



**ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ  
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ**

**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑΣ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΥΔΡΟΧΗΜΙΚΗ ΚΑΙ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ  
ΓΙΑ ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΥΔΡΟΦΟΡΩΝ ΣΤΡΩΜΑΤΩΝ ΤΗΣ  
ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΑΛΜΥΡΟΥ, ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ-ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ**



**ΚΟΣΜΙΔΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ ΑΕΜ : 3720**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : ΔΗΜΟΠΟΥΛΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ**

**ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2008**

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

|                                           |    |
|-------------------------------------------|----|
| <b>ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ</b>                        | 2  |
| <b>ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ</b>                        | 3  |
| <b>1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b>                        | 4  |
| 1.1 Σκοπός της διπλωματικής               | 4  |
| 1.2 Γεωγραφική τοποθέτηση - Γεωμορφολογία | 5  |
| 1.3 Διοικητικά όρια (δήμοι – κοινότητες)  | 7  |
| <b>2. ΓΕΩΛΟΓΙΑ</b>                        | 9  |
| 2.1 Εισαγωγή                              | 9  |
| 2.2 Στρωματογραφία                        | 10 |
| 2.2.1 Αλπικά πετρώματα                    | 10 |
| 2.2.2 Μεταλικά πετρώματα                  | 11 |
| 2.3 Τεκτονική                             | 14 |
| <b>3. ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ</b>                    | 16 |
| 3.1 Εισαγωγή                              | 16 |
| 3.2 Υδρολιθολογία                         | 16 |
| 3.2.1.Ανθρακικά πετρώματα                 | 16 |
| 3.2.2.Χαλαρά πετρώματα                    | 17 |
| 3.2.3.Αδιαπέρατα πετρώματα                | 17 |
| 3.3.Πιεζομετρία                           | 18 |
| 3.3.1.Στάθμες της περιοχής – Ροές         | 19 |
| 3.3.2.Αρνητικές στάθμες                   | 20 |
| <b>4. ΓΕΩΦΥΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ</b>              | 23 |
| <b>5. ΥΔΡΟΧΗΜΕΙΑ</b>                      | 27 |
| 5.1 Χημικές αναλύσεις                     | 27 |
| 5.2 Θεματικοί χάρτες                      | 29 |
| 5.3.Ταξινόμηση του νερού                  | 36 |
| 5.3.1.Διάγραμμα PIPER                     | 36 |
| 5.3.2. Διάγραμμα DUROV                    | 37 |
| 5.3.3. Διάγραμμα SCHOELLER                | 38 |
| 5.3.4. Διάγραμμα S.A.R.                   | 39 |
| 5.3.5. Διάγραμμα WILCOX                   | 41 |
| <b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ</b>                       | 42 |
| <b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b>                       | 44 |
| <b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ</b>                          | 45 |

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η ανάθεση και επίβλεψη της παρούσας διπλωματικής εργασίας έγινε από τον καθηγητή κ. Δημόπουλο Γεώργιο του τομέα Γεωλογίας και εργαστηρίου Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας, τον οποίο ευχαριστώ θερμά για την συνεχή μετάδοση των γνώσεων και της εμπειρίας του.

Θέλω ακόμα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στον καθηγητή κ. Βουδούρη Κωνσταντίνο του τομέα Γεωλογίας και εργαστηρίου Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας για το χρόνο που αφιέρωσε σε συζητήσεις σχετικά με τη γεωλογία και υδρογεωλογία της ευρύτερης περιοχής μελέτης.

Ευχαριστίες οφείλονται επίσης, στον Υποψήφιο Διδάκτορα Μυριούνη Χρήστο για την απλόχερη και αμέριστη βοήθεια για την περάτωση της παρούσας εργασίας, καθώς και για την αβίαστη πρόσβαση που μου παρείχε στο αρχείο δεδομένων του.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου, και συγκεκριμένα τον πατέρα μου Κοσμίδη Βασίλειο και τη μητέρα μου Κοσμίδου-Τρίγκα Ελένη για τη συμπαράσταση και την οικονομική βοήθεια καθ' όλη την ακαδημαϊκή μου σταδιοδρομία.

Η περάτωση της διπλωματικής εργασίας πραγματοποιήθηκε σε πλατφόρμα ηλεκτρονικού υπολογιστή και συγκεκριμένα σε περιβάλλον Windows XP Professional με τη βοήθεια των προγραμμάτων Microsoft Office 2003 και ArcGIS 9 (version 9.1).

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1.1 Σκοπός της διπλωματικής

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι ο προσδιορισμός των υδρογεωλογικών, υδροχημικών και γεωφυσικών συνθηκών της λεκάνης Αλμυρού Βόλου.

Η συγκεκριμένη εργασία περιλαμβάνει τέσσερα μέρη. Την γεωλογία, την υδρογεωλογία, τη γεωφυσική και την υδροχημεία της υπό μελέτη περιοχής.

Η περιγραφή της γεωμορφολογίας, η υδρολογική ανάλυση, η περιγραφή της γεωλογίας, η γεωφυσική διασκόπηση και ο εντοπισμός του καθεστώτος ανάπτυξης υδατικών πόρων της υδρογεωλογικής λεκάνης μελέτης πραγματοποιήθηκαν με βάση τα βιβλιογραφικά δεδομένα σε συνδυασμό με την ανάλυση των πρωτογενών δεδομένων, ιδιαίτερα στο κεφάλαιο της υδρογεωλογίας, της γεωφυσικής διασκόπησης και της υδροχημείας, και με παρατηρήσεις υπαίθρου.

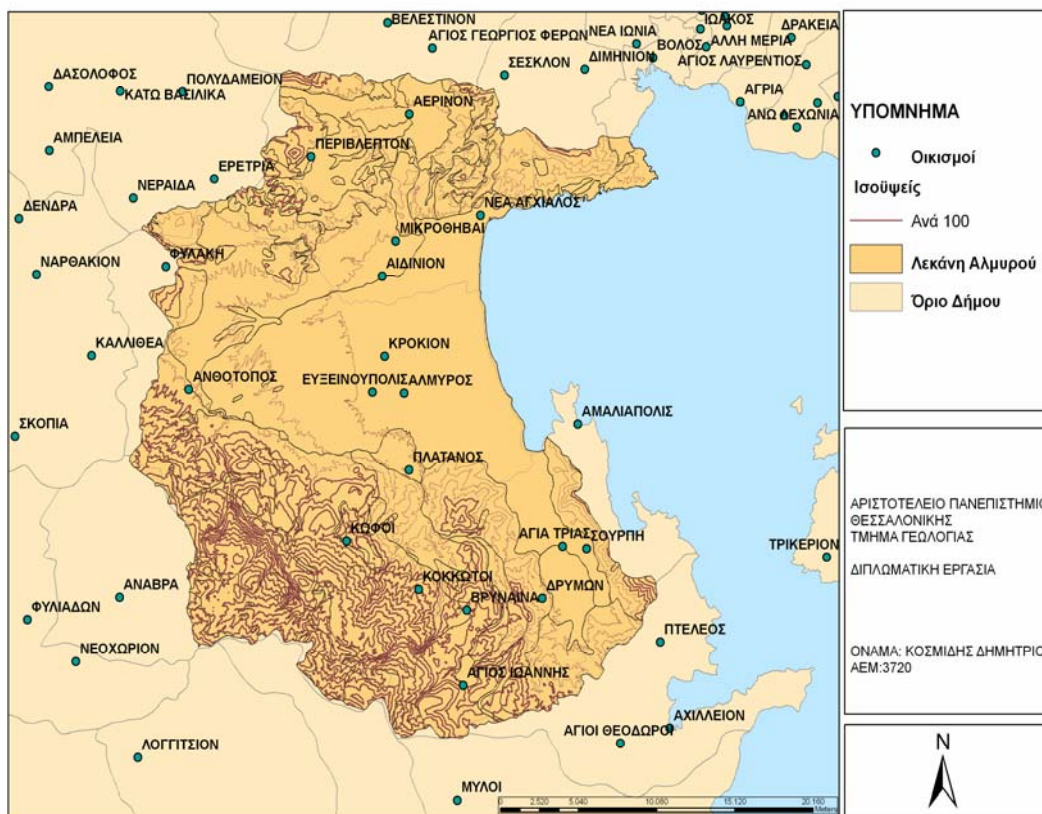
Με τον τρόπο αυτό κατέστη δυνατό να προκύψει η υδρογεωλογική και γεωφυσική συμπεριφορά της ευρύτερης περιοχής της λεκάνης του Αλμυρού με τη βοήθεια των πιεζομετρικών δεδομένων και των δοκιμαστικών αντλήσεων. Έγινε ακόμη προσπάθεια προσδιορισμού του ποιοτικού καθεστώτος των υπογείων νερών της περιοχής μελέτης, με τη συλλογή και αξιολόγηση υδροχημικών δεδομένων, τα οποία προέκυψαν από δειγματοληψίες και εκτέλεση υδροχημικών αναλύσεων στο Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας της Σχολής Γεωλογίας του Α.Π.Θ.

Τελικά παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που προκύπτουν από το σύνολο των παραπάνω διεργασιών και διατυπώνονται προτάσεις για την καλύτερη διαχείριση των υδατικών πόρων της υδρογεωλογικής λεκάνης του Αλμυρού Βόλου.

Η διπλωματική εργασία συμπληρώνεται με σχέδια, χάρτες και διαγράμματα που συντάχθηκαν για την ολοκληρωτική θεώρηση και καλύτερη κατανόηση του αντικειμένου του εκάστοτε κεφαλαίου. Στο τέλος της παρατίθεται παράρτημα με όλους τους επιμέρους χάρτες για την ευκολότερη κατανόηση του αναγνώστη.

## 1.2 Γεωγραφική τοποθέτηση - Γεωμορφολογία

Η περιοχή μελέτης βρίσκεται στο νοτιοανατολικό περιθώριο της θεσσαλικής λεκάνης. Έχει γεωγραφικό μήκος  $22^{\circ}30' - 23^{\circ}00'$  και πλάτος  $39^{\circ}00' - 39^{\circ}15'$ . Εκτείνεται ανατολικά μέχρι τον Παγασητικό κόλπο και περιορίζεται νότια από το Χαλκηδόνιο όρος ή Μαυροβούνη (εικ. 1.). Η μορφολογία των βόρειων περιθωρίων της λεκάνης υποδηλώνει την ύπαρξη διαύλων επικοινωνίας μεταξύ της λεκάνης του Αλμυρού και του νοτιοανατολικού περιθωρίου της ανατολικής θεσσαλικής πεδιάδας.



**ΕΙΚΟΝΑ 1.** Κύριες τοποθεσίες της ευρύτερης περιοχής μελέτης.

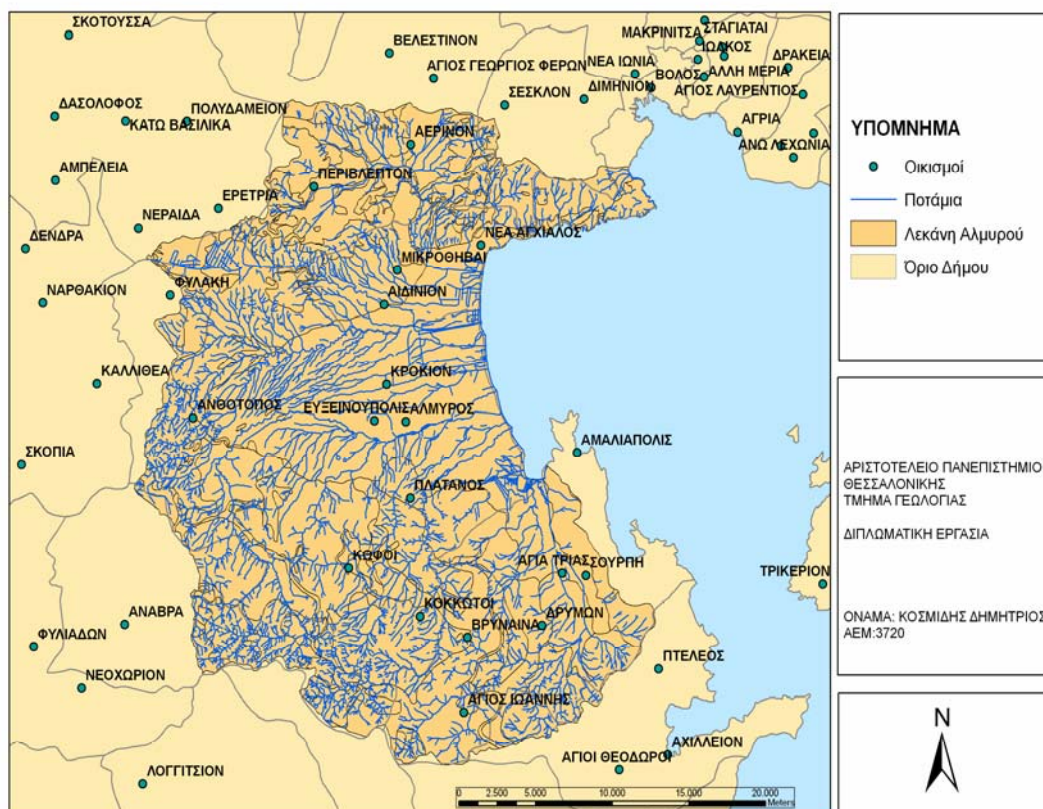
Γεωγραφικά πρόκειται ουσιαστικά για τη μοναδική πεδιάδα του νομού Μαγνησίας, καθώς η πεδιάδα Βόλου – Βελεστίνου (ευρύτερη περιοχή πρώην λίμνης Κάρλας) αποτελεί συνέχεια της πεδιάδας της Λάρισας.

Η λεκάνη του Αλμυρού αποτελεί τμήμα του ενιαίου βυθίσματος Αλμυρού – Παγασητικού. Τα 2/3 του βυθίσματος αυτού καλύπτονται ανατολικά από τον Παγασητικό κόλπο, σε βάθη μέχρι τα 100m, ενώ το 1/3 προς τα δυτικά αποτελεί την ημιορεινή ζώνη (υψόμετρο 200-300m) και την χαμηλού ανάγλυφου χερσαία περιοχή του Αλμυρού (υψόμετρο μέχρι 200m).

Η έκταση της υδρολογικής λεκάνης είναι 865 km<sup>2</sup> περίπου. Αναγνωρίζουμε την παρουσία δύο υπολεκανών με βάσει τόσο τα μορφολογικά, όσο τα τεκτονικά και υδρογεωλογικά δεδομένα, συγκεκριμένα : βόρεια την υπολεκάνη της Ευξεινούπολης και νότια την υπολεκάνη της Σούρπης. Η γενική διεύθυνση της υπολεκάνης της Ευξεινούπολης είναι από ανατολικά προς τα δυτικά, μήκους 20 km περίπου και πλάτους μικρότερου των 15 km, ενώ η υπολεκάνη της Σούρπης έχει μήκος 10 km, πλάτος 5 km με μεγάλο άξονα που έχει διεύθυνση βόρειο/ βορειοδυτική – νότιο/ νοτιοανατολική.

Η μορφολογία της λεκάνης διαμορφώνεται κυρίως από τη διαβρωτική δράση των ατμοσφαιρικών κατακρημνίσεων. Γενικά παρατηρείται η παρουσία εποχιακών χειμάρρων, εκτός του χειμάρρου Χολόρρεμα που είναι ο μεγαλύτερος και ρέει σχεδόν καθ' όλη τη διάρκεια του έτους (εικ. 2.). Χαρακτηριστική είναι τέλος η παρουσία καρστικού ανάγλυφου, ενώ και η καρστική διάβρωση της περιοχής κρίνεται προχωρημένη. Στην περιοχή υπάρχουν εκτεταμένα καρστικά έγκοιλα.



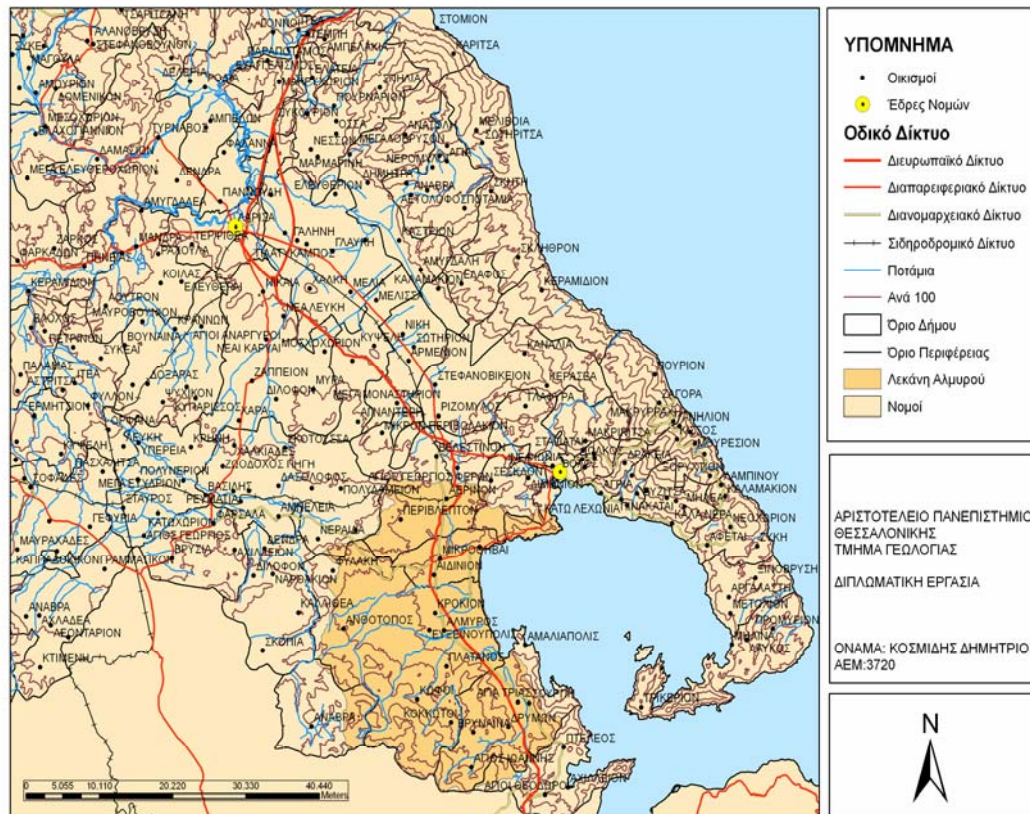


**ΕΙΚΟΝΑ 2 .** Υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής μελέτης.

### 1.3 Διοικητικά όρια (δήμοι – κοινότητες)

Η λεκάνη του Αλμυρού ορίζεται βόρεια και ανατολικά προς τα δυτικά από την κορυφή Βελανιδιά (532 m), το Χαλκηδόνιο Όρος ή Μαυροβούνι, με μέγιστη κορυφή υψομέτρου 724 m, από το Πυργάκι (504 m), Πόρτες (645 m), Καστράκι (518 m), Νεραϊδίτης (614 m), Πετρωτή (518 m) και Μαυροκορφή (793 m) (εικ. 3.). Δυτικά ο υδροκρίτης διέρχεται, από βόρεια προς νότια, από τον Γιούρα με την κορυφή Αραπάς (1290 m), το Μέγα Δένδρον (1130 m) και Λυκόραχη (865 m). Ανατολικά της Σούρπης ο υδροκρίτης διέρχεται από τον Κοκκινόβραχο, με την κορυφή Περιστεροφωλιά (480 m), και ακολουθούν προς νότο το Χλωμό Όρος με υψόμετρο 894 m και η Ψηλόρραχη (440 m). Νότια απαντώνται, από ανατολικά προς δυτικά, ο Πύργος (386 m), η Γαλάνη (830 m), το Γερακοβούνι με μέγιστο υψόμετρο 1724 m, ο Μαυρίκα (1552 m) και ο Στρατώννα (1653 m).

Αναφέρουμε τέλος την παρουσία στην περιοχή δύο λιμνών που ονομάζονται Ζιλέρια ή Ζιρέλια, οι οποίες ήταν γνωστές από την αρχαιότητα, λόγω του σχήματος και της έκτασής τους, ως οφθαλμοί του Διός.



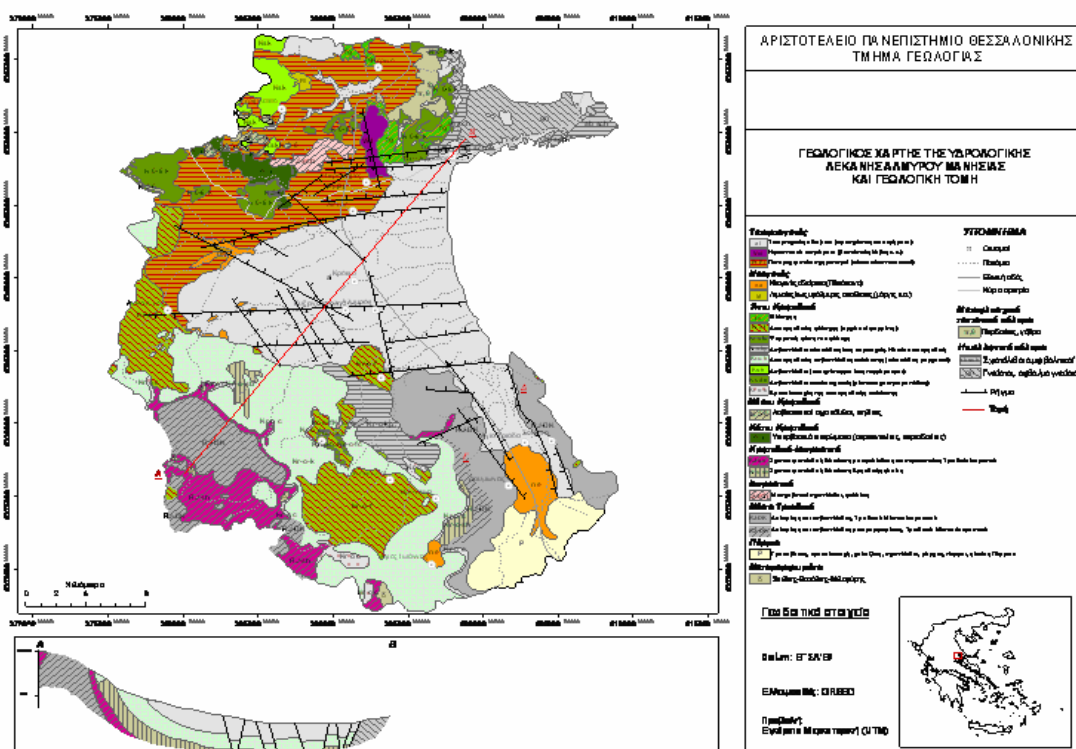
**ΕΙΚΟΝΑ 3.** Διοικητικά όρια του νομού Μαγνησίας.



## 2. ΓΕΩΛΟΓΙΑ

## 2.1 Εισαγωγή

Στην παρούσα εργασία, αντικείμενο της οποίας είναι ο προσδιορισμός του υδρολογικού καθεστώτος της περιοχής Αλμυρού, κρίνεται απαραίτητη η περιγραφή της γεωλογίας της περιοχής (εικ 4.) τόσο των μεταλλικών πετρωμάτων, όπου αναπτύσσεται εκτεταμένη υδροφορία, όσο και των αλπικών, καθώς βρίσκονται σε υδραυλική επικοινωνία.



**EIKONA 4.** Γεωλογικός χάρτης της λεκάνης του Αλμυρού, Μαγνησία.

### 2.2.1 Αλπικά πετρώματα

Από γεωτεκτονική άποψη στα ορεινά συγκροτήματα που περικλείουν την πεδιάδα του Αλμυρού συναντάμε πετρώματα της ενότητας της Ανατολικής Ελλάδας. Έτσι απαντώνται η Υποπελαγονική ενότητα, η ενότητα Αλμωπίας και οι προαλπικές σειρές, οι οποίες εντάσσονται από κάποιους ερευνητές στην Υποπελογονική ενότητα, ενώ από άλλους θεωρούνται ως ανεξάρτητη ενότητα, αυτή του Φλάμπουρου. Ακολουθεί το ανωκρητιδικό κάλυμμα.

Συγκεκριμένα εμφανίζεται η εξής ακολουθία της Υποπελαγονικής ενότητας (Μαρίνος, 1962) :

- Γραουβάκες, κροκαλοπαγή, χαλαζίτες, σχιστόλιθοι, μάργες, κερατοφυρικοί πράσινοι τόφφοι, οφειόλιθοι και στρώματα ή τράπεζες μαύρων ασβεστολίθων, κατά τόπους μεταμορφωμένα σε φυλλίτες, σχιστόλιθους, διμαρμαρυγιακούς γνευσίους και μαύρα ή λευκά μάρμαρα (Πέρμιο).
- Ασβεστόλιθοι, συμπαγής λευκοί έως μαύροι δολομίτες κατά τόπους μεταμορφωμένοι σε μάρμαρα (Τριαδικό-Ιουρασικό).
- Σχιστοκερατόλιθοι με οφειόλιθους και σερπεντίνες (σύστημα αργιλικών σχιστόλιθων, κερατόλιθων, μαργαϊκών ασβεστόλιθων, οφειόλιθων, τόφφων και σερπεντινιτών) ημιμεταμορφωμένοι έως μεταμορφωμένοι σε φυλλίτες, σχιστόλιθους, κερατόλιθους, κρυσταλλικούς ασβεστόλιθους ή μάρμαρα (Τριαδικό-Ιουρασικό).
- Σχιστοκερατολιθική διάπλαση με αργιλικούς ασβεστόλιθους, κερατόλιθους, ανθρακικά, κροκαλοπαγή και ιζήματα φλύσχη στους ανώτερους ορίζοντες, κατά τόπους ημιμεταμορφωμένα ή μεταμορφωμένα σε φυλλίτες, σχιστόλιθους και κρυσταλλικούς ασβεστόλιθους ή μάρμαρα (Κρητιδικό). Εντός του σχηματισμού αυτού συχνά απαντάται μεμονωμένη φάση οφειολιθικών πετρωμάτων του ωκεανού του Αξιού (Άνω Ιουρασικό-Κάτω Κρητιδικό).

Βόρεια της περιοχής μελέτης οι σχηματισμοί ανήκουν στην ενότητα Αλμωπίας, η οποία πρόκειται για τη μεταμορφωμένη Υποπελαγονική ενότητα. Συγκεκριμένα :

• Μάρμαρα, στα οποία μεσολαβεί κατά θέσεις ένας ορίζοντας από ασβεστιτικούς σχιστόλιθους με παρεμβολές μεταβασιτών. Στο ανώτερο τμήμα των μαρμάρων απαντώνται μικρά βωξιτικά κοιτάσματα (Μέσο - Άνω Τριαδικό).

- Σχιστολιθικός σχηματισμός με μοσχοβιτικούς σχιστόλιθους και φυλλίτες, με ενστρώσεις αδροκρυσταλλικών μαρμάρων.
- Σύμπλεγμα πολυφασικών μεταμορφωμένων οφειολιθικών πετρωμάτων, επωθημένο στα προηγούμενα πετρώματα κατά το Άνω Ιουρασικό – Κάτω Κρητιδικό. Πρόκειται για γνεύσιους – σχιστογνεύσιους, αμφιβολιτικούς – επιδοιτικούς – χλωριτικούς σχιστόλιθους και σερπεντινωμένων περιδοιτών – σερπεντινιτών.

Ακολουθεί η Κενομάνια επίκλυση, που συνδέεται με το κλείσιμο του ωκεανού του Αξίου κατά το Άνω Κρητιδικό, με την παρακάτω ακολουθία :

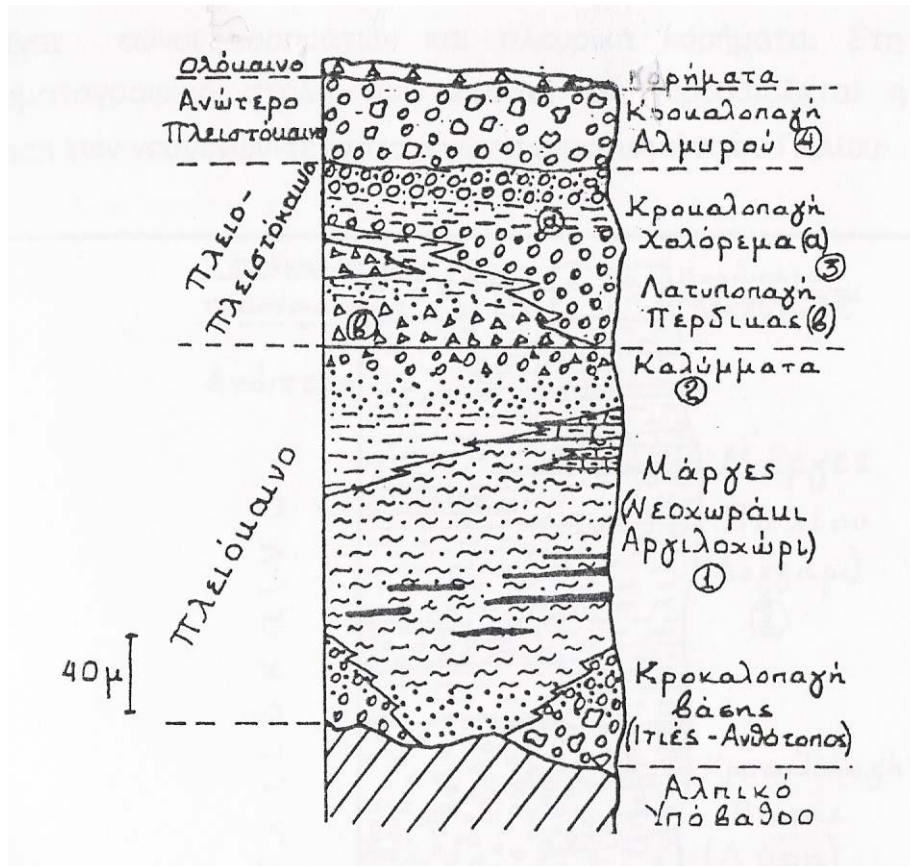
- Κροκαλοπαγές της ανωκρητιδικής επίκλυσης.
- Πλακώδης μαργαϊκοί ή συμπαγείς ασβεστόλιθοι (Άνω Κρητιδικό).
- Πλακώδεις ως συμπαγείς ασβεστόλιθοι, συχνά μεταμορφωμένοι με φυλλίτες και λατυποπαγή (Μαϊστρίχτιο).
- Φλύσχη ημιμεταμορφωμένος ως μεταμορφωμένος σε φυλλίτες και ψαμμίτες με ενδιάμεσες στρώσεις μαύρων κρυσταλλικών ασβεστολίθων (Άνω Κρητιδικό).

### 2.2.2 Μεταλλικά πετρώματα

Η πεδιάδα της Ευξεινούπολης είναι καλυμμένη με φερτά χερσοποτάμια και λιμναία μεταλλικά ιζήματα. Τα λιμναία ιζήματα εμφανίζονται κυρίως κατά μήκος του βορειοανατολικού – νοτιοδυτικού περιθωρίου της λεκάνης. Η απόθεση των υλικών αυτών άρχισε το Κάτω Πλειόκαινο τα οποία τοποθετούνται ασύμφωνα πάνω στον φλύσχη και τους οφειόλιθους της περιοχής. Πιστεύεται ότι συνδέονται με το σύστημα λιμνών που είχαν αναπτυχθεί ήδη στο βόρειο ελληνικό χώρο και λειτούργησαν από το Μέσο - Άνω Μειόκαινο. Μετά τη λιμναία φάση ακολουθεί η απόθεση των ποταμοχερσαίων υλικών, τα οποία καλύπτουν και το μεγαλύτερο μέρος της λεκάνης, μέχρι το Κάτω - Μέσο Πλειόκαινο. Συγκεκριμένα απαντώνται οι παρακάτω ακολουθίες, όπως αυτές προκύπτουν από φυσικές τομές και γεωτρήσεις της περιοχής.

Στο σχηματισμό Αλμυρού συναντάμε κροκαλοπαγή με μεγάλη επιφανειακή εξάπλωση, που εμφανίζονται στην ευρύτερη περιοχή της πόλης του Αλμυρού. Η απόθεση τους έχει

προέλθει από τη δράση του χειμάρρου Ξεριά κατά το Κάτω - Μέσο Πλειστόκαινο, όπως συμπεραίνεται από την πλευρική σχέση των σχηματισμών αυτών και των κροκαλοπαγών του σχηματισμού Χολορρέματος και διαφέρουν από θέση σε θέση με γρήγορες πλευρικές μεταβάσεις. Συναντώνται αδιαβάθμιτα μέτριας έως μικρής συνεκτικότητας κροκαλοπαγή με ασβεστιτική θεμελιώδη μάζα και αμμοαργιλικό ερυθρού χρώματος συνδετικό υλικό. Οι κροκάλες είναι διατεταγμένες σε στρώσεις, όχι όμως ταξινομημένες κατά μέγεθος, και αποστρογγυλεμένες. Το πάχος του σχηματισμού κυμαίνεται ως και 80m ( εικ. 5).



**ΕΙΚΟΝΑ 5.** Στρωματογραφική στήλη.

Ανατολικά της υπολεκάνης της Ευξεινούπολης, παράλληλα της θαλάσσιας ακτής και σε μία άλλη ζώνη από 2 km έως 3,5 km απαντώνται ολοκαινικά ιζήματα και συγκεκριμένα αλλουβιακές αποθέσεις από ασύνδετα υλικά (άμμοι, κροκάλες, λατύπες, παράκτια κροκαλοπαγή, κυρίως κερατολιθικής και λιγότερο ασβεστολιθικής και σχιστολιθικής συστάσεως). Η μεταβολή της περιεκτικότητας των αδρομερών υλικών εμφανίζεται τόσο κατά την οριζόντια όσο και κατά την κατακόρυφη διεύθυνση. Αναφέρεται τέλος η παρουσία κώνων κορημάτων και πλευρικών κορημάτων ανατολικά και δυτικά της Νέας Αγχιάλου πλειστοκαινικής ηλικίας και σε μικρή έκταση νότια της λεκάνης ολοκαινικής

ηλικίας. Τα υλικά αποτελούνται από λατύπες σε λεπτές στρώσεις, μέτρια συγκολλημένες με ασβεστιτικό υλικό υποκίτρινου χρώματος, κυρίως Βούρμιας ηλικίας (Γαλανάκης, 1997).

Συγκεκριμένα για την Πελαγονική ζώνη έχουμε :

- Γνεύσιοι, αμφιβολίτες και μαρμαρυγικοί σχιστόλιθοι του αλπικού υποβάθρου. Κατά θέσεις στα ανώτερα μέλη έχουμε ενστρώσεις μαρμάρων και σιπολινών ηλικίας Παλαιοζωικού, Κατσιακάτσος, et al. (1983), Κίλιας & Μουντράκης (1998).
- Σχιστόλιθοι (αμφιβολιτικοί, μαρμαρυγικοί, επιδοιτικοί, χαλαζιακοί), φυλλίτες, κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι – μάρμαρα, που αποτελούν την προς τα πάνω εξέλιξη του Παλαιοζωικού στο Πέρμιο, Μέσο - Άνω Τριαδικό. Στο ανώτερο τμήμα των μαρμάρων βρίσκονται μικρά βωξιτικά κοιτάσματα. Η μικροπανίδα με *Involutina* sp., *Turrispirillina* sp., *Trochamminidae*, *Radiolaria*, *Ostracodes* δείχνει ηλικία Μέσο - Άνω Τριαδικό (Μαρίνος, 1957).
- Ανθρακικά ιζήματα και φλύσχης, η απόθεση των οποίων έγινε κατά την διάρκεια Κρητιδικού – Παλαιογενούς, που περιλαμβάνουν τους παρακάτω σχηματισμούς : α) Ασβεστόλιθους λεπτοπλακώδεις κλαστικούς έως μαργαϊκούς, και ασβεστιτικούς σχιστόλιθους και ασβεστιτικούς ψαμμίτες και πηλίτες ηλικίας Αλβίου – Κενομάνιου, β) Επικλυσιγενείς ασβεστόλιθους κρυσταλλικούς, ηλικίας Κενομάνιου – Μέσου Σενόνιου, γ) Φλύσχης ηλικίας Μαϊστρίχτιου – Παλαιοκαίνου, όπου στα κατώτερα μέλη του απαντούν ολισθόλιθοι ποικίλης λιθολογικής σύστασης, Μαρίνος (1957), Κατσιακάτσος et al. (1983 & 1986).

Για την Υποπελαγονική ζώνη έχουμε :

- Φυλλίτες, σχιστόλιθους, διμαρμαρυγικούς γνεύσιους, μαύρους ή λευκούς ημιμεταμορφωμένους ασβεστόλιθους και μάρμαρα. Τα κυριότερα απολιθώματα είναι : *Agathamina*, *Vermaporrella*, *Mizzia* κ.ά. των οποίων η ηλικία δεν τοποθετείται στο Νεοπαλαιοζωικό.
- Κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι, δολομίτες και σχιστοκερατόλιθοι με οφειόλιθους. Χαρακτηριστικά απολιθώματα είναι : *Megalodon*, *Cladocoropsis* κ.ά, που είναι ηλικίας Τριαδικού – Ιουρασικού για την περιοχή μελέτης.
- Οφειολιθικά πετρώματα (δουνίτες, περιδοτίτες, γάββροι, σερπεντινίτες, χαρτσβουργίτες κ.ά) του συμπλέγματος του Όρθρου.
- Αργιλικόι σχιστόλιθοι, κερατόλιθοι, ανθρακικά και ιζήματα φλύσχη, ηλικίας Κρητιδικού.



- Επικλυσίγενείς ασβεστόλιθοι ανωκρητιδικής ηλικίας με Radiolarites, Hippurites, Orbitoides κ.ά ηλικίας Κρητιδικού.
- Φλύσχης, ο οποίος αποτελείται από αργιλικούς ψαμμίτες, αργιλικούς σχιστόλιθους, κροκαλοπαγή και ενστρώσεις ασβεστολίθων με Hippurites, Radiolarites, Miliolidae και Rotalidae ηλικίας Κρητιδικού.

### 2.3 Τεκτονική

Η εξέλιξη της περιοχής μελέτης έχει αποτυπωθεί τόσο στα πετρώματα του αλπικού υποβάθρου, όσο και στα νεογενή και τεταρτογενή ιζήματα, όπου έδωσε γεωμορφές που συσχετίζονται κυρίως με τη νεότερη νεογενή και τεταρτογενή γεωλογική εξέλιξη αυτής.

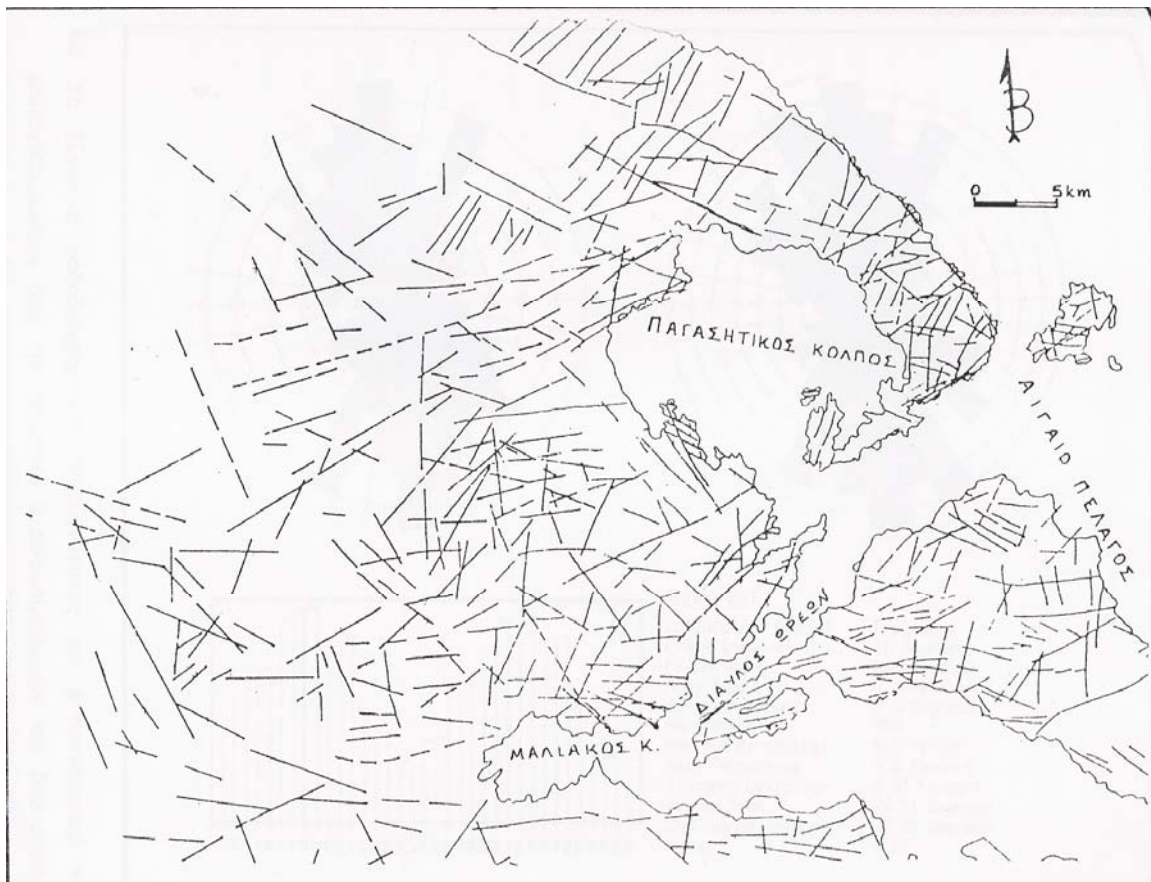
Η μορφολογία του βορείου περιθωρίου της λεκάνης είναι ομαλή και γενικά χαμηλή. Η ένωση των ιζημάτων που πληρούν τη λεκάνη αυτή, με αυτά που έχουν αποτεθεί στο νότιο περιθώριο του μεγάλου Θεσσαλικού κάμπου υποδηλώνει ότι υπήρχε επικοινωνία με το νότιο – ανατολικό περιθώριο της μεγάλης λεκάνης της Θεσσαλίας. Στην περιοχή αυτή δεσπόζει και το σεισμικό ρήγμα του βορείου περιθωρίου (περιοχή Μικροθηβών-Νέας Αγχιάλου).

Το κεντρικό και νότιο τμήμα της λεκάνης βρίσκεται υπό τη δράση του ρήγματος που τοποθετείται εντός του ρέματος Ξηριάς. Το νότιο περιθώριο δεν φαίνεται να ορίζεται καθαρά από ρήγματα περιθωρίου (τεκτονική επαφή προνεογενούς υποβάθρου και νεογενών-τεταρτογενών αποθέσεων), μεγάλα όπως κανονικά ρήγματα παράλληλα στο νότιο περιθώριο παρατηρούνται κυρίως εντός του αλπικού υποβάθρου τα οποία έχουν δημιουργήσει χαρακτηριστικές μορφοτεκτονικές δομές οι οποίες είναι δείκτες της νεοτεκτονικής δράσης των ρηγμάτων αυτών.

Νότια και ανατολικά της λεκάνης του Αλμυρού και με διεύθυνση ΒΒΔ-ΝΝΑ εκτείνεται η μικρή λεκάνη της Σούρπης η οποία ορίζεται από κανονικά ρήγματα παράλληλα στον άξονά της.

Η μεγαλύτερη και πιο εντυπωσιακή ρηξιγενής γραμμή και παράλληλα σεισμικά ενεργή, είναι αυτή του ρήγματος της Νέας Αγχιάλου. Επειδή το μεγάλο αυτό ρήγμα δεν παρουσιάζεται επιφανειακά σαν μία συνεχής γραμμή και επειδή το κυρίως ρήγμα βρίσκεται σε στενή γενετική σχέση με άλλα μικρότερα τόσο στα νεογενή-τεταρτογενή ιζήματα όσο και στους σχηματισμούς του αλπικού υποβάθρου, θα πρέπει να

χαρακτηρισθεί γενικά σαν μία ζώνη ρηγμάτων. Το ρήγμα αυτό εντοπίστηκε, μελετήθηκε και χαρτογραφήθηκε μετά τη σεισμική ακολουθία που έλαβε χώρα στην περιοχή κατά τον Ιούλιο του 1980 διότι συνδέθηκε άμεσα με τη σεισμική αυτή δραστηριότητα Papazachos et al. (1983). Κατόπιν τη ρηξιγενή αυτή ζώνη χαρτογράφησαν και μελέτησαν διάφοροι ερευνητές Caputo (1990) και Mountrakis et al. (1993), όπου την παρακολούθησαν έως τα Φάρσαλα και έδωσαν σημαντικά στοιχεία που αφορούν την κινηματική της και το πεδίο των τάσεων που την ελέγχουν (εικ 6).



**ΕΙΚΟΝΑ 6.** Ρήγματα της ευρύτερης περιοχής.

### 3. ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ

#### 3.1 Εισαγωγή

Στην περιοχή μελέτης επικρατεί πυκνό υδρογραφικό δίκτυο, του οποίου όμως βασικό χαρακτηριστικό είναι η περιοδική λειτουργία του. Η πεδιάδα διαρρέεται από πολυάριθμους χείμαρρους, οι περισσότεροι και σημαντικότεροι από τους οποίους έχουν διεύθυνση ροής Δ – Α. Το σημαντικότερο ρέμα είναι το Χολόρρεμα, νότια του χωριού Αϊδινίου. Σημαντικά ρέματα είναι ακόμα ο Ξεριάς, νότια του Αλμυρού και το Πλατανόρεμα, νότια του Πλατάνου. Παράλληλα χαρακτηριστική είναι η παρουσία δύο κυκλικών λιμνών, σχεδόν ίδιου μεγέθους, γνωστών ως Ζιρέλια ή Ζιλέρια στους πρόποδες των υψωμάτων της βόρειας Όθρυς. Τέλος στην περιοχή μελέτης σημειώνεται η λειτουργία δύο πολύ σημαντικών πηγών, στην ευρύτερη περιοχή του χωριού Πλάτανος. Πρόκειται για τις πηγές Κεφάλωση και Χαλάσματα.

#### 3.2 Υδρολιθολογία

Η ακόλουθη υδρολιθολογική ταξινόμηση των σχηματισμών που συναντώνται στην στενή περιοχή της λεκάνης του Αλμυρού προκύπτει με βάση τη γεωλογική σύνθεση της περιοχής, όπως αυτή περιγράφηκε στο κεφάλαιο της γεωλογίας.

##### 3.2.1.Ανθρακικά πετρώματα

Συγκεκριμένα :

Ανθρακική σειρά (Τριαδικό – Ιουρασικό) : Πρόκειται για ασβεστόλιθους και συμπαγείς δολομίτες. Εμφανίζονται έντονα διαρρηγμένα και καρτικοποιημένα, με συνέπεια την υψηλή υδροπερατότητα, τον μεγάλο συντελεστή κατείσδυσης και την ανάπτυξη υδροφόρων εντός της μάζας τους.

Ανωκρητιδικοί ασβεστόλιθοι : Πλακώδεις μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι, μέσο ως παχυστρωματώδεις και κατά τύπους άστρωτοι, τεφροί, κρυσταλλικοί και τοπικά

δολομιτωμένοι. Εμφανίζονται έντονα καρστικοποιημένοι, όμως παρατηρείται μία σταδιακή πλήρωση των εγκοίλων από αργιλικά υλικά κατά τη διεύθυνση από ανατολή προς δύση. Το φαινόμενο αυτό οδηγεί στη σταδιακή μείωση της υδροπερατότητάς τους κατά τη διεύθυνση αυτή. Ανατολικά παρατηρείται ικανοποιητική υδροφορία, η οποία εμφανίζεται κατά μήκος προνομιακών αγωγών.

### 3.2.2. Χαλαρά πετρώματα

Συγκεκριμένα :

Ολοκαινικά ιζήματα : Πρόκειται για σύγχρονες προσχώσεις κοιλάδων, πεδιάδων, παράκτιες αποθέσεις, κώνους κορημάτων και πλευρικά κορήματα. Στους σχηματισμούς αυτούς αναμένεται υδροφορία, καθώς πρόκειται για χαλαρούς, αδρόκοκους σχηματισμούς. Σε αυτούς απαντώνται πληθώρα υδροληπτικών έργων (πηγάδια, γεωτρήσεις).

### 3.2.3. Αδιαπέρατα πετρώματα

Συγκεκριμένα :

Σχιστοκερατολιθική διάπλαση (Τριαδικό – Ιουρασικό, Κρητιδικό) : Χαρακτηριστικό της είναι η παρουσία κυρίως υδροστεγανών πετρωμάτων (οφειόλιθοι, σερπαντίνες, αργιλικοί σχιστόλιθοι, κερατόλιθοι, αργιλικοί ασβεστόλιθοι και αργιλοψαμμίτες) και σε μικρότερο βαθμό κρυσταλλικών ασβεστόλιθων.

Μοσχοβιτικοί σχιστόλιθοι – φυλλίτες (Α. Ιουρασικό) : Πρόκειται κυρίως για υδροστεγανά πετρώματα, με ενστρώσεις κατά θέσεις ενός ορίζοντα που αποτελείται από μάρμαρα, σιπολίνες και χαλαζίτες. Η μικρή εξάπλωση των μαρμάρων και η παρουσία των σιπολινών και χαλαζιτών καθιστούν τον ορίζοντα μικρού, από υδρολογική άποψη, ενδιαφέροντος.

Κροκαλοπαγές της επίκλυσης (Α. Κρητιδικό) : Πρόκειται για ασβεστιτικούς ψαμμίτες και πηλίτες με διάσπαρτες ασβεστιτικές και σχιστολιθικές κροκαλολατύπες. Αν και το συνδετικό υλικό του κροκαλοπαγούς είναι κατά κύριο λόγο ασβεστιτικό, ο σχηματισμός αυτός είναι τόσο συμπαγής ώστε να συμπεριφέρεται ως διαπερατός.

Φλύχης ( Μέσο Σενώνιο – Παλαιόκαινο) : Αποτελείται από μεσοκοκκώδεις ως αδρόκοκους ψαμμίτες, αργιλικούς ψαμμίτες, αργιλικούς ασβεστόλιθους και κροκαλοπαγή

με ενστρώσεις κλαστικών ασβεστόλιθων. Αν και στο σύνολό του ο φλύσχος θεωρείται αδιαπέρατος, δυτικά εμφανίζει αξιόλογη για το σχηματισμό αυτό υδροφορία, καθώς επικρατούν οι ψαμμίτες και τα κροκαλοπαγή.

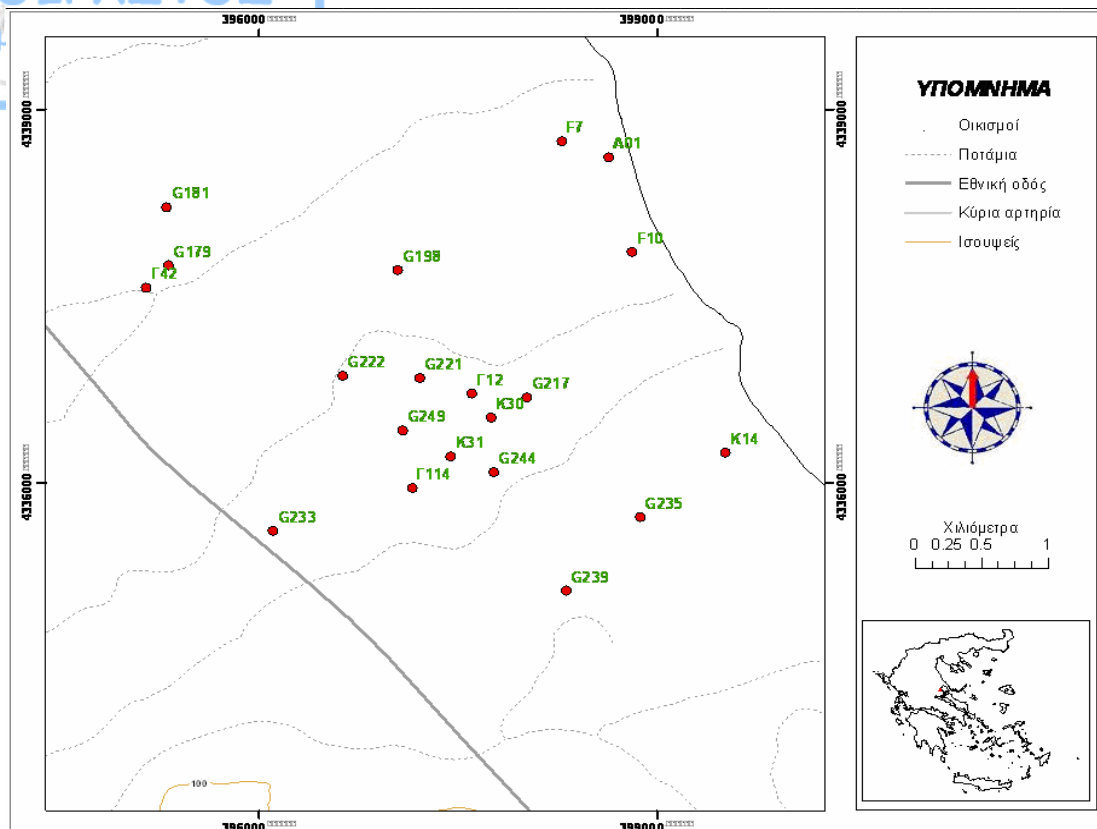
Σχηματισμός Ανθότοπου (Κ. Πλειόκαινο) : Χαρακτηρίζεται από υλικά λιμναίας φάσης και συγκεκριμένα αποτελείται από κροκαλολατυποπαγή μέτριας συνεκτικότητας, αργιλοαμμούχα υλικά και συνεκτικά κροκαλοπαγή με αργιλικό συνδετικό υλικό. Με βάση την παραπάνω λιθολογία συμπεραίνεται η αδιαπέρατη φύση του σχηματισμού, καθώς επικρατούν τα αργιλικά συστατικά.

Σχηματισμός Καλύμματα (Α. Πλειόκαινο) : Ποταμολιμναία ιζήματα, των οποίων η ακολουθία αποτελείται κυρίως από αργιλικά ως αργιλοαμμούχα ημισυνεκτικά υλικά, ημισυνεκτικούς άμμους, λατυποκροκαλοπαγή με αμμοαργιλικής σύστασης συνδετικό υλικό. Ο σχηματισμός αυτός είναι πρακτικά αδιαπέρατος.

### 3.3.Πιεζομετρία

Στην περιοχή μελέτης πραγματοποιήθηκαν σειρά μετρήσεων της στάθμης του υπογείου νερού στον προσχωματικό υδροφορέα και στα όρια της λεκάνης με τον καρστικό υδροφορέα. Τα σημεία των γεωτρήσεων δίνονται στην ακόλουθη εικ. 7.



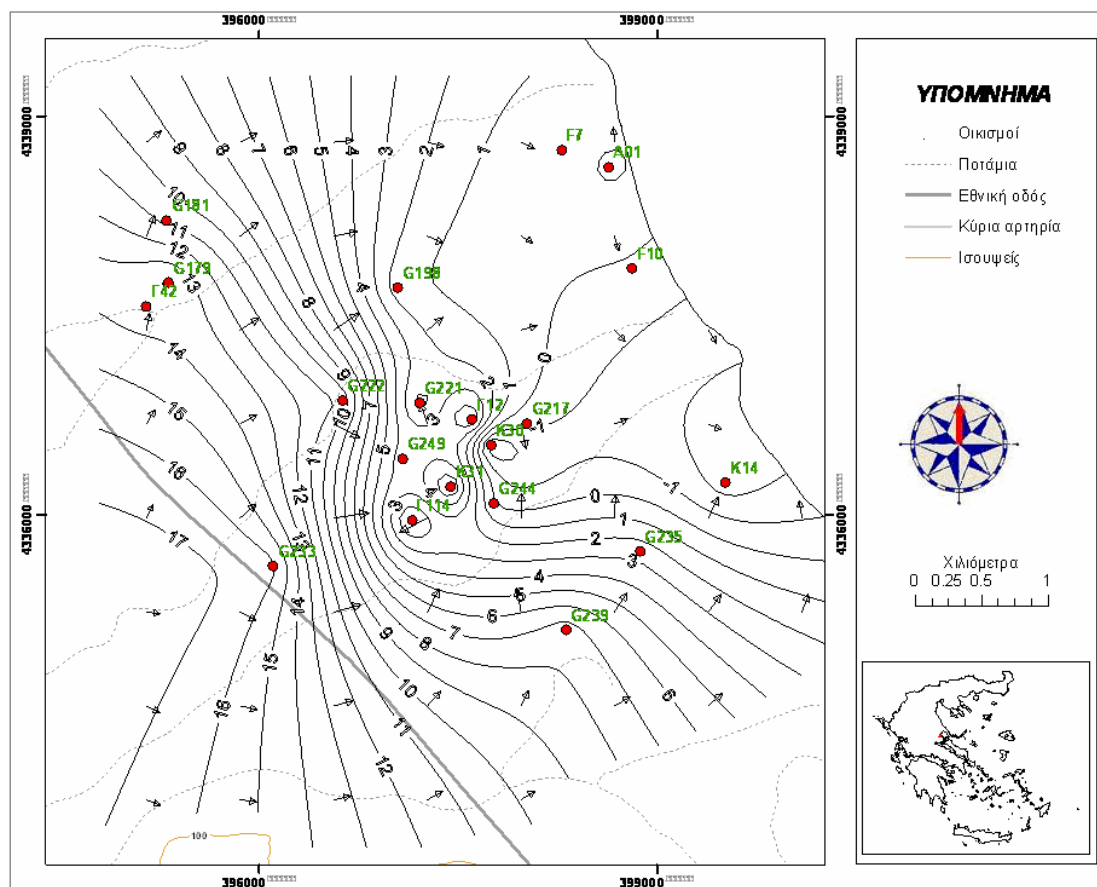


**ΕΙΚΟΝΑ 7.** Σημεία γεωτρήσεων της περιοχής μελέτης.

### 3.3.1.Στάθμες της περιοχής – Ροές

Στον προσχωματικό υδροφορέα της παράκτιας ζώνης της υπολεκάνης της Ευξεινούπολης αναπτύσσονται επάλληλα υπό πίεση υδροφόρα στρώματα με αποτέλεσμα τη διαμόρφωση διαφορετικών πιεζομετρικών επιφανειών. Ο χάρτης των ισοπιεζομετρικών καμπύλων που παρατίθενται στη συνέχεια, αφορά τη γενική εικόνα της αθροιστικής πιεζομετρίας όλων των επιμέρους υπό πίεση υδροφόρων στρωμάτων.

Στην παρακάτω εικ. 8 παρουσιάζεται η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα για την περίοδο του Σεπτεμβρίου 2006. Κύρια χαρακτηριστικά της μορφολογίας της πιεζομετρικής επιφάνειας είναι η κυματοειδής μορφή των ισοπιεζομετρικών καμπύλων, με συγκλίνουσες και αποκλίνουσες γραμμές ροής (Castany, G., 1968), η παραλληλία αυτών, και η διαφοροποίηση κατά περιοχές της μεταξύ τους απόσταση δηλαδή, η μεταβολή της υδραυλικής κλίσης των υδροφόρων στρωμάτων.



ΕΙΚΟΝΑ 8. Πιεζομετρικός χάρτης Σεπτέμβριος 2006.

### 3.3.2.Αρνητικές στάθμες

Κατά την περίοδο του Σεπτεμβρίου του 2006 η πιεζομετρική στάθμη στην περιοχή κυμαίνεται από -2 έως 17 m σε απόλυτο υψόμετρο, παρουσιάζοντας τις χαμηλότερες τιμές της κατά μήκος της παραλίας. Η ύπαρξη αρνητικών πιεζομετρικών φορτίων εντοπίζεται στο νότιο τμήμα της λεκάνης και σε απόσταση 1100 m από την παραλία. Το γεγονός αυτό έχει ως αποτέλεσμα την εμφάνιση φαινομένων υφαλμύρωσης στην ευρύτερη περιοχή.

Η υδραυλική κλίση έχει τιμές στα βόρεια τμήματα και στα κεντρικά τμήματα της περιοχής που κυμαίνονται γύρω στο 0,5 % ενώ παρουσιάζεται αραίωση των ισοπιεζομετρικών καμπύλων κινούμενοι προς τα παράλια. Επίσης στο νότιο τμήμα της περιοχής οι κλίσεις είναι κατά μέσο όρο 0,8 % με τάση να μειώνονται προς την ακτή.

Η τροφοδοσία των υπογείων νερών της περιοχής με βάση τη μορφολογία των ισοπιεζομετρικών καμπύλων και τις γραμμές ροής πραγματοποιείται από τους καρστικούς όγκους της περιοχής, από τα νεογενή και τεταρτογενή ιζήματα και από την περιοδική ροή των ρεμάτων της περιοχής.

Επίσης στο νότιο τμήμα της περιοχής παρουσιάζεται ένας κώνος κατάπτωσης, ο οποίος και παρουσιάζει αρνητικό πιεζομετρικό φορτίο, ενδεικτικό της υπεράντλησης των υπογείων υδάτων που παρουσιάζονται στην περιοχή.

Συγκεκριμένα οι τιμές των γεωτρήσεων της περιοχής δίνονται στον πίνακα 1 που ακολουθεί :

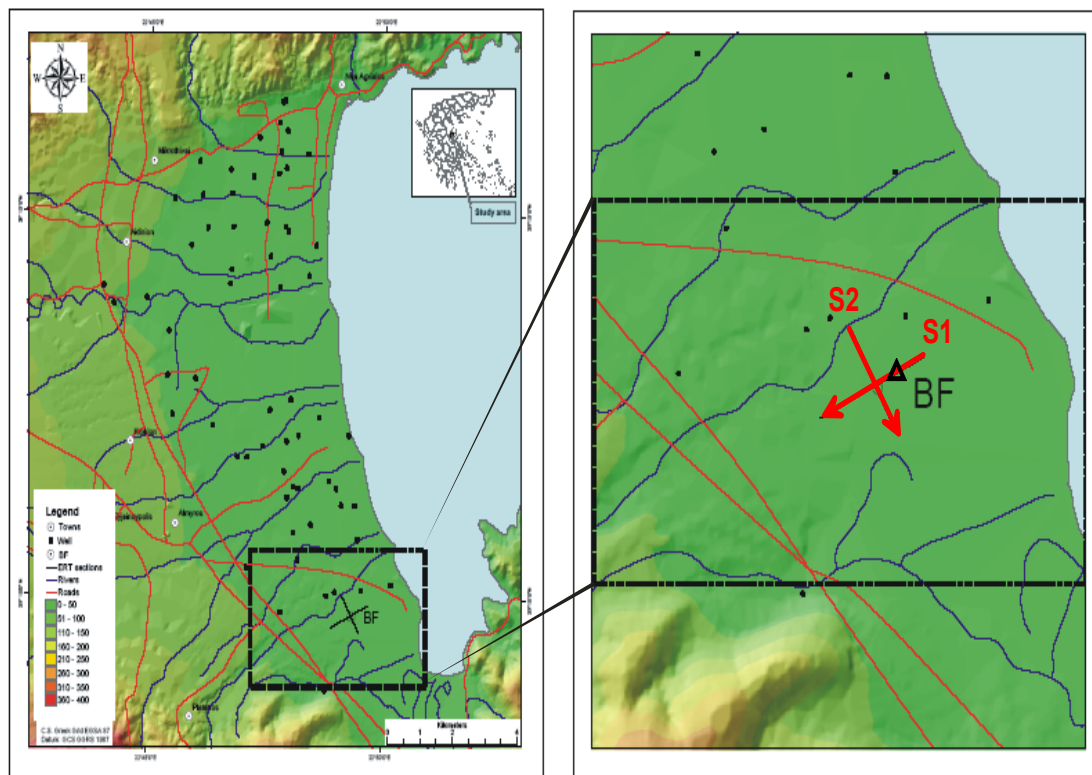
| ΟΝΟΜΑΣΙΑ | X         | Y          | Στάθμη Ηρεμίας |
|----------|-----------|------------|----------------|
| G233     | 396105    | 4335614    | 16,33          |
| G235     | 398871    | 4335724    | 2,64           |
| Γ114     | 397153,94 | 4335959,35 | 0,52           |
| G244     | 397769    | 4336087    | -0,05          |
| K31      | 397444    | 4336211    | 6,4            |
| K14      | 399512    | 4336244    | -2,56          |
| G249     | 397082    | 4336422    | 3,4            |
| K30      | 397748    | 4336527    | -3,04          |
| Γ12      | 397602,18 | 4336716,55 | 5,21           |
| G221     | 397210    | 4336844    | 1,53           |
| G222     | 396630    | 4336859    | 10,8           |
| Γ42      | 395149,29 | 4337568,99 | 13,34          |
| G179     | 395319    | 4337747    | 14,22          |
| F10      | 398809    | 4337855    | -0,12          |
| G181     | 395305    | 4338215    | 10,7           |
| A01      | 398632,1  | 4338616,27 | 1,26           |
| F7       | 398280    | 4338744    | 0,15           |
| G239     | 398312    | 4335134    | 7,54           |
| G217     | 398017    | 4336685    | -0,71          |
| G198     | 397045    | 4337711    | 1,4            |

**ΠΙΝΑΚΑΣ 1:** Στάθμες υπογείων νερών για την περίοδο του Σεπτεμβρίου 2006

#### 4. ΓΕΩΦΥΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Η γεωφυσική έρευνα στηρίζεται στη μέτρηση της μεταβολής των φυσικών ιδιοτήτων του φλοιού της γης (Dobrin, B., 1976, Griffiths, H., 1965, Καλλέργης, Γ., 2001). Οι γεωφυσικές μέθοδοι αποκαλύπτουν τις ανωμαλίες των φυσικών ιδιοτήτων (πυκνότητα, μαγνητικές, ελαστικές, και ηλεκτρικές ιδιότητες). Τα στοιχεία που μπορούν να προσδιορισθούν με τις διάφορες γεωφυσικές μεθόδους είναι (Καλλέργης, Γ., 2001):

- Το βάθος της επαφής ανάμεσα σε στρώματα διαφορετικών υδρογεωλογικών ιδιοτήτων.
- Το βάθος υδρογεωλογικών συνόρων.
- Οι οριζόντιες μεταβολές των υδρογεωλογικών ιδιοτήτων (φασικές μεταβολές κ.α.).
- Εντοπισμός κατακόρυφων γεωλογικών ασυνεχειών.
- Εκτίμηση της υδροπερατότητας.
- Η αλατότητα του υπόγειου νερού.



**ΕΙΚΟΝΑ 9.** Χάρτης με τις θέσεις των ηλεκτρικών διασκοπήσεων.



Οι πιο διαδιδόμενες στην υδρογεωλογική έρευνα μέθοδοι είναι : της ηλεκτρικής αντίστασης, της σεισμικής διάθλασης, οι βαρυτικές, οι μαγνητικές και οι ηλεκτρομαγνητικές μέθοδοι.

Στην περιοχή ανατολικά της πηγής της Κεφάλωσης, πραγματοποιήθηκαν δύο γεωφυσικές διασκοπήσεις (εικ. 9). Στόχος των γεωφυσικών αυτών διασκοπήσεων ήταν ο προσδιορισμός της στρωματογραφίας των γεωλογικών στρωμάτων της εκεί περιοχής, με δεδομένο ότι δεν υπήρχαν προφίλ γεωτρήσεων. Επίσης με την βοήθεια χημικών αναλύσεων από δείγματα υπόγειου νερού ταυτόχρονα με την εκτέλεση των γεωφυσικών διασκοπήσεων επιβεβαιώθηκαν τα αποτελέσματα των διασκοπήσεων.

Στην περιοχή χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος Wenner – Schlumberger. Η μέση απόσταση των γεωφυσικών διασκοπήσεων ήταν 900 m. Η απόσταση των ηλεκτροδίων μεταξύ τους ήταν 45 m. Κάθε τμήμα περιλάμβανε 21 ηλεκτρόδια.

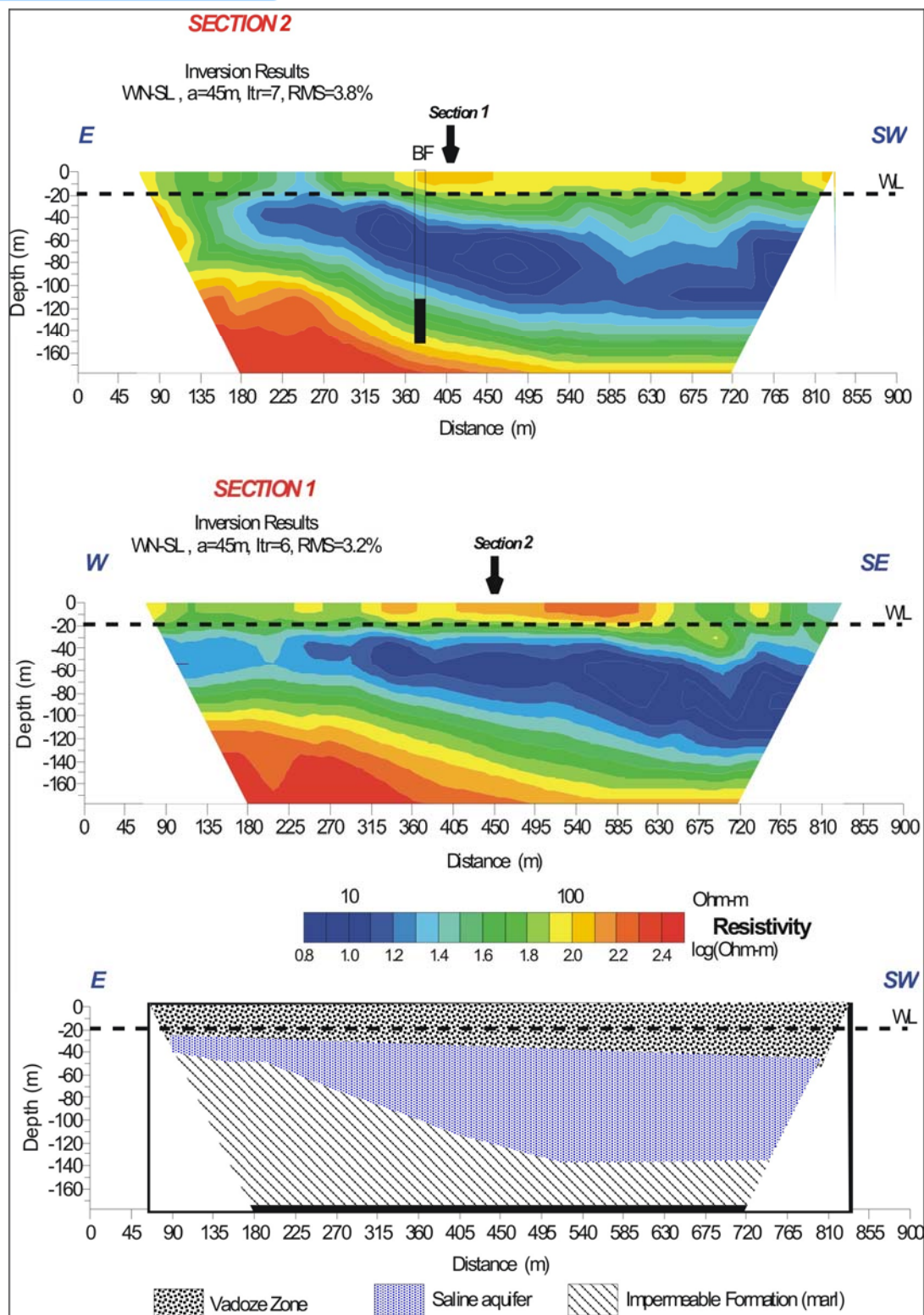
Τα στοιχεία αντιστράφηκαν με μια τυποποιημένη επαναληπτική ομαλοποίηση, βασιζόμενη σε έναν επιλύτη πεπερασμένων στοιχείων. Οι αντιστροφές παρήγαγαν τα χαμηλά λάθη R.M.S. ( $< 4\%$ ) μεταξύ των μετρημένων και προβλεφθέντων στοιχείων ενδεικτικών της υψηλής ποιότητας στοιχείων και των αξιόπιστων αναδημιουργιών. Τα αποτελέσματα της παραπάνω διαδικασίας παρουσιάζονται στο πάνω και στο μέσο σχέδιο της παρακάτω εικ10.

Από την αξιολόγηση των δύο γεωφυσικών διασκοπήσεων παρουσιάζεται μια παρόμοια στρωματογραφία και στα δύο τμήματα. Έτσι λοιπόν στο ανώτερο τμήμα εντοπίζεται μια ζώνη σχετικά μεγάλων αντιστάσεων (30-60 Ohm-m), η οποία και αποτελεί την ακόρεστη ζώνη στην περιοχή (Myriounis et. al., 2006). Το μέσο πάχος του σχηματισμού είναι 20 m το οποίο και παρουσιάζει τάση αύξησης καθώς κινούμαστε από τα δυτικά προς τα ανατολικά.

Στην συνέχεια υπόκειται του προηγούμενου σχηματισμού μια ζώνη με χαρακτηριστικά πολύ χαμηλών αντιστάσεων (2-10 Ohm-m) που παρουσιάζεται σε ένα βάθος μέχρι τα 80 m. Το πάχος της ζώνης αυτής αυξάνει καθώς κινούμαστε προς τα νότια, και φτάνει μέχρι το απόλυτο υψόμετρο των -120 m, γεγονός που συμφωνεί με κατανομή των χλωριόντων, καθώς αυτά παρουσιάζουν τις μέγιστες τιμές τους στο νότιο τμήμα της περιοχής έρευνας.

Τέλος ένα τρίτο στρώμα εμφανίζεται στην περιοχή, το οποίο παρουσιάζει μεγάλες αντιστάσεις ( $>80$  Ohm-m). Το στρώμα αυτό φτάνει σε βάθη μεγαλύτερα του των 160 m

κάτω από την επιφάνεια την θάλασσας καθώς κινούμαστε προς το νότιο μέρος της περιοχής.



**ΕΙΚΟΝΑ 10.** Χάρτης με τις ηλεκτρικές διασκοπήσεις και την ερμηνεία αυτών.

Τα παραπάνω αποτελέσματα που προέκυψαν από τις γεωφυσικές διασκοπήσεις έρχονται σε συμφωνία με τις μετρήσεις υπαίθρου που έγιναν την ίδια στιγμή της εκτέλεσης της γεωφυσικής έρευνας στην γεώτρηση BF. Η γεώτρηση αυτή βρίσκεται σε απόσταση 360 m από την πρώτη διασκόπηση. Η στάθμη του υπογείου ύδατος που μετρήθηκε στην γεώτρηση βρίσκεται στα 20 m, γεγονός που συμφωνεί με την ύπαρξη του πρώτου στρώματος υψηλών αντιστάσεων. Επίσης η γεώτρηση αυτή βάθους 100 m περίπου, αντλεί από τα 30 m. Ύστερα από επιτόπου μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του υπόγειου νερού που πάρθηκε από την γεώτρηση, διαπιστώθηκε ότι αυτή λαμβάνει τιμή E.C. = 5110  $\mu\text{S/cm}$ .

Επίσης με δεδομένο ότι η γεώτρηση BF βρίσκεται μέχρι το βάθος των 100 m, καθώς πέρα αυτού δεν παρουσιάζονται υδροφορίες και σύμφωνα με τις μαρτυρίες του ιδιοκτήτη της, διαπιστώνεται πως μετά του βάθους των 80-100 m παρουσιάζεται ένας αδιαπέρατος σχηματισμός, ο οποίος και ταυτίζεται με το τρίτο στρώμα υψηλών αντιστάσεων που παρουσιάζεται στην περιοχή.

Με την χρήση των γεωφυσικών διασκοπήσεων που πραγματοποιήθηκαν στην περιοχή προσδιορίσθηκε αρχικά το πάχος της ακόρεστης ζώνης που στην υπό μελέτη περιοχή συνίσταται από χαλαρούς σχηματισμούς. Επίσης προσδιορίσθηκε το βάθος και το πάχος της αλμυρής σφήνας που παρουσιάζεται στην περιοχή, και η οποία προσδιορίζεται με βάση μετρήσεις φυσικοχημικών παραμέτρων των υπογείων υδάτων της περιοχής. Τέλος προσδιορίσθηκε το βάθος ενός αδιαπέρατου, ενδεχομένως μαργαϊκού σχηματισμού (Myriounis et. al., 2006), το οποίο ουσιαστικά ρυθμίζει την μετάδοση της αλμυρής σφήνας προς το εσωτερικό της ενδοχώρας.

## 5. ΥΔΡΟΧΗΜΕΙΑ

### 5.1 Χημικές αναλύσεις

Στα πλαίσια της διερεύνησης των υδρογεωλογικών και υδροχημικών συνθηκών της περιοχής έρευνας πραγματοποιήθηκαν χημικές αναλύσεις. Η δειγματοληψία καθώς και οι χημικές αναλύσεις έγιναν κατά το χρονικό διάστημα Φεβρουάριου - Σεπτεμβρίου του 2006 στο Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας & Υδρογεωλογίας του Τμήματος Γεωλογίας του Α.Π.Θ.

Για τον πλήρη καθορισμό των ποιοτικών χαρακτηριστικών του νερού, απαιτείται μια σειρά από αναλύσεις. Αυτές μπορεί να είναι αναλύσεις για τον προσδιορισμό κάποιων φυσικών ιδιοτήτων του νερού, μικροβιολογικές και χημικές αναλύσεις. Στις χημικές αναλύσεις περιλαμβάνεται ο προσδιορισμός ενός μεγάλου αριθμού παραμέτρων, όπως οργανικές ενώσεις, διαλυμένα άλατα, ιχνοστοιχεία, βαρέα μέταλλα. Στην παρούσα εργασία τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του νερού εξασφαλίζονται με προσδιορισμό της συγκέντρωσης των κύριων ανιόντων και κατιόντων του.

Τα δείγματα που πάρθηκαν υποβλήθηκαν σε χημικές αναλύσεις των κύριων συστατικών τους καθώς και των νιτρικών ιόντων, που ανήκουν στα δευτερεύοντα συστατικά. Τα αποτελέσματα των αναλύσεων εκφρασμένα σε mg/lit φαίνονται στον Πίνακα 2.

Οι χημικές αναλύσεις έγιναν, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, στο Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας του Τμήματος Γεωλογίας και κρίνονται ιδιαίτερα αξιόπιστες, αφού τα σφάλματα που υπολογίστηκαν κυμαίνονται από 0 έως 4 %, με εξαίρεση ελάχιστα δείγματα τα οποία είχαν σφάλμα έως 5 %.

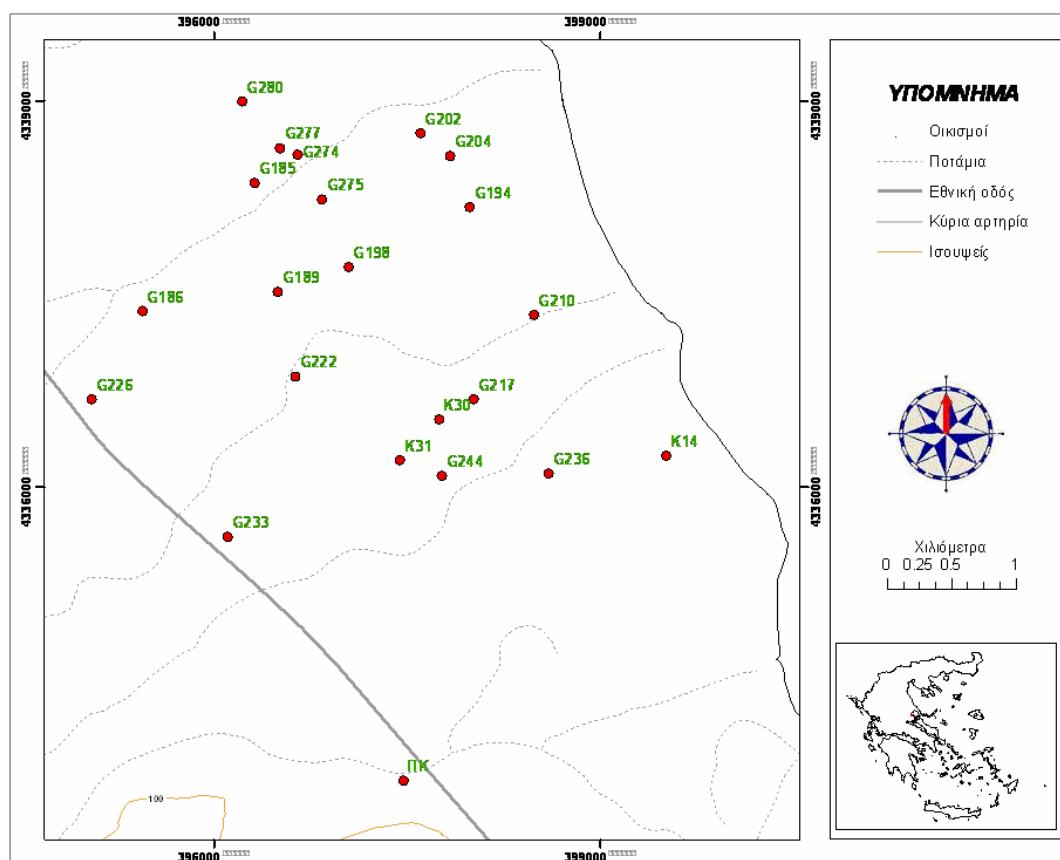
Για τη διενέργεια αυτών των χημικών αναλύσεων εφαρμόστηκε η μέθοδος HACH με τη χρήση της συσκευής φασμαφωτομετρίας, HACH DR 2000. Το pH προσδιορίστηκε με τη συσκευή HANNA Instruments HI 9024.

| ΚΩΔ.<br>ΓΕΩΤ. | X      | Y       | pH   | T(C°) | E.C. | Na  | K   | Mg     | Ca   | Cl   | SO <sub>4</sub> | NO <sub>3</sub> | HCO <sub>3</sub> | SAR  | %Na   |
|---------------|--------|---------|------|-------|------|-----|-----|--------|------|------|-----------------|-----------------|------------------|------|-------|
| K 31          | 397444 | 4336211 | 6,8  | 18,2  | 3140 | 240 | 7   | 185,04 | 200  | 1024 | 60              | 20,24           | 175              | 2,94 | 29,65 |
| K 30          | 397748 | 4336527 | 7,18 | 18,3  | 1124 | 18  | 0,8 | 71,79  | 171  | 300  | 40              | 67,76           | 195              | 0,29 | 5,25  |
| K 14          | 399512 | 4336244 | 7,19 | 18,1  | 2450 | 205 | 7   | 118,18 | 110  | 682  | 120             | 30,8            | 275              | 3,23 | 37,40 |
| G 244         | 397769 | 4336087 | 6,89 | 18,3  | 3110 | 214 | 4,2 | 147,67 | 210  | 1004 | 200             | 15,4            | 210              | 2,77 | 29,37 |
| G 223         | 396105 | 4335614 | 7,15 | 18,1  | 713  | 12  | 0,6 | 37,12  | 108  | 44   | 40              | 143,44          | 255              | 0,25 | 5,94  |
| G 222         | 396630 | 4336859 | 7,13 | 18,3  | 578  | 13  | 0,6 | 17,33  | 105  | 50   | 7               | 53,24           | 325              | 0,32 | 8,25  |
| G 217         | 398017 | 4336685 | 7,25 | 18,1  | 670  | 15  | 1   | 22,4   | 123  | 73   | 34              | 108,68          | 195              | 0,32 | 7,75  |
| G 198         | 397045 | 4337711 | 7,29 | 18    | 601  | 13  | 0,9 | 29,3   | 77,6 | 54   | 33              | 85,8            | 225              | 0,31 | 8,33  |
| G 185         | 396314 | 4338364 | 7,05 | 18,1  | 458  | 11  | 0,8 | 25,62  | 75,6 | 37   | 5               | 45,76           | 235              | 0,27 | 7,57  |

**ΠΙΝΑΚΑΣ 2 :** Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων για την περίοδο του Σεπτεμβρίου 2006



Οι γεωτρήσεις του πίνακα 2 βρίσκονται απαντώνται στην περιοχή μελέτης και δίνονται στην εικόνα που ακολουθεί :



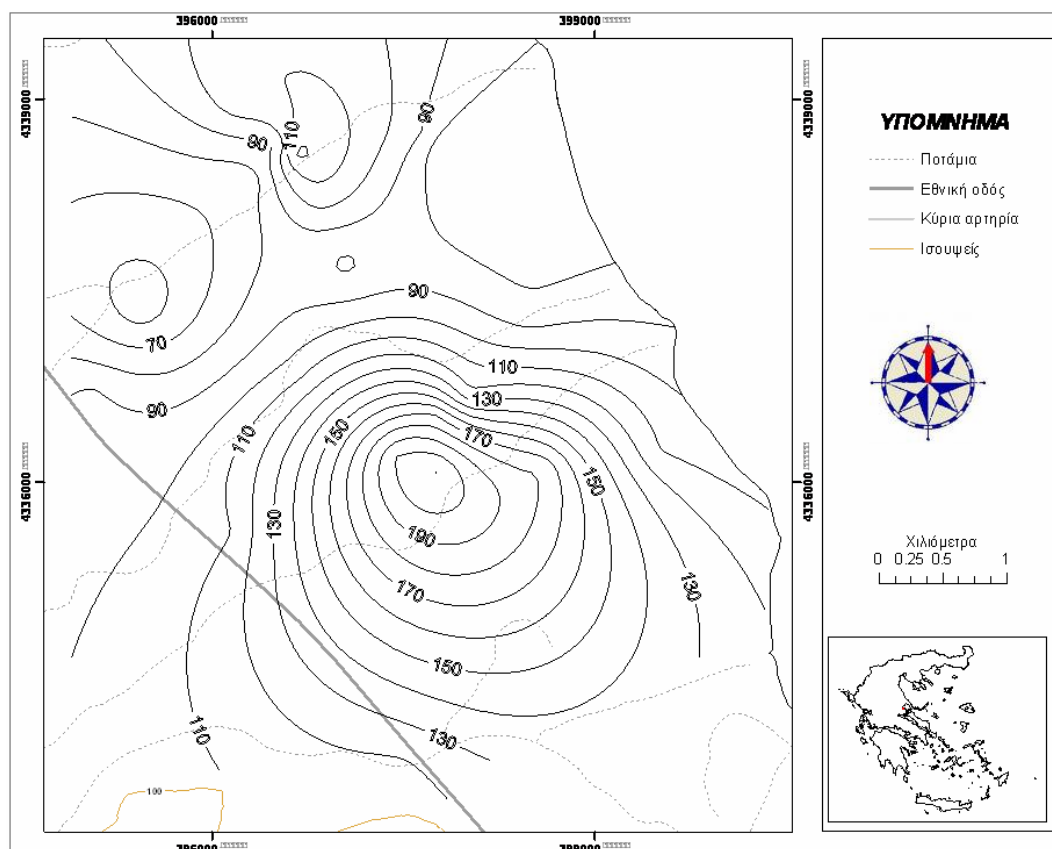
**ΕΙΚΟΝΑ 7.** Οι γεωτρήσεις της περιοχής μελέτης.

## 5.2 Θεματικοί χάρτες

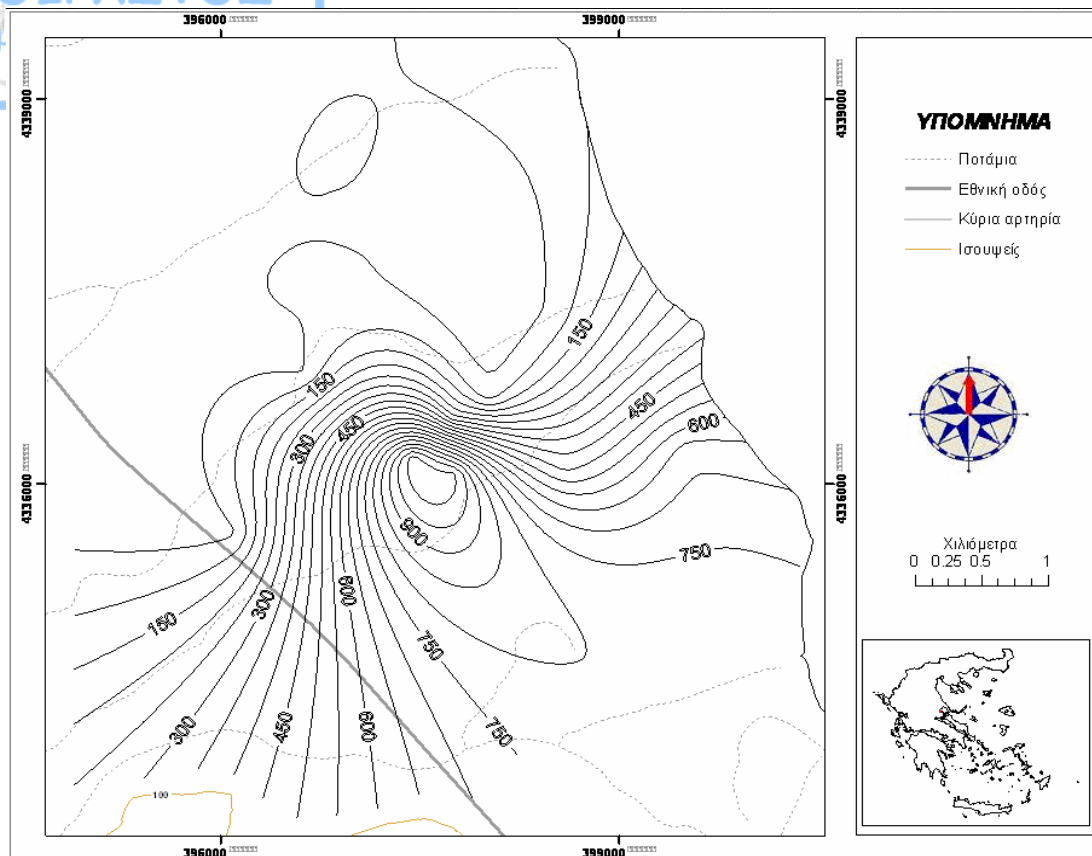
Παρακάτω δίνονται οι θεματικοί χάρτες των στοιχείων K, Na, Ca, Mg, NO<sub>3</sub>, Cl, pH, HCO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub> και E.C.

Σύμφωνα με τους παρακάτω θεματικούς χάρτες συμπεραίνουμε ότι : α) οι συγκεντρώσεις του Ca είναι διάσπαρτες στην περιοχή μελέτης με τις μεγαλύτερες να βρίσκονται στο κέντρο της λεκάνης, β) οι συγκεντρώσεις του Cl βρίσκονται κατά μήκος του άξονα ΒΒΔ – ΝΝΑ με τις μεγαλύτερες τιμές στο κέντρο της λεκάνης, γ) οι συγκεντρώσεις του HCO<sub>3</sub> διάσπαρτες στη λεκάνη του Αλμυρού με τις μεγαλύτερες τιμές σε δύο κέντρα στο κέντρο της περιοχής μελέτης, δ) οι συγκεντρώσεις του K εντοπίζονται στο νότιο τμήμα της λεκάνης, ε) οι συγκεντρώσεις του Mg εμφανίζουν τις μεγαλύτερες

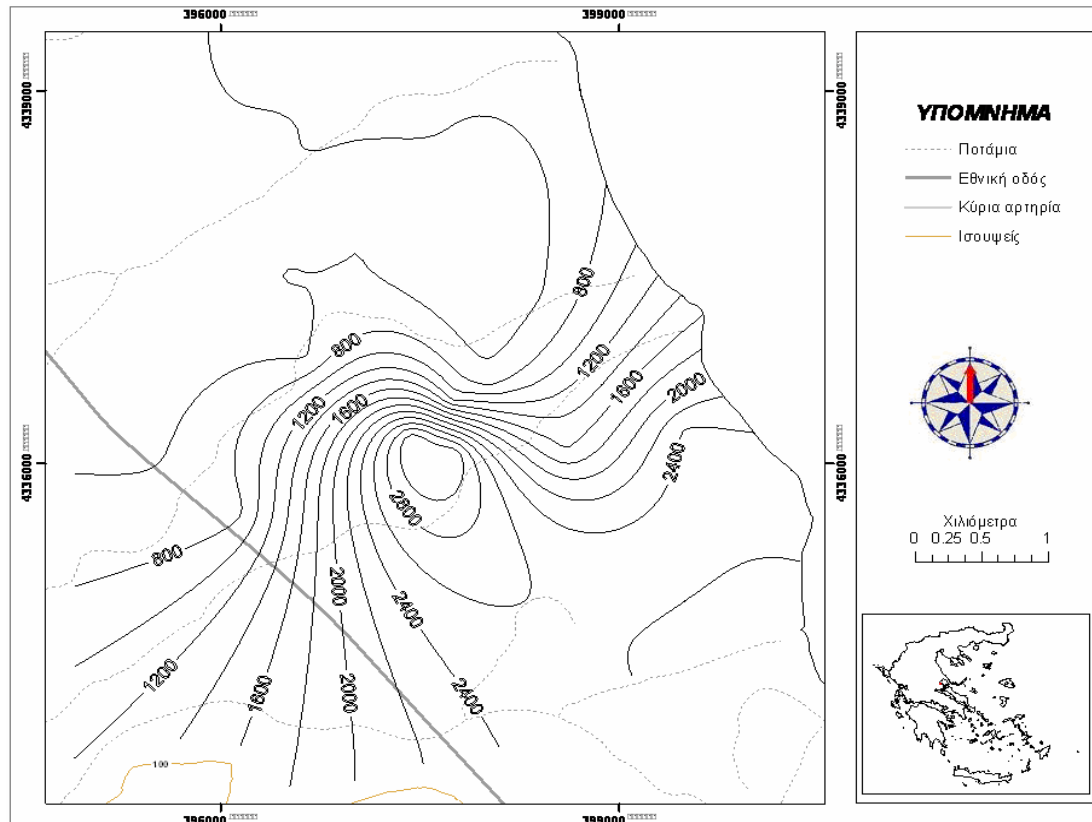
τιμές στο κεντρικό τμήμα της λεκάνης, στ) οι συγκεντρώσεις του Na εμφανίζονται στο νότιο τμήμα, ζ) οι συγκεντρώσεις του  $\text{NO}_3$  εμφανίζονται στο βόρειο και κεντρικό τμήμα της λεκάνης, η) οι τιμές του pH είναι ουδέτερες με μικρές διακυμάνσεις κατά μήκος της περιοχής μελέτης και θ) οι συγκεντρώσεις του  $\text{SO}_4$  εμφανίζονται μεγαλύτερες στο κεντρικό και νότιο τμήμα της λεκάνης.



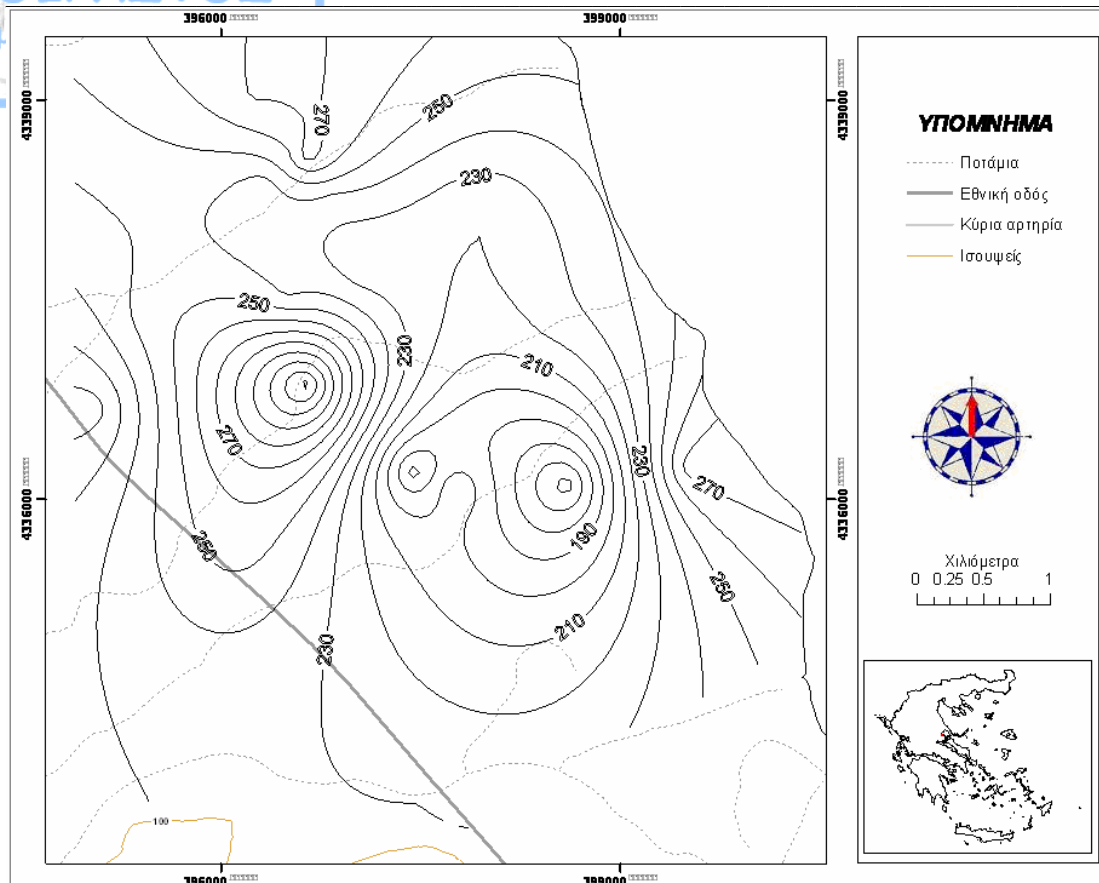
**ΕΙΚΟΝΑ 11.** Κατανομή ιόντων Ca (mg/l).



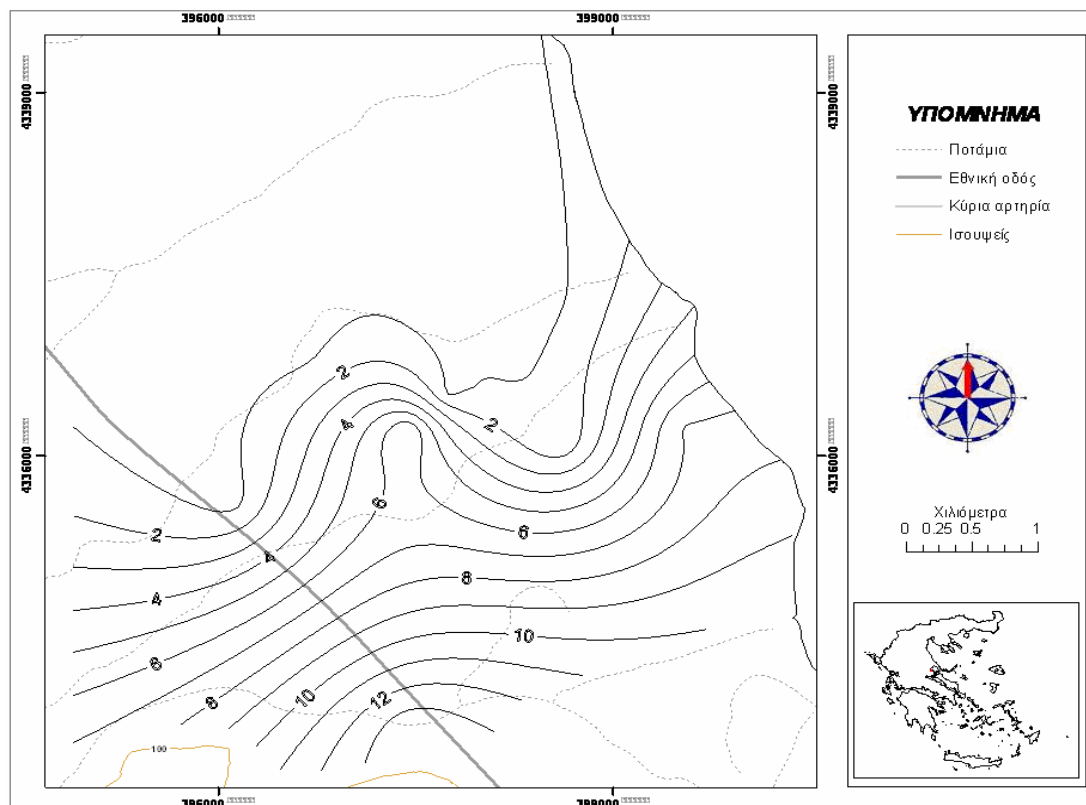
**ΕΙΚΟΝΑ 12.** Κατανομή ιόντων Cl (mg/l).



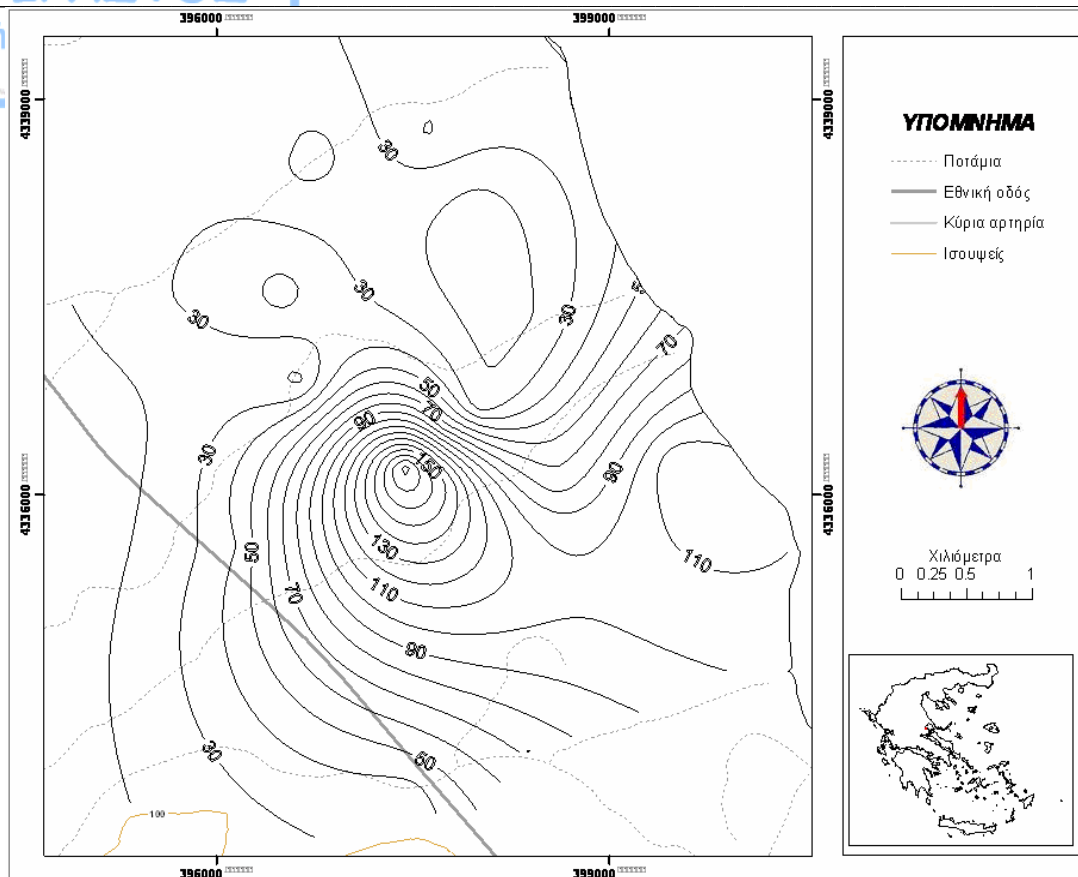
**ΕΙΚΟΝΑ 13.** Κατανομή ηλεκτρικής αγωγιμότητας.



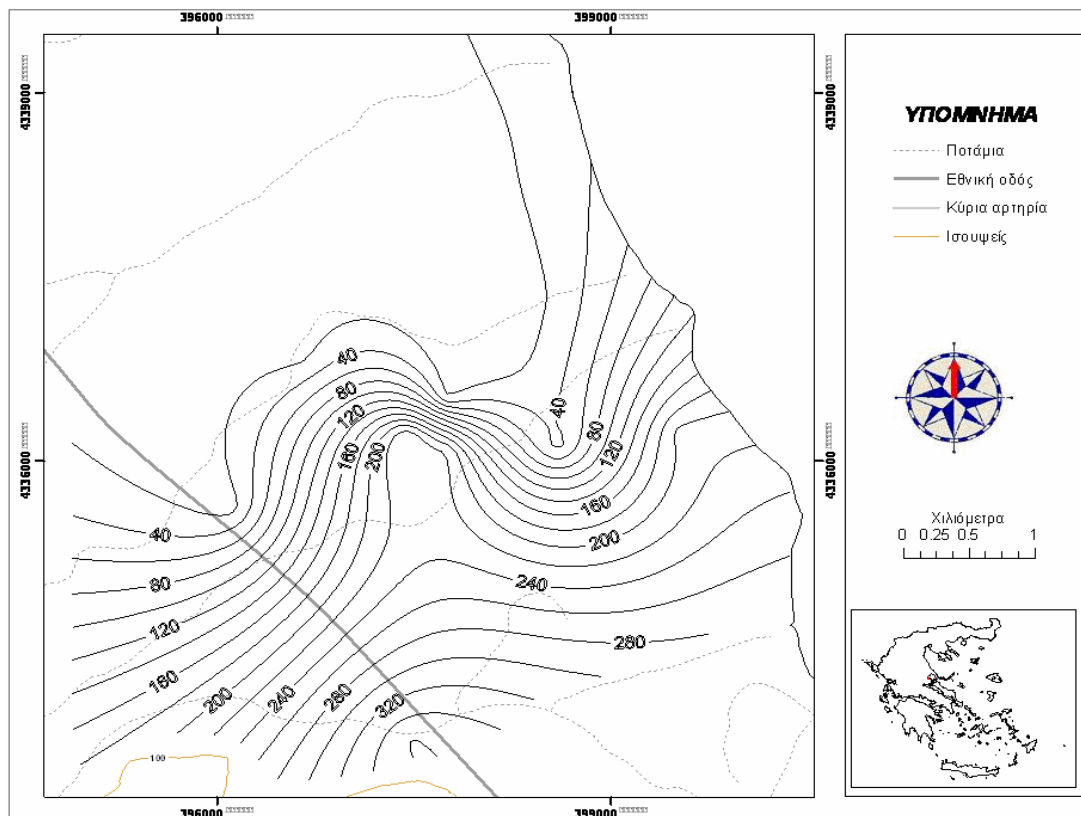
ΕΙΚΟΝΑ 14. Κατανομή ιόντων  $\text{HCO}_3$  (mg/l).



ΕΙΚΟΝΑ 15. Κατανομή ιόντων K (mg/l).

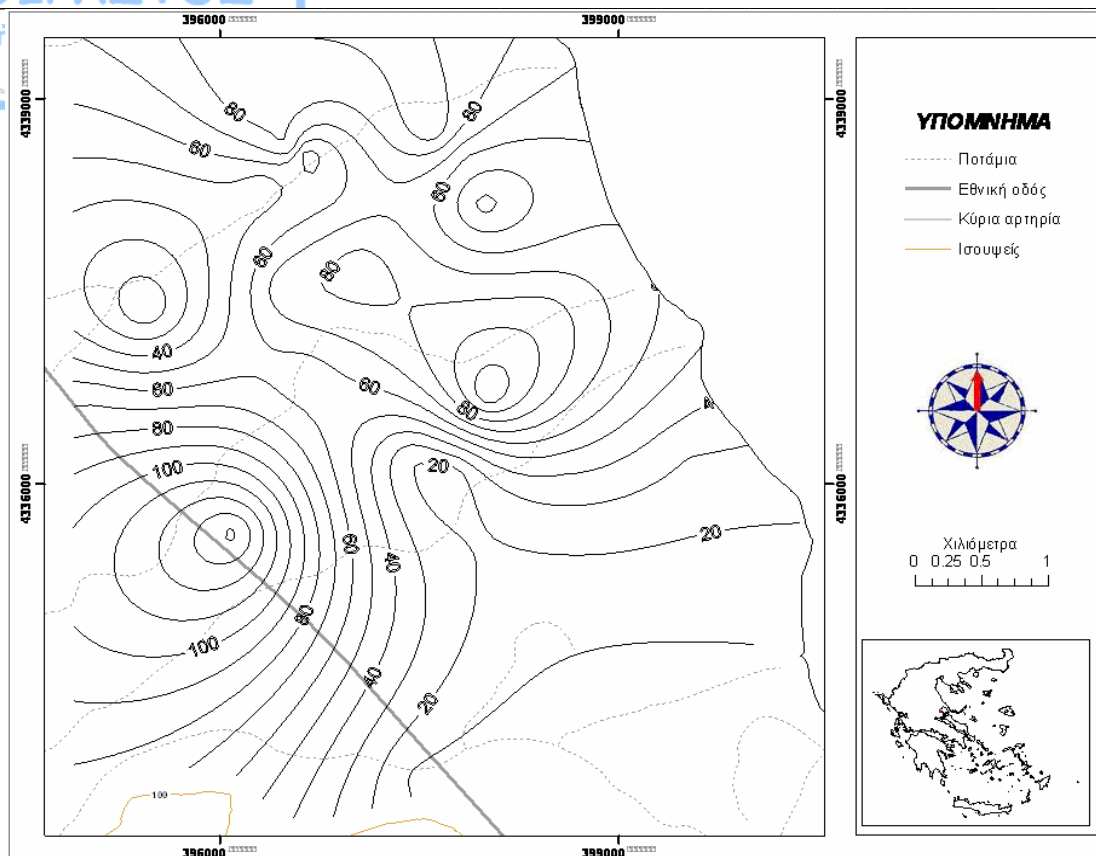


ΕΙΚΟΝΑ 16. Κατανομή ιόντων Mg (mg/l).

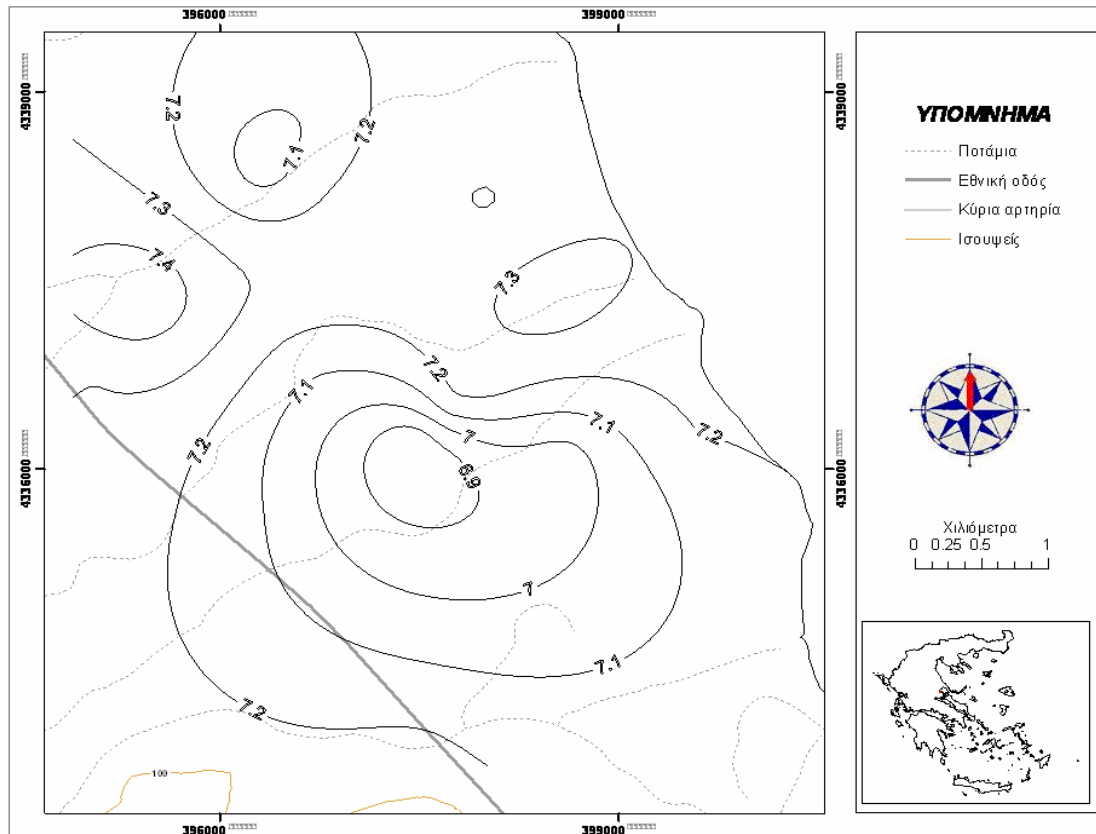


ΕΙΚΟΝΑ 17. Κατανομή ιόντων Na (mg/l).

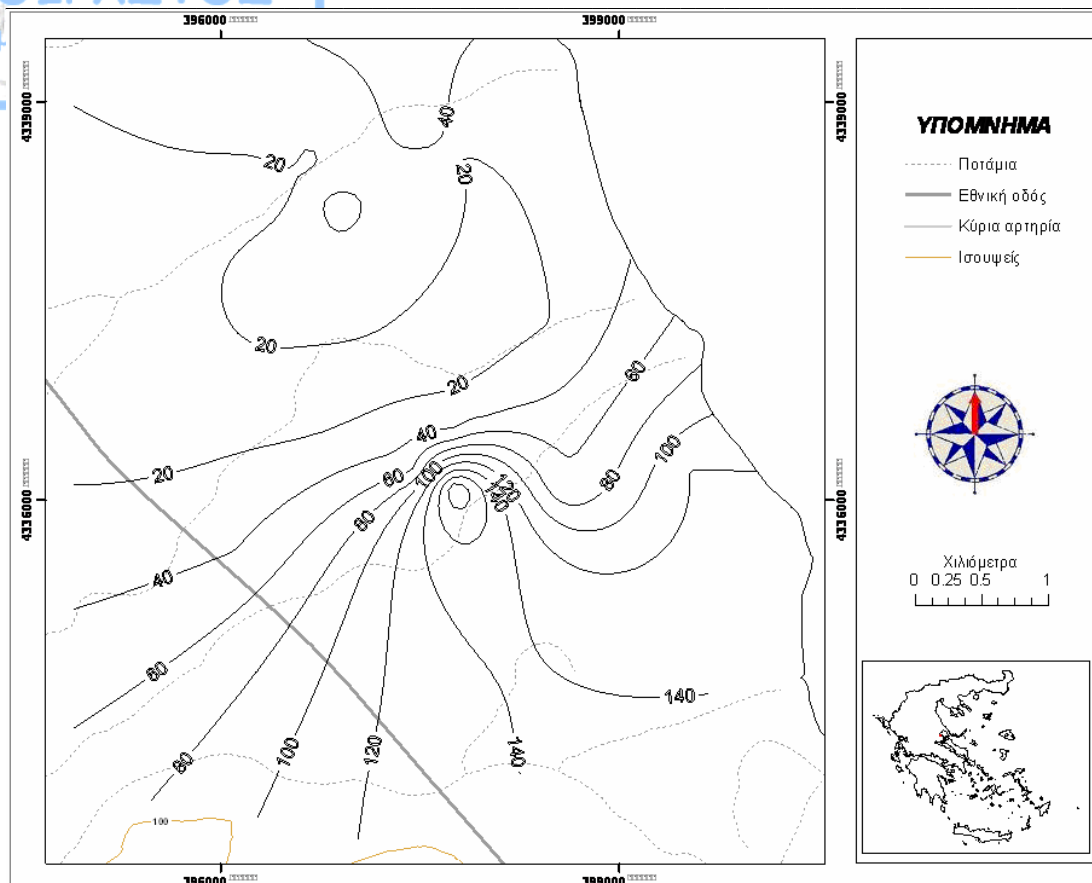




ΕΙΚΟΝΑ 18. Κατανομή ιόντων  $\text{NO}_3$  (mg/l).



ΕΙΚΟΝΑ 19. Κατανομή του pH.



**ΕΙΚΟΝΑ 20.** Κατανομή ιόντων  $\text{SO}_4$  (mg/l).

Στον παρακάτω πίνακα 3 δίνονται ενδεικτικά οι ελάχιστες (min), οι μέγιστες τιμές (max) και οι μέσες τιμές των παραπάνω στοιχείων.

| ΣΤΟΙΧΕΙΑ       | min | max  | ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ |
|----------------|-----|------|-----------|
| $\text{SO}_4$  | 20  | 140  | 80        |
| pH             | 6,8 | 7,5  | 7.15      |
| Na             | 0,0 | 180  | 90        |
| Cl             | 0,0 | 340  | 170       |
| Mg             | 0,0 | 160  | 80        |
| K              | 150 | 360  | 255       |
| Ca             | 1   | 14   | 7.5       |
| E.C.           | 40  | 220  | 130       |
| $\text{NO}_3$  | 11  | 1050 | 530.5     |
| $\text{HCO}_3$ | 445 | 3200 | 1822.5    |

**ΠΙΝΑΚΑΣ 3.** Συνοπτικά στατιστικά αποτελέσματα χημικών αναλύσεων

### 5.3.Ταξινόμηση του νερού

Για τη συνοπτική παρουσίαση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από χημικές αναλύσεις και για να είναι πιο εύκολη η σύγκριση μεταξύ των αποτελεσμάτων των χημικών αναλύσεων συνήθως χρησιμοποιείται κάποιο από τα υδροχημικά διαγράμματα που έχουν επικρατήσει.

Αυτά προσφέρουν μια εποπτική εικόνα της θέσης και του είδους του νερού καθώς και συγκρίσεις και συσχετισμούς που επιδέχονται ερμηνεία. Υπάρχουν πολλών ειδών διαγράμματα που χρησιμοποιούνται και διαφόρων ειδών ταξινομήσεις του νερού που χρησιμοποιούν διαφορετικά κριτήρια η κάθε μία.

Έτσι υπάρχουν διαγράμματα ανυσματικά, ραβδοδιαγράμματα, κυκλικά και ακτινωτά, πολυγωνικά, ημιλογαριθμικά και τριγωνικά κ.τ.λ. και πάνω σ' αυτά τα διαγράμματα έχουν προταθεί από διάφορους ερευνητές κατατάξεις της ποιότητας του νερού (π.χ. Piper, Durov, Schoeller, S.A.R., Wilcox).

Στην προκειμένη περίπτωση χρησιμοποιείται η ταξινόμηση κατά Piper, το διάγραμμα S.A.R, το διάγραμμα Durov, η ταξινόμηση κατά Schoeller και η ταξινόμηση κατά Wilcox.

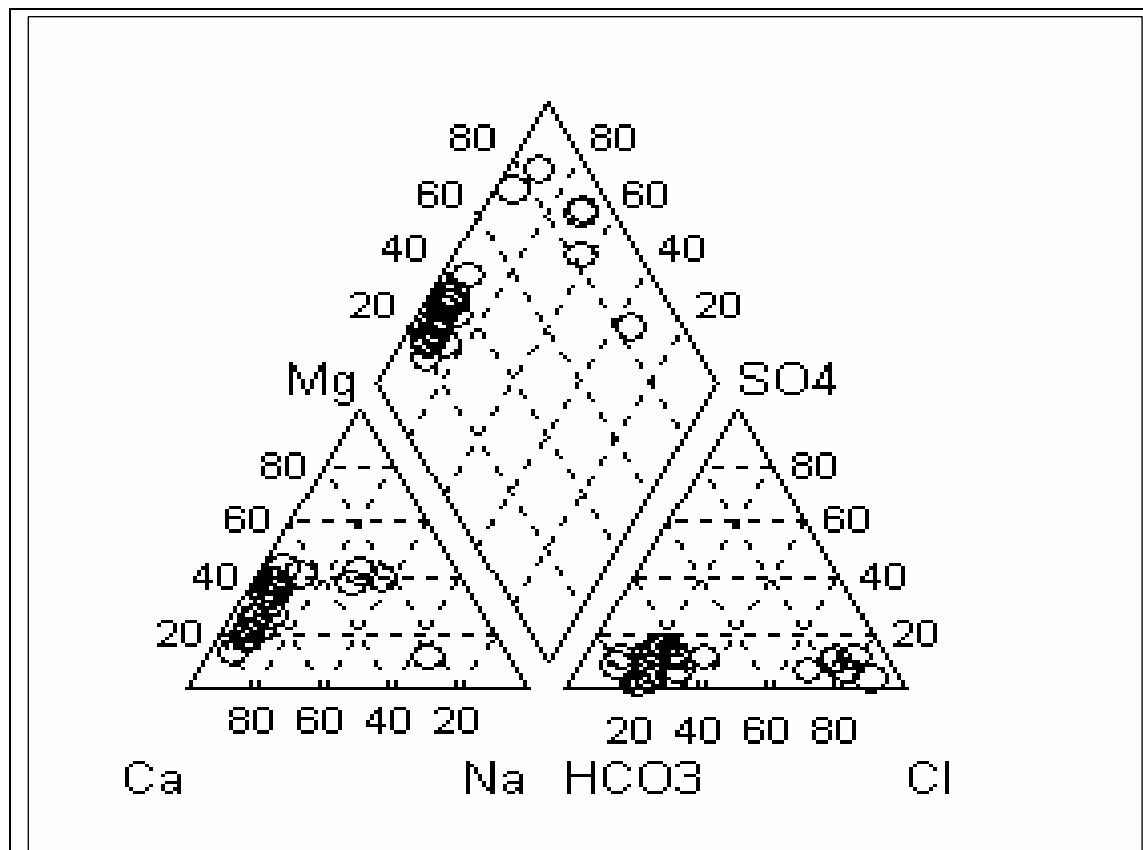
#### 5.3.1.Διάγραμμα PIPER

Το τριγραμμικό διάγραμμα Piper (1944) είναι το πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο και ίσως το πιο εύχρηστο, διότι η αναγνώριση των ομοιοτήτων και των διαφορών που παρουσιάζουν διάφορα δείγματα νερού καθώς και της ανάμειξης δύο διαφορετικών νερών, είναι άμεση (Δημόπουλος, 1983 – Καλλέργης, 1986).

Στα τριγραμμικά διαγράμματα, τα κατιόντα, εκφρασμένα επί τοις εκατό του συνόλου των κατιόντων σε meq/lit, προβάλλονται σαν ένα σημείο στο αριστερό τρίγωνο και αντίστοιχα τα ανιόντα προβάλλονται στο δεξιό τρίγωνο κατά τον ίδιο τρόπο. Τα δύο αυτά σημεία προβάλλονται στον κεντρικό ρόμβο. Το σημείο που προκύπτει αντιστοιχεί σε έναν τύπο νερού (Πατρικάκη, 2002).

Οι χημικές αναλύσεις των στοιχείων, εκφρασμένες σε meq/lit, φαίνονται στον Πίνακα 2. Με βάση αυτές τις τιμές, υπολογίστηκε το επί τοις εκατό ποσοστό του κάθε κατιόντος στο σύνολο των κατιόντων και το επί τοις εκατό ποσοστό του κάθε ανιόντος στο σύνολο των

ανιόντων αντίστοιχα. Με βάση αυτές τις τιμές, κατασκευάστηκε το διάγραμμα PIPER του

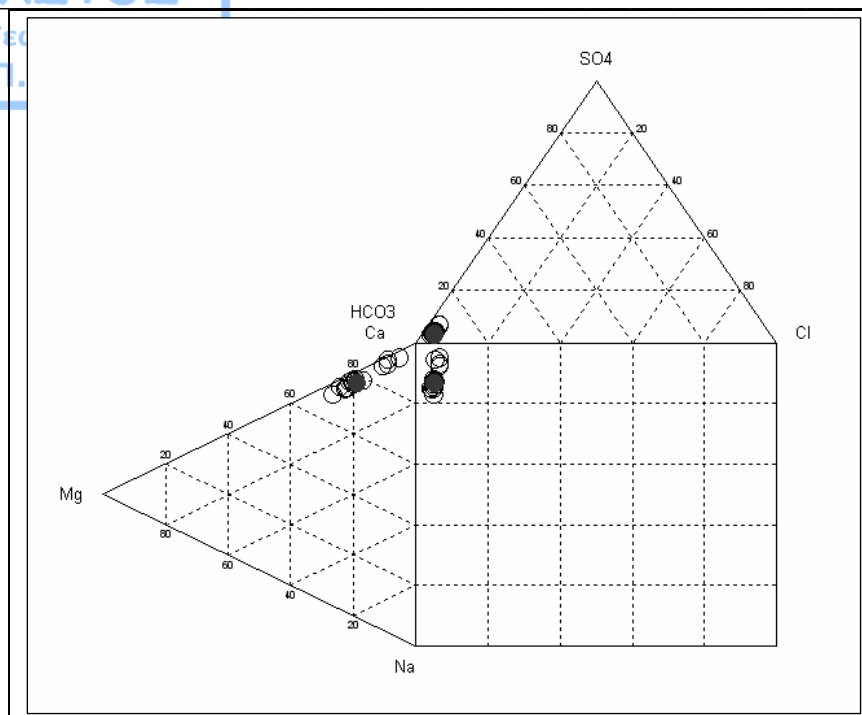


**ΣΧΗΜΑ 1.** Τριγραμμικό διάγραμμα των κυριότερων ιόντων κατά (A. Piper, 1944).

### 5.3.2. Διάγραμμα DUROV

Το διάγραμμα Durov, αποτελεί τροποποίηση των τριγωνικών διαγραμμάτων του Durov το 1950. Στα διαγράμματα αυτά γίνονται προβολές του 50 % της ολικής συγκέντρωσης των κατιόντων και αντίστοιχα των ανιόντων.

Σ' αυτά τα διαγράμματα τα ιόντα τοποθετούνται σε ρόμβους και σε τρίγωνα και στη συνέχεια γίνεται η προβολή των ιόντων αυτών μέσα σε τετράγωνα δίνοντας έτσι τον τύπο του νερού ανάλογα με το τετράγωνο που προβάλλονται. Στο σχ. 2 που ακολουθεί παρουσιάζεται το διάγραμμα Durov.



ΣΧΗΜΑ 2. Διάγραμμα Durov (Lloyd, J. W., Heathcote, J.A., 1985).

### 5.3.3. Διάγραμμα SCHOELLER

Το διάγραμμα αυτό προτάθηκε από τον H. Schoeller (1948, 1962, 1967) και έχει ευρεία χρήση γιατί επιτυγχάνει να απεικονίσει με σαφή τρόπο τους διάφορους τύπους του υπόγειου νερού. Επίσης με αυτό το διάγραμμα είναι εύκολη η σύγκριση των αποτελεσμάτων των χημικών αναλύσεων. Τα ημιλογαριθμικά διαγράμματα Schoeller χρησιμοποιούνται και για τον προσδιορισμό της ποσιμότητας του νερού.

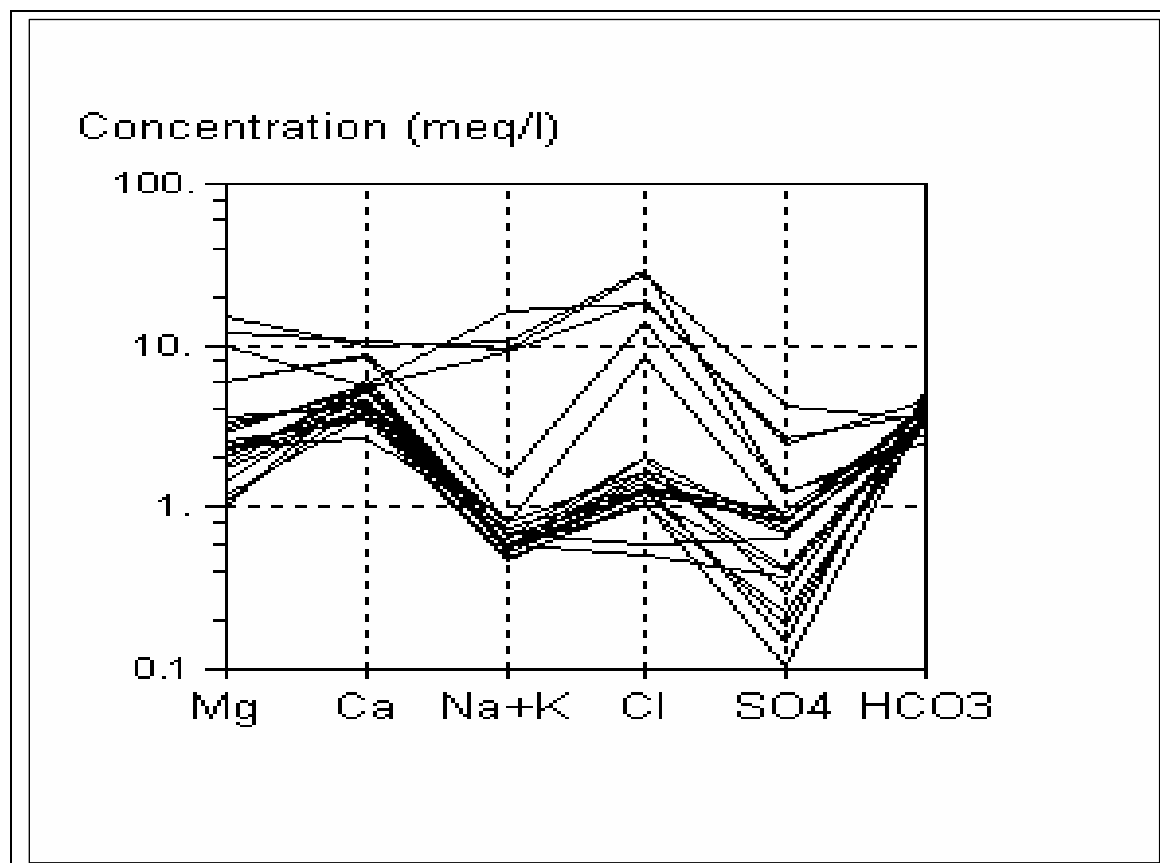
Στον άξονα των τετμημένων τοποθετούνται σε κανονικά διαστήματα από τα αριστερά προς τα δεξιά το δέκατο της συγκέντρωσης των ιόντων εκφρασμένες σε meq/lit και επί των αξόνων των τεταγμένων, που είναι βαθμολογημένες σε μια λογαριθμική κλίμακα, τοποθετούνται ο αριθμός των meq/lit των παραπάνω ιόντων (Λαμπράκης, 1991).

Τα σημεία τομής που προκύπτουν ενώνονται μεταξύ τους με ευθύγραμμα τμήματα. Το πλεονέκτημα σ' αυτό τον τρόπο απεικόνισης, είναι ότι εκτός της άμεσης σύγκρισης των αποτελεσμάτων των χημικών αναλύσεων είναι δυνατή η σύγκριση και των κυριότερων ιοντικών λόγων, οι οποίοι και ορίζονται από τις κλίσεις των ευθυγράμμων τμημάτων.

Με βάση τα δεδομένα του Πίνακα 2 κατασκευάστηκαν τα διαγράμματα Schoeller για τα υπόγεια νερά της περιοχής (σχ. 3). Από τα διαγράμματα αυτά προκύπτει ότι τα

περισσότερα τμήματα δεν είναι παράλληλα μεταξύ τους, επομένως οι ιοντικοί λόγοι δεν παραμένουν σταθεροί.

Από πλευράς ποσιμότητας το νερό, βάση του ημιλογαριθμικού διαγράμματος του σχήματος 3, διαπιστώνεται ότι είναι μέτριας ποιότητας, έως κακής ποιότητας.



ΣΧΗΜΑ 3. Ημιλογαριθμικό διάγραμμα Schoeller.

#### 5.3.4. Διάγραμμα S.A.R.

Το διάγραμμα S.A.R. χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της καταλληλότητας του νερού για άρδευση. Η καταλληλότητα του νερού για άρδευση εξετάζεται σε σχέση με δύο παράγοντες.

Συγκεκριμένα :

α) Τον κίνδυνο αλκαλίωσης

Η αύξηση της σχετικής περιεκτικότητας σε  $\text{Na}^+$  του εδάφους έχει ως συνέπεια τη μείωση της περατότητας και την αύξηση της σκληρότητάς του, γιατί συμπιέζεται πιο εύκολα. Αυτό είναι αποτέλεσμα της αντικατάστασης των ιόντων  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  από  $\text{Na}^+$  στο πλέγμα



των αργίλων. Η έκταση της αντικατάστασης αυτής μπορεί να προσδιοριστεί από το δείκτη προσρόφησης Νατρίου (S.A.R.) (Μυριούνης, 2004).

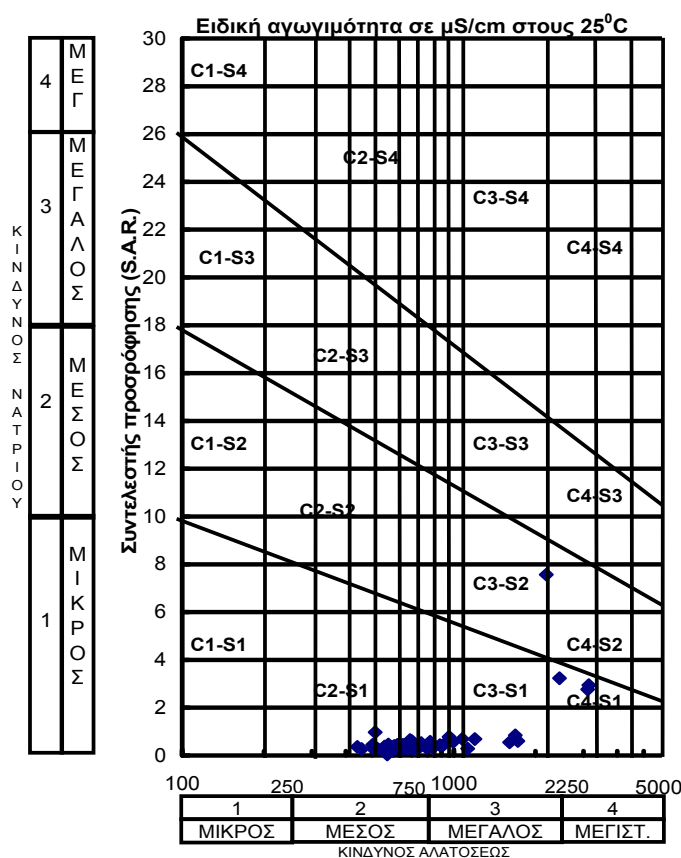
$$S.A.R. = rNa / \sqrt{\frac{r(Ca^{+2} + Mg^{+2})}{2}}$$

Όπου r δηλώνει ότι οι περιεκτικότητες των ιόντων είναι εκφρασμένες σε meq/l.

β) Τον κίνδυνο αλατότητας

Σε εδάφη που κυριαρχούν τα αργιλικά υλικά η δυνατότητα απόπλυσης των αλάτων που υπάρχουν σε περίσσεια είναι μειωμένη λόγω της μικρής περατότητας και της χαμηλής δυνατότητας αποστράγγισης. Ο κίνδυνος αλατότητας μπορεί να εκτιμηθεί από την ηλεκτρική αγωγιμότητα.

Όπως προκύπτει από το διάγραμμα, το νερό ανήκει στην κατηγορία C2-S1, δηλαδή η ποιότητα του νερού θεωρείται μέτρια, όπου το νερό θα πρέπει να χρησιμοποιείται με προφύλαξη στα βαριά εδάφη που δεν αποστραγγίζονται καλά και για ευαίσθητα φυτά.



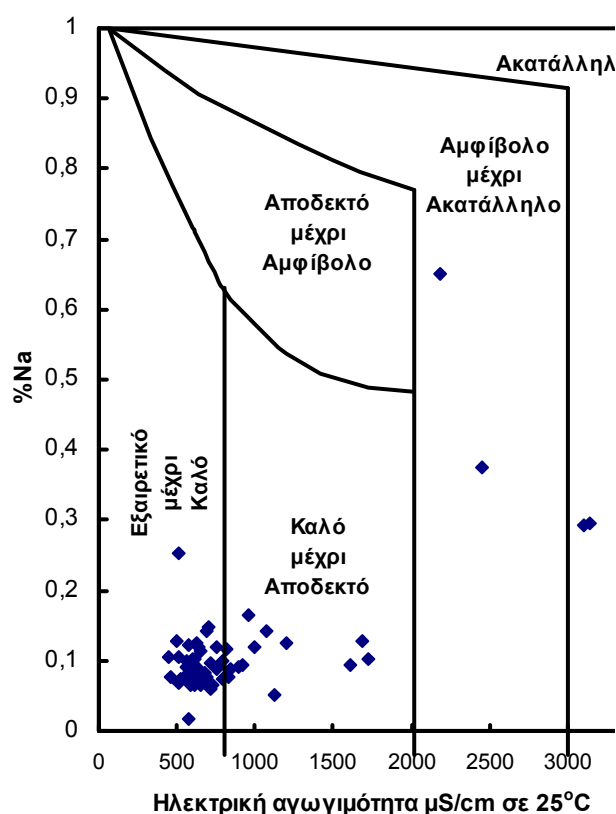
**ΣΧΗΜΑ 4.** Κατάταξη των νερών άρδευσης συναρτήσει της ειδικής αγωγιμότητας και της σχέσης S.A.R..

Με βάση τα παραπάνω υπολογίστηκε ο δείκτης S.A.R. για όλα τα δείγματα και οι τιμές αυτές τοποθετήθηκαν στο διάγραμμα κατάταξης αρδευτικού νερού κατά USDA (Richards, 1954 – Wilcox, 1955), όπως φαίνεται στο σχ. 4.

### 5.3.5. Διάγραμμα WILCOX

Το διάγραμμα Wilcox (1955) χρησιμοποιείται και αυτό για την ταξινόμηση του αρδευτικού νερού. Αυτό λαμβάνει υπόψη την ηλεκτρική αγωγιμότητα του νερού και την επί % περιεκτικότητά του σε Na σε σχέση με το σύνολο των αλκαλίων. Στο σχ. 5 που ακολουθεί παρουσιάζεται η εφαρμογή του διαγράμματος Wilcox.

Από το διάγραμμα διαπιστώνεται, ότι τα νερά χαρακτηρίζονται ως νερά χαμηλής περιεκτικότητας σε άλατα. Πρόκειται δηλαδή για νερό άριστης ποιότητας που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την άρδευση όλων των εδαφών ακόμη και για πολύ ευπαθείς καλλιέργειες.  $Wilcox \%Na = (Na + K) / (Ca + Mg + Na + K) \text{ meq/l}$  (Μυριούνης, 2004).



ΣΧΗΜΑ 5. Διάγραμμα κατάταξης αρδευτικών νερών κατά Wilcox.

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με βάση τα αποτελέσματα της υδροχημικής και γεωφυσικής έρευνας στη λεκάνη του Αλμυρού προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα :

Το παράκτιο τμήμα της περιοχής του Αλμυρού καλύπτεται από τεταρτογενείς αποθέσεις που αποτελούνται από φερτά χερσοποτάμια και λιμναία ιζήματα. Τα λιμναία εμφανίζονται κατά μήκος του βορειοανατολικού – νοτιοδυτικού περιθωρίου της λεκάνης. Συναντάμε κροκαλοπαγή με μεγάλη επιφανειακή εξάπλωση και ασύνδετα υλικά όπως άμμους, κροκάλες, λατύπες.

Η υδροφορία αναπτύσσεται στις ανώτερες αποθέσεις. Η στάθμη των υπογείων νερών κυμαίνεται από -2 έως 17 m σε απόλυτο υψόμετρο, παρουσιάζοντας τις χαμηλότερες τιμές κατά μήκος της παραλίας. Η ύπαρξη αρνητικών πιεζομετρικών φορτίων εντοπίζεται στο νότιο τμήμα της λεκάνης και σε απόσταση 1100 m από την ακτή.

Η γεωφυσική έρευνα καθώς και η μέθοδος Wenner – Schlumberger που χρησιμοποιήθηκε έδειξαν ότι το πάχος της ακόρεστης ζώνης, στην υπό μελέτη περιοχή, συνίσταται από χαλαρούς σχηματισμούς. Επίσης προσδιορίστηκε το βάθος και το πάχος της αλμυρής σφήνας που παρουσιάζεται στην περιοχή, και η οποία προσδιορίζεται επίσης με μετρήσεις φυσικοχημικών παραμέτρων των υπογείων υδάτων της περιοχής. Τέλος προσδιορίστηκε το βάθος ενός διαπεράτου, ενδεχομένως μαργαϊκού σχηματισμού, το οποίο ουσιαστικά ρυθμίζει τη μετάδοση της αλμυρής σφήνας προς το εσωτερικό της ενδοχώρας. Με βάση το διάγραμμα Piper, δύο κύριοι τύποι υπογείων υδάτων μπορούν να προσδιοριστούν :  $\text{Ca-HCO}_3$  και  $\text{Na-Cl}$  (νερό που επηρεάζεται από την είσοδο του νερού της θάλασσας).

Η αξιολόγηση των στοιχείων που πάρθηκαν οδηγούν στο γεγονός ότι το αλλούβιο υδροφόρο στρώμα της πεδιάδας του Αλμυρού παρουσιάζει σημάδια ποιοτικής υποβάθμισης των υδάτων. Το σύστημα των υδροφόρων στρωμάτων γίνεται αντικείμενο υπερεκμετάλλευσης, κυρίως γεωργικής, και έχει παρουσιάσει σημάδια εξάντλησης και ρύπανσης. Η διείσδυση του νερού της θάλασσας στα υδροφόρα στρώματα είναι η σαφέστερη ένδειξη ότι η παρούσα εκμετάλλευση του υδροφόρου στρώματος δεν είναι βιώσιμη.

Η υπεράντληση των υπογείων υδάτων έχει επιδεινώσει το φαινόμενο της υφαλμύρωσης και της ποιότητας των υπόγειων νερών. Ένα ορθολογικό διοικητικό πλαίσιο πρέπει να εφαρμοστεί, προκειμένου να αποκατασταθεί και να εξομαλυνθεί η αρνητική ισορροπία του ύδατος.

Αυτή η στρατηγική θα μπορούσε να βασιστεί στη συνδυασμένη χρήση των υπόγειων νερών και των επιφανειακών πηγαίων νερών. Η μείωση της άντλησης των υπόγειων νερών πρέπει να εφαρμοστεί στις περιοχές που επηρεάζονται από την είσοδο του νερού της θάλασσας. Οι τεχνικές της προστασίας των υπογείων υδάτων όπως η άρδευση ψεκασμού και η στάγδην άρδευση πρέπει να εφαρμοστεί προκειμένου να μειωθούν οι ποσότητες υπόγειων νερών που χρησιμοποιούνται για τη γεωργία.

Η οδηγία 2000/60/EK και η εναρμόνιση από τις ελληνικές αρχές παρέχουν τη νέα νομοθεσία και τις ευκαιρίες για τη βιώσιμη διαχείριση των υπόγειων και επιφανειακών υδατικών πόρων.

Τέλος, ένα πρόγραμμα ελέγχου (monitoring) για την ποιότητα των υπόγειων νερών πρέπει να εφαρμοστεί στις επιλεγμένες γεωτρήσεις, προκειμένου να αποφευχθούν τα φαινόμενα υφαλμύρωσης και η νιτρορύπανση.

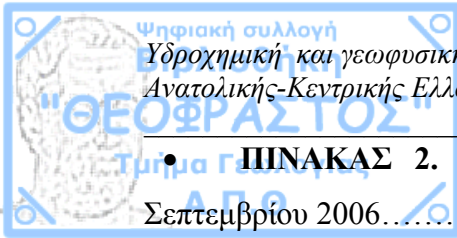
## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Γαλανάκης, Δ., (1997). Νεοτεκτονική δομή και στρωματογραφία των Νεωγενών – Τεταρτογενών ιζημάτων της λεκάνης του Αλμυρού – Παγασητικού, Πηλίου, Διαύλου Όρεων – Τρικερίου και Μαλλιακού, Διδακτορική Διατριβή, Θεσσαλονίκη.
- Dimopoulos, G., (1984): Geohydrologische und hydrochemische Probleme bei der Untersuchung von Salzkarstquellen. Deutsche Gewasserkundliche, H.2, S. 45-53.
- Μεντζάφου, Α., (2004). Υδρογεωλογικό καθεστώς λεκάνης Αλμυρού Βόλου. Διατριβή ειδίκευσης, Ε.Μ.Π., Αθήνα.
- Μουντράκης, Δ., (1983). Η γεωλογική δομή της Βόρειας Πελαγονικής ζώνης και η γεωτεκτονική εξέλιξη των Εσωτερικών Ελληνίδων. Πραγμ. Υφηγεσία, Πανεπ. Θεσσαλονίκης, 289p.
- Μυριούνης, Χ., (2002). Μελέτη της ποιότητας και της στάθμης των υπογείων υδάτων της περιοχής Βελεστίνου, Στεφανοβικείου και Ριζομύλου. Διπλωματική εργασία, Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη.
- Μυριούνης, Χ., (2004). Υδρογεωλογική μελέτη καρστικής πηγής και καρστικής περιοχής Βογατσικού Καστοριάς. Διατριβή ειδίκευσης, Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη, σελ. 110.
- Myriounis, C., Voudouris, K., Tsourlos, P., Soulios, G., Dimopoulos, G., (2005). Hydrochemical and geophysical survey of the Almyros aquifer system, East Central Greece, Proc. Of 18<sup>th</sup> SWIM (in press).
- Σαράφης, Χ., (2004). Διαχρονική πορεία της ρύπανσης των υπόγειων υδάτων του Δήμου Αλμυρού από τα νιτρικά γεωργικής προέλευσης. Διπλωματική εργασία , Πανεπ. Αιγαίου, σελ. 67-72.

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

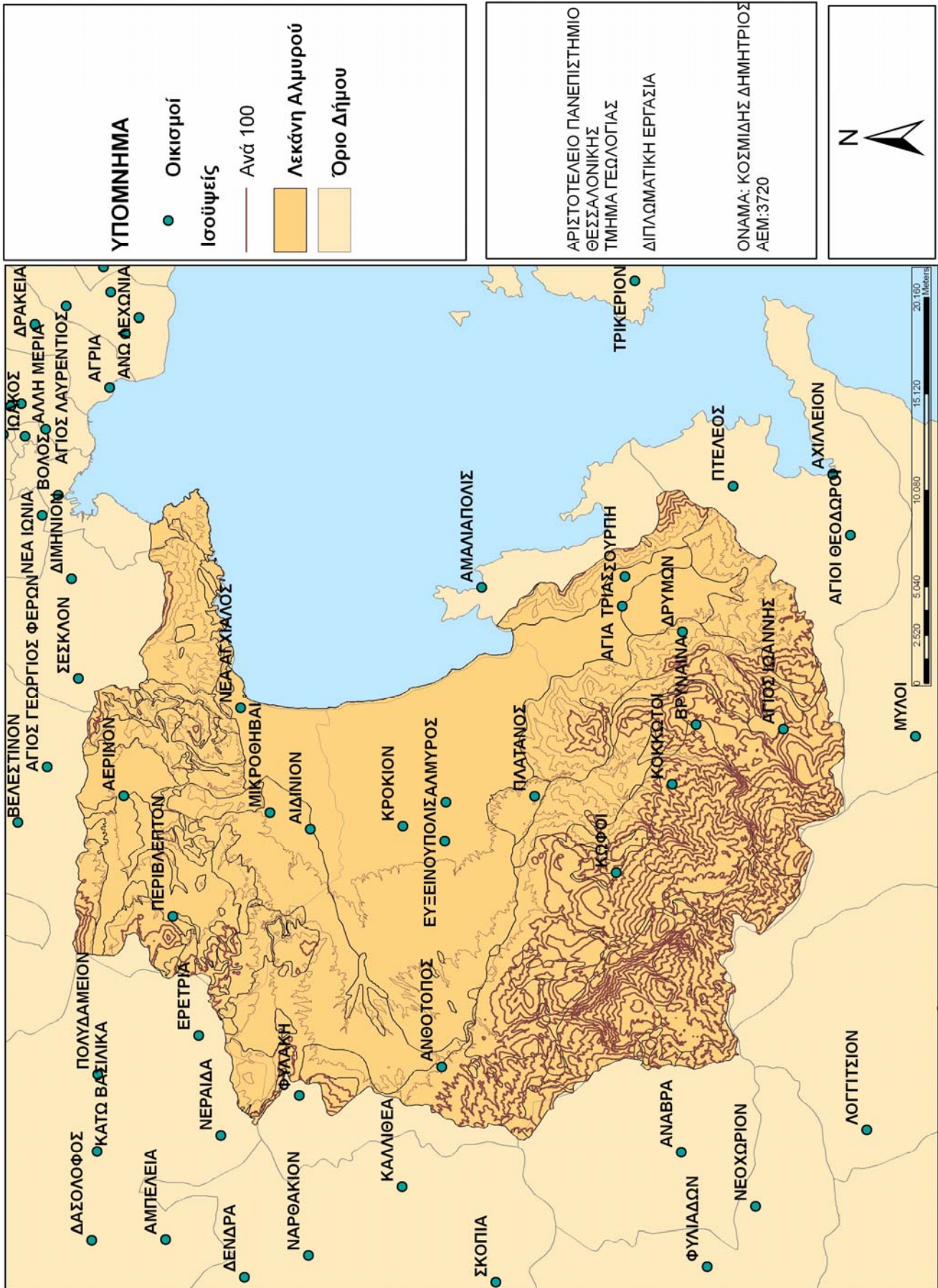
|                                                                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| • <b>EIKONA 1.</b> Κύριες τοποθεσίες της ευρύτερης περιοχής μελέτης.....                                    | 47 |
| • <b>EIKONA 2.</b> Υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής μελέτης.....                                             | 48 |
| • <b>EIKONA 3.</b> Διοικητικά όρια.....                                                                     | 49 |
| • <b>EIKONA 4.</b> Γεωλογικός χάρτης λεκάνης Αλμυρού, Μαγνησίας.....                                        | 50 |
| • <b>EIKONA 5.</b> Γεωλογική στήλη.....                                                                     | 51 |
| • <b>EIKONA 6.</b> Τα ρήγματα της ευρύτερης περιοχής μελέτης.....                                           | 52 |
| • <b>EIKONA 7.</b> Σημεία γεωτρήσεων της περιοχής μελέτης .....                                             | 53 |
| • <b>EIKONA 8.</b> Πιεζομετρικός χάρτης για την περίοδο του Σεπτεμβρίου 2006.....                           | 54 |
| • <b>EIKONA 9.</b> Χάρτης με τις θέσεις των ηλεκτρικών διασκοπήσεων.....                                    | 55 |
| • <b>EIKONA 10.</b> Χάρτης με τις ηλεκτρικές διασκοπήσεις και την ερμηνεία αυτών....                        | 56 |
| • <b>EIKONA 11.</b> Κατανομή ιόντων Ca (mg/l).....                                                          | 57 |
| • <b>EIKONA 12.</b> Κατανομή ιόντων Cl (mg/l).....                                                          | 58 |
| • <b>EIKONA 13.</b> Κατανομή ηλεκτρικής αγωγιμότητας.....                                                   | 59 |
| • <b>EIKONA 14.</b> Κατανομή ιόντων HCO <sub>3</sub> (mg/l).....                                            | 60 |
| • <b>EIKONA 15.</b> Κατανομή ιόντων K (mg/l).....                                                           | 61 |
| • <b>EIKONA 16.</b> Κατανομή ιόντων Mg (mg/l).....                                                          | 62 |
| • <b>EIKONA 17.</b> Κατανομή ιόντων Na (mg/l).....                                                          | 63 |
| • <b>EIKONA 18 .</b> Κατανομή ιόντων NO <sub>3</sub> (mg/l).....                                            | 64 |
| • <b>EIKONA 19.</b> Κατανομή ιόντων pH.....                                                                 | 65 |
| • <b>EIKONA 20.</b> Κατανομή ιόντων SO <sub>4</sub> (mg/l).....                                             | 66 |
| • <b>ΣΧΗΜΑ 1.</b> Τριγραμμικό διάγραμμα των κυριότερων ιόντων κατά Piper .....                              | 67 |
| • <b>ΣΧΗΜΑ 2.</b> Διάγραμμα Durov.....                                                                      | 68 |
| • <b>ΣΧΗΜΑ 3.</b> Ημιλογαριθμικό διάγραμμα Schoeller .....                                                  | 69 |
| • <b>ΣΧΗΜΑ 4.</b> Κατάταξη των νερών άρδευσης συναρτήσει της ειδικής αγωγιμότητας και της σχέσης S.A.R..... | 70 |
| • <b>ΣΧΗΜΑ 5.</b> Διάγραμμα κατάταξης αρδευτικών νερών κατά Wilcox.....                                     | 71 |
| • <b>ΠΙΝΑΚΑΣ 1.</b> Στάθμες των υπόγειων νερών για το Σεπτέμβριο 2006.....                                  | 72 |



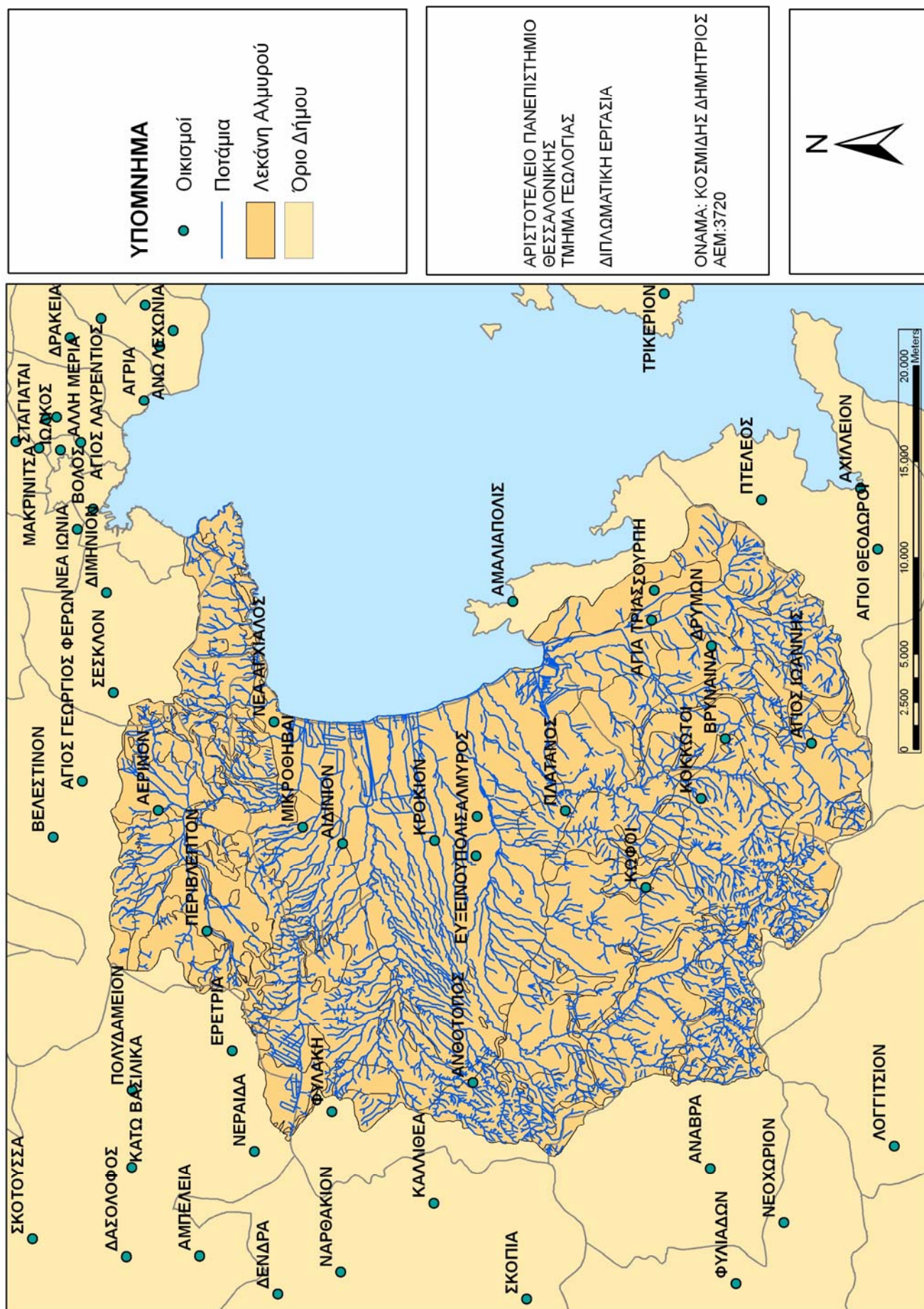


---

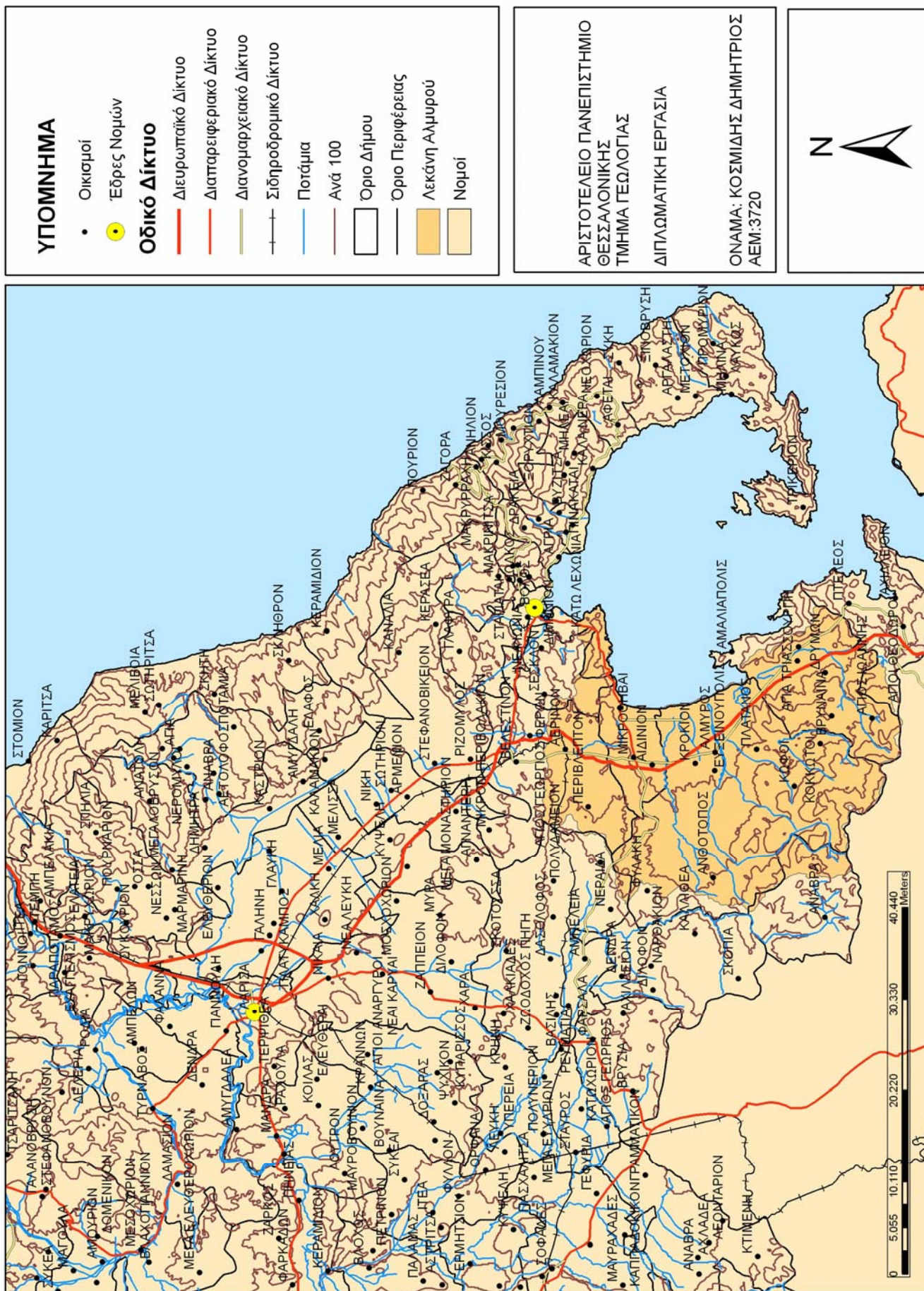
|                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| • ΠΙΝΑΚΑΣ 2. Αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων για την περίοδο του Σεπτεμβρίου 2006..... | 73 |
| • ΠΙΝΑΚΑΣ 3. Συνοπτικά στατιστικά αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων.....                 | 74 |





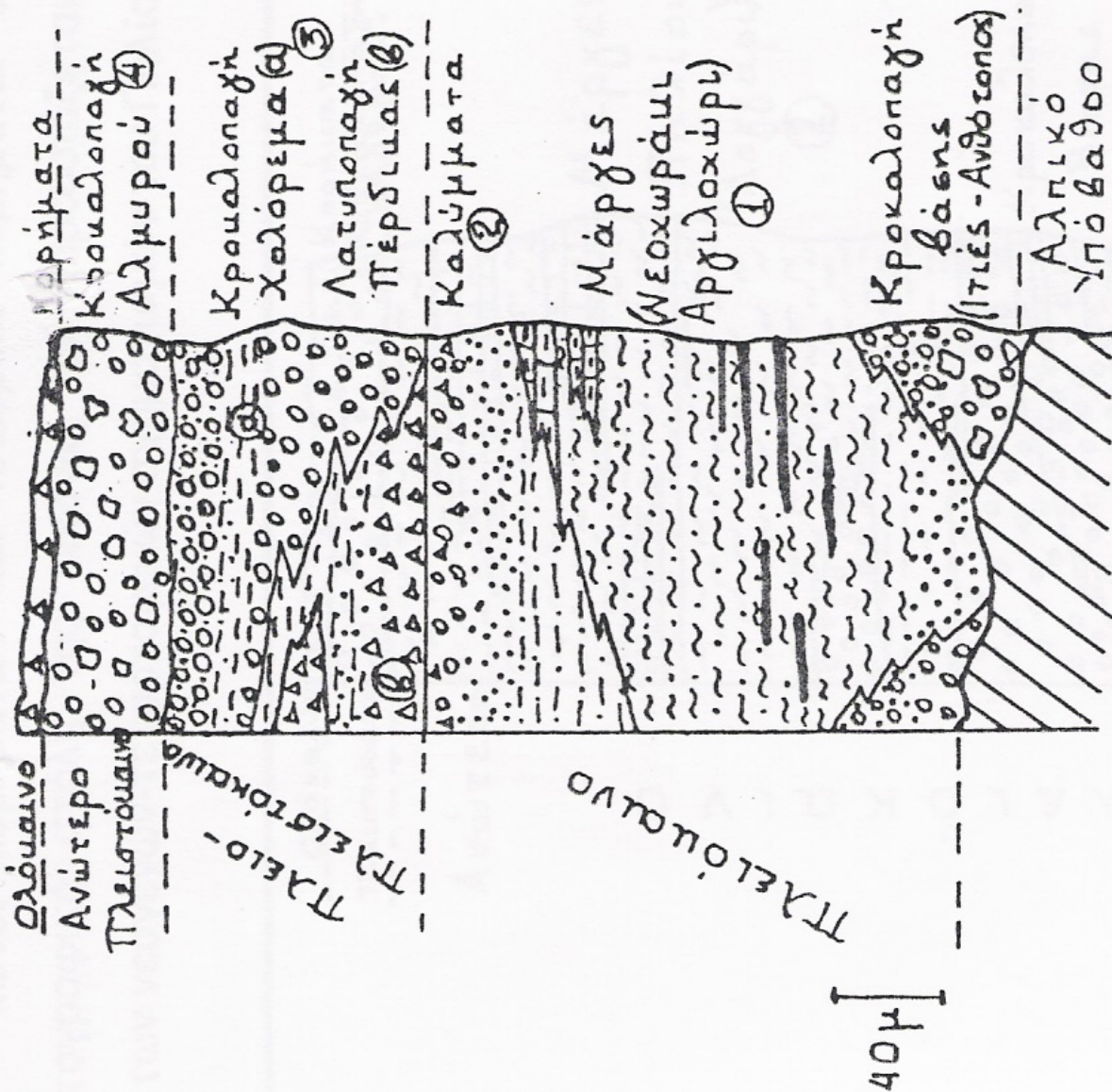




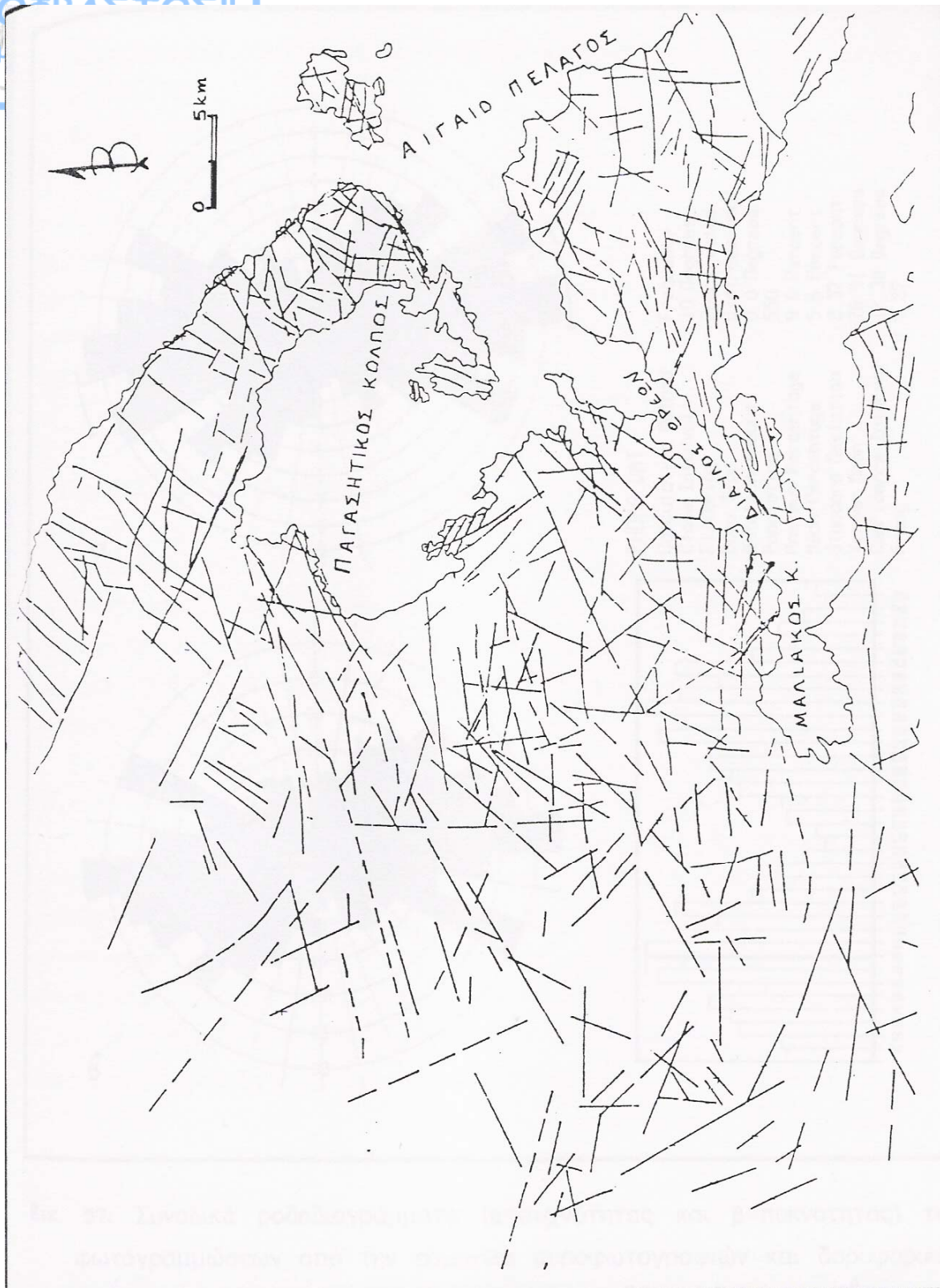


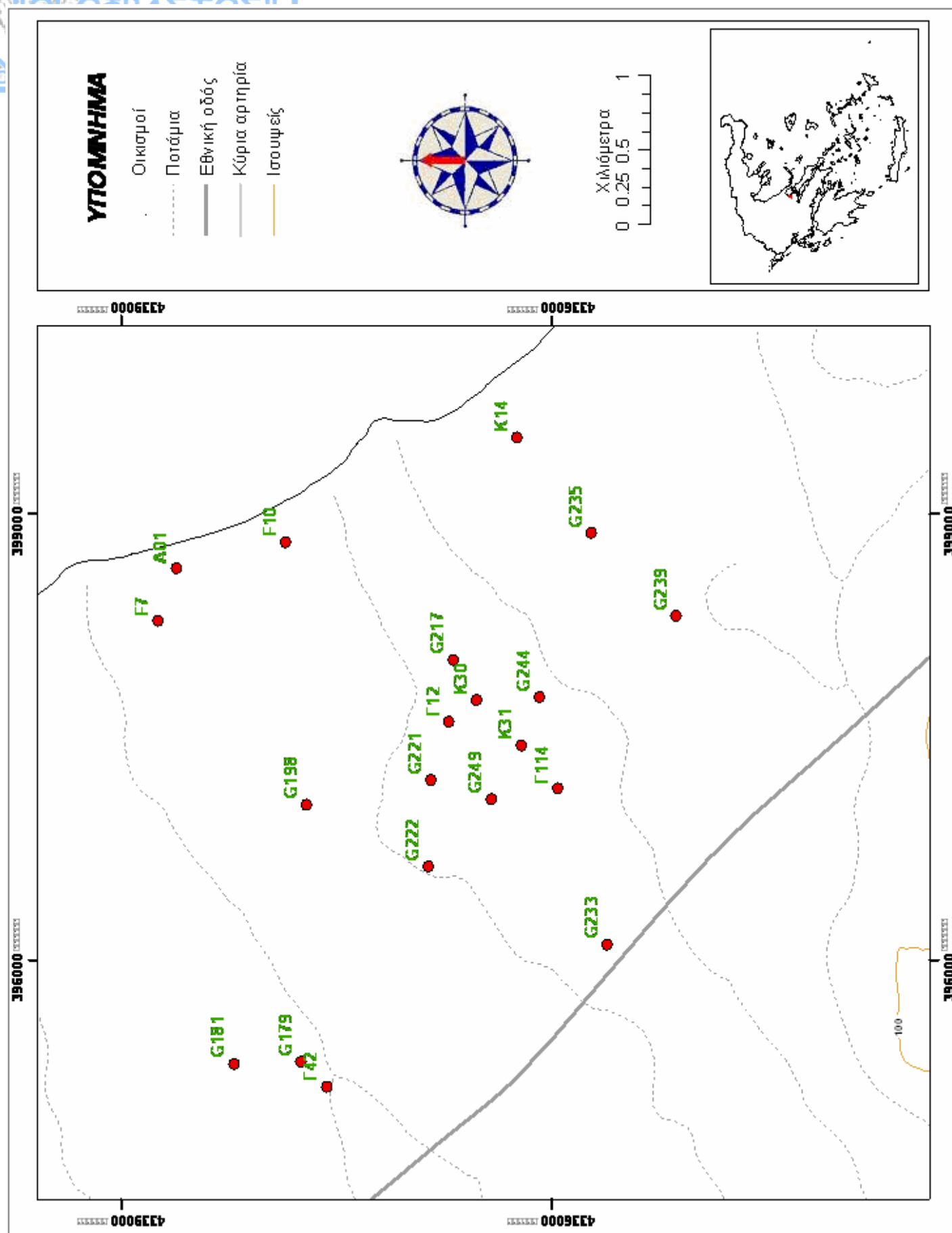


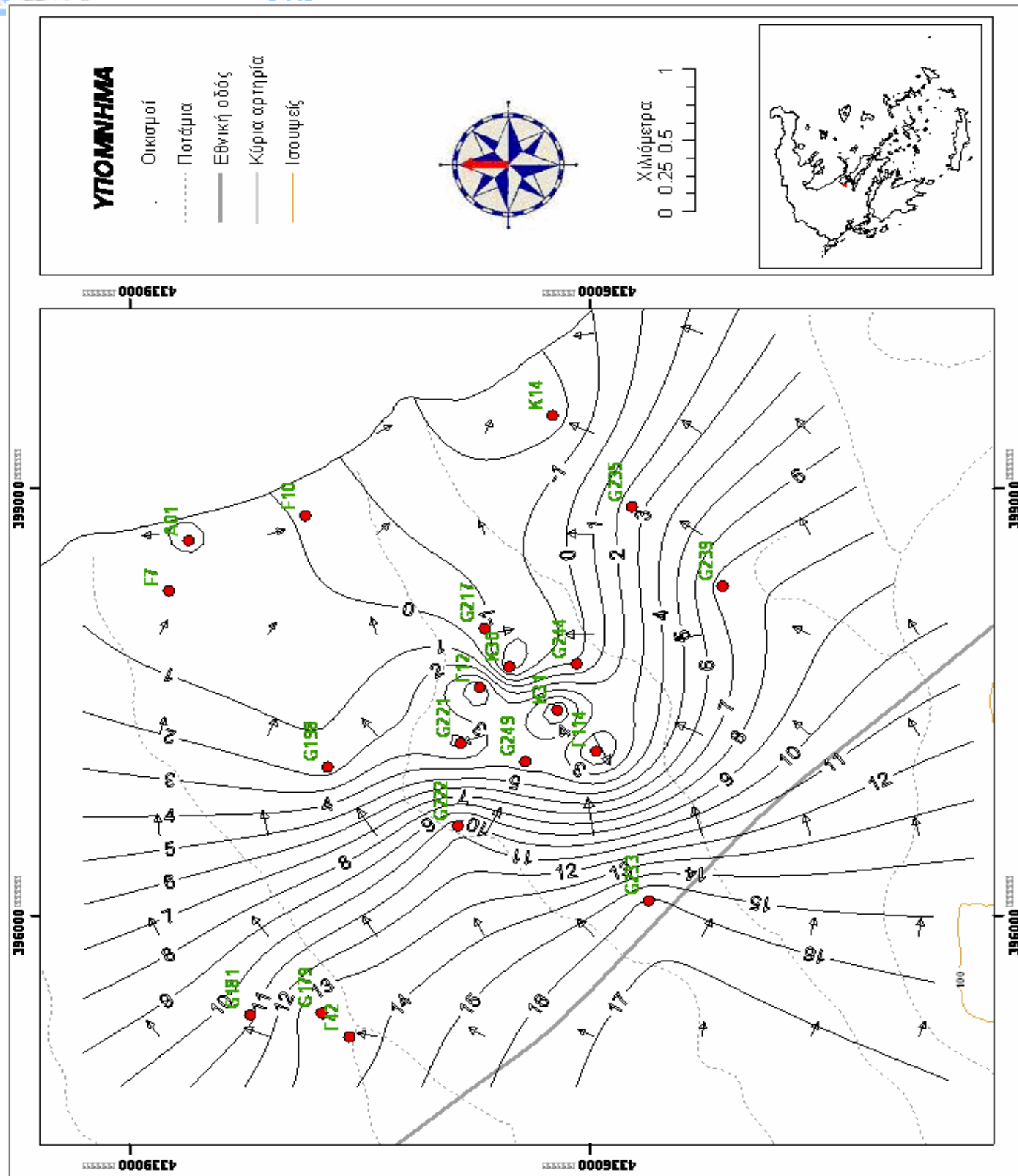






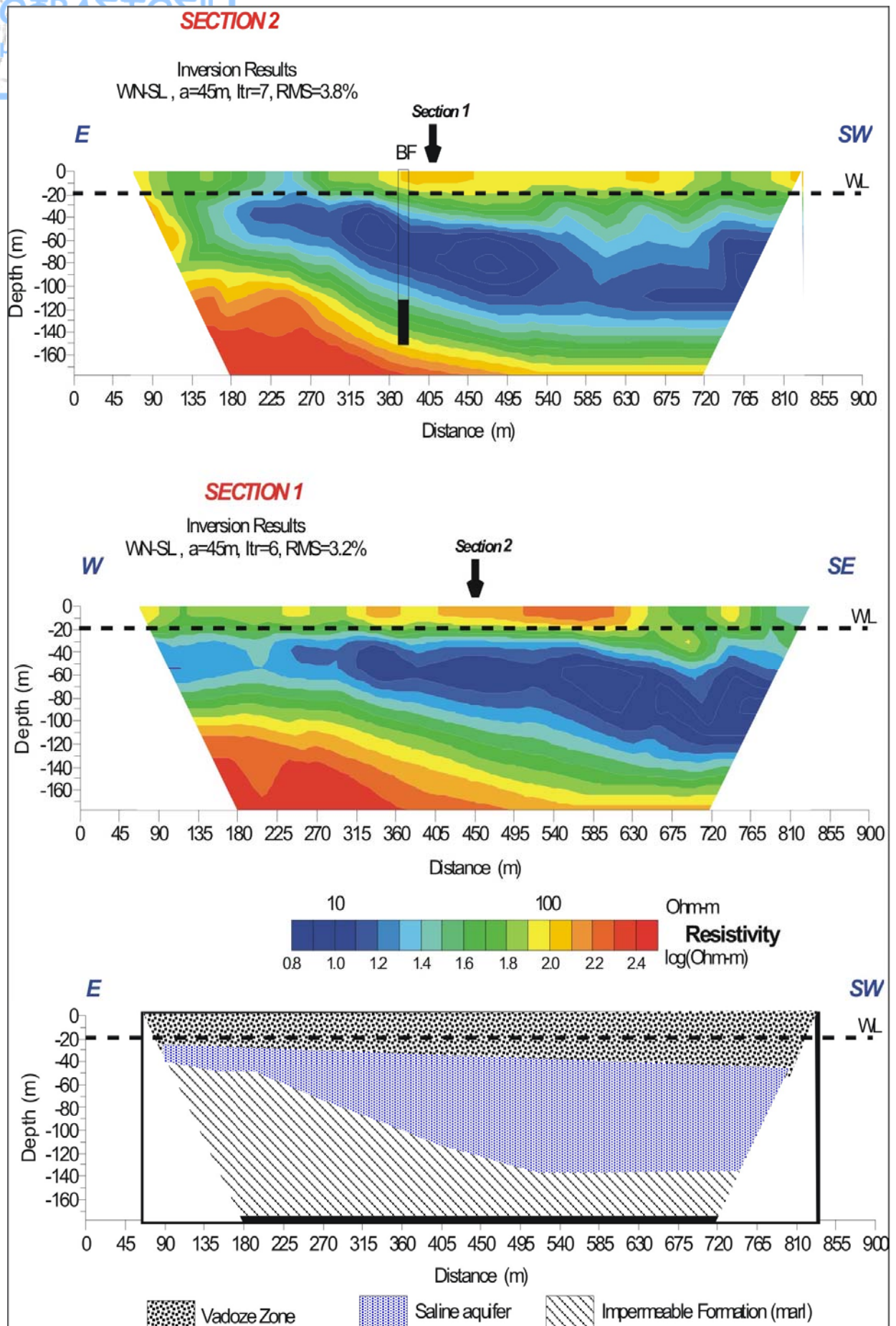




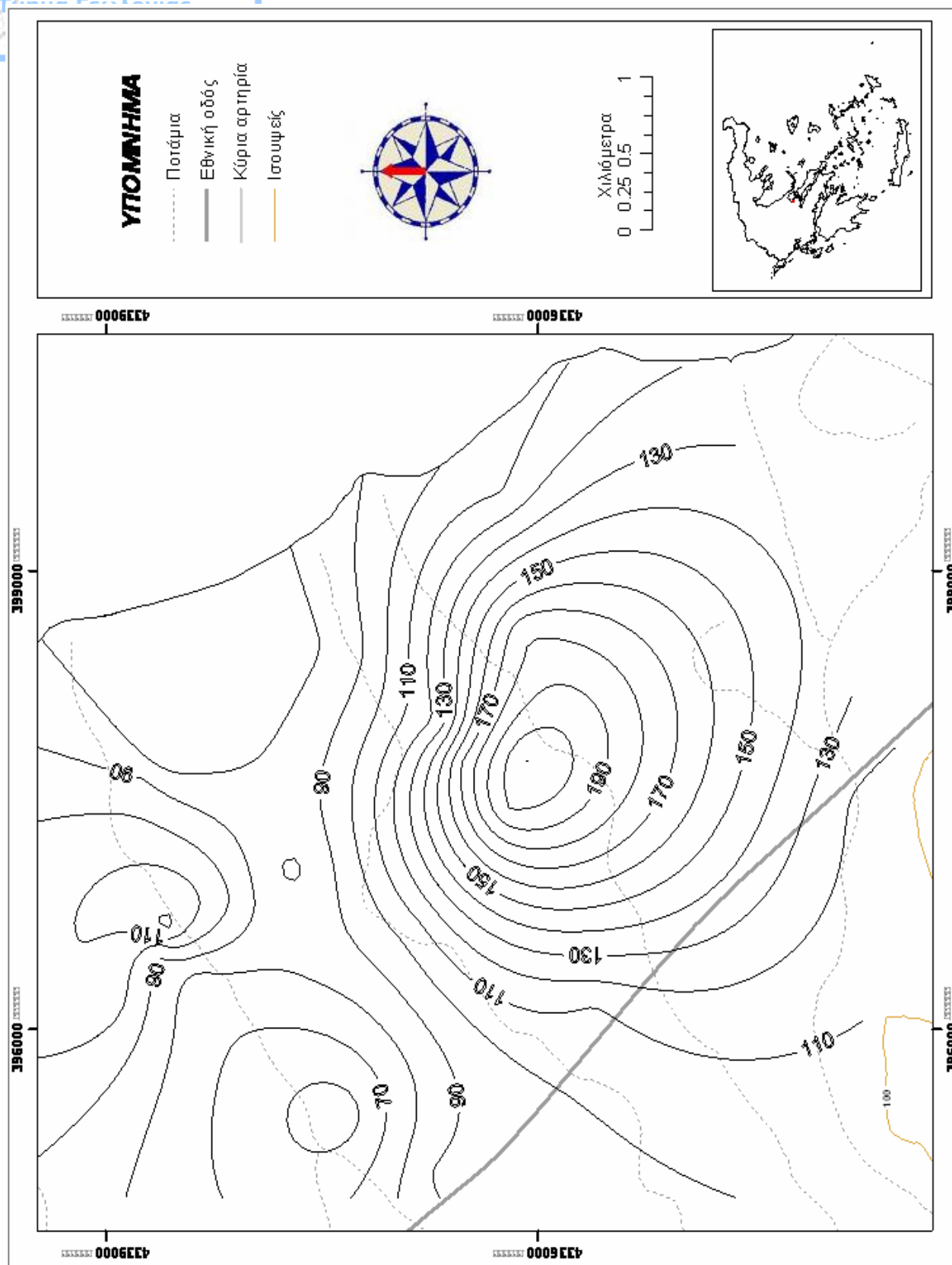


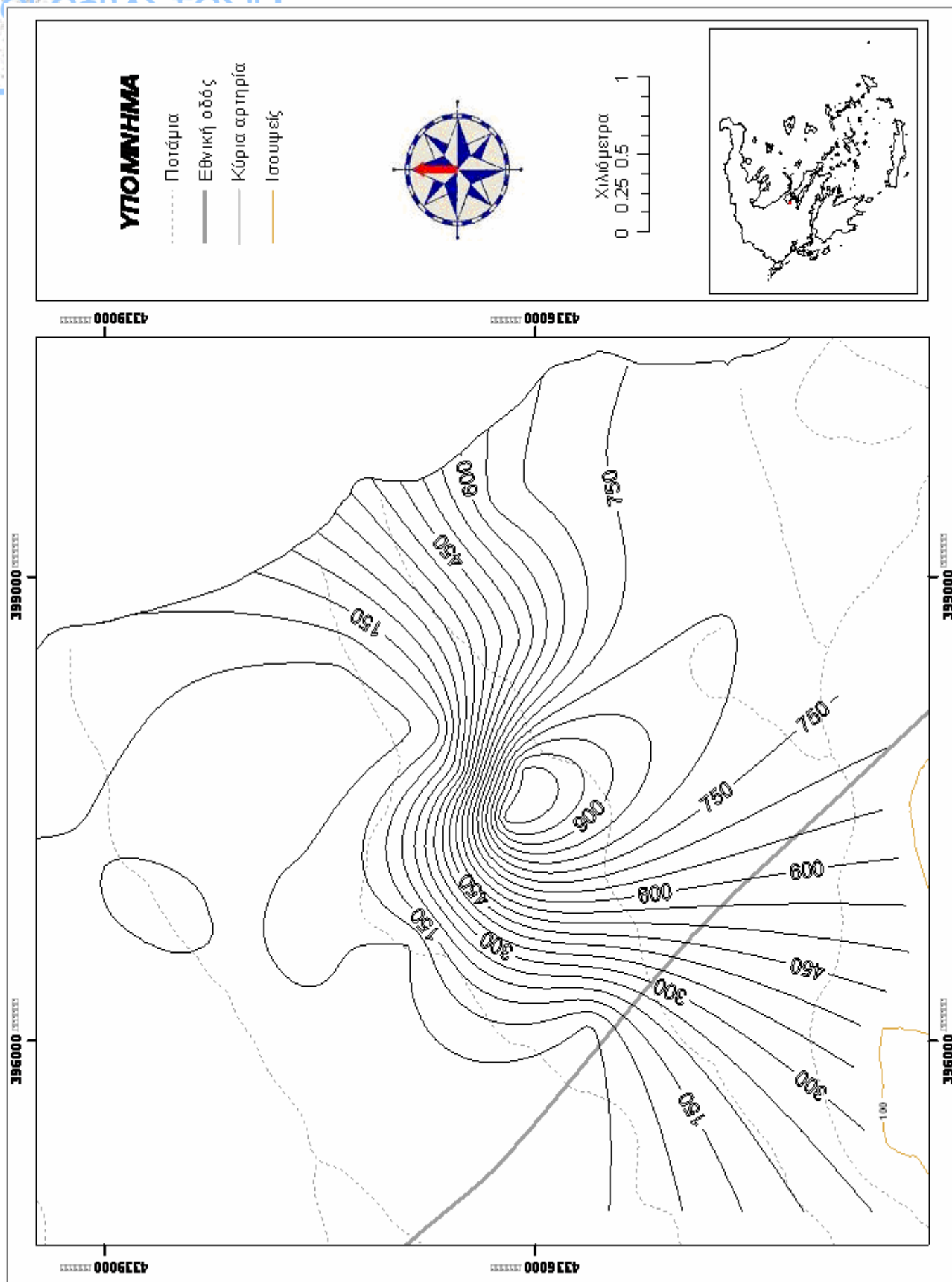


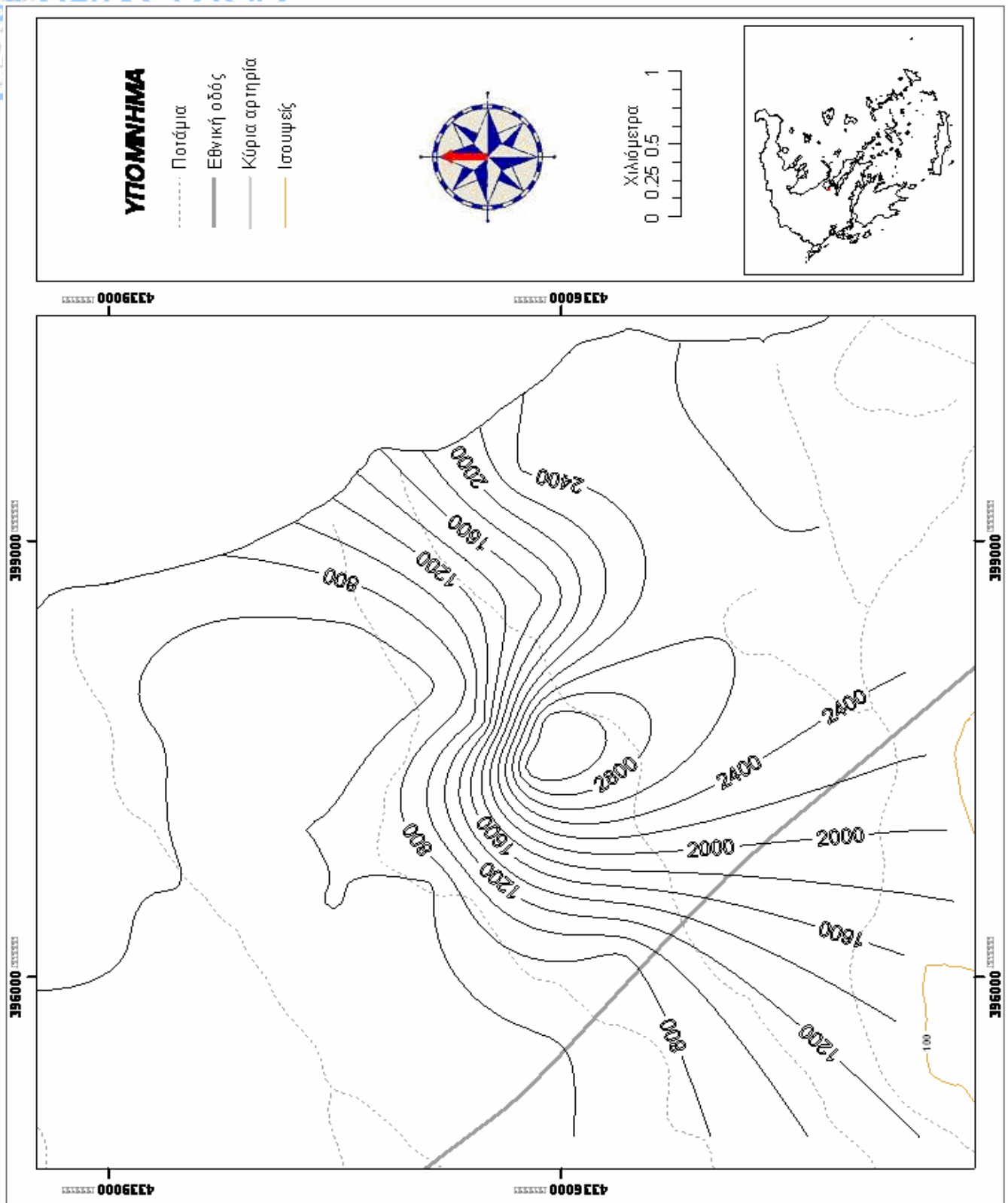


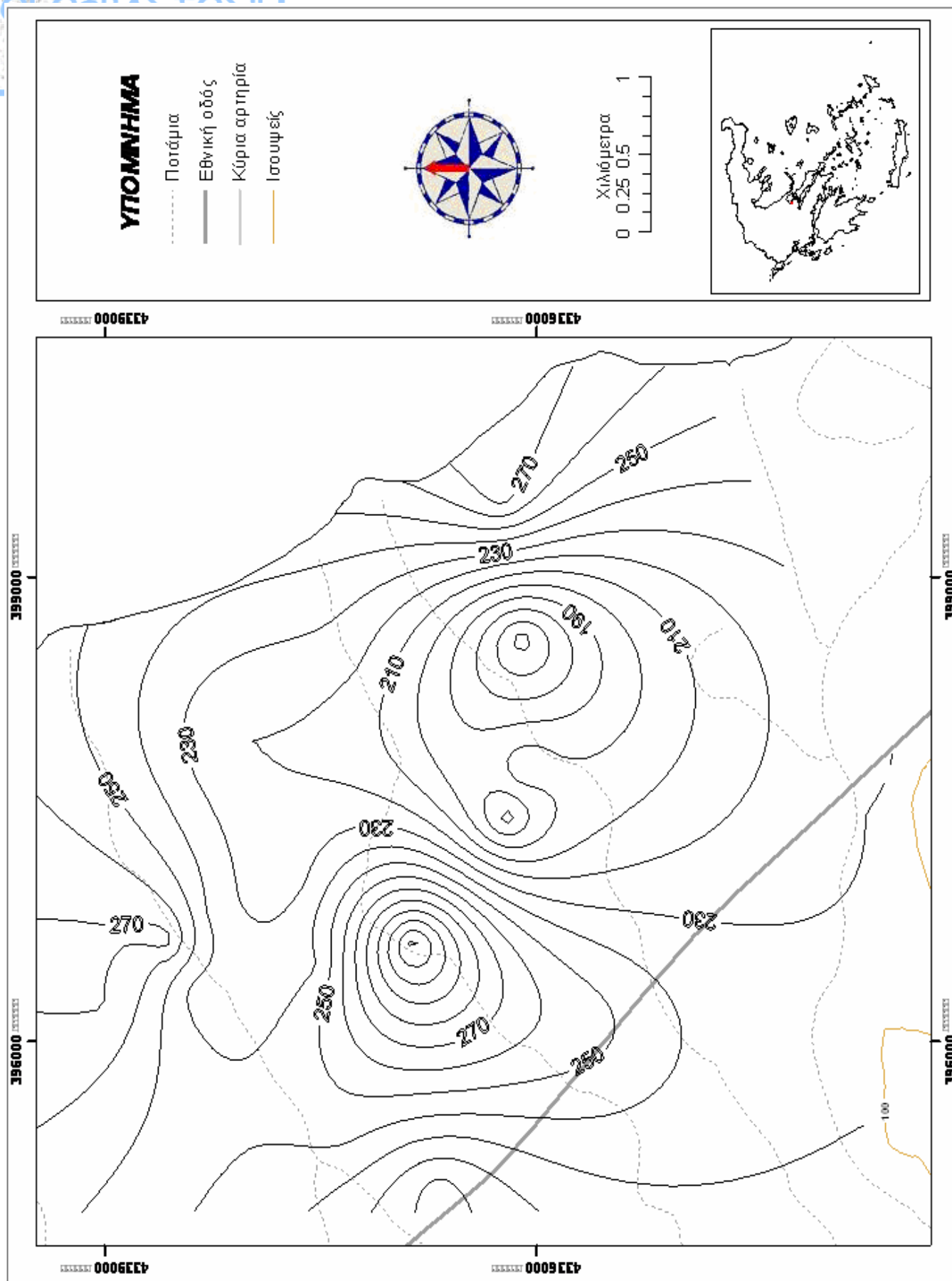


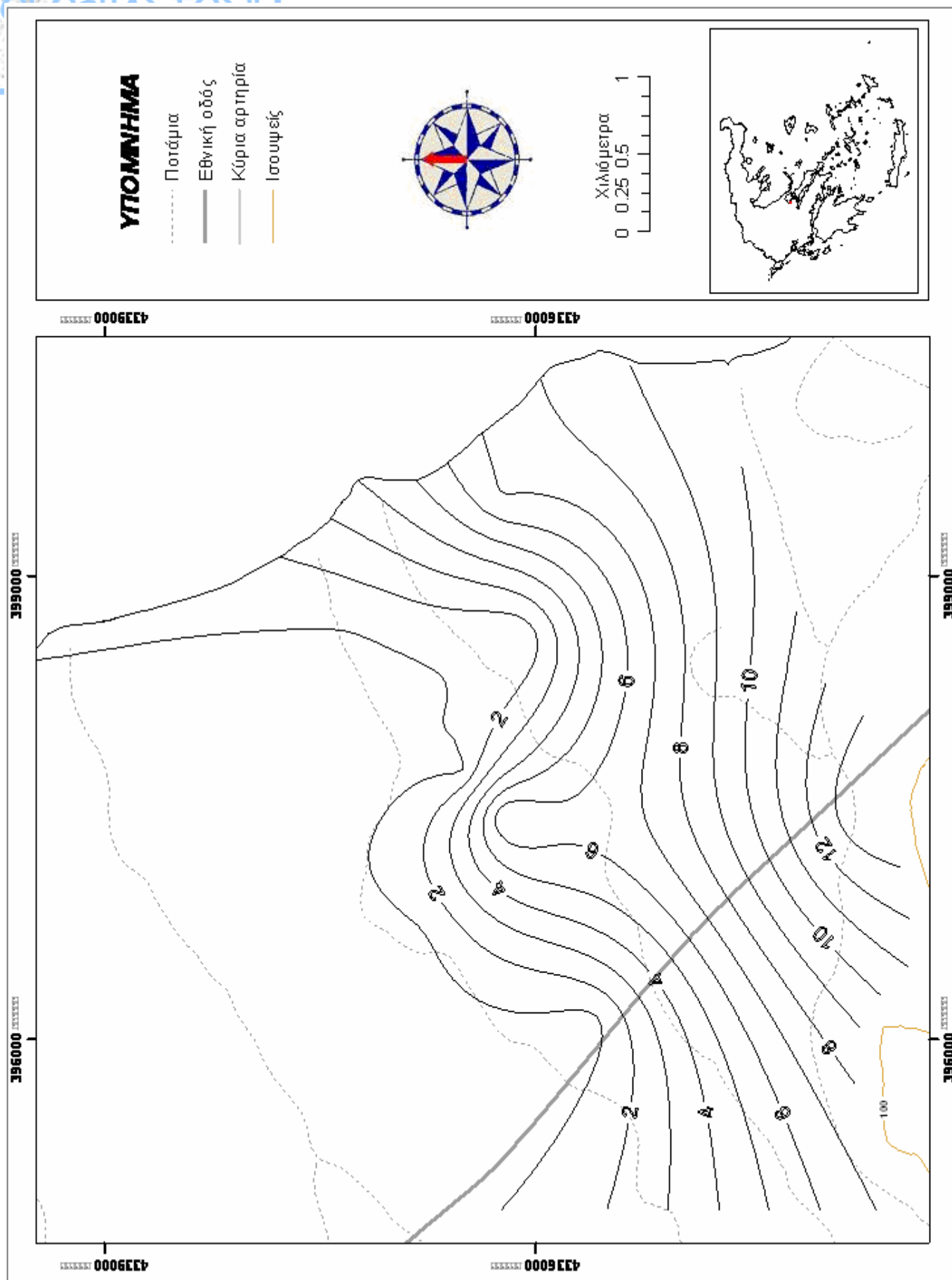




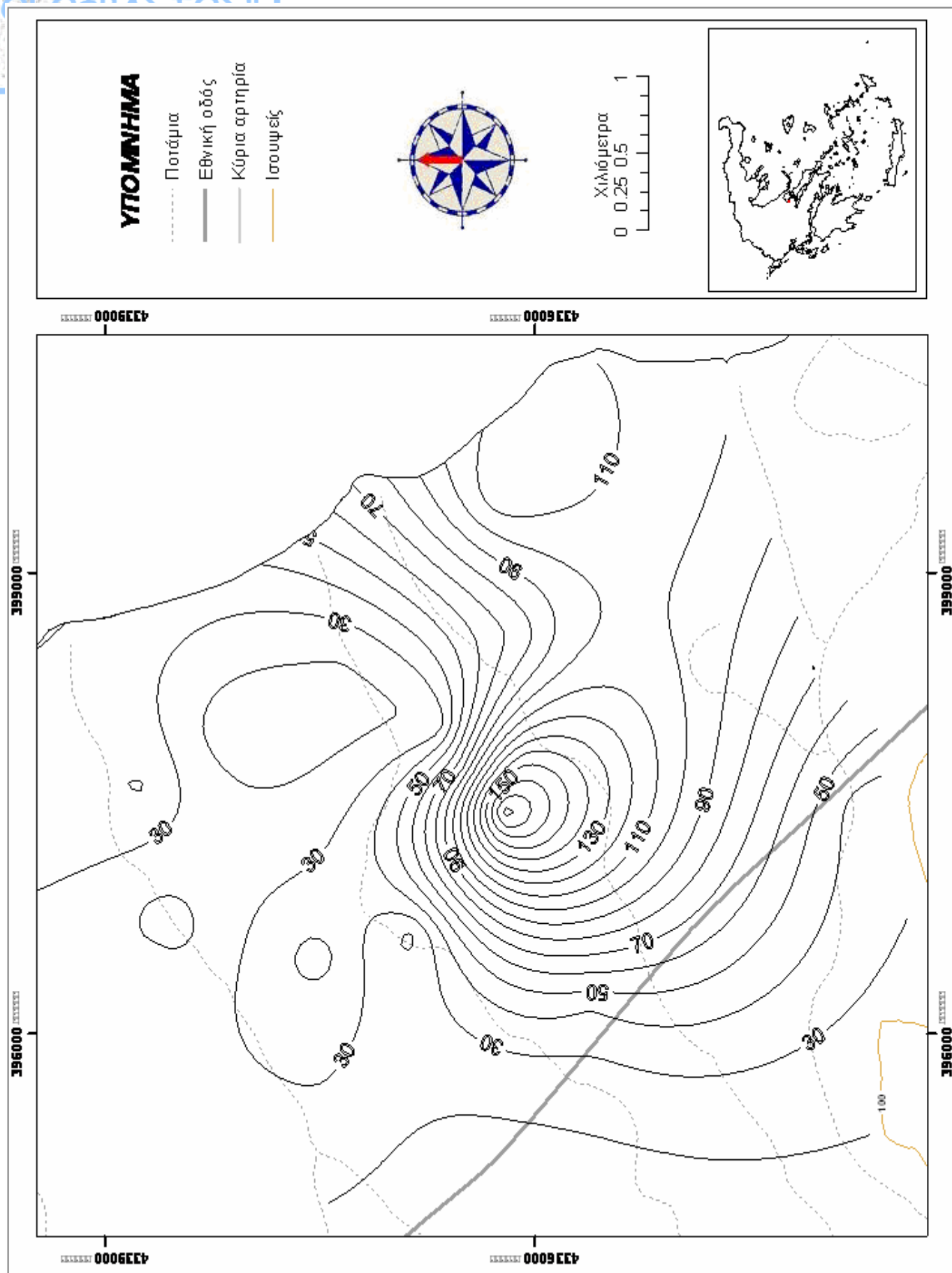


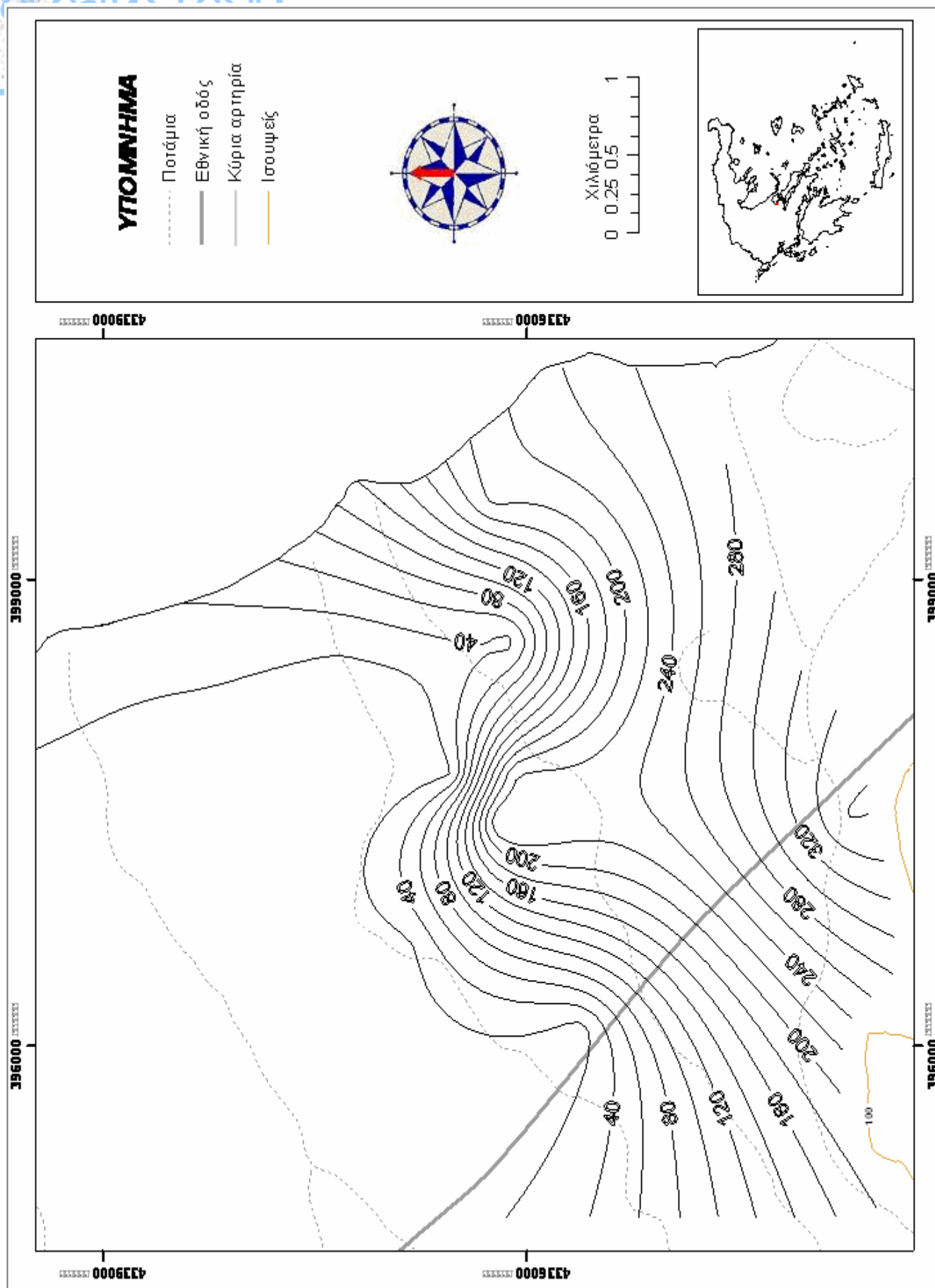


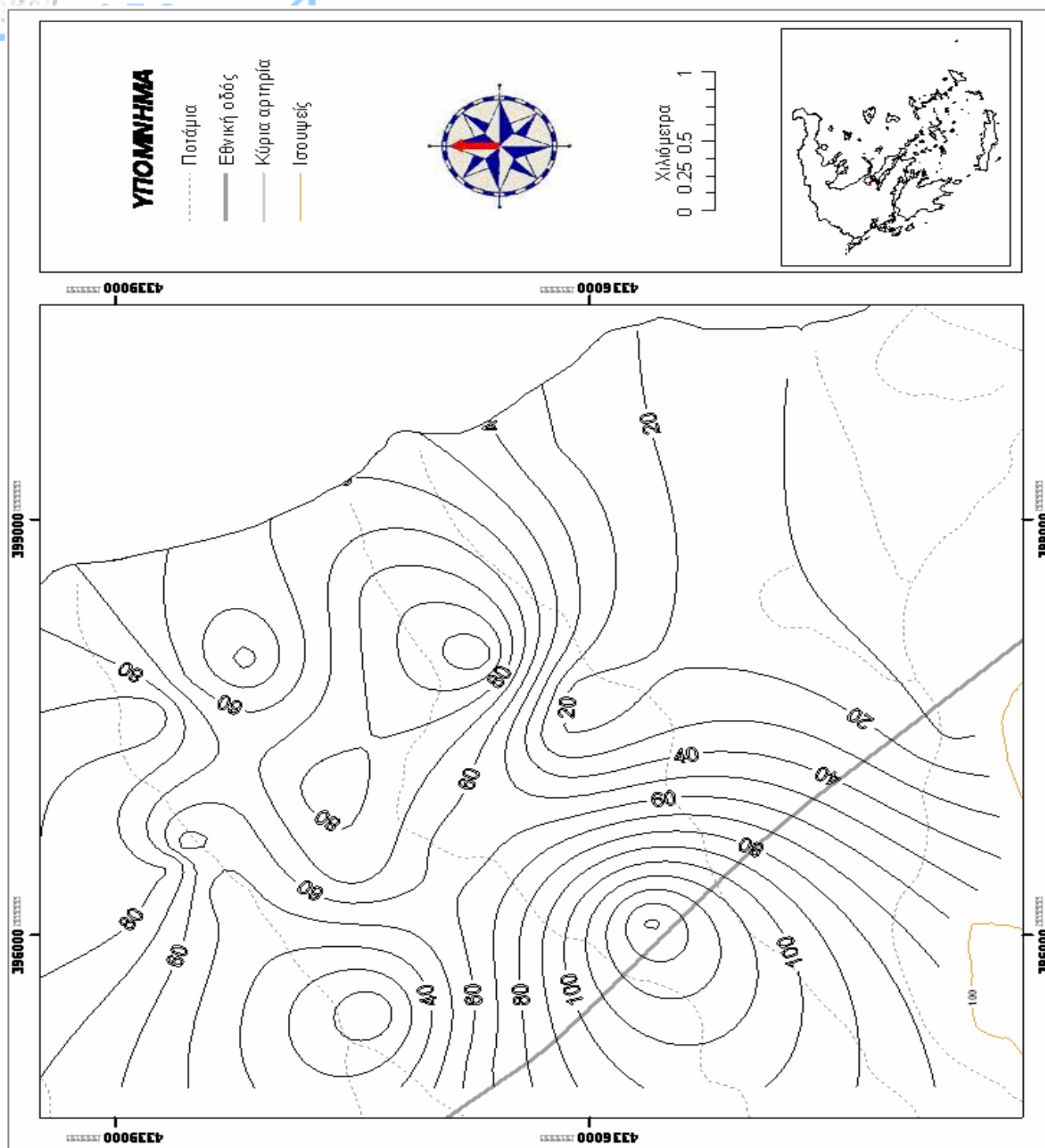


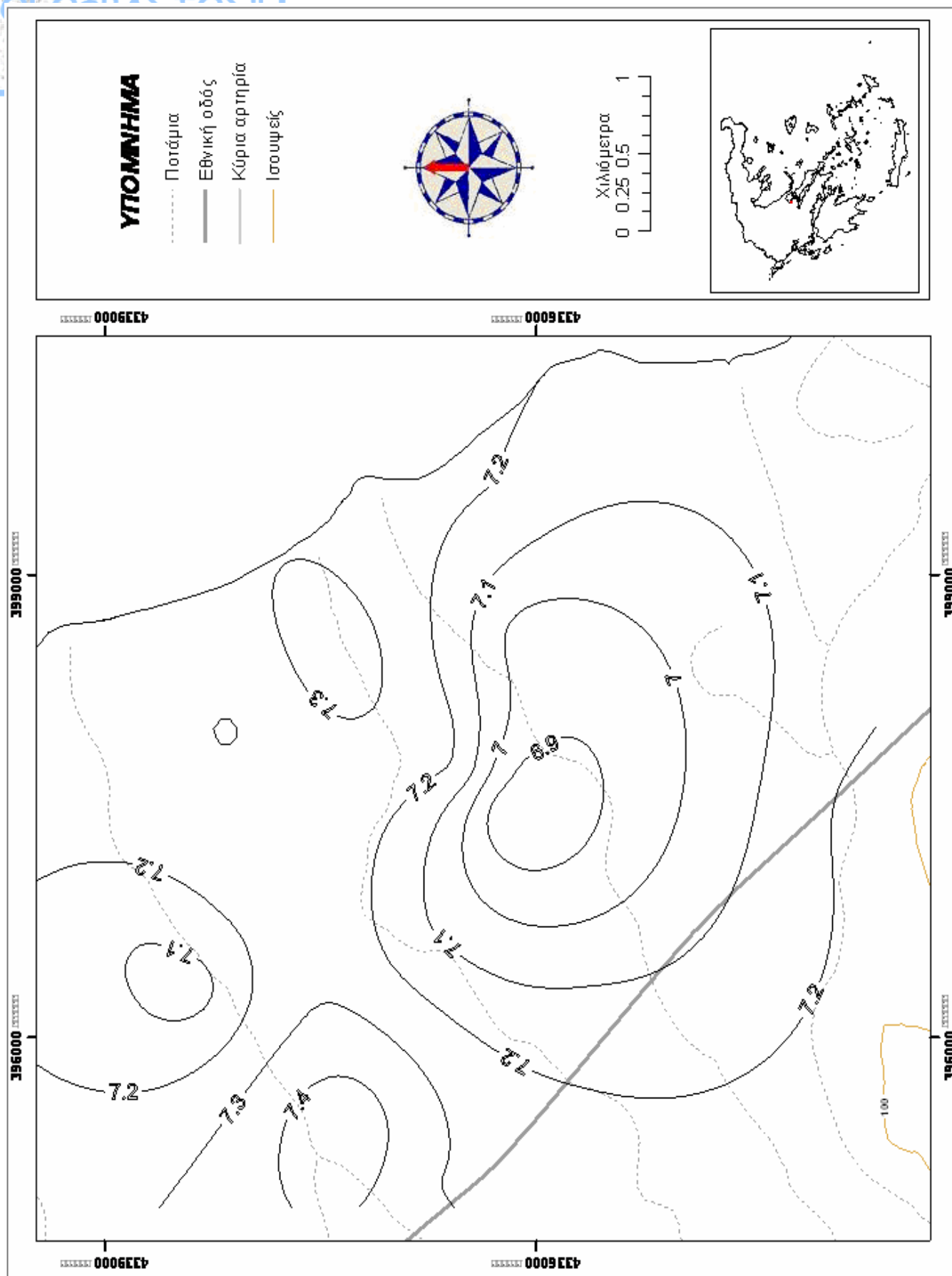


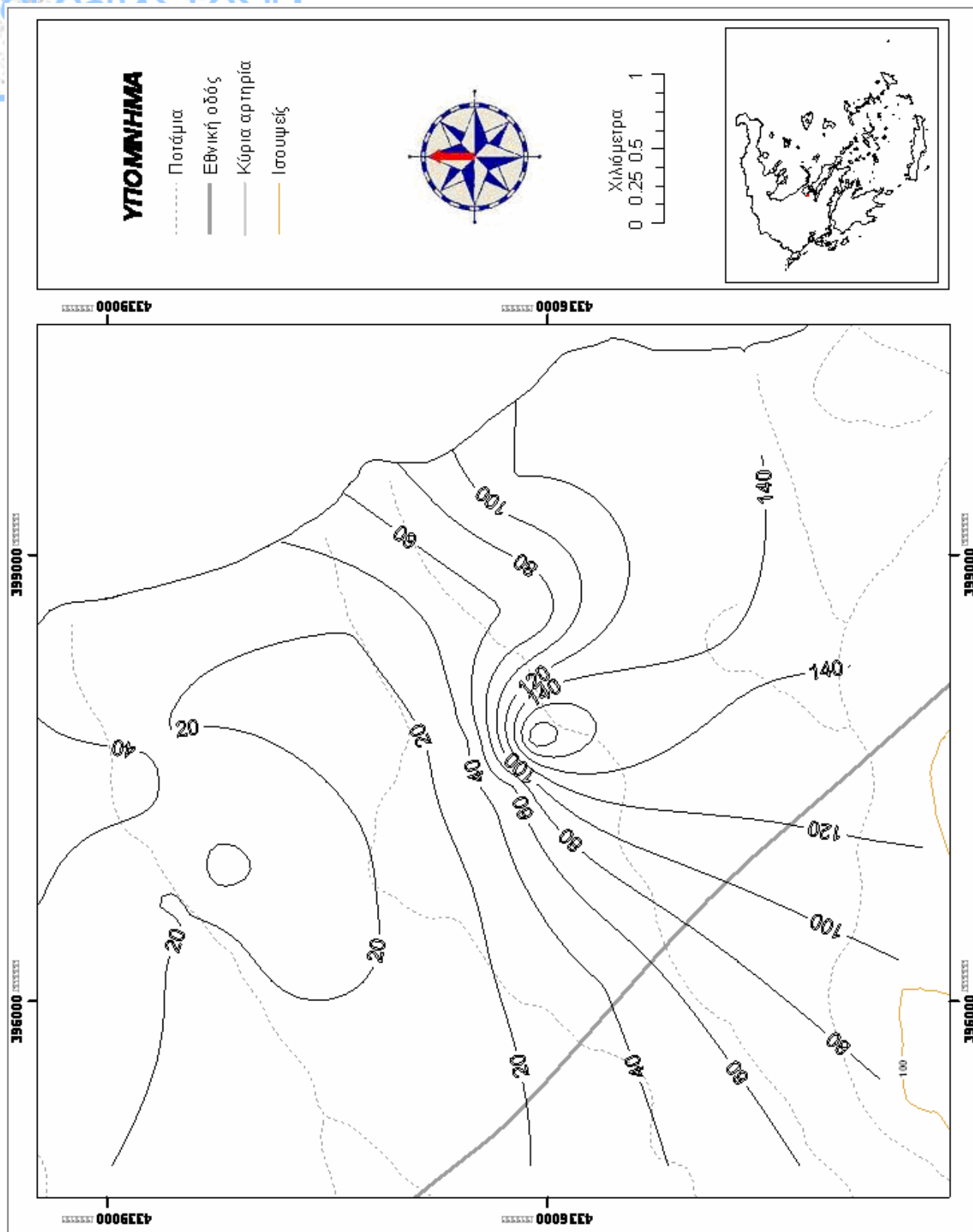




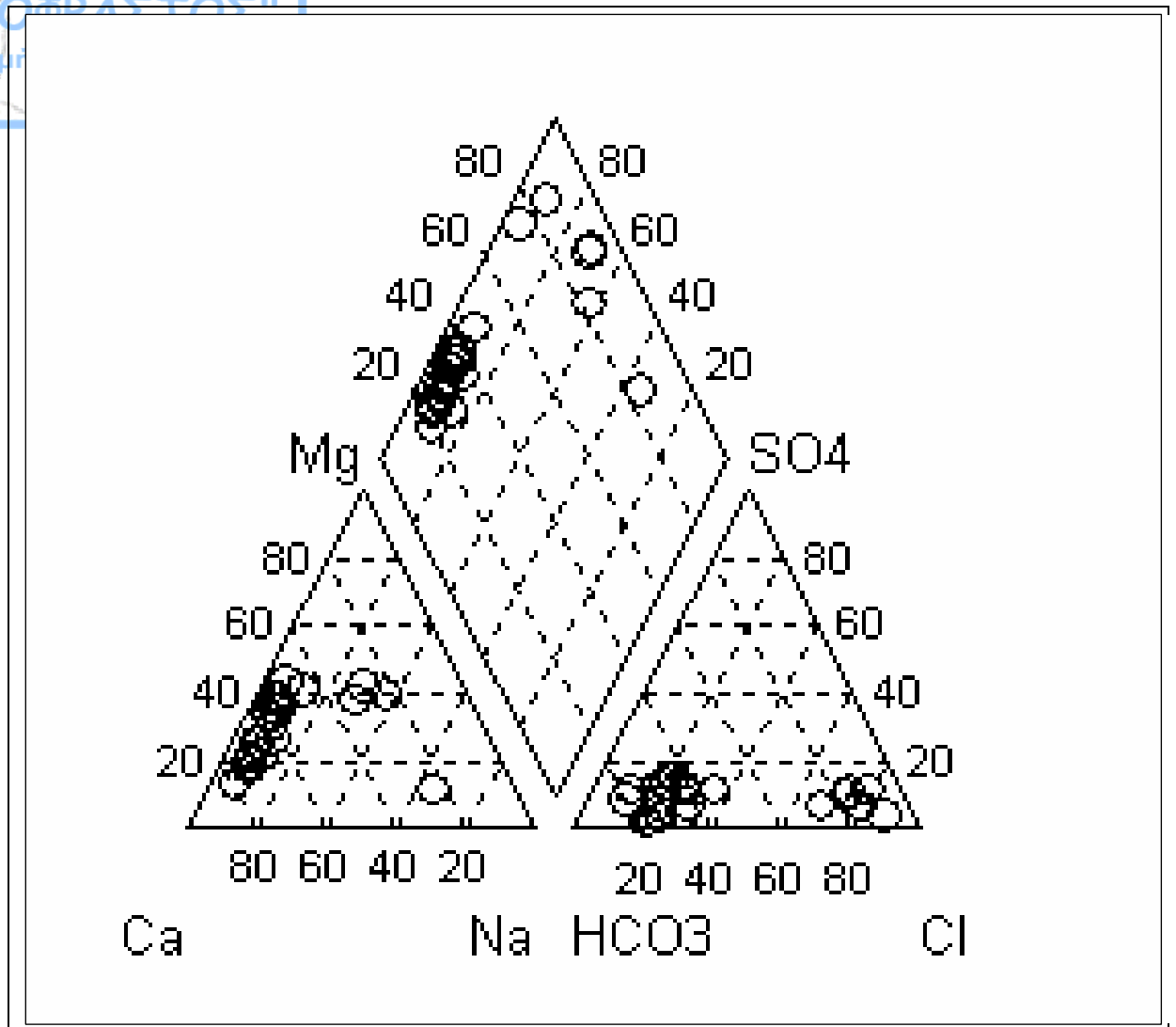


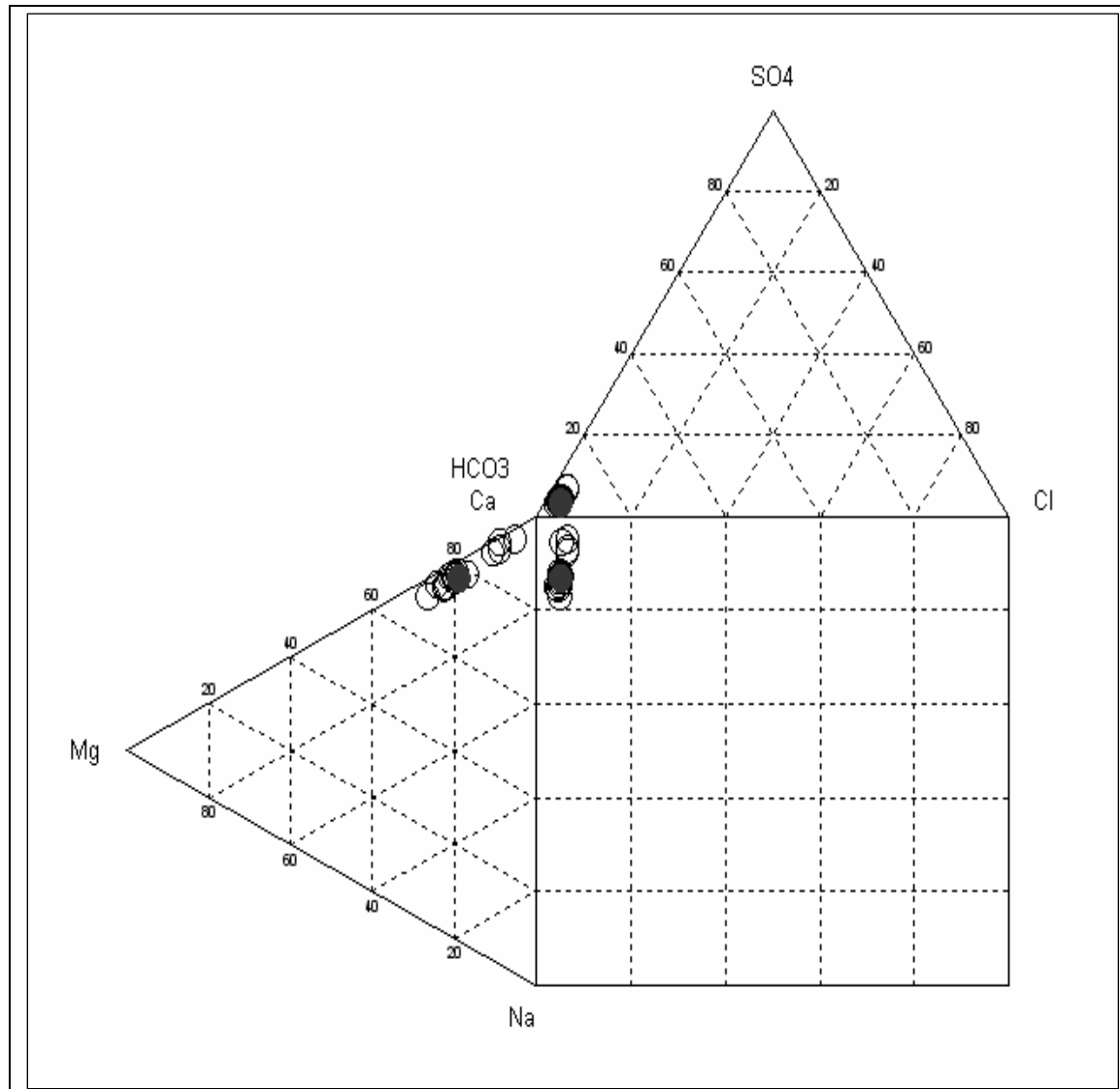




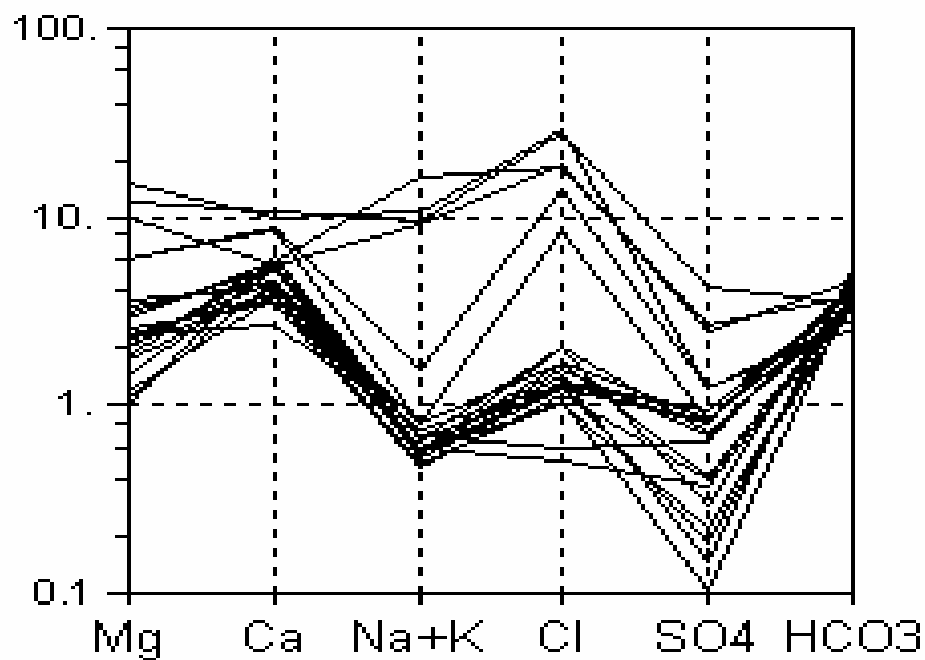


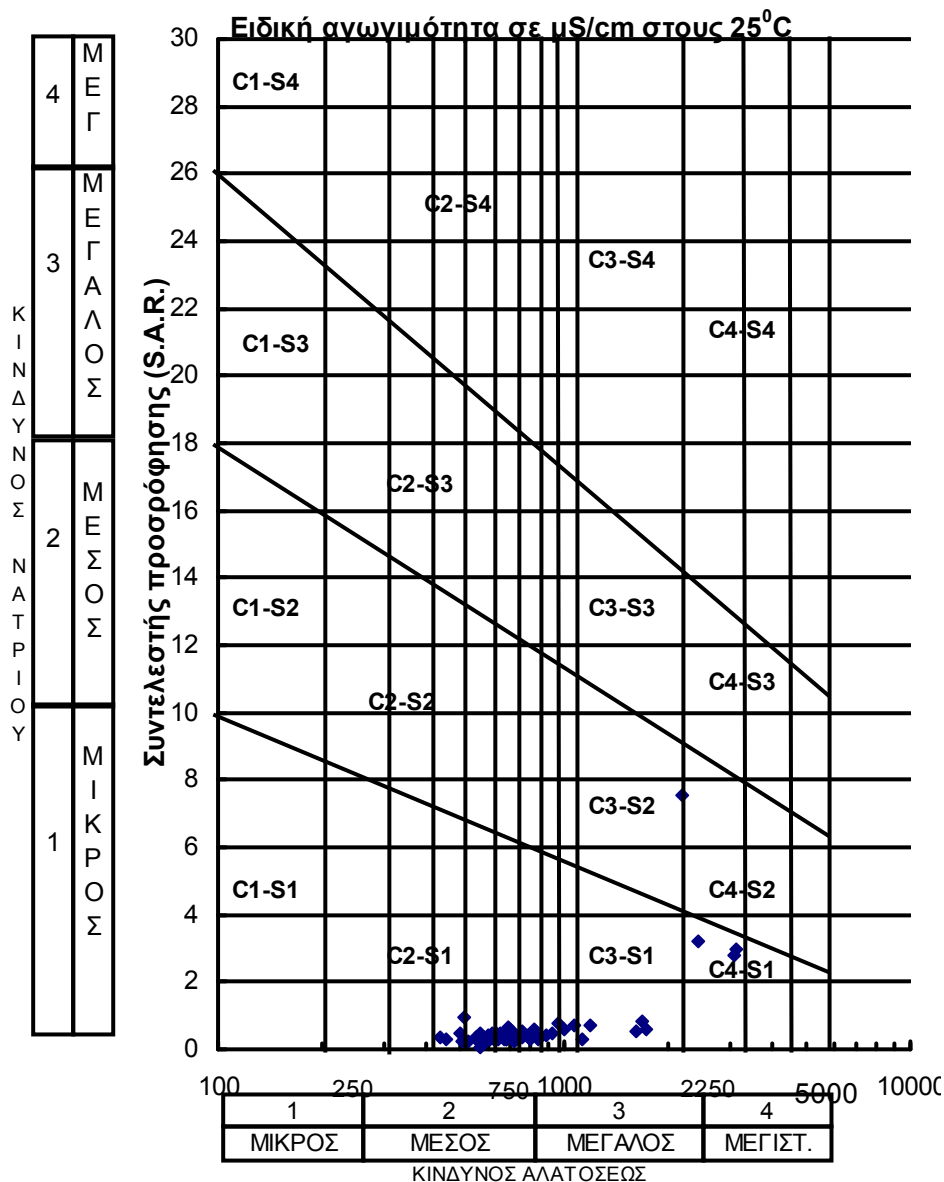


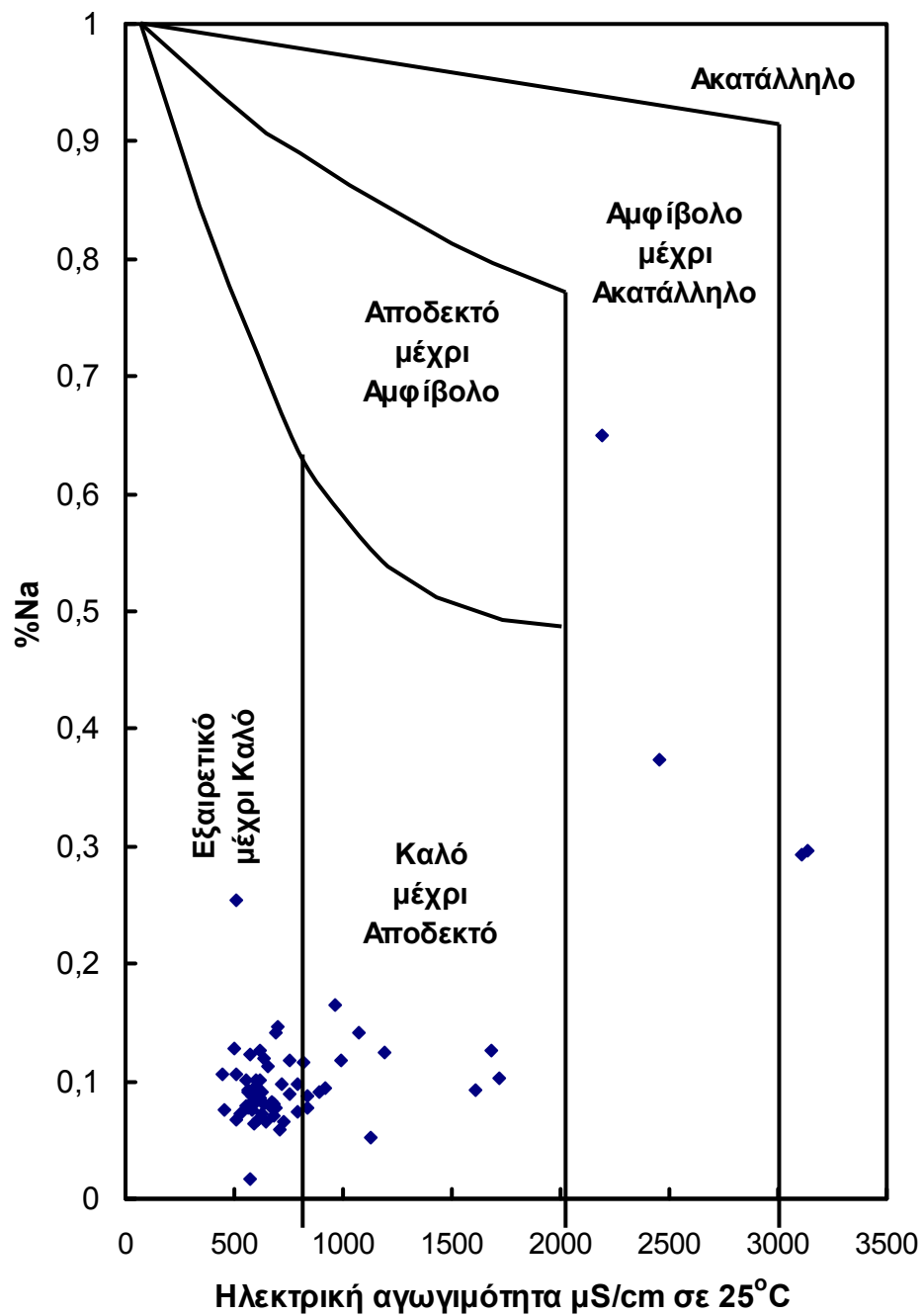




Concentration (meq/l)









| ΟΝΟΜΑΣΙΑ | X         | Y          | Στάθμη Ηρεμίας |
|----------|-----------|------------|----------------|
| G233     | 396105    | 4335614    | 16,33          |
| G235     | 398871    | 4335724    | 2,64           |
| Γ114     | 397153,94 | 4335959,35 | 0,52           |
| G244     | 397769    | 4336087    | -0,05          |
| K31      | 397444    | 4336211    | 6,4            |
| K14      | 399512    | 4336244    | -2,56          |
| G249     | 397082    | 4336422    | 3,4            |
| K30      | 397748    | 4336527    | -3,04          |
| Γ12      | 397602,18 | 4336716,55 | 5,21           |
| G221     | 397210    | 4336844    | 1,53           |
| G222     | 396630    | 4336859    | 10,8           |
| Γ42      | 395149,29 | 4337568,99 | 13,34          |
| G179     | 395319    | 4337747    | 14,22          |
| F10      | 398809    | 4337855    | -0,12          |
| G181     | 395305    | 4338215    | 10,7           |
| A01      | 398632,1  | 4338616,27 | 1,26           |
| F7       | 398280    | 4338744    | 0,15           |
| G239     | 398312    | 4335134    | 7,54           |
| G217     | 398017    | 4336685    | -0,71          |
| G198     | 397045    | 4337711    | 1,4            |

| ΚΩΔ.<br>ΓΕΩΤ. | X      | Y       | pH   | T(Wa) | E.C. | Na  | K   | Mg     | Ca   | Cl   | SO <sub>4</sub> | NO <sub>3</sub> | HCO <sub>3</sub> | SAR  | %NA   |
|---------------|--------|---------|------|-------|------|-----|-----|--------|------|------|-----------------|-----------------|------------------|------|-------|
| K 31          | 397444 | 4336211 | 6,8  | 18,2  | 3140 | 240 | 7   | 185,04 | 200  | 1024 | 60              | 20,24           | 175              | 2,94 | 29,65 |
| K 30          | 397748 | 4336527 | 7,18 | 18,3  | 1124 | 18  | 0,8 | 71,79  | 171  | 300  | 40              | 67,76           | 195              | 0,29 | 5,25  |
| K 14          | 399512 | 4336244 | 7,19 | 18,1  | 2450 | 205 | 7   | 118,18 | 110  | 682  | 120             | 30,8            | 275              | 3,23 | 37,40 |
| G 244         | 397769 | 4336087 | 6,89 | 18,3  | 3110 | 214 | 4,2 | 147,67 | 210  | 1004 | 200             | 15,4            | 210              | 2,77 | 29,37 |
| G 223         | 396105 | 4335614 | 7,15 | 18,1  | 713  | 12  | 0,6 | 37,12  | 108  | 44   | 40              | 143,44          | 255              | 0,25 | 5,94  |
| G 222         | 396630 | 4336859 | 7,13 | 18,3  | 578  | 13  | 0,6 | 17,33  | 105  | 50   | 7               | 53,24           | 325              | 0,32 | 8,25  |
| G 217         | 398017 | 4336685 | 7,25 | 18,1  | 670  | 15  | 1   | 22,4   | 123  | 73   | 34              | 108,68          | 195              | 0,32 | 7,75  |
| G 198         | 397045 | 4337711 | 7,29 | 18    | 601  | 13  | 0,9 | 29,3   | 77,6 | 54   | 33              | 85,8            | 225              | 0,31 | 8,33  |
| G 185         | 396314 | 4338364 | 7,05 | 18,1  | 458  | 11  | 0,8 | 25,62  | 75,6 | 37   | 5               | 45,76           | 235              | 0,27 | 7,57  |

| ΣΤΟΙΧΕΙΑ         | min | max  | ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ |
|------------------|-----|------|-----------|
| SO <sub>4</sub>  | 20  | 140  | 80        |
| pH               | 6,8 | 7,5  | 7.15      |
| Na               | 0,0 | 180  | 90        |
| Cl               | 0,0 | 340  | 170       |
| Mg               | 0,0 | 160  | 80        |
| K                | 150 | 360  | 255       |
| Ca               | 1   | 14   | 7.5       |
| E.C.             | 40  | 220  | 130       |
| NO <sub>3</sub>  | 11  | 1050 | 530.5     |
| HCO <sub>3</sub> | 445 | 3200 | 1822.5    |

