

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

**ΤΜΗΜΑ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ
ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ**

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ:
ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΝΕΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΓΙΑ
ΤΑ ΕΡΓΑ ΥΠΟΔΟΜΗΣ**

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΜΕ ΤΙΤΛΟ:
«ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ-ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΥΠΟΓΕΙΩΝ
ΥΔΡΟΦΟΡΕΩΝ ΛΕΚΑΝΗΣ ΚΕΡΑΤΕΑΣ»**

ΧΡΗΣΤΟΣ Δ. ΜΠΕΘΑΝΗΣ

**ΑΘΗΝΑ
Ιανουάριος 2018**

Επιβλέπων Καθηγητής: Σταμάτης Γεώργιος

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

**ΤΜΗΜΑ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ
ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ**

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ:
ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΝΕΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΓΙΑ
ΤΑ ΕΡΓΑ ΥΠΟΔΟΜΗΣ**

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΜΕ ΤΙΤΛΟ:
«ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ-ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΥΠΟΓΕΙΩΝ
ΥΔΡΟΦΟΡΕΩΝ ΛΕΚΑΝΗΣ ΚΕΡΑΤΕΑΣ»**

ΧΡΗΣΤΟΣ Δ. ΜΠΕΘΑΝΗΣ

**ΑΘΗΝΑ
Ιανουάριος 2018**

Επιβλέπων Καθηγητής: Σταμάτης Γεώργιος

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΜΕ ΤΙΤΛΟ:
«ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ-ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΥΠΟΓΕΙΩΝ
ΥΔΡΟΦΟΡΕΩΝ ΛΕΚΑΝΗΣ ΚΕΡΑΤΕΑΣ»**

ΧΡΗΣΤΟΣ Δ. ΜΠΕΘΑΝΗΣ

Επιβλέπων Καθηγητής: Σταμάτης Γεώργιος

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή:

1. Σταμάτης Γεώργιος Καθηγητής Γ.Π.Α
2. Αργυροκαστρίτης Ιωάννης Αναπληρωτής Καθηγητής Γ.Π.Α
3. Παπανικολάου Ιωάννης Αναπληρωτής Καθηγητής Γ.Π.Α

I. ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία πραγματεύεται τα υδρογεωλογικά και τα περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά των υπογείων υδροφορέων που επικρατούν στους σχηματισμούς της υδρογεωλογικής λεκάνης της Κερατέας. Διερευνά τον βαθμό επιβάρυνσης των υδροφόρων, τα αίτια που την προκαλούν επηρεαζόμενα από γεωγενείς και ανθρωπογενείς παράγοντες και εξετάζει την καταλληλότητα των υπογείων υδάτων για διάφορες χρήσεις.

Η περιοχή μελέτης βρίσκεται στο κεντρικό τμήμα της Ανατολικής Αττικής. Παρουσιάζει σύνθετο ανάγλυφο και μεγάλη ποικιλία γεωμορφών. Το κλίμα της περιοχής ανήκει στον ξηρό μεσογειακό τύπο. Χαρακτηρίζεται από μικρά ετήσια ύψη βροχής, με ήπιους και υγρούς χειμώνες, με θερμά και ξηρά καλοκαίρια.

Ο ανώτερος υδροφόρος ορίζοντας αποτέλεσε αντικείμενο έρευνας στην παρούσα εργασία. Για τον ποιοτικό έλεγχο των υπογείων υδάτων της περιοχής έρευνας, πραγματοποιήθηκαν υδροχημικές αναλύσεις από επιλεγμένα σημεία υδροληψίας γεωτρήσεις και φρέατα. Τα αποτελέσματα των υδροχημικών αναλύσεων παρουσιάζονται με μορφή πινάκων, διαγραμμάτων και ισοπεριεκτικών χαρτών χωρικής κατανομής.

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

A) Στην υδροχημική περιφέρεια υψηλής αλατότητας (1121-3120 $\mu\text{S}/\text{cm}$) στην οποία ανήκει το κεντρικό τμήμα της περιοχής με υψηλές συγκεντρώσεις Ca , Mg^{2+} , Na^+ , HCO_3^- , Cl^- και SO_4^{2-} . Η προέλευση τους είναι γεωγενής και σχετίζεται με την διάλυση εβαποριτικών αλάτων που συμμετέχουν στη σύσταση των ποταμοχερσαίων νεογενών ιζημάτων.

B) Στην υδροχημική περιφέρεια μέτριας αλατότητας (626 – 1091 $\mu\text{S}/\text{cm}$) στην οποία ανήκει το ανατολικό και βόρειο τμήμα της εν λόγω περιοχής. Παρατηρούνται μέτριες έως μέτρια υψηλές συγκεντρώσεις αλάτων γεωγενούς προέλευσης και κατά τόπους ανθρωπογενούς δράσης.

Τα μεταλλικά ιχνοστοιχεία που απαντώνται σχεδόν σε όλα τα δείγματα είναι το Ni , Mn , Zn , Cr και Fe , διαπιστώθηκαν δε υψηλές συγκεντρώσεις ως προς το στοιχείο Ni καθώς και ως προς τα στοιχεία Zn και Mn . Οι υψηλές συγκεντρώσεις οφείλονται σε γεωγενείς παράγοντες αλλά και σε ανθρωπογενείς επιδράσεις (αστικά απόβλητα, αγροχημικά προϊόντα κ.λ.π)

Η υψηλή σκληρότητα καθώς και η παρουσία σε ορισμένες των περιπτώσεων βαρέων μετάλλων σε υψηλές συγκεντρώσεις, καθιστούν γενικά τα υπόγεια νερά της περιοχής έρευνας ακατάλληλα για ανθρώπινη κατανάλωση ενώ είναι κατάλληλα για άρδευση καλλιεργειών.

II. ABSTRACT

“Hydrogeological and Environmental research of underground Aquifer of the Keratea Basin.”

The present study deals with the hydrogeological and environmental characteristics of the underground aquifers in the formations of the hydrogeological basin of Keratea. It investigates the degree of burden on aquifers, the causes that cause them affected by geogenic and anthropogenic factors and examines the suitability of groundwater for various uses.

The study area is located in the central part of Eastern Attica. The area has a complex relief and a wide variety of geomorphs. The climate of the region belongs to the dry Mediterranean type. From a geotectonic point of view, the area is part of the Attic Cycladic zone. It includes a lower marble horizon consisting of marbles and dolomites of the Upper Triassic - Lower Jurassic age, an intermediate horizon of mica and amber shale, marble layers and basically - ultrabasic metamorphic rocks and finally an upper horizon with carbonated metamorphic rocks of the Upper Cretaceous.

In the present study is examined the upper aquifer. For the quality control of groundwater in the research area, hydrochemical analyzes were carried out from selected water wells and drills. The results of the hydrochemical analyzes are presented in the form of tables, diagrams and equivocal spatial distribution maps.

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

A) At the high salinity hydrochemical region (1121-3120 $\mu\text{S} / \text{cm}$) in which the central part of the area belongs with high concentrations of Ca , Mg^{2+} , Na^+ , HCO_3 , Cl^- and SO_4^{2-} . Their origin is geogenetic and is related to the dissolution of the evaporate salts involved in the formation of river beds of neogenous sediments

B) At the medium salinity hydrochemical region (626 - 1091 $\mu\text{S} / \text{cm}$) to which the eastern and northern parts of that area belong. Moderate to moderate-high concentrations of salts of geogenic origin and local anthropogenic activity are observed.

The mineral trace elements found in almost all samples are Ni, Mn, Zn, Cr and Fe, with high concentrations of Ni and Zn and Mn. The high concentrations are due to geogenic factors but also to anthropogenic effects (urban waste, agrochemicals, etc.)

The high hardness as well as the presence in some cases of heavy metals in high concentrations make the groundwater of the research area unsuitable for human consumption and are suitable for irrigation of crops.

Επιστημονική περιοχή της μελέτης: Υδρογεωλογία και Περιβάλλον

Λέξεις κλειδιά: Υδρογεωλογία, Περιβάλλον, Λεκάνη Κερατέας, Ανατολική Αττική, Υδροχημεία, υπόγειος υδροφόρος, Κάρστ, κλιματικά δεδομένα, υδρολογικό ισοζύγιο, ανιόντα, κατιόντα, βαρέα μέταλλα, χωρική κατανομή, υδροχημική ταξινόμηση, διάγραμμα Piper, διάγραμμα Durov, διάγραμμα Richards

Scientific area of study: Hydrogeology and Environment

Keywords: Hydrogeology, Environment, Keratea Basin, Eastern Attica, Hydrochemistry, underground aquifer, Karst, climatic data, hydrological balance, anions, cations, heavy metals, spatial distribution, hydrochemical classification, Piper diagram, Durov diagram, Richards diagram.

III. ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Με την παρούσα διπλωματική εργασία κλείνει ο κύκλος σπουδών μου στο πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών στο Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής του Γεωπονικού Πανεπιστημίου στον κλάδο «Γεωπεριβάλλον και Εφαρμογές Νέων Τεχνολογιών για τα Έργα Υποδομής»

Κατά την διάρκεια της φοίτησης μου διδάχθηκα νέες γνώσεις που αφορούν την εφαρμογή νέων τεχνολογιών και την ανάπτυξη των έργων υποδομής σε σχέση με το Γεωπεριβάλλον. Η διπλωματική αυτή εργασία μου προσέδωσε σημαντική εμπειρία τόσο στις εργασίες υπαίθρου όσο και στις εργαστηριακές υδροχημικές αναλύσεις. Μου δόθηκε επίσης η δυνατότητα να χρησιμοποιήσω πρωτοφανή για μένα λογισμικά συστήματα και επιστημονικές μεθόδους.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα μου καθηγητή Υδρογεωλογίας κ. Σταμάτη Γεώργιο για την ανάθεση της εργασίας αυτής. Τον ευχαριστώ επίσης για την πολύτιμη βοήθεια του στις εργασίες υπαίθρου αλλά και στις εργαστηριακές αναλύσεις των υδάτων. Οφείλω επίσης να μνημονεύσω την επιστημονική του καθοδήγηση σε θέματα υδρογεωλογίας και υδροχημείας και τις οδηγίες και υποδείξεις του για την συγγραφή της παρούσας εργασίας.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τους καθηγητές του Εργαστηρίου Ορυκτολογίας-Γεωλογίας, Καθηγητή κ. Μιγκίρο Γεώργιο, τον Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Παπανικολάου Ιωάννη, τον Λέκτορα κ. Μπαζιώτη Ιωάννη και τον διδάκτορα κ. Ψωμιάδη Εμμανουήλ καθώς επίσης και τον Επίκουρο Καθηγητή του εργαστηρίου Γεωργικής Υδραυλικής κ. Αλεξανδρή Σταύρο και τον Msc κ. Χατζηθωμά Κων/νο για τις γνώσεις που μου πρόσφεραν σε θέματα που αφορούν το γεωλογικό και ατμοσφαιρικό περιβάλλον και την χρησιμοποίηση των επιστημονικών νέων τεχνολογιών για τα έργα υποδομής.

Επιπλέον ευχαριστώ τον υποψήφιο διδάκτορα κ. Φιλιππίδη Φίλιππο για την βοήθεια που μου προσέφερε στις αναλύσεις και στη δημιουργία των διαγραμμάτων ποιότητας των υδάτων.

Τέλος, οφείλω να ευχαριστήσω την οικογένεια μου, την σύζυγο μου, τα τρία παιδιά μου, την μητέρα μου και τον αδελφό μου για την αμέριστη ηθική συμπαράσταση και για την υπομονή τους ώστε να ολοκληρώσω αυτό το μεταπτυχιακό.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

I. ΠΕΡΙΛΗΨΗ	3
II. ABSTRACT	4
III. ΠΡΟΛΟΓΟΣ	6
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	11
1.1 Σκοπός και αντικείμενο της μελέτης	11
1.2 Μεθοδολογία εκπόνησης της έρευνας	12
2. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	14
2.1 Γεωγραφικά Στοιχεία	14
2.2 Ιστορικά Στοιχεία	17
2.3 Διοικητικά Στοιχεία	18
2.4 Απασχόληση	22
3. ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ	23
3.1 Ανάγλυφο της περιοχής	23
3.2 Υδρογραφικό Δίκτυο	33
3.3 Γεωμορφές καρστικών επιφανειών	37
3.4 Παράγοντες καρστικής εξέλιξης	38
3.5 Γεωμορφές του καρστ στην περιοχή μελέτης	39
4. ΚΑΛΥΨΗ-ΧΡΗΣΗ ΓΗΣ	40
4.1 Γενικά	40
4.2 Επιπτώσεις στο υδάτινο περιβάλλον	44
4.3 Οικισμοί - Συγκοινωνία	45
5. ΚΛΙΜΑΤΙΚΑ ΚΑΙ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	47
5.1 Γενικά Κλιματικά Χαρακτηριστικά	47
5.2 Κλιματικά και Μετεωρολογικά Δεδομένα	49
5.2.1 Θερμοκρασία	53
5.2.2 Ηλιοφάνεια – Νέφωση	60
5.2.3 Κατακρημνίσματα	60
5.2.4 Σχετική υγρασία αέρος	63
5.2.5 Άνεμοι – Ατμοσφαιρική Πίεση	63

5.2.6 Βιοκλιματικές συνθήκες	64
5.3 Βιοκλιματικά Στοιχεία	65
5.3.1 Ανάλυση κλίματος κατά LANG-GRACANIN	65
6. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΟΥ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟΥ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ	71
6.1 Γενικά	71
6.2 Εκτίμηση του όγκου νερού από βροχόπτωση	72
6.3 Εξατμισιοδιαπνοή	74
6.4 Κατείδυση	75
7. ΓΕΩΛΟΓΙΑ - ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ	78
7.1 Γενικά Στοιχεία	78
7.1.1 Εκρηξιγενή Πετρώματα	83
7.1.1.1 Γρανодиорίτες	83
7.1.2 Κερατίτες - Πλακίτες	83
7.1.3 Αλπικοί σχηματισμοί	83
7.1.3.1 Ανθρακικοί σχηματισμοί	83
7.1.3.2 Σχιστόλιθοι	85
7.1.3.3 Δολομίτες	86
7.1.3.4 Οφιόλιθοι	86
7.1.4 Μεταλπικοί σχηματισμοί	87
7.1.4.1 Νεογενή Ιζήματα	87
7.1.4.2 Τεταρτογενή Ιζήματα	87
7.2 Τεκτονική	88
8. ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ	90
8.1 Υδρολιθική ταξινόμηση	90
8.2 Υδροπερατοί σχηματισμοί	91
8.3 Ημπερατοί σχηματισμοί	91
8.4 Υδροστεγανοί σχηματισμοί	92
8.5 Υδρολιθικοί σχηματισμοί στην περιοχή μελέτης	92
9. ΥΔΡΟΧΗΜΕΙΑ	95
9.1 Υπόγεια νερά σε σχέση με το γεωλογικό περιβάλλον	95
9.2 Μορφοποίηση των στοιχείων στα υπόγεια νερά.	97

9.3 Ευκινησία και συνύπαρξη στοιχείων	98
9.4 Ρύπανση επιφανειακών και υπόγειων υδροσυστημάτων	98
9.4.1 Πηγές και αίτια ρύπανσης των υδάτων	99
9.5 Δειγματοληψία και υδροχημικές αναλύσεις	104
9.5.1 Επιτόπιες μετρήσεις	107
9.5.2 Εργαστηριακές αναλύσεις	107
9.5.3 Επεξεργασία των στοιχείων	108
10. ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	112
10.1 Θερμοκρασία των υπογείων νερών (T °C)	112
10.2 Ενεργός οξύτητα (pH)	114
10.3 Ειδική ηλεκτρική Αγωγιμότητα (EC)	117
10.4 Ολικά διαλυμένα στερεά (T.D.S.)	120
10.5 Αλκαλικότητα	123
10.6 Σκληρότητα	123
10.7 Σφάλμα ισοζυγίου	130
10.8 Δυναμικό οξειδωαναγωγής	130
10.9 Διαλυμένο οξυγόνο	131
11. ΚΥΡΙΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	132
11.1 Κύρια ανιόντα και κατιόντα	132
11.1.1 Ασβέστιο (Ca)	132
11.1.2 Μαγνήσιο (Mg)	135
11.1.3 Νάτριο (Na)	138
11.1.4 Κάλιο (K)	141
11.1.5 Όξινα ανθρακικά (HCO ₃ ⁻)	144
11.1.6 Χλώριο (Cl)	145
11.1.7 Θειικά (SO ₄)	149
11.1.8 Νιτρική ρίζα (NO ₃ ⁻)	152
12. ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ	155
12.1 Γενικά	155
12.2 Μεθοδολογία ανάλυσης	156
12.3 Σίδηρος (Fe ⁺²)	157

12.4 Χαλκός (Cu)	160
12.5 Χρώμιο (Cr _{tot})	163
12.6 Μαγγάνιο (Mn)	167
12.9 Ψευδάργυρος (Zn)	170
12.10 Νικέλιο (Ni)	173
12.11 Μόλυβδος (Pb)	176
13. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ – ΥΔΡΟΧΗΜΙΚΟΙ ΤΥΠΟΙ	179
13.1 Ταξινόμηση στο διάγραμμα Piper	179
13.2 Ταξινόμηση στο διάγραμμα DUROV	183
14. ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΧΡΗΣΕΙΣ	188
14.1 Καταλληλότητα για ανθρώπινη χρήση	188
14.2 Καταλληλότητα για αρδευτική χρήση	189
14.2.1 Ταξινόμηση κατά RICHARDS (SAR)	189
15. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	192
16. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	195
16.1 Ελληνική Βιβλιογραφία	195
16.2 Διεθνής Βιβλιογραφία	197
16.3 Ισότοποι	199

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Σκοπός και αντικείμενο της μελέτης

Οι υδάτικοί πόροι της Ανατολικής Αττικής και συγκεκριμένα στην περιοχή της Κερατέας τις τελευταίες δεκαετίες υφίστανται μεγάλη πίεση λόγω της αυξανόμενης οικιστικής ανάπτυξης, της εντατικοποίησης παραγωγής γεωργικών προϊόντων και της δημιουργίας πολλών νέων βιομηχανικών μονάδων. Η ζήτηση σε νερό εξαιτίας των παραπάνω, έχει αυξηθεί, ενώ οι ανάγκες εξασφαλίζονται κυρίως από τα υπόγεια νερά τα αποθέματα των οποίων όμως, δεν αναπληρώνονται επαρκώς λόγω της χαμηλής ετήσιας βροχόπτωσης. Επιπλέον οι ανθρωπογενείς παρεμβάσεις έχουν οδηγήσει σε ποιοτική και ποσοτική υποβάθμιση των επιφανειακών αλλά και των υπόγειων νερών. Η υπεράντληση των υδροφόρων έχει οδηγήσει σε προβλήματα λειψυδρίας και στη δημιουργία υδραυλικών συνθηκών που ευνοούν την υφαλμύρωση και την εισροή ρυπασμένων υδάτων στους υδροφορείς, την εξάντληση των εκμεταλεύσιμων αποθεμάτων νερού και την εμφάνιση ελλείματος νερού ποιοτικά αποδεκτού.

Η Ελλάδα ως κράτος μέλος της Ευρωπαϊκής Ένωσης με την οδηγία 2000/60/EK είχε δεσμευτεί μέχρι το 2015 για την επίτευξη καλής οικολογικής και χημικής κατάστασης, την αποτροπή της περαιτέρω υποβάθμισης των υδάτων και της διατήρησης των υδάτινων πόρων. Η ποιότητα του νερού αναφέρεται στην χημική του σύσταση, με τα διαλυμένα και τα αιωρούμενα υλικά, στην ενεργειακή του κατάσταση με την μορφή της θερμότητας και της ραδιενεργού ακτινοβολίας καθώς και στα βιολογικά υλικά που περιέχει στον όγκο του. Οι ουσίες που περιέχονται στο νερό είναι πάρα πολλές και μπορεί να είναι ανόργανες, οργανικές, ραδιοακτινοβόλουσες, μέταλλα και ιχνοστοιχεία (Αντωνόπουλος, 2003). Η ποιότητα προσδιορίζεται αναφορικά με φυσικές, χημικές και βιολογικές παραμέτρους.

Οι υδάτινοι πόροι δέχονται μεγάλες ποσότητες ρύπων είτε τυχαία, είτε με την παρέμβαση του ανθρώπινου παράγοντα, με αποτέλεσμα την μεταβολή της ποιοτικής κατάστασης τους.

Η παρούσα εργασία περιγράφει τα υδρογεωλογικά και τα περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά των υπογείων υδροφορέων που επικρατούν στην λεκάνη της Κερατέας. Αναφέρεται στον χαρακτηρισμό των νερών, στον έλεγχο των μηχανισμών που διαμορφώνουν την ποιότητα των υπογείων υδάτων, στις παραμέτρους που

επηρεάζουν την χημική σύσταση των νερών και προσδιορίζονται τα περισσότερα ευαίσθητα στην ρύπανση σημεία.

Η περιοχή χαρακτηρίζεται από σχετικά περιορισμένη υδατική δυναμικότητα και έτσι μεγάλο μέρος της επιφάνειας είναι ξηρή και υποβαθμισμένη. Η υδροφορία των οριζόντων εντός των Νεογενών σχηματισμών τυγχάνει έντονης εκμετάλλευσης από μεγάλο αριθμό γεωτρήσεων. Η υπεράντληση από γεωτρήσεις για άρδευση, οι απορροφητικοί βόθροι, οι διαρροές από το αποχετευτικό σύστημα και η ανεξέλεγκτη χρήση λιπασμάτων είναι μερικοί παράγοντες που συντελούν στην υποβάθμιση των υπογείων υδάτων της περιοχής.

Έτσι, αναλύονται οι υδροχημικές παράμετροι των υπογείων νερών σε σχέση με τις γεωλογικές συνθήκες της περιοχής, μελετούνται οι τυχόν γεωγενείς ή ανθρωπογενείς επιβαρύνσεις και περιγράφονται οι πηγές προέλευσης των ρυπογόνων ουσιών.

1.2 Μεθοδολογία εκπόνησης της έρευνας

Για την περιγραφή και την κατανόηση των προαναφερομένων συνθηκών έγιναν οι ακόλουθες εργασίες:

- Συλλογή των γεωλογικών και των υδρογεωλογικών στοιχείων που αφορούν την ευρύτερη περιοχή ενδιαφέροντος.
- Εργασίες υπαίθρου που περιελάμβαναν:
 - Απογραφή σημείων εμφάνισης νερού (γεωτρήσεις – πηγάδια) και απεικόνιση τους σε χάρτη για να μπορέσουμε να προσδιορίσουμε και να αξιολογήσουμε τις συνθήκες υπόγειας υδροφορίας για την περιοχή μελέτης.
 - Επιτόπιες μετρήσεις της θερμοκρασίας, της ηλεκτρικής αγωγιμότητας, του pH, και της αλατότητας των υπογείων νερών από τις γεωτρήσεις και τα πηγάδια που ελέγχθηκαν.
- Αξιολόγηση των αποτελεσμάτων από τις εργασίες υπαίθρου. Χημικές αναλύσεις στο εργαστήριο Ορυκτολογίας- Γεωλογίας του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών. Συνταξη των θεματικών χαρτών κατανομής των στοιχείων.

Για την εκπόνηση των παραπάνω σταδίων αλλά και όλης της εργασίας χρησιμοποιήθηκαν:

- Οι τοπογραφικοί χάρτες της Γ.Υ.Σ. σε κλίμακα 1:50.000 και συγκεκριμένα τα φύλλα Κορωπί και Πλάκα.
- Οι αντίστοιχοι γεωλογικοί χάρτες της Ελλάδας σε κλίμακα 1:50000 (φύλλα Κορωπί και Πλάκα Ι.Γ.Μ.Ε.)
- Ο σεισμοτεκτονικός χάρτης της Ελλάδας σε κλίμακα 1:500000 του Ι.Γ.Μ.Ε (Αθήνα 1989)

Για τη δημιουργία των χαρτών χρησιμοποιήθηκαν κυρίως γεωλογικοί και τοπογραφικοί χάρτες, από τους οποίους κατασκευάστηκαν μέσω Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών τα θεματικά επίπεδα της τοπογραφίας, της υδρογραφίας και της γεωλογίας, ενώ κατασκευάστηκε επίσης και το Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους, από το οποίο προέκυψαν οι χάρτες κλίσεων και έκθεσης.

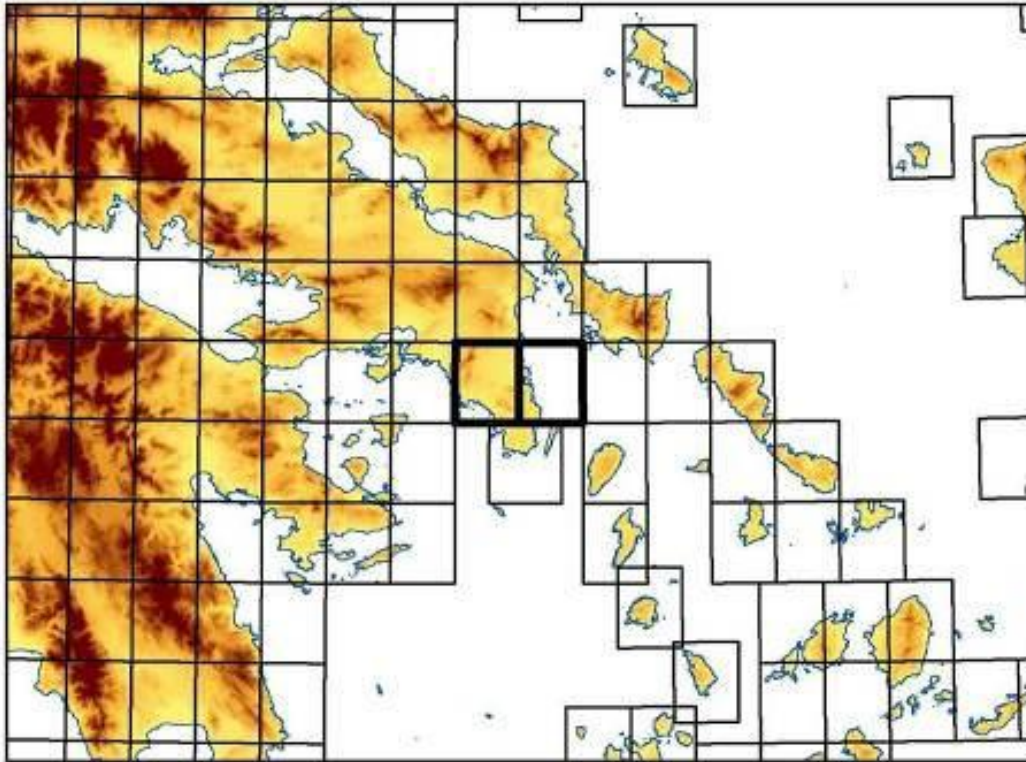
Για την ολοκλήρωση της παρούσας μεταπτυχιακής μελέτης χρησιμοποιήθηκαν τα παρακάτω λογισμικά:

- ArcGIS 10.2
- Πρόγραμμα επεξεργασίας υδροχημικών αναλύσεων AQUACHEM 3.8
- Word 2010, Excel 2010.
- Google Earth

2. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

2.1 Γεωγραφικά Στοιχεία

Η περιοχή μελέτης περιλαμβάνεται στα τοπογραφικά φύλλα Κορωπίου και Πλάκας κλίμακας 1:50.000 της Γ.Υ.Σ. και τοποθετείται στο κεντρικό τμήμα της Ανατολικής Αττικής, η οποία βρίσκεται στη νοτιοανατολική απόληξη της ηπειρωτικής Ελλάδας.



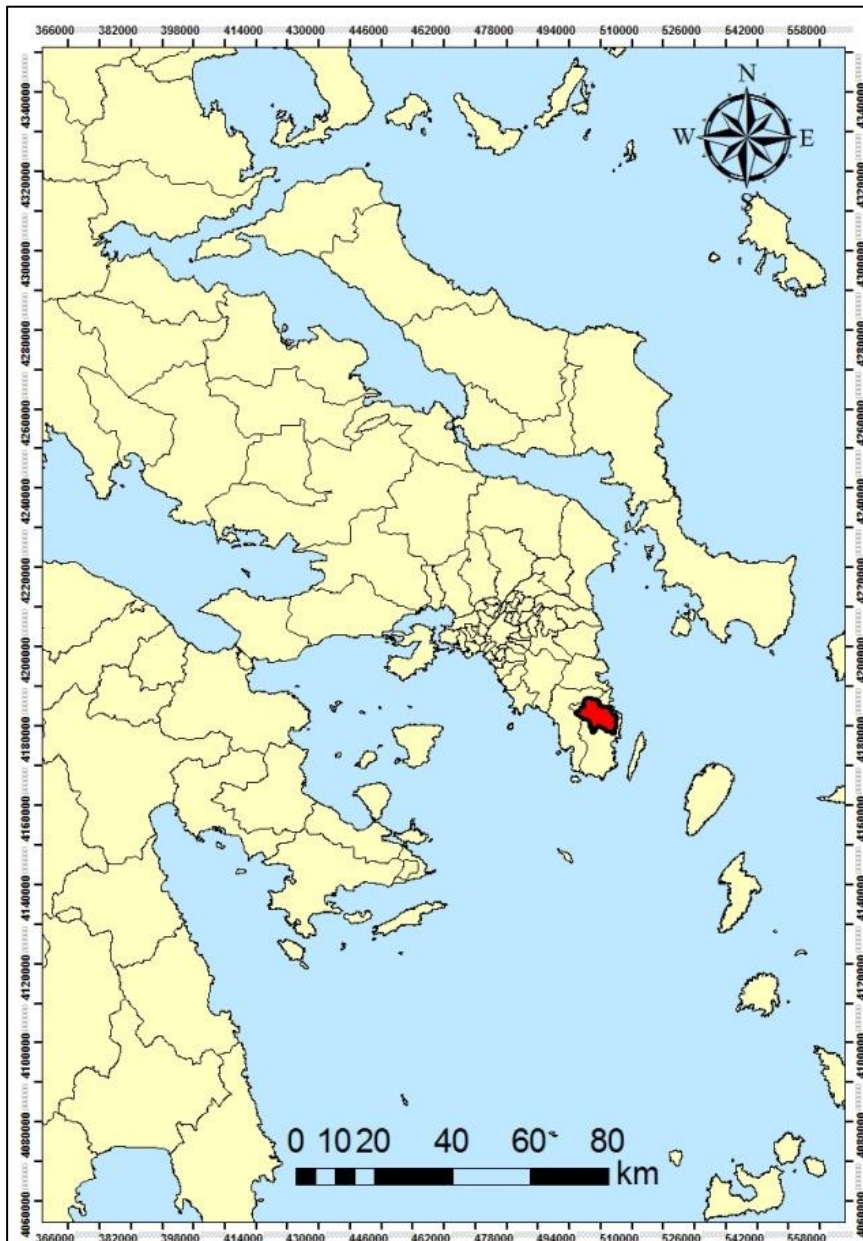
Εικόνα 2.1: Η διανομή των χαρτών κλίμακας 1:50.000 της ΓΥΣ με τα φύλλα της περιοχής μελέτης. Στα φύλλα των χαρτών που ανήκει η εξεταζόμενη περιοχή περιλαμβάνονται το βόρειο τμήμα της Λαυρεωτικής, ο ορεινός όγκος του Πανείου και η υδρολογική λεκάνη της Κερατέας.

Πρόκειται για μια περιοχή η οποία παρουσιάζει σύνθετο ανάγλυφο και μεγάλη ποικιλία γεωμορφών, λόγω του έντονου τεκτονισμού της και των φυσικών διεργασιών που διαμόρφωσαν τη μορφολογία της.

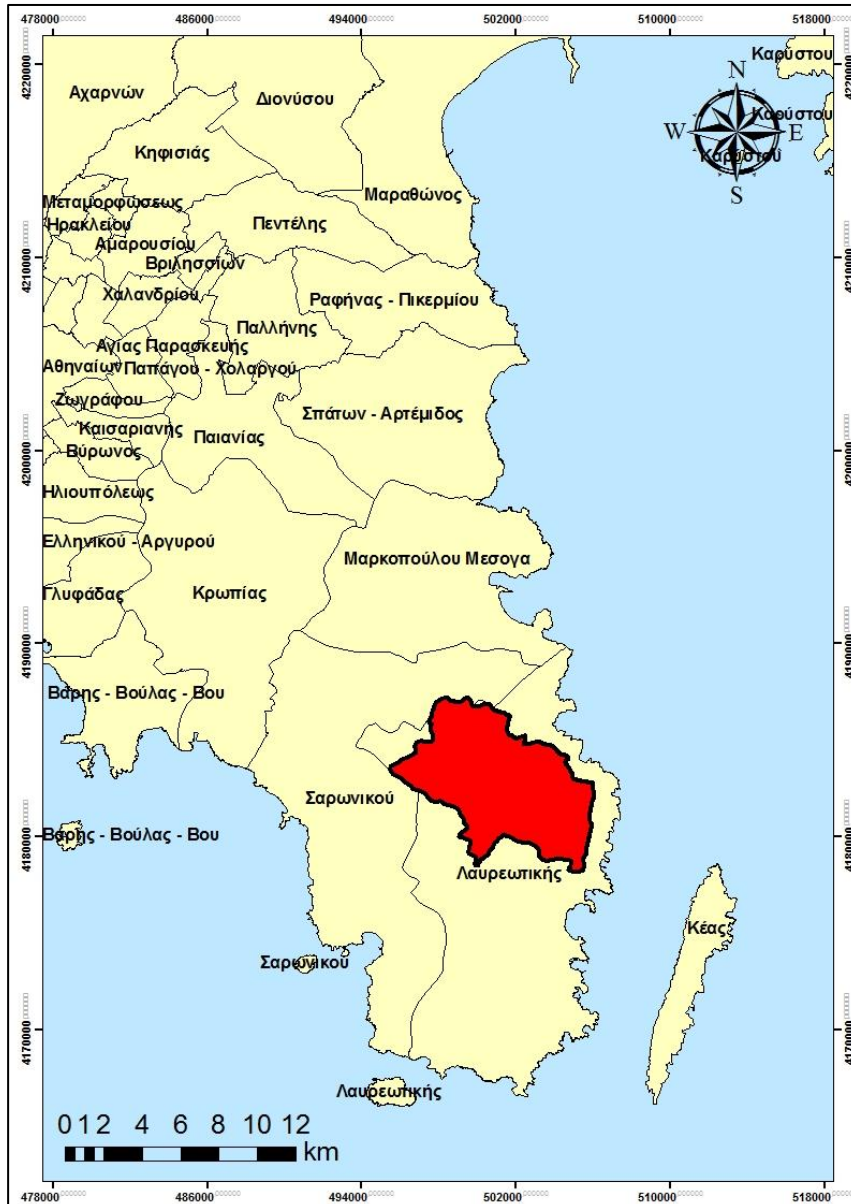
Βρίσκεται μεταξύ γεωγραφικού πλάτους 496000 έως 506000 και γεωγραφικού μήκους 4178000 έως 4187000. Η λεκάνη απορροής της Κερατέας καλύπτει έκταση 52 km² περίπου. Η περίμετρος της είναι 38,5 km. Η λεκάνη στα ανατολικά βρέχεται από το Αιγαίο Πέλαγος εκτεινόμενη από την περιοχή της Κοκκινοκορφής και του

Βράχου Σταυραετού ενώ στα δυτικά οριοθετείται από το Πάνειο όρος. Στα βόρεια οριοθετείται από το όρος Μερέντα και το Μαυροβούνι μέχρι τον λόφο Μουζάκι στα νότια. Ακόμα νοτιότερα βρίσκονται οι ευρύτερες περιοχές του Λαυρίου και της Αναβύσσου χωρίς να περιλαμβάνονται οι οικισμοί αυτοί.

Η λεκάνη συγκεντρώνει τις απορροές των γύρω λόφων Αγριόκαστρο, Λουτρό, Λαχόρι, Βίγλιζα, Κοκκινοκορφή, Βράχος Σταυραετού, Μουζάκι και Κουμαροδιάσελλο. Κύριος τροφοδότης των νερών είναι το Αδάμι Ποτάμι που πηγάζει από το Πάνειο και τη Κερατέα και καταλήγει στη θάλασσα στον όρμο του Θορικού.



Εικόνα 2.2: Η εξεταζόμενη λεκάνη σχετικά με τον ευρύτερο Ελλαδικό χώρο.

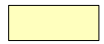


ΥΠΟΜΝΗΜΑ

Υδροκρίτης Λεκάνης Κερατέας



Δήμοι Καλλικράτη



Εικόνα 2.2α Η εξεταζόμενη λεκάνη κατάκλυσης ανήκει στον δήμο Λαυρεωτικής

2.2 Ιστορικά Στοιχεία

Τα παλαιότερα αρχαιολογικά ευρήματα τα οποία μαρτυρούν την ύπαρξη ανθρώπων στην περιοχή Κερατέας ανάγονται στη Μυκηναϊκή εποχή (1600-1100 π.Χ.).

Στην θέση της σημερινής Κερατέας στην αρχαιότητα βρισκόταν ο Δήμος Κεφαλής της Ακαμαντίδας φυλής στα παράλια της Αττικής. Ο περιηγητής Πausανίας αναφέρει ότι στην Κεφαλή λατρεύονταν οι Διόσκουροι που δεν ήταν οι γνωστοί Κάστωρ και Πολυδεύκης αλλά οι Κάβειροι κούροι του Διός Ευρυμέδων και Άλκων. Επίσης λατρεύονταν η Αφροδίτη και αυτό το μαρτυρεί αρχαία επιγραφή «Όρος τεμένους Αφροδίτης Κεφαλήθεν» που βρέθηκε στην περιοχή καθώς και ο Εβδόμειος Απόλλων. Το όνομα του αρχαίου δήμου Κεφαλής που διατηρήθηκε ακμαίο όλη την αρχαιότητα προήλθε από τον προϊστορικό βασιλιά Κέφαλο που καταγόταν από το Θορικό. Για το Δασκαλειό (ή Διδασκαλειό) υπάρχουν ενδείξεις ότι κατά την αρχαία ή μεσαιωνική εποχή είχε δεχθεί κατοίκους. Κατά την Κλασσική Εποχή (5ος και 4ος αιώνας π.Χ) η Αθήνα και η ευρύτερη περιοχή της χωρίστηκε διοικητικά σε δήμους από τον Κλεισθένη (508 π.Χ.) και δημιουργήθηκαν οδικά δίκτυα. Η περιοχή ακολούθησε την ανάπτυξη και την οικονομική άνθηση της Αθήνας και οι δήμοι είχαν αγροτικό χαρακτήρα παράγοντας όλα τα απαραίτητα αγαθά. Κατά την εισβολή των Περσών στην Αττική (480 και 490 π.Χ.) και κατά την διάρκεια του Πελοποννησιακού πολέμου (431-404 π.Χ.) υπέστησαν αρκετές καταστροφές. Στο λιμάνι του Δασκαλειού πρέπει να αγκυροβόλησε ο στόλος των Πελοποννησίων το 411 π.Χ. «λιμάνι μεταξύ Πρασιών και Θορικού» αναφέρει ο Θουκυδίδης.

Αργότερα, η περιοχή έγινε υποτελής στο Μακεδονικό βασίλειο (338 π.Χ.) και το 146 π.Χ. υποτάχτηκε στη Ρωμαϊκή κυριαρχία, ενώ είχε ήδη ξεκινήσει η παρακμή της περιοχής και η σταδιακή εγκατάλειψη των αρχαίων δήμων.

Ο δήμος Κεφαλής καταστράφηκε κατά τον 3ο μ.Χ. αιώνα από τους Ερούλους που εισέβαλαν στην Αττική και κατέστρεψαν τους δήμους της βάζοντας ένα τέλος στους αρχαίους χρόνους. Κατά την περίοδο του Βυζαντινού Ελληνισμού τον 11ο και 12ο αιώνα η Αττική και η περιοχή βρίσκεται στο έλεος των πειρατών, οι περισσότεροι από τους εναπομείναντες οικισμούς εξαφανίστηκαν και η παρακμή συνεχίστηκε. Ακολουθεί η Φραγκοκρατία με τις τρεις δυναστείες τους Βουργουνδούς, τους Καταλανούς και τους Φλωρεντινούς στην Αττική. Το 1456 υποτάσσεται όπως όλη η

Αττική στους Τούρκους. Κατά τις περιόδους αυτές η περιοχή μελέτης είχε αγροτικό χαρακτήρα και συμμετείχε στα Ορλωφικά το 1770 και στην επανάσταση του 1821. Μετά την ανεξαρτησία το 1830 η περιοχή απελευθερώθηκε από τον Οθωμανικό ζυγό εντάχθηκε στο αρτισύστατο Ελληνικό κράτος ακολουθώντας την πορεία του μέχρι σήμερα.

Το 1382 έχουμε την πρώτη εποίκηση Αρβανιτών στην περιοχή, ενώ η δεύτερη μνημονεύεται το 1425. Η συγκεκριμένη περιοχή γνωστή για την ευφορία της και τη γεωγραφική της θέση δεν έπαψε να καλλιεργείται και να κατοικείται και λεγόταν Κερατέα. Η πιθανότερη εκδοχή για την ονομασία της (από τις πολλές που υπάρχουν) είναι από το δέντρο κερατέα ή κεράτια γνωστή και ως χαρουπιά και βεβαιώνεται πρώτα από τον Ολλανδό ταξιδιώτη Βέλλερ (1680).

Γύρω στο 1860 ξεκίνησε εκ νέου η εκμετάλλευση των μεταλλείων Λαυρίου και η περιοχή της Κερατέας και ολόκληρης της Λαυρεωτικής συγκλονίστηκε από το «Λαυρεωτικό Ζήτημα». Ο σιδηρόδρομος Ηρακλείου – Λαυρίου που λειτουργούσε από το 1885 διέσχισε την πεδιάδα των Μεσογείων ως το 1962, οπότε και ανεστάλη οριστικά η λειτουργία του. Από τα χρόνια του Μεσοπολέμου κι έπειτα εντάθηκε η οικιστική δραστηριότητα στο λεκανοπέδιο των Αθηνών, ενώ μετά τον Εμφύλιο αναπτύχθηκε και η περιοχή των Μεσογείων, καθώς παρουσίασε αξιοσημείωτη βιοτεχνική και αγροτική δραστηριότητα.

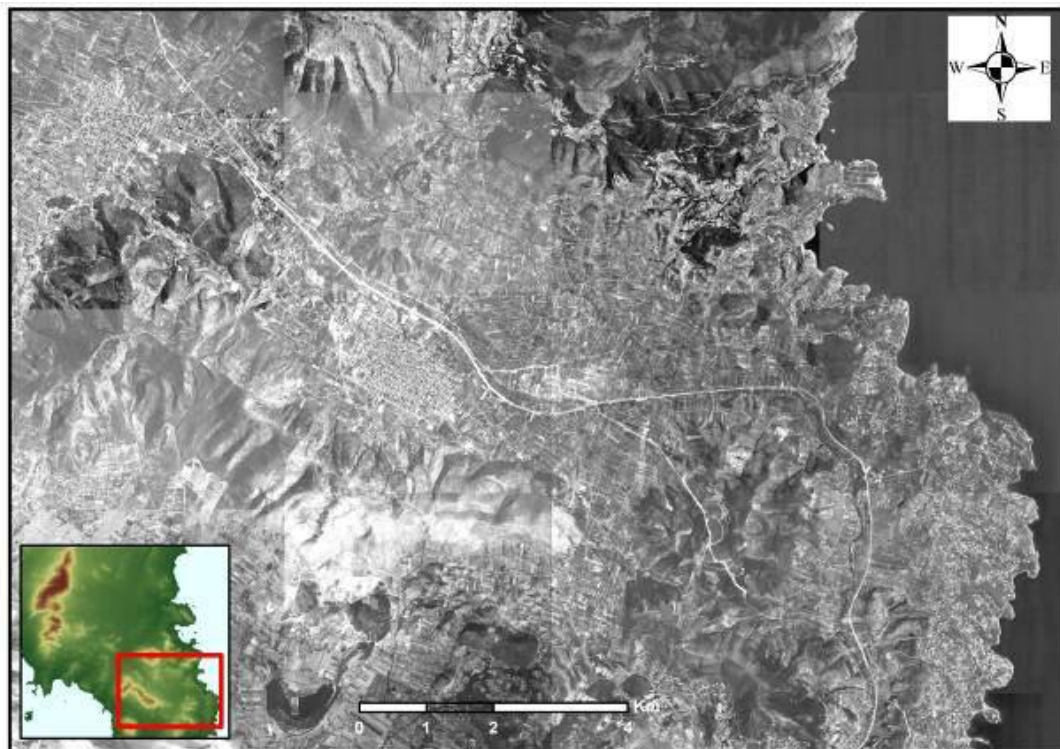
Από τη δεκαετία του 1970 κι έπειτα άρχισαν να δημιουργούνται αρκετά περιβαλλοντικά και χωροταξικά προβλήματα από την άνοδο της οικιστικής ανάπτυξης εξαιτίας της άναρχης επέκτασης των κωμοπόλεων, της εκτός σχεδίου δόμησης των παραθεριστικών κατοικιών, των πυρκαγιών και της υποβάθμισης του φυσικού περιβάλλοντος σε πολλά τμήματα της περιοχής μελέτης.

2.3 Διοικητικά Στοιχεία

Το τελευταίο τέταρτο του 20ου αιώνα και στα πρώτα χρόνια του 21ου η οικιστική ανάπτυξη στην περιοχή της Κερατέας υπήρξε ραγδαία. Την τελευταία δεκαετία υπάρχει μια αυξητική τάση στη μετακίνηση πληθυσμού στην περιοχή, που οφείλεται εν μέρει στη γειτνίαση της με την κορεσμένη οικιστικά περιοχή του λεκανοπεδίου της Αθήνας και την βελτίωση των υποδομών στην περιοχή (Αττική Οδός, προαστιακός, μελλοντικά έργα ανάπτυξης).

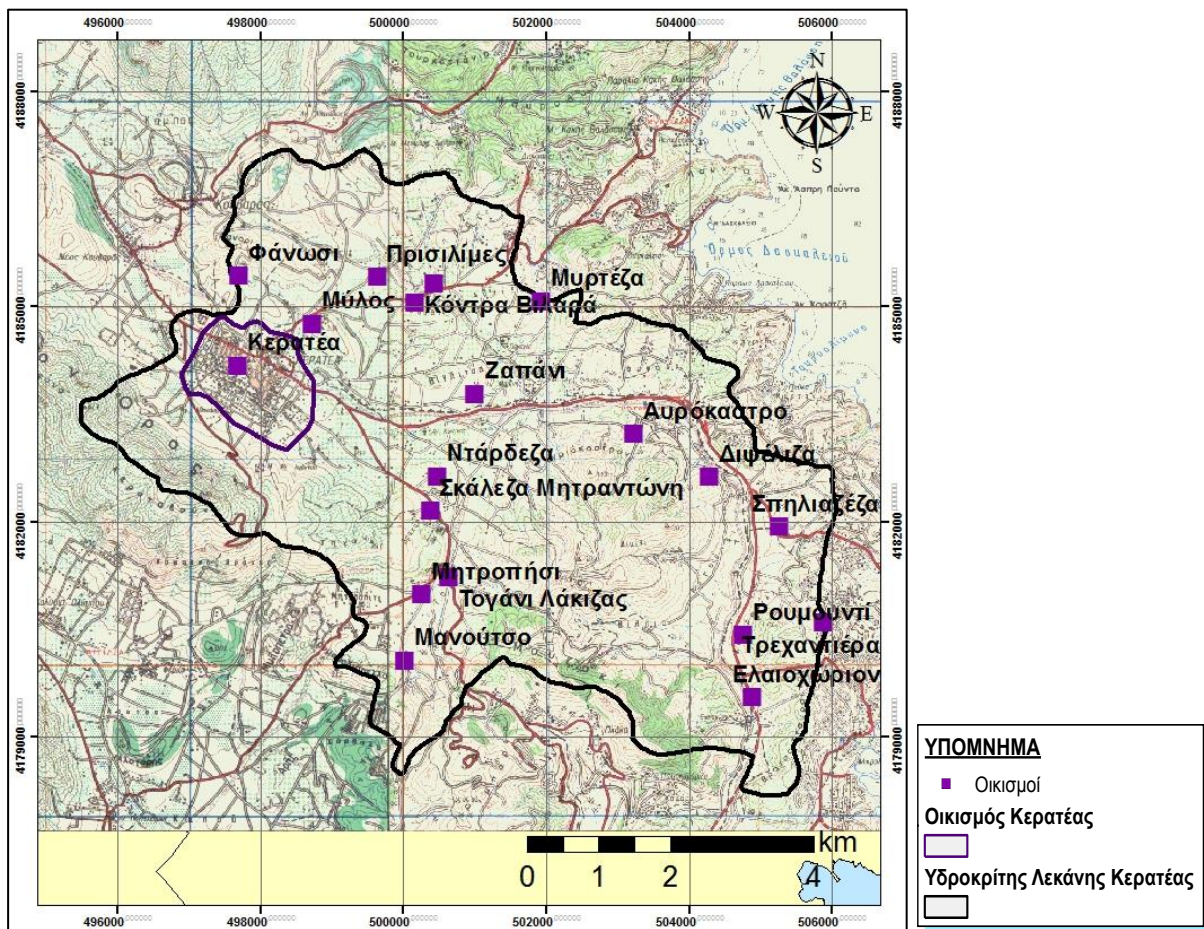
Η Κερατέα είναι πόλη της Αττικής. Διοικητικά ανήκει στην περιφέρεια Αττικής, καθώς εντάσσεται στην περιφερειακή ενότητα Ανατολικής Αττικής. Ανήκει διοικητικά στον Δήμο Λαυρεωτικής, ο οποίος συστάθηκε με το Πρόγραμμα Καλλικράτης και προήλθε από τη συνένωση των προϋπαρχόντων καποδιστριακών δήμων Λαυρεωτικής, Κερατέας και της κοινότητας Αγίου Κωνσταντίνου οι οποίοι σήμερα αποτελούν τις δημοτικές ενότητες του Δήμου. Η έκταση του νέου Δήμου είναι 176.87 km² και ο πληθυσμός του 25.102 κάτοικοι, σύμφωνα με την Απογραφή του 2011. Έδρα του δήμου είναι το Λαύριο.

Η Κερατέα βρίσκεται στα νότια της Αττικής, χτισμένη στους βόρειους πρόποδες του όρους Πάνειο, σε υψόμετρο 190 μέτρων. Απέχει 40 χιλιόμετρα από την Αθήνα με την οποία συνδέεται μέσω της λεωφόρου Λαυρίου και 16 χιλιόμετρα από το Λαύριο. Επίσης απέχει περίπου οκτώ χιλιόμετρα από τις ανατολικές ακτές της Αττικής. Κοντινότερες παραλίες στην Κερατέα είναι η παραλία Κακής Θάλασσας και η παραλία Δασκαλειού. Ο πληθυσμός της Κερατέας είναι 7.493 κάτοικοι σύμφωνα με την απογραφή του 2011.



Εικόνα 2.3: Η περιοχή της Κερατέας σε ορθοφωτοχάρτες του 1997.

Η Κερατέα το 1840 αποτελούσε έδρα του τότε διευρυμένου δήμου Λαυρίου, ενώ το 1890 αναγνωρίζεται ως Δήμος Θορικών, με απόσχιση της νέας πόλης του Λαυρίου, που είχε δημιουργηθεί στον νοτιανατολικό λιμένα της Λαυρεωτικής, τα "Εργαστήρια". Το 1912 η Κερατέα αναγνωρίζεται ως αυτόνομη κοινότητα. Εκτός από την Κερατέα η νέα τότε κοινότητα συμπεριέλαβε ένα μεγάλο αριθμό μικρών οικισμών. Τα επόμενα χρόνια τα όρια της μεταβλήθηκαν καθώς αποσπάστηκαν από την κοινότητα οι οικισμοί Λεγρενά (που εντάχθηκε στον Δήμο Λαυρεωτικής) και Ανάβυσσος (που εντάχθηκε στην κοινότητα Καλυβίων Θορικού).



Εικόνα 2.4: Χάρτης με τους οικισμούς της εξεταζόμενης περιοχής με βάση τους τοπογραφικούς χάρτες της Γ.Υ.Σ. (Φύλλα Αθήνα-Κορωπι και Πλάκα 1988).

Το 1950 προάγεται σε δήμο ο οποίος λειτούργησε στο διάστημα 1951-2010 οπότε και καταργήθηκε. Βρισκόταν στο νότιο τμήμα της Αττικής και συνόρευε με τον δήμο Λαυρεωτικής, τον δήμο Καλυβίων Θορικού και την κοινότητα Κουβαρά.

Καταλάμβανε έκταση 129,5 τ.χλμ. και ο πληθυσμός του σύμφωνα με την απογραφή του 2001 ήταν 13.246 κάτοικοι. Έδρα του δήμου ήταν η Κερατέα.

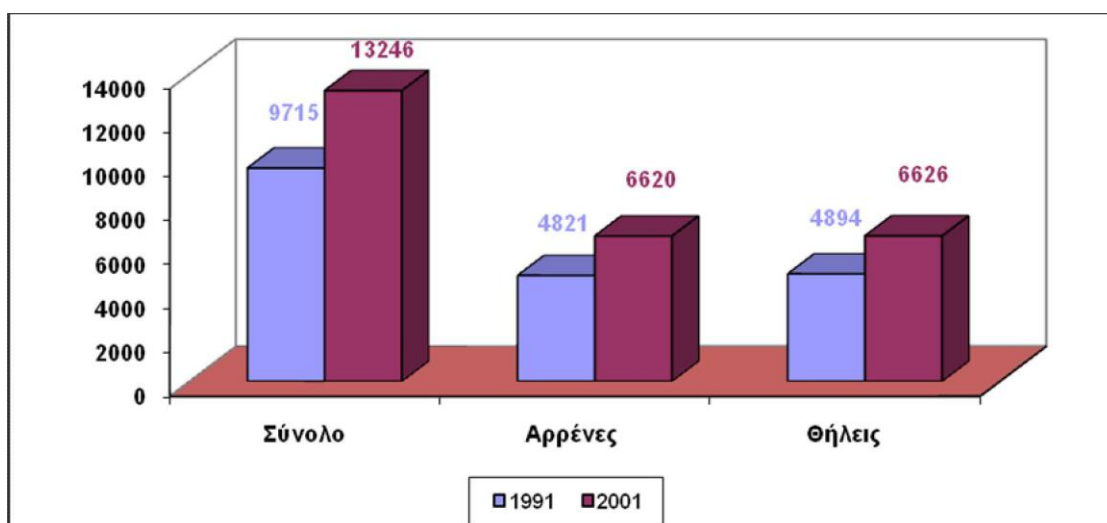
Ο δήμος Κερατέας καταλάμβανε μεγάλο τμήμα της νότιας Αττικής και περιλάμβανε έναν μεγάλο αριθμό μικρών οικισμών.

Δ.δ. Κερατέας [13.246] Ο δήμος Κερατέας περιλάμβανε τους παρακάτω οικισμούς (ο πληθυσμός σύμφωνα με την απογραφή του 2001):

Ενότητα	Κοινότητες	Πληθ.	Οικισμοί
Λαυρεωτικής	Λαυρεωτικής	10.612	Λαύριο , Άνω Θορικό , Θορικό , Κάτω Ποσειδωνία, Κάτω Σούνιο , Λεγρενά
Κερατέας	Κερατέας	13.246	Κερατέα, Αγία Μαρίνα Μικρολίμανου, Αγίασμα, Άγιος Γεώργιος Θορικού, Άγιος Γεώργιος, Άνω Δασκαλειό (τ. οι Μπουζαλάδες), Αρί, Αυρόκαστρο, Βένιο Δασκαλειού, Βίντζι Δασκαλειού, Δασκαλειό, Δημολάκι, Διόνυσος, Διψέλιζα, Ελαιοχώρι, Ελιές Δασκαλειού (τ. η Παραλία Δασκαλειού), Ζαπάνι, Ζάστανο, Κακή Θάλασσα (τ. Παραλία Κακής Θαλάσσης), Καλοπήγαδο, Κόντρα Βιλαρά, Μαλιακούκι, Μαλιαστέκα, Μανούτσο, Μαρίστρα, Μαρκάτι, Μεγάλα Πεύκα, Μεγάλη Αυλή, Μητροπήσι, Μικρολίμανο, Μονή Κακιάς Θάλασσας, Μύλος, Μυρτέζα, Ντάρδεζα, Παλιοκαμάριζα, Πανόραμα Μικρολίμανου, Πεύκα, Περιγιάλι, Πλάκα, Πόρτο Εννιά, Πρισιλίμες, Ριμπάρι, Ρουμουντί, Ρουντζέρι Λεμπρού, Σάκκα, Σκάλεζα Μητραντώνη, Σπηλιαζέζα, Συντερίνα, Συρί, Τζαρδαβίλα Μόκριζας, Τζονίμα, Τογάνι Λάκιζας, Τρεχαντιέρα, Τριανταφυλλιά, Φάνωσι, Φέριζα, Χάρακας, Χάρβαλο
Αγίου Κωνσταντίνου	Αγίου Κωνσταντίνου	687	Άγιος Κωνσταντίνος , Εσπερίδες

Πηγή ΕΛΣΤΑΤ

Το 2001, ο Δήμος Κερατέας κατατάσσεται πληθυσμιακά ως ένατος στη Νομαρχία Ανατολικής Αττικής. Ανάλογο πληθυσμιακό μέγεθος με τον Δήμο Κερατέας έχουν οι δήμοι του Γέρακα και της Παιανίας. Η πυκνότητα του πληθυσμού είναι περίπου 102 κάτοικοι/km². Πρόκειται για ελαφρώς αυξημένο μέγεθος σε σχέση με εκείνο του αντίστοιχου εθνικού μέσου όρου (83 κάτοικοι/km²) ενώ αντιστρόφως είναι ιδιαίτερα χαμηλό σε σχέση με το μέσο όρο της Νομαρχίας Ανατολικής Αττικής (268 κάτοικοι/km²). Η μεταβολή του πραγματικού πληθυσμού του Δήμου Κερατέας σύμφωνα με την απογραφή της ΕΣΥΕ του 2001 παρουσίασε αύξηση της τάξης του 36,35% σε σχέση με την αντίστοιχη απογραφή του 1991.



Εικόνα 2.5: Εξέλιξη του πραγματικού Πληθυσμού Δήμου Κερατέας 1991-2001
 Πηγή: Ιδία επεξεργασία στοιχείων Ε.Σ.Υ.Ε (Απογραφή 1991, 2001)

Με την εφαρμογή του προγράμματος Καλλικράτης την 1η Ιανουαρίου 2011 ο δήμος συνενώθηκε με τον δήμο Λαυρεωτικής και την κοινότητα Αγίου Κωνσταντίνου οι οποίοι συγκρότησαν τον νέο δήμο Λαυρεωτικής.

2.4 Απασχόληση

Γενικά οι οικισμοί της περιοχής μελέτης είναι αγροτικοί. Σε αυτό βοηθούν οι πολύ καλές κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν στη περιοχή και η γεωγραφική της θέση. Τα πεδινά τμήματα είναι πολύ εύφορα και σε συνδυασμό με το ευνοϊκό κλίμα αυξάνεται η καλλιεργητική περίοδος καθώς επίσης και η απόδοση των καλλιεργειών. Τα παραπάνω σε συνδυασμό με την μικρή απόσταση από την Αθήνα, που είναι το σημαντικότερο κέντρο διάθεσης των αγροτικών προϊόντων, συντελούν στη μείωση του κόστους μεταφοράς και στην ελαχιστοποίηση του κινδύνου καταστροφής των προϊόντων.

Κτηνοτροφία υπάρχει στις πεδινές περιοχές που δεν καλλιεργούνται.

Στην περιοχή Ζαπάνι, που γειτνιάζεται με την Λεωφόρο Λαυρίου, υπάρχει βιομηχανική ζώνη με πολλές επιχειρήσεις στις οποίες απασχολούνται αρκετοί κάτοικοι της περιοχής. Επίσης αρκετός αριθμός κατοίκων απασχολείται στο εργοστάσιο ΔΕΗ ΑΗΣ Λαυρίου λόγω της κοντινής απόστασης από την περιοχή.

3. ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ

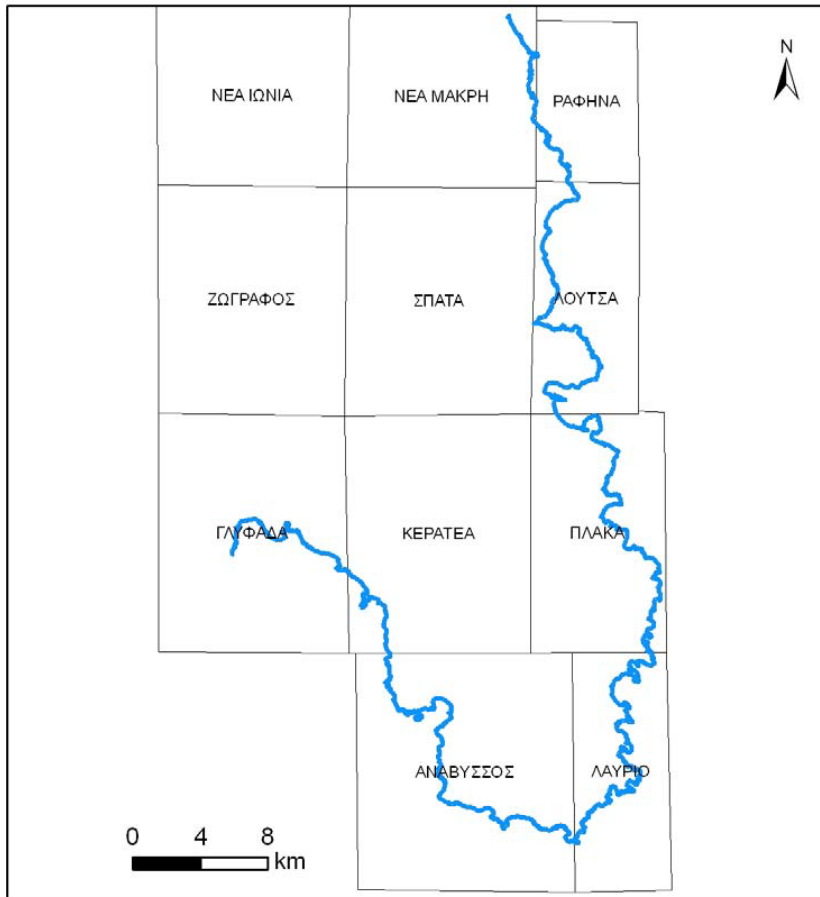
3.1 Ανάγλυφο της περιοχής

Η γεωμορφολογία ανήκει στις γεωεπιστήμες και ασχολείται με τη μελέτη των διαδικασιών που διαμορφώνουν το γήινο ανάγλυφο. Η γεωμορφολογική εικόνα μιας περιοχής είναι αποτέλεσμα της διάβρωσης και της αποσάθρωσης που έχουν συμβεί στην συγκεκριμένη περιοχή. Είναι αποτέλεσμα επίσης της τεκτονικής και εξαρτάται από την λιθολογική σύσταση της περιοχής. Η περιγραφή, η ανάλυση και η συσχέτιση των γεωμορφών μπορούν να δώσουν απαντήσεις σε θέματα που αφορούν τις φυσικές διεργασίες που διαμορφώνουν το ανάγλυφο. Επιπλέον, είναι δυνατή η εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τη διαχρονική εξέλιξη του ανάγλυφου κατά το παρελθόν. Από την γεωμορφολογία μιας περιοχής επηρεάζονται οι υδρογεωλογικές συνθήκες της.

Το σημερινό ανάγλυφο της περιοχής μελέτης είναι αποτέλεσμα μεταλπικών τεκτονικών κινήσεων, καθώς και της εξέλιξης των διαφόρων μορφολογικών κύκλων που συνεχίζεται μέχρι σήμερα.

Το Ψηφιακό Μοντέλο Αναγλύφου (DEM) που δημιουργήθηκε παρουσιάζει την περιοχή που απεικονίζεται σε δυο γειτονικά φύλλα χαρτών κλίμακας 1:50.000 της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού (Γ.Υ.Σ.). Από τη μελέτη αυτού μπορούμε να εξάγουμε συμπεράσματα για την μορφές που σχετίζονται με την τεκτονική, κίνηση, τη λιθολογία, την εξέλιξη του καρστ (Μιγκίρος, et al. 2003).

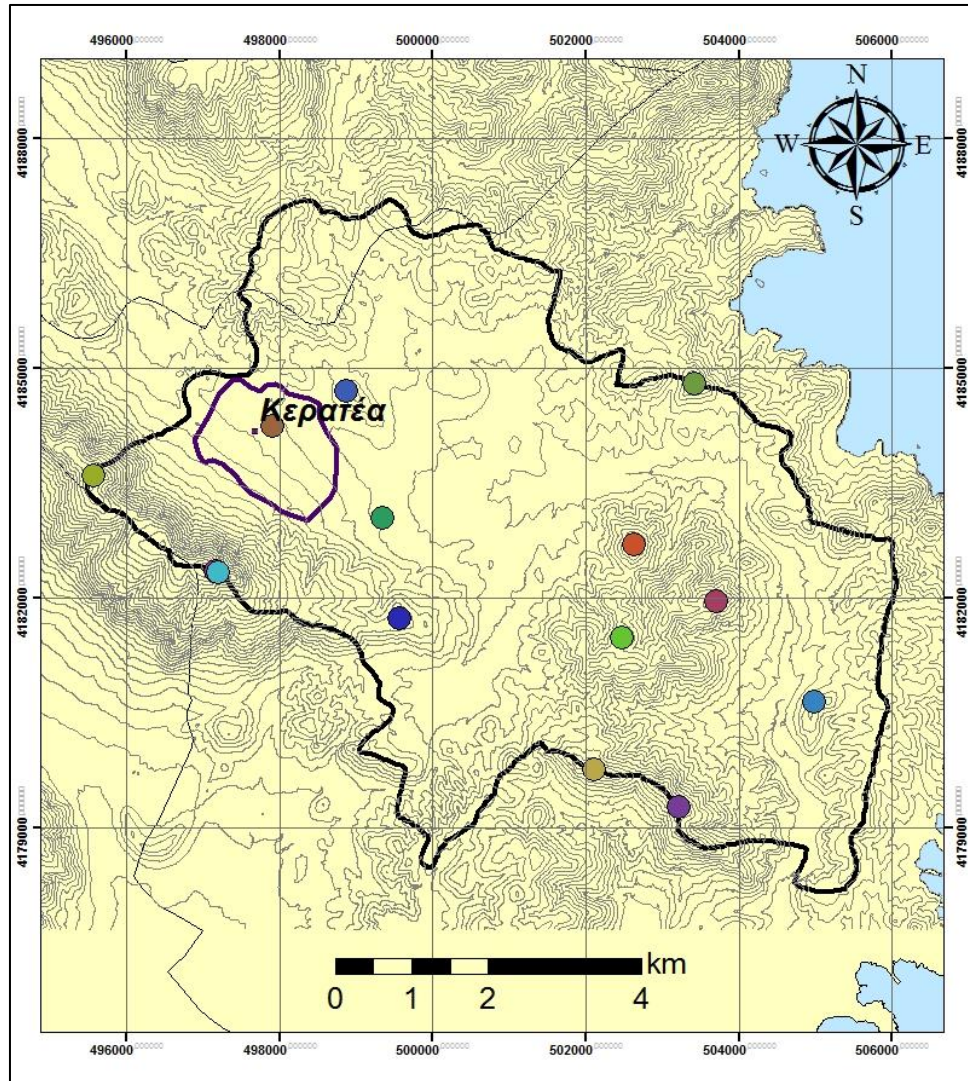
Η μελέτη περίπτωσης περιλαμβάνεται στα φύλλα χαρτών «Κορωπί» και «Πλάκα» της παραπάνω διανομής. Τα συγκεκριμένα φύλλα γειτνιάζουν μεταξύ τους, με το δεύτερο να εντοπίζεται ανατολικά του πρώτου, συνεπώς παρουσιάζονται ως ένα ενιαίο και συνεχές φύλλο γεωμορφολογικού χάρτη, καθώς απεικονίζονται με τον ίδιο τρόπο και στο γεωλογικό χάρτη του Ι.Γ.Μ.Ε.



Εικόνα 3.1: Κάνναβος διανομής τοπογραφικών χαρτών 1:25.000 ΓΥΣ.

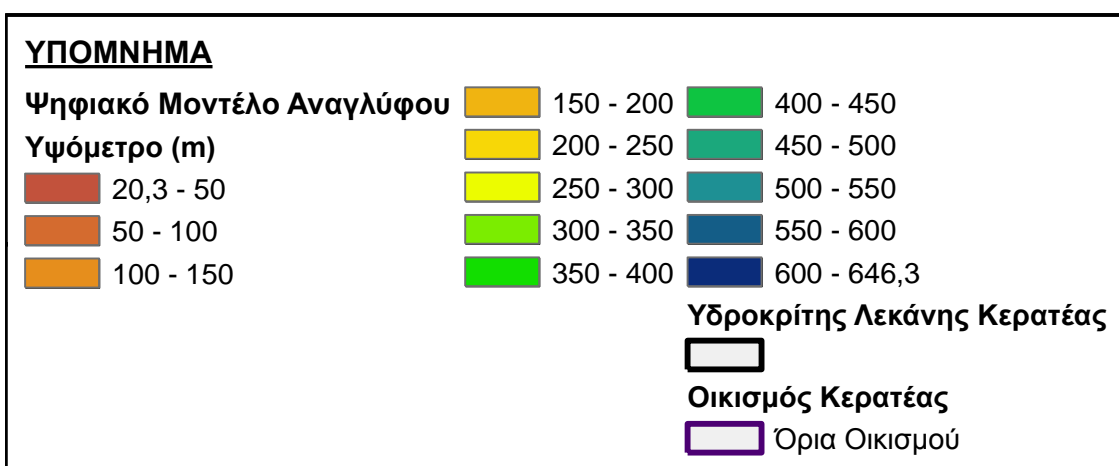
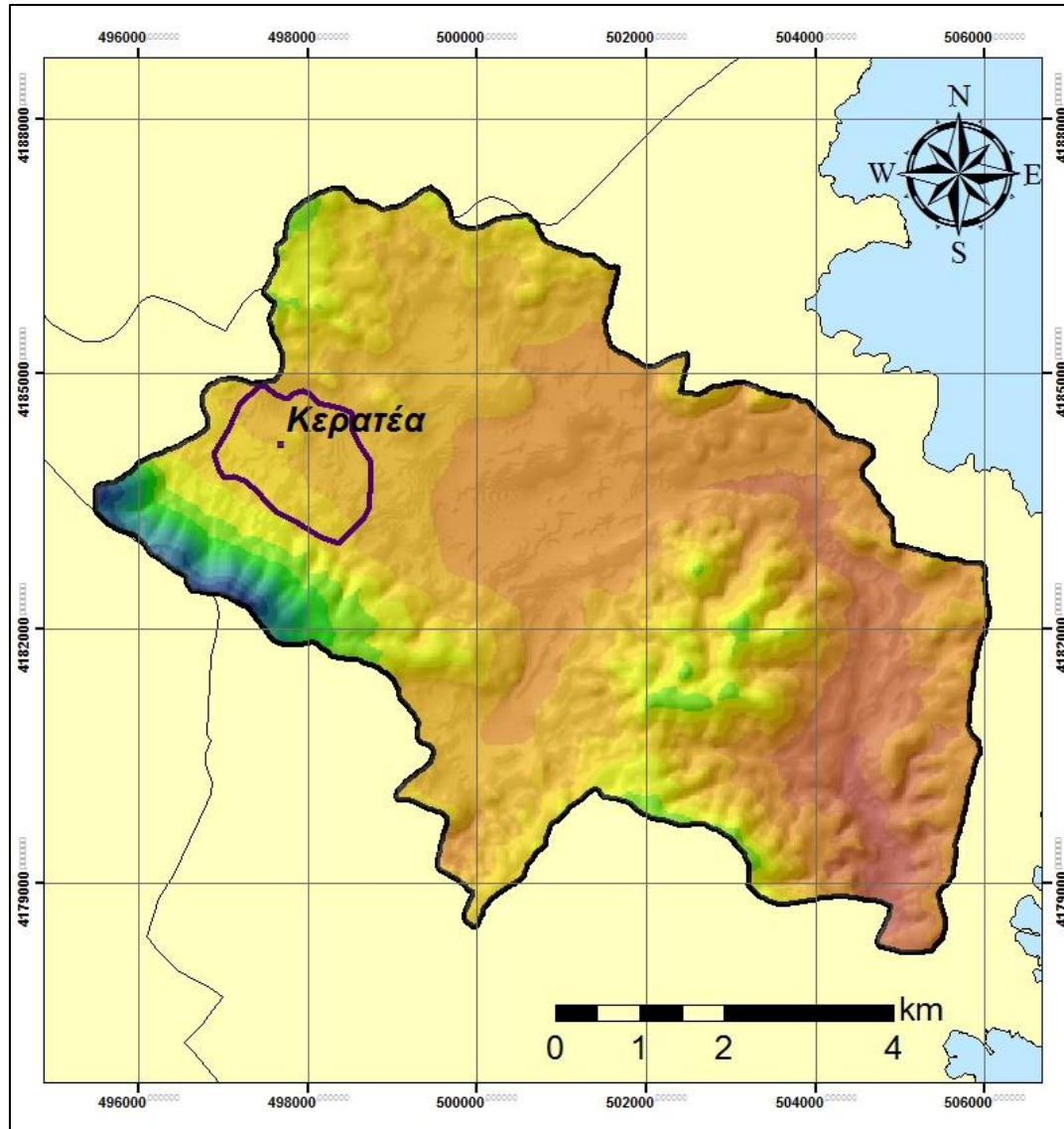
Επιπλέον, η ίδια διανομή χρησιμοποιείται και στους γεωλογικούς χάρτες της Ελλάδας που έχει εκδώσει το Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (Ι.Γ.Μ.Ε.) και χρησιμοποιήθηκαν ως υπόβαθρα στην παρούσα μελέτη.

Η χαρτογραφική προβολή που χρησιμοποιήθηκε είναι το ελληνικό γεωδαιτικό σύστημα συντεταγμένων ΕΓΣΑ 87, το οποίο είναι ευρέως διαδεδομένο στις σύγχρονες ελληνικές χαρτογραφήσεις. Η μετατροπή του στο παγκόσμιο γεωδαιτικό σύστημα WGS αποτελεί εύκολη διαδικασία μέσω των σύγχρονων τεχνολογιών χαρτογράφησης που χρησιμοποιήθηκαν στη διεξαγωγή της έρευνας.

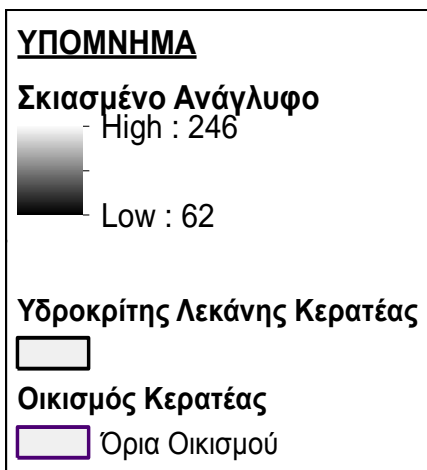
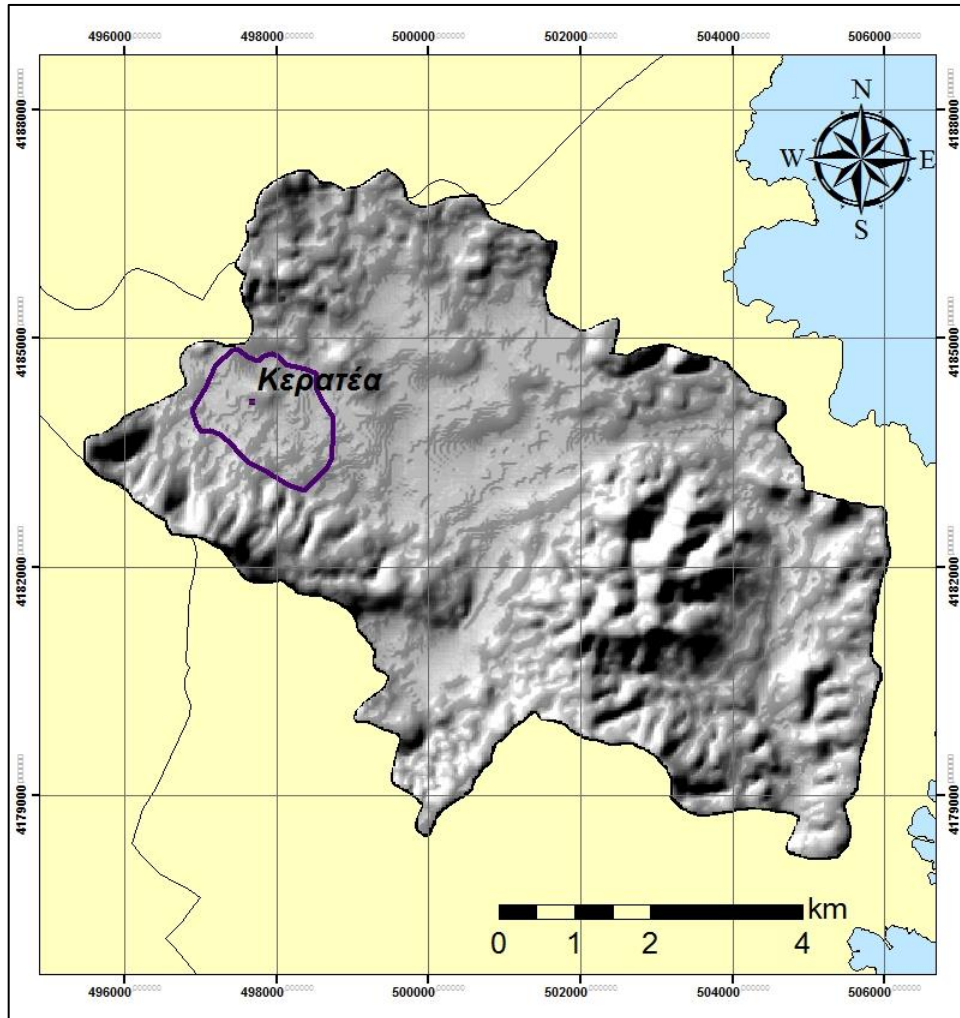


ΥΠΟΜΝΗΜΑ	
—	Ισουψείς
Σημεία Υψομέτρων	
Υψόμετρα	
●	148,436
●	163,08
●	209,395
●	235,93
●	243,525
●	290,839
●	306,548
●	312,967
●	328,743
●	345,663
●	359,318
●	613,963
●	647,853
●	647,952
	Οικισμός Κερατέας
□	
	Υδροκρίτης Λεκάνης Κερατέας
□	

Εικόνα 3.2: Τμήμα του αρχείου των ισοϋψών με ισοδιάσταση 20μ.



Εικόνα 3.3: Χάρτης Ψηφιακού Μοντέλου Αναγλύφου (DEM)



Εικόνα 3.4: Χάρτης Σκιασμένου Αναγλύφου

Στην Εικόνα 3.3 παρουσιάζεται το ανάγλυφο της περιοχής όπως αυτό αποτυπώθηκε μέσω της επεξεργασίας του ΓΣΠ. Με βάση τα γεωμορφολογικά δεδομένα η περιοχή έρευνας μπορεί να διαιρεθεί στις παρακάτω ενότητες:

A) Στην πεδινή περιοχή που παρουσιάζει σχεδόν επίπεδη επιφάνεια και δομείται από ημισυνεκτικούς σχηματισμούς του Νεογενούς και πρόσφατες χαλαρές αποθέσεις του Τεταρτογενούς. Αναπτύσσεται στο κεντρικό τμήμα της λεκάνης.

Η λεκάνη είναι μια περιοχή χαμηλών υψομέτρων από 50 έως 200 μ. στους πρόποδες των ορεινών όγκων, με μερικές τοπικές λοφώδεις εξάρσεις του ανάγλυφου που όμως δεν ξεπερνούν τα 325 μ. Η πεδιάδα αποστραγγίζεται από ρέματα εποχικής ροής τα οποία σε μεγάλο τους μήκος δεν είναι εμφανή και συνεχίζονται μέσα από αρδευτικά και αποχετευτικά δίκτυα η αγωγούς και παρόδια τεχνικά έργα απομάκρυνσης ομβρίων υδάτων. Κατευθύνονται κυρίως από δυτικά προς ανατολικά οι βόρειοι κλάδοι και από νοτιοδυτικά προς βορειοανατολικά οι νότιοι.

B) Στην λοφώδη έως ημιορεινή περιοχή που δομείται από τους τριαδικό-ιουρασικούς ασβεστόλιθους και περιλαμβάνει τους δυτικούς όγκους των νοτίων απολήξεων του όρους Μερέντα και τους όγκους των λόφων Μουζάκι και Αγριόκαστρο. Οι κορυφές των λόφων συνήθως εμφανίζονται αποστρογγυλωμένες.

Η περιοχή μελέτης εμφανίζει λοφώδες ανάγλυφο και υψόμετρα μέχρι 400 μ. Μικρά σε μήκος ρέματα εποχικής ροής καταλήγουν στο Αιγαίο ή στο Αδάμι Ποτάμι, το οποίο ξεκινά από την περιοχή της Κερατέας και καταλήγει κοντά στο Λαύριο διασχίζοντας όλο αυτό το τμήμα ανάμεσα στους λόφους αρχικά με κατεύθυνση Δ-Α στον άνω ρου και στη συνέχεια Β-Ν στον κάτω ρου. Υπάρχουν αρκετοί μικροί οικισμοί στην περιοχή και παραθεριστικές κατοικίες. Από την περιοχή διέρχεται η Λεωφόρος Λαυρίου που τη συνδέει με την Κερατέα και το Λαύριο.

Γ) Στην ορεινή περιοχή που αποτελείται από τον ορεινό όγκο του Πάνειου όρους. Ο ορεινός όγκος συνίσταται κυρίως από ανθρακικούς σχηματισμούς, ασβεστόλιθους, μάρμαρα, δολομίτες και σχιστόλιθους..

Το Πάνειο Όρος δεσπόζει στα νότια της περιοχής μελέτης, και αποτελεί έναν μικρό ορεινό όγκο επιμηκυμένο με διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ και μέγιστο υψόμετρο 648 μ. (κορυφή Κερατοβούνι). Εμφανίζεται έντονα τεκτονισμένο, ενώ οι κοιλάδες των ρεμάτων είναι οξύληκτες παρουσιάζοντας έντονες μορφές διάβρωσης στα πρηνή και αποστρογγυλωμένες κορυφές, ενώ στις βάσεις των κλιτύων τους παρατηρείται η συσσώρευση κορημάτων Ολοκαινικής και Πλειστοκαινικής προέλευσης. Το Πάνειο εμφανίζει απόκρημνες κλιθείς κατά μήκος τεκτονικών ασυνεχειών και των επαφών μαρμάρων και δολομιτών, με μέση κλίση 30° που τοπικά ξεπερνά τις 35° , ενώ το όρος είναι επίμηκες με διεύθυνση ΝΑ – ΒΔ. Οι μορφολογικές ασυνέχειες εμφανίζουν τις διευθύνσεις των πτυχώσεων του όρους.

Καλύπτεται από θαμνώδη κυρίως βλάστηση, καθώς μεγάλο τμήμα του δάσους που υπήρχε καταστράφηκε το καλοκαίρι του 2008 από πυρκαγιά, αλλά την άνοιξη του 2009 έγινε εκτεταμένη αναδάσωση. Διαχωρίζει την περιοχή της Κερατέας από τις περιοχές της Σαρωνίδας και της Αναβύσσου στις ακτές του Σαρωνικού. Στην ευρύτερη αυτή περιοχή εκτείνεται στα νοτιοανατολικά μια μικρή πεδιάδα ήπιου ανάγλυφου σε υψόμετρο 40 έως 80 μέτρα, που συνεχίζεται προς την Ανάβυσσο και αποστραγγίζεται από μικρά ρέματα που εκβάλλουν στον ομώνυμο όρμο εκτός της περιοχής μελέτης.

Η υδρολογική λεκάνη του Ποταμού παρουσιάζει διακυμάνσεις αναγλύφου, με υψόμετρο από την θάλασσα μέχρι και τα 650 m. Οι λιθολογικοί σχηματισμοί και η γεωλογική δομή επηρεάζουν την γεωμορφολογία της περιοχής.

Επειδή το μεγαλύτερο τμήμα της περιοχής αποτελείται από ασβεστόλιθους έχουμε μεγάλη καρστική διάβρωση με αποτέλεσμα αρκετές καρστικές δομές. Κατά μήκος του υδρογραφικού δικτύου παρατηρείται αύξηση του βαθμού καρστικής διάβρωσης των ασβεστολίθων.

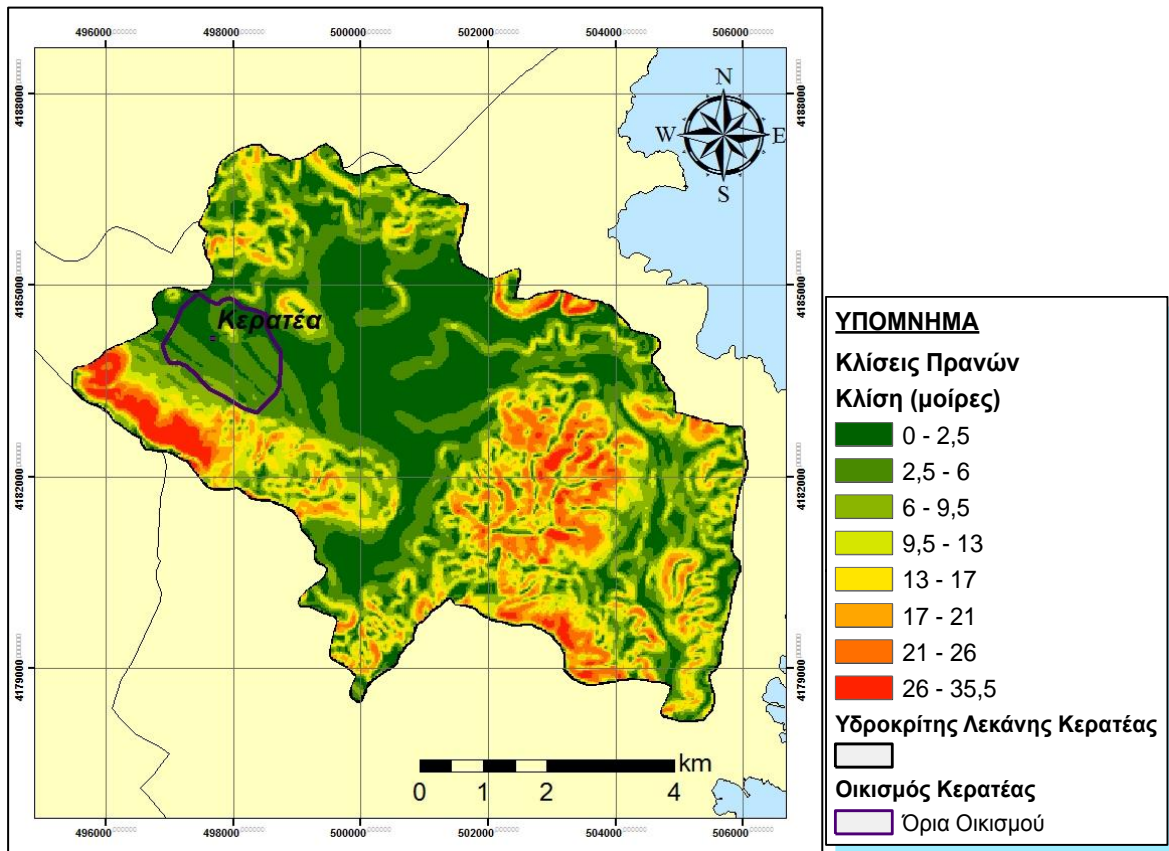
Στην Εικόνα 3.5 παρουσιάζεται ο χάρτης με τις μορφολογικές κλίσεις του αναγλύφου της περιοχής μελέτης. Οι τιμές των κλίσεων των πρηνών της περιοχής παρουσιάζουν διαβαθμίσεις που κυμαίνονται από ομαλές ($0^\circ - 9,5^\circ$) έως απότομες ($25^\circ - 35^\circ$).

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

1. Κλίσεις $0^\circ - 2,5^\circ$
2. Κλίσεις $2,5^\circ - 6^\circ$
3. Κλίσεις $6^\circ - 9,5^\circ$
4. Κλίσεις $9,5^\circ - 13^\circ$
5. Κλίσεις $13^\circ - 17^\circ$
6. Κλίσεις $17^\circ - 21^\circ$
7. Κλίσεις $21^\circ - 25^\circ$
8. Κλίσεις $25^\circ - 35^\circ$

3. Κλίσεις $6^{\circ} - 9,5^{\circ}$
 4. Κλίσεις $9,5^{\circ} - 13^{\circ}$

7. Κλίσεις $21^{\circ} - 26^{\circ}$
 8. Κλίσεις $26^{\circ} - 35,5^{\circ}$



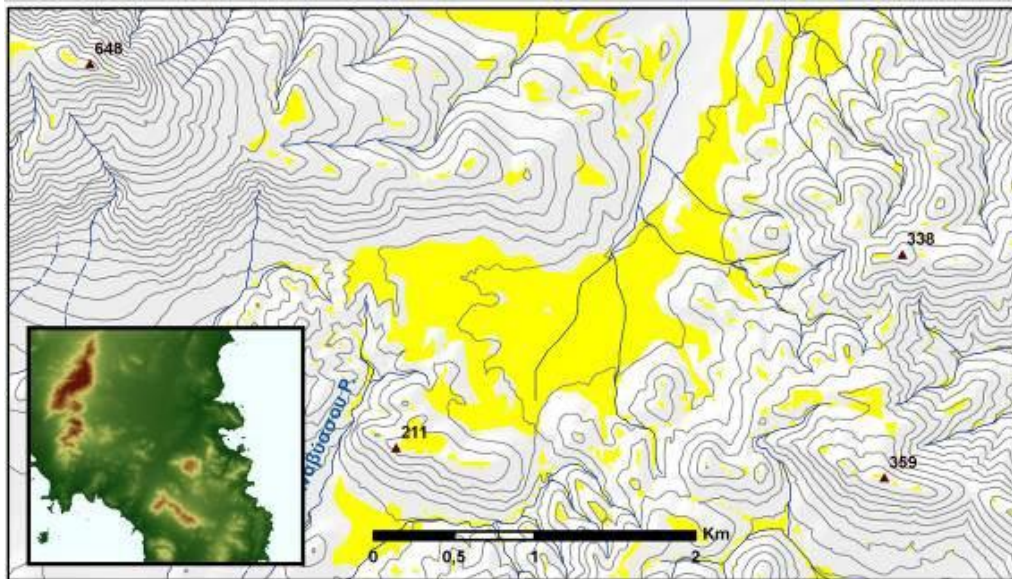
Εικόνα 3.5: Χάρτης Τοπογραφικών Κλίσεων

Οι κλίσεις πρανών από $15^{\circ} - 35^{\circ}$, απαντώνται στην ορεινή και ημιορεινή έκταση της περιοχής μελέτης, χαρακτηρίζονται ως μέσες και συνήθως είναι αποτέλεσμα διαβρωτικών διεργασιών.

Οι κλίσεις πρανών από $10^{\circ} - 15^{\circ}$ χαρακτηρίζονται ως μέτριες και απαντώνται περιμετρικά της ορεινής και ημιορεινής ζώνης καθώς και κατά μήκος των κλιτύων των ρεμάτων που διασχίζουν την περιοχή μελέτης.

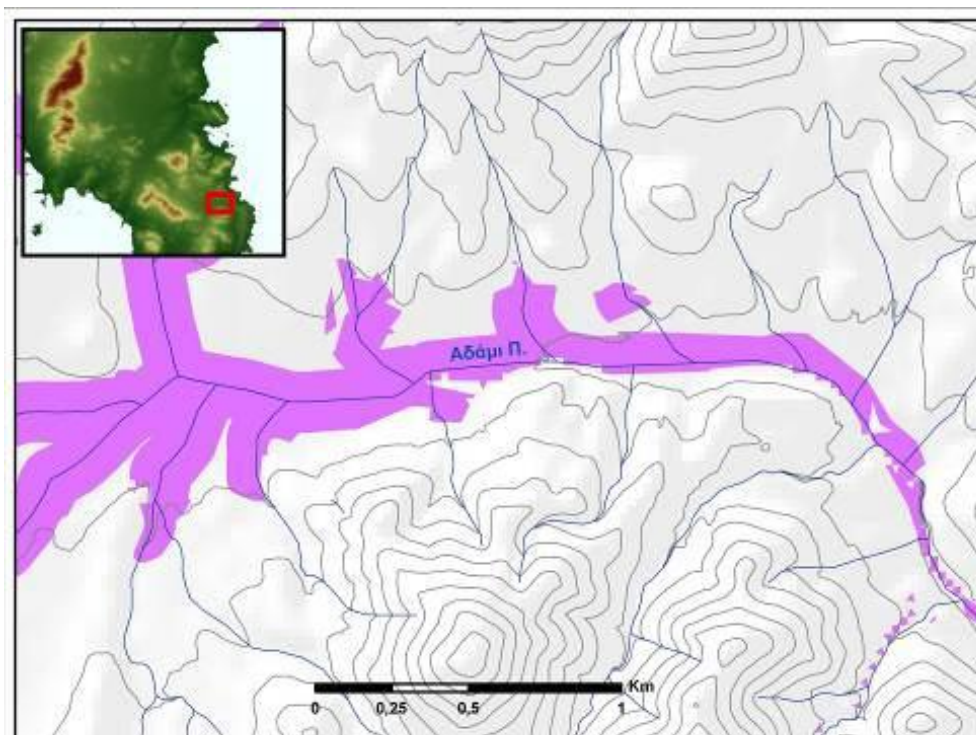
Τέλος οι κλίσεις πρανών από $0^{\circ} - 10^{\circ}$ απαντώνται στην πεδινή έκταση της περιοχής μελέτης.

Υπάρχουν κρημνώδεις επιφάνειες σε δολομίτες και σχιστόλιθους. Από τη συνδυαστική μελέτη του γεωλογικού και του τοπογραφικού χάρτη προέκυψε ότι η ύπαρξη των κρημών αυτών συνδυάζεται συνήθως με την ύπαρξη τεκτονικών ασυνεχειών ή επαφών μεταξύ διαφορετικών σχηματισμών.



Εικόνα 3.6: Μεγάλης έκτασης επιφάνεια επιπέδωσης νότια της Κερατέας, όπου με κίτρινο χρώμα απεικονίζονται περιοχές αλπικών πετρωμάτων με κλίσεις μικρότερες από 5°. (Λιώσης Ν., 2013)

Εμφανίζονται επιφάνειες επιπέδωσης σε περιοχές αλπικών σχηματισμών και σε κλίσεις μικρότερες των 5° (Εικόνα 3.6).



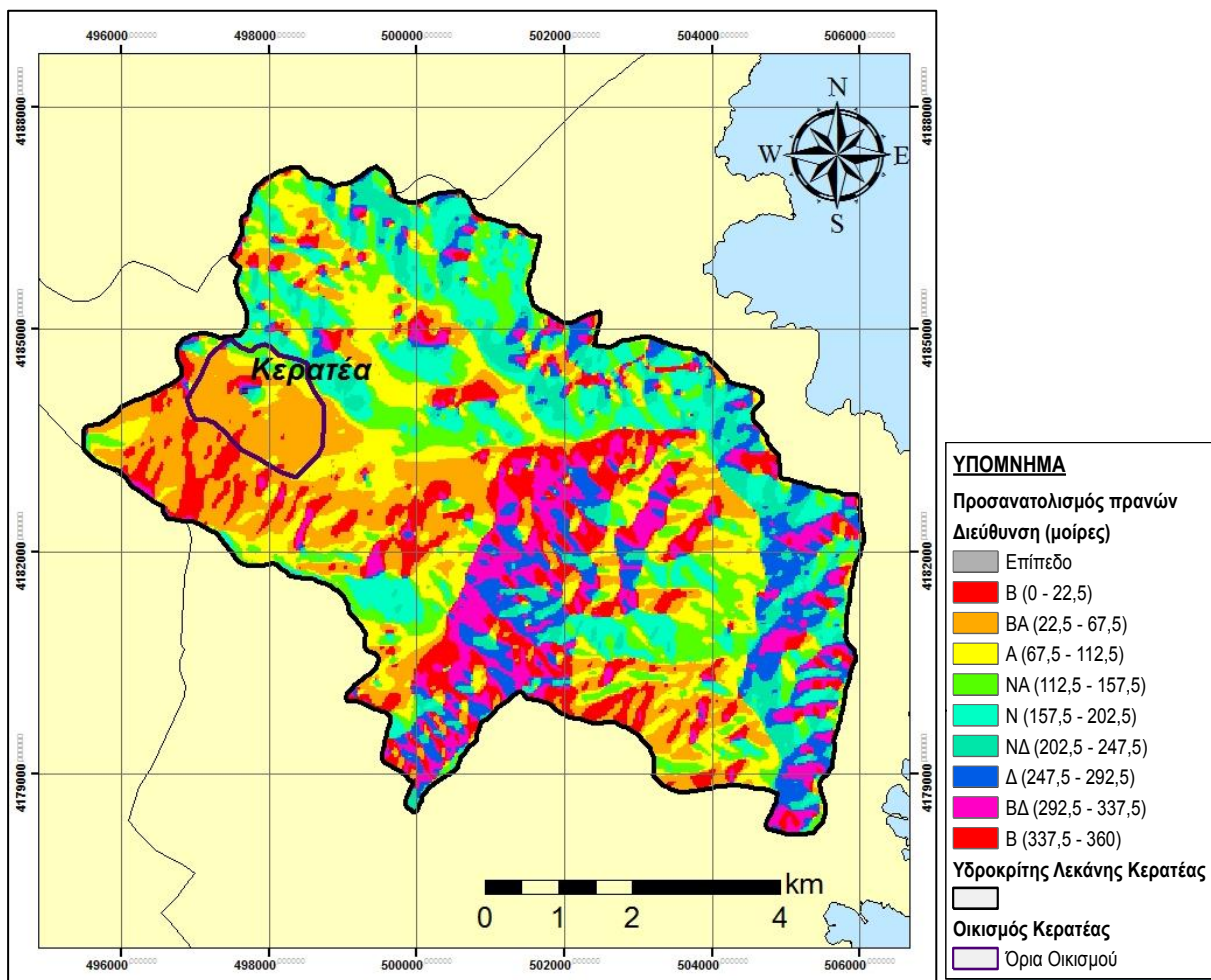
Εικόνα 3.7: Αναβαθμίδες κατά μήκος των μεγαλύτερων ρεμάτων, στο Αδάμι ποτάμι, ανατολικά της Κερατέας. (Λιώσης Ν., 2013)

Σε κλίσεις 5° έως 35° σε Πλειστοκαινικά ιζήματα εμφανίζεται η ύπαρξη πλευρικών κορημάτων. Αυτά έχουν κατεύθυνση προς τις μικρότερες κλίσεις των κλιτύων και προς τις μεγαλύτερες κλίσεις γειτνιάζουν με αλπικά πετρώματα.

Σε κλίσεις επίσης 5° έως 35° και σε Πλειστοκαινικά ιζήματα αναπτύσσονται αλλουβιακοί κώνοι απόθεσης. Στην περιοχή μελέτης αλλουβιακές αποθέσεις απαντώνται και σε μικρότερες κλίσεις.

Σε κλίσεις έως 5° και εκεί που υπάρχουν μεταλπικές αποθέσεις εμφανίζονται ποτάμιες αναβαθμίδες (Εικόνα 3.7).

Με τη χρήση του ΨΜΑ και τον προσδιορισμό των κλίσεων στην περιοχή μελέτης, μπορούμε επίσης να προσδιορίσουμε τον προσανατολισμό των πρηνών. Η ιδιότητα αυτή μας βοηθά να εξετάσουμε τον τρόπο με τον οποίο εκτείνονται τα πρηνή με τον ίδιο προσανατολισμό στο χώρο, αποκαλύπτοντας έτσι τεκτονικές επιφάνειες και πιθανές ρηξιγενείς ζώνες.



Εικόνα 3.8: Χάρτης Προσανατολισμού Πρηνών

Ο προσανατολισμός των πρηνών της λεκάνης δείχνει επίσης τη στροφή του κύριου ρέματος. Το μεγαλύτερο μέρος των πρηνών βρίσκεται μεταξύ 0° και 190° ενώ στις υπόλοιπες διευθύνσεις έχουμε παρουσία όλων των διευθύνσεων που μειώνονται σταδιακά προς δυτικά.

3.2 Υδρογραφικό Δίκτυο

Το σύνολο των ρυακιών, χειμάρρων, παραποτάμων, και ποταμών που διασχίζουν και αποστραγγίζουν μια λεκάνη αποτελεί το υδρογραφικό δίκτυο της. Εξαρτάται άμεσα από την λιθολογία της περιοχής, από το μορφολογικό ανάγλυφο, από την τεκτονική και από τις κλιματικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή.

Η υδρογραφία αποτελεί σημαντικό παράγοντα στην εξέλιξη του αναγλύφου και οι περισσότεροι γεωμορφολογικοί χάρτες συμπεριλαμβάνουν υδρογραφικές πληροφορίες. Το υδρογραφικό δίκτυο ψηφιοποιήθηκε και αυτό από τους τοπογραφικούς χάρτες της ΓΥΣ κλίμακας 1:5000 σε διανυσματικό επίπεδο γραμμικού τύπου.

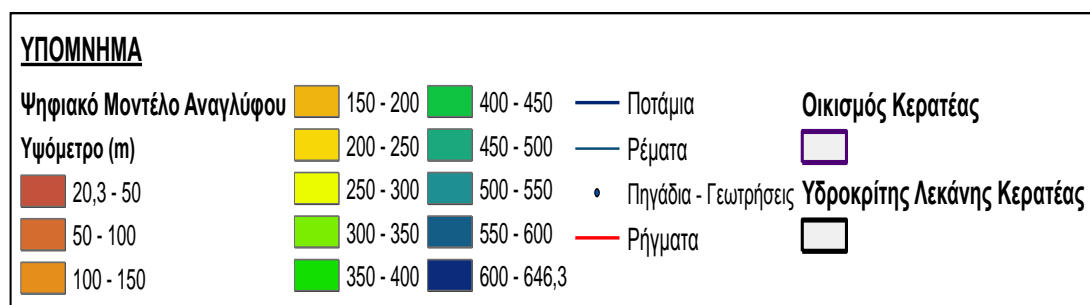
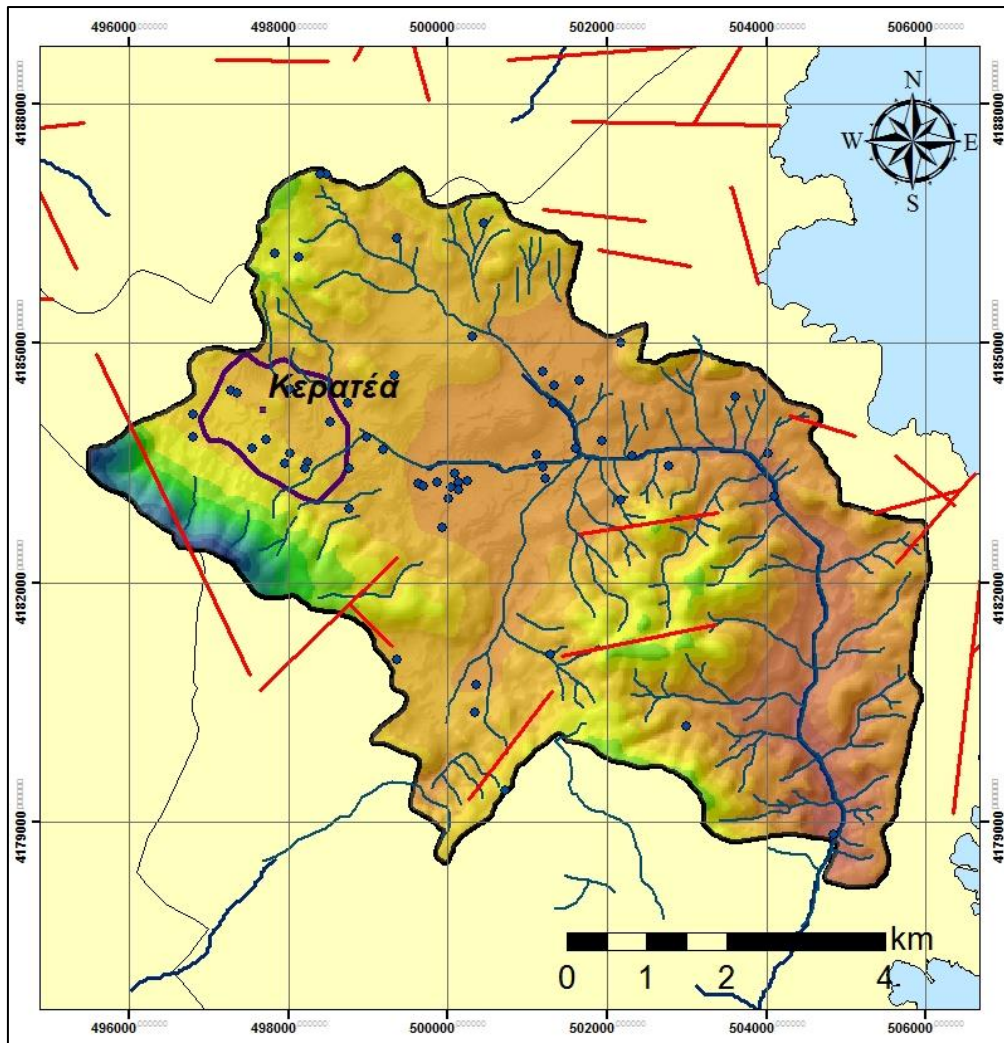
Στην περιοχή μελέτης δεν υπάρχουν ποτάμια με ροή όλο το χρόνο, παρά μόνο ρέματα με εποχική ροή. Αυτό οφείλεται κατά κύριο λόγο στη μορφολογία και διάταξη των ορεινών όγκων, όπου δεν επιτρέπουν την σημαντική ανάπτυξη επιφανειακής ροής, όπως και η παρουσία καρστικών δομών, δημιουργώντας υπολειμματικά υδρογραφικά δίκτυα και υπόγεια ροή.

Ένας άλλος λόγος που συχνά παραβλέπεται στον προσδιορισμό της φυσικής ροής των ποταμών είναι τα εκτεταμένα εγγειοβελτιωτικά έργα που έχουν γίνει στην αρχαιότητα. Η Αττική στο σύνολο της, έχει κατοικηθεί τουλάχιστον από την Παλαιολιθική Εποχή (Ανδρέϊκος 1998) κάτι που έχει πιστοποιηθεί με επιγενή λιθοτεχνικά συστήματα. Σε αρκετές περιοχές των Μεσογείων και της Λαυρεωτικής, υπάρχει πλήθος υδραυλικών – εγγειοβελτιωτικών έργων, από μικρά φράγματα μέχρι αποστραγγιστικά έργα. Έτσι, σε πολλές περιπτώσεις η αρχική μορφολογία του εδάφους και ροή του νερού έχει αλλοιωθεί σημαντικά.

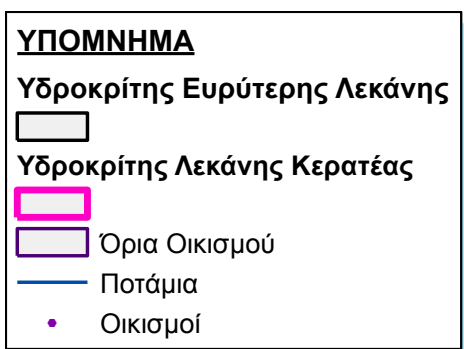
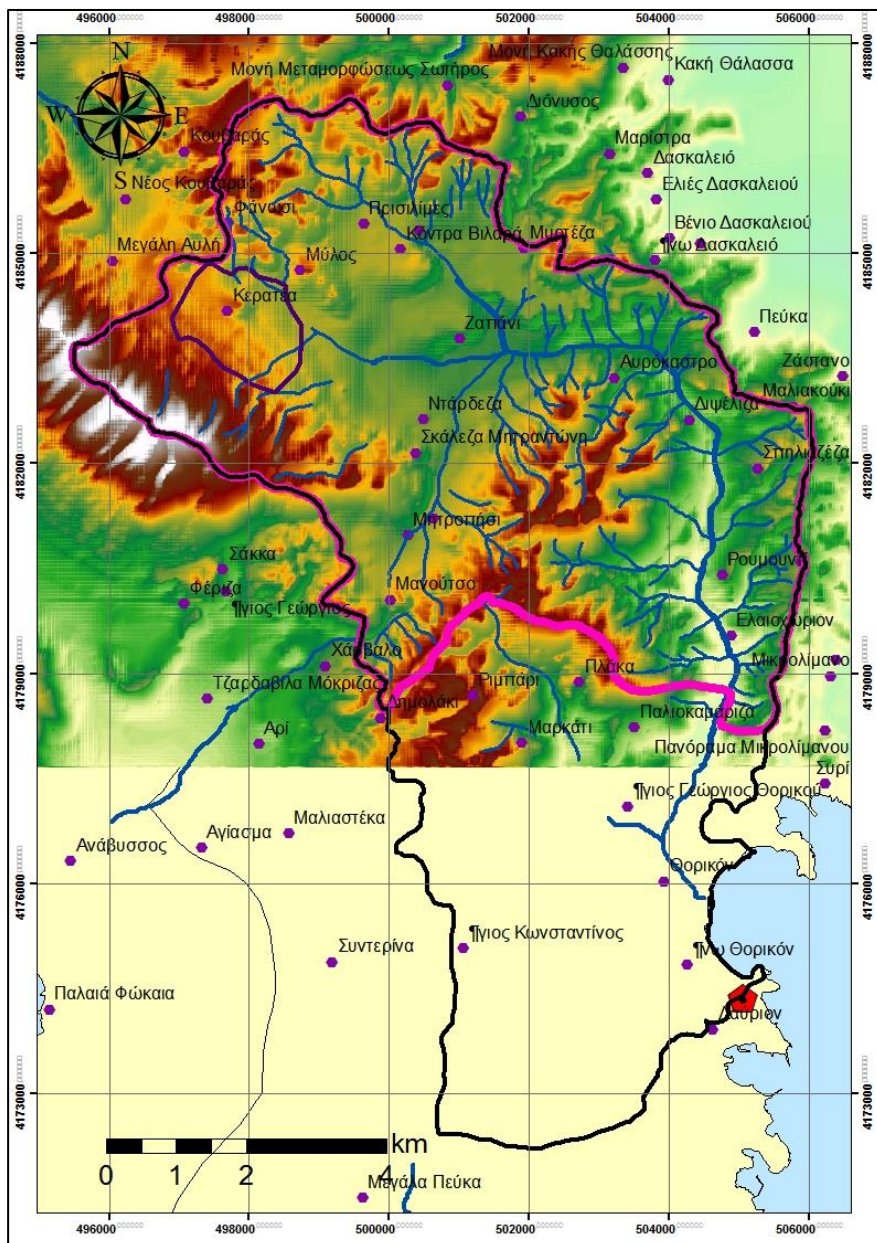
Η υδρολογική λεκάνη της περιοχής μελέτης οριοθετείται προς βορά από το όρος Μερέντα, δυτικά από το Πάνειο, νότια από τον λόφο Μουζάκι και ανατολικά εκβάλλει στον όρμο Θορικού. Το μέγιστο απόλυτο υψόμετρο της λεκάνης είναι τα 646

μέτρα και το ελάχιστο η στάθμη της θάλασσας, ενώ το μέσο υψόμετρο είναι 160 μέτρα. Η μορφή του υδρογραφικού δικτύου είναι δενδριτική.

Το επιφανειακά διακινούμενο νερό αποστραγγίζεται από τα δυτικά και βορειοδυτικά προς τα νοτιοανατολικά και νότια καταλήγοντας στον όρμο Θορικού.



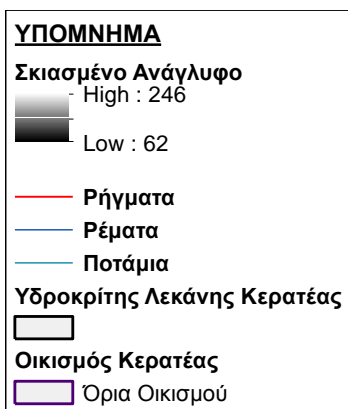
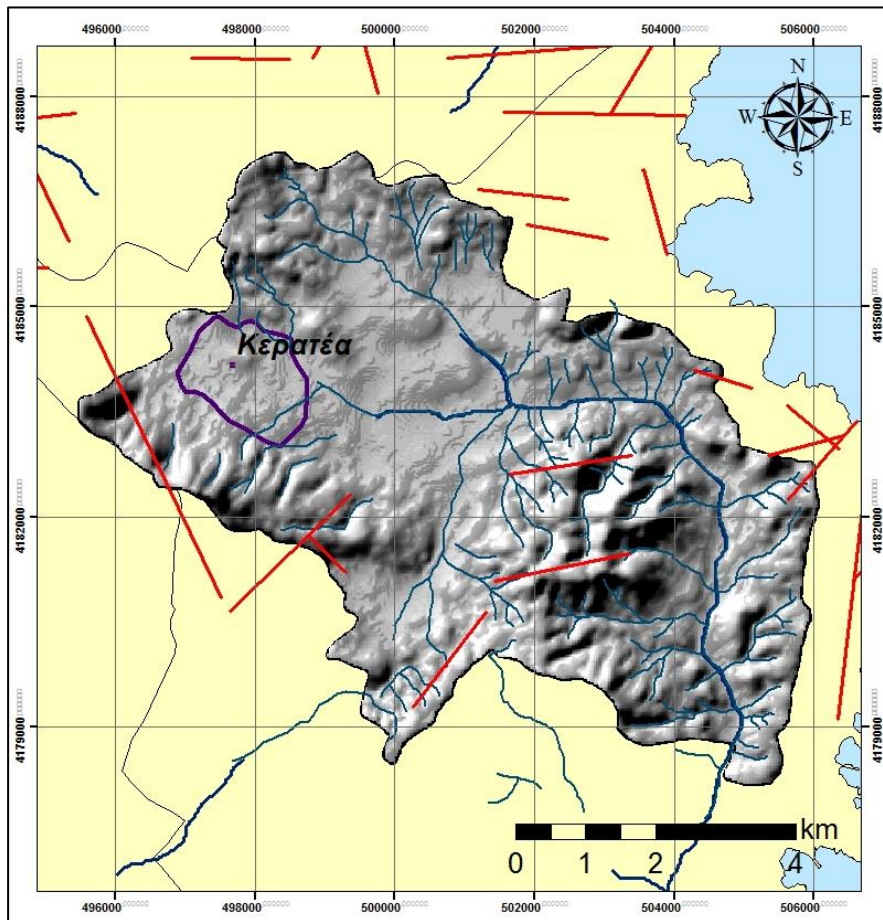
Εικόνα 3.9: Το υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής μελέτης (Ποτάμια, ρέματα, καταγεγραμμένες γεωτρήσεις και πηγάδια)



Εικόνα 3.9α: Ο υδροκρίτης της ευρύτερης υδρολογικής λεκάνης σε σχέση με τον υδροκρίτη της λεκάνης Κερατέας

Η λεκάνη της Κερατέας είναι υπολεκάνη της ευρύτερης υδρολογικής λεκάνης που οριοθετείται προς βορά από το όρος Μερέντα, νότια από την πόλη του Λαυρίου, δυτικά από το Πάνειο και ανατολικά εκβάλλει στον όρμο Θορικού. Στο βόρειο τμήμα της το νερό αποστραγγίζεται από τα δυτικά και βορειοδυτικά προς τα νοτιοανατολικά και νότια καταλήγοντας στον όρμο Θορικού.

Στην Εικόνα 3.9 παρουσιάζεται ο χάρτης ανάπτυξης του υδρογραφικού δικτύου για την περιοχή μελέτης.



Εικόνα 3.10: Το υδρογραφικό δίκτυο σε σχέση με τα ρήγματα της περιοχής.

Η λεκάνη χαρακτηρίζεται από γενικά μέτριο μορφολογικό ανάγλυφο. Το υδρογραφικό δίκτυο παρουσιάζει υψηλή ασυμμετρία. Ο μεγαλύτερος κλάδος είναι 6ης τάξης, με γενική διεύθυνση ΝΑ- ΒΔ. Ο κυριότερος κλάδος 5ης τάξης αποστραγγίζει το ανατολικό τμήμα της λεκάνης και η διεύθυνση του αρχικά είναι Α-Δ ενώ στη συνέχεια γίνεται Β-Ν.

3.3 Γεωμορφές καρστικών επιφανειών

Κάρστ είναι ο γεωμορφολογικός όρος, που περιγράφει έναν ιδιαίτερο τύπο επιφανειακής και υπόγειας μορφολογίας, ο οποίος προκύπτει από τη διαλυτική δράση του νερού σε ανθρακικά πετρώματα όπως οι ασβεστόλιθοι (CaCO_3), οι δολομίτες ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) και σε ανθρακικά μεταμορφωμένα πετρώματα (μάρμαρα). Το καρστ περιλαμβάνει ένα σύμπλεγμα επιφανειακών και υπόγειων καρστικών μορφών που εμφανίζουν ιδιαίτερα γεωμορφολογικά και υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά. Ο όρος καρστ προέρχεται από την περιοχή Kras, η οποία βρίσκεται στα σύνορα της Σλοβενίας με την Ιταλία και αποτελείται από ανθρακικά πετρώματα. Το όνομα της είναι αποτέλεσμα της γλωσσικής εξέλιξης Kar(r)a – Kars– Kras (Ford & Williams, 2007). Υπάρχει και η άποψη ότι ο όρος Καρστ προέρχεται από την λέξη Karra/gara, που σημαίνει «βράχος», η προέλευση της οποίας είναι Ινδο-ευρωπαϊκή (Gams, 1973, Kranjc, 2001).

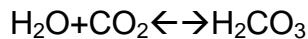
Τα ανθρακικά πετρώματα (ασβεστόλιθοι, μάρμαρα, δολομίτες) διαλύονται από νερό εμπλουτισμένο από την ατμόσφαιρα ή το έδαφος με CO_2 , λόγω της αποσυνθέσεως των οργανικών ουσιών.

Η ικανότητα του νερού να προσλαμβάνει το διοξείδιο του άνθρακα εξαρτάται από τη θερμοκρασία του νερού (μεγάλος βαθμός διάλυσης σε χαμηλές θερμοκρασίες). Στη συνέχεια διαλύει τα ανθρακικά άλατα του ασβεστίου και του μαγνησίου, τα οποία μετατρέπονται σε διαλυτά όξινα ανθρακικά άλατα. Στη συνέχεια, το ανθρακικό οξύ (H_2CO_3), επιδρά στον ασβεστίτη (CaCO_3), με παραγόμενο το δισόξινο ανθρακικό ασβέστιο. Το δισόξινο ανθρακικό ασβέστιο μεταφέρεται διαλυμένο στο νερό. Κατά τη μεταφορά του ελευθερώνει διοξείδιο του άνθρακα και νερό, και έτσι γίνεται η απόθεση του ασβεστίτη.

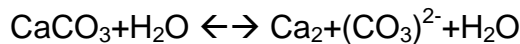
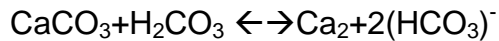
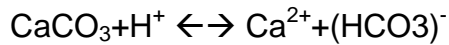
Η διαδικασία καλείται καρστική διάβρωση.

Οι αντιδράσεις που γίνονται είναι οι εξής:

1) Το νερό προσλαμβάνει το CO₂ και μετατρέπεται σε ανθρακικό οξύ:



2) Το νερό που περιέχει CO₂ αντιδρά με τον ασβεστόλιθο σύμφωνα με τις αντιδράσεις:



Οι οποίες συνδυάζονται σε μια συνολική αντίδραση:



Από την διάλυση αυτή δημιουργούνται χαρακτηριστικές επιφανειακές μορφές και υπόγεια κενά, όπως είναι τα καρστικά έγκοιλα και τα σπήλαια.

Η χημική διάλυση του δολομίτη γίνεται όπως και του ασβεστόλιθου. Ο δολομίτης περιέχει πάνω από 15% MgO, ενώ όταν είναι 5-15% τότε ονομάζεται μαγνησιούχος ασβεστόλιθος.

Ο τρόπος με τον οποίο γίνεται η καρστική εξέλιξη εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως είναι το είδος του καρστικού πετρώματος (ασβεστόλιθος, μάρμαρο κ.α.), η έκταση που θα αναπτυχθεί το καρστ και το βάθος του ενταφιασμού του καρστ. Η αρχή της καρστικής εξέλιξης είναι η χημική διάλυση και η αποσάθρωση των καρστικών πετρωμάτων, δηλαδή το σύνολο των φαινομένων που προκαλούνται από τη δράση της ηλιακής ενέργειας και της βαρύτητας και οδηγούν στην καταστροφή των πετρωμάτων. Η αποσάθρωση διακρίνεται σε χημική και φυσικομηχανική. Γενικά, τα στάδια που χαρακτηρίζουν την εξέλιξη του καρστ είναι τέσσερα: η διάλυση, η αποσάθρωση, η μεταφορά και η απόθεση.

3.4 Παράγοντες καρστικής εξέλιξης

Τα καρστικά πετρώματα έχουν μεγάλη υδρογεωλογική σημασία. Οι κύριοι παράγοντες που επιδρούν στην καρστική διάβρωση είναι:

α) Η τεκτονική κατασκευή της περιοχής: Σε μια έντονα τεκτονισμένη περιοχή το καρστ είναι εντονότερο απ' ό,τι σε μια περιοχή με χωρίς τεκτονική καταπόνηση. Στις ασυνέχειες που δημιουργούνται έτσι, το νερό κινείται ελεύθερα και διαλύει ευκολότερα επιφάνειες όπως του ασβεστόλιθου, του μαρμάρου κλπ.

β) Τα διαλυτά πετρώματα, οι προσμίξεις τους και η θέση τους σε σχέση με την επιφάνεια.

γ) Η κλίση της επιφάνειας του εδάφους.

δ) Οι κλιματολογικές συνθήκες.

ε) Η χημική σύσταση των πετρωμάτων και

στ) Η υψηλή βιολογική δραστηριότητα (Φυτοκάρστ)

3.5 Γεωμορφές του καρστ στην περιοχή μελέτης

Η περιοχή μελέτης, παρουσιάζει ένα εκτεταμένο καρστικό σύστημα, ιδιαίτερα στους ανθρακικούς σχηματισμούς που τη δομούν. Το δευτερογενές πορώδες που δημιουργείται σε αυτούς, οφείλεται είτε σε πρωτογενή αίτια είτε κυρίως στις τεκτονικές τάσεις εφελκυσμού και διάτμησης, δημιουργώντας ένα δίκτυο ρωγμών και διακλάσεων όπου κυκλοφορεί το νερό. Έτσι λοιπόν, ο τρόπος που διατάσσονται οι καρστικές δομές στο χώρο είναι άρρηκτα συνδεδεμένος με την κινηματική της περιοχής.

Η καρστικοποίηση των μαρμάρων στην περιοχή μελέτης θα πρέπει να άρχισε σε παλαιότερο γεωλογικό χρόνο, κατά πάσα πιθανότητα στο Ανώτερο Μειόκαινο, αλλά και ακόμα παλαιότερα πριν την αρχική υποβύθιση των σχηματισμών. Το σημαντικό γεγονός που οδήγησε στην βάθυνση του καρστ είναι η κρίση του Μεσσηνίου (Govers 2009), κάτι το οποίο τοποθετεί τη βάση του καρστ χαμηλότερα από τη σημερινή στάθμη της θάλασσας. Τμήματα των καρστικών, λόγω της ανόδου της στάθμης της θάλασσας μετά την κρίση του Μεσσηνίου, έκλεισαν δημιουργώντας, όπου αυτό ήταν δυνατό, στεγανά. Το υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής είναι ένα μεικτό ποτάμιο – καρστικό σύστημα.

Το καρστικό σύστημα της περιοχής είναι πολύ καλά ανεπτυγμένο, με όλων των ειδών τις καρστικές μορφές. Γεωμορφές που απαντώνται στην επιφάνεια των πετρωμάτων θεωρούνται εξωκαρστικές ενώ γεωμορφές που εμφανίζονται στο εσωτερικό των πετρωμάτων, όπως τα σπήλαια κατατάσσονται στις ενδοκαρστικές. Στην περιοχή μελέτης εμφανίζονται κυρίως εξωκαρστικές μορφές αλλά και ενδοκαρστικές.

Χαρακτηριστικά αναφέρουμε ότι στην περιοχή υπάρχουν αρκετά σπήλαια όπως το σπήλαιο του Λόρδου Βύρωνα (ή Κερατέας).

4. ΚΑΛΥΨΗ-ΧΡΗΣΗ ΓΗΣ

4.1 Γενικά

Είναι απαραίτητος ο καθορισμός των χρήσεων γης με τελικό στόχο την προστασία του περιβάλλοντος και την αιεφόρο ανάπτυξη και την διατήρηση του οικοσυστήματος.

Στην περιοχή αυτή υπάρχει η πόλη της Κερατέας (10.642 κατ.) και αρκετοί οικισμοί με εξοχικές κυρίως κατοικίες, πολλές από τις οποίες είναι αυθαίρετες. Η οικιστική δραστηριότητα έχει σε μεγάλο βαθμό επεκταθεί χωρίς σχεδιασμό με όλα τα περιβαλλοντικά και χωροταξικά προβλήματα που συνεπάγεται αυτό.

Ανατολικά της Κερατέας ξεκινάει το Αδάμι Ποτάμι. Ο ποταμός διασχίζει την πεδιάδα για 6 km και μετά από διαδρομή 8 km ανάμεσα στους λόφους Αγριόκαστρο, Κοκκινοκορφή, Δικέλι, Μουζάκι και Βράχο Σταυταετού εκβάλλει στην θάλασσα ανατολικά.

Καλλιεργίσιμη έκταση υπάρχει νότια και βόρεια της πόλης της Κερατέας. Η πεδιάδα βρίσκεται κοντά στην παράκτια ζώνη του όρμου Αυλάκι και του όρμου Βρωμοπήγαδο και οριοθετείται από τους λόφους Λουτρό, Κοκκινοκορφή στα βόρεια από τους λόφους Βραγόνη και Βράχο Σταυταετού νοτιότερα και εκτείνεται από την περιοχή Μουζάκι ως τον λόφο Κουμαροδιάσελλο στα νοτιοδυτικά. Η πεδιάδα χαρακτηρίζεται από την έντονη αγροτική ανάπτυξη και τα τελευταία χρόνια την εκτεταμένη οικιστική ανάπτυξη. Το μεγαλύτερο μέρος της πεδιάδας καλύπτεται από καλλιέργειες, ιδιαίτερα στα ανατολικά και δυτικά τμήματά της.

Μεγάλες γεωργικές εκτάσεις καλύπτονται από αροτραίες καλλιέργειες, τεχνητά αρδευόμενες ή μη. Η αρδεύσιμη-αρόσιμη γη περιλαμβάνει δημητριακά, όσπρια, καλλιέργειες ζωοτροφών, βολβόφυτα, ανθοκομικές καλλιέργειες δενδροκαλλιέργειες καθώς και φυτώρια, οπωρώνες και οπωροκηπευτικά. Επίσης περιλαμβάνουν καλλιέργειες αρωματικών/φαρμακευτικών και μαγειρικών φυτών, καθώς και σύνθετα συστήματα καλλιέργειας. Λόγω του έντονου ανάγλυφου και του ορεινού όγκου που εντοπίζεται κυρίως στο δυτικό τμήμα της λεκάνης, υφίστανται σκληροφυλλική βλάστηση που περιλαμβάνει θαμνώδη βλάστηση με χαρακτηριστικό παράδειγμα τη μακκία και τα φρύγανα αλλά και δάση κωνοφόρων, μικτά δάση καθώς και μεταβατικές δασώδεις-θαμνώδεις εκτάσεις προς τα βόρεια. Μέσα στην εξεταζόμενη λεκάνη υπάρχουν χώροι αστικής δόμησης. Οι περισσότεροι οικισμοί

είναι χτισμένοι στις γεωργικές πεδινές και ημιορεινές περιοχές. Στο κέντρο περίπου της εξεταζόμενης περιοχής και ανατολικά της Κερατέας υπάρχει περιοχή με πολλές βιομηχανικές και βιοτεχνικές δραστηριότητες (Ζαπάνι), όπως επίσης και λατομεία. Υπάρχουν δενδρώδεις εκτάσεις καλυμμένες κυρίως από ελαιώνες και πολλοί αμπελώνες. Η δασική βλάστηση είναι περιορισμένη κυρίως σε κάποιους λόφους, σε παραρεμάτιες περιοχές ή σε μικρά άλση περιαστικών περιοχών.

Γενικά η βλάστηση στην περιοχή είναι κυρίως θαμνώδης, ενώ υπάρχουν και δασικές εκτάσεις κυρίως σε κοιλάδες ρεμάτων.

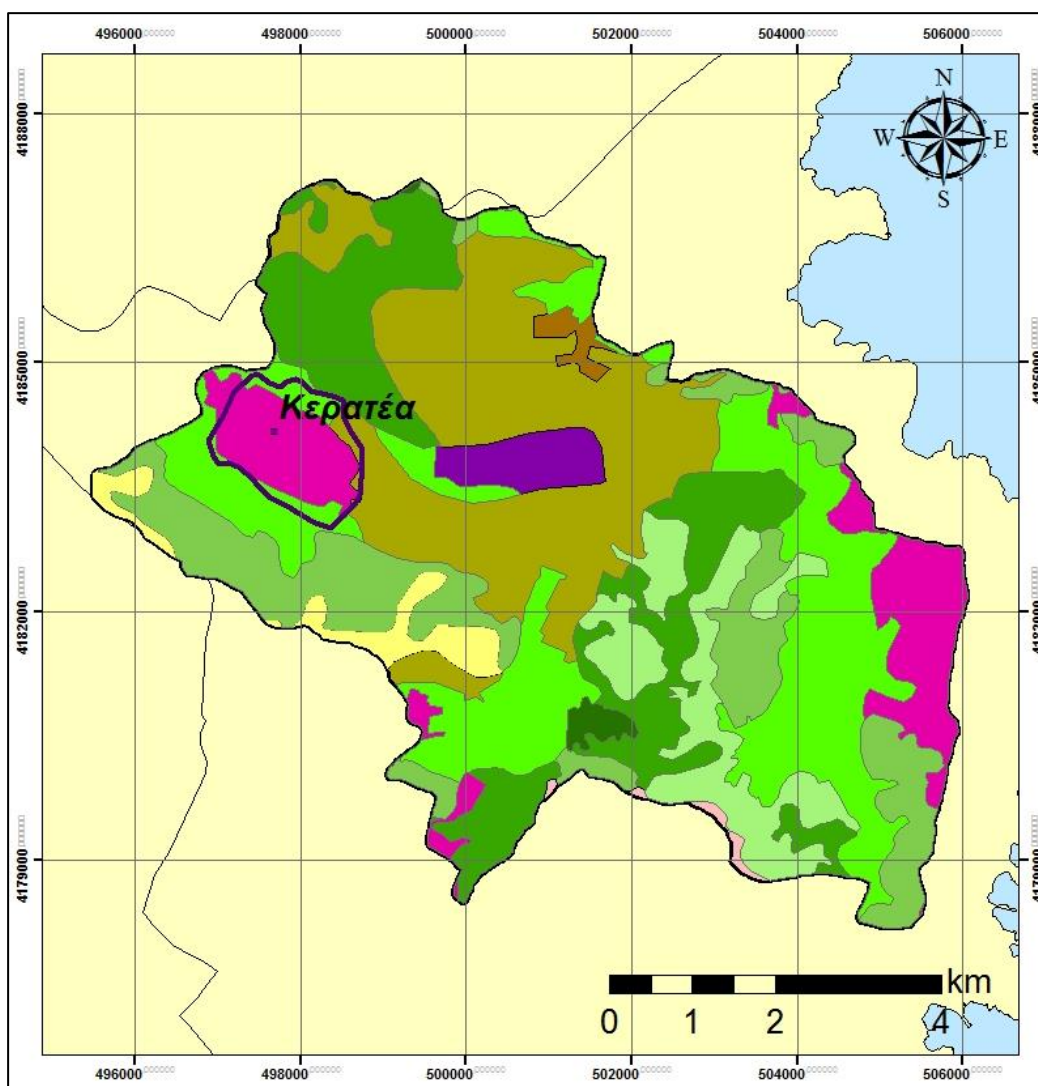
Έτσι συντάχθηκε ο θεματικός χάρτης των Χρήσεων Γης με τα παρακάτω κριτήρια διαχωρισμού:

A) Γεωργικό περιβάλλον

- *Αροτραίες καλλιέργειες*. Περιλαμβάνει περιοχές που καλλιεργούνται με χειμερινές και θερινές καλλιέργειες
- *Ελαιώνες*. Περιοχές φυτεμένες με ελαιόδεντρα.
- *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 μικτό*. Περιοχές που καλύπτονται από αμπέλια, ενώ ενδιάμεσα υπάρχουν σε μικρό ποσοστό και άλλου είδους χρήσεις γης που δεν μπορούν εύκολα να διαχωριστούν.

B) Τεχνητές επιφάνειες.

- *Αστικό*. Περιλαμβάνει την συνεχή αστική δόμηση, δηλαδή χώρους που αποτελούνται από κτήρια που μαζί με τις οικοδομικές αρτηρίες και τις τεχνητά καλυπτόμενες επιφάνειες καλύπτουν ολόκληρο το έδαφος.
- *Αστικό Μικτό*. Περιλαμβάνει την διακεκομμένη αστική δόμηση, δηλαδή χώρους που αποτελούνται από κτήρια που συνυπάρχουν με περιοχές βλάστησης και ακάλυπτα εδάφη.
- *Άλλο*. Περιλαμβάνει βιομηχανικές περιοχές, κατασκευαστικά έργα και γενικότερα τεχνητά καλυπτόμενες εκτάσεις με σκυρόδεμα, άσφαλτο ή σταθεροποιημένο, πετρευσμένο χώμα κ.α., χωρίς βλάστηση ή κατασκευές όπως οδικά και σιδηροδρομικά δίκτυα, ζώνες λιμένων, αεροδρόμια, φράγματα, ορυχεία, θερμοκήπια καθώς και αχαρακτήριστες χρήσεις γης.



ΥΠΟΜΝΗΜΑ

Χρήσεις Γης

- Διακεκομμένη Αστική Δόμηση
- Βιομηχανική ή Εμπορική Ζώνη
- Αμπελώνες
- Ελαιώνες
- Καλλιέργειες

- Γεωργικές Εκτάσεις - Φυσική Βλάστηση
- Δάσος Κωνοφόρων
- Φυσικοί Βοσκότοποι
- Σκληροφυλλική Βλάστηση
- Μεταβατικές Δασώδεις-Θαμνώδεις Εκτάσεις
- Εκτάσεις με Αραιή Βλάστηση

Οικισμός Κερατέας



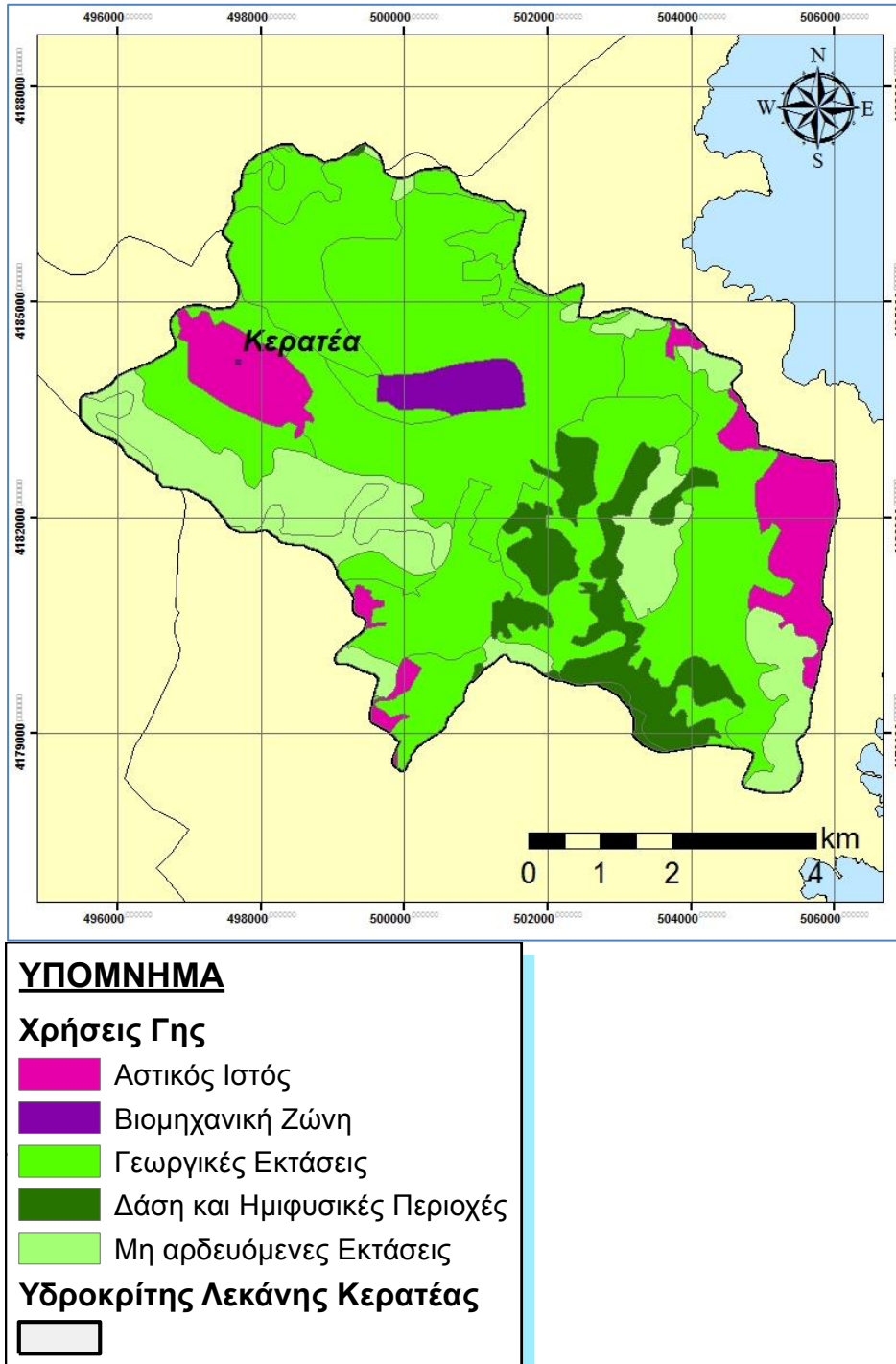
Υδροκρίτης Λεκάνης Κερατέας



Εικόνα 4.1: Χάρτης Χρήσεων γης στην εξεταζόμενη λεκάνη της Κερατέας με βάση το πρόγραμμα CORINE 2012.

Γ) Δάση και ημι-φυσικές περιοχές.

- *Βοσκότοπος-Χέρσο*. Περιοχές που καλύπτονται από πυκνή βλάστηση χλόης ανθοκομικής σύνθεσης, αγρωστώδη και από χερσαίες εκτάσεις.



Εικόνα 4.2: Ομογενοποιημένος χάρτης χρήσεων γης Κερατέας με βάση το πρόγραμμα CORINE 2012.

- *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.

Δ) Νερό-Δρόμοι-Αποστραγγιστικά έργα.

Περιλαμβάνει παράκτιες ζώνες, δηλαδή περιοχές που δεν είναι δασώδεις και είναι διαποτισμένες προσωρινά ή μόνιμα απο 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 Επιπτώσεις στο υδάτινο περιβάλλον

Οι διάφορες ανθρώπινες δραστηριότητες σε σχέση με τις χρήσεις γης, επηρεάζουν αρνητικά το υδάτινο περιβάλλον μιας περιοχής καθώς τα επιφανειακά και τα υπόγεια νερά είναι οι τελικοί αποδέκτες των ρυπογόνων ουσιών που προέρχονται από αυτές.

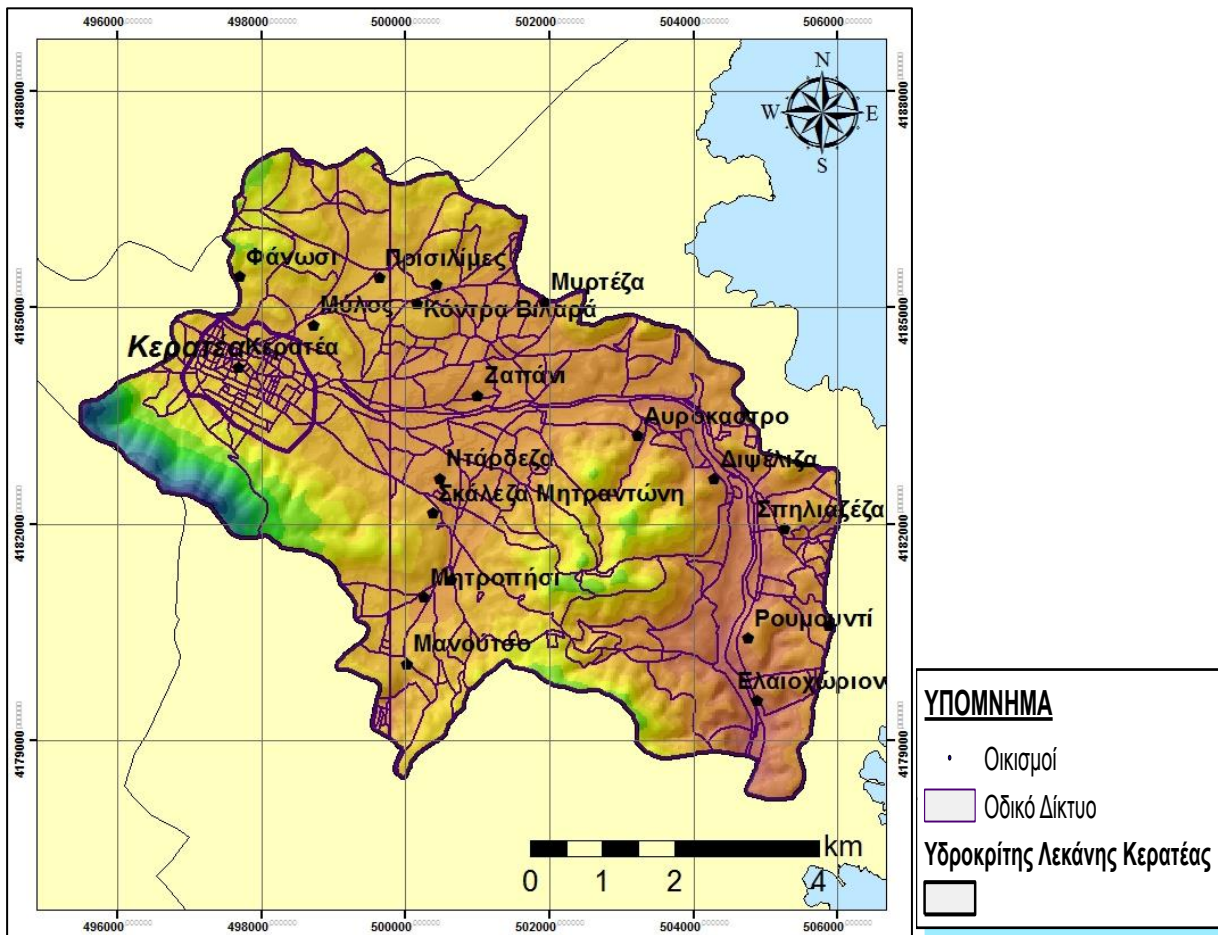
Η επίδραση στο υδάτινο περιβάλλον πραγματοποιείται με τους παρακάτω τρόπους:

- Η ρύπανση με ανθρωπογενή λύματα. Λαμβάνει χώρο σε υδρορέματα που βρισκονται πλησίον οικισμών που αποθέτουν τα λύματα τους, επιβαρύνοντας τα επιφανειακά νερά. Τα υπόγεια νερά επιβαρύνονται από διαρροές μη στεγανών βόθρων.
- 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 αυξανόμενες ανάγκες κατανάλωσης νερού, που έχουν προκύψει τα τελευταία χρόνια για τις γεωργικές εργασίες με αποτέλεσμα την σταδιακή ποιοτική υποβάθμιση των

υπογείων νερών με κατάληξη την πλήρη ακαταλληλότητα του νερού για οποιαδήποτε χρήση.

4.3 Οικισμοί - Συγκοινωνία

Τα όρια των οικισμών δεν είναι ιδιαίτερα σαφή στη περιοχή μελέτης καθώς η δόμηση σε αρκετές περιοχές είναι άναρχη. Οι αστικές περιοχές συνεχώς επεκτείνονται άναρχα χωρίς ουσιαστικό σχεδιασμό. ενώ υπάρχουν και περιοχές που μπορούν να χαρακτηριστούν «ημιδομημένες», με αραιή δηλαδή δόμηση, οι οποίες καταλαμβάνουν μεγάλη έκταση. Τέτοιες περιοχές εντοπίζονται κοντά στα παράλια και αφορούν κυρίως οικισμούς παραθεριστικού χαρακτήρα.



Εικόνα 4.3: Χάρτης Οικισμών και Οδικού Δικτύου

Κυριότερος συγκοινωνιακός άξονας κοντά στην περιοχή είναι η Αττική Οδός που διασχίζει την πεδιάδα των Μεσογείων από το βόρειο της τμήμα στα βορειοανατολικά προάστια της πρωτεύουσας ως το κεντρικό τμήμα στο

Μαρκόπουλο, με δευτερεύουσες αρτηρίες να τη συνδέουν με τους οικισμούς του βόρειου τμήματος και της ανατολικής ακτής. Στο Μαρκόπουλο ενώνεται με τη Λεωφόρο Λαυρίου, που είναι ο σπουδαιότερος οδικός συγκοινωνιακός άξονας της περιοχής μελέτης, η οποία διασχίζει το νότιο τμήμα καταλήγοντας τελικά στο Λαύριο.

Το οδικό δίκτυο που διαμορφώνεται εντός των ορίων της περιοχής μελέτης χαρακτηρίζεται ως μέτριο σε ότι αφορά την πυκνότητά του. Εντός του αστικού ιστού, έχουμε έντονη ανάπτυξη του οδικού δικτύου με ασφαλτοστρωμένους δρόμους, ενώ στην περιαστική ζώνη, αναπτύσσονται δρόμοι χαλαρής επιφάνειας (τσιμεντένιοι) και χωματόδρομοι.

Επίσης, παράλληλα με την Αττική οδό έχει κατασκευαστεί ο προαστιακός σιδηρόδρομος, που καταλήγει όπως και μια διακλάδωση της στο αεροδρόμιο των Σπάτων, το οποίο καταλαμβάνει έκταση 11 km² στα νοτιοανατολικά της ομώνυμης πόλης και δεσπόζει στην περιοχή.

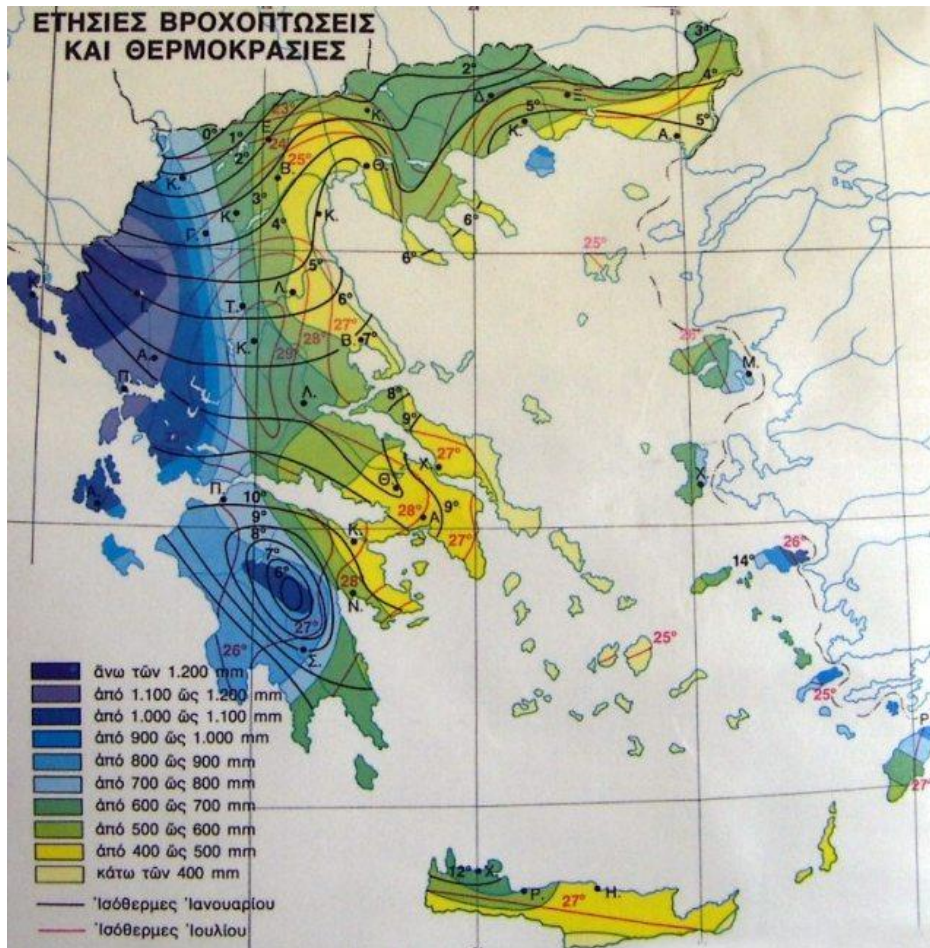
5. ΚΛΙΜΑΤΙΚΑ ΚΑΙ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

5.1 Γενικά Κλιματικά Χαρακτηριστικά

Το κλίμα της ευρύτερης περιοχής ανήκει στον ξηρό μεσογειακό τύπο και εμφανίζει κατά τη χειμερινή κυρίως περίοδο τα χαρακτηριστικά του κλίματος των εύκρατων ζωνών, με ήπιους και υγρούς χειμώνες, και κατά τη θερινή τα χαρακτηριστικά του κλίματος των υποτροπικών ζωνών των υψηλών πιέσεων, με θερμά και ξηρά καλοκαίρια και γενικά, μακρές περιόδους ηλιοφάνειας κατά την μεγαλύτερη διάρκεια του έτους. Οι δυναμικοί παράγοντες που επιδρούν στη διαμόρφωση του κλίματος της περιοχής είναι τα συστήματα χαμηλών πιέσεων (υφέσεις) του Ατλαντικού και της Δυτικής Μεσογείου, ο σιβηρικός αντικυκλώνας, ο αντικυκλώνας των Αζορών και οι κινητοί αντικυκλώνες της Βόρειας Ευρώπης, οι οποίοι προκαλούν αστάθεια στον καιρό της ψυχρής κυρίως περιόδου. (Παυλόπουλος Κ, 1992). Οι γενικές αυτές κλιματικές συνθήκες της περιοχής μελέτης εμφανίζουν τοπικές διαφοροποιήσεις και εναλλαγές που οφείλονται σε φυσικούς και γεωγραφικούς παράγοντες. Το ανάγλυφο είναι κατά τόπους αρκετά έντονο, εμφανίζοντας σημαντικές διαφοροποιήσεις των μορφολογικών του χαρακτηριστικών, όπως είναι το υψόμετρο, η κλίση και ο προσανατολισμός. Τα χαρακτηριστικά αυτά των ορεινών και ημιορεινών τμημάτων επιδρούν σε μικρότερο ή μεγαλύτερο βαθμό στο μικροκλίμα των διάφορων περιοχών της εξεταζόμενης περιοχής. Επιπλέον η απόσταση από τη θάλασσα και το Πάνειο όρος, το οποίο υψώνεται νοτιοδυτικά της περιοχής μελέτης, επηρεάζουν ποικιλότροπα τη διαμόρφωση των μεσοκλιματικών συνθηκών.

Η περιοχή χαρακτηρίζεται από μικρά ετήσια ύψη βροχής, κυρίως το χειμώνα και ξηρά περίοδο κυρίως το καλοκαίρι, από καλοκαίρια θερμά ή και με καύσωνα, από χειμώνες ήπιους που συχνά τους διακόπτουν περίοδοι πολύ καλού ή κακού καιρού, από μεγάλη ηλιοφάνεια, ιδίως κατά τη θερμή περίοδο του έτους και τέλος από εποχές άνοιξης και φθινοπώρου πολύ μικρής διάρκειας. Η κατανομή των βροχοπτώσεων ακολουθεί τα χαρακτηριστικά των ξηρών περιοχών με το μεγαλύτερο μέρος των βροχοπτώσεων να παρατηρούνται κατά την υγρή περίοδο υπό τη μορφή ισχυρών καταιγίδων. Έντονες καταιγίδες παρατηρούνται ακόμα και την περίοδο του καλοκαιριού και χαρακτηρίζονται από μικρή διάρκεια, μεγάλες εντάσεις και πολύ μεγάλη χωρική ανομοιομορφία.

Με βάση το χάρτη Ύψους Βροχής της Ελλάδας του ΙΓΜΕ (1993) η περιοχή μελέτης ανήκει σε μια περιοχή με μέσο ύψος βροχής περί τα 400mm με 500mm, με χαρακτηριστικά μεσογειακού κλίματος με σχετικά θερμό καλοκαίρι και ήπιο χειμώνα. (Χάρτης Ζωνών Κλίματος, Καρράς 1973). Η βλάστηση της περιοχής χαρακτηρίζεται ως ένα τυπικό Μεσογειακό οικοσύστημα με πρινώνες, φρύγανα και πόες.

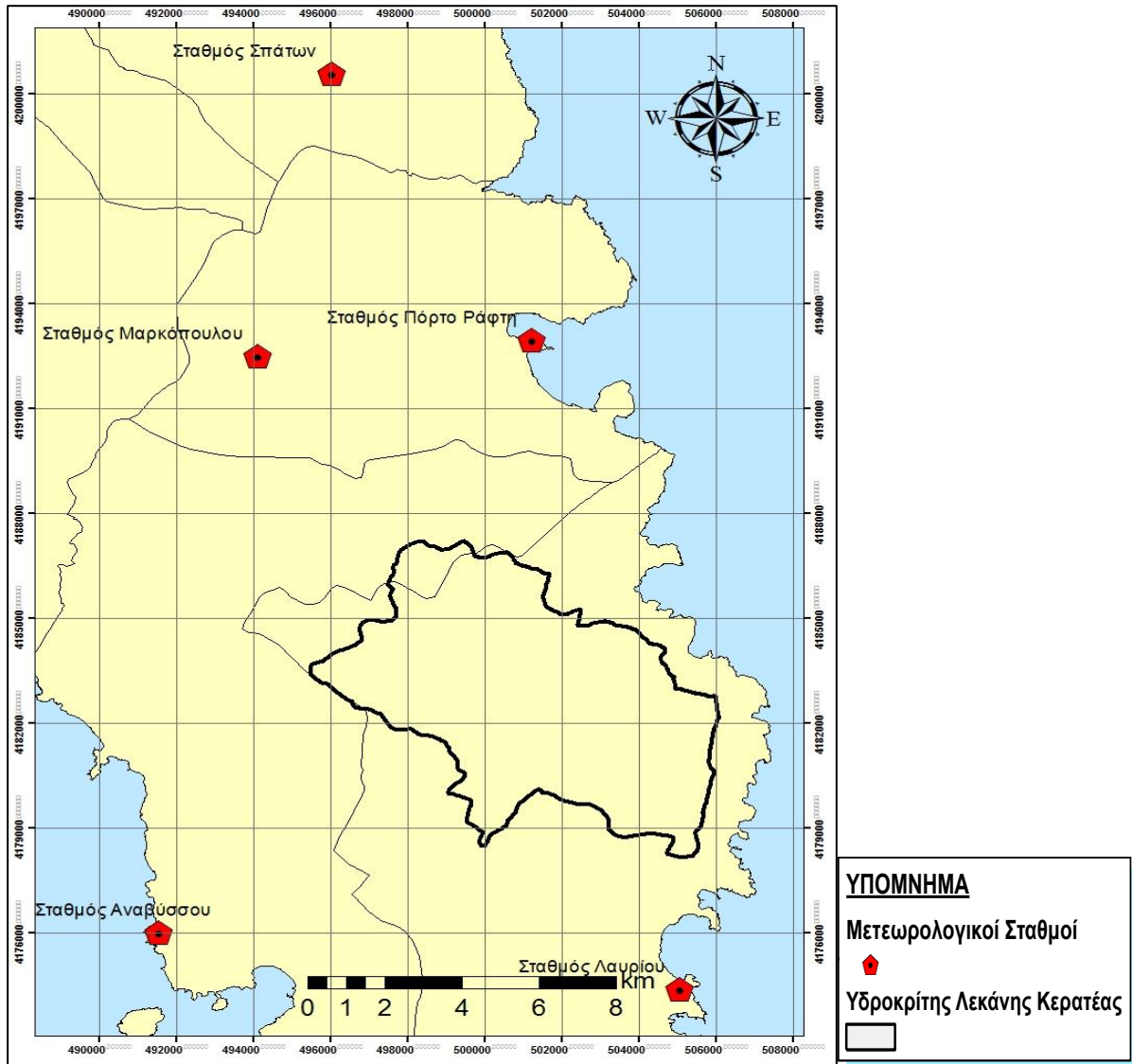


Εικόνα 5.1: Χάρτης Ετήσιων Βροχοπτώσεων και Θερμοκρασιών (<http://sch.gr>)

Άλλος ένας σημαντικός παράγοντας που επιδρά στη διαμόρφωση του κλίματος, μεμονωμένα ή σε συνδυασμό με τους προηγούμενους, είναι η βλάστηση και η υποβάθμιση του φυσικού περιβάλλοντος. Σύμφωνα με εκτιμήσεις, το 45% των πευκοδασών και των μερικών δασοσκεπών εκτάσεων της Αττικής έχουν καεί από το διάστημα 1965 μέχρι το 1985, (Παυλόπουλος Κ, 1992) ενώ την περίοδο 1987 - 2007 εξαφανίστηκαν περισσότερα από 180.000 στρέμματα πευκοδάσους. (Μελέτη WWF και ΑΠΘ, <http://www.wwf.gr>)

5.2 Κλιματικά και Μετεωρολογικά Δεδομένα

Τα δεδομένα που αναλύθηκαν προέρχονται από τους παρακάτω μετεωρολογικούς σταθμούς:



Εικόνα 5.2: Θέσεις Μετεωρολογικών Σταθμών

Πίνακας 5.1 : Θέσεις και χαρακτηριστικά των μετεωρολογικών σταθμών

Όνομα Σταθμού	Φορέας	Περίοδος λειτουργίας	Συντεταγμένες	Υψόμετρο (m)	Θέση	Άλλες Πληροφορίες
Σπάτα	ΕΜΥ	1974-2016	38°00' - 23°54'	28	Ελ. Βενιζέλος	
Μαρκόπουλο	Αστεροσκοπείο	2012-2016	37°87' - 23°93'	104	Σε ταράτσα κτηρίου	Ύψος αισθητήρων θερμ/υγρ: 1.8 m. Ύψος ανεμομέτρου: 2.5 m.
Πόρτο Ράφτη	Αστεροσκοπείο	2013-2016	37°88' - 24°01'	11	Λιμενικό Τμήμα Πόρτο Ράφτη (σε έδαφος)	Ύψος αισθητήρων θερμ/υγρ: 2 m. Ύψος ανεμομέτρου: 5 m.
Ανάβυσσος	Αστεροσκοπείο	2012-2016	37°73' - 23°90'	10	Προαύλιος Χώρος ΕΛΚΕΘΕ (σε έδαφος).	Ύψος αισθητήρων θερμ/υγρ: 2 m. Ύψος ανεμομέτρου: 5 m.
Λαύριο	Αστεροσκοπείο	2008-2016	37°71' - 24°05'	3	Κτήριο Οργανισμού Λιμένος Λαυρίου (Στην οροφή)	Ύψος αισθητήρων θερμ/υγρ: 3 m. Ύψος ανεμομέτρου: 5 m.

Οι παραπάνω σταθμοί **δεν έχουν κοινό χρονικό διάστημα λειτουργίας και μετρήσεων.**

Οι παρακάτω πίνακες παραθέτουν αναλυτικά στοιχεία και για τους τέσσερις σταθμούς.

Σταθμός Λαυρίου

Πίνακας 5.2: Μέσες μηνιαίες τιμές για θερμοκρασία, ύψος υετού, ταχύτητα ανέμου και διεύθυνση ανέμου για τον σταθμό του Λαυρίου.

ΜΗΝΑΣ	ΜΕΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (°C)	ΜΕΣΟ ΥΨΟΣ ΥΕΤΟΥ (mm)	ΜΕΣΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΑΝΕΜΟΥ (km/h)	ΜΕΣΗ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΑΝΕΜΟΥ
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	10,24	42,76	8,6	ENE/SSW
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	10,66	57,33	8,74	SW/SSW
ΜΑΡΤΙΟΣ	12,54	49,42	8,83	SSW/ENE
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	15,92	25,78	8,54	ENE/NE
ΜΑΙΟΣ	20,42	12,82	7,77	ENE
ΙΟΥΝΙΟΣ	25,04	11,62	8,36	ENE
ΙΟΥΛΙΟΣ	27,77	1,14	9,72	ENE
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	27,62	0,16	10,26	ENE
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	23,43	24,82	7,54	ENE
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	18,54	52,45	8,11	ENE
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	14,82	52,39	7,93	ENE/SW
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	11,10	66,63	7,74	SSW/NE

Σταθμός Αναβύσσου

Πίνακας 5.3: Μέσες μηνιαίες τιμές για θερμοκρασία, ύψος υετού, ταχύτητα ανέμου και διεύθυνση ανέμου για τον σταθμό της Αναβύσσου.

ΜΗΝΑΣ	ΜΕΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (°C)	ΜΕΣΟ ΥΨΟΣ ΥΕΤΟΥ (mm)	ΜΕΣΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΑΝΕΜΟΥ (km/h)	ΜΕΣΗ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΑΝΕΜΟΥ
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	11,64	66,99	11,96	N/NNE
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	12,20	63,75	12,39	SSW/NNE
ΜΑΡΤΙΟΣ	13,32	49,96	11,65	NNE/N
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	16,39	23,45	11,56	NNE/N
ΜΑΙΟΣ	20,51	5,35	10,24	NNE/N
ΙΟΥΝΙΟΣ	24,80	4,00	11,71	N/NNE
ΙΟΥΛΙΟΣ	27,76	0,05	13,44	N/NNE
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	27,81	0,10	15,39	N/NNE
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	24,46	18,50	12,27	N/NNE
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	19,89	39,40	13,17	N
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	16,72	41,53	12,37	N
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	12,95	64,82	11,8	N/SSW

Σταθμός Μαρκόπουλου

Πίνακας 5.4: Μέσες μηνιαίες τιμές για θερμοκρασία, ύψος υετού, ταχύτητα ανέμου και διεύθυνση ανέμου για τον σταθμό του Μαρκόπουλου.

ΜΗΝΑΣ	ΜΕΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (°C)	ΜΕΣΟ ΥΨΟΣ ΥΕΤΟΥ (mm)	ΜΕΣΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΑΝΕΜΟΥ (km/h)	ΜΕΣΗ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΑΝΕΜΟΥ
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	11,55	47,25	4,72	N/WNW
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	12,32	40,40	5,22	SE/SSE
ΜΑΡΤΙΟΣ	13,35	56,95	5,1	NNE/WNW
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	16,62	5,35	4,3	SE/ESE
ΜΑΙΟΣ	20,55	4,10	4,45	WNW/SSE
ΙΟΥΝΙΟΣ	25,04	3,52	4,78	NNE/NE
ΙΟΥΛΙΟΣ	28,04	0,00	5,06	NNE/N
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	28,45	0,25	5,42	NNE/N
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	24,64	14,88	3,98	NNE/SSE
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	20,22	30,80	4,26	N/NNE
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	16,46	52,52	4,52	NNE
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	11,40	54,36	4,26	NW/N

Σταθμός Πόρτο Ράφτη

Πίνακας 5.5: Μέσες μηνιαίες τιμές για θερμοκρασία, ύψος υετού, ταχύτητα ανέμου και διεύθυνση ανέμου για τον σταθμό του Πόρτο Ράφτη.

ΜΗΝΑΣ	ΜΕΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (°C)	ΜΕΣΟ ΥΨΟΣ ΥΕΤΟΥ (mm)	ΜΕΣΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΑΝΕΜΟΥ (km/h)	ΜΕΣΗ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΑΝΕΜΟΥ
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	11,40	56,60	10,6	WNW
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	12,27	31,47	11,43	WNW
ΜΑΡΤΙΟΣ	12,97	65,87	11,2	WNW/NNE
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	16,37	15,53	9,97	E/WNW
ΜΑΙΟΣ	20,30	5,26	10,17	E
ΙΟΥΝΙΟΣ	24,53	10,47	11,1	E
ΙΟΥΛΙΟΣ	28,37	0,00	12,7	E/NNE
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	27,67	0,00	14,2	E/NNE
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	24,20	35,87	10,7	NNE/WNW
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	19,53	47,46	14,06	NNE/WNW
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	15,97	45,80	11,3	WNW
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	11,20	54,10	12,85	WNW

5.2.1 Θερμοκρασία

Σύμφωνα με χάρτη κατανομής των μέσων ετήσιων θερμοκρασιών στην Ελλάδα που προέκυψε από δεδομένα μετεωρολογικών σταθμών της χώρας για την περίοδο 1990 – 2016, η μέση ετήσια θερμοκρασία στην περιοχή μελέτης είναι $18,1^{\circ}\text{C}$ – 19°C . Η διακύμανση της είναι σχετικά απλή όπως έχει καταγραφεί στους μετεωρολογικούς σταθμούς του Πόρτο Ράφτη, της Αναβύσσου, του Λαυρίου, του Μαρκόπουλου και των Σπάτων με τις μεγαλύτερες τιμές να εμφανίζονται το καλοκαίρι και τις μικρότερες το χειμώνα.

Στον μετεωρολογικό σταθμό των Σπάτων από στοιχεία της περιόδου 1974 – 2016 η μέση ετήσια θερμοκρασία του αέρα είναι $15,6^{\circ}\text{C}$ με μέση μηνιαία τιμή του θερμότερου μήνα $24,7^{\circ}\text{C}$ τον Ιούλιο και μέση μηνιαία τιμή του ψυχρότερου μήνα $7,8^{\circ}\text{C}$ τον Ιανουάριο.

Στον μετεωρολογικό σταθμό του Λαυρίου από στοιχεία της περιόδου 2008 – 2016 η μέση ετήσια θερμοκρασία του αέρα είναι $19,04^{\circ}\text{C}$ με μέση μηνιαία τιμή του θερμότερου μήνα $27,81^{\circ}\text{C}$ τον Αύγουστο και μέση μηνιαία τιμή του ψυχρότερου μήνα $11,64^{\circ}\text{C}$ τον Ιανουάριο.

Στον μετεωρολογικό σταθμό της Αναβύσσου από στοιχεία της περιόδου 2012 – 2016 η μέση ετήσια θερμοκρασία του αέρα είναι $19,1^{\circ}\text{C}$ με μέση μηνιαία τιμή του θερμότερου μήνα $28,45^{\circ}\text{C}$ τον Αύγουστο και μέση μηνιαία τιμή του ψυχρότερου μήνα $11,40^{\circ}\text{C}$ τον Δεκέμβριο.

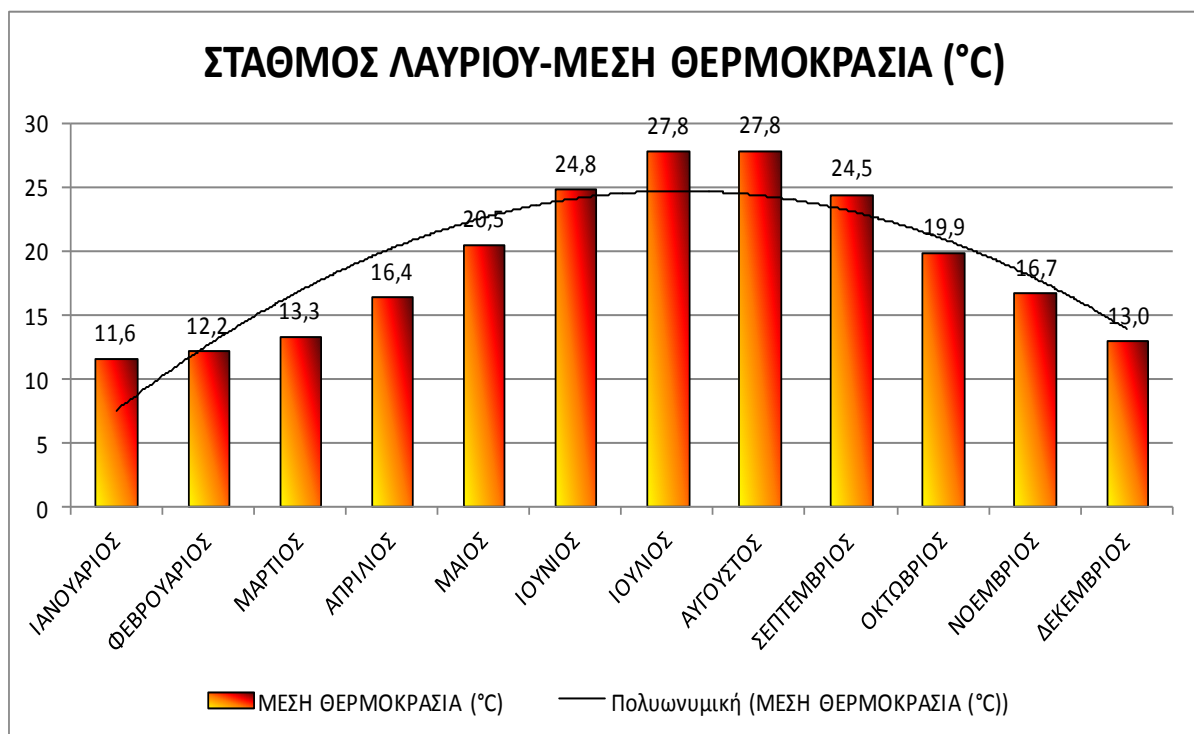
Στον μετεωρολογικό σταθμό του Μαρκόπουλου από στοιχεία της περιόδου 2006 – 2016 η μέση ετήσια θερμοκρασία του αέρα είναι $18,2^{\circ}\text{C}$ με μέση μηνιαία τιμή του θερμότερου μήνα $27,77^{\circ}\text{C}$ τον Ιούλιο και μέση μηνιαία τιμή του ψυχρότερου μήνα $10,24^{\circ}\text{C}$ τον Ιανουάριο.

Στον μετεωρολογικό σταθμό του Πόρτο Ράφτη από στοιχεία της περιόδου 2013 – 2016 η μέση ετήσια θερμοκρασία του αέρα είναι $18,73^{\circ}\text{C}$ με μέση μηνιαία τιμή του θερμότερου μήνα $28,37^{\circ}\text{C}$ τον Ιούλιο και μέση μηνιαία τιμή του ψυχρότερου μήνα $11,20^{\circ}\text{C}$ τον Δεκέμβριο.

Οι παρακάτω πίνακες παραθέτουν αναλυτικά στοιχεία διακύμανσης της θερμοκρασίας και για τους τέσσερις σταθμούς.

Πίνακας 5.6: Πίνακας αναλυτικών στοιχείων της διακύμανσης της θερμοκρασίας για τον σταθμό του Λαυρίου σε °C (ΕΜΥ)

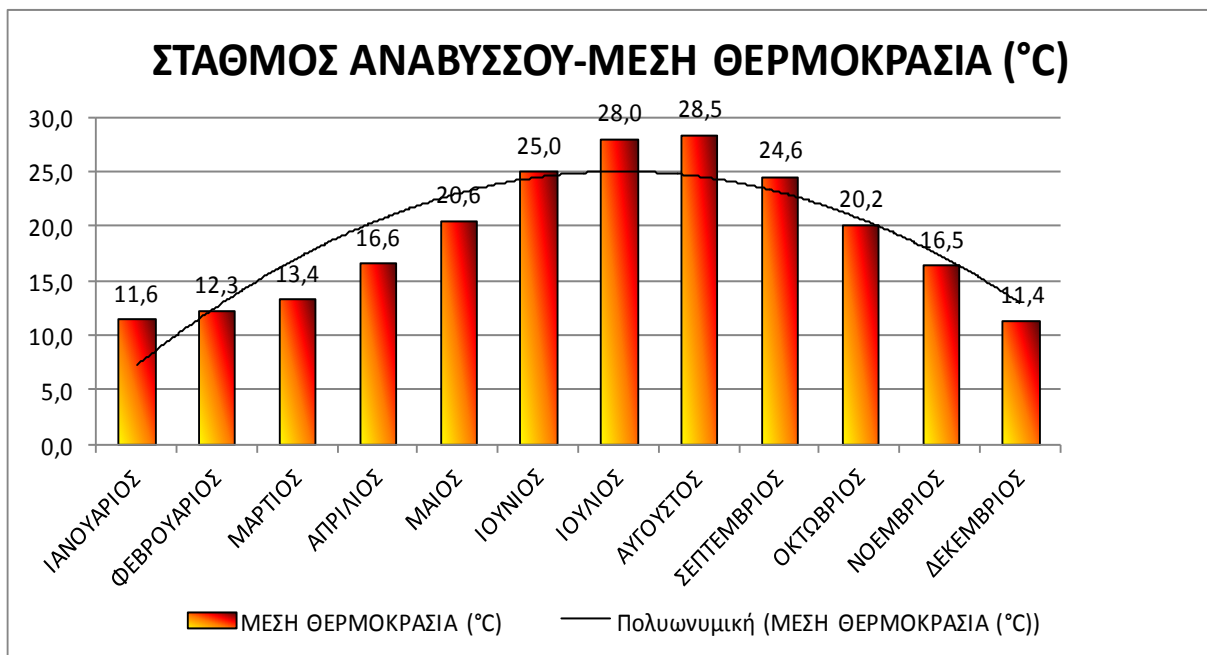
ΜΗΝΑΣ	ΜΕΣΗ ΜΗΝΙΑΙΑ	ΜΕΣΗ ΜΕΓΙΣΤΗ	ΜΕΣΗ ΕΛΑΧΙΣΤΗ	ΑΠΟΛΥΤΩΣ ΜΕΓΙΣΤΗ	ΑΠΟΛΥΤΩΣ ΕΛΑΧΙΣΤΗ
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	11,64	18,95	3,4	22,9	1,5
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	12,20	20,06	3,58	23,1	1,4
ΜΑΡΤΙΟΣ	13,32	21,23	5,46	23,3	0,6
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	16,38	25,06	9,25	27,4	5,8
ΜΑΙΟΣ	20,51	30,02	13,3	32,8	12,4
ΙΟΥΝΙΟΣ	24,80	33,86	17,37	37,8	16,4
ΙΟΥΛΙΟΣ	27,76	34,57	21,23	36,3	20,8
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	27,81	34,76	21,81	36,3	19,6
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	24,46	33,05	17,56	38,7	16,2
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	19,88	27,93	12,67	30,2	9,4
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	16,72	23,84	9,58	27,1	6,6
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	12,95	20,67	4,8	23,7	2,4



Εικόνα 5.3: Διάγραμμα της μέσης θερμοκρασίας για τον σταθμό του Λαυρίου.

Πίνακας 5.7: Πίνακας αναλυτικών στοιχείων της διακύμανσης της θερμοκρασίας για τον σταθμό της Αναβύσσου σε °C (ΕΜΥ)

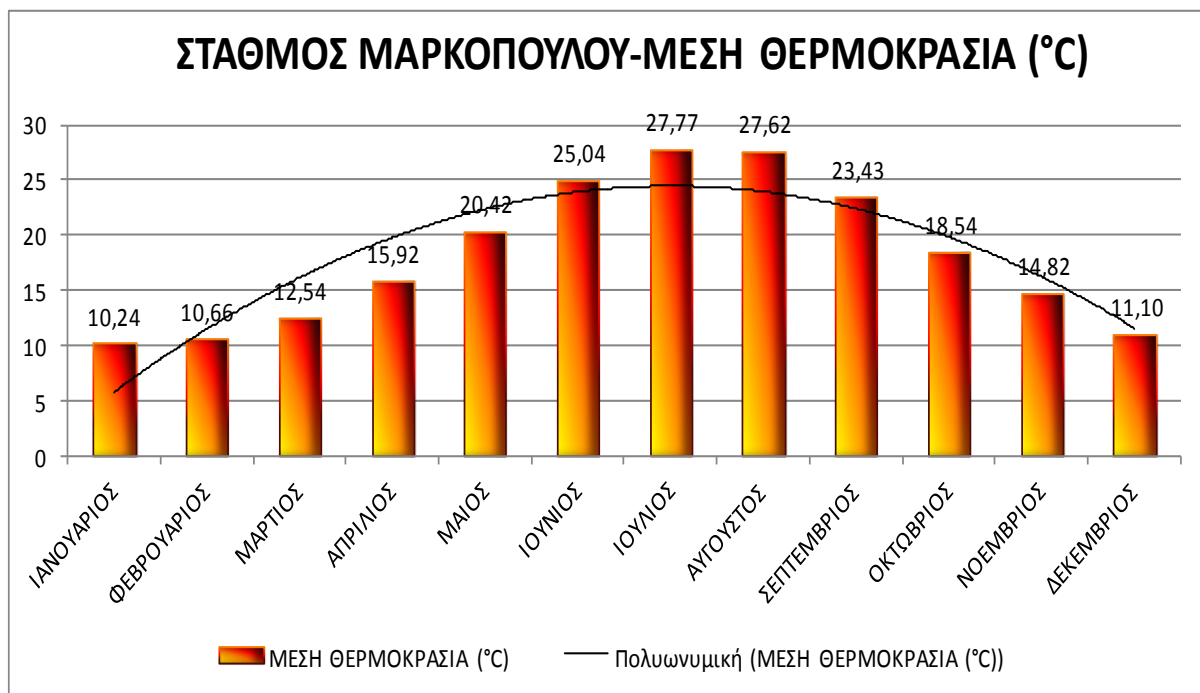
ΜΗΝΑΣ	ΜΕΣΗ ΜΗΝΙΑΙΑ	ΜΕΣΗ ΜΕΓΙΣΤΗ	ΜΕΣΗ ΕΛΑΧΙΣΤΗ	ΑΠΟΛΥΤΩΣ ΜΕΓΙΣΤΗ	ΑΠΟΛΥΤΩΣ ΕΛΑΧΙΣΤΗ
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	11,55	19,3	1,35	19,6	-0,8
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	12,32	20,52	4,02	22,9	1,1
ΜΑΡΤΙΟΣ	13,35	21,6	4,6	22,9	3,3
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	16,62	27,77	7,5	32	4,8
ΜΑΙΟΣ	20,55	30,47	12,4	32,1	10,8
ΙΟΥΝΙΟΣ	25,04	35,94	15,98	37,6	15,1
ΙΟΥΛΙΟΣ	28,04	37,48	19,1	40,2	18,2
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	28,45	38,3	20,05	40,1	19,7
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	24,64	34,1	15,82	35,1	14,6
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	20,22	29,48	13	33,4	12
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	16,46	25,14	7,54	25,7	5,7
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	11,40	20,16	2,88	22,7	1,5



Εικόνα 5.4: Διάγραμμα της μέσης θερμοκρασίας για τον σταθμό της Αναβύσσου..

Πίνακας 5.8: Πίνακας αναλυτικών στοιχείων της διακύμανσης της θερμοκρασίας για τον σταθμό του Μαρκόπουλου σε °C (ΕΜΥ).

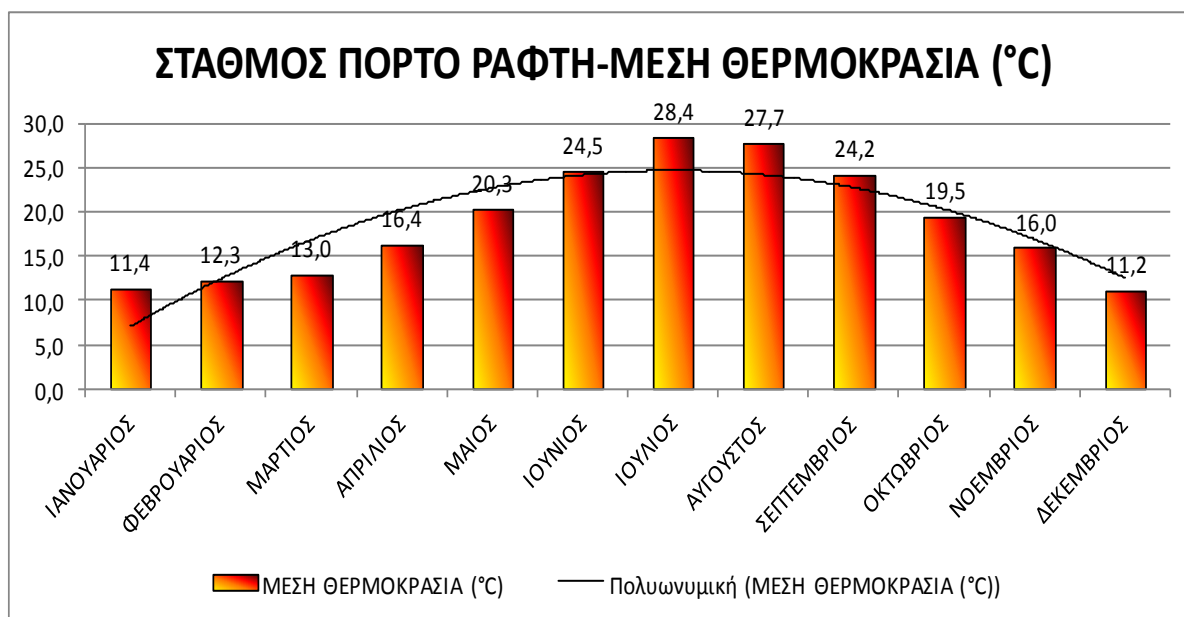
ΜΗΝΑΣ	ΜΕΣΗ ΜΗΝΙΑΙΑ	ΜΕΣΗ ΜΕΓΙΣΤΗ	ΜΕΣΗ ΕΛΑΧΙΣΤΗ	ΑΠΟΛΥΤΩΣ ΜΕΓΙΣΤΗ	ΑΠΟΛΥΤΩΣ ΕΛΑΧΙΣΤΗ
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	10,24	18,71	1,09	23,1	-1,3
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	10,66	19,74	1,07	23,2	-4,8
ΜΑΡΤΙΟΣ	12,54	22,48	3,92	24,4	-0,2
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	15,92	25,93	7,09	28,8	4,7
ΜΑΙΟΣ	20,42	31,19	11,15	34,5	9,4
ΙΟΥΝΙΟΣ	25,04	37,04	15,57	43,6	14,6
ΙΟΥΛΙΟΣ	27,77	33,63	17,39	42,4	18,2
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	27,62	36	19,71	38,5	17,2
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	23,43	34,64	14,63	38,4	11
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	18,54	28,43	9,79	30,6	6,3
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	14,82	23,9	6,17	28,3	2,2
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	11,10	19,7	2,21	22,1	-1,2



Εικόνα 5.5: Διάγραμμα της μέσης θερμοκρασίας για τον σταθμό του Μαρκόπουλου.

Πίνακας 5.9: Πίνακας αναλυτικών στοιχείων της διακύμανσης της θερμοκρασίας για τον σταθμό του Πόρτο Ράφτη σε °C (ΕΜΥ)

ΜΗΝΑΣ	ΜΕΣΗ ΜΗΝΙΑΙΑ	ΜΕΣΗ ΜΕΓΙΣΤΗ	ΜΕΣΗ ΕΛΑΧΙΣΤΗ	ΑΠΟΛΥΤΩΣ ΜΕΓΙΣΤΗ	ΑΠΟΛΥΤΩΣ ΕΛΑΧΙΣΤΗ
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	11,40	20,76	2,5	22,1	0,5
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	12,26	21,96	3,63	23,7	1,7
ΜΑΡΤΙΟΣ	12,96	22,76	5,4	23,6	4,4
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	16,36	27,36	7,76	30,8	5,7
ΜΑΙΟΣ	20,30	32,3	12,4	32,9	11,6
ΙΟΥΝΙΟΣ	24,53	36,3	16,2	39,6	15,7
ΙΟΥΛΙΟΣ	28,36	36,5	20,6	37,4	19,8
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	27,66	35,6	21,16	36,6	20,6
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	24,20	36,16	15,83	37,4	14,3
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	19,53	29,73	12,96	31,2	11,9
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	15,96	25,13	8,03	27,4	7,3
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	11,20	19,72	2,8	21,6	1,3

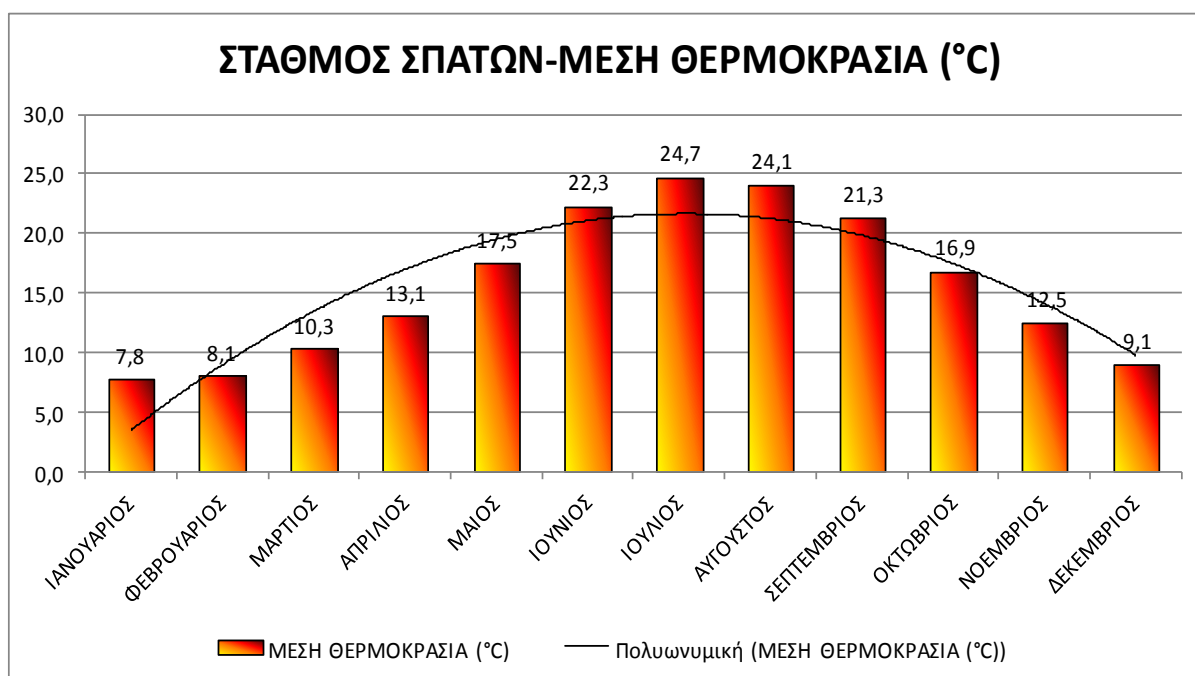


Εικόνα 5.6: Διάγραμμα της μέσης θερμοκρασίας για τον σταθμό του Πόρτο Ράφτη.

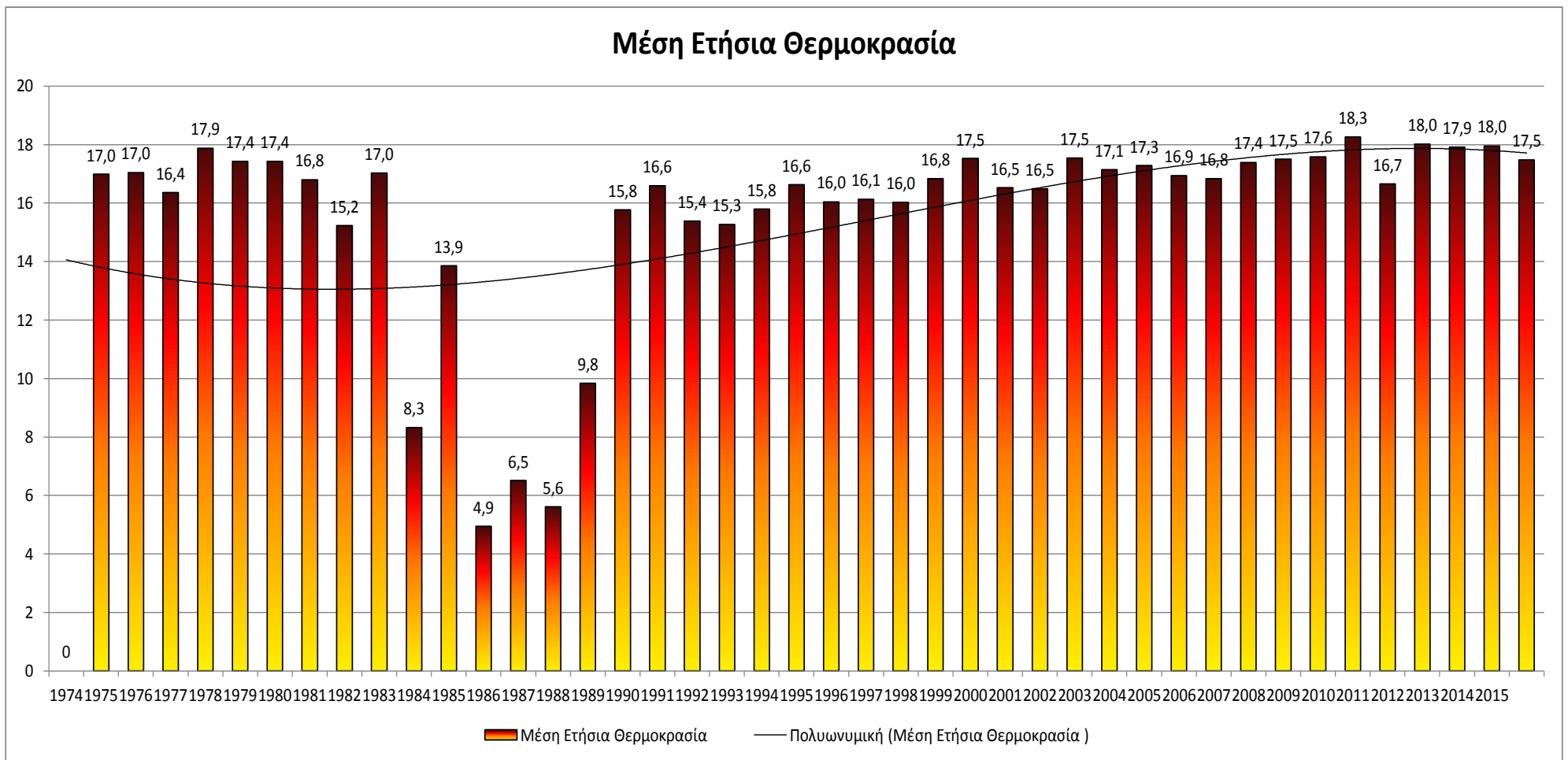
Σταθμός Σπάτων

Πίνακας 5.10: Μέσες μηνιαίες τιμές για θερμοκρασία και μέσο ύψος υετού για τον σταθμό των Σπάτων.

ΜΗΝΑΣ	ΜΕΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (°C)	ΜΕΣΟ ΥΨΟΣ ΥΕΤΟΥ (mm)
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	7,8	5,9
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	8,1	6,7
ΜΑΡΤΙΟΣ	10,3	5,3
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	13,1	3,3
ΜΑΙΟΣ	17,5	3,4
ΙΟΥΝΙΟΣ	22,3	2,3
ΙΟΥΛΙΟΣ	24,7	2,4
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	24,1	2,8
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	21,3	4,1
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	16,9	8,8
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	12,5	8,7
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	9,1	6,1



Εικόνα 5.7: Διάγραμμα της μέσης θερμοκρασίας για τον σταθμό των Σπάτων.



Εικόνα 5.8: Διάγραμμα της μέσης θερμοκρασίας για τον σταθμό των Σπάτων για τα έτη 1974-2015.

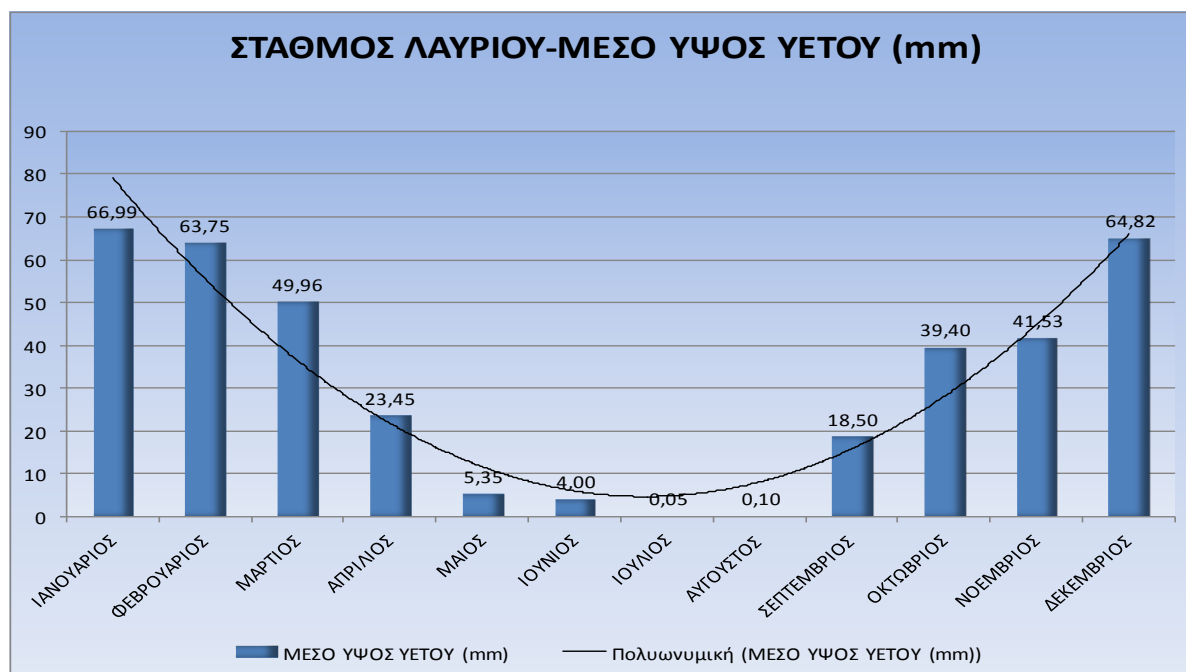
5.2.2 Ηλιοφάνεια – Νέφωση

Η περιοχή της Αττικής με μέση ετήσια τιμή 2.699 ωρών πραγματικής ηλιοφάνειας θεωρείται μια από τις πιο ηλιόλουστες περιοχές της Ελλάδας και ως εκ τούτου μια σημαντικά ευνοημένη περιοχή από πλευράς κλίματος. Ο αριθμός των ηλιοφανών ημερών φθάνει κατά μέσο όρο τις 114 ημέρες κατά έτος. Αντίθετα, ο αριθμός των νεφοσκεπών ημερών είναι πολύ μικρός, αφού φτάνει μόνο, κατά μέσο όρο, τις 19 (Μιγκίρος κ.α. 2010).

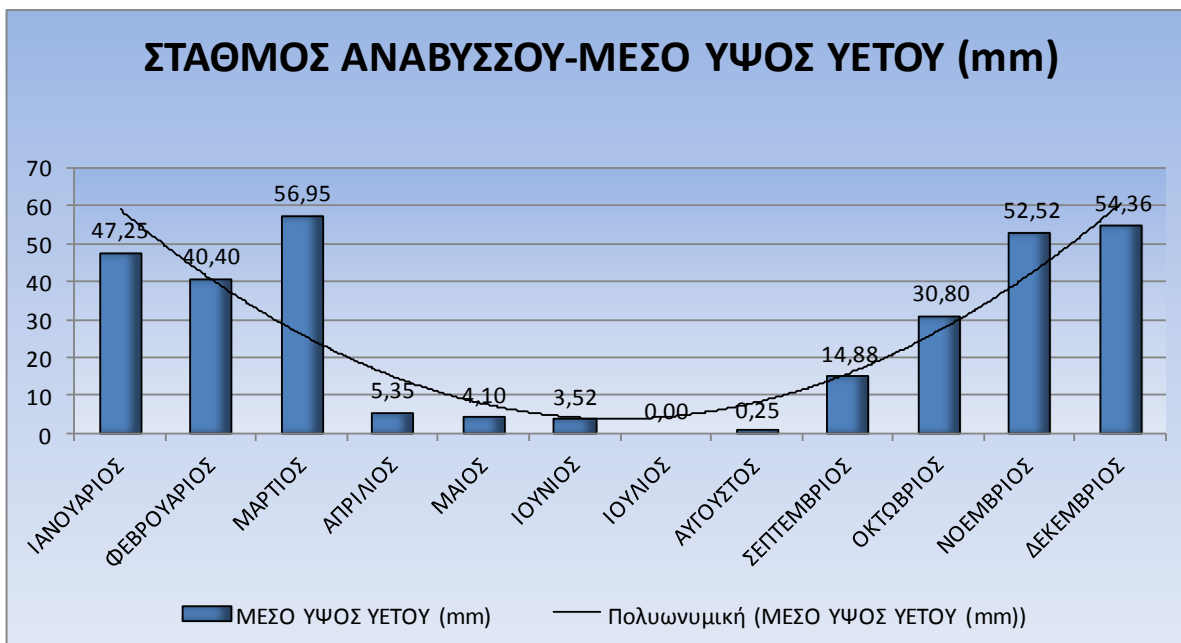
5.2.3 Κατακρημνίσματα

Η περιοχή μελέτης είναι από τις πιο ξηρές του Ελληνικού χώρου, καθώς η μέση ετήσια συγκέντρωση των κατακρημνισμάτων δεν υπερβαίνει τα 400 kg/m², όπως προκύπτει από σχετικό χάρτη κατανομής τους στον Ελλαδικό χώρο. Τα μέσα ετήσια ύψη υετού που καταγράφονται στους μετεωρολογικούς σταθμούς Αναβύσσου, Λαυρίου, Μαρκοπούλου και Πόρτο Ράφτη είναι 315,57 mm, 380,78 mm, 400,65 mm και 376,73 mm αντίστοιχα.

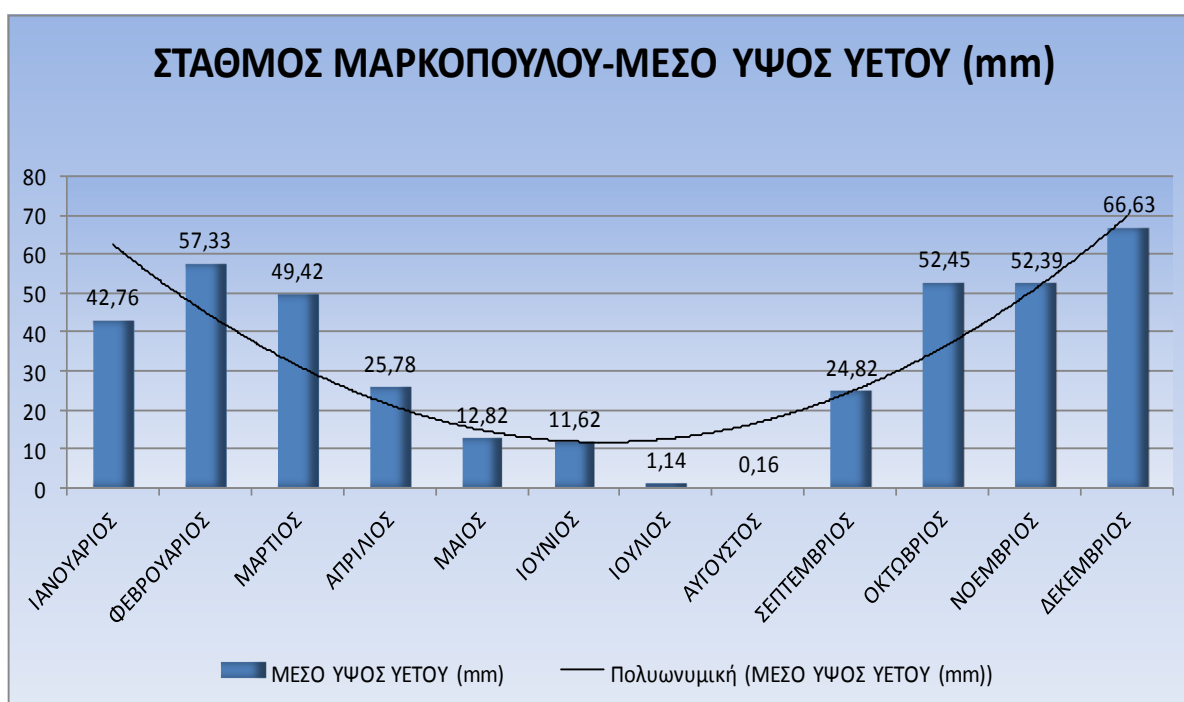
Οι μέγιστες ημερήσιες ανά μήνα μετρήσεις υετού στους 5 σταθμούς απεικονίζονται στα παρακάτω Γραφήματα:



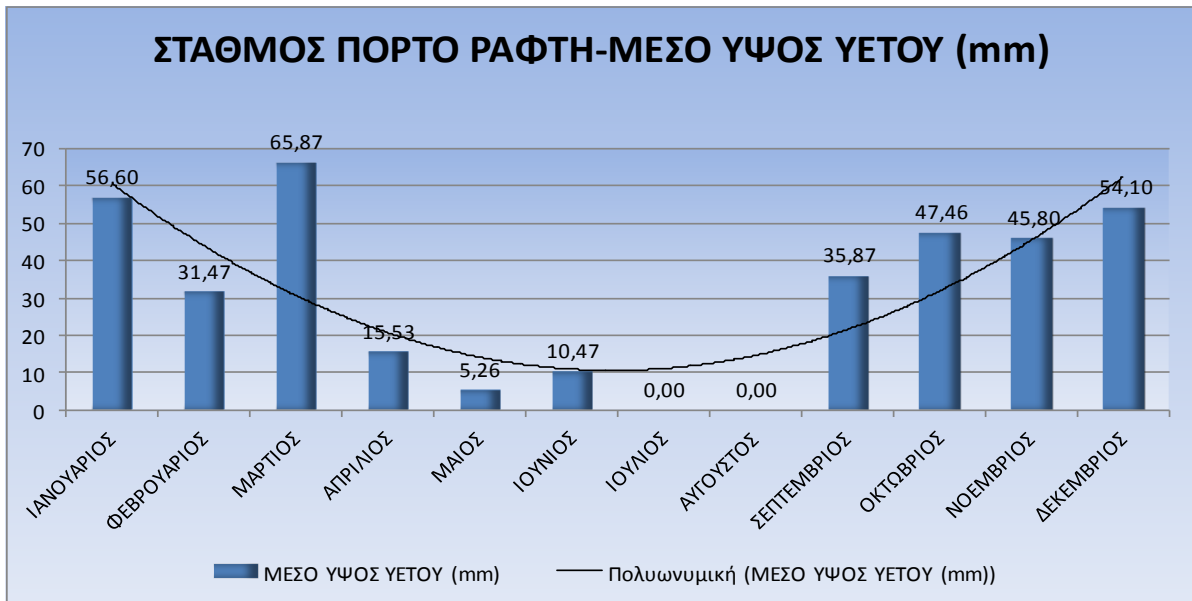
Εικόνα 5.9: Διάγραμμα με την διακύμανση του μέσου ύψους των κατακρημνισμάτων κατά τη διάρκεια του έτους στον σταθμό του Λαυρίου σε mm.



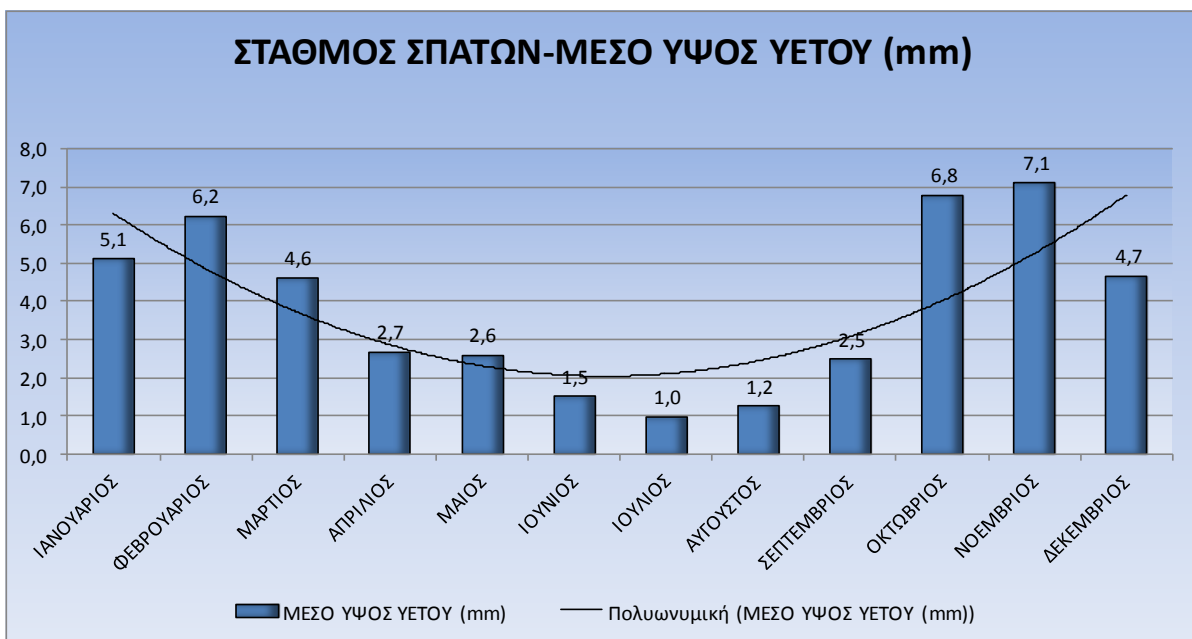
Εικόνα 5.10: Διάγραμμα με την διακύμανση του μέσου ύψους των κατακρημνισμάτων κατά τη διάρκεια του έτους στον σταθμό της Αναβύσσου σε mm.



Εικόνα 5.11: Διάγραμμα με την διακύμανση του μέσου ύψους των κατακρημνισμάτων κατά τη διάρκεια του έτους στον σταθμό του Μαρκοπούλου σε mm.



Εικόνα 5.12: Διάγραμμα με την διακύμανση του μέσου ύψους των κατακρημνισμάτων κατά τη διάρκεια του έτους στον σταθμό του Πόρτο Ράφτη σε mm.



Εικόνα 5.13: Διάγραμμα με την διακύμανση του μέσου ύψους των κατακρημνισμάτων κατά τη διάρκεια του έτους στον σταθμό των Σπάτων σε mm.

Βροχερότερος μήνας του έτους είναι ο Δεκέμβριος, με μέσο ύψος κατακρημνισμάτων 59,55 mm στην Ανάβυσσο, 67,70 mm στο Λαύριο, 69,96 στο Μαρκόπουλο και 62,40 mm στο Πόρτο Ράφτη. Πιο άνομβρος μήνας για τον σταθμό

της Αναβύσσου είναι ο Ιούλιος με μηδενικό ύψος υετού, το ίδιο επίσης σημειώνεται για τον μήνα Ιούλιο αλλά και τον Αύγουστο για τον σταθμό του Πόρτο Ράφτη. Για τον σταθμό του Λαυρίου πιο άνομβρος μήνας είναι ο Ιούλιος με ελάχιστο ύψος υετού 0,05 mm ενώ για τον σταθμό του Μαρκόπουλου είναι ο Αύγουστος με ελάχιστο ύψος υετού 0,16 mm. Τα περισσότερα κατακρημνίσματα πέφτουν με τη μορφή βροχών και καταιγίδων, ενώ οι χιονοπτώσεις και οι χαλαζοπτώσεις είναι συγκριτικά ελάχιστες. Το μεγαλύτερο ποσοστό των βροχοπτώσεων παρατηρείται την ψυχρή περίοδο, με ένα πολύ μικρότερο ποσοστό να καταγράφεται τη θερμή, αντιπροσωπεύοντας το Μεσογειακό χαρακτήρα του κλίματος.

5.2.4 Σχετική υγρασία αέρος

Η μέση ετήσια σχετική υγρασία στον σταθμό του Μαρκόπουλου είναι 64,68% και κυμαίνεται από 46,73% έως 84,37%, με τη μέγιστη τιμή της να εμφανίζεται τον Δεκέμβριο και την ελάχιστη τον Ιούλιο. Στον σταθμό του Πόρτο Ράφτη η μέση ετήσια σχετική υγρασία είναι 62,41% και κυμαίνεται από 45,72% τον Ιούλιο έως 70,87% τον Δεκέμβριο. Γενικότερα στην περιοχή μελέτης οι χαμηλότερες τιμές της μέσης ετήσιας σχετικής υγρασίας εμφανίζονται στην περιοχή του Λεκανοπεδίου της Κερατέας και οι υψηλότερες κοντά στην ανατολική παράκτια ζώνη.

5.2.5 Άνεμοι – Ατμοσφαιρική Πίεση

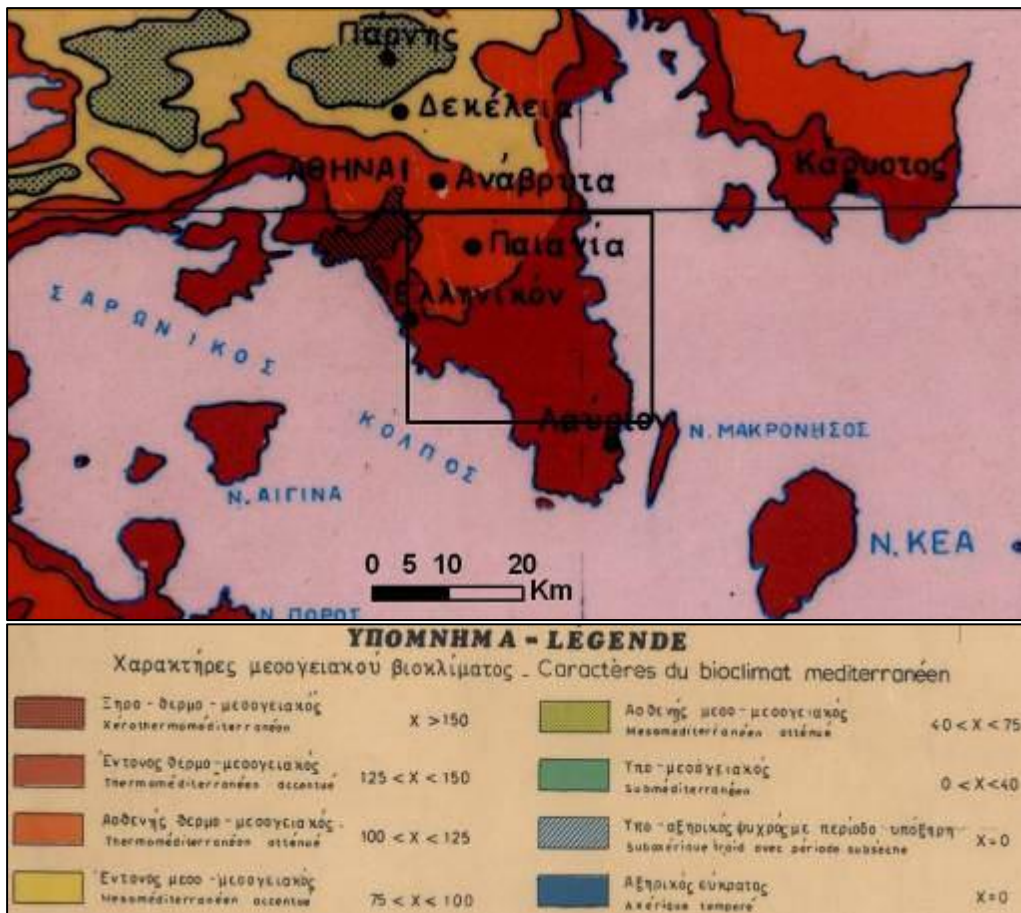
Στην περιοχή μελέτης επικρατούν άνεμοι βόρειων διευθύνσεων την περισσότερη διάρκεια του έτους. Στον μετεωρολογικό σταθμό της Αναβύσσου οι βόρειοι-βορειοανατολικοί άνεμοι υπερισχύουν σε όλη τη διάρκεια του έτους, εκτός από τον Σεπτέμβριο και τον Φεβρουάριο που επικρατούν οι νότιοι-νοτιοανατολικοί και τον Μάιο που επικρατούν δυτικοί-νότιοι, ενώ η μέση ετήσια ταχύτητα τους είναι 4,6 km/h. Στον μετεωρολογικό σταθμό του Λαυρίου επικρατούν οι βόρειοι-βορειοανατολικοί άνεμοι με μέση ετήσια ταχύτητα 12,3 km/h.

Στον μετεωρολογικό σταθμό του Μαρκόπουλου επικρατούν όλο τον χρόνο συνήθως οι ανατολικοί - βορειοανατολικοί άνεμοι εκτός από τον Δεκέμβριο έως τον Φεβρουάριο που φυσούν βορειοδυτικοί και νοτιοανατολικοί άνεμοι με μέση ετήσια ταχύτητα 8,5 km/h. Τέλος στον μετεωρολογικό σταθμό του Πόρτο Ράφτη όλο τον χρόνο επικρατούν οι δυτικοί - βορειοδυτικοί άνεμοι εκτός των καλοκαιρινών μηνών

Μαΐου έως Αυγούστου που επικρατούν οι ανατολικοί και οι νοτιοανατολικοί άνεμοι με μέση ετήσια ταχύτητα 11,6 km/h.

5.2.6 Βιοκλιματικές συνθήκες

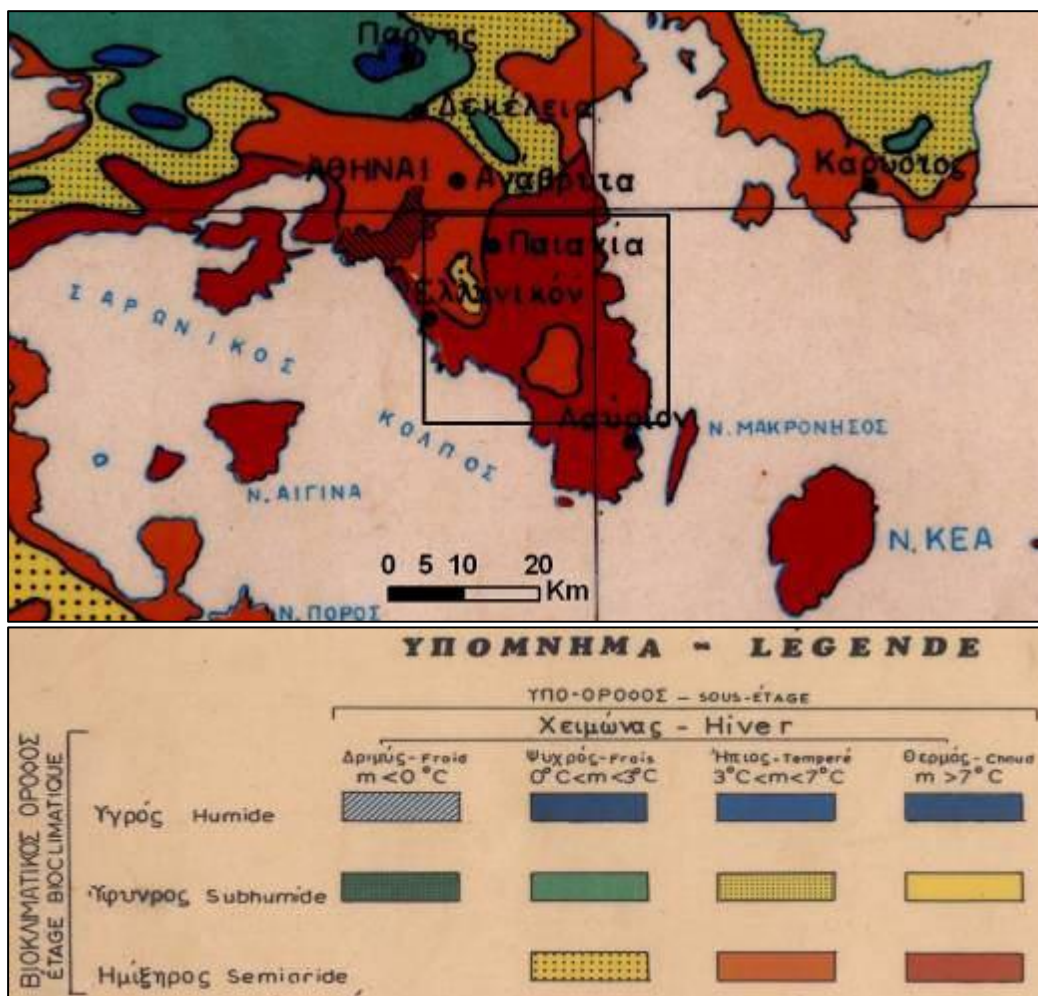
Με βάση τον Βιοκλιματικό χάρτη της Ελλάδας όπου απεικονίζεται ο χαρακτήρας του μεσογειακού βιοκλίματος η περιοχή μελέτης έχει «Έντονο θερμο – μεσογειακό» τύπο με $125 < X < 150$, όπου X = Αριθμός βιολογικών ξηρών ημερών κατά τη θερμή περίοδο.



Εικόνα 5.14: Απόσπασμα του Βιοκλιματικού Χάρτη της Ελλάδας (Μαυρομάτης Γ., 1978)

Στο χάρτη των Βιοκλιματικών Ορόφων ολόκληρη η περιοχή μελέτης εντάσσεται στον «Ημίξηρο Βιοκλιματικό Όροφο». Το μεγαλύτερο τμήμα ανήκει στον υπόροφο «Χειμώνας Θερμός», με $m > 7^{\circ}\text{C}$, όπου m = μέση ελάχιστη θερμοκρασία ψυχρότερου μήνα σε $^{\circ}\text{C}$. Το βορειοδυτικό τμήμα και η περιοχή Πανείου – Μερέντας

ανήκουν στον υπόροφο «Χειμώνας Ήπιος», με $3^{\circ}\text{C} < m < 7^{\circ}\text{C}$, ενώ η περιοχή του κεντρικού Υμηττού ανήκει στον υπόροφο «Χειμώνας Ψυχρός», με $0^{\circ}\text{C} < m < 3^{\circ}\text{C}$.



Εικόνα 5.15: Απόσπασμα του Χάρτη των Βιοκλιματικών Ορόφων της Ελλάδας (Μαυρομάτης Γ., 1978)

5.3 Βιοκλιματικά Στοιχεία

5.3.1 Ανάλυση κλίματος κατά LANG-GRACANIN

Το ομβροθερμικό πηλίκο του Lang (N/T) είναι ένας δείκτης για τον χαρακτηρισμό του κλίματος. Προκύπτει από το πηλίκο του μέσου υπερετήσιου ύψους βροχής (N) σε χιλιοστά (mm), και της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας (T) σε βαθμούς Κελσίου ($^{\circ}\text{C}$).

Δείκτης Lang = Ύψος Βροχής (mm) / Θερμοκρασία ($^{\circ}\text{C}$)

Στους επόμενους πίνακες δίνονται συσχετισμένα στοιχεία μέσω μηνιαίων θερμοκρασιών και ύψους υετού για τον χαρακτηρισμό του κλίματος κατά Lang-Gracanic για τους σταθμούς του Λαυρίου, του Μαρκόπουλου, της Αναβύσσου και του Πόρτο Ράφτη αντίστοιχα.

Πίνακας 5.11: Πίνακας με τις Μηνιαίες θερμοκρασίες και το ύψος υετού για τον σταθμό του Λαυρίου.

ΜΗΝΑΣ	ΜΕΣΟ ΥΨΟΣ ΥΕΤΟΥ (mm)	ΜΕΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (°C)	ΔΕΙΚΤΗΣ LANG	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΚΑΤΑ GRACANIN
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	66,99	11,64	5,76	Υπόξηρο
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	63,75	12,20	5,23	Υπόξηρο
ΜΑΡΤΙΟΣ	49,96	13,32	3,75	Ξηρό
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	23,45	16,39	1,43	Υπέρξηρο
ΜΑΙΟΣ	5,35	20,51	0,26	Υπέρξηρο
ΙΟΥΝΙΟΣ	4,00	24,80	0,16	Υπέρξηρο
ΙΟΥΛΙΟΣ	0,05	27,76	0,00	Υπέρξηρο
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	0,10	27,81	0,00	Υπέρξηρο
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	18,50	24,46	0,76	Υπέρξηρο
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	39,40	19,89	1,98	Υπέρξηρο
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	41,53	16,72	2,48	Ξηρό
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	64,82	12,95	5,01	Υπόξηρο
	377,90	19,04		

Πίνακας 5.12: Πίνακας με τις Μηνιαίες θερμοκρασίες και το ύψος υετού για τον σταθμό του Μαρκόπουλου.

ΜΗΝΑΣ	ΜΕΣΟ ΥΨΟΣ ΥΕΤΟΥ (mm)	ΜΕΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (°C)	ΔΕΙΚΤΗΣ LANG	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΚΑΤΑ GRACANIN
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	42,76	10,24	4,18	Υπόξηρο
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	57,33	10,66	5,38	Υπόξηρο
ΜΑΡΤΙΟΣ	49,42	12,54	3,94	Ξηρό
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	25,78	15,92	1,62	Υπέρξηρο
ΜΑΙΟΣ	12,82	20,42	0,63	Υπέρξηρο
ΙΟΥΝΙΟΣ	11,62	25,04	0,46	Υπέρξηρο
ΙΟΥΛΙΟΣ	1,14	27,77	0,04	Υπέρξηρο
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	0,16	27,62	0,01	Υπέρξηρο
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	24,82	23,43	1,06	Υπέρξηρο
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	52,45	18,54	2,83	Ξηρό
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	52,39	14,82	3,54	Ξηρό
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	66,63	11,10	6,00	Υπόξηρο
	397,32	18,18		

Πίνακας 5.13: Πίνακας με τις Μηνιαίες θερμοκρασίες και τούψος υετού για τον σταθμό της Αναβύσσου

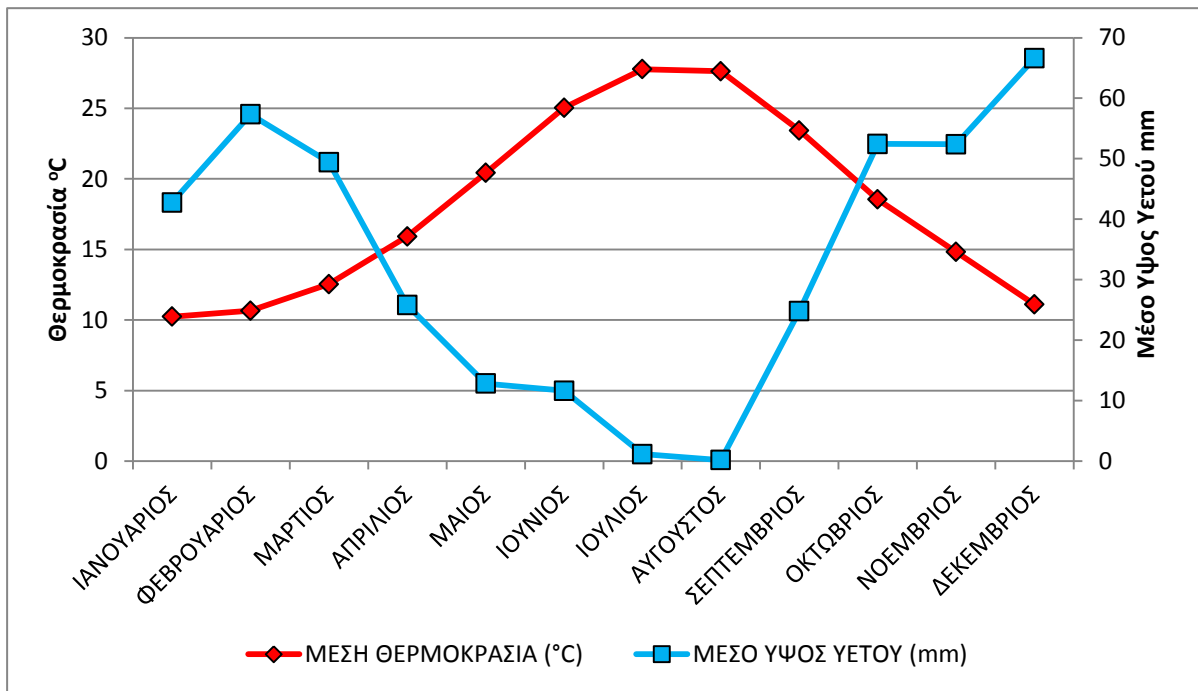
ΜΗΝΑΣ	ΜΕΣΟ ΥΨΟΣ ΥΕΤΟΥ (mm)	ΜΕΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (°C)	ΔΕΙΚΤΗΣ LANG	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΚΑΤΑ GRACANIN
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	47,25	11,55	4,09	Υπόξηρο
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	40,40	12,32	3,28	Ξηρό
ΜΑΡΤΙΟΣ	56,95	13,35	4,27	Υπόξηρο
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	5,35	16,62	0,32	Υπέρξηρο
ΜΑΙΟΣ	4,10	20,55	0,20	Υπέρξηρο
ΙΟΥΝΙΟΣ	3,52	25,04	0,14	Υπέρξηρο
ΙΟΥΛΙΟΣ	0,00	28,04	0,00	Υπέρξηρο
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	0,25	28,45	0,01	Υπέρξηρο
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	14,88	24,64	0,60	Υπέρξηρο
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	30,80	20,22	1,52	Υπέρξηρο
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	52,52	16,46	3,19	Ξηρό
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	54,36	11,40	4,77	Υπόξηρο
	310,38	19,05		

Πίνακας 5.14: Πίνακας με τις Μηνιαίες θερμοκρασίες και το ύψος υετού για τον σταθμό του Πόρτο Ράφτη

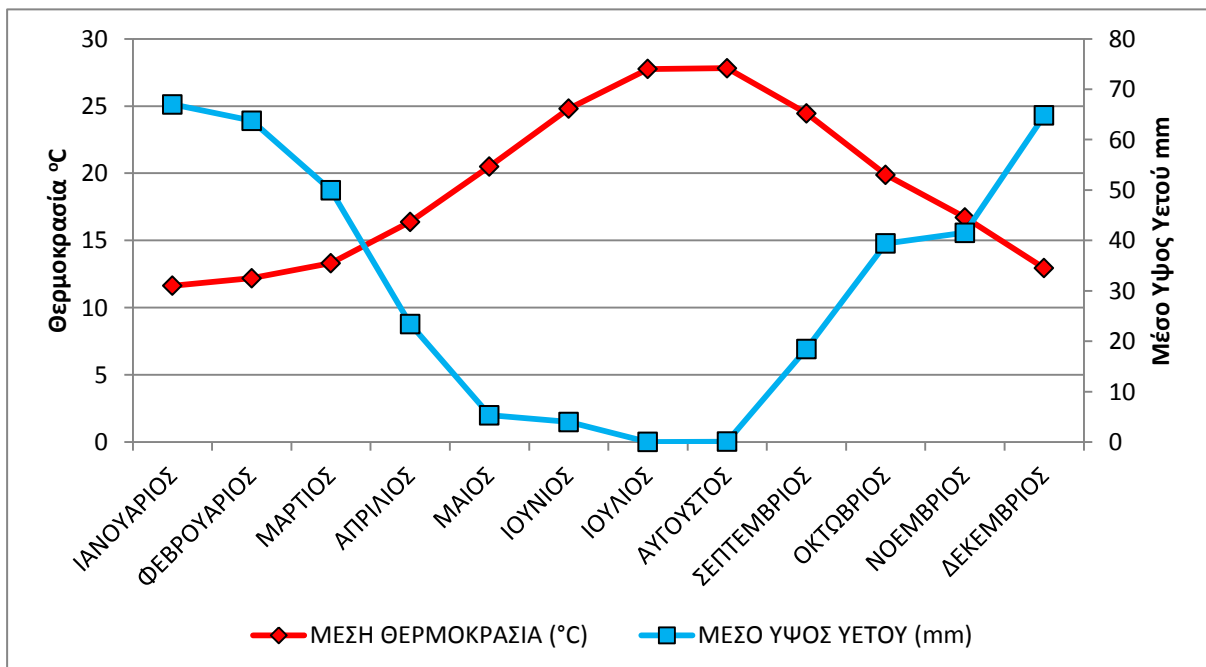
ΜΗΝΑΣ	ΜΕΣΟ ΥΨΟΣ ΥΕΤΟΥ (mm)	ΜΕΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (°C)	ΔΕΙΚΤΗΣ LANG	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΚΑΤΑ GRACANIN
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	56,60	11,40	4,96	Υποξηρό
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	31,47	12,27	2,56	Ξηρό
ΜΑΡΤΙΟΣ	65,87	12,97	5,08	Υποξηρό
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	15,53	16,37	0,95	Υπέρξηρο
ΜΑΙΟΣ	5,26	20,30	0,26	Υπέρξηρο
ΙΟΥΝΙΟΣ	10,47	24,53	0,43	Υπέρξηρο
ΙΟΥΛΙΟΣ	0,00	28,37	0,00	Υπέρξηρο
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	0,00	27,67	0,00	Υπέρξηρο
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	35,87	24,20	1,48	Υπέρξηρο
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	47,46	19,53	2,43	Ξηρό
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	45,80	15,97	2,87	Ξηρό
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	54,10	11,20	4,83	Υποξηρό
	368,43	18,73		

Συμπερασματικά, με βάση τον συντελεστή Lang το κλίμα στην περιοχή μελέτης χαρακτηρίζεται σε ετήσια βάση κατά Gracaniin ως Υπέρξηρο.

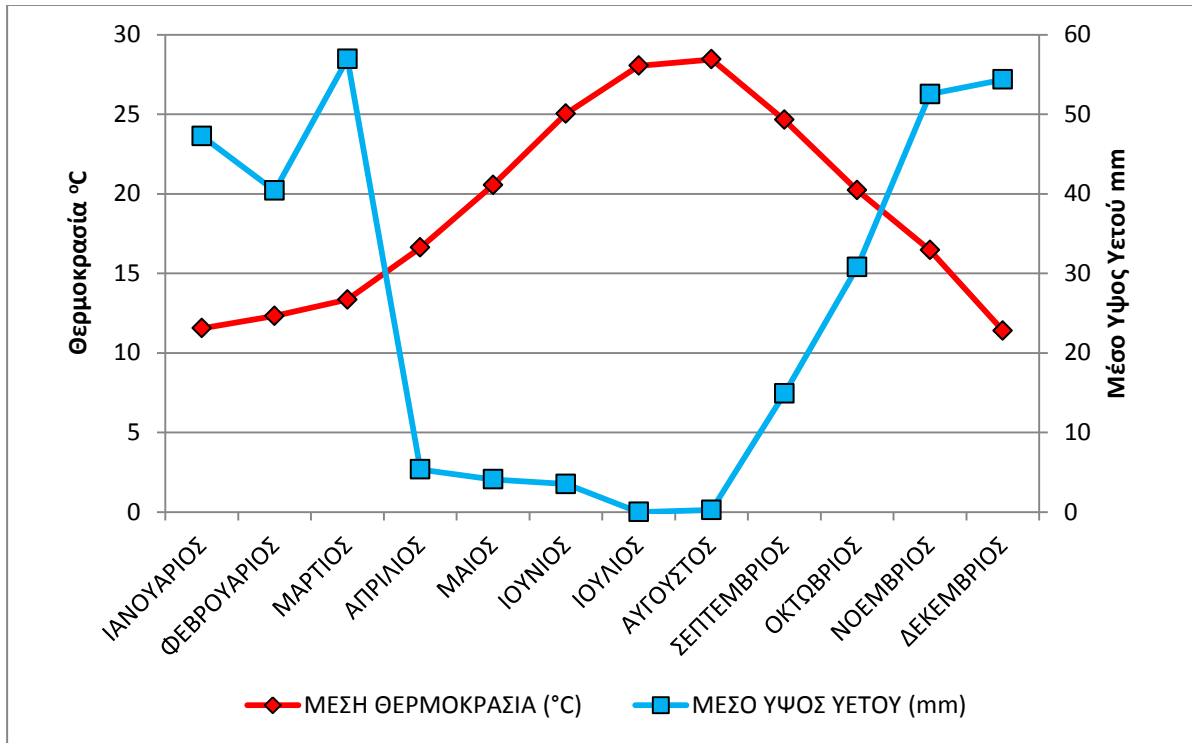
Παρακάτω εμφανίζονται ομβοθερμικά διαγράμματα για όλους τους σταθμούς. Σε όλες τις περιπτώσεις η τομή ανάμεσα στους δύο άξονες των ομβοθερμικών διαγραμμάτων υποδηλώνει την ξηρή περίοδο για την κάθε περιοχή.



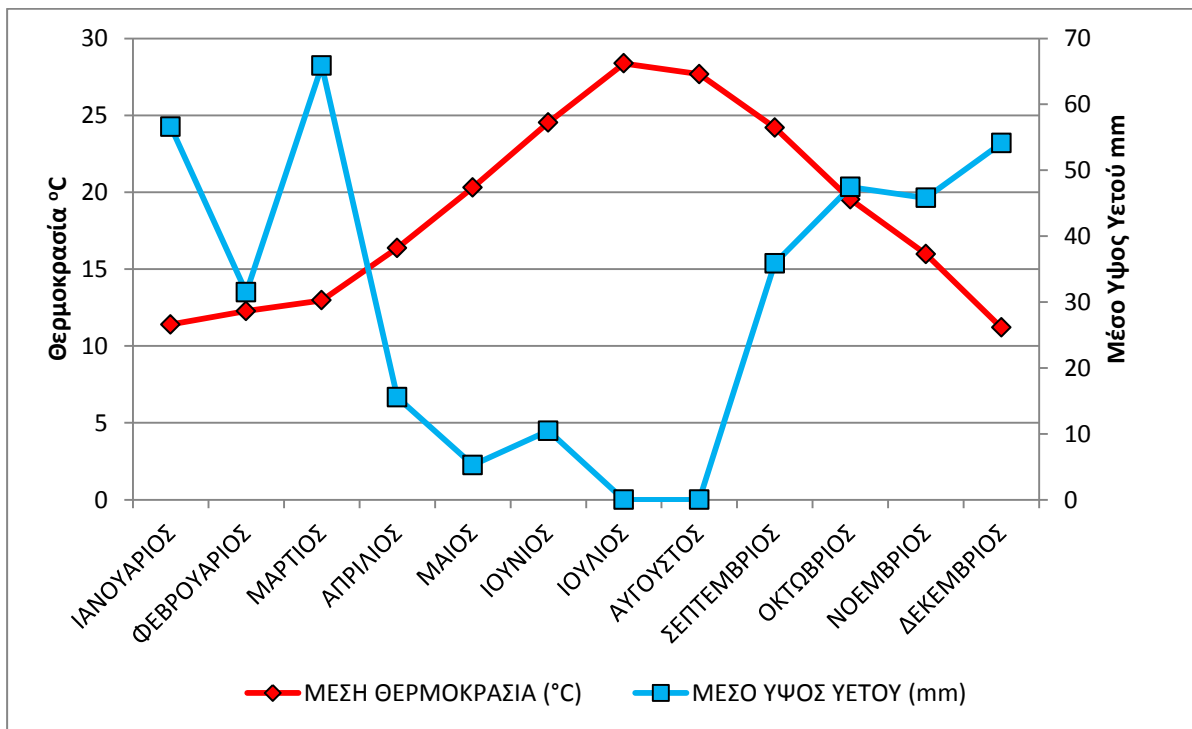
Εικόνα 5.16: Ομβροθερμικό διάγραμμα για τον σταθμό του Λαυρίου.



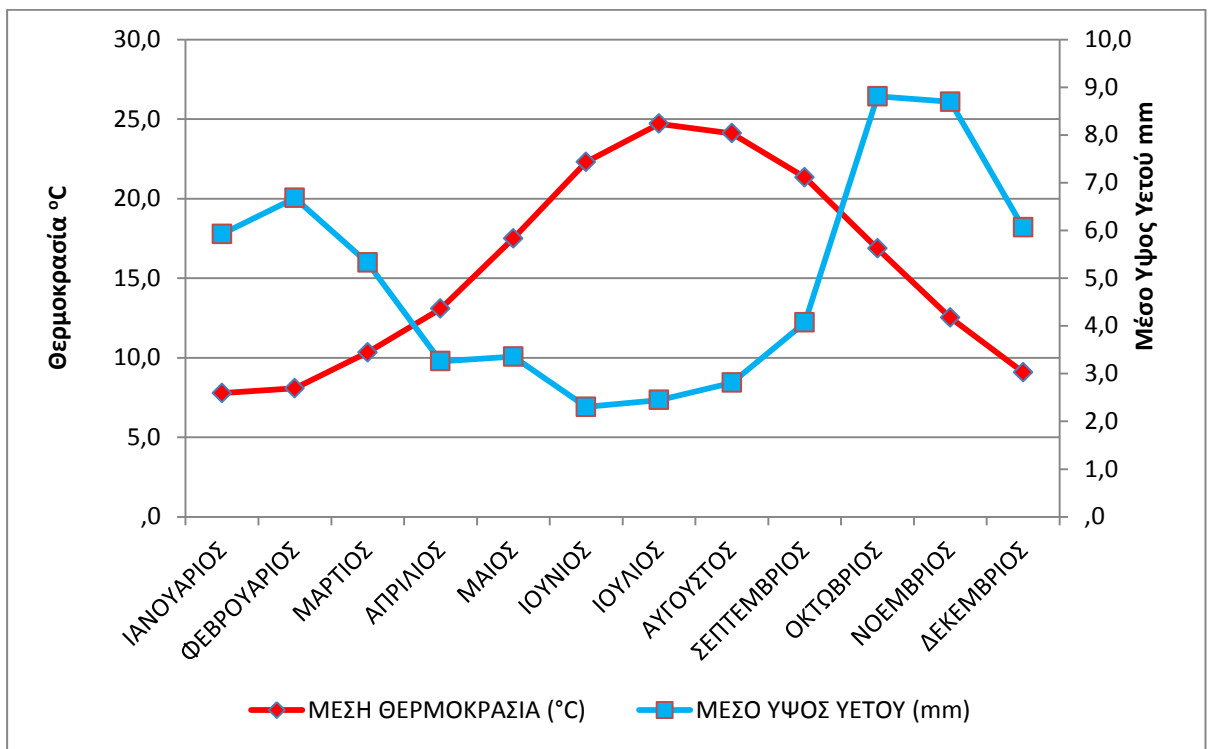
Εικόνα 5.17: Ομβροθερμικό διάγραμμα για τον σταθμό Αναβύσσου



Εικόνα 5.18: Ομβροθερμικό διάγραμμα για τον σταθμό του Μαρκόπουλου



Εικόνα 5.19: Ομβροθερμικό διάγραμμα για τον σταθμό του Πόρτο Ράφτη



Εικόνα 5.20: Ομβροθερμικό διάγραμμα για τον σταθμό των Σπάτων

6. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΟΥ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟΥ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ

6.1 Γενικά

Σχηματικά στο υδρολογικό ισοζύγιο λαμβάνουν μέρος τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα, η εξατμισοδιαπνοή, η απορροή και η κατείσδυση. Γνωρίζοντας τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα σε ένα συγκεκριμένο χώρο και υπολογίζοντας την εξατμισοδιαπνοή μπορούμε να εκτιμήσουμε το σύνολο της απορροής και κατείσδυσης.

Η επιφανειακή απορροή αποτελεί το συνολικό όγκο νερού που αντιστοιχεί στο μέρος των κατακρημνισμάτων που πέφτουν απευθείας επάνω στα υδρορέματα, σε αυτό που πέφτει στην ευρύτερη περιοχή και χωρίς να κατεισδύει απορρέει, στην υποδερμική ροή και στο κλάσμα του νερού που αφού έχει κατεισδύσει εξέρχεται στην επιφάνεια του εδάφους υπό μορφή πηγών ή σε κάποιο υδρόρεμμα στην επαφή της επιφάνειας του υπόγειου νερού με αυτήν του υδρορέματος.

Η επιφανειακή απορροή είναι συνάρτηση του ύψους των κατακρημνισμάτων, της έντασης των επεισοδίων βροχής και της κατανομής τους, της περατότητας των γεωλογικών σχηματισμών της λεκάνης, της ανάπτυξης του υδρογραφικού δικτύου και του βάθους του φρεάτιου ορίζοντα (όπου αυτός υπάρχει). Η κατανομή του νερού μέσα στα φυσικά συστήματα μπορεί να περιγραφεί σε γενικές γραμμές από την μαθηματική έκφραση:

$$P = R + ET + I + \Delta W + \Delta q + Q$$

όπου:

P = τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα

R = η επιφανειακή απορροή

ET = η πραγματική εξατμισοδιαπνοή

I = η κατείσδυση

ΔW = η διαφορική αποθήκευση νερού στα πετρώματα

Δq = προσφορές και απολείψεις νερού από ανθρωπογενείς παρεμβάσεις

Q = η εξωτερική τροφοδοσία του υδρολογικού συστήματος

Με την προϋπόθεση ότι οι υδρολογικές λεκάνες αποτελούν αυτοτελή συστήματα και ότι, οι ανθρωπίνες παρεμβάσεις και οι μεταβολές στα υπόγεια αποθέματα είναι αμελητέες, οι παράγοντες ΔW , Δq , Q της πιο πάνω εξίσωσης παραλείπονται και η εξίσωση του υδρολογικού ισοζυγίου παίρνει τη μορφή:

$$P = E + A \text{ (mm)}$$

όπου:

P = τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα

E = η πραγματική εξατμισοδιαπνοή

A = η ολική απορροή

Άρα, το ύψος των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων, σε μια υδρολογική λεκάνη, ισούται με το άθροισμα των αντίστοιχων υψών, των παραγόντων της εξατμισοδιαπνοής και της ολικής απορροής. Επομένως η εκτίμηση της ολικής απορροής μας επιτρέπει να εκτιμήσουμε τις παραμέτρους της επιφανειακής απορροής και της κατείσδυσης που λαμβάνει χώρα στους διάφορους λιθολογικούς σχηματισμούς, οι οποίοι συμμετέχουν στην δομή μιας υδρολογικής λεκάνης. Η παράμετρος της ολικής απορροής εκτιμάται ως ακολούθως:

$$A = R + I \text{ (mm)}$$

όπου: R = Επιφανειακή Απορροή (mm) και I = Υπόγεια Απορροή (κατείσδυση) (mm).

Τα παραπάνω μεγέθη μπορούν να εκφραστούν είτε σε ύψος νερού (mm) είτε σε όγκο νερού (m³) ή σε συντελεστή επί τοις εκατό (%).

Οι παράμετροι της εξίσωσης του υδρολογικού ισοζυγίου μεταβάλλονται ανάλογα με τις κλιματικές, υδρολιθολογικές, υδρογραφικές, γεωμορφολογικές και γεωλογικές συνθήκες που επικρατούν στην ευρύτερη περιοχή μελέτης καθώς επίσης με την καλλιέργεια και τη φυτοκάλυψη αυτής.

Στην περιοχή μελέτης δεν λειτουργεί μετεωρολογικός σταθμός. Τα μετεωρολογικά στοιχεία που ελήφθησαν υπόψη προέρχονται από σταθμούς γειτονικών περιοχών έτσι ώστε να προσεγγιστεί όσο το δυνατόν η δίαιτα των υδροφόρων σχηματισμών της περιοχής μελέτης. Τα αποτελέσματα που θα προκύψουν είναι προσεγγιστικά για τον προαναφερθέντα λόγο. Τα δεδομένα αυτά δίνουν ποιοτικές πληροφορίες για τις συνθήκες που επικρατούν στην ευρύτερη περιοχή μελέτης. Οι γειτονικές περιοχές είναι κλιματικά συγκρίσιμες.

6.2 Εκτίμηση του όγκου νερού από βροχόπτωση

Από τους διαθέσιμους βροχομετρικούς σταθμούς της περιοχής συγκεντρώθηκαν τα δεδομένα και υπολογίστηκε ο μέσος όρος της βροχόπτωσης και

ο όγκος του νερού που δέχεται κάθε λιθολογική ενότητα που αναπτύσσεται στην περιοχή μελέτης.

Για το σκοπό αυτό ομαδοποιήθηκαν συναφείς λιθολογικοί σχηματισμοί και υπολογίσθηκε ο όγκος του νερού που δέχονται στην επιφάνειά τους σε ετήσια βάση. Στον πίνακα 6.1 που ακολουθεί παρουσιάζεται η ομαδοποίηση των συναφών σχηματισμών, το εύρος της ανάπτυξής τους και ο όγκος του νερού που δέχεται κάθε επιφάνεια αυτών, λαμβάνοντας υπόψη την μέση ετήσια τιμή βροχόπτωσης των 360,2mm.

Πίνακας 6.1: Επιφάνειες ανάπτυξης των συναφών σχηματισμών και ο όγκος του νερού που δέχεται η κάθε επιφάνεια.

Σχηματισμοί	Έκταση ανάπτυξης (Km ²)	Συνολική επιφάνεια (Km ²)	Όγκος νερού (m ³)
A) Χαλαροί σχηματισμοί -παλαιοί και νέοι κώννοι κορημάτων -ποταμοχερσαίες αποθέσεις -αποθέσεις στις κοίτες των ρεμάτων	1,95 6,47 2,32	10,74	3.866,4 x 10 ³
B) Ανθρακικοί σχηματισμοί -ανώτερο μάρμαρο -κατώτερο μάρμαρο -δολομίτες -ασβεστόλιθοι -κλαστικοί ασβεστόλιθοι	1,66 5,76 0,05 1,82 1,30	10,59	3.814.5 x 10 ³
Γ) Σχιστόλιθοι + φυλλίτες + εκρηξιγενή -σχιστόλιθοι Καισαριανής -σχιστόλιθοι και φυλλίτες -ενστρώσεις σχιστολίθων -οφιόλιθοι -εκρηξιγενή	6,58 20,94 0,07 0,09 0,09	27,77	10.013,6 x 10 ³
Δ) Νεογενή ιζήματα -μάργες, πηλοί, ψαμμίτες, κροκαλοπαγή	2,80	2,80	1.008,6 x 10 ³
ΣΥΝΟΛΟ	51,90	51,90	18.703,1 x 10³

6.3 Εξατμισοδιαπνοή

Για την κατάρτηση του υδρολογικού ισοζυγίου μιας περιοχής απαιτείται η γνώση της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής (E_r). Η εξατμισοδιαπνοή είναι συνάρτηση της υγρασίας του εδάφους και επηρεάζεται από τους παράγοντες που λειτουργούν ρυθμιστικά επί της εξάτμισης και της διαπνοής. Αυτοί οι παράγοντες είναι:

- ατμοσφαιρικοί παράγοντες, όπως η υγρομετρική κατάσταση της ατμόσφαιρας, η θερμοκρασία, η ταχύτητα του ανέμου, η βροχομετρική πίεση κλπ.
- υδρογεωλογικοί παράγοντες, όπως η κοκκομετρία, το πορώδες, η λιθολογία και η υγρασία του εδάφους.
- γεωγραφικοί παράγοντες, όπως είναι το υψόμετρο, οι κλιματικές ζώνες κλπ.
- φυσιογραφικοί παράγοντες που επιδρούν κυρίως επί της διαπνοής όπως το είδος της χλωρίδας, η ανάπτυξη του φυλλώματος, το βάθος των ριζών κλπ.

Σημαντικότεροι όμως παράγοντες θεωρούνται η μέση ετήσια θερμοκρασία και η υγρασία. Για τον υπολογισμό της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής χρησιμοποιήθηκαν τα αποτελέσματα της τροποποιημένης μεθόδου TURC (Turc 1961), συναρτήσεως της μέσης ετήσιας τιμής θερμοκρασίας και βροχόπτωσης, από τη σχέση:

$$E_r = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \left(\frac{P}{L}\right)^2}}$$

όπου:

E: η πραγματική μηνιαία εξατμισοδιαπνοή σε mm,

P: το μέσο ετήσιο ύψος βροχόπτωσης σε mm,

L: $300 + 25T + 0.05 T^3$ και

T: η μέση ετήσια θερμοκρασία του αέρα σε °C.

Με βάση τα μετεωρολογικά δεδομένα των σταθμών της ευρύτερης περιοχής, η εκτιμώμενη ετήσια πραγματική εξατμισοδιαπνοή ανέρχεται στα $E_T = 360 \text{ mm}$ ή 100% του ετήσιου κατακριμνήσματος, δηλαδή όλος ο όγκος των κατακρημνισμάτων χάνεται μέσω της διαδικασίας της εξατμισοδιαπνοής. Το αποτέλεσμα αυτό θεωρείται αρκετά υπερβολικό και δεν προσεγγίζει την πραγματικότητα. Παρόμοια αποτελέσματα έχουν βρεθεί για τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής στις λεκάνες απορροής Ερασίνου και του Μεγάλου Ρέματος Ραφήνας, με εφαρμογή της ίδιας μεθόδου (Χαμπίδη 2012).

Επίσης, έγινε εφαρμογή της μεθόδου των Burdon & Παπάκης (Burdon & Papakis, 1963)

$$ET = \frac{P(\text{Οκτ.} - \text{Μάρτ.})}{2} + P(\text{Απρίλ.} - \text{Σεπτ.})$$

όπου:

ET: η πραγματική ετήσια εξατμισοδιαπνοή σε mm,

P: ύψος βροχόπτωσης των συγκεκριμένων μηνών σε mm,

Από την εφαρμογή της μεθόδου αυτής προκύπτει ότι η πραγματική ετήσια εξατμισοδιαπνοή ανέρχεται σε **ET= 211,8 mm ή 58,8%** του ετήσιου κατακρημνίσματος. Η εφαρμογή της μεθόδου αυτής φαίνεται να προσεγγίζει περισσότερο την πραγματικότητα.

Εάν θεωρήσουμε ότι το αποτέλεσμα αυτό είναι θεωρητικά αποδεκτό, τότε βάσει του τύπου του υδρολογικού ισοζυγίου, η ολική απορροή R και η κατείσδυση I ανέρχεται:

$$R + I = P - ET = 360,2 - 211,8 = 148,4 \text{ mm}$$

$$\mathbf{R+I= 148,4 \text{ mm ή } 41,2\% \text{ του ετήσιου κατακρημνίσματος}}$$

6.4 Κατείσδυση

Η κατείσδυση είναι η διαδικασία κατά την οποία το νερό εισέρχεται στα επιφανειακά στρώματα του εδάφους και κατόπιν κινείται προς τα βαθύτερα στρώματα. Το ποσό αυτό του νερού κατά πρώτο λόγο συμπληρώνει το έλλειμμα υγρασίας του εδάφους, ενώ αυτό που πλεονάζει κινείται βαθύτερα και τροφοδοτεί τους υπόγειους υδροφόρους ορίζοντες. Οι παράγοντες που επηρεάζουν την κατείσδυση είναι η υγρασία του εδάφους, η ένταση και κατανομή της βροχόπτωσης, η λιθολογία και η βλάστηση. Μέτρο της ικανότητας για κατείσδυση αποτελεί ο συντελεστής κατείσδυσης (i) που εκφράζεται από τη σχέση:

$$i = \frac{I}{P * 100\%}$$

όπου:

I: η συνολική ποσότητα του νερού σε mm που κατεισδύει σε δοσμένο χρόνο και τόπο

P: το μέσο ετήσιο ύψος βροχόπτωσης σε mm.

Στην περιοχή έρευνας δεν λειτουργούν λυσιμέτρα και συνεπώς ο υπολογισμός του συντελεστή κατείδυσης βασίστηκε στα βιβλιογραφικά δεδομένα που αναφέρονται πιο κάτω:

- Στην ασβεστολιθική περιοχή Ν. Γκιώνας η κατείδυση εκτιμήθηκε με εφαρμογή της μεθόδου Kessler, ίση με 60% των βροχοπτώσεων (Μάστορης 1967).
- Στους τριαδικο-ιουρασικούς ασβεστόλιθους της Υποπελαγονικής η κατείδυση εκτιμήθηκε, με άμεσες μετρήσεις παροχών των επιφανειακών παροχών, σε 53,6%,
- Στους ανωκρητιδικούς ασβεστόλιθους της ζώνης Ανατολικής Ελλάδος εκτιμήθηκε σε 50,4%,
- Στους ανωκρητιδικούς ασβεστόλιθους της ζώνης Παρνασσού-Γκιώνας εκτιμήθηκε σε 49,9% (Κακαβάς 1995).
- Στους ασβεστόλιθους της ζώνης Πίνδου από την περιοχή Μιτσικέλι Ιωαννίνων, με βάση τα στοιχεία παροχής της πηγής Κρύας, συντελεστής κατείδυσης εκτιμήθηκε σε 55% (Μαρίνος 1975).
- Στους ανωκρητιδικούς ασβεστόλιθους της ζώνης Ωλονού – Πίνδου, ο συντελεστής κατείδυσης εκτιμήθηκε, με βάση την δίαιτα καρστικής πηγής, στον άνω ρου του Βουραϊκού σε 47% (Γιαννάτος 1999).
- Στις αλλουβιακές αποθέσεις της περιοχής Καλαμπάκας ο συντελεστής κατείδυσης εκτιμήθηκε με τη χρήση λυσιμέτρου 6-21% (Καλλέργης & Χριστοδούλου 1972).
- Στα αλλούβια της περιοχής Ιεράπετρας Κρήτης η κατείδυση εκτιμάται ίση με 13.35% (Λαμπράκης 1989).
- Στα κροκαλοπαγή της Δυτικής Τριφυλίας η κατείδυση εκτιμάται σε 21% (Κάντας & Τηνιακός 1988).
- Για τις μάργες του Νεογενούς και για τα Πλειο-Πλειστοκαινικά ιζήματα της Βορειοδυτικής Αχαΐας κατά τον Βουδούρη (1995), υιοθετούνται βάση βιβλιογραφικών δεδομένων, συντελεστές κατείδυσης 15 % και 7 % αντίστοιχα.

Ο Σούλιος (1996), εκτιμά το συντελεστή κατείδυσης για καρστικοποιημένες ασβεστολιθικές περιοχές 25-60%, για προσχωσιγενείς περιοχές 10-20%, για περιοχές με φλύσχη, μάργες, σχιστόλιθους, φυλλίτες και παρόμοιους λιθολογικούς

τύπους 3-7%, για περιοχές μολασσικών, φαμμιτικών και παρεμφερών σχηματισμών 15-25%.

Στον Πίνακα 6.2 που ακολουθεί παρουσιάζονται οι συντελεστές κατείσδυσης που χρησιμοποιήθηκαν για τους γεωλογικούς σχηματισμούς που αναπτύσσονται στην περιοχή μελέτης.

Πίνακας 6.2: Συντελεστές κατείσδυσης των επιμέρους γεωλογικών σχηματισμών

Γεωλογικός σχηματισμός	Επιφανειακή ανάπτυξη (Km ²)	Όγκος νερού Βροχόπτωσης (m ³)	Συντελεστής κατείσδυσης	Όγκος νερού κατείσδυσης (m ³)
Τεταρτογενείς σχηματισμοί	10,74	3.866,4 x10 ³	20 %	773,3 x10 ³
Νεογενείς Σχηματισμοί	2,8	1.008,6 x10 ³	13 %	131,2 x10 ³
Ανθρακικοί σχηματισμοί	10,59	3.814,5 x10 ³	50 %	1.907,3 x10 ³
Σχιστόλιθοι, Φυλλίτες, Εκρηξιγενή	27,8	10.013,6 x10 ³	5 %	500,7 x10 ³
ΣΥΝΟΛΟ	51,9	18.703,1 x 10³	-	3.312,5 x10³ I= 17,7%

Συμπερασματικά προκύπτει ότι η υδρολογική λεκάνη της Κερατέας δέχεται ετησίως όγκο νερού της τάξεως των **P= 18.703x10³ m³**.

Από αυτόν τον όγκο νερού τα **ET= 10.997 x10³ m³**, ή **59%** περίπου, χάνεται μέσω της διαδικασίας της εξατμισοδιαπνοής, τα **R= 4.393 x10³ m³** ή **23%** περίπου, απορρέουν επιφανειακά, ενώ τα **I= 3.313 x10³ m³** ή **18%** περίπου, κατεισδύουν τροφοδοτώντας τους γεωλογικούς σχηματισμούς και αποτελούν τα ανανεώσιμα ή ενεργά υδατικά αποθέματα της περιοχής.

Διαπιστώνεται ότι η σημαντικότερη υδροφορία εντοπίζεται εντός των ανθρακικών μαζών, μεταξύ των οποίων το όρος Πάνειο αποτελεί την κυριότερη υδαταποθήκη της περιοχής.

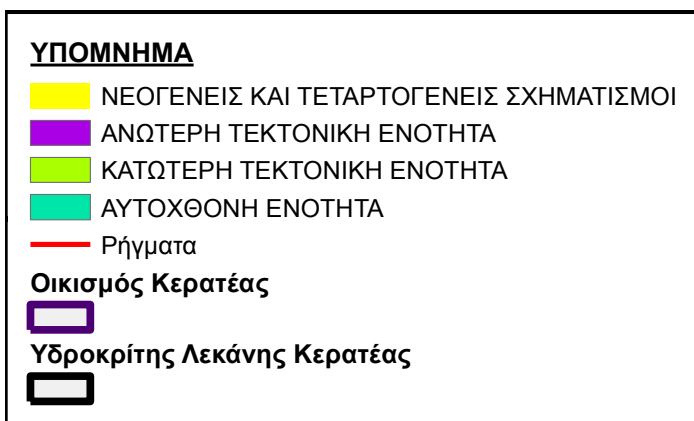
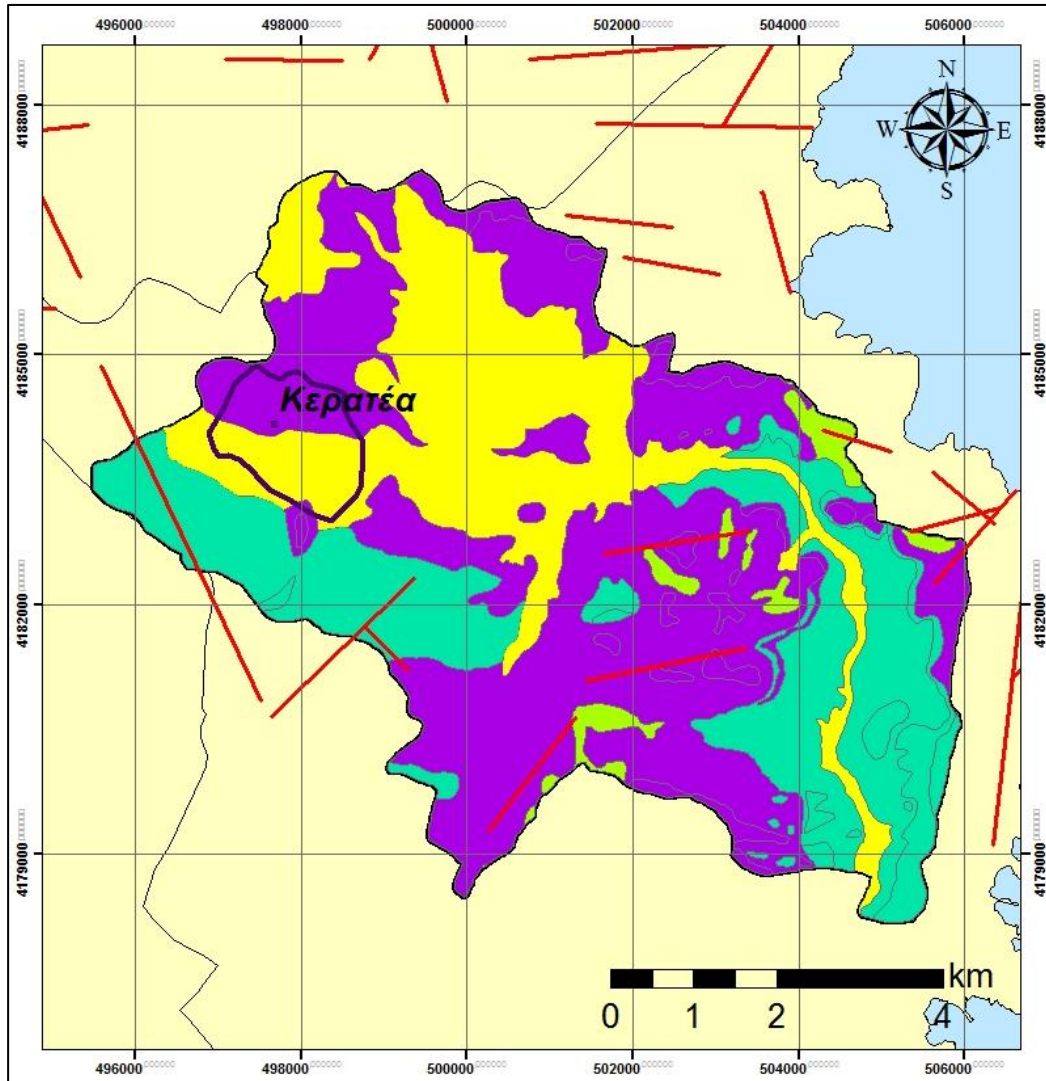
7. ΓΕΩΛΟΓΙΑ – ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ

7.1 Γενικά Στοιχεία

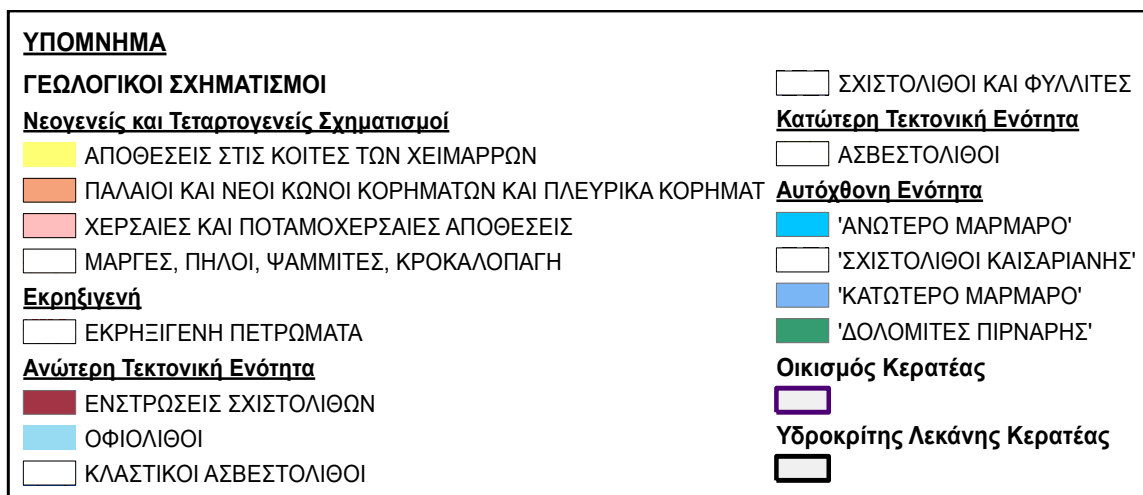
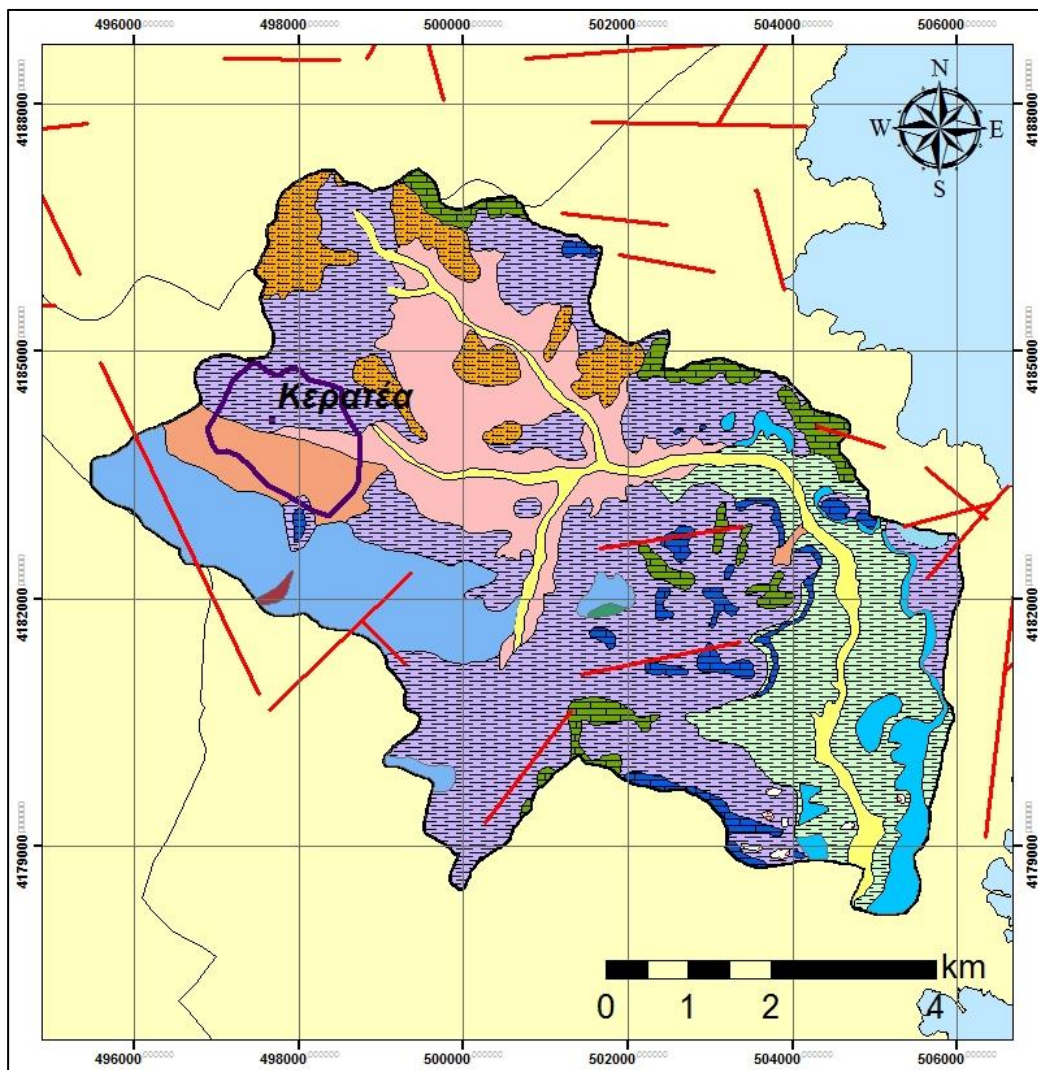
Στην περιοχή μελέτης εμφανίζονται αλπικοί και μεταλπικοί σχηματισμοί, με τους μεταλπικούς να υπέρκεινται των αλπικών. Τα αλπικά πετρώματα εμφανίζονται κυρίως στους ορεινούς όγκους και τους λόφους (Παυλοπουλος Κ., Κοτάμπαση Χ., Σκέντος Α., 2005) και ανήκουν στην Πελαγονική Ζώνη. Πρόκειται για ασβεστόλιθους, μάρμαρα, σχιστόλιθους, φυλλίτες, δολομίτες και οφιόλιθους. Οι μεταλπικοί σχηματισμοί είναι αποθέσεις του Νεογενούς και του Τεταρτογενούς, ενώ υπάρχει περιορισμένη εμφάνιση μαγματικής διείσδυσης. Διακρίνονται τέσσερις κύριες λιθοστρωματογραφικές ενότητες οι οποίες είναι οι παρακάτω, από τις αρχαιότερες προς τις νεότερες (Λατσούδας Χ., 1992):

- Η Αυτόχθονη Ενότητα, η οποία περιλαμβάνει σχηματισμούς του Τριαδικού και του Ιουρασικού. Αναπτύσσεται με ευρύτατη εξάπλωση στους ορεινούς όγκους και τα κυριότερα υψώματα σε όλη την περιοχή μελέτης
- Η Κατώτερη Τεκτονική Ενότητα, στην οποία ανήκουν πετρώματα του Κατώτερου και του Ανώτερου Κρητιδικού. Εμφανίζεται με μικρή εξάπλωση στην περιοχή της Πλάκας.
- Η Ανώτερη Τεκτονική Ενότητα, στην οποία περιλαμβάνονται σχηματισμοί του Ανώτερου Κρητιδικού. Παρουσιάζεται με ευρεία εξάπλωση στα ανατολικά κυρίως τμήματα της περιοχής μελέτης, αποτελώντας το επωθημένο φυλλιτικό σύστημα.
- Η ακολουθία των Νεογενών και Τεταρτογενών σχηματισμών που επίκεινται ασύμφωνα στις προηγούμενες. (Παυλόπουλος Κ., 1992)

Στη συνέχεια περιγράφεται αναλυτικότερα και ανά κατηγορία πετρώματος η λιθολογία της περιοχής μελέτης. όπως περιγράφεται στον γεωλογικό χάρτη του ΙΓΜΕ (Φύλλο Κορωπίου – Πλάκας, κλίμακας 1: 50.000)



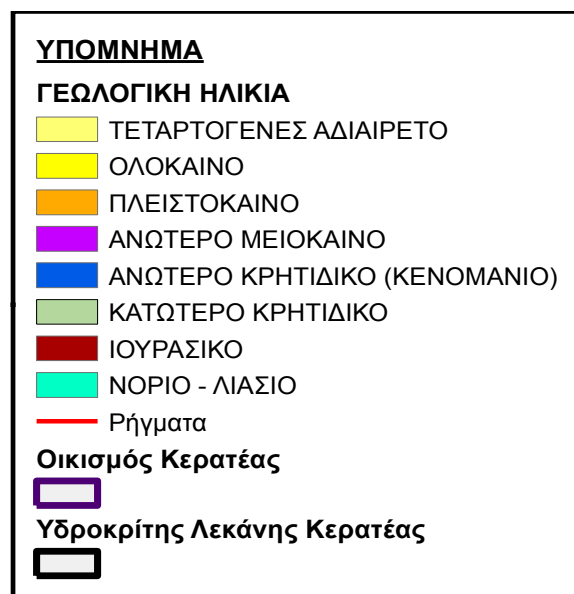
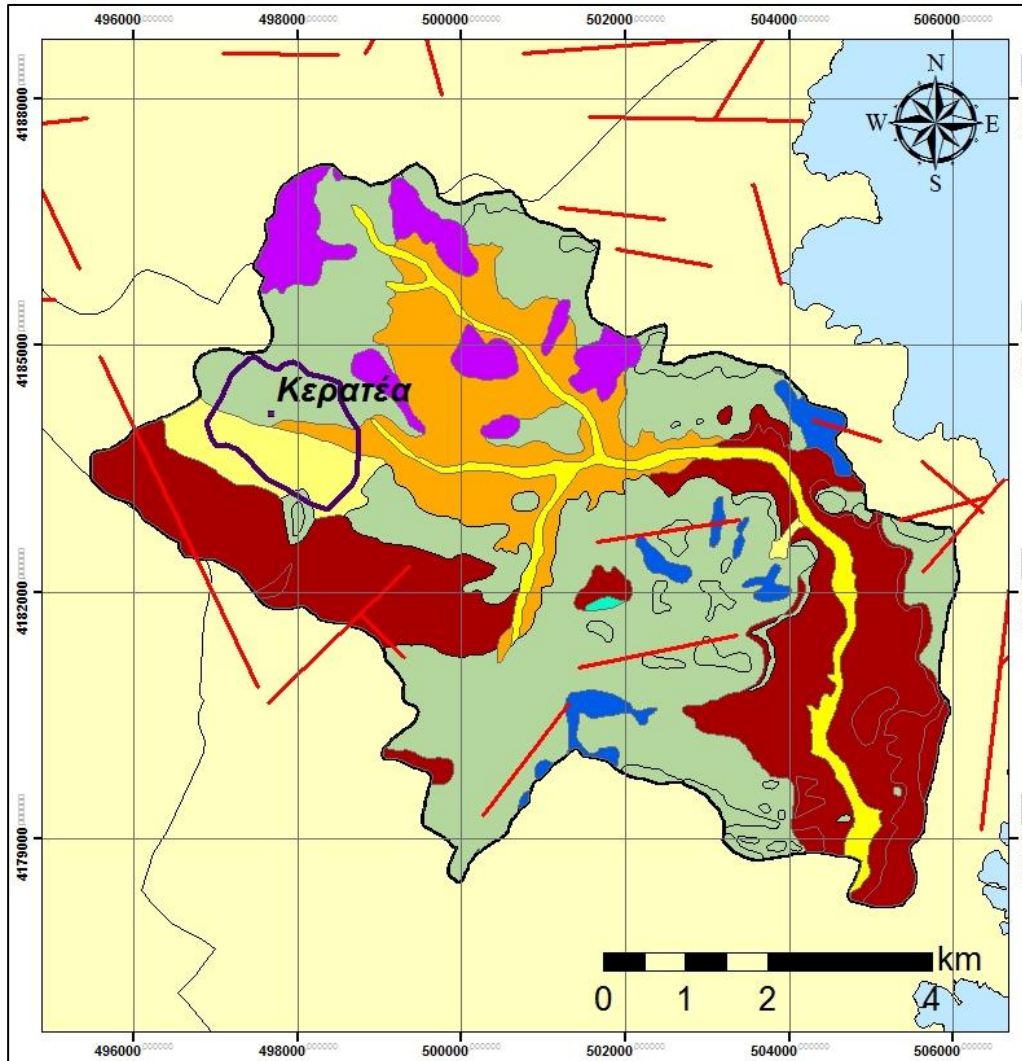
Εικόνα 7.1: Γεωλογικός χάρτης της λεκάνης της Κερατέας. Οι Γεωλογικοί σχηματισμοί και οι ενότητες της λεκάνης της Κερατέας.



Εικόνα 7.2: Γεωλογικός χάρτης της λεκάνης της Κερατέας, κατασκευασμένος μέσω του προγράμματος ArcGIS v.10.2.1 με βάση το γεωλογικό χάρτη του Ι.Γ.Μ.Ε (Φύλλα Κορωπί-Πλάκα)

Οι σχηματισμοί που αποτελούν το εδαφικό υπόβαθρο μιας γεωμορφής συμβάλλουν στην εξέλιξή της επηρεάζοντας τη σταθερότητα ή την αστάθειά της σε συνδυασμό με τις άλλες συνθήκες που επικρατούν σε μια περιοχή. (Gustavsson M., Kolstrup E., Seijmonsbergen A. C., 2006). Στην περιοχή μελέτης καθορίστηκαν κατηγορίες γεωλογικών σχηματισμών με ομοιότητες σχετικά με τη συμπεριφορά τους στις γεωμορφολογικές διεργασίες, λόγω παρόμοιας ηλικίας, εσωτερικής δομής και σύστασης. Αυτοί είναι οι κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν την εξέλιξη των γεωμορφών μιας περιοχής. Η ταξινόμηση της λιθολογίας καθορίστηκε ως εξής:

- Ανθρακικοί σχηματισμοί, στους οποίους περιλαμβάνονται οι ασβεστόλιθοι και τα μάρμαρα.
- Σχιστόλιθοι, στους οποίους συγκαταλέγονται οι σχιστόλιθοι και οι φυλλίτες, καθώς επίσης και οι οφιόλιθοι, οι οποίοι εμφανίζονται σε θύλακες στη βάση ασβεστολιθικών και σχιστολιθικών σχηματισμών.
- Δολομίτες, που αφορούν τους Δολομίτες Πιρναρής
- Κερατίτες, που περιλαμβάνουν τους Κερατίτες – Πλακίτες
- Εκρηξιγενή πετρώματα, τα οποία αφορούν τις γρανιτικές και γρανοδιοριτικές διεισδύσεις στην περιοχή της Πλάκας
- Νεογενή Ιζήματα, τα οποία αποτελούν τις αποθέσεις του Νεογενούς
- Πλειστοκαινικές αποθέσεις, στις οποίες περιλαμβάνονται χερσαίες και ποταμοχερσαίες αποθέσεις του Πλειστόκαινου, καθώς επίσης παλαιοί και νέοι κώνοι κορημάτων .
- Ολοκαινικά Ιζήματα, που αφορούν χειμάρειες αποθέσεις σε κοίτες και αναβαθμίδες ρεμάτων, καθώς επίσης άμμους και μικρές θίνες των ακτών.



Εικόνα 7.4: Γεωλογικός χάρτης σύμφωνα με την Γεωλογική Ηλικία

7.1.1 Εκρηξιγενή Πετρώματα

7.1.1.1 Γρανοδιορίτες

Στην περιοχή της Πλάκας εμφανίζεται μια κύρια γρανιτική διείσδυση η οποία διαπερνά τα αλπικά πετρώματα παρουσιάζοντας περιορισμένη ανάπτυξη. (Παυλόπουλος Κ., 1992) Πρόκειται για γρανοδιορίτη, ενώ άλλες απόψεις τείνουν στον προσδιορισμό της διείσδυσης αυτής ως τοναλίτη. (Παπαδέας Γ., 2002). Έχει πορφυρικό ιστό που αποτελείται κυρίως από οστρίους, χαλαζία, βιοτίτη, κερροσίλβη και μαγνητίτη. Παρουσιάζει πυκνό σύστημα διακλάσεων όπου κατά μήκος αυτών παρατηρείται εξαλλοίωση βιοτίτη προς χλωρίτη. Στην ευρεία περιοχή της Λαυρεωτικής συναντώνται φλέβες και κοίτες που χαρακτηρίζονται σαν γρανιτικοί και γρανοδιοριτικοί πορφύρες ρυολιθικής μέχρι δακτικικής σύστασης.

7.1.2 Κερατίτες - Πλακίτες

Οι κερατίτες – πλακίτες εντοπίζονται με μεγάλες εμφανίσεις περιφερειακά του μαγματικού σώματος του Γρανοδιορίτη στην Πλάκα. (Παπαδέας Γ., 2002) Είναι μεταμορφωμένα πετρώματα τα οποία δημιουργήθηκαν λόγω της παρουσίας των μαγματικών. Πρόκειται για υποπράσινα, συμπαγή άστρωτα ή πλακώδη, υψηλού βαθμού ανθεκτικότητας και σκληρότητας ασβεστοκερατιτικά πετρώματα. Προήλθαν από μεταμόρφωση επαφής των σχιστολίθων Καισαριανής με τις όξινες διεισδύσεις της περιοχής. Η εμφάνιση και ανάπτυξη των πετρωμάτων αυτών είναι ανεξάρτητη από τις προαναφερθείσες ενότητες.

7.1.3 Αλπικοί σχηματισμοί

7.1.3.1 Ανθρακικοί σχηματισμοί

Στους ανθρακικούς σχηματισμούς περιλαμβάνονται οι ασβεστόλιθοι και τα μάρμαρα. Εμφανίζονται στα περισσότερα τμήματα της περιοχής μελέτης κυρίως σε βουνά (όπου απαντώνται σε μεγάλη έκταση) και σε λόφους, απουσιάζοντας μόνο από τα χαμηλότερα υψόμετρα. Υδρογεωλογικά ανήκουν στους πλέον περατούς σχηματισμούς και αποτελούν τους σημαντικότερους υδροφόρους ορίζοντες της περιοχής. (Παπαδέας Γ., 2002)

Τα μάρμαρα του Ιουρασικού αποτελούν ένα σύστημα μεγάλου πάχους που παρουσιάζει ευρύτατη εξάπλωση στην περιοχή μελέτης. Η αλληλουχία του συστήματος αυτού υποδιαιρείται σε ένα ανώτερο και ένα κατώτερο μαρμαρικό σύστημα το οποίο διαχωρίζεται από ένα σχιστολιθικό ορίζοντα (σχιστόλιθοι Καισαριανής). (Baziotis I., Mroskos E., Lithos, 2011). Το κατώτερο μάρμαρο εμφανίζεται σε μεγάλα τμήματα του Πανείου καθώς επίσης στη Μερέντα. Η Ιουρασική ηλικία των μαρμάρων του Υμηττού έχει προσδιοριστεί από απολιθώματα που έχουν βρεθεί κατά καιρούς. Μικρότερες εμφανίσεις εντοπίζονται σε λόφους της ευρύτερης περιοχής του Πανείου.

Πρόκειται για λευκά ως τεφρόλευκα, υποκίτρινα ως ερυθρωπά, και τεφροπράσινα ως κυανά, μεσοκρυσταλλικά έως αδροκρυσταλλικά μάρμαρα, με μερικές μικρές ενστρώσεις σχιστολίθων. Στη βάση τους είναι κατά θέσεις λατυποπαγή. Συνήθως είναι μεσοστρωματώδη έως παχυστρωματώδη, σπανιότερα άστρωτα και καρσικά ενώ στην κορυφή τους γίνονται λεπτοπλακώδη έως μεσοπλακώδη. Η μετάβαση προς τους υποκείμενους δολομίτες Πιρναρής είναι άλλοτε ομαλή και άλλοτε ασύμφωνη. Ανώτερο μάρμαρο εντοπίζεται στο βόρειο τμήμα του Υμηττού με μεγάλη εξάπλωση καθώς επίσης και στην περιοχή της Πλάκας. Αποτελείται από τεφρόλευκα ως λευκά, ελαφρά ερυθρίζοντα κρυσταλλικά ως ζαχαρώδη μάρμαρα, μεσοστρωματώδη και παχυστρωματώδη ως άστρωτα και καρσικά με δολομιτικά μάρμαρα κατά θέσεις και ενστρώσεις μαρμαρυγιακών σχιστολίθων μικρού πάχους. Τα μάρμαρα μεταπίπτουν κανονικά προς τα κάτω σε σχιστόλιθους.

Επίσης, φακοειδείς ενστρώσεις μαρμάρων του Ιουρασικού απαντώνται εντός των σχιστόλιθων Καισαριανής.

Ασβεστόλιθοι της Κατώτερης Τεκτονικής Ενότητας εντοπίζονται με μικρότερη εξάπλωση στην περιοχή της Πλάκας. Ανήκουν στο Ανώτερο Κρητιδικό (Κενομάνιο), όπως έχει προσδιοριστεί από απολιθώματα που έχουν βρεθεί σε αυτούς, και τα ανώτερα μέλη τους είναι πολύχρωμοι και ανακρυσταλλωμένοι πλακώδεις ασβεστόλιθοι με πυριτόλιθους. Τα μεσαία μέλη τους είναι λευκοί ως τεφροί, κιτρινόχρωμοι ως καστανόχρωμοι, κρυσταλλικοί ή μικροκρυσταλλικοί, στρωματώδεις ως άστρωτοι, καρσικοί, δολομιτωμένοι ως αγεριτωμένοι ασβεστόλιθοι που κατά θέσεις περιέχουν διαστρώσεις ή κονδύλους πυριτολίθων.

Είναι έντονα διαρρηγμένοι και διασχίζονται από πυκνό και χαώδες δίκτυο φλεβιδίων δευτερογενούς ασβεστίτη εμπροτισμένων με οξειδία σιδήρου. Τα κατώτερα μέλη τους αποτελούν κιτρινόχρωμοι μαργαϊκοί λεπποστρωματώδεις ασβεστόλιθοι και κιτρινόχρωμες λεπτομερείς η μικρολατυποπαγείς σκληρές σχιστοποιημένες ασβεστιτικές μάργες.

Στο Ανώτερο Κρητιδικό ανήκουν επίσης και ασβεστόλιθοι με ρουδιστές (απολιθώματα) που απαντώνται ελάχιστα στην περιοχή του ανατολικού Λεκανοπεδίου επιππευμένοι επάνω στους Αθηναϊκούς σχιστολίθους. Είναι τεφρόλευκοι, κοκκώδεις και άστρωτοι. Στα ανώτερα μέλη τους είναι μεσοστρωματώδεις έως λεπποστρωματώδεις και ανακρυσταλλομένοι.

7.1.3.2 Σχιστόλιθοι

Οι σχιστόλιθοι παρουσιάζουν ευρεία εξάπλωση στην περιοχή μελέτης, απαντώμενοι σε μεγάλες εκτάσεις εναλλασσόμενοι συνήθως με τους ανθρακικούς σχηματισμούς. Οι μαρμαρυγικοί σχιστόλιθοι αποτελούν το σύστημα των κατώτερων σχιστολίθων το οποίο ανήκει στην Αυτόχθονη Ενότητα. Το σύστημα των ανώτερων σχιστολίθων ανήκει στο Κρητιδικό και παρουσιάζεται επωθημένο από το στρώμα των μαρμάρων της Αυτόχθονης Ενότητας, αποτελούμενο κυρίως από φυλλίτες. (Παυλόπουλος Κ., 1992). Οι σχιστόλιθοι του Κατώτερου Τριαδικού είναι μαρμαρυγικοί, χλωριτικοί και ασβεστιτικοί. Εναλλάσσονται με ασβεστόλιθους της ίδιας ηλικίας και εντοπίζονται στις ίδιες περιοχές μ' αυτούς τους σχηματισμούς.

Επίσης, εντοπίζονται με μεγάλες εμφανίσεις στο νοτιοανατολικό τμήμα της περιοχής μελέτης, κοντά στις ακτές. Πρόκειται για μαρμαρυγικούς ασβεστιτικούς γραφιτικούς και χλωριτικούς σχιστολίθους οι οποίοι περιέχουν σώματα σχιστοποιημένων και εξαλοιωμένων οφιολίθων καθώς και φακοειδείς ενστρώσεις μαρμάρων. Οι σχιστόλιθοι αυτοί μεταβαίνουν κανονικά στο κατώτερο μάρμαρο.

Στο Κατώτερο Κρητιδικό ανήκουν οι σχιστόλιθοι της Κατώτερης Τεκτονικής Ενότητας, παρόμοιοι με τους σχιστόλιθους Καισαριανής, οι οποίοι εντοπίζονται στο ανατολικό λεκανοπέδιο. Είναι τεφροί ως τεφρόμαυροι, φαιοί, μαρμαρυγικοί και ασβεστιτικοί. Στα κατώτερα μέλη τους απαντούν ασβεστιτικοί λεπποστρωματώδεις ψαμίτες και χαλαζίτες.

Το επωθημένο κάλυμμα σχιστόλιθων και φυλλιτών (Αντωνίου Β., 2010) του Ανώτερου Κρητιδικού εντοπίζεται σε μεγάλες εκτάσεις στην περιοχή της Κερατέας, Κατατάσσεται στην Ανώτερη Τεκτονική Ενότητα και πρόκειται για τεφρούς ως τεφρόμαυρους πρασινωπούς χλωριτικούς σχιστόλιθους και φυλλίτες με διαστρώσεις χαλαζιακών σχιστολίθων και χαλαζιτών. (Baziotis I., Mroskos E., Lithos, 2011) (μεταμορφωμένα βασικά εκρηξιγενή πετρώματα). Αποτελούν την προς τα κάτω κανονική εξέλιξη των σχιστολίθων της Ενότητας αυτής. Σποραδικά απαντούν μικρά σώματα μεταμορφωμένων βασικών πετρωμάτων. Κατά θέσεις διαπιστώθηκε στους φυλλίτες η παρουσία γλαυκοφανούς.

7.1.3.3 Δολομίτες

Οι «Δολομίτες Πιρναρής» της Αυτόχθονης Ενότητας ανήκουν στον Νόριο-Λιάσιο και απαντώνται σε μεγάλες εκτάσεις στην περιοχή του Πανείου με τις εμφανίσεις των κατώτερων μαρμάρων του Ιουρασικού και των ασβεστολίθων και σχιστολίθων του Κατώτερου Τριαδικού. Εμφανίζονται επίσης στην περιοχή Ολύμπου-Σαρωνίδας και στο όρος Μερέντα. Οι δολομίτες είναι υπόλευκοι έως τεφρολευκοί, κιτρινωποί έως ερυθρωποί, τεφρόμαυροι, μεσόκοκκοι ως αδρόκοκοι, ανακρυσταλωμένοι, μεσοστρωματώδεις και παχυστρωματώδεις έως άστρωτοι. Στη βάση τους γίνονται λεπτοστρωματώδεις και κλαστικοί εναλλασσόμενοι με μαρμαρυγιακούς σχιστολίθους.

7.1.3.4 Οφιόλιθοι

Οι οφιόλιθοι του Κατώτερου Κρητιδικού είναι ακανόνιστα και συνήθως έντονα τεκτονισμένα σώματα βασικών και υπερβασικών πετρωμάτων, κυρίως σερπεντινιτών, στη βάση των ασβεστολίθων και μέσα σε τεκτονισμένους σχιστόλιθους. Απαντώνται με μεγάλες εμφανίσεις στην περιοχή βορειοανατολικά της Πλάκας όπου ανήκουν στο επωθημένο φυλλιτικό και με μικρότερες εμφανίσεις σε λόφους των Μεσογείων και του ανατολικού λεκανοπεδίου ενθυλακωμένοι σε στρώματα σχιστόλιθων και ασβεστόλιθων Κρητιδικής ηλικίας.

7.1.4 Μεταλπικοί σχηματισμοί

7.1.4.1 Νεογενή Ιζήματα

Κατά τη διάρκεια των εκτεταμένων πλευρικών πιέσεων και του κατακερματισμού των πετρωμάτων, αρχίζουν οι διεργασίες διάβρωσης, μεταφοράς και απόθεσης κλαστικών ιζημάτων στις λεκάνες. (Παπαδέας Γ., 2002). Τα ποταμολιμναία ιζήματα του Ανώτερου Μειοκαίνου αποτελούνται από μάργες, πηλούς, ψαμμίτες και κροκαλοπαγή και εντοπίζονται σε χαμηλά και μέσα υψόμετρα και στους γειτονικούς λόφους. Πρόκειται για εναλλασσόμενες αποθέσεις από τα παραπάνω υλικά, λιμναίας φάσης, κατά κανόνα στρωμένες και μέτριας συνεκτικότητας με παρεμβολές από ερυθροχώματα και τραβερτινοειδείς ασβεστόλιθους. Στις παρυφές των λιμναίων αυτών αποθέσεων απαντούν σημαντικό πάχος πολύμεικτα και ετερομετρικά κροκαλοπαγή.

7.1.4.2 Τεταρτογενή Ιζήματα

Καστανόχρωμες χερσαίες και ποταμοχερσαίες αποθέσεις του Πλειστόκαινου απαντούν σε όλα σχεδόν τα πεδινά τμήματα της περιοχής μελέτης. Αποτελούνται από συνεκτικούς αργιλοπηλούς ποικίλης λιθολογικής σύστασης και καλύπτουν τοπικά παλαιότερους σχηματισμούς. Περιέχουν διάσπαρτες κροκάλες και λατύπες προερχόμενες κυρίως από την αποσάθρωση των νεογενών σχηματισμών ενώ υπάρχουν και συνεκτικά κροκαλολατυποπαγή από αλπικά πετρώματα.

Παλαιοί και νέοι κώννοι κορημάτων του τεταρτογενούς εντοπίζονται σε εκτεταμένες περιοχές κυρίως στους πρόποδες των βουνών και των λόφων της περιοχής μελέτης. Αποτελούνται από αδρομερή, ανομοιογενή και γωνιώδη υλικά μεγαλύτερης συνεκτικότητας για τα παλαιά και μικρότερης για τα νεότερα κορήματα.

Οι αποθέσεις στις κοίτες των χειμάρων είναι Ολοκαινικά ιζήματα και αποτελούνται από πρόσφατα ασύνδετα αργιλοαμμώδη υλικά και κροκάλες και λατύπες ποικίλης σύστασης, σχήματος και μεγέθους. Συμπεριλαμβάνονται σ' αυτές υλικά χειμαρωδών αναβαθμίδων μικρού ύψους.

7.2 Τεκτονική

Η περιοχή μελέτης έχει υποστεί έντονο τεκτονισμό, κάτι το οποίο είναι εμφανές από την έντονη ρηγμάτωσή της. Τα διάφορα τμήματα της περιοχής παρουσιάζουν διαφοροποιήσεις στην τεκτονική τους. Τα ρήγματα καθορίζουν τη διαμόρφωση των πτυχώσεων του αναγλύφου και διευθετούν τους ορεινούς όγκους οριοθετώντας και τις πεδινές λεκάνες, με κύρια τη λεκάνη των Μεσογείων. (Krohe A. et all, 2010)

Τεκτονικά η Λαυρεωτική χωρίζεται σε δύο περιοχές, το ανατολικό και το δυτικό τμήμα. Ο διαχωρισμός γίνεται από μια ζώνη τεκτονικής ανωμαλίας, η οποία διέρχεται, από Νότο προς Βορρά από τις περιοχές Λεγραινά, Δυτική Καμάριζα, Δογάνι. Πρόκειται για μια πτυχή του αυτόχθονος συστήματος, της οποίας ο άξονας είναι αρχικά σχεδόν N - B και κατόπιν, καθώς προχωράμε βόρεια στρέφεται προς BBA - NNΔ. Η ανατολική πτέρυγα της μεγάλης αυτής πτυχής είναι σχεδόν όλο το τμήμα της ανατολικής Λαυρεωτικής, όπου τα μάρμαρα και οι μαρμαρυγιακοί σχιστόλιθοι του αυτόχθονος συστήματος κλείνουν ομαλά (5° - 18°) προς την Ανατολή. Η δυτική πτέρυγα βυθίζεται απότομα με κλίση 30° ή και περισσότερο προς τη Δύση.

Το φυλλιτικό σύστημα εμφανίζει ισχυρές πτυχώσεις και κλίσεις (30° - 60° ή και περισσότερο) με διεύθυνση Α-Δ. Η βύθιση της δυτικής πτέρυγας, θεωρήθηκε από τον Lepsius (1893) σαν συνέπεια μετάπτωσης, όμως σύμφωνα με τους Μαρίνο - Petrascheck (1956) δεν πρόκειται για μετάπτωση κατά μήκος ρήγματος ούτε για απλή πτυχή - ρήγμα. Κατά την άποψή τους, αρχικά υψώθηκε το δυτικό τμήμα και αποκαλύφθηκε το κατώτερο μάρμαρο, ενώ στο ανατολικό τμήμα, οι μαρμαρυγιακοί σχιστόλιθοι και το κατώτερο μάρμαρο παρέμειναν. Ακολούθησε η επώθηση του φυλλιτικού καλύματος πάνω και στα δύο τμήματα. Τέλος είχαμε βύθιση του δυτικού τμήματος της Λαυρεωτικής και κυματοειδή έντονη κάμψη του σε θολοειδείς πτυχές διεύθυνσης Α - Δ, η οποία έχει επηρεάσει περισσότερο το φυλλιτικό κάλυμμα και λιγότερο το δυτικό τμήμα του αυτόχθονος συστήματος.

Ψηφιοποιήθηκε η τεκτονική της περιοχής μελέτης. Συγκεκριμένα, δημιουργήθηκαν ξεχωριστά διανυσματικά αρχεία γραμμικού τύπου για τα ρήγματα.

Στην περιοχή του Πανείου οι κύριες διευθύνσεις των ρηγμάτων είναι ΒΔ-ΝΑ και οι δευτερεύουσες ΒΑ-ΝΔ με την ύπαρξη και κάποιων Α-Δ στο βόρειο Πάνειο.

Στην νοτιοανατολική ακτή (περιοχή Πλάκας) μεταβάλλονται μάλλον απότομα αποκτώντας κύριες διευθύνσεις ΒΑ-ΝΔ.

Στη σημερινή διαμόρφωση του αναγλύφου της περιοχής μελέτης συνέβαλαν οι εφελκυστικές τάσεις που άρχισαν να εμφανίζονται στην περιοχή της Ανατολικής Αττικής κατά το Μειόκαινο και οφείλονται κατά κύριο λόγο στον εφελκυσμό του κεντρικού Αιγαίου (Αντωνίου Β, 2010).

Αποτέλεσμα αυτής της κατάστασης ήταν η δημιουργία και ενεργοποίηση ρηγμάτων τα οποία επηρεάζουν έκτοτε την γεωμορφολογική εξέλιξη της περιοχής. (Krohe A., Mposkos E., Diamantopoulos A., Kaouras G., 2010).

Κατά το Μειόκαινο η λεκάνη των Μεσογείων ήταν ενιαία με αυτή των Αθηνών, και ο διαχωρισμός τους πιθανολογείται κατά το Ανώτερο Μειόκαινο ή το Ανώτερο Πλειόκαινο –Πλειστόκαινο (Μπόσκος Ε., 2008) εξαιτίας της δράσης των ρηγμάτων αποκόλλησης (Krohe A., Mposkos E., Diamantopoulos A., Kaouras G., 2010).

Οι εφελκυστικές τάσεις που κυριαρχούν συνέβαλλαν στη σχετική υποβύθιση των λεκανών της περιοχής μελέτης, καθώς οι προϋπάρχουσες πτυχώσεις του αναγλύφου παρέμειναν υψωμένες ανάμεσά τους, με αποτέλεσμα οι ανθρακικοί ορεινοί όγκοι να παρουσιάζουν σχετική ανύψωση (Αντωνίου Β, 2010).

8. ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ

8.1 Υδρολιθική ταξινόμηση

Οι υδατικοί πόροι μιας περιοχής καθορίζονται από την γεωλογική δομή της σε συνδυασμό με τις υδρομετεωρολογικές συνθήκες που επικρατούν σ' αυτήν. Στην περιοχή μελέτης η γεωλογική δομή περιέχει ποικιλία λιθολογικών σχηματισμών που ο καθένας τους παρουσιάζει μεμονωμένη υδρογεωλογική συμπεριφορά. Οι υδρογεωλογικές συνθήκες επηρεάζονται περαιτέρω της λιθολογίας και της μετεωρολογίας και από την τεκτονική.

Οι ορεινοί όγκοι του Πάνειου και της Μερέντας που διαμορφώνουν το γεωμορφολογικό ανάγλυφο της περιοχής μελέτης δέχονται ετησίως ικανοποιητικό ύψος κατακρημνισμάτων. Από την άλλη, οι υδροπερατοί σχηματισμοί που επικρατούν στην περιοχή (καρστικοποιημένα ανθρακικά πετρώματα) διαμορφώνουν την υδρογεωλογική κατάσταση που επικρατεί στην περιοχή.

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

Ο τρόπος που κινούνται τα κατεισδύοντα ύδατα καθώς η διαμόρφωση των υπογείων υδροφόρων οριζόντων εξαρτώνται από την λιθολογική περατότητα, από την σχετική θέση των περατών, ημιπερατών και στεγανών σχηματισμών μεταξύ τους αλλά και από την τεκτονική της περιοχής. Στην περιοχή ενδιαφέροντος οι λιθολογικοί τύποι, που επηρεάζουν την κατείσδυση των υδάτων είναι οι ασβεστόλιθοι, τα μάρμαρα και οι αδρομερείς σχηματισμοί του Νεογενούς και του Τεταρτογενούς. Οι ασβεστολιθικοί σχηματισμοί επειδή έχουν μεγάλη υδροπεροτότητα επιτρέπουν την κατείσδυση σημαντικού ποσοστού από τα ετήσια κατακρημνίσματα που δέχεται η περιοχή.

Οι σχηματισμοί της περιοχής υδρογεωλογικά διακρίνονται σε (Εικόνα 8.1):

- ❖ Υδροπερατούς στους οποίους περιλαμβάνονται οι ασβεστόλιθοι, τα ανώτερα και κατώτερα μάρμαρα, οι δολομίτες Πιρναρής, οι παλαιοί και νέοι κώνοι κορημάτων, τα πλευρικά κορήματα καθώς και οι αποθέσεις στις κοίτες των χειμάρων και οι χερσαίες και ποταμοχερσαίες αποθέσεις του τεταρτογενούς.
- ❖ Ημιπερατούς στους περιλαμβάνονται οι σχιστόλιθοι, οι φυλλίτες και οι σχιστόλιθοι Καισαριανής και

- ❖ Υδροστεγανούς στους οποίους περιλαμβάνονται οι σχιστόλιθοι του υπόβαθρου και οι μάργες του Νεογενούς.

8.2 Υδροπερατοί σχηματισμοί

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

Οι τεταρτογενείς αποθέσεις καταλαμβάνουν αρκετή έκταση. Οι ποταμοχερσαίες αποθέσεις των πεδινών τμημάτων που συνήθως εμφανίζουν στρώματα αμμών και κροκαλών αναπτύσσεται ελευθερη υδροφορία. Το μέγεθος των αποθεμάτων των υδροφόρων αυτών αποθέσεων, εξαρτάται από τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα και από τους νεογενείς σχηματισμούς. Τα πηγάδια που εκμεταλεύονται την υδροφορία των σχηματισμών αυτών έχουν βάθος 7-15 μέτρα.

Οι ανθρακικοί σχηματισμοί παρουσιάζουν επίσης αξιόλογη υδροφορία κυρίως στις ζώνες καρστικοποίησης και μεγάλων διαρρήξεων. Η υδροπερατότητα τους οφείλεται στο δευτερογενές πορώδες που έχει δημιουργηθεί από την τεκτονική δράση της περιοχής, αποτέλεσμα της οποίας είναι οι ρωγμές και οι διακλάσεις όλων των διευθύνσεων. Μέσω της καρστικής διεργασίας επίσης, έχουν δημιουργηθεί στα ανθρακικά πετρώματα μεσοστρωματικά διάκενα που συνεχώς διευρύνονται αναπτύσσοντας καρστικά έγκοιλα και αγωγούς στους οποίους κατεισδύουν μεγάλες ποσότητες νερού με αποτέλεσμα την καρστική υδροφορία της περιοχής.

8.3 Ημιπερατοί σχηματισμοί

Οι σχιστολιθικές αποθέσεις και οι φυλλίτες συμπεριφέρονται σαν ημιπερατοί σχηματισμοί με ασθενή υδροφορία. Τα ίδιο συμβαίνει με τους σχιστόλιθους Καισαριανής του Ιουρασικού.

8.4 Υδροστεγανοί σχηματισμοί

Στους σχηματισμούς πολύ χαμηλής υδροπερατότητας ανήκουν οι μάργες και οι άργιλοι του ανώτερου Μειόκαινου καθώς και οι οφιόλιθοι.

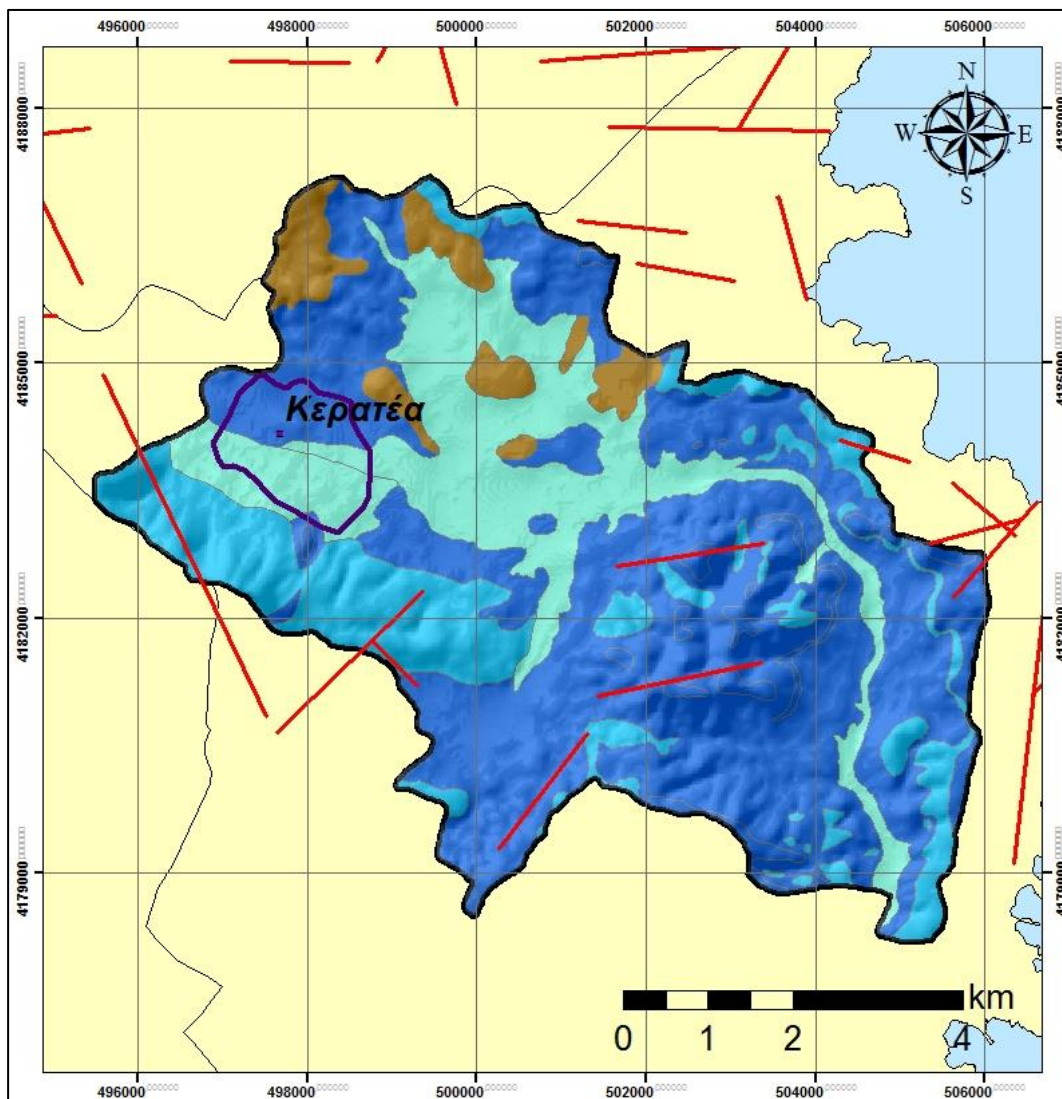
8.5 Υδρολιθικοί σχηματισμοί στην περιοχή μελέτης

Στην εικόνα 8.1 όπου παρουσιάζονται οι διάφορες υδρολιθολογικές ενότητες που αναπτύσσονται στην λεκάνη της Κερατέας διαπιστώνεται ότι:

- ❖ Οι σχηματισμοί υψηλής υδροπερατότητας καταλαμβάνουν σχεδόν το 25% της επιφάνειας παρουσιάζοντας τιμές υδραυλικής αγωγιμότητας μεταξύ $K=10^{-1}$ m/s έως $K=10^{-3}$ m/s.
Οι υδροπερατοί σχηματισμοί μέτριας έως χαμηλής υδροπερατότητας καταλαμβάνουν σχεδόν το 20%
- ❖ Οι ημιπερατοί σχηματισμοί πολύ χαμηλής υδροπερατότητας καταλαμβάνουν περίπου το 50% της επιφάνειας παρουσιάζοντας τιμές υδραυλικής αγωγιμότητας μεταξύ $K=10^{-3}$ m/s έως $K=10^{-6}$ m/s.
- ❖ Οι υδροστεγανοί σχηματισμοί πολύ χαμηλής υδροπερατότητας καταλαμβάνουν σχεδόν το 5% με τιμές υδραυλικής αγωγιμότητας $K<10^{-7}$ m/s.

Στην αυτόχθονη ενότητα, όπου εντάσσεται η περιοχή της Κερατέας, ανιχνεύονται τόσο υδροπερατά όσο και υδατοστεγή πετρώματα. Κατά μήκος της κοίτης του Ποταμού το νερό συναντά αρχικά σχιστολιθικά πετρώματα, τα οποία δεν επιτρέπουν την κατακόρυφη ροή του νερού. Οι σχηματισμοί αυτοί θεωρούνται ως υδατοστεγείς σχηματισμοί, με περατότητα μικρότερη του 5%.

Ακολούθως διακρίνεται μια αρκετά μεγάλη έκταση που καλύπτεται από μάρμαρα. Τα πετρώματα αυτά είναι έντονα καρστικοποιημένα και ευνοούν την κίνηση του νερού στο εσωτερικό τους. Το ποσοστό κατείδυσης γενικά στα πετρώματα αυτά μπορεί να φθάσει και το 50% των κατακρημνισμάτων.



ΥΠΟΜΝΗΜΑ

Υδρολιθικοί Σχηματισμοί

- ΥΔΡΟΣΤΕΓΑΝΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ – ΠΟΛΥ ΧΑΜΗΛΗΣ ΥΔΡΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ
- ΗΜΙΠΕΡΑΤΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ – ΠΟΛΥ ΧΑΜΗΛΗΣ ΥΔΡΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ
- ΗΜΙΠΕΡΑΤΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ – ΧΑΜΗΛΗΣ ΥΔΡΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ
- ΥΔΡΟΠΕΡΑΤΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ – ΜΕΤΡΙΑΣ ΕΩΣ ΧΑΜΗΛΗΣ ΥΔΡΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ
- ΥΨΗΛΗΣ ΥΔΡΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ ($K=10^{-1}$ ως 10^{-3} m/sec)

Ποτάμια

Ρέματα

Ρήγματα

Οικισμός Κερατέας



Υδροκρίτης Λεκάνης Κερατέας



Εικόνα 8.1: Χάρτης υδροπερατότητας κατασκευασμένος με βάση τις φυσικές ιδιότητες των σχηματισμών και επομένως, την δυνατότητα κατείσδυσης του νερού.

Στην περιοχή εμφανίζονται επίσης διερρηγμένες σχιστολιθικές μάζες (χαλαζιακοί σχιστόλιθοι, γνευσιοσχιστόλιθοι και πρασινίτες), ανθρακικές ενστρώσεις ή και φακοί εντός των σχιστόλιθων και κλαστικοί, χαλαροί έως και συνεκτικοί, νεογενείς και τεταρτογενείς σχηματισμοί. Οι νεογενείς και τεταρτογενείς σχηματισμοί, ανάλογα με τη σύσταση, την κοκκομετρία και την ομοιογένειά τους (στρωματογραφική και πλευρική), παρουσιάζουν μεγάλη διακύμανση της περατότητας (από περατοί έως και αδιαπέρατοι). Εξαιτίας αυτού συχνά δημιουργούν υδροφόρους ορίζοντες περιορισμένης υδροφορίας. Το ποσοστό κατείσδυσης που παρατηρείται στους σχηματισμούς αυτούς δεν ξεπερνά το 25% των κατακρημνισμάτων κάτω από κανονικές συνθήκες (Μιγκίρος κ.α., 2010). Ακολουθεί το πεδινό κομμάτι της περιοχής μελέτης, όπου διακρίνονται οι αλλουβιακές αποθέσεις, οι οποίες έχουν πάχος μόλις λίγων μέτρων. Σε μεγαλύτερα βάθη εντοπίζονται και πάλι μάρμαρα.

9. ΥΔΡΟΧΗΜΕΙΑ

9.1 Υπόγεια νερά σε σχέση με το γεωλογικό περιβάλλον

Η χημική σύσταση του υπόγειου νερού επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες που επιδρούν σ' αυτήν χρονικά και χωρικά. Οι παράγοντες αυτοί είναι:

α) Η χημική σύσταση των πετρωμάτων των οποίων το υπόγειο νερό διέρχεται και τις φυσικοχημικές διεργασίες που πραγματοποιούνται κατά την διέλευση του από αυτά, όπως η διάβρωση των πετρωμάτων, η υδρόλυση, τα οξειδοαναγωγικά φαινόμενα και η εναπόθεση αλάτων.

β) η χρονική διάρκεια επαφής του νερού με το πέτρωμα

γ) ανθρωπογενείς παράγοντες και

δ) η σεισμικότητα, η ηφαιστειότητα και άλλες γεωλογικές διεργασίες που μπορούν να μεταβάλουν τις υδρογεωλογικές συνθήκες μιας περιοχής.

Τα υπόγεια νερά κατατάσσονται σε υδροχημικές κατηγορίες ύστερα από την αντίστοιχη υδροχημική έρευνα που μας υποδεικνύει επίσης και την προέλευση τους. Κατόπιν εκτιμούμε το μέγεθος της γεωγενούς ή της ανθρωπογενούς επιβάρυνσης. Υπόγεια νερά που δεν έχουν επιβάρυνθεί από επιφανειακούς παράγοντες έχουν σχεδόν σταθερά υδροχημικά χαρακτηριστικά. Αντίθετα ένας επηρεασμένος υδροφόρος ορίζοντας εμφανίζει έντονες διακυμάνσεις στην ποιοτική σύσταση των χημικών στοιχείων που αξιολογούνται σαν δείκτες ρύπανσης όπως είναι: Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , PO_4^{3-} κ.α.

Ο χημισμός των υπογείων υδάτων επηρεάζεται από τις κάτωθι διαδικασίες:

1. Εξάτμιση και εξατμισοδιαπνοή

Η συγκέντρωση των ιόντων που παραμένουν σαν ίζημα στην επιφάνεια του εδάφους αυξάνεται με την ποσότητα του επιφανειακού νερού που απομακρύνεται με την μορφή υδρατμών.

2. Αποσύνθεση της οργανικής ύλης

Πρόκειται για μια αντίδραση οξείδωσης που πραγματοποιείται στους υδροφόρους ορίζοντες αλλά και στην επιφάνεια του εδάφους. Λαμβάνει χώρα, αναγωγή των οξειδίων του Fe, των θειϊκών και των νιτρικών και σχηματισμός μεθανίου.

3. Αποσάθρωση και διάλυση πετρωμάτων

Εμπλουτισμός του υπογείου νερού με Ca από ανθρακικά πετρώματα, με SO₄ από εβαπορίτες και Mg από πυριτικά πετρώματα στα οποία κυριαρχεί ο δυσδιάλυτος χαλαζίας.

4. Απόθεση ορυκτών

Αποσάθρωση πυριτικών ορυκτών και δημιουργία δευτερογενών αργιλικών ορυκτών (αργιλοπυριτικά με ή χωρίς κατιόντα) που αρχικά χάνουν τα κατιόντα, στη συνέχεια το Si και στο τέλος μένουν τα αδιάλυτα υδροξειδία του Al. Στην περίπτωση που στο υπάρχει δισθενής Fe, δημιουργούνται και οξειδία του Fe.

5. Ιοντική ανταλλαγή

Αντιδράσεις που πραγματοποιούνται σε επιφάνειες που αποτελούνται από εσωτερικές φορτισμένες ομάδες. Σαν παράδειγμα είναι τα αργιλικά ορυκτά που όταν έρχονται σε επαφή με το νερό δημιουργούν ομάδες θετικά και αρνητικά φορτισμένες με αποτέλεσμα να λειτουργούν σαν κέντρα προσροφήσεως. Τα δισθενή ιόντα π.χ. του ασβεστίου προσροφούνται ισχυρότερα από τα μονοσθενή ιόντα όπως του Νατρίου. Όταν έχουμε ιόντα με ίδιο φορτίο προσροφάται το ιόν με την μικρότερη ακτίνα. Έτσι το Ca προτιμάται από το Mg.

6. Ανάμιξη διαφορετικών νερών

Μίξη καθαρού νερού με χημικά ρυπασμένο νερό.

7. Ανθρωπογενείς δραστηριότητες.

Οι διαρροές από σκουπιδότοπους και Χ.Υ.Τ.Α, οι χρήσεις εδαφοβελτιωτικών, λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων καθώς και οι χρήσεις απορρυπαντικών προκαλούν αλλαγή στον χημισμό του υπόγειου νερού.

Οι χημικές ιδιότητες των υπογείων νερών παρέχουν πληροφορίες για την φύση του υδροφόρου ορίζοντα, για την δημιουργία του, για την ταχύτητα και την διεύθυνση ροής του νερού καθώς και για την συσταση των πετρωμάτων από τα οποία αυτά διέρχονται.

Σε κάθε υδροφόρο συμβαίνουν διάφορες διαδικασίες που μεταβάλουν την χημική σύσταση των υδάτων. Ποια από τις διαδικασίες θα κυριαρχήσει εξαρτάται από το υδρογεωλογικό περιβάλλον που επικρατεί δηλαδή από την σύνθεση του πετρώματος στο οποίο το νερό βρίσκεται ή διέρχεται, τον χρόνο παράμονής ή διέλευσης του, τη θερμοκρασία και τη διαλυτότητα των ορυκτών του πετρώματος.

Τυπικές χημικές συστάσεις υπογείων νερών προελεύσεων διαφορετικών γεωλογικών σχηματισμών αναφέρονται στον παρακάτω πίνακα 9.1.

Πίνακας 9.1: Τυπική χημική σύσταση υπογείων νερών από διάφορους σχηματισμούς σε mg/l (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

9.2 Μορφοποίηση των στοιχείων στα υπόγεια νερά.

Στα υπόγεια νερά εμφανίζονται:

- **Ανιόντα:** Χωρίζονται σε κύρια που είναι τα HCO₃, SO₄, NO₃, Cl και σε δευτερεύοντα BO₄⁻³, B⁻³, HSO₄, HSO₃, CO₃, F, OH, PO₄, S, με μη ιοντική μορφή (αφόρτιστα άτομα) όπως το SiO₂, Rn, He, O₂ στοιχεία που βρίσκονται σε υδατικά διαλύματα. Υπάρχουν επίσης και ανόργανα ιόντα όπως As, Ba, Cd, Cr, Pb, Hg, Se, Ag, Zn που προέρχονται από ανθρωπογενείς παράγοντες.
- **Κατιόντα:** Χωρίζονται σε κύρια που είναι τα Ca, Mg, Na, K και σε δευτερεύοντα που είναι τα Al, NH₄, As, Ba, Cu, Fe⁺², Fe⁺³ και Mn. Σαν κατιόντα εμφανίζονται επίσης, σε φυσικά νερά, πολλά μέταλλα που είναι

διαλυτα στο νερό όπως είναι τα Cu^{+2} , Zn^{+2} , Co^{+2} καθώς επίσης και κατιοντικά σύμπλοκα με OH^- , όπως το CaOH^+ . Επίσης κάποια στοιχεία όπως το UO_2^{+2} είναι ευκίνητα σαν οξύ-ανιόντα (Κελεπερτζής, 1993).

- Οργανικά σύμπλοκα: Οργανικά μόρια που έχουν προσροφήσει μέταλλα τα μεταφέρουν στα φυσικά νερά.
- Κολλοειδή σωματίδια σε αιώρηση: προέρχονται από αδιάλυτα στοιχεία και βρίσκονται σε σταθερές κολλοειδείς ενώσεις. Σε οξειδωτικά σχεδόν ουδέτερα διαλύματα τέτοιες ενώσεις είναι τα οξείδια του Fe, Al και Mn. Το μέγεθος των σωματιδίων αυτών κυμαίνεται από μεγάλα μόρια εως μεγέθη αργίλων (2μm). Ικανότητα ενσωμάτωσης ιχνοσυστατικών έχουν οι ζωντανοί οργανισμοί, τα βακτήρια και τα φύκη. Σταθερό κολλοειδές εναιώρημα μπορεί να προκύψει από κάλυψη του κολλοειδούς του Au με οργανικό στρώμα μεταβάλλοντας τις ιδιότητες του.

9.3 Ευκινήσια και συνύπαρξη στοιχείων

Η ευκινήσια των χημικών στοιχείων διακρίνεται σε υπογενή ευκινήσια που είναι η ευκινήσια των χημικών στοιχείων στο πρωτογενές γεωχημικό περιβάλλον (κυριαρχείται από την μεταφορά σε υδάτινα διαλύματα) και σε επιφανειακή ευκινήσια που λαμβάνει μέρος στο δευτερογενές γεωχημικό περιβάλλον.

Ευκίνητα στοιχεία είναι αυτά που έχουν την ιδιότητα να μην δεσμεύονται εύκολα στις πρώτες φάσεις της κρυστάλλωσης και παρουσιάζουν αυξημένη συγκέντρωση στο τελικό στάδιο της κρυστάλλωσης.

Για να μπορέσει να μελετηθεί η σχετική ευκινήσια διαφόρων στοιχείων κατά την αποσάθρωση των πετρωμάτων συγκρίνεται η σύσταση του αρχικού πετρώματος με τα παράγωγα υλικά της αποσάθρωσης και η σχετική συγκέντρωση των στοιχείων αυτών στα νερά που προκαλούν την διάβρωση του πετρώματος.

9.4 Ρύπανση επιφανειακών και υπόγειων υδροσυστημάτων

Η ρύπανση των υπόγειων νερών προκαλείται από ανόργανες και οργανικές χημικές ουσίες και από μικροοργανισμούς. Οι πιο συχνά παρατηρούμενες ανόργανες ουσίες που μπορεί να αποτελέσουν ρύπους είναι τα νιτρικά, τα χλωριούχα και τα θειικά ιόντα, τα οξέα και τα βαρέα μέταλλα.

Το νερό είναι φυσικό αγαθό και αποτελεί τον κυριότερο παράγοντα για την ύπαρξη της ζωής. Αποτελεί βασικό παράγοντα για κοινωνική, πολιτιστική και οικονομική ανάπτυξη. Ο άνθρωπος καταναλώνει ένα μικρό ποσοστό για την κάλυψη των προσωπικών του αναγκών. Μεγάλο ποσοστό καταναλώνεται από την βιομηχανία και αυτό διαμορφώνεται ανάλογα με την βιομηχανική ανάπτυξη της κάθε χώρας. Έτσι στην Γερμανία η βιομηχανική κατανάλωση του νερού είναι στο 72%, στη Μ. Βρετανία στο 65% και στην Γαλλία και τις Η.Π.Α στο 50%. Η μεγαλύτερη χρήση νερού, από τον άνθρωπο, πραγματοποιείται για τις γεωργικές του δραστηριότητες σε ποσοστό περίπου 80%. Το νερό που χρησιμοποιείται επιστρέφει συνήθως στο περιβάλλον ρυπασμένο σε ποσοστό 80-95%. Οι αποδέκτες των ρυπασμένων υδάτων από τις ανθρώπινες παρεμβάσεις είναι τα επιφανειακά, (ποτάμια, λίμνες, θάλασσες) και τα υπόγεια υδροσυστήματα. Η παρέμβαση, όπως ήδη αναφέρθηκε, προέρχεται από ανθρωπογενή υγρά και στερεά οικιακά λύματα, από την γεωργική δραστηριότητα (φυτοφάρμακα, λιπάσματα κ.τ.λ) και από τα υγρά και στερεά βιομηχανικά απόβλητα.

9.4.1 Πηγές και αίτια ρύπανσης των υδάτων

Η κατάταξη των πηγών ρύπανσης των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων είναι: α) Φυσική ρύπανση β) από οικιακά απόβλητα γ) γεωργικές και δ) βιομηχανικές.

α) Φυσική ρύπανση: Το φυσικό περιβάλλον μέσα από το οποίο κινείται το υπόγειο νερό επηρεάζει την ποιότητά του. Τα υπόγεια νερά, ενώ έχουν περισσότερα ανόργανα στοιχεία από ότι τα επιφανειακά, έχουν ομοιόμορφη ποιότητα από εποχή σε εποχή και συχνά είναι σταθερής θερμοκρασίας. Το είδος και οι συγκεντρώσεις των διαλυμένων συστατικών στο υπόγειο νερό εξαρτάται από το ιστορικό της επαφής του με την ατμόσφαιρα, την επιφάνεια του εδάφους, την κίνησή του στο εδαφικό προφίλ και τους υπόγειους υδροφορείς. Στον Πίνακα 9.2 (Mc Cutcheon, 1991) παρουσιάζονται οι τυπικές τιμές, το εύρος των τιμών που έχουν καταγραφεί και οι μονάδες μέτρησης των περισσότερων ποιοτικών παραμέτρων στα υπόγεια και επιφανειακά νερά.

Η φυσική ποιότητα του νερού διαφέρει σε μεγάλο βαθμό από περιοχή σε περιοχή και έχει σχέση με τη γεωλογία και τις κλιματικές συνθήκες. Η συγκέντρωση των διαλυμένων αλάτων επηρεάζεται από την ορυκτολογική και φυσική σύνθεση των

εδαφικών στρωμάτων και από το χρόνο που αυτά βρίσκονται σε επαφή με το νερό. Η βραδεία μετακίνηση του νερού έχει σαν αποτέλεσμα τη μεγάλη διαλυτοποίηση των πετρωμάτων με αποτέλεσμα τη δημιουργία νερού χαμηλής ποιότητας. Επίσης η έντονη εξάτμιση προκαλεί την ανύψωση του νερού, με τα τριχοειδή φαινόμενα, με συνέπεια την εναπόθεση αλάτων κοντά στην επιφάνεια του εδάφους. Από την οξείδωση των πετρωμάτων συχνά απελευθερώνεται ασβέστιο και μαγνήσιο που συντελούν στην αύξηση της σκληρότητας.

Σε περιοχές όπου εμφανίζονται ευδιάλυτοι γεωλογικοί σχηματισμοί όπως γύψοι, άλατα ή μεταλλοφόρα πετρώματα κυρίως μικτών θειούχων ορυκτών υπάρχει επιβάρυνση των υδάτων με άλατα ή βαρέα μέταλλα γεγονός που σε πολλές περιπτώσεις τα καθιστά ακατάλληλα για οποιαδήποτε χρήση. (Σταμάτης Γ., 1999)

Πίνακας 9.2. Εύρος και συγκεντρώσεις των ποιοτικών παραμέτρων στα επιφανειακά και υπόγεια νερά. (Mc Cutcheon, 1991)

Ποιοτική παράμετρος	Τυπική τιμή	Εύρος τιμών	Μονάδες
Θερμοκρασία	Μεταβλητή	0-30	°C
pH	4.5 - 8.5	1 - 9	pH
Διαλυμένο οξυγόνο (O ₂)	3 - 9	0 - 19	mg/l
Οργανικό άζωτο	0.1 - 9	< 0.2 - 20	mg/l
Ολικό άζωτο (N)	0.1 - 10	0.004 - > 100	Mg/l
Αμμωνία (NH ₃ -N)	0.01 - 10	<0.01 - 45	mg N/l
Νιτρώδη (NO ₂ -N)	0.01 - 0.5	<0.002 - 10	mg N/l
Νιτρικά (NO ₃ -N)	0.23	0.01 - 250	mg N/l
Ολικός φώσφορος (P)	0.02 - 6	0.01 - 30	mg P/l
Ορθοφωσφορικά (PO ₄)	0.01- 0.5	<0.01 - 14	mg P/l
Ολικός οργανικός C	1 - 10	0.01 - 40	mg C/l
Διαλυμένος οργανικός C	1 - 6	0.3 - 32	mg C/l
Διοξείδιο του άνθρακα (CO ₂)	0-5	0-50	mgCO/l
Αλκαλικότητα (CaCO ₃)	150	5 - 250	mg CaCO/l
Σκληρότητα (CaCO ₃)	47 - 54	1 - 1000	mg CaCO/l
Χρώμα	1 - 10	0-500	Μονάδες χρώματος
Θολότητα		0-3	HTU
Αγωγιμότητα	70	40 - 1500	μS/cm at 25°C
Διαλυμένα στερεά		5-317	mg/l
Αιωρούμενα στερεά	73 - 89	0.3 - 50000	mg/l
Ολικά στερεά	10-110	20 - 1000	mg/l

Κυανιούχα		1 - 4	mg/l
Φαινόλες	< 1	< 1 - 6	mg/l
Χλωριούχα (Cl ⁻)	8	0- 158000	mg/l
Διπτανθρακικά (HCO ₃ ⁻) (CaCO ₃)	58.4	0-4467	mg/l
Θειικά (SO ₄ ²⁻)	8.3 -11.2	0.13 - 3930	mg/l
Αντιμόνιο(Sb)	1	0.26 - 5.1	μg/l
Αργίλιο (Al)	50	7 - 4400	μg/l
Αργυρος (Ag)	0.3	0.03 - 2	μg/l
Ασβέστιο (Ca)	13 - 15	0-954	mg/l
Αρσενικό (As)	2	<0.1 - 1100	μg/l
Βόριο (B)	18	0.7 - 840	μg/l
Βρώμιο (Br)	20	0.5 - 4400	μg/l
Ιώδιο (I)	2-7	0.2 - 100	μg/l
Κάδμιο (Cd)	0-5	0.09 - 130	μg/l
Καίσιο (Cs)	0.035	0.004 - 0.2	μg/l
Κάλιο (K)	1.3-2.3	0.02 - 189	μg/l
Κοβάλτιο (Co)	0.2	< 0.001- 15	μg/l
Λίθιο (Li)	12	0.01 - 400	μg/l
Μαγγάνιο (Mg)	4	0-379	μg/l
Μαγνήσιο (Mn)	8.2	0.1 - 2200	μg/l
Μόλυβδος (Pb)	1	<0.01-55	μg/l
Μολυβδαίνιο (Mo)	0.5	0-145	μg/l
Νάτριο (Na)	5.1 - 6.3	0.7 - 1220	μg/l
Νικέλιο (Ni)	2.2	0.001 - 530	μg/l
Ουράνιο (U)	0.04	0.016 - 47	μg/l
Πυρίτιο (SiO ₂)	10 - 14	0.15 - 101	μg/l
Σίδηρος (Fe)	0.04	0.01 - 2000	μg/l
Υδράργυρος (Hg)	1	<0.1 - 5	μg/l
Χαλκός(Cu)	10	0.05 >100	μg/l
Χρώμιο (Cr)	1	<0.01 - 84	μg/l
Ψευδάργυρος (Zn)	30	0-<5000	μg/l

β) Πηγές ρύπανσης από οικιακά απόβλητα: Αποτελούνται από οικιακά λύματα και νερά της βροχής που συμπαρασύρουν και μεταφέρουν απορρίμματα. Τα υγρά αστικά απόβλητα χαρακτηρίζονται από υψηλές συγκεντρώσεις οργανικών ουσιών και από σημαντική περιεκτικότητα μικροοργανισμών, βακτηρίων, παρασίτων και παθογόνων. Έχουν επίσης αυξημένη περιεκτικότητα σε κατάλοιπα φαρμάκων και σε

απορρυπαντικά που χρησιμοποιούνται για την οικιακή καθαριότητα. Τα απόβλητα αυτά καταλήγουν στο υδροσύστημα είτε από τους υπονόμους είτε με ελεύθερη επιφανειακή απορροή.

Μεγάλη εστία ρύπανσης των υδροφόρων οριζόντων και των εδαφών αποτελούν επίσης οι σηπτικοί και απορροφητικοί βόθροι καθώς και τα στραγγίσματα των απορριμάτων, από τους χώρους υγειονομικής ταφής χωρίς την απαραίτητη υποδομή.

γ) Γεωργικές πηγές: Ένα μέρος της βροχόπτωσης ή του νερού άρδευσης που εφαρμόζεται στα γεωργικά εδάφη διηθείται δια μέσου του επιφανειακού εδάφους μεταφέροντας στη μάζα του διαλυμένες ουσίες. Λόγω της εξατμισοδιαπνοής, το νερό που διηθείται βαθιά περιέχει διαλυμένα άλατα με συγκεντρώσεις δύο και τρεις φορές μεγαλύτερες από αυτές του εφαρμοζόμενου νερού. Στα διαπερατά εδάφη, η περίσσεια νερού που περνά τη ζώνη των ριζών όπου γίνεται εναπόθεση αλάτων παρασέρνει τα διαλυμένα υλικά (ιδιαίτερα τα ιόντα χλωρίου, θειικών και νατρίου) στα υπόγεια νερά.

Η εντατικοποίηση της γεωργίας για την αύξηση της παραγωγής και της καλύτερης ποιότητας των γεωργικών προϊόντων έχει οδηγήσει στην αλόγιστη χρήση φυτοφαρμάκων και χημικών λιπασμάτων. Το μεγαλύτερο πρόβλημα ρύπανσης των υπόγειων νερών είναι η παρατηρούμενη συνεχής αύξηση των νιτρικών (νιτρορύπανση).

Τα στοιχεία των λιπασμάτων μπορούν να μετακινηθούν προς το υπόγειο νερό που βρίσκεται κάτω από καλλιεργούμενες εκτάσεις, εκτός από την περίπτωση των αργιλωδών εδαφών όπου η διήθηση του νερού είναι περιορισμένη. Οι πιο οχληροί ρύποι για την υγεία του ανθρώπου από τη γεωργία είναι τα νιτρικά ιόντα τα οποία με μεγάλη ευκολία μεταφέρονται με το νερό που διηθείται βαθιά δια μέσου της ακόρεστης ζώνης του εδάφους και της υπόγειας ροής στην κορεσμένη ζώνη. Η άρδευση και η εφαρμογή των λιπασμάτων ανόργανου αζώτου φαίνεται ότι συντελούν στην ταχύτερη αύξηση των νιτρικών σε πολλές αγροτικές περιοχές.

Τα στερεά απόβλητα (κοπριές) των ζώων είναι επίσης σημαντικές πηγές νιτρικών και διαλυμένων αλάτων. Η διείσδυση αυτών των ρύπων εξαρτάται από τις τοπικές εδαφικές συνθήκες, τη στράγγιση, τη βροχόπτωση και τις επιφανειακές συνθήκες απόθεσης.

Τα φυτοφάρμακα που χρησιμοποιούνται σε μεγάλη κλίμακα στη γεωργία για την προστασία των καλλιεργειών από τα έντομα (εντομοκτόνα), μύκητες και βακτήρια (παρασιτοκτόνα) και την καταπολέμηση των ζιζανίων (ζιζανιοκτόνα) αποτελούν σημαντικούς ρύπους για τα υπόγεια νερά.

δ) Βιομηχανικές πηγές: Οι βιομηχανίες παράγουν μεγάλες ποσότητες υγρών αποβλήτων μέσα από τις διαδικασίες παραγωγής, επεξεργασίας και ψύξης. Τα βιομηχανικά απόβλητα όλων των τύπων είναι, με την αναγωγή τους σε ξηρό βάρος, σχεδόν δύο φορές περισσότερα από αυτά που παράγονται από τις αστικές και εμπορικές πηγές. Το 90% των επικίνδυνων αποβλήτων διατίθενται πάνω στην επιφάνεια του εδάφους, κυρίως επειδή αποτελεί τον πιο φθηνό τρόπο διαχείρισής τους.

Όλες οι μορφές μεταλλείων δημιουργούν απόβλητα και μεταβολές στις υδρογεωλογικές συνθήκες που συντελούν στην υποβάθμιση των υπόγειων νερών. Οι κυριότεροι ρύποι από αυτού του είδους τις δραστηριότητες είναι η οξύτητα, τα διαλυμένα στερεά, τα μέταλλα, τα ραδιοακτινοβολούντα υλικά, τα χρώματα και η θολότητα.

Οι τυχαίες εγχύσεις υγρών αποβλήτων, τοξικών υγρών, βενζίνης και πετρελαίου δημιουργούν κινδύνους να μετακινηθούν δια μέσου της ακόρεστης ζώνης στα υπόγεια νερά. Οι υδρογονάνθρακες είναι από τους πιο κοινούς ρύπους που καταγράφονται σε εκχύσεις και διαρροές ή από τη θραύση των υπόγειων αγωγών μεταφοράς και αποθήκευσής τους.

Τα βαριά μέταλλα είναι στοιχεία που εύκολα χάνουν ηλεκτρόνια για να σχηματίσουν φορτισμένα ιόντα. Τα βαριά μέταλλα συνήθως είναι καλοί αγωγοί του ηλεκτρισμού και αποτελούν στοιχεία με υψηλή τοξικότητα και μεγάλη πυκνότητα ($Pb > 5 \text{ g/cm}^3$). Παράγονται ως παραπροϊόντα των μεταλλείων και των βιομηχανιών επεξεργασίας μετάλλων. Τα κυριότερα στοιχεία που ανήκουν στην κατηγορία αυτή είναι: το αρσενικό (As), το κάδμιο (Cd), το χρώμιο (Cr), ο χαλκός (Cu), ο μόλυβδος (Pb), ο υδράργυρος (Hg), το νικέλιο (Ni) και ο ψευδάργυρος (Zn). Η τοξικότητά τους ποικίλει από στοιχείο σε στοιχείο και μια γενική κατάταξη μειωμένης τοξικότητας των παραπάνω μετάλλων είναι η εξής: $Hg > Cd > Ni > Pb > Cr > Li$.

Τα κυριότερα χαρακτηριστικά των βαρέων μετάλλων είναι η τάση τους να συσσωρεύονται στο εδαφικό σύστημα σε υψηλά pH και η μειωμένη δυνατότητα

απομάκρυνσής τους από το επιφανειακό στρώμα εδάφους. Στο εδαφικό διάλυμα βρίσκονται με τη μορφή ενώσεων με οργανικές ουσίες, αιωρούμενα και με τη διαλυτή τους μορφή των ενώσεων που σχηματίζουν.

Οι υψηλές συγκεντρώσεις θειικών ιόντων στο νερό της βροχής στις βιομηχανικές πόλεις οφείλονται στα καυσαέρια των εργοστασίων που περιέχουν οξείδια άνθρακα και θείου. Περιέχουν επίσης μεγάλες συγκεντρώσεις ιόντων χλωρίου, βρωμίου, μολύβδου φθορίου και χλωριομένων υδρογονανθράκων.

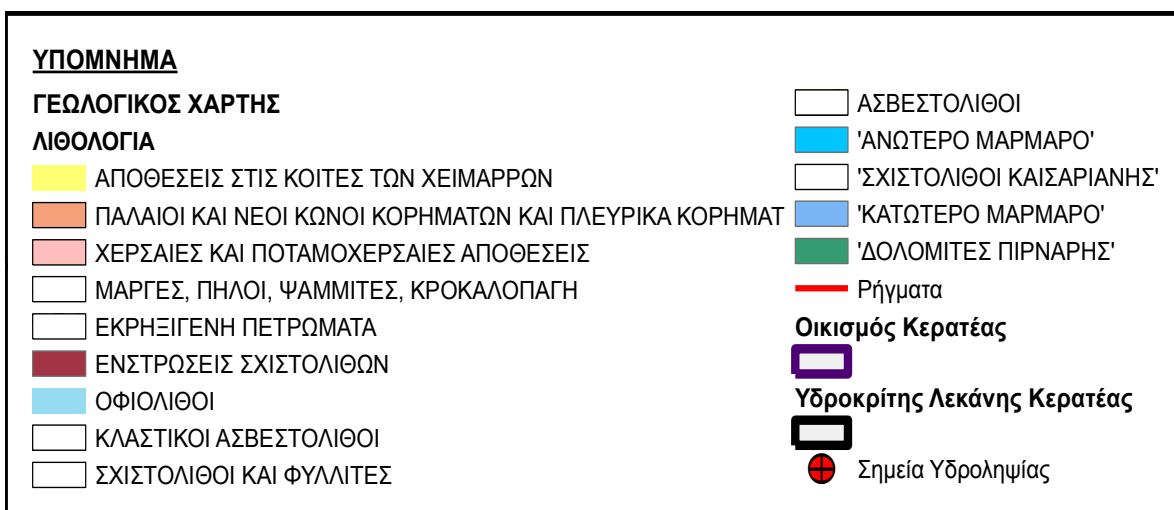
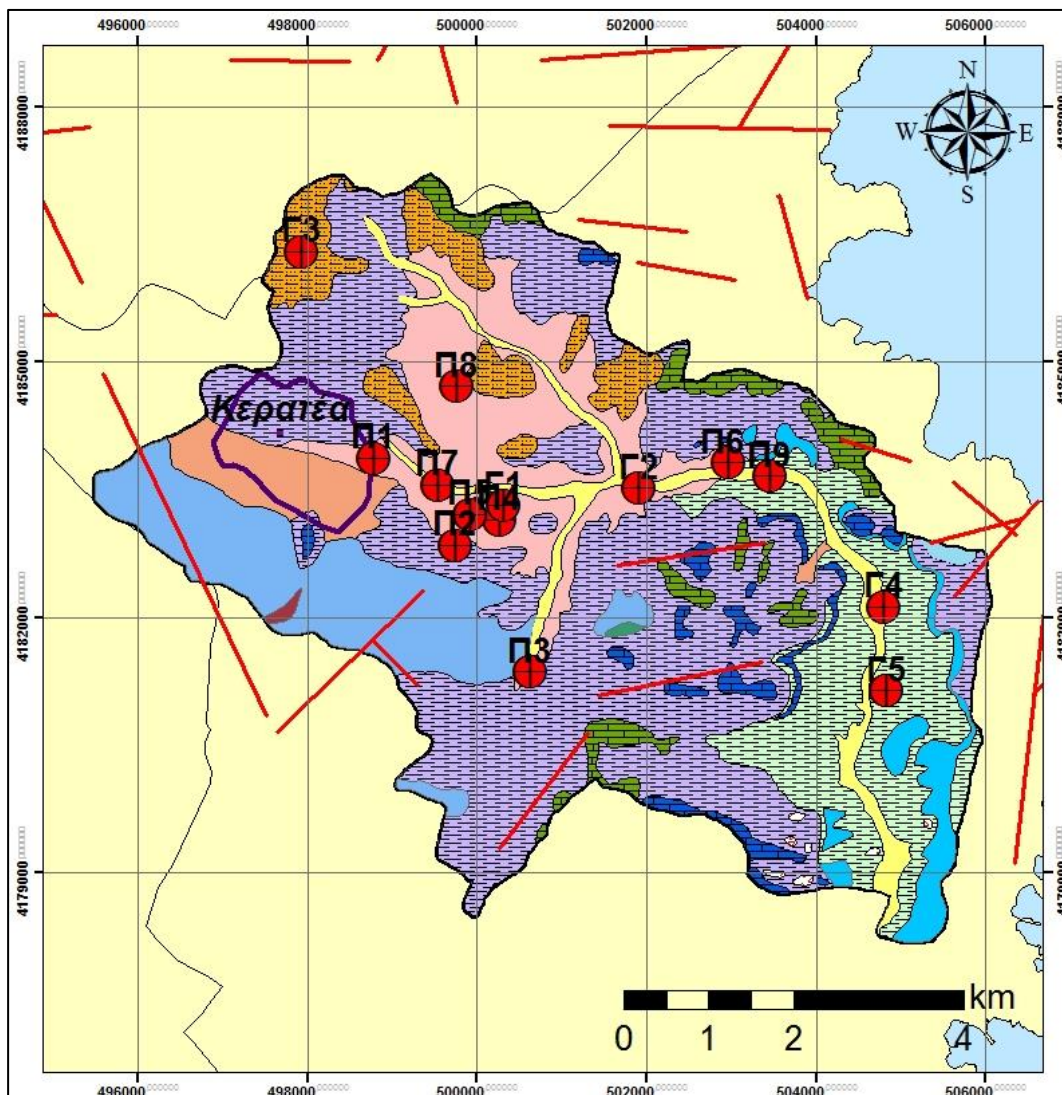
9.5 Δειγματοληψία και υδροχημικές αναλύσεις

Η δειγματοληψία έγινε από πηγάδια και γεωτρήσεις. Το υπόγειο νερό της περιοχής στο παρελθόν χρησιμοποιούνταν για αρδευτικούς και υδρευτικούς σκοπούς. Σήμερα χρησιμοποιείται μόνο για άρδευση των καλλιεργειών και σε ορισμένες βιοτεχνίες ή βιομηχανίες για επαγγελματική χρήση.

Συνολικά έγινε δειγματοληψία από 14 υδροσημεία. Τα 9 υδροσημεία αφορούν πηγάδια με βάθος μέχρι 15 μέτρα περίπου, τα οποία τροφοδοτούνται από τον φρεάτιο υδροφόρο ορίζοντα. Τα 3 υδροσημεία αφορούν γεωτρήσεις κυμαινόμενου βάθους από 30 μέτρα έως 150 μέτρα οι οποίες έχουν διατρήσει σχηματισμούς του Τεταρτογενούς. Ένα υδροσημείο, η γεώτρηση Γ3 έχει διατρήσει τους Νεογενείς σχηματισμούς και η γεώτρηση Γ5 φαίνεται να διατρήει τους σχιστόλιθους Καισαριανής του Ιουρασικού.

Στην Εικόνα 9.1 που ακολουθεί παρουσιάζεται ο γεωλογικός χάρτης της περιοχής μελέτης και τα σημεία υδροληψίας. Η επιλογή των θέσεων υδροληψίας έγινε με τέτοιο τρόπο, όπου το επέτρεπαν οι συνθήκες, με σκοπό να βρίσκονται σε απόσταση μεταξύ τους, καλύπτοντας ολόκληρη την περιοχή μελέτης.

Τα περισσότερα σημεία εντοπίζονται, όπως φαίνεται από την κατανομή τους στον χάρτη, στο κεντρικό τμήμα της περιοχής. Εκεί τα εδάφη έχουν δημιουργηθεί πάνω στους ημισυνεκτικούς σχηματισμούς του Νεογενούς και του Τεταρτογενούς και εκεί αναπτύσσεται η γεωργική και βιομηχανική δραστηριότητα της περιοχής. Αντίθετα στο νότιο τμήμα της περιοχής υπάρχουν οι τριαδικό-ιουρασικοί ασβεστόλιθοι και δεν υπάρχουν γεωτρήσεις εκεί.



Εικόνα 9.1: Γεωλογικός Χάρτης και σημεία υδροληψίας

Τα δείγματα συλλεχθηκαν 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 υλικό και τοποθετήθηκαν σε δροσερό και σκιερό μέρος μέχρι την ανάλυση τους.

Πίνακας 9.3: Χαρακτηριστικά στοιχεία των σημείων υδροληψίας

Νο	Δείγμα	X	Y	Ημερομηνία Δειγματοληψίας	Υψόμετρο	Βάθος (m)	Σχηματισμοί Διάτρησης
1	Π1	498778	4183879	18/9/2016	169	5	Αλλουβιακές αποθέσεις, Νεογενείς σχηματισμοί
2	Π2	499754	4182853	18/9/2016	144	4	Σχιστόλιθοι
3	Π3	500628	4181356	18/9/2016	142	3	Αλλουβιακές αποθέσεις, Νεογενείς σχηματισμοί
4	Π4	500264	4183151	18/9/2016	131	4	Αλλουβιακές αποθέσεις, Νεογενείς σχηματισμοί
5	Π5	499915	4183214	18/9/2016	142	5	Αλλουβιακές αποθέσεις, Νεογενείς σχηματισμοί
6	Π6	502966	4183823	18/9/2016	111	12	Αλλουβιακές αποθέσεις, Νεογενείς σχηματισμοί
7	Π7	499547	4183556	18/9/2016	154	10	Αλλουβιακές αποθέσεις, Νεογενείς σχηματισμοί
8	Π8	499768	4184723	18/9/2016	161	13	Αλλουβιακές αποθέσεις, Νεογενείς σχηματισμοί
9	Π9	503454	4183664	8/10/2016	80	10	Αλλουβιακές αποθέσεις, Νεογενείς σχηματισμοί
10	Γ1	500322	4183315	28/9/2016	150	30	Αλλουβιακές αποθέσεις, Νεογενείς σχηματισμοί
11	Γ2	501919	4183520	28/9/2016	137	150	Αλλουβιακές αποθέσεις, Νεογενείς σχηματισμοί
12	Γ3	497936	4186310	28/9/2016	143	30	Μάργες, Κροκαλοπαγή
13	Γ4	504799	4182127	8/10/2016	77	70	Αλλουβιακές αποθέσεις, Νεογενείς σχηματισμοί
14	Γ5	504830	4181133	8/10/2016	84	50	Σχιστόλιθοι

9.5.1 Επιτόπιες μετρήσεις

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

- μέτρηση της θερμοκρασίας με το αγωγιμόμετρο WTW LF 330/SET
- μέτρηση της αγωγιμότητας με το αγωγιμόμετρο WTW LF 330/SET
- μέτρηση του pH με το πεχάμετρο WTW PH330i/SET

9.5.2 Εργαστηριακές αναλύσεις

Οι υδροχημικές εργαστηριακές αναλύσεις περιλαμβάνουν την 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 ιόντα PO_4^{3-} , τα θειικά SO_4^- , τα νιτρικά NO_3^- , τα αμμωνιακά NH_4^+ , τα ιόντα βρωμίου Br^- και το SiO_2 προσδιορίστηκαν με την βοήθεια του φασματοφωτόμετρου εκπομπής Hach DR-3000.
- Τα στοιχεία Na^+ και K^+ προσδιορίστηκαν με τη βοήθεια του φλογοφωτόμετρου.
- Τα βαρέα μέταλλα: Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb και Zn ανιχνεύτηκαν, όπου ήταν δυνατόν, με την βοήθεια του οργάνου ατομικής απορρόφησης AAS GBS908. Αναλυτικά παρουσιάζονται τα μήκη κύματος και το βέλτιστο εύρος μετρήσεων του οργάνου για κάθε ένα από τα μετρούμενα στοιχεία στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 9.4)

Πίνακας 9.4 : Τα μήκη κύματος και το βέλτιστο εύρος μετρήσεων του οργάνου.

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

9.5.3 Επεξεργασία των στοιχείων

Για κάθε δείγμα έγινε έλεγχος του ιοντικού ισοζυγίου ανιόντων-κατιόντων. Στην πλειοψηφία των δειγμάτων η διαφορά ανιόντων-κατιόντων ήταν πολύ μικρότερη του 5%. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων και αναλύσεων παρατίθενται στους πίνακες 9.5, 9.6, 9.7 και 9.8. Η απεικόνιση της χωρικής κατανομής των στοιχείων στον χώρο έγινε με τη βοήθεια του προγράμματος ArcMap GIS 10.2.1.

Η ταξινόμηση των υπογείων νερών με βάση το διάγραμμα Piper έγινε με την βοήθεια του προγράμματος AquaChem 3.7, λαμβάνοντας υπόψη τις τιμές των ανιόντων Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} και των κατιόντων Ca^{2+} , Na^+ και Mg^{2+} σε meq/l.

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

Πίνακας 9.5: Μετρήσεις και αποτελέσματα αναλύσεων για τα δείγματα των πηγαδιών της περιοχής μελέτης

ΠΗΓΑΔΙΑ

Δείγμα	T	E.C	SAL	PH	EH	Σκληρότητα (CaCO ₃ mg/l)			Σκληρότητα (°dH)			KATIONTA (mg/l)				ANIONTA (mg/l)				MeasuredTDS	CalculatedTDS
	°C	μS/cm			mV	Ολική	Παροδική	Μόνιμη	Ολική	Παροδική	Μόνιμη	Ca	Mg	Na	K	HCO ₃	Cl	SO ₄	NO ₃	mg/l	mg/l
Π1	20,2	3120	1,7	7,19	219	1340	344	996	75,3	19,3	56,0	408,0	79,0	430,0	38	420,9	723,4	862,5	7,0		2969
Π2	23,4	1460	0,5	7,25	224	424	244	180	23,8	13,7	10,1	124,0	28,1	185,0	2,6	298,9	241,1	111,8	7,0	1242	999
Π3	22,6	1165	0,4	7,55	208	402	279	123	22,6	15,7	6,9	120,0	25,2	135,0	2,9	341,6	170,2	220,5	15,8	1049	794
Π4	22,5	1685	0,7	7,72	140	570	304	266	32,0	17,1	14,9	172,0	34,5	210,0	3	372,1	312,1	286,0	12,3	1509	1194
Π5	22,5	1080	0,3	7,02	200	428	334	94	24,0	18,8	5,2	149,6	13,5	98,0	3,8	408,7	113,5	95,5	32,1	965	704
Π6	21,3	1262	0,5	7,43	207	508	334	174	28,5	18,8	9,7	160,0	26,7	120,0	3,6	408,7	184,4	176,0	37,8	1171	904
Π7	20,4	1200	0,5	7,69	245,4	448	359	89	25,2	20,2	5,0	145,6	20,8	128,0	8,8	439,2	156,0	178,0	22,9	1137	818
Π8	19,5	2130	1,1	7,62	188,5	810	478	332	45,5	26,9	18,6	224,0	61,5	230,0	2,4	585,6	468,1	73,3	64,7		1710
Π9	17,2	1171	0,5	7,82	255,3	470	344	126	26,4	19,3	7,1	148,0	24,7	112,0	4,9	420,9	148,9	113,0	2,4	1201	975
min	17,2	1080	0,3	7,02	140	402	244	158	22,6	13,7	8,9	120,0	13,5	98,0	2,4	298,9	113,5	73,3	2,4	965	704
max	23,4	3120	1,7	7,82	255,3	1340	478	862	75,3	26,9	48,4	408,0	79,0	430,0	38	585,6	723,4	862,5	64,7	1509	2969
average	21,1	1586	0,7	7,477	209,7	616	335	282	33,7	18,9	14,8	183,5	34,9	183,1	7,78	410,7	279,7	235,2	22,5	1182	1229

Πίνακας 9.6: Μετρήσεις και αποτελέσματα αναλύσεων για τα δείγματα των γεωτρήσεων της περιοχής μελέτης

ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ

Δείγμα	T	EC	Sal.	pH	Eh	Σκληρότητα CaCO ₃ (mg/l)			Σκληρότητα (°dH)			KATIONTA (mg/l)				ANIONTA (mg/l)				Measured TDS	Calculated TDS
	°C	μS/cm			mv	Ολική	Παροδική	Μόνιμη	Ολική	Παροδική	Μόνιμη	Ca	Mg	Na	K	HCO ₃	Cl	SO ₄	NO ₃	mg/l	mg/l
Γ1	20,6	1121	0,4	7,35	246	364	379	0	20,4	21,3	0,0	135,2	6,6	124,0	7,9	463,6	120,6	162,0	15,0	1014	689
Γ2	17,6	1743	0,6	7,16	265	620	329	291	34,8	18,5	16,3	160,0	54,1	155,0	8,8	402,6	340,4	135,4	59,8	1584	1316
Γ3	20,4	626	0,1	7,41	299	224	299	0	12,6	16,8	0,0	81,6	5,0	70,0	7,7	366,0	35,5	43,0	19,4	571	370
Γ4	17,5	1091	0,3	7,66	320	384	314	70	21,6	17,6	4,0	116,0	23,2	110,0	10,5	384,3	134,8	135,3	18,0	1157	694
Γ5	19,3	747	0,1	7,70	276	242	184	58	13,6	10,4	3,2	70,4	16,3	85,0	5,6	225,7	113,5	108,5	13,6	711	491
min	17,5	626	0,1	7,16	246	224	184	0	12,6	10,4	2,2	70,4	5,0	70,0	5,6	225,7	35,5	43,0	13,6	571	370
max	20,6	1743	0,6	7,70	320	620	379	291	34,8	21,3	13,5	160,0	54,1	155,0	10,5	463,6	340,4	162,0	59,8	1584	1316
average	19,1	1066	0,3	7,46	281	367	301	84	20,6	16,9	3,7	112,6	21,0	108,8	8,1	368,4	148,9	116,8	25,2	1007	712

Πίνακας 9.7: Μετρήσεις συγκέντρωσης των βαρέων μετάλλων για τα δείγματα των πηγαδιών της περιοχής μελέτης

Δείγμα	Ni	Mn	Zn	Cu	Cr	Pb	Fe
Π1	0,065	0,089	0,040	0,010	0,014	ND	0,030
Π2	0,040	0,032	0,045	ND	0,030	ND	0,104
Π3	ND	0,015	0,020	0,001	0,044	ND	0,072
Π4	0,105	0,060	ND	0,009	0,030	ND	0,083
Π5	ND	0,037	0,014	ND	0,043	ND	0,059
Π6	ND	0,031	0,040	0,007	0,065	ND	ND
Π7	ND	0,012	0,047	ND	0,038	ND	0,091
Π8	ND	0,065	ND	ND	0,003	ND	0,084
Π9	0,089	0,044	0,108	ND	0,022	0,039	0,072
min	0,040	0,012	0,014	0,001	0,003	0,039	0,030
max	0,105	0,089	0,108	0,010	0,065	0,039	0,104
average	0,075	0,043	0,045	0,007	0,032	0,039	0,074

Πίνακας 9.8: Μετρήσεις συγκέντρωσης των βαρέων μετάλλων για τα δείγματα των γεωτρήσεων της περιοχής μελέτης

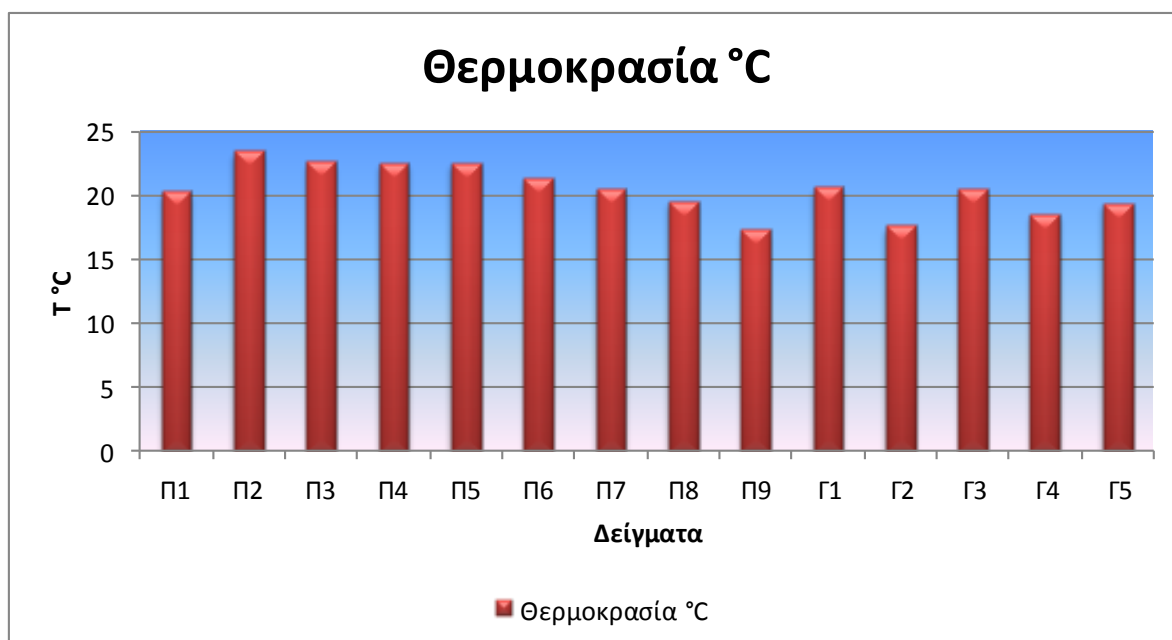
Δείγμα	Ni	Mn	Zn	Cu	Cr	Pb	Fe
Γ1	0,072	0,011	0,588	0,089	0,028	ND	0,091
Γ2	ND	0,016	0,013	0,010	0,035	ND	0,084
Γ3	0,086	0,048	0,462	0,038	0,020	ND	0,061
Γ4	0,007	0,011	4,306	ND	0,044	ND	0,063
Γ5	0,037	0,036	0,295	ND	0,034	ND	0,081
min	0,007	0,011	0,013	0,010	0,020	ND	0,061
max	0,086	0,048	4,306	0,089	0,044	ND	0,091
average	0,051	0,024	1,133	0,046	0,032	ND	0,076

10. ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

10.1 Θερμοκρασία των υπογείων νερών (T °C)

Σύμφωνα με την οδηγία της Ε.Ε η ενδεικτική τιμή της θερμοκρασίας για τα πόσιμα νερά είναι οι 12°C. Με την αύξηση της θερμοκρασίας το νερό χάνει την γεύση του γιατί εκδιώκονται τα διαλυμένα αέρια. Όταν η θερμοκρασία υπερβαίνει τους 15°C πολλαπλασιάζονται τα τυχόν 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 ορίζεται από την Ε.Ε η τιμή των 25°C (οδηγία 98/83 ΕΚ/3-11-98)

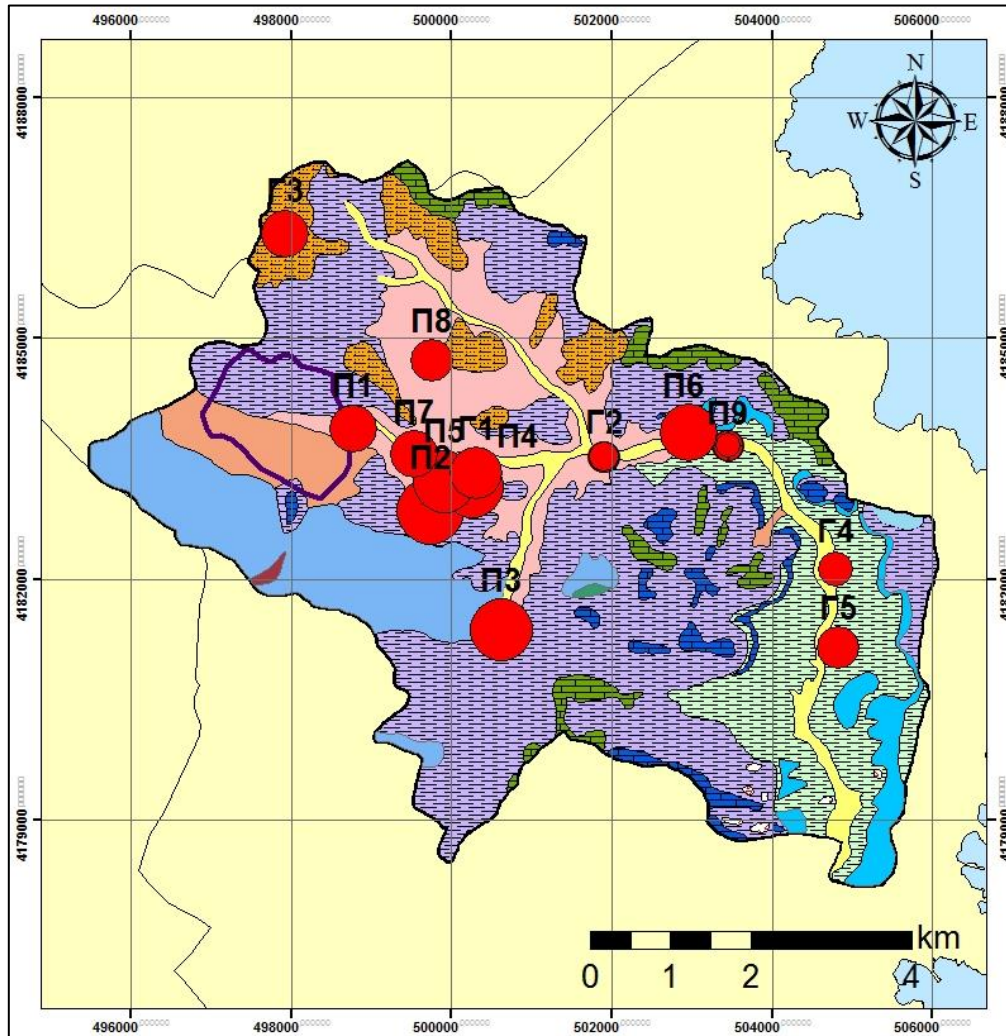
Η διακύμανση των τιμών θερμοκρασίας στα δείγματα του υπόγειου νερού στις γεωτρήσεις και τα πηγάδια διαφοροποιούνται ανάλογα με τον σχηματισμό στον οποίο φιλοξενούνται και το βάθος του υδροφόρου ορίζοντα που εκμεταλλεύεται. Οι τιμές κυμαίνονται μεταξύ 17,2°C και 23,4 °C. Οι υψηλότερες παρατηρούνται στα πηγάδια και οι χαμηλότερες στις γεωτρήσεις. Στην εικόνα 10.1 παρουσιάζεται το φάσμα διακύμανσης των τιμών της θερμοκρασίας των υπογείων νερών της περιοχής.



Εικόνα 10.1 Διακύμανση των τιμών της θερμοκρασίας των υπογείων νερών της περιοχής μελέτης

Αναλυτικότερα οι τιμές της θερμοκρασίας έχουν ως εξής:

- *Νερά πηγαδιών:* Οι τιμές της θερμοκρασίας στα δείγματα των πηγαδιών που υδρομαστεύουν τον φρεάτιο ορίζοντα κυμαίνονται από 17,2°C έως 23,4°C και μέση τιμή 21,1°C.
- *Νερά γεωτρήσεων:* Οι τιμές της θερμοκρασίας στα δείγματα των γεωτρήσεων κυμαίνονται από 17,5°C έως 20,6°C και μέση τιμή 19,1°C.



ΥΠΟΜΝΗΜΑ

Θερμοκρασία T (oC)	● 17,2	● 17,2 - 17,6	● 17,6 - 18,5	● 18,5 - 19,5	● 19,5 - 20,4	● 20,4 - 20,6	● 20,6 - 21,3	● 21,3 - 22,6	● 22,6 - 23,4	⊕ Σημεία Υδροληψίας	— Ρήγματα	Οικισμός Κερατέας	▭	Υδροκρίτης Λεκάνης Κερατέας	▭
---------------------------	--------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------------	-----------	--------------------------	---	------------------------------------	---

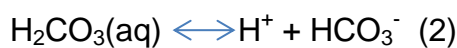
Εικόνα 10.2: Χάρτης χωρικής κατανομής της θερμοκρασίας των υπογείων νερών στη περιοχή μελέτης.

Η χωρική κατανομή της θερμοκρασίας των υπογείων νερών στην περιοχή μελέτης παρουσιάζεται στην Εικόνα 10.2. Διαπιστώνεται ότι οι χαμηλότερες τιμές θερμοκρασίας εντοπίζονται στο ανατολικό τμήμα της περιοχής στους σχηματισμούς του ολόκαινου. Αντίθετα στο κεντρικό τμήμα της λεκάνης κατανέμονται οι υψηλότερες θερμοκρασίες που αφορούν πλειστοκαινικές αποθέσεις.

10.2 Ενεργός οξύτητα (pH)

Το pH είναι ο αρνητικός δεκαδικός λογάριθμος της ενεργότητας των ιόντων H_3O^+ και εκφράζει την ενεργό οξύτητα ενός διαλύματος. Το pH του νερού εξαρτάται από την θερμοκρασία, την αλατότητα (παρουσία ιόντων θείου, χλωρίου, ασβεστίου, μαγνησίου κ.α), τις συγκεντρώσεις του διοξειδίου του άνθρακα και του οξυγόνου, καθώς και από την μεταβολική δραστηριότητα των υδρόβιων οργανισμών και την αποσύνθεση των οργανικών ουσιών. Το pH παίρνει τιμές από 0 (πολύ όξινο) έως 14 (πολύ βασικό). Ένα νερό χαρακτηρίζεται σαν ουδέτερο όταν η τιμή του pH στους 25 °C έχει την τιμή 10^{-14} και χαρακτηρίζεται σαν όξινο ή βασικό όταν ο αριθμός των H^+ ή των OH^- είναι μεγαλύτερος ο ένας σε σχέση με τον άλλον.

Τα φυσικά νερά έχουν τιμές pH που κυμαίνονται μεταξύ 4 και 9. Το pH του υπογείου νερού διαμορφώνεται κυρίως από το ελεύθερο διοξείδιο του άνθρακα σύμφωνα με τις αντιδράσεις:



Άλλες ενώσεις που επηρεάζουν το pH είναι τα όξινως υδρολυόμενα άλατα και τα ανόργανα οξέα. Όταν έχουμε pH μεγαλύτερο του 6 και μικρότερο του 7 το αποδίδουμε στο ελεύθερο διοξείδιο του άνθρακα. Όταν έχουμε pH μικρότερο του 6 και μέχρι 5 το αποδίδουμε στα όξινως υδρολυόμενα άλατα ($FeSO_4$, $FeCl_2$ κτλ) και όταν έχουμε pH μικρότερο του 5 και μέχρι 4 το αποδίδουμε στην ύπαρξη ανόργανων οξέων (θειικά, νιτρικά κ.α).

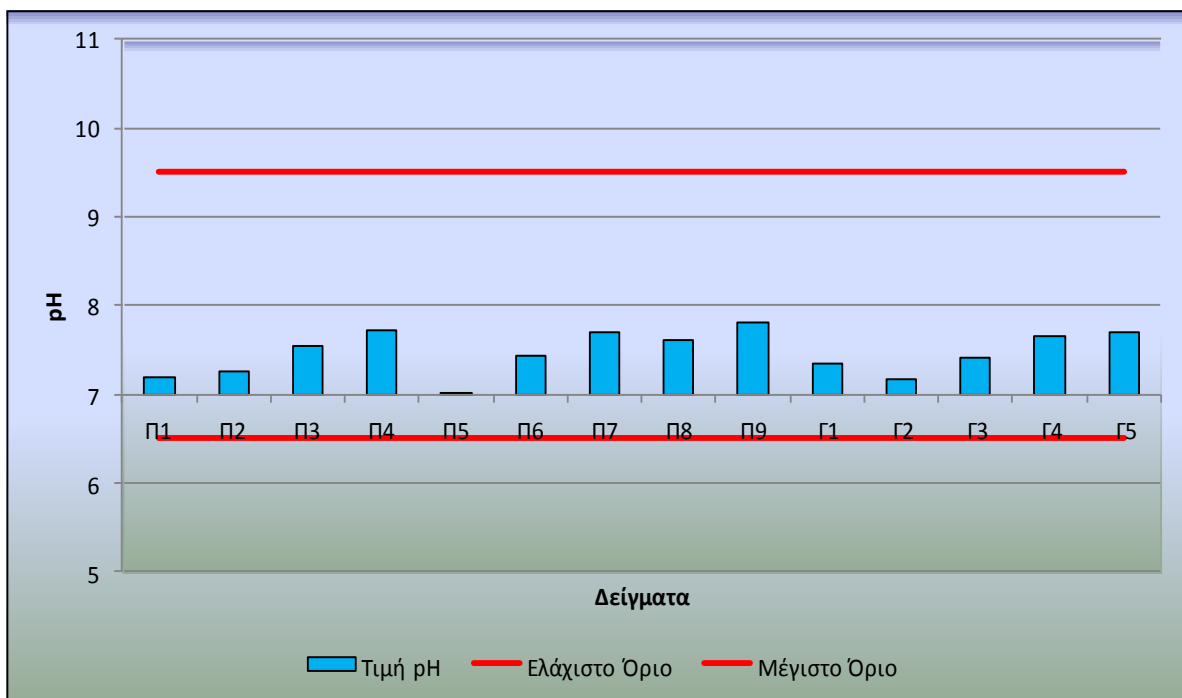
Η εισαγωγή οξέων στα φυσικά νερά από την όξινη βροχή, τα αστικά και βιομηχανικά απόβλητα και από την οξειδωση των πυριτών προκαλεί χαμηλές τιμές του pH. Το όξινο pH του νερού του υπεδάφους είναι σημαντικός παράγοντας αποσάθρωσης, αφού ευνοεί την αφαίρεση σιδήρου και αργιλίου από τα μητρικά ορυκτά, καθώς και τη συγκέντρωση του SiO_2 . Αλκαλικές τιμές pH συναντώνται σε

περιπτώσεις έντονης φωτοσυνθετικής δραστηριότητας εξαιτίας της κατανάλωσης του CO₂, σε περιπτώσεις ρύπανσης των υδάτινων αποδεκτών με αλκαλικές ουσίες (απορρυπαντικά κ.α) από αστικά και βιομηχανικά απόβλητα και σε αυξημένες συγκεντρώσεις ασβεστίου, νατρίου και μαγνησίου.

Γενικά το pH των νερών μειώνεται όσο η υδάτινη μάζα ενηλικιώνεται. Μια νέα υδάτινη μάζα είναι αλκαλική και βαθμιαία με τον χρόνο γίνεται όξινη, εξαιτίας της συγκέντρωσης οργανικού υλικού, που εκλύει διοξείδιο του άνθρακα όταν αποσυντίθεται.

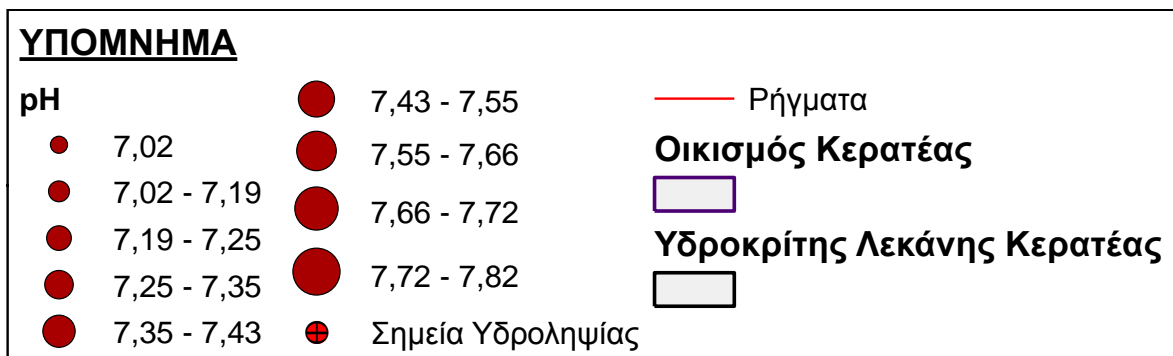
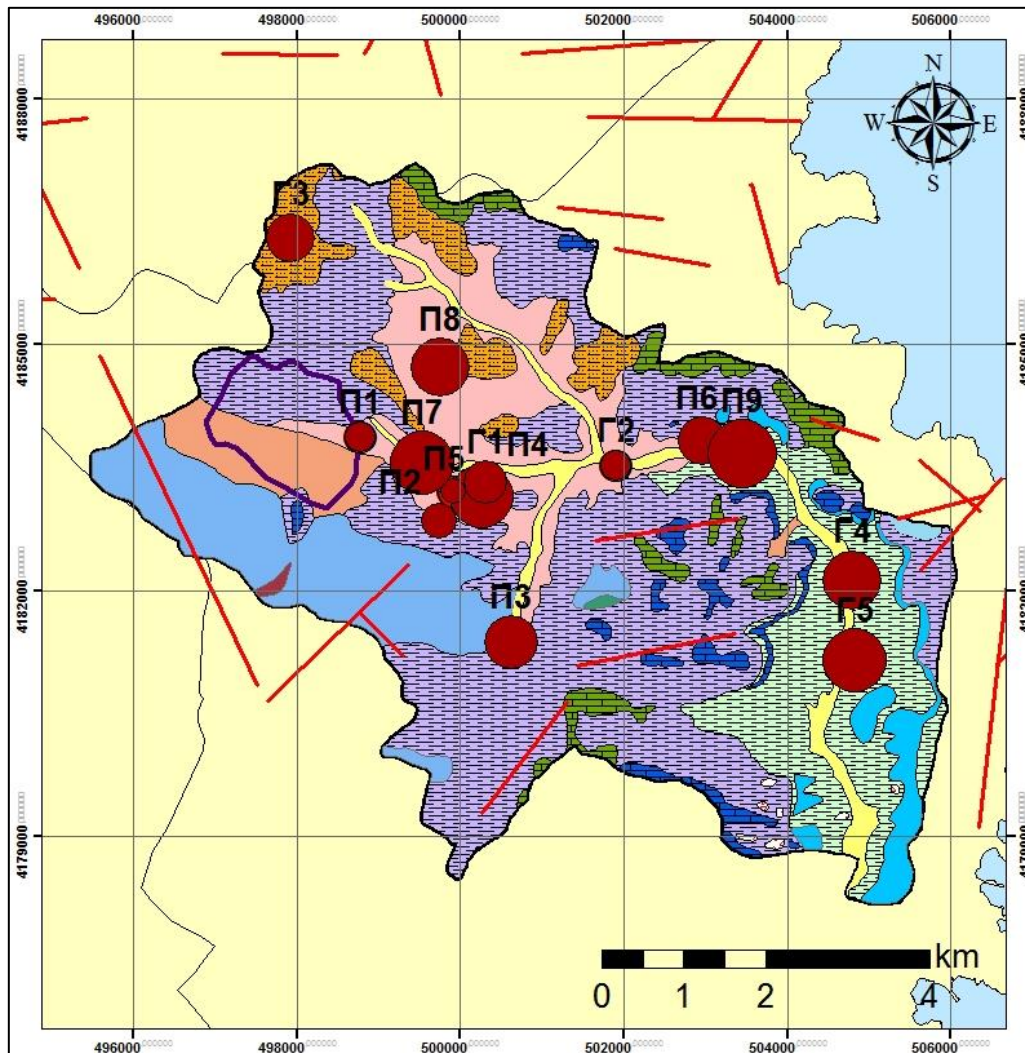
Σύμφωνα με την οδηγία της Ε.Ε το ενδεικτικό επίπεδο του pH στα πόσιμα νερά είναι μεταξύ 6,5 και 9,5. Για τιμές εκτός των ορίων αυτών, καθίσταται αντισυμβατική η επεξεργασία του νερού για την ουδετεροποίηση του pH (Καλλέργης 2000, Παππά 2001).

Οι τιμές του pH στα υπόγεια νερά της περιοχής μελέτης κυμαίνονται μεταξύ 7,02 και 7,82 δηλαδή σχετικά ουδέτερα.



Εικόνα 10.3: Διακύμανση των τιμών του pH των υπογείων νερών της περιοχής μελέτης και η ένδειξη (κόκκινη γραμμή) των επιτρεπτών ορίων που αφορά τα πόσιμα νερά βάσει της Οδηγίας της Ε.Ε.

Στην εικόνα 10.3 παρουσιάζονται οι τιμές του pH των υπογείων νερών της περιοχής. Παρουσιάζονται επίπεδα τιμών pH με ουδέτερο χαρακτήρα που κυμαίνονται εντός των ορίων που θέτει η Ε.Ε για τα πόσιμα νερά.



Εικόνα 10.4: Χάρτης χωρικής κατανομής της τιμής του pH των υπογείων νερών της περιοχής μελέτης.

Αναλυτικότερα οι τιμές του pH έχουν ως εξής:

- *Νερά πηγαδιών:* Οι τιμές του pH στα δείγματα των πηγαδιών που υδρομαστεύουν τον φρεάτιο ορίζοντα κυμαίνονται από 7,2 έως 7,82 και μέση τιμή 7,47.
- *Νερά γεωτρήσεων:* Οι τιμές της θερμοκρασίας στα δείγματα των γεωτρήσεων κυμαίνονται από 7,16 έως 7,70 και μέση τιμή 7,46.

Συμπερασματικά εμφανίζεται ελαφρώς αλκαλικός χαρακτήρας στην πλειψηφία των δειγμάτων.

Η χωρική κατανομή της τιμής του pH των υπογείων νερών της περιοχής μελέτης παρουσιάζεται στην Εικόνα 10.4. Δεν εντοπίζονται νερά με έντονο όξινο ή αλκαλικό χαρακτήρα. Στα ανατολικά περιθώρια της λεκάνης αναπτύσσονται νερά με ελαφρώς αλκαλικό χαρακτήρα.

10.3 Ειδική ηλεκτρική Αγωγιμότητα (EC)

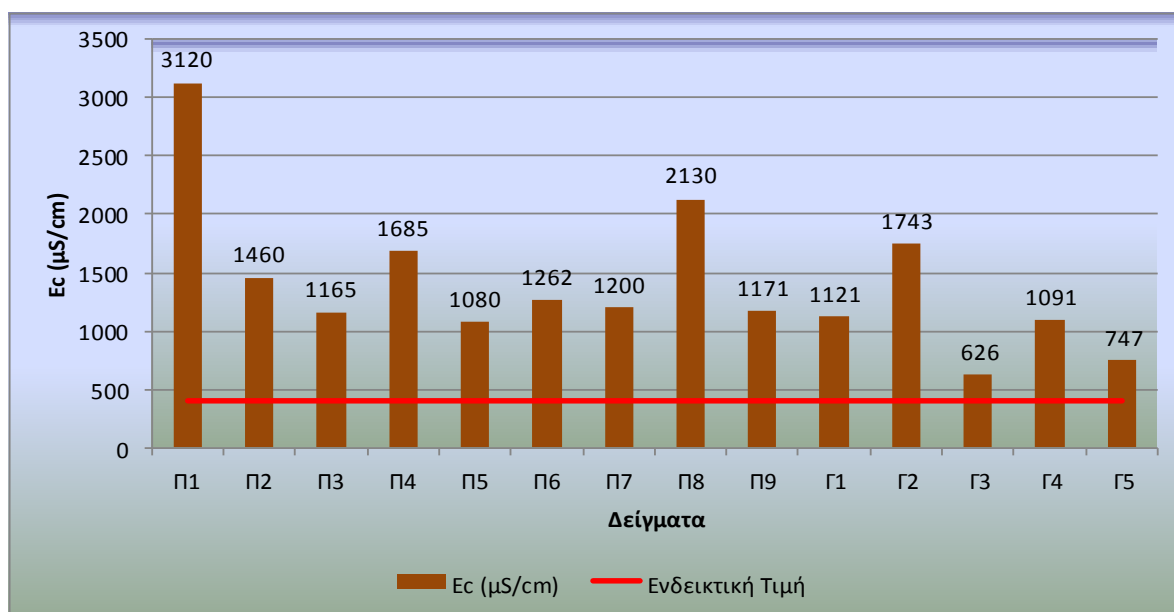
Η ηλεκτρική αγωγιμότητα είναι η αριθμητική έκφραση της ικανότητας ενός υδατικού διαλύματος να άγει το ηλεκτρικό ρεύμα να μεταφέρει δηλαδή φορτία. Η ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα εξαρτάται από την παρουσία ιόντων, την ολική τους συγκέντρωση, το σθένος και τις επιμέρους συγκεντρώσεις τους, καθώς και την θερμοκρασία μέτρησης. Το καθαρό νερό δεν είναι καλός αγωγός του ηλεκτρισμού. Η αύξηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας είναι συνέπεια της αύξησης της ποσότητας των διαλυμένων αλάτων και της αύξησης της θερμοκρασίας. Οι τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας είναι ενδεικτικές για την ποιότητα των φυσικών νερών. Επηρεάζεται από ρύπους που εισέρχονται στους υδάτινους αποδέκτες και ειδικότερα από ρύπους που περιέχουν ιόντα χλωρίου, ανθρακικά, θειικά, φωσφόρου, μαγνησίου, καλίου και νατρίου. Απότομη αύξηση της αγωγιμότητας του νερού ενός φυσικού αποδέκτη αποτελεί ένδειξη ρύπανσης. Αυξημένη αγωγιμότητα υποδηλώνει αυξημένες ποσότητες αλάτων που ανάλογα με τη φύση τους και τη συγκέντρωσή τους μπορεί να δημιουργήσουν προβλήματα υγείας. Η αγωγιμότητα διευκολύνει την εκτίμηση της επίδρασης των διαφόρων ιόντων στις χημικές ισορροπίες, στο ρυθμό διάβρωσης στα μέταλλα, στην ανάπτυξη των φυτών και των ζώων κ.τ.λ. Επίσης η αύξηση της θερμοκρασίας κατά 1 °C προκαλεί αύξηση της EC κατά 2% περίπου.

Η αγωγιμότητα ενός cm^3 νερού στη θερμοκρασία των 25°C ονομάζεται ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα με μονάδα μέτρησης το $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Το ενδεικτικό επίπεδο της EC, σύμφωνα με την οδηγία της Ε.Ε, για τα πόσιμα νερά είναι $400 \mu\text{S}/\text{cm}$ (στους 20°C).

Οι τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας στα δείγματα των υπογείων νερών στη περιοχή μελέτης διαφοροποιούνται ανάλογα με τον γεωλογικό σχηματισμό που φιλοξενούνται και το βάθος του υδροφόρου ορίζοντα που εκμεταλεύονται τα πηγάδια και οι γεωτρήσεις. Γενικά εμφανίζονται υψηλές τιμές που κυμαίνονται από $626 \mu\text{S}/\text{cm}$ έως $3120 \mu\text{S}/\text{cm}$.

Στην εικόνα 10.5 παρουσιάζονται οι τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας των δειγμάτων.

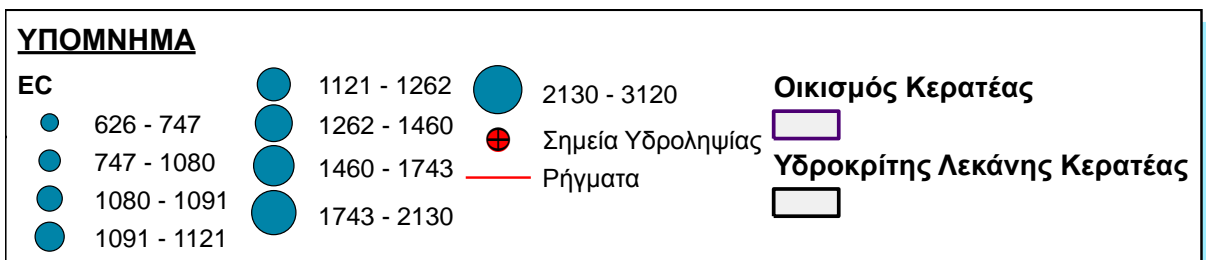
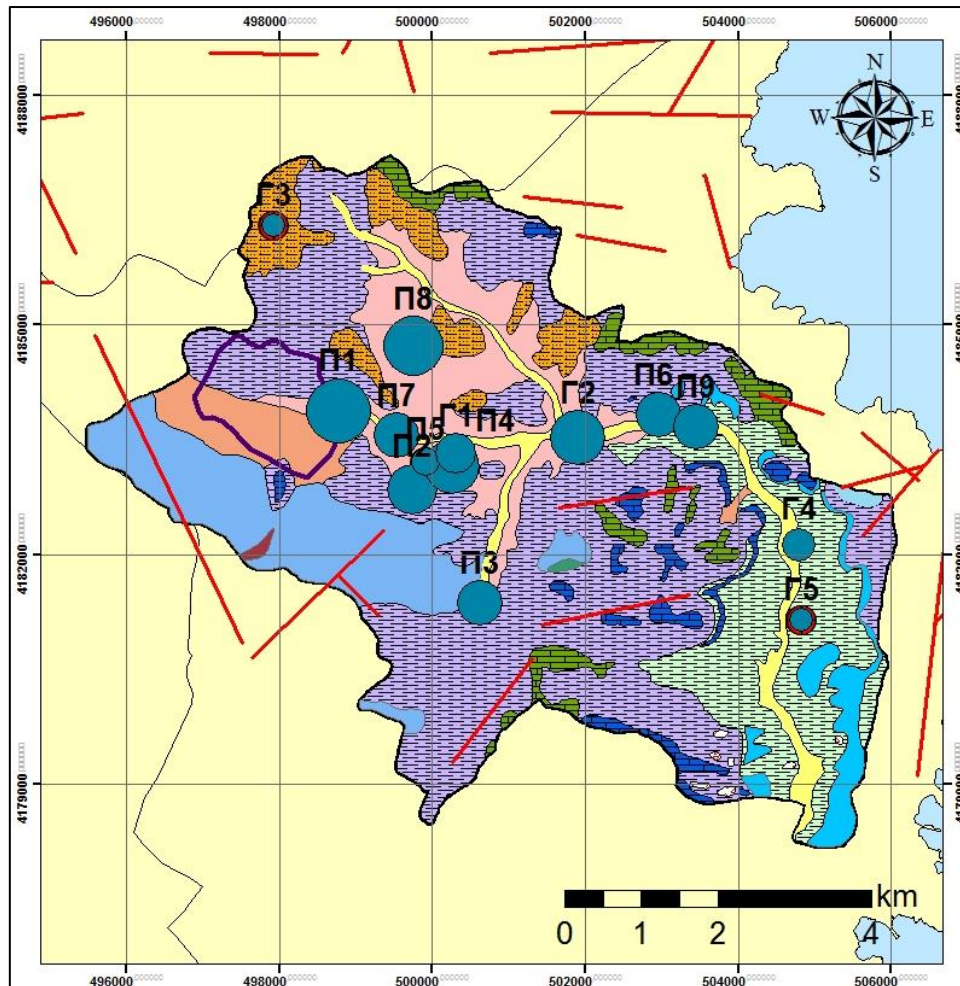


Εικόνα 10.5: Διακύμανση των τιμών της ηλεκτρικής αγωγιμότητας των υπογείων νερών της περιοχής μελέτης και η ένδειξη (κόκκινη γραμμή) του ανώτερου επιτρεπτού ορίου που αφορά τα πόσιμα νερά βάσει της Οδηγίας της Ε.Ε.

Αναλυτικότερα οι τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας έχουν ως εξής:

- **Νερά πηγαδιών:** Οι τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας στα δείγματα των πηγαδιών που υδρομαστεύουν τον φρεάτιο ορίζοντα κυμαίνονται από $1080 \mu\text{S}/\text{cm}$ έως $3120 \mu\text{S}/\text{cm}$ και μέση τιμή $1586 \mu\text{S}/\text{cm}$. Μεγαλύτερες τιμές εμφανίζονται στα Π1 και Π8 με τιμές $3120 \mu\text{S}/\text{cm}$ και $2130 \mu\text{S}/\text{cm}$ αντίστοιχα.

- *Νερά γεωτρήσεων:* Οι τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας στα δείγματα των γεωτρήσεων κυμαίνονται από 626 $\mu\text{S}/\text{cm}$ έως 1743 $\mu\text{S}/\text{cm}$ και μέση τιμή 1066 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Η μεγαλύτερη τιμή εμφανίζεται στη γεώτρηση Γ2 και είναι 1743 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Παρατηρούμε ότι όλες οι τιμές είναι εκτός του ορίου της Κοινοτικής Οδηγίας.



Εικόνα 10.6: Χάρτης χωρικής κατανομής της ηλεκτρικής αγωγιμότητας των υπογείων νερών της περιοχής μελέτης

Η χωρική κατανομή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας των υπογείων νερών στην περιοχή μελέτης παρουσιάζεται στην Εικόνα 10.6. Διαπιστώνεται ότι οι χαμηλότερες τιμές εντοπίζονται στο ανατολικό τμήμα της περιοχής ενώ οι υψηλότερες εμφανίζονται σε πηγάδια και γεωτρήσεις που γειτνιάζουν σε οικισμούς ή στην βιομηχανική ζώνη που σημαίνει ότι δέχονται ανθρωπογενείς επιδράσεις.

10.4 Ολικά διαλυμένα στερεά (T.D.S.)

Τα ολικά διαλυμένα στερεά εκφράζουν την συνολική συγκέντρωση των διαλυμένων αλάτων στο νερό (Καλλέργης, 1986) και υπολογίζονται από το άθροισμα ιόντων, συμπεριλαμβανομένου και του διαλυμένου SiO_2 (Fetter, 1994) χωρίς να περιλαμβάνονται τα αιωρούμενα ιζήματα, τα κολλοειδή και τα διαλυμένα αέρια. Γενικά είναι μια παράμετρος που εκφράζει ένα δείκτη μεταλλικότητας (αλατότητας). Η συγκέντρωση των διαλυμένων αλατων στο νερό εξαρτάται από την φύση των πετρωμάτων, την ταχύτητα ροής και τον χρόνο παραμονής (Καλλέργης, 1986; 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).

Το T.D.S. επηρεάζεται από την διείσδυση της θάλασσας, την εξάτμιση του νερού και την διάλυση ορυκτής ύλης. Αυξάνεται από το νερό κατείσδυσης που διηθείται στον υδροφόρο ιδίως στις αρδευόμενες περιοχές. Μεγάλες τιμές αλατότητας απαντώνται σε υδροφόρους ξηρών περιοχών και σε λεκάνες με κακή στράγγιση. Στις παράκτιες περιοχές τα αερομεταφερόμενα άλατα αποτελούν μια σημαντική πηγή αλατότητας των υπογείων νερών (Βουδούρης, 2006)

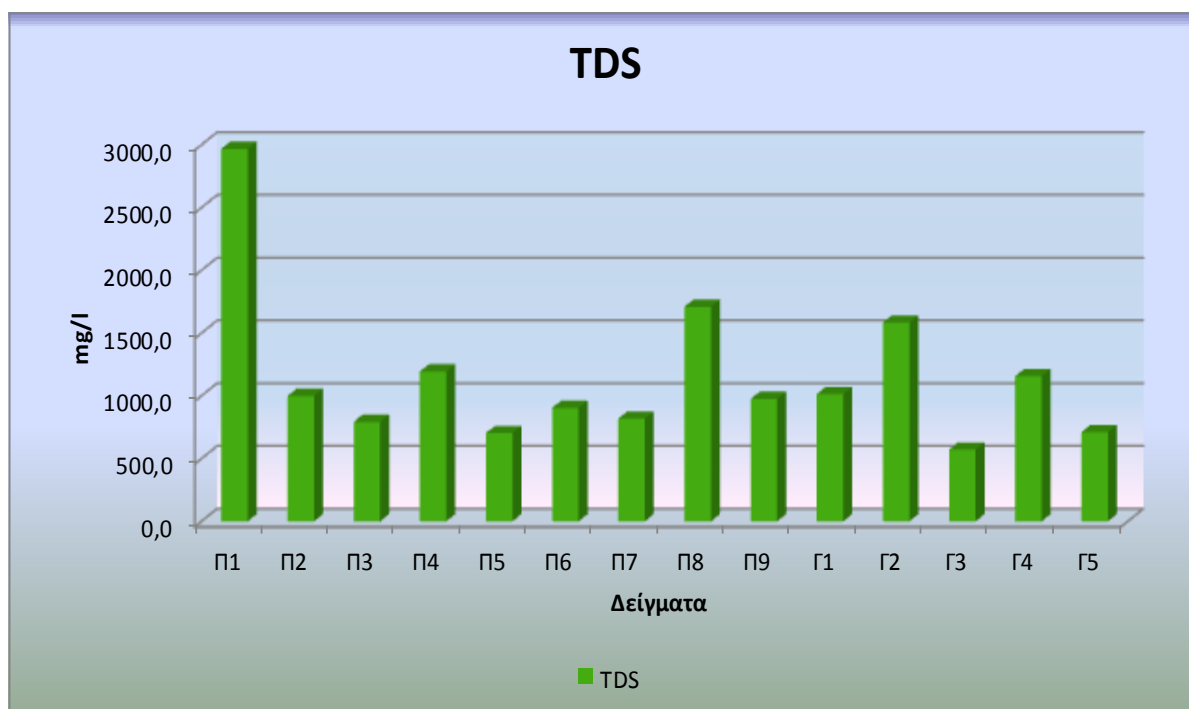
Το σύνολο των διαλυμένων στερεών συνδέεται με την αγωγιμότητα με μια προσεγγιστική σχέση : $T.D.S.=k_e \times E.C$

Όπου το T.D.S. εκφράζεται σε mg/l και το E.C σε $\mu\text{S}/\text{cm}$ στους 25°C . Ο k_e , που είναι ένας συντελεστής παίρνει τιμές μεταξύ 0,55 και 0,88 για υπόγεια νερά.

Ο Bouwer (1978) διαχωρίζει τα υπόγεια νερά ανάλογα με το περιεχόμενο τους σε ολικά διαλυμένα στερεά σε:

Γλυκά	<1000 mg/l
Μέτρια Αλμυρά	3000-10000 mg/l
Πολύ Αλμυρά	10000-35000 mg/l
Υπεραλμυρά	>35000 mg/l

Στην Εικόνα 10.7 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 από 571 mg/l έως 2969 mg/l. Στο μεγαλύτερο ποσοστό των δειγμάτων οι τιμές κυμαίνονται περί τα 1000 mg/l. Εξαιρέση αποτελούν τα δυο πηγάδια Π1 και Π8 καθώς και η γεώτρηση Γ2, των οποίων οι τιμές ανέρχονται σε 2968,7 mg/l, 1709,5 mg/l και 1584 mg/l αντίστοιχα.



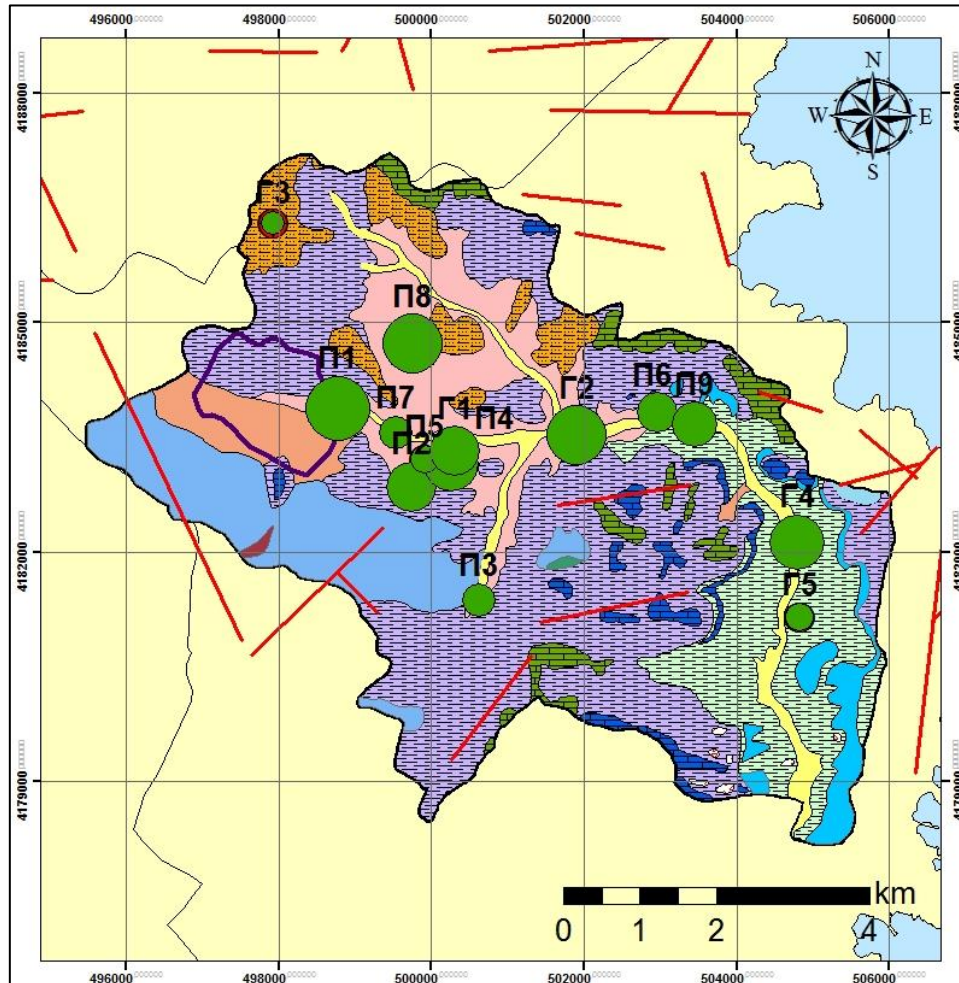
Εικόνα 10.7: Διακύμανση των τιμών συγκέντρωσης ολικών αλάτων (TDS) των υπογείων νερών της περιοχής μελέτης.

Αναλυτικότερα οι τιμές των TDS έχουν ως εξής:

- *Νερά πηγαδιών:* Οι τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας στα δείγματα των πηγαδιών που υδρομαστεύουν τον φρεάτιο ορίζοντα κυμαίνονται από 704 mg/l έως 2969 mg/l και μέση τιμή 1229 mg/l. Τα νερά σχεδόν όλων των πηγαδιών,

εκτός του Π1 και το Π8 δεν εμφανίζουν συγκεντρώσεις TDS πάνω από 1000 mg/l συνεπώς τα νερά του φρεάτιου ορόζοντα χαρακτηρίζονται ως ολιγομεταλλικά.

- *Νερά γεωτρήσεων:* Οι τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας στα δείγματα των γεωτρήσεων κυμαίνονται από 370 mg/l έως 1316 mg/l και μέση τιμή 712 mg/l. Και αυτά τα νερά χαρακτηρίζονται ολιγομεταλλικά με εξαίρεση την γεώτρηση Γ2 με τιμή 1316 mg/l.



ΥΠΟΜΝΗΜΑ			
TDS (mg/l)	● 904 - 974,7	● 1709,5 - 2968,7	Οικισμός Κερατέας
● 571	● 974,7 - 1014	● Σημεία Υδροληψίας	▭ Υδροκρίτης Λεκάνης Κερατέας
● 571 - 711	● 1014 - 1193,9	— Ρήγματα	▭
● 711 - 818,2	● 1193,9 - 1709,5		
● 818,2 - 904			

Εικόνα 10.8: Χάρτης χωρικής κατανομής της συγκέντρωσης των Ολικών Διαλυμένων Στερεών (TDS) των υπογείων νερών της περιοχής μελέτης

Τα αντίστοιχα πηγάδια και γεωτρήσεις χαρακτηρίζονται επίσης και από υψηλές τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας, όπως προαναφέρθηκε. Τα στοιχεία που συμβάλουν στην αύξηση της αλατότητας, σε σύγκριση με τα υπολοιπα πηγάδια και γεωτρήσεις είναι το νάτριο και τα θειικά που εμφανίζουν υψηλές συγκεντρώσεις. Η παρουσία των στοιχείων αυτών συνδυάζεται με ανθρωπογενείς επιδράσεις και με την ύπαρξη υπολειμματικών εβαποριτικών αλάτων.

10.5 Αλκαλικότητα

Αλκαλικότητα είναι η ικανότητα του νερού να εξουδετερώνει οξέα. Στο εργαστήριο προσδιορίζεται με τιτλοδότηση του δείγματος του νερού με διάλυμα θειικού οξέος. Η αλκαλικότητα οφείλεται στην παρουσία των όξινων ανθρακικών HCO_3^- ιόντων, των ανθρακικών CO_3 ιόντων και των ιόντων υδροξυλίου OH^- στο νερό. Κάτω από 4,5 pH το διαλυμένο διοξείδιο του άνθρακα είναι σε ισοροπία με το ανθρακικό οξύ στο διάλυμα, έτσι δεν υπάρχει αλκαλικότητα. Μεταξύ 4,5 και 8,3 pH μειώνεται το CO_2 και αυξάνονται τα ιόντα HCO_3^- . Πάνω από pH 8,3 τα HCO_3^- δίνουν ιόντα CO_3^{2-} . Ιόντα υδροξυλίου εμφανίζονται σε pH μεγαλύτερο από 9,5 και αντιδρούν με το διοξείδιο του άνθρακα για να δώσουν όξινα ανθρακικά και ανθρακικά. Τα χλωριούχα, θειικά και νιτρικά ιόντα δεν συμβάλουν στην αλκαλικότητα.

Στα φυσικά νερά επικρατεί pH μεταξύ 6,5 και 8,5 εντοπίζονται μόνο τα ιόντα των όξινων ανθρακικών (HCO_3^-) (Λαμπράκης, 1991). Τα φυσικά νερά έχουν μεγάλη ρυθμιστική ικανότητα, δηλαδή αντιστέκονται σε απότομες μεταβολές του pH. Υψηλές τιμές αλκαλικότητας πιθανόν να οφείλονται σε επίδραση εξωγενών παραγόντων όπως ρύπανση από αλκαλικού τύπου οικιακά ή βιομηχανικά απόβλητα.

10.6 Σκληρότητα

Η σκληρότητα του νερού είναι η ιδιότητα που οφείλεται στην περιεκτικότητα του σε δισθενή κατιόντα Ca^{++} και Mg^{++} . Τα στοιχεία Ca^{2+} και Mg^{2+} είναι κυρίως γεωγενούς προέλευσης έτσι η σκληρότητα εξαρτάται από τα πετρώματα που έχει περάσει το νερό. Διακρίνεται: **α) σε ανθρακική (ή παροδική) σκληρότητα** που οφείλεται στα όξινα ανθρακικά (διπτανθρακικά) άλατα του ασβεστίου [$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$] και του μαγνησίου [$\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$] τα οποία προέρχονται από την διάλυση αλάτων Ca^{2+} και Mg^{2+} που υπάρχουν στα διάφορα πετρώματα ή στο έδαφος μέσα από το

οποίο διέρχεται το νερό. Το CO₂ που ελευθερώνεται από την βακτηριακή δράση σε οργανικές ουσίες του αδάφους ή που προσλαμβάνεται από την ατμόσφαιρα διευκολύνει την διάλυση αυτή. Η ανθρακική (παροδική) σκληρότητα αφαιρείται με βρασμό του νερού κατά τον οποίο το CO₂ διαφεύγει και τα αδιάλυτα CaCO₃ και MgCO₃ καθιζάνουν σαν ανθρακικά άλατα:



β) στην μη ανθρακική (μόνιμη) σκληρότητα που οφείλεται στα υπόλοιπα άλατα (χλωριούχα άλατα του ασβεστίου και του μαγνησίου, θειικά, νιτρικά, ανθρακικά). Η μόνιμη σκληρότητα δεν αφαιρείται με βρασμό.

Το άθροισμα της μόνιμης και παροδικής είναι η **ολική σκληρότητα**. Η σκληρότητα εκφράζεται σε mg/l CaCO₃ και σε βαθμούς σκληρότητας. Περιοχές που αποτελούνται από ανθρακικά πετρώματα των οποίων το πάχος τους είναι μεγάλο το νερό αποκτά μεγάλη σκληρότητα (Καλλέργης, 1986). Μαλακά θεωρούνται τα νερά με σκληρότητα 0-100 mg/l CaCO₃. Μέση σκληρότητας θεωρούνται τα νερά με τιμές 100-200 mg/l CaCO₃. Τα σκληρά νερά εμφανίζουν τιμές 200-300 mg/l CaCO₃. Τέλος νερά με τιμές πάνω από 300 mg/l CaCO₃ χαρακτηρίζονται ως πολύ σκληρά.

Με βάση τα γερμανικά πρότυπα και τον βαθμό της περιεκτικότητας της ολικής σκληρότητας τα φυσικά νερά ταξινομούνται στις παρακάτω κατηγορίες του πίνακα 10.1.

Πίνακας 10.1 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

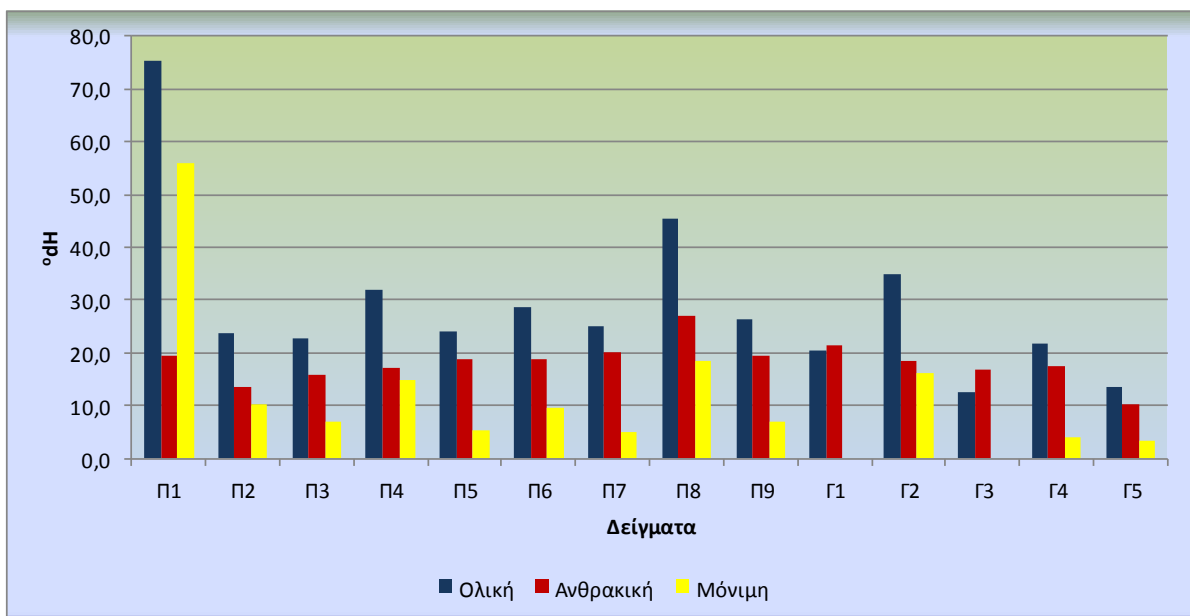
Μεγάλη είναι η σημασία του προσδιορισμού της σκληρότητας του νερού γιατί αποτελεί κριτήριο καταλληλότητας για πολλές χρήσεις του. Το σκληρό νερό δημιουργεί επικαθίσεις στις σωληνώσεις, στις οικιακές συσκευές (πλυντήρια κ.α) και

δεν είναι κατάλληλο για χρήση με κοινό σαπούνι γιατί αντί να δημιουργεί αφρό δημιουργεί αδιάλυτους σάπωνες ασβεστίου και μαγνησίου. Δεν είναι κατάλληλο για πόση επειδή δεν έχει καλή γεύση. Επίσης κατά την θέρμανση του αποθέτει ανθρακικό ασβέστιο ή ανθρακικό μαγνήσιο ή θειικό ασβέστιο ή μίγμα από τα παραπάνω στα τοιχώματα ατμολέβητων, ψυκτικών δεξαμενών και παρόμοιων μηχανημάτων προκαλώντας τους ζημιές.

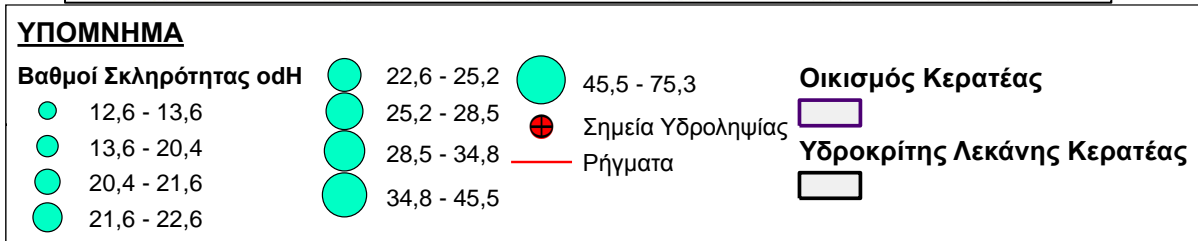
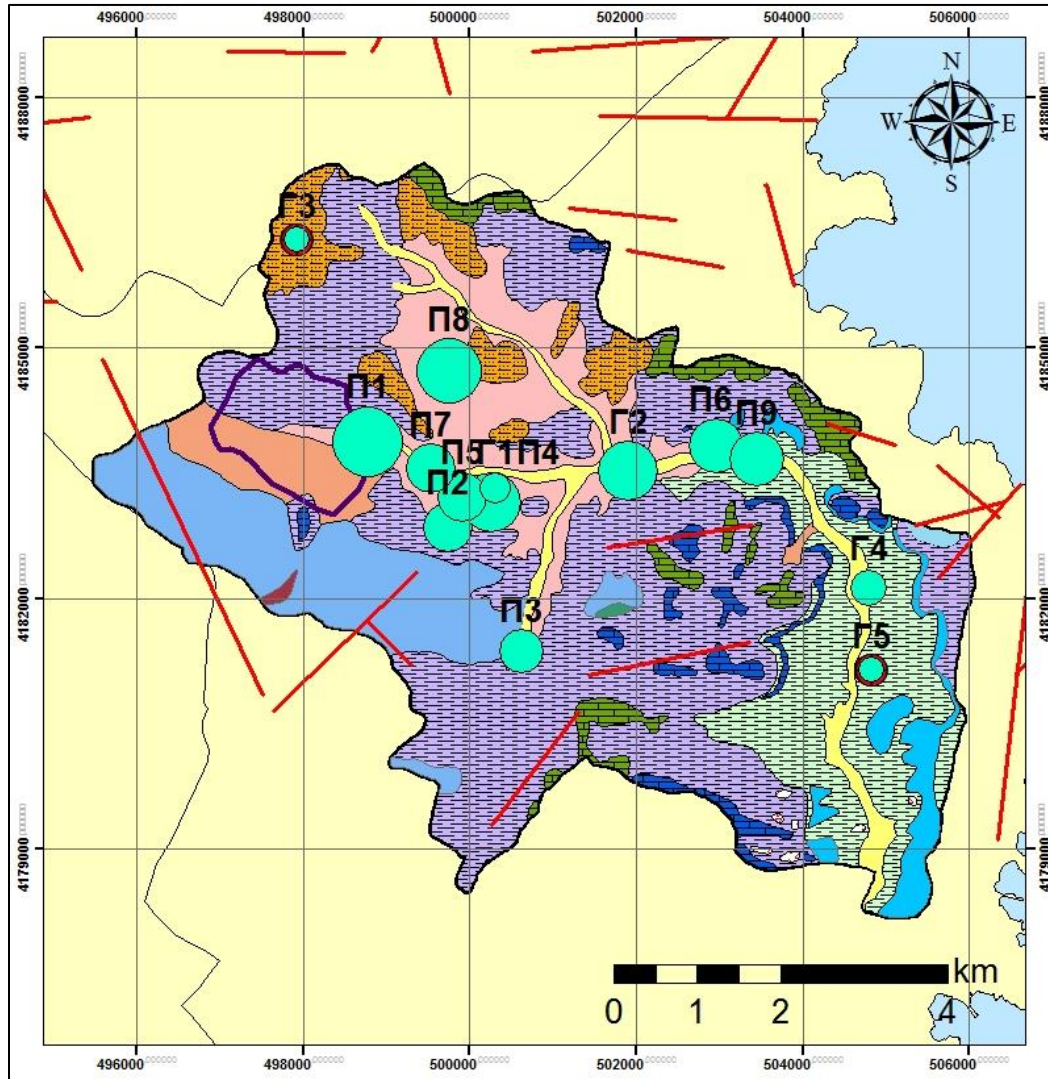
Η πολύ μεγάλη σκληρότητα του νερού το καθιστά ακατάλληλο για τον άνθρωπο γιατί προκαλεί διάρροιες ενώ η συνεχής εξωτερική χρήση προκαλεί ερεθισμό στο δέρμα. Επίσης συνδέεται και με καρδιαγγειακές παθήσεις.

Η ενδεικτική τιμή της ολικής σκληρότητας για το πόσιμο νερό είναι μεταξύ 80-150 mg/l CaCO₃ δηλαδή 4,5 – 8,5 °dH, ωστόσο νερά με σκληρότητα 500mg/l CaCO₃ θεωρούνται πόσιμα (Παππά 2001, Καλλέργης 1980).

Στην εικόνα 10.9 παρουσιάζονται οι τιμές της ολικής, της ανθρακικής και της μόνιμης σκληρότητας που εμφανίζουν τα υπόγεια νερά της περιοχής μελέτης. Παρατηρείται ότι η ανθρακική σκληρότητα κυμαίνεται περίπου στα ίδια επίπεδα ενώ υπάρχει σημαντική διαφοροποίηση στην μόνιμη και την ολική σκληρότητα.



Εικόνα 10.9: Διακύμανση των τιμών σκληρότητας των υπογείων νερών της περιοχής μελέτης



Εικόνα 10.10: Χάρτης χωρικής κατανομής της Ολικής Σκληρότητας των υπογείων νερών της περιοχής μελέτης.

Αναλυτικότερα οι τιμές της Ολικής σκληρότητας έχουν ως εξής:

- **Νερά πηγαδιών:** Οι τιμές της Ολικής σκληρότητας στα δείγματα των πηγαδιών που υδρομαστεύουν τον φρεάτιο ορίζοντα κυμαίνονται από 22,6 °dH έως 45,5 °dH και μέση τιμή 28,5 °dH. Εξαίρεση αποτελεί το πηγάδι Π1 που εμφανίζει υπερβολικά υψηλή τιμή 75,3 °dH. Το πηγάδι αυτό βρίσκεται εντός του οικισμού

της Κερατέας, χαρακτηρίζεται από υψηλή συγκέντρωση σε ιόντα μαγνησίου και έχει την υψηλότερη σκληρότητα. Γενικά τα νερά του φρεάτιου ορίζοντα χαρακτηρίζονται σκληρά έως πολύ σκληρά.

- *Νερά γεωτρήσεων:* Οι τιμές της Ολικής σκληρότητας στα δείγματα των γεωτρήσεων κυμαίνονται από 12,6 °dH έως 34,8 °dH και μέση τιμή 20,6 °dH. Τα νερά αυτά χαρακτηρίζονται μέτρια σκληρά έως σκληρά με εξαίρεση την γεώτρηση Γ2 που χαρακτηρίζεται πολύ σκληρό.

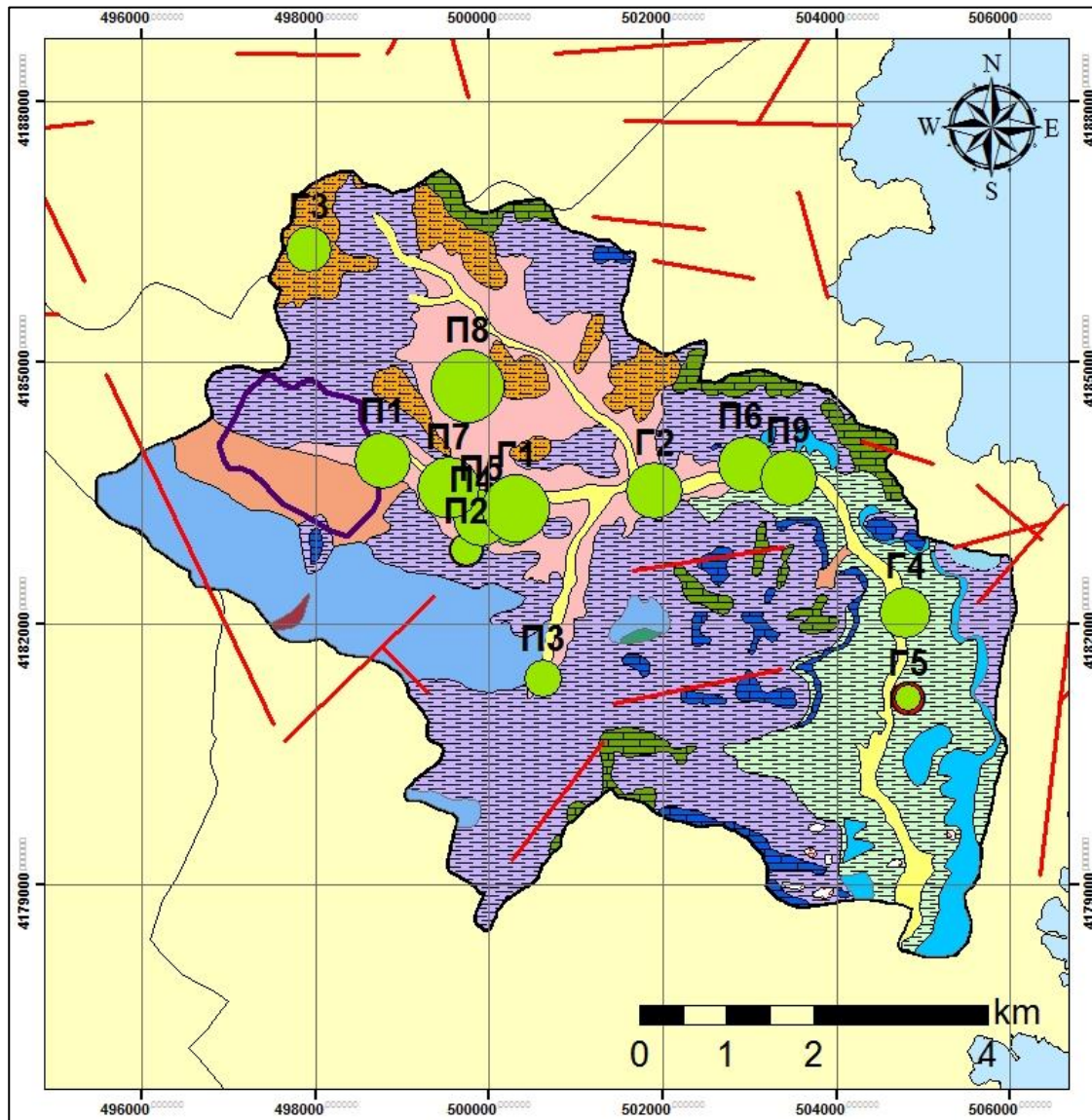
Η χωρική κατανομή της Ολικής σκληρότητας των υπογείων νερών στην περιοχή μελέτης παρουσιάζεται στην Εικόνα 10.10. Διαπιστώνεται ότι οι χαμηλότερες τιμές εντοπίζονται στο ανατολικό τμήμα της περιοχής ενώ οι υψηλότερες εμφανίζονται στο κεντρικό και δυτικό τμήμα. Η διαφοροποίηση αυτή οφείλεται στο ότι στο κεντρικό τμήμα εντοπίζονται εντός των Τεταρτογενών υδροφορέων φαινόμενα κατιοανταλλαγής τα οποία έχουν σαν αποτέλεσμα την μείωση της ολικής σκληρότητας και την αντίστοιχη μείωση της μόνιμης σκληρότητας.

Οι τιμές της Ανθρακικής ή Παροδικής σκληρότητας των υπογείων νερών της περιοχής μελέτης έχουν ως εξής:

- *Νερά πηγαδιών:* Οι τιμές της παροδικής σκληρότητας στα δείγματα των πηγαδιών που υδρομαστεύουν τον φρεάτιο ορίζοντα κυμαίνονται από 13,7 °dH έως 26,9 °dH και μέση τιμή 18,9 °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 όχι νερά που βρίσκονται σε στάδιο κατιονταλλαγής.
- *Νερά γεωτρήσεων:* Οι τιμές της παροδικής σκληρότητας στα δείγματα των γεωτρήσεων κυμαίνονται από 10,4 °dH έως 21,3 °dH και μέση τιμή 16,9 °dH. Μόνο στη γεώτρηση Γ1 και Γ3 εμφανίζονται υψηλότερες τιμές ανθρακικής σκληρότητας από τις τιμές της ολικής σκληρότητας πράγμα που σημαίνει ότι στο ευρύτερο περιβάλλον των γεωτρήσεων αυτών γίνονται γεωχημικές διαδικασίες κατιοανταλλαγής. Έτσι τα γεωαλκαλικά νερά μετατρέπονται σε αλκαλικά, τα οποία χαρακτηρίζονται από υψηλές συγκεντρώσεις Νατρίου και υψηλή τιμή pH.

Η χωρική κατανομή της Ανθρακικής σκληρότητας των υπογείων νερών στην περιοχή μελέτης παρουσιάζεται στην Εικόνα 10.11. Διαπιστώνεται ότι οι χαμηλότερες

τιμές εντοπίζονται στο νότιο και ανατολικό τμήμα της περιοχής ενώ οι υψηλότερες εμφανίζονται στο κεντρικό και δυτικό τμήμα.

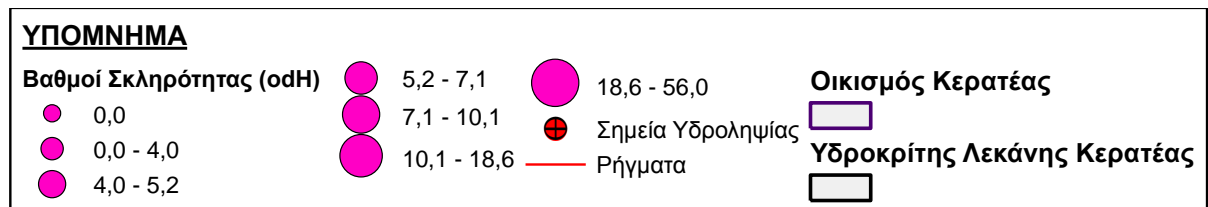
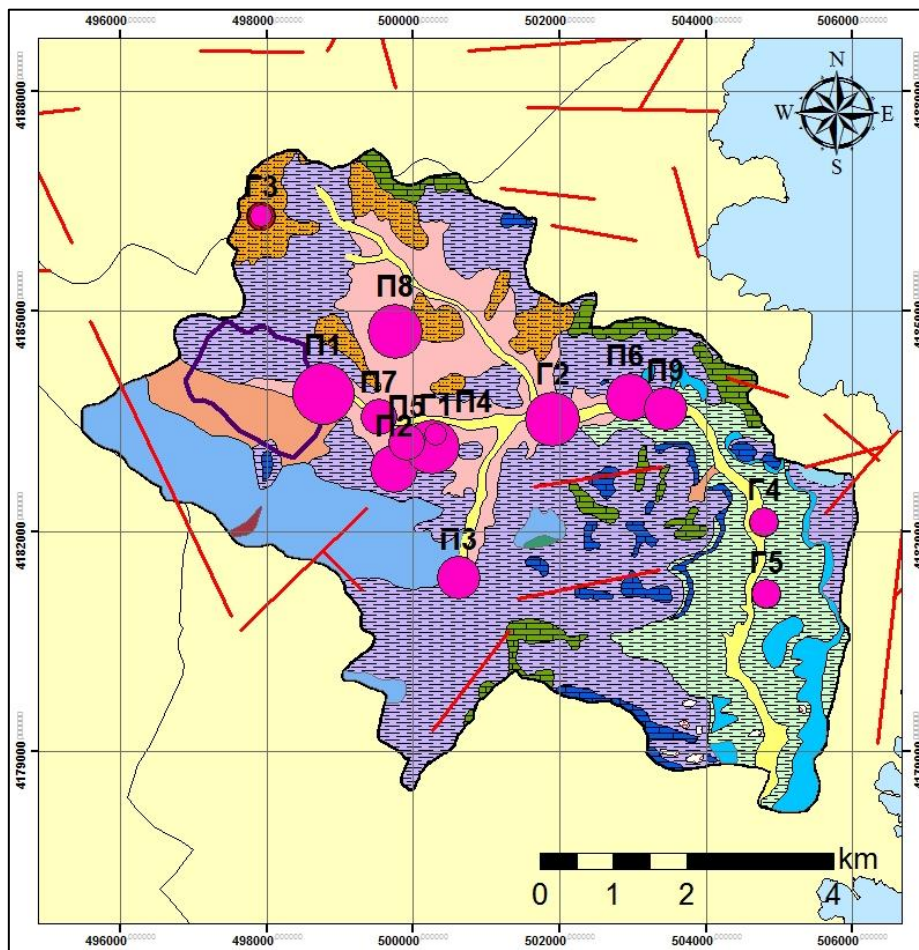


ΥΠΟΜΝΗΜΑ			
Βαθμοί Σκληρότητας (odH)	● 15,7 - 17,08	● 20,2 - 21,3	— Ρήγματα
● 10,4	● 17,08 - 17,6	● 21,3 - 26,9	Οικισμός Κερατέας
● 10,4 - 13,7	● 17,6 - 19,3	● + Σημεία Υδροληψίας	□
● 13,7 - 15,7	● 19,3 - 20,2		

Εικόνα 10.11: Χάρτης χωρικής κατανομής της Ανθρακικής σκληρότητας των υπογείων νερών της περιοχής μελέτης.

Οι τιμές της Μόνιμης σκληρότητας των υπογείων νερών της περιοχής μελέτης έχουν ως εξής:

- *Νερά πηγαδιών:* Οι τιμές της μόνιμης σκληρότητας στα δείγματα των πηγαδιών που υδρομαστεύουν τον φρεάτιο ορίζοντα κυμαίνονται από 5,0 °dH έως 18,6 °dH και μέση τιμή 9,7 °dH. Εξαίρεση αποτελεί πάλι το πηγάδι Π1 που εμφανίζει υπερβολικά υψηλή τιμή 56,0 °dH για τους λόγους που προαναφέρθηκαν.
- *Νερά γεωτρήσεων:* Οι τιμές της μόνιμης σκληρότητας στα δείγματα των γεωτρήσεων κυμαίνονται από 0,0 °dH έως 16,3 °dH και μέση τιμή 4,0 °dH.



Εικόνα 10.12: Χάρτης χωρικής κατανομής της Μόνιμης σκληρότητας των υπογείων νερών της περιοχής μελέτης.

Η χωρική κατανομή της Μόνιμης σκληρότητας των υπογείων νερών στην περιοχή μελέτης παρουσιάζεται στην Εικόνα 10.12. Διαπιστώνεται ότι οι χαμηλότερες τιμές μόνιμης σκληρότητας εντοπίζονται στο ανατολικό και βόρειο τμήμα της περιοχής και είναι αποτέλεσμα διαδικασιών κατιοανταλλαγής ενώ οι υψηλότερες εμφανίζονται στο κεντρικό τμήμα της περιοχής μελέτης.

10.7 Σφάλμα ισοζυγίου

Το σφάλμα απο το ισοζύγιο των θετικών και των αρνητικών φορτίων εκφράζεται απο την διαφορά τους σαν ποσοστό επι της % του αθροίσματος και δεν πρέπει να υπερβαίνει το 5-7%. Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται μόνο στην περίπτωση που τα κύρια ιόντα έχουν αναλυθεί.

Ο υπολογισμός του σφάλματος του ισοζυγίου ανιόντων – κατιόντων υπολογίζεται από τη σχέση (Λαμπράκης, 1991):

$$\text{Σφάλμα ισοζυγίου} = \frac{\sum \text{κατιόντων} - \sum \text{ανιόντων}}{\sum \text{κατιόντων} + \sum \text{ανιόντων}} \times 100$$

10.8 Δυναμικό οξειδωαναγωγής

Οι αντιδράσεις οξειδοαναγωγής είναι ιδιαίτερα σημαντικές στο περιβάλλον και χαρακτηρίζονται από την αλλαγή του αριθμού οξείδωσης των αντιδρώντων λόγω μεταφοράς ηλεκτρονίων από το ένα αντιδρών στο άλλο. Το οξειδοαναγωγικό δυναμικό ενός διαλύματος εκφράζεται με το Eh. Αν το Eh>0 τότε το δυναμικό είναι οξειδωτικό ενώ αν το Eh<0 το δυναμικό είναι αναγωγικό. Ένα διάλυμα ονομάζεται οξειδωτικό όταν έχει χάσει ηλεκτρόνια ενώ όταν προσλαμβάνει ηλεκτρόνια ονομάζεται αναγωγικό.

Η μεταβολή του pH στο περιβάλλον προκαλεί σημαντική μεταβολή της τιμής του δυναμικού οξειδωαναγωγής λόγω της συμμετοχής των ιόντων OH⁻ στις αντιδράσεις οξειδωαναγωγής.

Έτσι συγκεντρωτικά το pH δείχνει τον αριθμό των πρωτονίων και το Eh τον αριθμό των ηλεκτρονίων που υπάρχουν σε ένα υδατικό διάλυμα.

10.9 Διαλυμένο οξυγόνο

Είναι το οξυγόνο που δεσμεύεται από το νερό όταν βρέχει ή όταν υπάρχει επιφανειακή επαφή. Βρίσκεται στο νερό διαλυμένο ή με μοριακή μορφή. Παρουσιάζει μικρή διαλυτότητα στο νερό και η περιεκτικότητά σε αυτό εξαρτάται από (Βουδούρης, 2006):

- Την θερμοκρασία, όσο αυξάνεται η θερμοκρασία του νερού τόσο μειώνεται η περιεκτικότητά του σε οξυγόνο.
- Την ποσότητα της οργανικής ύλης, η οποία αποσυντίθεται στο νερό.
- Τον βαθμό της διείσδυσης του φωτός, που εξαρτάται από το βάθος.
- Την παρουσία ή απουσία φυτών τα οποία μπορούν να φωτοσυνθέσουν.

Η παρουσία του οξυγόνου υποδηλώνει πρόσφατη έκθεση του νερού στην επίδραση της ατμόσφαιρας. Έτσι το οξυγόνο θεωρείται δείκτης ανανέωσης των υδροφόρων. Τα παλαιά νερά που δεν ανανεώνονται έχουν μικρή συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου. Το νερό που κατεισδύει και προέρχεται από ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα ή από επιφανειακή απορροή είναι πλούσιο σε οξυγόνο και είναι οξειδωτικός παράγοντας για τον υδροφόρο. Διερχόμενο από την ακόρεστη ζώνη προς την κορεσμένη χάνει σε συγκέντρωση οξυγόνου εκθετικά και σε βάθη μεγαλύτερα των 20m από την υδροστατική επιφάνεια το οξυγόνο εκλείπει τελείως.

11. ΚΥΡΙΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

11.1 Κύρια ανιόντα και κατιόντα

11.1.1 Ασβέστιο (Ca)

Πρόκειται για το κύριο κατιόν του υπόγειου νερού. Υπάρχει σε όλα τα φυσικά νερά και προέρχεται από μάρμαρα και ανθρακικά ιζηματογενή πετρώματα που περιέχουν τα ορυκτά ασβεστίτη (CaCO_3), δολομίτη (MgCO_3), γύψο ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), αραγωνίτη και τα αργιλικά πετρώματα ή από δάλυση πετρωμάτων όπως είναι τα ανθρακικά πετρώματα, οι ασβεστικοί ψαμμίτες, οι μάργες, οι μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι κλπ. (Appelo-Postma, 1996) δια μέσου των οποίων διέρχεται το νερό. Μπορεί να προέλθει από εκρηξιγενή πετρώματα που περιέχουν ορυκτά όπως οι πυρόξενοι, οι αμφίβολοι και οι άστριοι. Ασβέστιο περιέχουν επίσης και πυριτικά ορυκτά που έχουν προέλθει από μεταμόρφωση όπως πλαγιόκλαστα, αμφίβολοι και πυρόξενοι που είναι αδιάλυτα στο νερό αλλά κατά την διάβρωση δίνουν αργιλικά ορυκτά και προϊόντα Ca.

Δεν έχει αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία. Είναι βασικό στοιχείο του ανθρώπινου σώματος και είναι απαραίτητο για τη νευγεία των οστών. Ο σκελετός και τα δόντια περιέχουν το 99% του ολικού ασβεστίου ενώ το υπόλοιπο 1% βρίσκεται στο αίμα και σε ιστούς. Συμβάλει στην καλή κατάσταση των οστών, των δοντιών, στην εύρυθμη λειτουργία του μυοκαρδίου, των μυών και των νεύρων, στην μείωση της αρτηριακής πίεσης και της χοληστερίνης.

Τα καθαρά νερά με pH από 9 μέχρι 10 περιέχουν περίπου 5,6 mg/l Ca^{++} . Τα υπόγεια νερά όταν το CO_2 βρίσκεται σε μικρές ποσότητες έχουν συγκέντρωση περίπου 100 mg/l ενώ για μεγαλύτερες ποσότητες CO_2 έχουμε συγκεντρώσεις 200-300 mg/l. Γενικά η συγκέντρωση ασβεστίου κυμαίνεται από μηδέν μέχρι μερικές εκατοντάδες mg/l ανάλογα με την προέλευση του νερού και συμβάλλει στην ολική σκληρότητά του.

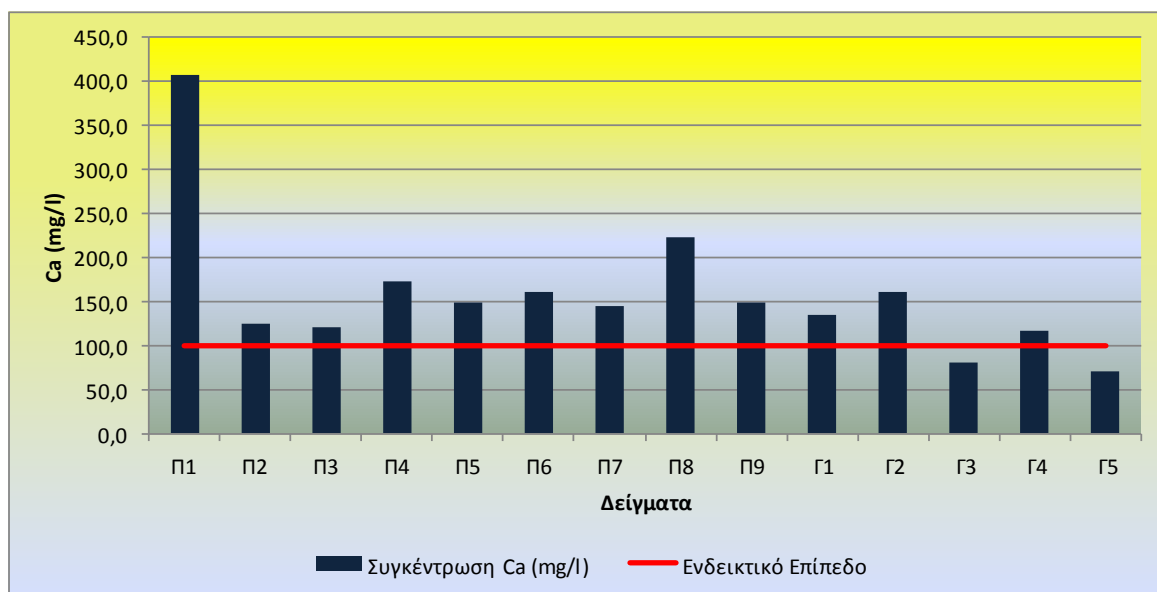
Το ενδεικτικό επίπεδο της συγκέντρωσης Ca στα πόσιμα νερά σύμφωνα με την οδηγία 80/778/15-7-80 της Ε.Ε είναι 100 mg/l.

Οι τιμές συγκέντρωσης ασβεστίου στα υπόγεια νερά της περιοχής μελέτης κυμαίνονται μεταξύ 70,4 mg/l και 408,0 mg/l. Τις υψηλότερες τιμές παρουσιάζουν τα δείγματα των πηγαδιών και οι γεωτρήσεις Γ1 και Γ2.

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

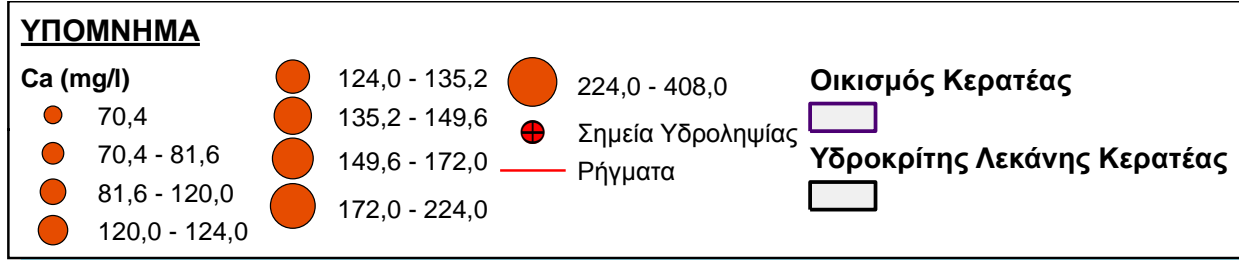
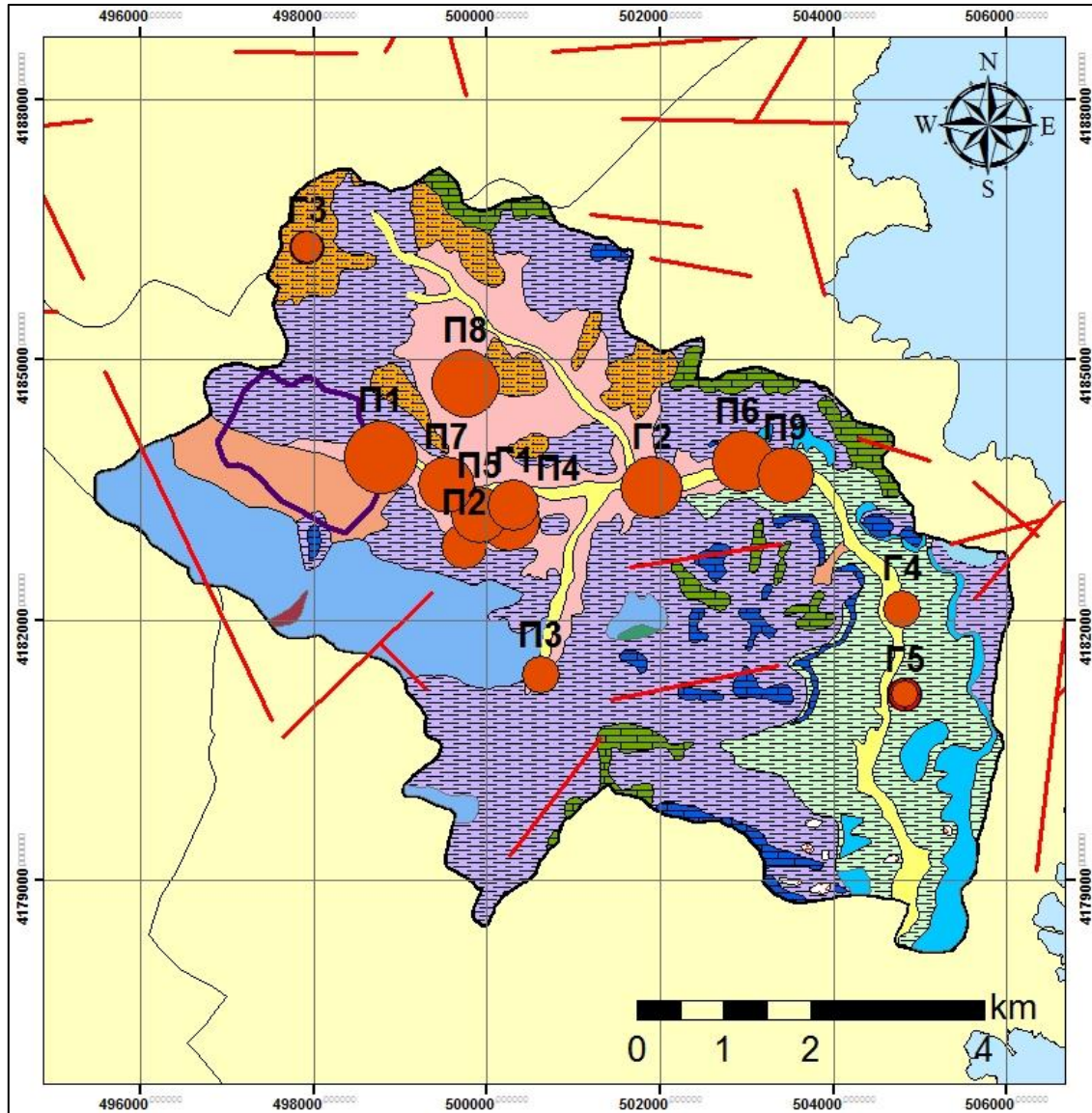
Οι τιμές του ασβεστίου των υπογείων νερών της περιοχής μελέτης έχουν ως εξής:

- *Νερά πηγαδιών:* Οι τιμές του ασβεστίου στα δείγματα των πηγαδιών που υδρομαστεύουν τον φρεάτιο ορίζοντα κυμαίνονται από 120,0 mg/l έως 224,0 mg/l και μέση τιμή 155,4 mg/l. Εξαιρέση αποτελεί το πηγάδι Π1 που εμφανίζει υπερβολικά υψηλή τιμή 408,0 mg/l.
- *Νερά γεωτρήσεων:* Οι τιμές του ασβεστίου στα δείγματα των γεωτρήσεων κυμαίνονται από 70,4 mg/l έως 160,0 mg/l και μέση τιμή 112,6 mg/l.



Εικόνα 11.1: Διακύμανση των τιμών της συγκέντρωσης ασβεστίου των υπογείων νερών της λεκάνης της Κερατέας και η ένδειξη του ανώτερου επιτρεπτού ορίου (κόκκινη γραμμή) που αφορά τα πόσιμα νερά βάσει της Οδηγίας της Ε.Ε.

Η χωρική κατανομή της συγκέντρωσης ασβεστίου των υπογείων νερών στην περιοχή μελέτης παρουσιάζεται στην Εικόνα 11.2. Διαπιστώνεται ότι οι χαμηλότερες τιμές εντοπίζονται στο ανατολικό τμήμα της περιοχής ενώ οι υψηλότερες εμφανίζονται στο κεντρικό και δυτικό τμήμα και κοντά στον οικισμό της Κερατέας.



Εικόνα 11.2: Χάρτης χωρικής κατανομής του ασβεστίου των υπογείων νερών της περιοχής μελέτης

11.1.2 Μαγνήσιο (Mg)

Είναι σε αφθονία στη φύση και είναι από τα συνηθισμένα συστατικά των φυσικών νερών. Στα υπόγεια νερά απαντάται σε σχετικά μικρές ποσότητες εκτός και εάν το νερό έρχεται σε επαφή με δολομίτες όπου το Mg και το Ca βρίσκονται σε ίσες ποσότητες ή με εβαπορίτες πλούσιους σε Mg.

Το Mg είναι το κύριο συστατικό σε σιδηρομαγνησιούχα ορυκτά όπως οι πυρόξενοι, οι αμφίβολοι, ο ολιβίνης $(Mg,Fe)SiO_4$ και στις σκουρόχρωμες μαρμαρυγίες. Συναντάται στα ανθρακικά πετρώματα σαν μαγνησίτης $(MgCO_3)$ και δολομίτης $[Ca,Mg(CO_3)_2]$. Το συναντάμε επίσης στα εξαλλοιωμένα πετρώματα των σερπεντινών, χλωριτών, μοντμοριλλονιτών και οφιολίθων. Το Mg έχει σε σχέση με το Ca^{++} μεγαλύτερο χρόνο παραμονής σε θαλάσσιο περιβάλλον με αποτέλεσμα να υπερτερεί ποσοτικά. Έτσι σε υπόγεια νερά παραθαλάσιων περιοχών η παρουσία μεγάλης συγκέντρωσης Mg είναι ένδειξη διείσδυσης της θάλασσας ενώ σε πολύ μικρότερες ποσότητες είναι δυνατόν να προέρχεται και από νερό της βροχής (Κελεπερτζής, 2000). Οι συνήθεις ιοντικές συγκεντρώσεις του Mg^{2+} στα φυσικά υπόγεια νερά κυμαίνεται από 2,0 mg/l έως 50,0 mg/l (Matthess, 1973, Arrelo-Postma, 1996)

Τα άλατά του μαζί με του ασβεστίου αποτελούν την ολική σκληρότητα του νερού και όταν θερμανθούν σχηματίζουν επικαθίματα στις σωληνώσεις και τους λέβητες.

Βοηθά στην δομή των οστών, των μυϊκών ιστών, στο μεταβολισμό του ασβεστίου και της βιταμίνης C και παίζει σημαντικό ρόλο στην ρύθμιση της λειτουργίας της καρδιάς και στη μετατροπή των σακχάρων του αίματος σε ενέργεια. Δρα ανταγωνιστικά με το ασβέστιο καθώς αντιδρά με στοιχεία όπως το κάλιο, την βιταμίνη B6 και το βόριο. Νερά με συγκεντρώσεις μαγνησίου μεγαλύτερες από 125 mg/l μπορεί να έχουν καθαρτικές και διουρητικές ιδιότητες.

Το ενδεικτικό επίπεδο της συγκέντρωσης ιόντων Mg^{2+} στα πόσιμα νερά σύμφωνα με την οδηγία 80/778/15-7-80 της Ε.Ε είναι 30 mg/l ενώ το μέγιστο επιτρεπτό όριο τα 50 mg/l.

Οι τιμές συγκέντρωσης μαγνησίου στα υπόγεια νερά της περιοχής μελέτης κυμαίνονται μεταξύ 5,0 mg/l και 79,0 mg/l. Τις υψηλότερες τιμές παρουσιάζουν τα δείγματα των πηγαδιών Π1 και Π8. Στην εικόνα 11.3 παρουσιάζεται η διακύμανση

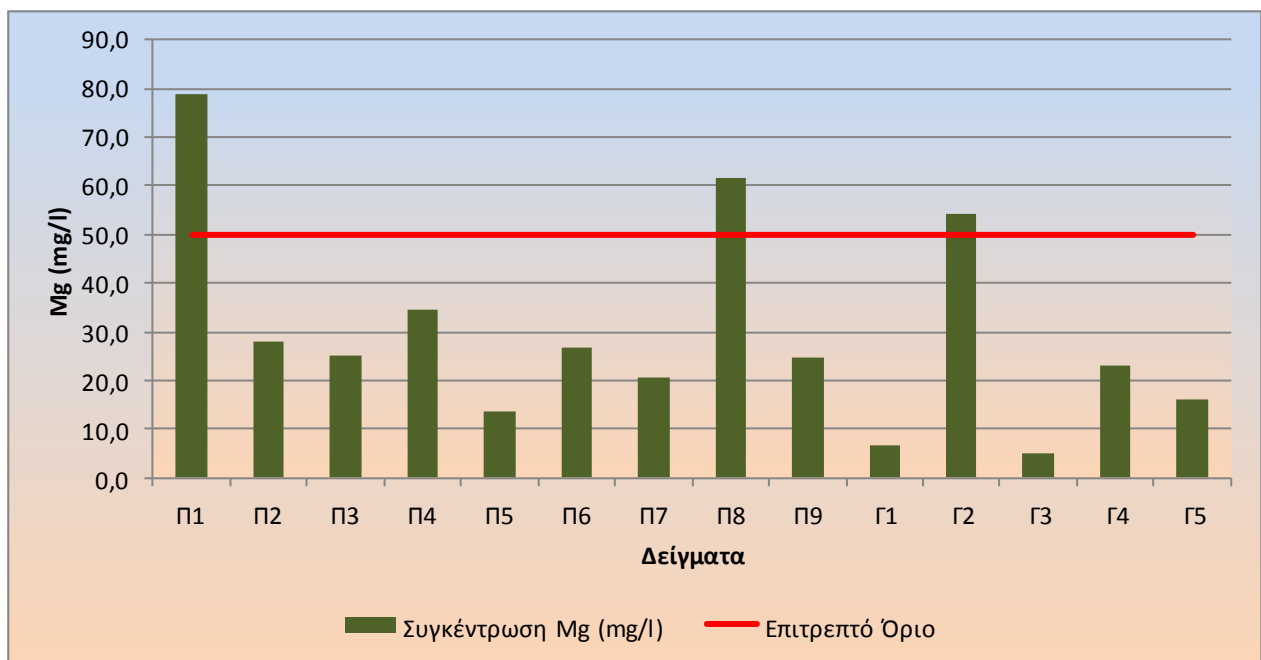
των τιμών μαγνησίου στα υπόγεια νερά της περιοχής, καθώς επίσης το ανώτερο επιτρεπτό όριο που αφορά τα πόσιμα νερά βάσει της οδηγίας της Ε.Ε.

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

Οι τιμές του ασβεστίου των υπογείων νερών της περιοχής μελέτης έχουν ως εξής:

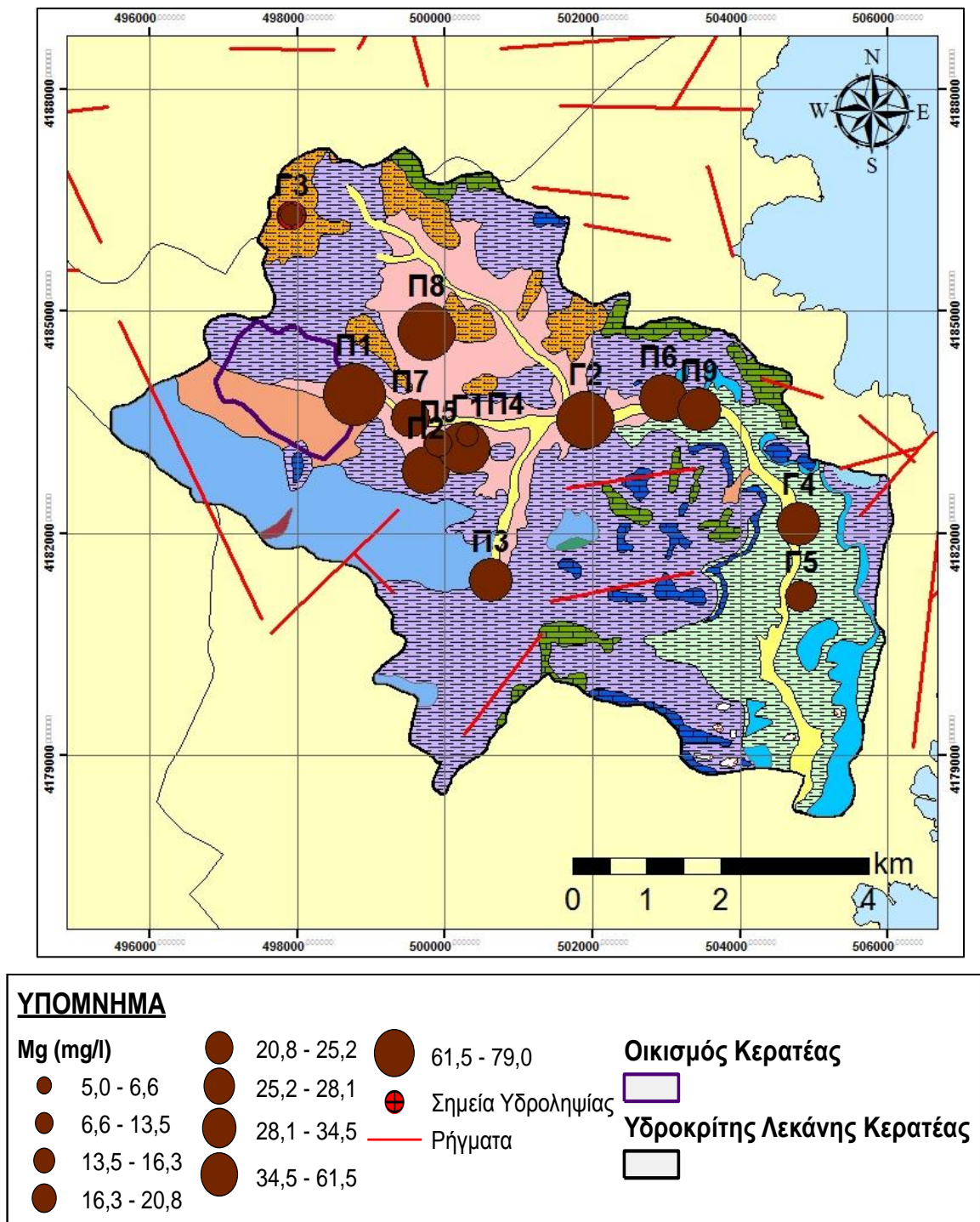
- *Νερά πηγαδιών:* Οι τιμές του μαγνησίου στα δείγματα των πηγαδιών που υδρομαστεύουν τον φρεάτιο ορίζοντα κυμαίνονται από 13,5 mg/l έως 79,0 mg/l και μέση τιμή 34,9 mg/l.
- *Νερά γεωτρήσεων:* Οι τιμές του μαγνησίου στα δείγματα των γεωτρήσεων κυμαίνονται από 5,0 mg/l έως 54,1 mg/l και μέση τιμή 21,0 mg/l.

Όλες οι τιμές είναι μικρότερες των 50,0 mg/l με εξαίρεση τις τιμές των Π1, Π8 και Γ2 με 79,0 mg/l, 61.5 mg/l και 51.4 mg/l αντίστοιχα.



Εικόνα 11.3: Διακύμανση των τιμών της συγκέντρωσης μαγνησίου των υπογείων νερών της λεκάνης της Κερατέας και η ένδειξη του ανώτερου επιτρεπτού ορίου (κόκκινη γραμμή) που αφορά τα πόσιμα νερά βάσει της Οδηγίας της Ε.Ε.

Η χωρική κατανομή της συγκέντρωσης μαγνησίου των υπογείων νερών στην περιοχή μελέτης παρουσιάζεται στην Εικόνα 11.4. Διαπιστώνεται ότι οι χαμηλότερες τιμές εντοπίζονται στο ανατολικό τμήμα της περιοχής ενώ οι υψηλότερες εμφανίζονται στο κεντρικό τμήμα.



Εικόνα 11.4: Χάρτης χωρικής κατανομής του μαγνησίου των υπογείων νερών της περιοχής μελέτης

11.1.3 Νάτριο (Na)

Βρίσκεται στα αργιλικά ορυκτά, στους αργιλικούς σχιστόλιθους, στα πλαγιόκλαστα και στους εβαπορίτες. Μεγάλες ποσότητες εμφανίζονται στα πλαγιόκλαστα. Επίσης τα αργιλικά ορυκτά και οι αργιτικοί σχιστόλιθοι δίνουν μεγάλες περιεκτικότητες ιόντων Na στα υπόγεια νερά ενώ πολύ μικρότερες ποσότητες προέρχονται από τα ανθρακικά πετρώματα.

Μπορεί ακόμη να προέλθει από ανάμιξη θαλάσσιου και υπογείου νερού, από αερομεταφερόμενα σωματίδια από την θάλασσα (Βουδούρης, 2006) και από βιομηχανικά απόβλητα στα οποία και θεωρείται δείκτης ρύπανσης όταν βρίσκεται σε μεγάλες ποσότητες.

Σε μη ρυπασμένα νερά οι συνήθεις ιοντικές συγκεντρώσεις είναι 2,5 mg/l έως 45,0 mg/l (Appelo-Postma, 1996) Οι συνηθισμένες τιμές των υπογείων νερών είναι 1-20 mg/l ενώ στο θαλασσινό νερό είναι 10.000 mg/l.

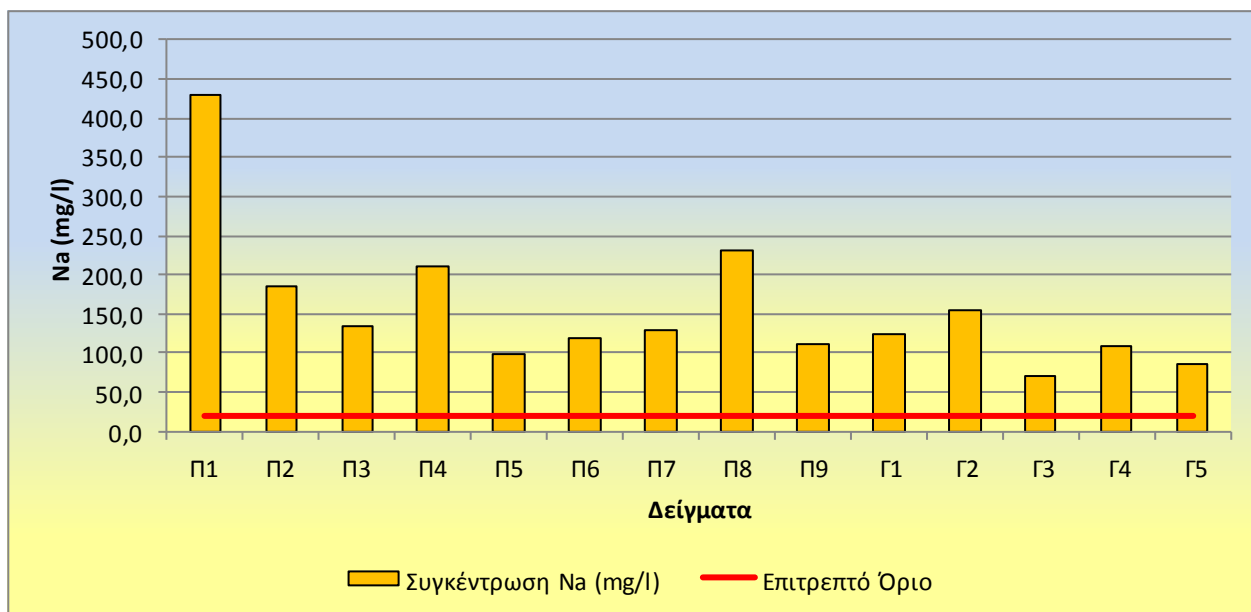
Το νάτριο όπως και το κάλιο βοηθούν στην οσμωτική ισορροπία του κυττάρου. Μεγάλες συγκεντρώσεις Na προκαλούν υπέρταση.

Το ενδεικτικό επίπεδο της συγκέντρωσης ιόντων Na^{2+} στα πόσιμα νερά σύμφωνα με την οδηγία 80/778/15-7-80 της Ε.Ε είναι 20 mg/l.

Οι τιμές συγκέντρωσης νατρίου στα υπόγεια νερά της περιοχής μελέτης κυμαίνονται μεταξύ 70,0 mg/l και 430,0 mg/l. Τις υψηλότερες τιμές παρουσιάζουν τα δείγματα των πηγαδιών Π1 και Π8. Όλα τα δείγματα έχουν τιμές συγκέντρωσης μεγαλύτερες από τα 20 mg/l που είναι το ανώτερο επιτρεπτό όριο που αφορά τα πόσιμα νερά.

Στην εικόνα 11.5 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 Ε.Ε.

Η προέλευση του είναι γεωγενής και προκύπτει από την διάλυση ορυκτών πλούσιων σε Na που υπάρχουν στους ιζηματογενείς σχηματισμούς του Νεογενούς της λεκάνης της Κερατέας. Η κύρια προσφορά ιόντων νατρίου στα υπόγεια νερά της περιοχής γίνεται μέσω των αργιλικών ορυκτών, που αποτελούν τα βασικά συστατικά των ιζημάτων της λεκάνης και των εβαποριτικών αλάτων των Νεογενών ιζημάτων. Υπάρχει και ανθρωπογενής προέλευση ιόντων νατρίου από τους σηπτικούς βόθρους και από τα λιπάσματα που χρησιμοποιούνται για γεωργικές εργασίες.



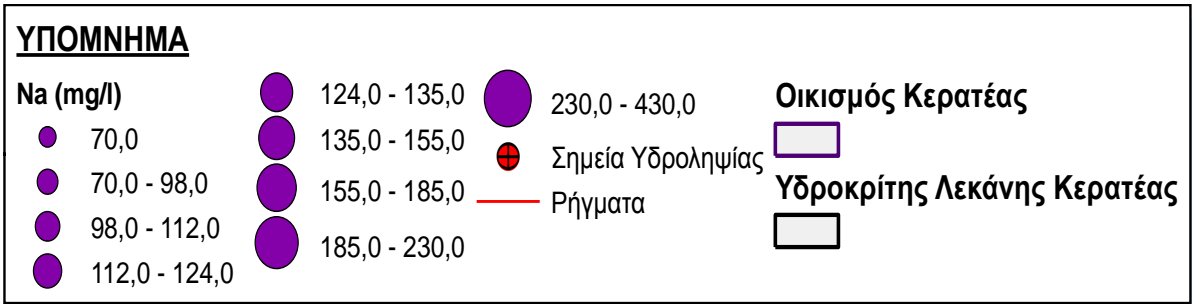
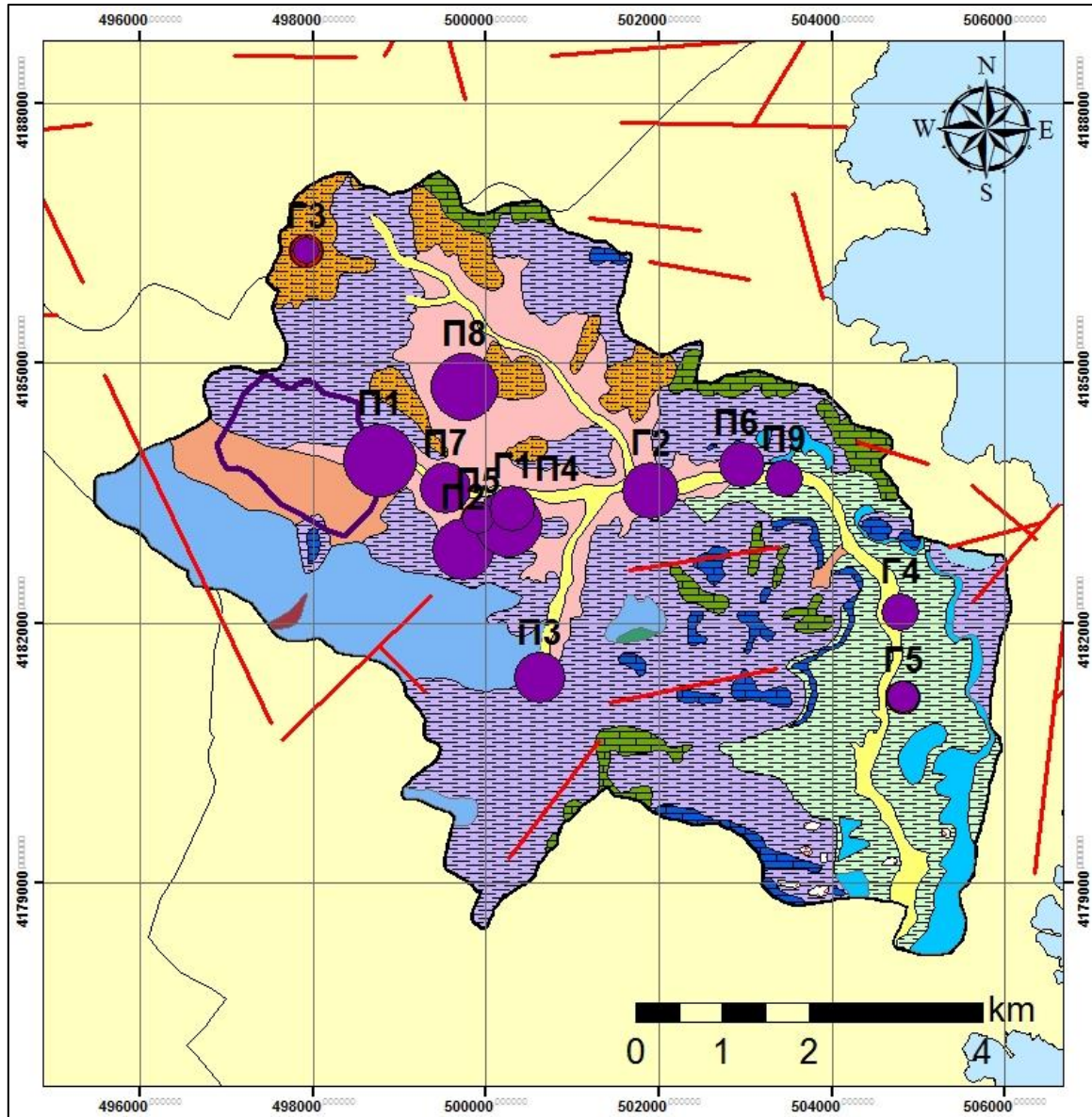
Εικόνα 11.5: Διακύμανση των τιμών της συγκέντρωσης νατρίου των υπογείων νερών της λεκάνης της Κερατέας και η ένδειξη του ανώτερου επιτρεπτού ορίου (κόκκινη γραμμή) που αφορά τα πόσιμα νερά βάσει της Οδηγίας της Ε.Ε.

Οι τιμές του νατρίου των υπογείων νερών της περιοχής μελέτης έχουν ως εξής:

- **Νερά πηγαδιών:** Οι τιμές του νατρίου στα δείγματα των πηγαδιών που υδρομαστεύουν τον φρεάτιο ορίζοντα κυμαίνονται από 98,0 mg/l έως 430,0 mg/l και μέση τιμή 183,1 mg/l.
- **Νερά γεωτρήσεων:** Οι τιμές του νατρίου στα δείγματα των γεωτρήσεων κυμαίνονται από 70,0 mg/l έως 155,0 mg/l και μέση τιμή 108,8 mg/l.

Όλες οι τιμές των δειγμάτων είναι μεγαλύτερες των 20,0 mg/l.

Η χωρική κατανομή της συγκέντρωσης νατρίου των υπογείων νερών στην περιοχή μελέτης παρουσιάζεται στην Εικόνα 11.6. Διαπιστώνεται ότι οι χαμηλότερες τιμές εντοπίζονται στο ανατολικό και κεντρικό τμήμα της περιοχής ενώ οι υψηλότερες εμφανίζονται στο δυτικό τμήμα και πλησίον της πόλης της Κερατέας.



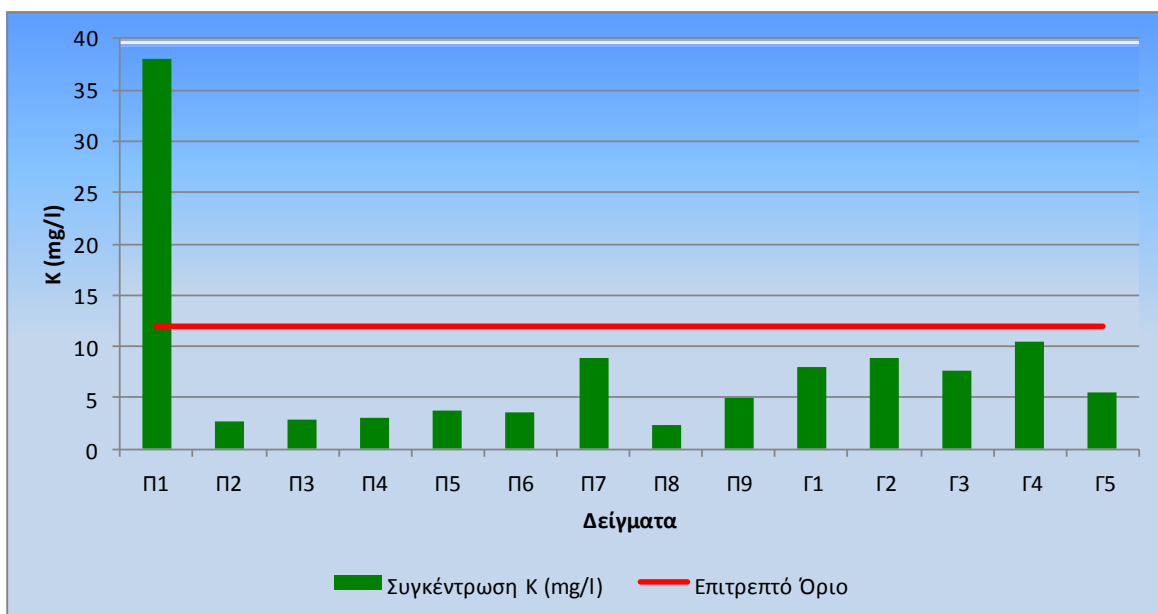
Εικόνα 11.6: Χάρτης χωρικής κατανομής του νατρίου των υπογείων νερών της περιοχής μελέτης

11.1.4 Κάλιο (Κ)

Βρίσκεται στους άστριους (ορθόκλαστο και μικρικλινή) καθώς επίσης και στον αστριοειδή λευκίτη. Μεγάλες συγκεντρώσεις καλίου εμφανίζονται στο θαλασσινό νερό. Επίσης εμφανίζεται σε εβαπορίτες και αργιλικά ορυκτά.

Στα υπόγεια νερά συναντάται σε αναλογία 1/10 σε σχέση με το Na. Έχει την ιδιότητα να αφομοιώνεται από τα εδάφη, τα πετρώματα και τα φυτά.

Το κάλιο είναι βασικό κατιόν των κυττάρων του ανθρώπου που καλύπτεται όμως κυρίως από τις τροφές ενώ η απόδοση καλίου στον οργανισμό, εξαιτίας της περιεκτικότητας του, είναι μηδαμινή. Βρίσκεται στα μυϊκά κύτταρα και παίζει ρόλο στη μετάδοση της νευρικής ώσης και στην συσταλτικότητα των μυών. Ρυθμίζει τη λειτουργία της καρδιάς και την αρτηριακή πίεση. Περιέχεται σε μεγάλες ποσότητες στα φρούτα, στα λαχανικά, στα δημητριακά και στο κρέας. Μεγάλες ποσότητες καλίου είναι τοξικές, ενώ δόσεις της τάξης των 1-2 gr έχουν καθαρτικές ιδιότητες. Τα θερμομεταλλικά νερά εμφανίζουν μεγάλες συγκεντρώσεις καλίου ενώ τα φυσικά νερά εμφανίζουν μικρές.



Εικόνα 11.7: Διακύμανση των τιμών της συγκέντρωσης καλίου των υπογείων νερών της λεκάνης της Κερατέας και η ένδειξη του ανώτερου επιτρεπτού ορίου (κόκκινη γραμμή) που αφορά τα πόσιμα νερά βάσει της Οδηγίας της Ε.Ε.

Το ενδεικτικό επίπεδο της συγκέντρωσης καλίου στα πόσιμα νερά σύμφωνα με την οδηγία 80/778/15-7-80 της Ε.Ε είναι 10 mg/l με ανώτατο όριο τα 12 mg/l.

Οι τιμές συγκέντρωσης νατρίου στα υπόγεια νερά της περιοχής μελέτης κυμαίνονται μεταξύ 2,4 mg/l και 10,5 mg/l. Το δείγμα του πηγαδιού Π1 εμφανίζει εξαιρετικά μεγάλη τιμή 38 mg/l. Όλες οι τιμές των δειγμάτων βρίσκονται σε χαμηλότερα επίπεδα από τα ανώτερα επιτρεπτά που καθορίζονται από την οδηγία της Ε.Ε.

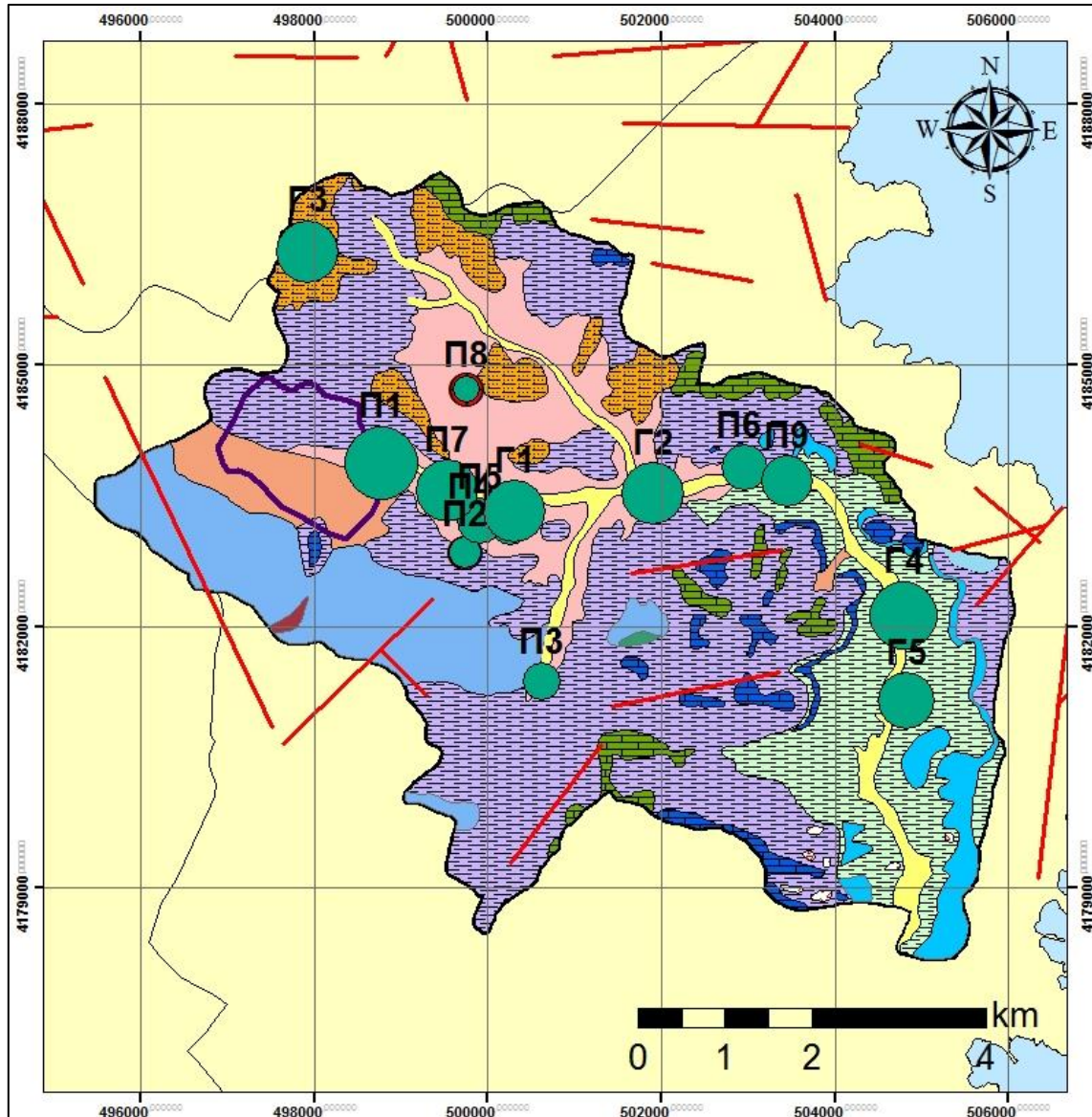
Στην Εικόνα 11.7 παρουσιάζεται η διακύμανση των τιμών καλίου στα υπόγεια νερά της περιοχής καθώς και το ανώτερο επιτρεπτό όριο που αφορά στα πόσιμα νερά, βάσει της Οδηγίας της Ε.Ε.

Η προελευση του είναι γεωγενής αλλά και ανθρωπογενής από τα λιπάσματα που χρησιμοποιούνται για τις γεωργικές εργασίες της περιοχής. Το 55% των δειγμάτων παρουσιάζει τιμές συγκέντρωσης κάτω από 5 mg/l

Οι τιμές του καλίου των υπογείων νερών της περιοχής μελέτης έχουν ως εξής:

- *Νερά πηγαδιών:* Οι τιμές του καλίου στα δείγματα των πηγαδιών που υδρομαστεύουν τον φρεάτιο ορίζονται κυμαίνονται από 2,4 mg/l έως 8,8 mg/l και μέση τιμή 4,0 mg/l. Εξαιρέθηκε η υπερβολικά υψηλή τιμή 38 mg/l του πηγαδιού Π1.
- *Νερά γεωτρήσεων:* Οι τιμές του καλίου στα δείγματα των γεωτρήσεων κυμαίνονται από 5,6 mg/l έως 10,5 mg/l και μέση τιμή 8,1 mg/l.

Η χωρική κατανομή της συγκέντρωσης καλίου των υπογείων νερών στην περιοχή μελέτης παρουσιάζεται στην Εικόνα 11.8. Διαπιστώνεται ότι οι υψηλότερες εμφανίζονται στις περιοχές που υφίστανται γεωργική εκμετάλλευση και σε αυτές που βρίσκονται πλησίον της πόλης της Κερατέας.



ΥΠΟΜΝΗΜΑ

K (mg/l)

- 2,4
- 2,4 - 2,6
- 2,6 - 3,0
- 3,0 - 3,8

- 3,8 - 4,9
- 4,9 - 5,6
- 5,6 - 8,8
- 8,8 - 10,5

- 10,5 - 38,0

- Σημεία Υδροληψίας
- Ρήγματα

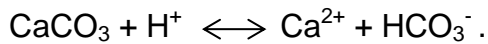
Οικισμός Κερατέας

- Υδροκρίτης Λεκάνης Κερατέας

Εικόνα 11.8: Χάρτης χωρικής κατανομής του καλίου των υπογείων νερών της περιοχής μελέτης.

11.1.5 Όξινα ανθρακικά (HCO₃⁻)

Προέρχονται από ανθρακικά πετρώματα όταν αυτά διαλύονται στο νερό. Επίσης προέρχονται από το CO₂ που σχηματίζεται στο έδαφος από την σήψη της οργανικής ύλης και από το CO₂ που υπάρχει στην ατμόσφαιρα.

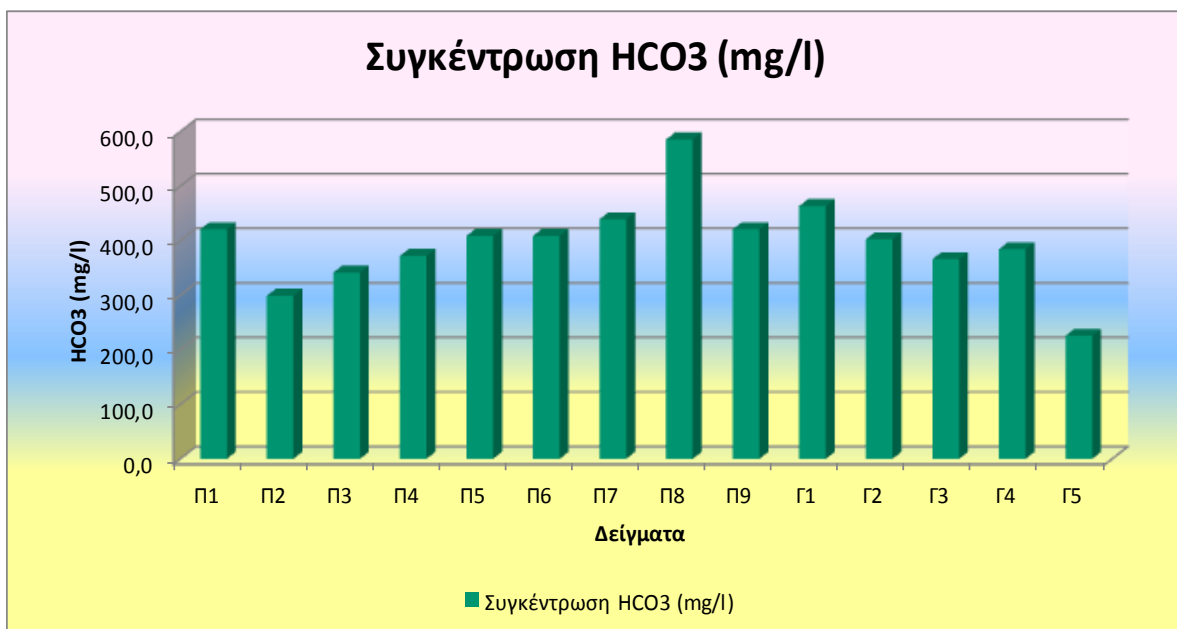


Τα όξινα ανθρακικά είναι ρυθμιστικός παράγοντας του pH των υδάτων και παίζει σημαντικό ρόλο στην υγεία του ανθρώπου ρυθμίζοντας το pH του οργανισμού. Υπάρχουν και φυσικά ανθρακούχα νερά που περιέχουν σε μεγάλες ποσότητες HCO₃⁻ και CO₂ που προσδίδουν στο νερό ευχάριστες ιδιότητες. (Βουδούρης, 2009).

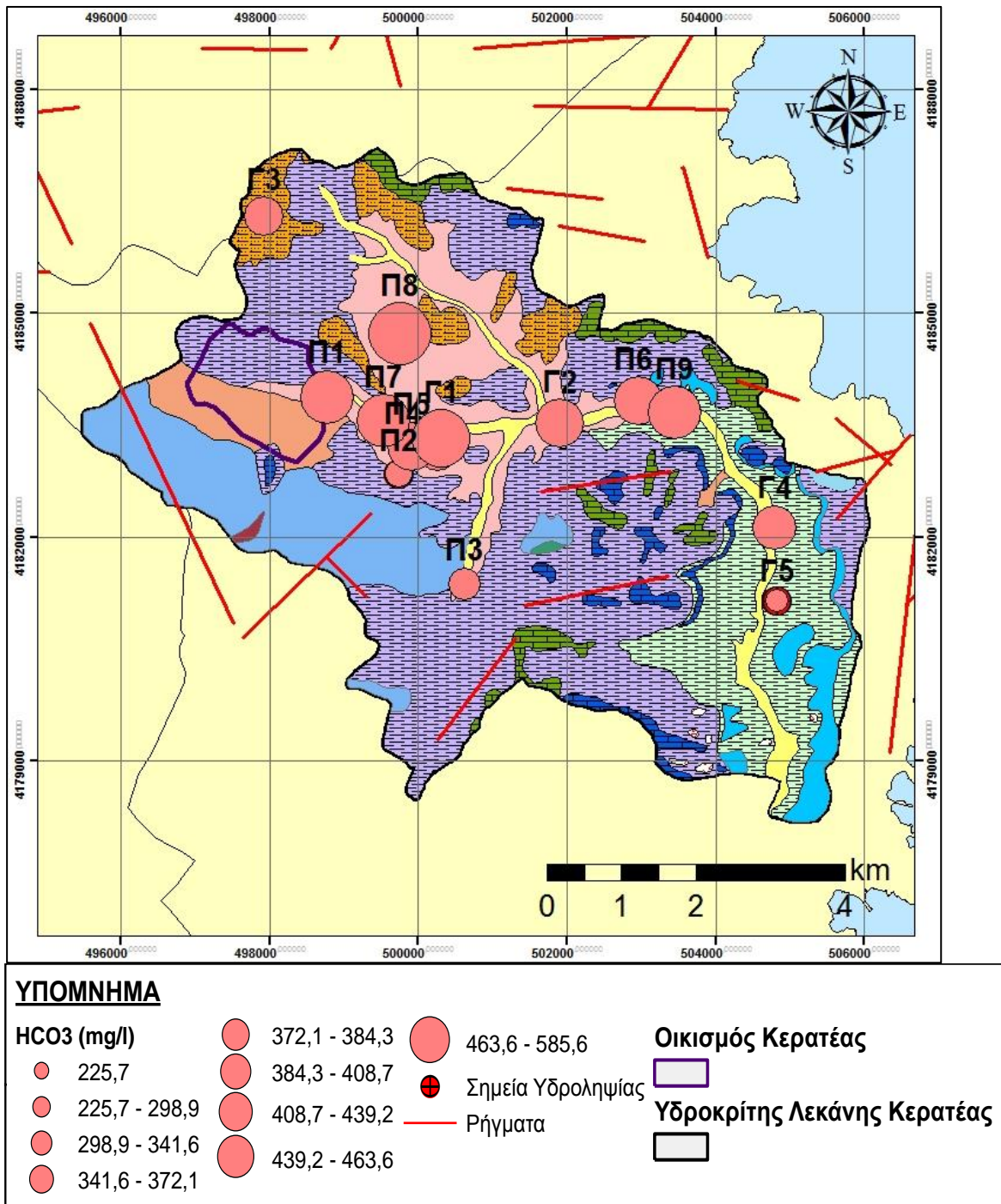
Οι συνηθισμένες συγκεντρώσεις των ιόντων HCO₃⁻ είναι μικρότερες από τα 500 mg/l.

Η Οδηγία της Ε.Ε δεν καθορίζει ανώτερα επιτρεπτά όρια για τις συγκεντρώσεις της όξινης ανθρακικής ρίζας στα πόσιμα νερά.

Οι τιμές συγκέντρωσης των ιόντων HCO₃⁻ στα υπόγεια νερά της περιοχής μελέτης κυμαίνονται μεταξύ 225,7 mg/l και 585,6 mg/l. Στην Εικόνα 11.9 παρουσιάζεται η διακύμανση των τιμών HCO₃⁻ στα υπόγεια νερά της περιοχής.



Εικόνα 11.9: Διακύμανση των τιμών της συγκέντρωσης HCO₃⁻ των υπογείων νερών της λεκάνης της Κερατέας.



Εικόνα 11.10: Χάρτης χωρικής κατανομής των HCO_3^- των υπογείων νερών της περιοχής μελέτης.

Οι τιμές του HCO_3^- των υπογείων νερών της περιοχής μελέτης έχουν ως εξής:

- **Νερά πηγαδιών:** Οι τιμές του HCO_3^- στα δείγματα των πηγαδιών που υδρομαστεύουν τον φρεάτιο ορίζοντα κυμαίνονται από 298,9 mg/l έως 585,6 mg/l και μέση τιμή 410,7 mg/l

- *Νερά γεωτρήσεων:* Οι τιμές του HCO_3^- στα δείγματα των γεωτρήσεων κυμαίνονται από 225,7 mg/l έως 463,6 mg/l και μέση τιμή 368,4 mg/l.

Η χωρική κατανομή της συγκέντρωσης HCO_3^- των υπογείων νερών στην περιοχή μελέτης παρουσιάζεται στην Εικόνα 11.10. Διαπιστώνεται ότι οι υψηλότερες τιμές εμφανίζονται στο κέντρο της περιοχής μελέτης και οι χαμηλότερες περιφερειακά.

11.1.6 Χλώριο (Cl)

Η διείσδυση θαλασσινού νερού σε παράκτιους υδροφόρους δημιουργεί ανίχνευση χλωρίου σε μεγάλες συγκεντρώσεις. Επίσης παρουσιάζεται σε αργιλικά πετρώματα θαλάσσιας γένεσης που έχουν παρακρατήσει θαλάσσιο νερό ή χλωριούχα άλατα από την εποχή της απόθεσής τους. Χλώριο ανιχνεύεται επίσης στα ιζηματογενή πετρώματα και ιδιαίτερα στους εβαπορίτες.

Το νερό του ωκεανού περιέχει διαλυμένα ιόντα χλωρίου και που αυτά αποτελούν τα $\frac{3}{4}$ του συνόλου των χλωρών που εμφανίζονται είτε στην ατμόσφαιρα είτε στην υδρόσφαιρα. Η μέση συγκέντρωση χλωρίου στα νερά των ωκεανών είναι 19.000 mg/l. Βάση της μέσης συγκέντρωσης του χλωρίου στα πετρώματα καταλαβαίνουμε ότι το χλώριο που προέρχεται από την διάβρωση των πετρωμάτων αποτελεί ένα μικρό μέρος του χλωρίου των ωκεανών. Ο συνολικός όγκος του χλωρίου προέρχεται από διαφυγόντα αέρια από τις ηφαιστιακές εκρήξεις, οι οποίες στην αρχή της γεωλογικής ιστορίας της γης έδωσαν αύξηση του χλωρίου στην αρχική ατμόσφαιρα και τους ωκεανούς. (Matthess, 1982).

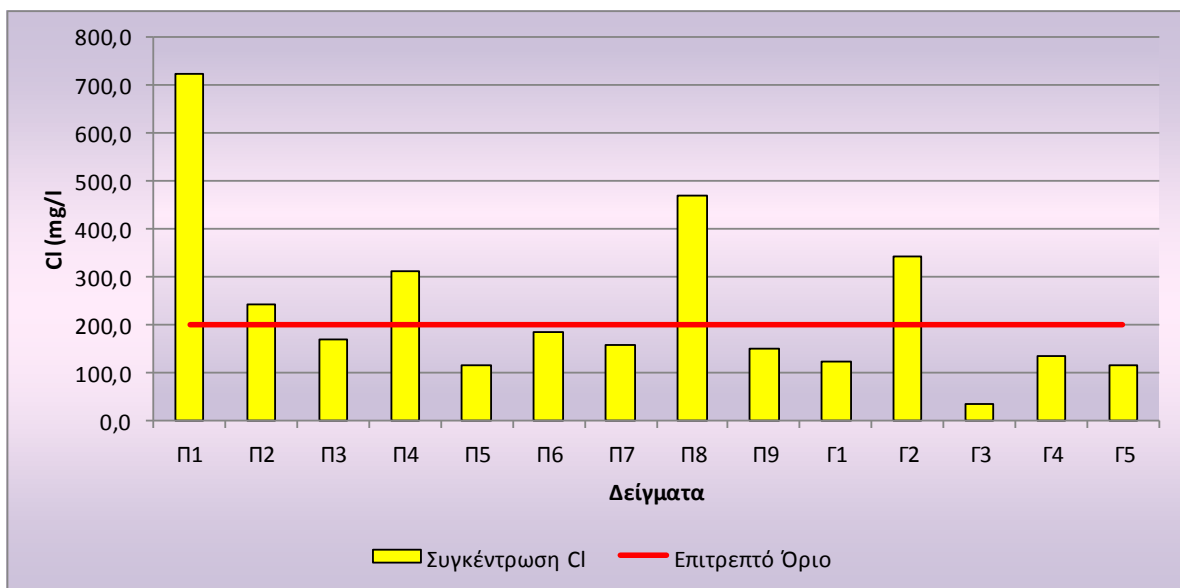
Η προελευση του στα υπόγεια νερά της περιοχής του είναι γεωγενής και μπορεί να προέρχεται από «αρχαίο» θαλασσινό νερό που έχει παγιδευτεί μέσα σε ιζήματα, από υπολειματικά εβαποριτικά άλατα, από συγκεντρώσεις προερχόμενες από την εξάτμιση του νερού της βροχής και σαν ξηρό κατάλοιπο από την ατμόσφαιρα (Davis and DeWiest, 1991).

Μπορεί να προέρχεται ακόμα από οικιακά ή βιομηχανικά απόβλητα και από λιπάσματα. Από τα ανιόντα το χλώριο απορροφάται λιγότερο από τα αργιλικά ορυκτά, η παρουσία των οποίων μπορεί να ληφθεί σαν δείκτης ανθρωπογενούς παρέμβασης στον υδροφόρο ορίζοντα.

Τα ιόντα χλωρίου δεν έχουν επιβλαβή επίδραση στον ανθρώπινο οργανισμό, αλλά σε υψηλές συγκεντρώσεις δίνουν στο πόσιμο νερό γλυφή γεύση. Η απότομη αύξηση του στο νερό, αν δεν οφείλεται στην είσοδο θαλασσινού νερού, δείχνει πιθανή ρύπανση από λύματα.

Το ενδεικτικό επίπεδο της συγκέντρωσης ιόντων χλωρίου στα πόσιμα νερά σύμφωνα με την οδηγία 80/778/15-7-80 της Ε.Ε είναι 25 mg/l. Δεν έχει θεσπιστεί ανώτατη παραδεκτή τιμή, 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 χλωρίου στα υπόγεια νερά της περιοχής μελέτης κυμαίνονται μεταξύ 35,5 mg/l και 723,4 mg/l. Οι υψηλότερες παρουσιάζονται στα δείγματα των πηγαδιών Π1 και Π8 αμέσως μικρότερες τιμές εμφανίζονται στο πηγάδι Π4 και στη γεώτρηση Γ2. Στην Εικόνα 11.11 παρουσιάζεται η διακύμανση των τιμών χλωρίου στα υπόγεια νερά της περιοχής καθώς και το ανώτερο επιτρεπτό όριο που αφορά στα πόσιμα νερά, βάσει της Οδηγίας της Ε.Ε.

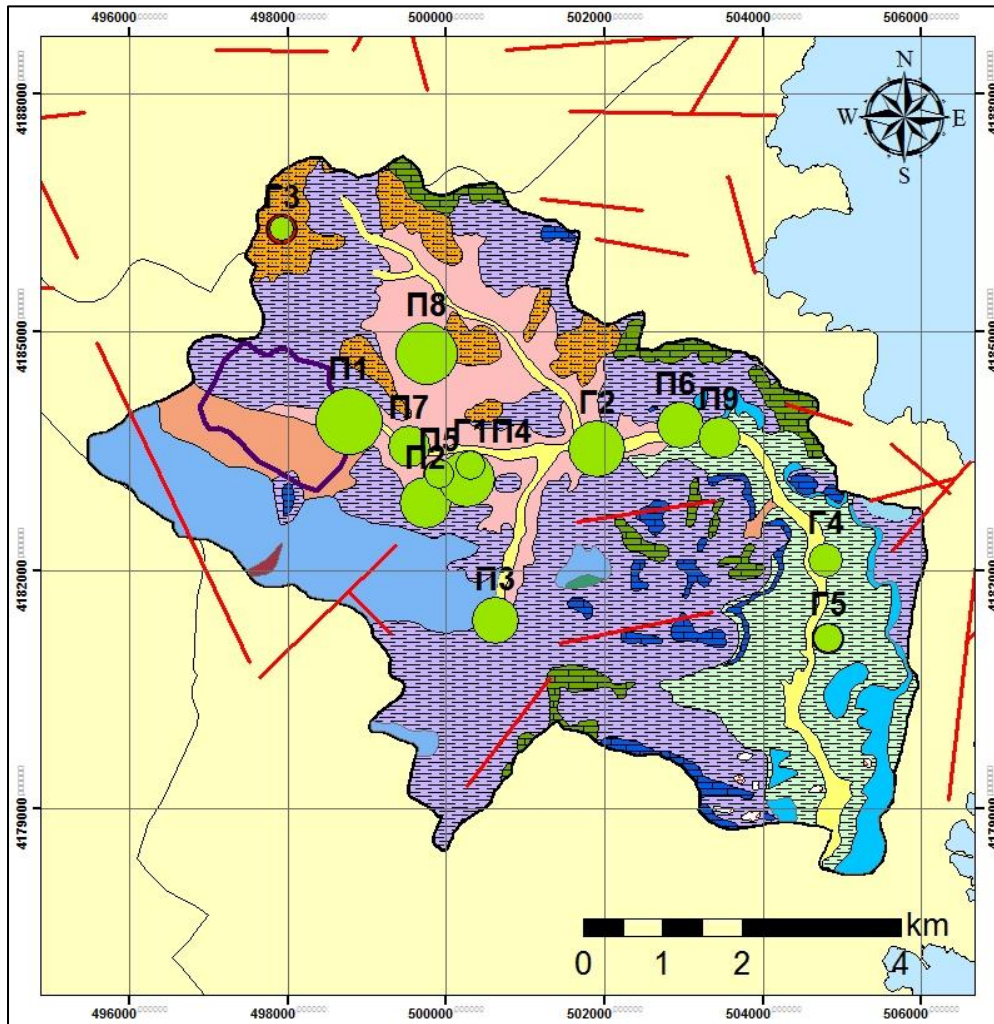


Εικόνα 11.11: Διακύμανση των τιμών της συγκέντρωσης χλωρίου των υπογείων νερών της λεκάνης της Κερατέας και η ένδειξη του ανώτερου επιτρεπτού ορίου (κόκκινη γραμμή) που αφορά τα πόσιμα νερά βάσει της Οδηγίας της Ε.Ε.

Οι τιμές του χλωρίου των υπογείων νερών της περιοχής μελέτης έχουν ως εξής:

- **Νερά πηγαδιών:** Οι τιμές του χλωρίου στα δείγματα των πηγαδιών που υδρομαστεύουν τον φρεάτιο ορίζονται κυμαίνονται από 113,5 mg/l έως 723,4 mg/l και μέση τιμή 279,7 mg/l

- *Νερά γεωτρήσεων:* Οι τιμές του χλωρίου στα δείγματα των γεωτρήσεων κυμαίνονται από 35,5 mg/l έως 340,4 mg/l και μέση τιμή 148,9 mg/l.



ΥΠΟΜΝΗΜΑ					
Cl (mg/l)		156,0 - 184,4		468,1 - 723,4	
	35,5		184,4 - 241,1		Σημεία Υδροληψίας
	35,5 - 120,6		241,1 - 340,4		Ρήγματα
	120,6 - 134,8		340,4 - 468,1		Οικισμός Κερατέας
	134,8 - 156,0				Υδροκρίτης Λεκάνης Κερατέας

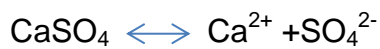
Εικόνα 11.12: Χάρτης χωρικής κατανομής του χλωρίου των υπογείων νερών της περιοχής μελέτης.

Η χωρική κατανομή της συγκέντρωσης χλωρίου των υπογείων νερών στην περιοχή μελέτης παρουσιάζεται στην Εικόνα 11.12. Διαπιστώνεται ότι οι υψηλότερες

τιμές εμφανίζονται στο δυτικό και κεντρικό τμήμα της περιοχής μελέτης και οι χαμηλότερες στο ανατολικό τμήμα της.

11.1.7 Θειικά (SO₄)

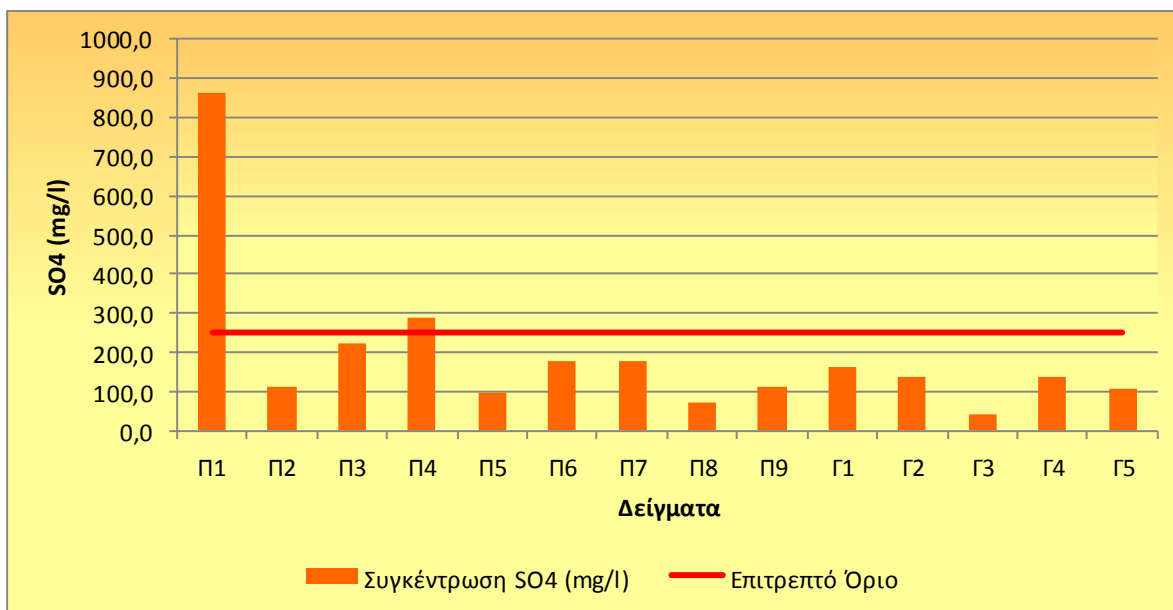
Προέρχονται από οξείδωση των σουλφιδίων και από την διάλυση των θειικών ορυκτών όπως οι εβαπορίτες σαν τον γύψο (CaSO₄·2H₂O) και τον ανυδρίτη (CaSO₄). Παράγονται επίσης από την βιολογική αποσύνθεση θειικών ενώσεων και από την χρήση θειικών λιπασμάτων.



Εμφανίζονται στα ιζηματογενή και τα εκρηξιγενή πετρώματα με την μορφή μεταλλικών σουλφιδίων. Η μεγάλη διακύμανση των θειικών στα υπόγεια νερά οφείλεται στις διαδικασίες οξείδωσης, διάλυσης και καθίζησης κατά την κίνηση τους μέσα στα πετρώματα. Κύρια πηγή των ιόντων θείου και σιδήρου στα υπόγεια νερά είναι ο σιδηροπυρίτης. Η πιο διαδεδομένη και σημαντική εμφάνιση της θειικής ρίζας είναι στα εβαποριτικά ιζήματα, τα οποία τα περισσότερα είναι ευδιάλυτα στο νερό (Hem, 1988).

Τα ενδεικτικά όρια της συγκέντρωσης των θειικών ιόντων στα πόσιμα νερά σύμφωνα με το ΦΕΚ 53/Τ.Β./20-2-86 είναι 25 mg/l και τα 250 mg/l για την ανώτατη παραδεκτή συγκέντρωση.

Οι τιμές συγκέντρωσης των θειικών ιόντων στα υπόγεια νερά της περιοχής μελέτης κυμαίνονται μεταξύ 43,0 mg/l και 862,5 mg/l. Οι υψηλότερες παρουσιάζονται στα δείγματα των πηγαδιών Π1, Π3 και Π4. Γενικότερα τις υψηλότερες συγκεντρώσεις παρουσιάζουν τα δείγματα των πηγαδιών, ενώ τα δείγματα των γεωτρήσεων έχουν σχετικά χαμηλότερες συγκεντρώσεις. Όλα τα δείγματα, εκτός του πηγαδιού Π1 με την εξαιρετικά υψηλή τιμή εμφανίζουν χαμηλότερες συγκεντρώσεις από το ανώτατο επιτρεπτό όριο που ορίζει η Ε.Ε. Στην Εικόνα 11.13 παρουσιάζεται η διακύμανση των τιμών SO₄⁻ στα υπόγεια νερά της περιοχής καθώς και το ανώτερο επιτρεπτό όριο που αφορά στα πόσιμα νερά, βάσει της Οδηγίας της Ε.Ε.

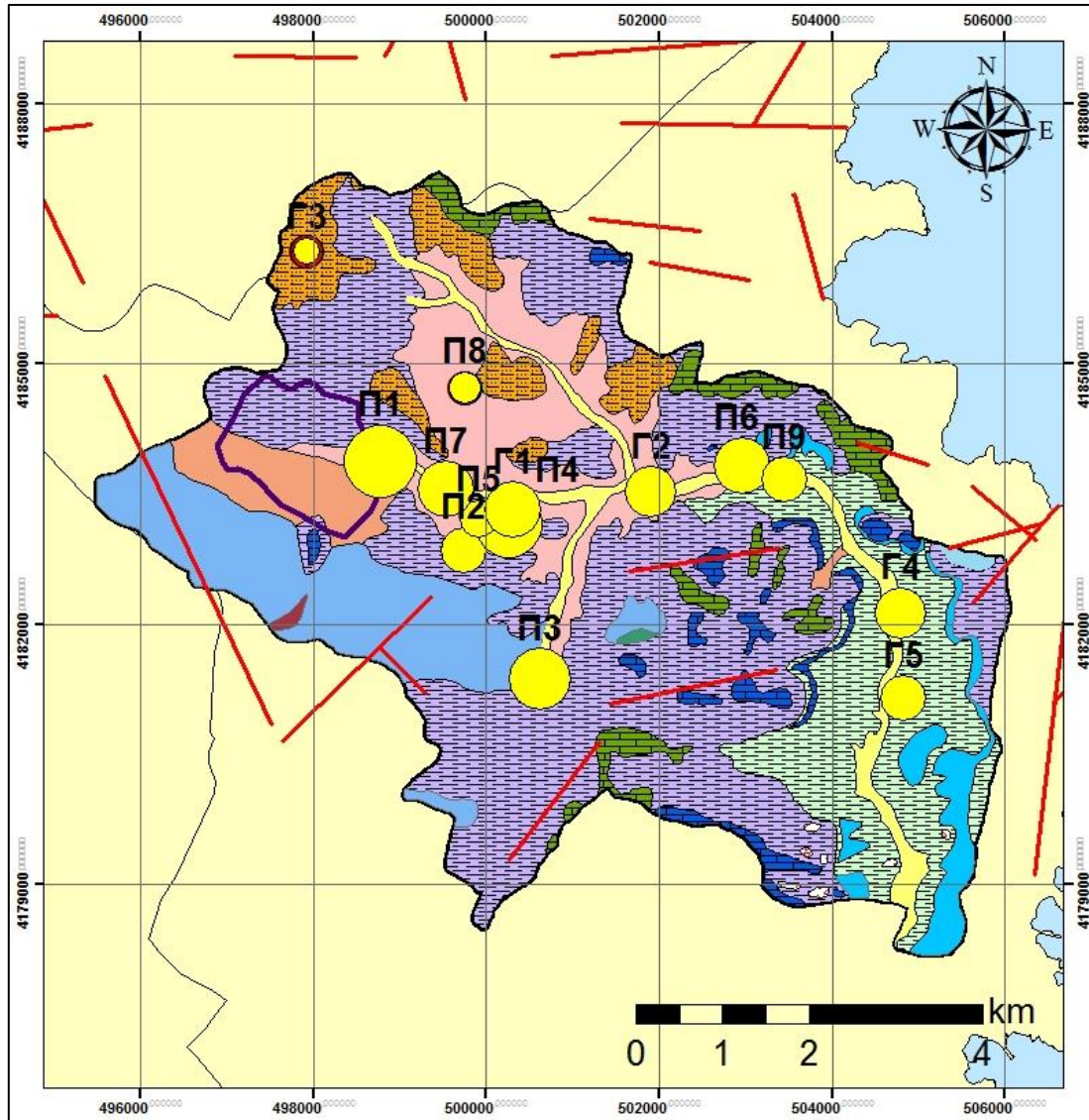


Εικόνα 11.13: Διακύμανση των τιμών της συγκέντρωσης SO₄⁻ των υπογείων νερών της λεκάνης της Κερατέας και η ένδειξη του ανώτερου επιτρεπτού ορίου (κόκκινη γραμμή) που αφορά τα πόσιμα νερά βάσει της Οδηγίας της Ε.Ε.

Οι τιμές του SO₄⁻ των υπογείων νερών της περιοχής μελέτης έχουν ως εξής:

- *Νερά πηγαδιών:* Οι τιμές του SO₄⁻ στα δείγματα των πηγαδιών που υδρομαστεύουν τον φρεάτιο ορίζοντα κυμαίνονται από 73,3 mg/l έως 286,0 mg/l και μέση τιμή 156,8 mg/l με εξαίρεση το πηγάδι Π1 με την εξαιρετικά μεγάλη τιμή των 862,5 mg/l,
- *Νερά γεωτρήσεων:* Οι τιμές του SO₄⁻ στα δείγματα των γεωτρήσεων κυμαίνονται από 43,0 mg/l έως 162,0 mg/l και μέση τιμή 116,8 mg/l.

Η χωρική κατανομή της συγκέντρωσης SO₄⁻ των υπογείων νερών στην περιοχή μελέτης παρουσιάζεται στην Εικόνα 11.14. Διαπιστώνεται ότι οι υψηλότερες τιμές εμφανίζονται στο δυτικό και κεντρικό τμήμα της περιοχής μελέτης και οι χαμηλότερες στο ανατολικό και βόρειο τμήμα της.



ΥΠΟΜΝΗΜΑ

SO₄ (mg/l)

● 43,0	● 113,0 - 135,4	● 286,0 - 862,5
● 43,0 - 73,3	● 135,4 - 178,0	● 178,0 - 220,5
● 73,3 - 95,5	● 220,5 - 286,0	● 220,5 - 286,0
● 95,5 - 113,0		

●	286,0 - 862,5
●	178,0 - 220,5
●	220,5 - 286,0
●	220,5 - 286,0

Οικισμός Κερατέας



Υδροκρίτης Λεκάνης Κερατέας



● Σημεία Υδροληψίας

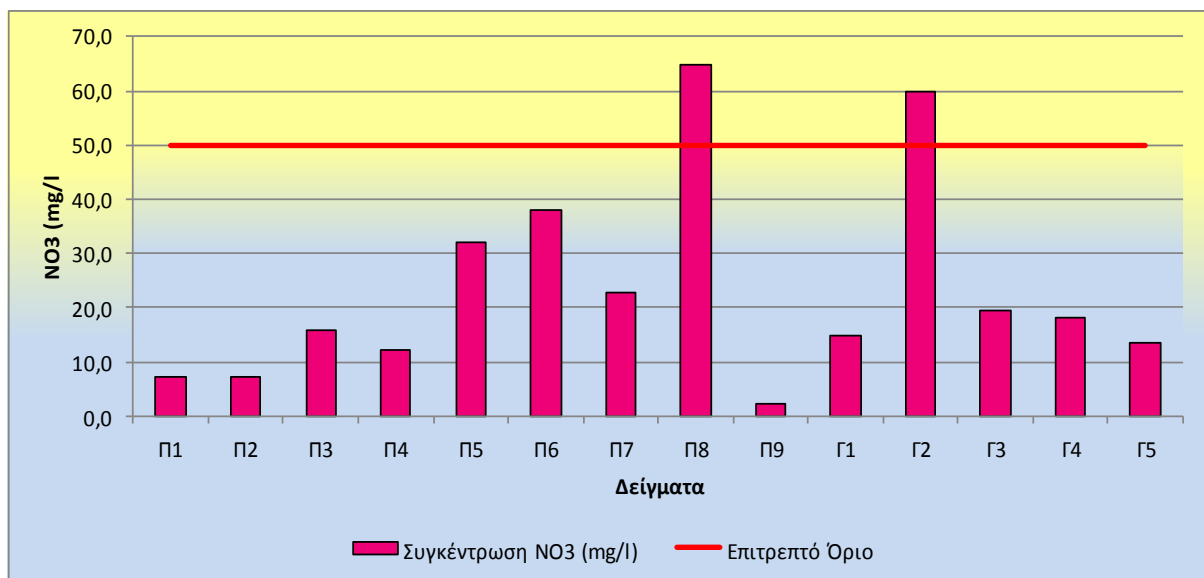
— Ρήγματα

Εικόνα 11.14: Χάρτης χωρικής κατανομής του SO₄ των υπογείων νερών της περιοχής μελέτης.

11.1.8 Νιτρική ρίζα (NO_3^-)

Τα νιτρικά ιόντα αποτελούν ενώσεις του αζώτου. Προέρχεται από υπολείμματα χλωρίδας, από λιπάσματα, απορρίματα και από ζωικά ή ανθρώπινα απόβλητα. Εμφανίζονται επίσης και στον αέρα εξαιτίας της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και παρασυρόμενα από την βροχή αποτίθενται στο έδαφος και σε αερόβιες συνθήκες από εκεί κατεισδύουν στον υδροφόρο ορίζοντα. Στα φυσικά νερά έχει μικρή συγκέντρωση ενώ αυξάνεται στα υπόγεια.. Επειδή έχει μεγάλη διαλυτότητα σπάνια εμφανίζεται σε πετρώματα.

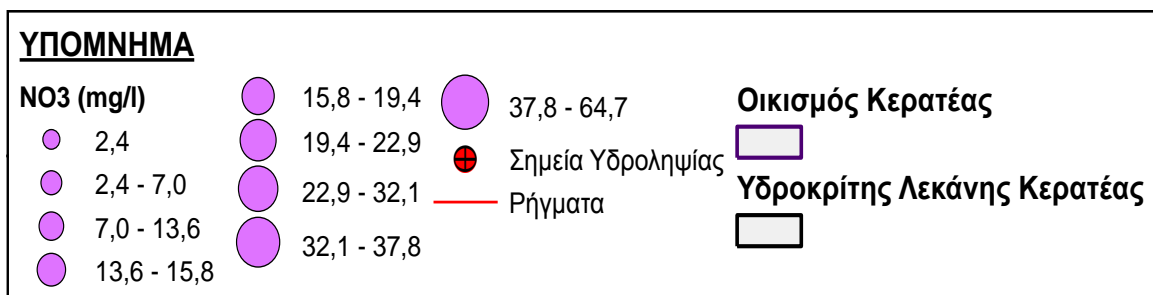
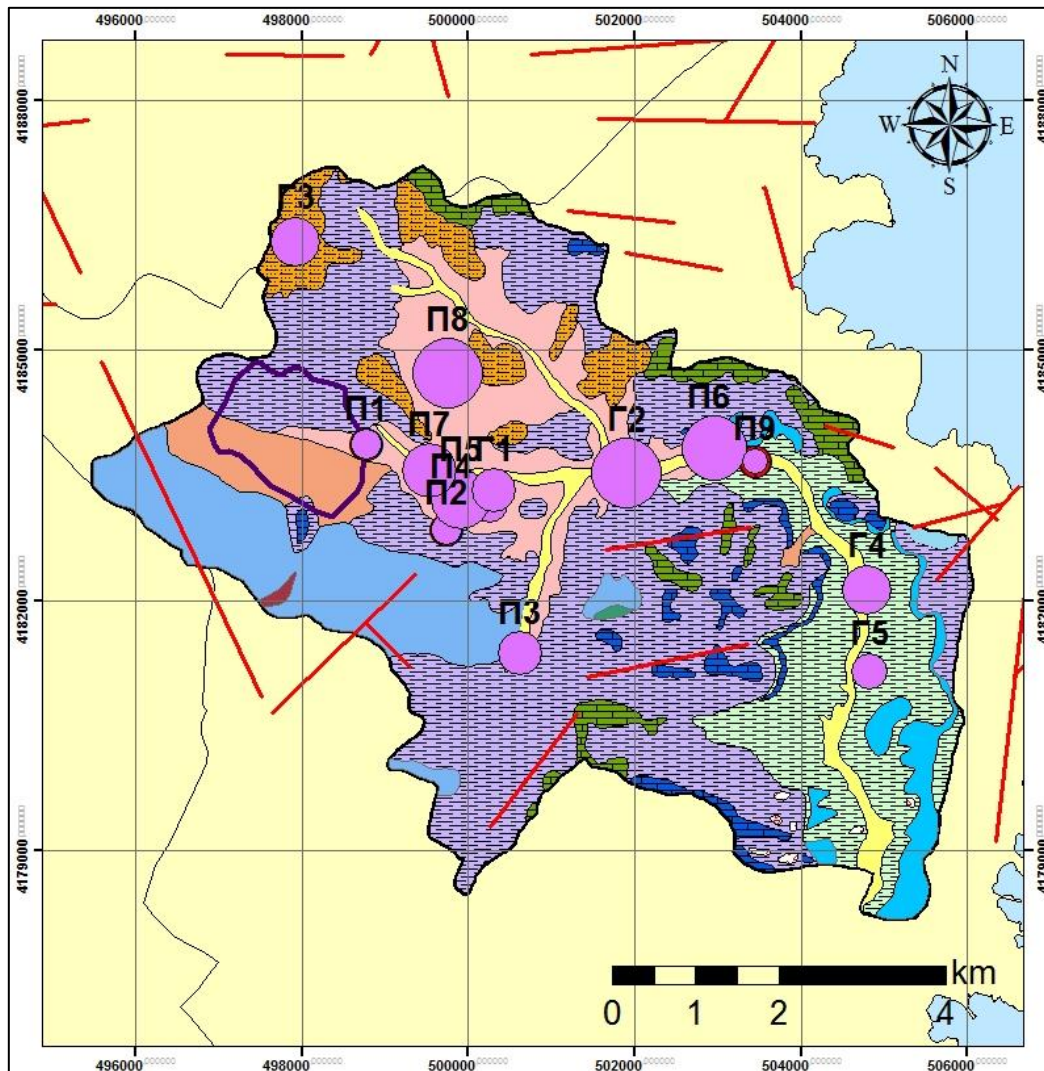
Τα ενδεικτικά όρια της συγκέντρωσης των νιτρικών ιόντων στα πόσιμα νερά σύμφωνα με την οδηγία της Ε.Ε ΦΕΚ 53/Τ.Β./20-2-86 είναι 25 mg/l και τα 50 mg/l για την ανώτατη παραδεκτή συγκέντρωση.



Εικόνα 11.15: Διακύμανση των τιμών της συγκέντρωσης NO_3^- των υπογείων νερών της λεκάνης της Κερατέας και η ένδειξη του ανώτερου επιτρεπτού ορίου (κόκκινη γραμμή) που αφορά τα πόσιμα νερά βάσει της Οδηγίας της Ε.Ε.

Οι τιμές συγκέντρωσης των νιτρικών ιόντων στα υπόγεια νερά της περιοχής μελέτης κυμαίνονται μεταξύ 2,4 mg/l και 64,7 mg/l. Οι υψηλότερες παρουσιάζονται στα δείγματα των πηγαδιών Π5, Π6, Π8 και στη γεώτρηση Γ2. Όλα τα δείγματα, εκτός του πηγαδιού Π8 και της γεώτρησης Γ2 εμφανίζουν χαμηλότερες συγκεντρώσεις από το ανώτατο επιτρεπτό όριο που ορίζει η Ε.Ε. Σε ποσοστό σχεδόν 85% των δειγμάτων παρουσιάζονται τιμές δειγμάτων μικρότερες των 50

mg/l. Στην Εικόνα 11.15 παρουσιάζεται η διακύμανση των τιμών NO_3^- στα υπόγεια νερά της περιοχής καθώς και το ανώτερο επιτρεπτό όριο που αφορά στα πόσιμα νερά, βάσει της Οδηγίας της Ε.Ε.



Εικόνα 11.16: Χάρτης χωρικής κατανομής του NO_3^- των υπογείων νερών της περιοχής μελέτης.

Οι τιμές του NO_3^- των υπογείων νερών της περιοχής μελέτης έχουν ως εξής:

- *Νερά πηγαδιών:* Οι τιμές του NO_3^- στα δείγματα των πηγαδιών που υδρομαστεύουν τον φρεάτιο ορίζοντα κυμαίνονται από 2,4 mg/l έως 64,7 mg/l και μέση τιμή 22,5 mg/l.
- *Νερά γεωτρήσεων:* Οι τιμές του NO_3^- στα δείγματα των γεωτρήσεων κυμαίνονται από 13,6 mg/l έως 59,8 mg/l και μέση τιμή 25,2 mg/l.

Η χωρική κατανομή της συγκέντρωσης NO_3^- των υπογείων νερών στην περιοχή μελέτης παρουσιάζεται στην Εικόνα 11.16. Διαπιστώνεται ότι οι υψηλότερες τιμές εμφανίζονται στο κεντρικό και βόρειο τμήμα της περιοχής μελέτης και οι χαμηλότερες στο ανατολικό και νότιο τμήμα της.

12. ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ

12.1 Γενικά

Ως βαρέα μέταλλα αναφέρονται συνήθως εκείνα που έχουν πυκνότητα μεγαλύτερη από $5,0 \text{ g/cm}^3$, είναι δηλαδή σχετικά πυκνά. Λόγω της γεωχημικής τους κατανομής και της δυσδιαλυτότητας τους εμφανίζονται στα φυσικά νερά σε πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις. Έχουν φυσική γεωλογική προέλευση ή είναι αποτέλεσμα βιομηχανικής δραστηριότητας και ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Εμφανίζονται με τα βιομηχανικά και τα αστικά απόβλητα, τα φυτοφάρμακα, τα λιπάσματα και τα απόβλητα μεταλλευτικών εκμεταλλεύσεων που παρασέρνονται από τα ποτάμια και τους χειμάρρους και καταλήγουν στην θάλασσα. Άλλες ανθρωπογενείς δραστηριότητες που σχετίζονται με τη παρουσία των βαρέων μετάλλων στο περιβάλλον είναι τα βυρσοδεψεία, η διάβρωση μπαταριών και ηλεκτρικών κυκλωμάτων στις χωματερές, η καύση βενζίνης που περιέχει μόλυβδο, τα απόβλητα από χυτήρια, επιμεταλλωτήρια κ.α. Φυσικές δραστηριότητες που σχετίζονται με την εμφάνιση βαρέων μετάλλων στο περιβάλλον είναι η διάβρωση των πετρωμάτων, η ηφαιστιακή δράση κ.α.

Αυτά που ανιχνεύονται συνήθως στα νερά είναι το κάδμιο, ο μόλυβδος, το αρσενικό, ο υδράργυρος, το νικέλιο, ο χαλκός, ο σίδηρος κ.α. Ορισμένα βαρέα μέταλλα έχουν εξειδικευμένες χρήσεις ή είναι ιδιαίτερα τοξικά και άλλα είναι απαραίτητα ως ιχνοστοιχεία για τον ανθρώπινο οργανισμό. Σε αντίθεση με άλλες τοξικές οργανικές ενώσεις είναι διασδιάλυτα και δεν αποικοδομούνται, με αποτέλεσμα να συσσωρεύονται στο περιβάλλον και μέσω της τροφικής αλυσίδας ένα μέρος τους να καταλήγει στον άνθρωπο στον οποίο προκαλούν οξείες αλλά και χρόνιες βλάβες.

Στα επιφανειακά νερά τα μέταλλα εμφανίζονται με την μορφή διαλυτών αλάτων ή αιωρούμενων σωματιδίων που συγκεντρώνονται σαν ίζημα στους ποταμούς, στις λίμνες και στις θάλασσες. Παραμένουν στα ιζήματα σαν προσροφημένη ύλη ή με την μορφή οξειδίων και υδροξειδίων. Όταν και εφόσον προκύψουν οι κατάλληλες φυσικοχημικές συνθήκες στο υπερκείμενο νερό, είναι δυνατή η επαναδιαλυτοποίησή τους.

Βαρέα μέταλλα που εμφανίζονται κυρίως στα δείγματα της περιοχής μελέτης είναι το Χρώμιο, το Νικέλιο, το Μαγγάνιο, ο Σίδηρος, ο Χαλκός, ο Ψευδάργυρος με

μερικά απ' αυτά σε συγκεντρώσεις αρκετά ψηλότερες από το μέγιστο επιτρεπτό όριο. Σύμφωνα με αναφορές από τη διεθνή επιστημονική κοινότητα (WHO, 1984) μερικά από τα παραπάνω είναι τοξικά, όπως το Χρώμιο και το Νικέλιο, συνεπώς η ανίχνευση τους αποτελεί σημαντικό πρόβλημα για την περιοχή.

12.2 Μεθοδολογία ανάλυσης

Για την διερεύνηση των ποιοτικών χαρακτηριστικών των υδάτων της περιοχής μελέτης χρησιμοποιήθηκε φασματοσκοπία ατομικής απορρόφησης (Atomic Absorption Spectroscopy, AAS). Με αυτήν ανιχνεύθηκαν τα βαρέα μεταλλικά ιχνοστοιχεία Νικέλιο (Ni), Σίδηρος Ολικός (Fe_{tot}), Χαλκός (Cu), Χρώμιο Ολικό (C_{tot}), Μόλυβδος (Pb), Μαγγάνιο (Mn) και Ψευδάργυρος (Zn). Περιγράφονται συνοπτικά τα χαρακτηριστικά για το κάθε ιχνοστοιχείο και τα επιτρεπτά όρια σύμφωνα με την Οδηγία της Ε.Ε σχετικά με την ποιότητα του πόσιμου επιφανειακού ή υπόγειου νερού. Περιγράφεται επίσης η πιθανή προέλευση του κάθε στοιχείου.

Στον πίνακα 12.1 δίνονται οι οριακές τιμές των βαρέων μετάλλων σύμφωνα με την Ε.Ε για τα πόσιμα νερά.

Πίνακας 12.1: Ανώτατα επιτρεπτά όρια συγκέντρωσης βαρέων μετάλλων για τα πόσιμα νερά βάσει της Οδηγίας 98/83/ΕΕ (1998)

Στοιχείο	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

12.3 Σίδηρος (Fe^{+2})

Εμφανίζεται σε μαγματικά πετρώματα του φλοιού (περιεκτικότητα 42.200 mg/kg), στους αργίλους (περιεκτικότητα 38.800 mg/kg), στους ψαμμίτες (περιεκτικότητα 18.600 mg/kg), στα ανθρακικά (περιεκτικότητα 8.190 mg/kg) και στους εβαπορίτες (περιεκτικότητα 265 mg/kg) (Matthess, 1982). Είναι το τέταρτο πιο άφθονο κατά βάρος στα πετρώματα του φλοιού της γης. Εμφανίζεται συνήθως σε σκουρόχρωμα ορυκτά όπως είναι οι πυρόξενοι, οι αμφίβολοι, ο βιοτίτης, ο μαγνητίτης και ο σιδηροπυρίτης.

Εμφανίζεται σαν δισθενής ή τρισθενής. Στα υπόγεια νερά και στα φυσικά νερά λιμνών και βαλτων που υπάρχει έλλειψη οξυγόνου εμφανίζεται σαν δισθενής. Όταν τα νερά αυτά έρθουν σε επαφή με το οξυγόνο της ατμόσφαιρας ο δισθενής σίδηρος οξειδώνεται σε τρισθενή.

Η παρουσία του σιδήρου στα υπόγεια νερά σπάνια ξεπερνά το 1 mg/l και προέρχεται από τη διάλυση των πετρωμάτων και μεταλλευμάτων που περιέχουν σίδηρο, από επιφανειακές επιδράσεις κλπ. (Βουδούρης 2009).

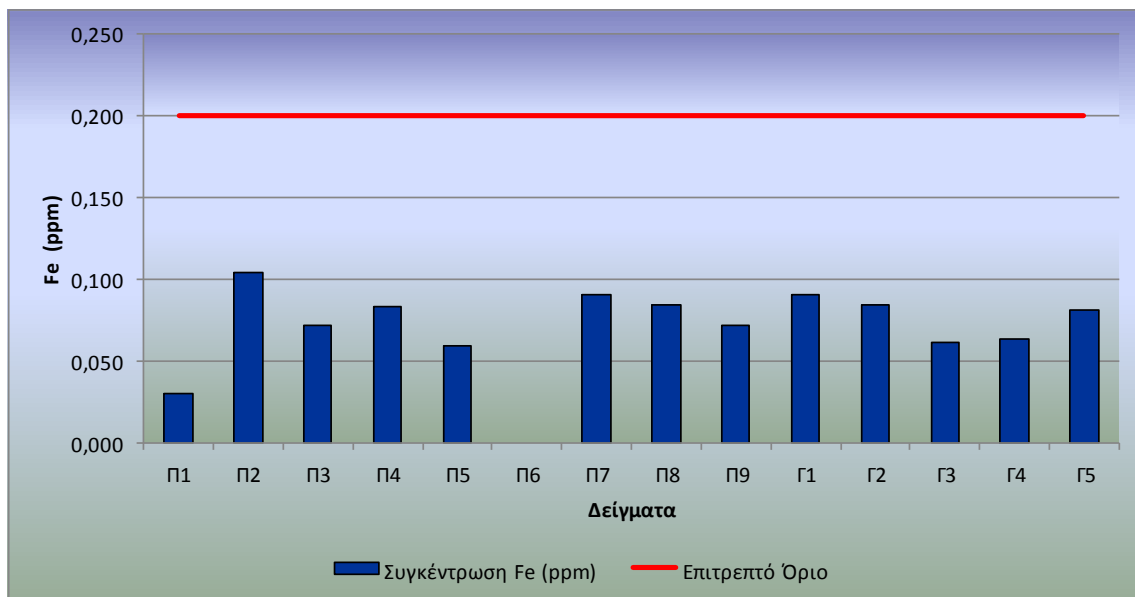
Η διάβρωση του σιδήρου, που απαιτεί πολύ μικρό ποσό οξυγόνου, αποτελεί την κύρια πηγή μόλυνσης του πόσιμου νερού. Ετσι λόγω της εύκολης διάβρωσης κατά την οποία ελευθερώνονται ιόντα σιδήρου στο πόσιμο νερό αποφεύγεται η χρήση σιδηροσωλήνων στο δίκτυο παροχής πόσιμου νερού. Οι συγκεντρώσεις σιδήρου στο πόσιμο νερό δεν ξεπερνούν συνήθως τα 0,3 mg/l. Τα άλατα του δισθενούς σιδήρου που περιέχονται στο πόσιμο νερό είναι ασταθή και συνδέονται με το pH. Κατακρημνίζονται σαν αδιάλυτα υδροξείδια του σιδήρου προκαλούν οσμή στο νερό και προβλήματα για την οικιακή χρήση του. Επίσης η υψηλή παρουσία σιδήρου στο νερό συμβάλλει στην ανάπτυξη των βακτηρίων σιδήρου. (Καλογήρου, 1999)

Το ανθρώπινο σώμα περιέχει 3,5 - 4,5 gr σιδήρου που χρησιμοποιείται για τον σχηματισμό της αιμογλοβίνης και για διάφορους κύκλους του μεταβολισμού. Η ελάχιστη ημερήσια απαίτηση του οργανισμού σε σίδηρο είναι από 7 mg έως 14 mg. Η υπερβολική λήψη οδηγεί στην αιμοσιδήρωση (απόθεση σιδήρου στους ιστούς) και εκδηλώνεται σαν κύρωση του ήπατος, διαβήτη και καρδιακές παθήσεις. Η έλλειψη σιδήρου οδηγεί σε αναιμία.

Το όριο που έχει θέσει η Ε.Ε με την Οδηγία 98/83/ΕΕ είναι 0,2 mg/l και εάν ξεπεραστεί το όριο αυτό τότε το νερό γίνεται ακατάλληλο όχι μόνο για πόσιμο αλλά

και για τις περισσότερες βιομηχανικές χρήσεις (Καλλέργης, 2000). Μετα το 1 mg/l ο σίδηρος γίνεται ίζημα προκαλώντας θολότητα.

Στην Εικόνα 12.1 παρουσιάζεται η διακύμανση των τιμών συγκέντρωσης ολικού σιδήρου στα υπόγεια νερά της περιοχής καθώς και το ανώτερο επιτρεπτό όριο που αφορά στα πόσιμα νερά, βάσει της Οδηγίας της Ε.Ε. Οι τιμές συγκέντρωσης του σιδήρου στα υπόγεια νερά της περιοχής μελέτης κυμαίνονται μεταξύ 0,000 ppm και 0,104 ppm. Οι παρατηρούμενες τιμές συγκέντρωσης κυμαίνονται σε χαμηλά επίπεδα και δεν ξεπερνούν την παραμετρική τιμή των 0,2 ppm η οποία αποτελεί το ανώτατο επιτρεπτό όριο για τα πόσιμα νερά, που καθορίζεται βάσει της οδηγίας 98/83/ΕΕ.

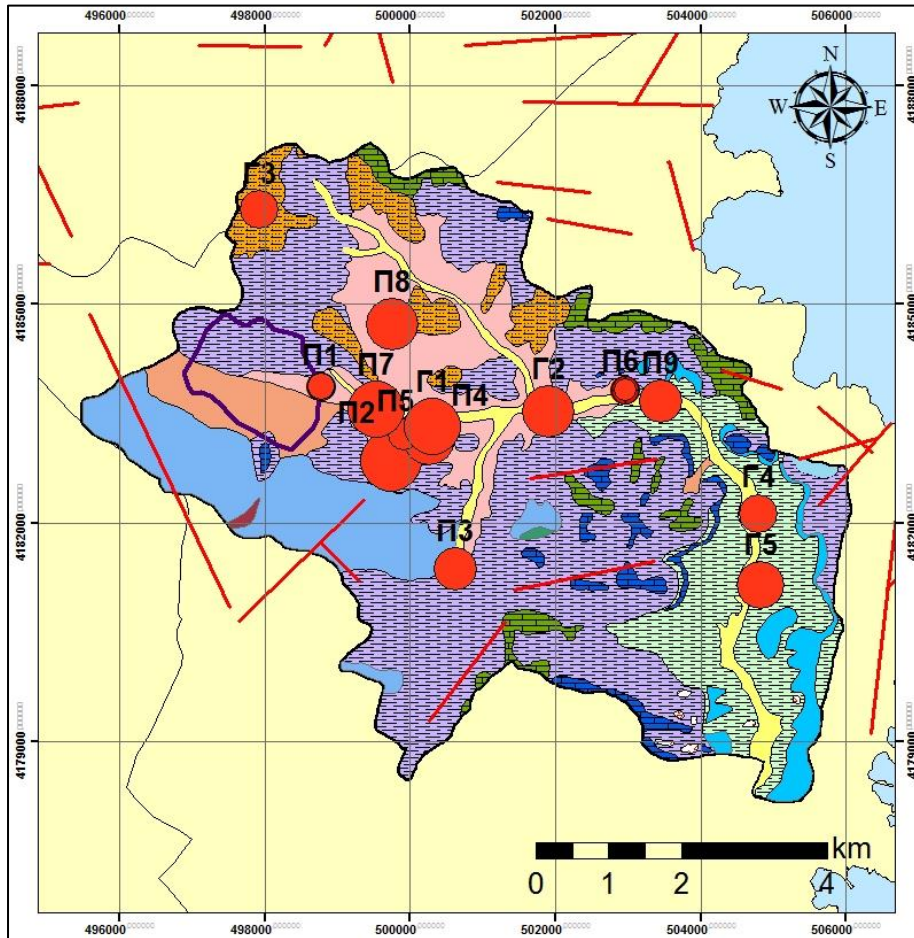


Εικόνα 12.1: Διακύμανση των τιμών της συγκέντρωσης Ολικού Σιδήρου των υπογείων νερών της λεκάνης της Κερατέας και η ένδειξη του ανώτερου επιτρεπτού ορίου (κόκκινη γραμμή) που αφορά τα πόσιμα νερά βάσει της Οδηγίας της Ε.Ε.

Οι τιμές του ολικού σιδήρου των υπογείων νερών της περιοχής μελέτης έχουν ως εξής:

- *Νερά πηγαδιών:* Οι τιμές του ολικού σιδήρου στα δείγματα των πηγαδιών κυμαίνονται από 0,030 ppm έως 0.104 ppm και μέση τιμή 0.074 ppm.

- *Νερά γεωτρήσεων:* Οι τιμές του ολικού σιδήρου στα δείγματα των γεωτρήσεων κυμαίνονται από 0.061 ppm έως 0.091 ppm και μέση τιμή 0.076 ppm.



ΥΠΟΜΝΗΜΑ

Fe (ppm)	● 0,063 - 0,072	● 0,091 - 0,104	Οικισμός Κερατέας
● ND	● 0,072 - 0,081	● Σημεία Υδροληψίας	▭ Υδροκρίτης Λεκάνης Κερατέας
● ND - 0,030	● 0,081 - 0,084	— Ρήγματα	▭
● 0,030 - 0,059	● 0,084 - 0,091		
● 0,059 - 0,063			

Εικόνα 12.2: Χάρτης χωρικής κατανομής του Ολικού Σιδήρου των υπογείων νερών της περιοχής μελέτης.

Η χωρική κατανομή της συγκέντρωσης ολικού σιδήρου των υπογείων νερών στην περιοχή μελέτης παρουσιάζεται στην Εικόνα 12.2. Διαπιστώνεται ότι οι υψηλότερες τιμές εμφανίζονται στο κεντρικό τμήμα της περιοχής μελέτης και οι χαμηλότερες στο ανατολικό και νότιο τμήμα της λεκάνης. Βασική πηγή προέλευσης

του σιδήρου για τα υπόγεια νερά της περιοχής αποτελούν τα ιζήματα, τα οποία είναι πλούσια σε διάφορα οξειδία του σιδήρου και η οργανική ύλη που βρίσκεται εντός των ιζημάτων του Νεογενούς. Συμμετοχή επίσης πρέπει να έχει και κλαστικό υλικό που έχει προκύψει από την αποσάθρωση σιδηρομεταλλευμάτων και μετάφορά του εντός της λεκάνης που πιθανά προϋπήρχαν στην ορεινή μάζα του Πάνειου.

12.4 Χαλκός (Cu)

Στοιχείο της λιθόσφαιρας. Συστατικό ορυκτών όπως τα μικτά θειούχα και τα υδροξυλιούχα ανθρακικά [κυπρίτης (Cu_2O), χαλκοσίνης (Cu_2S), μαλαχίτης (CuCO_3) $\text{Cu}(\text{OH})_2$ κ.α]. Βρίσκεται επίσης και σε πολλά πετρώματα όπως τα μαγματικά (με συγκέντρωση 97,4 mg/kg), στους ψαμμίτες (15,4 mg/kg), στους αργίλους (44.7 mg/kg), στα ανθρακικά πετρώματα (4,5 mg/kg) και στους εβαπορίτες (2,0 mg/kg), (Matthess, 1982).

Η συγκέντρωση του φτάνει μέχρι 2,0 mg/l σε μεταλλοφόρες περιοχές και σε πηγές θερμομεταλλικών νερών ενώ φράνει την τιμή των 3,5 mg/l σε πετρελαιοφόρες περιοχές. Στα όξινα νερά των ορυχείων απαντώνται τιμές μέχρι και 45.633 mg/l (Matthess, 1973, Καλλέργης, 2000)

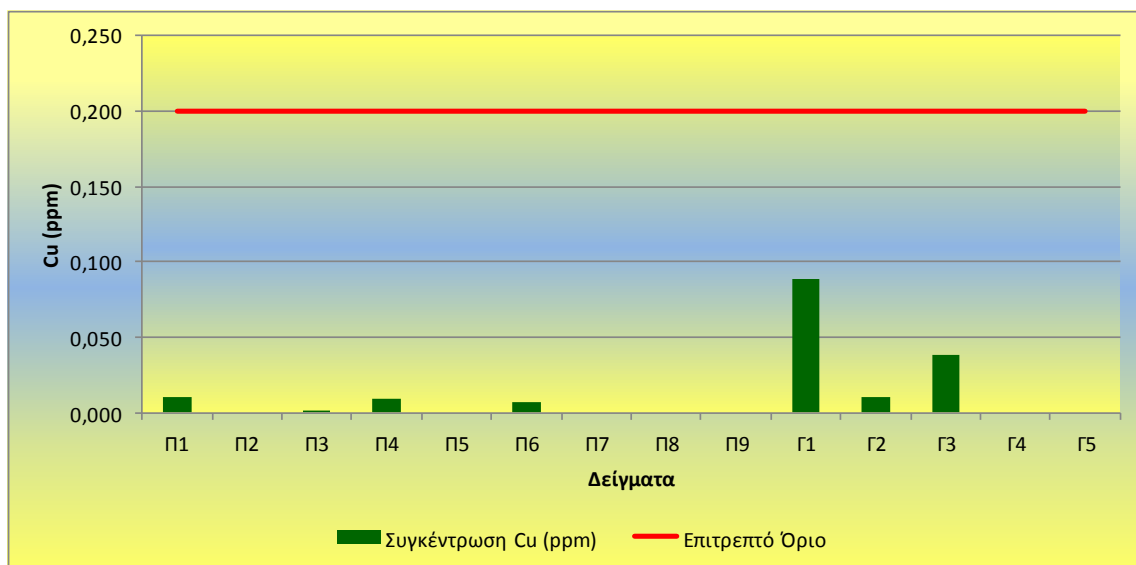
Στα υπόγεια νερά η συγκέντρωση του Cu εξαρτάται από το pH και το Eh και είναι περίπου <1 mg/l. Στα πόσιμα νερά η συγκέντρωση κυμαίνεται μεταξύ 10 μg/l και 500 μg/l (Hoell, 1979).

Η οδηγία 98/83/Ε.Ε ορίζει σαν παραμετρική τιμή τα 200 μg/l και κατατάσει τον χαλκό στα χημικά στοιχεία που είναι σημαντικά για την υγεία. Στο νερό ύδρευσης παρατηρούνται συχνά υψηλές συγκεντρώσεις της τάξης των 1,2 mg/l λόγω της διάβρωσης των χρησιμοποιούμενων χαλκοσωλήνων (Καλογήρου, 1999).

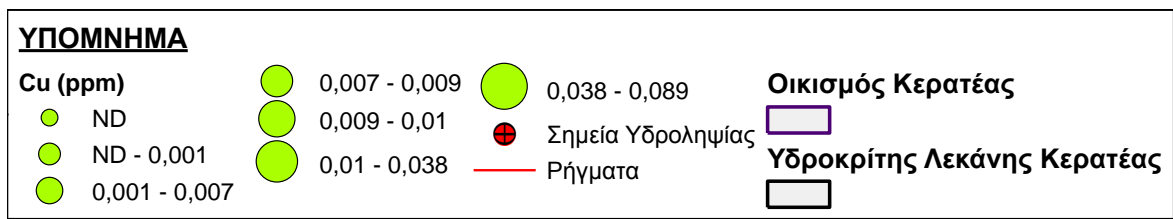
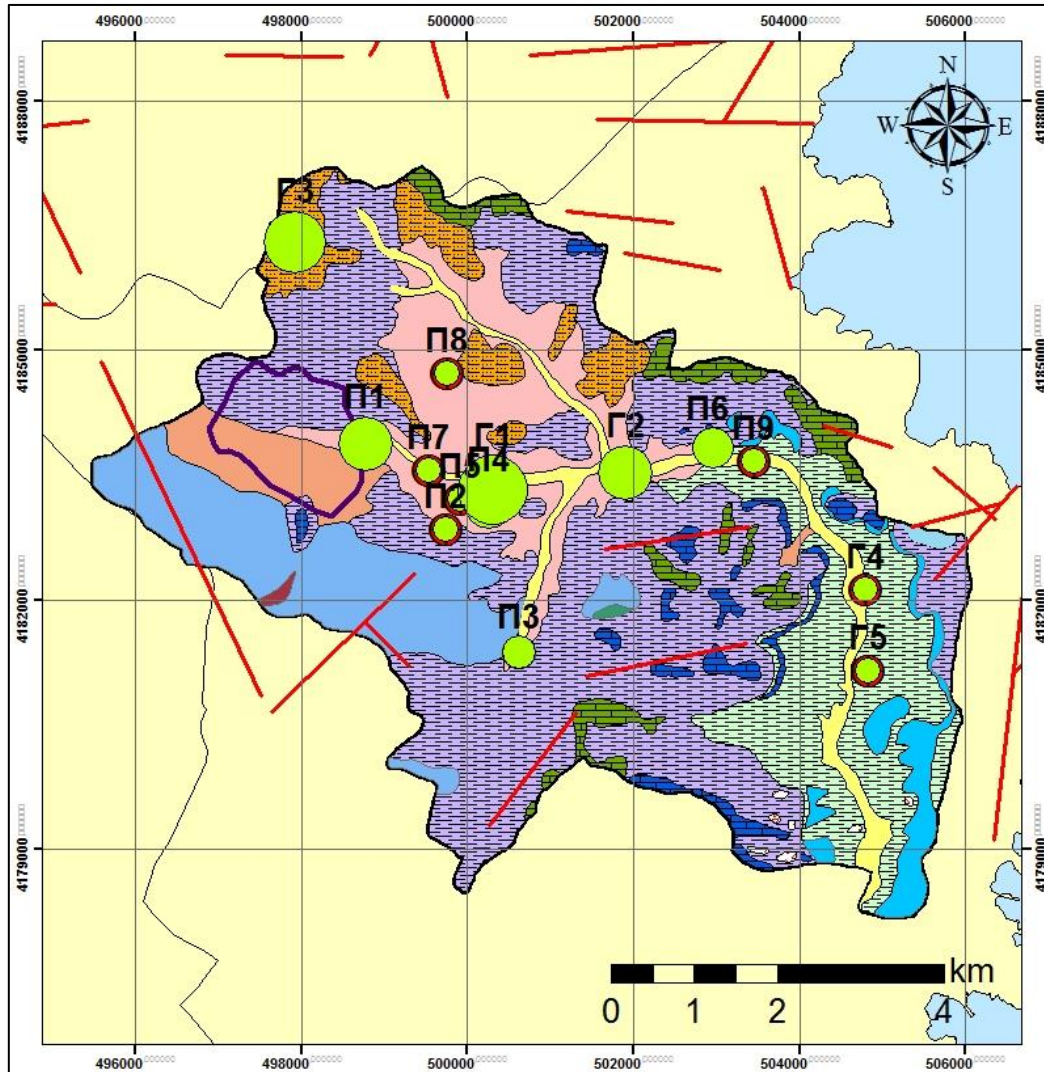
Είναι απαραίτητο στοιχείο για την ανάπτυξη των φυτών, των ζώων και των ανθρώπων. Μετέχει στον μεταβολισμό, στον σχηματισμό των ερυθροκυττάρων και στην σύνθεση της αιμοσφαιρίνης, στην ανάπτυξη των οστών και στο κεντρικό νευρικό σύστημα. Όταν βρίσκεται σε μεγάλες συγκεντρώσεις γίνεται τοξικός προκαλώντας ναυτίες, διάρροιες, εμετούς και γαστρικό κάψιμο ενώ η ελειψη του προκαλεί πολλές ασθένειες (χρόνια διάρροια, αναιμία, δυσμορφία στα οστά, αυξηση των λιπιδίων του αίματος κ.α)

Στην Εικόνα 12.3 παρουσιάζεται η διακύμανση των τιμών συγκέντρωσης χαλκού στα υπόγεια νερά της περιοχής καθώς και το ανώτερο επιτρεπτό όριο που αφορά στα πόσιμα νερά, βάσει της Οδηγίας της Ε.Ε. Οι τιμές συγκέντρωσης του χαλκού στα υπόγεια νερά της περιοχής μελέτης κυμαίνονται μεταξύ 0,001 ppm και 0,089 ppm. Στο 50% των πηγαδίων και των γεωτρήσεων δεν ανιχνεύθηκε καθόλου χαλκός και συγκεκριμένα στα πηγάδια Π2, Π5, Π7, Π8 και Π9 και στις γεωτρήσεις Γ4 και Γ5. Οι παρατηρούμενες τιμές συγκέντρωσης κυμαίνονται σε χαμηλά επίπεδα και δεν ξεπερνούν την παραμετρική τιμή των 0,2 ppm η οποία αποτελεί το ανώτατο επιτρεπτό όριο για τα πόσιμα νερά, που καθορίζεται βάσει της Οδηγίας 98/83/ΕΕ. Οι τιμές του Χαλκού των υπογείων νερών της περιοχής μελέτης έχουν ως εξής:

- *Νερά πηγαδίων:* Οι τιμές του χαλκού στα δείγματα των πηγαδίων κυμαίνονται από 0,001 ppm έως 0,010 ppm και μέση τιμή 0,007 ppm.
- *Νερά γεωτρήσεων:* Οι τιμές του χαλκού στα δείγματα των γεωτρήσεων κυμαίνονται από 0,010 ppm έως 0,089 ppm και μέση τιμή 0,046 ppm.



Εικόνα 12.3: Διακύμανση των τιμών της συγκέντρωσης Cu των υπογείων νερών της λεκάνης της Κερατέας και η ένδειξη του ανώτερου επιτρεπτού ορίου (κόκκινη γραμμή) που αφορά τα πόσιμα νερά βάσει της Οδηγίας της Ε.Ε.



Εικόνα 12.4: Χάρτης χωρικής κατανομής του Cu των υπογείων νερών της περιοχής μελέτης.

Η χωρική κατανομή της συγκέντρωσης του χαλκού των υπογείων νερών στην περιοχή μελέτης παρουσιάζεται στην Εικόνα 12.4. Διαπιστώνεται ότι οι υψηλότερες τιμές εμφανίζονται στο κεντρικό τμήμα της περιοχής μελέτης ενώ σε πολλά πηγάδια και γεωτρήσεις δεν ανιχνεύεται. Η βασική πηγή προέλευσης του χαλκού για τα υπόγεια νερά της περιοχής είναι γεωγενής με σημαντικό ρόλο να παίζουν τα

ψαμμιτικά και αργιλικά ιζήματα και αποθέσεις της περιοχής. Βασικός τροφοδότης επίσης είναι τα σουλφίδια που οξειδώνονται και τα οποία και που βρίσκονται εντός της οργανικής ύλης των ιζημάτων του Νεογενούς. Συμμετοχή επίσης έχει και ο ανθρωπογενής παράγοντας από την χρήση λιπασμάτων στη γεωργία και από την διάβρωση των χαλκοσωλήνων των γεωτρήσεων της λεκάνης μελέτης.

12.5 Χρώμιο (Cr_{tot})

Απαντάται στα επιφανειακά και υπόγεια νερά σε τρισθενή και εξασθενή μορφή. Το τρισθενές χρώμιο βρίσκεται σε διαλυτή μορφή σε όξινα διαλύματα και σε στερεά μορφή σε βασικά διαλύματα. Το τρισθενές χρώμιο έχει χρώμα πράσινο-μπλέ και το εξασθενές κίτρινο- πορτοκαλί. Τα ιόντα του τρισθενούς χρωμίου περιβάλλονται από έξι νερά, όπως όλα τα μέταλλα, και δημιουργούν μια μεγάλη σειρά από σύμπλοκα με οξυγόνο, άζωτο, θείο φωσφορικά ιόντα, υδροξύλια, βρώμιο, χλώριο, φθόριο και οργανικές ενώσεις. Και τα δυο προσροφώνται σε εδάφη και ιζήματα.

Το χρώμιο βρίσκεται σε καταστάσεις οξειδωσης από +6 έως -2, οι καταστάσεις οξειδωσης +6 και +3 απαντώνται συχνά στο περιβάλλον (Νικολαΐδη, 2005; Palmer and Puls, 1994)

Η μέση συγκέντρωση Cr στον φλοιό της γης είναι περίπου 100 mg/kg. Σε βασικά και υπερβασικά πετρώματα η μέση συγκέντρωση είναι 200 και 2400 mg/kg αντίστοιχα (Nriagu, 1988). Η πιο κοινή ορυκτή φάση η οποία περιέχει Cr είναι ο χρωμίτης ($FeCr_2O_4$), στην οποία το Cr απαντά στην οξειδωτική κατάσταση +3 (Nriagu, 1988).

Η παγκόσμια μέση περιεκτικότητα του χρωμίου στα εδάφη είναι 54 mg/kg. το περιεχόμενο του στα εδάφη καθορίζεται από την συγκέντρωση του στα μητρικά πετρώματα. Το υψηλότερο περιεχόμενο του βρίσκεται σε εδάφη που προέρχονται από τα βασικά πετρώματα και τα αργιλώδη ιζήματα, ενώ από το συνολικό χρώμιο των εδαφών το μεγαλύτερο ποσοστό (>80%) βρίσκεται στην δυσκίνητη φάση (δηλαδή σε δυσδιάλυτα ορυκτά) (Kabata-Pendias and Mukherjee, 2007).

Η περιεκτικότητα χρωμίου στο νερό των ποταμών σε διάφορες περιοχές της γης κυμαίνεται από 0,04 έως 1,3 $\mu\text{g/l}$, ενώ το χρώμιο στο νερό των ποταμών της Μεγάλης Βρετανίας κυμαίνεται από 0,4 έως 6,9 $\mu\text{g/l}$, φθάνοντας τη συγκέντρωση

46,8 µg/l στους βιομηχανικά επιβαρυσμένους ποταμούς (Kabata-Pendias and Mukherjee, 2007). Η συνολική μέση συγκέντρωση του χρωμίου στο ωκεάνιο νερό είναι 0,3 µg/l, στον Βόρειο Ειρηνικό ωκεανό είναι: Cr^{6+} , 0.21 µg/kg και Cr^{3+} , 0.002 µg/kg (Kabata-Pendias and Mukherjee, 2007).

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

Το χρώμιο απαντάται στο υπόγειο νερό στην τρισθενή [Cr(III)] ή στην εξασθενή [Cr(VI)] οξειδωτική κατάσταση. Το εξασθενές χρώμιο στα υπόγεια νερά είναι δυνατό να δεσμευτεί στα οργανικά στρώματα (Kabata-Pendias and Mukherjee, 2007). Το τρισθενές είναι μερικώς διαλυτό στο νερό και είναι σχετικά δυσκίνητο ενώ το εξασθενές είναι μερικώς διαλυτό στο νερό και σχετικά πιο ευκίνητο.

Το χρώμιο απαντά στα επιφανειακά νερά με μορφές ιόντων όπως CrO_4^{-2} , $\text{Cr}_2\text{O}_7^{-2}$, CrOH^{2+} , Cr^{3+} . Επειδή τα οργανικά και ανόργανα σύμπλοκα καθορίζουν τις μορφές του στα υγρά απόβλητα ποικίλλει. Κύρια ανθρωπόγενής πηγή εξασθενούς χρωμίου είναι τα υγρά απόβλητα των μεταλλουργικών, μεταλλευτικών βιομηχανιών και των βιομηχανιών παρασκευής χρωστικών ουσιών. Το τρισθενές υπάρχει στα υγρά απόβλητα των βιοτεχνιών κρυστουφαντουργίας και επεξεργασίας δερμάτων. (Kabata-Pendias and Mukherjee, 2007). Το χρώμιο και τα οξείδια του χρησιμοποιούνται κυρίως στα βυρσοδεψία, στην παραγωγή καταλυτών, στα χρώματα, στα μυκητοκτόνα, στην βιομηχανία γυαλιού και κεραμικών και για κράματα ή επιμεταλλώσεις αντιδιαβρωτικής προστασίας. Χρησιμοποιείται επίσης στην παραγωγή ανοξειδωτού χάλυβα και κραμάτων, στην υφαντουργία και στην επικάλυψη δομικών υλικών.

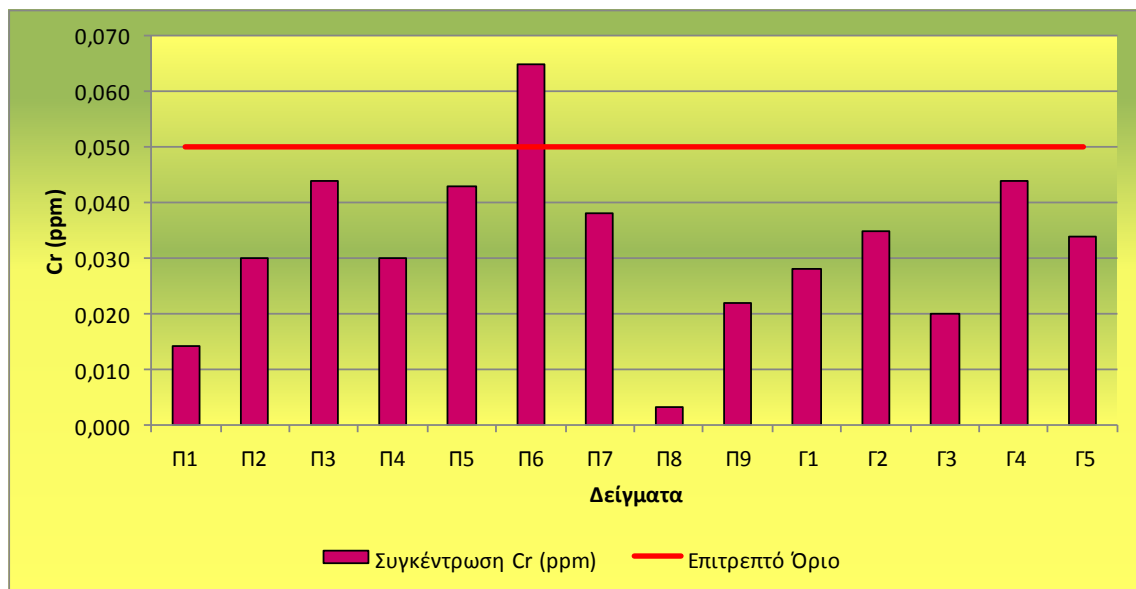
Η οδηγία 98/83/E.E ορίζει σαν παραμετρική τιμή τα 50 µg/l και κατατάσει το Χρώμιο στα χημικά στοιχεία που επηρεάζουν την υγεία.

Στην Εικόνα 12.5 παρουσιάζεται η διακύμανση των τιμών συγκέντρωσης του Ολικού Χρωμίου στα υπόγεια νερά της περιοχής καθώς και το ανώτερο επιτρεπτό όριο που αφορά στα πόσιμα νερά, βάσει της Οδηγίας της Ε.Ε. Οι τιμές συγκέντρωσης του Ολικού Χρωμίου στα υπόγεια νερά της περιοχής μελέτης

κυμαίνονται μεταξύ 0,014 ppm και 0,065 ppm. Οι παρατηρούμενες τιμές συγκέντρωσης κυμαίνονται σε χαμηλά επίπεδα (εκτός από το πηγάδι Π6) και δεν ξεπερνούν την παραμετρική τιμή των 0,050 ppm η οποία αποτελεί το ανώτατο επιτρεπτό όριο για τα πόσιμα νερά, που καθορίζεται βάσει της Οδηγίας 98/83/ΕΕ.

Οι τιμές του Χρωμίου των υπογείων νερών της περιοχής μελέτης έχουν ως εξής:

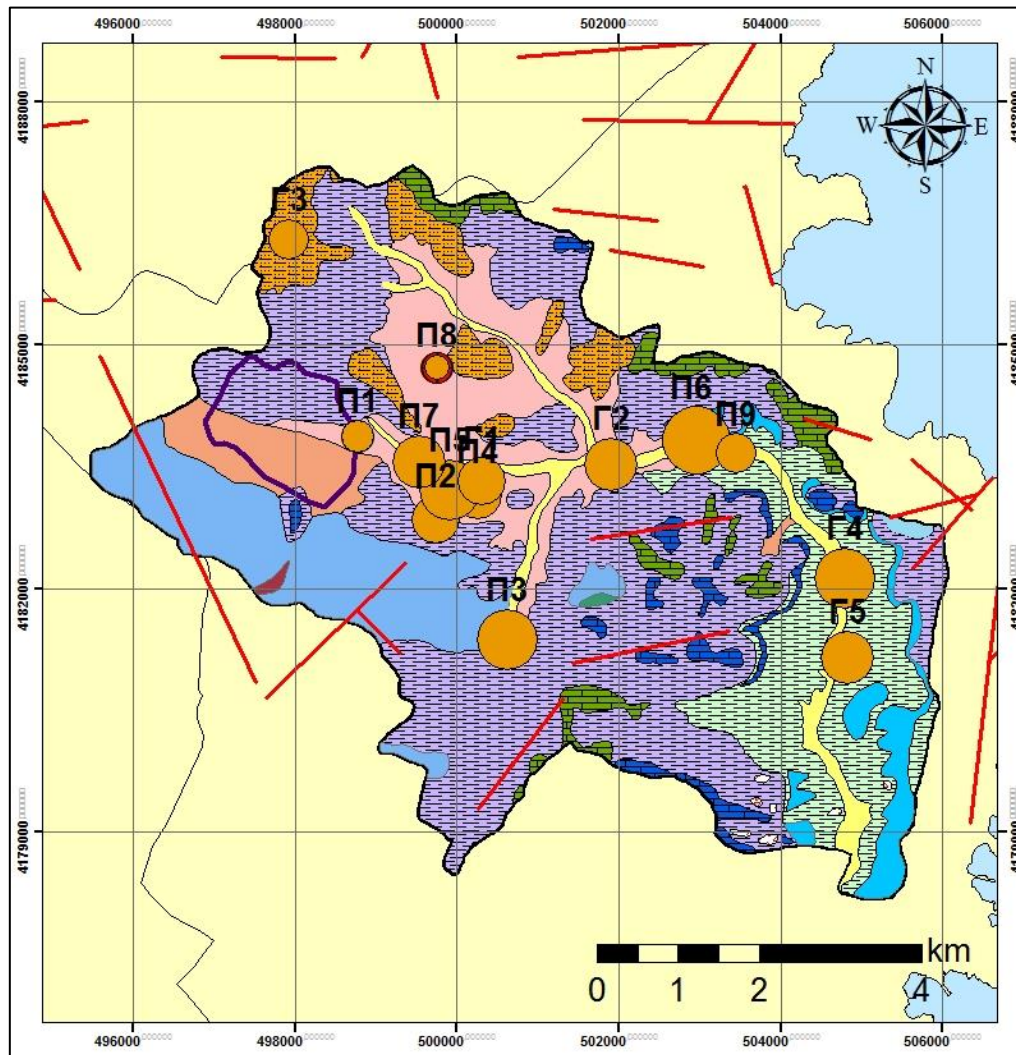
- *Νερά πηγαδιών:* Οι τιμές του Ολικού Χρωμίου στα δείγματα των πηγαδιών κυμαίνονται από 0,003 ppm έως 0,065 ppm και μέση τιμή 0,032 ppm.
- *Νερά γεωτρήσεων:* Οι τιμές του Ολικού Χρωμίου στα δείγματα των γεωτρήσεων κυμαίνονται από 0,020 ppm έως 0,044 ppm και μέση τιμή 0,032 ppm.



Εικόνα 12.5: Διακύμανση των τιμών της συγκέντρωσης Cr των υπογείων νερών της λεκάνης της Κερατέας και η ένδειξη του ανώτερου επιτρεπτού ορίου (κόκκινη γραμμή) που αφορά τα πόσιμα νερά βάσει της Οδηγίας της Ε.Ε.

Η χωρική κατανομή της συγκέντρωσης του Ολικού Χρωμίου των υπογείων νερών στην περιοχή μελέτης παρουσιάζεται στην Εικόνα 12.6. Διαπιστώνεται ότι οι υψηλότερες τιμές εμφανίζονται στο κεντρικό και ανατολικό τμήμα της περιοχής μελέτης όπου αναπτύσσονται κυρίως οι Νεογενείς και Τεταρτογενείς σχηματισμοί και εκμεταλλεύονται την υδροφορία τους οι γεωτρήσεις ενώ οι χαμηλότερες τιμές

εμφανίζονται στο βόρειο τμήμα. Η παρουσία του σχετίζεται με την παρουσία της οργανικής ύλης που βρίσκεται εντός των Νεογενών σχηματισμών.



Εικόνα 12.6: Χάρτης χωρικής κατανομής του Cr των υπογείων νερών της περιοχής μελέτης

12.6 Μαγγάνιο (Mn)

Απάντάται σε αφθονία στον φλοιό της γης σε περιεκτικότητα 955 ppm. Βρίσκεται σε πολλά ορυκτά όπως ο πυρολουσίτης (MnO_2), ο αουσμανίτης (Mn_3O_4), ο ροδοχρωσίτης ($MnCO_3$), ο μαγγανίτης ($MnO(OH)$) και ο ψιλομέλανας ($(MnBa)O \cdot 2MnO_2$). Τεράστιες ποσότητες ορυκτών μαγγανίου (24% ως οξειδία και υδροξειδία) βρίσκονται στον πυθμένα των ωκεανών υπό την μορφή σφαιριδίων, γνωστά ως κόνδυλοι μαγγανίου (manganese nodules). Στους μαγματίτες το μαγγάνιο βρίσκεται στην δισθενή μορφή, ενώ στα εδάφη και στα ιζήματα απαντώνται οξειδία και υδροξειδία στη δισθενή, τρισθενή και τετρασθενή μορφή (Matthess, 1973). Το θαλασσινό νερό περιέχει 0,0004 mg/l. Το μαγγάνιο και οι ανόργανες ενώσεις του δεν έχουν μεγάλη τοξικότητα.

Στα υπόγεια νερά το μαγγάνιο έχει χαμηλές συγκεντρώσεις (<0,05 mg/l). Όπου εμφανίζονται υψηλές συγκεντρώσεις οφείλεται σε ανθρωπογενείς παράγοντες. Η διάλυση και η παρουσία του εξαρτάται από το pH και το Eh. Στην περίπτωση των υπογείων νερών με υψηλές συγκεντρώσεις οξυγόνου και pH=7,0, το μαγγάνιο εμφανίζεται με την δισθενή του μορφή και σε συγκεντρώσεις από 1mg/l έως 10 mg/l. Υψηλές συγκεντρώσεις εμφανίζονται και στα θερμομεταλλικά νερά με τιμή μέχρι 42 mg/l και στα νερά των κοιτασμάτων υδρογονανθράκων μέχρι 30mg/l (Matthess, 1973).

Είναι απαραίτητο και για τον ανθρώπινο οργανισμό και για τα φυτά. Στο ανθρώπινο σώμα απαντάται στον σκελετό, στο ήπαρ, στην καρδιά και διασπά τα αμινοξέα για την παραγωγή ενέργειας που βοηθά στον μεταβολισμό της βιταμίνης B1 και της E. Ενισχύει την διάσπαση των λιπών και της χοληστερίνης και βοηθά την ανάπτυξη των οστών. Η έλλειψη του προκαλεί δυσλειτουργία στον εγκέφαλο και στην ανάπτυξη των οστών ενώ η υπερβολική λήψη είναι τοξική, δεν προέρχεται από την διατροφή αλλά από βιομηχανικά απόβλητα ή από ρυπασμένες τροφές και νερό και προκαλεί νευρικές διαταραχές.

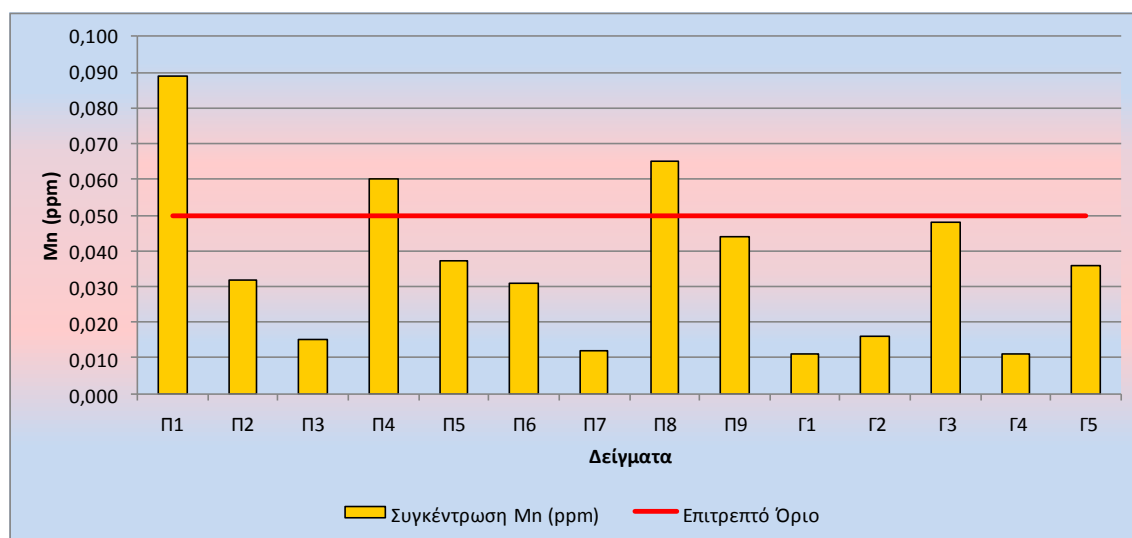
Το ενδεικτικό επίπεδο παρουσίας μαγγανίου στο πόσιμο νερό, που έχει καθοριστεί από την Ε.Ε, είναι τα 0,02 mg/l ενώ το ανώτατο επίπεδο είναι τα 0,05 mg/l.

Στην Εικόνα 12.7 παρουσιάζεται η διακύμανση των τιμών συγκέντρωσης του Μαγγανίου στα υπόγεια νερά της περιοχής καθώς και το ανώτερο επιτρεπτό όριο

που αφορά στα πόσιμα νερά, βάσει της Οδηγίας της Ε.Ε. Οι τιμές συγκέντρωσης του Μαγγανίου στα υπόγεια νερά της περιοχής μελέτης κυμαίνονται μεταξύ 0,011 ppm και 0,089 ppm. Οι παρατηρούμενες τιμές συγκέντρωσης κυμαίνονται σε χαμηλά επίπεδα με εξαίρεση τα πηγάδια Π1, Π4 και Π8 και δεν ξεπερνούν την παραμετρική τιμή των 0,05 ppm η οποία αποτελεί το ανώτατο επιτρεπτό όριο για τα πόσιμα νερά, που καθορίζεται βάσει της Οδηγίας 98/83/ΕΕ.

Οι τιμές του Μαγγανίου των υπογείων νερών της περιοχής μελέτης έχουν ως εξής:

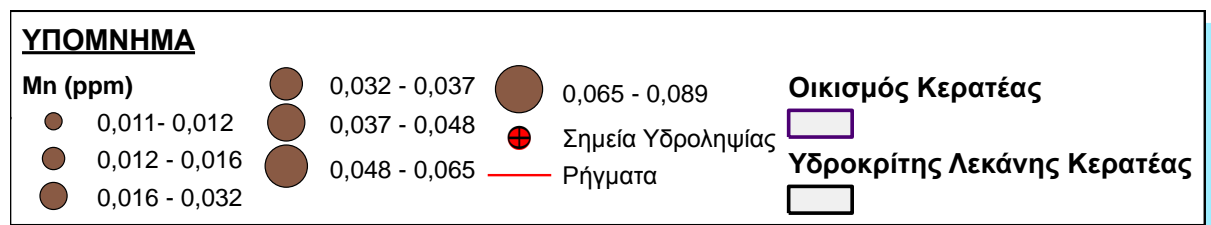
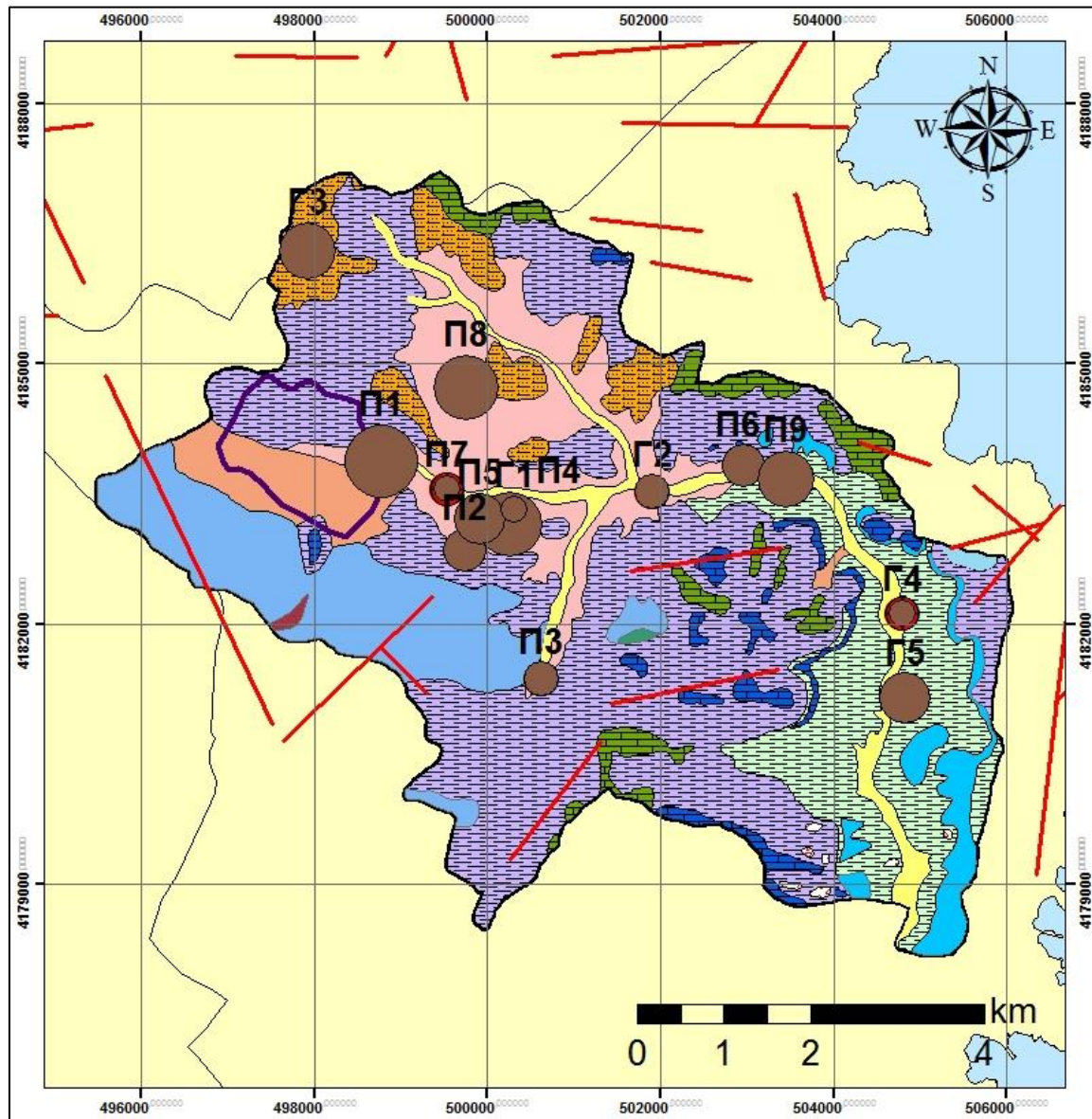
- *Νερά πηγαδιών:* Οι τιμές του Μαγγανίου στα δείγματα των πηγαδιών κυμαίνονται από 0,012 ppm έως 0,089 ppm και μέση τιμή 0,043 ppm.
- *Νερά γεωτρήσεων:* Οι τιμές του Μαγγανίου στα δείγματα των γεωτρήσεων κυμαίνονται από 0,011 ppm έως 0,048 ppm και μέση τιμή 0,024 ppm.



Εικόνα 12.7: Διακύμανση των τιμών της συγκέντρωσης Mn των υπογείων νερών της λεκάνης της Κερατέας και η ένδειξη του ανώτερου επιτρεπτού ορίου (κόκκινη γραμμή) που αφορά τα πόσιμα νερά βάσει της Οδηγίας της Ε.Ε.

Η χωρική κατανομή της συγκέντρωσης του Μαγγανίου των υπογείων νερών στην περιοχή μελέτης παρουσιάζεται στην Εικόνα 12.8. Διαπιστώνεται ότι οι υψηλότερες τιμές εμφανίζονται στο ανατολικό τμήμα της περιοχής μελέτης όπου αναπτύσσονται κυρίως οι Νεογενείς και Τεταρτογενείς σχηματισμοί με την παρουσία της οργανικής ύλης που βρίσκεται εντός των Νεογενών σχηματισμών. και οι

Τριαδικο- Ιουρασικοί ασβεστόλιθοι που αναπτύσσονται στα περιθώρια της ενώ οι χαμηλότερες τιμές εμφανίζονται στο βόρειο τμήμα.



Εικόνα 12.8: Χάρτης χωρικής κατανομής του Mn των υπογείων νερών της περιοχής μελέτης

12.9 Ψευδάργυρος (Zn)

Απαντάται σε αφθονία στον φλοιό της γης με μορφή μεταλλευμάτων σε περιεκτικότητα 76 mg/l. Βρίσκεται σε πολλά ορυκτά όπως ο σφαλερίτης ($Zn(Fe)S$) και ο σμιθσονίτης ($ZnCO_3$). Ο ψευδάργυρος και οι ανόργανες ενώσεις του δεν έχουν μεγάλη τοξικότητα.

Σχετικά με την τοξικότητα του χαρακτηρίζεται ήπιο στοιχείο. Είναι απαραίτητο για τον άνθρωπο και τα φυτά. Η έλλειψη του προκαλεί εμφράγματα και αλλεργίες ενώ η υπερβολική λήψη του είναι τοξική προκαλώντας αφυδάτωση, ναυτία, ιλίγγους και τάσεις προς έμετο. (Καλογήρου, 1999).

Στο νερό εμφανίζεται σε διαλυτή μορφή ως κατιόν Zn^{+2} οργανικών και ανόργανων συμπλόκων ή σε αδιάλυτη μορφή ως υδροξείδια, θειικά άλατα και ανθρακικά άλατα. Οι τυπικές του συγκεντρώσεις σε νερά είναι από 5 $\mu\text{g/l}$ έως 10 $\mu\text{g/l}$ ενώ η μέση τιμή σε μεγάλους ποταμούς παγκοσμίως είναι 0,60 $\mu\text{g/l}$ και στο θαλασσινό νερό από 1 $\mu\text{g/l}$ έως 10 $\mu\text{g/l}$.

Ο ψευδάργυρος εισέρχεται στα υπόγεια νερά από τα εδάφη που βρίσκονται κοντά σε αποθέσεις μεταλλευμάτων του ή από τα εδάφη που βρίσκονται κοντά σε αποθέσεις που είναι πλούσιες σε ενώσεις του. Στα υπόγεια νερά η συγκέντρωση τους κυμαίνεται από 0 mg/l έως 0,22 mg/l . Σε περιοχές που περιέχουν μέταλλα η συγκέντρωση του φτάνει στα 3,4 mg/l και στα όξινα νερά των μεταλλείων μέχρι τα 2,4 mg/l . Στα πόσιμα νερά εμφανίζονται συγκεντρώσεις από 0,01 mg/l έως 1,0 mg/l . Στα επιφανειακά νερά η ανίχνευση του είναι ανθρωπογενούς προέλευσης και προέρχεται από την ρυπογόνο σκόνη, τα βιομηχανικά λύματα και την χρήση λιπασμάτων.

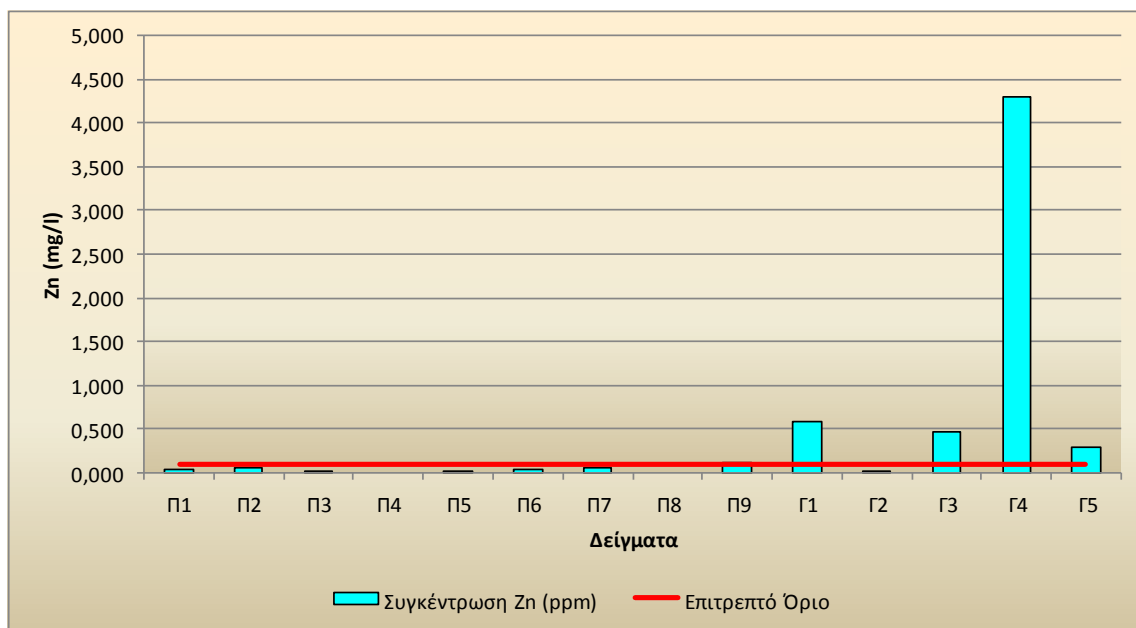
Το ενδεικτικό επίπεδο παρουσίας ψευδαργύρου στο πόσιμο νερό, που έχει καθοριστεί από την Ε.Ε, είναι από 0,1 mg/l έως 5 mg/l ενώ το μέγιστο επιτρεπτό όριο της Παγκόσμιας Οργάνωσης Υγείας είναι 3 mg/l . Για την υδρόβια ζωή τα όρια είναι πολύ μικρότερα από 0,03 mg/l έως 2 mg/l . Στο νερό άρδευσης το ανώτατο όριο είναι τα 2,0 mg/l .

Στην Εικόνα 12.9 παρουσιάζεται η διακύμανση των τιμών συγκέντρωσης του Ψευδαργύρου στα υπόγεια νερά της περιοχής καθώς και το ανώτερο επιτρεπτό όριο που αφορά στα πόσιμα νερά, βάσει της Οδηγίας της Ε.Ε. Οι τιμές συγκέντρωσης του Ψευδαργύρου στα υπόγεια νερά της περιοχής μελέτης κυμαίνονται μεταξύ 0,013

mg/l και 0,588 mg/l. Εξαιρετικά υψηλή τιμή εμφανίζεται στην γεώτρηση Γ4 με 4,306 mg/l. Στα πηγάδια Π4 και Π8 δεν ανιχνεύθηκε καθόλου Ψευδάργυρος. Όλες οι παρατηρούμενες τιμές συγκέντρωσης κυμαίνονται σε χαμηλά επίπεδα με εξαίρεση τις γεωτρήσεις Γ1, Γ3, Γ4 και Γ5 χωρίς όμως να ξεπερνούν την παραμετρική τιμή των 0,5 mg/l η οποία αποτελεί το ανώτατο επιτρεπτό όριο για τα πόσιμα νερά, που καθορίζεται βάσει της Οδηγίας 98/83/ΕΕ.

Οι τιμές του Ψευδαργύρου των υπογείων νερών της περιοχής μελέτης έχουν ως εξής:

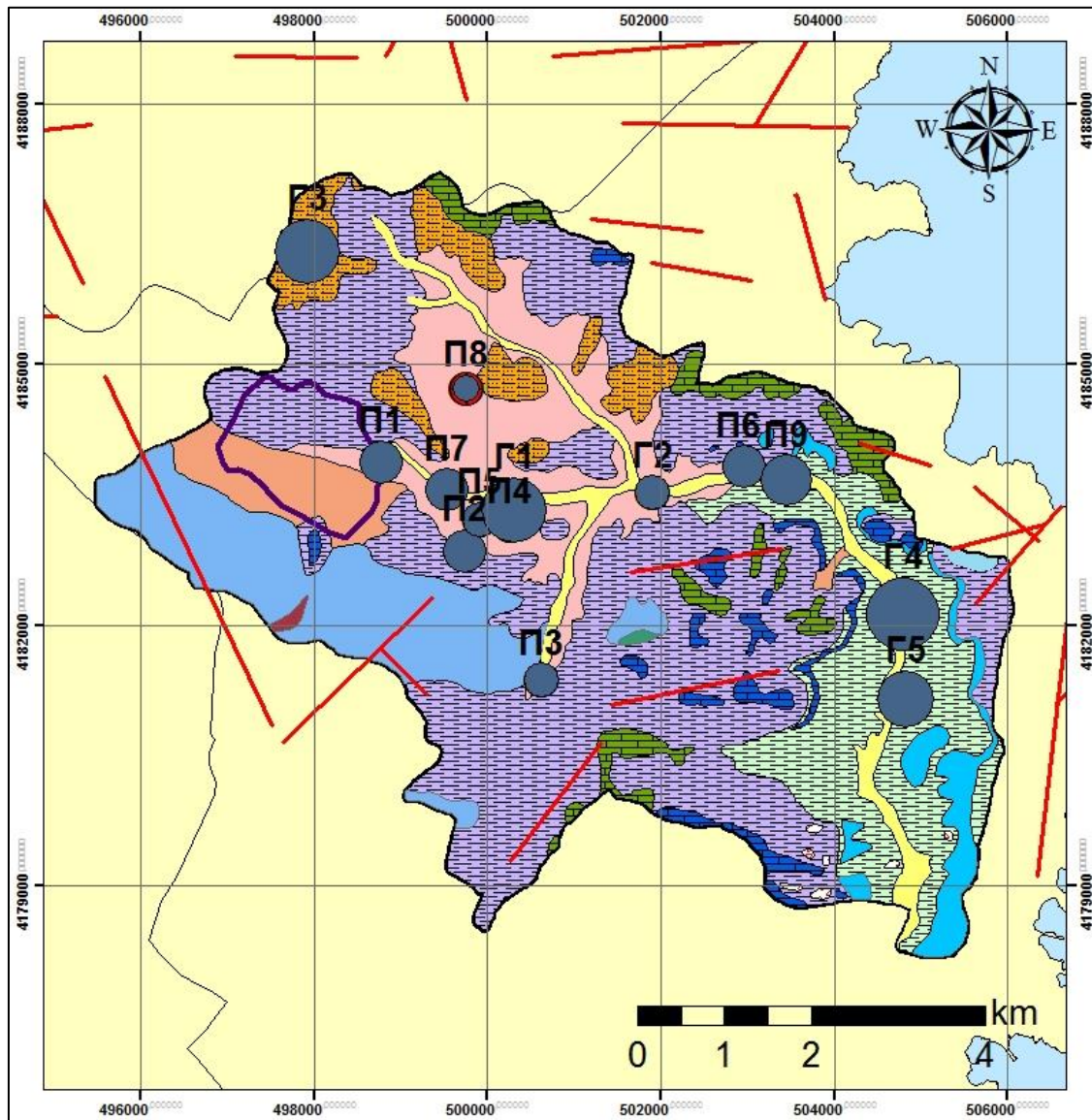
- *Νερά πηγαδιών:* Οι τιμές του Ψευδαργύρου στα δείγματα των πηγαδιών κυμαίνονται από 0,014 mg/l έως 0,108 mg/l και μέση τιμή 0,045 mg/l.
- *Νερά γεωτρήσεων:* Οι τιμές του Ψευδαργύρου στα δείγματα των γεωτρήσεων κυμαίνονται από 0,013 mg/l έως 4,306 mg/l και μέση τιμή 1,133 mg/l.



Εικόνα 12.9: Διακύμανση των τιμών της συγκέντρωσης Zn των υπογείων νερών της λεκάνης της Κερατέας και η ένδειξη του ανώτερου επιτρεπτού ορίου (κόκκινη γραμμή) που αφορά τα πόσιμα νερά βάσει της Οδηγίας της Ε.Ε.

Η χωρική κατανομή της συγκέντρωσης του Ψευδαργύρου των υπογείων νερών στην περιοχή μελέτης παρουσιάζεται στην Εικόνα 12.10. Διαπιστώνεται ότι οι υψηλότερες τιμές εμφανίζονται στο ανατολικό τμήμα της περιοχής μελέτης όπου

αναπτύσσονται κυρίως οι Νεογενείς και Τεταρτογενείς σχηματισμοί και τα ιζήματα τους σε συνάρτηση με την παρουσία της οργανικής ύλης που βρίσκεται εντός των Νεογενών σχηματισμών της λεκάνης ενώ οι χαμηλότερες τιμές εμφανίζονται στο κεντρικό της τμήμα.



Εικόνα 12.10: Χάρτης χωρικής κατανομής του Zn των υπογείων νερών της περιοχής μελέτης

12.10 Νικέλιο (Ni)

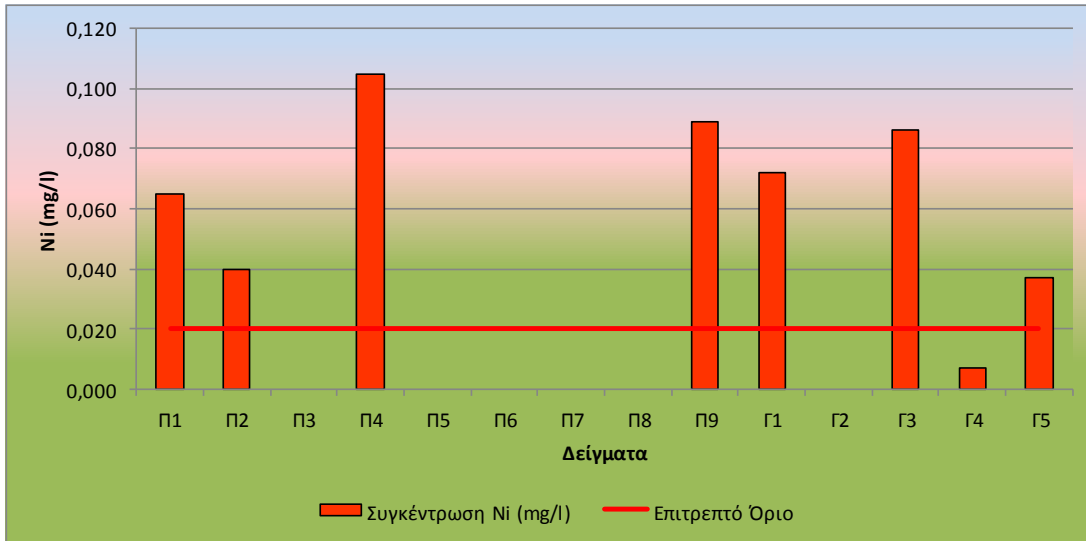
Απαντάται στα μαγματικά πετρώματα σε περιεκτικότητα 93,8 mg/kg. Βρίσκεται στους ψαμμίτες σε περιεκτικότητα 2,6 mg/kg, στους άργιλους σε περιεκτικότητα 29,4 mg/kg, και στα ανθρακικά πετρώματα σε περιεκτικότητα 12,8 mg/l.

Χρησιμοποιείται στην βιομηχανία για μπαταρίες και για επιμετάλλωση γι' αυτό και αποτελεί κύριο συστατικό των βιομηχανικών αποβλήτων. Τα άλατα του είναι ευδιάλυτα και δημιουργούν εύκολα απόβλητα ρυπαίνοντας τα επιφανειακά και τα υπόγεια νερά.

Είναι απαραίτητο ιχνοστοιχείο για την διατροφή των ζώων και εμμέσως για τον άνθρωπο. Το νικέλιο έχει μεγάλη τοξικότητα. Οι μεγάλες ποσότητες νικελίου προκαλούν καρκίνους, συνήθως στους πνεύμονες, στο λάρυγγα και στη μύτη, άσθμα και χρόνια βρογχίτιδα επειδή προσλαμβάνεται από τις αναπνευστικές οδούς .

Στο θαλασσινό νερό η συγκέντρωση του είναι 0,007 mg/l. Στα υπόγεια νερά το νικέλιο βρίσκεται σε δισθενή μορφή (Matthess, 1982) και οι συγκεντρώσεις φτάνουν το 1,0 mg/l. Σε υπόγεια νερά περιοχών που περιέχουν μέταλλα φτάνει τα 4,0 mg/l, σε αντίστοιχα νερά γεωτρήσεων εκμετάλλευσης πετρελαίων απαντάται σε συγκεντρώσεις 4,0 mg/l έως 40,0 mg/l, ενώ σε πολύ όξινα νερά (pH=1,9) εμφανίζονται συγκεντρώσεις μέχρι 319,3 mg/l. Το πόσιμο νερό παρουσιάζει χαμηλές συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από 5 µg/l έως 5 µg/l. Οι χαμηλες συγκεντρώσεις νικελίου που συνήθως βρίσκονται στο πόσιμο νερό δεν προκαλούν σοβαρά προβλήματα υγείας στον άνθρωπο. Το μέγιστο επιτρεπτό όριο που έχει καθοριστεί από την Ε.Ε είναι τα 20 µg/l.

Στην Εικόνα 12.11 παρουσιάζεται η διακύμανση των τιμών συγκέντρωσης του Νικελίου στα υπόγεια νερά της περιοχής καθώς και το ανώτερο επιτρεπτό όριο που αφορά στα πόσιμα νερά, βάσει της Οδηγίας της Ε.Ε. Οι τιμές συγκέντρωσης του Νικελίου στα υπόγεια νερά της περιοχής μελέτης κυμαίνονται μεταξύ 0,007 mg/l και 0,105 mg/l. Στα πηγάδια Π3, Π5, Π6, Π7 και Π8 δεν ανιχνεύθηκε καθόλου Νικέλιο. Επίσης δεν ανιχνεύθηκε στην γεώτρηση Γ2. Σχεδόν όλα τα δείγματα ξεπερνούν την παραμετρική τιμή των 0,02 mg/l η οποία αποτελεί το ανώτατο επιτρεπτό όριο για τα πόσιμα νερά, που καθορίζεται βάσει της Οδηγίας 98/83/ΕΕ.

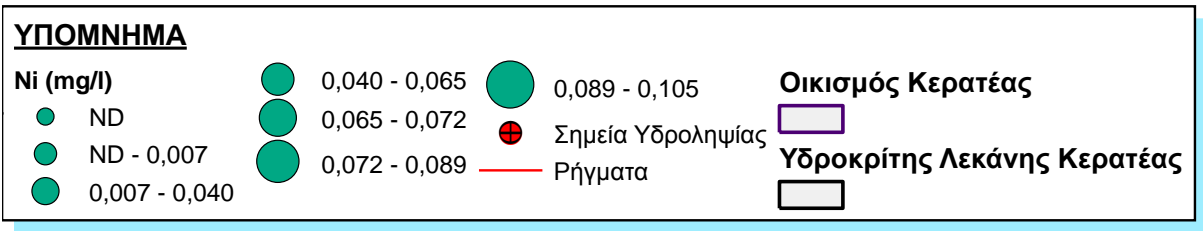
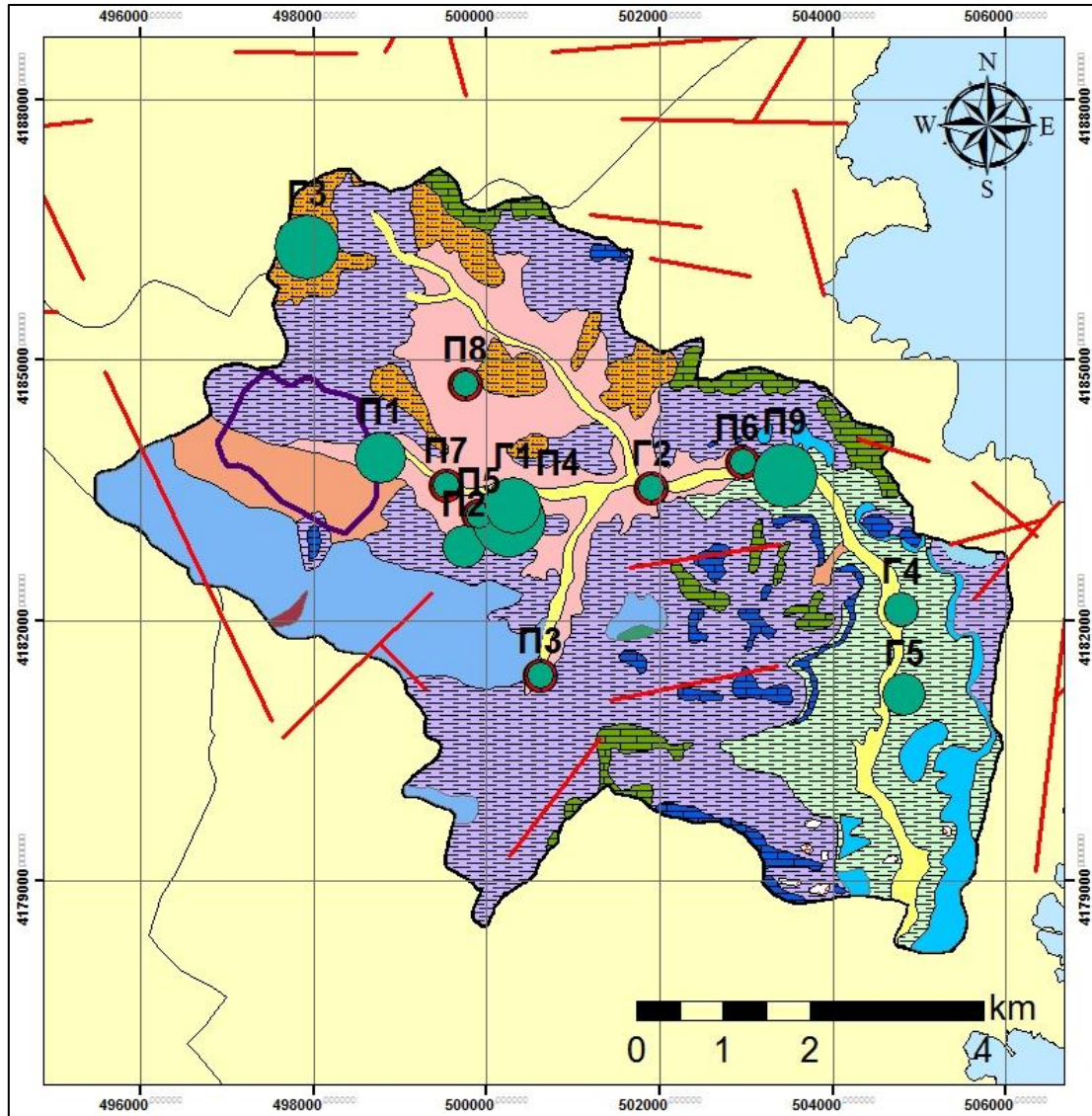


Εικόνα 12.11: Διακύμανση των τιμών της συγκέντρωσης Ni των υπογείων νερών της λεκάνης της Κερατέας και η ένδειξη του ανώτερου επιτρεπτού ορίου (κόκκινη γραμμή) που αφορά τα πόσιμα νερά βάσει της Οδηγίας της Ε.Ε.

Οι τιμές του Νικελίου των υπογείων νερών της περιοχής μελέτης έχουν ως εξής:

- *Νερά πηγαδιών:* Οι τιμές του Ψευδαργύρου στα δείγματα των πηγαδιών κυμαίνονται από 0,040 mg/l έως 0,105 mg/l και μέση τιμή 0,075 mg/l.
- *Νερά γεωτρήσεων:* Οι τιμές του Νικελίου στα δείγματα των γεωτρήσεων κυμαίνονται από 0,007 mg/l έως 0,086 mg/l και μέση τιμή 0,051 mg/l.

Η χωρική κατανομή της συγκέντρωσης του Νικελίου των υπογείων νερών στην περιοχή μελέτης παρουσιάζεται στην Εικόνα 12.12. Διαπιστώνεται ότι οι τιμές των συγκεντρώσεων είναι αναμεμιγμένες. Υψηλότερες τιμές εμφανίζονται στο κεντρικό και βόρειο τμήμα της περιοχής μελέτης ενώ χαμηλές τιμές εμφανίζονται και στο κεντρικό της τμήμα αλλά και στο ανατολικό.



Εικόνα 12.12: Χάρτης χωρικής κατανομής του Ni των υπογείων νερών της περιοχής μελέτης

12.11 Μόλυβδος (Pb)

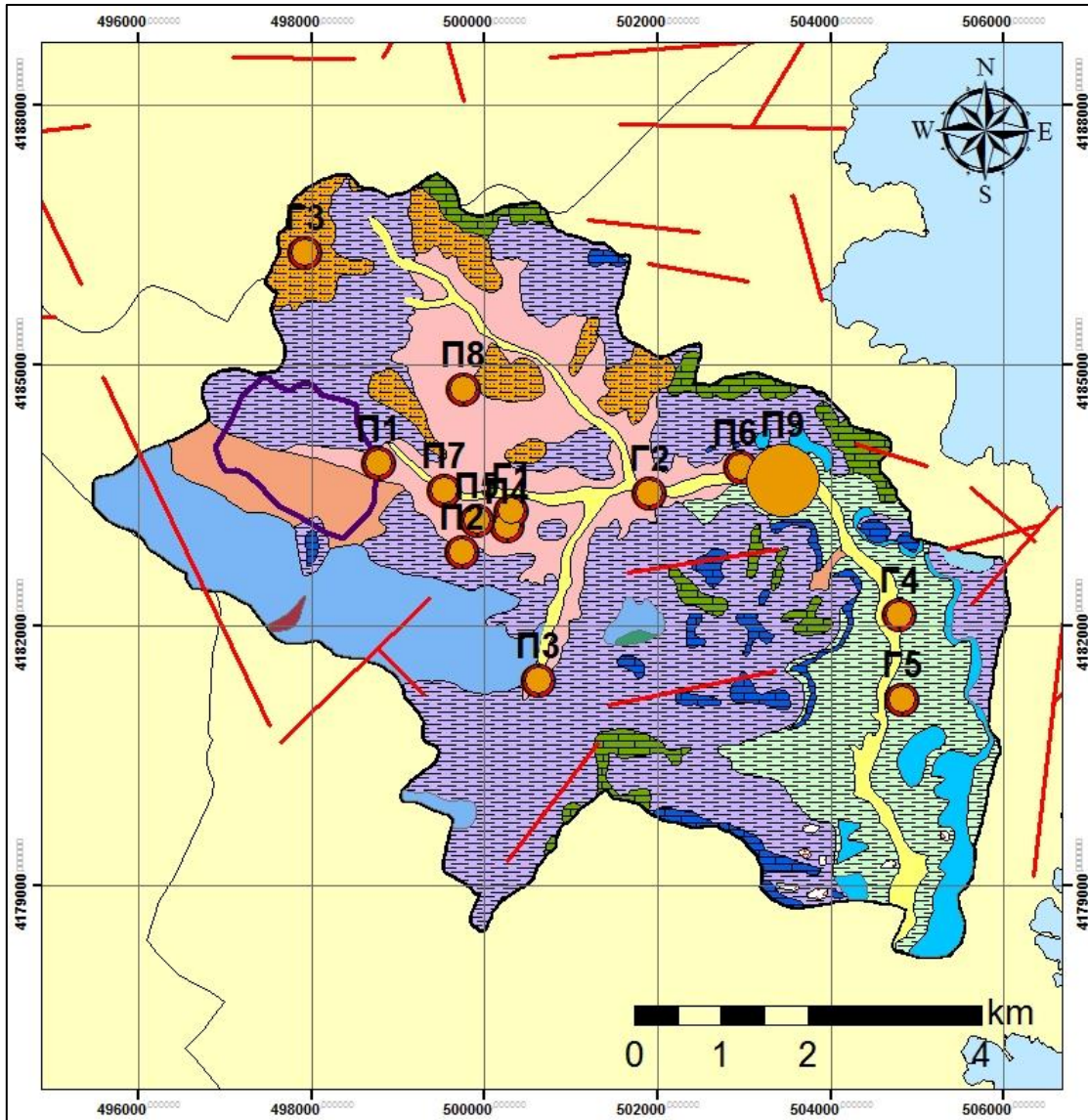
Βρίσκεται στα μικτά θειούχα κοιτάσματα με την μορφή ορυκτών όπως ο γαληνίτης (PbS), ο κερουσίτης (PbCO₃), ο αγγλεσίτης (PbSO₄). Συναντάται επίσης στα μαγματικά πετρώματα σε περιεκτικότητα 15,6 mg/kg, στους ψαμμίτες σε περιεκτικότητα 13,5 mg/kg, στους άργιλους σε περιεκτικότητα 80 mg/kg, στα ανθρακικά σε περιεκτικότητα 16,5 mg/kg και στους εβαπορίτες σε περιεκτικότητα 0,9 mg/kg.

Χρησιμοποιείται σε πολλές εφαρμογές όπως στη βενζίνη, στα χρώματα, στα υλικά στεγανοποίησης, στα υλικά φωτογραφίας, στις μπαταρίες και σε άλλες δραστηριότητες που έχουν άμεση επίπτωση στο περιβάλλον. Στο περιβάλλον απαντάται κυρίως στην ανόργανη μορφή, εκτός μικρού ποσοστού που συνδέεται με την καύση της μολυβδούχου βενζίνης. Ανάλογα με το μέγεθος των σωματιδίων του διασκορπίζεται στην ατμόσφαιρα και μετά κατακρημνίζεται πάνω στο έδαφος, τα φυτά, τις υδάτινες επιφάνειες. Υγρές κατακρημνίσεις, βιομηχανικά υγρά απόβλητα, εκπλύσεις αυτοκινητοδρόμων από την βροχή και τα αστικά απόβλητα είναι οι κυριότερες πηγές ρύπανσης των επιφανειακών νερών από μόλυβδο.

Στον ανθρώπινο οργανισμό προκαλεί διαταραχές του νευρικού συστήματος, βλάβες στον εγκέφαλο, αναιμίες, ηπατικές βλάβες, νεφρικές βλάβες και σοβαρές καρδιοαγγειακές παθήσεις καθώς και διάφορες καρκινογενέσεις.

Ο μόλυβδος απουσιάζει ή εμφανίζεται σε ίχνη από τα υπόγεια νερά εξαιτίας της γεωχημικής κατανομής του και της μη διαλυτότητας του σε συγκεντρώσεις από 1μg/l έως 20μg/l. Υψηλές συγκεντρώσεις εμφανίζονται σε μεταλλοφόρες περιοχές (1,3 mg/l), στα θερμομεταλλικά νερά (0,52 mg/l), και σε όξινα νερά μεταλλείων (1,2 mg/l) (DVWK,1998). Στο θαλασσινό νερό η συγκέντρωση του φτάνει σε 0,00003 mg/l. Δεν εμφανίζεται στο πόσιμο νερό λόγω της επεξεργασίας του παρά μόνο σε περιπτώσεις δικτύων που χρησιμοποιούν μολύβδινες σωληνώσεις (Matthess,1973).

Είναι πολύ τοξικό στοιχείο και η οδηγία 98/83/ΕΕ τον περιλαμβάνει στον κατάλογο των χημικών παραμέτρων που επηρεάζουν την υγεία και ορίζει σαν παραμετρική τιμή τα 10 μg/l. Η τοξικότητα του είναι μεγαλύτερη στο μαλακό νερό και λιγότερη στο σκληρό νερό.



ΥΠΟΜΝΗΜΑ

Pb (mg/l)	●	Σημεία Υδροληψίας	Υδροκρίτης Λεκάνης Κερατέας
●	ND	—	Ρήγματα
●	ND - 0,039	▭	Οικισμός Κερατέας
		▭	

Εικόνα 12.13: Χάρτης χωρικής κατανομής του Pb των υπογείων νερών της περιοχής μελέτης

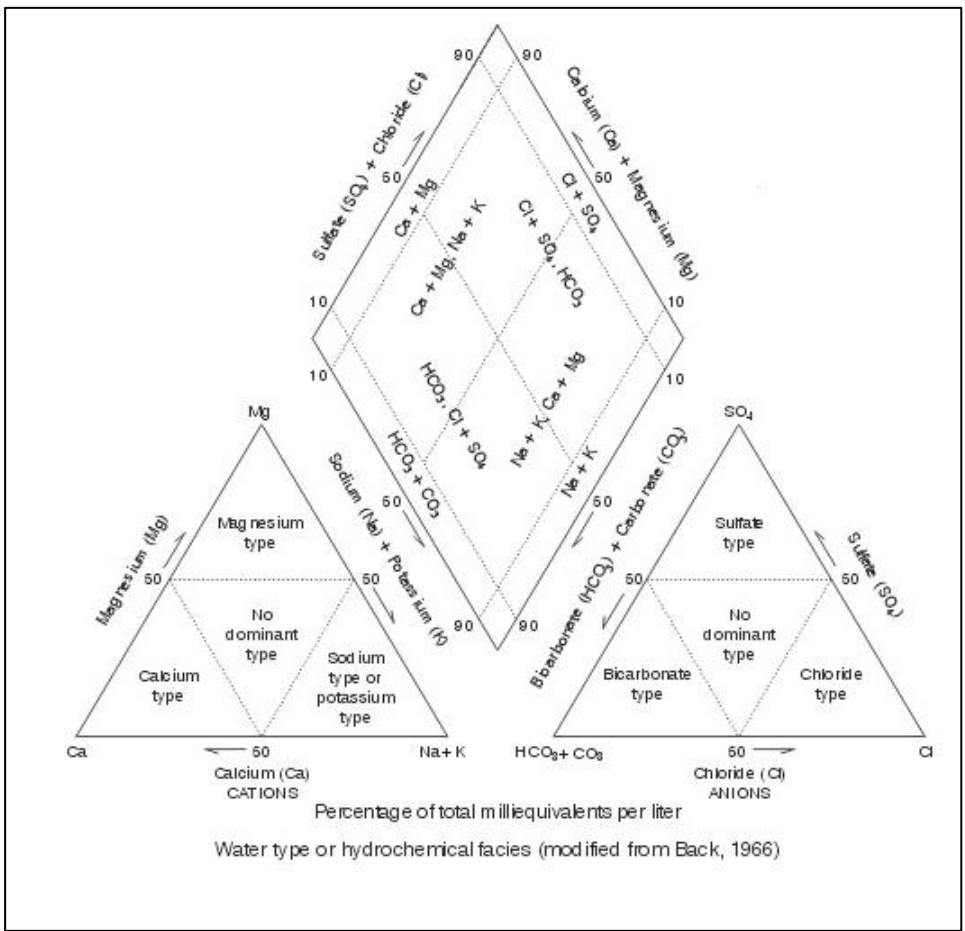
Στα περισσότερα δείγματα της περιοχής μελέτης δεν ανιχνεύθηκε μόλυβδος. Εξαιρεση αποτέλεσε το πηγάδι Π9 που εντοπίστηκε μόλυβδος σε συγκέντρωση 0,039 mg/l. Το συγκεκριμένο δείγμα ξεπερνά την παραμετρική τιμή των 0,01 mg/l η οποία αποτελεί το ανώτατο επιτρεπτό όριο για τα πόσιμα νερά, που καθορίζεται βάσει της Οδηγίας 98/83/ΕΕ.

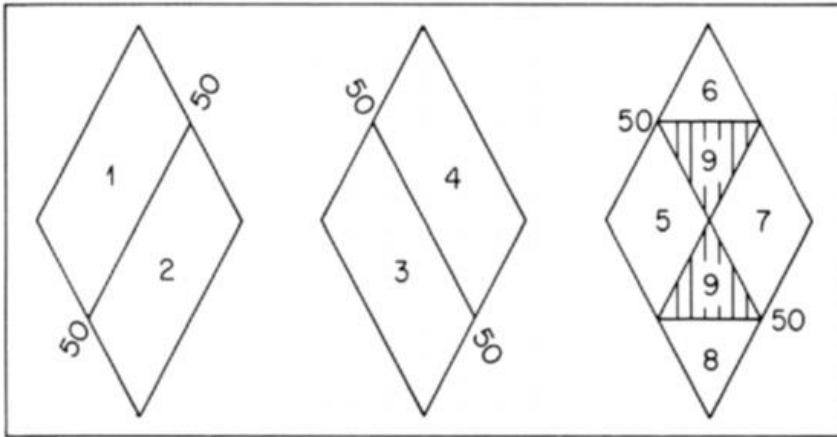
Η χωρική κατανομή της συγκέντρωσης του μολύβδου των υπογείων νερών στην περιοχή μελέτης παρουσιάζεται στην Εικόνα 12.13. Μόνο σε ένα σημείο δειγματοληψίας εμφανίζεται κατανομή καθώς στα δείγματα όλων των άλλων σημείων δεν ανιχνεύθηκε μόλυβδος. Η παρουσία του στο συγκεκριμένο σημείο μπορεί να σχετίζεται με τη λειτουργία της οδού Αθηνών –Λαυρίου όπου η κυκλοφορία των οχημάτων στην απόθεση υψηλων συγκεντρώσεων στους επιφανειακούς γεωλογικούς σχηματισμούς που βρίσκονται εκατέρωθεν της οδού.

13. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ – ΥΔΡΟΧΗΜΙΚΟΙ ΤΥΠΟΙ

13.1 Ταξινόμηση στο διάγραμμα Piper

Το διάγραμμα Piper αποτελείται από δύο τριγωνικά διαγράμματα, ένα για τα κατιόντα και ένα για τα ανιόντα και ένα κεντρικό σχήματος ρόμβου. Ο Piper το 1944 πρότεινε τριγωνικό διάγραμμα πάνω στο οποίο προβάλλονται οι περιεκτικότητες των κατιόντων και των ανιόντων. Η εκφραση των ανιόντων και των κατιόντων είναι σε επί τοις εκατό αναλογία των αντίστοιχων συνολικών ποσοτήτων σε meq. Έτσι προκύπτει στο τρίγωνο των ανιόντων ένα σημείο και στο τρίγωνο των κατιόντων ένα δεύτερο σημείο. Τα δύο αυτά σημεία προβάλλονται παράλληλα προς τις δύο πάνω πλευρές του ρόμβου. Ο τύπος του νερού καθορίζεται από το σημείο τομής των δύο παραπάνω ευθειών και από την υποπεριοχή του ρομβικού πεδίου που προβάλλονται.





Εικόνα 13.1: Υποκατηγορίες ρομβικού πεδίου διαγράμματος Piper

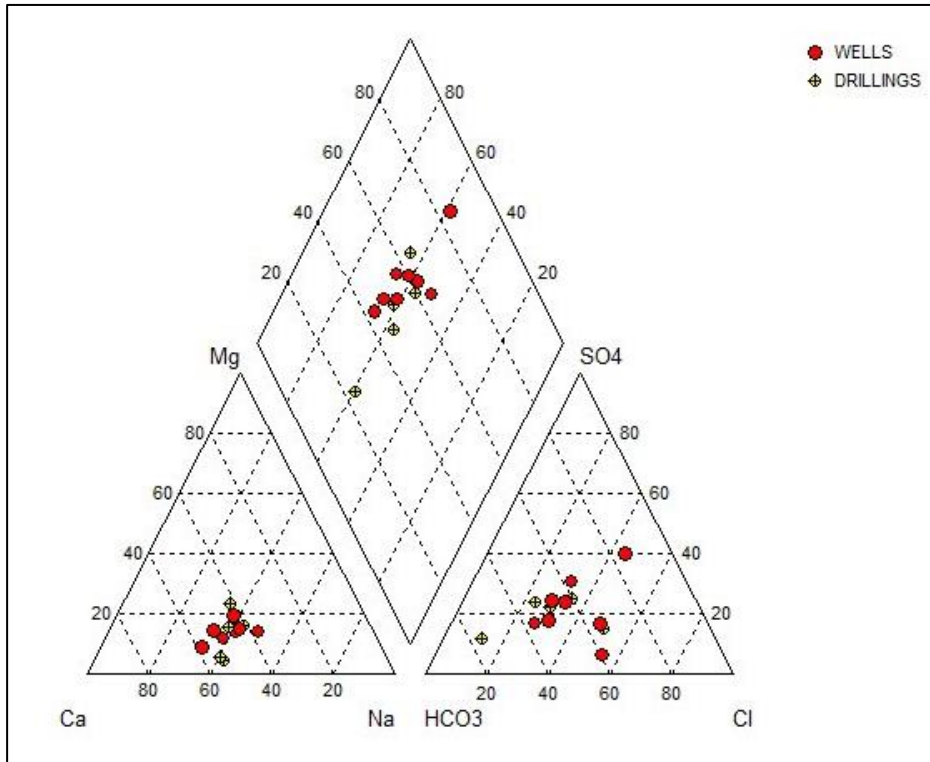
- **Πεδίο 1:** οι αλκαλικές γαίες υπερτερούν των αλκαλίων
- **Πεδίο 2:** τα αλκάλια υπερτερούν των αλκαλικών γαίων
- **Πεδίο 3:** τα ασθενή οξέα υπερτερούν των ισχυρών οξέων
- **Πεδίο 4:** τα ισχυρά οξέα υπερτερούν των ασθενών οξέων
- **Πεδίο 5:** η δευτερεύουσα αλκαλικότητα (παροδική σκληρότητα) υπερβαίνει το 50% δηλαδή το νερό κυριαρχείται από αλκαλικές γαίες και ασθενή οξέα
- **Πεδίο 6:** η δευτερεύουσα αλατότητα (μόνιμη σκληρότητα) υπερβαίνει το 50%
- **Πεδίο 7:** η πρωτεύουσα αλατότητα υπερβαίνει το 50%, δηλαδή το νερό κυριαρχείται από αλκάλια και ισχυρά οξέα. Τα νερά των ωκεανών και πολλών αλμίων προβάλλονται στην δεξιά γωνία του υποπεδίου.
- **Πεδίο 8:** η πρωτεύουσα αλκαλικότητα υπερβαίνει το 50%. Σε αυτό το πεδίο προβάλλονται νερά που χαρακτηρίζονται ως «υπερβολικά μαλακά» σε αναλογία με το περιεχόμενό τους σε διαλυμένα στερεά.
- **Πεδίο 9:** κανένα από τα ζεύγη των ανιόντων ή κατιόντων δεν υπερβαίνει το 50%.

Η ομαδοποίηση στοχεύει στην κριτική μελέτη των διαφόρων πηγών προέλευσης των διαλυμένων στοιχείων στα υπόγεια νερά και της μεταβολής χαρακτήρα του νερού καθώς αυτό κινείται.

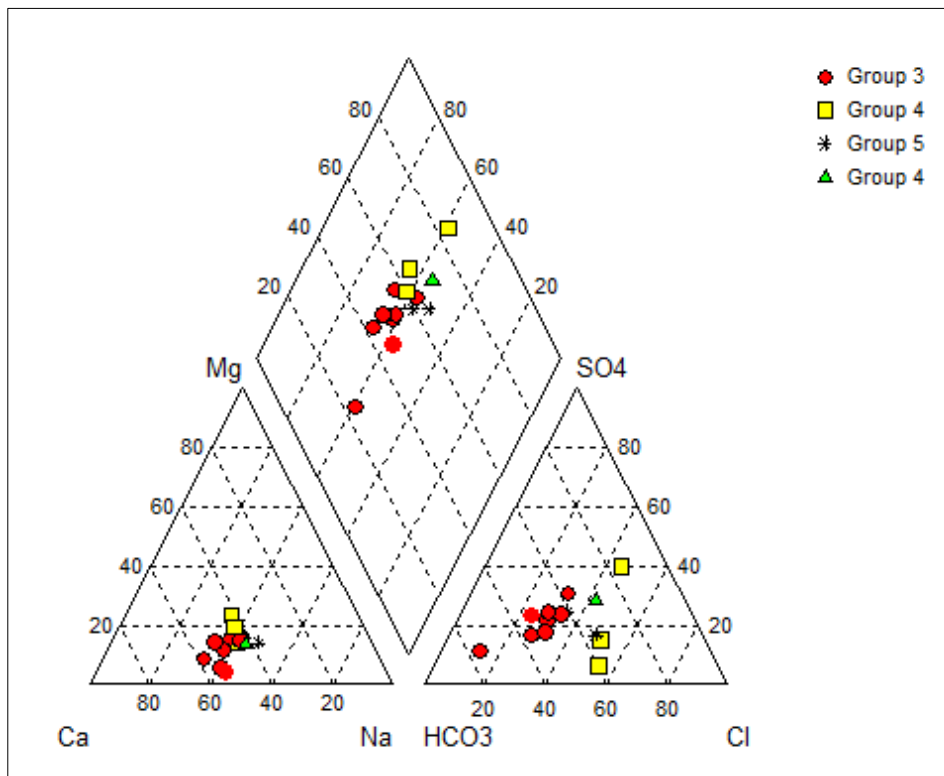
Ευδιάκριτοι τύποι υπογείων νερών μπορούν γρήγορα να διαχωριστούν μέσω της απεικόνισης τους σε ορισμένες περιοχές του ρομβικού πεδίου του διαγράμματος.

Η ταξινόμηση των υπογείων νερών κατά Piper βασίζεται στη διάκριση της προέλευσης των δειγμάτων από πηγάδια και γεωτρήσεις

Συμφωνα με το διάγραμμα Piper (Εικόνα 13.2) όλα τα δείγματα νερού της περιοχής έρευνας προβάλλονται:



Εικόνα 13.2: Ταξινόμηση των υπογείων νερών της περιοχής μελέτης (Πηγάδια, Γεωτρήσεις) βάσει του διαγράμματος Piper.



Εικόνα 13.3: Ταξινόμηση των υπογείων νερών της περιοχής μελέτης ανά ομάδες τύπων νερού βάσει του διαγράμματος Piper.

Πίνακας 13.1: Ταξινόμηση των υπογείων νερών της περιοχής μελέτης

ΔΕΙΓΜΑ	ΧΗΜΙΚΟΣ ΤΥΠΟΣ	ΥΔΡΟΓΕΩΧΗΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ
Π1	Ca-Na-Cl-SO ₄	Αλκαλικά νερά: χλωριοθειικά
Γ2	Ca-Na-Mg-Cl-HCO ₃	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων:οξυανθρακικά
Γ3	Ca-Na-HCO ₃	Γαιοαλκαλικά νερά: οξυανθρακικά
Γ4, Π6, Π3, Π7, Γ1	Ca-Na-HCO ₃ -Cl-SO ₄	Γαιοαλκαλικά νερά: οξυανθρακικά-θειικά
Π8	Ca-Na-Cl-HCO ₃	Αλκαλικά νερά: οξυανθρακικά
Π5, Π9	Ca-Na-HCO ₃ -Cl	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: χλωριούχα
Π2	Na-Ca-Cl-HCO ₃	Αλκαλικά νερά: οξυανθρακικά
Π4	Na-Ca-Cl-HCO ₃ -SO ₄	Αλκαλικά νερά: οξυανθρακικά
Γ5	Na-Ca -HCO ₃ -Cl-SO ₄	Αλκαλικά νερά: οξυανθρακικά

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 των πηγαδιών Π3, Π6, Π7 και των γεωτρήσεων Γ1,Γ3, Γ4. Τα νερά αυτά παρουσιάζουν τους ακόλουθους υδροχημικούς τύπους: Ca-Na-HCO₃-Cl-SO₄, Ca-Na-HCO₃. Πρόκειται για φρέσκα νερά εμπλουτισμού. Στην κατηγορία αυτή κυριαρχούν τα ιόντα ασβεστίου ενώ από την πλευρά των ανιόντων επικρατούν 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 και χλωριούχα. Στην ομάδα αυτή περιλαμβάνονται τα νερά της βαθιάς γεώτρησης Γ2 και των πηγαδιών Π5 και Π9. Παρουσιάζουν τον υδροχημικό τύπο Ca-Na-Mg-Cl-HCO₃ και Ca-Na-HCO₃-Cl. Το μεγαλύτερο ποσοστό κατιόντων αντιπροσωπεύεται από το νάτριο και το μαγνήσιο 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 της κατιοανταλλαγής βρίσκονται σε στάδιο εξέλιξης.

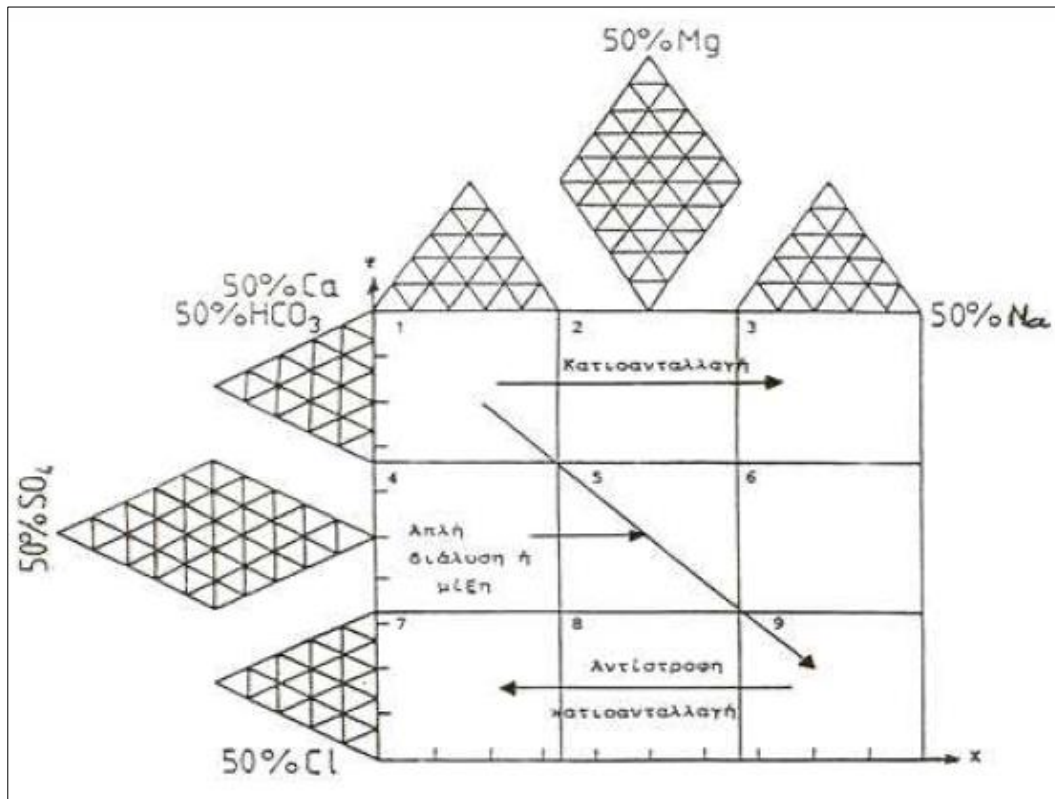
- *Τρίτη ομάδα:* ανήκουν τα νερά που χαρακτηρίζονται αλκαλικά-οξυανθρακικά. Στην ομάδα αυτή περιλαμβάνονται τα νερά των πηγαδιών Π2, Π4, Π8 και της γεώτρησης Γ5. Τα νερά αυτά παρουσιάζουν τους ακόλουθους υδροχημικούς τύπους: Na-Ca-Cl-HCO₃, Na-Ca-Cl-HCO₃-SO₄, Ca-Na-Cl-HCO₃ και Na-Ca-HCO₃-Cl-SO₄. Στην κατηγορία αυτή, από την πλευρά των κατιόντων κυριαρχούν τα ιόντα νατρίου ενώ από την πλευρά των ανιόντων επικρατούν τα όξινα ανθρακικά και τα χλώρια
- *Τέταρτη ομάδα:* ανήκουν τα υπόγεια νερά που χαρακτηρίζονται αλκαλικά-χλωροθειικά. Στην ομάδα αυτή περιλαμβάνονται τα νερά του πηγαδιού Π1 που χαρακτηρίζονται ως υφάλμυρα λόγω των υψηλών συγκεντρώσεων σε νάτριο και χλώρια. Παρουσιάζουν τον υδροχημικό τύπο: Ca-Na-Cl-SO₄. Πρόκειται για νερά τελικού πεδίου ροής. Στα κατιόντα κυριαρχούν τα ιόντα νατρίου και στα ανιόντα επικρατούν τα χλώρια και τα θειικά.

Η πλειοψηφία των δειγμάτων ανήκει στα γαιοαλκαλικά νερά τα οποία προέρχονται από τις περιοχές που εμφανίζουν αποθέσεις στις κοίτες των χειμάρρων και κροκαλοπαγή καθώς και περιοχές που δέχονται την πλευρική τροφοδοσία από τους ανθρακικούς σχηματισμούς της λεκάνης.

13.2 Ταξινόμηση στο διάγραμμα DUROV

Το διάγραμμα Durov βελτίωσε το διάγραμμα Piper. Στηρίζεται στην γενετική χημική προέλευση του νερού και την κατανόηση των φαινομένων κατιοανταλλαγής και των μετασωματικών γραμμών εξέλιξης. Το διάγραμμα αποτελείται και αυτό από δύο τριγωνικά διαγράμματα και από το κεντρικό σχήματος τετραγώνου. Στο διάγραμμα Durov τα ανιόντα και τα κατιόντα αποτελούνται από τα δικά τους τρίγωνα στα οποία προβάλλονται οι συγκεντρώσεις τους εκφρασμένες σε mg/l. Προβάλλεται το 50% της ολικής συγκέντρωσης των ιόντων στο διάγραμμα. Τα δύο τρίγωνα των κατιόντων και ανιόντων χωρίζονται και δημιουργούνται δύο μικρότερα τρίγωνα και ένας ρόμβος, έτσι διευκολύνεται η προβολή στο κεντρικό τετράγωνο.

Στην Εικόνα 13.5 φαίνονται παραστατικά τα πεδία των διαφόρων υδροχημικών φάσεων:



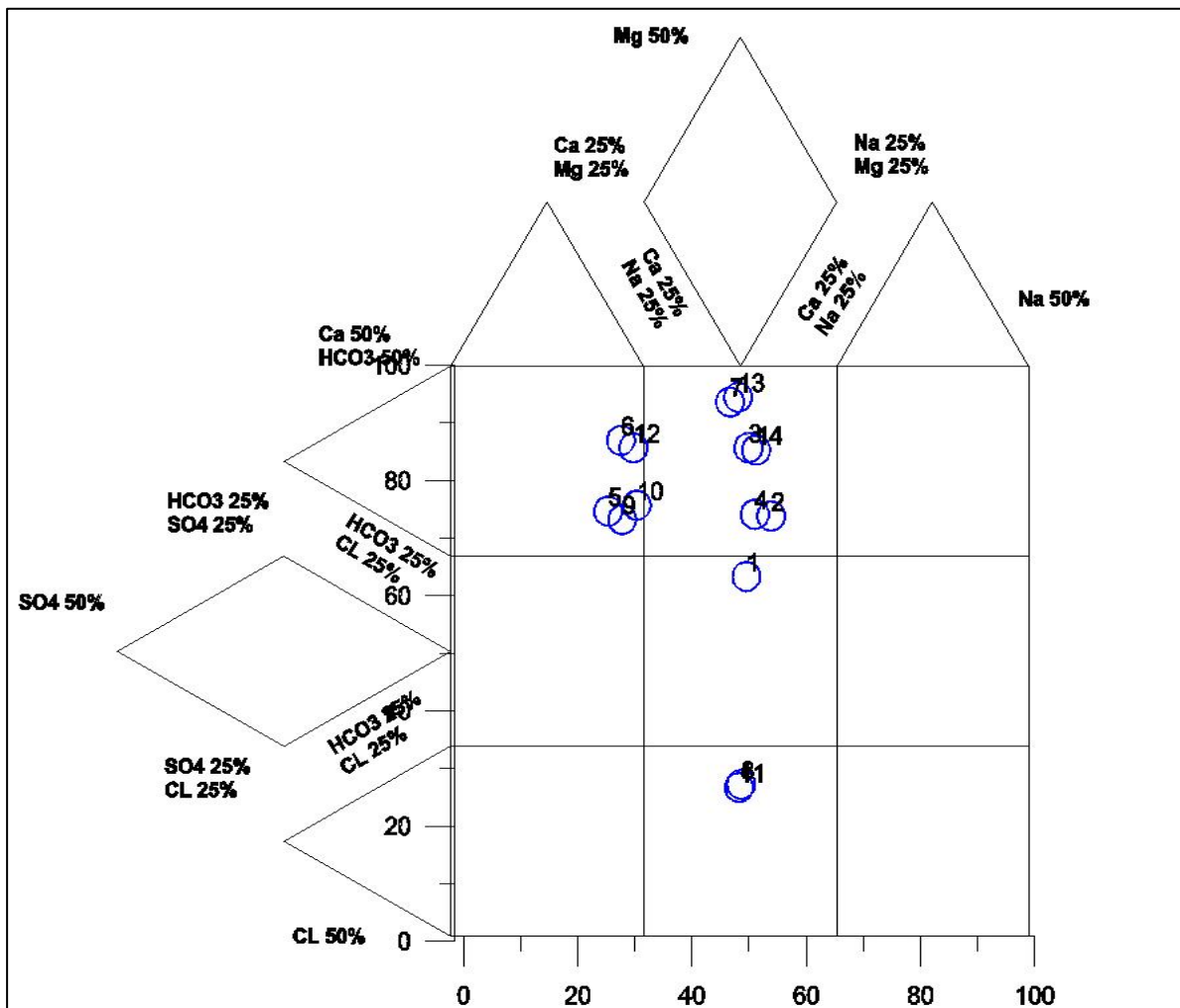
Εικόνα 13.4 : Διαστελλόμενο διάγραμμα Durov. Τα βέλη στο σχήμα απεικονίζουν τις πιο συνηθισμένες μετασωματικές πορείες των υπογείων νερών πριν αυτά καταλήξουν στη θάλασσα ή κινηθούν προς βαθύτερους υδροφόρους ορίζοντες.

Παρακάτω περιγράφεται το διάγραμμα Durov όπως χαρακτηρίστηκε από τους Lloyd and Heathcote το 1985 και αποτελείται από τα εξής πεδία:

- **Πεδίο 1:** Κυριαρχούν τα HCO_3^- και το Ca^{+2} που σημαίνει ότι έχουμε φρέσκα νερά φυσικής αναπλήρωσης που κατεισδύουν σε ανθρακικά πετρώματα κυρίως σε ασβεστόλιθους και ψαμμίτες.
- **Πεδίο 2:** Κυριαρχούν τα HCO_3^- με το Mg^{+2} ή με κανένα κατιόν που σημαίνει ότι έχουμε νερά που έχουν σχέση με δολομίτες. Το φαινόμενο της κατιοανταλλαγής αρχίζει να ενεργοποιείται όταν το Na^+ αρχίζει να αυξάνεται.
- **Πεδίο 3:** Κυριαρχούν τα HCO_3^- με το Na^+ και το φαινόμενο της κατιοανταλλαγής βρίσκεται σε πλήρη εξέλιξη.
- **Πεδίο 4:** Κυριαρχούν το Ca^+ και τα SO_4^{-2} που σημαίνει ότι τα νερά προέρχονται από ζώνες αναπλήρωσης διαμέσου ηφαιστιακών λαβών και γυψών.

Εναλλακτική ερμηνεία είναι να θεωρηθούν τα νερά του πεδίου αυτού σαν νερά διαλυτοποίησης ή απλά σαν μικτά νερά.

- *Πεδίο 5:* Όταν δεν υπάρχει κανένα κυρίαρχο ιόν έχουμε μικτά νερά ή νερά διαλυτοποίησης.
- *Πεδίο 6:* Κυριαρχούν το Na^+ με το SO_4^{+2} ή το Na^+ με κανένα ανιόν και έχουμε νερά με πιθανή επιρροή και ανάμιξη.
- *Πεδίο 7:* Κυριαρχούν το Ca^+ και το Cl^- . Τότε έχουμε σπάνιο υπόγειο νερό σαν προϊόν αντίστροφης κατιοντοανταλλαγής από νερά Na-Cl και σαν τελικό προϊόν.
- *Πεδίο 8:* Κυριαρχεί το Cl^- χωρίς κανένα κατιόν. Το φαινόμενο της αντίστροφης κατιοντοανταλλαγής σε πλήρη εξέλιξη.
- *Πεδίο 9:* Κυριαρχούν το Na^+ και το Cl^- που σημαίνει ότι έχουμε τελικά νερά πεδίου ροής.



Εικόνα 13.5: Ταξινόμηση των υπογείων νερών της λεκάνης της Κερατέας κατά Durov.

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

Το διευρυμένο διάγραμμα Durov έχει σαφές πλεονέκτημα σε σχέση με το διάγραμμα Piper και χρησιμοποιήθηκε για την ταξινόμηση των δειγμάτων με βάση τον υδροχημικό τους τύπο, καθώς επίσης για την διαπίστωση του σταδίου εξέλιξης τους μέσω των υδροχημικών διαδικασιών. Στην Εικόνα 13.6 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των δειγμάτων στα διάφορα πεδία του διαγράμματος Durov βάσει των χημικών τους χαρακτηριστικών.

Στον Πίνακα 13.2 παρουσιάζονται αναλυτικά οι διάφορες φάσεις των υπογείων νερών της περιοχής για κάθε δείγμα, όπως προκύπτουν από την ταξινόμηση τους κατά Durov.

Πίνακας 13.2: Ταξινόμηση και υδρογεωχημικά χαρακτηριστικά των υπογείων νερών της λεκάνης της Κερατέας κατά Durov.

ΔΕΙΓΜΑ	ΠΕΔΙΟ	ΧΗΜΙΚΟΣ ΤΥΠΟΣ	ΥΔΡΟΓΕΩΧΗΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ
Π5, Π6, Π9, Γ1, Γ3	1	Ca-HCO ₃	Κυριαρχούν τα HCO ₃ ⁻ και το Ca ⁺² . Φρέσκα νερά εμπλουτισμού.
Π2, Π3, Π4, Π7, Γ4, Γ5	2	Mg-HCO ₃	Κυριαρχούν τα HCO ₃ ⁻ με το Mg ⁺² . Το φαινόμενο της κατιοανταλλαγής αρχίζει να ενεργοποιείται όταν το Na ⁺ αρχίζει να αυξάνεται.
Π1	5		Μικτά νερά ή νερά διαλυτοποίησης.
Π8, Γ2	8	Mg-Cl	Κυριαρχεί το Cl ⁻ χωρίς κανένα κατιόν. Το φαινόμενο της αντίστροφης κατιοντοανταλλαγής σε πλήρη εξέλιξη.

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

- ❖ Στην πρώτη ομάδα ανήκουν κυρίως τα υπόγεια νερά του φρεάτιου ορίζοντα, δηλαδή μερικών πηγαδιών και των μικρών βαθών γεωτρήσεων. 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 φανερώνουν την πλήρη εξέλιξη του φαινομένου της κατιοανταλλαγής.
- ❖ Στην τρίτη ομάδα δεν επικρατεί κανένα ιόν και έχουμε μικτά νερά ή νερά διαλυτοποίησης.
- ❖ Τέλος στην τέταρτη ομάδα επικρατεί το φαινόμενο της αντίστροφης κατιοανταλλαγής. Κυριαρχεί το Cl^- και το Mg^{2+} . Τα νερά αυτά έχουν υδροχημικό τύπο Mg-Cl .

Συμπερασματικά προκύπτει ότι η πλειονότητα των υπογείων νερών της περιοχής έρευνας είναι πλούσια σε όξινα ανθρακικά και μαγνήσιο. Εμπλουτίζονται σε μαγνήσιο μέσω των διαδικασιών της κατιοανταλλαγής. Τα νερά του φρεάτιου ορίζοντα χαρακτηρίζονται οξυανθρακικά ασβεστούχα, είναι νερά εμπλουτισμού και απαντώνται στα τμήματα της λεκάνης που βρίσκονται εντός των Νεογενών σχηματισμών.

Εμφανίζονται επίσης και νατριούχα- χλωριούχα νερά σε τμήματα της λεκάνης που επίσης φιλοξενούνται σε Νεογενείς σχηματισμούς. Πρόκειται για υφάλμυρα νερά που προκύπτουν από τη διάλυση υπολειμματικών εβαποριτικών αλάτων.

14. ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΧΡΗΣΕΙΣ

14.1 Καταλληλότητα για ανθρώπινη χρήση

Για την εξέταση της καταλληλότητας των υπογείων νερών της περιοχής μελέτης αναφορικά με την ποιότητα τους, χρησιμοποιήθηκαν τα όρια που καθορίζει η Ελληνική Νομοθεσία (ΦΕΚ 892/Β/11-7-2001) σε συμμόρφωση προς την οδηγία 98/83/ΕΚ του Συμβουλίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης της 3ης Νοεμβρίου 1998. (Πίνακας 14.1)

Πίνακας 14.1: Σταθερότυπα πόσιμου νερού

Παράμετρος ή Στοιχείο	Ενδεικτικό Επίπεδο	Ανώτατο Όριο	Επιτρεπτό
Θερμοκρασία	12 °C		
pH	6,5 < pH < 8,5		
Αγωγιμότητα	400 μS/cm (στους 20 °C)		
Cl	25 mg/l		
SO ₄	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	
NO ₃	25 mg/l	50 mg/l	
NH ₄	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		

Παλαιότερα οι ανάγκες της περιοχής σε πόσιμο νερό καλύπτονταν από την υδρομάστευση των πηγαδίων που υπάρχουν. Τις τελευταίες δεκαετίες όμως λόγω της εντατικής καλλιέργειας και της βιομηχανοποίησης της περιοχής ανιχνεύθηκαν

στα νερά τους νιτρικά και αμμωνιακά άλατα και έτσι η πρακτική αυτή εγκαταλείφθηκε. Η περιοχή πλέον εξυπηρετείται ενισχυτικά από το νερό της Αθήνας και από ορισμένες τοπικές γεωτρήσεις.

Γενικότερα εντοπίζονται νερά υψηλής αλατότητας που προέρχονται από την διάλυση εβαποριτικών αλάτων των Νεογενών σχηματισμών. Πρόβλημα εμφανίζεται επίσης από την παρουσία νιτρικών αλάτων και βαρέων μετάλλων με τιμές που υπερβαίνουν τα ανώτατα επιτρεπτά όρια. Τα βαρέα μεταλλα που ανιχνεύονται είναι το Μαγγάνιο, ο Ψευδάργυρος, το Νικέλιο και το Χρώμιο σε μια περίπτωση και η παρουσία τους αποδίδεται σε γεωγενείς αλλά και ανθρωπογενείς παράγοντες.

Συμπερασματικά τα υπόγεια νερά της περιοχής δεν είναι κατάλληλα για κατανάλωση από τον άνθρωπο. Η υποβάθμιση των υπογείων νερών που προέρχονται από τους Νεογενείς σχηματισμούς προέρχεται από το γεωλογικό υπόβαθρο και από τις ανθρώπινες επιδράσεις όπως η αλόγιστη χρήση λιπασμάτων, φυτοφαρμάκων, αστικών λυμάτων καθώς και χρησιμοποίηση σηπτικών βόθρων.

14.2 Καταλληλότητα για αρδευτική χρήση

Η καταλληλότητα των υδάτων για αρδευτική χρήση εξαρτάται από τις παρακάτω παραμέτρους:

- A) από την ολική συγκέντρωση αλάτων που επιδρά στην καρποφορία.
- B) από την συγκέντρωση ορισμένων κατιόντων που μπορούν να προκαλέσουν ανωμαλίες στη δομή και στο πορώδες του εδάφους.
- Γ) από την σύσταση του νερού σε κάποια ιόντα που σε κάποιες συγκεντρώσεις μπορεί να έχουν τοξική δράση στα φυτά.

Η μέθοδος Richards χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της καταλληλότητας ενός νερού για άρδευση.

14.2.1 Ταξινόμηση κατά RICHARDS (SAR)

Χρησιμοποιώντας τον συντελεστή προσρόφησης νατρίου (Sodium Absorption Ratio) σε σχέση με την ηλεκτρική αγωγιμότητα μπορούμε να χαρακτηρίσουμε τα νερά άρδευσης μιας περιοχής.

Ο συντελεστής προσρόφησης Νατρίου εκφράζεται από την σχέση:

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

Ο συντελεστής SAR εκφράζει την ιδιότητα που έχει το νερό σύμφωνα με την οποία μέρος των κατιόντων του μπορούν να αντικατασταθούν από τα κατιόντα του εδάφους και ειδικότερα το Ca^{2+} και το Mg^{2+} από το Na^+ . Αποτέλεσμα της διαδικασίας αυτής είναι η αύξηση του ποσοστού του Νατρίου όταν το νερό βρίσκεται σε μακροχρόνια επαφή με το έδαφος. Η αντικατάσταση αυτή έχει σαν αποτέλεσμα την υποβάθμιση της ποιότητας των νερών άρδευσης. Προκαλεί επίσης αλλοίωση ορισμένων χαρακτηριστικών του εδάφους όπως η περατότητα. Αυτό συμβαίνει λόγω αποκροκιδώσεως ενώ το αντίθετο συμβαίνει για νερά πλούσια σε ιόντα Ca^{2+} και Mg^{2+} (Appelo et. al., 1999).

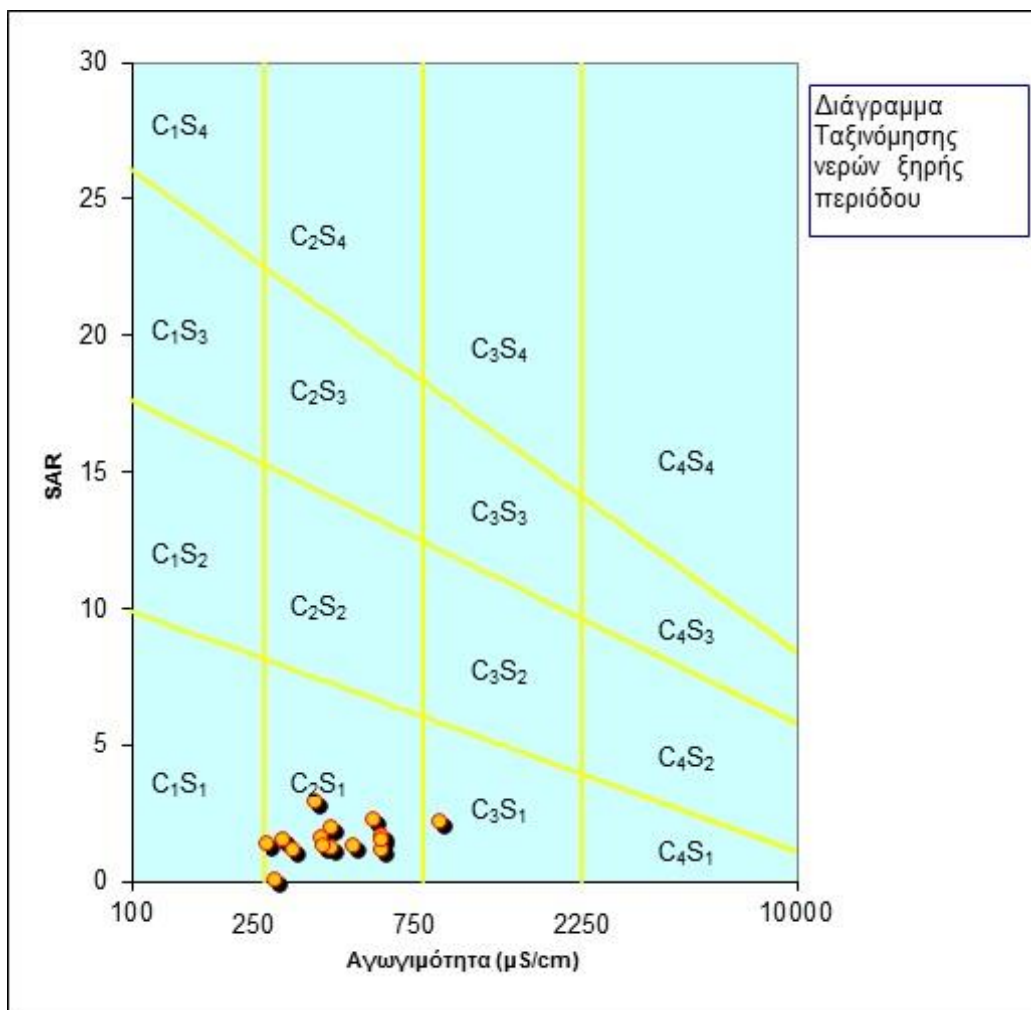
Κατά Richards υπάρχουν 16 ποιοτικές κατηγορίες νερού (Πίνακας 14.2), οι οποίες δείχνουν κατά πόσο τα αρδευτικά νερά μπορούν να προκαλέσουν αλάτωση στο έδαφος.

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 καλλιέργειών 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 συνιστάται 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. Υπάρχει κίνδυνος αύξησης της αλατότητας του εδάφους γι' αυτό συνιστάται η περιοδική έκπλυση των αλάτων.
6	C3-S4, C4-S3	Νερό κακής ποιότητας που δεν συνιστάται η χρήση του. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για άρδευση σε εξαιρετικές περιπτώσεις και κάτω από πολλούς περιορισμούς.
7	C4-S4	Νερό πολύ κακής ποιότητας. Η χρήση του για άρδευση είναι απαγορευτική.

Το νάτριο δημιουργεί αποκροκίδωση του εδάφους, προκαλώντας μείωση του αερισμού και της περατότητας του εδάφους. Για ηλεκτρική αγωγιμότητα 750 $\mu\text{S}/\text{cm}$, τιμές του SAR < 6 υποδηλώνουν μικρό κίνδυνο νατρίου, 6-12 μέσο κίνδυνο νατρίου, 12-18 μεγάλο κίνδυνο νατρίου και τιμές SAR > 18 πολύ μεγάλο κίνδυνο νατρίου.

Στην Εικόνα 14.1 παρουσιάζεται το διάγραμμα Richards και οι διάφορες κατηγορίες αρδευτικού νερού και γίνεται προβολή στο διάγραμμα, των δειγμάτων των υπογείων νερών της περιοχής μελέτης.



Εικόνα 14.1: Ταξινόμηση της καταλληλότητας των υπογείων νερών της Λεκάνης της Κερατέας για την εκτίμηση της καταλληλότητας τους για αρδευτικούς σκοπούς κατά Richards.

Βάσει του διαγράμματος τα υπόγεια νερά της περιοχής κατατάσσονται στις ακόλουθες κατηγορίες: 13 δείγματα (ποσοστό 93%) ανήκουν στην κατηγορία C2-S1 και 1 δείγμα (ποσοστό 7%) ανήκει στην κατηγορία C3-S1.

Συμπερασματικά η συντριπτική πλειοψηφία από τα δείγματα της περιοχής μελέτης παρουσιάζουν χαμηλή αλκαλικότητα, ενώ πρόκειται για νερά μέσης έως υψηλής αλατότητας. Το νερό αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για άρδευση καλλιεργειών σε εδάφη που παρουσιάζουν καλή στράγγιση και για φυτά ανθεκτικά σε άλατα.

15. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από την έρευνα που πραγματοποιήθηκε στην περιοχή της Λεκάνης της Κερατέας προκύπτουν τα ακόλουθα αποτελέσματα:

- Η περιοχή μελέτης βρίσκεται στο κεντρικό τμήμα της Ανατολικής Αττικής, η οποία βρίσκεται στη νοτιοανατολική απόληξη της ηπειρωτικής Ελλάδας. Η λεκάνη της Κερατέας καλύπτει έκταση 52 km² περίπου και η περίμετρος της είναι 38,5 km.
- Το μεγαλύτερο τμήμα της περιοχής καλύπτεται από καλλιέργειες αν και η αυξανόμενη με γοργούς ρυθμούς πληθυσμιακή εξέλιξη τις μετατρέπει σταδιακά σε οικιστικές και βιομηχανικές χρήσεις γης.
- Η περιοχή ανήκει στην Αττικοκυκλαδική ζώνη, στην ενότητα Αττικής. Περιλαμβάνει ένα κατώτερο ορίζοντα μαρμάρων που αποτελείται από μάρμαρα και δολομίτες ηλικίας Άνω Τριαδικού – Κάτω Ιουρασικού, έναν ενδιάμεσο ορίζοντα από μαρμαρυγιακούς και αμφιβολιτικούς σχιστόλιθους, ενστρώσεις μαρμάρων και βασικά – υπερβασικά μεταμορφωμένα πετρώματα και τέλος έναν ανώτερο ορίζοντα με ανθρακικά μεταμορφωμένα πετρώματα του Άνω Κρητιδικού.
- Στην περιοχή διακρίνονται οι ακόλουθοι σχηματισμοί: α) Η Αυτόχθονη Ενότητα που αποτελείται από μάρμαρα, δολομίτες και σχιστόλιθους και β) το επωθημένο κάλυμμα που επίκειται του αυτόχθονος και είναι ένα σύστημα από φυλλίτες το οποίο περικλείει στο εσωτερικό του ασβεστόλιθους έως μάρμαρα, σερικιτικούς χαλαζίτες, πρασινίτες και σερπεντίνες. Νοτιοανατολικά της Κερατέας εμφανίζεται ο γρανοδιορίτης της Πλάκας. Η άνοδος του είναι μεταγενέστερη της επώθησης του φυλλιτικού καλύμματος επί του αυτόχθονου συστήματος.

- Το κλίμα της περιοχής είναι ξηροθερμικό με σχετικά χαμηλό ύψος βροχής και υψηλές θερμοκρασίες το καλοκαίρι.
- Στην περιοχή αναπτύσσονται δύο βασικοί τύποι υδροφορίας: α) η ανώτερη υδροφορία που αναπτύσσεται στους κοκκώδεις σχηματισμούς του Νεογενούς και του Τεταρτογενούς και β) η κατώτερη καρστική υδροφορία που αναπτύσσεται εντός των καρστικοποιημένων ανθρακικών τριαδικο-ιουρασικών σχηματισμών.
- Εντός των Τεταρτογενών αποθέσεων και Νεογενών ιζημάτων φιλοξενείται ένας ενιαίος υδροφόρος ορίζοντας που εντοπίζεται σε όλη την έκταση των χαλαρών σχηματισμών της λεκάνης. Η τροφοδοσία του πραγματοποιείται, κατά κύριο λόγο μέσω των κατακρημνισμάτων και μέσω των πλευρικών διηθήσεων από τους ανθρακικούς σχηματισμούς του νοτιοδυτικού τμήματος της λεκάνης. Ο συγκεκριμένος υδροφορέας τυγχάνει έντονης εκμετάλλευσης από σχετικά μεγάλο αριθμό πηγαδιών και γεωτρήσεων και χρησιμοποιείται αποκλειστικά πλέον για άρδευση.
- Σύμφωνα με τα υδροχημικά χαρακτηριστικά των υπογείων νερών της λεκάνης της Κερατέας διαπιστώθηκε ότι το κεντρικό τμήμα χαρακτηρίζεται από υψηλές τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας (1121-3120 $\mu\text{S}/\text{cm}$), ολικής σκληρότητας (32-75,3 $^{\circ}\text{dh}$) καθώς και υψηλές συγκεντρώσεις Ca , Mg^{2+} , Na^+ , HCO_3 , Cl^- και SO_4^{2-} . Η περιοχή αυτή χαρακτηρίζεται ως υδροχημική περιφέρεια υψηλής αλατότητας. Η προέλευση των στοιχείων είναι γεωγενής και σχετίζεται με την διάλυση εβαποριτικών αλάτων που συμμετέχουν στη σύσταση των ποταμοχερσαίων νεογενών ιζημάτων. Στην εν λόγω υδροχημική περιφέρεια επικρατούν οι τύποι Ca-HCO_3 (φρέσκα νερά εμπλουτισμού), Mg-HCO_3 (αρχίζει να ενεργοποιείται το φαινόμενο της κατιοανταλλαγής) και Mg-Cl (φαινόμενο αντίστροφης κατιοανταλλαγής). Το ανατολικό και βόρειο τμήμα χαρακτηρίζεται από μέτρια υψηλές τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας (626 – 1091 $\mu\text{S}/\text{cm}$) και αντίστοιχα διαβαθμισμένες συγκεντρώσεις αλάτων. Η εν λόγω περιοχή χαρακτηρίζεται ως υδροχημική περιφέρεια μέτριας αλατότητας. Στην εν λόγω υδροχημική περιφέρεια επίσης επικρατούν οι τύποι Ca-HCO_3 και Mg-HCO_3 .

- Οι ανθρωπογενείς επιδράσεις στην ποιότητα των υπογείων νερών της λεκάνης αντικατοπτρίζονται στις κατά τόπους υψηλές συγκεντρώσεις σε ιόντα NO_3^- , SO_4^{2-} . Εντοπίζονται κυρίως σε πηγάδια και γεωτρήσεις που βρίσκονται κοντά σε κατοικημένες περιοχές και σε καλλιεργήσιμες εκτάσεις. Η προέλευση τους συνδυάζεται με την παρουσία σηπτικών βόθρων, κτηνοτροφικών μονάδων και την χρήση γεωργικών λιπασμάτων.
- Από την διερεύνηση των βαρέων μετάλλων Ni, Mn, Zn, Cu, Cr, Pb και Fe διαπιστώθηκαν υψηλές συγκεντρώσεις ως προς το στοιχείο Ni που υπερβαίνει τα ανώτερα επιτρεπτά όρια που ορίζει η Οδηγία της Ε.Ε που αφορά τα πόσιμα νερά καθώς και τα στοιχεία Zn και Mn που κι αυτά υπερβαίνουν τα εν λόγω όρια αλλά σε λιγότερες περιπτώσεις. Οι υψηλές συγκεντρώσεις οφείλονται σε γεωγενείς παράγοντες αλλά και σε ανθρωπογενείς επιδράσεις (αστικά απόβλητα, αγροχημικά προϊόντα κ.λ.π)
- Σύμφωνα με την Οδηγία 98/83 Ε.Κ του Συμβουλίου της Ευρώπης, της 3-11-1998 «ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ», που εκδόθηκε με σκοπό την αναθεώρηση της Οδηγίας 80/778 ΕΟΚ «περί ποιότητας του πόσιμου νερού», τα νερά της περιοχής έρευνας θεωρούνται ακατάλληλα για πόση, μαγείρεμα, προπαρασκευή τροφής ή άλλες οικιακές χρήσεις λόγω των αυξημένων και πάνω από τα ανώτατα επιτρεπτά όρια τιμών συγκέντρωσης πολλών κύριων στοιχείων και βαρέων μετάλλων.
- Η συντριπτική πλειοψηφία από τα δείγματα της περιοχής μελέτης παρουσιάζουν χαμηλή αλκαλικότητα, ενώ πρόκειται για νερά μέσης έως υψηλής αλατότητας. Το νερό αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για άρδευση καλλιεργειών σε εδάφη που παρουσιάζουν καλή στράγγιση και για φυτά ανθεκτικά σε άλατα.

16. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

16.1 Ελληνική Βιβλιογραφία

- Αλεξούλη-Λειβαδίτη Α., 2005. Γενική Γεωλογία (Γεωμορφολογία). Εκδόσεις ΕΜΠ Ρώμα, Χρ., 1987. ΚΕΡΑΤΕΑ ΤΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ, «Χρυσή Τομή».
- Ανδρέϊκος, Α., 1998 "Παλαιολιθικά ευρήματα στην Ανατολική Αττική." Αρχαιολογία & Τέχνες, αρ. 67.
- Αντωνίου Β., 2010 Ανάλυση Αναγλύφου και Γεωτεκτονική Δομή Ανατολικής Αττικής, Διδακτορική Διατριβή ΓΠΑ.
- Βουδούρης Κ., 2006. Θέματα υδρογεωλογίας περιβάλλοντος. Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας. Τμήμα Γεωλογίας Αρροστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
- Βουδούρης Κ, 2009 Υδρογεωλογία Περιβάλλοντος, Υπόγεια νερά και Περιβάλλον, Εκδόσεις Τζιόλα.
- ΓΥΣ. Τοπογραφικός χάρτης της Ελλάδας κλίμακας 1:50.000 φύλλο Κορωπί.
- ΓΥΣ Τοπογραφικός χάρτης της Ελλάδας κλίμακας 1:50.000 φύλλο Πλάκα.
- Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία
- Ελληνική Νομοθεσία (ΦΕΚ 892/Β/11-7-2001) σε συμμόρφωση προς την οδηγία 98/83/ΕΚ του Συμβουλίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης της 3ης Νοεμβρίου 1998.
- Καλλέργης, Γ. 2000. Εφαρμοσμένη Υδρογεωλογία, τόμοι Α και Β (2^η έκδοση), Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, Αθήνα.
- Καρράς Γ., 1973. Κλιματική ταξινόμηση της Ελλάδος κατά Thornthwaite. Διδακτορική διατριβή Πανεπιστήμιο Αθηνών. Αθήνα.
- Κελεπερτζής Α.Ε., 1993 Εφαρμοσμένη Γεωχημεία. Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- Κελεπερτζής Α.Ε., 2000 Εφαρμοσμένη Γεωχημεία Μακεδονικές Εκδόσεις.
- Καλογήρου, Ε. 1999 Το πόσιμο νερό και η ανθρώπινη υγεία, Β΄ Έκδοση, Διεθνές Τεχνικό Βιβλιοπωλείο Παπασωτηρίου, Αθήνα.
- Κουϊμτζής Θ., Φυτιάνου Κ, & Σαμαρά Κωνσταντίνου Κ. , 1998. Χημεία Περιβάλλοντος, Α΄ έκδοση. University Studio Press, Θεσσαλονίκη.
- Λαμπράκης Ι. Ν., 1991. Επεξεργασία των δεδομένων των χημικών αναλύσεων των υπόγειων νερών με Η/Υ". Ορυκτός Πλούτος τομ.74, Αθήνα 1991.

- Λατσοúδας Χ., 1992. Γεωλογικός Χάρτης της Ελλάδας Φύλ. Κορωπί-Πλάκα, κλ. 1:50.000, ΙΓΜΕ.
- Μαρίνος, Γ. & PETRASCHECK, W. E. (1956): Λαύριον. Γεωλ. Γεωφ. Μελ. IV
- Μαυρομάτης Γ., 1978. Βιοκλιματικός χάρτης της Ελλάδας, Υπουργείο Γεωργίας, Ίδρυμα Δασικών Ερευνών Αθηνών, Τομέας Δασικής Σταθμολογίας.
- Μαυρομάτης Γ., 1978. Χάρτης των Βιοκλιματικών Ορόφων της Ελλάδας, Υπουργείο Γεωργίας, Ίδρυμα Δασικών Ερευνών Αθηνών, Τομέας Δασικής Σταθμολογίας.
- Μπόσκος Ε., 2008. Νεογενή και Τεταρτογενή Ιζήματα του Βόρειου Τμήματος της Λεκάνης των Αθηνών και της Ευρύτερης Περιοχής Καπανδριτίου. Συμβολή στην Παλαιογεωγραφική Εξέλιξη του Λεκανοπεδίου Αθηνών από το Άνω Μειόκαινο ως σήμερα. Ορυκτός Πλούτος 149'.
- Νταρακάς Ε., 2010. Ποιοτικά χαρακτηριστικά και διεργασίες επεξεργασίας νερού. Τομέας Υδραυλικής και Τεχνικής Περιβάλλοντος. Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών ΑΠΘ
- Ο.Α.Σ.Π., 2000 Χάρτης Σεισμικής επικινδυνότητας Ελλάδας
- Οδηγία 80/778/15-7-80 της Ε.Ε
- Οδηγία 98/83 Ε.Κ του Συμβουλίου της Ευρώπης (1998)
- Παπαδέας Γ., 2002, Γεωλογικές Έρευνες στην Αττική, εκδ. ΕΚΠΑ.
- Παπανικολάου Δ., Μπάση Ε.-Κ., Κράνης Χ., Δανάμος Γ., Δελτίο Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας Τομ. XXXVI, 2004, Παλαιογεωγραφική εξέλιξη του Λεκανοπεδίου Αθηνών από το Άνω Μειόκαινο έως σήμερα.
- Παππά, Γ., 2001. Υγειονομική Σημασία των Χημικών Παραμέτρων στο Πόσιμο Νερό, Υπουργείο Υγείας Πρόνοιας.
- Παυλόπουλος Κ., 1992. Γεωμορφολογική Εξέλιξη της Νότιας Αττικής, Γαία Νο 2, Τμ. Γεωλογίας ΕΚΠΑ.
- Παυλοπουλος Κ., Κοτάμπαση Χ., Σκέντος Α., 2005, Γεωμορφολογική εξέλιξη του λεκανοπεδίου των Αθηνών, Δελτίο Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας τομ. XXXVIII.
- Προδιαγραφές πόσιμου νερού (οδηγία 98/83/ΕΚ/3-11-1998, ΦΕΚ 892/Β/11-7-2001)
- Σούλιος Γ., 1996. Γενική Υδρογεωλογία. University Studio Press(1996) Τομ.1

- 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.
- Τμήμα Γεωλογίας Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης.
<http://www.geo.auth.gr/>
- ΦΕΚ 53/Τ.Β./20-2-86

16.2 Διεθνής Βιβλιογραφία

- Appelo, C.A.J, D. Postma, 1996. Geochemistry, groundwater and pollution, Balkema, Rotterdam.
- Appelo, C.A.J, D. Postma.,1999. Variable dispersivity in a column experiment containing MnO₂ and FeOOH-coated sand, Journal of Contaminant Hydrology.
- Baziotis I., Mposkos E., Lithos, 2011. Origin of metabasites from upper tectonic unit of the Lavrion area (SE Attica, Greece): Geochemical implications for dual origin with distinct provenance of blueschist and greenschist's protoliths.
- Bouwer H., (1978) Groundwater Hydrology. McGraw-Hill, New York.
- Davis S.N., R.J.M. DeWiest, 1991. Hydrogeology. John Wiley & Sons, New York.
- DVWK SCHRIFTEN 110,1998. Hydrogeochemische stoffsysteme, Schriftenreihe des Deutschen Verbandes für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V. Heft 117.
- Durov S.A., 1948. Natural waters and graphic representation of their compositions. Dokl Akad Nauk USSR.
- Fetter C.W., 1994. Applied Hydrogeology. 3rd Edn. Merrill Publishing Company U.S.A.
- Ford D., Williams P., 2007. Karst Hydrogeology and Geomorphology. John Wiley & Sons Ltd.
- Govers, R., 2009 "Choking the Mediterranean to dehydration: The Messinian salinity crisis." Geology, 02.
- Gustavsson M., 2005. Licentiate Development of a Detailed Geomorphological Mapping System and GIS Geodatabase in Sweden, Thesis.
- Gustavsson M., Kolstrup E., Seijmonsbergen A. C., Geomorphology, 2006, A new symbol-and-GIS based detailed geomorphological mapping system: Renewal of a scientific discipline for understanding landscape development.

- Hem J.D., 1970. Study and interpretation of the chemical characteristics of natural waters. Geological Survey Water-Supply Paper.
- Hoell, K., 1979 Wasser-Untersuchung-Beurteilung-Aufbereitung-Chemie-Bacteriologie-Virology-Biology-515 S., Berlin New York (Walter de Gruyter).
- Kantas C, Tiniakos L., 1988. Infiltration Rate and Hydrogeological Properties of the Messinia Conglomerates on the WEstern Part of the Kyparissia Mountains.
- Kabata-Pendias A. and Mukherjee A., 2007. Trace Elements srom Soil to Human. Boca Raton Florida.
- Katsafados P., Kalogirou S., Papadopoulos A., Korres G., Journal Of Maps, 2012 Mapping Long term Atmospheric Variables over Greece.
- Kranjc A., 2001. About the name kras (karst) in Slovenia. Proceedings of the 13th International Congress of speleology, Brazilia. Vol 2.
- Krohe A., Mposkos E., Diamantopoulos A., Kaouras G., Earth-Science Reviews, 2010, Formation of basins and mountain ranges in Attica (Greece): The role of Miocene to Recent low-angle normal detachment faults.
- Lepsius, R. 1893: Γεωλογία της Αττικής (Μετάφραση Γ. Βουγιούκα).
- Matthes, G., 1973. Die Beschaffenheit des Grundwassers. 324 S., 89 Abb., 86 Tab., Gebrueder Borntraeger Verlag, Berlin-Stuttgart.
- Matthes G., 1982. The properties of groundwater.
- McCutcheon, S.C., 1993. Water Quality Modeling: Biogeochemical Cycles in Rivers. CRC Press, Boca Raton, Fla.
- Nriagu J.O., 1988 Chromium in the Natural and Human Environments. John Wiley & Sons U.S.A.
- Palmer C.D and Puls R.W, 1994. Natural attenuation of hexavalent chromium in groundwater and soils chapter 4. EPA Environmental Assessment Sourcebook/ editor J. Russell Boulding. Ann Arbor Press, Inc. Chelsea, Michigan
- Piper, A.M. 1944. A graphic procedure in the geochemical interpretation of water-analyses. Transactions of the American Geophysical Union Vol 25.
- Richards I.A., 1954. Diagnosis and improvementof saline and alkali soils, Agric. Handbook 60, U.S. Dept. Agric., Washington D.C.

- Strahler A.N. (1957). Quantitive analysis of Watershed geomorphology. Amer Geopf Union Trans 38.
- United Nations Environment Programme (2008). Annual Report. Nairobi: UNEP.
- WHO, 1993. Guidelines for drinking water quality.-vol 1 2nd edn, World Health Organization, Geneva.
- Yassoglou N.J. (2000). History and development of desertification in the Mediterranean and its contemporary reality. Desertification in Europe: Mitigation Strategies, Land Use Planning, EUR 19390, European Commission, Luxemburg.

16.3 ΙΣΤΌΤΟΠΟΙ

- Ελληνική Στατιστική Αρχή <http://www.statistics.gr/>
- Εταιρεία Ύδρευσης και Αποχέτευσης Πρωτευούσης. <http://www.eydap.gr/>
- Εθνικό Κτηματολόγιο <http://www.ktimatologio.gr/>
- <http://www.meteo.gr/>
- <http://www.geo.auth.gr/>
- <http://www.forkeratea.com/2010/04/keratea-hellas.html>
- <http://www.markopoulo-mesogeia.com/istoria>
- <http://www.culture.gr>
- <http://www.ektp.gr>
- <http://www.pare-dose.net/?p=3999>
- <http://www.wwf.gr>
- <http://sch.gr/climate/html>