάζα του νερού σε αδιάλυτη μορφή και
- διαλυμένες ουσίες, όπως ανόργανα οξέα και βάσεις, κυανιούχα άλατα, βαρέα μέταλλα κλπ.

Γενικά η ρύπανση του επιφανειακού και υπόγειου νερού αποκαλύπτεται συνήθως με μία ή περισσότερες από τις ακόλουθες καταστάσεις:

α) Από την περιεκτικότητα σε διαλυμένα άλατα: Υπερβολικές συγκεντρώσεις διαλυμένων αλάτων δημιουργούν δυσάρεστες συνέπειες στους χρήστες. Τα προβλήματα που προκύπτουν ιδιαίτερα στο πόσιμο νερό σχετίζονται με την αλλοίωση της γεύσης και γενικότερα της υγιεινής του νερού, αύξηση της διαβρωτικότητας και απόθεσης ανεπιθύμητων αλάτων στα συστήματα επεξεργασίας και μεταφοράς.

β) Από τα αιωρούμενα στερεά: Στους φυσικούς αποδέκτες καταλήγουν μεγάλες ποσότητες στερεών, τα οποία προέρχονται είτε από φυσικές πηγές, όπως από την αποσάθρωση του γεωλογικού περιβάλλοντος, την έκπλυση των εδαφών κλπ. είτε από ανθρώπινες δραστηριότητες, όπως απορρίμματα και υγρά απόβλητα. Ορισμένες ύλες από τα αιωρούμενα στερεά επιπλέον στην επιφάνεια του υδάτινου σώματος, ενώ άλλες αιωρούνται εντός της υδάτινης μάζας. Τα αιωρούμενα και κολλοειδή στερεά υλικά μειώνουν την διέλευση του ηλιακού φωτός και συνεπώς την παραγωγικότητα του οικοσυστήματος. Προκαλούν αύξηση της οργανικής ύλης στον πυθμένα και δημιουργία αναερόβιων συνθηκών με αποτέλεσμα την μείωση του οξυγόνου και την αδυναμία επιβίωσης της υδρόβιας χλωρίδας και πανίδας.

γ) Από την περιεκτικότητα σε παθογόνους μικροοργανισμούς: Τα απόβλητα κυρίως αστικής και κτηνοτροφικής προέλευσης είναι φορείς παθογόνων μικροοργανισμών, όπως βακτήρια της *Salmonella*, της *Shigella*, του *Escherichia coli* και ιούς της ηπατίτιδας Α, τα οποία είναι υπεύθυνα επικίνδυνων λοιμώξεων τύφου, παράτυφου, χολέρας, ηπατίτιδας κλπ. Με την παροχέτευση των λυμάτων αυτών στους φυσικούς

αποδέκτες χωρίς προηγούμενη επεξεργασία δημιουργούνται προϋποθέσεις μετάδοσης των παθογόνων μικροοργανισμών με αντίστοιχες δυσάρεστες συνέπειες για τους χρήστες.

δ) Από την αποξυγόνωση του νερού: Τα φυσικά νερά περιέχουν διαλυμένο οξυγόνο που προέρχεται από την ατμόσφαιρα. Η συγκέντρωση του σχετίζεται με την θερμοκρασία του νερού, την περιεκτικότητα σε άλατα και τα βιοχημικά χαρακτηριστικά του. Η διοχέτευση ακατέργαστων αστικών λυμάτων ή βιομηχανικών και γεωργοκτηνοτροφικών αποβλήτων στους φυσικούς αποδέκτες συνεπάγεται σημαντική αύξηση της παροχής οργανικής ύλης, η οποία γίνεται έτοιμη τροφή για τους μικροοργανισμούς του υδάτινου σώματος. Για την αποικοδόμηση των οργανικών ουσιών από τους μικροοργανισμούς απαιτείται μεγάλη ποσότητα οξυγόνου. Σημαντικός παράγοντας που οδηγεί στη αποξυγόνωση του νερού είναι η παρουσία των αζωτούχων οργανικών ενώσεων στα πάσης φύσεως απόβλητα. Το οξυγόνο που απαιτείται στην περίπτωση αυτή χρησιμεύει για την νιτροποίηση της αμμωνίας, η οποία προκύπτει κατά την υδρόλυση των αζωτούχων οργανικών ενώσεων. Στα κατεργασμένα λύματα η μείωση των οργανικών ουσιών είναι αρκετά σημαντική πλην όμως αυτά συνεχίζουν να περιέχουν ακόμη υψηλές συγκεντρώσεις αμμωνιακού αζώτου. Η οξείδωση των οργανικών ιζημάτων αποτελεί επίσης έναν παράγοντα μείωσης του οξυγόνου στο νερό.

ε) Από το φαινόμενο του ευτροφισμού: Ευτροφισμός χαρακτηρίζεται η περιβαλλοντική συνθήκη που επικρατεί σε εμπλουτισμένα με θρεπτικά συστατικά επιφανειακά υδροσυστήματα, στα οποία παρατηρείται υπερβολική βιολογική δραστηριότητα, ελάττωση του διαλυμένου οξυγόνου και αύξηση των φυτών και αλγών του νερού. Τα θρεπτικά συστατικά είναι κυρίως οι ενώσεις του αζώτου και του φώσφορου που προέρχονται από τα απόβλητα αστικής, βιομηχανικής και γεωργοκτηνοτροφικής προέλευσης. Τα φυτά αυτά αποθνήσκοντας συσσωρεύονται στον πυθμένα των υδατοσυστημάτων, όπου σαπίζουν καταναλίσκοντας μεγάλες ποσότητες διαλυμένου οξυγόνου. Η ανάπτυξη των αλγών μπορεί να γίνει ραγδαία, με αποτέλεσμα την πλήρη καταστροφή του υδάτινου οικοσυστήματος.

ζ) Από την περιεκτικότητα σε τοξικές ενώσεις: Γενικά όλα τα απόβλητα από οποιαδήποτε πηγή προέλευσης περιέχουν ποικιλία βαρέων μετάλλων, τοξικών ανόργανων και οργανικών ενώσεων, σε συγκεντρώσεις που ποικίλουν ανάλογα με την προεπεξεργασία που έχουν υποστεί. Η παρουσία των τοξικών στοιχείων στους φυσικούς αποδέκτες σε συγκεντρώσεις άνω των επιτρεπτών ορίων έχει σαν αποτέλεσμα τον θάνατο της υδρόβιας ζωής ή τη σωρευτική συγκέντρωση αυτών στους υδρόβιους οργανισμούς και συνεπώς μέσω της τροφικής αλυσίδας την άμεση επίδραση στον άνθρωπο. Χαρακτηριστικά στοιχεία και ενώσεις που δημιουργούν τυπικά προβλήματα άμεσης τοξικότητας είναι τα ακόλουθα :

-Βαρέα μέταλλα: Μεταλλικά στοιχεία όπως ο σίδηρος (Fe), το μαγγάνιο (Mn), ο χαλκός (Cu), ο ψευδάργυρος (Zn), το αρσενικό (As), ο υδράργυρος (Hg), το κάδμιο (Cd), ο μόλυβδος (Pb), το νικέλιο (Ni), το χρώμιο (Cr) κλπ., ευρίσκονται στα φυσικά επιφανειακά και υπόγεια νερά σε πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις ή ίχνη, γι' αυτό χαρακτηρίζονται και ως ιχνοστοιχεία. Πολλά από τα μεταλλικά στοιχεία συμμετέχουν στο βιολογικό κύκλο και είναι απαραίτητα στον άνθρωπο, τους ζωικούς και φυτικούς οργανισμούς σε χαμηλές συγκεντρώσεις, καθίστανται όμως τοξικά και επικίνδυνα σε υψηλότερα επίπεδα συγκέντρωσης. Τα μέταλλα δεν αποικοδομούνται, αλλά συσσωρεύονται στο περιβάλλον. Τις μεγαλύτερες ποσότητες τις προσλαμβάνουν οι οργανισμοί μέσω της τροφικής αλυσίδας. Από τα μεταλλικά ιχνοστοιχεία τα πλέον τοξικά είναι το αρσενικό (As), ο υδράργυρος (Hg), το κάδμιο (Cd) και ο μόλυβδος (Pb). Τα στοιχεία αυτά δεν είναι απαραίτητα στους οργανισμούς, χαρακτηρίζονται

όμως για την βιοσυσσωρεύσή τους και προκαλούν σοβαρές επιπτώσεις υγείας όπως διαταραχές στο νευρικό σύστημα, διανοητικές διαταραχές, καρδιαγγειακές παθήσεις, καρκίνο, αναπνευστικά προβλήματα ακόμη και τον άμεσο θάνατο του ανθρώπου.

-Αμέταλλα στοιχεία: Από τα αμέταλλα, τα πιο επικίνδυνα που δημιουργούν άμεση τοξικότητα είναι:

- Το άζωτο στις διάφορες μορφές του NH_3 , NH_4^+ , NO_2^- και NO_3^- . Η μη ιονισμένη μορφή αμμωνίας είναι έντονα τοξική στα ψάρια. Τα νιτρικά εισερχόμενα στο πεπτικό σύστημα του ανθρώπου μέσω του νερού ανάγονται σε νιτρώδη ιόντα και σχηματίζουν ενώσεις με την αιμογλοβίνη του αίματος με αποτέλεσμα να μειώνεται η μεταφορά οξυγόνου προς τους ιστούς. Η κατάσταση αυτή ονομάζεται μεθαιμογλοβιναιμία και προκαλεί τον θάνατο ιδιαίτερα στα βρέφη.
- Το χλώριο (Cl^-) που χρησιμοποιείται για την απολύμανση των λυμάτων είναι ακόμη και σε χαμηλές συγκεντρώσεις τοξικό για τους υδρόβιους οργανισμούς.
- Το βόριο (B^-) σε χαμηλές συγκεντρώσεις στο αρδευτικό νερό είναι τοξικό στα ευαίσθητα φυτά.
- Τα κυανιούχα ιόντα είναι πολύ τοξικά ακόμη και θανατηφόρα για τον άνθρωπο όταν ευρίσκονται στο πόσιμο νερό σε υψηλές συγκεντρώσεις
- Τα φθοριούχα ιόντα όταν ευρίσκονται στο πόσιμο νερό σε υψηλές συγκεντρώσεις αποκτούν τοξικές ιδιότητες για τον άνθρωπο προκαλώντας παθολογικές αλλαγές, σκελετικές βλάβες ακόμη και τον θάνατο.

-Οργανικές ενώσεις: Είναι οι πιο επικίνδυνες για την ανθρώπινη υγεία και γενικά για όλους τους οργανισμούς. Μεταξύ ενός μεγάλου φάσματος τοξικών οργανικών ενώσεων που παρασκευάζονται και ευρέως χρησιμοποιούνται ξεχωρίζουν οι πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες, τα εντομοκτόνα, τα παρασιτοκτόνα, τα τριαλομεθάνια και οι χλωροφαινόλες. Ευθύνονται για καρκινογένεση, μεταλλαξιογένεση και την τερατογένεση στους ανθρώπους.

η) Από την θερμική αλλοίωση: Μεγάλες ποσότητες φυσικού νερού χρησιμοποιούνται στις βιομηχανικές διεργασίες σαν ψυκτικό μέσο όπως στους πύργους ψύξης θερμοηλεκτρικών και πυρηνικών εγκαταστάσεων. Τα νερά αυτά, τα οποία μετά την χρήση τους είναι θερμότερα ή ψυχρότερα από την πρότερή τους φυσική κατάσταση, αποβάλλονται απευθείας στους φυσικούς αποδέκτες. Από την αποβολή θερμών νερών στους φυσικούς αποδέκτες προκύπτουν αρνητικές επιπτώσεις για το οικοσύστημα, όπως μείωση του διαλυμένου οξυγόνου, αύξηση των βακτηριδίων, αύξηση της ταχύτητας των χημικών αντιδράσεων κλπ.

θ) Από την περιεκτικότητα σε ραδιενεργά στοιχεία: Τα ραδιενεργά απόβλητα, τα οποία προκύπτουν από όλο το φάσμα του κύκλου του πυρηνικού καύσιμου, δηλαδή από το στάδιο της εξόρυξης, του εμπλουτισμού, της κατανάλωσης στους αντιδραστήρες, της επανεπεξεργασίας των καταλοίπων, της στερεοποίησης των αποβλήτων, μέχρι την ταφή των αποβλήτων σε ασφαλείς χώρους, αποτελούν γενικά σοβαρό κίνδυνο ρύπανσης του υδάτινου περιβάλλοντος (Σταμάτης 1999, 2004, Καλλέργης 1999, Αναγνωστόπουλος 1985, Αντωνόπουλος 1995, Δημόπουλος 1985).

8.1.5 Δυνητικές πηγές ρύπανσης των υδροφόρων

Στις δυνητικές πηγές ρύπανσης των επιφανειακών και υπόγειων υδροσυστημάτων περιλαμβάνονται οι ακόλουθες:

- *Ανθρωπογενείς δραστηριότητες*: οι χρήσεις απορρυπαντικών, λιπασμάτων εδαφοβελτιωτικών και φυτοφαρμάκων καθώς και η άσκηση της κτηνοτροφίας χωρίς να λαμβάνετε μέριμνα για την προστασία του περιβάλλοντος από τα υγρά και στερεά απόβλητα των ζώων αλλά και οι διαρροές από σκουπιδότοπους είναι μερικές δραστηριότητες οι οποίες προκαλούν μεταβολές του υπόγειου νερού.
- *Η αποσύνθεση της οργανικής ύλης*: είναι μια αντίδραση οξείδωσης που μπορεί να λάβει χώρα τόσο στην επιφάνεια του εδάφους όσο και μέσα στους υδροφόρους. Η διαδικασία αυτή μπορεί να ενεργοποιήσει αντιδράσεις όπως η αναγωγή των οξειδίων του Fe, των θειικών και νιτρικών καθώς και τον σχηματισμό του μεθανίου.
- *Η αποσάθρωση και διάλυση των πετρωμάτων*: πετρώματα όπως τα ανθρακικά, οι εβαπορίτες, και τα πυριτικά εμπλουτίζουν το υπόγειο νερό με χημικά στοιχεία όπως Ca και HCO_3 από ανθρακικά, SO_4 από εβαπορίτες και Mg από πυριτικά πετρώματα στα οποία κυριαρχεί ο δυσδιάλυτος χαλαζίας.
- *Η απόθεση ορυκτών*: με την αποσάθρωση των πυριτικών ορυκτών δημιουργούνται δευτερογενή αργίλικα ορυκτά (αργιλοπυριτικά με ή χωρίς κατιόντα), τα οποία αρχικά χάνουν τα κατιόντα, ακολούθως το Si και τελικά μένουν τα αδιάλυτα υδροξείδια του Al. Αν στο πέτρωμα υπάρχει και δισθενής Fe τότε δημιουργούνται και οξείδια του Fe.
- *Αντιδράσεις ιοντικής ανταλλαγής*: γίνονται σε επιφάνειες οι οποίες αποτελούνται από εσωτερικές φορτισμένες ομάδες π.χ. αργίλικα ορυκτά (οξείδια του σιδήρου και του μαγγανίου), τα οποία όταν έρχονται σε επαφή με το νερό δημιουργούνται θετικά και αρνητικά φορτισμένες ομάδες και λειτουργούν σαν κέντρα προσροφίσεως. Τα δισθενή ιόντα π.χ. ασβεστίου λόγω του υψηλότερου φορτίου προσροφούνται ισχυρότερα από τα μονοσθενή όπως νάτριο. Όταν πρόκειται για ιόντα με το ίδιο φορτίο, προσροφάτε εκείνο το ιόν που έχει την μικρότερη ακτίνα. Γι' αυτό το λόγο το Ca προτιμάται περισσότερο από το Mg.
- *Ανάμιξη διαφορετικών νερών*: μπορεί να αλλάξει την χημική σύσταση π.χ. όταν αναμιχθεί καθαρό νερό με νερό το οποίο είναι ρυπασμένο χημικά.

8.1.6 Πηγές ρύπανσης στην περιοχή μελέτης

Στην περιοχή μελέτης υπάρχουν οι ακόλουθες πηγές ρύπανσης:

α) *Σημειακές πηγές ρύπανσης*: Αυτές οφείλονται κυρίως στην ανεξέλεγκτη διάθεση αποβλήτων που προέρχονται από βιοτεχνίες της περιοχής, αλλά και αστικών λυμάτων, σε επιφανειακούς και υπόγειους αποδέκτες. Όλες οι Κοινότητες που βρίσκονται στην περιοχή μελέτης δεν διαθέτουν μονάδες βιολογικού καθαρισμού και η διαχείριση των αποβλήτων τους γίνεται με σηπτικούς βόθρους. Σημειώνεται ότι στο μέσο ρου του Ασωπού ποταμού, η κύρια πηγή ρύπανσης των επιφανειακών και υπογείων υδάτων της ευρύτερης περιοχής θεωρείται η βιομηχανική δραστηριότητα, που αναπτύχθηκε στην περιοχή Οινοφύτων-Σχηματαρίου περιστασιακά, άναρχα και χωρίς παραγωγικές υποδομές και υποδομές προστασίας του περιβάλλοντος (Γιαννουλόπουλος, 2008α). Στο δυτικό τμήμα της λεκάνης απορροής του Ασωπού δεν υπάρχουν βιομηχανικές μονάδες, όπως διαπιστώνονται στο κεντρικό τμήμα.

β) *Διάχυτες πηγές ρύπανσης-Επιφανειακές απορροές*: Στην περιοχή μελέτης υπάρχει έντονη αγροτική δραστηριότητα που περιλαμβάνει αροτραίες και δενδρώδεις καλλιέργειες. Συγκεκριμένα, τα 2/3 της περιοχής μελέτης, άνω ρου του Ασωπού, τυγχάνουν έντονης καλλιέργειας, εκ των οποίων περίπου το 60% είναι αρδευόμενα και το 40% ξηρικά. Επίσης στην περιοχή υπάρχουν κτηνοτροφικές μονάδες που βρίσκονται στα ορεινά τμήματα των περιθωρίων της λεκάνης. Τα παραγόμενα κτηνοτροφικά απόβλητα χρησιμοποιούνται για λίπανση των γεωργικών εκτάσεων. Επίσης στις καλλιεργούμενες εκτάσεις γίνεται χρήση λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων. Πολλά λιπάσματα και φυτοφάρμακα περιέχουν στη σύνθεσή τους βαρέα μέταλλα (Πίνακας 8.2). Ένα ποσοστό αυτών απορροφάται απ' τα φυτά και κατά ένα ποσοστό αυτών παραμένει στο έδαφος. Τα βαρέα μέταλλα καταλήγουν μέσω της επιφανειακής απορροής στους επιφανειακούς υδάτινους αποδέκτες, είτε μέσω της έκπλυσης και της διήθησης στους υπόγειους υδροφόρους.

Πίνακας 8.2: Συγκεντρώσεις των σημαντικότερων βαρέων μετάλλων (σε ppm) που περιέχουν ορισμένα λιπάσματα και βελτιωτικά εδάφους (www.lenntech.com/heavy-metals.)

	Φώσφορος	Τρι-φωσφορικό άλας	Νιτρική Αμμωνία	Κοπριά βοοειδών	Κοπριά πουλερικών	Κοπριά χοίρων
As	16,5-20,5	15,3-16,2	<0,40	6,8	-	-
Cd	1,3-48,8	5,0-6,2	<0,20	0,7	0,20-0,30	0,50-0,82
Cr	33,2-140	88,9	-	-	<1,0-7,7	2,2-13
Cu	9,6	3,2-3,5	<0,60	18	48-78	250-600
Pb	4,6-29,2	11,1-13,2	<0,40	7,5	6,0-8,4	7,0-11
Hg	<0,40	<0,4	<0,40	<0,40	-	-
Ni	16,8-50,4	15,6-25,2	<0,20	9,6	7,1-9,0	11-33
Se	<1,4-2,17	<1,2	-	-	-	-
Zn	78,8-382	61,3	-	-	330-456	540-1.200

8.2 Δειγματοληψία και υδροχημικές αναλύσεις

Η δειγματοληψία επικεντρώθηκε κυρίως σε υδρογεωτρήσεις. Το υπόγειο νερό της περιοχής χρησιμοποιούνταν στο παρελθόν για αρδευτικούς και υδρευτικούς σκοπούς. Σήμερα το σύνολο του νερού των πηγαδιών και των γεωτρήσεων χρησιμοποιείται για αρδευτικούς σκοπούς, καθώς όλη η ευρύτερη περιοχή καλλιεργείται συστηματικά.

Συνολικά έγινε δειγματοληψία σε 30 υδροσημεία. Τα 4 υδροσημεία αφορούν πηγάδια με βάθος μέχρι 25 μέτρα περίπου, τα οποία τροφοδοτούνται από τον φρεάτιο υδροφόρο ορίζοντα. Τα 25 υδροσημεία αφορούν γεωτρήσεις, κυμαινόμενου βάθους από 150 μέτρα έως 440 μέτρα, οι οποίες έχουν διατρήσει τους Νεογενείς σχηματισμούς από τους οποίους συντελείται η τροφοδοσία τους. Εξαιρέση αποτελεί η Γεώτρηση Γ10, βάθους 440 μέτρα, η οποία έχει διατρήσει τους Νεογενείς

σχηματισμούς και ασβεστόλιθους. Επίσης στα υδροσημεία δειγματοληψίας περιλαμβάνεται και μια πηγή που προέρχεται από τους Νεογενείς σχηματισμούς. Κατά την περίοδο των δειγματοληψιών, Ιούνιος του 2009, δεν κατέστη εφικτή η δειγματοληψία του επιφανειακού νερού του Ασωπού ποταμού στο άνω ρου του. Λόγω της ξηρασίας που επικρατούσε δεν υπήρχε ροή.

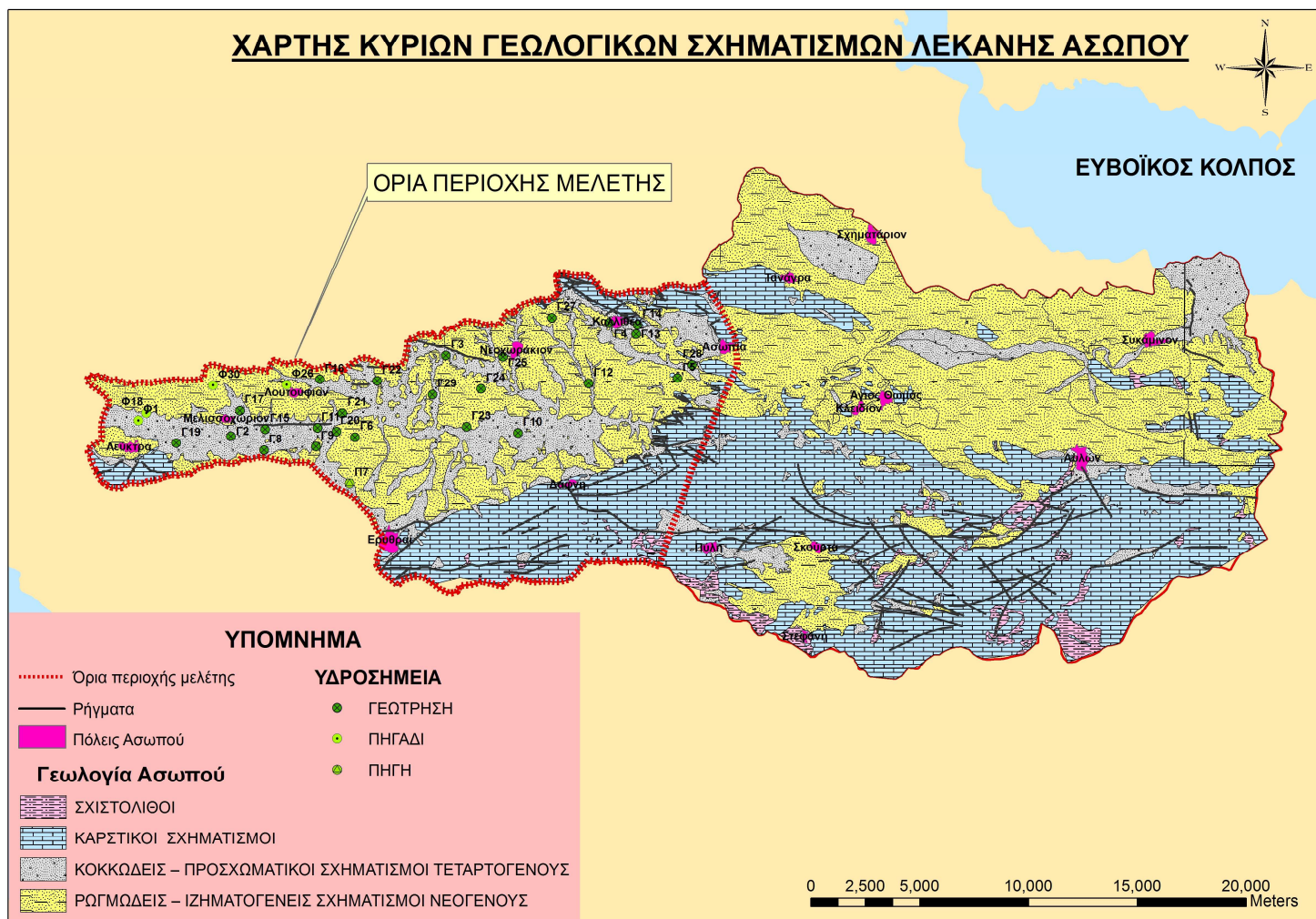
Στην εικόνα 8.1 που ακολουθεί παρουσιάζεται ο γεωλογικός χάρτης της περιοχής μελέτης και τα σημεία δειγματοληψίας. Σκοπός της εικόνας αυτής είναι να παρουσιαστεί η σχέση των υδροσημείων με το γεωλογικό περιβάλλον του χώρου τους. Η περιγραφή των σχηματισμών που εντοπίστηκαν κατά την διάτρησή, και οι οποίοι παρουσιάζονται στον πιο κάτω πίνακα 8.3, έχει προκύψει με βάσει τις πληροφορίες των ιδιοκτητών, καθώς δεν υφίστανται επίσημες γεωλογικές εκθέσεις.

Η επιλογή των θέσεων δειγματοληψίας έγινε με τέτοιο τρόπο, όπου το επέτρεπαν οι συνθήκες, με σκοπό να βρίσκονται σε απόσταση μεταξύ τους, καλύπτοντας ολόκληρη την περιοχή ενδιαφέροντος.

Όπως διαπιστώνεται από την κατανομή των υδροσημείων στον χάρτη, τα περισσότερα από αυτά εντοπίζονται στο βόρειο και δυτικό τμήμα της περιοχής, όπου συμβαίνει και η γεωργική δραστηριότητα, λόγω των κατάλληλων εδαφών που έχουν δημιουργηθεί πάνω στους ημισυνεκτικούς σχηματισμούς του Νεογενούς και Τεταρτογενούς. Αντίθετα νοτιοανατολικό τμήμα της λεκάνης παρατηρείται κενό υδροσημείων, καθώς στην περιοχή αυτή αναπτύσσονται οι τριαδικο-ιουρασικοί ασβεστόλιθοι και ως εκ τούτου δεν υφίσταται εκμετάλλευση και επομένως δεν υπάρχουν γεωτρήσεις στην περιοχή αυτή.

Τα δείγματα νερού συλλέχθηκαν σε πλαστικά δοχεία πολυαιθυλενίου χωρητικότητας 1 λίτρου (τα οποία προηγουμένως ξεπλύθηκαν καλά με το ίδιο το προς ανάλυση νερό), σφραγίστηκαν με πώμα από το ίδιο το υλικό και τοποθετήθηκαν σε δροσερό και σκιερό μέρος μέχρι την ανάλυσή τους. Τα δείγματα αυτά χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση των κύριων στοιχείων, ανιόντων και κατιόντων, καθώς επίσης την ανάλυση των παραμέτρων της σκληρότητας.

Σε ξεχωριστά πλαστικά μπουκαλάκια χωρητικότητας 200ml συλλέχθηκαν αντίστοιχα δείγματα, τα οποία αφού πρώτα διηθήθηκαν από φίλτρο 47mm, με χρήση αντλίας κενού αέρος, κατόπιν συντηρήθηκαν με προσθήκη 2ml HNO₃. Τα δείγματα αυτά χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση των βαρέων μετάλλων. Η οξύνιση του δειγμάτων έγινε μετά την διήθησή τους, ώστε να αποφευχθεί η διάλυση των αιωρούμενων σωματιδίων με την προσθήκη του οξέος (Appelo et.al, 1999, Φάττα 2005). Τα δείγματα που προέρχονταν από γεωτρήσεις πάρθηκαν κατά την διάρκεια άντλησης. Με τον τρόπο αυτό εκτιμάται ότι είχε ήδη απομακρυνθεί ο όγκος του νερού των σωληνώσεων.



Εικόνα 8.1: Χάρτης των γεωλογικών σχηματισμών της λεκάνης και τα σημεία δειγματοληψίας της περιοχής μελέτης.

Πίνακας 8.3: Χαρακτηριστικά στοιχεία των σημείων δειγματοληψίας

No	X	Y	Ημερομηνία Δειγματοληψίας	ΒΑΘΟΣ (m)	ΠΑΡΟΧΗ (m ³ /h)	ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ ΔΙΑΤΡΗΣΗΣ
Α) ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ						
Γ2	0433111	4234578	10/06/2009	40	30	Αλουβιακές Προσχώσεις Νεογενείς σχηματισμοί
Γ3	0443222	4238359	10/06/2009	41	10-20	Αλουβιακές Προσχώσεις Νεογενείς σχηματισμοί
Γ4	0450901	4239890	10/06/2009	40	10	Αλουβιακές Προσχώσεις Νεογενείς σχηματισμοί Ασβεστόλιθοι
Γ5	0454116	4237283	10/06/2009	220	-	Αλουβιακές Προσχώσεις Νεογενείς σχηματισμοί Ασβεστόλιθοι
Γ6	0438949	4234526	10/06/2009	7	10	Αλουβιακές Προσχώσεις Νεογενείς σχηματισμοί
Γ8	0438684	4232356	12/06/2009	34	10-20	Αλουβιακές Προσχώσεις Νεογενείς σχηματισμοί
Γ9	0434663	4233916	12/06/2009	36	10-20	Αλουβιακές Προσχώσεις Νεογενείς σχηματισμοί
Γ10	0437105	4234086	12/06/2009	100	60	Αλουβιακές Προσχώσεις Νεογενείς σχηματισμοί
Γ11	0446613	4234723	15/06/2009	35	25	Αλουβιακές Προσχώσεις Νεογενείς σχηματισμοί
Γ12	0437185	4234958	15/06/2009	90	40	Αλουβιακές Προσχώσεις Νεογενείς σχηματισμοί
Γ13	0449941	4237036	15/06/2009	100	30-40	Αλουβιακές Προσχώσεις Νεογενείς σχηματισμοί
Γ14	0452171	4239368	15/06/2009	27	20	Αλουβιακές Προσχώσεις Νεογενείς σχηματισμοί Ασβεστόλιθοι
Γ15	0452237	4239810	16/06/2009	9	10-15	Αλουβιακές Προσχώσεις Νεογενείς σχηματισμοί
Γ16	0434718	4234894	16/06/2009	22	10	Αλουβιακές Προσχώσεις Νεογενείς σχηματισμοί
Γ17	0437288	4237234	16/06/2009	22	10	Αλουβιακές Προσχώσεις Νεογενείς σχηματισμοί
Γ19	0435655	4237155	16/06/2009	25	-	Αλουβιακές Προσχώσεις Νεογενείς σχηματισμοί
Γ20	0429128	4235656	17/06/2009	42	10	Αλουβιακές Προσχώσεις Νεογενείς σχηματισμοί
Γ21	0430541	4234248	17/06/2009	35	10-15	Αλουβιακές Προσχώσεις Νεογενείς σχηματισμοί
Γ22	0438081	4234788	19/06/2009	20	10	Αλουβιακές Προσχώσεις Νεογενείς σχηματισμοί
Γ23	0438355	4235651	19/06/2009	200	30-40	Αλουβιακές Προσχώσεις Νεογενείς σχηματισμοί
Γ24	0439988	4237162	19/06/2009	19,8	10-15	Αλουβιακές Προσχώσεις Νεογενείς σχηματισμοί
Γ25	0444197	4235007	01/07/2009	50	20	Αλουβιακές Προσχώσεις Νεογενείς σχηματισμοί
Γ27	0444873	4236783	01/07/2009	50	10-15	Αλουβιακές Προσχώσεις Νεογενείς σχηματισμοί Ασβεστόλιθοι
Γ28	0445909	4238289	03/07/2009	190	20-25	Αλουβιακές Προσχώσεις Νεογενείς σχηματισμοί Ασβεστόλιθοι
Γ29	0435727	4236982	03/07/2009	42	10	Αλουβιακές Προσχώσεις Νεογενείς σχηματισμοί
Β) ΠΗΓΑΔΙΑ						
Φ1	0428756	423531	10/06/2009	24	5-10	Αλουβιακές Προσχώσεις,
Φ18	0429128	4235656	16/06/2009	25	8-10	Αλουβιακές Προσχώσεις
Φ26	0430541	4234248	04/06/2009	22	8-10	Αλουβιακές Προσχώσεις Νεογενείς σχηματισμούς
Φ30	0438081	4234788	04/06/2009	20	8-10	Αλουβιακές Προσχώσεις Νεογενείς σχηματισμούς
Γ) ΠΗΓΕΣ						
Π7	0438684	4232356	05/06/2009	-	-	Νεογενείς σχηματισμοί

8.2.1 Επιτόπιες μετρήσεις

Οι επιτόπιες παρατηρήσεις περιέλαβαν τις μετρήσεις των ακόλουθων παραμέτρων με χρήση των αντίστοιχων φορητών οργάνων:

- μέτρηση θερμοκρασίας με το αγωγιμόμετρο WTW LF 330/SET
- μέτρηση αγωγιμότητας με το αγωγιμόμετρο WTW LF 330/SET
- μέτρηση pH με το πεχάμετρο WTW PH 330i /SET
- μέτρηση της συγκέντρωσης του οξυγόνου με το οξυγονόμετρο WTW OXI 96

Τα αποτελέσματα των επιτόπιων μετρήσεων παρατίθενται στον πίνακα 8.4.

8.2.2 Εργαστηριακές αναλύσεις

Οι υδροχημικές αναλύσεις περιλαμβάνουν τη διερεύνηση των ακόλουθων χημικών παραμέτρων με χρήση των αντίστοιχων μεθόδων:

- Ο ποσοτικός προσδιορισμός του Ca^{2+} και Mg^{2+} , της ολικής σκληρότητας, της παροδικής σκληρότητας, των οξυανθρακικών ιόντων (HCO_3^-) και των ιόντων χλωρίου (Cl^-) έγινε με τιτλοδότηση.
- Για την ποσοτική ανίχνευση της ολικής σκληρότητας και των οξυανθρακικών έγινε τιτλοδότηση με EDTA, 0,01N,
- Για την ανθρακική σκληρότητα χρησιμοποιήθηκε HCl 0,1N, για τα χλωριόντα AgNO_3 0,1N.
- Τα φωσφορικά PO_4^{3-} , τα θειικά SO_4^{2-} , τα νιτρικά NO_3^- , τα αμμωνιακά ιόντα NH_4^+ , τα ιόντα Br^- και το SiO_2 , προσδιορίστηκαν με τη βοήθεια φασματοφωτόμετρου εκπομπής Hach DR-3000.
- Τα στοιχεία Na^+ και K^+ προσδιορίστηκαν με τη βοήθεια του φλογοφωτόμετρου (Flamephotometer INTECH/420).
- Τα βαρέα μεταλλικά ιχνοστοιχεία: Cd, Cr_{tot} , Cu, Fe_{tot} , Mn, Ni, Pb, και Zn ανιχνεύθηκαν με τη βοήθεια του οργάνου της ατομικής απορρόφησης AAS GBS 908. Αναλυτικά παρουσιάζονται τα μήκη κύματος και το βέλτιστο εύρος μετρήσεων του οργάνου για κάθε ένα από τα μετρούμενα στοιχεία στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 8.5).

Πίνακας 8.5: Τα μήκη κύματος και το βέλτιστο εύρος μετρήσεων του οργάνου

Στοιχεία	Μήκος Κύματος (Wavelength) nm	Βέλτιστο εύρος μετρήσεων (Optimum working range) ppm
Κάδμιο Cd	228.8	0.2-1.8
Χρώμιο Cr	357.9	2-15
Χαλκός Cu	324.7	1-5
Σίδηρος Fe	248.3	2-9
Μαγγάνιο Mn	279.5	0.1-0.4
Νικέλιο Ni	232.0	1.8-8
Μόλυβδος Pb	217.0	2.5-20
Ψευδάργυρος Zn	213.9	0.4-1.5

8.2.3 Επεξεργασία των στοιχείων

Για κάθε δείγμα έγινε έλεγχος του ιοντικού ισοζυγίου ανιόντων – κατιόντων. Στην πλειονοψηφία των δειγμάτων η διαφορά ανιόντων – κατιόντων ήταν πολύ μικρότερη του

5%. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων και αναλύσεων παρατίθενται στον πίνακα 8.4. Η απεικόνιση της χωρικής κατανομής των στοιχείων στο χώρο (ισοπεριεκτικές καμπύλες) προέκυψε με τη βοήθεια του προγράμματος “Arc Map GIS” και χρησιμοποιώντας τη μέθοδο παρεμβολής Kriging. Με τη μέθοδο αυτή επιτυγχάνεται αμερόληπτη και βέλτιστη εκτίμηση των μεταβλητών ενός μεγέθους σε θέσεις που δεν έχουν προσδιοριστεί πειραματικά, χρησιμοποιώντας τις ήδη υπάρχουσες τιμές του ίδιου μεγέθους. Το πιο μεγάλο πλεονέκτημα της μεθόδου Kriging (γραμμική παρεμβολή), είναι ότι δεν αποτελεί μόνο μια ακριβή μέθοδο εκτίμησης αλλά συγχρόνως δίνει τη δυνατότητα εκτίμησης και του πιθανού σφάλματος για τις εκτιμήσεις που γίνονται (Bogardi et al., 1985).

Η ταξινόμηση των υπόγειων νερών με βάση το διάγραμμα Piper προέκυψε με τη βοήθεια του προγράμματος “Aquachem”, λαμβάνοντας υπόψη τις τιμές των ανιόντων Cl^- , HCO_3^- και SO_4^{2-} και των κατιόντων Ca^{2+} , Na^+ και Mg^{2+} σε meq/l.

Η ταξινόμηση των υπόγειων νερών με βάση το διάγραμμα Durov προέκυψε με τη βοήθεια του προγράμματος CH45.EXE (Lambrakis 1991) και του Grapher 2.0, λαμβάνοντας υπόψη όλες τις φυσικοχημικές και χημικές παραμέτρους που διερευνήθηκαν.

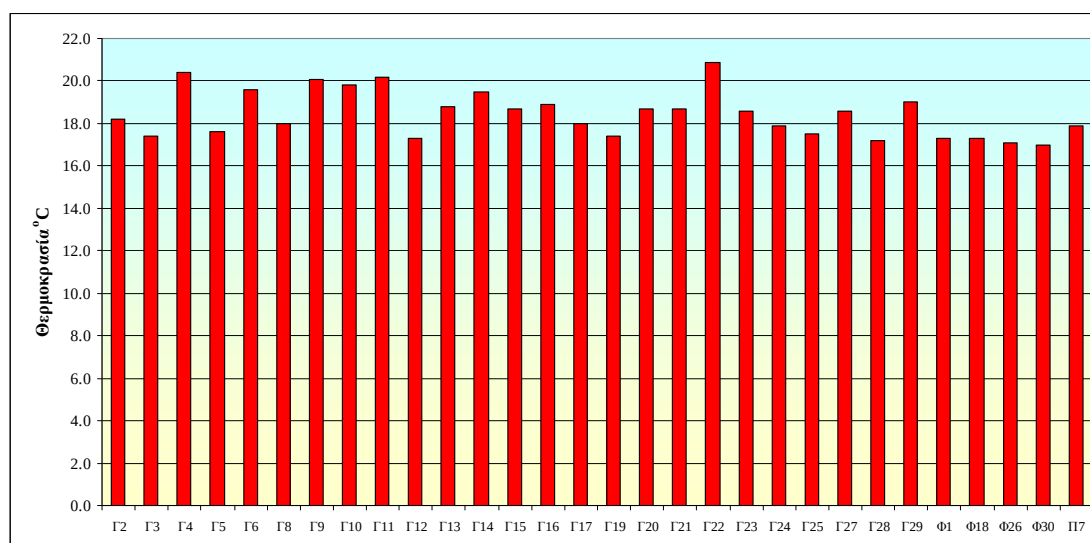
9. ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΟΙ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ

9.1 Θερμοκρασία των υπόγειων νερών ($^{\circ}\text{C}$)

Η θερμοκρασία παίζει σημαντικό ρόλο στην ποιότητα του νερού. Σύμφωνα με την οδηγία της Ε.Ε. για τα πόσιμα νερά, η ενδεικτική τιμή κυμαίνεται στους 12°C . Όταν αυξάνεται η θερμοκρασία εκδιώκονται τα διαλυμένα αέρια και το νερό γίνεται λιγότερο εύγεστο. Όταν η θερμοκρασία υπερβαίνει τους 15°C πολλαπλασιάζονται τα τυχόν υπάρχοντα σε αυτό μικρόβια κι ευνοείται η ανάπτυξη αλγών με άμεση συνέπεια την εμφάνιση δυσάρεστων οσμών και γεύσεων (Παππά., 2001). Σαν μέγιστο επιτρεπτό όριο θερμοκρασίας για τα πόσιμα νερά τίθεται απ' την Ε.Ε. η τιμή 25°C (οδηγία 98/83 ΕΚ /3-11-98).

Η διακύμανση των τιμών θερμοκρασίας στα δείγματα του υπόγειου νερού στις γεωτρήσεις, τα πηγάδια και τις πηγές στην περιοχή έρευνας διαφοροποιούνται ανάλογα με τον σχηματισμό στον οποίο φιλοξενούνται και το βάθος του υδροφόρου ορίζοντα που εκμεταλλεύεται. Οι τιμές γενικά κυμαίνονται μεταξύ $17,0^{\circ}\text{C}$ και $20,9^{\circ}\text{C}$. Οι χαμηλότερες τιμές παρατηρούνται στα πηγάδια και τις μικρού βάθους γεωτρήσεις, ενώ οι υψηλότερες τιμές ($>19,0^{\circ}\text{C}$) βρίσκονται στις γεωτρήσεις βάθους πάνω από 250 μέτρα.

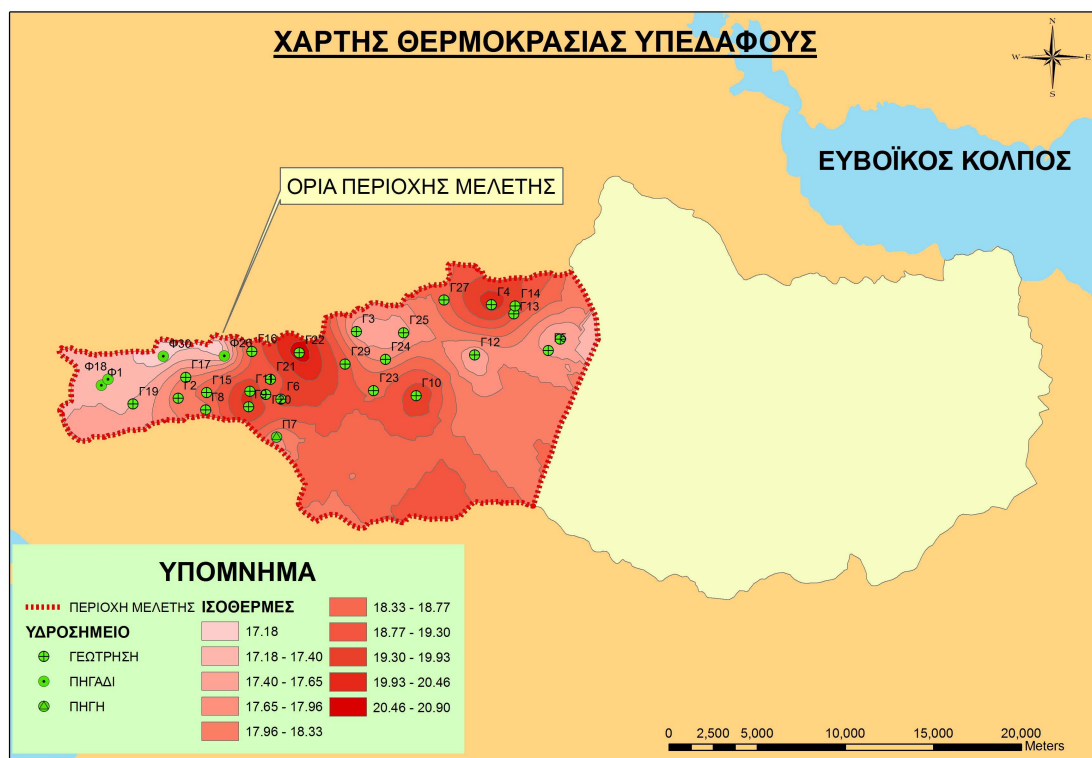
Στην Εικόνα 9.1 παρουσιάζεται το φάσμα διακύμανσης των τιμών της θερμοκρασίας των υπόγειων νερών της περιοχής.



Εικόνα 9.1: Διακύμανση των τιμών της θερμοκρασίας των υπόγειων νερών της περιοχής μελέτης.

Αναλυτικότερα οι τιμές της θερμοκρασίας έχουν ως εξής:

- ❖ *Νερά πηγαδιών από Τεταρτογενείς αποθέσεις-Φρεάτιος ορίζοντας:* Οι τιμές της θερμοκρασίας στα δείγματα των πηγαδιών που υδρομαστεύουν τον φρεάτιο ορίζοντα κυμαίνονται από $17,0^{\circ}\text{C}$ έως $17,3^{\circ}\text{C}$ και μέση τιμή $17,2^{\circ}\text{C}$.
- ❖ *Νερά γεωτρήσεων από τους Νεογενείς σχηματισμούς:* Οι τιμές της θερμοκρασίας στα δείγματα πηγών, πηγαδιών και γεωτρήσεων, τα οποία προέρχονται από τους νεογενείς σχηματισμούς κυμαίνονται από $17,2^{\circ}\text{C}$ έως $20,2^{\circ}\text{C}$ και η μέση τιμή $19,9^{\circ}\text{C}$.
- ❖ *Νερό πηγής από Νεογενείς σχηματισμούς:* Η θερμοκρασία της πηγής ανέρχεται στους $17,9^{\circ}\text{C}$.



Εικόνα 9.2: Χάρτης χωρικής κατανομής της θερμοκρασίας των υπόγειων νερών στη περιοχή μελέτης.

Χωρική κατανομή της θερμοκρασίας: Η χωρική κατανομή της θερμοκρασίας των υπόγειων νερών στην περιοχή μελέτης παρουσιάζεται στην Εικόνα 9.2. Διαπιστώνεται ότι οι χαμηλότερες τιμές θερμοκρασίας εντοπίζονται στο ΒΔ τμήμα της περιοχής, όπου προέρχονται τα δείγματα από τα πηγάδια της περιοχής, και τα οποία εμφανίζουν τις χαμηλότερες θερμοκρασίες. Αντίθετα στο κεντρικό τμήμα της λεκάνης κατανέμονται οι υψηλότερες θερμοκρασίες, όπου βρίσκονται οι βαθιές γεωτρήσεις. Στην εν λόγω περιοχή εντοπίζεται μια ρηγματογόνο ζώνη (Εικόνα 6.1 Γεωλογικός Χάρτης). Προφανώς οι υψηλές θερμοκρασίες των υπόγειων νερών που ξεπερνούν τους 20 °C στην περιοχή αυτή σχετίζονται με την εν γένει τεκτονική δράση της ευρύτερης περιοχής της λεκάνης του Ασωπού.

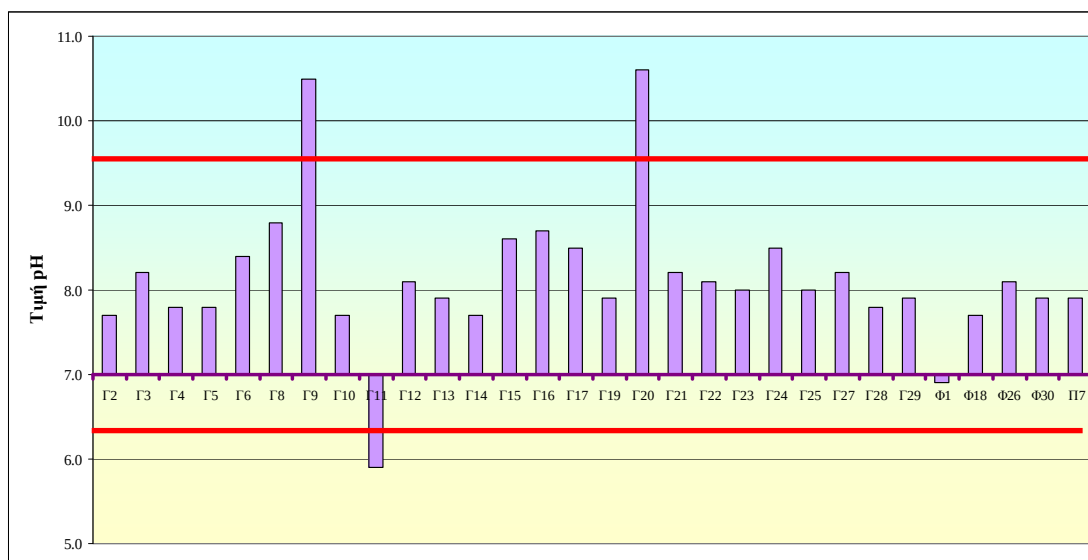
9.2 Η τιμή του pH

Το pH ορίζεται ως ο αρνητικός λογάριθμος της συγκέντρωσης ιόντων υδρογόνου, δηλαδή $pH = -\log [H^+]$ και παίρνει τιμές από 0 έως 14. Ουσιαστικά καθορίζει την ισορροπία μεταξύ οξέων και βάσεων. Το pH παίζει καθοριστικό ρόλο στις χημικές αντιδράσεις μεταξύ των διάφορων ουσιών στα ύδατα. Το χαμηλό pH καθιστά τα βαρέα μέταλλα όπως το αλουμίνιο κινητά και κατ' επέκταση ιδιαίτερα τοξικά για τα είδη της τροφικής αλυσίδας.

Το ενδεικτικό επίπεδο του pH στα πόσιμα νερά είναι, σύμφωνα με την οδηγία της Ε.Ε., μεταξύ 6,5 και 9,5. Για τιμές pH πέρα απ' τα όρια αυτά, καθίσταται αντικοινομική η επεξεργασία του νερού για την ουδετεροποίηση του pH (Παππά 2001, Καλλέργης 2000).

Οι τιμές του pH στα υπόγεια νερά της περιοχής μελέτης κυμαίνονται μεταξύ 5,9 και 10,6, δηλαδή από ελαφρώς όξινα έως αλκαλικά. Το υψηλότερο ποσοστό των δειγμάτων παρουσιάζει κυμαινόμενες τιμές από 7,5 έως 8,5. Υπερβολικά αλκαλικές τιμές εμφανίζουν δυο γεωτρήσεις Γ11 και Γ20 και η Γ11 με την χαμηλότερη ελαφρώς όξινη τιμή 5,9.

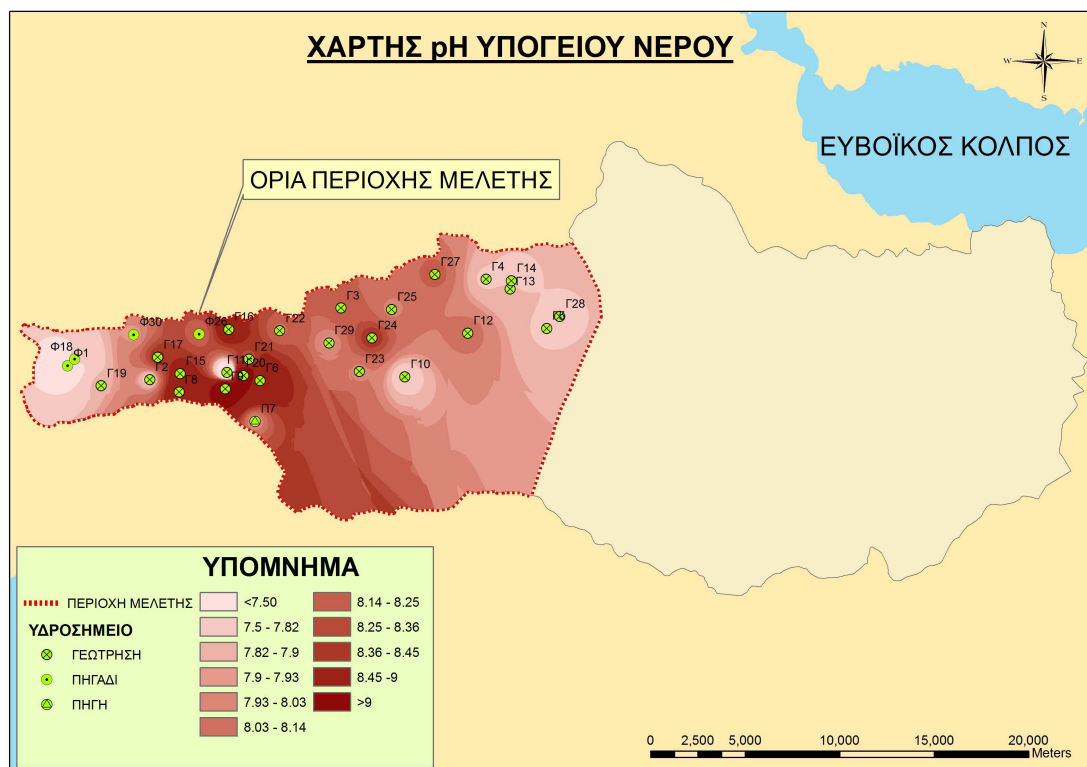
Στην εικόνα 9.3 παρουσιάζονται οι τιμές του pH των υπόγειων νερών της περιοχής. Πλην των εξαιρέσεων, με υψηλό αλκαλικό χαρακτήρα γεωτρήσεις, γενικά τα υπόγεια νερά παρουσιάζουν επίπεδα τιμών pH που κυμαίνονται εντός των ορίων που θέτει η Ε.Ε. για τα πόσιμα νερά.



Εικόνα 9.3: Διακύμανση των τιμών της θερμοκρασίας των υπόγειων νερών της περιοχής μελέτης και η ένδειξη (κόκκινη γραμμή) των επιτρεπτών ορίων που αφορά τα πόσιμα νερά βάσει της Οδηγίας της ΕΕ.

Αναλυτικότερα οι τιμές του pH έχουν ως εξής:

- ❖ *Νερά πηγαδιών από Τεταρτογενείς αποθέσεις-Φρεάτιος ορίζοντας:* Οι τιμές του pH στα δείγματα των πηγαδιών που υδρομαστεύουν τον φρεάτιο ορίζοντα κυμαίνονται από 6,1 έως 8,1 και μέση τιμή 7,7. Παρουσιάζουν ελαφρώς όξινο έως ελαφρώς αλκαλικό χαρακτήρα.
- ❖ *Νερά γεωτρήσεων από τους Νεογενείς σχηματισμούς:* Οι τιμές του pH στα δείγματα των γεωτρήσεων, τα οποία προέρχονται από τους νεογενείς σχηματισμούς κυμαίνονται από 5,9 έως 10,6 και η μέση τιμή 8,2. Σχεδόν όλες οι γεωτρήσεις παρουσιάζουν κυμαινόμενες τιμές μεταξύ 7,8 και 8,9. Εξαιρέση αποτελούν οι γεωτρήσεις Γ9 και Γ20 που έχουν τις υψηλότερες τιμές 10,5 και 10,6 αντίστοιχα και η γεώτρηση Γ11 που έχει την χαμηλότερη τιμή 5,9. Οι γεωτρήσεις Γ9 και Γ20 παρουσιάζουν υψηλή αλκαλικότητα, ενώ η γεώτρηση Γ11 παρουσιάζει ελαφρώς όξινο χαρακτήρα. Οι γεωτρήσεις αυτές βρίσκονται πολύ κοντά μεταξύ τους και εντοπίζονται στο δυτικό τμήμα της περιοχής μελέτης. Η αλκαλικότητα των Γ9 και Γ20 συνδυάζεται με την υψηλή ανθρακική σκληρότητα τους και τις υψηλές τιμές σε νάτριο, γεγονός που φανερώνει φαινόμενα κατιοανταλλαγής.
- ❖ *Νερό πηγής από Νεογενείς σχηματισμούς:* Η τιμή του pH της πηγής ανέρχεται στα 7,9 και εμφανίζει ελαφρώς αλκαλικό χαρακτήρα. Η τιμή αυτή συσχετίζεται με την περισσότερα δείγματα υπόγειων νερών των γεωτρήσεων και πηγαδιών.



Εικόνα 9.4: Χάρτης χωρικής κατανομής της τιμής του pH των υπόγειων νερών της περιοχής μελέτης.

Χωρική κατανομή της τιμής του pH: Η χωρική κατανομή της τιμής του pH των υπόγειων νερών της περιοχή μελέτης παρουσιάζεται στην Εικόνα 9.4. Διαπιστώνεται ότι τα νερά με υψηλό αλκαλικό χαρακτήρα, και με τιμές που κυμαίνονται πάνω από 9, εντοπίζονται στο κεντρικό τμήμα της περιοχής. Στα ανατολικά και δυτικά περιθώρια της λεκάνης αναπτύσσονται νερά με ελαφρώς αλκαλικό χαρακτήρα, και με τιμές pH από 7 έως 8,5. Στο ανατολικό και δυτικό τμήμα της λεκάνης τα υπόγεια νερά επηρεάζονται προφανώς από τα καρστικά νερά που εμπλουτίζουν πλευρικά τους ιζηματογενείς σχηματισμούς της λεκάνης.

9.3 Διαλυμένο Οξυγόνο (O_2 mg/l)

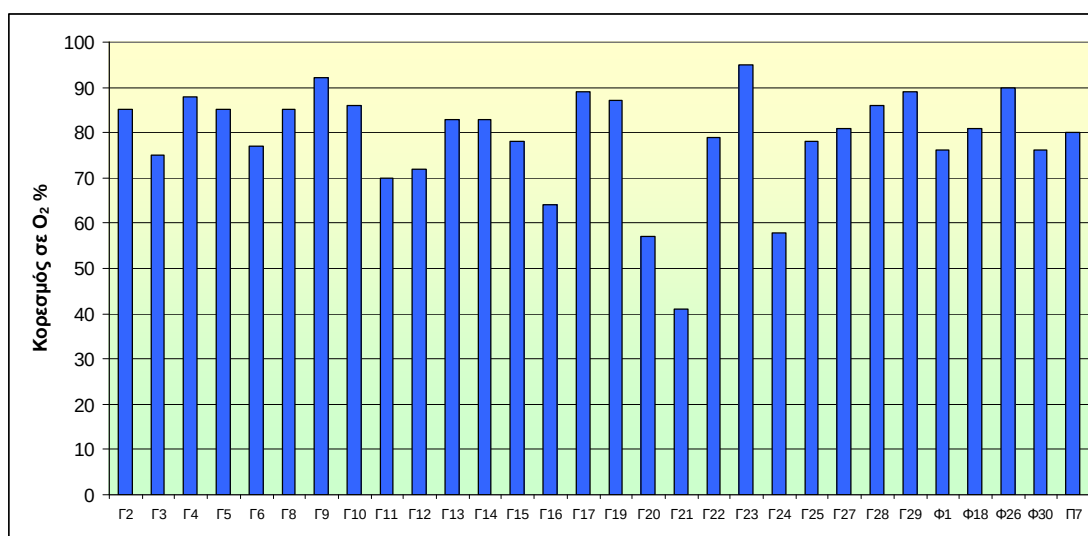
Πρόκειται για το οξυγόνο το οποίο δεσμεύεται από το νερό, όταν αυτό εκτίθεται στην ατμοσφαιρική επίδραση και αυτό συμβαίνει όταν βρέχει ή όταν υπάρχει επιφανειακή επαφή. Βρίσκεται στο νερό διαλυμένο ή με μοριακή μορφή. Όταν τα υπόγεια νερά δεν ανανεώνονται παρουσιάζουν χαμηλή συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου. Το φαινόμενο αυτό συνήθως παρατηρείται σε παλαιά νερά, σχετικά μεγάλου βάθους. Το οξυγόνο θεωρείται σαν ένας δείκτης εμπλουτισμού των υδροφόρων με φρέσκα νερά.

Το νερό εξαιτίας των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων ή της επιφανειακής απορροής το οποίο κατεισδύει είναι πλούσιο σε οξυγόνο και αποτελεί οξειδωτικό παράγοντα στον υδροφόρο. Καθώς διέρχεται από την ακόρεστη ζώνη προς την κορεσμένη (υδροφόρο στρώμα), η συγκέντρωσή του φθίνει σημαντικά και σε μεγάλα βάθη η παρουσία του μηδενίζεται.

Το οξυγόνο είναι απαραίτητο για την υδρόβια ζωή κι αποτελεί δείκτη της μόλυνσης του νερού με απόβλητα. Η απόρριψη αποβλήτων σ' έναν υδάτινο αποδέκτη, προκαλεί τη σταδιακή μείωση του εν διαλύσει οξυγόνου λόγω της κατανάλωσής του από αερόβιους οργανισμούς, οι οποίοι το χρησιμοποιούν για την οξείδωση των βιοαποικοδομήσιμων ουσιών των αποβλήτων. Η χαμηλή τιμή του διαλυμένου οξυγόνου στα επιφανειακά νερά φανερώνει την ύπαρξη ρύπανσης ή μόλυνσης. Ωστόσο, αυτό δεν ισχύει πάντα για τα υπόγεια νερά, εφόσον οι μόνοι τρόποι εμπλουτισμού τους με οξυγόνο είναι τα κατακρημνίσματα και το πορώδες του εδάφους. Το οξυγόνο ελαττώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας και της αλατότητας. Η ιδανική περιεκτικότητα του νερού σε διαλυμένο οξυγόνο πρέπει να είναι στο σημείο κορεσμού (δηλ. στο 100%) αλλά τιμές μεγαλύτερες του 75% θεωρούνται ικανοποιητικές. Η έλλειψη οξυγόνου στα υδροσυστήματα προκαλεί αναερόβιες συνθήκες που βοηθούν την αναγωγή των νιτρικών σε νιτρώδη και των θεικών σε θειούχα με συνέπεια τη δημιουργία ανεπιθύμητων και δυσάρεστων οσμών (Παππά 2001).

Τα υπόγεια νερά της περιοχής μελέτης παρουσιάζουν συγκεντρώσεις οξυγόνου σε κανονικά επίπεδα. Οι τιμές κορεσμού τους γενικά κυμαίνονται πάνω από το επίπεδο του 70-95%. Μικρές μόνο εξαιρέσεις δειγμάτων παρουσιάζουν τιμές κορεσμού κάτω του επιπέδου των 60%.

Στην εικόνα 9.5 παρουσιάζονται οι τιμές του O_2 σε ποσοστά κορεσμού των υπόγειων νερών της περιοχής.



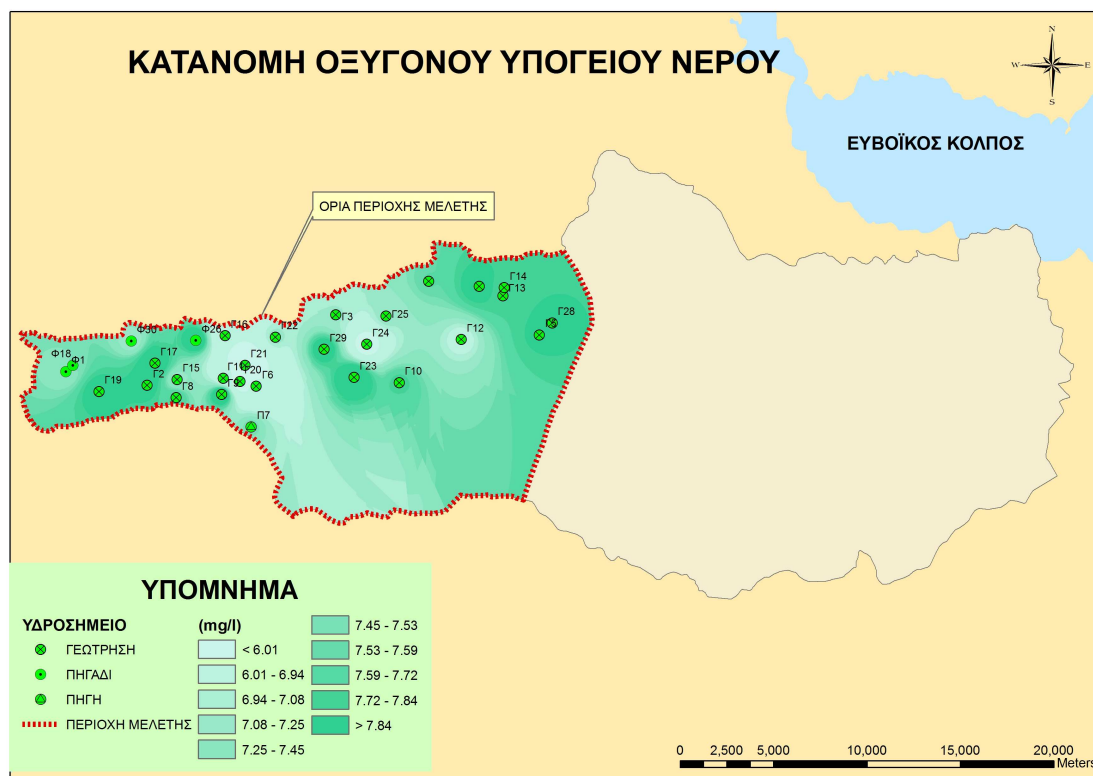
Εικόνα 9.5: Επίπεδα κορεσμού σε O_2 των υπόγειων νερών της περιοχής μελέτης.

Αναλυτικότερα οι τιμές του οξυγόνου έχουν ως εξής:

- ❖ *Νερά πηγαδιών από Τεταρτογενείς αποθέσεις-Φρεάτιος ορίζοντας:* Οι τιμές του οξυγόνου στα δείγματα των πηγαδιών που υδρομαστεύουν τον φρεάτιο ορίζοντα κυμαίνονται από 7,0 έως 8,5 mg/l και μέση τιμή 7,6 mg/l. Το ποσοστό κορεσμού κυμαίνεται μεταξύ 76% και 90%.
- ❖ *Νερά γεωτρήσεων από τους Νεογενείς σχηματισμούς:* Οι τιμές του οξυγόνου στα δείγματα των γεωτρήσεων, τα οποία προέρχονται από τους νεογενείς σχηματισμούς κυμαίνονται από 3,8 έως 8,8 και η μέση τιμή 7,2. Σχεδόν όλες οι γεωτρήσεις παρουσιάζουν κυμαινόμενες τιμές μεταξύ 7,8 και 8,9 mg/l. Το ποσοστό κορεσμού κυμαίνεται μεταξύ 41% και 95%. Γενικά οι τιμές στο

σύνολο των γεωτρήσεων κυμαίνονται μεταξύ 7,1 και 8,9 mg/l. Εξαίρεση αποτελούν οι γεωτρήσεις Γ20, Γ21 και Γ24 που έχουν τις χαμηλότερες τιμές 5,1 mg/l, 3,8 mg/l και 5,1 mg/l αντίστοιχα. Οι γεωτρήσεις αυτές βρίσκονται στο κεντρικό τμήμα της λεκάνης. Η απουσία οξυγόνου συνδυάζεται προφανώς με την παρουσία οργανικού υλικού εντός των Νεογενών σχηματισμών.

- ❖ *Νερό πηγής από Νεογενείς σχηματισμούς:* Η συγκέντρωση του οξυγόνου της πηγής ανέρχεται στα 7,6 mg/l και επίπεδο κορεσμού 80%.



Εικόνα 9.6: Χάρτης χωρικής κατανομής του οξυγόνου των υπόγειων νερών της περιοχής μελέτης.

Χωρική κατανομή: Η χωρική κατανομή της συγκέντρωσης οξυγόνου των υπόγειων νερών στην περιοχή μελέτης παρουσιάζεται στην Εικόνα 9.6. Διαπιστώνεται ότι οι υψηλότερες τιμές εντοπίζονται στο ανατολικό και δυτικό τμήμα της περιοχής, ενώ οι χαμηλότερες τιμές κατανέμονται στο κεντρικό τμήμα της λεκάνης. Στο τμήμα αυτό εντοπίζονται και οι υψηλότερες θερμοκρασίες των υπόγειων νερών. Προφανώς οι δυο αυτοί παράμετροι σχετίζονται άμεσα μεταξύ τους.

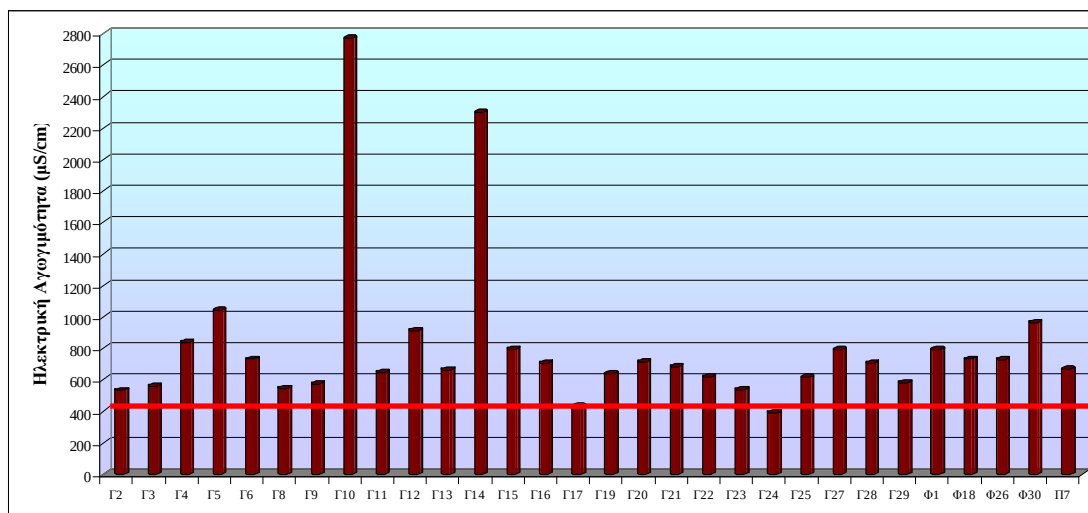
9.4 Ηλεκτρική αγωγιμότητα (Ec $\mu\text{S}/\text{cm}$)

Ηλεκτρική αγωγιμότητα είναι η ικανότητα ενός υδατικού διαλύματος να επιτρέπει την διέλευση του ηλεκτρικού ρεύματος. Αυτή η ικανότητα εξαρτάται απ' την παρουσία ιόντων, απ' την ολική τους συγκέντρωση, το είδος τους και τη θερμοκρασία. Η αγωγιμότητα ενός cm^3 νερού, στην θερμοκρασία των 25 °C ονομάζεται ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα, με μονάδα μέτρησής της το microSiemens ανά cm ($\mu\text{S}/\text{cm}$). Η ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα εξαρτάται από την συγκέντρωση των διαφόρων ιόντων στο νερό. Επίσης εξαρτάται και από την μεταβολή της θερμοκρασίας, διότι αύξηση της

θερμοκρασίας κατά 1°C προκαλεί αύξηση της EC κατά 2% περίπου. Σύμφωνα με την οδηγία της Ε.Ε. , το ενδεικτικό επίπεδο της EC για τα πόσιμα νερά είναι 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (στους 20°C).

Η διακύμανση των τιμών της ηλεκτρικής αγωγιμότητας στα δείγματα των υπόγειων νερών στην περιοχή έρευνας διαφοροποιούνται ανάλογα με τον σχηματισμό στον οποίο φιλοξενούνται και το βάθος του υδροφόρου ορίζοντα που εκμεταλλεύονται οι γεωτρήσεις και τα πηγάδια. Γενικά οι τιμές κυμαίνονται μεταξύ 392 $\mu\text{S}/\text{cm}$ και 900 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Εξάιρεση αποτελούν δυο δείγματα βαθιών γεωτρήσεων, η Γ14 και η Γ10, των οποίων οι τιμές ανέρχονται σε 2300 $\mu\text{S}/\text{cm}$ και 2770 $\mu\text{S}/\text{cm}$ αντίστοιχα.

Στην εικόνα 9.7 παρουσιάζονται οι τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας των δειγμάτων.

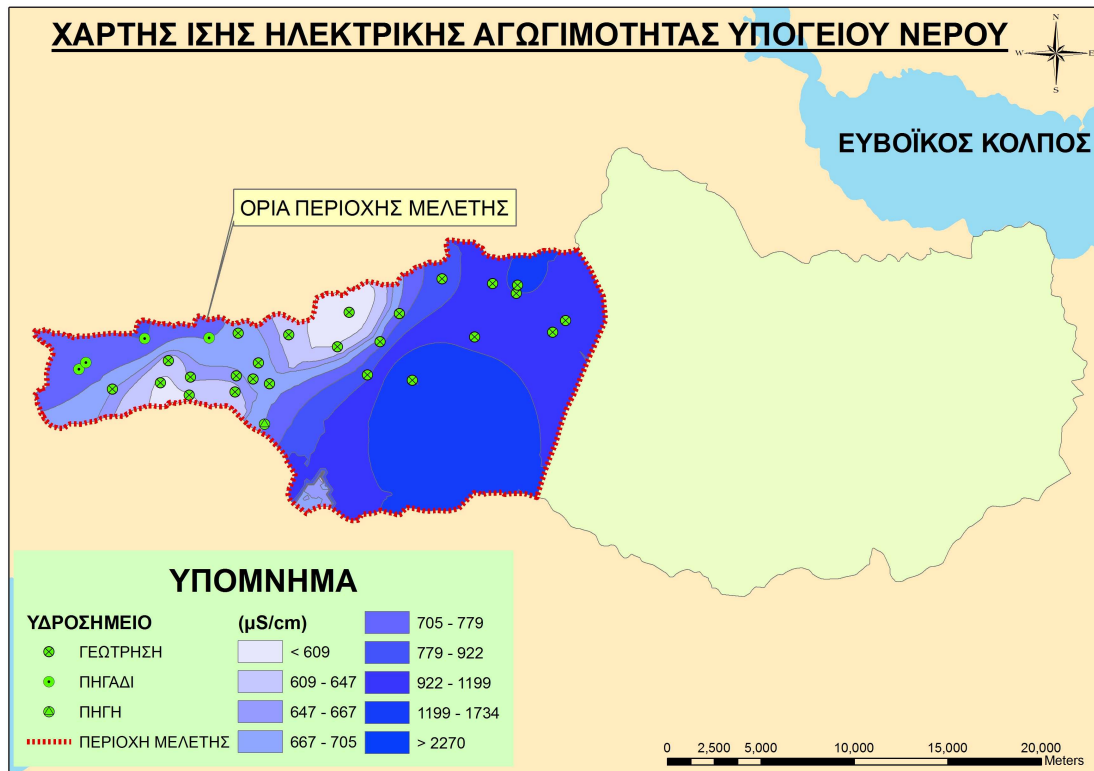


Εικόνα 9.7: Διακύμανση των τιμών της ηλεκτρικής αγωγιμότητας των υπόγειων νερών της περιοχής μελέτης και η ένδειξη (κόκκινη γραμμή) του ανώτερου επιτρεπτού ορίου που αφορά τα πόσιμα νερά βάσει της Οδηγίας της ΕΕ..

Αναλυτικότερα οι τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας έχουν ως εξής:

- ❖ *Νερά πηγαδιών από Τεταρτογενείς αποθέσεις-Φρεάτιος ορίζοντα:* Οι τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας στα δείγματα των πηγαδιών που υδρομαστεύουν τον φρεάτιο ορίζοντα κυμαίνονται από 730 $\mu\text{S}/\text{cm}$ έως 964 $\mu\text{S}/\text{cm}$ και μέση τιμή 804 $\mu\text{S}/\text{cm}$.
- ❖ *Νερά γεωτρήσεων από τους Νεογενείς σχηματισμούς:* Οι τιμές της θερμοκρασίας στα δείγματα πηγών, πηγαδιών και γεωτρήσεων, τα οποία προέρχονται από τους νεογενείς σχηματισμούς κυμαίνονται από 392 $\mu\text{S}/\text{cm}$ έως 2770 $\mu\text{S}/\text{cm}$ και η μέση τιμή 813 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Σχεδόν όλες οι γεωτρήσεις παρουσιάζουν κυμαινόμενες τιμές μεταξύ 392 και 914 $\mu\text{S}/\text{cm}$, εξάιρεση αποτελούν οι γεωτρήσεις Γ5, Γ10 και Γ14, οι οποίες εμφανίζουν τις υψηλότερες τιμές 1043 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 2770 $\mu\text{S}/\text{cm}$ και 2300 $\mu\text{S}/\text{cm}$ αντίστοιχα. Οι γεωτρήσεις αυτές εντοπίζονται στο κεντρικό και βορειοανατολικό τμήμα της περιοχής μελέτης. Οι γεωτρήσεις Γ5 και Γ14 βρίσκονται πλησίον των οικισμών Ασωπία και Καλλιθέα αντίστοιχα και δέχονται προφανώς ανθρωπογενείς επιδράσεις. Η γεωτρήση Γ10 έχει το μεγαλύτερο βάθος (440 μέτρα) και βρίσκεται στο κεντρικό τμήμα της λεκάνης. Σε συνδυασμό με τις υψηλές συγκεντρώσεις χλωρίου, νατρίου και θεικών που παρουσιάζει δεν αποκλείεται η γεωγενής επιβάρυνση της μέσω υπολειμματικών εβαποριτικών αλάτων των Νεογενών σχηματισμών.

- ❖ *Νερό πηγής από Νεογενείς σχηματισμούς:* Η ηλεκτρική αγωγιμότητα της πηγής ανέρχεται στα 666 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Η τιμή αυτή βρίσκεται στα ίδια επίπεδα με τα υπόλοιπα δείγματα υπόγειων νερών των γεωτρήσεων και πηγαδιών.



Εικόνα 9.8: Χάρτης χωρικής κατανομής της ηλεκτρικής αγωγιμότητας των υπόγειων νερών της περιοχή μελέτης.

Χωρική κατανομή της E_c : Η χωρική κατανομή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας των υπόγειων νερών στην περιοχή μελέτης παρουσιάζεται στην Εικόνα 9.8. Διαπιστώνεται ότι οι χαμηλότερες τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας εντοπίζονται στο κεντρικό τμήμα της περιοχής, ενώ οι υψηλότερες τιμές κατανέμονται στο ανατολικό τμήμα της λεκάνης.

9.5 Ολικά Διαλυμένα Στερεά (TDS mg/l)

Είναι η ποσότητα των ουσιών που βρίσκονται διαλυμένες στο νερό. Τα υπόγεια νερά περιέχουν πληθώρα από ανόργανα συστατικά και σε μικρότερες ποσότητες οργανικές ουσίες και ιχνοστοιχεία ανάλογα. Το άθροισμα όλων αυτών των στοιχείων δίνει την αλατότητα του νερού που εκφράζεται με το TDS σε mg/l .

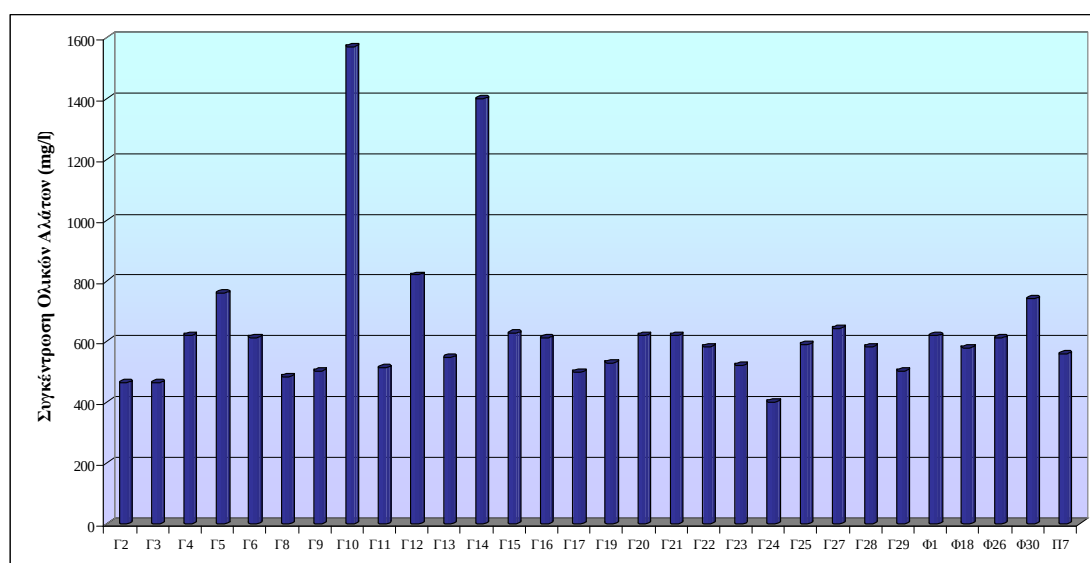
Η παρουσία των αλάτων στα υπόγεια νερά εξαρτάται από την φύση των πετρωμάτων, την ταχύτητα ροής του νερού και τον χρόνο παραμονής του στους διάφορους σχηματισμούς που φιλοξενείται (Καλλέργης, 2000; Fetter 1994).

Τα επιφανειακά νερά παρουσιάζουν χαμηλότερη συγκέντρωση διαλυμένων αλάτων σε σχέση με τα υπόγεια νερά. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα υπόγεια νερά βρίσκονται για μεγαλύτερο χρόνο σε επαφή με τα ευδιάλυτα υλικά των γεωλογικών σχηματισμών (Καλλέργης, 2000; Στουρνάρας, 2007; Βουδούρης, 2009).

Ανάλογα με το περιεχόμενο τους σε ολικά διαλυμένα στερεά τα υπόγεια νερά διαχωρίζονται σύμφωνα με τον Bouwer (1978) σε :

Γλυκό	< 1000 mg / l
Μέτρια αλμυρό	3000 – 10.000 mg / l
Πολύ αλμυρό	10.000 – 35.000 mg / l
Υπεραλμυρό	> 35.000 mg / l

Στην εικόνα 9.9 παρουσιάζονται οι τιμές των δειγμάτων της περιοχής μελέτης. Τα αποτελέσματα των αναλύσεων έδειξαν ότι τα υπόγεια νερά της περιοχής μελέτης παρουσιάζουν ένα ευρύ φάσμα τιμών ολικών αλάτων που κυμαίνονται μεταξύ 401 και 1572 mg/l. Στο μεγαλύτερο ποσοστό των δειγμάτων οι τιμές κυμαίνονται κάτω από τα 600 mg/l. Εξάιρεση αποτελούν τα δυο δείγματα βαθιών γεωτρήσεων, της Γ14 και η Γ10, των οποίων οι τιμές ανέρχονται σε 1399 mg/l και 1572 mg/l αντίστοιχα.



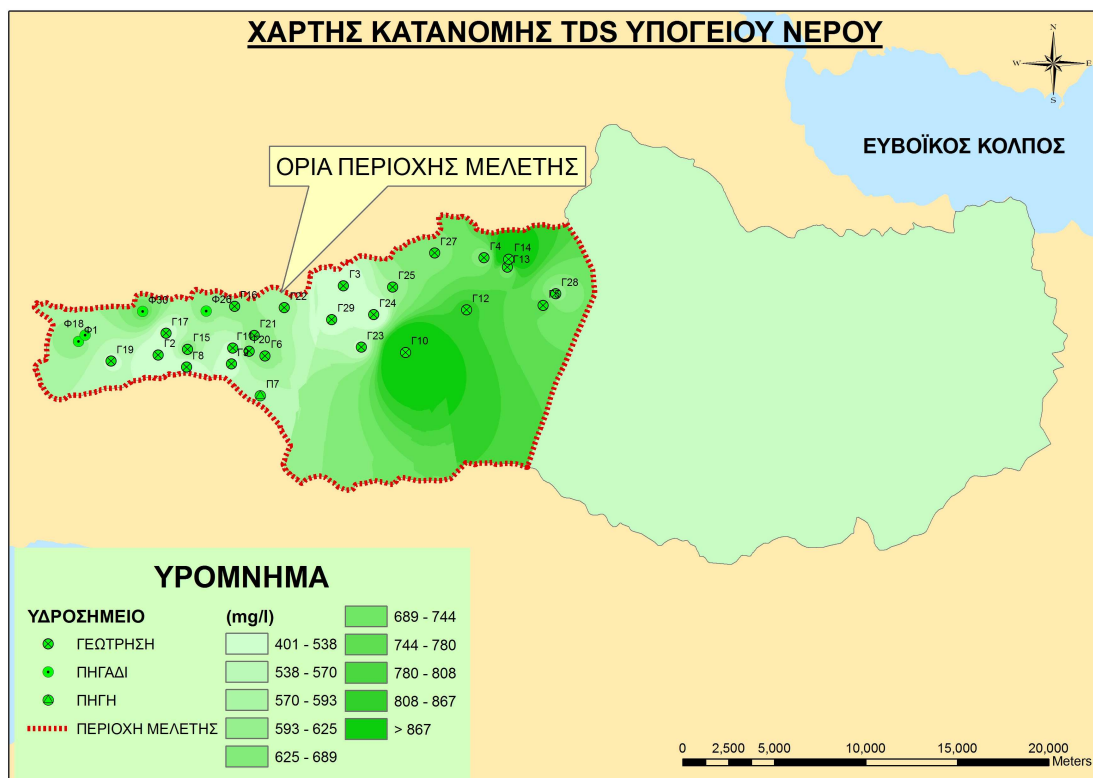
Εικόνα 9.9: Διακύμανση των τιμών συγκέντρωσης ολικών αλάτων (TDS) των υπόγειων νερών της περιοχής μελέτης.

Αναλυτικότερα οι τιμές των TDS έχουν ως εξής:

- ❖ *Νερά πηγαδιών από Τεταρτογενείς αποθέσεις-Φρεάτιος ορίζοντας:* Οι τιμές των TDS στα δείγματα των πηγαδιών που υδρομαστεύουν τον φρεάτιο ορίζοντα κυμαίνονται από 580 mg/l έως 740 mg/l και μέση τιμή 638 mg/l. Τα νερά του φρεάτιου ορίζοντα χαρακτηρίζονται ως ολιγομεταλλικά, εφόσον οι συγκεντρώσεις τους δεν ξεπερνούν το όριο των 1000 mg/l.
- ❖ *Νερά γεωτρήσεων από τους Νεογενείς σχηματισμούς:* Οι τιμές των TDS στα δείγματα των γεωτρήσεων, τα οποία προέρχονται από τους νεογενείς σχηματισμούς κυμαίνονται από 401 mg/l έως 1572 mg/l και η μέση τιμή 644 mg/l. Σχεδόν όλες οι γεωτρήσεις παρουσιάζουν κυμαινόμενες τιμές μεταξύ 401 και 819 mg/l. Τα νερά αυτά χαρακτηρίζονται ολιγομεταλλικά. Εξάιρεση αποτελούν οι γεωτρήσεις Γ10 και Γ14, οι οποίες εμφανίζουν τις υψηλότερες τιμές 1572 mg/l και 1399 mg/l αντίστοιχα. Οι αντίστοιχες γεωτρήσεις χαρακτηρίζονται επίσης και από υψηλές τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας, όπως αναφέρθηκε πιο πάνω. Τα στοιχεία που συμβάλλουν στην αύξηση της αλατότητας, σε σύγκριση με τις υπόλοιπες γεωτρήσεις, είναι το νάτριο, το

χλώριο και τα θειικά που εμφανίζουν υψηλές συγκεντρώσεις. Η παρουσία των στοιχείων αυτών συνδυάζεται με ανθρωπογενείς επιδράσεις και με την ύπαρξη υπολειμματικών εβαποριτικών αλάτων εντός των Νεογενών σχηματισμών.

- ❖ *Νερό πηγής από Νεογενείς σχηματισμούς:* Το TDS της πηγής ανέρχεται στα 559 mg/l. Η τιμή αυτή είναι συγκρίσιμη με τις τιμές των δειγμάτων των γεωτρήσεων και πηγαδιών.



Εικόνα 9.10: Χάρτης χωρικής κατανομής της συγκέντρωσης των Ολικών Διαλυμένων Στερεών (TDS) των υπόγειων νερών της περιοχή μελέτης.

Χωρική κατανομή των TDS: Η χωρική κατανομή των TDS των υπόγειων νερών της περιοχής μελέτης παρουσιάζεται στην Εικόνα 9.10. Διαπιστώνεται ότι τα υπόγεια νερά του δυτικού τμήματος της λεκάνης παρουσιάζουν τις χαμηλότερες τιμές σε ολικά διαλυμένα άλατα, ενώ στο ανατολικό τμήμα της λεκάνης εντοπίζονται τα υπόγεια νερά με τις υψηλότερες τιμές σε διαλυμένα άλατα. Η διαφοροποίηση αυτή σχετίζεται προφανώς, όπως προαναφέρθηκε, με γεωγενείς και ανθρωπογενείς παράγοντες. Στην ευρύτερη περιοχή Μουσταφάδες, βόρεια της κοινότητας Καλλιθέα, απαντώνται υπόγεια νερά τα οποία χαρακτηρίζονται γενικά από υψηλή περιεκτικότητα σε άλατα και χαρακτηρίζονται ως υφάλμυρα (Δούνας κάλ. 1987).

9.6 Σκληρότητα (°dH)

Η σκληρότητα εκφράζει το σύνολο των διαλυμένων αλάτων ασβεστίου (Ca^{2+}) και μαγνησίου (Mg^{2+}) που συνδέονται με οποιοδήποτε άλλο στοιχείο στο υδατικό διάλυμα. Τα στοιχεία Ca^{2+} και Mg^{2+} είναι κυρίως γεωγενούς προέλευσης και η παρουσία τους

στα υπόγεια νερά συνδέονται με την αποσάθρωση των πετρωμάτων, με τα οποία έχει έρθει σε επαφή το νερό.

Η σκληρότητα διακρίνεται:

- στην **ολική σκληρότητα** που οφείλεται στο σύνολο των διαλυμένων αλάτων Ca^{2+} και Mg^{2+} , τα οποία συνδέονται με οποιοδήποτε άλλο στοιχείο που βρίσκεται στο υδατικό διάλυμα.
- στην **ανθρακική ή παροδική** σκληρότητα που οφείλεται στο σύνολο των διαλυμένων αλάτων Ca^{2+} και Mg^{2+} που συνδέονται μόνο με την όξινη ανθρακική ρίζα HCO_3^- και
- στην **μόνιμη σκληρότητα** που οφείλεται στο σύνολο των διαλυμένων αλάτων Ca^{2+} και Mg^{2+} που συνδέονται με διάφορα άλλα στοιχεία, όπως χλωριούχα, θειικά, νιτρικά, κλπ.

Με βάση τα γερμανικά πρότυπα και το βαθμό της περιεκτικότητας της ολικής σκληρότητας τα φυσικά νερά ταξινομούνται στις ακόλουθες κατηγορίες, όπως φαίνονται στον πίνακα 9.1 που ακολουθεί.

Πίνακας 9.1: Αξιολόγηση των υδάτων βάσει της σκληρότητας σε °dH (Hoell 1979)

Ολική σκληρότητα (Γερμ. βαθμοί °dH)	Χαρακτηρισμός
0-4	Πολύ μαλακό
4-8	Μαλακό
8-18	Μέτρια σκληρό
18-30	Σκληρό
>30	Πολύ σκληρό

Το σκληρό νερό είναι ανεπιθύμητο για οικιακή χρήση καθώς δημιουργεί προβλήματα σε σωληνώσεις κι οικιακές συσκευές και εμποδίζει τη δημιουργία αφρού κατά την πλύση με σαπούνι. Προβλήματα επίσης δημιουργούνται στη βιομηχανική και γεωργική χρήση του σκληρού νερού. Η κατανάλωση σχετικά σκληρού νερού από τον άνθρωπο θεωρείται ευεργετική γιατί έχει συσχετισθεί με τη μείωση των καρδιαγγειακών παθήσεων.

Η ενδεικτική τιμή της ολικής σκληρότητας για το πόσιμο νερό είναι μεταξύ 80 – 150 mg/l CaCO_3 , δηλ. 4,5-8,5 °dH, ωστόσο, νερά με σκληρότητα 500 mg/l CaCO_3 , δηλ. 28 °dH, θεωρούνται πόσιμα (Παππά 2001, Καλλέργης 1980).

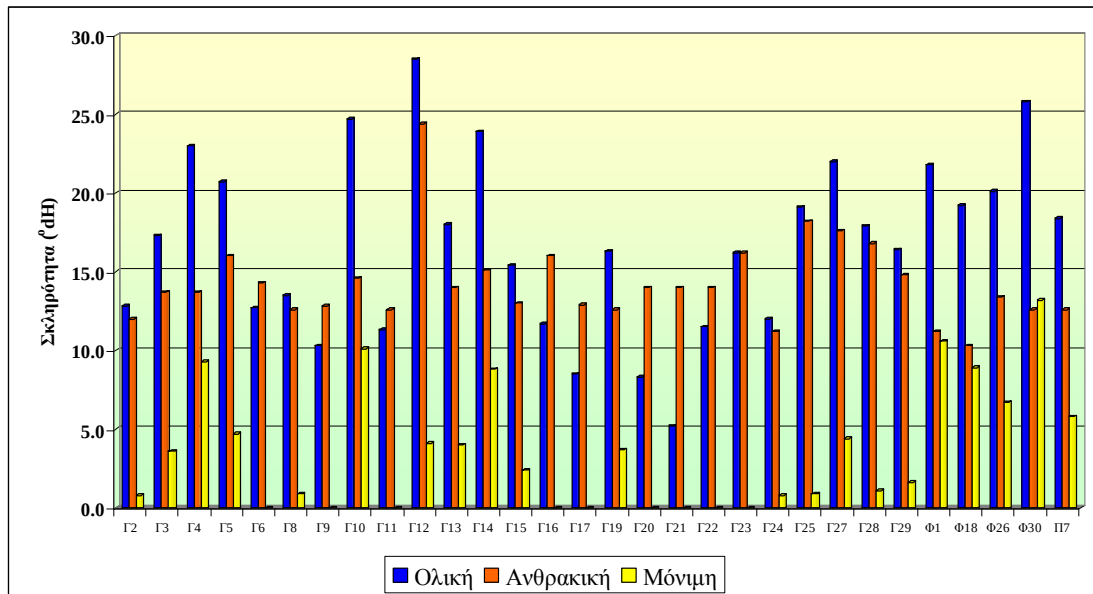
Στην εικόνα 9.11 που ακολουθεί παρουσιάζονται οι τιμές της Ολικής, της Ανθρακικής και της μόνιμης σκληρότητας που εμφανίζουν τα υπόγεια νερά της περιοχής μελέτης. Γενικά παρατηρείται σημαντική διαφοροποίηση των τιμών τόσο της ολικής σκληρότητας, όσο και της ανθρακικής και μόνιμης σκληρότητας.

Αξιοσημείωτο είναι η απουσία της μόνιμης σκληρότητας σε αρκετά δείγματα των υπόγειων νερών. Οι διαφοροποιήσεις αυτές σχετίζονται κυρίως με το υδρογεωλογικό περιβάλλον και με τις γεωχημικές διαδικασίες κατιοανταλλαγής που επικρατούν κατά περιοχή.

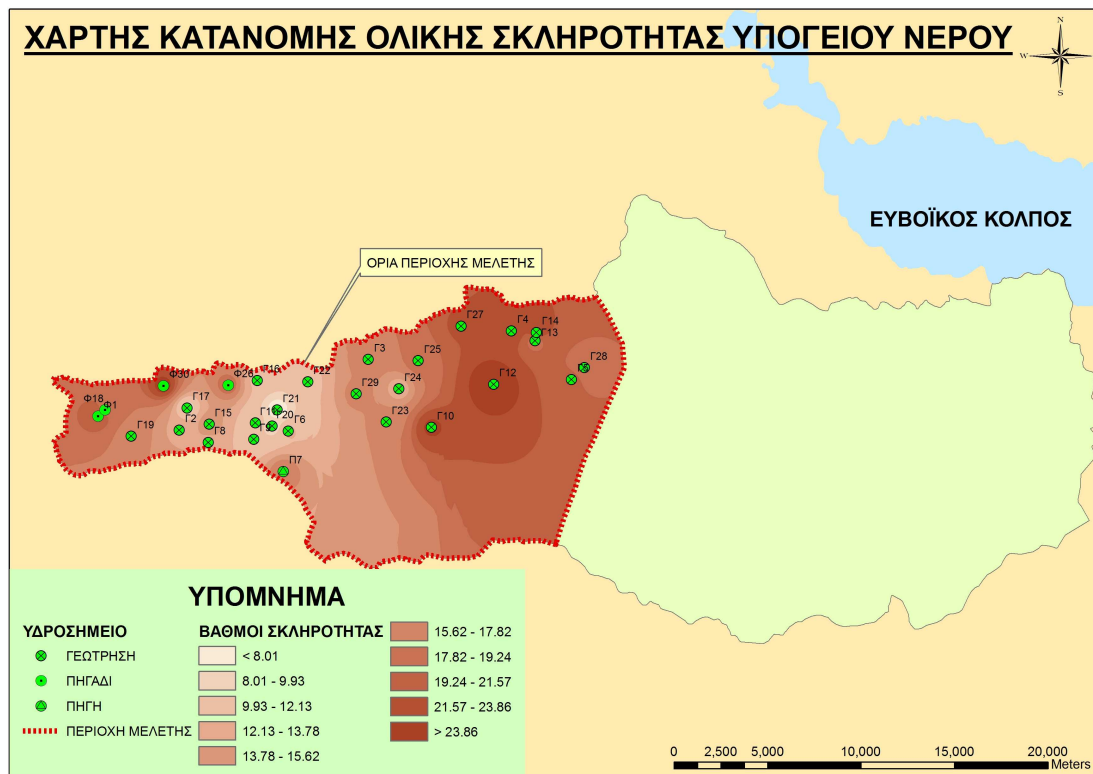
Αναλυτικότερα οι τιμές της σκληρότητας και η αντίστοιχη ταξινόμηση των υπόγειων νερών της περιοχής έχουν ως εξής:

Α) Η Ολική σκληρότητα στα υπόγεια νερά της περιοχής μελέτης κυμαίνεται ως ακολούθως:

- ❖ *Νερά πηγαδιών από Τεταρτογενείς αποθέσεις-Φρεάτιος ορίζοντας: 19,2 έως 25,8 °dH, και μέση τιμή 21,7 °dH. Τα νερά του φρεάτιου ορίζοντα χαρακτηρίζονται σκληρά.*



Εικόνα 9.11: Διακύμανση των τιμών Σκληρότητας των υπόγειων νερών της περιοχής μελέτης.



Εικόνα 9.12: Χάρτης χωρικής κατανομής της Ολικής Σκληρότητας των υπόγειων νερών της περιοχή μελέτης.

- ❖ *Νερά γεωτρήσεων από τους Νεογενείς σχηματισμούς:* 5,2 έως 28,5 °dH, και μέση τιμή 15,9 °dH. Στο μεγαλύτερο ποσοστό των γεωτρήσεων, πλην ολίγων εξαιρέσεων, οι τιμές κυμαίνονται μεταξύ 8,0 °dH και 18,0 °dH. Γενικά τα νερά αυτά ταξινομούνται στην κατηγορία των μέτρια σκληρών. Τα νερά που υπερβαίνουν τα όρια αυτά και ανέρχονται έως 28,5 °dH χαρακτηρίζονται σκληρά. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τα νερά των βαθιών γεωτρήσεων που χαρακτηρίζονται από υψηλές συγκεντρώσεις διαλυμένων αλάτων.
- ❖ *Νερό πηγής από Νεογενείς σχηματισμούς:* Η πηγή έχει παρόμοιο σκληρό χαρακτήρα, όπως και τα νερά των γεωτρήσεων και των πηγαδιών, με βαθμό σκληρότητας 18,4 °dH.

Χωρική κατανομή της Ολικής Σκληρότητας: Η χωρική κατανομή της Ολικής Σκληρότητας των υπόγειων νερών της περιοχής μελέτης παρουσιάζεται στην Εικόνα 9.12. Διαπιστώνεται ότι τα υπόγεια νερά του ανατολικού και δυτικού τμήματος της λεκάνης παρουσιάζουν τις υψηλότερες τιμές Ολικής Σκληρότητας, ενώ στο κεντρικό τμήμα αναπτύσσονται τα νερά με τις χαμηλότερες τιμές σκληρότητας. Η διαφοροποίηση αυτή σχετίζεται προφανώς με την παρουσία των καρστικών σχηματισμών, ενώ στο κεντρικό τμήμα εντοπίζονται εντός των Νεογενών υδροφορέων φαινόμενα κατιοανταλλαγής, τα οποία οδηγούν στην μείωση της ολικής σκληρότητας και σε αντίστοιχη μείωση της μόνιμης σκληρότητας, η οποία κατά περιπτώσεις μηδενίζεται.

Β) Η Ανθρακική ή Παροδική σκληρότητα των υπόγειων νερών της περιοχής παρουσιάζει τις ακόλουθες τιμές:

- ❖ *Νερά πηγαδιών από Τεταρτογενείς αποθέσεις-Φρεάτιος ορίζοντας:* Οι τιμές κυμαίνονται από 10,3 έως 13,4 °dH, και μέση τιμή 11,9 °dH. Τα νερά του φρεάτιου ορίζοντα έχουν σε όλες τις περιπτώσεις χαμηλότερες τιμές παροδικής σκληρότητας σε σχέση με την ολική σκληρότητα, γεγονός που φανερώνει ότι είναι φρέσκα νερά εμπλουτισμού και δεν βρίσκονται σε στάδιο κατιοανταλλαγής, όπως αυτό συμβαίνει στα νερά των βαθύτερων υδροφόρων οριζώντων που εκμεταλλεύονται οι γεωτρήσεις.
- ❖ *Νερά γεωτρήσεων από τους Νεογενείς σχηματισμούς:* Οι τιμές κυμαίνονται από 11,2 έως 24,4 °dH, και μέση τιμή 14,7 °dH. Σχεδόν όλες οι γεωτρήσεις έχουν τιμές που κυμαίνονται μεταξύ 11,2 °dH και 17,6 °dH. Εξαιρέση αποτελεί η γεώτρηση Γ12 η οποία παρουσιάζει υπερβολικά υψηλή τιμή 24,4 °dH. Η γεώτρηση αυτή βρίσκεται στο κεντρικό τμήμα της λεκάνης, εντός των Νεογενών σχηματισμών και χαρακτηρίζεται από υψηλή συγκέντρωση σε ιόντα μαγνησίου. Είναι η μοναδική γεώτρηση με την υψηλότερη γενικά σκληρότητα. Σχεδόν το 50% των γεωτρήσεων παρουσιάζει υψηλότερες τιμές Ανθρακικής Σκληρότητας σε σχέση με τις τιμές της Ολικής Σκληρότητας (Πίνακας 8.4). Το φαινόμενο αυτό φανερώνει ότι στο ευρύτερο περιβάλλον των γεωτρήσεων αυτών λαμβάνουν χώρα γεωχημικές διαδικασίες κατιοανταλλαγής. Έτσι λοιπόν τα γεωαλκαλικά νερά μετατρέπονται σε αλκαλικά, τα οποία χαρακτηρίζονται από υψηλές συγκεντρώσεις νατρίου και καλίου και υψηλή τιμή pH, όπως περιγράφηκε πιο πάνω και θα περιγραφούν αναλυτικότερα στο κεφάλαιο ταξινόμησης των νερών κατά υδροχημική κατηγορία.
- ❖ *Νερό πηγής από Νεογενείς σχηματισμούς:* Η τιμή της Ανθρακικής Σκληρότητας στη πηγή είναι στους 12,6 °dH και βρίσκεται στα ίδια επίπεδα όπως τα νερά του φρεάτιου ορίζοντα.

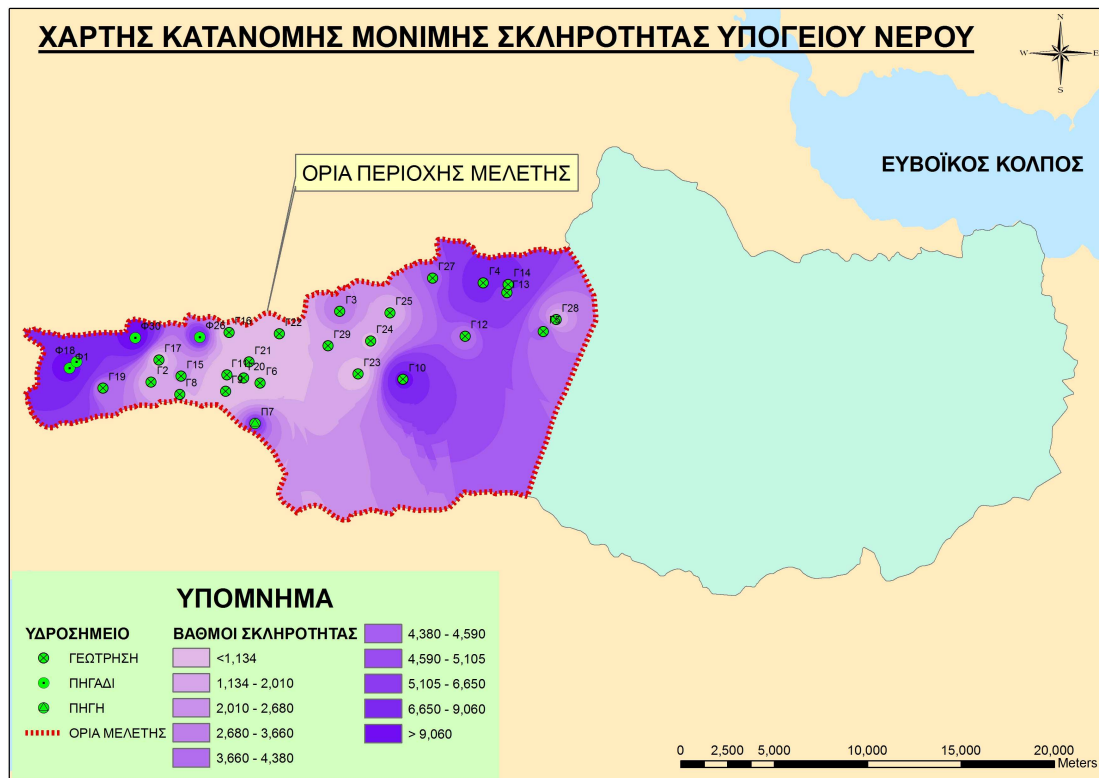


Εικόνα 9.13: Χάρτης χωρικής κατανομής της Παροδικής ή Ανθρακικής Σκληρότητας των υπόγειων νερών της περιοχής μελέτης.

Χωρική κατανομή της Παροδικής Σκληρότητας: Η χωρική κατανομή της Ανθρακικής Σκληρότητας των υπόγειων νερών της περιοχής μελέτης παρουσιάζεται στην Εικόνα 9.13. Διαπιστώνεται ότι τα υπόγεια νερά του δυτικού τμήματος της λεκάνης παρουσιάζουν τις χαμηλότερες τιμές Ανθρακικής Σκληρότητας, ενώ στο ανατολικό τμήμα της λεκάνης αναπτύσσονται τα νερά με τις υψηλότερες τιμές. Η διαφοροποίηση αυτή σχετίζεται προφανώς με την εκμετάλλευση των καρστικών νερών του ανατολικού τμήματος, μέσω των βαθιών γεωτρήσεων, τα οποία είναι νερά υψηλής ανθρακικής σκληρότητας, ενώ στο κεντρικό και δυτικό τμήμα της λεκάνης οι γεωτρήσεις εκμεταλλεύονται υπόγεια νερά των Νεογενών υδροφορέων, τα οποία εμφανίζουν χαμηλότερη ανθρακική σκληρότητα.

Γ) Η Μόνιμη Σκληρότητα των υπόγειων νερών της περιοχής παρουσιάζει τις ακόλουθες τιμές:

- ❖ *Νερά πηγαδιών από Τεταρτογενείς αποθέσεις-Φρεάτιος ορίζοντας:* Οι τιμές κυμαίνονται από 6,7 έως 13,2°dH, και μέση τιμή 9,9°dH.
- ❖ *Νερά γεωτρήσεων από τους Νεογενείς σχηματισμούς:* Οι τιμές κυμαίνονται από 0,0 έως 10,1°dH, και μέση τιμή 2,4°dH.
- ❖ *Νερό πηγής από Νεογενείς σχηματισμούς:* Η τιμή της μόνιμης σκληρότητας στη πηγή είναι στους 5,8°dH και βρίσκεται σχεδόν στα ίδια επίπεδα όπως τα νερά του φρεάτιου ορίζοντα.



Εικόνα 9.14: Χάρτης χωρικής κατανομής της Μόνιμης Σκληρότητας των υπόγειων νερών της περιοχής μελέτης.

Χωρική κατανομή της Μόνιμης Σκληρότητας: Η χωρική κατανομή της Μόνιμης Σκληρότητας των υπόγειων νερών της περιοχής μελέτης παρουσιάζεται στην Εικόνα 9.14. Διαπιστώνεται ότι στο ανατολικό και δυτικό τμήμα της λεκάνης αναπτύσσονται υπόγεια νερά με τις υψηλότερες τιμές μόνιμης σκληρότητας. Αντίθετα στο κεντρικό τμήμα της λεκάνης αναπτύσσονται υπόγειοι υδροφόροι με τις χαμηλότερες τιμές μόνιμης σκληρότητας, τα οποία προκύπτουν μέσω διαδικασιών κατιοανταλλαγής.

10. ΚΥΡΙΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

10.1 Ασβέστιο (Ca^{2+})

Η ύπαρξη Ασβεστίου στα υπόγεια νερά οφείλεται στη διάλυση ορυκτών, πλούσια σε Ca, όπως είναι ο ασβεστίτης (CaCO_3), ο δολομίτης (MgCO_3), ο γύψος ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), ο ανυδρίτης (CaSO_4), το επίδοτο, το ολιγόκλαστο, ο ανορθίτης, οι αμφίβολοι, οι πυρόξενοι, οι άστριοι, οι αραγωνίτες και τα αργιλικά ορυκτά ή σε διάλυση πετρωμάτων όπως είναι τα ανθρακικά πετρώματα, οι ασβεστιτικοί ψαμμίτες, οι μάργες, οι μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι κλπ. (Appelo-Postma, 1996).

Οι τυπικές συγκεντρώσεις του Ca στα διάφορα πετρώματα είναι: στα μαγματικά πετρώματα στα 36.200 mg/kg, στους ψαμμίτες 22.400 mg/kg, στους αργίλους 22.500 mg/kg, στα ανθρακικά πετρώματα 272.000 mg/kg και στους εβαπορίτες 11.100 mg/kg (Matthess 1973). Οι συνήθεις συγκεντρώσεις του ασβεστίου σε φυσικά νερά κυμαίνονται μεταξύ 0,05 και 5 mmol/l (Appelo-Postma, 1996).

Το ασβέστιο αποτελεί βασικό στοιχείο του ανθρώπινου σώματος, απαραίτητο για την υγεία των οστών. Το 99% του ολικού ασβεστίου που υπάρχει στο ανθρώπινο σώμα βρίσκεται στον σκελετό και τα δόντια ενώ το υπόλοιπο 1% βρίσκεται στο αίμα και σε άλλους ιστούς. Η παρουσία του ασβεστίου στον ανθρώπινο οργανισμό συμβάλει στην καλή κατάσταση των οστών και τα δόντια, στην εύρυθμη λειτουργία του μυοκαρδίου, των μυών και των νεύρων, στην μείωση της αρτηριακής πίεσης και της χοληστερίνης. Μειώνει αισθητά τις πιθανότητες εμφάνισης καρκίνου του εντερικού συστήματος (Σιμώνης 1998).

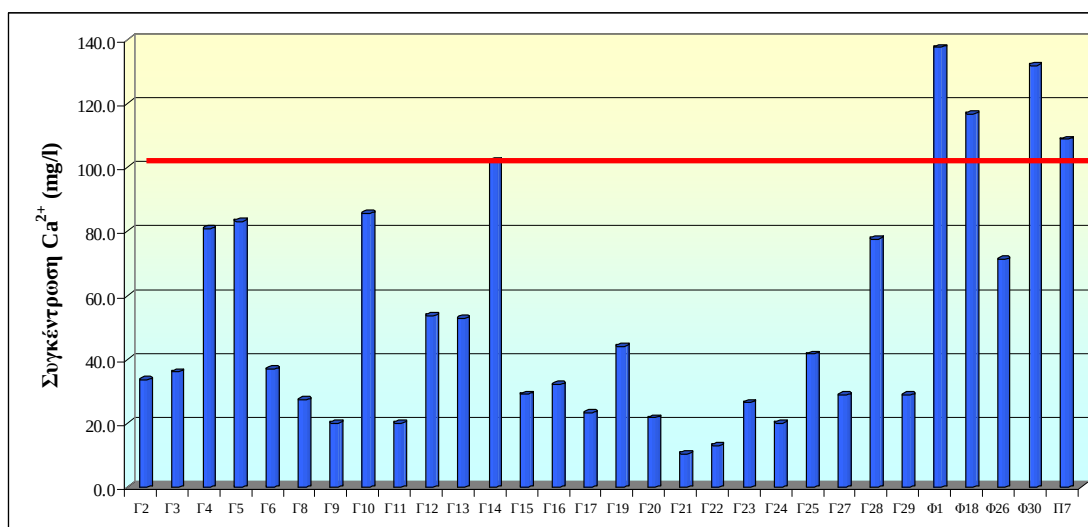
Η συνιστώμενη ημερήσια δόση ασβεστίου στην ανθρώπινη διατροφή δεν ξεπερνά τα 2,5 gr (www.tjclarkinc.com/minerals). Το ενδεικτικό επίπεδο της συγκέντρωσης Ca στα πόσιμα νερά σύμφωνα με την οδηγία 80/778/15-7-80 της ΕΕ είναι 100mg/l.

Οι τιμές συγκέντρωσης ασβεστίου στα υπόγεια νερά της περιοχής μελέτης κυμαίνονται μεταξύ 10,4 mg/l και 137,6 mg/l. Η πλειοψηφία των τιμών δεν ξεπερνούν τα 40 mg/l. Τις υψηλότερες συγκεντρώσεις ασβεστίου παρουσιάζουν τα δείγματα των πηγαδιών και της πηγής και από την πλευρά των γεωτρήσεων οι βαθιές γεωτρήσεις Γ4, Γ5, Γ10, Γ14 και Γ28 (εικόνα 10.1).

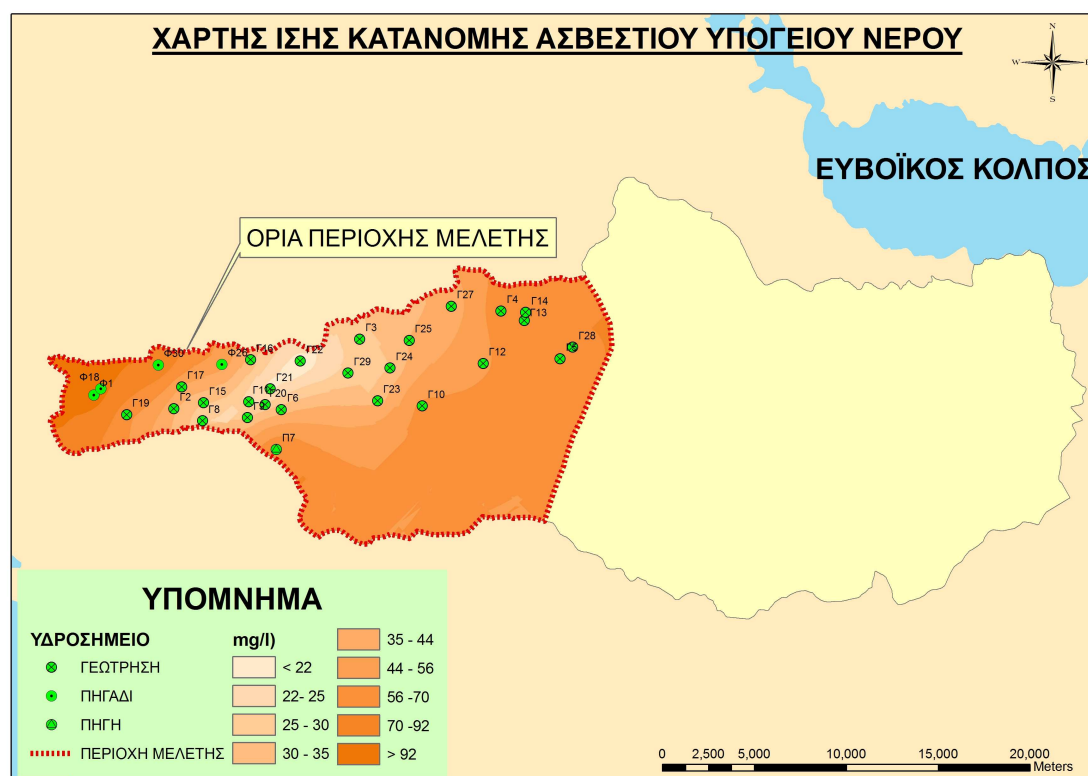
Γενικά, τα νερά της περιοχής είναι πλούσια σε Ca^{2+} . Η προέλευσή του είναι γεωγενής και προκύπτει από τη διάλυση διαφόρων πλούσιων σε Ca ορυκτών που υπάρχουν στους ιζηματογενείς σχηματισμούς του Νεογενούς και στα ανθρακικά του υποβάθρου της λεκάνης του Ασωπού.

Αναλυτικότερα οι τιμές του ασβεστίου έχουν ως εξής:

- ❖ *Νερά πηγαδιών από Τεταρτογενείς αποθέσεις-Φρεάτιος ορίζοντας:* Οι τιμές του ασβεστίου στα δείγματα των πηγαδιών που υδρομαστεύουν τον φρεάτιο ορίζοντα κυμαίνονται από 71,2 έως 137,6 mg/l και μέση τιμή 114,4 mg/l.
- ❖ *Νερά γεωτρήσεων από τους Νεογενείς σχηματισμούς:* Οι τιμές του οξυγόνου στα δείγματα των γεωτρήσεων, τα οποία προέρχονται από τους νεογενείς σχηματισμούς κυμαίνονται από 10,4 mg/l έως 102,0 mg/l και η μέση τιμή 41,1 mg/l. Σχεδόν όλες οι γεωτρήσεις παρουσιάζουν κυμαινόμενες τιμές μικρότερες των 85,6 mg/l. Μοναδική εξαίρεση αποτελεί η γεώτρηση Γ14 που έχει την υψηλότερη τιμή των 102,0 mg/l (Πίνακας 8.4).
- ❖ *Νερό πηγής από Νεογενείς σχηματισμούς:* Η συγκέντρωση του ασβεστίου στη πηγή ανέρχεται σε 108,8 mg/l.



Εικόνα 10.1: Διακύμανση των τιμών της συγκέντρωσης ασβεστίου των υπόγειων νερών της περιοχής μελέτης και η ένδειξη (κόκκινη γραμμή) του ανώτερου επιτρεπτού ορίου που αφορά τα πόσιμα νερά βάσει της Οδηγίας της ΕΕ..



Εικόνα 10.2: Χάρτης χωρικής κατανομής του ασβεστίου των υπόγειων νερών της περιοχής μελέτης.

Χωρική κατανομή του Ασβεστίου: Η χωρική κατανομή της συγκέντρωσης ασβεστίου των υπόγειων νερών στην περιοχή μελέτης παρουσιάζεται στην Εικόνα 10.2. Διαπιστώνεται ότι οι υψηλότερες τιμές εντοπίζονται στο ανατολικό και δυτικό τμήμα της περιοχής, ενώ οι χαμηλότερες τιμές κατανέμονται στο κεντρικό τμήμα της λεκάνης.

Φαίνεται ότι στα περιθώρια αυτά η προσφορά σε ασβέστιο είναι πλούσια, λόγω της παρουσίας των ανθρακικών σχηματισμών, ενώ στο κεντρικό τμήμα, όπου αναπτύσσονται οι Νεογενείς σχηματισμοί, λειτουργούν προφανώς διαδικασίες κατιονανταλλαγής.

10.2 Μαγνήσιο (Mg^{2+})

Κύριες πηγές προέλευσης του Μαγνησίου στα υπόγεια νερά είναι τα μαγνησιούχα ορυκτά όπως ο δολομίτης ($CaCO_3 \cdot MgCO_3$), ο μαγνησίτης ($MgCO_3$), ο ολιβίνης ($Mg, Fe)_2SiO_4$, ο καρναλίτης ($KCl \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$), ο πολυαλίτης [$K_2Ca_2Mg(SO_4)_4 \cdot 2H_2O$], οι αμφίβολοι, οι πυρόξενοι, οι μαγνησίτες, οι σερπεντίνες, οι μαρμαρυγίες και τα αργίλικα ορυκτά. Τα πετρώματα που διακρίνονται για την υψηλή περιεκτικότητά τους σε Μαγνήσιο είναι οι δολομιτικοί ψαμίτες, οι δολομιτικές κι οι μαγνησιούχες μάργες (Καλλέργης 2000, Appelo-Postma 1996).

Η συγκέντρωση του Mg στα μαγματικά πετρώματα ανέρχεται στα 17.600mg/kg, στους ψαμίτες 8.100 mg/kg, στους αργίλους 16.4000mg/kg, στα ανθρακικά πετρώματα 45.300 mg/kg και στους εβαπορίτες 3.070mg/kg (Matthess 1973). Οι συνήθεις ιοντικές συγκεντρώσεις του Mg^{2+} στα φυσικά υπόγεια νερά κυμαίνεται από 2,0 έως 50,0 mg/l (Matthess 1973, Appelo-Postma 1996).

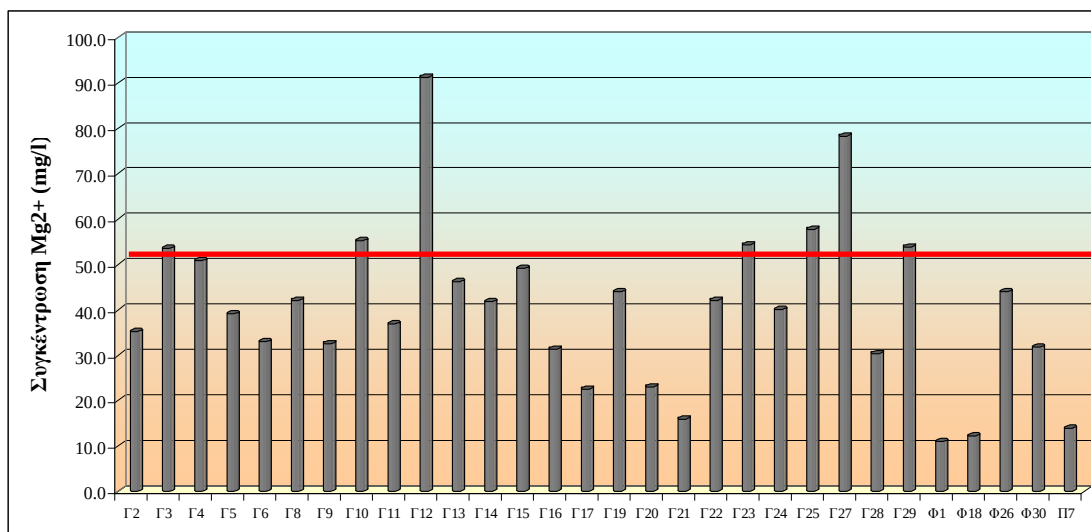
Η παρουσία του μαγνησίου στο ανθρώπινο σώμα είναι σημαντική και συμμετέχει στη δομή των οστών και των μυϊκών ιστών. Παίζει σημαντικό ρόλο στη ρύθμιση της λειτουργίας της καρδιάς, στο μεταβολισμό του ασβεστίου και της βιταμίνης C καθώς επίσης και στη μετατροπή των σακχάρων του αίματος σε ενέργεια. (www.tjclarkinc.com/minerals). Το Μαγνήσιο δρα ανταγωνιστικά του ασβεστίου καθώς αντιδρά με στοιχεία όπως το κάλιο, τη βιταμίνη B6 και το βόριο. Η έλλειψη μαγνησίου από την διατροφή μπορεί να προκαλέσει διάφορες παθήσεις, όπως τετανία, νευρομυϊκή ερεθιστικότητα, νεφρίτιδα κλπ. (Aikawa 1971, Wacher 1980). Για έναν άνθρωπο μεγαλύτερο των 9 ετών συνίσταται κατανάλωση 350mg Mg^{2+} /day. Το ενδεικτικό επίπεδο της συγκέντρωσης ιόντων Mg^{2+} στα πόσιμα νερά είναι σύμφωνα με την οδηγία της ΕΕ 30 mg/l και το μέγιστο επιτρεπτό όριο είναι 50 mg/l.

Οι τιμές συγκέντρωσης μαγνησίου στα υπόγεια νερά της περιοχής μελέτης κυμαίνονται μεταξύ 10,9 mg/l και 91,3 mg/l. Η πλειοψηφία των δειγμάτων παρουσιάζουν τιμές συγκέντρωσης χαμηλότερες των 40 mg/l. Τις υψηλότερες συγκεντρώσεις μαγνησίου παρουσιάζουν τα δείγματα των γεωτρήσεων, ενώ τα δείγματα των πηγαδιών και της πηγής έχουν αισθητά χαμηλές συγκεντρώσεις. Στην Εικόνα 10.3, παρουσιάζεται η διακύμανση των τιμών μαγνησίου στα υπόγεια νερά της περιοχής, καθώς επίσης το ανώτερο επιτρεπτό όριο που αφορά τα πόσιμα νερά, βάσει της Οδηγίας της ΕΕ.

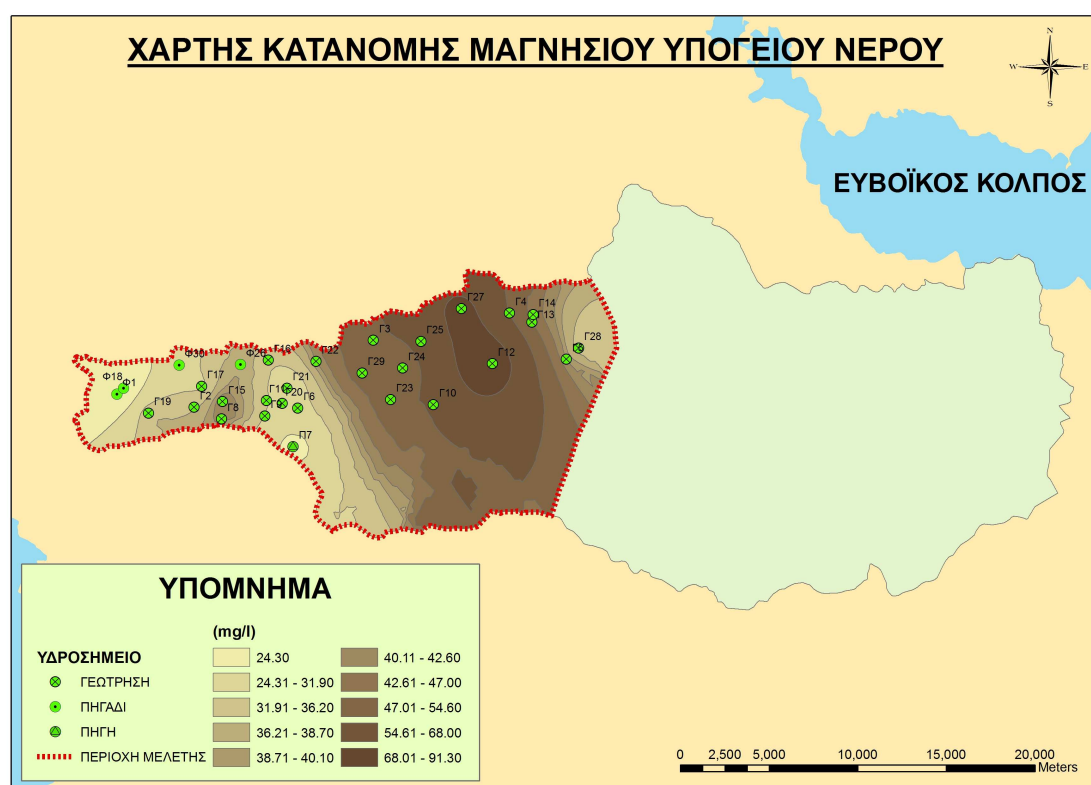
Γενικά, τα νερά της περιοχής είναι πλούσια σε Mg^{2+} . Η προέλευσή του είναι γεωγενής και προκύπτει από τη διάλυση διαφόρων πλούσιων σε Mg^{2+} ορυκτών που υπάρχουν στους ιζηματογενείς σχηματισμούς του Νεογενούς και στα ανθρακικά του υποβάθρου της λεκάνης του Ασωπού.

Βασικός τροφοδότης σε μαγνησιούχα ορυκτά θα πρέπει να έχουν υπάρξει οι οφιολιθικές μάζες που προφανώς να υπήρχαν επωθημένες στους ανθρακικούς σχηματισμούς που αναπτύσσονται στα περιθώρια της λεκάνης του Ασωπού και στη συνέχεια, κατά την περίοδο του Νεογενούς, διαβρώθηκαν και πλήρωσαν το τεκτονικό βύθισμα της λεκάνης με κλαστικό υλικό. Ένδειξη αυτών αποτελούν ορισμένα οφιολιθικά τεμάχια που βρίσκονται ακόμη και σήμερα στις ορεινές μάζες του Κιθαιρώνα και της Πάρνηθας. Επίσης σημαντική τροφοδοσία της λεκάνης με

μαγνησιούχα ορυκτά έχουν αποτελέσει και οι δολομιτικοί ασβεστόλιθοι που απαντώνται στα περιθώρια της λεκάνης (Εικόνα 6.1 Γεωλογικός χάρτης περιοχής).



Εικόνα 10.3: Διακύμανση των τιμών της συγκέντρωσης Μαγνησίου των υπόγειων νερών της περιοχής μελέτης και η ένδειξη (κόκκινη γραμμή) του ανώτερου επιτρεπτού ορίου που αφορά τα πόσιμα νερά βάσει της Οδηγίας της ΕΕ.



Εικόνα 10.4: Χάρτης χωρικής κατανομής του Μαγνησίου των υπόγειων νερών της περιοχής μελέτης.

Αναλυτικότερα οι τιμές του Μαγνησίου στα υπόγεια νερά της λεκάνης έχουν ως εξής:

- ❖ *Νερά πηγαδιών από Τεταρτογενείς αποθέσεις-Φρεάτιος ορίζοντας:* Οι τιμές του Μαγνησίου στα δείγματα των πηγαδιών που υδρομαστεύουν τον φρεάτιο ορίζοντα κυμαίνονται από 10,9 mg/l έως 43,9 mg/l και μέση τιμή 24,7 mg/l.
- ❖ *Νερά γεωτρήσεων από τους Νεογενείς σχηματισμούς:* Οι τιμές του Μαγνησίου στα δείγματα των γεωτρήσεων, τα οποία προέρχονται από τους νεογενείς σχηματισμούς κυμαίνονται από 16,0 mg/l έως 91,3 mg/l και η μέση τιμή 44,0 mg/l. Το μεγαλύτερο ποσοστό των γεωτρήσεων παρουσιάζει κυμαινόμενες τιμές μικρότερες των 50,0 mg/l. Εξαιρέση αποτελούν οι βαθιές γεωτρήσεις Γ12 και Γ27, οι οποίες παρουσιάζουν τις υψηλότερες γενικά τιμές, 91,3 mg/l και 78,3 mg/l αντίστοιχα (Πίνακας 8.4).
- ❖ *Νερό πηγής από Νεογενείς σχηματισμούς:* Η συγκέντρωση του Μαγνησίου στη πηγή ανέρχεται σε 13,9 mg/l.

Χωρική κατανομή του Μαγνησίου: Η χωρική κατανομή της συγκέντρωσης Μαγνησίου των υπόγειων νερών στην περιοχή μελέτης παρουσιάζεται στην Εικόνα 10.4. Διαπιστώνεται ότι οι υψηλότερες τιμές εντοπίζονται στο ανατολικό τμήμα της περιοχής, ενώ οι χαμηλότερες τιμές κατανέμονται στο δυτικό τμήμα της λεκάνης. Φαίνεται ότι στη περιοχή αυτή, όπου εντοπίζονται οι γεωτρήσεις Γ12 και Γ27, στη λεκάνη του ρέματος μεταξύ των οικισμών Καλλιθέα και Νεοχωράκιο, η προσφορά σε Μαγνήσιο είναι πλούσια, όπου επικρατούν μεγάλα πάχη Νεογενών σχηματισμών. Αντίθετα από το κεντρικό τμήμα έως και τα δυτικά περιθώρια της λεκάνης οι συγκεντρώσεις Μαγνησίου μειώνονται αισθητά.

10.3 Νάτριο (Na^+)

Φυσική πηγή προέλευσης του νατρίου είναι τα αργιλικά ορυκτά, οι αργιλικοί σχιστόλιθοι, τα πλαγιόκλαστα και οι εβαπορίτες. Τα σημαντικότερα ορυκτά που περιέχουν υψηλές συγκεντρώσεις σε νάτριο είναι ο αλβίτης ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$), το ολιγόκλαστο που περιέχει 70-90% αλβίτη, ο μιραβιλίτης ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) κι ο αλίτης (NaCl). Πέρα απ' το ορυκτό αλάτι, άλλες πηγές νατρίου αποτελούν οι άστριοι κι οι ζεόλιθοι. Η συγκέντρωση του Na^+ στα διάφορα πετρώματα ανέρχεται: στα μαγματικά πετρώματα στα 28.100mg/kg, στους ψαμμίτες 3.870 mg/kg, στους αργίλους 4.850mg/kg, στα ανθρακικά πετρώματα 393 mg/kg και στους εβαπορίτες 310.000mg/kg (Matthess 1973).

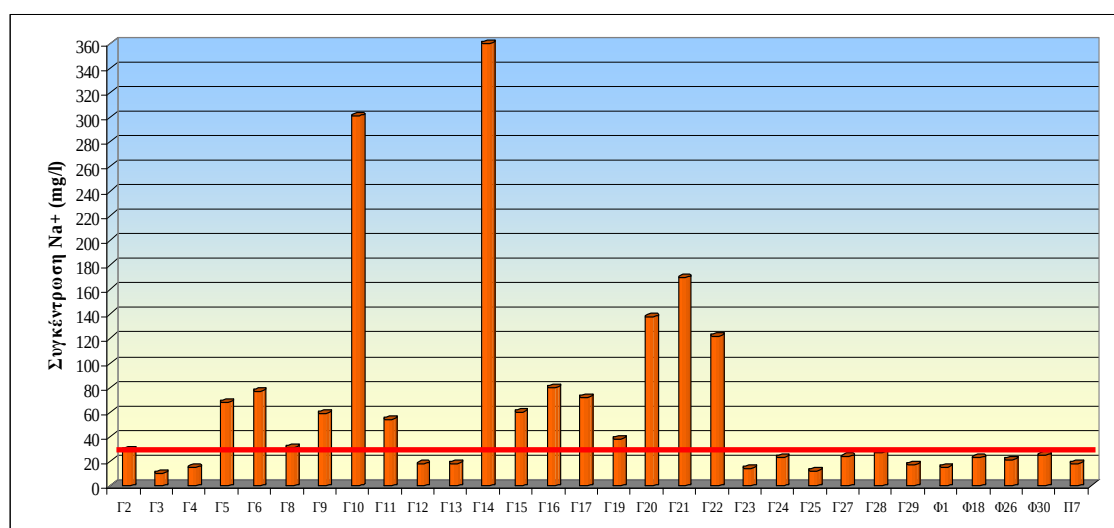
Οι μεγαλύτερες ποσότητες Na που απαντώνται στα υπόγεια νερά, προέρχονται κυρίως από την αποσάθρωση των πλαγιόκλαστων και των αργιλικών ορυκτών. Τα ανθρακικά πετρώματα γενικά προσφέρουν πολύ χαμηλότερες περιεκτικότητες ιόντων Na στα υπόγεια νερά. Το Na μπορεί να προέλθει επίσης από την ανάμειξη του θαλάσσιου και υπόγειου νερού καθώς επίσης και από τα βιομηχανικά απόβλητα στα οποία το Na μπορεί να θεωρηθεί δείκτης ρύπανσης όταν βρίσκεται σε υψηλές συγκεντρώσεις. Οι συνήθεις ιοντικές συγκεντρώσεις σε μη ρυπασμένα νερά είναι 2,5 έως 45,0 mg/l (Appelo-Postma, 1996). Στα υπόγεια νερά οι συνηθισμένες τιμές είναι 1 – 20 mg/l. Σύμφωνα με την οδηγία 80/778/15-7-80 της ΕΕ τα ενδεικτικά επίπεδα για τα ιόντα Na^+ είναι 20 mg/l.

Το νάτριο καθώς επίσης και το κάλιο βοηθούν στην οσμωτική ισορροπία του κυττάρου, έτσι ώστε να υφίσταται μηχανισμός μεταφοράς ενώσεων. Συγκεντρώσεις NaCl μεγαλύτερες από 500 mg/l δίνουν δυσάρεστη γεύση στο νερό, προκαλούν διαταραχές στην όρεξη, δίψα και το νερό δρα ως διουρητικό. Επικρατεί η επιστημονική άποψη, ότι μεγάλες συγκεντρώσεις Na οδηγούν σε υπέρταση, γι' αυτό ορίστηκε από

τον παγκόσμιο οργανισμό υγείας ως επιθυμητό ανώτερο όριο συγκέντρωσης Na στο πόσιμο νερό τα 20 mg/l.

Οι τιμές συγκέντρωσης νατρίου στα υπόγεια νερά της περιοχής μελέτης κυμαίνονται μεταξύ 10,9 mg/l και 91,3 mg/l. Τις υψηλότερες συγκεντρώσεις νατρίου παρουσιάζουν τα δείγματα των γεωτρήσεων, ενώ τα δείγματα των πηγαδιών και της πηγής έχουν αισθητά χαμηλές συγκεντρώσεις. Γενικά, τα νερά των βαθιών γεωτρήσεων είναι πλούσια σε Na^+ . Σε ποσοστό σχεδόν 50% των δειγμάτων παρουσιάζει τιμές συγκέντρωσης χαμηλότερες των 20 mg/l.

Στην **Εικόνα 10.5**, παρουσιάζεται η διακύμανση των τιμών νατρίου στα υπόγεια νερά της περιοχής, καθώς επίσης το ανώτερο επιτρεπτό όριο που αφορά τα πόσιμα νερά, βάσει της Οδηγίας της ΕΕ. Σε ποσοστό 50% σχεδόν των δειγμάτων των γεωτρήσεων προσδιορίζονται υψηλές τιμές νατρίου, οι οποίες βρίσκονται πάνω από τα επιτρεπτά όρια που αφορά τα πόσιμα νερά.



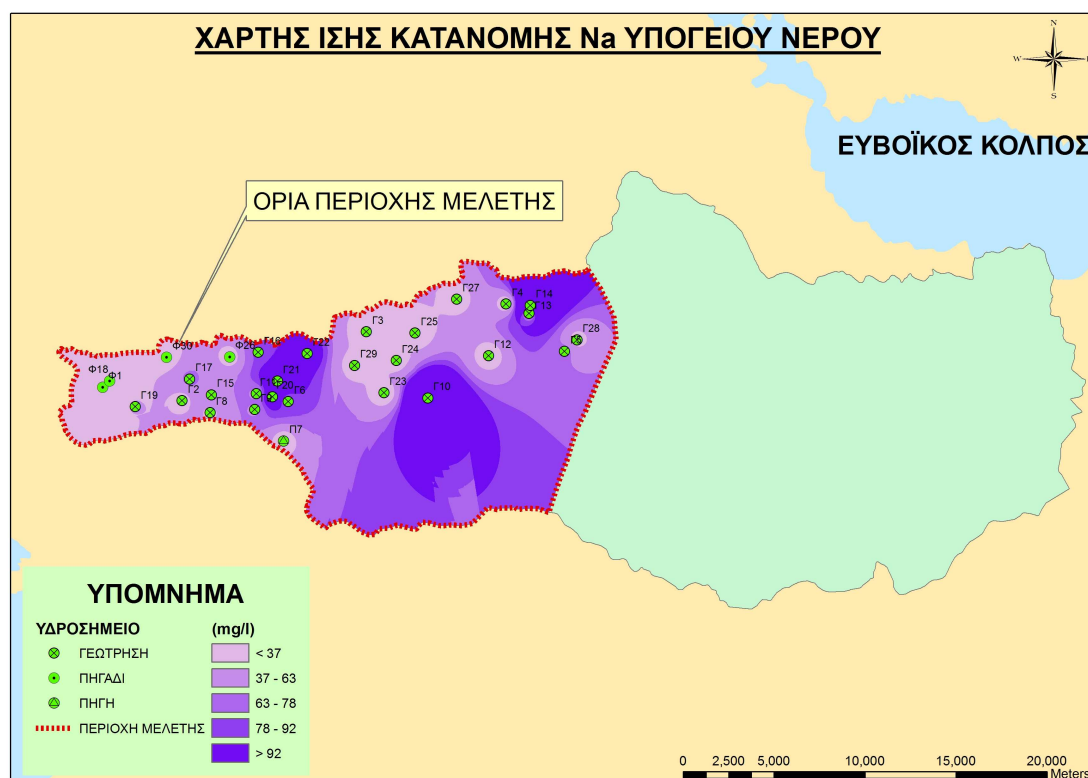
Εικόνα 10.5: Διακύμανση των τιμών της συγκέντρωσης Νατρίου των υπόγειων νερών της περιοχής μελέτης και η ένδειξη (κόκκινη γραμμή) του ανώτερου επιτρεπτού ορίου που αφορά τα πόσιμα νερά βάσει της Οδηγίας της ΕΕ.

Αναλυτικότερα οι τιμές του νατρίου στα υπόγεια νερά της λεκάνης έχουν ως εξής:

- ❖ *Νερά πηγαδιών από Τεταρτογενείς αποθέσεις-Φρεάτιος ορίζοντας:* Οι τιμές του μαγνησίου στα δείγματα των πηγαδιών που υδρομαστεύουν τον φρεάτιο ορίζοντα κυμαίνονται από 15,4 mg/l έως 25,0 mg/l και μέση τιμή 21,2 mg/l.
- ❖ *Νερά γεωτρήσεων από τους Νεογενείς σχηματισμούς:* Οι τιμές του μαγνησίου στα δείγματα των γεωτρήσεων, τα οποία προέρχονται από τους νεογενείς σχηματισμούς κυμαίνονται από 10,3 mg/l έως 360,0 mg/l και η μέση τιμή 73,6 mg/l. Το μεγαλύτερο ποσοστό των γεωτρήσεων παρουσιάζει κυμαινόμενες τιμές μικρότερες των 80,0 mg/l. Εξαιρέση αποτελούν οι βαθιές γεωτρήσεις Γ10 και Γ14, οι οποίες παρουσιάζουν τις υψηλότερες γενικά τιμές, 300,8 mg/l και 360,0 mg/l αντίστοιχα (Πίνακας 8.4).
- ❖ *Νερό πηγής από Νεογενείς σχηματισμούς:* Η συγκέντρωση του μαγνησίου στη πηγή ανέρχεται σε 18,5 mg/l.

Η προέλευσή του είναι προφανώς γεωγενής και προκύπτει από τη διάλυση διαφόρων νατριούχων ορυκτών που υπάρχουν στους ιζηματογενείς σχηματισμούς του Νεογενούς. Η κύρια προσφορά ιόντων Νατρίου στα υπόγεια νερά της περιοχής γίνεται προφανώς μέσω των αργιλικών ορυκτών, που αποτελούν βασικά συστατικά των ιζημάτων της

λεκάνης. Ένας επίσης βασικός τροφοδότης σε ιόντα Νατρίου θα πρέπει να είναι τα υπολειμματικά εβαποριτικά άλατα που συνοδεύουν σε πολλές περιπτώσεις τα Νεογενή ιζήματα. Δεν θα πρέπει να αποκλείονται και επιφανειακές επιδράσεις από ανθρωπογενείς παράγοντες, όπως λιπάνσεις, σηπτικοί βόθροι των οικισμών, κλπ.. Ανάλογες συνθήκες έχουν εντοπισθεί στο κεντρικό και ανατολικό τμήμα της λεκάνης του Ασωπού, όπου έχουν πραγματοποιηθεί αντίστοιχες υδρογεωλογικές μελέτες (Σουλάντζος 2007, Ζαχαριάδης 2007, Γαμβρουλά 2009).



Εικόνα 10.6: Χάρτης χωρικής κατανομής του Νατρίου των υπόγειων νερών της περιοχής μελέτης.

Χωρική κατανομή του Νατρίου: Η χωρική κατανομή της συγκέντρωσης νατρίου των υπόγειων νερών στην περιοχή παρουσιάζεται στην Εικόνα 10.6. Διαπιστώνεται ότι οι υψηλότερες τιμές εντοπίζονται στο ανατολικό και νότιο κεντρικό τμήμα της περιοχής, ενώ οι χαμηλότερες τιμές κατανέμονται στο δυτικό και βόρειο κεντρικό τμήμα της λεκάνης. Το ανατολικό τμήμα της λεκάνης αποτελεί προέκταση της περιοχής Καλλιθέας-Μουσταφάδες, όπου εντοπίζεται καρστική κυρίως υδροφορία με υψηλή αλατότητα, και η οποία περιγράφεται και στον Υδρογεωλογικό Χάρτη του ΙΓΜΕ (Δούνας κάλ. 1987). Αντίθετα οι υψηλές συγκεντρώσεις που εντοπίζονται στο δυτικό τμήμα της λεκάνης συνδέονται με φαινόμενα κατιοανταλλαγής, όπως αυτά τεκμηριώνονται μέσω των ιοντικών σχέσεων που αναλύονται στο αντίστοιχο κεφάλαιο.

10.4 Κάλιο (K^+)

Πηγή προέλευσης του Καλίου στα υπόγεια νερά αποτελούν τα πλούσια σε K ορυκτά όπως είναι ο μοσχοβίτης ($H_2KAl_3Si_3O_{12}$), το ορθόκλαστο ($[SiO_4 \cdot SiO_2 \cdot SiO_2]Al,K$), ο καρναλίτης ($KCl \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$) κι ο πολυαλίτης ($[K_2Ca_2Mg(SO_4)_4 \cdot 2H_2O]$).

Γενικά η συγκέντρωση του K ανέρχεται στα μαγματικά πετρώματα στα 25.700mg/kg, στους ψαμμίτες 13.200 mg/kg, στους αργίλους 24.900mg/kg, στα ανθρακικά πετρώματα 2.390 mg/kg και στους εβαπορίτες 4.280mg/kg (Matthess 1973). Το K^+ απαντάται στα φυσικά υπόγεια νερά σε συγκεντρώσεις οι οποίες κυμαίνονται από 1-8 mg/l (Appelo-Postma 1996).

Το θαλασσινό νερό περιέχει 392 mg/kg Καλίου (Matthess 1973). Στα υπόγεια νερά συναντάται σε αναλογία σε σχέση με το Na σε 1/10 ή κατά 1/100 του Na. Έχει την ιδιότητα να αφομοιώνεται από τα εδάφη, τα πετρώματα και τα φυτά.

Το κάλιο είναι βασικό στοιχείο των κυττάρων του ανθρώπινου οργανισμού που όμως το καλύπτει κυρίως από τις τροφές, ενώ το Κάλιο του πόσιμου νερού παίζει πολύ μικρό ρόλο. Μεγάλες ποσότητες είναι τοξικές, ενώ δόσεις της τάξης των 1-2 gr καλίου είναι καθαρτικές. Δεν έχουν παρατηρηθεί γλυκά φυσικά νερά με μεγάλες ποσότητες καλίου. Το αντίθετο συμβαίνει στα θερμομεταλλικά νερά, όπου εκεί παρατηρούνται υψηλότερες γενικά συγκεντρώσεις.

Το κάλιο θεωρείται το πιο απαραίτητο κατιόν των κυττάρων στον ανθρώπινο οργανισμό. Το μεγαλύτερο μέρος βρίσκεται στα μυϊκά κύτταρα παίζοντας σπουδαίο ρόλο στη μετάδοση της νευρικής ώσης και τη συσταλτικότητα των μυών. Η ποσότητά του είναι ενδεικτική της μυώδους μάζας. Αποτελεί την κύρια βάση για τους ιστούς και τα αιμοσφαίρια (Σιμώνης 1998). Το Κάλιο ρυθμίζει τη λειτουργία της καρδιάς και της αρτηριακής πίεσης και συνεισφέρει στην υγεία του δέρματος.

Βρίσκεται άφθονο σε φρούτα και λαχανικά καθώς επίσης στο κρέας και τα δημητριακά. Η ενδεικτική κατανάλωση καλίου για έναν ενήλικα είναι γύρω στα 100 meq/day. Η αφθονία καλίου στην ανθρώπινη διατροφή θεωρείται ευεργετική και συμβάλλει στη μείωση των αγγειακών επεισοδίων (www.tjclarkinc.com/minerals).

Η ενδεικτική συγκέντρωση στα πόσιμα νερά σύμφωνα με την οδηγία της Ε.Ε. είναι 10 mg/l με ανώτατο όριο τα 12 mg/l.

Οι τιμές συγκέντρωσης καλίου στα υπόγεια νερά της περιοχής μελέτης κυμαίνονται μεταξύ 0,3 mg/l και 4,9 mg/l. Οι συγκεντρώσεις αυτές βρίσκονται σε όλα τα δείγματα των υπογείων νερών της περιοχής πολύ χαμηλότερα από τα ανώτερα επιτρεπτά όρια που καθορίζονται από την Οδηγία της ΕΕ. Στην Εικόνα 10.7, παρουσιάζεται η διακύμανση των τιμών νατρίου στα υπόγεια νερά της περιοχής, καθώς επίσης το ανώτερο επιτρεπτό όριο που αφορά τα πόσιμα νερά, βάσει της Οδηγίας της ΕΕ.

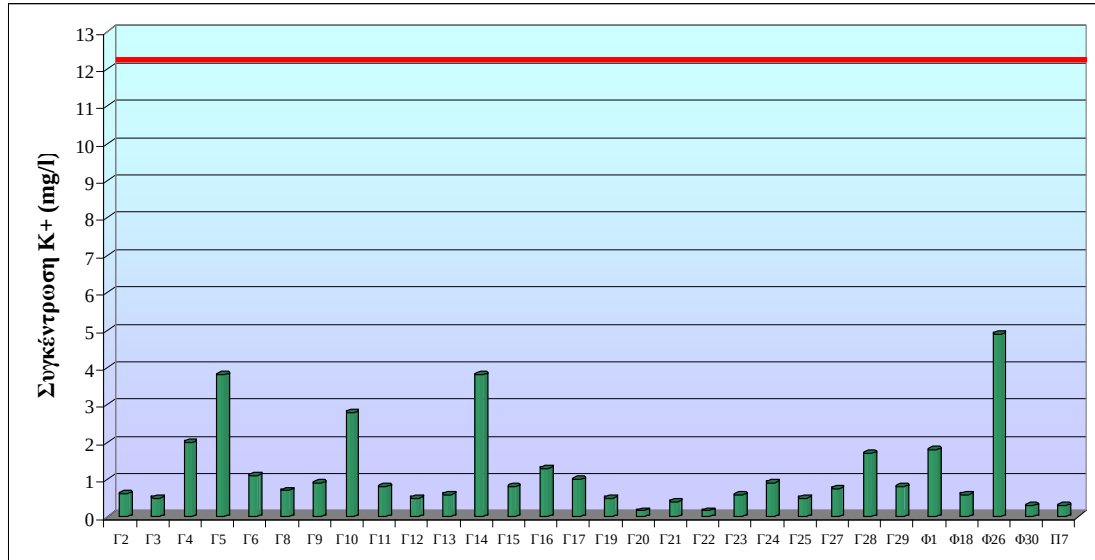
Τις υψηλότερες συγκεντρώσεις καλίου παρουσιάζουν τα δείγματα των πηγαδιών, ενώ τα δείγματα των γεωτρήσεων και της πηγής έχουν αισθητά χαμηλότερες συγκεντρώσεις. Η υψηλή παρουσία του καλίου στον φρεάτιο ορίζοντα συνδέεται, εκτός από τους γεωγενείς παράγοντες, και με ανθρωπογενείς επιδράσεις, όπως είναι προφανώς η χρήση γεωργικών λιπασμάτων. Σε ποσοστό σχεδόν 65% των δειγμάτων παρουσιάζει τιμές συγκέντρωσης χαμηλότερες του 1 mg/l.

Αναλυτικότερα οι τιμές του καλίου στα υπόγεια νερά της λεκάνης έχουν ως εξής:

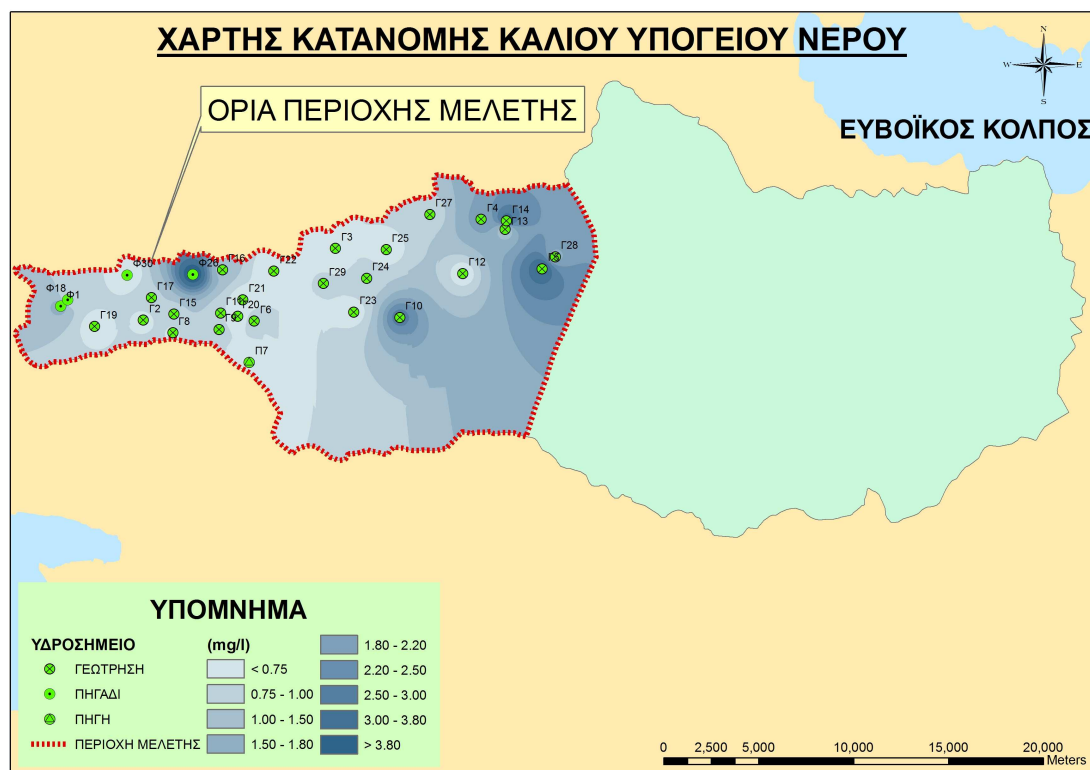
- ❖ *Νερά πηγαδιών από Τεταρτογενείς αποθέσεις-Φρεάτιος ορίζοντας:* Οι τιμές του μαγνησίου στα δείγματα των πηγαδιών που υδρομαστεύουν τον φρεάτιο ορίζοντα κυμαίνονται από 0,3 mg/l έως 4,9 mg/l και μέση τιμή 1,9 mg/l.
- ❖ *Νερά γεωτρήσεων από τους Νεογενείς σχηματισμούς:* Οι τιμές του καλίου στα δείγματα των γεωτρήσεων κυμαίνονται από 0,2 mg/l έως 3,8 mg/l και η μέση

τιμή 1,1 mg/l. Το μεγαλύτερο ποσοστό των γεωτρήσεων παρουσιάζει κυμαινόμενες τιμές μικρότερες των 2,0 mg/l. Εξαιρέση αποτελούν οι βαθιές γεωτρήσεις Γ5 και Γ14, οι οποίες παρουσιάζουν την υψηλότερη τιμή 3,8 mg/l (Πίνακας 8.4).

- ❖ *Νερό πηγής από Νεογενείς σχηματισμούς:* Η συγκέντρωση του μαγνησίου στη πηγή ανέρχεται σε 0,3 mg/l.



Εικόνα10.7: Διακύμανση των τιμών της συγκέντρωσης καλίου των υπόγειων νερών της περιοχής μελέτης και η ένδειξη (κόκκινη γραμμή) του ανώτερου επιτρεπτού ορίου που αφορά τα πόσιμα νερά βάσει της Οδηγίας της ΕΕ.



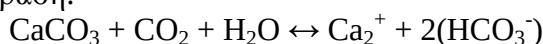
Εικόνα 10.8: Χάρτης χωρικής κατανομής του Καλίου των υπόγειων νερών της περιοχής μελέτης.

Χωρική κατανομή του Καλίου: Η χωρική κατανομή της συγκέντρωσης καλίου των υπόγειων νερών στην περιοχή παρουσιάζεται στην Εικόνα 10.8. Διαπιστώνεται ότι οι υψηλότερες τιμές εντοπίζονται στο ανατολικό τμήμα της περιοχής, ενώ οι χαμηλότερες τιμές κατανέμονται στο κεντρικό και δυτικό τμήμα της λεκάνης.

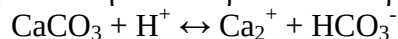
10.5 Όξινα Ανθρακικά (HCO_3^-)

Η συγκέντρωση του C στα διάφορα πετρώματα ως ακολούθως: στα μαγματικά πετρώματα στα 320mg/kg, στους ψαμμίτες 13.800 mg/kg, στους αργίλους 15.300mg/kg και στα ανθρακικά πετρώματα 113.500 mg/kg (Matthess 1973).

Στα γλυκά υπόγεια νερά είναι το επικρατέστερο ανιόν. Προέρχεται από το CO_2 της ατμόσφαιρας και το ελευθερούμενο στο έδαφος κατά την οργανική αποσύνθεση, σύμφωνα με την αντίδραση:



Επίσης, προέρχονται από τη διάλυση των ανθρακικών πετρωμάτων από το νερό:

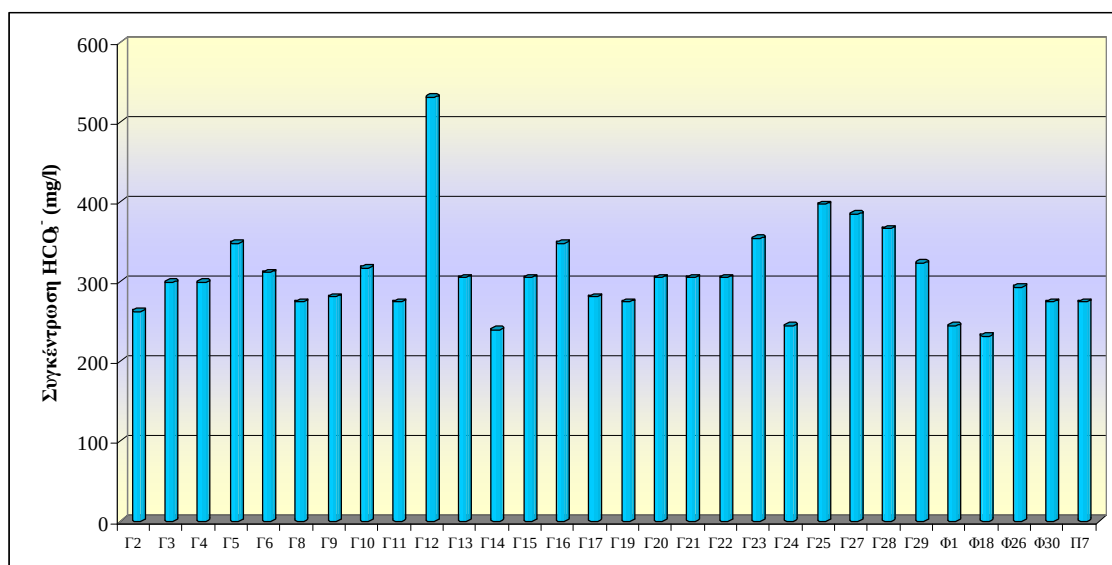


Είναι σημαντικό ιόν για την ανθρώπινη υγεία γιατί ρυθμίζει το pH του οργανισμού σε κατάλληλες τιμές. Υπάρχουν και φυσικά ανθρακούχα νερά που περιέχουν σε μεγάλες περιεκτικότητες HCO_3^- και CO_2 . Το CO_2 προσδίδει στο νερό ευχάριστες ιδιότητες (Βουδούρης 2009).

Συνήθως οι συγκεντρώσεις των ιόντων HCO_3^- στα φυσικά νερά δεν ξεπερνούν τα 500 mg/l. Η Οδηγία της ΕΕ δεν καθορίζει ανώτερα επιτρεπτά όρια που αφορά την συγκέντρωση της όξινης ανθρακικής ρίζας στα πόσιμα νερά.

Οι τιμές συγκέντρωσης των HCO_3^- στα υπόγεια νερά της περιοχής μελέτης κυμαίνονται μεταξύ 231,8 mg/l και 530,7 mg/l. Τις υψηλότερες συγκεντρώσεις HCO_3^- παρουσιάζουν τα δείγματα των γεωτρήσεων, ενώ τα δείγματα των πηγαδιών και της πηγής έχουν σχετικά χαμηλότερες συγκεντρώσεις. Σε ποσοστό σχεδόν 80% των δειγμάτων παρουσιάζει τιμές συγκέντρωσης χαμηλότερες του 300 mg/l.

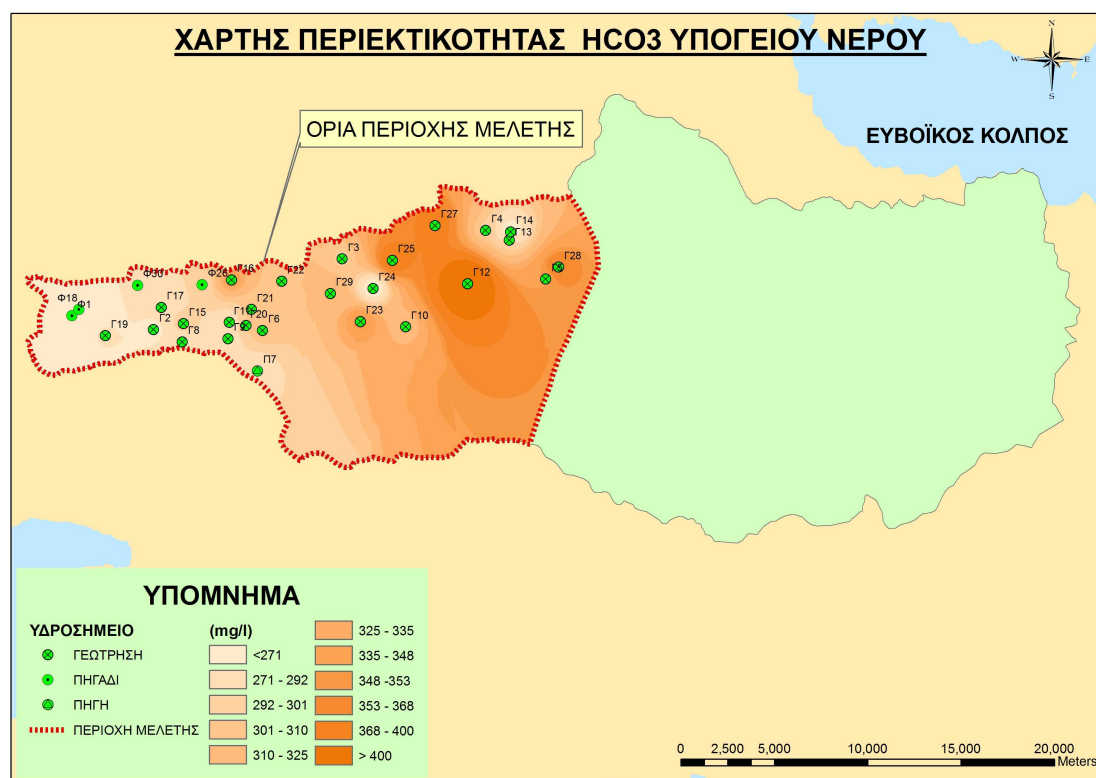
Στην Εικόνα 10.9, παρουσιάζεται η διακύμανση των τιμών HCO_3^- στα υπόγεια νερά της περιοχής.



Εικόνα 10.9: Διακύμανση των τιμών της συγκέντρωσης HCO_3^- των υπόγειων νερών της περιοχής μελέτης.

Αναλυτικότερα οι τιμές του HCO_3^- στα υπόγεια νερά της λεκάνης έχουν ως εξής:

- ❖ *Νερά πηγαδιών από Τεταρτογενείς αποθέσεις-Φρεάτιος ορίζοντας:* Οι τιμές του HCO_3^- στα δείγματα των πηγαδιών που υδρομαστεύουν τον φρεάτιο ορίζοντα κυμαίνονται από 231,8 mg/l έως 292,8 mg/l και μέση τιμή 260,8 mg/l.
- ❖ *Νερά γεωτρήσεων από τους Νεογενείς σχηματισμούς:* Οι τιμές του HCO_3^- στα δείγματα των γεωτρήσεων κυμαίνονται από 239,4 mg/l έως 530,7 mg/l και η μέση τιμή 317,3 mg/l. Το μεγαλύτερο ποσοστό των γεωτρήσεων παρουσιάζει κυμαινόμενες τιμές μικρότερες των 300,0 mg/l. Εξάιρεση αποτελεί η γεώτρηση Γ12 η οποία παρουσιάζει την υψηλότερη συγκέντρωση 530,7 mg/l HCO_3^- . Η υπέρβαση αυτή οφείλεται προφανώς στη διάλυση του ασβεστιτικού υλικού των νεογενών σχηματισμών (Πίνακας 8.4).
- ❖ *Νερό πηγής από Νεογενείς σχηματισμούς:* Η συγκέντρωση των HCO_3^- στη πηγή ανέρχεται σε 274,5 mg/l.



Εικόνα 10.10: Χάρτης χωρικής κατανομής των HCO_3^- των υπόγειων νερών της περιοχής μελέτης.

Χωρική κατανομή των HCO_3^- : Η χωρική κατανομή της συγκέντρωσης των HCO_3^- στα υπόγεια νερά της περιοχής παρουσιάζεται στην Εικόνα 10.10. Στα υπόγεια νερά των νεογενών σχηματισμών, το οξυανθρακικό ιόν είναι το κυρίαρχο ανιόν. Η διάλυση των ανθρακικών (ασβεστίτης, δολομίτης, μαγνησίτης, αραγωνίτης) είναι ο κύριος μηχανισμός μέσω του οποίου παράγονται τα ιόντα HCO_3^- στα υπόγεια νερά. Διαπιστώνεται ότι οι υψηλότερες τιμές εντοπίζονται στο ανατολικό τμήμα της περιοχής, ενώ οι χαμηλότερες τιμές κατανέμονται στο κεντρικό και δυτικό τμήμα της λεκάνης. Χαρακτηριστικό γνώρισμα των γεωτρήσεων του ανατολικού τμήματος της

περιοχής είναι ο συνδυασμός των υψηλών συγκεντρώσεων σε HCO_3^- και των αντίστοιχων υψηλών τιμών ανθρακικής σκληρότητας.

10.6 Χλώριο (Cl^-)

Το χλώριο είναι από τα πιο συχνά στοιχεία της ομάδας των αλογόνων, στην οποία περιλαμβάνονται το φθόριο, το βρώμιο και το ιώδιο. Πάνω από τα $\frac{3}{4}$ του συνόλου των χλωρίων που εμφανίζονται στη γη, τόσο στην ατμόσφαιρα όσο και στην υδρόσφαιρα βρίσκονται με τη μορφή ιόντων χλωρίου διαλυμένα στο νερό του ωκεανού. Η μέση συγκέντρωση των ιόντων χλωρίου στα νερά των ωκεανών είναι 19.000 mg/l περίπου. Αποτελεί το σημαντικότερο ιόν του θαλασσινού νερού και ακολουθούν το νάτριο 10.500 mg/l, τα θειικά (2.700 mg/l), το μαγνήσιο (1350 mg/l), και το ασβέστιο (410 mg/l), Hem 1989). Βάση της μέσης συγκέντρωσης του χλωρίου στα πετρώματα, γίνεται αντιληπτό ότι το χλώριο που προέρχεται από τη διάβρωση των πετρωμάτων αντιπροσωπεύει μόνο ένα μικρό μέρος της συγκέντρωσης του χλωρίου στα νερά των ωκεανών. Ο συνολικός όγκος του χλωρίου προέρχεται από διαφυγόντα αέρια από τις ηφαιστειακές εκρήξεις, οι οποίες στη αρχή της γεωλογικής ιστορίας της γης έδωσαν αύξηση του χλωρίου στην αρχική ατμόσφαιρα και τους ωκεανούς (Matthess, 1982).

Το χλώριο υπάρχει σε διάφορους τύπους πετρωμάτων σε συγκεντρώσεις πολύ χαμηλότερες από όλα τα άλλα κύρια ιόντα του υπόγειου νερού. Από τα ιζηματογενή πετρώματα οι εβαπορίτες είναι η πιο σημαντική πηγή χλωρίου. Η προέλευση του χλωρίου στα υπόγεια νερά προέρχεται από τέσσερις διαφορετικές πηγές: (i) χλώριο από «αρχαίο» θαλασσινό νερό που έχει παγιδευτεί μέσα σε ιζήματα, (ii) διαλύματα από αλίτη και άλλα σχετικά εβαποριτικά ορυκτά, (iii) συγκεντρώσεις που προέρχονται από την εξάτμιση του νερού της βροχής ή του χιονιού, και (iv) ξηρό κατάλοιπο από την ατμόσφαιρα ιδιαίτερα σε ξηρές περιοχές (Davis and DeWiest, 1991).

Από τη στιγμή που το χλώριο θα διαλυθεί στο νερό σε ιόντα χλωρίου, παραμένει εν διαλύσει και η συμπεριφορά του συχνά αναφέρεται σαν «συντηρητική»: τα ιόντα χλωρίου δεν συμμετέχουν σημαντικά σε αντιδράσεις οξείδωσης ή αναγωγής για να σχηματίσουν σημαντικές ενώσεις με τα άλλα ιόντα (εκτός και αν οι συγκεντρώσεις είναι πάρα πολύ μεγάλες), δε σχηματίζουν άλατα χαμηλής διαλυτότητας, δεν απορροφώνται στις επιφάνειες των ορυκτών και παίζουν μικρό ρόλο στις βιοχημικές διεργασίες (Hem, 1989).

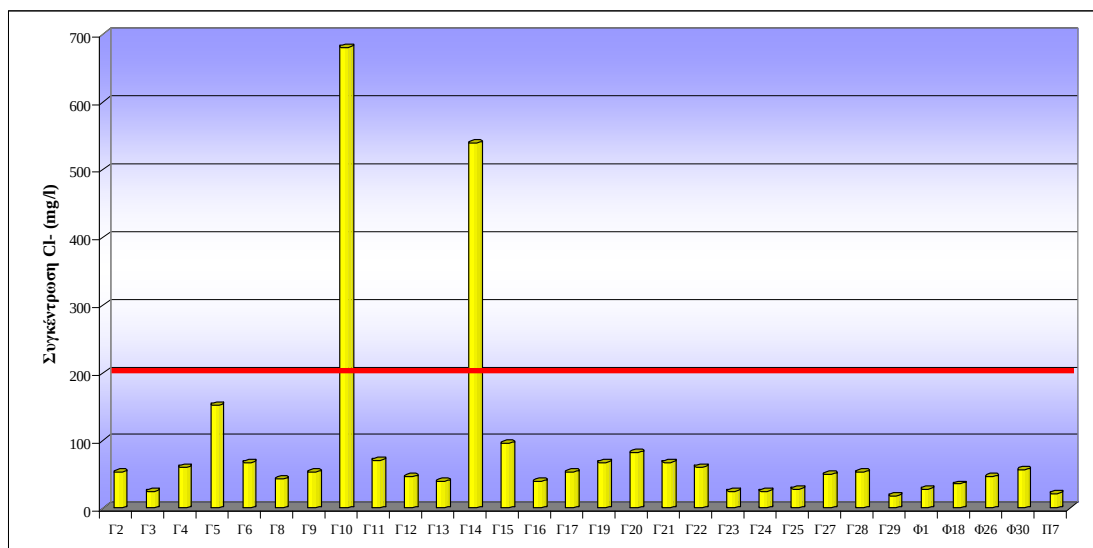
Τα ιόντα χλωρίου δεν έχουν επιβλαβή επίδραση στον ανθρώπινο οργανισμό, αλλά σε υψηλές συγκεντρώσεις δίνουν στο πόσιμο νερό γλυφή γεύση. Η απότομη αύξηση των χλωριόντων στο νερό, αν δεν οφείλεται στην είσοδο θαλασσινού νερού, δείχνει πιθανή ρύπανση από λύματα και απαιτείται άμεση επιτόπια υγειονομική επιθεώρηση. Η ρύπανση πρέπει να επιβεβαιωθεί και με άλλες μετρήσεις (μικροβιολογικές, αμμωνία, νιτρώδη). Επειδή δεν έχει παρατηρηθεί τοξικότητα των χλωριόντων στον άνθρωπο, δεν έχει καθορισθεί ανώτατο επίπεδο στο πόσιμο νερό (Παππά, 2001).

Σύμφωνα με τα ευρωπαϊκά πρότυπα για το πόσιμο νερό το ενδεικτικό επίπεδο της συγκέντρωσης των ιόντων χλωρίου είναι 25 mg/l. Δεν έχει θεσπιστεί ανώτατη παραδεκτή συγκέντρωση, αλλά δίνεται κατά προσέγγιση η τιμή των 200 mg/l κατά την οποία υπάρχει κίνδυνος να προκληθούν συνέπειες (ΦΕΚ 53/Τ.Β./20-2-86).

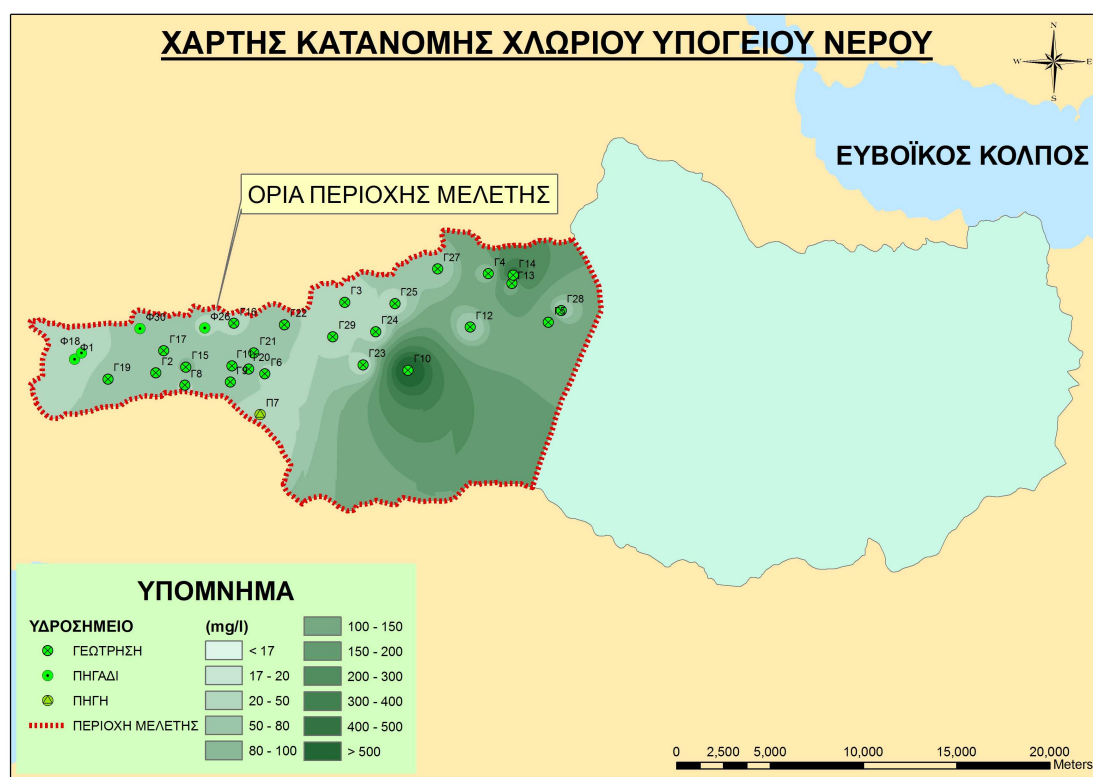
Οι τιμές συγκέντρωσης των ιόντων χλωρίου στα υπόγεια νερά της περιοχής μελέτης κυμαίνονται μεταξύ 17,7mg/l και 680,9 mg/l.

Τις υψηλότερες συγκεντρώσεις Cl^- παρουσιάζουν τα δείγματα των γεωτρήσεων, ενώ τα δείγματα των πηγαδιών και της πηγής έχουν σχετικά χαμηλότερες συγκεντρώσεις. Σε δύο μάλιστα γεωτρήσεις και συγκεκριμένα στις γεωτρήσεις No 10 και 14 η

συγκέντρωση των ιόντων χλωρίου ξεπερνά κατά πολύ το μέσο όρο των υπόλοιπων σημείων υδροληψίας της περιοχής μελέτης που είναι περίπου τα 54,0 mg/l. Στην **Εικόνα 10.11.**, παρουσιάζεται η διακύμανση των τιμών του χλωρίου στα υπόγεια νερά της περιοχής.



Εικόνα 10.11: Διακύμανση των τιμών της συγκέντρωσης ιόντων Cl^- των υπόγειων νερών της περιοχής μελέτης και η ένδειξη (κόκκινη γραμμή) του ανώτερου επιτρεπτού ορίου που αφορά τα πόσιμα νερά βάσει της Οδηγίας της ΕΕ.



Εικόνα 10.12: Χάρτης χωρικής κατανομής των Cl^- των υπόγειων νερών της περιοχής μελέτης.

Αναλυτικότερα οι τιμές του χλωρίου στα υπόγεια νερά της λεκάνης έχουν ως εξής:

- ❖ *Νερά πηγαδιών από Τεταρτογενείς αποθέσεις-Φρεάτιος ορίζοντας:* Οι τιμές του χλωρίου στα δείγματα των πηγαδιών που υδρομαστεύουν τον φρεάτιο ορίζοντα κυμαίνονται από 28,4 mg/l έως 56,7 mg/l και μέση τιμή 41,7 mg/l.
- ❖ *Νερά γεωτρήσεων από τους Νεογενείς σχηματισμούς:* Οι τιμές του χλωρίου στα δείγματα των γεωτρήσεων κυμαίνονται από 17,7 mg/l έως 680,9 mg/l και η μέση τιμή 99,7 mg/l. Το μεγαλύτερο ποσοστό των γεωτρήσεων παρουσιάζει κυμαινόμενες τιμές μικρότερες των 2,0 mg/l. Εξαίρεση αποτελούν οι βαθιές γεωτρήσεις Γ10 και Γ14, οι οποίες παρουσιάζουν τιμή υψηλότερη από 150,0 mg/l (Πίνακας 8.4).
- ❖ *Νερό πηγής από Νεογενείς σχηματισμούς:* Η συγκέντρωση του χλωρίου στη πηγή ανέρχεται σε 21,3 mg/l.

Χωρική κατανομή του Χλωρίου: Η χωρική κατανομή της συγκέντρωσης χλωρίου των υπόγειων νερών στην περιοχή παρουσιάζεται στην Εικόνα 10.12. Διαπιστώνεται ότι οι υψηλότερες τιμές εντοπίζονται στο ανατολικό τμήμα της περιοχής, ενώ οι χαμηλότερες τιμές κατανέμονται στο κεντρικό και δυτικό τμήμα της λεκάνης.

10.7 Θεϊκά (SO_4^{2-})

Τα θεϊκά ιόντα είναι οξειδωμένη μορφή του θείου, που παράγονται αρχικά όταν θειούχα ορυκτά υποβάλλονται στην αποσάθρωση σε επαφή με οξυγονωμένο νερό. Επίσης, κατά τη διάρκεια αυτής της αντίδρασης παράγονται και σημαντικές ποσότητες από ιόντα υδρογόνου (Hem, 1989).

Το θείο είναι ευρέως διαδεδομένο με αναγωγική μορφή τόσο στα μαγματικά όσο και στα ιζηματογενή πετρώματα σαν μεταλλικά σουλφίδια. Ο σιδηροπυρίτης ειδικότερα αποτελεί την κύρια πηγή των ιόντων θείου και σιδήρου στα υπόγεια νερά. Η οξείδωσή του μπορεί να γίνει και από τον άνθρωπο μέσω της καύσης ορυκτών καυσίμων και από το λιώσιμο κοιτασμάτων που περιέχουν σιδηροπυρίτη. Το θείο συνυπάρχει σε ορισμένα ορυκτά μαγματικών πετρωμάτων. Η πιο διαδεδομένη και σημαντική εμφάνιση της θεϊκής ρίζας είναι στα εβαποριτικά ιζήματα, τα οποία τα περισσότερα είναι ευδιάλυτα στο νερό (Hem 1988).

Υψηλό ποσοστό θεϊκών ιόντων ανακυκλώνονται σήμερα στην ατμόσφαιρα. Ένα σημαντικό ποσοστό προέρχεται από τη διάλυση των θεϊκών ορυκτών των ιζηματογενών πετρωμάτων. Στην ιστορία της υδρόσφαιρας τα περισσότερα θεϊκά ιόντα προέρχονται πιθανώς από την οξείδωση των σουλφιδίων των μαγματικών πετρωμάτων και αερίων (Davis and DeWiest, 1991).

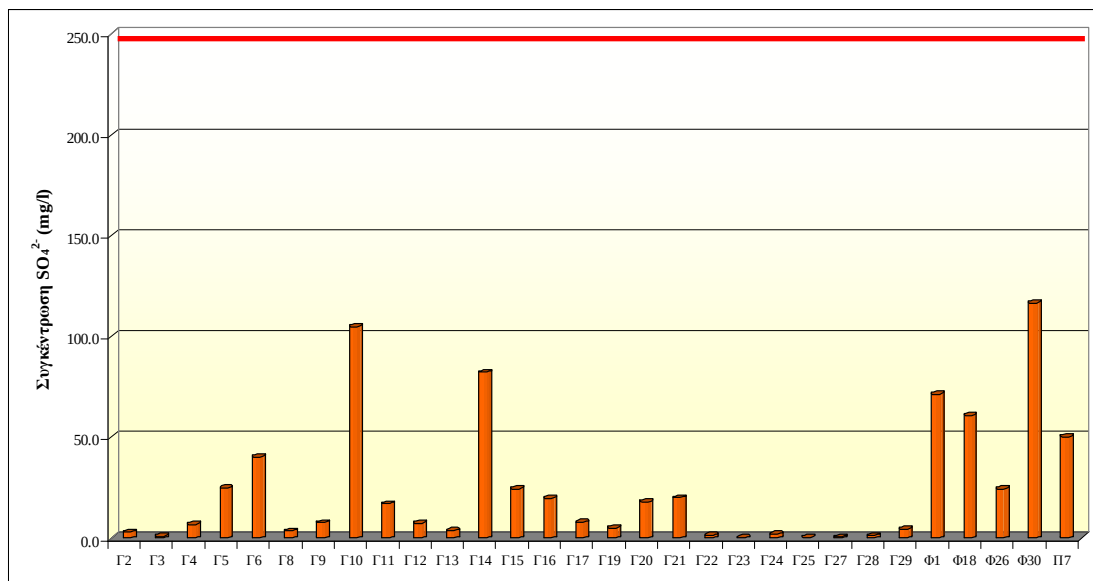
Σύμφωνα με την Ε.Ε. τα όρια των θεϊκών ιόντων πρέπει να κυμαίνονται μεταξύ των 25 mg/l στο ενδεικτικό επίπεδο και στα 250 mg/l στην ανώτατη παραδεκτή συγκέντρωση (ΦΕΚ 53/Τ.Β./20-2-86).

Οι τιμές συγκέντρωσης των θεϊκών ιόντων στα υπόγεια νερά της περιοχής μελέτης κυμαίνονται μεταξύ 16,3 mg/l και 116,5 mg/l. Τις υψηλότερες συγκεντρώσεις SO_4^- παρουσιάζουν τα δείγματα των πηγαδιών, ενώ τα δείγματα των γεωτρήσεων και της πηγής έχουν σχετικά χαμηλότερες συγκεντρώσεις. Σε ποσοστό σχεδόν 80% των δειγμάτων παρουσιάζει τιμές συγκέντρωσης χαμηλότερες του 40 mg/l.

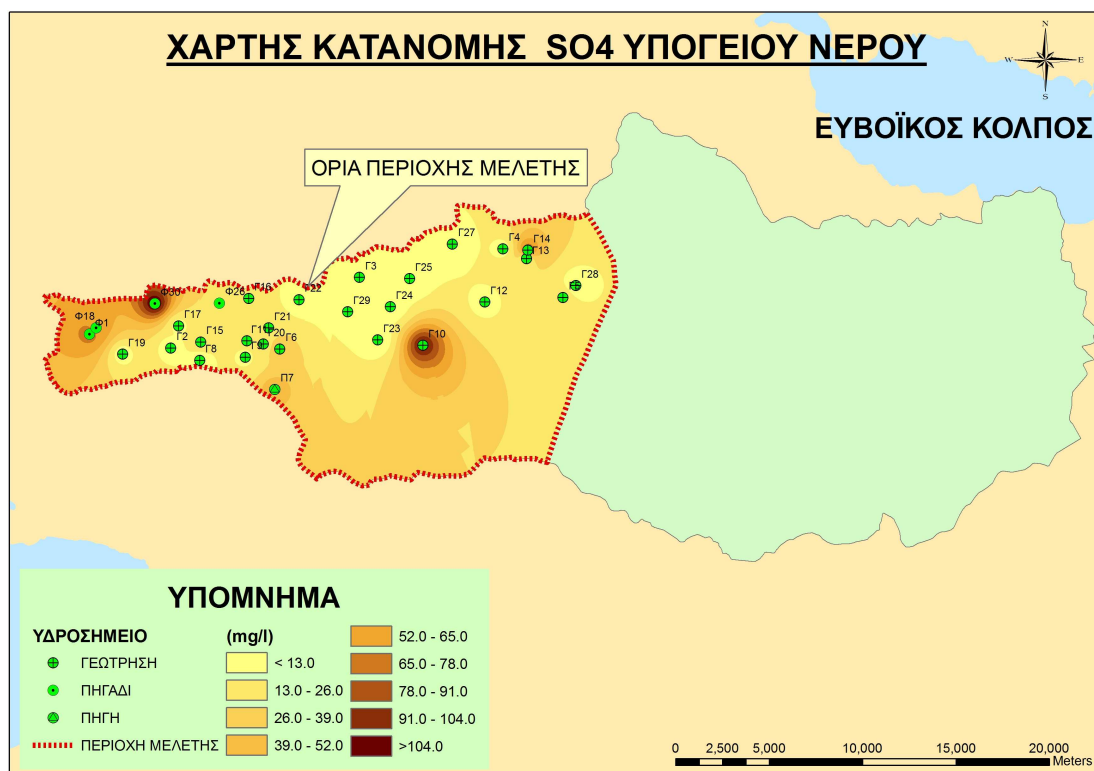
Στην Εικόνα 10.13, παρουσιάζεται η διακύμανση των τιμών SO_4^- στα υπόγεια νερά της περιοχής.

Αναλυτικότερα οι τιμές των θεϊκών ιόντων στα υπόγεια νερά της λεκάνης έχουν ως εξής:

- ❖ *Νερά πηγαδιών από Τεταρτογενείς αποθέσεις-Φρεάτιος ορίζοντας:* Οι τιμές των θεικών ιόντων στα δείγματα των πηγαδιών που υδρομαστεύουν τον φρεάτιο ορίζοντα κυμαίνονται από 24,5 mg/l έως 116,5 mg/l και μέση τιμή 68,3 mg/l.
- ❖ *Νερά γεωτρήσεων από τους Νεογενείς σχηματισμούς:* Οι τιμές των θεικών ιόντων στα δείγματα των γεωτρήσεων κυμαίνονται από 0,0 mg/l έως 104,9 mg/l και η μέση τιμή 16,3 mg/l. Το μεγαλύτερο ποσοστό των γεωτρήσεων παρουσιάζει κυμαινόμενες τιμές μικρότερες των 10,0 mg/l. Εξαιρέση αποτελούν οι βαθιές γεωτρήσεις Γ10, Γ14 και Γ15, οι οποίες παρουσιάζουν τιμή υψηλότερη από 20,0 mg/l (Πίνακας 8.4).
- ❖ *Νερό πηγής από Νεογενείς σχηματισμούς:* Η συγκέντρωση των θεικών ιόντων στη πηγή ανέρχεται σε 50,3 mg/l.



Εικόνα 10.13: Διακύμανση των τιμών της συγκέντρωσης θειικών ιόντων των υπόγειων νερών της περιοχής μελέτης και η ένδειξη (κόκκινη γραμμή) του ανώτερου επιτρεπτού ορίου που αφορά τα πόσιμα νερά βάσει της Οδηγίας της ΕΕ.



Εικόνα 10.14: Χάρτης χωρικής κατανομής των SO₄⁻ των υπόγειων νερών της περιοχής μελέτης.

Χωρική κατανομή SO₄²⁻: Η χωρική κατανομή της συγκέντρωσης των θεικών ιόντων των υπόγειων νερών στην περιοχή παρουσιάζεται στην Εικόνα 10.14. Διαπιστώνεται ότι οι υψηλότερες τιμές εντοπίζονται στο δυτικό τμήμα της περιοχής όπου είναι και το σύνολο των πηγαδιών και στο νοτιοανατολικό τμήμα, όπου εντοπίζεται η βαθιά γεώτρηση Γ10, ενώ οι χαμηλότερες τιμές γενικά κατανέμονται στο κεντρικό και ανατολικό τμήμα της λεκάνης.

Νιτρικά ιόντα (NO₃⁻)

Τα νιτρικά ιόντα αποτελούν ενώσεις του αζώτου. Υψηλές συγκεντρώσεις των νιτρικών ιόντων οφείλονται σε λιπάσματα, απορρίμματα και ζωικά ή ανθρώπινα απόβλητα. Υπάρχουν ακόμη και στον αέρα, λόγω της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, με αποτέλεσμα να παρασύρονται από τη βροχή και στη συνέχεια να αποτίθενται στο έδαφος.

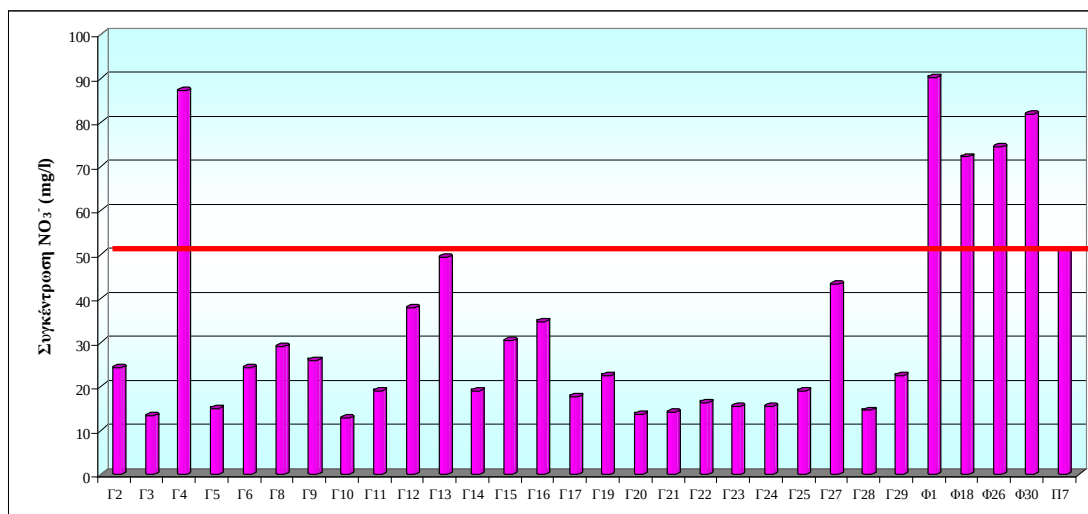
Το σύνολο των νιτρικών ιόντων που βρίσκονται στο έδαφος, όταν βρεθούν σε αερόβιες συνθήκες, διεισδύουν στον υδροφόρο ορίζοντα. Τα πόσιμα νερά που περιέχουν μεγάλες ποσότητες νιτρικών υπάρχει κίνδυνος να προκαλέσουν στα παιδιά την ασθένεια *μεθαιμογλοβιναιμία*, λόγω της αναγωγής τους σε νιτρώδη. Τα νιτρώδη και νιτρικά, στο περιβάλλον του στομάχου, σχηματίζουν N- νιτροζοενώσεις, που είναι καρκινογόνες (Παπά, 2001)

Η οδηγία της Ε.Ε. (ΦΕΚ 53/Τ.Β./20-2-86), καθορίζει τη συγκέντρωση των 25 mg/l νιτρικών ιόντων ως ενδεικτικό επίπεδο και τα 50 mg/l ως ανώτατη παραδεκτή συγκέντρωση.

Οι τιμές συγκέντρωσης των νιτρικών ιόντων στα υπόγεια νερά της περιοχής μελέτης κυμαίνονται μεταξύ 12,8 mg/l και 90,2 mg/l. Τις υψηλότερες συγκεντρώσεις NO₃⁻ παρουσιάζουν τα δείγματα των πηγαδιών, ενώ τα δείγματα των γεωτρήσεων και της

πηγής έχουν σχετικά χαμηλότερες συγκεντρώσεις. Σε ποσοστό σχεδόν 80% των δειγμάτων παρουσιάζει τιμές συγκέντρωσης χαμηλότερες του 50 mg/l.

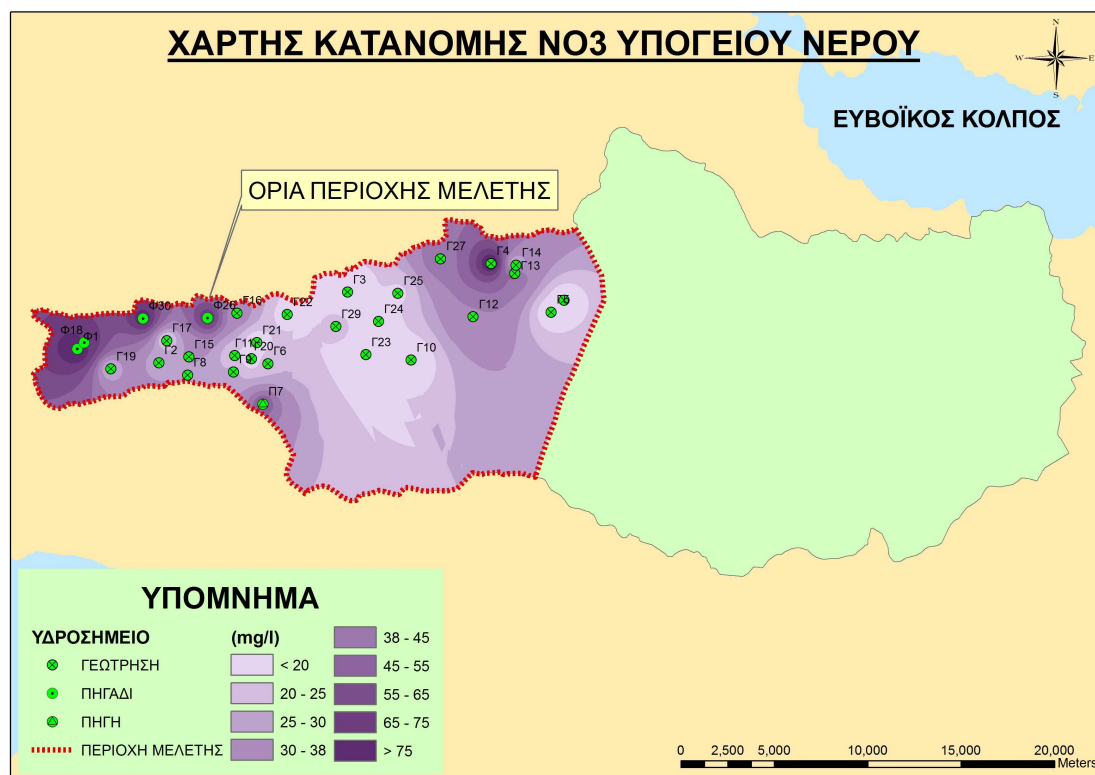
Στην **Εικόνα 10.15**, παρουσιάζεται η διακύμανση των τιμών NO_3^- στα υπόγεια νερά της περιοχής.



Εικόνα 10.15: Διακύμανση των τιμών της συγκέντρωσης νιτρικών ιόντων των υπόγειων νερών της περιοχής μελέτης και η ένδειξη (κόκκινη γραμμή) του ανώτερου επιτρεπτού ορίου που αφορά τα πόσιμα νερά βάσει της Οδηγίας της ΕΕ.

Αναλυτικότερα οι τιμές των νιτρικών ιόντων στα υπόγεια νερά της λεκάνης έχουν ως εξής:

- ❖ *Νερά πηγαδιών από Τεταρτογενείς αποθέσεις-Φρεάτιος ορίζοντας:* Οι τιμές των νιτρικών ιόντων στα δείγματα των πηγαδιών που υδρομαστεύουν τον φρεάτιο ορίζοντα κυμαίνονται από 72,2 mg/l έως 90,2 mg/l και μέση τιμή 79,6 mg/l. Από τα παραπάνω γίνεται αμέσως αντιληπτό ότι η βασική λίπανση που χρησιμοποιείται κατά την έναρξη της καλλιεργητικής περιόδου είναι αποκλειστικά υπεύθυνη για τις υψηλές συγκεντρώσεις των νιτρικών ιόντων.
- ❖ *Νερά γεωτρήσεων από τους Νεογενείς σχηματισμούς:* Οι τιμές των νιτρικών ιόντων στα δείγματα των γεωτρήσεων κυμαίνονται από 12,8 mg/l έως 87,1 mg/l και η μέση τιμή 25,4 mg/l. Το μεγαλύτερο ποσοστό των γεωτρήσεων παρουσιάζει κυμαινόμενες τιμές μικρότερες των 30,0 mg/l. Εξαιρέση αποτελούν οι γεωτρήσεις Γ4, Γ12, Γ13 και Γ27, οι οποίες παρουσιάζουν τιμή υψηλότερη από 30,0 mg/l και βρίσκονται όλες στην ίδια περιοχή μεταξύ Καλλιθέας και Ασωπίας όπου και έχουν δημιουργηθεί τα τελευταία χρόνια πολλά συσκευαστήρια αγροτικών προϊόντων κυρίως της καλλιέργειας του καρότου και των κρεμμυδιών. (Πίνακας 8.4).
- ❖ *Νερό πηγής από Νεογενείς σχηματισμούς:* Η συγκέντρωση των νιτρικών ιόντων στη πηγή ανέρχεται σε 50,3 mg/l.



Εικόνα 10.16: Χάρτης χωρικής κατανομής των NO₃⁻ των υπόγειων νερών της περιοχής μελέτης.

Χωρική κατανομής των ιόντων NO₃⁻: Η χωρική κατανομή της συγκέντρωσης των νιτρικών ιόντων των υπόγειων νερών στην περιοχή παρουσιάζεται στην Εικόνα 10.16. Διαπιστώνεται ότι οι υψηλότερες τιμές εντοπίζονται στο δυτικό τμήμα της περιοχής όπου είναι και το σύνολο των πηγαδιών, ενώ οι χαμηλότερες τιμές κατανέμονται στο κεντρικό τμήμα της λεκάνης.

10.9 Αμμωνιακά ιόντα (NH₄⁺)

Η παρουσία του αζώτου στα υπόγεια νερά βρίσκεται με τη μορφή (i) της αέριας αμμωνίας (NH₃) η οποία είναι η πιο αναγωγική ανόργανη μορφή, (ii) των νιτρικών ανιόντων (NO₂⁻), (iii) των νιτρικών ανιόντων (NO₃⁻) (iv) των κατιόντων αμμωνίου (NH₄⁺) και (v) στα οξειδωτικά περιβάλλοντα σαν μέρος οργανικών διαλυμάτων.

Επίσης, υπάρχουν τρεις αέριες μορφές του αζώτου που παρατηρούνται στα υπόγεια νερά: το στοιχειώδες άζωτο, το οξείδιο του αζώτου (N₂O) και μονοξείδιο του αζώτου (NO). Και οι τρεις αυτές μορφές, όταν διαλύονται στο υπόγειο νερό, παραμένουν αφορτίστα αέρια. Τα αμμωνιακά κατιόντα απορροφώνται πολύ από τις επιφάνειες των ορυκτών. Τα νιτρικά μεταφέρονται γρήγορα από το υπόγειο νερό και παραμένουν σταθερά κάτω από ένα ευρύ φάσμα συνθηκών. Τα νιτρικά σε αερόβιες ζώνες είναι ασταθή και γρήγορα οξειδώνονται και γενικά θεωρούνται σαν δείκτες μόλυνσης από βοθορρύμματα και οργανικά απόβλητα. Η παρουσία των νιτρικών και των αμμωνιακών ιόντων φανερώνουν τη μόλυνση του υπόγειου νερού, η οποία είναι κυρίως ανθρωπογενούς προέλευσης. Τα αμμωνιακά ιόντα σχηματίζουν διαλυτές ενώσεις με μερικά μεταλλικά ιόντα και μερικοί τύποι απορροών βιομηχανικών αποβλήτων μπορεί να περιέχουν τέτοιες ενώσεις (Hem, 1989).

Η συγκέντρωση των νιτρικών στα περισσότερα φυσικά υπόγεια νερά, με μετρήσεις που έγιναν στις Ηνωμένες Πολιτείες, έδωσαν τιμές που συνήθως ήταν κάτω από 2 mg/l

(Mueller et al 1995). Ρηχοί υδροφόροι ορίζοντες που επηρεάζονται από ανθρωπογενή δραστηριότητα και στους οποίους στις υπερκείμενες αυτών επιφανειακές περιοχές γίνεται κυρίως χρήση λιπασμάτων, μπορούν να έχουν συγκεντρώσεις νιτρικών ιόντων αρκετών δεκάδων mg/l ή και περισσότερες.

Τα νιτρώδη στα φυσικά υπόγεια νερά βρίσκονται σε ίχνη λιγότερο από 1 mg/l. Υψηλές συγκεντρώσεις νιτρώδων φανερώνουν μόλυνση από ανθρωπογενείς δραστηριότητες ή απόβλητα ζώων. Επίσης, η εκτεταμένη χρήση λιπασμάτων αζώτου σε αγροτικές περιοχές μπορούν να αυξήσουν σημαντικά τις συγκεντρώσεις των νιτρικών στα υπόγεια νερά και να μολύνουν τους υδροφόρους ορίζοντες (Kresic, 2007).

Η αμμωνία δεν επηρεάζει άμεσα την υγεία στις συγκεντρώσεις που ενδέχεται να υπάρχει στα πόσιμα νερά, αποτελεί όμως σημαντικό δείκτη ρύπανσης από κοπρανώδεις ουσίες. Σε συγκεντρώσεις μεγαλύτερες από 0.2 mg/l δημιουργεί προβλήματα οσμής και γεύσης στο νερό και ελαττώνει την αποτελεσματικότητα της απολύμανσης. Επίσης συμβάλλει στο σχηματισμό νιτρώδων στα συστήματα ύδρευσης (Παπά, 2001).

Η υψηλή συγκέντρωση αμμωνιακών ιόντων στα πόσιμα νερά δεν αποτελούν κίνδυνο για την ανθρώπινη υγεία, ωστόσο η ύπαρξή τους αποτελεί ένδειξη ρύπανσης ή και μόλυνσης των υδάτων. Τα αμμωνιακά ιόντα είναι προϊόν μικροβιακής δράσης κατά τη διαδικασία αποικοδόμησης οργανικών ουσιών πλούσιων σε πρωτεΐνες όπως τα περιττώματα, τα προϊόντα σήψης, τα οικιακά και βιομηχανικά λύματα.

Σε τέτοιες περιπτώσεις, οι συγκεντρώσεις των NH_4^+ στα ύδατα κυμαίνονται μεταξύ 0,1 και 10 ppm. Οι συγκεντρώσεις NH_4^+ στα ύδατα μπορεί να προέρχονται κι απ' την αναγωγή των νιτρικών ιόντων των αζωτοβακτηρίων, κατά την χημική εξίσωση: $\text{NO}_3^- \rightarrow \text{NO}_2^- \rightarrow \text{N}_2\uparrow(\text{g}) \rightarrow \text{NH}_4^+$.

Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (WHO) η ανώτατη αποδεκτή συγκέντρωση αμμωνιακών ιόντων για τα πόσιμα νερά είναι 0,05 mg/l, ενώ η Ε.Ε. θέτει σαν ανώτατο όριο τα 0,5 mg/l.

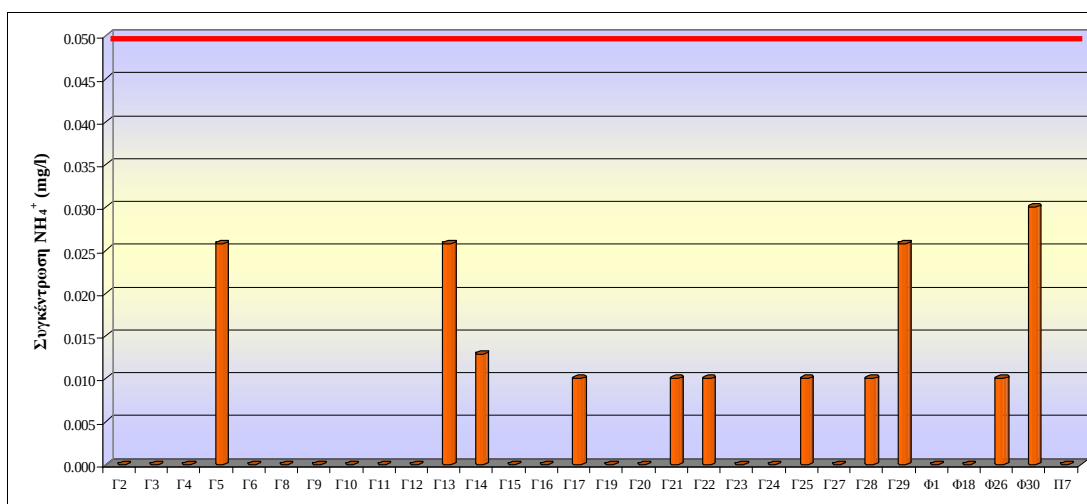
Η τροφοδότηση των υπόγειων νερών με λύματα μη στεγανών σηπτικών βόθρων αυξάνουν την περιεκτικότητα των νερών σε αμμωνιακά ιόντα. Στους σηπτικούς βόθρους συγκεντρώνεται λάσπη, τα λύματα της οποίας έχουν περιεκτικότητα σε NH_4^+ μεταξύ 40-80mg/l (Sikora et al.).

Η ύπαρξη αμμωνιακών ιόντων σε ένα υδάτινο περιβάλλον συνεπάγεται και την ύπαρξη ελεύθερης αμμωνίας, σε αναλογία που καθορίζεται κυρίως απ' το pH.

Η ύπαρξη ελεύθερης αμμωνίας σε συγκεντρώσεις μεγαλύτερες των 0,2 mg/l είναι τοξική για τα ψάρια που είναι ευαίσθητα στο αλκαλικό περιβάλλον (Βασιλακιώτης, Φυτιάνος, 1986). Στις ίδιες συγκεντρώσεις δημιουργεί προβλήματα οσμής και γεύσης στο νερό και ελαττώνει την αποτελεσματικότητα της απολύμανσης. Τέλος, συμβάλλει στο σχηματισμό νιτρώδων στα συστήματα ύδρευσης (Παπά 2001).

Οι τιμές συγκέντρωσης των αμμωνιακών ενώσεων στα υπόγεια νερά της περιοχής μελέτης κυμαίνονται μεταξύ 0,00 mg/l και 0,03 mg/l. Τις υψηλότερες συγκεντρώσεις NH_4^+ παρουσιάζουν τόσο τα δείγματα των πηγαδιών, όσο και τα δείγματα των γεωτρήσεων ενώ της πηγής έχει μηδενικές συγκεντρώσεις. Σε ποσοστό σχεδόν 40% των δειγμάτων παρουσιάζει τιμές συγκέντρωσης της τάξεως του 0,00 mg/l.

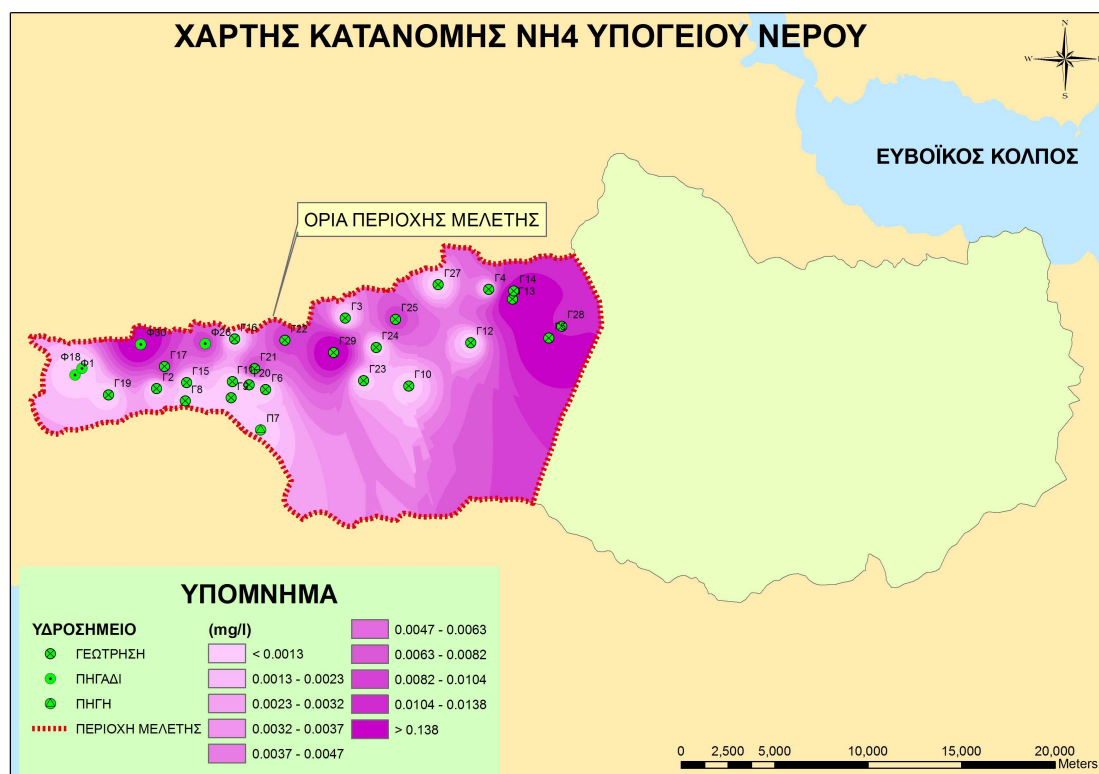
Στην Εικόνα 10.17, παρουσιάζεται η διακύμανση των τιμών NH_4^+ στα υπόγεια νερά της περιοχής.



Εικόνα 10.17: Διακύμανση των τιμών της συγκέντρωσης αμμωνιακών ιόντων των υπόγειων νερών της περιοχής μελέτης και η ένδειξη (κόκκινη γραμμή) του ανώτερου επιτρεπτού ορίου που αφορά τα πόσιμα νερά βάσει της Οδηγίας του WHO.

Αναλυτικότερα οι τιμές των αμμωνιακών ιόντων στα υπόγεια νερά της λεκάνης έχουν ως εξής:

- ❖ *Νερά πηγαδιών από Τεταρτογενείς αποθέσεις-Φρεάτιος ορίζοντας:* Οι τιμές των αμμωνιακών ιόντων στα δείγματα των πηγαδιών που υδρομαστεύουν τον φρεάτιο ορίζοντα κυμαίνονται από 0,00 mg/l έως 0,03 mg/l και μέση τιμή 0,01 mg/l. Από τα τέσσερα δείγματα που ελήφθησαν από πηγάδια τα δύο Φ26 και Φ30 έχουν την υψηλότερη τιμή
- ❖ *Νερά γεωτρήσεων από τους Νεογενείς σχηματισμούς:* Οι τιμές των αμμωνιακών ιόντων στα δείγματα των γεωτρήσεων κυμαίνονται από 0,00 mg/l έως 0,03 mg/l και η μέση τιμή 0,01 mg/l. Οι γεωτρήσεις Γ21, Γ22, Γ25, Γ28 και Γ29, οι οποίες παρουσιάζουν την ανώτερη τιμή συγκέντρωσης (0,03 mg/l) βρίσκονται όλες στην ίδια περιοχή μεταξύ Καλλιθέας και Ασωπίας στο κεντρικό και δυτικό τμήμα της υπό εξέταση περιοχής όπου και έχουν δημιουργηθεί τα τελευταία χρόνια πολλά συσκευαστήρια αγροτικών προϊόντων κυρίως της καλλιέργειας του καρότου και των κρεμμυδιών. (Πίνακας 8.4).
- ❖ *Νερό πηγής από Νεογενείς σχηματισμούς:* Η συγκέντρωση των αμμωνιακών ιόντων στη πηγή είναι σε μηδενικά επίπεδα (0,00 mg/l).



Εικόνα 10.18: Χάρτης χωρικής κατανομής των NH_4^+ των υπόγειων νερών της περιοχής μελέτης.

Χωρική κατανομή των ιόντων NH_4^+ : Η χωρική κατανομή της συγκέντρωσης των αμμωνιακών ιόντων των υπόγειων νερών στην περιοχή παρουσιάζεται στην Εικόνα 10.18.. Διαπιστώνεται ότι οι υψηλότερες τιμές είναι κατανεμημένες τόσο στα βόρεια τμήματα της λεκάνης, όπου βρίσκονται οι περισσότερες κοινότητες. Προφανώς η ύπαρξη των σηπτικών βόθρων και των ζωικών απορριμμάτων κατέχουν την πρώτη θέση στην επιβάρυνση των υπόγειων νερών με αμμωνιακά ιόντα.

10.10 Φωσφορικά ιόντα (PO_4^{3-})

Η συγκέντρωση του P στα διάφορα πετρώματα παρουσιάζεται σε χαμηλά επίπεδα, όπως στα μαγματικά πετρώματα στα 1.100mg/kg, στους ψαμμίτες 539mg/kg, στους αργίλους 733mg/kg και στα ανθρακικά πετρώματα 281mg/kg (Matthess 1973).

Η ύπαρξη μεγάλης συγκέντρωσης Φωσφόρου στα φυσικά νερά αποδίδεται σε ανθρωπογενείς δραστηριότητες και μπορεί να προέρχεται από τα λιπάσματα, φυτοφάρμακα, την διάβρωση του εδάφους, από σηπτικούς βόθρους, σκουπίδια, κτηνοτροφικά απόβλητα, διάφορα σαπούνια και απορρυπαντικά κλπ.

(www.nhllakes.org/edbroadures/phosphoruspollution.htm)

Από τις προαναφερόμενες πηγές προέλευσης του Φωσφόρου η βασικότερη πηγή είναι τα λύματα των σηπτικών βόθρων, τα οποία αποτελούν την κύρια αιτία ρύπανσης των υπόγειων νερών με υπερβολική ποσότητα P. Τα λύματα των σηπτικών βόθρων μπορεί να περιέχουν 10-30 mg/l PO_4^{3-} (Sikora et al.).

Οι συνήθεις ιοντικές συγκεντρώσεις που απαντώνται τα PO_4^{3-} στα μη ρυπασμένα νερά είναι 0 – 0,02 mmol/l, προερχόμενες κυρίως από οργανική ύλη ή φωσφορικά πετρώματα (Appelo-Postma 1996).

Ο Φώσφορος είναι ένα απαραίτητο στοιχείο που βρίσκεται σε όλα τα κύτταρα στο ανθρώπινο σώμα. Ο Φώσφορος περιέχεται κατά κύριο λόγο στα κόκαλα (σε ποσοστό 85%), στους μύες σε ποσοστό 14% καθώς επίσης και στις κυτταρικές μεμβράνες (www.tjclarkinc.com/minerals).

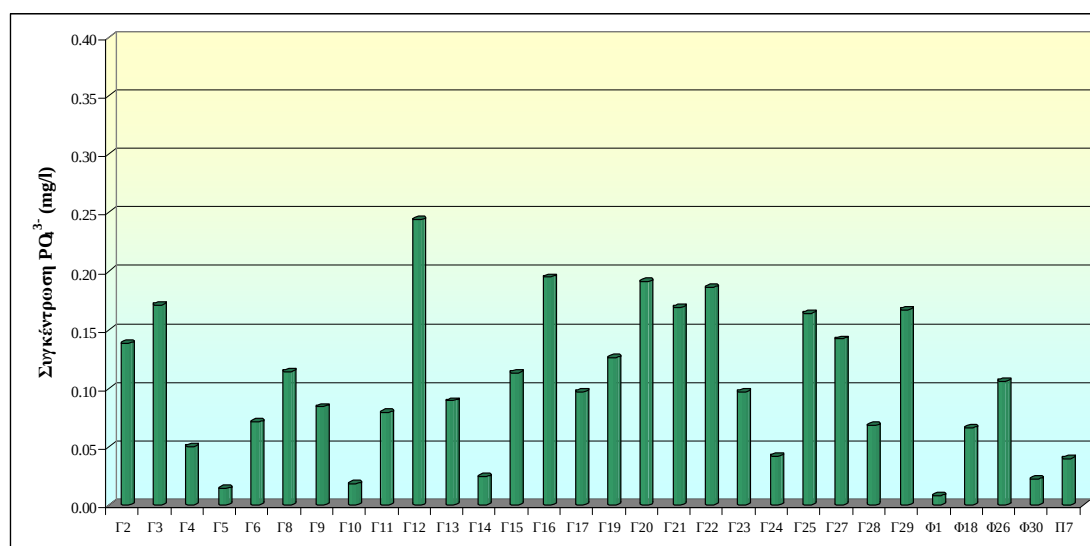
Η έλλειψη P, αν και σπάνια υφίσταται στην ανθρώπινη διατροφή, προκαλεί αναπνευστικές, μυϊκές, αιματολογικές, νευρολογικές, καρδιακές και νεφρικές δυσλειτουργίες (Allen and Wood 1994).

Η συνήθης ημερήσια κατανάλωση Φωσφόρου είναι 1600mg για τους άντρες και 1000mg για τις γυναίκες ενώ δόση μεγαλύτερη των 3-4gr μπορεί να προκαλέσει προβλήματα.

Σύμφωνα με την οδηγία της Ε.Ε. το ανώτατο όριο της συγκέντρωσης του P_2O_5 είναι 5 mg/l με ενδεικτική τιμή γύρω στα 0,4mg/l.

Οι τιμές συγκέντρωσης των φωσφορικών ενώσεων στα υπόγεια νερά της περιοχής μελέτης κυμαίνονται μεταξύ 0,01 mg/l και 0,24 mg/l. Τις υψηλότερες συγκεντρώσεις PO_4^{+} παρουσιάζουν τόσο τα δείγματα των πηγαδιών, όσο και τα δείγματα των γεωτρήσεων. Σε ποσοστό σχεδόν 90% των δειγμάτων παρουσιάζει τιμές συγκέντρωσης ανώτερες του 0,05 mg/l.

Στην Εικόνα 10.19, παρουσιάζεται η διακύμανση των τιμών PO_4^{+} στα υπόγεια νερά της περιοχής.

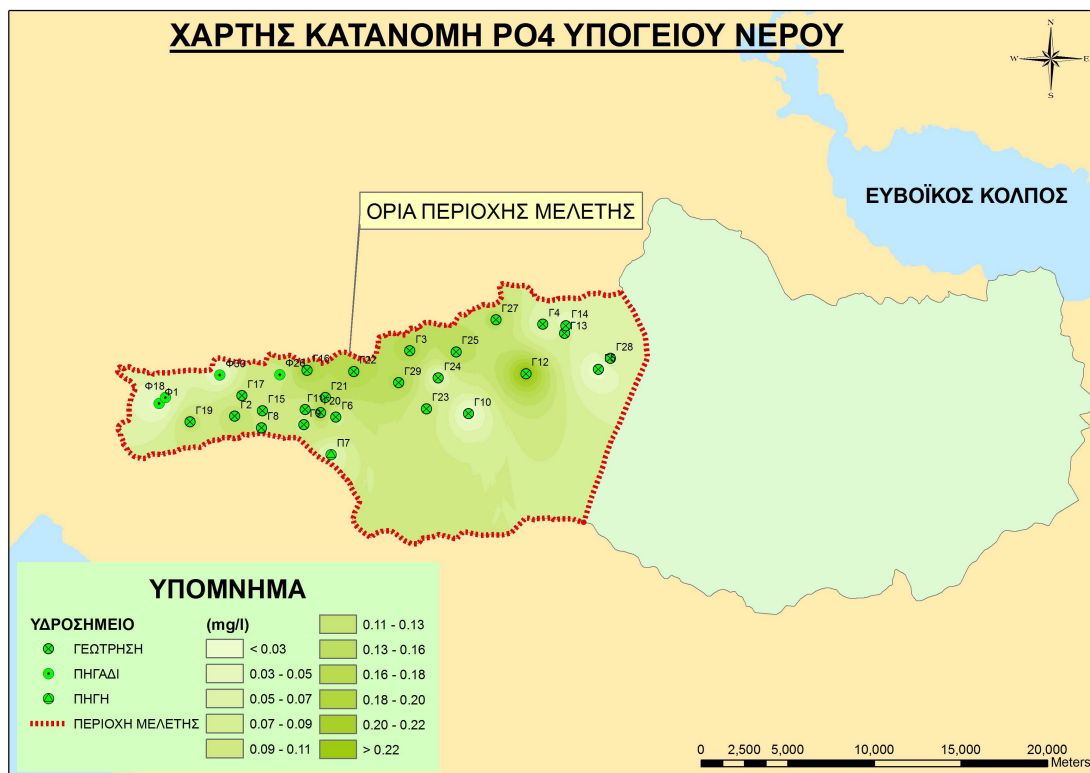


Εικόνα 10.19: Διακύμανση των τιμών της συγκέντρωσης φωσφορικών ιόντων των υπόγειων νερών της περιοχής μελέτης.

Αναλυτικότερα οι τιμές των φωσφορικών ιόντων στα υπόγεια νερά της λεκάνης έχουν ως εξής:

- ❖ *Νερά πηγαδιών από Τεταρτογενείς αποθέσεις-Φρεάτιος ορίζοντας:* Οι τιμές των φωσφορικών ιόντων στα δείγματα των πηγαδιών που υδρομαστεύουν τον φρεάτιο ορίζοντα κυμαίνονται από 0,01 mg/l έως 0,11 mg/l και μέση τιμή 0,05 mg/l. Από τα τέσσερα δείγματα που ελήφθησαν από πηγάδια τα δύο Φ26 και Φ8 έχουν τιμή υψηλότερη από 0,05 mg/l.
- ❖ *Νερά γεωτρήσεων από τους Νεογενείς σχηματισμούς:* Οι τιμές των φωσφορικών ιόντων στα δείγματα των γεωτρήσεων κυμαίνονται από 0,01 mg/l έως 0,24 mg/l και η μέση τιμή 0,11 mg/l. Το σύνολο σχεδόν των γεωτρήσεων παρουσιάζουν τιμές συγκέντρωσης μεγαλύτερες από 0,005 ml/l.. (Πίνακας 8.4).

- ❖ *Νερό πηγής από Νεογενείς σχηματισμούς:* Η συγκέντρωση των φωσφορικών ιόντων στη πηγή είναι 0,04 mg/l.



Εικόνα 10.20: Χάρτης χωρικής κατανομής των PO_4^+ των υπόγειων νερών της περιοχής μελέτης.

Χωρική κατανομή των ιόντων PO_4^+ : Η χωρική κατανομή της συγκέντρωσης των φωσφορικών ιόντων των υπόγειων νερών στην περιοχή παρουσιάζεται στην Εικόνα 10.20. Διαπιστώνεται ότι οι υψηλότερες τιμές στα κεντρικά τμήματα της λεκάνης. Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις επικεντρώνονται πλησίον των κοινοτήτων. Προφανώς η ύπαρξη των σηπτικών βόθρων και των ζωικών απορριμμάτων κατέχουν την πρώτη θέση στην επιβάρυνση των υπόγειων νερών με Φωσφορικά ιόντα.

10.11 Βρώμιο (Br^-)

Η συγκέντρωση του Br στα διάφορα πετρώματα είναι στα μαγματικά πετρώματα στα 2,37 mg/kg, στους ψαμμίτες 1,0 mg/kg, στους αργίλους 4,3 mg/kg, στα ανθρακικά πετρώματα 6,6 mg/kg και στους εβαπορίτες 33mg/kg (Matthess 1973).

Το κυριότερο ορυκτό του Βρώμιου είναι ο βρωμιοκαρναλλίτης. Το βρώμιο είναι βαθυκόκκινο υγρό. Έχει δυσάρεστη μυρωδιά, διαλύεται στο νερό και σχηματίζει το βρωμιούχο νερό. Είναι οξειδωτική ουσία σχηματίζει σταθερότερες ενώσεις με το οξυγόνο. Χρησιμοποιείται στη φαρμακευτική, στη φωτογραφική τέχνη, στην παρασκευή χρωμάτων κλπ.

Το βρώμιο δε βρίσκεται ελεύθερο στη φύση. Βρίσκεται με τη μορφή αλάτων, κυρίως του νατρίου, του καλίου και του μαγνησίου. Τα άλατα αυτά συνοδεύουν τα αντίστοιχα χλωριούχα, αλλά σε μικρότερη αναλογία από εκείνα. Έτσι το θαλάσσιο νερό περιέχει βρωμιούχα άλατα.

Στα υπόγεια νερά που βρίσκονται κοντά σε παραθαλάσσιες περιοχές, οι υψηλές συγκεντρώσεις βρωμιούχων ιόντων αποδίδονται στη διείσδυση του θαλασσινού νερού

στον υδροφόρο ορίζοντα. Επίσης η παρουσία του Βρώμιου στα υπόγεια νερά σχετίζεται με την παρουσία υπολειμματικών αλάτων εβαποριτικής προέλευσης ή με ανθρωπογενείς παράγοντες όπως με τη χρήση φυτοφαρμάκων που περιέχουν στη σύστασή τους το βρωμιούχο ιόν.

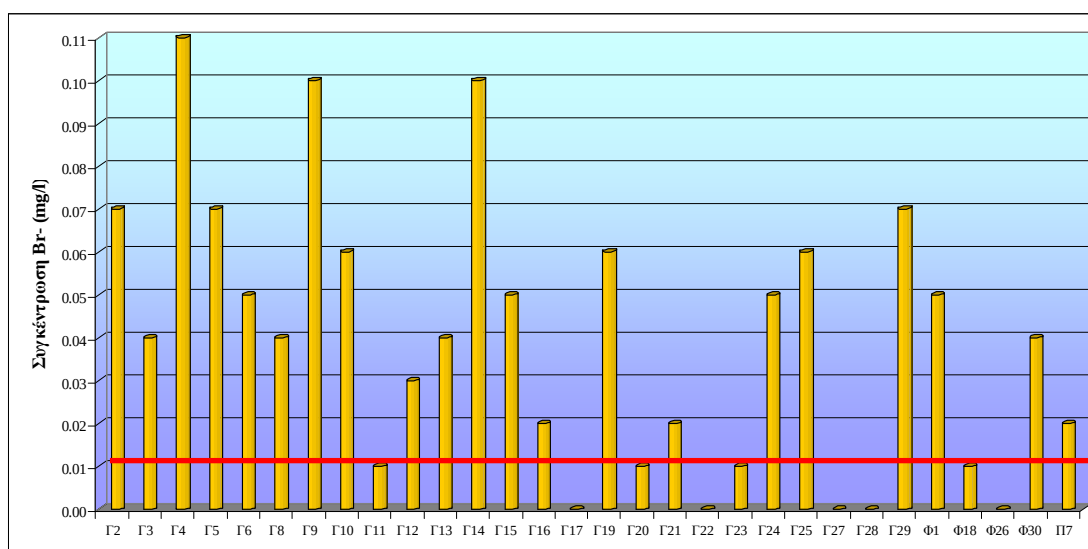
Το Βρώμιο είναι ένα ιχνοστοιχείο που ανήκει στην κατηγορία των αλογόνων και προσλαμβάνεται ημερησίως στη διατροφή μας σε μια συγκέντρωση που κυμαίνεται μεταξύ 2 και 8 mg. Οι τροφές που περιέχουν υψηλές συγκεντρώσεις Βρώμιου είναι τα ψάρια, τα δημητριακά και τα καρύδια.

Συνήθως το Βρώμιο μπαίνει στην ανθρώπινη διατροφή με τη μορφή του ιόντος Βρωμίου (Br^-), το οποίο έχει πολύ χαμηλή τοξικότητα και θεωρείται αβλαβές. Επιδημιολογικές έρευνες έδειξαν ότι, η παρουσία υψηλών συγκεντρώσεων ιόντων Βρώμιου ευθύνονται για την εμφάνιση καρκίνου στα νεφρά (www.healthaffair.gr/waterall.htm).

Η συγκέντρωση των βρωμικών ιόντων στα πόσιμα νερά κυμαίνεται από ελάχιστα $\mu\text{g/l}$ έως λίγα mg/l . Η Ευρωπαϊκή Ένωση σε οδηγία που εξέδωσε για το πόσιμο νερό (80/778/EEC) καθόρισε ως ανώτατη επιτρεπτή συγκέντρωση των βρωμικών στο πόσιμο νερό τα $10\mu\text{g/l}$.

Οι τιμές συγκέντρωσης του Br^- στα υπόγεια νερά της περιοχής μελέτης κυμαίνονται μεταξύ $0,00\text{ mg/l}$ και $0,11\text{mg/l}$. Τις υψηλότερες συγκεντρώσεις των ιόντων Βρώμιου παρουσιάζουν τόσο τα δείγματα των πηγαδιών, όσο και τα δείγματα των γεωτρήσεων. Σε ποσοστό σχεδόν 90% των δειγμάτων παρουσιάζει τιμές συγκέντρωσης ανώτερες του $0,01\text{ mg/l}$ που ισχύει ως οριακή τιμή για τα πόσιμα νερά.

Στην Εικόνα 10.21, παρουσιάζεται η διακύμανση των τιμών Br^- στα υπόγεια νερά της περιοχής.

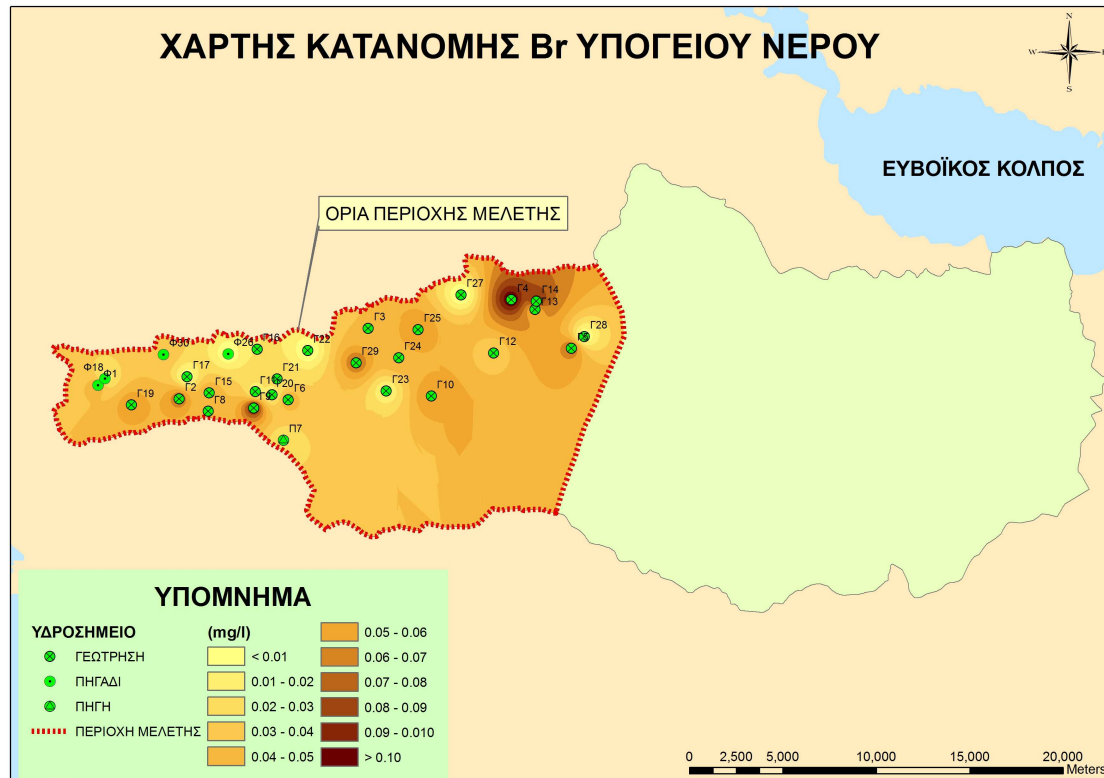


Εικόνα 10.21: Διακύμανση των τιμών συγκέντρωσης σε Βρώμιο στα υπόγεια νερά της περιοχής μελέτης και η ένδειξη (κόκκινη γραμμή) του ανώτερου επιτρεπτού ορίου που αφορά τα πόσιμα νερά βάσει της Οδηγίας του ΕΕ.

Αναλυτικότερα οι τιμές των ιόντων βρώμιου στα υπόγεια νερά της λεκάνης έχουν ως εξής:

- ❖ *Νερά πηγαδιών από Τεταρτογενείς αποθέσεις-Φρεάτιος ορίζοντα:* Οι τιμές των ιόντων βρώμιου στα δείγματα των πηγαδιών που υδρομαστεύουν τον φρεάτιο ορίζοντα κυμαίνονται από $0,00\text{ mg/l}$ έως $0,05\text{ mg/l}$ και μέση τιμή $0,03\text{ mg/l}$.

- ❖ *Νερά γεωτρήσεων από τους Νεογενείς σχηματισμούς:* Οι τιμές των ιόντων βρώμιου στα δείγματα των γεωτρήσεων κυμαίνονται από 0,00 mg/l έως 0,11 mg/l και η μέση τιμή 0,04 mg/l. Το σύνολο σχεδόν των γεωτρήσεων παρουσιάζουν τιμές συγκέντρωσης μεγαλύτερες από 0,005 ml/l. (Πίνακας 8.4).
- ❖ *Νερό πηγής από Νεογενείς σχηματισμούς:* Η συγκέντρωση των ιόντων βρώμιου στη πηγή είναι 0,04 mg/l.



Εικόνα 10.22: Χάρτης χωρικής κατανομής των ιόντων Br^- στα υπόγεια νερά της περιοχής μελέτης.

Χωρική κατανομή των ιόντων Br^- : Η χωρική κατανομή της συγκέντρωσης των ιόντων βρώμιου στα υπόγεια νερά της περιοχής παρουσιάζεται στην Εικόνα 10.22. Διαπιστώνεται ότι οι υψηλότερες τιμές εντοπίζονται στο βορειοανατολικό τμήμα της λεκάνης έρευνας. Στην περιοχή αυτή εντοπίζεται και η ζώνη των υφάλμυρων νερών (Δούνας κάλ. 1987). Με βάση τις ιοντικές σχέσεις, όπως αυτές αναλύονται στο Κεφάλαιο 11 που ακολουθεί πιο κάτω, φαίνεται ότι τα νερά στην εν λόγω περιοχή προέρχονται από την διάλυση εβαποριτικών αλάτων, καθότι οι ιοντικοί λόγοι που προκύπτουν ($\text{Cl}/\text{Br} > 360$) φανερώνουν την παρουσία εβαποριτών. Οι χαμηλότερες τιμές επικεντρώνονται στο βορειοδυτικό τμήμα της λεκάνης, αλλά και σε αυτή την περιοχή το Βρώμιο έχει την ίδια πηγή προέλευσης.

10.12 Διοξείδιο του Πυριτίου (SiO_2)

Η συγκέντρωση του Si στα διάφορα πετρώματα είναι στα μαγματικά πετρώματα στα 285.000mg/kg, στους ψαμμίτες 359.000 mg/kg, στους αργίλους 260.000mg/kg, στα ανθρακικά πετρώματα 33.900 mg/kg και στους εβαπορίτες 386 mg/kg (Matthess 1973).

Τα σημαντικότερα ορυκτά που περιέχουν Si το επίδοτο $[\text{Ca}_2(\text{FeAl})\text{Al}_2(\text{SiO}_4)(\text{SiO}_7)\text{O}(\text{OH})]$, ο μοσχοβίτης ($\text{H}_2\text{KAl}_3\text{Si}_3\text{O}_{12}$), ο αλβίτης ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$), ο ανορθίτης ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$), το ορθόκλαστο ($[\text{SiO}_4 \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{SiO}_2]\text{Al}$), το ολιγόκλαστο, ο ολιβίνης ($(\text{Mg}, \text{Fe})_2\text{SiO}_4$), ο χαλαζίας κλπ. (Κελεπερτζής 1993, Θεοδωρίκας 2005).

Το διοξείδιο του πυριτίου (SiO_2) είναι αδιάλυτο σε pH μεταξύ 6 και 8,5. Μαζί με το μαγνήσιο δημιουργεί κρούστα στους λέβητες και τους ατμοστροβίλους κι εμποδίζει το βράσιμο.

Γενικά, σε μη ρυπασμένα νερά απαντάται σε συγκεντρώσεις μικρότερες των 30mg/l, σπάνια μέχρι 100 mg/l (Καλλέργης, 2000).

Μεγάλο ποσοστό του Πυριτίου που βρίσκεται στο ανθρώπινο σώμα βρίσκεται σε συνδετικούς ιστούς της αορτής, της τραχείας, των τενόντων, στα οστά και το δέρμα (www.tjclarkinc.com/minerals).

Η ανεπάρκεια Πυριτίου μπορεί να προκαλέσει μικρές, κακώς διαμορφωμένες αρθρώσεις κι ατελή ανάπτυξη των οστών. Τα μηρυκαστικά που τρέφονται με φυτά με υψηλή περιεκτικότητα σε Si μπορεί να αναπτύξουν πέτρα, ωστόσο, δεν έχει διαπιστωθεί τοξικός χαρακτήρας της υπερβολικής συγκέντρωσης Πυριτίου για τον άνθρωπο (www.tjclarkinc.com/minerals).

Η μέση ημερήσια συνιστώμενη δόση πυριτίου στον άνθρωπο κυμαίνεται μεταξύ 2-5 mg/d, ωστόσο, δεν προσροφάται όλο το Πυρίτιο απ' τον οργανισμό κι έτσι η συνιστώμενη κατανάλωση μπορεί να ανέλθει στα 5-10mg/day.

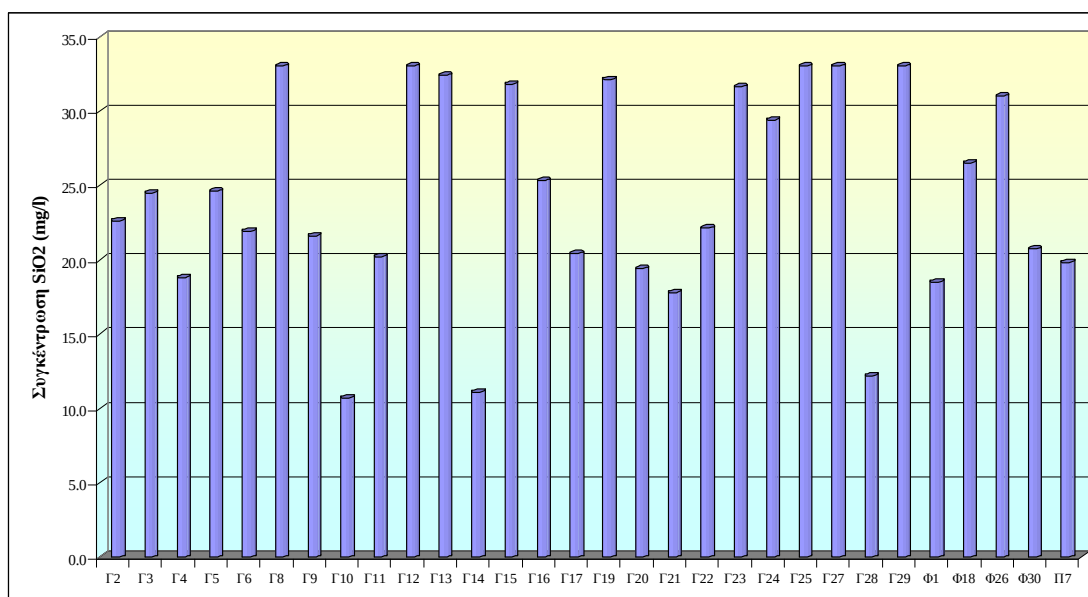
Οι τιμές συγκέντρωσης του SiO_4 στα υπόγεια νερά της περιοχής μελέτης κυμαίνονται μεταξύ 10, 7 mg/l και 33,00 mg/l. Τις υψηλότερες συγκεντρώσεις του διοξειδίου του πυριτίου παρουσιάζουν τόσο τα δείγματα των πηγαδιών, όσο και τα δείγματα των γεωτρήσεων. Σε ποσοστό σχεδόν 85% των δειγμάτων παρουσιάζει τιμές συγκέντρωσης ανώτερες του 15 mg/l.

Η Οδηγία της ΕΕ δεν περιλαμβάνει το Διοξείδιο του Πυριτίου στις απαγορευμένες ουσίες και δεν παραθέτει ανώτερα επιτρεπτά όρια στα πόσιμα νερά.

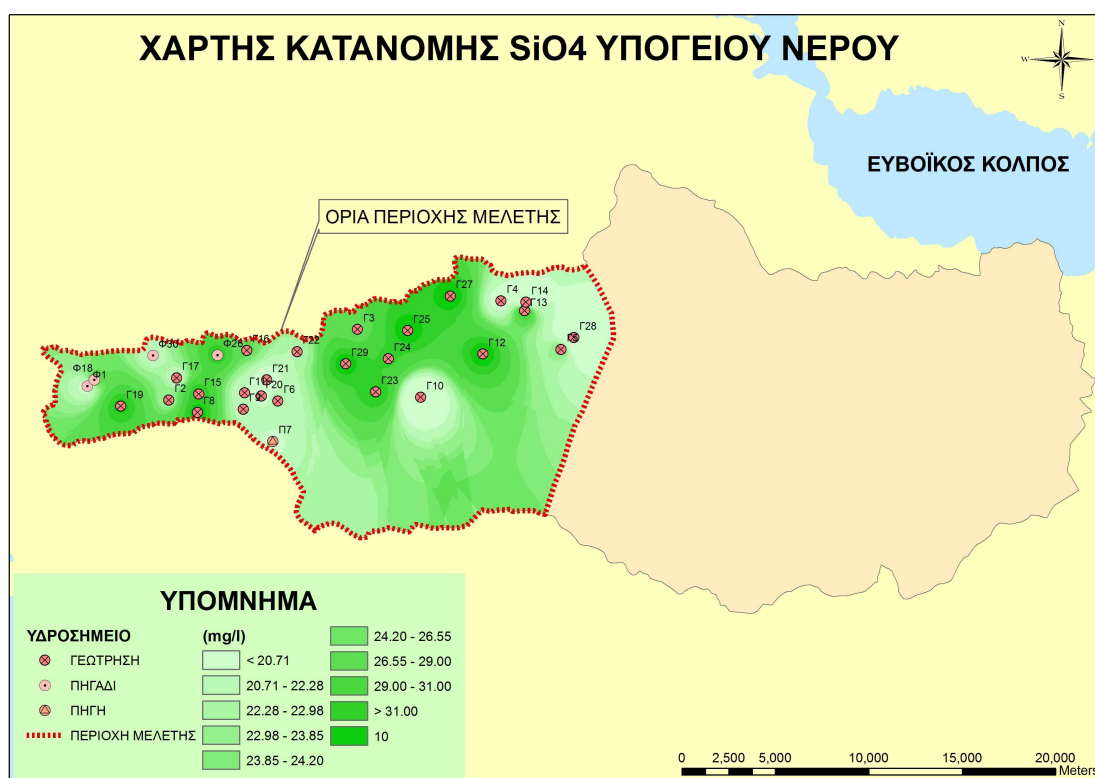
Στην Εικόνα 10.23, παρουσιάζεται η διακύμανση των τιμών SiO_4 στα υπόγεια νερά της περιοχής.

Αναλυτικότερα οι τιμές συγκέντρωσης SiO_2 στα υπόγεια νερά της λεκάνης έχουν ως εξής:

- ❖ *Νερά πηγαδιών από Τεταρτογενείς αποθέσεις-Φρεάτιος ορίζοντας:* Οι τιμές συγκέντρωσης SiO_2 στα δείγματα των πηγαδιών που υδρομαστεύουν τον φρεάτιο ορίζοντα κυμαίνονται από 18,5 mg/l έως 31,0 mg/l και μέση τιμή 24,2 mg/l.
- ❖ *Νερά γεωτρήσεων από τους Νεογενείς σχηματισμούς:* Οι τιμές συγκέντρωσης SiO_2 στα δείγματα των γεωτρήσεων κυμαίνονται από 10,7 mg/l έως 33,0 mg/l και η μέση τιμή 24,6 mg/l. Το σύνολο σχεδόν των γεωτρήσεων παρουσιάζουν τιμές συγκέντρωσης μεγαλύτερες από 0,005 ml/l.. (Πίνακας 8.4).
- ❖ *Νερό πηγής από Νεογενείς σχηματισμούς:* Η συγκέντρωση του SiO_2 στο δείγμα της πηγής είναι 19,8 mg/l.



Εικόνα 10.23: Διακύμανση των τιμών της συγκέντρωσης SiO₂ των υπόγειων νερών της περιοχής μελέτης.



Εικόνα 10.24: Χάρτης χωρικής κατανομής συγκέντρωσης SiO₂ στα υπόγεια νερά της περιοχής μελέτης.

Χωρική κατανομή του SiO₂: Η χωρική κατανομή της συγκέντρωσης SiO₂ στα υπόγεια νερά της περιοχής παρουσιάζεται στην Εικόνα 10.24. Διαπιστώνεται ότι οι υψηλότερες τιμές είναι κατανεμημένες στο κεντρικό βόρειο και δυτικό τμήμα της λεκάνης. Στα ενδιάμεσα τμήματα εμφανίζονται χαμηλότερες συγκεντρώσεις. Η παρουσία του SiO₂

σχετίζεται κυρίως με την υδρόλυση των μαγνησιούχων ορυκτών που βρίσκονται στο κλαστικό υλικού που προέρχεται από οφιολιθικά μητρικά πετρώματα. Προς αυτή την κατεύθυνση συνηγορεί και η έντονη παρουσία του Μαγνησίου στα υπόγεια νερά της περιοχής. Άλλη πηγή προέλευσης θεωρητικά είναι και τα αργιλικά ορυκτά που χαρακτηρίζουν τα Νεογενή ιζήματα της λεκάνης.

11. ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ

11.1 Γενικά

Τα βαρέα μέταλλα βρίσκονται στα φυσικά υπόγεια νερά σε πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις, εξαιτίας της γεωχημικής τους κατανομής και της δυσδιαλυτότητάς τους. Μεταξύ των βαρέων μετάλλων που ανιχνεύονται στα νερά, ο υδράργυρος, ο μόλυβδος, το αρσενικό και το κάδμιο παρουσιάζουν το μεγαλύτερο περιβαλλοντικό κίνδυνο, εξαιτίας της εκτεταμένης χρήσης τους, της κατανομής τους και της τοξικότητάς τους.

Στα επιφανειακά υδάτινα συστήματα τα μέταλλα βρίσκονται υπό μορφή διαλυτών αλάτων ή αιωρούμενων σωματιδίων. Τα στοιχεία αυτά με το χρόνο συγκεντρώνονται στα ιζήματα των ποταμών, των λιμνών και των παράκτιων περιοχών. Σημαντικές συγκεντρώσεις μετάλλων εντοπίζονται σήμερα σε θαλάσσια, ποτάμια και λιμναία ιζήματα. Τα ιζήματα αποτελούν τις δεξαμενές αποθήκευσης διαφόρων ρυπογόνων ουσιών κυρίως όσων βιοσυσσωρεύονται σε βάθος χρόνου επειδή δεν υπόκεινται σε διαδικασίες διάσπασης ή αποικοδόμησης. Τα μέταλλα μπορούν να παραμείνουν αποθηκευμένα στα ιζήματα είτε με μορφή προσροφημένης ύλης, είτε με τη μορφή οξειδίων και υδροξειδίων. Όταν και εφόσον προκύψουν οι κατάλληλες φυσικοχημικές συνθήκες στο υπερκείμενο νερό, τότε είναι δυνατή η επαναδιαλυτοποίησή τους σε μορφές που θα είναι δυνατόν να ληφθούν από υδρόβιους οργανισμούς.

Η παρουσία των βαρέων μετάλλων στα επιφανειακά υδροσυστήματα αποτελούν μια από τις κύριες μορφές ρύπανσης. Η παρουσία τους σχετίζεται στις περισσότερες των περιπτώσεων με την εισροή βιομηχανικών και αστικών αποβλήτων, φυτοφαρμάκων, λιπασμάτων, των αποβλήτων μεταλλευτικών εκμεταλλεύσεων και μεγάλο αριθμό επικίνδυνων υλικών που παρασέρνονται από τα ποτάμια και τους χείμαρρους καταλήγοντας στη θάλασσα. Τα βαρέα μέταλλα που καταλήγουν στο περιβάλλον προέρχονται είτε από ανθρωπογενείς δραστηριότητες, όπως μεταλλουργικές βιομηχανίες (χυτήρια, παρασκευή κραμάτων, επιμεταλλωτήρια), παραγωγή τσιμέντου, βυρσοδεψεία, διάβρωση μπαταριών και ηλεκτρονικών κυκλωμάτων σε χωματερές, καύση μολυβδόυχας βενζίνης, είτε από φυσικές διεργασίες όπως διάβρωση πετρωμάτων, ηφαιστειακή δράση κλπ.

Τα μέταλλα σε αντίθεση με τις περισσότερες τοξικές οργανικές ενώσεις, δεν αποικοδομούνται και γι' αυτό συσσωρεύονται στο περιβάλλον. Ένα μέρος αυτών καταλήγει με τη τροφική αλυσίδα έως τον άνθρωπο, στον οποίο προκαλούν χρόνιες ή οξείες βλάβες.

Από την εργαστηριακή ανάλυση των μεταλλικών ιχνοστοιχείων προκύπτει σημαντικό πρόβλημα ποιοτικής υποβάθμισης των υπόγειων υδατικών πόρων της περιοχής μελέτης που συνδέεται με την παρουσία βαρέων μετάλλων στα νερά, σε συγκεντρώσεις πολλαπλάσιες των μέγιστων επιτρεπόμενων ορίων για πόση, όπως αυτά περιγράφονται από την ισχύουσα Κοινοτική νομοθεσία (Ευρωπαϊκή Ένωση, 1998).

Κυρίαρχα βαρέα μέταλλα που απαντώνται σχεδόν σε όλα τα δείγματα που αναλύθηκαν είναι το Κάδμιο το Μαγγάνιο, ο Μόλυβδος, το Νικέλιο και το Ολικό Χρώμιο με συγκεντρώσεις σημαντικά υψηλότερες από τα μέγιστα επιτρεπτά όρια, ενώ σημαντική είναι η παρουσία και των βαρέων μετάλλων Χαλκού, Ολικού Σιδήρου και Ψευδαργύρου. Η ανίχνευση των βαρέων αυτών μετάλλων αποτελεί σημαντικό πρόβλημα για την περιοχή με δεδομένο ότι κάποια από τα παραπάνω όπως το Ολικό Χρώμιο, ο Μόλυβδος και το Νικέλιο και το Κάδμιο είναι τοξικά σύμφωνα με αναφορές από το διεθνές επιστημονικό χώρο (WHO, 1984). Οι ιδιαίτερα υψηλές συγκεντρώσεις που προσδιορίστηκαν οφείλονται στη γεωλογική δομή του ευρύτερου χώρου και στις ανθρωπογενείς δραστηριότητες που λαμβάνουν χώρα στην περιοχή.

11.2 Μεθοδολογία ανάλυσης

Για την διερεύνηση των ποιοτικών χαρακτηριστικών των υδροφορέων της περιοχής έρευνας ανιχνεύθηκαν με τη βοήθεια της φασματοσκοπίας ατομικής απορρόφησης (Atomic Absorption Spectroscopy ή AAS) τα βαρέα μεταλλικά ιχνοστοιχεία Κάδμιο (Cd), Μαγγάνιο (Mn), Μόλυβδος (Pb), Νικέλιο (Ni), Σίδηρος Ολικός (Fe_{tot}), Χαλκός (Cu), Χρώμιο Ολικό (Cr_{tot}) και Ψευδάργυρος (Zn). Ακολουθώντας, περιγράφονται συνοπτικά τα χαρακτηριστικά για το κάθε ιχνοστοιχείο, τα επιτρεπτά όρια σύμφωνα με την οδηγία της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Ε.Ε.), που αφορά την ποιότητα των πόσιμων νερών επιφανειακής ή υπόγειας προέλευσης, καθώς και εξήγηση πιθανής προέλευσης του κάθε ιχνοστοιχείου που ανιχνεύονται στα υπόγεια νερά της περιοχής μελέτης.

Στον επισυναπτόμενο πίνακα 11.1, δίνονται οι οριακές τιμές των βαρέων μετάλλων που ισχύουν για την ΕΕ και αφορούν τα πόσιμα νερά. Πιο κάτω περιγράφονται τα χαρακτηριστικά των προαναφερόμενων μεταλλικών ιχνοστοιχείων που προσδιορίστηκαν στα πλαίσια της παρούσης μελέτης και χαρακτηρίζεται η καταλληλότητά τους με βάση τις οριακές τιμές της Οδηγίας της Ε.Ε., που αναφέρονται για τα πόσιμα νερά.

Πίνακας 11.1: Ανώτατα επιτρεπτά όρια συγκέντρωσης βαρέων μετάλλων στα πόσιμα νερά βάσει της Οδηγίας 98/83/ΕΕ (1998).

Παράμετρος	Παραμετρική τιμή	Μονάδα
Αντιμόνιο	5,0	μg/l
Αργίλιο	200	μg/l
Αρσενικό	10	μg/l
Κάδμιο	5,0	μg/l
Μαγγάνιο	50	μg/l
Μόλυβδος	10	μg/l
Νικέλιο	20	μg/l
Σελήνιο	10	μg/l
Σίδηρος	200	μg/l
Υδράργυρος	1,0	μg/l
Χαλκός	2,0	mg/l
Χρώμιο	50	μg/l

11.2.1 Κάδμιο (Cd)

Το κάδμιο είναι ένα σπάνιο στοιχείο της λιθόσφαιρας. Στα μαγματικά πετρώματα βρίσκεται με συγκεντρώσεις 0,192 mg/kg στους ψαμμίτες με 0,0199 mg/kg, στους αργίλους με 0,183 mg/kg και στα ανθρακικά πετρώματα με 0,0476 mg/kg. Απαντάται κυρίως στα μικτά θειούχα κοιτάσματα μαζί με τον μόλυβδο και τον ψευδάργυρο. Στο θαλασσινό νερό η συγκέντρωση ανέρχεται σε 0,00011 mg/l (Matthess 1973).

Υψηλά ποσοστά του καδμίου παράγονται ως παραπροϊόν της χύτευσης του ψευδαργύρου, μόλυβδου και χαλκού. Από την καύση των γαιανθράκων και των απορριμμάτων απελευθερώνονται στο περιβάλλον σημαντικές ποσότητες καδμίου. Χρησιμοποιείται σε εκτεταμένες εφαρμογές, όπως στις μπαταρίες νικελίου-καδμίου, στα χρώματα, σε σταθεροποιητές των πλαστικών, σε διάφορα κράματα με τον χαλκό, στην επιμετάλλωση κ.α., με αποτέλεσμα η επιμόλυνση του περιβάλλοντος να είναι η συνέπεια των εφαρμογών του. Μία πηγή μόλυνσης του περιβάλλοντος με κάδμιο είναι

τα λιπάσματα που παρασκευάζονται από φωσφορούχα μεταλλεύματα (Κουιμτζής κάλ. 1998, Καλογήρου 1999).

Στα φυσικά υπόγεια νερά το κάδμιο σχεδόν απουσιάζει ή εντοπίζεται σε ίχνη, λόγω της γεωχημικής κατανομής του και της δυσδιαλυτότητας του. Σε πηγές μεταλλοφόρων περιοχών παρατηρούνται συγκεντρώσεις μέχρι 20 $\mu\text{g/l}$, και στα όξινα νερά των μεταλλείων μέχρι 41,1 mg/l . Στο φυσικό νερό το κάδμιο μπορεί να ευρεθεί προσροφημένο σε σωματίδια ή από την αιώρηση ιζημάτων. Η διαλυτότητα του στο νερό αυξάνεται όσο αυξάνεται η οξύτητα. Η συγκέντρωση του καδμίου σε μη μολυσμένα νερά είναι κάτω από 1 $\mu\text{g/l}$ (Matthess 1973, Κουιμτζής κάλ. 1998).

Στο επεξεργασμένο πόσιμο νερό δεν εμφανίζεται το κάδμιο. Η παρουσία του συνδέεται πάντοτε με την χρήση των γαλβανισμένων σωλήνων του δικτύου ύδρευσης. Το επίπεδο του καδμίου μπορεί να είναι υψηλότερο σε περιοχές που τροφοδοτούνται με μαλακό νερό χαμηλού pH καθώς αυτό τείνει να είναι πιο διαβρωτικό σε υδραυλικά συστήματα που περιέχουν κάδμιο (Καλογήρου 1999).

Στο νερό άρδευσης δεν επιτρέπεται η συγκέντρωση καδμίου να υπερβαίνει τα 10 $\mu\text{g/l}$, λόγω της προσρόφησης του από τα καλλιεργούμενα φυτά.

Η Οδηγία 98/83/ΕΕ περιλαμβάνει το κάδμιο στο κατάλογο των χημικών παραμέτρων που επηρεάζουν την υγεία και ορίζει σαν παραμετρική τιμή τα 5 $\mu\text{g/l}$.

Από το ολικό ποσό του καδμίου που εισέρχεται στον ανθρώπινο οργανισμό περίπου 6% απορροφάται, ενώ το υπόλοιπο αποβάλλεται. Το απορροφώμενο κάδμιο εισέρχεται στο αίμα και συγκεντρώνεται κυρίως στο συκώτι, στο πάγκρεας και τα νεφρά. Το κάδμιο είναι απαραίτητο στοιχείο για την κανονική ανάπτυξη των φυτών, είναι όμως τοξικό σε μεγάλες συγκεντρώσεις τόσο για τα φυτά όσο και για τους οργανισμούς. Η ημερήσια πρόσληψη από τις τροφές για ένα μέσο ενήλικα εκτιμάται στα 50-150 $\mu\text{g/d}$. Δεν υπάρχει καμία γνωστή φυσιολογική ανάγκη του οργανισμού για το κάδμιο, το οποίο είναι τοξικό σχεδόν σε όλα τα όργανα του οργανισμού.

Η τοξική του δράση του Καδμίου οφείλεται στην αντικατάσταση του ψευδαργύρου σε μεγάλο αριθμό ενζύμων, γεγονός που καθιστά αυτά ανενεργά για τον ανθρώπινο οργανισμό. Η συσσώρευση στον ανθρώπινο οργανισμό προκαλεί την γνωστή ασθένεια Itai-Itai, η οποία παρατηρήθηκε στην Ιαπωνία το 1961. Κατά την ασθένεια αυτή τα οστά συστέλλονται και διαστρεβλώνονται. Συνοδεύεται από την έλλειψη ασβεστίου στα οστά, την εμφάνιση καταγμάτων και παραμόρφωση αυτών με θανατηφόρα αποτελέσματα. Ενοχοποιείται για πολλές παθολογικές καταστάσεις, όπως είναι η υπέρταση, η στειρώση των ανδρών, οι υπατικές και νεφρικές δυσλειτουργίες. Προκαλεί επίσης μετάλλαξη των χρωματοσωμάτων. Δεν έχουν παρατηρηθεί καρκινογενέσεις από την πρόσληψη υψηλών ποσοστών καδμίου (Καλογήρου 1999).

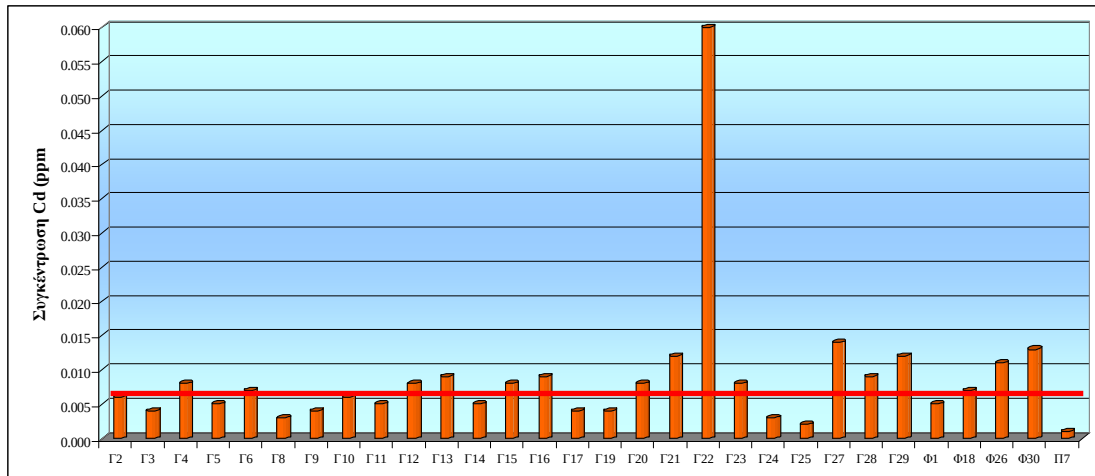
Στην εικόνα 11.1, παρουσιάζεται η διακύμανση των τιμών συγκέντρωσης του Κάδμιου στα σημεία δειγματοληψίας. Οι συγκεντρώσεις του Κάδμιου στα υπόγεια νερά της περιοχής μελέτης κυμαίνονται από 0,002 ppm έως 0,060 ppm.

Γενικά οι συγκεντρώσεις Καδμίου που ανιχνεύονται στα υπόγεια νερά της περιοχής κυμαίνονται σε χαμηλά επίπεδα. Εξαίρεση αποτελεί η γεώτρηση Γ22 με την υψηλότερη παρατηρούμενη συγκέντρωση των 0,060 ppm Cd. Σε σχέση όμως με τα όρια ποσότητας της Οδηγίας 98/83 ΕΕ, σε ποσοστό 50% των δειγμάτων παρουσιάζουν υψηλές συγκεντρώσεις Καδμίου και υπερβάσεις των ορίων αυτών. Από τα υπόλοιπα δείγματα ένα ποσοστό 25% περίπου βρίσκονται στα όρια και τα υπόλοιπα δείγματα, 25% περίπου, παρουσιάζει πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις.

Αναλυτικότερα οι τιμές του Καδμίου έχουν ως εξής:

- ❖ *Νερά πηγαδιών από Τεταρτογενείς αποθέσεις-Φρεάτιος ορίζοντας:* Οι τιμές του Καδμίου στα δείγματα των πηγαδιών κυμαίνονται από 0,005 ppm έως 0,013 ppm και μέση τιμή 0,009 ppm.

- ❖ *Νερά γεωτρήσεων από τους Νεογενείς σχηματισμούς:* Οι τιμές του Καδμίου στα δείγματα των γεωτρήσεων κυμαίνονται από 0,002 ppm έως 0,060 ppm και η μέση τιμή 0,009 ppm.
- ❖ *Νερό πηγής από Νεογενείς σχηματισμούς:* Η συγκέντρωση του Καδμίου στη πηγή βρίσκεται σε πολύ χαμηλά επίπεδα και ανέρχεται σε 0,001 ppm (Πίνακας 8.4).



Εικόνα 11.1: Διακύμανση των τιμών της συγκέντρωσης Καδμίου στα υπόγεια νερά της περιοχής μελέτης.



Εικόνα 11.2: Χάρτης χωρικής κατανομής του Καδμίου στα υπόγεια νερά της περιοχής μελέτης.

Στα υπόγεια νερά του κεντρικού τμήματος της λεκάνης του Ασωπού, περιοχή Οινοφύτων-Αυλώνας, προσδιορίζονται συγκεντρώσεις Καδμίου που κυμαίνονται μεταξύ 0,029 ppm έως 0,071 ppm (Σουλαντάς 2008). Στο ανατολικό τμήμα της λεκάνης του Ασωπού, περιοχή Ωροπού, προσδιορίζονται συγκεντρώσεις Καδμίου που κυμαίνονται μεταξύ 0,025 ppm έως 0,082 ppm (Ζαχαριάδης 2008).

Στην περιοχή της λεκάνης Ωροπού-Μαρκόπουλου προσδιορίζονται συγκεντρώσεις Καδμίου στα υπόγεια νερά που κυμαίνονται σε πολύ χαμηλά επίπεδα μεταξύ <0,05 µg/l έως 0,07 µg/l (Γαμβρουλά 2009).

Κατά την πρόσφατη έρευνα του ΙΓΜΕ στο κεντρικό και ανατολικό τμήμα της λεκάνης του Ασωπού προσδιορίζονται τιμές Καδμίου στα υπόγεια νερά που κυμαίνονται σε πολύ χαμηλά επίπεδα <1 µg/l (Γιαννουλόπουλος 2008).

Χωρική κατανομή του Καδμίου: Η χωρική κατανομή της συγκέντρωσης του Καδμίου στα υπόγεια νερά της περιοχής μελέτης παρουσιάζεται στην Εικόνα 11.2. Διαπιστώνεται ότι οι υψηλότερες τιμές εντοπίζονται στο κεντρικό και βορειανατολικό τμήμα της λεκάνης, ενώ οι χαμηλότερες τιμές κατανέμονται κυρίως στο δυτικό τμήμα της λεκάνης.

Η προέλευσή του αποδίδεται σε γεωγενείς κυρίως παράγοντες, όπως στην ύπαρξη αργιλικών και ψαμμιτικών πετρωμάτων στα οποία συνυπάρχει σε χαμηλές συγκεντρώσεις το Κάδμιο. Επίσης πηγή προέλευσης Καδμίου μπορεί να θεωρηθεί η παρουσία της οργανικής ύλης που χαρακτηρίζει τους Νεογενείς σχηματισμούς. Οι γαλβανισμένοι σωλήνες των γεωτρήσεων αποτελούν επίσης πηγή Καδμίου και διάφορων άλλων μετάλλων, κυρίως Ψευδάργυρου, Μόλυβδου, κλπ. Δεν αποκλείονται ανθρωπογενείς επιδράσεις καθότι το Cd αποτελεί στοιχείο πολλών αγροχημικών, κυρίως των φωσφορικών λιπασμάτων που χρησιμοποιούνται για την ανάπτυξη των φυτών και την βελτίωση του εδάφους, περιέχοντας ποσότητες βαρέων μετάλλων. Επίσης το Cd και οι ενώσεις του, χρησιμοποιούνται σε χρωστικές, χρώματα, πολυμερή και επιμεταλλώσεις (Κελεπερτζής Α. 2000).

11.2.2 Μαγγάνιο (Mn)

Το μαγγάνιο έχει ευρεία κατανομή στον στερεό φλοιό της γης και απαντάται σε μικρές σχετικά συγκεντρώσεις, όπως στα μαγματικά πετρώματα με 937 mg/kg, στα ιζήματα όπως στους αργίλους με 575 mg/kg, στους ψαμμίτες με 392 mg/kg στα ανθρακικά με 842 mg/kg και στους εβαπορίτες με 4,4 mg/kg. Το θαλασσίνο νερό περιέχει 0,0004 mg/l. Στους μαγματίτες το μαγγάνιο βρίσκεται στην δισθενή μορφή, ενώ στα εδάφη και στα ιζήματα απαντώνται οξείδια και υδροξείδια στη δισθενή, τρισθενή και τετρασθενή μορφή (Matthess 1973).

Στα υπόγεια φυσικά νερά οι συγκεντρώσεις του μαγγανίου είναι πολύ χαμηλές, συνήθως σε ίχνη <0,05 mg/l. Η διάλυση και η παρουσία του στοιχείου αυτού εξαρτάται από το pH και το Eh. Στην περίπτωση των υπόγειων νερών με υψηλές συγκεντρώσεις οξυγόνου και τιμή pH=7,0, το μαγγάνιο βρίσκεται στη δισθενή μορφή σε συγκεντρώσεις από 1-10 mg/l. Υψηλές συγκεντρώσεις εμφανίζονται στα θερμομεταλλικά νερά, μέχρι 42 mg/l, στα νερά κοιτασμάτων υδρογονανθράκων μέχρι 30 mg/l (Matthess 1973).

Γενικά οι συγκεντρώσεις του μαγγανίου στα υπόγεια νερά βρίσκονται σε χαμηλότερα επίπεδα σε σύγκριση με αυτές του σιδήρου. Αυτό σχετίζεται με την γεωχημική κατανομή και ιδιαίτερα με την διαλυτότητα. Οι υψηλές συγκεντρώσεις που έχουν κατά

τόπους ανιχνευθεί στα υπόγεια και επιφανειακά νερά σχετίζονται κυρίως με ανθρώπινες δραστηριότητες. Το μεταλλικό μαγγάνιο και τα άλατά του χρησιμοποιούνται ευρέως στη βιομηχανία. Έτσι, ορισμένες φορές η αυξημένη συγκέντρωση του μαγγανίου στο νερό μπορεί να οφείλεται σε βιομηχανική ρύπανση.

Το μαγγάνιο είναι σημαντικό στοιχείο των φυτών και βρίσκεται στην οργανική ύλη σε υψηλές συγκεντρώσεις. Οι μικροοργανισμοί αναλαμβάνουν τον καταλυτικό ρόλο κατά την διάλυση της οργανικής ύλης, συμβάλλοντας στην οξείδωση και αναγωγή του μαγγανίου. Το Mn είναι ένα απαραίτητο ιχνοστοιχείο τόσο στην ανάπτυξη του ανθρώπου όσο και στην ανάπτυξη των φυτών. Σε μεγάλες συγκεντρώσεις παρουσιάζει τοξικότητα. Στον ανθρώπινο οργανισμό το Μαγγάνιο διασπά τα αμινοξέα για την παραγωγή ενέργειας απαραίτητης για το μεταβολισμό της βιταμίνης B1 και της βιταμίνης E, παίζει καταλυτικό ρόλο στη διάσπαση των λιπών και της χοληστερίνης, βοηθά στην καταπράυνση των νεύρων και του εγκεφάλου και θεωρείται απαραίτητο στην ανάπτυξη των οστών. Η μέση συνιστώμενη δόση είναι 2-5mg/day για ενήλικες αλλά μια διατροφή βασισμένη σε λαχανικά ξεπερνά αυτά τα όρια αγγίζοντας τα 10-18 mg ημερησίως (Καλογήρου 1999).

Η ανεπάρκεια Μαγγανίου προκαλεί ανωμαλίες στη λειτουργία του εγκεφάλου και στην ανάπτυξη των οστών, ενώ σε ακραίες περιπτώσεις μπορεί να οδηγήσει σε οστεοπόρωση, κώφωση, παράλυση και πεπτικά προβλήματα. Η υπερβολική λήψη Mn δεν οφείλεται τόσο στη διατροφή όσο σε έκθεση σε βιομηχανικά απόβλητα (για παράδειγμα εισπνοή σκόνης Mn από μεταλλωρύχους) ή από κατανάλωση ρυπασμένου νερού πηγής. Τα συμπτώματα της τοξικότητας του Mn αφορούν νευρικές διαταραχές και πρόκληση σχιζοφρένειας (www.tjclarkinc.com/minerals).

Το μαγγάνιο είναι ένα βασικό ιχνοστοιχείο για τον άνθρωπο και τα ζώα. Από την προσλαμβανόμενη ποσότητα μόνο το 3% αποθηκεύεται και χρησιμοποιείται από τον οργανισμό. Συμμετέχει σε ενζυμικά συστήματα και σε μεταβολικές διεργασίες. Στο σώμα ενός ενήλικα βρίσκονται περίπου 12-20 mg μαγγανίου. Το μεγαλύτερο ποσοστό βρίσκεται στο σκελετό, το ήπαρ, στα νεφρά, και στην καρδιά. Η μέση συνιστώμενη ημερήσια δόση από τον WHO είναι 2,5 mg για τους ενήλικες (Καλογήρου 1999).

Τα συμπτώματα που παρατηρούνται από υπερβολική λήψη μαγγανίου είναι λήθαργος, ανεξέλεγκτες κινήσεις, μεταβολές στο μυϊκό τόνο και κόμα. Τα συμπτώματα που εμφανίζονται είναι ερεθισμός και μολύνσεις του αναπνευστικού συστήματος, πονοκέφαλος, διαταραχές του ύπνου, δερματίτιδα, διόγκωση του ήπατος και νευρικές διαταραχές παρόμοιες με την ασθένεια Parkinson. Άλλα συμπτώματα περιλαμβάνουν αδυναμία των κάτω άκρων, τρεμούλα των χεριών, διαταραχή της ομιλίας, μυϊκές κράμπες, διαλείψεις του εγκεφάλου, ερεθισμό του γαστρεντερικού συστήματος, υπερβολική εφίδρωση και ασθένειες του αίματος. Δεν αναφέρονται ενδείξεις ότι το μαγγάνιο προκαλεί καρκίνο (Καλογήρου 1999).

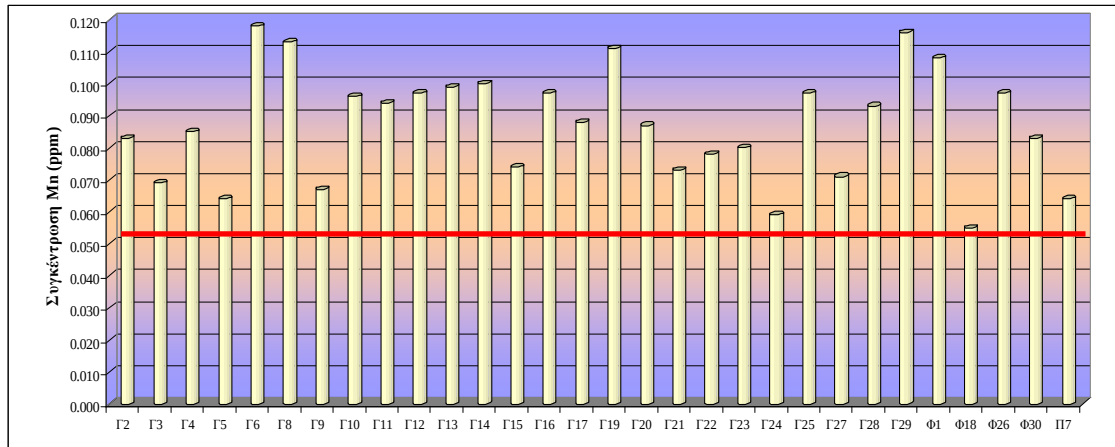
Η Οδηγία 98/83/EK της ΕΕ συγκαταλέγει το μαγγάνιο στις ανεπιθύμητες ουσίες και καθορίζει σαν ενδεικτικό επίπεδο παρουσίας του στο πόσιμο νερό τα 20 μg/l, ενώ σαν ανώτατη παραδεκτή συγκέντρωση τα 50 μg/l.

Στην εικόνα 11.3, παρουσιάζεται η διακύμανση των τιμών του Μαγγανίου στα υπόγεια νερά της περιοχής μελέτης. Οι συγκεντρώσεις του μαγγανίου στα υπόγεια νερά της περιοχής μελέτης κυμαίνονται από 0,055 ppm έως 0,118 ppm. Σε όλα τα δείγματα της περιοχής εντοπίζονται υψηλές συγκεντρώσεις Μαγγανίου που υπερβαίνουν τα επιτρεπτά όρια της Οδηγίας της ΕΕ.

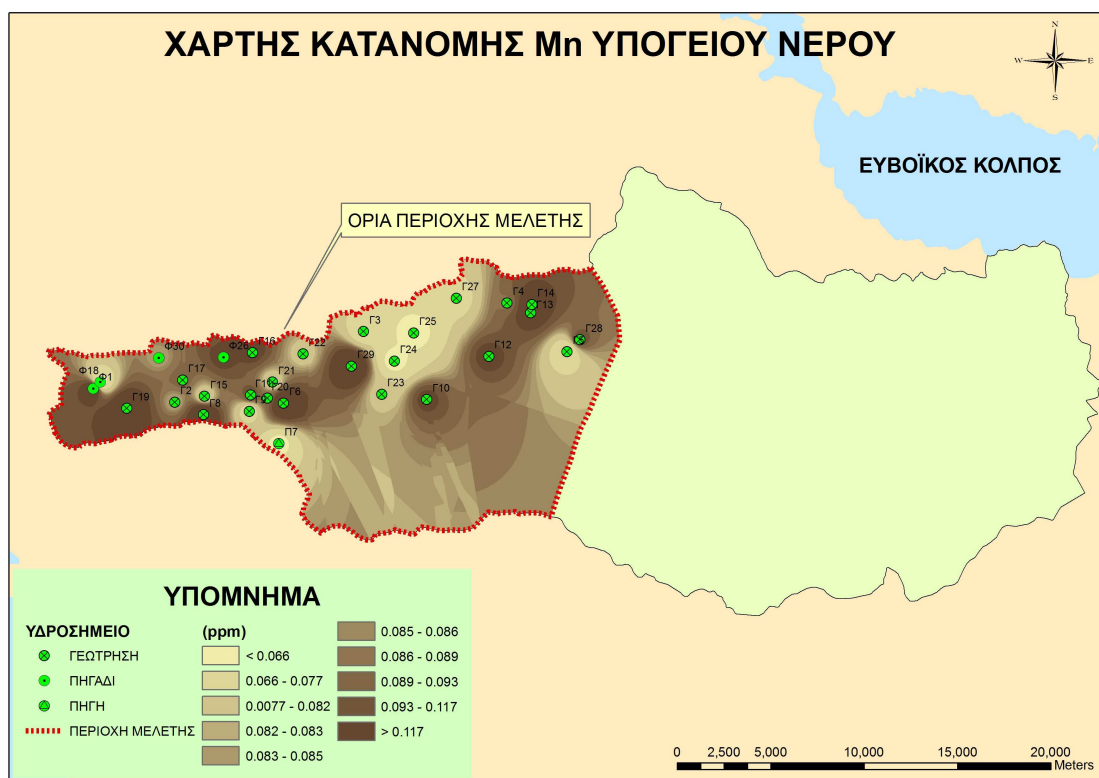
Αναλυτικότερα οι τιμές του Μαγγανίου έχουν ως εξής:

- ❖ *Νερά πηγαδιών από Τεταρτογενείς αποθέσεις-Φρεάτιος ορίζοντας:* Οι τιμές του Μαγγανίου στα δείγματα των πηγαδιών κυμαίνονται από 0,006 ppm έως 0,108 ppm και μέση τιμή 0,086 ppm.

- ❖ *Νερά γεωτρήσεων από τους Νεογενείς σχηματισμούς:* Οι τιμές του Μαγγανίου στα δείγματα των γεωτρήσεων κυμαίνονται από 0,059 ppm έως 0,118 ppm και η μέση τιμή 0,088 ppm.
- ❖ *Νερό πηγής από Νεογενείς σχηματισμούς:* Η συγκέντρωση του Μαγγανίου στη πηγή ανέρχεται σε 0,064 ppm (Πίνακας 8.4).



Εικόνα 11.3: Διακύμανση των τιμών της συγκέντρωσης Μαγγανίου των υπόγειων νερών της περιοχής μελέτης και η ένδειξη (κόκκινη γραμμή) του ανώτερου επιτρεπτού ορίου (50 $\mu\text{g/l}$) που αφορά τα πόσιμα νερά βάσει της Οδηγίας της ΕΕ.



Εικόνα 11.4: Χάρτης χωρικής κατανομής του Μαγγανίου των υπόγειων νερών της περιοχής μελέτης.

Στα υπόγεια νερά του κεντρικού τμήματος της λεκάνης του Ασωπού, περιοχή Οινοφύτων-Αυλώνας, προσδιορίζονται συγκεντρώσεις Μαγγανίου που κυμαίνονται μεταξύ <0,001 ppm έως 0,132 ppm (Σουλάντος 2008). Στο ανατολικό τμήμα της λεκάνης του Ασωπού, περιοχή Ωρωπού, προσδιορίζονται συγκεντρώσεις Μαγγανίου που κυμαίνονται μεταξύ <0,001 ppm έως 0,507 ppm (Ζαχαριάδης 2008).

Στην περιοχή της λεκάνης Ωρωπού-Μαρκοπούλου προσδιορίζονται συγκεντρώσεις Μαγγανίου στα υπόγεια νερά που κυμαίνονται μεταξύ <0,001 ppm έως 0,133 ppm (Γαμβρουλά 2009).

Κατά την πρόσφατη έρευνα του ΙΓΜΕ στο κεντρικό και ανατολικό τμήμα της λεκάνης του Ασωπού προσδιορίζονται τιμές Μαγγανίου στα υπόγεια νερά που κυμαίνονται μεταξύ 0,005 ppm έως 0,600 ppm (Γιαννουλόπουλος 2008).

Χωρική κατανομή του Μαγγανίου: Η χωρική κατανομή της συγκέντρωσης Μαγγανίου των υπόγειων νερών στην περιοχή μελέτης παρουσιάζεται στην Εικόνα 11.4. Διαπιστώνεται ότι οι υψηλότερες τιμές εντοπίζονται στο ανατολικό και στο δυτικό τμήμα της περιοχής, ενώ οι χαμηλότερες τιμές κατανέμονται στο κεντρικό βόρειο τμήμα της λεκάνης. Η μεγαλύτερη προσφορά σε Μαγγάνιο στα υπόγεια νερά της περιοχής σχετίζεται προφανώς με την οργανική ύλη των Νεογενών ιζημάτων καθώς επίσης με την παρουσία οξειδίων του μαγγανίου που χαρακτηρίζουν τους Τριαδικό-Ιουρασικούς ασβεστόλιθους, οι οποίοι αναπτύσσονται στα περιθώρια της λεκάνης. Σε μικρές συγκεντρώσεις απαντάται επίσης στα οφιολιθικά πετρώματα.

11.2.3 Μόλυβδος (Pb)

Ο μόλυβδος δεν παρουσιάζει ευρεία κατανομή στην λιθόσφαιρα. Στα μαγματικά πετρώματα βρίσκεται με συγκεντρώσεις 15,6 mg/kg στους ψαμμίτες με 13,5 mg/kg, στους αργίλους με 80,0 mg/kg, στα ανθρακικά πετρώματα με 16,5 mg/kg και στους εβαπορίτες με 0,9 mg/kg. Απαντάται κυρίως στα μικτά θειούχα κοιτάσματα σχηματίζοντας διάφορα ορυκτά, όπως ο γαληνίτης (PbS), ο κερουσίτης (PbCO₃) και ο αγγλεσίτης (PbSO₄). Στο θαλασσινό νερό η συγκέντρωση ανέρχεται σε 0,00003 mg/l.

Στα φυσικά υπόγεια νερά ο μόλυβδος σχεδόν απουσιάζει ή εντοπίζεται σε ίχνη από 1-20 µg/l, λόγω της γεωχημικής κατανομής του και της μικρής διαλυτότητάς του. Υψηλότερες συγκεντρώσεις παρατηρούνται σε μεταλλοφόρες περιοχές μέχρι 1,3 mg/l, στα θερμομεταλλικά νερά μέχρι 0,52 mg/l καθώς και στα όξινα νερά των μεταλλείων μέχρι 1,2 mg/l. Στο πόσιμο νερό δεν εμφανίζεται ο μόλυβδος λόγω της επεξεργασίας του. Συνήθως εμφανίζονται ίχνη στο πόσιμο νερό όταν χρησιμοποιούνται μολύβδινες σωλήνες στο δίκτυο (Matthess 1973).

Χρησιμοποιείται σε εκτεταμένες εφαρμογές, όπως στην βενζίνη, στα χρώματα, στους ηλεκτρικούς συσσωρευτές, στα πολεμοφόδια, στα υλικά στεγανοποίησης κ.α., με αποτέλεσμα η επιμόλυνση του περιβάλλοντος να είναι η συνέπεια των εφαρμογών του. Στο περιβάλλον απαντάται κυρίως στην ανόργανη μορφή, εκτός μικρού ποσοστού που συνδέεται με την καύση της μολυβδόχου βενζίνης. Οι μορφές του μολύβδου εξαρτώνται από τα χαρακτηριστικά του υδάτινου περιβάλλοντος στο οποίο εντοπίζεται. Μπορεί να εμφανίζεται με τη μορφή Pb²⁺, PbHCO₃⁺, οργανικών συμπλόκων, οργανομεταλλικών ενώσεων και με τη μορφή αλάτων όπως PbCO₃ (Αναγνωστόπουλος 1985, Κουιμτζής κάλ. 1998, Καλογήρου 1999).

Ο μόλυβδος είναι ένα ισχυρά τοξικό στοιχείο όπως επίσης ο υδράργυρος, το κάδμιο και το αρσενικό. Η Οδηγία 98/83/EK περιλαμβάνει τον μόλυβδο στον κατάλογο των χημικών παραμέτρων που επηρεάζουν την υγεία και ορίζει σαν παραμετρική τιμή τα 10

μg/l. Η τοξικότητα του μόλυβδου είναι μεγαλύτερη στο μαλακό νερό και λιγότερη στο σκληρό νερό. Γενικά τα νερά με χαμηλή σκληρότητα και με χαμηλό pH εμπεριέχουν περισσότερους κινδύνους για τον ανθρώπινο οργανισμό (Κουιμτζής κάλ. 1998, Καλογήρου 1999).

Ο Μόλυβδος χρησιμοποιείται σε εκτεταμένες εφαρμογές λόγω της ευκολίας που παρουσιάζει στη μορφοποίηση και στη σφυρηλάτηση. Χρησιμοποιείται στις μπαταρίες, τα προσθετικά πετρελαίου και βενζίνης, τα κράματα μετάλλων, τις χρωματικές ύλες, τα καραβόσχοινα, τα υλικά φωτογραφίας, τα πυρομαχικά κ.α. δραστηριότητες που μπορούν να έχουν άμεση επίπτωση στο περιβάλλον(www.lennotech.com/heavy-metals.htm). Ο μόλυβδος και οι ενώσεις του εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα κυρίως από ανθρωπογενείς διεργασίες, όπως βιομηχανικές κατεργασίες και καυσαέρια οχημάτων. Ανάλογα με το μέγεθος των σωματιδίων, ο μόλυβδος διασκορπίζεται και τελικά κατακρημνίζεται πάνω στο έδαφος, τα φυτά, τις υδάτινες επιφάνειες ή εισχωρεί στο αναπνευστικό σύστημα των ζώων. Υγρές κατακρημνίσεις, βιομηχανικά υγρά απόβλητα, εκπλύσεις αυτοκινητοδρόμων με τη βροχή και αστικά απόβλητα είναι οι κύριες πηγές ρύπανσης των επιφανειακών νερών με μόλυβδο. Οι ανθρωπογενείς εκπομπές μόλυβδου στην ατμόσφαιρα είναι κυρίως αποτέλεσμα της χρήσης καυσίμων, καύσης απορριμμάτων, καύσης γαιανθράκων, βιομηχανικές επεξεργασίες μεταλλευμάτων κλπ. Οι φυσικές εκπομπές μόλυβδου στην ατμόσφαιρα (ηφαίστεια, πυρκαγιές, σκόνη εδάφους κλπ) συνεισφέρουν σε αρκετά μικρότερο ποσοστό στην ατμοσφαιρική ρύπανση από μόλυβδο (Αναγνωστόπουλος 1985).

Σημαντικές ποσότητες αιωρούμενων σωματιδίων μόλυβδου έχουν μετρηθεί κοντά σε μεταλλεία και εργοστάσια επεξεργασίας μόλυβδου, βιοτεχνίες κατασκευής μπαταριών και καύση στερεών αστικών απορριμμάτων. Οι ενώσεις μόλυβδου από τα καυσαέρια οχημάτων που ρυπαίνουν τους αυτοκινητοδρόμους εκπλύνονται με την βροχή και καταλήγουν στους φυσικούς αποδέκτες. Ένα άλλο σημαντικό ποσοστό μόλυβδου οφείλεται στα υγρά απόβλητα των βιομηχανιών (Κουιμτζής κάλ. 1998).

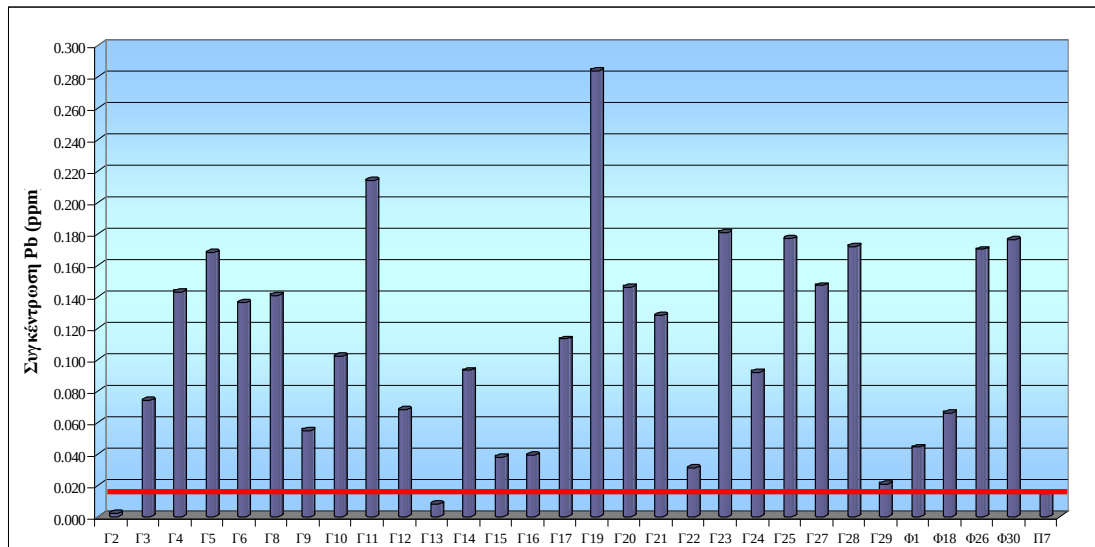
Το 35-50% του εισερχόμενου μόλυβδου στον ανθρώπινο οργανισμό, μέσω της πεπτικής ή της αναπνευστικής οδού, απορροφάται στο αίμα. Το πρώτο επιβλαβές αποτέλεσμα της έκθεσης του ανθρώπινου οργανισμού στο μόλυβδο είναι η διατάραξη του αιμοποιητικού συστήματος, που συνδέεται επίσης με αυξημένη συγκέντρωση του στοιχείου στους ιστούς. Έχει διαπιστωθεί ότι ο μόλυβδος εμποδίζει ορισμένες ενζυματικές λειτουργίες κατά την βιοσύνθεση του αίματος (Καλογήρου 1999).

Σοβαρή επίπτωση του μόλυβδου στον ανθρώπινο οργανισμό είναι η διατάραξη του νευρικού συστήματος, με αποτέλεσμα την δημιουργία νευρολογικών προβλημάτων και ιδιαίτερα προβλήματα πνευματικής καθυστέρησης. Προκαλεί βλάβες στον εγκέφαλο των παιδιών, επειδή αυτά απορροφούν μεγαλύτερα ποσά μόλυβδου από τους ενήλικες εξαιτίας του ρυθμού ανάπτυξής τους και του μη ολοκληρωμένου αμυντικού μηχανισμού τους. Ακόμη προκαλεί αναιμία, νεφρικές και ηπατικές βλάβες. Ενοχοποιείται για μια σειρά καρδιαγγειακών παθήσεων, όπως είναι η αρτηριοσκλήρωση και το έμφραγμα του μυοκαρδίου. Ο μόλυβδος μπορεί επίσης να προκαλέσει σε συνεργασία με άλλες οργανικές ενώσεις καρκίνο του στομάχου και γενικά του πεπτικού συστήματος (Καλογήρου 1999).

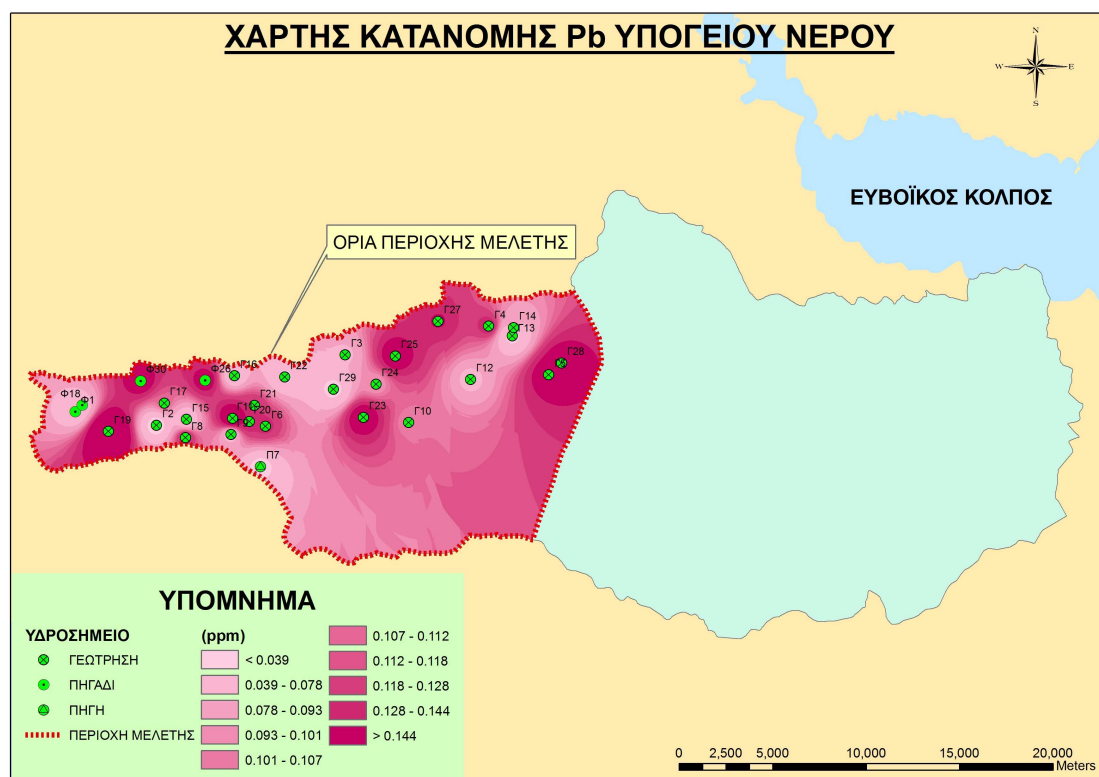
Είναι γεγονός ότι η επιβάρυνση του σημερινού ανθρώπου δεν έχει τόση σχέση με τη φυσική γεωχημική έκθεσή του, όσο με αυτή που δημιουργήσε ο ίδιος ο άνθρωπος, με τις διαταράξεις που έχει προκαλέσει στο περιβάλλον.

Στην εικόνα 11.5, παρουσιάζεται η διακύμανση των τιμών συγκέντρωσης του Μόλυβδου στα σημεία δειγματοληψίας. Οι συγκεντρώσεις του Μόλυβδου στα υπόγεια νερά της περιοχής μελέτης κυμαίνονται από 0,002 ppm έως 0,284 ppm. Σε όλα τα δείγματα της περιοχής εντοπίζονται υψηλές συγκεντρώσεις Μόλυβδου που

υπερβαίνουν τα επιτρεπτά όρια της Οδηγίας της ΕΕ. Εξαίρεση αποτελούν δυο γεωτρήσεις, Γ2 και Γ3 και η πηγή που παρουσιάζουν τις χαμηλότερες τιμές συγκέντρωσης 0,001 ppm και 0,015 ppm αντίστοιχα.



Εικόνα 11.5: Διακύμανση των τιμών της συγκέντρωσης Μόλυβδου στα υπόγεια νερά της περιοχής μελέτης.



Εικόνα 11.6: Χάρτης χωρικής κατανομής του Μόλυβδου στα υπόγεια νερά της περιοχής μελέτης.

Αναλυτικότερα οι τιμές του Μόλυβδου έχουν ως εξής:

- ❖ *Νερά πηγαδιών από Τεταρτογενείς αποθέσεις-Φρεάτιος ορίζοντας:* Οι τιμές του Μόλυβδου στα δείγματα των πηγαδιών κυμαίνονται από 0,044 ppm έως 0,176 ppm και μέση τιμή 0,114 ppm.
- ❖ *Νερά γεωτρήσεων από τους Νεογενείς σχηματισμούς:* Οι τιμές του Μόλυβδου στα δείγματα των γεωτρήσεων κυμαίνονται από 0,002 ppm έως 0,284 ppm και η μέση τιμή 0,111 ppm. Στα περισσότερα δείγματα νερού από τις γεωτρήσεις οι τιμές κυμαίνονται σε πολύ χαμηλά επίπεδα, κάτω από 0,005 ppm. Εξάιρεση αποτελούν οι γεωτρήσεις Γ2 και Γ3 που παρουσιάζουν τις υψηλότερες συγκεντρώσεις 0,023 ppm και 0,020 ppm αντίστοιχα.
- ❖ *Νερό πηγής από Νεογενείς σχηματισμούς:* Η συγκέντρωση του Μόλυβδου στη πηγή ανέρχεται σε 0,015 ppm (Πίνακας 8.4).

Στα υπόγεια νερά του κεντρικού τμήματος της λεκάνης του Ασωπού, περιοχή Οινοφύτων-Αυλώνας, προσδιορίζονται συγκεντρώσεις Μόλυβδου που κυμαίνονται μεταξύ 0,053 ppm έως 0,398 ppm (Σουλάντος 2008). Στο ανατολικό τμήμα της λεκάνης του Ασωπού, περιοχή Ωρωπού, προσδιορίζονται συγκεντρώσεις Μόλυβδου που κυμαίνονται μεταξύ <0,001 ppm έως 0,144 ppm (Ζαχαριάδης 2008).

Στην περιοχή της λεκάνης Ωρωπού-Μαρκοπούλου προσδιορίζονται συγκεντρώσεις Μόλυβδου στα υπόγεια νερά που κυμαίνονται μεταξύ <0,001 ppm έως 0,064 ppm (Γαμβρούλα 2009).

Κατά την πρόσφατη έρευνα του ΙΓΜΕ στο κεντρικό και ανατολικό τμήμα της λεκάνης του Ασωπού προσδιορίζονται τιμές Μόλυβδου στα υπόγεια νερά που κυμαίνονται μεταξύ 0,005 ppm έως 0,017 ppm (Γιαννουλόπουλος 2008).

Χωρική κατανομή του Μόλυβδου: Η χωρική κατανομή της συγκέντρωσης Μόλυβδου των υπόγειων νερών της περιοχής μελέτης παρουσιάζεται στην Εικόνα 11.6. Διαπιστώνεται ότι οι υψηλότερες τιμές εντοπίζονται στο ανατολικό και στο κεντρικό και δυτικό τμήμα της λεκάνης, ενώ οι χαμηλότερες τιμές κατανέμονται στο ανατολικό τμήμα της λεκάνης.

Στους νεογενείς σχηματισμούς η προέλευσή του συνδυάζεται με την παρουσία του στα ιζήματα (άργιλοι, ψαμμίτες), αλλά κυρίως στην συμμετοχή εντός αυτών κλαστικού υλικού οφιολιθικής προέλευσης. Επιπρόσθετα, η παρουσία του μολύβδου μπορεί να σχετίζεται με την λειτουργία των επαρχιακών οδών, όπου η κυκλοφορία των οχημάτων συμβάλλει στην απόθεση υψηλών συγκεντρώσεων στους επιφανειακούς γεωλογικούς σχηματισμούς που βρίσκονται εκατέρωθεν των οδών. Επίσης βασικός τροφοδότης θα πρέπει να αναφερθεί και η χρήση των ορυκτών λιπασμάτων που περιέχουν υψηλές συγκεντρώσεις Μόλυβδου (Πίνακας 8.4).

11.2.4 Νικέλιο (Ni)

Το νικέλιο βρίσκεται στα μαγματικά πετρώματα με συγκεντρώσεις 93,8 mg/kg στους ψαμμίτες με 2,6 mg/kg, στους αργίλους με 29,4 mg/kg, στα ανθρακικά πετρώματα με 12,8 mg/kg και στους εβαπορίτες με 1,4 mg/kg. Στο θαλασσινό νερό η συγκέντρωση ανέρχεται σε 0,007 mg/l. Τυπικά εδάφη περιέχουν 10-100 mg Ni /kg. Το νικέλιο εμπεριέχεται στα αρσενικούχα και θειούχα μεταλλεύματα (Matthess 1973).

Στα φυσικά υπόγεια νερά το νικέλιο βρίσκεται στη δισθενή μορφή και οι συγκεντρώσεις δεν υπερβαίνουν το 1 mg/l. Στα υπόγεια νερά γεωτρήσεων εκμετάλλευσης πετρελαίων αναφέρονται υψηλές συγκεντρώσεις από 4-40 mg/l. Σε μεταλλευτικές περιοχές βρίσκονται συγκεντρώσεις στα νερά μέχρι 4 mg/l. Σε όξινα

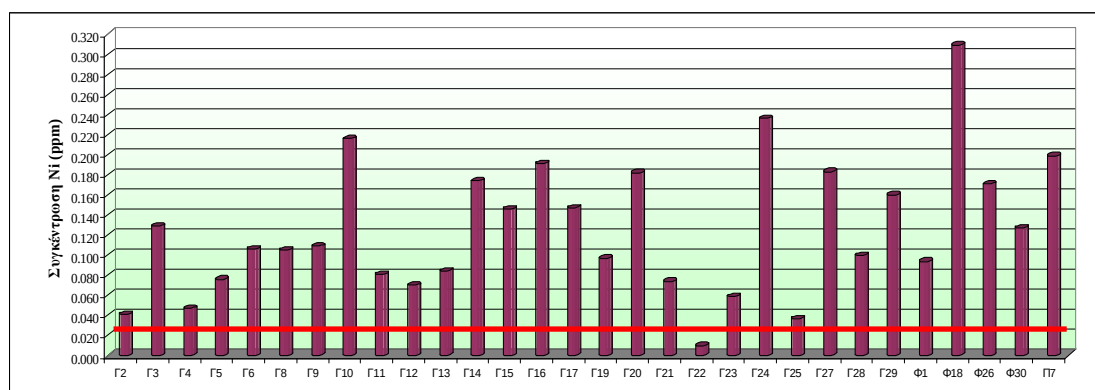
νερά (pH=1,9) αναφέρονται συγκεντρώσεις μέχρι 319,3 mg/l. Στο πόσιμο νερό αναφέρονται χαμηλές συγκεντρώσεις 2-5 µg/l.

Το νικέλιο χρησιμοποιείται ευρέως στη βιομηχανία, όπως για την παραγωγή μπαταριών μαζί με το κάδμιο, στην μεταλλική επικάλυψη, στην ηλεκτρική επιμετάλλωση και συνεπώς αποτελεί κύριο συστατικό των βιομηχανικών αποβλήτων. Αναφέρονται πολλές περιπτώσεις ρύπανσης των επιφανειακών και υπόγειων νερών με νικέλιο από τα βιομηχανικά απόβλητα εξαιτίας της ευδιαλυτότητας των αλάτων του νικελίου. Σε υδατικά διαλύματα ευρίσκεται συνήθως σαν ένυδρο ιόν $\text{Ni}(\text{H}_2\text{O})_6^{++}$.

Η Οδηγία 98/83/ΕΕ περιλαμβάνει το νικέλιο στο κατάλογο των χημικών παραμέτρων που επηρεάζουν την υγεία και ορίζει σαν παραμετρική τιμή 20 µg/l. Το Ni είναι απαραίτητο ιχνοστοιχείο για την διατροφή των ζώων και έμμεσα για τον ανθρώπινο οργανισμό. Το μεγαλύτερο ποσοστό του εισερχόμενου νικελίου στον οργανισμό αποβάλλεται, και ένα μικρό ποσοστό περίπου 1% αποθηκεύεται. Οι χαμηλές συγκεντρώσεις νικελίου που συνήθως βρίσκονται στο πόσιμο νερό δεν προκαλούν σοβαρά προβλήματα υγείας στον άνθρωπο.

Η υπερεπάρκεια του νικελίου θεωρείται υπεύθυνη καρκινογένεσης στον άνθρωπο και τα ζώα. Στα βασικά επακόλουθα της τοξικότητας συμπεριλαμβάνονται μεταβολές στη δράση ορισμένων ενζύμων και καταστολή της ανοσίας. Για τους εργαζόμενους στην παραγωγή του νικελίου και σε άλλες βιομηχανίες που χρησιμοποιούν ενώσεις του στοιχείου, η κύρια οδός εισόδου του στοιχείου είναι η αναπνευστική. Πρόσληψη μεγάλων ποσοτήτων νικελίου έχει τις ακόλουθες συνέπειες: ανάπτυξης καρκίνου των πνευμόνων, στη μύτη, στο λάρυγγα και στο προστάτη, άσθμα και χρόνια βρογχίτιδα, αλλεργικές αντιδράσεις και καρδιακές ανωμαλίες (Καλογήρου 1999).

Στην εικόνα 11.7 παρουσιάζεται η διακύμανση των τιμών συγκέντρωσης του Νικελίου στα σημεία δειγματοληψίας της περιοχής μελέτης. Οι συγκεντρώσεις του νικελίου κυμαίνονται μεταξύ 0,010 ppm και 0,309 ppm. Στα περισσότερα δείγματα οι τιμές κυμαίνονται κάτω από το επίπεδο των 0,200 ppm, με εξαίρεση τριών δειγμάτων που κυμαίνονται από 0,230-0,309 ppm. Γενικά οι παρατηρούμενες τιμές συγκέντρωσης Νικελίου βρίσκονται σε χαμηλά επίπεδα. Σε σχέση όμως με τα όρια ποσιμότητας της Οδηγίας 98/83 ΕΕ, σχεδόν όλα τα δείγματα παρουσιάζουν υπερβάσεις των ορίων.



Εικόνα 11.7: Διακύμανση των τιμών της συγκέντρωσης Νικελίου στα υπόγεια νερά της περιοχής μελέτης.

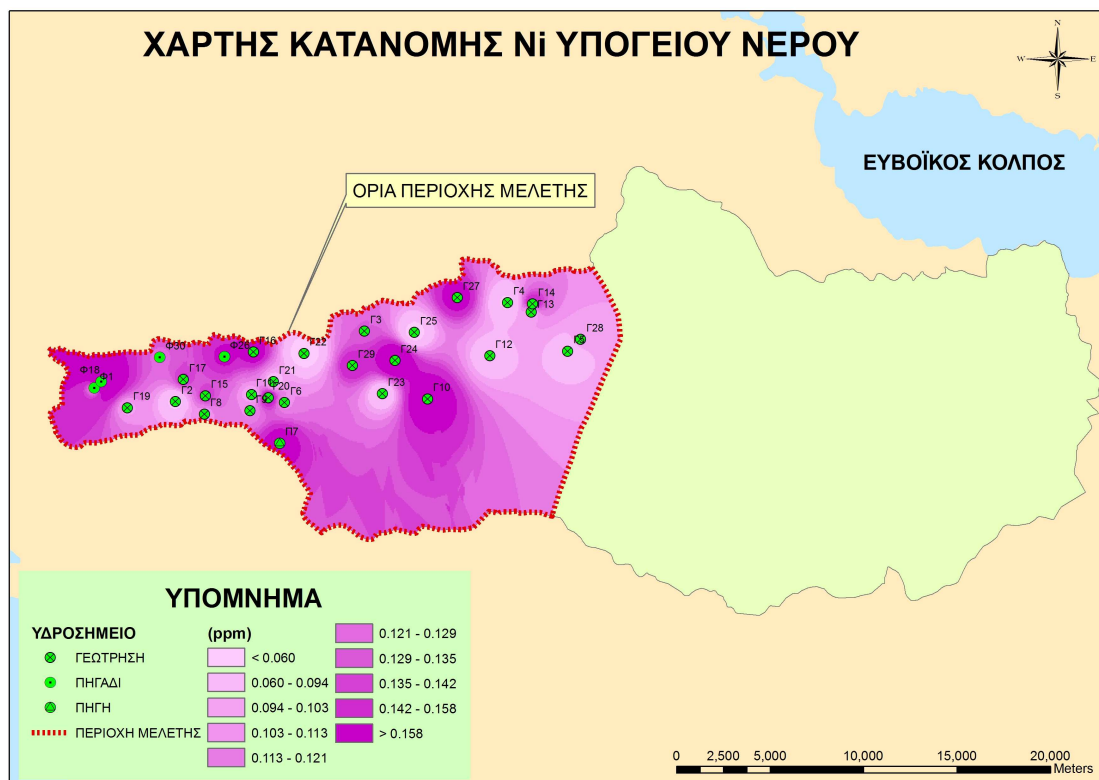
Αναλυτικότερα οι τιμές του Νικελίου έχουν ως εξής:

- ❖ *Νερά πηγαδιών από Τεταρτογενείς αποθέσεις-Φρεάτιος ορίζοντας:* Οι τιμές του Νικελίου στα δείγματα των πηγαδιών κυμαίνονται από 0,094 ppm έως 0,309 ppm και μέση τιμή 0,175 ppm.

- ❖ *Νερά γεωτρήσεων από τους Νεογενείς σχηματισμούς:* Οι τιμές του Νικελίου στα δείγματα των γεωτρήσεων κυμαίνονται από 0,010 ppm έως 0,236 ppm και η μέση τιμή 0,114 ppm. Στα περισσότερα δείγματα νερού από τις γεωτρήσεις οι τιμές κυμαίνονται σε επίπεδα μεταξύ 0,040 και 0,180 ppm. Εξαιρέση αποτελεί η γεώτρηση Γ22 που παρουσιάζει την χαμηλότερη συγκέντρωση μεταξύ όλων των δειγμάτων, 0,010 ppm.
- ❖ *Νερό πηγής από Νεογενείς σχηματισμούς:* Η συγκέντρωση του Νικελίου στη πηγή ανέρχεται σε 0,119 ppm (Πίνακας 8.4).

Στα υπόγεια νερά του κεντρικού τμήματος της λεκάνης του Ασωπού, περιοχή Οινόφυτων-Αυλώνας, προσδιορίζονται συγκεντρώσεις Νικελίου που κυμαίνονται μεταξύ <0,001 ppm έως 0,175 ppm (Σουλάντος 2008). Στο ανατολικό τμήμα της λεκάνης του Ασωπού, περιοχή Ωρωπού, προσδιορίζονται συγκεντρώσεις Νικελίου που κυμαίνονται μεταξύ 0,002 ppm έως 0,124 ppm (Ζαχαριάδης 2008). Στην περιοχή της λεκάνης Ωρωπού-Μαρκοπούλου προσδιορίζονται συγκεντρώσεις Νικελίου στα υπόγεια νερά που κυμαίνονται σε πολύ χαμηλά επίπεδα μεταξύ <0,001 ppm έως 0,083 ppm (Γαμβρουλά 2009).

Κατά την πρόσφατη έρευνα του ΙΓΜΕ στο κεντρικό και ανατολικό τμήμα της λεκάνης του Ασωπού προσδιορίζονται τιμές Νικελίου στα υπόγεια νερά που κυμαίνονται μεταξύ 0,005 ppm έως 0,038 ppm (Γιαννουλόπουλος 2008).



Εικόνα 11.8: Χάρτης χωρικής κατανομής του Νικελίου στα υπόγεια νερά της περιοχής μελέτης.

Χωρική κατανομή του Νικελίου: Η χωρική κατανομή της συγκέντρωσης του Νικελίου στα υπόγεια νερά της περιοχής μελέτης παρουσιάζεται στην Εικόνα 11.8. Διαπιστώνεται ότι οι υψηλότερες τιμές εντοπίζονται στο κεντρικό και δυτικό τμήμα της λεκάνης, όπου οι γεωτρήσεις εκμεταλλεύονται αποκλειστικά του υδροφόρου

σηματισμούς του Νεογενούς, ενώ οι χαμηλότερες τιμές παρουσιάζονται στο ανατολικό τμήμα της περιοχής, όπου οι βαθιές γεωτρήσεις τροφοδοτούνται και με νερά των ανθρακικών σχηματισμών. Πηγή προέλευσης του Νικελίου είναι κυρίως τα κλαστικά υλικά των Νεογενών σχηματισμών οφιολιθικής προέλευσης. Στα οφιολιθικά πετρώματα η συμμετοχή του Νικελίου είναι σημαντική. Επίσης υψηλές συγκεντρώσεις Νικελίου χαρακτηρίζουν τα διάφορα σιδηρομεταλλεύματα, τους λατερίτες, τους Βωξίτες, κλπ. Υπολείμματα εμφανίσεων σιδηρομεταλλευμάτων και οφιολιθικών πετρωμάτων εντοπίζονται στο νότιο τμήμα της λεκάνης του Ασωπού (Κατσικάτσος, 2000). Μεταλλοφορία Βωξιτών εμφανίζονται στα νότια κράσπεδα του Κιθαιρώνα, περιοχή Μάνδρας Αττικής (Δούνας 1971). Δεν αποκλείεται να προϋπήρχαν μικρές εμφανίσεις μεταλλοφορίας και στα ανατολικά και βόρεια κράσπεδα του Κιθαιρώνα, όπου αναπτύσσεται και η εν λόγω λεκάνη του άνω ρου του Ασωπού, τα οποία κοιτάσματα αφού πρώτα διαβρώθηκαν κατόπιν μεταφέρθηκαν και πλήρωσαν την Νεογενή λεκάνη. Σήμερα δεν αποκαλύπτονται μεταλλοφορίες αυτού του τύπου στην ευρύτερη περιοχή της λεκάνης. Σημαντική πηγή τροφοδοσίας των υπόγειων νερών σε Νικέλιο θα πρέπει να θεωρηθούν επίσης και οι οργανικές αποθέσεις που υπάρχουν εντός των Νεογενών ιζημάτων. Τα Ni απαντάτε σε πολλές λιγνητοφόρες περιοχές της Ελλάδας. (Χατζηγιάννης Γ. 1997)

11.2.5 Σίδηρος Ολικός (Fe_{tot})

Ο σίδηρος είναι το τέταρτο πιο άφθονο κατά βάρος στοιχείο που απαντάται στα πετρώματα και τα εδάφη του στερεού φλοιού της γης. Η περιεκτικότητα του σιδήρου στα μαγματικά πετρώματα φθάνει τα 42.200 mg/kg. Βρίσκεται κυρίως στα σκουρόχρωμα ορυκτά, όπως στα πυρόξενα, αμφιβόλους, βιοτίτη, μαγνητίτη Fe_3O_4 , σιδηροπυρίτη FeS_2 , στους γρανάτες, ολιβίνες κλπ. Στα ιζήματα οι συγκεντρώσεις κυμαίνονται ως ακολούθως: στους αργίλους 38.800 mg/kg, στους ψαμμίτες 18.600 mg/kg, στα ανθρακικά 8.190 mg/kg, στους εβαπορίτες 265 mg/kg και στο θαλασσίνο νερό 0,0034 mg/l (Matthess 1973).

Απαντάται με δύο μορφές, τη δισθενή και την τρισθενή. Στα νερά απαντάται κυρίως στην δισθενή μορφή του και λιγότερο στην τρισθενή μορφή. Διαλυτές μορφές Fe^{2+} εμφανίζονται στα φυσικά νερά με χαμηλό pH. Σε ορισμένες περιπτώσεις τα υπόγεια φυσικά νερά, νερά λιμνών και βαλτώδη νερά στερούνται οξυγόνου και επομένως μπορούν να περιέχουν ιόντα Fe^{2+} . Όταν τα νερά αυτά οξυγονωθούν, ο δισθενής σίδηρος οξειδώνεται προς τρισθενείς ενώσεις και κατακρημνίζεται.

Γενικά στα επιφανειακά νερά ο σίδηρος βρίσκεται στην τρισθενή μορφή του. Στα καλά αεριζόμενα νερά παρουσιάζονται σπάνια υψηλές συγκεντρώσεις. Όταν όμως επικρατούν αναγωγικές συνθήκες καθώς και με απουσία ανθρακικών και θειούχων αλάτων, μπορούν να εμφανιστούν υψηλές συγκεντρώσεις ενώσεων δισθενούς σιδήρου. Η παρουσία του σιδήρου στα υπόγεια φυσικά νερά που σπάνια ξεπερνά τα 1 mg/l, αποδίδεται στην διάλυση των πετρωμάτων και μεταλλευμάτων που περιέχουν σίδηρο, σε επιφανειακές επιδράσεις κλπ. (Καλλέργης 2000, Βουδούρης 2009)

Η κύρια πηγή μόλυνσης του πόσιμου νερού από τον σίδηρο, είναι η διάβρωση σιδήρου που απαιτεί πολύ μικρό ποσό οξυγόνου. Εξαιτίας αυτής της εύκολης διάβρωσης του σιδήρου, κατά την οποία ιόντα σιδήρου ελευθερώνονται στο νερό, αποφεύγεται η χρήση σιδηροσωλήνων στο δίκτυο παροχής πόσιμου νερού. Συνήθως οι συγκεντρώσεις

του σιδήρου στο πόσιμο νερό δεν ξεπερνούν τα 0,3 mg/l. Η ποσότητα αυτή είναι σημαντικά μικρότερη από την ποσότητα που προσλαμβάνουμε από τις τροφές μας.

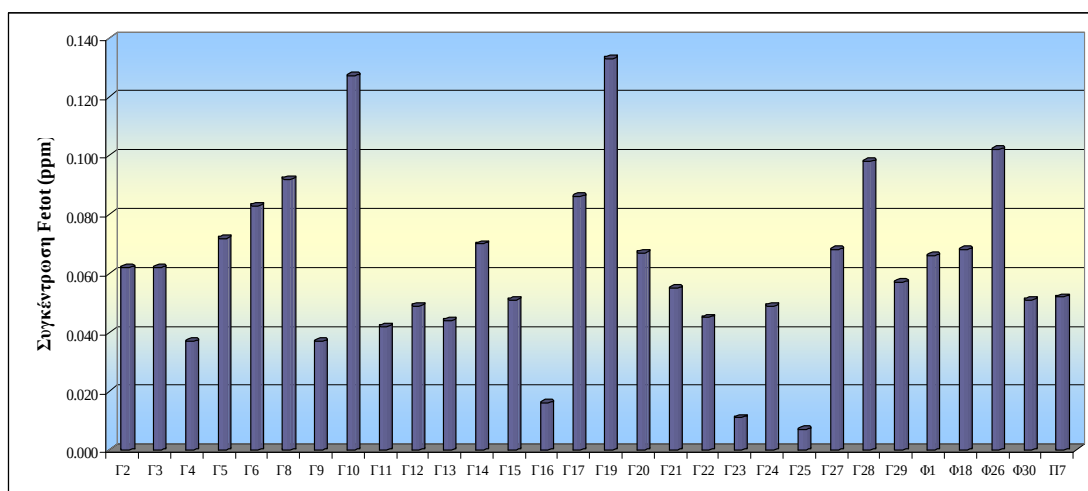
Ο σίδηρος είναι ένα βασικό συστατικό του σώματος, απαραίτητο για τον σχηματισμό της αιμογλοβίνης και εισέρχεται σε διάφορους κύκλους του μεταβολισμού στο ανθρώπινο σώμα. Γενικά το ανθρώπινο σώμα περιέχει μεταξύ 3,5 και 4,5 γραμμάρια σιδήρου, εκ των οποίων τα δύο τρίτα βρίσκονται υπό τη μορφή της αιμογλοβίνης και τα υπόλοιπα στο συκώτι, στον σπλήνα και την οστική μάζα (Καλογήρου 1999).

Η ελάχιστη ημερήσια απαίτηση του ανθρώπινου οργανισμού σε σίδηρο κυμαίνονται μεταξύ 7-14 mg. Εξαρτάται άμεσα από το φύλο, την ηλικία και τη φυσιολογική κατάσταση του ατόμου. Το μεγαλύτερο ποσοστό του εισερχόμενου σιδήρου στον οργανισμό αποβάλλεται και μόνο περίπου 10% αφομοιώνεται. Μεταξύ 60%-70% του απορροφηθέντος σιδήρου χρησιμοποιείται στην παραγωγή της αιμογλοβίνης, 5% για την παραγωγή της μυογλοβίνης και το υπόλοιπο αποθηκεύεται στα περιφερειακά κέντρα (Καλογήρου 1999).

Ενώ ο σίδηρος αποτελεί ένα απαραίτητο ιχνοστοιχείο για τον άνθρωπο, εν τούτοις η υπερβολική λήψη μπορεί να οδηγήσει στην ασθένεια της αιμοσιδήρωσης. Η ασθένεια συνδέεται με την γενικευμένη απόθεση του σιδήρου στους ιστούς του σώματος. Τυπικά συμπτώματα της ασθένειας είναι η κύρωση του ήπατος, το χαλκόχρωμα του δέρματος, ο διαβήτης, οι καρδιακές παθήσεις, αρρυθμίες και καρκίνος του ήπατος. Η πιο γνωστή πάθηση από την έλλειψη του σιδήρου στον ανθρώπινο οργανισμό είναι η αναιμία. Τα άλατα του δισθενούς σιδήρου που εμπεριέχονται στο πόσιμο νερό είναι ασταθή και συνδέονται με το pH. Κατακρημνίζονται σαν αδιάλυτα υδροξείδια του σιδήρου, προκαλούν μια οσμή του νερού και προβλήματα στην οικιακή χρήση του. Επίσης η υψηλή παρουσία σιδήρου στο νερό συμβάλλει στην ανάπτυξη των βακτηρίων σιδήρου (Καλογήρου 1999).

Η Οδηγία 98/83/EK κατατάσσει το σίδηρο στις ενδεικτικές παραμέτρους και ορίζει σαν παραμετρική τιμή 200 µg/l. Όταν η συγκέντρωση υπερβαίνει τα 100 µg/l γίνεται ίζημα μετά από έκθεση στον ατμοσφαιρικό αέρα, προκαλώντας θολότητα. Σε περιεκτικότητα μεγαλύτερη από 200 µg/l το νερό καθίσταται ακατάλληλο και για πολλές βιομηχανικές χρήσεις (Βουδούρης 2009).

Στην εικόνα 11.9, παρουσιάζεται η διακύμανση των τιμών συγκέντρωσης του Ολικού Σιδήρου στα σημεία δειγματοληψίας. Οι συγκεντρώσεις του Ολικού Σιδήρου στα υπόγεια νερά της περιοχής κυμαίνονται από 0,007 ppm έως 0,133 ppm. Οι παρατηρούμενες τιμές συγκέντρωσης κυμαίνονται σε χαμηλά επίπεδα και δεν ξεπερνούν την παραμετρική τιμή των 0,200 ppm, η οποία αποτελεί το ανώτατο επιτρεπτό όριο για τα πόσιμα νερά που καθορίζεται βάσει της Οδηγίας 98/83/ΕΕ.



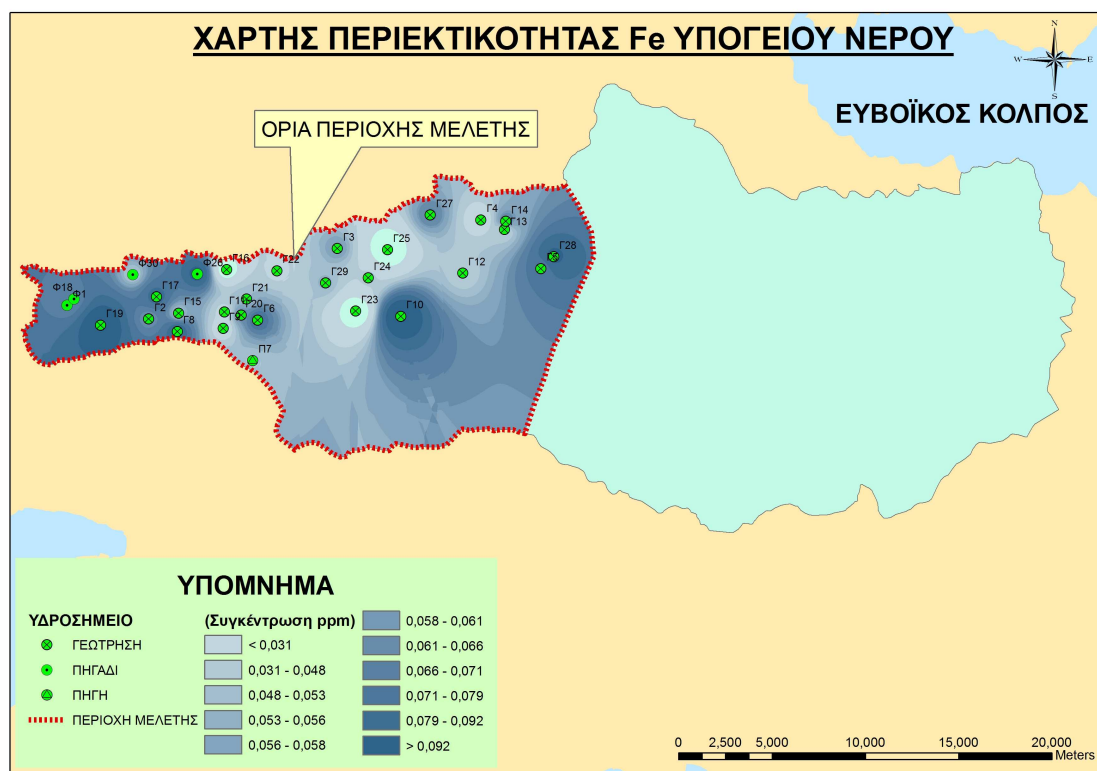
Εικόνα 11.9: Διακύμανση των τιμών της συγκέντρωσης Ολικού Σιδήρου των υπόγειων νερών της περιοχής μελέτης. Κανένα από τα δείγματα υπόγειου νερού δεν υπερβαίνει το ανώτατο επιτρεπτό όριο των 0,200 ppm.

Αναλυτικότερα οι τιμές του ολικού σιδήρου έχουν ως εξής:

- ❖ *Νερά πηγαδιών από Τεταρτογενείς αποθέσεις-Φρεάτιος ορίζοντας:* Οι τιμές του ολικού σιδήρου στα δείγματα των πηγαδιών κυμαίνονται από 0,051 ppm έως 0,108 ppm και μέση τιμή 0,072 ppm.
- ❖ *Νερά γεωτρήσεων από τους Νεογενείς σχηματισμούς:* Οι τιμές του ολικού σιδήρου στα δείγματα των γεωτρήσεων κυμαίνονται από 0,007 ppm έως 0,133 ppm και η μέση τιμή 0,061 ppm. Το μεγαλύτερο ποσοστό των γεωτρήσεων παρουσιάζουν κυμαινόμενες τιμές μικρότερες των 60 ppm. Εξάιρεση αποτελούν οι γεωτρήσεις Γ10 και Γ19 που έχουν τις υψηλότερες τιμές των 0,127 ppm και 0,133 ppm αντίστοιχα (Πίνακας 8.4).
- ❖ *Νερό πηγής από Νεογενείς σχηματισμούς:* Η συγκέντρωση του ολικού σιδήρου στη πηγή ανέρχεται σε 0,052 ppm.

Στα υπόγεια νερά του κεντρικού τμήματος της λεκάνης του Ασωπού, περιοχή Οινοφύτων-Αυλώνας, προσδιορίζονται συγκεντρώσεις Ολικού Σιδήρου που κυμαίνονται μεταξύ 0,054 ppm έως 1,198 ppm (Σουλάντος 2008). Στο ανατολικό τμήμα της λεκάνης του Ασωπού, περιοχή Ωρωπού, προσδιορίζονται συγκεντρώσεις Ολικού Σιδήρου που κυμαίνονται μεταξύ 0,112 ppm έως 2,514 ppm (Ζαχαριάδης 2008). Στην περιοχή της λεκάνης Ωρωπού-Μαρκοπούλου προσδιορίζονται συγκεντρώσεις Ολικού Σιδήρου στα υπόγεια νερά που κυμαίνονται μεταξύ <0,01 ppm έως 2,49 ppm (Γαμβρουλά 2009).

Κατά την πρόσφατη έρευνα του ΙΓΜΕ στο κεντρικό και ανατολικό τμήμα της λεκάνης του Ασωπού προσδιορίζονται τιμές Ολικού Σιδήρου στα υπόγεια νερά που κυμαίνονται μεταξύ 0,100 ppm έως 2,700 ppm (Γιαννουλόπουλος 2008).



Εικόνα 11.10: Χάρτης χωρικής κατανομής του Ολικού Σιδήρου των υπόγειων νερών της περιοχής μελέτης.

Χωρική κατανομή Ολικού Σιδήρου: Η χωρική κατανομή της συγκέντρωσης Ολικού Σιδήρου των υπόγειων νερών στην περιοχή μελέτης παρουσιάζεται στην Εικόνα 11.10. Διαπιστώνεται ότι οι υψηλότερες τιμές εντοπίζονται στο ανατολικό και στο δυτικό τμήμα της περιοχής, ενώ οι χαμηλότερες τιμές κατανέμονται στο κεντρικό τμήμα της λεκάνης. Φαίνεται ότι στα περιθώρια αυτά επικρατούν συνθήκες που ευνοούν την παρουσία του σιδήρου στα υπόγεια νερά. Βασική πηγή προέλευσης του Σιδήρου γενικά στα υπόγεια νερά της περιοχής αποτελούν τα ιζήματα, τα οποία είναι πλούσια σε διάφορα οξείδια του Σιδήρου, η οργανική ύλη που βρίσκεται εντός των ιζημάτων του Νεογενούς και κυρίως τα κλαστικά υλικά οφιολιθικής προέλευσης. Επίσης δεν αποκλείεται και συμμετοχή κλαστικού υλικού που έχει προκύψει από την αποσάθρωση σιδηρομεταλλευμάτων και μεταφορά του εντός της λεκάνης που πιθανά προϋπήρχαν στις ορεινές μάζες που περιβάλλουν την λεκάνη Ασωπού. Περιορισμένου εύρους εμφανίσεις οφιόλιθων και σιδηρομεταλλευμάτων απαντώνται στο ανατολικό τμήμα της λεκάνης Ασωπού (Κατσικάτσος 2000).

11.2.6 Χαλκός (Cu)

Ο χαλκός είναι σύνηθες στοιχείο της λιθόσφαιρας. Εμπεριέχεται σε μεγάλο αριθμό ορυκτών, μικτών θειούχων, οξειδίων και υδροξυλιούχων ανθρακικών. Τα πιο γνωστά ορυκτά είναι κυπρίτης (Cu_2O), ο χαλκοσίνης (Cu_2S), ο μαλαχίτης ($\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu(OH)}_2$) κλπ. Ο χαλκός βρίσκεται στα μαγματικά πετρώματα με συγκεντρώσεις 97,4 mg/kg στους ψαμμίτες με 15,4 mg/kg, στους αργίλους με 44,7 mg/kg, στα ανθρακικά

πετρώματα με 4,5 mg/kg και στους εβαπορίτες με 2,0 mg/kg. Στο θαλασσινό νερό η συγκέντρωση ανέρχεται σε 0,0009 mg/l (Matthess 1973).

Στα θερμομεταλλικά νερά και σε μεταλλοφόρες περιοχές παρατηρούνται συγκεντρώσεις μέχρι 2,0 mg/l. Σε πετρελαιοφόρες περιοχές οι τιμές φθάνουν τα 3,5 mg/l. Στα όξινα νερά των ορυχείων απαντώνται τιμές μέχρι και 45.633 mg/l (Matthess 1973, Καλλέργης 2000) .

Η φύση του χαλκού στο νερό εξαρτάται από το pH και την συγκέντρωση των ανθρακικών και των άλλων ανιόντων που βρίσκονται σε διάλυση στο νερό. Στα υπόγεια φυσικά νερά η συγκέντρωση του χαλκού βρίσκεται πολύ κάτω του 1,0 mg/l. Στο πόσιμο νερό οι συγκεντρώσεις κυμαίνονται μεταξύ 10 και 500 µg/l (Hoell 1979).

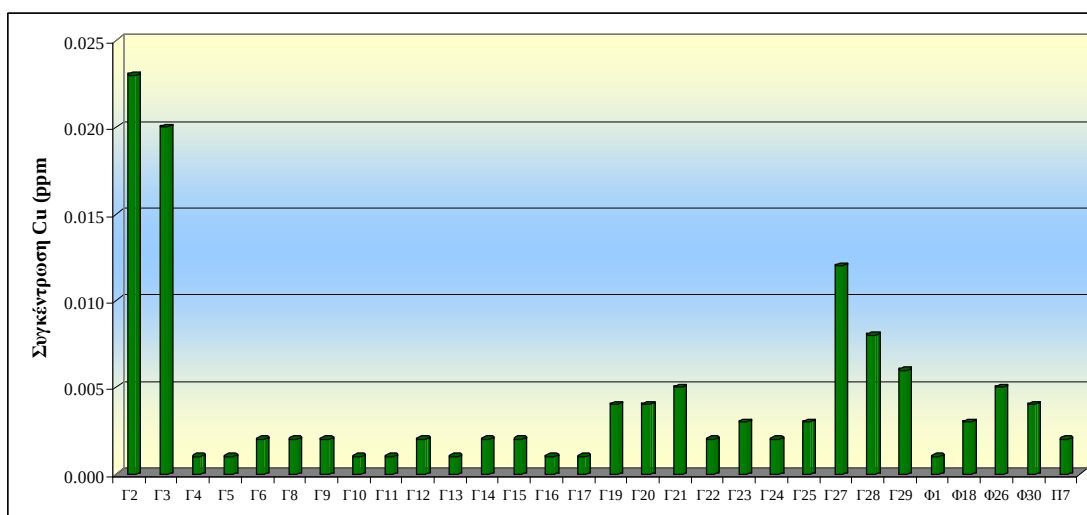
Η Οδηγία 98/83/EK ορίζει σαν παραμετρική τιμή 200 µg/l και κατατάσσει το χαλκό στις χημικές παραμέτρους που είναι σημαντικές για την υγεία. Στο νερό ύδρευσης παρατηρούνται συχνά υψηλές συγκεντρώσεις χαλκού (1,2 mg/l) λόγω της διάβρωσης των χρησιμοποιούμενων χαλκοσωλήνων (Καλογήρου 1999).

Ο χαλκός είναι απαραίτητο ιχνοστοιχείο για την ανάπτυξη των φυτών, των ζώων και των ανθρώπων. Ενώ είναι ένα από τα βασικά στοιχεία που μετέχει στον μεταβολισμό και ιδιαίτερα στο σχηματισμό των ερυθροκυττάρων, στην απελευθέρωση του σιδήρου των ιστών, στην ανάπτυξη των οστών, στο κεντρικό νευρικό σύστημα και στο συνδετικό ιστό, εν τούτοις όταν βρίσκεται σε υπερεπάρκεια στο περιβάλλον γίνεται τοξικό. Μια βασική λειτουργία του χαλκού είναι η σύνθεση της αιμοσφαιρίνης. Αποτελεί βασικό στοιχείο για την εξέλιξη και ανάπτυξη των ανηλίκων. Η έλλειψή του προκαλεί χρόνια διάρροια, αναιμία και δυσμορφία στα οστά, συμπτώματα που συχνά εμφανίζονται στα παιδιά. Ένα από τα συμπτώματα που συσχετίζεται με την έλλειψη χαλκού είναι η αχρωμοτριχία, δηλαδή η απώλεια του χρώματος στα μαλλιά και στις χρωστικές ουσίες του σώματος. Συμβάλει στην διατήρηση της αγγειακής ευρυθμίας. Η έλλειψη προκαλεί καρδιοαγγειακές παθήσεις. Η έλλειψη προξενεί επίσης αύξηση των λιπιδίων του αίματος (Καλογήρου 1999).

Κάποια από τα συμπτώματα της τοξικότητας του χαλκού που παρατηρούνται κατά τη λήψη μεγάλων ποσοτήτων χαλκού είναι η ναυτία, η διάρροια, η πρόκληση εμετού και το γαστρικό κάψιμο. Μια ασθένεια που προκαλεί ο χαλκός είναι η ασθένεια Wilson ή αλλιώς προϊούσα ηπατοφακοειδής εκφύλιση. Πρόκειται για μια θανατηφόρα νόσο. Η ασθένεια αναγνωρίζεται σαν ένα έμφυτο σφάλμα στον μεταβολισμό του χαλκού. Χαρακτηριστικό της ασθένειας είναι η ογκώδη συσσώρευση χαλκού στο συκώτι και στον εγκέφαλο. Ο οργανισμός του ασθενούς δεν έχει την δυνατότητα να μεταφέρει το χαλκό έξω από το συκώτι ή να τον εκκρίνει στη χολή, με αποτέλεσμα να συσσωρεύεται στο συκώτι (Καλογήρου 1999).

Μία άλλη ασθένεια που προκαλεί ο χαλκός είναι γνωστή σαν ασθένεια Menke. Τα συμπτώματα της ασθένειας εμφανίζονται πριν από τον 3ο μήνα και συνήθως τερματίζουν την ζωή του παιδιού πριν το 5ο ή 6ο χρόνο. Οι ασθενείς εμφανίζουν μη φυσιολογικά χαμηλά ποσά χαλκού στο συκώτι και στον ορό του αίματος. Παρουσιάζονται ατέλειες στο αγγειακό σύστημα και ακόμη περισσότερες στο συνδετικό ιστό. Η ατέλεια στα κύτταρα εντοπίζεται στη διέλευση του χαλκού κατά μήκος της μεμβράνης των κυττάρων (Καλογήρου 1999).

Οι συγκεντρώσεις του Χαλκού στα υπόγεια νερά της περιοχής μελέτης κυμαίνονται από 0,001 ppm έως 0,023 ppm. Στην εικόνα 11.11, παρουσιάζεται η διακύμανση των τιμών συγκέντρωσης του Χαλκού στα σημεία δειγματοληψίας. Οι παρατηρούμενες τιμές συγκέντρωσης κυμαίνονται σε χαμηλά επίπεδα και δεν ξεπερνούν τα ανώτατα επιτρεπτά όρια που καθορίζονται με την Οδηγία 98/83/ΕΕ.



Εικόνα 11.11: Διακύμανση των τιμών της συγκέντρωσης Χαλκού στα υπόγεια νερά της περιοχής μελέτης. Κανένα από τα δείγματα υπόγειου νερού δεν υπερβαίνει το ανώτατο επιτρεπτό όριο των 0,200 ppm.

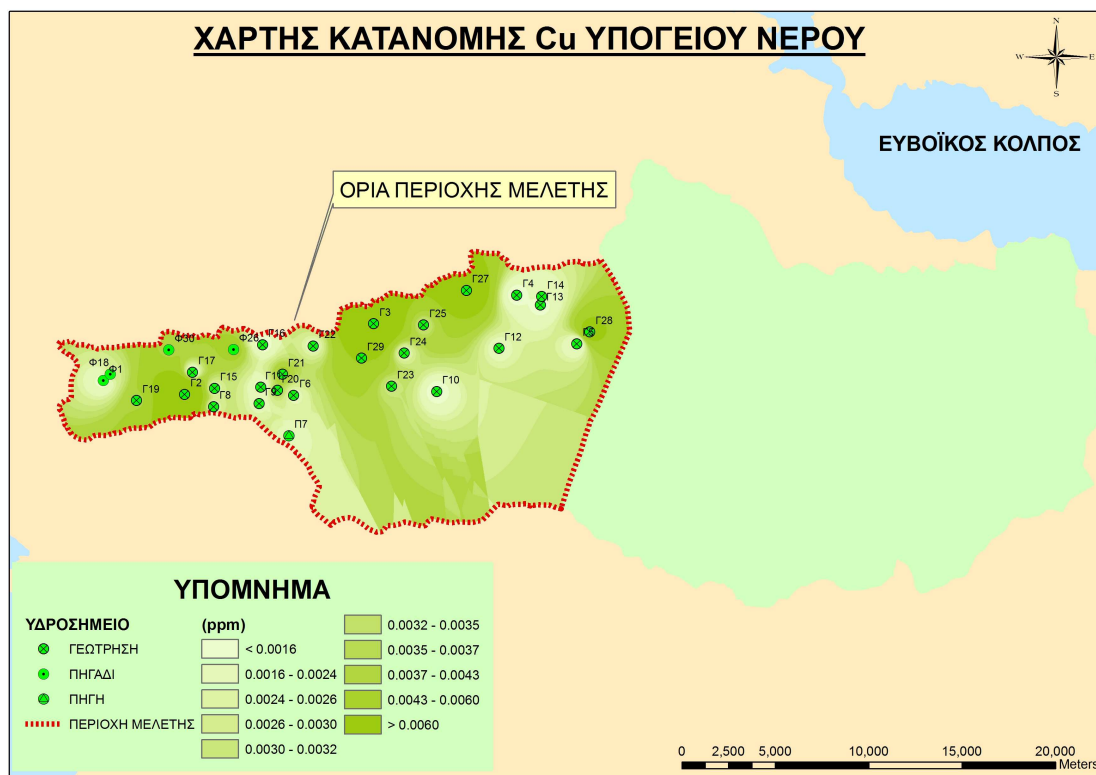
Αναλυτικότερα οι τιμές του Χαλκού έχουν ως εξής:

- ❖ *Νερά πηγαδιών από Τεταρτογενείς αποθέσεις-Φρεάτιος ορίζοντας:* Οι τιμές του Χαλκού στα δείγματα των πηγαδιών κυμαίνονται από 0,001 ppm έως 0,005 ppm και μέση τιμή 0,003 ppm.
- ❖ *Νερά γεωτρήσεων από τους Νεογενείς σχηματισμούς:* Οι τιμές του Χαλκού στα δείγματα των γεωτρήσεων κυμαίνονται από 0,001 ppm έως 0,023 ppm και η μέση τιμή 0,004 ppm. Στα περισσότερα δείγματα νερού από τις γεωτρήσεις οι τιμές κυμαίνονται σε πολύ χαμηλά επίπεδα, κάτω από 0,005 ppm. Εξαιρέση αποτελούν οι γεωτρήσεις Γ2 και Γ3 που παρουσιάζουν τις υψηλότερες συγκεντρώσεις 0,023 ppm και 0,020 ppm αντίστοιχα.
- ❖ *Νερό πηγής από Νεογενείς σχηματισμούς:* Η συγκέντρωση του Χαλκού στη πηγή ανέρχεται σε 0,002 ppm (Πίνακας 8.4).

Στα υπόγεια νερά του κεντρικού τμήματος της λεκάνης του Ασωπού, περιοχή Οиноφύτων-Αυλώνας, προσδιορίζονται συγκεντρώσεις Χαλκού που κυμαίνονται μεταξύ 0,043 ppm έως 0,148 ppm (Σουλάντος 2008). Στο ανατολικό τμήμα της λεκάνης του Ασωπού, περιοχή Ωρωπού, προσδιορίζονται συγκεντρώσεις Χαλκού που κυμαίνονται μεταξύ <0,001 ppm έως 0,507 ppm (Ζαχαριάδης 2008).

Στην περιοχή της λεκάνης Ωρωπού-Μαρκοπούλου προσδιορίζονται συγκεντρώσεις Χαλκού στα υπόγεια νερά που κυμαίνονται μεταξύ <0,001 ppm έως 0,015 ppm (Γαμβρουλά 2009).

Κατά την πρόσφατη έρευνα του ΙΓΜΕ στο κεντρικό και ανατολικό τμήμα της λεκάνης του Ασωπού προσδιορίζονται τιμές Χαλκού στα υπόγεια νερά που κυμαίνονται μεταξύ 0,005 ppm έως 2,000 ppm (Γιαννουλόπουλος 2008).



Εικόνα 11.12: Χάρτης χωρικής κατανομής του Χαλκού των υπόγειων νερών της περιοχής μελέτης.

Χωρική κατανομή του Χαλκού: Η χωρική κατανομή της συγκέντρωσης Χαλκού στα υπόγεια νερά της περιοχής μελέτης παρουσιάζεται στην Εικόνα 11.12. Διαπιστώνεται ότι οι υψηλότερες τιμές εντοπίζονται στο κεντρικό και δυτικό τμήμα της λεκάνης, ενώ οι χαμηλότερες τιμές κατανέμονται στο ανατολικό τμήμα αυτής. Η προέλευση του Χαλκού στα υπόγεια νερά της περιοχής θεωρείται γενικά γεωγενής. Βασικοί τροφοδότες θεωρούνται τα ψαμμιτικά και αργιλικά ιζήματα και αποθέσεις, καθώς επίσης η οξείδωση των σουλφιδίων που πιθανά συνυπάρχουν εντός των ιζημάτων και ιδιαίτερα εντός των οργανικών υλικών. Δεν αποκλείεται και ανθρωπογενείς παράγοντες να συμβάλουν κατά ένα ποσοστό στην ύπαρξη του Χαλκού, με πιθανές διάχυτες πηγές από την χρήση λιπασμάτων στην γεωργία και την διάβρωση των γαλβανιζέ σωλήνων των γεωτρήσεων.

11.2.7 Χρώμιο Ολικό (Cr_{tot})

Το χρώμιο απαντάται σε μικρές συγκεντρώσεις στη λιθόσφαιρα. Στα μαγματικά πετρώματα βρίσκεται με συγκεντρώσεις 198 mg/kg, στους ψαμμίτες με 120 mg/kg, στους αργίλους με 423 mg/kg, στα ανθρακικά πετρώματα με 7,08 mg/kg και στους εβαπορίτες με 10,6 mg/kg. Στο θαλασσινό νερό η συγκέντρωση ανέρχεται σε 0,0002 mg/l. Τα κυριότερα ορυκτά είναι ο χρωμίτης ($FeO \cdot Cr_2O_3$) που είναι το κύριο στοιχείο των υπερβασικών πετρωμάτων και ο κροκοϊτης ($PbCrO_4$) που βρίσκεται κυρίως στην ζώνη οξείδωσης των μολυβδούχων κοιτασμάτων (Matthess 1973).

Το χρώμιο και τα άλατά του χρησιμοποιούνται κυρίως στα βυρσοδεψεία, στην παραγωγή καταλυτών, στα χρώματα, μυκητοκτόνα, στην βιομηχανία γυαλιού και κεραμικών και για κράματα ή επιμεταλλώσεις αντιδιαβρωτικής προστασίας. Στη φύση

το χρώμιο ευρίσκεται σαν Cr^{3+} ή σαν Cr^{6+} με την σχετική τους συγκέντρωση εξαρτώμενη από το pH, το δυναμικό οξειδοαναγωγής, την παρουσία οξειδωτικών ή αναγωγικών ενώσεων και άλλες φυσικοχημικές παραμέτρους (http://www.chem.uoa.gr/chemicals/chem_cr6.htm).

Από τις δυο προαναφερόμενες μορφές του χρωμίου, βασικά μόνο το εξασθενές χρώμιο είναι τοξικό για τον ανθρώπινο οργανισμό, ενώ για το τρισθενές δεν υπάρχουν ιδιαίτερες ενδείξεις για την τοξικότητά του. Αντίθετα το τρισθενές χρώμιο θεωρείται ότι είναι ένα βιολογικό απαραίτητο ιχνοστοιχείο για τον άνθρωπο και γενικά τους ζωικούς οργανισμούς.

Το Cr είναι γνωστό σε διάφορες ιοντικές καταστάσεις που ποικίλουν από -4 έως +6, αλλά στη φύση συνήθως απαντά μόνο στις οξειδωτικές κατατάσεις, Cr^{3+} και Cr^{6+} . Το Cr^{3+} απαντά με τη μορφή χρωμιούχων οξειδίων (Cr_2O_3) και υδροξειδίων ($\text{Cr}(\text{OH})_3$) καθώς και ως διαλυτών κατιόντων CrOH^{2+} και $\text{Cr}(\text{OH})_2^+$ ενώ το Cr^{6+} με τη μορφή χρωμικών (CrO_4^{2-}) και διχρωμικών ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$) ανιόντων ή ακόμη και ως χρωμικό βάριο (BaCrO_4) ή διχρωμικό νάτριο ($\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) (http://www.chem.uoa.gr/chemicals/chem_cr6.htm).

Το οξείδιο του Cr^{3+} βρίσκεται σε πολλούς τύπους πετρωμάτων σε υψηλές συγκεντρώσεις και αποτελεί μια από τις δέκα πιο διαδεδομένες ουσίες. Υψηλές συγκεντρώσεις τρισθενούς χρωμίου περιέχουν τα ηφαιστειακά (βασάλτες) και πυριγενή πετρώματα (γάβροι, περιδοτίτες, δουνίτες και πυρόξενοι). Εντοπίζεται συνήθως σε υπερβασικά πυριγενή πετρώματα, όπως είναι οι οφιόλιθοι, στα αντίστοιχα μεταμορφωμένα πετρώματα που προέρχονται από τους οφιόλιθους, καθώς επίσης και σε διάφορους τύπους σχιστόλιθων, στους βωξίτες, στους λατερίτες κλπ. (Θεοδωρίκας 1997, Κελεπερτζής 1993).

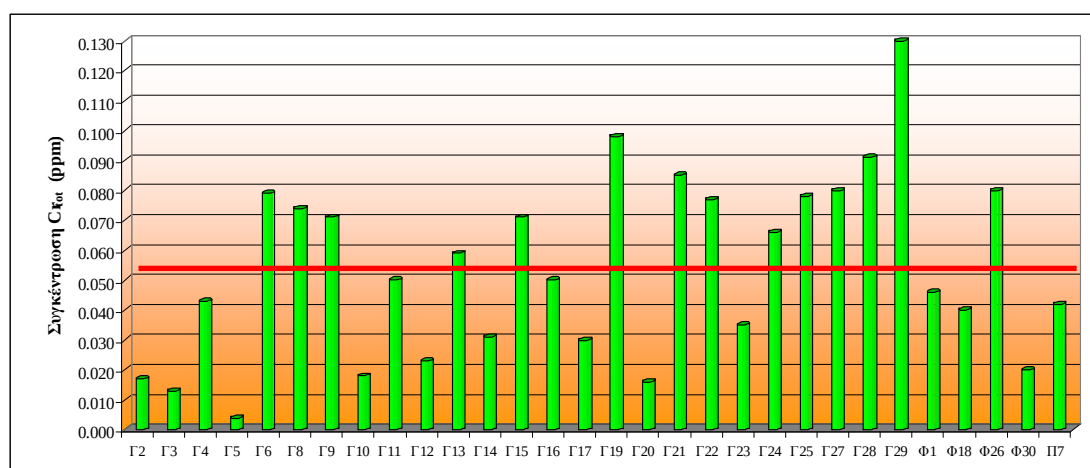
Τα διάφορα οξείδια του χρωμίου Cr^0 , Cr^{3+} και Cr^{6+} , χρησιμοποιούνται στην παραγωγή ανοξειδωτου χάλυβα και κραμάτων (κυρίως το Cr^0), στη μεταλλουργική βιομηχανία, στην επικάλυψη δομικών υλικών, σε επιμεταλλώσεις, στη βυρσοδεψία και στην υφαντουργία (κυρίως το Cr^{3+}) και το Cr^{6+} σε επιμεταλλώσεις, στη βυρσοδεψία, στην υφαντουργία, σε toner φωτοτυπικών μηχανών.

Μίγμα χρωμικών αλάτων, οξειδίου του χαλκού και οξειδίου του αρσενικού, χρησιμοποιούνται ως συντηρητικά ξύλου, ως μυκητοκτόνα, βακτηριοκτόνα και ως εντομοκτόνα. Τα χρωμικά άλατα χρησιμοποιούνται ως χρωστικές στη φωτογραφία, στο χρωματισμό των πλαστικών, του χαρτιού, σε βαφές υφασμάτων και δέρματος, χρώματα και μελάνια κλπ. (http://www.chem.uoa.gr/chemicals/chem_cr6.htm).

Σε ότι αφορά στην παρουσία του χρωμίου στα υπόγεια νερά, το χρώμιο εμφανίζεται τόσο ως Cr^{3+} και ως Cr^{6+} , αλλά και σε διάφορες άλλες μορφές και υδροξείδια. Βασικοί παράγοντες που ρυθμίζουν τη σταθερότητά του είναι το pH και το δυναμικό οξειδοαναγωγής (Eh). Διάφορες γεωχημικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα εντός των σχηματισμών κατά την ροή του υπόγειου νερού συμβάλλουν μέσω της οξείδωσης στην μετατροπή των ενώσεων του τρισθενούς χρωμίου (Cr^{3+}) σε ενώσεις του εξασθενούς χρωμίου (Cr^{6+}) ή αντίστροφα μέσω των διεργασιών της αναγωγής. Η οξείδωση του τρισθενούς χρωμίου σε εξασθενές χρώμιο μπορεί να συμβεί όταν έρχεται σε επαφή με διάφορα οξείδια του μαγγανίου MnO_2 . Η παρουσία του διαλυμένου οξυγόνου συμβάλλει επίσης στην οξείδωση του τρισθενούς χρωμίου (Cr^{3+}), αλλά σε πολύ περιορισμένο βαθμό (Kabata-Pendias; Mukherjee, 2007, Fendorf et al. 1992).

Στα υπόγεια φυσικά νερά η συγκέντρωση του Ολικού Χρωμίου είναι συνήθως <1 $\mu\text{g/l}$. Σε ρηχές γεωτρήσεις σε περιοχές με σημαντική ρύπανση μπορεί να περιέχουν μέχρι και 10 $\mu\text{g/l}$. Στα επιφανειακά νερά οι συγκεντρώσεις του χρωμίου κυμαίνονται από 1 έως 10 $\mu\text{g/l}$. Η συγκέντρωση στα επιφανειακά νερά έχει άμεση και στενή συνάρτηση με την βιομηχανική ρύπανση (Καλογήρου 1999).

Η Οδηγία 98/83/ΕΕ περιλαμβάνει το Ολικό Χρώμιο στο κατάλογο των χημικών παραμέτρων που επηρεάζουν την υγεία και ορίζει σαν παραμετρική τιμή τα 50 $\mu\text{g/l}$. Στην εικόνα 11.13, παρουσιάζεται η διακύμανση των τιμών συγκέντρωσης του Ολικού Χρωμίου στα σημεία δειγματοληψίας. Οι συγκεντρώσεις του Ολικού Χρωμίου στα υπόγεια νερά της περιοχής μελέτης κυμαίνονται από 0,004 ppm έως 0,130 ppm. Γενικά οι συγκεντρώσεις Ολικού Χρωμίου που ανιχνεύονται στα υπόγεια νερά της περιοχής κυμαίνονται κάτω από το επίπεδο των 0,100 ppm. Εξαιρέση αποτελεί η γεώτρηση Γ29 με την υψηλότερη παρατηρούμενη συγκέντρωση των 0,130 ppm Cd. Σε σχέση όμως με τα όρια ποσιμότητας της Οδηγίας 98/83 ΕΕ, σε ποσοστό 50% των δειγμάτων παρουσιάζονται υψηλές συγκεντρώσεις Ολικού Χρωμίου και υπερβάσεις των ορίων. Τα υπόλοιπα δείγματα βρίσκονται σε χαμηλότερα επίπεδα.



Εικόνα 11.13: Διακύμανση των τιμών της συγκέντρωσης Ολικού Χρωμίου στα υπόγεια νερά της περιοχής μελέτης.

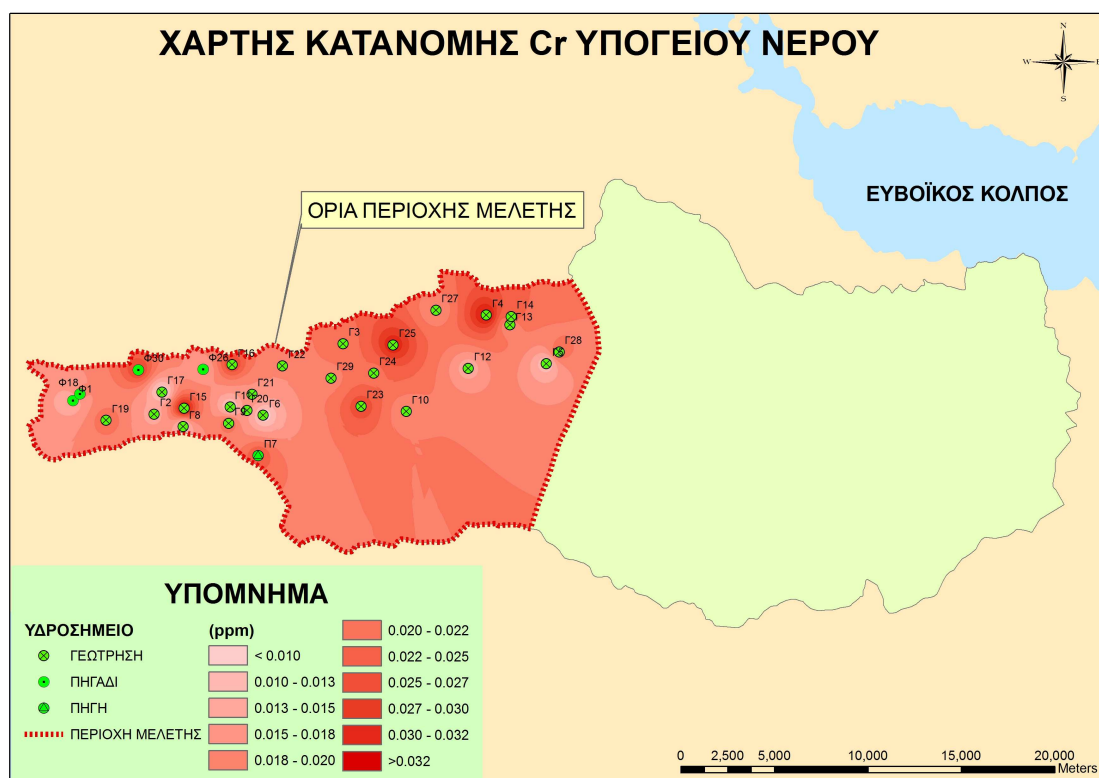
Αναλυτικότερα οι τιμές του Ολικού Χρωμίου έχουν ως εξής:

- ❖ *Νερά πηγαδιών από Τεταρτογενείς αποθέσεις-Φρεάτιος ορίζοντας:* Οι τιμές του Ολικού Χρωμίου στα δείγματα των πηγαδιών κυμαίνονται από 0,020 ppm έως 0,080 ppm και μέση τιμή 0,047 ppm.
- ❖ *Νερά γεωτρήσεων από τους Νεογενείς σχηματισμούς:* Οι τιμές του Ολικού Χρωμίου στα δείγματα των γεωτρήσεων κυμαίνονται από 0,004 ppm έως 0,130 ppm και η μέση τιμή 0,056 ppm.
- ❖ *Νερό πηγής από Νεογενείς σχηματισμούς:* Η συγκέντρωση του Ολικού Χρωμίου στη πηγή ανέρχεται σε 0,042 ppm (Πίνακας 8.4).

Οι συγκεντρώσεις Ολικού Χρωμίου που ανιχνεύθηκαν στα υπόγεια νερά του ανατολικού τμήματος της λεκάνης του Ασωπού ποταμού, περιοχή Ωρωπού, κυμαίνονται μεταξύ 1,0 $\mu\text{g/l}$ έως 34,3 $\mu\text{g/l}$ (Γαμβρουλά 2008).

Από έρευνα που πραγματοποιήθηκε στο επιφανειακό νερό κατά μήκος του Ασωπού ποταμού, κατά την υγρή περίοδο, (Μασούρα 2007) διαπιστώθηκαν τιμές συγκέντρωσης εξασθενούς Χρωμίου που κυμαίνονται μεταξύ 0,001 και 0,148 mg/l . Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις παρατηρούνται κατά μήκος της βιομηχανικής ζώνης (περιοχή Οινοφύτων) που προφανώς σχετίζονται με την έκχυση υγρών αποβλήτων μεταλλουργικών κυρίως βιομηχανιών. Στο ανάντη της βιομηχανικής ζώνης τμήμα, δηλ. στο άνω ρου του Ασωπού όπου διέρχεται μέσω της μελετώμενης περιοχής, οι τιμές βρίσκονται σε πολύ χαμηλά επίπεδα (0,001-0,017 mg/l). Οι συγκεντρώσεις αυτές προφανώς σχετίζονται κυρίως με γεωγενείς παράγοντες και ίσως με διάχυτες πηγές

ρύπανσης (χρήση φωσφορικών λιπασμάτων), εφόσον στην εν λόγω περιοχή δεν υπάρχουν βιομηχανικές μονάδες.



Εικόνα 11.14: Χάρτης χωρικής κατανομής του Ολικού Χρωμίου στα υπόγεια νερά της περιοχής μελέτης.

Σε πρόσφατες έρευνες που πραγματοποίησε το ΙΓΜΕ στα υπόγεια νερά του κεντρικού και ανατολικού τμήματος της λεκάνης του Ασωπού, από περιοχές των Οиноφύτων και του Ωρωπού, διαπιστώθηκαν υψηλές συγκεντρώσεις που κυμαίνονται μεταξύ 0,005 ppm και 0,180 ppm. Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις εντοπίζονται στην γύρω περιοχή των Οиноφύτων και στην παραποτάμια περιοχή του Ασωπού μέχρι τις εκβολές του. Η παρουσία του εξασθενούς Χρωμίου (<0,001-0,156 ppm) αποδίδονται σε ανθρωπογενείς επιδράσεις, δηλ. στα βιομηχανικά απόβλητα της περιοχής που ρυπαίνουν τον Ασωπό και στη συνέχεια τους υδροφόρους της λεκάνης (Γιαννουλόπουλος 2008).

Χωρική κατανομή του Ολικού Χρωμίου: Στην Εικόνα 11.14 παρουσιάζεται η χωρική κατανομή της συγκέντρωσης του Ολικού Χρωμίου στα υπόγεια νερά της περιοχής μελέτης. Διαπιστώνεται ότι οι υψηλότερες τιμές εντοπίζονται στο κεντρικό και δυτικό τμήμα της λεκάνης, όπου αναπτύσσονται κυρίως οι Νεογενείς σχηματισμοί και εκμεταλλεύονται την υδροφορία τους οι γεωτρήσεις, ενώ οι χαμηλότερες τιμές παρουσιάζονται στο ανατολικό τμήμα της, όπου σε μικρό βάθος από την επιφάνεια εμφανίζονται οι ανθρακικοί σχηματισμοί.

Στους νεογενείς σχηματισμούς η προέλευσή του συνδυάζεται με την παρουσία του στα ιζήματα (άργιλοι, ψαμμίτες), αλλά κυρίως στην συμμετοχή εντός αυτών κλαστικού υλικού οφιολιθικής προέλευσης που είναι πλούσια σε οξείδια του Χρωμίου. Επιπρόσθετα, η παρουσία του Χρωμίου σχετίζεται με την παρουσία της οργανικής

ύλης που βρίσκεται εντός των Νεογενών σχηματισμών. Η λιγνιτοφορία των Νεογενών σχηματισμών είναι γνωστή στη λεκάνη του Ασωπού, τόσο στο ανατολικό της τμήμα, περιοχή Μαλακάσας – Ωρωπού, όσο και στο κεντρικό της τμήμα, περιοχή Οινοφύτων-Αυλώνα, όπου παλαιότερα λειτούργησαν ορυχεία εξόρυξης λιγνίτη (Βορεάδης, 1952).

11.2.8 Ψευδάργυρος (Zn)

Ο ψευδάργυρος είναι ένα ιδιαίτερα διαδεδομένο στοιχείο της λιθόσφαιρας. Στα μαγματικά πετρώματα βρίσκεται με συγκεντρώσεις 80 mg/kg στους ψαμμίτες με 16,3 mg/kg, στους αργίλους με 130 mg/kg και στα ανθρακικά πετρώματα με 15,6 mg/kg. Απαντάται κυρίως στα μικτά θειούχα κοιτάσματα μαζί με τον μόλυβδο, τον σίδηρο, το κάδμιο και τον χαλκό (Matthess 1973).

Τα πιο συνήθη ορυκτά είναι ο σφαλερίτης (ZnS), ο ζιγκίτης (ZnO) και ο σμιθωνίτης (ZnCO₃). Η συγκέντρωση του ψευδαργύρου στα φυσικά εδάφη κυμαίνεται από 1-300 mg/kg (Kabata – Pendias and Pendias 1992)..

Τα οξείδια, τα ανθρακικά και τα θειούχα άλατα του ψευδαργύρου είναι ελαφρώς διαλυτά στο νερό, ενώ τα πολύ διαλυτά χλωριούχα και θειικά άλατα του ψευδαργύρου τείνουν να υδρολύονται για να σχηματίσουν υδροξείδιο του ψευδαργύρου και ανθρακικό ψευδάργυρο. Αποτέλεσμα αυτού είναι οι χαμηλές συγκεντρώσεις ψευδαργύρου στα φυσικά νερά.

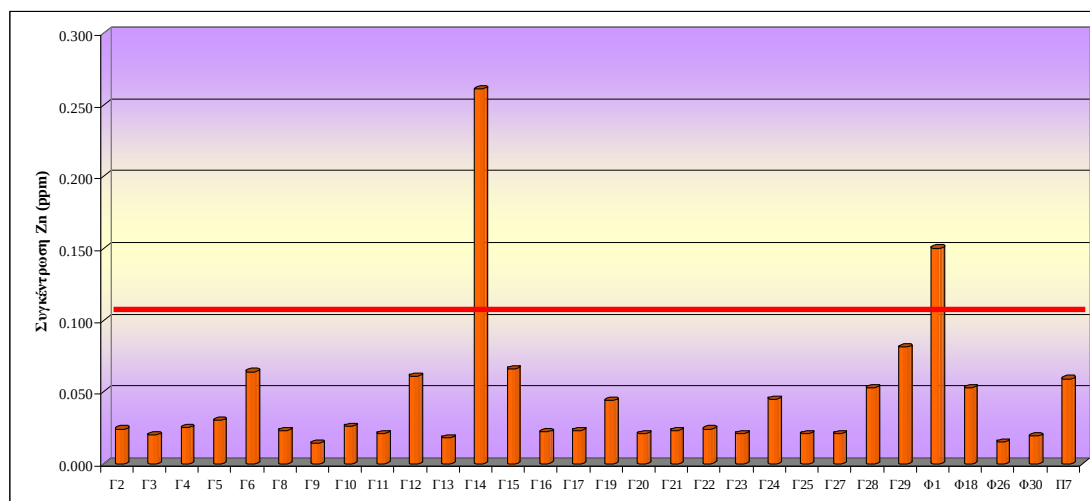
Στο θαλασσίνο νερό η συγκέντρωση ανέρχεται σε 1-10 µg/l. Οι συγκεντρώσεις ψευδαργύρου στα φυσικά επιφανειακά νερά δεν ξεπερνούν τα 10 µg/l. Στα υπόγεια νερά ο ψευδάργυρος κυμαίνεται από 0-0,22 mg/l. Σε πηγές μεταλλοφόρων περιοχών παρατηρούνται συγκεντρώσεις μέχρι 3,4 mg/l, και στα όξινα νερά των μεταλλείων μέχρι 2.412 mg/l. Στο επεξεργασμένο πόσιμο νερό ο ψευδάργυρος κυμαίνεται από 0,01-1,0 mg/l. Η παρουσία υψηλότερων τιμών συνδέεται πάντοτε με την χρήση των γαλβανισμένων σωλήνων του δικτύου ύδρευσης (DVWK 1998).

Ο ψευδάργυρος χαρακτηρίζεται σαν σχετικά ήπιο στοιχείο μεταξύ των βαρέων μετάλλων όσον αφορά την τοξικότητά του. Είναι ένα απαραίτητο ιχνοστοιχείο για τον άνθρωπο και τα φυτά. Αποτελεί βασικό στοιχείο πολλών ενζύμων. Η ανεπάρκεια του ψευδαργύρου μπορεί να οδηγήσει σε *υποψευδαργυραιμία*, που προκαλεί έμφραγμα του μυοκαρδίου, καθυστέρηση της ανάπτυξης του ανθρώπου και αλλεργίες κατά την παιδική ηλικία. Σε υπερεπάρκεια του ψευδαργύρου στο περιβάλλον προκαλούνται προβλήματα τοξικότητας. Τα κύρια συμπτώματα της τοξικότητας είναι οι τάσεις για εμετό, η αφυδάτωση, υπογαστρικοί πόνοι, ναυτία, υπνηλία και ίλιγγοι (Καλογήρου 1999).

Η Οδηγία 80/778EE συγκαταλέγει τον Ψευδάργυρο στην κατηγορία των ανεπιθύμητων ουσιών και δίνει σαν ανώτατη παραδεκτή συγκέντρωση ψευδαργύρου στο πόσιμο νερό τα 100 µg/l. Στο νερό άρδευσης δεν επιτρέπεται η συγκέντρωση ψευδαργύρου να υπερβαίνει τα 2,0 mg/l. Η Οδηγία 98/83/EE δεν κατατάσσει τον ψευδάργυρο σε κανένα από τους καταλόγους των προς έλεγχο παραμέτρων. Στην χώρα μας το ανώτατο επιτρεπτό όριο για το ψευδάργυρο στο πόσιμο νερό είναι τα 5,0 ppm.

Στην εικόνα 11.15 παρουσιάζεται η διακύμανση των τιμών συγκέντρωσης του Ψευδαργύρου στα σημεία δειγματοληψίας της περιοχής μελέτης. Οι συγκεντρώσεις του νικελίου κυμαίνονται μεταξύ 0,006 ppm και 0,261 ppm. Στα περισσότερα δείγματα οι τιμές κυμαίνονται κάτω από το επίπεδο των 0,050 ppm. Εξάιρεση αποτελούν η γεώτρηση Γ14 και το πηγάδι Φ1 που παρουσιάζουν τις υψηλότερες τιμές μεταξύ των δειγμάτων, 0,261 ppm και 0,150 ppm αντίστοιχα.

Γενικά οι παρατηρούμενες τιμές συγκέντρωσης Ψευδαργύρου βρίσκονται σε χαμηλά επίπεδα. Σε σχέση με τα όρια ποσιμότητας της Οδηγίας 80/778ΕΕ, σχεδόν όλα τα δείγματα, εκτός των δυο προαναφερόμενων υπερβάσεων, δεν υπερβαίνουν τα όρια.



Εικόνα 11.15: Διακύμανση των τιμών της συγκέντρωσης Ψευδαργύρου στα υπόγεια νερών της περιοχής μελέτης και η ένδειξη (κόκκινη γραμμή) του ανώτερου επιτρεπτού ορίου (100 µg/l) που αφορά τα πόσιμα νερά βάσει της Οδηγίας της ΕΕ.

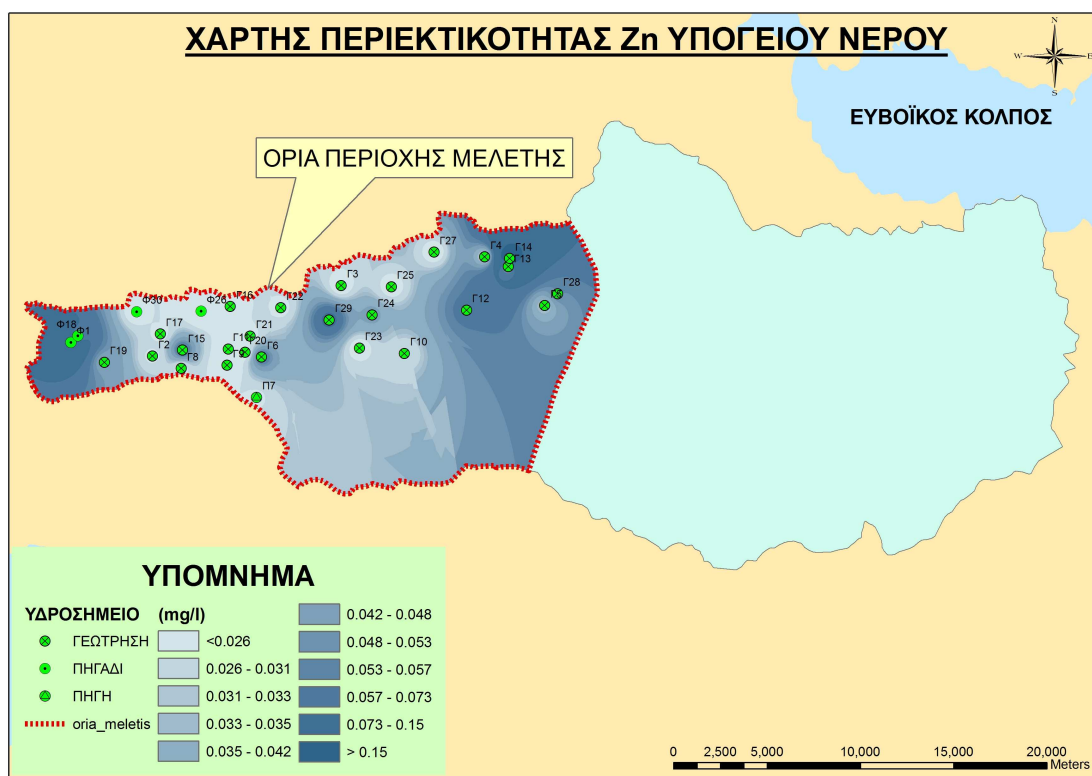
Αναλυτικότερα οι τιμές του Ψευδαργύρου έχουν ως εξής:

- ❖ *Νερά πηγαδιών από Τεταρτογενείς αποθέσεις-Φρεάτιος ορίζοντας:* Οι τιμές του Ψευδαργύρου στα δείγματα των πηγαδιών κυμαίνονται από 0,006 ppm έως 0,261 ppm και μέση τιμή 0,175 ppm.
- ❖ *Νερά γεωτρήσεων από τους Νεογενείς σχηματισμούς:* Οι τιμές του Ψευδαργύρου στα δείγματα των γεωτρήσεων κυμαίνονται από 0,010 ppm έως 0,236 ppm και η μέση τιμή 0,114 ppm. Στα περισσότερα δείγματα νερού από τις γεωτρήσεις οι τιμές κυμαίνονται σε επίπεδα μεταξύ 0,040 και 0,180 ppm. Εξαιρεση αποτελεί η γεώτρηση Γ22 που παρουσιάζει την χαμηλότερη συγκέντρωση μεταξύ όλων των δειγμάτων, 0,010 ppm.
- ❖ *Νερό πηγής από Νεογενείς σχηματισμούς:* Η συγκέντρωση του Ψευδαργύρου στη πηγή ανέρχεται σε 0,119 ppm (Πίνακας 8.4).

Στα υπόγεια νερά του κεντρικού τμήματος της λεκάνης του Ασωπού, περιοχή Οινοφύτων-Αυλώνας, προσδιορίζονται συγκεντρώσεις Ψευδαργύρου που κυμαίνονται μεταξύ <0,001 ppm έως 0,796 ppm (Σουλάντος 2008). Στο ανατολικό τμήμα της λεκάνης του Ασωπού, περιοχή Ωρωπού, προσδιορίζονται συγκεντρώσεις Ψευδαργύρου που κυμαίνονται μεταξύ 0,003 ppm έως 0,817 ppm (Ζαχαριάδης 2008).

Στην περιοχή της λεκάνης Ωρωπού-Μαρκοπούλου προσδιορίζονται συγκεντρώσεις Ψευδαργύρου στα υπόγεια νερά που κυμαίνονται σε πολύ χαμηλά επίπεδα μεταξύ 0,005 ppm έως 0,974 ppm (Γαμβρουλά 2009).

Κατά την πρόσφατη έρευνα του ΙΓΜΕ στο κεντρικό και ανατολικό τμήμα της λεκάνης του Ασωπού προσδιορίζονται τιμές Ψευδαργύρου στα υπόγεια νερά που κυμαίνονται μεταξύ 0,005 ppm έως 4,500 ppm (Γιαννουλόπουλος 2008).



Εικόνα 11.16: Χάρτης χωρικής κατανομής του Ψευδαργύρου στα υπόγεια νερά της περιοχής μελέτης.

Χωρική κατανομή του Ψευδαργύρου: Η χωρική κατανομή της συγκέντρωσης του Ψευδαργύρου στα υπόγεια νερά της περιοχής μελέτης παρουσιάζεται στην Εικόνα 11.16. Διαπιστώνεται ότι οι υψηλότερες τιμές εντοπίζονται στο ανατολικό και δυτικό τμήμα της λεκάνης. Οι χαμηλότερες τιμές παρουσιάζονται στο κεντρικό τμήμα της περιοχής. Πηγή προέλευσης του Ψευδαργύρου είναι κυρίως τα αργιλικά ιζήματα των Νεογενών σχηματισμών, τα διάφορα κλαστικά στοιχεία των Νεογενών σχηματισμών, οφιολιθικής προέλευσης, πιθανοί διαβρωμένοι λατερίτες, Βωξίτες, κλπ.. Σημαντική πηγή τροφοδοσίας των υπόγειων νερών σε Ψευδάργυρο θα πρέπει να θεωρηθούν επίσης και οι οργανικές αποθέσεις που υπάρχουν εντός των Νεογενών ιζημάτων.(Χατζηγιάννης Γ. 1997)

12. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ- ΥΔΡΟΧΗΜΙΚΟΙ ΤΥΠΟΙ

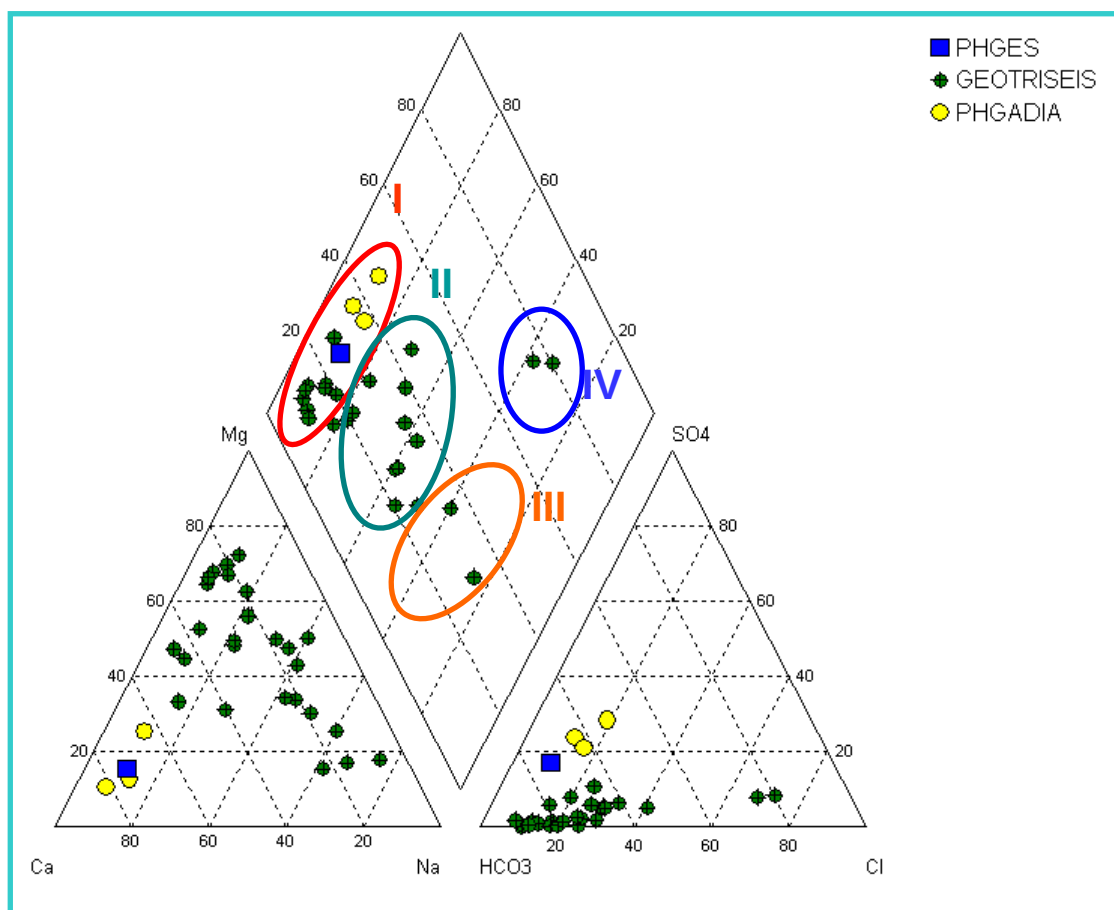
12.1 Ταξινόμηση κατά PIPER

Το διάγραμμα Piper (1953) είναι ένα αποτελεσματικό εργαλείο στην ομαδοποίηση πληροφοριών που προέρχονται από χημικές αναλύσεις. Η ομαδοποίηση στοχεύει στην κριτική μελέτη των διαφόρων πηγών προέλευσης των διαλυμένων στα υπόγεια νερά συστατικών και της μεταβολής στον χαρακτήρα του νερού καθώς αυτό κινείται σε μια συγκεκριμένη περιοχή.

Ευδιάκριτοι τύποι υπόγειων νερών μπορούν γρήγορα να διαχωριστούν μέσω της απεικόνισής τους σε ορισμένες περιοχές του ρομβικού πεδίου του διαγράμματος. Το διάγραμμα αυτό χρησιμοποιήθηκε και για την μελέτη των υπόγειων νερών της περιοχής μελέτης.

Η ταξινόμηση των υπόγειων νερών κατά Piper βασίζεται στη διάκριση της προέλευσης των δειγμάτων, όπως από γεωτρήσεις, πηγάδια και πηγές.

Στην εικόνα 12.1, που ακολουθεί παρουσιάζεται η προβολή των δειγμάτων στο εν λόγω διάγραμμα.



Εικόνα 12.1: Ταξινόμηση των υπόγειων νερών της περιοχής μελέτης βάσει του διαγράμματος Piper.

Στον πίνακα 12.1 που ακολουθεί παρουσιάζονται αναλυτικά τα δείγματα των υπόγειων νερών της περιοχής, οι αντίστοιχοι υδροχημικοί τους τύποι και οι κατηγορίες στις οποίες γενικά ταξινομούνται.

Πίνακας 12.1: Ταξινόμηση και υδρογεωχημικά χαρακτηριστικά των υπόγειων νερών της περιοχής μελέτης κατά Duron

ΔΕΙΓΜΑ	ΧΗΜΙΚΟΣ ΤΥΠΟΣ	ΥΔΡΟΓΕΩΧΗΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ
Φ1, Π7, Φ18	Ca-HCO ₃	Γαιοαλκαλικά νερά: οξυανθρακικά
Γ28	Ca-Mg-HCO ₃	Γαιοαλκαλικά νερά: οξυανθρακικά
Φ30	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄	Γαιοαλκαλικά νερά: οξυανθρακικά - θειικά
Γ5	Ca-Mg-Na-HCO ₃ -Cl	
Γ23, Γ24, Γ27	Mg-HCO ₃	Γαιοαλκαλικά νερά: οξυανθρακικά
Γ25, Φ26, Γ29, Γ3, Γ4, 13, Γ12	Mg-Ca-HCO ₃	Γαιοαλκαλικά νερά: οξυανθρακικά
Γ9, Γ11, Γ15, Γ22	Mg-Na-HCO ₃ -Cl	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: χλωριούχα
Γ8	Mg-Na-Ca-HCO ₃	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: οξυανθρακικά
Γ2	Mg-Ca-Na-HCO ₃	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: οξυανθρακικά
Γ19	Mg-Ca-Na-HCO ₃ -Cl	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: οξυανθρακικά
Γ6	Na-Mg-Ca-HCO ₃ -Cl	Αλκαλικά νερά: οξυανθρακικά
Γ20, Γ17	Na-Mg-HCO ₃ -Cl	Αλκαλικά νερά: οξυανθρακικά
Γ16	Na-Mg-Ca-HCO ₃	Αλκαλικά νερά: οξυανθρακικά
Γ14	Na-Ca-Cl-HCO ₃	Αλκαλικά νερά: οξυανθρακικά
Γ21	Na-HCO ₃ -Cl	Αλκαλικά νερά: χλωριοθειικά
Γ10	Na-Cl	Αλκαλικά νερά: χλωριοθειικά

Από το διάγραμμα Piper διαπιστώνεται ότι τα υπόγεια νερά της περιοχής μελέτης ταξινομούνται σε τέσσερις κύριες ομάδες τύπων νερών:

- ❖ **Πρώτη ομάδα** ανήκουν τα υπόγεια νερά που χαρακτηρίζονται γαιοαλκαλικά – οξυανθρακικά έως οξυανθρακικά-θειικά. Στην ομάδα αυτή περιλαμβάνονται τα νερά του φρεάτιου ορίζοντα, το νερό της πηγής και το 30% σχεδόν των γεωτρήσεων. Τα νερά αυτά παρουσιάζουν τους ακόλουθους υδροχημικούς τύπους: Ca-HCO₃, Ca-Mg-HCO₃, Ca-Mg-HCO₃-SO₄, Mg-HCO₃, Mg-Ca-HCO₃. Πρόκειται για φρέσκα νερά εμπλουτισμού. Στην κατηγορία αυτή, από την πλευρά των κατιόντων κυριαρχούν τα ιόντα ασβεστίου και μαγνησίου, ενώ από την πλευρά των ανιόντων επικρατούν κυρίως τα όξινα ανθρακικά και εν μέρει τα χλώρια και τα θειικά.
- ❖ **Δεύτερη ομάδα** ανήκουν τα υπόγεια νερά που χαρακτηρίζονται γαιοαλκαλικά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων – οξυανθρακικά. Στην ομάδα αυτή περιλαμβάνονται τα νερά των βαθιών γεωτρήσεων σε ποσοστό σχεδόν 50%. Τα νερά αυτά παρουσιάζουν τους ακόλουθους υδροχημικούς τύπους: Mg-Na-HCO₃-Cl, Mg-Na-Ca-HCO₃, Mg-Ca-Na-HCO₃-Cl, Na-Mg-Ca-HCO₃-Cl, Na-Ca-Cl-HCO₃. Παρατηρείται ότι από το άθροισμα των κατιόντων το μεγαλύτερο ποσοστό αντιπροσωπεύεται από το μαγνήσιο και ακολούθως από το νάτριο ενώ από το άθροισμα των ανιόντων το μεγαλύτερο ποσοστό αντιπροσωπεύεται από τα οξυανθρακικά ιόντα και ακολούθως από τα ιόντα χλωρίου. Τα νερά της κατηγορίας αυτής είναι ακαθόριστου τύπου και θεωρούνται νερά μίξης, στα οποία οι διαδικασίες κατιοανταλλαγής βρίσκονται σε στάδιο εξέλιξης.

- ❖ **Τρίτη ομάδα** ανήκουν τα υπόγεια νερά που χαρακτηρίζονται αλκαλικά-οξικαρβονικά. Στην ομάδα αυτή περιλαμβάνονται τα νερά των βαθιών σε ποσοστό σχεδόν 10%. Τα νερά αυτά παρουσιάζουν τους ακόλουθους υδροχημικούς τύπους: Na-Mg-Ca-HCO₃-Cl, Na-Mg-Ca-HCO₃, Na-Ca-Cl-HCO₃. Στην κατηγορία αυτή, από την πλευρά των κατιόντων, κυριαρχούν τα ιόντα νατρίου και μαγνησίου, ενώ από την πλευρά των ανιόντων επικρατούν τα όξινα ανθρακικά και τα χλώρια.
- ❖ **Τέταρτη ομάδα** ανήκουν τα υπόγεια νερά που χαρακτηρίζονται αλκαλικά-χλωριοθειικά. Στην ομάδα αυτή περιλαμβάνονται τα νερά δυο βαθιών γεωτρήσεων και χαρακτηρίζονται ως υφάλμυρα, λόγω των υψηλών συγκεντρώσεων σε νάτριο και χλώρια. Τα νερά αυτά παρουσιάζουν τους ακόλουθους υδροχημικούς τύπους: Na-HCO₃-Cl, Na-Cl. Πρόκειται για νερά τελικού πεδίου ροής. Στην κατηγορία αυτή, από την πλευρά των κατιόντων κυριαρχούν τα ιόντα νατρίου ενώ από την πλευρά των ανιόντων επικρατούν τα κυρίως τα χλώρια και εν μέρει τα όξινα ανθρακικά.

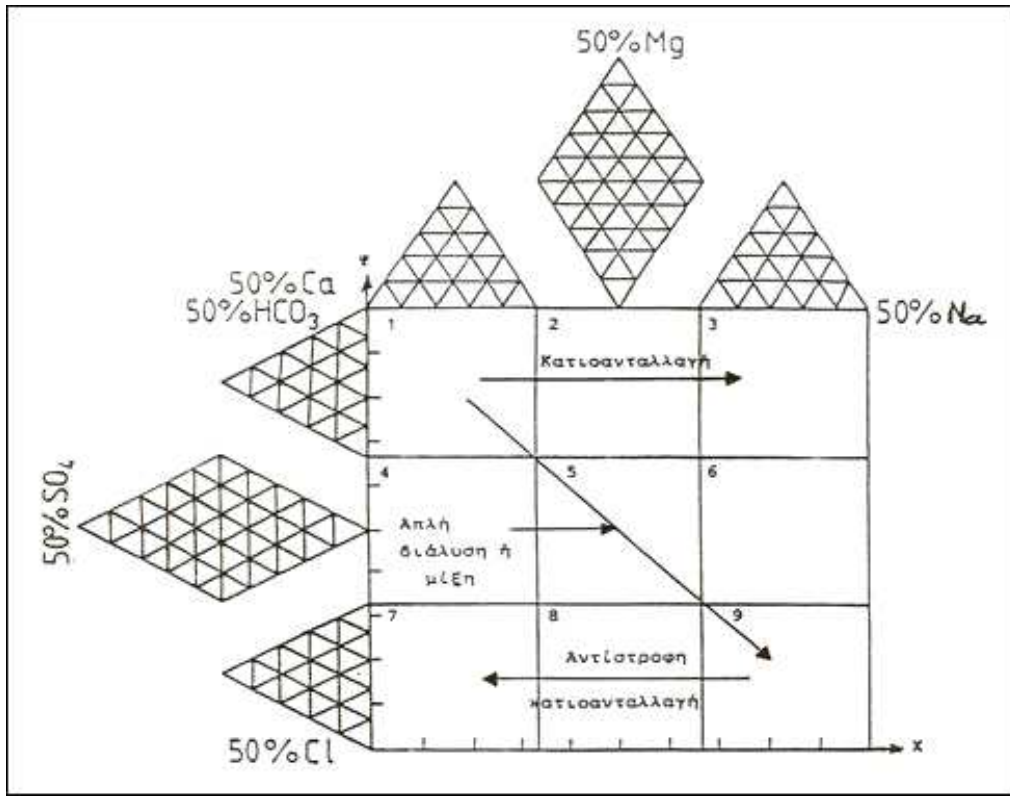
Με βάση τα προηγούμενα προκύπτει ότι η πλειοψηφία των δειγμάτων των Νεογενών σχηματισμών, ανήκει κατά μεγάλο ποσοστό στην κατηγορία των γαιοαλκαλικών νερών με υψηλό ποσοστό αλκαλίων, τα οποία προέρχονται από τα κεντρικά τμήματα της περιοχής μελέτης, και στην κατηγορία των γαιοαλκαλικών νερών που εντοπίζονται στα δυτικά και ανατολικά της λεκάνης και δέχονται την πλευρική τροφοδοσία από τους ανθρακικούς σχηματισμούς της περιοχής. Στην ζώνη των υφάλμυρων νερών, περιοχή Καλλιθέας, εντοπίζονται τα αλκαλικά νερά που σχετίζονται με την ύπαρξη εβαποριτικών αλάτων στην περιοχή τροφοδοσίας τους.

12.2 Ταξινόμηση κατά DUROV

Το διευρυμένο ή διαστελλόμενο διάγραμμα Durov χρησιμοποιείται για την καλύτερη κατανόηση των φαινομένων κατιοανταλλαγής και των μετασωματικών γραμμών εξέλιξης. Στην Εικόνα 12.2, φαίνονται παραστατικά τα πεδία των διαφόρων υδροχημικών φάσεων. Στο διάγραμμα αυτό, όπως αναλυτικά περιγράφεται από τους Lloyd et al. (1985), διακρίνονται εννέα (9) πεδία:

- 1. Φυσικά υπόγεια νερά: Κυριαρχούν τα HCO₃⁻ και τα Ca⁺² και συνήθως φανερώνει φρέσκα νερά φυσικής αναπλήρωσης διαμέσου ασβεστολίθων, ψαμμιτών και άλλων ανθρακικών πετρωμάτων.
- 2. Νερά εμπλουτισμένα σε Mg⁺²: Κυριαρχεί η HCO₃⁻ και είτε κυριαρχεί το Mg⁺² είτε κανένα κατιόν. Πρόκειται για νερά που έχουν σχέση με δολομίτες. Αν παρατηρηθεί ότι το Na⁺ έχει αρχίσει να αυξάνεται, αυτό φανερώνει ότι ο μηχανισμός 3 έχει αρχίσει να ενεργοποιείται (σχήμα 10.72).
- 3. Κυριαρχούν τα HCO₃⁻ και τα Na⁺ και το φαινόμενο της κατιοανταλλαγής βρίσκεται σε πλήρη εξέλιξη.
- 4. Κυριαρχεί το Ca⁺² και είτε κυριαρχεί η SO₄⁻² είτε κανένα ανιόν. Στην περίπτωση εκείνη που κυριαρχούν τόσο τα Ca⁺² όσο και τα SO₄⁻², αυτό υποδηλώνει νερά που προέρχονται από ζώνες αναπλήρωσης διαμέσου 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 Na⁺ και είτε κυριαρχεί η SO₄⁻², είτε κανένα κατιόν. Πρόκειται για υπόγειο νερό που δεν συναντάται πολύ συχνά και είναι τις περισσότερες φορές προϊόν μίξης.

- 7. (Κροκίδωση – καταστροφή του εδάφους): Κυριαρχούν τα Ca^{+2} και τα Cl^- . Σπάνιο υπόγειο νερό εκτός και εάν έχει προέλθει σαν τελικό προϊόν αντίστροφης κατιοανταλλαγής από νερά $\text{Na} - \text{Cl}^-$.
- 8. Κυριαρχεί το Cl^- , χωρίς να κυριαρχεί και κανένα κατιόν. Υπόγεια νερά όπου το φαινόμενο της αντίστροφης κατιοανταλλαγής βρίσκεται σε πλήρη εξέλιξη.
- 9. Κυριαρχούν τα Na^+ και Cl^- . Πρόκειται για τελικά νερά πεδίου ροής.



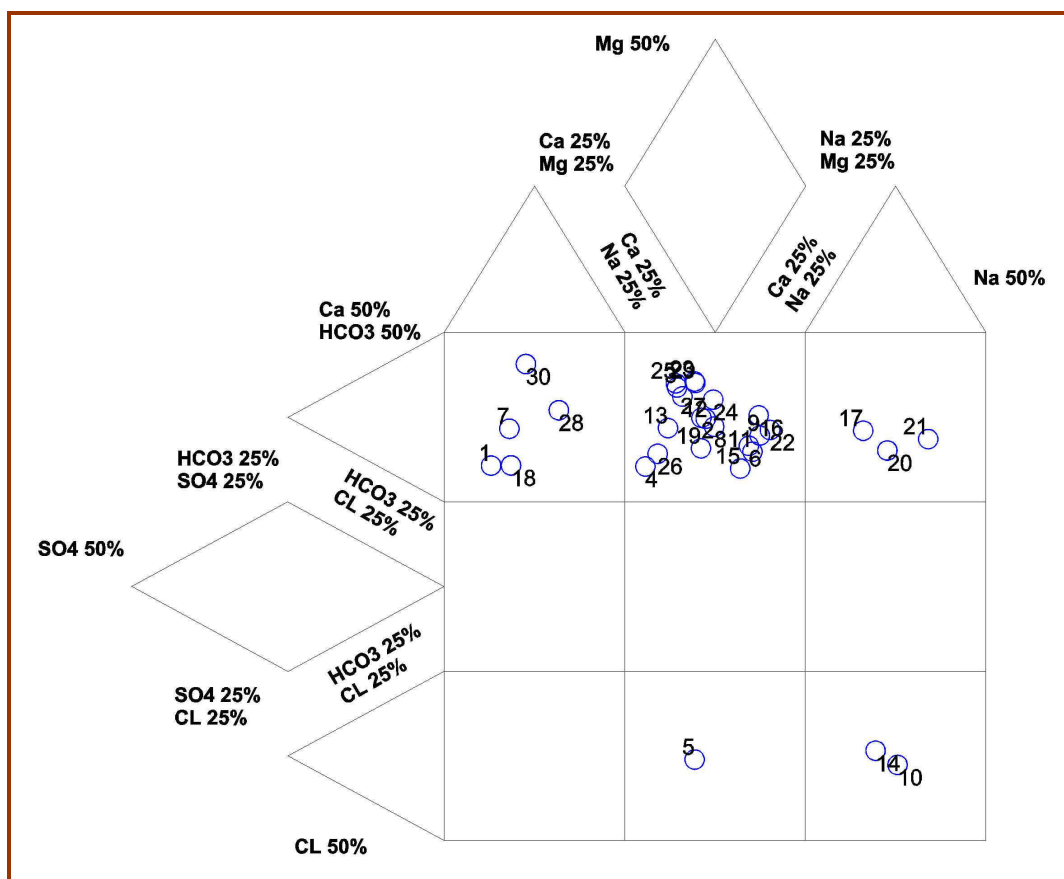
Εικόνα 12.2: Διαστελλόμενο διάγραμμα Durov. Τα βέλη στο σχήμα απεικονίζουν τις πιο συνηθισμένες μετασωματικές πορείες των υπόγειων νερών πριν αυτά τερματίσουν στη θάλασσα ή κινηθούν προς βαθύτερους υδροφόρους ορίζοντες.

Συμπερασματικά αναφέρεται ότι οι ομάδες 1–3 συνδέονται με διαδικασίες ανταλλαγής κατιόντων, οι ομάδες 4–6 σχετίζονται με νερά μίξης (ακόρεστα και επηρεασμένα από την θάλασσα) και τέλος οι ομάδες 7–9 αντιστοιχούν σε διαδικασίες αντίστροφης κατιοανταλλαγής.

Το διευρυμένο διάγραμμα Durov χρησιμοποιήθηκε για την ταξινόμηση των δειγμάτων με βάση τον υδροχημικό τους τύπο, καθώς επίσης για την διαπίστωση του σταδίου εξέλιξης τους μέσω των υδρογεωχημικών διαδικασιών. Το διευρυμένο αυτό διάγραμμα έχει το σαφές πλεονέκτημα, σε σχέση με εκείνο του Piper, ότι παρέχει μια καλύτερη εικόνα των διαφόρων χημικών τύπων και ορισμένων από τις διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα στα υπόγεια νερά.

Στην Εικόνα 12.3, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της προβολής των δειγμάτων στα διάφορα πεδία του διαγράμματος Durov βάσει των χημικών τους χαρακτηριστικών.

Στον Πίνακα 12.2, που ακολουθεί παρουσιάζονται αναλυτικά οι διάφορες φάσεις των υπόγειων νερών της περιοχής, για κάθε ένα δείγμα, όπως προκύπτουν από την ταξινόμηση τους κατά Durov.



Εικόνα 12.3: Ταξινόμηση των υπόγειων νερών της περιοχής μελέτης κατά Durov

Πίνακας 12.2: Ταξινόμηση και υδρογεωχημικά χαρακτηριστικά των υπόγειων νερών της περιοχής μελέτης κατά Durov

ΔΕΙΓΜΑ	ΠΕΔΙΟ	ΧΗΜΙΚΟΣ ΤΥΠΟΣ	ΥΔΡΟΓΕΩΧΗΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ
Φ1, Π7, Φ18, Γ28, Φ30	1	Ca – HCO ₃	Κυριαρχούν τα HCO ₃ ⁻ και Ca ²⁺ . Φρέσκα υπόγεια νερά εμπλουτισμού.
Γ2, Γ3, Γ4, Γ6, Γ8, Γ9, Γ11, Γ12, Γ13, Γ15, Γ16, Γ19, Γ22, Γ23, Γ24, Γ25, Γ27, Γ29, Φ26	2	Mg - HCO ₃	Νερά εμπλουτισμένα σε Mg ²⁺ . Επικρατεί η ανταλλαγή κατιόντων. Κυριαρχεί η ρίζα HCO ₃ ⁻ και το Mg ²⁺ .
Γ17, Γ20, Γ21	3	Na - HCO ₃	Νερά εμπλουτισμένα σε Na ⁺ . Κυριαρχεί η ρίζα HCO ₃ ⁻ . Επικρατεί η διαδικασία ανταλλαγής κατιόντων.
Γ5	8	Mg - Cl	Νερά εμπλουτισμένα σε Mg ²⁺ και Cl ⁻ . Το φαινόμενο της αντίστροφης κατιοανταλλαγής βρίσκεται σε πλήρη εξέλιξη.
Γ10, Γ14	9	Na - Cl	Κυριαρχούν τα Na ⁺ και τα Cl ⁻ . Τελικά νερά πεδίου ροής που έχουν προκύψει από διαδικασίες αντίστροφης κατιοανταλλαγής.

Με βάση το διάγραμμα Durov διαπιστώνονται τέσσερις ομάδες υπόγειων νερών που αναπτύσσονται στην περιοχή έρευνας:

- ❖ Στην **πρώτη ομάδα** ανήκουν κυρίως τα υπόγεια νερά του φρεάτιου ορίζοντα, δηλ. των πηγαδιών, της πηγής και μιας μικρού βάθους γεώτρησης. Αυτά είναι φρέσκα νερά εμπλουτισμού, στα οποία κυριαρχούν τα HCO_3^- και Ca^{+2} και έχουν τον υδροχημικό τύπο Ca-HCO_3 .
- ❖ Στην **δεύτερη ομάδα** επικρατεί η ανταλλαγή κατιόντων με κυρίαρχο ανιόν την οξυανθρακική ρίζα και επικρατών κατιόν το μαγνήσιο. Έχουν τον υδροχημικό τύπο Mg-HCO_3 και φανερώσουν την πλήρη εξέλιξη του φαινομένου της κατιοανταλλαγής.
- ❖ Στην **τρίτη ομάδα** κυριαρχούν τα Na^+ και τα HCO_3^- . Τα νερά αυτά βρίσκονται στο τελικό στάδιο της διαδικασίας της κατιοανταλλαγής. Έχουν τον υδροχημικό τύπο Na-HCO_3 .
- ❖ Στην **τέταρτη ομάδα** επικρατεί το φαινόμενο της αντίστροφης κατιοανταλλαγής. Συγκεκριμένα στην ομάδα κυριαρχεί το Cl^- και το Mg^{2+} , πρόκειται για νερά όπου το φαινόμενο της αντίστροφης κατιοανταλλαγής βρίσκεται σε πλήρη εξέλιξη. Τα νερά αυτά είναι του υδροχημικού τύπου Mg-Cl .
- ❖ Τέλος στην **πέμπτη ομάδα** κυριαρχούν τα Na^+ και τα Cl^- που σημαίνει τελικά νερά πεδίου ροής. Το φαινόμενο της αντίστροφης κατιοανταλλαγής βρίσκεται πλέον στο τελικό στάδιο.

Συμπερασματικά προκύπτει ότι η πλειονότητα των υπόγειων νερών της περιοχής έρευνας είναι πλούσια σε μαγνήσιο και όξινα ανθρακικά. Εμπλουτίζονται σε μαγνήσιο μέσω των διαδικασιών της κατιοανταλλαγής. Τα νερά αυτά απαντώνται στα κεντρικά κυρίως τμήματα της λεκάνης που φιλοξενούνται εντός των Νεογενών σχηματισμών.

Τα νερά του φρεάτιου ορίζοντα χαρακτηρίζονται ασβεστούχα-οξυανθρακικά, είναι νερά εμπλουτισμού και απαντώνται στα δυτικά και ανατολικά τμήματα της λεκάνης, όπου οι Νεογενείς σχηματισμοί εφάπτονται με τους τριαδικο-ιουρασικούς ανθρακικούς σχηματισμούς.

Χαρακτηριστική είναι και η παρουσία των νατριο-χλωριούχων νερών που εντοπίζονται στο βορειοανατολικό τμήμα της περιοχής και φιλοξενούνται επίσης εντός των Νεογενών σχηματισμών. Είναι νερά υφάλμυρα και έχουν προκύψει από την διάλυση των υπολειμματικών εβαποριτικών αλάτων, που προφανώς συνυπάρχουν εντός των Νεογενών σχηματισμών.

13. ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΥΔΡΟΧΗΜΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

13.1 Πολυμεταβλητή στατιστική ανάλυση

Η εφαρμογή μεθόδων πολυμεταβλητής στατιστικής ανάλυσης (multicomponent statistical analysis) είναι μία ευρύτατα χρησιμοποιούμενη μέθοδος τόσο στην υδρογεωλογική έρευνα (Voudouris et al. 1997, Lambrakis et al. 2004) όσο και στην περιβαλλοντική έρευνα (Παπαθεοδώρου και Φερεντίνος 1994).

Μια μέθοδος πολυμεταβλητής στατιστικής ανάλυσης είναι η παραγοντική ανάλυση (factor analysis), η εφαρμογή της οποίας συμβάλλει στη μείωση της πολυπλοκότητας χωρίς σημαντική απώλεια πληροφοριών (Βουδούρης, 2009).

Σκοπός της είναι να μετατρέψει ένα μεγάλο αριθμό μεταβλητών (variances) των αρχικών δεδομένων σε ένα σημαντικά μικρότερο αριθμό παραγόντων (factors). Με αυτόν τον τρόπο, οι λιγότεροι νέοι παράγοντες περιγράφουν το ίδιο μέγεθος πληροφοριών. Η ανίχνευση των σχέσεων μεταξύ των μεταβλητών απαιτεί την εφαρμογή της R-τύπου παραγοντικής ανάλυσης.

Στην παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή εφαρμόστηκε η R-τύπου παραγοντική ανάλυση (R-mode factor analysis) στα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων, δηλαδή τις μεταβλητές αποτελούν οι υδροχημικές παράμετροι.

Οι βασικές προϋποθέσεις εφαρμογής της παραγοντικής ανάλυσης είναι οι παρακάτω:

- Οι αρχικές μεταβλητές να έχουν μεγάλο συντελεστή συσχέτισης, για αυτό αρχικά ελέγχονται οι συντελεστές συσχέτισης.
- Ο αριθμός των μεταβλητών να είναι σχετικά μεγάλος (>4).

13.2 Εφαρμογή R-τύπου παραγοντικής ανάλυσης

Στην παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή, η R-τύπου παραγοντική ανάλυση εφαρμόστηκε στις φυσικοχημικές παραμέτρους και τις συγκεντρώσεις των κύριων στοιχείων, οι οποίες περιλαμβάνουν συνολικά 15 μεταβλητές (Πίνακας 13.1). Ο αριθμός των δεδομένων περιλαμβάνει συνολικά 30 δείγματα υπόγειου νερού της περιοχής μελέτης.

Πίνακας 13.1: Αποτελέσματα στατιστικής επεξεργασίας των κύριων ποιοτικών παραμέτρων των υπόγειων νερών της περιοχής μελέτης για την διερεύνηση των συντελεστών συσχέτισης.

	T	pH	DO	EC	Ca	Mg	Na	K	NH4	HCO3	Cl	SO4	NO3	PO4	SiO2
T	1.000	0.082	-0.027	0.242	-0.377	0.073	0.446	-0.026	-0.073	-0.119	0.318	-0.066	-0.238	0.018	-0.300
pH	0.082	1.000	-0.136	-0.180	-0.393	-0.044	0.060	-0.193	-0.119	0.067	-0.120	-0.235	-0.232	0.333	0.107
DO	-0.027	-0.136	1.000	0.085	0.239	0.220	-0.194	0.300	0.094	-0.028	0.084	-0.051	0.184	-0.279	0.130
EC	0.242	-0.180	0.085	1.000	0.432	0.166	0.820	0.538	0.031	-0.010	0.970	0.685	-0.059	-0.385	-0.526
Ca	-0.377	-0.393	0.239	0.432	1.000	-0.274	0.063	0.390	0.165	-0.211	0.273	0.755	0.671	-0.650	-0.365
Mg	0.073	-0.044	0.220	0.166	-0.274	1.000	-0.078	0.031	-0.010	0.704	0.121	-0.312	-0.166	0.391	0.492
Na	0.446	0.060	-0.194	0.820	0.063	-0.078	1.000	0.380	0.025	-0.169	0.883	0.484	-0.365	-0.166	-0.618
K	-0.026	-0.193	0.300	0.538	0.390	0.031	0.380	1.000	-0.009	-0.089	0.517	0.304	0.155	-0.454	-0.272
NH4	-0.073	-0.119	0.094	0.031	0.165	-0.010	0.025	-0.009	1.000	-0.043	-0.017	0.192	0.153	-0.030	0.027
HCO3	-0.119	0.067	-0.028	-0.010	-0.211	0.704	-0.169	-0.089	-0.043	1.000	-0.102	-0.329	-0.192	0.544	0.327
Cl	0.318	-0.120	0.084	0.970	0.273	0.121	0.883	0.517	-0.017	-0.102	1.000	0.589	-0.235	-0.371	-0.545
SO4	-0.066	-0.235	-0.051	0.685	0.755	-0.312	0.484	0.304	0.192	-0.329	0.589	1.000	0.386	-0.594	-0.523
NO3	-0.238	-0.232	0.184	-0.059	0.671	-0.166	-0.365	0.155	0.153	-0.192	-0.235	0.386	1.000	-0.327	0.056
PO4	0.018	0.333	-0.279	-0.385	-0.650	0.391	-0.166	-0.454	-0.030	0.544	-0.371	-0.594	-0.327	1.000	0.449
SiO2	-0.300	0.107	0.130	-0.526	-0.365	0.492	-0.618	-0.272	0.027	0.327	-0.545	-0.523	0.056	0.449	1.000

Το πρώτο στάδιο της παραγοντικής ανάλυσης περιλαμβάνει την ανάλυση των κύριων συνιστωσών (Principal component analysis, PCA). Στη συνέχεια υπολογίζεται ο πίνακας συντελεστών συσχέτισης (correlation coefficient matrix), ο οποίος παρουσιάζεται στη συνέχεια και δείχνει την αλληλοσυσχέτιση μεταξύ των μεταβλητών. Ο πίνακας των μεταβλητών συσχέτισης είναι καταλληλότερος από τον πίνακα διακυμάνσεων – συνδιακυμάνσεων, επειδή οι μεταβλητές είναι εκφρασμένες σε διαφορετική μορφή (mg/l, $\mu\text{S}/\text{cm}$, $^{\circ}\text{C}$).

Όπως φαίνεται στον πίνακα πολλές μεταβλητές παρουσιάζουν υψηλό συντελεστή συσχέτισης, για παράδειγμα οι συντελεστές συσχέτισης των EC και Na (0.820), EC και Cl (0.970), Ca και SO_4 (0.755), EC και SO_4 (0.685).

Στη συνέχεια της διαδικασίας γίνεται επίλυση του πίνακα συσχέτισης και υπολογισμός των ιδιοτιμών (eigenvalues), των κύριων παραγόντων (factors) και των παραγοντικών φορτίων (loadings).

Η επιλογή του αριθμού των κύριων παραγόντων και η αποκοπή των επουσιωδών είναι κρίσιμο στάδιο της παραγοντικής ανάλυσης. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται διάφορα κριτήρια (Davis 2002, Βουδούρης 2009), μερικά από τα οποία είναι:

1. Επιλογή των δύο ή τριών πρώτων παραγόντων, ώστε να είναι δυνατή η απεικόνιση σε γραφικές παραστάσεις.
2. Επιλογή των παραγόντων, οι οποίοι σχετίζονται με ιδιοτιμές ίσες ή μεγαλύτερες της μονάδας.
3. Επιλογή του αριθμού των παραγόντων σύμφωνα με το κριτήριο «Cattell' Scree test». Σε ένα διάγραμμα Scree – plot απεικονίζονται ο αριθμός των παραγόντων και των αντίστοιχων ιδιοτιμών. Σύμφωνα με το κριτήριο αυτό επιλέγονται οι παράγοντες που αντιστοιχούν στις μεγαλύτερες ιδιοτιμές και σχηματίζουν μια ευθεία στο Scree – plot διάγραμμα.
4. Επιλογή των παραγόντων βάση της βαθιάς γνώσης του ερευνητή για το υδρογεωλογικό πρόβλημα.

Σύμφωνα με το κριτήριο Cattell' Scree test, επιλέχθηκε η εφαρμογή του τετραπλού παραγοντικού μοντέλου, το οποίο και αντιπροσωπεύει το 72.5% της συνολικής διακύμανσης (Πίνακας 13.2). Όλες οι μεταβλητές, εκτός από τα pH και NH_4^+ , χαρακτηρίζονται από υψηλές κοινές παραγοντικές διακυμάνσεις (communalities) (>0.6), γεγονός που πιστοποιεί ότι το μοντέλο των τεσσάρων παραγόντων παρέχει ικανοποιητικά αποτελέσματα.

Τα αποτελέσματα της παραγοντικής ανάλυσης παρατίθενται αναλυτικά στον πίνακα 13.2 που ακολουθεί.

- ❖ Ο **πρώτος παράγοντας** αντιπροσωπεύει το 32.5% της συνολικής διακύμανσης, χαρακτηρίζεται από υψηλές θετικές φορτίσεις (loadings) των E.C., Na^+ , Cl $^-$, SO_4^{2-} και αρνητική φόρτιση του SiO_2 (Πίνακας 13.2). Η κοινή προέλευση των στοιχείων αυτών η οποία συνδέεται με τη διάλυση υπολειμματικών εβαποριτικών αλάτων, δείχνει ότι ο παράγοντας 1 αποτελεί τον «παράγοντα διάλυσης του εβαποριτικού υλικού». Η παρουσία υπολειμματικών εβαποριτικών αλάτων στα Νεογενή ιζήματα της περιοχής μελέτης είναι προφανής και τεκμηριώνεται μέσω των ιοντικών σχέσεων. Στον πρώτο παράγοντα η συμμετοχή του SiO_2 («αντιπάθεια») εξηγείται από την παρουσία κλαστικού υλικού οφιολιθικής προέλευσης που συνυπάρχει μέσα στα ιζήματα των Νεογενών σχηματισμών. Το οφιολιθικό υλικό χαρακτηρίζεται από την παρουσία μαγνησιούχων ορυκτών, όπως είναι οι ολιβίνες. Μέσω της

διαδικασίας της υδρόλυσης τους τα υπόγεια νερά εμπλουτίζονται, πέραν του Mg^{2+} , αλλά και σε SiO_2 .

- ❖ Ο **δεύτερος παράγοντας** αντιπροσωπεύει το 18.9% της συνολικής διακύμανσης (Πίνακας 13.2). Οι μεταβλητές που συνεισφέρουν στη δημιουργία του παράγοντα 2 είναι τα ιόντα Mg^{2+} και HCO_3^- με πολύ υψηλές θετικές φορτίσεις. Τα PO_4^{2-} και SiO_2 παρουσιάζουν λιγότερο υψηλές θετικές φορτίσεις. Ο παράγοντας αυτός δείχνει την διαδικασία διάλυσης των μαγνησιούχων ορυκτών όπως των ολιβινών, του δολομίτη, κλπ. Σε περιοχές όπου η παρουσία των PO_4^{2-} γίνεται περισσότερο αισθητή, τότε δεν αποκλείεται η πιθανή ρύπανση στις περιοχές αυτές από επιφανειακούς παράγοντες.
- ❖ Ο **τρίτος παράγοντας** διαμορφώνεται από τις σημαντικές θετικές φορτίσεις των Ca^{2+} , SO_4^{2-} και NO_3^- , αρνητική φόρτιση της θερμοκρασίας (T) και εκφράζει το 13.2% της συνολικής διακύμανσης. Ο παράγοντας αυτός δείχνει την άμεση σχέση των ιόντων Ca^{2+} και SO_4^{2-} , τα οποία προφανώς προέρχονται από την διάλυση των εβαποριτικών αλάτων γύψου. Η παρουσία των NO_3^- ιόντων στις περιοχές, όπου αυτά εμφανίζονται, φανερώνει την ύπαρξη διάχυτων πηγών ρύπανσης, κυρίως ανθρωπογενούς προέλευσης.
- ❖ Ο **τέταρτος παράγοντας** εκφράζει το μικρότερο ποσοστό της συνολικής διακύμανσης (7.8%) και παρουσιάζει θετικές φορτίσεις στο διαλυμένο οξυγόνο (D.O.) και το K^+ , ενώ παρουσιάζει αρνητική φόρτιση στα PO_4^{3-} . Η «αντιπάθεια» του διαλυμένου οξυγόνου και των PO_4^{3-} υποδηλώνει περιοχές μη ρυπασμένες.

Πίνακας 13.2: Αποτελέσματα R-τύπου παραγοντικής ανάλυσης των φυσικοχημικών παραμέτρων και κύριων στοιχείων . Οι συγκεντρώσεις των στοιχείων δίδονται σε mg/l.

Μεταβλητή	Παράγοντας 1	Παράγοντας 2	Παράγοντας 3	Παράγοντας 4	Κοινή Παραγοντική Διακύμανση
T (°C)	0.360	-0.104	-0.631	0.023	0.539
pH	-0.101	0.016	-0.399	-0.347	0.290
DO	-0.101	0.087	-0.019	0.857	0.752
EC (μS/cm)	0.953	0.080	0.142	0.197	0.974
Ca^{2+}	0.276	-0.303	0.799	0.332	0.916
Mg^{2+}	0.051	0.910	-0.096	0.225	0.890
Na^+	0.932	-0.097	-0.208	-0.143	0.942
K^+	0.480	-0.033	0.116	0.583	0.584
NH_4^+	0.045	0.075	0.421	-0.114	0.198
HCO_3^-	-0.045	0.876	0.051	-0.117	0.785
Cl^-	0.960	0.021	-0.051	0.186	0.960
SO_4^{2-}	0.634	-0.353	0.593	0.017	0.879
NO_3^-	-0.229	-0.243	0.686	0.289	0.666
PO_4^{2-}	-0.310	0.597	-0.289	-0.511	0.797
SiO_2	-0.651	0.532	0.000	0.079	0.714
Διακύμανση	4.885	2.846	1.986	1.169	10.885
Διακύμανση (%)	32.563	18.975	13.239	7.791	72.569

14. ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΧΡΗΣΕΙΣ

14.1 Καταλληλότητα για ανθρώπινη χρήση

Για την εξέταση της καταλληλότητας των υπόγειων νερών της περιοχής μελέτης, όσο αφορά την ποσιμότητά τους, χρησιμοποιήθηκαν τα όρια που καθορίστηκαν από την Ελληνική Νομοθεσία (ΦΕΚ 892/Β/11 892/Β/11-7-2001) σε συμμόρφωση με την Οδηγία 98/83/ΕΚ του Συμβουλίου της Ε.Ε της 3/11/1998 (Πίνακας 14.1). Με βάση τις συγκεντρώσεις των κύριων στοιχείων και των ιχνοστοιχείων που προσδιορίζονται στα υπόγεια νερά της περιοχής, γίνεται σύγκριση με τις ανώτερες τιμές που θέτει η Ε.Ε. και αφορούν τα πόσιμα νερά.

Πίνακας 14.1: Σταθερότυπα πόσιμου νερού (Οδηγία 80/778 ΕΟΚ, ΦΕΚ 53Α/20-2-86)

Παράμετρος ή στοιχείο	Ενδεικτικό επίπεδο	Ανώτατο επιτρεπτό όριο
Θερμοκρασία	12°C	25 °C
pH	6.5≤pH≤8.5	
Αγωγιμότητα	400μS/cm (στους 20 °C)	
Cl	25 mg/l	
SO₄	25 mg/l	250 mg/l
Mg	30 mg/l	50 mg/l
Na	20 mg/l	150 mg/l
K	10 mg/l	12 mg/l
Al	0,05 mg/l	0,2 mg/l
NO₃	25 mg/l	50 mg/l
NH₄	0,05 mg/l	0,5 mg/l
Fe	0,05 mg/l	0,2 mg/l
Mn	0,02 mg/l	0,05 mg/l
Cu		0,1 mg/l
Zn		0,1 mg/l
P	0,4 mg/l P ₂ O ₅	5 mg/l P ₂ O ₅
Ag		0,01 mg/l
As		0,05 mg/l
Cd		0,005 mg/l
Cr		0,05 mg/l
Hg		0,001 mg/l
Ni		0,05 mg/l
Pb		0,01 mg/l
Ca	100 mg/l	

Ειδικότερα, μια αναλυτική εικόνα της ποιότητας του υπόγειου νερού δίνεται στον πίνακα 8.4., όπου φαίνονται οι συγκεντρώσεις των δειγμάτων που προέκυψαν από τις χημικές αναλύσεις.

Παλαιότερα οι περισσότερες κοινότητες κάλυπταν τις ανάγκες σε πόσιμο νερό μέσω υδρομάστευσης των πηγαδιών. Η πρακτική αυτή εγκαταλείφθηκε τις τελευταίες

δεκαετίες, λόγω των υπερβολικών συγκεντρώσεων σε νιτρικά και αμμωνιακά άλατα που διαπιστώθηκαν στα νερά, τα οποία συνδέονται με την εντατική καλλιέργεια της περιοχής.

Μεταξύ των κοινοτήτων που βρίσκονται στην περιοχή έρευνας οι κοινότητες, Λεύκτρα, Καπαρέλλι, Λουτουφί, Μελισσοχώρι και Ερυθραί τροφοδοτούνται πλέον από τον αγωγό μεταφοράς νερού του Μόρνου, το οποίο διέρχεται την περιοχή μελέτης και μεταφέρεται προς την Αθήνα για την ύδρευσή της.

Οι κοινότητες Καλλιθέα, Νεοχώριο και Ασωπία τροφοδοτούνται με πόσιμο νερό από τοπικές γεωτρήσεις. Στην ευρύτερη περιοχή των κοινοτήτων αυτών εντοπίζονται νερά υψηλής αλατότητας, η οποία όπως περιγράφηκε αναλυτικά πιο πάνω, σχετίζεται με την διάλυση υπολειμματικών εβαποριτικών αλάτων που βρίσκονται στους Νεογενείς σχηματισμούς.

Τα προβλήματα που αντιμετωπίζουν οι κοινότητες αυτές, αναφορικά ως προς την ποιότητα του πόσιμου νερού, πέραν της υψηλής αλατότητας, είναι η παρουσία, των νιτρικών αλάτων και ιδιαίτερα η παρουσία των βαρέων μετάλλων στα νερά ύδρευσης τους. Μεταξύ των βαρέων μετάλλων που ανιχνεύονται στα υπόγεια νερά της περιοχής με τιμές που υπερβαίνουν τα ανώτατα επιτρεπτά όρια είναι το Κάδμιο, το Μαγγάνιο, ο Μόλυβδος, το Νικέλιο και το Χρώμιο. Προφανώς η παρουσία των βαρέων αυτών μετάλλων σχετίζεται κυρίως με γεωγενείς και σε περιορισμένο βαθμό με ανθρωπογενείς παράγοντες.

Γενικά, τα υπόγεια νερά της περιοχής μελέτης δεν είναι κατάλληλα για ανθρώπινη κατανάλωση, αν συνυπολογιστούν όλες οι φυσικοχημικές παράμετροι, τα κύρια στοιχεία και τα ιχνοστοιχεία αυτών. Βασικός παράγοντας της υποβάθμισης των υπόγειων νερών της περιοχής που προέρχονται από τους Νεογενείς σχηματισμούς, αποτελεί το γεωλογικό υπόβαθρο και σε δεύτερη θέση προφανώς οι ανθρωπογενείς επιδράσεις. Η συνεχιζόμενη και ανεξέλεγκτη χρήση λιπασμάτων, φυτοφαρμάκων, αστικών λυμάτων, όσο και η ύπαρξη σηπτικών βόθρων έχει ως αποτέλεσμα την υποβάθμιση της ποιότητας των υπόγειων νερών της περιοχής.

14.2 Καταλληλότητα για αρδευτική χρήση

Η καταλληλότητα των υδάτων για αρδευτικούς σκοπούς καθορίζεται με βάση συγκεκριμένα κριτήρια όπως

- ❖ η ολική συγκέντρωση αλάτων που επιδρά στην καρποφορία (λόγω αύξησης της οσμωτικής πίεσης και μείωσης των κυτταρικών χυμών)
- ❖ η συγκέντρωση ορισμένων κατιόντων που μπορεί να προκαλέσουν προβλήματα στη δομή και το πορώδες του εδάφους (για παράδειγμα αποκροκίδωση της αργίλου, στην περατότητα, στον αερισμό)
- ❖ η σύσταση του νερού σε κάποια ιόντα σε συγκεντρώσεις που μπορεί να έχουν τοξική δράση στα φυτά.

Οι συνηθέστερες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση της καταλληλότητας ενός νερού για άρδευση είναι η μέθοδος Richards και η μέθοδος Wilcox (Καλλέργης, 2000).

14.2.1 Ταξινόμηση κατά RICHARDS (SAR)

Ένας αναλυτικός τρόπος χαρακτηρισμού των νερών άρδευσης είναι αυτός που χρησιμοποιεί τον συντελεστή προσρόφησης νατρίου σε σχέση με την ηλεκτρική αγωγιμότητα. Ο συντελεστής προσρόφησης Νατρίου (Sodium Absorption Ratio) γνωστός και σαν κίνδυνος Νατρίου εκφράζεται από την σχέση :

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

Ο συντελεστής SAR εκφράζει την ιδιότητα που έχει το νερό σύμφωνα με την οποία μέρος των κατιόντων του μπορούν να αντικατασταθούν από τα κατιόντα ενός εδάφους και ειδικότερα το Ca^{2+} και Mg^{2+} από το Na^+ . Αποτέλεσμα της διαδικασίας αυτής είναι η αύξηση του ποσοστού του Na^+ όταν το νερό έρχεται σε μακρόχρονη επαφή με το έδαφος (άρδευση, ανύψωση υδροφόρου ορίζοντα κ.λ.π.).

Η αντικατάσταση των κατιόντων Ca^{2+} , Mg^{2+} από το Na^+ , έχει σαν αποτέλεσμα την χειροτέρευση της ποιότητας του νερού άρδευσης αλλά και την μεταβολή των χαρακτηριστικών του εδάφους. Νερό πλούσιο σε Na^+ συμβάλλει στο να ελαττώνεται η περατότητα του εδάφους, λόγω αποκροκιδώσεως, ενώ το αντίθετο συμβαίνει για το νερό πλούσιο σε ιόντα Ca^{2+} , Mg^{2+} (Appelo et.al, 1999).

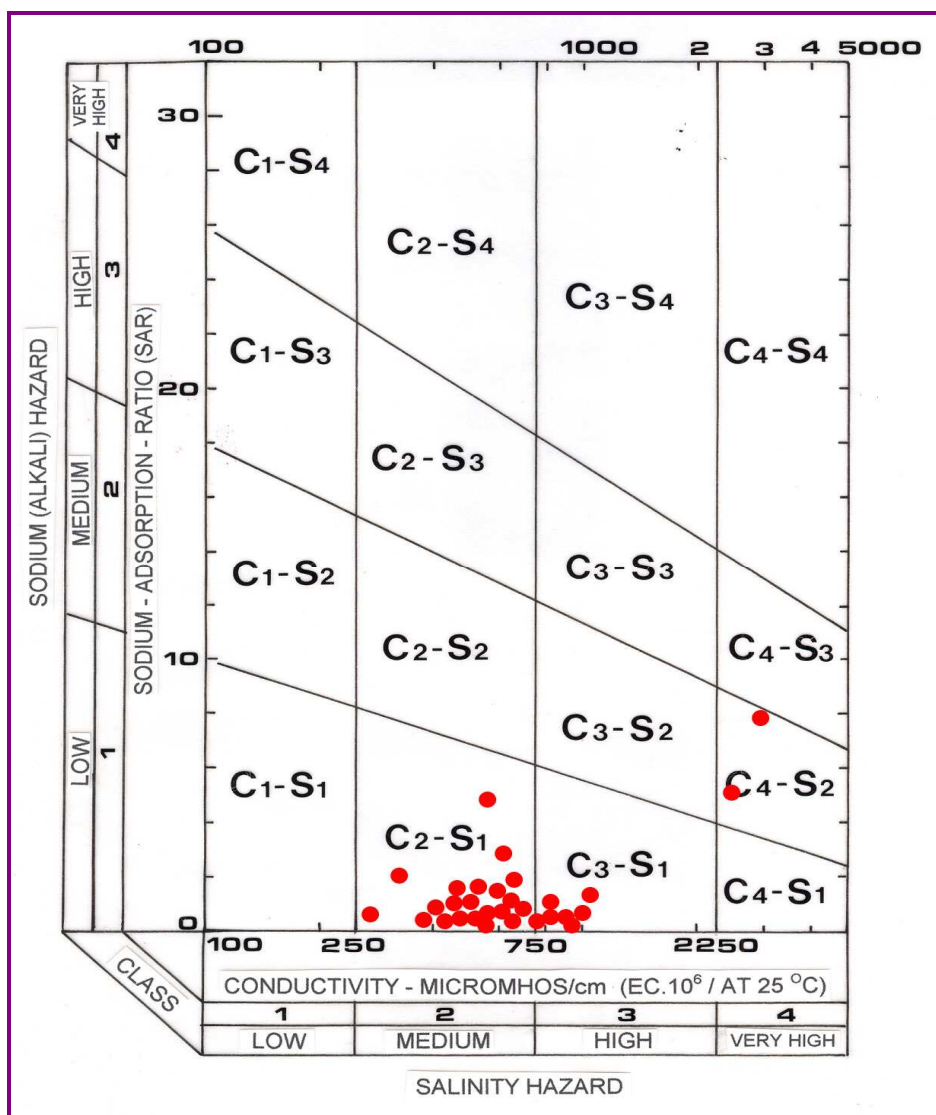
Σύμφωνα με την κατάταξη του Richards υπάρχουν 16 ποιοτικές κατηγορίες νερού, οι οποίες δείχνουν κατά πόσο τα αρδευτικά νερά μπορεί να προκαλέσουν αλάτωση στο έδαφος. Οι κατηγορίες αυτές φαίνονται στον πίνακα 14.2.

Στην εικόνα 14.1, παρουσιάζεται το διάγραμμα Richards και οι διάφορες ποιοτικές κατηγορίες αρδευτικού νερού. Επίσης στο διάγραμμα γίνεται προβολή των δειγμάτων των υπόγειων νερών της περιοχής.

Βάσει του διαγράμματος τα υπόγεια νερά κατατάσσονται στις ακόλουθες κατηγορίες: 21 δείγματα (ποσοστό 70%) ανήκουν στην κατηγορία C2-S1, 7 δείγματα (ποσοστό 23,3%) ανήκουν στην κατηγορία C3-S1 και 2 δείγματα (ποσοστό 6,7%) στην κατηγορία C4-S2.

Πίνακας 14.2: Κατηγορίες αρδευτικών υδάτων κατά Richards

Κατηγορία νερού		Καταλληλότητα για άρδευση
1	C1-S1	Νερό πολύ καλής ποιότητας με χαμηλή περιεκτικότητα σε άλατα. Κατάλληλο για άρδευση
2	C1-S2, C2-S1	Νερό καλής ποιότητας. Κατάλληλο για άρδευση καλλιεργειών με εξαίρεση φυτά εξαιρετικά ευαίσθητα στα άλατα ή εδάφη με κακή στράγγιση
3	C2-S2, C1-S3, C3-S1	Νερό μέσης ποιότητας που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για άρδευση με περιορισμούς
4	C1-S4, C2-S3, C3-S2, C4-S1	Νερό μέσης προς κακής ποιότητας. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για άρδευση ανθεκτικών σε άλατα φυτών και σε καλά στραγγιζόμενα εδάφη
5	C2-S4 C4-S2 C3-S3	Νερό κακής ποιότητας. Δεν συνίσταται η χρήση του για αρδευτικούς σκοπούς. Παρόλα αυτά μπορεί να χρησιμοποιηθεί για άρδευση με αυστηρούς περιορισμούς σε καλά στραγγιζόμενα εδάφη και φυτά ανθεκτικά στα άλατα. Κίνδυνος αύξησης της αλατότητας του εδάφους γι' αυτό συνίσταται η περιοδική έκπλυση των αλάτων.
6	C3-S4 C4-S3	Νερό κακής ποιότητας που δεν συνίσταται η χρήση του. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για άρδευση σε εξαιρετικές περιπτώσεις κάτω από πολλούς περιορισμούς
7	C4-S4	Νερό πολύ κακής ποιότητας. Η εφαρμογή του για άρδευση καθίσταται απαγορευτική.



Εικόνα 14.1: Ταξινόμηση της καταλληλότητας των υπόγειων νερών της περιοχής για την εκτίμηση της καταλληλότητάς τους για αρδευτικούς σκοπούς κατά Richards.

Συμπερασματικά, η πλειοψηφία από τα δείγματα νερού της περιοχής μελέτης, παρουσιάζουν μικρή αλκαλικότητα, ενώ πρόκειται για νερά μέσης έως υψηλής αλατότητας. Το νερό αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε εδάφη που παρουσιάζουν καλή στράγγιση και για φυτά ανθεκτικά σε άλατα. Αν τα εδάφη είναι λεπτόκοκκα, που η στράγγιση και η απόπλυση είναι ανεπαρκής προστίθεται γύψος ($\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$). (Καλέργης, 2000).

Εξαιρέση αποτελούν δυο δείγματα νερού γεωτρήσεων (Γ10 και Γ14) τα οποία ανήκουν στην κλάση C4-S2 και χαρακτηρίζονται από την πολύ υψηλή αλατότητα και την μέση αλκαλικότητα. Εξαιτίας της υψηλής αλατότητας το νερό της κατηγορίας αυτής είναι ακατάλληλο για άρδευση σε συνηθισμένες συνθήκες. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο σε ειδικές περιπτώσεις, όπως όταν το έδαφος είναι πολύ περατό και η στράγγιση είναι επαρκής.

14.2.2 Ταξινόμηση κατά WILCOX

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί τις τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας σε $\mu\text{S}/\text{cm}$, των διαλυμένων αλάτων σε χιλιοστοισοδύναμα (meq) και την ποσοστιαία περιεκτικότητα Νατρίου(%) επί του συνόλου των κατιόντων, όπου

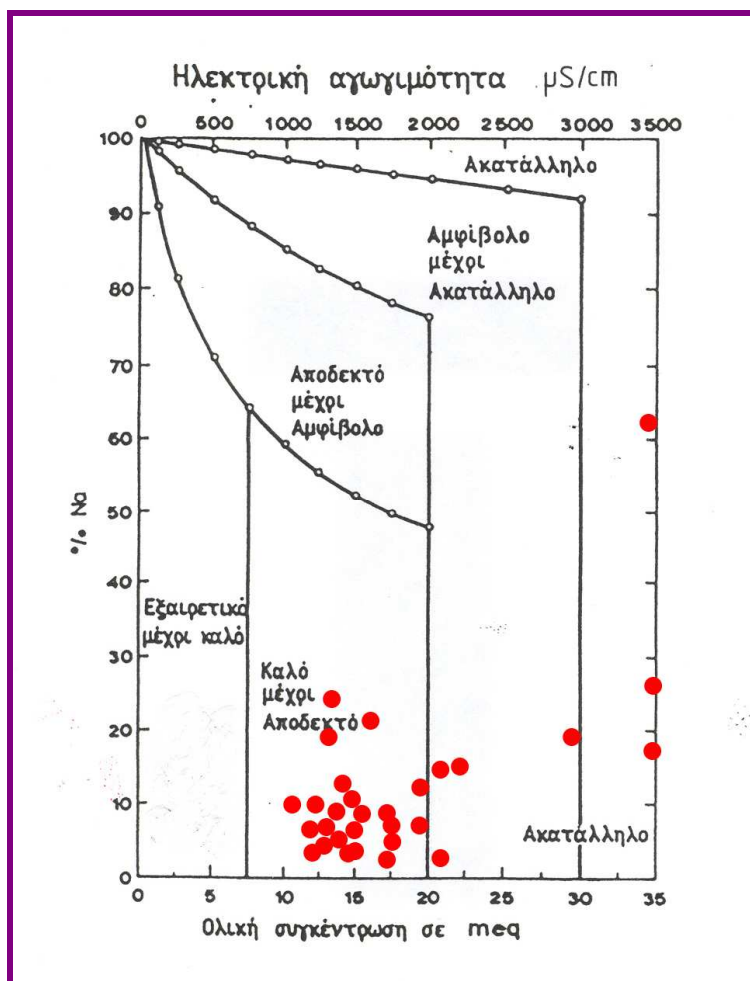
$$\% \text{Na} = \frac{(\text{Na} + \text{K}) \cdot 100}{\text{Ca} + \text{Mg} + \text{Na} + \text{K}}$$

με όλες τις συγκεντρώσεις των ιόντων να εκφράζονται σε meq/l.

Σύμφωνα με το Σύστημα Ταξινόμησης του Wilcox τα νερά κατηγοριοποιούνται σε 5 κατηγορίες με διαφορετική καταλληλότητα για άρδευση καλλιεργειών (Καλλέργης 2000, Wilcox 1955).

Πίνακας 14.3: Κατηγορίες αρδευτικών υδάτων και η καταλληλότητα τους κατά Wilcox

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ
1	Εξαιρετικό μέχρι καλό
2	Καλό μέχρι αποδεκτό
3	Αποδεκτό μέχρι αμφίβολο
4	Αμφίβολο μέχρι ακατάλληλο
5	Ακατάλληλο



Εικόνα 14.2: Ταξινόμηση της καταλληλότητας των υπόγειων νερών της περιοχής για την εκτίμηση της καταλληλότητας τους για αρδευτικούς σκοπούς κατά Wilcox.

Στην εικόνα 14.2, παρουσιάζεται το διάγραμμα ταξινόμησης Wilcox και οι διάφορες ποιοτικές κατηγορίες αρδευτικού νερού. Επίσης στο διάγραμμα γίνεται προβολή των δειγμάτων των υπόγειων νερών της περιοχής.

Όπως φαίνεται στο διάγραμμα, η πλειοψηφία των εξετασθέντων δειγμάτων (23 δείγματα 76,6%) ανήκει σε καλά έως αποδεκτά νερά (2^η κατηγορία), ένα ποσοστό των δειγμάτων (4 δείγματα 13,3%) ανήκει στα αμφίβολα μέχρι ακατάλληλα για άρδευση (4^η κατηγορία) και ένα μικρό ποσοστό (3 δείγματα 10%) στα ακατάλληλα (5^η κατηγορία).

Οι δύο μέθοδοι συμφωνούν στο γεγονός ότι κανένα απ' τα εξετασθέντα δείγματα νερού δεν ανήκουν στα ποιοτικά που είναι κατάλληλα για άρδευση. Η μέθοδος Wilcox είναι πιο αυστηρή στην κατηγοριοποίηση των υδάτων για άρδευση, κι αυτό φαίνεται καθαρά στα δείγματα της υπό εξέταση περιοχής. Με τη μέθοδο Richards, κρίνονται περίπου 7% των δειγμάτων ως ακατάλληλα για άρδευση, ενώ με τη μέθοδο Wilcox το ποσοστό αυτό αυξήθηκε στο 10%.

15. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από την έρευνα που πραγματοποιήθηκε στην περιοχή του άνω ρου του Ασωπού ποταμού προκύπτουν τ' ακόλουθα συμπεράσματα:

- ❖ Η περιοχή μελέτης βρίσκεται στο νοτιοδυτικό τμήμα του Ν. Βοιωτίας. Το ανάγλυφο της περιοχής στο μεγαλύτερο ποσοστό της έκτασης είναι ήπιο, και αποτελεί την πεδιάδα των Ερυθρών-Λεύκτρων-Καλλιθέας, με κυμαινόμενο υψόμετρο 250-350 μέτρα. Τα πρηνή των ορεινών μαζών του Κιθαιρώνα και του Πάστρα οριοθετούν το δυτικό και νότιο άκρο της περιοχής αντίστοιχα. Τα υψόμετρα τους κυμαίνονται μεταξύ 250 και 1025 μέτρα. Το ανατολικό τμήμα οριοθετείται από τα υψώματα της Ασωπίας τα οποία, λόγω τεκτονισμού, διακόπτουν την συνέχεια της λεκάνης του Ασωπού και οριοθετούν τον άνω ρου της λεκάνης του Ασωπού.
- ❖ Το μεγαλύτερο τμήμα της περιοχής καταλαμβάνουν οι καλλιεργούμενες εκτάσεις που, κάτω από την ολοένα αυξανόμενη πληθυσμιακή εξέλιξη, τμήματα τους μετατρέπονται σταδιακά σε οικιστικές χρήσεις γης.
- ❖ Το κλίμα της περιοχής ακολουθεί το ξηροθερμικό κλίμα της Αττικής, με χαμηλό ύψος βροχής και υψηλές θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών.
- ❖ Η περιοχή, δομείται στο μεγαλύτερο τμήμα της από Μεταλπικούς σχηματισμούς και συγκεκριμένα από Νεογενείς και Τεταρτογενείς αποθέσεις. Το πάχος τους κυμαίνεται κατά θέσεις μεταξύ 200 και 300m. Υποκείμενα αυτών, αναπτύσσονται οι τριαδικο-ιουρασικοί ανθρακικοί σχηματισμοί, ασβεστόλιθοι-δολομίτες και στη βάση αυτών βρίσκονται σχιστόλιθοι του νεοπαλαιοζωικού, οι οποίοι εμφανίζονται και στην επιφάνεια κατά θέσεις λόγω τεκτονισμού και αποτελούν το στρωματογραφικό υπόβαθρο της περιοχής μελέτης.
- ❖ Στην περιοχή αναπτύσσονται δυο βασικοί τύποι υδροφορίας, η ανώτερη αναπτύσσεται εντός των κοκκωδών σχηματισμών του Νεογενούς και Τεταρτογενούς και η κατώτερη καρστική υδροφορία που αναπτύσσεται εντός των καρστικοποιημένων ανθρακικών τριαδικο-ιουρασικών σχηματισμών.
- ❖ Εντός των Τεταρτογενών αποθέσεων και Νεογενών ιζημάτων φιλοξενείται ένα ενιαίος υδροφόρος ορίζοντας που εντοπίζεται σε όλη την έκταση των χαλαρών σχηματισμών της λεκάνης. Η τροφοδοσία του συντελείται κατά κύριο λόγο μέσω των κατακρημνισμάτων και επίσης μέσω των πλευρικών διηθήσεων από τους ανθρακικούς σχηματισμούς του νότιου τμήματος της λεκάνης. Ο εν λόγω υδροφορέας τυγχάνει έντονης εκμετάλλευσης από σχετικά μεγάλο αριθμό πηγαδιών και γεωτρήσεων και χρησιμοποιείται αποκλειστικά για αρδευτικούς σκοπούς.
- ❖ Εντός των ανθρακικών σχηματισμών που δομούν τις ορεινές μάζες της Πάρνηθας και Κιθαιρώνα, αναπτύσσεται ο καρστικός υδροφόρος ορίζοντας, είναι υψηλής δυναμικότητας και εκτονώνεται στις παράκτιες και υποθαλάσσιες πηγές κατά μεγάλο ποσοστό στον Ευβοϊκό κόλπο, υφάλμυρες πηγές Καλάμου και κατά ένα ποσοστό στο στον Κορινθιακό κόλπο, υφάλμυρες πηγές της Ψάθας. Και οι δύο περιοχές εκτόνωσης των καρστικών πηγών βρίσκονται εκτός περιοχής μελέτης.
- ❖ Με βάση τα υδροχημικά χαρακτηριστικά των υπόγειων νερών της λεκάνης έρευνας διαπιστώνεται διαφοροποίηση του χημισμού μεταξύ του ανατολικού και δυτικού τμήματος:
 - α) το ανατολικό τμήμα χαρακτηρίζεται από υψηλές τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας (2300-2770 $\mu\text{S}/\text{cm}$), ολικής σκληρότητας καθώς και υψηλές

συγκεντρώσεις Na^+ , Cl^- και SO_4^{2-} . Η εν λόγω περιοχή αποτελεί μια ιδιαίτερη υδροχημική περιφέρεια υψηλής αλατότητας. Η προέλευση των στοιχείων αυτών είναι γεωγενής και σχετίζεται με τη διάλυση εβαποριτικών αλάτων, που συμμετέχουν προφανώς στη σύσταση των λιμνοθαλάσσιων και ποταμοχερσαίων Νεογενών ιζημάτων. Στην εν λόγω υδροχημική περιφέρεια επικρατεί ο υδροχημικός τύπος Na-Cl.

β) το κεντρικό και δυτικό τμήμα της λεκάνης χαρακτηρίζεται από χαμηλές έως μέτρια υψηλές τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας (350-1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$) και αντίστοιχα διαβαθμισμένες συγκεντρώσεις αλάτων. Η εν λόγω περιοχή χαρακτηρίζεται ως υδροχημική περιφέρεια χαμηλής έως μέτριας αλατότητας. Η προέλευση αυτών είναι κυρίως γεωγενής και κατά τύπους μόνο εμφανίζεται ανθρωπογενείς επιδράσεις. Στην εν λόγω υδροχημική περιφέρεια επικρατούν οι υδροχημικοί τύποι: Ca- HCO_3 , Mg- HCO_3 , Ca-Mg- HCO_3 , οι οποίοι φανερώσουν φρέσκα νερά εμπλουτισμού. Επίσης εμφανίζονται και υδροχημικοί τύποι Na- HCO_3 που έχουν προκύψει μέσω διαδικασιών κατιοανταλλαγής, καθώς επίσης ακαθόριστοι υδροχημικοί τύποι, όπως Mg-Ca-Na- HCO_3 -Cl, Na-Mg-Ca- HCO_3 -Cl, Na-Mg- HCO_3 -Cl κλπ., που φανερώσουν ότι οι διαδικασίες κατιοανταλλαγής βρίσκονται σε εξέλιξη. Τα υψηλά επίπεδα Mg^{2+} και SiO_2 , που εμφανίζουν τα υπόγεια νερά της περιοχής αυτής σχετίζονται κυρίως με φαινόμενα υδρόλυσης των μαγνησιούχων ορυκτών κυρίως οφιολιθικής προέλευσης.

- ❖ Οι ανθρωπογενείς επιδράσεις στην ποιότητα των υπόγειων νερών της λεκάνης αντικατοπτρίζονται στις κατά τύπους υψηλές συγκεντρώσεις σε ιόντα NO_3^- , SO_4^{2-} , NH_4^+ και PO_4^{3-} . Εντοπίζονται κυρίως σε πηγάδια και γεωτρήσεις που βρίσκονται κοντά στις κατοικημένες περιοχές. Η προέλευση τους συνδυάζεται με την παρουσία σηπτικών βόθρων, κτηνοτροφικών μονάδων και την χρήση γεωργικών λιπασμάτων.
- ❖ Από τη διερεύνηση των βαρέων μετάλλων Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, και Zn διαπιστώνονται υψηλές συγκεντρώσεις ως προς τα στοιχεία Cd, Cr, Mn, Ni, και Pb που υπερβαίνουν τα ανώτατα επιτρεπτά όρια της Οδηγίας της ΕΕ που αφορά τα πόσιμα νερά. Οι υψηλές συγκεντρώσεις οφείλονται σε γεωγενείς κυρίως παράγοντες, χωρίς να αποκλείονται και ανθρωπογενείς επιδράσεις (διάβρωση σωληνώσεων υδροληψίας, αγροχημικά προϊόντα, αστικά απόβλητα κλπ.).
- ❖ Από τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης διαπιστώνεται ότι η κατανομή των στοιχείων στα δείγματα των υπόγειων νερών εξηγείται με τρεις κύριους παράγοντες (factors). Ο παράγοντας I αντιστοιχεί στο 28.6 % της συνολικής μεταβλητότητας με υψηλά φορτία στα στοιχεία E.C., Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-} και αποτελεί τον «παράγοντα διάλυσης του εβαποριτικού υλικού». Ο παράγοντας II αντιστοιχεί στο 18.9% της συνολικής διακύμανσης με υψηλά φορτία στα στοιχεία Mg^{+2} και HCO_3^- και αποτελεί τον «παράγοντα διάλυσης μαγνησιούχων ορυκτών». Ο παράγοντας III αντιστοιχεί στο 13,2% της συνολικής διακύμανσης με υψηλό φορτίο στα στοιχεία Ca^{2+} , SO_4^{2-} και NO_3^- , και αποτελεί τον «παράγοντα διάλυσης ορυκτών γύψου».
- ❖ Σύμφωνα με τα σταθερότυπα πόσιμου νερού (Οδηγία 80/778) της Ε.Ε. τα νερά της περιοχής έρευνας θεωρούνται ακατάλληλα για ανθρώπινη κατανάλωση, καθώς οι τιμές συγκέντρωσης πολλών κύριων στοιχείων και βαρέων μετάλλων ξεπερνά τα ανώτατα επιτρεπτά όρια της Ε.Ε.

- ❖ Με τη βοήθεια των μεθόδων Richards και Wilcox τα υπόγεια νερά που εντοπίζονται στην υδροχημική περιφέρεια υψηλής αλατότητας θεωρούνται ακατάλληλα για αρδευτικούς σκοπούς. Αντίθετα τα νερά που εντοπίζονται στην υδροχημική περιφέρεια χαμηλής έως μέτριας αλατότητας είναι μέτριας καταλληλότητας γι' αυτόν το σκοπό.

Γενικά τα υπόγεια νερά της λεκάνης του άνω ρου του Ασωπού είναι ποιοτικά επιβαρυνμένα τόσο από γεωγενείς όσο και από ανθρωπογενείς παράγοντες. Η γεωγενής επιβάρυνση αντικατοπτρίζεται στις υψηλές συγκεντρώσεις των κύριων στοιχείων Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ και SO_4^{2-} , SiO_2 και βαρέων μετάλλων που συνδέονται με την διάλυση των ορυκτών των πετρωμάτων. Η επιβάρυνση τους οξύνεται από τις ανθρώπινες δραστηριότητες, κυρίως αγροτικές, που οδηγούν σε φαινόμενα υπεράντλησης και ρύπανσης των υπόγειων νερών από λιπάσματα και φυτοφάρμακα και αντικατοπτρίζονται στις υψηλές συγκεντρώσεις σε ιόντα NO_3^- , SO_4^{2-} , NH_4^+ και PO_4^{3-} . Ο εντοπισμός των ευπρόσβλητων στην ρύπανση περιοχών και η λήψη των απαραίτητων μέτρων προστασίας θα βοηθήσει στην ορθολογική διαχείριση και την μείωση της ρύπανσης τους.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΕΛΛΗΝΙΚΗ

- Αναγνωστόπουλος Α., 1985 : Η ρύπανση του περιβάλλοντος. 412 σελ. Εκδ. "Παρατηρητής", Θεσσαλονίκη.
- Αντωνόπουλος Β. (1995) : Ποιότητα επιφανειακών υδατικών πόρων Γ. Τσακίρης : Υδατικοί Πόροι: 1. Τεχνική Υδρολογία, 675 σελ. Εκδ. "Συμμετρία", Αθήνα.
- Βορεάδης Γ., 1952, Η λιγνιτοφόρος τριτογενής λεκάνη Μαλακάσας – Ωρωπού, Ι.Γ.Ε.Υ. σελ. 141-180, Αθήνα.
- Βουδούρης, Κ. 2009. Υδρογεωλογία Περιβάλλοντος, Υπόγεια νερά και Περιβάλλον, Εκδόσεις Τζιόλα 460 σελ.
- Γαμβρουλά Δ. 2009.Υδρογεωλογική και γεωχημική έρευνα στη λιγνιτοφόρο τριτογενή λεκάνη Μαλακάσας – Ωρωπού. Διερεύνηση προέλευσης των τοξικών μετάλλων στα υπόγεια νερά και στα εδάφη της περιοχής. Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Γενικού Τμήματος Γ.Π.Α., σελ.99-112, Αθήνα.
- Γιανουλόπουλος Π, 2008, Αναγνωριστική Υδρογεωλογική - Υδροχημική έρευνα ποιοτικής επιβάρυνσης των υπόγειων νερών της ευρύτερης περιοχής της λεκάνης του Ασωπού Ν. Βοιωτίας Ι.Γ.Μ.Ε.
- Δούνας Α., 1971 Η γεωλογία της μεταξύ Μεγάρων και Ερυθρών περιοχής. ΙΓΕΥ, Γεωλογικές. και Γεωφυσικές Μελέτες XV, Νο2, σελ. 129-263, Αθήνα.
- Δούνας Α., Καλλέργης Γ., Μόρφης Α., Παγούνης Μ., 1978, Υδρογεωλογική έρευνα λεκάνης μέσου ρου Ασωπού ποταμού, Αρ.21, Αθήνα , ΙΓΜΕ.
- Δούνας Α., Καλλέργης Γ., Μόρφης Α., Παγούνης Μ., 1979, Συμβολή εις την γνώση της τεκτονικής σχέσεως σχηματισμών της Πάρνηθας και του μεταμορφωμένου συστήματος Γραμματικού, Πρακτικά Ακαδημίας Αθηνών, 154, σελ. 158-165, Αθήνα.
- Δούνας Α., Καλλέργης Γ., Μόρφης Α., Παγούνης Μ., 1980, Υδρογεωλογική έρευνα υφάλμυρων καρστικών πηγών Αγ. Αποστόλων Καλάμου, Αρ. 31, Αθήνα, ΙΓΜΕ.
- Εθνική μετεωρολογική υπηρεσία., κλιματικά στοιχεία των σταθμών της ΕΜΥ (περίοδος 1955-1997),τεύχη Α και Β, Κορνάρος. Γ, Αθήνα 1999.
- ΕΣΥΕ. Δημογραφικά δεδομένα περιόδου 1961-2001. Εθνικός κατάλογος χρήσεων γης 2005.
- Ζαχαριάδης Δ. 2007: Υδρογεωλογικές συνθήκες στη λεκάνη Ωρωπού και η επιβάρυνση των υπόγειων νερών από τη θάλασσα διείσδυση. Αδημοσίευτη Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Γενικού Τμήματος Γ.Π.Α., σελ.166, Αθήνα.
- Θεωδωρίκας Στ. Σ., 1997. Γεωχημεία, Εκδόσεις Ζήτη, Σελ. 408, Θεσσαλονίκη.
- Καλλέργης, Γ. 2000. *Εφηρμοσμένη Υδρογεωλογία*, τόμοι Α και Β (2^η έκδοση), Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, Αθήνα.
- Καλογήρου Ε. (1999) : Το πόσιμο νερό και η ανθρώπινη υγεία. -Β' έκδ., 282 σελ., Διεθνές Τεχνικό Βιβλιοπωλείο Παπασωτηρίου, Αθήνα.
- Κατσικάτσος, Γ. 1992. Γεωλογία της Ελλάδας, Πανεπιστήμιο Πάτρας, ΟΕΔΒ,

Αθήνα.

- Κελεπερτζής Α.Ε., 1993 : Εφαρμοσμένη Γεωχημεία. Πανεπιστήμιο Αθηνών
- Κελεπερτζής Α.Ε., 2000. Εφαρμοσμένη Γεωχημεία, Μακεδονικές Εκδόσεις.
- Κορνάρος, Γ. 1999. *Κλιματικά στοιχεία των σταθμών της ΕΜΥ*, Τεύχος Β', ΕΜΥ, Δ/νση Κλιματολογίας, Τμήμα Ελέγχου-Επεξεργασίας, Αθήνα.
- Κοτίνη – Ζαμπάκα.Ι.Σ., 1983 : Συμβολή στην μελέτη του κλίματος της Ελλάδας. Κανονικός καιρός κατά μήνα, Ακαδημία Αθηνών – Κέντρο Ερεύνης φυσικής της ατμόσφαιρας και κλιματολογίας, Δημοσίευμα 8, Αθήνα.
- Κουϊμτζής Θ., Φυτιάνου Κ. & Σαμαρά-Κωνσταντίνου Κ. (1998) : Χημεία περιβάλλοντος. - Α' έκδ., 376 σελ. University Studio Press, Θεσσαλονίκη.
- Μασούρα Γ 2008, Ρυπαντική υδροχημεία της λεκάνης του Ασωπού ποταμού. Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Γενικού Τμήματος Γ.Π.Α., σελ.99-112, Αθήνα.
- Μετεωρολογικά δεδομένα σταθμού Τανάγρας περιόδου 1986-1992, και 2008-2009 ΕΜΥ.
- Μεττός Α., 1992, Γεωλογική και παλαιογεωγραφική μελέτη των ηπειρωτικών νεογενών και τεταρτογενών σχηματισμών ΒΑ Αττικής και ΝΑ Βοιωτίας, Διδακτ. Διατρ., Αθήνα.
- Οδηγία 98/83 Ε.Κ./ 3-11-1998
- Οδηγία του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 23^{ης} Οκτωβρίου 2000/60/ΕΚ για τη θέσπιση πλαισίου κοινοτικής δράσης στον τομέα της πολιτικής των υδάτων.
- Οργανισμός Αντισεισμικού Σχεδιασμού & Προστασίας , ΕΑΚ 2003
- Παγούνης Μ., Γκέρτσος Θ., Γκατζουγιάννης Α., 1986. Μελέτη σύνταξης υδατικού ισοζυγίου Βοιωτικού Κηφισού, ΙΓΜΕ, Υδρολ. Υδρογεωλ. Έρευναι Νο 48, Αθήνα.
- Παπαθεοδώρου, Γ., Φερεντίνος, Γ. 1994. Εφαρμογή μεθόδων στατιστικής πολυμεταβλητής ανάλυσης σε προβλήματα μόλυνσης του θαλάσσιου περιβάλλοντος από βαρέα μέταλλα. Πρακτικά 3^{ου} Πανελληνίου Γεωγραφικού Συνεδρίου, 442-469.
- Παπανικολάου Δ., Μαριολάκος Η., Λέκκας Ε., & Λόζιος Σ., 1988, Μορφοτεκτονικές παρατηρήσεις στη λεκάνη Ασωπού και την παραλιακή ζώνη Ωρωπού. Συμβολή στη νεοτεκτονική της Βόρειας Αττικής, Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Εταιρ., τομ.ΧΧ, σελ. 251-267.
- Παππά, Γ. 2001. *Υγειονομική Σημασία των Χημικών Παραμέτρων στο Πόσιμο Νερό*, Υπ. Υγείας Πρόνοιας in www.waterinfo.gr/eedyp/Paros_papers/pappa_g.pdf.
- Προδιαγραφές πόσιμου νερού (οδηγία 98/83/ΕΚ/3-11-1998, ΦΕΚ 892/Β/11-7-2001).
- Σιμώνης, Α., 1998. *Εδαφος και ανθρώπινη υγεία: Γενική θεώρηση*. -Πρακτικά 7^{ου} Πανελληνίου Εδαφολογικού Συνεδρίου, Αγρίνιο 27-30/5/1998, έκδοση Ελληνικής Εδαφολογικής Εταιρείας, Θεσσαλονίκη.

- Σουλάντζος Ν., 2007. Ανθρωπογενείς επιδράσεις στην ποιοτική σύσταση των εδαφών και των υπόγειων νερών της ευρύτερης περιοχής Οινόφυτα-Αυλώνας της λεκάνης του Ασωπού ποταμού. Μεταπτυχιακή Διατριβή Γ.Π.Α.
- Σταμάτης, Γ. (1999): Ποιοτική υποβάθμιση του επιφανειακού και υπόγειου νερού από ανθρωπογενείς επιδράσεις. -Πρακτικά Συνεδρίου Εθνικό Ίδρυμα Νεότητας, ΕΠΕΑΕΚ, Β' Κοινοτικό Πλαίσιο Στήριξης, 2-4 Απριλίου, Γλυφάδα Αθήνα, σελ. 163-180.
- Σταμάτης, Γ. (2004): Γεωγενής επιβάρυνση των νερών σε βαρέα τοξικά μέταλλα- Επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία-Περιοχές της Χώρας με γεωγενή επιβάρυνση- Μέθοδοι εξυγίανσης επιβαρυσμένων περιοχών. Πανεπιστημιακές Σημειώσεις, σελ 38.
- Στουρνάρας,Γ.Κ., 2007: Νερό – Περιβαλλοντική διάσταση και διαδρομή. Θεσσαλονίκη. Εκδόσεις Τζιόλα, σελ. 664
- Τοπογραφικός Χάρτης Φύλλο: Βάγια, Θήβα, Καπαρέλλιον, Ερυθραί, Χαλκίς,. Κλίμακα 1:50.000. Εκδόσεις ΓΥΣ.
- Τοπογραφικός Χάρτης, φύλλο Χαλκίς, κλίμακα 1:250.000, ΓΥΣ
- Φ.Ε.Κ. 53Α/20-2-86, (από την 80/778 ΕΟΚ οδηγία της Ε.Ε. (1980) on the quality of drinking water)
- Φ.Ε.Κ. 892/Β/11-7-2001, (από την 98/83/ΕΚ 3/11/98 οδηγία της Ε.Ε. (1998) on the quality of drinking water)
- Φάττα Δ. 2005. Εισαγωγή στη Μηχανική Περιβάλλοντος. Αρχές δειγματοληψίας και παράμετροι ελέγχου νερών, Πανεπιστήμιο Κύπρου, Τμήμα Πολ. Μηχ/κων και Μηχ/κων Περιβάλλοντος.
- Φραγκόπουλος Ι., Αλεξιάδου Μ, Παναγόπουλος Α., 1992. Οριστική Υδρογεωλογική Μελέτη Επαρχίας Θηβών.Υπ.Γεωργίας, Δ/νση Σχεδιασμού Εγγειοβελτιωτικών Έργων και Αξιοποίησης Εδαφοϋδατικών Πόρων, Τμήμα Υδρογεωλογίας, Γεωτρήσεων και Μαθηματικών Ομοιωμάτων, σελ 236-250.
- Χατζηγιάννης Γ. 1997: Περιβαλλοντικά θέματα που σχετίζονται με την αξιοποίηση των λιγνιτών. Τεχνικά χρονικά 6/97 σελ. 122-127

ΔΙΕΘΝΗΣ

- Aikawa,J.K. 1971. *The relationship of magnesium to disease in domestic animals and in humans*. Charles C. Thomas Co., Springfield, IL.
- Allen, L.H, and R.L. Wood. 1994 Calcium and phosphorus, pp. 144-163. In: M.E. Shills et al (Eds), vol I. Modern nutrition in health and disease. Lea and Febiger, Philadelphia, PA.
- Apello, C.A.J., D.Postma.1996.*Geochemistry, groundwater and pollution*, Balkema, Rotterdam.
- Bogardi,I., A. Bardossy and L. Duckstein, 1985. Multi-criterion network design using geostatics, Water Resur. Res., 21 (2), 199-208.
- Davis, J.C. 2002. Statistics and data analysis in geology – Third Edition. New York, Wiley, 638 p.

- Davis, S.N., R.J.M. DeWiest., 1991 : Hydrogeology. John Wiley & Sons, New York, 453 pp.
- DVWK SCHRIFTEN 110. 1998. Hydrogeochemische Stoffsysteme, Schriftenreihe des Deutschen Verbandes für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V. Heft 117.
- Ferndorf S.C. and R. Zasoski 1992: *Chromium (III) Oxidation by δ -MnO₂*. *Characterization*. Environ. Sci. Technol. ,26,79-85.
- Fetter, C.W., 1990 : Applied Hydrogeology. Second Edition. Merrill Publishing Company, U.S.A., 592 pp.
- Hem J.D., 1970. Study and interpretation of the chemical characteristics of natural waters. Geological Survey Water-Supply Paper, p: 1.473.
- Hoell, K. (1979). Wasser - Untersuchung - Beurteilung - Aufbereitung - Chemie - Bacteriologie - Virologie - Biologie -515 S., Berlin New York (Walter de Gruyter).
- Kabata-Pendias A. and Mukherjee A. 2007: *Trace elements from Soil to Human*. Boca Raton Florida.
- Kabata-Pendias, A. and H. Pendias. 1992. Trace Elements in Soil and Plant, 2nd ed. CRC Press, Boca Raton, Ann Arbor, London.
- Lambrakis, N. 1991. Elaboration of the hydrochemical data by PC, Mineral Wealth Vol.74:53-60 (In Greek)
- Lambrakis, N., Antonakos, A., Panagopoulos, G. 2004. The use of multicomponent statistical analysis in hydrogeological environmental research. Water Research 38, 1862-1872.
- Lloyd, J.W. and Heathcote. 1985. *Natural and organic hydrogeology in relation to groundwater*. Clarendon Press-Oxford:p.294
- Matthess, G. 1973 : Die Beschaffenheit des Grundwassers. –324 S., 89 Abb., 86 Tab., Gebrueder Borntraeger Verlag, Berlin-Stuttgart.
- Matthess, G. 1982, The properties of groundwater, John Wiley & Sons, pp. 500.
- Muller F. 2000. Agrochemicals: Composition, Production, Toxicology, Applications. WILEY-VCH, Germany.
- Piper, A.M. 1944, A graphic procedure in the geochemical interpretation of water-analyses, Trans Amer. Geophysical Union, Vol.25, pp.914-928.
- Richards, I.A. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils, Agric. Handbook 60, U.S. Dept. Agric., Washington, D.C. 160p.
- Sikora, L. et al. 1976. Septic tank nitrogen and phosphorus removal test system. Groundwater.14, pp.309-314.
- Unesco., 1975 : Ground water Studies.
- Voudouris, K.S., Lambrakis, N.J., Papatheodorou, G., Daskalaki, P. 1997. An Application of Factor Analysis for the Study of the Hydrogeological Conditions in Plio-Pleistocene Aquifers of NW Achaia (NW Peloponnesus, Greece). Mathem. Geol. 29 (1), 43-59.
- WHO (1993): Guidelines for drinking water quality.-vol. 1, 2nd edn, World Health Organization, Geneva.

- Wilcox, L.V. 1955. *Classification and use of irrigation waters*, U.S. Dept. Agric. Circ. 969, Washington, D.C. 19p.

Ηλεκτρονικές διευθύνσεις στο διαδίκτυο

- www.lenntech.com/heavy-metals.htm
- www.tjclarkinc.com/minerals
- www.nhlakes.org/edbrochures/phosphoruspollution.htm
- www.healthaffair.gr/waterall.htm
- www.chem.uoa/chemicals/chem_cr6.htm