

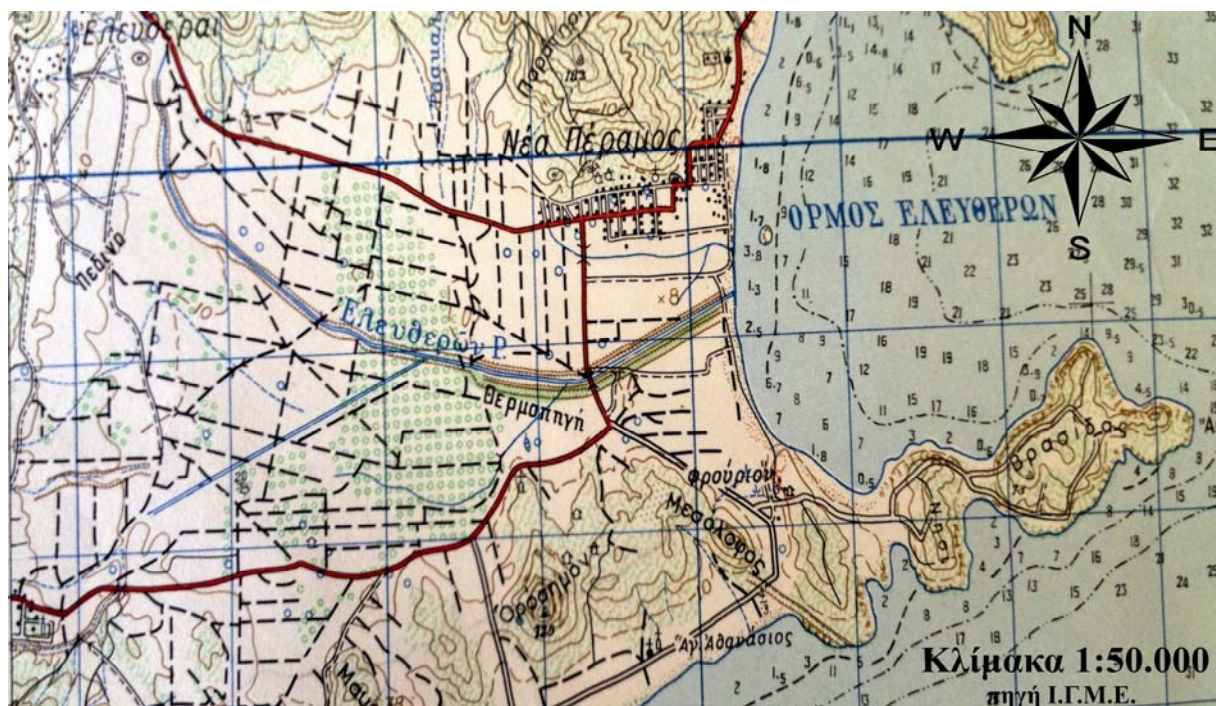
ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΙΩΑΝΝΗΣ Β. ΣΚΟΡΔΑΣ Α.Ε.Μ. : 3627

ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΝΕΑΣ ΠΕΡΑΜΟΥ ΤΟΥ ΝΟΜΟΥ
ΚΑΒΑΛΑΣ ΚΑΙ ΠΟΙΟΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΓΙΑ ΕΝΔΕΙΞΗ ΥΦΑΛΜΥΡΩΣΗΣ
ΤΩΝ ΥΔΡΟΦΟΡΩΝ ΣΤΡΩΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ

Διπλωματική Εργασία

Επιβλέπων : Επίκουρος Καθηγητής Κων/νος Βουδούρης



Θεσσαλονίκη 2012

Περιεχόμενα

1.Πρόλογος.....	σελ.3
2.Εισαγωγή	σελ.3
2.1 Περίληψη.....	σελ.5
3.ΓΕΩΓΡΑΦΙΑ-ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ	σελ.5
3.1 Γεωγραφικά στοιχεία - Μορφολογία Νέας Περάμου Νομού Καβάλας	σελ.5
3.1.1 Ορεινοί όγκοι νομού Καβάλας	σελ.8
3.1.2 Πεδινά τμήματα νομού Καβάλας	σελ.8
4.ΓΕΩΛΟΓΙΑ.....	σελ.9
4.1 Γενικά	σελ.9
4.2 Στρωματογραφία περιοχής	σελ.9
4.2.1 Γενική στρωματογραφία της περιοχής της Μάζας Ροδόπης	σελ.9
4.2.2 Σειρά των μεταμορφωμένων πετρωμάτων	σελ.10
4.2.2.1 Κάτω σχιστογενευσιακή σειρά.....	σελ.10
4.2.2.2 Η σειρά των μαρμάρων	σελ.12
4.2.3 Τα πυριγενή πετρώματα της Ροδόπης	σελ.12
4.2.4 Νεότεροι σχηματισμοί	σελ.13
4.2.4.1 Νεογενής σχηματισμοί	σελ.13
4.2.4.2 Ολοκαινικές αποθέσεις (Q.all)	σελ.13
4.3 Τεκτονικές συνθήκες στην περιοχή έρευνας.....	σελ.14
5.ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	σελ.17
5.1 Γενικά	σελ.17
5.2 Το πρόβλημα της υπαλμύρωσης	σελ.19
5.3 Φυσικές διεργασίες κατά την επαφή γλυκού και αλμυρού νερού.....	σελ.24
5.4 Θαλάσσια διείσδυση σε παράκτιους φυσικούς υδροφορείς.....	σελ.24
5.5 Στατική ισορροπία της διεπιφάνειας: Νόμος των Ghyben-Herzberg.....	σελ.27
5.6 Διαπίστωση του φαινομένου με τη βοήθεια δεικτών	σελ.36

5.7 Χημικά διγράμματα	σελ.42
5.7.1 Διάγραμμα Piper.....	σελ.42
5.7.2 Διάγραμμα Durov	σελ.45
5.7.3 Διαγράμματα S.A.R. και Wilcox.....	σελ.47

6.ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΝΕΡΟΥ ΣΤΗ ΝΕΑ ΠΕΡΑΜΟ **σελ.52**

6.1 Γενικά	σελ.52
6.2 Δειγματοληψία – Μετρήσεις υπαίθρου	σελ.53
6.3 Ανάλυση φυσικοχημικών παραμέτρων	σελ.54
6.3.1 Ηλεκτρική αγωγιμότητα – Σύνολο διαλυμένων στερεών (TDS)	σελ.54
6.3.2 Ενεργός οξύτητα (pH)	σελ.58
6.4. Χημική ανάλυση του νερού.....	σελ.60
6.4.1 Ιόντα Ασβεστίου (Ca^{2+}).....	σελ.60
6.4.2 Όξινα ανθρακικά ιόντα (HCO_3^-).....	σελ.62
6.4.3 Θεικά ιόντα (SO_4^{2-})	σελ.65
6.4.4 Ιόντα Καλίου (K^+)	σελ.68
6.4.5 Ιόντα Μαγνησίου (Mg^{2+}).....	σελ.71
6.4.6 Ιόντα Νατρίου (Na^+).....	σελ.74
6.4.7 Νιτρικά ιόντα (NO_3^-)	σελ.76
6.4.8 Ιόντα Χλωρίου (Cl^-).....	σελ.80

7.ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ **σελ.84**

8.ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ **σελ.85**

1.Πρόλογος

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποτελεί μία συνθετική εργασία η οποία πραγματεύεται το φαινόμενο της υφαλμύρωσης, που αποτελεί ήδη ένα σοβαρό περιβαλλοντικό πρόβλημα, το οποίο εντείνεται συνεχώς. Στόχος της διπλωματικής εργασίας είναι η αποτύπωση της υφιστάμενης κατάστασης του προβλήματος στην Νέα Πέραμο του νομού Καβάλας.

Έπειτα από την επί τόπου δειγματοληψία και την εργαστηριακή χημική ανάλυση, αλλά και την εκτεταμένη βιβλιογραφική ανασκόπηση σε έντυπα μέσα αλλά και στο διαδίκτυο συλλέχθηκε υλικό, το οποίο αξιολογήθηκε και συντάχθηκε η παρούσα διπλωματική εργασία. Η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε σε δύο (2) χρονικά στάδια, η πρώτη κατά τη διάρκεια του Μαΐου του έτους 2009 (30-5-2009) και η δεύτερη κατά τη διάρκεια του μήνα Οκτωβρίου του ίδιου έτους (22-10-2009). Κατά τις ίδιες χρονικά περιόδους πραγματοποιήθηκαν και οι αντίστοιχες ποιοτικές εργαστηριακές αναλύσεις των δειγμάτων.

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στον Ομότιμο Καθηγητή κ. Σούλιο, αλλά και στον Επίκουρο Καθηγητή κ.Βουδούρη καθώς με τη γενική επίβλεψη και την πολύτιμη καθοδήγηση και βοήθειά τους συνετέλεσαν στην περάτωση της παρούσας εργασίας.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Διδάκτορα Υδρογεωλογίας Τριαντάφυλλο Κακλή για την άμεση βοήθεια και για τις συμβουλές του, όσον αφορά το ζήτημα της υφαλμύρωσης παρέχοντας μου πρόσβαση στο κομμάτι του επιστημονικού του έργου, που αφορά το φαινόμενο της υφαλμύρωσης.

2.Εισαγωγή

Οι παράκτιες περιοχές αποτελούν ένα ιδιαίτερα ελκυστικό περιβάλλον, που προσφέρεται για την ανθρώπινη διαβίωση. Δεν αποτελεί επομένως παράδοξο το γεγονός, ότι συνήθως πρόκειται για πυκνοκατοικημένες περιοχές στις οποίες ο πληθυσμός ασχολείται με τη γεωργία, την κτηνοτροφία, την αλιεία, τη βιομηχανία, ενώ ακμάζει επίσης το εμπόριο και ο τουρισμός.

Όλοι οι παραπάνω τομείς της παραγωγής καταναλώνουν τεράστιες ποσότητες γλυκού νερού, το οποίο συνήθως προέρχεται από τους υπόγειους υδροφορείς. Σημαντικός είναι και ο

συνολικός όγκος του νερού που χρησιμοποιείται για την ύδρευση των κατοίκων, ένα μέγεθος που, ειδικά το καλοκαίρι εξαιτίας του τουρισμού, αυξάνεται δραματικά. Η κατανάλωση των υδατικών πόρων όταν γίνεται χωρίς ορθολογική διαχείριση των αποθεμάτων οδηγεί σε υπεράντληση του νερού και υποβάθμιση της ποιότητάς του.

Η υπεράντληση των υδάτων στις παράκτιες περιοχές συνδέεται με τη διείσδυση της θάλασσας στους υπόγειους υδροφορείς, με αποτέλεσμα τη μετατροπή του γλυκού νερού σε υφάλμυρο. Η θάλασσα αυτή διείσδυση αποτελεί ένα φυσικό φαινόμενο που ονομάζεται υφαλμύρωση και πρόκειται στην πραγματικότητα για μία μορφή ρύπανσης των υπόγειων νερών.

Η υφαλμύρωση είναι ένα ιδιαίτερα σοβαρό περιβαλλοντικό πρόβλημα, καθώς το υφάλμυρο νερό δεν είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί από τον άνθρωπο. Ταυτόχρονα η απορρύπανσή του είναι μία διαδικασία εξαιρετικά χρονοβόρα, μιας και μπορεί να διαρκέσει ως και εκατοντάδες χρόνια. Το φαινόμενο αυτό έχει σοβαρό κοινωνικό και οικονομικό αντίκτυπο στην ποιότητα ζωής των κατοίκων, που ζουν σε παραθαλάσσιες περιοχές.

Στην παρούσα εργασία γίνεται μία συνολική αποτίμηση του φαινομένου της υφαλμύρωσης στον Ελλαδικό χώρο. Το πρόβλημα είναι ιδιαίτερα έντονο στις περισσότερες ακτές της Ελλάδας, ηπειρωτικές και νησιωτικές, μιας και πρόκειται για μία χώρα με συνολικό μήκος ακτογραμμής που ξεπερνά τα 15.000 km. Άλλοι παράγοντες που συντελούν στην αύξηση του φαινομένου είναι οι πυκνοκατοικημένες παράκτιες περιοχές, που το καλοκαίρι ειδικά αποτελούν πόλο έλξης χιλιάδων τουριστών με αποτέλεσμα την κατακόρυφη αύξηση του πληθυσμού και των υδατικών αναγκών του. Ταυτόχρονα οι υπόλοιπες ανθρωπογενείς δραστηριότητες, όπως η εντατική καλλιέργεια της γης και η ανάπτυξη των βιομηχανιών, όχι μόνο σχετίζονται με την υπεράντληση των υδάτων, αλλά αποτελούν και εστία μόλυνσης για τους υπάρχοντες υδατικούς πόρους.

Όλα τα παραπάνω, σε συνδυασμό με την άναρχη διαχείριση των υδατικών πόρων στην Ελλάδα καθιστούν επιτακτική ανάγκη τη διαμόρφωση ενός σχεδίου δράσης για σωστή και ορθολογική διαχείριση των υδάτων, υπό το πρίσμα της αειφόρου ανάπτυξης. Ίσως με τον τρόπο αυτό να διαφυλαχθεί το μέλλον των επόμενων γενεών, ώστε να ζήσουν σε αρμονία με το φυσικό περιβάλλον.

2.1 Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται το ζήτημα της υφαλμύρωσης του υπόγειου νερού, λόγω της διείσδυσης της θάλασσας στους παράκτιους υδροφόρους ορίζοντες. Στόχος της εργασίας είναι η αποτύπωση της υφιστάμενης κατάστασης στην Νέα Πέραμο, ώστε να αναδειχθεί το πρόβλημα της υφαλμύρωσης, το οποίο στο άμεσο μέλλον θα αποτελεί ίσως τον κυριότερο ανασταλτικό παράγοντα στην κοινωνική ευημερία και ανάπτυξη των παράκτιων περιοχών της χώρας.

Η υφαλμύρωση ως φυσικό φαινόμενο είναι γνωστή, ενώ έχει ήδη περιγραφεί από πλήθος μοντέλων και μαθηματικών σχέσεων, η επαφή του γλυκού με το αλμυρό νερό. Τις τελευταίες όμως δεκαετίες, η άνοδος του βιοτικού επιπέδου του ανθρώπου οδήγησε σε μία κατασπατάληση των φυσικών πόρων, συμπεριλαμβανομένου και του νερού. Η υπεράντληση των υπόγειων νερών που βρίσκονται κοντά στη θάλασσα είναι η σημαντικότερη ανθρωπογενής δραστηριότητα που επιδεινώνει το φαινόμενο της υφαλμύρωσης.

Η επιστημονική έρευνα έχει αναπτυχθεί ιδιαίτερα στο συγκεκριμένο γνωστικό αντικείμενο και έχει γραφεί πλήθος βιβλίων και ιδίως άρθρων, τα οποία δημοσιεύονται σε περιοδικά και συνέδρια και έχουν ως αντικείμενο την υφαλμύρωση ως φυσικό φαινόμενο, τη διαπίστωση του φαινομένου και τις επιπτώσεις του στις περιοχές που εμφανίζεται. Όσον αφορά τις μεθόδους που αναπτύσσονται για την αντιμετώπισή του και εδώ υπάρχει πλήθος αναφορών, περισσότερο όμως από χώρες του εξωτερικού και πολύ λιγότερο από την Ελλάδα.

Η διπλωματική αυτή αποτελεί μία συνθετική εργασία, η οποία στηρίζεται σε αυτές τις βιβλιογραφικές αναφορές, αλλά επίσης και σε άρθρα έντυπων μέσων, κυρίως εφημερίδων, αλλά και στο διαδίκτυο.

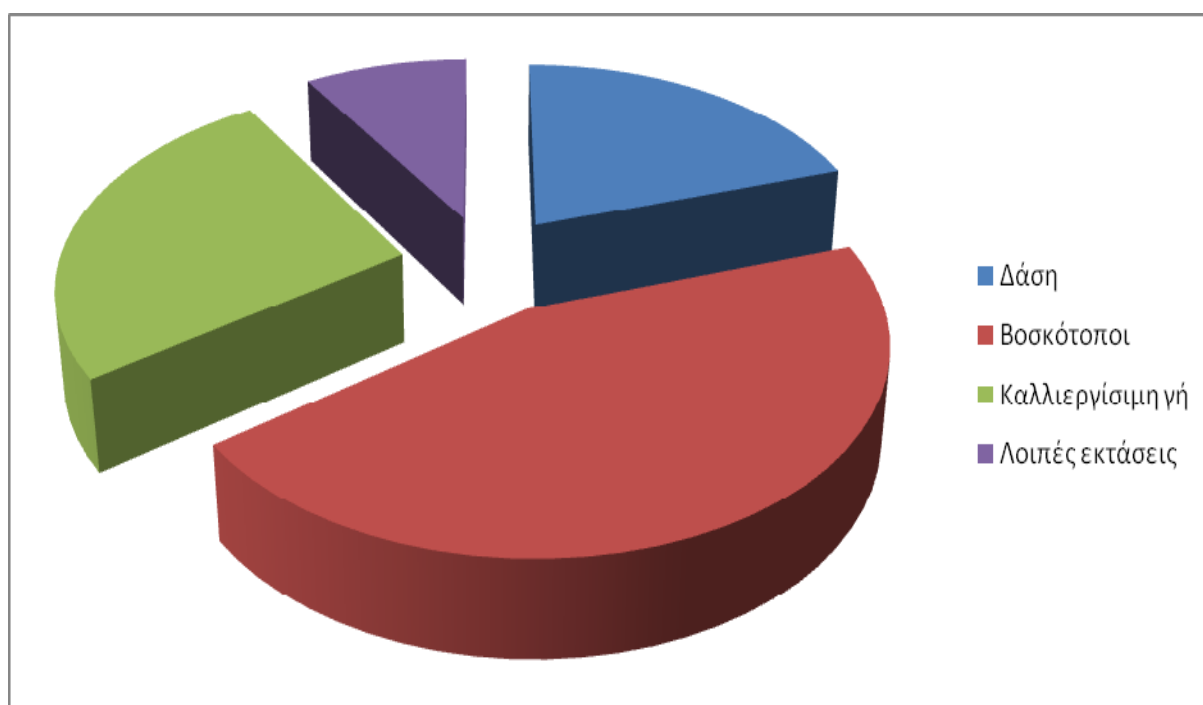
3.ΓΕΩΓΡΑΦΙΑ – ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ

3.1 Γεωγραφικά στοιχεία - Μορφολογία Νέας Περάμου Νομού Καβάλας

Η Ν.Πέραμος βρίσκεται στο βορειοανατολικό τμήμα της ελληνικής επικράτειας και ανήκει στο γεωγραφικό διαμέρισμα της Ανατολικής Μακεδονίας. Διοικητικά ανήκει στην περιφέρεια του Νομού Καβάλας, ενώ πρωτεύουσα του νομού είναι η πόλη της Καβάλας.

Πίνακας 3.1 Μορφολογία εδάφους και χρήσεις γης Ν.Καβάλας.

Μορφολογία εδάφους Ν.Καβάλας		%
Πεδινό		21%
Ημιορεινό		24%
Ορεινό		55%
Χρήσεις γής Ν.Καβάλας		%
Δάση		20%
Βοσκότοποι		45%
Καλλιεργήσιμη γή		26%



Σχήμα 3.1 Διάγραμμα τρισδιάστατης απεικόνισης των δεδομένων του πίνακα 3.1.

Η Ν.Πέραμος και ο ευρύτερος Νομός Καβάλας περιβάλλεται από δύο διεθνείς ποταμούς, ανατολικά από τον ποταμό Νέστο, που αποτελεί και το όριο με το νομό Ξάνθης και δυτικά

από το Στρυμόνα ποταμό, που αποτελεί το όριο με το νομό Σερρών. Ο ποταμός Νέστος κατέρχεται από τη Βουλγαρία, διασχίζοντας το Ν. Δράμας και είναι ένας από τους σημαντικότερους ποταμούς της Ελλάδας. Στις προσχώσεις του σχηματίζεται ένα μεγάλο Δέλτα, οι οποίες μεταβάλλουν διαρκώς την ακτογραμμή. Κατατάσσοντας την έκταση του νομού σε λεκάνες απορροής, ένα μέρος ανήκει στη λεκάνη του Στρυμόνα και ένα επίσης σημαντικό μέρος ανήκει στη λεκάνη του Νέστου. Οι έντονες τεκτονικές διαταραχές που έχει υποστεί η ευρύτερη περιοχή κατά το παρελθόν, έχουν συμβάλει στη δημιουργία του ποικίλου σημερινού ανάγλυφου του νομού, που χαρακτηριστικό του γνώρισμα είναι η έλλειψη σημαντικού υδρογραφικού δικτύου.



Σχήμα 3.2 Υδρογεωλογικός χάρτης Ανατολικής Μακεδονίας στον οποίο απεικονίζονται υδροπερατοί σχηματισμοί (Τεταρτογενή ιζήματα και μάρμαρα), ημιπερατοί σχηματισμοί (Τριτογενή ιζήματα) και αδιαπέρατοι σχηματισμοί (μεταμορφωμένα πετρώματα του υποβάθρου) (πηγή:Ι.Γ.Μ.Ε).

Ωστόσο, ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι διάφοροι μικροί χείμαρροι που εκβάλλουν στα Τενάγη των Φιλίππων και συγκεκριμένα στην τεχνητή κεντρική τάφρο των Τεναγών η οποία στη συνέχεια καταλήγει στον Αγγίτη ποταμό (παραπόταμος του Στρυμόνα).

Η Ν.Πέραμος αποτελεί μια παράκτια περιοχή και ως γνωστό οι παράκτιες περιοχές αποτελούν ένα ιδιαίτερα ελκυστικό περιβάλλον, που προσφέρεται για την ανθρώπινη διαβίωση. Δεν αποτελεί επομένως παράδοξο το γεγονός, ότι συνήθως πρόκειται για πυκνοκατοικημένες περιοχές στις οποίες ο πληθυσμός ασχολείται με τη γεωργία, την

κτηνοτροφία, την αλιεία, τη βιομηχανία, ενώ ακμάζει επίσης το εμπόριο και ο τουρισμός. Όλοι οι παραπάνω τομείς της παραγωγής καταναλώνουν τεράστιες ποσότητες γλυκού νερού, το οποίο συνήθως προέρχεται από τους υπόγειους υδροφορείς. Σημαντικός είναι και ο συνολικός όγκος του νερού που χρησιμοποιείται για την ύδρευση των κατοίκων, ένα μέγεθος που, ειδικά το καλοκαίρι εξαιτίας του τουρισμού, αυξάνεται δραματικά. Η κατανάλωση των υδατικών πόρων όταν γίνεται χωρίς ορθολογική διαχείριση των αποθεμάτων οδηγεί σε υπεράντληση του νερού και υποβάθμιση της ποιότητάς του.

3.1.1 Ορεινοί όγκοι νομού Καβάλας

Ορεινό είναι το βόρειο τμήμα του νομού όπου υψώνονται τα όρη Λεκάνης, το δυτικό τμήμα του, όπου στα όρια με το νομού Σερρών εκτείνεται το όρος Παγγαίο και το νοτιοανατολικό παράλιο τμήμα του με το όρος Σύμβολο. Τα όρη Λεκάνης έχουν την υψηλότερη κορυφή τους (1298 μ.) στο όρια με το νομού Δράμας. Μέσα στο έδαφος του νομού υψώνονται οι κορυφές : Χιονοβούνι (1260μ.), Τσαλάκι (1210μ.), Χαλκερό (841μ.), και Κεστενές (1006μ.). Το Παγγαίο (1956μ., κορυφή Πιλάφι), είναι το χρυσοφόρο όρος των αρχαίων. Έχει νοτιοδυτική κατεύθυνση, πυκνή δασοκάλυψη, και οι υψηλότερες κορυφές του βρίσκονται στα όρια των δύο νομών (Σερρών - Καβάλας). Το όρος Σύμβολο με μέγιστο υψόμετρο 694μ. δεσπόζει στα δυτικά παράλια του νομού.

3.1.2 Πεδινά τμήματα νομού Καβάλας

Μεταξύ των ορέων του νομού, καθώς και στην παράκτια ζώνη αναπτύσσονται αξιόλογα πεδινά τμήματα τα οποία σήμερα καλλιεργούνται εντατικά.

Κατά σειρά σπουδαιότητας μπορούν να αναφερθούν :

1. Πεδίο Δέλτα Νέστου.
2. Τενάγη Φιλίππων και Παρατενάγιες περιοχές (μεταξύ των δυτικών απολήξεων των ορέων Λεκάνης και των ανατολικών απολήξεων του Παγγαίου όρους).
3. Πιερία Λεκάνη (μεταξύ Παγγαίου και Συμβόλου όρους) που αποστραγγίζεται από το χείμαρρο Μαρμαρά.

4. Παράκτιο τμήμα Κόλπου Ορφανού (πεδινές και ημιλοφώδεις εκτάσεις Κάριανης - Ορφανίου - Οφρυνίου).

Μικρότερα πεδινά τμήματα θεωρούνται:

5. Το παράκτιο τμήμα Ν. Περάμου - Ελευθερών – Ελαιοχωρίου.

6. Το μικρό παρανέστιο τμήμα της Κοινότητας του Κεχροκάμπου.

7. Τα προσχωματικά πεδία της νήσου Θάσου.

4.ΓΕΩΛΟΓΙΑ

4.1 Γενικά

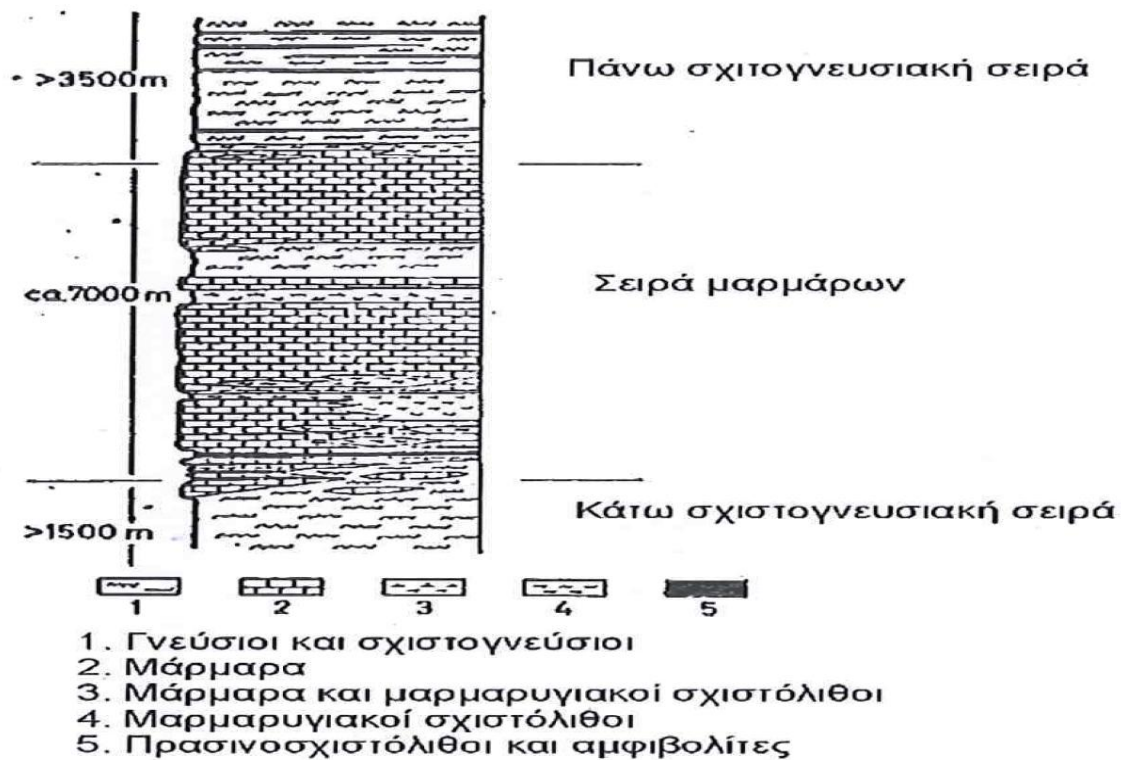
Η περιοχή έρευνας, γεωτεκτονικά, ανήκει στην Ελληνική Ενδοχώρα και συγκεκριμένα στην μάζα Ροδόπης και ειδικότερα στην ενότητα Παγγαίου. Η μάζα της Ροδόπης αποτελεί ένα τεκτονικό μεταμορφωμένο σύμπλεγμα με ετερογενή λιθολογική σύσταση. Τα μεταμορφωμένα αυτά πετρώματα δεν ανήκουν στην παλαιά μάζα της Ροδόπης αλλά πρόκειται για πετρώματα που έλαβαν δράση, μεταμορφώθηκαν και πτυχώθηκαν κατά τη διάρκεια της Αλπικής ορογένεσης της Ανατολικής Μεσογείου. Οι Παπανικολάου και Παναγόπουλος (1981) διέκριναν την μάζα της Ροδόπης σε δύο κύριες τεκτονικές ζώνες : α) Την ανώτερη τεκτονική ενότητα του Σιδηρόνερου και β) την κατώτερη τεκτονική ενότητα του Παγγαίου.

4.2 Στρωματογραφία περιοχής

4.2.1 Γενική στρωματογραφία της περιοχής της Μάζας Ροδόπης

Η περιοχή του όρους Παγγαίου αποτελείται όπως φαίνεται και από τον γεωλογικό χάρτη του σχήματος 3.3, από μάρμαρα (Mr), γνευσίους (Gn,Gsch), μαρμαρυγιακούς σχιστόλιθους (Mr_sch) και πράσινους σχιστόλιθους (Δημόπουλος,1978). Το μεταμορφωμένο αυτό σύστημα σε όλο του το πάχος (16 km) χαρακτηρίζεται από μία διαδοχική κατακόρυφη μεταβολή των αρχικών ιζηματογενών φάσεων. Στο σχήμα 4.1 μία διαδοχική στρωματογραφική στήλη, όπου φαίνεται η διαίρεση σε τρία κύρια συστήματα, κατώτερη σχιστογνευσιακή σειρά, ενδιάμεση σειρά μαρμάρων και ανώτερη σχιστογνευσιακή σειρά

(Δημόπουλος, 1978). Όπως αναφέρεται και από τον Μουντράκη (2010) από τα βαθύτερα προς τα ανώτερα στρώματα έχουμε τη σειρά E των γνευσίων της βάσης, τη σειρά F των μαρμάρων, τη σειρά G των μαρμαρυγιακών σχιστόλιθων και τη σειρά H των σχιστόλιθων και μαρμάρων, η ηλικία των πετρωμάτων εκτιμήθηκε από τον Osswald πως είναι Προκάμβριος ως Κάτω Παλαιοζωική.



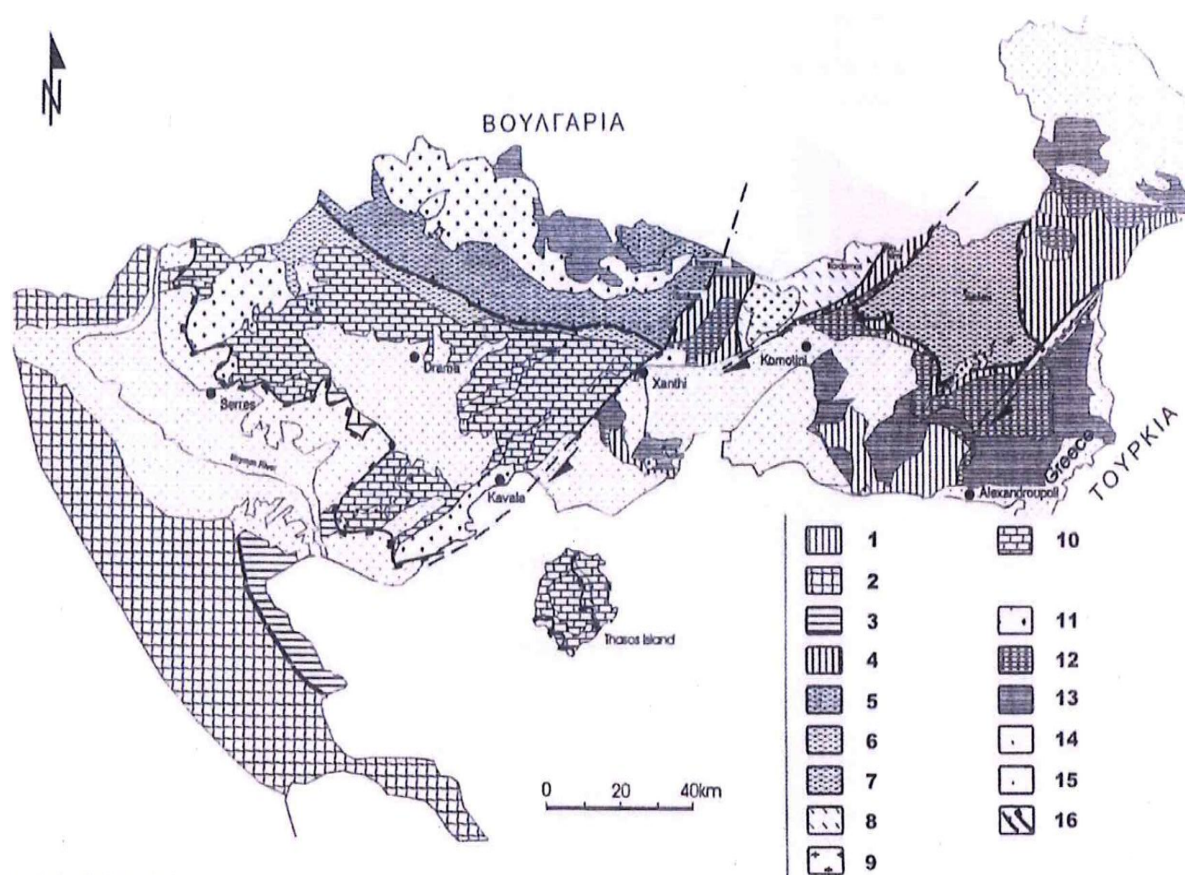
Σχήμα 4.1 Συνέχεια και διάρθρωση της μεταμορφωμένης σειράς του κρυσταλλοσχιστώδους της Ροδόπης.

4.2.2 Σειρά των μεταμορφωμένων πετρωμάτων

4.2.2.1 Κάτω σχιστογενευσιακή σειρά

Στην σειρά αυτή συναντώνται κυρίως γνεύσιοι και γνευσιακοί σχιστόλιθοι, μαρμαρυγικοί σχιστόλιθοι, πρασινοσχιστόλιθοι και αμφιβολίτες και στο ανώτερο σημείο της σειράς αυτής συναντώνται εναλλαγές μαρμαρυγιακών σχιστόλιθων και μαρμάρων. Η

παρουσία αυτή των μεταμορφωμένων πετρωμάτων εντοπίζεται κυρίως σε όγκους και σε στρώματα. Οι παραπάνω εναλλαγές αποτελούν το όριο της υποκείμενης σχιστογενεσιακής σειράς με την υπερκείμενη ανθρακική σειρά με την παρουσία μαυροπράσινων αμφιβολιτών (με μορφή φακών ή εκτεταμένων επιφανειών σε χαρακτηριστική στρωματοειδή δομή). Η ύπαρξη των αμφιβολιτών στα κατώτερα στρώματα είναι σχεδόν σπάνια ενώ όσο μεταβαίνουμε στην υπερκείμενη σειρά των μαρμάρων, παρουσιάζονται με πάχος έως και 20m. Η σειρά αυτή σχηματίζει μια χαρακτηριστική ζώνη μετάβασης από τους ανοιχτόχρωμους γνευσίους της κάτω σειράς στα λευκά και ογκώδη μάρμαρα της ίδιας σειράς.



Σχήμα 4.2 Χάρτης που απεικονίζει τις επιμέρους ενότητες της μάζας της Ροδόπης (Κατά Μουντράκη 2010): 1.Σχηματισμοί Περιδοπικής στην περιοχή Αλεξ/πολης-Έβρου, 2 και 3.Ενότητες Βερτίσκου και Κερδυλλίων της Σερβομακεδονικής, 4.Ενότητα Κύμης, 5 και 6.Ενότητα Σιδηρόνερου, 7.Ενότητα Κέχρου, 8.Ενότητα Καρδάμου, 9.Συμπυκνωμένα πυριγενή της ενότητας Καρδάμου, 10.Ενότητα Παγγαίου, 11.Γρανίτες 38-23 Μα, 12και 13.Μολασσικά ιζήματα Αν.Μειοκαίνου-Ολιγοκαίνου, 14.Μειοκαινικά ιζήματα, 15.Ιζήματα Πλειο-Πλειστοκαίνου, 16.Μεγάλες ρηξιγενείς γραμμές (συμπιεστικές-εφελκυστικές) (Κακλής,2011).

4.2.2.2 Η σειρά των μαρμάρων

Τα μάρμαρα αποτελούν την κυριότερη υδρογεωλογική μονάδα του νομού. Εμφανίζονται σε όλο τους το ανάπτυγμα καρστικοποιημένα και σε μεγάλο βαθμό ρωγματομένα. Σήμερα η μάζα της κύριας εξάπλωσης του μαρμάρου παρατηρείται στο Παγγαίο όρος, στα όρη Λεκάνης και στη Θάσο.

Η μετάβαση από την κατώτερη σχιστογενευσιακή σειρά προς αυτή των μαρμάρων χαρακτηρίζεται από μεταβλητή εναλλαγή που χαρακτηρίζεται από μη καθαρά μάρμαρα και ασβεστιτικούς μαρμαρυγικούς σχιστόλιθους. Κατά την μετάβασή τους στην ανώτερη σειρά των σχιστογενευσίων γίνονται λιγότερο καθαρά. Τα ογκώδη και λευκά μάρμαρα της περιοχής δεν χαρακτηρίζονται από έντονη στρώση. Γενικά είναι συμπαγή και λευκά και προέρχονται πιθανώς από ασβεστόλιθους ρηχής ιζηματογένεσης. Επίσης συναντάμε ανοιχτόχρωμα μάρμαρα σε λεπτές ενστρώσεις με ταινιωτή δομή, με κύρια εμφάνισή τους στην μεταβατική ζώνη των μαρμάρων και της υποκείμενης σχιστογενευσιακής σειράς. Κατά τόπους εναλλάσσονται με μαρμαρυγικούς σχιστόλιθους και σε πολλές περιοχές παρατηρείται πλευρική μετάβαση. Τα τεφρά μάρμαρα δείχνουν τοπικά, μεγάλη ποικιλία μερών του χαλαζία και μοσχοβίτη καθώς επίσης και βιοτίτη και αλβίτη.

4.2.3 Τα πυριγενή πετρώματα της περιοχής

Στην περιοχή του Ν.Καβάλας εμφανίζονται Τριτογενή πλουτωνικά και ηφαιστειακά πετρώματα. Στην περιοχή έρευνας μας, δεν παρατηρούνται ηφαιστειακά πετρώματα. Τα γρανιτοειδή (γ στο γεωλογικό χάρτη) που συναντώνται στην περιοχή της Νέας Περάμου έχουν διεισδύσει στην ενότητα του Παγγαίου και φαίνεται πως αποτελούν εμφανίσεις μιας ενιαίας πλουτωνικής μάζας. Σε γενικές γραμμές οι πλουτωνίτες διεισδύουν στα μεταμορφωμένα πετρώματα του υποβάθρου δημιουργώντας συχνά φαινόμενα επαφής. Στα μάρμαρα, στα σημεία της επαφής τους με τα γρανιτοειδή έχει σχηματιστεί μια άλω μεταμόρφωση, ενώ στα μεταμορφωμένα περιβάλλοντα πετρώματα η άνοδος του πλουτωνίτη προκαλεί αναθόλωση. Αρκετοί ερευνητές συνδέουν τις γρανιτικές διεισδύσεις με την έκταση της μάζας της Ροδόπης. Πρόκειται για σκληρά συμπαγή πετρώματα, θεωρητικά αδιαπέρατα από το νερό. Όμως λόγω των τεκτονικών διαταραχών που έχει υποστεί η ευρύτερη περιοχή τα πετρώματα αυτά έχουν ρωγματοωθεί και φιλοξενούν στο σύστημα των ρωγμών υδροφόρα στρώματα ποικίλου δυναμικού.

Οι γρανίτες στην ουσία πρόκειται για γρανοδιορίτες καταλαμβάνουν το 90% του Συμβόλου όρους με επικρατέστερα ορυκτά καλιούχους αστρίους, πλαγιόκλαστα, χαλαζίας, βιοτίτης και κεροσίλβη. Τα εξωτερικά μέρη του γρανίτη δείχνουν ισχυρή σχιστότητα έως μυλονιτοποίηση, διεργασίες που έχουν ως αποτέλεσμα την επιφανειακή αποσάθρωση. Έτσι προσφέρονται σήμερα για διάφορες καλλιέργειες. Θα πρέπει επίσης να αναφερθεί ότι τα γρανιτικά πετρώματα της περιοχής σε μεγαλύτερο βάθος φιλοξενούν θερμομεταλλικά νερά, τα οποία πολλές φορές εκδηλώνονται μέσα από τις αρδευτικές υδρογεωτρήσεις. Τα γνευσιακά πετρώματα εντοπίζονται στο Σύμβολο Όρος, στα όρη της Λεκάνης και στη νήσο Θάσο. Η επιφάνειά τους δεν προσφέρεται για καλλιέργεια. Η τεκτονική δραστηριότητα στην περιοχή είναι έντονα αποτυπωμένη και στα μεταμορφωμένα (γνευσιακά, σχιστόλιθοι) κυρίως με την εμφάνιση ρωγματώσεων σε όλη την έκτασή τους.

4.2.4 Νεότεροι σχηματισμοί

4.2.4.1 Νεογενείς και Τεταρτογενείς σχηματισμοί

Νεογενείς σχηματισμοί εμφανίζονται κυρίως στα νοτιοδυτικά της ευρύτερης περιοχής του νομού Καβάλας, ωστόσο απουσιάζουν οι επιφανειακές εκδηλώσεις τους χωρίς να αποκλείεται παρόλα αυτά η ύπαρξή τους. Το πιθανότερο είναι να έχουν καλυφθεί από Πλειστοκαινικά ιζήματα τα οποία και αυτά με τη σειρά τους καλύφθηκαν από Ολοκαινικές αποθέσεις, γεγονός που οφείλεται στις τεκτονικές δομές της περιοχής, λόγω ρήγματος. Η περιοχή καλύπτεται από Τεταρτογενή, αδιαίρετα πλευρικά κορρήματα και ποταμοχειμάρριες αποθέσεις γεγονός που ανάγει το σχηματισμό της στο διάστημα αυτό (Δημόπουλος 1978).

4.2.4.2 Ολοκαινικές αποθέσεις (Q.al1)

Οι αποθέσεις αυτές αντιπροσωπεύονται στην περιοχή από σχηματισμούς λιμναίας και ποταμοχερσαίας φάσης και σε αυτούς υπάγονται οι πλευρικοί σχηματισμοί των οποίων οι τυπικότεροι είναι οι κώνοι κορρημάτων και οι κώνοι ποτάμιων αποθέσεων. Οι ολοκαινικοί αυτοί σχηματισμοί διακρίθηκαν σε τρεις βασικούς τύπους (Δημόπουλος, 1978) :

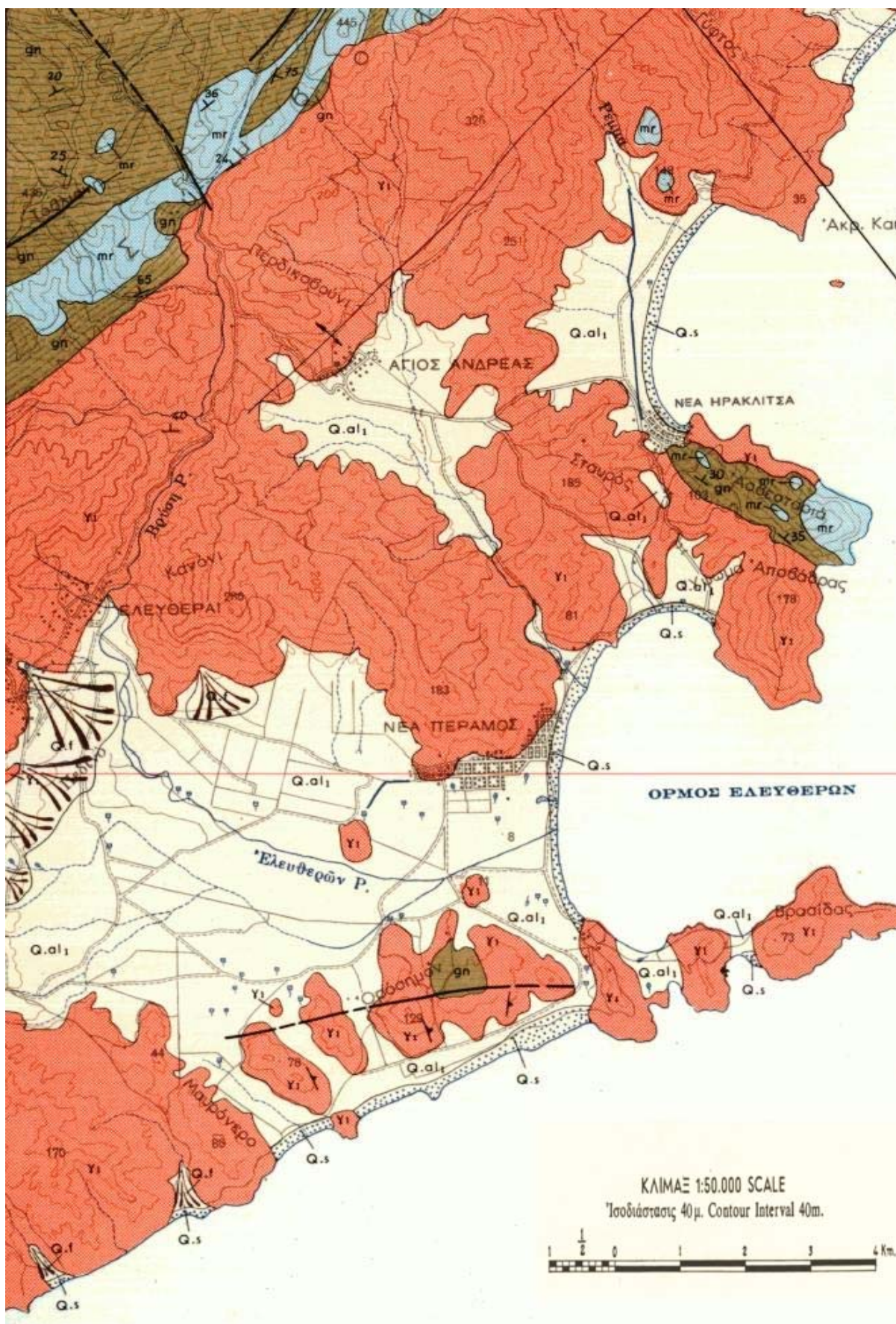
α) Χαλαρές αποθέσεις κροκάλων τοποθετημένες στα βόρεια της περιοχής, κοντά στα μάρμαρα της Καβάλας, οι οποίες αποτελούν την κατώτερη αναβαθμίδα των ολοκαινικών αποθέσεων.

β) Πλευρικοί σχηματισμοί, η τοποθέτηση των οποίων οφείλεται κατά πού ή λίγο από τα τρεχούμενα επιφανειακά νερά.

γ) Ο τρίτος διακριθέντας σχηματισμός έχει παρόμοια μορφολογική αναλογία με τους πλευρικούς σχηματισμούς έχοντας μεγαλύτερες διαστάσεις. Εν ολίγοις, πρόκειται για αργίλους λιμναίας φάσεως, οι οποίοι εναλλάσσονται (βάση όρους Παγγαίου) στα χαμηλότερα τοπογραφικά σημεία με λεπτές άμμους και ασβεστολιθικές ιλλείς, πηλούς κ.α.

4.3 Τεκτονικές συνθήκες στην περιοχή έρευνας

Η τεκτονική εξέλιξη της Ροδόπης απασχόλησε κατά καιρούς πολλούς ερευνητές. Πολλοί από αυτούς δέχονται ότι η περιοχή αυτή κατά την αλπική ορογένεση αντέδρασε ως σταθερή κρατονική μάζα, ενώ νεώτεροι ερευνητές αναφέρουν αντίθετα, ότι κατά τη διάρκεια της αλπικής ορογένεσης τα πετρώματα αυτά επαναδραστηριοποιήθηκαν. Η διάκριση της Ροδόπης σε δύο τεκτονικές ενότητες, αυτή του Παγγαίου και αυτή του Σιδηρόνερου, έγινε από τους Kiliyas & Mountrakis (1990) εξαιτίας του ανάστροφου ρήγματος με ΒΔ-ΝΑ διεύθυνση (110°). Η περιοχή έρευνας μας ανήκει στην πρώτη ενότητα, αυτή του Παγγαίου. Σημασία για την υδρογεωλογική μας έρευνα δεν έχει ο χρόνος και οι διαδικασίες της γεωτεκτονικής της εξέλιξης, αλλά οι πτυχωσιγενείς και ρηξιγενείς δομές που αναπτύχθηκαν στα πετρώματα της περιοχής στα διάφορα στάδια δράσης συμπιεστικών και εφελκυστικών δυνάμεων, τις οποίες χαρτογραφούμε σήμερα στα παλιά και νεώτερα στρώματα της λεκάνης και τα οποία επηρεάζουν την υδρογεωλογική τους συμπεριφορά. Όλες οι παραπάνω ρηξιγενείς τεκτονικές δομές που αναφέραμε, επηρεάζουν σημαντικά την κατανομή, τον εμπλουτισμό, και την ανάπτυξη σε βάθος των υδροφόρων στρωμάτων της λεκάνης, γεγονότα που θα αναφερθούν και θα αξιολογηθούν στη συνέχεια.



Σχήμα 4.3 Γεωλογικός χάρτης περιοχής (πηγή : Ι.Γ.Μ.Ε.).

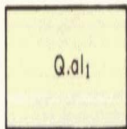
ΥΠΟΜΝΗΜΑ

ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΣ

Παράκτιοι άμμοι.



Χερσαίοι αποθέσεις: όγκολιθοί, χαλαρά κροκαλοπαγή, κροκάλοι, λεπτοκοκκώδες ύλικόν και έρυθροί πηλοί. Είς τὰ τοπογραφικώς χαμηλότερα μέρη, κατά τόπους σχηματίζονται άναβαθμίδες.



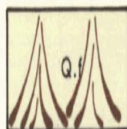
Λιμναίοι αποθέσεις: άργιλοι λιμναίας φάσεως έναλλασσόμεναι, συνήθως, πρὸς έτέρους σχηματισμούς λιμναίας, ποταμίας και χερσαίας φάσεως (άσβεστολιθικάς ύλεις, άμμους, πηλούς κ.ά.). Έπίσης χουμώδεις άργιλοι είς τήν μεταξύ άργίλου και τύρφης μεταβατικήν ζώνην.



Τύρφη.



Άλλουβιακά ριπίδια: ύλικόν εκ γρανίτου.



Μάρμαρα: α) επικρατούν τὰ άνοικτοτέρου και σκοτεινότερου φαιού χρώματος μάρμαρα καλῶς ή έν μέρει λεπτοστρωματώδη, είς στρώματα ή φακούς. Κατά θέσεις έναλλάσσονται μετά μαρμαρυγιακόν σχιστολίθων ή παρατηρείται πλευρική μετάβασις τών μέν πρὸς τὰ δέ. Τὰ τεφρά μάρμαρα δεικνύουν, τοπικῶς, ποικιλίαν μερῶν χαλαζίου και μοσχοβίτου, ὡς έπίσης και βιοτίτου και άλβίτου. Τὸ μέγεθος τών κόκκων είναι, γενικῶς, μεταξύ 0.3 και 1 χιλιοστοῦ τοῦ μέτρου, β) πτωχῆς στρώσεως ή συμπαγή λευκά μάρμαρα.



Γνεύσιοι και γνευσιακοί σχιστόλιθοι: λεπτο-έως μεσοκοκκῶδεις γνευσιακοί σχιστόλιθοι ποικίλλοντες είς χρώμα, από τεφροῦ έως σαρκῶδους και φαιού και ύψης γνευσιακής, κοκκῶδους έως σχιστώδους, συμφῶνας πρὸς τήν ίδιαιτέραν ὀρυκτολογικήν σύστασιν. Κύρια ὀρυκτά, χαλαζίας, άλβίτης, μοσχοβίτης, έπίδοτον, βιοτίτης. Βαθμός μεταμορφισμοῦ, ύποφάσεις χαλαζίου - άλβίτου - έπίδοτου - βιοτίτου τῆς πρσινοσχιστολιθικής φάσεως. Δέν υπάρχει ένδειξις πολυμεταμορφισμοῦ. Έντός τῆς γειτονίας τοῦ γρανίτου τοῦ Συμβόλου οί γνεύσιοι έχουν μετατραπή, τοπικῶς, είς ὀφθαλμογνεύσιους. Οί ὀφθαλμοί (augen) είναι πορφυροβλάσται καλιούχων άστρίων.



Γρανίτης (Συμβόλου ή Γρανίτης Καθάλας): ὁ γρανίτης Συμβόλου είναι γρανοδιόριτης. Έπικρατούντα κύρια ὀρυκτά, καλιούχοι άστριοι (μήκους μέχρι 5 εκατοστών τοῦ μέτρου), πλαγιόκλαστον, χαλαζίας, βιοτίτης, κεραστίλη. Τὰ έξωτερικά μέρη τοῦ γρανίτου Συμβόλου δεικνύουν ίσχυράν σχιστότητα ή άκόμη μυλονιτοποίησησιν. Παρατηρείται άσθενής μόνον ὀρυκτογένεσις έπαφῆς, τοπικῶς με γρανίτην, έπίδοτον και διοψείδιον. Πολύαριθμοι άπλιτικοί φλέβαι έχουν εισδύσει είς τούς παραγνεύσιους τοῦ γρανίτου Συμβόλου. Ὁ γρανίτης Συμβόλου σχηματίζει τόν πυρήνα άντικλίνου, τὸ ὅποιον συνεχίζεται επί 50 περίπου χιλίόμετρα με γενικήν διεύθυνσιν 40-60° Β. Α. Ὁ ὁζων τοῦ άντικλίνου βυθίζεται έλαφρῶς πρὸς τὰ Β. Α.



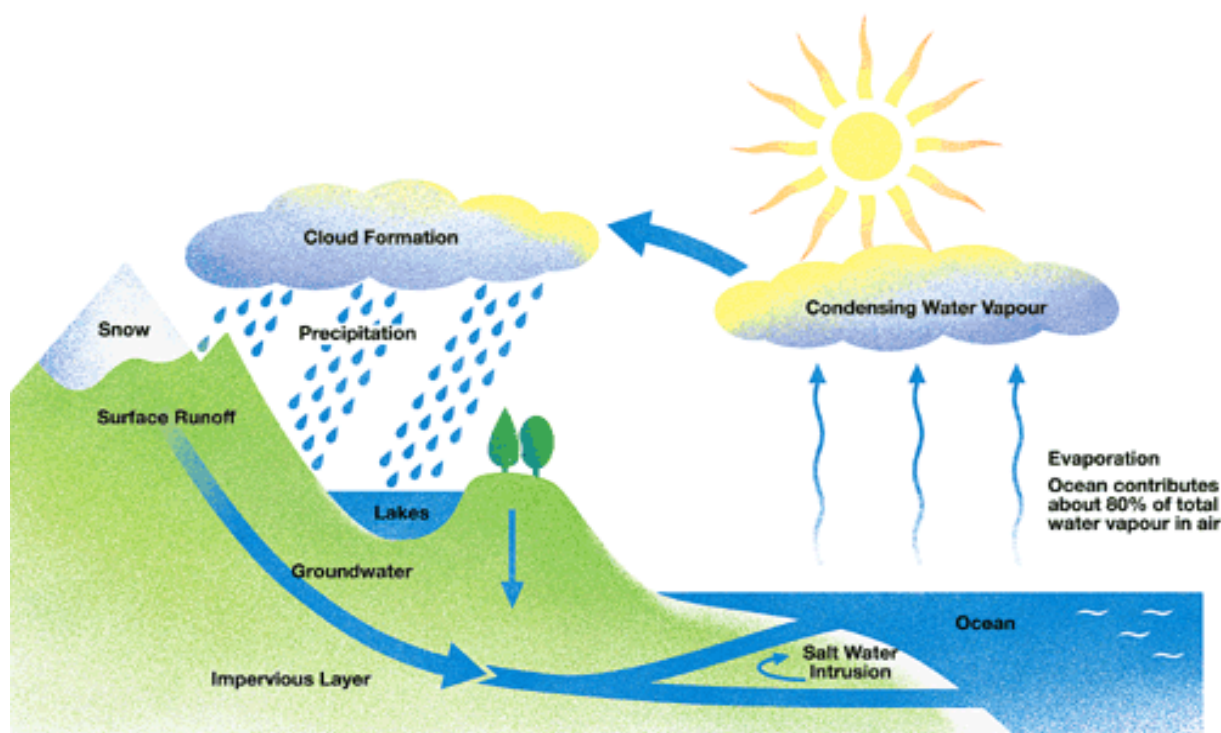
Γεωλογικόν δριον ὁρατὸν	
Ρήγμα ὁρατὸν και πιθανή προέκτασις αὐτοῦ	
Ρήγμα πιθανόν	
*Αξων άντικλίνου	
Παράταξις στρωμάτων μετρηθεῖσα	20
Παράταξις στρωμάτων κατ' έκτίμησιν	
Διεύθυνσις και κλίσις σχιστότητος	
Μεταλλεῖον άργουδν	X Fe
*Εμφάνισις μεταλλεύματος	X Fe

5.ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

5.1 Γενικά

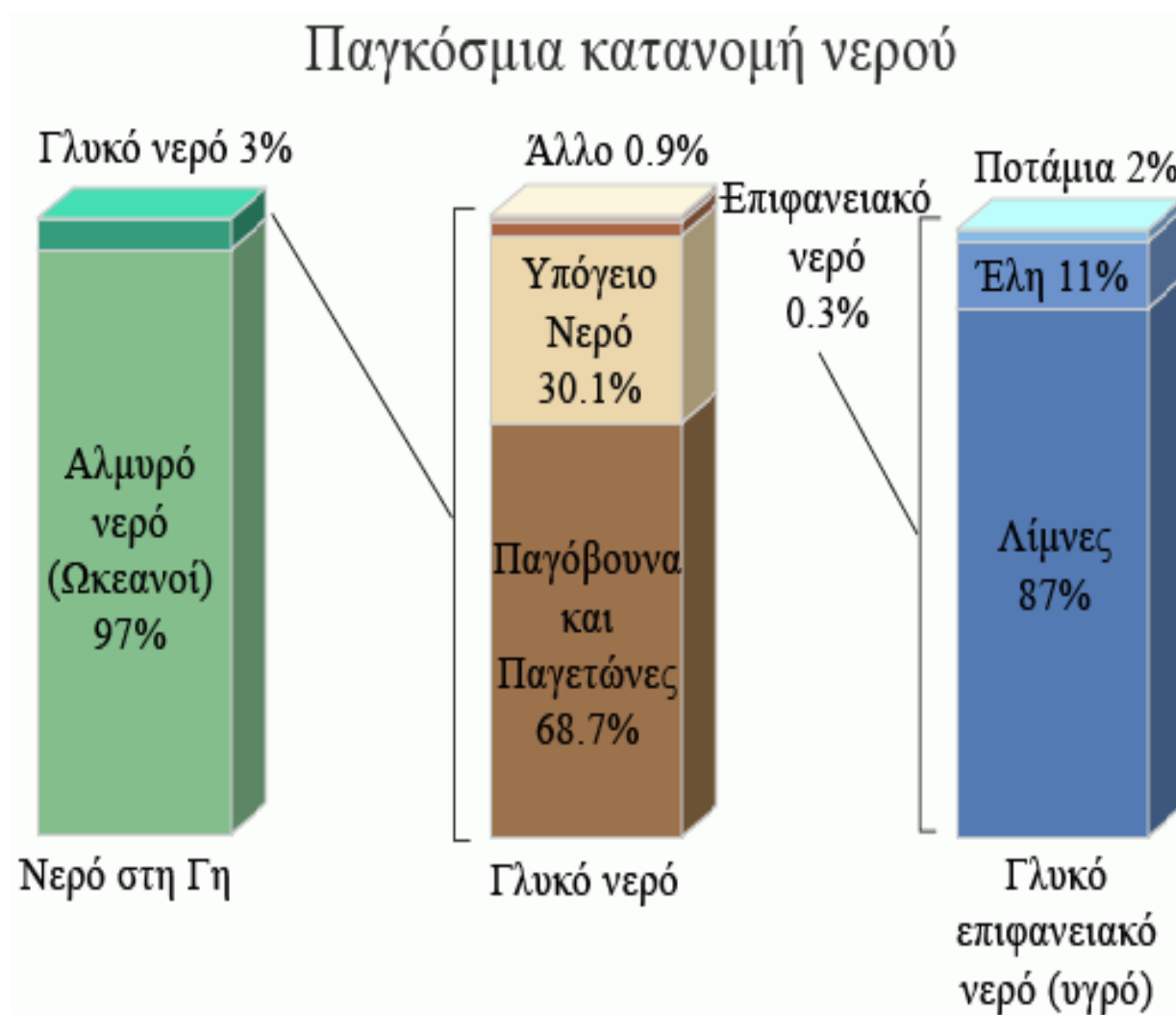
Το νερό στη φύση υπάρχει και στις τρεις καταστάσεις της ύλης, σε στερεά μορφή ως πάγος, σε υγρή μορφή αλλά και σε αέρια, που αντιπροσωπεύεται από τους υδρατμούς. Το νερό εμφανίζεται στον πλανήτη ως ένας υδρολογικός κύκλος που συνεχίζεται διαρκώς. Οι υδρατμοί της ατμόσφαιρας συμπυκνώνονται σε νέφη και με τη μορφή βροχόπτωσης καταλήγουν στη γη.

Το νερό της βροχής που φτάνει στην επιφάνεια του εδάφους ακολουθεί τρεις κατευθύνσεις. Είτε απορρέει επιφανειακά με τη μορφή ποταμών και καταλήγει στη θάλασσα, είτε κατεισδύει στο έδαφος, εισέρχεται στους υπόγειους υδροφόρους ορίζοντες και ή συνεχίζει την κίνηση του υπόγεια ή εκφορτίζεται στην επιφάνεια μέσω πηγών. Τέλος, λόγω της εξατμισοδιαπνοής μπορεί να εξατμιστεί ή με τη διαπνοή των φυτών να καταλήξει ως υδρατμός στην ατμόσφαιρα. Η εξάτμιση είναι διαδικασία που συμβαίνει και στην επιφάνεια της θάλασσας, καθώς το νερό των ωκεανών επιστρέφει με τη μορφή υδρατμών στην ατμόσφαιρα. Στο σχήμα 5.1 φαίνονται οι διεργασίες που λαμβάνουν χώρα κατά τη διαρκή κίνηση του νερού μέσα στον υδρολογικό κύκλο.



Σχήμα 5.1 Ο υδρολογικός κύκλος του νερού στη φύση.

Ο πλανήτης καλύπτεται κατά τα 2/3 του από νερό και η ποσότητα αυτή στη φύση είναι περίπου της τάξης των 1.336.800.000 km². Από αυτά το 97% είναι αλμυρό νερό (ωκεανοί) και το υπόλοιπο 3% γλυκό (σχήμα 5.2). Σε αυτό το 3% συμπεριλαμβάνεται το νερό των παγετώνων, το υπόγειο και το επιφανειακό νερό. Από αυτό το 3% το μεγαλύτερο μέρος καλύπτει το νερό των παγετώνων, ενώ το περισσότερο από το υπόγειο νερό βρίσκεται εγκλωβισμένο σε μεγάλα βάθη και δεν είναι προσιτό. Το γλυκό νερό που μπορεί να καταναλώσει ο άνθρωπος αντιπροσωπεύεται από ένα πολύ μικρό ποσοστό, που αντιστοιχεί σε ανώτερους υδροφόρους ορίζοντες, νερό ποταμών και άλλα.



Σχήμα 5.2. Η παγκόσμια κατανομή του νερού σε ποσοστά.

Το γλυκό νερό δεν υπάρχει σε αφθονία σε κάθε μέρος του πλανήτη, καθώς είναι εξαιρετικά άνηση η κατανομή του. Εάν σε όλα τα παραπάνω προστεθούν οι κλιματικές αλλαγές και τα έντονα περιβαλλοντικά προβλήματα, όπως η ερημοποίηση ή η υφαλμύρωση, που μειώνουν την ποσότητα και καταστρέφουν την ποιότητα των υδάτων τους υπόγειους

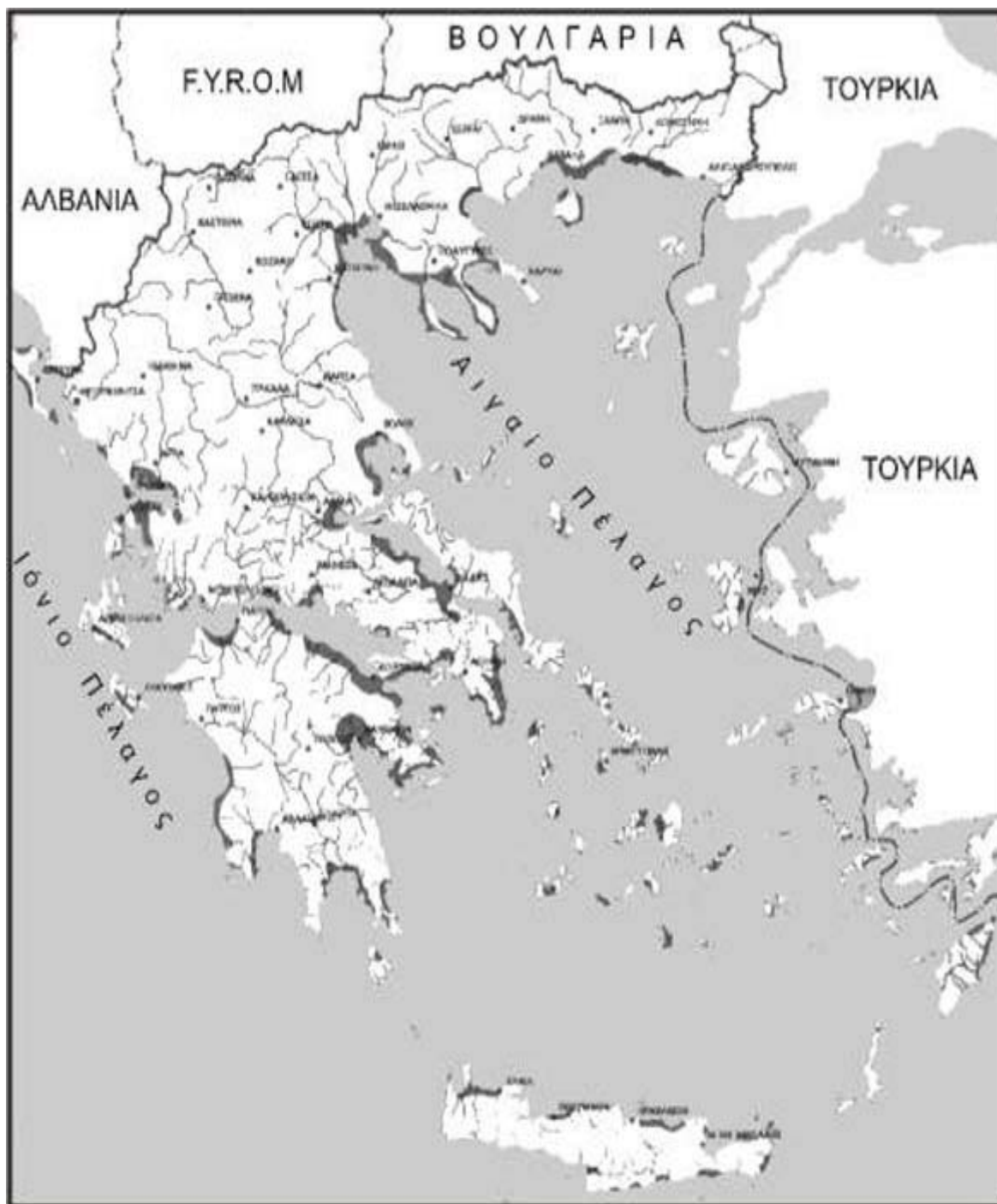
υδροφόρους ορίζοντες, γίνεται αντιληπτό το υδατικό πρόβλημα στη σημερινή εποχή. Άλλωστε, ακόμη και στις κοινωνίες όπου το νερό είναι άφθονο, η ρύπανση των υπόγειων και επιφανειακών υδάτων είναι η μεγαλύτερη απειλή για την ποιότητα του νερού.

5.2 Το πρόβλημα της υφαλμύρωσης

Η υπεράντληση των υδάτων στις παράκτιες περιοχές συνδέεται με τη διείσδυση της θάλασσας στους υπόγειους υδροφορείς, με αποτέλεσμα τη μετατροπή του γλυκού νερού σε υφάλμυρο. Η θάλασσα αυτή διείσδυση αποτελεί ένα φυσικό φαινόμενο που ονομάζεται υφαλμύρωση και πρόκειται στην πραγματικότητα για μία μορφή ρύπανσης των υπόγειων νερών.

Η υφαλμύρωση είναι ένα ιδιαίτερα σοβαρό περιβαλλοντικό πρόβλημα, καθώς το υφάλμυρο νερό δεν είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί από τον άνθρωπο. Ταυτόχρονα η απορρύπανσή του είναι μία διαδικασία εξαιρετικά χρονοβόρα, μιας και μπορεί να διαρκέσει ως και εκατοντάδες χρόνια. Το φαινόμενο αυτό έχει σοβαρό κοινωνικό και οικονομικό αντίκτυπο στην ποιότητα ζωής των κατοίκων, που ζουν σε παραθαλάσσιες περιοχές.

Στην παρούσα εργασία γίνεται μία συνολική αποτίμηση του φαινομένου της υφαλμύρωσης στην περιοχή της Νέας Περάμου του Ν.Καβάλας. Το πρόβλημα είναι ιδιαίτερα έντονο στις περισσότερες ακτές της Ελλάδας, ηπειρωτικές και νησιωτικές, μιας και πρόκειται για μία χώρα με συνολικό μήκος ακτογραμμής που ξεπερνά τα 15.000 km. Άλλοι παράγοντες που συντελούν στην αύξηση του φαινομένου είναι οι πυκνοκατοικημένες παράκτιες περιοχές, που το καλοκαίρι ειδικά αποτελούν πόλο έλξης χιλιάδων τουριστών με αποτέλεσμα την κατακόρυφη αύξηση του πληθυσμού και των υδατικών αναγκών του. Ταυτόχρονα οι υπόλοιπες ανθρωπογενείς δραστηριότητες, όπως η εντατική καλλιέργεια της γης και η ανάπτυξη των βιομηχανιών, όχι μόνο σχετίζονται με την υπεράντληση των υδάτων, αλλά αποτελούν και εστία μόλυνσης για τους υπάρχοντες υδατικούς πόρους. Για καλύτερη κατανόηση του προβλήματος, θα ασχοληθούμε με αυτό αναλυτικά παρακάτω, ξεκινώντας από το ίδιο το νερό και την ύπαρξη του στον πλανήτη.



Σχήμα 5.3 Ο χάρτης της Ελλάδος απεικονίζοντας το συνολικό μήκος ακτογραμμής που ξεπερνά τα 15.000 km (πηγή:Ι.Γ.Μ.Ε.).

Όλα τα παραπάνω, σε συνδυασμό με την άναρχη διαχείριση των υδατικών πόρων στην Ελλάδα καθιστούν επιτακτική ανάγκη τη διαμόρφωση ενός σχεδίου δράσης για σωστή και ορθολογική διαχείριση των υδάτων, υπό το πρίσμα της αειφόρου ανάπτυξης. Ίσως με τον

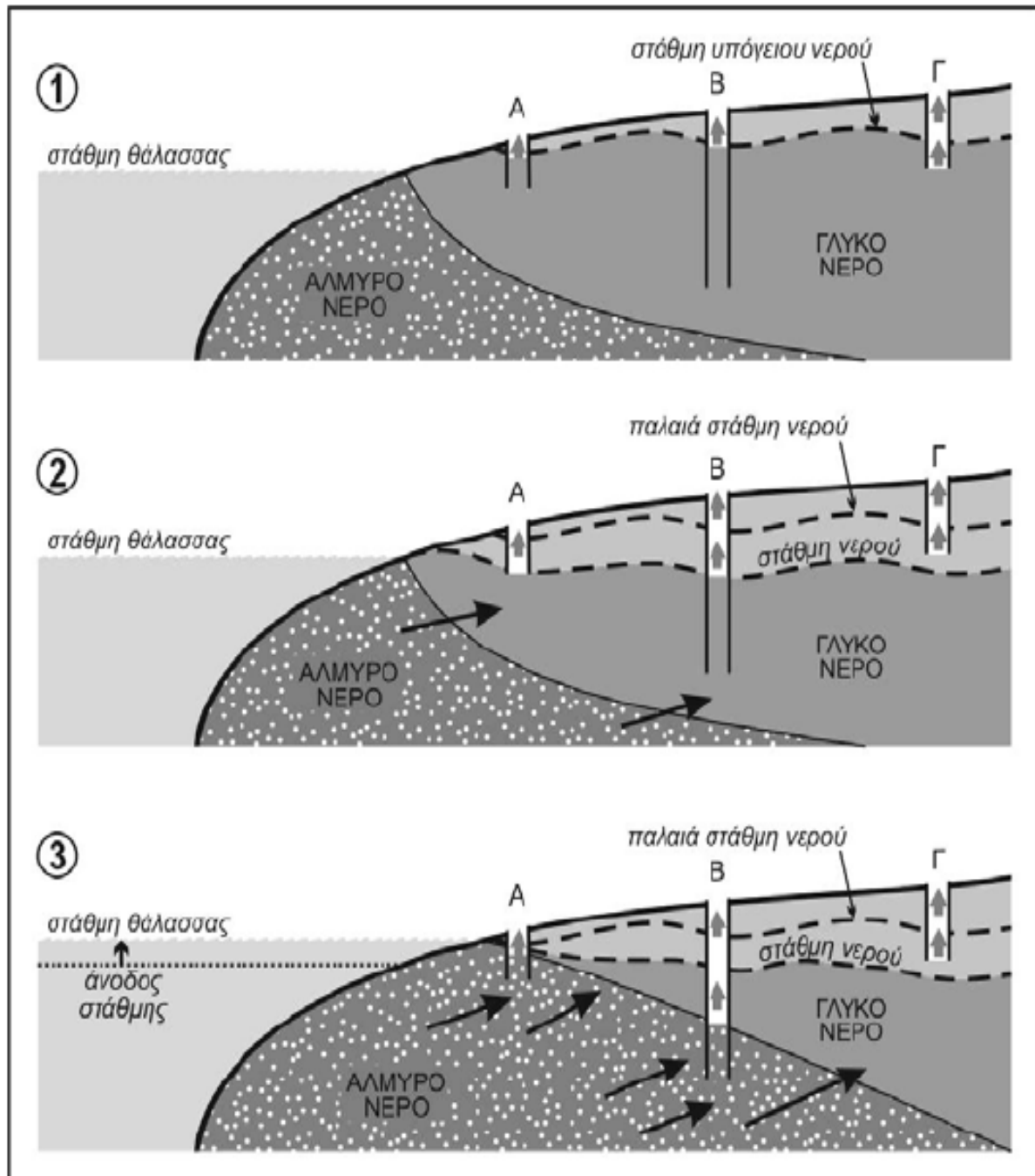
τρόπο αυτό να διαφυλαχθεί το μέλλον των επόμενων γενεών, ώστε να ζήσουν σε αρμονία με το φυσικό περιβάλλον.

Παρόλο που το μεγαλύτερο ποσοστό της επιφάνειας του πλανήτη καλύπτεται από νερό, η διατήρηση της ζωής κάθε έμβιου οργανισμού επάνω στη Γη οφείλεται αποκλειστικά στα αποθέματα του γλυκού νερού, τα οποία αποτελούν ένα πολύ μικρό ποσοστό του υδατικού συνόλου. Η σταδιακή ρύπανση των υδατικών πόρων μπορεί να αποβεί μοιραία για την εξέλιξη της ζωής. Η ρύπανση των υδάτων δεν οφείλεται όμως μόνο στις ανθρώπινες δραστηριότητες. Αν και μπορεί να θεωρείται παράδοξο, παρόλα αυτά το θαλασσινό νερό θεωρείται ως πηγή ρύπανσης για το γλυκό νερό, όταν έρχεται σε επαφή με αυτό. Στις παράκτιες περιοχές, η θάλασσα έρχεται σε επαφή με τα υπόγεια υδροφόρα στρώματα. Υπό φυσικές συνθήκες οι υπόγειοι υδροφορείς αποστραγγίζονται προς τη θάλασσα, όμως σε περίπτωση που η στάθμη του γλυκού νερού μειωθεί τότε μπορεί να αντιστραφεί η κατάσταση αυτή. Το αποτέλεσμα είναι η διείσδυση του θαλασσινού νερού στους παράκτιους υδροφορείς και πρόκειται στην πραγματικότητα για ένα ιδιαίτερα σοβαρό φυσικό φαινόμενο, το οποίο είναι γνωστό με τον όρο «διείσδυση αλμυρού νερού» (saline water intrusion) ή απλά ως «υφαλμύρωση». Η σοβαρότητα του φαινομένου έγκειται στο γεγονός πως ταυτόχρονα αποτελεί και ένα ιδιαίτερο περιβαλλοντικό πρόβλημα, από τη στιγμή που η ανάμειξη του αλμυρού νερού με το γλυκό, το καθιστά ακατάλληλο για κάθε χρήση.

Το φαινόμενο της υφαλμύρωσης εντείνεται από διάφορες ανθρωπογενείς δραστηριότητες με κύρια την υπεράντληση των υδάτων. Με τον τρόπο αυτό μειώνεται η στάθμη του γλυκού νερού και εάν τα αποθέματά του δεν ανανεωθούν σύντομα, τότε το υπόγειο νερό υφαλμυρώνεται. Στο σχήμα 4.4 φαίνεται η υφαλμύρωση του γλυκού νερού που οφείλεται σε υπεράντληση στη στεριά, κατά τα διάφορα στάδια. Αρχικά στο 1ο στάδιο υπάρχει ισορροπία μεταξύ αλμυρού και γλυκού νερού, ενώ από τις τρεις γεωτρήσεις Α, Β, και Γ, που υπάρχουν στην ακτή αντλείται αποκλειστικά γλυκό νερό. Στο 2ο στάδιο η στάθμη του γλυκού νερού έχει κατέβει εξαιτίας της άντλησης από τις τρεις γεωτρήσεις. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το αλμυρό νερό να εισχωρεί όλο και περισσότερο στη στεριά, οπότε και σε συνδυασμό με την άνοδο της θάλασσας, στο 3ο στάδιο αντλείται αποκλειστικά αλμυρό νερό από τις γεωτρήσεις Α και Β.

Η υφαλμύρωση έχει αρνητικές επιπτώσεις στις περιοχές τις οποίες εμφανίζεται. Η ρύπανση των υδάτων τα καθιστά ακατάλληλα για κάθε χρήση από τον άνθρωπο, με συνέπεια κοινωνικά και οικονομικά προβλήματα. Πλήττονται άμεσα ο τουρισμός, η γεωργία και η βιομηχανία, με αποτέλεσμα το μαρασμό των περιοχών αυτών. Επίσης, το φαινόμενο της ερημοποίησης ως φυσικό αποτέλεσμα της υφαλμύρωσης των υπόγειων νερών καθιστά τις περιοχές ακατάλληλες για διαβίωση. Σημαντικό είναι επίσης και το γεγονός πως για την πλήρη απορρύπανση του γλυκού νερού, για την οριστική αντιστροφή δηλαδή του φαινομένου της υφαλμύρωσης απαιτείται ιδιαίτερα μεγάλο χρονικό διάστημα.

Αν και είναι ένα φυσικό φαινόμενο τείνει να γίνει ένα από τα μεγαλύτερα περιβαλλοντικά προβλήματα και στην Ελλάδα, με άμεσο κίνδυνο για την ανάπτυξη των παράκτιων περιοχών της. Το γεγονός αυτό οφείλεται στα ιδιαίτερα γεωμορφολογικά και κλιματολογικά χαρακτηριστικά του Ελλαδικού χώρου.



Σχήμα 5.4 Στάδια του φαινομένου της υφαλμύρωσης λόγω υπεράντλησης (πηγή: Βουδούρης κ.α., 2005).

Η ηπειρωτική Ελλάδα χαρακτηρίζεται από την παρουσία οροσειρών, ενώ εμφανές είναι και το υδρογραφικό δίκτυο. Οι ορεινοί αυτοί όγκοι στην ενδοχώρα, ως αποτέλεσμα της γεωτεκτονικής εξέλιξης του Ελλαδικού χώρου ευνοούν τις έντονες βροχοπτώσεις, κυρίως κατά τη διάρκεια του χειμώνα. Η κατάσταση αυτή όμως αντιστρέφεται στις παράκτιες περιοχές, οι οποίες είναι πεδινές και προσφέρονται για καλλιέργειες. Εδώ το κλίμα είναι πιο ήπιο και το ύψος βροχής είναι χαμηλότερο συγκριτικά με τα ορεινά. Τέλος, οι νησιωτικές περιοχές της χώρας είναι αυτές στις οποίες παρουσιάζονται τα χαμηλότερα ποσοστά ύψους βροχής, συγκριτικά με κάθε άλλη περιοχή στην Ελλάδα. Η ανισοκατανομή αυτή των υδατικών πόρων σχετίζεται με περιβαλλοντικά προβλήματα που αφορούν το νερό και φυσικά με το φαινόμενο της υφαλμύρωσης.

Ο λόγος που το πρόβλημα αποκτά ιδιαίτερα σημαντικές διαστάσεις στην Ελλάδα οφείλεται σε δύο βασικούς παράγοντες. Πρώτον, η έξαρση του φυσικού φαινομένου σχετίζεται με το μεγάλο μήκος ακτογραμμής που ξεπερνά τα 15.000 km. Δεύτερον, οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες εντείνουν το πρόβλημα καθώς ο τουρισμός και οι εντατικές καλλιέργειες στις παραθαλάσσιες περιοχές σχετίζονται άμεσα με την υπεράντληση των υδάτων και συνεπώς με τη διείσδυση του θαλασσινού νερού στους παράκτιους υδροφόρους ορίζοντες. Ο κυριότερος όμως ανθρωπογενής παράγοντας που οφείλεται για τη μεγάλη έκταση του προβλήματος στην Ελλάδα είναι η άναρχη διαχείριση των υδατικών πόρων της χώρας και η ανεξέλεγκτη σπατάλη όγκων νερού, είτε για παράδειγμα στον αγροτικό τομέα, είτε σε παράνομες γεωτρήσεις.

Οι επερχόμενες κλιματικές αλλαγές που τονίζουν οι επιστήμονες ότι θα επέλθουν λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου θα επηρεάσουν αρνητικά την υπάρχουσα κατάσταση. Τα περισσότερα κλιματολογικά μοντέλα προβλέπουν για την Ελλάδα και γενικά για το χώρο της Μεσογείου περισσότερα ακραία καιρικά φαινόμενα, με έντονες περιόδους ξηρασίας και ερημοποίηση των περισσότερων παράκτιων εκτάσεων. Η κατάσταση αυτή σε συνδυασμό με την αύξηση της στάθμης της θάλασσας θα σημαίνει πως η ζωή στις παράκτιες περιοχές δε θα είναι εφικτή καθώς θα εκλείψει είτε λόγω ρύπανσης, είτε λόγω μείωσης των αποθεμάτων, ο σημαντικότερος φυσικός πόρος που είναι το νερό. Οι κοινωνικές και οι οικονομικές επιπτώσεις θα είναι δραματικές για τη χώρα και η αντιμετώπιση του προβλήματος ίσως να μην είναι εφικτή.

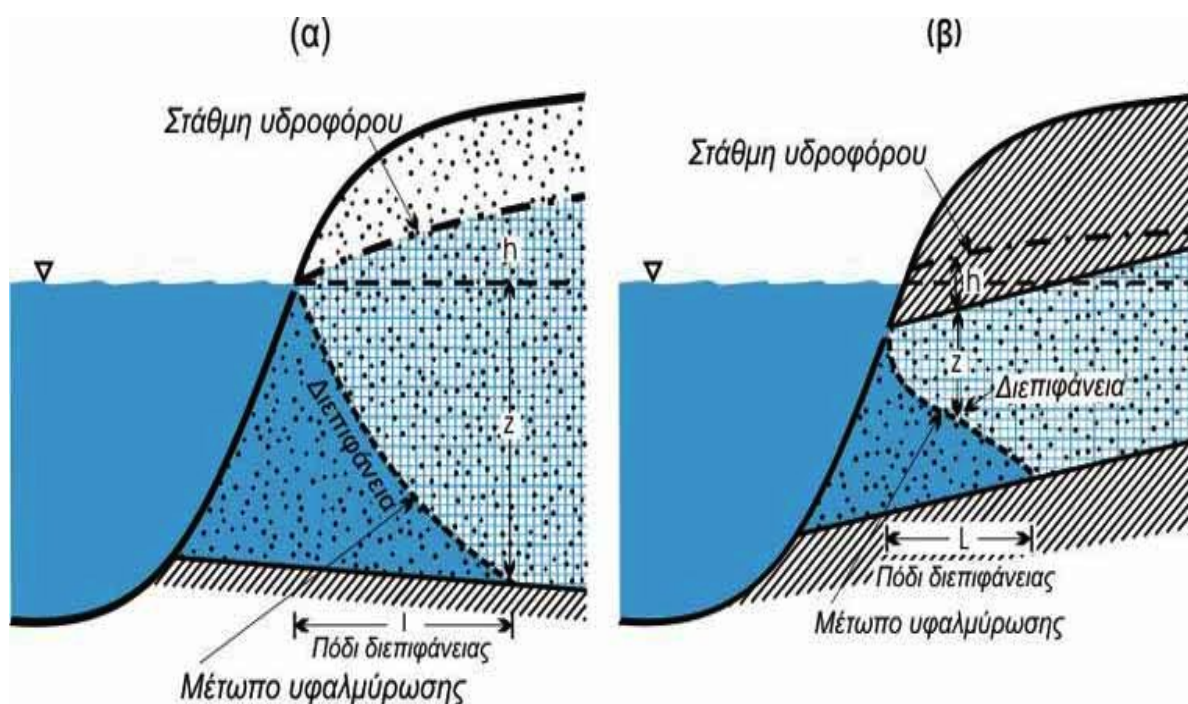
Από τα παραπάνω γίνεται εύκολα αντιληπτό πως είναι ανάγκη να αντιμετωπιστεί η υφαλμύρωση άμεσα, καθώς λόγω των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών του προβλήματος, όσο δε γίνονται ενέργειες για τη λύση του, τόσο πιο δύσκολη καθίσταται η αντιμετώπισή του. Η καταγραφή όλων των υφάλμυρων περιοχών της χώρας, σε συνδυασμό με τη βιώσιμη διαχείριση των υδατικών πόρων του τόπου είναι ίσως το πρώτο αλλά απαραίτητο βήμα προς τη διαχείριση του προβλήματος.

5.3 Φυσικές διεργασίες κατά την επαφή γλυκού και αλμυρού νερού

Με τον όρο υδροφόρα στρώματα εννοούνται τόσο τα γεωλογικά στρώματα του εδάφους που είναι κορεσμένα σε νερό, όσο και το περιεχόμενο σε αυτά νερό. Κυρίως όμως, στο πλαίσιο της διαχείρισης του υπόγειου νερού, ως υδροφόρα στρώματα θεωρούνται αυτά που έχουν σημαντικό ενεργό πορώδες, αυτά τα στρώματα δηλαδή που περιέχουν ελεύθερο νερό.

Κύρια χαρακτηριστικά των υδροφόρων στρωμάτων είναι τα γεωμετρικά (πάχος, ισοϋψείς οροφής και βάσης κ.α.), τα υδροδυναμικά (ισοϋψείς πιεζομετρικών ή ελεύθερων επιφανειών), τα υδραυλικά (περατότητα k , υδραυλική αγωγιμότητα T , συντελεστής εναποθήκευσης S) και τα υδρολιθολογικά (λιθολογία και στρωματογραφία του υδροφορέα).

Τα υδροφόρα στρώματα, που συνήθως αποτελούνται από πορώδεις σχηματισμούς, χωρίζονται σε ελεύθερα υδροφόρα στρώματα, σε εγκλωβισμένα ή υπό πίεση, σε αρτεσιανά, σε ημιελεύθερα και σε ημιεγκλωβισμένα. Ως ξεχωριστή κατηγορία υδροφόρων στρωμάτων θεωρούνται τα καρστικά, τα οποία απαρτίζονται από καρστικούς σχηματισμούς (Σούλιος 1996).

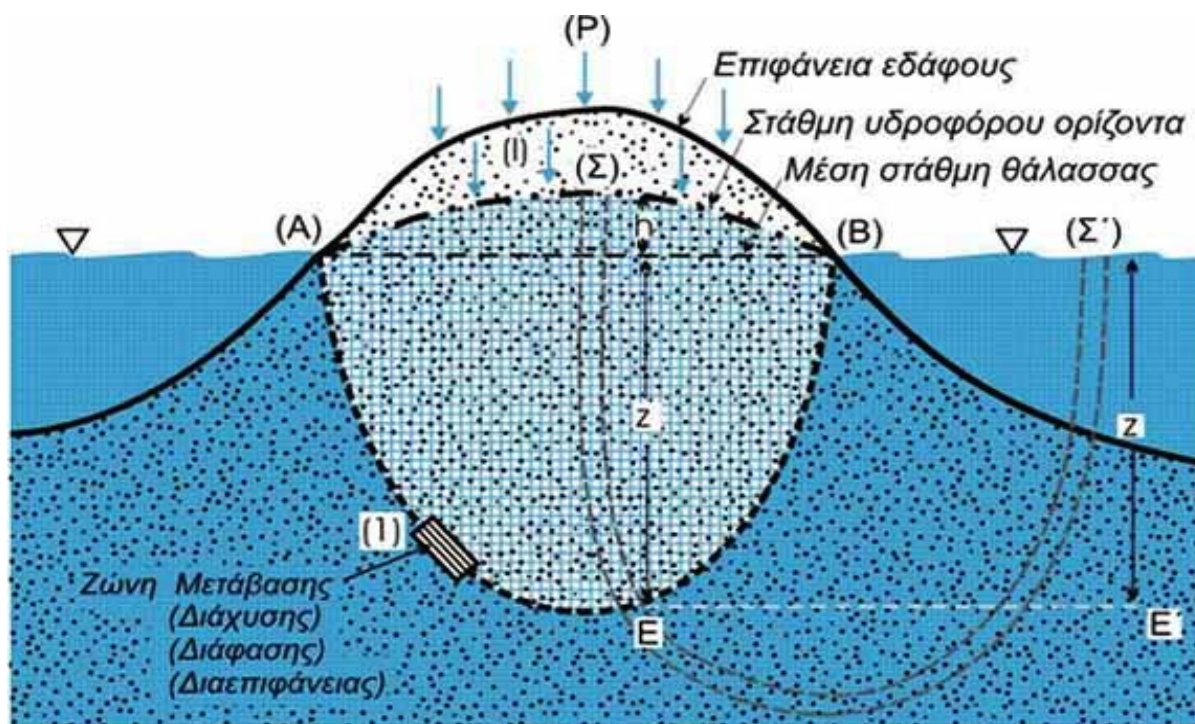


Σχήμα 5.5 Απεικόνιση των δύο βασικών τύπων υδροφόρων οριζόντων : α) Ελεύθερα υδροφόρα στρώματα και β) Εγκλωβισμένα ή υπό πίεση υδροφόρα στρώματα. (πηγή: Σούλιος 2004).

Ως παράκτια υδροφόρα στρώματα θεωρούνται εκείνα τα οποία βρίσκονται σε παράκτιες ζώνες με αποτέλεσμα την επαφή του γλυκού νερού που περιέχουν με το αλμυρό νερό της θάλασσας. Σε αδιατάρακτα παράκτια συστήματα, οι υδροφορείς υπό φυσικές συνθήκες αποστραγγίζονται προς τη θάλασσα.

Το γλυκό νερό των υδροφορέων και το αλμυρό θαλασσινό νερό δεν αναμειγνύονται, λόγω των διαφορετικών ειδικών βαρών τους. Το ειδικό βάρος του γλυκού νερού είναι ίσο με $\rho_{\phi}=1,004 \text{ gr/cm}^3$, ενώ για το θαλασσινό νερό ισχύει ότι $\rho_{\theta}=1,040 \text{ gr/cm}^3$. Η επαφή του γλυκού με το αλμυρό νερό θεωρείται ως μία ζώνη και όχι ως μία απλή επιφάνεια. Η ζώνη αυτή ονομάζεται ζώνη διεπιφάνειας καθώς ως μια νοητή επιφάνεια χωρίζει το θαλασσινό από το αλμυρό νερό. Ονομάζεται όμως επίσης και ζώνη διάφασης ή αλλιώς ζώνη μετάβασης καθώς από τη φάση του γλυκού νερού γίνεται η μετάβαση στη φάση του θαλασσινού νερού. Τέλος έχει το όνομα ζώνη διάχυσης, καθώς από το αλμυρό νερό γίνεται μοριακή διάχυση χλωριόντων με βάση φυσικοχημικές διεργασίες.

Κατά την επαφή των δύο φάσεων το θαλασσινό νερό αφήνει ίχνη στο γλυκό λόγω εμποτισμού, ιοντοανταλλαγής και εγκλωβισμού υπολειμμάτων αλμυρού νερού ως νερό κατακράτησης, τριχοειδές νερό. Οπότε δικαιολογείται η ονομασία της ζώνης και όχι της επιφάνειας μετάβασης (σχήμα 4.6) καθώς δημιουργείται μία ενδιάμεση ζώνη υφάλμυρου νερού (Σούλιος, 2004).



Σχήμα 5.6 Απεικόνιση στάθμης υδροφόρου ορίζοντα, μέσης στάθμης θάλασσας και της ζώνης μετάβασης (πηγή: Σούλιος 2004).

Το γλυκό νερό για τις διάφορες χρήσεις του όπως ύδρευση, άρδευση στη βιομηχανία, πρέπει να έχει κάποιες, ορισμένες κάθε φορά, επιτρεπτές τιμές των ιόντων που περιέχει. Οι τιμές αυτές καθορίζουν την ποιότητα του υπόγειου νερού και με βάση αυτές κρίνεται κατάλληλο για κάθε χρήση. Στον πίνακα 5.1 φαίνονται οι επιτρεπόμενες τιμές των πιο συχνά εμφανιζόμενων ιόντων του φυσικού νερού (αλλά και των προς εμπορία μεταλλικών νερών), που καθορίζουν το αν είναι κατάλληλο για πόση.

Πίνακας 5.1 Επιτρεπόμενα όρια πόσιμου νερού (πηγή: Λατινόπουλος, 2007).

Συστατικά	Ανώτατη επιτρεπόμενη συγκέντρωση (mg/l)
Κατιόντα	
Mg²⁺	50
Na⁺	175
Ανιόντα	
Cl⁻	250
SO₄²⁻	250
NO₃⁻	50
NO⁻	0,1

Στη συνέχεια παρατίθεται ο πίνακας 5.2, με τα μη διαδεδομένα συστατικά που είναι όμως παρόντα με φυσικό τρόπο στα φυσικά μεταλλικά νερά και με τις ανώτατες οριακές τιμές τους, των οποίων η υπέρβαση μπορεί να προκαλέσει κίνδυνο για τη δημόσια υγεία.

Το νερό της θάλασσας δε θεωρείται κατάλληλο ώστε να μπορεί να το χρησιμοποιήσει ο άνθρωπος. Δεν ενδείκνυται ούτε για αστική χρήση αλλά ταυτόχρονα δε μπορεί να χρησιμοποιηθεί ούτε και για την άρδευση των καλλιεργειών, καθώς η συσσώρευση των αλάτων καταστρέφει την παραγωγικότητα των εδαφών. Τέλος, δε μπορεί να χρησιμοποιηθεί ούτε και στη βιομηχανία. Η μόνη χρήση η οποία αποδίδεται στο θαλασσινό νερό είναι να αποτελέσει περιβάλλον σε ιχθυοκαλλιέργειες.

Αν και όσον αφορά την περιεκτικότητα του χλωρίου δεν υπάρχουν ακριβείς τιμές, γενικά ισχύει ότι για τιμές Cl < 300 mg/l το νερό θεωρείται γλυκό, για τιμές 300 < Cl < 4.000-5.000 mg/l υφάλμυρο και για τιμές Cl > 5.000 mg/l θεωρείται αλμυρό. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι το πόσιμο νερό έχει περιεκτικότητα σε Cl < 150-250 mg/l, ενώ το νερό της θάλασσας περιέχει Cl σε τιμές από 18.000-34.000 mg/l (Σούλιος 2004).

Πίνακας 5.2 Πίνακας με τα μη διαδεδομένα συστατικά και τα αντίστοιχα ανώτατα όρια τιμών (πηγή:Σούλιος 2004).

Συστατικά	Ανώτατες οριακές τιμές (mg/l) ή ppm
Αντιμόνιο	0,005
Αρσενικό	0,01(συνολικά)
Βάριο	1
Κάδμιο	0,003
Κυανιούχα	0,07
Μαγγάνιο	0,5
Μόλυβδος	0,01
Νικέλιο	0,02
Νιτρικά	50

5.4 Θαλάσσια διείσδυση σε παράκτιους φυσικούς υδροφορείς

Με τον όρο υφαλμύρωση σύμφωνα με τον Ευρωπαϊκό Περιβαλλοντικό Οργανισμό (European Environmental Agency, EEA) περιγράφεται το φυσικό φαινόμενο το οποίο προσβάλλει όλους τους παράκτιους υπόγειους υδροφορείς. Στις παράκτιες περιοχές το θαλασσινό νερό έρχεται σε επαφή με το γλυκό και δεν αναμειγνύονται καθώς το αλμυρό νερό είναι βαρύτερο λόγω της μεγαλύτερης πυκνότητάς του. Σε περίπτωση μείωσης της στάθμης του γλυκού νερού, αυτό έρχεται σε επαφή με το αλμυρό και χλωριούχα ιόντα το εμπλουτίζουν, καθιστώντας το ακατάλληλο για κάθε χρήση.

Η υφαλμύρωση είναι μία κατάσταση πολύ δύσκολα αντιστρεπτή με αποτέλεσμα το νερό που έχει μετατραπεί σε υφάλμυρο να μην μπορεί πλέον να χρησιμοποιηθεί. Αυτό έχει αντίκτυπο στους εξής τομείς. Οι ποσότητες των γλυκών νερών που κρίνονται ακατάλληλες, είτε λόγω ρύπανσης από νιτρικά ή βαρέα μέταλλα, είτε λόγω υφαλμύρωσης είναι ποσότητες που αφαιρούνται από τα ανανεώσιμα αποθέματα, με αποτέλεσμα την όξυνση του προβλήματος της επάρκειας των υπόγειων υδάτων. Επίσης, το φαινόμενο έχει αντίκτυπο στο γεωργικό τομέα, στη βιομηχανία και στον τουρισμό. Επηρεάζει με τον τρόπο αυτό τη ζωή του ανθρώπου και την ανάπτυξή του σε κοινωνικό και οικονομικό επίπεδο.

Η υφαλμύρωση μπορεί να οφείλεται σε φυσικά αίτια όπως διάφοροι γεωλογικοί παράγοντες, συχνά όμως οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες είναι αυτές οι οποίες επιδεινώνουν την κατάσταση και εντείνουν το πρόβλημα (Βουδούρης, 2003, Λατινόπουλος, 2007).

Οι γεωλογικοί παράγοντες που ευθύνονται για το πρόβλημα της υφαλμύρωσης είναι οι ακόλουθοι:

- Η διάλυση των πετρωμάτων που φιλοξενούν το υπόγειο νερό, ειδικά όταν πρόκειται για πετρώματα πλούσια σε άλατα
- Η εισχώρηση του θαλασσινού νερού στο υπόγειο μέσω ρηγμάτων, διακλάσεων και ρωγμών.
- Η παγίδευση του θαλασσινού νερού από παλαιότερες γεωλογικές εποχές στα πετρώματα.
- Η ανύψωση της στάθμης της θάλασσας, οι καθοδικές κινήσεις της ξηράς ή ο συνδυασμός και των δύο.

Οι ανθρωπογενείς παράγοντες που επηρεάζουν το φαινόμενο σχετίζονται κυρίως με την υπεράντληση των υπόγειων υδάτων σε περιοχές οι οποίες είναι παραθαλάσσιες. Το αποτέλεσμα είναι η πτώση της στάθμης του γλυκού νερού και η είσοδος του αλμυρού στους υπόγειους υδροφορείς. Η υφαλμύρωση όμως μπορεί να προκληθεί και από τις παρακάτω ανθρωπογενείς δραστηριότητες.

- Νερό υφάλμυρο που προέρχεται από απόβλητα βιομηχανιών ή ορυχείων μπορεί να εισέλθει στον υδροφόρα.
- Το αλάτι που χρησιμοποιείται το χειμώνα ώστε να λιώσει το χιόνι στους δρόμους, μπορεί μέσω των φρεατίων να εισέλθει στο υπόγειο νερό.
- Η απόρριψη άλμης των εργοστασίων αφαλάτωσης (ιδίως σε νησιά) μπορεί να προκαλέσει υφαλμύρωση του υπόγειου νερού, ειδικά εάν η απόρριψη γίνει σε σημείο κοντά στην ακτή
- Σε περίπτωση που το νερό που χρησιμοποιείται για άρδευση εκπλύνει το έδαφος, συγκεντρώνει διαλυμένα άλατα και εισχωρήσει στους υπόγειους υδροφορείς, τότε προκαλείται υφαλμύρωση.

5.5 Στατική ισορροπία της διεπιφάνειας: Νόμος των Ghyben-Herzberg

Η επαφή του γλυκού με το αλμυρό νερό, όπως έχει ήδη προαναφερθεί, είναι μία ζώνη και όχι μία απλή επιφάνεια. Την επαφή αυτή του γλυκού με το αλμυρό νερό μελέτησαν πρώτοι ο Ολλανδός Ghyben και ο Γερμανός Herzberg στις αρχές περίπου του προηγούμενου αιώνα.

Στο απλοποιημένο αλλά πολύ βασικό μοντέλο, γνωστό ως μοντέλο Ghyben-Herzberg, γίνεται κατ' αρχήν η υπόθεση ότι η διεπιφάνεια αποτελεί διακριτή επιφάνεια και όχι ζώνη. Επίσης γίνεται μια δεύτερη υπόθεση ότι η διεπιφάνεια βρίσκεται σε στατική κατάσταση και όχι σε δυναμική, δηλαδή δεν λαμβάνονται υπόψη οι ροές που πραγματικά συμβαίνουν. Θεωρώντας λοιπόν τη διεπιφάνεια στάσιμη, το βάρος μιας στήλης γλυκού νερού, που βρίσκεται επάνω από τη διεπιφάνεια θα ισορροπεί λόγω της υδροστατικής πίεσης της στήλης του αλμυρού νερού. Το ύψος για κάθε στήλη είναι ίσο με $z+h$ και z και σε κατάσταση ισορροπίας θα ισχύει η σχέση:

$$P_1 = P_2$$
$$(z+h) * \rho_{\phi} = z * \rho_{\theta}$$

Η εξίσωση στην οποία κατέληξαν και φέρει το όνομά τους είναι η παρακάτω:

$$z = \rho_{\phi} * h / \rho_{\phi} - \rho_{\theta} = \rho_{\phi} * h / \Delta\rho$$

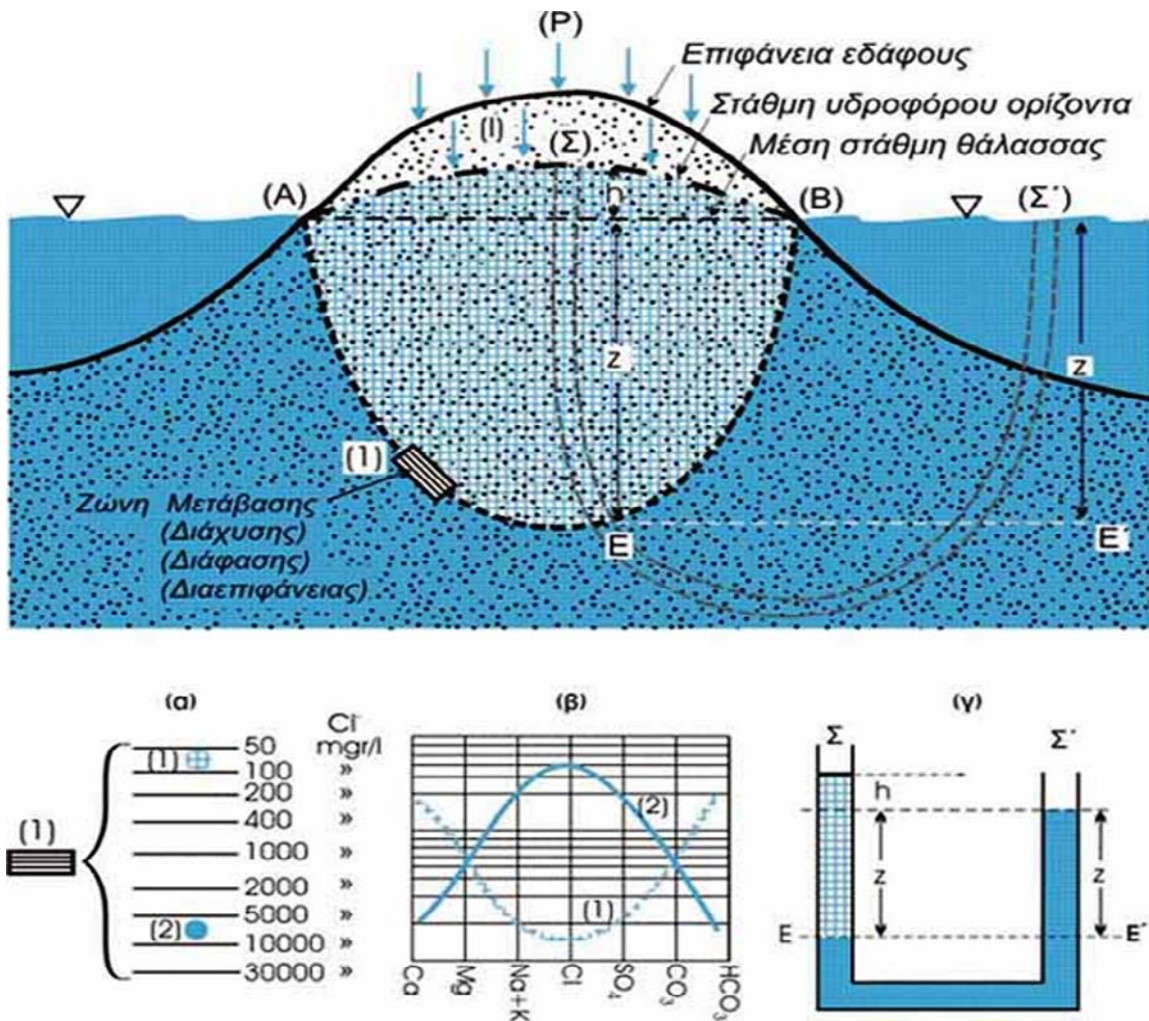
όπου:

z = βάθος γλυκού νερού από τη μέση στάθμη της θάλασσας

h = ύψος στάθμης υδροφόρου στρώματος από τη μέση στάθμη της θάλασσας

ρ_{ϕ} = ειδικό βάρος γλυκού νερού

ρ_{θ} = ειδικό βάρος θαλασσινού νερού



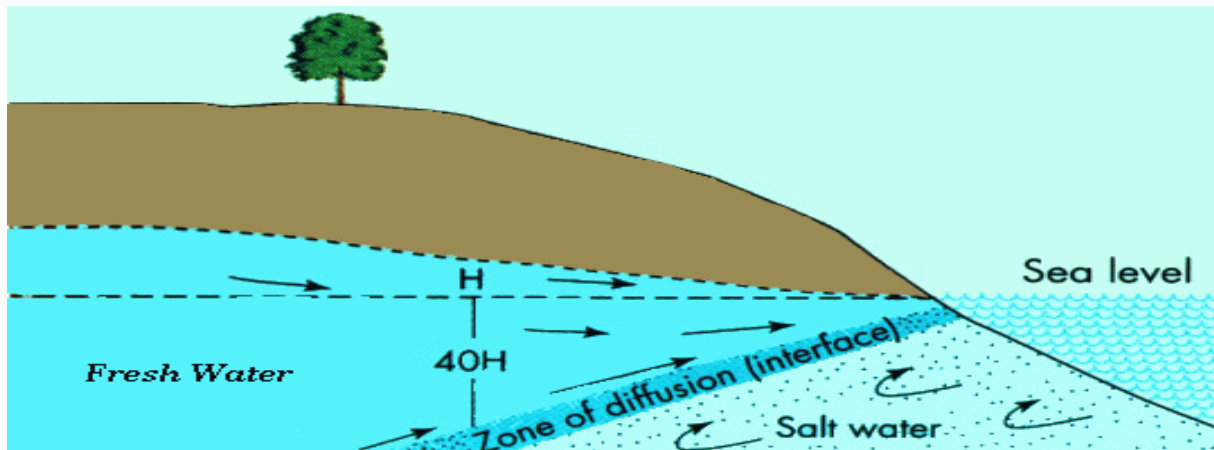
Σχήμα 5.7 Επαφή γλυκού-αλμυρού νερού και ο νόμος των Ghyben-Herzberg. (1) Ζώνη Μετάβασης, (α): περιεκτικότητα σε ιόντα Cl⁻ της ζώνης μετάβασης, (β): χημικό διάγραμμα από τα σημεία (1) και (2) της ζώνης μετάβασης, (γ): μονομετρικό (υδραυλικό) ισότιμο του της επαφής γλυκού-αλμυρού νερού. (πηγή:Σούλιος 2004).

Με αντικατάσταση των συνηθισμένων τιμών του ειδικού βάρους για το γλυκό και το αλμυρό νερό προκύπτει η αριθμητική εξίσωση:

$$z = 25 * h \text{ ως } z = 40 * h$$

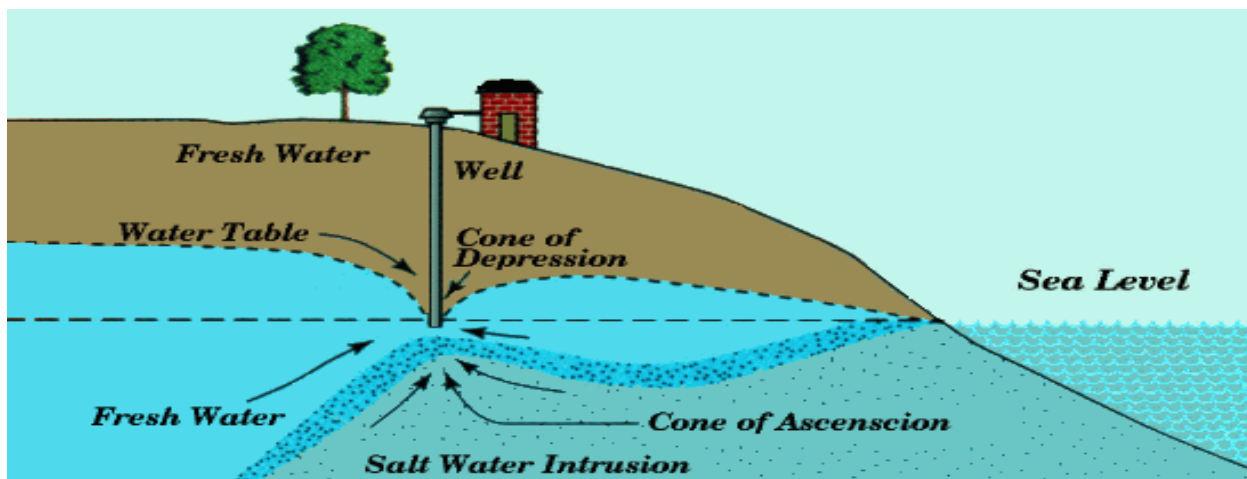
Η φυσική σημασία της εξίσωσης είναι πως το γλυκό νερό επιπλέει επάνω στο θαλασσίνο με συγκεκριμένο βάθος. Εάν είναι γνωστό το ύψος h της στάθμης του υδροφόρου στρώματος σε κάποιο σημείο μπορεί εύκολα να υπολογισθεί το βάθος z του γλυκού νερού στο σημείο αυτό, καθώς θα είναι 25 με 40 φορές μεγαλύτερο από το h (Σούλιος, 2004, Λατινόπουλος, 2007).

Στα σχήματα 5.8 και 5.9 φαίνεται η επαφή του γλυκού με το αλμυρό νερό στη ζώνη της διεπιφάνειας και η άντληση υφάλμυρου νερού από γεώτρηση κοντά στην ακτή λόγω διεύδυσης της θάλασσας στους παράκτιους υπόγειους υδροφορείς, αντίστοιχα, σύμφωνα με το νόμο των Ghyben-Herzberg.



Σχήμα 5.8 Επαφή γλυκού με αλμυρό νερό (πηγή: EEA, Copenhagen, 1999).

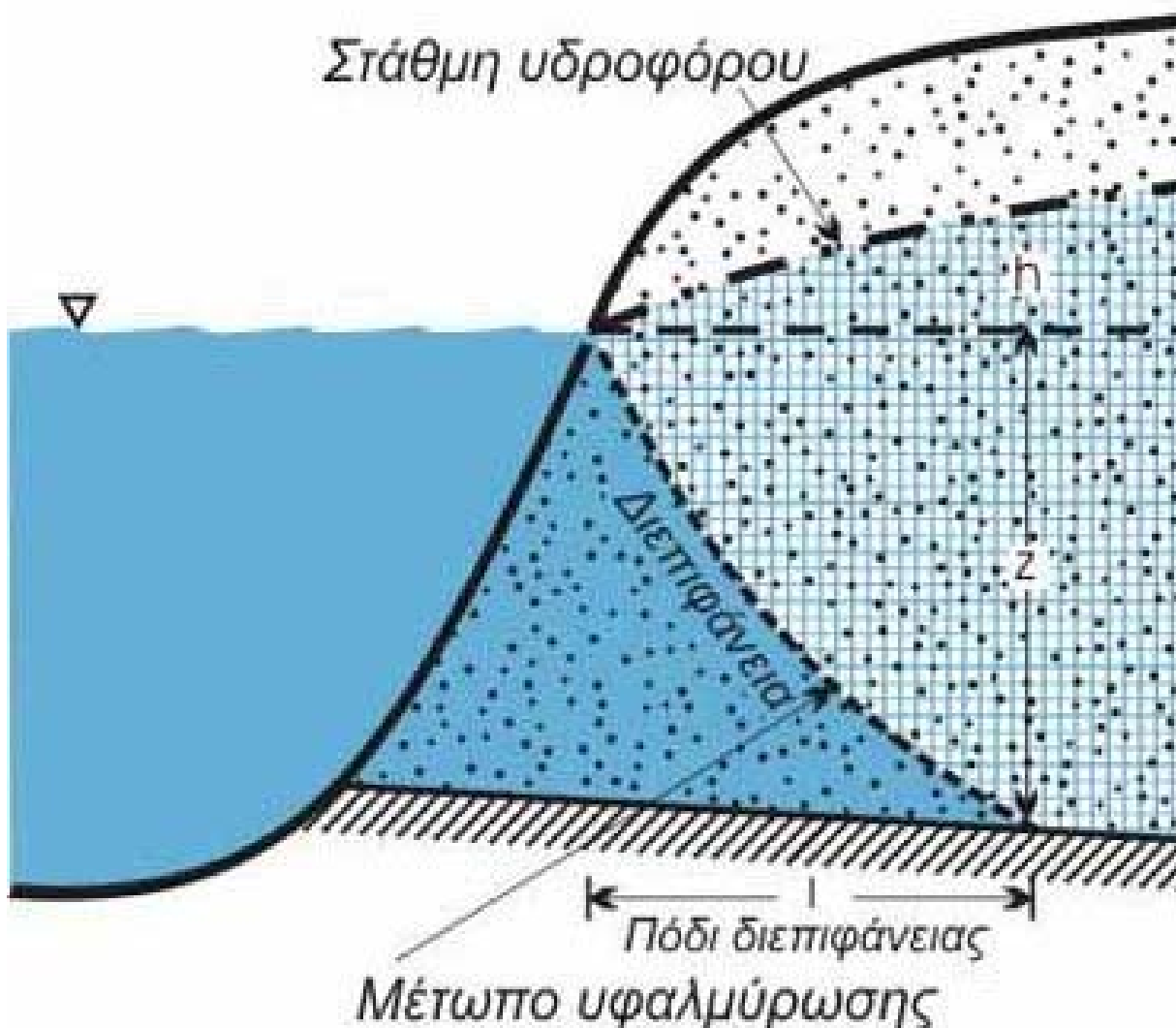
Με τον τρόπο αυτό γίνεται κατανοητό πως εάν υπάρξει μία πτώση στάθμης μέχρι το επίπεδο της θάλασσας, τότε η τιμή του h θα είναι μηδενική και κατ' επέκταση το βάθος z του γλυκού νερού θα είναι και αυτό μηδενικό, δηλαδή θα υπάρχει μόνο θαλασσινό νερό.



Σχήμα 5.9 Άντληση υφάλμυρου νερού από γεώτρηση κοντά στην ακτή (πηγή: EEA, Copenhagen, 1999).

Το ύψος h της στάθμης του υδροφόρου στρώματος από τη μέση στάθμη της θάλασσας καθορίζεται διαφορετικά στα ελεύθερα και στα υπό πίεση υδροφόρα στρώματα. Στα σχήματα 5.10 και 5.11 φαίνεται η ζώνη της διεπιφάνειας σε ένα ελεύθερο και σε ένα υπό πίεση υδροφόρο στρώμα αντίστοιχα. Το μήκος L ονομάζεται πόδι της διεπιφάνειας και αντιπροσωπεύει την κάθετη απόσταση από την τομή της διεπιφάνειας με τη θάλασσα μέχρι το άλλο άκρο της διεπιφάνειας στη στεριά.

Γίνεται αντιληπτό πως όσο μειώνεται η στάθμη h του υδροφόρου στρώματος, τόσο μεγαλώνει το μήκος L του ποδιού της διεπιφάνειας και το αλμυρό νερό εισχωρεί στη στεριά. Με τον τρόπο αυτό ρυπαίνεται ο υδροφορέας και το υφάλμυρο νερό μπορεί να αντληθεί από υπάρχουσες γεωτρήσεις της περιοχής.



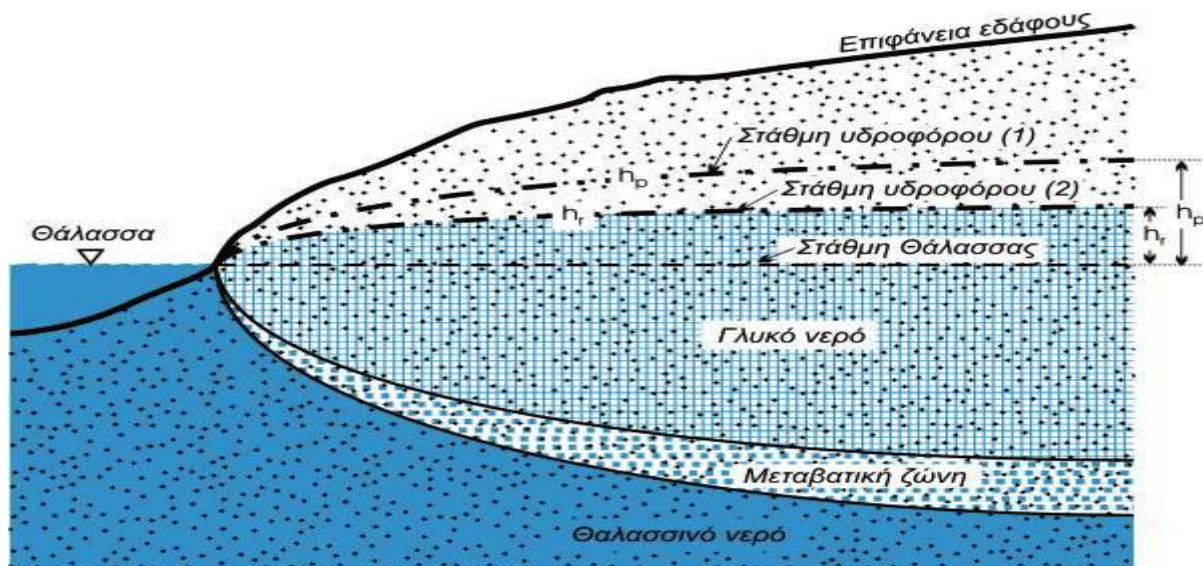
Σχήμα 5.10 Η ζώνη της διεπιφάνειας σε ελεύθερο υδροφόρο στρώμα (πηγή: Σούλιος 2004).



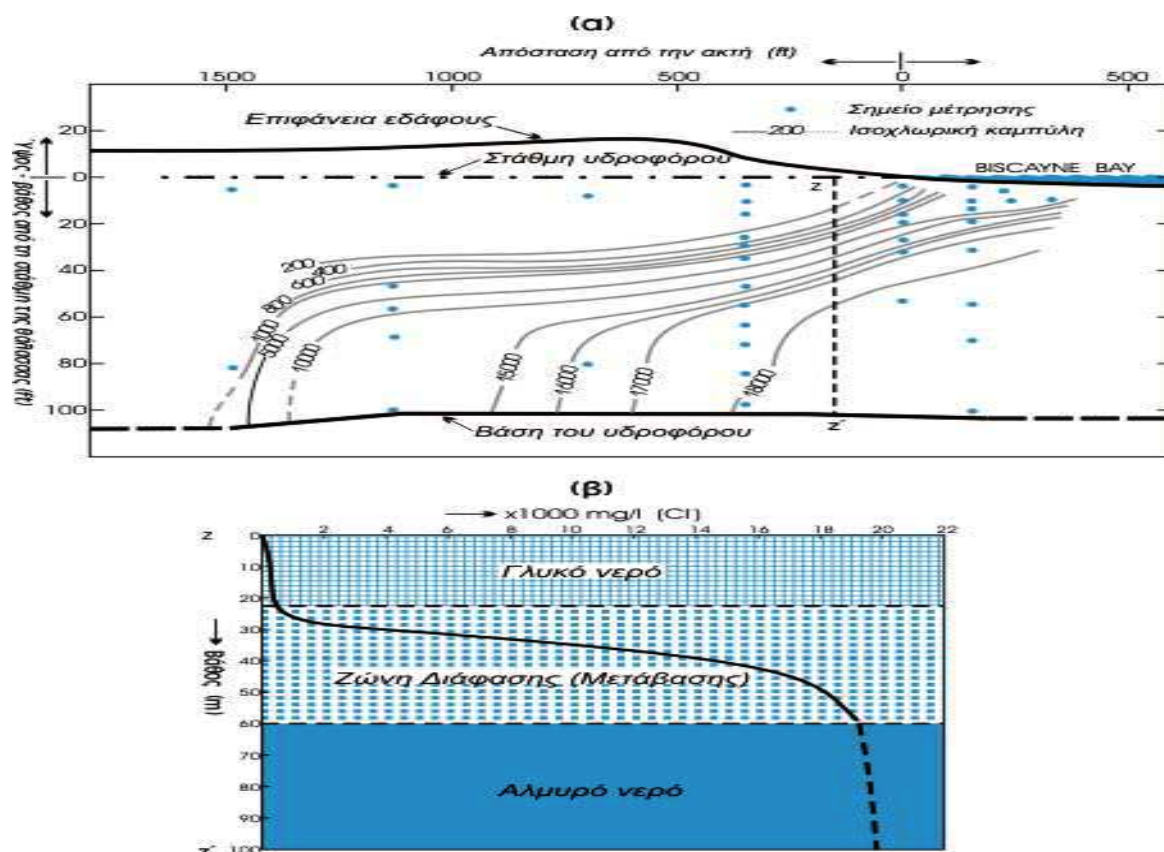
Σχήμα 5.11 Η ζώνη της διεπιφάνειας σε υπό πίεση υδροφόρο στρώμα (πηγή: Σούλιος 2004).

Η εξίσωση των Ghyben-Herzberg είναι μία απλοποιημένη μαθηματική παραδοχή, ενώ στην πραγματικότητα οι φυσικές διεργασίες είναι ιδιαίτερα σύνθετες. Επίσης, οι απλοποιήσεις της εξίσωσης επηρεάζουν την εγκυρότητα του μοντέλου, καθώς και υπάρχουν ροές αλλά και το θαλασσινό νερό αναμιγνύεται ως ένα βαθμό με το γλυκό ακόμη και σε στατικές συνθήκες. Ακόμη παραβλέπεται η συνεισφορά της κατακόρυφης συνιστώσας της ταχύτητας, κυρίως στην επιφάνεια διαστάλλαξης του γλυκού νερού προς τη μεριά της θάλασσας (Βουδούρης, 2003). Στην προσπάθεια επίλυσης του φαινομένου μπορούν να χρησιμοποιηθούν επίσης αναλυτικές και αριθμητικές λύσεις για τα φαινόμενα μεταφοράς και διασποράς (Λατινόπουλος, 2007).

Γενικά πάντως για την προσομοίωση της διεπιφάνειας με στόχο την αντιμετώπιση της υφαλμύρωσης χρησιμοποιούνται δύο κατηγορίες μεθόδων (Νάνου-Γιάνναρου, 2003). Αυτές που θεωρούν τη διεπιφάνεια πεπερασμένου πάχους λόγω υδροδυναμικής διασποράς και αυτές που τη θεωρούν απότομη, είτε ακίνητη, είτε κινούμενη. Στις πρώτες η υφαλμύρωση θεωρείται ως περιβαλλοντικός ρύπος και το αλμυρό με το γλυκό νερό ως αναμίξιμα υγρά. Τέτοιες θεωρίες έχουν διατυπώσει οι Pinder and Cooper, Henry, Lee and Cheng, Segol and Pinder και άλλοι.

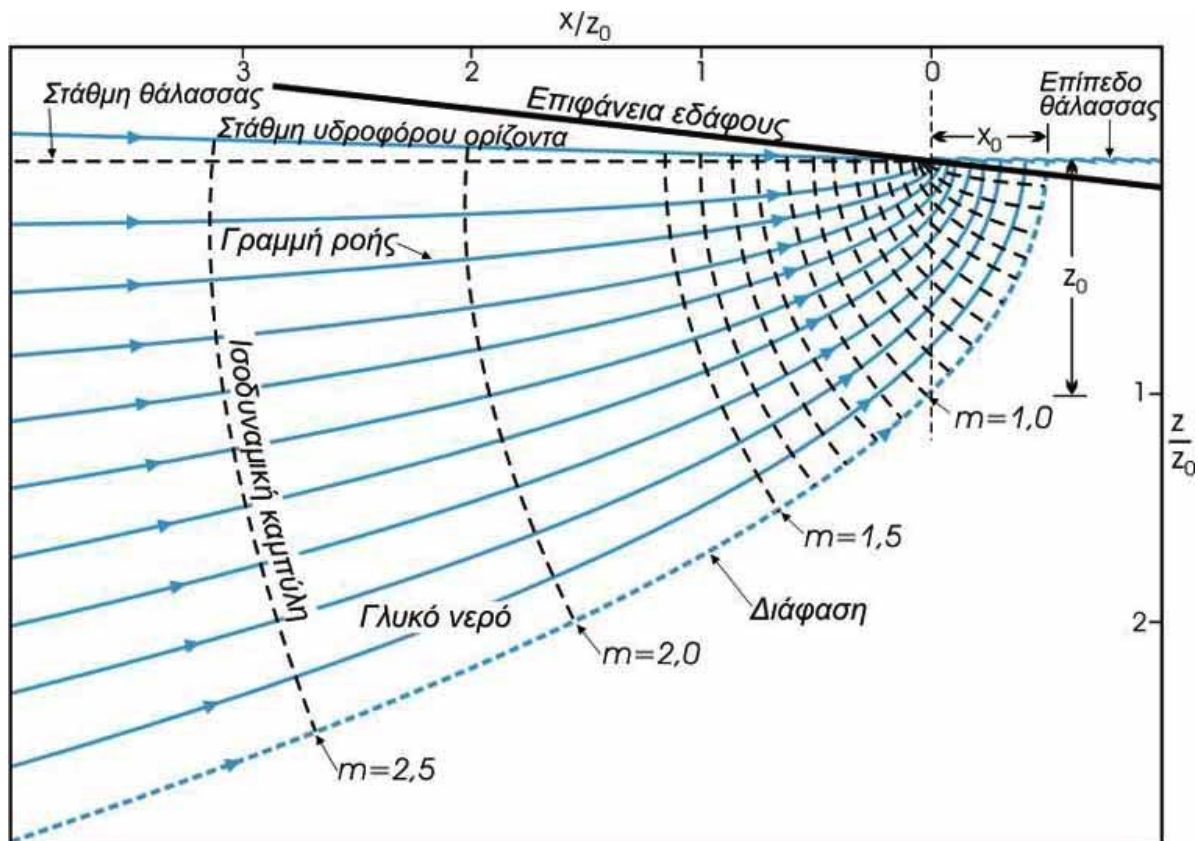


Σχήμα 5.12 Θεωρητική (h_p) και πραγματική (h_r) θέση της στάθμης του υδροφόρου και δείκτης ανισορροπίας (κατά Tulipano, L.-Fidelibus, M., 2002, πηγή: Σούλιος 2004).



Σχήμα 5.13 Χημική σύσταση της Ζώνης Διάφασης (Μετάβασης). (α): τομή σε παράκτιο υδροφόρο στρώμα στην περιοχή Miami της Φλόριδας στην οποία διακρίνονται οι ισοχλωρικές καμπύλες (κατά Cooper, H. 1959), (β): κατακόρυφη τομή ZZ' στην οποία διακρίνονται οι ζώνες αλμυρότητας. (πηγή: Σούλιος 2004).





Σχήμα 5.15 Μοντέλο με γραμμές ροής και ισοδυναμικές καμπύλες (κατά Glover R., 1964 πηγή : Σούλιος 2004).

5.6 Διαπίστωση του φαινομένου με τη βοήθεια δεικτών

Η υφαλμύρωση διαπιστώνεται από την παρουσία ιόντων, κυρίως χλωρίου και νατρίου, μέσα στο γλυκό νερό. Υπάρχει σημαντικός αριθμός δεικτών που βοηθούν στην εξακρίβωση της προέλευσης των ιόντων αυτών και προσδιορίζουν τη διείσδυση της θάλασσας στους υπόγειους υδροφορείς.

Ως συντελεστής Revelle αναφέρεται ο παρακάτω λόγος:

$$r * Cl^- / (r * CO_3^{2-} + r * HCO_3^-)$$

Ο συντελεστής αυτός προτάθηκε από τον Revelle και χρησιμοποιείται ως κριτήριο της διείσδυσης του θαλασσινού νερού. Το γράμμα r χρησιμοποιείται ώστε να εξηγεί ότι οι συγκεντρώσεις των ιόντων είναι εκφρασμένες σε meq/l. Είναι ο πλέον διαδεδομένος δείκτης

και χρησιμοποιείται αρκετά συχνά (Βουδούρης, 2003). Στον Πίνακα 5.3 φαίνεται ο χαρακτηρισμός του νερού ανάλογα με το δείκτη Revelle.

Πέρα από το συντελεστή Revelle χρησιμοποιούνται διάφοροι ιοντικοί λόγοι όπως οι ακόλουθοι (Σούλιος, 2004):

- Ιοντικός λόγος rNa/rK
- Ιοντικός λόγος rCl/rSO_4
- Ιοντικός λόγος rCl/rBr
- Ιοντικός λόγος rCa/rMg
- Ιοντικός λόγος rNa/rCl

Πίνακας 5.3 Χαρακτηρισμός βαθμού ρύπανσης νερού από τη διείδυση της θάλασσας (πηγή: Καλλέργης 2000, Βουδούρης 2003).

Συντελεστής Revelle-Προτεινόμενο όριο	Όριο Simpson	Χαρακτηρισμός νερού
<1	0,5	Καλό υπόγειο νερό χωρίς ρύπανση
1 έως 2	1,3	Ελαφρά ρυπασμένο υπόγειο νερό
2 έως 6	2,8	Μέτρια ρυπασμένο υπόγειο νερό
6 έως 10	6,6	Σοβαρά ρυπασμένο υπόγειο νερό
10 έως 150	15,5	Επικίνδυνα ρυπασμένο υπόγειο νερό
>150	200	Θαλασσινό νερό

Αναλυτικά για τον κάθε λόγο ισχύουν τα παρακάτω. Ο λόγος rNa/rK για τιμές > 47 ισοδυναμεί με θαλασσινό νερό, ενώ για τιμές από 50 ως 70 αναφέρεται σε παλιό νερό, το οποίο έχει απορροφήσει Na. Από την άλλη ο λόγος rCl/rSO_4 όταν έχει την τιμή 10 σημαίνει ότι το νερό είναι θαλασσινό και όταν οι τιμές κυμαίνονται από 5 ως 10 τα νερά είναι υφάλμυρα, συμβαίνει δηλαδή ανάμειξη θαλασσινού με αλμυρό νερό. Στον ιοντικό λόγο

rCl/rBr η τιμή 300 συνδέεται με το θαλασσίνο νερό και οι τιμές ανάμεσα σε 300-4.000 αφορούν νερό εβαποριτών.

Ο ιοντικός λόγος rCa/rMg παίρνει για το θαλασσίνο νερό τις τιμές 0,2 με 0,3 και σε καρστικά υπόγεια νερά οι τιμές του γλυκού νερού είναι ανάμεσα σε 1 ως και 7. Νερά που προέρχονται από οφειόλιθους ή δολομίτες έχουν τιμή μικρότερη από 1. Τέλος, ο ιοντικός λόγος rNa/rCl έχει για το θαλασσίνο νερό την τιμή 0,8.

Οι τιμές του χλωρίου που καθορίζουν την υφαλμύρωση έχουν ήδη αναφερθεί, ενώ μετρώνται επίσης οι τιμές των ολικών διαλυμένων στερεών (total dissolve solids, TDS). Σύμφωνα με το Βουδούρη (2003), το νερό θεωρείται γλυκό για τιμές του TDS < 1.000 mg/l, ελαφρά αλμυρό για τιμές 1.000-3.000 mg/l και μέτρια υφάλμυρο όταν οι τιμές του TDS κυμαίνονται από 3.000-10.000 mg/l. Τέλος, για τιμές του TDS μεγαλύτερες από 10.000 mg/l το νερό χαρακτηρίζεται ως πολύ αλμυρό. Σε συνδυασμό με το TDS ή σε αντικατάσταση αυτού μπορεί να χρησιμοποιηθεί και η ηλεκτρική αγωγιμότητα.

Ένα άλλο μέτρο της θαλάσσιας διείσδυσης είναι η ιοντική ισχύς I, που υπολογίζει την ολική συγκέντρωση ιόντων από τον παρακάτω τύπο:

$$I = 0,5 * \sum M_i * Z_i^2$$

όπου:

M_i = μοριακή συγκέντρωση (mol/L) του i-οστού ιόντος

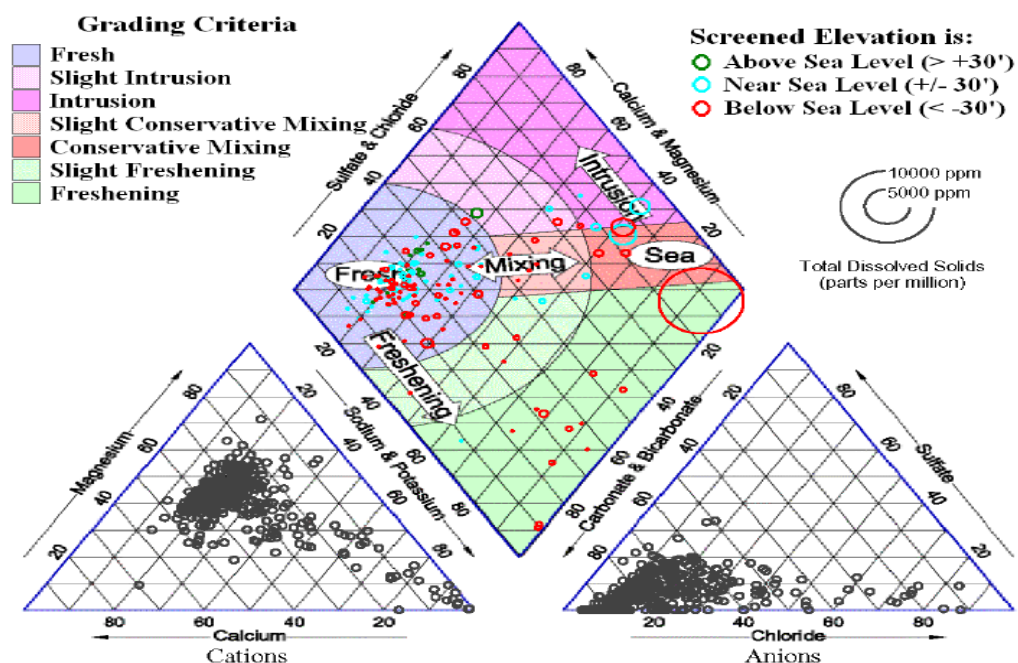
Z_i = φορτίο του i-οστού ιόντος

Στη σημερινή εποχή, για τη μελέτη του φαινομένου χρησιμοποιούνται επίσης μετρήσεις της αντίστασης των γεωλογικών σχηματισμών ή και ο λόγος της αντίστασης ενός γεωλογικού σχηματισμού προς την ειδική αγωγιμότητα του νερού.

Κύριος στόχος πάντα είναι να διαπιστωθεί και να μελετηθεί πλήρως το φαινόμενο της υφαλμύρωσης, καθώς η αντιμετώπισή του είναι ιδιαίτερα δύσκολη και χρονοβόρα, ενώ συχνά δεν επιφέρει τα επιθυμητά αποτελέσματα. Ο λόγος της δυσκολίας αυτής οφείλεται στο γεγονός πως εκτός από την ανάμειξη του αλμυρού με το γλυκό νερό, ταυτόχρονα συμβαίνει και ιοντοανταλλαγή. Τα γλυκά νερά θεωρούνται όξινα ανθρακικά-ασβεστούχα (Ca^{2+} - HCO_3^-) και τα θαλασσινά χλωριονατριούχα (Na^+ - Cl^-). Με τη διαδικασία της ιοντοανταλλαγής, απελευθερώνεται ασβέστιο Ca^{2+} και δεσμεύεται νάτριο Na^+ στα ιζήματα, που φιλοξενούν το υπόγειο γλυκό νερό.

Έχει αναφερθεί και προηγούμενα πως η υφαλμύρωση αποτελεί μία μορφή ρύπανσης των υπόγειων νερών. Με στόχο να διαπιστωθεί και να ελεγχθεί η ρύπανση αυτή στο υπόγειο νερό, πρέπει αρχικά να γίνει συλλογή δεδομένων τα οποία θα αξιολογηθούν στη συνέχεια. Τα δεδομένα αυτά προέρχονται από δείγματα νερού τα οποία λαμβάνονται κατά τη διαδικασία της δειγματοληψίας. Σκοπός της μελέτης των δειγμάτων αυτών είναι ο προσδιορισμός των φυσικοχημικών παραμέτρων του νερού, ώστε να ελεγχθεί η ποιότητα του. Τα αποτελέσματα αυτά αφού αναλύονται, έπειτα κατηγοριοποιούνται και αξιολογούνται, ώστε να προκύψει από αυτά η πληροφορία.

Οι μετρήσεις οφείλουν να είναι αντιπροσωπευτικές και ακριβείς ώστε να επιτευχθεί ένα σωστό αποτέλεσμα. Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι, εμπειρικές και μη για τον έλεγχο της αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων, όπως για παράδειγμα η συνθήκη της ηλεκτρικής ουδετερότητας (δείκτης E.N.). Η εκτίμηση όμως της ορθότητας των αποτελεσμάτων αφορά κυρίως τα βασικά στοιχεία σε μια χημική ανάλυση και όχι στοιχεία με ιδιαίτερα μικρές συγκεντρώσεις. Εάν η διαδικασία της δειγματοληψίας και μετέπειτα της χημικής ανάλυσης διεξαχθούν με προσοχή, τα αποτελέσματα που θα προκύψουν για τη διευκόλυνση της μελέτης τους επεξεργάζονται και αναλύονται. Με τον τρόπο αυτό μπορούν να αξιολογηθούν και να βγουν τα απαραίτητα συμπεράσματα από αυτά. Οι μέθοδοι επεξεργασίας των αποτελεσμάτων χωρίζονται σε στατιστικές και γραφικές. Οι πρώτες χρησιμοποιούν τις κλασσικές μεθόδους της στατιστικής, ενώ οι δεύτερες συνδέονται με την απεικόνιση των αποτελεσμάτων σε διαγράμματα, όπως διαγράμματα Box-Plot, Stiff Piper και άλλα.



Σχήμα 5.16 Κλασσικό Τριγωνομετρικό διάγραμμα ή διάγραμμα Piper (πηγή: Seawater Intrusion Topic Paper).



Σχήμα 5.17 Τμήμα του χάρτη Δήμου Ελευθερών στον οποίο απεικονίζονται οι τρεις γεωτρήσεις δειγματοληψίας με τα αντίστοιχα τοπωνύμια, 1) Δρεσκανοπήγαδος, 2) Βασιάτικα και 3) Ρόγκια. (πηγή: Ι.Γ.Μ.Ε.).

Η παρακολούθηση του φαινομένου της υφαλμύρωσης, πέρα από τη διαπίστωση των χλωριόντων στο νερό με τη διαδικασία της δειγματοληψίας και της ανάλυσης είναι δυνατό να συμβεί και με τη χρήση μεθόδων γεωφυσικής διασκόπησης. Συγκεκριμένα με τη χρήση ηλεκτρικών μεθόδων διασκόπησης ανιχνεύεται η μεταβολή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του θαλασσινού νερού και διαπιστώνεται έτσι η έκταση του μετώπου της υφαλμύρωσης. Οι συγκεκριμένες μέθοδοι παρακολούθησης γίνονται πλέον ιδιαίτερα δημοφιλής, καθώς είναι ακριβείς, αξιόπιστες και από τα αποτελέσματά τους μπορεί να εξαχθούν εύκολα προσομοιώσεις του μετώπου υφαλμύρωσης, με τη βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή.

Για τη συνοπτική ταξινόμηση των αποτελεσμάτων των χημικών αναλύσεων και την εξαγωγή γρήγορων συμπερασμάτων, όπως και την ευκολότερη σύγκριση των αποτελεσμάτων μεταξύ τους, χρησιμοποιούνται τα υδροχημικά διαγράμματα. Αυτά

επιτρέπουν την ταξινόμηση των αποτελεσμάτων των δειγμάτων, τα οποία έχουν αναλυθεί και δίνουν και πληροφορίες για την υδροχημική φάση τους.

Χρησιμοποιούνται πολλά διαγράμματα που ταξινομούν τα νερά σε διαφορετικές ομάδες, ανάλογα με το χημισμό τούς, τη χρήση νερού και την προέλευσή τούς. Κάθε ταξινόμηση χρησιμοποιεί και διαφορετικά κριτήρια. Έτσι έχουμε διαγράμματα ανυσματικά, κυκλικά, πολυγωνικά, τριγωνικά, ραβδοδιαγράμματα κ.α. Στην παρούσα εργασία για την ταξινόμηση τον υπόγειου νερού χρησιμοποιήθηκαν τα πιο διαδεδομένα από αυτά. Γίνεται παρουσίαση των αποτελεσμάτων με τα διαγράμματα Piper, Durov, S.A.R. και Wilcox.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των αναλύσεων από τις περιοχές όπου πραγματοποιήθηκαν οι δειγματοληψίες κατά τους μήνες Μαΐου και Οκτωβρίου. Παρατίθενται οι σχετικοί πίνακες και τα αντίστοιχα γραφήματα Piper και Durov.

Πίνακας 5.4 Χημικές αναλύσεις των τριών δειγμάτων κατά το μήνα Μάιο (30-5-2009).

Χημικές ιδιότητες και στοιχεία	1°ΔΕΙΓΜΑ	2°ΔΕΙΓΜΑ	3°ΔΕΙΓΜΑ
PH	7.7	7.87	7.73
ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ	617.0	445.0	469.0
Ca⁺ (mg/lit)	66.4	76.2	72.1
Mg²⁺ (mg/lit)	8.05	12.2	3.90
K⁺ (mg/lit)	1.8	1.7	0.9
Na²⁺ (mg/lit)	21	14	12
HCO³⁻ (mg/lit)	127	119	124
SO₄²⁻ (mg/lit)	24	45	39
NO₃⁻ (mg/lit)	9.24	1.7	0.9
Cl⁻ (mg/lit)	65	27	26.1
ΟΛΙΚΗ ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ	199	278	207

Πίνακας 4.5 Χημικές αναλύσεις των τριών δειγμάτων κατά το μήνα Οκτώβριο (22-10-2009).

Χημικές ιδιότητες και στοιχεία	1°ΔΕΙΓΜΑ	2°ΔΕΙΓΜΑ	3°ΔΕΙΓΜΑ
PH	7.17	7.08	7.13
ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ	582.0	602.1	622.1
Ca⁺ (mg/lit)	65.8	70.6	76.4
Mg²⁺ (mg/lit)	13.9	7.56	10.49
K⁺ (mg/lit)	1.9	1.8	1.4
Na²⁺ (mg/lit)	18	18.0	16
HCO³⁻ (mg/lit)	133.0	165.0	168.0
SO₄²⁻ (mg/lit)	28	36	46
NO₃⁻ (mg/lit)	9.24	24.2	29.1
Cl⁻ (mg/lit)	67.0	25.0	28.0
ΟΛΙΚΗ ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ	172.0	232.1	206.0

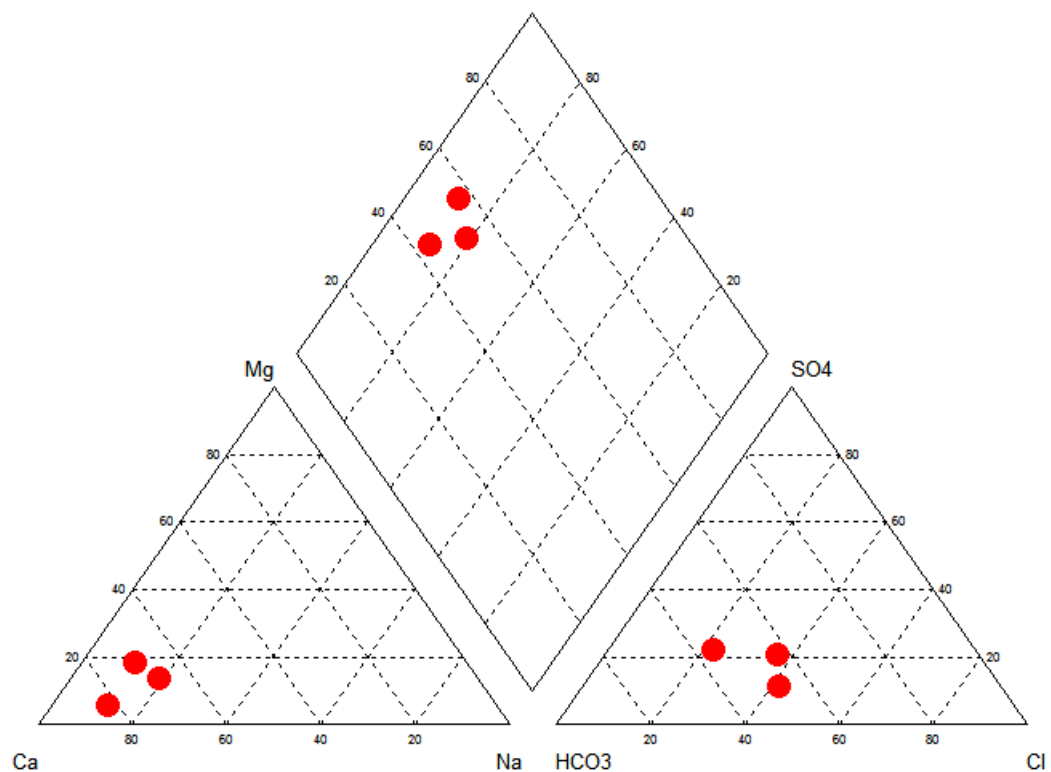
5.7 Χημικά διαγράμματα

5.7.1 Διάγραμμα Piper

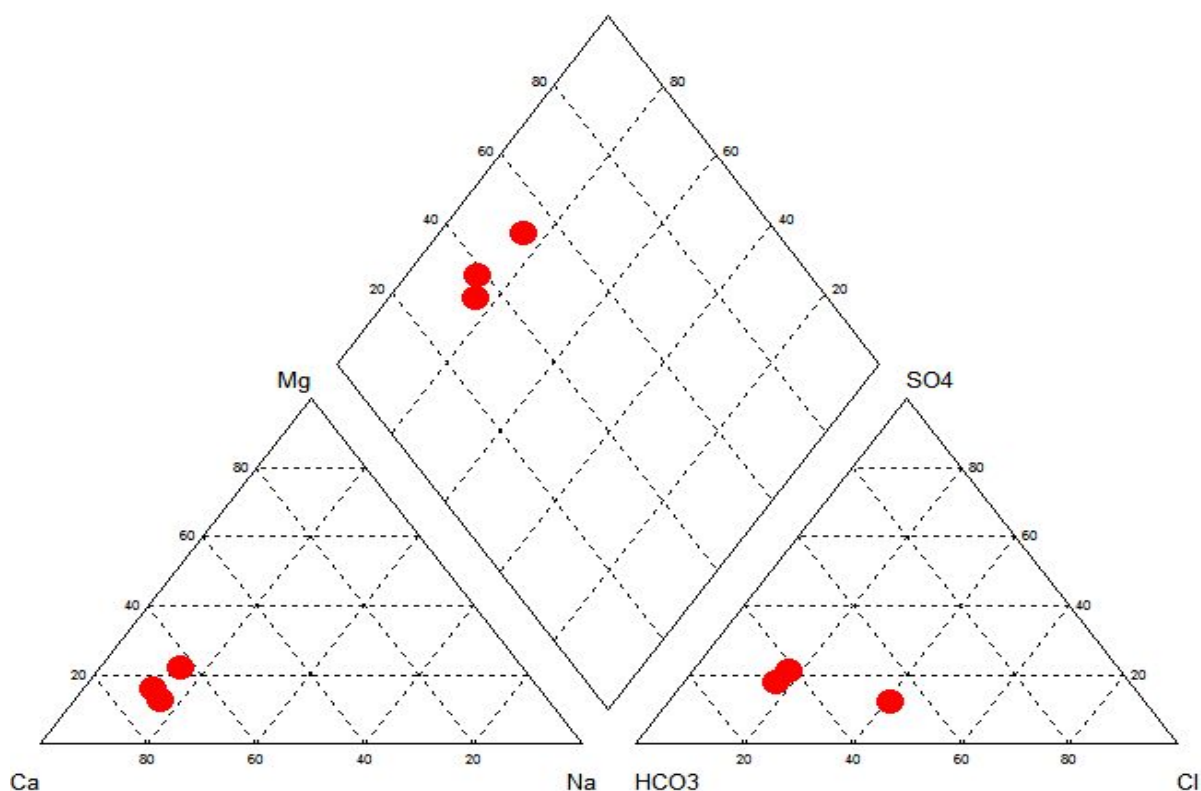
Αυτό το τριγωνικό διάγραμμα πρωτοεισήχθη από τον Piper(1944) και συμπληρώθηκε από τους Fetter, C.W, (1994), Davis, S -De Wiest (1967). Χρησιμοποιείται ευρύτατα στη βιβλιογραφία και είναι το εύχρηστο, καθότι η ανάγνωσή του, οι διαφορές και οι ομοιότητες του, καθώς και οι αναμίξεις των διαφόρων νερών αναγνωρίζονται εύκολα (Δημόπουλος, 1983, Καλλέργης, 1956, Δημόπουλος κα. 2005).

Αποτελείται από δύο τριγωνικά διαγράμματα, ένα για τα ανιόντα και ένα για τα κατιόντα και από ένα ενδιάμεσο ρομβοειδές. Στο σύνολό τους αυτά συνιστούν ένα τρίγωνο. Η θέση του κάθε δείγματος το κατατάσσει σε μία κατηγορία, τόσο ως προς τα κατιόντα, όσο και ως προς τα ανιόντα. Ουσιαστικά δίνει την υδροχημική φάση τον κάθε δείγματος. Η συγκέντρωση των ιόντων για την κατασκευή του διαγράμματος Piper είναι εκφρασμένη σε meq/lit. Το διάγραμμα Piper είναι πολύ χρήσιμο για τον εντοπισμό του υδροχημικού τύπου των υπόγειων νερών καθώς και για τον εντοπισμό των υδροχημικών σχέσεων των υπόγειων

νερών, δηλαδή α) ανάμιξη διαφορετικών τύπων νερού, β) ιοντική ανταλλαγή, γ) αντιδράσεις καθίζηση και διάλυσης και δ) θεϊκή αναγωγή. Στα Σχήματα 5.18 και 5.19 που ακολουθούν δίνονται τα διαγράμματα Piper για το σύνολο των δειγμάτων νερού που αναλύθηκαν σε κάθε περίοδο δειγματοληψίας



Σχήμα 5.18 Τριγωνικό διάγραμμα ή διάγραμμα Piper κατά τον μήνα Μάιο με βάση τα δεδομένα του πίνακα 5.4 .



Σχήμα 5.19 Τριγωνικό διάγραμμα ή διάγραμμα Piper κατά τον μήνα Οκτώβριο με βάση τα δεδομένα του πίνακα 5.5 .

Παρατηρώντας τα διαγράμματα διαπιστώνουμε πως τα δείγματα νερού παρουσιάζουν συγκεντρώσεις στις ίδιες περιοχές των διαγραμμάτων με απειροελάχιστες διαφοροποιήσεις. Στο διάγραμμα των ανιόντων τα δείγματα συγκεντρώνονται στο ανθρακικό τμήμα του διαγράμματος. Στο αντίστοιχο τριγωνικό διάγραμμα των κατιόντων συγκεντρώνονται στο ασβεστούχο και στο μαγνησιούχο τμήμα- Στην περίοδο του Μαΐου 2009 παρατηρείται και μία θέση κάποιων δειγμάτων στο χώρο της μεικτής σύστασης των κατιόντων, αλλά η γενική εικόνα μας δίνει ότι στην πλειονότητά τους πρόκειται για ασβεστούχα νερά. Οι απεικονίσεις των διαγραμμάτων των κατιόντων και των ανιόντων είναι αναμενόμενες αν παρατηρήσουμε και τη γεωλογία της περιοχής, όπου η τροφοδοσία των νερών είναι μέσα από μεταμορφωμένα πετρώματα και κυρίως από τους όγκους μαρμάρου που συναντώνται στην περιοχή.

Από το ρομβικό διάγραμμα προκύπτει ότι ο επικρατέστερος τύπος νερού που συναντάμε στην περιοχή είναι ο ασβεστομαγνησιούχος-ανθρακικός, που είναι ο κυριότερος τύπος ιδίως για τα νερά ανθρακικών σχηματισμών. Συμπερασματικά, με βάση τις απεικονίσεις του διαγράμματος Piper·δεν παρατηρείται ανάμιξη νερών και δεν έχουμε αλλαγή τύπου καθ'όλη τη διάρκεια πραγματοποίησης των μετρήσεων. Πρόκειται ουσιαστικά για μία σταθερή

ποιοτικά τροφοδοσία. και εμπλουτισμό της περιοχής έρευνας η οποία συγκρινόμενη. και με παλαιότερες χημικές αναλύσεις (Dimopoulos,1986) δεν παρουσιάζει εμφανείς διαφοροποιήσεις.

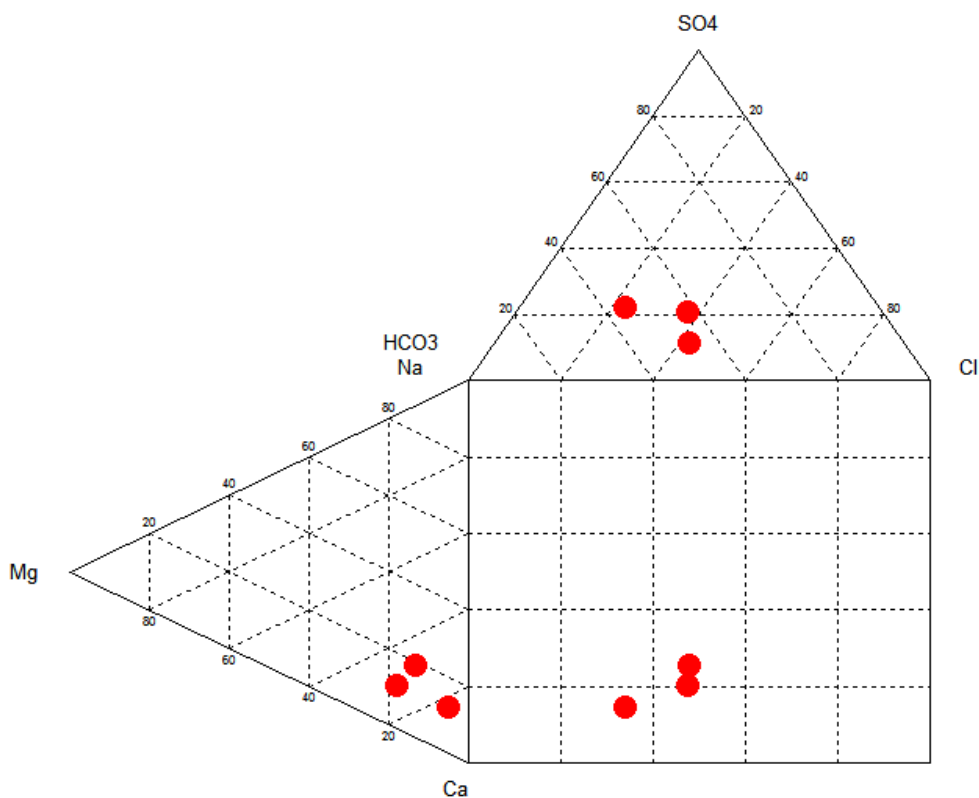
5.7.2 Διάγραμμα Durov

Το διάγραμμα αυτό πρωτοεισήχθη στη βιβλιογραφία από τον Durov S.A (1946) και στη συνέχεια υπέστη τροποποιήσεις από τους Hem(1970). Zaporozec A. (1972), και Lloyd - Heathcote (1985). Σε αυτό το διάγραμμα γίνονται προβολείς του 50% της ολικής συγκέντρωσης των κατιόντων και των ανιόντων. Οι περιεκτικότητες των στοιχείων είναι εκφρασμένες σε meq/lit.

Το διάγραμμα Durov, στην απλή του μορφή, αποτελείται από δυο τριγωνικά διαγράμματα. ένα για τα ανιόντα και ένα για τα κατιόντα. των οποίων οι τιμές προβάλλονται στο κεντρικό τετραγωνικό διάγραμμα. Έχει αρκετά πλεονεκτήματα σε σχέση με το αντίστοιχο διάγραμμα του Piper που είδαμε παραπάνω.

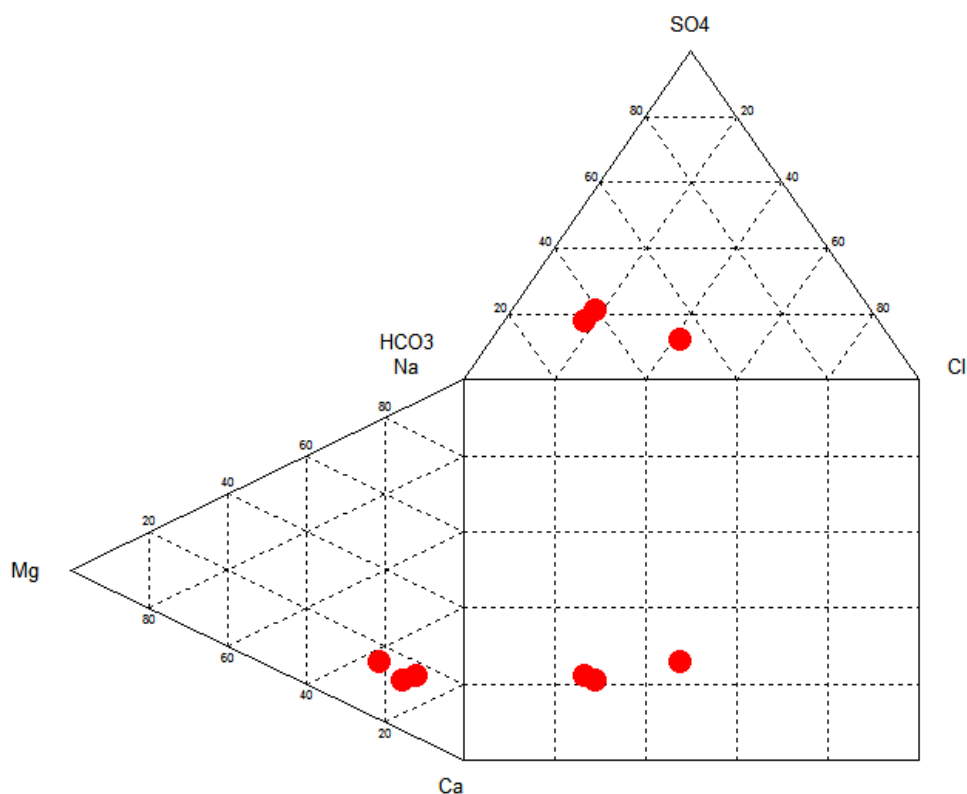
Το κύριο πλεονέκτημα είναι ότι παρέχει καλύτερη εικόνα των διάφορων χημικών τόπων του νερού, αλλά κυρίως των διεργασιών που λαμβάνουν χώρα στα υπόγεια νερά (Βουδούρης. 1993).

Στα σχήματα 5.20 και 5.21 δίνονται τα διαγράμματα Durov για τις δύο περιόδους δειγματοληψίας στην περιοχή έρευνας. Από τα διαγράμματα αυτά παρατηρούμε πως δεν υπάρχουν ουσιαστικές διαφοροποιήσεις όσον αφορά την ανάλυση των νερών για τις περιόδους δειγματοληψίας. Από την προβολή στο ορθογώνιο τμήμα του διαγράμματος, έχουμε μία συγκέντρωση του μεγαλύτερου ποσοστού αυτών σε περιοχή που αντιστοιχούν γλυκά νερά. όπου το επικρατούν ιόν είναι το ασβέστιο και τα όξινα ανθρακικά ιόντα (όπως είδαμε και στο προηγούμενο διάγραμμα). Από αυτό μπορούμε να συμπεράνουμε ότι το μεγαλύτερο ποσοστό των δειγμάτων αντιστοιχεί σε νερό που ανανεώνεται.



Σχήμα 5.20 Τριγωνικό διάγραμμα ή διάγραμμα Durov κατά τον μήνα Οκτώβριο με βάση τα δεδομένα του πίνακα 5.5 .

Η προέλευση τους μπορεί να είναι από ασβεστολιθικούς υδροφορείς κατά κύριο λόγο. Ένα μικρό ποσοστό δειγμάτων όπως φαίνεται και από τα τετραγωνικά διαγράμματα όπου γίνεται η προβολή των στοιχείων από τα αντίστοιχα τριγωνικά, το συναντάμε και δεξιότερα των προηγούμενων σε θέση που συνιστά υψηλότερες αναλογίες ασβεστίου και μαγνησίου και είναι πιθανή μία προέλευση δολομιτική και σε πολλές περιπτώσεις, λόγω της ιοντοανταλλαγής. Έχουμε και υψηλές αναλογίες ασβεστίου - νατρίου. Στην περιοχή έρευνας συναντώνται δολομιτικά πετρώματα και επίσης ενδέχεται ένα ποσοστό αυτών των δειγμάτων να έχει προηγούμενα διέλθει από το μεταμορφωμένο υπόβαθρο όπου συναντάμε βασικά ορυκτά. Επίσης από τα διαγράμματα, παρατηρούμε ότι δεν υπάρχει ένδειξη στις περιόδους όλων των δειγματοληψιών, ότι έχουμε αντίστροφες ιοντικές ανταλλαγές είτε απλή διάλυση ή μίξη καθώς δεν εμφανίζονται τα δείγματα νερού να αποτυπώνονται σε αυτά τα τμήματα του διαγράμματος Durov.



Σχήμα 5.21 Τριγωνικό διάγραμμα ή διάγραμμα Durov κατά τον μήνα Οκτώβριο με βάση τα δεδομένα του πίνακα 5.5 .

5.7.3 Διαγράμματα S.A.R. και Wilcox

Στην περιοχή της Νέας Περάμου και κυρίως στο πεδινό της τμήμα, έχουμε έντονη καλλιεργητική δραστηριότητα. Αποτέλεσμα αυτής της δραστηριότητας είναι να υπάρχουν ιδιαίτερα αυξημένες απαιτήσεις σε ποσότητες νερού για άρδευση. Είναι πολύ σημαντικό να γνωρίζουμε την καταλληλότητα αυτού του νερού. Έχει αναπτυχθεί κάποιος αριθμός κριτηρίων τα οποία λαμβάνονται υπόψη για την εξέταση της καταλληλότητας του αρδευτικού νερού. Ένα από αυτά είναι η ολική συγκέντρωση αλάτων, η συγκέντρωση ιόντων τα οποία μπορεί να είναι τοξικά για τα φυτά και η συγκέντρωση κατιόντων τα οποία μπορεί να προκαλέσουν αποκροκίδωση της αργίλου κάτι το οποίο μπορεί να συνεπάγεται τη μείωση της περατότητας και επομένως και του αερισμού του εδάφους.

Για τον προσδιορισμό της καταλληλότητας του νερού για άρδευση χρησιμοποιείται το διάγραμμα S.A.R. Εισήχθη από τον Wilcox L.V (1950). Σύμφωνα με αυτό το διάγραμμα η καταλληλότητα του νερού για άρδευση εξετάζεται σε σχέση με δύο παράγοντες:

α) Τον κίνδυνο αλκαλίωσης

Η αύξηση της περιεκτικότητας σε Na^{2+} του εδάφους έχει ως συνέπεια τη μείωση της περατότητας με αντίστοιχη αύξηση της σκληρότητας. Αυτό είναι αποτέλεσμα της αντικατάστασης των ιόντων Ca^{2+} και Mg^{2+} από το Na^{2+} στο πλέγμα των αργίλων. Η έκταση αυτής της αντικατάστασης εκφράζεται από το δείκτη προσρόφησης νατρίου (S.A.R.)

$$\text{S.A.R.} = \text{Na}^+ / \sqrt{\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}} / 2$$

Οι συγκεντρώσεις των κατιόντων είναι εκφρασμένες σε meq/lit. Σε ορθογώνιο διάγραμμα προβάλλεται στον οριζόντιο άξονα η ηλεκτρική αγωγιμότητα ($\mu\text{S}/\text{cm}$) και στον κατακόρυφο άξονα ο συντελεστής προσρόφησης Na^+ . Το διάγραμμα είναι χωρισμένο σε υποπεριοχές, οι οποίες δηλώνουν την καταλληλότητα ή μη του αρδευτικού νερού και τις όποιες προϋποθέσεις πρέπει να ληφθούν υπόψη για να χρησιμοποιηθεί (Richards, I.A. 1954).

β) Τον κίνδυνο αλατότητας

Σε εδάφη όπου επικρατούν αργιλικά υλικά η δυνατότητα της απόπλυσης των αλάτων, τα οποία είναι σε περίσσεια, εμφανίζεται μειωμένη λόγω της μικρής περατότητας και της χαμηλής δυνατότητας αποστράγγισης. Ένας δείκτης του κινδύνου της αλατότητας είναι η ηλεκτρική αγωγιμότητα. Ο Wilcox L.V (1955) πρότεινε μια ταξινόμηση η οποία βασίζεται στο βαθμό αλκαλίωσης και στην ηλεκτρική αγωγιμότητα. Η αλκαλίωση ουσιαστικά είναι η επί τοις εκατό περιεκτικότητα του νερού σε ιόντα Na^+ σε σχέση με το σύνολο των αλκαλίων. Η περιεκτικότητα $\text{Na}(\%)$ προσδιορίζεται με την παρακάτω σχέση όπου οι συγκεντρώσεις ιόντων είναι εκφρασμένες σε meq/lit.

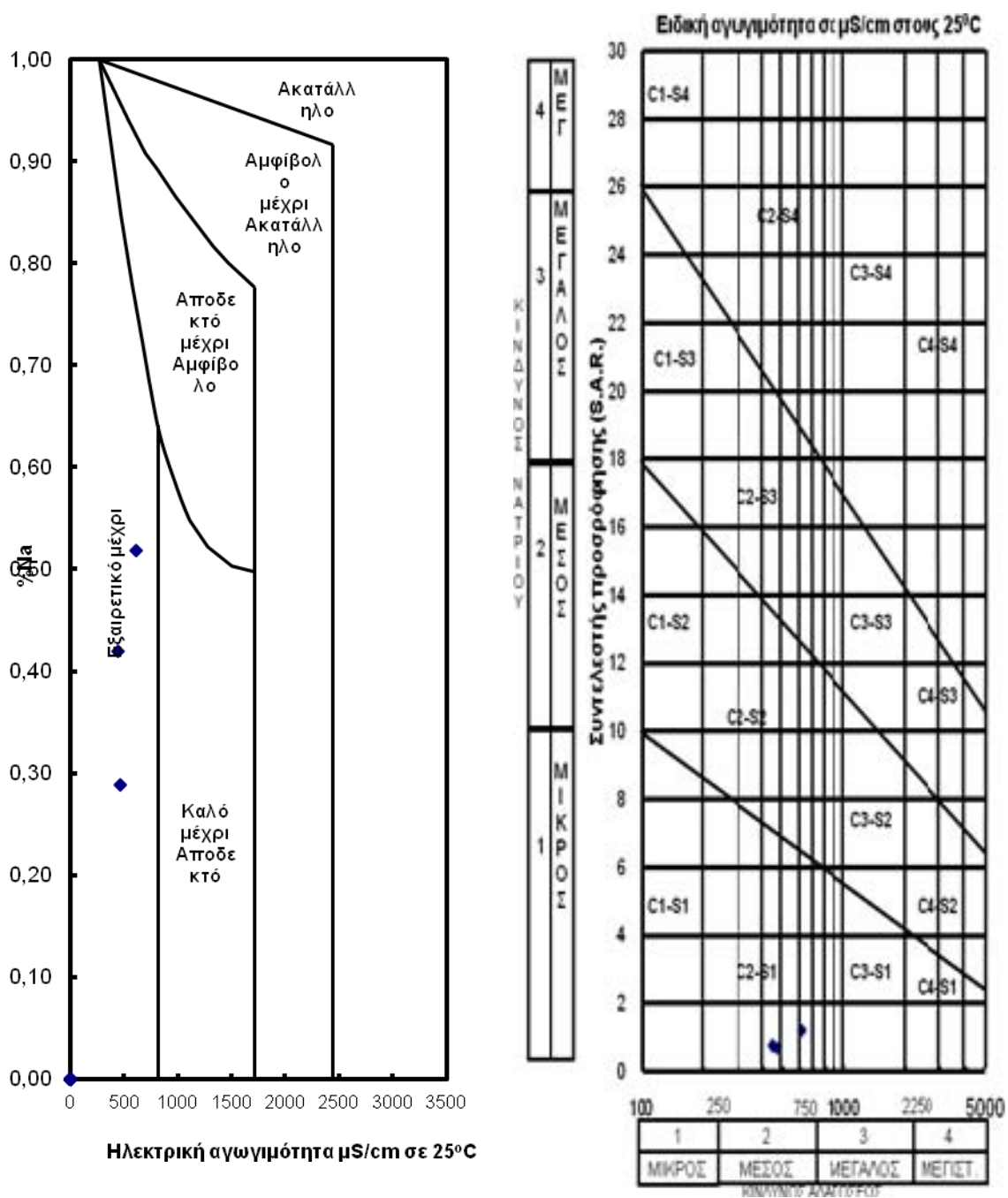
$$\text{Na} (\%) = (\text{Na}^+ + \text{K}^+ / \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{Na}^+ + \text{K}^+) * 100$$

Στο διάγραμμα Wilcox στον οριζόντιο άξονα τοποθετούνται οι τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας ($\mu\text{S}/\text{cm}$) και στον κατακόρυφο άξονα ο βαθμός αλκαλίωσης. Στα σχήματα που ακολουθούν (4.33 και 4.34) δίνονται τα διαγράμματα S.A.R και Wilcox για κάθε περίοδο δειγματοληψίας ξεχωριστά. Με βάση το διάγραμμα S.A.R. και το διάγραμμα Wilcox παρατηρούμε πως τα υπόγεια νερά της περιοχής παρουσιάζουν μία σταθερή εικόνα στο χρόνο όσον αφορά τον κίνδυνο αλκαλίωσης και τον κίνδυνο αλατότητας. Έτσι τα δείγματα μας για όλες τις περιόδους δειγματοληψίας στην περιοχή έρευνας διακρίνονται στις παρακάτω κατηγορίες.

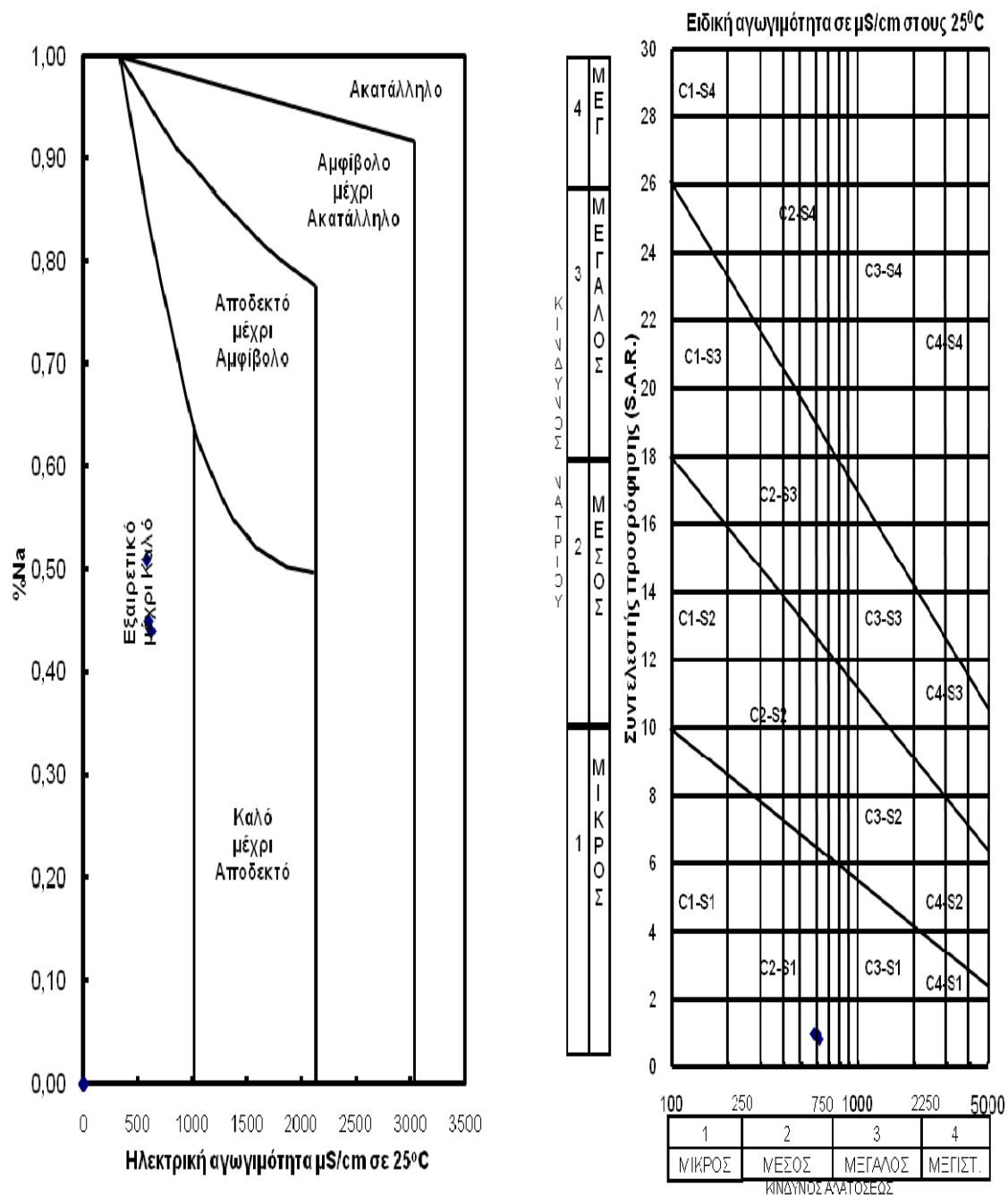
α) C1-S1 Πρόκειται για νερά με πολύ μικρό κίνδυνο αλκαλίωσης ($\text{S.A.R.} < 0,15$) και μικρό κίνδυνο αλατότητας δηλαδή αγωγιμότητα μικρότερη από $250 \mu\text{S}/\text{cm}$. ουσιαστικά σε αυτή την κατηγορία συναντάμε έναν πολύ μικρό αριθμό δειγμάτων, και συγκεκριμένα δείγματα νερού που προέρχονται από πηγή στην περιοχή του Παγγαίου.

β) C2-S1. Σε αυτή την κατηγορία αντιστοιχεί η μεγάλη πλειονότητα των δειγμάτων νερού που συλλέχτηκαν στην περιοχή έρευνας. Η κατάσταση αυτή συναντάται σε όλες τις περιόδους δειγματοληψίας. Πρόκειται για νερά με μικρό κίνδυνο αλκαλίωσης (S.A.R. 0,15 - 1,76) και μέσο κίνδυνο αλατότητας, δηλαδή αγωγιμότητα μικρότερη από 750 $\mu\text{S}/\text{cm}$ που η χρήση τους προϋποθέτει απόπλυση των αρδευομένων εδαφών.

γ) C3-S1. Πρόκειται για νερά με μικρό κίνδυνο αλκαλίωσης (S.A.R. 0,96 - 2,79) και υψηλό κίνδυνο αλατότητας δηλαδή ηλεκτρική αγωγιμότητα μεταξύ 750 $\mu\text{S}/\text{cm}$ και 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Τα νερά αυτά είναι ακατάλληλα για την άρδευση εδαφών με περιορισμένη στράγγιση ή ευαίσθητων καλλιεργειών. Στην κατηγορία αυτή ταξινομούνται νερά από γεωτρήσεις στην περιοχή του Σιδηροχωρίου, κοντά σε οικισμούς, όπου και η αυξημένη αγωγιμότητα ενδέχεται να οφείλεται σε ανθρωπογενείς παράγοντες.



Σχήμα 5.22 Διαγράμματα S.A.R. και Wilcox για τις μετρήσεις κατά τον μήνα Μάιο.



Σχήμα 5.23 Διαγράμματα S.A.R. και Wilcox για τις μετρήσεις κατά τον μήνα Οκτώβριο.

Με βάση λοιπόν τα παραπάνω διαγράμματα, η ταξινόμηση των δειγμάτων στο σύνολο τους χαρακτηρίζονται από μικρό κίνδυνο αλκαλίωσης και μέσο κίνδυνο αλατότητας. Πρόκειται για το σύνολο των δειγμάτων κατά τις δύο περιόδους δειγματοληψίας.

6.ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΝΕΡΟΥ ΣΤΗΝ ΝΕΑ ΠΕΡΑΜΟ

6.1 Γενικά

Το υπόγειο νερό προέρχεται κατά κύριο λόγο από τα ατμοσφαιρικό κατακρημνίσματα τα οποία έχουν κατεισδύσει στο υπέδαφος και έχουν αποθηκευτεί στους υπόγειους υδροφόρους ορίζοντες. Κατά τη διαδικασία της κατείσδυσης αλλά και κατά τις υπόγειες ροές εμπλουτίζεται με διάφορες χημικές ουσίες οι οποίες δεν περιέχονται στο μετεωρικό νερό.

Η σύσταση του υπόγειου νερού εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το είδος των πετρωμάτων μέσα από τα οποία κατεισδύει και ρέει. Επίσης η ποιότητα του είναι συνάρτηση της θέσης του υδροφόρου μέσα στον οποίο αυτό αποθηκεύεται.

Ο όρος ποιότητα του υπόγειου νερού συναρτάται με τη συνολική περιεκτικότητα του σε διαλυμένες ή και αιωρούμενες ουσίες, όπως και από τη σύσταση αυτών των ουσιών (Σούλιος, 2006). Τα χαρακτηριστικά τα οποία καθορίζουν την ποιότητα του υπόγειου νερού χωρίζονται στις παρακάτω κατηγορίες (Σούλιος, 2006 Καλλέργης, 2000):

- Στα φυσικά χαρακτηριστικά (Χρώμα, οσμή, Θολότητα, Θερμοκρασία, TDS)
- Στα χημικά χαρακτηριστικά. στα ιόντα. όπου διαχειρίζονται σε κύρια ιόντα

(Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^-), σε δευτερεύοντα ιόντα, σε ολιγοστοιχεία και ιχνοστοιχεία.

Επίσης στα κριτήρια ποιότητας περιλαμβάνονται διάφοροι δείκτες (η ηλεκτρική αγωγιμότητα, το pH, το Eh, η σκληρότητα), φυσικός οργανικές ενώσεις, θρεπτικά εισαγόμενα από τον άνθρωπο, συνθετικές οργανικές ενώσεις. καθώς και ραδιενεργό στοιχεία.

Σε αυτό το κεφάλαιο εξετάζονται και περιγράφεται η χημική σύσταση του υπόγειου νερού στην περιοχή της Πιερίας λεκάνης του Ν.Καβάλας για να προσδιοριστούν τα υδροχημικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά του.

Για τη διερεύνηση αυτών των χαρακτηριστικών πραγματοποιήθηκε μια σειρά δειγματοληψιών νερού από γεωτρήσεις που χρησιμοποιούνται για την άρδευση των αγροτικών εκτάσεων στο πεδινό τμήμα της περιοχής. Επίσης από γεωτρήσεις κοινοτικές που χρησιμοποιούνται για την ύδρευση των οικισμών, καθώς και από πηγές που εκφορτίζονται στην περιοχή έρευνας.

6.2 Δειγματοληψία - Μετρήσεις υπαίθρου

Κατά το έτος 2009 πραγματοποιήθηκαν δειγματοληψίες νερού σε δύο περιόδους στην περιοχή της Νέας Περάμου, του Νομού Καβάλας. Οι περίοδοι αυτοί ήταν κατά τους μήνες Μάιο και Οκτώβριο. Ο λόγος που επιλέχτηκε αυτός ο χρόνος δειγματοληψίας ήταν να σχηματιστεί μια όσο το δυνατόν καλύτερη εικόνα για την ποιοτική σύσταση του νερού των υδροφορέων σε όλο το έτος. Έτσι κατά την περίοδο του Μαΐου μπορούσε να εκτιμηθεί η εικόνα της ποιότητας του υπόγειου νερού τη χειμερινή περίοδο, πάντοτε πριν από την έναρξη της αντλητικής περιόδου και σε συνδυασμό με τη μεσολάβηση του χειμώνα, διάστημα κατά το οποίο είχαμε την διακοπή οποιασδήποτε ανθρωπογενούς δραστηριότητας. Αντίθετα κατά την περίοδο δειγματοληψίας του Οκτωβρίου, περίοδος κατά την οποία είχε λήξει η καλλιεργητική δραστηριότητα, οποιοδήποτε αποτέλεσμα προηγηθείσης γεωργικής χρήσης θα μπορούσε να καταγραφεί στην ποιότητα του υπόγειου νερού και να διαπιστωθεί με την πραγματοποίηση των χημικών αναλύσεων.

Η δειγματοληψία σε αυτές τις περιόδους πραγματοποιήθηκε σε γεωτρήσεις κοινοτικές πλησίον των οικισμών, κοντά στις παρυφές του Όρους Συμβόλου.

Καταβλήθηκε προσπάθεια ώστε η κατανομή των σημείων δειγματοληψίας να καλύπτει ομοιόμορφα όλη την έκταση της Νέας Περάμου. Στο Σχήμα 5.1 απεικονίζεται το δίκτυο δειγματοληψίας του υπόγειου νερού εντός της περιοχής έρευνας.

Κατά τη δειγματοληψία μετρήθηκαν επί τόπου η ηλεκτρική αγωγιμότητα $Eh(\mu S/cm)$ καθώς και το pH. Στη συνέχεια τα δείγματα μεταφερόταν στο Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας του Α.Π.Θ. όπου και προσδιοριζόταν οι παρακάτω υδροχημικές παράμετροι :

- 1) Ca^{2+} , Mg^{2+} και HCO_3^- με τιτλοδότηση
- 2) SO_4^{2-} , NO_3^- και Cl^- με τη χρήση φασματοφωτομέτρου HACH DR 2000.
- 3) Na^+ και K^+ με τη χρήση φλογοφωτομέτρου

Μετά το πέρας των χημικών αναλύσεων έγινε επαλήθευση των αποτελεσμάτων με έλεγχο του σφάλματος. Ως σφάλμα ορίζεται το ισοζύγιο του αθροίσματος των θετικών και αρνητικών ιόντων που εκφράζεται από την διαφορά τους ως ποσοστό επί τοις εκατό του αθροίσματος (%). Η τιμή του δεν πρέπει να υπερβαίνει το 5-7 %, ενώ σε περίπτωση που το σφάλμα υπερέβαινε το 5%, έπρεπε να επαναληφθεί η χημική ανάλυση.



Σχήμα 6.1 Χάρτης της περιοχής έρευνας με την αρίθμηση των κοινοτικών γεωτρήσεων.

6.3 Ανάλυση φυσικοχημικών παραμέτρων

Στις παρακάτω παραγράφους αναλύονται οι υδροχημικοί χαρακτήρες των υπόγειων νερών της Νέας Περάμου, με βάση τις χημικές αναλύσεις που πραγματοποιήσαμε στο Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας του ΑΠΘ.

6.3.1 Ηλεκτρική αγωγιμότητα - Σύνολο διαλυμένων στερεών (TDS)

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα αποτελεί σπουδαία υδροχημική παράμετρο. Πρόκειται για το αντίστροφο της ηλεκτρικής αντίστασης και εκφράζεται σε $\mu\text{S}/\text{cm}$. Με την αύξηση της περιεκτικότητας των διαλυμένων στερεών και της θερμοκρασίας, έχουμε και αύξηση της τιμής της ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Στις συνήθεις περιπτώσεις των υπόγειων νερών παίρνει τιμές από $140 \mu\text{S}/\text{cm}$ έως $1100 \mu\text{S}/\text{cm}$. Τα ελαφριά νερά, έχουν τιμές αγωγιμότητας που κυμαίνονται έως $400 \mu\text{S}/\text{cm}$ ενώ τα βαριά νερά έχουν τιμές πάνω από $900 \mu\text{S}/\text{cm}$ (Σούλιος, 2006).

Μια παράμετρος η οποία συνδέεται με την ηλεκτρική αγωγιμότητα είναι το σύνολο των διαλυμένων στερεών (TDS) η οποία εκφράζεται σε mg/lit . Ουσιαστικά εξαρτάται από τη διαλυτότητα το σχηματισμών μέσα στους οποίους είναι αποταμιευμένο το υπόγειο νερό ή διαρρέονται από αυτό (Σούλιος, 2006). Η παρουσία των αλάτων στο υπόγειο νερό σχετίζεται άμεσα με το είδος των πετρωμάτων, μέσα στα οποία αυτό κινείται, το χρόνο παραμονής του

και την ταχύτητα ροής (Βουδούρης, 2009). Έτσι με βάση παρατηρήσεις σε γρανιτικούς σχηματισμούς αναμένουμε χαμηλές τιμές TDS (200-300 mg/lit) ενώ σε ιζηματογενείς, εκτός από τις περιπτώσεις υφάλμυρων υδροφορέων, μπορεί να συναντήσουμε τιμές TDS έως 1200 mg/lit.

Διάφορες ταξινομήσεις έχουν προταθεί ανάλογα με την περιεκτικότητα σε διαλυμένα στερεά των υπόγειων νερών. Οι πιο διαδεδομένες είναι των Hem (1970) και Davis - De Wiest (1966) οι οποίες και δίνονται στους πίνακες 6.1 και 6.2 αντίστοιχα:

Πίνακας 6.1 Ταξινόμηση υπόγειου νερού με βάση το TDS κατά Hem.

Ταξινόμηση κατά Hem (1970)	
Γλυκό νερό (Fresh)	TDS < 1.000 mg/lit
Μέτρια αλατούχο νερό (Moderate saline)	TDS 3.000 - 10.000 mg/lit
Πολύ αλατούχο νερό (very saline)	TDS 10.000 - 30.000 mg/lit
Υπεράλμυρο νερό (brine)	TDS > 35.000 mg/lit

Πίνακας 6.2 Ταξινόμηση υπόγειου νερού με βάση το TDS κατά Davis - De Wiest.

Ταξινόμηση κατά Davis - De Wiest (1966)	
Γλυκό νερό (Fresh)	TDS 0 - 1.000 mg/lit
Υφάλμυρο ή γλυφό νερό (Brakish)	TDS 1.000 - 10.000 mg/lit
Αλμυρό νερό (salt or saline)	TDS 10.000 - 100.000 mg/lit
Υπεράλμυρο νερό (brine)	TDS > 100.000 mg/lit

Στον πίνακα 6.3 δίνονται ενδεικτικά τα στατιστικά στοιχεία των τιμών της ηλεκτρικής αγωγιμότητας για τις αντίστοιχες περιόδους δειγματοληψίας.

Πίνακας 6.3 Στατιστικά χαρακτηριστικά της ηλεκτρικής αγωγιμότητας ($\mu\text{S}/\text{cm}$) των υπόγειων νερών της περιοχής έρευνας.

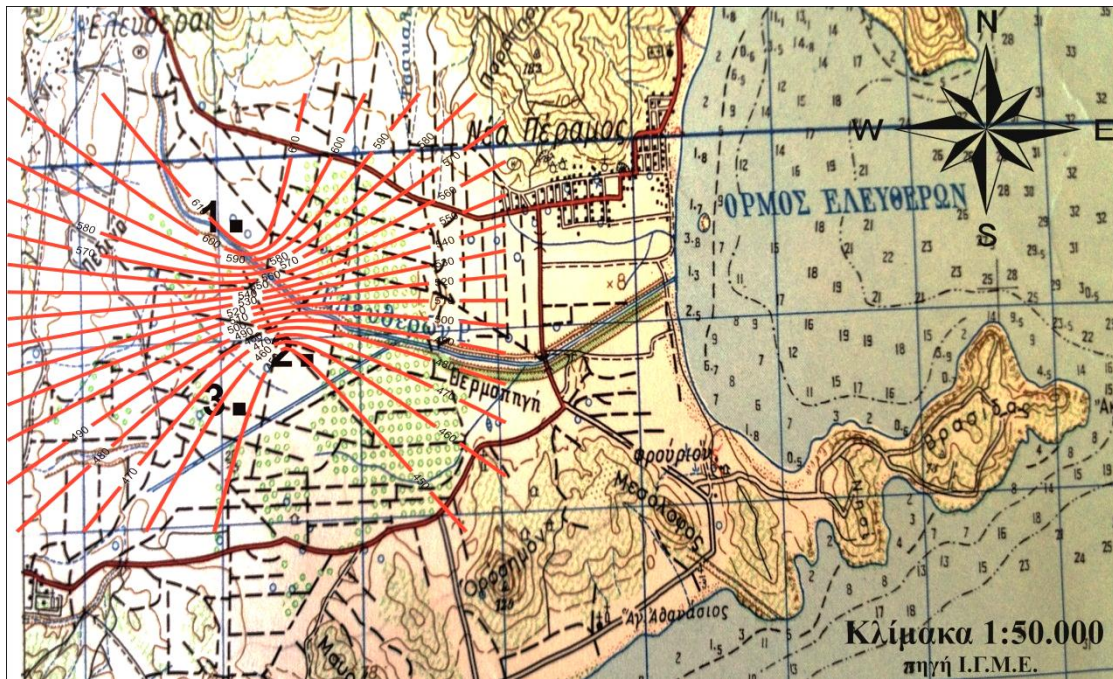
Ηλεκτρική Αγωγιμότητα (Eh)	Μάιος 2009	Οκτώβριος 2009
Ελάχιστη τιμή	445	582
Μέγιστη τιμή	617	622
Μέση τιμή	510,3	602

Ουσιαστικά, η διακύμανση των μέσων τιμών της αγωγιμότητας κατά τις περιόδους του Μαΐου και του Οκτωβρίου δεν παρουσιάζει αποκλίσεις. Παρατηρείται μια μικρή διαφορά στις μέσες τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας μεταξύ των δύο περιόδων η οποία πιθανώς να οφείλεται στην διακοπή των καλλιεργειών αλλά και στην εισροή νερών μέσω της κατείσδυσης στους υδροφορείς αλλά και λόγω του εμπλουτισμού από τους γειτονικούς ορεινούς όγκους με νερό μικρότερης ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Οι μεγαλύτερες τιμές της προσδιορίστηκαν στην γεώτρηση της τοποθεσίας Δρεσκανοπήγαδος, η οποία έχει διατρήσει τις τεταρτογενείς χερσαίες και λιμναίες αποθέσεις και το πιο πιθανόν είναι να αποτελεί μέρος της ζώνης εκφόρτισης διαμέσου ρηγμάτων στα οποία τα υπόγεια νερά κινούνται με μικρές ταχύτητες, με αποτέλεσμα να παραμένουν περισσότερο χρόνο πριν εκδηλωθούν στην επιφάνεια.

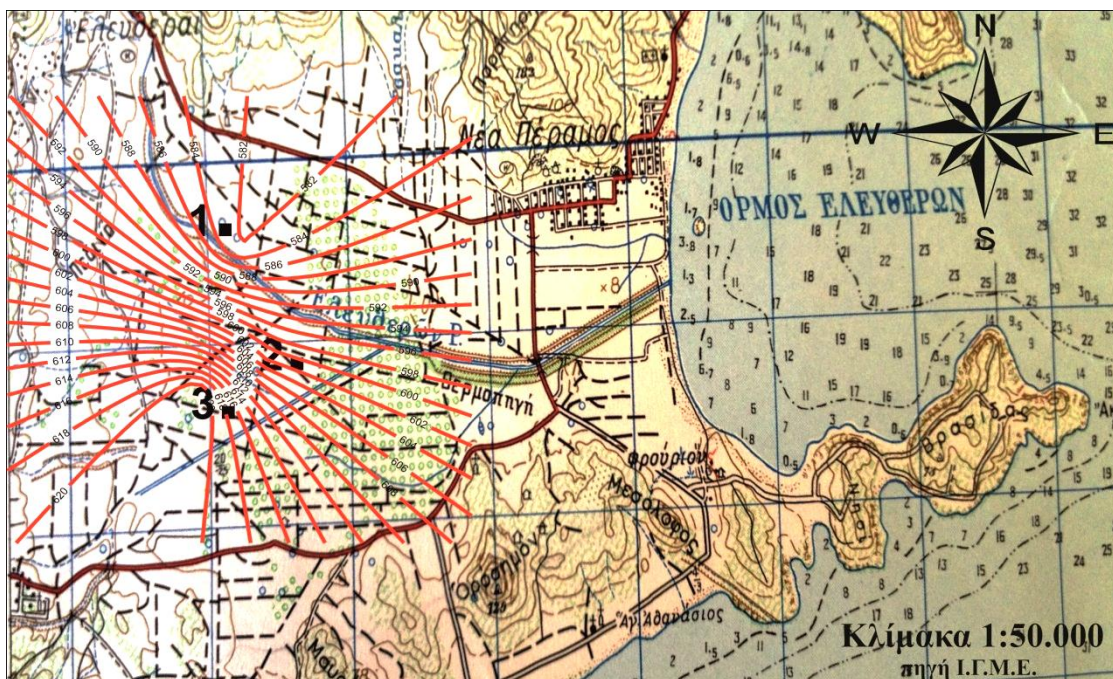
Τις χαμηλότερες τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας τις συναντάμε κυρίως σε νερά τα οποία προέρχονται από τις πηγές του Συμβόλου Όρους. Οι χαμηλότερες τιμές προσδιορίστηκαν στις πηγές που βρίσκονται στο νότιο και νοτιοδυτικό τμήμα της περιοχής μελέτης στις τοποθεσίες Βασιάτικα και Ρογκιά.

Αυτή, η συνολικά χαμηλή τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας για τις δύο περιόδους, πιθανώς να συνδέεται και με το γεγονός ότι το νερό μετά από τη βροχόπτωση κατευθείαν κατεισδύει σε αυτή την περιοχή και σε σύντομο χρονικό διάστημα εκφορτίζεται άμεσα διαμέσου των πηγών που υπάρχουν μη έχοντας χρόνο να φορτιστεί ιδιαίτερα με άλατα.

Στα σχήματα 6.2 και 6.3 δίνεται η χωρική κατανομή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας στις δύο περιόδους δειγματοληψίας, αυτή του Μαΐου και του Οκτωβρίου αντίστοιχα.



Σχήμα 6.2 Χωρική κατανομή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας κατά την περίοδο του Μαΐου 2009.



Σχήμα 6.3 Χωρική κατανομή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας κατά την περίοδο του Οκτωβρίου 2009.

Με βάση τα προηγούμενα σχήματα μπορούμε να συνάγουμε ορισμένα συμπεράσματα για τη χωρική κατανομή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Γενικά μπορούμε να παρατηρήσουμε πως η εικόνα της πορείας των καμπυλών ίσης κατανομής της E_h παρουσιάζει ορισμένες

διαφοροποιήσεις στις δύο περιόδους δειγματοληψίας, γεγονός που υποδηλώνει τη σχέση εξάρτησης των υπόγειων νερών από τις επιφανειακές δραστηριότητες του ανθρώπου κατά τη θερινή περίοδο.

Πιο συγκεκριμένα, παρατηρούμε στις δύο περιόδους των δειγματοληψιών τιμές που κυμαίνονται από 445-622μS/cm. Οι τιμές αυτές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας κυμαίνονται κοντά στο όριο των 400 μS/cm, στο οποίο τα νερά χαρακτηρίζονται ως «ελαφριά» και οφείλεται στην εκφόρτιση δια μέσου των ανθρακικών πετρωμάτων, των μαρμάρων της περιοχής. Υπάρχει δηλαδή μία ταχεία φόρτιση και εκφόρτιση του υδροφορέα και συνεπώς μικρός χρόνος παραμονής του υπόγειου νερού μέσα σε αυτό ώστε να έχει ελάχιστο χρόνο να εμπλουτιστεί με άλατα που θα παραλάβει από τη διάλυση αυτών των πετρωμάτων.

5.3.2 Ενεργός οξύτητα (pH)

Ως pH ορίζεται ως η συγκέντρωση των ιόντων H_3O^+ που περιέχεται σε κάποιο διάλυμα (Λαμπράκης 1992, Βουδούρης 2009) και είναι μια παράμετρος η οποία διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην αξιολόγηση της υδροχημείας των υπογείων νερών.

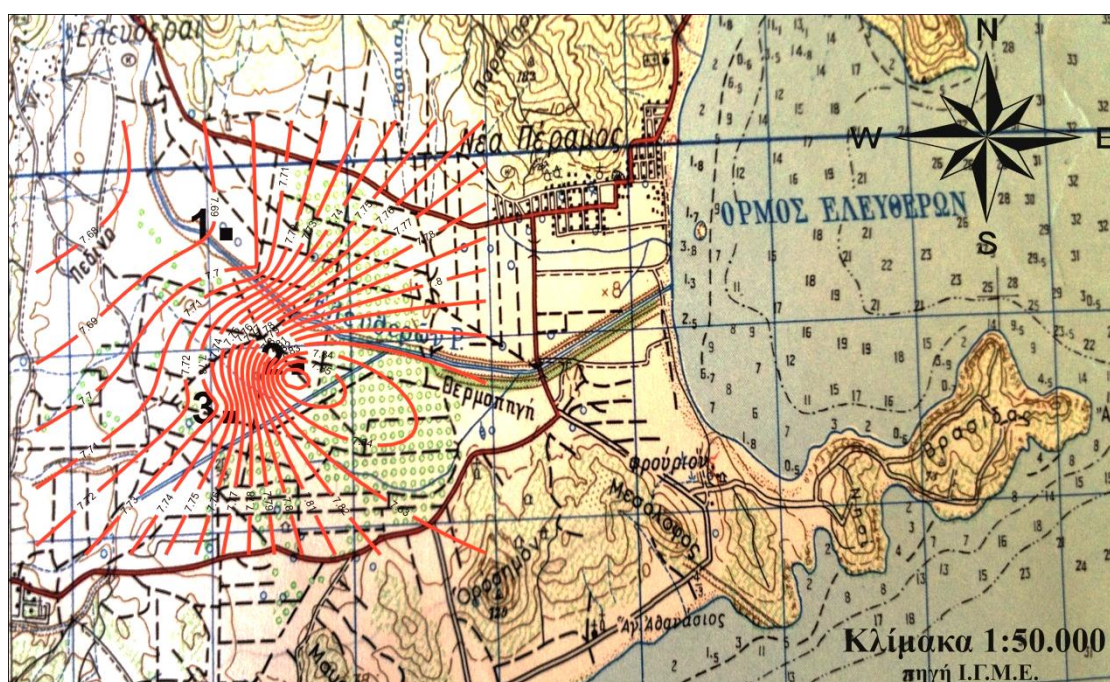
Όταν το pH είναι ίσο με το 7 τότε το φυσικό νερό ως διάλυμα είναι ουδέτερο, όταν είναι μεγαλύτερο του 7 το φυσικό νερό ως διάλυμα είναι αλκαλικό και όταν λαμβάνει τιμές μικρότερες από το 7 τότε είναι όξινο. Ανάλογα με την πετρολογική σύσταση των πετρωμάτων μέσα στα οποία αναπτύσσονται οι υδροφορείς, μπορεί να είναι όξινα, αλκαλικά ή ουδέτερα (Σούλιος 2006). Γενικά η τιμή του pH στο νερό μειώνεται όσο μια υδάτινη μάζα ενηλικιώνεται (Βουδούρης 2009). Συνήθως μια νέα υδάτινη μάζα είναι αλκαλική ($pH > 7$) και σιγά σιγά με την πάροδο του χρόνου γίνεται όξινη. Στον πίνακα 6.4 δίνονται τα στατιστικά στοιχεία του pH που μετρήθηκε στην περιοχή μελέτης.

Πίνακας 6.4 Στατιστικά στοιχεία συγκεντρώσεων pH των υπογείων νερών της περιοχής έρευνας.

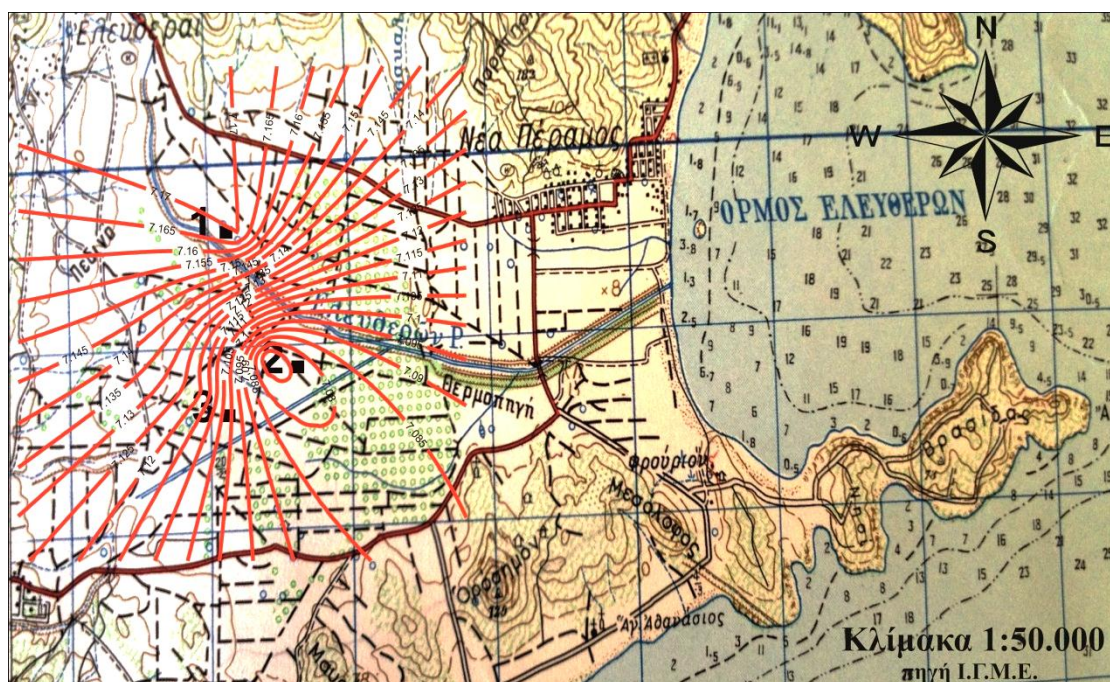
pH	Μάιος 2009	Οκτώβριος 2009
Ελάχιστη τιμή συγκέντρωσης	7,7	7,07
Μέγιστη τιμή συγκέντρωσης	7,87	7,17
Μέση τιμή συγκέντρωσης	7,76	7,12

Οι τιμές του pH κυμαίνονται για κάθε περίοδο δειγματοληψίας από 7,7 έως 7,87 για τον Μάιο του 2009 και από 7,07 έως 7,17 για τον Οκτώβριο του 2009. Δεν παρατηρούνται ιδιαίτερες μεταβολές τις τιμές του pH για το χρονικό διάστημα των παρατηρήσεων σε όλες τις τρείς γεωτρήσεις.

Στα σχήματα 6.4 και 6.5 αποτυπώνονται οι χωρικές κατανομές του pH στην περιοχή για τις αντίστοιχες περιόδους που έγιναν δειγματοληψίες υπόγειου νερού. Παρατηρώντας τα σχήματα αυτά παρατηρούμε πως κατά τον μήνα Μάιο στην περιοχή έρευνας οι τιμές του pH κυμαίνονται πάνω από 7,7 και προφανώς πρόκειται για νερά που προέρχονται από το Όρος Σύμβολο. Αυτό πιθανώς να οφείλεται στο γεγονός ότι η άνοιξη του 2009 ήταν ιδιαίτερα βροχερή με αποτέλεσμα να υπάρχει συνεχής τροφοδοσία του υπόγειου νερού με ιόντα Ca^+ , αυξάνοντας έτσι την τιμή του pH. Κατά την περίοδο του Οκτωβρίου 2009, οι τιμές του pH κυμαίνονται γύρω στο 7, γεγονός που ενδεχομένως να οφείλεται στις χημικές αντιδράσεις οι οποίες συντελούν στην καθίζηση του ασβεστίτη, με αποτέλεσμα την μείωση του ιόντων ασβεστίου, και κατ'επέκταση την μείωση του pH.



Σχήμα 6.4 Χωρική κατανομή τιμών pH κατά τον Μάιο του 2009.



Σχήμα 6.5 Χωρική κατανομή τιμών pH κατά τον Οκτώβριο του 2009.

6.4 Χημική ανάλυση του νερού

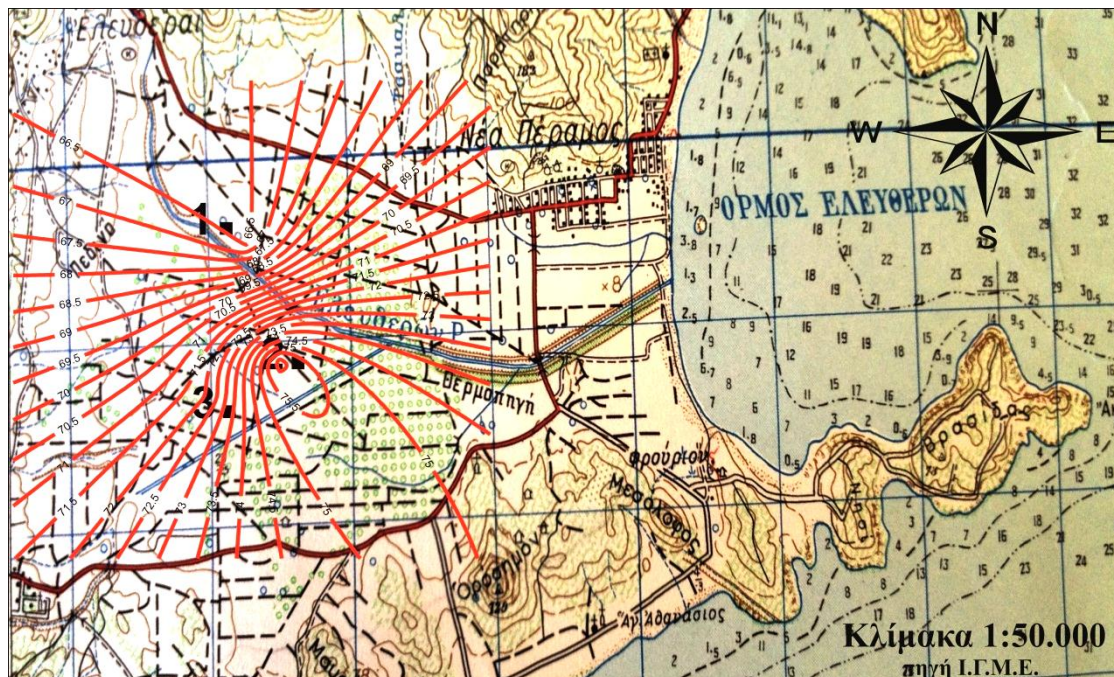
6.4.1 Ιόντα ασβεστίου Ca^{2+}

Τα ιόντα ασβεστίου (Ca^{2+}) αποτελούν ένα τμήμα από τα σημαντικότερα διαλυμένα ιόντα στο νερό. Η περιεκτικότητα του υπόγειου νερού σε ασβέστιο είναι άμεση συνάρτηση του γεωλογικού περιβάλλοντος μέσα από το οποίο κινείται το υπόγειο νερό, από τη στιγμή της κατείσδυσης του μέχρι και για όλο το διάστημα αποθήκευσης του. Πηγή προέλευσης του ασβεστίου είναι οι αμφίβολοι, άστριοι, ασβεστίτης, δολομίτης, γύψος, πυρόξενοι, αραγωνίτης και αργιλικά ορυκτά (Καλλέργης, 2000). Η διάλυση των ανθρακικών πετρωμάτων είναι η κύρια πηγή προέλευσης του. Οι συνήθεις συγκεντρώσεις του είναι μεταξύ 10 και 100 mg/lit για την πλειονότητα των υπόγειων νερών, αλλά έχουν υπάρξει και περιπτώσεις όπου παρατηρούνται συγκεντρώσεις και άνω των 300 mg/lit (Σούλιος, 2006). Η συγκέντρωση των ιόντων του ασβεστίου στα υπόγεια νερά εξαρτάται κυρίως από την τιμή του pH και την εν γένει παρουσία διαφόρων ασβεσταλκαλιούχων ορυκτών, καθώς και από διεργασίες της ιοντικής ανταλλαγής, της καθίζησης και της διάλυσης. Στον πίνακα 6.5 παρουσιάζονται τα στατιστικά στοιχεία που αφορούν τη συγκέντρωση ιόντων Ca^{2+} στο υπόγειο νερό της περιοχής.

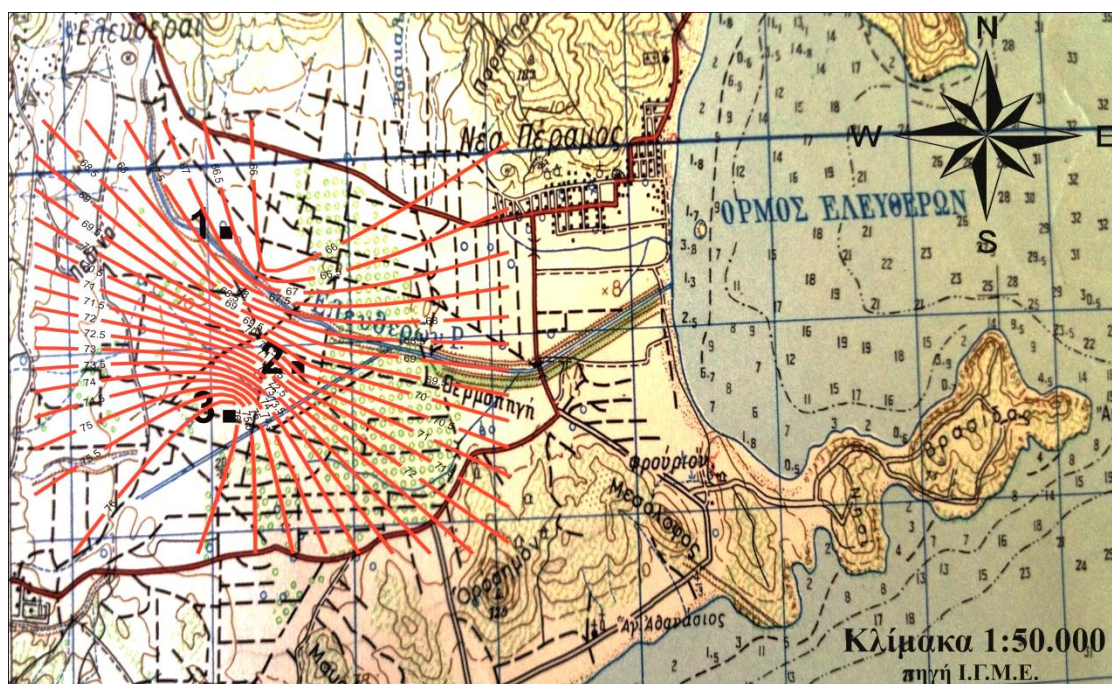
Πίνακας 6.5 Στατιστικά στοιχεία συγκεντρώσεων Ca^{2+} (mg/lit) των υπογείων νερών της περιοχής έρευνας.

Ca^{2+}	Μάιος 2009	Οκτώβριος 2009
Ελάχιστη τιμή συγκέντρωσης	66,4	65,8
Μέγιστη τιμή συγκέντρωσης	76,2	76,4
Μέση τιμή συγκέντρωσης	71,6	70,9

Από τον πίνακα αυτό παρατηρούμε πως οι τιμές των ιόντων του ασβεστίου δεν παρουσιάζουν σημαντική διακύμανση κατά τη διάρκεια του έτους. Οι υψηλότερες τιμές (σχήματα 6.6 και 6.7) παρατηρούνται στο κεντρικό τμήμα της λεκάνης στην περιοχή των Ελευθερών. Εκεί, υπάρχει η περίπτωση με την υπόγεια κυκλοφορία διαμέσου πιθανών ρηξιγενών ζωνών των ανθρακικών σχηματισμών, να συγκεντρώνονται τα νερά και για αυτό το λόγο παρατηρείται αυτή η αύξηση της περιεκτικότητας τον ασβεστίου σε εκείνο το τμήμα. Επίσης από τα σχήματα αυτά διακρίνεται μειωμένη περιεκτικότητα ασβεστίου στην περιοχή Δρεσκανοπήγαδος. Η μικρή περιεκτικότητα σε ασβέστιο στα υπόγεια νερά στην ορεινή περιοχή πιθανόν να οφείλεται στο γεγονός ότι το μετεωρικό νερό δεν κυκλοφορεί για μεγάλο χρονικό διάστημα υπογείως, αλλά εκφορτίζεται από τις πηγές του Συμβόλου Όρους και επομένως δεν αποκτά και υψηλό φορτίο σε ιόντα ασβεστίου. Η φόρτιση των υπογείων νερών σε αυτές τις θέσεις σχετίζεται με την ιοντική ανταλλαγή που πραγματοποιείται από την κίνηση και την παραμονή του νερού, μετά την κατείδυση, σε υδροφόρους ορίζοντες οι οποίοι συνδέονται με τα ανθρακικά πετρώματα της περιοχής. Πρόκειται ίσως για ένδειξη ότι το νερό, μετά την υπόγεια κυκλοφορία του, συγκεντρώνεται σε εκείνη την περιοχή αφού προηγουμένως έχει διανύσει μια υπόγεια διαδρομή μέσα στους έντονα διαρρηγμένους γνευσιακούς σχηματισμούς.



Σχήμα 6.6 Χωρική κατανομή ιόντων Ca^{2+} (mg/lit) κατά τον Μάιο του 2009.



Σχήμα 6.7 Χωρική κατανομή ιόντων Ca^{2+} (mg/lit) κατά τον Οκτώβριο του 2009.

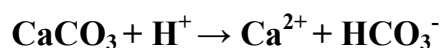
6.4.2 Όξινα ανθρακικά ιόντα(HCO_3^-)

Τα όξινα ανθρακικά ιόντα είναι το επικρατέστερο ανιόν στα γλυκά υπόγεια νερά.. Η κύρια τους προέλευση είναι τα ανθρακικά πετρώματα, οι ασβεστόλιθοι και οι δολομίτες.

Προέρχονται είτε από το ατμοσφαιρικό CO₂ είτε από το ελευθερούμενο στο έδαφος κατά την οργανική αποσύνθεση CO₂ σύμφωνα με την αντίδραση:



Επίσης προέρχονται από τη διάλυση των ανθρακικών πετρωμάτων από το νερό:



Η τυπική συγκέντρωση των όξινων ανθρακικών ιόντων είναι μικρότερη από 500 mg/lit ενώ στα οξυανθρακικά νερά μπορεί να φτάσει ή και να ξεπεράσει τα 1000 mg/lit (Καλλέργης 2000). Το άθροισμα των CO₂ και HCO₃⁻ ιόντων εκφρασμένο σε ισοδύναμη συγκέντρωση CaCO₃ σε mg/lit αντιπροσωπεύει την αλκαλικότητα η οποία οφείλεται αποκλειστικά στην παρουσία οξυανθρακικών ιόντων.

Γενικά η ροή του νερού μέσα από ανθρακικούς σχηματισμούς ευνοεί την παρουσία αυξημένων τιμών σε σχέση με τα νερά, τα οποία διέρχονται μέσα από πετρώματα πυριγενή. Η αυξημένη συγκέντρωση σε όξινα ανθρακικά ιόντα συνδέεται και με το χρόνο παραμονής του νερού μέσα στους σχηματισμούς.

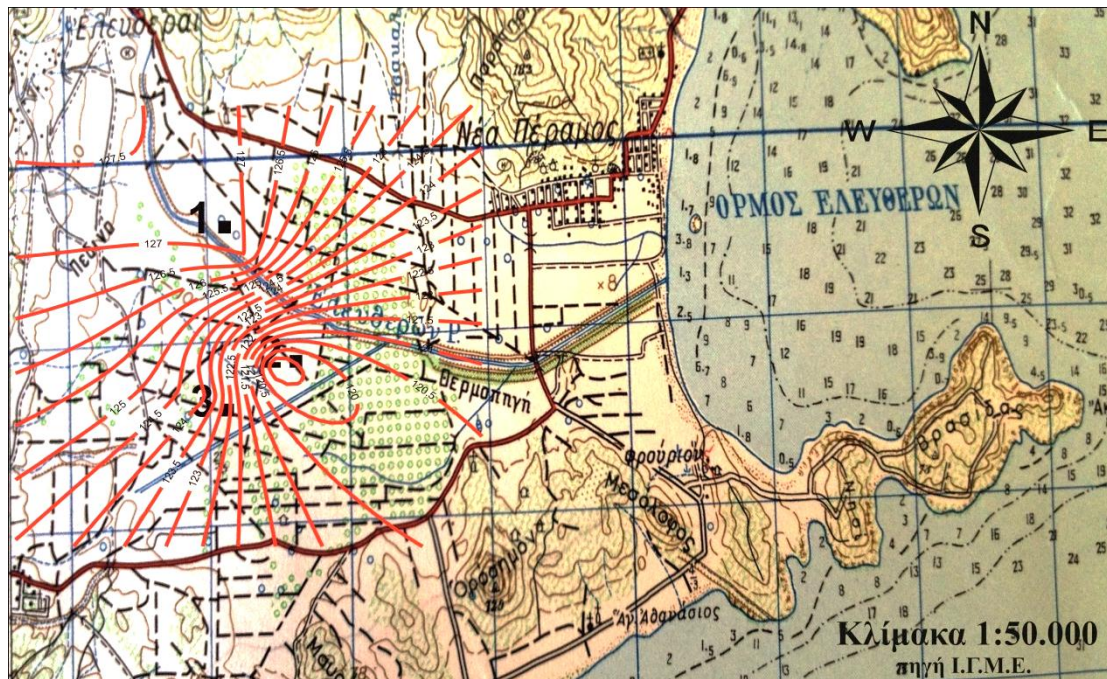
Οι τιμές της συγκέντρωσης των όξινων ανθρακικών ιόντων κυμαίνονται από 119 έως 168 mg/lit. Στα παρακάτω σχήματα φαίνεται η χωρική κατανομή της συγκέντρωσης όξινων ανθρακικών ιόντων (HCO₃⁻) για τις δύο περιόδους δειγματοληψίας.

Στον πίνακα 6.6 δίνονται τα στατιστικά στοιχεία των συγκεντρώσεων HCO₃⁻ των υπογείων νερών της περιοχής.

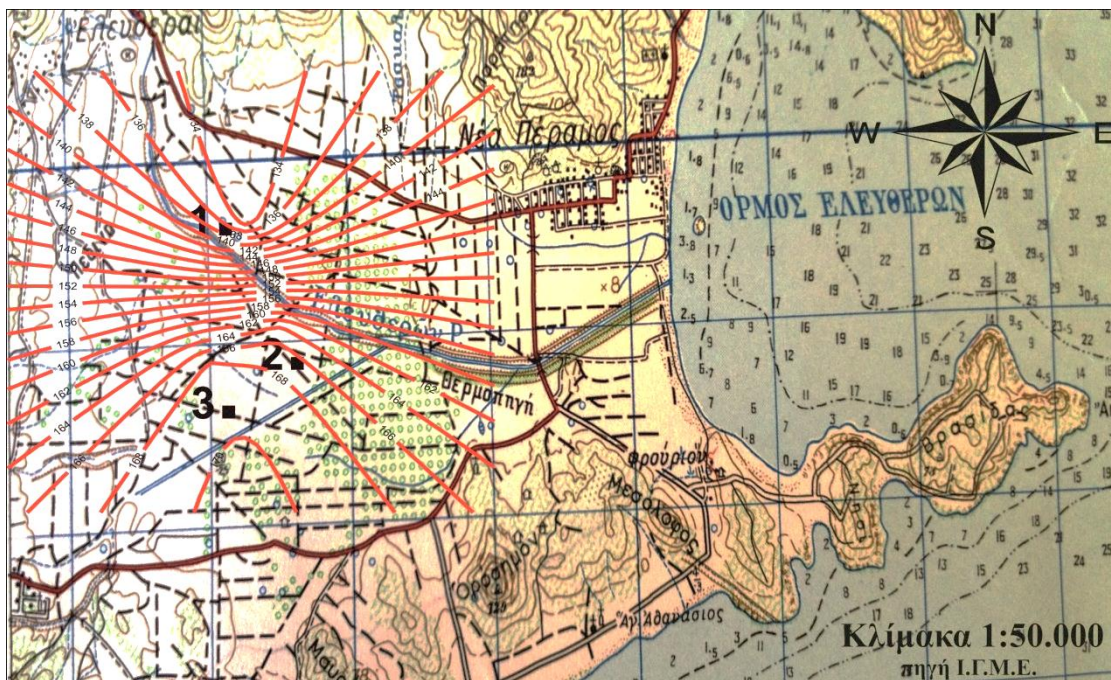
Πίνακας 6.6 Στατιστικά στοιχεία συγκεντρώσεων HCO_3^- (mg/lit) των υπογείων νερών της περιοχής έρευνας.

HCO_3^-	Μάιος 2009	Οκτώβριος 2009
Ελάχιστη τιμή συγκέντρωσης	119	133
Μέγιστη τιμή συγκέντρωσης	127	168
Μέση τιμή συγκέντρωσης	123,3	155,3

Στα σχήματα αυτά παρατηρείται μία αύξηση της τιμής συγκέντρωσης των όξινων ανθρακικών ιόντων (HCO_3^-) προς την περιοχή Δρεσκανοπήγαδος της εξεταζόμενης λεκάνης. Από τα δείγματα που συλλέχτηκαν σε αυτές τις θέσεις, κυρίως από επιφανειακές αναβλύσεις, είναι σχετικά χαμηλές και δεν υπερβαίνουν τα 200 mg/lit. Οι τιμές κάτω από 150 mg/lit οι οποίες συναντώνται στην περιοχή έρευνας πιθανώς να οφείλονται σε γρήγορη εκφόρτιση μέσω του καρστικού συστήματος κατ' αυτόν τον τρόπο νερό μέσω της βροχόπτωσης και λόγω του μεγάλου ρυθμού κατείσδυσης στο καρστικό σύστημα, κινήθηκε γρήγορα μέσω αυτού και εκφορτίζεται στις πηγές του Συμβόλου Όρους σε σύντομο χρονικό διάστημα. Δεν παρέχεται άρα ο απαραίτητος χρόνος ούτως ώστε να φορτιστεί το νερό αυτό σε όξινα ανθρακικά ιόντα.



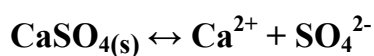
Σχήμα 6.8 Χωρική κατανομή ιόντων HCO_3^- (mg/lit) κατά τον Μάιο του 2009.



Σχήμα 6.9 Χωρική κατανομή ιόντων HCO_3^- (mg/lit) κατά τον Οκτώβριο του 2009.

6.4.3 Θειικά Ιόντα

Τα θειικά ιόντα (SO_4^{2-}) προέρχονται από τη διάλυση της γύψου [$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$] και τον ανυδρίτη [CaSO_4] σύμφωνα με τις παρακάτω εξισώσεις (Καλλέργης 2000, Βουδούρης 2009) :



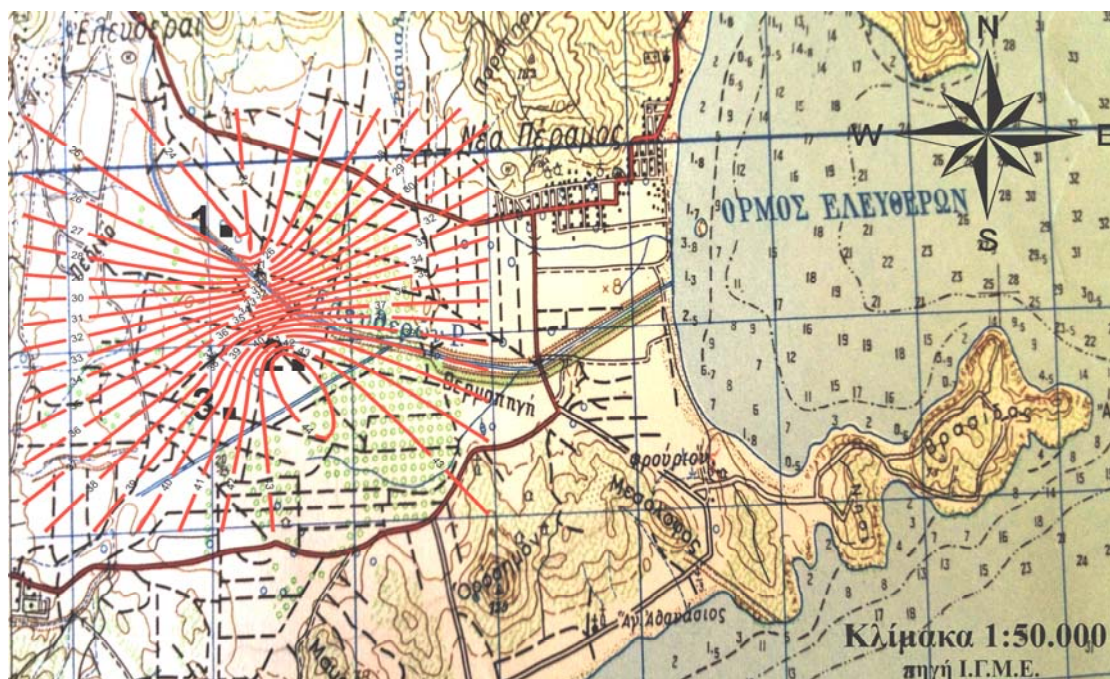
Επίσης αιτία για την εμφάνιση θεικών ανιόντων είναι και η οξείδωση θειούχων ενώσεων (πυριτικών) που εμφανίζονται σε αργιλικά πετρώματα. Άλλες αιτίες εμφάνισης θεικών ανιόντων είναι η χρήση λιπασμάτων, τα βιομηχανικά απόβλητα και τα απόβλητα μεταλλείων, η γειτνίαση των θέσεων με γεωθερμικά ρευστά, οργανικών αποθέσεων, λιγνιτών κ.α.. Οι τιμές συγκέντρωσης των ιόντων SO_4^{2-} γενικά είναι κάτω από 300 mg/lit εκτός από κάποιες υδρογεωτρήσεις οι οποίες επηρεάζονται από τα όξινα απόβλητα μεταλλείων (Καλλέργης 2000). Η μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή της συγκέντρωσης θεικών ιόντων στο πόσιμο νερό είναι τα 250 mg/lit. Στον πίνακα 6.7 δίνονται τα στατιστικά στοιχεία των τιμών της συγκέντρωσης των θεικών ανιόντων για την περιοχή μελέτης.

Πίνακας 6.7 Στατιστικά στοιχεία συγκεντρώσεων SO_4^{2-} (mg/lit) των υπογείων νερών της περιοχής έρευνας.

SO_4^{2-}	Μάιος 2009	Οκτώβριος 2009
Ελάχιστη τιμή συγκέντρωσης	24	28
Μέγιστη τιμή συγκέντρωσης	45	46
Μέση τιμή συγκέντρωσης	36	36,6

Οι τιμές συγκέντρωσης των θεικών ιόντων SO_4^{2-} για την χρονική περίοδο κατά την οποία ελήφθησαν δείγματα νερού κυμαίνονται από 24 έως 60,3 mg/lit. Παρατηρούμε ότι οι συγκεντρώσεις των θεικών ανιόντων στην περιοχή έρευνας είναι κατά πολύ χαμηλότερες από τα επιτρεπτά όρια τα οποία αναφέρθηκαν προηγουμένως, αλλά και από τα συνήθη όρια.

Στα σχήματα 6.10 και 6.11 δίνεται η χωρική κατανομή της συγκέντρωσης των θειικών ανιόντων (SO_4^{2-}) για τις χρονικές περιόδους για τις οποίες πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία υπόγειων νερών στην περιοχή της Νέας Περάμου.

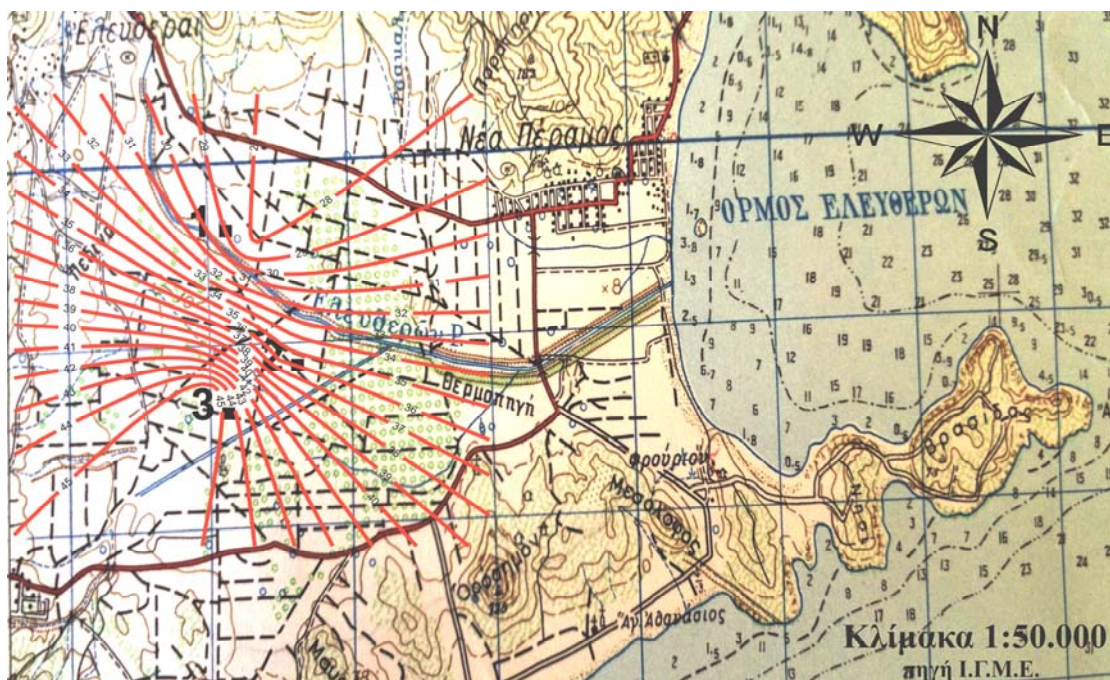


Σχήμα 6.10 Χωρική κατανομή ιόντων SO_4^{2-} (mg/lit) κατά τον Μάιο του 2009.

Από το σχήμα 6.10 το οποίο αντιστοιχεί στην περίοδο δειγματοληψίας του Μαΐου 2009, φαίνεται μία αυξημένη συγκέντρωση των θειικών ιόντων SO_4^{2-} περιοχή Βασιάτικα κατά μήκος των παρυφών του όρους Συμβόλου. Η συγκέντρωση σε αυτή τη θέση είναι μεγαλύτερη από την υπόλοιπη περιοχή και εδώ παρατηρούνται και οι μέγιστες τιμές.

Προφανώς η γειτνίαση με γνευσιακά πετρώματα συντείνει σε αυτό το γεγονός λόγω και διάλυσης των σουλφιδίων του σιδήρου, που πιθανώς συναντώνται σε αυτού του είδους τα πετρώματα. Η ανθρωπογενής παρέμβαση διαδραματίζει κάποιον ρόλο λόγω της πιθανής χρήσης λιπασμάτων, όμως με βάση την εικόνα της κατανομής στο υπόλοιπο τμήμα της περιοχής δεν αναδεικνύει ως κύρια αιτία την χρήση αυτών για την παρουσία των θειικών ιόντων.

Κατά την περίοδο δειγματοληψίας του Οκτωβρίου του 2009 σχήμα 6.11 η μέγιστη τιμή των θειικών ανιόντων παρατηρείται στην περιοχή Ρογκιά. Οι υδρογεωτρήσεις που έχουν ανορυχθεί στην περιοχή αυτή βρίσκονται μέσα σε ιζήματα όπου το κύριο συστατικό είναι γνευσιακής προέλευσης και είναι η αιτία της συγκέντρωσης των θειικών ιόντων.



Σχήμα 6.11 Χωρική κατανομή ιόντων SO_4^{2-} (mg/lit) κατά τον Οκτώβριο του 2009.

Αυτή η χωρική κατανομή των θεικών ιόντων πιθανώς να συνδέεται και με τις συνθήκες της υπόγειας υδροφορίας που παρατηρείται στην περιοχή. Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενες περιπτώσεις είναι πολύ πιθανή η συγκέντρωση των υπόγειων νερών διά μέσου των υδροφόρων να καταλήγει στην περιοχή Ρογκιά και για αυτό το λόγο παρατηρούνται αυξημένες συγκεντρώσεις στην περιοχή αυτή. Παρόλο που οι καλλιέργειες είναι ιδιαίτερα εντατικές στην περιοχή δεν φαίνεται η ανθρωπογενής επέμβαση να επηρεάζει την παρουσία θεικών ιόντων.

6.4.4 Ιόντα Καλίου (K^+)

Η κυριότερη πηγή προέλευσης των ιόντων του K^+ είναι πετρώματα πλούσια σε καλιούχους αστρίους (ορθόκλαστα και μικροκλινή), σε αστριοειδή και σε αργιλικά ορυκτά (Καλλέργης, 2000). Επίσης σχετίζεται με ανθρωπογενείς παρεμβάσεις μέσω της χρήσης καλιούχων λιπασμάτων στις καλλιέργειες (Βουδούρης, 2009). Σημαντικές συγκεντρώσεις παρατηρούνται και σε νερά μεταλλείων ή νερά θερμών πηγών. Οι συνήθεις τιμές των ιόντων K^+ είναι κάτω από 10 mg/lit και στις θερμές πηγές μέχρι 100 mg/lit (Καλλέργης, 2000). Στον πίνακα 6.8 δίνονται τα στατιστικά στοιχεία της περιεκτικότητας των ιόντων K^+ για την περιοχή έρευνας και το χρονικό διάστημα στο οποίο πραγματοποιήθηκαν δειγματοληψίες.

Πίνακας 6.8 Στατιστικά στοιχεία συγκεντρώσεων K^+ (mg/lit) των υπογείων νερών της περιοχής έρευνας.

K^+	Μάιος 2009	Οκτώβριος 2009
Ελάχιστη τιμή συγκέντρωσης	0,9	1,4
Μέγιστη τιμή συγκέντρωσης	1,8	1,9
Μέση τιμή συγκέντρωσης	1,46	1,7

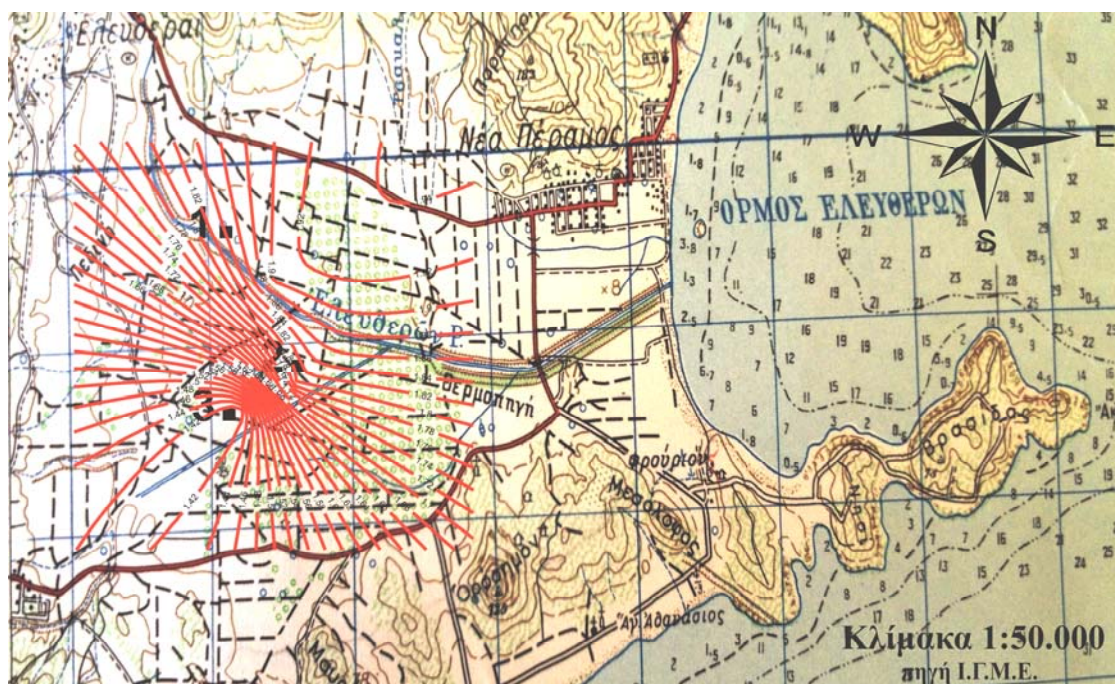
Από τον παραπάνω πίνακα διαπιστώνουμε πως οι τιμές της συγκέντρωσης του Καλίου στην περιοχή κυμαίνονται από 0,9 έως 1,9 mg/lit. Προκύπτει δηλαδή ότι οι τιμές των ιόντων K^+ για την περιοχή δεν είναι ιδιαίτερα υψηλές και οπωσδήποτε μέσα στα συνήθη όρια. Στα σχήματα 6.12 και 6.13 αποτυπώνεται η χωρική κατανομή της τιμής της συγκέντρωσης των ιόντων K^+ για τις δύο περιόδους δειγματοληψίας όπως φαίνονται στον πίνακα 6.8 αντίστοιχα.

Από τα σχήματα αυτά παρατηρούμε πως υπάρχει μια ομοιόμορφη κατανομή ιόντων K^+ σε όλη την έκταση της λεκάνης. Κοντά στην τοποθεσία Δρεσκανοπήγαδος εντοπίζεται για τις δύο περιόδους δειγματοληψίας, Μάιο και Οκτώβριο, η παρουσία των μέγιστων συγκεντρώσεων στην περιοχή μελέτης, ίση με 1,8 και 1,9 mg/lit. Πιθανή αιτία αυτής της συγκέντρωσης είναι η τροφοδοσία αυτής της θέσης από νερό το οποίο προέρχεται μέσα από πετρώματα, τα οποία περιέχουν ορυκτά που μπορεί να συμβάλλουν στην αύξηση της περιεκτικότητας του K^+ , (γρανοδιορίτης και γνεύσιοι του Συμβόλου όρους).

Στην υπόλοιπη έκταση της περιοχής έρευνας, οι κατανομές είναι αρκετά ομαλές. Αυτές οι πυκνώσεις των χωρικών καμπυλών σε αυτές τις θέσεις πιθανώς να οφείλονται στις οικιστικές δραστηριότητες. Στο υπόλοιπο τμήμα της περιοχής δεν παρατηρούνται αυξημένες τιμές, όπως επίσης δεν παρατηρείται και σημαντική διακύμανση των συγκεντρώσεων K^+ . Εν κατακλείδι μπορούμε να πούμε πως οι τιμές των συγκεντρώσεων του K^+ σε ολόκληρη την περιοχή έρευνας είναι χαμηλές, γεγονός που δε χρειάζεται, ιδιαίτερη αξιολόγηση.



Σχήμα 6.12 Χωρική κατανομή ιόντων K^+ (mg/lit) κατά τον Μάιο του 2009.



Σχήμα 6.13 Χωρική κατανομή ιόντων K^+ (mg/lit) κατά τον Οκτώβριο του 2009.

6.4.5 Ιόντα Μαγνησίου Mg^{+2}

Τα ιόντα μαγνησίου προέρχονται συνήθως από ανθρακικά πετρώματα και υψηλές τιμές αυτών μπορεί να είναι και ένδειξη της παρουσίας δολομιτικών σχηματισμών. Το Mg^{2+} συναντάται επίσης στον ολιβίνη $MgFe(SO_4)$ και το μαγνησίτη ($MgCO_3$). Η προέλευση του μαγνησίου συνδέεται με τη διάλυση αργιλοπυριτικών ορυκτών (βιοτίτη και χλωρίτη) στα μεταμορφωμένα πετρώματα όπου και βρίσκεται προσροφημένο στο πλέγμα τους. Σε ανθρακικά πετρώματα είναι περισσότερο άφθονο όταν αυτά περιέχουν δολομίτη ($CaCO_3 \cdot MgCO_3$) και μαγνησίτη ($MgCO_3$) (Βουδούρης 2009). Οι συγκεντρώσεις των ιόντων μαγνησίου είναι μικρότερες από τις αντίστοιχες των ιόντων ασβεστίου). Η τιμή των ιόντων του μαγνησίου στο υπόγειο νερό συνήθως είναι κάτω από τα 50 mg/lit (Καλλέργης 2000). Στον πίνακα 6.9 δίνονται τα στατιστικά στοιχεία των συγκεντρώσεων του Mg^{2+} των υπογείων νερών της περιοχής έρευνας.

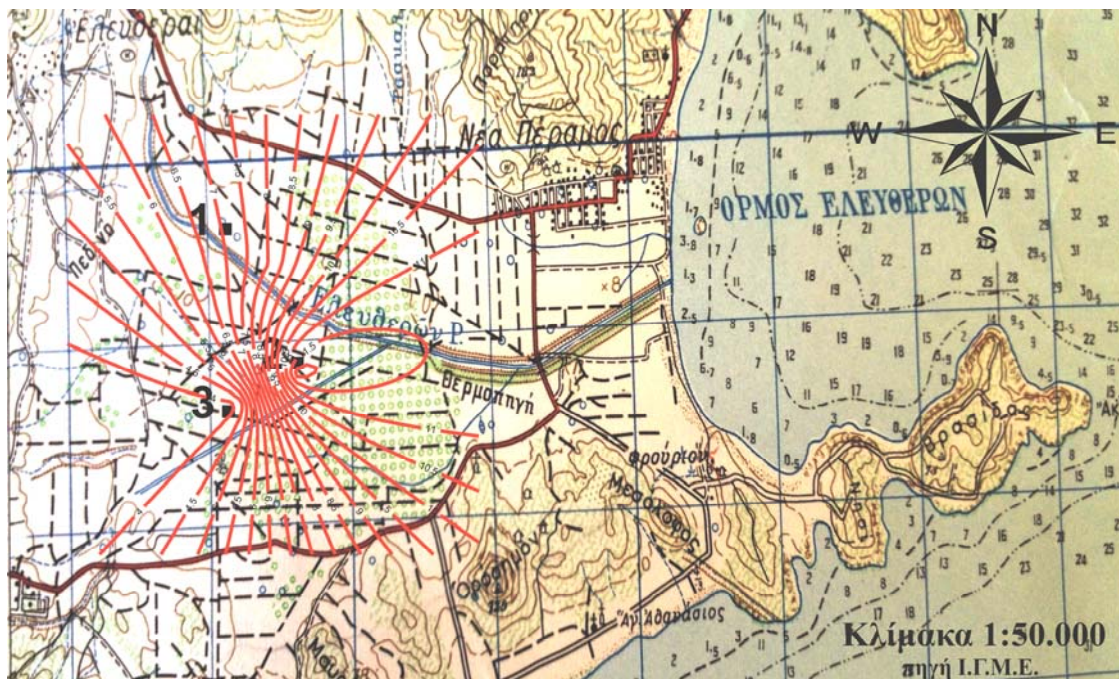
Πίνακας 6.9 Στατιστικά στοιχεία συγκεντρώσεων Mg^{+2} (mg/lit) των υπογείων νερών της περιοχής έρευνας.

Mg^{2+}	Μάιος 2009	Οκτώβριος 2009
Ελάχιστη τιμή συγκέντρωσης	3,9	7,56
Μέγιστη τιμή συγκέντρωσης	12,2	13,9
Μέση τιμή συγκέντρωσης	8,05	10,65

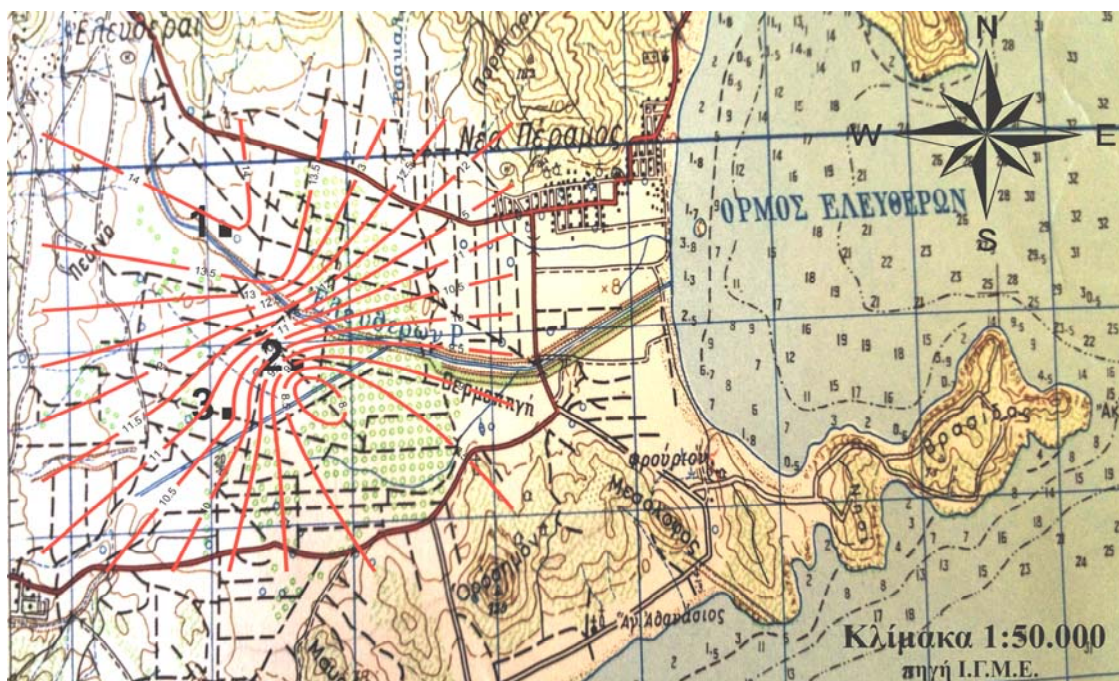
Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε πως δεν υπάρχει μεγάλη διακύμανση στις μέσες τιμές των συγκεντρώσεων του Mg^{+2} . Στα σχήματα που ακολουθούν δίνεται η χωρική κατανομή των ιόντων του μαγνησίου στην περιοχή έρευνας. Από τα παραπάνω σχήματα διακρίνουμε πως για όλες τις δύο περιόδους δειγματοληψίας τα ελάχιστα της περιεκτικότητας του υπογείου νερού σε Mg^{+2} παρατηρούνται σε διαφορετικές περιοχές στο κεντρικό πεδινό

τμήμα της περιοχής. Όσον αφορά τις μέγιστες τιμές αυτές ποικίλουν ανά περίοδο δειγματοληψίας, δεν παρουσιάζουν δηλαδή μία σταθερή κατανομή στο χώρο. Έτσι για τον Μάιο του 2009 (σχήμα 6.14) οι μέγιστες συγκεντρώσεις (12,2 mg/lit) εμφανίζονται στην περιοχή Βασιάτικα, ενώ στην υπόλοιπη περιοχή εμφανίζεται μία ομαλή κατανομή ιόντων Mg^{+2} με μέση περιεκτικότητα από 8,05 mg/lit. Για την περίοδο του Οκτωβρίου 2009 οι μέγιστες συγκεντρώσεις (13,9 mg/lit) εμφανίζονται στην περιοχή Δρεσκανοπήγαδος, ενώ στην υπόλοιπη περιοχή εμφανίζεται μία ομαλή κατανομή ιόντων Mg^{+2} με μέση περιεκτικότητα από 10,65 mg/lit (σχήμα 6.15).

Το Μάιο του 2009 οι υψηλές συγκεντρώσεις του Mg^{+2} παρατηρούνται στην περιοχή Βασιάτικα με μία απότομη αύξηση της συγκέντρωσης από 3,9 mg/lit σε 12,2 mg/lit μεταβαίνοντας από τη γεώτρηση Ρογκιά προς τη γεώτρηση Βασιάτικα. Το γεγονός αυτό ερμηνεύεται ως πιθανή ένδειξη παρουσίας ενός ρήγματος που ίσως διακόπτει και τη συνέχεια του υδροφορέα (Dimopoulos, 1986). Μία άλλη πιθανή αιτία για αυτή τη διαφορά της περιεκτικότητας σε τόσο μικρή απόσταση ίσως είναι και η παρουσία στο βάθος διαφορετικής δομής και ποιότητας υδροφορέων όπου ο καθένας εμπλουτίζεται με διαφορετικές διαδικασίες και ποιότητα νερού σε σχέση με τον άλλο. Από αυτή την αυξημένη συγκέντρωση, μπορούμε να καταλήξουμε στο συμπέρασμα της ταχείας τροφοδοσίας του υδροφορέα από μετεωρικό νερό που δεν επιτρέπει την ιοντική ανταλλαγή και οδηγεί στην αύξηση της συγκέντρωσης των ιόντων του Mg^{+2} . Κατά την περίοδο του Οκτωβρίου του 2009 παρατηρείται μία ομοιόμορφη κατανομή σε όλη την έκταση της λεκάνης. Το μέγιστο εμφανίζεται στην ευρύτερη περιοχή του Δρεσκανοπήγαδος, καθώς και πλησίον στη γεώτρηση Ρογκιά. Στην υπόλοιπη περιοχή παρατηρούνται σχετικά χαμηλές τιμές 7,56 mg/lit. Η αύξηση του Mg^{+2} σε αυτήν την περιοχή πιθανώς να συνδέεται με ταχύ εμπλουτισμό από τα κρυσταλλοσχιστώδη και πυριγενή πετρώματα του υποβάθρου λόγω των εντατικών και αυξημένων αντλήσεων που έχουμε στην περιοχή αυτή. Στο υπόλοιπο τμήμα της περιοχής έρευνας οι τιμές του Mg^{+2} έχουν μία ομαλή κατανομή.



Σχήμα 6.14 Χωρική κατανομή ιόντων Mg^{+2} (mg/lit) κατά τον Μάιο του 2009.



Σχήμα 6.15 Χωρική κατανομή ιόντων Mg^{+2} (mg/lit) κατά τον Οκτώβριο του 2009.

6.4.6 Ιόντα Νατρίου (Na^+)

Τα ιόντα Na^+ προέρχονται από τους νατρίουχους αστρίους (αλβίτη), τα αργιλικά ορυκτά, τους εβαπορίτες όπως αλίτης (NaCl) και μισβιλίτης ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$) καθώς και από βιομηχανικά απόβλητα (Καλλέργης, 2000). Οι συγκεντρώσεις των ιόντων νατρίου παίρνουν τιμές μικρότερες από 200 mg/lit. Οι συνήθεις τιμές είναι έως 50 mg/lit ενώ σε περιπτώσεις ανθρωπογενούς επίδρασης αλλά και υφαλμύρισης (Σούλιος, 2006) είναι μεγαλύτερες. Πολλοί ερευνητές χρησιμοποιούν τις τιμές της συγκέντρωσης Na^+ για τον προσδιορισμό της προέλευσης του υπόγειου νερού συγκρίνοντάς το με συγκεντρώσεις K^+ ή Cl^- . Γενικά υψηλές τιμές στις συγκεντρώσεις του Na^+ οφείλονται σε μεγάλο χρονικό διάστημα παραμονής του υπόγειου νερού στον υδροφορέα, καθώς και στη συνδυασμένη δράση της ιοντικής ανταλλαγής και της διάλυσης του ασβεστίτη τον δολομίτη και των αργιλικών ορυκτών. Στον πίνακα 6.10 δίνονται τα στατιστικά στοιχεία των συγκεντρώσεων Na^+ στα υπόγεια νερά.

Πίνακας 6.10 Στατιστικά στοιχεία συγκεντρώσεων Na^+ (mg/lit) των υπογείων νερών της περιοχής έρευνας.

Na^+	Μάιος 2009	Οκτώβριος 2009
Ελάχιστη τιμή συγκέντρωσης	12	16
Μέγιστη τιμή συγκέντρωσης	21	18
Μέση τιμή συγκέντρωσης	15,6	17,3

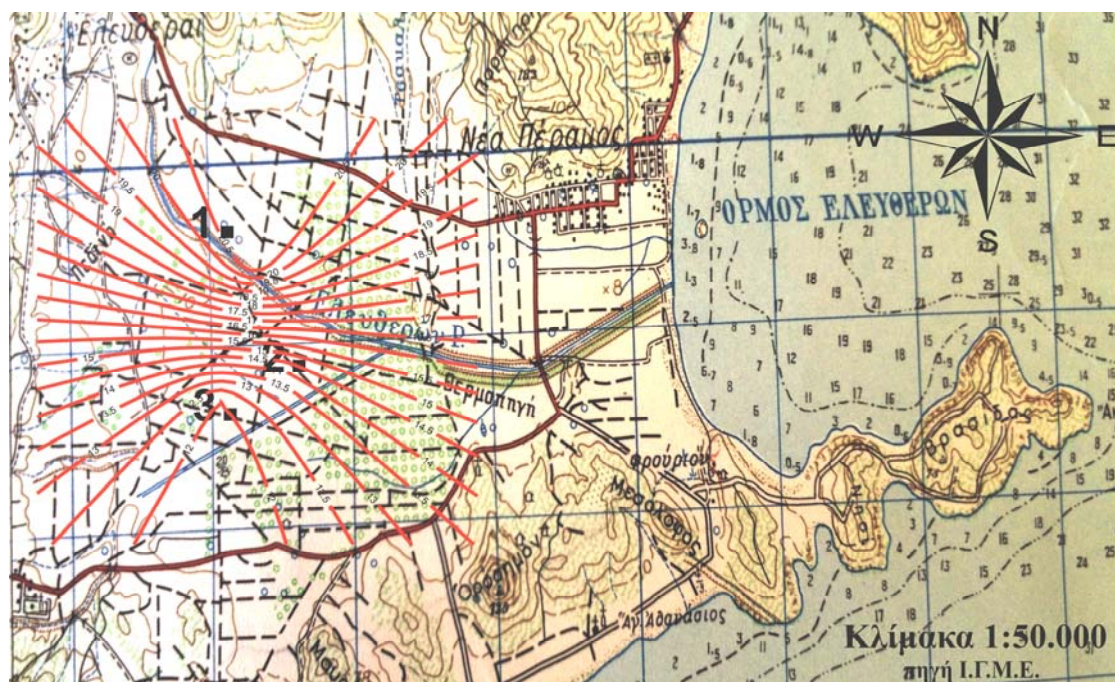
Οι ελάχιστες και οι μέγιστες τιμές της συγκέντρωσης των ιόντων Na^+ δεν παρουσιάζουν μεγάλη απόκλιση για τις δύο περιόδους δειγματοληψίας και κυμαίνονταν από 12 mg/lit έως 21 mg/lit. Στα σχήματα 6.16 και 6.17 δίνεται η χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων Na^+ για τις δύο περιόδους δειγματοληψίας, τον Μάιο 2009 και τον Οκτώβριο 2009.

Από τους χάρτες που δίνονται στα παρακάτω σχήματα παρατηρούμε ότι τον Μάιο του 2009 (σχήμα 6.16) υπάρχει μία συγκέντρωση στην περιοχή Δρεσκανοπήγαδος όπου

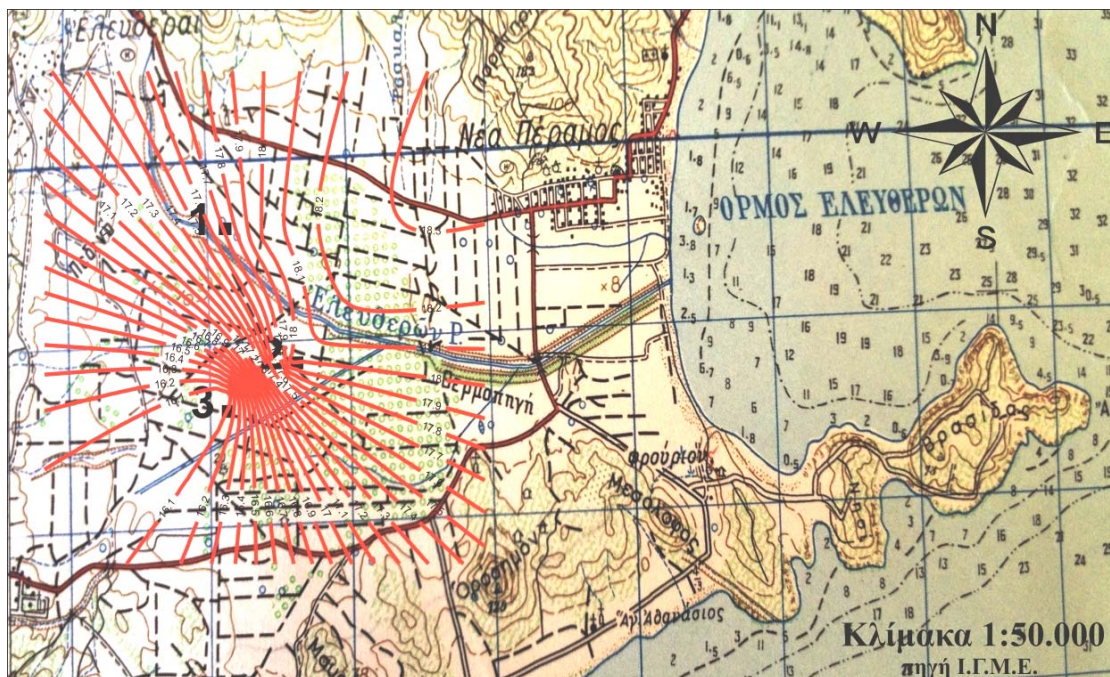
εμφανίζεται και το μέγιστο των τιμών του Na^+ για αυτήν την περίοδο, ίση με 21 mg/lit. Υπάρχει μία μείωση αυτών μεταβαίνοντας προς τα ΝΝΑ στην περιοχή Βασιάτικα όπου τα υπόγεια νερά έχουν την τιμή ίση με 14 mg/lit συγκέντρωσης ιόντων Na^+ . Στα ΝΝΔ, υπάρχει μία μείωση των τιμών, με την μικρότερη τιμή να παρατηρείται στην περιοχή Ρογκιά, ίση με 12 mg/lit συγκέντρωσης ιόντων Na^+ . Πιθανώς αυτός ο διαχωρισμός να οφείλεται ότι τα νερά κατευθύνονται προς την περιοχή του Συμβόλου με μεγάλη σχετικά ταχύτητα, σε συνδυασμό με τις οικιστικές δραστηριότητες της περιοχής αυτής, καθώς και σε μακροχρόνια παραμονή στον υδροφόρο ορίζοντα.

Αντίθετα την περίοδο του Οκτωβρίου του 2009 (σχήμα 6.17) παρατηρείται μείωση στις τιμές συγκέντρωσης των ιόντων Na^+ και μια ομοιόμορφη κατανομή σε ολόκληρη την περιοχή με τις τιμές να μην υπερβαίνουν τα 18 mg/lit στην ευρύτερη περιοχή της Ελευθερών. Πιθανή αιτία αυτής της εξομάλυνσης των συγκεντρώσεων ίσως είναι και οι έντονες βροχοπτώσεις των προηγούμενων μηνών που είχαν ως αποτέλεσμα την κυκλοφορία νερού μέσω της κατείσδυσης και την ανανέωση σε κάποιο βαθμό της υπόγειας υδροφορίας.

Ο κυριότερος παράγοντας επομένως για την παρουσία αυξημένων τιμών Na^+ σε αυτό το τμήμα της λεκάνης είναι πιθανώς η οικιστική δραστηριότητα, καθώς οι στάθμες του υπόγειου υδροφορέα είναι κοντά στην επιφάνεια του εδάφους, αλλά και η πιθανή κίνηση του υπόγειου νερού προς αυτήν την κατεύθυνση και παραμονή του για αρκετό χρονικό διάστημα στον υδροφορέα.



Σχήμα 6.16 Χωρική κατανομή ιόντων Na^+ (mg/lit) κατά τον Μάιο του 2009.



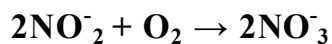
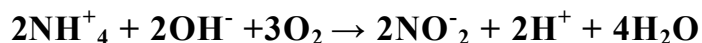
Σχήμα 6.17 Χωρική κατανομή ιόντων Na^+ (mg/lit) κατά τον Οκτώβριο του 2009.

6.4.7 Νιτρικά ιόντα (NO_3^-)

Τα νιτρικά ιόντα (NO_3^-) είναι δείκτες, ειδικά σε περιοχές με έντονη αγροτική δραστηριότητα, για τη ρύπανση των υπογείων υδροφόρων οριζόντων από λιπάσματα. Είναι ο πιο διαδεδομένος ρυπαντής, τόσο του υπόγειου όσο και του επιφανειακού νερού. Η κύρια πηγή προέλευσής τους είναι η ατμόσφαιρα, τα υπολείμματα χλωρίδας, τα νιτρώδη λιπάσματα και τα περιττώματα (Καλλέργης 2000). Ουσιαστικά πρόκειται για το τελικό προϊόν της φυσικής αποσύνθεσης οργανικών αζωτούχων ενώσεων, όπως φυτικής και ζωικής πρωτεΐνης. Μπορεί δηλαδή να προέρχεται από λιπάσματα ή από άλλες προηγούμενες ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Η ανεξέλεγκτη χρήση οικιακών λυμάτων, η αποστράγγιση αστικών βόθρων αλλά και η διάθεση ή διαφυγή στραγγισμάτων από Χ.Υ.Τ.Α. είναι παράγοντες που επιβαρύνουν την περιεκτικότητα των νιτρικών ιόντων στο υπόγειο νερό.

Ο πιο διαδεδομένος ρυπαντής που αναγνωρίζεται στο υπόγεια νερά είναι το διαλυμένο άζωτο με τη μορφή της νιτρικής ρίζας NO_3^- . Το άζωτο στο υπόγειο νερό γενικά προέρχεται από πηγές του αζώτου, οι οποίες βρίσκονται στην επιφάνεια του εδάφους, στην εδαφική ζώνη ή σε ρηχές υπεδαφικές ζώνες όπου θάβονται απόβλητα πλούσια σε αυτό. Το άζωτο μπορεί να προέλθει από άμεσες πηγές όπως τα απόβλητα και τα αζωτούχα λιπάσματα είτε από έμμεσες όπου παράγεται NO_3^- από άζωτο οργανικής προέλευσης ή από NH_4^+ . Ως κύρια διαδικασία παραγωγής των νιτρικών ανιόντων είναι η οξείδωση του ιόντος NH_4^+ που προκύπτει από την αποσύνθεση. Αυτή η διαδικασία ονομάζεται νιτροποίηση και

πραγματοποιείται σε δύο στάδια με τη βοήθεια μικροοργανισμών βάσει των παρακάτω αντιδράσεων :



Η μεγάλη περιεκτικότητα σε νιτρικό ιόν υποδηλώνει την παρουσία βιολογικών ρύπων ή νιτρορύπανση γεωργικής προέλευσης. Το ανώτατο όριο συγκέντρωσης νιτρικών ανιόντων στο πόσιμο νερό είναι τα 50 mg/lit ενώ το επιθυμητό όρια είναι τα 24 mg/lit. Σημαντικό ρόλο στη διάδοση της ρύπανσης του υπόγειου νερού από νιτρικά ιόντα παίζει και το είδος του εδαφικού σχηματισμού της ακόρεστης ζώνης. Έτσι σε ρηχούς υδροφόρους και σε στρώματα που αποτελούνται από μεγάλης περατότητας πετρώματα, παρατηρούνται υψηλές συγκεντρώσεις NO_3^- . Ο λόγος για τον οποίο έχουμε αυτή την αύξηση είναι το γεγονός ότι αυτοί οι υδροφόροι είναι πλούσιοι σε διαλυμένο οξυγόνο και η νιτρική ρίζα παρουσιάζεται πολύ ισχυρή σε οξειδωτικό περιβάλλον.

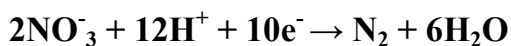
Τα αζωτούχα λιπάσματα που χρησιμοποιούνται στις καλλιέργειες έχουν μεγάλη πιθανότητα να προκαλέσουν αύξηση της περιεκτικότητας των νιτρικών ιόντων στο υπόγειο νερό εξαιτίας μάλιστα και της πολύ μεγάλης κινητικότητας τους στην ακόρεστη ζώνη. Το νερό κινείται πολύ γρήγορη δια μέσου των άμμων και γενικά εδαφών με χαμηλή συνεκτικότητα κόκκων.

Η παρουσία αρνητικά φορτισμένων ιόντων σε αργιλικά μόρια είναι και η αιτία συγκράτησης του αζώτου που αποτρέπουν έτσι την αμμωνία να εισχωρήσει σε βαθύτερα τμήματα του εδάφους. Τα νιτρικά ιόντα έχουν αρνητική φόρτιση και δεν μπορούν να συγκρατηθούν από τα μόρια της αργίλου.

Η απονίτρωση ή αζωτοποίηση είναι η διεργασία που προκαλεί την απομάκρυνση της νιτρικής ρίζας, αρχικά με την αναγωγή του NO_3^- αρχικά σε N_2O^- και στη συνέχεια σε N_2 . Επειδή όπως αναφέρθηκε και προηγούμενα η νιτρική ρίζα είναι ισχυρή σε οξειδωτικό περιβάλλον, η ανάπτυξη ενός ισχυρά αναγωγικού περιβάλλοντος ευνοεί την απονίτρωση κατά τον Καλλέργη (2000) ουσιαστικά απονίτρωση είναι η αναγωγή των νιτρικών από οργανική ύλη, η οποία έχει διαπιστωθεί και τεκμηριωθεί πλήρως σε εδάφη και στα θαλάσσια ιζήματα, ενώ έχει αναφερθεί πως είναι δυνατή η σημαντική αναγωγή τους στην κορεσμένη ζώνη από οργανική ύλη που οξειδώνεται. Πρόκειται για μια επιθυμητή διαδικασία γιατί τα N_2O^- και το N_2 δεν υποβαθμίζουν την ποιότητα του υπόγειου νερού, σε αντίθεση με τη

νιτρική ρίζα. Μπορεί να γίνει ακόμη και από τα βακτήρια του εδάφους. Η βακτηριακή αναγωγή των νιτρικών δημιουργεί αμμωνία.

Όσον αφορά την επιτόπια απομάκρυνση των νιτρικών ιόντων ο μοναδικός μηχανισμός είναι η αναγωγή τους με βάση την παρακάτω εξίσωση:



Η αιτία είναι το γεγονός ότι τα νιτρικά, δεν μπορούν να σχηματίσουν αδιάλυτα άλατα τα οποία μπορούν να αποθεθούν ως ίζημα είτε να προσροφηθούν στο σύστημα κορεσμένη-ακόρεστη ζώνη.

Στον πίνακα 6.11 δίνονται τα στατιστικά στοιχεία των τιμών της συγκέντρωσης των νιτρικών ιόντων για την περιοχή μελέτης.

Πίνακας 6.11 Στατιστικά στοιχεία συγκεντρώσεων NO_3^- (mg/lit) των υπογείων νερών της περιοχής έρευνας.

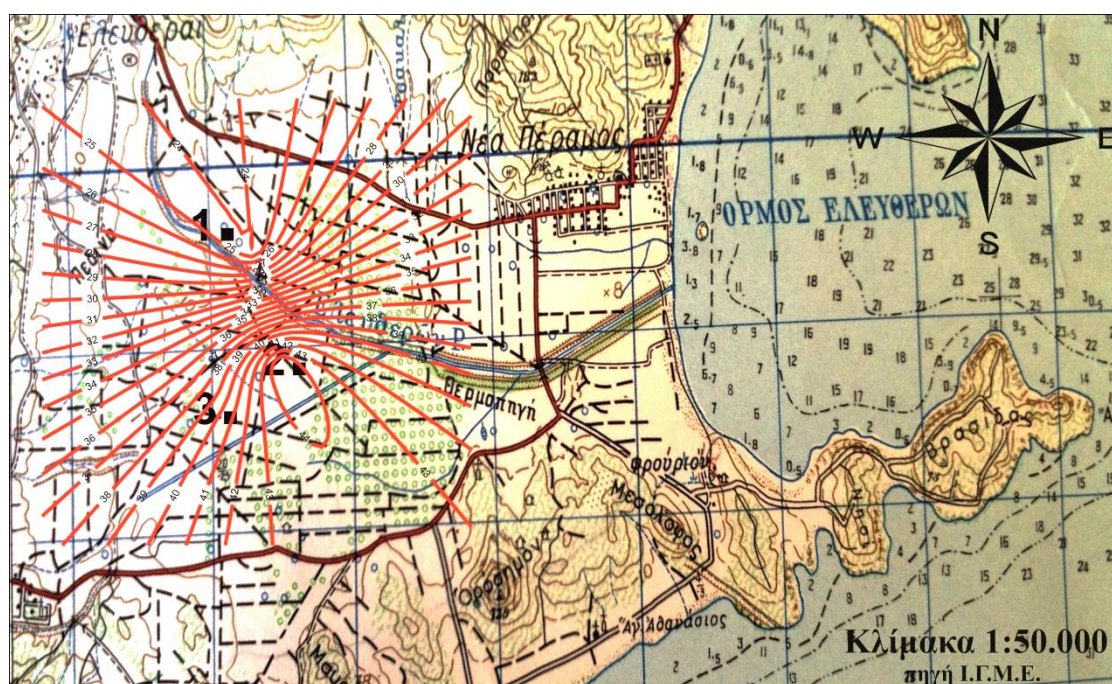
NO_3^-	Μάιος 2009	Οκτώβριος 2009
Ελάχιστη τιμή συγκέντρωσης	9,24	9,24
Μέγιστη τιμή συγκέντρωσης	27	29,1
Μέση τιμή συγκέντρωσης	20,78	20,8

Οι συγκεντρώσεις των νιτρικών κυμαίνονται από 9,24 έως 29,1 mg/lit. Από τον πίνακα 6.11 μπορούμε να εξάγουμε μια πρώτη εικόνα σχετικά με τη συγκέντρωση των νιτρικών ιόντων για την περιοχή μελέτης. Παρατηρούμε πως η μέγιστη τιμή από όλες τις περιόδους δειγματοληψίας ήταν τα 29,1 mg/lit τον Οκτώβριο του 2009.

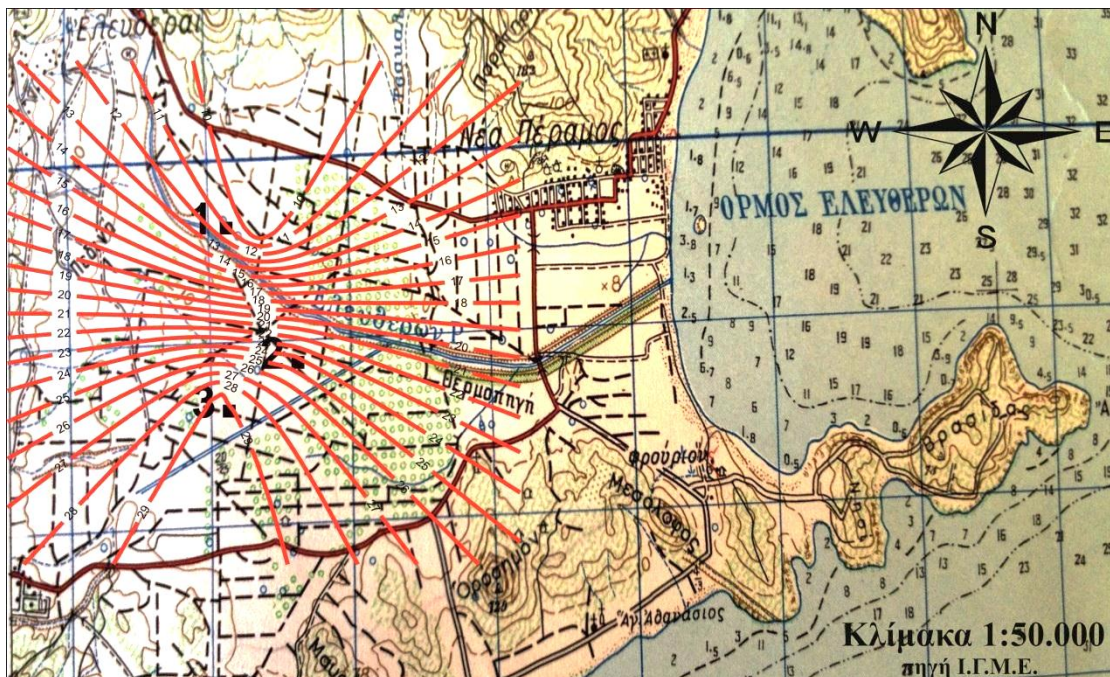
Από τα στοιχεία του πίνακα 6.11 παρατηρούμε πως δεν έχουμε ιδιαίτερη επιβάρυνση σε νιτρικά ιόντα των νερών της περιοχής έρευνας. Στα σχήματα δίνονται οι χάρτες της χωρικής κατανομής των νιτρικών ιόντων για την περιοχή.

Στις δύο περιόδους δειγματοληψίας παρατηρούμε πως στην περιοχή Δρεσκανοπήγαδος έχουμε τις χαμηλότερες συγκεντρώσεις σε νιτρικά ιόντα. Αντίθετα, στις περιοχές Βασιάτικα και Ρογκιά έχουμε αύξηση αυτών των συγκεντρώσεων με τα μέγιστα να παρατηρούνται στην τοποθεσία Ρογκιά. Σε αυτήν την περιοχή οι στάθμες των υδροφόρων οριζόντων είναι κοντά στην επιφάνεια του εδάφους και σε συνδυασμό με την αυξημένη πληθυσμιακή πυκνότητα, την κτηνοτροφική και γεωργική δραστηριότητα αναφέρονται υψηλότερες τιμές συγκέντρωσης νιτρικών με τα μέγιστα να μην ξεπερνούν το ανώτατο όριο συγκέντρωσης των 50 mg/lit για την ποσιμότητα του νερού.

Πιθανότερη αιτία αυτής της χαμηλής συγκέντρωσης ανιόντων είναι ο εμπλουτισμός των υπόγειων υδροφόρων από τον ορεινό όγκο του Συμβόλου, που όπως έχουμε παρατηρήσει τα νερά που συναντάμε σε αυτόν έχουν χαμηλές συγκεντρώσεις σε νιτρικά ιόντα. Γενικώς, παρατηρούμε πως και στις δύο περιόδους δειγματοληψίας, τα ανώτατα όρια συγκέντρωσης νιτρικών ανιόντων δεν ξεπερνούν τα 24 mg/lit, που αναφέρετε και ως το επιθυμητό όριο.



Σχήμα 6.18 Χωρική κατανομή ιόντων NO_3^- (mg/lit) κατά τον Μάιο του 2009.



Σχήμα 6.19 Χωρική κατανομή ιόντων NO_3^- (mg/lit) κατά τον Οκτώβριο του 2009.

6.4.8 Ιόντα Χλωρίου (Cl^-)

Τα ιόντα χλωρίου Cl^- έχουν ως κύρια πηγή προέλευσης τα ιζηματογενή πετρώματα και ωραίες τους εβαπορίτες. Ως δευτερεύουσα πηγή είναι τα μαγματικά πετρώματα. Χλώριο μπορεί να προέρθει και από τις θερμές πηγές καθώς και από τη διείδυση της θάλασσας. Σε βιομηχανικές περιοχές η αύξηση του Cl^- προέρχεται από την καύση των πλαστικών και τα Θερμοηλεκτρικά εργοστάσια (Βουδούρης 2009).

Σε πολλές περιπτώσεις η ύπαρξη ιόντων χλωρίου σε μεγάλες συγκεντρώσεις μπορεί και να συνδέεται με την ύπαρξη παλιών εγκλωβισμένων θαλασσινών νερών. Το χλώριο χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό του εμπλουτισμού των υπόγειων υδροφορέων (Σούλιος 2006). Οι συνήθεις τιμές της συγκέντρωσης των ιόντων Cl^- είναι κάτω από 10 mg/lit στις υγρές περιοχές, ενώ στις ξηρές περιοχές μπορεί να ανέλθει ή και να ξεπεράσει τα 1000 mg/lit (Καλλέργης, 2000, Σούλιος 2006). Η ανθρωπογενής παρέμβαση βοηθά στην αύξηση της περιεκτικότητας των ιόντων Cl^- μέσω καθημερινών δραστηριοτήτων όπως η αποπαγοποίηση των δρόμων, η χρήση λιπασμάτων καθώς και η απόρριψη βιομηχανικών λυμάτων.

Το θαλασσινό νερό έχει πολύ υψηλή τιμή συγκέντρωσης των ιόντων χλωρίου (20-34000 mg/lit). Οι περιοχές οι οποίες βρίσκονται κοντά σε ακτογραμμές εμφανίζουν επιβάρυνση στις τιμές των ιόντων χλωρίου από διάφορες αιτίες. Επίσης ενδέχεται, λόγω της απευθείας μεταφοράς των σταγονιδίων του θαλασσινού νερού από τον αέρα, να παρουσιαστούν υψηλές

τιμές στις συγκεντρώσεις χλωρίου στο έδαφος και το οποίο λόγω της κατείσδυσης να διεισδύσει στα επιφανειακά στρώματα του εδάφους. Η υπεράντληση σε περιοχές οι οποίες βρίσκονται κοντά στη θάλασσα μπορεί να προκαλέσει διείσδυση αυτής με αποτέλεσμα να προκληθεί υφαλμύριση των υδροφόρων οριζώντων.

Τα ιόντα του χλωρίου (Cl^-) παρουσιάζουν συντηρητική χημική συμπεριφορά και στο σύνολό τους συμμετέχουν σε διεργασίες υφαλμύρισης υπόγειων νερών (Καλλιώρας 2007). Με τη χρήση τους σε αρκετούς ιοντικούς λόγους γίνεται ο προσδιορισμός της προέλευσης των υπόγειων νερών, καθώς και η διερεύνηση της ποιοτικής υποβαθμισμού των υδροφορέων.

Στον πίνακα 6.12 δίνονται τα στατιστικά στοιχεία της συγκέντρωσης των ιόντων Cl^- στην περιοχή έρευνας.

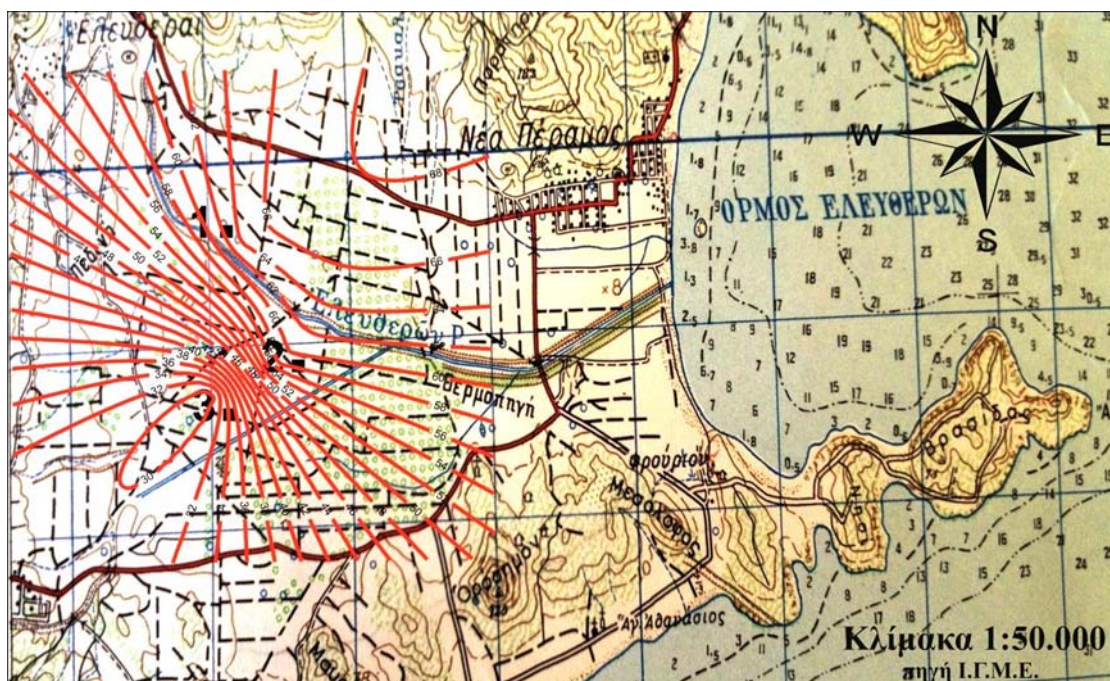
Πίνακας 6.12 Στατιστικά στοιχεία συγκεντρώσεων Cl^- (mg/lit) των υπογείων νερών της περιοχής έρευνας.

Cl^-	Μάιος 2009	Οκτώβριος 2009
Ελάχιστη τιμή συγκέντρωσης	29	25
Μέγιστη τιμή συγκέντρωσης	65	67
Μέση τιμή συγκέντρωσης	51	40

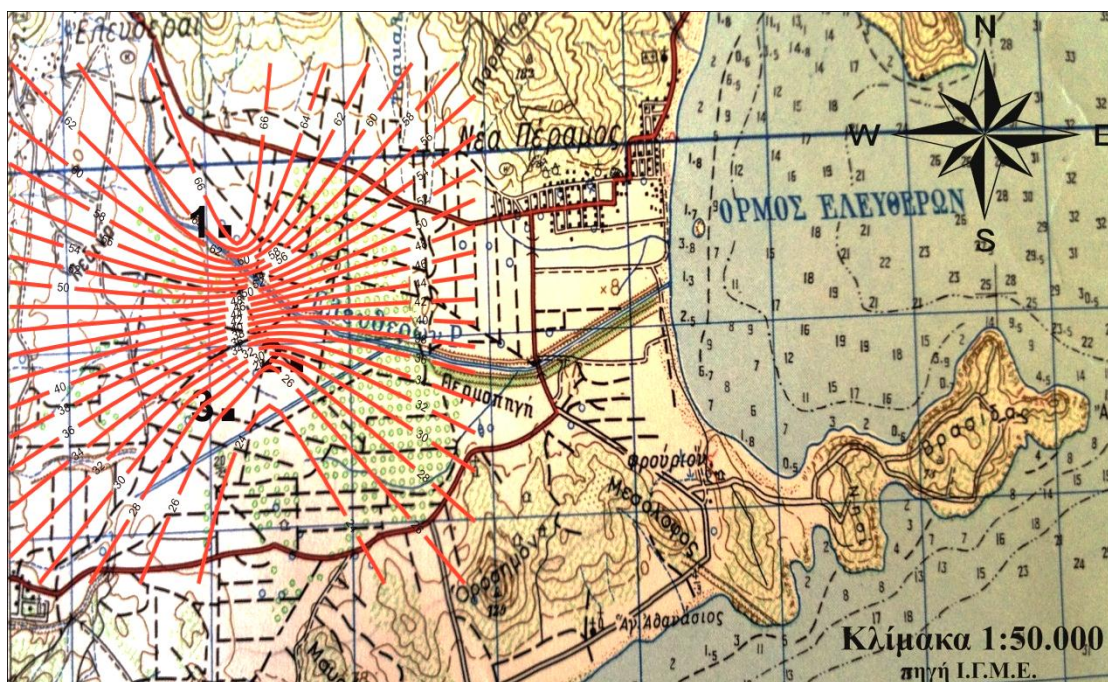
Στον πίνακα αυτό παρατηρούμε πως οι τιμές Cl^- κυμαίνονται από 25 έως 51 mg/lit για τις δύο περιόδους που πραγματοποιήθηκαν δειγματοληψίες στην περιοχή μελέτης.

Από τα σχήματα παρατηρούμε πως οι τιμές Cl^- στην περιοχή δεν παρουσιάζουν ιδιαίτερα μεγάλη μεταβολή στο χώρο. Παρατηρείται μία ζώνη όπου έχουμε κυρίως τιμές Cl^- μεγαλύτερες από 29 mg/lit. Πρόκειται για τιμές πάνω από το όριο ποσιμότητας, καθώς οι μέγιστες τιμές στην περιοχή υπερβαίνουν τα 27 mg/lit. Για τις δύο περιόδους παρατηρούνται οι υψηλότερες συγκεντρώσεις στην περιοχή Δρεσκανοπήγαδος. Έχουμε δηλαδή αύξηση της τιμής των ιόντων Cl^- προς το βόρειο τμήμα της περιοχής. Αυτό πιθανώς οφείλεται στην

οικιστική δραστηριότητα και στην κτηνοτροφία η οποία είναι ιδιαίτερα ανεπτυγμένη στην περιοχή. Από τις δειγματοληψίες δεν φαίνεται να επηρεάζεται η συγκέντρωση Cl^- από πιθανή ύπαρξη πετρωμάτων τα οποία μπορεί να επιβαρύνουν το νερό (π.χ. εβαπορίτες).



Σχήμα 6.20 Χωρική κατανομή ιόντων Cl^- (mg/lit) κατά τον Μάιο του 2009.



Σχήμα 6.21 Χωρική κατανομή ιόντων Cl^- (mg/lit) κατά τον Οκτώβριο του 2009.

7.ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται συνοπτικά τα συμπεράσματα που πρόεκυψαν από την υδρογεωλογική και υδροχημική έρευνα που πραγματοποιήθηκε στην Νέα Πέραμο του νομού Καβάλας.

- Το υδρογραφικό δίκτυο της εξεταζόμενης περιοχής είναι ιδιαίτερα ανεπτυγμένο. Τα ρέματα που αποστραγγίζουν την περιοχή συγκεντρώνονται στο κύριο και μεγαλύτερο ρέμα, το ρέμα των Ελευθερών, το οποίο εκχύνεται στον Όρμο Ελευθερών. Η διεύθυνση ροής του κύριου κλάδου ακολουθεί τη διεύθυνση ροής της περιοχής, δηλαδή ΒΔ-ΝΑ.

- Γεωλογικά η περιοχή έρευνας ανήκει στην Ελληνική ενδοχώρα στη Μάζα της Ροδόπης και πιο συγκεκριμένα στην ενότητα Παγγαίου. Στρωματογραφικά στην ευρύτερη εξεταζόμενη περιοχή έχουμε μια ακολουθία μεταμορφωμένων στρωμάτων με εναλλαγές γνευσίων μαρμάρων μαρμαρυγιακών σχιστολίθων και σχιστολίθων, οι οποίοι σχηματισμοί εμφανίζονται στο βόρειο τμήμα της περιοχής. Οι γρανιτικές διεισδύσεις στην περιοχή έρευνας είναι ασβεσταλκαλικού τύπου.

- Στην περιοχή έρευνας απουσιάζουν οι σχηματισμοί του Νεογενούς. Το πεδινά τμήμα της περιοχής καλύπτεται από τεταρτογενείς αποθέσεις οι οποίες προέρχονται από ποταμοχερσαίες φάσεις και στην περιοχή εμφανίζονται και με τη μορφή ριπιδίων. Αυτοί οι σχηματισμοί μπορεί να διακριθούν σε τρεις διαφορετικές ακολουθίες. Πρόκειται ουσιαστικά για τα στρώματα μέσα στα οποία έχουν αναπτυχθεί τα υδροφόρα στρώματα. Διακρίνονται σε χαλαρές αποθέσεις κροκάλων, πλευρικούς σχηματισμούς των οποίων η μεταφορά σχετίζεται με τα επιφανειακά νερά και τέλος σχηματισμοί ανάλογοι με τους κώνους ριπιδίων σε πολύ μεγαλύτερες διαστάσεις.

- Η τεκτονική της περιοχής έρευνας συνδέεται κατά κύριο λόγο με τις γενικότερες τεκτονικές δομές οι οποίες έδρασαν στη μάζα της Ροδόπης. Όσον αφορά την υδρολιθολογική κατάταξη των σχηματισμών της περιοχής έρευνας αυτοί διακρίνονται σε δυο κατηγορίες, σε υδροπερατούς και ημιπερατούς-αδιαπέρατους. Στην πρώτη κατηγορία έχουμε τις τεταρτογενείς αποθέσεις και τους ανθρακικούς σχηματισμούς και στη δεύτερη κατηγορία ανήκουν οι γρανιτικές διεισδύσεις και τα πετρώματα του υποβάθρου (γνεύσιοι, σχιστόλιθοι). Οι γεωτρήσεις της περιοχής έρευνας είναι κατασκευασμένες στις Τεταρτογενείς αποθέσεις.

- Από την υδροχημική ανάλυση των υπόγειων νερών της περιοχής παρατηρούμε πως γενικά δεν υπάρχει κάποιο πρόβλημα ποιοτικής υποβάθμισης. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα κυμαίνεται από 445 $\mu\text{S}/\text{cm}$ έως 602 $\mu\text{S}/\text{cm}$ και για τις δύο περιόδους δειγματοληψίας. Οι χαμηλότερες τιμές της είναι κυρίως στα νερά τα οποία συλλέγονται από τις πηγές του

Συμβόλου όρους και οι μεγαλύτερες τιμές συναντώνται κοντά σε οικισμούς ή στο πεδινό τμήμα της περιοχής ένδειξη ότι επηρεάζεται άμεσα από τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες.

- Όσον αφορά την περιεκτικότητα σε ιόντα των υπόγειων νερών παρατηρούμε από τους υδροχημικούς χαρτες που κατασκευάστηκαν για τις δύο περιόδους δειγματοληψίας πως υπάρχει μία τάση σε αυτά να παρουσιάζουν συγκέντρωση των υψηλών ποσών τους στην περιοχή του Δρεσκανοπήγαδου. Είναι μία ένδειξη πως μπορεί να επηρεάζονται από ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Όμως η πιθανότερη αιτιολόγηση αυτού του φαινομένου είναι ότι έχουμε μακροχρόνια παραμονή στους υδροφορείς σε αυτό το σημείο της περιοχής. Πιθανώς εδώ να έχουμε το αποτέλεσμα της μεταφοράς δια μέσου ρηγμάτων που τέμνουν σε διάφορες διευθύνσεις τη λεκάνη των υπόγειων νερών της περιοχής.

- Η αγροτική δραστηριότητα όσον αφορά στην πρόκληση ρύπανσης από τη χρήση λιπασμάτων, δεν φαίνεται να διαδραματίζει κάποιο σημαντικό ρόλο καθότι οι τιμές που μετρήθηκαν στα περισσότερα ιόντα είναι κάτω από τα όρια που έχουν θεσπιστεί για την προστασία του υπόγειου νερού. Σε ορισμένες θέσεις παρατηρούνται υψηλές τιμές σε σχέση με το επικρατούν καθεστώς στην περιοχή αλλά κρίνεται πως πρόκειται για παροδικά φαινόμενα .

- Με τη χρήση των διαγραμμάτων Piper συμπεραίνουμε πως ο επικρατέστερος τύπος νερού που συναντάμε στην περιοχή έρευνας είναι ο ασβεστομαγνησιούχος με ελάχιστη παρουσία δειγμάτων που χαρακτηρίζονται ως ασβεστομαγνησιούχα ανθρακικά. Δεν εμφανίζεται ανάμιξη νερών και δεν έχουμε αλλαγή τύπου. Έχουμε μια σταθερή ποιοτικά τροφοδοσία και εμπλουτισμό στην περιοχή.

- Με βάση το διάγραμμα Durov φαίνεται πως το μεγαλύτερο ποσοστό των δειγμάτων αντιστοιχεί σε νερό που ανανεώνεται με προέλευση κατά κύριο λόγο από ασβεστολιθικούς υδροφορείς.

- Από τα διαγράμματα S.A.R. παρατηρούμε πως τα νερά της περιοχής παρουσιάζουν σταθερή εικόνα στο χρόνο σχετικά με τον κίνδυνο αλκαλίωσης και τον κίνδυνο αλατότητας. Κατατάσσονται στην κατηγορία C2-S1. Σε αυτή την κατηγορία αντιστοιχεί η μεγάλη πλειονότητα των δειγμάτων νερού που συλλέχτηκαν στην περιοχή έρευνας. Η κατάσταση αυτή συναντάται και στις δύο περιόδους δειγματοληψίας. Πρόκειται για νερά με μικρό κίνδυνο αλκαλίωσης (S.A.R. 0,15 - 1,76) και μέσο κίνδυνο αλατότητας, δηλαδή αγωγιμότητα μικρότερη από 750 $\mu\text{S}/\text{cm}$ που η χρήση τους προϋποθέτει απόπλυση των αρδευομένων εδαφών.

- Από τα διαγράμματα Wilcox στο σύνολο τους χαρακτηρίζονται από χαμηλό κίνδυνο αλατότητας και θεωρούνται από πλευράς ποιότητας από εξαιρετικά έως καλά. Πρόκειται για το σύνολο των δειγμάτων της περιοχής για τις περιόδους δειγματοληψίας.

- Οι υδρευτικές ανάγκες των οικισμών της περιοχής καλύπτονται από το υπάρχον δίκτυο χωρίς να διαφαίνεται άμεσος κίνδυνος για το μέλλον. καθότι η τάση του πληθυσμού στην περιοχή φαίνεται να έχει φθίνουσα πορεία.

8.Βιβλιογραφία

1. Βουδούρης, Κ., (2003). Υφαλμύρωση υπόγειων υδροφορέων από διείσδυση θαλασσινού νερού. Σημειώσεις για το μάθημα Εκμετάλλευση και διαχείριση υπόγειου νερού. Θεσσαλονίκη.
2. Βουδούρης, Κ. , Scheidleder A, Δασκαλάκη, Π., (2005). Θαλάσσια διείσδυση σε παράκτια υπόγεια υδατικά συστήματα λόγω υπεράντλησης και η Οδηγία 2000/60/EK. Υδροτεχνικά. Τόμος 15, 75-86.
3. Δεμερτζής, Α., (2007) «Εξαντλείται ο υδροφόρος ορίζοντας στην Αν. Ελλάδα» *Ηλεκτρονική εφημερίδα e.tiros*, 3 Ιουλίου.
4. Δουλγέρης, Χ., (2004) «Το φαινόμενο της υφαλμύρισης των παράκτιων υδροφορέων» *Περιοδικό Αμφίβιον*. Διμηνιαία έκδοση του Ελληνικού Κέντρου Βιοτόπων-Υγροτόπων (ΕΚΒΥ). Τεύχος 58.
5. Καλλέργης, Γ., (2000). Εφαρμοσμένη και περιβαλλοντική υδρογεωλογία. Τόμος Β΄. Έκδοση ΤΕΕ.
6. Καλλέργης, Γ., (2001). Εφαρμοσμένη και περιβαλλοντική υδρογεωλογία. Τόμος Γ΄. Έκδοση ΤΕΕ.
7. Καλλιώρας, Α., Πλιάκας, Φ., Διαμαντής, Ι., Γκιουγκής, Ι., (2006). Το φαινόμενο της θαλάσσιας διείσδυσης ως αποτέλεσμα των εντατικών υπεραντλήσεων παράκτιου υδροφόρου συστήματος του Ν. Ροδόπης. Πρακτικά 10^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου της Ε.Υ.Ε. Ξάνθη, 429-436.
8. Σούλιος, Γ., (1996). Γενική Υδρογεωλογία, Πρώτος Τόμος, Ανατύπωση. University Studio Press. Θεσσαλονίκη, 22-23, 146.

9. Σούλιος, Γ., (2004). Γενική Υδρογεωλογία, Τρίτος Τόμος. Εκδοτικός Οίκος Αδελφών Κυριακίδη. Θεσσαλονίκη, 111-114, 128-129, 140, 230-234.

10. Σπάχος, Θ., Βουδούρης, Κ., Δρόσος, Δ., Δημόπουλος, Γ. (2006). Διακυμάνσεις της στάθμης του υπογείου νερού στους υδροφορείς των κύριων αντλητικών πεδίων της ΕΥΑΘ Θεσσαλονίκης. Πρακτικά Α΄ Τόμου 10^{ου} Πανελλήνιου Επιστημονικού Συνεδρίου της Ε.Υ.Ε., Ξάνθη, 483-490.

11.Κακλής Τριαντάφυλλος, “ Υδρογεωλογική μελέτη και μελέτη διαχείρισης υδατικών πόρων Πιέριας Λεκάνης Ν.Καβάλας.(2011)

Ηλεκτρονικές Διευθύνσεις

- [www,geo.auth.gr](http://www.geo.auth.gr)