

Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

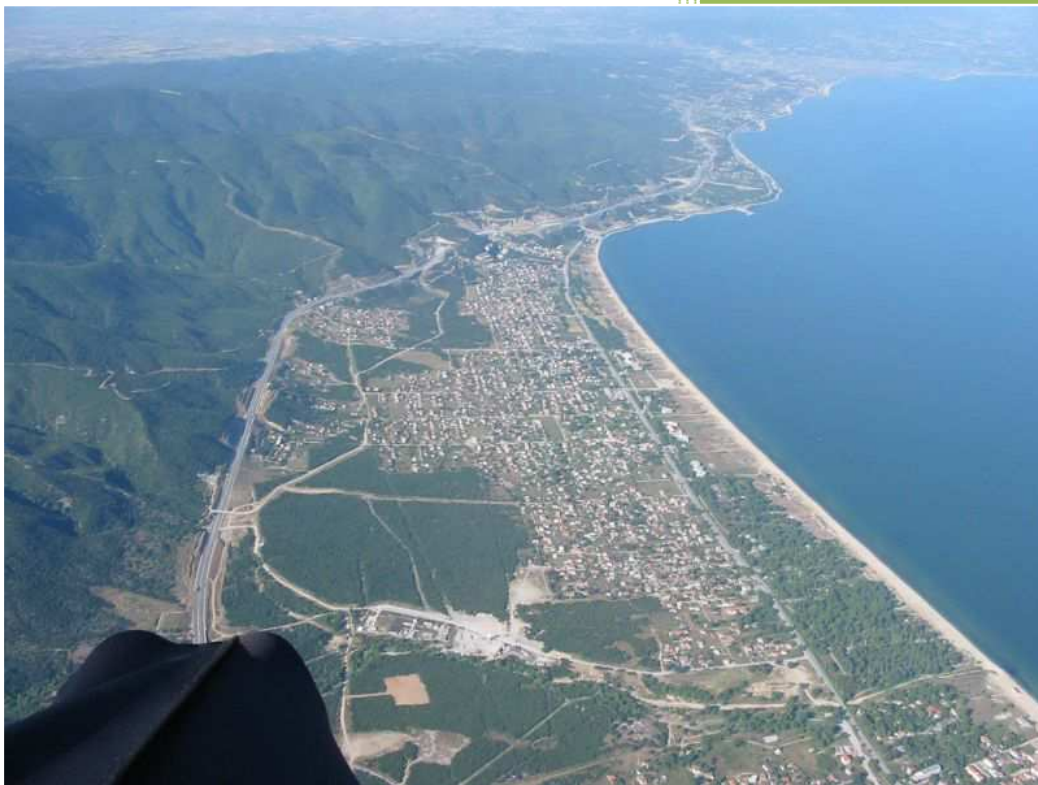
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και
Υδρογεωλογίας

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ποιότητα των υπογείων νερών της περιοχής Δ.Δ Αγίου Γεωργίου



ΦΟΙΤΗΤΕΣ:

Ζέρβας Ιωάννης

Παπουτσόγλου Ιορδάνης

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ :

Κ. Βουδούρης Επίκουρος Καθηγητής του τμήματος
Γεωλογίας Α.Π.Θ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ Δ.Δ ΑΓΙΟΥ ΓΕΩΡΓΙΟΥ

Ζέρβας Ιωάννης

Παπουτσόγλου Ιορδάνης

A.E.M:

3989

4042

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: Κ.Βουδούρης Επίκουρος Καθηγητής του
Τμήματος Γεωλογίας Α.Π.Θ.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	i
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	iii
1.ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΠΛΗΘΥΣΜΙΑΚΑ ΚΑΙ ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ..	1
1.1 Γεωγραφικά και πληθυσμιακά στοιχεία της περιοχής	1
1.2 Γεωμορφολογικά στοιχεία	4
2. ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	7
2.1 Γεωλογικός χάρτης.....	7
2.2 Τοπογραφικός χάρτης	9
2.3 Γεωτεκτονική θέση.....	10
2.4 Γεωλογική δομή	11
2.5 Μαγματισμός Σερβομακεδονικής	15
3. ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΑ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ	
ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΟΥ ΔΗΜΟΥ ΒΟΛΒΗΣ.....	17
3.1 Γενικά	17
3.2 Θερμοκρασία.....	17
3.3 Ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα	20
3.4 Σχετική υγρασία	23
4. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΝΕΡΟΥ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ	
ΑΣΠΡΟΒΑΛΤΑΣ-ΒΡΑΣΝΩΝ	27
4.1 Γενικά	27
4.2 Δειγματοληψία – Χημικές αναλύσεις.....	28
4.3 Φυσικοχημικές παράμετροι	30
4.3.1 Ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα – Σύνολο διαλυμένων στερεών (TDS)	30
4.3.2 Ενεργός οξύτητα (pH)	35

5. ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΝΕΡΟΥ	37
5.1 Κατιόντα	37
5.1.1 Ιόντα Ασβεστίου (Ca^{2+})	37
5.1.2 Ιόντα Μαγνησίου (Mg^{2+})	40
5.1.3 Ιόντα Νατρίου (Na^{+})	42
5.1.4 Ιόντα Καλίου (K^{+})	44
5.2 Ανιόντα	46
5.2.1 Ιόντα Χλωρίου (Cl^{-})	46
5.2.2 Όξινα ανθρακικά ιόντα (HCO_3^{-})	49
5.2.3 Θεωικά ιόντα (SO_4^{2-})	51
5.2.4 Νιτρικά ιόντα (NO_3^{-})	54
6. ΙΟΝΤΙΚΟΙ ΛΟΓΟΙ	57
6.1 Γενικά	57
6.2 Ιοντικός λόγος Mg^{2+}/Ca^{2+}	57
6.3 Ιοντικός λόγος Na^{+}/K^{+}	60
6.4 Ιοντικός λόγος Na^{+}/Cl^{-}	62
6.5 Ιοντικός λόγος Cl^{-}/SO_4^{2-}	64
6.6 Ιοντικός λόγος $(Ca^{2+}+Mg^{2+})/(Na^{+}+K^{+})$	66
7. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ	69
8. ΥΔΡΟΧΗΜΙΚΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ	73
8.1 Συντελεστής προσρόφησης Νατρίου (S.A.R.)	73
8.2 Περιεκτικότητα σε νάτριο	75
8.3 Υδροχημικές φάσεις και διαγράμματα	76
8.3.1 Διάγραμμα Piper	76
8.3.2 Διάγραμμα Durov	77
8.3.3 Διάγραμμα Shoeller	79

9. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	81
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	83

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η διπλωματική αυτή εργασία μας ανατέθηκε από το τμήμα Γεωλογίας του Α.Π.Θ με επιβλέποντα καθηγητή τον κ.Κ. Βουδούρη Επίκουρο καθηγητή του τμήματος Γεωλογίας του Α.Π.Θ.

Θα θέλαμε λοιπόν σε αυτό το σημείο να ευχαριστήσουμε τον κ.Κ. Βουδούρη Επίκουρο καθηγητή του τμήματος Γεωλογίας του Α.Π.Θ. για την ανάθεση αυτής της εργασίας και την πολύτιμη συμβολή του τόσο προσωπικά όσο και διαμέσου των συγγραμμάτων του ώστε να ολοκληρωθεί.

Ευχαριστούμε τον κ.Τριαντάφυλλο Β.Κακλή Δρ.Γεωλόγο, MSc του τμήματος Γεωλογίας του Α.Π.Θ. για την βοήθεια και την καθοδήγηση του, καθώς και για την υπομονή του ώστε να ολοκληρωθεί τόσο το εργαστηριακό όσο και το θεωρητικό κομμάτι της διπλωματικής εργασίας.

Ευχαριστούμε επίσης τον κ.Καρακώστα Θεόδωρο Καθηγητή του τμήματος Γεωλογίας του Α.Π.Θ. του τομέα Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας για την παροχή σημαντικών πληροφοριών και κλιματικών δεδομένων που αφορούν μεγάλο μέρος της εργασίας.

Ευχαριστούμε όλα τα άτομα του τομέα Γεωλογίας για την υπομονή τους όσο καιρό χρησιμοποιήσαμε τους χώρους του Εργαστηρίου Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας καθώς και για την παροχή οργάνων ώστε να πραγματοποιηθούν οι απαραίτητες μετρήσεις στο ύπαιθρο.

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε ιδιαίτερα όλους εκείνους τους ανθρώπους που εργάζονται στην υπηρεσία ύδρευσης του δημοτικού διαμερίσματος Ασπροβάλλτας ,οι οποίοι βοήθησαν ώστε να γίνει η συλλογή δειγμάτων νερού από τις γεωτρήσεις, καθώς και τους ανθρώπους που εργάζονται στο Δημαρχείο Ασπροβάλλτας και Σταυρού για την παροχή σημαντικών πληθυσμιακών και υδρολογικών στοιχείων της περιοχής.

Τέλος ένα μεγάλο ευχαριστώ στους γονείς μας για την συνεχή στήριξή τους και σε όλους εκείνους τους ανθρώπους που μας ενέπνευσαν ώστε να ολοκληρωθεί αυτή η εργασία.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η διπλωματική αυτή εργασία αφορά την γεωλογική-υδρογεωλογική έρευνα στην περιοχή του Δήμου Αγίου Γεωργίου της Κεντρικής Μακεδονίας. Η περιοχή έρευνας καταλαμβάνει το παράκτιο τμήμα του Στρυμωνικού κόλπου και περιλαμβάνει από ΝΔ προς ΒΑ το Δήμο Σταυρού και τα δημοτικά διαμερίσματα Βρασνών και Ασπροβάλτας. Αποτελεί το νοτιοανατολικότερο τμήμα της λεκάνης Μυγδονίας. Η περιοχή περιβάλλεται από το όρος Κερδύλλιο προς τα Βόρεια ενώ ανατολικότερα αυτής εκβάλει ο ποταμός Στρυμόνας.

Το γεγονός ότι πρόκειται για μια παράκτια περιοχή σε συνδυασμό με την έντονη αγροτική δραστηριότητα, δηλαδή με την άντληση υπογείου νερού για αγροτικούς ή οικιστικούς σκοπούς, κατέστησε την έρευνα σχεδόν αναγκαία και αυτό διότι είναι αναγκαίος ο προσδιορισμός της ποιότητας του υπογείου νερού για τον καθορισμό ύπαρξης ή όχι, ρύπων ή θαλάσσιας διείσδυσης στα ενδότερα υδροφόρα στρώματα.

Γενικότερα η διπλωματική αυτή εργασία περιλαμβάνει την καταγραφή πληθυσμιακών στοιχείων και τις υδρευτικές ανάγκες των οικισμών, τον προσδιορισμό των γεωλογικών σχηματισμών και δομών της περιοχής καθώς και των γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών της, τον καθορισμό του υδρολογικού ισοζυγίου και την ανάλυση της ποιότητας του υπογείου νερού.

Ποιο συγκεκριμένα για την εκπόνηση της διπλωματικής αυτής εργασίας έγιναν οι παρακάτω διαδικασίες:

- Συλλογή δειγμάτων νερού κατά τον μήνα Απρίλιο του 2012 όπου η στάθμη των υδροφόρων στρωμάτων είναι στα υψηλότερα ετήσια επίπεδα. Η συλλογή έγινε από 10 διαφορετικές γεωτρήσεις κατά μήκος μιας απόστασης 10 χιλιομέτρων από ΝΔ προς ΒΑ της εξεταζόμενης περιοχής που προαναφέρθηκε.

- Λήψη των συντεταγμένων της κάθε γεώτρησης με τη χρήση GPS.

- Συλλογή πληροφοριών και δεδομένων (Πληθυσμιακά στοιχεία, καταναλώσεις νερού, τοπογραφικοί χάρτες) από τις αρμόδιες υπηρεσίες της περιοχής.

- Συλλογή στοιχείων που αφορούν την γεωλογία και την γεωμορφολογία της περιοχής καθώς και γενικά στοιχεία για την ποιότητα του υπογείου νερού με βάση την χημική ανάλυση των κύριων ιόντων από διάφορες βιβλιογραφίες.

- Συλλογή κλιματικών δεδομένων από το μετεωροσκοπείο του Α.Π.Θ. που αφορούν μετρήσεις θερμοκρασίας, σχετικής υγρασίας και βροχοπτώσεων τα έτη 2000-2011 από βροχομετρικό σταθμό στον Λαγκαδά.

Ανάλυση και διαχείριση ποιότητας υπογείου νερού στο Δ.Δ Αγίου Γεωργίου

-Κατασκευή συγκριτικών διαγραμμάτων που αφορούν τη θερμοκρασία, την σχετική υγρασία και την βροχόπτωση.

-Χημική ανάλυση των δειγμάτων νερού στο εργαστήριο τεχνικής γεωλογίας και υδρογεωλογίας για τον προσδιορισμό των κύριων ιόντων και των φυσικοχημικών παραμέτρων τους.

-Δημιουργία διαγραμμάτων συσχέτισης ιόντων, παρουσίαση χωρικής κατανομής αυτών πάνω σε τοπογραφικό χάρτη της εξεταζόμενης περιοχής και κατασκευή υδροχημικών διαγραμμάτων για την εξαγωγή συμπερασμάτων που αφορούν την ποιότητα του υπογείου νερού.

Για την ψηφιοποίηση και την κατασκευή των παραπάνω διαγραμμάτων χρησιμοποιήθηκαν τα παρακάτω λογισμικά προγράμματα:

-AquaChem 3.6

-Corel Draw Graphics Suite 12

-Golden Software Surfer 10

-Google Earth

-Microsoft Office excel 2007

Η δομή της εργασίας παρουσιάζεται σε 9 κεφάλαια των οποίων το περιεχόμενο παρουσιάζεται συνοπτικά παρακάτω:

-Κεφάλαιο 1: Γεωγραφικά, γεωμορφολογικά και πληθυσμιακά στοιχεία, τα οποία παρουσιάζονται και αφορούν τον Δήμο Αγίου Γεωργίου και των δημοτικών διαμερισμάτων του (Ασπροβάλτα, Βρασνά).

-Κεφάλαιο 2: Γεωλογικά στοιχεία, αφορούν την γεωτεκτονική θέση και την γεωλογική δομή της εξεταζόμενης περιοχής καθώς και την απεικόνιση της σε γεωλογικούς χάρτες.

-Κεφάλαιο 3: Μετεωρολογικά και κλιματολογικά στοιχεία, πρόκειται για την παρουσίαση στοιχείων θερμοκρασίας και ύψος κατακρημνισμάτων σε συγκριτικά διαγράμματα μεταξύ τους.

-Κεφάλαιο 4: Στοιχεία ποιότητας υπογείου νερού Ασπροβάλτας - Βρασνών, όπου γίνεται παρουσίαση και ανάλυση των φυσικοχημικών παραμέτρων του νερού.

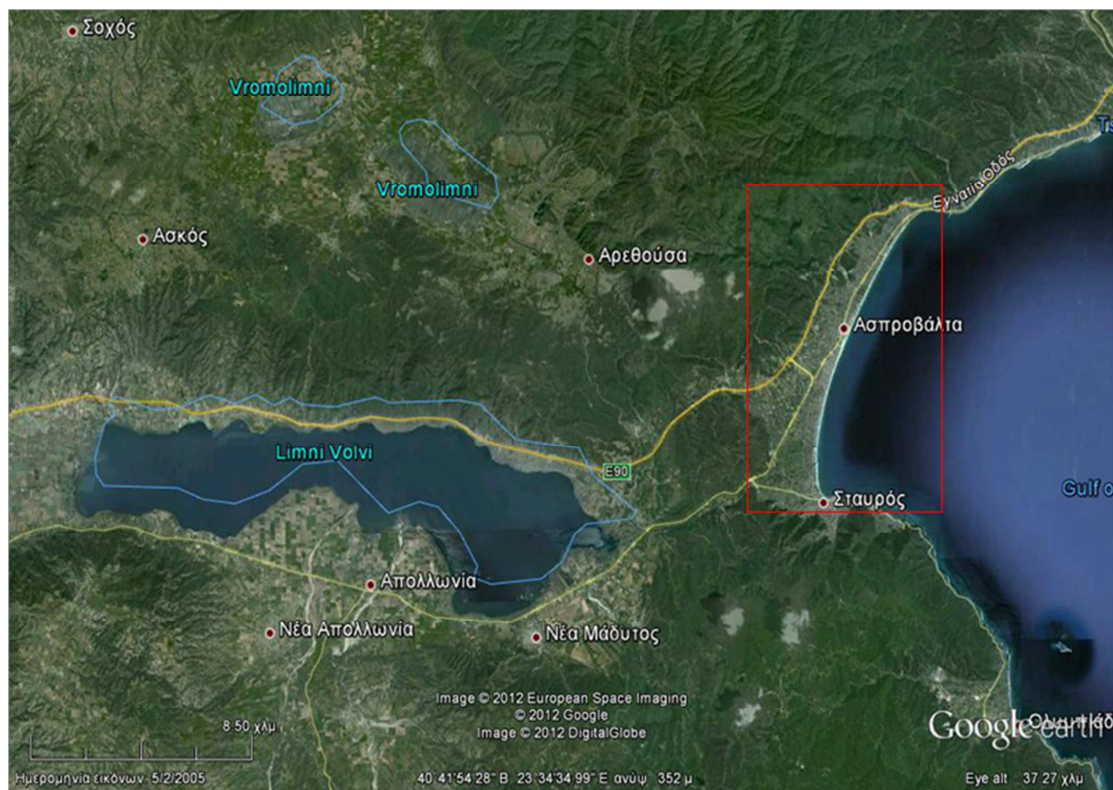
-Κεφάλαιο 5: Χημική σύσταση του υπογείου νερού, περιλαμβάνει την παρουσίαση των χημικών αναλύσεων των κύριων ιόντων και των χαρτών με τη χωρική τους κατανομή στην περιοχή και ερμηνεία αυτών.

- Κεφάλαιο 6: Ιοντικοί λόγοι, παρουσίαση ιοντικών λόγων και των χωρικών τους κατανομών και ερμηνεία αποτελεσμάτων.
- Κεφάλαιο 7: Δυαδικά διαγράμματα, πρόκειται για την απεικόνιση των κυρίων ιόντων σε δυαδικά διαγράμματα για τον προσδιορισμό της συσχέτισης τους.
- Κεφάλαιο 8: Υδροχημικά διαγράμματα, περιλαμβάνει την παρουσίαση όλων των ιόντων σε διαγράμματα Piper, Schoeller και Durov και την εξαγωγή συμπερασμάτων με βάση αυτά για την ποιότητα του υπογείου νερού
- Κεφάλαιο 9: Συμπεράσματα, τα οποία προκύπτουν μετά το πέρας της διπλωματικής εργασίας και αποτυπώνουν τα κυριότερα σημεία αυτής.

1. ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΠΛΗΘΥΣΜΙΑΚΑ ΚΑΙ ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

1.1 Γεωγραφικά και πληθυσμιακά στοιχεία της περιοχής

Το Δ.Δ διαμέρισμα Αγίου Γεωργίου αποτελούσε Δήμο του νομού Θεσσαλονίκης από το 1999-2010 με έδρα την Ασπροβάλτα. Ο δήμος καταλάμβανε έκταση 65.866 στρεμμάτων στα ανατολικά του νομού με καταγεγραμμένο πληθυσμό τους 5.466 κατοίκους (απογραφή 2001) εκ των οποίων οι 3.039 κάτοικοι αντιστοιχούν στο Δ.Δ Ασπροβάτας και οι 2.427 στο Δ.Δ Βρασνών.



Σχήμα 1.1.1 Περιοχή έρευνας (Πηγή χάρτη Google Earth)

Στον χάρτη του σχήματος 1.1.1 απεικονίζεται μέσα σε κόκκινο πλαίσιο η περιοχή έρευνας ενώ στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των απογραφών του πληθυσμού τα έτη 1991 και 2001 των δημοτικών διαμερισμάτων Ασπροβάτας και Βρασνών καθώς και η πληθυσμιακή αύξηση σε ποσοστό (%).

Πίνακας 1.1.1 Πληθυσμιακά στοιχεία Ασπροβάλλτας και Βρασνών τα έτη 1991 2001 (Πηγή Εθνική Στατιστική Υπηρεσία.)

	2001	1991	ΑΥΞΗΣΗ ΠΛΗΘΥΣΜΟΥ(%)
ΔΗΜΟΣ ΑΓΙΟΥ ΓΕΩΡΓΙΟΥ	5.466	2.779	96,68%
Δ.Δ Ασπροβάλλτας	3.039	1.806	68,27%
Δ.Δ Βρασνών	2.427	973	149,43%

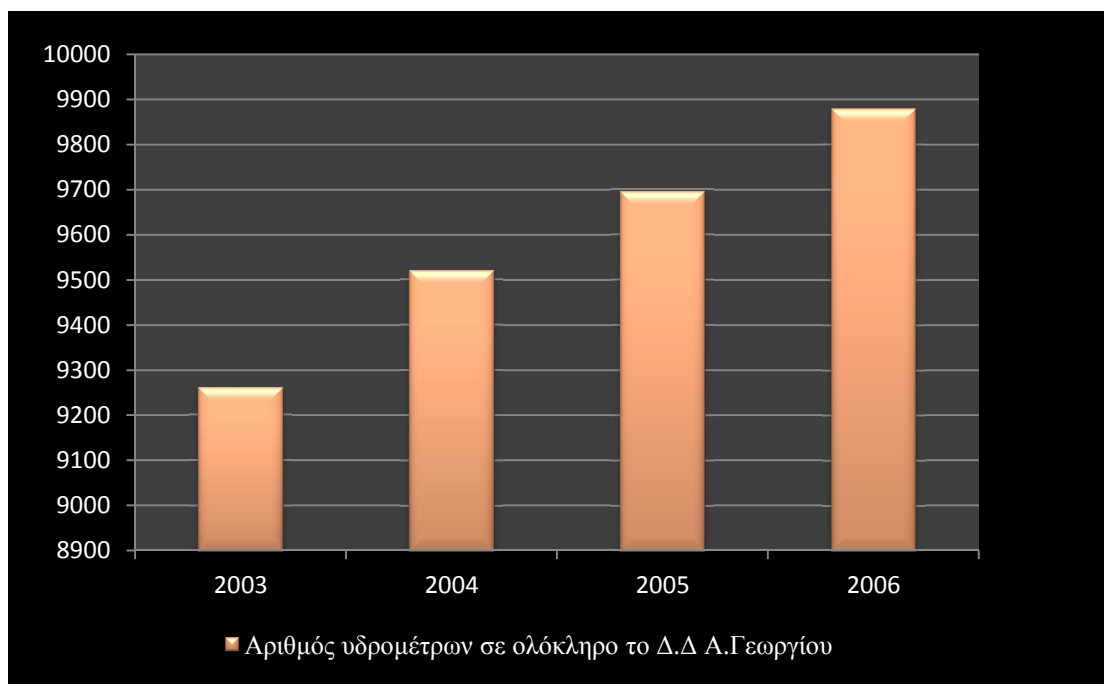
Από το 2011 και μετέπειτα με το πρόγραμμα διοικητικής αναδιάρθρωσης Καλλικράτης εντάχθηκε σε ένα ευρύτερο δήμο με την ονομασία δήμος Βόλβης με έδρα το Σταυρό. Ο δήμος Βόλβης καταλαμβάνει το ανατολικό τμήμα της λεκάνης της Μυγδονίας και τμήματα από τα όρη που την περιβάλλουν: το Βερτίσκο και τα Κερδύλλια στον Β και το Στρατωνικό στα ΝΑ. Αποτελείται από 6 δημοτικές ενότητες οι οποίες είναι η Δημοτική ενότητα Ρεντίνας, Αγ. Γεωργίου, Απολλωνίας, Αρέθουσας, Εγνατίας και Μαδύτου.

Με βάση την προσωρινή απογραφή του 2011(ΕΣΥΕ) στον Δήμο Βόλβης υπάρχουν 39 οικισμοί οι οποίοι στο σύνολο τους αριθμούν 23.370 κατοίκους. Η πυκνότητα του μόνιμου πληθυσμού είναι 29,85 κάτοικοι ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο ενώ η μεγαλύτερη συγκέντρωση πληθυσμού υπάρχει στους οικισμούς του Στρυμονικού κόλπου, όπου κατοικεί το 43,4% του πληθυσμού του Δήμου Βόλβης.

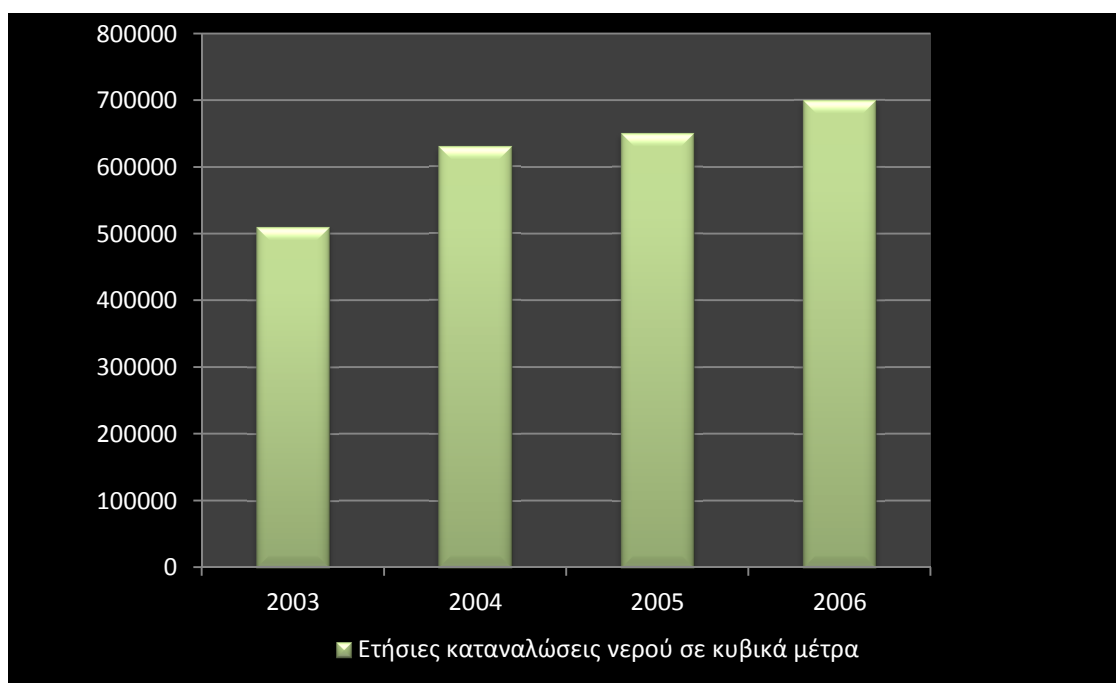
Συγκεκριμένα οι οικισμοί Σταυρός, Ασπροβάλτα και Ν.Βρασνά καταλαμβάνουν το 38,79% του συνολικού πληθυσμού του Δήμου Βόλβης με πληθυσμό της τάξεως των 9107 κατοίκων. Σύμφωνα με την απογραφή πληθυσμού του 2001 (ΕΣΥΕ) η μεγαλύτερη πυκνότητα πληθυσμού εμφανίζεται στους οικισμούς του Στρυμονικού κόλπου και συγκεκριμένα στην Δημοτική ενότητα Αγίου Γεωργίου η οποία αντιστοιχεί σε 80,04 κατοίκους ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο.

Σε αυτό το σημείο πρέπει να τονισθεί ότι οι ποσότητες νερού που καταναλώνονται είναι άρρηκτα συνδεδεμένες με την αύξηση του πληθυσμού και τις εκάστοτε ανάγκες του σε νερό ανά εποχή κατά τη διάρκεια του έτους. Μέσα από τις απογραφές του πληθυσμού τα έτη 1991, 2001 και 2011 παρατηρείται μια αύξηση η οποία συνοδεύεται από διαρκή επέκταση του δημοτικού αστικού ιστού με νέες κατοικίες, τουριστικά καταλύματα και νέες επιχειρήσεις.

Ανάλυση και διαχείριση ποιότητας υπογείου νερού στο Δ.Δ Αγίου Γεωργίου



Σχήμα 1.1.2 Αριθμός υδρομέτρων στο Δ.Δ Αγίου Γεωργίου (Πηγή Υπηρεσία Ύδρευσης Ασπροβάλτας)



Σχήμα 1.1.3 Ετήσιες καταναλώσεις νερού σε m^3 (Πηγή Υπηρεσία Ύδρευσης Ασπροβάλτας)

Όπως προαναφέρθηκε οι πληθυσμιακή αυτή έξαρση συνδέεται άμεσα με την αύξηση των αναγκών σε νερό σε όλα τα επίπεδα και κατά συνέπεια με την αύξηση των καταναλώσεων αυτού σε καθημερινή βάση. Στο σχήμα 1.1.2 παρουσιάζεται ο αριθμός των συνολικών υδρομέτρων και παρατηρείται σημαντική αύξηση κατά το διάστημα 2003-2006. Στο σχήμα 1.1.3 παρουσιάζονται οι ετήσιες καταναλώσεις νερού σε κυβικά μέτρα από το 2003-2006 που κοστολογούνται. Στον οριζόντιο άξονα απεικονίζονται τα έτη ενώ στον κατακόρυφο άξονα οι αντίστοιχες ετήσιες καταναλώσεις νερού του Δ.Δ Αγίου Γεωργίου σε κυβικά μέτρα νερού. Σε αυτό το σημείο πρέπει να τονισθεί ότι εάν ληφθούν υπόψη και η μη τιμολογίσιμες τιμές νερού που χρησιμοποιούνται από τον Δήμο για την άρδευση των πάρκων, την υδροδότηση των δημοτικών κτιρίων κ.α τότε οι ποσότητες νερού που καταναλώνονται είναι πολύ μεγαλύτερες.

1.2 Γεωμορφολογικά στοιχεία

Η τοπογραφία της περιοχής μπορεί να χαρακτηριστεί ως χαμηλή λοφώδης με το υψόμετρο της περιοχής που έγινε η δειγματοληψία να μην ξεπερνά τα 150 m. Στην μορφολογία της περιοχής είναι διακριτά τα επιμήκη εξάρματα που σχηματίζονται, όπως και τα αντερείσματα που έχουν κλιτείς με γωνίες ήπιας έως απότομης μορφολογικής κλίσης. Πρόκειται για μια περιοχή με εμφανή έως έντονο υδρογραφικό δίκτυο που παρουσιάζει βαθιές χαραδρώσεις. Οι χώροι έχουν υποστεί έντονη διάβρωση λόγω του εντόνου υδρογραφικού δικτύου και εξαιτίας αυτού λαμβάνει χώρα απόπλυση των πετρωμάτων, αποσάθρωση των αποκαλλυμένων βραχώδων πετρωμάτων και μεταφορά επιφανειακών αποθέσεων σε χαμηλότερες μορφολογικά θέσεις (Τρανός 2011). Το βραχώδες υπόβαθρο είναι κυρίως γνεύσιοι και μάρμαρα. Ενώ οι επιφανειακές αποθέσεις αποτελούνται από αλλουβιακά ιζήματα όπως άμμοι χαλίκια, ιλύες και άργιλοι. Πρόκειται δηλαδή για κλαστικά ιζήματα διαφορετικής κοκκομετρικής διαβάθμισης και σύστασης.

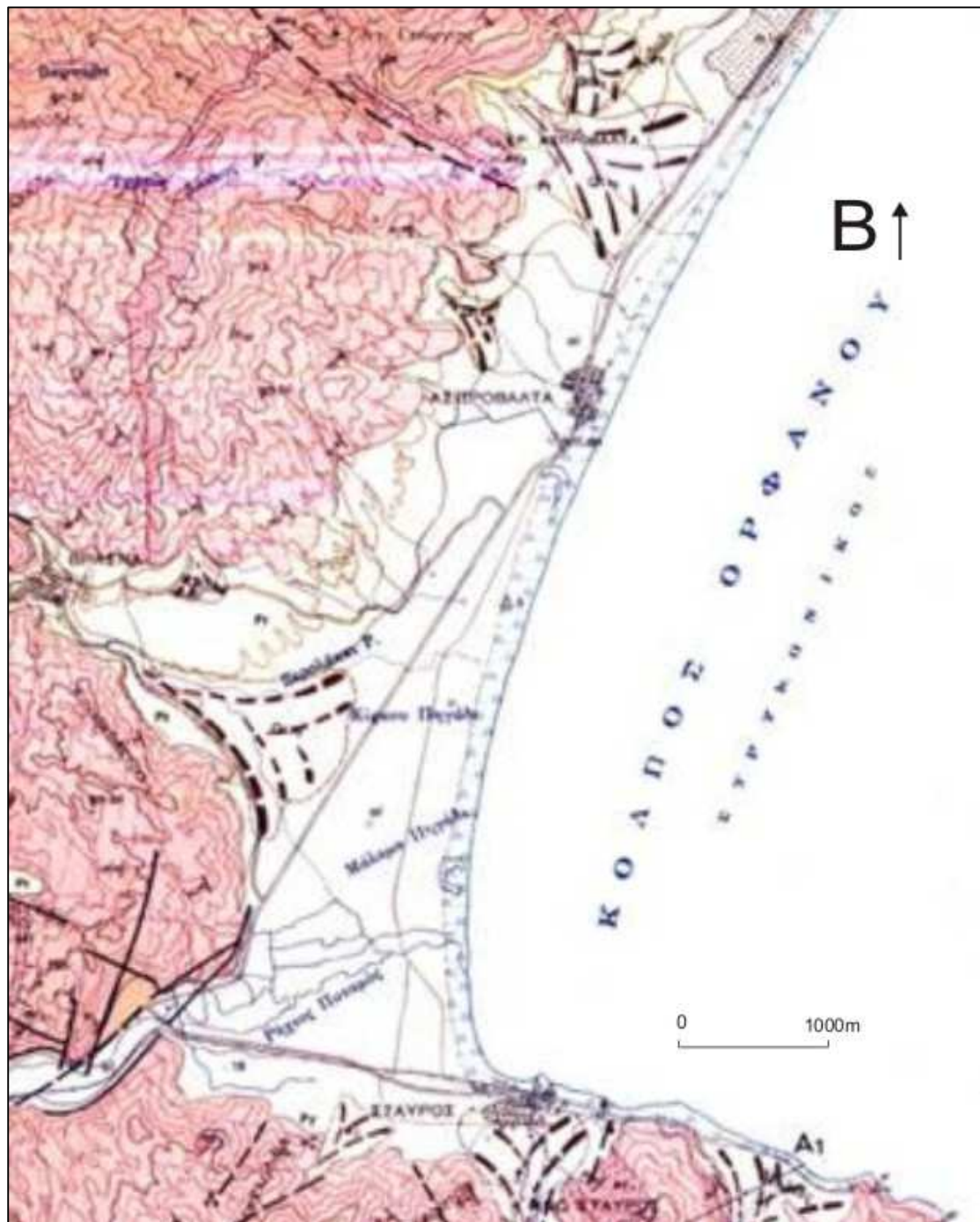
Οι αλλουβιακές αποθέσεις πιο συγκεκριμένα διακρίνονται στα αλλουβιακά ριπίδια δηλαδή κλαστικά υλικά που αποτίθενται στις εξόδους των ρεμάτων με το χαρακτηριστικό σχήμα βεντάλιας και σχηματίζουν κατά μήκος του μετώπου (πρόποδες) του ορογενούς ένα ριπιδιοπεδίο και στις αποθέσεις αναβαθμίδων που είναι ποτάμιες, πλημμυρικές αποθέσεις που εγκιβωτίζονται από τις ροές των ποταμών. Τέλος, η εμφάνιση πλευρικών κορημάτων επιβεβαιώνει την απόπλυση των κλιτύων από τα υπάρχοντα ρέματα.



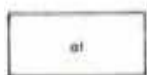
Σχήμα 1.2.1 Γεωμορφολογικός χάρτης της εξεταζόμενης περιοχής (Πηγή www.hellenicaworld.com)

2. ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

2.1 Γεωλογικός χάρτης



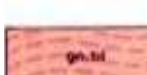
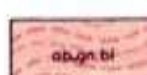
Σχήμα 2.1.1 Γεωλογικός χάρτης Ι.Γ.Μ.Ε. της περιοχής τμήμα του φύλλου Σταυρού (Α.Π.Θ. Τμήμα Γεωλογίας)

ΥΠΟΜΝΗΜΑ(Γεωλογικού χάρτη Ι.Γ.Μ.Ε)**ΙΖΗΜΑΤΟΓΕΝΗ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ****Τεταρτογενές-Ολόκαινο**

Αλλουβιακές αποθέσεις

Παράκτιες αποθέσεις: Αναχώματα ακτών
θίνες κλπ.Ιζήματα παράκτιων λιμνών και λιμνοθαλασσών: Άμμοι και
αμμούχες άργιλοι

Αλλουβιακά ριπίδια: Διαφορετικής ηλικίας

ΠλειστόκαινοΠλειστοκαινικές αποθέσεις αδιαίρετες: Ανώτερο σύστημα
αναβαθμίδων, συγκολλημένα πλευρικά κορήματα κυρίως ερυθρού
χρώματος και τεμαχισμένοι κώνοι κορημάτων**ΣΕΡΒΟΜΑΚΕΔΟΝΙΚΗ ΜΑΖΑ****Σχηματισμός Κερδυλλίων****Παλαιοζωικό (ή παλαιότερο)**Βιοτιτικοί Γνέυσιοι: Σκοτεινότεφροι, λεπτόκοκκοι, μονότονοι, ταινιωτοί.
Διμαρμαριγιακοί γνέυσιοι τύπου Βερτίσκου και μικρής εξαπλώσεως αμφιβολιτικά
στρώματα. Άφθονες παρείσακτες κοίτες και φλέβες και τοπικά μάζες πηγματοειδών και
σχιστοδών απλιτικών γρανιτώνΑμφιβολίτες (ab) εναλλασσόμενοι με βιοτιτικούς γνέυσιους και
κεροσιλβικούς βιοτιτικούς γνέυσιους του σχηματισμού κερδυλλίων (gn.bi)Αμφιβολίτες (ab) εναλλασσόμενοι με βιοτιτικούς γνέυσιους και κεροσιλβικούς βιοτιτικούς
γνέυσιους του σχηματισμού κερδυλλίων (gn.bi) και πλαγιокλαστικούς μικροκλινικούς γνέυσιους
(gn)

Γεωλογικό όριο



Ρήγμα

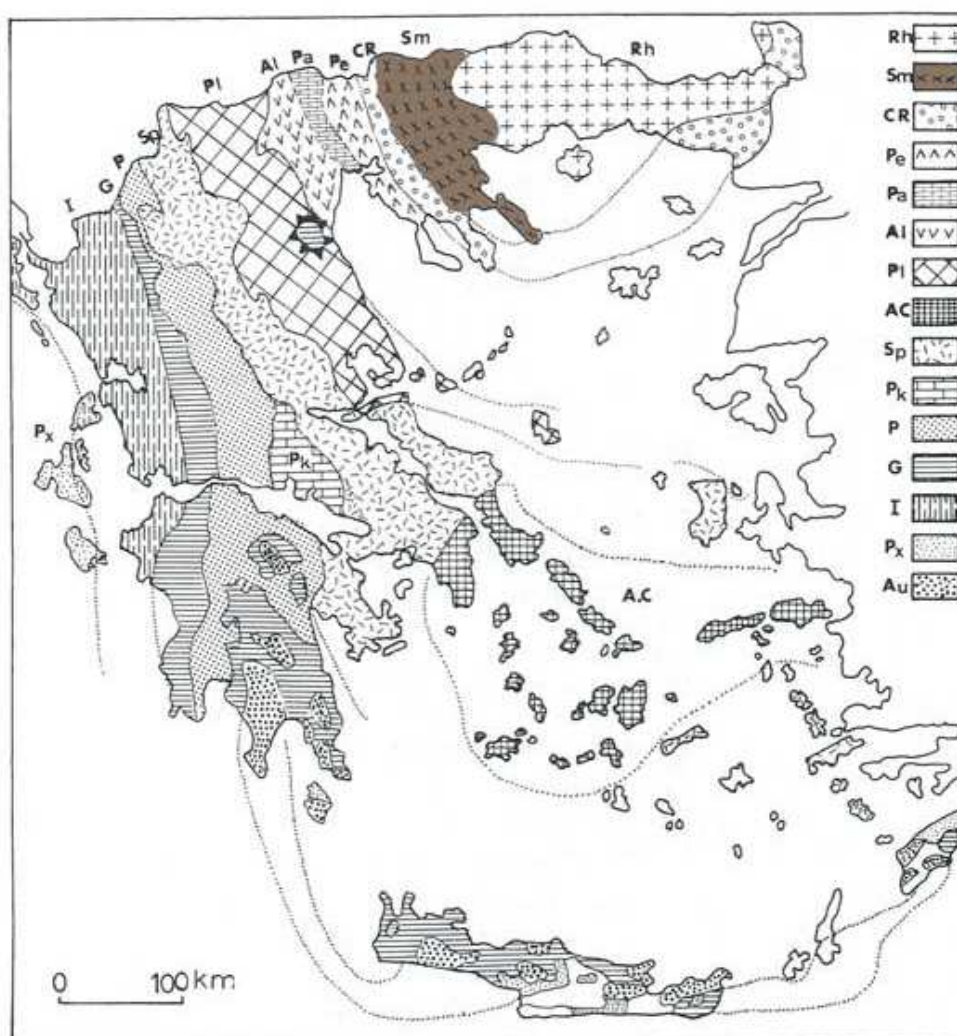


Επώθηση πιθανή η καλυμμένη

2.3 Γεωτεκτονική θέση

Γεωτεκτονικά η εξεταζόμενη περιοχή ανήκει στην Σερβομακεδονική μάζα, η οποία εκτείνεται από τα ελληνοβουλγαρικά σύνορα μέχρι τον κορμό της Χαλκιδικής και την ανατολική Χαλκιδική μεταξύ των εκβολών Στρατωνίου και Στρυμόνα. Το ανατολικό όριο της Σερβομακεδονικής είναι κατά μήκος της γραμμής Στρυμόνα όπου επωθείται πάνω στη μάζα της Ροδόπης και πιο συγκεκριμένα οι βιοτιτικοί γνεύσιοι επωθούνται πάνω στα μάρμαρα του Παγγαίου. Ενώ το δυτικό όριο αποτελεί η γραμμή επαφής των κρυσταλλωσχιστώδων πετρωμάτων με τα πέρμιο-τριάδικα ιζήματα της περιοδοπικής. Λόγω τριτογενούς πτύχωσης η Σερβομακεδονική εφίππευε τα νεότερα περμοτριάδικα ιζήματα (Μουντράκης 2010).

Ο γεωτεκτονικός της χαρακτήρας είναι καθαρά ηπειρωτικός αφού παλαιογεωγραφικά αποτελούσε τμήμα της Λαυρασίας και μαζί με την μάζα της Ροδόπης αποτελούν την ελληνική ενδοχώρα.



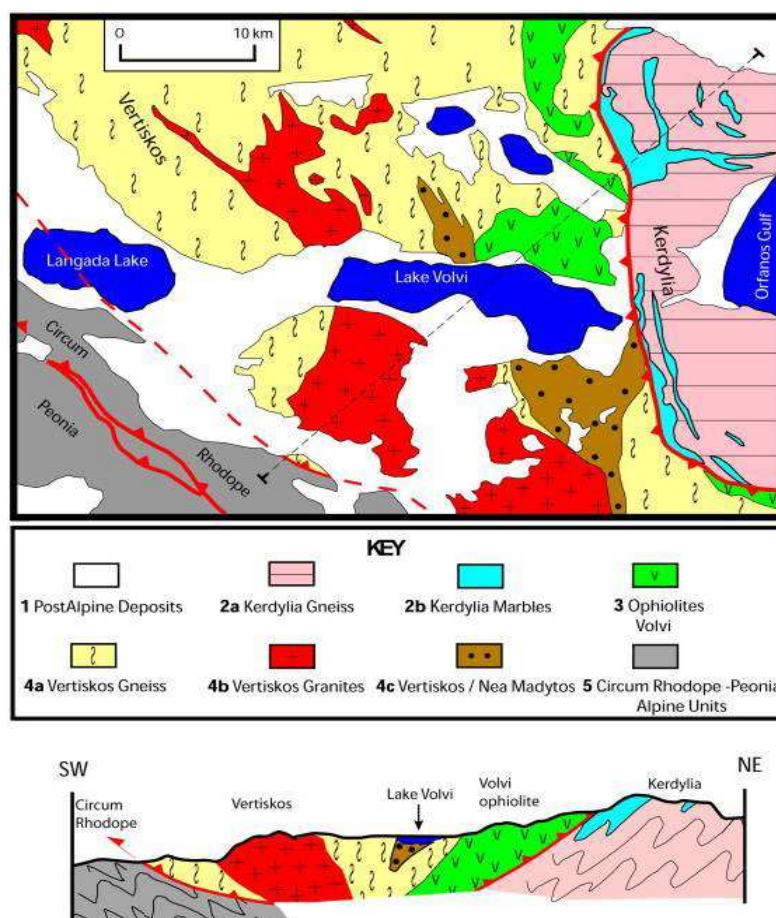
Σχήμα 2.3.1 Χάρτης της Ελλάδας με τις κύριες ζώνες και πετρώματα (Μουντράκης 2010)

2.4 Γεωλογική δομή

Η Σερβομακεδονική μάζα αποτελείται κυρίως από κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα παλαιοζωικής ηλικίας και με βάση τα πετρώματα που περιέχει χωρίστηκε σε 2 σειρές.

Την δυτική, η οποία ονομάστηκε σειρά Βερτίσκου και αποτελεί την ανώτερη και νεότερη σειρά. Αποτελείται από εναλλαγές σχιστόλιθων και γνεύσιων, με λεπτές ενστρώσεις μαρμάρου. Χαρακτηριστικό της σειράς Βερτίσκου είναι η χαμηλού βαθμού μεταμόρφωσης που μας το υποδηλώνει η παρουσία πρασινοσχιστολιθικής φάσης που εμφανίζεται σε μερικές περιοχές.

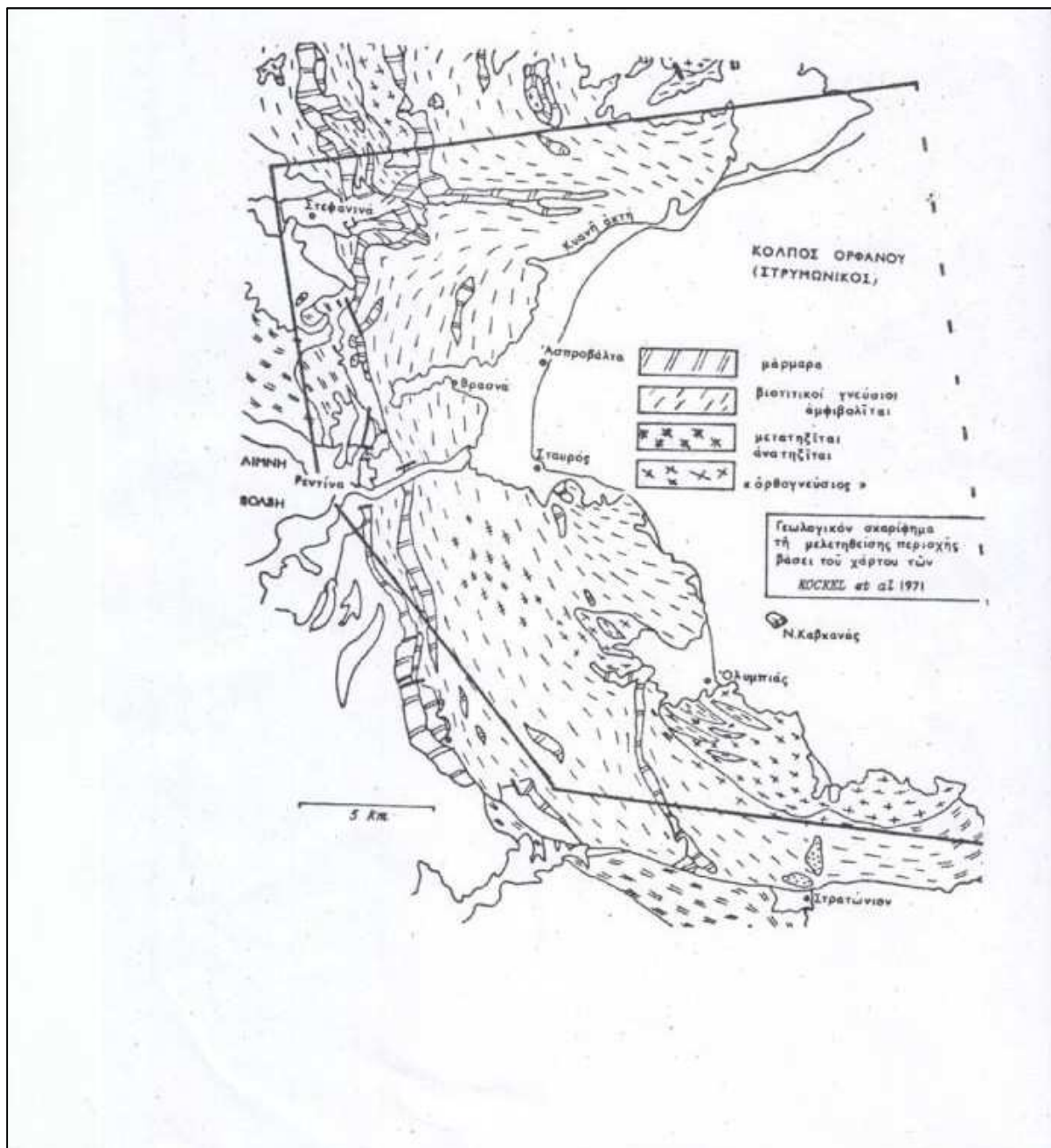
Την ανατολική, σειρά των Κερδυλλίων που περιλαμβάνει τις περιοχές Ασπροβάτας και Βρασνών (Δ.Δ Αγίου Γεωργίου) και εκτείνεται γενικότερα μεταξύ των εκβολών Στρατωνίου και Στρυμόνα. Θεωρείται η κατώτερη και η αρχαιότερη και πιθανώς να είναι και ο βαθύτερος σχηματισμός όλης της Ελλάδος. Έχει πάχος περίπου 3000 μέτρα. Στο σύνολο της περιέχει μεγάλου πάχους μάρμαρα σε εναλλαγές με ορθογνεύσιους, παραγνεύσιους, μγματίτες και αμφιβολίτες. Οι δυο αυτές σειρές Κερδυλλίων και Βερτίσκου βρίσκονται σε συμφωνία μεταξύ τους (Μουντράκης 2010).



Σχήμα 2.4.1 Πετρογραφικός χάρτης Σειράς Κερδυλλίων και Βερτίσκου και τομή της περιοχής (Papanikolaou 2008)

Ανάλυση και διαχείριση ποιότητας υπογείου νερού στο Δ.Δ Αγίου Γεωργίου

Συγκεκριμένα στην περιοχή που έγινε η έρευνα, στο ΒΔ/κό τμήμα, όπως φαίνεται και απο τον γεωλογικό χάρτη της περιοχής (σχήμα 2.1.1) ο πιο διαδεδομένος πετρογραφικός τύπος είναι οι βιοτιτικοί γνεύσιοι οι οποίοι μακροσκοπικά έχουν την μορφή μεσόκοκκου πετρώματος με κύρια ορυκτά, χαλαζία πλαγιόκλαστα και βιοτίτη, μέσα στους οποίους παρεμβάλλονται αμφιβολίτες υπό μορφή στρωμάτων (Δημητριάδης 1974) καθώς και παρείσακτες κοίτες πηγματοειδών, απλικών γρανιτών.



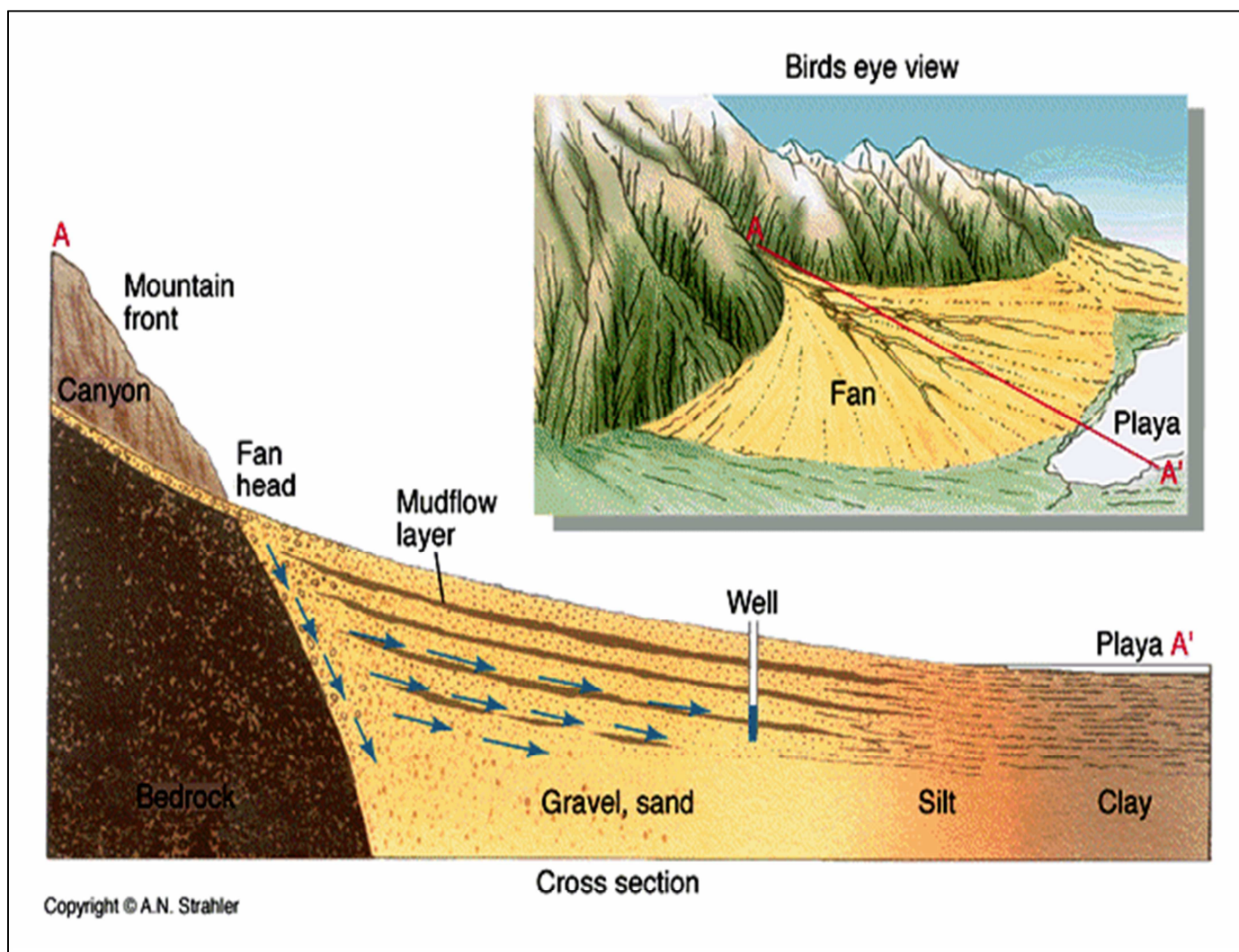
Σχήμα 2.4.2 Πετρογραφικός χάρτης της περιοχής του Κόλπου Ορφάνου (Δημητριάδης 1974)

Στο Ν και ΝΑ/κό τμήμα της περιοχής το οποίο βρίσκεται ποιο κοντά στη θάλασσα επικρατούν κυρίως τεταρτογενείς ιζηματογενείς αποθέσεις όπως παράκτιες, αλουβιακές, άμμοι, αμμούχες άργιλοι και αλλουβιακά ριπίδια, καθώς και πλειστοκαινικές αποθέσεις από συγκολλημένα πλευρικά κορήματα και κώνους κορημάτων (Σχήμα 2.1.1). Πρόκειται λοιπόν για μια γεωλογική δομή όπου χαλαρές αποθέσεις διαπερατών ιζημάτων επικάθονται πάνω σε ένα μεταμορφωμένο γνευσιακό υπόβαθρο λιγότερο περατό ή αδιαπέρατο.

Αξίζει να σημειωθεί ότι οι ιζηματογενείς αυτοί σχηματισμοί αποτελούν τα υδροφόρα στρώματα της περιοχής τα οποία τροφοδοτούνται με νερό μέσω των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων που κατεισδύουν στα ενδότερα στρώματα και δημιουργούν τους υπόγειους υδροφορείς. Επίσης η παρουσία αλλουβιακών ριπιδίων υποδηλώνει συνθήκες δημιουργίας υδροφορίας εξαιτίας της τροφοδοσίας των στρωμάτων σε νερό από εποχιακούς χείμαρρους.

Συγκεκριμένα το φαινόμενο της απόθεσης υλικών από τους χείμαρρους που κατέρχονται από περιοχές με απότομο και υψηλό ανάγλυφο (λόφοι, όρη) προς περιοχές με χαμηλό ανάγλυφο (πεδινές περιοχές) οφείλεται στην απότομη μεταβολή της κλίσης της κοίτης του χειμάρρου και τη μείωση της ταχύτητας των νερών του. Έτσι η απότομη μείωση της μεταφορικής ικανότητας του νερού έχει ως αποτέλεσμα να αποθέτει τα υλικά του με την έξοδό του στην πεδιάδα και να μην μπορεί να τα μετακινήσει παραπέρα. Έτσι φράσσεται η κοίτη του χειμάρρου από τις αποθέσεις και σχηματίζονται ριπιδοειδείς σωροί που ονομάζονται αλλουβιακά ριπίδια. Τα Αλλουβιακά ριπίδια παρουσιάζουν πλούσια υδροφορία (Βουβαλίδης 2002).

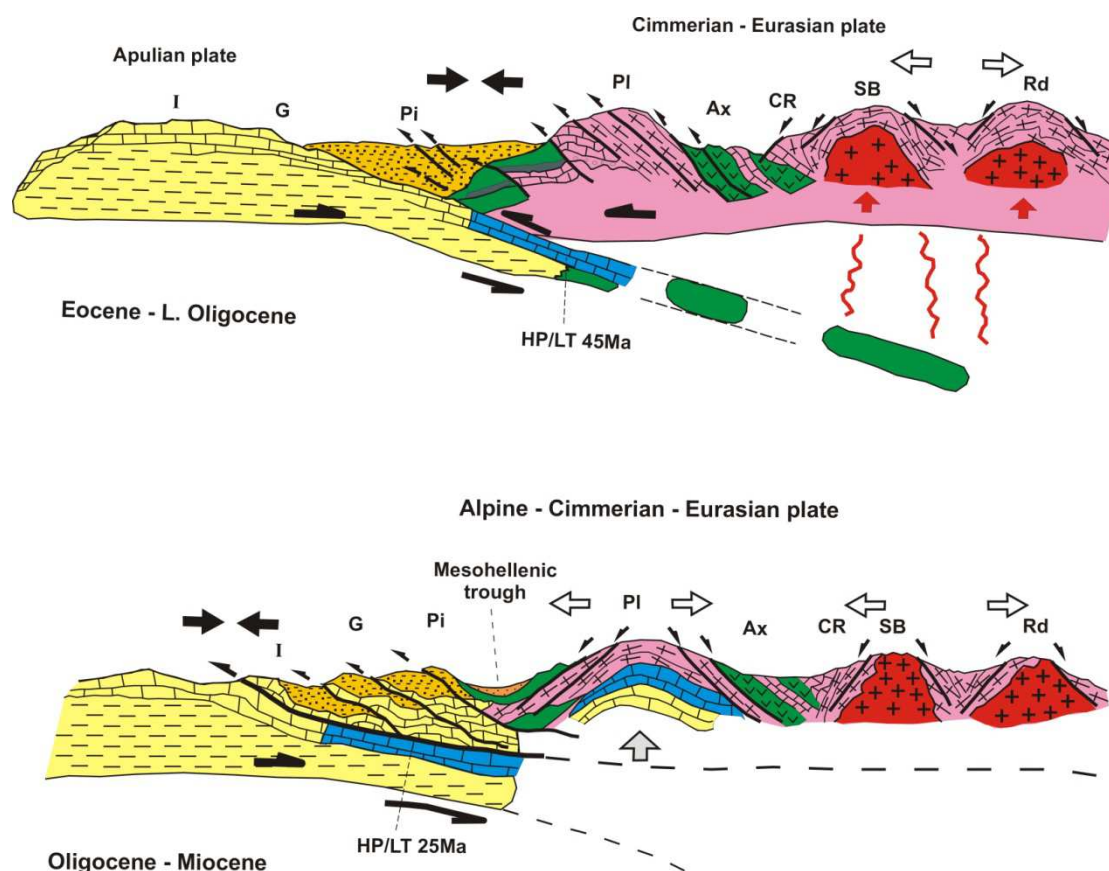
Στην περιοχή έρευνας η γεωμορφολογία ευνοεί την δημιουργία αλλουβιακών ριπιδίων όπως φαίνεται και στον γεωλογικό χάρτη (Σχήμα 2.1.1) όπου το απότομο ανάγλυφο οφείλεται στο πέρασμα από μια ορεινή περιοχή (Όρος Κερδύλλιο) σε μια πεδινή-παράκτια περιοχή. Στο σχήμα 2.4.3 παρουσιάζεται η κάτοψη και η τομή ενός αλλουβιακού ριπιδίου καθώς και η δημιουργία υπόγειας κυκλοφορίας νερού.



Σχήμα 2.4.3 Κάτοψη και τομή ενός αλλουβιακού ριπιδίου (Βουβαλίδης 2002)

2.5 Μαγματισμός Σερβομακεδονικής

Πολλές φορές μέσα στην μάζα των κρυσταλλωσχιστώδων πετρωμάτων της περιοχής κάνουν την εμφάνισή τους μαγματικές διεισδύσεις όξινης κυρίως σύστασης. Τα πυριγενή πετρώματα προέρχονται από διάφορες μαγματικές εκδηλώσεις που συνέβησαν με την πάροδο των γεωλογικών χρόνων. Αναλυτικότερα η Σερβομακεδονική υπέστη 5 φάσεις μαγματισμού. Μια πρώτη φάση μαγματισμού προ αλπικής ηλικίας, βασικής και υπερβασικής σύστασης αποτελούν τα μεταβασικά πετρώματα που βρίσκονται συμπτυγμένα μέσα στις σειρές Βερτίσκου-Κερδυλλίων και κυρίως στην ζώνη επαφής των 2 σειρών. Μια δεύτερη φάση μαγματισμού γρανιτικής σύστασης, Αν. Παλαιοζωικής ηλικίας αποτελούν οι γνεύσιοι των Κερδυλλίων, Βερτίσκου και Ολυμπιάδας. Αύτη η φάση συνδέεται με τη ερκύνια ορογένεση. Μεσοζωικής ηλικίας ήταν η τρίτη φάση μαγματισμού που έδωσε τους γρανιτικούς όγκους Αρναίας, Μονοπήγαδου και Λαχανά. Κατά το Τριτογενές έλαβε χώρα μια μεταορογενετική όξινης σύστασης φάση μαγματισμού και δημιούργησε τους γρανίτες της Σιθωνίας, της Ιερισσού και τον γρανοδιορίτη του Στρατωνίου. Τέλος, σαν πέμπτη φάση μαγματισμού μπορούν να θεωρηθούν ρυολιθικές εμφανίσεις που συνδέονται με την μεταλπική πλείο-τεταρτογενή ηφαιστειότητα. (Μουντράκης 2005)



Σχήμα 2.5.1 Σχηματικές τομές που αναπαριστούν τη γεωδυναμική εξέλιξη των Ελληνίδων στη δεύτερη περίοδο της Αλπικής ορογένεσης. (Mountrakis 2005)

3. ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΑ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΟΥ ΔΗΜΟΥ ΒΟΛΒΗΣ

3.1 Γενικά

Το κλίμα της περιοχής είναι μεσογειακό ή κατά τόπους μεταβατικό μεταξύ του μεσογειακού και του ηπειρωτικού και το μέσο ετήσιο ύψος βροχής είναι 650 mm για την ημιορεινή ζώνη και 600mm για τις πεδινές περιοχές (Κατσιαπάνης 2000). Τα κλιματικά δεδομένα που παρουσιάζονται στις επόμενες παραγράφους αφορούν την περίοδο 2000 έως 2011 και πρόκειται για τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα, την θερμοκρασία και την σχετική υγρασία. Τα στοιχεία της έρευνας είναι από τον κοντινότερο μετεωρολογικό σταθμό, αυτόν του Λαγκάδα και αποτελούν μια ένδειξη για το κλιματικό καθεστώς της περιοχής.

3.2 Θερμοκρασία

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται οι μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες (T°C) για τα έτη 2000-2011 καθώς και ο μέσος όρος αυτών για το σύνολο των ετών.

Πίνακας 3.2.1 Μέσες μηνιαίες τιμές θερμοκρασιών (T°C) την περίοδο 2000-2011 από τον μετεωρολογικό σταθμό του Λαγκαδά

ΕΤΗ	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	Μέση τιμή
ΙΑΝ	3,5	8,5	6,3	9,3	5,1	7,0	5,2	9,9	7,2	7,9	7,7	8,1	7,1
ΦΕΒ	8,2	9,6	11,5	4,8	8,2	6,2	9,3	9,3	9,0	7,6	9,4	9,1	8,5
ΜΑΡ	9,7	14,5	11,9	9,4	10,9	10,2	10,8	12,1	14,0	11,0	11,2	10,4	11,3
ΑΠΡ	16,6	14,4	13,9	12,9	14,3	14,4	15,5	15,2	15,7	15,2	16,1	14,6	14,9
ΜΑΙ	20,4	19,4	19,6	21,3	17,8	19,8	19,7	20,9	20,2	21,3	20,1	19,3	20,0
ΙΟΥΝ	24,2	23,9	25,2	26,3	24,2	23,6	24,1	26,0	25,5	24,2	24,5	24,3	24,7
ΙΟΥΛ	26,9	27,8	27,1	27,4	26,4	26,7	26,4	28,2	27,1	27,8	27,2	27,7	27,2
ΑΥΓ	26,7	27,9	26,0	27,7	26,0	26,5	27,6	27,0	28,5	26,6	29,4	27,5	27,3
ΣΕΠ	22,4	23,4	21,1	22,0	22,2	22,6	22,5	21,6	22,1	22,6	23,6	25,1	22,6
ΟΚΤ	17,3	19,5	17,3	17,7	18,6	16,8	18,0	17,7	17,6	18,8	16,2	16,2	17,6
ΝΟΕ	15,3	11,4	13,2	13,8	11,6	10,8	11,8	11,8	13,5	14,3	16,5	10,6	12,9
ΔΕΚ	9,9	2,8	7,4	8,2	9,1	8,3	8,6	7,5	9,7	10,9	9,9	9,1	8,5
Μέση τιμή	16,8	16,9	16,7	16,7	16,2	16,1	16,6	17,3	17,5	17,4	17,6	16,8	16,9

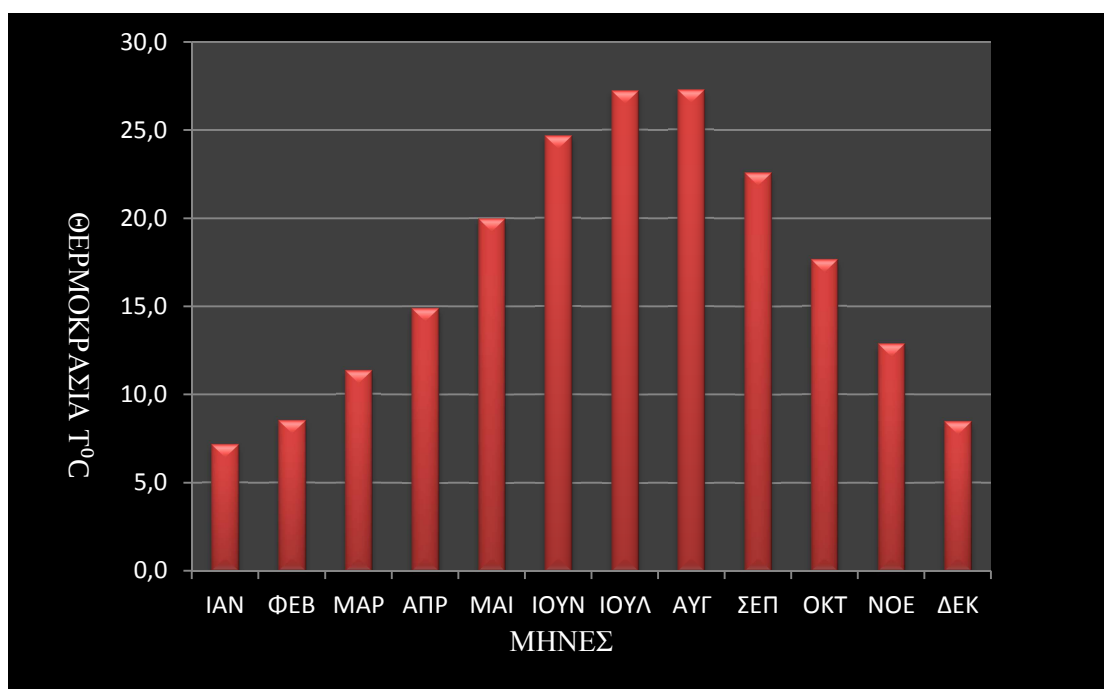
Από τον παραπάνω πίνακα προκύπτει ότι δεν υπάρχουν μεγάλες διακυμάνσεις στην μέση ετήσια θερμοκρασία από έτος σε έτος και το θερμότερο έτος ήταν το 2010 με την υψηλότερη και χαμηλότερη θερμοκρασία στους 29,4°C και 7,7°C αντίστοιχα και μέση ετήσια θερμοκρασία 17,6°C ενώ το ψυχρότερο έτος ήταν το 2005 με υψηλότερη και χαμηλότερη θερμοκρασία τους 26,7°C και τους 6,2°C αντίστοιχα με μέση ετήσια θερμοκρασία 16,1°C.

Στον πίνακα 3.2.2 παρουσιάζονται οι μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες από το 2009 έως το 2011 καθώς και η μέση τιμή τους ενώ στο σχήμα 3.2.1 και 3.2.2 παρουσιάζονται οι γραφικές κατανομές της θερμοκρασίας για το σύνολο των ετών και για την τριετία 2009-2011 αντίστοιχα.

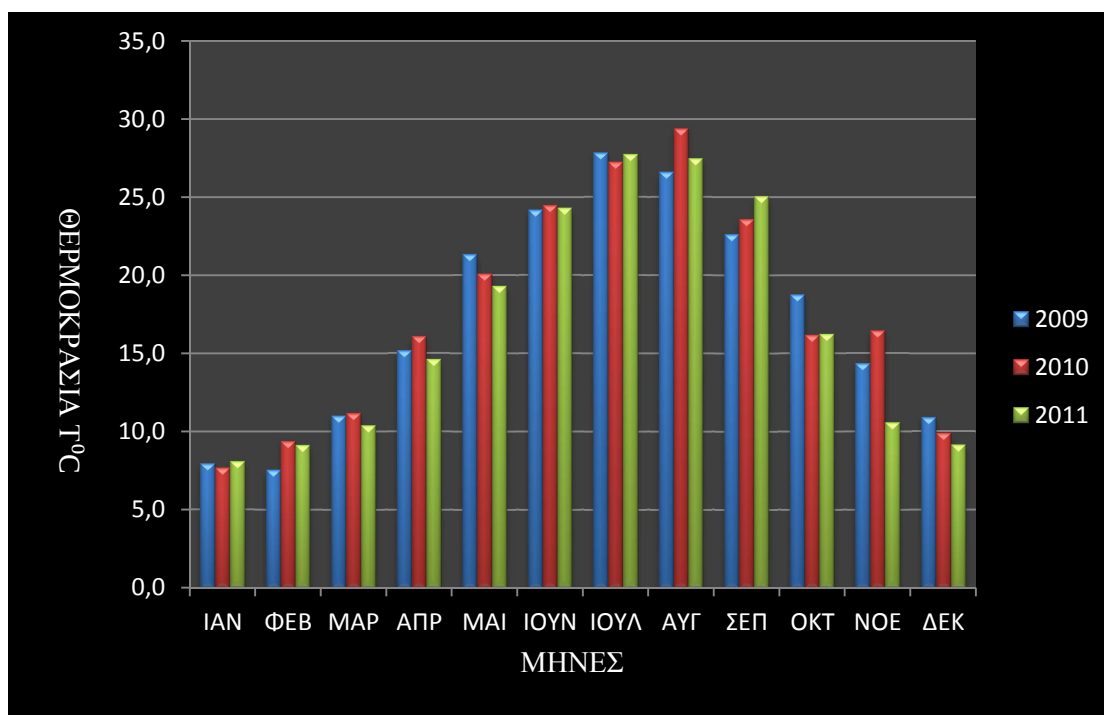
Πίνακας 3.2.2 Μέσες μηνιαίες τιμές θερμοκρασιών (T°C) την τριετία 2009-2011

ETH	2009	2010	2011
ΙΑΝ	7,9	7,7	8,1
ΦΕΒ	7,6	9,4	9,1
ΜΑΡ	11,0	11,2	10,4
ΑΠΡ	15,2	16,1	14,6
ΜΑΙ	21,3	20,1	19,3
ΙΟΥΝ	24,2	24,5	24,3
ΙΟΥΛ	27,8	27,2	27,7
ΑΥΓ	26,6	29,4	27,5
ΣΕΠ	22,6	23,6	25,1
ΟΚΤ	18,8	16,2	16,2
ΝΟΕ	14,3	16,5	10,6
ΔΕΚ	10,9	9,9	9,1
Μέση τιμή	17,4	17,6	16,8

Από τα δεδομένα του πίνακα 3.2.2 παρατηρούμε ότι από το 2009 έως το 2010 υπάρχει μία μικρή αύξηση της θερμοκρασίας της τάξεως των 0,2°C ενώ από το 2010 ως το 2011 η θερμοκρασία μειώνεται κατά 0,8°C. Η υψηλότερη τιμή αντιστοιχεί στον μήνα Αύγουστο του 2010 και ήταν 29,4°C ενώ η χαμηλότερη στον Ιανουάριο του ίδιου έτους με τιμή 7,7°C.



Σχήμα 3.2.1 Μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες για την περίοδο 2000-2011



Σχήμα 3.2.2 Μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες για την τριετία 2009-2011

3.3 Ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα

Τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα είναι το σύνολο του μετεωρικού νερού που φτάνει στην επιφάνεια της Γής με οποιαδήποτε μορφή (βροχή, χιόνι, χαλάζι). Το 80% αυτών φτάνει στην επιφάνεια της γης με τη μορφή βροχοπτώσεων. Ο προσδιορισμός τους γίνεται με βροχόμετρα σε ύψος βροχής (mm) σε μηνιαία, ετήσια ή υπερετήσια βάση.

Ο υπολογισμός των βροχοπτώσεων είναι σημαντικός καθώς η συχνότητα, η ένταση και η διάρκειά τους καθορίζει άλλους παράγοντες του υδρολογικού ισοζυγίου όπως η κατείσδυση και η επιφανειακή απορροή, οι οποίοι συνδέονται με τον φυσικό εμπλουτισμό σε νερό των υδροφόρων στρωμάτων. Για παράδειγμα μικρής έντασης βροχοπτώσεις ευνοούν την ενεργή κατείσδυση και συνεπώς την μεταφορά του μετεωρικού νερού διαμέσου του εδάφους στους υπόγειους υδροφορείς ενώ μεγάλης έντασης βροχοπτώσεις ευνοούν την επιφανειακή απορροή.

Βροχοπτώσεις κατά την περίοδο του καλοκαιριού λόγω των υψηλών θερμοκρασιών που επικρατούν (έντονη εξάτμιση) και λόγω μικρής συχνότητας τους σε σχέση με τις βροχοπτώσεις του χειμώνα, δεν είναι ικανές να τροφοδοτήσουν τους υπόγειους υδροφορείς παρά μόνο να συμπληρώσουν το έλλειμμα υγρασίας στα επιφανειακά στρώματα του εδάφους. Η τροφοδοσία των υπόγειων υδροφορέων γίνεται κυρίως κατά τους χειμερινούς μήνες όπου πέφτει και το μεγαλύτερο ποσοστό του ετήσιου συνόλου των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων (Σούλιος 1996).

Στους παρακάτω πίνακες παρουσιάζεται αναλυτικά το μέσο μηνιαίο ύψος βροχόπτωσης και το ετήσιο ύψος βροχόπτωσης σε mm για την περίοδο 2000-2011 καθώς και το ετήσιο ύψος βροχόπτωσης την τριετία 2009-2011.

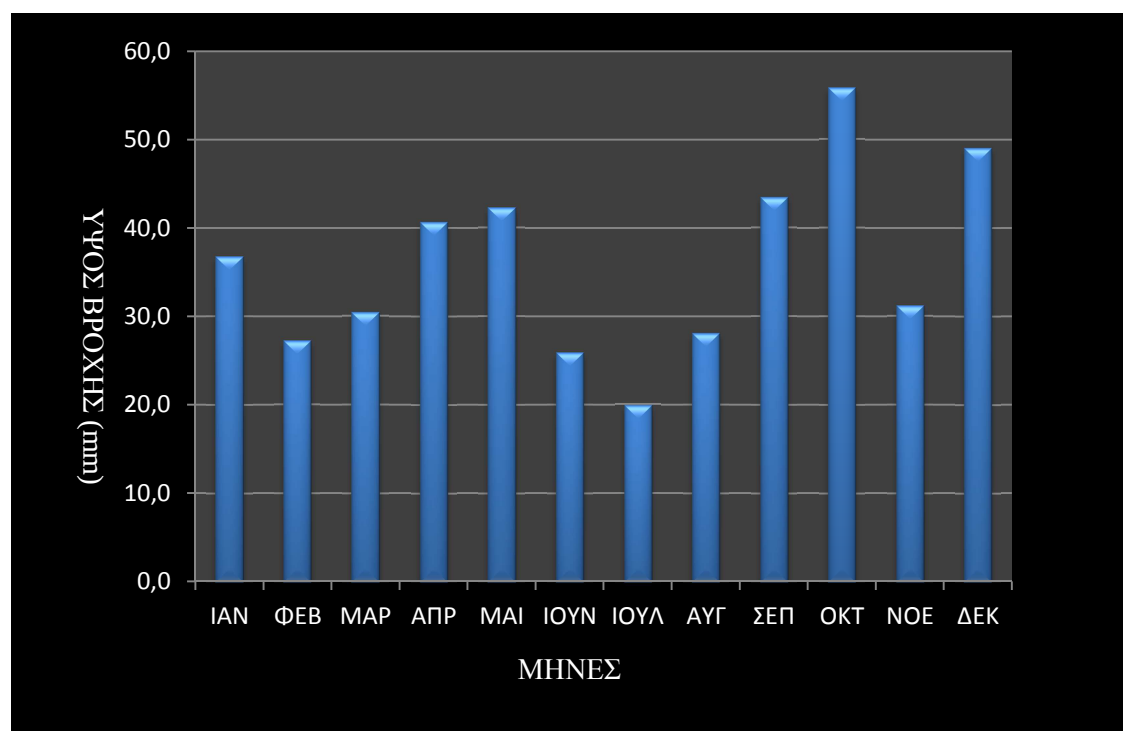
Πίνακας 3.3.1 Μέσο μηνιαίο και ετήσιο ύψος βροχόπτωσης (mm) την περίοδο 2000-2011

ΕΤΗ	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	Μέση τιμή
ΙΑΝ	4,0	45,9	12,6	100,2	66,8	21,3	44,2	5,5	29,6	76,2	13,5	21,3	36,8
ΦΕΒ	50,4	9,9	7,7	15,0	11,7	24,5	45,8	17,7	20,5	4,3	101,4	17,4	27,2
ΜΑΡ	2,7	5,1	101,3	1,7	20,7	34,8	42,0	17,2	13,7	53,4	34,1	38,1	30,4
ΑΠΡ	31,6	68,6	81,5	30,1	40,5	3,7	64,8	10,4	95,0	21,3	25,3	15,1	40,7
ΜΑΙ	28,4	90,8	16,8	54,8	16,3	41,8	22,5	58,5	27,3	14,0	48,5	87,4	42,3
ΙΟΥΝ	2,1	5,8	9,1	4,0	9,1	0,8	46,1	42,0	17,2	50,1	55,6	68,8	25,9
ΙΟΥΛ	15,7	19,9	57,1	22,1	4,5	13,5	45,7	2,5	12,2	4,1	40,7	0,3	19,9
ΑΥΓ	0,9	8,7	49,5	38,0	17,4	9,2	5,9	53,0	0,0	145,2	0,2	8,6	28,0
ΣΕΠ	12,5	8,2	89,1	16,4	77,2	40,3	65,3	43,5	80,7	19,6	9,8	58,3	43,4
ΟΚΤ	37,8	4,0	40,4	81,8	39,0	40,6	77,5	76,6	20,6	35,9	194,4	21,1	55,8
ΝΟΕ	39,5	4,8	36,5	22,6	56,1	47,0	31,9	52,2	17,1	25,8	24,3	16,4	31,2
ΔΕΚ	6,1	52,7	87,3	55,2	52,9	44,8	32,4	15,8	58,2	106,0	24,1	52,8	49,0
Ετήσιο ύψος	231,7	324,4	588,9	441,9	412,2	322,3	524,1	394,9	392,1	555,8	571,9	405,6	

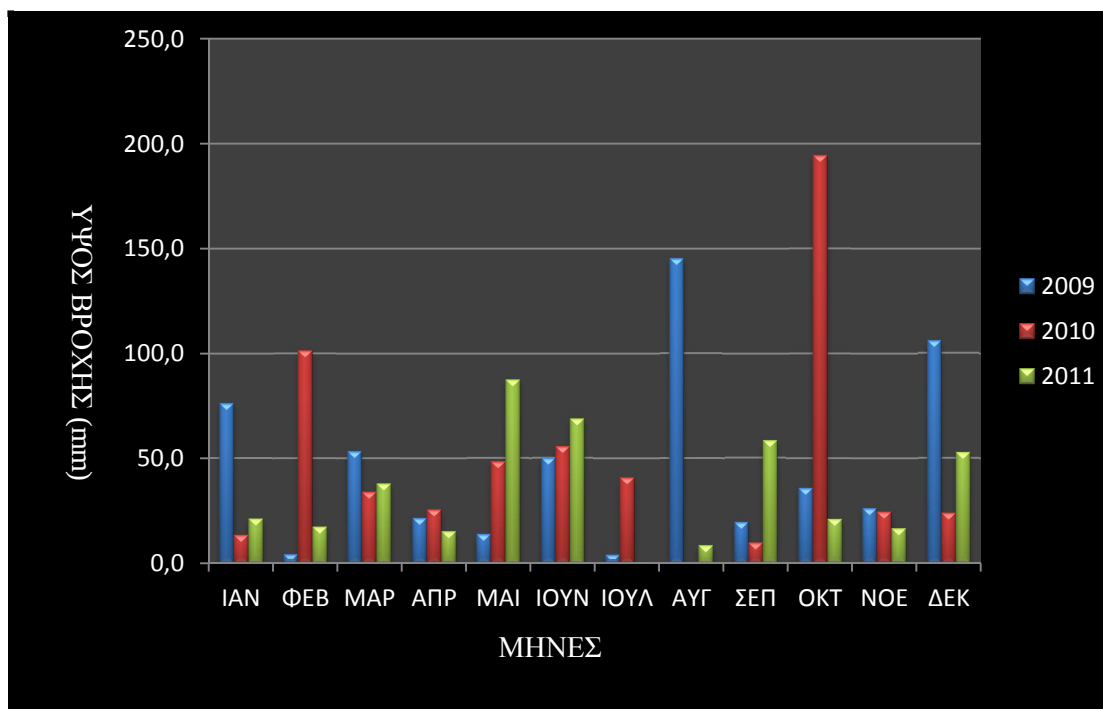
Ανάλυση και διαχείριση ποιότητας υπογείου νερού στο Δ.Δ Αγίου Γεωργίου

Πίνακας 3.3.2 Μέσο μηνιαίο και ετήσιο ύψος βροχόπτωσης (mm) την τριετία 2009-2011

ΕΤΗ	2009	2010	2011
ΙΑΝ	76,2	13,5	21,3
ΦΕΒ	4,3	101,4	17,4
ΜΑΡ	53,4	34,1	38,1
ΑΠΡ	21,3	25,3	15,1
ΜΑΙ	14,0	48,5	87,4
ΙΟΥΝ	50,1	55,6	68,8
ΙΟΥΛ	4,1	40,7	0,3
ΑΥΓ	145,2	0,2	8,6
ΣΕΠ	19,6	9,8	58,3
ΟΚΤ	35,9	194,4	21,1
ΝΟΕ	25,8	24,3	16,4
ΔΕΚ	106,0	24,1	52,8
Ετήσιο ύψος	555,8	571,9	405,6



Σχήμα 3.3.1 Μέσα μηνιαία ύψη βροχόπτωσης για την περίοδο 2000-2011



Σχήμα 3.3.1 Μέσα μηνιαία ύψη βροχόπτωσης για την τριετία 2009-2011

Από την αξιολόγηση των βροχομετρικών δεδομένων προκύπτει ότι το βροχερότερο έτος ήταν το 2010 με ετήσιο ύψος βροχής 571,9 mm με μέγιστη και ελάχιστη τιμή 194,4 mm και 0,2 mm τους μήνες Οκτώβριο και Αύγουστο αντίστοιχα. Το λιγότερο βροχερό έτος είναι το 2000 με ετήσιο ύψος βροχής 231,7 mm με μέγιστη και ελάχιστη τιμή τα 50,4 mm και τα 0,9 mm τους μήνες Φεβρουάριο και Αύγουστο αντίστοιχα. Επίσης σημαντικές ποσότητες νερού δέχτηκε η περιοχή κατά τους μήνες Απρίλιο, Μάιο, Σεπτέμβριο και Οκτώβριο κατά μέσο όρο καθ' όλη τη διάρκεια της περιόδου 2000-2011 ενώ ο μήνας Οκτώβριος ήταν ο βροχερότερος όλων. Από τα συγκριτικά στοιχεία η βροχερότερη τριετία ήταν από το 2009-2011.

3.4 Σχετική Υγρασία

Σχετική υγρασία ΣΥ είναι ο λόγος των υγρομετρικών παραμέτρων (e , r , q) προς τις τιμές τους που αντιστοιχούν στην κατάσταση κορεσμού (e_s , r_s , q_s) δηλαδή:

$$\Sigma Y = e / e_s = r / r_s = q / q_s$$

Η τιμή της σχετικής υγρασίας είναι πάντοτε αριθμός μικρότερος της μονάδας γι' αυτό στη πράξη εκφράζεται σε ποσοστά %. Έτσι οι τιμές της δείχνουν πόσο απέχει από την κατάσταση κορεσμού (κατάσταση ομίχλης) κάποια στιγμή η ατμόσφαιρα μέσα στην οποία γίνεται η μέτρηση. Π.χ υγρασία 80% σημαίνει ότι απέχουμε από την κατάσταση κορεσμού μόνο 20%.

Γενικότερα υπό σταθερή πίεση αέρα ισχύει ότι αυξανόμενης της θερμοκρασίας του αέρα ελαττώνεται η σχετική του υγρασία και αντιστρόφως. (Μακρογιάννης, Σαχσαμάνογλου 2004).

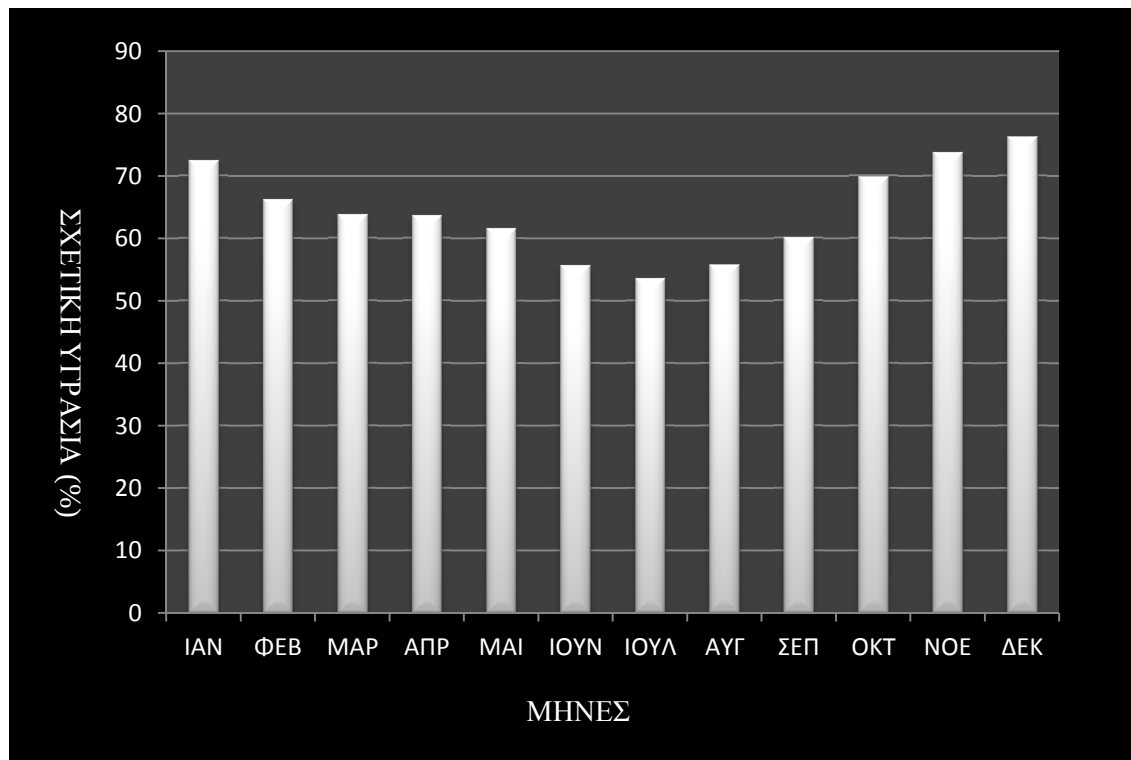
Για την συγκεκριμένη περιοχή παρουσιάζονται οι τιμές της σχετικής υγρασίας σε ποσοστά % σε μέση μηνιαία και ετήσια βάση καθώς και σε μέση μηνιαία ανά τριετία οι οποίες δεν παρουσιάζουν σημαντικές διακυμάνσεις και οι τιμές τους κυμαίνονται ως επί το πλείστον από 50 – 80%.

Πίνακας 3.4.1 Μέσες μηνιαίες και ετήσιες τιμές σχετικής υγρασίας (%) την περίοδο 2000-2011

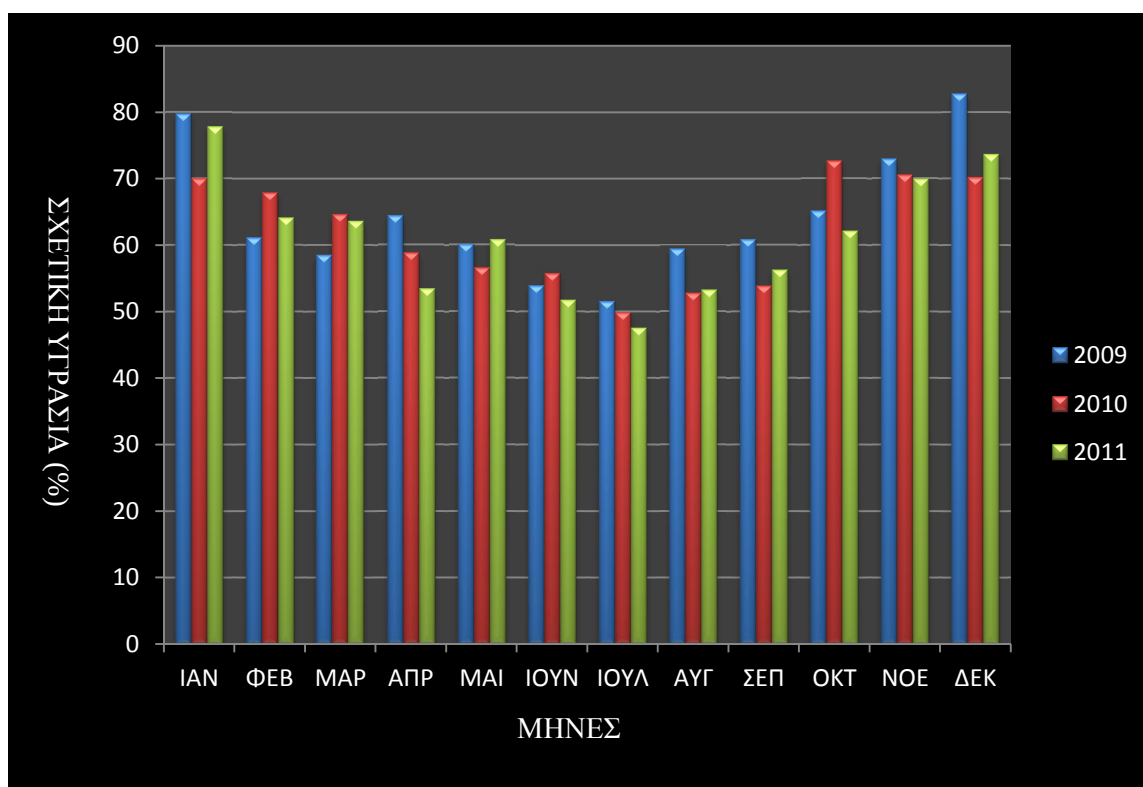
ΕΤΗ	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	Μέση τιμή
ΙΑΝ	62	82	78	75	71	66	67	66	75	80	70	78	72
ΦΕΒ	71	67	72	64	59	67	68	72	63	61	68	64	66
ΜΑΡ	67	68	64	62	67	69	58	64	59	58	65	64	64
ΑΠΡ	71	68	66	63	72	63	63	56	65	64	59	53	64
ΜΑΙ	66	68	60	68	64	70	53	59	53	60	57	61	62
ΙΟΥΝ	60	55	54	62	62	58	52	52	53	54	56	52	56
ΙΟΥΛ	59	54	55	57	55	64	51	50	50	52	50	48	54
ΑΥΓ	56	57	54	57	58	60	47	54	61	59	53	53	56
ΣΕΠ	55	58	70	62	67	68	54	57	59	61	54	56	60
ΟΚΤ	78	63	76	71	79	68	70	66	66	65	73	62	70
ΝΟΕ	80	70	84	77	71	81	65	72	72	73	71	70	74
ΔΕΚ	77	82	82	76	82	75	74	74	67	83	70	74	76
Μέση τιμή	67	66	68	66	67	67	60	62	62	64	62	61	

Πίνακας 3.4.2 Μέσες μηνιαίες τιμές σχετικής υγρασίας (%) την τριετία 2009-2011

ΕΤΗ	2009	2010	2011
ΙΑΝ	80	70	78
ΦΕΒ	61	68	64
ΜΑΡ	58	65	64
ΑΠΡ	64	59	53
ΜΑΙ	60	57	61
ΙΟΥΝ	54	56	52
ΙΟΥΛ	52	50	48
ΑΥΓ	59	53	53
ΣΕΠ	61	54	56
ΟΚΤ	65	73	62
ΝΟΕ	73	71	70
ΔΕΚ	83	70	74
Μέση τιμή	64	62	61



Σχήμα 3.4.1 Μέσες μηνιαίες τιμές σχετικής υγρασίας για την περίοδο 2000-2011



Σχήμα 3.4.1 Μέσες μηνιαίες τιμές σχετικής υγρασίας για την τριετία 2009-2011

4. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΝΕΡΟΥ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΑΣΠΡΟΒΑΛΤΑΣ-ΒΡΑΣΝΩΝ

4.1 Γενικά

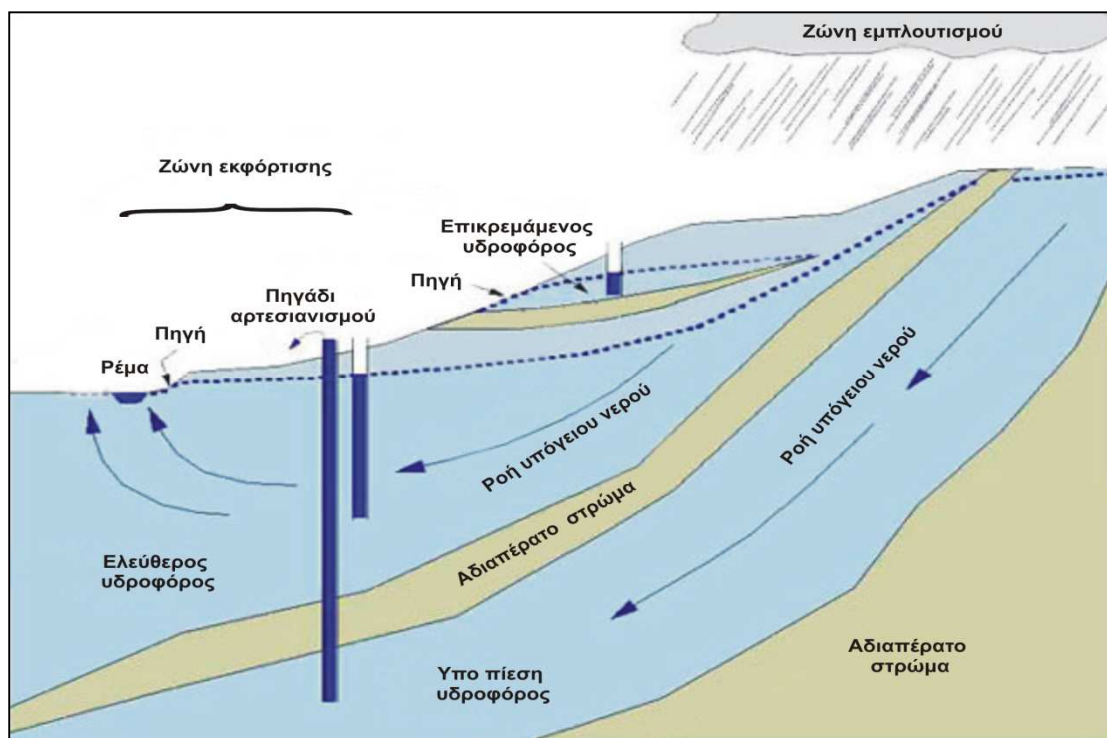
Τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα αποτελούν την κύρια πηγή τροφοδοσίας του υπογείου νερού. Το μετεωρικό νερό το οποίο πέφτει στην επιφάνεια του εδάφους, υπό κατάλληλες συνθήκες κατείσδυει δια μέσου του εδάφους και προστίθεται στο σύνολο νερού του υπάρχοντος υδροφορέα.

Οι παράγοντες που εξαρτάται η κατείσδυση είναι η ένταση των βροχοπτώσεων, η φύση του εδάφους και του υπεδάφους που συνδέεται με την περατότητα του, η κλίση του εδάφους, η βλάστηση, η θερμοκρασία και η υγρασία του εδάφους. Μεγάλης περατότητας σχηματισμοί ευνοούν την κατείσδυση του νερού ενώ επιφάνειες εδάφους με μεγάλη κλίση την αποτρέπουν. Επίσης οι υπόγειοι υδροφορείς μπορεί να εμπλουτιστούν σε νερό διά της διήθησης αυτού, το οποίο μπορεί να προέρχεται από την κοίτη ενός ποταμού ή γενικότερα ενός υδρογραφικού συστήματος (Σουλίου 1996).

Από τα παραπάνω γίνεται σαφές ότι το νερό κατά την κίνησή του, είτε επιφανειακή είτε υπόγεια, έρχεται σε επαφή με διάφορα πετρώματα τα οποία και αποσαθρώνει και εμπλουτίζεται με επιμέρους συστατικά. Η σύσταση του υπογείου νερού εξαρτάται επίσης από τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες (Χρήση λιπασμάτων, φυτοφαρμάκων κλπ), από την αποικοδόμηση οργανικής ύλης, αν έρχεται σε επαφή με θαλασσίνο νερό κ.α. Τα είδη και η ποσότητα των συστατικών που περιέχονται σε αυτό καθώς και η πολυτυπία τους δημιουργούν ορισμένες παράγωγες φυσικές και φυσικοχημικές ιδιότητες που το χαρακτηρίζουν.

Τα χαρακτηριστικά που καθορίζουν την ποιότητα του υπογείου νερού είναι:

- Τα φυσικά χαρακτηριστικά όπως το χρώμα, η οσμή, η θολότητα, η θερμοκρασία και το TDS.
- Τα χημικά χαρακτηριστικά όπως είναι τα κύρια ανιόντα (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} , NO_3^-) τα δευτερεύοντα ανιόντα (Al^{3+} , NH_4^+ , As^{3+} κ.α) καθώς και τα ολιγοστοιχεία και τα ιχνοστοιχεία.
- Διάφοροι δείκτες όπως Ηλεκτρική αγωγιμότητα, Ενεργός οξύτητα (Ph), Δυναμικό οξειδοαναγωγής (Eh), Σκληρότητα, δείκτης κορεσμού, αλκαλικότητα κ.α.
- Άλλα χαρακτηριστικά όπως θρεπτικά άλατα, οργανικές ουσίες, ραδιενέργεια (Βουδούρης 2009).



Σχήμα 4.1.1 Κίνηση υπογείου νερού σε υπό πίεση υδροφορείς (Βουδούρης 2009).

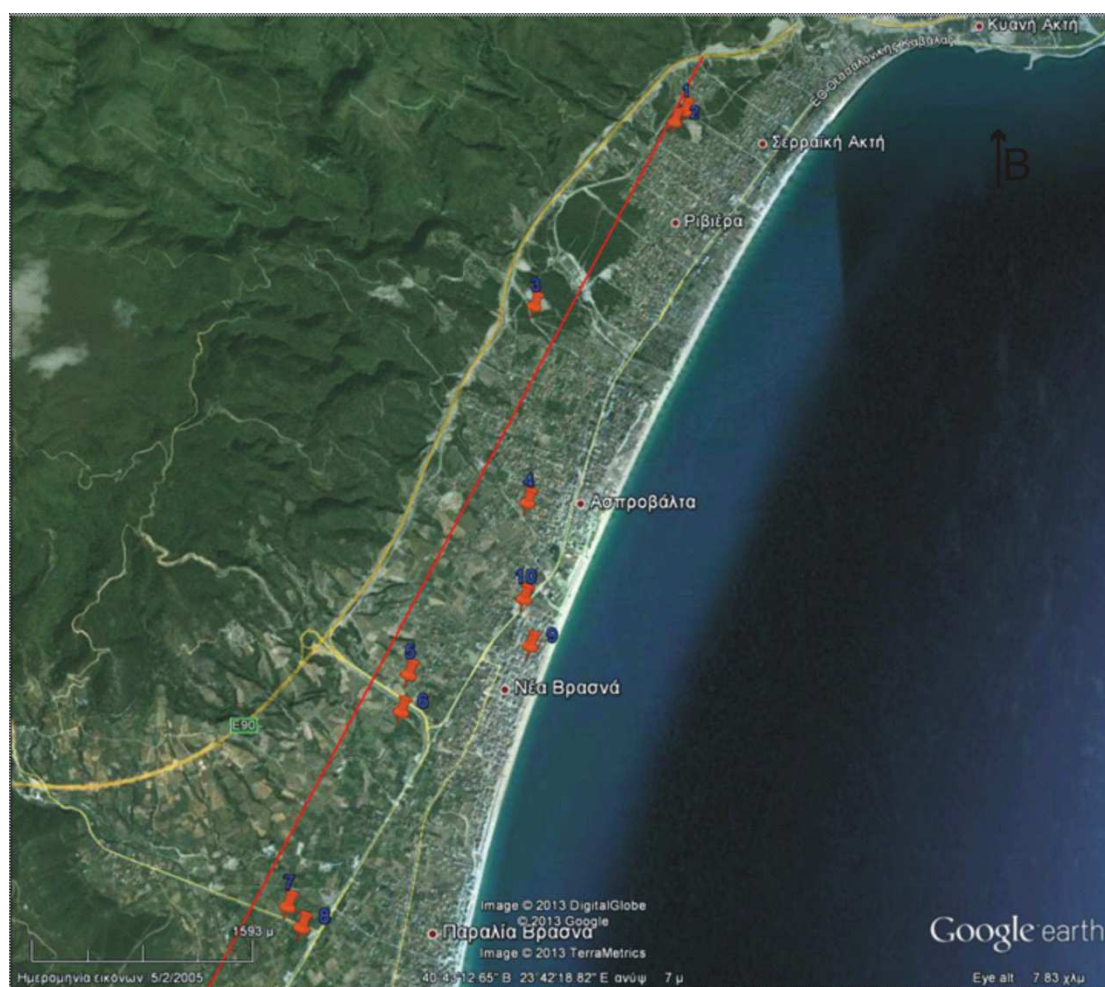
4.2 Δειγματοληψία – Χημικές αναλύσεις

Πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία την περίοδο Μάρτιο-Απρίλιο του 2012 σε δέκα γεωτρήσεις στην περιοχή Ασπροβάλτας – Ν.Βρασνών εκ των οποίων οι οχτώ ήταν δημόσιες και οι δύο ιδιωτικές. Η επιλογή των γεωτρήσεων έγινε με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι ομοιόμορφα κατανεμημένες σε όλη την έκταση τόσο στο πεδινό τμήμα όσο και κοντά σε οικισμούς (Σχήμα 4.2.1). Όλες οι γεωτρήσεις βρίσκονται επάνω στους ιζηματογενείς σχηματισμούς.

Τα δείγματα τοποθετηθήκαν σε φιάλες ενός λίτρου από πολυαιθυλένιο αφού προηγήθηκε ο καθαρισμός τους από το ίδιο το νερό με το οποίο έγινε η ανάλυση τους. Ακλούθησε η μεταφορά τους στο εργαστήριο και έγινε η χημική ανάλυση ως προς τα κυρία ιόντα με τα παρακάτω αποτελέσματα :

Πίνακας 4.2.1 Χημικές αναλύσεις Μάρτιος - Απρίλιος 2012, Απροβάλτα-Ν.Βρασνά

ΔΕΙΓΜΑ	Αγωγιμότητα	TDS	PH	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^{+}	Na^{+}	HCO_3^{-}	SO_4^{2-}	NO_3^{-}	Cl^{-}
1	791	506	7,35	48	48,8	1,1	7,4	278	38	17,6	34
2	748	479	7,96	40,4	58,6	1,2	4,6	322	25	14,96	14,9
3	617	395	7,63	32,8	48,8	0,9	4,2	289	21	14,52	16
4	651	417	7,72	44	51,3	1,6	6,5	270	34	15,95	27
5	713	456	7,84	48	51,3	0,3	1,9	302	30	9,68	24,4
6	564	360	8,14	26,4	57,6	0,5	1	262	26	8,8	19,4
7	545	349	7,43	23,2	39,6	1,5	9,6	184	33	22	21,6
8	428	274	8,33	38	29,3	0,8	4,6	151	46	12,76	23,2
9	745	477	7,2	64,4	34,2	2,4	12	239	61	23,76	21,3
10	1125	761	7,63	98	65	6,9	19,2	362	100	5,72	110



Σχήμα 4.2.1 Θέσεις γεωτρήσεων στην εξεταζόμενη περιοχή (Πηγή χάρτη Google earth).

4.3 Φυσικοχημικές παράμετροι

4.3.1 Ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα – Σύνολο διαλυμένων στερεών (TDS)

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα συνδέεται άμεσα με την ποσότητα και τη φύση των διαλυμένων ηλεκτρολυτών στο νερό. Η αύξηση της ποσότητας των διαλυμένων αλάτων καθώς και η αύξηση της θερμοκρασίας οδηγούν στην αύξηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC). Γι' αυτό η μέτρηση της πρέπει να γίνεται σε συγκεκριμένη θερμοκρασία (25°C). Οι συνήθεις τιμές των υπόγειων νερών είναι από 140 $\mu\text{S/cm}$ μέχρι 1100 $\mu\text{S/cm}$. Η αυξημένη αγωγιμότητα υποδηλώνει αυξημένες ποσότητες αλάτων (Βουδούρης 2009). Ο παρακάτω πίνακας δείχνει την κατάταξη του υπογείου νερού σε συνάρτηση με την αγωγιμότητα.

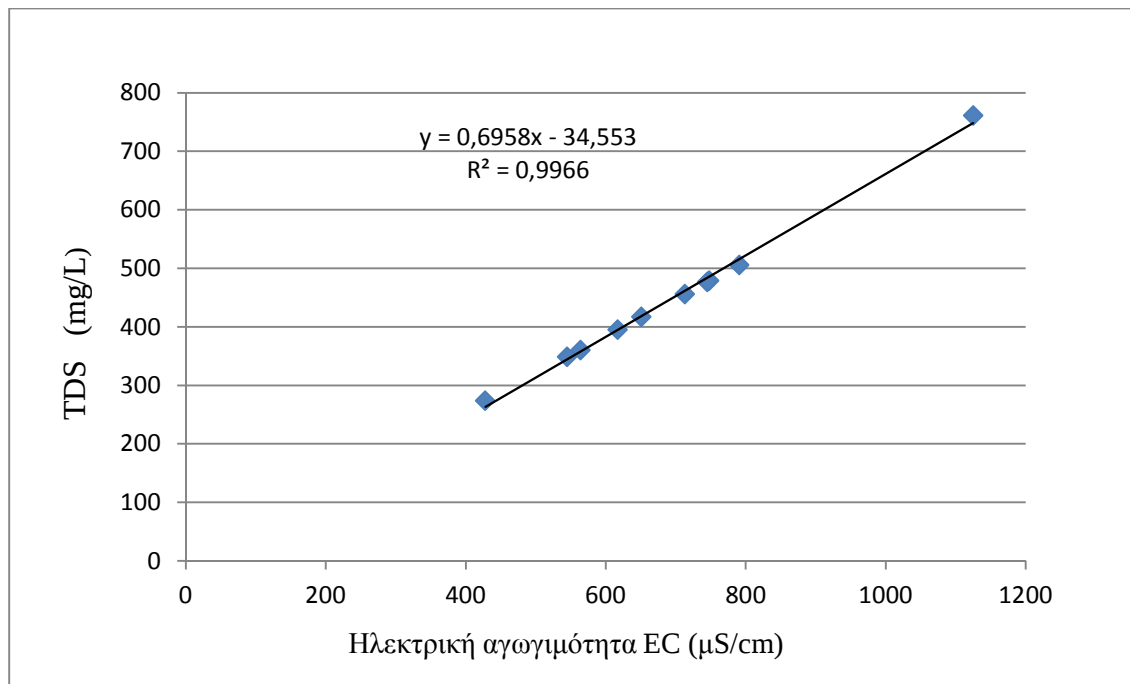
Πίνακας 4.3.1.1 Κατάταξη υπογείου νερού με βάση την ηλεκτρική αγωγιμότητα (Σούλιος 2006).

Υπόγειο νερό	Ηλεκτρική Αγωγιμότητα EC($\mu\text{S/cm}$)
Ελαφριά νερά	≤ 400
Βαριά νερά	> 900
Υφάλμυρα	2000-30000
Υπεράλμυρα	> 100.000

Μια παράμετρος που συνδέεται με την ηλεκτρική αγωγιμότητα είναι το σύνολο των διαλυμένων αλάτων (TDS). Η παρουσία αλάτων σχετίζεται με το είδος των πετρωμάτων στα οποία κινείται, τον χρόνο παραμονής και την ταχύτητα ροής. Το TDS εκφράζει την συνολική συγκέντρωση των διαλυμένων αλάτων στο νερό χωρίς να περιλαμβάνονται τα αιωρούμενα ιζήματα, τα κolloειδή και τα διαλυμένα αέρια. Η μονάδα μέτρησης του είναι mg/l και αποτελεί έναν δείκτη μεταλλικότητας και συνδέεται με την ηλεκτρική αγωγιμότητα με τις σχέσεις:

$T.D.S(ppm) \approx A \times (EC) (\mu\text{S/cm})$ και $T.D.S(mg/L) \approx 0.01 (EC) (\mu\text{S/cm})$ όπου $A=0.65$ (Βουδούρης 2009).

Στο σχήμα 4.3.1.1 παρουσιάζεται ο βαθμός συσχέτισης μεταξύ ηλεκτρικής αγωγιμότητας και διαλυμένων στερεών (TDS) από τα δείγματα νερού των δέκα γεωτρήσεων στην περιοχή Ασπροβάλλτας – Ν.Βρασνών.



Σχήμα 4.3.1.1 Διάγραμμα συσχέτισης TDS (mg/l) και ηλεκτρικής αγωγιμότητας (μS/cm).

Ο συντελεστής συσχέτισης (A) παίρνει τιμές από 0.54-0.96 ενώ για την περιοχή Ασπροβάλας–Ν.Βρασών έχει τιμή $A=0.6401$. Παρατηρούμε μέσα από το διάγραμμα του σχήματος 4.3.1.1 ότι TDS και ηλεκτρική αγωγιμότητα παρουσιάζουν υψηλό βαθμό συσχέτισης όπου $R^2=0.9966$, και η σχέση που συνδέει την αγωγιμότητα με το TDS για την εξεταζόμενη περιοχή είναι: **T.D.S(mg/L) = 0.6958 x (EC) (μS/cm)**

Ανάλογα με τις τιμές του T.D.S μπορεί να χαρακτηριστεί το είδος του νερού ως προς την αλμυρότητα του με βάση την ταξινόμηση κατά Davis-De Wiest (1966) που δείχνει ο παρακάτω πίνακας:

Πίνακας 4.3.1.2 Ταξινόμηση νερού με βάση το TDS (Davis-De Wiest 1966).

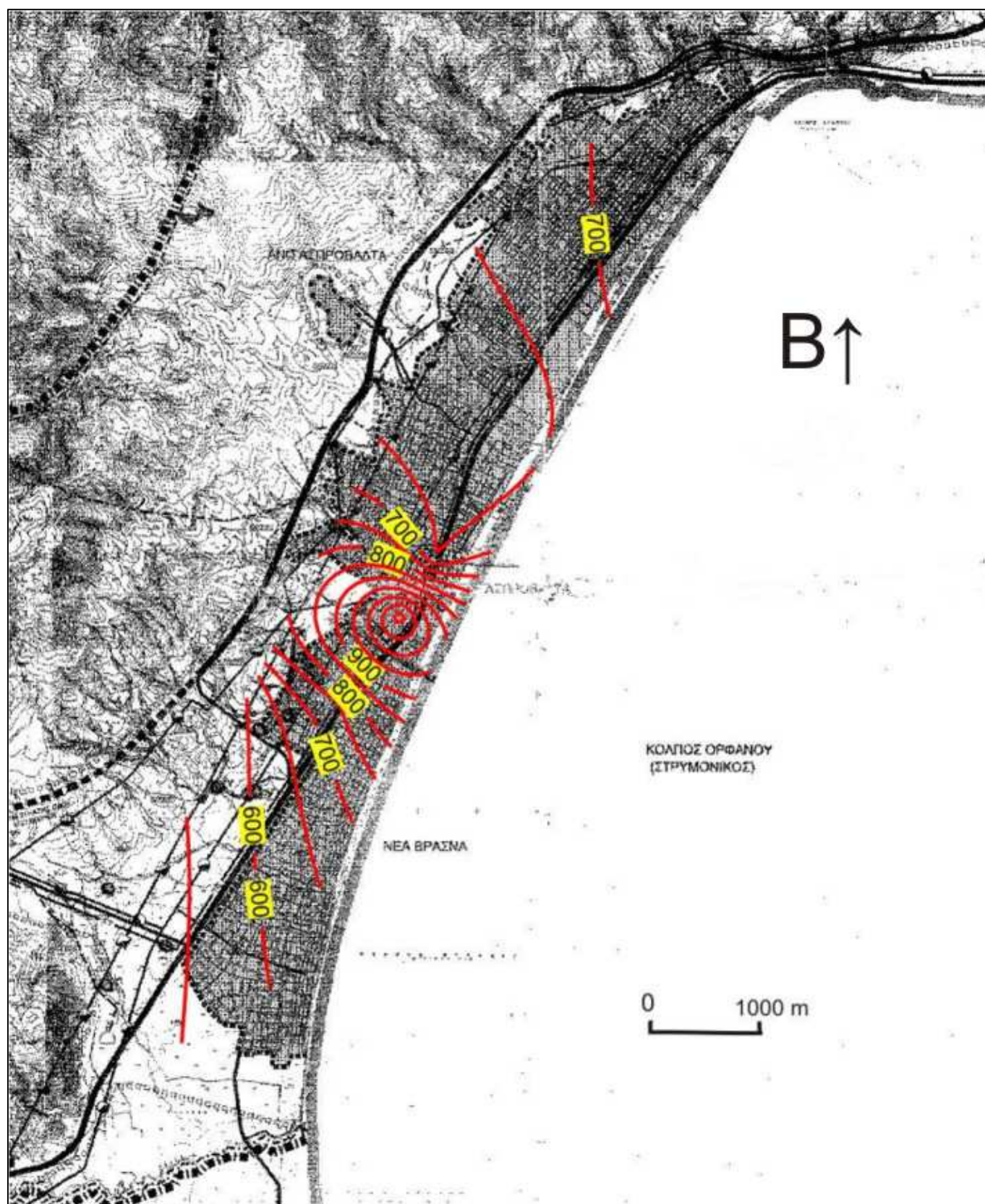
Γλυκό νερό (fresh)	TDS 0-1000 mg/l
Υφάλμυρο (brackish)	TDS 1000-10000 mg/l
Αλμυρό (salt)	TDS 1000 -10000 mg/l
Υπεράλμυρο (brind)	TDS>100000 mg/l

Για την εξεταζόμενη περιοχή όπως φαίνεται και από τον πίνακα 4.1 οι τιμές των συνολικών διαλυμένων στερεών (T.D.S) λαμβάνουν τιμές από 274-761 mg/l. Με βάση και την ταξινόμηση κατά Davis-De Wiest το νερό της περιοχής μπορεί να θεωρηθεί ως γλυκό (fresh).

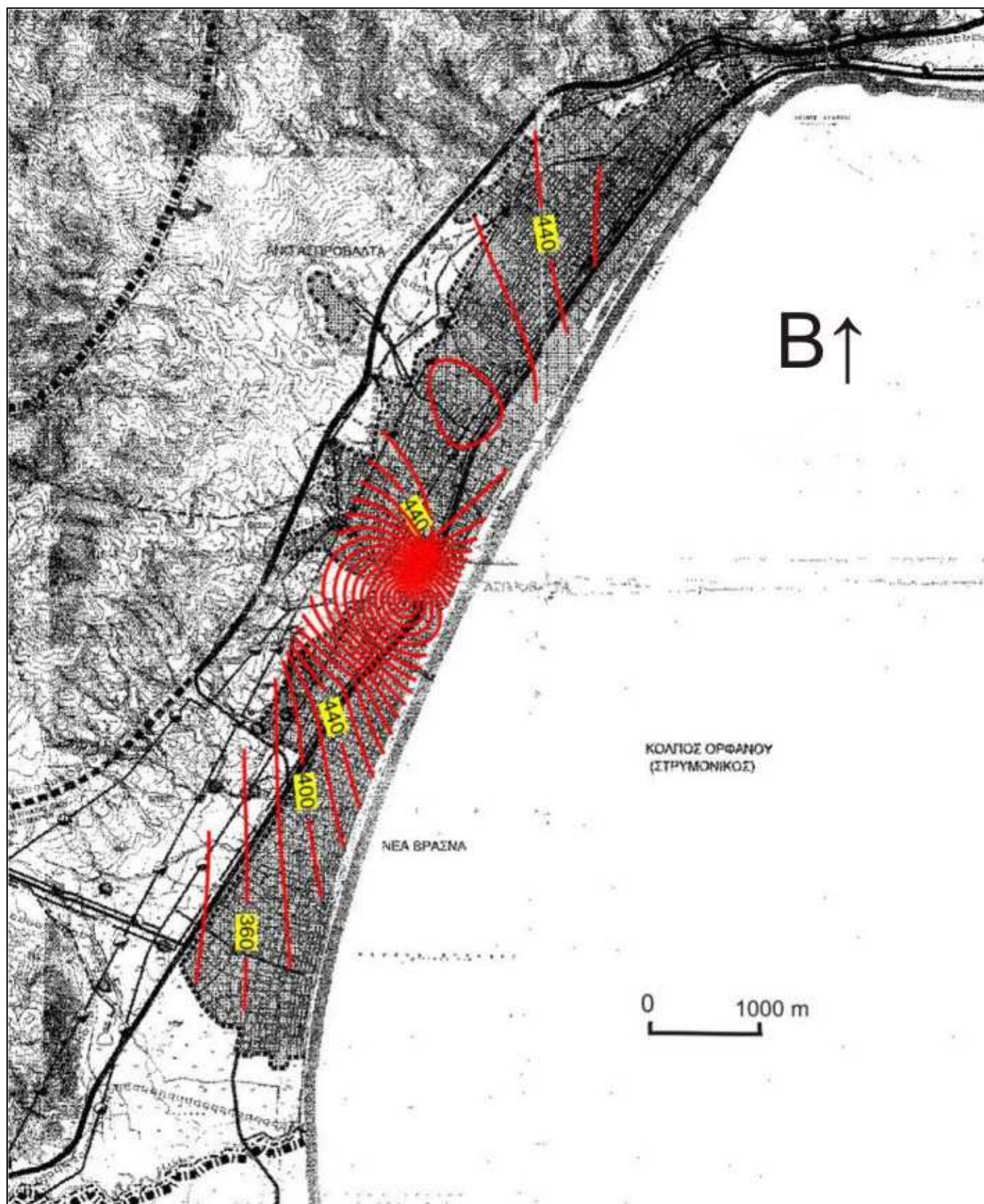
Όσον αφορά την ηλεκτρική αγωγιμότητα, αυτή κυμαίνεται σε τιμές από 428-1125 ($\mu\text{S}/\text{cm}$) και επομένως τα νερά της περιοχής μπορούν να χαρακτηριστούν ως επι το πλείστον ελαφρά. Τα σχήματα 4.3.1.2 και 4.3.1.3 απεικονίζουν την χωρική κατανομή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και του T.D.S αντίστοιχα.

Όσον αφορά την ηλεκτρική αγωγιμότητα όπως προαναφέρθηκε οι τιμές της κυμαίνονται από 428-1125 ($\mu\text{S}/\text{cm}$). Οι χαμηλότερες τιμές αυτής παρατηρήθηκαν στο ΝΔ/κό τμήμα της περιοχής όπου βρίσκονται οι γεωτρήσεις 7 και 8. Προς το κεντρικό τμήμα οι τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας αυξάνουν και στην περιοχή μεταξύ Ασπροβάλλτας και Βρασνών όπου βρίσκεται η 10^η γεώτρηση η ηλεκτρική αγωγιμότητα εμφανίζει την μέγιστη τιμή της (1125 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Στο ΒΑ/κό τμήμα της περιοχής οι τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας ελαττώνονται και είναι της τάξης των 651-791 ($\mu\text{S}/\text{cm}$). Η 10^η γεώτρηση όπου βρίσκεται στο κεντρικό τμήμα της περιοχής ανήκει σε ένα φυτώριο. Συνεπώς η αυξημένη αγωγιμότητα θα μπορούσε να συνδεθεί με αυξημένες ποσότητες αλάτων που εισέρχονται στον υδροφορέα εξαιτίας της χρήσης φυτοφαρμάκων κ.λ.π. Επίσης τα νερά που συγκεντρώνονται στο κεντρικό τμήμα πιθανόν να έχουν αυξημένο χρόνο παραμονής στο υπέδαφος σε σχέση με τα νερά που συγκεντρώνονται στην υπόλοιπη περιοχή με αποτέλεσμα να εμφανίζουν αυξημένες ποσότητες αλάτων και άρα αυξημένη ηλεκτρική αγωγιμότητα. Γενικότερα το σύνολο των διαλυμένων αλάτων στα υπόγεια νερά αυξάνεται με το χρόνο παραμονής του στο υπέδαφος (Σούλιος 2001). Οι υπόλοιπες και χαμηλότερες τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας στην περιοχή πιθανότατα να οφείλονται στην διαφορετική συγκέντρωση αλάτων ανά περιοχή εξαιτίας της έκπλυσης των πετρωμάτων από το νερό και τον εμπλουτισμό του σε άλατα και τον μικρότερο χρόνο παραμονής του στο υπέδαφος.

Όσον αφορά το TDS στους ιζηματογενείς σχηματισμούς εκτός από τις περιπτώσεις των υφάλμυρων υδροφορέων, λαμβάνει τιμές έως 1200 mg/l (Κακλής 2011). Στην εξεταζόμενη περιοχή όπου όλες οι γεωτρήσεις βρίσκονται πάνω σε ιζηματογενείς σχηματισμούς οι τιμές του TDS κυμαίνονται από 274-761 mg/l και είναι ανάλογες της ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Οι χαμηλότερες τιμές εμφανίζονται στο ΝΔ/κό τμήμα όπου βρίσκονται οι γεωτρήσεις 7 και 8 και είναι της τάξης των 274-349 mg/l. Προς το κεντρικό τμήμα οι τιμές του TDS αυξάνουν με μέγιστη τιμή τα 761 mg/l που παρουσιάζεται κοντά στην περιοχή της Ασπροβάλλτας όπου βρίσκεται η 10^η γεώτρηση και τέλος προς το ΒΑ/κό τμήμα της περιοχής οι τιμές του TDS ελαττώνονται και είναι της τάξης των 395-506 mg/l. Οι διακυμάνσεις αυτές του TDS σχετίζονται με τις διακυμάνσεις που αφορούν την ηλεκτρική αγωγιμότητα.



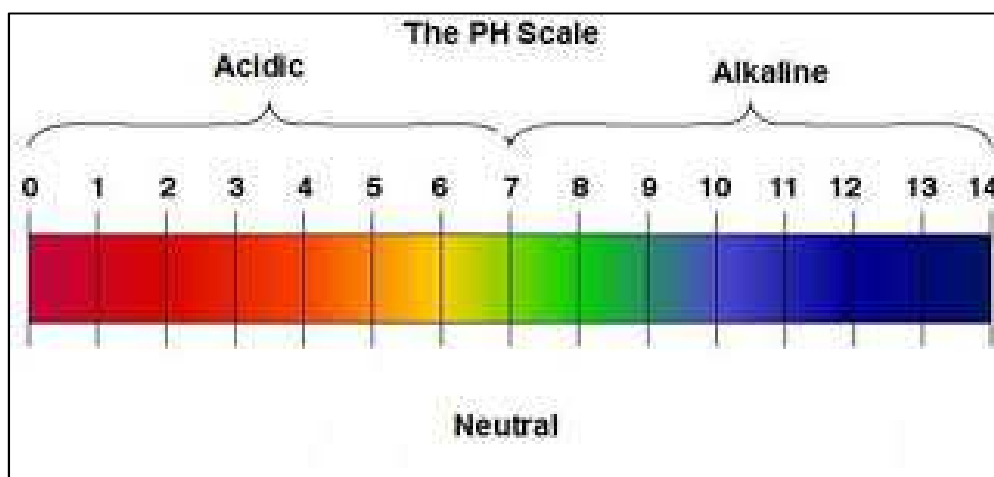
Σχήμα 4.3.1.2 Χωρική κατανομή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας(EC) Μάρτιος-Απρίλιος 2012



Σχήμα 4.3.1.3 Χωρική κατανομή του T.D.S Μάρτιος-Απρίλιος 2012

4.3.2 Ενεργός οξύτητα (pH)

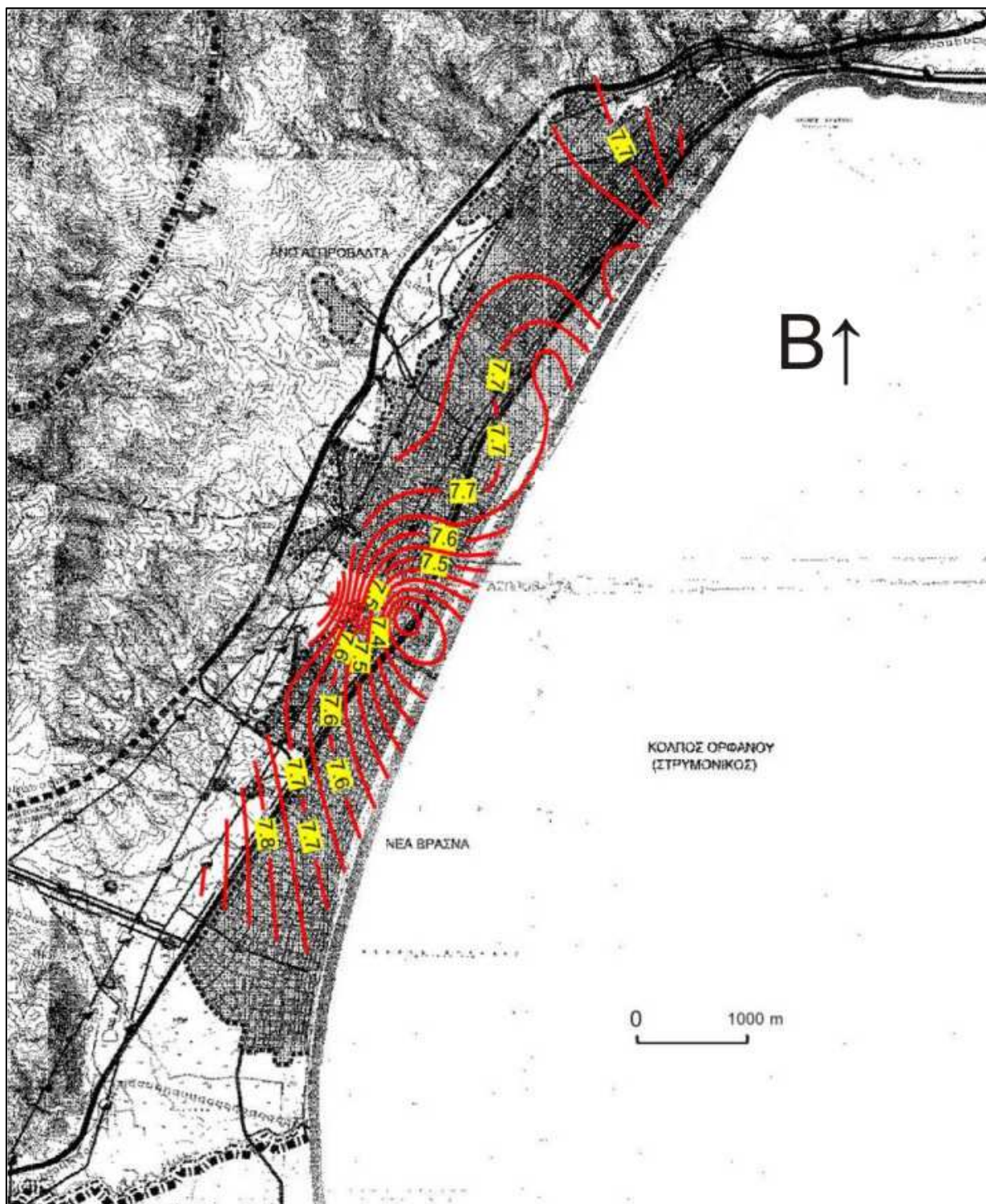
Ως ενεργός οξύτητα θεωρείται η συγκέντρωση των ιόντων H_3O που περιέχεται στο διάλυμα και εκφράζεται με το pH. Δηλαδή με τον αρνητικό δεκαδικό λογάριθμο της συγκέντρωσης των ιόντων H_3O . Όταν η τιμή του pH είναι ισούται με 7 το φυσικό νερό ως διάλυμα χαρακτηρίζεται ουδέτερο, όταν $pH > 7$ το φυσικό νερό μπορεί να θεωρηθεί αλκαλικό και τέλος όταν η τιμή του $pH < 7$ θεωρείται όξινο. Συγκεκριμένα είδη πετρωμάτων μπορεί να φιλοξενούν νερά με συγκεκριμένες τιμές pH όπως για παράδειγμα οι οφειόλιθοι υπό φυσικές συνθήκες περιέχουν αλκαλικά νερά ενώ οι αλλουβιακές αποθέσεις και οι ασβεστόλιθοι περιέχουν κυρίως όξινα νερά (Σούλιος 2006). Γενικώς το pH καθορίζει την υδροχημεία των υπόγειων νερών. Όσο η υδάτινη μάζα ενηλικιώνεται τόσο το pH μειώνεται (Βουδούρης 2009).



Σχήμα 4.4 Κλίμακα pH (ιστότοπος www.abundanthealthcenter.com)

Από τις μετρήσεις που έγιναν στο εργαστήριο για την περιοχή Ασπροβάλλτας – Ν.Βρασνών η τιμή του pH κυμάνθηκε από 7,2 έως 8,33. Επομένως το υπόγειο νερό μπορεί να χαρακτηριστεί υδροχημικά ως ελαφρά αλκαλικό. Στο σχήμα 4.3.2.1 παρουσιάζεται η χωρική κατανομή των τιμών του pH στην παραπάνω περιοχή. Σύμφωνα με αυτό παρατηρείται μια ομοιόμορφη κατανομή των τιμών του pH στην περιοχή χωρίς μεγάλες διακυμάνσεις. Η μέγιστη τιμή του παρουσιάζεται στο ΝΔ/κό τμήμα της περιοχής (8,33) όπου εκεί βρίσκεται η γεώτρηση 8 ενώ η ελάχιστη τιμή παρουσιάζεται στο κεντρικό τμήμα πιο κοντά στη θάλασσα στην γεώτρηση 9. Γενικότερα η διακύμανση του pH παρουσιάζει μια μικρή μείωση από το Β τμήμα της περιοχής προς το νότιο και κεντρικό τμήμα. Οι τιμές στο Β τμήμα που είναι ελαφρά αλκαλικές πιθανώς να οφείλονται στην ύπαρξη νερού το οποίο έχει ξεπλύνει μεταμορφωμένα πετρώματα των Κερδυλλίων (γνεύσιοι) που πιθανώς να προέρχονται από βασικά πυριγενή πετρώματα και να έχει εμπλουτιστεί με στοιχεία που το καθιστούν ελαφρά αλκαλικό.

Το νερό αυτό εισέρχεται στους υπόγειους υδροφορείς της εξεταζόμενης περιοχής μέσω του υδρογραφικού δικτύου. Στα Ν/τερα όμως τμήματα προς τον οικισμό όπως προαναφέρθηκε παρατηρείται μείωση των τιμών του pH. Η μείωση αυτή πιθανότατα να οφείλεται από την οξείδωση της αμμωνίας που προέρχεται από τη χρήση της κοπριάς σαν λίπασμα καθώς και από την οξείδωση των πυριτών (Βουδούρης 2009).



Σχήμα 4.3.2.1 Χωρική κατανομή του pH Μάρτιος – Απρίλιος 2012

5. ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΝΕΡΟΥ

5.1 Κατιόντα

5.1.1 Ιόντα ασβεστίου (Ca^{2+})

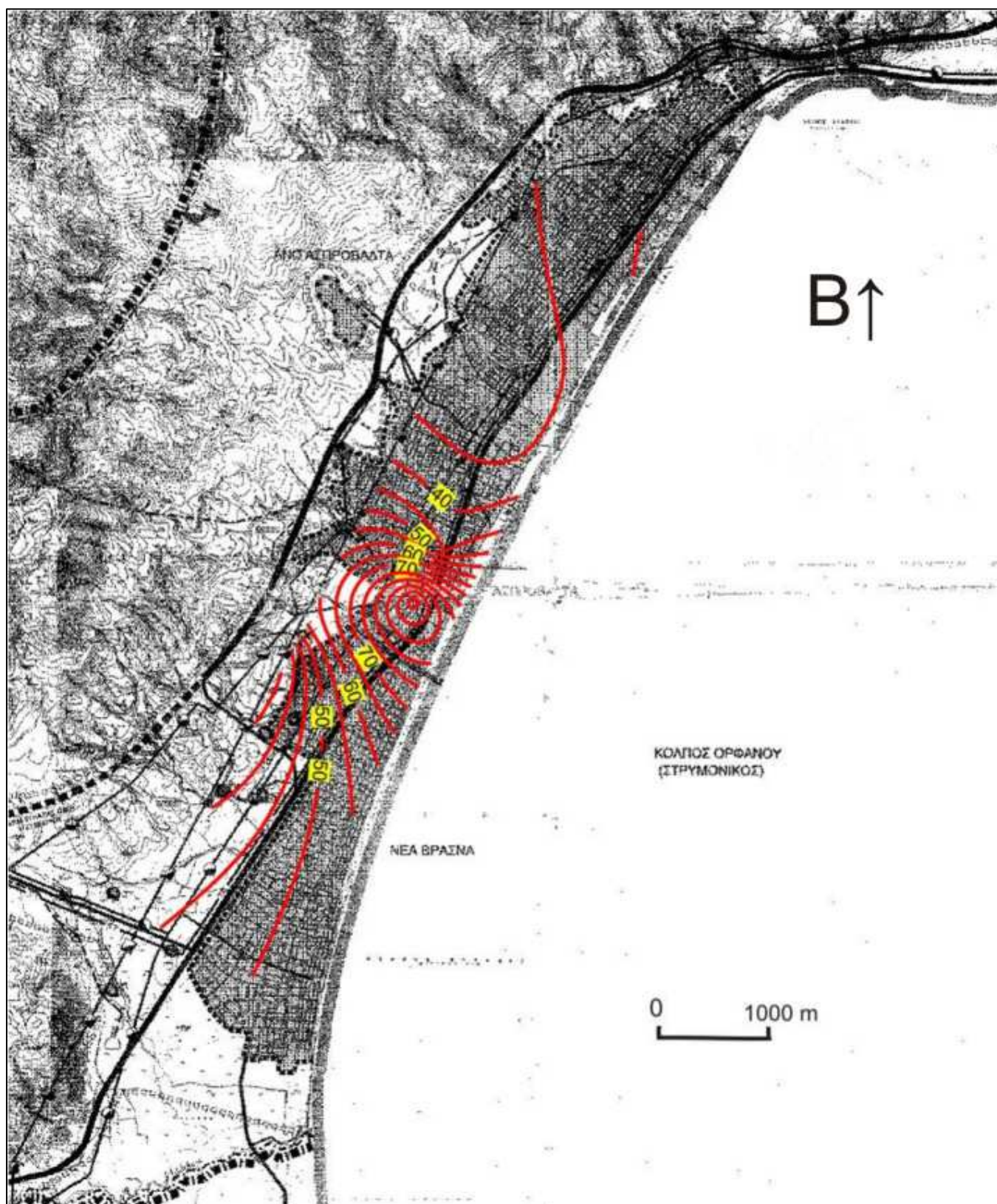
Η περιεκτικότητα του νερού σε ιόντα ασβεστίου εξαρτάται από τα πετρώματα που το περιβάλλουν. Κατά τη διάρκεια κατείσδυσης του νερού στα βαθύτερα στρώματα και κατά την παραμονή του στους υπόγειους υδροφορείς εμπλουτίζεται μέσω της έκπλυσης σε ιόντα ασβεστίου. Πηγές προέλευσης ασβεστίου είναι κυρίως τα ανθρακικά ιζηματογενή πετρώματα και τα μάρμαρα λόγω της έντονης παρουσίας ασβεστίτη, δολομίτη, αραγωνίτη. Άλλες πηγές προέλευσης μπορεί να είναι οι ασβεστονατριούχοι αστρίοι, η γύψος, ο φθορίτης, οι πυρόξενοι, οι αμφίβολοι καθώς και ορυκτά της ομάδας του επιδότου (Βουδούρης 2009).

Συνήθως οι τιμές συγκέντρωσης των ιόντων ασβεστίου κυμαίνονται από 10-100 mg/l στα υπόγεια νερά και σε σπάνιες περιπτώσεις ξεπερνά τα 300 mg/l. Η συγκέντρωση ιόντων ασβεστίου εξαρτάται από την τιμή του pH, από την παρουσία διαφόρων ασβεστοαλκαλιούχων ορυκτών, καθώς και από τις διεργασίες ιοντοανταλλαγής, καθίζησης και διάλυσης (Κακλής 2011).

Πίνακας 5.1.1.1 Συγκεντρώσεις Ασβεστίου την περίοδο Μάρτιος - Απρίλιος 2012.

Γεώτρηση	Ca^{2+} (mg/l)
1	48
2	40,4
3	32,8
4	44
5	48
6	26,4
7	23,2
8	38
9	64,4
10	98

Στον πίνακα και στο σχήμα 5.1.1.1 παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις των ιόντων ασβεστίου και η χωρική κατανομή αυτών στην εξεταζόμενη περιοχή.



Σχήμα 5.1.1.1 Χωρική κατανομή ιόντων ασβεστίου (Ca^{2+}) Μάρτιος - Απρίλιος 2012

Από τον πίνακα και το σχήμα 5.1.1.1 φαίνεται πως οι συγκεντρώσεις των ιόντων ασβεστίου της εξεταζόμενης περιοχής κυμαίνονται από 23-98 mg/l με τις μεγαλύτερες τιμές να εμφανίζονται στο κεντρικό τμήμα της περιοχής στο οποίο βρίσκονται οι γεωτρήσεις 9 και 10 με τιμές συγκέντρωσης 64,4 mg/l και 98 mg/lit αντίστοιχα. Προς το ΒΑ/κό τμήμα όπου βρίσκονται οι γεωτρήσεις 1, 2, 3 οι τιμές συγκέντρωσης ελαττώνονται πάνω από το 50% σε σχέση με τη μέγιστη συγκέντρωση των 98 mg/l με τις τιμές σε εκείνη την περιοχή να κυμαίνονται από 32,8-48 mg/l. Στο ΝΔ/κό τμήμα κοντά στην περιοχή των Βρασνών παρατηρείται επίσης μείωση των συγκεντρώσεων οι οποίες κυμαίνονται από 23,2-48 mg/l. Μια πιθανή αιτία για αυτή την μεταβολή είναι το ότι τα νερά που συγκεντρώνονται στο κεντρικό τμήμα της περιοχής διαμέσου της υπόγειας ή της επιφανειακής κυκλοφορίας έχουν κινηθεί για μεγαλύτερο χρόνο μέσα σε ανθρακικούς σχηματισμούς όπως μάρμαρα τα οποία βρίσκονται Β/τερα της περιοχής έρευνας μέσα στη σειρά Κερδυλλίων και να έχουν εμπλουτιστεί περισσότερο σε ιόντα Ca^{2+} . Στα υπόλοιπα τμήματα που δεν παρουσιάζονται μεγάλες διακυμάνσεις στις συγκεντρώσεις πιθανή αιτία είναι ο μικρός χρόνος παραμονής του νερού μέσα στα μάρμαρα, το οποίο δεν προλαβαίνει να εμπλουτιστεί με μεγάλες περιεκτικότητες σε ιόντα ασβεστίου (Κακλής 2011).

5.1.2 Ιόντα Μαγνησίου (Mg^{2+})

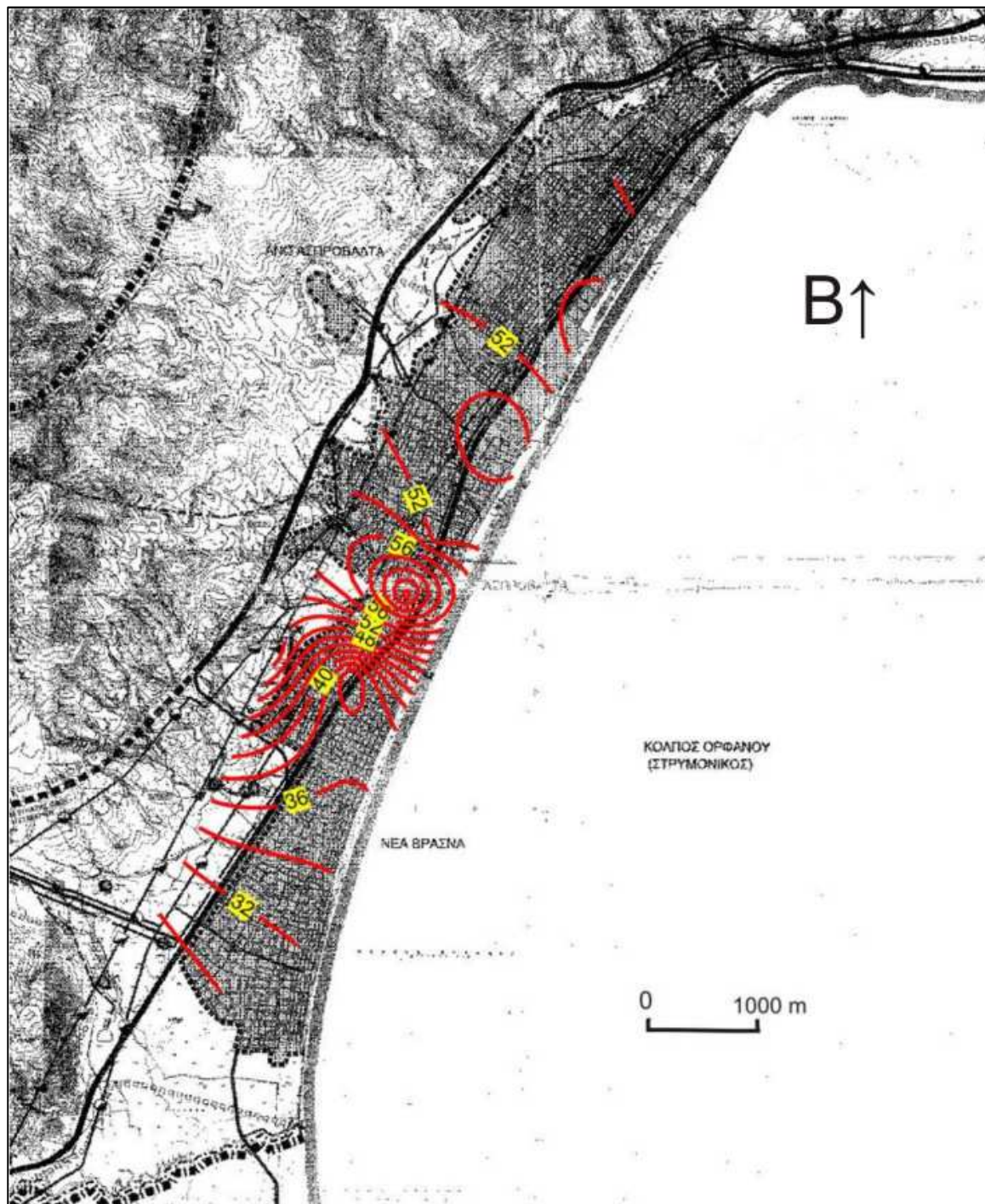
Το μαγνήσιο απαντάται στον ολιβίνη, στον μαγνησίτη και στον δολομίτη. Μπορεί επίσης να συνδέεται με τη διάλυση αργιλοπυριτικών ορυκτών όπως βιοτίτη και χλωρίτη στα μεταμορφωμένα πετρώματα, όπου βρίσκεται προσροφημένο στο πλέγμα τους. Στα ανθρακικά πετρώματα είναι περισσότερο άφθονο όταν περιέχουν δολομίτη και μαγνησίτη (Βουδούρης 2009). Οι τιμές συγκέντρωσης ιόντων μαγνησίου στο υπόγειο νερό είναι συνήθως μικρότερες των 50 mg/l. Στον πίνακα και στο σχήμα 5.1.2.1 παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις ιόντων μαγνησίου ανά γεώτρηση και η χωρική τους κατανομή στην εξεταζόμενη περιοχή.

Πίνακας 5.1.2.1 Συγκεντρώσεις ιόντων μαγνησίου την περίοδο Μάρτιος-Απρίλιος 2012

Γεώτρηση	Mg^{2+} (mg/l)
1	48,8
2	58,6
3	48,8
4	51,3
5	51,3
6	57,6
7	39,6
8	29,3
9	34,2
10	65

Οι συγκεντρώσεις ιόντων μαγνησίου κυμαίνονται από 29,3-65 mg/l οι οποίες είναι ιδιαίτερα υψηλές και αρκετές ξεπερνούν το συνηθισμένο όριο των 50 mg/lit στους υπόγειους υδροφορείς. Από την χωρική κατανομή αυτών παρατηρείται ότι οι συγκεντρώσεις είναι αυξημένες στο ΒΑ/κο και στο κεντρικό τμήμα της περιοχής όπου βρίσκονται κατανεμημένες οι γεωτρήσεις 1,2,3,4,5,6 και 10 με τιμές από 48,8-65 mg/l και μέγιστη αυτήν της 10^{ης} γεώτρησης. Στο ΝΔ/κο τμήμα προς την περιοχή των Βρασνών και προς το κεντρικό πιο κοντά όμως στην ακτογραμμή όπου βρίσκονται οι γεωτρήσεις 7,8 και 9 παρουσιάζεται μια ελάττωση στις τιμές συγκέντρωσης των ιόντων μαγνησίου οι οποίες κυμαίνονται από 29,3-39,6 mg/l. Οι αυξημένες τιμές πολύ πιθανόν να οφείλονται στην παρουσία των βιοτιτικών γνευσίων βόρεια της εξεταζόμενης περιοχής στο όρος Κερδύλλιο. Το νερό που διέρχεται μέσα από αυτούς τους σχηματισμούς είτε επιφανειακά είτε υπόγεια προκαλεί τη διάλυση του βιοτίτη ο οποίος περιέχει στο πλέγμα του μαγνήσιο και έτσι το νερό εμπλουτίζεται με αυτό. Στη συνέχεια δια μέσου υπόγειας η επιφανειακής ροής συγκεντρώνεται στους ιζηματογενείς υδροφόρους του πεδινού-παράκτιου τμήματος.

Οι διαφορές στις συγκεντρώσεις των ιόντων στο ΝΔ/κο τμήμα από το ΒΑ/κο συνδέονται με τον χρόνο διαδρομής του νερού μέσα στους βιοτιτικούς γνεύσιους, το μήκος της διαδρομής και την ταχύτητα ροής του (Σούλιος 2006). Συνεπώς οι μεγαλύτερες τιμές των συγκεντρώσεων σχετίζονται με μεγάλους χρόνους παραμονής του νερού μέσα στους γνεύσιους ενώ οι μικρότερες τιμές με μικρότερο χρόνο.



Σχήμα 5.1.2.1 Χωρική κατανομή ιόντων μαγνησίου (Mg^{2+}) Μάρτιος – Απρίλιος

5.1.3 Ιόντα Νατρίου (Na^+)

Τα ιόντα νατρίου συνδέουν την παρουσία τους με τους άστριους και συγκεκριμένα με τον αλβίτη. Το νάτριο απαντάται επίσης στους νατριούχους αμφιβόλους (γλαυκοφανή) και στον αλίτη. Η παρουσία του σχετίζεται με την διείσδυση της θάλασσας σε παράκτιους υδροφορείς καθώς επίσης και με αερομεταφερόμενα σταγονίδια από τη θάλασσα. Το ενδεικτικό επίπεδο συγκέντρωσης του νατρίου στα υπόγεια νερά είναι τα 20 mg/lit ενώ το επίπεδο συγκέντρωσης νατρίου στο θαλασσινό νερό ανέρχεται στα 10.000 mg/l. (Βουδούρης 2009). Γενικότερα υψηλές συγκεντρώσεις του Na οφείλονται σε μεγάλο χρονικό διάστημα παραμονής του υπογείου νερού στον υδροφορέα, καθώς επίσης και στην συνδυασμένη δράση της ιοντανταλλαγής και της διάλυσης του ασβεστίτη του δολομίτη και των αργιλικών ορυκτών (Κακλής 2011).

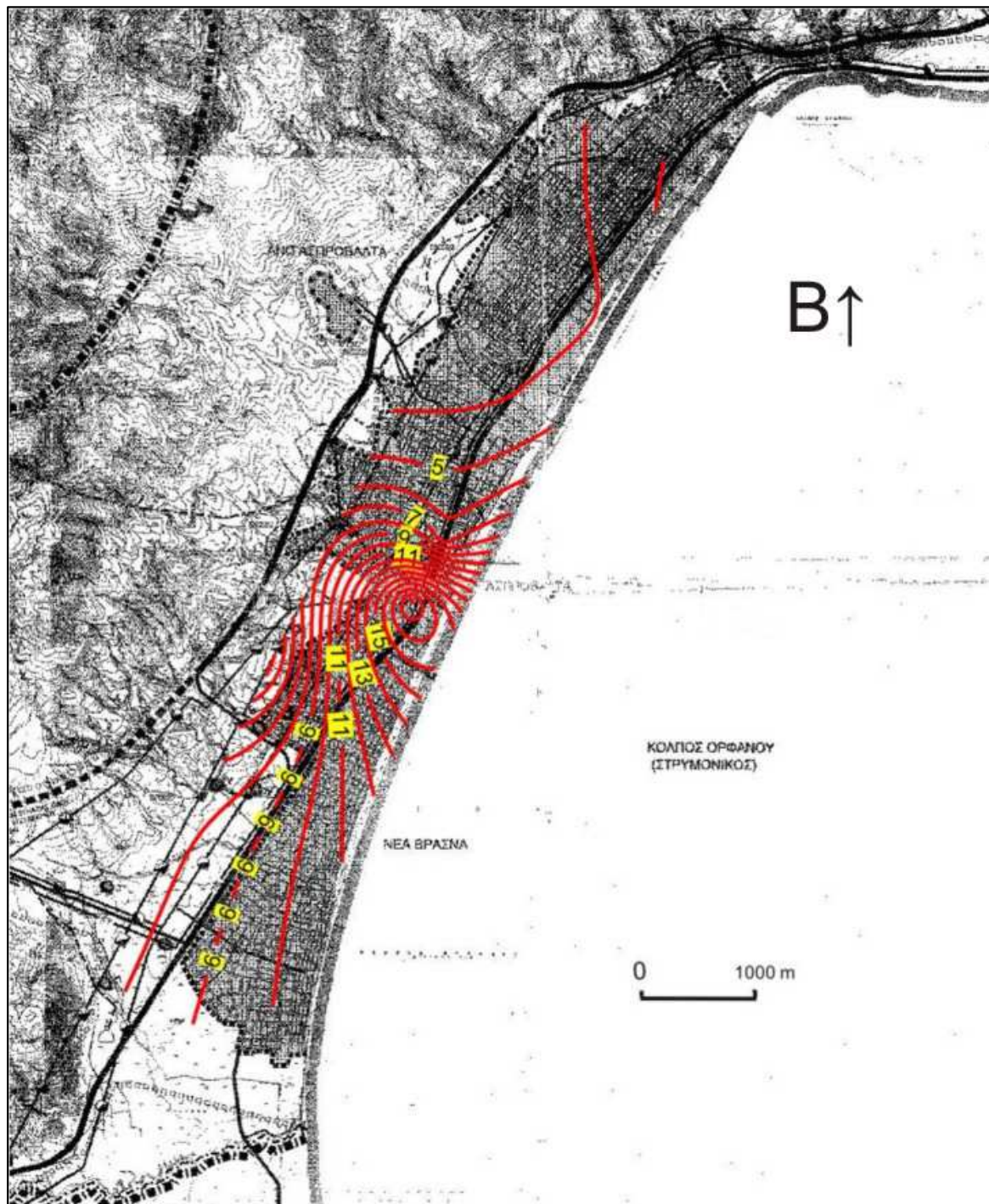
Στον πίνακα και το σχήμα 5.1.3.1 παρουσιάζονται οι τιμές των συγκεντρώσεων νατρίου στην εξεταζόμενη περιοχή.

Πίνακας 5.1.3.1 Συγκεντρώσεις ιόντων νατρίου την περίοδο Μάρτιος – Απρίλιος 2012

Γεώτρηση	Na^+ (mg/l)
1	7,4
2	4,6
3	4,2
4	6,5
5	1,9
6	1
7	9,6
8	4,6
9	12
10	19,2

Από τα δεδομένα προκύπτει πως οι συγκεντρώσεις ιόντων νατρίου στην περιοχή κυμαίνονται από 1-19,2 mg/l. Στην χωρική κατανομή και σε συνδυασμό με τον παραπάνω πίνακα φαίνεται ότι οι τιμές στο ΝΔ/κο τμήμα όπου βρίσκονται οι γεωτρήσεις 7 και 8 κυμαίνονται από 4,6- 9,6 mg/l. Προς το κεντρικό τμήμα βόρεια της περιοχής των Βρασών όπου βρίσκονται οι γεωτρήσεις 5 και 6 παρουσιάζεται μια ελάττωση με τιμές 1-1,9 mg/l ενώ στο κεντρικό τμήμα κοντά στην περιοχή της Ασπροβάλας οι περιεκτικότητες σε νάτριο αυξάνονται σε 12-19,2 mg/l. Στο ΒΑ/κο κομμάτι της περιοχής οι τιμές ελαττώνονται και είναι της τάξης των 4,2-7,4 mg/l.

Γενικότερα ακολουθείται μια αύξηση των συγκεντρώσεων του νατρίου από βόρεια προς το κεντρικό και Ν τμήμα της περιοχής. Οι χαμηλές τιμές νατρίου πιθανόν να οφείλονται σε συγκέντρωση νερών με μικρό χρόνο παραμονής μέσα σε πετρώματα οπότε και δεν έχουν εμπλουτιστεί αρκετά με άλατα, ενώ οι υψηλότερες τιμές αντιστοιχούν σε νερά με μεγαλύτερο χρόνο παραμονής επομένως και μεγαλύτερες περιεκτικότητες σε Na. Οι αυξημένες τιμές μπορεί να οφείλονται επίσης και σε οικιστικές δραστηριότητες καθώς όσο πλησιάζουμε προς τους οικισμούς οι τιμές του Na αυξάνουν.



Σχήμα 5.1.3.1 Χωρική κατανομή ιόντων νατρίου (Na^+) Μάρτιος – Απρίλιος 2012

5.1.4 Ιόντα Καλίου (K^+)

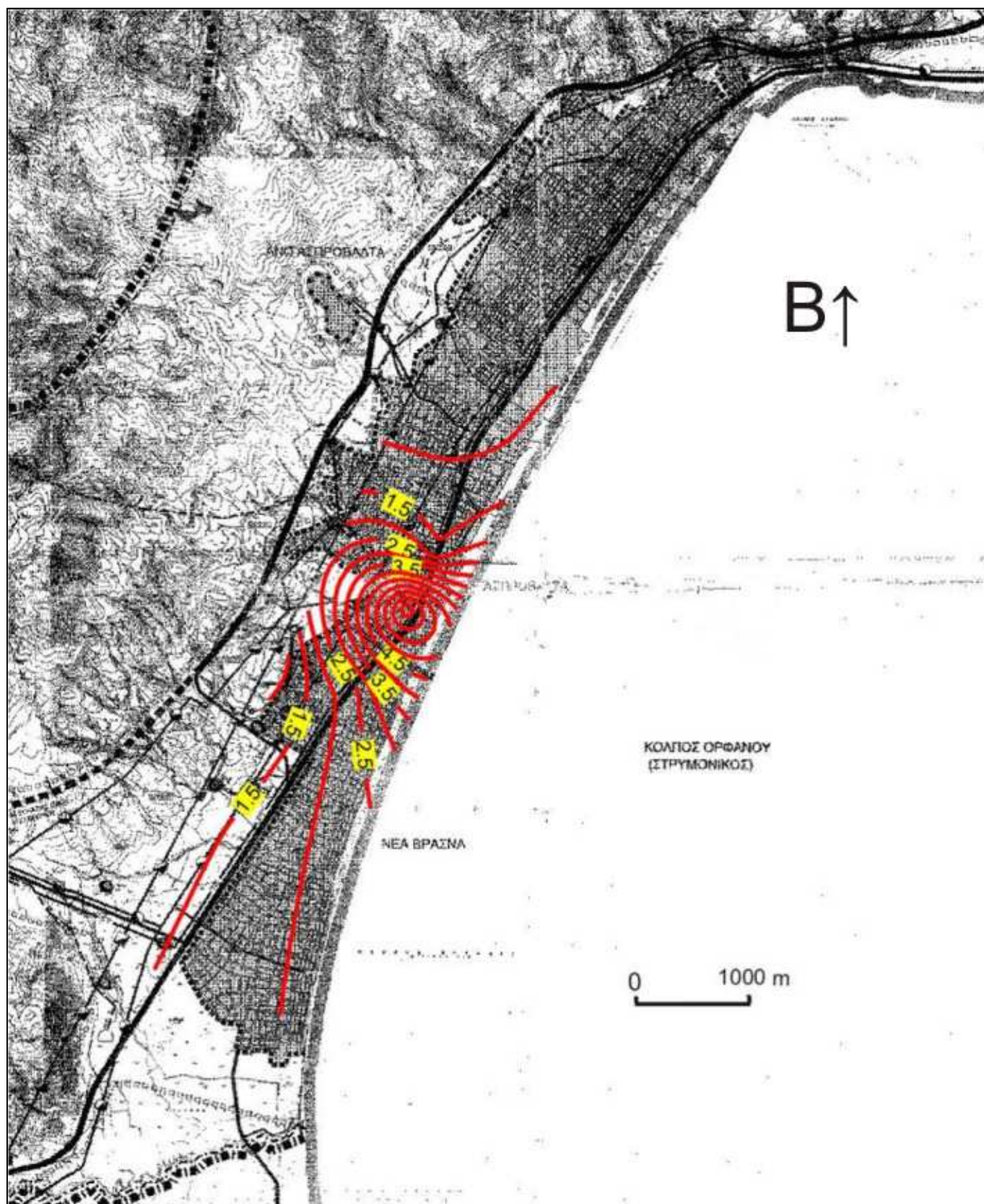
Τα ιόντα καλίου συνδέουν την παρουσίας τους με τους καλιούχους άστριους όπως το ορθόκλαστο και τον μικροκλινή. Απαντάται επίσης στον συλβίνη και τον μαρμαρυγία. Πηγή καλίου είναι και ο βιοτίτης. Το κάλιο σχετίζεται επίσης και με καλιούχα κοιτάσματα (Βουδούρης 2009). Σημαντικές συγκεντρώσεις παρατηρούνται και σε νερά μεταλλείων η θερμών πηγών. Οι συνήθεις τιμές των ιόντων καλίου είναι μικρότερες των 10 mg/l ενώ στις περιπτώσεις των θερμών πηγών φτάνουν μέχρι και τα 100 mg/l (Κακλής 2011).

Όσον αφορά την περιοχή έρευνας οι τιμές συγκεντρώσεων των ιόντων καλίου καθώς και η χωρική τους κατανομή παρουσιάζονται στον πίνακα και στο σχήμα 5.1.4.1 αντίστοιχα.

Πίνακας 5.1.4.1 Συγκεντρώσεις ιόντων νατρίου
την περίοδο Μάρτιος – Απρίλιος 2012

Γεώτρηση	K^+ (mg/l)
1	1,1
2	1,2
3	0,9
4	1,6
5	0,3
6	0,5
7	1,5
8	0,8
9	2,4
10	6,9

Οι τιμές συγκέντρωσης του καλίου κυμαίνονται από 0,5 – 6,9 mg/l. Στο νοτιοδυτικό τμήμα της περιοχής όπου βρίσκονται οι γεωτρήσεις 5,6,7,8 οι τιμές κυμαίνονται από 0,3-1,5 mg/l. Στο κεντρικό και νότιο τμήμα παρατηρείται μια αύξηση των συγκεντρώσεων από 2,4-6,9 mg/l κοντά στην περιοχή της Ασπροβάλτας, ενώ ΒΑ/κα οι τιμές ελαττώνονται και είναι της τάξης των 0,9-1,2 mg/l. Γενικότερα υπάρχει μια αύξηση των τιμών όσο πλησιάζουμε προς το κεντρικό τμήμα και πιο κοντά στον οικισμό. Οι σχετικά μικρές συγκεντρώσεις ιόντων καλίου πιθανόν να οφείλονται στον εμπλουτισμό του σε κάλιο εξαιτίας της κίνησής του μέσα στους βιοτιτικούς γνεύσιους των Κερδυλλίων. Όσο αφορά τις υψηλότερες τιμές του στο κεντρικό τμήμα, πιθανόν να συνδέονται με οικιστικές δραστηριότητες όπως η χρήση καλιούχων λιπασμάτων στις καλλιέργειες κ.α.



Σχήμα 5.1.4.1 Χωρική κατανομή ιόντων καλίου (K^+) Μάρτιος – Απρίλιος 2012

5.2 Ανιόντα

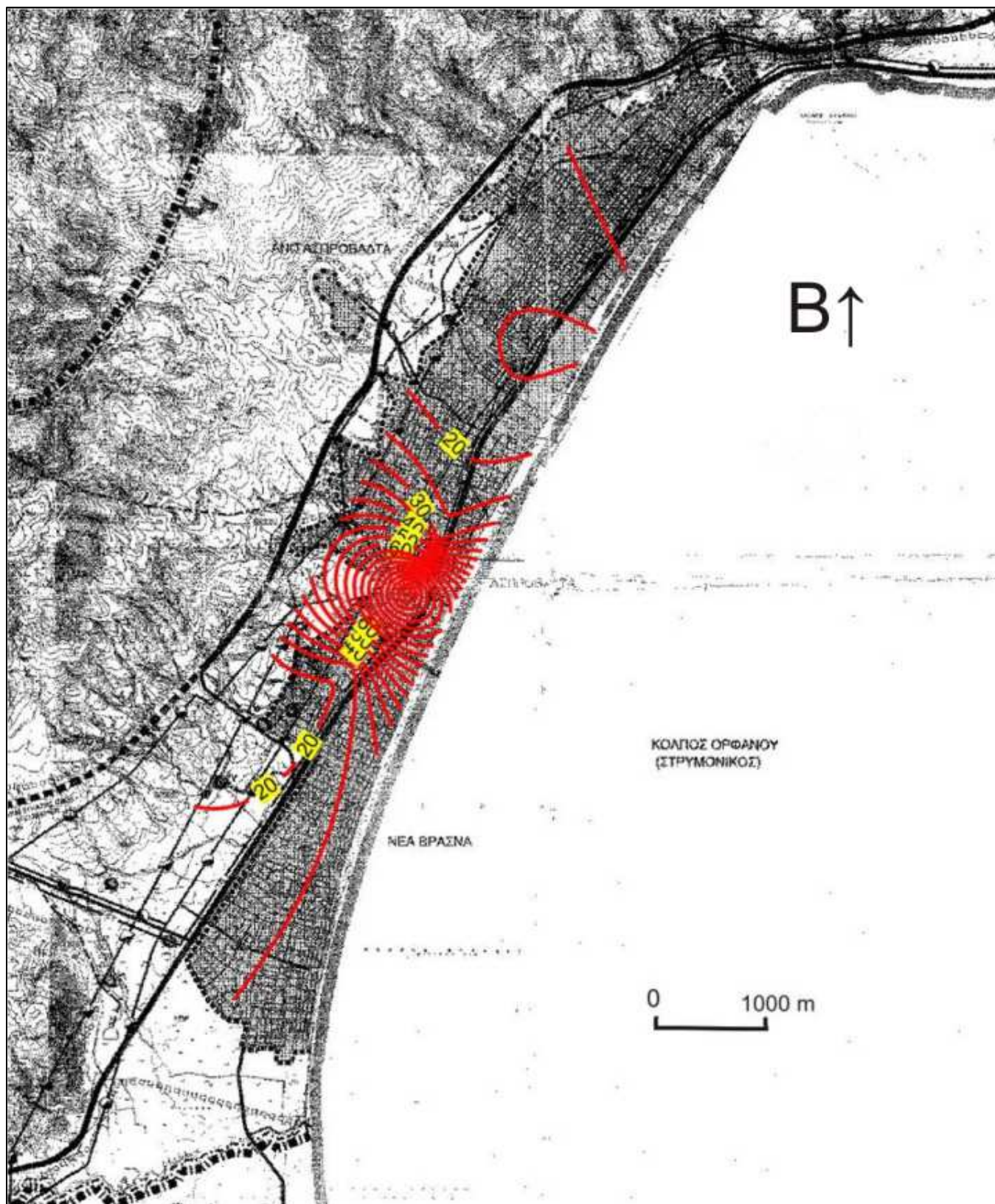
5.2.1 Ιόντα Χλωρίου (Cl^-)

Η κύρια προέλευση των ιόντων χλωρίου είναι τα ιζηματογενή πετρώματα που περιέχουν αργιλικά ορυκτά θαλάσσιας γένεσης όπως είναι οι εβαπορίτες. Ένας άλλος τρόπος αύξησης των ιόντων χλωρίου είναι η διείσδυση της θάλασσας στους παράκτιους υδροφορείς. Το θαλασσινό νερό περιέχει πολύ υψηλές τιμές συγκέντρωσης ιόντων χλωρίου από 20.000 έως 34.000 mg/l. Τα μαγματικά πετρώματα περιέχουν και αυτά υψηλές περιεκτικότητες σε χλώριο καθώς και σε θερμές πηγές. Ακόμα και ο ανθρωπινός παράγοντας μπορεί να συμβάλλει στην αύξηση των ιόντων του χλωρίου μέσα από καύση των πλαστικών, από θερμοηλεκτρικά εργοστάσια, χρήση λιπασμάτων, απόρριψη βιομηχανικών λυμάτων καθώς και η αποπαγοποίηση των δρόμων. Γενικότερα, στο πόσιμο νερό το επιθυμητό όριο συγκέντρωσης ιόντων χλωρίου ανέρχεται στα 25 mg/l ενώ το ανώτατο όριο δεν θα πρέπει να ξεπερνά τα 250 mg/l. Οι συνηθισμένες τιμές συγκέντρωσης είναι κάτω από 10 mg/l σε υγρές περιοχές ενώ αντίθετα σε ξηρές φτάνει μέχρι και τα 1000 mg/l. Με το χλώριο γίνεται ο εμπλουτισμός των υπόγειων υδροφορέων. Το βρόχινο νερό σε περιοχές που βρίσκονται κοντά σε ακτογραμμές έχει συγκεντρώσεις χλωρίου από 1-20 mg/l ενώ πιο εσωτερικά εμφανίζει τιμές μικρότερες από 1 mg/l. Με την βοήθεια του αέρα, σταγονίδια θαλασσινού νερού μεταφέρονται απευθείας στην ξηρά με αποτέλεσμα την εμφάνιση υψηλής συγκέντρωσης χλωρίου στο έδαφος. Στην συνέχεια μέσω της κατείσδυσης διεισδύουν στα βαθύτερα στρώματα του εδάφους. Επιπλέον μέσω της υπεράντλησης σε παράκτιες περιοχές μπορεί να προκληθεί υφαλμύριση των υδροφόρων οριζόντων (Βουδούρης 2009). Στον πίνακα 5.2.1.1 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των συγκεντρώσεων χλωρίου ανά γεώτρηση στην εξεταζόμενη περιοχή, ενώ στο σχήμα 5.2.1.1 η χωρική τους κατανομή

Πίνακας 5.2.1.1 Συγκεντρώσεις ιόντων χλωρίου
την περίοδο Μάρτιος – Απρίλιος 2012

Γεώτρηση	Cl^- (mg/l)
1	34
2	14,9
3	16
4	27
5	24,4
6	19,4
7	21,6
8	23,2
9	21,3
10	110

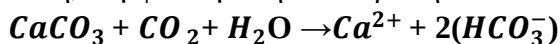
Στην εξεταζόμενη περιοχή οι τιμές του χλωρίου κυμαίνονται από 14,9-110 mg/l. Οι υψηλότερες τιμές συγκέντρωσης εμφανίζονται στο κεντρικό τμήμα με μέγιστη τιμή αυτή της 10^{ης} γεώτρησης στα 110 mg/l, ενώ περιμετρικά της ζώνης αυτής προς τα Β, ΒΑ/κα και ΝΔ/κα οι τιμές των συγκεντρώσεων ελαττώνονται και κυμαίνονται από 14,9- 34 mg/l. Γενικότερα οι τιμές αυτές είναι σχετικά υψηλές αλλά δεν είναι τόσο υψηλές ώστε να υποδηλώνουν θαλάσσια διείσδυση. Το γεγονός ότι οι συγκεντρώσεις παίρνουν τιμές πάνω από το συνηθισμένο όριο (~ 10 mg/l) οφείλεται στο ότι η περιοχή είναι παράκτια και το νερό της βροχής που εισέρχεται διά της κατείσδυσης ή διά της διήθησης από τις κοίτες των ποταμών στους υπόγειους υδροφορείς πιθανώς να παρουσιάζει αυξημένες ποσότητες σε ιόντα χλωρίου. Περιοχές παράκτιες παρουσιάζουν μεγαλύτερες συγκεντρώσεις ιόντων χλωρίου σε σχέση με περιοχές που βρίσκονται πιο κοντά στην ενδοχώρα. Το χλώριο δεν αλληλεπιδρά με την στερεή φάση (τα πετρώματα) επομένως σε αυτό το σημείο θα μπορούσαμε να πούμε ότι η κύρια πηγή ιόντων χλωρίου χωρίς την παρέμβαση του ανθρώπου είναι το νερό της βροχής (Σουλίου 2006). Εξάιρεση αποτελούν οι συγκεντρώσεις στο κεντρικό τμήμα που φτάνουν μέχρι τα 110 mg/l οι οποίες είναι αρκετά πιο αυξημένες σε σχέση με τις τιμές της υπόλοιπης περιοχής. Αυτή η αύξηση πιθανόν να οφείλεται σε οικιστικές δραστηριότητες (π.χ χρήση λιπασμάτων) ή ακόμα και λόγω γειτνίασης με τη θάλασσα.



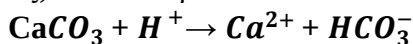
Σχήμα 5.2.1.1 Χωρική κατανομή ιόντων χλωρίου (Cl^-) Μάρτιος – Απρίλιος 2012

5.2.2 Όξινα ανθρακικά ιόντα (HCO_3^-)

Είναι το κυρίαρχο ανιόν στα γλυκά υπόγεια νερά. Έχει πηγές προέλευσης το CO_2 της ατμόσφαιρας και το ελευθερούμενο στο έδαφος κατά την οργανική αποσύνθεση, σύμφωνα με την αντίδραση:



Επίσης προέρχονται από τη διάλυση των ανθρακικών πετρωμάτων (Ασβεστόλιθοι και δολομίτες) από το νερό:



Είναι σημαντικό ιόν για την ανθρώπινη υγεία γιατί ρυθμίζει το pH του οργανισμού σε κατάλληλες τιμές. Η συνηθέστερη συγκέντρωση όξινων ανθρακικών ιόντων είναι μικρότερη των 500 mg/l ενώ στα οξυανθρακικά νερά ξεπερνά τα 1000 mg/l. Γενικά η ροή του νερού σε ανθρακικούς σχηματισμούς καθώς και ο χρόνος παραμονής σε αυτούς δηλαδή όσο μεγαλύτερη υπόγεια διαδρομή διανύσει μέσα στον ίδιο υδροφόρο τόσο περισσότερα ιόντα ανθρακικά θα υπάρχουν μέσα στο νερό. (Βουδούρης 2009)

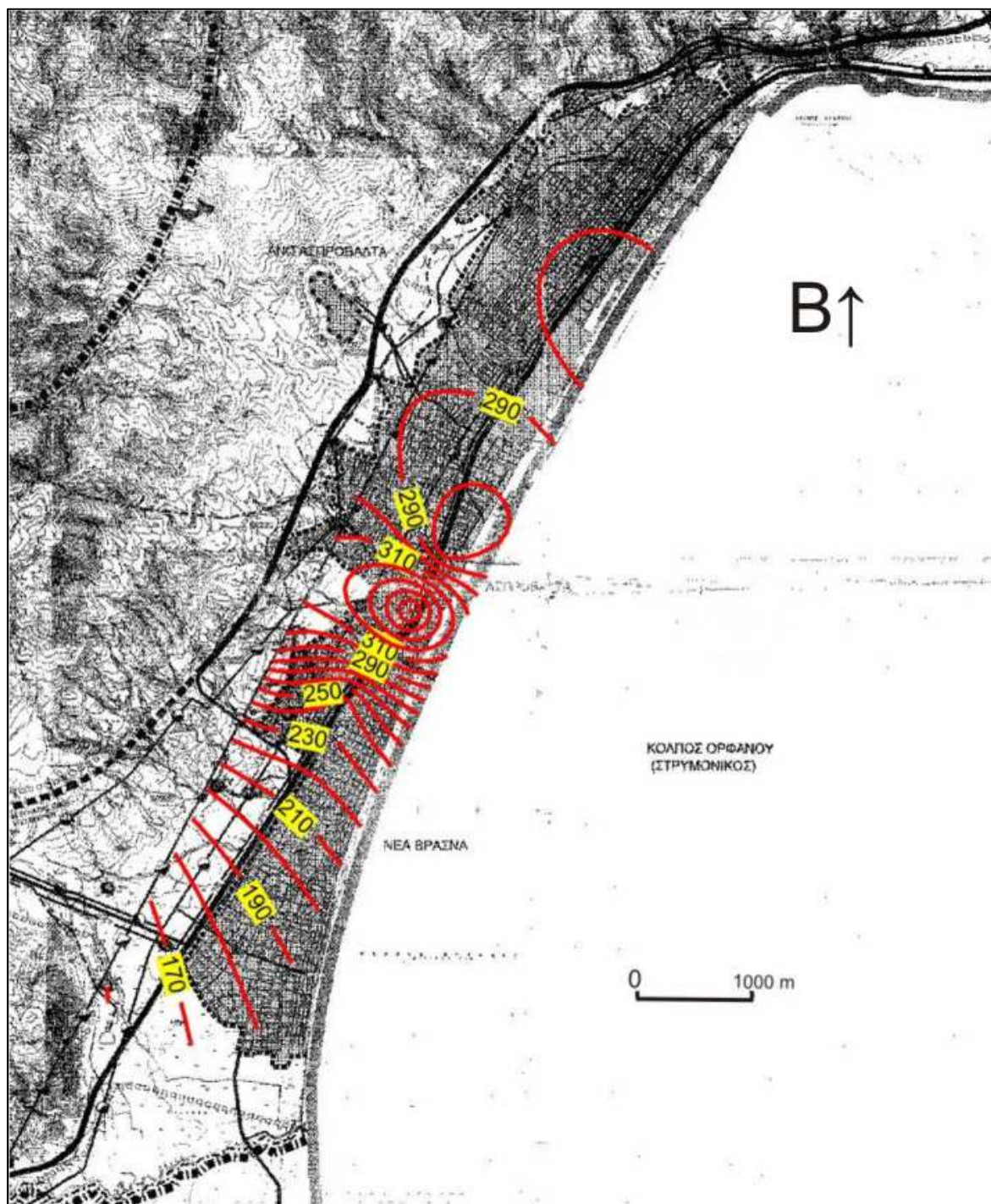
Στον πίνακα και στο σχήμα 5.2.2.1 παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις όξινων ανθρακικών ιόντων της εξεταζόμενης περιοχής και η χωρική τους κατανομή αντίστοιχα.

Πίνακας 5.2.2.1 Συγκεντρώσεις όξινων ανθρακικών ιόντων την περίοδο Μάρτιος – Απρίλιος 2012

Γεώτρηση	HCO_3^- (mg/l)
1	278
2	322
3	289
4	270
5	302
6	262
7	184
8	151
9	239
10	362

Οι συγκεντρώσεις όξινων ανθρακικών ιόντων κυμαίνονται από 151-362 mg/l με τις μέγιστες τιμές αυτών να παρουσιάζονται στο κεντρικό και ΒΑ/κό τμήμα, ενώ στο ΝΔ/κό μέρος της περιοχής οι συγκεντρώσεις σταδιακά μειώνονται όπως φαίνεται και

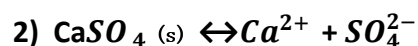
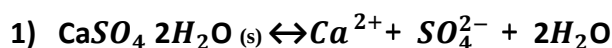
από το σχήμα 5.2.2.1 της χωρικής κατανομής. Οι τιμές συγκεντρώσεις στο κεντρικό και ΒΑ/κο τμήμα κυμαίνονται από 270-362 mg/l και πιθανώς να οφείλονται στην κίνηση του νερού μέσα σε ανθρακικούς σχηματισμούς, όπως μάρμαρα που βρίσκονται βορειότερα στην σειρά των Κερδυλλίων, όχι όμως για αρκετό χρονικό διάστημα ώστε να εμπλουτιστεί έντονα με όξινα ανθρακικά ιόντα. ΝΔ/κα οι τιμές μειώνονται και είναι της τάξης των 151-239 mg/l οι οποίες είναι αρκετά χαμηλές και πιθανότατα να οφείλονται στην μεγάλη παραμονή του νερού στους υδροφόρους ορίζοντες (Κακλής 2011).



Σχήμα 5.2.2.1 Χωρική κατανομή όξινων ανθρακικών ιόντων (HCO_3^-) Μάρτιος – Απρίλιος 2012

5.2.3 Θεϊκά ιόντα (SO_4^{2-})

Τα θεϊκά ιόντα προέρχονται από την διαλυτοποίηση της γύψου $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ και του ανυδρίτη $CaSO_4$ (σχέσεις 1 και 2 αντίστοιχα) καθώς και από την χρήση θεϊκών λιπασμάτων και μέσα από την οξείδωση πυριτών που εμφανίζονται σε αργίλικα πετρώματα.



Επίσης είναι από τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα αντιδραστήρια στην βιομηχανία και μέσω των αποβλήτων τους ,σημαντικές ποσότητες καταλήγουν στα υπόγεια νερά. Θεϊκά ιόντα σε μεγάλες περιεκτικότητες κάνουν το νερό να δρα ως καθαρτικό ενώ περιεκτικότητες μεγαλύτερες των 250 mg/l καθιστούν την χρήση των νερών προβληματική για πόση και βιομηχανική χρήση. Το θείο και οι ενώσεις του ευθύνονται για προβλήματα οσμών και διαβρώσεων (Βουδούρης 2009). Στην εξεταζόμενη περιοχή οι συγκεντρώσεις θεϊκών ιόντων παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί.

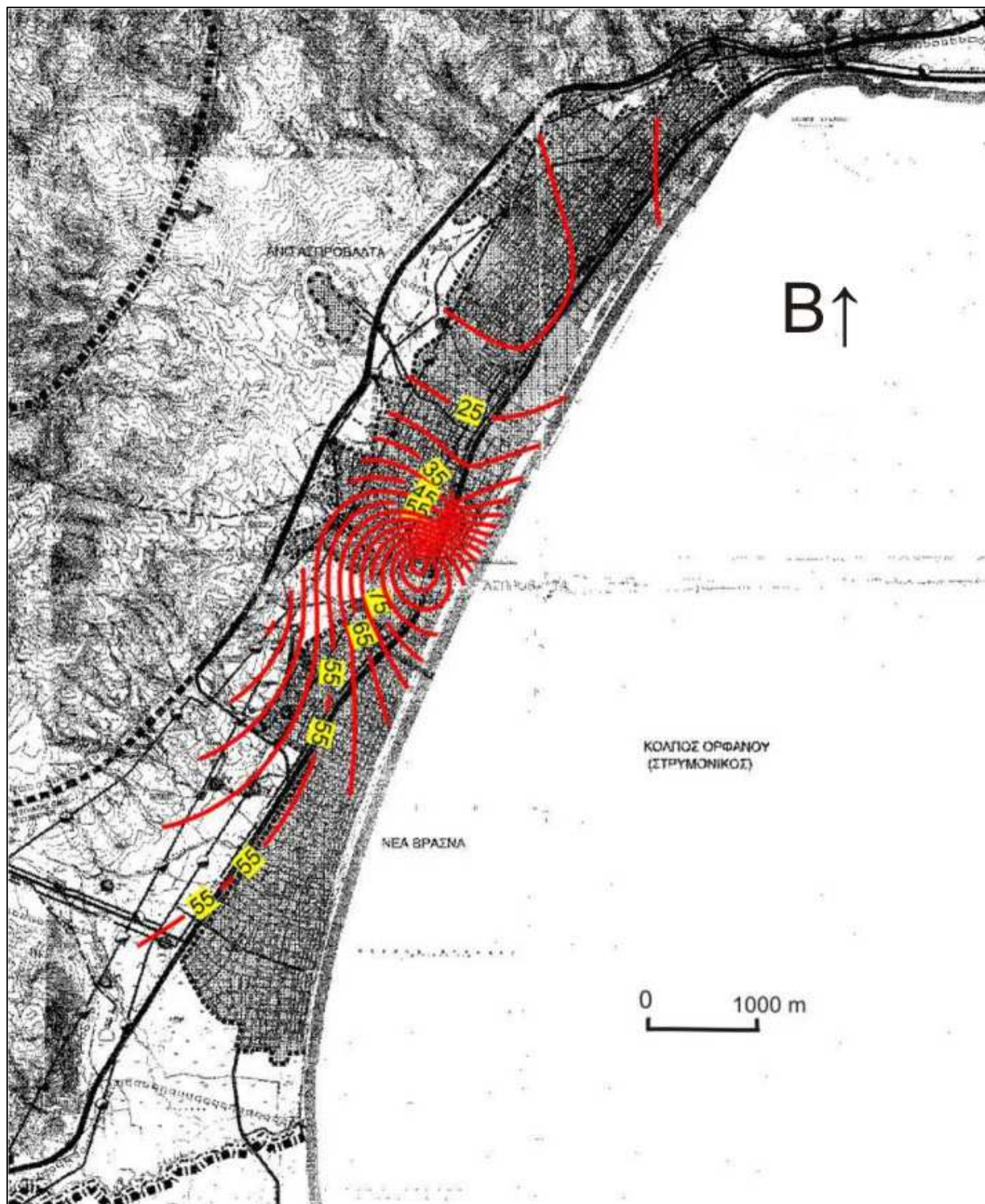
Πίνακας 5.2.3.1 Συγκεντρώσεις θεϊκών ιόντων την περίοδο Μάρτιος – Απρίλιος 2012

Γεώτρηση	SO_4^{2-} (mg/l)
1	38
2	25
3	21
4	34
5	30
6	26
7	33
8	46
9	61
10	100

Οι συγκεντρώσεις κυμαίνονται από 21-100 mg/l. Αναλυτικότερα σε συνδυασμό και με την χωρική κατανομή του σχήματος 5.2.3.1 παρατηρείται μια αύξηση των συγκεντρώσεων από ΒΑ/κά και από ΝΔ/κά προς το κεντρικό τμήμα στην περιοχή Ασπροβάλας-Ν. Βρασνών.

Οι τιμές στο ΒΑ/κο τμήμα κυμαίνονται από 21-38 mg/l, στο κεντρικό τμήμα φτάνουν τα 62-100 mg/l όπου βρίσκεται και η μέγιστη τιμή ενώ δυτικότερα οι συγκεντρώσεις μειώνονται με τιμές από 30-46 mg/l. Η χρήση λιπασμάτων σαφώς και παίζει κάποιο ρόλο στην αύξηση των συγκεντρώσεων και ειδικότερα στο κεντρικό τμήμα όπου οι γεωτρήσεις σε εκείνο το σημείο βρίσκονται μέσα στον οικισμό. Παρόλα αυτά όμως οι συγκεντρώσεις δεν είναι αρκετά υψηλές ώστε η χρήση λιπασμάτων και άλλων ανθρώπινων δραστηριοτήτων να θεωρηθούν ως οι κύριες πηγές προέλευσης των θεικών ιόντων στους υπόγειους υδροφορείς. Πολύ πιθανό οι συγκεντρώσεις που εμφανίζονται στην περιοχή να οφείλονται στη γεινίαση των υδροφόρων με γνευσιακά πετρώματα και συγκεκριμένα στη διάλυση σουλφιδίων του σιδήρου που υπάρχουν σε αυτά. Επίσης το γεγονός ότι τα ιζηματογενή πετρώματα της περιοχής στα οποία βρίσκονται οι γεωτρήσεις προέρχονται κατα κύριο λόγο από τους γνεύσιους είναι αιτία συγκέντρωσης θεικών ιόντων (Κακλής 2011).

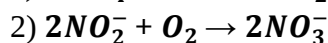
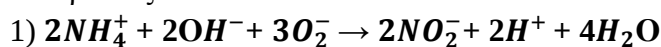
Η συγκέντρωση των νερών δια της υπόγειας κυκλοφορίας στο κεντρικό τμήμα της περιοχής πιθανόν να είναι η αιτία για τις αυξημένες τιμές που παρουσιάζονται σε εκείνο το σημείο σε σχέση με την υπόλοιπη περιοχή.



Σχήμα 5.2.3.1 Χωρική κατανομή θεικών ιόντων (SO_4^{2-}) Μάρτιος – Απρίλιος 2012

5.2.4 Νιτρικά ιόντα (NO_3^-)

Τα νιτρικά ιόντα προέρχονται από την φυσική αποσύνθεση αζωτούχων οργανικών ενώσεων (φυτικές και ζωικές πρωτεΐνες). Αυξημένες συγκεντρώσεις νιτρικών ιόντων οφείλονται στην ανεξέλεγκτη χρήση λιπασμάτων, σε ζωικά περιττώματα ή σε προηγούμενες χρήσεις του νερού από τον άνθρωπο. Αποτελούν τον βασικό ρυπαντή στα υπόγεια νερά αλλά και στα επιφανειακά. Ο πιο διαδεδομένος ρυπαντής που μπορεί να αναγνωριστεί στα υπόγεια νερά είναι το διαλυμένο άζωτο υπό μορφή νιτρικής ρίζας (NO_3^-). Η οξειδωση του ιόντος (NH_4^+) δηλαδή η νιτροποίηση είναι η κυρία διαδικασία παράγωγης νιτρικών ιόντων που προκύπτουν από την αποσύνθεση με την βοήθεια μικροοργανισμών σύμφωνα με τις παρακάτω αντιδράσεις:



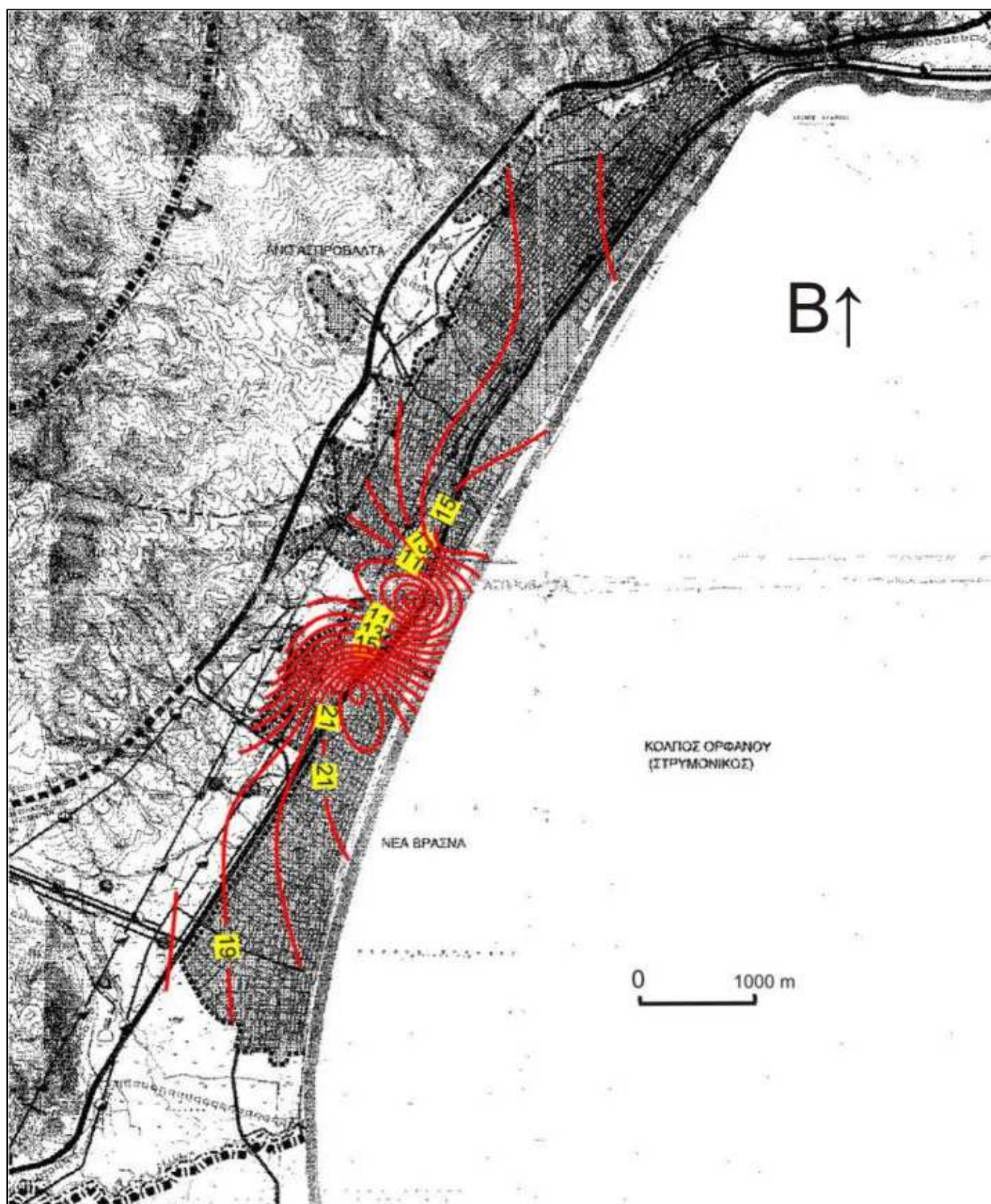
Το ανώτατο επιτρεπόμενο όριο συγκέντρωσης νιτρικών στο πόσιμο νερό είναι 50 mg/l ενώ το επιθυμητό όριο είναι 25 mg/l. Αυξημένες ποσότητες μπορούν να προκαλέσουν βλάβες στον οργανισμό και διάφορες μορφές καρκινογενέσεων.

Για την διάδοση του ρύπου σημαντικό ρόλο διαδραματίζει και το είδος του εδαφικού σχηματισμού της ακόρεστης ζώνης. Υψηλές συγκεντρώσεις νιτρικών εμφανίζονται σε ρηχούς υδροφορείς και σε στρώματα που αποτελούνται από μεγάλης περατότητας πετρώματα. Αυτό συμβαίνει διότι οι συγκεκριμένοι υδροφορείς είναι πλούσιοι σε διαλυμένο οξυγόνο και η νιτρική ρίζα εμφανίζεται πολύ ισχυρή σε οξειδωτικό περιβάλλον. Η κυρία διαδικασία απομάκρυνσης των νιτρικών είναι η αναγωγή τους δηλαδή η απονίτρωση ή αζωτοποίηση της νιτρικής ρίζας από NO_3^- σε N_2O^- και στην συνέχεια σε N_2 . Τα N_2O^- και N_2 δεν υποβαθμίζουν την ποιότητα του υπογείου νερού (Βουδούρης 2009).

Πίνακας 5.2.4.1 Συγκεντρώσεις νιτρικών ιόντων την περίοδο Μάρτιος – Απρίλιος 2012

Γεώτρηση	NO_3^- (mg/l)
1	17,6
2	14,96
3	14,52
4	15,95
5	9,68
6	8,8
7	22
8	12,76
9	23,76
10	5,72

Από τον πίνακα 5.2.4.1 παρατηρούμε ότι οι τιμές συγκέντρωσης στην συγκεκριμένη περιοχή κυμαίνονται από 5,72-23,76 mg/l. Από την χωρική κατανομή του σχήματος 5.2.4.1 παρατηρείται μια διακύμανση των τιμών με σχετικά αυξημένες συγκεντρώσεις στο ΝΔ/κο τμήμα της περιοχής όπου βρίσκονται οι γεωτρήσεις 7 και 8. Οι τιμές εκεί είναι της τάξης των 12,76-22 mg/l. Προς το κεντρικό τμήμα όπου βρίσκονται οι γεωτρήσεις 5,6 και 10 παρατηρείται ελάττωση των συγκεντρώσεων με τιμές από 5,72-9,68 mg/l. Εξαίρεση αποτελεί η γεώτρηση 9 η οποία βρίσκεται νοτιότερα των γεωτρήσεων 5,7 και 10 στο κεντρικό τμήμα της περιοχής όπου παρουσιάζει και την μέγιστη συγκέντρωση νιτρικών ιόντων στα 23,76 mg/l. ΒΔ/κα οι τιμές αυξάνονται και κυμαίνονται από 14,52-17,6 mg/l. Γενικότερα οι τιμές είναι εντός των επιτρεπόμενων ορίων. Στο Α και Δ τμήμα της περιοχής οι συγκεντρώσεις πιθανόν να οφείλονται σε υποτυπώδης γεωργικές και κτηνοτροφικές δραστηριότητες ενώ πλησιάζοντας προς τον οικισμό οι συγκεντρώσεις ελαττώνονται εξαιτίας της μείωσης των παραπάνω δραστηριοτήτων. Μέσα στον οικισμό οι μειωμένες συγκεντρώσεις πιθανόν να οφείλονται στην διέρρευση νιτρικών ιόντων στον υδροφορέα που προέρχονται από αστικά λύματα. Στο σημείο της γεώτρησης 9 πιθανότατα να υπάρχει μια μεγαλύτερη εστία μόλυνσης όπως διαρροή αστικών λυμάτων μέσω της αποχέτευσης ή μολυσμένου νερού από βόθρο προς τον υδροφορέα η οποία όμως περιορίζεται τοπικά και δεν είναι αρκετή ώστε να προκαλέσει συγκεντρώσεις μεγαλύτερες του επιτρεπτού ορίου.



Σχήμα 5.2.4.1 Χωρική κατανομή νιτρικών ιόντων (NO_3^-) Μάρτιος – Απρίλιος 2012

6. ΙΟΝΤΙΚΟΙ ΛΟΓΟΙ

6.1 Γενικά

Ο λόγος της περιεκτικότητας του υπογείου νερού σε ένα ορισμένο ιόν ως προς αυτήν σε ένα άλλο λέγεται ιοντικός λόγος. Ένας ιοντικός λόγος μπορεί να πάρει διάφορες τιμές οι οποίες σχετίζονται με τα πετρώματα μέσα στα οποία φιλοξενείται το νερό καθώς και με τον χρόνο παραμονής του σε αυτά είτε με τον βαθμό ανανέωσης του ή την ανάμιξη του με το θαλασσίνο νερό. Συνεπώς οι ιοντικοί λόγοι παρέχουν σημαντικές υδροχημικές πληροφορίες (Σούλιος 2006). Για την συγκεκριμένη έρευνα χρησιμοποιήθηκαν οι παρακάτω ιοντικοί λόγοι :

Mg^{2+}/Ca^{2+} , Na^{+}/Cl^{-} , Na^{+}/K^{+} , Cl^{-}/SO_4^{2-} και $(Ca^{2+}+Mg^{2+})/(Na^{+}+K^{+})$ όπου η συγκέντρωση του κάθε ιόντος είναι εκφρασμένη σε μονάδες meq/l, οι οποίοι παρουσιάζονται αναλυτικά στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 6.1.1 Ιοντικοί λόγοι

ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ	Mg^{2+}/Ca^{2+}	Na^{+}/Cl^{-}	Na^{+}/K^{+}	Cl^{-}/SO_4^{2-}	$(Ca^{2+}+Mg^{2+})/(Na^{+}+K^{+})$
1	1,675	0,336	11,5	1,212	18,3
2	2,391	0,476	6,666	0,807	29,7
3	2,453	0,403	7,913	1,032	27,55
4	1,922	0,37	7,05	1,074	19,9
5	1,761	0,119	11,714	1,102	74,3
6	3,597	0,078	3,583	1,011	110
7	2,814	0,685	10,973	0,886	9,7
8	1,27	0,306	10	0,682	19,57
9	0,875	0,869	8,54	0,472	10,35
10	1,127	0,27	4,744	1,49	9,97

6.2 Ιοντικός λόγος Mg^{2+}/Ca^{2+}

Ο συγκεκριμένος ιοντικός λόγος δείχνει αν το νερό προέρχεται από ασβεστολιθικά ή μαγνησιούχα πετρώματα. Έτσι τιμές του λόγου αυτού :

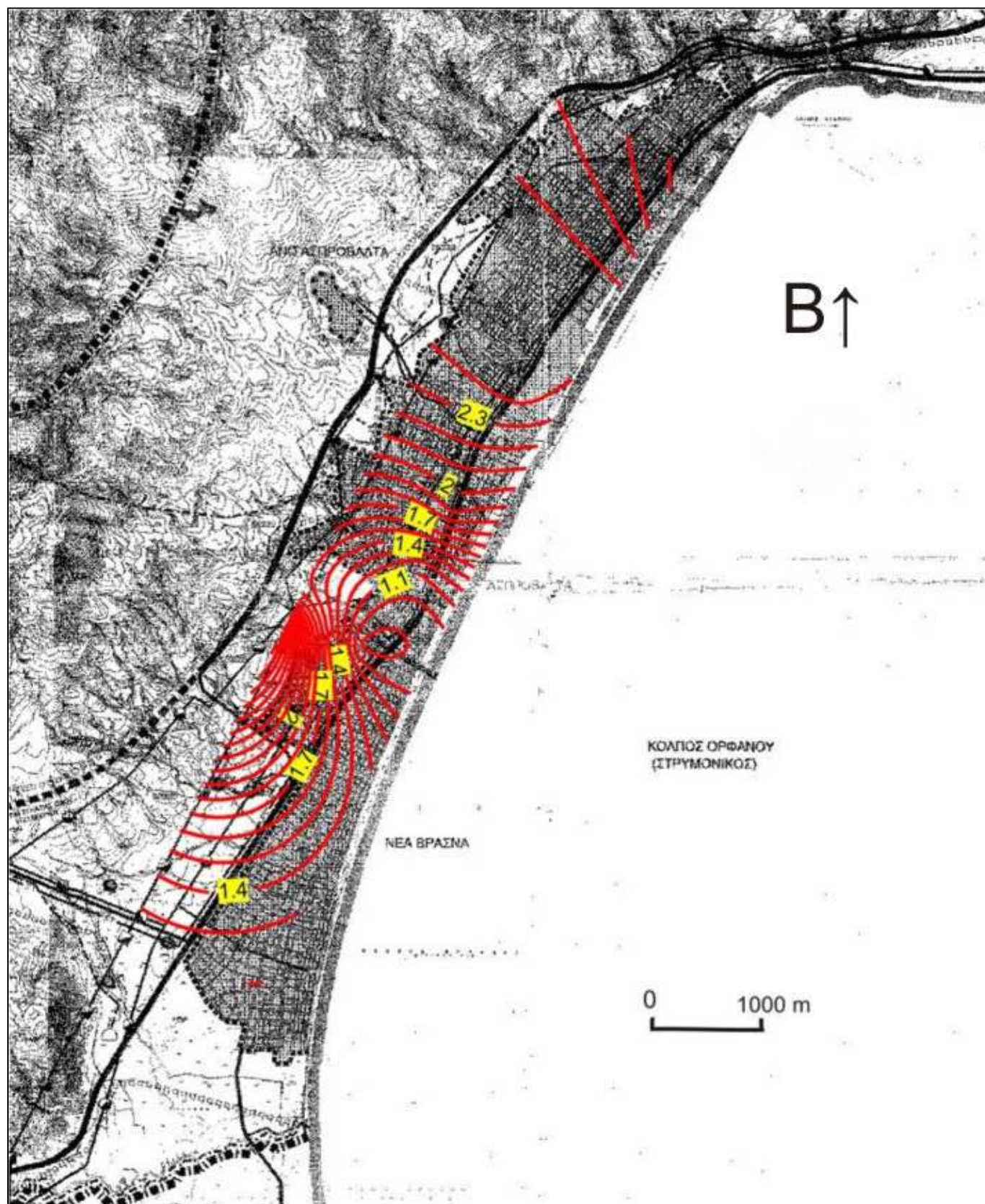
- $Mg^{2+}/Ca^{2+} < 0,5-0,7$ αντιστοιχούν σε νερό από ασβεστολιθικά υδροφόρα (η αντίστοιχα μεταμορφωμένα) στρώματα.
- $Mg^{2+}/Ca^{2+} = 0,7-0,9$ αντιστοιχούν σε δολομιτικά (η αντίστοιχα μεταμορφωμένα) υδροφόρα στρώματα.

- $Mg^{2+}/Ca^{2+} > 0,9$ αντιστοιχούν σε υδροφόρους οφιολιθικούς σχηματισμούς η γενικά πυριτικά πλούσια σε Mg. Στα οφειολιθικά οι τιμές είναι συνήθως μεγαλύτερες από 1. (Σούλιος 2006)

Σύμφωνα με τον πίνακα 6.1.1 οι τιμές του ιοντικού λόγου Mg^{2+}/Ca^{2+} είναι μεγαλύτερες του 1 σε όλα τα δείγματα εκτός από το δείγμα της γεώτρησης 9. Κυμαίνονται από 0,875-3,597. Στο σχήμα 6.1.1 παρουσιάζεται η χωρική κατανομή του συγκεκριμένου ιοντικού λόγου.

Παρατηρούμε ότι στο ΒΑ/κο τμήμα της περιοχής όπου βρίσκονται οι γεωτρήσεις 1,2,3 και 4 οι τιμές που συναντάμε κυμαίνονται από 1, 675- 2,453. Προς το κεντρικό τμήμα στην περιοχή της Ασπροβάλλτας όπου βρίσκονται οι γεωτρήσεις 9 και 10 ο συγκεκριμένος ιοντικός λόγος ελαττώνεται και παίρνει τιμές από 0,875-1,127 ενώ δυτικότερα όπου βρίσκονται οι γεωτρήσεις 5,6,7 και 8 οι τιμές αυξάνουν και κυμαίνονται μεταξύ 1,27-3,597.

Συνεπώς στις περιοχές όπου αυτός ο ιοντικός λόγος παίρνει τιμές μεγαλύτερες της μονάδας η περιεκτικότητα ιόντων μαγνησίου στο νερό είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη περιεκτικότητα σε ιόντα ασβεστίου. Η παρουσία ιόντων μαγνησίου εις βάρος των ιόντων ασβεστίου σε όλη σχεδόν την περιοχή οφείλεται στον εμπλουτισμό του νερού σε μαγνήσιο όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο από τους γνέσιους που εμφανίζονται γύρω από την περιοχή έρευνας, και η μειωμένη περιεκτικότητα σε ιόντα ασβεστίου οφείλεται πιθανότατα στον μικρό χρόνο παραμονής του νερού μέσα στα μάρμαρα όπου βρίσκονται βορειότερα στην σειρά των Κερδυλλίων. Οι διακυμάνσεις των τιμών οφείλονται στις διακυμάνσεις των συγκεντρώσεων μαγνησίου και ασβεστίου που περιγράφηκαν στα αντίστοιχα κεφάλαια. Στο κεντρικό τμήμα όπου οι τιμές πλησιάζουν την μονάδα και στην περιοχή της Ασπροβάλλτας στην γεώτρηση 9 όπου η τιμή του ιοντικού λόγου παίρνει την ελάχιστη τιμή της (0,875) φαίνεται ότι οι περιεκτικότητες ασβεστίου μαγνησίου αρχίζουν να ισορροπούν και να αντιστρέφονται. Δηλαδή οι περιεκτικότητες του ασβεστίου να είναι ελαφρώς μεγαλύτερες από αυτές του μαγνησίου. Πιθανή εξήγηση για αυτό είναι ότι τα νερά που συγκεντρώνονται σε εκείνο το σημείο έχουν διανύσει μεγαλύτερη διαδρομή μέσα στα μάρμαρα της σειράς Κερδυλλίων ως αποτέλεσμα την αυξημένη περιεκτικότητα σε ιόντα ασβεστίου εις βάρος των ιόντων μαγνησίου. Σε αυτό το σημείο θα μπορούσαμε να πούμε ότι αφού πρόκειται για παράκτια περιοχή το νερό της βροχής θα εμφανίζει αυξημένες περιεκτικότητες σε ιόντα νατρίου. Όμως όταν αυτό εισέρχεται στα πετρώματα (γνέσιους) μέσω της διαδικασίας της ιοντοανταλλαγής τα ιόντα νατρίου δεσμεύονται από την στερεά φάση, δηλαδή το πέτρωμα, και απελευθερώνονται ιόντα μαγνησίου στην προκειμένη περίπτωση. Ο λόγος απωλειών νατρίου ως προς το μαγνήσιο είναι 2:1. Δηλαδή για κάθε ένα ιόν νατρίου που δεσμεύεται, απελευθερώνονται δύο ιόντα μαγνησίου (Βουδούρης 2009).



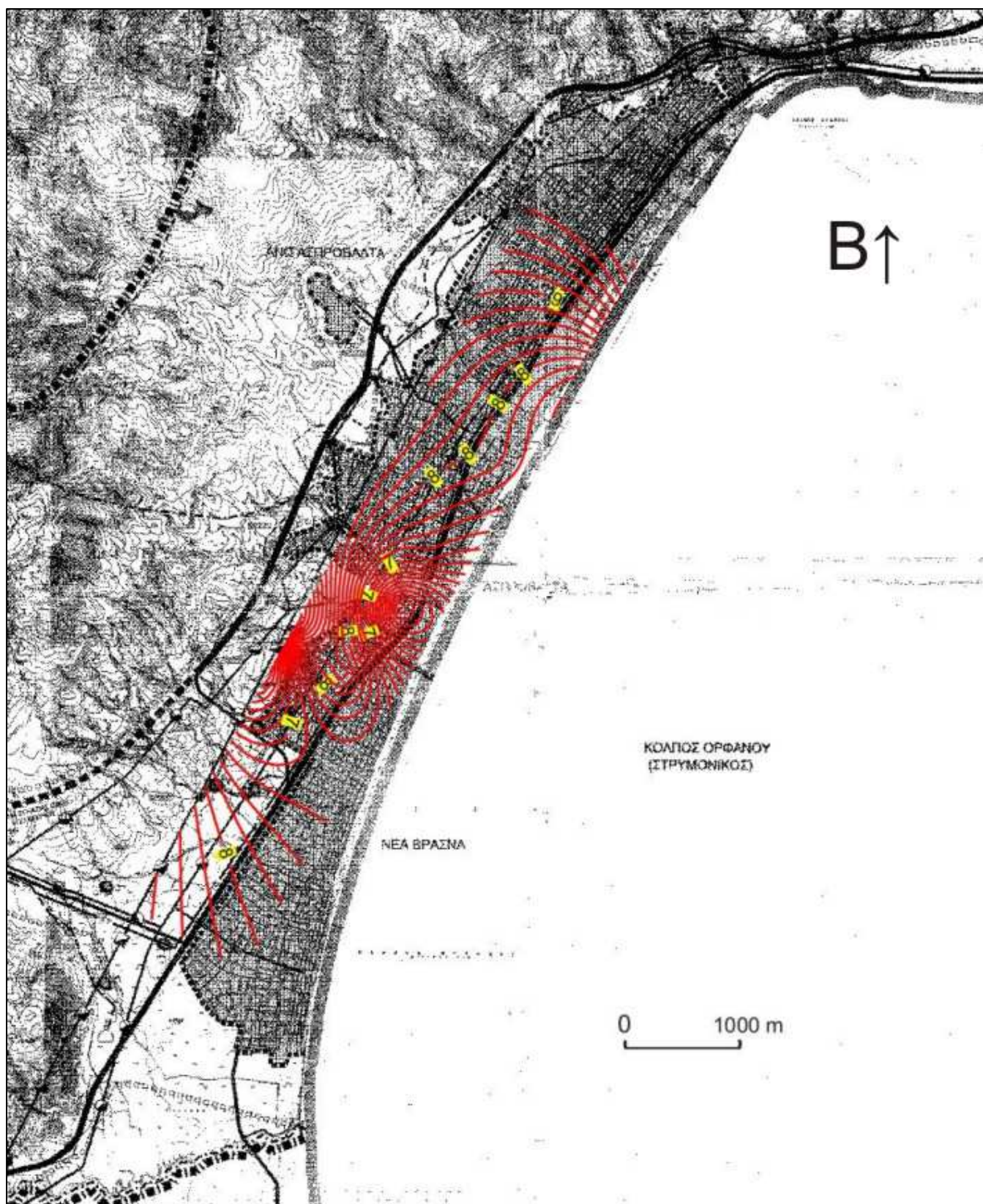
Σχήμα 6.2.1 Χωρική κατανομή ιοντικού λόγου Mg^{2+}/Ca^{2+} Μάρτιος – Απρίλιος 2012

6.3 Ιοντικός λόγος Na^+/K^+

Σχετίζεται με το αν το νερό είναι θαλασσίνο ή βρόχινο ή αν υπάρχει περιοχή εμπλουτισμού υδροφορέων. Έτσι τιμές :

- $Na^+/K^+=47$ σημαίνει θαλασσίνο νερό.
- $Na^+/K^+=10$ βρόχινο νερό.
- $Na^+/K^+=15-25$ νερό σε περιοχή εμπλουτισμού υδροφορέων.
- $Na^+/K^+=50-70$ νερό σε κατάντη τμήμα του υδροφορέα σε σχέση με τη διεύθυνση ροής.

Όσον αφορά την δική μας περιοχή οι τιμές κυμαίνονται από 3,583 -11,714 οι οποίες χαρακτηρίζουν βρόχινο νερό. Στο σχήμα 6.3.1 παρουσιάζεται και η χωρική κατανομή του παραπάνω ιοντικού λόγου. Παρατηρούμε ότι στο ΒΔ/κο τμήμα κατά μήκος της περιοχής έρευνας στις γεωτρήσεις 1,2,3,4,5,7 και 8 οι τιμές είναι αυξημένες και κυμαίνονται από 6,666-11,714. Στο κεντρικό τμήμα όπου βρίσκονται οι γεωτρήσεις 6 και 10 η τιμή του μειώνεται και κυμαίνεται από 3,583-4,744 ενώ στο νότιο τμήμα και πιο κοντά στη θάλασσα που βρίσκεται η γεώτρηση 9 η τιμή αυξάνει στα 8,54. Όπως προαναφέρθηκε με βάση τον ιοντικό λόγο Na^+/K^+ το νερό χαρακτηρίζεται ως βρόχινο. Συνεπώς οι περιεκτικότητες των αλάτων που εμπεριέχονται σε αυτό προέρχονται κυρίως από το νερό της βροχής το οποίο παρουσιάζει αυξημένες περιεκτικότητες σε Na εξαιτίας γειννίας της περιοχής με τη θάλασσα. Οι διαφορετικές διακυμάνσεις των τιμών αυτών οφείλονται στην, στην συγκέντρωση και στον χρόνο παραμονής του νερού μέσα στον υδροφορέα (Σούλιος 2006).



Σχήμα 6.3.1 Χωρική κατανομή ιοντικού λόγου Na^+/K^+ Μάρτιος – Απρίλιος 2012

6.4 Ιοντικός λόγος Na^+/Cl^-

Ο ιοντικός αυτός λόγος σχετίζεται με την υφαλμύρωση και γενικά τη διείσδυση θαλασσινού νερού ή με υδροφόρα μέσα στα οποία υπήρξαν υπολείμματα θαλάσσιων αλάτων. Ανάλογα με τις τιμές του λόγου αυτού έχουμε :

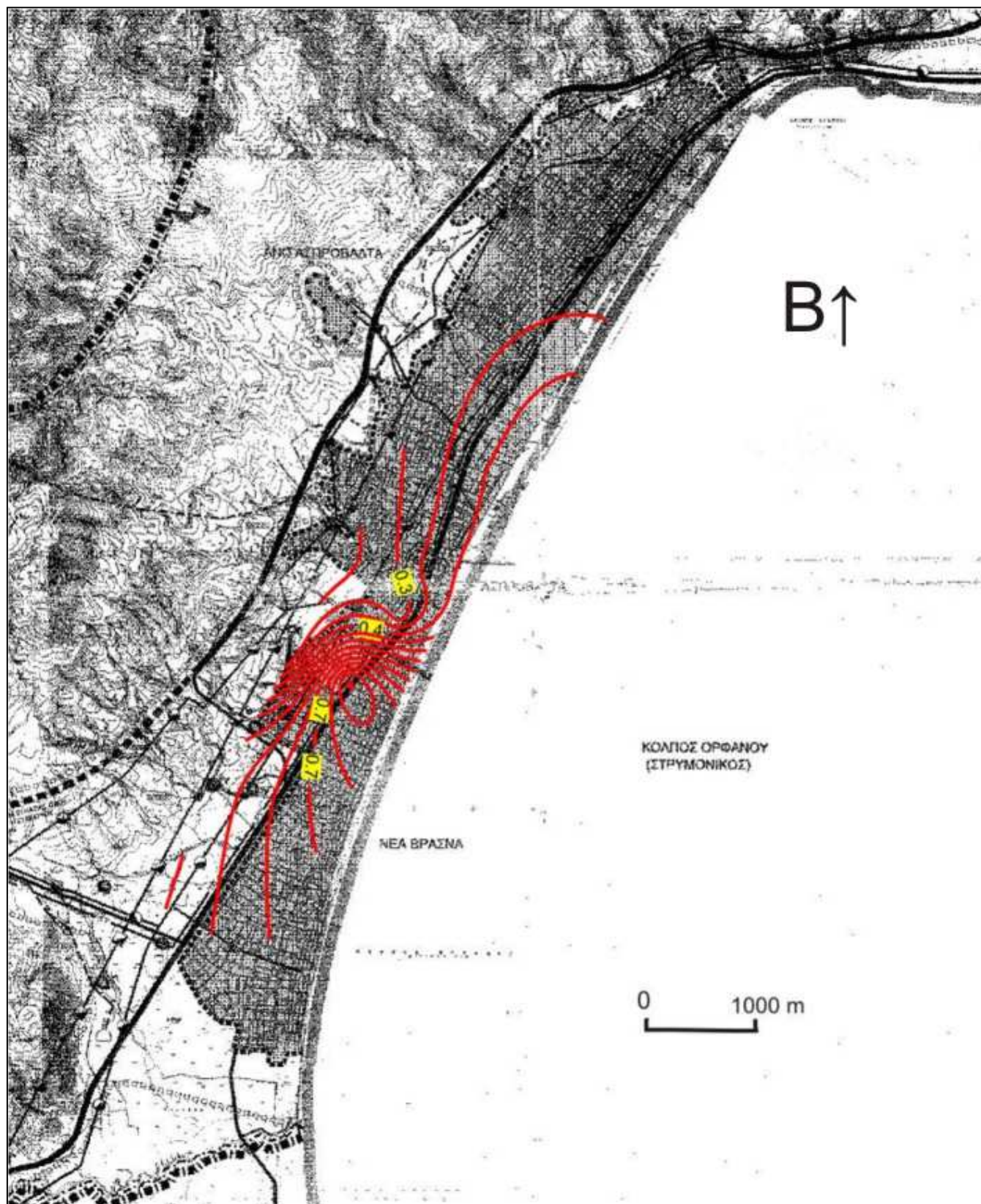
- $Na^+/Cl^- = 0,876 \pm 10\%$ Κανονικό υπόγειο νερό.
- $Na^+/Cl^- > 1$ νερό από αλκαλικά πυριγενή ή μεταμορφωμένα πετρώματα.
- $Na^+/Cl^- < 0,876 \pm 10\%$ Σημαίνει υφαλμύρωση υδροφορέα δηλαδή διείσδυση θαλασσινού νερού ή υπολείμματα αλάτων (Σούλιος 2006).

Στην περιοχή που μελετάμε όπως φαίνεται και από τον πίνακα 6.1.1 οι τιμές του ιοντικού λόγου Na^+/Cl^- είναι αρκετά χαμηλές με μέγιστη τιμή αυτής στο δείγμα 9 (0,869) και ελάχιστη αυτής στο δείγμα 6 (0,078).

Αναλυτικότερα από την χωρική κατανομή του σχήματος 6.4.1 φαίνεται να υπάρχει μια μείωση της τιμής του συγκεκριμένου ιοντικού λόγου από Α προς Δ/ κατα μήκος της εξεταζόμενης περιοχής που περιλαμβάνονται οι γεωτρήσεις 1-6 και παίρνει τιμές από 0,476-0,078. Ενώ στο ΝΔ/κο μέχρι το κεντρικό τμήμα της περιοχής μεταξύ των γεωτρήσεων 7,8,9 και 10 υπάρχει μια διακύμανση του ιοντικού λόγου μεταξύ των τιμών 0,27-0,869. Οι διακυμάνσεις αυτές οφείλονται στις αντίστοιχες διακυμάνσεις των ιοντικών στοιχείων Na^+ και Cl^- που περιγράφηκαν παραπάνω. Χαμηλές τιμές του ιοντικού αυτού λόγου < 1 οφείλονται στις χαμηλές περιεκτικότητες σε ιόντα νατρίου σε σχέση με τα ιόντα χλωρίου που πιθανώς συνδέονται με το φαινόμενο της ιοντοανταλλαγής των ιόντων νατρίου με ιόντα της στερεάς φάσης.

Από τα αποτελέσματα των αναλύσεων παρατηρούμε πως οι τιμές του ιοντικού λόγου ανήκουν στην τρίτη κατηγορία της παραπάνω κατάταξης του νερού συνεπώς σύμφωνα με αυτήν το νερό προέρχεται από θαλάσσια διείσδυση ή ο υδροφορέας περιέχει υπολείμματα αλάτων. Όσον αφορά τη θαλάσσια διείσδυση αυτό έρχεται σε αντιδιαστολή με τα αποτελέσματα του ιοντικού λόγου Na^+/K^+ από τον οποίο προέκυψε ότι το νερό είναι βρόχινο και με τα αποτελέσματα των συγκεντρώσεων Na^+ οι οποίες είναι χαμηλές ώστε να υποδηλώνουν θαλάσσια διείσδυση.

Συνεπώς οι τιμές του παραπάνω ιοντικού λόγου οφείλονται πιθανόν σε υπολείμματα αλάτων που υπάρχουν στους υπόγειους υδροφορείς λόγω γειτνίασης με τη θάλασσα.



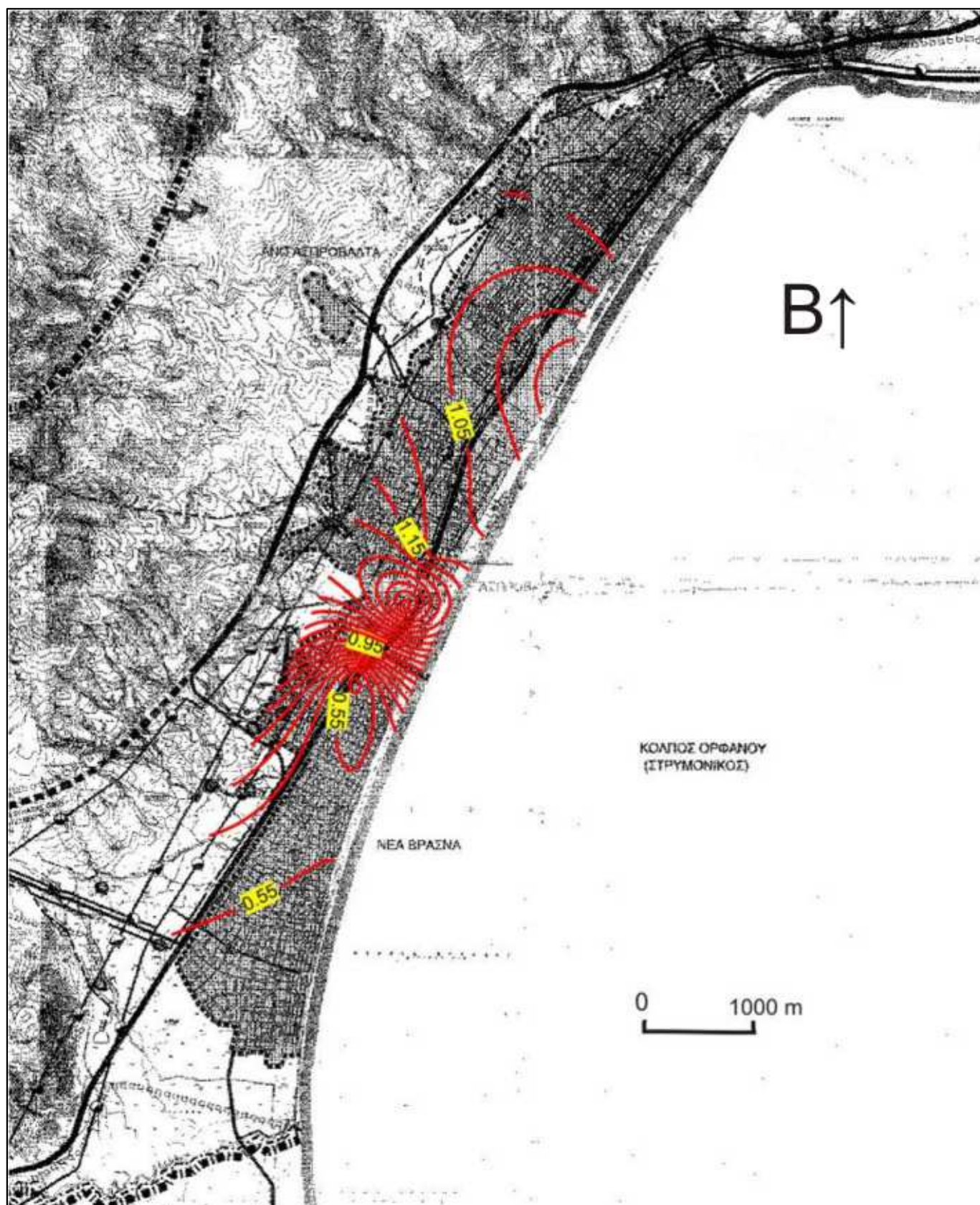
Σχήμα 6.4.1 Χωρική κατανομή ιοντικού λόγου Na^+/Cl^- Μάρτιος – Απρίλιος 2012

6.5 Ιοντικός λόγος Cl^-/SO_4^{2-}

Έχει σχέση με την υφαλμύρωση και την ύπαρξη υπολειμματικών αλάτων στους υδροφορείς. Σύμφωνα με τις τιμές που παίρνει ο ιοντικός αυτός λόγος το νερό κατατάσσεται ως εξής:

- $Cl^-/SO_4^{2-}=10$ θαλασσινό νερό.
- $Cl^-/SO_4^{2-}>5$ νερό χλωριούχο.
- $Cl^-/SO_4^{2-}=1-5$ νερό χλωροθειούχο.
- $Cl^-/SO_4^{2-}=0,2-1$ νερό θειούχο-χλωριούχο
- $Cl^-/SO_4^{2-}<0,2$ νερό θειούχο. (Σούλιος 2006)

Με βάση τον πίνακα 6.1.1 και την χωρική κατανομή του σχήματος 6.5.1 οι τιμές του ιοντικού λόγου κυμαίνονται από 0,472-1,49. Στο ΝΑ/κό τμήμα οι τιμές είναι σχετικά ποιο μικρές από το κεντρικό και ΒΑ/κό τμήμα ενώ στο κεντρικό τμήμα παρουσιάζεται και η μέγιστη τιμή του στα 1,49. Στις γεωτρήσεις 7 και 8 που βρίσκονται στα Δ της περιοχής, στη γεώτρηση 2 όπου βρίσκεται Α καθώς και στη γεώτρηση 9 που βρίσκεται στο κεντρικό τμήμα οι τιμές κυμαίνονται από 0,472-0,807 οι οποίες χαρακτηρίζουν νερό θειούχο-χλωριούχο ενώ στις υπόλοιπες γεωτρήσεις οι τιμές κυμαίνονται από 1,032-1,49 οι οποίες χαρακτηρίζουν νερό χλωροθειούχο. Στα σημεία όπου ο συγκεκριμένος ιοντικός λόγος παίρνει τιμές από 0,2-1 οι περιεκτικότητες των θειικών ιόντων είναι μεγαλύτερες σε σχέση με αυτές των ιόντων χλωρίου πιθανότατα λόγω ανθρωπογενών δραστηριοτήτων (χρήση λιπασμάτων κλπ.) ενώ όταν οι τιμές του συγκεκριμένου ιοντικού λόγου κυμαίνονται μεταξύ 1-5 πιθανόν να υπάρχουν αυξημένες ποσότητες υπολειμματικών αλάτων στους υδροφορείς και να καθιστούν τις συγκεντρώσεις ιόντων χλωρίου μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες συγκεντρώσεις των θειικών ιόντων.

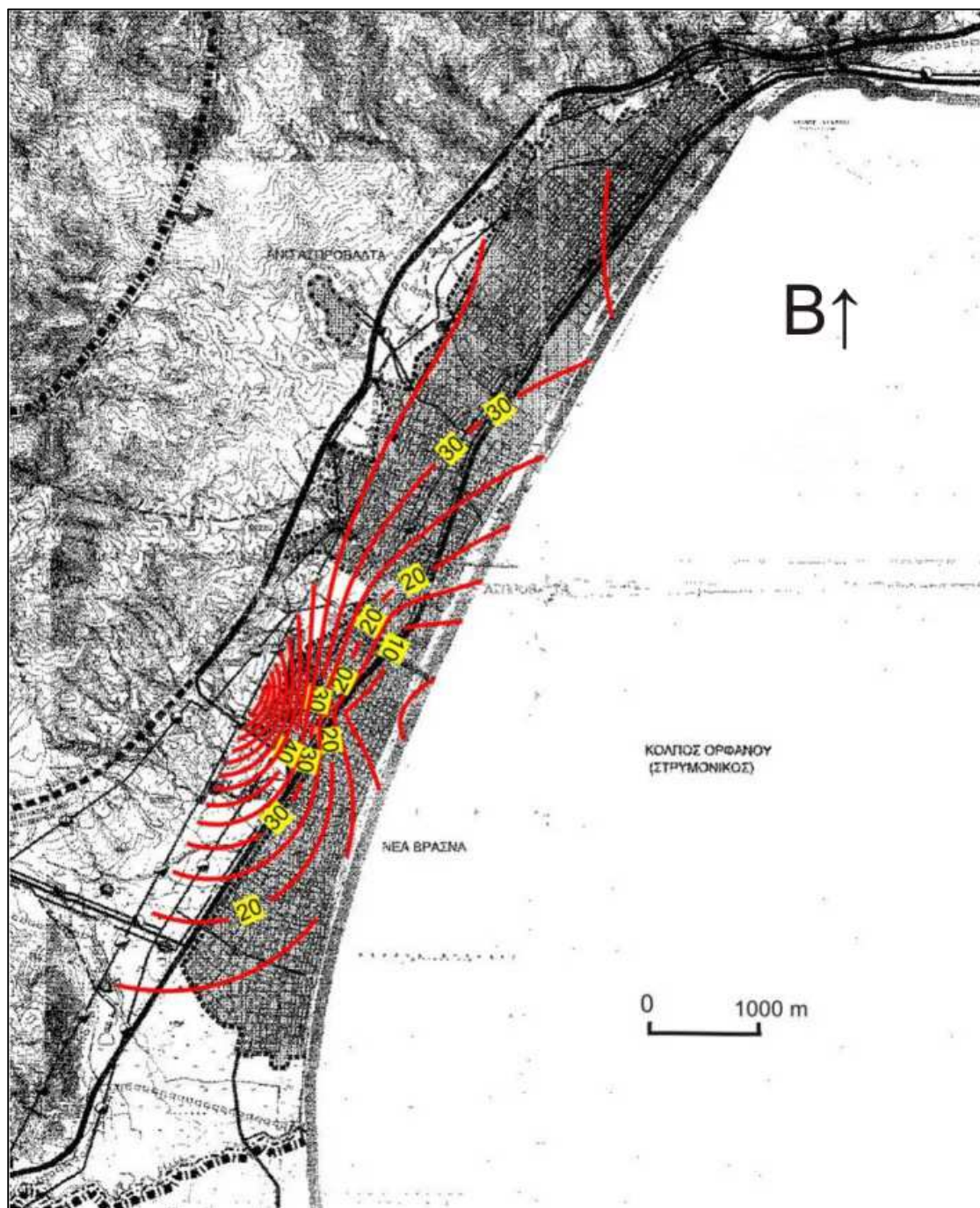


Σχήμα 6.5.1 Χωρική κατανομή ιοντικού λόγου Cl^-/SO_4^{2-} Μάρτιος – Απρίλιος

6.6 Ιοντικός λόγος $(Ca^{2+}+Mg^{2+})/(Na^{+}+K^{+})$

Σχετίζεται με την τροφοδοσία του υπόγειου νερού και ανάλογα με τις τιμές που πέρνει δίνει την παρακάτω κατάταξη για το νερό:

- $(Ca^{2+}+Mg^{2+})/(Na^{+}+K^{+}) > 1$ υδροφόρο στρώμα με συνεχή τροφοδοσία
- $(Ca^{2+}+Mg^{2+})/(Na^{+}+K^{+}) < 1$ παλιό νερό στα κατάντη τμήματα του υδροφορέα (ως προς τη διεύθυνση ροής) (Σούλιος 2006).



Σχήμα 6.6.1 Χωρική κατανομή ιοντικού λόγου $(Ca^{2+}+Mg^{2+})/(Na^{+}+K^{+})$ Μάρτιος – Απρίλιος 2012

Στην εξεταζόμενη περιοχή οι τιμές του παραπάνω ιοντικού λόγου είναι κατά πολύ μεγαλύτεροι της μονάδας και κυμαίνονται από 9,7-110. Από το σχήμα 6.6.1 της χωρικής κατανομής φαίνεται πως από Β προς Ν κατά μήκος της εξεταζόμενης περιοχής οι τιμές του ιοντικού λόγου μειώνονται καθώς επίσης και το ΒΑ/κό με το ΝΔ/κό τμήμα εμφανίζουν υψηλότερες τιμές σε σχέση με το κεντρικό τμήμα της περιοχής. Σύμφωνα με τα παραπάνω πρόκειται για υδροφόρους ορίζοντες με συνεχή τροφοδοσία νερού είτε από τα υδατικά αποθέματα των Κερδυλλίων που βρίσκονται βορειότερα, και γι' αυτό ο ιοντικός λόγος παρουσιάζει υψηλότερες τιμές στα Β τμήματα είτε άμεσα δια της κατείσδυσης του νερού από τις βροχοπτώσεις οι οποίες έλαβαν χώρα την χειμερινή περίοδο πριν γίνει η δειγματοληψία (Κακλής 2011). Επίσης η τροφοδοσία μπορεί να γίνεται και πλευρικά από Α και Δ προς τα κεντρικά σημεία της περιοχής.

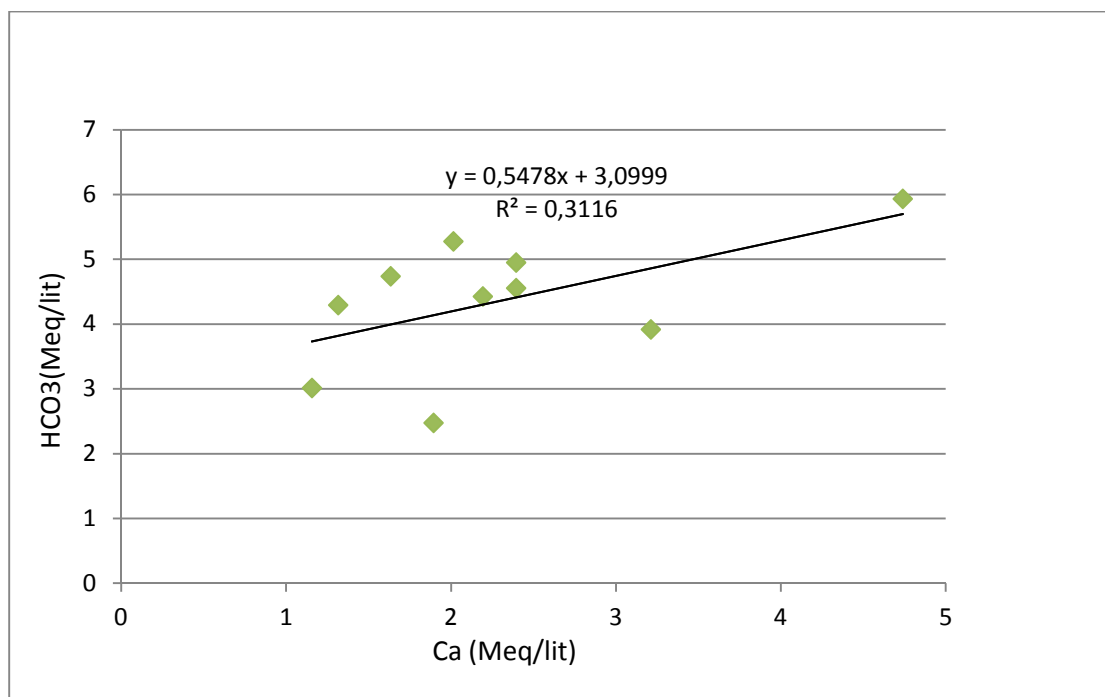
7. ΔΥΑΔΙΚΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ

Πρόκειται για τα διαγράμματα συσχέτισης ιόντων ,χρησιμοποιούνται όταν θέλουμε να συγκρίνουμε μεταβολές ιόντων για την ίδια χρονική περίοδο και θέλουμε να διαπιστώσουμε εάν η μεταβολή αυτή του ιόντος συσχετίζεται με την αντίστοιχη μεταβολή κάποιου άλλου ιόντος. Σε αυτά λαμβάνουμε υπόψη το βαθμό εμπιστοσύνης R^2 . Οι τιμές της περιεκτικότητας του υπόγειου νερού σε ιόντα στα διαγράμματα αυτά είναι εκφρασμένες σε meq/l ανά ζεύγη. Η συσχέτιση έγινε με βάση τις χαρακτηριστικές ιδιότητες των ιόντων αλλά και με βάση την λιθολογία της εξεταζόμενης περιοχής. Υπάρχουν κάποιες περιπτώσεις που η περιεκτικότητα του υπογείου νερού σε ορισμένα ιόντα συσχετίζεται με την στάθμη του αντίστοιχου υδροφορέα , ιόντα του K ή του Na σε ρηχά υδροφόρα ή λόγω χρήσης λιπασμάτων και του Cl σε παράκτια υδροφόρα. Σε πηγές νερού το T.D.S συσχετίζεται με την παροχή καθώς και η περιεκτικότητα του νερού σε διάφορα ιόντα όπως Mg, Cl, HCO₃. Αναλυτικά τα δεδομένα του πίνακα 7.1 εκφρασμένα σε meq/ l που χρησιμοποιήθηκαν για την δημιουργία αυτών των διαγραμμάτων.

Πίνακας 7.1 Συγκεντρώσεις ιόντων εκφρασμένες σε meq/l Απρίλιος 2012

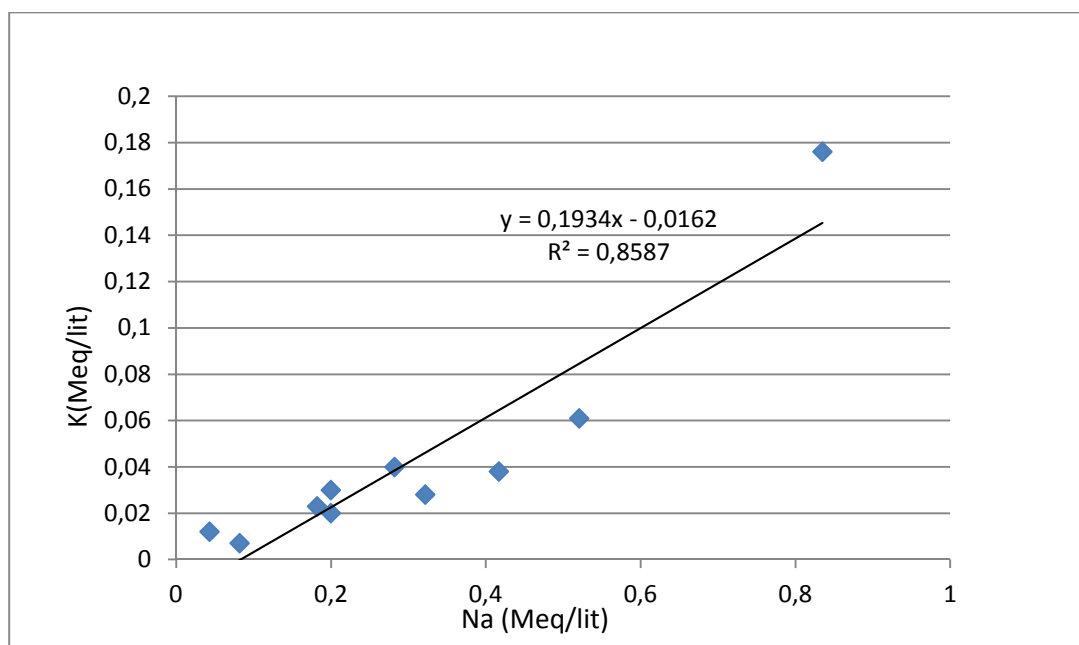
ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ	Ca	Mg	K	Na	HCO ₃	SO ₄	NO ₃	Cl
1	2,395	4,013	0,028	0,322	4,556	0,791	0,284	0,959
2	2,015	4,819	0,03	0,2	5,277	0,52	0,241	0,42
3	1,636	4,013	0,023	0,182	4,736	0,437	0,234	0,451
4	2,195	4,219	0,04	0,282	4,425	0,708	0,257	0,761
5	2,395	4,219	0,007	0,082	4,949	0,624	0,156	0,688
6	1,317	4,737	0,012	0,043	4,294	0,541	0,142	0,547
7	1,157	3,256	0,038	0,417	3,015	0,687	0,355	0,609
8	1,896	2,409	0,02	0,2	2,474	0,958	0,206	0,654
9	3,213	2,812	0,061	0,521	3,917	1,27	0,383	0,6
10	4,74	5,345	0,176	0,835	5,933	2,082	0,092	3,102

Οι συσχετίσεις που επιλέχθηκαν για την συγκεκριμένη περιοχή είναι αυτές μεταξύ Ca(meq/l) και Ηλεκτρικής αγωγιμότητας (μS/cm), K(meq/l) και Na(meq/l), Cl(meq/l) και Ηλεκτρικής αγωγιμότητας (μS/cm), Na(meq/l) και Cl(meq/l), HCO₃(meq/l) και Ca(meq/l) και η συσχέτιση μεταξύ TDS και ηλεκτρικής αγωγιμότητας η οποία παρουσιάζεται σε προηγούμενη παράγραφο. Στο παρακάτω σχήμα 7.1 δίνεται η συσχέτιση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας με τα όξινα ανθρακικά. Ο συντελεστής συσχέτισης υπολογίζεται $R=31,16$ %. Υπάρχει μια σχετική συσχέτιση των 2 ιόντων και αυτό ίσως να οφείλεται και στην ύπαρξη των αλλουβιακών αποθέσεων. Η τιμή συσχέτισης είναι πολύ μικρή για να βγουν ασφαλή συμπεράσματα.



Σχήμα 7.1 Διάγραμμα συσχέτισης όξινων ανθρακικών ιόντων και ιόντων ασβεστίου

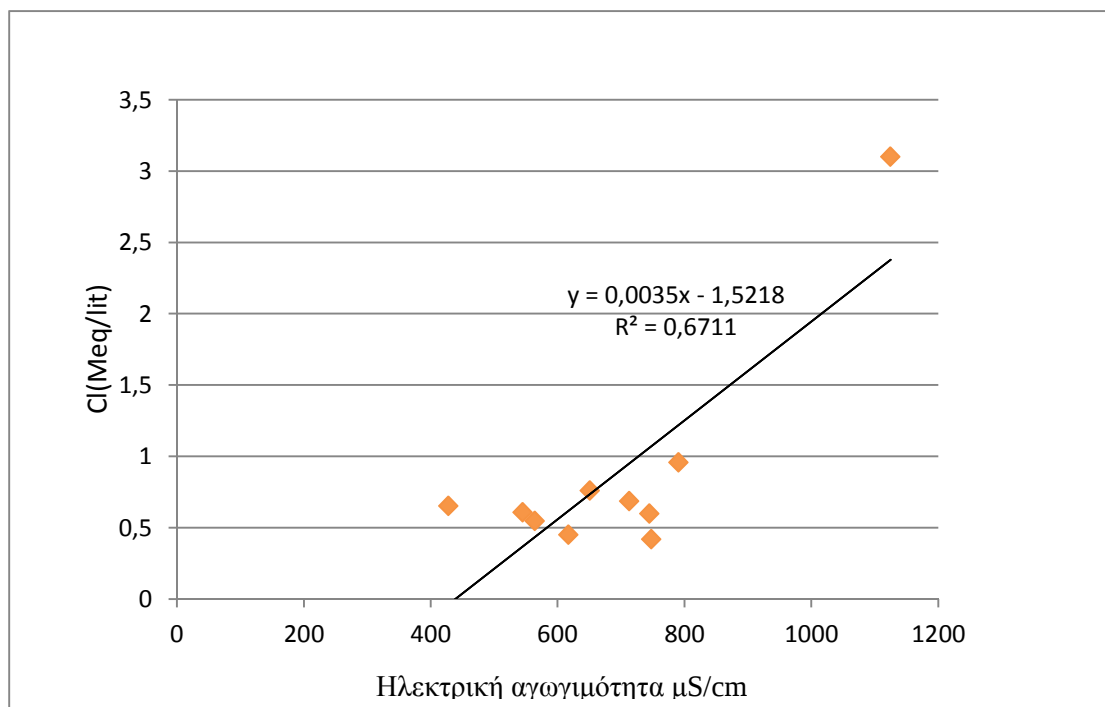
Το σχήμα 7.2 παρουσιάζει την συσχέτιση του καλίου με το νάτριο με τον συντελεστή να υπολογίζεται στο $R=85,87\%$



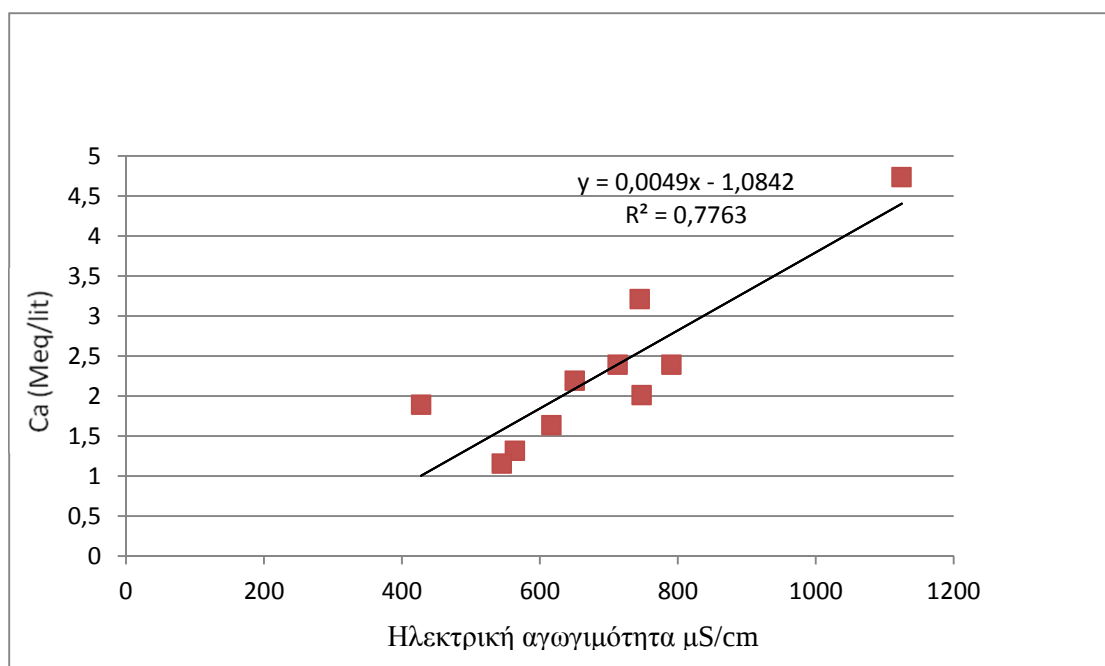
Σχήμα 7.2 Διάγραμμα συσχέτισης ιόντων νατρίου - καλίου

Ανάλυση και διαχείριση ποιότητας υπογείου νερού στο Δ.Δ Αγίου Γεωργίου

Στο σχήμα 7.3 δίνεται η συσχέτιση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας με τα ιόντα χλωρίου με τον συντελεστή συσχέτισης να είναι $R=67,11\%$. Απο το διάγραμμα προκύπτει μια εμφανής αναλογική σχέση των 2 παραμέτρων στα περισσότερα δείγματα του νερού. Ομοίως το σχήμα 7.4 παρουσιάζει την συσχέτιση των ιόντων ασβεστίου με την EC με $R=77,63\%$ ενώ και η αναλογική σχέση και σε αυτήν την περίπτωση είναι εμφανής.

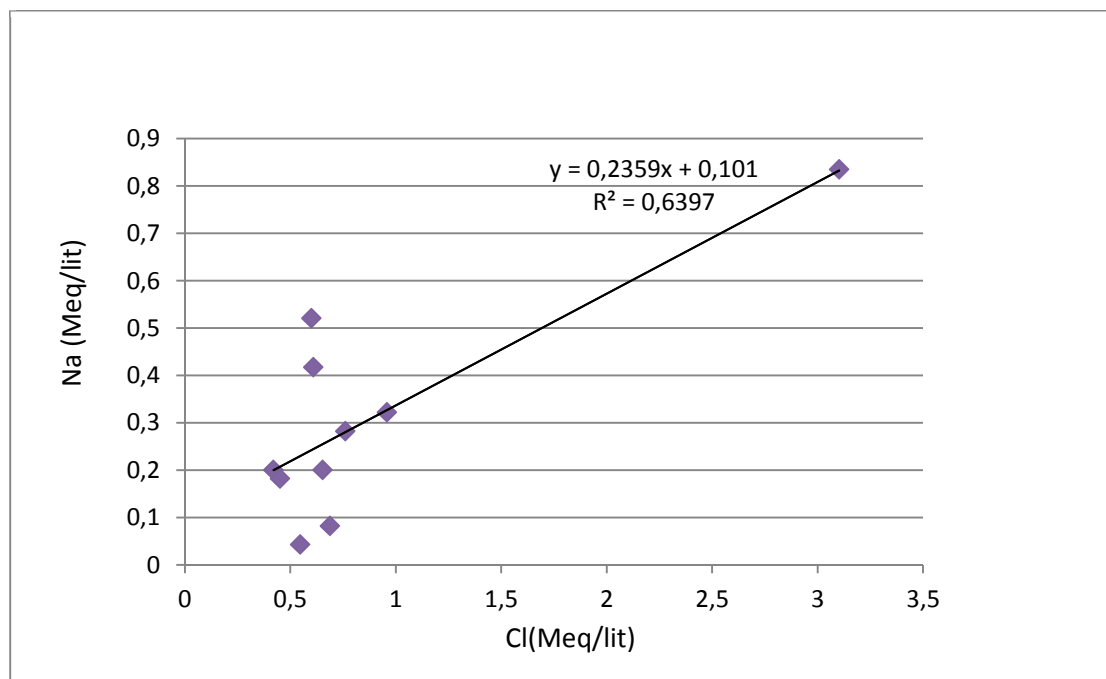


Σχήμα 7.3 Διάγραμμα συσχέτισης ηλεκτρικής αγωγιμότητας και ιόντων χλωρίου



Σχήμα 7.4 Διάγραμμα συσχέτισης ηλεκτρικής αγωγιμότητας και ιόντων ασβεστίου

Το σχήμα 7.5 δείχνει την συσχέτιση μεταξύ ιόντων χλωρίου και νατρίου με τον δείκτη $R=63,97\%$



Σχήμα 7.5 Διάγραμμα συσχέτισης ιόντων χλωρίου - νατρίου

Από τα παραπάνω διαγράμματα την καλύτερη συσχέτιση παρουσιάζουν τα διαγράμματα ιόντων ασβεστίου και ηλεκτρικής αγωγιμότητας και ιόντων χλωρίου και νατρίου. Η συγκέντρωση των ιόντων του χλωρίου και του νατρίου είναι αποτέλεσμα μεταφοράς σταγονιδίων NaCl από την θάλασσα στην στεριά μέσω της διαδικασίας της εξάτμισης και της μεταφοράς αυτών πάνω από την στερεή επιφάνεια. Λόγω της πτώσης της θερμοκρασίας υγροποιούνται και κατεισδύουν μαζί με το μετεωρικό νερό.

8. ΥΔΡΟΧΗΜΙΚΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ

8.1 Συντελεστής προσρόφησης Νάτριου(S.A.R)

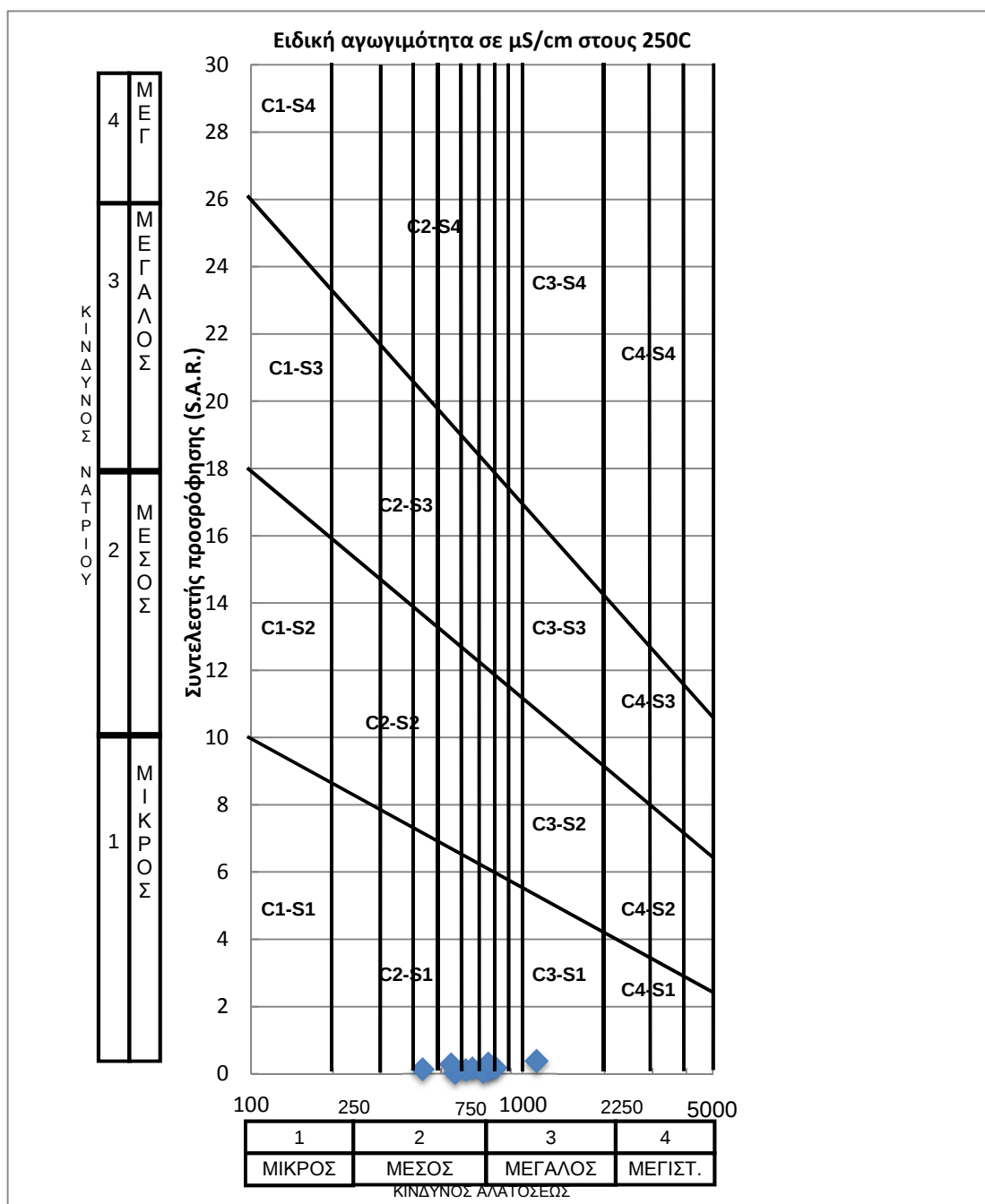
Η περιεκτικότητα σε Νάτριο αποτελεί δείκτη ποιότητας του αρδευτικού νερού. Το Νάτριο επιδράει στις φυσικές ιδιότητες του εδάφους όπως η διαπερατότητα και η διηθητικότητα και μπορεί να οδηγήσει σε αποκροκίδωση του εδάφους. Η σχέση μεταξύ του διαλυτού νατρίου και των άλλων διαλυτών κατιόντων ασβεστίου και μαγνησίου δίνεται από τον λόγο προσροφήσεως του νατρίου S.A.R (Sodium Absorption Ratio). Η τιμή S.A.R εκφράζει την ενεργότητα των ιόντων του νατρίου και καθορίζει την ικανότητα εναλλαγής τους με τα κατιόντα Ca και Mg. Υπάρχουν 4 κατηγορίες με βάση την τιμή S.A.R και για αγωγιμότητα 750 $\mu\text{S}/\text{cm}$. S.A.R <6 μικρός κίνδυνος νατρίου, S.A.R 6-12 μέσο κίνδυνο, S.A.R 12-18 μεγάλο κίνδυνο, S.A.R > 18 πολύ μεγάλο κίνδυνο. Δίνεται σχέση που συνδέει το νάτριο με τα κατιόντα ασβεστίου και μαγνησίου:

$$\bullet \text{ S.A.R} = \frac{\text{Na}^+}{\sqrt{\frac{\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}}{2}}} \quad \text{Δείκτης S.A.R}$$

Με βάση τον δείκτη S.A.R και των παραμέτρων που καθορίζουν την ποιότητα του νερού (Πίνακας 8.1) μπορούμε να διακρίνουμε τις εξής κατηγορίες αρδευτικού νερού: Α: C1-S1 ποιότητα καλή, Β: C1-S2, C2-S1 ποιότητα καλή μέχρι μέτρια, Γ: C1-S3, C2-S2, C3-S1 ποιότητα μέτρια μέχρι πολύ μέτρια, Δ: C1-S4, C2-S3, C3-S2, C4-S1 ποιότητα μέτρια έως κακή, Ε: C2-S4, C3-S3, C4-S2 ποιότητα κακή και τέλος Ζ: C3-S4, C4-S3, C4-S4 πολύ κακή ποιότητα (Richards 1954).

Πίνακας 8.1.1 Φυσικές και ορυκτολογικές παράμετροι για τον προσδιορισμό της ποιότητας του νερού. Ammar.Tiri and Abderrahmane. Boudoukha. European Journal of Scientific Research (2010)

Clas/parameters	Μονάδες	C1	C2	C3	C4
Physical quality					
Ph		6.5-8.5	6.5-8.5	5.5-6.5 ή 8.5-9	<5.5 ή >9
suspension material	mg/l	0-30	30-75	75-100	>100
Temperature °C		25	25-30	30-35	35
Smell, taste		χωρίς	χωρίς	χωρίς	χωρίς
Mineral quality					
dry deposit		300-1000	1000-1200	1200-1600	>1600
Ca	mg/l	40-100	100-200	200-300	>300
Mg	mg/l	<300	30-100	100-150	>150
Na	mg/l	10-100	100-200	200-500	>500
Cl	mg/l	10-150	150-300	300-500	>500
SO ₄	mg/l	50-200	200-300	300-400	>400



Σχήμα 8.1 Διάγραμμα Wilcox κατάταξη αρδευτικών νερών με βάση το δείκτη SAR για τα 10 δείγματα (Απρίλιος 2012)

Από το διάγραμμα του παραπάνω σχήματος παρατηρούμε ότι τα δείγματα νερού της περιοχής μας κατατάσσονται στις κατηγορίες C2-S1 και C3-S1. Με τον κίνδυνο του νατρίου να είναι στην κατηγορία 2 και να θεωρείται μεσαίος. Το όριο μεταξύ των τάξεων C2 με C3 στον οριζόντιο άξονα αποτελεί η τιμή της αγωγιμότητας των 750 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Στην κατηγορία C2-S1 ανήκουν τα δείγματα των γεωτρήσεων 3,4,5,6,7,8 (βλ σχ.4.2.1) όπου το νερό πρέπει να χρησιμοποιείται είτε με προφύλαξη στα βάρια εδάφη που δεν αποστραγγίζονται καλά και με επιφύλαξη για ευαίσθητα φυτά. Ενώ τα δείγματα των γεωτρήσεων 1,2,9 και 10 (κεντρικό και βορειοανατολικό τμήμα) που ανήκουν στην κατηγορία C3-S1 ο κίνδυνος αλατώσεως

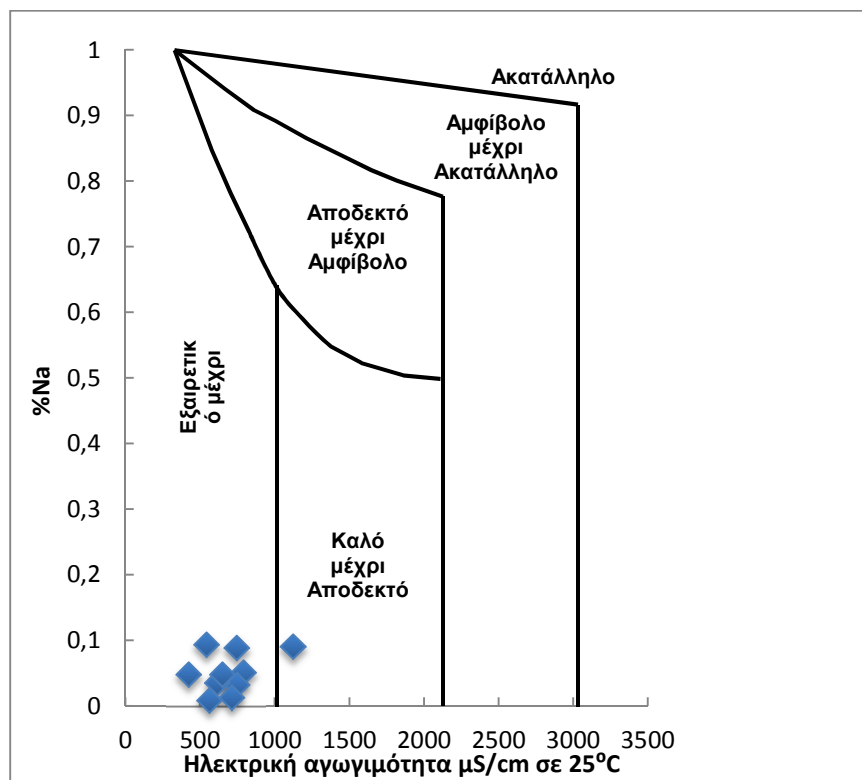
είναι στην κατηγορία 3 και θεωρείται μεγάλος. Το νερό μπορεί να χρησιμοποιείται με μέτρα προφύλαξης. Το έδαφος πρέπει να αποστραγγίζεται καλά ή πρέπει να προστίθεται σε αυτό γύψος.

8.2 Περιεκτικότητα σε νάτριο

Η περιεκτικότητα σε νάτριο ή βαθμός αλκαλίωσης εκφράζεται σαν ποσοστό επί τοις εκατό (Na%) με βάση την σχέση: $Na(\%) = (Na + K) \cdot 100 / (Ca + Mg + Na + K)$ όπου οι συγκεντρώσεις είναι εκφρασμένες σε meq/l. Δίνεται ο παρακάτω πίνακας περιεκτικότητας του Νατρίου σε σχέση με την αγωγιμότητα του κάθε δείγματος.

Πίνακας 8.2.1 Βαθμός αλκαλίωσης σε αντιστοιχία με την ηλεκτρική αγωγιμότητα.

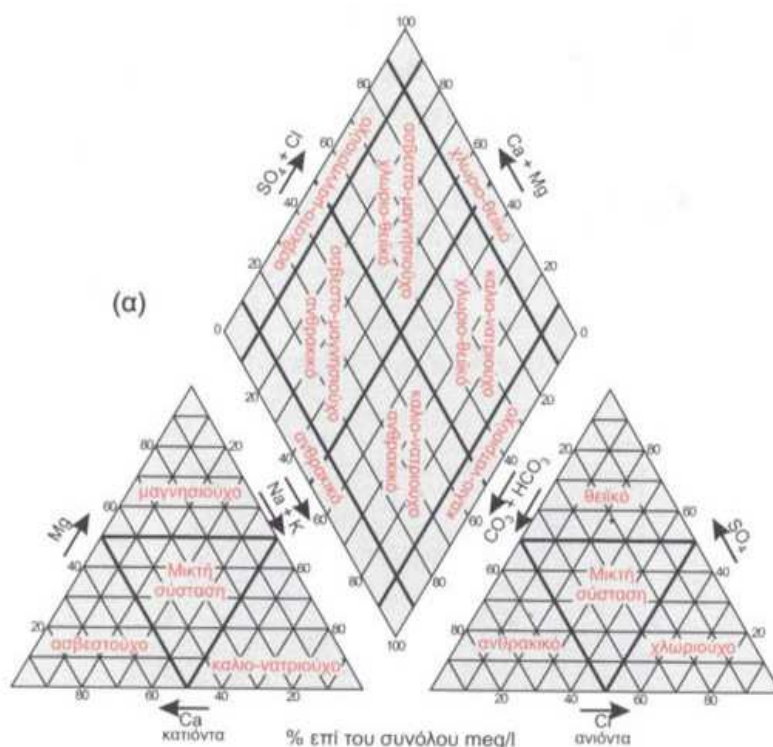
Δείγμα γεώτρησης	Na%	Αγωγιμότητα
1	5,179	791
2	3,255	748
3	3,501	617
4	4,78	651
5	1,327	713
6	0,9	564
7	9,346	545
8	4,861	428
9	8,808	745
10	9,111	1125



Σχήμα 8.2.1. Διάγραμμα Wilcox ταξινόμησης με βάση τον βαθμό αλκαλίωσης.

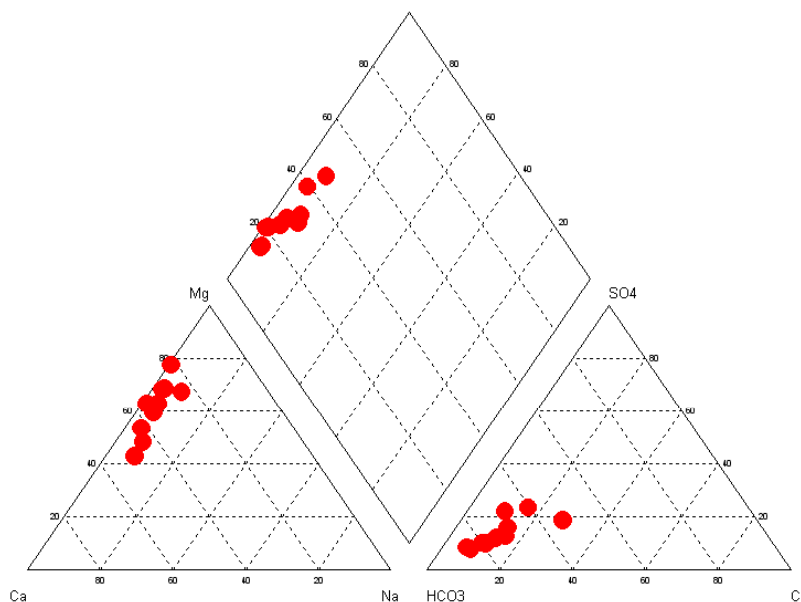
8.3 Υδροχημικά διαγράμματα

Αποτελείται από δύο τριγωνικά διαγράμματα ένα για ανιόντα και ένα για κατιόντα καθώς και από έναν ενδιάμεσο ρομβικό διάγραμμα που στο σύνολο τους δημιουργούν ένα τρίγωνο. Μας δίνει την υδροχημική φάση των δειγμάτων. Ως μονάδες χρησιμοποιούνται τα meq/l και μάλιστα η εκατοστιαία συμμετοχή κάθε ιόντος, χωριστά για κατιόντα και χωριστά για ανιόντα. Μέσα από το διάγραμμα Piper μπορεί να γίνει ταξινόμηση των διάφορων δειγμάτων νερού σε κατηγορίες (φάσεις) ακόμα και αν έχουμε πολλά και διαφορετικά δείγματα. Επίσης επιτρέπει την εποπτική σύγκριση των διαφόρων δειγμάτων νερού (Σούλιος 2006).



Στο παρακάτω σχήμα 8.3.1.2 απεικονίζεται η υδροχημική φάση του νερού της περιοχής. Σε κατά αντιστοιχία με το σχήμα 8.3.1.1 μπορούμε να συμπεράνουμε από το τρίγωνο των κατιόντων ότι το νερό μπορεί να χαρακτηριστεί ως ασβεστούχο και μαγνησιούχο και από το διάγραμμα των ανιόντων χαρακτηρίζεται ως ανθρακικό. Ενώ από το ρομβικό διάγραμμα προκύπτει ο ασβεστό-μαγνησιούχο-ανθρακικός

χαρακτήρας του. Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενα κεφάλαια ο χρόνος παραμονής του νερού μέσα στον υδροφόρο καθώς και η ύπαρξη γενεσίων, μαρμάρων και αλλουβιακών σχηματισμών στην περιοχή μας παίζουν καθοριστικό ρολό στην διαμόρφωση της υδροχημικής φάσης του νερού.

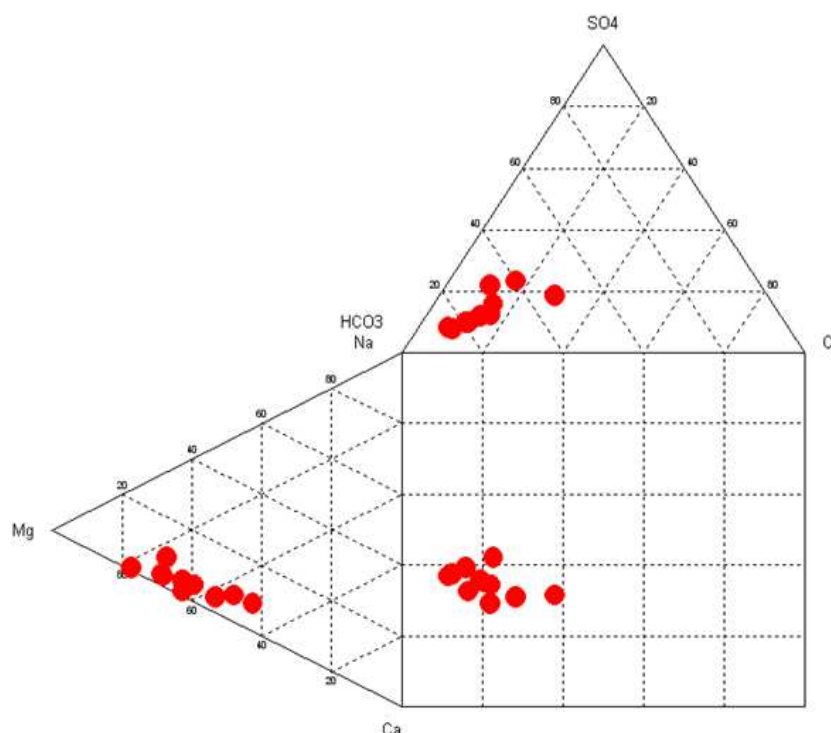


Σχήμα 8.3.1.2 Διάγραμμα Piper (Ασπροβάλτα –Ν.Βρασνά
Απρίλιος 2012)

8.3.2 Διάγραμμα Durov

Πρόκειται για ένα διάγραμμα που χωρίζεται σε 2 επί μέρους τριγωνικά διαγράμματα, ένα για τα ανιόντα και ένα για τα κατιόντα που συνδέονται μεταξύ τους με ένα τετραγωνικό, διαχωριζόμενο σε 9 επί μέρους τετραγωνίδια που αντιστοιχούν σε κατηγορίες νερού και σε υδροχημικές διαδικασίες που συμβαίνουν σε αυτό. Οι μονάδες μέτρησης είναι meq/lit εκφρασμένες σε ποσοστό επί τοις εκατό, με την αναλογία τους στα κατιόντα και στα ανιόντα χωριστά αλλά και ως σύνολο. Τα σχετικά ποσοστά των βασικών ανιόντων και κατιόντων εμφανίζονται στο πάνω και στο αριστερό τρίγωνο αντίστοιχα. Πολλές φορές χρησιμοποιείτε και αναλυτικότερο διάγραμμα Durov με την προσθήκη 2 ορθογωνίων στο κάτω και στο δεξιό τμήμα του τετραγώνου. Εκεί λαμβάνονται υπόψη οι μετρήσεις pH και TDS αντίστοιχα. Η διάφορα του διαγράμματος Durov με αυτό του Piper έγκειται στο γεγονός ότι έκτος από την υδροχημική φάση του νερού μας δίνει πληροφορίες και για το πώς

συμπεριφέρονται τα ιόντα(ιοντοανταλλαγή) του νερού μεταξύ τους. Στο σχήμα 8.3.2 παρουσιάζεται το απλό διάγραμμα Duroν για 10 διαφορετικά δείγματα της περιοχής.



Σχήμα 8.3.2 Διάγραμμα Duroν (Ασπροβάλτα –Ν.Βρασνά Απρίλιος 2012)

Από την ανάλυση του διαγράμματος για το τρίγωνο των ανιόντων παρατηρούμε αυξημένες τιμές HCO_3 ενώ από το τρίγωνο των κατιόντων έχουμε κατά κύριο λόγο αυξημένα ποσοστά Mg και κατά δεύτερον Ca. Ενδεχομένως η ύπαρξη των αλλουβιακών ριπιδίων προσφέρουν οξυνθρακικά και ασβεστόανθρακικά ιόντα. Επιπλέον η ύπαρξη φακών ή σχηματισμών μαρμάρου ενισχύει ενδεχομένως τα ιόντα σε Ca στο νερό λόγω της μεγάλης διαβρωτικής και διαλυτικής ικανότητας που παρουσιάζουν. Ο γενεύσιος θεωρείται αδιαπερατός σχηματισμός και η κίνηση του νερού γίνεται μέσα από τα ρήγματα και τις διαρρήξεις και όταν συναντήσουν ένα πολύ διαπερατό (μάρμαρα) περιβάλλον τότε συσσωρεύονται μεγαλύτερες ποσότητες υπόγειου νερού σ αυτό και ο χρόνος παραμονής τους είναι μεγαλύτερος.

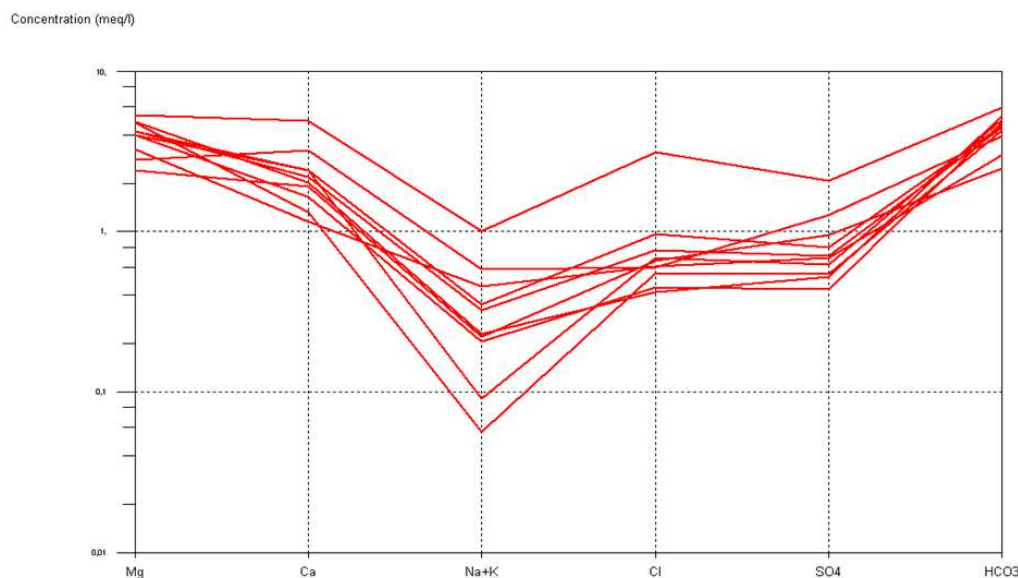
Η απόπλυση του βιοτιτικού γενευσίου μέσα από τα ρήγματα και τις διαρρήξεις τροφοδοτεί το υπόγειο νερό με ιόντα Mg. Σχεδόν ολόκληρο το μέτωπο του ορογενούς που βλέπει προς τις πεδινές περιοχές Ασπροβάλτας και Ν.Βρασνών αποτελείται αποκλειστικά από βιοτιτικούς γενευσίους και μάρμαρα. Τέλος, μέσα από το διάγραμμα δεν παρατηρούνται αντίστροφες ιοντικές ανταλλαγές.

8.3.3 Διάγραμμα Shoeller

Είναι ένα διάγραμμα που στον κατακόρυφο άξονα έχει τιμές διάφορων ιόντων σε ημιλογαριθμική κλίμακα εκφρασμένα σε meq/l και στον οριζόντιο τα ιόντα αναγράφονται σε δεκαδική κλίμακα με την εξής σειρά Mg, Ca Na+K, Cl, SO₄, HCO₃.

Όταν η καμπύλη του διαγράμματος έχει το κυρτό μέρος προς τα πάνω τότε πρόκειται για υφάλμυρο νερό ενώ όταν έχει το κοίλο πρόκειται για γλυκό νερό. Επιπλέον όσο πιο «ψηλά» βρίσκεται η καμπύλη τόσο μεγαλύτερη θα είναι και η συνολική περιεκτικότητα σε ιόντα (Σούλιος 2006).

Συνεπώς για την περιοχή μας (βλ σχ. 8.3.3) μπορούμε να συμπεράνουμε ότι έχουμε σχετικά αυξημένες τιμές ασβεστίου μαγνησίου και όξινων ανθρακικών ιόντων οι οποίες επαληθεύουν την αλληλεπίδραση νερού με ασβεστομαγνησιούχα και ανθρακικά (μάρμαρα) πετρώματα.



Σχήμα 8.3.3 Διάγραμμα Shoeller (Ασπροβάλτα-Ν.Βρασνά Απρίλιος 2012)

Παρατηρούνται επίσης αυξημένες τιμές Cl γεγονός που δείχνει μια όχι και τόσο καλή κατάσταση και χρειάζεται μια περαιτέρω διερεύνηση για το εάν μπορεί να έχουμε μια ποιοτική υποβάθμιση λόγω αυξημένης ποσότητας χλωρίου. Τέτοιες διεργασίες είναι μια πιο συστηματική δειγματοληψία και ανάλυση των δειγμάτων για να έχουμε μια πιο εμπεριστατωμένη γνώση της διακύμανσης των ιόντων Cl καθ'ολη την διάρκεια του έτους, καθώς και απαιτείται ένας υπολογισμός της τροφοδοσίας των υδροφορέων με την μέθοδο του ισοζυγίου της μάζας χλωριόντων για να βρεθούν οι κύριες πηγές τροφοδοσίας των ιόντων χλωρίου στο υπόγειο νερό.

9. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σκοπός αυτής της διπλωματικής ήταν η διαχείριση και η ανάλυση της ποιότητας του υπόγειου νερού στο Δ.Δ Αγίου Γεωργίου. Τα συμπεράσματα της εργασίας αυτής συνοψίζονται παρακάτω:

1. Ο Δήμος Α. Γεωργίου περιλαμβάνει τα δημοτικά διαμερίσματα Βρασνών και Ασπροβάλας και την τελευταία 10ετία παρουσιάζει έντονη οικιστική και πληθυσμιακή ανάπτυξη με αποτέλεσμα την αυξημένη ζήτηση σε νερό στην περιοχή.
2. Πρόκειται για μια πεδινή παράκτια περιοχή με υψόμετρο έως 150 μέτρα και με έκταση 65.866 στρεμμάτων η οποία περιβάλλεται από το όρος Κερδύλλιο προς το βορρά και από τον Στρυμωνικό κόλπο προς τα νότια.
3. Η περιοχή έρευνας αποτελεί τμήμα της Σερβομακεδονικής μάζας και συγκεκριμένα της σειράς Κερδυλλίων και αποτελείται από τεταρτογενή ιζήματα όπως παράκτιες, αλλουβιακές αποθέσεις και άμμους με αμμούχες άργιλους καθώς και πλειστοκαινικά ιζήματα από πλευρικά κορήματα και κώνους κορημάτων καθώς και παρουσία αλλουβιακών ριπιδίων. Η περιοχή περιβάλλεται κυρίως από βοιτιτικούς γένουςιους ενώ βορειότερα εμφανίζονται και ανθρακικοί σχηματισμοί όπως μάρμαρα.
4. Οι υπόγειοι υδροφορείς αναπτύσσονται μέσα στους αδρόκοκκους ιζηματογενείς σχηματισμούς. Λόγω της παρεμβολής αργιλικών στρωμάτων δημιουργούνται επάλληλα υπο πίεση υδροφόρα στρώματα, και επιφανειακά ένας φρεάτιος υδροφορέας.
5. Η μέση ετήσια βροχόπτωση ανέρχεται σε 430,5 mm με ελάχιστη τιμή τα 231,7 mm και μέγιστη τα 588,9 mm.
6. Ο εμπλουτισμός των υδροφόρων στρωμάτων γίνεται με κατείσδυση νερού της βροχής και με διήθηση από τους χειμάρρους της περιοχής. Πιθανή τροφοδοσία επίσης μπορεί να προέρχεται από τους ανάντη υδροφορείς των μαρμάρων.
7. Η δειγματοληψία έλαβε χώρα την περίοδο Μάρτιο-Απρίλιο του 2012 κατά την οποία οι τροφοδοσία των υδροφορέων έχει κορυφωθεί από το σύνολο των χειμερινών βροχοπτώσεων και η στάθμη αυτών είναι η μέγιστη. Το γεγονός ότι η υδροφορία σχηματίζεται μέσα και σε ιζηματογενείς σχηματισμούς ήταν αναμενόμενη η πλούσια συγκέντρωση σε ιόντα
8. Η υψηλή συγκέντρωση ιόντων μαγνησίου και η συγκέντρωση ιόντων ασβεστίου ανατολικά και δυτικά της περιοχής οφείλεται στον εμπλουτισμό του νερού από ασβεστομαγνησιούχα πετρώματα και πιθανότατα και σε φαινόμενα ιοντοανταλλαγής του νατρίου με τη στερεά φάση των πετρωμάτων, δηλαδή αντικατάσταση νατρίου στο νερό από ασβέστιο η μαγνήσιο των πετρωμάτων. Στο κεντρικό τμήμα της περιοχής πιθανότατα το νερό να παρέμεινε περισσότερο χρόνο μέσα σε ανθρακικά πετρώματα γι' αυτό οι τιμές του ασβεστίου σε εκείνο το σημείο να εμφανίζονται ελαφρώς αυξημένες σε σχέση με το μαγνήσιο κάτι που επιβεβαιώνεται και από την αυξημένη συγκέντρωση όξινων ανθρακικών ιόντων στο κεντρικό τμήμα σε σχέση με την υπόλοιπη περιοχή.

9. Οι συγκεντρώσεις νατρίου και χλωρίου οφείλονται κυρίως στην γειτνίαση της περιοχής με τη θάλασσα καθώς αυτά μεταφέρονται στο υπέδαφος μέσω αερομεταφερομένων σταγονιδίων από τη θάλασσα καθώς και από βροχοπτώσεις δια μέσου της κατείσδυσης.
10. Η συγκέντρωση των θεικών ιόντων κυμαίνεται μεταξύ 21-100 mg/l με τις υψηλότερες τιμές να αποδίδονται στην οξείδωση σουλφιδίων.
11. Τα νιτρικά ιόντα τα οποία θεωρούνται ως ρύπος εμφανίζονται σε μικρές συγκεντρώσεις εντός του επιτρεπόμενου ορίου (< 50 mg/l). Ελαφρώς αυξημένες τιμές στο κεντρικό τμήμα της περιοχής πιθανότατα να προέρχονται από αστικά λύματα.
12. Οι τιμές των ιοντικών λόγων επιβεβαιώνουν την αλληλεπίδραση του νερού με ασβεστομαγνησιούχα πετρώματα και αποκλείουν την υφαλμύριση από διείσδυση θαλασσινού νερού. Αυξημένες ποσότητες αλάτων πιθανότατα οφείλονται σε υπολείμματα αλάτων στους υδροφορείς λόγω γειτνίασης της περιοχής με τη θάλασσα ή και σε αυξημένο χρόνο παραμονής του νερού στους υπόγειους υδροφορείς.
13. Όσον αφορά τις τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και το σύνολο των διαλυμένων στερεών αλάτων κυμαίνονται μεταξύ 428-1125 $\mu\text{S/cm}$ και 274-761 mg/l αντίστοιχα. Φαίνεται λοιπόν ότι να νερά στην περιοχή δεν έχουν υποστεί ποιοτική υποβάθμιση.
14. Με βάση τον δείκτη S.A.R ο κίνδυνος αλαττώσεως μπορεί να χαρακτηριστεί μεσαίου βαθμού. Το αρδευτικό νερό ανήκει στις κατηγορίες C2-S1, C3-S1 με την ποιότητα από καλή μέχρι πολύ μέτρια. Το νερό μπορεί να χρησιμοποιείται για άρδευση με μικρό κίνδυνο ανταλλάξιμου νατρίου.
15. Από τα υδροχημικά διαγράμματα Durov, Piper προκύπτει ότι ο υδροχημικός τύπος των υπογείων νερών είναι ασβεστούχος, μαγνησιούχος, οξυανθρακικός: **Ca(Mg)HCO_3** .
16. Μέσα από το διάγραμμα Shoeller παρατηρηθήκαν αυξημένες ποσότητες Cl που δεν δείχνει μια και τόσο καλή κατάσταση και χρειάζεται περαιτέρω διερεύνηση με μια ετήσια παρακολούθηση της διακύμανσης των ιόντων του χλωρίου, και στη συνέχεια σύνταξη ισοζυγίου της μάζας του χλωρίου για να εξακριβωθούν οι κύριες πηγές προέλευσης τους.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**Ελληνόγλωσση βιβλιογραφία**

- Βουβαλίδης Κ. (2002) Μαθήματα φυσικής γεωγραφίας, Τμήμα εκδόσεων Α.Π.Θ
- Βουδούρης Κ. (2009) Υδρογεωλογία περιβάλλοντος υπόγεια νερά και περιβάλλον, εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη
- Δημητριάδης Σ. (1974) Πετρολογική μελέτη των μιγματιτικών γνευσίων και αμφιβολιτών της Ρεντίνας – Ασπροβάλτας – Σταυρού – Ολυμπιάδας, Διδακτορική διατριβή Α.Π.Θ
- Εθνική Στατιστική Υπηρεσία Ελλάδος (2011), Στοιχεία απογράφης πληθυσμού
- Κακλής Τ. (2011) Υδρογεωλογική μελέτη και μελέτη διαχείρισης υδατικών πόρων Πιέριας λεκάνης Ν. Καβάλας, Διδακτορική διατριβή Α.Π.Θ
- Καραμουχτάρη Α. (2006) Η διακύμανση της στάθμης & η ποιότητα των νερών των υδροφόρων στρωμάτων της περιοχής Τύρναβου (Ν. Λάρισας) Διατριβή ειδίκευσης Α.Π.Θ
- Κατσιαπάνης Χ. (2000) Πολιτιστικός Άτλας, Γενική γραμματεία νέας γενιάς, Αθήνα
- Μακρογιάννης Τ., Σαχσαμάνογλου Χ. (2004) Μαθήματα γενικής μετεωρολογίας, εκδόσεις ΧΑΡΙΣ, Θεσσαλονίκη
- Μετεωροσκοπείο Α.Π.Θ, Κλιματολογικά στοιχεία (2011) Μ.Σ Λαγκάδα
- Μουντράκης Δ. (2010) Γεωλογία και γεωτεκτονική εξέλιξη της Ελλάδας, εκδόσεις University studio press, Θεσσαλονίκη
- Σούλιος Γ. (2006) Γενική υδρογεωλογία τέταρτος τόμος, εκδόσεις University studio press, Θεσσαλονίκη
- Σούλιος Γ. (1996) Γενική υδρογεωλογία πρώτος τόμος, εκδόσεις University studio press, Θεσσαλονίκη
- Τρανός Μ. (2011) Γεωλογικές χαρτογραφήσεις γεωλογικοί χάρτες και τομές, εκδόσεις University studio press, Θεσσαλονίκη
- Υπηρεσία ύδρευσης Δ.Δ Αγίου Γεωργίου, Τοπογραφικός χάρτης, ετήσιες καταναλώσεις νερού, αριθμός υδρομέτρων

Ξενόγλωση βιβλιογραφία

- Ammar. Tiri-Abderrahmane. Boudoukha. Ydrochemical Analysis and Assessment of Surface Water Quality in Koudiat Medouar Reservoir, Algeria. European Journal of Scientific Research (2010).

-Papanikolaou.A. Timing of tectonic emplacement of the ophiolites and terrane paleogeography in the Hellenides (2008)

Ιστότοποι

- www.abundanthealthcenter.com

-Google earth

-www.helenicaworld.com

-www.sciencedirect.com