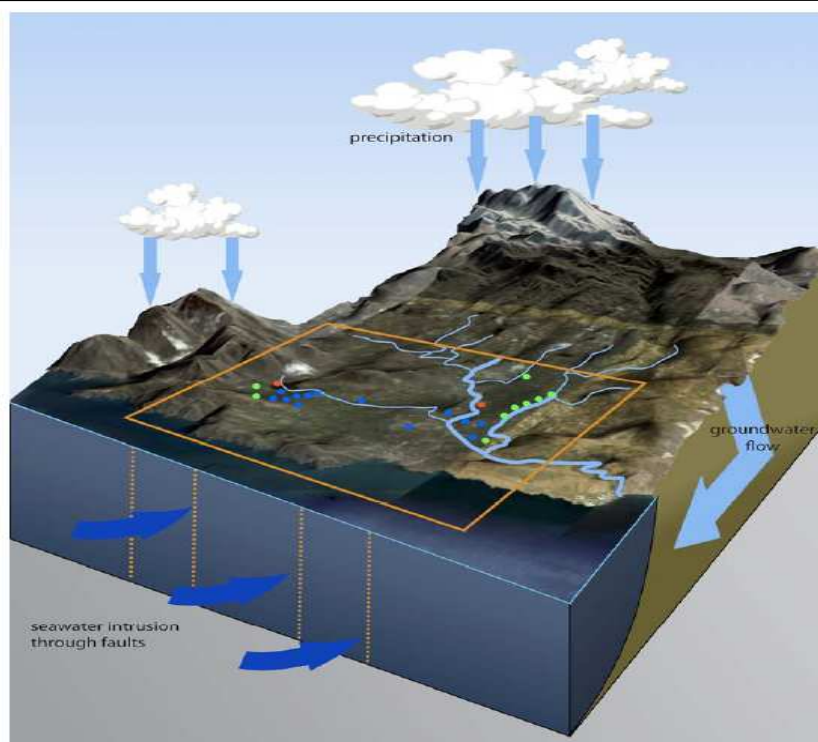


ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ



ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΧΑΝΙΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ ΚΑΙ ΣΕΙΣΜΟΛΟΓΙΑΣ



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Υδρογεωλογική μελέτη ευαίσθητου παράκτιου υδροφορέα με χρήση γεωχημικών μεθοδολογιών: βόρειο τμήμα λεκάνης Γεροποτάμου, Νομού Ρεθύμνης

Ζαχαριουδάκη Δέσποινα
Λάππα Δανάη
Κάτσινου Παρασκευή

Επιβλέπουσα καθηγήτρια: Δρ. Δέσποινα Καλησπέρη

ΧΑΝΙΑ 2010

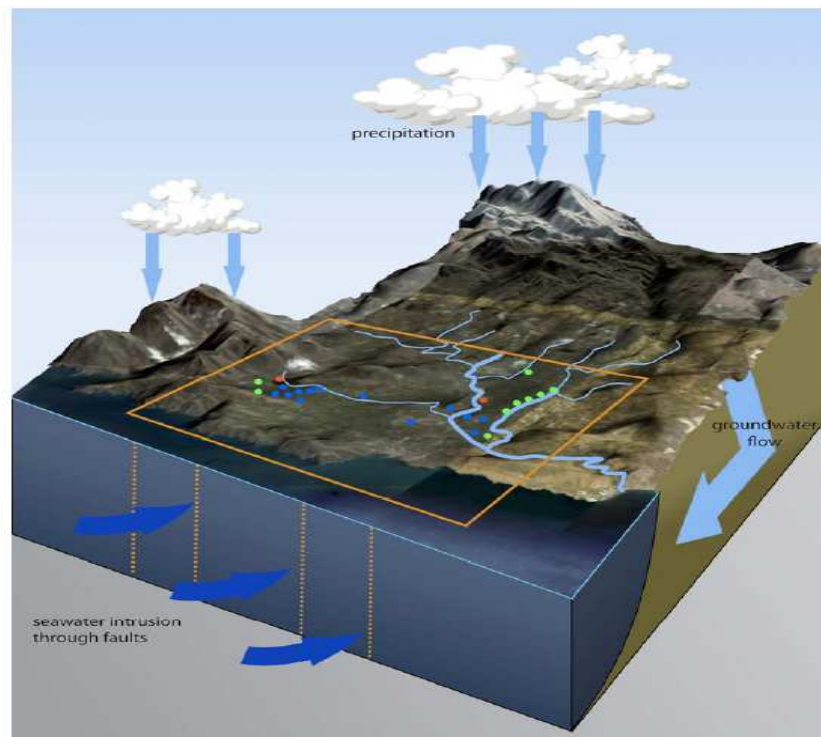
TECHNOLOGICAL EDUCATIONAL INSTITUTE OF CRETE



BRANCH OF CHANIA



**DEPT OF NATURAL RESOURCES & ENVIRONMENT
SECTION OF WATER RESOURCES & GEOENVIRONMENT
LAB OF APPLIED GEOPHYSICS & SEISMOLOGY**



THESIS

Hydrogeological study of coastal aquifer using geochemical methods: northern part of Geropotamos basin, Rethymnon, Greece

Zacharioudaki Despoina
Lappa Danae
Katsinou Paraskevi

Supervisor: Dr. Despina Kalisperi

CHANIA 2010

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Στα πλαίσια της συγκεκριμένης εργασίας αισθανόμαστε την ανάγκη να ευχαριστήσουμε όλους εκείνους που συνέβαλλαν στην ολοκλήρωση της προσπάθειας αυτής. Ευχαριστούμε καταρχήν την επιβλέπουσα καθηγήτριά μας Δρ. Καλησπέρη Δέσποινα για την ανάθεση και την επίβλεψη αυτής της εργασίας καθώς και για τη σημαντική προσφορά στην υλοποίηση της. Χωρίς την βοήθεια της στην εργασία αυτή δε θα τα είχαμε καταφέρει. Ευχαριστούμε το εργαστήριο Γεωφυσικής και Σεισμολογίας καθώς και το Εργαστήριο Περιβαλλοντικής Χημείας και Βιοχημικών Διεργασιών και ειδικότερα τον Δρ. Νίκο Λυδάκη-Σημαντήρη για την παραχώρηση δεδομένων. Επίσης ευχαριστούμε τους φίλους μας και την οικογένειά μας για την υποστήριξη που μας προσέφεραν κατά τη διάρκεια της προσπάθειας μας.

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

- 1. Εξεταστής:** Δρ. Παντελής Σουπιός
- 2. Εξεταστής:** Δρ. Μαρία Κούλη

Επιβλέπουσα: Δρ. Δέσποινα Καλησπέρη

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το βόρειο τμήμα της λεκάνης του Γεροποτάμου στην Βόρειο-κεντρική ακτή της Κρήτης υποφέρει από την εισχώρηση θαλασσινού νερού στον υδροφορέα (φαινόμενο υφαλμύρισης), έχοντας ως αντίκτυπο τη ρύπανση των αποθεμάτων γλυκού νερού, που προορίζεται για τις ανάγκες του πληθυσμού, συμπεριλαμβανομένης και της γεωργίας. Η γεωλογία της περιοχής χαρακτηρίζεται ως πολύπλοκη περιλαμβάνοντας τη φυλλιτική-χαλαζιτική σειρά στα Βόρεια, το υπόβαθρο (Ταλέα Όρη) στα Ανατολικά, Δυτικά και κεντρικά καλύπτεται από σύγχρονα ιζήματα, ενώ τα ρήγματα έχουν διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ και ΒΑ-ΝΔ. Στη περιοχή πραγματοποιήθηκε γεωχημική μελέτη, όπου εκτελέστηκαν 3 δειγματοληψίες νερού, σε διαφορετικές χρονικές περιόδους, από 22 δημοτικές γεωτρήσεις και 2 πηγές, όπου προσδιορίστηκαν 14 χημικές παράμετροι. Σύμφωνα με τη παρούσα μελέτη για τη περιοχή του Βόρειου τμήματος της λεκάνης Γεροποτάμου, η υφαλμύριση του υπόγειου νερού του υδροφορέα δια μέσου των ρηγμάτων είναι η πιο πιθανή αιτία πηγής ρύπανσης, καταρρίπτοντας τις υποθέσεις για ύπαρξη εβαπορίτων στην περιοχή.

ABSTRACT

Geropotamos aquifer on the north-central coast of Crete, Greece, is invaded in some places by salt water from the Aegean Sea, with impact on freshwater supplies for domestic and business uses, including agriculture. The geological setting of the study area is considered complex, as Miocene biogenic limestones, marls, clays and conglomerates crop out in the central and the western part and clastic limestones and dolomites of the Tripolis and Plattenkalk nappe (the bedrock) in the eastern part of the study area. The phyllitequartzite nappe (which forms the oldest rock of the study area) lays on the northern part of Geropotamos basin. The local tectonic regime of the study area is characterized by faults of NW-SE and NE-SW directions. 3 water samplings carried out. At each sampling, samples from 22 boreholes and 2 springs were analysed and 14 chemical parameters were determined. Detailed geochemical analysis, including Piper, Durov, Ternary, Stiff, Wilcox, Dispersion diagrams and Factors controlling the groundwater quality, was accomplished showing very good results. Suggestions that Miocene evaporites led to groundwater salination are unconfirmed, and seawater intrusion is the most probable cause, supported by the results of this research. It is indicated that saline intrusion is likely to occur along fractures in a fault zone through otherwise low-permeability phyllite-quartzite bedrock, and it is emphasized the critical role of fracture pathways in salination problems of coastal aquifers.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	3
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	4
ABSTRACT	5
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	6
ΠΡΟΛΟΓΟΣ	9
ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ	10
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 – ΕΙΣΑΓΩΓΗ	11
1.1 ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	11
1.2 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΚΑΙ ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ	11
1.3 ΤΟΠΙΚΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑ	12
1.4 ΑΠΑΙΤΗΣΗ ΥΔΑΤΟΣ	13
1.5 ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ	13
1.6 ΤΟ ΚΛΙΜΑ ΚΑΙ ΟΙ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ	14
1.7 ΓΕΩΛΟΓΙΑ- ΛΙΘΟΛΟΓΙΑ (ΤΥΠΟΙ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ) – ΔΟΜΗ	16
1.8 ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ	16
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ	18
2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	18
2.1.1 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΚΡΗΤΗΣ	18
2.1.2 ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	19
2.1.3 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	20
2.1.4 ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	21
2.1.5 ΕΒΑΠΟΡΙΤΕΣ	22
2.1.6 ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΥΦΑΛΜΥΡΙΝΣΗΣ	23
2.2 ΓΕΩΧΗΜΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ	23
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗΣ	28
3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	28
3.1.1 ΒΑΣΙΚΟΙ ΚΑΝΟΝΕΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ	28
3.1.2 ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ ΑΠΟ ΔΙΚΤΥΟ ΣΩΛΗΝΩΣΕΩΝ	29
3.1.3 ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ	29
3.2 ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ, ΜΕΤΑΛΛΑ ΚΑΙ ΑΝΟΡΓΑΝΑ ΜΗ ΜΕΤΑΛΛΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	29
3.3 ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ	30
3.3.1 ΑΛΚΑΛΙΚΟΤΗΤΑ	30
3.3.2 ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ	30
3.3.3 ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ	31

3.3.4 ΑΛΑΤΟΤΗΤΑ	31
3.3.5 ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ	32
3.4 ΜΕΤΑΛΛΑ	33
3.5 ΑΝΟΡΓΑΝΑ ΜΗ ΜΕΤΑΛΛΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	34
3.5.1 ΧΛΩΡΙΟ	34
3.5.2 ΑΖΩΤΟ ΝΙΤΡΙΚΩΝ ΑΛΑΤΩΝ	35
3.5.3 ΘΕΙΙΚΟ ΑΛΑΣ	35
3.5.4 ΡΗ	36
3.6 ΕΠΙΤΡΕΠΤΑ ΟΡΙΑ ΚΑΘΕ ΧΗΜΙΚΗΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥ	37
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ- ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ- ΑΝΑΛΥΣΗ	38
4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	38
4.1.1 ΟΡΙΣΜΟΙ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ	38
4.1.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΧΗΜΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ	38
4.1.3 ΧΩΡΙΚΗ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗ ΤΩΝ ΓΕΩΧΗΜΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ	39
4.2 ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ	40
4.2.1 ΑΛΚΑΛΙΚΟΤΗΤΑ	40
4.2.2 ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ	42
4.2.3 ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ	45
4.2.4 ΑΛΑΤΟΤΗΤΑ	48
4.2.5 ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ	51
4.3 ΜΕΤΑΛΛΑ	54
4.3.1 ΑΣΒΕΣΤΙΟ	54
4.3.2 ΜΑΓΝΗΣΙΟ	57
4.3.3 ΚΑΛΙΟ	60
4.3.4 ΝΑΤΡΙΟ	63
4.3.5 ΣΙΔΗΡΟΣ	66
4.4 ΑΝΟΡΓΑΝΑ ΜΗ ΜΕΤΑΛΛΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	67
4.4.1 ΧΛΩΡΙΟ	67
4.4.2 ΑΖΩΤΟ ΝΙΤΡΙΚΩΝ ΑΛΑΤΩΝ	70
4.4.3 ΘΕΙΙΚΟ ΑΛΑΣ	72
4.4.4 ΡΗ	75
4.5 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ	78
4.6 ΤΡΙΑΔΙΚΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ	80
4.7 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ R/P/R	81
4.8 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ DUROV	83
4.9 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ STIFF ΚΑΙ ΧΑΡΤΗΣ	83
4.10 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΔΙΑΣΠΟΡΑΣ	85
4.10.1 Na-Cl	86
4.10.2 Ca-Cl	89
4.10.3 K-Cl	92
4.10.4 Mg-Cl	95
4.10.5 SO4-Cl	98
4.11 ΙΟΝΤΙΚΗ ΑΝΤΑΛΛΑΓΗ	101

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 – ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ- ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	102
5.1 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΣΧΕΣΗΣ ΜΕΤΑΞΥ ΤΗΣ ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑΣ, ΤΩΝ ΤΥΠΩΝ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΤΗΣ ΔΟΜΗΣ	102
5.2 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΑ ΦΥΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ, ΤΗ ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΤΗ ΓΕΩΛΟΓΙΑ	104
5.2.1 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ	105
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	108
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	110
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	112

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Από την αρχή της δημιουργίας της γης το νερό αποτελούσε και αποτελεί σημαντικό παράγοντα διαβίωσης και συνέχεια της ύπαρξης ζωής στον κόσμο, για το λόγο ότι είναι απαραίτητο για τους έμβιους οργανισμούς, τόσο για τους παραγωγούς όσο και για τους καταναλωτές. Είναι φανερό ότι χωρίς την ύπαρξη νερού στον πλανήτη δεν θα υπήρχε χλωρίδα, συνεπώς δεν θα υπήρχε φωτοσύνθεση και κατά συνέπεια δεν θα υπήρχε οξυγόνο. Αυτό θα είχε σαν αποτέλεσμα να μην ζει κανένας έμβιος οργανισμός πάνω στην γη.

Το νερό είναι το πολυτιμότερο αγαθό, με το πέρασμα των χρόνων όμως τα αποθέματα του δεν είναι αρκετά για να καλύψουν τις ανάγκες του σύγχρονου ανθρώπου, οι οποίες έχουν αυξηθεί σε κατανάλωση νερού, είτε λόγω αύξησης του πληθυσμού είτε λόγω τουρισμού είτε λόγω της αλλαγής του τρόπου ζωής, με αποτέλεσμα ο χρόνος ανανέωσης μιας συγκεκριμένης ποσότητας νερού να είναι δυστυχώς πολύ μεγαλύτερος από τον χρόνο κατανάλωσης αυτής της ποσότητας. Το νερό επηρεάζεται και από τις κλιματικές αλλαγές. Είναι γνωστό το φαινόμενο του θερμοκηπίου, το οποίο προκαλεί αύξηση της θερμοκρασίας στο πλανήτη και είναι υπεύθυνο για το λιώσιμο των πάγων και την αύξηση της ποσότητας του νερού στο πλανήτη. Η Μεσόγειος ιδιαίτερα επηρεάζεται από την αλλαγή κλίματος, ειδικά το νότιο μέρος της Μεσογείου παρουσιάζει μέγιστη αύξηση της θερμοκρασίας, η μέση στάθμη της θάλασσας στη Μεσόγειο αναμένεται να αυξηθεί κατά 5cm ανά δεκαετία.

Προβλήματα στο νερό προκαλούνται επίσης και από το φαινόμενο της υφαλμύρισης, όπου είναι η ανάμιξη των υπογείων υδάτων με θαλασσινό. Συνέπειες της υφαλμύρισης είναι η αύξηση του διαλυμένου άλατος (χλωριούχου νατρίου, NaCl), στα υπόγεια νερά και εντέλει της χειροτέρευσης της ποιότητας των "καθαρών" υδάτων. Για την κάλυψη των αναγκών μιας πόλης με καθαρό νερό η δημοφιλέστερη μέθοδος είναι η διάνοιξη γεωτρήσεων και η άντληση καθαρού νερού από το υπέδαφος. Η άντληση καθαρού νερού σε λογικά επίπεδα δεν διαταράζει την ισορροπία μεταξύ καθαρού και θαλασσινού νερού. Οι ανάγκες μιας πόλης αυξάνονται όσο αυτή μεγαλώνει και οι επιχειρήσεις άντλησης και διανομής ύδατος οδηγούνται σε εντατικότερη άντληση με αποτέλεσμα την μείωση του όγκου του καθαρού νερού και την εισχώρηση του θαλασσινού στον υδροφόρο ορίζοντα. Η υπερβολική και αλόγιστη άντληση οδηγεί τελικά στην υφαλμύριση με σημαντική εισχώρηση του θαλασσινού νερού στο υπέδαφος και ανάμιξη του με το καθαρό νερό (www.deyaxiou.gr).

<u>ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ</u>

- ΟΑΔΥΚ: Οργανισμός Ανάπτυξης Δυτικής Κρήτης
- ΙΓΜΕ: Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών
- ΥΠΕΧΩΔΕ: Υπουργείο Περιβάλλοντος Χωροταξίας και Δημόσιων Έργων
- ΕΜΥ: Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία
- ΥΕΒ: Υπηρεσία Έγγειων Βελτιώσεων
- Π.Ο.Υ : Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (WHO)
- ΑΥΠΠ : Αμερικανική Υπηρεσία Προστασίας Περιβάλλοντος (EPA)
- ΕΕ : Ευρωπαϊκή Ένωση

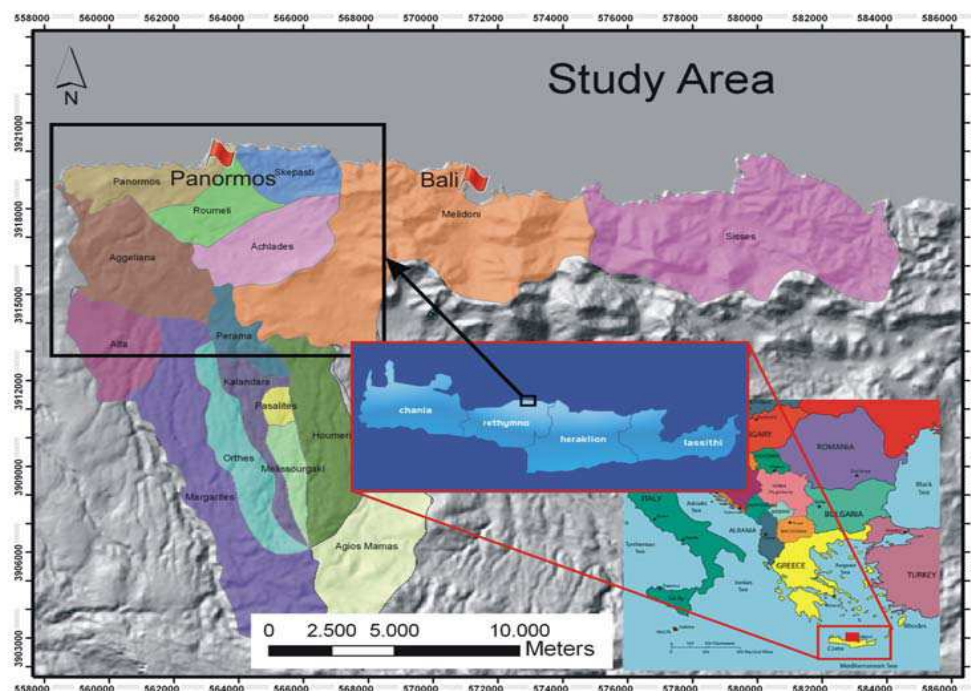
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η συμβολή στην μελέτη της ποιότητας του υπόγειου νερού στο βόρειο τμήμα της περιοχής του δήμου Γεροποτάμου, στο νομό Ρεθύμνης. Λόγω της ευαισθησίας των παράκτιων υδροφόρων εφαρμόστηκαν διαφορές γεωχημικές μέθοδοι για να ελεγχτεί η ποιότητα του νερού στον παράκτιο αυτόν υδροφόρο. Η εργασία αυτή είναι μέρος του διδακτορικού της Δρ. Δέσποινας Καλησπέρη με τίτλο “Assessment of groundwater resources in the north-central coast of Crete, Greece using geophysical and geochemical methods”, που πραγματοποιήθηκε στο Brunel University of West London και παραδόθηκε τον Δεκέμβριο του 2009.

1.2 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΚΑΙ ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ

Η μελέτη πραγματοποιήθηκε στην περιοχή του δήμου Γεροποτάμου ο οποίος βρίσκεται στην βόρεια κεντρική ακτή της Κρήτης, στο βόρειο τμήμα του Νομού Ρεθύμνης. Η περιοχή μελέτης είναι, περίπου 30 χιλιόμετρα ανατολικά του νομού Ρεθύμνης, στο βόρειο τμήμα του δήμου Γεροποτάμου, λίγα χιλιόμετρα πριν το Μπαλί, όπου καλύπτει 40 km² (Εικόνα 1.1).



Εικόνα 1.1: Χάρτης της περιοχής μελέτης

Καλύπτει επτά δημοτικές περιοχές (Πέραμα, Αγγελιανή, Αχλάδες, Μελιδόνι, Πάνορμο, Ρουμέλη, Σκεπαστή) συμπεριλαμβάνοντας δεκατέσσερα χωριά (Πέραμα, Δάφνη, Αγγελιανή, Αλεξανδρου Χάνι,

Χανοθιανά, Αχλαδές, Συριπιδιανά, Σολοχιανά, Μελιδόνι, Εξάντι, Πάνορμο, Λαύρις, Ρουμελή, Σκεπαστή). Τα στοιχεία του πληθυσμού για κάθε χωριό (από την γενική γραμματεία της εθνικής στατιστικής υπηρεσίας της Ελλάδας) φαίνονται στον πίνακα 1.1.

Πίνακας 1.1: Πληθυσμός περιοχής μελέτης

Δημοτικά διαμερίσματα	Χωριά	Πληθυσμός	Άθροισμα
Πέραμα	Πέραμα	1,598	1,65
	Δάφνη	52	
Αγγελιανά	Αγγελιανά	604	691
	Αλεξανδρου Χάνι	76	
	Χανοθιανά	11	
Αχλάδες	Αχλαδές	113	193
	Συριπιδιανά	66	
	Σολοχιανά	14	
Μελιδόνι	Μελιδόνι	391	470
	Εξάντι	79	
Πάνορμο	Πάνορμος	887	992
	Λαύρις	105	
Ρούμελη	Ρούμελη	427	427
Σκεπαστή	Σκεπαστή	242	242
Συνολικό άθροισμα			4,665

1.3 ΤΟΠΙΚΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑ

Η απασχόληση του πληθυσμού στο δήμο Γεροπόταμου είναι κυρίως η κτηνοτροφία, η γεωργία, η ανάπτυξη τουριστικών επιχειρήσεων καθώς και μια μικρή βιομηχανική ανάπτυξη.

Η κτηνοτροφία αποτελείται κυρίως από πρόβατα και αίγες (65000 ζώα). Το 70% της γεωργίας στηρίζεται στη συγκομιδή ελιάς και το 30% σε άλλες συγκομιδές. Έχει υπολογιστεί από την γενική γραμματεία εθνικής στατιστικής υπηρεσίας 2008 ότι η απαίτηση ύδατος για την κτηνοτροφία και την γεωργία για το έτος 2005 είναι 18.000.000 km²/έτος.

Ο τουρισμός είναι ένας σημαντικός τομέας της τοπικής οικονομίας του δήμου Γεροπόταμου. Πολλοί τουρίστες επιλέγουν σαν προορισμό για της διακοπές τους κατά την θερινή περίοδο το χωριό Πάνορμο, όπου έχουν κτιστεί περισσότερα από πέντε υπερπολυτελή ξενοδοχεία τεσσάρων ή πέντε αστέρων κοντά στην παραλία. Ένας ακόμη προορισμός που οι τουρίστες επιλέγουν να επισκεφτούν είναι το Σπήλαιο του Μελιδονίου, το οποίο θεωρείται πολύ σημαντικό λόγω των αρχαιολογικών ευρημάτων που εκθέτονται στο αρχαιολογικό μουσείο του Ρεθύμνου.

Τέλος, η περιοχή μελέτης παρουσιάζει μικρό βιομηχανικό ενδιαφέρον, αφού περιλαμβάνει εννέα μικρά ελαιουργεία, δύο μικρές τσιμεντοβιομηχανίες και ένα μικρό εργοστάσιο που παράγει ζωοτροφές.

1.4 ΑΠΑΙΤΗΣΗ ΥΔΑΤΟΣ

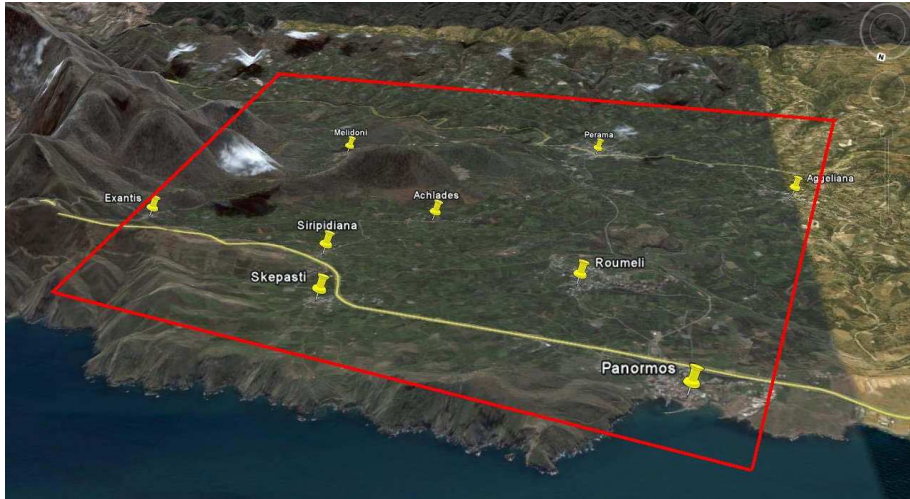
Δεν υπάρχουν πολλές πληροφορίες για την ανάγκη ύδατος των κατοίκων της περιοχής. Τα πιο πρόσφατα αξιόπιστα στοιχεία για τον δήμο Γεροπόταμου αναφέρονται στο έτος 2000 (πίνακας 1.2). Σύμφωνα όμως με αυτά που υποστηρίζουν οι υπάλληλοι του δήμου, ο όγκος ύδατος που καταναλώθηκε για την άρδευση και την παροχή νερού ήταν πολύ περισσότερος από τις τιμές των υδρομέτρων που επιδεικνύονται στον πίνακα 1.2. Αυτό συμβαίνει εξαιτίας των ζημιών που έχουν υποστεί οι σωλήνες ή από άλλου είδους διαρροή ή ακόμα και λόγω της κακής κατάστασης των υδρομέτρων και της παράνομης χρήσης ύδατος από τα δημόσια φρεάτια. Οι τιμές πρέπει να θεωρηθούν υψηλότερες σύμφωνα με την γενική γραμματεία της εθνικής στατιστικής υπηρεσίας εκτιμήσεων της Ελλάδας.

Πίνακας 1.2: Η απαίτηση ύδατος για κάθε δημοτικό διαμέρισμα του δήμου Γεροπόταμου

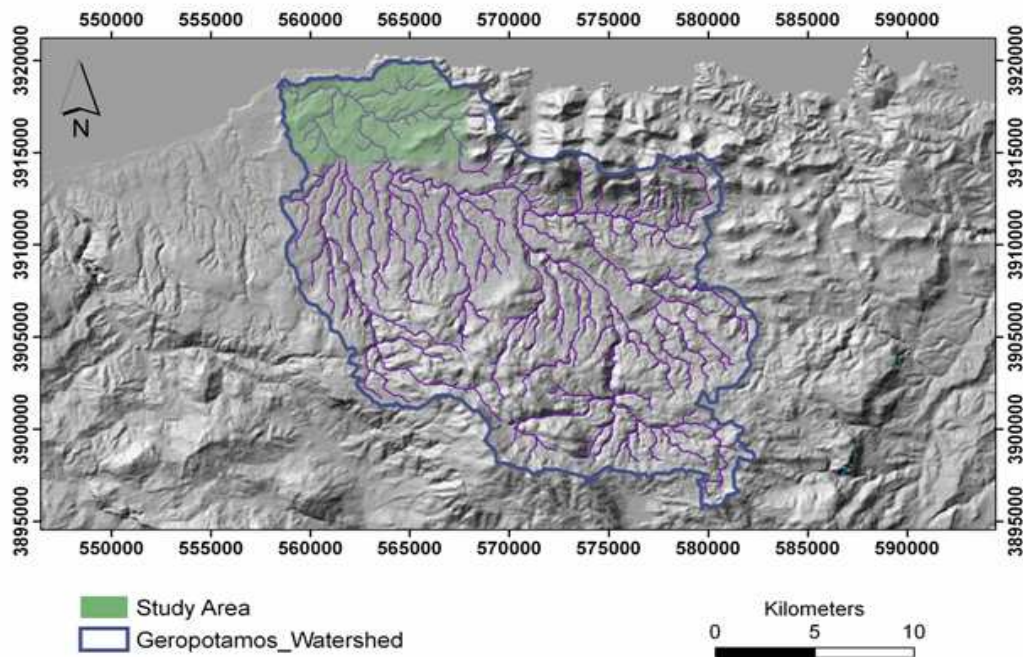
Δημοτικά Διαμερίσματα	Απαίτηση ύδατος			Άρδευση
	Αριθμός υδρομέτρων	Κατανάλωση ύδατος (m ³)	Αριθμός υδρομέτρων	Κατανάλωση ύδατος (m ³)
Αγγελιανά	445	70,500	391	284,500
Αχλαδές	152	27,500	479	352,500
Μελιδόνι	508	175,000	349	355,000
Πάνορμος	367	81,000	148	89,000
Πέραμα	896	124,500	135	45,500
Ρούμελη	250	35,000	191	105,000
Σκεπαστή	165	32,000	217	163,000
Άθροισμα		545,500	1,393,500	
Συνολικό άθροισμα	1,939,000			

1.5 ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ

Η λεκάνη του δήμου Γεροπόταμου καλύπτει περίπου 375 km² και το υψόμετρο έχει ένα εύρος 0-2.456 m, με μέσο υψόμετρο τα 664,8 m. Η περιοχή μελέτης αφορά το βόρειο μέρος της λεκάνης και καλύπτει 66,4km². Γενικά η περιοχή μελέτης χαρακτηρίζεται ως πεδινή και ημιορεινή δεδομένου ότι το υψόμετρο κυμαίνεται μεταξύ 0-502 m με μέσο υψόμετρο 106,4 m (Εικόνες 1.2 & 1.3)



Εικόνα 1.2: Δορυφορική εικόνα της περιοχής ενδιαφέροντος (από το Google Earth, 2009).



Εικόνα 1.3: Λεκάνη Γεροπόταμου έκτασης 375 km². Με πράσινο χρώμα σκιαγραφείται η περιοχής μελέτης έκτασης 40 km²

1.6 ΤΟ ΚΛΙΜΑ ΚΑΙ ΟΙ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ

Το κλίμα της Κρήτης χαρακτηρίζεται ως μεσογειακό. Τα ξηρά και θερμά καλοκαίρια και οι υγροί ήπιο χειμώνες είναι τυπικά χαρακτηριστικά του νησιού. Οι βροχοπτώσεις που πραγματοποιούνται κυρίως το χειμώνα κυμαίνονται από 300-700 ml ετησίως στην παράκτια ζώνη και από 700-1000 ml στα πεδινά, ενώ στα βουνά φτάνουν μέχρι 2000 ml. Ο Ιούλιος και ο Αύγουστος είναι οι θερμότεροι μήνες

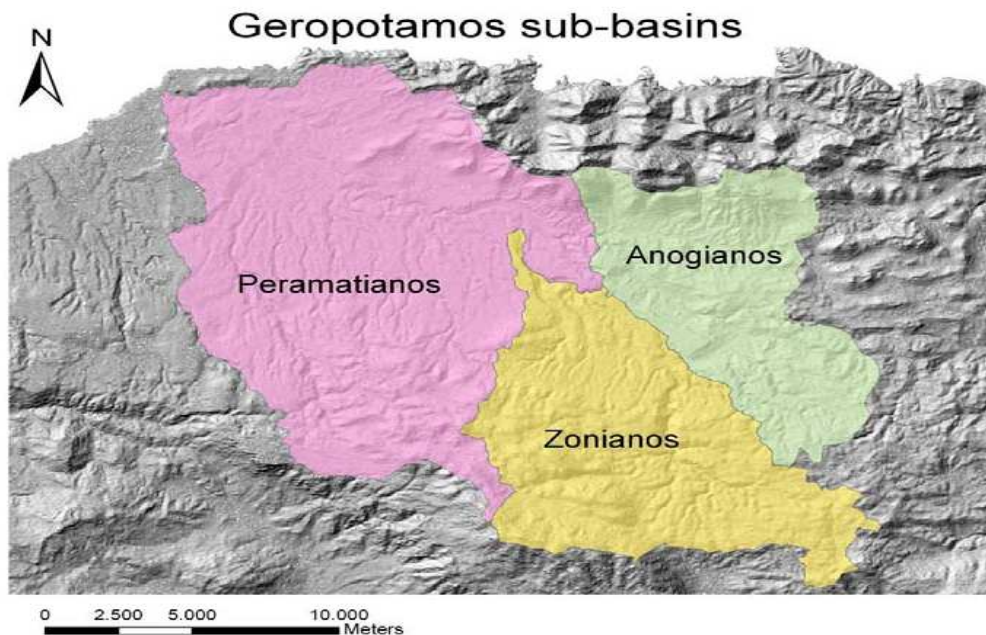
και οι βροχοπτώσεις είναι χαμηλότερες κατά την διάρκεια αυτής της περιόδου. Υπάρχουν σημαντικές διαφορές μεταξύ του δυτικού και του ανατολικού μέρους της Κρήτης, το ανατολικό είναι ξηρότερο και θερμότερο από το δυτικό μέρος, όπου υπάρχει και περισσότερο βλάστηση. Επιπλέον η θερμοκρασία της Κρήτης παρουσιάζει μεγάλες μεταβολές. Η θερμοκρασία κυμαίνεται μεταξύ 17-20 °C και κατά την διάρκεια της θερινής περιόδου η θερμοκρασία είναι υψηλότερη από 40 °C στην παράκτια ζώνη (Chartzoulakis et al, 2001).

Οι τοπικές αρχές εγκατέστησαν μετεωρολογικούς σταθμούς στην Κρήτη: Υπηρεσία Εγγείων Βελτιώσεων (ΥΕΒ), Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (ΕΜΥ), Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (ΙΓΜΕ), Υπουργείο Περιβάλλοντος Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων (ΥΠΕΧΩΔΕ), αλλά παρόλα αυτά η περιοχή δεν καλύπτεται σωστά. Υπάρχουν έξι σταθμοί των οποίων τα στοιχεία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την υδρογεωλογική έρευνα. Τρεις βρίσκονται μες στη λεκάνη και τρεις στο δυτικό μέρος κοντά στη λεκάνη (πίνακας 1.3). Λόγω του περιορισμού των μετεωρολογικών στοιχείων είναι πολύ δύσκολο να βρεθούν τα στοιχεία από τους διαφορετικούς σταθμούς για τις ίδιες περιόδους (Ζαρρής, 2008).

Πίνακας 1.3: Μετεωρολογικοί σταθμοί στην ευρύτερη περιοχή της λεκάνης Γεροπόταμου (Ζαρρής, 2008)

Μετεωρολογικοί σταθμοί	Τοπικές αρχές	Υψόμετρο (m)	Περίοδος δεδομένων
Γαράζο	ΥΕΒ	260	1996-2005
Ανώγεια	ΥΠΕΧΩΔΕ	740	1967-2000
Πέραμα	ΥΠΕΧΩΔΕ	90	1963-2006
Βυζάρι	ΥΕΒ	310	1969-2004
Καβούσι	ΥΕΒ	580	1969-1996 & 2006-2007
Ρέθυμνο	ΕΜΥ	5.1	1967-1996

Η λεκάνη Γεροποτάμου αποτελείται από τρεις υπολεκάνες: Περαματιανός, Ανωγιανός και Ζωνιανός. Η περιοχή μελέτης είναι τοποθετημένη στο βόρειο τμήμα της λεκάνης Περαματιανού (Εικόνα 1.4)



Εικόνα 1.4: Χάρτης υπολεκάνων λεκάνης Γεροπόταμου

1.7 ΓΕΩΛΟΓΙΑ-ΛΙΘΟΛΟΓΙΑ(ΤΥΠΟΙ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ)-ΔΟΜΗ

Η επιφανειακή γεωλογία της περιοχής αποτελείται από πλειόκαινες/ πλειστόκαινες θαλάσσιες αποθέσεις που εναποτίθενται πάνω από το παλαιότερο υπόβαθρο. Οι σχηματισμοί του Μειόκαινου υπέρκεινται ασύμφωνα των αλπικών σχηματισμών και αποτελούνται από βιογενείς ασβεστόλιθους, μαργαϊκούς ασβεστόλιθους, λατυποκροκαλοπαγή, ψαμμίτες, άμμους και μάργες (Ζαρρής 2008).

1.8 ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ

Το βόρειο τμήμα της περιοχής μελέτης (κατά μήκος της ακτής) αποτελείται από στεγανούς σχηματισμούς οι οποίοι λειτουργούν ως εμπόδιο για τα υπόγεια νερά. Η επαναφόρτιση του υδροφόρου στρώματος αναμένεται: α) από το ανατολικό και νότιο μέρος της περιοχής (ορεινή περιοχή) η οποία αποτελείται από ιδιαίτερα διαπερατούς σχηματισμούς και β) από το δίκτυο του ποταμού (δευτερεύουσα επαναφόρτιση).

Τα υδρογεωλογικά στοιχεία των γεωτρήσεων είναι διαθέσιμα από τις τοπικές αρχές. Έγινε χρήση στοιχείων από είκοσι δύο δημοτικές γεωτρήσεις (εννιά γεωτρήσεις για πόσιμο νερό, δεκατέσσερις γεωτρήσεις μόνο για άρδευση, όπως ταξινομήθηκαν από τις τοπικές αρχές) και δύο πηγές.

Οι δύο τοπικές πηγές, Γλυκιά και Αλμυρή, ερευνώνται δεδομένου ότι αντιπροσωπεύουν ένα ασυνήθιστο υδρογεωλογικό φαινόμενο. Απέχουν το λιγότερο διακόσια μέτρα μεταξύ τους, αλλά η ποιότητα του νερού διαφέρει κατά πολύ, αναδεικνύοντας έτσι την σύνθετη φύση των τοπικών υπόγειων υδροφόρων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται μια επισκόπηση της βιβλιογραφίας της περιοχής που μελετάμε. Δίνονται κάποιες βασικές πληροφορίες σχετικά με τη γεωλογία, τη τεκτονική και την υδρογεωλογία του Γεροπόταμου και στη συνέχεια γίνεται γεωχημική προσέγγιση από έρευνες διάφορων ερευνητών οι οποίοι έχουν μελετήσει το πρόβλημα της αλατότητας που μπορεί να οφείλεται στην Υφαλμύριση ή στους εβαπόριτες.

2.1.1 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΚΡΗΤΗΣ

Η Κρήτη δεν φημίζεται μόνο για τις αρχαιότητες, τον πολιτισμό και τη βιοποικιλότητά της, αλλά και για την εκπληκτική γεωλογία της. Πάνω στο νησί σχηματίζεται ένα πολύμορφο ανάγλυφο ως αποτέλεσμα της ενεργούς ορογενετικής διαδικασίας που προκαλείται από την υποβύθιση της αφρικανικής πλάκας κάτω από την ευρασιατική. Επιπλέον, η αναγνώριση πάνω στην Κρήτη δύο τουλάχιστον παλιότερων ορογενετικών διαδικασιών που έχουν αποτυπωθεί μέσα στα μεταμορφωμένα πετρώματα, επιτρέπει την ανάπτυξη της γεωλογικής εξέλιξης ολόκληρου του Αιγαίου χώρου, από το Ηώκαινο μέχρι σήμερα.

Το νότιο Ελληνικό τόξο σχηματίστηκε κατά τα τελικά στάδια της αλπικής ορογένεσης ως αποτέλεσμα της καταστροφής των υπολειμμάτων του ωκεανού της νέο-Τυθήως, που υπήρχε ανάμεσα στην Αφρικανική και Ευρασιατική ήπειρο. Όπως τα περισσότερα τμήματα του Ελληνικού τόξου, έτσι και η περιοχή της Κρήτης ήταν καλυμμένη από θάλασσα μέχρι τους πρόσφατους γεωλογικούς χρόνους. Διαδοχικές ορογενετικές διεργασίες προκάλεσαν σταδιακά την ανάδυση των πετρωμάτων τροφοδοτώντας ταυτόχρονα τις εξωτερικότερες λεκάνες με ιζήματα, όπως συνέβη με την ορογενετική διαδικασία του Παλαιοκαίνου-Ηώκαινου που τροφοδότησε με κλαστικό υλικό τις λεκάνες της Πίνδου, Τρίπολης και Πλακωδών ασβεστόλιθων. Η γεωλογική δομή της Κρήτης χαρακτηρίζεται από την ύπαρξη κυρίως αλπικών και προ-αλπικών πετρωμάτων τα οποία συνθέτουν ένα πολύπλοκο οικοδόμημα τεκτονικών καλυμμάτων. Επιπλέον όμως, χαρακτηρίζεται και από την εμφάνιση πολλών μετά-αλπικών ιζημάτων τα οποία καλύπτουν τις λεκάνες που χωρίζουν τα ψηλά βουνά. Το οικοδόμημα των καλυμμάτων της Κρήτης δημιουργείται από έναν αριθμό τεκτονικών ενοτήτων που τοποθετούνται η μια πάνω στην άλλη. Ανάλογα με την τεκτονο-στρωματογραφική τους θέση και τη μεταμορφική τους ιστορία, οι τεκτονικές αυτές ενότητες χωρίζονται από μια κύρια, κανονική ρηξιγενή, ζώνη απόσπασσης, σε δύο μεγάλες ομάδες, τα ανώτερα και τα κατώτερα καλύμματα. Τα κατώτερα καλύμματα, σε αντίθεση με τα ανώτερα, δέχθηκαν κατά το άνω Ολιγόκαινο / Κάτω Μειόκαινο, την επίδραση μιας

μεταμόρφωσης σε συνθήκες Υψηλής Πίεσης / Χαμηλής Θερμοκρασίας. Η εξαφάνιση ολόκληρων καλυμμάτων ή πετρωλογικών σχηματισμών από το οικοδόμημα των καλυμμάτων, είναι πολύ συχνή στην Κρήτη. Η περιοχή της Ανατολικής Κρήτης καλύπτεται κυρίως από ασβεστόλιθους, που διαμορφώνουν και το βασικό πυρήνα των ορεινών όγκων. Στα νότια παράλια όμως και στις κοιλάδες γύρω και νότια από την Σητεία, μέχρι και το Βάι στα ανατολικά, εκτείνονται λιμναία και ποτάμια ιζήματα και μάργες. Εκτεταμένη όμως και αινιγματική συνάμα, είναι η παρουσία ανάμεσα στους ασβεστόλιθους, χαλαζιτών και φυλλιτών μεγάλης ηλικίας. Είναι πολύ πιθανό, τμήματα της Αφρικανικής γης μετά το υποθαλάσσιο ταξίδι πολλών χιλιομέτρων, να μην βυθίστηκαν ακολουθώντας τα υπόλοιπα κομμάτια στα έγκατα της Κρήτης και του Αιγαίου, αλλά να ανέβηκαν στην επιφάνεια (πχ. Βάι και βόρειες πλαγιές Ορνού), σπρωγμένα από τις ίδιες δυνάμεις που δημιουργούν ολόκληρο το νότιο αιγαιακό τόξο, από τα Κύθηρα μέχρι τη Ρόδο. Η ιδιαίτερη μορφολογία του εδάφους που παρατηρείται στην περιοχή μπορεί να γίνει πιο κατανοητή εξετάζοντας εκτενέστερα κάποιες περιοχές του νομού Λασιθίου με πλούσιο γεωλογικό υλικό (<http://www.agrolasithi.gr/lasithi/geology.aspx>).

2.1.2 ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Γνώρισμα της γεωλογικής δομής της Κρήτης είναι η λεπιοειδής ανάπτυξη αλληπάλληλων τεκτονικών καλυμμάτων-ενοτήτων που κάθε ένα από αυτά συγκροτείται από διαφορετικούς λιθολογικούς σχηματισμούς με διαφορετική μεταμορφική και παραμορφωτική ιστορία.

Η λεπιοειδής αυτή διάταξη είναι αποτέλεσμα τεκτονικών διεργασιών που κορυφώθηκαν στο Τριτογενές και σχετίζονται με την βύθιση της Αφρικανικής πλάκας κάτω από την Ευρασιατική. Πρόκειται για ένα σύνθετο και πολύμεικτο τεκτονικό κάλλυμα που συγκροτείται από οφιολίθους, κρυσταλλοσχιστώδη, φυλλίτες και μη μεταμορφωμένα πετρώματα.

Στη γεωλογική δομή της Κρήτης συμμετέχουν νεογενείς και τεταρτογενείς σχηματισμοί των οποίων η απόθεση έχει λάβει χώρα σε μία ποικιλία περιβαλλόντων που ελέγχονταν από έναν τεκτονισμό, συνέπεια του οποίου διαμορφώθηκαν τεκτονικά κέρατα (περιοχές διάβρωσης) και τεκτονικά βυθίσματα (λεκάνες απόθεσης), (ελληνική δημοκρατία περιφέρεια Κρήτης, γενική δ/ση περιφέρειας, διεύθυνση υδάτων, τμήμα παρακολούθησης και ελέγχου της ποιότητας και της ποσότητας των υδάτων, Ηράκλειο 2009).

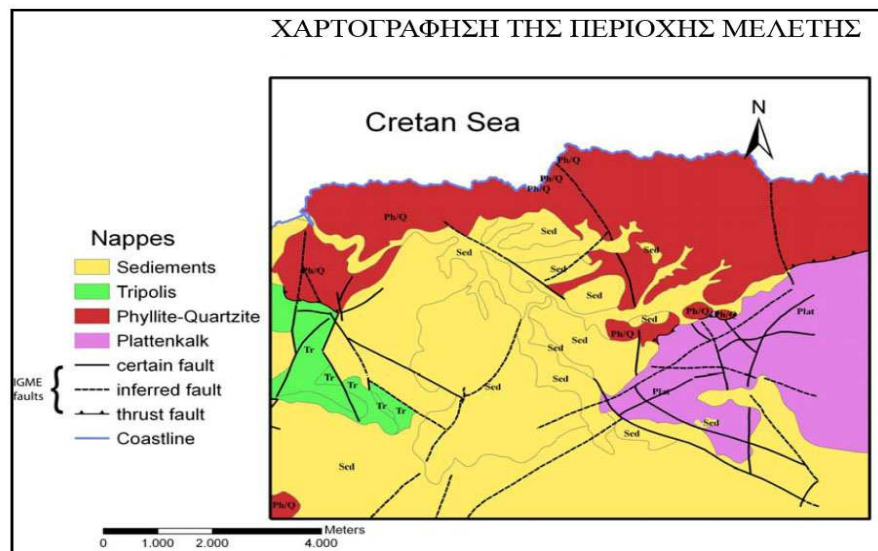
2.1.3 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Η γεωλογία της περιοχής του Γεροπόταμου έχει εξεταστεί και στο παρελθόν και από τις τοπικές αρχές και από τοπικούς γεωλόγους με έρευνες που βασίστηκαν στη λογοτεχνία και σε μερικές διερευνητικές γεωτρήσεις, χωρίς όμως να γίνει λεπτομερής μελέτη.

Η γεωλογία της περιοχής (βόρειο μέρος της λεκάνης Γεροπόταμου) αποτελείται κυρίως από μερικά από τα παλαιότερα πετρώματα της Κρήτης (καλύμματα φυλλίτη/χαλαζίτη και Plattenkalk) όπου υπερκαλύπτονται από τις νεογενείς και τις τεταρτογενείς αποθέσεις.

Στο βόρειο μέρος της περιοχής μελέτης κοντά στην ακτή απλώνεται το κάλυμμα των φυλλιτών/χαλαζιτών. Αυτό αποτελείται από χαμηλής διαπερατότητας πετρώματα (φυλλίτες και χαλαζίτες) και θεωρείται ένας «φραγμός» για το νερό της θάλασσας από τις τοπικές αρχές. Σύμφωνα τον Δρ. Χαράλαμπο Φασουλά, στο βόρειο-κεντρικό μέρος της Κρήτης το πάχος του καλύμματος αυτού είναι περίπου 500 m. Στο ανατολικό μέρος της περιοχής μελέτης βρίσκονται οι πρόποδες των Ταλέων Όρων, όπου συναντάμε δολομιτικούς ασβεστόλιθους και δολομίτες στο νότιο μέρος, στρωματολίτες από μάρμαρα και δολομιτικούς ασβεστόλιθους (Plattenkalk) στο βόρειο μέρος. Το κάλυμμα φυλλιτών/χαλαζιτών επικαλύπτει το κάλυμμα Plattenkalk με επώθηση (thrust fault). Πλειόκαινες/πλειστοκαινες θαλάσσιες καταθέσεις και μειοκαινικοί βιογονικοί ασβεστόλιθοι, μάργες, άργιλοι και κροκαλοπαγή καλύπτουν το μεγαλύτερο τμήμα του κεντρικού και του νότιου μέρους της περιοχής μελέτης. Τα νεογενή ιζήματα (N1) επικαλύπτονται από τα νεότερα ιζήματα, τα θαλάσσια (N2-Q1). Στην κορυφή της στρωματογραφίας βρίσκονται οι αλλούβιες αποθέσεις (Q2).

Η τεκτονική του Γεροπόταμου χαρακτηρίζεται από κανονικά ρήγματα διευθύνσεων ΒΔ-ΝΑ και ΒΑ-ΝΔ. Αυτά τα ρήγματα καθορίζουν την κατεύθυνση ροής των υπόγειων νερών και την πιθανή ρύπανση από την εισχώρηση του θαλασσινού νερού. Σε μερικές περιπτώσεις αυτές οι τεκτονικές δομές μπορούν να ενεργήσουν ως υπόγεια εμπόδια που οριοθετούν την μετακίνηση υπόγειων νερών.

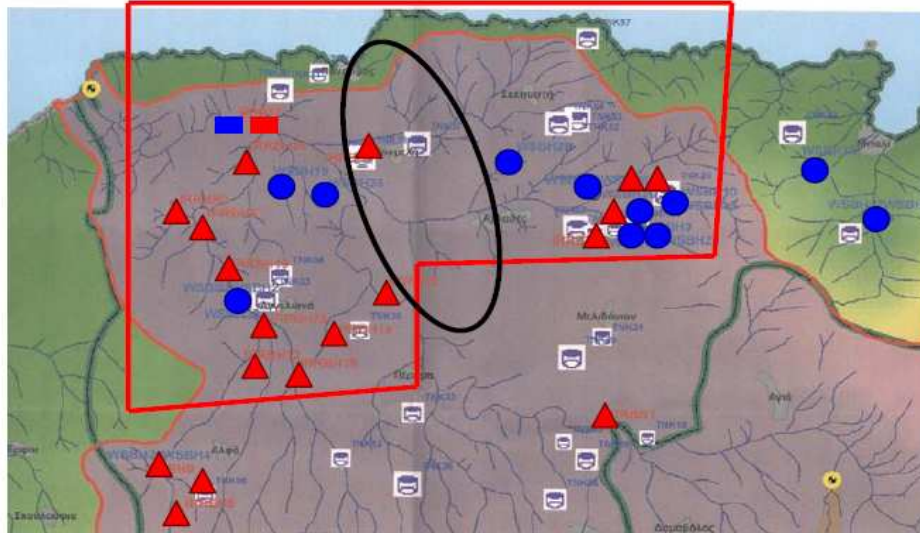


Εικόνα 2.1: Τεκτονικά καλύμματα της περιοχής έρευνας

2.1.4 ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Πολλές υδρογεωλογικές μελέτες έχουν πραγματοποιηθεί στην Κρήτη και μερικές από αυτές στην περιοχή του Ρεθύμνου. Όλες αυτές οι έρευνες βεβαιώνουν την αξία του γλυκού νερού και την αυξανόμενη ζήτηση του. Παρ' όλα αυτά, οι έρευνες συγκεκριμένα για τον Γεροπόταμο είναι ελλιπίεις και υπάρχουν αρκετές υποθέσεις, όσον αφορά την αιτία ρύπανσης του υπόγειου νερού της περιοχής, που δεν έχουν ακόμα επιβεβαιωθεί.

Η πρώτη ολοκληρωμένη μελέτη για την υδρογεωλογία του Ρεθύμνου πραγματοποιήθηκε το 1995 από τον ΙΓΜΕ Ρεθύμνου (Κνιθάκης, 1995) που ανατέθηκε το 1983 από το Υπουργείο Περιβάλλοντος (ΥΠΕΧΩΔΕ). Η μελέτη αυτή αποτελείται από έξι τόμους: γεωλογική/ υδρογεωλογική περιγραφή, διερευνητικές γεωτρήσεις, υδρομετεωρολογικά στοιχεία, γεωχημικές αναλύσεις, χάρτες και συμπεράσματα. Σε αυτή την μελέτη ερευνάται το βόρειο μέρος της λεκάνης του Γεροπόταμου και για πρώτη φορά εντοπίστηκε το πρόβλημα ρύπανσης της περιοχής. Έπειτα από μερικές χημικές αναλύσεις, υποθέτουν ότι υπάρχουν εβαπορίτες στα νεογενή πετρώματα. Ο λόγος στον οποίο έφθασαν σε αυτό το συμπέρασμα είναι λόγω ύπαρξης φυλλίτη/χαλαζίτη που βρίσκεται κοντά στην ακτή και γενικά λειτουργεί σαν ένα φράγμα για την διείσδυση του θαλασσινού νερού. Ένας άλλος λόγος είναι η πηγή Άδελε, δυτικά της περιοχής μελέτης, στην οποία έχει βρεθεί γύψος. Προς το παρόν δεν έχει γίνει περαιτέρω μελέτη γι' αυτό το πρόβλημα και στα στοιχεία που είχαμε από τις διερευνητικές γεωτρήσεις ή από τα φρεάτια για την περιοχή του Γεροπόταμου δεν βρέθηκαν ποτέ εβαπορίτες.



Εικόνα 2.2: Ποιοτική ταξινόμηση των υπόγειων νερών της περιοχής μελέτης, όπως είναι η χρήση από το Δήμο Γεροποτάμου (Ζαρρής,2008). Τα κόκκινα τρίγωνα και το κόκκινο τετράγωνο συμβολίζουν τις γεωτρήσεις και τη πηγή με την κακή ποιότητα νερού (μόνο για άρδευση). Το μπλε τετράγωνο και οι μπλε κύκλοι συμβολίζουν τη πηγή και τις γεωτρήσεις αντίστοιχα με το πόσιμο νερό.

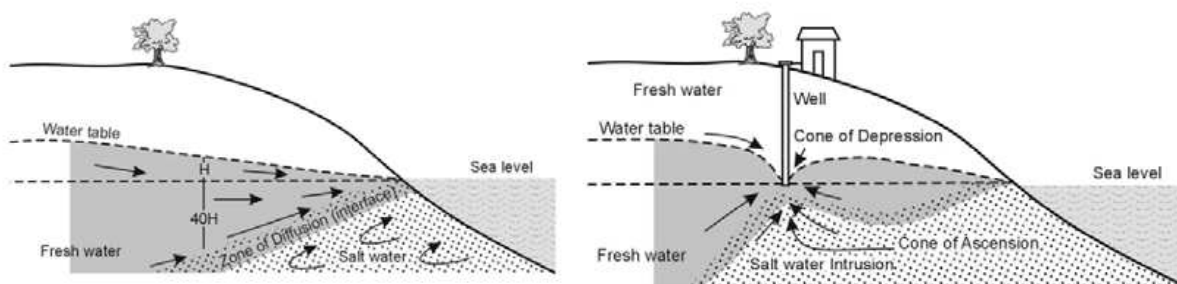
2.1.5 ΕΒΑΠΟΡΙΤΕΣ

Οι εβαπορίτες είναι ιζήματα που κατατίθενται από τα φυσικά νερά που έχουν συγκεντρωθεί ως αποτέλεσμα της εξάτμισης. Τα νερά αυτά μπορούν να είναι είτε θαλάσσια είτε ηπειρωτικά. Οι εβαπορίτες μπορεί να προέρχονται από γύψο, αλίτες, συλβίτες και άλλα πετρώματα. Τα πάχη των εβαπορίτων βρίσκονται σε μερικές ιζηματοώδεις λεκάνες. Εκεί λειτουργούν ως σημαντικά εμπόδια στη ροή υπόγειων νερών, αλλά μπορούν και να διαλυθούν εύκολα από τα υπόγεια νερά. Οι εβαπορίτες που βρίσκονται σε μεγάλο βάθος μπορούν να μεταφερθούν επικαλύπτοντας ιζήματα με μορφή αλάτων (Ingebritsen και Sanford, 1998).

Στην Ελλάδα, και ειδικά στην Κρήτη, οι εβαπορίτες έχουν διαμορφωθεί κυρίως λόγω της κρίσης της Μεσογείου, το οποίο συνέβη κατά τη νεολιθική περίοδο. Εκείνο το γεγονός προκάλεσε τη δημιουργία του γύψου που βρίσκεται στους νεολιθικούς σχηματισμούς και φυλλίτες και χαλαζίτες σε όλη την Κρήτη. Στη περιοχή μελέτης, νοτιοανατολικά του νομού Ρεθύμνης και δυτικά της λεκάνης του Γεροποτάμου έχει βρεθεί γύψος κατά τη διάρκεια διατρήσεων και είναι ο λόγος για τη ρύπανση των υπόγειων νερών εκείνης της περιοχής (Περιφέρεια Κρήτης, 1999).

2.1.6 ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΥΦΑΛΜΥΡΙΝΣΗΣ

Οι διεισδύσεις του νερού της θάλασσας εμφανίζονται λόγω της υψηλότερης πυκνότητας του αλμυρού νερού από του γλυκού νερού. Κατά συνέπεια, στις παράκτιες περιοχές το γλυκό νερό βρίσκεται κάτω από το αλμυρό νερό και το όριο μεταξύ τους κυμαίνεται ανάλογα με τις εποχιακές αλλαγές. Ο Ghyben (Drabbe και Badon Ghyben, 1888-1889) και ο και Herzberg (1901) ήταν δύο ευρωπαίοι επιστήμονες που αναγνώρισαν τη γνωστή σχέση Herzberg Ghyben. Αυτή η αρχή λέει ότι η θεωρητική διεπαφή εμφανίζεται σε ένα βάθος κάτω από το επίπεδο της θάλασσας που είναι 40 φορές το ύψος του γλυκού νερού επάνω από το επίπεδο της θάλασσας. Φυσικά, η γεωλογική μεταβλητότητα το κάνει πιο σύνθετο. Η ισορροπία μεταξύ του γλυκού νερού και του νερού της θάλασσας μπορεί να επηρεαστεί από τα υψηλά ποσοστά άντλησης από ένα παράκτιο υδροφόρο στρώμα. Έτσι, η στάθμη του γλυκού νερού πηγαίνει χαμηλότερα και το νερό της θάλασσας εισέρχεται περαιτέρω μες στο υδροφόρο στρώμα, που κάνει το νερό των γεωτρήσεων να έχει αλατότητα.



Εικόνα 2.3 (α) ισορροπημένη και (β) διαταραγμένη διεπαφή του αλατισμένου προς του γλυκού νερού σε μια παράκτια περιοχή (Kirsch, 2006 μετά από Keller, το 1988)

2.2 ΓΕΩΧΗΜΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

Για την προέλευση της αλατότητας των υπόγειων νερών χρησιμοποιούνται δείκτες ποιότητας (π.χ. Na:Cl, Mg:Cl κ.α.) και ειδικά διαγράμματα (π.χ. Piper, Duron, Stiff). Σε μερικές περιπτώσεις, όπως στη λεκάνη του Γεροπόταμου, η αναζήτηση του ρυπαντή είναι μία δύσκολη διαδικασία, αλλά πολλές εφαρμογές έχουν δείξει ότι η γεωχημεία μπορεί να δώσει αξιόπιστες απαντήσεις.

Στις παράκτιες περιοχές έχει πραγματοποιηθεί ένας μεγάλος αριθμός υδρογεωχημικών ερευνών, παίρνοντας δείγματα από τις γεωτρήσεις που είναι κοντά στη θάλασσα με στόχο την κατανόηση των διαδικασιών που επηρεάζουν την ποιότητα των υπόγειων νερών (Panagopoulos 2008, Pulido-Leboeuf 2004, Subba Rao 2005, El Moujabber 2006, Jeon 2001, Aris 2009, de Montety 2008, Sivan 2005, Park

2005) ή με στόχο την κατανόηση της πηγής μόλυνσης (Perry 2002, Sanchez-Martos 1999, Sanchez-Martos 2002).

Ο Panagoroulos το 2008 πραγματοποίησε έρευνα στο παράκτιο υδροφόρο στρώμα στην Τριφυλία. Η περιοχή αυτή παρουσιάζει ένα σύνθετο υδροχημικό χαρακτήρα λόγω των περίπλοκων γεωχημικών διαδικασιών. Η διάκρισή τους επιτεύχθηκε με τη χρησιμοποίηση των χημικών αναλύσεων από ιχνοστοιχεία και ισότοπα βορίου. Σημαντική ιονική σύνθεση δείχνει τη μίξη μεταξύ του νερού της θάλασσας και του γλυκού νερού. Η σχετικά αυξανόμενη θερμοκρασία του υδροφόρου στρώματος δείχνει την παρουσία υδροθερμικών υδάτων. Τα ισότοπα βορίου και τα ιχνοστοιχεία δείχνουν ότι το εισερχόμενο θαλασσίνο νερό έχει αλλάξει υδροθερμικά. Οι αναλύσεις ιχνοστοιχείων έδειξαν ότι τα υπόγεια νερά είναι εμπλουτισμένα στα διάφορα μεταλλικά στοιχεία, που προέρχονται από τους στερεούς υδρογονάνθρακες (πίσσες), στα ιζήματα ανθρακικού άλατος της ζώνης της Τρίπολης.

Ο Pulido-Leboeuf το 2004 προσπάθησε να προσδιορίσει τις υδρογεωχημικές διαδικασίες που συνοδεύουν την τρέχουσα παρείσφρηση του νερού της θάλασσας στην περιοχή Castell de Ferro, ένα παράκτιο υδροφόρο στρώμα στην Ισπανία, χρησιμοποιώντας ιονικά δέλτα, ιονικές αναλογίες και δείκτες κορεσμού. Καθορίστηκε επίσης ότι ενώ οι διαδικασίες της Υφαλμύρισης, που συνδέονται με τις περιόδους χαμηλών επιπέδων υπόγειων νερών, εμμένουν ακόμα στο υδροφόρο στρώμα, στον τομέα του ανθρακικού άλατος η διαδικασία ξεπλύματος των υγρότερων όρων έχει αρχίσει.

Ο Subba Rao το 2005 πραγματοποίησε μια ποιοτική έρευνα υπόγειων νερών για να αξιολογήσει φαινόμενα όπως είναι η υπερεκμετάλλευση των υπόγειων νερών που οδηγεί στην πτώση των σταθμών ύδατος, τα οποία οδηγούν στην παρείσφρηση του αλμυρού ύδατος κατά μήκος της ακτής Visakhapatnam Andra Pradesh, στην Ινδία. Αποτέλεσμα της μελέτης αυτής είναι ότι η υφάλμυρη φύση στα περισσότερα από τα υπόγεια νερά δεν οφείλεται στην επιρροή νερού της θάλασσας, αλλά προκαλείται με την υδρογεωχημική διαδικασία. Κάποια επιρροή του νερού της θάλασσας στην ποιότητα υπόγειων νερών παρατηρείται κατά μήκος των ρηγμάτων. Η συνδυασμένη επίδραση του νερού της θάλασσας και των αστικών απόβλητων που οφείλεται στην κατώτερη ποιότητα των υπόγειων νερών σε μερικές γεωτρήσεις, είναι στα τοπογραφικά χαμηλότερα σημεία κοντά στην ακτή.

Ο El Moy jabber το 2006 αξιολόγησε την κατάσταση της αλατοποίησης των υπόγειων νερών από την παρείσφρηση του νερού της θάλασσας στη λιβανέζικη ακτή, στην περιοχή chouifat-Rmeyle, που τοποθετήθηκε στο νότιο υποστήριγμα-Λιβάνου. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι περιοχές Chouifat, Jiye και Rmeyle υπόκειντο στην εισχώρηση νερού της θάλασσας. Αυτή η Υφαλμύριση άμεσα και

ταυτόχρονα αφορούσε την περίοδο και την ένταση της άντλησης αλλά συνδεόταν με την ποσότητα των βροχοπτώσεων. Αφορούσε επίσης τη γεωλογική φύση της περιοχής μελέτης. Επιπλέον, η πραγματική υφαλμύριση στην περιοχή μελέτης αυξάνει τα ήδη υπάρχοντα προβλήματα αλατότητας.

Ο Jeon το 2001 στην Κορέα προσδιόρισε την διαδικασία της αλατότητας. Τα υπόγεια νερά σε πολλές θέσεις στην περιοχή μελέτης δεν είναι κατάλληλα για το πόσιμο νερό λόγω της υψηλής αλατότητάς του, η οποία προκαλείται κυρίως από την εισχώρηση νερού από τη θάλασσα. Η χημική σύνθεση των υπόγειων νερών χαρακτηρίζεται από την υψηλή συγκέντρωση χλωριδίων και τις υψηλές παραλλαγές στις συγκεντρώσεις κατιόντων λόγω της αντίδρασης ανταλλαγής κατιόντων μεταξύ των μεταλλευμάτων υδροφόρων στρωμάτων και των τμημάτων νερού της θάλασσας. Τα υπόγεια νερά από το αλλούβιο υδροφόρο στρώμα παρουσιάζουν υψηλότερη αλατότητα στη περίοδο των βροχών από την περίοδο ξηρασίας, ενώ τα υπόγεια νερά στο υδροφόρο στρώμα του στρώματος βράχου παρουσιάζουν χαμηλότερη αλατότητα καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου. Τα στοιχεία ισοτόπων επίσης δείχνουν ότι τα υδρογεωχημικά χαρακτηριστικά των υπόγειων νερών όχι μόνο επηρεάζονται από την παρείσφρηση νερού της θάλασσας αλλά και από τις γεωργικές δραστηριότητες.

Ο Aris το 2009 πραγματοποίησε έρευνα σε ένα μικρό τροπικό νησί, το Manukan Sabah, στη Μαλαισία. Στο νησί αυτό παρατηρείται εντατική εκμετάλλευση των υπόγειων νερών, με αποτέλεσμα να έχει διαταραχθεί η φυσική ισορροπία μεταξύ των νωπών και των αλατούχων υδάτων, πράγμα το οποίο έχει οδηγήσει στην αύξηση της αλατότητας των υπογείων υδάτων. Σκοπός της έρευνας ήταν να προσδιοριστούν οι υδροχημικές διεργασίες που συνοδεύουν την τρέχουσα διεύδυση του θαλασσινού νερού μέσω ιοντικών αλλαγών και δεικτών κορεσμού.

Ο de Montety το 2008 προσδιόρισε την προέλευση της αλατότητας των υπόγειων υδάτων και των γεωχημικών διεργασιών που συμβαίνουν στο δέλτα του ποταμού Ροδανού, στη νότια Γαλλία, ανάλογα με το βαθμό της αλατότητας. Για τις χημικές και ισοτοπικές αναλύσεις πραγματοποίησε μηνιαίες δειγματοληψίες, οι οποίες δείχνουν ότι οι ισχυρές αλατότητες οφείλονται σε μία απλή ανάμειξη μεταξύ του θαλασσινού και του γλυκού νερού. Η εισβολή του θαλασσινού νερού ανάλογα με το βαθμό συμβολής του προκαλεί είτε αύξηση Na (συμβολή θαλασσινού νερού < 20%) είτε μείωση του SO₄ (συμβολή θαλασσινού νερού > 20%).

Ο Sivan το 2005 στο Ισραήλ με μια μελέτη προσπάθησε να ποσοτικοποιήσει τις γεωχημικές διεργασίες και το χρονοδιάγραμμα του θαλασσινού νερού σε ένα παράκτιο υδροφόρο ορίζοντα. Τα χημικά δεδομένα των ισοτόπων ανακάλυψαν τρεις τύπους νερού που βρίσκονται σε τρεις διαφορετικές ζώνες

στο παράκτιο υδροφόρο ορίζοντα: 1) SWS, τα δείγματα αυτά παρουσιάζουν ολική αλκαλικότητα, 2) SDS, είναι νερά που εμφανίζονται όταν SWS είναι ελαφρώς αραιωμένο, 3) FGW, προέρχεται από την ανάμιξη με το SDS. Αυτή η εντατική ανταλλαγή ιόντων αποτελεί φαινόμενο υφαλμύρισης.

Ο Park το 2005 προκειμένου να αξιολογήσει την υφαλμύριση στη δυτική παράκτια ζώνη της Νότιας Κορέας, πραγματοποίησε περιφερειακή μελέτη για την υδροχημική υφαλμύριση των παράκτιων υδροφόρων οριζόντων, στη δυτική παράκτια ζώνη της Νότιας Κορέας. Πήρε δείγματα σε 356 ρηχά υπόγεια νερά σε απόσταση 10 km από την ακτογραμμή. Περίπου 13,5 και 37% των δειγμάτων υπερβαίνουν τα πρότυπα πόσιμου νερού για το σύνολο των διαλυμένων στερεών, χλώριο και νιτρικά άλατα αντίστοιχα, έχοντας σαν αποτέλεσμα σημαντική επιδείνωση και υφαλμύριση των υπόγειων νερών. Οι συγκεντρώσεις που αναλύθηκαν των διαλυμένων ουσιών υποδηλώνουν ότι η υδροχημεία ελέγχεται από διάφορες διαδικασίες όπως είναι η ανάμιξη θαλασσινού νερού, η ανθρωπογενής μόλυνση και το νερό που διαβρώνει το πέτρωμα.

Ο Perry το 2002 μελέτησε με βάση τη γεωχημεία των υπόγειων νερών, τη στρωματογραφία και τα κυματοειδή και τεκτονικά χαρακτηριστικά, στη βόρεια Yucatan χερσόνησο, στο Μεξικό, ένα πιθανό ανάλογο για τις αρχαίες πλατφόρμες ανθρακικού άλατος, το οποίο διαιρείται σε έξι υδρογεωχημικές/φυσικές: (1) η ιζηματώδης λεκάνη Chicxulub, μια τριτογενής λεκάνη μέσα στον αντίκτυπο Chicxulub φτιάχνει κρατήρα, (2) Cenote δαχτυλίδι, μια ημικυκλική περιοχή των τρυπών αποχέτευσης, (3) βλογοκομμένη έκταση, μια περιοχή του ώριμου καρστ, (4) ζώνη ελαττωμάτων Ticul, (5) ζώνη-Xel-εκταρίου σπασίματος Holbox και (6) περιοχή Εβαπορίτη. Τα περιφερειακά χαρακτηριστικά προκύπτουν από την τεκτονική, τον τύπο πετρωμάτων και τα σχέδια της ιζηματογένεσης, της διάβρωσης, και των βροχοπτώσεων.

Ο Sanchez Martos το 1999 στην Αλμέρια, Νότιο-Ανατολικά της Ισπανίας, για την ταυτοποίηση των υδρογεωχημικών διαδικασιών πραγματοποίησε μια μελέτη μιας σειράς ιοντικών αναλογιών, συμπεριλαμβανομένων των κύριων συστατικών μαζί με το B και το Li (Cl προς SO₄, CL προς Mg, Cl προς Li, B προς Li). Μεταξύ των διαδικασιών που ανιχνεύθηκαν, η κυκλοφορία των υπόγειων νερών με τις υψηλές συγκεντρώσεις SO₄ βρέθηκε να έχει σημαντικά αποτελέσματα. Η χρήση του B και του Li επιτρέπει μαζί τα ύδατα στα οποία η αλατότητα συσχετίζεται με το νερό της θάλασσας, που διακρίνεται από άλλα στα οποία η αλατότητα συσχετίζεται με εβαπόριτες ή με τις θερμικές περιοχές. Η συγκέντρωση του Li συσχετίζεται άμεσα με τη θερμοκρασία ύδατος, ενώ αυτή του B είναι μεγαλύτερη στους πιο αλατούχους τομείς.

Ο Sanchez-Martos το 2002 μελέτησε την υφαλμύριση των υπόγειων υδάτων στον υδροφορέα της Κάτω Andarax, νοτιοανατολικά της Ισπανίας, η οποία είναι ιδιαίτερα πολύπλοκη λόγω του ημίξηρου κλίματος, της παρουσίας των εβαπορίτων, κοντά στην θάλασσα και την τοπική γεωθερμική επιφάνεια της περιοχής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗΣ

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Μέρος του κεφαλαίου αυτού είναι βασικές πληροφορίες που αφορούν την συλλογή του δείγματος, την συντήρηση του και αποθήκευση του. Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι φυσικές ιδιότητες κάθε χημικής παραμέτρου, τα μέταλλα και τα ανόργανα μη μεταλλικά στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση της εργασίας αυτής, καθώς και μια σύντομη περιγραφή του καθενός.

3.1.1 ΒΑΣΙΚΟΙ ΚΑΝΟΝΕΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ

Για ακριβή και σωστά αποτελέσματα μιας δειγματοληψίας βασική προϋπόθεση είναι να γίνει σύμφωνα με τους κανόνες η συλλογή και η συντήρηση του δείγματος. Παρακάτω δίνονται οι βασικοί κανόνες μιας δειγματοληψίας:

- Το δείγμα πρέπει να είναι αντιπροσωπευτικό και να αντιστοιχεί στις συνηθισμένες συνθήκες του προς ανάλυση υλικού
- Η συλλογή και η μεταφορά του δείγματος στο εργαστήριο πρέπει να εξασφαλίζουν την διατήρηση των χαρακτηριστικών του δείγματος και να αποκλείουν την αλλοίωση του.
- Η συλλογή δειγμάτων νερού γίνεται συνήθως σε φιάλες επιμελώς καθαρισμένες. Αν πρόκειται να γίνει και μικροβιολογικός έλεγχος, το δοχείο δειγματοληψίας πρέπει να είναι αποστειρωμένο.
- Κάθε δοχείο δειγματοληψίας σημαίνεται με ετικέτα, που αναγράφει όλες τις απαραίτητες πληροφορίες για την ταυτοποίηση ή αναγνώριση του, όπως το όνομα και η ιδιότητα του δειγματολήπτη, ημερομηνία, ώρα, ακριβή τοποθεσία, θερμοκρασία νερού και όποια στοιχεία απαιτούνται για την σύγκριση και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων, όπως καιρικές συνθήκες, στάθμη νερού, βάθος, ύπαρξη ρευμάτων κλπ. Εναλλακτικά το δείγμα μπορεί να σημαίνεται με ένα αριθμό και οι απαραίτητες πληροφορίες για την αναγνώριση του δείγματος να γράφονται σε ειδικά δελτία δειγματοληψίας, που συνοδεύουν τις φιάλες δειγματοληψίας.
- Εφόσον λαμβάνονται δείγματα από επιφανειακούς αποδέκτες, τα σημεία δειγματοληψίας σημειώνονται σε τοπογραφικό χάρτη, με χρήση πυξίδας και τοπογραφικών οργάνων ή σε σχέση με σταθερά σημεία (π.χ. γέφυρα, δρόμος,

ξενοδοχείο κλπ), με τρόπο ώστε να είναι η επανάληψη της δειγματοληψίας. (Κ.Ζανάκη 1996)

3.1.2 ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ ΑΠΟ ΔΙΚΤΥΟ ΣΩΛΗΝΩΣΕΩΝ

Αφήνουμε να διέλθει, για 2-3 λεπτά, αρκετό νερό ώστε να καθαρίσει ο σωλήνας από το στάσιμο νερό και να απομακρυνθούν όλα τα ιζήματα και εγκλωβισμένα αέρια. Στη συνέχεια, ρυθμίζουμε την παροχή της βρύσης τουλάχιστον σε 0,5 L/min. Τοποθετούμε τη φιάλη δειγματοληψίας κάτω από τη βρύση και πριν συλλέξουμε το δείγμα αφήνουμε να υπερχειλίσει όγκος ίσος τουλάχιστον 10 φορές με τον όγκο της φιάλης δειγματοληψίας. (Κ.Ζανάκη 1996)

3.1.3 ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ

Επειδή συνήθως, δεν είναι δυνατόν χρονικά, η ανάλυση να γίνει αμέσως μετά τη δειγματοληψία και παρεμβάλλεται κάποιο διάστημα από την στιγμή της δειγματοληψίας μέχρι την ανάλυση, πρέπει με κάποιο τρόπο να διατηρηθεί η αρχική σύσταση του δείγματος που συνήθως τείνει να μεταβληθεί. Έτσι, υπάρχει κίνδυνος αλλοίωσης των χημικών και μικροβιολογικών χαρακτηριστικών. Γι' αυτό, ανάλογα με το προς προσδιορισμό παράμετρο, προστίθεται το κατάλληλο συντηρητικό.

3.2 ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ, ΜΕΤΑΛΛΑ ΚΑΙ ΑΝΟΡΓΑΝΑ ΜΗ ΜΕΤΑΛΛΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Στους πίνακες 3.1, 3.2 και 3.3 παρουσιάζονται όλες οι μετρήσιμες χημικές παράμετροι και οι μεθοδολογίες που χρησιμοποιούνται σε αυτή την εργασία.

Πίνακας 3.1: Πίνακας των φυσικών ιδιοτήτων και των μεθόδων μέτρησης που χρησιμοποιήθηκε για καθεμία

ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

Χημικοί παράμετροι	Μεθοδολογία
αλκαλικότητα	μέθοδος τιτλοδότησης
σκληρότητα	μέθοδος EDTA
αγωγιμότητα	αγωγιμόμετρο
αλατότητα	μέθοδος ηλεκτρικής αγωγιμότητας
θερμοκρασία	ψηφιακό θερμόμετρο (επί τόπου)

Πίνακας 3.2.: Πίνακας των μετάλλων και της μεθόδου μέτρησης τους

ΜΕΤΑΛΛΑ

Χημικοί παράμετροι	Μεθοδολογία
ασβέστιο	φασματοσκοπία ατομικής απορρόφησης
μαγνήσιο	
κάλιο	
νάτριο	
σίδηρος	

Πίνακας 3.3: Πίνακας των ανόργανων μη μεταλλικών στοιχείων και η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε για το καθένα.

ΑΝΟΡΓΑΝΑ ΜΗ ΜΕΤΑΛΛΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Χημικοί παράμετροι	Μεθοδολογία
χλωριόντα	μέθοδος νιτρικού αργύρου
άζωτο νιτρικών αλάτων	μέθοδος των υπεριωδών ακτινών
θειικό άλας	ημι-ποσοτική μέθοδος
pH	πεχάμετρο

3.3 ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

Έχουμε πέντε φυσικές ιδιότητες: Αλκαλικότητα (HCO_3 , συγκέντρωση), σκληρότητα, αγωγιμότητα (και TDS), αλατότητα και θερμοκρασία.

3.3.1 ΑΛΚΑΛΙΚΟΤΗΤΑ

Η Αλκαλικότητα εκφράζεται ως mg CaCO_3/L και η συγκέντρωση διτανθρακικών αλάτων ως mg HCO_3/L . Η αλκαλικότητα του ύδατος μετράει την ικανότητα να εξουδετερωθεί ένα οξύ και έχει την ιδιότητα να αποθηκεύει την ικανότητα αυτή του νερού, δηλαδή η ικανότητα να αντισταθεί σε μια αλλαγή στο pH ως οξύ προστίθεται (AWWA Staff 1995). Η μέθοδος που επιλέχθηκε για τον καθορισμό της αλκαλικότητας είναι η τιτλοδότηση. 25 ml διαλύματος HCL 0.1 M τιτλοδοτήθηκαν με πρότυπο διάλυμα NaOH 0.10 M.

3.3.2. ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ

Η σκληρότητα εκφράζεται ως mg CaCO_3/L . Είναι ένα μέτρο Ca^{2+} και Mg^{2+} , άλατα στο νερό, τα οποία βρίσκονται ως άλατα διτανθρακικών αλάτων (AWWA Stuff, 1995). Η μέθοδος που επιλέχθηκε για τον καθορισμό σκληρότητας είναι με EDTA. Με σιφώνιο μεταφέρονται 25 ml δείγματος σε κωνική φιάλη των 50 ml, προστίθεται 1 ml από το ρυθμιστικό διάλυμα (διαλύονται 67,5gr NH_4Cl σε 570 ml αμμωνίας, μετά προσθέτονται 5 gr δινατριομαγνησιακού άλατος EDTA και αραιώνονται με αποσταγμένο νερό μέχρι τελικού όγκου 1L). Αναδεύουμε και προσθέτουμε 3 σταγόνες δείκτη Eriochrome Black T, μπλε, ωστόσο το δείγμα να γίνει ανοιχτό κόκκινο. Τιτλοδοτούμε αμέσως με διάλυμα EDTA με ταυτόχρονη ανάδευση. Η τιτλοδότηση γίνεται γρήγορα στην αρχή και αργά προς το τέλος. Όταν το χρώμα του διαλύματος αρχίζει να αλλάζει από κόκκινο σε μπλε τότε το διάλυμα EDTA πρέπει να προστίθεται σταγόνα-σταγόνα. Η τιτλοδότηση τελειώνει όταν εξαφανιστεί και η τελευταία κόκκινη απόχρωση.

σκληρότητα (EDTA) σε mg/L $\text{CaCO}_3 = A \cdot B \cdot 1000 / \text{ml}$ δείγματος

όπου: A ml του διαλύματος EDTA που χρησιμοποιήθηκαν
B mg του CaCO₃ που περιέχονται σε 1,00 ml διαλύματος EDTA. (Κ.Ζανάκη, 1996)

3.3.3. ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ

Η αγωγιμότητα εκφράζεται σε μS/cm και σε mg/L η αγωγιμότητα TDS. Η αγωγιμότητα ενός διαλύματος αποτελεί μέτρο της ικανότητας του να μεταφέρει ηλεκτρικό ρεύμα και ποικίλει ανάλογα με τον αριθμό και το είδος (μονοσθενή, δισθενή κ.τ.λ.) των ιόντων που βρίσκονται στο διάλυμα. Η μέθοδος που μετράμε την αγωγιμότητα είναι με μια κυψελίδα αγωγιμότητας συνδεδεμένη σε κύκλωμα γέφυρας Wheat-stone. Αρχικά έγινε βαθμονόμηση του αγωγιμόμετρου και έπειτα τοποθετήθηκε το διάλυμα σε ένα ποτήρι βρασμού και μέσα σε αυτό η κυψελίδα αγωγιμότητας μέχρι όλο το άνοιγμα να έχει βυθιστεί κάτω από την επιφάνεια και καταγράφηκε η αγωγιμότητα του δείγματος. Η ίδια διαδικασία επαναλήφθηκε για όλα τα δείγματα (Νίκος Λυδάκης, 2007). Μία δεύτερη μέθοδος χρησιμοποιήθηκε (μόνο για την δειγματοληψία Οκτωβρίου) για τον προσδιορισμό TDS.

3.3.4 ΑΛΑΤΟΤΗΤΑ

Ως αλατότητα του νερού ορίζεται η συγκέντρωση των ολικών στερεών που περιέχονται στο θαλασσινό νερό όταν όλα τα ανθρακικά άλατα έχουν μετατραπεί σε οξείδια, όλα τα βρωμιούχα και ιωδιούχα έχουν αντικατασταθεί από χλωριούχα και όλες οι οργανικές ουσίες έχουν πλήρως οξειδωθεί. Ο μόνος αξιόπιστος τρόπος για τον προσδιορισμό της «απόλυτης αλατότητας» του νερού είναι η πλήρης χημική ανάλυση. Κάτι τέτοιο όμως θα ήταν εξαιρετικά χρονοβόρο. Έτσι στην πράξη, η αλατότητα προσδιορίζεται με έμμεσες μεθόδους οι οποίες βασίζονται κυρίως στις φυσικές ιδιότητες του νερού, όπως η αγωγιμότητα, πυκνότητα κλπ. Η αριθμητική τιμή της αλατότητας είναι συνήθως μικρότερη από την τιμή των ολικών διαλυμένων στερεών. Η αλατότητα εκφράζεται σε γραμμάρια ανά χιλιόγραμμο (g/kg) ή ως ποσοστό επί τις χιλιάδες και συνηθίζεται η αλατότητα να συμβολίζεται ως S (Κ.Ζανάκη 2001). Όταν μετράμε την αλατότητα του νερού, ουσιαστικά υπολογίζουμε το πόσο διαλυμένο αλάτι υπάρχει στο νερό, η συγκέντρωση αυτή μετριέται σε ανά εκατομμύριο (ppm) ή σε χιλιοστά (ppt). Οι κατηγορίες της αλατότητας φαίνονται παρακάτω.

πόσιμο νερό : 0.1ppt
περιορισμός για το πόσιμο νερό : 0.5ppt
όριο πόσιμο νερό : 1ppt
όριο άρδευση γεωργία : 2ppt
υφάλμυρο νερό : 0,5 - 30ppt
θαλασσινό νερό : 30 - 50ppt
Άλμη > 50ppt

Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε για την μέτρηση της αλατότητας είναι η μέθοδος αγωγιμότητας. Γίνεται με ειδικά όργανα, τα αγωγιμόμετρα, γνωστά και ως σαλινόμετρα. Η ρύθμιση του οργάνου γίνεται με πρότυπο θαλασσινό νερό (γνωστό και ως νερό της Κοπεγχάγης, το οποίο κυκλοφορεί σε αμπούλες 200ml), με αλατότητα και χλωριότητα, υπολογισμένη με ακρίβεια τριών δεκαδικών ψηφίων ή με πρότυπα διαλύματα KCl συγκεκριμένης αγωγιμότητας (Κ.Ζανάκη 2001). Σε 100gr του διαλύματος μας προστέθηκαν 3,243 gr KCl. Μετρήθηκε η αγωγιμότητα του διαλύματος KCl σε 24,5 ° C και βρέθηκε 59,3. Ο λόγος της αγωγιμότητας ορίζεται ως $R_t = C (\text{δείγμα του } t) / C (\text{KCl λύση σε } t)$ (ισχύει από $S=2$ μέχρι 42), όπου $C =$ αγωγιμότητα και $t =$ θερμοκρασία. Η αλατότητα είναι ανάλογη της αγωγιμότητας.

$$S = a_0 + a_1 R_t^{1/2} + a_2 R_t + a_3 R_t^{3/2} + a_4 R_t^2 + a_5 R_t^{5/2} + \Delta S$$

$$\text{Όπου } \Delta S = [t - 15 / 1 + 0.0162(t - 15)] * (b_0 + b_1 R_t^{1/2} + b_2 R_t + b_3 R_t^{3/2} + b_4 R_t^2 + b_5 R_t^{5/2})$$

και

$a_0 = 0.0080$	$b_0 = 0.0005$
$a_1 = -0.1692$	$b_1 = -0.0056$
$a_2 = 25.3851$	$b_2 = -0.0066$
$a_3 = 14.0941$	$b_3 = -0.0375$
$a_4 = -7.0261$	$b_4 = 0.0636$
$a_5 = 2.7081$	$b_5 = -0.0144$

Η αλατότητα των δειγμάτων μας ήταν χαμηλή, έτσι η εξίσωση που ισχύει είναι από 0 έως 40 αλατότητα είναι:

$$S = S_{pss} - a_0 / 1 + 1,5X + X^2 - b_0 f(t) / 1 + Y^{1/2} + Y^{3/2}$$

Όπου : $S_{pss} =$ αξία που καθορίζεται από την κλίμακα αλατότητας που έχει δοθεί νωρίτερα,

$$\begin{aligned} a_0 &= 0.008 \\ b_0 &= 0.0005 \\ X &= 400R_t \\ Y &= 100R_t \end{aligned}$$

$$\text{και } f(t) = (t - 15) / [1 + 0.0162(t - 15)]$$

3.3.5 ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ

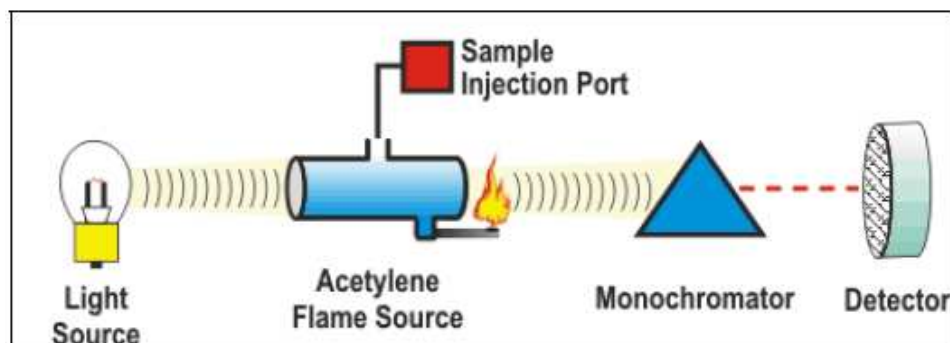
Η θερμοκρασία του νερού είναι μια φυσική παράμετρος με ιδιαίτερα μεγάλη σημασία. Το ποσοστό στο οποίο οι χημικές ουσίες διαλύουν και αντιδρούν εξαρτάται από την θερμοκρασία. Αύξηση της θερμοκρασίας σε μια χημική αντίδραση έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της κινητικής ενέργειας των αντιδρώντων. Αυτό επιδρά στην ταχύτητα της χημικής αντίδρασης με δύο τρόπους: α) Μεγαλύτερη κινητική ενέργεια των μορίων σημαίνει ότι μεγαλύτερο ποσό ενέργειας είναι διαθέσιμο κατά την σύγκρουση τους, και μεγαλύτερο ποσοστό από τις συγκρούσεις αυτές είναι ενεργές στην μονάδα του

χρόνου, β) Μεγαλύτερη κινητική ενέργεια σημαίνει μεγαλύτερη ταχύτητα κίνησης των μορίων στο δοχείο αντίδρασης, ($u = \sqrt{2E_{kin}/m}$), συνεπώς μεγαλύτερος αριθμός συγκρούσεων στην μονάδα του χρόνου. Σε πολλές χημικές αντιδράσεις, με αύξηση της θερμοκρασίας κατά 10°C η ταχύτητα διπλασιάζεται (Νίκος Λυδάκης 2007).

Από όλες τις παραμέτρους που μετριοούνται στην εργασία αυτή, η θερμοκρασία είναι η μοναδική που μετρήθηκε επί τόπου κατά την διάρκεια των δειγματοληψιών. Η συσκευή που χρησιμοποιήθηκε είναι το ψηφιακό θερμόμετρο από Frio-Temp® με εύρος-50 με 300°C (-58 με 572°F). Ακρίβεια: $\pm 0,5^{\circ}$ -20 με 70°C .

3.4.ΜΕΤΑΛΛΑ

Τα μέταλλα δεν είναι γενικά επιβλαβή στην ανθρώπινη υγεία, όπως ασβέστιο, μαγνήσιο, κάλιο, σίδηρος και νάτριο τα οποία είναι ουσιαστικά για τις ανθρώπινες λειτουργίες. Στο νερό μπορούν να εμφανιστούν από φυσικούς παράγοντες ή από αποτέλεσμα μόλυνσης. Το όργανο που χρησιμοποιείται για την μέτρηση των μετάλλων είναι το φασματοφωτόμετρο ατομικής απορρόφησης και τα αποτελέσματα δίνονται σε mg/L. Τα βασικά μέρη ενός φασματοφωτόμετρου ατομικής απορρόφησης είναι μια πηγή ακτινοβολίας, μια κυψελίδα ατομοποίησης, ένας μονοχρωμάτορας και ένας ανιχνευτής. (Εικόνα 3.1) Μέσα από την κυψελίδα ατομοποίησης περνά η ακτινοβολία που προέρχεται από μια ειδική λυχνία, η οποία αποτελείται από το γραμμικό φάσμα εκπομπής του υπό ανάλυση στοιχείου. Ο βαθμός εξασθένησης της έντασης της ακτινοβολίας αυτής είναι πολύ μεγαλύτερος από τον βαθμό εξασθένησης ακτινοβολίας του λευκού φωτός (με όλα τα μήκη κύματος από 350nm μέχρι 750nm). Το γεγονός αυτό είναι το βασικό πλεονέκτημα της φασματοσκοπίας ατομικής απορρόφησης γιατί έχει σαν αποτέλεσμα υψηλή ευαισθησία, μικρή πιθανότητα φασματικών παρεμποδίσεων και σχετικά μικρό κόστος (Λυδάκης, 2007).



Εικόνα 3.1: Αρχή λειτουργίας της ατομικής απορρόφησης, το φασματόμετρο (ETS Labs, 2009).

Η τεχνική φασματοσκοπίας ατομικής απορρόφησης απαιτεί ένα υγρό δείγμα που αναρροφάται μέσω ενός τριχοειδούς σωλήνα, παρασυρόμενο από ένα ρεύμα οξειδωτικού σε ένα εκνεφωτή, όπου μετατρέπεται σε αερόλυμα (aerosol). Ο εκνεφωτής βρίσκεται στο ένα άκρο θαλάμου ανάμιξης όπου εκτός από το αερόλυμα του δείγματος και το οξειδωτικό, διοχετεύεται και καύσιμο. Τα αερόλυμα παρασύρεται από το ρεύμα του οξειδωτικού και του καύσιμου μέσα σε ένα σύστημα κοχλιών (spoilors) στο θάλαμο ανάμιξης όπου τα μεγαλύτερα σε μέγεθος σταγονίδια κατακρατούνται, πέφτουν στον πυθμένα του θαλάμου ανάμιξης και τελικά απομακρύνονται στα απόβλητα.

Η βαθμονόμηση μέσω διάφορων μέτρων είναι απαραίτητη, συμπεριλαμβάνοντας πάντα παρεμβολές που μπορεί να έχει υποστεί το δείγμα ελέγχου. Ακολουθεί επαλήθευση βαθμονόμησης, σύμφωνα με τα πρότυπα βαθμονόμησης. Απαιτείται προσεκτική βαθμονόμηση το εύρος της βαθμονόμησης και η τυποποιημένη καμπύλη δηλώνεται από το νόμο του Beer (η απορρόφηση του κατάλοιπου απορρόφησης είναι ανάλογη προς την συγκέντρωση του). Το αποτέλεσμα του συντελεστή συσχέτισης του συνόλου αποδεχτών και των καμπυλών βαθμονόμησης για όλους τους προσδιορισμούς των μετάλλων ήταν μεταξύ 0,999 και 1 (υψηλή συσχέτιση ποιότητας).

3.5 ΑΝΟΡΓΑΝΑ ΜΗ ΜΕΤΑΛΛΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

3.5.1 ΧΛΩΡΙΟ

Το χλώριο εκφράζεται σε mg/L. Είναι ένα από τα σημαντικότερα ανόργανα ανιόντα των νερών και των αποβλήτων. Στα φυσικά επιφανειακά και στα υπόγεια νερά η συγκέντρωση των χλωριόντων διαφέρει και εξαρτάται από την χημική σύσταση των πετρωμάτων, από τα οποία διέρχεται το νερό. Υψηλές τιμές χλωριόντων παρατηρούνται και σε όλα σχεδόν τα υπόγεια νερά των παράκτιων περιοχών, λόγω των υπεραντλήσεων και της προέλασης του θαλάσσιου μετώπου. (Ζανάκη, 2001). Τα χλωρίδια είναι άλατα που προέρχονται από το συνδυασμό αερίου με ένα μέταλλο. Τα πιο γνωστά είναι χλωριούχο νάτριο (NaCl) και το χλωρίδιο του μαγνησίου ($MgCl_2$). Το χλώριο (Cl_2) είναι ιδιαίτερα τοξικό και χρησιμοποιείται συχνά ως απολυμαντικό. Η μέθοδος που χρησιμοποιείται για την μέτρηση του χλωρίου είναι η μέθοδος νιτρικού αργύρου, κατάλληλη για σχετικά καθαρά νερά με συγκέντρωση χλωριόντων από 1,5 έως 100 mg/L. Πρόκειται για μια ογκομετρική μέθοδο που στηρίζεται στη δέσμευση των χλωριόντων υπό τη μορφή $AgCl_2$, παρουσία δείκτη χρωμικού καλίου κατά την ογκομέτρηση ορισμένης ποσότητας δείγματος, με διάλυμα νιτρικού αργύρου ($AgNO_3$) (Ζανάκη, 2001). Για τον δείκτη χρωμικού καλίου διαλύθηκαν 2 gr K_2CrO_4 σε αποσταγμένο νερό 100mL, 2 % w/v. Για το πρότυπο διάλυμα νιτρικού αργίλου $AgNO_3$ 0,0141 M διαλύθηκαν 0,598 gr $AgNO_3$ σε αποσταγμένο νερό και αραιώθηκαν σε 250 mL. 2,5 mL δείγματος ήταν αραιωμένα σε 25 ml με αποσταγμένο νερό σε μια κωνική φιάλη. Στη συνέχεια, 1ml του δείκτη προστέθηκε. Τίτλοδοτήθηκε με

AgNO₃ διαλύματος τιτλοδότησης αργά με συνεχή ανάδευση σε ένα ροζ κίτρινο τελικό σημείο. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται μία ακόμη φορά.

Υπολογισμός : $\text{mg Cl}^-/\text{L} = (\text{A}-\text{B}) \cdot \text{N} \cdot 35450/\text{mL δειγματος}$

Όπου: A=mL για την ογκομέτρηση του δείγματος

B=mL για την τιτλοδότηση του δείγματος

N=η κανονικότητα του διαλύματος AgNO₃

3.5.2 ΑΖΩΤΟ ΝΙΤΡΙΚΩΝ ΑΛΑΤΩΝ

Στα επιφανειακά και στα υπόγεια νερά οι συγκεντρώσεις των νιτρικών είναι συνήθως μικρές. Η παρουσία υψηλών συγκεντρώσεων στα επιφανειακά και στα υπόγεια νερά, είναι δείκτης ρύπανσης των υδάτων από λιπάσματα ή λύματα και απόβλητα. Οι μονάδες μέτρησης των νιτρικών ιόντων εκφράζονται σε mg/L. Για την προσέγγιση της συγκέντρωσης του δείγματος σε νιτρικά χρησιμοποιήσαμε την μέθοδο των υπεριωδών ακτινών (η μέθοδος αυτή είναι κατάλληλη για καθαρά νερά). Με την μέθοδο αυτή προσδιορίστηκε η απορρόφηση των νιτρικών ιόντων (NO₃), στα 220 nm (Ζανάκη, 2001). Για την διόρθωση των τιμών πραγματοποιήθηκε μια δεύτερη μέτρηση στα 275nm. Η έκταση αυτής της εμπειρικής διόρθωσης αφορά τη φύση και τη συγκέντρωση της οργανικής ύλης και μπορεί να διαφέρει από το ένα δείγμα νερού σε ένα άλλο. Τρία NO₃ πρότυπα βαθμονόμησης χρησιμοποιήθηκαν από 0 έως 7 mg NO₃-N/L (1.3.7 m/L),στα οποία έγινε η ίδια διαδικασία ξανά. Έπειτα ξηραίνεται ορισμένη ποσότητα KNO₃ στους 105°C 2 ώρες. Προσδιορίστηκε μετά η απορρόφηση NO₃ στα 220nm και 275nm για όλα τα πρότυπα και τα δείγματα.

Υπολογισμός: Για τα δείγματα και τα πρότυπα, ο προσδιορισμός απορρόφησης NO₃ στα 275 nm πολλαπλασιάστηκε επί δύο και το αποτέλεσμα αφαιρέθηκε από τα 220 nm. Κατασκευάστηκε στη συνέχεια ένα πρότυπο καμπύλης ρυθμισμένο σε NO₃ κατά NO₃-N συγκέντρωση του πρότυπου. Η συγκέντρωση του δείγματος λαμβάνεται απευθείας από την τυποποιημένη καμπύλη. Για τον συντελεστή συσχέτισης (τιμή R) αποδεκτή τιμή χρησιμοποιείται η καμπύλη βαθμονόμησης νιτρικών συγκεντρώσεων που είναι 1 (υψηλή βαθμός συσχέτισης).

3.5.3 ΘΕΙΙΚΟ ΑΛΑΣ

Η παρουσία των θειικών ιόντων στα επιφανειακά και υπόγεια νερά, μπορεί να προέρχεται από την γεωλογική σύσταση των πετρωμάτων, από τα οποία διέρχεται το νερό ή από ορισμένες χρήσεις του νερού από τον άνθρωπο. Η συγκέντρωση των θειικών ιόντων στα φυσικά νερά, παρουσιάζει μεγάλες διακυμάνσεις, ανάλογα με το είδος των πετρωμάτων, από τα οποία διέρχονται, το είδος και την ένταση των ανθρώπινων δραστηριοτήτων. Ο έλεγχος των θειικών αλάτων στο πόσιμο νερό, έχει σημασία,

γιατί έχει βρεθεί ότι τα θειικά άλατα ασβεστίου και μαγνησίου έχουν καθαρτική δράση στον άνθρωπο (Κ.Ζανάκη 2001).

Για τον προσδιορισμό του θειικού αλατός σε δείγματα νερού, μια ημι-ποσοτική μέθοδος χρησιμοποιήθηκε (οπτικό χρώμα kit Aquaquant ® 1,14411 θειικό άλας, Merck). Η kit μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε ήταν κατάλληλη για τον προσδιορισμό του θειικού αλατος σε σειρά από 0 έως 300 mg θειικό άλας/L. Αυτή η χρωματομετρική μέθοδος βασίζεται στην αντίδραση του ιωδίου με τανίνη σε ένα ασθενή οξύ με αποτέλεσμα το κόκκινο-καφέ χρώμα.

3.5.4 PH

Ο όρος pH χρησιμοποιείται για να εκφράσει την ένταση της οξύτητας ή της αλκαλικότητας ενός διαλύματος. Το pH είναι βασικής σημασίας γιατί καθορίζει την ποιότητα και την καταλληλότητα εδαφών και νερών για χρήση και εκμετάλλευση (Νίκος Λυδάκης 2007). Σε μια δεδομένη θερμοκρασία, η ένταση των όξινων ή βασικών χαρακτηριστικών της λύσης υποδεικνύεται από το pH, το οποίο ορίζεται ως $-\log [H^+]$. Το καθαρό νερό, το οποίο είναι ιονισμένο πολύ λίγο, σε ισορροπία με το προϊόν ιόντων είναι :

$$[H^+][OH^-] = K_w = 1.01 \cdot 10^{-14} \text{ στους } 25 \text{ }^\circ\text{C} \text{ και } [H^+] = [OH^-] = 1.005 \cdot 10^{-7}$$

Όπου : $[H^+]$ = δραστηριότητα ιόντων υδρογόνου (moles /L)
 $[OH^-]$ = δραστηριότητα ιόντων υδροξυλίου (moles/L)
 K_w = προϊόν ιόντων του νερού

Αρχικά γίνεται βαθμονόμηση του πεχάμετρου με πρότυπα διαλύματα γνωστού pH και στη συνέχεια σε ένα ποτήρι βρασμού εισάγεται το ηλεκτρόδιο υάλου και δίνεται η τιμή του pH. Τέλος ξεπλύθηκε με απιονισμένο νερό το ηλεκτρόδιο υάλου και επαναλήφθηκε η ίδια διαδικασία και για τα υπόλοιπα δείγματα (Λυδάκης, 2007).

3.6 ΕΠΙΤΡΕΠΤΑ ΟΡΙΑ ΚΑΘΕ ΧΗΜΙΚΗΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥ

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται τα επιτρεπτά όρια για κάθε χημική παράμετρο που αναφέραμε πριν, όπως έχουν δοθεί από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας, την Ευρωπαϊκή Ένωση και από Περιβαλλοντική Υπηρεσία Προστασίας.

Χημικοί παράμετροι	Π.Ο.Υ. (1993)	Ε.Ε (1998)	ΕΠΑ
Αλκαλικότητα	δεν υπάρχει	δεν αναφέρεται	δεν αναφέρεται
Σκληρότητα	δεν υπάρχει (1)	δεν αναφέρεται	δεν αναφέρεται
Ηλεκτρική αγωγιμότητα	δεν υπάρχει	2,500 μ S/cm	δεν αναφέρεται
Αλατότητα	δεν υπάρχει	δεν αναφέρεται	δεν αναφέρεται
Θειικό άλας	δεν υπάρχει(2)	250 mg/L	250 mg/L
Ασβέστιο	δεν υπάρχει(3)	δεν αναφέρεται	δεν αναφέρεται
Μαγνήσιο	δεν υπάρχει(4)	δεν αναφέρεται	δεν αναφέρεται
Κάλιο	δεν υπάρχει (5)	δεν αναφέρεται	δεν αναφέρεται
Νάτριο	δεν υπάρχει (6)	200 mg/L	δεν αναφέρεται
Σίδηρος	δεν υπάρχει(7)	0,2 mg/L	0,3mg/L
Χλώριο	δεν υπάρχει (8)	250 mg/L	250 mg/L
p H	δεν υπάρχει (9)	δεν αναφέρεται	6,5-8,5
Άζωτο	50 mg/L (10)	50 mg/L	δεν αναφέρεται

(1)Επιθυμητό όριο: λιγότερο από 500mg / L

(2)Επιθυμητό όριο: λιγότερο από 500 mg/L

(3)Επιθυμητό όριο: λιγότερο από 300 mg/L

(4)Επιθυμητό όριο: λιγότερο από 300 mg/L

(5)Επιθυμητό όριο: λιγότερο από 250 mg/L

(6)Επιθυμητό όριο: λιγότερο από 200 mg/L

(7)Επιθυμητό όριο: λιγότερο από 0.3 mg/L

(8)Επιθυμητό όριο: λιγότερο από 250 mg/L

(9)Επιθυμητό όριο: ανάμεσα 6,5-9,5

(10)Λόγω της δυνατότητας της ταυτόχρονης εμφάνισης των νιτρωδών και νιτρικών αλάτων στο πόσιμο νερό, συστήθηκε το 1993 και από τις κατευθυντήριες γραμμές του 1998 ότι το άθροισμα των λόγων της συγκέντρωσης της κάθε κατευθυντήριας γραμμής για την αξία του δεν πρέπει να υπερβαίνει το 1.

-Π.Ο.Υ.(Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας),(WHO) κατευθυντήριες γραμμές για την ποιότητα του πόσιμου νερού, που ιδρύθηκε στη Γενεύη, 1993,είναι το διεθνές σημείο αναφοράς για τον καθορισμό προτύπων και την ασφάλεια του πόσιμου νερού.

-ΕΕ: Οδηγία 98/83/ΕΚ του Συμβουλίου σχετικά με την ποιότητα του νερού που προορίζεται για ανθρώπινη κατανάλωση. Θεσπίστηκε με το Συμβούλιο, στις 3 Νοεμβρίου 1998.

-ΕΠΑ (Αμερικανική Υπηρεσία Προστασίας Περιβάλλοντος),(EPA)έχει συσταθεί Εθνική Δευτεροβάθμια για το πόσιμο νερό. Κανονισμοί που καθορίζουν μη υποχρεωτικά πρότυπα ποιότητας των υδάτων για 15 ρύπους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ-ΑΝΑΛΥΣΗ

4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται οι δειγματοληψίες για τους μήνες Ιούνιο, Ιούλιο και Οκτώβριο και τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων. Για την κάθε μια από τις πέντε φυσικές ιδιότητες και για κάθε ένα από τα μέταλλα και τα ανόργανα μη μεταλλικά στοιχεία έγιναν διαγράμματα και πίνακες στατιστικών στοιχείων (με το πρόγραμμα origin 7.5) και χάρτες χωρικών δεδομένων (με το πρόγραμμα ArcGIS 9.0).

4.1.1 ΟΡΙΣΜΟΙ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ

Αριθμός δειγμάτων (number of samples): ο τρόπος που καθορίζεται ο αριθμός των νέων δειγμάτων.

Μέση τιμή (mean): ορίζεται το σύνολο n παρατηρήσεων και ως το άθροισμα των παρατηρήσεων δια του πλήθους των παρατηρήσεων.

Τυπική απόκλιση (standard deviation): είναι η τετραγωνική ρίζα της διασποράς, συμβολίζεται με s και δίνεται από την σχέση : $s = \sqrt{s^2}$

Ελάχιστη τιμή (minimum value): αποδίδει το μικρότερο αριθμό σε ένα σύνολο τιμών.

Μέγιστη τιμή (maximum value): αποδίδει το μεγαλύτερο αριθμό σε ένα σύνολο τιμών.

Διάμεσος (median): ενός δείγματος n παρατηρήσεων οι οποίες έχουν διαταχθεί σε αύξουσα σειρά ορίζεται ως η μεσαία παρατήρηση, όταν το n είναι περιττός αριθμός, ή ο μέσος όρος (ημιάθροισμα) των δύο μεσαίων παρατηρήσεων όταν το n είναι άρτιος αριθμός.

4.1.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΧΗΜΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ

Οι χημικές παράμετροι που μετριοούνται μπορούν ενδεχομένως να προέλθουν είτε από τις φυσικές πηγές είτε από την ανθρωπογενή δραστηριότητα. Για παράδειγμα, Ca^{2+} και Mg^{2+} μπορούν να προέλθουν κυρίως από τη διάβρωση διάφορων ορυκτών αποθεμάτων όπως τον ασβεστόλιθο ή τους δολομίτες, το SO_4^{2-} μπορεί να προέλθει ή από τη διάλυση του γύψου και άλλα ορυκτά αποθέματα που περιέχουν αυτό το ιόν Na^+ και το Cl^- ή από εβαπορίτες ή από υπόγεια νερά που έχουν επηρεαστεί από την εισχώρηση του νερού της θάλασσας ή από τις γεωργικές ή από τις απαλλαγές άρδευσης, NO_3^- και PO_4^{3-} μπορούν να προέλθουν από την εκτενή χρήση των λιπασμάτων. Συγκεντρώσεις K^+ και Fe^{2+} , Fe^{3+} ήταν γενικά μικρές στα δείγματά μας και μπορούν να προέλθουν από διάφορους σχηματισμούς πετρωμάτων στην περιοχή. Οι τιμές αλκαλικότητας συσχετίζονται με την περιεκτικότητα σε διπτανθρακικά άλατα (HCO_3^-) των νερών. Οι υπόλοιπες παράμετροι (η σκληρότητα, η αγωγιμότητα και η αλατότητα) έχουν τιμές που συσχετίζονται έντονα με τις τιμές των προαναφερθεισών παραμέτρων, ενώ το pH και η θερμοκρασία μετρήθηκαν επίσης.

Για κάθε παράμετρο υπάρχει ραβδόγραμμα με όλα τα αποτελέσματα και δύο πίνακες της στατιστικής ανάλυσης, (από το πρόγραμμα OriginPro 7.5). Ο πρώτος πίνακας έχει τη στατιστική ανάλυση κάθε παραμέτρου για όλες τις δειγματοληψίες (Ιούνιος, Ιούλιος, Οκτωβρίου 2008), ενώ ο δεύτερος πίνακας

έχει τη στατιστική ανάλυση για τα ίδια 10 δείγματα κάθε παραμέτρου για όλες τις δειγματοληψίες (Ιούνιος, Ιούλιος, Οκτώβριος 2008) για να υπάρχει άμεση σύγκριση. Επιπλέον, για κάθε παράμετρο των δειγματοληψιών Ιουλίου και Οκτωβρίου έχει δημιουργηθεί ένας χωρικός χάρτης.

Πίνακας 4.1: Οι χημικές παράμετροι που μετρήθηκαν στην περιοχή μελέτης για όλες τις δειγματοληψίες. Η δειγματοληψία του Ιουνίου ήταν μια δοκιμαστική δειγματοληψία και τα δείγματα συλλέχθηκαν μόνο από τα 10 από τα 24 σημεία δειγμάτων: G-01, G-05, G-06, G-09, G-50, G-53, G-80, G-81, Γλυκιά πηγή και Αλμυρή Πηγή.

	Physical & Aggregate Properties					Metals					Inorganic Nonmetallic Constituents					
	Alkalinity	Hardness	Electrical Conductivity	Salinity	Temperature	Ca	Mg	K	Na	Fe	B	Cl ⁻	pH value	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	PO ₄ ³⁻
04/06/2008		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓		✓	
28/07/2008		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓		✓	
01/10/2008	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

4.1.3 ΧΩΡΙΚΗ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗ ΤΩΝ ΓΕΩΧΗΜΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ

Για τους χωρικούς χάρτες παρεμβολής των γεωχημικών στοιχείων, χρησιμοποιήθηκαν το ιστόγραμμα και το ArcGIS Geostatistical. Τα στοιχεία ελέγχονται για να διαπιστωθεί εάν χρειάζονται κάποια μετατροπή, ώστε να κατανεμηθούν πιο ομοιόμορφα (για την τέλεια κανονική κατανομή πρέπει να είναι 0). Έτσι για τις παραμέτρους που δεν είχαν κανονική κατανομή, εφαρμόστηκε transformation ώστε να η κατανομή να πλησιάσει το κανονικό. Ο χάρτης αυτός πραγματοποιήθηκε για τα δείγματα του Ιουλίου και του Οκτωβρίου (24 σημεία δειγματοληψίας), αλλά όχι για τα δείγματα του Ιουνίου, αφού πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία σε 10 σημεία, γιατί η δημιουργία ενός τέτοιου χάρτη δεν μπορεί να δώσει σωστά αποτελέσματα σε 10 μόνο σημεία.

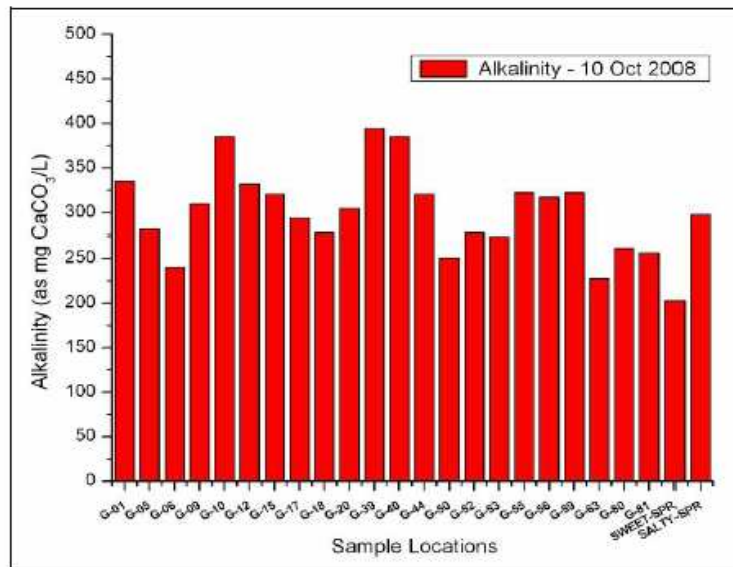
4.2 ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

Η αλκαλικότητα, η σκληρότητα, η αγωγιμότητα, η αλατότητα και η θερμοκρασία είναι οι πέντε χημικές παράμετροι για τις οποίες πήραμε μετρήσεις και κάναμε για την καθεμία ένα διάγραμμα, ένα πίνακα στατιστικών και ένα χάρτη χωρικών δεδομένων.

4.2.1 ΑΛΚΑΛΙΚΟΤΗΤΑ

Πίνακας 4.2: Πίνακας μετρήσεων της αλκαλικότητας για τη δειγματοληψία του Οκτωβρίου.

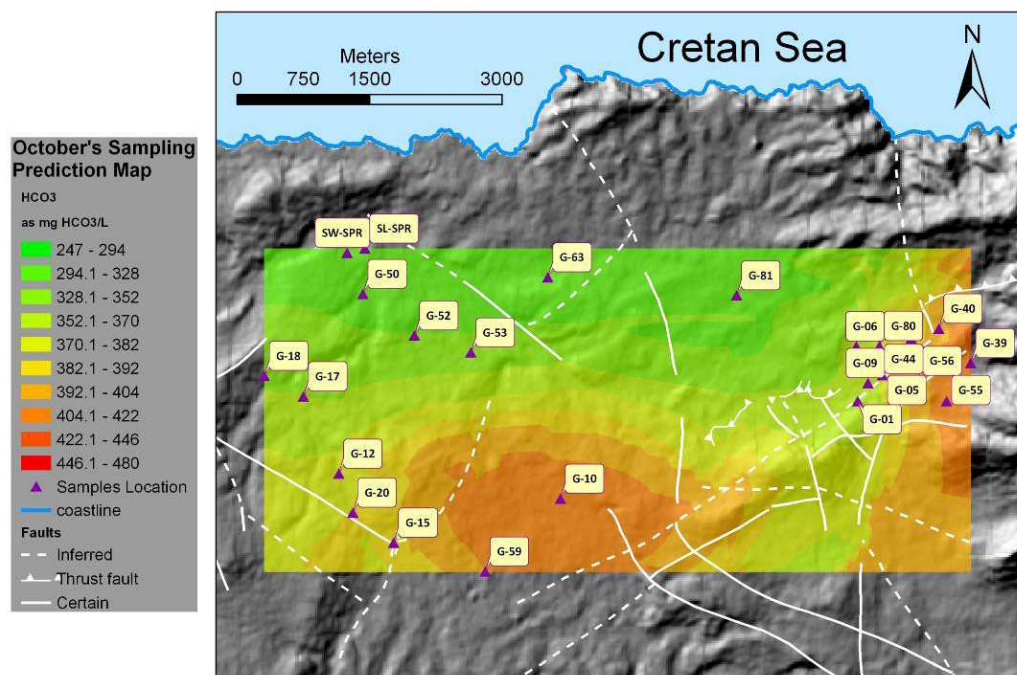
Sampling Date:	01 10 2008	01 10 2008	01 10 2008
Borehole	as CaCO₃ (mg/L)	HCO₃ (mg/L)	HCO₃ (me/L)
G-01	335,1	408,8	6,7
G-05	281,3	343,2	5,6
G-06	240,1	292,9	4,8
G-09	310	378,2	6,2
G-10	385,2	470	7,7
G-12	331,5	404,4	6,6
G-15	320,7	391,3	6,4
G-17	293,9	358,5	5,9
G-18	277,7	338,8	5,6
G-20	304,6	371,6	6,1
G-39	394,2	480,9	7,9
G-40	385,2	470	7,7
G-44	320,7	391,3	6,4
G-50	250,9	306	5
G-52	277,7	338,8	5,6
G-53	274,1	334,5	5,5
G-55	322,5	393,5	6,4
G-56	317,2	386,9	6,3
G-59	322,5	393,5	6,4
G-63	227,6	277,6	6
G-80	261,6	319,2	5,2
G-81	256,2	312,6	5,1
SALTY-SPR	297,4	362,9	5,9
SWEET-SPR	202,5	247	4



Εικόνα 4.1: Ραβδόγραμμα αλκαλικότητας για τη δειγματοληψία Οκτωβρίου.

Πίνακας 4.3: Πίνακας στατιστικών στοιχείων για την αλκαλικότητα εκφρασμένη σε mg CaCO₃/L για τη δειγματοληψία του Οκτωβρίου.

	CaCO ₃
Αριθμός δειγμάτων	24
Μέση τιμή	299,6
Τυπική απόκλιση	48,49809
Ελάχιστη τιμή	202,5
Διάμεσος	301
Μέγιστη τιμή	394,2

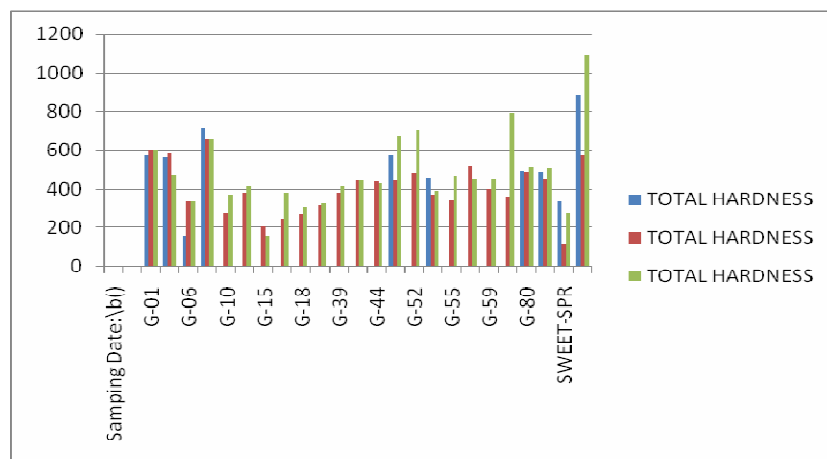


Εικόνα 4.2: Χωρική κατανομή της αλκαλικότητας (εκφρασμένη σε mg HCO₃/L) για τη δειγματοληψία του Οκτωβρίου.

4.2.2 ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ

Πίνακας 4.4: Πίνακας μετρήσεων της σκληρότητας για τις δειγματοληψίες Ιουνίου, Ιουλίου και Οκτωβρίου.

Sampling Date:	04 06 2008	28 07 2008	01 10 2008
Borehole	as CO3 (mg/L)	as CaCO3 (mg/L)	as CO3 (mg/L)
G-01	573,1	598,6	606,8
G-05	565,8	584,3	467,4
G-06	155,8	332,1	332,1
G-09	709,3	656	660,1
G-10	--	278,8	373,1
G-12	--	381,3	414,1
G-15	--	205	155,8
G-17	--	246	381,3
G-18	--	270,6	303,4
G-20	--	311,6	323,9
G-39	--	381,3	410
G-40	--	442,8	442,8
G-44	--	438,7	426,4
G-50	574	442,8	672,4
G-52	--	487,9	705,2
G-53	455,1	373,1	393,6
G-55	--	340,3	463,3
G-56	--	516,6	451
G-59	--	401,8	451
G-63	--	360,8	795,4
G-80	496,1	492	512,5
G-81	492	446,9	504,3
SWEET-SPR	332,1	114,8	278,8
SALTY-SPR	885,6	574	1090,6



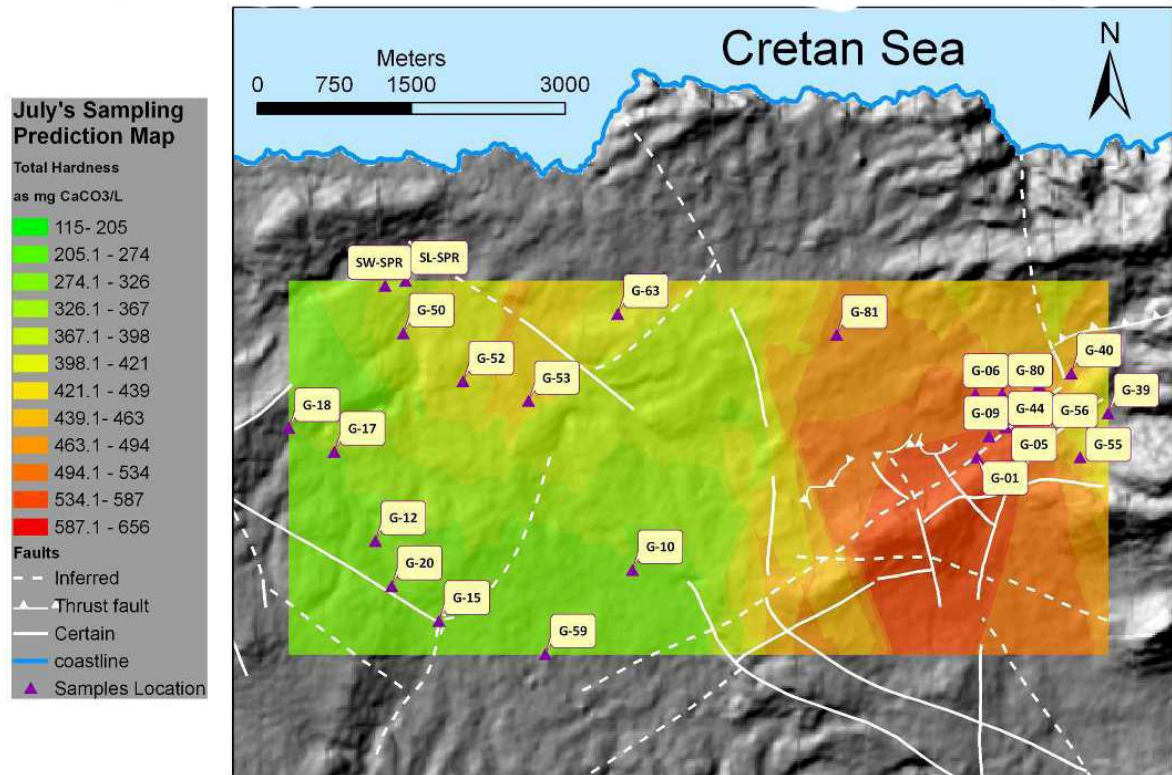
Εικόνα 4.3: Ραβδόγραμμα σκληρότητας για τις δειγματοληψίες Ιουνίου, Ιουλίου και Οκτωβρίου.

Πίνακας 4.5: Πίνακας στατιστικών στοιχείων για τη σκληρότητα για τις δειγματοληψίες Ιουνίου, Ιουλίου και Οκτωβρίου (24 σημεία δειγματοληψίας).

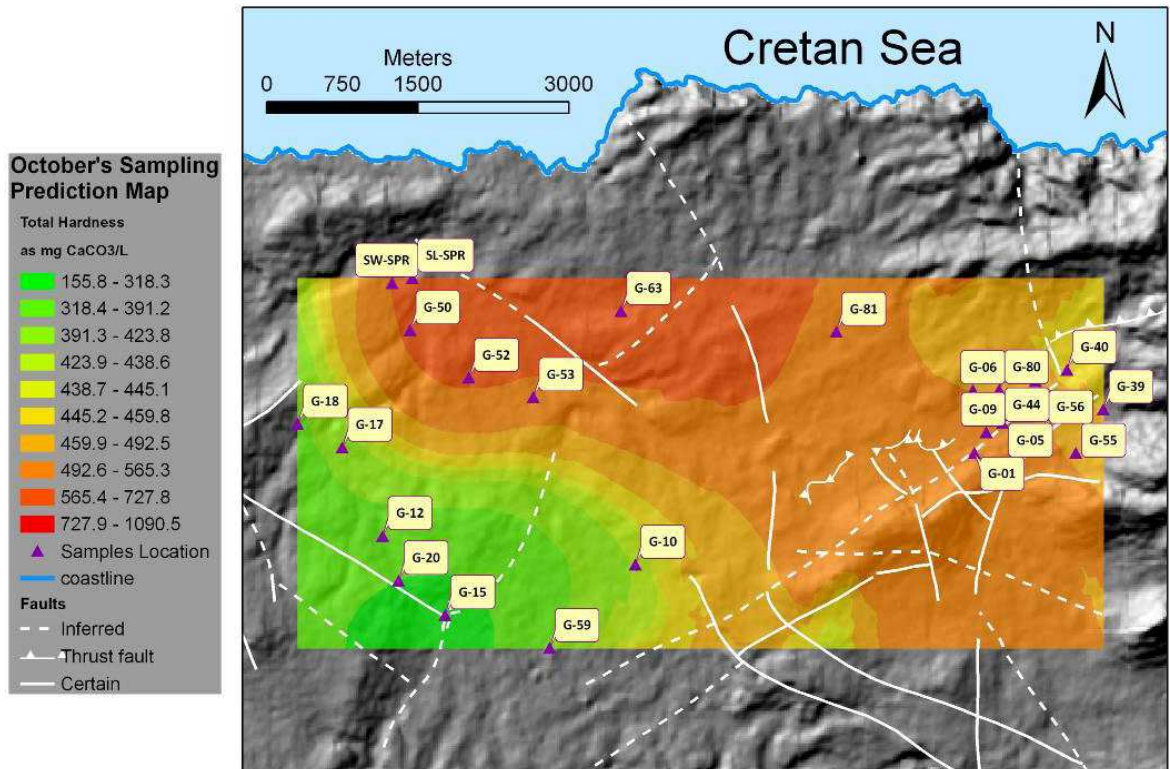
	4/6/08	28/7/08	1/10/08
Αριθμός δειγμάτων	10	24	24
Μέση τιμή	523,89	403,25417	483,97083
Τυπική απόκλιση	197,39837	131,80668	195,2807
Ελάχιστη τιμή	155,8	114,8	155,8
Διάμεσος	530,95	391,55	446,9
Μέγιστη τιμή	885,6	656	1090,6

Πίνακας 4.6: Πίνακας στατιστικών στοιχείων για τη σκληρότητα για τις δειγματοληψίες Ιουνίου, Ιουλίου και Οκτωβρίου (10 σημεία δειγματοληψίας).

	4/6/08	28/7/08	1/10/08
Αριθμός δειγμάτων	10	10	10
Μέση τιμή	523,89	461,46	551,86
Τυπική απόκλιση	197,39837	160,0748	230,54334
Ελάχιστη τιμή	155,8	114,8	278,8
Διάμεσος	530,95	469,45	508,4
Μέγιστη τιμή	885,6	656	1090,6



Εικόνα 4.4: χάρτης χωρικής κατανομής της σκληρότητας (εκφρασμένη σε mg CaCO₃/L) για τη δειγματοληψία του Ιουλίου.

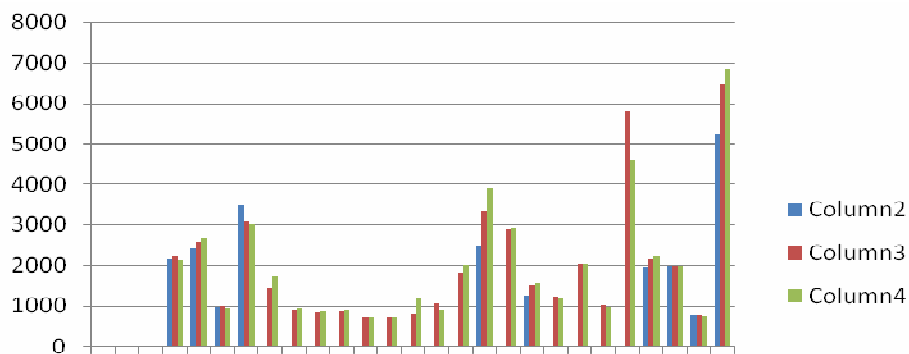


Εικόνα 4.5: χάρτης χωρικής κατανομής της σκληρότητας (εκφρασμένη σε mg CaCO₃/L) για τη δειγματοληψία του Οκτωβρίου.

4.2.3 ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ

Πίνακας 4.7: Πίνακας μετρήσεων της αγωγιμότητας για τις δειγματοληψίες Ιουνίου, Ιουλίου και Οκτωβρίου.

Sampling Date	04 06 2008	28 07 2008	01 10 2008
Borehole	uS/cm	uS/cm	uS/cm
G-01	2170	2220	2140
G-05	2430	2580	2670
G-06	990	1010	940
G-09	3500	3100	3010
G-10	--	1470	1750
G-12	--	930	950
G-15	--	842	852
G-17	--	877	900
G-18	--	726	721
G-20	--	729	728
G-39	--	808	1190
G-40	--	1070	910
G-44	--	1830	2030
G-50	2500	3340	3900
G-52	--	2900	2920
G-53	1250	1510	1560
G-55	--	1230	1210
G-56	--	2050	2060
G-59	--	1040	990
G-63	--	5810	4630
G-80	1950	2150	2240
G-81	1990	1960	1960
SWEET-SPR	776	767	757
SALTY-SPR	5250	6470	6860



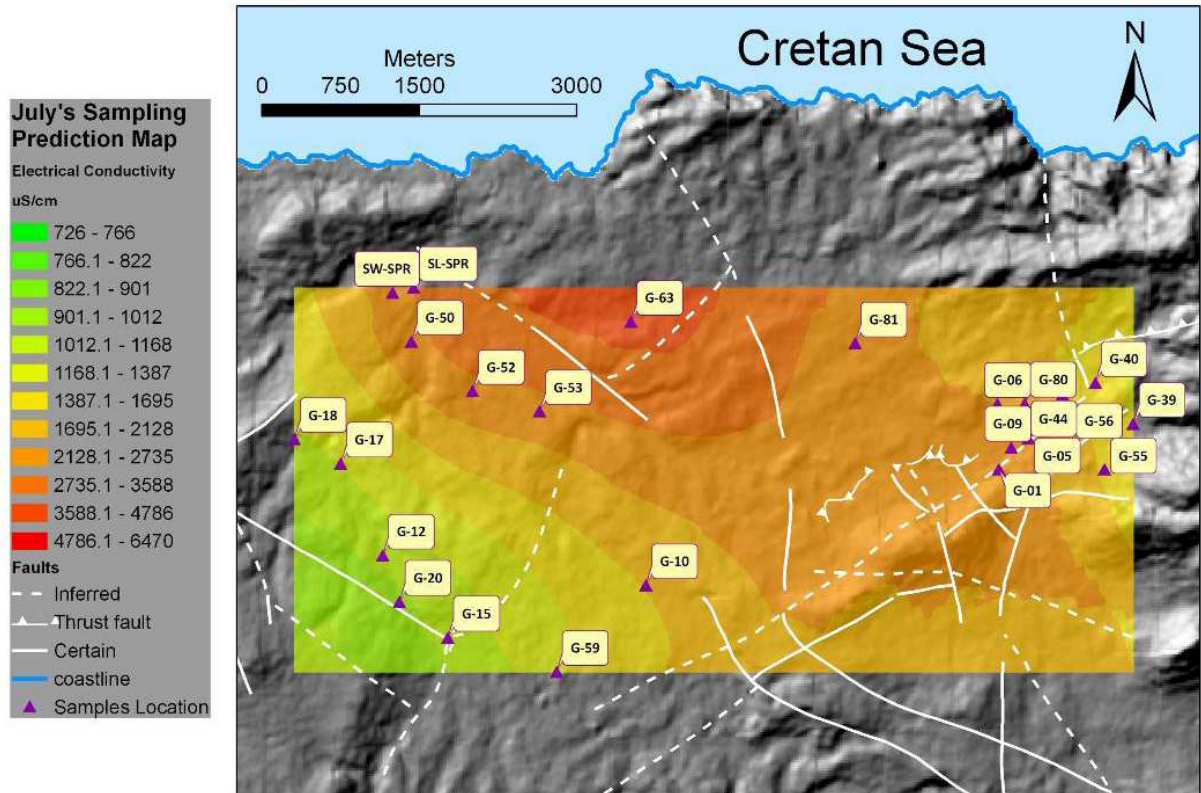
Εικόνα 4.6: Ραβδόγραμμα αγωγιμότητας για τις δειγματοληψίες Ιουνίου, Ιουλίου και Οκτωβρίου.

Πίνακας 4.8: Πίνακας στατιστικών στοιχείων για την αγωγιμότητα για τις δειγματοληψίες Ιουνίου, Ιουλίου και Οκτωβρίου (24 σημεία δειγματοληψίας).

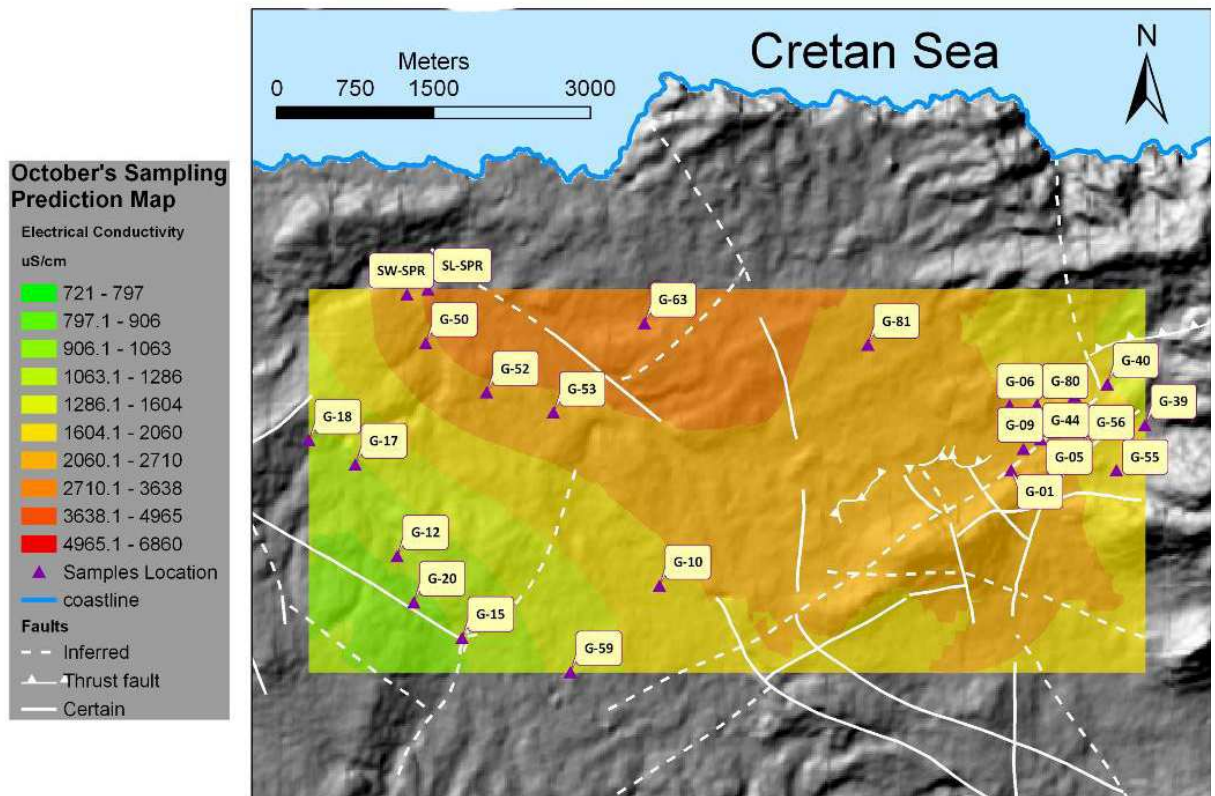
	4/6/08	28/7/08	1/10/08
Αριθμός δειγμάτων	10	24	24
Μέση τιμή	2280,6	1975,79167	1994,91667
Τυπική απόκλιση	1315,39231	1511,49218	1472,08751
Ελάχιστη τιμή	776	726	721
Διάμεσος	2080	1490	1655
Μέγιστη τιμή	5250	6470	6860

Πίνακας 4.9: Πίνακας στατιστικών στοιχείων για την αγωγιμότητα για τις δειγματοληψίες Ιουνίου, Ιουλίου και Οκτωβρίου (10 σημεία δειγματοληψίας).

	4/6/08	28/7/08	1/10/08
Αριθμός δειγμάτων	10	10	10
Μέση τιμή	2280,6	2510.7	2606.7
Τυπική απόκλιση	1315,39231	1616.84687	1763.68025
Ελάχιστη τιμή	776	767	757
Διάμεσος	2080	2185	2190
Μέγιστη τιμή	5250	6470	6860



Εικόνα 4.7: χάρτης χωρικής κατανομής της αγωγιμότητας για τη δειγματοληψία του Ιουλίου.

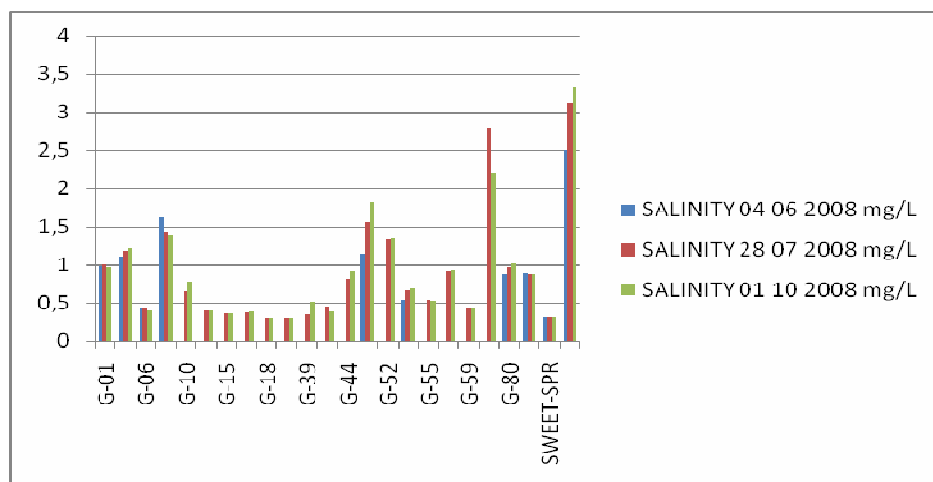


Εικόνα 4.8: χάρτης χωρικής κατανομής της αγωγιμότητας για τη δειγματοληψία του Οκτωβρίου.

4.2.4 ΑΛΑΤΟΤΗΤΑ

Πίνακας 4.10: Πίνακας μετρήσεων της αλατότητας για τις δειγματοληψίες Ιουνίου, Ιουλίου και Οκτωβρίου.

Sampling Date	04 06 2008	28 07 2008	01 10 2008
Borehole	mg/L	mg/L	mg/L
G-01	0,982	1,006	0,968
G-05	1,107	1,18	1,223
G-06	0,426	0,435	0,403
G-09	1,63	1,433	1,389
G-10	--	0,65	0,782
G-12	--	0,398	0,407
G-15	--	0,357	0,362
G-17	--	0,374	0,384
G-18	--	0,304	0,302
G-20	--	0,305	0,305
G-39	--	0,342	0,519
G-40	--	0,463	0,389
G-44	--	0,82	0,915
G-50	1,141	1,551	1,828
G-52	--	1,335	1,345
G-53	0,547	0,669	0,692
G-55	--	0,537	0,528
G-56	--	0,925	0,929
G-59	--	0,449	0,426
G-63	--	2,793	2,194
G-80	0,877	0,973	1,016
G-81	0,896	0,882	0,882
SWEET-SPR	0,327	0,323	0,318
SALTY-SPR	2,508	3,133	3,335



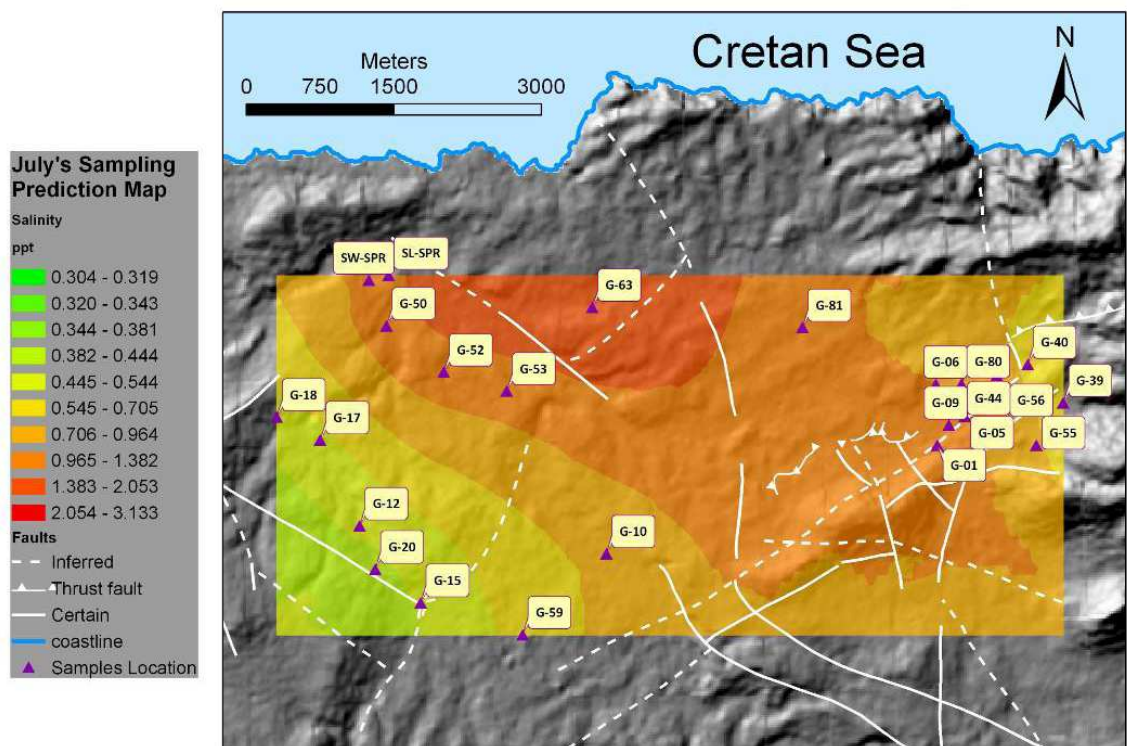
Εικόνα 4.9: Ραβδόγραμμα αλατότητας για τις δειγματοληψίες Ιουνίου, Ιουλίου και Οκτωβρίου.

Πίνακας 4.11: Πίνακας στατιστικών στοιχείων για την αλατότητα για τις δειγματοληψίες Ιουνίου, Ιουλίου και Οκτωβρίου (24 σημεία δειγματοληψίας).

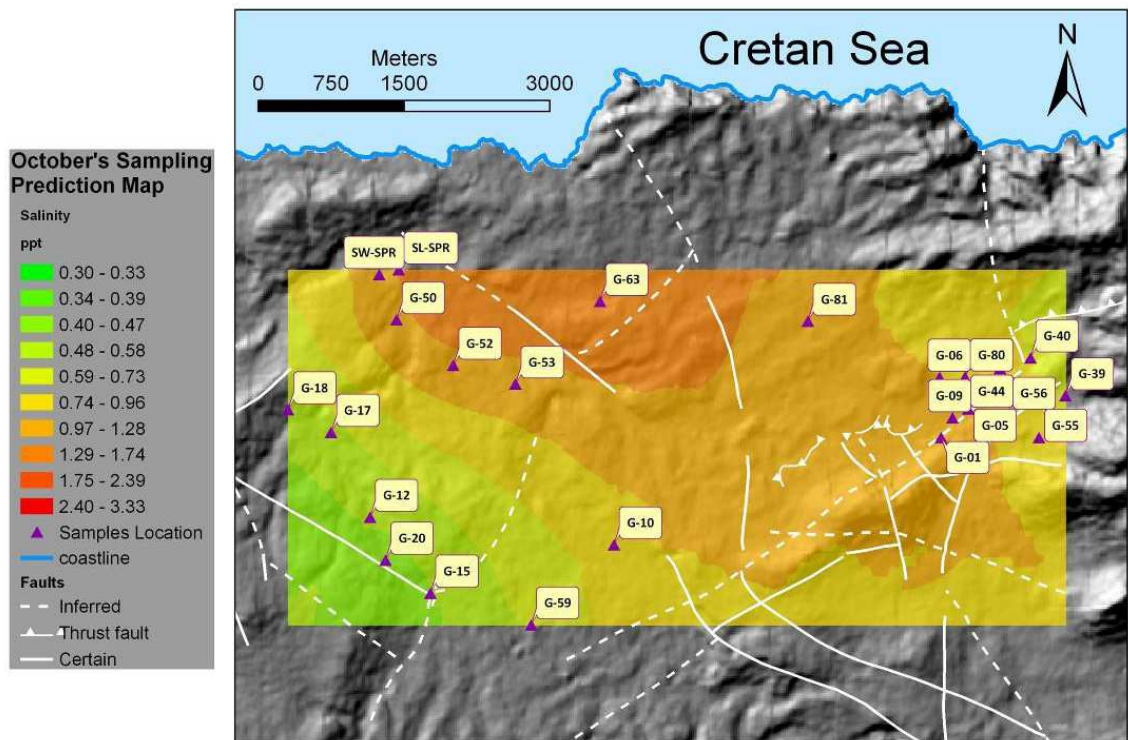
	4/6/08	28/7/08	1/10/08
Αριθμός δειγμάτων	10	24	24
Μέση τιμή	1,0441	0,90154	0,91004
Τυπική απόκλιση	0,6409	0,74028	0,72069
Ελάχιστη τιμή	0,327	0,304	0,302
Διάμεσος	0,939	0,6595	0,737
Μέγιστη τιμή	2,508	3,133	3,335

Πίνακας 4.12: Πίνακας στατιστικών στοιχείων για την αλατότητα για τις δειγματοληψίες Ιουνίου, Ιουλίου και Οκτωβρίου (10 σημεία δειγματοληψίας).

	4/6/08	28/7/08	1/10/08
Αριθμός δειγμάτων	10	10	10
Μέση τιμή	1,0441	1,1585	1,2054
Τυπική απόκλιση	0,6409	0,79748	0,87233
Ελάχιστη τιμή	0,327	0,323	0,318
Διάμεσος	0,939	0,9895	0,992
Μέγιστη τιμή	2,508	3,133	3,335



Εικόνα 4.10: χάρτης χωρικής κατανομής της αλατότητας για τη δειγματοληψία του Ιουλίου.

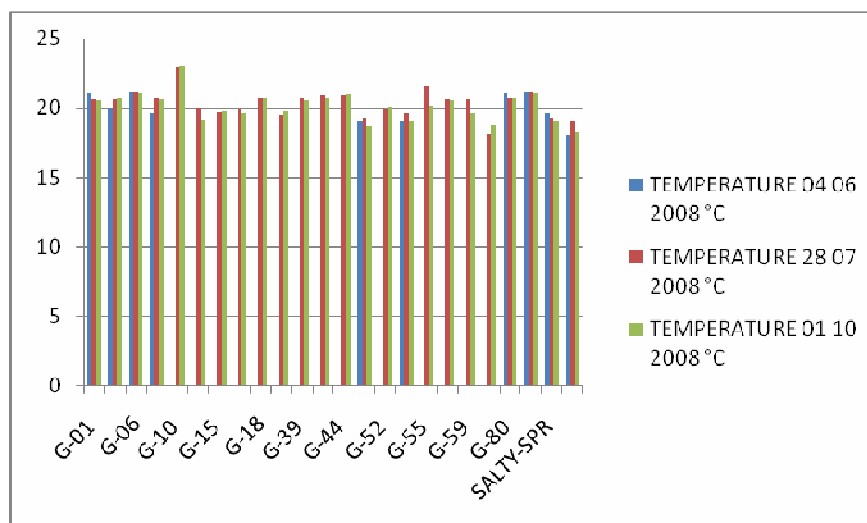


Εικόνα 4.11: χάρτης χωρικής κατανομής της αλατότητας για τη δειγματοληψία του Οκτωβρίου.

4.2.5ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ

Πίνακας 4.13: Πίνακας μετρήσεων της θερμοκρασίας για τις δειγματοληψίες Ιουνίου, Ιουλίου και Οκτωβρίου.

Sampling Date:	04 06 2008	28 07 2008	01 10 2008
Borehole	°C	°C	°C
G-01	21,1	20,6	20,5
G-05	20	20,6	20,7
G-06	21,2	21,2	21,1
G-09	19,6	20,8	20,6
G-10	--	22,9	23
G-12	--	20	19,2
G-15	--	19,7	19,8
G-17	--	19,9	19,6
G-18	--	20,7	20,8
G-20	--	19,5	19,8
G-39	--	20,8	20,5
G-40	--	20,9	20,7
G-44	--	20,9	21
G-50	19	19,3	18,7
G-52	--	19,9	20,1
G-53	19,1	19,6	19
G-55	--	21,5	20,2
G-56	--	20,6	20,5
G-59	--	20,6	19,6
G-63	--	18,1	18,8
G-80	21,1	20,8	20,8
G-81	21,2	21,2	21,1
SALTY-SPR	19,6	19,3	19
SWEET-SPR	18	19	18,2



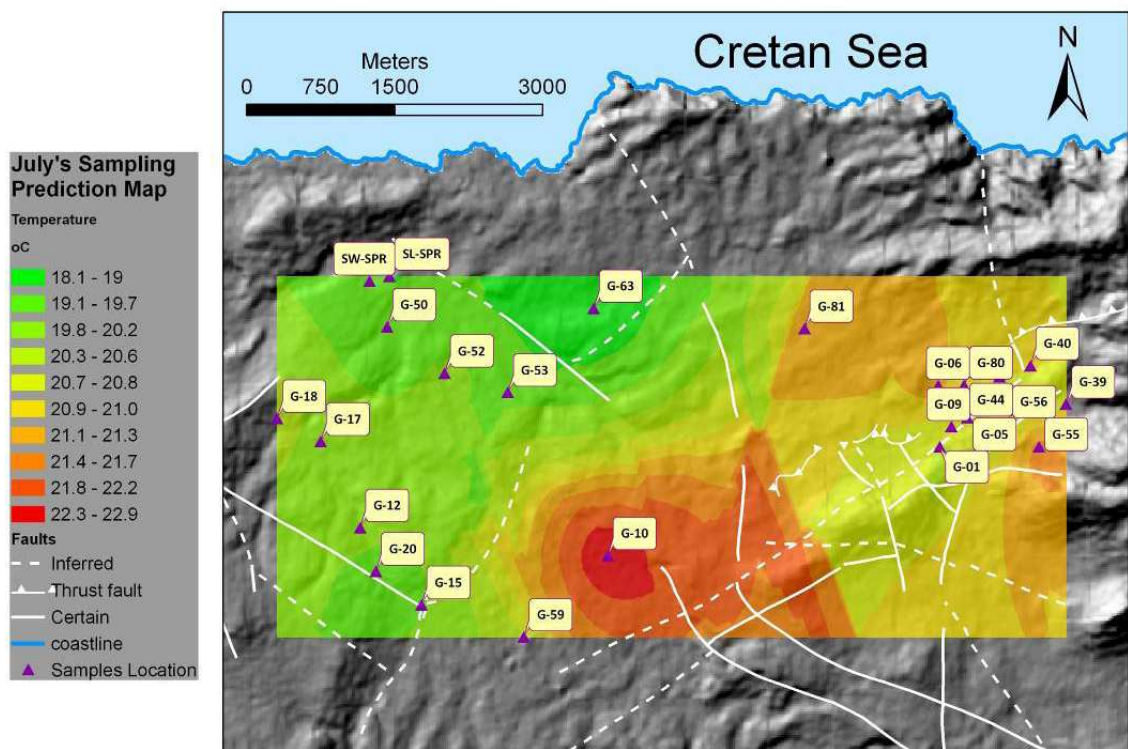
Εικόνα 4.12: Ραβδόγραμμα θερμοκρασίας για τις δειγματοληψίες Ιουνίου, Ιουλίου και Οκτωβρίου.

Πίνακας 4.14: Πίνακας στατιστικών στοιχείων για τη θερμοκρασία για τις δειγματοληψίες Ιουνίου, Ιουλίου και Οκτωβρίου (24 σημεία δειγματοληψίας).

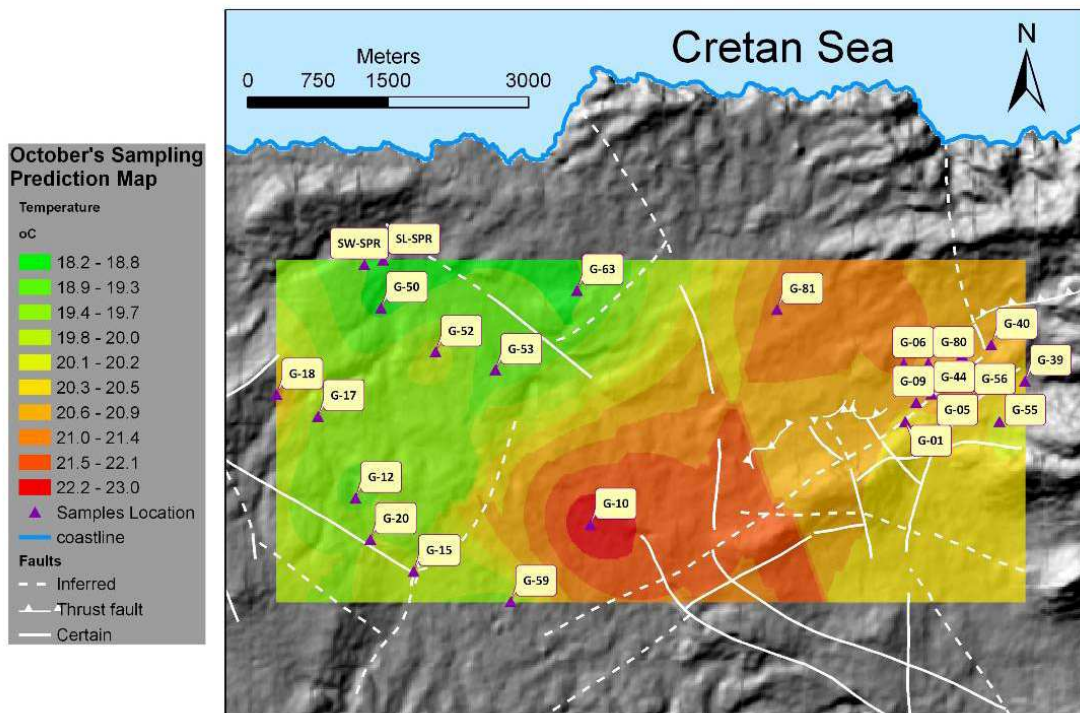
	4/6/08	28/7/08	1/10/08
Αριθμός δειγμάτων	10	24	24
Μέση τιμή	19,99	20,35	20,1375
Τυπική απόκλιση	1,12689	0,98201	1,03831
Ελάχιστη τιμή	18	18,1	18,2
Διάμεσος	19,8	20,6	20,35
Μέγιστη τιμή	21,2	22,9	23

Πίνακας 4.15: Πίνακας στατιστικών στοιχείων για τη θερμοκρασία για τις δειγματοληψίες Ιουνίου, Ιουλίου και Οκτωβρίου (10 σημεία δειγματοληψίας).

	4/6/08	28/7/08	1/10/08
Αριθμός δειγμάτων	10	10	10
Μέση τιμή	19,99	20,24	19,97
Τυπική απόκλιση	1,12689	0,84617	1,1096
Ελάχιστη τιμή	18	19	18,2
Διάμεσος	19,8	20,6	20,55
Μέγιστη τιμή	21,2	21,2	21,1



Εικόνα 4.13: χάρτης χωρικής κατανομής της θερμοκρασίας για τη δειγματοληψία του Ιουλίου.

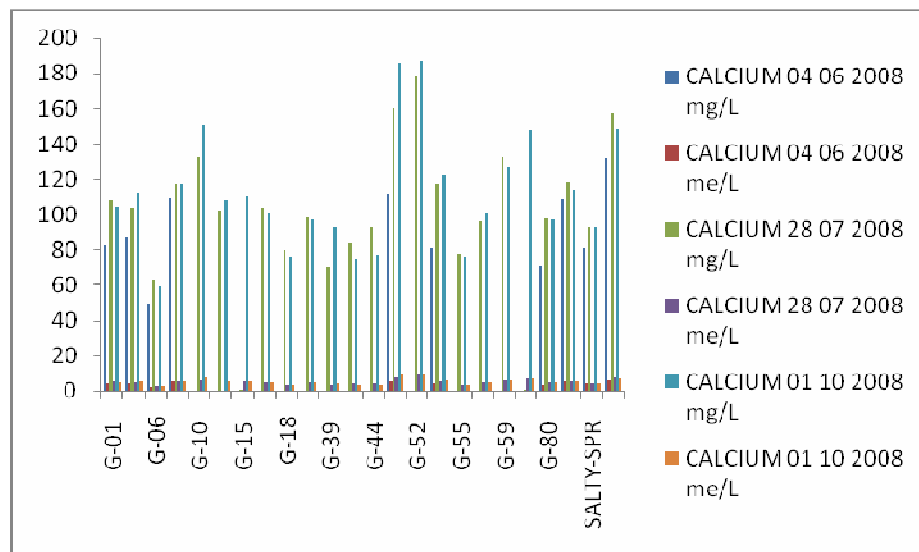


Εικόνα 4.14: χάρτης χωρικής κατανομής της θερμοκρασίας για τη δειγματοληψία του Οκτωβρίου.

4.3 ΜΕΤΑΛΛΑ**4.3.1 ΑΣΒΕΣΤΙΟ**

Πίνακας 4.16: Πίνακας μετρήσεων του ασβεστίου για τις δειγματοληψίες Ιουνίου, Ιουλίου και Οκτωβρίου.

Sampling Date:	04 06 2008	28 07 2008	01 10 2008
Borehole	mg/L	mg/L	mg/L
G-01	82,5	108	104,8
G-05	87,5	104	111,93
G-06	49,5	63,25	59,4
G-09	109,75	117,75	117,73
G-10	--	133	150,3
G-12	--	102,5	108,4
G-15	--	0,5	110,08
G-17	--	104	101,4
G-18	--	80	76,6
G-20	--	98,75	97,18
G-39	--	70,25	92,85
G-40	--	84	75,43
G-44	--	92,75	77,28
G-50	111,5	160,5	185,63
G-52	--	178	186,83
G-53	81	117,75	122,28
G-55	--	77,75	76,75
G-56	--	96,5	100,88
G-59	--	132,5	127,33
G-63	--	0,75	148,15
G-80	71	97,5	97,23
G-81	109	118,25	114,23
SALTY-SPR	81	93	92,75
SWEET-SPR	132	157,75	148,6



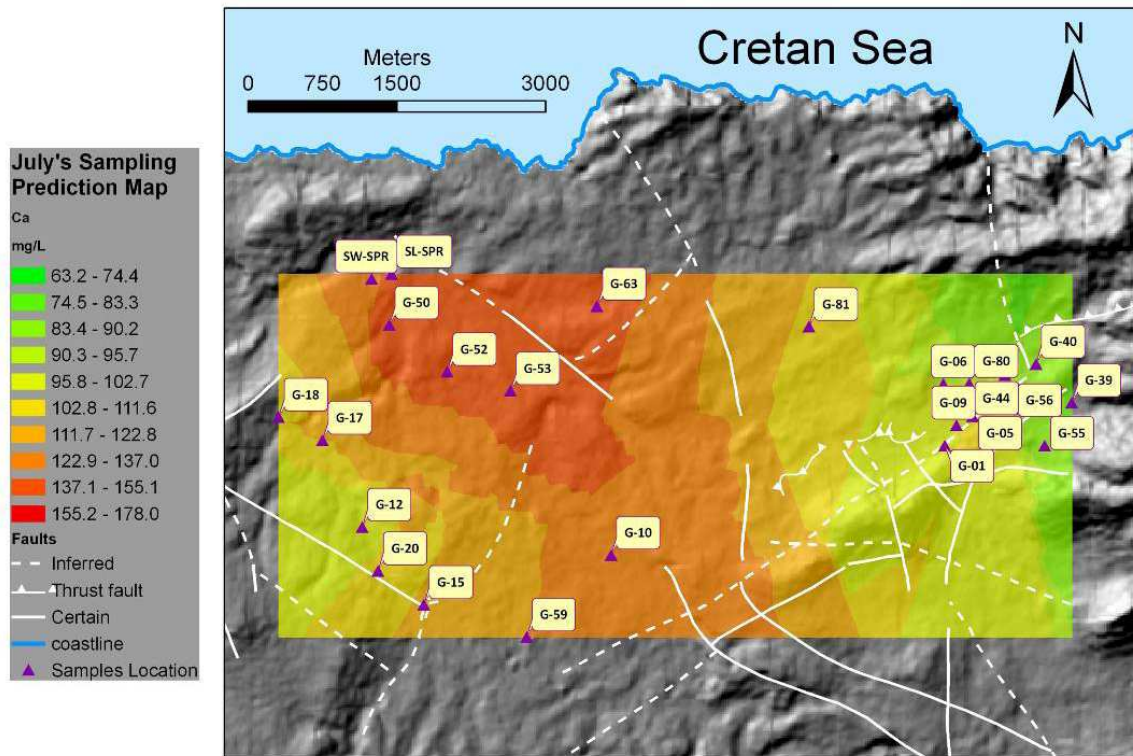
Εικόνα 4.15: Ραβδόγραμμα ασβεστίου για τις δειγματοληψίες Ιουνίου, Ιουλίου και Οκτωβρίου.

Πίνακας 4.17: Πίνακας στατιστικών στοιχείων για το ασβέστιο για τις δειγματοληψίες Ιουνίου, Ιουλίου και Οκτωβρίου (24 σημεία δειγματοληψίας).

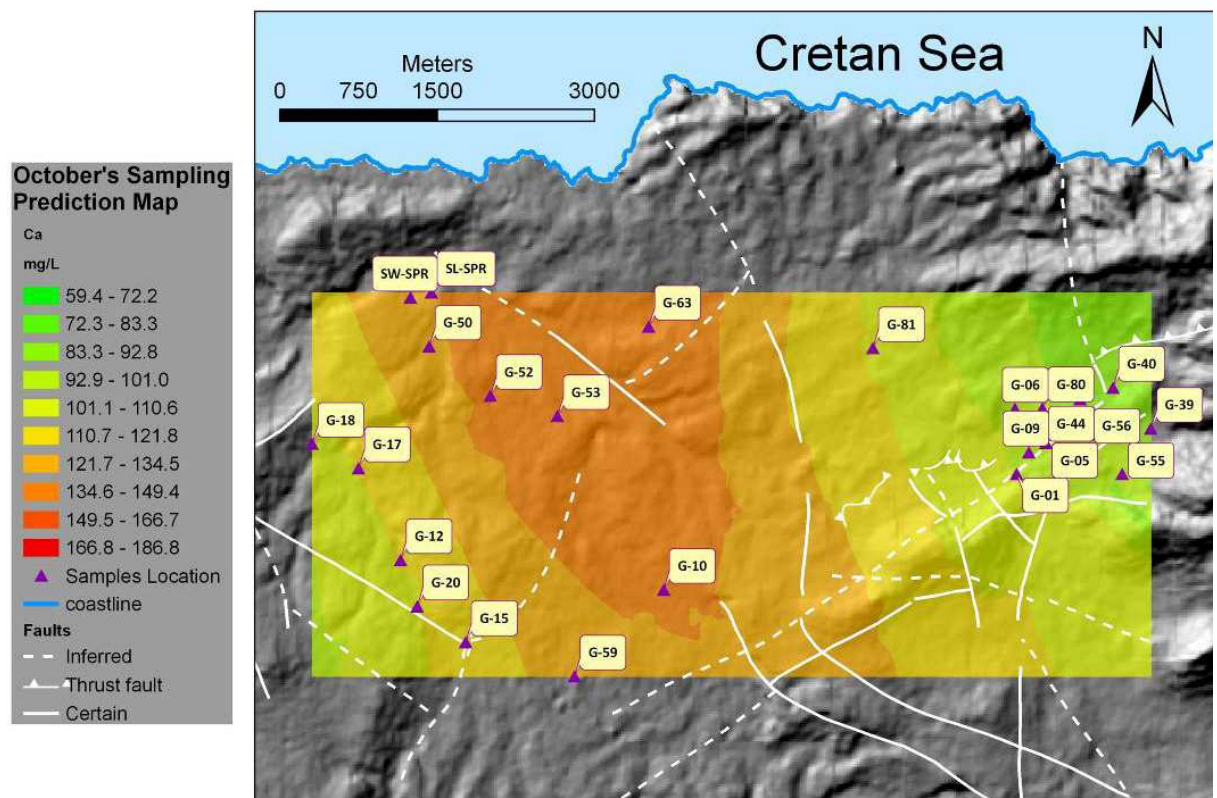
	4/6/08	28/7/08	1/10/08
Αριθμός δειγμάτων	10	24	24
Μέση τιμή	91,475	99,54167	111,835
Τυπική απόκλιση	23,99376	41,46454	32,83484
Ελάχιστη τιμή	49,5	0,5	59,4
Διάμεσος	85	100,625	106,6
Μέγιστη τιμή	132	178	186,83

Πίνακας 4.18: Πίνακας στατιστικών στοιχείων για το ασβέστιο για τις δειγματοληψίες Ιουνίου, Ιουλίου και Οκτωβρίου (10 σημεία δειγματοληψίας).

	4/6/08	28/7/08	1/10/08
Αριθμός δειγμάτων	10	10	10
Μέση τιμή	91,475	113,775	115,458
Τυπική απόκλιση	23,99376	28,95745	33,65208
Ελάχιστη τιμή	49,5	63,25	59,4
Διάμεσος	85	112,875	113,08
Μέγιστη τιμή	132	160,5	185,63



Εικόνα 4.16: χάρτης χωρικής κατανομής του ασβεστίου για τη δειγματοληψία του Ιουλίου.

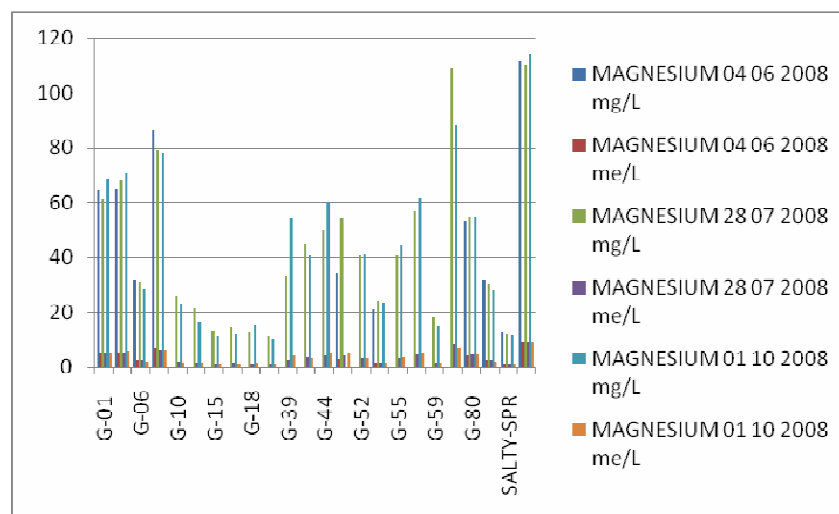


Εικόνα 4.17: χάρτης χωρικής κατανομής του ασβεστίου για τη δειγματοληψία του Οκτωβρίου.

4.3.2 ΜΑΓΝΗΣΙΟ

Πίνακας 4.19: Πίνακας μετρήσεων του μαγνησίου για τις δειγματοληψίες Ιουνίου, Ιουλίου και Οκτωβρίου.

Sampling Date:	04 06 2008	28 07 2008	01 10 2008
Borehole	mg/L	mg/L	mg/L
G-01	64,5	61	68,8
G-05	65	68	70,6
G-06	32	31	28,5
G-09	86,5	79	77,9
G-10	--	25,5	23,33
G-12	--	21,75	16,65
G-15	--	13,5	11,35
G-17	--	14,75	11,93
G-18	--	13	15,33
G-20	--	11,25	10,38
G-39	--	33	54
G-40	--	45	41,1
G-44	--	50	60,4
G-50	34,5	54	--
G-52	--	41	41,3
G-53	21,25	24	23,6
G-55	--	41	44,5
G-56	--	57	61,9
G-59	--	18,25	14,88
G-63	--	109	88,2
G-80	53,25	55	55,1
G-81	32	30,75	28,25
SALTY-SPR	12,75	12,5	11,7
SWEET-SPR	112	110	114



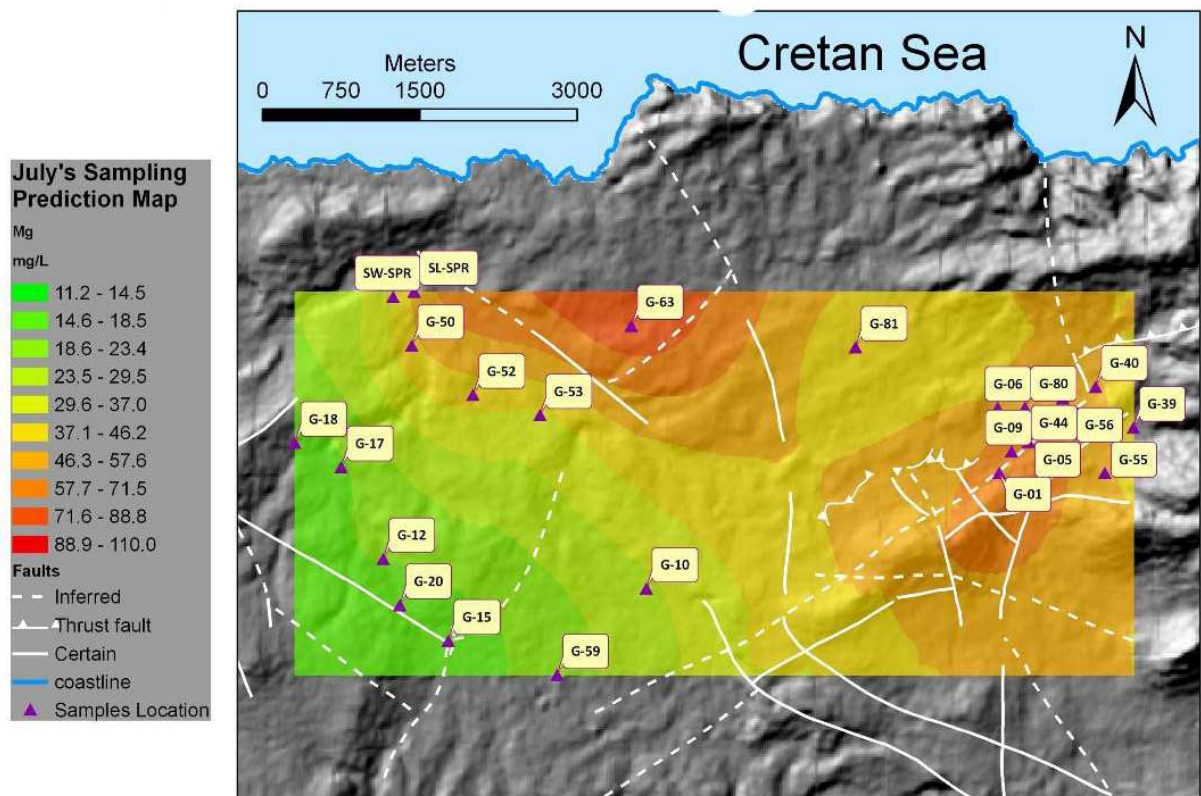
Εικόνα 4.18: Ραβδόγραμμα μαγνησίου για τις δειγματοληψίες Ιουνίου, Ιουλίου και Οκτωβρίου.

Πίνακας 4.20: Πίνακας στατιστικών στοιχείων για το μαγνήσιο για τις δειγματοληψίες Ιουνίου, Ιουλίου και Οκτωβρίου (24 σημεία δειγματοληψίας).

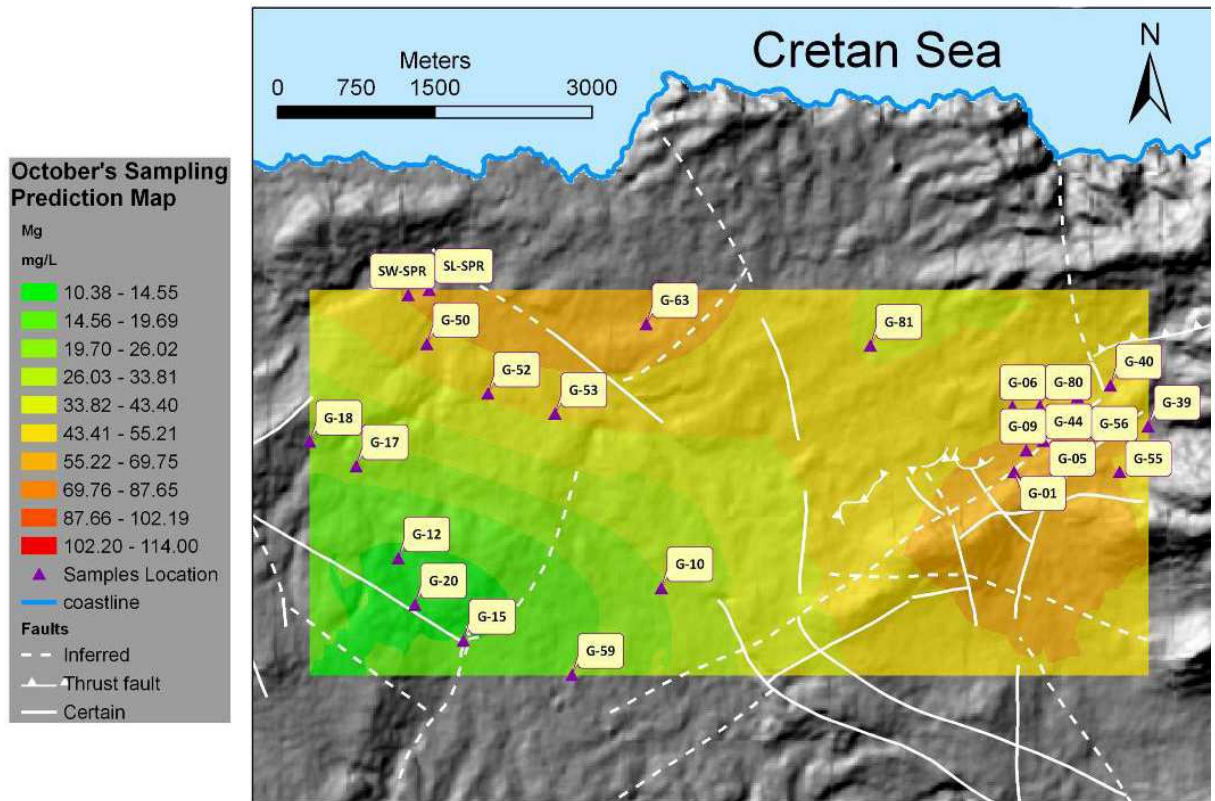
	4/6/08	28/7/08	1/10/08
Αριθμός δειγμάτων	10	24	23
Μέση τιμή	51,375	42,46875	42,33478
Τυπική απόκλιση	31,10115	28,15893	28,68955
Ελάχιστη τιμή	12,75	11,25	10,38
Διάμεσος	43,875	37	41,1
Μέγιστη τιμή	112	110	114

Πίνακας 4.21: Πίνακας στατιστικών στοιχείων για το μαγνήσιο για τις δειγματοληψίες Ιουνίου, Ιουλίου και Οκτωβρίου (10 σημεία δειγματοληψίας).

	4/6/08	28/7/08	1/10/08
Αριθμός δειγμάτων	10	10	9
Μέση τιμή	51,375	52,525	53,16111
Τυπική απόκλιση	31,10115	29,20627	32,95347
Ελάχιστη τιμή	12,75	12,5	11,7
Διάμεσος	43,875	54,5	55,1
Μέγιστη τιμή	112	110	114



Εικόνα 4.19: χάρτης χωρικής κατανομής του μαγνησίου για τη δειγματοληψία του Ιουλίου.

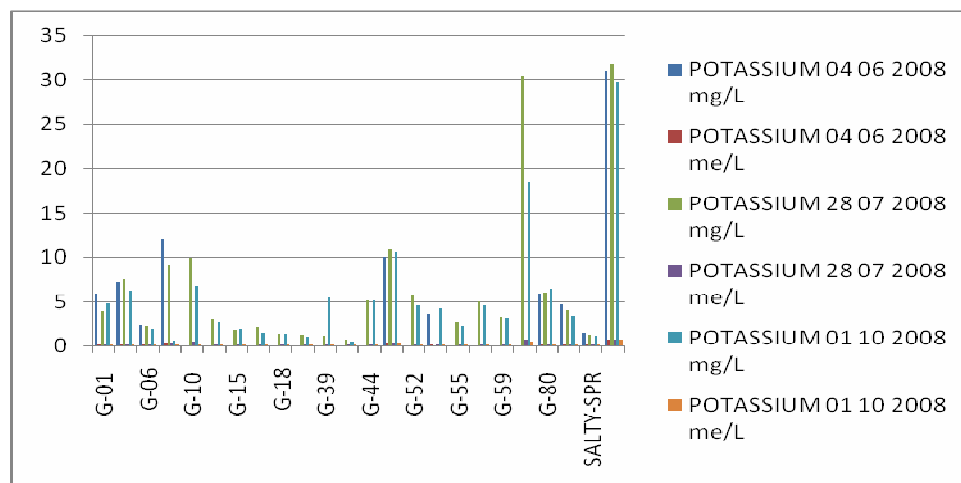


Εικόνα 4.20: χάρτης χωρικής κατανομής του μαγνησίου για τη δειγματοληψία του Οκτωβρίου.

4.3.3 ΚΑΛΙΟ

Πίνακας 4.22: Πίνακας μετρήσεων του καλίου για τις δειγματοληψίες Ιουνίου, Ιουλίου και Οκτωβρίου.

Sampling Date:	04 06 2008	28 07 2008	01 10 2008
Borehole	mg/L	mg/L	mg/L
G-01	5,9	3,98	4,79
G-05	7,3	7,48	6,25
G-06	2,3	2,23	1,94
G-09	12	9,2	0,7
G-10	--	9,95	6,83
G-12	--	3,01	2,63
G-15	--	1,89	1,96
G-17	--	2,12	1,47
G-18	--	1,42	1,36
G-20	--	1,2	1
G-39	--	1,11	5,4
G-40	--	0,72	0,56
G-44	--	5,2	5,22
G-50	10	10,83	10,65
G-52	--	5,75	4,65
G-53	3,7	--	4,26
G-55	--	2,66	2,25
G-56	--	5,11	4,63
G-59	--	3,33	3,2
G-63	--	30,5	18,4
G-80	5,9	6,03	6,35
G-81	4,7	4,1	3,363
SALTY-SPR	1,5	1,26	1,15
SWEET-SPR	31	31,75	29,75



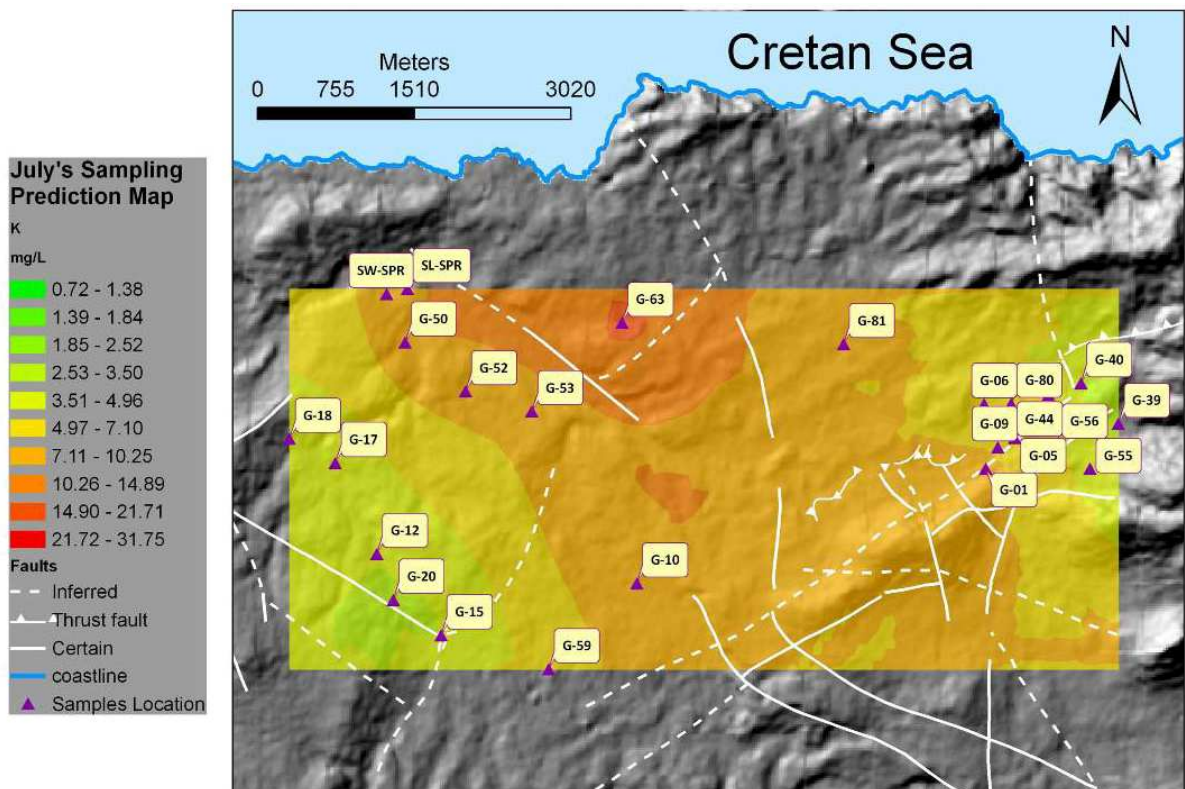
Εικόνα 4.21: Ραβδόγραμμα καλίου για τις δειγματοληψίες Ιουνίου, Ιουλίου και Οκτωβρίου.

Πίνακας 4.23: Πίνακας στατιστικών στοιχείων για το κάλιο για τις δειγματοληψίες Ιουνίου, Ιουλίου και Οκτωβρίου (24 σημεία δειγματοληψίας).

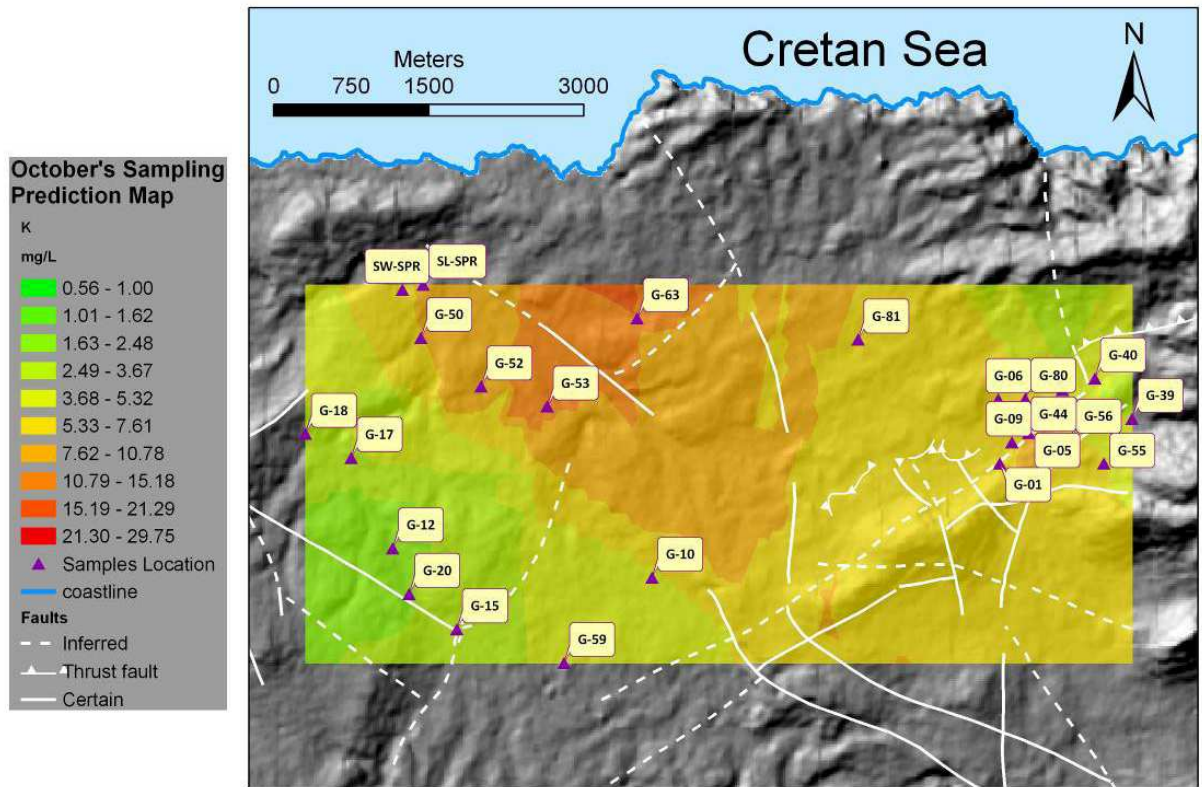
	4/6/08	28/7/08	1/10/08
Αριθμός δειγμάτων	10	23	24
Μέση τιμή	8,43	6,55783	5,36512
Τυπική απόκλιση	8,56726	8,28021	6,46422
Ελάχιστη τιμή	1,5	0,72	0,56
Διάμεσος	5,9	3,98	3,8115
Μέγιστη τιμή	31	31,75	29,75

Πίνακας 4.24: Πίνακας στατιστικών στοιχείων για το κάλιο για τις δειγματοληψίες Ιουνίου, Ιουλίου και Οκτωβρίου (10 σημεία δειγματοληψίας).

	4/6/08	28/7/08	1/10/08
Αριθμός δειγμάτων	10	9	10
Μέση τιμή	8,43	8,54	6,9203
Τυπική απόκλιση	8,56726	9,25425	8,54363
Ελάχιστη τιμή	1,5	1,26	0,7
Διάμεσος	5,9	6,03	7,525
Μέγιστη τιμή	31	31,75	69,75



Εικόνα 4.22: χάρτης χωρικής κατανομής του καλίου για τη δειγματοληψία του Ιουλίου.

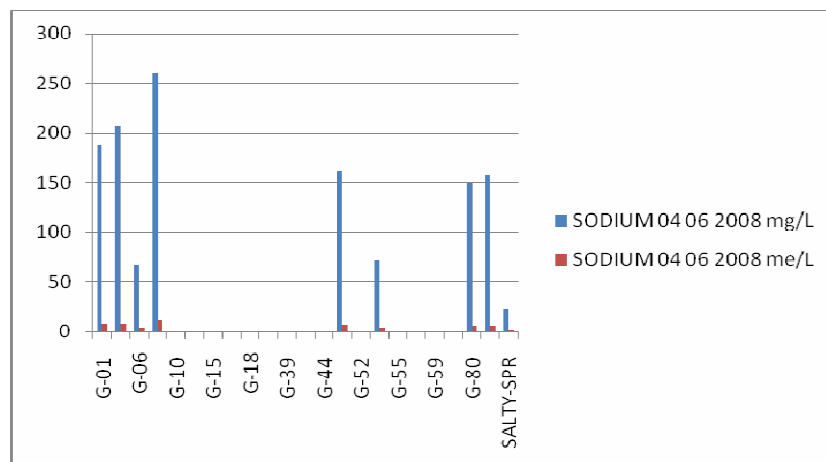


Εικόνα 4.23: χάρτης χωρικής κατανομής του καλίου για τη δειγματοληψία του Οκτωβρίου.

4.3.4 ΝΑΤΡΙΟ

Πίνακας 4.25: Πίνακας μετρήσεων του νατρίου για τις δειγματοληψίες Ιουνίου, Ιουλίου και Οκτωβρίου.

Sampling Date:	04 06 2008	28 07 2008	01 10 2008
Borehole	mg/L	mg/L	mg/L
G-01	187,5	145	290
G-05	207,5	205	410
G-06	67,5	45	127
G-09	260	240	442,5
G-10	--	85	170,75
G-12	--	34	25,75
G-15	--	30,5	44
G-17	--	35,5	56,25
G-18	--	31,25	51,25
G-20	--	25,5	40,5
G-39	--	23,75	55
G-40	--	40,75	54,25
G-44	--	126	252
G-50	162,5	277,5	607,5
G-52	--	217,5	395
G-53	71	84	156
G-55	--	58,5	85
G-56	--	139,5	266
G-59	--	38	53,5
G-63	--	535	761,5
G-80	150	159	307,5
G-81	157,5	125	211
SALTY-SPR	23	30,5	47,5
SWEET-SPR	486,5	568,75	1230



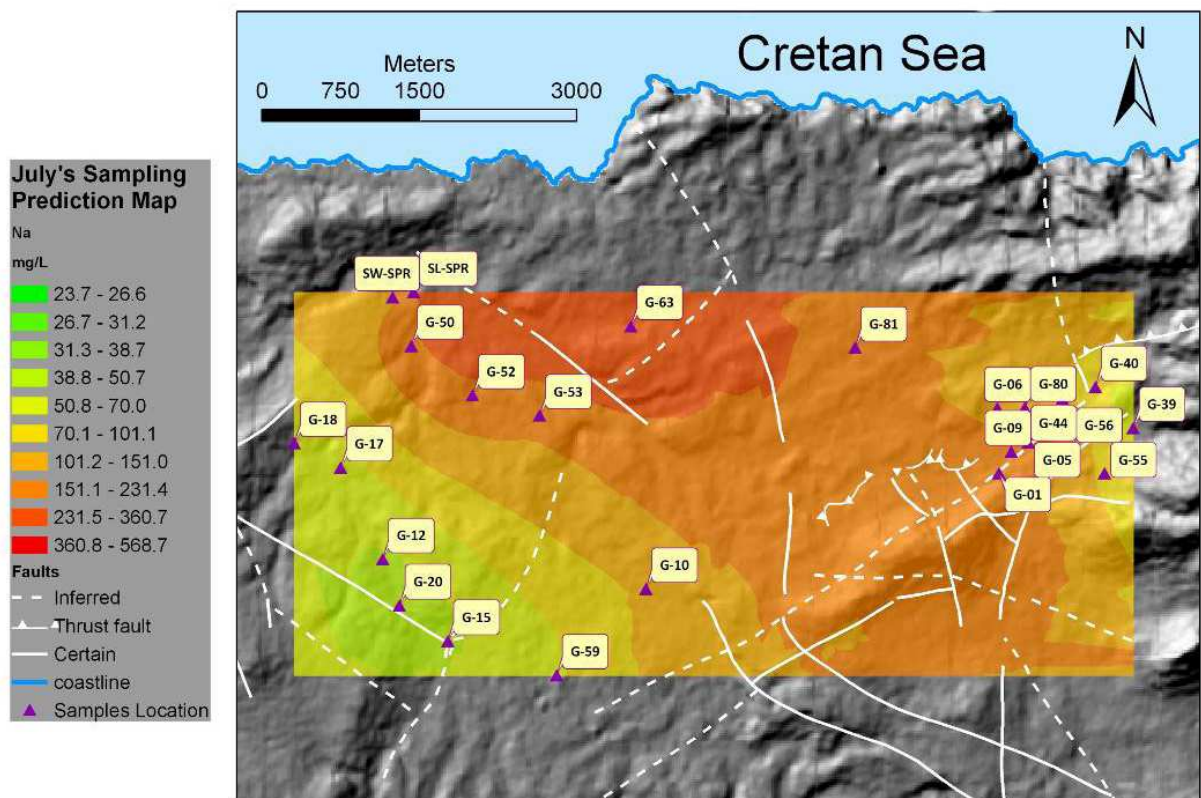
Εικόνα 4.24: Ραβδόγραμμα νατρίου για τις δειγματοληψίες Ιουνίου, Ιουλίου και Οκτωβρίου.

Πίνακας 4.26: Πίνακας στατιστικών στοιχείων για το νάτριο για τις δειγματοληψίες Ιουνίου, Ιουλίου και Οκτωβρίου (24 σημεία δειγματοληψίας).

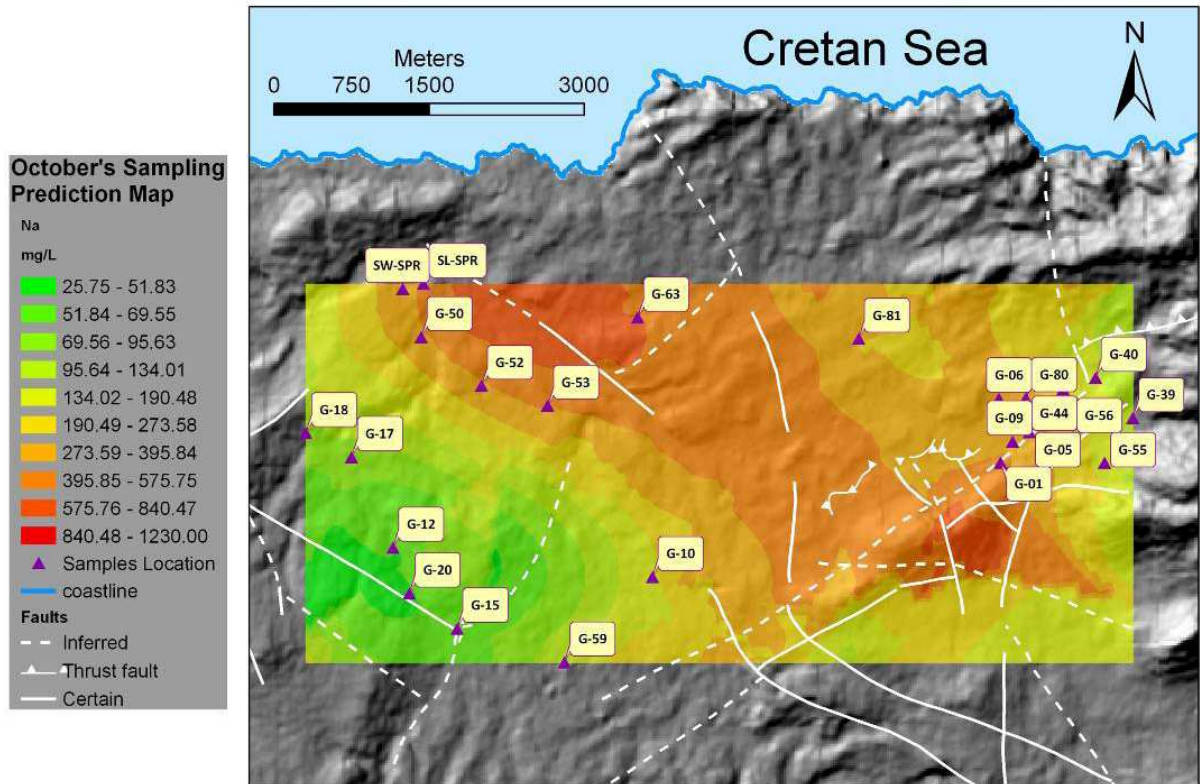
	4/6/08	28/7/08	1/10/08
Αριθμός δειγμάτων	10	24	24
Μέση τιμή	177,3	137,52083	255,82292
Τυπική απόκλιση	169,94896	148,37075	284,8707
Ελάχιστη τιμή	23	123,75	25,75
Διάμεσος	160	84,5	163,375
Μέγιστη τιμή	486,5	568,75	1230

Πίνακας 4.27: Πίνακας στατιστικών στοιχείων για το νάτριο για τις δειγματοληψίες Ιουνίου, Ιουλίου και Οκτωβρίου (10 σημεία δειγματοληψίας).

	4/6/08	28/7/08	1/10/08
Αριθμός δειγμάτων	10	10	10
Μέση τιμή	177,3	187,975	382,9
Τυπική απόκλιση	169,94896	155,88602	340,85463
Ελάχιστη τιμή	23	30,5	47,5
Διάμεσος	160	152	298,75
Μέγιστη τιμή	486,5	568,75	1230



Εικόνα 4.25: χάρτης χωρικής κατανομής του νατρίου για τη δειγματοληψία του Ιουλίου.

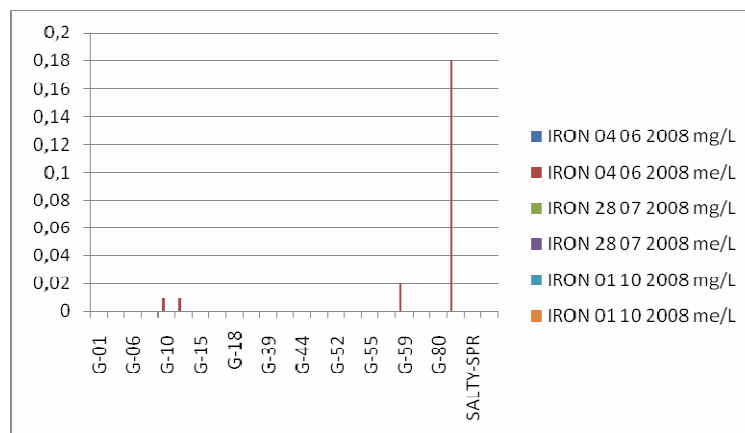


Εικόνα 4.26: χάρτης χωρικής κατανομής του νατρίου για τη δειγματοληψία του Οκτωβρίου.

4.3.5 ΣΙΔΗΡΟΣ

Πίνακας 4.28: Πίνακας μετρήσεων του σιδήρου για τις δειγματοληψίες Ιουνίου, Ιουλίου και Οκτωβρίου.

Sampling Date:	04 06 2008	28 07 2008	01 10 2008
Borehole	mg/L	mg/L	mg/L
G-01	0	0	0
G-05	0	0	0
G-06	0	0	0
G-09	0	0	0
G-10	--	0	0
G-12	--	0	0
G-15	--	0	0
G-17	--	0	0
G-18	--	0	0
G-20	--	0	0
G-39	--	0	0
G-40	--	0	0
G-44	--	0	0
G-50	0	0	0
G-52	--	0	0
G-53	0	0	0
G-55	--	0	0
G-56	--	0	0
G-59	--	0	0
G-63	--	0	0
G-80	0	0	0
G-81	0	0	0
SALTY-SPR	0	0	0
SWEET-SPR	0	0	0



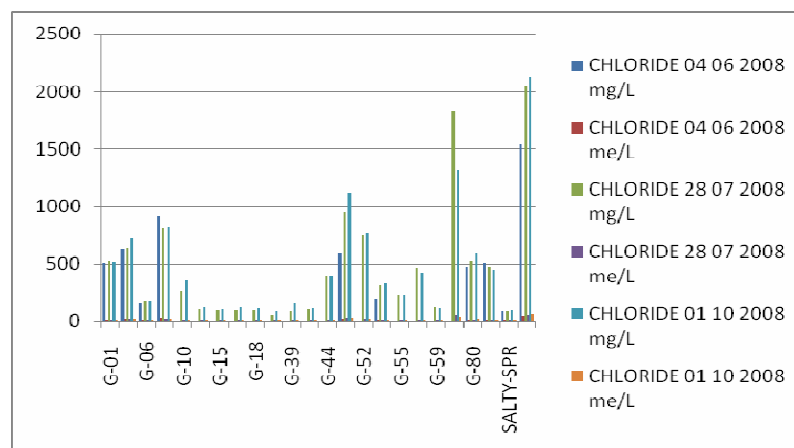
Εικόνα 4.27: Ραβδόγραμμα σιδήρου για τις δειγματοληψίες Ιουνίου, Ιουλίου και Οκτωβρίου.

4.4 ΑΝΟΡΓΑΝΑ ΜΗ ΜΕΤΑΛΛΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

4.4.1 ΧΛΩΡΙΟ

Πίνακας 4.29: Πίνακας μετρήσεων των χλωριδίων για τις δειγματοληψίες Ιουνίου, Ιουλίου και Οκτωβρίου.

Sampling Date:	04 06 2008	28 07 2008	01 10 2008
Borehole	mg/L	mg/L	mg/L
G-01	506,8	526,3	515,8
G-05	626,8	636,3	725,8
G-06	162	186,4	185,9
G-09	916,7	816,3	825,7
G-10	--	256,4	355,9
G-12	--	106,5	126
G-15	--	96,5	106
G-17	--	101,5	126
G-18	--	96,5	116
G-20	--	54,5	86
G-39	--	91,5	166
G-40	--	107,5	116
G-44	--	396,4	395,9
G-50	596,8	951,2	1121,7
G-52	--	746,3	765,8
G-53	201,9	311,4	325,9
G-55	--	231,4	235,9
G-56	--	466,4	425,9
G-59	--	126,5	116
G-63	--	1825,9	1315,6
G-80	476,9	526,3	595,8
G-81	506,8	471,4	451,9
SALTY-SPR	87	91,5	96
SWEET-SPR	1536,5	2055,9	2125,3



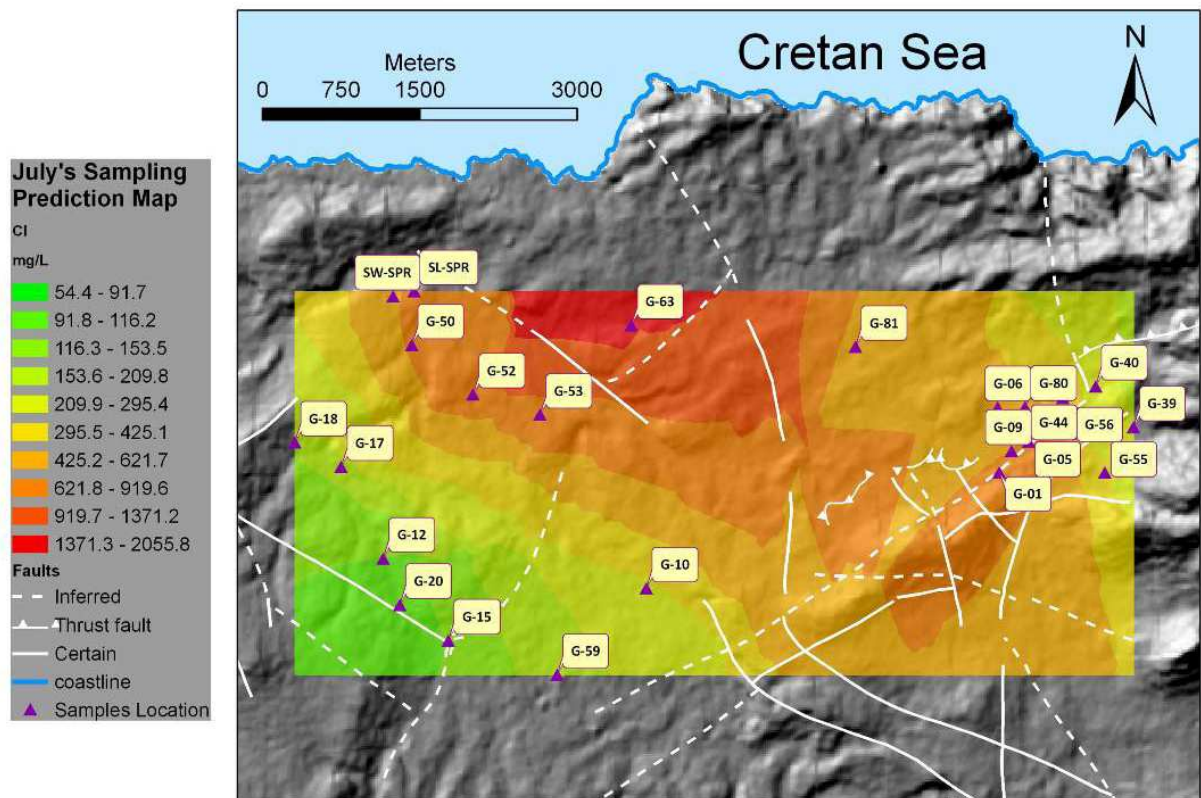
Εικόνα 4.28: Ραβδόγραμμα χλωριδίων για τις δειγματοληψίες Ιουνίου, Ιουλίου και Οκτωβρίου.

Πίνακας 4.30: Πίνακας στατιστικών στοιχείων για τα χλωρίδια για τις δειγματοληψίες Ιουνίου, Ιουλίου και Οκτωβρίου (24 σημεία δειγματοληψίας).

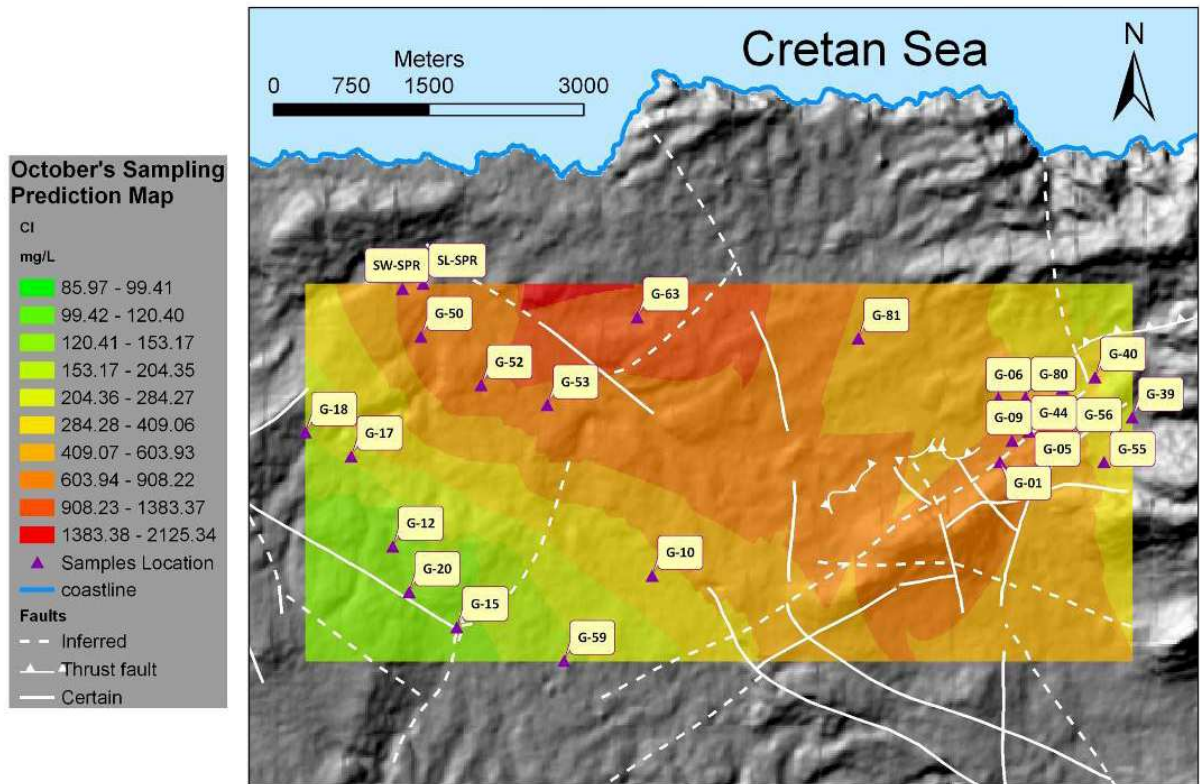
	4/6/08	28/7/08	1/10/08
Αριθμός δειγμάτων	10	24	24
Μέση τιμή	561,82	469,86667	475,95
Τυπική απόκλιση	422,88759	522,71944	488,04063
Ελάχιστη τιμή	87	54,5	86
Διάμεσος	506,8	283,9	340,9
Μέγιστη τιμή	1536,5	2055,9	2125,3

Πίνακας 4.31: Πίνακας στατιστικών στοιχείων για τα χλωρίδια για τις δειγματοληψίες Ιουνίου, Ιουλίου και Οκτωβρίου (10 σημεία δειγματοληψίας).

	4/6/08	28/7/08	1/10/08
Αριθμός δειγμάτων	10	10	10
Μέση τιμή	561,82	657,3	696,98
Τυπική απόκλιση	422,88759	557,63242	586,99729
Ελάχιστη τιμή	87	91,5	86
Διάμεσος	506,8	526,3	555,8
Μέγιστη τιμή	1536,5	2055,9	2125,3



Εικόνα 4.29: χάρτης χωρικής κατανομής των χλωριδίων για τη δειγματοληψία του Ιουλίου.

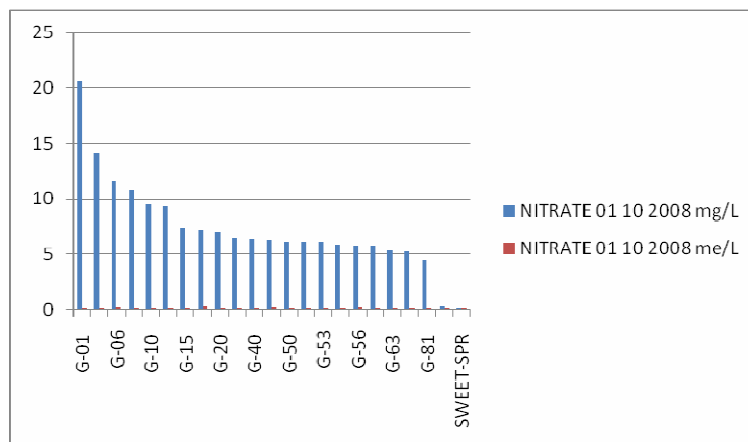


Εικόνα 4.30: χάρτης χωρικής κατανομής των χλωριδίων για τη δειγματοληψία του Οκτωβρίου.

4.4.2 ΑΖΩΤΟ ΝΙΤΡΙΚΩΝ ΑΛΑΤΩΝ

Πίνακας 4.32: Πίνακας μετρήσεων των νιτρικών για τη δειγματοληψία του Οκτωβρίου.

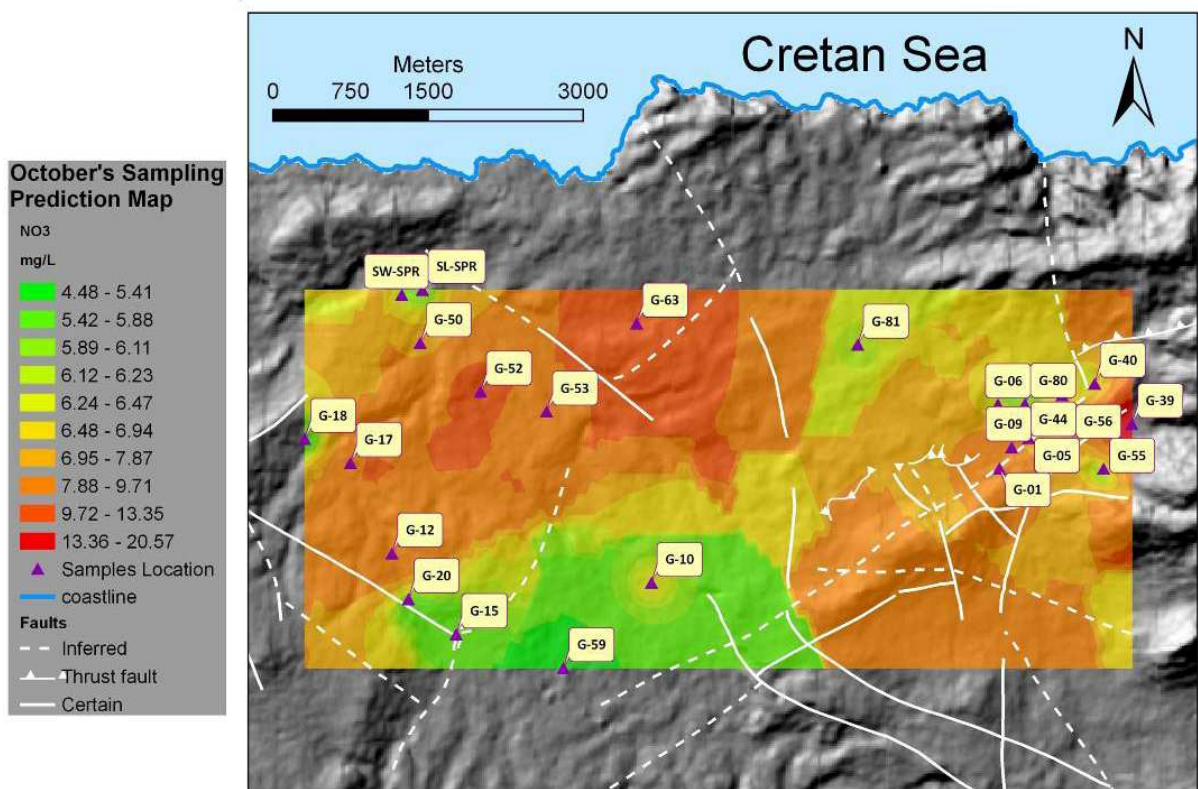
Sampling Date:	01 10 2008	01 10 2008
Borehole	mg/L	me/L
G-01	20,57	0,15
G-05	14,03	0,1
G-06	11,56	0,17
G-09	10,79	0,08
G-10	9,52	0,15
G-12	9,33	0,09
G-15	7,36	0,09
G-18	7,2	0,33
G-20	7	0,1
G-39	6,49	0,1
G-40	6,43	0,12
G-44	6,3	0,19
G-50	6,16	0,11
G-52	6,14	0,1
G-53	6,1	0,12
G-55	5,85	0,07
G-56	5,77	0,23
G-59	5,75	0,09
G-63	5,33	0,1
G-80	5,2	0,1
G-81	4,48	0,09
SALTY-SPR	0,27	0,01
SWEET-SPR	0,04	0,08



Εικόνα 4.31: Ραβδόγραμμα νιτρικών για τη δειγματοληψία του Οκτωβρίου.

Πίνακας 4.33: Πίνακας στατιστικών στοιχείων για τα νιτρικά για τη δειγματοληψία του Οκτωβρίου.

	1/10/2008
Αριθμός δειγμάτων	23
Μέση τιμή	7,29
Τυπική απόκλιση	4,22428
Ελάχιστη τιμή	0,04
Διάμεσος	6,3
Μέγιστη τιμή	20,57

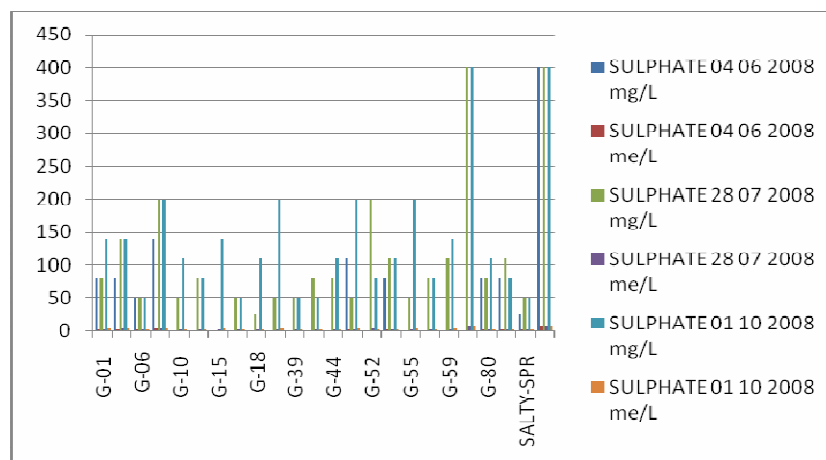


Εικόνα 4.32: χάρτης χωρικής κατανομής των νιτρικών για τη δειγματοληψία του Οκτωβρίου.

4.4.3 ΘΕΙΙΚΟ ΑΛΑΣ

Πίνακας 4.34: Πίνακας μετρήσεων των θειικών για τη δειγματοληψίες Ιουνίου, Ιουλίου και Οκτωβρίου.

Sampling Date:	04 06 2008	28 07 2008	01 10 2008
Borehole	mg/L	mg/L	mg/L
G-01	80	80	140
G-05	80	140	140
G-06	50	50	50
G-09	140	200	200
G-10	--	50	110
G-12	--	80	80
G-15	--	--	140
G-17	--	50	50
G-18	--	25	110
G-20	--	50	200
G-39	--	50	50
G-40	--	80	50
G-44	--	80	110
G-50	110	50	200
G-52	--	200	80
G-53	80	110	110
G-55	--	50	200
G-56	--	80	80
G-59	--	110	140
G-63	--	400	400
G-80	80	80	110
G-81	80	110	80
SALTY-SPR	25	50	50
SWEET-SPR	400	400	400



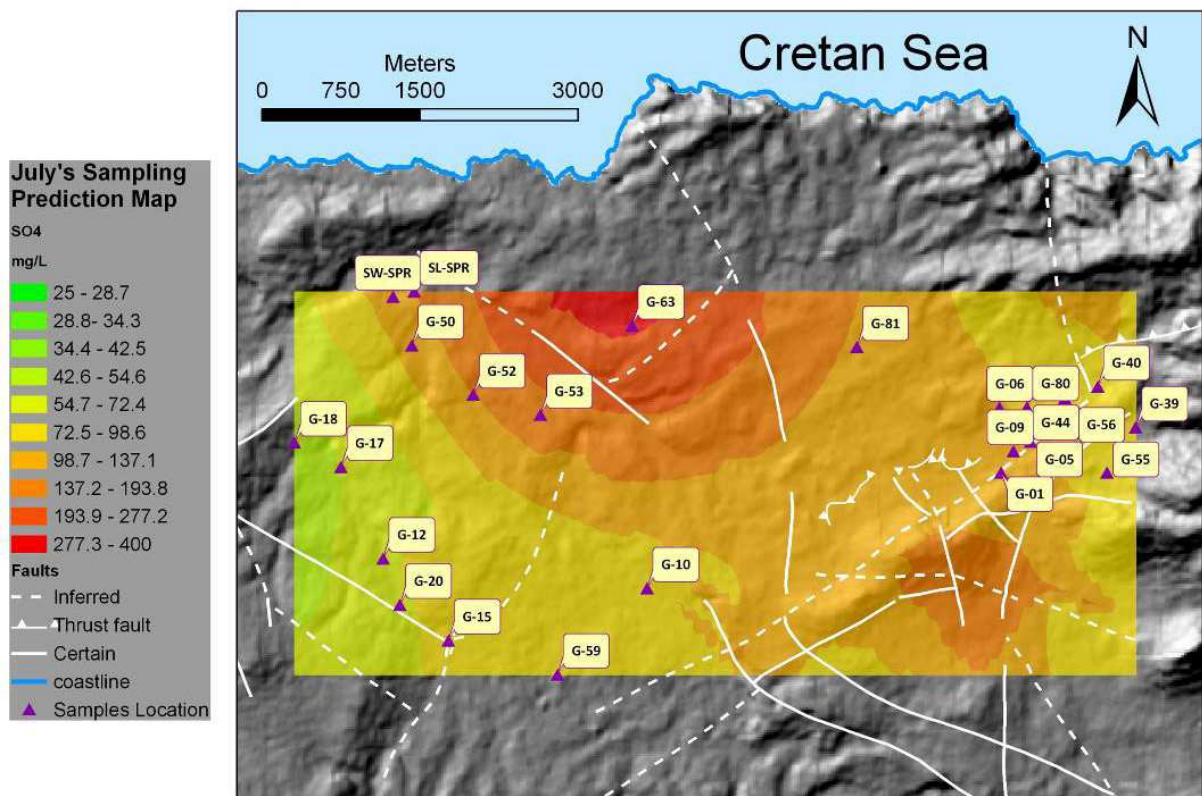
Εικόνα 4.33: Ραβδόγραμμα θειικών για τις δειγματοληψίες Ιουνίου, Ιουλίου και Οκτωβρίου.

Πίνακας 4.35: Πίνακας στατιστικών στοιχείων για τα θειικά για τις δειγματοληψίες Ιουνίου, Ιουλίου και Οκτωβρίου (24 δείγματα).

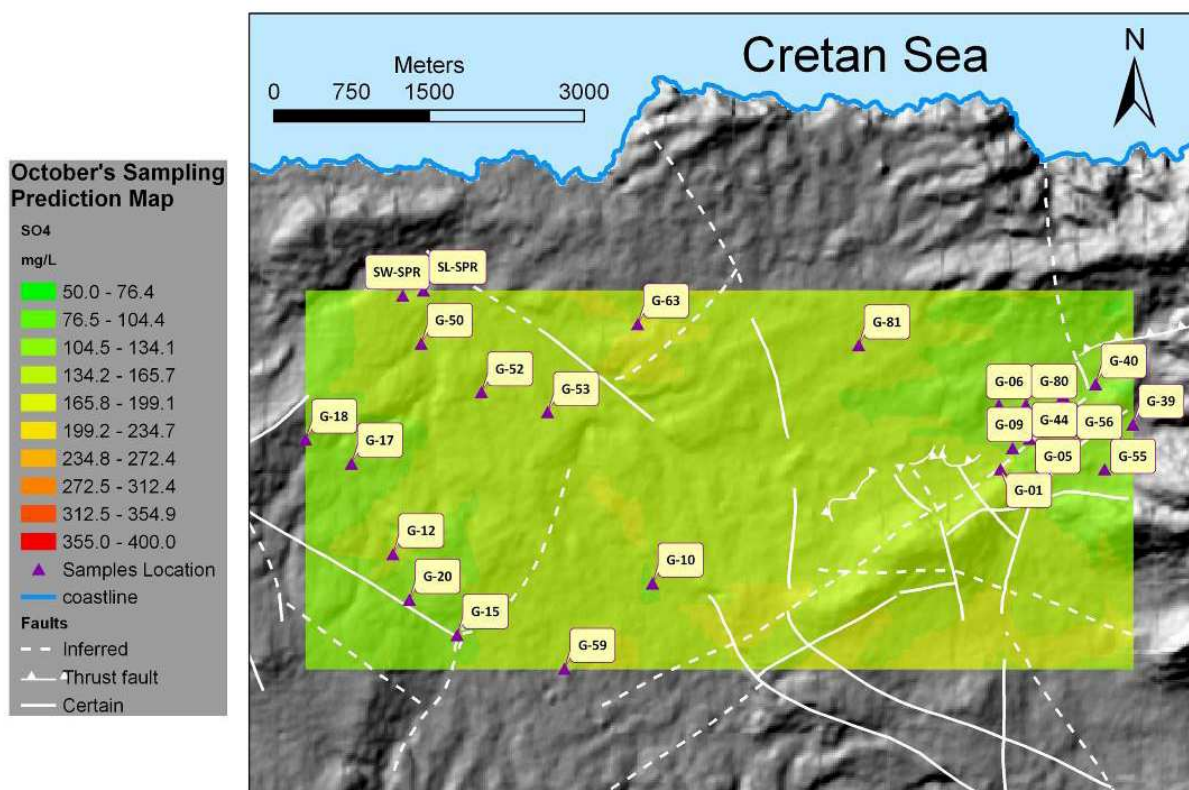
	4/6/08	28/7/08	1/10/08
Αριθμός δειγμάτων	10	23	24
Μέση τιμή	112,5	111,95652	136,66667
Τυπική απόκλιση	105,54751	101,49719	95,2647
Ελάχιστη τιμή	25	25	50
Διάμεσος	80	80	110
Μέγιστη τιμή	400	400	400

Πίνακας 4.36: Πίνακας στατιστικών στοιχείων για τα θειικά για τις δειγματοληψίες Ιουνίου, Ιουλίου και Οκτωβρίου (10 δείγματα).

	4/6/08	28/7/08	1/10/08
Αριθμός δειγμάτων	10	10	10
Μέση τιμή	112,5	127	148
Τυπική απόκλιση	105,54751	106,88	103,15038
Ελάχιστη τιμή	25	50	50
Διάμεσος	80	95	125
Μέγιστη τιμή	400	400	400



Εικόνα 4.34: χάρτης χωρικής κατανομής των θειικών για τη δειγματοληψία του Ιουλίου.

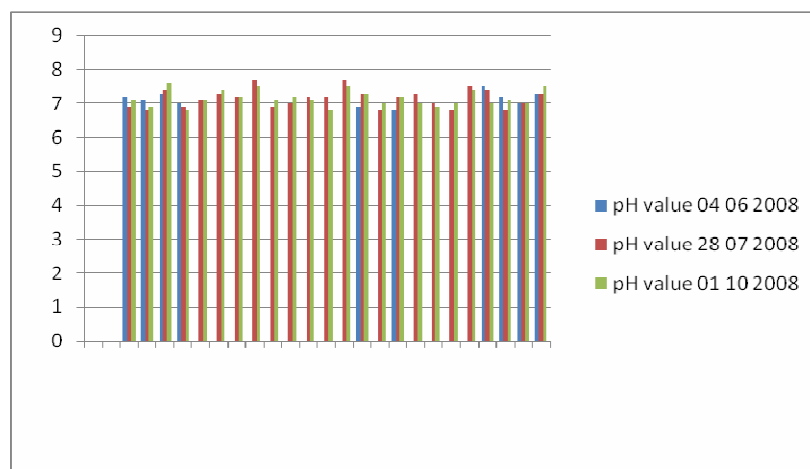


Εικόνα 4.35: χάρτης χωρικής κατανομής των θειικών για τη δειγματοληψία του Οκτωβρίου.

4.4.4 PH

Πίνακας 4.37: Πίνακας μετρήσεων του pH για τη δειγματοληψίες Ιουνίου, Ιουλίου και Οκτωβρίου.

Sampling Date:	04 06 2008	28 07 2008	01 10 2008
Borehole			
G-01	7,2	6,9	7,1
G-05	7,1	6,8	6,9
G-06	7,3	7,4	7,6
G-09	7	6,9	6,8
G-10	--	7,1	7,1
G-12	--	7,3	7,4
G-15	--	7,2	7,2
G-17	--	7,7	7,5
G-18	--	6,9	7,1
G-20	--	7	7,2
G-39	--	7,2	7,1
G-40	--	7,2	6,8
G-44	--	7,7	7,5
G-50	6,9	7,3	7,3
G-52	--	6,8	7
G-53	6,8	7,2	7,2
G-55	--	7,3	7
G-56	--	7	6,9
G-59	--	6,8	7
G-63	--	7,5	7,4
G-80	7,5	7,4	7
G-81	7,2	6,8	7,1
SALTY-SPR	7	7	7
SWEET-SPR	7,3	7,3	7,5



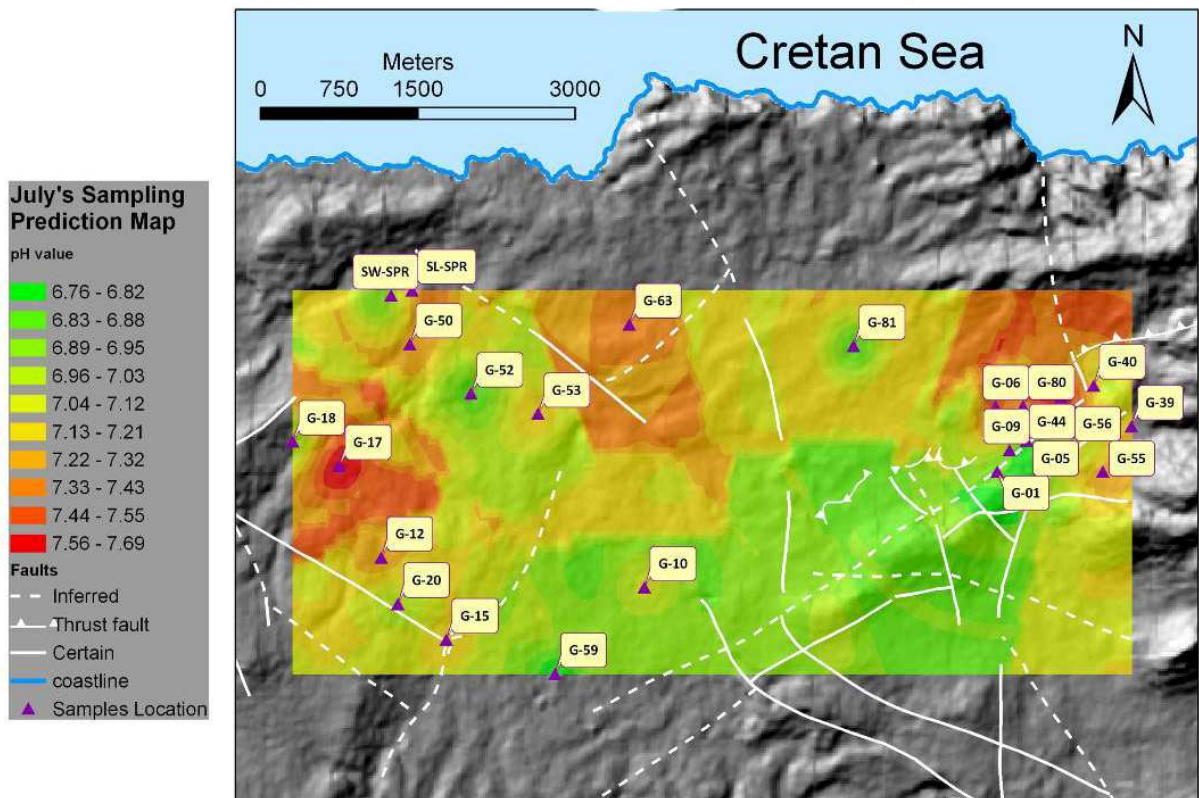
Εικόνα 4.36: Ραβδόγραμμα pH για τις δειγματοληψίες Ιουνίου, Ιουλίου και Οκτωβρίου

Πίνακας 4.38: Πίνακας στατιστικών στοιχείων για το pH για τις δειγματοληψίες Ιουνίου, Ιουλίου και Οκτωβρίου (24 δείγματα).

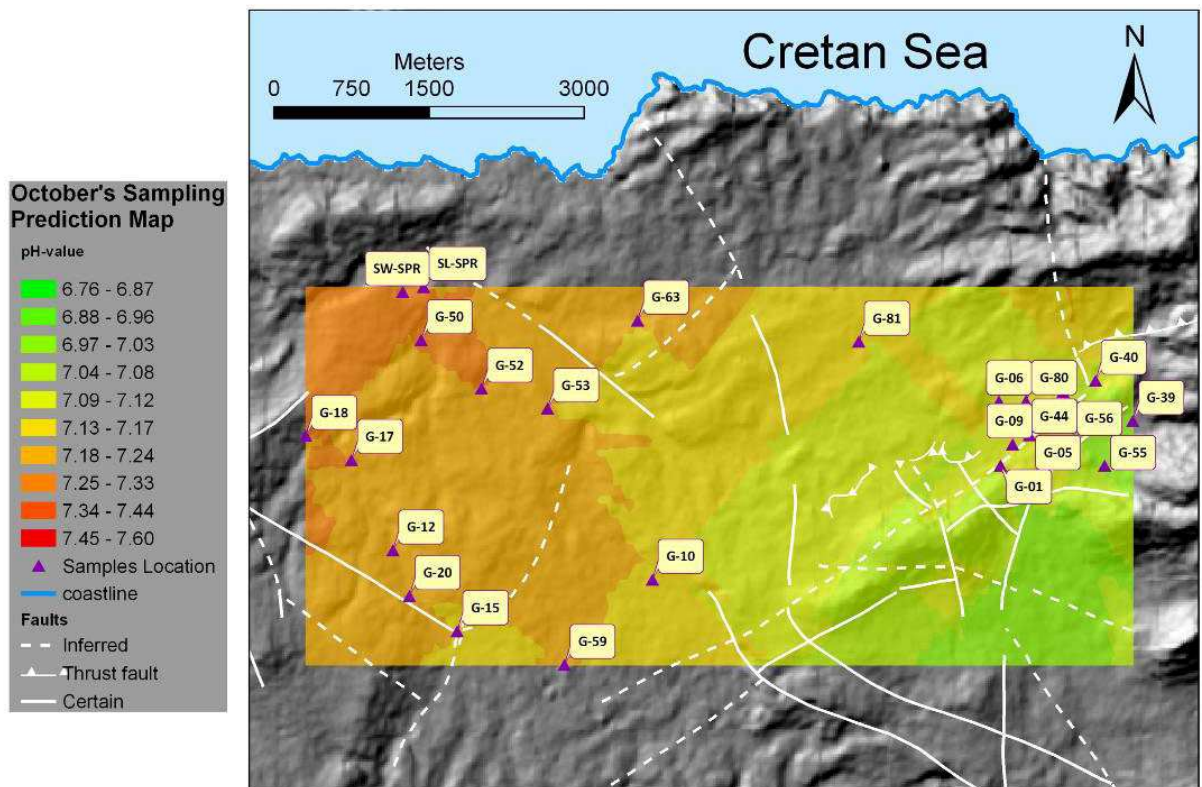
	4/6/08	28/7/08	1/10/08
Αριθμός δειγμάτων	10	24	24
Μέση τιμή	7.13	7.15417	7.15417
Τυπική απόκλιση	0.21108	0.27184	0.23027
Ελάχιστη τιμή	6.8	6.8	6.8
Διάμεσος	7.15	7.2	7.1
Μέγιστη τιμή	7.5	7.7	7.6

Πίνακας 4.39: Πίνακας στατιστικών στοιχείων για το pH για τις δειγματοληψίες Ιουνίου, Ιουλίου και Οκτωβρίου (10 δείγματα).

	4/6/08	28/7/08	1/10/08
Αριθμός δειγμάτων	10	10	10
Μέση τιμή	7.13	7.1	7.15
Τυπική απόκλιση	0.21108	0.24495	0.25495
Ελάχιστη τιμή	6.8	6.8	6.8
Διάμεσος	7.15	7.1	7.1
Μέγιστη τιμή	7.5	7.4	7.6



Εικόνα 4.37: χάρτης χωρικής κατανομής του pH για τη δειγματοληψία του Ιουλίου.



Εικόνα 4.38: χάρτης χωρικής κατανομής του pH για τη δειγματοληψία του Οκτωβρίου.

4.5 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ

Οι συγκεντρώσεις (σε mg/L), των χημικών παραμέτρων, όπως καθορίζεται από τις διάφορες μεθόδους, μετατράπηκαν σε χιλιοστοϊσοδύναμα / λίτρο (me/L) για το χαρακτηρισμό των υπόγειων νερών σύμφωνα με τα κυρίαρχα ιόντα (πίνακας 4.41).

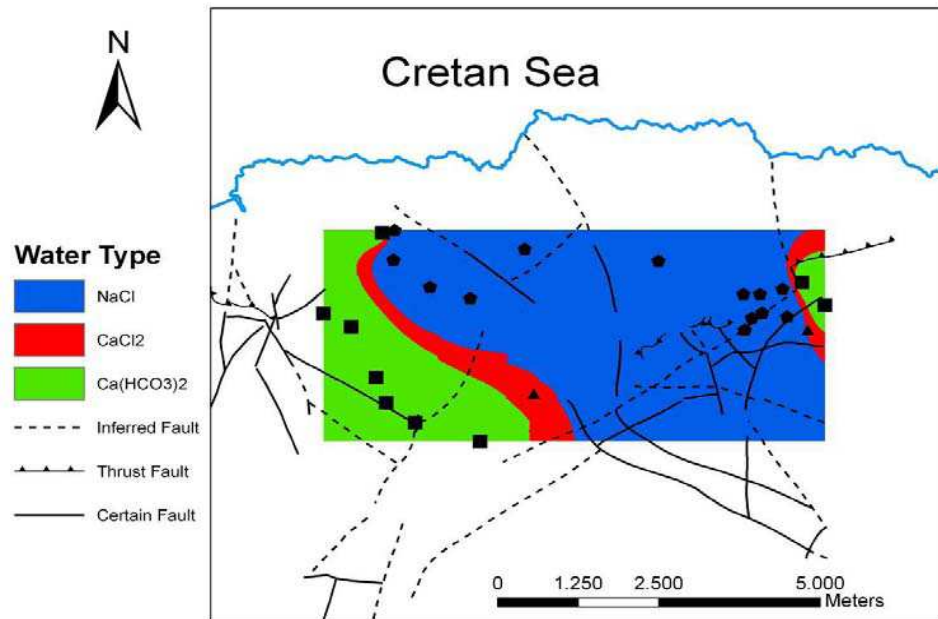
Πίνακας 4.40: Πίνακας με τις συγκεντρώσεις του θαλασσινού νερού στο Αιγαίο, όπως προκύπτει από τον Yalcin et al. (1997).

Ions	Aegean sea-water, mg/L
Cations	
Na ⁺	11699
Mg ²⁺	1337
Ca ²⁺	477
K ⁺	283
Anions	
Cl ⁻	21999
SO ₄ ²⁻	3016
CO ₃ ²⁻	140
Br ⁻	60
Total	39011

Γενικά, Ca(HCO₃)₂ είναι ο τύπος του νερού που χαρακτηρίζεται ως γλυκό νερό και NaCl ο τύπος του νερού που χαρακτηρίζεται ως υφάλμυρο και CaCl₂ είναι ο τύπος του νερού που χαρακτηρίζεται ως μεταβατικό στάδιο του νερού. Σύμφωνα με τα κυρίαρχα ιόντα στα 24 δείγματα, τρεις είναι οι τύποι των υπογείων νερών που μπορούν να καθοριστούν: για τα δεκατρία δείγματα ο τύπος NaCl (μπλε χρώμα), για τα εννέα δείγματα ο τύπος Ca (HCO₃)₂ (πράσινο χρώμα) και για τα δύο δείγματα ο τύπος CaCl₂ (κόκκινο χρώμα). Στον χάρτη (εικόνα 4.39) παρουσιάζονται οι χωρικές κατανομές των τριών τύπων των υπόγειων νερών για την δειγματοληψία του Οκτωβρίου.

Πίνακας 4.41: Πίνακας με τις συγκεντρώσεις των χημικών παραμέτρων σε me / L για το χαρακτηρισμό νερών.

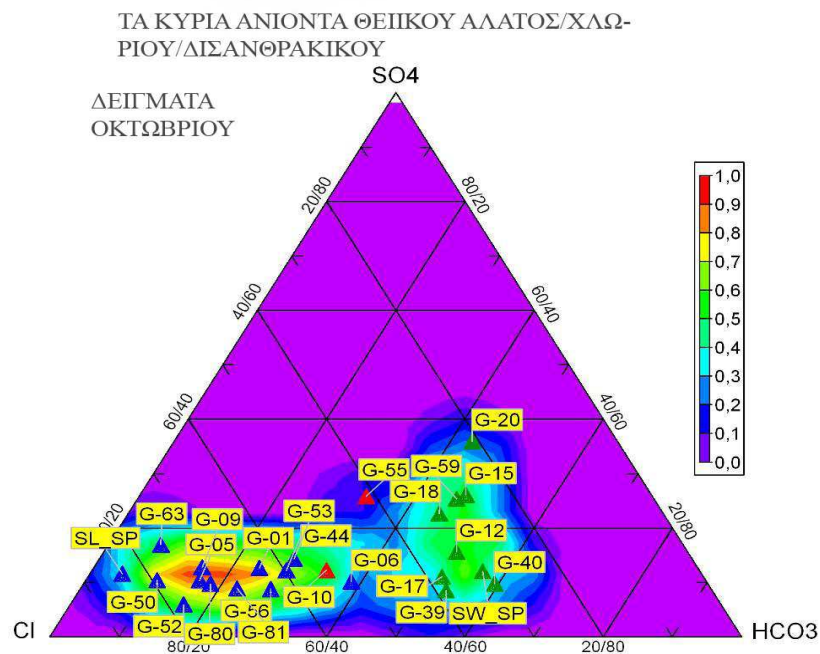
Code Name	Anions			Cations				Water Type
	HCO ₃ me/L	Cl ⁻ me/L	SO ₄ me/L	K me/L	Na me/L	Ca me/L	Mg me/L	
G-01	6.7	14.6	2.9	0.12	12.62	5.23	5.66	NaCl
G-05	5.6	20.5	2.9	0.16	17.84	5.59	5.81	NaCl
G-06	4.8	5.2	1.0	0.05	5.52	2.96	2.35	NaCl
G-09	6.2	23.3	4.2	0.19	19.25	5.87	6.41	NaCl
G-10	7.7	10.0	2.3	0.17	7.43	7.50	1.92	CaCl ₂
G-12	6.6	3.6	1.7	0.07	1.12	5.41	1.37	Ca(HCO ₃) ₂
G-15	6.4	2.9	2.9	0.05	1.91	5.49	0.93	Ca(HCO ₃) ₂
G-17	5.9	3.6	1.0	0.03	2.45	5.06	0.98	Ca(HCO ₃) ₂
G-18	5.6	3.3	2.3	0.03	2.23	3.82	1.26	Ca(HCO ₃) ₂
G-20	6.1	2.4	4.2	0.03	1.76	4.85	0.85	Ca(HCO ₃) ₂
G-39	7.9	4.7	1.0	0.14	2.39	4.63	4.44	Ca(HCO ₃) ₂
G-40	7.7	3.3	1.0	0.01	2.36	3.76	3.38	Ca(HCO ₃) ₂
G-44	6.4	11.2	2.3	0.13	10.96	3.86	4.97	NaCl
G-50	5.0	31.6	4.2	0.27	26.43	9.26	5.63	NaCl
G-52	5.5	21.6	1.7	0.12	17.18	9.32	3.39	NaCl
G-53	5.5	9.2	2.3	0.11	6.79	6.10	1.94	NaCl
G-55	6.4	6.7	4.2	0.06	3.69	3.83	3.66	CaCl ₂
G-56	6.3	12.0	1.7	0.12	11.57	5.03	5.09	NaCl
G-59	6.4	3.3	2.9	0.08	2.33	6.35	1.22	Ca(HCO ₃) ₂
G-63	4.6	37.1	8.3	0.47	33.13	7.39	7.26	NaCl
G-80	5.2	16.8	2.3	0.16	13.38	4.85	4.53	NaCl
G-81	5.1	12.7	1.7	0.09	9.18	5.70	2.32	NaCl
SW-SP	5.9	2.7	1.0	0.03	2.07	4.63	0.96	Ca(HCO ₃) ₂
SL-SP	4.0	59.9	8.3	0.76	53.51	7.42	9.38	NaCl



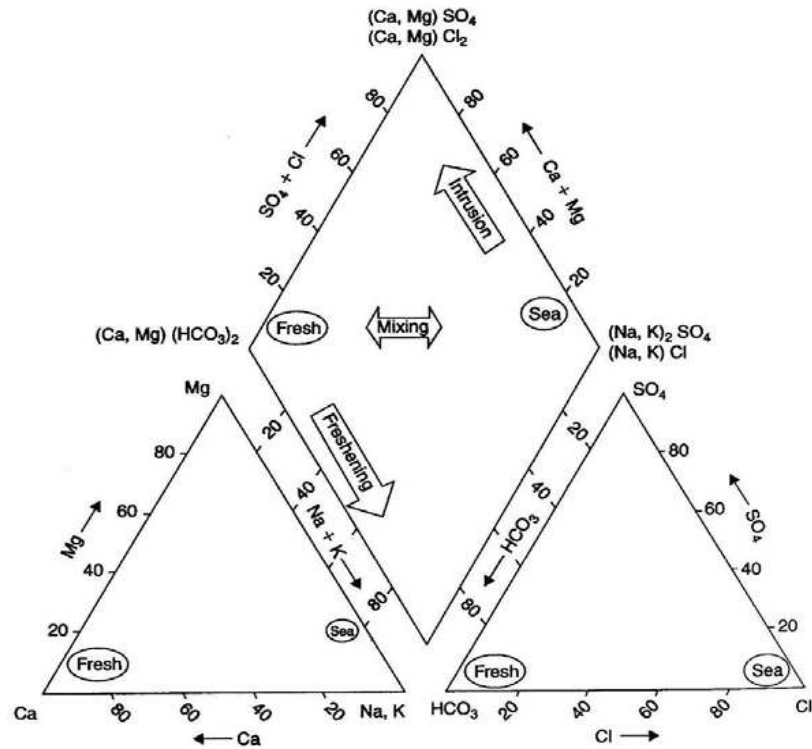
Εικόνα 4.39: χωρική κατανομή των τύπων του υπόγειου νερού για τη δειγματοληψία του Οκτωβρίου.

4.6 ΤΡΙΑΔΙΚΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ

Πρόέκυψαν δύο τριαδικά διαγράμματα για τα ανιόντα και τα κατιόντα. Κάθε διάγραμμα αποτελείται από τρεις στήλες που η καθεμία απεικονίζει τα ποσοστά βασικών ανιόντων και κατιόντων, εκφρασμένα σε χιλιοστοισοδύναμα ανά λίτρο (me/L).



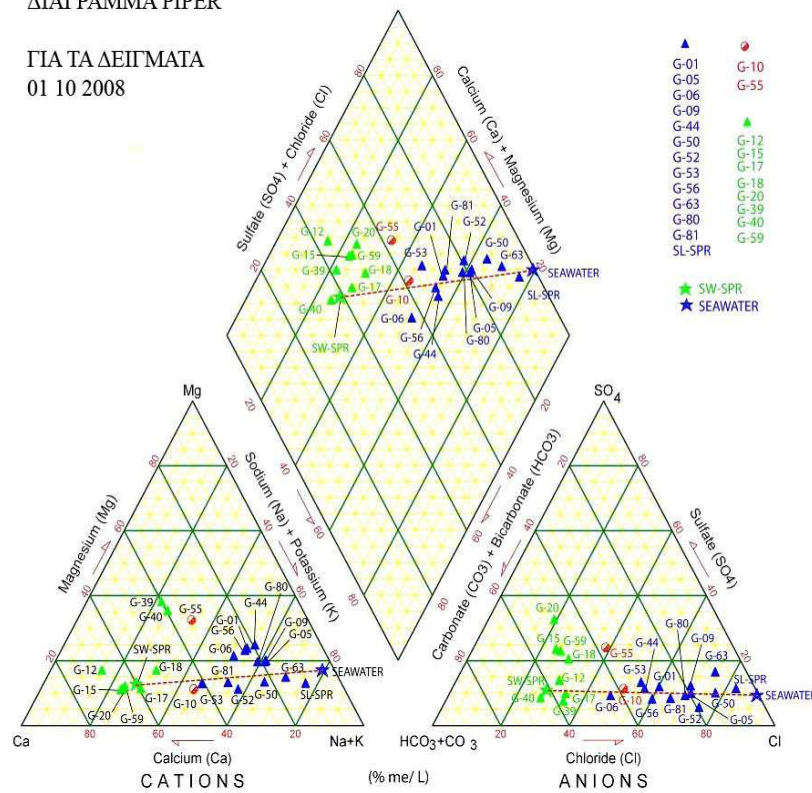
Εικόνα 4.40: τριαδικό διάγραμμα των βασικών ανιόντων.



Εικόνα 4.42: διάγραμμα Piper που δείχνει τη μέση σύνθεση του γλυκού νερού και του θαλασσινού νερού (Arpelo and Postma, 2005).

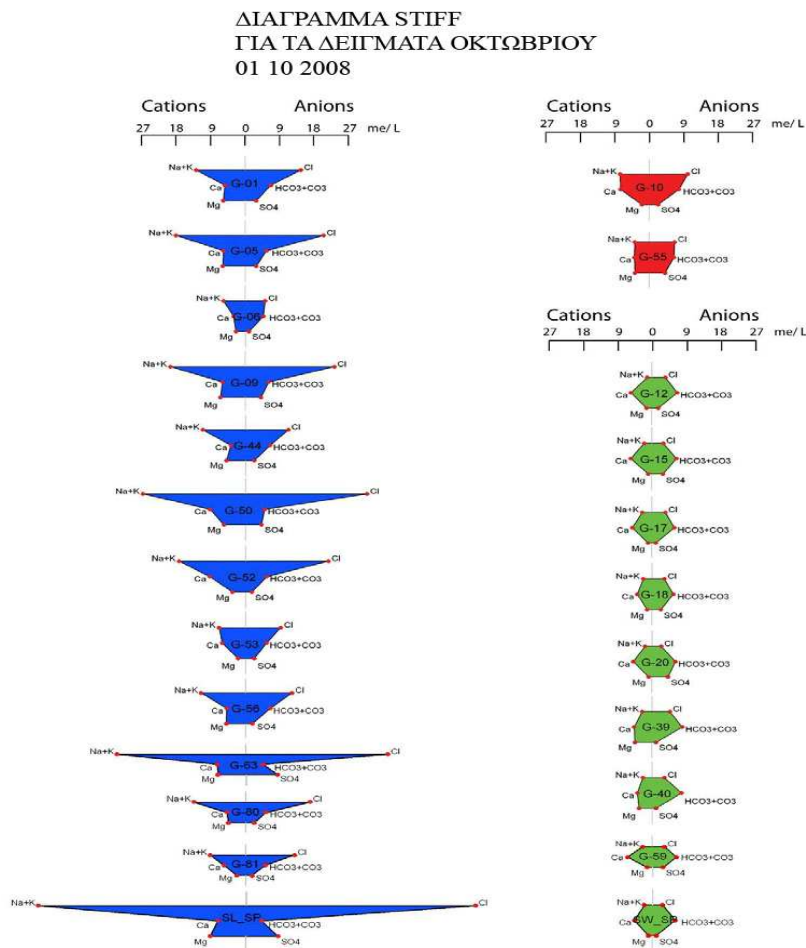
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ PIPER

ΓΙΑ ΤΑ ΔΕΙΓΜΑΤΑ
01 10 2008

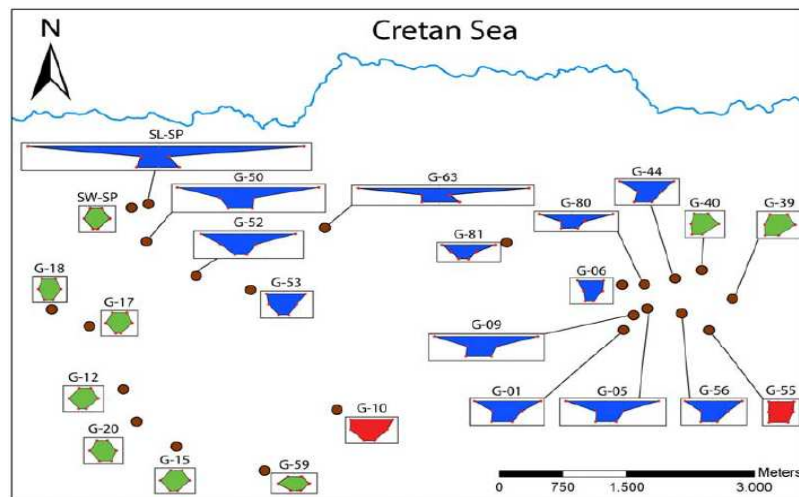


Εικόνα 4.43: διάγραμμα piper για την δειγματοληψία του Οκτωβρίου. Η διακεκομμένη κόκκινη γραμμή είναι η γραμμή μίξης μεταξύ γλυκού νερού και του νερού της θάλασσας.

me/L. Ο πάνω άξονας έχει Cl⁻ προς τα δεξιά, Na⁺ προς τα αριστερά που σημαίνει μία πιθανή επιρροή από θαλάσσιο νερό, αφού εκεί κυρίαρχο άλας είναι το NaCl. Ο δεύτερος άξονας έχει HCO₃⁻ προς τα δεξιά και Ca²⁺ προς τα αριστερά, και αυτός ο άξονας απεικονίζει την διάλυση του CaCO₃. Ο τρίτος άξονας έχει SO₄²⁻ προς τα δεξιά, Mg²⁺ στα αριστερά, παρουσιάζοντας τα δύο εναπομείναντα κυρίαρχα ιόντα (Appelo and Postma, 2005).



Εικόνα 4.45: διαγράμματα Stiff για την δειγματοληψία του Οκτωβρίου. Το μπλε χρώμα αντιπροσωπεύει τον τύπο νερού NaCl, το κόκκινο τον τύπο νερού CaCl₂ και το πράσινο αντιπροσωπεύει τον τύπο Ca(HCO₃)₂.



Εικόνα 4.46: χάρτης Stiff: Χωρική κατανομή των διαγραμμάτων Stiff για τη δειγματοληψία του Οκτωβρίου.

4.10 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΔΙΑΣΠΟΡΑΣ

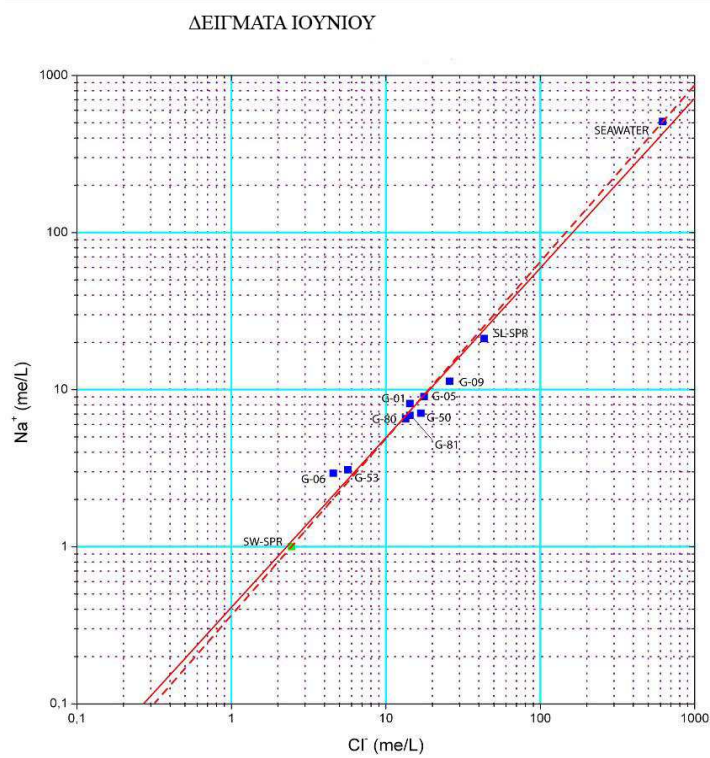
Δημιουργήθηκαν διαγράμματα διασποράς για να βρεθεί αν το νερό από κάθε γεώτρηση έχει την ίδια πηγή ρύπανσης. Αυτό μπορεί να ελεγχθεί από τον συντελεστή συσχέτισης R, ο οποίος χρησιμοποιείται στην στατιστική για την ένδειξη της δύναμης και της κατεύθυνσης της γραμμικής σχέσης μεταξύ δύο τυχαίων μεταβλητών (Rodgers and Nicewander, 1988). Για την ερμηνεία του συντελεστή συσχέτισης που χρησιμοποιείται για τις χημικές παραμέτρους ακολουθήθηκε η ταξινόμηση του παρακάτω πίνακα:

Συσχέτιση	R
Καμία	≈ 0
Ασθενής	< 0.50
Μεσαία	$0.50-0.80$
Ισχυρή	> 0.80
Τέλεια	1

Έτσι μόνο όταν όλα τα στοιχεία βρίσκονται σε μια ευθεία γραμμή έχουμε μια τέλεια συσχέτιση (1). Μια συσχέτιση μεγαλύτερη από 0,8 περιγράφεται σαν ισχυρή συσχέτιση, ενώ μικρότερη από 0,5 χαρακτηρίζεται ως ασθενής συσχέτιση. Δεν υπάρχει καμία συσχέτιση όταν ο συντελεστής R είναι κοντά στο 0. Φτιάχτηκαν πέντε είδη διαγραμμάτων διασποράς για όλες τις δειγματοληψίες (Ιούνιο, Ιούλιο, Οκτώβριο) όπου τα διάφορα στοιχεία σχεδιάστηκαν σε σχέση με την συγκέντρωση του Cl⁻ : Na-Cl, Ca-Cl, K-Cl, Mg-Cl και SO₄-Cl. Η συνεχής γραμμή αντιπροσωπεύει την γραμμή παλινδρόμησης του κάθε διαγράμματος, ενώ η διακεκομμένη γραμμή την γραμμή μίξης του γλυκού και του αλμυρού νερού. Όλα τα διαγράμματα έχουν υψηλούς συντελεστές συσχέτισης (R), περίπου (0,91 - 0,98) και λίγοι κοντά στο 0,8.

4.10.1 Na - Cl

ΔΕΙΓΜΑΤΑ 4 ΙΟΥΝΙΟΥ 2008



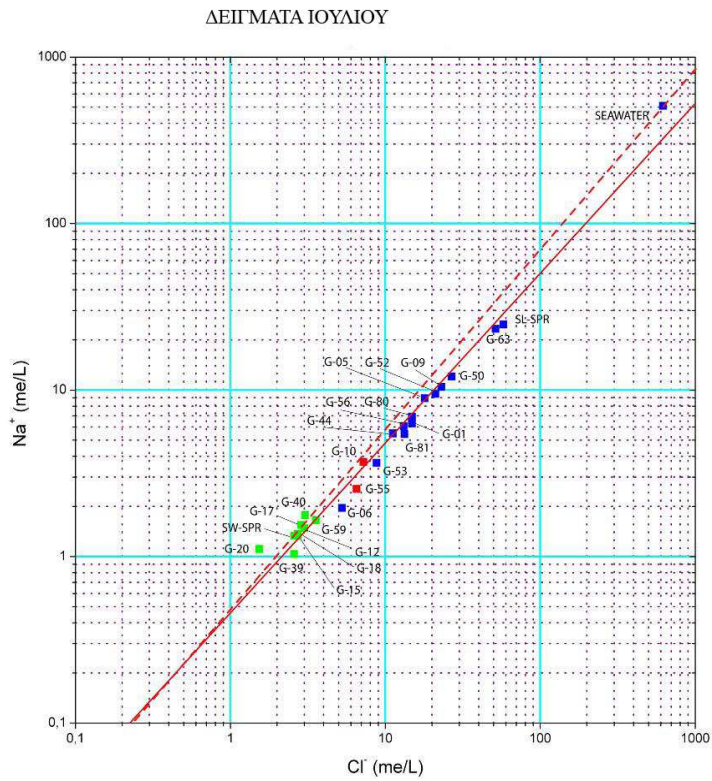
Εικόνα 4.47: διάγραμμα διασποράς του Na⁺ σε σχέση με το Cl⁻ για τα δείγματα Ιουνίου.

$$Y = A + B * X$$

Παράμετροι	Αξία	Σφάλμα
A	-0.38548	0.05289
B	1.08035	0.03861

<u>R</u>	0,99
<u>Τυπική απόκλιση</u>	0,08
<u>N</u>	11
<u>P</u>	<0.0001

ΔΕΙΓΜΑΤΑ 28 ΙΟΥΛΙΟΥ 2008



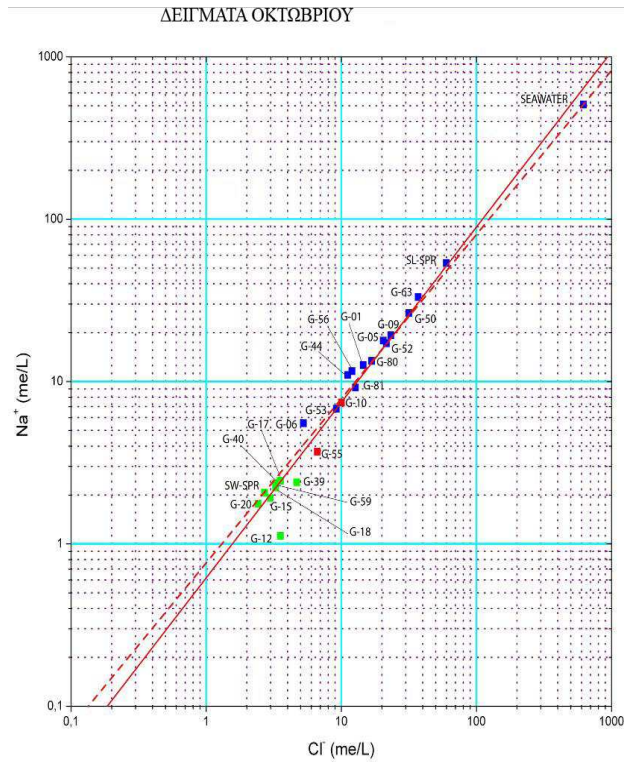
Εικόνα 4.48: διάγραμμα διασποράς του Na⁺ σε σχέση με το Cl⁻ για τα δείγματα Ιουλίου.

$$Y = A + B * X$$

Παράμετροι	Αξία	Σφάλμα
A	-0.33832	0.03102
B	1.01972	0.02743

<u>R</u>	0,99
<u>Τυπική απόκλιση</u>	0,08
<u>N</u>	25
<u>P</u>	<0.0001

ΔΕΙΓΜΑΤΑ 10 ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ 2008



Εικόνα 4.49: διάγραμμα διασποράς του Na⁺ σε σχέση με το Cl⁻ για τα δείγματα Οκτωβρίου.

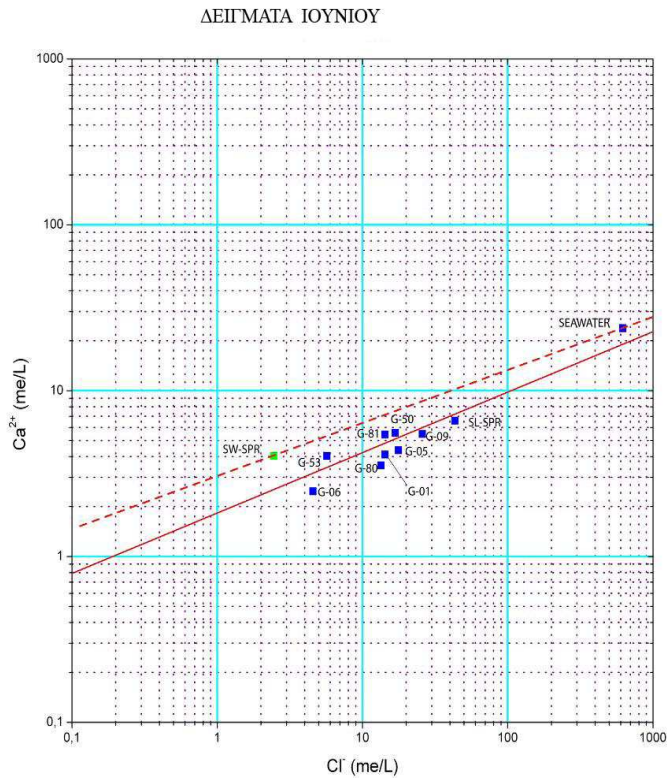
$$Y = A + B * X$$

Παράμετροι	Αξία	Σφάλμα
A	-0.20887	0.04235
B	1.08001	0.0369

<u>R</u>	0,99
<u>Τυπική απόκλιση</u>	0,09
<u>N</u>	25
<u>P</u>	<0.0001

4.10.2 Ca-Cl

ΔΕΙΓΜΑΤΑ 4 ΙΟΥΝΙΟΥ 2008



Εικόνα 4.50: διάγραμμα διασποράς του Ca^{2+} σε σχέση με το Cl^- για τα δείγματα Ιουνίου.

$$Y = A + B * X$$

Παράμετροι	Αξία	Σφάλμα
A	0.26208	0.07304
B	0.36441	0.05333

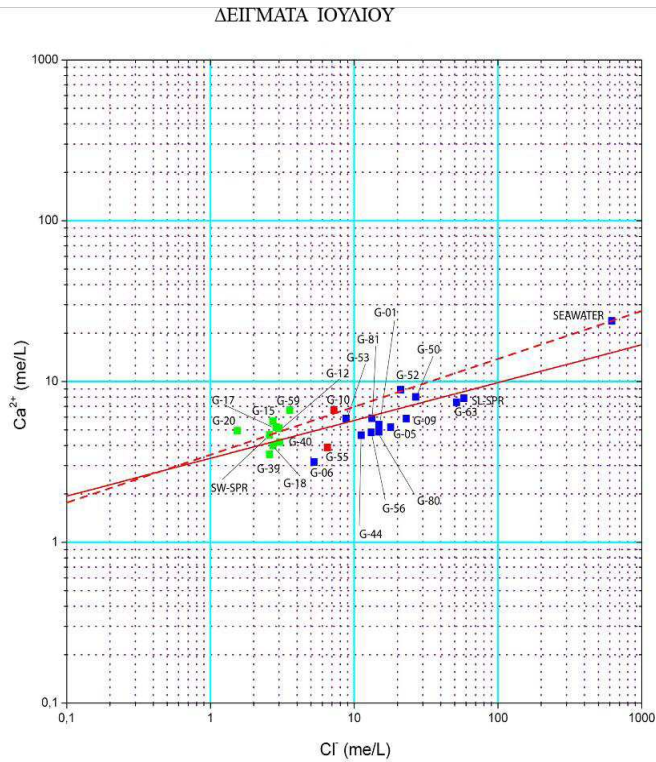
$$\underline{R} \quad 0,92$$

$$\underline{\text{Τυπική απόκλιση}} \quad 0,11$$

$$\underline{N} \quad 11$$

$$\underline{P} \quad <0.0001$$

ΔΕΙΓΜΑΤΑ 28 ΙΟΥΛΙΟΥ 2008



Εικόνα 4.51: διάγραμμα διασποράς του Ca²⁺ σε σχέση με το Cl⁻ για τα δείγματα Ιουλίου.

$$Y = A + B * X$$

Παράμετροι	Αξία	Σφάλμα
A	0.52269	0.04225
B	0.23525	0.03737

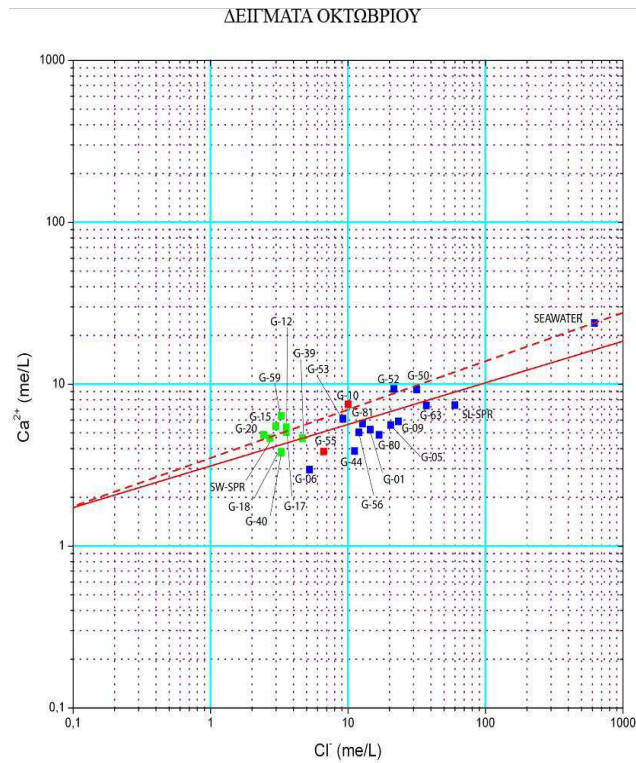
$$\underline{R} \quad 0,80$$

$$\underline{\text{Τυπική απόκλιση}} \quad 0,11$$

$$\underline{N} \quad 25$$

$$\underline{P} \quad <0.0001$$

ΔΕΙΓΜΑΤΑ 10 ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ 2008



Εικόνα 4.52: διάγραμμα διασποράς του Ca²⁺ σε σχέση με το Cl⁻ για τα δείγματα Οκτωβρίου.

$$Y = A + B * X$$

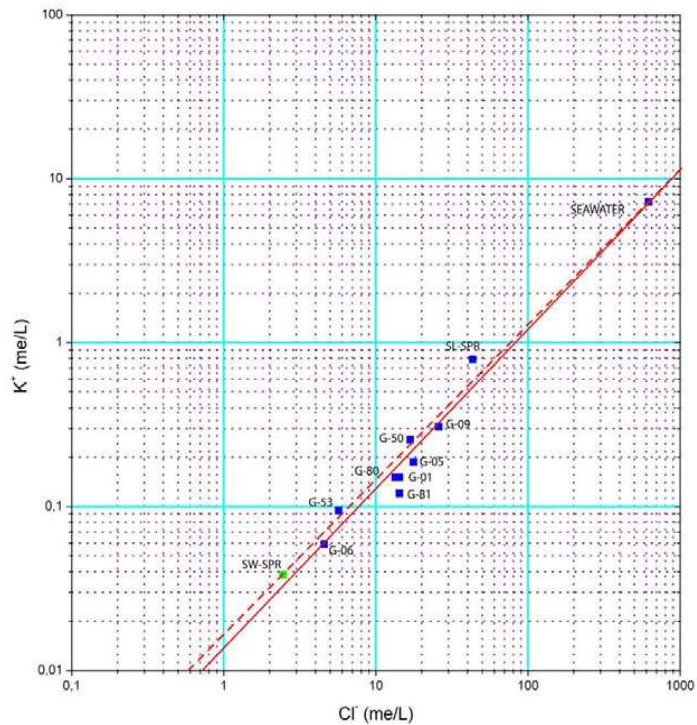
Παράμετροι	Αξία	Σφάλμα
A	0.49422	0.04762
B	0.25722	0.0415

<u>R</u>	0,79
<u>Τυπική απόκλιση</u>	0,11
<u>N</u>	25
<u>P</u>	<0.0001

4.10.3 K-Cl

ΔΕΙΓΜΑΤΑ 4 ΙΟΥΝΙΟΥ 2008

ΔΕΙΓΜΑΤΑ ΙΟΥΝΙΟΥ



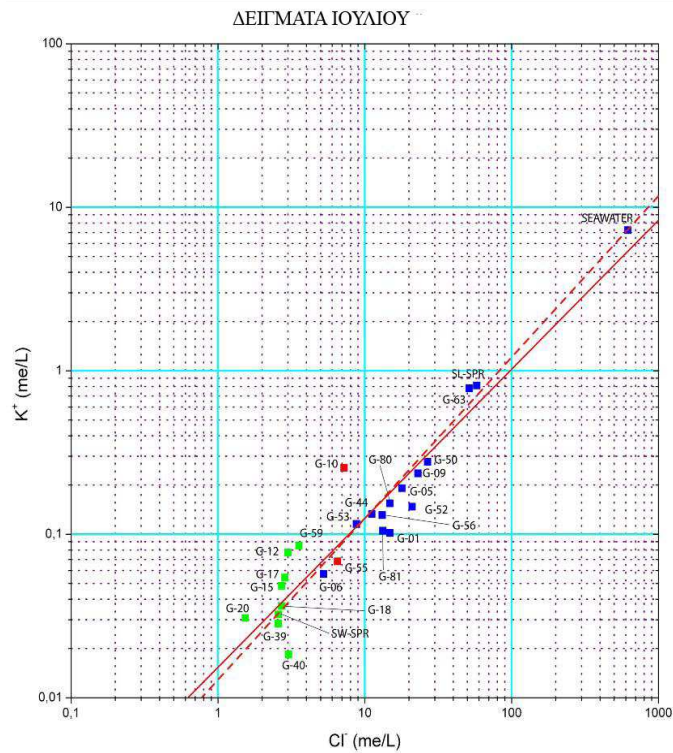
Εικόνα 4.53: διάγραμμα διασποράς του K⁺ σε σχέση με το Cl⁻ για τα δείγματα Ιουνίου.

$Y = A + B * X$

Παράμετροι	Αξία	Σφάλμα
A	-1.8624	0.07292
B	0.97183	0.05324

<u>R</u>	0,99
<u>Τυπική απόκλιση</u>	0,11
<u>N</u>	11
<u>P</u>	<0.0001

ΔΕΙΓΜΑΤΑ 28 ΙΟΥΛΙΟΥ 2008



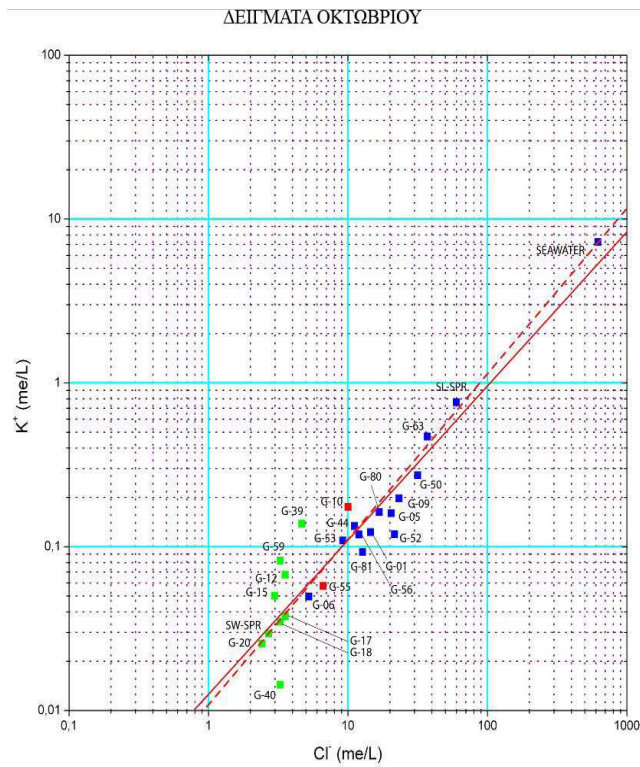
Εικόνα 4.54: διάγραμμα διασποράς του K⁺ σε σχέση με το Cl⁻ για τα δείγματα Ιουλίου.

$$Y = A + B * X$$

Παράμετροι	Αξία	Σφάλμα
A	-1.81384	0.07173
B	0.91152	0.06344

<u>R</u>	0,95
<u>Τυπική απόκλιση</u>	0,18
<u>N</u>	25
<u>P</u>	<0.0001

ΔΕΙΓΜΑΤΑ 10 ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ 2008



Εικόνα 4.55: διάγραμμα διασποράς του K⁺ σε σχέση με το Cl⁻ για τα δείγματα Οκτωβρίου.

$$Y = A + B * X$$

Παράμετροι	Αξία	Σφάλμα
A	-1.90143	0.07959
B	0.94085	0.06936

R 0,94

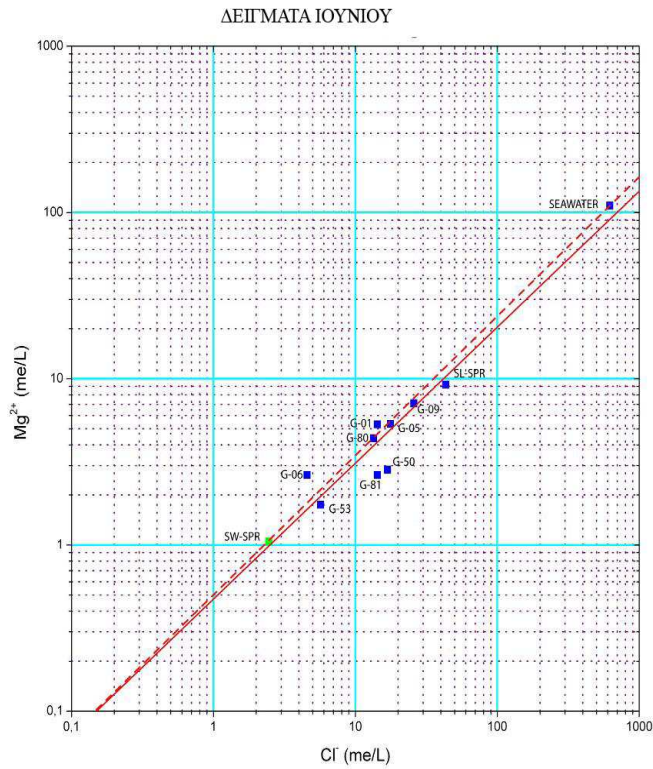
Τυπική απόκλιση 0,18

N 25

P <0.0001

4.10.4 Mg-Cl

ΔΕΙΓΜΑΤΑ 4 ΙΟΥΝΙΟΥ 2008



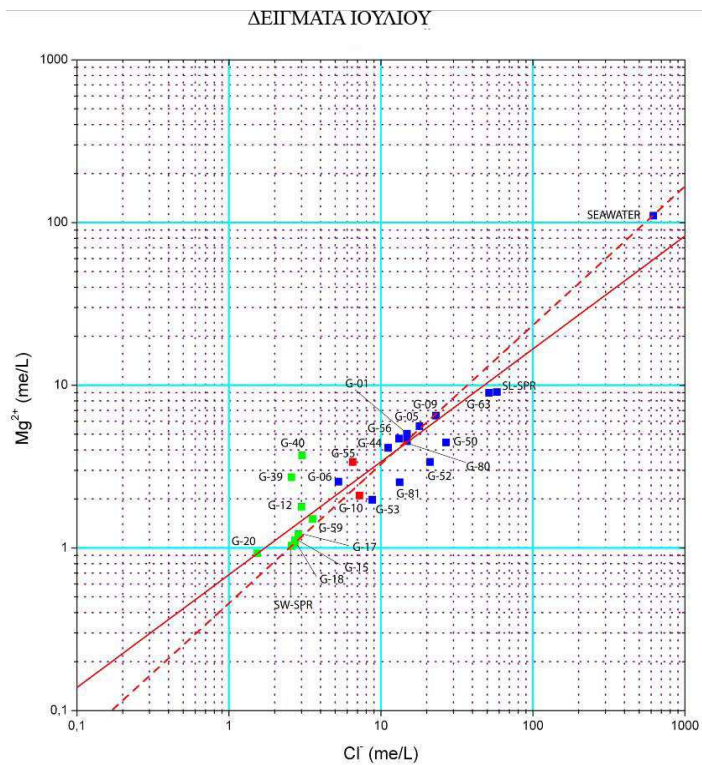
Εικόνα 4.56: διάγραμμα διασποράς του σε Mg^{2+} σχέση με το Cl^- για τα δείγματα Ιουνίου.

$$Y = A + B * X$$

Παράμετροι	Αξία	Σφάλμα
A	-0.32552	0.09213
B	0.81792	0.06726

\underline{R}	0,97
$\underline{\text{Τυπική απόκλιση}}$	0,13
\underline{N}	11
\underline{P}	<0.0001

ΔΕΙΓΜΑΤΑ 28 ΙΟΥΛΙΟΥ 2008



Διάγραμμα 4.57: διάγραμμα διασποράς του σε Mg^{2+} σχέση με το Cl^- για τα δείγματα Ιουλίου.

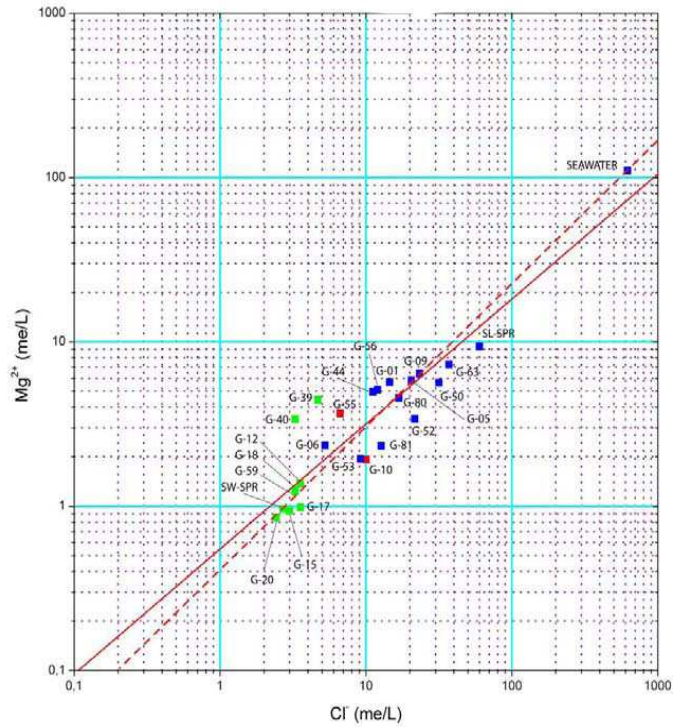
$$Y = A + B * X$$

Παράμετροι	Αξία	Σφάλμα
A	-0.1643	0.06447
B	0.69353	0.05702

<u>R</u>	0,93
<u>Τυπική απόκλιση</u>	0,16
<u>N</u>	25
<u>P</u>	<0.0001

ΔΕΙΓΜΑΤΑ 10 ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ 2008

ΔΕΙΓΜΑΤΑ ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ



Εικόνα 4.58: διάγραμμα διασποράς του σε Mg^{2+} σχέση με το Cl^- για τα δείγματα Οκτωβρίου.

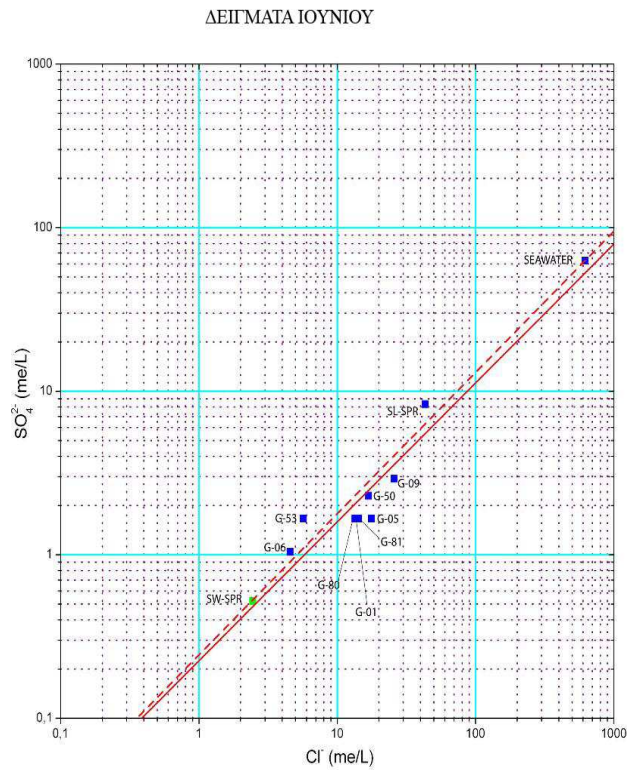
$$Y = A + B * X$$

Παράμετροι	Αξία	Σφάλμα
A	-0.2608	0.07702
B	0.76055	0.06712

<u>R</u>	0,92
<u>Τυπική απόκλιση</u>	0,18
<u>N</u>	25
<u>P</u>	<0.0001

4.10.5 SO4-Cl

ΔΕΙΓΜΑΤΑ 4 ΙΟΥΝΙΟΥ 2008



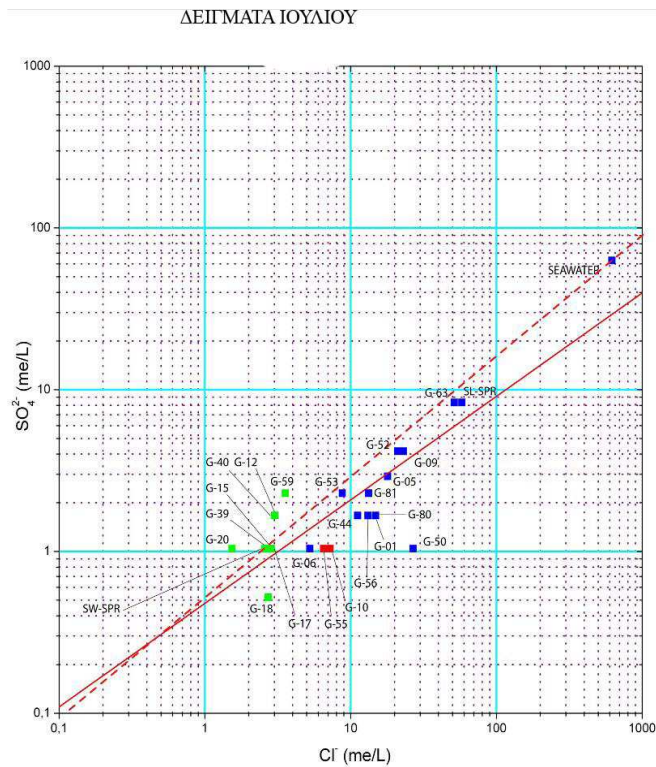
Εικόνα 4.59: διάγραμμα διασποράς του SO₄²⁻ σε σχέση με το Cl⁻ για τα δείγματα Ιουνίου.

$$Y = A + B * X$$

Παράμετροι	Αξία	Σφάλμα
A	-0.64808	0.09758
B	0.84905	0.07124

<u>R</u>	0,97
<u>Τυπική απόκλιση</u>	0,14
<u>N</u>	11
<u>P</u>	<0.0001

ΔΕΙΓΜΑΤΑ 28 ΙΟΥΛΙΟΥ 2008



Εικόνα 4.60: διάγραμμα διασποράς του SO₄²⁻ σε σχέση με το Cl⁻ για τα δείγματα Ιουλίου.

$$Y = A + B * X$$

Παράμετροι	Αξία	Σφάλμα
A	-0.32093	0.08581
B	0.63981	0.07589

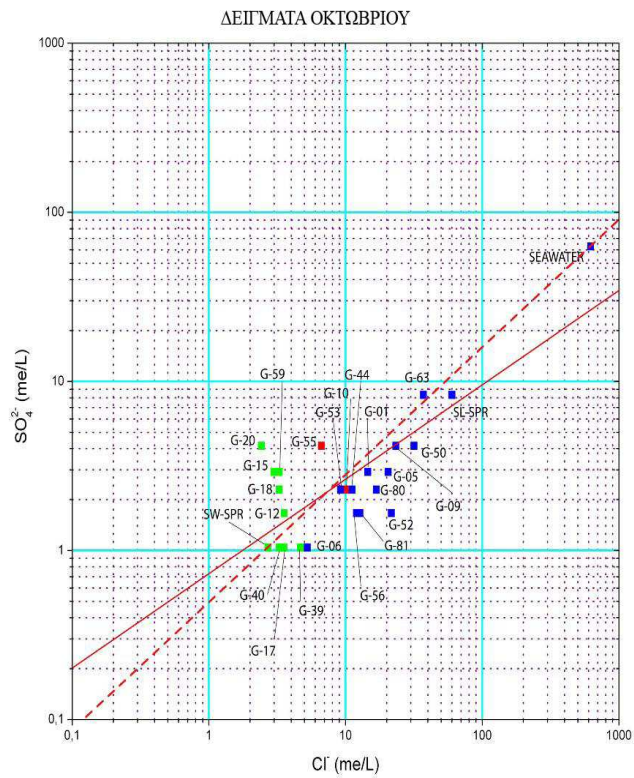
R 0,87

Τυπική απόκλιση 0,22

N 25

P <0.0001

ΔΕΙΓΜΑΤΑ 10 ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ 2008



Εικόνα 4.61: διάγραμμα διασποράς του SO_4^{2-} σε σχέση με το Cl^- για τα δείγματα Οκτωβρίου.

$$Y = A + B * X$$

Παράμετροι	Αξία	Σφάλμα
A	-0.13717	0.10319
B	0.55836	0.08992

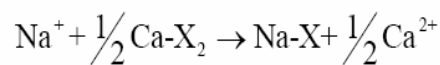
<u>R</u>	0,79
<u>Τυπική απόκλιση</u>	0,24
<u>N</u>	25
<u>P</u>	<0.0001

4.11 ΙΟΝΤΙΚΗ ΑΝΤΑΛΛΑΓΗ

Κατά τη διάρκεια της διείσδυσης του νερού της θάλασσας σε ένα παράκτιο υδροφόρο στρώμα δύο είδη υδροχημικών διαδικασιών λαμβάνουν χώρα μεταξύ του γλυκού νερού και του νερού της θάλασσας και του υδροφόρου στρώματος, οι οποίες επηρεάζουν τη χημική σύνθεση των υπόγειων νερών: α) διαδικασίες μίξης και β) φαινόμενα ιοντοανταλλαγής.

Μοντέλα μίξης έχουν ήδη παρουσιαστεί σε προηγούμενες παραγράφους. Στο διάγραμμα Piper, στο διάγραμμα Durov και στα διαγράμματα διασποράς, η γραμμή μίξης που απεικονιζόταν ένωνε το γλυκό νερό (σημείο δειγματοληψίας=Γλυκιά Πηγή) με το νερό της θάλασσας του Αιγαίου.

Από την άλλη μεριά, εκτός από την απλή μίξη, τα υπόγεια νερά από τα παράκτια υδροφόρα στρώματα κατά τη διάρκεια της διείσδυσης του νερού της θάλασσας επηρεάζονται έντονα από τις αντιδράσεις ανταλλαγής κατιόντων. Ο τύπος των φρέσκων αυτών υπόγειων νερών είναι $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ενώ στο νερό της θάλασσας επικρατούν ιόντα Na^+ και Cl^- (τύπος NaCl). Όταν το νερό της θάλασσας εισχωρεί σε ένα παράκτιο υδροφόρο στρώμα (που περιέχεται το γλυκό νερό), μια ανταλλαγή κατιόντων πραγματοποιείται:



Η αντίδραση δείχνει ότι Na^+ δεσμεύεται και Ca^{2+} απελευθερώνεται, ενώ το κυρίαρχο ανιόν Cl^- παραμένει το ίδιο. Η αντίστροφη διαδικασία πραγματοποιείται κατά τη διάρκεια της φόρτισης του υδροφόρου με γλυκό νερό κατά τη διάρκεια των βροχοπτώσεων (Appelo και Postma βιβλίο, 2005).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ-ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

5.1 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΣΧΕΣΗΣ ΜΕΤΑΞΥ ΤΗΣ ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑΣ, ΤΩΝ ΤΥΠΩΝ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΤΗΣ ΔΟΜΗΣ

Η δομή που παρουσιάζεται στο κεφάλαιο 1.5 μας δείχνει την μεταβλητή γεωμορφολογία της βόρειας Κρήτης. Η περιοχή μελέτης είναι κατηφορική από τα βουνά με αποτέλεσμα ο ποταμός Γεροπόταμος να εμπλουτίζεται από τις βροχοπτώσεις. Επομένως κάτω από την επιφάνεια, η υπόγεια ροή του νερού στο Βορρά, φέρνει το γλυκό νερό στα υδροφόρα στρώματα στη βόρεια παράκτια περιοχή. Η αλατότητα είναι μεταβλητή καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, οπότε πρέπει να υπάρξει μια αλληλεπίδραση της πίεσης του νερού από τα βουνά και από τη θάλασσα. Είναι απαραίτητο λοιπόν να αξιολογηθεί η σχέση μεταξύ της ροής του νερού από το έδαφος και της θάλασσας, στα πλαίσια της γεωμορφολογίας, της λιθολογίας και της γεωλογικής δομής.

Έχει αναφερθεί ότι στην περιοχή μελέτης υπήρχαν εβαπορίτες (Knithakis, 1995; Region, 1999). Η αλατότητα των υπόγειων νερών θα μπορούσε λοιπόν να οφείλεται στους θαμμένους αυτούς εβαπορίτες. Η άποψη αυτή προέρχεται από μελέτη των Lambarakis και Marinou το 2003. Η μελέτη αυτή απέδειξε την παρουσία Νεογενών εβαπορίτων στην Ελλάδα γενικά και όχι συγκεκριμένα στην περιοχή του Γεροπόταμου που μας ενδιαφέρει. Όσο αφορά την περιοχή μελέτης η εργασία των Lambarakis και Marinou μας έδωσε τις παρακάτω πληροφορίες:

- Η έκθεση IGME (Knithakis, 1995) καταγράφει την παρουσία εβαπορίτη στα Νεογενή ιζήματα μόνο. Από τη θεωρία, οι εβαπορίτες δημιουργούνται στις λεκάνες και οφείλονται στη κρίση της Μεσογείου.
- Υπάρχει ένα πρόβλημα με την ποιότητα υπόγειων νερών στο βόρειο-ανατολικό μέρος της περιοχής, που αποτελείται από τους δολομιτικούς ασβεστόλιθους και τους δολομίτες. Αν και ο δολομίτης συνδέεται με τους εβαπορίτες σε μερικά σύγχρονα περιβάλλοντα (όπως το Coorong στην Αυστραλία), στις περισσότερες περιπτώσεις ο δολομίτης είναι ένα προϊόν αλλαγής των ασβεστόλιθων, ανεξάρτητο από τα περιβάλλοντα που διαμορφώνουν οι Νεογενείς εβαπορίτες στην επιφάνεια (Tucker και Wright, 1990). Επομένως, τα προβλήματα ποιότητας νερού σχετικά με το δολομίτη είναι πιθανότερο να συνδέονται με τους ασβεστόλιθους, οι οποίοι δεν ελέγχονται από τα περιβάλλοντα της γήινης επιφάνειας, εκεί όπου αναπτύσσονται οι εβαπορίτες.
- Όλοι οι εβαπορίτες που βρίσκονται στην Κρήτη είναι γύψος.
- Όλα τα στοιχεία που έχουν συλλεχθεί σε αυτήν την μελέτη (στοιχεία από τις γεωτρήσεις) δεν έχουν αναδείξει την παρουσία εβαπορίτων στις γεωτρήσεις.
- Οι θέσεις στα νεογενή ιζήματα που έχουν αλμυρό νερό βρίσκονται κοντά στη θάλασσα ή κοντά στα μεγάλα ρήγματα στο ανατολικό τμήμα της περιοχής μελέτης.

--Στα ΝΔ της περιοχής μελέτης τα νεογενή ιζήματα έχουν πολύ καλή απόδοση στην ποιότητα του νερού από αυτά τα ιζήματα.

Υπάρχουν τρία πιθανά σενάρια για το πρότυπο του αλμυρού νερού στην περιοχή μελέτης: Σενάριο 1, διείσδυση του θαλασσινού νερού, Σενάριο 2, η παρουσία εβαποριτών, Σενάριο 3, ο συνδυασμός της διείσδυσης του θαλασσινού νερού και των κοιτασμάτων εβαποριτών.

Το άθροισμα αυτών των σημείων δείχνει ότι στα μόνα μέρη που το αλμυρό νερό επηρεάζει τον υδροφόρο ορίζοντα, είναι στο βόρειο τμήμα της λεκάνης Γεροποτάμου. Η έλλειψη εβαποριτών στα Νεογενή ιζήματα στο νότιο μέρος της λεκάνης της περιοχής αποδεικνύει ότι δεν υπάρχουν εβαπορίτες στην περιοχή μελέτης. Οπότε το αλμυρό νερό στον υδροφόρο οφείλεται στην διείσδυση του νερού της θάλασσας και όχι στην διάλυση εβαποριτών.

Τα στοιχεία που αποδεικνύουν ότι δεν υπάρχουν εβαπορίτες και ότι υπάρχει εισροή του νερού της θάλασσας είναι: ο γεωλογικός χάρτης ΙΓΜΕ, οι πληροφορίες από τις γεωτρήσεις και ο υδρολιθολογικός χάρτης, που οδηγούν στο συμπέρασμα ότι το αλμυρό νερό εισέρχεται στο υδροφόρο στρώμα από τα ρήγματα που επεκτείνονται εσωτερικά.

Ο γεωλογικός χάρτης του ΙΓΜΕ, που ήταν η μόνη διαθέσιμη πηγή γνώσης σχετικά με τη γεωλογία της περιοχής μελέτης, έδωσε πληροφορίες για τους τύπους των πετρωμάτων και τη δομή. Το βόρειο μέρος της λεκάνης του Γεροπόταμου αποτελείται κυρίως από τους δολομιτικούς ασβεστόλιθους και στρωματολίτες, και φυλλίτες/ χαλαζίτες που καλύπτονται από τα νεογενή και τετρατογενή ιζήματα, ενώ η τεκτονική χαρακτηρίζεται από ΒΔ-ΝΑ και ΒΑ-ΝΔ ρήγματα.

Η ταξινόμηση της υδρολιθολογίας βασισμένη στην διαπερατότητα προήλθε από μελέτη από την περιφέρεια Κρήτης το 1999. Έτσι μαζί με την ταξινόμηση αυτή, το βόρειο μέρος της λεκάνης του Γεροπόταμου χαρακτηρίζεται ως στεγανός σχηματισμός (I₂), ενώ το ανατολικό και το νότιο μέρος (δολομιτικοί ασβεστόλιθοι και στρωματολίτες) αποτελείται από διαπερατούς σχηματισμούς (K1). Τα παραπάνω στοιχεία δείχνουν ότι υπάρχει ένας στεγανός σχηματισμός κατά μήκος της ακτής, ο οποίος αποτελεί ένα εμπόδιο στο νερό της θάλασσας για να εισέλθει εσωτερικά, πράγμα το οποίο έρχεται σε αντίθεση με το σενάριο της εισροής του νερού της θάλασσας. Η τεκτονική είναι ένας παράγοντας που υποστηρίζει την είσοδο του νερού της θάλασσας.

Υπάρχει επομένως στενή σχέση μεταξύ της γεωμορφολογίας, των τύπων πετρωμάτων και της δομής, με αποτέλεσμα το σενάριο 1 να είναι το πιθανότερο.

5.2 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΑ ΦΥΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ, ΤΗ ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΤΗ ΓΕΩΛΟΓΙΑ

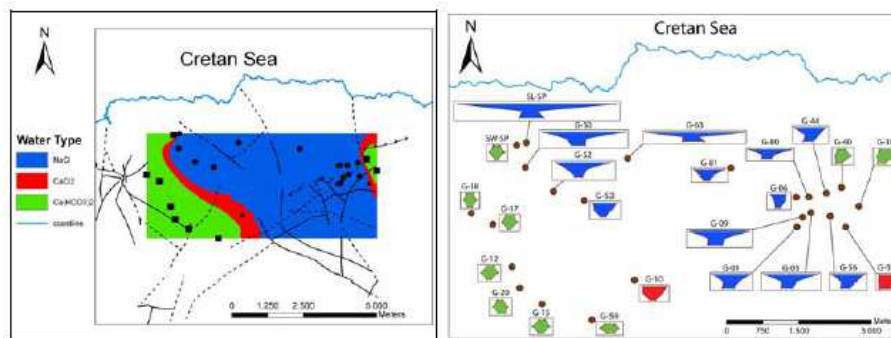
Έγιναν τρεις δειγματοληψίες (Ιούνιος, Ιούλιος και Οκτώβριος 2008) σε 24 θέσεις δειγματοληψίας (22 γεωτρήσεις και 2 πηγές) και μετρήθηκαν 14 χημικές παράμετροι ώστε να ελεγχτεί η ποιότητα των υπόγειων νερών. Οι γεωμορφολογικές και γεωλογικές πληροφορίες δείχνουν μέχρι τώρα ότι το σενάριο 1, η διείσδυση του θαλασσινού νερού, είναι το πιο πιθανό. Παρακάτω ακολουθεί μία περιγραφή που αποδεικνύει την εξαιρετική σχέση μεταξύ των γεωχημικών αναλύσεων και των φυσικών χαρακτηριστικών, που παρέχουν αποδείξεις ότι η διείσδυση του θαλασσινού νερού είναι αυτή που οφείλεται για την μόλυνση της βόρειας λεκάνης Γεροποτάμου.

Για καθεμία χημική παράμετρο πραγματοποιήθηκαν γραφικές παραστάσεις, πίνακες στατιστικών στοιχείων και χωρικοί χάρτες για τις τρεις δειγματοληψίες (του Ιουνίου ήταν πειραματική και αναλύθηκαν 10 δείγματα μόνο). Δημιουργήθηκαν δύο πίνακες στατιστικών στοιχείων για κάθε παράμετρο, ο πρώτος περιείχε όλα τα δείγματα της κάθε δειγματοληψίας και ο δεύτερος τα δέκα ίδια δείγματα με του Ιουνίου και για τις τρεις δειγματοληψίες ώστε να γίνει άμεση σύγκριση των στατιστικών για την κάθε δειγματοληψία.

Οι τιμές των παραμέτρων που συνδέονται στενά με την παρουσία θαλασσινό νερό, όπως η αγωγιμότητα (TDS) και η συγκέντρωση του νατρίου δείχνουν ένα σχετικά υψηλό ποσοστό συσχέτισης. Οι αυξανόμενες τιμές εκείνων των παραμέτρων στα δείγματά μας υποστηρίζουν την υπόθεση της εισροής νερού της θάλασσας στην περιοχή μελέτης. Άλλες παράμετροι όπως το κάλιο, το χλώριο ακολουθούν γενικά τη πρόσθετη χωρική κατανομή των προαναφερθεισών παραμέτρων και οι τιμές τους στα δείγματα που αναλύθηκαν είναι σε αντιστοιχία με την υπόθεση της υπαλμύρισης. Οι τιμές των παραμέτρων που αναλύονται δεν επηρεάζονται από ουσιαστικές ανθρωπογενείς δραστηριότητες (π.χ. λιπάσματα, ζωική παραγωγή αποθεμάτων), εφόσον οι ευαίσθητες παράμετροι όπως οι συγκεντρώσεις νιτρικών αλάτων παρουσιάζουν χαμηλές και μικρές τιμές αντίστοιχα.

5.2.1 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ

Τα υπόγεια νερά που χαρακτηρίζουν την περιοχή μελέτης, ταξινομήθηκαν σύμφωνα με τα γεωχημικά χαρακτηριστικά τους με βάση στα βασικά ιόντα (κατιόντα και ανιόντα) και τα τριαδικά διαγράμματα. Τρεις τύποι υπόγειων νερών αναγνωρίζονται: ο NaCl, ο CaCl₂ και ο Ca(HCO₃)₂. Οι συγκεντρώσεις SO₄ και Mg είναι κανονικά πολύ χαμηλότερες. Τα διαγράμματα stiff και ο χάρτης είναι ένας καλός τρόπος να απεικονιστούν αυτές οι πληροφορίες.



Εικόνα 5.1: α) Χωρική κατανομή των υπογείων νερών της περιοχής και β) χάρτης με διαγράμματα stiff για τη δειγματοληψία του Οκτωβρίου.

Επομένως, τα υπόγεια νερά στο βόρειο-κεντρικό μέρος της περιοχής μελέτης κοντά στην ακτή ανήκουν στο τύπο νερού NaCl, τα οποία είναι υπό την επήρεια της διείσδυσης του νερού της θάλασσας, ενώ τα υπόγεια νερά στο δυτικό και ανατολικό μέρος ανήκουν στον τύπο Ca (HCO₃)₂, ο οποίος περιλαμβάνει τα γλυκά νερά της περιοχής. Ανάμεσα στις δύο ζώνες, υπάρχει μια λεπτή περιοχή του τύπου νερού CaCl₂, η οποία θεωρείται ως η μεταβατική ζώνη και δημιουργείται από ανταλλαγή κατιόντων. Οι γεωτρήσεις που περιέχουν τον τύπο νερού NaCl είναι τοποθετημένες στο βόρειο-κεντρικό μέρος της περιοχής μελέτης και κοντά στην ακτή. Αυτές είναι οι ίδιες γεωτρήσεις που παρουσίασαν υψηλές τιμές αγωγιμότητας αλατότητας, και συγκεντρώσεις ασβεστίου, οι οποίες προέκυψαν από την διείσδυση του νερού της θάλασσας. Κατά τη διάρκεια της διείσδυσης του θαλασσινού νερού σε παράκτιους υδροφόρους δύο είδη υδροχημικών διεργασιών πραγματοποιούνται μεταξύ του γλυκού νερού και του νερού της θάλασσας και τον υδροφόρο ορίζοντα: α) ανάμιξη διαδικασιών και β) φαινόμενα ανταλλαγής ιόντων. Η ανάμιξη μεταξύ του γλυκού και του θαλασσινού νερού απεικονίζεται στα διαγράμματα Piper και durom για τη δειγματοληψία Οκτωβρίου. Στη συνέχεια πέντε είδη διαγραμμάτων διασποράς (Na-Cl, Ca-Cl, K-Cl, Mg-Cl, SO₄-Cl) κατασκευάστηκαν και εφαρμόστηκαν τέσσερις δείκτες ποιότητας (Na:Cl, Ca:Mg, Cl:HCO₃, SO₄:Cl) για όλες τις δειγματοληψίες (εκτός από το Cl:HCO₃). Για όλους αυτούς τους υπολογισμούς, το δείγμα του γλυκού νερού χρησιμοποιήθηκε ως αντιπροσωπευτικό του γλυκού νερού

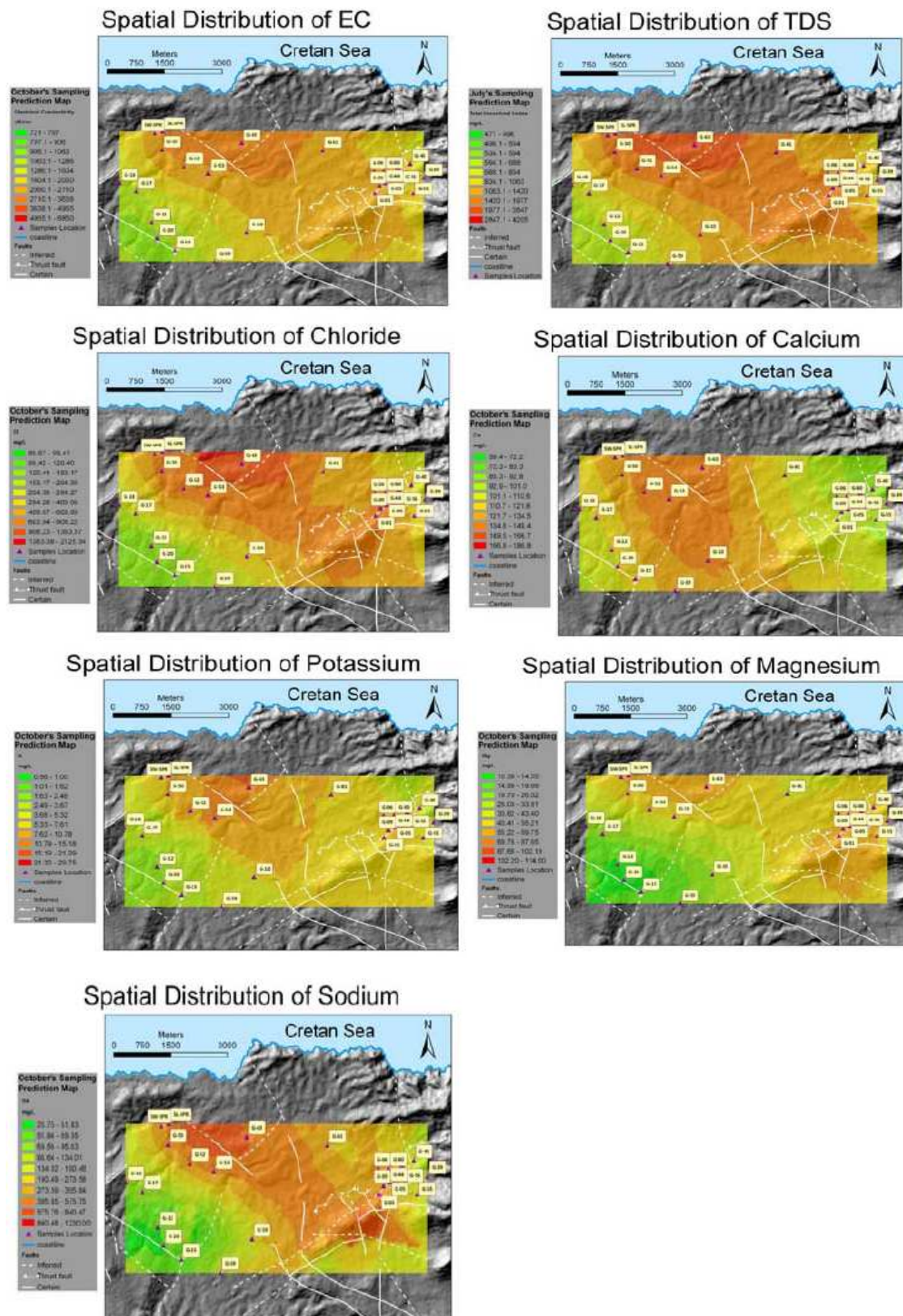
και το νερό της θάλασσας από την θάλασσα του Αιγαίου χρησιμοποιήθηκε ως δείγμα νερού της θάλασσας για τα αποτελέσματα. Το διάγραμμα Piper είναι σε συμφωνία με τη θεωρητική εικόνα από Arpele και Postma (2005), όπου δίνεται μια μέση σύσταση του γλυκού νερού και του νερού της θάλασσας και παρουσιάζονται και τα 24 δείγματα καθώς επίσης και η θεωρητική γραμμή-μίξης του γλυκού νερού και του νερού της θάλασσας. Όλα τα δείγματα βρίσκονται πολύ κοντά στη γραμμή μίξης, με πολύ μικρές αποκλίσεις. Το διάγραμμα Durov παρουσιάζει επίσης μια τάση των δειγμάτων προς την διαγώνια πλευρά του διαγράμματος, δείχνοντας έτσι τα φαινόμενα μίξης. Έτσι, από τα διαγράμματα Piper και Durov φαίνεται ότι η πιο σημαντική υδροχημική διαδικασία στα υπόγεια νερά είναι η μίξη. Αυτό επιβεβαιώνεται και από συγκεντρώσεις διαφόρων κατιόντων (Na^+ , Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+}) και από το SO_4 που παρουσιάζεται ως συνάρτηση του χλωρίου (διαγράμματα διασποράς). Το Cl θεωρείται σαν ένα ιόν που αντιπροσωπεύει την αναλογία του μίγματος. Σχεδόν όλα τα δείγματα έδειξαν ισχυρό συντελεστής συσχέτισης R (0,80 - 1) καθώς και όλα φαίνονται να συμπίπτουν και με το γλυκό νερό και με το θαλασσίνο νερό στις γραμμές ανάμιξης (κόκκινες διακεκομμένες γραμμές), αποδεικνύοντας έτσι την κοινή προέλευση τους (νερό της θάλασσας). Τα διαγράμματα 4.6, 4.7 και 4.8 αποδεικνύουν ότι υπάρχει επιρροή νερού της θάλασσας με το νάτριο σε όλες τις δειγματοληψίες (Ιούνιος, Ιούλιος, Οκτώβριος), δεδομένου ότι ο συντελεστής συσχέτισης R είναι 0.99 (σχεδόν τέλειος συσχετισμός). Το ίδιο πράγμα για όλες τις δειγματοληψίες του καλίου και του μαγνησίου (το R είναι περίπου 0.95). Τα διαγράμματα διασποράς $\text{SO}_4\text{-Cl}$ (4.18, 4.19, 4.20) σε όλες τις δειγματοληψίες δείχνουν ότι τα ιόντα έχουν την ίδια προέλευση (R=μικρές αποκλίσεις από τη γραμμή μίξης ίσως οφείλεται σε οξειδοαναγωγικές διαδικασίες στα ιόντα του SO_4) (Panagoroulos, 2008). Επομένως, όλα τα στοιχεία προέρχονται από τη μίξη των διαδικασιών του νερού της θάλασσας με το γλυκό νερό, ενώ τα φαινόμενα ιονικής ανταλλαγής δεν είναι τόσο συχνά.

Φαινόμενο ανταλλαγής κατιόντων

Όταν πραγματοποιείται η διείσδυση του νερού της θάλασσας, λόγω της ανταλλαγής κατιόντων, Ca^{2+} απελευθερώνεται, ενώ Na^+ παραλαμβάνεται από το έδαφος.

Παρ' όλα αυτά, η αύξηση συγκέντρωσης Na^+ που παρατηρήθηκε τον Οκτώβριο είναι φυσιολογική, καθώς οι μοριακές αναλογίες υπόγειων νερών φθάνουν στην αναλογία νερού της θάλασσας (0.82) και δείχνουν την πρόσφατη εισχώρηση νερού στην περιοχή. Αυτή η είσοδος του νερού της θάλασσας είναι τόσο πρόσφατη που κανένα φαινόμενο ανταλλαγής κατιόντων δεν έχει πραγματοποιηθεί ακόμα μαζί με τη μίξη των διαδικασιών (όπως εμφανίζεται τον Ιούνιο και τον Ιούλιο). Αυτό υποστηρίζει επίσης την υπόθεση ότι το νερό της θάλασσας είναι αυτό που προκαλεί την ρύπανση στην περιοχή μελέτης επειδή τον Οκτώβριο το υδροφόρο στρώμα αναμένεται να είναι εντονότερο λόγω της εκτεταμένης ξηρασίας της περιόδου αυτής και των υψηλών ποσοστών άντλησης νερού, ειδικά για λόγους

άρδευσης. Έτσι, η διείσδυση του νερού της θάλασσας πρέπει να είναι πολύ πρόσφατη για εκείνη την περίοδο.

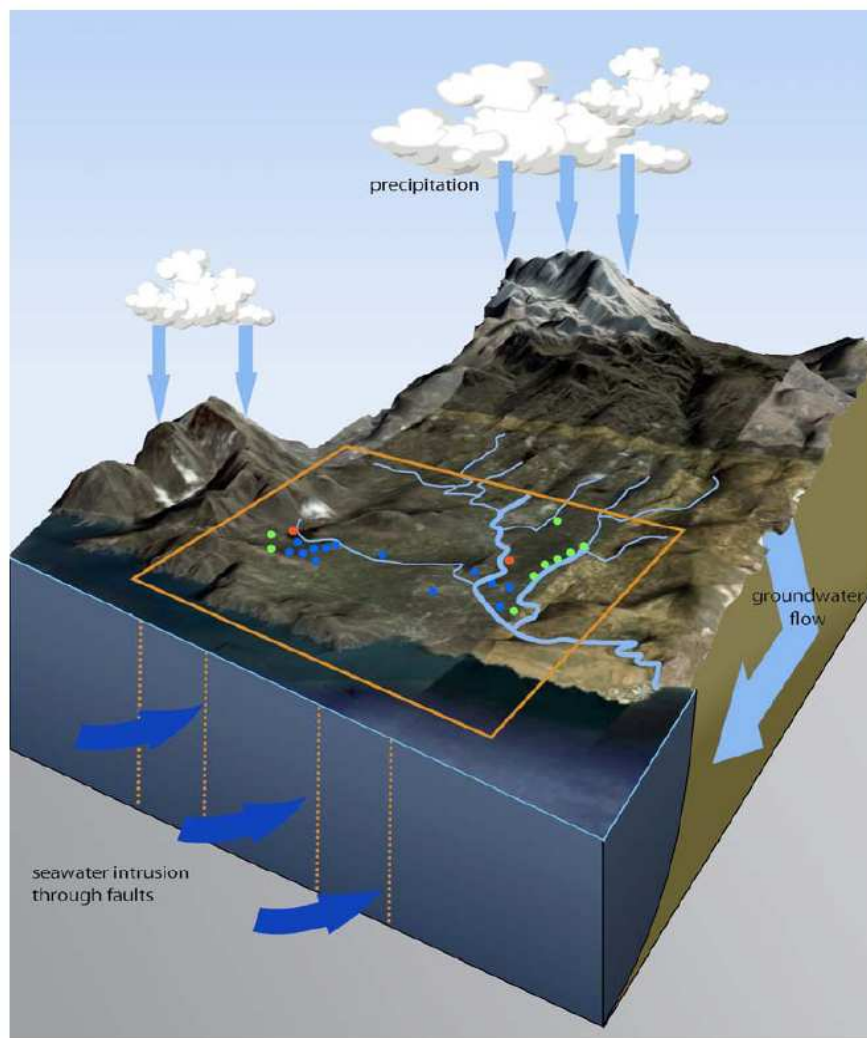


Εικόνα 5.2: χάρτες με τις χημικές παραμέτρους για τα δείγματα Οκτωβρίου που δείχνει τη διείσδυση του θαλασσινού νερού ως την πιο πιθανή αιτία ρύπανσης των υπόγειων νερών της περιοχής μελέτης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 **ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

Τα αποτελέσματα της εργασίας αυτής είναι τα εξής:

- 1) Τα στοιχεία που έχουν παρουσιαστεί σε προηγούμενα κεφάλαια δηλώνουν την παρουσία αλμυρού νερού λόγω της διείσδυσης θαλασσινού νερού. Αυτό έρχεται σε αντίθεση με προηγούμενες μελέτες. Η εικόνα 6.1 παρουσιάζει συνολικά τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης. Υποστηρίζεται, λοιπόν, πως κατά την διάρκεια της χειμερινής περιόδου, τα κατακρημνίσματα (όπως χιόνι, βροχή) που πέφτουν κυρίως στα βουνά (Ψηλορείτης και τα Ταλέα Όρη), είτε απορρέουν είτε διεισδύουν. Κατά την διάρκεια της θερινής περιόδου εισέρχεται θαλασσινό νερό στο υπέδαφος μέσω ρηγμάτων, με ΒΑ-ΝΔ διεύθυνση (οι διακεκομμένες πορτοκαλί γραμμές) με αποτέλεσμα την ρύπανση του γλυκού νερού. Τα μπλε σημεία υποδεικνύουν τις γεωτρήσεις με τύπο νερού NaCl, τα κόκκινα σημεία υποδεικνύουν γεωτρήσεις με τύπο νερού CaCl₂, ενώ τα πράσινα σημεία γεωτρήσεις με τύπο νερού Ca(HCO₃)₂.
- 2) Σε αυτή την εργασία παρουσιάζονται στοιχεία που αποδεικνύουν ότι τα υπόγεια νερά του υδροφόρου του Γεροποτάμου έχουν ήδη ρυπανθεί από την εισροή θαλασσινού νερού. Κατά την διάρκεια της χειμερινής περιόδου επαναφορτίζει ο υδροφόρος ορίζοντας παρέχοντας σχετικά φρέσκο νερό στον τοπικό πληθυσμό. Παρόλα αυτά οι κλιματικές αλλαγές και η αυξημένη ζήτηση του νερού θα μπορούσε εύκολα να οδηγήσει στην έλλειψη παροχής γλυκού νερού και στην αύξηση της αλάτωσης των υδροφόρων της περιοχής. Τα σχέδια διαχείρισης των υδάτων στην περιοχή αυτή είναι απαραίτητα.
- 3) Οι γεωχημικές αναλύσεις αποδείχτηκε ότι έχουν μεγάλη ακρίβεια για τον προσδιορισμό της ποιότητας των υπόγειων νερών, δειγματοληψίες μπορούν να πραγματοποιηθούν μόνο όπου υπάρχουν γεωτρήσεις.
- 4) Η προσέγγιση αυτής της μελέτης έδειξε τη συσχέτιση των αποτελεσμάτων όλων των μεθόδων. Τα φυσικά χαρακτηριστικά (γεωμορφολογία, γεωλογική δομή) σχετίζονται φανερά με τις γεωχημικές ιδιότητες. Όλες οι πληροφορίες αποδεικνύουν ότι η διείσδυση του θαλασσινού νερού οφείλεται στην ρύπανση του βόρειου τμήματος της λεκάνης του Γεροποτάμου.



Εικόνα 6.1: Σχηματική τρισδιάστατη αναπαράσταση του φαινομένου της Υφαλμύρισης που φαίνεται να λαμβάνει χώρα στην περιοχή μελέτης.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Appelo, C.A.J. & Postma, D. (2005). *Geochemistry, Groundwater and Pollution*. Leiden: A.A. Balkema Publishers (member of Taylor & Francis Group plc).
- ArcGIS Desktop Help. (2004). *ArcGIS Desktop Help included in ArcMap Version 9.1 software by ESRI*.
- Aris, A. Z., Abdullah, M. H., Kim, K. W. & Praveena, S. M. (2009). *Hydrochemical changes in a small tropical island's aquifer: Manukan Island, Sabah, Malaysia, Environmental Geology*, 56 (8), 1721-1732.
- Chartzoulakis, K.S., Paranychianakis, N.V. & Angelakis, A.N. (2001): *Water resources management in the island of Crete with emphasis on the agricultural use. Water Policy* 3, 193-205.
- de Montety, V., Radakovitch, O., Vallet-Coulomb, C., Blavoux, B., Hermitte, D. & Valles, V. (2008). *Origin of groundwater salinity and hydrogeochemical processes in a confined coastal aquifer: Case of the Rhône delta (Southern France). Applied Geochemistry*, 23 (8), 2337-2349.
- El Moujabber, M., Bou Samra, B., Darwish, T., Atallah T. (2006). *Comparison of different indicators for groundwater contamination by seawater intrusion on the Lebanese coast. Water Resources Management*, 20 (2), 161-180.
- EPA (U.S. Environmental Protection Agency). (2009). Retrieved January 3, 2009 from <http://www.epa.gov>.
- IGME. (1991). *Geological Map of Greece, Perama sheet. (Geological mapping by Mylonakis, I. during the years 1982-1987), Athens: Institute of Geology and Mineral Exploration. Scale:1:50,000*.
- Jeen S.-W., Kim J.-M., Ko K.-S., Yum B., & Chang H.-W. (2001). *Hydrogeochemical characteristics of groundwater in a mid-western coastal aquifer system, Korea. Geosciences Journal*, 5 (4), 339-348.
- Kalisperi Despina (2009). *Assessment of groundwater resources in the north-central coast of Crete, Greece using geophysical and geochemical methods, PhD Thesis*
- Panagopoulos, G. (2008). *Application of major and trace elements as well as boron isotopes for tracing hydrochemical processes: the case of Trifilia coastal karst aquifer, Greece. Environmental Geology (Article in Press)*.
- Park S.-C., Yun S.-T., Chae G.-T., Yoo I.-S., Shin K.-S., Heo C.-H., & Lee S.-K. (2005). *Regional hydrochemical study on salinization of coastal aquifers, western coastal area of South Korea. Journal of Hydrology*, 313 (3 - 4), 182-194.
- Perry E., Velazquez-Oliman G. & Marin L. (2002). *The hydrogeochemistry of the karst aquifer system of the northern Yucatan Peninsula, Mexico. International Geology Review*, 44 (3), 191-221.
- Pulido-Leboeuf P. (2004). *Seawater intrusion and associated processes in a small coastal complex aquifer (Castell de Ferro, Spain). Applied Geochemistry*, 19 (10), 1517-1527.

Sanchez-Martos F. & Pulido-Bosch A. (1999). Boron and the origin of salinization in an aquifer in southeast Spain. *Comptes Rendus de l'Academie de Sciences - Serie IIa: Sciences de la Terre et des Planetes*, 328 (11), 751-757.

Sanchez-Martos, F., Pulido-Bosch, A., Molina-Sanchez, L. & Vallejos-Izquierdo, A. (2002). Identification of the origin of salinization in groundwater using minor ions (Lower Andarax, Southeast Spain). *Science of the Total Environment*, 297 (1-3), 43-58.

Sivan O., Yechieli Y., Herut B. & Lazar B. (2005). Geochemical evolution and timescale of seawater intrusion into the coastal aquifer of Israel. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 69 (3), 579-592.

Subba Rao N., Saroja Nirmala I., Suryanarayana K. (2005). Groundwater quality in a coastal area: A case study from Andhra Pradesh, India. *Environmental Geology*, 48 (4-5), 543-550.

(<http://www.agrolasithi.gr/lasithi/geology.aspx>), Γεωλογία της Κρήτης

Γενική γραμματεία της εθνικής στατιστικής υπηρεσίας της Ελλάδας, Η απαίτηση ύδατος για κάθε δημοτικό διαμέρισμα του δήμου Γεροπόταμου

Ελληνική δημοκρατία περιφέρεια Κρήτης, γενική δ/ση περιφέρειας, διεύθυνση υδάτων, τμήμα παρακολούθησης και ελέγχου της ποιότητας και της ποσότητας των υδάτων, Ηράκλειο 2009, Τεκτονική της περιοχής μελέτης, του Γεροπόταμου

Ζαρρής Δημήτριος, Ιανουάριος 2008, Master plan Ύδρευσης Δήμου Γεροποτάμου

Κ.Ζανάκη, 1996, Έλεγχος ποιότητας νερού

Κ.Ζανάκη, 2001, Έλεγχος ποιότητας νερού

Νίκος Λυδάκης, 2007, Γενική χημεία και ενόργανη ανάλυση του Νίκου Λυδάκη-Σημαντήρη

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Ακολουθεί παράρτημα με τις μετρήσεις των χημικών παραμέτρων όπως προσδιορίστηκαν για τις δειγματοληψίες Ιουνίου, Ιουλίου και Οκτωβρίου.

