



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**

**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ**

**ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ**

---

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΠΕΧΛΙΒΑΝΙΔΗΣ ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ**

**ΛΕΟΝΤΙΤΣΗΣ ΦΟΙΒΟΣ**



**ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΟΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΕΣ ΤΟΥ ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΔΙΑΜΕΡΙΣΜΑΤΟΣ ΑΤΤΙΚΗΣ  
ΜΕ ΕΜΦΑΣΗ ΣΤΗ ΛΕΚΑΝΗ ΚΑΛΥΒΙΩΝ**

Επιβλέπουσα καθηγήτρια: Θ. ΡΟΝΤΟΓΙΑΝΝΗ

ΑΘΗΝΑ  
ΜΑΪΟΣ 2012



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**

**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ**

**ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ**

---

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΠΕΧΛΙΒΑΝΙΔΗΣ ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ**

**ΛΕΟΝΤΙΤΣΗΣ ΦΟΙΒΟΣ**

**ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΟΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΕΣ ΤΟΥ ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΔΙΑΜΕΡΙΣΜΑΤΟΣ ΑΤΤΙΚΗΣ**

**ΜΕ ΕΜΦΑΣΗ ΣΤΗ ΛΕΚΑΝΗ ΚΑΛΥΒΙΩΝ**

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

ΡΟΝΤΟΓΙΑΝΝΗ ΘΕΟΔΩΡΑ, Αν. Καθηγήτρια (επιβλέπουσα)

ΑΝΤΩΝΙΟΥ ΜΑΡΙΑ, Επ. Καθηγήτρια

ΡΟΖΟΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ, Επ. Καθηγητής

ΑΘΗΝΑ  
ΜΑΪΟΣ 2012

Copyright © Πεχλιβανίδης Αλέξανδρος & Λεοντίσης Φοίβος, 2012

Με επιφύλαξη κάθε δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Εικόνα εξωφύλλου: Άποψη της Παραλίας Καλυβίων , στο βάθος διακρίνονται οι παρυφές του λόφου Ξελαφτάκη.

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Σύμφωνα με το πρόγραμμα της Σχολής μας η Διπλωματική Εργασία (Δ.Ε.) είναι μια εκτεταμένη εργασία (αναλυτική, συνθετική ή επάνω σε κάποια εφαρμογή) που εκπονείται από τους τελειόφοιτους σπουδαστές και τους δίνει τη δυνατότητα να ολοκληρώσουν τις γνώσεις τους και να παρουσιάσουν τις ικανότητές τους στην επεξεργασία αυτοτελών θεμάτων της ειδικότητάς τους.

Κριτήριο της επιλογής μας στο θέμα της εργασίας ήταν τόσο η πρακτική εφαρμογή του αντικειμένου της εργασίας, όσο και η πρωτογενής έρευνα στοιχείων. Θεωρήσαμε σημαντικό να προετοιμάσουμε μία εργασία που με τη συλλογή των στοιχείων από εμάς θα κατέληγε σε χρήσιμα συμπεράσματα για ένα τόσο σημαντικό θέμα όπως είναι η αποτύπωση των υπόγειων υδροφορέων και η συνολική υδρογεωλογική μελέτη μίας συγκεκριμένης περιοχής.

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε την Αναπληρώτρια Καθηγήτρια κ. Θεοδώρα Ροντογιάννη, που επέβλεψε και καθοδήγησε στη διπλωματική μας εργασία. Ακόμα τον Δρ. Ιωάννη Κυρούση που μας βοήθησε αρχικά στην επιλογή του θέματος. Επίσης θέλουμε να ευχαριστήσουμε την Επ. Καθηγήτρια κ. Μαρία Αντωνίου και τον Επ. Καθηγητή κ. Δημήτριο Ρόζο, για τη συμμετοχή τους στην τριμελή εξεταστική επιτροπή και τις παρατηρήσεις τους για τη βελτίωση του κειμένου .

Ακόμα θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε όσους μας βοήθησαν σε αυτή την προσπάθεια και κυρίως τον Δρ. Παναγιώτη Σαμπατακάκη, της διεύθυνσης Υδρογεωλογίας του Ι.Γ.Μ.Ε., για την επιστημονική του καθοδήγηση στα στάδια της έρευνας και της συλλογής των στοιχείων και την Δρ. Ελένη Γκιντώνη για τη βοήθεια της στις αναλύσεις των δειγμάτων.

Ακόμα την Δρ. Ελένη Βασιλείου, Μηχανικό Μεταλλείων, για την υποστήριξη στην υδροχημική περιγραφή και τον σχολιασμό των αναλύσεων.

Στην Δρ. Ευδοξία Λυκούδη, επίσης οφείλονται ευχαριστίες για την πολύτιμη υποστήριξή της στο σχεδιασμό των χαρτών της εργασίας, την καθοδήγηση στο πρόγραμμα Γεωγραφικών Πληροφοριακών Συστημάτων και γενικά στην επιστημονική της υποστήριξη καθ' όλη τη διάρκεια της εργασίας.

Τέλος θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τους υπαλλήλους της Τεχνικής Υπηρεσίας του Δήμου Καλυβίων για την πολύτιμη υποστήριξή τους και φυσικά τους κατοίκους της περιοχής για την εμπιστοσύνη που μας έδειξαν και μας επέτρεψαν τη συλλογή των στοιχείων.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία ασχολείται με το πολυδιάστατο και σημαντικό πρόβλημα της αρνητικής επίδρασης των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων στα ποιοτικά κατά κύριο λόγο και ποσοτικά χαρακτηριστικά του υπόγειου υδροφορέα της περιοχής Παραλίας Καλυβίων Αττικής.

Η περιοχή έρευνας ανήκει γεωτεκτονικά στην Αττικοκυκλαδική Ζώνη και δομείται κυρίως από σχιστόλιθους, δολομίτες και μάρμαρα, πάνω στα οποία έχουν αποτεθεί νεογενή ιζήματα, που καλύπτουν την ευρύτερη λεκάνη των Μεσογείων. Ο υδροφόρος που εξετάστηκε στην παρούσα εργασία βρίσκεται στα νεογενή ιζήματα, μέσα σε οριζοντες άμμου και χαλικιών, κροκαλοπαγή και μαργαϊκούς ασβεστόλιθους καθώς επίσης και στα μάρμαρα του υποβάθρου.

Στο πλαίσιο της εργασίας και με βάση τα στοιχεία των μετεωρολογικών σταθμών των Σπάτων και Μαρκόπουλου αξιολογήθηκαν τα κλιματολογικά και μετεωρολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής. Επίσης εξετάστηκε η γεωμορφολογία της περιοχής και η υδρολογική συμπεριφορά των σχηματισμών της.

Από την περιοχή ελήφθησαν δείγματα νερού από πηγάδια στο πεδινό τμήμα της Παραλίας Καλυβίων, στα οποία έγιναν χημικές αναλύσεις για τον προσδιορισμό των παραμέτρων που επηρεάζουν κυρίως την ποιότητα του υπόγειου υδατικού δυναμικού μιας περιοχής. Παράλληλα εκτιμήθηκαν οι φυσικοχημικές παράμετροι του υπόγειου νερού και τα σπουδαιότερα χημικά στοιχεία και ενώσεις που βρίσκονται μέσα σε αυτό. Η εργασία ολοκληρώνεται με τη δημιουργία των αντίστοιχων υδροχημικών χαρτών.

Το κύριο συμπέρασμα της εργασίας είναι ότι ο φρεάτιος ορίζοντας έχει υποστεί υφαλμύριση και ποιοτική υποβάθμιση.

## ABSTRACT

This work deals with the important and multidimensional problem of the negative impact of anthropogenic activities on quantitative mainly and qualitative characteristics of the underground aquifer in the region of Paralia Kalyvion of Attica distinct. The study area belongs geotectonically to the Atticocycladic massif which consists mainly of schists, dolomites and marbles, on which neogene sediments, covering the wider basin of Mesogeia basin, have been deposited.

The aquifer examined in this work, is developed in the neogene sediments within the horizons of sand, gravel, conglomerates and marly limestones, as well as partly within the marbles of the basement.

On the basis of the data of the meteorological stations of Spata and Markopoulo, the meteorological and climatic characteristics of the area were evaluated, while the geomorphology of the region and the hydrological behaviour of the geological formations were also considered.

The water samples taken from wells in the plain of Paralia Kalyvion were examined by chemical analyses, in order to determine the main parameters that affect the quality of underground water resources of an area. In parallel, the physicochemical parameters and the most important chemical elements found of underground water in it were assessed. This dissertation includes also the compilation of the corresponding hydrochemical maps.

The main conclusion of this study is that the phreatic horizon has been salinization and water quality degradation.





## Πίνακας περιεχομένων

1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	12
1.1	Γενικά .....	12
1.2	Επισκόπηση για τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS) .....	16
2	ΓΕΩΛΟΓΙΑ.....	22
2.1	Γεωτεκτονικές ζώνες – Αλπική ορογένεση .....	22
2.2	Γεωλογική δομή της ευρύτερης περιοχής μελέτης.....	30
2.3	Λιθοστρωματογραφική δομή της περιοχής έρευνας.....	45
2.4	Τεκτονική – Νεοτεκτονική δομή της ευρύτερης περιοχής έρευνας .....	51
3	ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ .....	53
3.1	Μορφολογικά χαρακτηριστικά.....	53
3.2	Υδρολογία .....	55
3.2.1	Ποσοτική ανάλυση υδρογραφικού δικτύου.....	55
4	ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΑ – ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ .....	61
4.1	Στοιχεία μετεωρολογικών σταθμών περιοχής .....	62
4.2	Ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα.....	64
4.3	Θερμοκρασία .....	71
4.4	Εξατμισοδιαπνοή .....	79
4.4.1	Δυνητική εξατμισοδιαπνοή (Er) .....	80
4.4.2	Πραγματική εξατμισοδιαπνοή (Er) .....	82

5	ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ .....	88
5.1	Γενικά στοιχεία - κατηγοριοποίηση πετρωμάτων – υδροφόροι ορίζοντες. 88	
5.2	Υδρολιθολογία .....	95
5.3	Υδροφόροι ορίζοντες .....	100
6	ΥΔΡΟΧΗΜΕΙΑ .....	102
6.1	Χημικές αναλύσεις υπόγειων νερών .....	102
6.1.1	Εισαγωγικά στοιχεία .....	102
6.1.2	Ρύπανση - μόλυνση.....	103
6.1.3	Χαρακτηριστικά των υπογείων νερών .....	104
6.1.4	Φυσικοχημικές παράμετροι.....	106
6.1.5	Υπόγεια ρύπανση .....	107
6.2	Μελέτη υδροχημικών δεδομένων.....	110
6.2.1	Υδροχημικοί χάρτες.....	110
6.2.2	Συσχετικά διαγράμματα.....	110
6.2.3	Ιοντικοί λόγοι .....	111
6.2.4	Υδροχημικά διαγράμματα .....	113
6.2.5	Κριτήρια καταλληλότητας αρδευτικού νερού .....	119
6.3	Μελέτη υδροχημικών δεδομένων περιοχής έρευνας .....	120
6.3.1	Μεθοδολογία έρευνας πεδίου και συλλογής στοιχείων .....	120

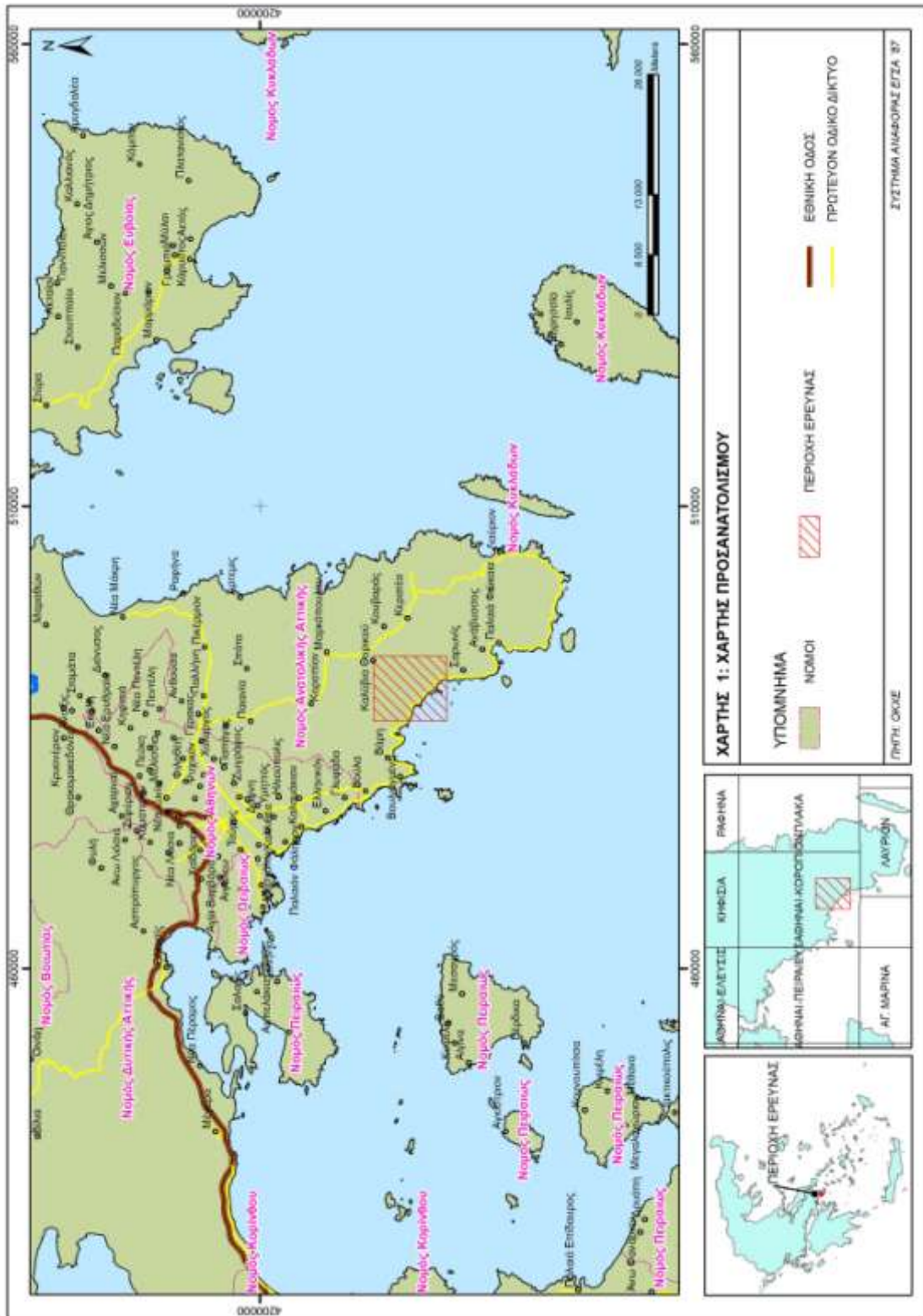
6.3.2	Πιεζομετρία υδροφορέα.....	124
6.3.3	Χημικές αναλύσεις και διαγράμματα υδροχημείας.....	126
6.3.4	Υδροχημικοί χάρτες.....	138
7	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	153
8	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	155
9	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι.....	157
10	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ.....	158
11	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ.....	169

## **1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

### **1.1 Γενικά**

Το νερό είναι πηγή ζωής. Κανένα έμβιο ον δεν επιβιώνει χωρίς αυτό και με την έλλειψη του επέρχεται ερημοποίηση. Το νερό αντιμετωπίζεται ως ένα κοινωνικό αγαθό, αλλά και ως ένας πόρος φυσικός και ανανεούμενος. Κάτι όμως που δεν ισχύει πάντοτε επειδή μπορεί να βρίσκεται σε ανεπάρκεια λόγω διαφόρων αιτίων ή μπορεί να έχει ρυπανθεί και μολυνθεί είτε από φυσικά αίτια είτε από ανθρωπογενείς αιτίες.

Θέμα της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η υδρογεωλογική μελέτη της περιοχής των Καλυβίων Αττικής (εικόνα 1), θεωρώντας ότι τόσο η προστασία όσο και η ορθολογική διαχείριση των υπόγειων νερών μπορεί να βοηθήσει το πρόβλημα λειψυδρίας σε ορισμένες περιοχές, πρόβλημα που γίνεται ιδιαίτερα έντονο τους θερινούς μήνες. Ο παράλιος οικισμός των Καλυβίων ήταν μια περιοχή που διέθετε αρκετά χαρακτηριστικά της μελέτης που επιθυμούσαμε να κάνουμε και επιπλέον λόγω της κοντινής απόστασης διευκόλυνε τις έρευνες πεδίου.



Εικόνα 1 Χάρτης προσανατολισμού της περιοχής Παραλία Καλυβίων. Με το πλαίσιο σημειώνεται η περιοχή μελέτης.

Υδρογεωλογία είναι κλάδος της Εφαρμοσμένης Γεωλογίας, ο οποίος έχει σαν αντικειμενικό σκοπό τη μελέτη των υπογείων νερών, συμπεριλαμβανομένων των ιαματικών και των θερμών. Η Υδρογεωλογία συνδέεται στενά με τη Στρωματογραφία, την Τεκτονική, την Πετρογραφία, την Υδροδυναμική, τη Μετεωρολογία, την Κλιματολογία, τη Χημεία, τη Γεωφυσική κ.ά. και ασχολείται με την προέλευση των υπογείων νερών, με τον τρόπο κίνησής τους στο υπέδαφος, με τους νόμους που διέπουν την κίνησή τους, με τον εντοπισμό των περιοχών συγκεντρώσεως και των τρόπων συλλήψεως τους, με την ποιότητα και την προστασία τους από μολύνσεις ή άλλους παράγοντες.

Η μεγάλη ανάπτυξη της Υδρογεωλογίας οφείλεται στις αυξημένες απαιτήσεις του σημερινού ανθρώπου τόσο για υδρευτικούς σκοπούς όσο και για αρδεύσεις και βιομηχανική χρήση. Ακόμα η ανάγκη για τη γνώση των συνθηκών του υπεδάφους στις περιοχές θεμελιώσεως μεγάλων τεχνικών έργων (π.χ. φραγμάτων) ή διανοίξεως υπόγειων κατασκευών (π.χ. σηράγγων, μεταλλευτικών έργων κ.ά.), έδωσε μεγάλη ώθηση στην ανάπτυξη της υδρογεωλογικής έρευνας.

Τα υπόγεια νερά τροφοδοτούνται κατά κύριο λόγο από τις κατεισδύσεις των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων (βροχές, χιόνια κ.τ.λ.), είναι όμως δυνατό μικρό ποσοστό από αυτά να προέρχεται από το εσωτερικό της γης. Το νερό που για πρώτη φορά μπαίνει στον υδρολογικό κύκλο λέγεται νεανικό (juvenile), ενώ το υπόγειο νερό που τροφοδοτείται από τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα λέγεται μετεωρικό ή αβαθές (vadose).

Η Υδρογεωλογία ενδιαφέρεται κυρίως για τη μελέτη των υπογείων νερών ατμοσφαιρικής προελεύσεως και για το λόγο αυτό είναι στενά συνδεδεμένη με τα φαινόμενα των βροχοπτώσεων, της επιφανειακής απορροής και της εξατμίσεως, για τα οποία και γίνεται λόγος στη συνέχεια.

Ο οικισμός των Καλυβίων αποτελείται κυρίως από εξοχικές και μόνιμες κατοικίες (τείνει προς την αστικοποίηση), ενώ υπάρχει επίσης μία ήπια αγροτική εκμετάλλευση. Στην περιοχή υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός πηγαδιών που όπως μάθαμε από τους κατοίκους παλαιότερα τα χρησιμοποιούσαν και για ύδρευση, ενώ τώρα, λόγω της ανάπτυξης και της υφαλμύρινσης, τα πηγάδια χρησιμοποιούνται μόνο για άρδευση.

Η ύπαρξη των πηγαδιών αυτών μας βοήθησε στη λήψη μετρήσεων και δειγμάτων για τη μελέτη της υπόγειας υδροφορίας της περιοχής και σε συνάρτηση με τα γεωλογικά, μορφολογικά και κλιματικά στοιχεία, στη σύνταξη της διπλωματικής μας εργασίας και των χαρτών που αυτή περιλαμβάνει, με τη χρήση των Γεωγραφικών Πληροφοριακών Συστημάτων.

## 1.2 Επισκόπηση για τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS)

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής και για την κατασκευή των θεματικών χαρτών, χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό πρόγραμμα ArcMap το οποίο στηρίζεται σε πρότυπα των Γεωγραφικών Πληροφοριακών Συστημάτων (ΓΣΠ) ή GIS (Geographical Information Systems).

Ένα λογισμικό ΓΣΠ έχει τις εξής ιδιότητες (σύμφωνα με τον ΚΑΛΛΙΣΤΡΑΤΟΥ Κ., όπως αναλύεται στην διπλωματική εργασία «Χρήση τεχνικών G.I.S. για τη μελέτη της γεωμορφολογικής εξέλιξης της υδρολογικής λεκάνης του Ασωπού»):

- Την ψηφιοποίηση δεδομένων: εισαγωγή σημείων, γραμμών, πολυγώνων, χαρακτηριστικών ιδιοτήτων και στατιστικών.
- Την αποθήκευση δεδομένων: αποθήκευση πολλαπλών χαρακτηριστικών ανά πολύγωνο, συσχετισμό αριθμητικών και γραφικών δεδομένων.
- Την επεξεργασία δεδομένων: εντοπισμό σφαλμάτων, συνδυασμό και τακτοποίηση των δεδομένων μέσα στην αντίστοιχη βάση, μετατροπή των συντεταγμένων της ψηφιοποίησης σε πραγματικές συντεταγμένες (ανάλογα με την προβολή), ένωση δύο ή περισσότερων χαρτών, επιλογή τμήματος μιας περιοχής και καταχώριση σε ξεχωριστό αρχείο.
- Την ανάλυση δεδομένων: δημιουργία πολυγώνων γύρω από σημεία ή γραμμές, εκτέλεση εντολών Boolean δηλαδή ΚΑΙ, Ή, και ΟΧΙ (AND, OR, NO) πάνω στα διάφορα επίπεδα δεδομένων, μέτρηση μηκών και εκτάσεων, δυνατότητα εφαρμογής μοντέλων, στατική επεξεργασία κτλ.
- Την εξαγωγή δεδομένων: στην οθόνη, σε εκτυπωτές, σε ψηφιακή μορφή, δυνατότητα έκθεσης διαγραμμάτων, πολυγώνων κτλ.



Έτσι το ΓΣΠ είναι μια ολοκληρωμένη συλλογή από προϊόντα λογισμικού και παρέχει μια πλατφόρμα για διαδικασίες χωρικής ανάλυσης, διαχείρισης δεδομένων και απεικόνισης.

### Βασικές κατηγορίες εφαρμογών των ΓΣΠ

Η τεχνολογία των ΓΣΠ θεωρείται απαραίτητη για τη μελέτη και την ανάλυση της γήινης επιφάνειας, τη μελέτη και ανάλυση του τρόπου ζωής απειλούμενων ειδών και την παρακολούθηση και προστασία περιοχών ιδιαίτερης περιβαλλοντικής ευαισθησίας.

Μερικές από τις βασικές κατηγορίες εφαρμογών είναι οι ακόλουθες:

- Ο σχεδιασμός και προγραμματισμός χρήσεων γης
- Η παρακολούθηση και η προστασία του περιβάλλοντος
- Η καταγραφή ης ιδιωτικής και δημόσιας ακίνητης περιουσίας
- Ο πολεοδομικός και χωροταξικός σχεδιασμός
- Ο σχεδιασμός δικτύων κοινής ωφέλειας (ΔΕΗ, ΟΤΕ, ύδρευση, αποχέτευση)

### Πλεονεκτήματα των ΓΣΠ

Τα ΓΣΠ όπως και κάθε εργαλείο μελέτης έχουν τόσο πλεονεκτήματα όσο και μειονεκτήματα. Αυτά είναι τα ακόλουθα (Moore & Chow,1987):

- Τα δεδομένα διατηρούνται σε ψηφιακή μορφή με αποτέλεσμα αφενός μεν να καταλαμβάνουν μικρό χώρο, αφετέρου δε να είναι εύχρηστα.

- Οι γεωγραφικές βάσεις δεδομένων είναι ποσοτικές πληροφορίες οι οποίες είναι δυνατόν να καταχωρούνται κατά οποιαδήποτε γεωγραφική μονάδα ή διάταξη, για παράδειγμα, κατά δήμο, κατά τοπογραφικό φύλλο χάρτη, κατά νομό.

- Γεωγραφικές βάσεις δεδομένων είναι δυνατόν να δημιουργηθούν για οποιοδήποτε αντικείμενο, χαρακτηριστικό, ιδιότητα ή συνδυασμό των πιο πάνω δεδομένων.

Υπάρχοντα δεδομένα είναι δυνατόν να ενσωματωθούν - με ή χωρίς αλλαγές και επεξεργασία- στη βάση δεδομένων εφόσον είναι κατά χώρο προσανατολισμένα.

- Είναι εφικτός ο γρήγορος και επαναλαμβανόμενος αναλυτικός έλεγχος ή θεωρητικών μοντέλων για την εκτίμηση επιστημονικών κριτηρίων.

- Οι διάφορες μορφές εξαγομένων αποτελεσμάτων παράγονται πολύ γρήγορα, αποτελούνται από μεμονωμένα ή σύνθετα θέματα, για οποιαδήποτε θέση της βάσης δεδομένων και σε οποιαδήποτε κλίμακα.

- Είναι δυνατή η εύκολη ενημέρωση της βάσης δεδομένων, πράγμα που επιτρέπει τον αποτελεσματικό εντοπισμό και την ανάλυση των αλλαγών που έγιναν σε δυο ή περισσότερες περιόδους.

- Πολλές μορφές ανάλυσης πραγματοποιούνται με πολύ μικρότερο κόστος από ότι με τις κλασικές μεθόδους π.χ. ο υπολογισμός των κλίσεων ενός τοπογραφικού χάρτη.

- Όλες οι αναλύσεις γίνονται κατά αντικειμενικό τρόπο και τα αποτελέσματα παράγονται αυτόματα.

## Arcmap

Το Arcmap είναι λογισμικό που συναντάται στα Γεωγραφικά Πληροφοριακά Συστήματα και χρησιμοποιείται για την απεικόνιση, τη διαχείριση, τη δημιουργία και την ανάλυση γεωγραφικών δεδομένων. Με τη χρήση του Arcmap γίνεται κατανοητό το γεωγραφικό περιεχόμενο των δεδομένων μας, επιτρέποντας μας να δούμε σχέσεις μεταξύ των δεδομένων και να αναγνωρίσει τα πρότυπα με νέους τρόπους.

Με το Arcmap, μπορούμε:

- Να δημιουργήσουμε χάρτες και να αλληλεπιδράσουμε με τα δεδομένα με την παραγωγή αναφορών και διαγραμμάτων, την εκτύπωση και την ενσωμάτωση των χαρτών σε άλλα έγγραφα και εφαρμογές.
- Να εξοικονομήσουμε χρόνο χρησιμοποιώντας πρότυπα χαρτών για να δώσουμε ένα συνεπές ύφος στους χάρτες μας.
- Να δημιουργήσουμε μοντέλα διαδικασιών, scripts και διαγράμματα ροής για να οπτικοποιήσουμε και να αναλύσουμε τα δεδομένα μας.
- Να διαβάσουμε, να εισάγουμε και να διαχειριστούμε περισσότερα από 70 διαφορετικά είδη δεδομένων και μορφοτύπων, συμπεριλαμβανομένου δημογραφικών στοιχείων, εγκαταστάσεων, αρχεία CAD, εικόνες, δικτυακές εφαρμογές, πολυμέσα και με τα δεδομένα.
- Να έχουμε καλύτερη και αποτελεσματικότερη επικοινωνία δημοσιεύοντας και κοινοποιώντας τα γεωγραφικά μας δεδομένα και το δυναμικό μας περιεχόμενο σε άλλους.
- Να χρησιμοποιούμε εργαλεία, όπως τα Find, Identify, Measure και Hyperlink, για να βρούμε και να εκμεταλλευτούμε πληροφορίες που δεν είναι

διαθέσιμες όταν δουλεύουμε με κλασσικούς (αναλογικούς) εκτυπωμένους χάρτες

- Να λαμβάνουμε καλύτερες αποφάσεις και να επιλύουμε γρηγορότερα προβλήματα.

Το Arcmap είναι μια desktop εφαρμογή που μας επιτρέπει να πραγματοποιούμε βασική απεικόνιση, υποβολή ερωτημάτων, επεξεργασία και ανάλυση των δεδομένων.

Ανάλογα με τι χαρακτηριστικά χρειάζεται κανείς, μπορεί να επιλέξει μεταξύ τριών επιπέδων αδειοδότησης του ArcGIS Desktop (ArcInfo, ArcEditor, ArcView).

Τα κύρια χαρακτηριστικά του Arcmap είναι:

- Δημιουργία χαρτών - Με τη χρήση προκαθορισμένων προτύπων χαρτών εξοικονομείται χρόνος και γίνεται εύκολα η παραγωγή ομοιόμορφων και συνεπών χαρτών.
- Χωρικά ερωτήματα - Υποβολή ερωτημάτων στα δεδομένα μας και λύση περίπλοκων προβλημάτων μέσα από μια ποικιλία εργαλείων: διαδραστική μέτρηση αποστάσεων, εύρεση στοιχείων στο χάρτη, επιλογή δεδομένων με βάση την τοποθεσία ή κάποιο χαρακτηριστικό τους, από επιλογή όλων, πρόσβαση στις ιδιότητες των επιπέδων μέσα από το κουτί διαλόγου του Identify, και πολλά άλλα.
- Βασική μοντελοποίηση και ανάλυση - Μοντελοποιούμε χωρικές συσχετίσεις, μετρούμε πως τα στοιχεία μέσα σε μια συλλογή δεδομένων σχετίζονται μεταξύ τους στο χώρο, και γίνεται παρουσίαση των αποτελεσμάτων μας μέσα από αναφορές και διαγράμματα.

- Απλή επεξεργασία στοιχείων και ενοποίηση δεδομένων - Δημιουργούμε και επεξεργαζόμαστε σημειακά, γραμμικά και πολυγωνικά στοιχεία και τα χαρακτηριστικά τους.
- Χρησιμοποιούμε μια μεγάλη συλλογή από είδη δεδομένων που περιλαμβάνουν δημογραφικά στοιχεία, εγκαταστάσεις, CAD αρχεία, εικόνες, δικτυακές εφαρμογές, και πολυμέσα.
- Έτοιμες προς χρήση συλλογές δεδομένων - ξεκινούμε την απεικόνιση και την ανάλυση άμεσα με τα ενσωματωμένα δεδομένα της ESRI και το Maps Media Kit, που ενημερώνονται κάθε χρόνο και έχουν προ-διαμορφωθεί ώστε να δουλεύουν συγκεκριμένα με το λογισμικό της ESRI.

## 2 ΓΕΩΛΟΓΙΑ

### 2.1 Γεωτεκτονικές ζώνες – Αλπική ορογένεση

Ο Ελληνικός χώρος ανήκει στη νέα Ευρώπη και κατά τη διάρκεια της γεωλογικής περιόδου του Μεσοζωικού-Καινοζωικού, καλυπτόταν από τη θάλασσα της Τηθύος. Τα μεγάλα πάχους ιζήματα που αποτέθηκαν σε εκείνες τις γεωλογικές εποχές δημιούργησαν στη συνέχεια με τις ορογενέσεις τις ελληνικές οροσειρές που συνιστούν την αλπική Ελλάδα (όπως αναφέρεται από τον ΜΟΥΝΤΡΑΚΗ Δ., στο βιβλίο: «Γεωλογία της Ελλάδας»)

Σ' αυτούς τους ορεινούς όγκους βρίσκονται σήμερα εκτός από τα αλπικά ιζήματα και μεγάλες μάζες παλαιότερων πετρωμάτων (ηλικίας Παλαιοζωικής ή και Προκάμβριας) που αντιπροσωπεύουν τα προαλπικά πετρώματα. Συγκεκριμένα έχει διαπιστωθεί σε πολλές περιοχές ότι τα πρώτα αλπικά ιζήματα (ηλικίας Τριαδικού) επικάθονται με ασυμφωνία πάνω σε κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα, τα οποία έχουν προ-τριαδική ηλικία και αποτελούν προαλπικά ιζήματα που πτυχώθηκαν κατά τις Ερκύνειες πτυχώσεις κατά τη διάρκεια του Άνω Παλαιοζωικού.

Σύμφωνα με τις πρόσφατες επιστημονικές θεωρήσεις και στο πλαίσιο της Θεωρίας των Λιθοσφαιρικών Πλακών, τα πετρώματα που θεωρούμε ως προαλπικό υπόβαθρο, αποτελούν τμήματα του ηπειρωτικού των παλαιών ηπειρωτικών πλακών της Γκοντβάννα και της Ευρασίας, τα οποία κατά τα διάφορα στάδια της σύγκλισης των δύο μεγάλων αυτών ηπειρωτικών τμημάτων αποσπάσθηκαν από αυτά, συμπτυχώθηκαν με τα πετρώματα του ωκεανού της Τηθύος (αλπικά ιζήματα και οφιόλιθοι του ωκεάνιου πυθμένα) και μετακινήθηκαν μαζί με αυτά υπό τη μορφή τεκτονικών καλυμμάτων.

Οι Ελληνικές οροσειρές που ανήκουν στον Δειναρικό κλάδο του αλπικού συστήματος, υποδιαιρούνται σε γεωτεκτονικές ζώνες οι οποίες λέγονται «Ελληνίδες ζώνες». Τα τεκτονικά σχήματα που είχαν προταθεί μέχρι το 1970 για τη διαίρεση του ελληνικού χώρου σε γεωτεκτονικές ζώνες, στηρίχθηκαν βασικά σε μια Αλπική παλαιογεωγραφία δια μέσου ενός συστήματος αυλάκων και ράχων όπως διαμορφώθηκε σύμφωνα με τη θεωρία του αλπικού γεωσυγκλίνου από τον Aubouin (1965).

Με βάση τη θεωρία αυτή ο Ελληνικός χώρος διακρίθηκε σε ισοπικές ζώνες, διάκριση που αντανακλά την παλαιογεωγραφική κατάσταση κάθε μιας ζώνης η οποία έχει ιζήματα του ίδιου βάθους, δηλαδή βαθιάς θάλασσας (πελαγικά - αβυσσικά) οι αύλακες ή ρηχής θάλασσας (νηριτικά ) οι υποθαλάσσιες ράχες (υβώματα).

Με την ανάπτυξη της Νέας Παγκόσμιας Τεκτονικής και τα μοντέλα που προτάθηκαν τις τελευταίες δεκαετίες για τη γεωδυναμική εξέλιξη του αλπικού συστήματος, το θέμα της διαίρεσης σε γεωτεκτονικές ζώνες έχει πάρει άλλη διάσταση. Η διάκριση της μιας ζώνης από την άλλη στηρίζεται στον ιδιαίτερο ρόλο της κάθε μιας στο σύστημα γεωδυναμικής εξέλιξης και ο ρόλος αυτός μεταφράζεται ως ένα βαθμό σε κάποια συγκεκριμένη παλαιογεωγραφική θέση.

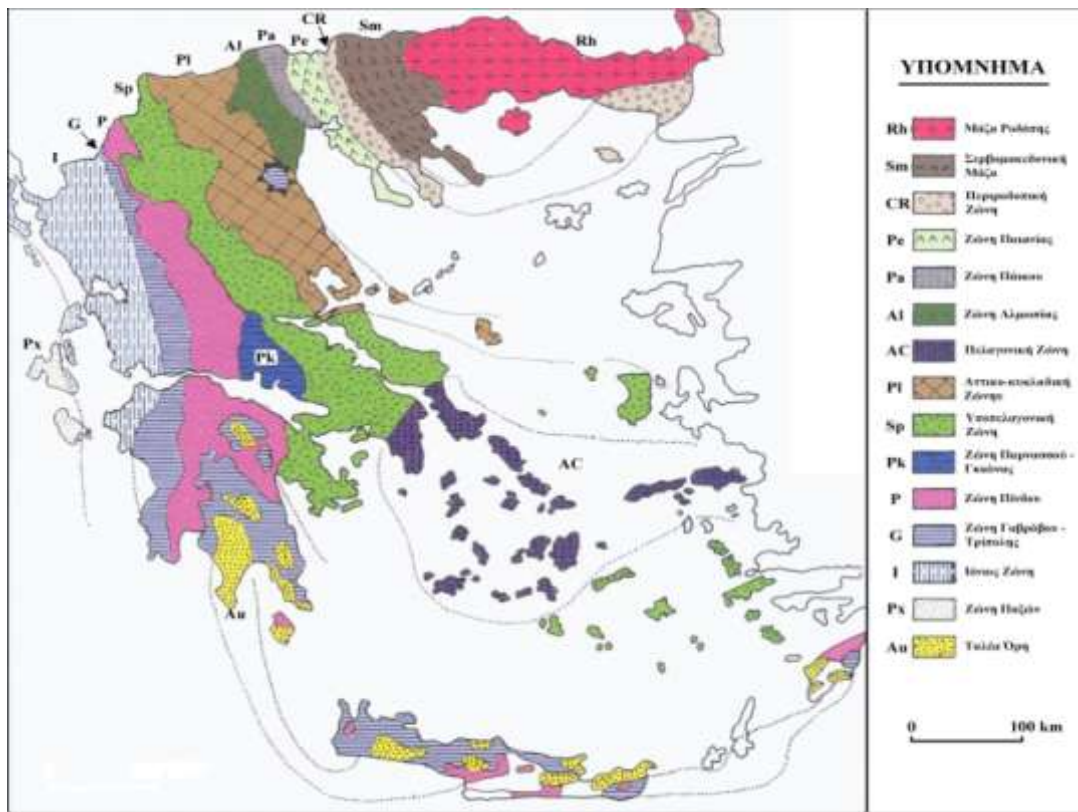
Έτσι, κάθε γεωτεκτονική ζώνη συνίσταται από μια συγκεκριμένη στρωματογραφική διαδοχή των ιζημάτων της, από ιδιαίτερους λιθολογικούς χαρακτήρες και επίσης από ιδιαίτερη τεκτονική συμπεριφορά, στοιχεία γενικά που εξαρτώνται και από την παλαιογεωγραφική της θέση αλλά κυρίως από τη γεωτεκτονική της θέση, τις γεωδυναμικές κινήσεις και τη τεκτονική της παραμόρφωση.

Σύμφωνα με τα παραπάνω χαρακτηριστικά, οι Ελληνικές γεωτεκτονικές ζώνες (ή Ελληνίδες ζώνες) είναι από τα Ανατολικά προς τα Δυτικά οι εξής (Εικόνα 2):

- Μάζα Ροδόπης
- Σερβομακεδονική μάζα
- Η Περιροδοπική ζώνη
- Η ζώνη Αξιού (η οποία υποδιαιρείται στις υποζώνες Παιονίας, Πάϊκου και Αλμωπίας)
- Η Πελαγονική ζώνη
- Η Αττικοκυκλαδική μάζα
- Η Υποπελαγονική ζώνη ή ζώνη «Ανατολικής Ελλάδας»
- Η ζώνη Παρνασσού - Γκιώνας
- Η ζώνη Ωλονού - Πίνδου
- Η ζώνη Γαβρόβου - Τρίπολης
- Η Ιόνιος ζώνη (ή Αδριατικοϊόνιος)
- Η ζώνη Παξών ή Προαπουλία

Η περιοχή έρευνας ανήκει γεωτεκτονικά στην Αττικοκυκλαδική ζώνη ή μάζα.





Εικόνα 2 Γεωτεκτονικές ζώνες του ελληνικού χώρου ( Μουντράκης, 2010)

### Αττικοκυκλαδική ζώνη

Η Αττικοκυκλαδική ζώνη περιλαμβάνει τα νησιά των Κυκλάδων, τη Σάμο, την Ικαρία καθώς και το μεγαλύτερο μέρος της Αττικής και Νότιας Εύβοιας (εικόνα 2). Σύμφωνα με ορισμένες απόψεις η Αττικοκυκλαδική μάζα είναι η προς Νότο συνέχεια της Πελαγονικής Ζώνης ενώ σύμφωνα με άλλες απόψεις η Αττικοκυκλαδική μάζα αποτελεί τμήμα της Μεσαίας Αιγαιακής ζώνης που περιλαμβάνει και τμήματα της Μικράς Ασίας. Στην πραγματικότητα όμως η Αττικοκυκλαδική είναι μία ζώνη ετερογενούς σύστασης που αποτελείται από διάφορες ενότητες σχηματισμών με τεκτονικές μεταξύ τους σχέσεις. Οι τεκτονικές επαφές όμως μεταξύ των ενοτήτων σε λίγες περιοχές είναι ορατές λόγω του ότι η σημερινή εξάπλωση της θάλασσας του Αιγαίου στο χώρο της Αττικοκυκλαδικής εμποδίζει την παρατήρησή τους.

Έτσι με διάφορες μελέτες που έχουν γίνει διακρίθηκαν στα νησιά των Κυκλάδων και την Αττική πολλές επί μέρους ενότητες, άλλοτε τελείως διαφορετικές μεταξύ τους και άλλοτε σχετιζόμενες. Οι ενότητες αυτές προήλθαν από τις επωθήσεις τεκτονικών καλυμάτων με τη συμπιεστική τεκτονική της Τριτογενούς ορογένεσης και την επακόλουθο κατάρρευση του ορογενούς με κανονικά ρήγματα αποκόλλησης από τον εφελκυσμό που οδήγησε στην αποκάλυψη κατώτερων ενοτήτων υπό ορφή μεταμορφωμένων πυρήνων (core complex). Μετά την τελική βύθιση της Αιγίδας στο Πλειστόκαινο τα επωθημένα καλύμματα εμφανίζονται ως απομονωμένες τεκτονικές ενότητες.

Με βάση τις περιγραφές των διαφόρων ενοτήτων της Αττικοκυκλαδικής ζώνης και τις συσχετίσεις μεταξύ των σχηματισμών της, αυτή διαιρείται σε τρεις τεκτονοστρωματογραφικές ακολουθίες οι οποίες είναι (Paranikolaou 1984):

1) Η Βασική τεκτονική ακολουθία, η οποία συνίσταται από μεταμορφωμένα ανθρακικά πετρώματα (μάρμαρα), ηλικίας Ανω Τριαδικού-Κάτω Ιουρασικού, τα οποία υπερκαλύπτονται από μετα-φλύσχη Τριτογενούς ηλικίας. Τα μάρμαρα αυτά βρίσκονται σε όλη σχεδόν την έκταση της Αττικοκυκλαδικής ζώνης, όπως στην Πεντέλη, τον Υμηττό, τη Λαυρεωτική, τον Αλμυροπόταμο, την Πάρο, τη Σάμο, τη Σαντορίνη κ.ά., και θεωρείται ως η σχετικά αυτόχθονη σειρά πετρωμάτων που αποκαλύπτεται υπό μορφή αλληπάλληλων τεκτονικών παράθυρων κάτω από τα επωθημένα τεκτονικά καλύμματα.

2) Η Κατώτερη τεκτονική ακολουθία ή «γλυκοφανιτική σειρά» όπως αναφέρεται, η οποία βρίσκεται ως τεκτονικό κάλυμμα πάνω στη βασική αυτόχθονη ακολουθία των μαρμάρων και συνίσταται από γλυκοφανιτικούς σχιστόλιθους, μεταβασίτες, μεταηφαιστειοϊζηματογενή πετρώματα, μεταπηλίτες αλλά και παλαιοζωϊκούς γνεύσιους. Τα πετρώματα της ακολουθίας αυτής

βρίσκονται κυρίως στις Βόρειες Κυκλάδες αλλά και στη Νότια Εύβοια, την Ανατολική Αττική, τη Σάμο και τις Νότιες Κυκλάδες.

3) Η Ανώτερη τεκτονική ακολουθία, τοποθετείται ως τεκτονικό κάλυμμα πάνω στην κατώτερη ακολουθία και αποτελείται από: α) ηφαιστειοκλαστικά πετρώματα του Περμοτριάδικού, β) ανθρακικά πετρώματα του Άνω Τριαδικού - Ιουρασικού, γ) υπολείμματα οφιολιθικών πετρωμάτων με Ανωκρητιδικούς επικλυσιογενείς ασβεστόλιθους, δ) γνευσιακά, αμφιβολιτικά πετρώματα υποβάθρου. Αποτελεί το ανώτερο τεκτονικό κάλυμμα της Αττικοκυκλαδικής, και βρίσκεται σε πολλές περιοχές της ζώνης όπως τη Νότια Εύβοια, τις Βόρειες Κυκλάδες, αλλά κυρίως τις Νότιες Κυκλάδες, την Πάρο κ.ά.

### **Μαγματισμός**

Μέσα στα πετρώματα των ενοτήτων της Αττικοκυκλαδικής διεισδύουν μεγάλοι όγκοι νεώτερων μαγματικών πετρωμάτων. Πρόκειται για πλουτώνεια πετρώματα γρανιτικής κυρίως σύστασης ηλικίας Μειόκαινου, όπως διαπιστώθηκε από σειρά ραδιοχρονολογήσεων, καθώς επίσης και από ηφαιστειακά πετρώματα της πολύ νέας (Τεταρτογενούς) μέχρι ενεργού ηφαιστειότητας, η οποία όμως δεν σχετίζεται με την κατά γεωτεκτονικές ζώνες διαίρεση της Ελλάδας, δεν συνδέονται επομένως με την Αττικοκυκλαδική μάζα, απλά διείσδυσαν μέσα στο χώρο αυτής.

Οι κυριότεροι πλουτωνίτες της μάζας είναι ο γρανοδιορίτης της Λαυρεωτικής (~ 10 εκ. έτη), ο γρανοδιορίτης της Τήνου (~ 14 εκ. έτη), ο γρανοδιορίτης της Μυκόνου (~11 εκ. έτη), ο γρανίτης της Ικαρίας (~9 εκ. έτη), ο γρανοδιορίτης της Σερίφου (~ 10 εκ. έτη), και οι γρανίτες της Πάρου, Κέρου κ.ά. ηλικίας γενικά Μειόκαινου.

## **Μεταμόρφωση**

Το πιο σημαντικό στοιχείο για την εξέλιξη της Αττικοκυκλαδικής μάζας είναι το θέμα της μεταμόρφωσης των πετρωμάτων της. Συγκεκριμένα στο χώρο της μάζας έχουν διαπιστωθεί τρεις διακριτές μεταμορφικές φάσεις.

Η 1η φάση έχει χαρακτήρες πρασινοσχιστολιθικής έως αμφιβολιτικής φάσης, είναι Παλαιοζωικής ηλικίας και διαπιστώνεται στα κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα του υποβάθρου της ενότητας Νότιων Κυκλάδων που θεωρείται αντίστοιχο της Πελαγονικής.

Η 2η φάση είναι μεταμόρφωση υψηλής πίεσης - χαμηλής θερμοκρασίας (γλαυκοφανιτική) και η ηλικία της τοποθετείται με τις ραδιοχρονολογήσεις στο Ηώκαινο. Παρατηρείται στα πετρώματα των ενοτήτων Βόρειων και Νότιων Κυκλάδων.

Η 3η φάση είναι πρασινοσχιστολιθική και έλαβε χώρα στο Ολιγόκαινο - Μειόκαινο, ταυτόχρονα με τη μαγματική άνοδο που έδωσε τους πλουτωνικούς όγκους, και ήταν ανάδρομη ως προς την προηγούμενη γλαυκοφανιτική μεταμόρφωση την οποία και αλλοιώνει σε πολλές περιοχές πολύ αισθητά. Η φάση αυτή αναγνωρίζεται επίσης στα πετρώματα των ενοτήτων Βόρειων και Νότιων Κυκλάδων.

## **Τεκτονικές παραμορφώσεις**

Από τις μέχρι σήμερα μελέτες που έχουν γίνει στα νησιά των Κυκλάδων διαπιστώθηκαν οι παρακάτω φάσεις πτυχώσεων των πετρωμάτων της Αττικοκυκλαδικής ζώνης.

- Η πιο παλιά παραμόρφωση που έχει αναγνωρισθεί είναι μια φάση που προκάλεσε πτυχές ισοκλινείς, με διεύθυνση των αξόνων των πτυχών αυτών γενικά ΒΑ - ΝΔ. Η ηλικία της φάσης πτυχώσεων αναφέρεται ως Ανω Ιουρασική -

Κάτω Κρητιδική αλλά έχουν εκφρασθεί και άλλες γνώμες που τη θεωρούν Παλαιοζωική.

- Μια δεύτερη φάση πτυχώσεων προκάλεσε επίσης ισοκλινείς πτυχές με διευθύνσεις αξόνων που είναι διεσπαρμένες ΒΑ - ΝΔ έως Α - Δ. Πρόκειται για φάση συμμεταμορφική ως προς τη μεταμόρφωση υψηλών πιέσεων (γλαυκοφανιτική) που έλαβε χώρα στο Ηώκαινο.

- Μια τρίτη φάση περιλαμβάνει πτυχές ανοιχτές με διευθύνσεις αξόνων μεταξύ 30° - 50°.

- Η τελική παραμόρφωση εκφράζεται με πτυχές οι άξονες των οποίων έχουν βασική διεύθυνση Β-Ν ή ΒΔ - ΝΑ.

## 2.2 Γεωλογική δομή της ευρύτερης περιοχής μελέτης

### Βιβλιογραφική επισκόπηση

Όπως αναφέρεται από τον ΑΝΤΩΝΙΟΥ Β., στη διδακτορική διατριβή Ανάλυση ανάγλυφου και γεωτεκτονική δομή Ανατολικής Αττικής, (2010), η πρώτη ολοκληρωμένη εργασία για τη γεωλογία της Αττικής έγινε από το LEPSIUS (1893), η οποία συνοδεύτηκε και από έκδοση σχετικού γεωλογικού χάρτη.

Σύμφωνα με την παραπάνω εργασία του LEPSIUS η στρωματογραφική διάρθρωση για την Αττική διακρίνεται σε:

α. Μία υποκείμενη μεταμορφωμένη ακολουθία πετρωμάτων η οποία από τη βάση προς την κορυφή περιλαμβάνει:

- i. τους «Σχιστόλιθους Βάρης»
- ii. τους «Δολομίτες Πιρναρής»
- iii. το «Κατώτερο Μάρμαρο»
- iv. τους «Σχιστόλιθους Καισαριανής» με ενδιάμεσες τράπεζες μαρμάρων και
- v. το «Ανώτερο Μάρμαρο»

β. Μία λιγότερο μεταμορφωμένη υπερκείμενη ακολουθία που επικάθεται ασύμφωνα πάνω στην προηγούμενη και η οποία περιλαμβάνει από τη βάση προς τα πάνω:

- i. την «Κατώτερη Ασβεστολιθική Βαθμίδα»
- ii. τους «Αθηναϊκούς Σχιστολίθους» που επικάθονται ασύμφωνα πάνω στην προηγούμενη βαθμίδα και

iii. την «Ανώτερη Ασβεστολιθική Βαθμίδα (Ακρόπολη, Λυκαβηττός, Τουρκοβούνια)».

Ο Kober (1929), όπως αναφέρεται από τον ΑΝΤΩΝΙΟΥ Β., στη διδακτορική διατριβή «Ανάλυση ανάγλυφου και γεωτεκτονική δομή Ανατολικής Αττικής», (2010), εισάγει για πρώτη φορά την έννοια των τεκτονικών καλυμμάτων και η λιθοστρωματογραφία για την Αττική σύμφωνα με την άποψή του είναι η ακόλουθη:

α. Η «Κατώτερη Αττική σειρά» στη βάση της οποίας τοποθετούνται:

- i. οι «Γνεύσιοι του Πεντελικού»
- ii. ο «Σχιστόλιθος Βάρης»
- iii. τα «Μάρμαρα και Δολομίτες» και
- iv. οι «Μαρμαρυγιακοί Σχιστόλιθοι»

Σημειώνεται ότι, οι τρεις τελευταίοι ορίζοντες έχουν χαρακτήρα τεκτονικών λεπών.

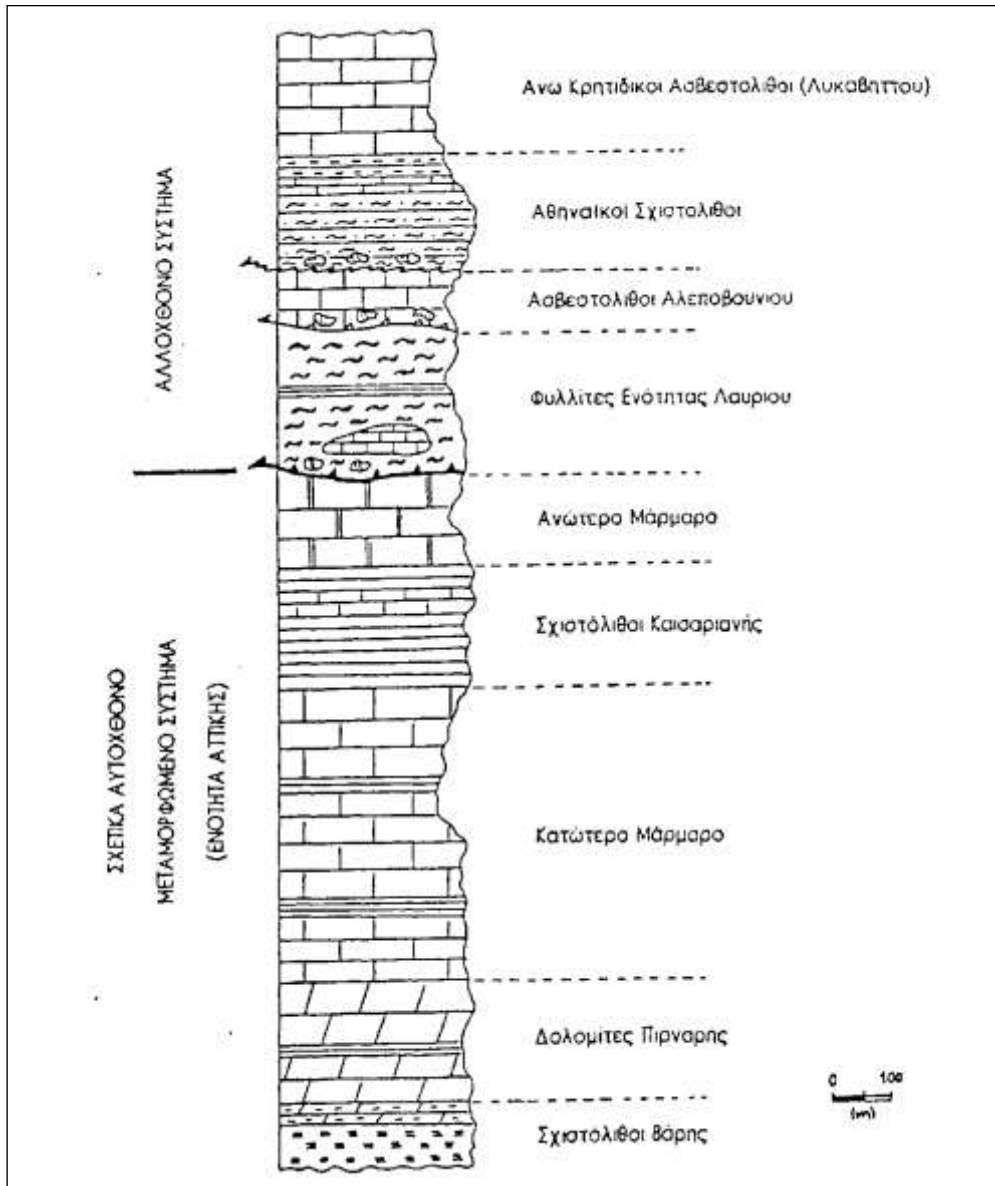
β. Η ακολουθία των «Στρωμάτων Καρρά», με στρωματογραφική ασυμφωνία προς τα υποκείμενα στρώματα.

γ. Η «Ανώτερη Αττική Σειρά» που περιλαμβάνει:

- i. τους «Ασβεστολίθους Αλεποβουνίου και Αρδηττού» και
- ii. τους «Σχιστολίθους Αθηνών».

Η σειρά αυτή επικάθεται στους υποκείμενους σχηματισμούς υπό μορφή επώθησης. δ. Η «Κατώτερη Βοιωτική Σειρά» που περιλαμβάνει:

- i. τα «Στρώματα Λυκαβηττού και Τουρκοβουνίων» υπό μορφή τεκτονικών λεπών και
- ii. τους «Σχηματισμούς της Πάρνηθας»



Εικόνα 3 Συνθετική στρωματογραφική και τεκτονική στήλη της γεωλογικής δομής της Αττικής.

Οι Μαρίνος και Petrascheck (1956) όπως αναφέρεται από τον ΑΝΤΩΝΙΟΥ Β., στη διδακτορική διατριβή Ανάλυση ανάγλυφου και γεωτεκτονική δομή Ανατολικής



Αττικής, (2010), θεμελιώνουν την άποψη της ύπαρξης δύο συστημάτων Αλπικής ηλικίας όπως φαίνεται και στην εικόνα 3.:

α. Το κατώτερο από αυτά αντιστοιχεί στο μεταμορφωμένο σύστημα του LEPSIUS για το οποίο δέχονται την ίδια στρωματογραφική ακολουθία με μόνη διαφορά ότι τους «Δολομίτες Πιρναρής» και τους «Σχιστόλιθους Βάρης» τους εντάσσουν στο κατώτερο μάρμαρο το οποίο ονομάζουν «Κατώτερο Μάρμαρο μετά δολομιτών και σχιστολίθων».

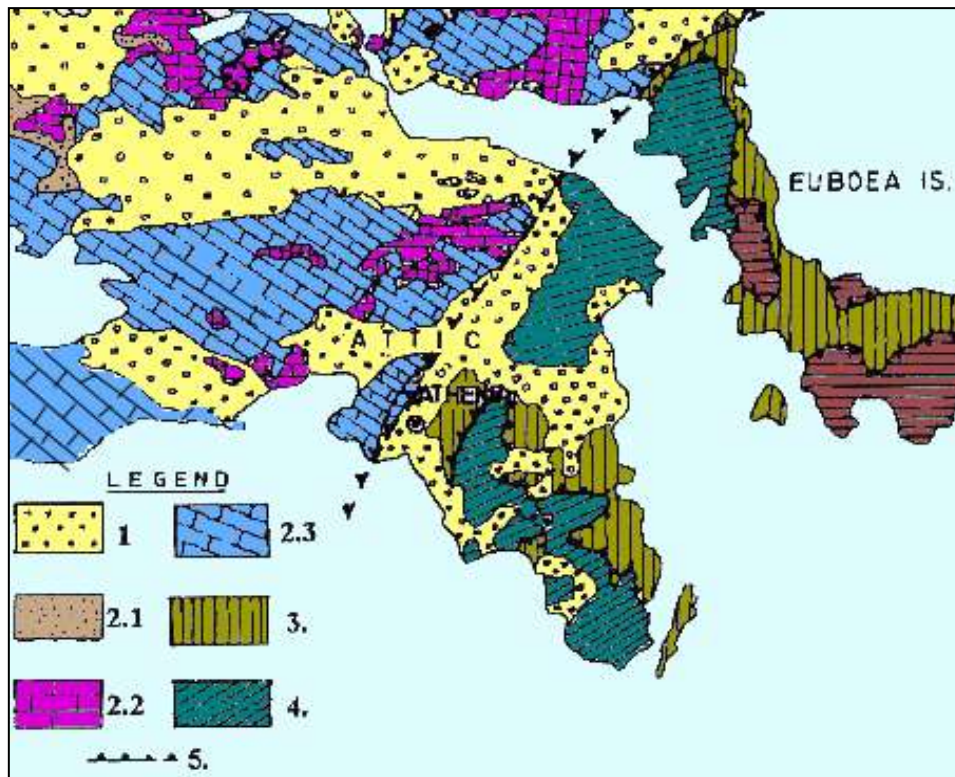
β. Το ανώτερο σύστημα για το οποίο δέχονται ότι είναι ένα αλλόχθονο επωθημένο κάλυμμα που το ονομάζουν «Φυλλιτικό σύστημα μετά χαλαζιτών, πρασινιτών και λεπιών μαρμάρου».

Ο Κατσικάτσος (1977, 1990) όπως αναφέρεται από τον ΑΝΤΩΝΙΟΥ Β., στη διδακτορική διατριβή Ανάλυση ανάγλυφου και γεωτεκτονική δομή Ανατολικής Αττικής, (2010), θεωρεί ότι στην περιοχή των μεταμορφωμένων της Αττικής εμφανίζονται δύο ζώνες τύπου «Εσωτερικών Ελληνίδων».

Την πρώτη ζώνη την ονομάζει «Ζώνη Αττικής» αποτελούμενη από το «Μεταμορφωμένο Σύστημα Αττικής» στη βάση, Τριαδικό - Ιουραϊκής ηλικίας, με παραμόρφωση στο Αν. Ιουραϊκό από το «Ηωελληνικό Κάλυμμα» που αποτελείται από φυλλίτες, σχιστόλιθους και χαλαζίτες με ενδιαστρώσεις ηφαιστειακών πετρωμάτων, κρυσταλλικών ασβεστολίθων, σώματα σερπεντινιτών, και από την «Ανωκρητιδική Επίκλυση (λόφοι Αθηνών)»

Τη δεύτερη ζώνη, η οποία εμφανίζεται σε Εύβοια και ΒΑ Αττική, την ονομάζει «Ζώνη Αλμυροποτάμου» και θεωρείται επωθημένη στην προηγούμενη ζώνη αποτελούμενη από εναλλαγές μαρμάρων και σχιστόλιθων με μετα-φλύσχη στην οροφή, που επίκεινται σε σχηματισμούς υποκείμενων μαρμάρων άλλης παλαιογεωγραφικής ζώνης.

Ο Κατσικάτσος (1986) υποστηρίζει την ένταξη του αυτοχθόνου της Αττικής στην εξωτερική γεωτεκτονική ζώνη των Ελληνίδων και θεωρεί ότι το αλλόχθονο της Αττικής παλαιογεωγραφικά βρίσκεται εξωτερικά της Πελαγονικής ζώνης (εικόνα 4).



Εικόνα 4 Ενοποιημένος γεωλογικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής μελέτης 1. Νεογενείς και τεταρτογενείς αποθέσεις, 2. Πελαγονική ζώνη, 2.1. Φλύσχης, 2.2. Ασβεστόλιθοι Άνω Κρητιδικού, 2.3. Νεοπαλαιοζωικά-τριαδικοϊουρασικά μεταμορφωμένα πετρώματα, ασβεστόλιθοι και δολομίτες, 3. Αυτόχθονη ενότητα, 4. Αλλόχθονη ενότητα 5. Επώθηση (Katsikatsos et al. 1986).

Ο Παπανικολάου (1986, 1988) όπως αναφέρεται από τον ΑΝΤΩΝΙΟΥ Β., στη διδακτορική διατριβή Ανάλυση ανάγλυφου και γεωτεκτονική δομή Ανατολικής Αττικής, (2010), συμφωνεί σε γενικές γραμμές με τις απόψεις του Κατσικάτσου και τις συμπληρώνει με τη θεωρία της διπλής τεκτονικής κίνησης στο Αν. Ηώκαινο - Ολιγόκαινο. Αυτή αναλύεται στην επώθηση της Αττικής και του Λαυρίου πάνω

στον Αλμυροπόταμο. Η εμφάνιση σχηματισμών ηλικίας Αν. Κρητιδικού συνηγορούν στον τεκτονισμό των ενοτήτων κατά το Ηώκαινο.

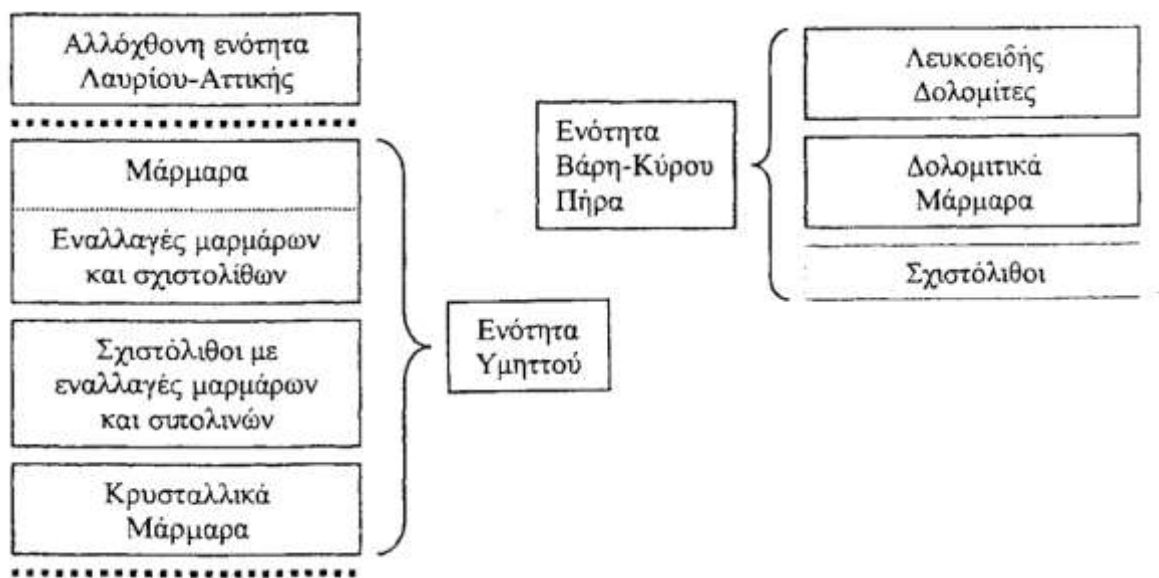
Οι γεωλογικοί σχηματισμοί που δομούν την περιοχή της νότιας Αττικής ειδικότερα, παρουσιάζονται στην εικόνα 5.



Εικόνα 5 Γεωλογικός χάρτης και αντίστοιχη γεωλογική τομή της ευρύτερης περιοχής Υμηττού-Νότιας Αττικής (Jacobshagen et al. 1986 όπως αναφέρεται από τον ΑΝΤΩΝΙΟΥ Β., στη διδακτορική διατριβή Ανάλυση ανάγλυφου και γεωτεκτονική δομή Ανατολικής Αττικής,2010).

Οι Λέκκας & Λόζιος (1996) όπως αναφέρεται από τον ΑΝΤΩΝΙΟΥ Β., στη διδακτορική διατριβή Ανάλυση ανάγλυφου και γεωτεκτονική δομή Ανατολικής

Αττικής, (2010), στα πλαίσια εργασία τους για τις γεωλογικές συνθήκες που επικρατούν στην ευρύτερη περιοχή του Υμηττού, διακρίνουν τρεις μεταμορφωμένες ενότητες, οι οποίες παρουσιάζουν δομή μεγάλης κλίμακας θολοειδούς αντικλίνου που έχει ως αποτέλεσμα στον πυρήνα του Υμηττού να εμφανίζεται η κατώτερη τεκτονική ενότητα «Βάρης - Κύρου Πήρα» και περιμετρικά η ενδιάμεση ενότητα του «Υμηττού» και η ανώτερη αλλόχθονη ενότητα «Λαυρίου - Αθηνών» (εικόνα 6).



Εικόνα 6 Σχηματική απεικόνιση των απόψεων Λέκκα. & Λόζιου (1996).

Η ενότητα «Βάρης - Κύρου Πήρα» αντιστοιχεί στους «Σχιστόλιθους Βάρης» και στους «Δολομίτες Πιρναρής» καθώς και σε ένα τμήμα του «Κατώτερου Μαρμάρου» κατά LEPSIUS. Στρωματογραφικά η ενότητα περιλαμβάνει στη βάση ασβεστιτικούς και μαρμαρυγικούς σχιστόλιθους με ενδιαστρώσεις μαρμάρων μικρού πάχους, κυρίως στα ανώτερα στρώματα. Στη συνέχεια ακολουθούν τεφρά έως μαύρα ταινιωτά δολομιτικά μάρμαρα ή σιπολινομάρμαρα ενώ η ενότητα στην οροφή μεταβαίνει σε λευκούς άστρωτους δολομίτες, όπως στο λόφο Κύρου Πήρα.

Η ενότητα «Υμηττού» αντιστοιχεί στο «Κατώτερο Μάρμαρο», στους «Σχιστόλιθους Καισαριανής» και σε ένα μέρος στο «Ανώτερο Μάρμαρο» κατά LEPSIUS. Στη βάση της κολόνας έχουμε κρυσταλλικά μεσοπλακώδη μάρμαρα χρώματος κυανού, λευκού έως τεφρού, ακολουθούν μαρμαρυγικοί, ασβεστιτικοί, χλωριτικοί, επιδοτικοί σχιστόλιθοι και χαλαζίτες με εναλλαγές μικρού πάχους μαρμάρων και σιπολινών ενώ με μετάβαση στην οροφή συναντάμε εναλλαγές μαρμάρων και σχιστολίθων.

Η ενότητα Λαυρίου εντοπίζεται στις περιοχές Μαρκόπουλο, Κερατέα, Καλύβια Θορικού, ανατολικά της Καμάριζας, βόρεια της Πλάκας (Βίλλια), στο Μετόχι και νότια του Λαυρίου μέχρι το Σούνιο. Η ενότητα αυτή είναι γενικά λιγότερο μεταμορφωμένη από το σύστημα των «Αθηναϊκών Σχιστολίθων» και χαρακτηρίζεται από την αδυναμία καθορισμού συγκεκριμένης στρωματογραφικής κολόνας. Περιέχει τεκτονικά λέπη, σφήνες ολισθολίθους που δίνουν τα χαρακτηριστικά ενός μίγματος (melange). Αποτελεί μία ψαμμιτοπηλιτική μεταμορφωμένη μάζα, εν μέρει κρητιδικής ηλικίας, που περιέχει διαφορετικής ηλικίας και σύστασης τεμάχη όπως Τριαδικούς - Ιουρασικούς ασβεστολίθους, βασικά εκρηξιγενή (πρασινίτες), χαλαζίτες και σερικιτικούς - χλωριτικούς σχιστόλιθους που περιέχουν μεταβασάλτες και μεταγάββρους κυανοσχιστολιθικού τύπου.

Οι ανθρακικές παρεμβολές των μαρμάρων ανήκουν εν μέρει στο σύστημα των φυλλιτών ή μπορεί να είναι αποσπασθέντα τεμάχη από το αυτόχθονο σύστημα κατά την προέλαση του καλύμματος ενώ το χρώμα τους είναι κυρίως καστανό λόγω της επιγενούς αγκεριτίωσης και λειμωνιτίωσης τους. Οι δε πρασινόλιθοι θεωρούνται μεταμορφωμένοι οφιόλιθοι χλωριτοεπιδοτιτικής φάσης με στρωματοειδή, φακοειδή και σωληνοειδή μορφή.

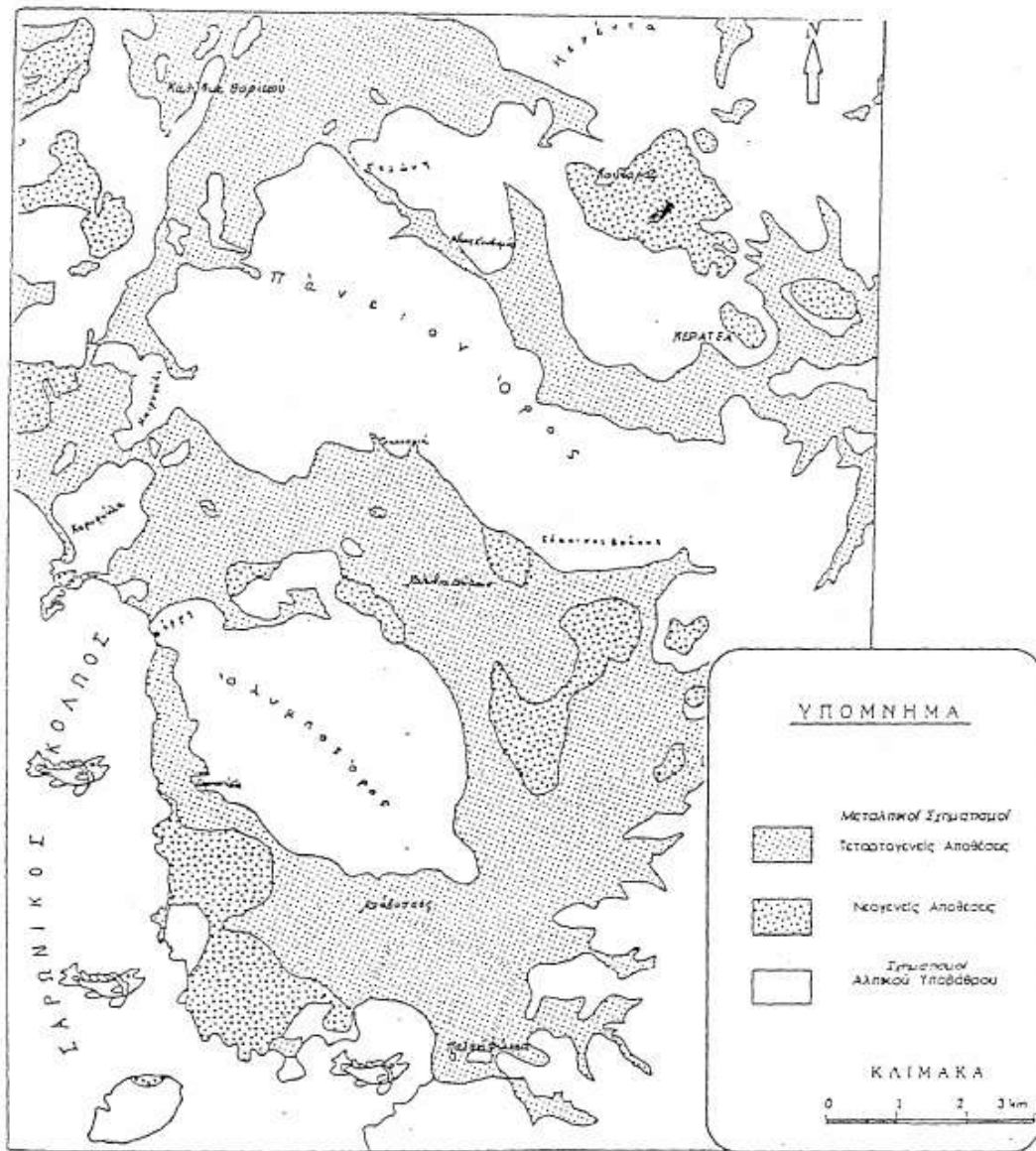
Τεκτονικά επικρατούν οι εγκάρσιες δομές με γενική διεύθυνση γράμμωσης και μικροπτυχών Α-Δ που δείχνουν παραμόρφωση κατώτερου τεκτονικού ορόφου που δικαιολογείται και με την ύπαρξη της γλαυκοφανιτικής φάσης.

Σε ότι αφορά τους στους Μεταλλικούς σχηματισμούς που δομούν την περιοχή της νότιας και ανατολικής Αττικής, στους οποίους επικεντρώνεται το ενδιαφέρον μας, η παρουσία του Νεογενούς διαπιστώνεται κυρίως στην περιοχή της Αγίας Μαρίνας, στην κοιλάδα μεταξύ του Πάνειου όρους και του όρους Ολύμπου (λόφοι Φοινικιά, Μάκριζα, Φέριζα, Βαλμάς) και στις νότιες κλιτύες του Ολύμπου, στη Γιούρντα, μέχρι τον Άγιο Νικόλαο παραλιακά. Επιπλέον εντοπίζεται στην περιοχή της Κερατέας, στις παράκτιες περιοχές, μεταξύ των συνοικισμών της Σαρωνίδας και της Αναβύσσου καθώς επίσης και στο Δασκαλιό και στο Σούνιο. Τα Νεογενή ιζήματα είναι κυρίως κροκαλοπαγή, ψαμμίτες, μάργες και μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι. Το πάχος τους ποικίλει από θέση σε θέση, έχει όμως αποδειχθεί ότι μπορεί να φτάνει σε μερικές δεκάδες μέτρα.

Από τις έρευνες που πραγματοποίησε ο LEPSIUS και την εύρεση απολιθωμάτων προκύπτει ότι τα ιζήματα είναι κυρίως λιμναίας φάσης και αντιπροσωπεύουν συνθήκες γλυκού και υφάλμυρου περιβάλλοντος.

Οι Μαρίνος και Petrascheck (1956) και αργότερα ο Παυλόπουλος (1992) όπως αναφέρεται από τον ΑΝΤΩΝΙΟΥ Β., στη διδακτορική διατριβή Ανάλυση ανάγλυφου και γεωτεκτονική δομή Ανατολικής Αττικής, (2010), έχουν διακρίνει τα Νεογενή ιζήματα της νοτιοανατολικής Αττικής σε δύο σειρές οι οποίες και αντιπροσωπεύουν διαφορετικό παλαιοπεριβάλλον (εικόνα 7):

1. στη σειρά Αγ. Μαρίνας - Φέριζας - Βαλμάς και
2. στη σειρά Αναβύσσου - Κοκκινόβραχου.



Εικόνα 7 Χάρτης μεταλλικών ιζημάτων στην περιοχή της ΝΑ Αττικής (Μαρίνος, 1956)

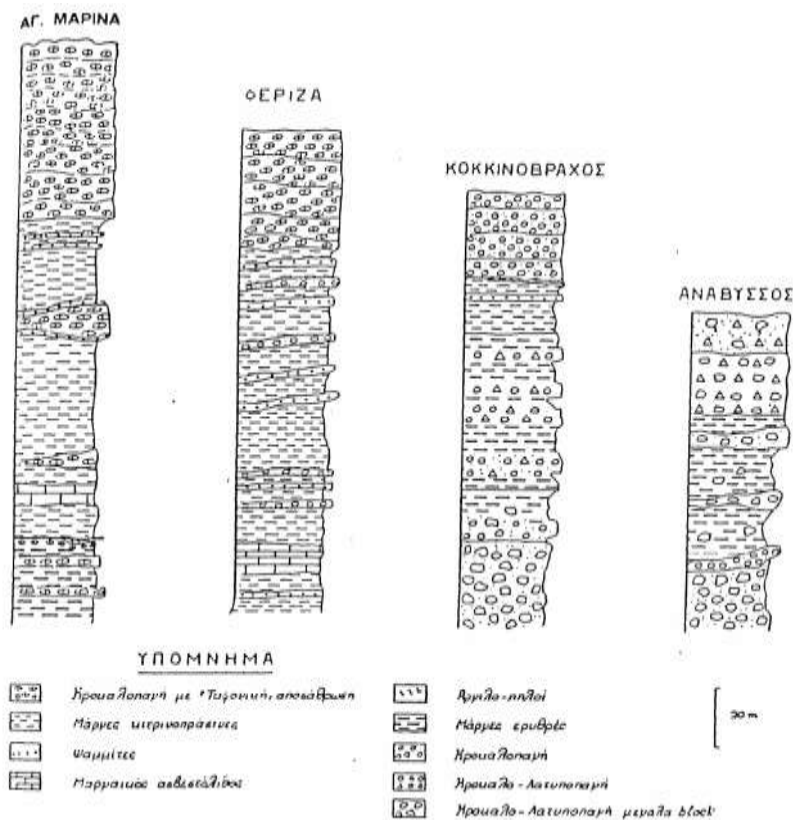
Η πρώτη σειρά είναι υφάλμυρης φάσης ενώ η δεύτερη αντιπροσωπεύει παλαιοπεριβάλλον χερσαίο. Στην πρώτη σειρά εμφανίζονται κιτρινοπράσινες μάργες με ενδιαστρώσεις κροκαλοπαγών και ψαμμιτών, κροκαλοπαγή, μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι και τέλος στην κορυφή της σειράς επικρατούν τα κροκαλοπαγή που αποτελούνται από κροκάλες οι οποίες παρουσιάζουν χαρακτηριστική αποσάθρωση μορφής οπών (από Θεοδωρόπουλος & Φυτρολάκης, 1974 όπως αναφέρεται από τον ΑΝΤΩΝΙΟΥ Β., στη διδακτορική διατριβή Ανάλυση ανάγλυφου

και γεωτεκτονική δομή Ανατολικής Αττικής, 2010). Η αποσάθρωση αυτή προϋποθέτει εναλλαγές θερμών, υγρών και ξηρών περιόδων.

Στη δεύτερη σειρά διακρίνονται ερυθροκάστανα κροκαλοπαγή που αποτελούνται από ευμεγέθεις κροκάλες και λατύπες καθώς και από κροκαλοπαγή ανθρακικής προέλευσης (κυρίως από μάρμαρα) που βρίσκονται υπό μορφή μικρών εναλλαγών με ερυθρό αργιλομαργαϊκό υλικό. Στα ερυθροκάστανα κροκαλοπαγή παρατηρούνται στη βάση τους μεγάλες κροκάλες και λατύπες από σερπεντινίτες και στη συνέχεια ακολουθούν αργιλομαργαϊκές ενδιαστρώσεις και πολύμικτα λατυποπαγή ποταμοχειμάρρειας φάσης.

Σύμφωνα με τον Παυλόπουλο (1992) προκύπτει ότι από τις δύο παραπάνω αναφερόμενες σειρές, η σειρά της Αγίας Μαρίνας φαίνεται να είναι η αρχαιότερη και σαφώς απομονωμένη από τη σειρά της Αναβύσσου. Στην εικόνα 8 παρουσιάζονται οι στρωματογραφικές σειρές των Νεογενών ιζημάτων στη Νότια Αττική.





Εικόνα 8 Στρωματογραφικές σειρές των Νεογενών ιζημάτων στη νότια Αττική (Παυλόπουλος, 1992)

Τα στρώματα του Νεογενούς εμφανίζονται διαταραγμένα από τα τεκτονικά γεγονότα που έχουν επιδράσει στο γεωλογικό υπόβαθρο της Αττικής και είναι χαρακτηριστικό ότι και στις δύο σειρές παρατηρούνται τόσο ρήγματα όσο και συνιζηματογενείς παραμορφώσεις.

Οι Τεταρτογενείς αποθέσεις επίκεινται ασύμφωνα των υποκείμενων σχηματισμών και ποικίλλουν από θέση σε θέση ως προς το πάχος και τη σύστασή τους. Οι Μαριολάκος και Λέκκας (1974) όπως αναφέρεται από τον ΑΝΤΩΝΙΟΥ Β., στη διδακτορική διατριβή Ανάλυση ανάγλυφου και γεωτεκτονική δομή Ανατολικής Αττικής, (2010), διαχωρίζουν τις Τεταρτογενείς αποθέσεις σε Πλειστοκαινικές και Ολοκαινικές. Το πάχος των Ολοκαινικών αποθέσεων είναι συνήθως μικρό και δεν ξεπερνά τα λίγα μέτρα, ενώ όσον αφορά στη η σύσταση τους αποτελούνται κυρίως

από αργίλους, χαλίκια, κροκάλες και άμμους. Όσον αφορά στις Πλειστοκαινικές αποθέσεις διαχωρίζονται σε κατώτερο ορίζοντα ο οποίος αποτελείται από συνεκτικά λατυποκροκαλοπαγή και ανώτερο ορίζοντα που συνίσταται από υλικό πλευρικών κορημάτων.

Σε μία γενικότερη θεώρηση τα Τεταρτογενή ιζήματα μπορούν να διαχωριστούν σε παλαιότερα και νεότερα. Τα παλαιότερα Τεταρτογενή ιζήματα αντιπροσωπεύονται από υλικά τα οποία αποτελούν τις ποτάμιες αναβαθμίδες, τους συνεκτικούς κώνους, τα αλλουβιακά ριπίδια και τα πλευρικά κορήματα των κλιτύων. Τα υλικά αυτά προέρχονται από αποσθρωτικές και διαβρωτικές διεργασίες σε σχηματισμούς του αλπικού υποβάθρου όπου επικρατεί η σχιστολιθική και ανθρακική (ασβεστόλιθος - μάρμαρο) λιθολογική φάση. Νεότερες αποθέσεις θεωρούνται οι ασβεστιτικοί ψαμμίτες. Ο σχηματισμός αυτός εμφανίζεται κυρίως στις παράκτιες ακτές της νότιας Αττικής. Σύμφωνα με το Νέγρη (1913) ο σχηματισμός αυτός είναι θαλάσσιας και αιολικής προέλευσης, στα χαμηλότερα και υψηλότερα τμήματά του αντίστοιχα, ενώ νεότεροι μελετητές όπως ο Μιστάρδης (1967) θεωρεί ότι πρόκειται για αιολικό σχηματισμό ημιορημικού κλίματος όπως αναφέρεται από τον ΑΝΤΩΝΙΟΥ Β., στη διδακτορική διατριβή Ανάλυση ανάγλυφου και γεωτεκτονική δομή Ανατολικής Αττικής, (2010), .

Το πάχος των ασβεστιτικών ψαμμιτών κυμαίνεται μεταξύ 0,30 m και 5,00 m και συναντώνται μέχρι το υψόμετρο των 100 m. Συνήθως επικάθονται σε μάρμαρα, σχιστόλιθους και φυλλίτες καθώς και σε παλαιότερες τεταρτογενείς αποθέσεις όπως σε συνεκτικά κροκαλοπαγή μικρού πάχους ή σε καστανοκόκκινες αργίλους. Διακρίνονται τρεις κατηγορίες τέτοιων αποθέσεων:

α. Αποθέσεις με ομοιόμορφη κοκκομετρική κατανομή, με μικρή συνεκτικότητα και με μικρό ποσοστό αργιλικών προσμίξεων

β. Αποθέσεις με μικρό ποσοστό σε λατύπες και κροκάλες οι οποίες επικάθονται σε πλευρικές αποθέσεις κλιτύων

γ. Αποθέσεις με μεγάλη συνεκτικότητα, ομοιόμορφη κοκκομετρική κατανομή και με μεγάλη συμμετοχή σε οργανικό υλικό.

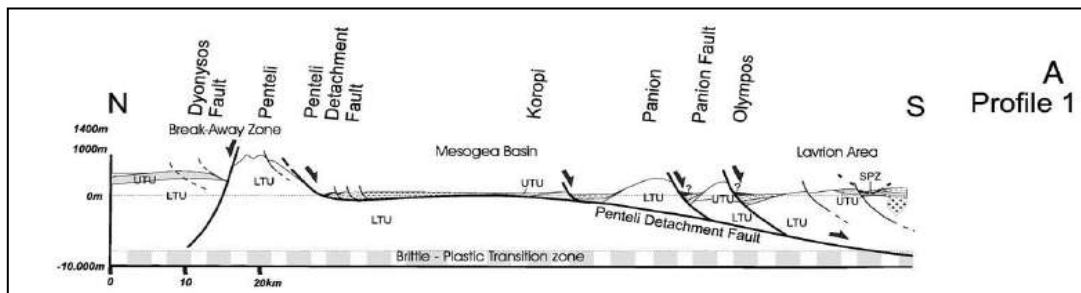
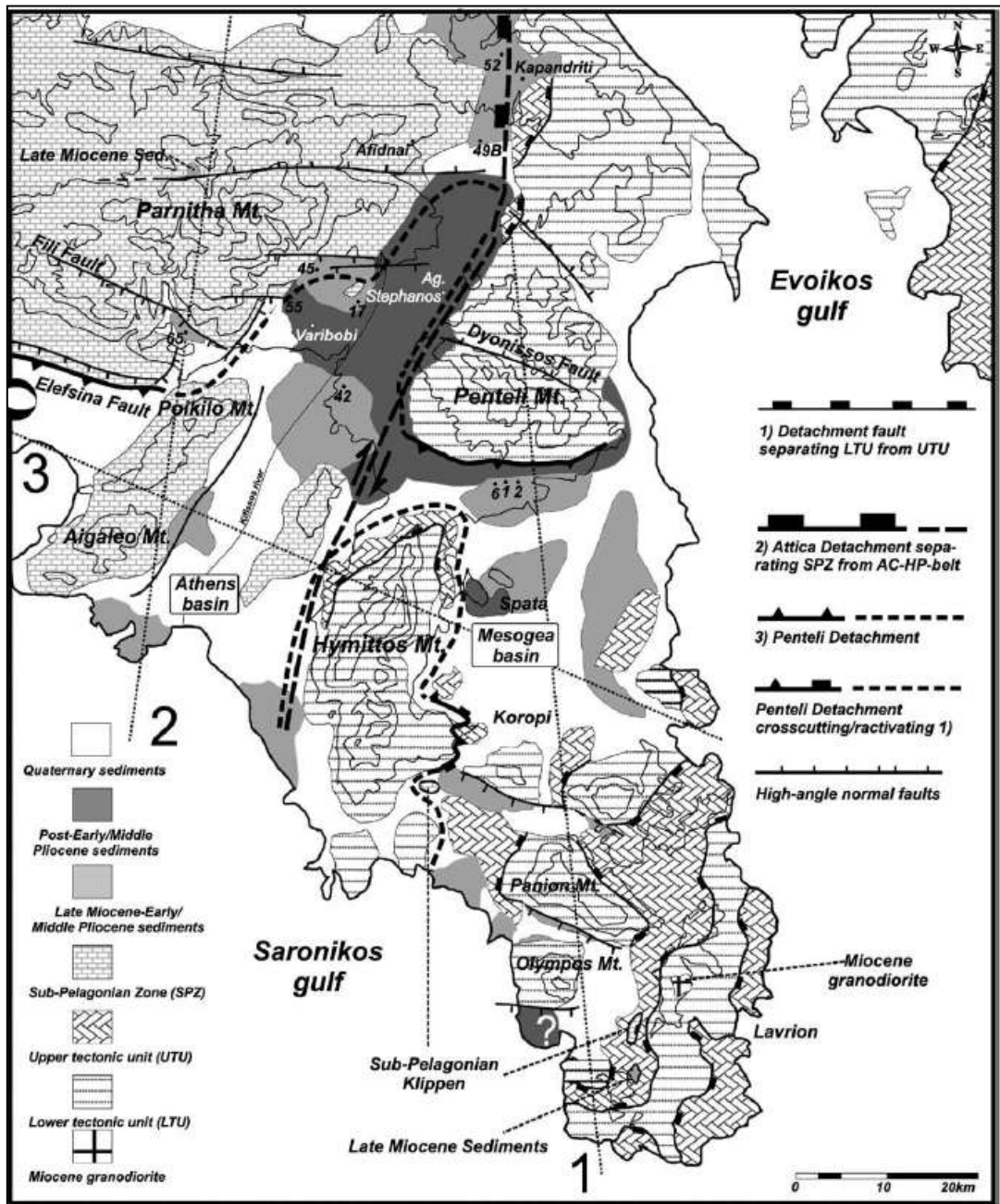
Αξιοσημείωτη είναι η παρουσία του πορόλιθου του Λαυρίου (τεταρτογενής σχηματισμός) που χρησιμοποιήθηκε από τους αρχαίους για τη λιθογόμωση των στοών των μεταλλείων.

Ως πιο νεότερες αποθέσεις θεωρούνται τα πλευρικά κορήματα (μικρής έως ασήμαντης συνεκτικότητας), οι κώνοι κορημάτων (χαλαρής γενικά δομής) και οι σύγχρονες αποθέσεις των κοιλάδων και των ακτών οι οποίες παρουσιάζουν ποικιλία ως προς τη δομή και τη σύστασή τους.

Στις παράκτιες περιοχές συναντούνται αποθέσεις υπό τη μορφή θινών που έχουν χαλαρή δομή καθώς και παράκτιοι ιζηματογενείς σχηματισμοί (beach rocks), οι οποίοι παρουσιάζουν ημισυνεκτική έως συνεκτική δομή.

Τέλος αναφέρεται ότι οι αλλουβιακοί σχηματισμοί που συναντούνται στη στενή και ευρύτερη περιοχή κοιτών χειμάρρων και ρεμάτων, αποτελούνται από ανομοιογενή υλικά (κροκάλες ποικίλου μεγέθους, άμμοι, αμμοϊλύες, αργιλοϊλύες κ.λ.π.).

Οι πιο πρόσφατες απόψεις αναφέρονται στην εργασία των Krohe et al. 2009, Formation of basins and mountain ranges in Attica (Greece): The role of Miocene to recent low-angle normal detachment faults, σύμφωνα με τους οποίους η τεκτονική της ευρύτερης περιοχής και τα κανονικά ρήγματα οφείλονται στην ύπαρξη μιας σημαντικής επιφάνειας αποκόλλησης που εκτείνεται κάτω από την λεκάνη των μεσογείων μέχρι τους πρόποδες της Πεντέλης (εικόνα 9).



Εικόνα 9 Χάρτης και γεωλογική τομή στην περιοχή της νότιας Αττικής, όπου φαίνεται η μεγάλη επιφάνεια αποκόλλησης (Krohe et al. 2009)

### 2.3 Λιθοστρωματογραφική δομή της περιοχής έρευνας

Με βάση τον γεωλογικό χάρτη φύλλο «ΚΟΡΩΠΙ – ΠΛΑΚΑ» κλίμακας 1:50.000 του Ι.Γ.Μ.Ε., καθώς και τον αντίστοιχο χάρτη που έγινε από τον Κατσιαβριά, οι σχηματισμοί που εμφανίζονται στην περιοχή έρευνας, παρουσιάζονται αναλυτικά παρακάτω (εικόνα 10). Σε ορισμένα σημεία όπου υπάρχει αναλυτικότερη περιγραφή ελήφθησαν υπόψη και στοιχεία από τις παρατηρήσεις υπαίθρου κατά τη διάρκεια λήψης των δειγμάτων και των σταθμών.

#### ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΣ

##### ΟΛΟΚΑΙΝΟ

*Σύγχρονες παράκτιες αποθέσεις (H.cd):* άμμοι ακτών, μικρές θίνες και “beach rocks”.

*Ποτάμιες αποθέσεις (H.fl) :* πρόσφατα ασύνδετα υλικά από αργίλους, πηλούς και κροκαλολατύπες ποικίλης λιθολογικής σύστασης, σχήματος και μεγέθους, καθώς και υλικά αναβαθμίδων μικρού πάχους.

*Παλαιοί και νέοι κώνοι κορημάτων. Πλευρικά κορήματα (H.sc,cs).*

## ΠΛΕΙΣΤΟΚΑΙΝΟ

*Καστανόχρωμες χερσαίες και ποταμοχερσαίες αποθέσεις (Pt.tr):* αργιλοπηλοί κατά το πλείστον σκούρου ερυθρού χρώματος και λιγότερο ερυθρωποί, υπόλευκοι, κιτρινωποί, άστρωτοι, που περιέχουν διάσπαρτες κροκάλες και λατύπες ποικίλης λιθολογικής σύστασης και μεγέθους. Συχνά απαντώνται κροκαλολατυποπαγή πολυγενή, ετερομετρικά και συνεκτικά, σε ενστρώσεις μικρού πάχους (0,30-1.00m.) και περιορισμένης έκτασης. Μέγιστο ορατό πάχος: 6m.

## ΝΕΟΓΕΝΕΣ

### ΑΝΩΤΕΡΟ ΠΛΕΙΟΚΑΙΝΟ

*Παράκτιες αποθέσεις (Pls) :* αποτελούνται από ψαμμούχες μάργες κιτρινωπές, ψαμμίτες τεφροκιτρινωπούς, κροκαλολατυποπαγή πολύμεικτα, ετερομετρικά, συνεκτικά και μαργαϊκούς, βιοκλαστικούς ασβεστολίθους καστανο-κιτρινωπού χρώματος κατά κανόνα σε διασταυρούμενες στρώσεις. Ορατό πάχος: 10m. περίπου.

*Κροκαλοπαγή Σπάτων (Pl.c):* κροκαλοπαγή, κατά θέσεις, λατυπο-ψηφιδοπαγή, πολύμεικτα, ετερομετρικά, συνεκτικά, συνήθως αδιαβάθμιτα, ψευδοστρωμένα έως άστρωτα, τα οποία στα ανώτερα μέλη εναλλάσσονται ακανόνιστα με μάργες, πηλούς και ψαμμίτες. Μέγιστο ορατό πάχος: 150m.

### ΜΕΣΟ - ΑΝΩΤΕΡΟ ΠΛΕΙΟΚΑΙΝΟ

*Τραβερτινοειδείς ασβεστόλιθοι (Plm-s.tv.k):* ασβεστόλιθοι συνήθως τραβερτινοειδείς, εν μέρει μαργαϊκοί, χρώματος υπόλευκου, καστανωπού,

σπανιότερα κιτρινωπού, τεφρόλευκου, κυψελώδεις έως σπηλαιώδεις, παχυστρωματώδεις ή άστρωτοι, κατά κανόνα γλυκών υδάτων. Σε μερικές θέσεις του ΝΔ τμήματος του φύλλου, στα ανώτερα μέλη τους, οι τραβερτινοειδείς ασβεστόλιθοι είναι υπόλευκοι, βιοκλαστικοί, στρωματώδεις, συμπαγείς και αβαθούς θαλάσσης. Μέγιστο ορατό πάχος: 20m.

#### ΑΝΩΤΕΡΟ ΜΕΙΟΚΑΙΝΟ - ΚΑΤΩΤΕΡΟ ΠΛΕΙΟΚΑΙΝΟ

*Μάργες, πηλοί, ψαμμίτες, κροκαλοπαγή (Ms-Pli)* : συνίστανται από ακανόνιστες εναλλαγές στο χώρο και στο χρόνο απόθεσής τους και είναι μάργες λευκές, κιτρινωπές, στρωματώδεις ή άστρωτες, πηλοί διαφόρου χρώματος και άστρωτοι, ψαμμίτες τεφροκιτρινωποί, στρωματώδεις ή άστρωτοι, κροκαλολατυποπαγή πολύμεικτα, κατά κανόνα αδιαβάθμιτα, ετερομετρικά, συνεκτικά, ερυθροχρώματα σε μικρές ενστρώσεις και ασβεστόλιθοι μαργαϊκοί, κλαστικοί ερυθρωποί, κιτρινωποί και άστρωτοι. Μέγιστο πάχος: 150m.

#### ΜΕΙΟΚΑΙΝΟ

*Λατυποπαγή Παιανίας (M.I)* : λατυποπαγή και εν μέρει ψηφιδοπαγή πολύμεικτα, αδιαβάθμιτα, ετερομετρικά, τα οποία κατά κανόνα στα κατώτερα μέλη είναι άστρωτα και συνεκτικά, ενώ στα ανώτερα μέλη είναι ημισυνεκτικά και αναμειγμένα με ιλυολίθους βυσσινόχρωμους. Πάχος: 100m.

#### ΑΝΩΤΕΡΟ ΚΡΗΤΙΔΙΚΟ (;)

*Πλακώδεις Ασβεστόλιθοι (Ks.kk)* : υπόλευκοι, τεφρόλευκοι, τεφροί, ερυθρίζοντες, λεπτό -χονδροκοκκώδεις, λεπτό - μεσοπλακώδεις, κατά θέσεις λατυποπαγείς,

έντονα ανακρυσταλλωμένοι με φακούς, κονδύλους και διαστρώσεις πυριτόλιθων. Στα κατώτερα μέλη, κατά κανόνα και στα ανώτερα εν μέρει, είναι αδροκρυσταλλικοί, κλαστικοί και εναλλάσσονται άρρυθμα με ανθρακικούς, μαρμαρυγιακούς σχιστόλιθους τεφρούς, καστανωπούς, κιτρινωπούς, λεπτοστρωματώδεις έως φυλλώδεις. Πάχος: 200m.

## ΑΝΩΤΕΡΗ ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ

### ΑΝΩΤΕΡΟ ΙΟΥΡΑΣΙΚΟ(;) - ΚΑΤΩΤΕΡΟ ΚΡΗΤΙΔΙΚΟ

*Σχιστόλιθοι και φυλλίτες (Js-Ki):* τεφροί έως τεφρόμαυροι, ερυθροϊώδεις πρασινωποί χλωριτικοί σχιστόλιθοι και φυλλίτες, με διαστρώσεις χαλαζιακών σχιστόλιθων και χαλαζιτών καθώς και φακοειδείς ενστρώσεις πάχους 5-50m, τεφρών λεπτοστρωματοδών, κρυσταλλικών εν μέρει κλαστικών ασβεστολίθων. Περιλαμβάνει επίσης σε πολλές θέσεις διαφόρων διαστάσεων σώματα μεταμορφωμένων βασικών - υπερβασικών πετρωμάτων. Κατά θέσεις, οι σχιστόλιθοι είναι έντονα τεκτονισμένοι, διαμελισμένοι και παραμορφωμένοι. Σε αυτούς διαπιστώθηκε η παρουσία γλαυκοφανούς. Πάχος: έως 200m περίπου.

### ΙΟΥΡΑΣΙΚΟ

«*Κατώτερο μάρμαρο*» (*J.mr*) : μάρμαρα κατά το πλείστον λευκά και τεφρόλευκα, υποκίτρινα έως ερυθρωπά, τεφροπράσινα έως κυανά, μόνο στην κορυφή τους, μεσο-χονδροκοκκώδη, κατά θέσεις λατυποπαγή, λεπτο-μεσοπλακώδη με πυριτόλιθους (στην κορυφή τους) και πτυχωμένα. Συνήθως, στα μεσαία και κατώτερα μέλη τους είναι μεσο-παχυστρωματώδη έως άστρωτα, έντονα ανακρυσταλλωμένα και καρστικοποιημένα. Υπέρκεινται άλλοτε ομαλά και άλλοτε σε ασυμφωνία των Δολομιτών Πιρναρής. Πάχος: έως 400m.



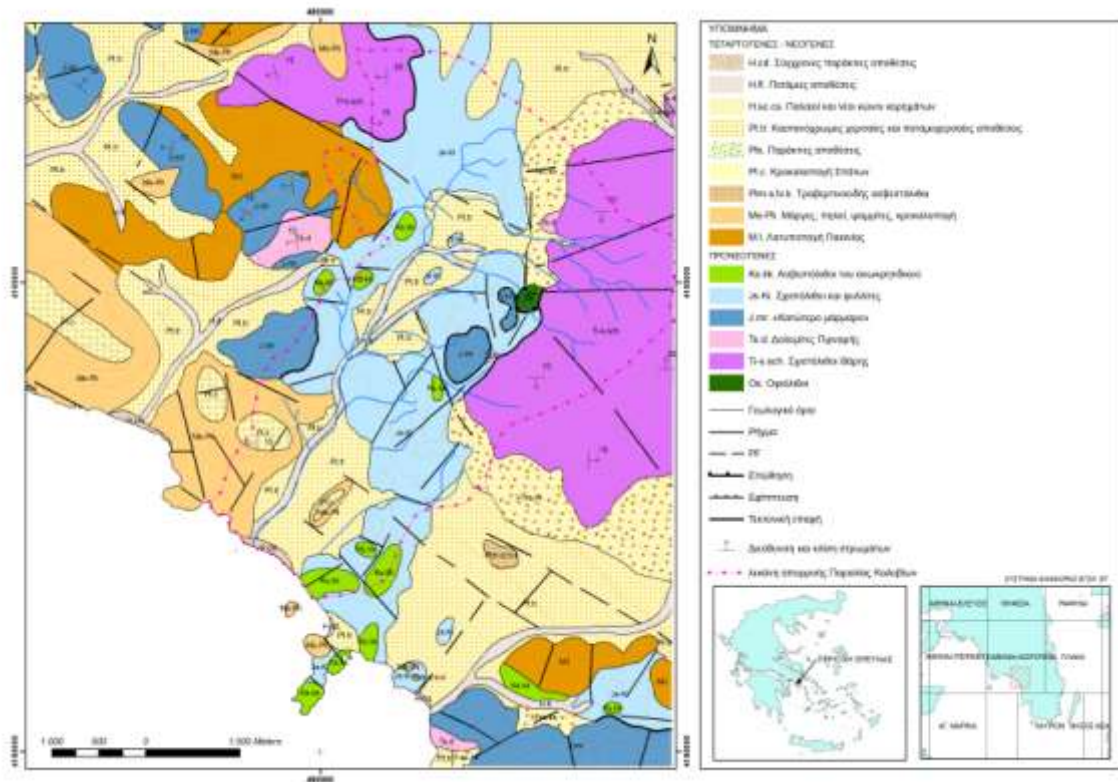
#### ΝΟΡΙΟ - ΚΑΤΩΤΕΡΟ ΛΙΑΣΙΟ (;)

*Δολομίτες Πιρναρής (Ts.d)*: δολομίτες κυρίως υπόλευκοι έως τεφρόλευκοι και σε διάφορες θέσεις κιτρινωποί, ερυθρωποί, τεφροί, τεφρόμαυροι, μεσο-χονδροκοκκώδεις, εν μέρει λατυποπαγείς, έντονα ανακρυσταλλωμένοι, μεσο-παχυστρωματώδεις, κατά κανόνα άστρωτοι και σε μερικές θέσεις κυψελώδεις (ραουβάκες, περιοχή Βάρης-Καρέα). Τοπικά υπέρκεινται σε ασυμφωνία σχιστολίθων ή μαρμάρων του Σχηματισμού Τραπουριάς. Πάχος: έως 250m περίπου.

#### ΚΑΤΩΤΕΡΟ ΤΡΙΑΔΙΚΟ (;) - ΚΑΡΝΙΟ

*Σχιστόλιθοι Βάρης (Ti-s.sch)*: συνίσταται από ακανόνιστες εναλλαγές ποικίλου πάχους και λιθολογικής σύστασης ιζημάτων στο χώρο και το χρόνο απόθεσης και περιλαμβάνει ασβεστόλιθους πολύχρωμους, λεπτομερείς, αδρομερείς, τοπικά λατυποπαγείς, κυρίως κλαστικούς, ανακρυσταλλωμένους, εν μέρει δολομιτιωμένους, λεπτο-μεσοστρωματώδεις και σχιστολίθους πολύχρωμους, ανθρακικούς, μαρμαρυγιακούς με μικρές φλέβες χαλαζία. Σε πολλές θέσεις και σε διάφορους στρωματογραφικούς ορίζοντες απαντώνται βασικές, δακτιτικές λάβες, πράσινο - κιτρινόχρωμες, μεταμορφωμένες και παραμορφωμένες, τόφφοι τεφρόμαυροι, πρασινωποί, μεταμορφωμένοι και σχιστοποιημένοι και χαλαζίτες τεφρόλευκοι, άστρωτοι και συμπαγείς. Μέγιστο ορατό πάχος: 200m περίπου.

*Οφιολιθικό σύμπλεγμα (Os)*: υπερβασικά, συνήθως, σερπεντινωμένα, βασικά πετρώματα και τόφφοι. Κατά θέσεις, είναι έντονα τεκτονισμένα, παραμορφωμένα και ελαφρά εξαλλοιωμένα.



Εικόνα 10 Γεωλογικός χάρτης της περιοχής Παραλία Καλυβίων. (Ι.Γ.Μ.Ε. κλίμακα 1:50.000)

## 2.4 Τεκτονική – Νεοτεκτονική δομή της ευρύτερης περιοχής έρευνας

Η λεκάνη των Μεσογείων αναπτύσσεται νότια της Πεντέλης και καταλαμβάνει μεγάλη έκταση. Η βόρεια πλευρά της λεκάνης διαμορφώνεται από μία ζώνη κανονικών ρηγμάτων, με διεύθυνση Α-Δ έως ΑΒΑ-ΔΝΔ, ενώ στο νότιο περιθώριο της λεκάνης παρατηρούνται ρήγματα με διευθύνσεις ΒΑ-ΝΔ, ΒΔ-ΝΑ και Β-Ν.

Στην ευρύτερη περιοχή της λεκάνης των Μεσογείων επικρατούν τρία συστήματα ρηγμάτων με διευθύνσεις ΒΑ-ΝΔ έως ΑΒΑ-ΔΝΔ, ΒΔ-ΝΑ έως ΔΒΔ-ΑΝΑ και Β-Ν (ΒΒΔ-ΝΝΑ έως ΒΒΑ-ΝΝΑ) (Εικόνα 11).

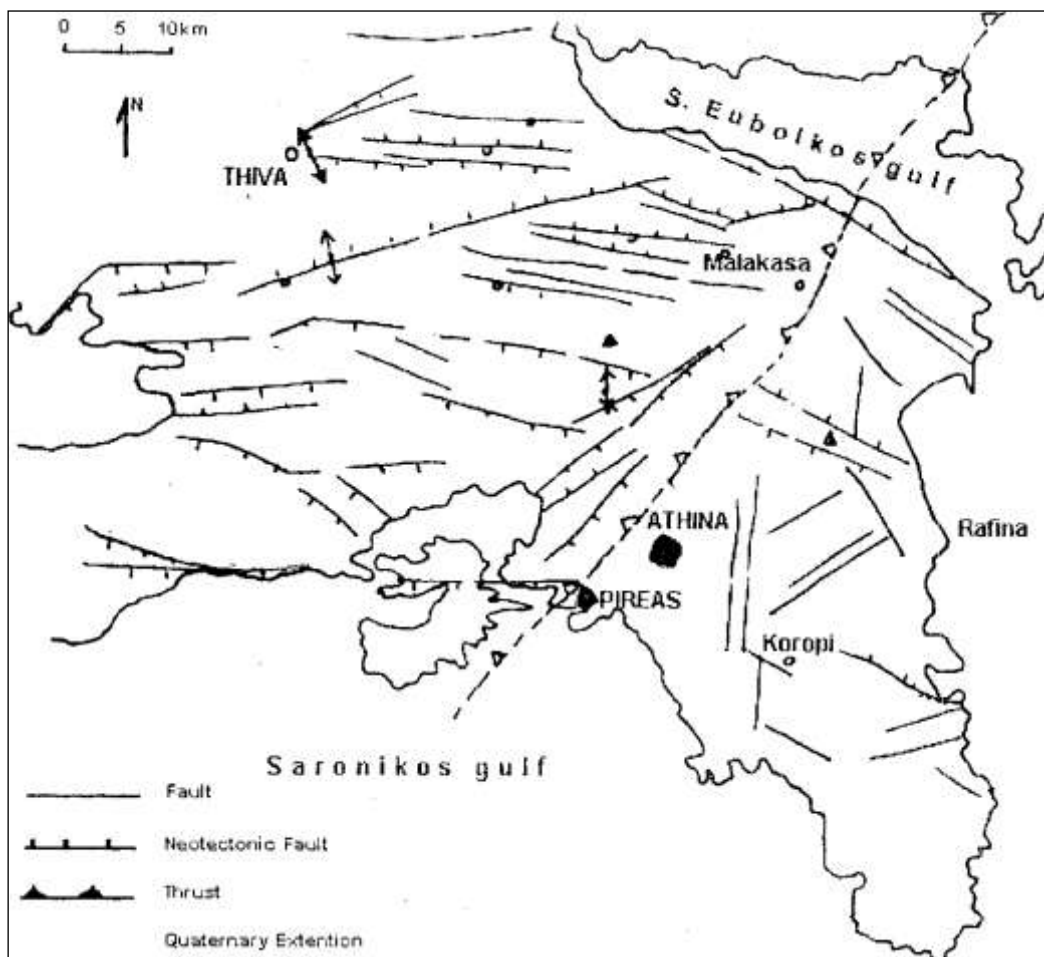
Στο τμήμα αυτό της Αττικής η νεοτεκτονική δραστηριότητα δεν φαίνεται έντονη και είναι σαφώς μικρότερη από αυτή της Βόρειας Αττικής. Άλλωστε από άποψη σεισμικής επικινδυνότητας η περιοχή έχει χαρακτηριστεί με το μικρότερο βαθμό (Ζώνη Ι) στον Νέο Ελληνικό Αντισεισμικό Κανονισμό, ενώ η περιοχή της βόρειας Αττικής ανήκει στη ζώνη ΙΙ.

Η νεότερη παραμόρφωση των γεωλογικών σχηματισμών της περιοχής οφείλεται στη δράση εναλλασσόμενων εφελκυστικών και συμπιεστικών τάσεων.

- Η πρώτη εφελκυστική φάση κατά το Ανώτερο Μειόκαινο-Κατώτερο Πλειόκαινο είχε διεύθυνση επέκτασης ΒΑ-ΝΔ. Οι νεογενείς σχηματισμοί έχουν επηρεαστεί από αρκετά κανονικά ρήγματα, διεύθυνσης κυρίως ΑΒΑ-ΔΝΔ και ΒΒΔ-ΝΝΑ. Μερικά από τα ρήγματα αυτά είναι συνιζηματογενή, σχηματίζοντας χαρακτηριστικές εικόνες, λόγω της εναλλαγής σκληρών ψαμμιτικών πάγκων με λεπτά αργιλλικά στρώματα. Τα σημαντικότερα ρήγματα εμφανίζονται στην επαφή των σχηματισμών του υπόβαθρου με τις νεογενείς αποθέσεις.
- Τον εφελκυσμό του Μειόκαινου - Πλειοκαίνου διέκοψε ένα επεισόδιο συμπίεσης με διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ. Στο συμπιεστικό αυτό γεγονός πρέπει να

οφείλεται η δημιουργία πτυχώσεων μεγάλης ακτίνας καμπυλότητας, ρηγμάτων οριζόντιας μετατόπισης και, σπανιότερα, ανάστροφα ρήγματα.

- Στη συνέχεια, μια νέα εφελκυστική φάση κυριάρχησε στην περιοχή κατά το Πλειόκαινο - Πλειστόκαινο που είχε σαν αποτέλεσμα κυρίως την επανάδραση παλαιότερων δομών. Τέλος, το ενεργό πεδίο των τεκτονικών τάσεων στην περιοχή είναι εφελκυστικό με διεύθυνση περίπου ΒΒΑ-ΝΝΔ, όπως έδειξαν τα τεκτονικά δεδομένα και τα σεισμολογικά στοιχεία του πρόσφατου σεισμού της Αθήνας.



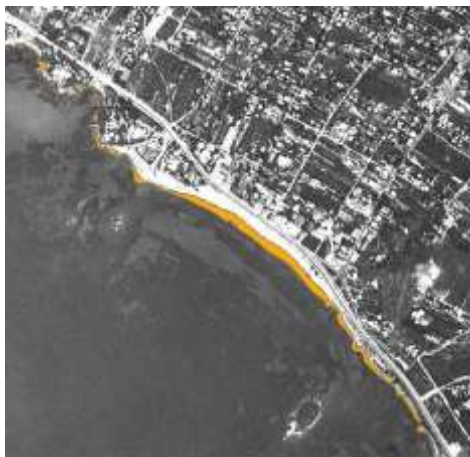
Εικόνα 11 Χάρτης με τα κυριότερα ρήγματα στην ευρύτερη περιοχή της Αττικής (από Rondoyanni et. Al., 2000)

### 3 ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ

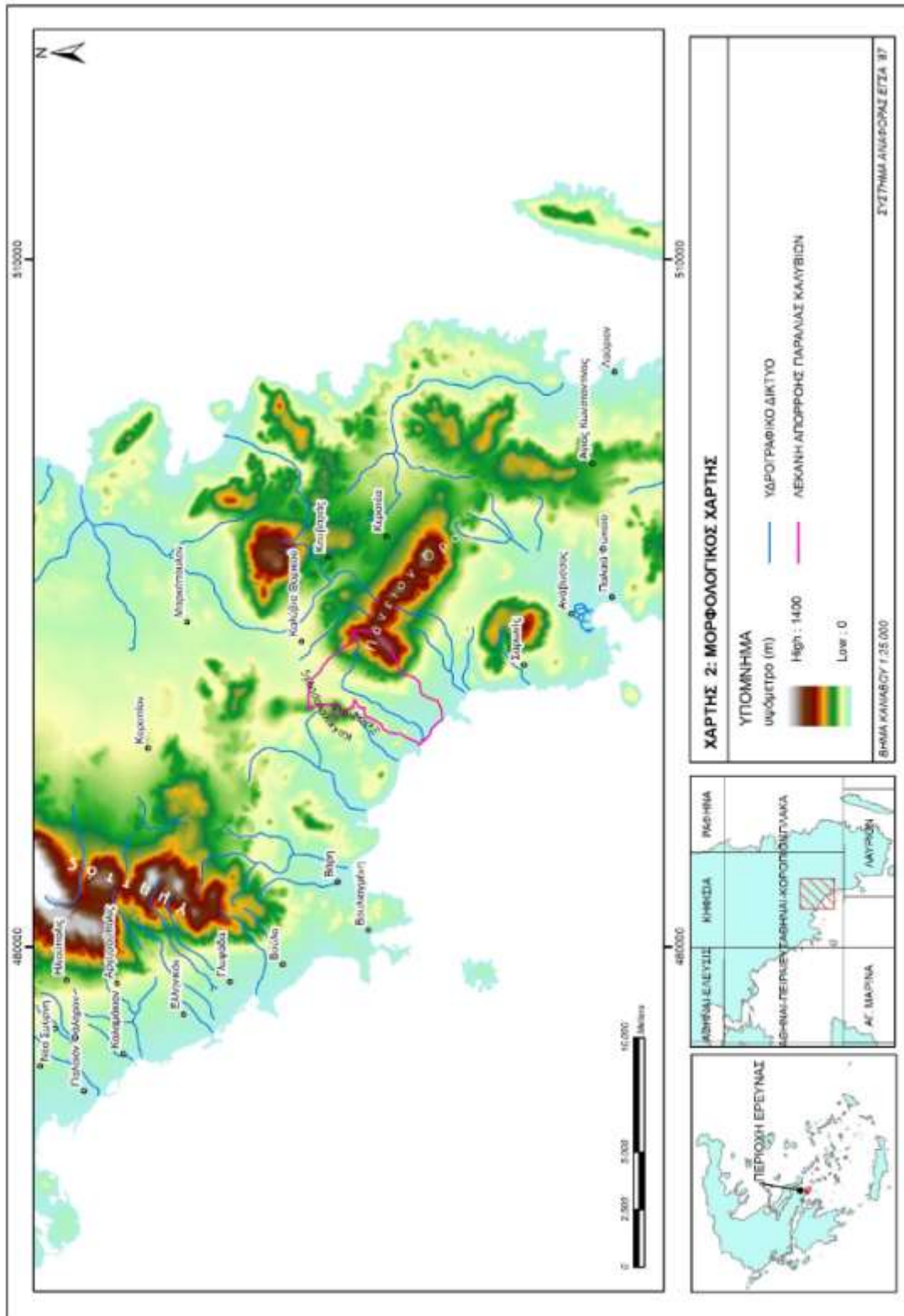
#### 3.1 Μορφολογικά χαρακτηριστικά

Η λεκάνη των Καλυβίων οριοθετείται προς βορά από τον οικισμό των Καλυβίων, δυτικά από τους λόφους Κοκκινοκορυφή και Ξελαφτάκη, ανατολικά από το Πάνειον όρος και νότια εκβάλλει στην παραλία Καλυβίων (εικόνα 13). Το μέγιστο υψόμετρο της λεκάνης είναι περίπου 630 m. Το εμβαδόν της λεκάνης απορροής είναι 15 km<sup>2</sup>, η περιμέτρος 19 km και το μήκος 5,5 km και εμφανίζει ασυμμετρία με μέσο πλάτος του νοτιοανατολικού τμήματος 2 km και του βορειοδυτικού 500 m περίπου.

Το υδρογραφικό δίκτυο είναι δενδριτικού τύπου αραιής υφής, με διεύθυνση ροής ΒΑ-ΝΔ. Η παραλία των Καλυβίων έχει μήκος 1,2 km και πλάτος από 15 μέχρι 50 m με μέσο πλάτος 35 m (από Koutsomichou et al. 2009 όπως αναφέρεται από τον ΝΤΟΥΜΑΣ Ε. στη διπλωματική εργασία: «Παράκτια επικινδυνότητα του Ανατολικού Σαρωνικού κόλπου σε ακραίες θαλάσσιες καταστάσεις", 2010). Ο προσανατολισμός της είναι νοτιοδυτικός και προστατεύεται επαρκώς από Β, ΒΔ, ΔΒΔ, ΒΑ, ΑΒΑ και Α ανέμους. Η παραλία βρίσκεται υπό διάβρωση ειδικά την τελευταία δεκαετία (εικόνα 12).



Εικόνα 12 Παραλία Καλυβίων (με κίτρινο χρώμα οι απώλειες εδάφους λόγω διάβρωσης κατά τη χρονική περίοδο 1998-2005).



Εικόνα 13 Μορφολογικός χάρτης περιοχής Παραλία Καλυβίων με τη γραμμή χρώματος κυανό οριοθετείται η υπό μελέτη λεκάνη απορροής.

## 3.2 Υδρολογία

Η μελέτη της γεωμετρίας της λεκάνης απορροής της περιοχής έρευνας έχει ενδιαφέρον, διότι μέσα σ' αυτή συμβαίνουν συγκεκριμένες γεωμορφολογικές διεργασίες (διάβρωσης και απόθεσης), που επιδρούν πάνω στο μητρικό πέτρωμα και συντελούν στην εξέλιξή της περιοχής.

Η επεξεργασία του υδρογραφικού δικτύου έγινε με τη βοήθεια του λογισμικού πακέτου ArcGIS 9.3.

Αρχικά οριοθετείται ο υδροκρίτης της λεκάνης απορροής, αποτυπώνεται το υδρογραφικό δίκτυο και υπολογίζεται ο "Λόγος διακλάδωσης (Rb)", ο "Λόγος μήκους (RL)" και οι αποκλίσεις των πραγματικών αριθμών και μηκών από τις αντίστοιχες ιδανικές τιμές του υδρογραφικού δικτύου όπως αναφέρονται από HORTON, R. E στο βιβλίο «Erosional development of streams and their drainage basins; Hydrophysical approach to quantitative morphology»,(1945) και από τον STRAHLER, A. στο βιβλίο «Quantitative analysis of watershed geomorphology. American Geophysical Union Transactions.», (1957).

Συμπερασματικά με βάση την επεξεργασία των επιτόπιων παρατηρήσεων σε συνδυασμό με τα γεωμορφολογικά δεδομένα του χάρτη το υδρογραφικό δίκτυο είναι 4<sup>ης</sup> τάξης, αραιής υφής.

### 3.2.1 Ποσοτική ανάλυση υδρογραφικού δικτύου

NOMOI TOY HORTON

Σχέση του αριθμού κλάδων (1<sup>ος</sup> νόμος)

Ο νόμος αυτός αναφέρεται στη σχέση του αριθμού των κλάδων κάθε τάξης ενός υδρογραφικού δικτύου (Πίνακας 1). Κατά Strahler η ιδανική τιμή του συντελεστή διακλάδωσης είναι 2.

Η μαθηματική έκφραση του νόμου είναι:

$$N_u = Rb^{(k-u)} \quad N_u = \text{αριθμός κλάδων τάξης } u.$$

$k$  = μέγιστη τάξη.

$u$  = ζητούμενη τάξη.

$$Rb = N_u / N_{u+1} \quad Rb = \text{συντελεστής διακλάδωσης.}$$

Ο λόγος διακλάδωσης ( $Rb$ ) ποικίλλει στις λεκάνες απορροής ενός υδρογραφικού δικτύου, αλλά ένας μέσος όρος όλων των επιμέρους συντελεστών διακλάδωσης δίνει την γενική μορφή του υδρογραφικού δικτύου.

### Σχέση μήκους κλάδων (2<sup>ος</sup> νόμος)

Ο δεύτερος νόμος αναφέρεται στο μέσο μήκος κλάδων κάθε τάξης σε ένα υδρογραφικό δίκτυο.

Η μαθηματική έκφραση του νόμου είναι:

$$\alpha) \quad \bar{L}_u = \bar{L}_1 \cdot \bar{RL}^{u-1} \quad \bar{L}_u = \text{μέσο μήκος κλάδων τάξης } u.$$

$\bar{L}_1$  = μέσο μήκος κλάδων πρώτης τάξης.

$\bar{RL}$  = μέσος λόγος μήκους.

$$\beta) \quad \bar{RL} = \frac{\bar{L}_u}{\bar{L}_{u-1}} \quad u = \text{η ζητούμενη τάξη.}$$



Για τον καθορισμό της σχέσης μέσου μήκους κλάδων, υπολογίστηκαν τα μήκη των κλάδων κάθε τάξης και συσχετίστηκαν με τις ιδανικές τιμές και παρουσιάζονται στον πίνακα 1.

Πίνακας 1 Αριθμός και μήκος κλάδων κατά τάξη.

Τάξη u	Αριθμός κλάδων κατά τάξη u Nu	Καθαρό μήκος κλάδων κατά τάξη u (Km) Lu
1	35	15,1
2	13	9,7
3	2	2,5
4	1	3,8

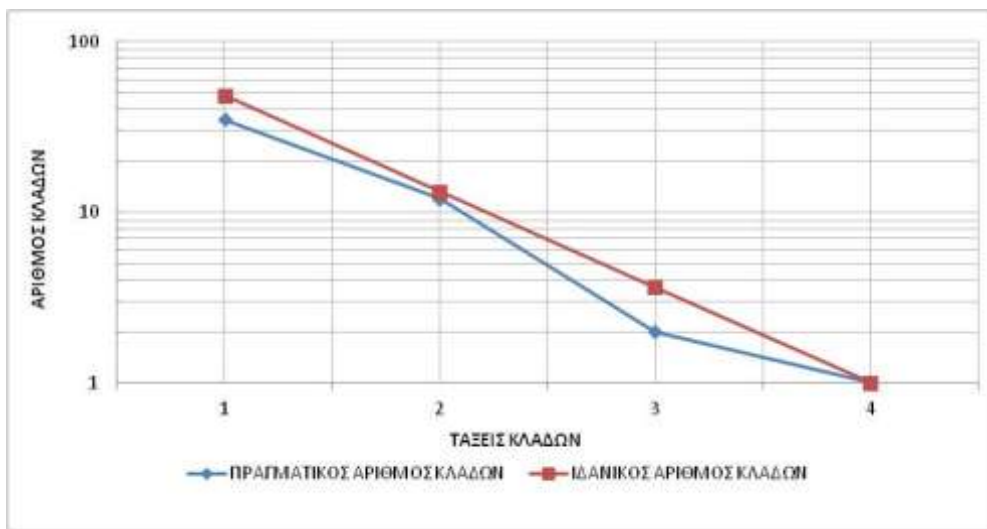
Πίνακας 2 Λόγος διακλάδωσης Rb και λόγος μήκους RL κατά τάξη.

Τάξη u	Λόγος διακλάδωσης Rb	Λόγος μήκους RL
2	2,92	1,72
3	6,00	1,64
4	2,00	3,10

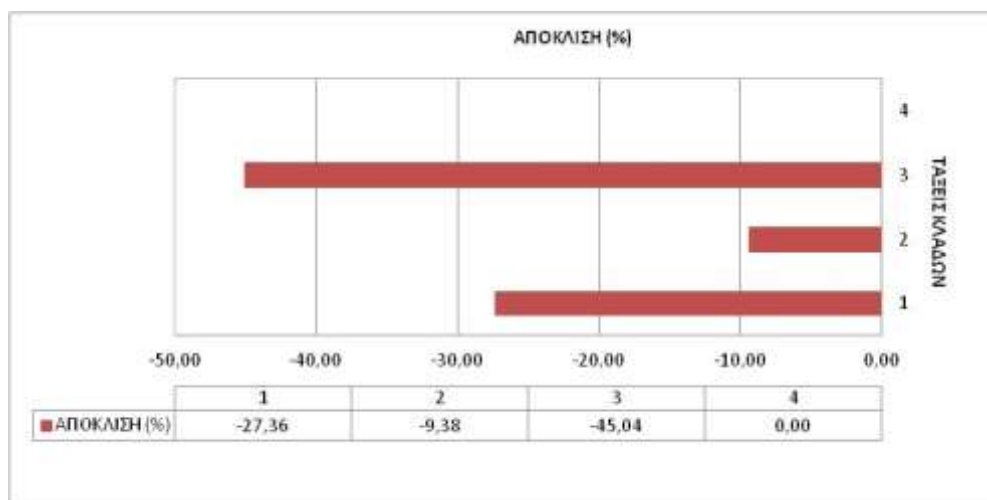
Η τιμή του μέσου λόγου διακλάδωσης του υδρογραφικού δικτύου  $Rb=3,64$  είναι σχεδόν διπλάσιος από αυτήν της ιδανικής τιμής  $Rb = 2,00$  (Strahler 1952) και σχεδόν ίση με αυτή της «θεωρητικής» τιμής του λόγου διακλάδωσης ( $Rb=4$ ) (Shreve, 1966, Leopold & Langbein 1962). Ο δε μέσος λόγος μήκους έχει την τιμή  $RL=2,15$ . Οι δύο αυτοί λόγοι διακλάδωσης και μήκους δείχνουν ότι το υδρογραφικό δίκτυο βρίσκεται σε πρώιμο στάδιο ωριμότητας και πρόκειται για ένα δυναμικά ισορροπημένο υδρογραφικό δίκτυο. Η υψηλή τιμή του λόγου διακλάδωσης τρίτης τάξης ( $Rb=6$ ) καθώς και ο λόγος μήκους ( $RL=1,64$ ) δείχνει ότι οι κλάδοι της 3<sup>ης</sup> τάξης δεν έχουν αναπτυχθεί επαρκώς τόσο σε αριθμό όσο και σε μήκος.

Πίνακας 3 Απόκλιση των πραγματικών αριθμών και μηκών κλάδων από τις ιδανικές (%).

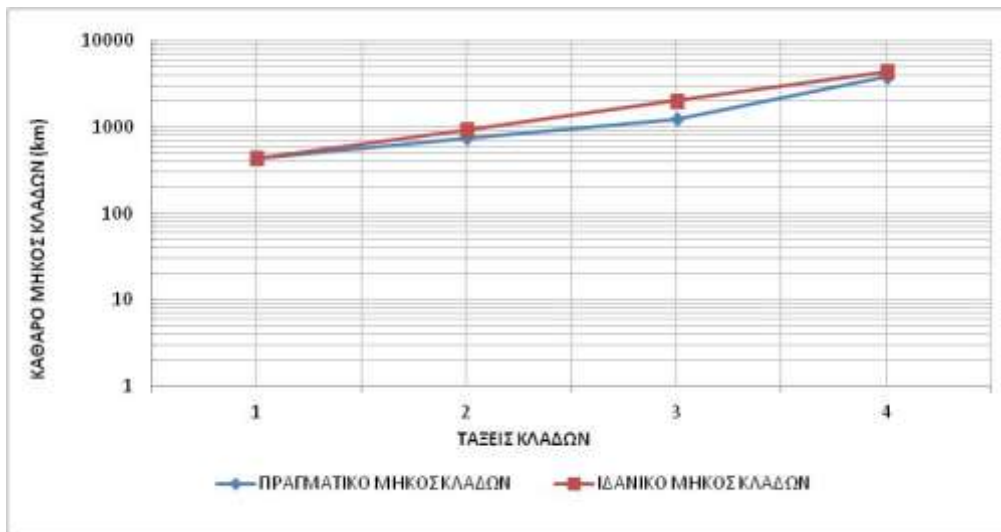
Απόκλιση πραγματικού αριθμού κλάδων από την ιδανική τιμή (%)	Απόκλιση πραγματικού μήκους κλάδων από την ιδανική τιμή(%)
-27,36	0,00
-9,38	-20,13
-45,04	-39,03
0,00	-12,33



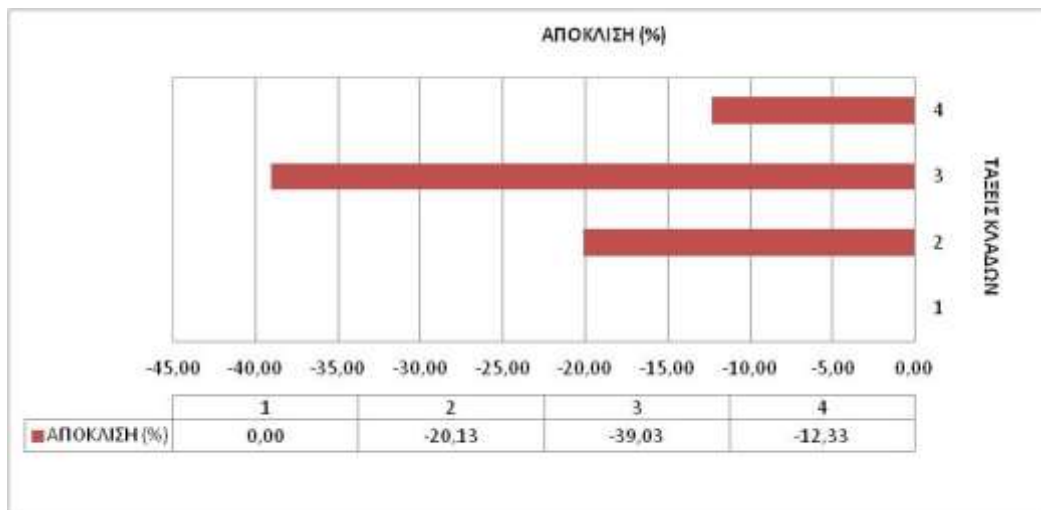
Εικόνα 14 Ημιλογαριθμικό διάγραμμα πραγματικού και ιδανικού αριθμού κλάδων



Εικόνα 15 Ιστόγραμμα αποκλίσεων του πραγματικού αριθμού από το ιδανικό



Εικόνα 16 Ημilogαριθμικό διάγραμμα πραγματικού και ιδανικού μήκους κλάδων



Εικόνα 17 Ιστόγραμμα αποκλίσεων του πραγματικού μήκους από το ιδανικό

### Αποκλίσεις αριθμού και μήκους κλάδων

Μια άλλη σημαντική παράμετρος στην ανάλυση των υδρογραφικών δικτύων είναι και ο υπολογισμός των αποκλίσεων του πραγματικού αριθμού κλάδων όλων των υδρογραφικών δικτύων της περιοχής έρευνας από τον ιδανικό αριθμό, δηλαδή τον

αριθμό κλάδων που θα είχαν αν το υδρογραφικό δίκτυο βρισκόταν σε ιδανική μορφή.

Στην περιοχή έρευνας το υδρογραφικό δίκτυο δείχνει έλλειψη κλάδων σε σχέση με τον ιδανικό αριθμό (Εικόνα 14). Οι αρνητικές αυτές τιμές των αποκλίσεων του αριθμού κλάδων, καθώς και του μήκους, δείχνουν ότι το υδρογραφικό δίκτυο δεν έχει προλάβει να αποκτήσει το συνολικό εκείνο πλήθος κλάδων σε κάθε τάξη που θα του επέτρεπε την ομαλή αποστράγγιση των λεκανών και οφείλεται στην αναγέννηση του υδρογραφικού δικτύου σε συνδυασμό με το λιθολογικό του υπόβαθρο, λόγω έντονων νεοτεκτονικών κινήσεων (ανύψωση περιοχής), καθώς και στην παρουσία ανθρακικού υποβάθρου όπου η κατείσδυση ευνοείται σε βάρος της επιφανειακής απορροής.

## 4 ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΑ – ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Τα κλιματικά στοιχεία μιας περιοχής αποτελούν ουσιαστικούς παράγοντες διαμόρφωσης του υδρολογικού κύκλου και κατά συνέπεια του υδρολογικού ισοζυγίου της όπως αναφέρεται από τον ΚΟΥΜΑΝΤΑΚΗ Ι. στο βιβλίο Κεφάλαια Υδρογεωλογίας (σημειώσεις μαθήματος) του Τμήματος Μηχανικών Μεταλλείων-Μεταλλουργών. Το υδρολογικό ισοζύγιο των επιφανειακών υδάτων μιας λεκάνης απορροής εκφράζεται από την σχέση

$$P = R + E + I$$

όπου :

P : τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα που δέχεται η λεκάνη σε mm

R : η επιφανειακή απορροή σε mm

E : η εξατμισοδιαπνοή σε mm

I : η κατείσδυση σε mm

Η γνώση δε των παραμέτρων του υδρολογικού ισοζυγίου συμβάλλει στη βελτιστοποίηση της διαχείρισης των υδατικών πόρων της περιοχής.

Οι βασικότεροι παράγοντες που συντελούν στη διαμόρφωση του κλίματος είναι το ανάγλυφο, η απόσταση από τη θάλασσα, το υψόμετρο και τα ατμοσφαιρικά συστήματα. Το κλίμα παίζει σημαντικό ρόλο στην εξέλιξη των εδαφών, καθώς και τη χλωρίδα μιας περιοχής.

Στην περιοχή της Αττικής το κλίμα είναι εύκρατο, μεσογειακό και γενικά ήπιο το μεγαλύτερο μέρος του χρόνου. Παρόλο όμως που είναι μεσογειακό, έχει αρκετά μεγάλη διαφορά στα εύρη της θερμοκρασίας μεταξύ καλοκαιριού και χειμώνα σε

σχέση με άλλες περιοχές της χώρας. Έχει μέση ετήσια θερμοκρασία 18,3 βαθμούς Κελσίου. Γενικά οι ηλιόλουστες ημέρες αποτελούν πολύ συνηθισμένο φαινόμενο ακόμα και τον χειμώνα κατά τις αλκυονίδες ημέρες. Δεν είναι λίγες οι φορές που η θερμοκρασία υπερβαίνει τους 40 °C (καύσωνας). Η Αττική φημίζεται για τα ιδιαίτερα θερμά καλοκαιριά της και μάλιστα η υψηλότερη θερμοκρασία που έχει ποτέ καταγραφεί στην Αθήνα αλλά και στην Ευρώπη είναι αυτή των 48,0 βαθμών Κελσίου στις 10 Ιουλίου του 1977. Οι χιονοπτώσεις το χειμώνα δεν είναι σπάνιες, συνήθως όμως τα χιόνια λιώνουν μετά από μερικές ώρες. Βροχές σημειώνονται κυρίως από τον Οκτώβριο έως και τον Απρίλιο αλλά συνολικά ολόκληρο τον χρόνο τα ύψη βροχής είναι πολύ χαμηλά και δεν ξεπερνούν τα 400-450mm. Περισσότερες βροχές σημειώνονται στα ανατολικά και στα βόρεια διαμερίσματα του νομού.

Το κλίμα αυτό της Αττικής είναι αποτέλεσμα της γεωγραφικής της θέσης, η οποία αποτελεί το κατά τη ψυχρή εποχή του Ασιατικού αντικυκλώνα που καλύπτει τα Βαλκάνια, με ανέμους βόρειων διευθύνσεων, ηπειρωτικούς, ψυχρούς και ξηρούς οι οποίοι κάνουν το χειμώνα ξηρό και δριμύ και το κλίμα χερσαίο. Ανάλογα, κατά τη θερμή περίοδο πνέουν ετήσιοι άνεμοι και η θερμοκρασία της ξηράς είναι αυξημένη σε σχέση με τη θερμοκρασία της θάλασσας, με αποτέλεσμα το κλίμα να είναι χερσαίο, ξηρό και θερμό.

#### **4.1 Στοιχεία μετεωρολογικών σταθμών περιοχής**

Σχετικά με την περιοχή μελέτης, τη λεκάνη των Καλυβίων, δεν υπάρχουν εγκατεστημένοι μετεωρολογικοί σταθμοί, οπότε ελήφθησαν δεδομένα από τους πλησιέστερους στην περιοχή μετεωρολογικούς σταθμούς που είναι ενεργοί.

Αυτοί οι σταθμοί είναι οι ακόλουθοι και στον πίνακα 4 παρουσιάζονται η ακριβής τους θέση και χαρακτηριστικά:

- **Μαρκόπουλο:** ο σταθμός ανήκει στο Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε.. λειτουργεί από το 1962 έως σήμερα και περιλαμβάνει. βροχόμετρο (Βμ), όργανα μέτρησης της θερμοκρασίας του αέρα (Θα) και της υγρασίας (Υα).
  
- **Σπάτα:** ο σταθμός ανήκει στην ΕΜΥ, λειτουργεί από το 1970 έως σήμερα και περιλαμβάνει, βροχόμετρο (Βμ), βροχογράφο (Βγ), καθώς και όργανο μέτρησης της θερμοκρασίας του αέρα (Θα).

Πίνακας 4 Συντεταγμένες (σε μοίρες και σε σύστημα Ε.Γ.Σ.Α.) και χαρακτηριστικά των υδρομετεωρολ. σταθμών

Σταθμός	Συντεταγμένες		Υψόμετρο (m)	Φορέας	Περίοδος Λειτουργίας
	Μήκος	Πλάτος			
<b>Μαρκόπουλο</b>	23°56' (493958)	37°53' (4192460)	85	ΥΠΕΧΩΔΕ	1962-σήμερα
<b>Σπάτα</b>	23°55' (493956)	37°58' (4199846)	130	ΕΜΥ	1970-σήμερα

## 4.2 Ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα

Τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα δημιουργούνται από την συμπύκνωση των υδρατμών της ατμόσφαιρας, που προϋποθέτει μια θερμοκρασία του αέρα μικρότερη από τη θερμοκρασία κορεσμού (σημείο δρόσου). Η θερμοκρασία αυτή μπορεί να πραγματοποιηθεί α) είτε με απευθείας ακτινοβολία προς τα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας β) είτε με την επαφή ή ανάμιξη με ψυχρές μάζες αέρα και γ) είτε με αδιαβατική εκτόνωση κατά την μετακίνηση υγρού-θερμού αέρα προς ζώνες με χαμηλότερη βαρομετρική πίεση. Κάτω από αυτές τις συνθήκες, οι υδρατμοί κατακρημνίζονται σαν βροχή, χιόνι, χαλάζι, ή δροσιά.

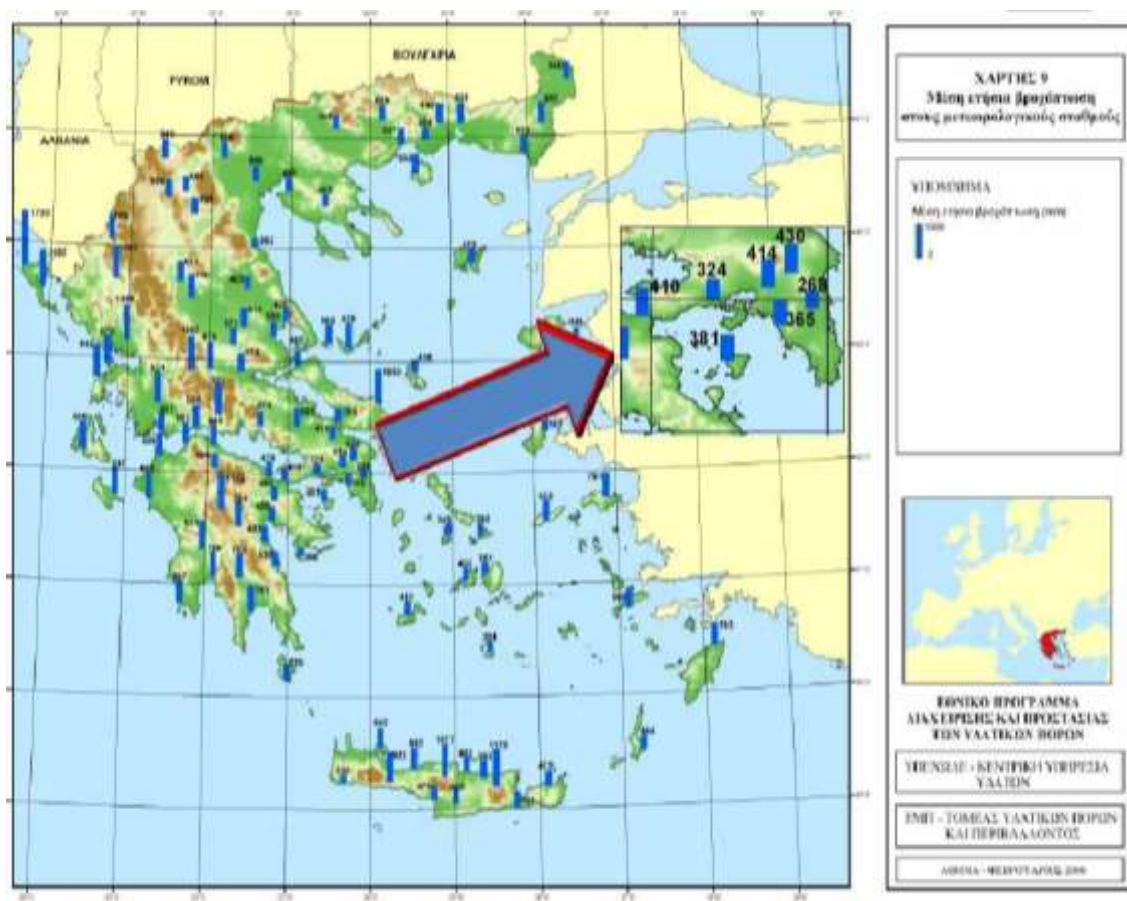
Οι σπουδαιότεροι παράγοντες που επηρεάζουν τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα είναι οι εξής (Καλλέργης Γ.,1973):

- Ο χρόνος: Τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα αλλάζουν για την ίδια περιοχή με τον χρόνο.
- Το γεωγραφικό πλάτος και η απόσταση της περιοχής από τη θάλασσα. Κατά κανόνα το μέσο ετήσιο ύψος βροχής, μειώνεται αυξανόμενου του γεωγραφικού πλάτους ή της απόστασης από τη θάλασσα. Η λεκάνη που μελετάται βρίσκεται σε κοντινή απόσταση από τη θάλασσα.
- Το υψόμετρο και η μορφολογία της περιοχής. Το μέσο ετήσιο ύψος βροχής αυξάνει αυξανόμενου του υψομέτρου και του ανάγλυφου. Το ανάγλυφο της συγκεκριμένης λεκάνης είναι σχετικά ομαλό και το υψόμετρο δεν ξεπερνάει τα 635m.
- Ο προσανατολισμός της περιοχής σε σχέση με τη θάλασσα ή την διεύθυνση των επικρατούντων ανέμων.
- Η μέση θερμοκρασία της περιοχής.



- Η υγρασία της περιοχής.
- Η ύπαρξη στην ατμόσφαιρα υγροσκοπικών πυρήνων συμπυκνώσεως (σκόνη, γύρη, ηφαιστειακή στάχτη κ.α. ).

Στον ακόλουθο χάρτη του ΥΠΕΧΩΔΕ απεικονίζονται τα μέσα ετήσια χιλιοστά βροχόπτωσης που εντοπίζονται στους μετεωρολογικούς σταθμούς του λεκανοπεδίου Αττικής.



Εικόνα 18 Χάρτης με τη μέση ετήσια βροχόπτωση σε μετεωρολογικούς σταθμούς της Αττικής

(Πηγή Κουτσογιάννης Γ., 2007 από ιστότοπο του Εθνικού προγράμματος Διαχείρισης και Προστασίας Υδατικών Πόρων)

Για τη μελέτη των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων της περιοχής, χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα των μηνιαίων χλιοστών βροχής από τους προαναφερθέντες μετεωρολογικούς σταθμούς του Μαρκόπουλου και των Σπάτων.

Στους παρακάτω πίνακες 5. και 6. παρατίθενται οι μηνιαίες και ετήσιες τιμές της βροχόπτωσης για τους σταθμούς Μαρκόπουλο και Σπάτα, από το 1971 έως το 2009 και από το 1982 έως το 2004 αντίστοιχα.

### ➤ **Μαρκόπουλο**

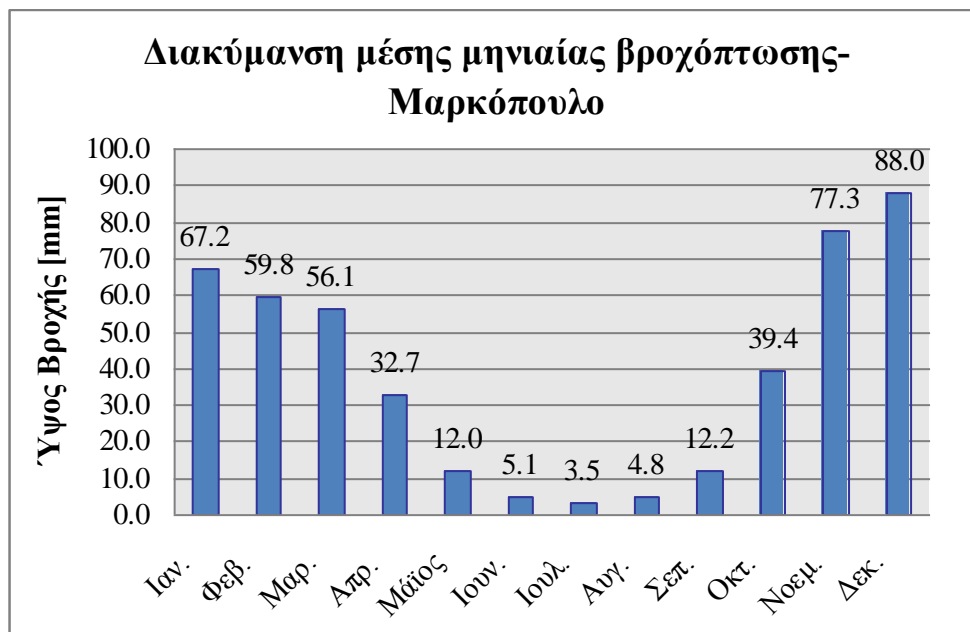
Πίνακας 5 Μηνιαίες και ετήσιες τιμές βροχόπτωσης (mm) στο μετεωρολογικό σταθμό του Μαρκόπουλου (Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε.)

Μηνιαίες και Ετήσιες Τιμές Βροχόπτωσης - Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε.													
Όνομα Σταθμού								Περίοδος					
Μαρκόπουλο								1/1/1971 έως 31/12/2009					
	Ιαν.	Φεβ.	Μαρ.	Απρ.	Μάιος	Ιουν.	Ιουλ.	Αυγ.	Σεπ.	Οκτ.	Νοεμ.	Δεκ.	Ετήσια
<b>1971</b>	100.1	94.6	55.3	20.1	0.7	20.3	10.4	0.2	8.1	5.5	34.3	103.4	<b>453.0</b>
<b>1972</b>	159.9	72.6	13.8	85.1	19.8	0.0	14.3	14.5	1.3	134.3	7.6	16.1	<b>539.3</b>
<b>1973</b>	127.7	97.8	70.4	7.6	3.5	0.1	1.9	8.4	17.4	47.3	52.8	34.9	<b>469.8</b>
<b>1974</b>	26.8	164.4	76.8	6.2	23.2	3.0	0.0	2.0	2.5	9.9	52.8	34.9	<b>402.5</b>
<b>1975</b>	32.3	49.4	37.3	10.8	42.5	25.9	0.0	21.3	0.0	18.4	43.9	186.3	<b>468.1</b>
<b>1976</b>	44.7	130.2	42.1	29.1	13.6	3.3	0.0	14.6	31.4	156.8	57.0	57.8	<b>580.6</b>
<b>1977</b>	14.8	41.4	12.5	26.6	0.0	10.8	0.0	0.0	16.2	13.0	75.1	212.2	<b>422.6</b>
<b>1978</b>	56.6	84.5	50.3	55.9	9.1	2.2	0.0	0.0	71.5	146.7	84.3	72.0	<b>633.1</b>
<b>1979</b>	18.1	54.4	7.5	2.3	8.4	17.1	1.5	0.0	4.5	97.5	200.2	20.8	<b>415.2</b>
<b>1980</b>	67.6	24.6	80.0	31.9	25.4	27.5	0.0	0.0	6.4	116.4	64.7	107.7	<b>552.2</b>
<b>1981</b>	178.6	45.2	15.4	28.5	2.2	0.0	0.7	0.0	0.0	28.3	78.3	104.5	<b>481.7</b>
<b>1982</b>	34.1	115.8	112.2	83.3	39.1	0.3	0.5	0.0	0.0	16.8	70.9	71.9	<b>544.9</b>

Μηνιαίες και Ετήσιες Τιμές Βροχόπτωσης - Υ.Π.Ε.ΧΩ.ΔΕ.													
Όνομα Σταθμού								Περίοδος					
Μαρκόπουλο								1/1/1971 έως 31/12/2009					
	Ιαν.	Φεβ.	Μαρ.	Απρ.	Μάιος	Ιουν.	Ιουλ.	Αυγ.	Σεπ.	Οκτ.	Νοεμ.	Δεκ.	Ετήσια
1983	9.8	113.5	69.9	0.5	2.2	0.9	5.2	15.2	0.7	0.4	63.6	112.9	394.8
1984	48.1	51.6	95.1	131.9	0.0	0.0	0.5	3.3	0.0	0.0	38.2		368.7
1985	141.6	38.5	102.6	29.6	3.2	0.0	17.6	0.0	0.0	30.2	57.9	63.2	484.4
1986	67.3	39.6	23.0	3.2	12.6	8.4	0.0	0.0	0.0	19.5	21.3	24.1	219.0
1987	46.8	33.0	51.7	93.6	0.5	17.5	0.0	0.0	0.0	35.1	64.6	65.0	407.8
1988	15.6	111.8	118.2	8.4	3.0	12.5	0.0	0.0	2.5	3.1	86.8	141.6	503.5
1989	5.3	4.8	43.9	1.2	3.4	0.5	0.0	0.0	5.5	14.3	14.6	32.9	126.4
1990	18.0	30.6	0.0	18.2	0.5	0.0	0.0	0.2	0.0	11.7	34.0	16.8	130.0
1991	43.1	113.8	83.7	80.3	31.5	0.0	0.6	0.0	0.0	38.8	35.7	196.1	623.6
1992	11.3	47.7	61.2	14.4	29.8	0.0	0.0	0.0	0.0	5.6	31.6	67.4	269.0
1993	24.6	104.5	13.5	41.7	26.5	5.5	0.0	0.0	0.0	0.0	217.5	19.0	452.8
1994	100.2	45.1	33.0	16.5	22.9	35.8	10.2	0.0	0.0	90.4	41.6	150.7	546.4
1995	129.9	6.1	51.9	28.6	3.5	0.0	0.5	12.0	3.7	15.1	45.6	77.6	374.5
1996	142.0	97.9	21.2	19.2	3.2	0.0	0.0	0.0	52.2	34.1	35.4	103.0	508.2
1997	153.8	16.1	33.0	31.8	2.4	3.3	0.0	18.0	0.0	48.8	101.6	157.3	566.1
1998	25.7	20.9	231.7	16.2	13.1	2.2	0.0	0.0	6.4	42.7	216.8	36.5	612.2
1999	35.1	11.0	116.2		2.2	0.0	32.5	0.0	57.3	18.2	32.4	42.0	346.9
2000	7.4	16.8	9.7	30.5	4.0	6.2	0.0	0.0	0.0	14.1	114.0	68.2	270.9
2001	23.1	34.7	23.1	34.8	0.0	0.2	17.2	0.1	0.6	0.0	169.5	143.7	447.0
2002	53.1	13.8	70.5	58.2	2.2	0.0	1.0	53.1	80.0	13.1	131.6	208.4	685.0
2003	111.1	150.6	77.6	15.2	12.2	0.0	0.0	0.0	0.0	43.8	77.0	111.1	598.6
2004	227.0	0.0	5.6	17.7	25.8	0.4	1.2			35.8	51.7	115.2	480.4
2005	137.8	108.8	16.4	0.5	1.0	0.9	14.2	16.2	39.2	1.2	240.6	21.8	598.6
2006													0.0
2007	0.0	31.4	80.2	0.0	60.7	0.0	0.0	0.0	0.0	81.5	80.4	35.7	369.9
2008	20.7	9.6	63.0	81.0	3.2	0.0	0.0	0.0	10.2	8.2	82.6	116.7	395.2
2009	93.6	43.4	64.0	47.7	0.0	0.0	1.5	0.0	32.5	101.8	30.3	106.8	521.6
Μέση Τιμή	67.2	59.8	56.1	32.7	12.0	5.1	3.5	4.8	12.2	39.4	77.3	88.0	458.1
Μέγιστη Τιμή	227.0	164.4	231.7	131.9	60.7	35.8	32.5	53.1	80.0	156.8	240.6	212.2	
Ελάχιστη Τιμή	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.6	16.1	

Από τον πίνακα 5 και το διάγραμμα της εικόνας 19, για το σταθμό του Μαρκόπουλου παρατηρούμε ότι το μέσο ετήσιο ύψος βροχής ανέρχεται στα 458,10 χιλιοστά βροχής. Πιο βροχερός μήνας είναι ο Δεκέμβριος με μέσο ύψος

βροχής στα 88,0 χιλιοστά, ενώ οι ελάχιστες βροχοπτώσεις σημειώνονται κατά το μήνα Ιούλιο με μέση βροχόπτωση στα 3,5 χιλιοστά.



Εικόνα 19 Διάγραμμα διακύμανσης μέσης μηνιαίας βροχόπτωσης στο μ. σταθμό Μαρόπουλου

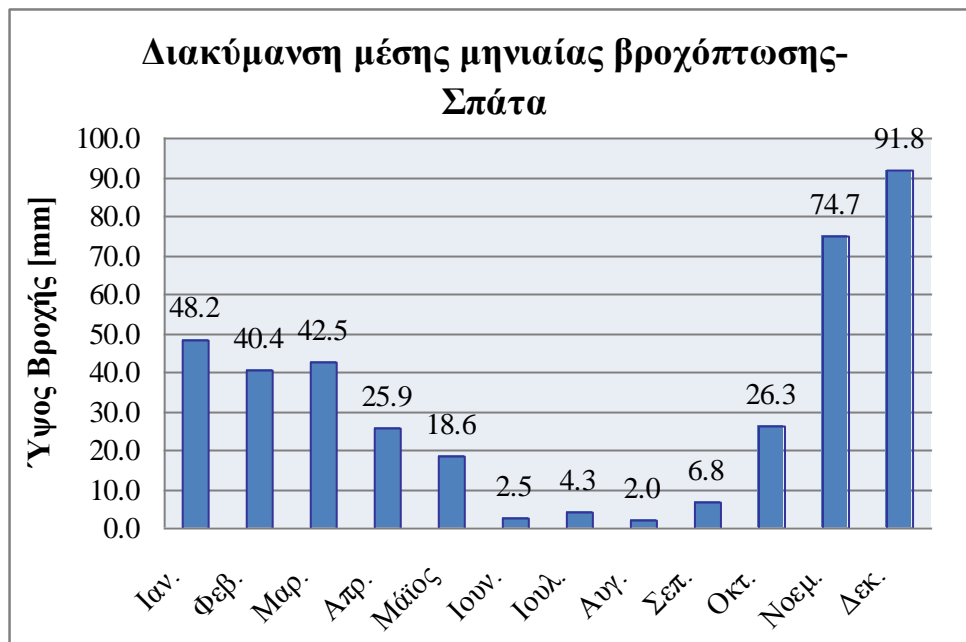
➤ **Σπάτα**

Πίνακας 6 Μηνιαίες και ετήσιες τιμές βροχόπτωσης (mm) του μετεωρολογικού σταθμού των Σπάτων (Ε.Μ.Υ.)

Μηνιαίες και Ετήσιες Τιμές Βροχόπτωσης - Ε.Μ.Υ.													
Όνομα Σταθμού							Περίοδος						
Σπάτα							1/1/1982 έως 31/12/2004						
	Ιαν.	Φεβ.	Μαρ	Απρ.	Μάιο ς	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ.	Νοεμ.	Δεκ.	Ετήσι α
1982	8.9	26.6	11.4	4.4	26.4	0.00	0.0	0.00	0.00	15.0 0	127.6	32.3	252.6
1983	3.00									0.00	34.5		
1984	19.9	29.1	44.6	43.2	0.00	0.00	4.5	5.6	0.00				
1985													
1986													

Μηνιαίες και Ετήσιες Τιμές Βροχόπτωσης - Ε.Μ.Υ.													
Όνομα Σταθμού								Περίοδος					
Σπάτα								1/1/1982 έως 31/12/2004					
	Ιαν.	Φεβ.	Μαρ.	Απρ.	Μάιος	Ιουν.	Ιουλ.	Αυγ.	Σεπ.	Οκτ.	Νοεμ.	Δεκ.	Ετήσια
1987						10.6							
1988								0.00	4.00	4.1	79.1	106.1	
1989	6.9	3.9	42.9	0.8	5.1	6.8	0.0	0.1	4.9	120.4	12.6	28.3	232.7
1990	4.2	28.7	0.00	17.00	0.2	0.3	0.0	7.8	1.00	26.6	38.2	99.2	223.2
1991	36.5	86.7	83.1	78.00	50.3	0.00	6.8	0.4	0.2	33.5	32.00	139.5	547.0
1992	31.4	47.1	47.2	14.9	26.3	6.00	0.0	0.00	0.00	9.8	33.3	64.7	280.7
1993	17.7	79.7	7.3	28.7	27.00	1.5	0.0	0.00	0.00	0.00	183.5	30.7	376.1
1994	125.9	43.7	39.9	16.8	36.00	11.5	13.9				44.9		
1995									2.00				
1996			25.8	11.1	3.5	0.00	0.0			20.7	35.00		
1997		10.4						9.3			68.5		
1998											152.1	38.7	
1999	29.5	12.4	110.6	17.5	17.8	0.00	19.6	0.00					
2000													
2001				39.6	1.4	0.00	9.4	2.00	0.00	0.00	179.00	108.6	
2002	51.2	15.00	70.4	23.6	16.4	0.00	2.4		69.2	50.00	90.4	231.8	620.4
2003	114.6	125.2	55.6	46.6	37.4	0.00	0.0	0.4	6.4	31.00	43.4	105.00	565.6
2004	177.4	16.6	13.8	20.00	12.4	0.2	3.0	0.00	0.6	30.8	41.4	117.00	433.2
Μέση Τιμή	48.2	40.4	42.5	25.9	18.6	2.5	4.3	2.0	6.8	26.3	74.7	91.8	383.9
Μέγιστη Τιμή	177.4	125.2	110.6	78.00	50.3	11.5	19.6	9.3	69.2	120.4	183.5	231.80	
Ελάχιστη Τιμή	3.00	3.9	0.00	0.8	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00	12.6	28.3	

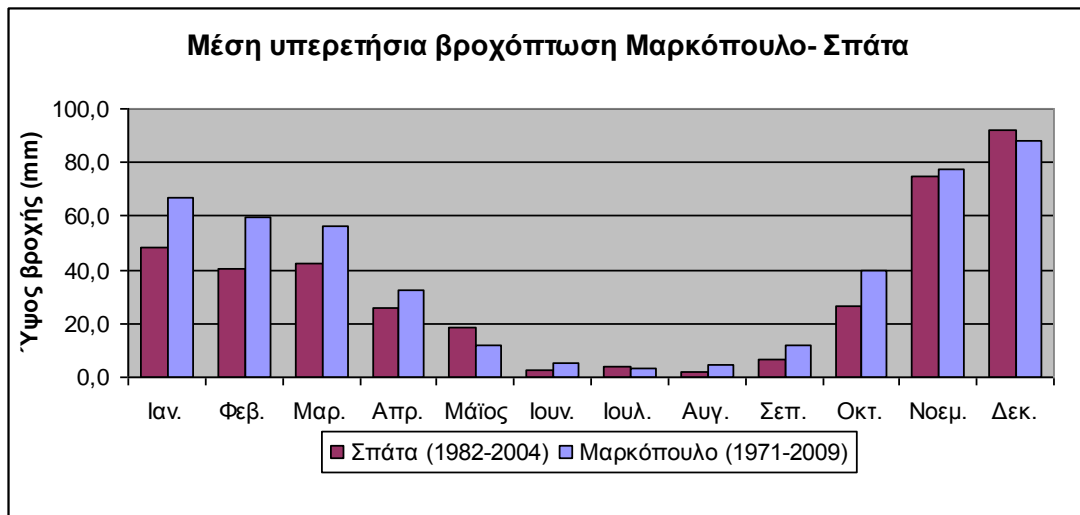
Από τον πίνακα 6 και το διάγραμμα της εικόνας 20, για το σταθμό των Σπάτων παρατηρούμε ότι το μέσο ετήσιο ύψος βροχής ανέρχεται στα 383,9 mm βροχής. Πιο βροχερός μήνας είναι ο Δεκέμβριος με μέση βροχόπτωση 91,8 mm, ενώ οι ελάχιστες βροχοπτώσεις σημειώνονται κατά το μήνα Αύγουστο με 2,0 mm βροχής κατά μέσο όρο.



Εικόνα 20 Διάγραμμα διακύμανσης μέσης μηνιαίας βροχόπτωσης Σπατών

Στο διάγραμμα της εικόνας 21 παρατηρούμε τη μέση υπερετήσια βροχόπτωση όλων των μηνών και για τους δύο σταθμούς Σπάτα, Μαρκόπουλο για τις περιόδους 1982 έως 2004 και 1971 έως 2009 αντίστοιχα όπου ελήφθησαν τα δεδομένα.

Όπως είναι εμφανές και από το διάγραμμα της εικόνας 21 το μεγαλύτερο μηνιαίο ύψος βροχής παρατηρείται κατά το Δεκέμβριο και για τους δύο σταθμούς με τιμές από περίπου 88mm για το Μαρκόπουλο έως περίπου 90 mm βροχής για τα Σπάτα. Την περίοδο από Μάιο έως και Σεπτέμβριο τα μέσα μηνιαία ύψη βροχής είναι χαμηλότερα των 20mm και δεν συμβάλλουν στην τροφοδοσία των υπόγειων νερών. Τέλος παρατηρούμε ότι συγκριτικά με τους δύο σταθμούς, το μεγαλύτερο μηνιαίο ύψος βροχής δέχεται το Μαρκόπουλο.

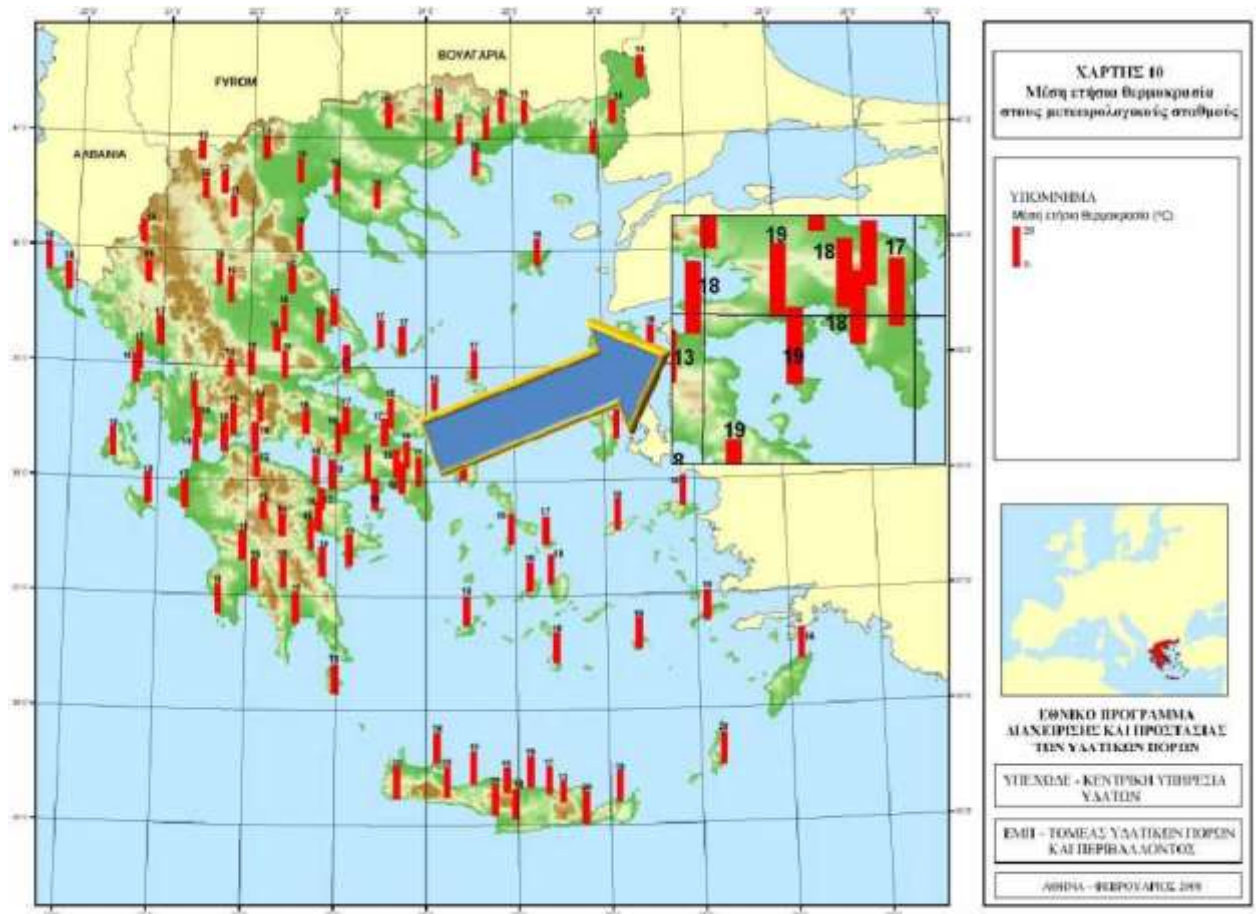


Εικόνα 21 Διάγραμμα διακύμανσης μέσης υπερετήσιας βροχόπτωσης στους σταθμούς Σπάτα (1982-2004), Μαρκόπουλο (1971-2009)

#### 4.3 Θερμοκρασία

Για τη μελέτη της θερμοκρασίας της περιοχής, χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα των μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών από τους προαναφερθέντες μετεωρολογικούς σταθμούς των Σπάτων και του Μαρκόπουλου για τις περιόδους 1982 έως 2004 και 1971 έως 2009 αντίστοιχα.

Στον παρακάτω χάρτη του ΥΠΕΧΩΔΕ (εικόνα 22) απεικονίζονται οι μέσες ετήσιες θερμοκρασίες που εντοπίζονται στο λεκανοπέδιο Αττικής.



Εικόνα 22 Χάρτης με τη μέση ετήσια θερμοκρασία σε μετεωρολογικούς σταθμούς της Αττικής (Πηγή Κουτσογιάννης Γ., 2007)

Στους παρακάτω πίνακες 7., 8., και 9. παρατίθενται οι μέσες μηνιαίες και ετήσιες τιμές της θερμοκρασίας για τους σταθμούς Σπάτα και Μαρκόπουλο αντίστοιχα.

➤ **Σπάτα**

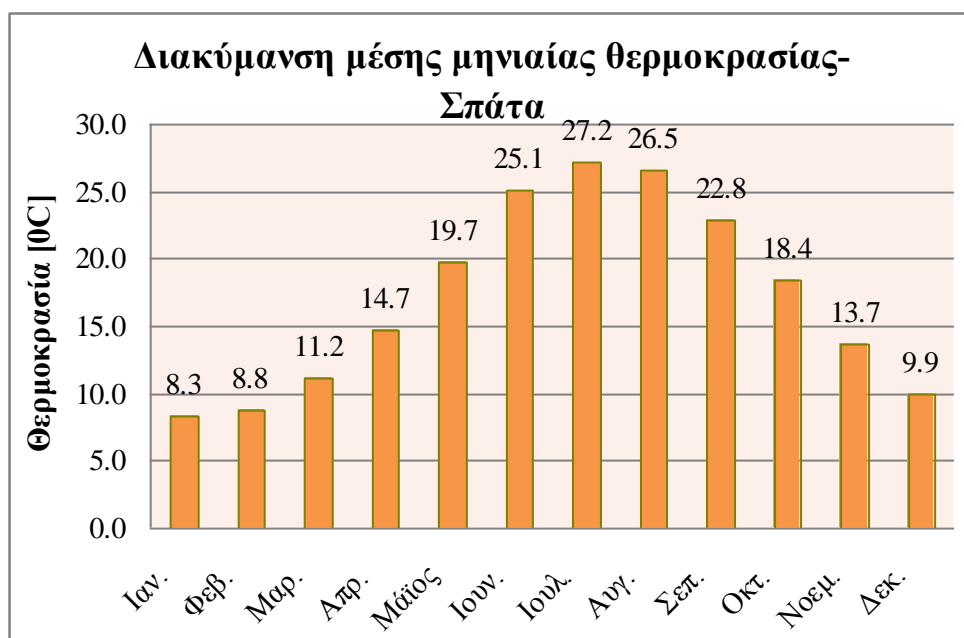
Πίνακας 7 Μηνιαίες και ετήσιες τιμές θερμοκρασίας στο μ. σταθμό Σπάτων (Ε.Μ.Υ.)



Μηνιαίες και Ετήσιες Τιμές Θερμοκρασίας - Ε.Μ.Υ.													
Όνομα Σταθμού								Περίοδος					
Σπάτα								1/1/1974 έως 31/12/2004					
	Ιαν.	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μάιο ς	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοεμ	Δεκ	Μέση Ετήσια
1974	7.3	9.5	11.2	13.4	18.6	24.0	26.7	26.6	22.9	20.3	13.7	10.1	17.0
1975	8.7	7.3	12.8	15.5	20.0	23.8	26.5	24.9	23.8	16.5	12.1	9.2	16.8
1976	9.5	7.6	10.0	14.8	18.2	22.1	24.9	22.4	22.0	18.3	14.8	13.6	16.5
1977	10. 0	13.1	12.9	17.8	22.9	25.5	28.1	26.8	19.8		16.3	5.4	18.0
1978	6.7	10.4	12.6	15.5	18.8								12.8
1979							25.7	25.5	22.8	17.5	13.7	11.2	19.4
1980	7.2	7.0	10.3	13.1	17.6	23.5	26.9	25.8	21.4	18.9	15.8	10.8	16.5
1981	6.3	8.7	12.5	15.1	18.2	25.4	25.5	25.6	23.0	20.7			18.1
1982	9.6	8.1	11.6	14.1	19.2	27.2	28.6	28.0	24.2	19.6	14.9	12.1	18.1
1983	10. 4	9.8							22.9	18.2	12.2	12.4	14.3
1984	10. 5	9.8	10.7	13.4	20.3	24.6	25.6	23.9	23.4	18.0			18.0
1985													
1986									24.1				24.1
1987			9.1			25.2	26.7						20.4
1988								27.1	22.9	16.9	10.1	8.6	17.1
1989	6.7	8.8	11.8	16.8	18.6	23.8	26.5	27.1	22.3	16.2	12.3	9.0	16.6
1990	6.7	9.3	12.3	16.1	20.1	25.1	27.9	26.2	22.8	18.3	15.4	10.4	17.5
1991	7.3	8.5	11.3	13.5	17.4	24.8	26.7	26.1	22.0	18.3	13.0	6.1	16.3
1992	6.6	6.0	9.8	14.5	17.9	24.2	25.8	27.4	21.8	20.1	13.3	8.2	16.3
1993	7.1	6.1	10.2	14.5	19.5	25.5	27.2	27.0	22.8	19.1	12.4	11.3	16.9
1994	10. 0	8.8	11.2	15.7	20.9	24.8	27.3	27.9	24.7	19.7	12.0	8.4	17.6
1995	9.0	10.5	10.9	13.2	19.7	26.2	27.6	26.2	23.6	16.3	10.8	11.0	17.1

Μηνιαίες και Ετήσιες Τιμές Θερμοκρασίας - Ε.Μ.Υ.													
Όνομα Σταθμού								Περίοδος					
Σπάτα								1/1/1974 έως 31/12/2004					
<b>1996</b>	8.2	8.9	8.3	13.2	21.8	25.7	27.5	26.4	22.7	16.1	14.0	11.3	<b>17.0</b>
<b>1997</b>	9.6	8.8	10.2	11.5	20.9	25.7	28.0	25.5	21.0	16.9	13.7	10.0	<b>16.8</b>
<b>1998</b>	8.1	10.0	8.4	15.9	19.2	25.5	29.0	28.1	23.1	19.0	14.2	9.0	<b>17.5</b>
<b>1999</b>	9.2	9.1	11.5	16.3	21.3	26.7	28.1	28.2	23.3	20.1	13.7	12.0	<b>18.3</b>
<b>2000</b>	6.4	9.0	11.3	16.4	21.0	26.6	29.4	27.5	23.2	17.3	18.0		<b>18.7</b>
<b>2001</b>			16.8	15.7	20.3	25.2	28.8	28.3	24.8	19.9	13.6	7.7	<b>20.1</b>
<b>2002</b>	7.7	11.6	12.4	14.4	19.8	25.8	28.5	27.2	22.5	18.8	15.0	9.8	<b>17.8</b>
<b>2003</b>	11.2	5.3	8.9	12.9	21.4	26.4	27.9	28.2	22.5	19.9	14.5	10.0	<b>17.4</b>
<b>2004</b>													
<b>Μέση Τιμή</b>	<b>8.3</b>	<b>8.8</b>	<b>11.2</b>	<b>14.7</b>	<b>19.7</b>	<b>25.1</b>	<b>27.2</b>	<b>26.5</b>	<b>22.8</b>	<b>18.4</b>	<b>13.7</b>	<b>9.9</b>	<b>17.2</b>
<b>Μέγιστη Τιμή</b>	11.2	13.1	16.8	17.8	22.9	27.2	29.4	28.3	24.8	20.7	18.0	13.6	
<b>Ελάχιστη Τιμή</b>	6.3	5.3	8.3	11.5	17.4	22.1	24.9	22.4	19.8	16.1	10.1	5.4	

Από τον πίνακα της εικόνας 23, για το σταθμό των Σπάτων παρατηρούμε ότι η μέση ετήσια θερμοκρασία ανέρχεται στους 17,2 °C. Ο πιο θερμός μήνας είναι ο Ιούλιος με μέση θερμοκρασία 27,2 °C, και ο πιο ψυχρός είναι ο Ιανουάριος με μέση θερμοκρασία 8,3 °C.



Εικόνα 23 Διάγραμμα διακύμανσης μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας Σπάτων

➤ **Μαρκόπουλο**

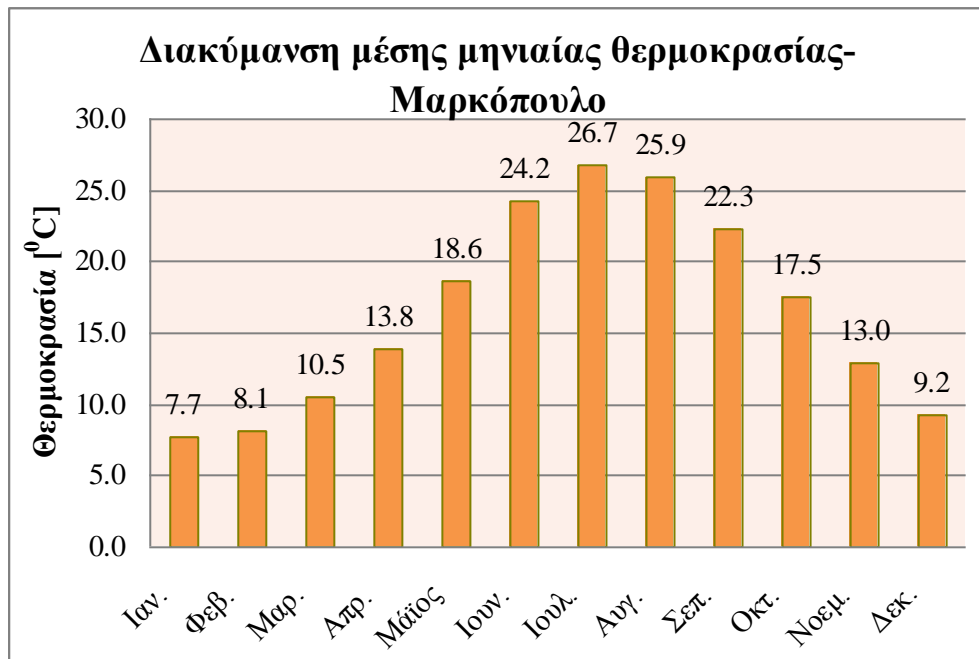
Πίνακας 8 Μέση μηνιαία και ετήσια θερμοκρασία του μετεωρολογικού σταθμού στο Μαρκόπουλο

Μηνιαίες και Ετήσιες Τιμές Θερμοκρασίας - Υ.Π.Ε.Χ.Ω.Δ.Ε.													
Όνομα Σταθμού							Περίοδος						
Μαρκόπουλο							1/1/1971 έως 31/12/2009						
	Ιαν.	Φεβ.	Μαρ	Απρ	Μάιο ς	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοεμ	Δεκ	Μέση Ετήσια
<b>1971</b>	9.5	7.2	9.9	13.3	21.1	25.2	24.9	26.0	21.5	15.6	12.6	8.5	<b>16.3</b>
<b>1972</b>	6.7	7.3	9.5	15.4	20.0	25.5	26.4	26.0	22.3	15.3	12.1	7.4	<b>16.2</b>
<b>1973</b>	6.9	8.6	8.2	13.3	20.7	23.8	26.8	24.4	22.5	17.8	11.4	9.5	<b>16.2</b>
<b>1974</b>	5.3	8.2	9.7	12.9	17.6	22.8	26.6	26.3	22.3	19.9	12.2	7.8	<b>16.0</b>
<b>1975</b>	6.8	5.8	11.9	15.1	19.7	24.3	26.6	24.4	23.6	18.7	12.0	7.9	<b>16.4</b>
<b>1976</b>	8.0	6.7	8.9	13.6	18.8	23.3	25.3	23.4	20.9	17.8	13.9	10.4	<b>15.9</b>

Μηνιαίες και Ετήσιες Τιμές Θερμοκρασίας - Υ.Π.Ε.ΧΩ.Δ.Ε.													
Όνομα Σταθμού								Περίοδος					
Μαρκόπουλο								1/1/1971 έως 31/12/2009					
	Ιαν.	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μάιο	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοεμ	Δεκ	Μέση Ετήσια
1977	8.8	12.2	12.3	15.5	19.9	23.9	27.5	26.5	20.9	15.8	14.3	7.7	17.1
1978	6.9	9.3	11.7	12.8	18.3	25.0	26.3	24.4	20.0	16.2	11.2	9.8	16.0
1979	9.3	9.5	12.6	13.9	19.0	25.7	26.5	24.8	22.0	17.0	13.3	9.6	16.9
1980	7.3	7.5	10.0	12.6	17.2	23.5	27.5	25.8	21.5	18.5	14.8	9.0	16.3
1981	5.6	7.8	13.0	13.9	19.1	25.9	27.7	26.9	23.3	21.8	11.7	12.2	17.4
1982	9.2	7.3	9.9	14.0	18.0	23.8	26.3	25.7	23.6	19.4	12.9	9.8	16.7
1983	6.8	6.4	10.2	16.1	20.8	22.5	24.6	24.4	22.1	16.8	13.0	11.1	16.2
1984	10.0	9.8	10.6	13.0	19.2	20.9	24.8	23.8	22.0	18.6	13.0	8.7	16.2
1985	8.0	6.4	9.1	16.2	20.7	24.7	25.9	26.8	22.7	15.9	15.1	11.1	16.9
1986	8.9	9.8	11.6	16.9	20.1	25.7	27.2	28.4	24.2	17.6	11.8	8.1	17.5
1987	9.1	8.7	7.2	14.6	19.8	25.6	28.6	26.5	24.4	17.5	13.7	10.5	17.2
1988	10.1	9.0	11.3	15.1	21.3	26.2	29.1	27.8	23.8	17.4	10.3	9.0	17.5
1989	6.8	9.4	12.8	17.8	19.2	25.2	27.0	27.6	23.6	16.8	13.6		18.2
1990	7.5	10.0	14.0	16.6	20.8	26.4	29.9	27.7	25.5	19.9	15.7	10.6	18.7
1991	7.5	8.8	12.1	13.4	17.6	25.5	27.1	27.8	22.5	19.4	12.6	5.1	16.6
1992	7.1	6.3	10.3	16.0	17.2	24.8	26.0	27.7	23.3	21.8	15.7	7.3	17.0
1993	7.9	6.5	9.5	14.7	18.6	24.5	26.7	28.0	23.1	19.7	12.4	10.7	16.9
1994	9.3	6.8	11.3	14.6	19.8	23.2	27.0	29.3	29.1	21.4	13.1	9.4	17.9
1995	8.9	11.0	12.1	12.7	21.1	29.6	29.1	28.5	25.6	16.5	11.9	10.4	18.1
1996	8.3	9.0	9.3	16.1	22.0	27.3	29.4		23.5	16.6	14.9	11.8	17.1
1997	5.8	6.5	8.0	9.9	18.3	24.0	24.2	21.7	18.9	15.3	12.4	8.6	14.5
1998	7.0	8.4	7.4	12.9	17.4	22.8	25.7	23.9	18.6	16.4	12.6	7.3	15.0
1999	8.1	7.8	9.8		15.7	24.8	26.9	26.0	20.5	17.2	13.5	10.9	16.5

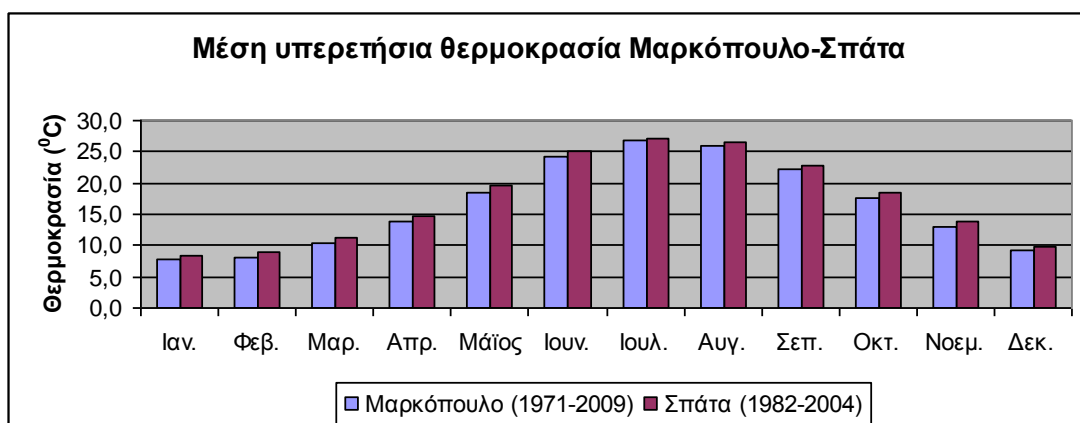
Μηνιαίες και Ετήσιες Τιμές Θερμοκρασίας - Υ.Π.Ε.ΧΩ.Δ.Ε.													
Όνομα Σταθμού								Περίοδος					
Μαρκόπουλο								1/1/1971 έως 31/12/2009					
	Ιαν.	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μάιο ς	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοεμ	Δεκ	Μέση Ετήσια
<b>2000</b>	4.7	7.6	8.1			22.0	28.5	25.7	20.2	15.3	14.6	9.1	<b>15.6</b>
<b>2001</b>	8.7	7.3	13.1	10.3	19.9	23.9	25.6	25.1	20.7	16.6	11.3	4.7	<b>15.6</b>
<b>2002</b>	6.3	9.6	12.7	10.5	16.4	21.9	26.2	23.7	18.8	18.2	13.0	8.5	<b>15.5</b>
<b>2003</b>	7.9	4.0	6.0	9.6	15.2	21.9	25.8	25.4	19.0	15.2	13.0	7.4	<b>14.2</b>
<b>2004</b>	5.8	9.5	10.5	10.3	11.8	19.5	24.0			13.2	9.4	8.0	<b>12.2</b>
<b>2005</b>	6.4	6.4	9.3	12.2	12.8	20.5	25.5	23.3	18.5	12.5	9.3	9.2	<b>13.8</b>
<b>2006</b>													
<b>2007</b>	9.7	8.7	12.1	15.0	15.8	23.8	28.6	27.9	25.3	17.2	12.2	8.2	<b>17.0</b>
<b>2008</b>	7.6	7.1	11.4	15.8	17.9	23.0	25.0	23.5	19.7	18.5	15.6	10.7	<b>16.3</b>
<b>2009</b>	9.4	9.7	10.1	11.8	19.5	26.7	28.4	28.4	25.1	19.9	16.7	14.2	<b>18.3</b>
<b>Μέση Τιμή</b>	<b>7.7</b>	<b>8.1</b>	<b>10.5</b>	<b>13.8</b>	<b>18.6</b>	<b>24.2</b>	<b>26.7</b>	<b>25.9</b>	<b>22.3</b>	<b>17.5</b>	<b>13.0</b>	<b>9.2</b>	<b>16.5</b>
<b>Μέγιστη Τιμή</b>	10. 1	12.2	14.0	17.8	22.0	29.6	29.9	29.3	19.1	21.8	16.7	14.2	
<b>Ελάχιστη Τιμή</b>	4.7	4.0	6.0	9.6	11.8	19.5	24.0	21.7	18.5	12.5	9.3	4.7	

Από τον πίνακα 8 και την εικόνα 24, για το σταθμό του Μαρκόπουλου παρατηρούμε ότι η μέση ετήσια θερμοκρασία ανέρχεται στους 16,5 °C. Ο πιο θερμός μήνας είναι ο Ιούλιος με μέση θερμοκρασία 26,7 °C, και ο πιο ψυχρός είναι ο Ιανουάριος με μέση θερμοκρασία 7,7 °C .



Εικόνα 24 Διάγραμμα διακύμανσης μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας Μαρκόπουλου

Στο διάγραμμα της εικόνας 25 παρατηρούμε τη μέση υπερετήσια θερμοκρασία όλων των μηνών και για τους δύο σταθμούς Σπάτα, Μαρκόπουλο για τις περιόδους 1982 έως 2004 και 1971 έως 2009 αντίστοιχα όπου ελήφθησαν τα δεδομένα.



Εικόνα 25 Διάγραμμα διακύμανσης μέσης υπερετήσιας βροχόπτωσης στους σταθμούς Σπάτα (1982-2004), Μαρκόπουλο (1971-2009)

Όπως είναι εμφανές και από το παραπάνω διάγραμμα, οι μεγαλύτερες θερμοκρασίες εντοπίζονται κατά τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο, με τιμές κοντά στους 27°C. Οι μήνες Ιανουάριος και Φεβρουάριος είναι οι ψυχρότεροι του έτους με την ελάχιστη θερμοκρασία να φτάνει περίπου στους 7°C. Συγκριτικά των δύο σταθμών, τις υψηλότερες τιμές θερμοκρασίας παρουσιάζουν τα Σπάτα και τις χαμηλότερες το Μαρκόπουλο.

#### 4.4 Εξατμισοδιαπνοή

Η εξάτμιση είναι ένας από τους σπουδαιότερους κλιματικούς παράγοντες μιας περιοχής και η σημαντικότερη παράμετρος του υδατικού ισοζυγίου. Με τον όρο αυτό εννοείται το συνολικό ποσό νερού που εξατμίζεται και διαπνέεται. Το ποσό αυτό θεωρείται σαν απώλεια νερού στο όλο σύστημα της λεκάνης. Οι κυριότεροι παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται η εξάτμιση είναι:

- 1) η ηλιακή ακτινοβολία
- 2) η υγρασία της ατμόσφαιρας και του εδάφους
- 3) η θερμοκρασία της περιοχής
- 4) οι αεροδυναμικές συνθήκες
- 5) οι βροχοπτώσεις (ένταση, διάρκεια και τρόπος που κατανέμονται χρονικά)

6) η βλάστηση (είδος, πυκνότητα, βάθος ριζώματος κ.τ.λ.)

7) το υψόμετρο του εδάφους

8) η κοκκομετρία, το πορώδες και η λιθολογία του εδάφους κ.α

Οι σημαντικότεροι παράγοντες που επιδρούν στην εξατμισοδιαπνοή είναι η μέση ετήσια θερμοκρασία και η υγρασία.

#### 4.4.1 Δυνητική εξατμισοδιαπνοή (E<sub>p</sub>)

Η δυνητική εξατμισοδιαπνοή παρέχει ένα ανώτατο όριο στις συνολικές απώλειες από εξάτμιση και διαπνοή, αν τα αποθέματα σε νερό ήταν αρκετά για να αντισταθμίσουν τις μέγιστες απώλειες. Είναι δηλαδή ένας κλιματικός δείκτης που δείχνει το όριο της εξατμισοδιαπνοής σε μια συγκεκριμένη περιοχή, αν η προσφορά νερού είναι απεριόριστη ώστε να καλύπτει τις απώλειες από εξάτμιση και διαπνοή.

Ο Thornthwaite (1948) δημιούργησε μια εξίσωση που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για περιορισμένη διαθεσιμότητα νερού. Η εξίσωση εκτιμά τη μηνιαία εξατμισοδιαπνοή με βάση τη μέση μηνιαία θερμοκρασία και έχει τη μορφή:

$$PET = 16 \left( \frac{10t_i}{J} \right)^\alpha \frac{\mu N}{360}$$

όπου PET, είναι η δυνητική εξατμισοδιαπνοή σε mm/μήνα, t<sub>i</sub> η μέση μηνιαία θερμοκρασία σε °C, μ ο αριθμός ημερών, N η μέση αστρονομική διάρκεια της ημέρας, J ο ετήσιος δείκτης θερμοκρασίας και α μια εμπειρική παράμετρος που



εξαρτάται από το δείκτη J ( $\alpha=0.016 \cdot J+0.5$ ). Ο δείκτης θερμοκρασίας J, δίνεται από τη σχέση (Κουτσογιάννης και Ξανθόπουλος, 1997):

$$J = \sum_{i=1}^{12} j_i$$

ενώ ο μηνιαίος δείκτης θερμοκρασίας  $j_i$  είναι συνάρτηση της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας κατά την εξίσωση:

$$j_i = 0.09t_i^{3/2}$$

Στον Πίνακα 9 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την εφαρμογή της μεθόδου για τα δεδομένα των σταθμών Σπάτων και Μαρκόπουλο.

Πίνακας 9 Μηνιαία δυνητική εξατμισοδιαπνοή (mm) κατά Thornthwaite για τους σταθμούς Σπάτα, Μαρκόπουλο

<b>Μηνιαία δυνητική εξατμισοδιαπνοή (mm) κατά Thornthwaite</b>		
<b>Μήνες</b>	<b>Σπάτα</b>	<b>Μαρκόπουλο</b>
Ιαν.	14.0	13.7
Φεβ.	15.5	14.8
Μαρ.	29.1	28.2

Απρ.	51.0	48.5
Μάι.	96.2	90.4
Ιουν.	149.7	143.1
Ιούλ.	175.7	172.3
Αυγ.	157.3	153.3
Σεπτ.	106.2	104.9
Οκτ.	67.4	64.4
Νοέμ.	34.6	33.7
Δεκ.	18.7	18.0
<b>Σύνολο</b>	<b>915.4</b>	<b>885.4</b>

#### 4.4.2 Πραγματική εξατμισοδιαπνοή ( $E_r$ )

Για τον υπολογισμό της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής ( $E_r$ ) εφαρμόστηκε το ισοζύγιο κατά Thornthwaite που περιγράφεται παρακάτω.

Αν η βροχόπτωση ( $P$ ) υπερβαίνει την δυναμική εξατμισοδιαπνοή  $E_p$ , τότε η πραγματική εξατμισοδιαπνοή  $E_r = E_p$ . Η διαφορά ( $P - E_p$ ) αποθηκεύεται στο έδαφος μέχρις ότου κορεσθεί από υγρασία. Αν οι μηνιαίες βροχοπτώσεις είναι μικρότερες από την  $E_p$  τότε η  $E_r$  είναι ίση με το άθροισμα των βροχοπτώσεων και με όλο ή με μέρος του ποσοστού του ωφέλιμου αποθέματος νερού που έχει αποθηκευθεί στο έδαφος.

Το ωφέλιμο απόθεμα νερού στο έδαφος εξαρτάται από τη φύση του εδάφους και τη βλάστηση. Η παράμετρος αυτή αποτελεί το λεπτό σημείο για την εφαρμογή της μεθόδου. Για συνήθεις λεκάνες χρησιμοποιείται μια τιμή γύρω στα 100mm, η οποία δίνει γενικά καλά αποτελέσματα, ενώ για πεδινές περιοχές λαμβάνεται μεγαλύτερη τιμή, έως και 200mm.

Για τους σταθμούς Μαρκόπουλο και Σπάτα, ως πιο αγροτικές περιοχές εφαρμόστηκε η μέθοδος με ωφέλιμο απόθεμα ίσο με 100mm.

Στους ακόλουθους πίνακες 10, 11 φαίνεται το υδατικό ισοζύγιο στους δύο σταθμούς Μαρκόπουλο, Σπάτα.

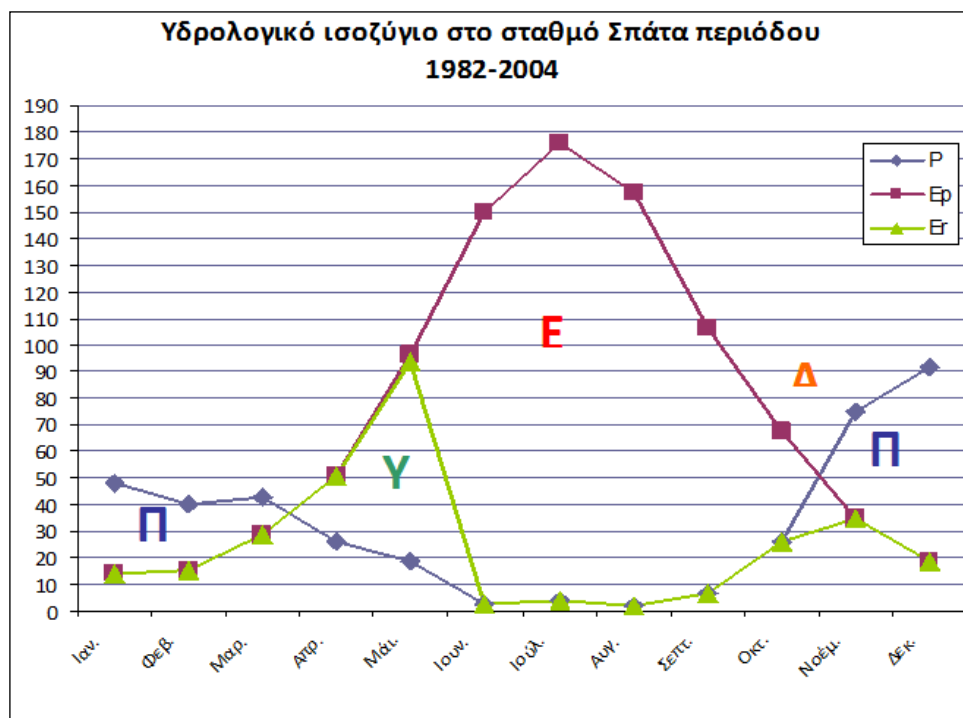
Όπου  $P$ = Κατακρημνίσματα (mm),  $W$ = Ωφέλιμο Απόθεμα στο έδαφος (mm),  $E_p$ = Δυναμική Εξατμισοδιαπνοή (mm)  $E_r$ = Πραγματική Εξατμισοδιαπνοή (mm)  $DS$ = Απορροή + Κατείσδυση (mm).

Η μέση ετήσια πραγματική εξατμισοδιαπνοή ανέρχεται σε 298.2 και 318 mm για τους σταθμούς Σπάτα και Μαρκόπουλο αντίστοιχα.. Η διαφορά της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής από τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα αποτελεί το πλεόνασμα νερού και αντιπροσωπεύει τις ποσότητες νερού που αντιστοιχούν στις διαδικασίες της απορροής και της κατείσδυσης.

Πίνακας 10 Υδατικό ισοζύγιο κατά Thornthwaite στο σταθμό Σπάτα

<b>Σπάτα</b>					
<b>Μήνες</b>	<b>P</b>	<b>Ep</b>	<b>E<sub>r</sub></b>	<b>W</b>	<b>DS</b>
Ιαν.	48.2	14.0	14.0	100.0	34.2
Φεβ.	40.4	15.5	15.5	100.0	24.9
Μαρ.	42.5	29.1	29.1	100.0	13.4
Απρ.	25.9	51.0	51.0	74.8	0.0
Μάι.	18.6	96.2	93.4	0.0	0.0
Ιουν.	2.5	149.7	2.5	0.0	0.0
Ιούλ.	4.3	175.7	4.3	0.0	0.0
Αυγ.	2.0	157.3	2.0	0.0	0.0
Σεπτ.	6.8	106.2	6.8	0.0	0.0
Οκτ.	26.3	67.4	26.3	0.0	0.0
Νοέμ.	74.7	34.6	34.6	40.2	0.0
Δεκ.	91.8	18.7	18.7	113.3	0.0
<b>Σύνολο</b>	<b>383.9</b>	<b>915.4</b>	<b>298.2</b>		<b>72.5</b>

Στο σχήμα της εικόνα 26 φαίνεται το μέσο υδατικό ισοζύγιο του σταθμού των Σπάτων, από το οποίο προκύπτει ότι: Έλλειμμα νερού υπάρχει από τα μέσα Μαΐου έως τα μέσα του Οκτωβρίου, γι' αυτό την περίοδο αυτή είναι αυξημένες οι αρδευτικές ανάγκες στη περιοχή. Η αναπλήρωση της εδαφικής υγρασίας πραγματοποιείται το μήνα Νοέμβριο, ενώ πλεόνασμα νερού εμφανίζεται την περίοδο από τον Νοέμβριο έως και τα μέσα Απριλίου.



Εικόνα 26 Διάγραμμα υδρολογικού ισοζυγίου στο σταθμό Σπάτα (1982-2004)

Πίνακας 11 Υδατικό ισοζύγιο κατά Thornthwaite στο σταθμό Μαρκόπουλο

<b>Μαρκόπουλο</b>					
<b>Μήνες</b>	<b>P</b>	<b>Ep</b>	<b>Er</b>	<b>W</b>	<b>DS</b>
Ιαν.	67.2	13.7	13.7	100.0	53.5
Φεβ.	59.8	14.8	14.8	100.0	44.9
Μαρ.	56.1	28.2	28.2	100.0	27.9
Απρ.	32.7	48.5	48.5	84.1	0.0
Μάι.	12.0	90.4	90.4	5.7	0.0
Ιουν.	5.1	143.1	10.8	0.0	0.0
Ιούλ.	3.5	172.3	3.5	0.0	0.0
Αυγ.	4.8	153.3	4.8	0.0	0.0
Σεπτ.	12.2	104.9	12.2	0.0	0.0
Οκτ.	39.4	64.4	39.4	0.0	0.0
Νοέμ.	77.3	33.7	33.7	43.7	0.0
Δεκ.	88.0	18.0	18.0	100.0	13.7
<b>Σύνολο</b>	<b>458.1</b>	<b>885.4</b>	<b>318.0</b>		<b>140.1</b>

Στο σχήμα της εικόνας 28 φαίνεται το μέσο υδατικό ισοζύγιο του σταθμού του Μαρκόπουλου από το οποίο προκύπτει ότι: Έλλειμμα νερού υπάρχει από τα μέσα Μαΐου έως τα μέσα του Οκτωβρίου, γι' αυτό την περίοδο αυτή είναι αυξημένες οι αρδευτικές ανάγκες στη περιοχή. Η αναπλήρωση της εδαφικής υγρασίας πραγματοποιείται το μήνα Νοέμβριο, ενώ πλεόνασμα νερού εμφανίζεται την περίοδο από τον Νοέμβριο έως και τα μέσα Απριλίου.



Εικόνα 28 Διάγραμμα υδρολογικού ισοζυγίου στο σταθμό Μαρκόπουλου (1971-2009)

## 5 ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ

### 5.1 Γενικά στοιχεία - κατηγοριοποίηση πετρωμάτων – υδροφόροι ορίζοντες.

Τα διάφορα πετρώματα αναλόγως των δυνατοτήτων που παρέχουν στο νερό να διηθηθεί μέσα σε αυτά και να διακινηθεί δια μέσου των υφιστάμενων στη μάζα τους κενών υπό την επίδραση της βαρύτητας ή της υδροστατικής πίεσης ταξινομούνται στις επόμενες κατηγορίες με βάση τα στοιχεία του Καλλέργη, Γ., όπως αναφέρονται στην έκδοση του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας Εφαρμοσμένη – Περιβαλλοντική Υδρογεωλογία:

α) Υδροπερατά

i. Υδροπερατά λόγω πόρων

ii. Υδροπερατά λόγω διαρρήξεων ή καρστικών αγωγών

β) Υδατοστεγή ή αδιαπέρατα

Παρακάτω εξετάζονται και κατατάσσονται με βάση τα χαρακτηριστικά τους τα πετρώματα που απαντώνται στην περιοχή έρευνας.

#### Υδροφόροι ορίζοντες

Τύποι υδροφόρων οριζόντων

Ένα στρώμα ή ένας γεωλογικός σχηματισμός που περιέχει νερό στους πόρους ή στα οποιασδήποτε μορφής και προελεύσεως κενά του, το οποίο να μπορεί να απολειφθεί με αντλήσεις, αποτελεί έναν υδροφόρο ορίζοντα. Οι διάφοροι τύποι υδροφόρων οριζόντων που απαντούν στη φύση είναι:

α) Ελεύθεροι υδροφόροι ορίζοντες



Πρόκειται για τους υδροφόρους εκείνους ορίζοντες στους οποίους μεταξύ αυτών και της επιφάνειας του εδάφους δεν παρεμβάλλεται συνήθως αδιαπέρατο στρώμα (εικόνα 29. α.)

Τέτοιοι υδροφόροι ορίζοντες σχηματίζονται σε Υδροπερατά πετρώματα, τα οποία κατά ένα μόνο μέρος του πάχους τους είναι κεκορεσμένα με νερό και που το υπόβαθρο τους αποτελείται από πετρώματα σχετικώς υδροστεγανά. Στην ελεύθερη επιφάνεια των υπόγειων νερών των υδροφόρων αυτών οριζόντων η υδροστατική πίεση ισούται με την ατμοσφαιρική.

Ελεύθεροι υδροφόροι ορίζοντες των όποιων η υδροστατική επιφάνεια βρίσκεται σε μικρό βάθος από την επιφάνεια του εδάφους λέγονται φρεάτιοι υδροφόροι ορίζοντες, επειδή η απόληψη νερού από αυτούς μπορεί να γίνει με πηγάδια.

Ο υδροφόρος ορίζοντας που εξετάζεται σε αυτήν την εργασία είναι φρεάτιος.

β) Υπό πίεση υδροφόροι ορίζοντες

Οι υδροφόροι αυτοί ορίζοντες που καλούνται και αρτεσιανοί, σχηματίζονται όταν ένα διαπερατό στρώμα βρίσκεται εγκλωβισμένο μεταξύ αδιαπεράτων και έχει τη δυνατότητα να τροφοδοτηθεί με νερό (εικόνα 29. α.)

Οι υδροφόροι αυτοί ορίζοντες είναι κεκορεσμένοι, με νερό σε ολόκληρο το πάχος τους και η πίεση του νερού είναι μεγαλύτερη της ατμοσφαιρικής. Για το λόγο αυτό όταν ένα πηγάδι ή μια γεώτρηση διατρήσει το υπερκείμενο στεγανό πέτρωμα και φθάσει μέσα στον υπό πίεση υδροφόρο ορίζοντα, το υπόγειο νερό ανεβαίνει, μέσα στη γεώτρηση ή το πηγάδι, ψηλότερα από την επιφάνεια επαφής υδροπερατού και υδροστεγανού πετρώματος. Το πόσο ψηλά θα ανέβει και θα ισορροπήσει το υπόγειο νερό μέσα στο υδροληπτικό έργο, εξαρτάται από το μέγεθος της πίεσεως υπό την οποία βρίσκεται τούτο μέσα στο υδροφόρο στρώμα στη θέση αυτή. Όταν η πίεση είναι τέτοια, που το νερό ανεβαίνει ψηλότερα από την επιφάνεια του εδάφους τότε πραγματοποιείται ανάβλυση στην επιφάνεια με

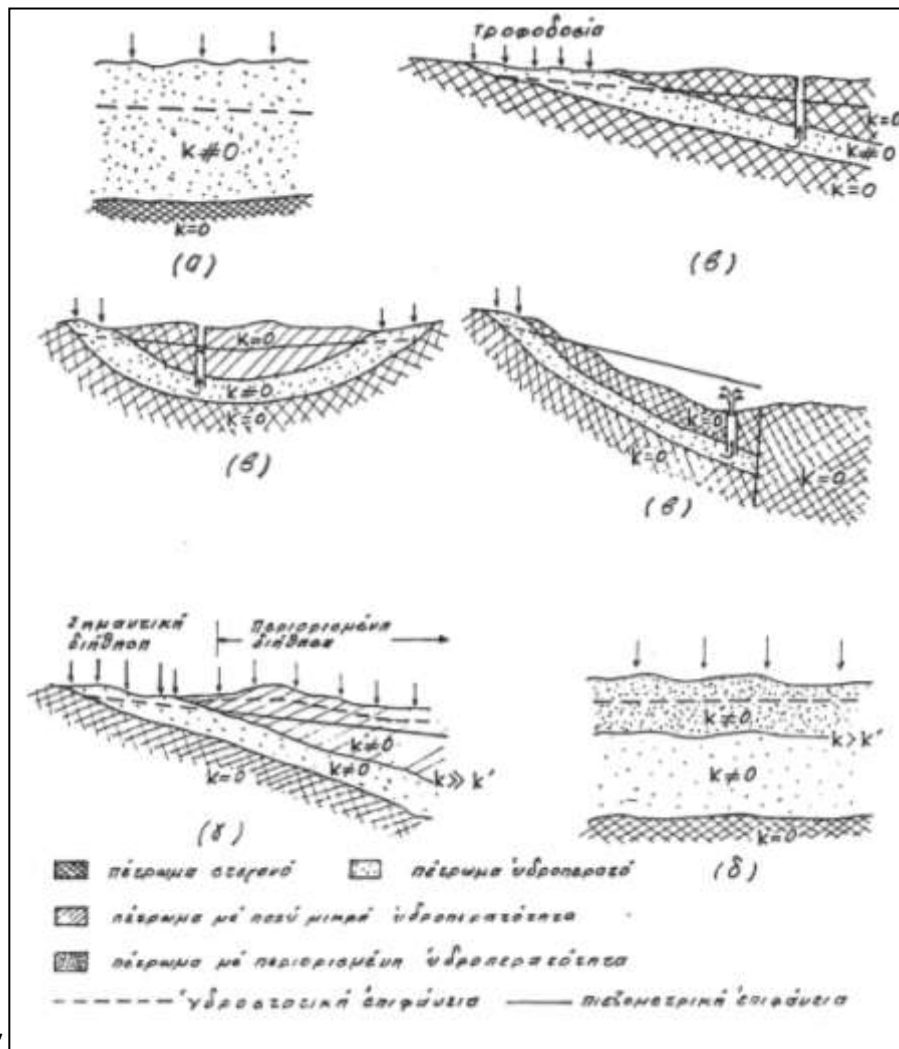
αυτόματη ροή των υπογείων νερών (αυτόματη με την έννοια ότι δεν καταναλώνουμε ενέργεια εξωτερικά για να φέρουμε το υπόγειο νερό ως την επιφάνεια).

Στους υπό πίεση υδροφόρους ορίζοντες η επιφάνεια ισορροπίας των υπογείων νερών μέσα στις γεωτρήσεις και τα πηγάδια που έχουν φθάσει ως αυτούς, βρίσκεται πάντοτε ψηλότερα από τη διαχωριστική επιφάνεια περατού υδροφόρου στρώματος και αδιαπέρατου υπερκειμένου και ονομάζεται πιεζομετρική επιφάνεια.

γ)Μερικώς υπό πίεση υδροφόροι ορίζοντες

Πρόκειται για υδροφόρους ορίζοντες υπό πίεση στους οποίους το υπερκείμενο στρώμα δεν είναι τελείως στεγανό. Στους υδροφόρους αυτούς ορίζοντες το υποκείμενο στρώμα μπορεί να είναι είτε τελείως στεγανό είτε ημιπερατό.

Σε τέτοιους υδροφόρους ορίζοντες ο υποβιβασμός της πιεζομετρικής επιφάνειας, που μπορεί να γίνει π.χ. με άντληση, προκαλεί συχνά μία κατακόρυφη ροή νερού από το υπερκείμενο ημιπερατό στρώμα προς το αντλούμενο υδροφόρο. Δεδομένου ότι η υδροπερατότητα του ημιπερατού υπερκειμένου στρώματος είναι πολύ μικρή, η οριζόντια συνιστώσα της ταχύτητας ροής μέσα σε αυτό μπορεί να θεωρηθεί ως αμελητέα.



Εικόνα 29 Υδρογεωλογικές τομές με τους διάφορους τύπους υδροφόρων οριζόντων που απαντούν στη φύση. (α): Ελεύθερος υδρ. ορίζοντας, (β): υπό πίεση υδρ. ορίζοντας, (γ): Μερικώς υπό πίεση και (δ): ημιελεύθερος υδρ. ορίζοντας.

Όταν η υδροπερατότητα του υπερκείμενου στρώματος είναι τέτοια, που η οριζόντια συνιστώσα της ταχύτητας ροής μέσα σε αυτό δεν μπορεί πια να αγνοηθεί, μιλάμε για μερικώς ελεύθερους υδρ. ορίζοντες (εικόνα 28. δ.)

Από όσα αναφέρθηκαν πιο πάνω, προκύπτει ότι όταν το υποκείμενο στρώμα ενός υδροφόρου ορίζοντα είναι στεγανό, ο τύπος του υδροφόρου αυτού ορίζοντα καθορίζεται από την υδραυλική συμπεριφορά της οροφής του.

### Λεκάνη τροφοδοσίας υδροφόρων οριζόντων

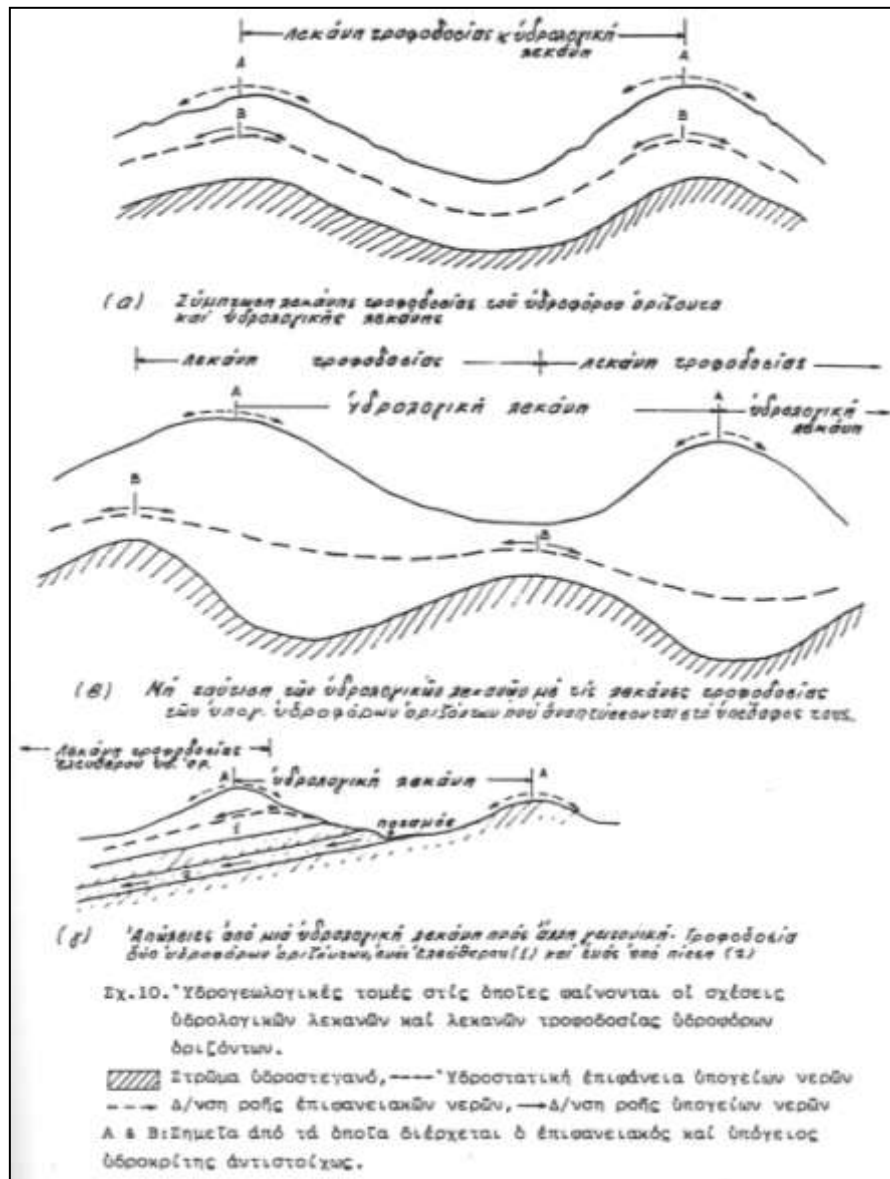
Λεκάνη τροφοδοσίας ενός υδροφόρου ορίζοντα ονομάζουμε την τοπογραφική εκείνη επιφάνεια του εδάφους, τα νερά διηθήσεως της οποίας τροφοδοτούν τον υδροφόρο αυτό ορίζοντα.

Θα πρέπει να τονισθεί ότι τα όρια μιας υδρολογικής λεκάνης δεν συμπίπτουν απαραίτητως με τα όρια της λεκάνης τροφοδοσίας των υδροφόρων οριζόντων που αναπτύσσονται στο υπέδαφος της υδρολογικής αυτής λεκάνης (εικόνα 29.). Η σύμπτωση ή μη των δύο αυτών λεκανών εξαρτάται από τη γεωλογική δομή της περιοχής, η δε γνώση των σχέσεων τους είναι απαραίτητη για τον υπολογισμό του υδατικού ισοζυγίου. Από το λόγο αυτό, φαίνεται η αναγκαιότητα του γεωλογικού χάρτη μιας περιοχής της οποίας εξετάζονται οι υδρογεωλογικές συνθήκες.

Με τις πληροφορίες του γεωλογικού χάρτη θα είναι δυνατό να γίνουν προβλέψεις σχετικά με την ύπαρξη υπόγειας πλευρικής τροφοδοσίας των υδροφόρων οριζόντων μιας υδρολογικής λεκάνης από άλλη γειτονική, ή πλευρικής απώλειας προς υδροφόρο ορίζοντα παρακείμενης υδρολογικής λεκάνης. Το φαινόμενο των πλευρικών τροφοδοσιών και απωλειών είναι πολύ συνηθισμένο σε περιοχές ιζηματογενών σειρών, στις οποίες υφίσταται εναλλαγή υδροπερατών και υδροστεγανών πετρωμάτων, έτσι ώστε να δημιουργούνται δυνατότητες αναπτύξεως υπό πίεση υδροφόρων οριζόντων. Οι υπό πίεση αυτοί υδροφόροι ορίζοντες, είναι δυνατόν να τροφοδοτούνται από ζώνες που βρίσκονται καμιά φορά πολύ μακριά από την υδρολογική λεκάνη στο υπέδαφος της οποίας αναπτύσσονται κατά σημαντικό τμήμα τους οι υπό πίεση υδροφόροι ορίζοντες.

Ένα σχετικό με την περίπτωση αυτή παράδειγμα φαίνεται στο σκίτσο (γ) της εικόνας 30.

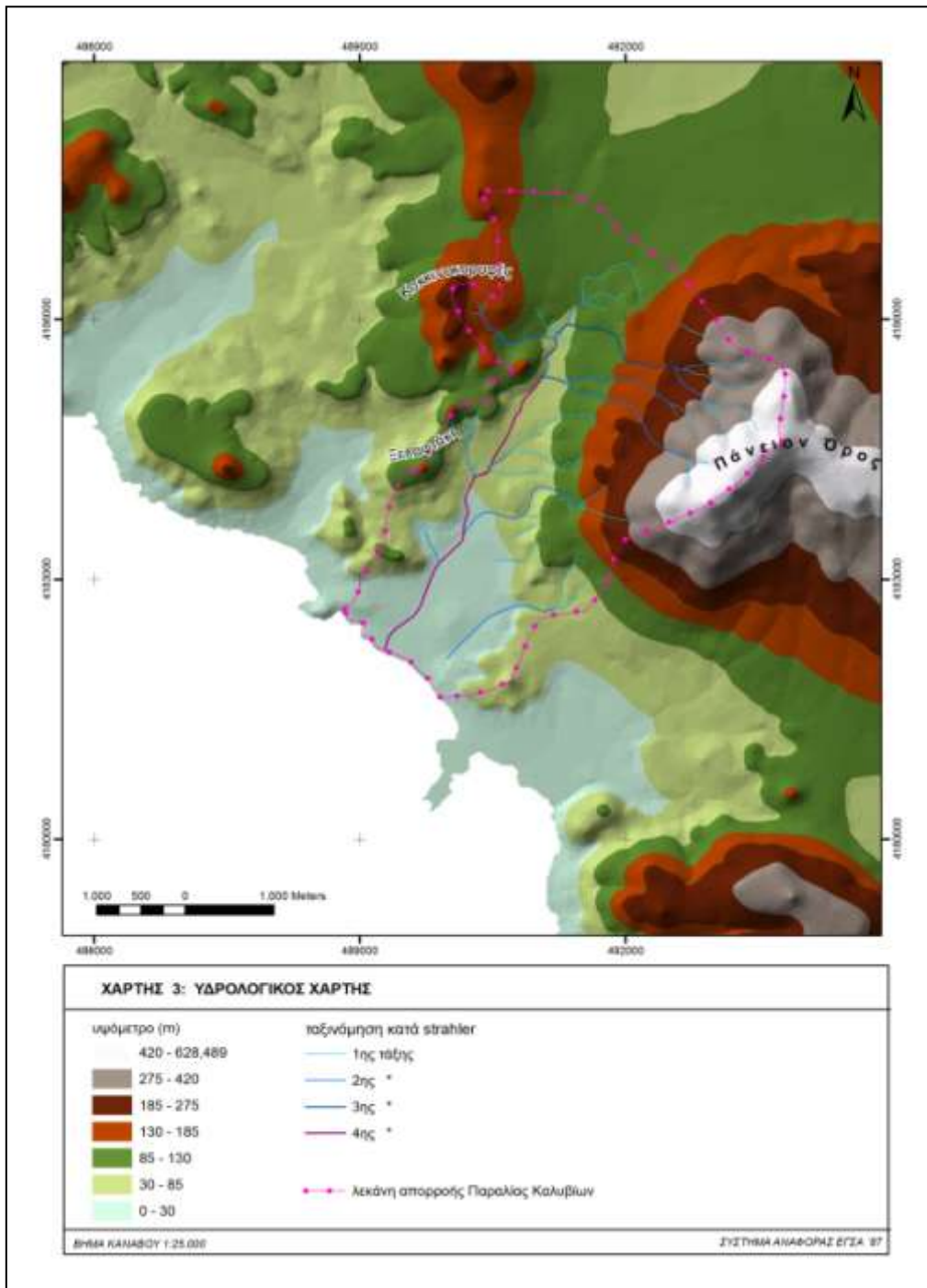
Οι πλευρικές τροφοδοσίες και απώλειες είναι επίσης συνηθισμένες στις περιοχές των καρστικών πετρωμάτων.



Εικόνα 30 Ύδρογεωλογικές τομές στις οποίες φαίνονται οι σχέσεις υδρολογικών λεκανών και λεκανών τροφοδοσίας υδροφόρων οριζόντων. (ΚΟΥΜΑΝΤΑΚΗ, Κεφάλαια Ύδρογεωλογίας)

Στην εικόνα 31 φαίνεται η υδρολογική λεκάνη της Παραλίας Καλυβίων, η οποία οριοθετείται από τρεις ορεινούς σχηματισμούς και την παραλία Καλυβίων.

Ο χάρτης έγινε με το εργαλείο του προγράμματος ArcMap.



Εικόνα 31 Υδρολογικός χάρτης της περιοχής έρευνας όπου φαίνονται τα όρια της υδρολογικής λεκάνης και τα ρέματα της περιοχής.

## 5.2 Υδρολιθολογία

Στην περιοχή έρευνας απαντώνται τεταρτογενείς και νεογενείς αποθέσεις (παράκτιες και ποτάμιες αποθέσεις, πλευρικά κορήματα, κώνοι κορημάτων, ερυθρογή, κροκαλοπαγή, λατυποπαγή, κροκαλολατυποπαγή κ.ά.) καθώς και αλπικοί σχηματισμοί (ασβεστόλιθοι, μάρμαρα, δολομίτες, σχιστόλιθοι και οφιολιθοι).

Ειδικότερα η υδρολιθολογική εικόνα της περιοχής έρευνας μπορεί να αποδοθεί συνοπτικά με την απλοποιημένη κατηγοριοποίηση στις παρακάτω τρεις βασικές υδρολιθολογικές κατηγορίες:

### Τεταρτογενείς – νεογενείς σχηματισμοί

Οι τεταρτογενείς σχηματισμοί αποτελούνται από υλικά πολύμικτης σύστασης, μεσόκκοκα έως αδρόκκοκα (άμμοι κροκάλες και λατύπες), αλλά και λεπτόκκοκα αργιλοαμμώδη και ιλυοαμμώδη υλικά και χαρακτηρίζονται από οριζόντια και κατακόρυφη ετερογένεια και ανισοτροπία με πλευρικές λιθολογικές μεταβάσεις, προοδευτικές ή και απότομες. Είναι γενικά υδροπερατοί σχηματισμοί όπου αυτοί είναι αδρόκοκκοι. Στην περιοχή έρευνας οι τεταρτογενείς σχηματισμοί απαντώνται με μεγάλο ποσοστό επιφανειακής εξάπλωσης.

Οι νεογενείς σχηματισμοί χαρακτηρίζονται από μία γενικότερη ανομοιογένεια τόσο στην δομή όσο και στην λιθολογία τους. Αποτελούνται από μάργες, κροκαλοπαγή, ψαμμίτες, άμμους και τραβερτινοειδείς ασβεστόλιθους.

Τα αδρομερή μέλη των νεογενών σχηματισμών (κροκαλοπαγή, ψαμμίτες άμμοι κ.ά.) είναι μέτριας έως και υψηλής υδροπερατότητας. Η ανάπτυξη υδροφορίας εντός των στρωμάτων αυτών εξαρτάται από την ανάπτυξη που παρουσιάζουν στο χώρο. Περιορίζονται από τις αδιαπέρατες μάργες και μπορεί να εμφανίζουν αξιόλογη υδροφορία όταν έχουν σημαντική ανάπτυξη και τροφοδοσία. Το αντίθετο συμβαίνει με τα λεπτομερή μέλη (μάργες κ.ά), τα οποία είναι σχεδόν

στεγανά ή οι τραβερτινοειδείς ασβεστόλιθοι οι οποίοι είναι πολύ μικρής υδροπερατότητας.

### Ανθρακικοί σχηματισμοί

Περιλαμβάνει μάρμαρα και δολομίτες του μεταμορφωμένου συστήματος της Αττικής καθώς και κρυσταλλικούς ασβεστόλιθους του αλλόχθονου συστήματος της Αττικής. Χαρακτηρίζονται από δευτερογενές πορώδες και υψηλή διαπερατότητα. Οι ταχύτητες ροής στη μάζα τους είναι πολύ υψηλές και κατά θέσεις φιλοξενούν αξιόλογα καρστικά υδροφόρα συστήματα. Στις παράκτιες ζώνες παρατηρούνται φαινόμενα υφαλμύρωσης. Θεωρείται ότι είναι μία αξιόλογη υδρολιθολογική μονάδα.

### Σχιστολιθικοί σχηματισμοί

Περιλαμβάνει σχιστόλιθους καθώς και τον επιφανειακό μανδύα αποσάρθρωσης των παραπάνω λιθολογικών ενοτήτων. Ενίοτε φιλοξενούνται ενστρώσεις ανθρακικών στρωμάτων ηφαιστειακών πετρωμάτων στη βραχομάζα τους. Πρόκειται για πολύ μικρής υδροπερατότητας σχηματισμούς, με σημαντική επιφανειακή απορροή, που δε φιλοξενούν υπόγεια υδροφορία παρά σε μεμονωμένες περιπτώσεις εντόνου κερματισμού και μεγάλης αποσάρθρωσης της βραχομάζας τους. Τα εγκλωβισμένα σώματα (ανθρακικά-ηφαιστίτες) παρουσιάζουν μικρό υδρογεωλογικό ενδιαφέρον.

Αναλυτικότερα οι γεωλογικοί σχηματισμοί που δομούν την περιοχή έρευνας διακρίνονται από υδρολιθολογική άποψη ως ακολούθως και με βάση τα στοιχεία του Καλλέργη, Γ., όπως αναφέρονται στην έκδοση του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας «Εφαρμοσμένη – Περιβαλλοντική Υδρογεωλογία».



*Σύγχρονες παράκτιες αποθέσεις (H.cd):* άμμοι ακτών, μικρές θίνες και “beach rocks”. Υδροπερατοί σχηματισμοί χωρίς υδρογεωλογικό ενδιαφέρον.

*Ποτάμιες αποθέσεις (H.fl) :* πρόσφατα ασύνδετα υλικά από αργίλους, πηλούς και κροκαλολατύπες ποικίλης λιθολογικής σύστασης, σχήματος και μεγέθους, καθώς και υλικά αναβαθμίδων μικρού πάχους. Υδροπερατός σχηματισμός χωρίς υδρογεωλογικό ενδιαφέρον.

*Παλαιοί και νέοι κώνοι κορημάτων. Πλευρικά κορήματα (H.sc,cs).*

Σχηματισμοί μέτριας υδροπερατότητας λόγω του είδους των υλικών από τα οποία συνίστανται, του βαθμού συνεκτικότητάς τους και του μικρού σχετικά πάχους τους. Όταν η σύνθεση τους αποτελείται από σχιστολιθικά υλικά ο βαθμός υδροπερατότητας τους μειώνεται, ενώ όταν αποτελείται από ανθρακικά υλικά ο βαθμός υδροπερατότητας τους αυξάνεται. Σημαντικό επίσης ρόλο διαδραματίζει η συνεκτική ή όχι δομή τους, καθώς και το υλικό συγκόλλησής τους (αργιλικό, ασβεστιτικό κ.λπ).

*Καστανόχρωμες χερσαίες και ποταμοχερσαίες αποθέσεις (Pt.tr):* αργιλοπηλοί που περιέχουν διάσπαρτες κροκάλες και λατύπες ποικίλης λιθολογικής σύστασης και μεγέθους. Συχνά απαντώνται κροκαλολατυποπαγή πολυγενή, ετερομετρικά και συνεκτικά, σε ενστρώσεις μικρού πάχους (0,30-1.00m.) και περιορισμένης έκτασης. Όπου απαντώνται κροκαλολατυποπαγή η υδροπερατότητα κυμαίνεται από μικρή έως μέτρια.

Επιφανειακά συνήθως επικρατούν ερυθρογαίες πολύ μικρής υδροπερατότητας ενώ όπου επικρατούν κροκάλες, λατύπες και κροκαλοπαγή παρουσιάζεται μέτρια

έως σχετικά υψηλή υδροπερατότητα ανάλογα και με τη συμμετοχή του αργιλικού στοιχείου. Λόγω της ανάμιξης του υδροπερατού υλικού με το αργιλικό στοιχείο παρατηρούνται τοπικές διακυμάνσεις διαπερατότητας με μείωση του βαθμού υδροπερατότητας εκεί που επικρατεί το αργιλικό στοιχείο.

*Παράκτιες αποθέσεις (Pls)* : αποτελούνται από ψαμμούχες μάργες, ψαμμίτες, κροκαλολατυποπαγή πολύμεικτα, ετερομετρικά, συνεκτικά και μαργαϊκούς ασβεστόλιθους. Σχηματισμοί μέτριας έως υψηλής υδροπερατότητας εκεί όπου επικρατούν οι ψαμμίτες και τα κροκαλοπαγή και μέτριας έως πολύ μικρής υδροπερατότητας εκεί όπου επικρατούν οι ψαμμιτικές μάργες, οι αργιλικές μάργες και οι άργιλοι.

*Κροκαλοπαγή Σπάτων (Pl.c)*: κροκαλοπαγή, κατά θέσεις, λατυπο-ψηφιδοπαγή, πολύμεικτα, ετερομετρικά, μέτριας έως υψηλής υδροπερατότητας.

*Τραβερτινοειδείς ασβεστόλιθοι (Plm-s.tv.k)*: ασβεστόλιθοι τραβερτινοειδείς, εν μέρει μαργαϊκοί, που φιλοξενούν υδροφόρα στρώματα, μικρής υδροδυναμικότητας. Η παρουσία αργιλικών μαργών και αργιλικών ενστρώσεων δίνει ένα αδιαπέρατο χαρακτήρα.

*Μάργες, πηλοί, ψαμμίτες, κροκαλοπαγή (Ms-Pli)* : αποτελούνται από μάργες, πηλούς, ψαμμίτες κροκαλολατυποπαγή πολύμεικτα, κατά κανόνα αδιαβάθμητα, ετερομετρικά, συνεκτικά, ερυθροχώματα σε μικρές ενστρώσεις και μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι. Σχηματισμοί μέτριας έως υψηλής υδροπερατότητας εκεί όπου επικρατούν οι ψαμμίτες, τα κροκαλολατυποπαγή και οι μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι

και μέτριας έως πολύ μικρής υδροπερατότητας εκεί όπου επικρατούν οι ασβεστολιθικές μάργες.

*Λατυποπαγή Παιανίας (M.I)* : λατυποπαγή και εν μέρει ψηφιδοπαγή πολύμεικτα, αδιαβάθμιτα, ετερομετρικά μέτριας έως υψηλής υδροπερατότητας.

*Πλακώδεις Ασβεστόλιθοι (Ks.kk)* : ασβεστόλιθοι κατά θέσεις λατυποπαγείς, με φακούς, κονδύλους και διαστρώσεις πυριτόλιθων, μέτριας έως υψηλής υδροπερατότητας. Στα κατώτερα μέλη, όπου απαντώνται οι μαρμαρυγικοί σχιστόλιθους η υδροπερατότητα είναι μικρή έως μηδαμινή.

*Σχιστόλιθοι και φυλλίτες (Js-Ki)*: σχιστόλιθοι και εν μέρει φυλλίτες που περιέχουν μικρές φλέβες χαλαζία. Συχνά και σε διάφορους στρωματογραφικούς οριζόντες διακρίνονται ενστρώσεις (πάχους 5-20m) από κλαστικούς κρυσταλλικούς ασβεστόλιθους. Σχηματισμοί πολύ μικρής υδροπερατότητας έως αδιαπέρατοι με παρουσία κάποιας αξιόλογης υδροπερατότητας στις περιοχές που παρουσιάζονται διαρηγμένοι ή πολύ έντονα αποσαθρωμένοι και όπου εμφανίζονται οι ασβεστολιθικές ενστρώσεις.

*Κατώτερο μάρμαρο (J.mr)* : μάρμαρα κατά θέσεις λατυποπαγή με πυριτόλιθους. Στα μεσαία και κατώτερα μέλη τους είναι έντονα ανακρυσταλλωμένα και καρστικοποιημένα. Σχηματισμοί υψηλής υδροπερατότητας λόγω της καρστικοποίησης τους.

*Δολομίτες Πιρναρής (Ts.d)*: δολομίτες εν μέρει λατυποπαγείς, έντονα ανακρυσταλλωμένοι. Σχηματισμοί υψηλής υδροπερατότητας, όμως με μικρότερο βαθμό υδροπερατότητας σε σχέση με τους κρυσταλλικούς ασβεστόλιθους - μάρμαρα.

*Σχιστόλιθοι Βάρης (Ti-s.sch)*: συνίσταται από ακανόνιστες εναλλαγές ποικίλου πάχους και λιθολογικής σύστασης ιζημάτων και περιλαμβάνει ασβεστόλιθους, τοπικά λατυποπαγείς, εν μέρει δολομιτωμένους και ανθρακικούς, μαρμαρυγιακούς σχιστολίθους, με μικρές φλέβες χαλαζία. Οι ανθρακικοί σχηματισμοί είναι υψηλής υδροπερατότητας, ενώ οι σχιστόλιθοι είναι πολύ μικρής υδροπερατότητας έως αδιαπέρατοι.

*Οφιολιθικό σύμπλεγμα (Os)*: Μικρής υδροπερατότητας.

### 5.3 Υδροφόροι ορίζοντες

Η περιοχή έρευνας δεν αποτελεί μια ενιαία υδρογεωλογική ενότητα. Παρακάτω αναφέρονται τα χαρακτηριστικά των υδροφόρων οριζόντων όπου τους συναντούμε ακολουθώντας την στρωματογραφική σειρά.

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί που δομούν την περιοχή μελέτης διακρίνονται από υδρογεωλογική άποψη ως ακολούθως:

1. *Σχηματισμοί υψηλής υδροπερατότητας.* Στην κατηγορία αυτή κατατάχθηκαν οι σχηματισμοί με δευτερογενές πορώδες, όπως είναι τα μάρμαρα και οι δολομίτες.
2. *Σχηματισμοί μέτριας έως υψηλής υδροπερατότητας.* Στους σχηματισμούς αυτούς κατατάχθηκαν τα αδρόκοκκα μέλη των τεταρτογενών και νεογενών σχηματισμών, όπως: κροκαλοπαγή, λατυποπαγή, κροκαλολατυποπαγή, ψαμμίτες, κορήματα και πλακώδεις ασβεστόλιθοι όπου αυτοί απαντώνται με σημαντικό πάχος. Η κυκλοφορία του νερού στους σχηματισμούς αυτούς γίνεται μέσω του πρωτογενούς πορώδους (πορώδες κόκκων), αλλά και του δευτερογενούς πορώδους όπου οι σχηματισμοί είναι συνεκτικοί και εμφανίζουν ρωγμές. Τέλος είναι υδροπερατοί μόνο κατά την οριζόντια έννοια, η κατείσδυση του νερού γίνεται ακολουθώντας τις επιφάνειες στρώσης και δεν γίνεται κατακόρυφα προς αυτές.
3. *Σχηματισμοί μηδαμινής έως μικρής υδροπερατότητας:* Στην κατηγορία αυτή κατατάχθηκαν οι *Τραβερτινοειδείς ασβεστόλιθοι* του νεογενούς καθώς και οι σχιστόλιθοι, φυλλίτες και οφιόλιθοι του αλπικού υποβάθρου. Κατά θέσεις στους σχηματισμούς αυτούς, τόσο εξαιτίας του έντονου κερματισμού τους όσο και εξαιτίας της πετρολογικής σύνθεσης τους (π.χ. εναλλαγές χαλαζιτών, μαρμάρων) αναπτύσσονται επιμέρους, τοπικού χαρακτήρα, υδροφορίες.

## **6 ΥΔΡΟΧΗΜΕΙΑ**

### **6.1 Χημικές αναλύσεις υπόγειων νερών**

#### **6.1.1 Εισαγωγικά στοιχεία**

Τα υπόγεια νερά αποτελούν το μοναδικό μέλος του υπόγειου πλούτου μιας χώρας που συνδέεται με τον άνθρωπο με σχέση ζωής. Εκτός τούτου, το νερό είναι απαραίτητος και καθοριστικός παράγοντας για την οικονομική ανάπτυξη και την πρόοδο. Η οικιστική ανάπτυξη, η βιομηχανία, η γεωργία και κτηνοτροφία, ο τουρισμός κ.α. είναι δραστηριότητες για τις οποίες απαιτείται επάρκεια νερού.

Πρέπει κατά συνέπεια τα υπόγεια νερά να θεωρούνται σαν ένας απ' τους σημαντικότερους εθνικούς πόρους και να απαιτείται η απόλυτη προστασία τους. Κι αυτό γιατί, σε αντίθεση με τους άλλους υπόγειους φυσικούς πόρους, δηλαδή τα μεταλλεύματα, τους ορυκτούς άνθρακες, του υδρογονάνθρακες, τα βιομηχανικά ορυκτά και πετρώματα, έχουν μεν το πλεονέκτημα της ετήσιας ανανέωσης, παρουσιάζουν όμως το μειονέκτημα της επιδεκτικότητας σε μόλυνση και ρύπανση.

Η προστασία τους επομένως, τόσο ως προς την ποιότητα όσο και ως προς την ποσότητα, είναι επιβεβλημένη από τη πλευρά της Πολιτείας και των πολιτών. Η απειλή της ποιοτικής υποβάθμισης των νερών και της ποσοτικής μείωσής τους, αποτελεί ένα από τα προβλήματα που όλοι αντιλαμβάνονται εύκολα και αυτό που χρειάζεται να συνειδητοποιήσουν είναι το μέγεθος του, το επείγον στη μεθόδευση για τη λύση του και οι τρόποι και οι παρεμβάσεις που θα οδηγήσουν σ' αυτήν.

Το θέμα της ανανέωσης των υπόγειων νερών συνδέεται με την ποσοτική έννοια του υπόγειου υδατικού δυναμικού, το δε θέμα μόλυνσης και ρύπανσης με την ποιότητα τους και τις μεταβολές της τοπικά και χρονικά. Σε πολλές περιπτώσεις η ποιοτική και ποσοτική έννοια έχουν στενή μεταξύ τους σχέση, κι αυτό είναι ιδιαίτερα εμφανές στην αλλοίωση της

ποιότητας των υπόγειων νερών των παραθαλάσσιων υπόγειων υδροφορέων από τη διείσδυση σ' αυτούς αλμυρών θαλασσινών νερών, σε περιπτώσεις υπερεντατικών αντλήσεων ή μείωσης της τροφοδοσίας που οδηγούν σε ελάττωση του υδραυλικού φορτίου και διείσδυση της θάλασσας.

### **6.1.2 Ρύπανση - μόλυνση**

Τα υπόγεια νερά είναι σε πολύ μικρότερο βαθμό εκτεθειμένα στις εξωτερικές ρυπογόνες επιδράσεις, σε σύγκριση με τα επιφανειακά νερά, επομένως προστατεύονται καλύτερα. Είναι όμως δυνατό να υποστούν και αυτά ποιοτική υποβάθμιση που εκφράζεται με τους όρους ρύπανση και μόλυνση και είναι αποτέλεσμα της παρουσίας ρυπαντών εντός των υδροφόρων στρωμάτων.

Ρύπανση είναι η άμεση ή έμμεση εισαγωγή, μετά από ανθρώπινες δραστηριότητες, οποιασδήποτε ουσίας στα επιφανειακά και υπόγεια νερά, στο έδαφος ή το υπέδαφος, που προκαλούν αλλοίωση των φυσικών, χημικών και βιολογικών τους ιδιοτήτων. Η ρύπανση δημιουργεί κινδύνους για την υγεία και ευεξία του ανθρώπου και προκαλεί βλάβες στο φυτικό ή ζωϊκό κόσμο ή το υδατικό οικοσύστημα. Για τους λόγους αυτούς η ρύπανση περιορίζει ή εμποδίζει την χρησιμοποίηση του νερού στις διάφορες χρήσεις.

Η μόλυνση έχει χαρακτήρα μικροβιακό και είναι η άμεση ή έμμεση εισαγωγή μετά από ανθρώπινες δραστηριότητες ή η παρουσία στα επιφανειακά ή υπόγεια νερά παθογόνων μικροοργανισμών ή δεικτών που υποδηλώνουν τη δυνατότητα παρουσίας τους.

Η υποβάθμιση της φυσικής ποιότητας των υπογείων νερών οφείλεται στο μεγαλύτερο μέρος σε ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Σε συγκεκριμένες μόνο περιπτώσεις αποδίδεται σε φυσικά αίτια, δηλαδή στην επίδραση των πετρωμάτων με τα οποία το νερό έρχεται σε επαφή κατά την υπόγεια κίνηση του.

Πριν προχωρήσουμε στις κατηγορίες ρύπανσης είναι σκόπιμο να αναφερθούμε στα χαρακτηριστικά των υπόγειων νερών, ώστε να συσχετίσουμε αυτά τα χαρακτηριστικά με την ρύπανση, αναζητώντας πιθανά «ευνοϊκά» στοιχεία για τη διακίνηση και παρουσία των ρυπαντών.

### 6.1.3 Χαρακτηριστικά των υπογείων νερών

Τα υπόγεια νερά βρίσκονται πάντα σε απουσία φωτός, με αδυναμία ανανέωσης του οξυγόνου και επηρεάζονται από την αργή διήθηση μέσα από πορώδη εδαφικά υλικά παρουσία αναερόβιων βακτηρίων και διαφόρων αλάτων. Η θερμοκρασία τους, ανάλογα με το βάθος στο οποίο βρίσκονται, επηρεάζεται ελάχιστα ή καθόλου από τις ατμοσφαιρικές μεταβολές. Παρουσιάζει αξιόλογη σταθερότητα στο χρόνο και οι συνήθεις τιμές της κυμαίνονται μεταξύ 16°C και 18°C. Μεγαλύτερες τιμές θερμοκρασίας συνδέονται με ανωμαλίες της γεωθερμικής βαθμίδας σε ορισμένες περιοχές.

Η χημική σύσταση του υπόγειου νερού καθορίζεται κυρίως από: α) την σύσταση των πετρωμάτων διαμέσου των οποίων κατεισδύει για να φτάσει στο υδροφορέα

β) τη σύσταση των πετρωμάτων που συναντά κατά την κίνηση του μέσα στον υδροφορέα

γ) από την χρονική διάρκεια της επαφής νερού-πετρωμάτων και το χρόνο παραμονής του στο υπέδαφος.

Η χημική σύσταση των υπόγειων νερών δεν είναι σταθερή αλλά μεταβάλλεται χωροχρονικά, δευτερογενώς δε επηρεάζεται σε μικρό ή μεγάλο βαθμό από παράγοντες ανθρωπογενούς προέλευσης που προκαλούν την μεταβολή της φυσικής ποιότητάς τους.



### Προέλευση κύριων ιόντων

Ca<sup>++</sup> και Mg<sup>++</sup>: Το ασβέστιο προέρχεται κυρίως από ανθρακικά ιζηματογενή πετρώματα και το μαγνήσιο κυρίως από ανθρακικά πετρώματα με άφθονο (MgCO<sub>3</sub>) ή (CaCO<sub>3</sub>.MgCO<sub>3</sub>), περιδοτίτες και σερπεντινίτες

K<sup>+</sup> και Na<sup>+</sup>: κυρίως από πετρώματα που περιέχουν ορθόκλαστο (πχ. γρανίτες, γνευσίους κ.α.), πλαγιόκλαστα (π.χ. βασάλτες, γάββρους κ.α.), αργιλικά ορυκτά ( π.χ. αργίλους, αργιλικούς σχιστολίθους κ.α.), βιοτίτη, μοσχοβίτη κλπ.

HCCV : προέρχεται από ανθρακικά πετρώματα όταν διαλυθούν από νερό και από το CO<sub>2</sub> της ατμόσφαιρας ή του εδάφους.

Cl<sup>-</sup>: α) από διείσδυση του θαλασσινού νερού

β) από παρουσία εβαποριτικών ορυκτών και «απολιθωμένων» νερών

γ) από λύματα και οικιακά απόβλητα = ρύπανση υδροφόρων

SO<sub>4</sub><sup>-</sup>: από διάλυση του CaSO<sub>4</sub> της γύψου και του ανυδρίτη, οξείδωση των πυριτών, αργιλικών και άλλων πετρωμάτων.

NO<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> και NO<sub>2</sub><sup>-</sup>: μορφές του διαλυμένου αζώτου στο υδάτινο περιβάλλον: νιτρική ρίζα (NO<sub>3</sub>), αμμώνιο (NH<sub>4</sub>), αμμωνία (NH<sub>3</sub>) και νιτρώδης ρίζα (NO<sub>2</sub>) που μετασχηματίζονται από τη μια μορφή στην άλλη με σύνθετες αντιδράσεις όπως αμμωνιοποίηση ή αζωτοποίηση. Η νιτρική οφείλεται κυρίως στα οικιστικά απόβλητα, στις γεωκτηνοτροφικές δραστηριότητες (λιπάσματα, απόβλητα) κ.α.

Δευτερεύοντα συστατικά-ιχνοστοιχεία

Οι συγκεντρώσεις τους στα νερά είναι συνήθως μικρότερες του 1 mg/l. Τα συνηθέστερα είναι: Σίδηρος, Στρόντιο, Βόριο, Βάριο, Βρώμιο, Ιώδιο, Χρώμιο, Χαλκός, Κοβάλτιο, Μόλυβδος, Μαγγάνιο, Νικέλιο, Φωσφορικά.

#### 6.1.4 Φυσικοχημικές παράμετροι

Οι φυσικοχημικές παράμετροι που εξετάζονται είναι οι ακόλουθες:

Η Ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC): είναι η ικανότητα του νερού να μεταφέρει το ηλεκτρικό ρεύμα. Ρυθμίζεται και εξαρτάται από το σύνολο των διαλυμένων στο νερό ουσιών. Η τιμή της αυξάνει με τον εμπλουτισμό των νερών με διάφορα ιόντα κατά το χρόνο παραμονής του στο υπέδαφος.

Συνολικά διαλελυμένα στερεά (TPS): συνολική συγκέντρωση των διαλυμένων αλάτων στο νερό.

Ενεργός Οξύτητα (pH): δραστηριότητα του ιόντος του υδρογόνου (H<sup>+</sup>). Σε κανονικές συνθήκες το pH του φυσικού νερού στους 25°C είναι 7,0. Μικρές τιμές δηλώνουν όξινα νερά και υψηλές αλκαλικά.

Θερμοκρασία (T): εξαρτάται από τη θερμοκρασία των πετρωμάτων στα διάφορα βάθη που βρίσκονται. Συνήθεις τιμές για τα υπόγεια νερά είναι 16-18°C.

Διαλυμένο οξυγόνο (PO): σε υπόγεια νερά που ανανεώνονται συνεχώς, προκαλείται αύξηση του. Κακή ανανέωση συνεπάγεται χαμηλή τιμή PO.

Βιολογικά απαιτούμενο οξυγόνο (BO-P): εκφράζει την ποσότητα του οξυγόνου που χρησιμοποιείται σε μια περίοδο πέντε ημερών από αερόβια βακτήρια σε έναν ορισμένο όγκο ακάθαρτου νερού.

Διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>): προέρχεται από την ατμόσφαιρα και τις οργανικές διασπάσεις που γίνονται στο έδαφος. Συνήθως οι τιμές των συγκεντρώσεων του είναι ανάλογες του πάχους της ακόρεστης ζώνης.

Ολική αλκαλικότητα Π.Α.): Ικανότητα του νερού να εξουδετερώνει τα οξέα, οφείλεται στην παρουσία ανθρακικών, όξινων ανθρακικών κ.α.

Ολική σκληρότητα (Τ.Η.): οφείλεται στην παρουσία δισθενών κατιόντων  $\text{Ca}^{++}$  και  $\text{Mg}^{++}$  καθώς και  $\text{Fe}^{+}$  \  $\text{Sr}^{++}$ . Είναι σημαντική ιδιότητα που αποτελεί κριτήριο ακαταλληλότητας του νερού για διάφορες χρήσεις.

Παροδική σκληρότητα: σκληρότητα που προέρχεται από την παρουσία διαλυμένων όξινων ανθρακικών αλάτων ( $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  και  $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ ), τα οποία είναι σχετικά αδιάλυτα στο καθαρό νερό.

Μόνιμη σκληρότητα: παρουσία διαλυμένων αλάτων  $\text{CaSO}_4$  και  $\text{MgSO}_4$ .

Είναι προφανές ότι η δυνατότητα διάθεσης του νερού για διάφορες χρήσεις (πόσιμο ή οικιακή, βιομηχανική και αρδευτική χρήση, μεταλλικά και επιτραπέζια νερά) εξαρτάται από τα ποιοτικά του χαρακτηριστικά, που καθορίζονται από τις φυσικοχημικές παραμέτρους του και τις τιμές συγκεντρώσεων των διαφόρων διαλελυμένων ή εν αιωρήσει ουσιών. Σε πίνακες που παρατίθενται σε παράρτημα στο τέλος του κεφαλαίου, φαίνονται οι τιμές αυτές όπως καθορίζονται από την νομοθεσία για διάφορες χρήσεις των νερών.

### **6.1.5 Υπόγεια ρύπανση**

Πολλοί είναι οι παράγοντες που επηρεάζουν την αντίσταση των εδαφικών υλικών στην εξάπλωση της ρύπανσης. Μερικοί απ' αυτούς είναι το είδος του πετρώματος ή των προσχωματικών αποθέσεων (κοκκομετρική και ορυκτολογική σύνθεση), η ποσότητα και η περιεκτικότητα αυτών σε ευδιάλυτα άλατα, η διαπερατότητα και η υδαταγωγιμότητα τους, η προσροφητικότητα, η ιοντοανταλλακτική ικανότητα κ.α.

Οι ρυπαντικές ουσίες όταν εισάγονται μέσα στο υπόγειο νερό παίρνουν την μορφή ενός ριπιδίου που αρχίζει από την πηγή ρύπανσης και εκτείνεται μέχρι τη θέση της φυσικής εκφόρτισης. Τα όρια της περιοχής αυτής συνήθως είναι σαφή. Σε πολλές περιπτώσεις η ρυπαντική ουσία συνίσταται από μια μεγάλη περιεκτικότητα σε ελεύθερα ιόντα, η οποία μπορεί να προέρχεται από την εισαγωγή ενός διαλυμένου ανόργανου άλατος.

## Είδη ρύπανσης

Τα είδη ρύπανσης εξαρτώνται από τον τύπο του ρύπου που την προκαλεί και από τις επιδράσεις του στο νερό, οι οποίες μπορεί να είναι φυσικές, χημικές και παθογόνες.

Φυσικές επιδράσεις: προκαλούνται από ρύπανση που αλλάζει τα φυσικά χαρακτηριστικά του νερού, όπως είναι η αύξηση της θερμοκρασίας (από τα νερά π.χ. ψύξης βιομηχανικών εγκαταστάσεων), η αύξηση των ολικών διαλυμένων στερεών και των αιωρούμενων σωματιδίων, η αλλαγή του ΡΗ κ.α.

Χημικές επιδράσεις: προκαλούνται από την άμεση ή έμμεση εισαγωγή χημικών και τοξικών ουσιών και αποτελούν τον κύριο λόγο ρύπανσης των νερών.

Παθογόνες επιδράσεις: προκαλούνται από την εισαγωγή στο νερό ιών και βακτηρίων, τα οποία παρ' ότι έχουν μικρό χρόνο ζωής μολύνουν το νερό και μπορούν να προκαλέσουν σημαντικά προβλήματα υγείας στους χρήστες του.

Σαν ειδικές κατηγορίες ρύπανσης αναφέρονται η ραδιενεργός ρύπανση και η ρύπανση από πετρελαιοειδή.

Η ρύπανση των υπογείων υδροφορέων, ανάλογα με το μέγεθος και τη γεωμετρία της πηγής προέλευσης των ρυπαντών διακρίνεται σε:

- Σημειακή, όταν προέρχεται από μια μοναδική θέση (π.χ. χώρος απόθεσης ή ταφής αποβλήτων, θέση ανατροπής βυτιοφόρου με ρυπαντικές ουσίες, πηγάδια διοχέτευσης αποβλήτων κ.α.)
- Γραμμική, όταν οι πηγές ή αιτίες της ρύπανσης παρουσιάζουν μια επικρατούσα γραμμική διάταξη (π.χ. διαρροές αποχετευτικού δικτύου, δρόμοι μετά από χρησιμοποίηση αλατιού για τη γρήγορη τήξη του πάγου κ.α.)
- Διάχυτη ή διάσπαρτη, όταν η πηγή ρύπανσης κατέχει μια εκτεταμένη περιοχή τελείως καθορισμένη ή όχι π.χ. αγροτική ρύπανση από υπερλύπανση από χρήση

φυτοφαρμάκων, ζιζανιοκτόνων, εντομοκτόνων κ.τ.λ., από επιστροφές αρδεύσεων, από όξινη βροχή κ.α.

### **Πηγές ρύπανσης**

Πριν προχωρήσουμε στην καταγραφή των κύριων πηγών μόλυνσης και ρύπανσης, πρέπει να κάνουμε τη διάκριση μεταξύ της πραγματικής, αλλά ελεγχόμενης μόλυνσης και ρύπανσης, που οφείλεται σε εξωγενείς επιδράσεις και της αλλοίωσης της ποιότητας των υπόγειων νερών που οφείλεται σε επιδράσεις των πετρωμάτων, μέσα στα οποία κυκλοφορούν ή έρχονται σε επαφή (π.χ. γύψος, ορυκτό αλάτι κ.α.).

Αν εξαιρεθούν τα υπόγεια νερά που συνδέονται με τα κοιτάσματα πετρελαίου, αυτά που βρίσκονται σ' επαφή με αλατούχους σχηματισμούς, κι αυτά που εμπλουτίζονται με μεγάλες ποσότητες φυσικών αλάτων κατά τη ροή τους μέσα στα πετρώματα, όλες οι άλλες περιπτώσεις αλλοίωσης της ποιότητας των νερών έχουν ανθρωπογενή αίτια. Ακόμη και η διείσδυση της θάλασσας στους παραθαλάσσιους υδροφορείς, οφείλεται στις περισσότερες περιπτώσεις σε υπεραντλήσεις ή κακό προγραμματισμό αντλήσεων, είναι επομένως ανθρώπινης προέλευσης.

Οι ρυπαντές, με την ευρεία έννοια της λέξης, δηλαδή όλες οι ουσίες που προκαλούν μόλυνση ή ρύπανση, μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις κατηγορίες:

α) Αστικής και οικιακής προέλευσης (στερεά και υγρά οικιακά απόβλητα, νεκροταφεία, βόθροι, απορροές δρόμων κ.α.)

β) Αγροτοκτηνοτροφικής προέλευσης (επιστροφές άρδευσης, λιπάσματα, φυτοφάρμακα, αποσυρόμενα-απορριπτόμενα προϊόντα,, λύματα και απορρίμματα ζώων από κτηνοτροφικές εγκαταστάσεις κ.α.)

γ) Βιομηχανικής προέλευσης, δηλαδή βιομηχανικά απόβλητα (τοξικές ουσίες και ραδιενεργά απόβλητα, βαριά μέταλλα, ορυκτέλαια, απορρίμματα μεταλλείων και μεταλλουργιών κ.α.).

## 6.2 Μελέτη υδροχημικών δεδομένων

Η μελέτη των δεδομένων των χημικών αναλύσεων υπόγειων νερών μπορεί να περιλαμβάνει τα ακόλουθα:

### 6.2.1 Υδροχημικοί χάρτες

Το υπόγειο νερό ακόμη και αυτό που βρίσκεται μέσα στο ίδιο υδροφόρο στρώμα που έχει την ίδια λιθολογία, δεν έχει ακριβώς την ίδια χημική σύσταση. Αυτή μεταβάλλεται χωρικά λόγω ανάμιξης με νερά που έρχονται από γειτονικά στρώματα, αλλά και χρονικά δεδομένου ότι: όσο πιο πολύ παραμένει το νερό στο υπέδαφος τόσο περισσότερο εμπλουτίζεται σε ιόντα.

Η ποιότητα και γενικά τα χημικά χαρακτηριστικά του υπόγειου νερού απεικονίζονται σε υδροχημικούς χάρτες οι οποίοι δίνουν τη χωρική κατανομή των διαφόρων ιόντων με τις ισοχημικές καμπύλες, δηλαδή τις καμπύλες που αντιστοιχούν σε σημεία ίσης συγκέντρωσης στο υπόψη κάθε φορά ιόν, μια συγκεκριμένη ημερομηνία ή χρονική περίοδο.

Οι χάρτες αυτοί δείχνουν την τάση μεταβολής της χημικής ποιότητας του υπόγειου νερού στο χώρο της εξεταζόμενης περιοχής. Και είναι κάθε φορά εξεταστέο αν οι μεταβολές οφείλονται σε φυσικές διαδικασίες ή και σε επεμβάσεις του ανθρώπου και ποιές.

### 6.2.2 Συσχετικά διαγράμματα

Οι τιμές περιεκτικότητας του υπόγειου νερού σε διάφορα ιόντα, κύρια ή δευτερεύοντα, εξεταζόμενα ανά ορισμένα ζεύγη, αυξάνονται ή μειώνονται παράλληλα, διατηρώντας μια περίπου σταθερή σχέση μεταξύ τους, κυρίως όταν εκφράζονται σε mg/l.

Σε πολλά ζεύγη ιόντων, η συσχέτιση είναι συνήθης, ενώ σε άλλα συγκυριακή. Η συσχέτιση συνδέεται με τη χημική συγγένεια και τις ιδιότητες των ιόντων αυτών, αλλά και με τη λιθολογία του αντίστοιχου υδροφορέα.

Σε αρκετές περιπτώσεις η περιεκτικότητα του υπόγειου νερού σε ορισμένα ιόντα συσχετίζεται με τη στάθμη του αντίστοιχου υδροφορέα (είτε πρόκειται για δείγματα από το ίδιο σημείο σε διαφορετικές χρονικές στιγμές απέχουσες μεταξύ τους, είτε για δείγματα από διαφορετικά απέχοντα μεταξύ τους σημεία κατά την ίδια χρονική στιγμή), κυρίως του K ή του Na, σε ρηχά υδροφόρα ή λόγω χρήσης λιπασμάτων, ή του Cl σε παράκτια υδροφόρα.

### 6.2.3 Ιοντικοί λόγοι

Ο λόγος της περιεκτικότητας του υπόγειου νερού σε ένα ορισμένο ιόν, ως προς αυτήν σε κάποιο άλλο ιόν, δηλαδή ο ιοντικός λόγος παίρνει είτε τιμές που σχετίζονται με τα πετρώματα μέσα στα οποία φιλοξενείται το νερό, ή και μέσα από τα οποία πέρασε, είτε τιμές που σχετίζονται με το βαθμό ανανέωσης του ή την ανάμιξη του με θαλασσινό νερό. Η ισορροπία των διαφόρων ιόντων μέσα στο νερό, ή ιοντική ισορροπία εκφράζεται με τους ιοντικούς λόγους και είναι δηλωτική, για πολλά πράγματα, όπως για την υπόγεια πορεία του νερού, το χρόνο παραμονής του ή την ανάμιξη του ιδίως με θαλασσινό νερό. Οι κυριώτεροι ιοντικοί λόγοι είναι οι εξής:

Πίνακας 12 Ιοντικοί λόγοι ( Βουδούρης 2009)

<b>Ιοντικός λόγος Mg/Ca</b> : μας δείχνει αν το νερό προέρχεται από ασβεστολιθικά ή μαγνησιούχα πετρώματα		
Mg/Ca	< 0,5-0,7	Αντιστοιχούν σε νερό από ασβεστολιθικά υδροφόρα
Mg/Ca	= 0,7-0,9	Αντιστοιχούν σε δολομιτικά υδροφόρα στρώματα
Mg/Ca	>0,9	Αντιστοιχούν σε υδροφόρους οφιολιθικών σχηματισμών ή πυριτικών πλούσιων σε Mg

**Ιοντικός λόγος Na/Cl :** σχετίζεται με την υφαλμύρωση και τη διείδυση θαλασσινού νερού

Na/Cl	0,876±10%	Κανονικό υπόγειο νερό
Na/Cl	>1	Νερό από αλκαλικά πυριγενή ή μεταμορφωμένα πετρώματα
Na/Cl	<0,876±10%	Υφαλμύρωση υδροφορέα

**Ιοντικός λόγος Na/K :** σχετίζεται με το αν το νερό είναι θαλασσινό ή βρόχινο ή αν υπάρχει περιοχή εμπλουτισμού υδροφορέων

Na/K	=47	Θαλασσινό νερό
Na/K	10	Βρόχινο νερό
Na/K	=15-25	Νερό σε περιοχή εμπλουτισμού υδροφορέων
Na/K	=50-70	Νερό σε κατάντη τμήμα του υδροφορέα σε σχέση με τη διεύθυνση ροής

**Ιοντικός λόγος Cl/SO<sub>4</sub>:** σχετίζεται με την υφαλμύριση και την ύπαρξη υπολειμματικών αλάτων στους υδροφορείς

Cl/SO <sub>4</sub>	=10	Θαλασσινό νερό
Cl/SO <sub>4</sub>	>5	Νερό χλωριούχο
Cl/SO <sub>4</sub>	=1-5	Νερό χλωροθειούχο
Cl/SO <sub>4</sub>	=0,2-1	Νερό θειούχο-χλωριούχο
Cl/SO <sub>4</sub>	<0,2	Νερό θειούχο

**Ιοντικός λόγος (Ca+Mg)/(Na+K):** σχετίζεται με την τροφοδοσία του υπόγειου νερού



$(Ca+Mg)/(Na+K)$	>1, υδροφόρο στρώμα με συνεχή τροφοδοσία
$(Ca+Mg)/(Na+K)$	<1, παλιό νερό στα κατάντη τμήματα του υδροφορέα

#### 6.2.4 Υδροχημικά διαγράμματα

Η σύγκριση των αποτελεσμάτων από χημικές αναλύσεις δειγμάτων νερού, που ελήφθησαν από το ίδιο σημείο σε διαφορετικές χρονικές στιγμές ή που ελήφθησαν από διαφορετικά σημεία κατά την ίδια περίπου χρονική στιγμή, γίνεται με τη χρήση διαφόρων διαγραμμάτων που συνήθως χρησιμοποιούνται. Είναι υδροχημικά διαγράμματα (αρκετά αριθμητικά ή και ποικίλων τύπων και χαρακτήρων) που επιτρέπουν εξαγωγή συμπερασμάτων για ερμηνείες και χαρακτηρισμούς του υπογείου και επιφανειακού νερού. Επιπλέον επιτρέπουν την ταξινόμηση των αναλυθέντων δειγμάτων νερού και δίνουν πληροφορίες για την υδροχημική τους φάση. Τα σημαντικότερα (αυτά που χρησιμοποιούνται και στη παρούσα διπλωματική εργασία) αναφέρονται στη συνέχεια

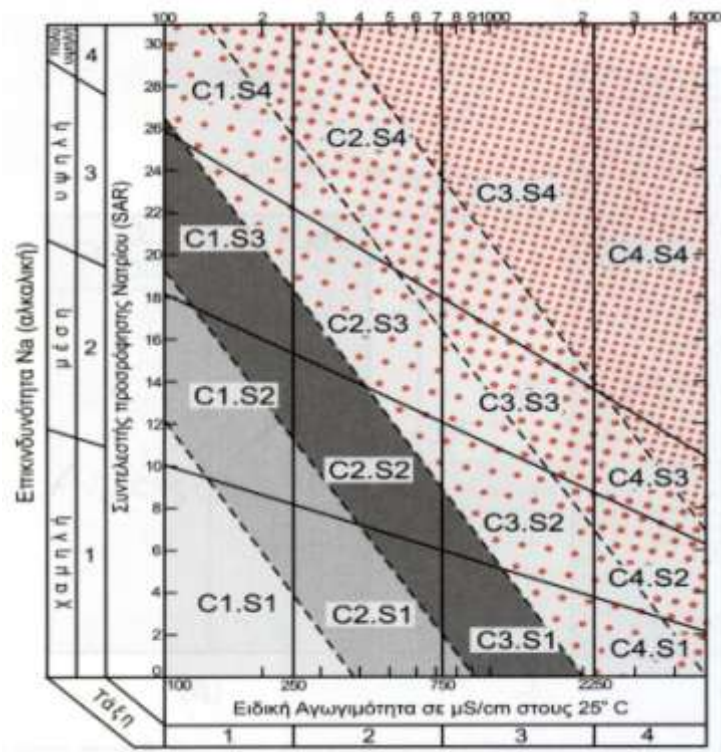
##### i. Διάγραμμα Wilcox (1955)

Το διάγραμμα αυτό (Εικόνα 32), αποτελεί μία σημαντική μέθοδο ελέγχου της καταλληλότητας του αρδευτικού νερού σε σχέση με τη φύση και τις ιδιότητες των καλλιεργούμενων εδαφών. Χρησιμοποιεί το δείκτη S.A.R. και την ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC).

Με βάση το διάγραμμα αυτό μπορούμε να διακρίνουμε τις εξής κατηγορίες αρδευτικού νερού:

A: C1-S1. Ποιότητα καλή.

- B: C1-S2, C2-S1. Ποιότητα καλή έως μέτρια. Το νερό πρέπει να χρησιμοποιείται με προφύλαξη στα βαριά εδάφη που δεν αποστραγγίζονται καλά και επίσης με επιφύλαξη για ευαίσθητα φυτά.
- Γ: C1-S3, C2-S2, C3-S1. Ποιότητα μέτρια έως πολύ μέτρια. Μπορεί να χρησιμοποιείται λαμβάνοντας μέτρα προφύλαξης. Το έδαφος πρέπει να αποστραγγίζεται καλά ή πρέπει να προστίθεται σε αυτό γύψος.
- Δ: C1-S4, C2-S3, C3-S2, C4-S1. Ποιότητα πολύ μέτρια έως κακή. Δεν πρέπει να χρησιμοποιείται για ευαίσθητα φυτά, ούτε γενικά για βαριά εδάφη. Μπορεί να χρησιμοποιείται με μέτρα προφύλαξης σε ελαφρά εδάφη που αποστραγγίζονται καλά ή να προστίθεται γύψος.
- Ε: C2-S4, C3-S3, C4-S2. Ποιότητα κακή. Δεν πρέπει να χρησιμοποιείται παρά μόνο για ανθεκτικά φυτά σε ελαφρά εδάφη καλώς αποστραγγιζόμενα, με προσθήκη γύψου.
- Z: C3-S4, C4-S3, C4-S4. Πολύ κακή ποιότητα. Δεν πρέπει να χρησιμοποιείται σε καμμία περίπτωση.

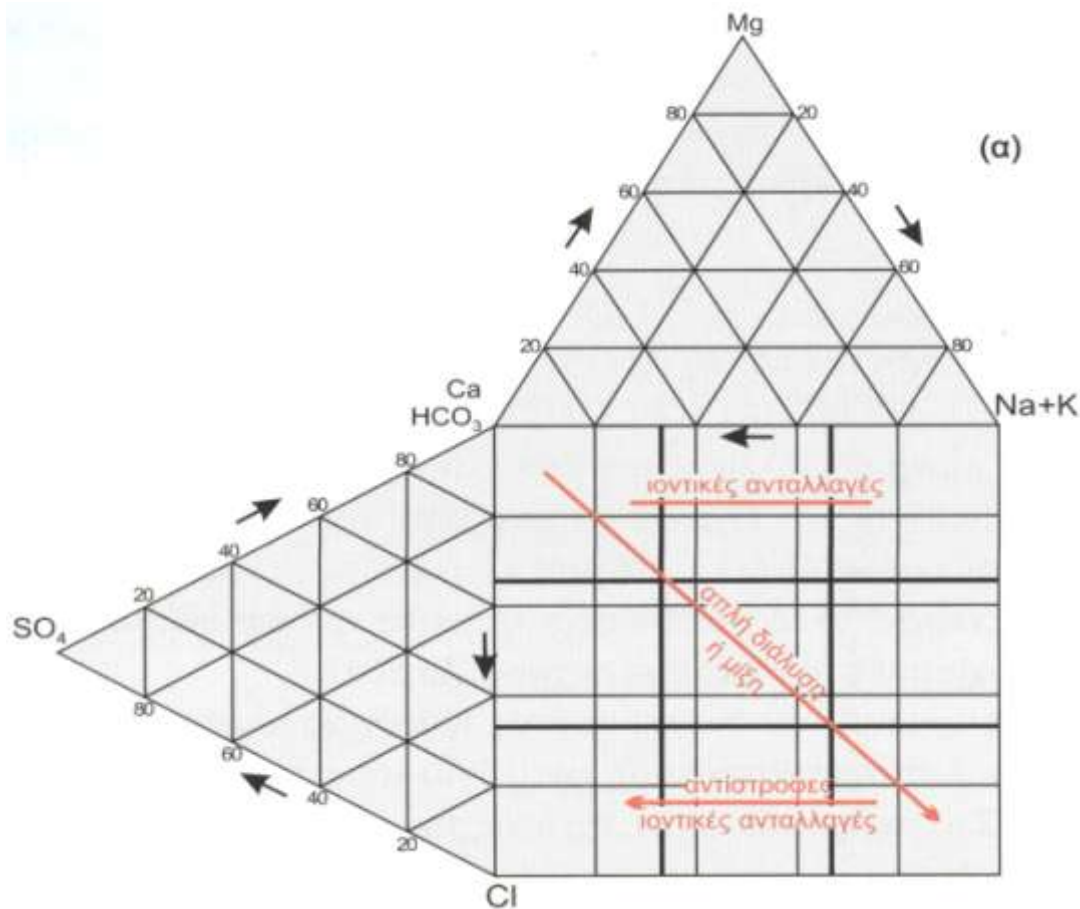


Εικόνα 32 Διάγραμμα Wilcox

## ii. Διάγραμμα Durov (1948)

Αποτελείται από δύο τριγωνικά διαγράμματα, ένα για τα ανιόντα και ένα για τα κατιόντα που συνδέονται με ένα τετραγωνικό, διαχωριζόμενο σε 9 επί μέρους τετραγωνίδια, τα οποία αντιστοιχούν σε κατηγορίες νερού, αλλά και σε περιοχές στις οποίες συμβαίνουν στο νερό διάφορες υδροχημικές διαδικασίες (εικόνα 33).

Προβάλλονται στα χωριστά τρίγωνα τα ανιόντα και κατιόντα. Στη συνέχεια η προέκταση των καθέτων στις βάσεις των ισόπλευρων τριγώνων, που ξεκινούν από τα σημεία που παριστάνουν την % περιεκτικότητα του νερού σε ανιόντα και κατιόντα, τέμνονται σε ένα σημείο που παριστάνει την κύρια ιοντική συγκέντρωση % στο νερό.



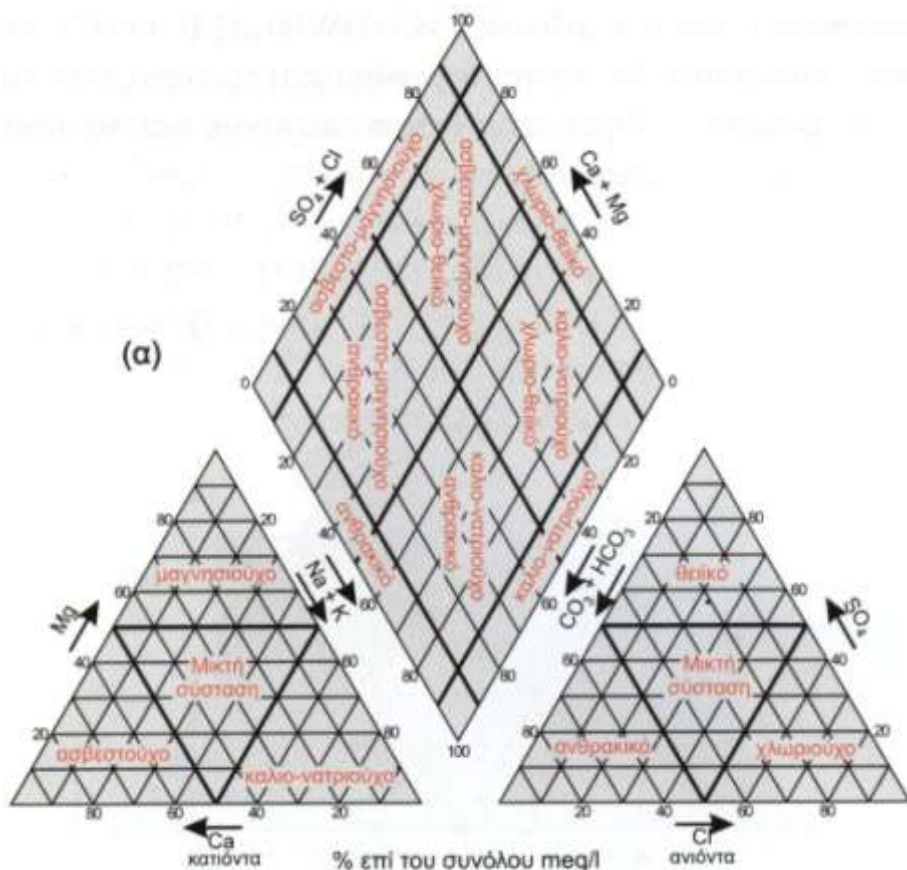
Εικόνα 33 Διάγραμμα Durov

### iii. Διάγραμμα Piper (1944)

Αποτελείται από δύο τριγωνικά διαγράμματα, ένα για τα ανιόντα και ένα για τα κατιόντα και ένα ενδιάμεσο ρομβικό που στο σύνολο συνιστούν ένα τρίγωνο (Εικόνα 34). Η θέση του αντίστοιχου δείγματος νερού στο διάγραμμα το κατατάσσει σε μία κατηγορία, τόσο ως προς τα κατιόντα ή ανιόντα όσο ως προς το σύνολο. Δίνει επομένως την υδροχημική φάση του δείγματος.

Είναι σαφές ότι το διάγραμμα Piper επιτρέπει τόσο την άμεση, εποπτική σύγκριση διαφόρων δειγμάτων νερού, όσο και την ταξινόμησή τους σε κατηγορίες (φάσεις) ακόμα και

όταν έχουμε πολλά και διαφορετικά δείγματα νερού. Είναι επίσης εφικτό να βρεθεί και η αντίστοιχη υδροχημική φάση.



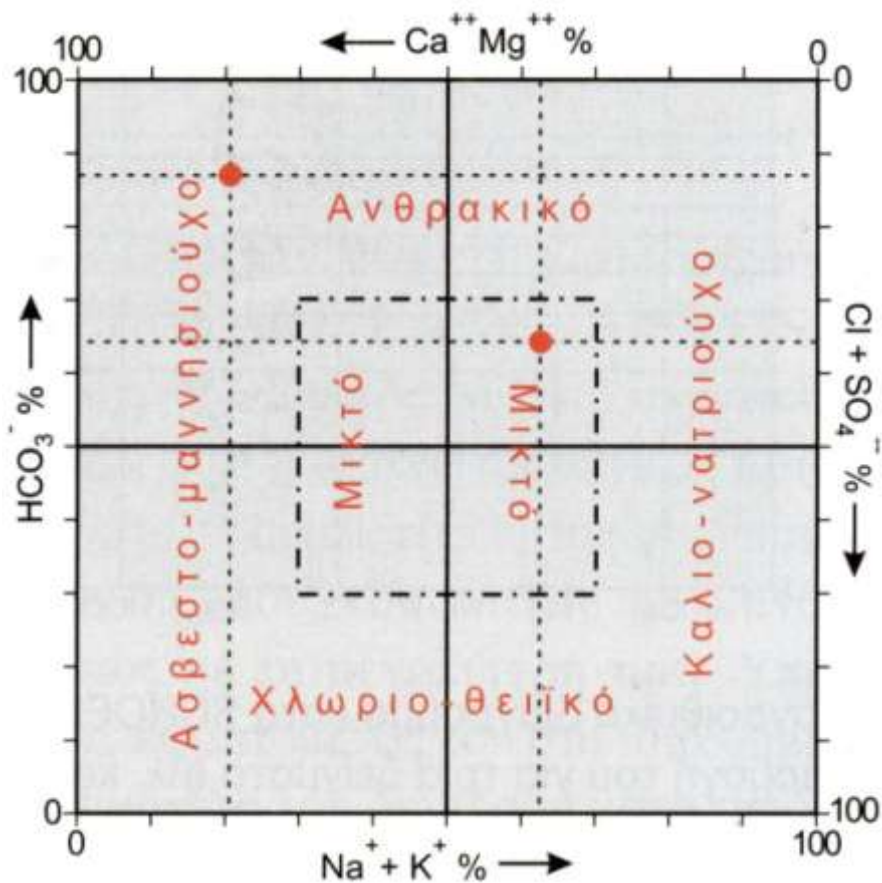
Εικόνα 34 Διάγραμμα Piper (Σούλιος 2006)

#### iv. Διάγραμμα Ludwig Langelier (1942)

Το διάγραμμα αυτό εμφανίζει την κατανομή των δειγμάτων σε σχέση με το χλωριο – θειικό και κάλιο – νατριούχο χαρακτήρα τους (Εικόνα 35). Όσο τα δείγματα απομακρύνονται από την αρχή των αξόνων τόσο ισχυροποιείται ο χαρακτήρας που έχουν (σε όσα δείγματα πλησιάζουν τον άξονα των  $Cl + SO_4$  υπερισχύει ο χλώριο – θειικός χαρακτήρας και αντίστοιχα σε όσα πλησιάζουν τον άξονα  $Na - K$  υπερισχύει ο κάλιο – νατριούχος, ενώ σε αυτά που σχεδόν ισαπέχουν ο χαρακτήρας είναι ισομερής, δηλαδή χλώριο – θειικός και κάλιο – νατριούχος). Αντικαθιστώντας του άξονες του διαγράμματος με  $Ca - Mg$  και  $HCO_3$

αντίστοιχα, θα δημιουργούνταν η κατανομή των δειγμάτων με βάση τον άσβεστο – μαγνησιούχο και ανθρακικό χαρακτήρα τους.

Στη μορφή που το διάγραμμα έχει και τους τέσσερις άξονες ( $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Na} - \text{K}$ ,  $\text{Ca} - \text{Mg}$ ,  $\text{Cl} - \text{SO}_4$ ) εμφανίζεται η κατανομή των δειγμάτων και ως προς τους τέσσερις υδροχημικούς χαρακτήρες. Κάθε τομή των αξόνων σε σχέση με το κέντρο του διαγράμματος ορίζει μια τετραγωνική περιοχή όπου υπερισχύουν κάθε φορά δύο από τους τέσσερις χαρακτήρες. Στο κέντρο του διαγράμματος ορίζεται και μία μικτή περιοχή που όλοι σχεδόν οι χαρακτήρες είναι ισομερείς.



Εικόνα 35 Διάγραμμα Ludwig-Langelier

#### v. Διάγραμμα Schoeller (1963)

Πρόκειται για ένα διάγραμμα που στον κατακόρυφο άξονα έχει τιμές διαφόρων ιόντων σε ημιλογαριθμική κλίμακα και στον οριζόντιο σε δεκαδική κλίμακα τα διάφορα ιόντα με την εξής σειρά: Ca, Mg, Na+K, Cl, SO<sub>4</sub>, HCO<sub>3</sub>. Οι τιμές των ιόντων κάθε δείγματος ενώνονται στο διάγραμμα με μία καμπύλη γραμμή. Όταν η καμπύλη αυτή έχει το κυρτό μέρος προς τα επάνω το νερό είναι υφάλμυρο, ενώ όταν έχει το κοίλο το νερό είναι γλυκό. Ακόμη όσο πιο «πάνω» βρίσκεται αυτή, τόσο πιο μεγάλη είναι η συνολική περιεκτικότητα σε ιόντα (δηλαδή ουσιαστικά το T.D.S.).

#### 6.2.5 Κριτήρια καταλληλότητας αρδευτικού νερού

Οι ποιοτικές απαιτήσεις για το αρδευτικό νερό ποικίλλουν, ανάλογα με την αρδευόμενη περιοχή και το είδος της καλλιέργειας. Ένα αρδευτικό νερό, που είναι μέτριο ή κακό για μια περιοχή, μπορεί να είναι άριστο για κάποια άλλη και αντίστροφα. Γενικά περιοχές καλά στραγγιζόμενες και καλά αεριζόμενες δέχονται αρδευτικό νερό με υψηλή αλατότητα (με υψηλή τιμή T.D.S.). Αντίθετα μη στραγγιζόμενες ή αεριζόμενες θέλουν αρδευτικό νερό φτωχό σε αλατότητα.

Ένα βασικό κριτήριο είναι ο συντελεστής S.A.R. (Sodium Absorption Ratio = Συντελεστής Προσρόφησης Νατρίου) που υπολογίζεται από τη σχέση :

$$SAR = Na / [(Ca+Mg)/2]^{1/2}$$

Σημαντικοί εξίσου δείκτες καταλληλότητας είναι η ηλεκτρική αγωγιμότητα E.C. και η συγκέντρωση διαλυμένων στερεών T.D.S. (η σχέση που τους συνδέει έχει προαναφερθεί). Ενδεικτικά αναφέρεται η παρακάτω κατάταξη :

- TDS 200 – 500: Νερό άριστης ποιότητας
- TDS 1000 – 2000: Νερό που μπορεί να είναι επικίνδυνο

- TDS 3000 – 7000: Νερό που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για άρδευση μόνο με έκπλυση και τέλεια στράγγιση

Το διάγραμμα Wilcox (που κατατάσσει ποιοτικά τα αρδευτικά νερά) χρησιμοποιεί το συντελεστή S.A.R. και την ηλεκτρική αγωγιμότητα EC.

Γενικά, ιδιαίτερη σημασία έχει :

- Η ολική συγκέντρωση αλάτων του νερού, διότι αυτή επιδρά στην καρποφορία, επηρεάζοντας την οσμωτική πίεση.
- Η συγκέντρωση ορισμένων ιόντων, τα οποία μπορεί να είναι τοξικά στα φυτά ή να επιδρούν δυσμενώς στην ποιότητα της καρποφορίας.
- Η συγκέντρωση των κατιόντων εκείνων, που μπορεί να προκαλέσουν αποκροκίδωση της αργίλου στο έδαφος και να προξενήσουν έτσι βλάβη στη δομή του εδάφους και εξ αυτής μείωση της περατότητας και δυνατότητας αερισμού του.

### 6.3 Μελέτη υδροχημικών δεδομένων περιοχής έρευνας

#### 6.3.1 Μεθοδολογία έρευνας πεδίου και συλλογής στοιχείων

Όπως αναφέρθηκε ήδη ένας από τους λόγους επιλογής της περιοχής μελέτης ήταν και η ύπαρξη πολλών πηγαδιών σε παραθεριστικές αλλά και μόνιμες κατοικίες που διευκόλυνε τη συλλογή στοιχείων έτσι ώστε να αποτυπωθεί η υπόγεια υδροφορία της περιοχής και να αναλυθούν δείγματα από το υπόγειο νερό των πηγαδιών. Η επιτόπια έρευνα περιελάμβανε σε πρώτη φάση τη συλλογή δείγματος νερού από το πηγάδι σε καθαρό και αχρησιμοποίητο δοχείο και τη μέτρηση της στάθμης της υδροφορίας των πηγαδιών με τη χρήση σταθμήμετρου (εικόνα 36).



Το ακριβές σημείο των πηγαδιών σημειώθηκε με συσκευή GPS και επαληθεύτηκε με την οδό σε πολεοδομικούς χάρτες της τεχνικής υπηρεσίας του Δήμου Καλυβίων. Εκ των οποίων πάρθηκε ακόμα το υψόμετρο των πηγαδιών σε χάρτες με κλίμακα 1:2500 με ισοδιάσταση των ισοϋψών καμπυλών τα 2 μέτρα. Η επιλογή αυτή κρίθηκε ως η πιο ακριβής από τις διαθέσιμες μεθόδους αναγνώρισης του υψομέτρου των πηγαδιών.

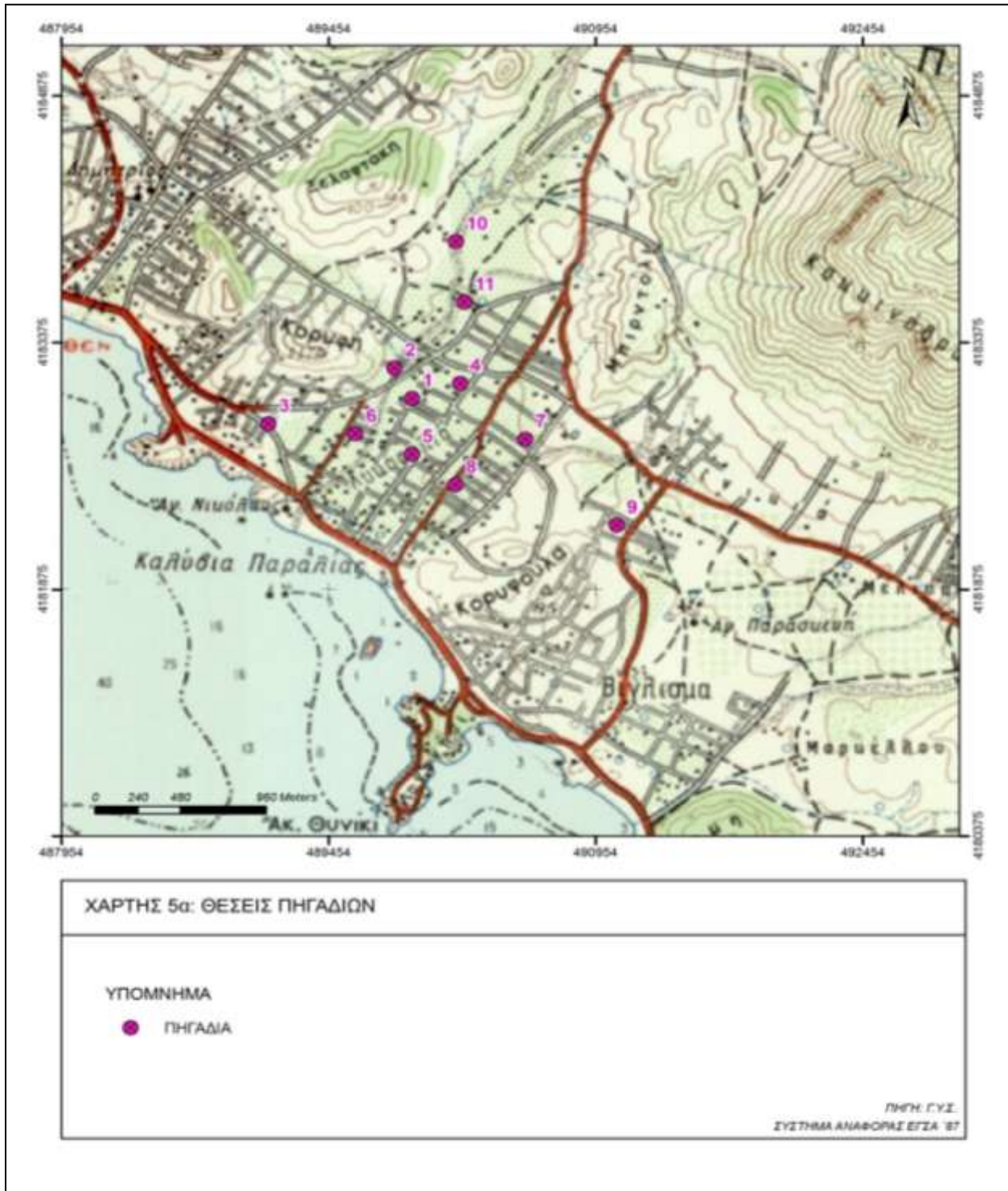


Εικόνα 36 Σταθμήμετρο που χρησιμοποιήθηκε για την μέτρηση του βάθους της υδροφορίας των πηγαδιών

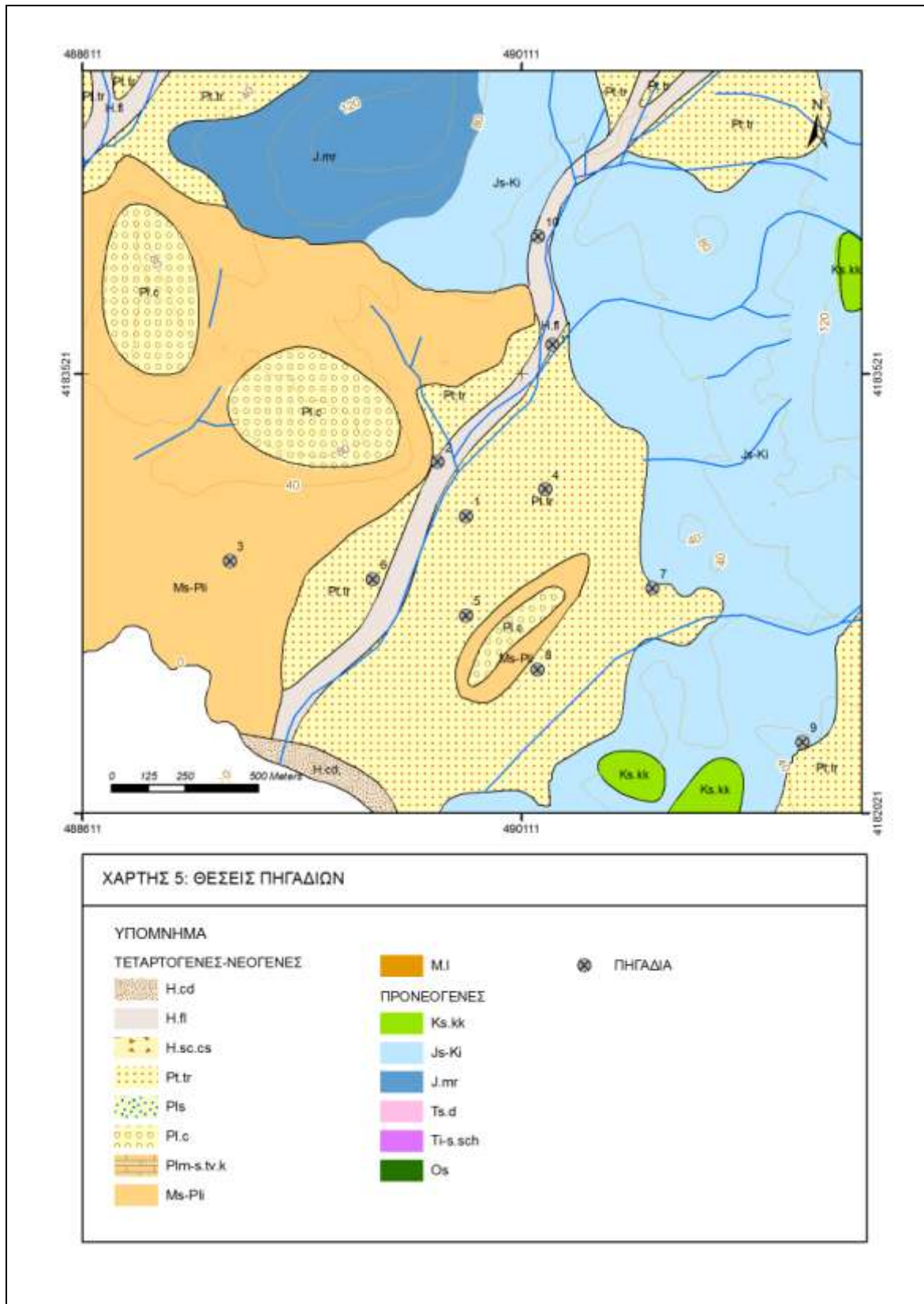
Οι αναλύσεις των συλλεχθέντων δειγμάτων νερού έγιναν στο Εργαστήριο Νερών της Διεύθυνσης Αναλυτικών Εργαστηρίων του Ι.Γ.Μ.Ε.

Τα δείγματα συλλέχθηκαν στις αρχές του Οκτώβρη 2011 στο τέλος δηλαδή της ξηρής περιόδου με την άδεια των κατοίκων από κατοικίες στην περιοχή της Παραλίας Καλυβίων όπως φαίνεται και στο χάρτη της εικόνας 37 και στο γεωλογικό χάρτη της εικόνας 38. Θα ήταν χρήσιμο εάν ήταν δυνατό για την ολοκληρωμένη υδρολογική μελέτη της περιοχής, να

υπήρχε στο μέλλον και μία αντίστοιχη δειγματοληψία την περίοδο υψηλών νερών, όπου θα αναμενόταν μια βελτιωμένη συνολικά εικόνα.



Εικόνα 37 Τοπογραφικός Χάρτης της περιοχής έρευνας με τις θέσεις πηγαδιών.



Εικόνα 38 Γεωλογικός χάρτης της περιοχής έρευνας με τη θέση των πηγαδιών

Στον πίνακα 13 παρουσιάζονται οι θέσεις των πηγαδιών, η στάθμη από την επιφάνεια, το υψόμετρο και το απόλυτο υψόμετρο της στάθμης με τα οποία σχηματίστηκε ο επόμενος πιεζομετρικός χάρτης του φρεάτιου υδροφορέα της περιοχής έρευνας (εικόνα 39). Ο τύπος που ακολουθήθηκε για να βρεθεί το απόλυτο υψόμετρο της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα είναι ο εξής: από το υψόμετρο χείλους πηγαδιού αφαιρείται η μέτρηση της στάθμης του πηγαδιού από την επιφάνεια.

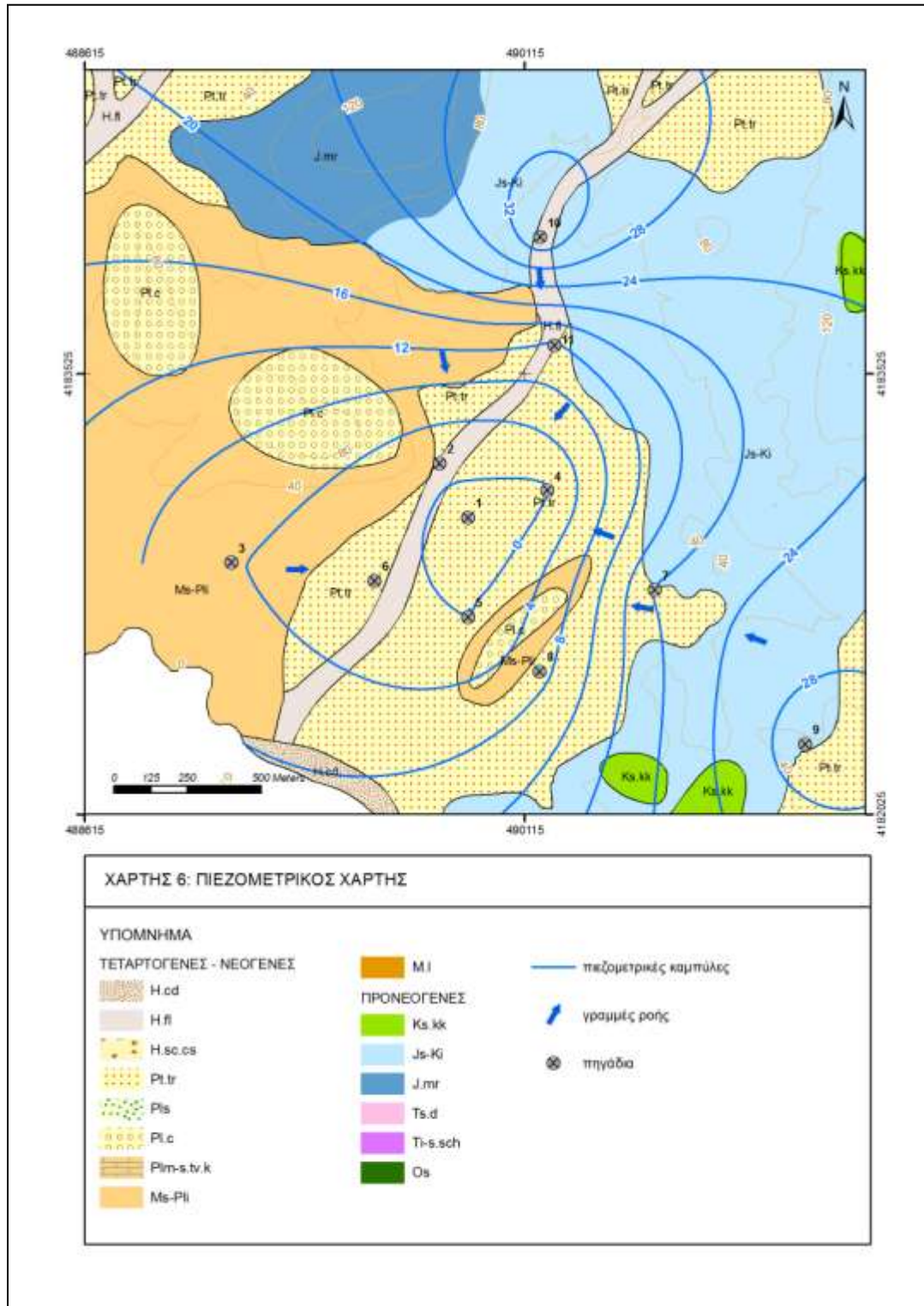
Πίνακας 13 Θέσεις, υψόμετρο και στάθμη πηγαδιών

Πηγάδι	X	Y	Στάθμη από επιφάνεια	Υψόμετρο	Απόλυτο υψόμετρο στάθμης
1	489922,36	4183035,13	14,5	14	-0,5
2	489824,76	4183220,16	14,3	15	0,7
3	489115,13	4182882,05	13,8	18	4,2
4	490191,47	4183127,27	17,4	17	-0,4
5	489921,95	4182696,12	8	8	0
6	489604,17	4182819,78	7,1	8,5	1,4
7	490557,92	4182787,83	4,6	25	20,4
8	490166,29	4182510,91	7,3	14	6,7
9	491070,93	4182263,34	7,8	38	30,2
10	490168,03	4183990,23	3	38	35
11	490216,51	4183620,34	7,7	19	11,3

### 6.3.2 Πιεζομετρία υδροφορέα

Η πιεζομετρία του φρεάτιου υδροφορέα της περιοχής έρευνας αποτυπώθηκε με το πρόγραμμα ArcMap όπως φαίνεται στην εικόνα 39. Παρατηρούμε με τα βέλη τις διευθύνσεις υπόγειας ροής του υδροφόρου ορίζοντα προς το κέντρο της περιοχής. Κατά ένα ένα μεγάλο ποσοστό η πιεζομετρική επιφάνεια χαρακτηρίζεται ως κωνική αφού οι ισοπιεζομετρικές καμπύλες είναι κλειστές και οι διευθύνσεις ροής συγκλίνουν προς το κέντρο. Προφανώς οφείλεται σε υπεράντληση από τα πηγάδια των κατοικιών κάτι που παρατηρήθηκε και κατά

τη διάρκεια της δειγματοληψίας σε συνδυασμό με το χρόνο που ήταν αρχές Οκτωβρίου δηλαδή στα τέλη της ξηρής περιόδου.



Εικόνα 39 Πιεζομετρικός χάρτης της περιοχής έρευνας.

### 6.3.3 Χημικές αναλύσεις και διαγράμματα υδροχημείας

Στον πίνακα 14 φαίνονται τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων βάσει των οποίων έγιναν τα υδροχημικά διαγράμματα των εικόνων 40,41,42,43 και 44.

Πίνακας 14 Χημικές αναλύσεις των δειγμάτων.

Πηγάδι	pH	Αγωγιμότητα μS/cm (25oC)	ΚΑΤΙΟΝΤΑ						Ολική σκληρότητα	Παροδική σκληρότητα	ΑΝΙΟΝΤΑ					NH <sub>4</sub>	NO <sub>2</sub>	SAR
			Ca	Mg	Na	K	CO	HCO			Cl	SO <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>					
1	7,5	1795	110,4	41,5	187,4	3,9	446	327	0	399	256	182,5	60	<0.26	<0.1	5,5		
2	7,6	2042	96,8	66,9	200,4	5	517	312	0	381	360,5	152,5	46,2	<0.26	<0.1	5,4		
3	7,5	1917	92,5	65,3	189,8	5,2	499	393	0	480	302,8	140,5	29,5	<0.26	<0.1	5,2		
4	7,6	2833	162,4	105,4	227,9	2,9	839	292	0	356	586,4	225	118	<0.26	<0.1	4,8		
5	7,3	3291	171,1	116,9	296,4	5	908	437	0	533	670,3	221	92,7	<0.26	<0.1	6,1		
6	7,3	2697	156,1	88,5	242,3	4,3	753	318	0	387	521,9	272	54,1	<0.26	<0.1	5,4		
7	7,9	2594	120	64,4	345	4,2	563	373	0	455	440	267	89,6	<0.26	<0.1	8,9		
8	8,4	2369	131	85,7	248	3	679	428	0,2	522	408	226	25,4	<0.26	<0.1	5,9		
9	7,9	1980	86,8	51,3	294	4,1	428	473	0	577	174	245	151	<0.26	<0.1	8,8		
10	8,1	1381	157	26	100	2,8	501	331	0	404	152	164	48	<0.26	<0.1	2,7		
11	7,6	1623	122,2	49,5	158	0,6	508	332	0	405	202	209	62	<0.26	<0.1	4,3		

Στον πίνακα 15 δίνονται τα στατιστικά στοιχεία των αναλύσεων των δειγμάτων και στον πίνακα 16 παρουσιάζεται ο χημικός χαρακτηριμός των δειγμάτων με βάση τα στατιστικά στοιχεία και τη βοήθεια του προγράμματος AquaChem.

Πίνακας 15 Στατιστικά στοιχεία των αναλύσεων των δειγμάτων

Παράμετρος	Μονάδες	Max	Min	Μέσος όρος	Standard deviation
Ca	mg/l	171,1	86,8	127,85	30,03
Na	mg/l	345	100	226,29	69,61
K	mg/l	5,2	0,6	3,73	1,34
Mg	mg/l	116,9	26	69,22	27,60
Cl	mg/l	670,3	152	370,35	172,68
SO <sub>4</sub>	mg/l	272	140,5	209,50	44,64
HCO <sub>3</sub>	mg/l	577	356	445,36	72,94
Temp	°C	0	0	0,00	0,00
pH		8,4	7,3	7,70	0,34
NO <sub>3</sub>	mg/l	151	25,4	70,59	38,55
EC	μ S/cm	3291	1381	2229,3	577,37

Πίνακας 16 Χαρακτηρισμός δειγμάτων με το πρόγραμμα AquaChem.

Δείγμα	Χημικός Τύπος Νερού
1	Na-Ca-Cl-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
2	Na-Mg-Ca-Cl-HCO <sub>3</sub>
3	Na-Mg-Ca-Cl-HCO <sub>3</sub>
4	Na-Mg-Ca-Cl-HCO <sub>3</sub>
5	Na-Mg-Ca-Cl-HCO <sub>3</sub>
6	Na-Ca-Mg-Cl-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
7	Na-Ca-Cl-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
8	Na-Mg-Ca-Cl-HCO <sub>3</sub>
9	Na-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub> -Cl
10	Ca-Na-HCO <sub>3</sub> -Cl-SO <sub>4</sub>
11	Na-Ca-Mg-HCO <sub>3</sub> -Cl-SO <sub>4</sub>

Από την επεξεργασία των αναλύσεων των δειγμάτων τα συμπεράσματα συνοψίζονται ως εξής:

- Ο υδροχημικός τύπος των νερών είναι κατά βάση νάτριο-ασβεστούχος –χλωριούχος-όξινος ανθρακικός, σε κάποια δείγματα παρουσιάζεται πρόσθετα και μαγνησιούχος χαρακτήρας (θέσεις: 11,2,3,4,5,6,8). Παράλληλα σε ορισμένα είναι αυξημένη η συγκέντρωση θεικών.
- Η μέση τιμή του pH την περίοδο χαμηλών νερών (Οκτωβρίου 2011), είναι 7,70, δηλαδή το νερό θεωρείται αλκαλικό.
- Η ηλεκτρική αγωγιμότητα για τα υπόγεια νερά, εμφανίζει μια ιδιαίτερα υψηλή μέση τιμή 2229,3  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , με σημαντική τυπική απόκλιση 577,37  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .
- Το ασβέστιο εμφανίζει μέση τιμή 127,85 mg/l και το Mg 69,22 mg/l.
- Η μέση τιμή νατρίου υπολογίστηκε στα 226,29 mg/l , με σημαντική διασπορά των τιμών του. Το κάλιο έχει ιδιαίτερα χαμηλή μέση τιμή 3,73 mg/l.
- Τα χλωριόντα εμφανίζονται ιδιαίτερα αυξημένα με μέση τιμή 370,35 mg/l και υψηλή τιμή τυπικής απόκλισης 172,68 mg/l.

- Τα νιτρικά εμφανίζουν μια μέση τιμή 70,59 mg/l , που σημαίνει ότι είναι πάνω από τα αποδεκτά όρια για ποσιμότητα (50mg/l). Η μέγιστη τιμή τους μετρήθηκε στα 151 mg/l.
- Τα όξινα ανθρακικά εμφανίζουν μια μέση τιμή ίση με 445,36 mg/l. Η μέγιστη τιμή που μετρήθηκε είναι 577 mg/l και η ελάχιστη 356 mg/l.
- Η μέση τιμή συγκέντρωσης των θειικών ιόντων ( $\text{SO}_4^{-2}$ ) είναι ίση με 209,50 mg/l με τυπική απόκλιση (44,64 mg/l), που υποδηλώνει διακυμάνσεις κατά τόπους γύρω από τη μέση τιμή.

Στον πίνακα 17 παρουσιάζονται οι ιοντικοί λόγοι των δειγμάτων των πηγαδιών, με βάση των οποίων γίνεται ο χαρακτηρισμός τους. Όπως διακρίνεται και στον πίνακα ο υδροφορέας έχει υποστεί υφαλμύρωση, το νερό στις περισσότερες θέσεις χαρακτηρίζεται ως χλωροθειούχο (θέσεις: 1-8) και θειούχο – χλωριούχο στις υπόλοιπες (θέσεις: 9-11) και αντιστοιχεί σε νερό από ασβεστολιθικά υδροφόρα πετρώματα, το οποίο επιβεβαιώνεται και από τη γεωλογική μελέτη της περιοχής.

Πίνακας 17 Ιοντικοί λόγοι των δειγμάτων

Πηγαδι 1			
	mg/l	Mg/Ca 0,38	Αντιστοιχούν σε νερό από ασβεστολιθικά υδροφόρα
Na	187,4	Na/Cl	Υφαλμύρωση υδροφορέα
K	3,9	0,73	
Ca	110,4		Νερό χλωροθειούχο
Mg	41,5		
Cl	256	Cl/SO4	παλιό νερό στα κατάντη τμήματα του υδροφορέα
SO4	182,5	1,40	
NO3	60	(Ca+Mg)/(Na+K)	
HCO3	399	0,79	



Πηγαδι 2			
	mg/l	Mg/Ca 0,69	Αντιστοιχούν σε νερό από ασβεστολιθικά υδροφόρα
Na	200,4	Na/Cl	Υφαλμύρωση υδροφορέα
K	5	0,56	
Ca	96,8		
Mg	66,9		
Cl	360,5	Cl/SO4	Νερό χλωροθειούχο
SO4	152,5	2,36	
NO3	46,2	(Ca+Mg)/(Na+K)	παλιό νερό στα κατάντη τμήματα του υδροφορέα
HCO3	381	0,80	

Πηγαδι 3			
	mg/l	Mg/Ca 0,71	Αντιστοιχούν σε δολομιτικά υδροφόρα στρώματα
Na	189,8	Na/Cl	Υφαλμύρωση υδροφορέα
K	5,2	0,63	
Ca	92,5		
Mg	65,3		
Cl	302,8	Cl/SO4	Νερό χλωροθειούχο
SO4	140,5	2,16	
NO3	29,5	(Ca+Mg)/(Na+K)	παλιό νερό στα κατάντη τμήματα του υδροφορέα
HCO3	480	0,81	

Πηγαδι 4			
	mg/l	Mg/Ca 0,65	Αντιστοιχούν σε νερό από ασβεστολιθικά υδροφόρα
Na	227,9	Na/Cl	Υφαλμύρωση υδροφορέα
K	2,9	0,39	
Ca	162,4		
Mg	105,4		
Cl	586,4	Cl/SO4	Νερό χλωροθειούχο
SO4	225	2,61	
NO3	118	(Ca+Mg)/(Na+K)	υδροφόρο στρώμα με συνεχή τροφοδοσία
HCO3	356	1,16	

Πηγαδι 5			
	mg/l	Mg/Ca 0,68	Αντιστοιχούν σε νερό από ασβεστολιθικά υδροφόρα
Na	296,4	Na/Cl	Υφαλμύρωση υδροφορέα
K	5	0,44	
Ca	171,1		
Mg	116,9		
Cl	670,3	Cl/SO4	Νερό χλωροθειούχο
SO4	221	3,03	
NO3	92,7	(Ca+Mg)/(Na+K)	παλιό νερό στα κατάντη τμήματα του υδροφορέα
HCO3	533	0,96	

Πηγαδι 6			
	mg/l	Mg/Ca	Αντιστοιχούν σε νερό από ασβεστολιθικά υδροφόρα
		0,57	
Na	242,3	Na/Cl	Υφαλμύρωση υδροφορέα
K	4,3	0,46	
Ca	156,1		
Mg	88,5		
Cl	521,9	Cl/SO4	Νερό χλωροθειούχο
SO4	272	1,92	
NO3	54,1	(Ca+Mg)/(Na+K)	παλιό νερό στα κατάντη τμήματα του υδροφορέα
HCO3	387	0,99	

Πηγαδι 7			
	mg/l	Mg/Ca	Αντιστοιχούν σε νερό από ασβεστολιθικά υδροφόρα
		0,54	
Na	345	Na/Cl	Υφαλμύρωση υδροφορέα
K	4,2	0,78	
Ca	120		
Mg	64,4		
Cl	440	Cl/SO4	Νερό χλωροθειούχο
SO4	267	1,65	
NO3	89,6	(Ca+Mg)/(Na+K)	παλιό νερό στα κατάντη τμήματα του υδροφορέα
HCO3	455	0,53	

Πηγαδι 8			
	mg/l	Mg/Ca	Αντιστοιχούν σε νερό από ασβεστολιθικά υδροφόρα
		0,65	
Na	248	Na/Cl	Υφαλμύρωση υδροφορέα
K	3	0,61	
Ca	131		
Mg	85,7		
Cl	408	Cl/SO4	Νερό χλωροθειούχο
SO4	226	1,81	
NO3	25,4	(Ca+Mg)/(Na+K)	παλιό νερό στα κατάντη τμήματα του υδροφορέα
HCO3	522	0,86	

Πηγαδι 9			
	mg/l	Mg/Ca	Αντιστοιχούν σε νερό από ασβεστολιθικά υδροφόρα
		0,59	
Na	294	Na/Cl	Νερό από αλκαλικά πυριγενή ή μεταμορφωμένα πετρώματα
K	4,1	1,69	
Ca	86,8		
Mg	51,3		
Cl	174	Cl/SO4	Νερό θειούχο-χλωριούχο
SO4	245	0,71	
NO3	151	(Ca+Mg)/(Na+K)	παλιό νερό στα κατάντη τμήματα του υδροφορέα
HCO3	577	0,46	

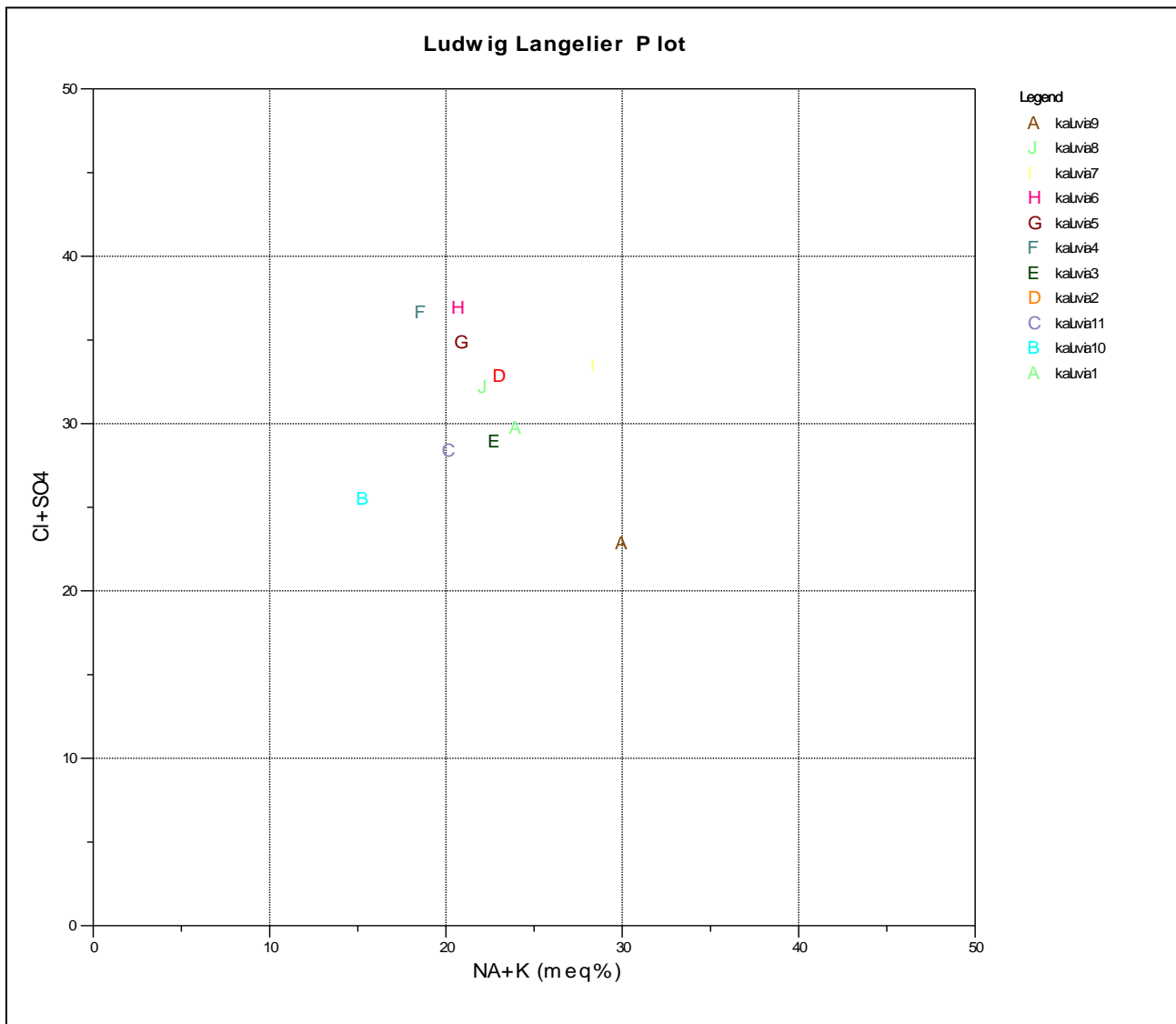
Πηγαδι 10			
	mg/l	Mg/Ca	Αντιστοιχούν σε νερό από ασβεστολιθικά υδροφόρα
		0,17	
Na	100	Na/Cl	Υφαλμύρωση υδροφορέα
K	2,8	0,66	
Ca	157		
Mg	26		
Cl	152	Cl/SO4	Νερό θειούχο-χλωριούχο
SO4	164	0,93	
NO3	48	(Ca+Mg)/(Na+K)	υδροφόρο στρώμα με συνεχή τροφοδοσία
HCO3	404	1,78	

Πηγαδι 11			
	mg/l	Mg/Ca	Αντιστοιχούν σε νερό από ασβεστολιθικά υδροφόρα
		0,41	
Na	158	Na/Cl	Υφαλμύρωση υδροφορέα
K	0,6	0,78	
Ca	122,2		
Mg	49,5		
Cl	202	Cl/SO4	Νερό θειούχο-χλωριούχο
SO4	209	0,97	
NO3	62	(Ca+Mg)/(Na+K)	υδροφόρο στρώμα με συνεχή τροφοδοσία
HCO3	405	1,08	

## Υδροχημικά Διαγράμματα

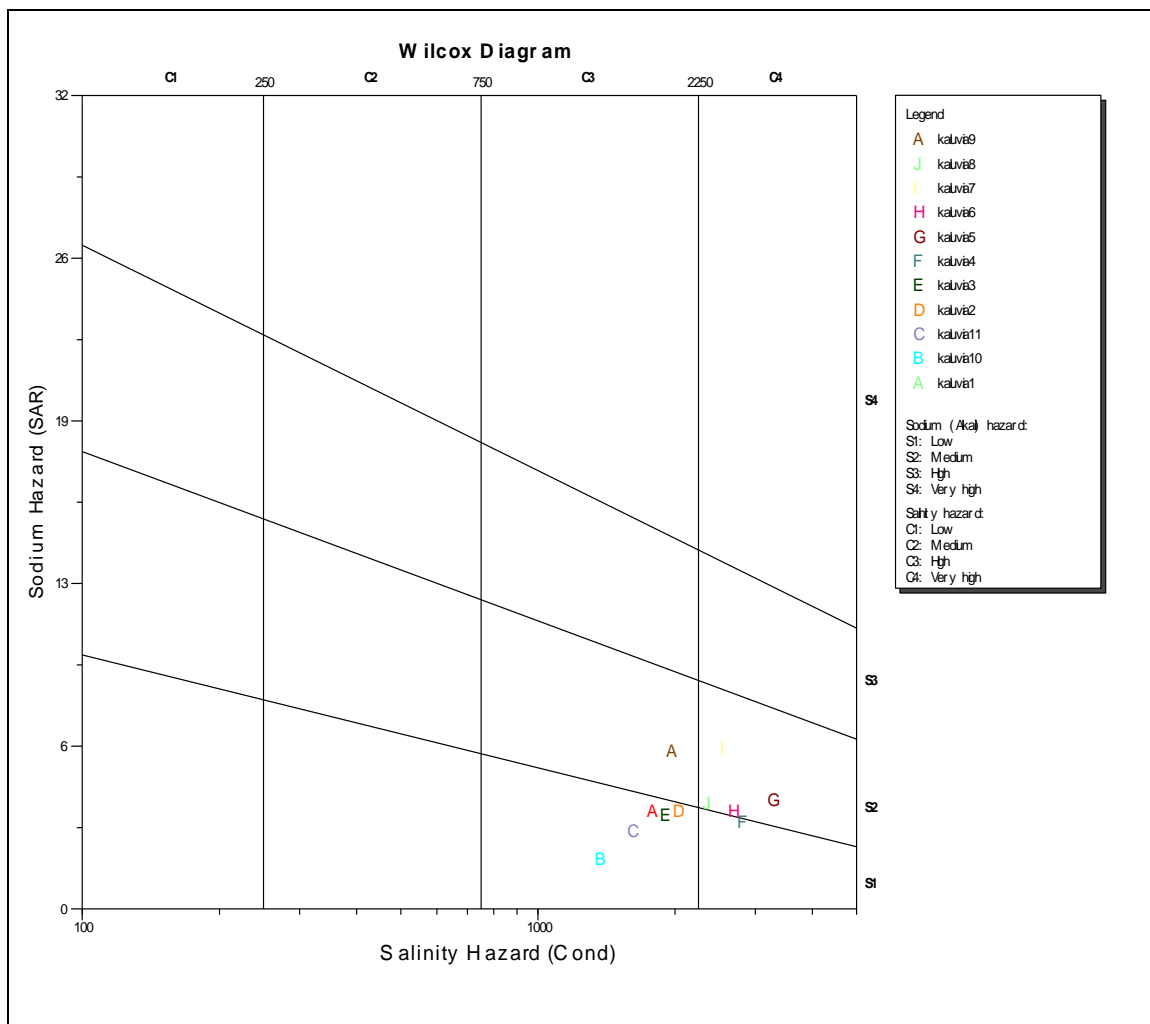
Στις εικόνες 40 έως 44 παρουσιάζονται τα υδροχημικά διαγράμματα (κεφάλαιο 6.2.4.) με τα αποτελέσματα των αναλύσεων από κάθε ένα σταθμό (πηγάδι). Με βάση τη θέση στο κάθε διάγραμμα γίνεται περαιτέρω χαρακτηρισμός του νερού.

Σύμφωνα με το διάγραμμα Ludwig\_Langelier, ορισμένα από τα δείγματα χαρακτηρίζονται ως ασβεστο-μαγνησιούχα-ανθρακικά, αλλά κάποια και με μικτή σύσταση, που όλοι σχεδόν οι χαρακτήρες είναι ισομερείς (εικόνα 40).



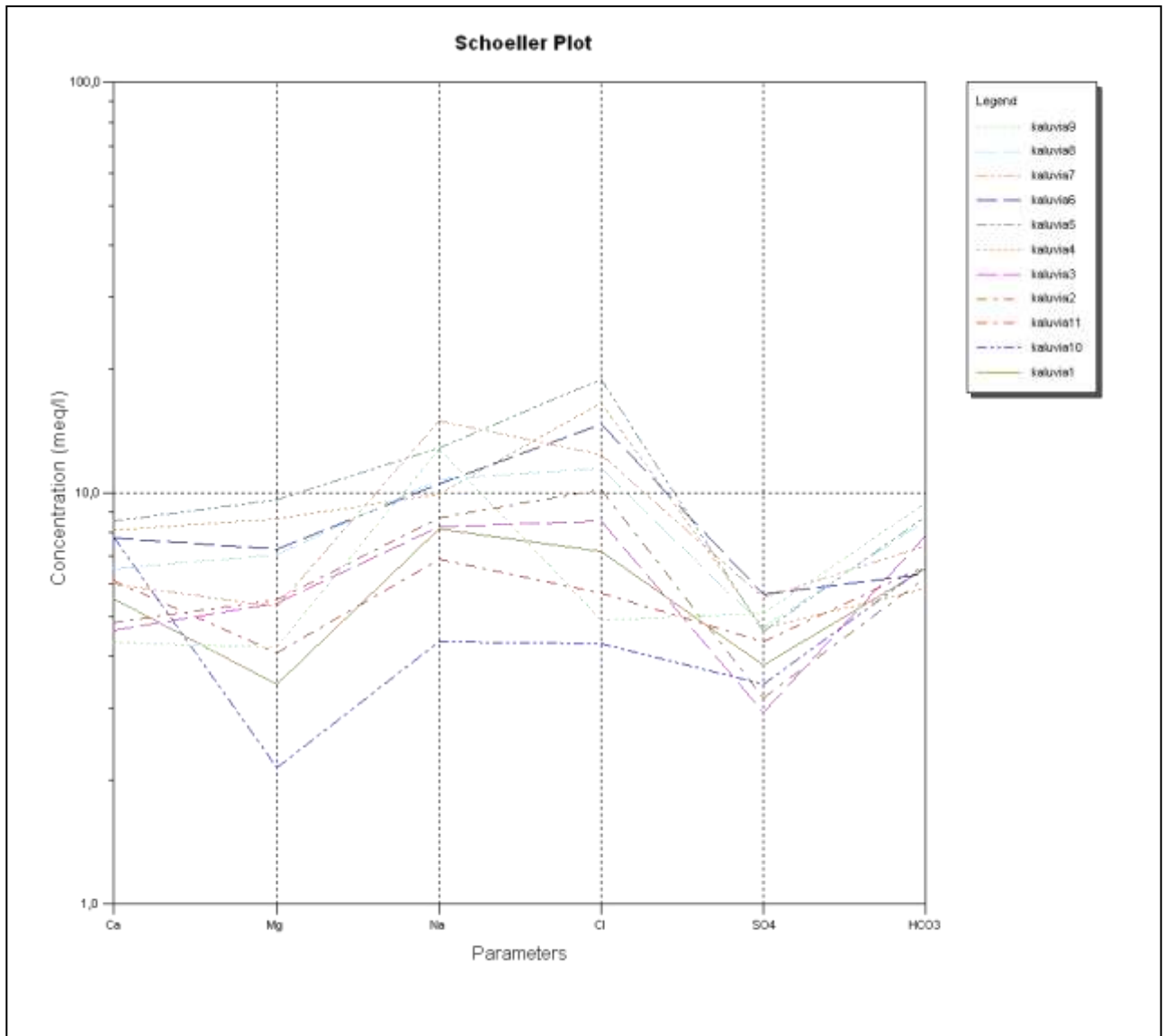
Εικόνα 40 Διάγραμμα Ludwig.

Όπως φαίνεται από το διάγραμμα Wilcox (εικόνα 41), τα δείγματα μας είναι από μέτριας έως κακής ποιότητας για άρδευση. Συγκεκριμένα, τα δείγματα 1, 2, 3, 10 και 11 ανήκουν στην κατηγορία C3-S1, δηλαδή είναι μέτριας έως πολύ μέτριας ποιότητας και μπορούν να χρησιμοποιούνται παίρνοντας μέτρα προφύλαξης. Το έδαφος πρέπει να αποστραγγίζεται καλά ή πρέπει να προστίθεται σε αυτό γύψος. Το δείγμα 9 ανήκει στην κατηγορία C3-S2, δηλαδή είναι πολύ μέτριας έως κακής ποιότητας και δεν πρέπει να χρησιμοποιείται για ευαίσθητα φυτά, ούτε γενικά για βαριά εδάφη. Μπορεί να χρησιμοποιείται με μέτρα προφύλαξης σε ελαφρά εδάφη που αποστραγγίζονται καλά ή να προστίθεται γύψος. Τέλος, τα δείγματα 4, 5, 6, 7, 8 ανήκουν στην κατηγορία C4-S2, δηλαδή είναι κακής ποιότητας και δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται παρά μόνο για ανθεκτικά φυτά σε ελαφρά εδάφη καλώς αποστραγγιζόμενα, με προσθήκη γύψου.



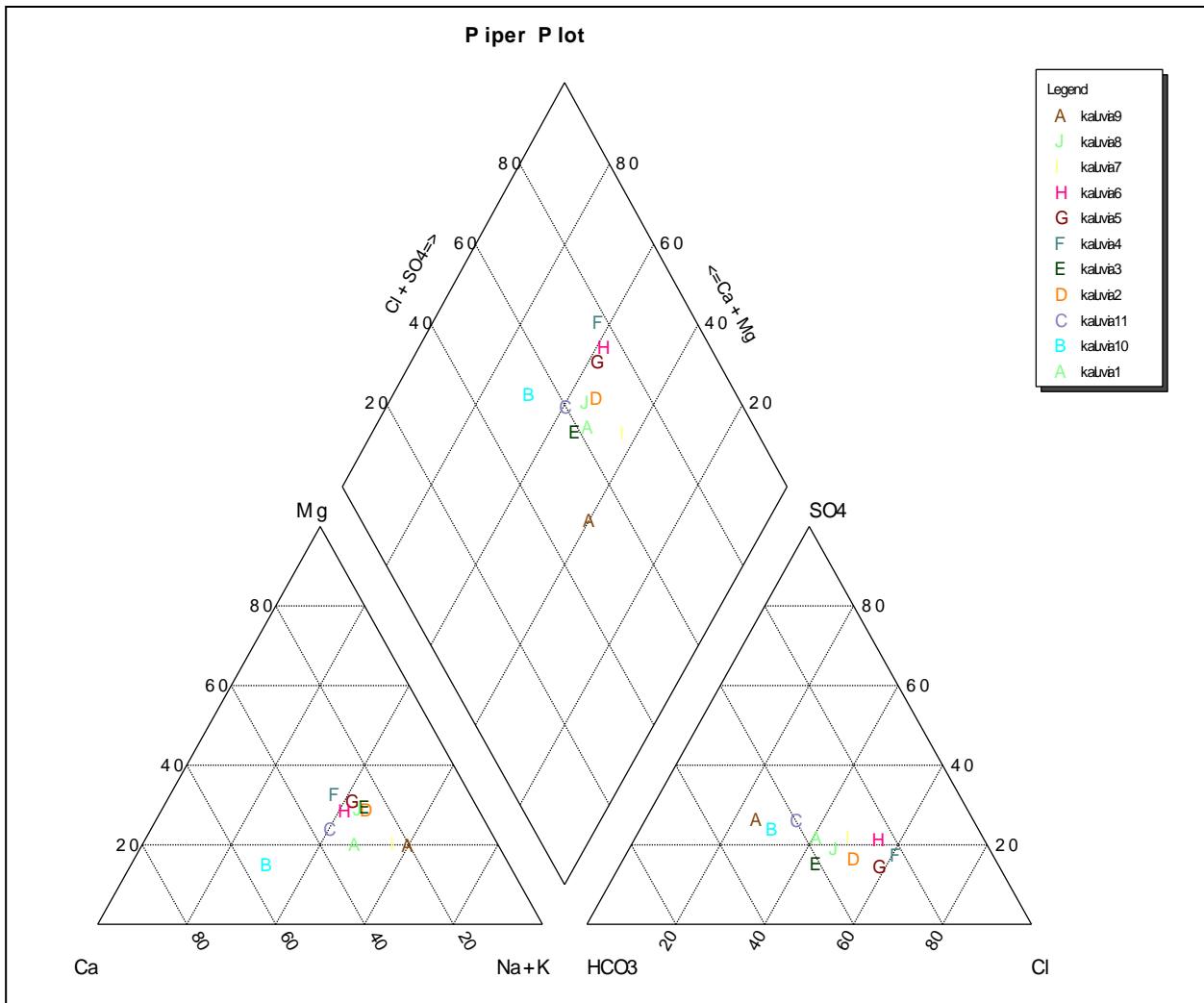
Εικόνα 41 Διάγραμμα Wilcox.

Σύμφωνα με το διάγραμμα Shoeller (εικόνα 42) όλα τα νερά είναι υφάλμυρα όπως διαπιστώθηκε και από τους ιοντικούς λόγους των δειγμάτων.



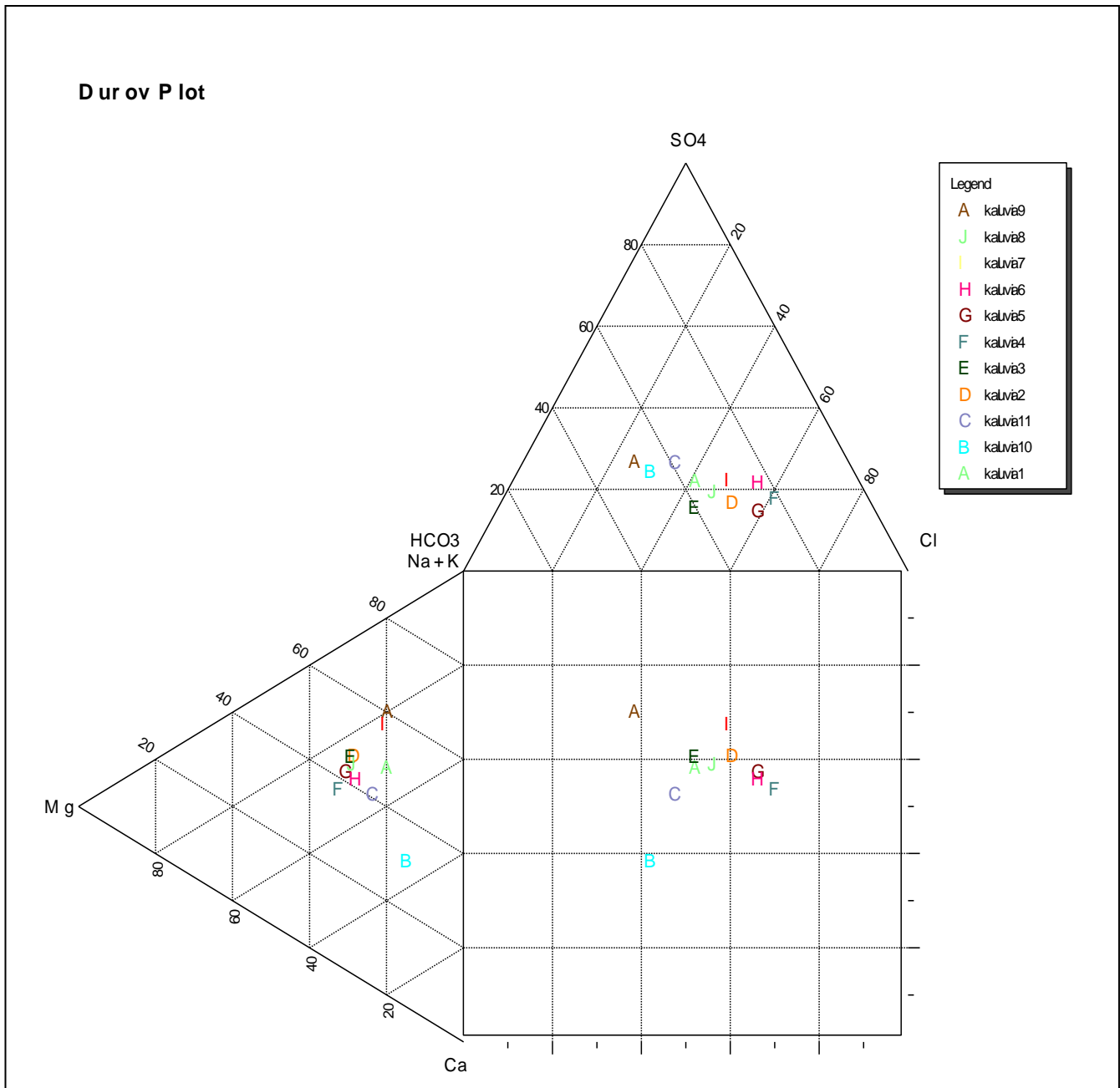
Εικόνα 42 Διάγραμμα Schoeller

Σύμφωνα με το διάγραμμα Piper (εικόνα 43), ο χαρακτήρας των νερών είναι ασβεστομαγνησιούχος χλωροθεικός, ενώ σύμφωνα με το με το διάγραμμα Durov (εικόνα 44) τα νερά προέρχονται κυρίως από τη διαδικασία της μίξης.



Εικόνα 43 Διάγραμμα Piper





Εικόνα 44 Διάγραμμα Durov

#### 6.3.4 Υδροχημικοί χάρτες

Με τη χρήση των εργαλείων του Arcmap τοποθετήθηκαν στο γεωλογικό υπόβαθρο της περιοχής έρευνας οι τιμές συγκέντρωσης των ιόντων, του pH, της αγωγιμότητας και με τις καταλληλότερες κατά περίπτωση τεχνικές το πρόγραμμα χάραξε την καμπύλες περιεκτικότητας.

Στους χάρτες των εικόνων 45 έως 57 που ακολουθούν φαίνονται οι καμπύλες ισοκατανομής των κατά περίπτωση αναφερόμενων τιμών. Είναι αναγκαίο να τονιστεί ότι όσο απομακρυνόμαστε από την περιοχή έρευνας τα στοιχεία είναι ενδεικτικά και δεν μπορούν να θεωρηθούν ως αξιόπιστη εικόνα του υδροφορέα.

Παρατηρώντας το χάρτη των κατιόντων ασβεστίου (εικόνα 47), διαπιστώνουμε υψηλές τιμές στο κεντρικό και παραλιακό τμήμα της περιοχής έρευνας.

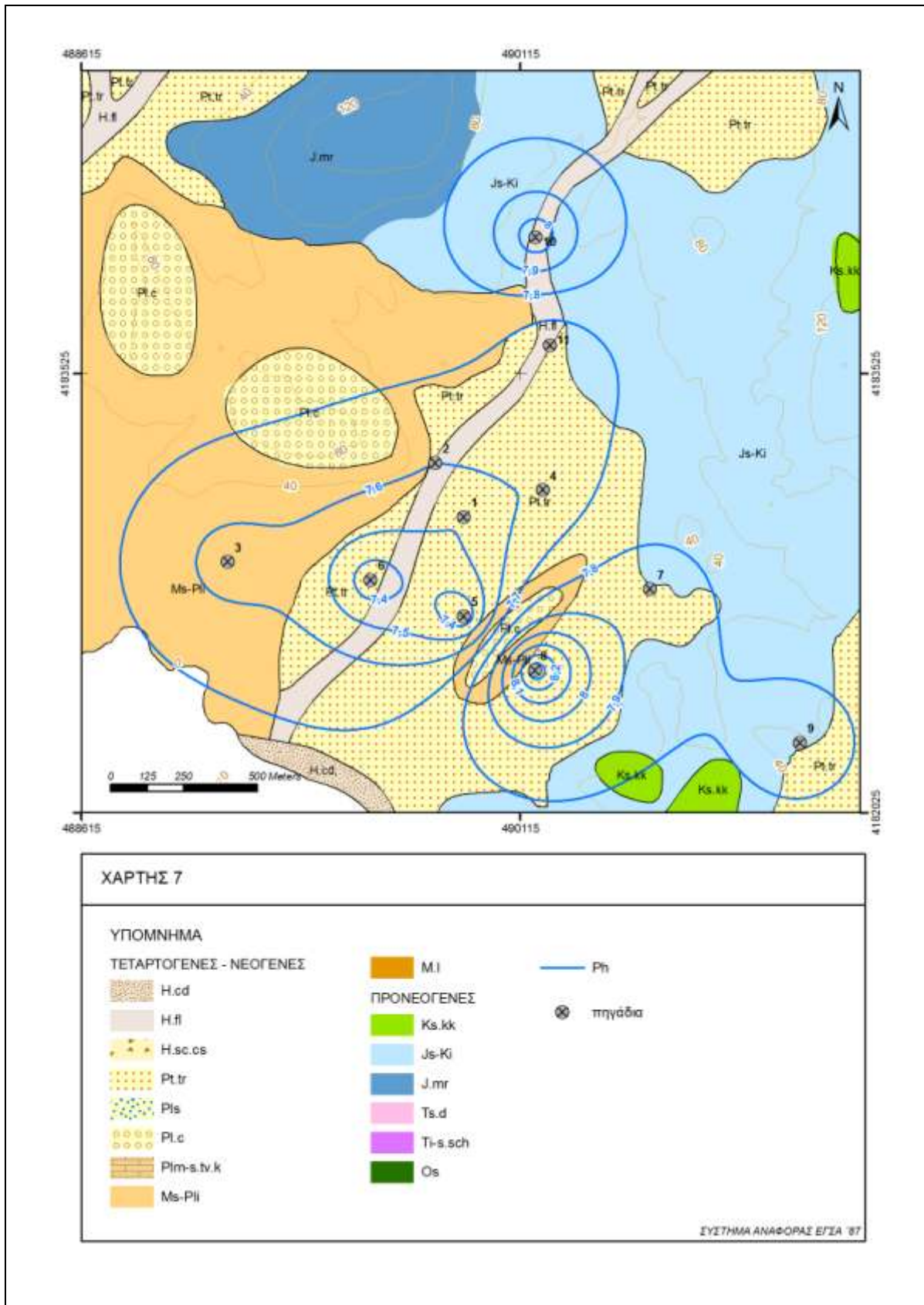
Στο χάρτη κατανομής κατιόντων μαγνησίου (εικόνα 48), διακρίνονται ιδιαίτερα υψηλές τιμές, πάνω από τα όρια ποσιμότητας των 50 mg/lit, στην παραλιακή ζώνη.

Οι τιμές των κατιόντων νατρίου (εικόνα 49), είναι ιδιαίτερα αυξημένες στην παράκτια ζώνη και προς τα κεντρικά, αναμενόμενη εικόνα, αν παρατεθεί με τον αντίστοιχο πιεζομετρικό χάρτη, όπου διαφαίνεται το υφάλμυρο μέτωπο στο κεντρικό τμήμα, με την πιεζομετρική των μηδέν, οπότε τα νερά χαρακτηρίζονται υφάλμυρα. Ο χάρτης αυτός είναι σε πλήρη αντιστοιχία με τον αντίστοιχο κατανομής του SAR (εικόνα 57).

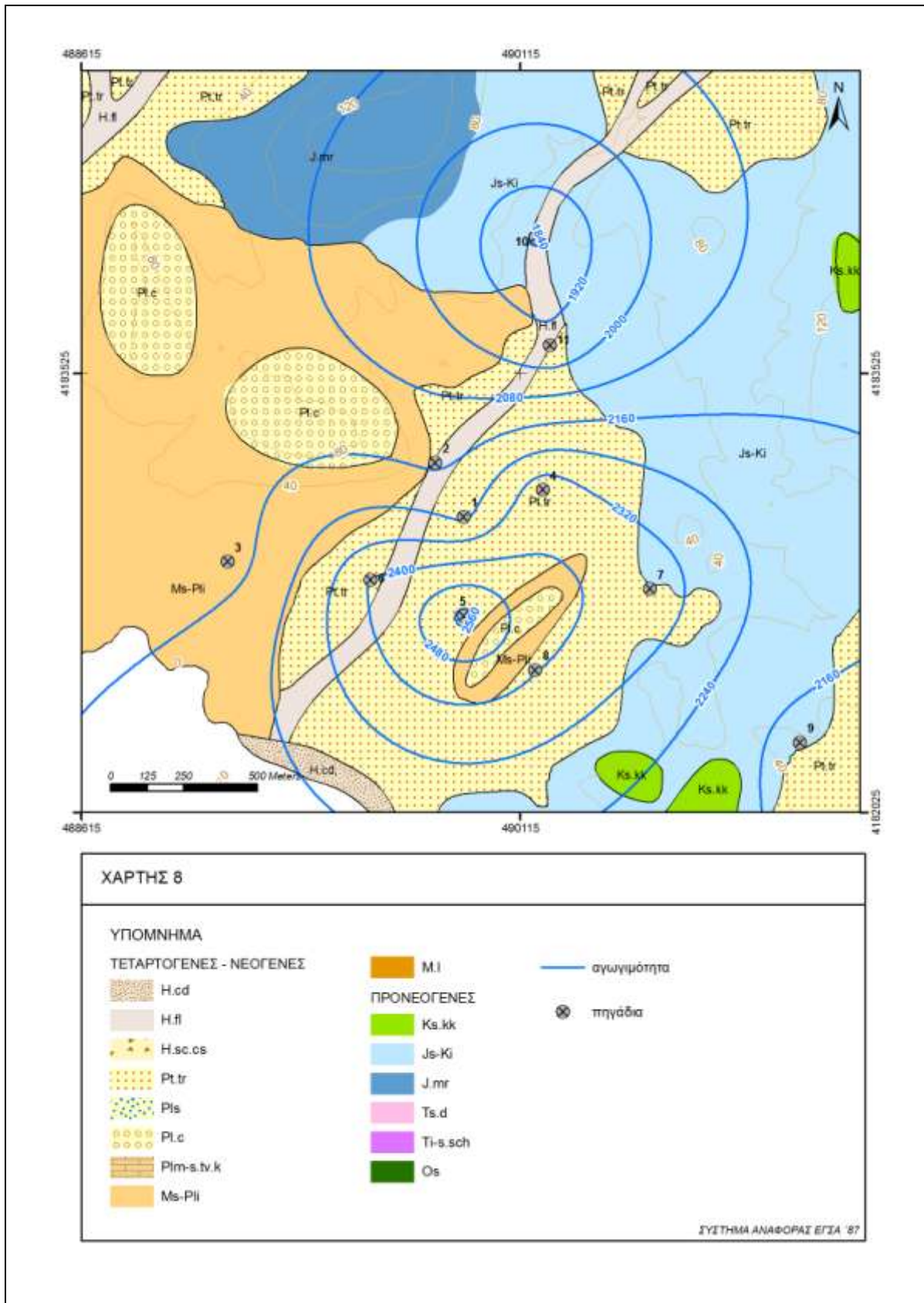
Όσον αφορά τις τιμές του καλίου (εικόνα 50), είναι αρκετά χαμηλές με ομαλή κατανομή σε όλη την περιοχή έρευνας ενώ παρόμοια ομαλή εικόνα διακρίνεται και για τα όξινα ανθρακικά (εικόνα 53).

Ιδιαίτερης σημασίας είναι η χωρική κατανομή των χλωριόντων (εικόνα 54), όπου πιστοποιείται το μέτωπο της υφαλμύρισης στην παράκτια ζώνη και προς το κεντρικό τμήμα της περιοχής.

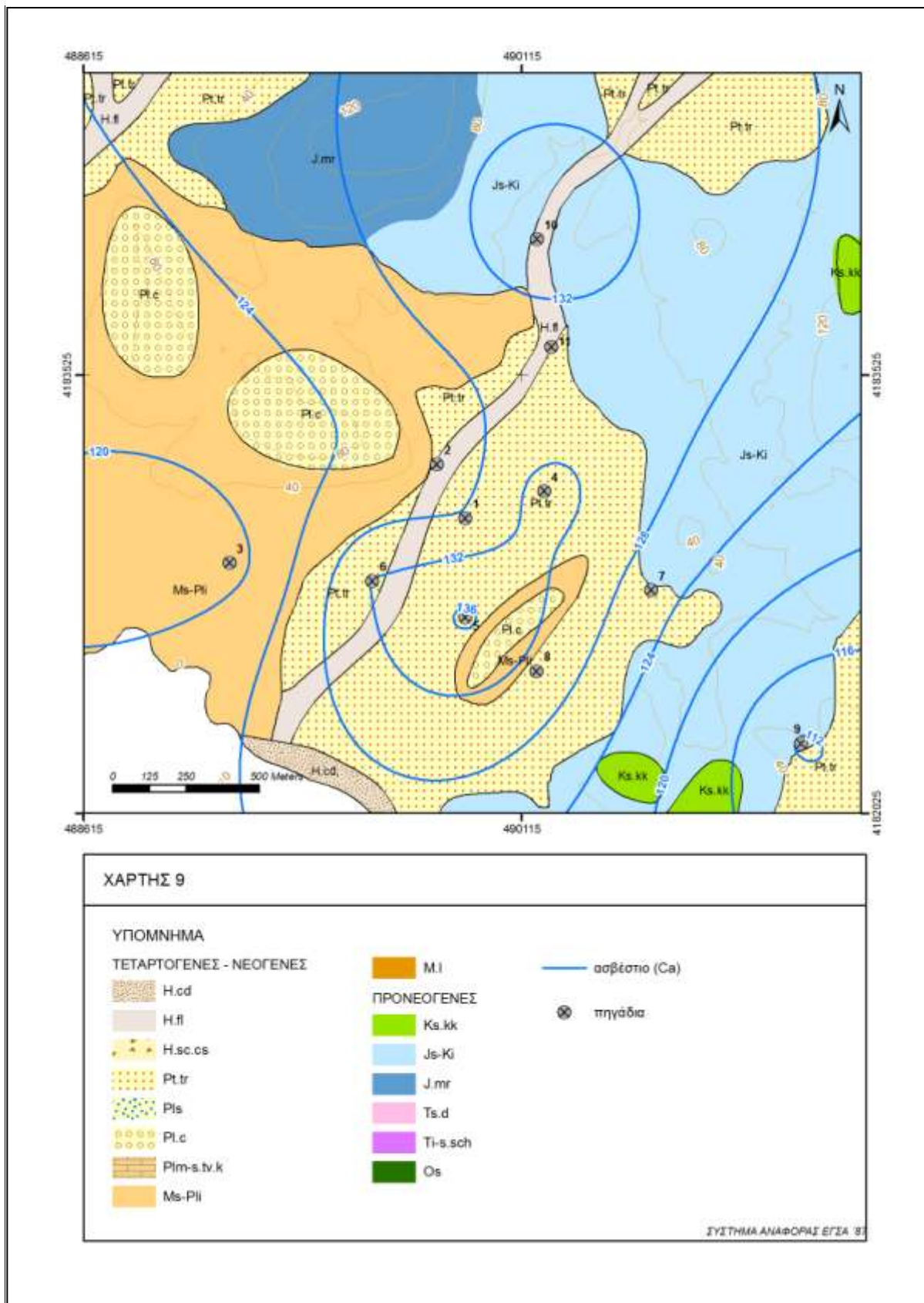
Οι συγκεντρώσεις νιτρικών (εικόνα 55) εμφανίζονται αυξημένες στα βόρειο-ανατολικά και ανατολικά όρια της περιοχής. Οι αυξημένες τιμές οφείλονται πιθανότατα στη χρήση λιπασμάτων για τις καλλιέργειες και την ύπαρξη βόθρων αφού η περιοχή αυτή είναι πιο πυκνοκατοικημένη. Συγκριτικά υψηλότερες, αλλά σε αποδεκτά όρια ποσιμότητας, οι τιμές των θειικών ιόντων (εικόνα 56) είναι στα ανατολικά της περιοχής έρευνας.



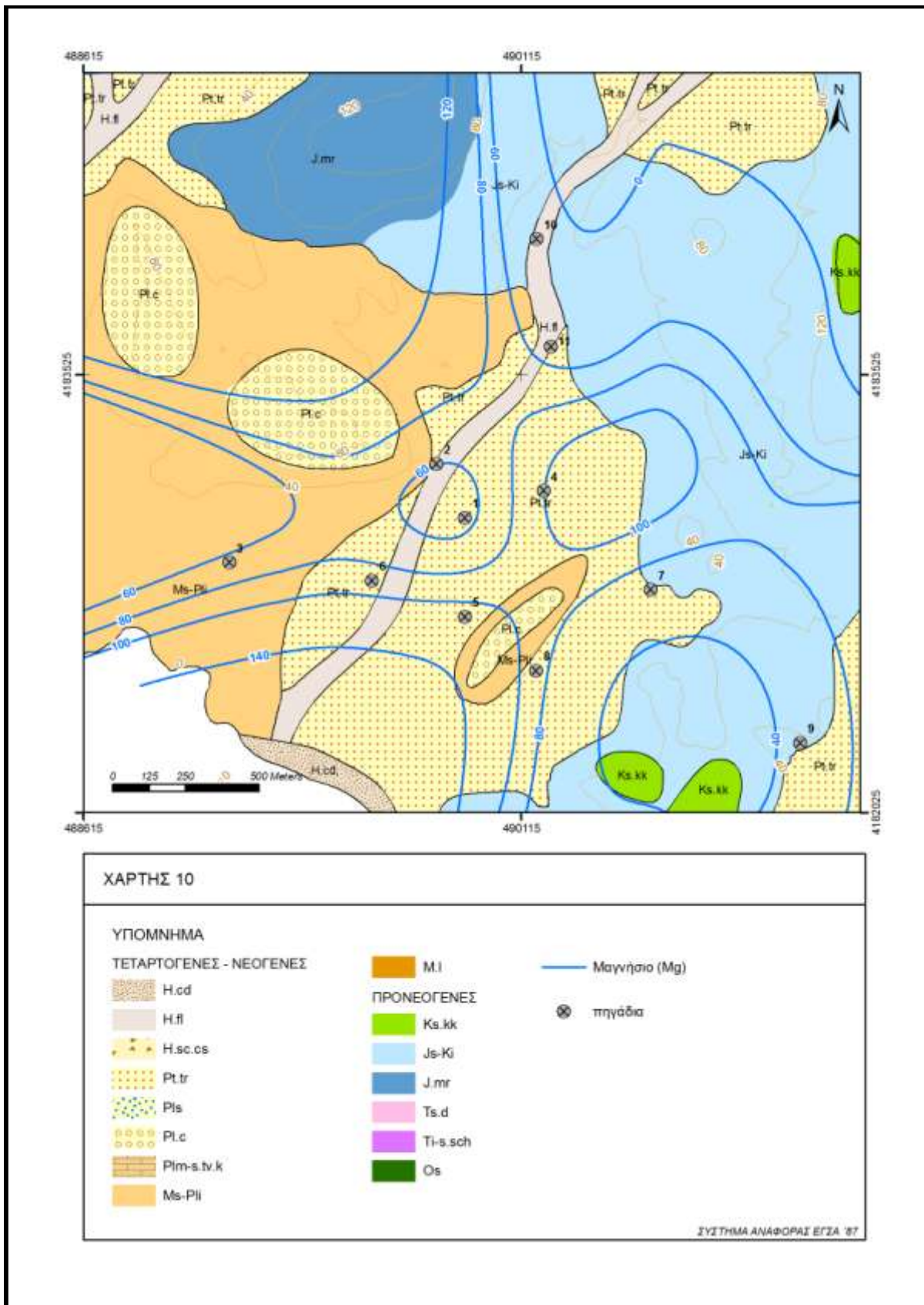
Εικόνα 45 Χάρτης ισοκατανομής pH



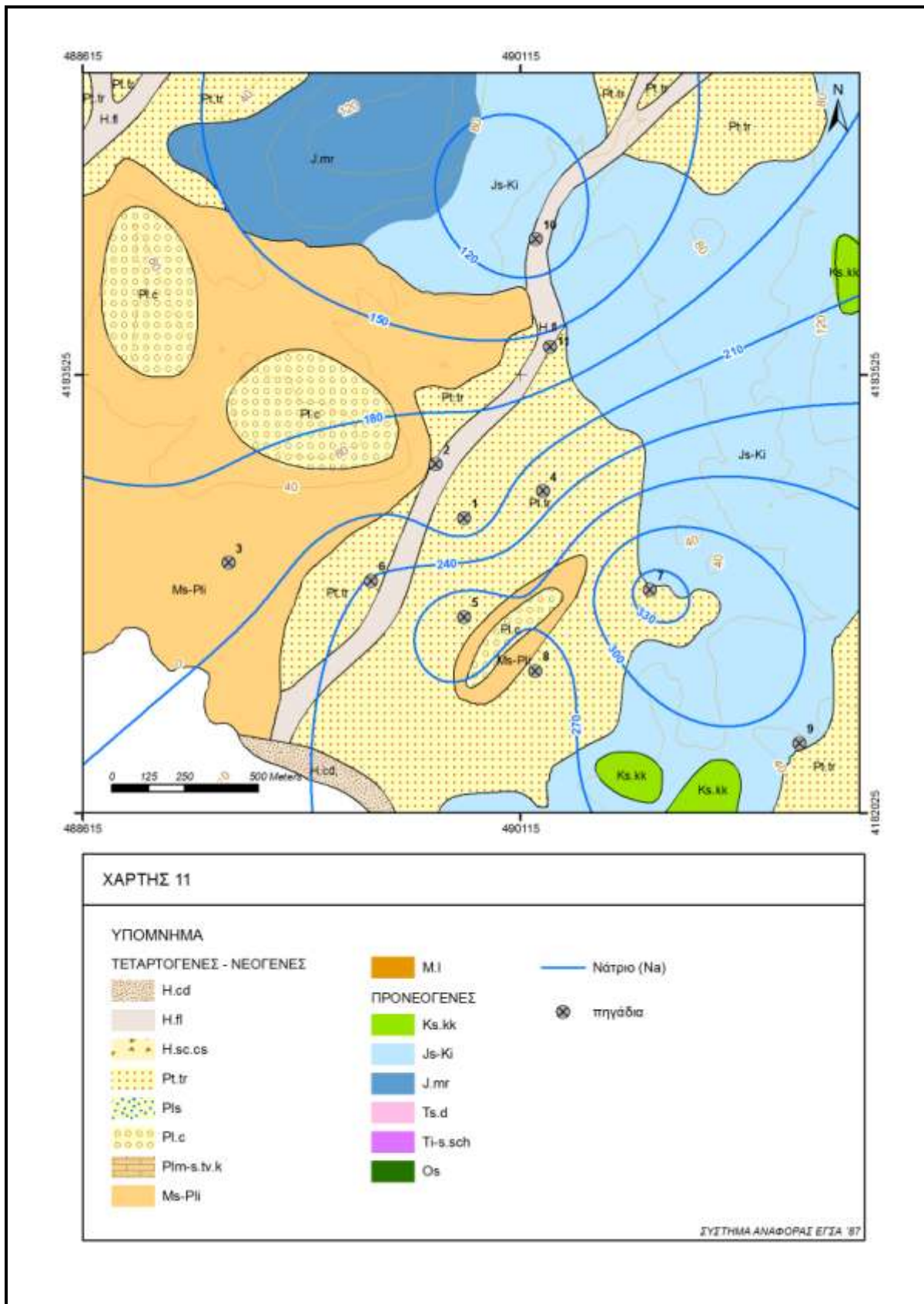
Εικόνα 46 Χάρτης ισοκατανομής αγωγιμότητας.



Εικόνα 47 Χάρτης ισοκατανομής κατιόντων ασβεστίου.

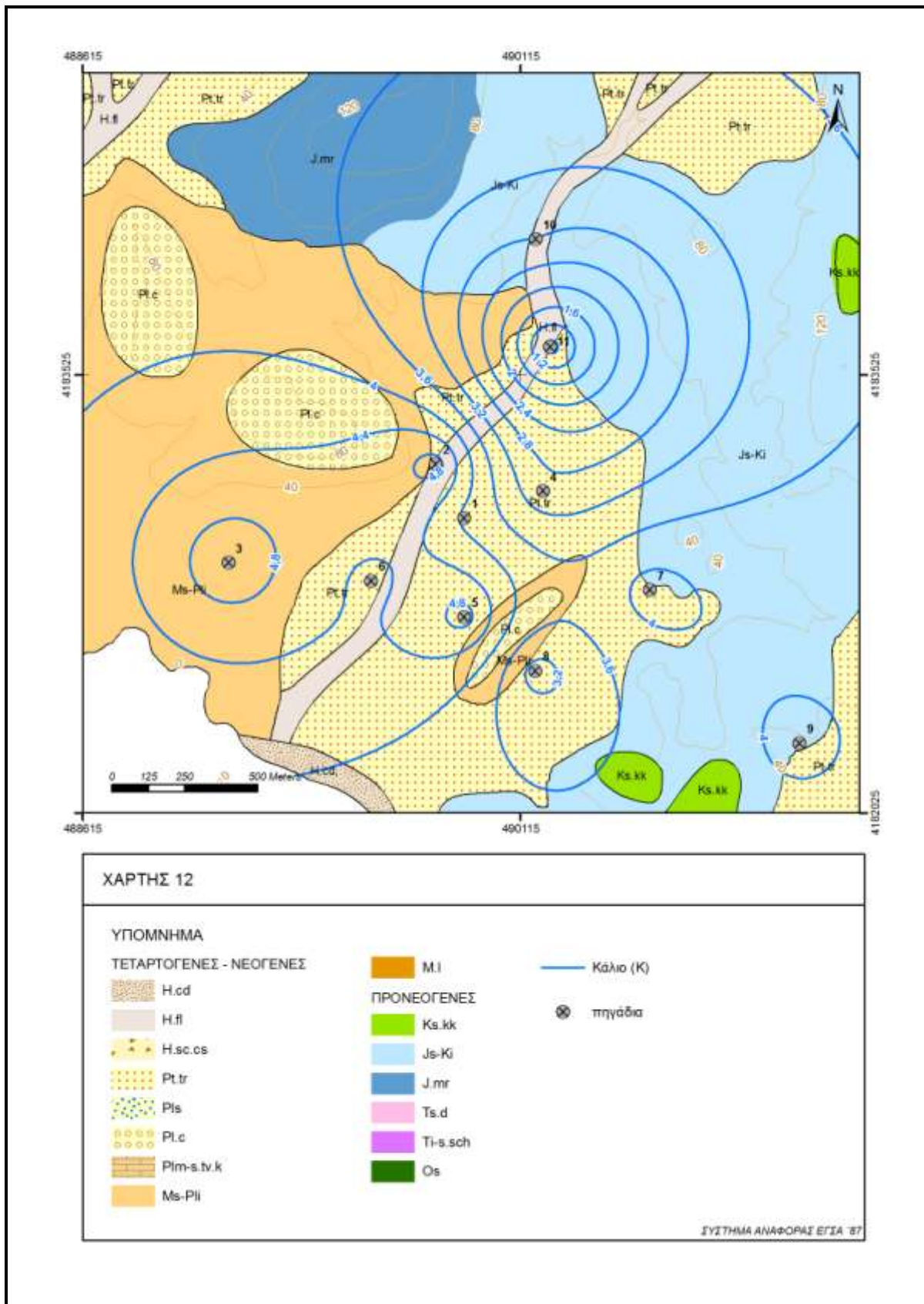


Εικόνα 48 Χάρτης ισοκατανομής κατιόντων μαγνησίου

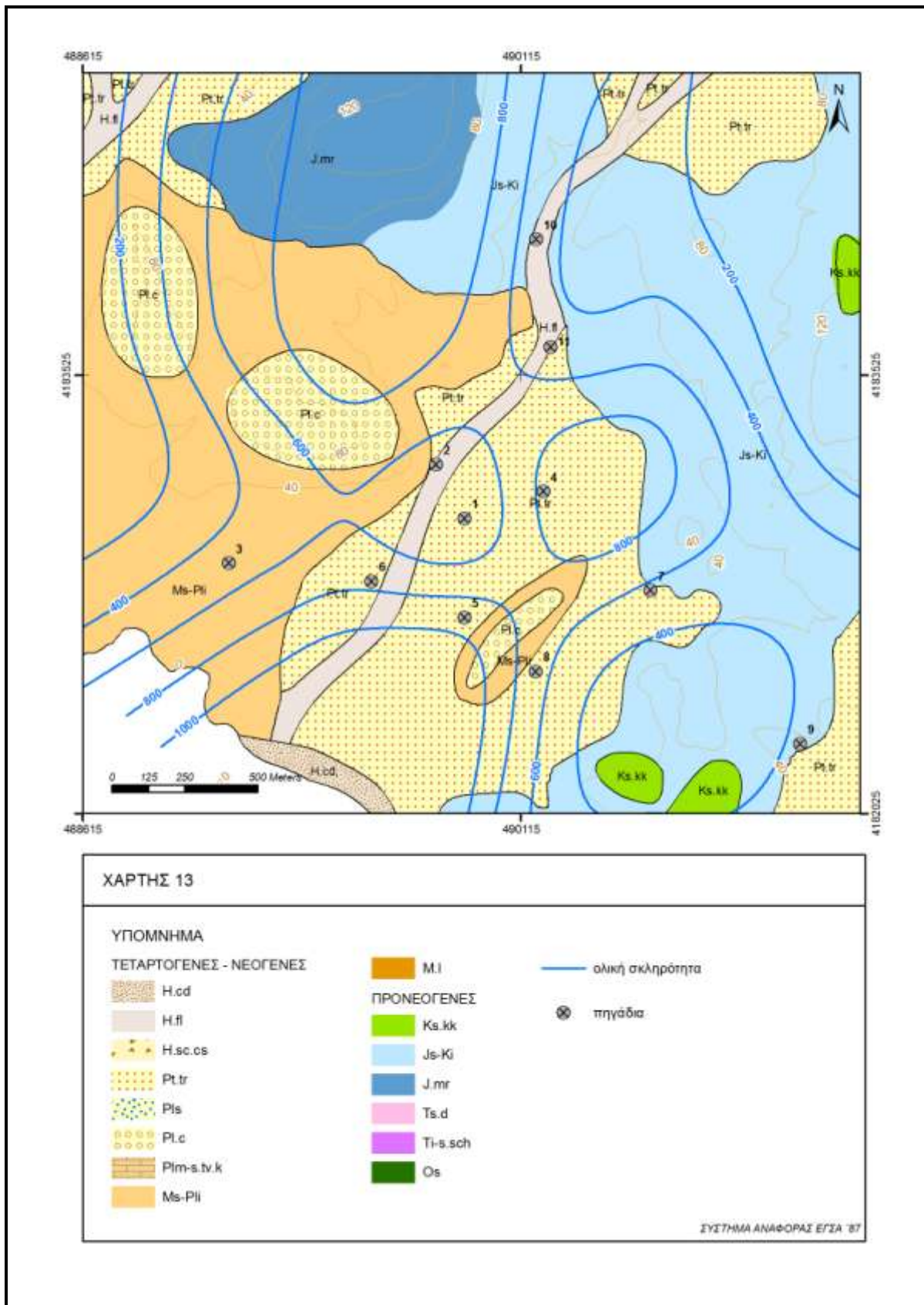


Εικόνα 49 Χάρτης ισοκατανομής κατιόντων νατρίου.

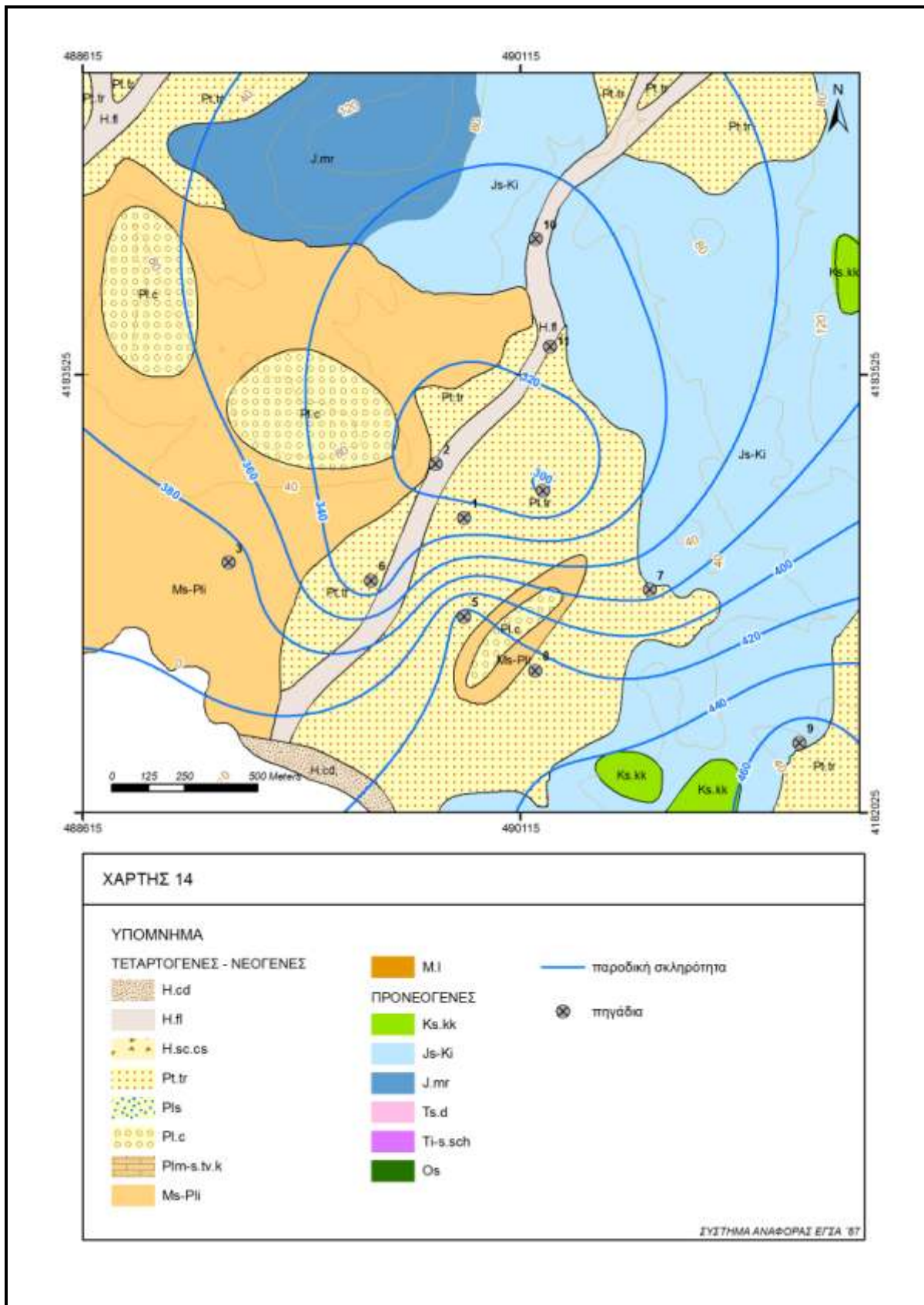




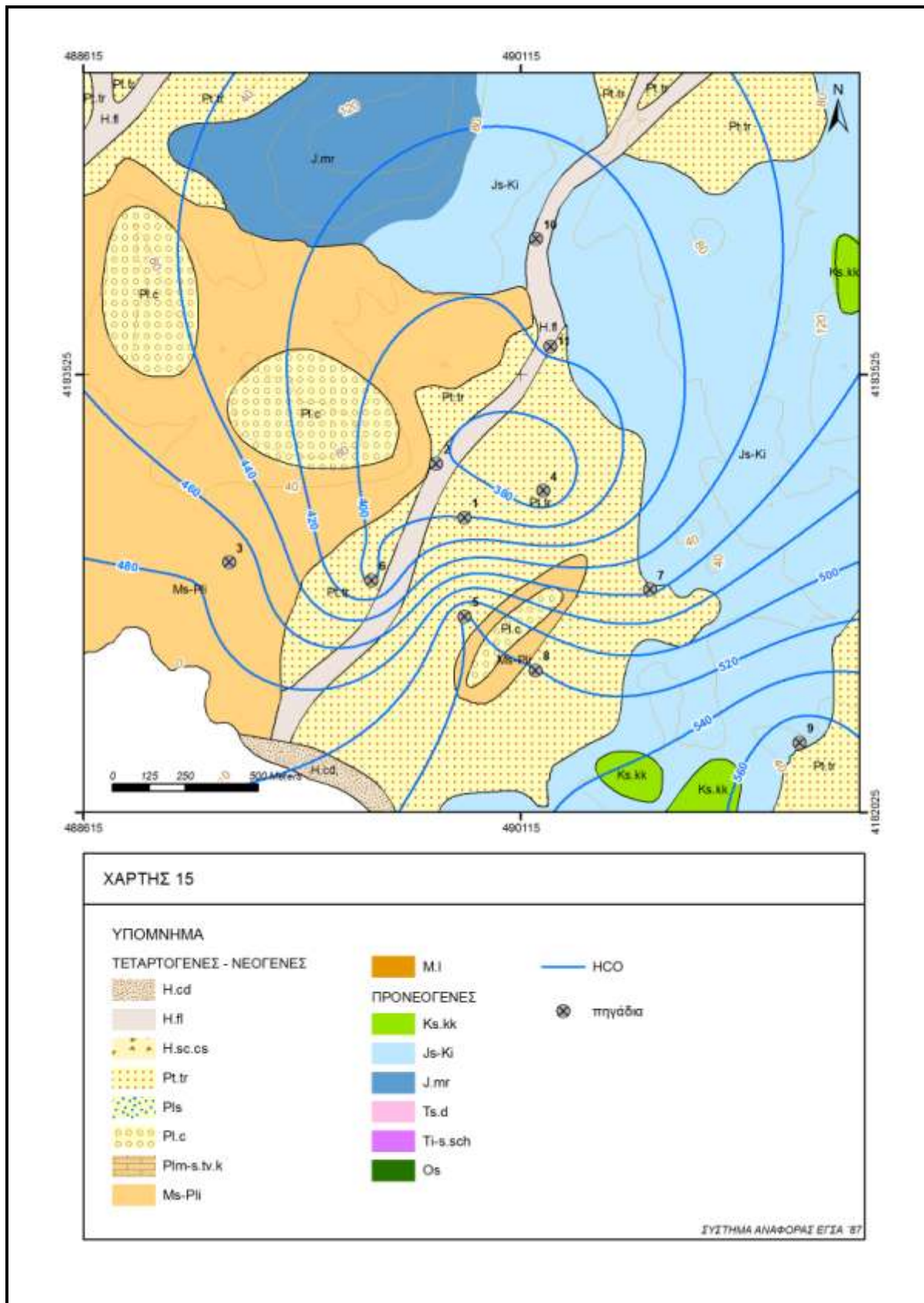
Εικόνα 50 Χάρτης ισοκατανομής κατιόντων καλίου.



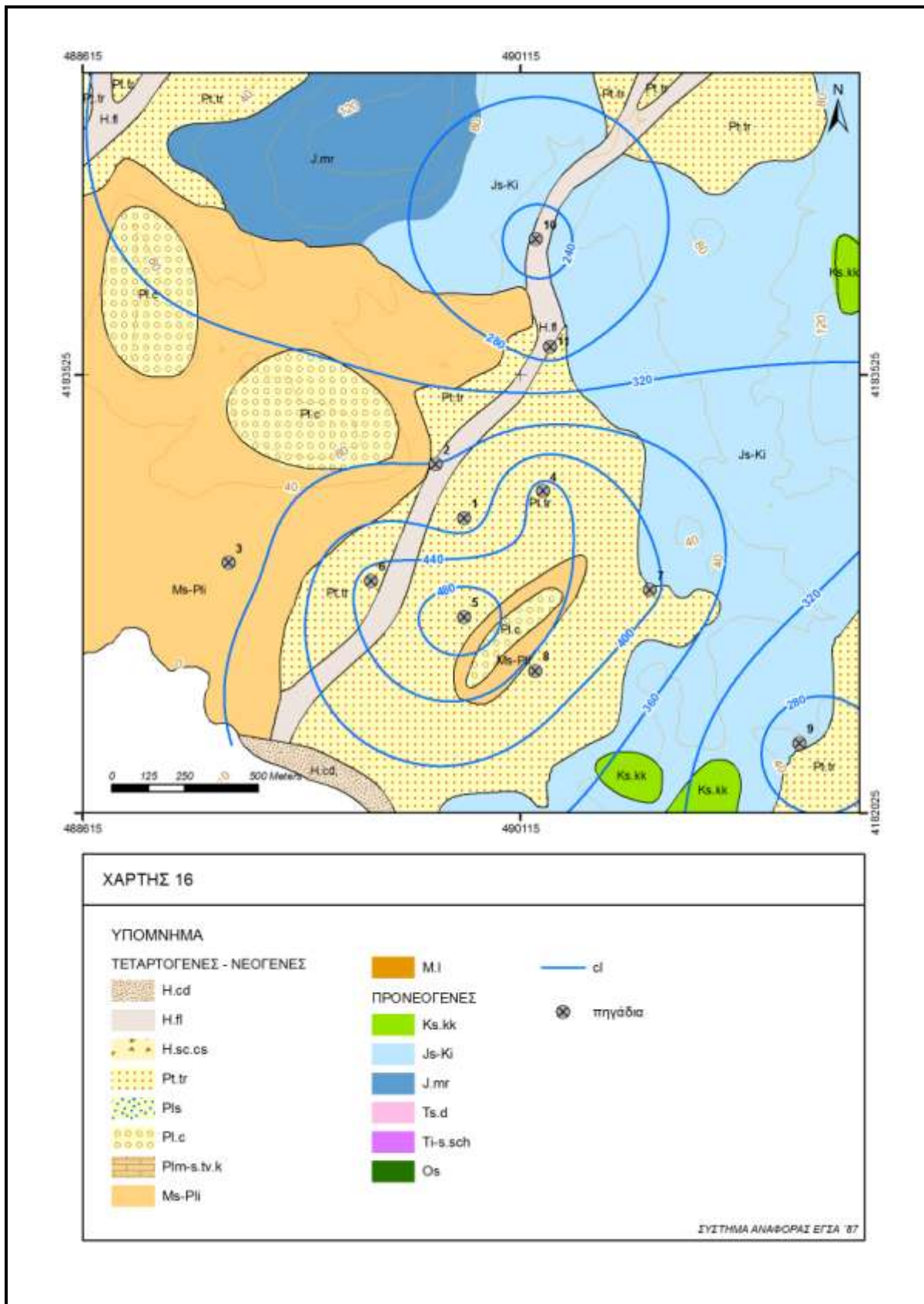
Εικόνα 51 Χάρτης ισοκατανομής ολικής σκληρότητας.



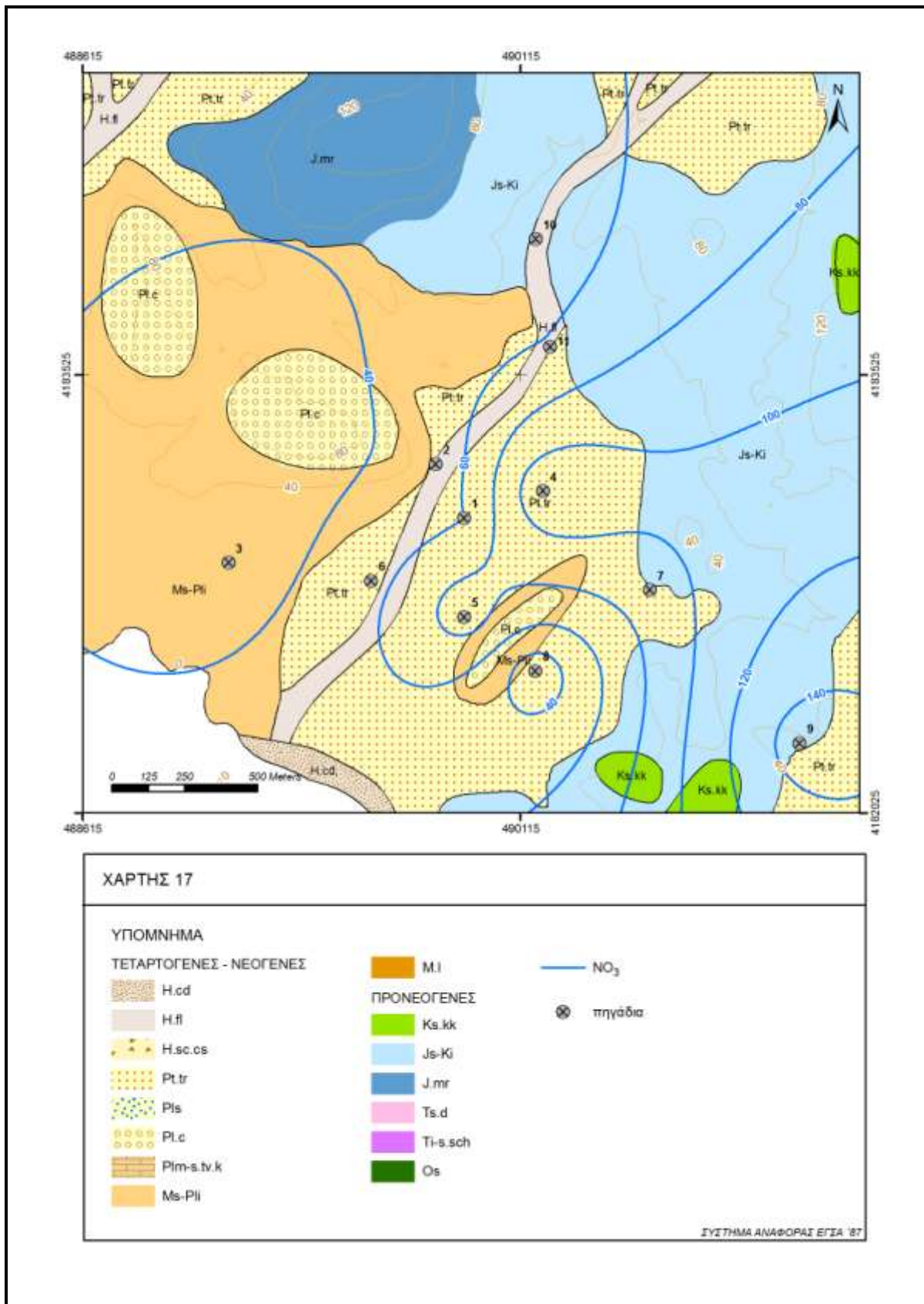
Εικόνα 52 Χάρτης ισοκατανομής παραδικής σκληρότητας.



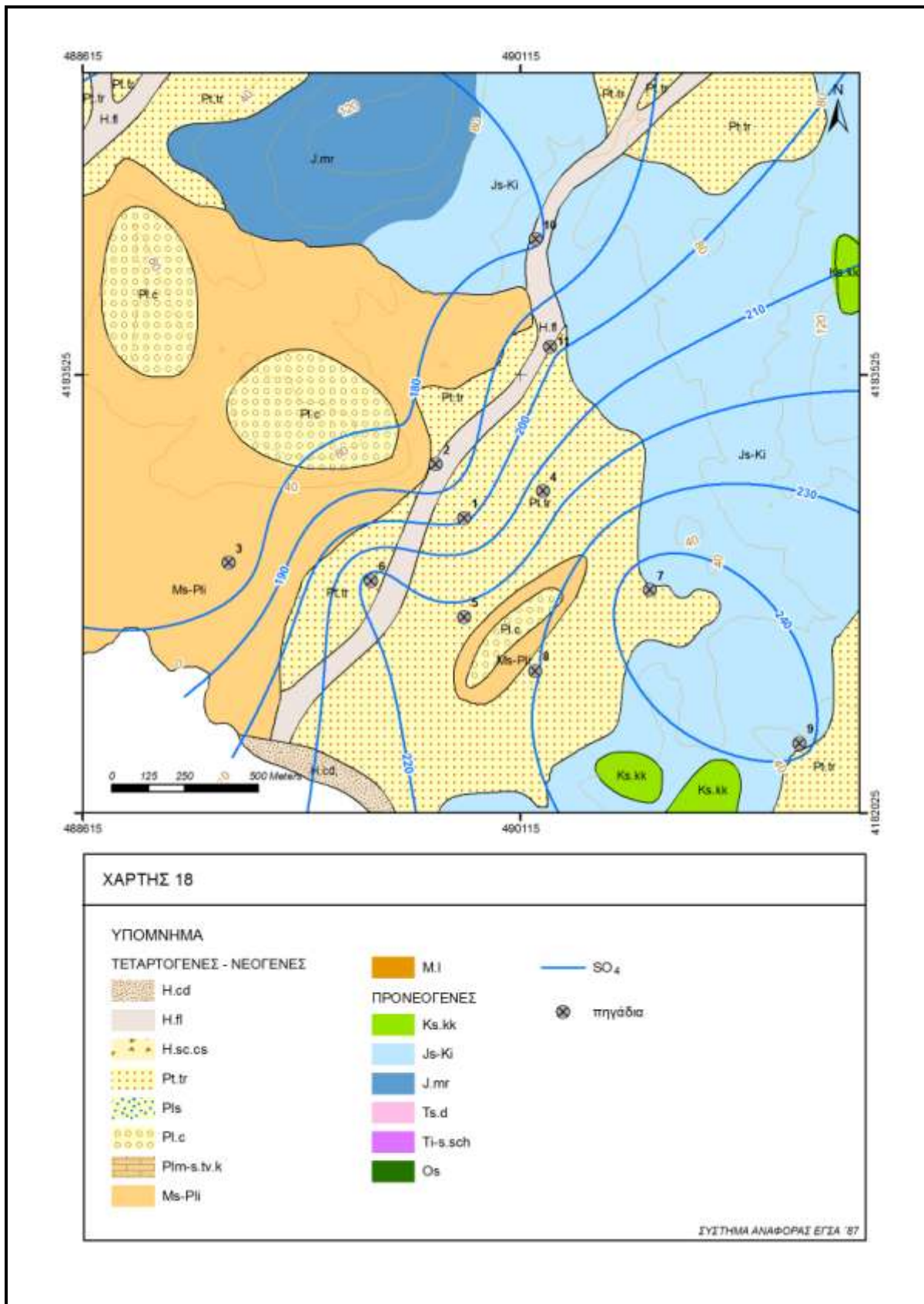
Εικόνα 53 Χάρτης ισοκατανομής όξινων ανθρακικών.



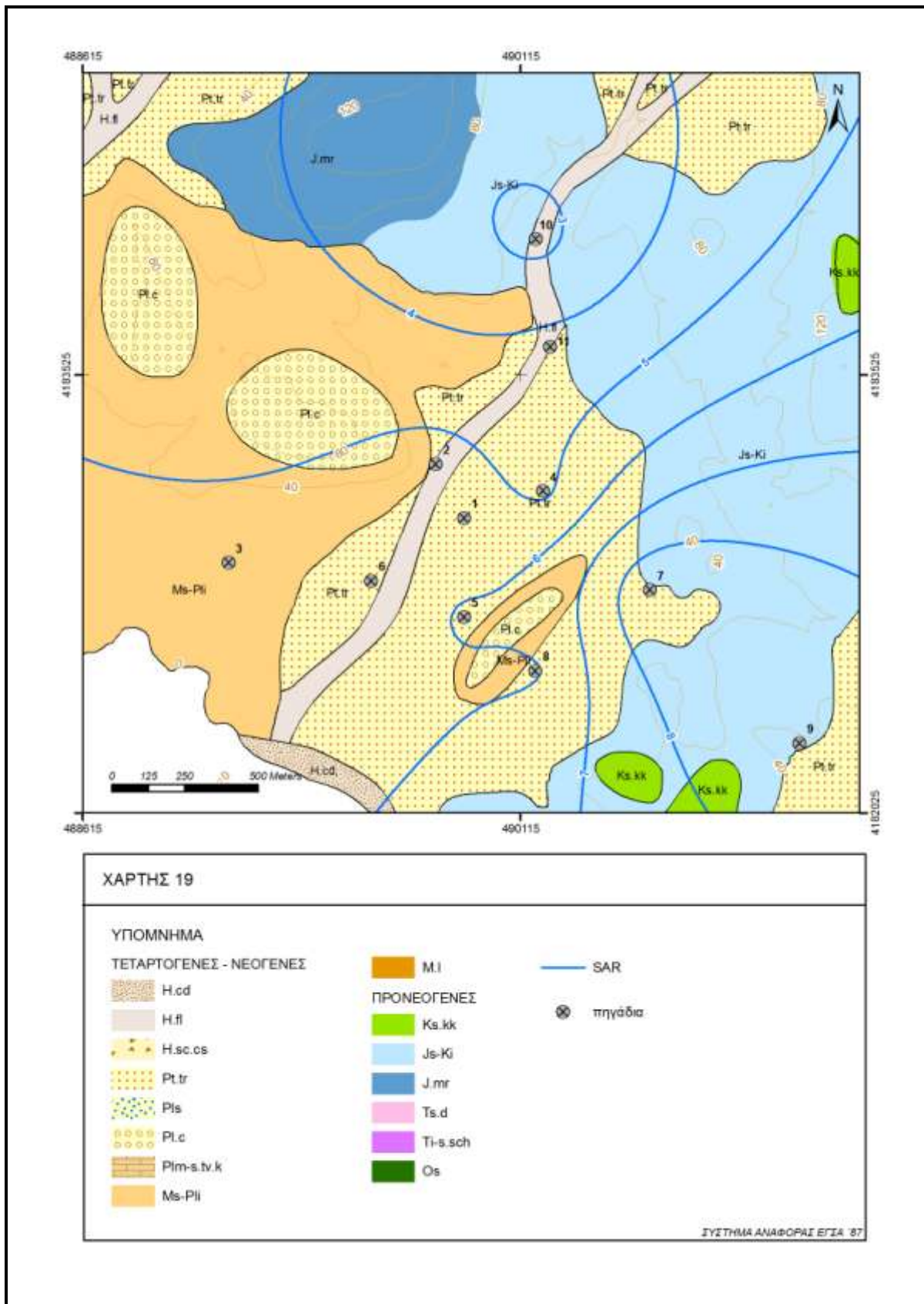
Εικόνα 54 Χάρτης ισοκατανομής χλωριόντων.



Εικόνα 55 Χάρτης ισοκατανομής νιτρικών.



Εικόνα 56 Χάρτης ισοκατανομής θεικών.



Εικόνα 57 Χάρτης ισοκατανομής SAR.



## 7 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Η περιοχή έρευνας ανήκει στην Αττικοκυκλαδική Ζώνη. Τα έντονα τεκτονικά φαινόμενα έδωσαν ένα ιδιαίτερο ανάγλυφο στην περιοχή με το Πάνειο Όρος στα ανατολικά και διάφορους ημιορεινούς όγκους στα νοτιοδυτικά και στα βόρεια και βορειοανατολικά που περικλείουν τη λεκάνη. Στο πεδινό τμήμα της, νεογενή και τεταρτογενή ιζήματα αποκαλύπτουν το χαρακτήρα των έντονων διεργασιών διάβρωσης τις οποίες υπέστη η περιοχή. Η περιοχή κλείνει στα νότια και νοτιοδυτικά από την παραλία όπου συναντάμε σύγχρονες παράκτιες αποθέσεις του Τεταρτογενούς.

Η έρευνα της περιοχής εστιάστηκε στο πεδινό τμήμα, κοντά στην παραλία Καλυβίων, με τη συλλογή δειγμάτων από τα πηγάδια ιδιωτικών κατοικιών και στη συνέχεια τη χημική ανάλυση αυτών. Αυτό που τόσο από τη επιτόπια έρευνα όσο και από την μετέπειτα ανάλυση των στοιχείων έγινε εμφανές, είναι ότι η φρεάτια υδροφορία της περιοχής εστιάζεται στα τεταρτογενή και στα νεογενή στρώματα. Η παροχή χαρακτηρίστηκε για όλα τα πηγάδια από τους ιδιοκτήτες ως επαρκής, αλλά η ποιότητα του νερού ήταν ιδιαίτερη χαμηλή που σε κάποιες περιπτώσεις δεν συνιστάται ούτε για αρδευτικούς σκοπούς χωρίς τη λήψη απαραίτητων μέτρων (π.χ. προσθήκη γύψου).

Ακόμα η οικιστική ανάπτυξη στην περιοχή έχει αλλοιώσει την κύρια αλλά και τις δευτερεύουσες κοίτες του κύριου ρέματος που τη διασχίζει. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα σε περίπτωση έντονης βροχόπτωσης, ιδιαίτερα τους φθινοπωρινούς μήνες, κατά το τέλος της ξηρής περιόδου και στην έναρξη της υγρής να υπάρχει κίνδυνος πλημμυρικού φαινομένου με αρνητικές επιπτώσεις στις κατοικίες και τις υποδομές.

Συμπερασματικά, η περιοχή αντιμετωπίζει πρόβλημα υφαλμύρινσης, πιθανότατα λόγω υπεραντλήσεων (από πηγάδια και γεωτρήσεις) για την κάλυψη των αρδευτικών αναγκών της. Παρατηρείται διείσδυση θαλασσινού μετώπου, η οποία αποδεικνύεται με τις μετρήσεις πεδίου, όσον αφορά τη στάθμη του υδροφόρου, όπου η ισοπιεζομετρική του μηδέν βρίσκεται στο εσωτερικό τμήμα της περιοχής, υψηλότερα από την παραλιακή ζώνη. Το

γεγονός αυτό πιστοποιείται και με τις χημικές αναλύσεις, όπου οι συγκεντρώσεις χλωριόντων και νατρίου είναι υψηλότερες από τα αποδεκτά όρια, αλλά και οι τιμές της αγωγιμότητας είναι πολύ αυξημένες.

Τέλος, μετρήθηκαν τιμές στα νιτρικά ανώτερες των ορίων ποσιμότητας, οι οποίες πιθανότατα οφείλονται σε χρήση αζωτούχων λιπασμάτων, λόγω των καλλιεργειών αλλά και βόθρων στην περιοχή.

## 8 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. HORTON, R. E., (1945). Erosional development of streams and their drainage basins; Hydrophysical approach to quantitative morphology. Bull. Geol. Soc. of America
2. Krohe, A., et al.,(2009). Formation of basins and mountain ranges in Attica (Greece): The role of Miocene to recent low-angle normal detachment faults, Earth-Sci. Rev.
3. STRAHLER, A., (1957). Quantitative analysis of watershed geomorphology. American Geophysical Union Transactions.
4. ΑΝΤΩΝΙΟΥ Β.,(2010). Ανάλυση ανάγλυφου και γεωτεκτονική δομή Ανατολικής Αττικής, Διδακτορική Διατριβή, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών. Τμήμα Γενικό. Τομέας Γεωλογικών Επιστημών και Ατμοσφαιρικού Περιβάλλοντος. Εργαστήριο Ορυκτολογίας και Γεωλογίας, Αθήνα
5. ΒΑΣΙΛΕΙΟΥ Ε., (2011). Υδρογεωλογικές συνθήκες της ευρύτερης περιοχής Ποταμιάς Ελασσόνας. Επιπτώσεις από τη μελλοντική εκμετάλλευση των λιγνιτικών κοιτασμάτων στο υδατικό καθεστώς. Διδακτορική διατριβή, Ε.Μ.Π., Τμήμα Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργών, Αθήνα
6. ΚΟΥΜΑΝΤΑΚΗ Ι., (2000). Κεφάλαια Περιβαλλοντικής Υδρογεωλογίας. Σημειώσεις μαθήματος Ε.Μ.Π. Τμήμα Μηχανικών Μεταλλείων-Μεταλλουργών, Τομέας Γεωλογικών Επιστημών, Αθήνα.
7. ΚΑΛΛΕΡΓΗΣ, Γ., (2001). Εφαρμοσμένη – Περιβαλλοντική Υδρογεωλογία, Τόμος Α' και Β', Δεύτερη Έκδοση, Έκδοση Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας, Αθήνα.
8. ΚΑΛΛΙΣΤΡΑΤΟΥ Κ., (2011). Χρήση τεχνικών G.I.S. για τη μελέτη της γεωμορφολογικής εξέλιξης της υδρολογικής λεκάνης του Ασωπού. Διπλωματική Εργασία, Ε.Μ.Π., Τμήμα Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργών, Αθήνα
9. ΚΑΤΣΙΑΒΡΑΣ (1972). Γεωλογικό φύλλο ΚΟΡΩΠΙ-ΠΛΑΚΑ , κλίμακα 1:25.000, Αθήνα
10. ΚΟΥΜΑΝΤΑΚΗ Ι., (1997). Κεφάλαια Υδρογεωλογίας. Σημειώσεις μαθήματος Ε.Μ.Π. Τμήμα Μηχανικών Μεταλλείων-Μεταλλουργών, Τομέας Γεωλογικών Επιστημών, Αθήνα.

11. ΚΩΝΣΤΑΝΤΑΚΑΤΟΣ Γ., (2007). Εντοπισμός θέσεων δημιουργίας μικρών Έργων Υποδομής, στην λεκάνη απορροής του ρέματος Ξερέας μέσω Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών, (ειδικότερα του υδρολογικού μοντέλου ArcHydro) και τηλεπισκόπισης με σκοπό την αντιπλημμυρική και περιβαλλοντική προστασία της περιοχής. Πανεπιστήμιο Αιγαίου Τμήμα Περιβάλλοντος, Μυτιλήνη.
12. ΛΑΤΣΟΥΔΑΣ (1972). Γεωλογικό φύλλο ΚΟΡΩΠΙ-ΠΛΑΚΑ , κλίμακα 1:25.000, Ι.Γ.Μ.Ε., Αθήνα.
13. ΜΟΥΝΤΡΑΚΗΣ Δ., (1985). Γεωλογία της Ελλάδας. University Studio Press, Θεσσαλονίκη.
14. ΝΤΟΥΜΑΣ Ε., (2010). Παράκτια επικινδυνότητα του Ανατολικού Σαρωνικού κόλπου σε ακραίες θαλάσσιες καταστάσεις Διπλωματική Εργασία Ε.Μ.Π. Τμήμα Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών, Αθήνα.
15. ΡΟΝΤΟΓΙΑΝΝΗ Θ., ΓΕΩΡΓΙΟΥ Χ., Δ. ΓΑΛΑΝΑΚΗ Δ., ΤΡΙΑΝΤΑΦΥΛΛΗ Μ., (2000). Αξιολόγηση των ρηγμάτων στο χώρο εγκατάστασης του Ιπποδρομιακού Κέντρου στο Μαρκόπουλο Αττικής. Ι.Γ.Μ.Ε. Διεύθυνση Γεωλογίας και Γεωλογικών Χαρτογραφήσεων, Αθήνα.

## 9 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

Ακολουθεί ο γεωλογικός χάρτης της περιοχής έρευνας:

## 10 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ

Ακολουθούν τα δελτία των αναλύσεων από τα έντεκα πηγάδια στη Παραλία Καλυβίων από τα οποία συλλέχθηκε δείγμα.

### Sample Summary Report

Sample ID	1			
Sample Date				
Station	kaluvia1			
Location				
Geology				
Watertype	Na-Ca-Cl-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>			
Temperature (°C)				
pH	7,50			
Conductivity	1795,00 uS/cm			
Sum of Anions	18,53	meq/L		
Sum of Cations	17,19	meq/L		
Balance	-3,75	%		
Total dissolved solids	1241,06	mg/L		
Total hardness	446,61	mg/l CaCO <sub>3</sub>		
Alkalinity	327,25	mg/l CaCO <sub>3</sub>		
Major ion composition	mg/l	mmol/l	meq/l	
Na	187,40	8,15	8,15	
K	3,90	0,100	0,100	
Ca	110,40	2,75	5,51	
Mg	41,50	1,71	3,41	
Cl	256,00	7,22	7,22	
SO <sub>4</sub>	182,50	1,90	3,80	
NO <sub>3</sub>	60,00	0,97	0,97	
HCO <sub>3</sub>	399,00	6,54	6,54	
Ratios			Comparison to Seawater	
	mg/l	mmol/l	mg/l	mmol/l
Ca/Mg	2,66	1,61	0.319	0.194
Ca/SO <sub>4</sub>	0,60	1,45	0.152	0.364
Na/Cl	0,73	1,13	0.556	0.858
Cl/Br			287	648

## Sample Summary Report

Sample ID	10			
Sample Date				
Station	kaluvia10			
Location				
Geology				
Watertype	Ca-Na-HCO <sub>3</sub> -Cl-SO <sub>4</sub>			
Temperature (°C)				
pH	8,10			
Conductivity	1381,00	uS/cm		
Sum of Anions	15,10	meq/L		
Sum of Cations	14,41	meq/L		
Balance	-2,34	%		
Total dissolved solids	1054,16	mg/L		
Total hardness	499,16	mg/l CaCO <sub>3</sub>		
Alkalinity	331,35	mg/l CaCO <sub>3</sub>		
Major ion composition	mg/l	mmol/l	meq/l	
Na	100,00	4,35	4,35	
K	2,80	0,072	0,072	
Ca	157,00	3,92	7,83	
Mg	26,00	1,07	2,14	
Cl	152,00	4,29	4,29	
SO <sub>4</sub>	164,00	1,71	3,42	
NO <sub>3</sub>	48,00	0,77	0,77	
HCO <sub>3</sub>	404,00	6,62	6,62	
Ratios	Comparison to Seawater			
	mg/l	mmol/l	mg/l	mmol/l
Ca/Mg	6,04	3,66	0.319	0.194
Ca/SO <sub>4</sub>	0,96	2,29	0.152	0.364
Na/Cl	0,66	1,01	0.556	0.858
Cl/Br			287	648

## Sample Summary Report

Sample ID	11			
Sample Date				
Station	kaluvia11			
Location				
Geology				
Watertype	Na-Ca-Mg-HCO3-Cl-SO4			
Temperature (°C)				
pH	7,60			
Conductivity	1623,00 uS/cm			
Sum of Anions	17,69	meq/L		
Sum of Cations	17,07	meq/L		
Balance	-1,77	%		
Total dissolved solids	1208,66	mg/L		
Total hardness	509,03	mg/l CaCO3		
Alkalinity	332,17	mg/l CaCO3		
Major ion composition	mg/l	mmol/l	meq/l	
Na	158,00	6,87	6,87	
K	0,60	0,015	0,015	
Ca	122,20	3,05	6,10	
Mg	49,50	2,04	4,07	
Cl	202,00	5,70	5,70	
SO4	209,00	2,18	4,35	
NO3	62,00	1,00	1,00	
HCO3	405,00	6,64	6,64	
Ratios	Comparison to Seawater			
	mg/l	mmol/l	mg/l	mmol/l
Ca/Mg	2,47	1,50	0.319	0.194
Ca/SO4	0,58	1,40	0.152	0.364
Na/Cl	0,78	1,21	0.556	0.858
Cl/Br			287	648



## Sample Summary Report

Sample ID	2			
Sample Date				
Station	kaluvia2			
Location				
Geology				
Watertype	Na-Mg-Ca-Cl-HCO <sub>3</sub>			
Temperature (°C)				
pH	7,60			
Conductivity	2042,00	uS/cm		
Sum of Anions	20,33	meq/L		
Sum of Cations	19,19	meq/L		
Balance	-2,88	%		
Total dissolved solids	1309,66	mg/L		
Total hardness	517,25	mg/l CaCO <sub>3</sub>		
Alkalinity	312,49	mg/l CaCO <sub>3</sub>		
Major ion composition	mg/l	mmol/l	meq/l	
Na	200,40	8,72	8,72	
K	5,00	0,128	0,128	
Ca	96,80	2,42	4,83	
Mg	66,90	2,75	5,51	
Cl	360,50	10,17	10,17	
SO <sub>4</sub>	152,50	1,59	3,18	
NO <sub>3</sub>	46,20	0,75	0,75	
HCO <sub>3</sub>	381,00	6,24	6,24	
Ratios			Comparison to Seawater	
	mg/l	mmol/l	mg/l	mmol/l
Ca/Mg	1,45	0,88	0.319	0.194
Ca/SO <sub>4</sub>	0,63	1,52	0.152	0.364
Na/Cl	0,56	0,86	0.556	0.858
Cl/Br			287	648

## Sample Summary Report

Sample ID	3			
Sample Date				
Station	kaluvia3			
Location				
Geology				
Watertype	Na-Mg-Ca-Cl-HCO <sub>3</sub>			
Temperature (°C)				
pH	7,50			
Conductivity	1917,00	uS/cm		
Sum of Anions	19,81	meq/L		
Sum of Cations	18,39	meq/L		
Balance	-3,71	%		
Total dissolved solids	1305,96	mg/L		
Total hardness	499,92	mg/l CaCO <sub>3</sub>		
Alkalinity	393,69	mg/l CaCO <sub>3</sub>		
Major ion composition	mg/l	mmol/l	meq/l	
Na	189,80	8,26	8,26	
K	5,20	0,133	0,133	
Ca	92,50	2,31	4,62	
Mg	65,30	2,69	5,37	
Cl	302,80	8,54	8,54	
SO <sub>4</sub>	140,50	1,46	2,93	
NO <sub>3</sub>	29,50	0,48	0,48	
HCO <sub>3</sub>	480,00	7,87	7,87	
Ratios			Comparison to Seawater	
	mg/l	mmol/l	mg/l	mmol/l
Ca/Mg	1,42	0,86	0.319	0.194
Ca/SO <sub>4</sub>	0,66	1,58	0.152	0.364
Na/Cl	0,63	0,97	0.556	0.858
Cl/Br			287	648

## Sample Summary Report

Sample ID	4			
Sample Date				
Station	kaluvia4			
Location				
Geology				
Watertype	Na-Mg-Ca-Cl-HCO <sub>3</sub>			
Temperature (°C)				
pH	7,60			
Conductivity	2833,00 uS/cm			
Sum of Anions	28,97	meq/L		
Sum of Cations	26,78	meq/L		
Balance	-3,92	%		
Total dissolved solids	1784,36	mg/L		
Total hardness	839,62	mg/l CaCO <sub>3</sub>		
Alkalinity	291,98	mg/l CaCO <sub>3</sub>		
Major ion composition	mg/l	mmol/l	meq/l	
Na	227,90	9,91	9,91	
K	2,90	0,074	0,074	
Ca	162,40	4,05	8,10	
Mg	105,40	4,34	8,67	
Cl	586,40	16,54	16,54	
SO <sub>4</sub>	225,00	2,34	4,69	
NO <sub>3</sub>	118,00	1,90	1,90	
HCO <sub>3</sub>	356,00	5,83	5,83	
Ratios	Comparison to Seawater			
	mg/l	mmol/l	mg/l	mmol/l
Ca/Mg	1,54	0,93	0.319	0.194
Ca/SO <sub>4</sub>	0,72	1,73	0.152	0.364
Na/Cl	0,39	0,60	0.556	0.858
Cl/Br			287	648

## Sample Summary Report

Sample ID	5			
Sample Date				
Station	kaluvia5			
Location				
Geology				
Watertype	Na-Mg-Ca-Cl-HCO <sub>3</sub>			
Temperature (°C)				
pH	7,30			
Conductivity	3291,00	uS/cm		
Sum of Anions	33,74	meq/L		
Sum of Cations	31,19	meq/L		
Balance	-3,93	%		
Total dissolved solids	2106,76	mg/L		
Total hardness	908,71	mg/l CaCO <sub>3</sub>		
Alkalinity	437,16	mg/l CaCO <sub>3</sub>		
Major ion composition	mg/l	mmol/l	meq/l	
Na	296,40	12,89	12,89	
K	5,00	0,128	0,128	
Ca	171,10	4,27	8,54	
Mg	116,90	4,81	9,62	
Cl	670,30	18,91	18,91	
SO <sub>4</sub>	221,00	2,30	4,60	
NO <sub>3</sub>	92,70	1,50	1,50	
HCO <sub>3</sub>	533,00	8,74	8,74	
Ratios	Comparison to Seawater			
	mg/l	mmol/l	mg/l	mmol/l
Ca/Mg	1,46	0,89	0.319	0.194
Ca/SO <sub>4</sub>	0,77	1,85	0.152	0.364
Na/Cl	0,44	0,68	0.556	0.858
Cl/Br			287	648

## Sample Summary Report

Sample ID	6			
Sample Date				
Station	kaluvia6			
Location				
Geology				
Watertype	Na-Ca-Mg-Cl-HCO3-SO4			
Temperature (°C)				
pH	7,30			
Conductivity	2697,00	uS/cm		
Sum of Anions	27,60	meq/L		
Sum of Cations	25,74	meq/L		
Balance	-3,50	%		
Total dissolved solids	1726,56	mg/L		
Total hardness	754,29	mg/l CaCO3		
Alkalinity	317,41	mg/l CaCO3		
Major ion composition	mg/l	mmol/l	meq/l	
Na	242,30	10,54	10,54	
K	4,30	0,110	0,110	
Ca	156,10	3,89	7,79	
Mg	88,50	3,64	7,28	
Cl	521,90	14,72	14,72	
SO4	272,00	2,83	5,67	
NO3	54,10	0,87	0,87	
HCO3	387,00	6,34	6,34	
Ratios			Comparison to Seawater	
	mg/l	mmol/l	mg/l	mmol/l
Ca/Mg	1,76	1,07	0.319	0.194
Ca/SO4	0,57	1,37	0.152	0.364
Na/Cl	0,46	0,72	0.556	0.858
Cl/Br			287	648

## Sample Summary Report

Sample ID	7			
Sample Date				
Station	kaluvia7			
Location				
Geology				
Watertype	Na-Ca-Cl-HCO3-SO4			
Temperature (°C)				
pH	7,90			
Conductivity	2594,00	uS/cm		
Sum of Anions	26,88	meq/L		
Sum of Cations	26,42	meq/L		
Balance	-0,86	%		
Total dissolved solids	1785,56	mg/L		
Total hardness	564,89	mg/l CaCO3		
Alkalinity	373,18	mg/l CaCO3		
Major ion composition	mg/l	mmol/l	meq/l	
Na	345,00	15,01	15,01	
K	4,20	0,107	0,107	
Ca	120,00	2,99	5,99	
Mg	64,40	2,65	5,30	
Cl	440,00	12,41	12,41	
SO4	267,00	2,78	5,56	
NO3	89,60	1,45	1,45	
HCO3	455,00	7,46	7,46	
Ratios			Comparison to Seawater	
	mg/l	mmol/l	mg/l	mmol/l
Ca/Mg	1,86	1,13	0.319	0.194
Ca/SO4	0,45	1,08	0.152	0.364
Na/Cl	0,78	1,21	0.556	0.858
Cl/Br			287	648

## Sample Summary Report

Sample ID	8			
Sample Date				
Station	kaluvia8			
Location				
Geology				
Watertype	Na-Mg-Ca-Cl-HCO <sub>3</sub>			
Temperature (°C)				
pH	8,40			
Conductivity	2369,00	uS/cm		
Sum of Anions	25,19	meq/L		
Sum of Cations	24,47	meq/L		
Balance	-1,45	%		
Total dissolved solids	1649,66	mg/L		
Total hardness	680,08	mg/l CaCO <sub>3</sub>		
Alkalinity	428,47	mg/l CaCO <sub>3</sub>		
Major ion composition	mg/l	mmol/l	meq/l	
Na	248,00	10,79	10,79	
K	3,00	0,077	0,077	
Ca	131,00	3,27	6,54	
Mg	85,70	3,53	7,05	
Cl	408,00	11,51	11,51	
SO <sub>4</sub>	226,00	2,35	4,71	
NO <sub>3</sub>	25,40	0,41	0,41	
HCO <sub>3</sub>	522,00	8,55	8,55	
Ratios			Comparison to Seawater	
	mg/l	mmol/l	mg/l	mmol/l
Ca/Mg	1,53	0,93	0.319	0.194
Ca/SO <sub>4</sub>	0,58	1,39	0.152	0.364
Na/Cl	0,61	0,94	0.556	0.858
Cl/Br			287	648

**Sample Summary Report**

Sample ID	9			
Sample Date				
Station	kaluvia9			
Location				
Geology				
Watertype	Na-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub> -Cl			
Temperature (°C)				
pH	7,90			
Conductivity	1980,00	uS/cm		
Sum of Anions	21,90	meq/L		
Sum of Cations	21,46	meq/L		
Balance	-1,02	%		
Total dissolved solids	1583,56	mg/L		
Total hardness	428,03	mg/l CaCO <sub>3</sub>		
Alkalinity	473,24	mg/l CaCO <sub>3</sub>		
Major ion composition	mg/l	mmol/l	meq/l	
Na	294,00	12,79	12,79	
K	4,10	0,105	0,105	
Ca	86,80	2,17	4,33	
Mg	51,30	2,11	4,22	
Cl	174,00	4,91	4,91	
SO <sub>4</sub>	245,00	2,55	5,10	
NO <sub>3</sub>	151,00	2,44	2,44	
HCO <sub>3</sub>	577,00	9,46	9,46	
Ratios			Comparison to Seawater	
	mg/l	mmol/l	mg/l	mmol/l
Ca/Mg	1,69	1,03	0.319	0.194
Ca/SO <sub>4</sub>	0,35	0,85	0.152	0.364
Na/Cl	1,69	2,61	0.556	0.858
Cl/Br			287	648



## 11 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ

Στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ ακολουθούν το ευρετήριο εικόνων και πινάκων:

### Ευρετήριο εικόνων:

Εικόνα 1 Χάρτης προσανατολισμού της περιοχής Παραλία Καλυβίων. Με το πλαίσιο σημειώνεται η περιοχή μελέτης. ....	13
Εικόνα 2 Γεωτεκτονικές ζώνες του ελληνικού χώρου ( Μουντράκης, 2010) .....	25
Εικόνα 3 Συνθετική στρωματογραφική και τεκτονική στήλη της γεωλογικής δομής της Αττικής. ....	32
Εικόνα 4 Ενοποιημένος γεωλογικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής μελέτης 1. Νεογενείς και τεταρτογενείς αποθέσεις, 2. Πελαγονική ζώνη, 2.1. Φλύσχης, 2.2. Ασβεστόλιθοι Άνω Κρητιδικού, 2.3. Νεοπαλαιοζωϊκά-τριαδικοϊουρασικά μεταμορφωμένα πετρώματα, ασβεστόλιθοι και δολομίτες, 3. Αυτόχθονη ενότητα, 4. Αλλόχθονη ενότητα 5. Επώθηση (Katsikatsos et al. 1986).....	34
Εικόνα 5 Γεωλογικός χάρτης και αντίστοιχη γεωλογική τομή της ευρύτερης περιοχής Υμηττού-Νότιας Αττικής (Jacobshagen et al. 1986 όπως αναφέρεται από τον ΑΝΤΩΝΙΟΥ Β., στη διδακτορική διατριβή Ανάλυση ανάγλυφου και γεωτεκτονική δομή Ανατολικής Αττικής,2010).....	35
Εικόνα 6 Σχηματική απεικόνιση των απόψεων Λέκκα. & Λόζιου (1996). ....	36
Εικόνα 7 Χάρτης μεταλλικών ιζημάτων στην περιοχή της ΝΑ Αττικής (Μαρίνος, 1956).....	39
Εικόνα 8 Στρωματογραφικές σειρές των Νεογενών ιζημάτων στη νότια Αττική (Παυλόπουλος, 1992) .....	41
Εικόνα 9 Χάρτης και γεωλογική τομή στην περιοχή της νότιας Αττικής, όπου φαίνεται η μεγάλη επιφάνεια αποκόλλησης (Krohe et al. 2009) .....	44

Εικόνα 10 Γεωλογικός χάρτης της περιοχής Παραλία Καλυβίων. (Ι.Γ.Μ.Ε. κλίμακα 1:50.000) .....	50
Εικόνα 11 Χάρτης με τα κυριότερα ρήγματα στην ευρύτερη περιοχή της Αττικής (από Rondoyanni et. Al., 2000) .....	52
Εικόνα 12 Παραλία Καλυβίων (με κίτρινο χρώμα οι απώλειες εδάφους λόγω διάβρωσης κατά τη χρονική περίοδο 1998-2005). .....	53
Εικόνα 13 Μορφολογικός χάρτης περιοχής Παραλία Καλυβίων με τη γραμμή χρώματος κυανό οριοθετείται η υπό μελέτη λεκάνη απορροής.....	54
Εικόνα 14 Ημιλογαριθμικό διάγραμμα πραγματικού και ιδανικού αριθμού κλάδων .....	58
Εικόνα 15 Ιστόγραμμα αποκλίσεων του πραγματικού αριθμού από το ιδανικό .....	58
Εικόνα 16 Ημιλογαριθμικό διάγραμμα πραγματικού και ιδανικού μήκους κλάδων .....	59
Εικόνα 17 Ιστόγραμμα αποκλίσεων του πραγματικού μήκους από το ιδανικό .....	59
Εικόνα 18 Χάρτης με τη μέση ετήσια βροχόπτωση σε μετεωρολογικούς σταθμούς της Αττικής .....	65
Εικόνα 19 Διάγραμμα διακύμανσης μέσης μηνιαίας βροχόπτωσης στο μ. σταθμό Μαρκόπουλου .....	68
Εικόνα 20 Διάγραμμα διακύμανσης μέσης μηνιαίας βροχόπτωσης Σπατών .....	70
Εικόνα 21 Διάγραμμα διακύμανσης μέσης υπερετήσιας βροχόπτωσης στους σταθμούς Σπάτα (1982-2004), Μαρκόπουλο (1971-2009).....	71
Εικόνα 22 Χάρτης με τη μέση ετήσια θερμοκρασία σε μετεωρολογικούς σταθμούς της Αττικής (Πηγή Κουτσογιάννης Γ., 2007) .....	72
Εικόνα 23 Διάγραμμα διακύμανσης μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας Σπατών .....	75

Εικόνα 25 Διάγραμμα διακύμανσης μέσης υπερετήσιας βροχόπτωσης στους σταθμούς Σπάτα (1982-2004), Μαρκόπουλο (1971-2009).....	78
Εικόνα 24 Διάγραμμα διακύμανσης μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας Μαρκόπουλου .....	78
Εικόνα 26 Διάγραμμα υδρολογικού ισοζυγίου στο σταθμό Σπάτα (1982-2004).....	85
Εικόνα 27 Υδρολογικό ισοζύγιο στο σταθμό Μαρκόπουλο περιόδου 1971-2009 .....	86
Εικόνα 28 Διάγραμμα υδρολογικού ισοζυγίου στο σταθμό Μαρκόπουλου (1971-2009) .....	87
Εικόνα 29 Υδρογεωλογικές τομές με τους διάφορους τύπους υδροφόρων οριζόντων που απαντούν στη φύση. (α): Ελεύθερος υδρ. ορίζοντας, (β):υπό πίεση υδρ. ορίζοντες, (γ): Μερικώς υπό πίεση και (δ):ημιελεύθερος υδρ. ορίζοντας. ....	91
Εικόνα 30 Υδρογεωλογικές τομές στις οποίες φαίνονται οι σχέσεις υδρολογικών λεκανών και λεκανών τροφοδοσίας υδροφόρων οριζόντων. (ΚΟΥΜΑΝΤΑΚΗ, Κεφάλαια Υδρογεωλογίας) 93	
Εικόνα 31 Υδρολογικός χάρτης της περιοχής έρευνας όπου φαίνονται τα όρια της υδρολογικής λεκάνης και τα ρέματα της περιοχής. ....	94
Εικόνα 32 Διάγραμμα Wilcox .....	115
Εικόνα 33 Διάγραμμα Durov .....	116
Εικόνα 34 Διάγραμμα Piper (Σούλιος 2006) .....	117
Εικόνα 35 Διάγραμμα Ludwig-Langelier .....	118
Εικόνα 36 Σταθμήμετρο που χρησιμοποιήθηκε για την μέτρηση του βάθους της υδροφορίας των πηγαδιών .....	121
Εικόνα 37 Τοπογραφικός Χάρτης της περιοχής έρευνας με τις θέσεις πηγαδιών.....	122
Εικόνα 38 Γεωλογικός χάρτης της περιοχής έρευνας με τη θέση των πηγαδιών .....	123
Εικόνα 39 Πιεζομετρικός χάρτης της περιοχής έρευνας. ....	125

Εικόνα 40 Διάγραμμα Ludwig. ....	132
Εικόνα 41 Διάγραμμα Wilcox. ....	134
Εικόνα 42 Διάγραμμα Schoeller .....	135
Εικόνα 43 Διάγραμμα Piper.....	136
Εικόνα 44 Διάγραμμα Durov .....	137
Εικόνα 45 Χάρτης ισοκατανομής pH .....	140
Εικόνα 46 Χάρτης ισοκατανομής αγωγιμότητας. ....	141
Εικόνα 47 Χάρτης ισοκατανομής κατιόντων ασβεστίου. ....	142
Εικόνα 48 Χάρτης ισοκατανομής κατιόντων μαγνησίου .....	143
Εικόνα 49 Χάρτης ισοκατανομής κατιόντων νατρίου.....	144
Εικόνα 50 Χάρτης ισοκατανομής κατιόντων καλίου.....	145
Εικόνα 51 Χάρτης ισοκατανομής ολικής σκληρότητας.....	146
Εικόνα 52 Χάρτης ισοκατανομής παροδικής σκληρότητας.....	147
Εικόνα 53 Χάρτης ισοκατανομής όξινων ανθρακικών.....	148
Εικόνα 54 Χάρτης ισοκατανομής χλωριόντων.....	149
Εικόνα 55 Χάρτης ισοκατανομής νιτρικών.....	150
Εικόνα 56 Χάρτης ισοκατανομής θειικών.....	151
Εικόνα 57 Χάρτης ισοκατανομής SAR.....	152

**Ευρετήριο πινάκων:**

Πίνακας 1 Αριθμός και μήκος κλάδων κατά τάξη. ....	57
Πίνακας 2 Λόγος διακλάδωσης Rb και λόγος μήκους RL κατά τάξη. ....	57
Πίνακας 3 Απόκλιση των πραγματικών αριθμών και μηκών κλάδων από τις ιδανικές (%). ...	58
Πίνακας 4 Συντεταγμένες (σε μοίρες και σε σύστημα Ε.Γ.Σ.Α.) και χαρακτηριστικά των υδρομετεωρολ. σταθμών .....	63
Πίνακας 5 Μηνιαίες και ετήσιες τιμές βροχόπτωσης (mm) στο μετεωρολογικό σταθμό του Μαρκόπουλου (Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε.) .....	66
Πίνακας 6 Μηνιαίες και ετήσιες τιμές βροχόπτωσης (mm) του μετεωρολογικού σταθμού των Σπάτων (Ε.Μ.Υ.) .....	68
Πίνακας 7 Μηνιαίες και ετήσιες τιμές θερμοκρασίας στο μ. σταθμό Σπάτων (Ε.Μ.Υ.) .....	72
Πίνακας 8 Μέση μηνιαία και ετήσια θερμοκρασία του μετεωρολογικού σταθμού στο Μαρκόπουλο .....	75
Πίνακας 9 Μηνιαία δυνητική εξατμισοδιαπνοή (mm) κατά Thornthwaite για τους σταθμούς Σπάτα, Μαρκόπουλο .....	81
Πίνακας 10 Υδατικό ισοζύγιο κατά Thornthwaite στο σταθμό Σπάτα .....	84
Πίνακας 11 Υδατικό ισοζύγιο κατά Thornthwaite στο σταθμό Μαρκόπουλο .....	86
Πίνακας 12 Ιοντικοί λόγοι ( Βουδούρης 2009).....	111
Πίνακας 13 Θέσεις, υψόμετρο και στάθμη πηγαδιών .....	124
Πίνακας 14 Χημικές αναλύσεις των δειγμάτων.....	126
Πίνακας 15 Στατιστικά στοιχεία των αναλύσεων των δειγμάτων.....	126
Πίνακας 16 Χαρακτηρισμός δειγμάτων με το πρόγραμμα AquaChem.....	127

Πίνακας 17 Ιοντικοί λόγοι των δειγμάτων .....128