

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ



**ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑΣ**

**ΜΑΡΙΑ Κ. ΤΣΙΡΟΓΙΑΝΝΗ
ΓΕΩΛΟΓΟΣ**

**ΥΔΡΟΧΗΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΥΔΡΟΦΟΡΩΝ
ΣΤΡΩΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΣΤΥΛΙΔΑΣ
ΤΟΥ ΝΟΜΟΥ ΦΘΙΩΤΙΔΑΣ**

ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών του Τμήματος Γεωλογίας
Ειδίκευση " Εφαρμοσμένη και Περιβαλλοντική Γεωλογία "

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2007

ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ

**ΥΔΡΟΧΗΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΥΔΡΟΦΟΡΩΝ ΣΤΡΩΜΑΤΩΝ
ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΣΤΥΛΙΔΑΣ ΤΟΥ ΝΟΜΟΥ ΦΘΙΩΤΙΔΑΣ**

ΜΑΡΙΑ Κ. ΤΣΙΡΟΓΙΑΝΝΗ

Γεωλόγος

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΣΥΜΒΟΥΛΕΥΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Επιβλέπων: Καθηγητής Γεώργιος Σούλιος

Μέλος: Καθηγητής Γεώργιος Δημόπουλος

Μέλος: Λέκτορας Κωνσταντίνος Βουδούρης

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Μετά την ολοκλήρωση της εργασίας αυτής αισθάνομαι την υποχρέωση να ευχαριστήσω όλους όσους με βοήθησαν με οποιονδήποτε τρόπο κατά την διάρκεια της εκπόνησής της.

Ευχαριστώ ειλικρινά τον καθηγητή μου κ. Γεώργιο Σούλιο για την πολύτιμη βοήθειά του και την άψογη καθοδήγησή του στη διάρκεια της διατριβής, καθώς και τα άλλα μέλη της επιτροπής τον καθηγητή κ. Γεώργιο Δημόπουλο και τον λέκτορα κ. Κωνσταντίνο Βουδούρη για τις εύστοχες επισημάνσεις τους στο τελικό κείμενο της διατριβής.

Τις θερμότερες ευχαριστίες μου προς τον φίλο, συνάδελφο και υποψήφιο διδάκτορα Γεωλόγο κ. Χρήστο Μυριούνη για την πολύτιμη καθοδήγησή του στην χρήση σχεδιαστικών προγραμμάτων H/Y.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τον συνάδελφο υποψήφιο Διδάκτορα. κ. Σωτηριάδη Μιχάλη για την βοήθεια του στην εκμάθηση των χημικών αναλύσεων καθώς και τους συναδέλφους και Msc γεωλόγους κ. Εμμανουήλ Πάτσιο και κ. Στέργιο Σιουμουρέκη όπως επίσης και το μεταπτυχιακό φοιτητή κ. Αχιλλέα Θωμόπουλο, για την ηθική τους συμπαράσταση και τις συζητήσεις σε τεχνικά και επιστημονικά θέματα.

Ειδικότερα θα ήθελα να ευχαριστήσω :

- τον κ. Δ. Δημητρέςσα, Υποδιευθυντή του τμήματος των γεωτρήσεων της υπηρεσίας Εγγείων Βελτιώσεων της Νομαρχιακής Αυτοδιοίκησης του νομού Φθιώτιδας, για την καθοδήγησή του σε ότι αφορά τις γεωτρήσεις της περιοχής.
- τους κ. Κωνσταντίνο Φούντα, κ. Αθανάσιο Βούλγαρη και κ. Χρήστο Μπακάκο, προέδρους των Γεωργικών Συνεταιρισμών των χωριών Αυλάκι, Αγία Μαρίνα και Στυλίδα αντίστοιχα, για την πολύτιμη βοήθειά τους στη δειγματοληψία νερού από τις γεωτρήσεις της περιοχής.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για την συμπαράσταση και την απεριόριστη ηθική υποστήριξη που μου παρείχαν καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Η εργασία αυτή αφιερώνεται
στην οικογένειά μου

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΠΡΟΛΟΓΟΣ	6
2. ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΚΑΙ ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	8
2.1 Γεωγραφικά στοιχεία	8
2.2 Γεωμορφολογικά στοιχεία	11
2.3 Γεωλογικά στοιχεία	13
2.3.1 Γενικά στοιχεία Υποπελαγονικής ζώνης	13
2.3.2 Στρωματογραφία	15
2.3.2.1 Ασβεστολιθικές μάζες Τριαδικού – Ιουρασικού	16
2.3.2.2 Σχιστοκερατολιθική διάπλαση με οφιολίθους	16
2.3.2.3 Ανωκρητιδικός ασβεστόλιθος εξ επικλύσεως	17
2.3.2.4 Ανωκρητιδικός φλύσχος	17
2.3.2.5 Νεογενές αδιαίρετο	17
2.3.2.6 Τεταρτογενές Αδιαίρετο	18
2.3.3 Τεκτοορογενετική εξέλιξη της Υποπελαγονικής	18
3. ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	21
3.1 Εισαγωγή	21
3.2 Υδρολιθολογία	21
3.3 Πιεζομετρία	22
3.4 Γεωτρήσεις και πηγές	28
4. ΧΗΜΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ	30
5. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	35
5.1 Υδροχημικά διαγράμματα	35
5.1.1 Συσχετιστικά διαγράμματα	36
5.1.2 Υδροχημικά διαγράμματα	44
5.1.2.1 Διαγράμματα Durov	45
5.1.2.2 Διαγράμματα Piper	46
5.1.2.3 Τριγωνικά διαγράμματα	48
5.1.2.4 Τετραγωνικό διάγραμμα	50
5.1.2.5 Ημιλογαριθμικό διάγραμμα ή διάγραμμα Schoeller	51
5.1.2.6 Ακτινικά πολυγωνικά διαγράμματα	52
5.1.2.7 Οριζόντια πολυγωνικά διαγράμματα	53

5.2 Διαγράμματα S.A.R. – αγωγιμότητας	53
5.3 Υδροχημικοί χάρτες	57
5.4 Ιοντικοί λόγοι	61
6. ΣΥΖΗΤΗΣΗ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	67
7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	72
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	

1. ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα Διατριβή Ειδίκευσης εκπονήθηκε στα πλαίσια του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών του τμήματος Γεωλογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης στον κλάδο ειδίκευσης «Εφαρμοσμένη και Περιβαλλοντική Γεωλογία». Η ανάθεσή της έγινε από το τμήμα Γεωλογίας με πρόταση από τον Καθηγητή του Α.Π.Θ. κ. Γ. Σούλιο, ο οποίος και ήταν ο κύριος επιβλέπων αυτής. Τα άλλα δύο μέλη της τριμελούς επιτροπής ήταν ο Καθηγητής κ. Γ. Δημόπουλος και ο Λέκτορας κ. Κ. Βουδούρης.

Ουσιαστικό αντικείμενο της εργασίας αυτής είναι ο καθορισμός του χημισμού των υπόγειων νερών των παράκτιων υδροφόρων στρωμάτων στην περιοχή της Στυλίδας του νομού Φθιώτιδας και η εκτίμηση της ποιότητάς τους. Για το σκοπό αυτό πραγματοποιήθηκε αρχικά γεωλογική (στρωματογραφική και τεκτονική) διερεύνηση της περιοχής και στη συνέχεια απογραφή των γεωτρήσεων αυτής. Επιπλέον πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις στάθμης σε 13 γεωτρήσεις και ελήφθησαν 43 δείγματα νερού για την εκτέλεση χημικών αναλύσεων, στο Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας του Α.Π.Θ. Τόσο οι μετρήσεις της στάθμης όσο και η συλλογή δειγμάτων νερού έγιναν για δύο περιόδους, μία το διάστημα Αυγούστου – Σεπτεμβρίου 2005 και μία το διάστημα Μαΐου – Απριλίου 2006.

Από πλευράς οργάνωσης η διατριβή αποτελείται από έξι κεφάλαια. Μετά την παρούσα εισαγωγή στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στα γεωγραφικά και γεωμορφολογικά στοιχεία της περιοχής έρευνας και αναλύεται η γεωλογία της, όπου και παρουσιάζονται αναλυτικά οι σχηματισμοί που εμφανίζονται σ' αυτήν.

Στο τρίτο κεφάλαιο αξιολογούνται οι υδρογεωλογικές συνθήκες της περιοχής. Αρχικά γίνεται αναφορά στην υδρολιθολογία των σχηματισμών, ενώ στη συνέχεια παρουσιάζεται το πιεζομετρικό καθεστώς των υδροφόρων στρωμάτων τόσο κατά την περίοδο Αυγούστου – Σεπτεμβρίου 2005 όσο και Μαΐου - Απριλίου 2006. Στο ίδιο κεφάλαιο περιγράφεται η αξιοποίηση του υδατικού δυναμικού μέσω των υφιστάμενων γεωτρήσεων που υπάρχουν στην περιοχή μελέτης.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων και των δύο περιόδων δειγματοληψίας καθώς και οι μέθοδοι που ακολουθήθηκαν για την εξαγωγή τους.

Το πέμπτο κεφάλαιο αναφέρεται στην αξιολόγηση των χημικών δεδομένων. Συγκεκριμένα παρουσιάζονται γνωστά από την βιβλιογραφία υδροχημικά

διαγράμματα που συσχετίζουν τόσο τις συγκεντρώσεις των διαφόρων ιόντων με τη στάθμη των υδροφόρων οριζόντων όσο και μεταξύ τους. Επιπλέον παρατίθενται θεματικοί υδροχημικοί χάρτες για τις δύο περιόδους δειγματοληψίας και χάρτες με τις καμπύλες ίσων διαφορών των ιόντων. Στη συνέχεια υπολογίζονται διάφοροι ιοντικοί λόγοι και παρουσιάζονται οι θεματικοί χάρτες κατανομής τους. Συγχρόνως, μέσω των διαγραμμάτων S.A.R. – αγωγιμότητας, διαπιστώνεται η καταλληλότητα των νερών της περιοχής για άρδευση.

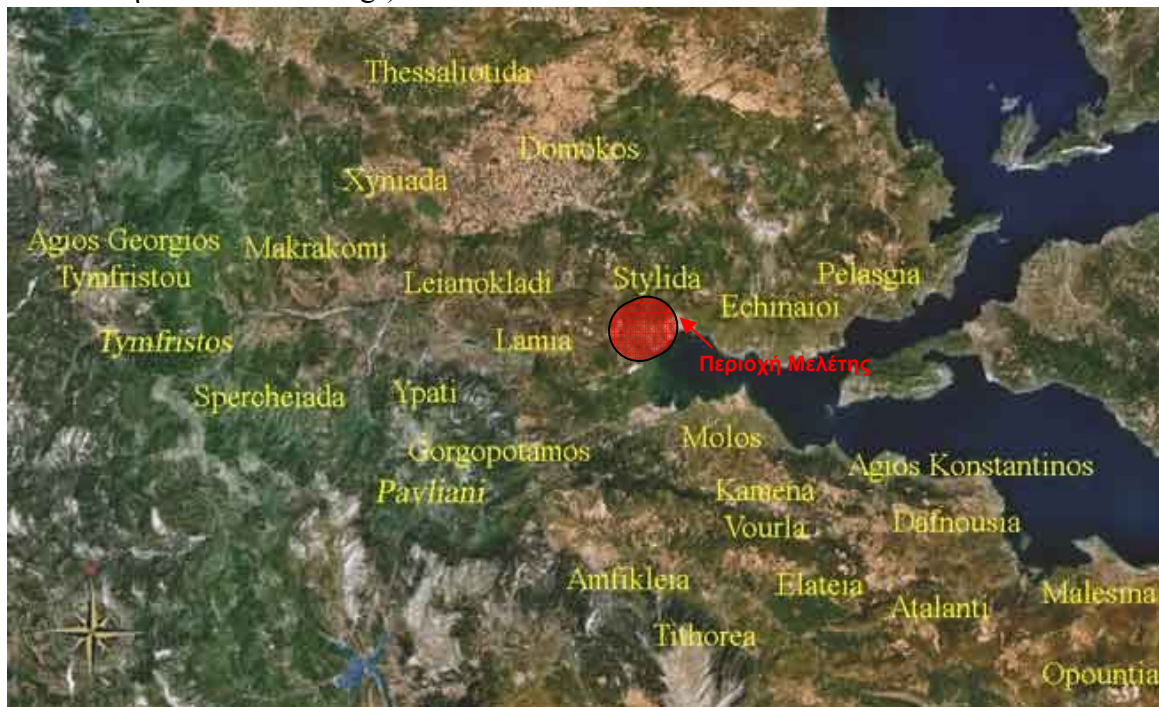
Τέλος στο έκτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα που προέκυψαν από τη διατριβή αυτή.

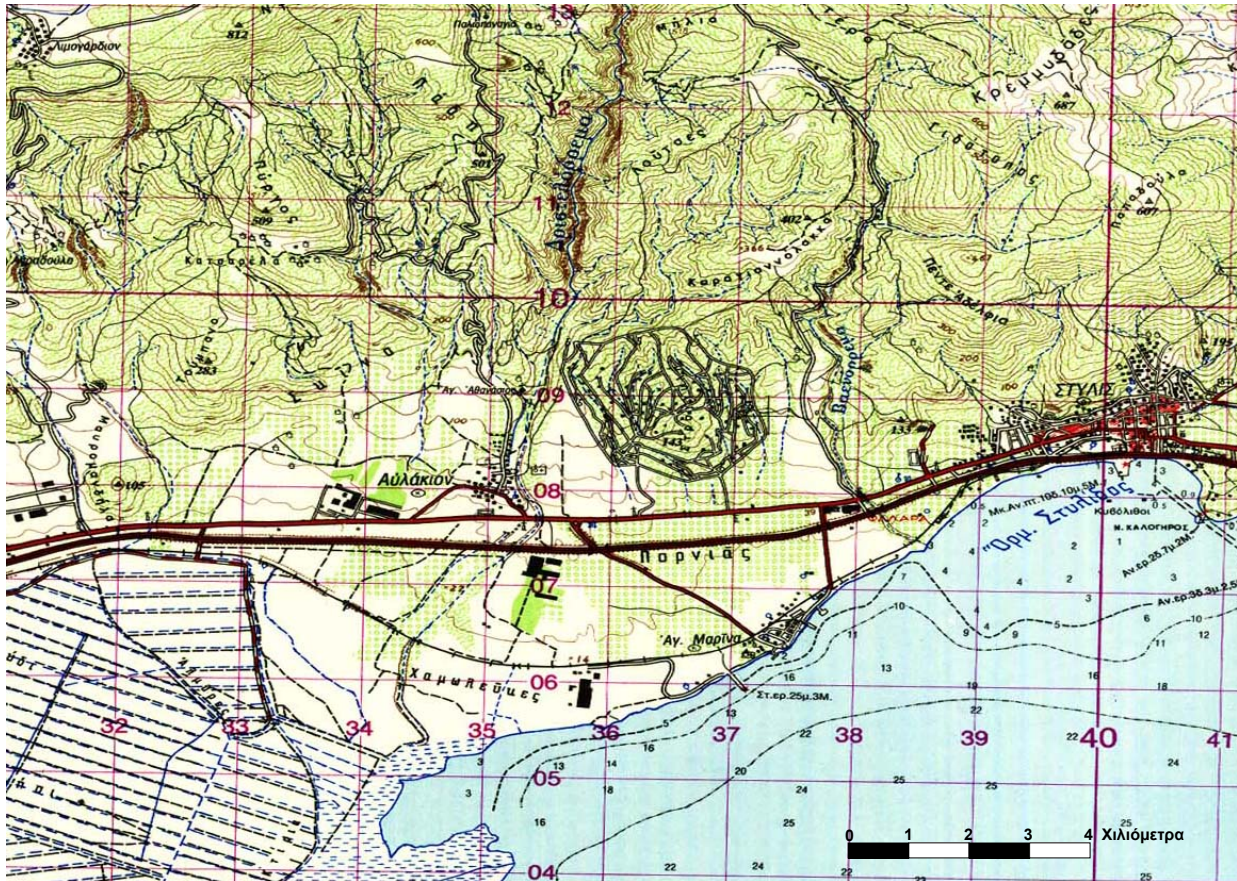
2. ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΚΑΙ ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

2.1 Γεωγραφικά στοιχεία

Η εξεταζόμενη περιοχή βρίσκεται περίπου 15 χιλιόμετρα ανατολικά της πόλης της Λαμίας, στον νομό Φθιώτιδας (Εικόνα 2.1). Συγκεκριμένα ανήκει στο ανατολικό τμήμα της λεκάνης απορροής του Σπερχειού ποταμού και αποτελείται από τα χωριά Αυλάκι και Αγία Μαρίνα καθώς και από την Στυλίδα που είναι το εμπορικό λιμάνι του νομού. Η περιοχή μελέτης οριοθετείται στο νότιο τμήμα της από τον όρμο Στυλίδας και κατ' επέκταση από τον Μαλιακό κόλπο, στα ανατολικά από την Στυλίδα, στα δυτικά από την Βιομηχανική περιοχή της Λαμίας ενώ στα βόρεια υπάρχουν διάφορα υψώματα τα οποία ανήκουν στο ορεινό σύμπλεγμα του όρους Όθρυς. Γενικά η περιοχή διαρρέεται από μικρά ρέματα ορισμένα από τα οποία είναι το Βαενόρεμα και το Δριστελόρεμα (Χάρτης 2.1).

Εικόνα 2.1 Δορυφορική εικόνα του νομού Φθιώτιδας (από την ηλεκτρονική διεύθυνση: www.fthiotida.gr)





Χάρτης 2.1 Τοπογραφικός χάρτης ευρύτερης περιοχής μελέτης. (Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού)

Από διοικητική άποψη η περιοχή μελέτης ανήκει στο Δήμο Στυλίδας και συγκεκριμένα, η περιοχή μελέτης περιλαμβάνει τρία Δημοτικά Διαμερίσματα, αυτό του Αυλακίου, της Αγίας Μαρίνας και της Στυλίδας. Η πόλη της Στυλίδας και ο ομώνυμος όρμος φαίνονται στην φωτογραφία που ακολουθεί (Φωτ. 2.1).

Τα τρία αυτά Δημοτικά Διαμερίσματα, από στοιχεία της Εθνικής Στατιστικής Υπηρεσίας (2001) έχουν συνολικά πληθυσμό 6303 κατοίκων, ο οποίος και παρουσιάζει σχετική αύξηση σε σχέση με την απογραφή του 1991 (Πίνακας 2.1). Αναφορικά με την οικονομία των κατοίκων της περιοχής, αυτοί ασχολούνται κυρίως με γεωργικές δραστηριότητες (ελιές, βαμβάκια, τριφύλλια, καλαμπόκια, καρυδιές κ.λ.π.), με την αλιεία (σαρδέλες, κεφαλόπουλα, γαρίδες, κυδώνια, γυαλιστερές κ.α.), ενώ το λιμάνι τόσο της Στυλίδας όσο και της Αγίας Μαρίνας χρησιμοποιείται για φορτώσεις και εκφορτώσεις εμπορευμάτων κυρίως λιπασμάτων, ξυλείας και μεταλλευμάτων.

Στην περιοχή μελέτης υπάρχουν διάφορες εργοστασιακές μονάδες και αποθήκες εμπορευμάτων, ορισμένες από τις οποίες είναι, η "ΣΟΛΑΜ Α.Ε."

(εργοστάσιο εμπορίας σιδήρου) και η “ΚΟΝΤΟΓΕΩΡΓΟΣ & ΣΙΑ Ε.Π.Ε.” (εργοστάσιο κατασκευής μεταλλικών βιομηχανικών κτηρίων), που απέχουν 2000m από το Αυλάκι και η “NEXANS HELLAS” (εργοστάσιο παραγωγής καλωδίων), που βρίσκεται στην Αγία Μαρίνα. Επιπλέον, στον επαρχιακό δρόμο Λαμίας-Στυλίδας, 1000m από την πρώτη διασταύρωση της Αγίας Μαρίνας υπάρχει ένα ιδιωτικό ελαιοτριβείο, ένα ιδιωτικό φυτώριο με λουλούδια και δέντρα, επίσης πάνω στον δρόμο, 200m από την πρώτη διασταύρωση του Αυλακίου, ενώ στην ίδια περιοχή λειτουργεί και η τυροκομική μονάδα “ΤΣΑΜΑΔΙΑΣ”

Σημαντικό επίσης, είναι να αναφερθεί, ότι η Αγία Μαρίνα αποτελεί έναν από τους υδροβιότοπους του δέλτα του Σπερχειού ποταμού, ο οποίος φιλοξενεί πολλά είδη πτηνών, τα οποία είτε μένουν μόνιμα στην περιοχή είτε μεταναστεύουν εκεί κατά τους καλοκαιρινούς μήνες. Επιπλέον, η ευρύτερη θαλάσσια περιοχή αποτελεί βιότοπο για το ενδημικό ψάρι Ελληνοπυγόστεος (*Pungitius hellenicus*), είδος το οποίο βρίσκεται μόνο στο σύστημα του Σπερχειού. (Εμ. Δασενάκης, κ.α. 2002)

Πίνακας 2.1 Πληθυσμιακά στοιχεία για το Δήμο Στυλίδας.

	Μόνιμος πληθυσμός	
	2001	1991
Δημοτικό Διαμέρισμα Στυλίδας	5301	5088
Δημοτικό Διαμέρισμα Αγίας Μαρίνας	396	377
Δημοτικό Διαμέρισμα Αυλακίου	606	634
Σύνολο	6303	6099



Φωτ. 2.1: Πανοραμική φωτογραφία του λιμανιού της Στυλίδας. (από την ηλεκτρονική διεύθυνση: www.stilida.gr)

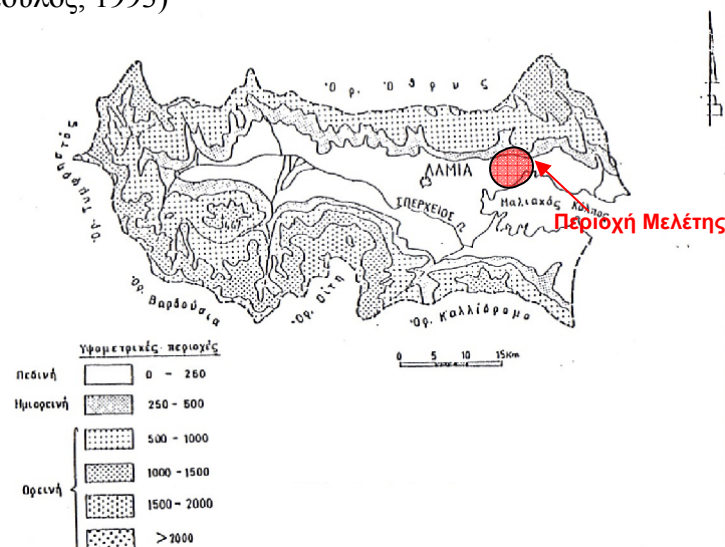
2.2 Γεωμορφολογικά στοιχεία

Όπως προαναφέρθηκε, η περιοχή μελέτης βρίσκεται εντός της λεκάνης του Σπερχειού ποταμού στο παραθαλάσσιο τμήμα του δήμου Στυλίδας, (σχήμα 2.2). Κρίνεται λοιπόν αναγκαίο να δοθούν κάποια γενικά χαρακτηριστικά της λεκάνης αυτής έτσι ώστε να γίνει περισσότερο κατανοητή η γεωμορφολογία της εξεταζόμενης περιοχής της συγκεκριμένης διατρίβης.

Η λεκάνη του Σπερχειού ποταμού είναι μια ταφροειδής στενή λωρίδα με διαμήκη άξονα που συμπίπτει σε γενικές γραμμές με την κοίτη του ποταμού και έχει συνολική επιφάνεια 2.116 km². Περιβάλλεται από τις τρεις πλευρές της από ορεινούς όγκους, βόρεια από το όρος Όθρυς, δυτικά από το όρος Τυμφρηστός και νότια από τα όρη Βαρδούσια, Οίτη και Καλλίδρομο. Ανατολικά η λεκάνη είναι ανοιχτή προς τη θάλασσα και οριοθετείται από το Μαλιακό κόλπο.

Ο Σπερχειός ποταμός ρέει εξ' ολοκλήρου στο έδαφος του Νομού Φθιώτιδας. Πηγάζει στα όρια των Νομών Ευρυτανίας και Φθιώτιδας, στις ανατολικές πλαγιές του Τυμφρηστού βορειοανατολικά από το Καρπενήσι, σε υψόμετρο 2.327 m. Διασχίζει την ομώνυμη κοιλάδα με μέσο υψόμετρο 700 m και εκβάλλει στο ΝΔ άκρο του Μαλιακού κόλπου, δυτικά του χωριού Ανθήλη και βόρεια των Θερμοπυλών, σχηματίζοντας πελματοειδές δέλτα και χαμηλές βαλτώδεις ακτές. Τα σπουδαιότερα υδρορεύματα από ανατολικά προς τα δυτικά είναι ο Ρουστιανίτης, η Βιστρίτσα, ο Ξερίας, ο Γοργοπόταμος, ο Ασωπός και ο Ξηριάς Λαμίας. (Γ. Αποστολόπουλος, 1993, Εμ. Δασενάκης, κ.α., 2002).

Σχήμα 2.2: Ορεογραφικός χάρτης λεκάνης απορροής Σπερχειού ποταμού, (Γ., Αποστολόπουλος, 1993)



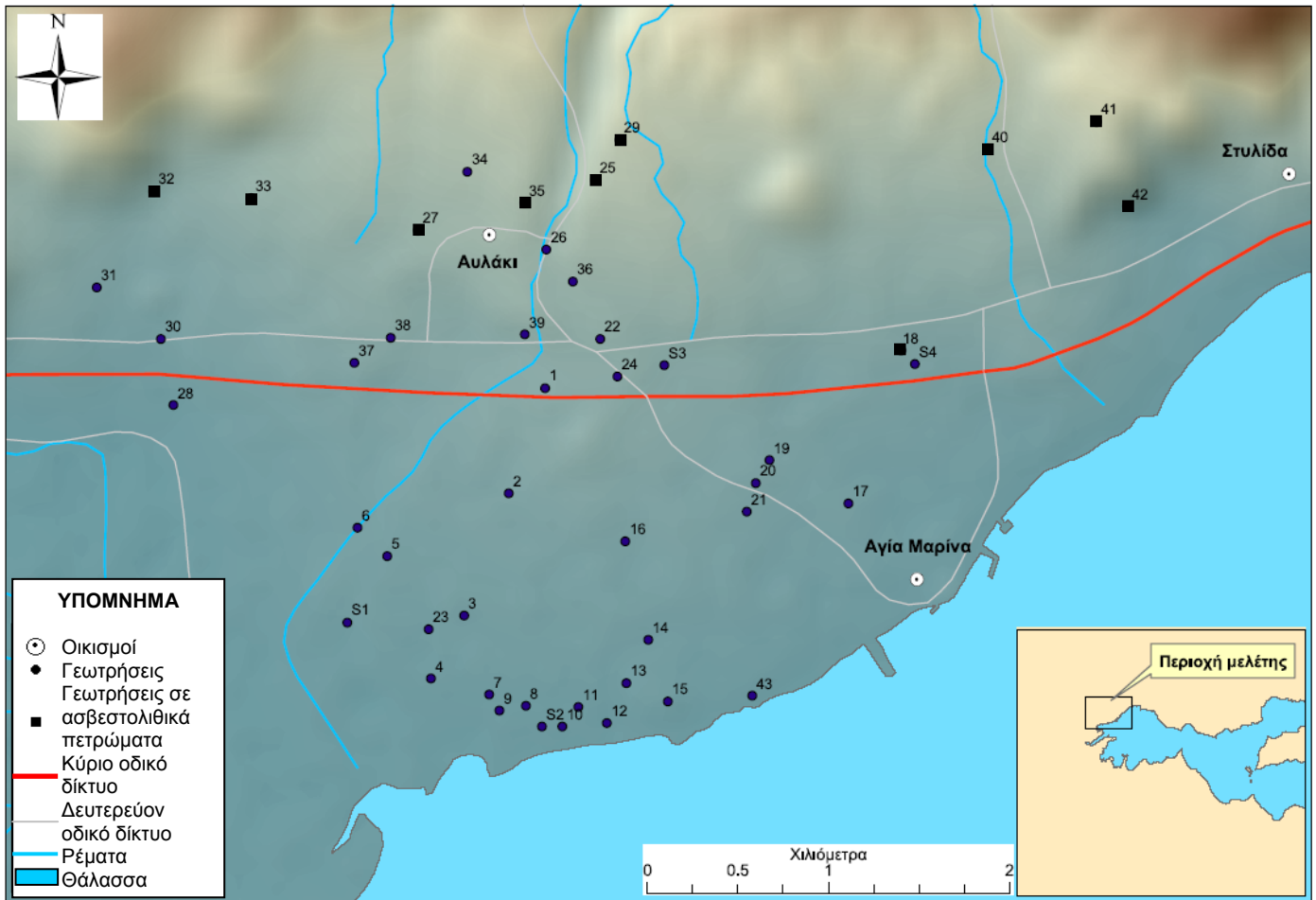
Με γνώμονα όλα τα παραπάνω γενικά στοιχεία της λεκάνης του Σπερχειού ποταμού, έγινε προσπάθεια για μια πιο αναλυτική περιγραφή της γεωμορφολογίας της ευρύτερης περιοχής του Δήμου Στυλίδας, στην οποία συνυπάρχουν τόσο ορεινές όσο και πεδινές και παραθαλάσσιες περιοχές.

Γενικότερα το ανάγλυφο της περιοχής ομαλοποιείται από τα βόρεια προς τα νότια καταλήγοντας στον Μαλιακό κόλπο, ο οποίος και οριοθετεί στα νότια την περιοχή, (χάρτης 2.1 και χάρτης 2.1).

Στα βόρεια τμήματά της διακρίνονται διάφορα υψώματα, τα ψηλότερα από τα οποία είναι από τα ανατολικά προς δυτικά, οι Κρεμμυδάδες (695 m), τα Πέντε Αδέρφια (470 m), η Πετρωτή (625 m), και η Πουρνάρα (815 m). Στα δυτικά και ανατολικά τμήματα της ευρύτερης περιοχής, όπου το ανάγλυφο είναι ομαλό, αναπτύσσονται τα επαρχιακά και εθνικά οδικά δίκτυα καθώς και οι καλλιεργήσιμες αγροτικές εκτάσεις.

Ειδικότερα για τα ανθρακικά πετρώματα της περιοχής αυτά καλύπτουν σχεδόν εξολοκλήρου το βόρειο τμήμα της. Διακρίνονται δύο καρστικοί όγκοι. Αυτός του Προφήτη Ηλία βόρεια της πόλης της Στυλίδας και αυτός που περιλαμβάνει τρία από τα προαναφερθέντα υψώματα (Πέντε Αδέρφια, Πετρωτή, Πουρνάρα) βόρεια του Αυλακίου.

Αναφορικά με το υδρογραφικό δίκτυο της ευρύτερης περιοχής αυτό έχει κύριο κλάδο το χείμαρρο Δριστελόρεμα, ο οποίος διακλαδίζεται σε μικρότερα ρέματα (Βαενόρεμα, Σαραντόρεμα) που καλύπτουν ολόκληρη την περιοχή μελέτης και καταλήγει στην παράκτια ζώνη.



Χάρτης 2.2 Μορφολογικός χάρτης περιοχής μελέτης

2.3 Γεωλογικά στοιχεία

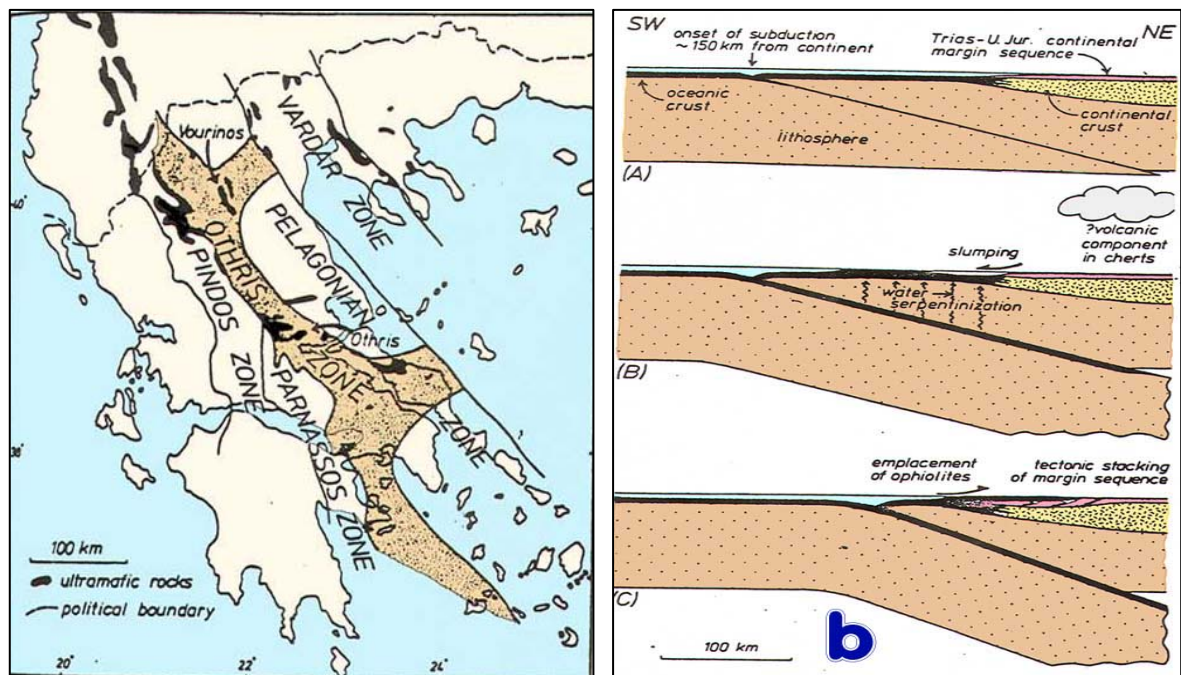
2.3.1 Γενικά στοιχεία Υποπελαγονικής ζώνης

Η περιοχή μελέτης εντάσσεται γεωτεκτονικά στην Υποπελαγονική ζώνη η οποία βρίσκεται στην δυτική πλευρά της Πελαγονικής. Εκτείνεται με διεύθυνση τη γενική των Ελληνίδων ΒΔ – ΝΑ από την Αλβανία, κατά μήκος του μέσου περίπου του κορμού της Ελλάδας, προς την Δυτική Θεσσαλία και Ανατολική Στερεά Ελλάδα, από εκεί στα νησιά Σαλαμίνα, Ύδρα και την Ανατολική Πελοπόννησο και συνεχίζεται πιθανόν στη νήσο Κω και την Μ. Ασία. Φαίνεται όμως ότι η Υποπελαγονική ζώνη καλύπτει και την Κεντρική Εύβοια και από εκεί συνεχίζεται στο νησί της Χίου, έχοντας έτσι ένα σύνθετο σχήμα γύρω από την Αττικοκυκλαδική Μάζα. Τα βουνά Όρθυς, Καλλίδρομο, Ελικών, Κιθαιρών, Πάρνηθα, Χλωμόν και Γεράνια ανήκουν στην Υποπελαγονική ζώνη. (Δ. Μουντράκης, 1985)

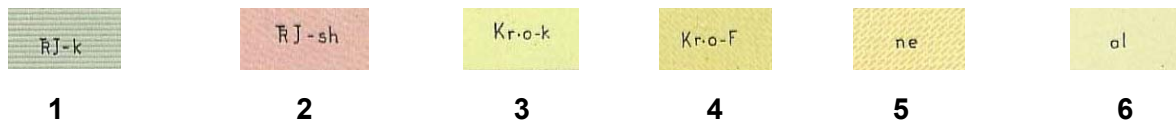
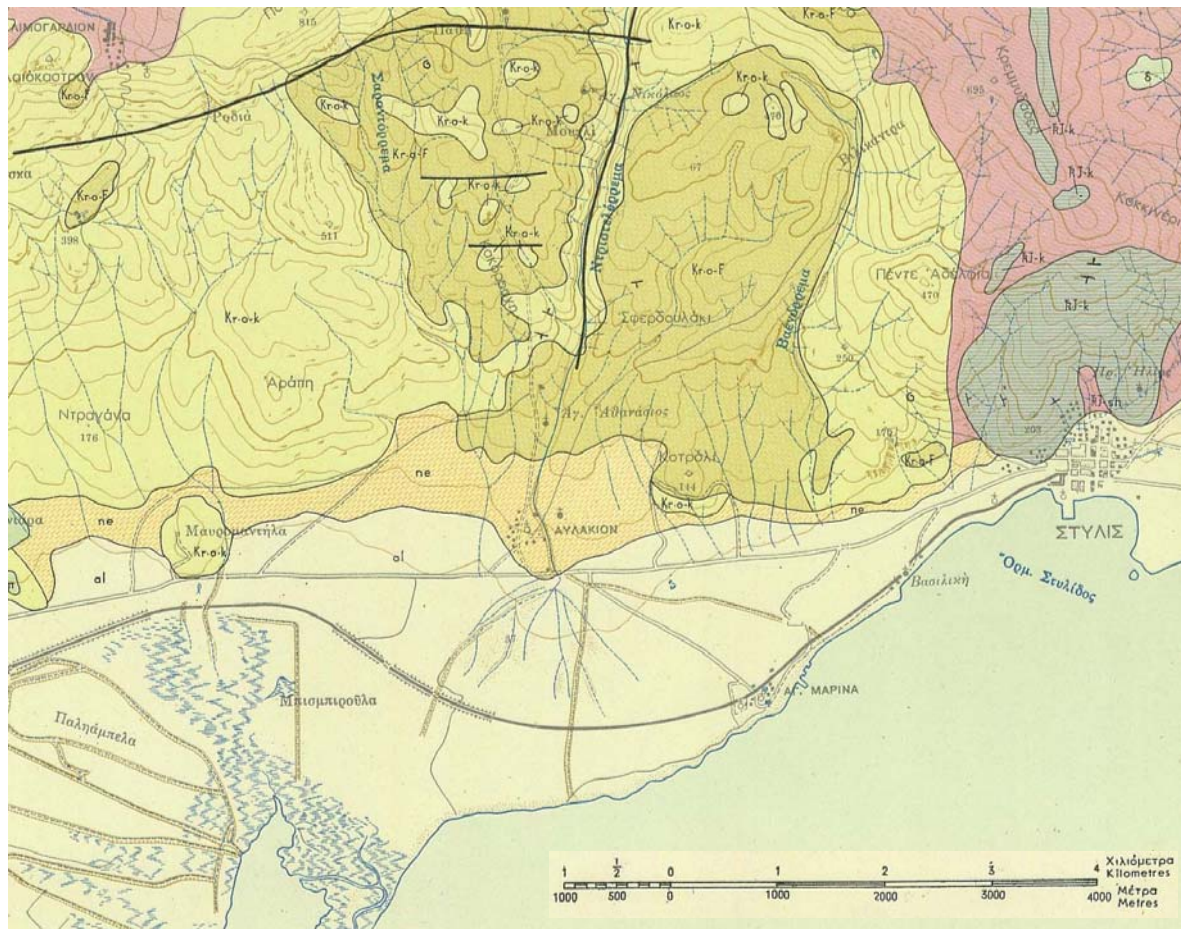
Κύριο χαρακτηριστικό γνώρισμα της Υποπελαγονικής ζώνης είναι οι μεγάλες οφιολιθικές μάζες και η συνοδεύουσα αυτές σχιστοκερατολιθική διάπλαση που έχει μεγάλη εξάπλωση. Για το λόγο αυτό η ζώνη ονομάζεται και «ζώνη οφιολίθων» ή ακόμα και «ζώνη της Όθρυς» επειδή η σπουδαιότερη οφιολιθική ακολουθία βρίσκεται στο ομώνυμο βουνό.

Σύμφωνα λοιπόν με τις σημερινές γεωτεκτονικές αντιλήψεις οι οφειόλιθοι της Υποπελαγονικής χαρακτηρίζονται σαν η εξωτερική (δυτική) οφειολιθική λωρίδα της Ελλάδας γνωστή με το χαρακτηρισμό ERO. Θεωρείται έτσι η Υποπελαγονική ότι αντιπροσωπεύει την οφειολιθική συρραφή της παλαιάς ωκεάνιας περιοχής που βρισκόταν Δυτικά του Πελαγονικού ηπειρωτικού τεμάχους, (σχήμα 2.3.1) Με την έννοια αυτή η Υποπελαγονική μαζί με την ζώνη Πίνδου αντιστοιχούν πιθανόν σε ένα ενιαίο παλαιό – ωκεάνιο χώρο.

Συνοπτικά στα πετρώματα της περιοχής περιλαμβάνονται ασβεστόλιθοι Τριαδικού – Ιουρασικού εντός της σχιστοκερατολιθικής διάπλασης, η σχιστοκερατολιθική διάπλαση με τους οφιολίθους και τους σερπεντίνες, ιζήματα της Μέσο-Ανω Κρητιδικής επίκλυσης, και τέλος χαλαροί Νεογενείς και Τεταρτογενείς σχηματισμοί, (Χάρτης 2.3.1).



Σχήμα 2.3.1: (αριστερά): Χάρτης-σκαρίφημα στο οποίο δείχνεται ο χώρος της Υποπελαγονικής ζώνης (ή ζώνης Όθρυς) που αντιπροσωπεύει με τις οφιολιθικές εμφανίσεις την παλιά ωκεάνια περιοχή. (δεξιά): Μοντέλο βύθισης της ωκεάνιας λιθόσφαιρας στην περίοδο Ανωτέρου Ιουρασικού - Κάτω Κρητιδικού με κατεύθυνση από ΝΔ προς ΒΑ και ταυτόχρονη τεκτονική τοποθέτηση των οφειολίθων πάνω στο Δυτικό Πελαγονικό περιθώριο. Σύμφωνα με τις απόψεις των Smith & Woodcock (1976). (από τη ηλεκτρονική διεύθυνση www.geol.uoa.gr)



Χάρτης 2.3.1: Γεωλογικός χάρτης, φύλλο Στυλίδα, ευρύτερης περιοχής μελέτης, (Ι.Γ.Μ.Ε.). 1) Μεγάλες ασβεστολιθικές μάζες εντός της σχιστοκερατολιθικής διάπλασης, 2) Σχιστοκερατολιθική διάπλαση με οφιολίθους, 3) Ανωκρητιδικός ασβεστόλιθος, 4) Ανωκρητιδικός φλύσχης, 5) Νεογενές αδιαίρετο, 6) Τεταρτογενές αδιαίρετο.

2.3.2 Στρωματογραφία

Η στρωματογραφία της περιοχής μελέτης, με βάση το γεωλογικό χάρτη που παρουσιάζεται παραπάνω (χάρτης 2.3.1), από τους παλαιότερους προς τους νεότερους σχηματισμούς, είναι η ακόλουθη :

2.3.2.1 Ασβεστολιθικές μάζες Τριαδικού - Ιουρασικού

Παρ' όλο που η σχιστοκερατολιθική διάπλαση δεσπόζει στην ιζηματογένεση του Ιουρασικού, εντούτοις στην περιοχή μελέτης παρεμβάλλονται μέσα σε αυτή μεγάλες ασβεστολιθικές μάζες. Πρόκειται για ασβεστόλιθους πελαγικούς ή νηριτικούς τυπικούς ηπειρωτικού περιθωρίου. Συγκεκριμένα πρόκειται για ασβεστόλιθους συμπαγείς, συνήθως άστρωτους.

Οι μεγάλες αυτές ασβεστολιθικές μάζες, εμφανίζονται στην περιοχή βόρεια της Στυλίδας (Χάρτης 2.3.1, Σύμβολο 1).

2.3.2.2 Σχιστοκερατολιθική διάπλαση με οφιολίθους

Ο πιο βασικός σχηματισμός της Υποπελαγονικής ζώνης είναι η λεγόμενη «σχιστοκερατολιθική διάπλαση», η απόθεση της οποίας κράτησε όλο το Ιουρασικό. Αυτή καλύπτει το βορειοανατολικό τμήμα της περιοχής μελέτης και συγκεκριμένα τους ορεινούς όγκους βόρεια της Στυλίδας (Χάρτης 2.3.1, Σύμβολο 2).

Η σχιστοκερατολιθική διάπλαση συνίσταται από λεπτόκοκκα ιζήματα δηλαδή κόκκινους, πράσινους, μαύρους αργιλικούς σχιστόλιθους, ραδιολαριτικούς κερατόλιθους, μάργες, λεπτόκοκκους ψαμμίτες, πηλίτες, αργιλοπηλίτες, παρεμβολές λεπτόκοκκων πελαγικών ασβεστολίθων. Τα ιζήματα αυτά βρίσκονται σε συνεχείς εναλλαγές και συγκροτούν μια σειρά αρκετού πάχους που αντιπροσωπεύει ιζηματογένεση πελαγική – ωκεάνια.

Μέσα στη σχιστοκερατολιθική διάπλαση βρίσκονται συχνά παρεμβλλόμενα – συμπτυχωμένα μικρά και μεγάλα οφιολιθικά σώματα γι' αυτό και το σύνολο ονομάζεται «σχιστοκερατολιθική με οφιολίθους διάπλαση».

Συχνές επίσης είναι και οι διεισδύσεις μέσα στα ιζήματα της διάπλασης βασικών ηφαιστιτών (διαβάσεις, δολερίτες κλπ.) καθώς και βασικών τόφφων έτσι ώστε η διάπλαση να αποκτά χαρακτήρα ηφαιστειοϊζηματογενούς σειράς.

Ιδιαίτερα στην ευρύτερη περιοχή του όρους Όθρυς εμφανίζονται πλήρεις οφειολιθικές ακολουθίες με όλα σχεδόν τα βασικά και υπερβασικά πετρώματα πλουτωνικά και ηφαιστειακά. Τα κυριότερα από τα πετρώματα αυτά είναι σερπεντινίτες, χαρτσβουργίτες, δουνίτες, λερζόλιθοι, νορίτες, γάββροι, διαβάσεις, δολερίτες, βασάλτες, pillow lavas, κ.α.

2.3.2.3 Ανωκρητιδικός ασβεστόλιθος εξ επικλύσεως

Με την ορογένεση που εκδηλώθηκε στο χώρο των Εσωτερικών Ελληνίδων στην περίοδο του Ανωτέρου Ιουρασικού – Κάτω Κρητιδικού, αναδύθηκε και η Υποπελαγονική. Ακολούθησε περίοδος χέρσευσης κατά την οποία σχηματίστηκαν τα σιδηρονικελιούχα λατεριτικά κοιτάσματα, από την λατεριτική αποσάθρωση των οφιολίθων. Τα κοιτάσματα αυτά στη συνέχεια καλύφθηκαν και προστατεύτηκαν από την διάβρωση χάρη στην απόθεση των Μέσο – Άνω Κρητιδικών επικλυσιγενών ιζημάτων.

Η επίκλυση της θάλασσας εκδηλώθηκε γενικά το Κενομάνιο του Μέσου Κρητιδικού με μικρές χρονικές διαφορές στις διάφορες θέσεις. Το πρώτο επικλυσιγενές στρώμα είναι ένα τυπικό κροκαλοπαγές βάσης, το οποίο δεν εμφανίζεται στην περιοχή μελέτης και ακολουθούν ασβεστόλιθοι Άνω Κρητιδικού. Πρόκειται για πλακώδεις μαργαϊκούς ασβεστόλιθους με Radiolites και για συμπαγείς ασβεστόλιθους με Hippurites, Orbitoides κ.α.

Ο Ανωκρητιδικός αυτός ασβεστόλιθος καλύπτει την περιοχή βορειοανατολικά και βορειοδυτικά του Αυλακίου (Χάρτης 2.3.1, Σύμβολο 3).

2.3.2.4 Ανωκρητιδικός φλύσχος

Η ιζηματογένεση συνεχίζεται με την απόθεση του φλύσχη που άρχισε στο Άνω Μαιστρίχτιο (Ανώτερο Κρητιδικό) και έληξε στο τέλος Ηωκαίνου με την εκδήλωση της τελικής ορογενετικής δράσης. Αυτός αποτελείται από αργιλικούς ψαμμίτες, σχιστόλιθους, κροκαλοπαγή και παρενεστρωμένους ασβεστόλιθους και καλύπτει την κεντρική και βόρεια περιοχή μελέτης (Χάρτης 2.3.1, Σύμβολο 4).

Τα επικλυσιγενή ιζήματα του Μέσου – Άνω Κρητιδικού αποτέθηκαν με ασυμφωνία πάνω στα προϋπάρχοντα πετρώματα

2.3.2.5 Νεογενές αδιαίρετο

Στις Νεογενείς αποθέσεις περιλαμβάνονται μάργες, άργιλοι, χάλικες, ψαμμίτες, κροκαλοπαγή και μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι με ποικιλία ασπόνδυλων

απολιθωμάτων. Συναντώνται στην ευρύτερη περιοχή του Αυλακίου και βόρεια του παλαιού εθνικού δικτύου, (Χάρτης 2.3.1, Σύμβολο 5).

2.3.2.6 Τεταρτογενές αδιαίρετο

Οι Τεταρτογενείς αποθέσεις αφορούν τις ποταμοχειμάρειες αποθέσεις και τα ριπίδια, τα κορήματα των κλιτύων, καθώς επίσης τα αποσαθρώματα των διαφόρων πετρωμάτων και τις πεδινές αλλουβιακές αποθέσεις. Συνίστανται από λατύπες και κροκάλες μέτρια αποστρογγυλεμένες, άμμους και αργίλους. Το πάχος των αποθέσεων αυτών ποικίλει ενώ καλύπτουν εξολοκλήρου το νότιο τμήμα της περιοχής μελέτης (Χάρτης 2.3.1, Σύμβολο 6).

2.3.3 Τεκτοορογενετική εξέλιξη της Υποπελαγονικής

Σύμφωνα με απόψεις διαφόρων ερευνητών που αναφέρει ο Μουντράκης (1985) στην περιοχή έλαβαν χώρα οι εξής ορογενετικές περίοδοι:

1^η Παραμορφωτική φάση Ερκύνιας ηλικίας

Σε όσους χώρους της Υποπελαγονικής συναντώνται πετρώματα του υποβάθρου (κρυσταλλοσχιστώδες Κάτω Παλαιοζωικό υπόβαθρο, το οποίο αποτελείται από γνευσίους, μαρμαρυγιακούς σχιστόλιθους, αμφιβολίτες και παρεμβολές μαρμάρων), αυτά υπέστησαν μια πρώτη παραμόρφωση πριν το Άνω Λιθανθρακοφόρο. Η φάση αυτή ήταν συµμεταμορφική με την πρώτη μεταμόρφωση του κρυσταλλοσχιστώδους (συνθήκες ορίου πρασινοσχιστολιθικής – αμφιβολιτικής φάσης) και σχημάτισε πτυχές τέλειες ισοκλινείς.

Στην περιοχή μελέτης, δεν συναντάται το κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο.

2^η Ορογενετική περίοδος Ανωτέρου Ιουρασικού – Κάτω Κρητιδικού

Η ορογενετική περίοδος Ανωτέρου Ιουρασικού – Κάτω Κρητιδικού είχε σαφή επίδραση στην Υποπελαγονική, προκάλεσε την ανάδυση των προ – Κρητιδικών σχηματισμών και τη χέρσευση με τη δημιουργία των λατεριτών μέχρι την επίκλυση του Κενομανίου.

Οι πτυχές της περιόδου αυτής που αναγνωρίζονται με βεβαιότητα στο χώρο της Υποπελαγονικής ανήκουν στη φάση JE₂ του Κάτω Κρητιδικού. Πρόκειται για κλειστές πτυχές ή ανοιχτές που συνοδεύονται συχνά από σχιστότητα ολίσθησης και αναγνωρίστηκαν στις περιοχές των οφειολιθικών μαζών Καστοριάς, Βούρινου και Όθρυς. Οι άξονες τους έχουν διεύθυνση γενικά BBA – NNΔ (0° – 40°) εκτός από την περιοχή της Όθρυς που αναφέρονται και ορισμένες μετρήσεις αξόνων με διεύθυνση ΒΔ – ΝΑ. Βασικό πάντως γνώρισμα των πτυχών αυτών είναι η ασύμμετρη απόκλιση προς τα Ανατολικά και η σύνδεσή τους με την επώθηση των οφειολίθων απι¹⁶ δυτικό ωκεάνιο χώρο της Υποπελαγονικής προς τα Ανατολικά πάνω στο περιθωριο της Πελαγονικής.

3^η Ορογενετική περίοδος Τελικού Κρητιδικού – Μέσου Ηωκαίνου. Τριτογενείς φάσεις πτυχώσεων

Στο διάστημα του Τριτογενούς έλαβαν χώρα δύο φάσεις πτυχώσεων : μία (CT₁) με πτυχές ανοιχτές, ισοπαχείς, γενικής αξονικής διεύθυνσης ΒΔ – ΝΑ και απόκλισης προς τα ΝΔ και μία άλλη (CT₂) με πτυχές κλειστές – ανοιχτές αξονικής διεύθυνσης ΒΑ – ΝΔ (70° – 80°) και απόκλισης προς τα ΝΑ. Οι φάσεις αυτές σχημάτισαν μεγάλες πτυχές και σπουδαίες δομές.

Στην περίοδο Ολιγοκαίνου – Μειοκαίνου έγινε η τελική παραμόρφωση (CT₃) των σχηματισμών προκαλώντας πτυχές κάμψης πολύ ανοιχτές και τύπου knick γενικής αξονικής διεύθυνσης Β – Ν.

Η οριστική ανάδυση της ζώνης έγινε στο τέλος Ηωκαίνου με τη λήξη της απόθεσης του φλύσχη.

4^η Ορογενετική περίοδος Νεογενούς – Τεταρτογενούς.

Κατά την περίοδο του Ανωτέρου Μειοκαίνου – Κατωτέρου Πλειοκαίνου η περιοχή βρισκόταν κάτω από την επίδραση συμπιεστικών δυνάμεων. Κατά τη διάρκεια του Πλειοκαίνου αναπτύχθηκε εκτεταμένο εφελκυστικό πεδίο, οι τάσεις του οποίου είχαν ΒΑ – ΝΔ διεύθυνση, με αποτέλεσμα ρήγματα κύριας διεύθυνσης Α – Δ να καθορίσουν το βύθισμα της κοιλάδας του Σπερχειού, κόβοντας σχεδόν κάθετα τους άξονες των πτυχώσεων και τις επαφές των διαφόρων τεκτονικών ενοτήτων που είχαν σχηματιστεί κατά τη δράση της εφαπτομενικής τεκτονικής.(Γ. Αποστολόπουλος, 1993). Στο Κατώτερο Τεταρτογενές διακόπηκε ο εφελκυσμός από

συμπιεστικές τάσεις. Τέλος από το Μέσο Πλειστόκαινο μέχρι σήμερα ο ευρύτερος χώρος βρίσκεται σε μια εκτεταμένη φάση με κύρια διεύθυνση εφελκυσμού B- N.

3. ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

3.1 Εισαγωγή

Οι υδρογεωλογικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή των δημοτικών διαμερισμάτων της Στυλίδας, της Αγίας Μαρίνας και του Αυλακίου, διερευνώνται με αξιολόγηση της υδρολιθολογίας των σχηματισμών που απαρτίζουν τους ορεινούς όγκους και την παράκτια περιοχή, με τη διερεύνηση της πιεζομετρίας των υδροφόρων στρωμάτων και με βάση την αξιοποίηση του υδατικού δυναμικού τόσο μέσα από τις γεωτρήσεις όσο και από τις πηγές που υπάρχουν στην πεδινή ζώνη.

3.2 Υδρολιθολογία

Τα πετρώματα που έχουν άμεση υδραυλική επικοινωνία με το πεδινό και παράκτιο τμήμα της περιοχής μελέτης, είναι οι ασβεστόλιθοι του Ιουρασικού ή της Ανωκρητιδικής επίκλυσης, ο φλύσχης και οι σχιστοκερατόλιθοι με οφιόλιθους. Τα πετρώματα αυτά - όχι όλα - εμφανίζουν δευτερογενές λόγω μεγάλου τεκτονισμού πορώδες, με συνέπεια ακόμα και αυτά που στο σύνολό τους θεωρούνται αδιαπέρατα (π.χ. φλύσχης, οφιόλιθοι), τελικά να παρουσιάζουν υδροφορία σε προνομιακές ζώνες. (Α. Μεντζάφου, Ι. Κουμαντάκης, 2005).

Το πεδινό και παράκτιο τμήμα είναι πληρωμένο με μεταλπικά ιζήματα. Οι νεογενείς σχηματισμοί χαρακτηρίζονται από εναλλαγές αδρομερών (ψαμμίτες, χαλίκια, ημισυνεκτικά κροκαλοπαγή) και λεπτομερών (αργιλομαργαϊκές ενστρώσεις) υλικών. Ως προς τις τεταρτογενείς αποθέσεις, πρόκειται για χαλαρά υλικά πεδιάδων και παράκτιων ζωνών, καθώς και πλευρικά κορήματα και κροκαλοπαγή. Με βάση τα υδρολιθολογικά χαρακτηριστικά των πετρωμάτων και τα πιεζομετρικά δεδομένα, διακρίνονται οι παρακάτω υδροφόρες υδρογεωλογικές ενότητες :

Ενότητα προσχωματικών τεταρτογενών (Ολοκαινικές σύγχρονες αποθέσεις) : Χαλαρές αποθέσεις πεδιάδων και παράκτιες, πλευρικά κορήματα, κροκαλοπαγή. Πρόκειται για υδροπερατούς σχηματισμούς, στους οποίους αναπτύσσονται φρεάτιοι υδροφόροι ορίζοντες.

Ενότητα νεογενών : Εναλλαγές αδρομερών και λεπτομερών σχηματισμών (συνεκτικά λατυποπαγή, αργιλοαμμούχα, ψαμμίτες, μάργες, αργιλικά). Πρόκειται για ημιπερατούς στο σύνολό τους σχηματισμούς, στους οποίους αναπτύσσονται υπό

πίεση, ημιαρτεσιανοί ως αρτεσιανοί υδροφόροι ορίζοντες. Παρατηρείται πλευρική και κατακόρυφη αλλαγή της δυναμικότητας των υδροφόρων, ανάλογα με την λιθολογία, το πάχος και των συνθηκών τροφοδοσίας των αδρομερών μελών.

Ενότητα φλυσχική : Αργιλικοί ψαμμίτες, αργιλικοί σχιστόλιθοι, κροκαλοπαγή, ασβεστόλιθοι παρενεστρωμένοι. Αδιαπέρατος στο σύνολό του σχηματισμός, υδροπερατός ως ημιπερατός σε προνομιούχες θέσεις εντός των ψαμμιτών, των κροκαλοπαγών και των ασβεστολίθων.

Ενότητα καρστική : Πλακώδεις ως συμπαγείς υδροπερατοί, Ανωκρητιδικοί ασβεστόλιθοι, κατακερματισμένοι και διερρηγμένοι με καρστικά έγκοιλα δευτερογενώς πληρωμένα κατά θέσεις με ερυθρογαίες, γεγονός που επιδρά στο πάχος του υδροφορέα.

Οι πρακτικά υδροστεγανές ενότητες της περιοχής με τοπικές μόνο υδροφορίες είναι :

Ενότητα οφιολίθων : Σερπεντινίτες κ.α. Γενικά οι οφιολιθικές μάζες φιλοξενούν μικρές ποσότητες υπόγειων νερών, οι οποίες διακινούνται μέσα κυρίως από ζώνες εντατικών διαρρήξεων. Η κατείσδυση του νερού στα πετρώματα αυτά καθορίζεται από το εύρος των τεκτονικών ασυνεχειών, αλλά και από το μέγεθος των υλικών που τις έχουν πληρώσει. (Γ. Μίγκιρος, 2005)

Ενότητα σχιστοκερατολιθικής διάπλασης : Σύστημα αργιλικών σχιστόλιθων, κερατόλιθων, μαργαϊκών ασβεστόλιθων, κ.λπ., οφιολίθων, τόφφων και σερπεντινιτών.

3.3 Πιεζομετρία

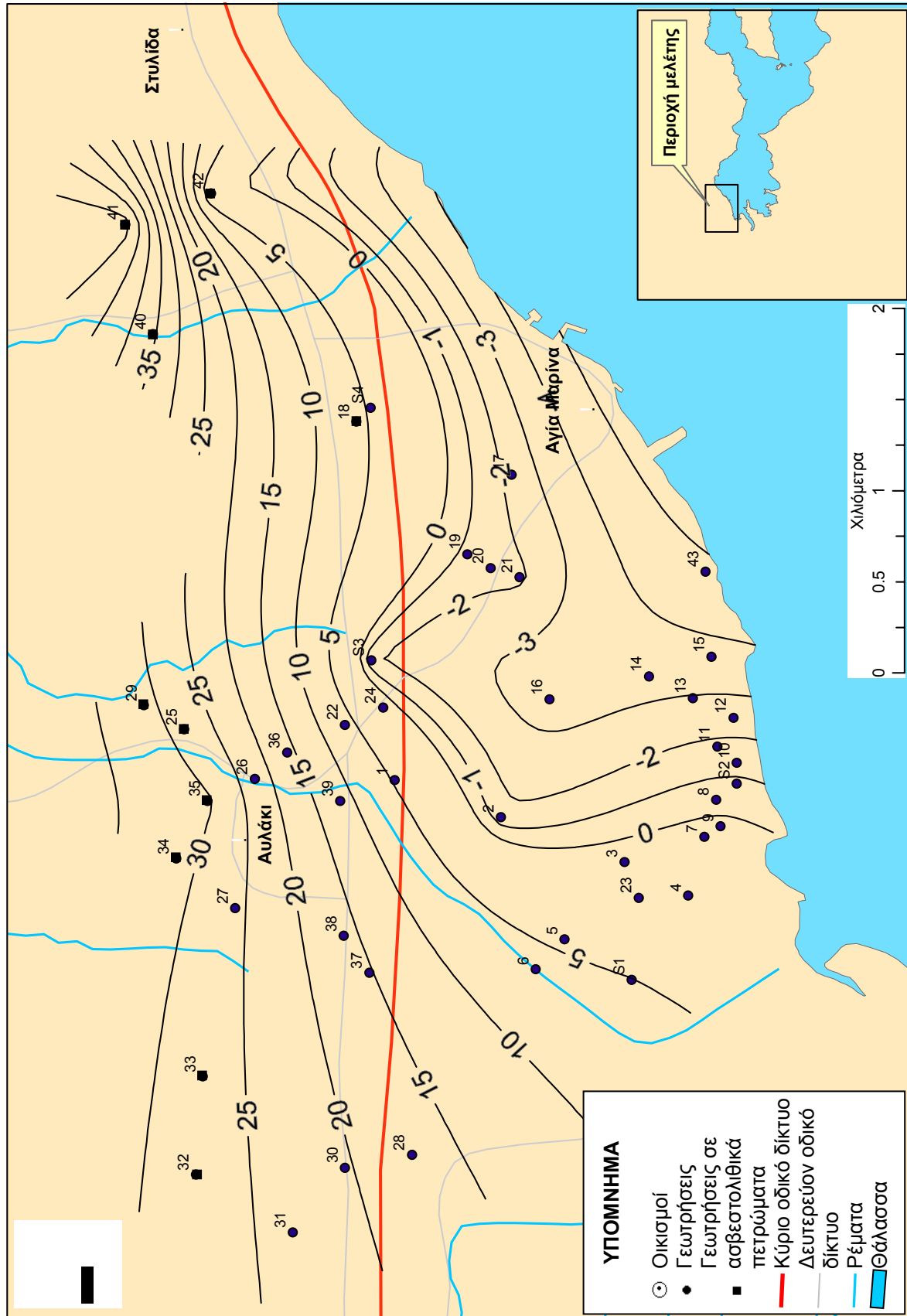
Κατά κανόνα οι στάθμες των υδροφόρων οριζόντων παρουσιάζουν εποχική κύμανση. Αυτό οφείλεται στην επίδραση των βροχοπτώσεων και της άντλησης του νερού στην αρδευτική περίοδο. Οι ψηλές στάθμες παρουσιάζονται στο τέλος της άνοιξης και οι πιο χαμηλές στις αρχές μέχρι τα μέσα του φθινοπώρου, ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής. Το εύρος της κύμανσης εξαρτάται από τον εμπλουτισμό, την ένταση των αντλήσεων και τον τύπο του υδροφόρου. Κατά κανόνα το εύρος της κύμανσης είναι μεγαλύτερο στους αρτεσιανούς παρά στους ελεύθερους υδροφόρους, είναι δε εξαιρετικά μεγάλο στους καρστικούς υδροφόρους, υπό φυσικές συνθήκες. (Καλλέργης, 2001).

Στην περιοχή μελέτης, μετρήθηκαν συνολικά οι στάθμες 12 γεωτρήσεων, την περίοδο Αυγούστου-Σεπτεμβρίου 2005 και 11 γεωτρήσεων την περίοδο Απριλίου-Μαΐου 2006. Στο σύνολό τους οι γεωτρήσεις αυτές βρίσκονται στις αλλουβιακές αποθέσεις του Τεταρτογενούς, ενώ οι M35, M40, M41 και M42 βρίσκονται σε ασβεστολιθικά πετρώματα. Οι απόλυτες τιμές στάθμης φαίνονται στον πίνακα 3.3 που ακολουθεί.

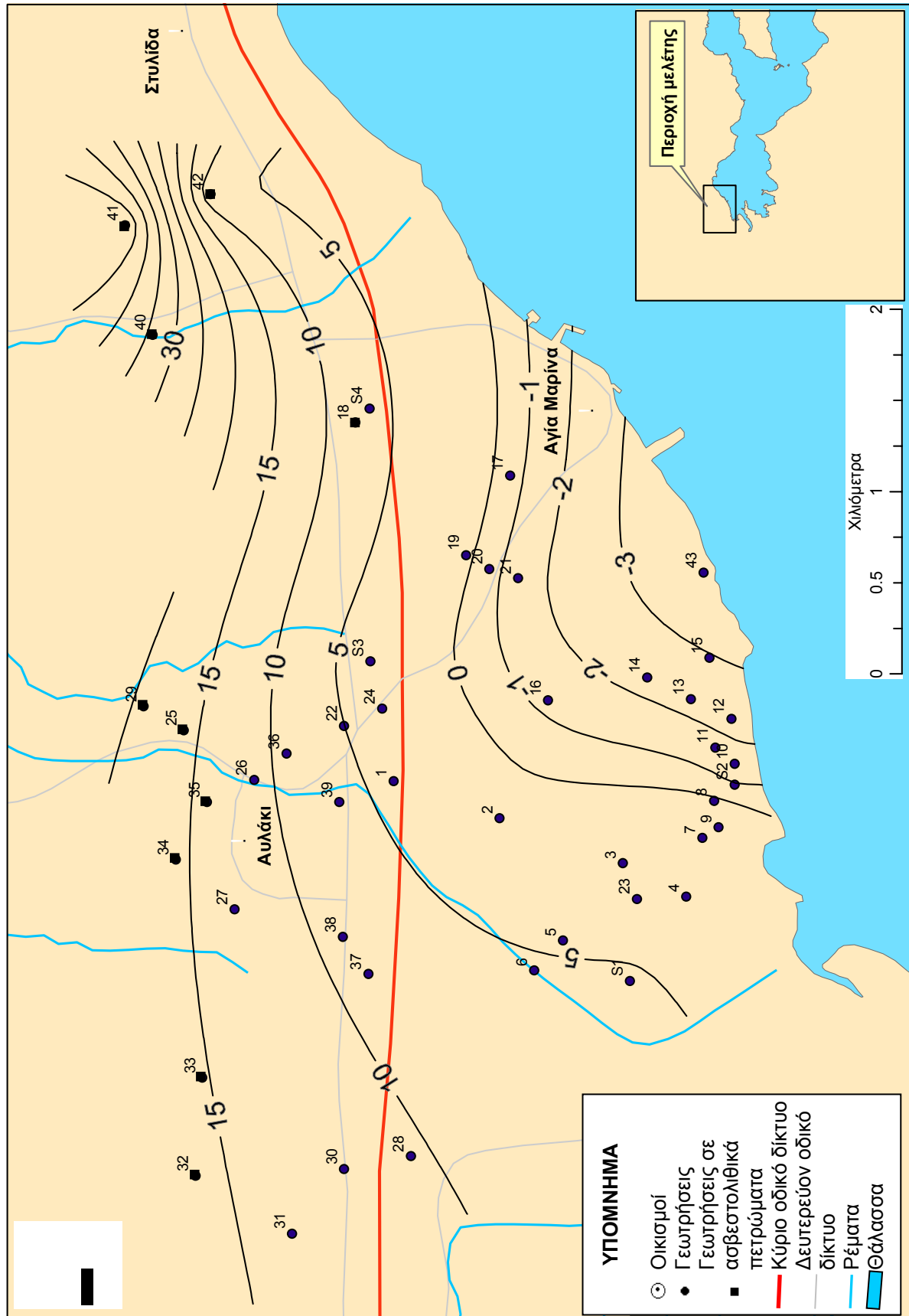
Πίνακας 3.3 Απόλυτες τιμές στάθμης γεωτρήσεων στην περιοχή μελέτης

	Απόλυτη τιμή στάθμης περιόδου Αυγούστου - Σεπτεμβρίου 2005 (m)	Απόλυτη τιμή στάθμης περιόδου Απριλίου – Μαΐου 2006 (m)
M2	-1,60	1,00
M4	2,12	2,80
M9	0,32	1,60
M10	-1,30	-1,60
M21	-1.80	-1,50
M35	30,68	Δεν μετρήθηκε
M40	35,66	34,10
M41	52,40	50,17
M42	1,00	6,30
Σ1	5,06	5,50
Σ2	Δεν μετρήθηκε	-1,00
Σ3	-1,84	2,20
Σ4	4,60	Δεν μετρήθηκε

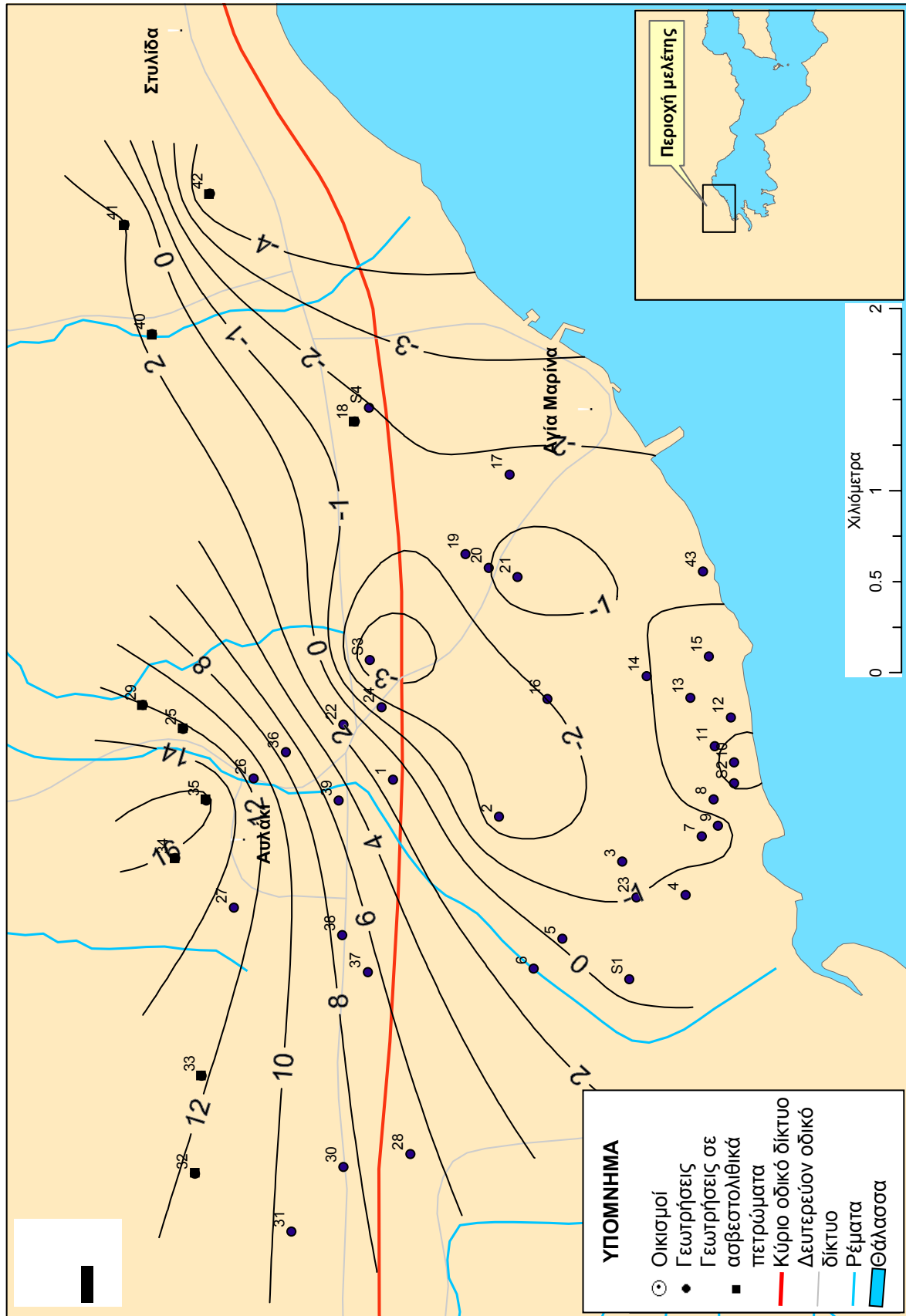
Με βάση επομένως την απόλυτη τιμή της στάθμης των υδροφόρων οριζόντων της περιοχής, σχεδιάστηκαν οι πιεζομετρικοί χάρτες του Αυγούστου-Σεπτεμβρίου 2005 (χάρτης 3.3.1), του Απριλίου-Μαΐου 2006 (χάρτης 3.3.2) και της πιεζομετρικής διαφοράς μεταξύ των δύο περιόδων (χάρτης 3.3.3).



Χάρτης 3.3.1 Πιεζομετρικός χάρτης της περιοχής μελέτης, περιόδου Αυγούστου-Σεπτεμβρίου 2005



Χάρτης 3.3.2 Πιεζομετρικός χάρτης της περιοχής μελέτης, περιόδου Απριλίου-Μαΐου 2006



Χάρτης 3.3.3 Χάρτης διαφορών πιεζομετρίας περιόδου Αυγούστου 2005-Μαΐου 2006

Από τον χάρτη 3.3.1 συμπεραίνουμε πως η ροή του υπόγειου νερού έχει γενική διεύθυνση στην περιοχή της Στυλίδας, από τα βορειοανατολικά προς τα νοτιοδυτικά, στην περιοχή του Αυλακίου από τα βόρεια και βορειοδυτικά προς τα νότια και νοτιοανατολικά, ενώ παρατηρείται ροή του υπόγειου νερού από τα νοτιοδυτικά προς τα κεντρικά τμήματα της περιοχής μελέτης. Αυτό σημαίνει εκτόνωση της υδροφορίας της ασβεστολιθικής μάζας προς την πεδινή και παράκτια ζώνη. Οι υδραυλικές κλίσεις που παρατηρούνται στην περιοχή της Στυλίδας είναι οι μεγαλύτερες της περιοχής, ενώ στα νότια και κεντρικά τμήματα οι πιεζομετρικές καμπύλες είναι αραιές και συνεπώς η υδραυλική κλίση είναι μικρότερη. Κάποιες τιμές της υδραυλικής κλίσης μετρήθηκαν ενδεικτικά σε διάφορα σημεία του πιεζομετρικού χάρτη και κυμαίνονται από 0.003 έως 0.01 στα ανατολικά και από 0.004 έως 0.03 στα κεντρικά, δυτικά και νότια τμήματα της περιοχής μελέτης. Επίσης από τις πιεζομετρικές καμπύλες της περιόδου Αυγούστου-Σεπτεμβρίου 2005, διαπιστώνουμε ότι στις κεντρικές και παράκτιες περιοχές ο υδροφόρος ορίζοντας των γεωτρήσεων βρίσκεται κάτω από το επίπεδο της θάλασσας.

Το πιεζομετρικό καθεστώς της περιόδου Απριλίου-Μαΐου 2006 (χάρτης 3.3.2), δεν διαφοροποιείται αρκετά ως προς την διεύθυνση ροής του υπόγειου νερού, από αυτό του Αυγούστου-Σεπτεμβρίου 2005. Σαφώς και παρατηρείται άνοδος της στάθμης των υδροφόρων οριζόντων, καθώς στην περιοχή δεν είχαν ξεκινήσει ακόμα οι αρδεύσεις. Η διεύθυνση ροής του υπόγειου νερού παραμένει βορειοανατολική προς νοτιοδυτική στην περιοχή της Στυλίδας και βόρεια και βορειοδυτική προς νότια και νοτιοανατολική στην περιοχή του Αυλακίου. Σε ότι αφορά τις υδραυλικές κλίσεις, παρουσιάζονται μεγαλύτερες στα ανατολικά της περιοχής μελέτης και μειώνονται προς τα δυτικά και νότια. Μετρήθηκαν και αυτή την περίοδο κάποιες ενδεικτικές τιμές της υδραυλικής κλίσης, οι οποίες κυμαίνονται στα ανατολικά από 0.004 έως 0.007, ενώ στην υπόλοιπη περιοχή από 0.008 έως 0.01. Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι η ταχύτητα ροής του υπόγειου νερού είναι αυξημένη την περίοδο Αυγούστου-Σεπτεμβρίου 2005 απ' ότι την περίοδο Απριλίου-Μαΐου 2006.

Από τον χάρτη των πιεζομετρικών διαφορών (χάρτης 3.3.3), διαπιστώνουμε ότι οι υδροφόροι ορίζοντες στα δυτικά και νότια τμήματα της περιοχής μελέτης παραμένουν σχεδόν στα ίδια επίπεδα και στις δύο περιόδους, ενώ μεταβολή σημειώνεται στα βορειοδυτικά, μέσα στις ασβεστολιθικές μάζες της περιοχής της Στυλίδας, κάτι που είναι απολύτως φυσιολογικό.

3.4 Γεωτρήσεις και πηγές

Οι γεωτρήσεις που υπάρχουν στην περιοχή μελέτης, βρίσκονται κυρίως κατά μήκος του επαρχιακού οδικού δικτύου Λαμίας – Στυλίδας και καλύπτουν τις ανάγκες άρδευσης της περιοχής. Οι περισσότερες από αυτές (26), είναι συγκεντρωμένες στις αλλούβιες αποθέσεις, κάτω από την επαρχιακή οδό και προς την πλευρά της θάλασσας και δεν ξεπερνούν τα 30-50m βάθος στην περιοχή του Αυλακίου, ενώ στην Αγία Μαρίνα οι γεωτρήσεις είναι πιο βαθιές, (μέχρι και 125m). Τέλος, λιγότερες είναι εκείνες οι γεωτρήσεις (17), που βρίσκονται πάνω από τον δρόμο, των οποίων το βάθος κυμαίνεται από 70 έως 120m.

Η γεωργική δραστηριότητα στην περιοχή είναι ιδιαίτερα ανεπτυγμένη και η αρδευτική περίοδος ξεκινά από τα μέσα Απριλίου για ορισμένες καλλιέργειες (τριφύλλι) και τελειώνει στα τέλη του Σεπτεμβρίου για κάποιες άλλες (ελιές). Ρυθμιστικός παράγοντας για την διάρκεια της άρδευσης είναι βέβαια οι καιρικές συνθήκες του κάθε έτους.

Αρχικά οι γεωτρήσεις της παράκτιας περιοχής ήταν πηγάδια που με την πάροδο των χρόνων η αύξηση των γεωργικών εκτάσεων και των αρδευτικών απαιτήσεων, οδήγησε στην περαιτέρω διάνοιξή τους και προχώρησή τους προς βαθύτερους υδροφόρους ορίζοντες. Έτσι δεν βρέθηκαν τομές γεωτρήσεων. Η ανεξέλεγκτη λοιπόν τα παλαιότερα χρόνια εκτέλεση υδρογεωτρήσεων, οδήγησε σήμερα στην απαγόρευση νέων, στην περιοχή κατάντη του επαρχιακού δικτύου και γενικά στην αυστηρή επίβλεψη από τους νομαρχιακούς φορείς όλων των γεωτρήσεων της περιοχής μελέτης.

Οι γεωτρήσεις που ανήκουν στο δημοτικό διαμέρισμα της Στυλίδας είναι, οι M40, M41, M42, βρίσκονται βορειοδυτικά της πόλης και χρησιμοποιούνται για το πότισμα δέντρων ελιάς. Οι γεωτρήσεις στην παράκτια περιοχή της Αγίας Μαρίνας είναι οι M17, M18, M19, M20, M21 και M43. Από αυτές, οι M19, M20 και M21, βρίσκονται μέσα σε ελαιώνες, η M17 αποτελεί την γεώτρηση ύδρευσης του χωριού και η M43 χρησιμοποιείται για τις ανάγκες σε νερό του εργοστασίου παραγωγής καλωδίων (Nexans Hellas). Στην περιοχή υπάρχει ένα ιδιαίτερα πυκνό υπόγειο αρδευτικό δίκτυο, έτσι ώστε να εξυπηρετούνται από μία γεώτρηση πολλά στρέμματα δέντρων ελιάς σε μακρινές αποστάσεις από αυτή. Έτσι δικαιολογείται η αραιή κατανομή των γεωτρήσεων στην περιοχή, σε αντίθεση με την παράκτια περιοχή του Αυλακίου όπου το δίκτυο των γεωτρήσεων είναι ιδιαίτερα μεγάλο. Οι γεωτρήσεις

που ανήκουν στο δημοτικό διαμέρισμα του Αυλακίου είναι οι M1 έως M16 και M22 έως M39. Αυτές καλύπτουν τις ανάγκες σε νερό καλλιεργειών τριφυλλιού, δέντρων ελιάς, καλαμποκιού, δέντρων καρυδιάς, ενώ το μεγαλύτερο ποσοστό των καλλιεργήσιμων εκτάσεων αφορά το βαμβάκι.

Σε ότι αφορά την παρουσία πηγών στην περιοχή, παρά το γεγονός ότι τα παλαιότερα χρόνια υπήρχαν αρκετές κατά μήκος του επαρχιακού οδικού δικτύου, σήμερα δεν παρατηρούνται. Η ύπαρξη γεωτρήσεων ανάντι των αναβλύσεων είχε ως αποτέλεσμα την εξαφάνισή τους.

4. ΧΗΜΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ

Στα πλαίσια της διερεύνησης των υδρογεωλογικών και υδροχημικών συνθηκών της περιοχής έρευνας πραγματοποιήθηκαν χημικές αναλύσεις. Στην παρούσα εργασία πάρθηκαν, αναλύθηκαν και αξιολογήθηκαν συνολικά 43 δείγματα νερού ($M_1 - M_{43}$) από υδρογεωτρήσεις του Δήμου Στυλίδας.

Η δειγματοληψία καθώς και οι χημικές αναλύσεις έγιναν τόσο κατά την περίοδο Αυγούστου – Σεπτεμβρίου του 2005 όσο και κατά την περίοδο Απριλίου – Μαΐου 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 διατριβή τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του νερού εξασφαλίζονται με προσδιορισμό της συγκέντρωσης των κύριων ανιόντων και κατιόντων του.

Τα δείγματα που πάρθηκαν αναλύθηκαν χημικώς ως προς τα κύρια συστατικά τους καθώς και ως προς τα νιτρικά ιόντα, που ανήκουν στα δευτερεύοντα συστατικά. Τα αποτελέσματα των αναλύσεων εκφρασμένα σε mg/lt φαίνονται στον Πίνακα 4.1. για την περίοδο Αυγούστου – Σεπτεμβρίου του 2005 και στον Πίνακα 4.2. Για την περίοδο Απριλίου – Μαΐου του 2006. Και στους δύο αυτούς πίνακες εκτός από τις συγκεντρώσεις των διαφόρων ιόντων (mg/l), δίνονται το pH και η αγωγιμότητα C ($\mu\text{S}/\text{cm}$) των νερών.

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, ενώ η ηλεκτρική αγωγιμότητα C, προσδιορίστηκε με τη συσκευή JENWAY 4071.

Πίνακας 4.1 Χημικές αναλύσεις περιόδου Αυγούστου-Σεπτεμβρίου 2005 σε mgr/lit

Αριθμός Γεώτρησης	EC	Ph	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO ₄	HCO ₃	NO ₃
M1	594	7.9	89.9	22.5	15.8	2.1	18.4	30.0	270.0	51.7
M2	495	7.9	60.4	35.4	12.5	2.0	7.2	32.0	290.0	22.7
M3	648	7.9	77.2	27.6	14.8	1.5	10.6	24.0	243.0	105.1
M4	789	7.5	113.2	35.9	30.6	2.3	15.2	195.0	305.0	30.4
M5	1270	7.6	145.6	77.2	55.2	1.5	79.5	165.0	301.0	330.0
M6	780	7.9	81.0	42.0	41.0	2.1	46.6	55.6	300.0	73.6
M7	593	7.8	80.0	41.9	17.8	1.6	8.8	60.0	306.0	81.0
M8	671	7.6	90.0	42.2	19.1	1.5	12.6	110.0	263.0	62.9
M9	353	7.9	38.0	18.1	21.0	1.0	6.6	17.0	186.0	23.9
M10	901	7.6	106.0	67.0	27.0	3.1	33.0	71.0	423.0	11.5
M11	346	7.9	37.8	15.1	22.0	1.0	6.6	24.0	173.0	20.4
M12	536	7.9	76.2	32.8	16.7	1.6	13.3	73.0	260.0	28.7
M13	845	7.7	117.5	53.0	20.0	1.5	15.1	157.0	315.0	80.1
M14	366	7.9	46.0	22.7	14.8	1.2	8.4	24.6	200.0	14.8
M15	487	7.8	58.5	34.5	15.0	1.5	4.0	26.0	300.0	13.3
M16	406	7.8	43.8	10.5	18.2	1.5	6.1	13.0	212.0	20.1
M17	464	8.0	39.0	39.0	14.0	1.2	11.0	22.0	250.0	26.0
M18	1050	7.3	131.0	37.5	54.0	1.6	101.0	34.0	286.0	66.5
M19	394	7.9	45.0	23.0	14.5	1.2	9.0	13.0	211.0	17.5
M20	399	7.9	54.0	20.0	12.7	1.2	10.0	14.0	215.0	23.0
M21	516	7.9	71.0	29.0	14.0	1.1	14.0	41.0	235.0	52.0
M22	401	7.9	53.0	20.0	13.0	1.5	10.0	16.0	220.0	17.4
M23	371	8.0	32.4	26.1	27.5	1.3	15.3	14.0	194.0	27.0
M24	595	7.9	82.0	32.5	16.0	2.1	15.0	27.0	274.0	52.0
M25	420	7.7	64.0	13.5	23.0	1.5	8.0	38.0	211.0	9.0
M26	478	7.8	71.0	22.0	14.5	1.5	10.5	22.0	236.0	25.5
M27	604	7.5	87.0	17.0	23.5	1.4	25.0	20.0	209.0	38.6
M28	518	7.8	84.0	15.5	16.5	1.4	33.5	15.5	222.0	32.0
M29	508	7.6	91.0	15.6	15.0	1.7	10.0	46.0	266.0	8.5
M30	494	7.7	64.8	8.3	19.6	1.5	15.9	15.0	195.0	28.2
M31	399	7.5	71.0	4.0	11.9	1.3	13.0	12.0	185.0	26.0
M32	452	7.7	59.0	20.0	12.0	1.3	12.0	9.0	218.0	29.0
M33	483	7.7	70.0	18.0	14.5	1.5	15.4	17.0	228.0	21.0
M34	720	7.6	80.0	28.0	36.0	2.2	68.0	46.0	239.0	10.5
M35	454	7.6	70.0	12.0	17.6	1.2	8.0	30.0	225.0	14.0
M36	395	8.0	50.0	19.0	14.8	1.4	7.8	19.0	207.0	20.0
M37	425	7.7	39.0	18.0	34.0	1.1	25.0	20.0	184.0	26.0
M38	476	7.8	54.0	24.0	17.0	1.4	15.0	26.0	215.0	35.0
M39	662	7.8	89.0	29.0	18.0	1.2	30.4	32.0	255.0	73.0
M40	561	7.5	101.0	14.6	15.5	1.6	22.0	18.0	286.0	18.4
M41	494	7.7	78.0	13.5	15.0	1.5	14.5	12.0	247.0	16.0
M42	499	7.8	86.0	15.0	13.0	1.2	19.0	15.0	270.0	16.5
M43	711	7.8	87.0	42.0	16.5	1.4	8.0	62.0	325.0	61.9
Μέση Τιμή	558.7	7.8	73.6	26.8	20.4	1.5	19.5	40.3	247.8	40.9
Τυπική Απόκλιση	190.7	0.2	25.2	14.7	10.0	0.4	19.6	41.6	48.6	50.1
Max	1270	8.0	145.6	77.2	55.2	3.1	101.0	195.0	423.0	330.0
Min	346	7.3	32.4	4.0	11.9	1.0	4.0	9.0	173.0	8.5

Πίνακας 4.2 Χημικές αναλύσεις περιόδου Απριλίου-Μαΐου 2006 σε mgr/lit

Αριθμός Γεώτρησης	EC	Ph	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO ₄	HCO ₃	NO ₃
M1	565	7.6	67.1	26.7	13.5	1.0	10.6	23.0	271.0	26.6
M2	473	7.6	57.0	26.5	16.5	1.5	7.2	21.0	240.0	42.4
M3	659	7.6	75.6	34.4	14.0	0.8	11.7	58.0	243.0	130.2
M4	704	7.3	78.0	45.2	25.5	1.4	8.2	170.0	282.0	31.7
M5	634	7.6	70.0	29.3	34.1	0.6	22.9	64.0	233.0	69.1
M6	974	7.6	100.0	60.1	38.8	1.7	39.0	180.0	281.0	126.3
M7	453	7.7	50.8	17.8	27.0	0.6	12.1	25.0	202.0	47.5
M8	472	7.6	54.0	30.3	20.5	0.6	5.8	36.0	289.0	34.8
M9	361	7.8	38.0	21.7	17.6	0.5	7.1	15.0	195.0	22.9
M10	764	7.4	76.0	41.5	24.7	1.6	30.4	106.0	316.0	12.3
M11	719	7.5	84.4	51.8	19.1	0.8	9.2	190.0	248.0	33.0
M12	570	7.5	66.4	28.3	17.4	0.7	11.3	68.0	228.0	33.0
M13	782	7.4	90.0	43.0	16.1	0.7	9.0	106.0	316.0	63.8
M14	383	7.8	56.1	16.1	16.2	0.4	5.3	15.0	228.0	13.5
M15	682	7.3	73.6	34.7	22.4	0.6	10.7	80.0	329.0	26.0
M16	435	7.6	52.4	28.5	17.7	0.7	9.5	19.0	256.0	21.5
M17	485	7.7	60.4	28.6	14.3	0.5	11.0	20.0	260.0	27.3
M18	1110	7.0	125.0	40.1	37.5	1.0	125.0	23.0	305.0	70.1
M19	402	7.6	55.0	19.1	16.1	0.3	10.5	14.0	222.0	19.8
M20	412	7.7	54.0	26.0	11.1	0.3	10.3	13.0	236.0	24.0
M21	441	7.7	56.8	23.9	17.5	0.4	10.5	21.0	224.0	42.2
M22	457	7.5	65.5	24.5	11.3	1.0	13.2	22.0	249.0	21.0
M23	440	7.8	55.2	20.0	17.5	0.5	11.8	19.0	219.0	38.7
M24	628	7.5	95.6	30.8	12.2	1.7	11.5	32.0	338.0	40.9
M25	443	7.6	60.8	9.8	16.9	0.7	7.0	32.0	215.0	4.4
M26	464	7.5	59.5	25.8	13.5	0.8	12.9	26.0	235.0	25.6
M27	627	7.3	84.4	22.3	19.2	0.6	42.8	21.0	244.0	36.7
M28	501	7.3	79.2	12.3	13.5	0.6	18.8	14.0	230.0	31.2
M29	461	7.9	65.0	18.5	5.5	0.3	9.5	16.0	230.0	9.6
M30	514	7.3	77.1	14.5	20.1	0.7	16.5	20.0	241.0	29.8
M31	450	7.1	73.5	11.2	11.1	0.5	10.4	11.0	222.0	27.5
M32	478	7.5	79.6	3.9	10.2	0.4	11.7	10.0	215.0	30.8
M33	508	7.4	90.4	3.9	12.4	0.7	22.1	15.0	236.0	23.8
M34	468	7.2	69.6	6.1	12.1	0.7	18.5	18.0	231.0	15.8
M35	453	7.7	71.1	16.2	15.7	0.8	7.8	33.0	249.0	5.9
M36	397	7.7	72.5	9.3	14.3	1.1	7.0	18.0	227.0	16.3
M37	521	7.6	53.4	25.1	28.2	0.7	24.6	20.0	230.0	33.9
M38	599	7.7	82.1	33.0	15.2	0.5	18.9	64.0	250.0	50.2
M39	650	7.6	92.0	22.0	14.7	0.6	29.0	27.0	303.0	68.6
M40	544	7.1	89.2	3.2	17.8	0.9	17.1	20.0	233.0	18.9
M41	512	7.4	77.1	19.2	12.1	0.7	13.6	20.0	262.0	16.8
M42	525	7.4	96.2	11.5	15.0	0.6	11.5	14.0	299.0	16.9
M43	681	7.6	84.4	31.0	16.2	0.6	26.4	57.0	285.0	62.5
Μέση Τιμή	553.5	7.5	72.4	24.4	17.7	0.8	17.2	41.8	252.3	35.9
Τυπική Απόκλιση	151.7	0.2	16.5	12.6	6.9	0.4	18.6	44.5	34.7	26.2
Max	1110	7.9	125.0	60.1	38.8	1.7	125.0	190.0	338.0	130.2
Min	361	7.0	38.0	3.2	5.5	0.3	5.3	10.0	195.0	4.4

Στην πρώτη στήλη του πίνακα 4.1 και 4.2 παρουσιάζονται οι αριθμοί των γεωτρήσεων από τις οποίες έγινε συλλογή νερού, ενώ στις υπόλοιπες στήλες φαίνονται οι συγκεντρώσεις σε mg/l των διαφόρων ιόντων. Επίσης στις τελευταίες γραμμές των δύο πινάκων, υπολογίστηκε, με βάση το σύνολο των γεωτρήσεων, η μέση τιμή, η τυπική απόκλιση, καθώς και η μέγιστη και ελάχιστη τιμή του κάθε ιόντος.

Έτσι για την περίοδο του Αυγούστου-Σεπτεμβρίου, ενδιαφέρον παρουσιάζει να σημειώσουμε ότι οι τιμές των διαφόρων ιόντων κυμαίνονται μέσα σε ένα ιδιαίτερα ευρύ σύνολο τιμών γι' αυτό και παρατηρείται μεγάλη διαφορά ανάμεσα στην μέγιστη και την ελάχιστη τιμή του κάθε ιόντος, με μόνη εξαίρεση την διακύμανση της τιμής του pH και της συγκέντρωσης των ιόντων K^+ . Η γεώτρηση που παρουσιάζει την μεγαλύτερη τιμή ηλεκτρικής αγωγιμότητας, είναι η M5 που βρίσκεται στην περιοχή του Αυλακίου, στην οποία οι συγκεντρώσεις τόσο των κατιόντων Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , όσο και των ανιόντων NO_3^- είναι οι μεγαλύτερες της περιόδου. Η μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε ιόντα K^+ και HCO_3^- παρατηρείται στη γεώτρηση M10 που βρίσκεται και αυτή στην περιοχή του Αυλακίου, ενώ η M18 και M4 έχουν τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις σε Cl^- και $SO_4^{=}$ αντίστοιχα.

Κατά την επανάληψη των χημικών αναλύσεων στα νερά των γεωτρήσεων, πριν την έναρξη της αρδευτικής περιόδου, συμπεραίνουμε ότι οι μέσες τιμές των συγκεντρώσεων των διαφόρων ιόντων, παρουσιάζουν μία μείωση σε σχέση με εκείνες του πίνακα 4.1, γεγονός απόλυτα φυσιολογικό για τα ιόντα εκείνα (K^+ , NO_3^-) που είναι άμεσα συνδεδεμένα με την προσβολή του υδροφόρου από τη χρήση λιπασμάτων. Αντίθετα οι συγκεντρώσεις των ιόντων που συνδέονται με την λιθολογία του υδροφορέα, μεταβάλλονται ελάχιστα (Ca^{++} , Mg^{++} , HCO_3^- , $SO_4^{=}$), παραμένοντας στα ίδια επίπεδα και στις δύο περιόδους δειγματοληψίας. Από το σύνολο των γεωτρήσεων, εκείνη που παρουσιάζει την υψηλότερη τιμή ηλεκτρικής αγωγιμότητας, είναι η M18, που ανήκει στην περιοχή της Αγίας Μαρίνας, στην οποία επικρατούν οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις και σε ιόντα Ca^{++} και Cl^- . Η γεώτρηση M3 υπολογίστηκε ότι έχει τη μεγαλύτερη συγκέντρωση ιόντων NO_3^- της περιόδου, ενώ στη γεώτρηση M24 τα ιόντα K^+ και HCO_3^- είναι τα υψηλότερα που παρατηρούνται. Σε ότι αφορά τις περιεκτικότητες σε ιόντα Mg^{++} , Na^+ και K^+ , η γεώτρηση M5 του Αυλακίου, φαίνεται να ξεχωρίζει. Τέλος, στην γεώτρηση M11, τα ιόντα $SO_4^{=}$ φαίνεται ότι παρουσιάζουν την μέγιστη συγκέντρωση.

Από την ανάλυση των δύο πινάκων (4.1, 4.2), παρατηρούμε ότι η γεώτρηση M5, του Αυλακίου εμφανίζει υψηλές συγκεντρώσεις στα ιόντα Na^+ και Mg^{++} και στις δύο περιόδους δειγματοληψίας, ενώ στη M18, της Αγίας Μαρίνας, η συγκέντρωση σε ιόντα Cl^- είναι μεγαλύτερη πριν την έναρξη της αρδευτικής περιόδου. Ανάλογη είναι και η περιεκτικότητα σε ιόντα NO_3^- των γεωτρήσεων M3 και M6 του Αυλακίου, που παρουσιάζεται υψηλότερη απ' ό,τι την περίοδο Αυγούστου-Σεπτεμβρίου.

Περισσότερα συμπεράσματα για την περιεκτικότητα σε ιόντα των νερών των γεωτρήσεων, θα δοθούν στο επόμενο κεφάλαιο.

Καταλήγοντας, πρέπει να σημειώσουμε, ότι από τις 43 γεωτρήσεις που αναλύθηκαν, όλες χρησιμοποιούνται για αρδευτικούς σκοπούς, εκτός από την M25 και την M17 που αποτελούν γεωτρήσεις ύδρευσης των χωριών Αυλακίου και Αγίας Μαρίνας αντίστοιχα. Πράγματι, όπως μαρτυρούν και οι πίνακες 4.1, 4.2, και 4.3, η ποιότητα των νερών των δύο αυτών γεωτρήσεων πληροί τα σταθερότυπα του πόσιμου νερού (Οδηγία 80/778 ΕΟΚ, ΦΕΚ 53Α/20-2-86).

Πίνακας 4.3 Σταθερότυπα πόσιμου νερού (Οδηγία 80/778 ΕΟΚ, ΦΕΚ 53Α/20-2-86). (από Γ. Καλλέργη, 2000)

Ιδιότητα ή Παράμετρος	Μονάδα μέτρησης	Ενδεικτικό επίπεδο	Ανώτατο επιτρεπτό όριο
pH	μονάδες pH	$6.5 \leq \text{pH} \leq 8.5$	
Αγωγιμότητα	$\mu\text{S}/\text{cm}$ έως 20°C	400	
Cl	mg/l	25	
SO₄	mg/l	25	250
Mg	mg/l	30	50
Na	mg/l	20	175(από το 1984) 150(από το 1987)
K	mg/l	10	12
NO₃	mg/l	25	50
Ca	mg/l	100	

5. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΜΩΝ

5.1 Υδροχημικά διαγράμματα

Οι χημικές αναλύσεις που δίνουν την ποιότητα του υπόγειου νερού εκφράζονται με πολλούς αριθμούς. Αν έχουμε τα αποτελέσματα από τη χημική ανάλυση ενός δείγματος νερού τότε μπορούμε από τους αριθμούς να διακρίνουμε την ποιότητά τους, να συμπεράνουμε για την καταλληλότητά του για διάφορες χρήσεις και ενδεχόμενα για την υπόγεια διαδρομή του και την διέλευσή του από ορισμένους γεωλογικούς σχηματισμούς. Αν όμως έχουμε τις χημικές αναλύσεις από πολλά δείγματα υπόγειου νερού, όπως συμβαίνει στην συγκεκριμένη εργασία, είναι δύσκολο να τα συγκρίνουμε άμεσα και ιδίως εποπτικά και να εξάγουμε συγκριτικά συμπεράσματα παίρνοντας υπόψη και την ακριβή προέλευση των δειγμάτων. Απαιτείται επομένως επεξεργασία των αριθμητικών αυτών δεδομένων με βάση ορισμένα διαγράμματα που επιτρέπουν συγκρίσεις, κατατάξεις, χαρακτηρισμούς και γενικά εξαγωγή συμπερασμάτων. (Γ. Σούλιος, 2006)

Ειδικότερα στην παρούσα εργασία, παρατίθενται :

- *Συσχετιστικά διαγράμματα* βάσει των οποίων γίνεται σύγκριση μεταξύ των μεταβολών δύο ιόντων καθώς επίσης και της μεταβολής κάποιων ιόντων με τη στάθμη των υδροφόρων στρωμάτων.
- *Υδροχημικά διαγράμματα* που είναι πολλά και διάφορα και επιτρέπουν συναγωγή συμπερασμάτων για ερμηνείες και χαρακτηρισμούς του υπόγειου νερού. Τα πιο συνηθισμένα είναι τα διαγράμματα Durov, Piper, Schoeller, τα τριγωνικά, τα τετραγωνικά, τα ακτινικά πολυγωνικά, τα οριζόντια πολυγωνικά.

Τα προγράμματα που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή των παραπάνω διαγραμμάτων είναι το AquaChem 3.7 και το Microsoft Excel σε περιβάλλον Windows XP.

5.1.1 Συσχετιστικά Διαγράμματα

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

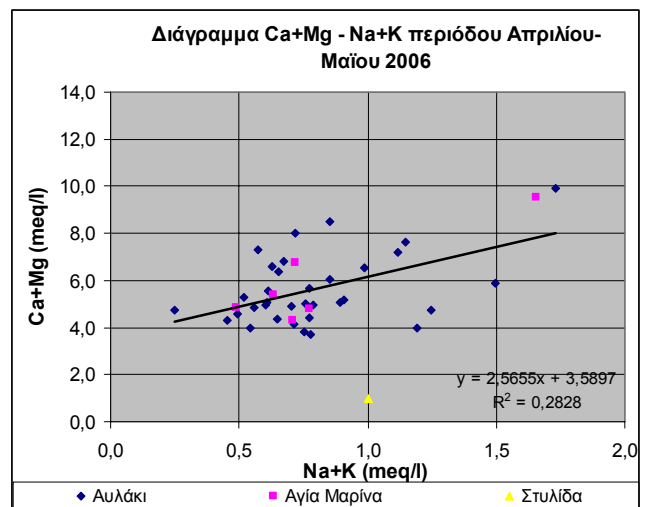
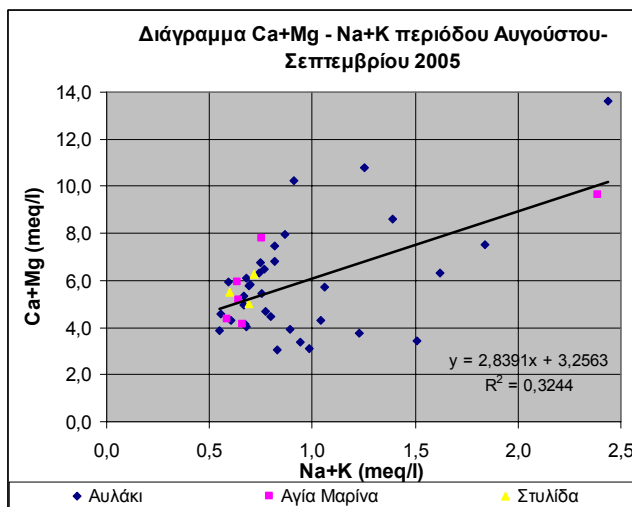
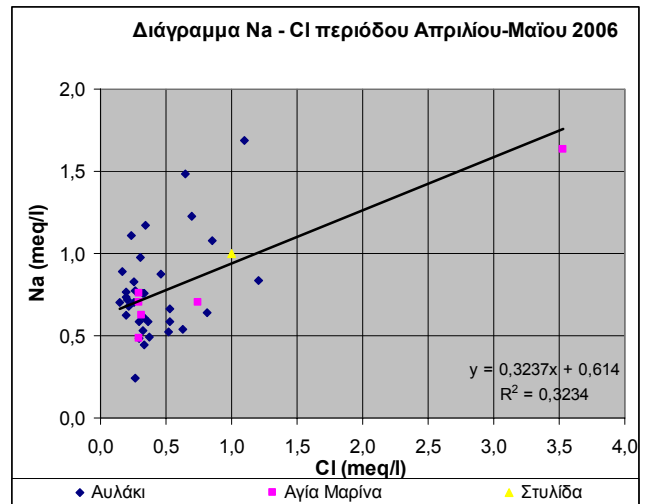
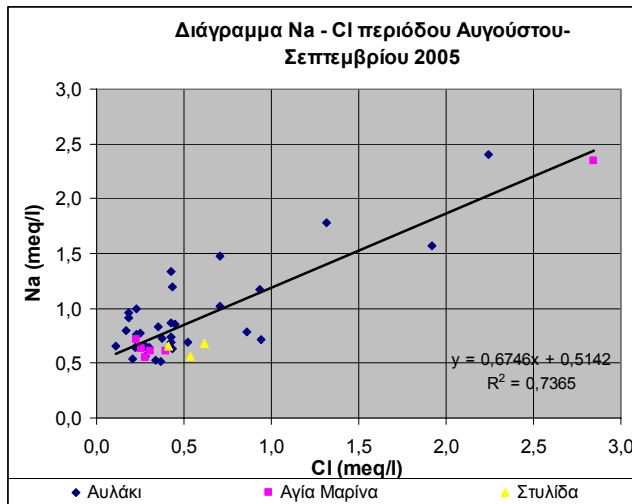
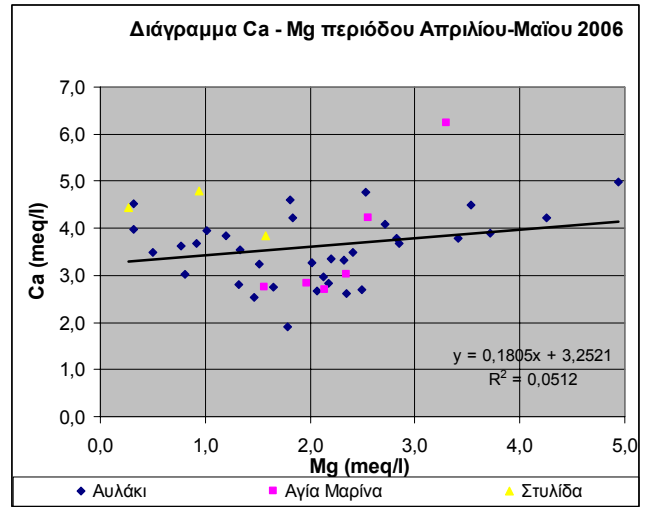
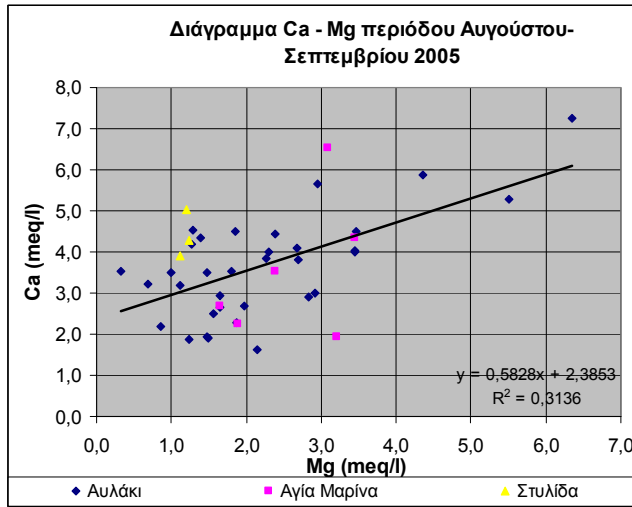
Για την περιοχή μελέτης και για τις δύο περιόδους δειγματοληψίας δημιουργήθηκαν τα πιο συνήθη συσχετιστικά διαγράμματα σε meq/l. Αυτά είναι τα ζεύγη Ca – Mg, Na – Cl, Cl – SO₄, και τα αθροίσματα Ca+Mg – Na+K και φαίνονται στα παρακάτω σχήματα ενώ οι τιμές των ιόντων σε meq/l δίνονται στους πίνακες 5.1.1(α) και 5.1.1(β) για την περίοδο Αυγούστου-Σεπτεμβρίου 2005 και για την περίοδο Απριλίου-Μαΐου 2006 αντίστοιχα.

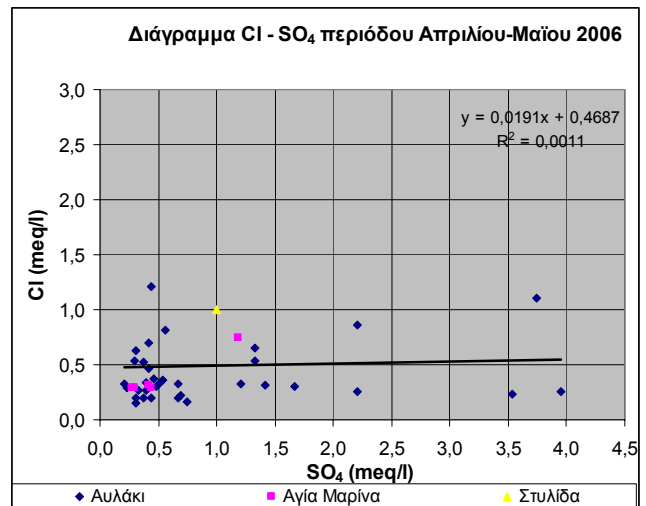
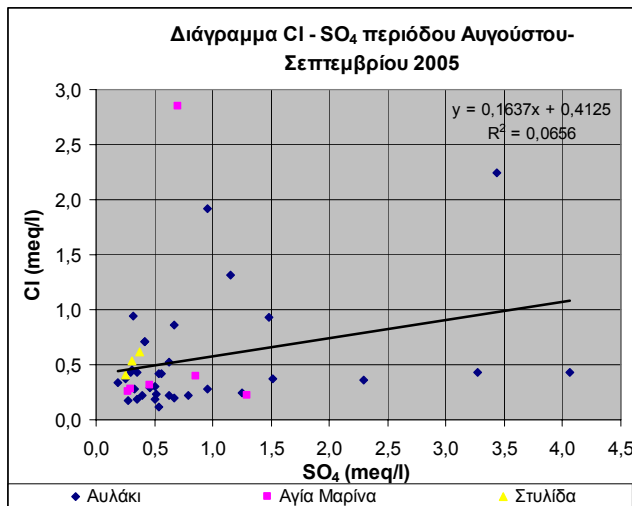
Πίνακας 5.1.1(α) Χημικές αναλύσεις περιόδου Αυγούστου-Σεπτεμβρίου 2005 σε meq/l

Αριθμός Γεώτρησης	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO ₄	HCO ₃	NO ₃	Ca+Mg	Na+K
M1	4,49	1,85	0,69	0,05	0,52	0,62	4,42	0,83	6,34	0,74
M2	3,01	2,91	0,54	0,05	0,20	0,67	4,75	0,37	5,93	0,59
M3	3,85	2,27	0,64	0,04	0,30	0,50	3,98	1,69	6,12	0,68
M4	5,65	2,95	1,33	0,06	0,43	4,06	5,00	0,49	8,60	1,39
M5	7,27	6,35	2,40	0,04	2,24	3,44	4,93	5,32	13,61	2,44
M6	4,04	3,45	1,78	0,05	1,31	1,16	4,92	1,19	7,50	1,84
M7	3,99	3,45	0,77	0,04	0,25	1,25	5,01	1,31	7,44	0,82
M8	4,49	3,47	0,83	0,04	0,36	2,29	4,31	1,01	7,96	0,87
M9	1,90	1,49	0,91	0,03	0,19	0,35	3,05	0,39	3,38	0,94
M10	5,29	5,51	1,17	0,08	0,93	1,48	6,93	0,19	10,80	1,25
M11	1,89	1,24	0,96	0,03	0,19	0,50	2,84	0,33	3,13	0,98
M12	3,80	2,70	0,73	0,04	0,38	1,52	4,26	0,46	6,50	0,77
M13	5,86	4,36	0,87	0,04	0,43	3,27	5,16	1,29	10,22	0,91
M14	2,30	1,87	0,64	0,03	0,24	0,51	3,28	0,24	4,16	0,67
M15	2,92	2,84	0,65	0,04	0,11	0,54	4,92	0,21	5,76	0,69
M16	2,19	0,86	0,79	0,04	0,17	0,27	3,47	0,32	3,05	0,83
M17	1,95	3,21	0,61	0,03	0,31	0,46	4,10	0,42	5,15	0,64
M18	6,54	3,08	2,35	0,04	2,85	0,71	4,69	1,07	9,62	2,39
M19	2,25	1,89	0,63	0,03	0,25	0,27	3,46	0,28	4,14	0,66
M20	2,69	1,64	0,55	0,03	0,28	0,29	3,52	0,37	4,34	0,58
M21	3,54	2,38	0,61	0,03	0,39	0,85	3,85	0,84	5,93	0,64
M22	2,64	1,64	0,57	0,04	0,28	0,33	3,61	0,28	4,29	0,60
M23	1,62	2,15	1,20	0,03	0,43	0,29	3,18	0,44	3,76	1,23
M24	4,09	2,67	0,70	0,05	0,42	0,56	4,49	0,84	6,76	0,75
M25	3,19	1,11	1,00	0,04	0,23	0,79	3,46	0,15	4,30	1,04
M26	3,54	1,81	0,63	0,04	0,30	0,46	3,87	0,41	5,35	0,67
M27	4,34	1,40	1,02	0,04	0,71	0,42	3,43	0,62	5,74	1,06
M28	4,19	1,27	0,72	0,04	0,94	0,32	3,64	0,52	5,47	0,75
M29	4,54	1,28	0,65	0,04	0,28	0,96	4,36	0,14	5,82	0,70
M30	3,23	0,68	0,85	0,04	0,45	0,31	3,20	0,45	3,92	0,89
M31	3,54	0,33	0,52	0,03	0,37	0,25	3,03	0,42	3,87	0,55
M32	2,94	1,64	0,52	0,03	0,34	0,19	3,57	0,47	4,59	0,56
M33	3,49	1,48	0,63	0,04	0,43	0,35	3,74	0,34	4,97	0,67
M34	3,99	2,30	1,57	0,06	1,92	0,96	3,92	0,17	6,29	1,62
M35	3,49	0,99	0,77	0,03	0,23	0,62	3,69	0,23	4,48	0,80
M36	2,50	1,56	0,64	0,04	0,22	0,40	3,39	0,32	4,06	0,68
M37	1,95	1,48	1,48	0,03	0,71	0,42	3,02	0,42	3,43	1,51
M38	2,69	1,97	0,74	0,04	0,42	0,54	3,52	0,56	4,67	0,78
M39	4,44	2,38	0,78	0,03	0,86	0,67	4,18	1,18	6,83	0,81
M40	5,04	1,20	0,67	0,04	0,62	0,37	4,69	0,30	6,24	0,72
M41	3,89	1,11	0,65	0,04	0,41	0,25	4,05	0,26	5,00	0,69
M42	4,29	1,23	0,57	0,03	0,54	0,31	4,42	0,27	5,52	0,60
M43	4,34	3,45	0,72	0,04	0,23	1,29	5,33	1,00	7,80	0,75

Πίνακας 5.1.1(β) Χημικές αναλύσεις περιόδου Απριλίου-Μαΐου 2006 σε meq/l

Αριθμός Γεώτρησης	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO4	HCO3	NO ₃	Ca+Mg	Na+K
M1	3,35	2,20	0,59	0,03	0,30	0,48	4,44	0,43	5,54	0,61
M2	2,84	2,18	0,72	0,04	0,20	0,44	3,93	0,68	5,02	0,76
M3	3,77	2,83	0,61	0,02	0,33	1,21	3,98	2,10	6,60	0,63
M4	3,89	3,72	1,11	0,04	0,23	3,54	4,62	0,51	7,61	1,14
M5	3,49	2,41	1,48	0,02	0,65	1,33	3,82	1,11	5,90	1,50
M6	4,99	4,94	1,69	0,04	1,10	3,75	4,61	2,04	9,93	1,73
M7	2,53	1,46	1,17	0,02	0,34	0,52	3,31	0,77	4,00	1,19
M8	2,69	2,49	0,89	0,02	0,16	0,75	4,74	0,56	5,19	0,91
M9	1,90	1,78	0,77	0,01	0,20	0,31	3,20	0,37	3,68	0,78
M10	3,79	3,41	1,07	0,04	0,86	2,21	5,18	0,20	7,21	1,12
M11	4,21	4,26	0,83	0,02	0,26	3,96	4,06	0,53	8,47	0,85
M12	3,31	2,33	0,76	0,02	0,32	1,42	3,74	0,53	5,64	0,77
M13	4,49	3,54	0,70	0,02	0,25	2,21	5,18	1,03	8,03	0,72
M14	2,80	1,32	0,70	0,01	0,15	0,31	3,74	0,22	4,12	0,71
M15	3,67	2,85	0,97	0,02	0,30	1,67	5,39	0,42	6,53	0,99
M16	2,61	2,34	0,77	0,02	0,27	0,40	4,20	0,35	4,96	0,79
M17	3,01	2,35	0,62	0,01	0,31	0,42	4,26	0,44	5,37	0,63
M18	6,24	3,30	1,63	0,03	3,53	0,48	5,00	1,13	9,54	1,66
M19	2,74	1,57	0,70	0,01	0,30	0,29	3,64	0,32	4,32	0,71
M20	2,69	2,14	0,48	0,01	0,29	0,27	3,87	0,39	4,83	0,49
M21	2,83	1,97	0,76	0,01	0,30	0,44	3,67	0,68	4,80	0,77
M22	3,27	2,01	0,49	0,03	0,37	0,46	4,08	0,34	5,28	0,52
M23	2,75	1,64	0,76	0,01	0,33	0,40	3,59	0,62	4,40	0,77
M24	4,77	2,53	0,53	0,04	0,32	0,67	5,54	0,66	7,30	0,57
M25	3,03	0,81	0,74	0,02	0,20	0,67	3,52	0,07	3,84	0,75
M26	2,97	2,12	0,59	0,02	0,36	0,54	3,85	0,41	5,09	0,61
M27	4,21	1,83	0,84	0,02	1,21	0,44	4,00	0,59	6,05	0,85
M28	3,95	1,01	0,59	0,02	0,53	0,29	3,77	0,50	4,96	0,60
M29	3,24	1,52	0,24	0,01	0,27	0,33	3,77	0,15	4,76	0,25
M30	3,85	1,19	0,87	0,02	0,47	0,42	3,95	0,48	5,04	0,89
M31	3,67	0,92	0,48	0,01	0,29	0,23	3,64	0,44	4,59	0,50
M32	3,97	0,32	0,44	0,01	0,33	0,21	3,52	0,50	4,29	0,45
M33	4,51	0,32	0,54	0,02	0,62	0,31	3,87	0,38	4,83	0,56
M34	3,47	0,50	0,53	0,02	0,52	0,37	3,79	0,25	3,97	0,54
M35	3,55	1,33	0,68	0,02	0,22	0,69	4,08	0,10	4,88	0,70
M36	3,62	0,76	0,62	0,03	0,20	0,37	3,72	0,26	4,38	0,65
M37	2,66	2,06	1,23	0,02	0,69	0,42	3,77	0,55	4,73	1,24
M38	4,10	2,71	0,66	0,01	0,53	1,33	4,10	0,81	6,81	0,67
M39	4,59	1,81	0,64	0,02	0,82	0,56	4,97	1,11	6,40	0,65
M40	4,45	0,26	0,77	0,02	0,48	0,42	3,82	0,30	4,71	0,80
M41	3,85	1,58	0,53	0,02	0,38	0,42	4,29	0,27	5,43	0,54
M42	4,80	0,95	0,65	0,02	0,32	0,29	4,90	0,27	5,75	0,67
M43	4,21	2,55	0,70	0,02	0,74	1,19	4,67	1,01	6,76	0,72



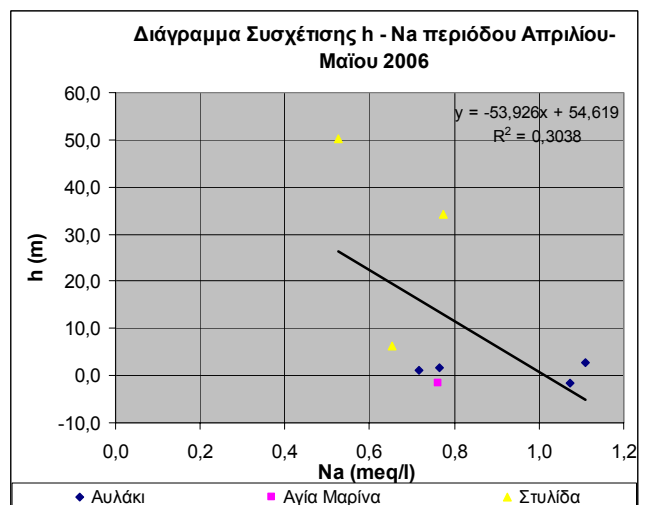
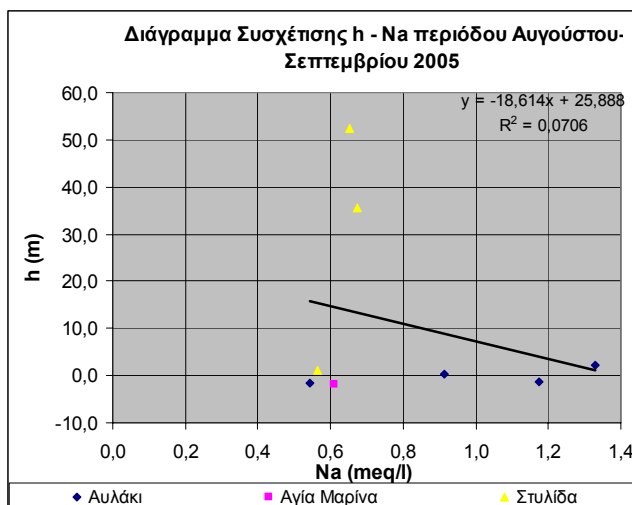
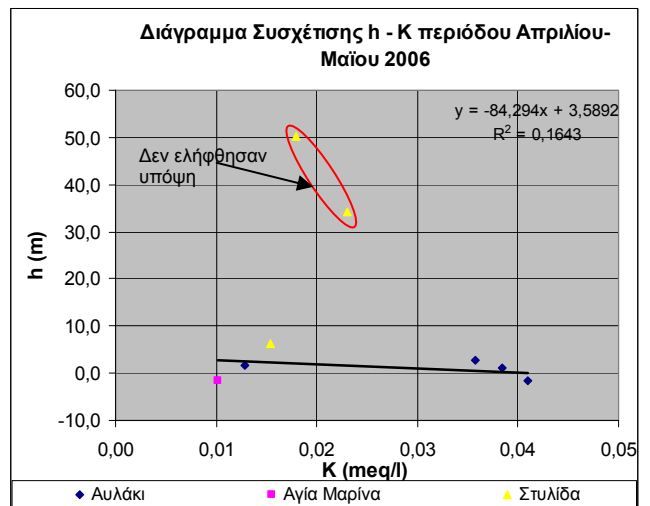
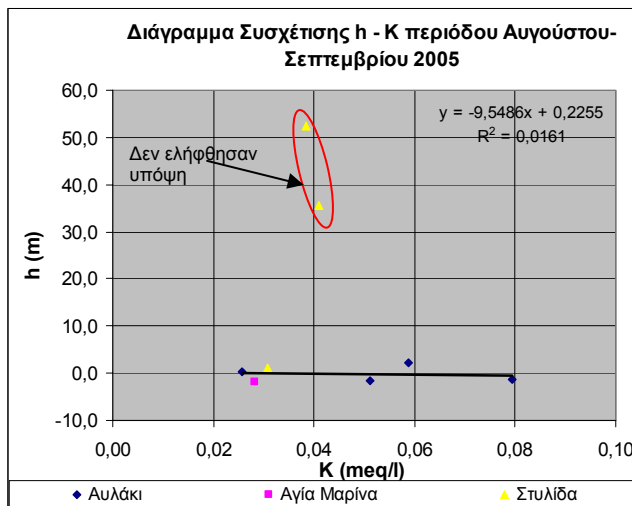
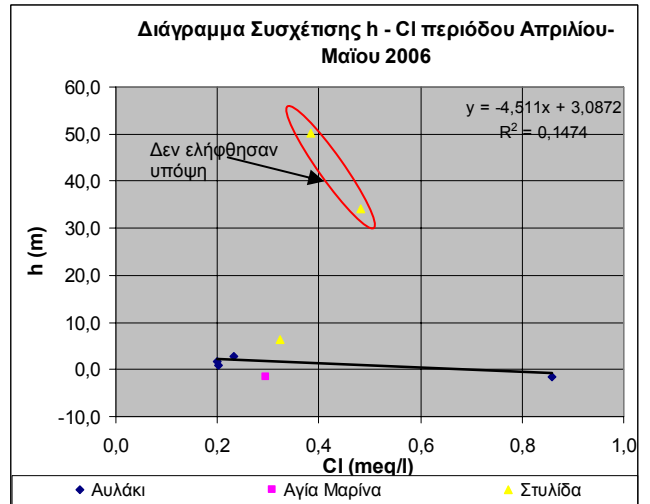
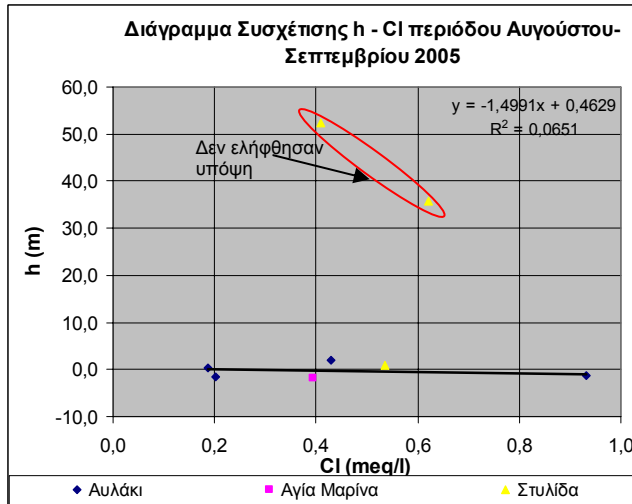


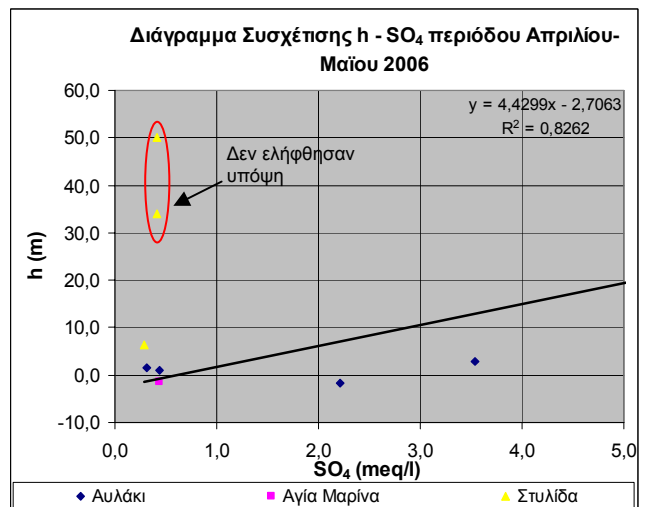
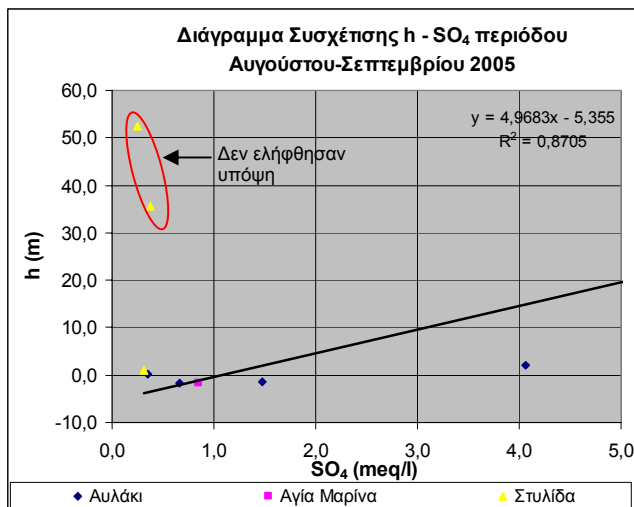
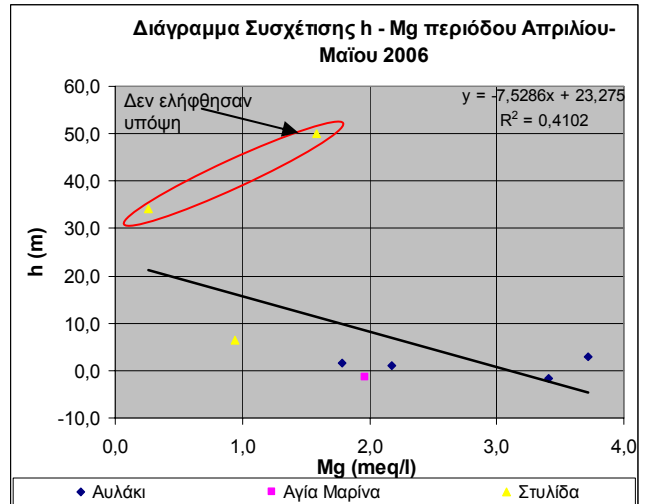
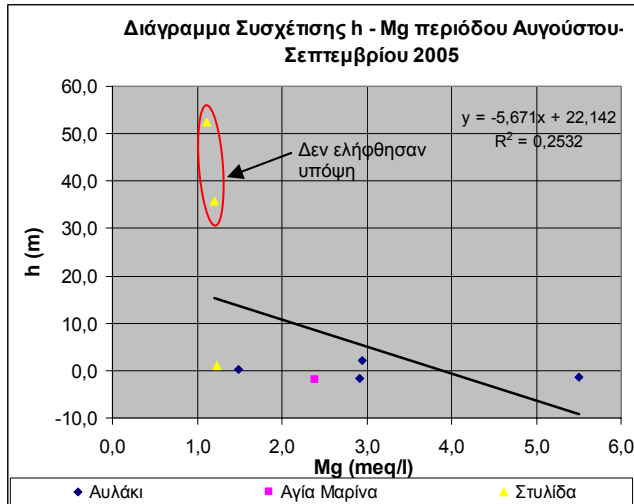
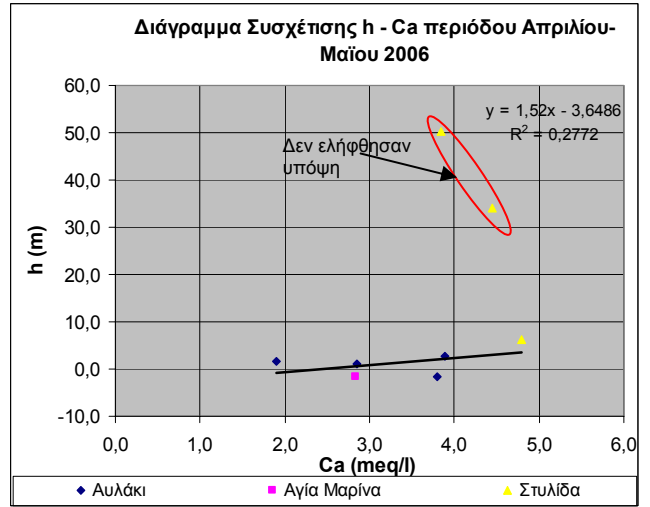
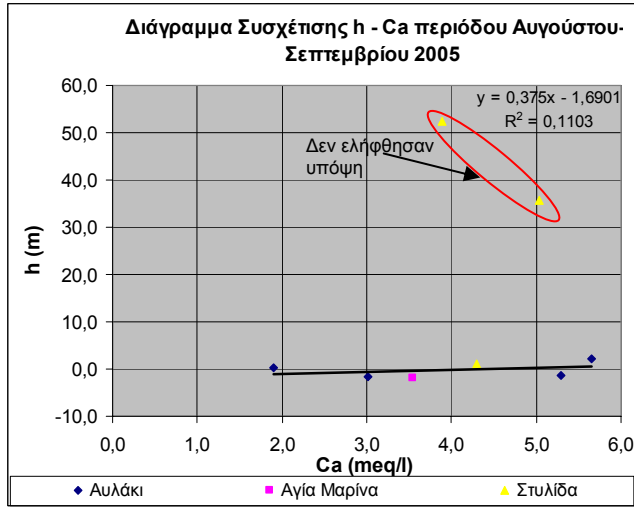
Γίνεται λοιπόν αντιληπτό, από τα παραπάνω διαγράμματα, ότι δεν προκύπτει ικανοποιητική συσχέτιση μεταξύ των ιόντων, εκτός από αυτό του Na-Cl την περίοδο Αυγούστου-Σεπτεμβρίου 2005, με συντελεστή συσχέτισης 0.7. Περιμέναμε γενικά, τόσο τα διαγράμματα Na-Cl, όσο και τα διαγράμματα Ca-Mg, να έχουν πιο μεγάλους συντελεστές συσχέτισης. Δεν είναι δυνατή η εξαγωγή κάποιου συμπεράσματος. Προς αυτή την κατεύθυνση, θα βοηθούσε η περαιτέρω παρακολούθηση του χημισμού των νερών των γεωτρήσεων της περιοχής μελέτης.

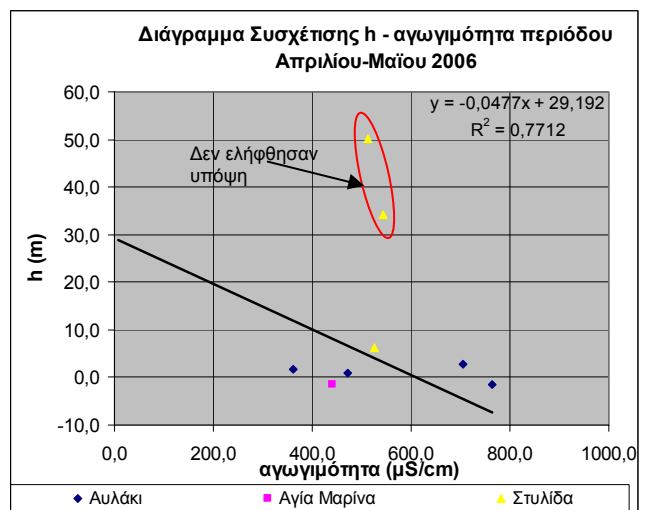
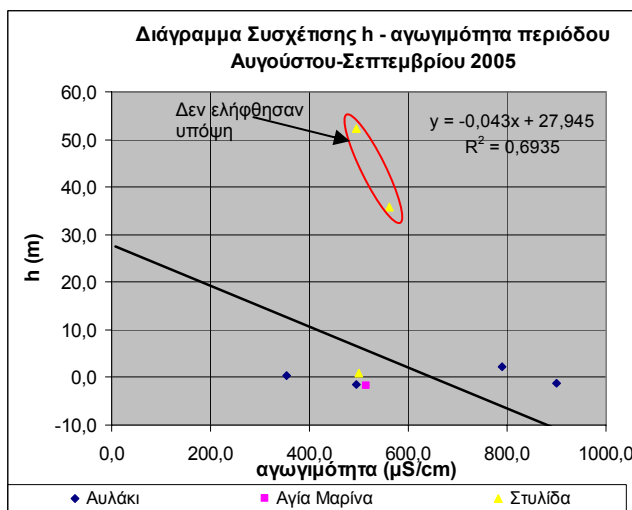
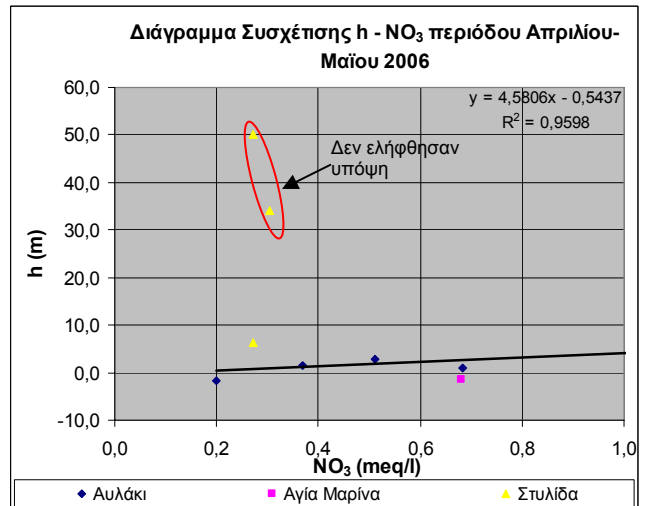
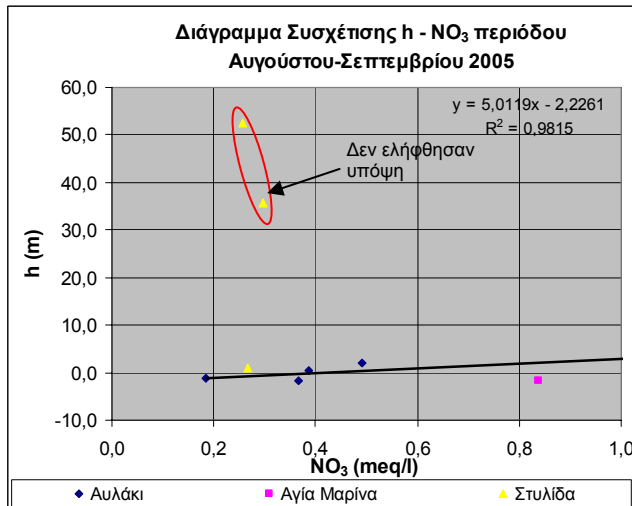
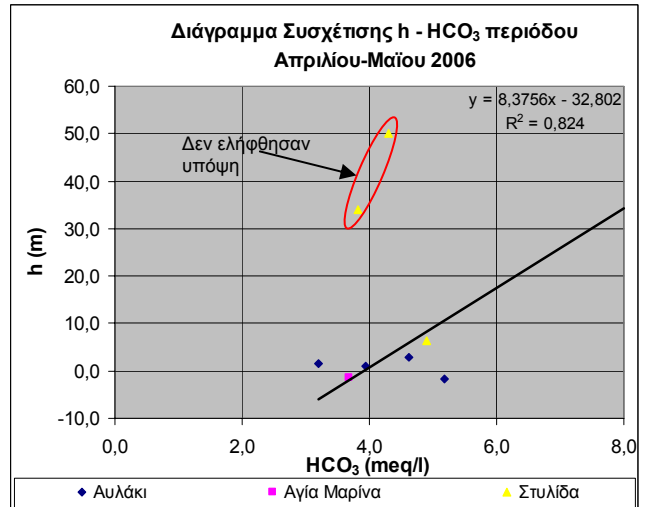
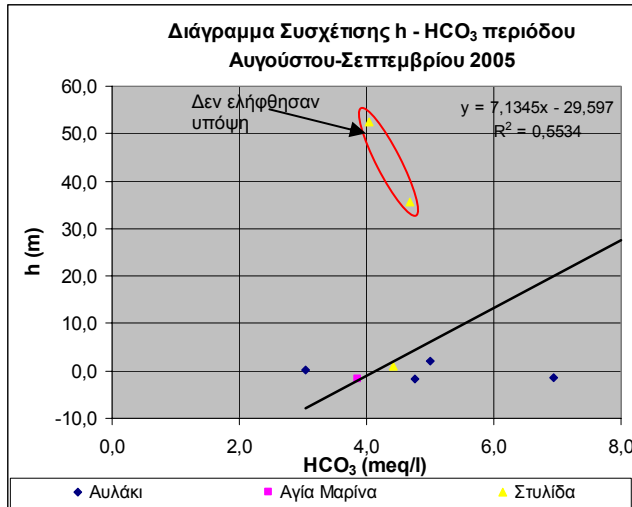
Εκτός από τα συσχετιστικά διαγράμματα μεταξύ ιόντων, έγινε και μία προσπάθεια συσχέτισης διαφόρων ιόντων, της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και του pH, με την απόλυτη τιμή της στάθμης των υδροφόρων οριζόντων της εξεταζόμενης περιοχής. Στα διαγράμματα αυτά χρησιμοποιήθηκαν οι τιμές των πινάκων 5.1.1(α), 5.1.1(β) και 5.1.1(γ) και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στην συνέχεια.

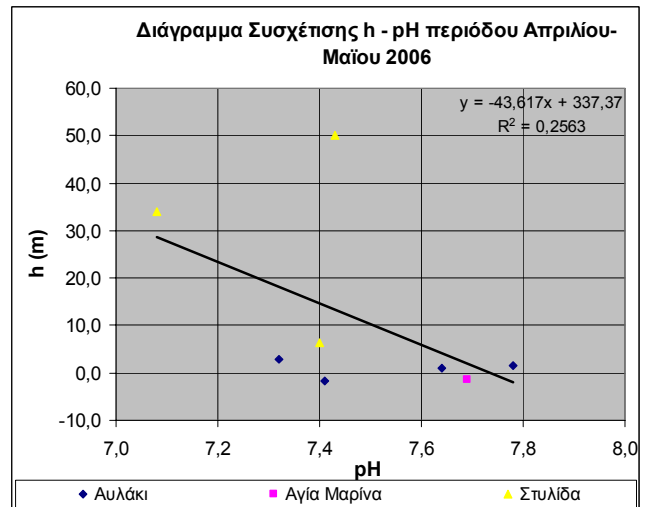
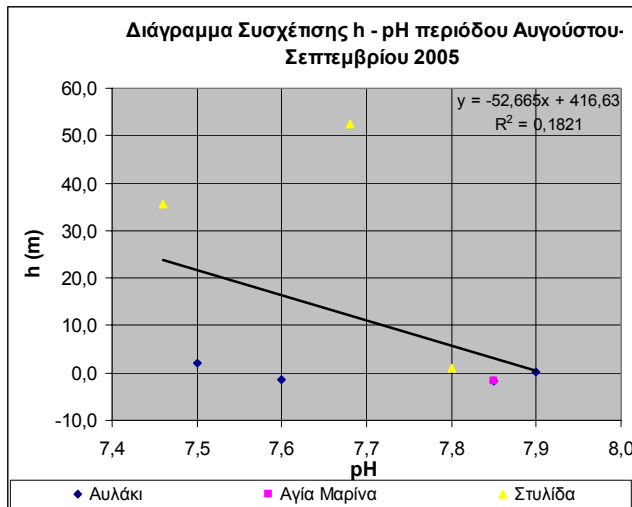
Πίνακας 5.1.1(γ) Κοινές απόλυτες τιμές στάθμης για τις δύο περιόδους δειγματοληψίας στην περιοχή μελέτης

	M2	M4	M9	M10	M21	M40	M41	M42
Απόλυτη τιμή στάθμης περιόδου Αυγούστου - Σεπτεμβρίου 2005 (m)	-1,60	2,12	0,32	-1,30	-1,80	35,66	52,40	1,00
Απόλυτη τιμή στάθμης περιόδου Απριλίου - Μαΐου 2006 (m)	1,00	2,80	1,60	-1,60	-1,50	34,10	50,17	6,30









Από τους συντελεστές συσχέτισης των παραπάνω διαγραμμάτων συμπεραίνουμε, ότι τα ιόντα που συσχετίζονται με την απόλυτη τιμή της στάθμης των υδροφόρων οριζόντων είναι τα $\text{SO}_4^{=}$, HCO_3^- , NO_3^- και η αγωγιμότητα. Βέβαια, τα δεδομένα στάθμης είναι ελάχιστα και ίσως αυτό να αποτελεί ανασταλτικό παράγοντα στην διεξαγωγή ουσιαστικών συμπερασμάτων. Επιπλέον για μια πιο αντιπροσωπευτική απεικόνιση της συσχέτισης των απόλυτων τιμών της στάθμης με τις συγκεντρώσεις των ιόντων, κρίθηκε απαραίτητη η εξαίρεση των δεδομένων των γεωτρήσεων M41 και M42 της περιοχής της Στυλίδας.

5.1.2 Υδροχημικά Διαγράμματα

Τα υδροχημικά διαγράμματα πέρα από τη σύγκριση που επιτρέπουν και την ταξινόμηση των αναλυθέντων δειγμάτων νερού, δίνουν και πληροφορίες για την υδροχημική τους φάση.

Έχουν επινοηθεί πάρα πολλά είδη διαγραμμάτων, ορισμένα από τα οποία χρησιμοποιούνται ελάχιστα, ενώ άλλα πολύ συχνά γιατί είναι κατατοπιστικά. Επίσης πολλά από αυτά έχουν τροποποιηθεί πολλές φορές και χρησιμοποιούνται παραλλαγές τους.

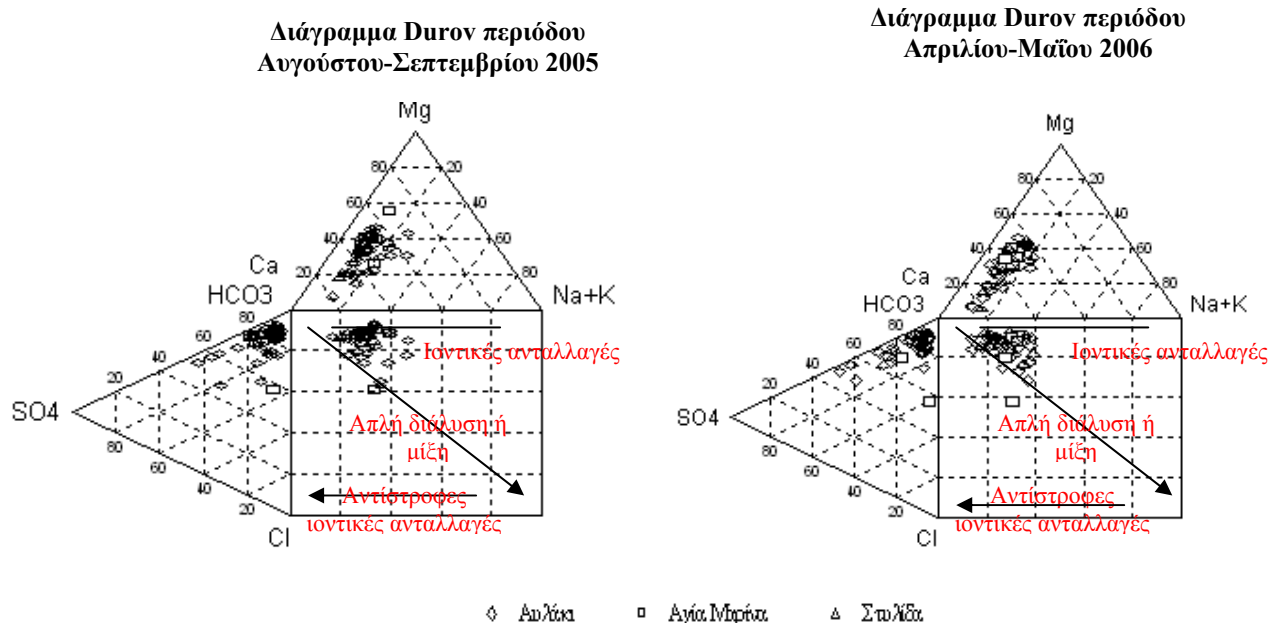
Αυτά που χρησιμοποιήθηκαν για την ταξινόμηση των νερών της παρούσας περιοχής μελέτης παρατίθενται στη συνέχεια και για τις δύο περιόδους δειγματοληψίας.

5.1.2.1. Διάγραμμα Durov

Προτεινίσθηκε από τον Durov, S.A. (1948) και τροποποιήθηκε κυρίως από τον Zarogozec, A. (1972), όπως και από τον Hem, J.D. (1970) και οι Lloyd, J. – Heathcote, J. (1985).

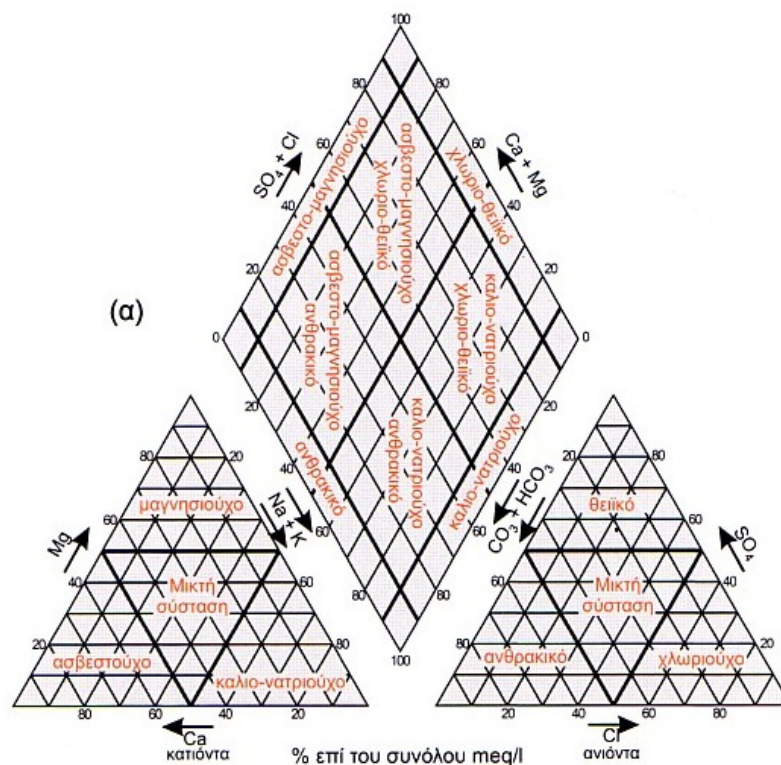
Η πιο εύχρηστη παραλλαγή του είναι αυτή με τα δύο τριγωνικά διαγράμματα, ένα για τα ανιόντα και ένα για τα κατιόντα που συνδέονται με ένα τετραγωνικό, διαχωρισμένο σε 9 επί μέρους τετραγωνίδια, τα οποία αντιστοιχούν σε κατηγορίες νερού, αλλά και σε περιοχές στις οποίες συμβαίνουν στο νερό διαφορετικές υδροχημικές διαδικασίες.

Για την εφαρμογή του διαγράμματος Durov στην περιοχή μελέτης, χρησιμοποιήθηκαν ως μονάδες meq/l και μάλιστα η εκατοστιαία αναλογία τους στα κατιόντα και στα ανιόντα χωριστά. Στα σχήματα που ακολουθούν φαίνεται η εφαρμογή του διαγράμματος Durov για την δειγματοληψία τόσο του Αυγούστου – Σεπτεμβρίου 2005 όσο και του Απριλίου – Μαΐου 2006.



Γίνεται αντιληπτό από το διάγραμμα του Αυγούστου-Σεπτεμβρίου 2005 ότι τα νερά της περιοχής είναι γλυκά, ενώ από πλευράς ταξινόμησης, σε αυτά κυριαρχούν από τα ανιόντα, το HCO_3^- , και από τα κατιόντα το Ca^{++} . Είναι λοιπόν νερά ανθρακικά.

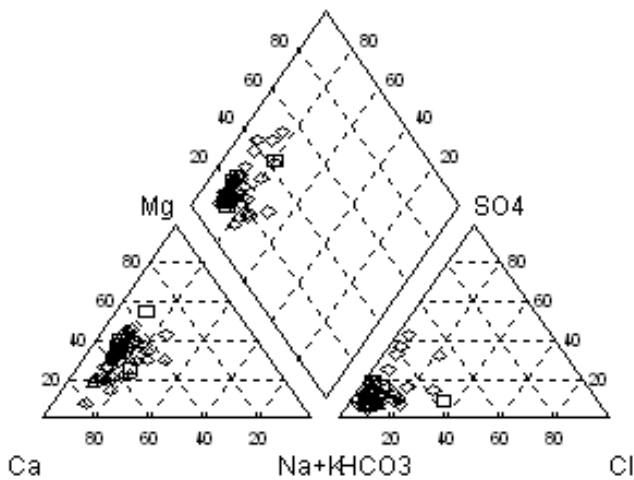
A 2' 'S' 'S' ' ' '



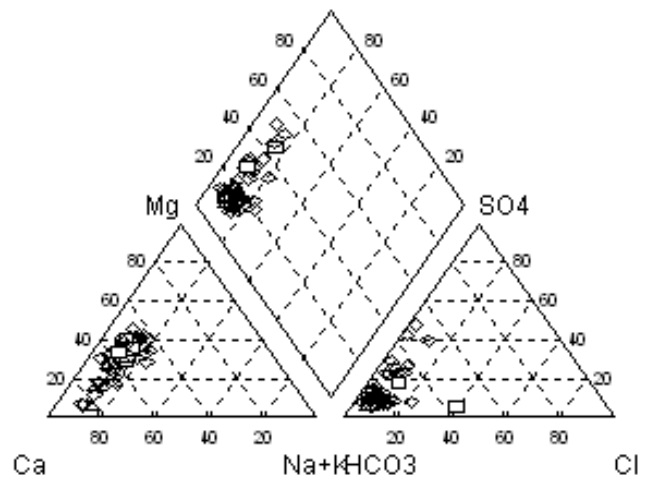
10.11.2017 11:11:11

Για την εφαρμογή του διαγράμματος Piper στην περιοχή μελέτης, χρησιμοποιήθηκαν ως μονάδες meq/l και μάλιστα εκατοστιαία συμμετοχή κάθε ιόντος χωριστά για κατιόντα και χωριστά για ανιόντα. Στα σχήματα που ακολουθούν φαίνεται η εφαρμογή του διαγράμματος Piper για την δειγματοληψία τόσο του Αυγούστου-Σεπτεμβρίου 2005 όσο και του Απριλίου-Μαΐου 2006.

Διάγραμμα Piper περιόδου
Αυγούστου-Σεπτεμβρίου 2005



Διάγραμμα Piper περιόδου
Απριλίου-Μαΐου 2006



◆ Αυλάκια □ Αγία Μαρίνα ▲ Σωλίκια

Το διάγραμμα Piper της περιόδου Αυγούστου-Σεπτεμβρίου 2005, με βάση το επεξηγηματικό διάγραμμα του σχήματος 5.1.2.2, φανερώνει ότι, ως προς τα ανιόντα, η περιοχή μελέτης χαρακτηρίζεται από ανθρακικά νερά, με μοναδική απόκλιση την γεώτρηση M5 του Αυλακίου, που εμφανίζεται στην περιοχή όπου επικρατούν νερά μικτής σύστασης. Ως προς τα κατιόντα, η περιοχή μελέτης, χωρίζεται σε τρεις κατηγορίες. Η κύρια κατηγορία είναι τα ασβεστούχα νερά, τα οποία και χαρακτηρίζουν το σύνολο της περιοχής μελέτης. Μοναδικές εξαιρέσεις αποτελούν τα νερά της γεώτρησης M17 της Αγίας Μαρίνας, που χαρακτηρίζονται ως μαγνησιούχα και τα νερά των γεωτρήσεων M2, M5, M6, M7, M9, M10, M11, M15, M19, M23, M34, M37, M38 που θεωρούνται μικτής σύστασης. Τέλος, ως προς το σύνολο των ανιόντων και των κατιόντων (ρομβικό διάγραμμα), τα νερά της περιοχής χαρακτηρίζονται ως ασβεστο-μαγνησιούχα και ασβεστο-μαγνησιούχα ανθρακικά, με

εξαίρεση την M5 της οποίας το νερό χαρακτηρίζεται ως ασβεστο-μαγνησιούχο χλωριο-θειϊκό.

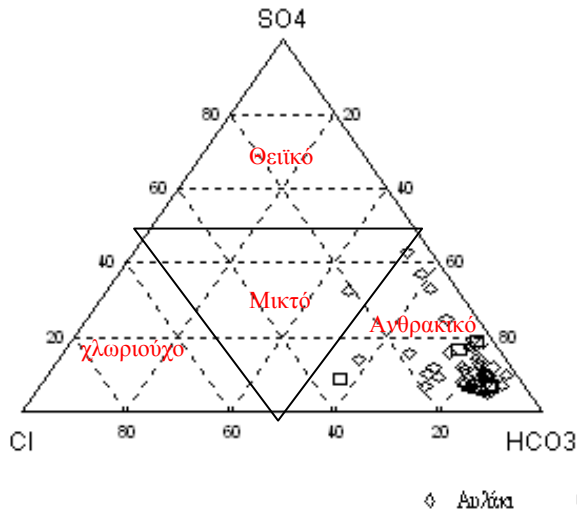
Παρόμοια ανάλυση, έγινε και για το διάγραμμα Piper της περιόδου Απριλίου-Μαΐου, όπου ως προς τα ανιόντα, τα νερά της περιοχής μελέτης, χαρακτηρίζονται ως ανθρακικά, χωρίς να υπάρχει οποιαδήποτε απόκλιση. Ως προς τα κατιόντα, τα νερά της περιοχής, χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, με κυρίαρχη αυτή των ασβεστούχων, ενώ στα νερά μικτής σύστασης ανήκουν οι γεωτρήσεις M4-M7, M9-M11, M15 και M37. Τέλος, από την προβολή των σημείων των δύο τριγώνων στον κεντρικό ρόμβο, παρατηρούμε ότι στο σύνολό τους τα νερά χαρακτηρίζονται ως ασβεστο-μαγνησιούχα και ασβεστο-μαγνησιούχα ανθρακικά με εξαίρεση τις γεωτρήσεις M6 και M11, του Αυλακίου, που οριακά βρίσκονται στην περιοχή των ασβεστο-μαγνησιούχων χλωριο-θειϊκών νερών.

5.1.2.3. Τριγωνικά διαγράμματα

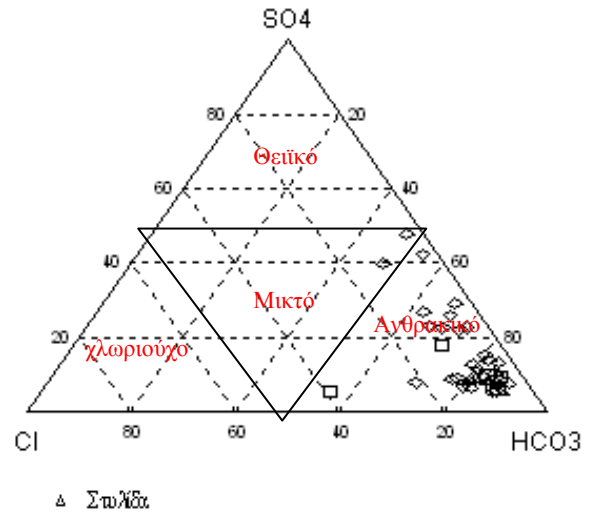
Είναι παραλλαγή προς το απλούστερο του διαγράμματος Piper. Χρησιμοποιήθηκε από τους Langelier, W.F. – Ludwig, H.F. (1942) και Castany, G. (1968). Πάνω στο ίδιο (ή και διαφορετικό) τρίγωνο, σαν και αυτό της βάσης του διαγράμματος Piper, δίνονται τα ανιόντα και τα κατιόντα.

Η εφαρμογή του τριγωνικού διαγράμματος στην περιοχή μελέτης, έγινε χωριστά για τα ανιόντα και χωριστά για τα κατιόντα και χρησιμοποιήθηκαν ως μονάδες meq/l και μάλιστα εκατοστιαία συμμετοχή κάθε ιόντος χωριστά για κατιόντα και χωριστά για ανιόντα. Στα σχήματα που ακολουθούν φαίνεται η εφαρμογή του τριγωνικού διαγράμματος για την δειγματοληψία τόσο του Αυγούστου-Σεπτεμβρίου 2005 όσο και του Απριλίου-Μαΐου 2006.

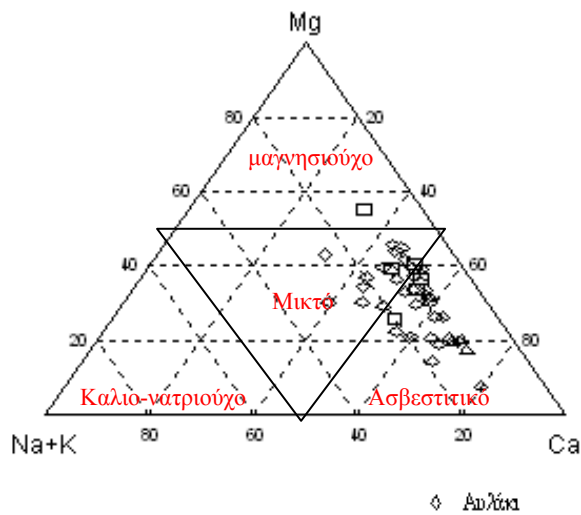
Τριγωνικό διάγραμμα ανιόντων περιόδου
Αυγούστου-Σεπτεμβρίου 2005



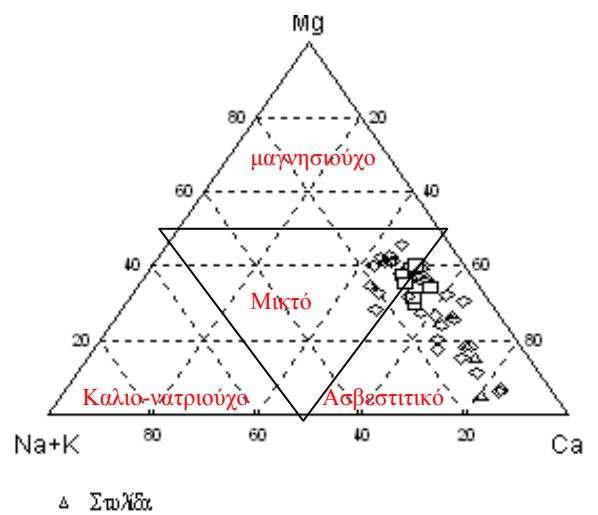
Τριγωνικό διάγραμμα ανιόντων
περιόδου Απριλίου-Μαΐου 2006



Τριγωνικό διάγραμμα κατιόντων περιόδου
Αυγούστου-Σεπτεμβρίου 2005



Τριγωνικό διάγραμμα κατιόντων
περιόδου Απριλίου-Μαΐου 2006



Από το τριγωνικό διάγραμμα των ανιόντων της περιόδου Αυγούστου-Σεπτεμβρίου 2005, συμπεραίνουμε ότι τα νερά όλων των γεωτρήσεων, χαρακτηρίζονται ως ανθρακικά με μοναδική εξαίρεση την M5 όπου τα νερά είναι μικτής σύστασης, ενώ για την περίοδο Απριλίου-Μαΐου το καθεστώς της χημικής σύστασης των νερών δεν μεταβάλλεται, παραμένοντας ανθρακικό, με εξαίρεση τις γεωτρήσεις M6 και M11, του Αιολακίου, των οποίων τα νερά θεωρούνται μικτής σύστασης.

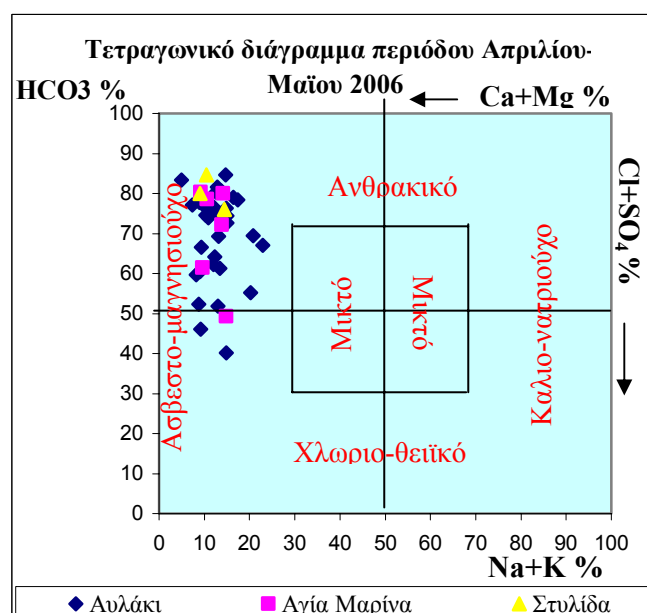
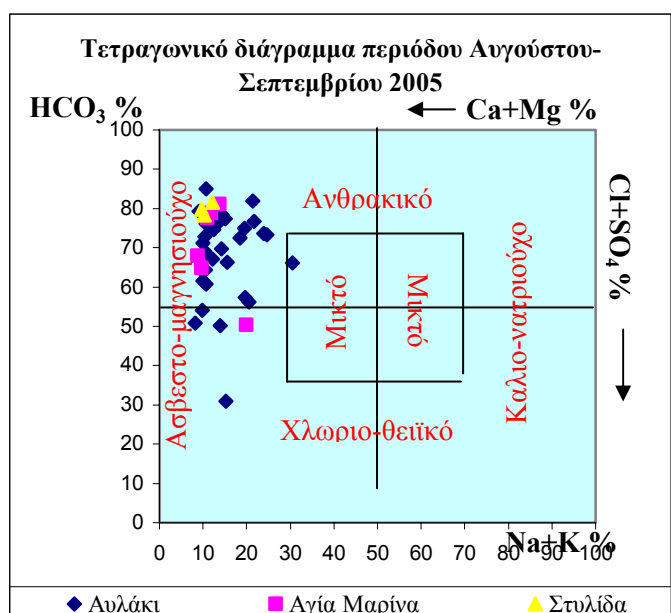
Με βάση τα τριγωνικά διαγράμματα των κατιόντων και των δύο περιόδων δειγματοληψίας, παρατηρούμε ότι τα νερά των γεωτρήσεων παραμένουν ασβεστικά

ή μικτής σύστασης, με μοναδική εξαίρεση την M17 της Αγίας Μαρίνας, της οποίας τα νερά την περίοδο Αυγούστου-Σεπτεμβρίου 2005 χαρακτηρίζονται ως μαγνησιούχα, σε αντίθεση με την περίοδο Απριλίου-Μαΐου 2006 που χαρακτηρίζονται ως νερά μικτής σύστασης.

5.1.2.4. Τετραγωνικό διάγραμμα

Πρωτοεισήχθηκε από τους Langelier, W.F. – Ludwig, H.F. (1942). Ο Castany, G. (1968) χρησιμοποίησε μια διαφορετική παραλλαγή του. Για την εφαρμογή του χρησιμοποιήθηκαν ως μονάδες meq/l και ειδικά η εκατοστιαία συμμετοχή των ιόντων χωριστά για τα ανιόντα και χωριστά για τα κατιόντα.

Στην περιοχή μελέτης χρησιμοποιήθηκε το τετραγωνικό διάγραμμα κατά Castany, G. (1968), για την δειγματοληψία τόσο του Αυγούστου-Σεπτεμβρίου 2005 όσο και του Απριλίου-Μαΐου 2006.



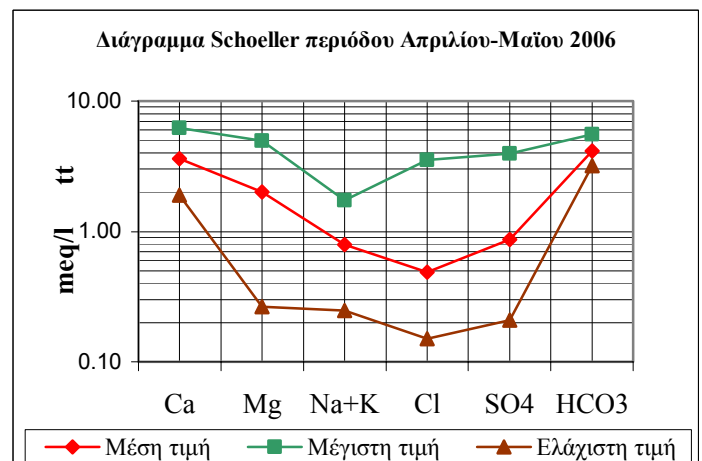
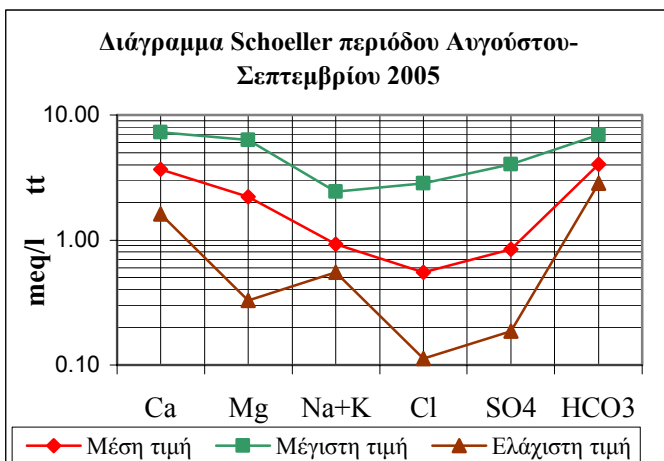
Όπως λοιπόν διαπιστώθηκε απ' όλα τα παραπάνω διαγράμματα, έτσι και στα τετραγωνικά διαγράμματα των δύο περιόδων δειγματοληψίας, τα νερά χαρακτηρίζονται ως ασβεστο-μαγνησιούχα, με μοναδική εξαίρεση την γεώτρηση M37, της οποίας τα νερά την περίοδο Αυγούστου-Σεπτεμβρίου 2005 ανήκουν στην

κατηγορία των νερών μικτής σύστασης σε αντίθεση με την περίοδο Απριλίου-Μαΐου που χαρακτηρίζονται ως ασβεστο-μαγνησιούχα.

5.1.2.5. Ημιλογαριθμικό διάγραμμα ή διάγραμμα Schoeller

Πρωτοεισήχθηκε από τον Schoeller, H. (1955) και εφαρμόζεται ευρέως στη βιβλιογραφία με μικρές παραλλαγές. Πρόκειται για ένα διάγραμμα που στον κατακόρυφο άξονα έχει τιμές διαφόρων ιόντων σε meq/l σε ημιλογαριθμική κλίμακα και στον οριζόντιο σε δεκαδική κλίμακα τα διάφορα ιόντα με την εξής σειρά : Ca^{++} , Mg^{++} , $\text{Na}^+ + \text{K}^+$, Cl^- , SO_4^{--} , $\text{HCO}_3^- (+\text{CO}_3^-)$.

Για την εφαρμογή του διαγράμματος Schoeller στην περιοχή μελέτης χρησιμοποιήθηκαν ως μονάδες meq/l και τα σχήματα που ακολουθούν αφορούν τις μέσες, μέγιστες και ελάχιστες τιμές των δύο περιόδων δειγματοληψίας.



Είναι σαφές ότι όταν η καμπύλη αυτή έχει το κυρτό μέρος προς τα επάνω το νερό είναι υφάλμυρο, ενώ όταν έχει το κοίλο είναι γλυκό νερό. Ακόμη όσο πιο «πάνω» βρίσκεται αυτή τόσο πιο μεγάλη είναι η συνολική περιεκτικότητα σε ιόντα, ουσιαστικά δηλαδή το T.D.S. (Γ. Σούλιος, 2006)

Με βάση τις παραπάνω αποδοχές, βγαίνει το συμπέρασμα ότι τα νερά της περιοχής σε γενικές γραμμές προέρχονται από γλυκούς υδροφόρους και η επίδραση της θάλασσας σε αυτούς είναι αμελητέα.

Συγκεκριμένα, οι μέσες και οι μέγιστες συγκεντρώσεις των ιόντων, κυμαίνονται στα ίδια επίπεδα και για τις δύο περιόδους δειγματοληψίας, ενώ

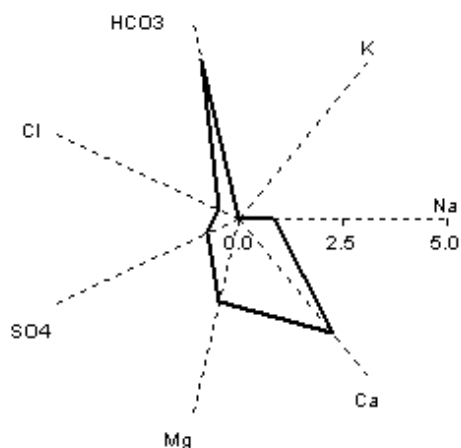
διαφοροποιημένες είναι οι καμπύλες των ελάχιστων τιμών σε ότι αφορά την περιεκτικότητα σε ιόντα Na+K, όπου παρουσιάζεται αυξημένη την περίοδο λήξης των αρδεύσεων.

5.1.2.6. Ακτινικά πολυγωνικά διαγράμματα

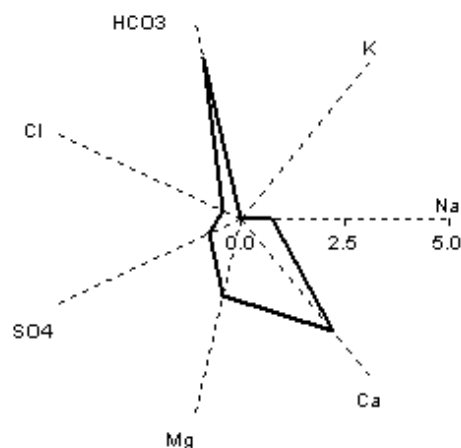
Είναι μια παραλλαγή των ακτινωτών κυκλικών διαγραμμάτων και τα εισήγαγε ο Maucha, R. (1932). Έχουν ευρεία εφαρμογή στην βιβλιογραφία γιατί χρησιμοποιούν περισσότερα ιόντα.

Για την εφαρμογή των ακτινωτών πολυγωνικών διαγραμμάτων στην περιοχή μελέτης χρησιμοποιήθηκαν ως μονάδες meq/l και τα σχήματα που ακολουθούν αφορούν τις μέσες τιμές των δύο περιόδων δειγματοληψίας.

Ακτινωτό πολυγωνικό διάγραμμα ιόντων περιόδου Αυγούστου-Σεπτεμβρίου 2005



Ακτινωτό πολυγωνικό διάγραμμα ιόντων περιόδου Απριλίου-Μαΐου 2006



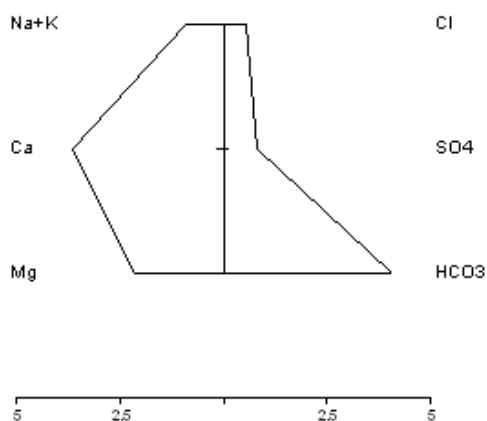
Χωρίς καμία διαφοροποίηση από τα προηγούμενα διαγράμματα, συμπεραίνουμε και στα ακτινωτά πολυγωνικά διαγράμματα την κυριαρχία στα νερά της περιοχής μελέτης των ιόντων Ca^{+} και HCO_3^{-} τόσο για την περίοδο Αυγούστου-Σεπτεμβρίου 2005 όσο και για αυτή του Απριλίου-Μαΐου 2006.

5.1.2.7. Οριζόντια πολυγωνικά διαγράμματα

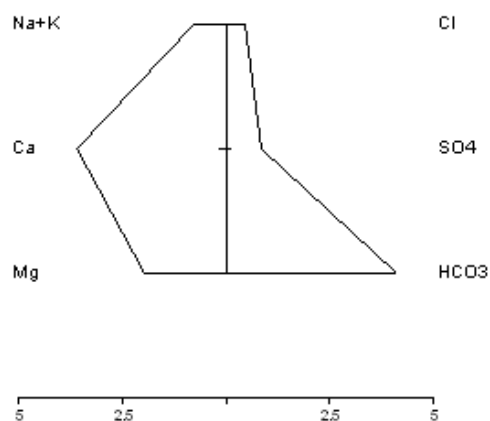
Πρωτοεισήχθησαν από τους Hintz, E. – Grunhut, L. (1907) και εφαρμόστηκαν ιδίως από τον Stiff, H.A. (1951). Για την εφαρμογή τους χρησιμοποιούνται τιμές ιόντων σε meq/l.

Στην περιοχή μελέτης εφαρμόστηκαν τα οριζόντια πολυγωνικά διαγράμματα σε δεκαδική κλίμακα, μια παραλλαγή που εισήγαγε ο Καλλέργης, Γ. (2002), και ανασχεδιάστηκαν από τον Σούλιο, Γ. (2006). Στα παρακάτω σχήματα παρουσιάζονται οι μέσες τιμές των δύο περιόδων δειγματοληψίας.

**Οριζόντιο πολυγωνικό διάγραμμα ιόντων
περιόδου Αυγούστου-Σεπτεμβρίου 2005**



**Οριζόντιο πολυγωνικό διάγραμμα ιόντων
περιόδου Απριλίου-Μαΐου 2006**



Κλείνοντας το κεφάλαιο των υδροχημικών διαγραμμάτων με τα οριζόντια πολυγωνικά διαγράμματα, γίνεται σαφές πως τα νερά των γεωτρήσεων και των τριών περιοχών δειγματοληψίας (Στυλίδα, Αγία Μαρίνα, Αυλάκι), αφορούν νερά πλούσια σε ιόντα Ca^+ και HCO_3^- .

5.2 Διαγράμματα S.A.R – αγωγιμότητας

Η περιοχή του δήμου Στυλίδας είναι κατά κύριο λόγο αγροτική με ποικίλες καλλιέργειες. Για το λόγο αυτό, το σύνολο των γεωτρήσεων στην περιοχή

χρησιμοποιούνται για αρδευτικούς σκοπούς, εκτός από τις M17 και M25, που όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο αποτελούν γεωτρήσεις ύδρευσης.

Κρίνεται λοιπόν αναγκαίο στο σημείο αυτό, να εξεταστεί αναλυτικά, η καταλληλότητα του νερού στην άρδευση. Αυτή εξετάζεται σε σχέση με δύο παράγοντες :

α) Τον κίνδυνο αλκαλίωσης

Η αύξηση της σχετικής περιεκτικότητας σε Na^+ του εδάφους έχει συνέπεια την μείωση της περατότητας και την αύξηση της σκληρότητάς του, γιατί συμπίεζεται πιο εύκολα. Αυτό είναι αποτέλεσμα της αντικατάστασης των ιόντων Ca^{2+} , Mg^{2+} από Na^+ στο πλέγμα των αργίλων. Η έκταση της αντικατάστασης αυτής μπορεί να προσδιοριστεί από το δείκτη προσρόφησης Νατρίου (S.A.R.). (Ο. Πατρικάκη, 2002)

$$\text{S.A.R.} = \frac{\text{Na}^+}{\sqrt{[(\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++})/2]}} \quad \text{όπου τα ιόντα δίνονται σε meq/lit}$$

β) Τον κίνδυνο αλατότητας

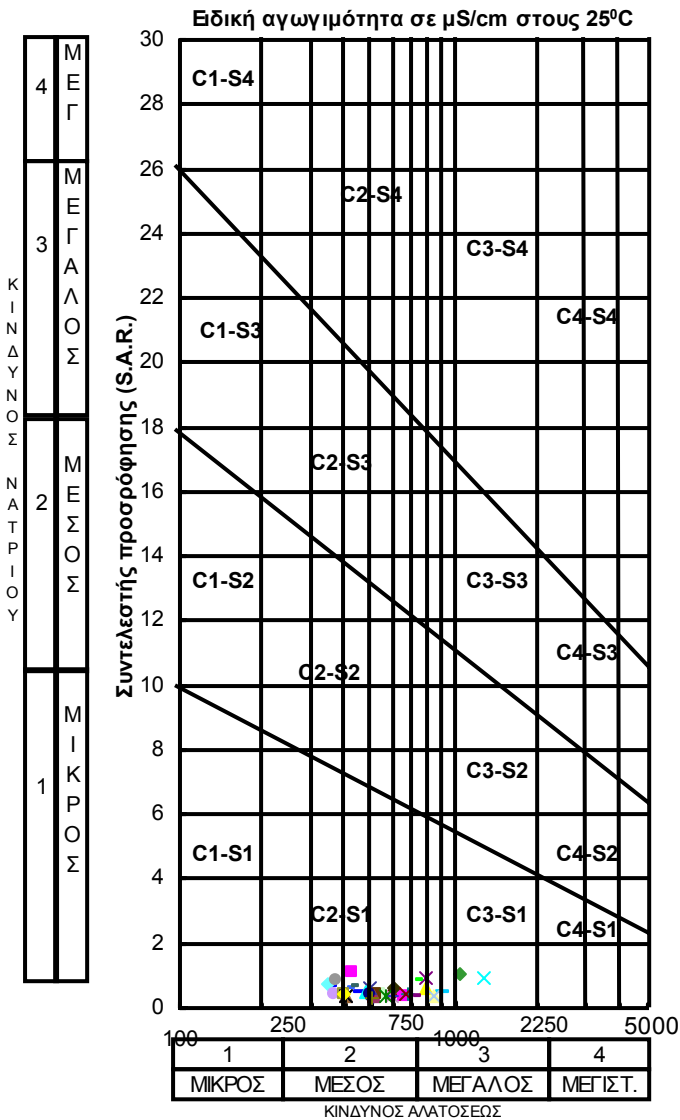
Σε εδάφη που κυριαρχούν τα αργιλικά υλικά η δυνατότητα απόπλυσης των αλάτων που υπάρχουν σε περίσσεια είναι μειωμένη λόγω της μικρής περατότητας και της χαμηλής δυνατότητας αποστράγγισης. Ο κίνδυνος αλατότητας μπορεί να εκτιμηθεί από την ηλεκτρική αγωγιμότητα. (Ο. Πατρικάκη, 2002)

Με βάση τα παραπάνω υπολογίστηκε ο δείκτης S.A.R. για όλες τις γεωτρήσεις του δικτύου και για τις δύο περιόδους δειγματοληψίας (Πίνακας 5.2.) και οι τιμές αυτές τοποθετήθηκαν στο διάγραμμα κατάταξης αρδευτικού νερού, κατά USDA (Richards 1954, Wilcox 1955), όπως φαίνεται παρακάτω.

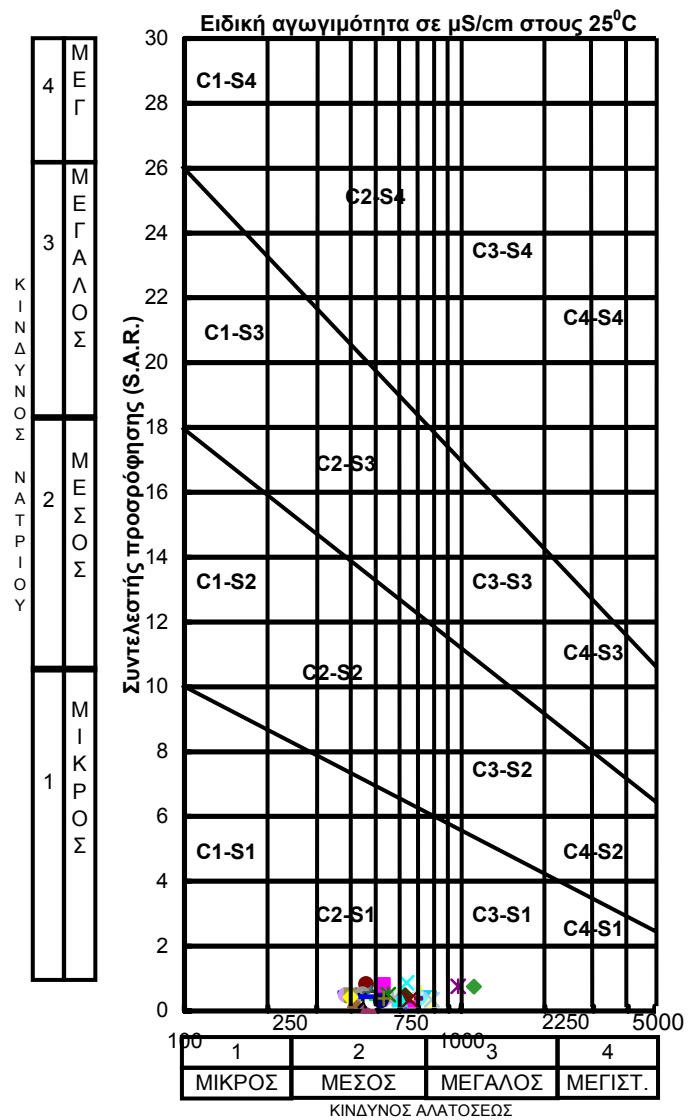
Πίνακας 5.2: Τιμές αγωγιμότητας και S.A.R για τις δύο περιόδους δειγματοληψίας

Αριθμός γεώτρησης	Περίοδος Αυγούστου-Σεπτεμβρίου 2005		Περίοδος Απριλίου-Μαΐου 2006	
	Αγωγιμότητα	S.A.R	Αγωγιμότητα	SAR
M1	594	0.386	565	0.353
M2	495	0.316	473	0.453
M3	648	0.368	659	0.335
M4	789	0.642	704	0.569
M5	1270	0.920	634	0.863
M6	780	0.921	974	0.757
M7	593	0.401	453	0.831
M8	671	0.416	472	0.554
M9	353	0.702	361	0.564
M10	901	0.505	764	0.566
M11	346	0.765	719	0.404
M12	536	0.403	570	0.451
M13	845	0.385	782	0.350
M14	366	0.446	383	0.491
M15	487	0.385	682	0.539
M16	406	0.641	435	0.489
M17	464	0.379	485	0.380
M18	1050	1.071	1110	0.747
M19	394	0.439	402	0.477
M20	399	0.375	412	0.311
M21	516	0.354	441	0.491
M22	401	0.386	457	0.302
M23	371	0.872	440	0.513
M24	595	0.378	628	0.278
M25	420	0.682	443	0.531
M26	478	0.386	464	0.368
M27	604	0.603	627	0.480
M28	518	0.434	501	0.373
M29	508	0.382	461	0.155
M30	494	0.609	514	0.551
M31	399	0.372	450	0.319
M32	452	0.345	478	0.303
M33	483	0.400	508	0.347
M34	720	0.883	468	0.373
M35	454	0.511	453	0.437
M36	395	0.452	397	0.420
M37	425	1.130	521	0.798
M38	476	0.484	599	0.358
M39	662	0.424	650	0.357
M40	561	0.382	544	0.504
M41	494	0.413	512	0.320
M42	499	0.340	525	0.385
M43	711	0.364	681	0.383

Διάγραμμα ταξινόμησης αρδευτικών νερών την περίοδο Αυγούστου-Σεπτεμβρίου 2005



Διάγραμμα ταξινόμησης αρδευτικών νερών την περίοδο Απριλίου-Μαΐου 2006



Παρατηρώντας τα διάγραμμα της περιόδου Αυγούστου-Σεπτεμβρίου 2005, διαπιστώνουμε ότι η πλειοψηφία των δειγμάτων (41), ανήκουν στην κατηγορία C2-S1, δηλαδή πρόκειται για ποιότητα νερού μέτρια ως καλή, που μπορεί να χρησιμοποιείται με προφύλαξη σε μη καλά αποστραγγιζόμενα εδάφη και για ευαίσθητα φυτά. Τα υπόλοιπα δύο δείγματα ανήκουν στην κατηγορία C3-S1 και αφορούν τις γεωτρήσεις M18 που βρίσκεται βορειοανατολικά της Αγίας Μαρίνας, κοντά σε ελαιοτριβείο και

την γεώτρηση M5 του Αυκαλίου. Πρόκειται δηλαδή για ποιότητα νερού μέτρια που μπορεί όμως να χρησιμοποιείται αν το έδαφος αποστραγγίζεται ή προστίθεται γύψος.

Από το διάγραμμα της περιόδου Απριλίου-Μαΐου 2006, διαπιστώνουμε πως όλα τα νερά των γεωτρήσεων ανήκουν στην κατηγορία C2-S1, εκτός από τα νερά της γεώτρησης M18, που εξακολουθούν να ανήκουν στην κατηγορία C3-S1.

Συμπερασματικά, μπορούμε να πούμε ότι το νερό όλης της περιοχής είναι καλής έως μέτριας ποιότητας, που γενικά μπορεί να χρησιμοποιείται σε ευρεία κλίμακα και με κάποιες προφυλάξεις που εξαρτώνται από τις ιδιαιτερότητες επιμέρους περιοχών, όπως είδους εδάφους και καλλιέργειας.

5.3 Υδροχημικοί χάρτες

Το υπόγειο νερό ακόμα 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 πρόσμιξης με νερά που έρχονται από γειτονικά στρώματα, αλλά και χρονικά : όσο πιο πολύ παραμένει το νερό στο υπέδαφος τόσο περισσότερο φορτίζεται σε ιόντα. Πολύ περισσότερο μπορεί να μεταβάλλεται, σχεδόν να αλλάζει τη χημική σύστασή του όταν ρέει σε διαφορετικούς γεωλογικούς σχηματισμούς, διατηρώντας όμως ορισμένες «αναμνήσεις» από τη διέλευσή του στον προηγούμενο σχηματισμό.

Η ποιότητα και γενικά τα χημικά χαρακτηριστικά του υπόγειου νερού απεικονίζονται με τους υδροχημικούς χάρτες οι οποίοι δίνουν τη χωρική κατανομή των διαφόρων ιόντων με τις ισοχημικές καμπύλες, δηλαδή τις καμπύλες που αντιστοιχούν σε σημεία ίσης περιεκτικότητας στο υπόψη ιόν. Έτσι για κάθε ιόν ή για κάθε υδροχημική παράμετρο γίνεται ένας αντίστοιχος θεματικός υδροχημικός χάρτης.

Τέτοιοι θεματικοί χάρτες κατασκευάστηκαν και για τις δύο περιόδους δειγματοληψίας χωριστά, με τις ισοχημικές καμπύλες να αναπαριστούν τις συγκεντρώσεις των διαφόρων ιόντων σε mg/l, ενώ αυτές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας είναι εκφρασμένες σε $\mu\text{S/cm}$. Επίσης παρατίθενται και οι υδροχημικοί χάρτες κατανομής του pH. Για την σχεδίαση των χαρτών χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα των πινάκων 4.1 και 4.2 του 4^{ου} κεφαλαίου, καθώς και τα προγράμματα

Arcinfo 9.2, Surfer 8 και το Global mapper 8. Όλοι οι χάρτες βρίσκονται στο παράρτημα της συγκεκριμένης διατριβής. Οι συμβολισμοί των γεωτρήσεων διαφέρουν ανάλογα με λιθολογική σύσταση του υδροφορέα. Έτσι οι υδροφόροι ορίζοντες των νεογενών έχουν διαφορετικό σύμβολο από αυτούς των ασβεστόλιθων.

Όπως προκύπτει από τον χάρτη 5.2.1 της περιόδου Αυγούστου-Σεπτεμβρίου 2005, οι τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας, παρουσιάζονται αυξημένες στην περιοχή βορειοανατολικά της Αγίας Μαρίνας και συγκεκριμένα κοντά στην γεώτρηση M18 και στο νοτιοδυτικό τμήμα της περιοχής μελέτης, κοντά στην γεώτρηση M5. Το ίδιο καθεστώς επικρατεί και στον χάρτη 5.2.2 της περιόδου Απριλίου-Μαΐου 2006, όπου οι ίδιες περιοχές εξακολουθούν να αποτελούν εστία αυξημένων τιμών ηλεκτρικής αγωγιμότητας.

Οι χάρτες 5.2.3 και 5.2.4 παρουσιάζουν την κατανομή του pH για τις δύο περιόδους δειγματοληψίας και φανερώνουν τα φυσιολογικά επίπεδα διακύμανσης του, χωρίς αυτό να παρουσιάζει κάποια σημαντική μεταβολή από την μία περίοδο στην άλλη. Συγκεκριμένα για την περίοδο του Αυγούστου-Σεπτεμβρίου 2005 οι τιμές του pH κυμαίνονται μεταξύ 7.3 – 8.0, με πορεία αύξησης προς το κέντρο της περιοχής μελέτης. Αυτό σημαίνει και αύξηση της αλκαλικότητας προς την ίδια κατεύθυνση. Σε ότι αφορά την περίοδο Απριλίου-Μαΐου 2006 το pH κυμαίνεται μεταξύ 7.0 – 7.9, με τις μέγιστες τιμές να σημειώνονται και πάλι στο κεντρικό τμήμα της ευρύτερης περιοχής μελέτης.

Από το χάρτη 5.2.5 προκύπτει ότι την περίοδο Αυγούστου-Σεπτεμβρίου 2005 οι συγκεντρώσεις σε ιόντα Ca είναι αυξημένες στην περιοχή βορειοανατολικά της Αγίας Μαρίνας, κοντά στην γεώτρηση M18 καθώς και στην νοτιοδυτική πλευρά της περιοχής μελέτης και συγκεκριμένα κοντά στην γεώτρηση M5. Οι ίδιες ακριβώς περιοχές παρουσίαζαν, όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενη παράγραφο και τις υψηλότερες τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Οι αντίστοιχες ισοχημικές καμπύλες για την περίοδο Απριλίου-Μαΐου 2006 (χάρτης 5.2.6) παρουσιάζουν υψηλές συγκεντρώσεις Ca^{++} μόνο στην περιοχή βορειοανατολικά της Αγίας Μαρίνας, ενώ στην υπόλοιπη περιοχή μελέτης η κατανομή τους είναι ομαλή.

Στον χάρτη 5.2.7, παρατηρείται αύξηση των ιόντων Mg από τα βόρεια προς τα νοτιοδυτικά της περιοχής μελέτης και συγκεκριμένα στην περιοχή γύρω από την γεώτρηση M5. Κάτι αντίστοιχο, συμβαίνει και κατά την περίοδο Απριλίου-Μαΐου

2006 (χάρτης 5.2.8) με μικρότερες ωστόσο τιμές στις περιεκτικότητες των νερών των γεωτρήσεων σε ιόντα Mg.

Οι τιμές σε ιόντα Na την περίοδο Αυγούστου-Σεπτεμβρίου 2005 (χάρτης 5.2.9), παρουσιάζουν αύξηση καθώς κινούμαστε από το κεντρικό τμήμα της περιοχής μελέτης προς τα ανατολικά και τα δυτικά τμήματα αυτής, με τις μέγιστες συγκεντρώσεις να εμφανίζονται κοντά στην γεώτρηση M18 και M5. Το ίδιο καθεστώς, με σαφώς μειωμένες τιμές σε συγκεντρώσεις ιόντων Na, παρατηρείται την περίοδο Απριλίου-Μαΐου 2006 (χάρτης 5.2.10).

Επιβάρυνση σε ιόντα K παρουσιάζεται για την περίοδο Αυγούστου-Σεπτεμβρίου 2005 (χάρτης 5.2.11) στο κεντρικό τμήμα της περιοχής, δυτικά της Αγίας Μαρίνας και προς τα νότια όπου οι συγκεντρώσεις είναι μεγαλύτερες των 2mg/l, αγγίζοντας την τιμή των 3.1mg/l στην περιοχή της γεώτρησης M10. Ο χάρτης 5.2.12 φανερώνει πως η κατάσταση διαφοροποιείται μερικώς κατά την περίοδο Απριλίου-Μαΐου 2006, καθώς αυξημένες συγκεντρώσεις σε ιόντα K εμφανίζονται στο κεντρικό τμήμα της περιοχής μελέτης, κοντά στις γεωτρήσεις M6 και M24, στη συνέχεια και καθώς κινούμαστε προς τα νότια παρατηρείται μία μείωση των τιμών η οποία όμως δεν συνεχίζεται μέχρι την θάλασσα, αλλά βαθμιαία συντελείται ξανά αύξηση αυτών. Έτσι στην νοτιοδυτική περιοχή μελέτης, κοντά στην γεώτρηση M10 οι συγκεντρώσεις σε ιόντα K αγγίζουν τα 1.6mg/l.

Από τον υδροχημικό χάρτη 5.2.13 φαίνεται πως το μέτωπο της επιβάρυνσης σε ιόντα Cl κινείται από το κεντρικό και νότιο τμήμα της περιοχής προς το ανατολικό και δυτικό τμήμα της, με μέγιστη συγκέντρωση τα 101.0mg/l στο χώρο γύρω από την γεώτρηση M18 και τα 79.5mg/l στην γεώτρηση M5. Αξίζει επίσης να σημειωθεί πως στα βόρεια του Αυλακίου παρατηρείται μία μικρότερη εστία επιβάρυνσης κοντά στην γεώτρηση M34. Στην περίοδο δειγματοληψίας του Απριλίου-Μαΐου 2006 (χάρτης 5.2.14) το μέτωπο της επιβάρυνσης εξακολουθεί να παραμένει στην βορειοανατολική πλευρά της Αγίας Μαρίνας, κοντά στη γεώτρηση M18, και μάλιστα οι συγκεντρώσεις σε ιόντα Cl ξεπερνούν αυτές της περιόδου Αυγούστου-Σεπτεμβρίου 2005 αγγίζοντας τα 125mg/l. Στις περιοχές κοντά στις γεωτρήσεις M5 και M34 οι συγκεντρώσεις των ιόντων Cl παρουσιάζονται σε χαμηλά επίπεδα. Γενικά παρατηρούμε πως οι ισοχλωρικές καμπύλες αυξάνονται από τα παράκτιο τμήμα προς την ενδοχώρα, γεγονός που σημαίνει ότι μικρές ποσότητες θαλασσινού νερού

διαφεύγουν προς αυτή μέσω ασβεστολιθικών διόδων που επικοινωνούν με τη θάλασσα.

Όσον αφορά τα ιόντα SO_4 , διαπιστώνεται από τους χάρτες 5.2.15 και 5.2.16, ότι παρουσιάζουν αύξηση των συγκεντρώσεων τους από τα δυτικά και βόρεια προς τα ανατολικά και νότια τμήματα της περιοχής μελέτης. Υψηλές λοιπόν τιμές, παρατηρούνται στο χώρο που βρίσκονται οι γεωτρήσεις M4, M5, M7 και M13 την περίοδο του Αυγούστου-Σεπτεμβρίου 2005 και οι γεωτρήσεις M4, M6, M9, M10, M11 και M13, την περίοδο του Απριλίου-Μαΐου 2006.

Η κατανομή των ιόντων HCO_3 στο χάρτη 5.2.17 φανερώνει μία περιοχή μέγιστης συγκέντρωσης στο νότιο τμήμα της περιοχής μελέτης, κοντά στην γεώτρηση M10. Από την άλλη μεριά, για την περίοδο Απριλίου-Μαΐου 2006 (χάρτης 5.2.18), οι περιοχές μέγιστης συγκέντρωσης μετατοπίζονται στο κεντρικό τμήμα της περιοχής, νοτιοανατολικά του Αυλακίου, κοντά στις γεωτρήσεις M24 και M39, ενώ εξακολουθούν να παραμένουν αυξημένες οι τιμές των συγκεντρώσεων των ιόντων HCO_3 στα νότια της περιοχής μελέτης.

Ο χάρτης 5.2.19 παρουσιάζει την κατανομή των NO_3 ιόντων για την περίοδο Αυγούστου-Σεπτεμβρίου 2005. Από τις ισοχημικές καμπύλες διαπιστώνουμε μία κύρια εστία υψηλών συγκεντρώσεων στο νοτιοδυτικό τμήμα της περιοχής μελέτης, κοντά στην γεώτρηση M5. Παράλληλα, από τον χάρτη 5.2.20 της περιόδου Απριλίου-Μαΐου 2006, συμπεραίνουμε ότι η εστία μόλυνσης παραμένει στην νοτιοδυτική πλευρά της περιοχής μελέτης, με χαμηλότερες τιμές συγκεντρώσεων, ενώ εμφανίζεται και μία δεύτερη εστία στο χώρο βορειοανατολικά της Αγίας Μαρίνας, κοντά στην γεώτρηση M18.

Επιπλέον, κατασκευάστηκαν συνολικά για την περίοδο Αυγούστου 2005-Μαΐου 2006, θεματικοί χάρτες διαφορών μεταξύ των ιόντων Cl^- (χάρτης 5.2.21) και NO_3^- (χάρτης 5.2.22), καθώς και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (χάρτης 5.2.23), οι οποίοι παρατίθενται στο παράρτημα.

Παρατηρούμε λοιπόν από τον χάρτη 5.2.21, κάτι που έγινε αισθητό και από τους προηγούμενους υδροχημικούς χάρτες, ότι δηλαδή, οι συγκεντρώσεις σε ιόντα χλωρίου παρουσιάζονται στην περιοχή βορειοανατολικά της Αγίας Μαρίνας αυξημένες κατά την περίοδο πριν την έναρξη των αρδεύσεων (Απρίλιος-Μάιος 2006) σε σχέση με την περίοδο της λήξης των αρδεύσεων (Αύγουστος-Σεπτέμβριος 2005). Το ίδιο συμβαίνει και στην περιοχή βόρεια του Αυλακίου. Επιπλέον διαπιστώνουμε

ότι στο κεντρικό τμήμα της περιοχής μελέτης η μεταβολή των συγκεντρώσεων είναι σχεδόν μηδενική, ενώ στο νοτιοδυτικό τμήμα της η περιεκτικότητα των νερών των γεωτρήσεων σε ιόντα Cl παρουσιάζεται αυξημένη την περίοδο Αυγούστου-Σεπτεμβρίου 2005 κατά 10-50 mg/l.

Από τον χάρτη 5.2.22 φαίνεται πως τα ιόντα NO_3 παρουσιάζονται την περίοδο Αυγούστου-Σεπτεμβρίου 2005 αυξημένα έως και 150mg/l παραπάνω από την περίοδο Απριλίου-Μαΐου 2006, στα νοτιοδυτικά της περιοχής μελέτης, ενώ στο κεντρικό της τμήμα οι μεταβολή των συγκεντρώσεων είναι μηδενική. Αντίθετα, παρατηρείται μεγαλύτερη συγκέντρωση νιτρικών ιόντων στην περιοχή βορειοανατολικά της Αγίας Μαρίνας πριν την έναρξη των αρδεύσεων, απ' ότι μετά το τέλος αυτών.

Τέλος, με βάση τον χάρτη 5.2.23 συμπεραίνουμε για μία ακόμη φορά πως το κεντρικό τμήμα της περιοχής μελέτης δεν παρουσιάζει καμία μεταβολή στις τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας των νερών της, ενώ στα νοτιοδυτικά η περιοχή είναι περισσότερο επιβαρημένη, έως και 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ την περίοδο Αυγούστου-Σεπτεμβρίου 2005. Και πάλι, η περιοχή βορειοανατολικά της Αγίας Μαρίνας παρουσιάζει μεγαλύτερες τιμές αγωγιμότητας πριν την αρδευτική περίοδο.

5.4 Ιοντικοί λόγοι

Ο λόγος της περιεκτικότητας του υπόγειου νερού σε ένα ορισμένο ιόν, ως προς αυτή σε κάποιο άλλο επίσης ιόν, με άλλα λόγια ο ιοντικός λόγος, παίρνει είτε τιμές που σχετίζονται με τα πετρώματα μέσα στα οποία φιλοξενείται το νερό, ή μέσα από τα οποία πέρασε, είτε τιμές που σχετίζονται με το βαθμό ανανέωσής του ή την ανάμιξή του με το θαλασσινό νερό.

Οι κυριότεροι ιοντικοί λόγοι είναι οι : $\text{Mg}^{++}/\text{Ca}^{++}$, Na^+/Cl^- , Na^+/K^+ , $\text{Cl}^-/(\text{CO}_3^{--}+\text{HCO}_3^-)$, $\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{--}$ και $(\text{Ca}^{++}+\text{Mg}^{++})/(\text{Na}^++\text{K}^+)$ και οι τιμές τους (εκφρασμένες σε meq/l) για τις δύο περιόδους δειγματοληψίας φαίνονται στους πίνακες 5.3.1 και 5.3.2 αντίστοιχα. Για την ερμηνεία των τιμών των ιοντικών λόγων, κατασκευάστηκαν χάρτες ισοκαμπυλών των παραπάνω σχέσεων για τις δύο περιόδους δειγματοληψίας, οι οποίοι παρατίθενται στο παράρτημα.

Πίνακας 5.3.1 Τιμές ιοντικών λόγων στα υπόγεια νερά της περιοχής μελέτης για την περίοδο Αυγούστου-Σεπτεμβρίου 2005 σε meq/l

	Mg/Ca	Na/Cl	Na/K	Cl/HCO ₃	Cl/SO ₄	(Ca+Mg)/(Na+K)
M1	0.41	1.32	12.80	0.12	0.83	8.55
M2	0.97	2.68	10.63	0.04	0.30	9.96
M3	0.59	2.15	16.78	0.08	0.60	8.98
M4	0.52	3.10	22.63	0.09	0.11	6.19
M5	0.87	1.07	62.58	0.45	0.65	5.58
M6	0.85	1.36	33.20	0.27	1.14	4.08
M7	0.86	3.12	18.92	0.05	0.20	9.12
M8	0.77	2.34	21.66	0.08	0.16	9.16
M9	0.78	4.91	35.71	0.06	0.53	3.60
M10	1.04	1.26	14.81	0.13	0.63	8.61
M11	0.66	5.14	37.41	0.07	0.37	3.18
M12	0.71	1.94	17.75	0.09	0.25	8.47
M13	0.74	2.04	22.68	0.08	0.13	11.25
M14	0.81	2.72	20.97	0.07	0.46	6.17
M15	0.97	5.78	17.01	0.02	0.21	8.33
M16	0.40	4.60	20.63	0.05	0.64	3.67
M17	1.65	1.96	19.84	0.08	0.68	8.06
M18	0.47	0.82	57.40	0.61	4.02	4.03
M19	0.84	2.48	20.55	0.07	0.94	6.26
M20	0.61	1.96	18.00	0.08	0.97	7.44
M21	0.67	1.54	21.64	0.10	0.46	9.30
M22	0.62	2.00	14.74	0.08	0.85	7.10
M23	1.33	2.77	35.98	0.14	1.48	3.06
M24	0.65	1.65	12.96	0.09	0.75	9.02
M25	0.35	4.43	26.08	0.07	0.29	4.14
M26	0.51	2.13	16.44	0.08	0.65	8.00
M27	0.32	1.45	28.55	0.21	1.69	5.42
M28	0.30	0.76	20.04	0.26	2.93	7.25
M29	0.28	2.31	15.01	0.06	0.29	8.37
M30	0.21	1.90	22.22	0.14	1.44	4.40
M31	0.09	1.41	15.57	0.12	1.47	7.03
M32	0.56	1.54	15.70	0.09	1.81	8.27
M33	0.42	1.45	16.44	0.12	1.23	7.43
M34	0.58	0.82	27.83	0.49	2.00	3.88
M35	0.28	3.39	24.94	0.06	0.36	5.63
M36	0.63	2.93	17.98	0.06	0.56	5.97
M37	0.76	2.10	52.57	0.23	1.69	2.27
M38	0.73	1.75	20.65	0.12	0.78	6.02
M39	0.54	0.91	25.51	0.21	1.29	8.39
M40	0.24	1.09	16.48	0.13	1.66	8.73
M41	0.29	1.60	17.01	0.10	1.64	7.24
M42	0.29	1.06	18.42	0.12	1.72	9.27
M43	0.80	3.18	20.04	0.04	0.17	10.35

Πίνακας 5.3.2 Τιμές ιοντικών λόγων στα υπόγεια νερά της περιοχής μελέτης για την περίοδο Απριλίου-Μαΐου 2006 σε meq/l

	Mg/Ca	Na/Cl	Na/K	Cl/HCO ₃	Cl/SO ₄	(Ca+Mg)/(Na+K)
M1	0.66	1.96	22.96	0.07	0.62	9.05
M2	0.77	3.53	18.71	0.05	0.46	6.64
M3	0.75	1.85	29.76	0.08	0.27	10.49
M4	0.96	4.80	30.98	0.05	0.07	6.65
M5	0.69	2.30	96.65	0.17	0.48	3.94
M6	0.99	1.53	38.82	0.24	0.29	5.74
M7	0.58	3.44	76.53	0.10	0.66	3.36
M8	0.92	5.45	58.11	0.03	0.22	5.72
M9	0.94	3.82	59.86	0.06	0.64	4.73
M10	0.90	1.25	26.25	0.17	0.39	6.46
M11	1.01	3.20	40.60	0.06	0.07	9.95
M12	0.70	2.37	42.27	0.09	0.23	7.28
M13	0.79	2.76	39.12	0.05	0.12	11.18
M14	0.47	4.71	68.88	0.04	0.48	5.77
M15	0.78	3.23	63.49	0.06	0.18	6.59
M16	0.90	2.87	43.00	0.06	0.68	6.29
M17	0.78	2.00	48.64	0.07	0.75	8.45
M18	0.53	0.463	63.77	0.71	7.36	5.76
M19	0.57	2.36	91.27	0.08	1.02	6.10
M20	0.79	1.66	62.92	0.08	1.07	9.85
M21	0.69	2.57	74.40	0.08	0.68	6.22
M22	0.62	1.32	19.22	0.09	0.81	10.22
M23	0.60	2.29	59.52	0.09	0.84	5.68
M24	0.53	1.64	12.20	0.06	0.49	12.72
M25	0.27	3.72	41.06	0.06	0.30	5.10
M26	0.71	1.61	28.70	0.09	0.67	8.38
M27	0.44	0.692	54.42	0.30	2.76	7.11
M28	0.26	1.11	38.26	0.14	1.82	8.24
M29	0.47	0.893	31.18	0.07	0.80	19.30
M30	0.31	1.88	48.83	0.12	1.12	5.65
M31	0.25	1.65	37.75	0.08	1.28	9.26
M32	0.08	1.34	43.37	0.09	1.58	9.46
M33	0.07	0.865	30.13	0.16	2.00	8.67
M34	0.14	1.01	29.40	0.14	1.39	7.30
M35	0.38	3.10	33.38	0.05	0.32	6.94
M36	0.21	3.15	22.11	0.05	0.53	6.74
M37	0.77	1.77	68.51	0.18	1.67	3.80
M38	0.66	1.24	51.70	0.13	0.40	10.11
M39	0.39	0.782	41.67	0.16	1.46	9.78
M40	0.06	1.61	33.64	0.13	1.16	5.91
M41	0.41	1.37	29.40	0.09	0.92	9.97
M42	0.20	2.01	42.52	0.07	1.11	8.60
M43	0.61	0.946	45.92	0.16	0.63	9.39

Ιοντικός λόγος Mg^{++}/Ca^{++}

Ο λόγος Mg^{++}/Ca^{++} , μας δίνει πληροφορίες για την προέλευση του νερού. Έτσι τιμές του λόγου αυτού $<0.5-0.7$ αντιστοιχούν σε νερό από ασβεστολιθικά υδροφόρα, τιμές μεταξύ $0.7-0.9$ αντιστοιχούν σε δολομιτικά υδροφόρα στρώματα, ενώ τιμές >0.9 αντιστοιχούν σε υδροφόρα οφιολιθικών σχηματισμών ή γενικά πυριτικών πλούσιων σε Mg. Στα οφιολιθικά οι τιμές είναι συνήθως μεγαλύτερες από 1.

Δημιουργήθηκαν θεματικοί χάρτες κατανομής του ιοντικού αυτού λόγου για τις δύο περιόδους δειγματοληψίας. Από τον χάρτη 5.2.24, της περιόδου Αυγούστου-Σεπτεμβρίου 2005, συμπεραίνουμε ότι τα νερά στο κεντρικό και βόρειο τμήμα της περιοχής μελέτης προέρχονται από ασβεστολιθικά υδροφόρα, στα νότια τα νερά αντιστοιχούν σε δολομιτικά υδροφόρα και καθώς κινούμαστε προς τα νοτιοδυτικά, κοντά στο χωριό Αγία Μαρίνα, τα νερά προέρχονται από υδροφόρα οφιολιθικών σχηματισμών.

Στον χάρτη 5.2.25 φαίνεται πως την περίοδο Απριλίου-Μαΐου 2006, σχεδόν όλα τα νερά προέρχονται από ασβεστολιθικά υδροφόρα, εκτός από μεμονωμένα σημεία στο κεντρικό και δυτικό τμήμα της περιοχής μελέτης που ανήκουν σε δολομιτικά υδροφόρα.

Ιοντικός λόγος Na^{+}/Cl^{-}

Ο ιοντικός αυτός λόγος σχετίζεται με την υφαλμύρωση και γενικά την διεύθυνση θαλασσινού νερού ή με υδροφόρα μέσα στα οποία υπήρξαν υπολείμματα θαλάσσιων αλάτων. Έτσι για τιμές του λόγου ίσες με $0.876 \pm 10\%$ το υπόγειο νερό είναι κανονικό, για τιμές >1 το νερό προέρχεται από αλκαλικά πυριγενή ή μεταμορφωμένα πετρώματα, ενώ τιμές $<0.876 \pm 10\%$ σημαίνει υφαλμύρωση υδροφορέα.

Για την ουσιαστική ερμηνεία του λόγου αυτού, κατασκευάστηκαν οι θεματικοί χάρτες 5.2.24 και 5.2.25 για τις δύο περιόδους δειγματοληψίας, από τους οποίους και συμπεραίνουμε ότι δεν υπάρχει κανένα σημάδι υφαλμύρωσης.

Ιοντικός λόγος Na^+/K^+

Σχετίζεται με το αν το νερό είναι θαλασσινό ή βρόχινο ή αν υπάρχει περιοχή εμπλουτισμού υδροφορέων. Έτσι για τιμές κοντά στο 47, το νερό είναι θαλασσινό, για τιμές κοντά στο 10 το νερό είναι βρόχινο, για τιμές μεταξύ 15-25 το νερό βρίσκεται σε περιοχή εμπλουτισμού υδροφορέων, ενώ για τιμές μεταξύ 50-70 το νερό βρίσκεται σε κατάντι τμήμα του υδροφορέα σε σχέση με τη διεύθυνση ροής.

Για την καλύτερη ερμηνεία του λόγου αυτού, κατασκευάστηκαν οι θεματικοί χάρτες 5.2.28 και 5.2.29 για τις δύο περιόδους δειγματοληψίας. Από τον χάρτη 5.2.28 συμπεραίνουμε ότι τα νερά στο κεντρικό τμήμα της περιοχής μελέτης βρίσκονται σε περιοχή εμπλουτισμού υδροφορέων.

Από τον χάρτη 5.2.29 φαίνεται πως τα νερά βρίσκονται σε κατάντι τμήμα του υδροφορέα σε σχέση με τη διεύθυνση ροής, εκτός από το κεντρικό τμήμα της περιοχής μελέτης, όπου τα νερά βρίσκονται σε περιοχή εμπλουτισμού των υδροφορέων.

Ιοντικός λόγος $\text{Cl}/(\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-)$ (συντελεστής Revelle)

Ο Revelle (1941), εισήγαγε τον λόγο :

$$\frac{r\text{Cl}}{r\text{CO}_3 + r\text{HCO}_3} \text{ (meq/l)}$$

που είναι γνωστός ως συντελεστής Revelle για την διάγνωση της διεύθυνσης του θαλασσινού νερού στα υπόγεια νερά, ουσιαστικά ως ένα είδος ιχνηθέτη. Ο συντελεστής Revelle είναι εύχρηστος και χρησιμοποιείται κατά κόρο για την διαπίστωση της θαλάσσιας διεύθυνσης. Αν η τιμή του ξεπεράσει το 10, αυτό θεωρείται ένδειξη διεύθυνσης θαλασσινού νερού. (Γ. Σούλιος, 2004)

Από τους πίνακες 5.3.1 και 5.3.2 διαπιστώνεται ότι ο συντελεστής Revelle παίρνει τιμές πολύ μικρότερες του 10 και άρα δεν υπάρχει ένδειξη θαλάσσιας διεύθυνσης στην περιοχή.

Ιοντικός λόγος $\text{Cl}/\text{SO}_4^{=}$

Έχει σχέση με την υφαλμύρωση και την ύπαρξη υπολειμματικών αλάτων στους υδροφορείς. Έτσι για τιμές κοντά στο 10 το νερό είναι θαλασσινό, για τιμές >5 το νερό είναι χλωριούχο, για τιμές μεταξύ 1-5 το νερό είναι χλωροθειούχο, για τιμές μεταξύ 0.2-1 το νερό είναι θειούχο-χλωριούχο και για τιμές <0.2 το νερό είναι θειούχο.

Με βάση αυτόν τον ιοντικό λόγο κατασκευάστηκε για την περίοδο Αυγούστου-Σεπτεμβρίου 2005 ο θεματικός χάρτης 5.2.30 από τον οποίο προκύπτει το συμπέρασμα ότι το νερό στα νότια τμήματα της περιοχής μελέτης είναι θειούχο-χλωριούχο και εξελίσσεται προς τα βόρεια σε χλωροθειούχο, μεταπίπτοντας στα βορειοανατολικά της Αγίας Μαρίνας σε χλωριούχο.

Κατά την περίοδο της δεύτερης δειγματοληψίας νερού, παρατηρείται, από τον χάρτη 5.2.31, ότι τα νερά στο νότιο και κεντρικό τμήμα της περιοχής μελέτης είναι θειούχα-χλωριούχα ενώ στην υπόλοιπη περιοχή μεταβαίνουν σε χλωροθειούχα. Υψηλές τιμές του λόγου, εξακολουθούν να παρατηρούνται στην περιοχή βορειοδυτικά της Αγίας Μαρίνας, οι οποίες χαρακτηρίζουν τα νερά χλωριούχα.

Ιοντικός λόγος $(\text{Ca}^{++}+\text{Mg}^{++})/(\text{Na}^{+}+\text{K}^{+})$

Σχετίζεται με την τροφοδοσία του υπόγειου νερού. Έτσι για τιμές >1 το υδροφόρο στρώμα τροφοδοτείται συνεχώς, ενώ για τιμές <1 τα νερά του υδροφορέα χαρακτηρίζονται ως παλιά (χαμηλού εμπλουτισμού).

Από τους πίνακες 5.3.1 και 5.3.2 συμπεραίνουμε ότι τα υδροφόρα στρώματα της περιοχής μελέτης είναι συνεχούς τροφοδοσίας.

6. ΣΥΖΗΤΗΣΗ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στη διατριβή αυτή μελετήθηκαν τα υδροχημικά χαρακτηριστικά στην περιοχή του δήμου Στυλίδας του Νομού Φθιώτιδας. Συγκεκριμένα εξετάστηκε η ποιότητα των υπόγειων νερών 43 γεωτρήσεων με τη βοήθεια υδροχημικών διαγραμμάτων και θεματικών χαρτών. Παρακάτω δίνονται τα κυριότερα συμπεράσματα που προέκυψαν από την διατριβή αυτή.

Η περιοχή μελέτης περιλαμβάνει τρία δημοτικά διαμερίσματα, αυτό της Στυλίδας, της Αγίας Μαρίνας και του Αυλακίου. Στην περιοχή της Στυλίδας ανήκουν οι γεωτρήσεις M40-M42, στις Αγίας Μαρίνας οι M17-M21 και η M43 ενώ στο Αυλάκι οι M1-M16 και οι M22-M39.

Η περιοχή μελέτης εντάσσεται γεωτεκτονικά στην Υποπελαγονική ζώνη, που μαζί με την ζώνη Πίνδου αντιστοιχούν πιθανόν σε ένα ενιαίο παλαιό – ωκεάνιο χώρο. Κύριο χαρακτηριστικό γνώρισμα της Υποπελαγονικής ζώνης είναι οι μεγάλες οφιολιθικές μάζες και η συνοδεύουσα αυτές σχιστοκερατολιθική διάπλαση που έχει μεγάλη εξάπλωση. Εκτός όμως από αυτή, στην ευρύτερη περιοχή έρευνας τα στρώματα που παρουσιάζονται είναι μεγάλες ασβεστολιθικές μάζες που συνοδεύουν την σχιστοκερατολιθική διάπλαση, οι ασβεστόλιθοι της Ανωκρητιδικής επίκλησης, ο Ανωκρητιδικός φλύσχη, τα Πλειοκαινικά ιζήματα και οι χαλαρές Τεταρτογενείς αποθέσεις.

Στην περιοχή έλαβαν χώρα οι εξής ορογενετικές περίοδοι: 2^η ηλικίας Ανωτέρου Ιουρασικού – Κάτω Κρητιδικού, 3^η ηλικίας Τελικού Κρητιδικού – Μέσου Ηωκαίνου και 4^η ηλικίας Νεογενούς - Τεταρτογενούς. Με την τελευταία ορογενετική περίοδο είναι συνδεδεμένη η λεκάνη του Σπερχείου ποταμού στην οποία και ανήκει η περιοχή μελέτης.

Αναφορικά με την υδρογεωλογία της ευρύτερης περιοχής, συμπεραίνεται η ύπαρξη υδροφόρων ενοτήτων, που αποτελούνται από τις τεταρτογενείς αποθέσεις, τους νεογενείς σχηματισμούς, τις ασβεστολιθικές μάζες και τα προνομιούχα πετρώματα του φλύσχη. Από την άλλη μεριά, εντοπίζονται και οι υδατοστεγανές ενότητες, που περιλαμβάνουν τους οφιόλιθους και τα πετρώματα της σχιστοκερατολιθικής διάπλασης.

Τα επίπεδα της στάθμης των υδροφόρων οριζόντων παρουσιάζονται υψηλότερα πριν την έναρξη των αρδεύσεων στην περιοχή (περίοδος Απριλίου-Μαΐου 2006) απ' ότι την περίοδο Αυγούστου-Σεπτεμβρίου 2005, όπου μόλις έχουν τελειώσει

τα ποτίσματα των διαφόρων καλλιεργειών. Γενικά η διεύθυνση ροής του υπόγειου νερού είναι από τα βόρεια και βορειοανατολικά προς τα νότια και νοτιοδυτικά στην περιοχή κοντά στην Στυλίδα και από τα βόρεια και βορειοδυτικά προς τα νότια και νοτιοανατολικά στην περιοχή του Αυλακίου. Οι υδραυλικές κλίσεις είναι μεγαλύτερες την περίοδο Αυγούστου-Σεπτεμβρίου 2005 απ' ότι την περίοδο Απριλίου-Μαΐου 2006, γεγονός που φανερώνει μεγαλύτερες ταχύτητες ροής του υπόγειου νερού την εποχή των αντλήσεων.

Από την υδροχημική μελέτη και των δύο περιόδων δειγματοληψίας προέκυψαν τα εξής :

- Από την ανάλυση συσχέτισης δεν προέκυψε ικανοποιητική συσχέτιση μεταξύ των διάφορων ιόντων – εξαίρεση αποτελούν τα ιόντα Na-Cl της περιόδου Αυγούστου-Σεπτεμβρίου 2005 – ούτε και μεταξύ της στάθμης των υδροφόρων οριζόντων με κάποια ιόντα καθώς και το pH. Αντίθετα φαίνεται να συσχετίζεται η απόλυτη τιμή της στάθμης με τα ιόντα $\text{SO}_4^{=}$, HCO_3^- , NO_3^- και την ηλεκτρική αγωγιμότητα.
- Ιοντικές ανταλλαγές μεταξύ των χημικών ενώσεων των νερών και των υδροφορέων μέσα από τους οποίους διέρχονται δεν διαπιστώνονται στην περιοχή μελέτης με βάση τα διαγράμματα Durov. Πρόκειται επομένως για γλυκά νερά.
- Ο επικρατών υδροχημικός τύπος των νερών της περιοχής είναι ο ασβεστομαγνησιούχος-οξυανθρακικός, με βάση τα υδροχημικά διαγράμματα Piper, τα τριγωνικά, τα τετραγωνικά, τα ακτινικά πολυγωνικά και τα οριζόντια πολυγωνικά διαγράμματα. Αυτό σημαίνει ότι τα νερά της περιοχής είναι καρστικά ή νερά από αλλουβιακούς σχηματισμούς.
- Τα υπόγεια νερά της περιοχής είναι γλυκά με βάση τα διαγράμματα Schoeller.
- Το νερό της περιοχής είναι καλής έως μέτριας ποιότητας, όπως προκύπτει από τα διαγράμματα S.A.R., που γενικά μπορεί να χρησιμοποιείται σε ευρεία κλίμακα και με κάποιες προφυλάξεις που εξαρτώνται από τις ιδιαιτερότητες επιμέρους περιοχών, όπως ιδιότητες εδάφους και καλλιέργειας.

- Για την περίοδο Αυγούστου-Σεπτεμβρίου 2005, αυξημένες τιμές στην ηλεκτρική αγωγιμότητα και στις συγκεντρώσεις των ιόντων Ca, Na, Cl, παρατηρούνται στην περιοχή βορειοανατολικά της Αγίας Μαρίνας, κοντά στην γεώτρηση M18 και στα νοτιοδυτικά της περιοχής μελέτης, κοντά στην γεώτρηση M5. Επιπλέον ο χώρος γύρω από την γεώτρηση M5 παρουσιάζει αυξημένες τιμές και στις συγκεντρώσεις των ιόντων Mg, SO₄ και NO₃. Σε ότι αφορά την επιβάρυνση σε ιόντα K, αυτή εντοπίζεται στο κεντρικό τμήμα της περιοχής, δυτικά της Αγίας Μαρίνας και προς τα νότια, αγγίζοντας την τιμή των 3.1mg/l στην περιοχή της γεώτρησης M10, η οποία αποτελεί και περιοχή μέγιστης συγκέντρωσης ιόντων HCO₃. Τέλος όλα τα νερά της περιοχής, είναι ελαφρώς αλκαλικά με το pH να κυμαίνεται μεταξύ 7.3 και 8.
- Για την περίοδο Απριλίου-Μαΐου 2006, υψηλές τιμές στην ηλεκτρική αγωγιμότητα και στις συγκεντρώσεις ιόντων Ca, Na, Cl, NO₃ εντοπίζονται και πάλι κοντά στην γεώτρηση M18. Η περιοχή γύρω από την γεώτρηση M5 παρουσιάζει αυξημένες συγκεντρώσεις σε ιόντα Mg, Na, NO₃. Οι συγκεντρώσεις των ιόντων K, SO₄ και HCO₃, είναι ανεβασμένες κοντά στην γεώτρηση M10 και γενικά στο νοτιοδυτικό άκρο της περιοχής μελέτης. Τέλος τα νερά της περιοχής, εξακολουθούν να παραμένουν ελαφρώς αλκαλικά με το pH να κυμαίνεται μεταξύ 7 και 7.9.
- Από τους χάρτες των διαφορών, παρατηρούμε ότι στα κεντρικά τμήματα της περιοχής μελέτης δεν παρατηρείται ουσιαστική μεταβολή στις συγκεντρώσεις των ιόντων Cl και NO₃, ούτε στις τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Αντίθετα, επισημαίνουμε από αυτούς, τις διακυμάνσεις των παραπάνω ιόντων και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας, στα νοτιοδυτικά και νοτιοανατολικά τμήματα της ευρύτερης περιοχής κοντά στις γεωτρήσεις M5 και M18 αντίστοιχα.
- Από τους ιοντικούς λόγους της περιόδου Αυγούστου-Σεπτεμβρίου, προκύπτει ότι τα νερά προέρχονται από καρστικά υδροφόρα (ασβεστολιθικά ή δολομιτικά), τα οποία είναι συνεχούς τροφοδοσίας και δεν παρουσιάζουν ενδείξεις θαλάσσιας διείσδυσης, παρά μόνο

στην βορειανατολική περιοχή της Αγίας Μαρίνας όπου οι τιμές του λόγου Cl/SO_4 είναι ανεβασμένες, δίνοντας στα νερά χλωριούχο χαρακτήρα.

- Ο υπολογισμός των ιοντικών λόγων της περιόδου Απριλίου-Μαΐου 2006, δεν διαφοροποιεί την ποιότητα των νερών της περιοχής.

Οι ισοχημικές καμπύλες των περισσότερων θεματικών χαρτών που σχεδιάστηκαν και για τις δύο περιόδους δειγματοληψίας, και κυρίως των θεματικών χαρτών των διαφορών των συγκεντρώσεων των ιόντων, παρουσιάζουν μία τάση απόκλισης σε συγκεκριμένα σημεία της περιοχής μελέτης. Τέτοιες περιοχές εντοπίζονται κυρίως στα νότια καθώς και στα δυτικά και κεντρικά τμήματα της εξεταζόμενης περιοχής. Με βάση τα τεκτονικά δεδομένα της περιοχής που αφορούν ρήγματα γενικής διεύθυνσης Α-Δ και με αποδεδειγμένη την διεύθυνση αυτή μέσα από τις ισοχημικές καμπύλες των θεματικών χαρτών, βγαίνει το συμπέρασμα πως πιθανότατα υπάρχουν ρήγματα, που έδρασαν στην περιοχή το Πλειο-πλειστόκαινο και στη συνέχεια καλύφθηκαν από τις νεότερες αλλουβιακές αποθέσεις. Κρίνεται αναγκαίο στο σημείο αυτό να τονιστεί πως η περαιτέρω διερεύνηση της συγκεκριμένης τάσης θα μπορούσε να οδηγήσει σε σπουδαιότερα και ασφαλέστερα συμπεράσματα.

Τελικά, από την όλη υδροχημική μελέτη στην περιοχή, βγαίνει το συμπέρασμα, ότι η περιοχή βορειοδυτικά της Αγίας Μαρίνας παρουσιάζει μια υποβάθμιση της ποιότητας των νερών της. Σημαντικό ρόλο στην υποβάθμιση αυτή, παίζει η ύπαρξη του ελαιοτριβείου, διότι δεν ελέγχεται ο τρόπος διάθεσης των λυμάτων του, τα οποία διοχετεύονται απευθείας στο έδαφος, χωρίς να απαλλάσσονται από ανεπιθύμητες ουσίες. Στην περιοχή του Αυλακίου, η επιβάρυνση της περιοχής κοντά στην γεώτρηση M5, είναι δυνατόν να οφείλεται στην ύπαρξη, βόρεια αυτής, του εργοστασίου κλωστοϋφαντουργίας "BOMBYΞ". Παρόλο που δεν λειτουργεί εδώ και δέκα χρόνια το εργοστάσιο, οι χημικές και ραδιενεργές ουσίες που χρησιμοποιούσε για την επεξεργασία των κλωστών, έχουν μέχρι τις μέρες μας αντίκτυπο στην ποιότητα των υδροφόρων οριζόντων.

Επιπλέον οι ΟΤΑ της περιοχής μελέτης, όπως και τα σπίτια δεν είναι συνδεδεμένα με δίκτυα κατασκευασμένα ειδικά για την αποχέτευση των αστικών λυμάτων και εξυπηρετούνται με βόθρους, κατά κανόνα απορροφητικούς.

Επιπρόσθετα η χρήση λιπασμάτων για τις ανάγκες των καλλιεργειών δημιουργεί μη αναστρέψιμα υποβαθμισμένους υδροφόρους ορίζοντες.

Ωστόσο τα αποτελέσματα όλων των παραπάνω ανθρώπινων απεισκευιών, θα περίμενε κανείς να έχουν μολύνει περισσότερο και σε σημαντικότερο βαθμό την ευρύτερη περιοχή μελέτης, κάτι που δεν διαπιστώνεται από την παρούσα διατριβή, αλλά περιορίζονται στα νοτιοδυτικά τμήματά της και στο τμήμα βορειοανατολικά της Αγίας Μαρίνας.

Κρίνεται σκόπιμο λοιπόν, να δοθούν κάποια μέτρα σε συμβουλευτικό επίπεδο, διότι η περιοχή μελέτης αποτελεί μέρος του προστατευόμενου υδροβιότοπου του Σπερχειού ποταμού που φιλοξενεί ποικιλία ψαριών και πτηνών.

1. Τα λύματα των χωριών να περνούν από βιολογικό καθαρισμό και να μη χύνονται στα διάφορα ρέματα. Μετά τον βιολογικό καθαρισμό θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για άρδευση.
2. Να κατασκευαστεί από το δήμο Στυλίδας σύγχρονος χώρος για την αποκομιδή των σκουπιδιών και την κατεργασία τους, έτσι ώστε να μην ρυπαίνουν τα νερά επιφανειακά και υπόγεια και γενικότερα το περιβάλλον.
3. Οι γεωργοί θα έπρεπε να κάνουν: α) αγρανάπαυση (δηλ. να αφήνουν το χωράφι ακαλλιέργητο για ένα χρονικό διάστημα, για να "δυναμώσουν" τα χώματά του), β) αμειψισπορά (δηλ. να μην καλλιεργούν σε ένα χωράφι το ίδιο πάντα φυτό) και γ) εφαρμογή χλωρής λίπανσης (βιολογικές καλλιέργειες).
4. Τα λύματα των βιομηχανιών και των ελαιοτριβείων, να περνούν από βιολογικό καθαρισμό.
5. Να απομακρυνθούν από την περιοχή, οι βιομηχανίες που προκαλούν ή έχουν προκαλέσει μόλυνση στους υδροφόρους ορίζοντες και να απαγορευτεί η εγκατάσταση στην περιοχή νέων, όσο αυτό είναι δυνατό.

7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Αναστόπουλος, Ι., Μαράτος, Γ., Μελιδώνης, Ν., Ανδρονόπουλος, Β., (1963):

Γεωλογικός χάρτης, κλίμακα 1 : 50.000, φύλλο Στυλίσ, Εκδόσεις Ι.Γ.Μ.Ε., Αθήνα.

Αποστολόπουλος, Γ., (1993): «Γεωφυσικές έρευνες στην λεκάνη του Σπερχειού ποταμού», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών. (σελ. 11)

Castany, G. (1968) : «Prospection et exploitation des eaux souterraines». Εκδόσεις Dunod Paris, 718 σελ. (σελ. 48)

Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού, (1969): Τοπογραφικός χάρτης, κλίμακα 1:50.000, φύλλο Στυλίσ, Εκδόσεις Γ.Υ.Σ., Αθήνα.

Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού, (1969): Τοπογραφικοί χάρτες με κωδικούς 5353/7, 5353/8, 5363/1, 5363/2, κλίμακα 1:5.000, του γενικού φύλλου Στυλίσ, Εκδόσεις Γ.Υ.Σ., Αθήνα.

Davis, S.N.-De Wiest, R.J. (1966) : «Hydrogeology». John Wiley & Sons, New York, 463p. (σελ. 46)

Durov, S.A. (1948) : «Natural water and graphical representation of their composition». Dokl. Akad. Nauk. U.S.S.R., V. 59, p. 87-90. (σελ. 45)

Δασενάκης, Εμ., Καστρίτης, Αθ., Τριανταφυλλάκη, Σ., Μπούρου, Π., Παρασκευοπούλου, Β., (2002): «Διακίνηση ρύπων στην λεκάνη απορροής του Σπερχειού και επιδράσεις στην παράκτια ζώνη», Πρακτικά 19^{ου} Πανελλήνιου Συνεδρίου Χημείας, Ηράκλειο, σελ. 209-214 (σελ. 10)

Εθνική Στατιστική Υπηρεσία (2001): «Στοιχεία απογραφής πληθυσμού 1991 και 2001», Αθήνα

- Zaporozec, A. (1972)** : «A graphical interpretation of water quality data». Groundwater, V. 10, p. 32-43. (σελ. 45)
- Hem, J.D. (1970)** : «Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water». U.S. Geological Survey, Water Supply, Paper no 1473, 362 p., Washington. (σελ. 45)
- Hintz, E.-Grunhut, L. (1907)** : «Berodere Grundsatzte fur die Darstellung der chemischen Analysenergebnisse». Deutsches Baderbuch., s. L-LXIV, Leipzig. (σελ. 53)
- Καλλέργης, Γ., (2001)**: «Εφαρμοσμένη – Περιβαλλοντική Υδρογεωλογία», 2nd edition, Τρίτος Τόμος, Εκδόσεις Τ.Ε.Ε., Αθήνα. (σελ. 22)
- Καλλέργης, Γ., (2000)**: «Εφαρμοσμένη – Περιβαλλοντική Υδρογεωλογία», 2nd edition, Δεύτερος Τόμος, Εκδόσεις Τ.Ε.Ε., Αθήνα. (σελ. 34)
- Langelier, W.F.-Ludwig, H.F. (1942)** : «Graphical methods for indicating the mineral character of natural waters». J. Amer. Water Works Assoc., V. 34, no 3, p. 335-352, Baltimore. (σελ. 48)
- Lloyd, J.-Heathcote, J. (1985)** : «Natural inorganic hydrochemistry in relation to groundwater. An introduction». Ed. Oxford, 269 p. (σελ. 45)
- Maucha, R. (1932)** : «Hydrochemische Methoden in der Limologie». Binnengewasser, V. XXII, 173 p. +Abb.+Tab. (σελ. 52)
- Μεντζάφου, Α., Κουμαντάκης, Ι., (2005)**: «Συμβολή στην υδρογεωλογική μελέτη της λεκάνης Αλμυρού Μαγνησίας», Τόμος Ι, Πρακτικά 7^{ου} Πανελληνίου Υδρογεωλογικού Συνεδρίου, Αθήνα, σελ. 321-33 (σελ. 21)
- Μίγκιρος, Γ., Σταμάτης, Γ., Αντωνίου, Β., Αλεξιάδου, Χ., (2005)**: «Σχέση τεκτονικής δομής και υδροφορίας της οφιολιθικής μάζας του όρους Καλλίδρομου και ποιοτική σύσταση των υπόγειων νερών (κεντρική Ελλάδα)»,

- Τόμος Ι, Πρακτικά 7^{ου} Πανελλήνιου Υδρογεωλογικού Συνεδρίου, Αθήνα, σελ. 331-338 (σελ. 22)
- Μουντράκης, Δ., (1985):** «Γεωλογία Ελλάδος», University Studio Press, Θεσσαλονίκη. (σελ. 13)
- Πατρικάκη, Ο., (2002):** «Μελέτη των υδρογεωλογικών συνθηκών της περιοχής του νότιου πεδίου Πτολεμαΐδας», Διατριβή Ειδίκευσης, Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ. (σελ. 54)
- Piper, M. (1944) :** «A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analysis». Trans. Amer. Geophysical Union, V. 25, p. 914-928 (σελ 46)
- Richards, I.A. (1954) :** «Diagnosis and improvement of saline and alkaline soils». U.S. Depart. Agric., pp. 160, Washington. (σελ. 54)
- Schoeller, H. (1955) :** «Geochimie des eaux souterraines. Application aux eaux des gisements de petrole». Revue de l' Institute Français du Petrole et Annales de Combustibles Liquides, Paris, V. 10, p. 230-244. (σελ. 51)
- Σούλιος, Γ., (2006):** «Γενική Υδρογεωλογία», Τέταρτος Τόμος, University Studio Press, Θεσσαλονίκη. (σελ. 35)
- Σούλιος, Γ., (2004):** «Γενική Υδρογεωλογία», Τρίτος Τόμος, εκδόσεις Κυριακίδη, Θεσσαλονίκη. (σελ. 65)
- Stiff, H.A. (1951) :** «The interpretation of chemical water analysis by means of patterns». J. Petr. Techn., V. 3, no 10, technic note 84, sect. 1, p. 15-16, sect. 2, p. 3-7, Dallas, Texas. (σελ. 53)
- Ferrière, J., (1982) :** Paléogéographie et tectonique superposées dans les Hellenides internes : les massifs de l' Othrys et du Pélion (Grèce septentrionale). Société de la Géologie du Nord 8, p.p 1-970.

Fetter, C.W. (1994) : «Applied Hydrogeology». Ed. Prentice Hall, Inc., 691p. (σελ. 46)

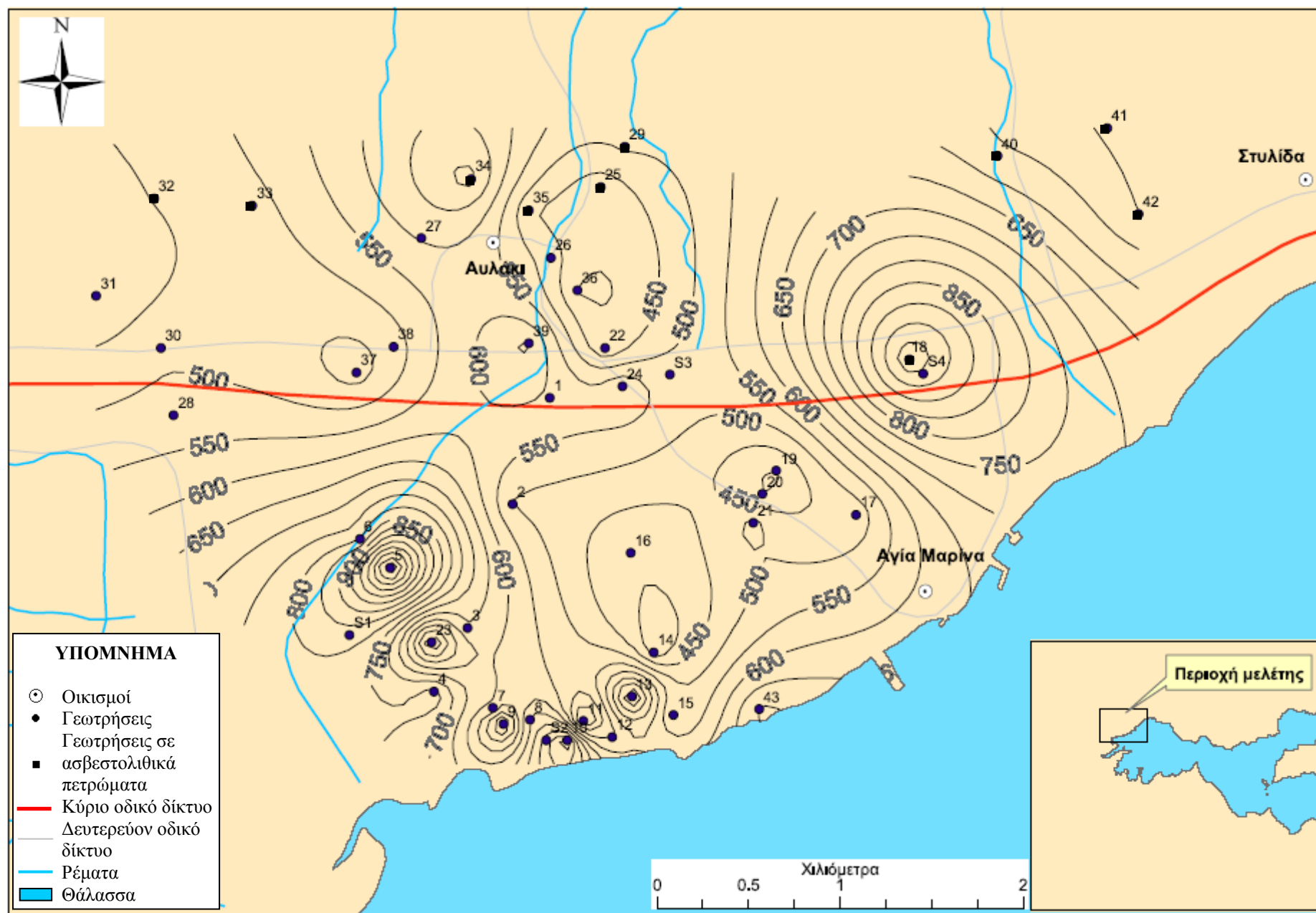
Wilcox, L.V. (1955) : «Classification and use of irrigation waters». U. S. Depart. Agric. Circ. 969, pp. 19, Washington. (σελ. 54)

Ηλεκτρονικές Διευθύνσεις : www.fthiotida.gr (σελ. 8)

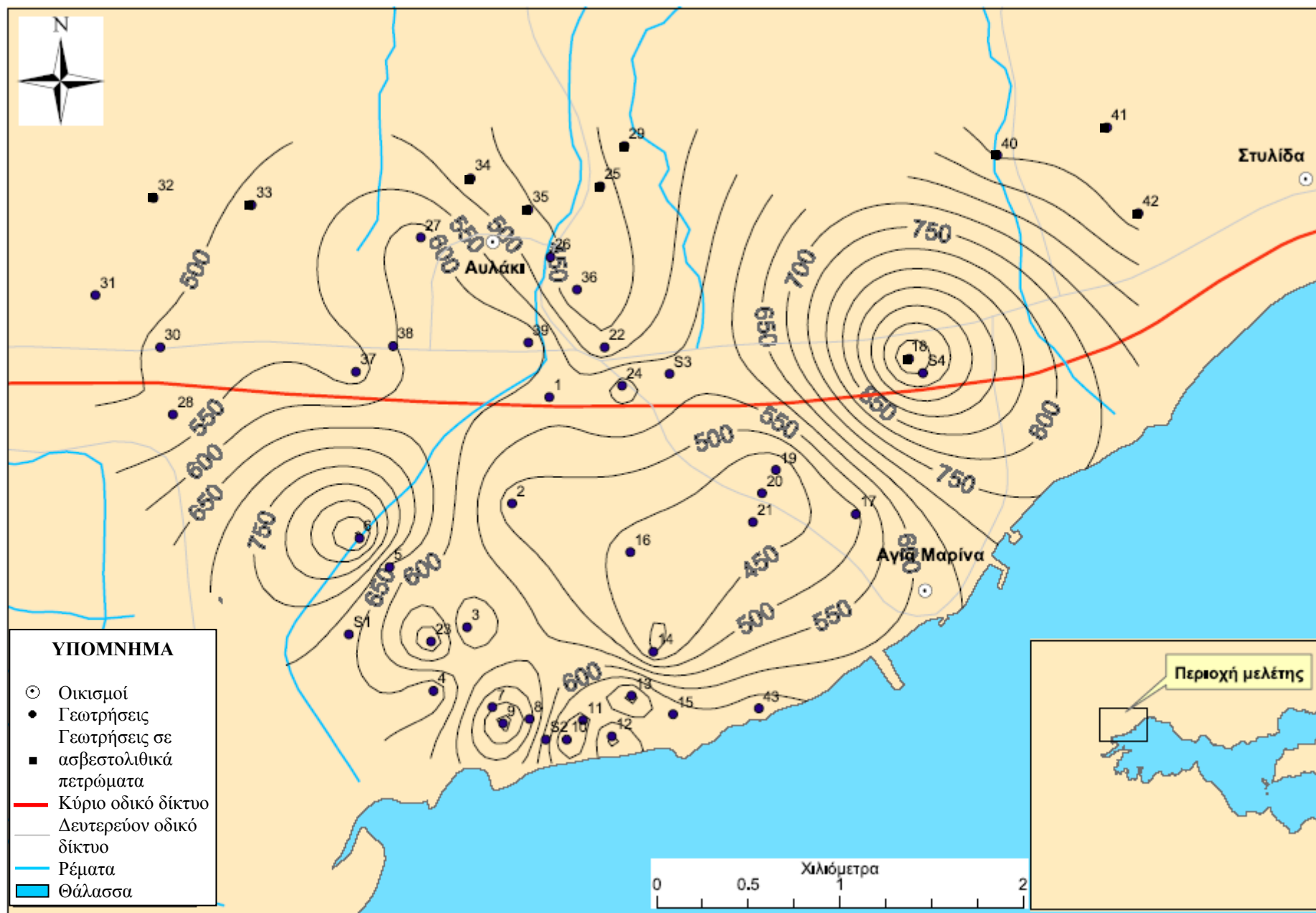
www.geol.uoa.gr (σελ. 14)

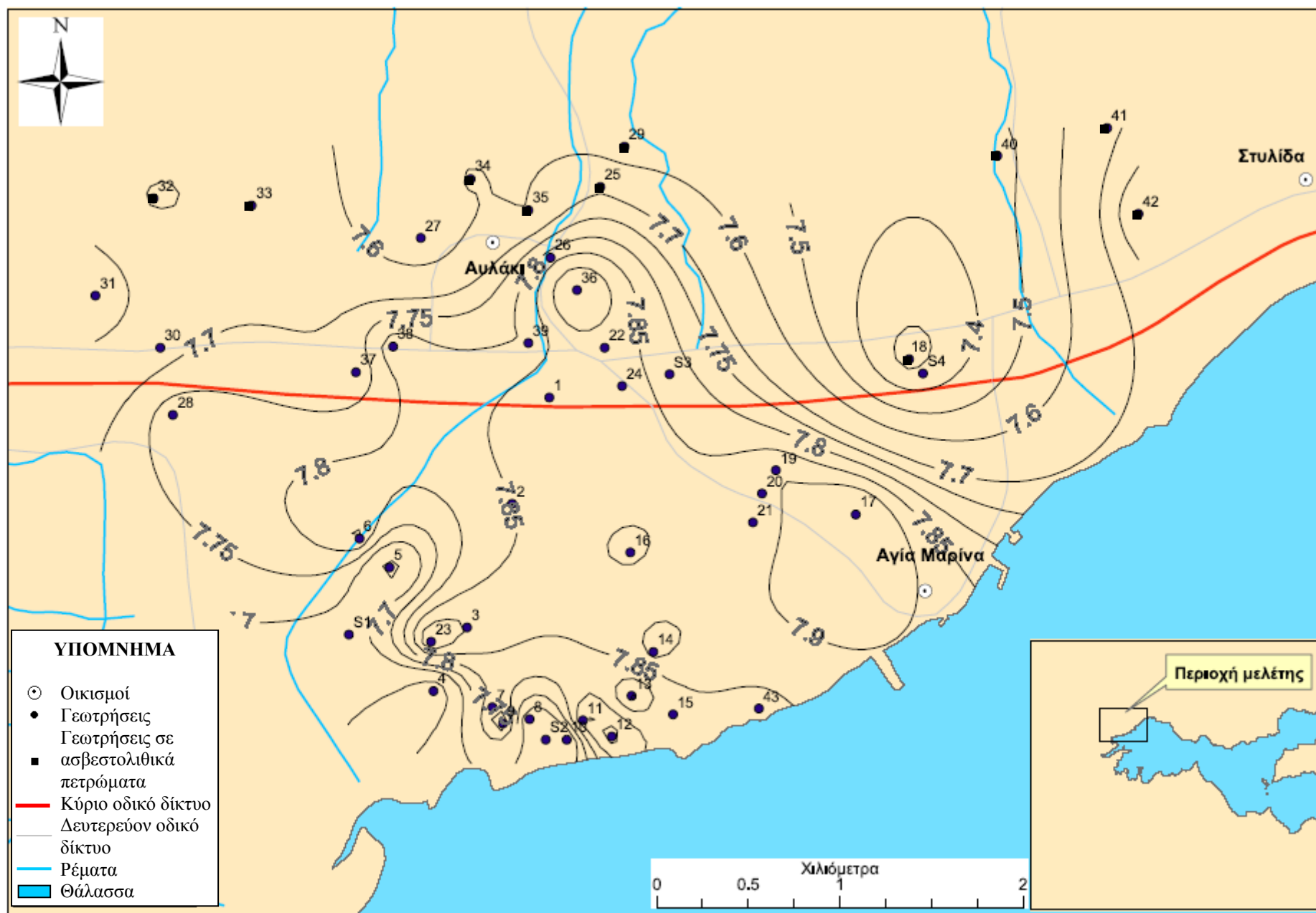
www.stilida.gr (σελ. 10)

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ 5

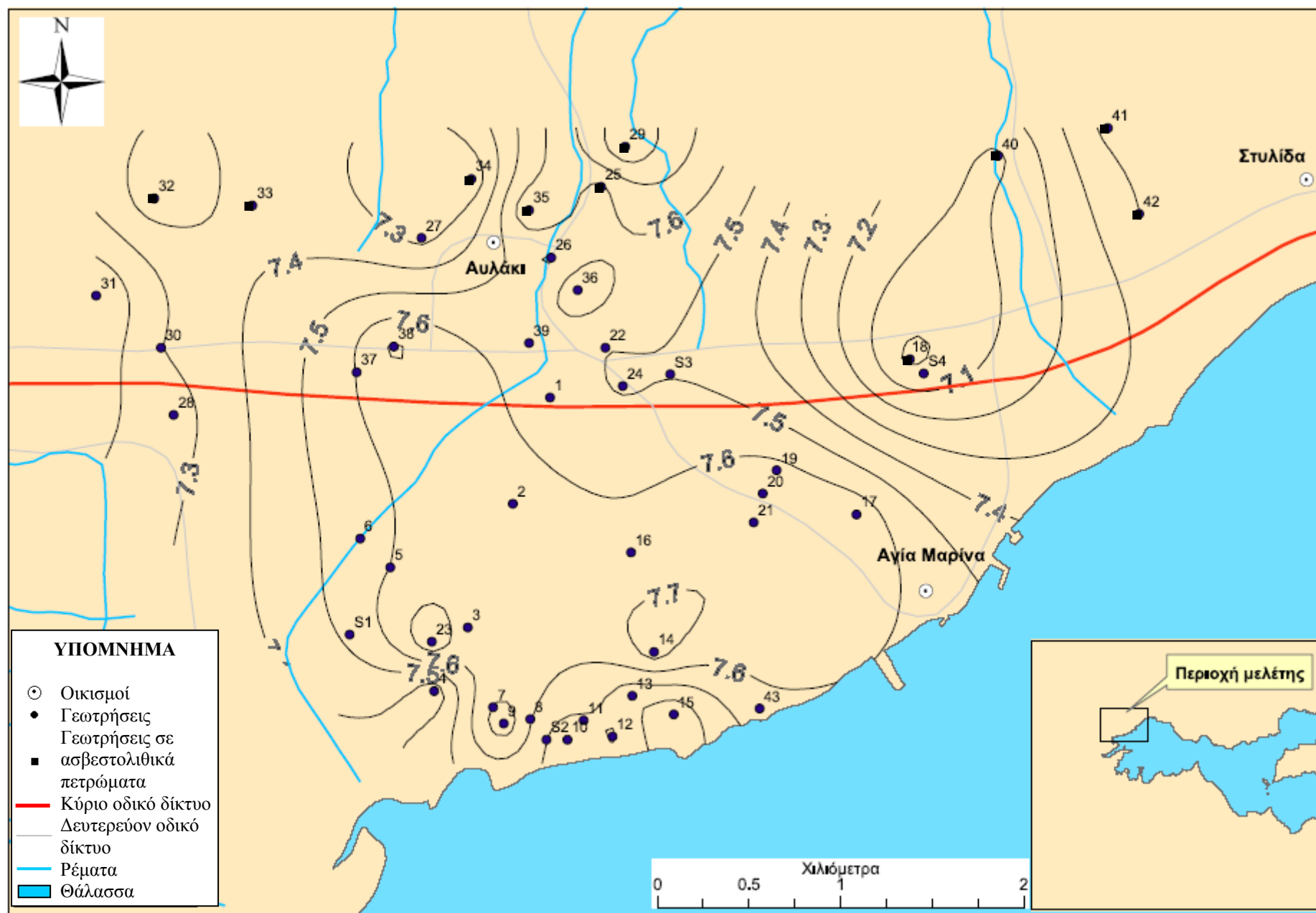


Χάρτης 5.2.1 Θεματικός χάρτης κατανομής της ηλεκτρικής αγωγιμότητας περιόδου Αυγούστου-Σεπτεμβρίου 2005 σε $\mu\text{S}/\text{cm}$

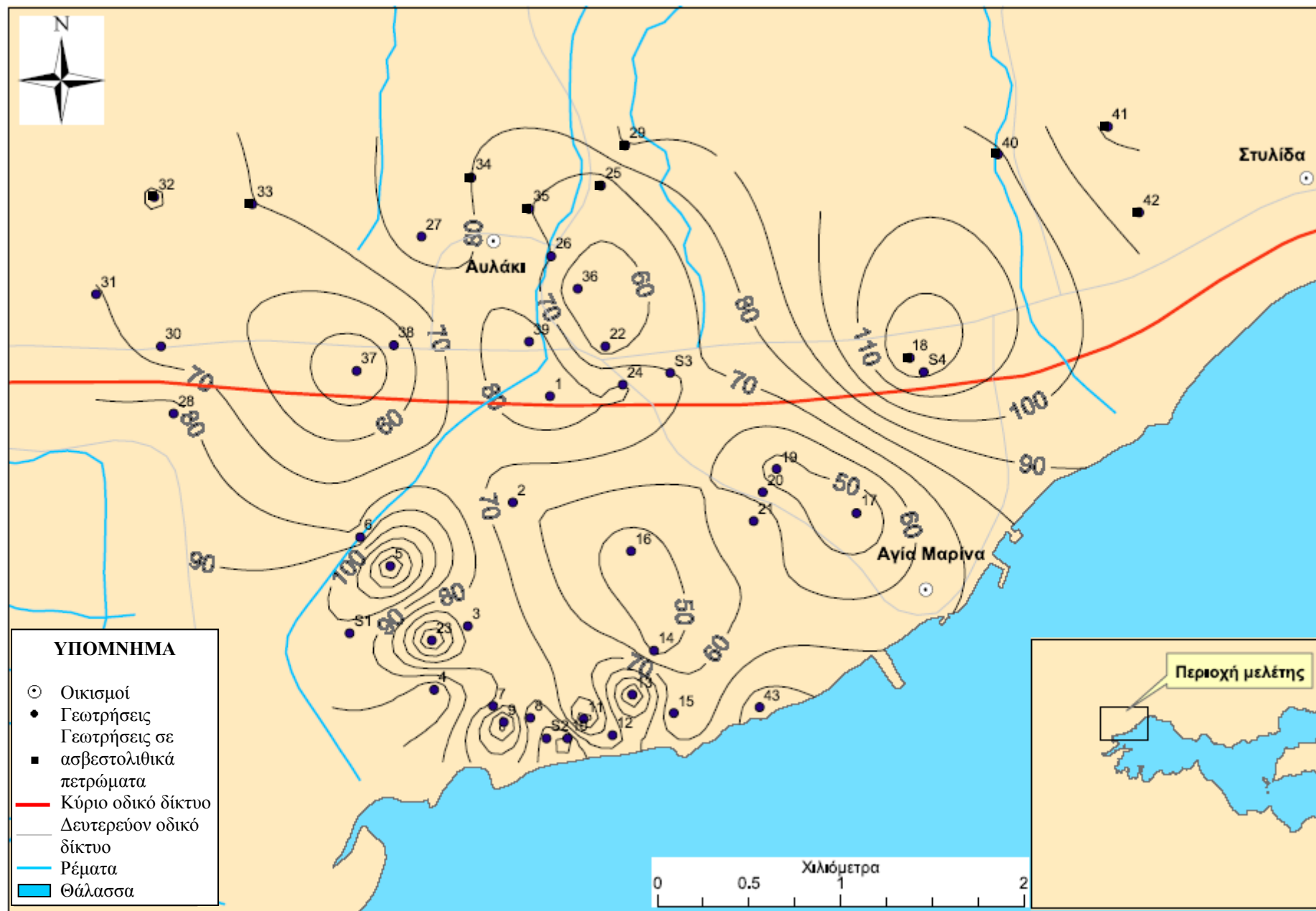




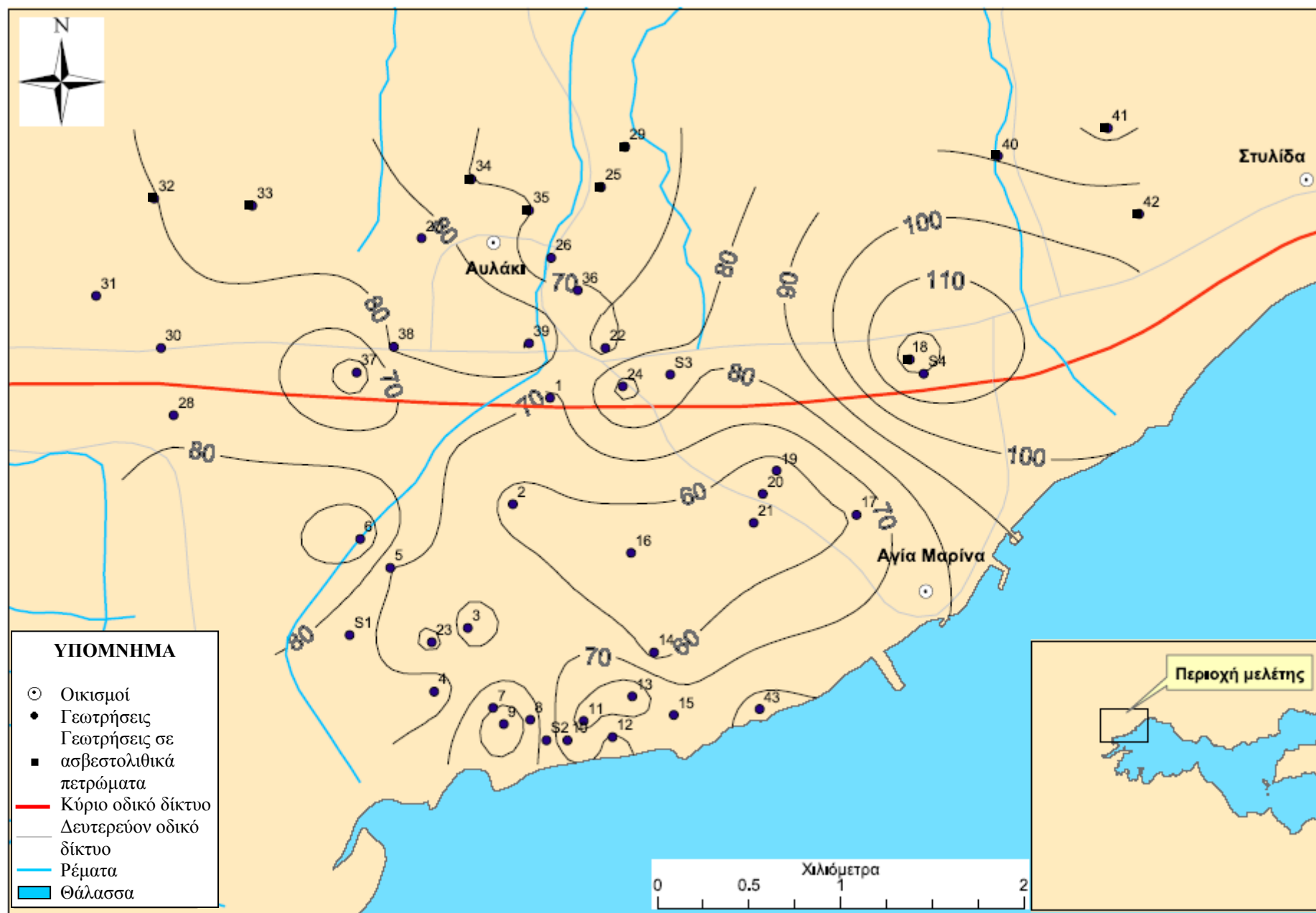
Χάρτης 5.2.3 Θεματικός χάρτης κατανομής του pH περιόδου Αυγούστου-Σεπτεμβρίου 2005



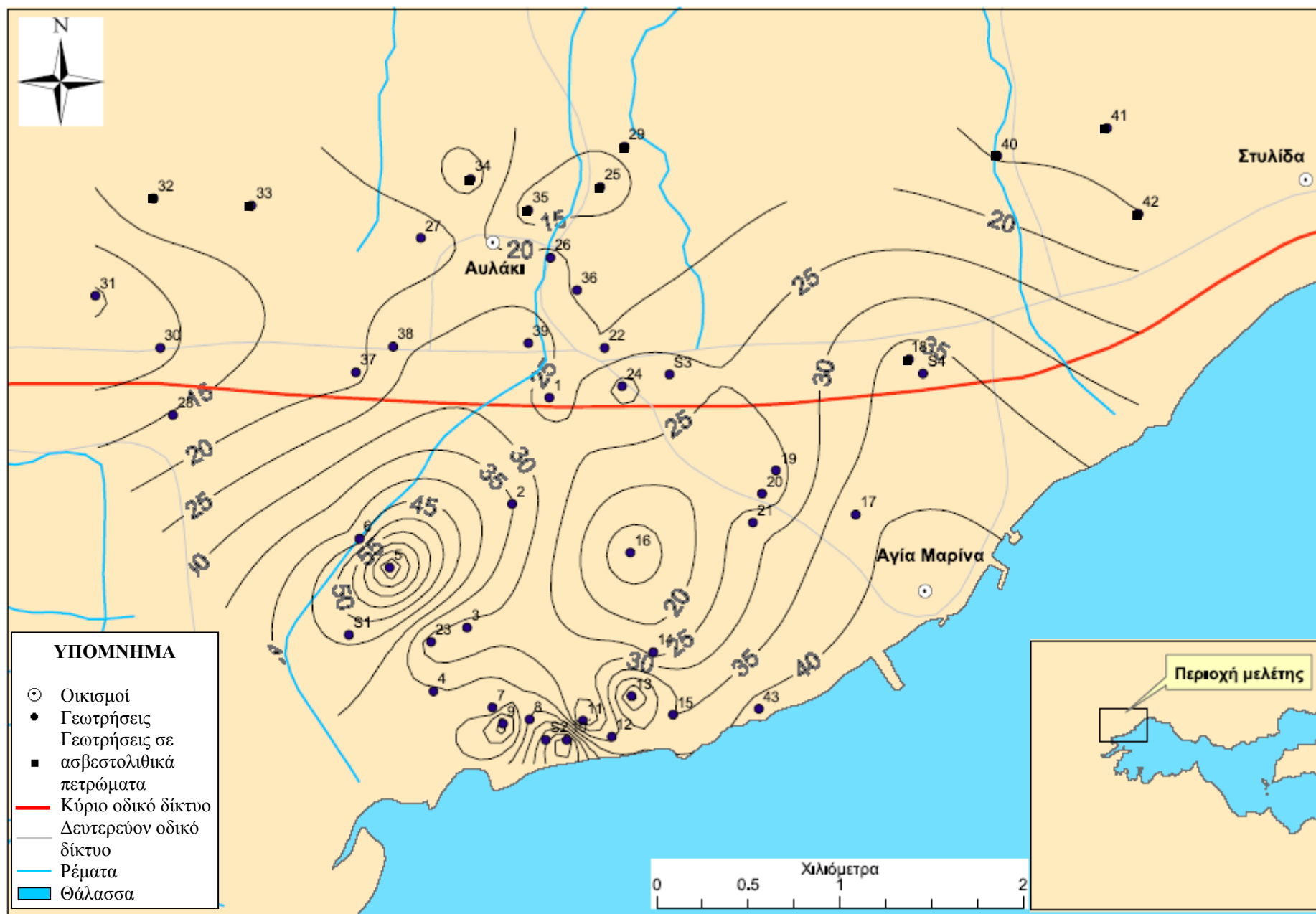
Χάρτης 5.2.4 Θεματικός χάρτης κατανομής του pH περιόδου Απριλίου-Μαΐου 2006



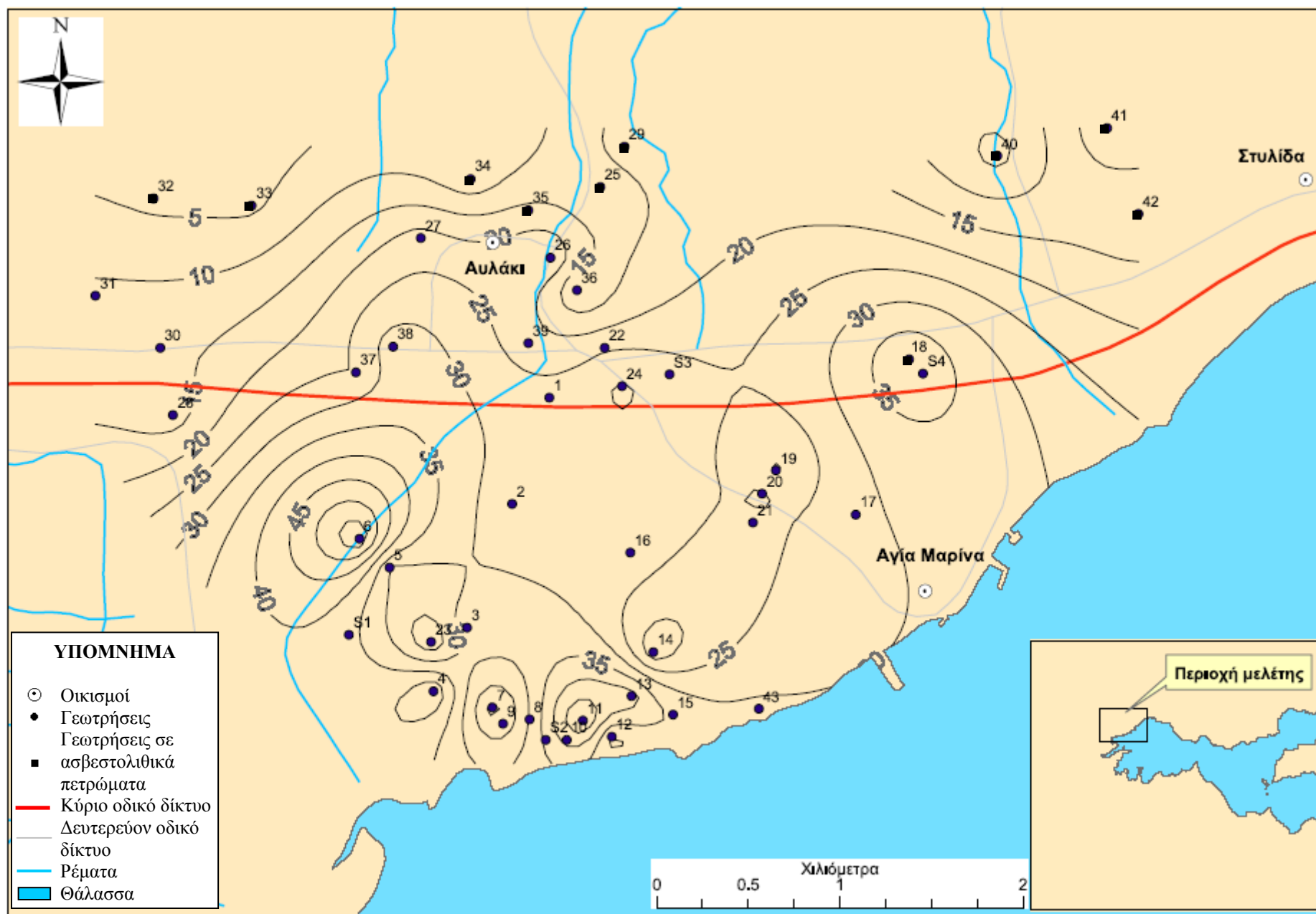
Χάρτης 5.2.5 Θεματικός χάρτης κατανομής των ιόντων Ca περιόδου Αυγούστου-Σεπτεμβρίου 2005 σε mg/l



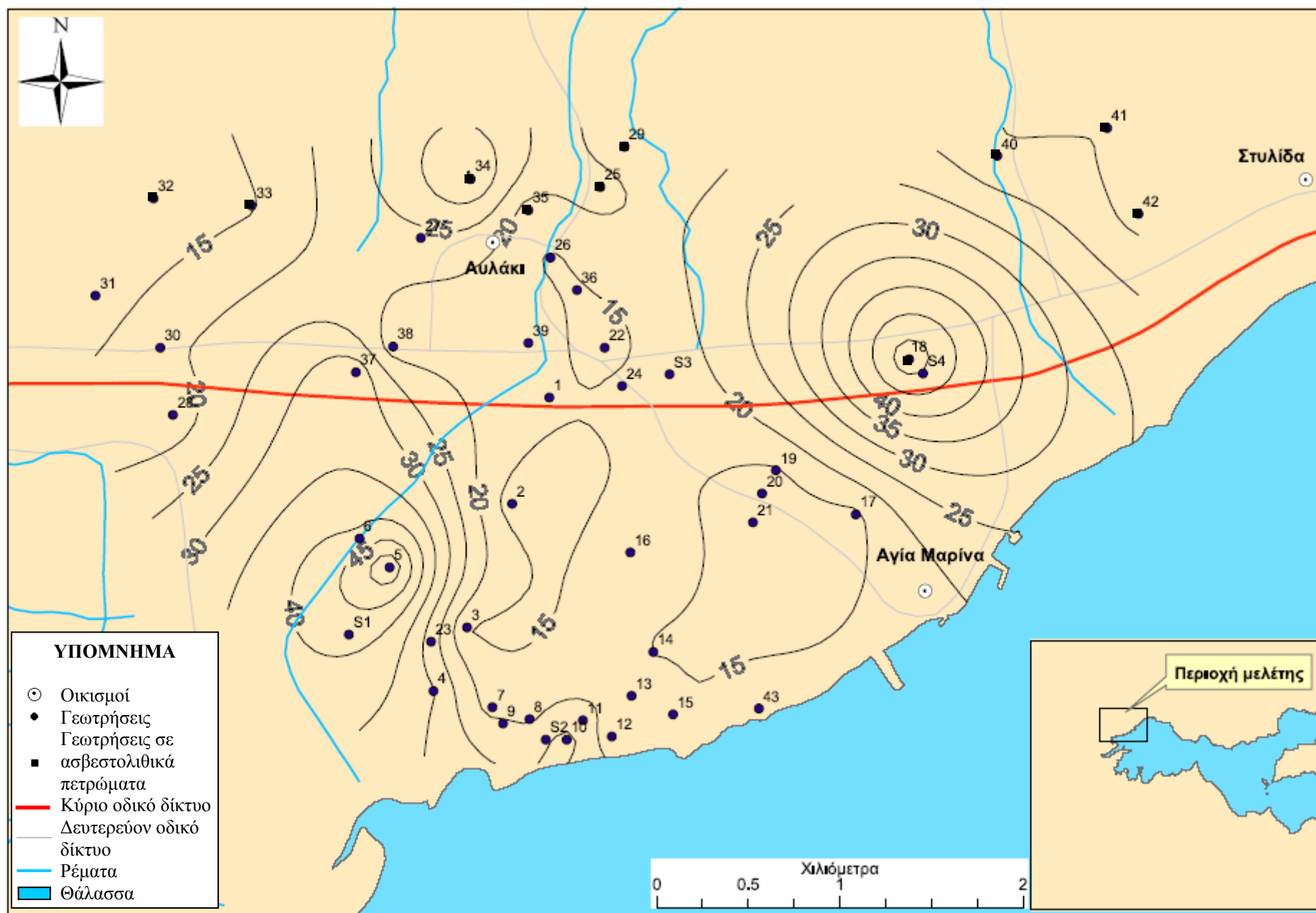
Χάρτης 5.2.6 Θεματικός χάρτης κατανομής των ιόντων Ca περιόδου Απριλίου-Μαΐου 2006 σε mg/l



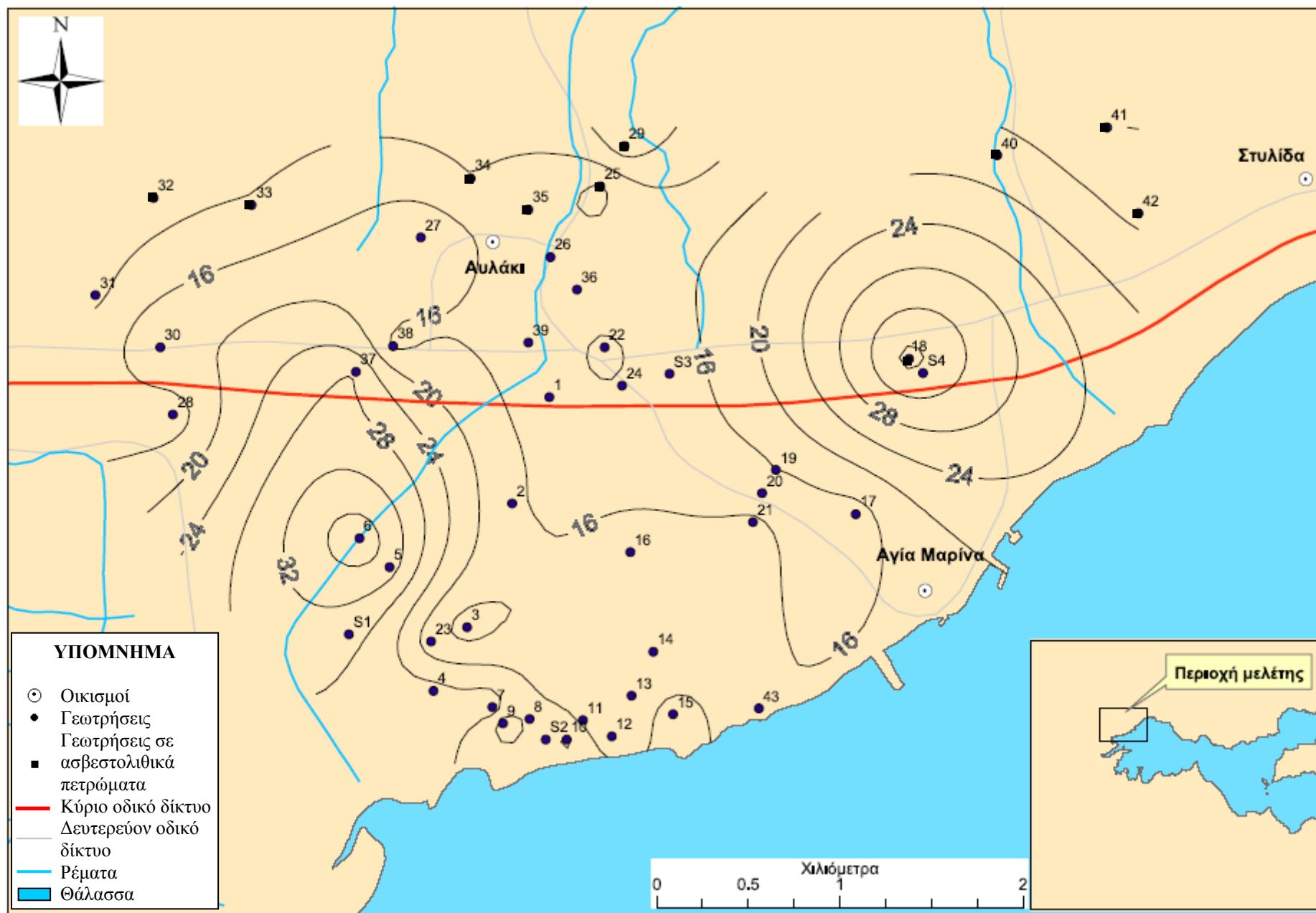
Χάρτης 5.2.7 Θεματικός χάρτης κατανομής των ιόντων Mg περιόδου Αυγούστου-Σεπτεμβρίου 2005 σε mg/l



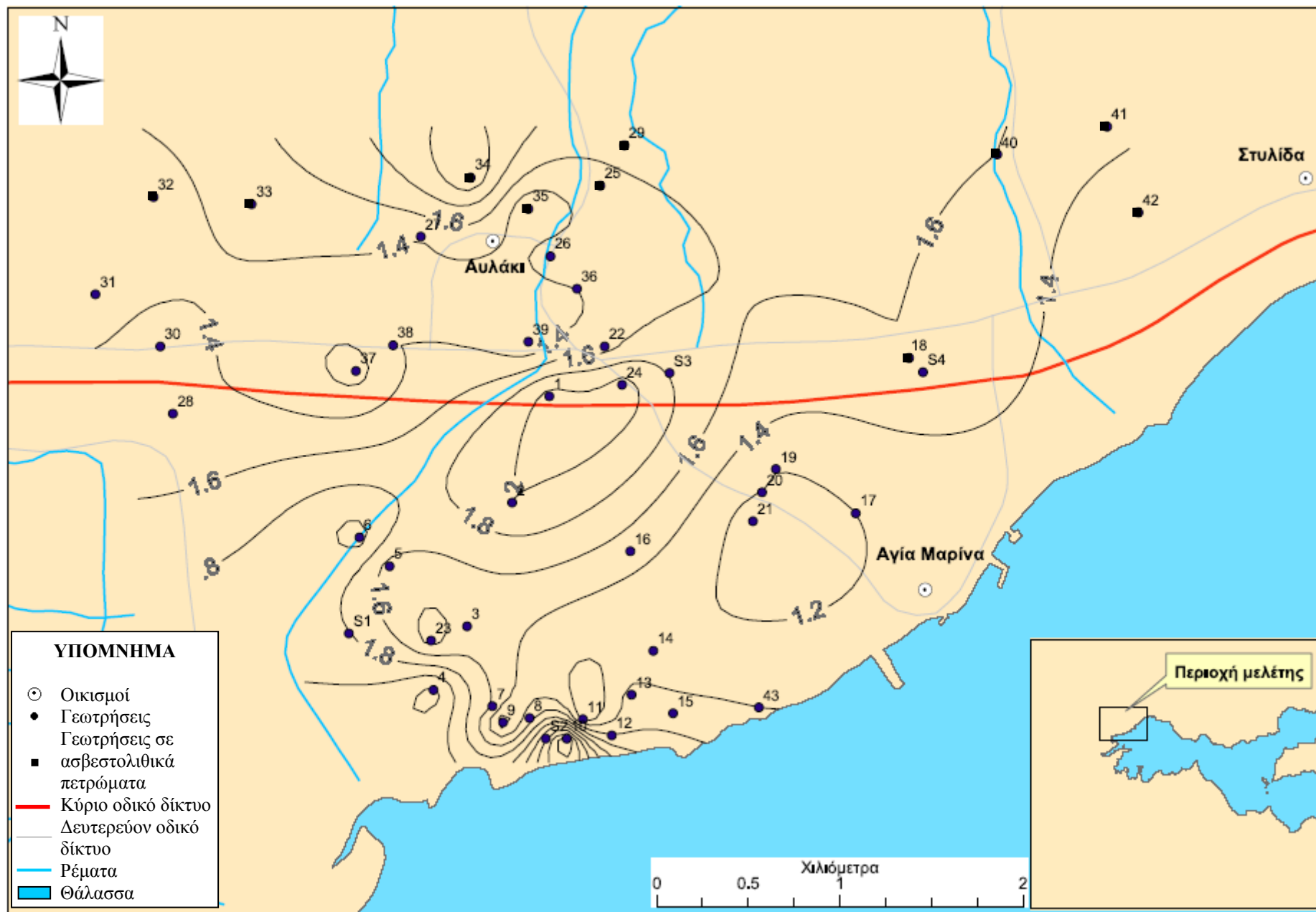
Χάρτης 5.2.8 Θεματικός χάρτης κατανομής των ιόντων Mg περιόδου Απριλίου-Μαΐου 2006 σε mg/l



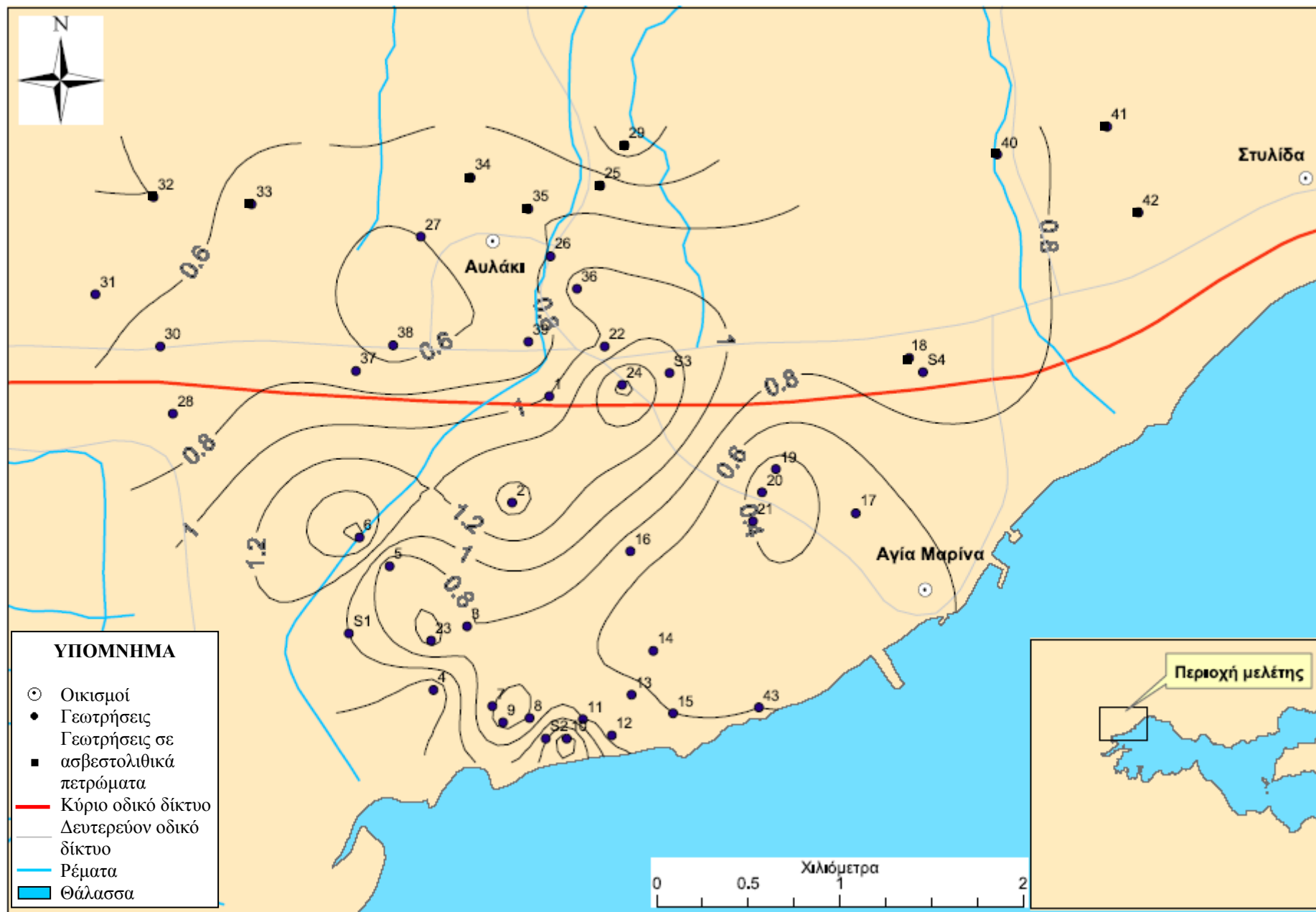
Χάρτης 5.2.9 Θεματικός χάρτης κατανομής των ιόντων Na περιόδου Αυγούστου-Σεπτεμβρίου 2005 σε mg/l



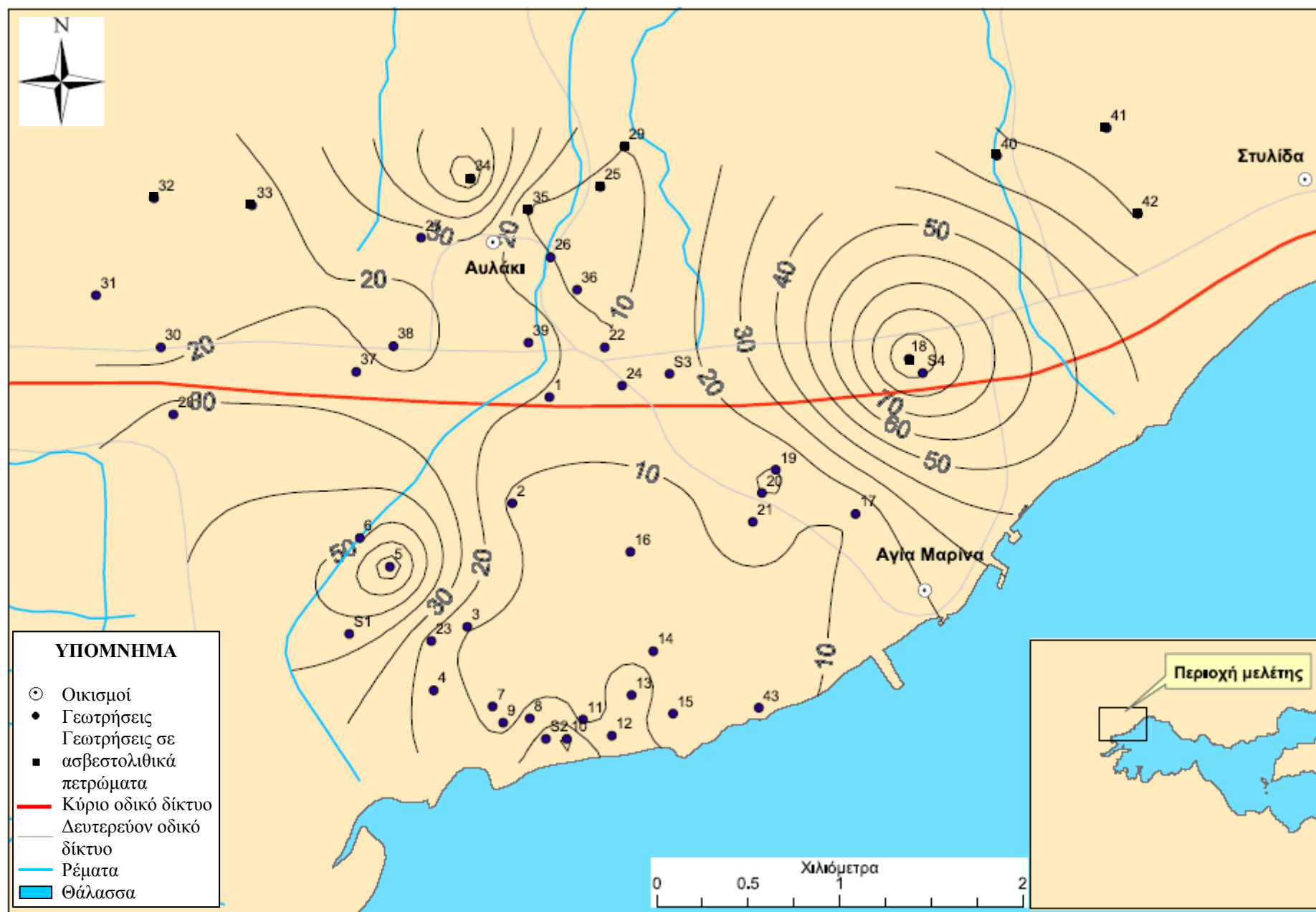
Χάρτης 5.2.10 Θεματικός χάρτης κατανομής των ιόντων Na περιόδου Απριλίου-Μαΐου 2006 σε mg/l



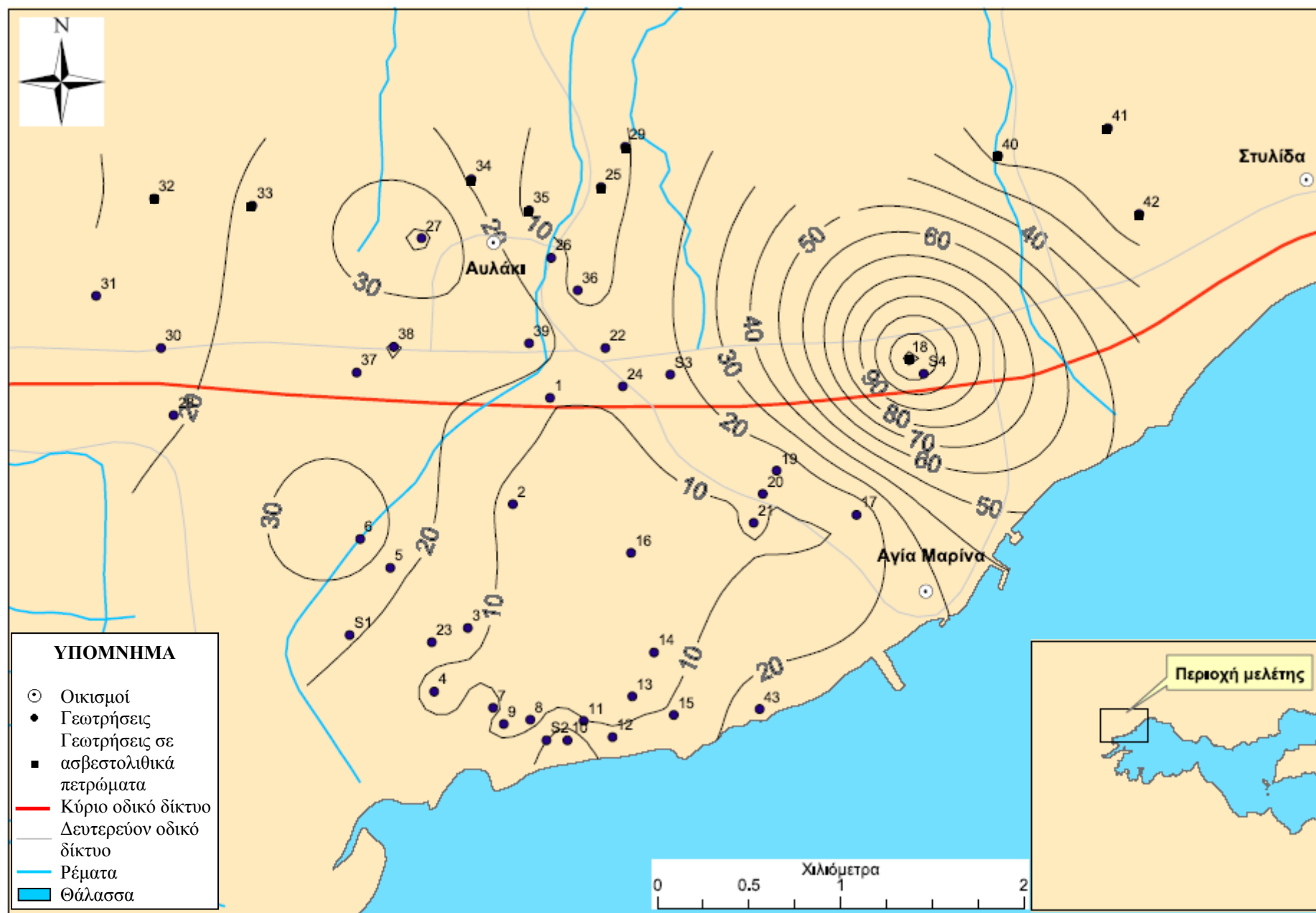
Χάρτης 5.2.11 Θεματικός χάρτης κατανομής των ιόντων Κ περιόδου Αυγούστου-Σεπτεμβρίου 2005 σε mg/l



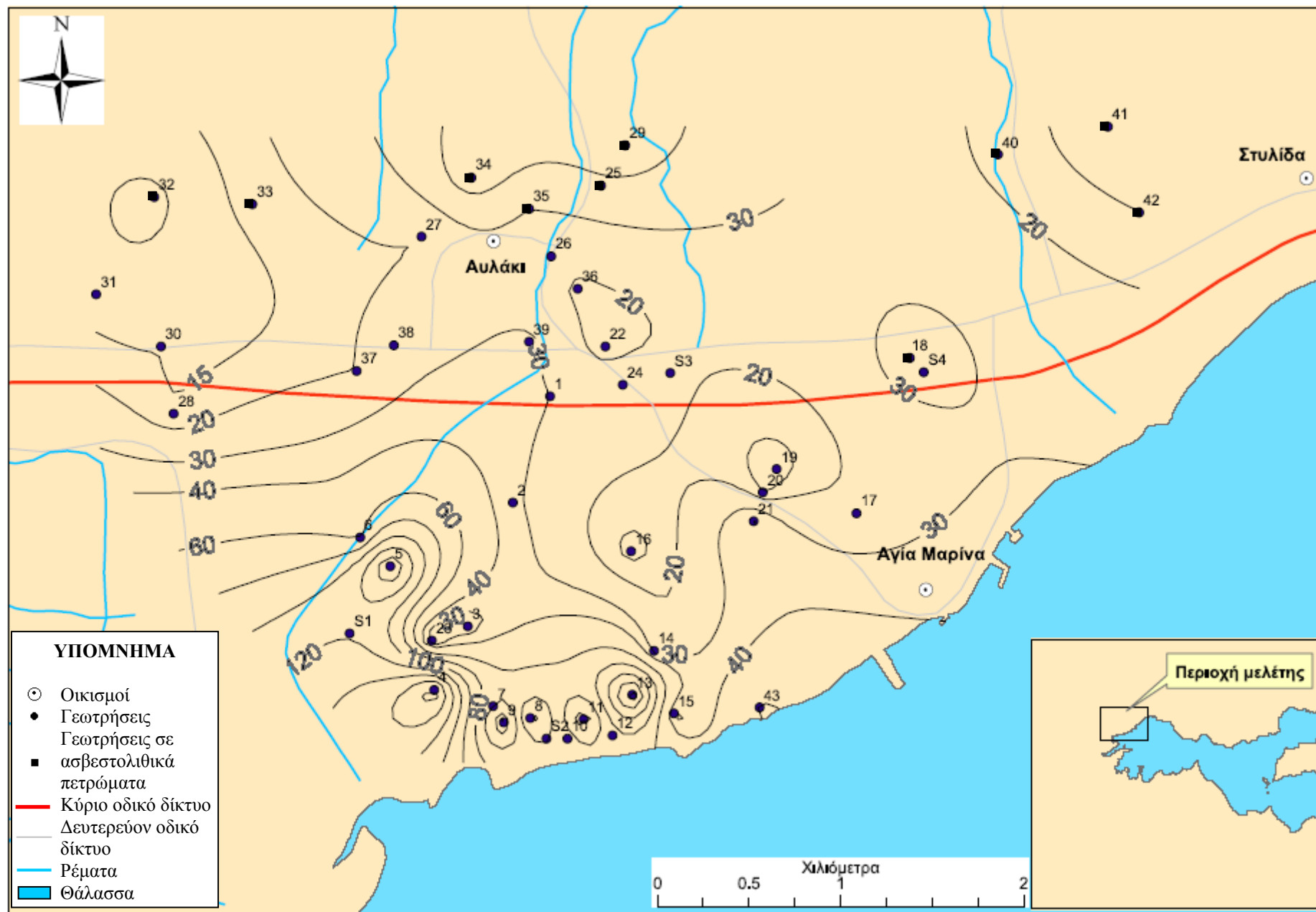
Χάρτης 5.2.12 Θεματικός χάρτης κατανομής των ιόντων K περιόδου Απριλίου-Μαΐου 2006 σε mg/l



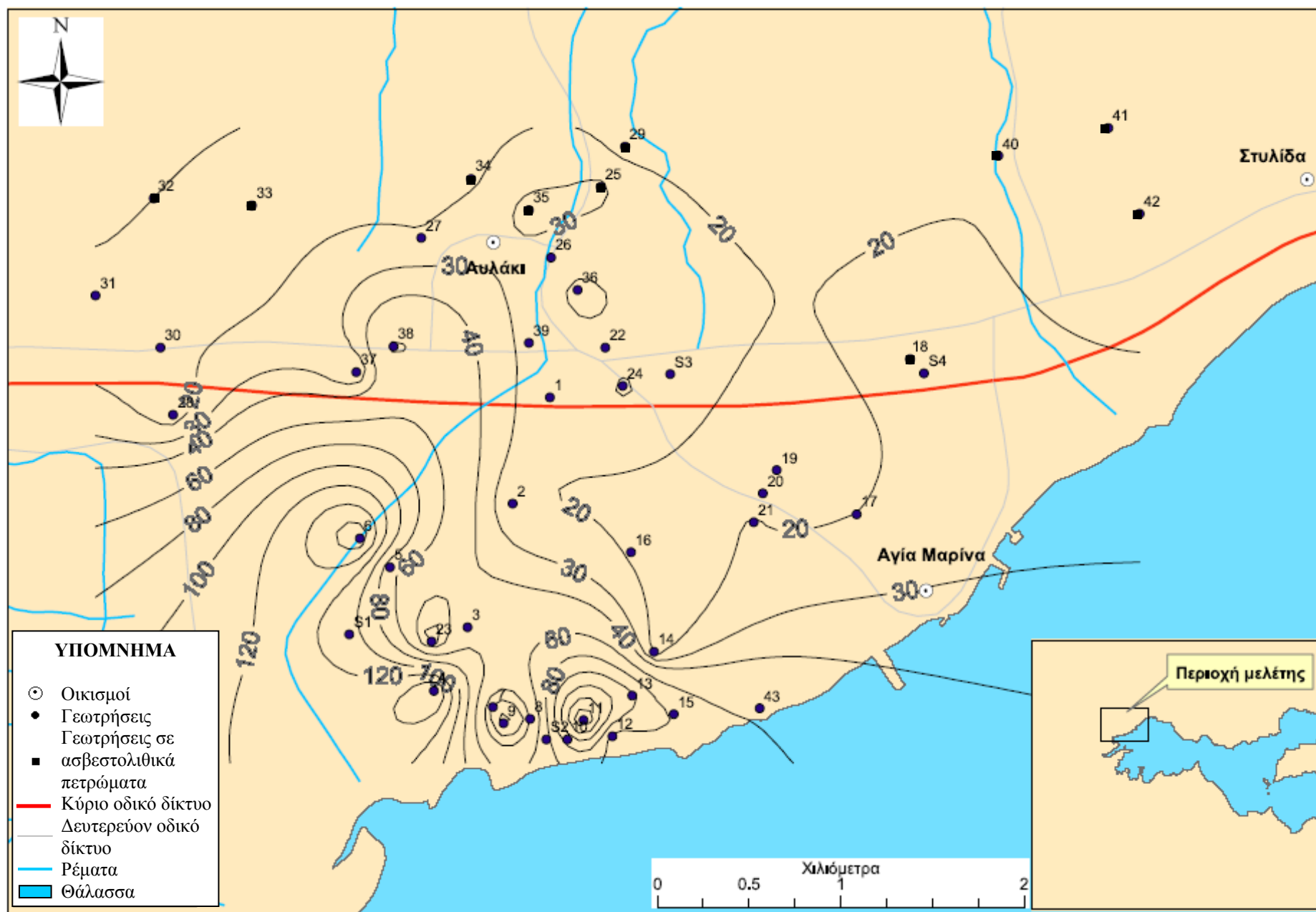
Χάρτης 5.2.13 Θεματικός χάρτης κατανομής των ιόντων Cl⁻ περιόδου Αυγούστου-Σεπτεμβρίου 2005 σε mg/l



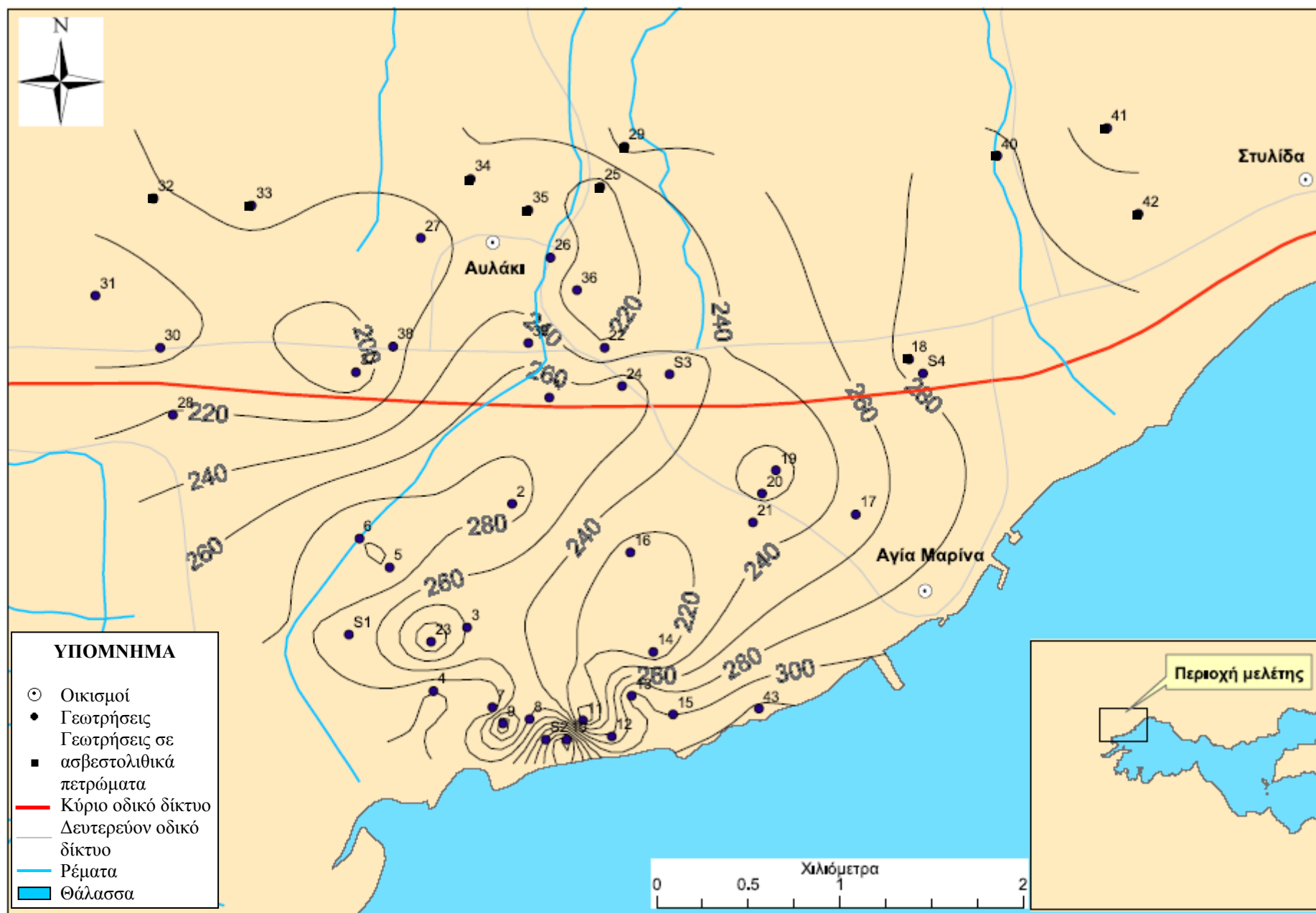
Χάρτης 5.2.14 Θεματικός χάρτης κατανομής των ιόντων Cl περιόδου Απριλίου-Μαΐου 2006 σε mg/l



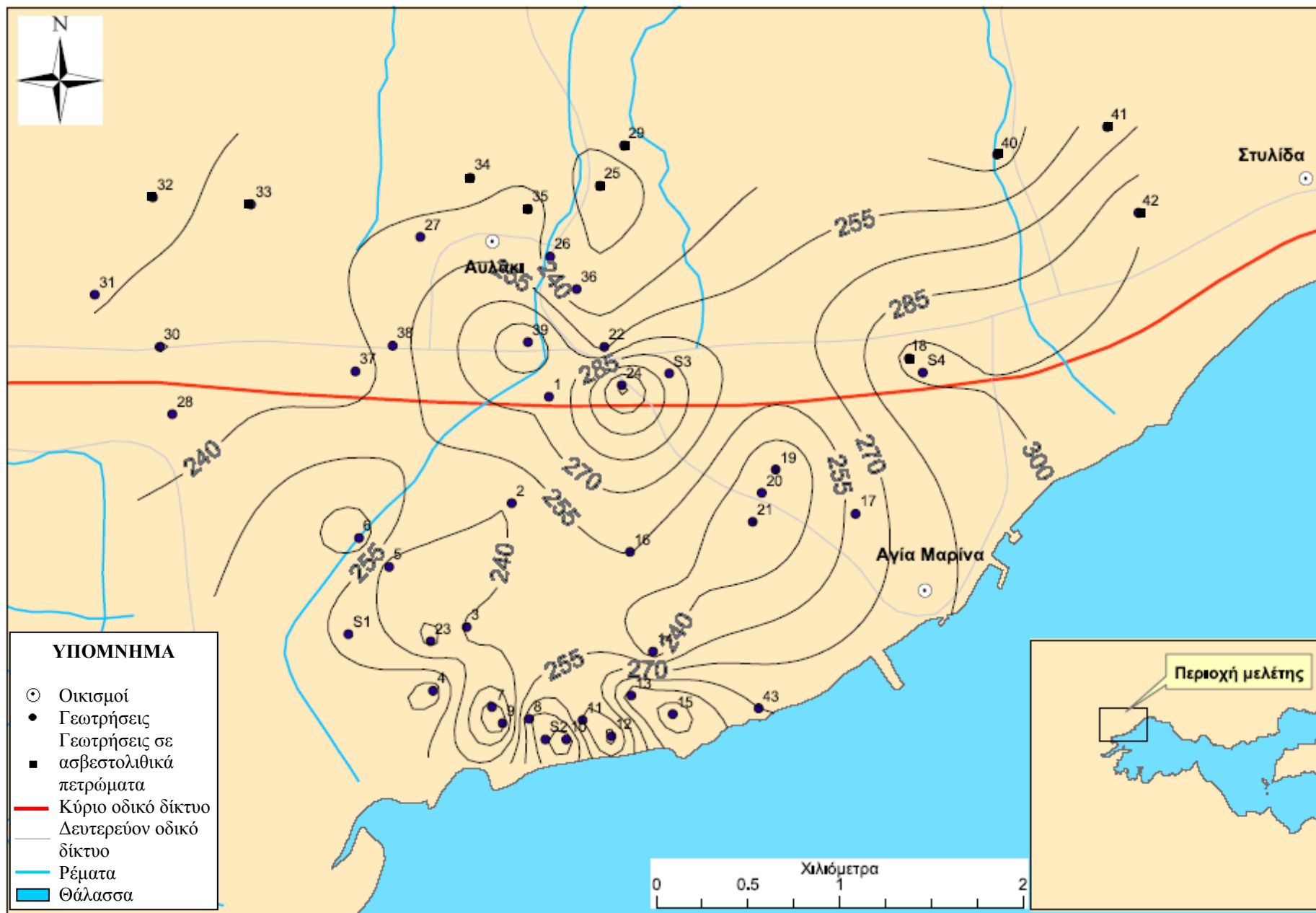
Χάρτης 5.2.15 Θεματικός χάρτης κατανομής των ιόντων SO_4 περιόδου Αυγούστου-Σεπτεμβρίου 2005 σε mg/l



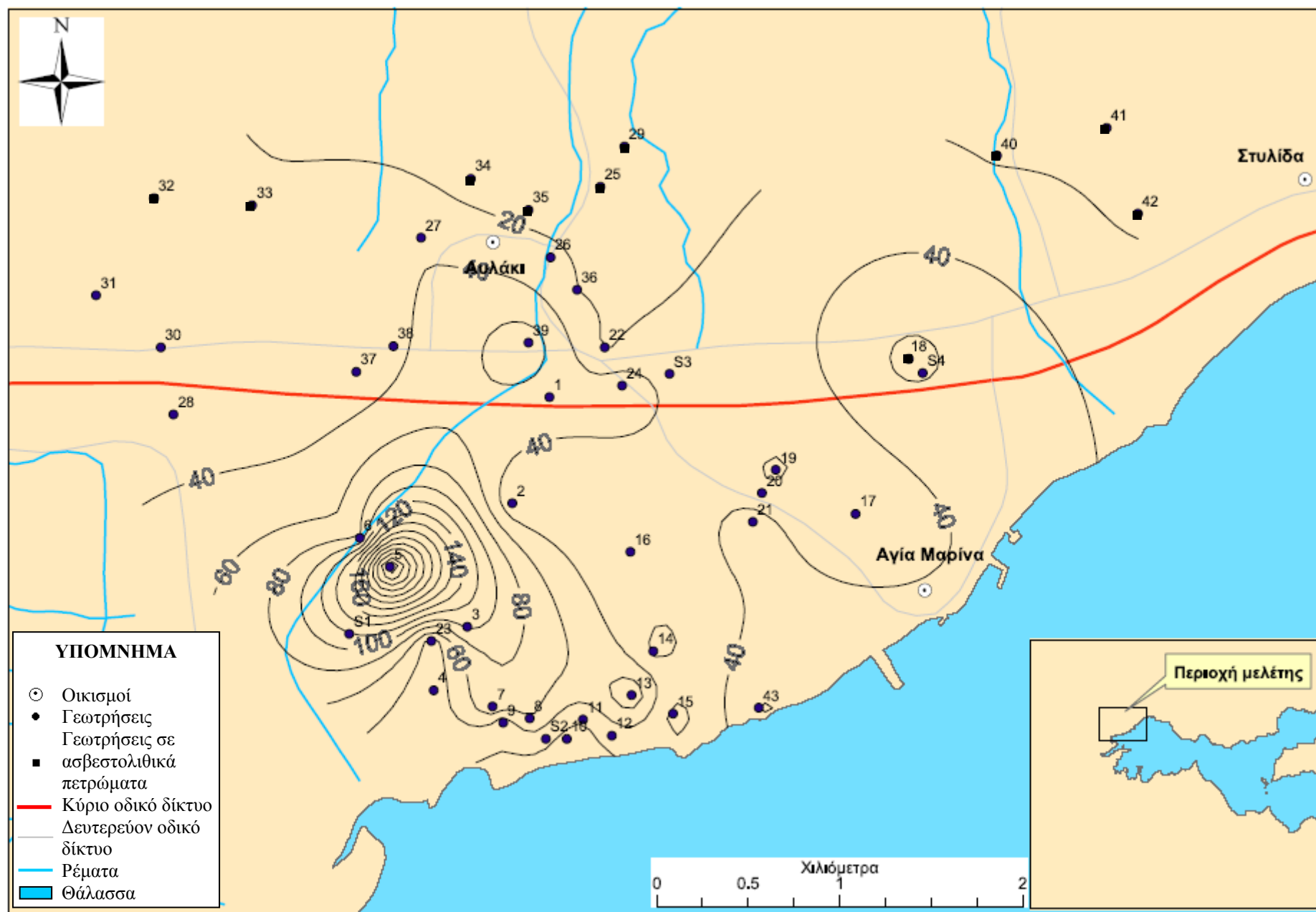
Χάρτης 5.2.16 Θεματικός χάρτης κατανομής των ιόντων SO_4 περιόδου Απριλίου-Μαΐου 2006 σε mg/l

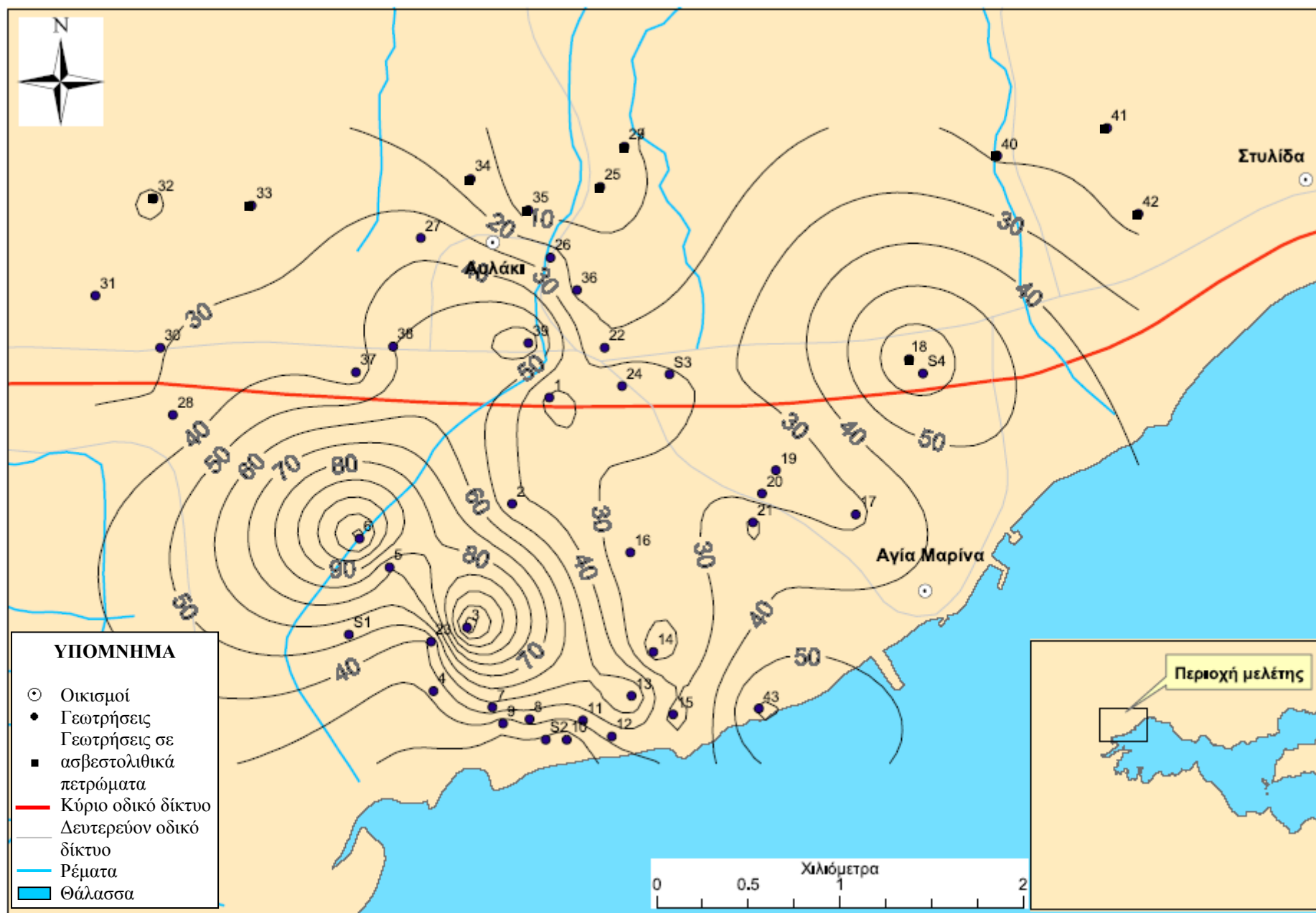


Χάρτης 5.2.17 Θεματικός χάρτης κατανομής των ιόντων HCO_3^- περιόδου Αυγούστου-Σεπτεμβρίου 2005 σε mg/l

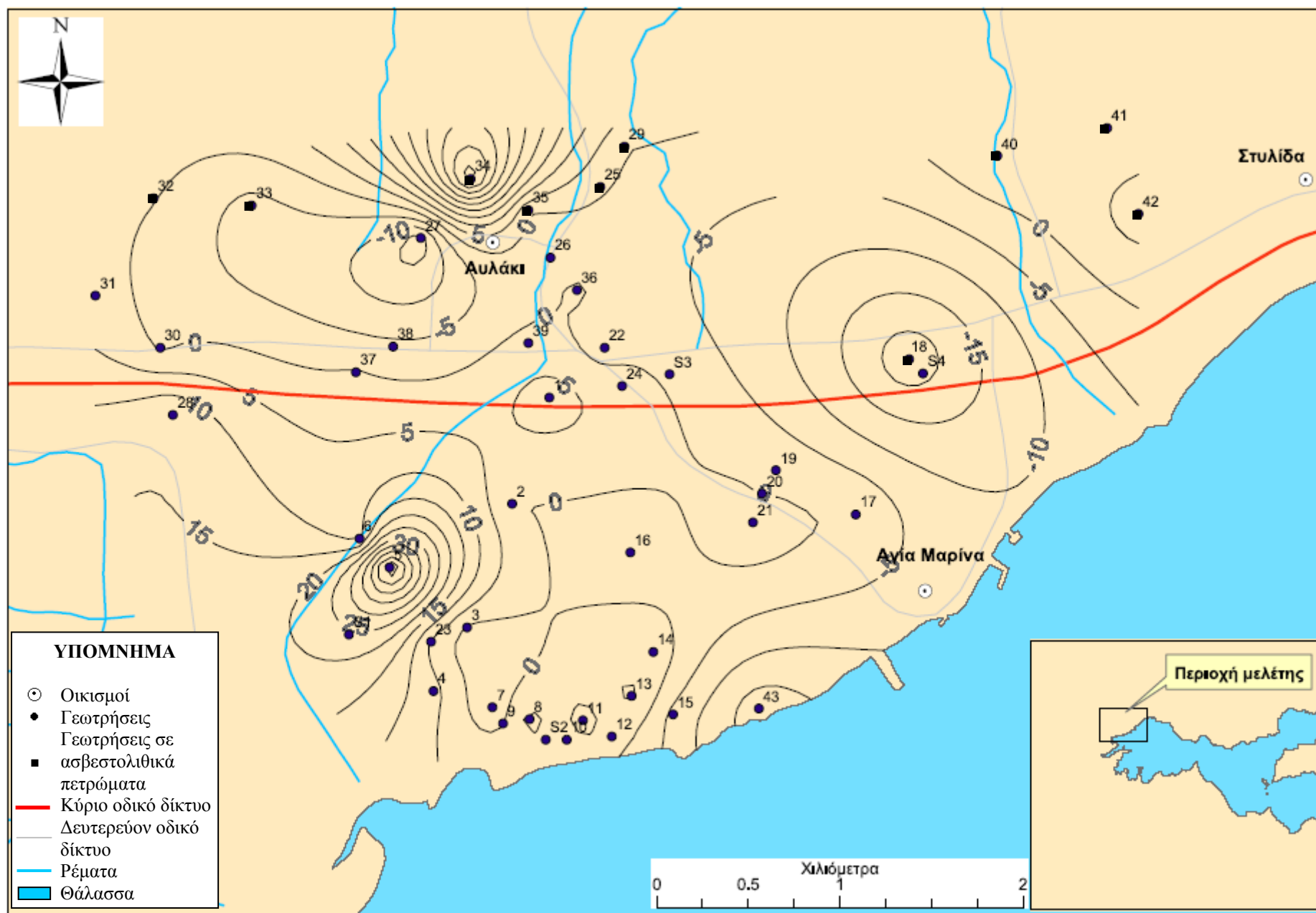


Χάρτης 5.2.18 Θεματικός χάρτης κατανομής των ιόντων HCO_3 περιόδου Απριλίου-Μαΐου 2006 σε mg/l





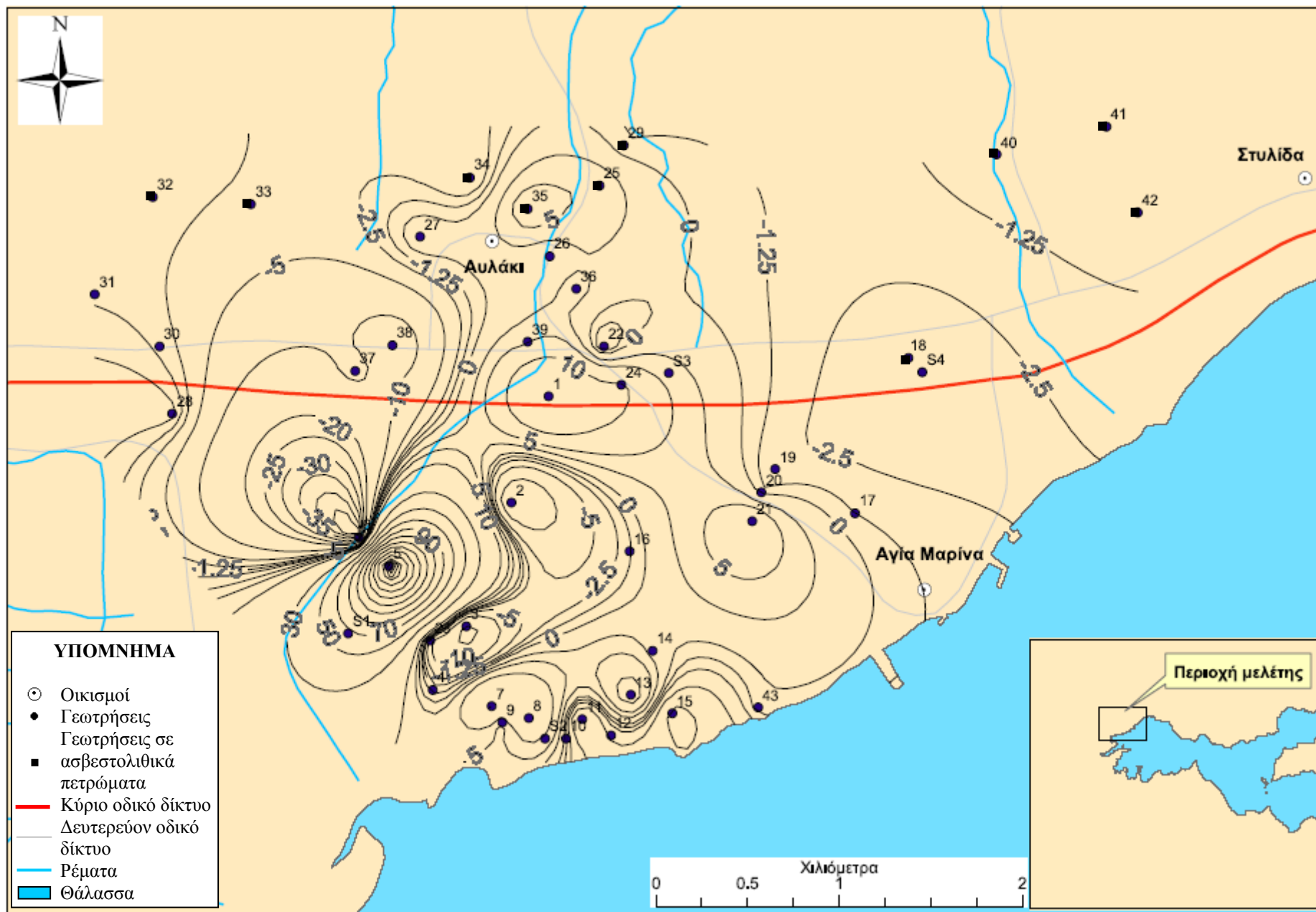
Χάρτης 5.2.20 Θεματικός χάρτης κατανομής των ιόντων NO_3 περιόδου Απριλίου-Μαΐου 2006 σε mg/l



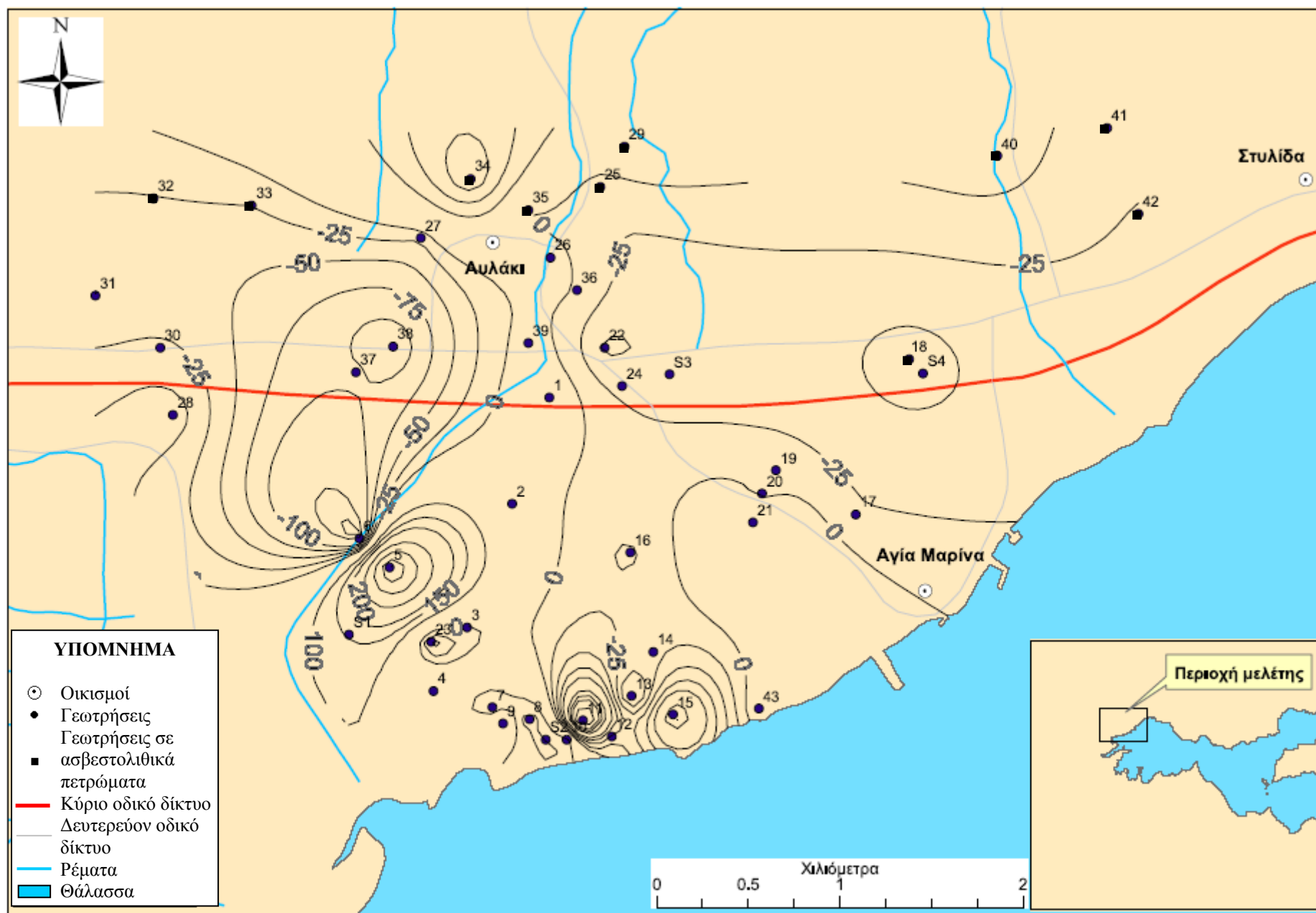
Χάρτης 5.2.21 Θεματικός χάρτης διαφορών ιόντων CI μεταξύ των δύο περιόδων δειγματοληψίας (Αύγουστος 2005-Μάιος 2006) σε mg/Lt

06/08/2010

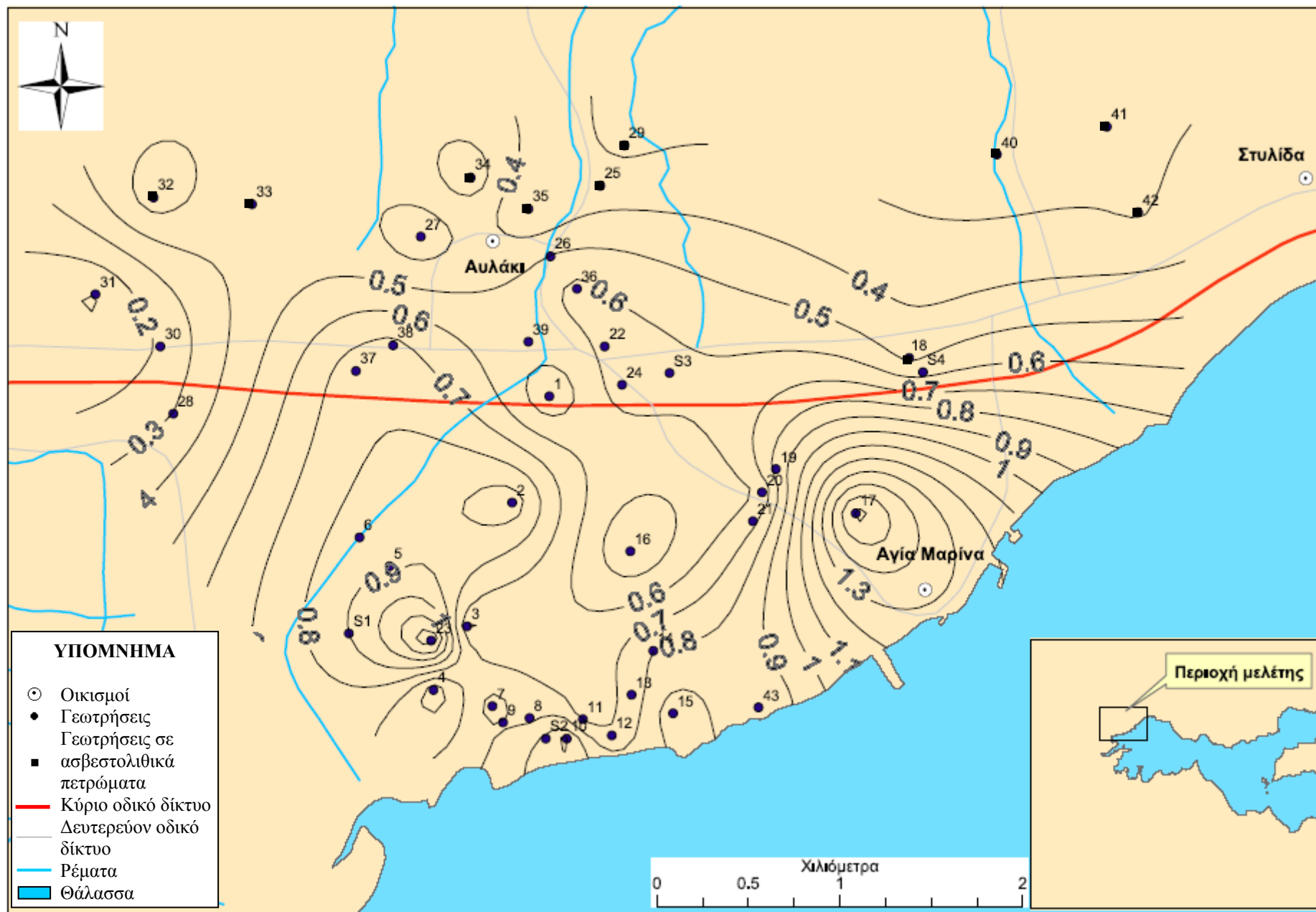
Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.



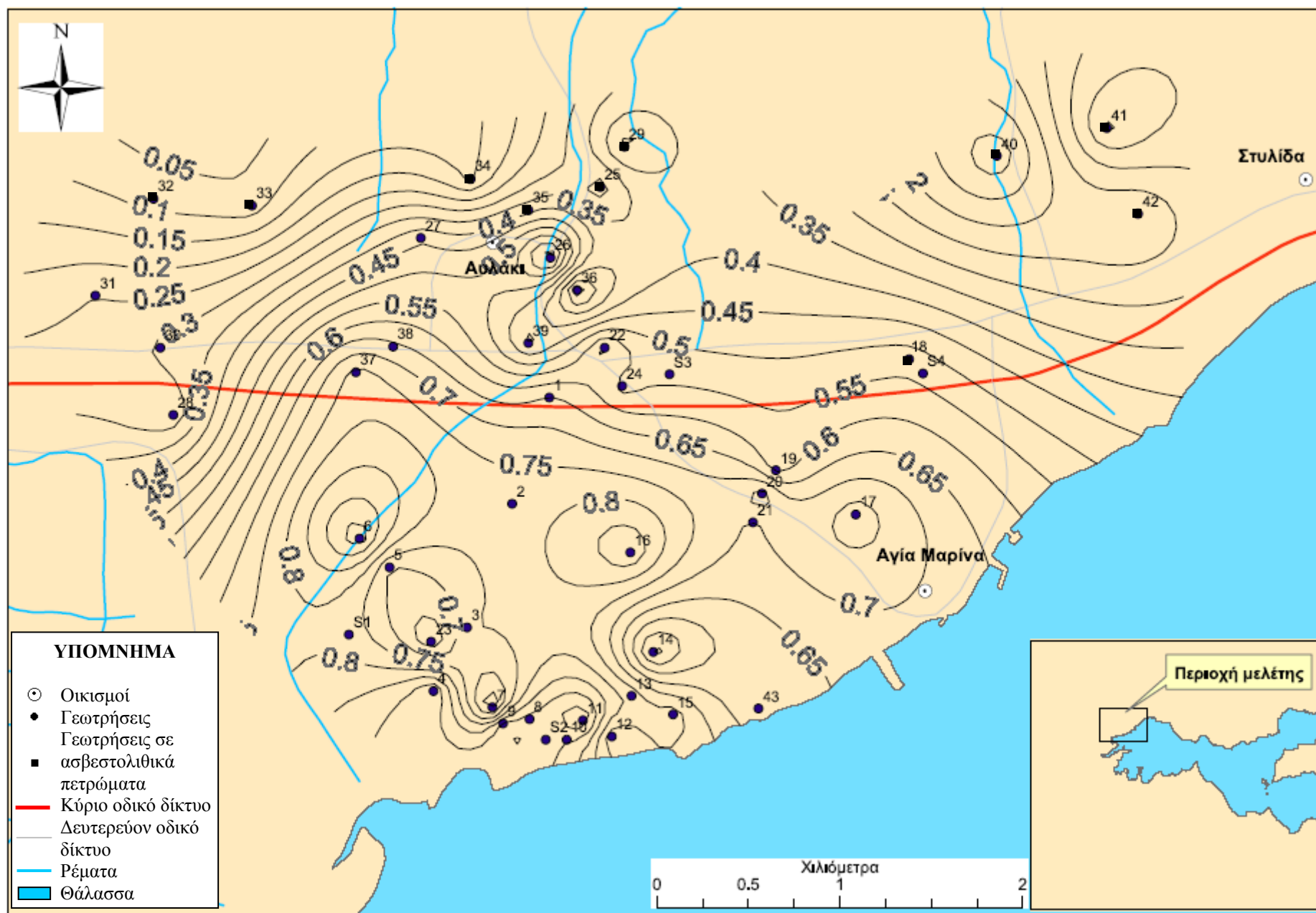
Χάρτης 5.2.22 Θεματικός χάρτης διαφορών ιόντων NO_3 μεταξύ των δύο περιόδων δειγματοληψίας (Αύγουστος 2005-Μάιος 2006) σε mg/l



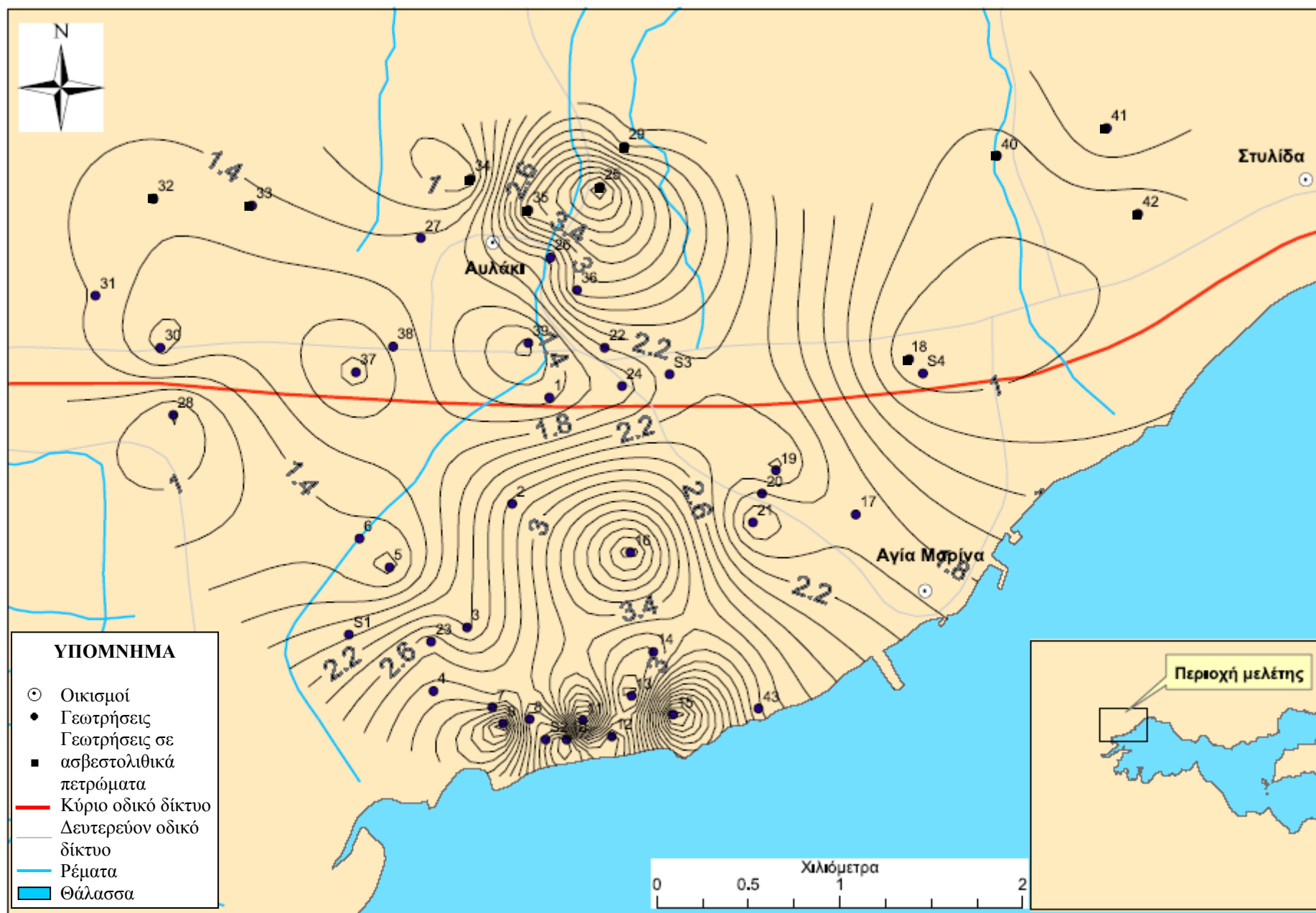
Χάρτης 5.2.23 Θεματικός χάρτης διαφορών ηλεκτρικής αγωγιμότητας μεταξύ των δύο περιόδων δειγματοληψίας (Αύγουστος 2005-Μάιος 2006) σε $\mu\text{S}/\text{cm}$



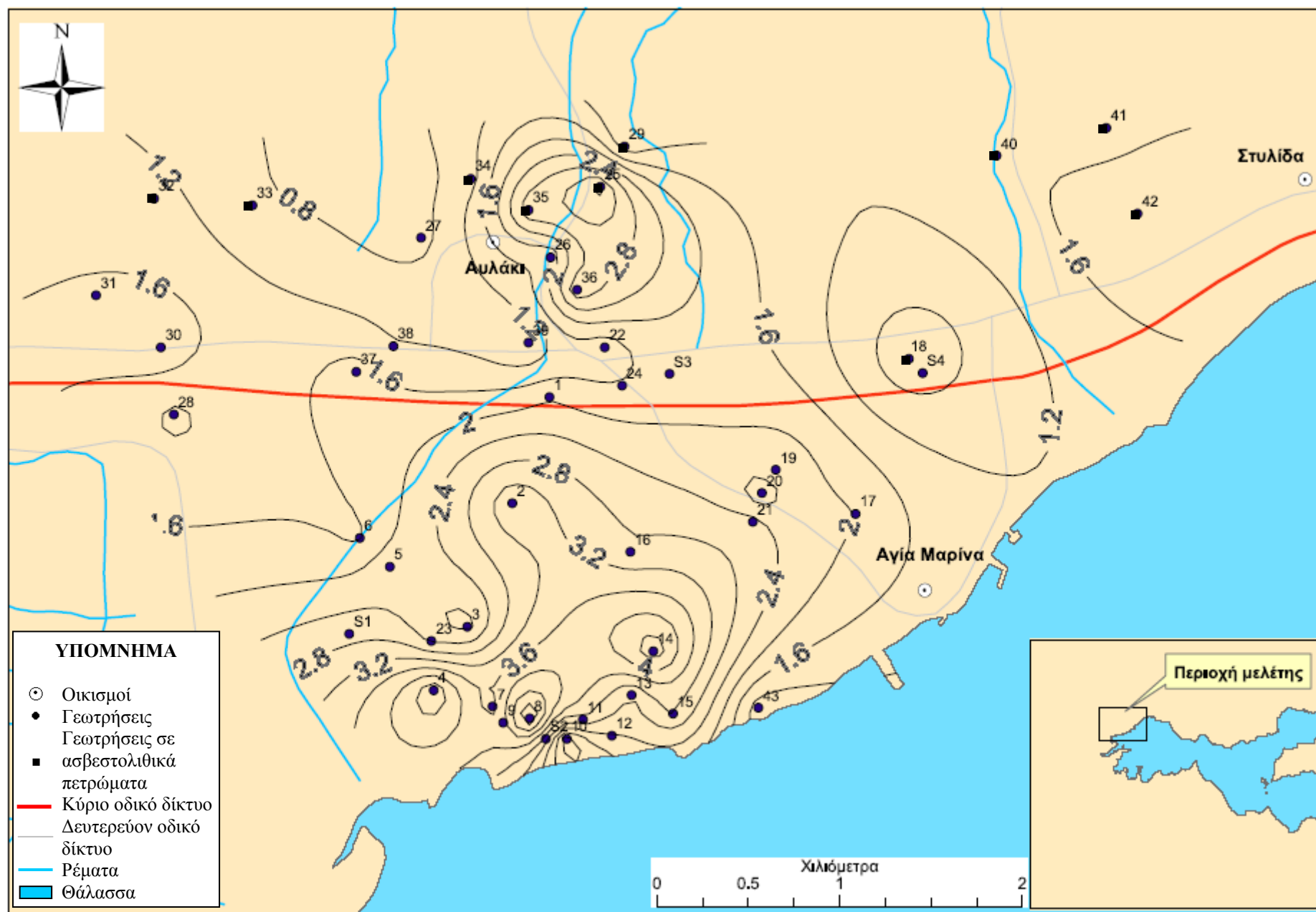
Χάρτης 5.2.24 Θεματικός χάρτης κατανομής ιοντικού λόγου Mg/Ca περιόδου Αυγούστου-Σεπτεμβρίου 2005 σε meq/l



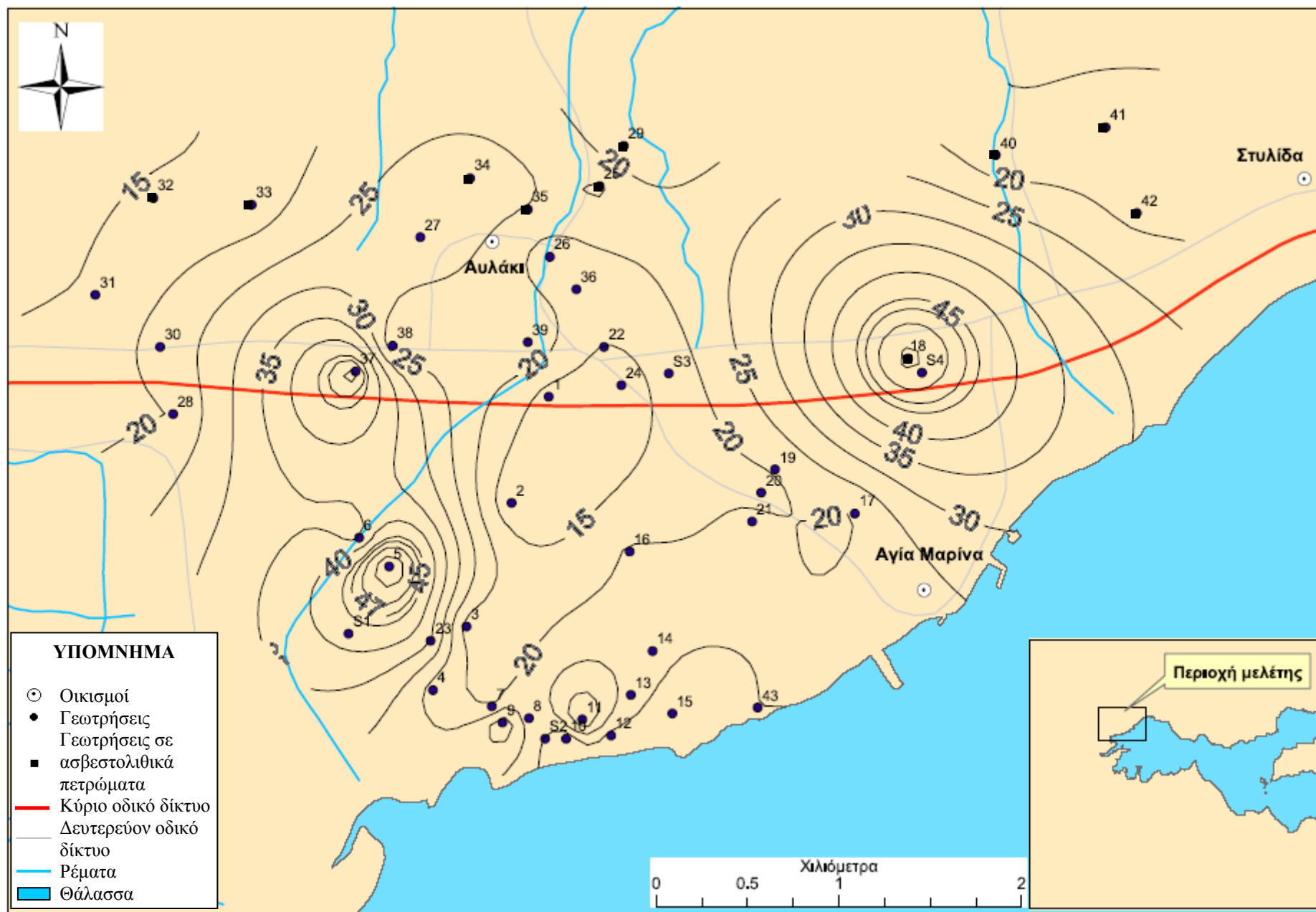
Χάρτης 5.2.25 Θεματικός χάρτης κατανομής ιοντικού λόγου Mg/Ca περιόδου Απριλίου-Μαΐου 2006 σε meq/l



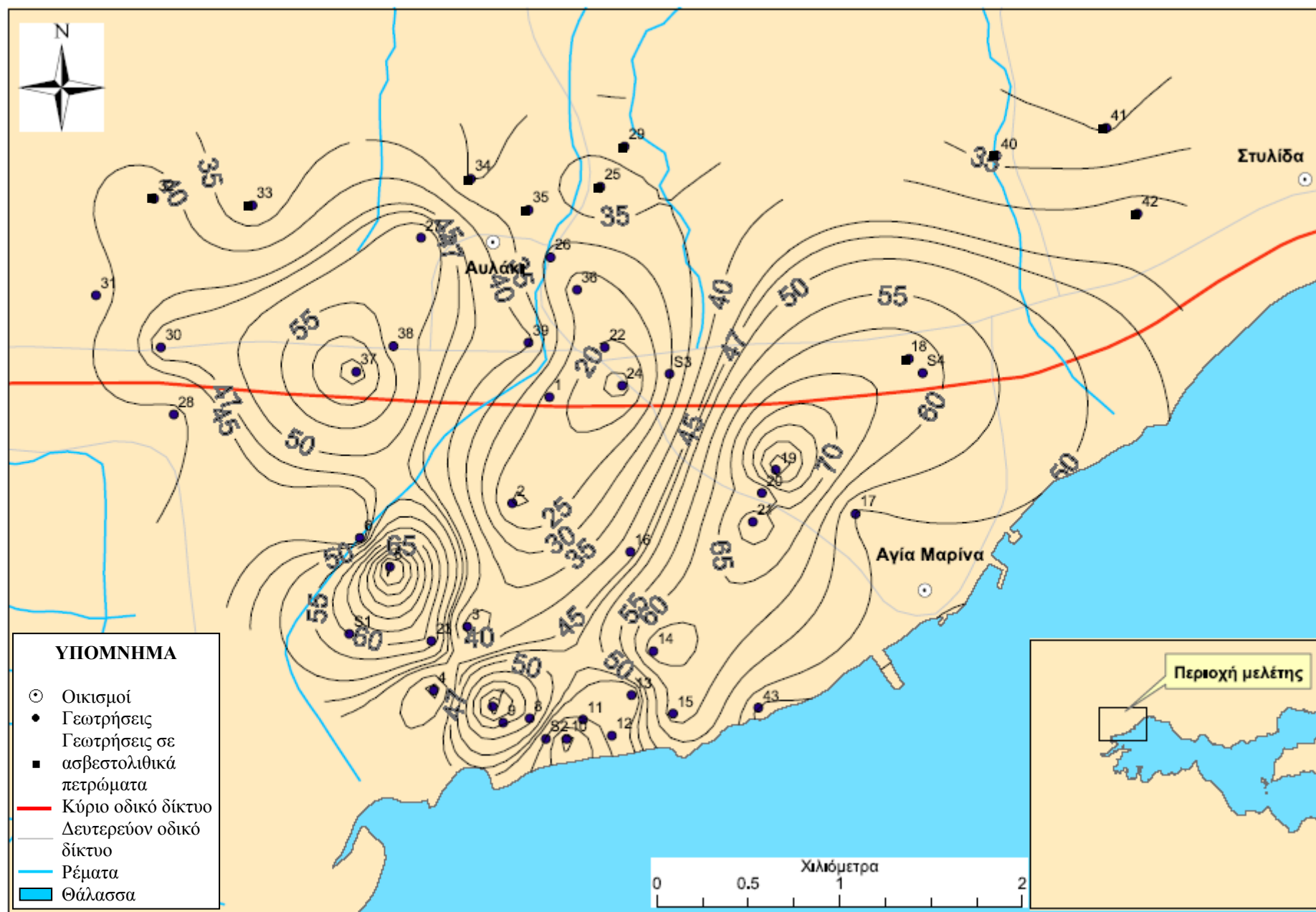
Χάρτης 5.2.26 Θεματικός χάρτης κατανομής ιοντικού λόγου Na/Cl περιόδου Αυγούστου-Σεπτεμβρίου 2005 σε meq/l



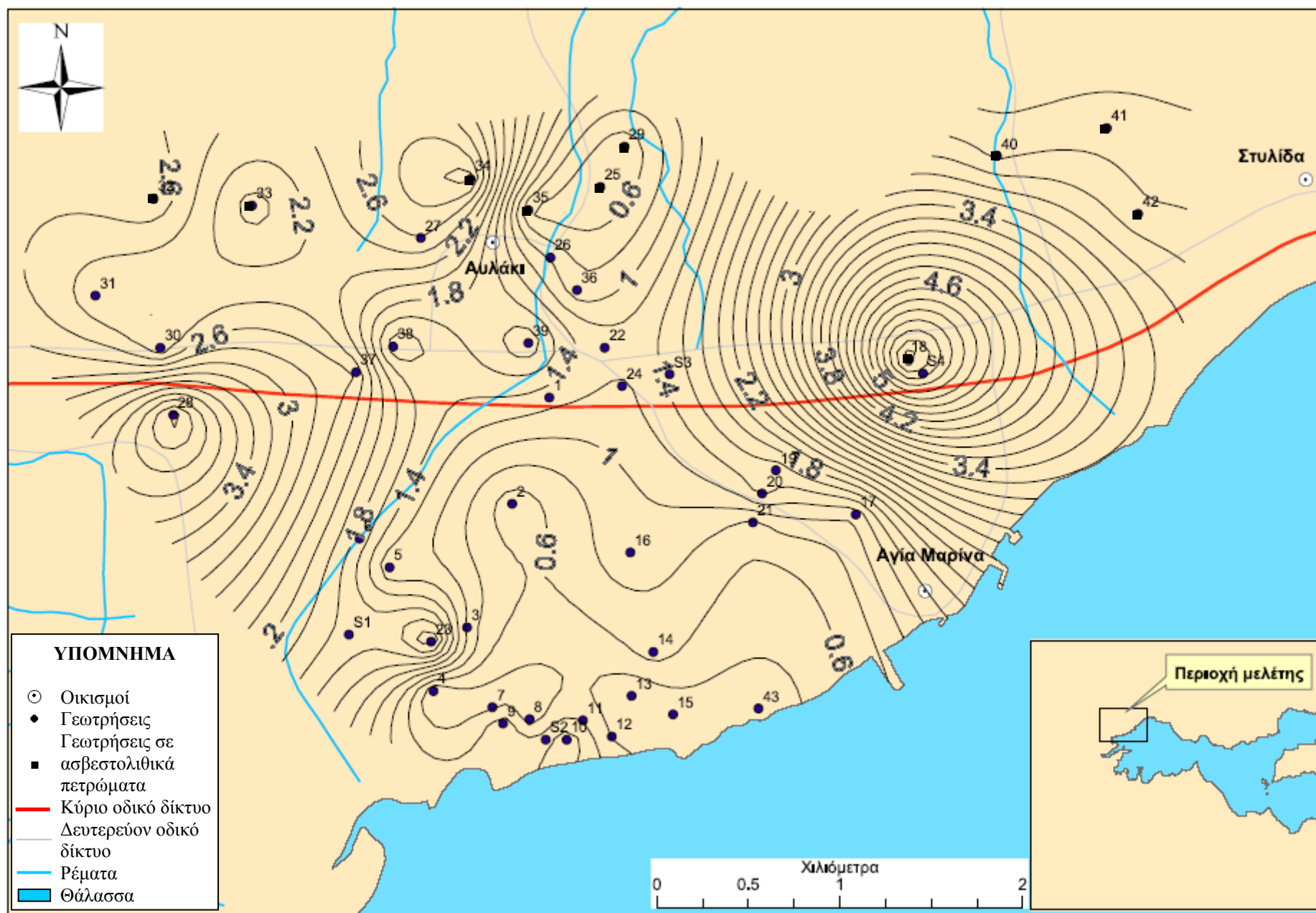
Χάρτης 5.2.27 Θεματικός χάρτης κατανομής ιοντικού λόγου Na/Cl περιόδου Απριλίου-Μαΐου 2006 σε meq/l



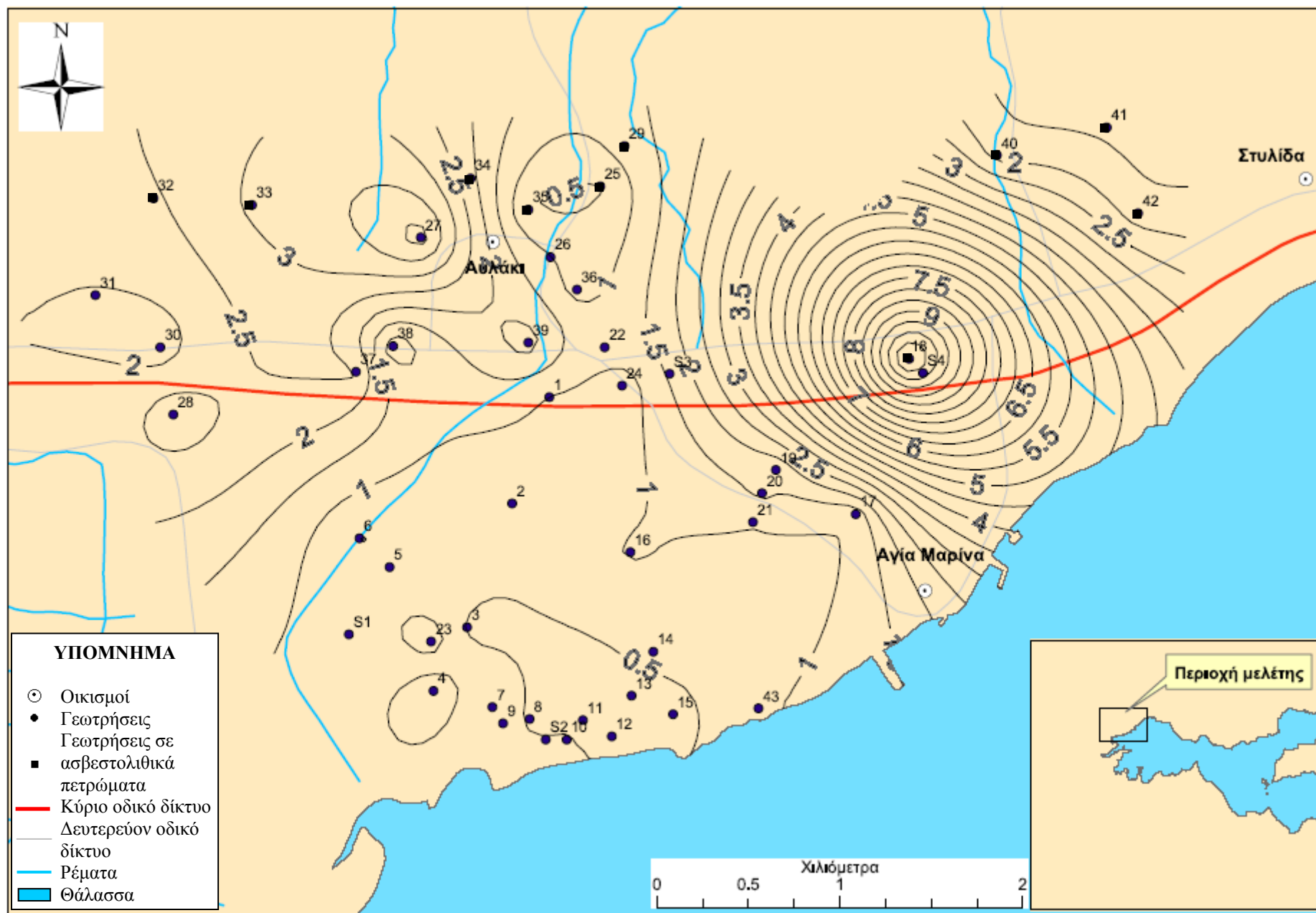
Χάρτης 5.2.28 Θεματικός χάρτης κατανομής ιοντικού λόγου Na/K περιόδου Αυγούστου-Σεπτεμβρίου 2005 σε meq/l



Χάρτης 5.2.29 Θεματικός χάρτης κατανομής ιοντικού λόγου Na/K περιόδου Απριλίου-Μαΐου 2006 σε meq/l



Χάρτης 5.2.30 Θεματικός χάρτης κατανομής ιοντικού λόγου Cl/SO_4 περιόδου Αυγούστου-Σεπτεμβρίου 2005 σε meq/l



Χάρτης 5.2.31 Θεματικός χάρτης κατανομής ιοντικού λόγου Cl/SO_4 περιόδου Απριλίου-Μαΐου 2006 σε meq/l