



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ

ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ ΜΟΝΑΔΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

(ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ, ΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑ, ΓΕΩΛΟΓΙΑ

ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ)

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Σύγκριση χημικών αναλύσεων εμφιαλωμένων νερών με χημικές αναλύσεις υδάτων πιθανών γεωθερμικών πεδίων χαμηλής ενθαλπίας από την περιοχή της Μεσσαράς-Κρήτη»

Λαμπαδαρίδης Εμμανουήλ

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Μανούτσογλου Εμμανουήλ, Καθηγητής (επιβλέπων)

Καλλίθρακας – Κόντος Νίκος, Καθηγητής

Δρ. Σπανουδάκης Νίκος, ΕΔΙΠ

Χανιά, Ιούνιος 2018

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις των εξεταστών.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα διπλωματική εκπονήθηκε στη σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης και μολονότι αποτελεί ατομική εργασία, στην ολοκλήρωσή της συνέβαλαν σημαντικά και άλλοι άνθρωποι. Έχοντας φτάσει στο τέλος της συγγραφής της επιθυμώ να απευθύνω τις ευχαριστίες μου στους ανθρώπους αυτούς.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή και επιβλέποντά μου κ Μανούτσογλου Εμμανουήλ για την βοήθεια και την καθοδήγηση που μου παρείχε τόσο κατά την επίλογή, όσο και κατά την διαδικασία εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Επίσης ευχαριστώ θερμά και τον Δρ. Σπανουδάκη Νικόλαο για τις πολύτιμες επισημάνσεις του και για τον χρόνο που παρείχε, επιλύοντας απορίες μου και βγάζοντάς με από διάφορα αδιέξοδα καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής. Ένα ιδιαίτερο επίσης ευχαριστώ στον Καθ. κ. Καλλίθρακα – Κόντο που παρότι ο χρόνος του είναι πολύ περιορισμένος ως Αντιπρύτανη συμμετείχε στην εξεταστική επιτροπή.

Τέλος ευχαριστώ την οικογένειά μου για την στήριξη που μου παρείχε καθ' όλη την διάρκεια των σπουδών μου, αλλά και τον φίλο μου Τριανταφύλλου Μάριο για την στήριξη και την ουσιαστική βοήθεια που παρείχε κατά τις συγκρίσεις των χημικών αναλύσεων.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

«Το νερό ανθρώπινης κατανάλωσης δεν εντάσσεται στην έννοια του τροφίμου, παρέχεται με υποχρέωση της Πολιτείας σε όλους τους πολίτες της επικράτειας ως δημόσιο αγαθό, μη υπαγόμενο στους κανόνες της αγοράς και διέπεται από τους νόμους της υγειονομικής μηχανικής» (ΦΕΚ 3282B 19/09/2017). Από τον ορισμό/κανόνα αυτόν εξαιρούνται η πληθώρα των εμφιαλωμένων νερών που καλύπτουν όχι βασικές αλλά περιστασιακές ανάγκες του πληθυσμού, καθώς και φυσικά ύδατα τα οποία πιθανώς να συνδέονται άμεσα ή έμμεσα με θερμομεταλλικά νερά και απαιτούν συνεχείς ελέγχους των ορίων συγκέντρωσης ιόντων.

Στην παρούσα εργασία επιχειρείται η σύγκριση των χημικών αναλύσεων υδάτων (κύριων ιόντων και ιχνοστοιχείων) που ελήφθησαν από δεξαμενή παροχής κοινοτικού δικτύου στην Μεσσαρά, που τροφοδοτείται από νερό υδρογεωτρήσεων που πιθανώς συνδέονται με γεωθερμικό ταμιευτήρα στην περιοχή, με υφιστάμενες χημικές αναλύσεις (κύριων ιόντων και ιχνοστοιχείων) 25 εμφιαλωμένων νερών, που κυκλοφορούν ευρέως στην ελληνική αγορά και είναι εγκεκριμένα από την ελληνική νομοθεσία. Για την καλύτερη εποπτεία των αποτελεσμάτων δημιουργήθηκαν συγκριτικά ραβδογράμματα των σημαντικότερων ιόντων όλων των υδάτων και συσχετίστηκαν με τα νομοθετικά όρια. Έτσι, πέρα από την σύγκριση με τα εγκεκριμένα νερά του εμπορίου, τα δείγματα των πιθανώς γεωθερμικών υδάτων συγκρίνονται και με τις οριζόμενες από την νομοθεσία τιμές, γεγονός που οδηγεί σε ακόμα ασφαλέστερα συμπεράσματα. Όπως αποδείχθηκε όλα τα υπό μελέτη δείγματα βρίσκονται εντός των ορίων του έχουν καθοριστεί διαχρονικά και ισχύουν για το νερό ανθρώπινης κατανάλωσης.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Κεφάλαιο 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ	7
Κεφάλαιο 2: ΓΕΩΛΟΓΙΑ	9
2.1 ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΚΡΗΤΗΣ	9
2.2 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΜΕΣΣΑΡΑΣ	15
Κεφάλαιο 3: ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ.....	25
3.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	25
Κεφάλαιο 4: ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ	27
4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	27
4.2 ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ	28
4.2.1 Θερμότητα.....	28
4.2.2 Ενθαλπία.....	28
4.2.3 Θερμική αγωγιμότητα	29
4.2.4 Γεωθερμική βαθμίδα.....	29
4.2.5 Θερμική ροή	29
4.3 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΠΕΔΙΩΝ (ΧΑΜΗΛΗΣ ΕΝΘΑΛΠΙΑΣ)	30
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΥΔΡΟΧΗΜΕΙΑ	31
5.1 ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΤΩΝ ΝΕΡΩΝ	31
5.2 ΥΔΡΟΧΗΜΙΚΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ.....	37
5.2.1 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ WILCOX.....	37
5.2.2 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ LUDWIG- LANGELIER	38
5.2.3 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ PIPER.....	39
5.2.4 Διάγραμμα SCHOELLER.....	40
5.3 ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ.....	40
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	44
6.1 ΣΥΛΛΟΓΗ ΤΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ.....	44
6.2 ΕΠΙΤΟΠΙΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΧΗΜΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΤΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ	45
6.3 ΥΔΡΟΧΗΜΙΚΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ	47

6.3.1 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ WILCOX	47
6.3.2 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ LUDWIG- LANGELIER	48
6.3.3 Διάγραμμα PIPER	49
6.3.4 Διάγραμμα SCHOELLER.....	50
6.4 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΧΗΜΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ	51
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ	61
Βιβλιογραφία	62
Ελληνική	62
Διεθνής	63
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι.....	64
ΣΧΕΤΙΚΗ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ.....	64
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ.....	77
Α. ΛΙΣΤΑ ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΜΕΝΩΝ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΝΕΡΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ.	77
Β. ΛΙΣΤΑ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΝΕΡΩΝ ΑΛΛΩΝ ΧΩΡΩΝ ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΜΕΝΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ.....	79

Κεφάλαιο 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τοποθετημένη πάνω στα συγκλίνοντα όρια της Ευρασιατικής με την Αφρικανική πλάκα, η Κρήτη χαρακτηρίζεται από έντονη τεκτονική δραστηριότητα, εμφανίζοντας όλα τα συνοδά της σύγκλισης γεωδυναμικά φαινόμενα σε εξαιρετικό βαθμό. Τα πολυάριθμα επιφανειακά ρήγματα, οι εναλλαγές των διαφορετικών πετρωμάτων κατά την ανάλυση των λιθολογικών της σχηματισμών και οι ανυψώσεις των Νεογενών λεκανών, έως και εκατοντάδες μέτρα πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας υποδηλώνουν μάλλον νέα και γρήγορη ανύψωση και επιβεβαιώνουν/αποδεικνύουν την επίδραση πολύπλοκων τεκτονικών γεγονότων στην γεωλογική διαμόρφωση του νησιού.

Η έκδηλη μέχρι και σήμερα τεκτονική δραστηριότητα της Κρήτης έχει δημιουργήσει όλες τις προϋποθέσεις, ώστε το νησί να χρήζει ερευνών στον ευρύτερο χώρο των γεωθερμικών πεδίων. Συγκεκριμένα, τα πεδία αυτά, για τα οποία έχουμε περιορισμένα στοιχεία, είναι χαμηλής ενθαλπίας. Εντός της λεκάνης της Μεσσαράς, που αποτελεί τμήμα της λεκάνης του Ηρακλείου, στη νότια περιοχή των Μοιρών, όπως αναφέρεται σε μελέτη του Ι.Γ.Μ.Ε. (Νικολάου, 1994) και όπως προέκυψε από πιο πρόσφατες μετρήσεις της θερμοκρασίας σε υδρογεωτρήσεις των περιοχών Περί, Πλάτανος και Μελιδοχώρι (Κυρκιμτζή 2013, Αμβράζης 2015, Σμπώκος 2015, Αγριμάκη 2016), στο Ακρωτήριο του νομού Χανίων, που μελετήθηκε στα πλαίσια διπλωματικής εργασίας του Τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων (Βλασταράς 2006) με πιθανό γεωθερμικό νερό της τάξης των 32° C και στην περιοχή Καπίστρι Ιεράπετρας με γεωθερμικό νερό της τάξης των 25° C. Ένα από αυτά τα πεδία στην περιοχή της Μεσσαράς χρησιμοποιείται για την υδροδότηση μιας κοινότητας. Τα γεωθερμικά ρευστά αν και χαμηλής ενθαλπίας χρίζουν συνεχούς παρακολούθησης ως προς τα ανώτερα όρια διαλυμένων στοιχείων που έχουν θεσπιστεί από ευρωπαϊκή και εθνική νομοθεσία.

Εκτός όμως από την ύπαρξη πιθανών γεωθερμικών πεδίων ο συνδυασμός της καλυμματικής αλπικής τεκτονικής και της θραυσιγενούς Νεοτεκτονικής, η έντονη παρουσία ανθρακικών πετρωμάτων που είναι βασική προϋπόθεση δημιουργίας καρστικών υδροφοριών και μια έντονη εναλλαγή υδρολιθολογικών ενοτήτων δημιούργησε σε όλο το χερσαίο τμήμα των Ελληνίδων Οροσειρών ένα εκτεταμένο σύστημα υπόγειων υδροφοριών από το οποίο καλύπτονται οι ανάγκες σε πόσιμο νερό σε όλα ακόμα και τα απόμακρα σημεία της Ελλάδος. Προσεγγίζοντας την έννοια του πόσιμου νερού αυτό που κατανοεί κανείς πέρα και μέσα από τα διάφορα νομοθετήματα ευρωπαϊκά και τα εθνικά είναι ότι το

πόσιμο νερό είναι μη εμπορεύσιμο αγαθό του οποίου τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά είναι διαρκείας και υψηλού επιπέδου. Στις σύγχρονες κοινωνίες ο κύριος τρόπος μεταφοράς νερού είναι τα δίκτυα ύδρευσης που καλύπτουν το σύνολο των κοινωνικών αναγκών. Τα τελευταία χρόνια όμως, έχει ευρέως διαδοθεί η κατανάλωση εμφιαλωμένου νερού για κάλυψη περιστασιακών αναγκών. Αυτή η τάση επιτάθηκε και από το γεγονός ότι σε ορισμένες των περιπτώσεων το νερό του δικτύου σε ορισμένες περιοχές δεν πληροί περιστασιακά τα αναγκαία κριτήρια ποιότητας. Στην ελεύθερη αγορά κυκλοφορούν διάφορα σκευάσματα νερού που αντιγράφοντας τις πρώτες προσπάθειες που έγιναν ήδη από τις αρχές του προηγούμενου αιώνα να πωληθούν θερμομεταλλικά – ιαματικά νερά εμφιαλωμένα σε μικρές ποσότητες, φέρουν ονομασίες όπως Φυσικό Μεταλλικό Νερό, Επιτραπέζιο Νερό κτλ.

Νομοθετικά αλλά και ευρέως διαδεδομένο ήταν το ότι: «Το νερό ανθρώπινης κατανάλωσης δεν εντάσσεται στην έννοια του τροφίμου, παρέχεται με υποχρέωση της Πολιτείας σε όλους τους πολίτες της επικράτειας ως δημόσιο αγαθό, μη υπαγόμενο στους κανόνες της αγοράς και διέπεται από τους νόμους της υγειονομικής μηχανικής» (ΦΕΚ 3282B 19/09/2017).

Από τον ορισμό/κανόνα αυτόν εξαιρούνται η πληθώρα των εμφιαλωμένων νερών που καλύπτουν όχι βασικές αλλά περιστασιακές ανάγκες του πληθυσμού, καθώς και φυσικά ύδατα τα οποία πιθανώς να συνδέονται άμεσα ή έμμεσα με γεωθερμικούς ταμιευτήρες και απαιτούν συνεχείς ελέγχους των ορίων συγκέντρωσης ιόντων.

Στην παρούσα εργασία επιχειρείται η σύγκριση των χημικών αναλύσεων υδάτων (κύριων ιόντων και ιχνοστοιχείων) που ελήφθησαν από δεξαμενή παροχής κοινοτικού δικτύου στην Μεσσαρά, που τροφοδοτείται από νερό υδρογεωτρήσεων που πιθανώς συνδέονται με γεωθερμικό ταμιευτήρα στην περιοχή, με υφιστάμενες (Παπαϊωάννου 2007) χημικές αναλύσεις (κύριων ιόντων και ιχνοστοιχείων) 25 εμφιαλωμένων νερών, που κυκλοφορούν ευρέως στην ελληνική αγορά και είναι εγκεκριμένα από την ελληνική νομοθεσία.

Κεφάλαιο 2: ΓΕΩΛΟΓΙΑ

2.1 ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΚΡΗΤΗΣ

Κατά τις τελευταίες τέσσερις δεκαετίες, οι γνώσεις μας για την γεωλογική δομή της Κρήτης έχουν αυξηθεί σημαντικά. Τα αποτελέσματα των ερευνών στα πλαίσια μεγάλου αριθμού προγραμμάτων ευρωπαϊκών και εθνικών ερευνητικών ινστιτούτων αλλά και μεμονωμένων ερευνητών, οδήγησε στην έκδοση του πρώτου συνοπτικού γεωλογικού χάρτη της Κρήτης το 1977 σε κλίμακα 1/200.000. Όπως φαίνεται στον χάρτη αυτόν αλλά και στους επόμενους που εκδόθηκαν από το Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδας κλίμακας 1:500.000, Εικόνα 2.1), το μεγαλύτερο ποσοστό προνεογενούς ηλικίας πετρωμάτων που δομούν και εμφανίζονται στην Κρήτη, ανήκουν σε μια ακολουθία μεταμορφωμένων πετρωμάτων που για δεκαετίες ήταν γνωστή στη βιβλιογραφία σαν «Πλακώδεις Ασβεστόλιθοι», η παλαιογεωγραφική τοποθέτηση των οποίων παραμένει ένα ανοικτό γεωλογικό κεφάλαιο. Παρόμοια είναι τα προβλήματα που σχετίζονται με τα καλύμματα της ενότητας του Τρυπαλίου και του Φυλλιτικού Καλύμματος.



Εικόνα 2.1 Τμήμα του γεωλογικού χάρτη της Ελλάδας σε κλίμακα 1:500.000. με κίτρινες και πράσινες αποχρώσεις οι λεκάνες του Νεογενούς και του Τεταρτογενούς (Ι.Γ.Μ.Ε.).

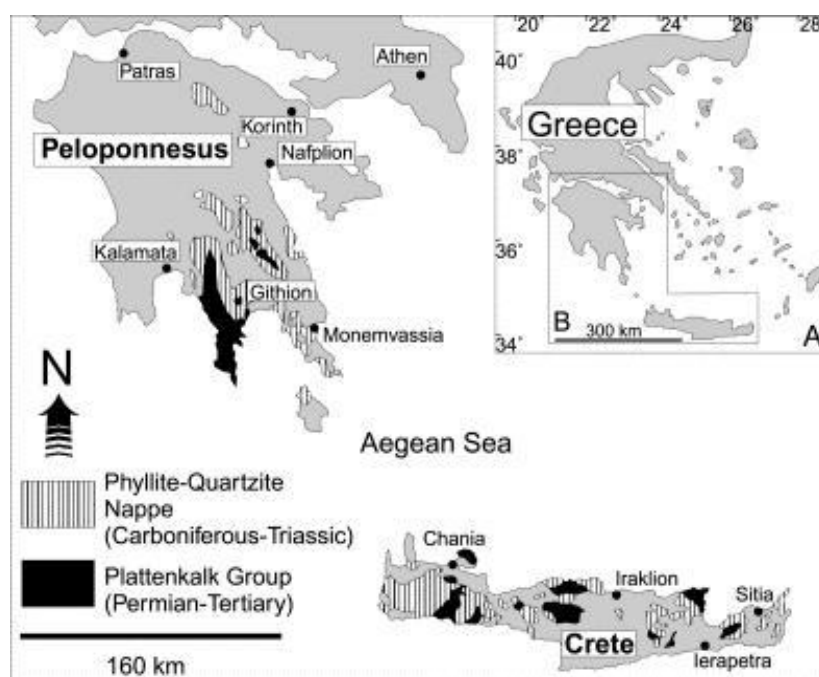
Πιο ειδικά, η Κρήτη συγκροτείται από την κατώτερη τεκτονική ενότητα η οποία αποτελείται από ένα αυτόχθονο έως παραυτόχθονο σύστημα πετρωμάτων που περιλαμβάνει την μεταμορφωμένη Ομάδα των Πλακωδών Ασβεστόλιθων (Πλάτανος *tenkalk*) με ηλικία από το Άνω Πέρμιο έως το Ολιγόκαινο.

Με τεκτονική επαφή, ακολουθεί ένα αλλόχθονο σύστημα επωθημένο πάνω στο (παρα)αυτόχθονο, υπό τη μορφή αλληπαλλήλων τεκτονικών καλυμμάτων αλπικών ενοτήτων, και με χαρακτηριστική λεπιοειδή διάταξη. Τα αλληπαλλήλα τεκτονικά καλύμματα επωθημένα το ένα πάνω στο άλλο τοποθετούνται με την ακόλουθη σειρά

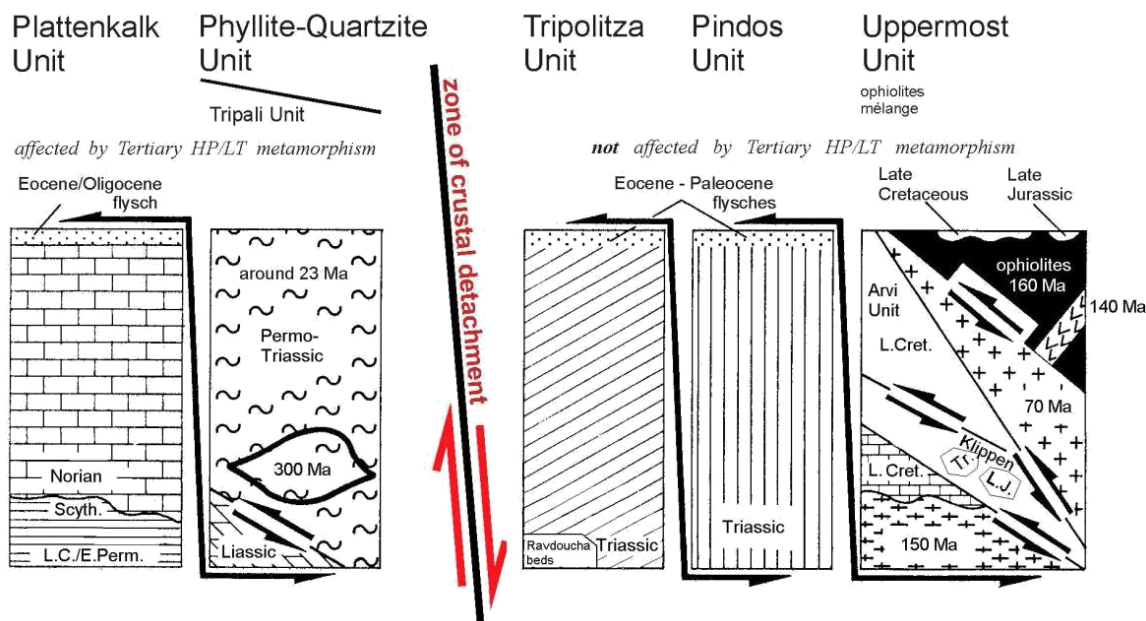
από το υποκείμενο προς το υπερκείμενο:

Ενότητα Τρυπαλίου αποτελούμενη από ημιμεταμορφωμένα έως μεταμορφωμένα κυρίως ανθρακικά πετρώματα ηλικίας Τριαδικό έως Λιάσιο.

Ακολούθως, η Ενότητα Φυλλιτών – Χαλαζιτών (Φυλλιτικό Κάλυμμα κατά Dornsiepen&Manutsoglu 1994) με ηλικία Άνω Πέρμιο έως και το Κάρνιο όπου στα κατώτερα τμήματα παρουσιάζονται εντός δολομιτών και ραουδάκων εμφανίσεις γύψου και ανυδρίτου και στα ανώτερα εναλλαγές φυλλιτών με στρώσεις χαλαζιτών και στρώσεις μετα-ηφαιστίτων.



Εικόνα 2.2 Οι εμφανίσεις της Ομάδας Πλακωδών Ασβεστολίθων και του Φυλλιτικού Καλύμματος στην Πελοπόννησο και Κρήτη (Dornsiepen et al., 2001).



Σχήμα 2.1 Τεκτονική διάταξη των τεκτονοστρωματογραφικών ενότητων στην Κρήτη (τροποποιημένη από Seidel et al., 1982).

Έπεται η ενότητα Τρίπολης με το κατώτερο τμήμα να αποτελείται από την αργιλοσχιστολιθική – ανθρακική σειρά Ραβδούχα, το ανώτερο τμήμα από την ανθρακική σειρά της Τρίπολης και τέλος, στο ανώτατο τμήμα της σειράς παρουσιάζεται ο φλύσχος της ενότητας της Τρίπολης. Η ηλικία της ενότητας τοποθετείται στο Μέσο - Άνω Τριαδικό.

Ακολουθεί η Ενότητα Ωλονού – Πίνδου, όπου στην Κρήτη εντοπίζεται με τρεις σειρές: Πίνδου στη Δυτική Κρήτη με την τυπική στρωματογραφική ακολουθία της ενότητας της Πίνδου, Εθιάς στην Κεντρική Κρήτη και Μαγκασσά στην Ανατολική Κρήτη (Φυτρολάκης, 1980). Η ηλικία της ενότητας τοποθετείται από το Άνω Τριαδικό έως και το Μέσο Παλαιόκαινο (από Μανούτσογλου, 2008).

Πάνω από τις παραπάνω αναφερόμενες εξωτερικές ζώνες (Σχήμα 2.1) υπάρχουν σε ανώτερη τεκτονική θέση αλλόχθονα τεκτονικά λείπια των Εσωτερικών ζωνών που έχει ονομαστεί και **"Ανώτατη ενότητα"**: ένα σύνθετο πολύμεικτο λιθοφασικά τεκτονικό σύμπλεγμα που αποτελείται από επαλληλικά καλυμμάτων (Bonneau 1984). Τα διάφορα καλύμματα τα οποία είναι επωθημένα το ένα επάνω στο άλλο από το υπερκείμενο προς το υποκείμενο είναι τα εξής:

- Οφειολιθικό κάλυμμα με σερπεντινιωμένους περιδοίτες, γάββρους, διορίτες, δολερίτες και διαβάσεις, ηλικίας Κατώτατου Ιουρασικού – Ανώτατου Κρητιδικού. Οι περισσότερες από τις εμφανίσεις αυτών των οφειολίθων στην Κρήτη εντοπίζονται στο κεντρικό τμήμα της νήσου. Είναι σχηματισμοί με διαστάσεις χιλιομέτρων έως εκατοντάδων μέτρων στην κορυφή της λεγόμενης "Ανώτατης ενότητας". Αποτελούνται κυρίως από πλαστικά τεκτονισμένους σερπεντινίτες. Οι επαφές τους με τις υπόλοιπες ακολουθίες της "Ανώτατης ενότητας" είναι παντού τεκτονικές. Υπολείμματα των

αρχικών περιδοτιτών γενικά αντιστοιχούν σε σπινελιούχους *Iherzolites*. Οι σερπεντινίτες συχνά περιέχουν χρυσοσίλη και αντιγορίτη και σε ορισμένες θέσεις μόνο αντιγορίτη. Στα υπερβασικά αυτά πετρώματα που εμφανίζονται και στην Κρήτη έχουν εντοπιστεί γαβθροειδείς διεισδύσεις (*gabbroic dikes*) που ποικίλουν σε μέγεθος από 1-100 περίπου μέτρα. Ηχημική σύνθεση αυτών των διεισδύσεων ποικίλει: από γαβθρονορίτη σε γάβθρο, διορίτη, τοναλίτη έως πλαγιογρανίτη (Koepke et al., 2002).

- Κάλυμμα Αστερούσιων με μετα-ιλυολιθικούς, διμαρμαρυγιακούς, χλωριτικούς, επιδοτιτικούς γνευσίους και σχιστολίθους, αμφιβολίτες και μάρμαρα ηλικίας Κατώτατου Ιουρασικού – Ανώτατου Κρητιδικού.

- Κάλυμμα Βάτου με εναλλαγές τεφρών ιλυολίθων και πάγκους από ψαμμιτικούς ασβεστολίθους και ψαμμίτες ηλικίας Ανωτέρου Ιουρασικού.

- Κάλυμμα Άρβης με βασάλτες σε «μαξιλαροειδείς λάβες» ηλικίας Ανωτέρου Κρητιδικού.

Τέλος, πάνω από τους αλπικούς σχηματισμούς βρίσκονται πετρώματα του Νεογενούς και Τεταρτογενούς τα οποία συνήθως έχουν κυμαινόμενο πάχος και εξάπλωση στις διάφορες περιοχές της Κρήτης. Τα πετρώματα αυτά σχετίζονται με τις μετεωρεγενετικές διεργασίες που επέδρασαν στην περιοχή. Οι απόψεις για το είδος, την διαδοχή και εύρος αυτών των διεργασιών δίδονται στην βιβλιογραφία.

Οι εφελκυστικές τάσεις που έλαβαν χώρα στην περιοχή της Κρήτης είχαν ως συνέπεια τη δημιουργία μεγάλων βυθισμάτων, ως αποτέλεσμα της δράσης μεγάλων ρηγμάτων με κύριες διευθύνσεις B-N και A-. Οι κυριότερες λεκάνες που πληρώθηκαν με ιζήματα του Νεογενούς είναι οι λεκάνες Ηρακλείου, Μεσσαράς, Ιεράπετρας και του βορείου τμήματος Νομών Ρεθύμνου και Χανίων. Τα νεογενή αυτά ιζήματα επικάθονται ασύμφωνα στους αλπικούς σχηματισμούς και είναι χερσαίας, ποτάμιας, υφάλμυρης και θαλάσσιας προέλευσης. Παρουσιάζουν ανομοιομορφία ως προς την ηλικία τους και ως προς τη λιθολογία τους. Κατά Meulenkaamp (1979) οι σχηματισμοί του Νεογενούς έχουν ομαδοποιηθεί σε λιθοφασικές ομάδες (Σχήμα 2.2):

Η Ομάδα Πρίνα αποτελείται από ασβεστολιθικά μαύρα χονδρόκοκκα λατυποπαγή και λατυποκροκαλοπαγή με ασβεστιτικό υλικό συγκόλλησης ενώ εμπεριέχει ολισθόλιθους προνεογενών ασβεστόλιθων. Αποτελεί τη βάση των Νεογενών ιζημάτων στις περιοχές της ανατολικής και δυτικής Κρήτης, ή μεταβαίνει πλευρικά ως προς την αμέσως Νεότερη. Η ηλικία της Ομάδας Πρίνα προσδιορίζεται στο Μέσο Μειόκαινο και το περιβάλλον απόθεσης χαρακτηρίζεται μη θαλάσσιο ως υφάλμυρο ή ρηχό θαλάσσιο.

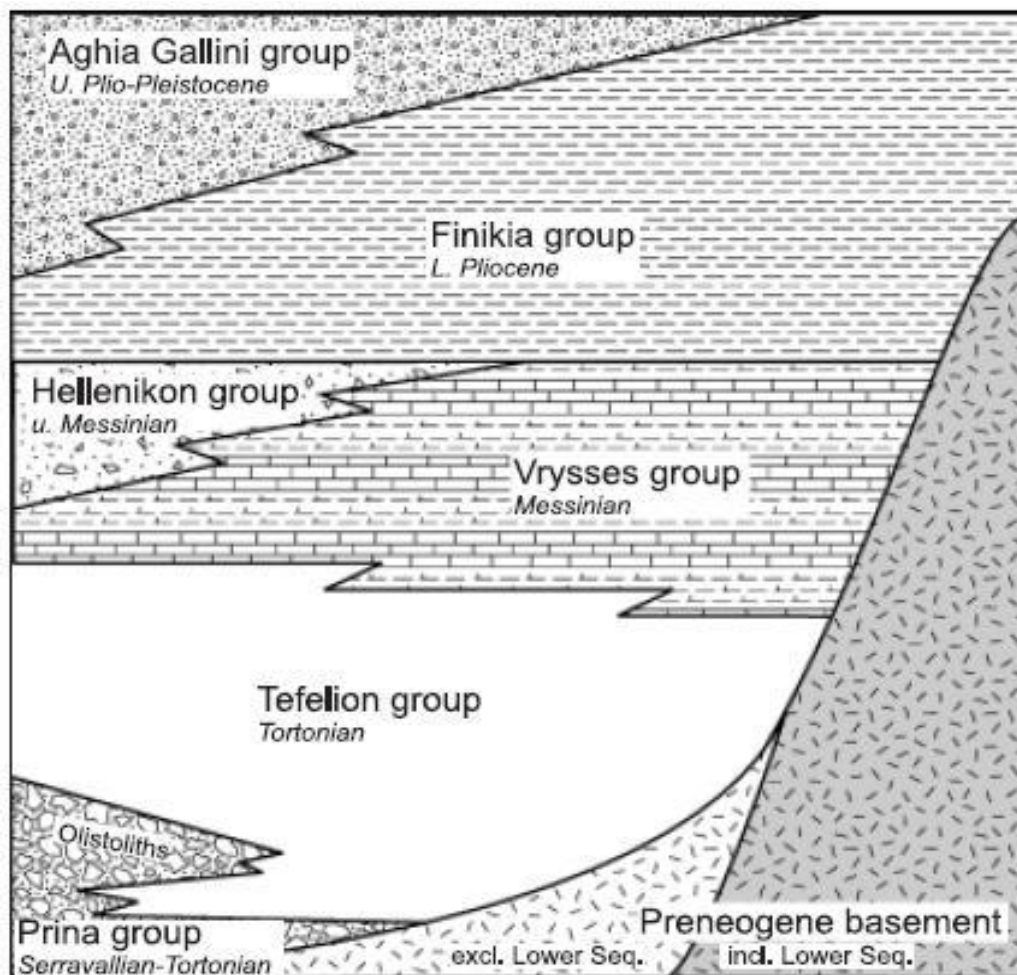
Η Ομάδα Τεφελίου τοποθετείται ασύμφωνα είτε πάνω στην Ομάδα Πρίνα, είτε απευθείας πάνω στο προνεογενές υπόβαθρο. Αποτελείται από χαλαρά θαλάσσια και ποταμολιμναία κροκαλοπαγή, άμμους, αργίλους και ιλύ. Η ηλικία τους τοποθετείται από το Σερραβάλλιο έως το Άνω Τορτόνιο. Η Ομάδα Τεφελίου αποτελείται από τους σχηματισμούς Βιάννου, Σκινιά και Αμπελούζου.

Η Ομάδα Βρυσών συντίθεται από το σχηματισμό της Αγίας Βαρβάρας και τοποθετείται υπερκείμενη είτε της Ομάδας Τεφελίου είτε του αλπικού υποβάθρου. Αποτελείται από θαλάσσιους βιοκλαστικούς ή υφαλογενής ασβεστόλιθους εναλλαγές φυλλωδών και ομογενών μαργών, οι οποίες κατά τόπους εμπεριέχουν παρεμβολές γύψων. Η ηλικία της Ομάδας των βρυσών τοποθετείται στο Άνω Τορτόνιο έως το Κάτω Μεσσήνιο.

Η Ομάδα Ελληνικού παρουσιάζεται τοποθετημένη ασύμφωνα σε παλαιότερους Νεογενής σχηματισμούς ή κατά θέσεις, απευθείας επάνω στο υπόβαθρο ή επάνω στην ομάδα Βρυσών στην οποία όμως κατά τόπους παρεμβάλετε. Περιλαμβάνει ερυθρωπά χερσαίας προέλευσης κροκαλοπαγή, ποταμολιμναίες σχετικώς λεπτόκοκκες αποθέσεις και ενίοτε υφάλμυρες και λιμνοθαλάσσιες αποθέσεις με εμπεριεχόμενα λεπτά στρώματα γύψου. Η Ομάδα Ελληνικού αποτέθηκε κατά τη διάρκεια της κρίσης αλατότητας του Μεσσηνίου με την ηλικία της να προσδιορίζεται στο Άνω Μεσσήνιο. Στις περιοχές της κεντρικής και ανατολικής Κρήτης δεν υπάρχουν εμφανίσεις της Ομάδας Ελληνικού.

Η Ομάδα Φοινικιάς συντίθεται από το σχηματισμό της Φοινικιάς και τοποθετείται επί των στρωμάτων της Ομάδας Ελληνικού, Βρυσών ή του προνεογενούς υποβάθρου. Αποτελείται από ανοιχτής θάλασσας αργίλους και μάργες οι οποίες ενίοτε παρουσιάζουν πυριτικές ενστρώσεις ενώ τμήμα της βάσης της Ομάδας Φοινικιάς, περιέχει ένα λατυποπαγές αποτελούμενο από ιζήματα του Μειόκαινου και του Κατώτερου Πλειόκαινου. Η ηλικία της Ομάδας της Φοινικιάς είναι Πλειοκαινική.

Η Ομάδα Αγίας Γαλήνης συντίθεται από το σχηματισμό της Αγίας Γαλήνης και βρίσκεται υπερκείμενη της Ομάδας της Φοινικιάς και κατά ένα μέρος αποτελεί πλευρική αντιστοιχία της. Εμπεριέχει χονδροκλαστικά υλικά, χερσαία ερυθρά κροκαλοπαγή και ποταμοδελταϊκές άμμους και αργίλους. Αποτελεί την τελευταία ενότητα του Νεογενούς στην Κρήτη η οποία ανήκει στο Άνω Πλειόκαινο ή πιθανά στο Άνω Πλειστόκαινο.



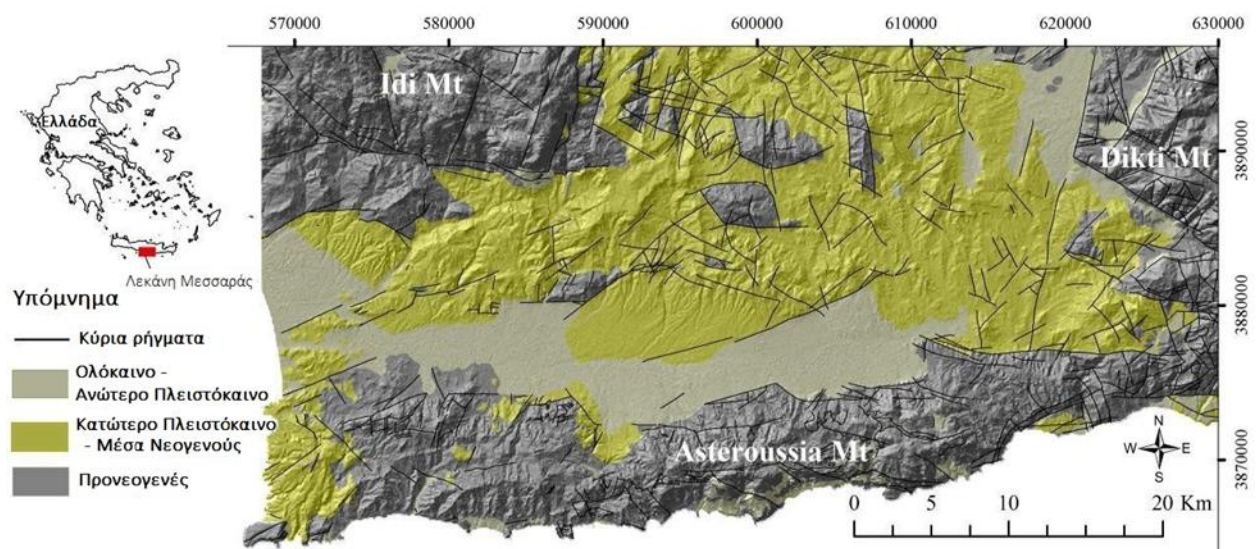
Σχήμα 2.2 Σχηματική απεικόνιση της λιθοστρωματογραφίας της Κρήτης, με τις μεγαλύτερες ομάδες σχηματισμών του Νεογενούς και το προνεογενές υπόβαθρο (αδιαίρετο). Παρουσιάζεται η μεταξύ τους σχέση όσον αναφορά στην κατακόρυφη και οριζόντια θέση αλλά και στην αλληλοπαρεμβολή τους (Meulenkaamp, 1979).

Επάνω στους σχηματισμούς του Νεογενούς ή απευθείας στο προνεογενές υπόβαθρο υπέρκεινται ασύμφωνα τα ιζήματα του Τεταρτογενούς (Meulenkaamp, 1979; Φυτρολάκης, 1980). Πρόκειται για συγκολλημένους ή ασύνδετους χερσαίους σχηματισμούς η ηλικία των οποίων τοποθετείται στο Πλειστόκαινο και νεότερη, ενώ οι μορφές τους ποικίλουν σε πλευρικά κορήματα σε κλιτύες, σε αλλουβιακά ριπίδια στις εξόδους χειμάρρων και σε αλλουβιακές αποθέσεις. (Μανούτσογλου, 2012, αδημοσίευτες σημειώσεις γεωλογίας της Κρήτης)

2.2 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΜΕΣΣΑΡΑΣ

Η λεκάνη της Μεσσαράς συνιστά το νότιο τμήμα της λεκάνης του Ηρακλείου και στην ουσία πρόκειται για μια τεκτονική τάφρο με φυσικά όρια τον όγκο του Ψηλορείτη και της κορυφογραμμής του Ηρακλείου στο Βορρά και τον όγκο των Αστερουσίων στο Νότο. Ειδικότερα, ορίζεται από τις ρηξιγενείς ζώνες Μαλεβυζίου – Καμαρών – Γέργερης στα δυτικά από τα ρήγματα Καστελίου – Χερσονήσου – Ξενιάκου στα ανατολικά και των Αστερουσίων ορέων στα νότια.

Η λεκάνη διακρίνεται σε δυο επιμέρους τεκτονικές ενότητες: Στην πρώτη περιλαμβάνονται οι τεταρτογενείς και οι νεογενείς σχηματισμοί και στη δεύτερη ανήκουν οι προνεογενείς σχηματισμοί των οροσειρών του Ψηλορείτη, της Δίκτης και των Αστερουσίων ορέων, οι οποίες καταλαμβάνουν τα όρια της λεκάνης. (Κριτσωτάκης, 2009)



Εικόνα 2.4 Τεκτονοστρωματογραφικός χάρτης λεκάνης Μεσσαράς (εποπτικός, από του χάρτες του Ι.Γ.Μ.Ε. κλίμακας 1:50.000).

Στην εικόνα 2.4 με ανοιχτό γκρι χρώμα οι αποθέσεις του Ολόκαινου – Ανώτερου Πλειστόκαινου, με πράσινο οι αποθέσεις του Κατώτερου Πλειστόκαινου – Μέσου Νεογενούς και με σκούρο γκρι οι προνεογενείς αποθέσεις.

Η πεδιάδα της Μεσσαράς αποτελείται στο 45% από τεταρτογενή ιζήματα, ενώ τα γύρω βουνά και λόφοι στο 53% τους από νεογενή ιζήματα και φλύσχη, με σχετικά μεγάλες απορροές. Υπάρχει ένα ποσοστό 2% από καρστικούς σχηματισμούς στην ορεινή περιοχή, η οποία λόγω της υδροπερατότητας των πετρωμάτων χαρακτηρίζεται

από ασήμαντες επιφανειακές απορροές (Μ. Κριτσωτάκης, 2009).

Το βόρειο τμήμα της λεκάνης καλύπτεται από νεογενείς αποθέσεις, όπως μάργες, μαργαϊκούς ασβεστόλιθους και γύψους.

Το νότιο τμήμα της, όπου βρίσκονται τα Αστερούσια Όρη καλύπτεται από προνεογενείς αποθέσεις, όπως τα φλύσχη των Ζωνών Τριπόλεως και Πίνδου.

Το δυτικό τμήμα της, όπου βρίσκεται η λεκάνη απορροής του ποταμού Γεροπόταμου με έκταση 600,6 km², διαχωρίζεται σε τρεις τομείς με βάση το μορφολογικό ανάγλυφο και τους γεωλογικούς σχηματισμούς: τον βόρειο, τον νότιο και τον κεντρικό.

Το κεντρικό τμήμα της λεκάνης, καλύπτεται από τεταρτογενείς αποθέσεις αδιαίρετου Πλειστόκαινου (ποταμοχειμάρρια ή δελταϊκά κροκαλοπαγή, άμμοι, μάργες, ψαμμίτες, άργιλους και βιοκλαστικούς ασβεστόλιθους), τα οποία καταλαμβάνουν την μεγαλύτερη έκταση, ενώ επίσης συναντώνται κλαστικά ιζηματογενή πετρώματα.

Στη γεωλογική δομή της λεκάνης της Μεσσαράς συμμετέχουν από τις νεότερες προς τις παλαιότερες οι παρακάτω στρωματογραφικές και τεκτονικές ενότητες σχηματισμών:

Τεταρτογενείς σχηματισμοί

Ολόκαινο:αλλουβιακές αποθέσεις, που αποτελούν προϊόντα αποσάθρωσης καικαλύπτουν μικρές εσωτερικές λεκάνες καθώς και τις κοίτες των υδρορεμάτων (χαλαρά αργιλοαμμώδη υλικά, ερυθρογή με κροκαλολατύπες) και κώνοι κορημάτων και πλευρικά κορήματα, που αναπτύσσονται κυρίως στις παρυφές των Αστερουσιών (κυρίως ανθρακικής σύστασης λατύπες, αναμεμιγμένες με ερυθρογή).

Πλειστόκαινο - Ολόκαινο:ποταμολιμναία κροκαλοπαγή,άμμοι, ιλυόλιθοι καιαργιλικά στρώματα αποτελούμενα κυρίως από μεταφερμένα υλικά του σχηματισμού Αγ. Γαλήνη. Καλύπτουν το κεντρικό πεδινό τμήμα της λεκάνης.

Ανώτερο Πλειόκαινο - Πλειστόκαινο:σχηματισμός Αγ. Γαλήνη (ποτάμια καιλιμναία ερυθρά κροκαλοπαγή, ερυθρές και κίτρινες άμμοι, ιλυόλιθοι, άργιλοι, με παρεμβολές λιμναίων μαργαϊκών ασβεστόλιθων)

Νεογενείς σχηματισμοί

Κατώτερο πλειόκαινο: σχηματισμός Φοινικιάς (κυρίως λευκές μάργες, με παρεμβολές αργίλων και άμμων, άργιλοι, μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι και κροκαλοπαγή).

Ανώτερο Τορτόνιο – Μεσσήνιο: σχηματισμός Αγ. Βαρβάρας (βιοκλαστικοί, τοπικά κροκαλοπαγείς ή λατυποπαγείς, ασβεστόλιθοι, ολισθημένοι, μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι και εναλλαγές ασβεστιτικών μαργών ή μαργαϊκών ασβεστολίθων με παρεμβολές γύψων. Στο ανώτερο τμήμα του σχηματισμού απαντούν ασβεστολιθικοί ψαμμίτες και κροκαλοπαγή).

Τορτόνιο: σχηματισμός Αμπελούζου (ακανόνιστες εναλλαγές από θαλάσσια υφάλμυρα και ποτάμια κροκαλοπαγή, ψαμμίτες, ιλυόλιθους, μάργες, ιλυώδεις άργιλους και λιγνίτες).

Ανώτερο Σερραβάλιο: σχηματισμός Σκοινιά (καλά στρωμένες θαλάσσιες άργιλοι και ιλυώδεις άργιλοι με παρεμβολές ψαμμιτών).

Μέσο Μειόκαινο: σχηματισμός Βιάννου (ποταμολιμναίες σκούρες στρωματώδεις άργιλοι και ιλυώδεις άργιλοι, με ενδιαστρώσεις ασβεστόλιθων και ψαμμιτών. Παρεμβολές κροκαλοπαγών κυρίως στα κατώτερα τμήματα του σχηματισμού).

Προνεογενείς σχηματισμοί

Νότιο τμήμα: τα Αστερούσια Όρη συνίσταται από Μεσοζωικά πετρώματα μεβασικούς σχηματισμούς το φλύσχη και τα ανθρακικά της ζώνης Τρίπολης. Επιπλέον υπάρχουν μερικές επιφανειακές εμφανίσεις έντονα ρηγματωμένων και ελαφρώς καρστικοποιημένων ασβεστόλιθων της ζώνης Πίνδου. Στα μεγαλύτερα υψόμετρα απαντώνται πετρώματα των εσωτερικών ζωνών.

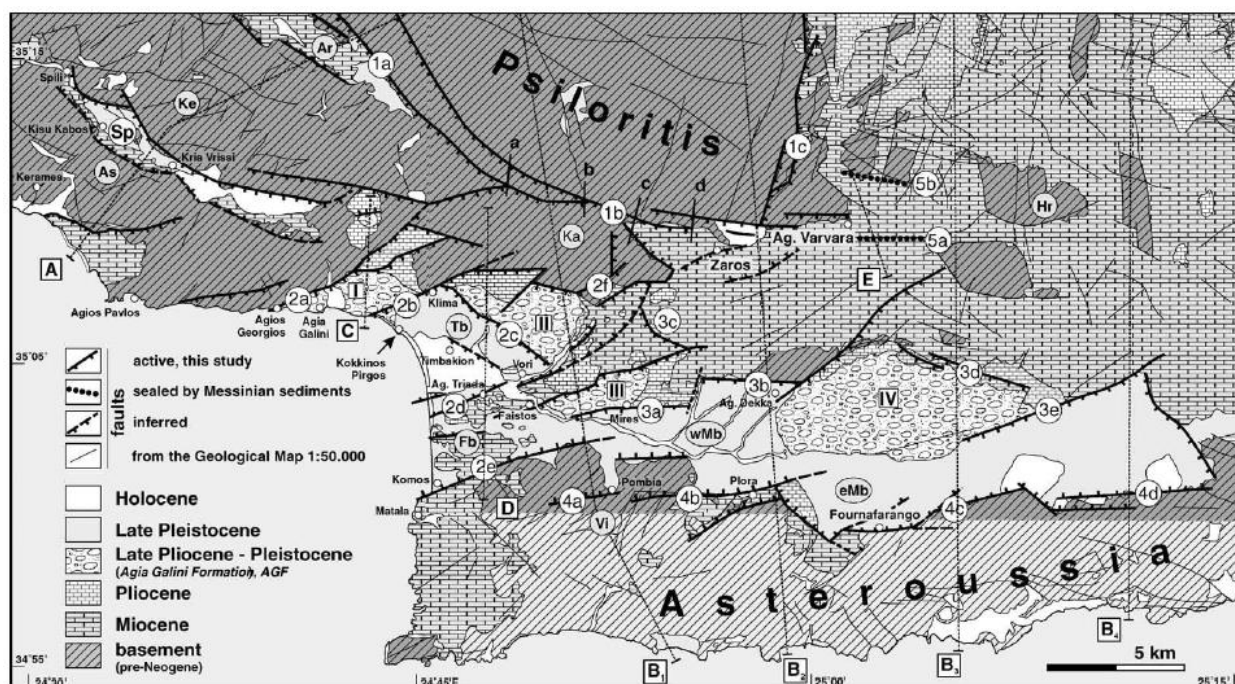
ΒΔ τμήμα: το Όρος Ψηλορείτης συνίσταται από μεσοζωικά πετρώματα της ενότητας της Τρίπολης (ασβεστόλιθοι, φλύσχη), πετρώματα της ενότητας Φυλλιτών–χαλαζιτών και πετρώματα του αυτόχθονου συστήματος (πλακώδεις ασβεστόλιθοι, ασβεστιτικοί σχιστόλιθοι ζώνης Ιονίου). Στα χαμηλότερα υψόμετρα απαντούν πλευρικά κορήματα (λατύπες).

Μια διαφορετική προσέγγιση για την λεκάνη της Μεσσαράς δόθηκε από τους Peterek&Schwarze (2004). Σύμφωνα με αυτούς του ερευνητές η ταπείνωση (depression) της Μεσσαράς αποτελεί μια σύνθετη τάφρο.

Τεκτονικά, αυτή η ταπείνωση χαρακτηρίζεται από μία εσωτερική και μία εξωτερική τάφρο. Κατά μήκος του βόρειου ορίου της τάφρου της Μεσσαράς, η εξωτερική τάφρος έχει πλάτος μέχρι και 10 χιλιόμετρα και αποτελείται από ενότητες που ανυψώθηκαν σε διαφορετικά ρηξιτεμάχη/μπλοκ και η ηλικία τους χρονολογείται πριν το Πλειστόκαινο. Με βάση την κατανομή των αποθέσεων του Νεογενούς (και την επικράτηση των ΔΒΔ-ΑΝΑ ενεργών ρηγμάτων, συγκεκριμένα νότια του ορεινού όγκου του Ψηλορείτη, μπορεί να θεωρηθεί ότι η βόρεια εξωτερική τάφρος (graben) της Μεσσαράς οριζόταν αρχικά από ρήγματα ΔΒΔ-ΑΝΑ διεύθυνσης. Μερικά από αυτά τα ρήγματα ενεργοποιήθηκαν ταυτόχρονα με την εναπόθεση των στρωμάτων του Νεογενούς. Κατά μήκος του βόρειου ορίου της τάφρου της Μεσσαράς, τα όρια της εξωτερικής τάφρου είναι λιγότερο σαφή και το πλάτος της περιορίζεται σε λιγότερο από κάποια χιλιόμετρα ή εξαφανίζεται τελείως. Όπως και το τμήμα της βόρειας εξωτερικής τάφρου έτσι και το αντίστοιχο νότιο τμήμα αποτελείται από ακολουθίες που έχουν ηλικίες παλαιότερες από το Πλειστόκαινο.

Η γεωμετρία των ενεργών ρηγμάτων στα όρια της λεκάνης της Μεσσαράς υποδηλώνει την αύξηση του μήκους της λεκάνης προς τα ανατολικά. Η λεκάνη της Μεσσαράς χωρίζεται σε αρκετές υπολεκάνες, οι οποίες οριοθετούνται από ξεχωριστά

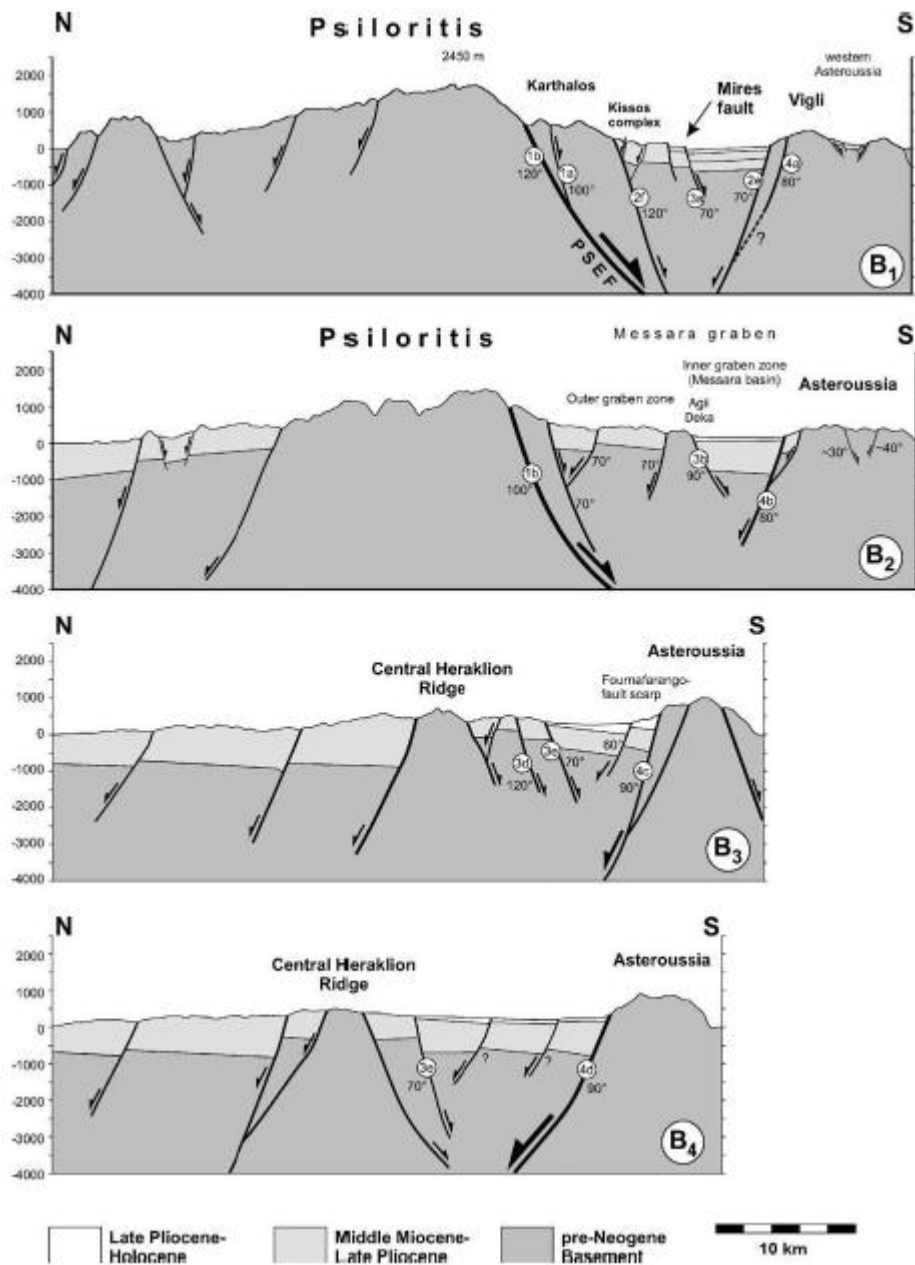
ρήγματα, που είναι καλυμμένα από αποθέσεις του Πλειόκαινου έως το Ολόκαινο.



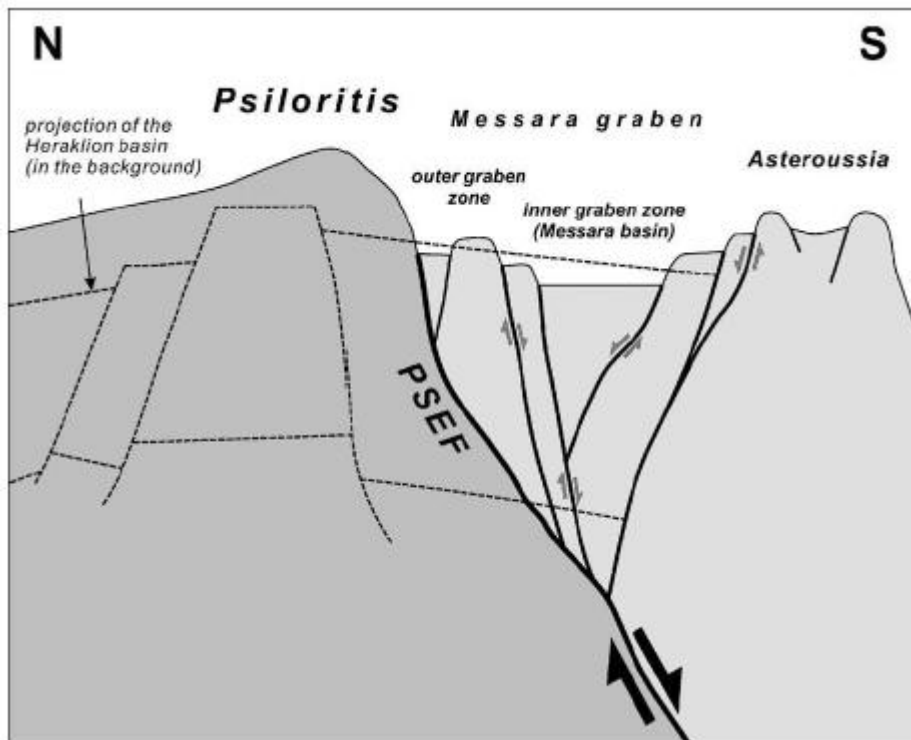
Εικόνα 2.5 Γεωλογικός χάρτης του μεγαλύτερου τμήματος της λεκάνης της Μεσσαράς και οι θέσεις αντιπροσωπευτικών γεωλογικών τομών διαφόρων διευθύνσεων (κατά Peterek & Schwarze, 2004)

Η τοπογραφία της κεντρικής Κρήτης παρουσιάζει μια αύξηση στο υψόμετρο από το βορρά προς το νότο (Εικόνα 2.7). Αυτό αποδεικνύεται τόσο από τα μέγιστα της τοπογραφίας όσο και το μέσο υψόμετρο και έχει προκύψει ως αποτέλεσμα της ασύμμετρης ανύψωσης του εξωτερικού τόξου. Ωστόσο, η σημαντική μετατόπιση κατά μήκος των κύριων ρηγμάτων με διεύθυνση κλίσης προς τον νότο της νοτιοκεντρικής Κρήτης και η σχετιζόμενη άνοδος του ανερχόμενου ρηξιτεμάχους (footwall) εντείνουν την ασύμμετρη άνοδο. Επιπλέον, η ασυμμετρία της ανύψωσης υποδεικνύεται επίσης από την ανύψωση των υπολειμμάτων θαλάσσιων αποθέσεων του Πλειόκαινου από το βορρά προς το νότο (Meulenkaupetal., 1994).

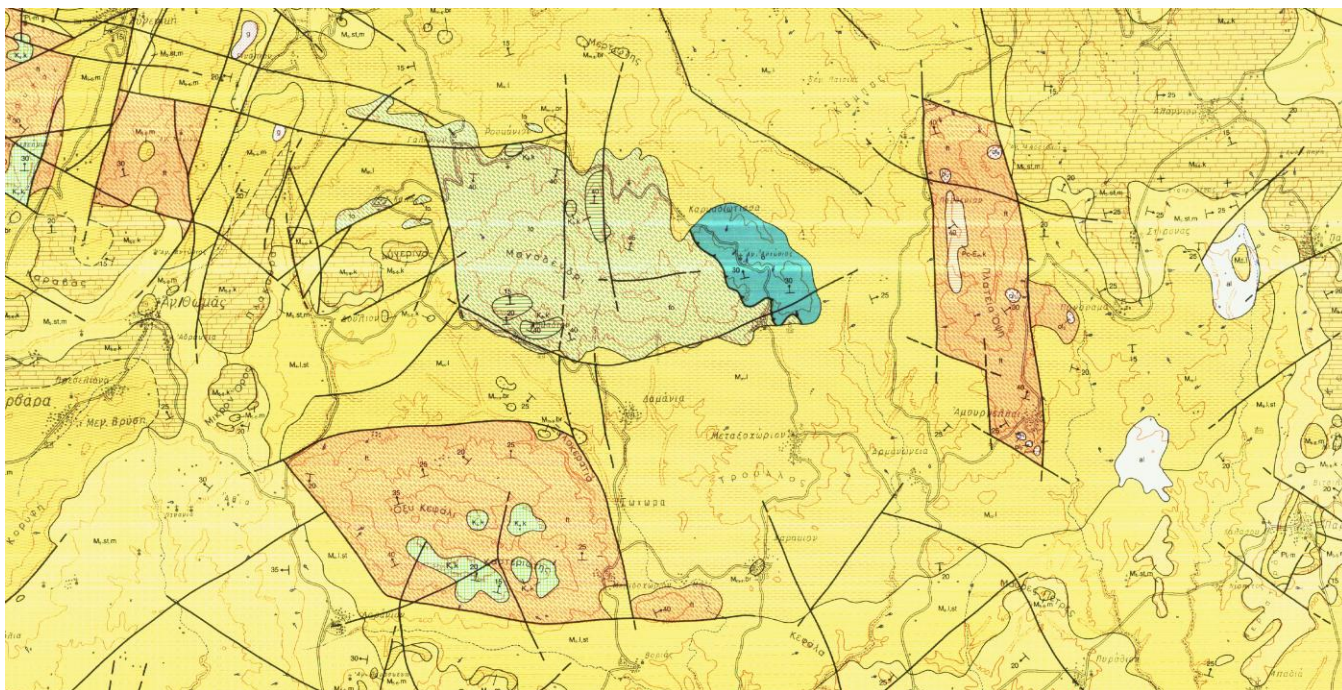
Παρότι η κατακόρυφη κίνηση τεμαχών συνέβη κατά το Μέσο Μειόκαινο, η σημαντική ανύψωση της Κρήτης ξεκίνησε από το Μέσο Πλειόκαινο (Meulenkaup, 1979; Meulenkaupetal., 1994). Όπως αποδείχθηκε από ιζήματα βαθιάς θάλασσας (deep-waterdeposits) του Πλειόκαινου, η ανύψωση των πρόσφατων Νεογενών λεκανών υπερβαίνει εν μέρει τα 1000 μέτρα από το μέσο Πλειόκαινο (Meulenkaup etal., 1994). Αφού οι ομόλογες με τις σημερινές μετατοπίσεις των τεκτονικών τεμαχών κατά μήκος των περιφερειακών ρηγμάτων των λεκανών του Νεογενούς εκδηλώνεται ως νεότερη γεωμορφολογική εικόνα της πολυφασικής επανεργοποίησης των ρηγμάτων, η ανύψωση μετά το Μέσο Μειόκαινο του προ Νεογενούς υποβάθρου περίξ των λεκανών του Νεογενούς θα πρέπει να ξεπερνάει τα 2000 μ.



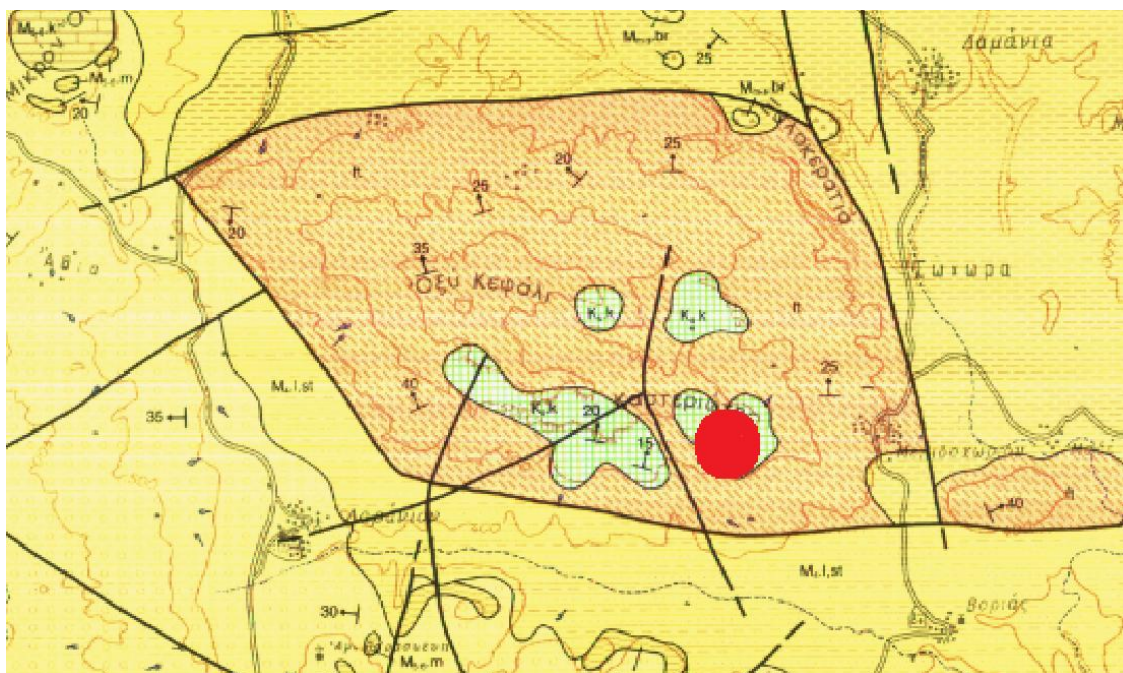
Εικόνα 2.6 Γεωλογικές τομές B1-4 με τις αντίστοιχες ερμηνείες των γεωλογικών δομών μεταξύ των ορεινών όγκων του Ψηλορείτη και του Αστερουσίου (κατά Peterek & Schwarze, 2004).



Εικόνα 2.7 Σχηματική τομή σε όλη την νότιο-κεντρική Κρήτη αποτυπώνουν την ερμηνεία της σύνθετης τάφρου της Μεσσαράς, που μετατοπίστηκε κατά μήκος του ρήγματος του νότιου Ψηλορείτη. Τόσο η λεκάνη της Μεσσαράς όσο και το μπλοκ των Αστερουσίων ερμηνεύονται ως κατερχόμενο ρηξιτέμαχος σε αντίθεση με το ανερχόμενο ρηξιτέμαχος του ορεινού όγκου του Ψηλορείτη στο οποίο παρατηρείται ασύμμετρη ανύψωση (κατά Peterek & Schwarze, 2004)



Εικόνα 2.8 Απόσπασμα του γεωλογικού χάρτη φύλλο Αρχάναι σε κλίμακα 1:50.000 (από Ι.Γ.Μ.Ε.)



Εικόνα 2.9 Απόσπασμα γεωλογικού χάρτη φύλλο Επάνω Αρχάναι με την θέση της περιοχής μελέτης στην οποία πραγματοποιήθηκαν οι δειγματοληψίες .

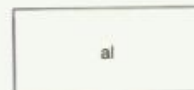
ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΣ

ΟΛΟΚΑΙΝΟ

Κώνιοι κορημάτων και πλευρικά κορήματα: λατύπες, κυρίως ανθρακικής σύστασης, ποικίλου μεγέθους, αναμεμιγμένες με ερυθρογή, χαλαρές και κατά θέσεις ελαφρά συγκολλημένες.

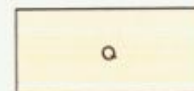


Αλλουβιακές αποθέσεις: χαλαρά, αργιλοαμμώδη υλικά, ερυθρογή με κροκαλολατύπες σε μικρές εσωτερικές λεκάνες και υλικά ελουβιακού μανδύα.



ΠΛΕΙΣΤΟΚΑΙΝΟ - ΟΛΟΚΑΙΝΟ

Ποταμολιμναία ερυθρά κροκαλοπαγή, άμμοι, ιλυόλιθοι και τεφρο-κιτρινωπά αργιλικά στρώματα, αποτελούμενα κυρίως από μεταφερμένα υλικά του σχηματισμού Αγ. Γαλήνης.



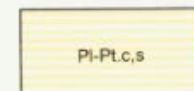
ΠΛΕΙΣΤΟΚΑΙΝΟ

Ποτάμιες αναβαθμίδες.



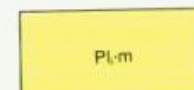
ΑΝΩΤΕΡΟ ΠΛΕΙΟΚΑΙΝΟ - ΠΛΕΙΣΤΟΚΑΙΝΟ (:)

Σχηματισμός Αγ. Γαλήνης: κυρίως ποτάμια και λιμναία ερυθρά κροκαλοπαγή, ερυθρές και κιτρινωπές άμμοι, ιλυόλιθοι και ερυθρές κιτρινωπές ή τεφρές ιλυώδεις άργιλοι, με μερικά στρώματα μαργαϊκών ασβεστολίθων.



ΚΑΤΩΤΕΡΟ ΠΛΕΙΟΚΑΙΝΟ

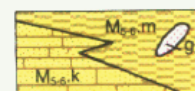
Σχηματισμός Φοινικιάς: λευκές και ανοιχτόφαιες μάργες, ομοιογενείς, συχνά ψαμμιτικές, με παρεμβολές φυλλωδών μαργών. Εξελίσσονται προς τα πάνω σε τεφρές ψαμμιτικές μάργες, καστανές άμμους και κατά θέσεις ασβεστιτικούς ψαμμίτες, κατά μήκος των περιθωρίων της λεκάνης Μεσσαρά. Η βάση του σχηματισμού τοπικά συνίσταται από ένα αδιαβάθμητο «μαργαϊκό λατυποπαγές», με συστατικά λευκών ομοιογενών μαργών, ασβεστολίθων και μαργών του σχηματισμού Αγ. Βαρβάρας, πρασινωπών αργίλων και προνεογενών πετρωμάτων.



ΑΝΩΤΕΡΟ ΜΕΙΟΚΑΙΝΟ

ΑΝΩΤΕΡΟ ΤΟΡΤΟΝΙΟ-ΜΕΣΣΗΝΙΟ

Σχηματισμός Αγ. Βαρβάρας: ασβεστόλιθοι ($M_{5-6,k}$) βιοκλαστικοί κατά θέσεις κροκαλοπαγείς ή λατυποπαγείς, υφαλώδεις και ολισθημένοι μαργαϊκοί, εναλλαγές φυλλωδών και ομοιογενών συχνά **ασβεστολιθικών μαργών ή μαργαϊκών ασβεστολίθων** ($M_{5-6,m}$) και **γύψοι** (g) παρεμβαλλόμενοι στη σειρά των φυλλωδών-ομοιογενών μαργών. Στο ανώτερο τμήμα του σχηματισμού κοντά στην Άνω Άκρια, απαντούν ασβεστολιθικοί ψαμμίτες και κροκαλοπαγή.



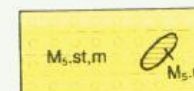
Εντός του σχηματισμού παρεμβάλλονται βιοκλαστικοί και υφαλογενείς ασβεστόλιθοι, πλούσιοι σε *Clypeaster*, *Pecten*, *Heterostegina*, *Bryozoa* και κατά θέσεις *Κοράλλια*.

Στις φυλλώδεις μάργες αφθονούν υπολείμματα ψαριών και φυτικά λείψανα, και στις ομοιογενείς μάργες *Discospirina* sp.

Απολιθώματα:

ΤΟΡΤΟΝΙΟ

Σχηματισμός Αμπελούζου: ακανόνιστες εναλλαγές από θαλάσσια, υφάλμυρα και ποτάμια κροκαλοπαγή, ψαμμίτες, ιλυόλιθους, τεφροκύανες μάργες, ιλυώδεις άργιλους και λιγνίτες. Στα κατώτερα ή μεσαία μέλη του σχηματισμού εμφανίζονται **θραύσματα υφάλων** ($M_{5,r}$) με *Κοράλλια*, *Φύκη* και *Υδρόζωα*.



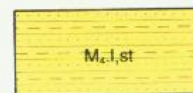
ΜΕΣΟ-ΑΝΩΤΕΡΟ ΜΕΙΟΚΑΙΝΟ

Σχηματισμός Ηλία: λατυποπαγή και λατυποκροκαλοπαγή, αποτελούμενα κυρίως από λατύπες και κροκάλες προερχόμενες από σκούρους προνεογενείς ασβεστόλιθους, με ασβεστίτική συγκολλητική ύλη. Σε μερικές θέσεις, παρατηρείται σαφής στρώση που είναι αποτέλεσμα εναλλαγών είτε αδρομερών και λεπτομερών οριζόντων είτε ασβεστολιθικών και ψαμμιτικών στρωμάτων. Τα λατυποπαγή συχνά συνοδεύονται από σκούρα σώματα προνεογενών ασβεστολίθων που είτε αποτελούν τμήμα του προνεογενούς υποβάθρου (κατά θέσεις) είτε απαντούν σαν αλλόχθονα στοιχεία μέσα στη νεογενή σειρά.



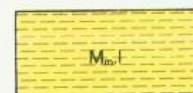
ΑΝΩΤΕΡΟ ΣΕΡΡΑΒΑΛΛΙΟ

Σχηματισμός Σχοινιά: γενικά καλά στρωμένες σκούρες τεφρές ή πρασινοκύανες θαλάσσιες άργιλοι και ιλυώδεις άργιλοι με παρεμβολές καστανόχρωμων ψαμμιτών. Το όριο με τον υποκείμενο σχηματισμό Βιάννου έχει τοποθετηθεί κατ' εκτίμηση στη βάση του κατώτερου θαλάσσιου στρώματος.



ΜΕΣΟ ΜΕΙΟΚΑΙΝΟ

Σχηματισμός Βιάννου: ποταμολιμναίες, σκούρες τεφρές έως πρασινωπές άργιλοι, γενικά καλά στρωμένες ιλυώδεις άργιλοι με λιγνίτη ή και ενστρώσεις ασβεστόλιθων και κατά θέσεις καστανόχρωμοι ψαμμίτες καλά διαβαθμισμένοι. Παρεμβολές πολύμικτων κροκαλοπαγών κυρίως στο κατώτερο τμήμα του σχηματισμού.



ΑΛΛΟΧΘΟΝΕΣ ΣΕΙΡΕΣ

ΤΕΚΤΟΝΙΚΟ ΚΑΛΥΜΜΑ ΕΣΩΤΕΡΙΚΩΝ ΖΩΝΩΝ

Οφιολιθικό σύμπλεγμα: περιδοτίτες περισσότερο ή λιγότερο σερπεντινιωμένοι, πυροξενίτες, γάββροι και δολερίτες.

Αποτελεί τμήμα του τεκτονικού καλύμματος των εσωτερικών ζωνών.

Η ηλικία της τεκτονικής τοποθέτησης, σύμφωνα με βιβλιογραφικά δεδομένα, τοποθετείται στο Κατώτερο Μειόκαινο.

Μέγιστο πάχος: 100 m περίπου.

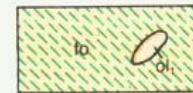


ΤΕΚΤΟΝΙΚΟ ΚΑΛΥΜΜΑ ΖΩΝΗΣ ΠΙΝΔΟΥ-ΕΘΙΑΣ

ΠΑΛΑΙΟΚΑΙΝΟ - ΗΩΚΑΙΝΟ

Φλύσχης: ψαμμιτοπηλτικός, κατά θέσεις πτυχωμένος, με ενστρώσεις τεφρών, κρυσταλλικών ασβεστολίθων, πλούσιων σε φλεβίδια ασβεσίτη. Τοπικά απαντούν **ολισθόλιθοι** (ol), κυρίως από ασβεστόλιθους, ραδιολαρίτες και βασικά εκρηξιγενή πετρώματα μεταμορφωμένα ή μη.

Μέγιστο πάχος: 300 m περίπου.



ΑΝΩΤΕΡΟ ΚΡΗΤΙΔΙΚΟ

ΣΕΝΩΝΙΟ

Ασβεστόλιθοι: τεφροί, λεπτοστρωματώδεις, μικριτικοί, πτυχωμένοι και τεκτονισμένοι.

Απολιθώματα:

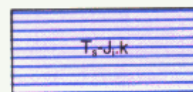


ΑΝΩΤΕΡΟ ΤΡΙΑΔΙΚΟ - ΚΑΤΩΤΕΡΟ ΙΟΥΡΑΣΙΚΟ

Ασβεστόλιθοι: ροδόχρωμοι, με ιάσπιδες, σε λεπτούς πάγκους, με περισσότερες ή λιγότερες ενστρώσεις ερυθρών μαργών. Ασβεστόλιθοι, ροδόχρωμοι ή μαύροι, με Halobies. Ψαμμίτες σε λεπτούς πάγκους υπάρχουν μερικές φορές στη βάση του σχηματισμού.

Η ηλικία συνάγεται με βάση βιβλιογραφικά στοιχεία.

Ορατό πάχος: 50 m περίπου.

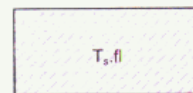


ΑΝΩΤΕΡΟ ΤΡΙΑΔΙΚΟ

Κλαστική σειρά: εναλλαγές ψαμμιτών, σε λεπτούς πάγκους, με θραύσματα φυτικών λειψάνων και σκοτεινότεφων μαργών με filaments. Κατά θέσεις υπάρχουν πάγκοι ανοικτότεφων ασβεστολίθων με κίτρινο επίχρυσμα, που περιέχουν Κωνόδοντα.

Ηλικία: Κάρνιο (βλ. Φ. Τυμπάκιο).

Ορατό πάχος: 40 m περίπου.



ΤΕΚΤΟΝΙΚΟ ΚΑΛΥΜΜΑ ΖΩΝΗΣ ΤΡΙΠΟΛΕΩΣ

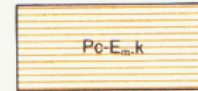
ΑΝΩΤΕΡΟ ΗΩΚΑΙΝΟ-ΟΛΙΓΟΚΑΙΝΟ

Φλύσσης: εναλλαγές σοκολατόχρωων αργιλικών σχιστολίθων και ψαμμιτών με μικρές ενστρώσεις τεφρών ασβεστολιθικών τουρβιδιτών. Τοπικά απαντούν **ολισθόλιθοι** (ol₁) κυρίως από ασβεστόλιθους.
Μέγιστο πάχος: 200 m περίπου.



ΠΑΛΑΙΟΚΑΙΝΟ - ΜΕΣΟ ΗΩΚΑΙΝΟ

Ασβεστόλιθοι: τεφρόμαυροι, μικριτικοί, με πλούσια νηρητική πανίδα, κατά θέσεις δολομιτικοί.
Απολιθώματα:



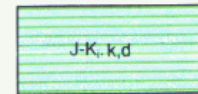
ΑΝΩΤΕΡΟ ΚΡΗΤΙΔΙΚΟ

Ασβεστόλιθοι: τεφρόμαυροι, μεσο-παχυστρωματώδεις, βιτουμενιούχοι και δολομιτικοί ασβεστόλιθοι.
Απολιθώματα:



ΙΟΥΡΑΣΙΚΟ - ΚΑΤΩΤΕΡΟ ΚΡΗΤΙΔΙΚΟ

Ασβεστόλιθοι και δολομίτες: ανοικτότεφροι μέχρι τεφρόμαυροι, μεσοστρωματώδεις μέχρι άστρωτοι, καρστικοί. Η δολομιτίωση ελαττώνεται από τη βάση προς την κορυφή.
Μέγιστο πάχος: 200 m περίπου.



Εικόνα 2.10 Υπόμνημα του γεωλογικού χάρτη φύλλο Αρχάναι σε κλίμακα 1:50.000 (από Ι.Γ.Μ.Ε.)

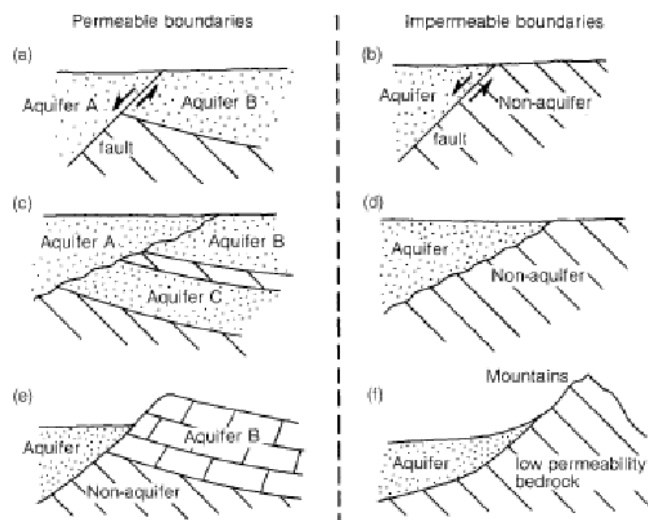
Κεφάλαιο 3: ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ

3.1 ΓΕΝΙΚΑ

Τα πετρώματα που περιέχουν υπόγεια νερά και επιτρέπουν στο νερό να ρέει μέσα σε αυτά σε σημαντικές ποσότητες, ονομάζονται υδροφορείς. Ο ρυθμός ροής ποικίλει από τόπο σε τόπο. Το υπόγειο νερό ρέει διαμέσου ενός υδροφόρου ορίζοντα προς τα φυσικά σημεία εκκένωσης, εκτός και αν απομακρυνθεί με άντληση μέσω γεωτρήσεων. Ως φυσικά σημεία εκκένωσης θεωρούνται οι πηγές, διαρροή σε ρέματα και ποτάμια, και εκκενώσεις απευθείας στη θάλασσα.

Η ιδιότητα του υδροφόρου ορίζοντα που επιτρέπει στα νερά να ρέουν μέσα του, ονομάζεται διαπερατότητα, η οποία ελέγχεται σε μεγάλο βαθμό από γεωλογικούς παράγοντες. Στην περίπτωση του υπόγειου νερού η περατότητα ονομάζεται πιο σωστά υδραυλική αγωγιμότητα.

Υπάρχουν πολλά είδη των ορίων των υδροφορέων. Το σχήμα 3.1 δείχνει μερικά παραδείγματα με διαφορετικά όρια υδροφορέων. Το όριο ενός ρήγματος μεταξύ δύο υδροφορέων (a) μπορεί να είναι διαπερατό και να επιτρέπει τη ροή σε αυτό, εφόσον έχει συμβεί θραύση πετρώματος που θα οδηγήσει σε τοπική αύξηση της διαπερατότητας. Εναλλακτικά, το σύνορο μπορεί να είναι αδιαπέρατο λόγω της δημιουργίας μυλονίτη που αποτίθεται κατά μήκος του ρήγματος. Ένα αδιαπέρατο σύνορο μπορεί να ανιχνευθεί από τις διαφορές στη χημεία των υπόγειων ρευστών ή από την ανάλυση των δοκιμών άντλησης. Το όριο ενός ρήγματος εικονίζεται στο (b) και είναι ουσιαστικά αδιαπέρατο, καθώς χωρίζει τον υδροφορέα από ένα αδιαπέρατο σχηματισμό. Στο παράδειγμα (c), ο υδροφόρος Α βρίσκεται ασύμφωνα πάνω από μια αλληλουχία που περιλαμβάνει δύο ξεχωριστούς υδροφορείς, τον Β και τον C. Οι καταστάσεις είναι παρόμοιες με το παράδειγμα (a), εκτός του ότι η ποιότητα των υπόγειων ρευστών μπορεί να είναι διαφορετική στους τρεις υδροφορείς. Στο παράδειγμα (d), οι συνθήκες των υπόγειων ρευστών στον υδροφορέα είναι παρόμοιες με εκείνες του (b). Στο παράδειγμα (e), ένας μη υδροφορέας σε μη συνεκτικά υλικά, όπως μια αναβαθμίδα ενός ποταμού, επικαλύπτει εν μέρει έναν υδροφορέα, στον οποίο έχουν αποτεθεί ιζήματα (όπως είναι ο ασβεστόλιθος ή ψαμμίτη) που σχηματίζει ένα γκρεμό. Η ροή των υπογείων ρευστών μπορεί να είναι δυνατή μεταξύ του υδροφόρου Β στον Α, λόγω των τοπογραφικών διαφορών. Στο παράδειγμα (f), ένας υδροφορέας υπέρκειται ενός σχηματισμού με χαμηλή διαπερατότητα. Η ροή των υπόγειων ρευστών δεν λαμβάνει χώρα πέρα από το όριο, αλλά ο υδροφορέας επαναφόρτισης θα ενισχυθεί σημαντικά από την επιφανειακή απορροή από την ημιορεινή περιοχή.



Σχήμα 3.1 Διαφορετικοί τύποι υδρογεωλογικών ορίων (από Βουδούρης, 2015)

Κεφάλαιο 4: ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ

4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο όρος Γεωθερμία (Geothermics) αναφέρεται στη διεθνή βιβλιογραφία στον εφαρμοσμένο επιστημονικό κλάδο που περιλαμβάνει όλο το φάσμα της ενέργειας, από τη μελέτη της γήινης ροής θερμότητας, τις συνθήκες κατανομής των θερμοκρασιών στο υπέδαφος, το μηχανισμό της κυκλοφορίας των υπόγειων θερμών ρευστών σε συνδυασμό με τις γεωλογικές συνθήκες, καθώς και τα φυσικό-χημικά χαρακτηριστικά τους, μέχρι τον εντοπισμό και την αξιολόγηση των γεωθερμικών πεδίων με κατάλληλες παραγωγικές γεωτρήσεις. Όμως με τον όρο «γεωθερμική ενέργεια», που συνήθως χρησιμοποιούμε, εννοούμε το τμήμα της γήινης θερμότητας που βρίσκεται αποθηκευμένο με τη μορφή θερμού νερού, ατμού ή θερμών πετρωμάτων σε ευνοϊκές γεωλογικές συνθήκες, δηλαδή περιορίζεται στα πρώτα τρία περίπου χιλιόμετρα από την επιφάνεια της γης (Φυτίκας & Ανδρίτσος, 2004). Η θερμοκρασία της Γης αυξάνεται όσο πλησιάζουμε στο κέντρο της. Όπως έχει υπολογιστεί, η μεταβολή της θερμοκρασίας με το βάθος υπό φυσιολογικές συνθήκες μέσα στο γήινο φλοιό είναι περίπου 30°C ανά km. Ο ρυθμός αύξησης της θερμοκρασίας της Γης με το βάθος καλείται γεωθερμική βαθμίδα.

Κυριότερος στόχος της Γεωθερμίας είναι ο εντοπισμός και η μελέτη των γεωθερμικών περιοχών, οι οποίες παρουσιάζουν θετικές γεωθερμικές ανωμαλίες και ευνοϊκές συνθήκες εκμετάλλευσης γεωθερμικής ενέργειας. Η συγκεντρωμένη θερμότητα στο εσωτερικό της Γης μεταφέρεται κοντά στην επιφάνεια είτε με αγωγή είτε με συναγωγή μέσω γεωλογικών διεργασιών. Οι θετικές γεωθερμικές ανωμαλίες οφείλονται στους παρακάτω γεωλογικούς παράγοντες:

- Σε περιοχές όπου σε βαθύτερους ορίζοντες υπάρχουν γρανιτικά σώματα (π.χ. λακόλιθοι) προκαλείται αύξηση της θερμοκρασίας των περιβαλλόντων πετρωμάτων και επομένως παρουσιάζεται ανωμαλία στη γεωθερμική βαθμίδα.
- Σε ιζηματογενείς λεκάνες η διαπυρική κίνηση (άνοδος μέσω ρηγμάτων) των εβαποριτών (γύψου, ανυδρίτη και ορυκτού άλατος) που είναι καλοί αγωγοί της θερμότητας μεταφέρει θερμότητα από τα μεγάλα σε μικρότερα βάθη.
- Επίσης το νερό κατά την κάθοδό του σε αρκετά βαθύτερους ορίζοντες μέσω βαθιών ρηγμάτων αποκτά υψηλές θερμοκρασίες λόγω της γεωθερμικής βαθμίδας.

Σήμερα αξιοποιείται μόνο ένα μικρό μέρος της γεωθερμικής ενέργειας, η οποία έχει μορφή θερμών ρευστών. Ενώ άλλες κατηγορίες γεωθερμικής ενέργειας είναι η ενέργεια των θερμών ξηρών πετρωμάτων στα οποία εισάγεται δια μέσου γεώτρησης

νερό, θερμαίνεται και εξάγεται από άλλη γεώτρηση για την απόληψη του θερμικού του φορτίου, η γεωπεπιεσμένη ενέργεια, δηλαδή η ενέργεια από το νερό υψηλής αλατότητας που βρίσκεται σε σχετικά μεγάλα βάθη, υπό υψηλή πίεση και θερμοκρασία και το οποίο περιέχει διαλυμένο μεθάνιο, καθώς και η ενέργεια μάγματος η οποία προέρχεται από την απόληψη θερμότητας με κατάλληλες γεωτρήσεις κοντά σε μαγματικές διεισδύσεις με μικρό σχετικά βάθος. Όλες οι παραπάνω κατηγορίες γεωθερμικής ενέργειας όμως, βρίσκονται ουσιαστικά σε ερευνητικό στάδιο (Φυτίκας & Ανδρίτσος, 2004).

4.2 ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ

4.2.1 Θερμότητα

Η ενέργεια που προσάγεται ή απάγεται από ένα σώμα λόγω διαφοράς θερμοκρασίας ονομάζεται θερμότητα. Ο όρος θερμότητα, αναφέρεται πάντοτε σε μεταφορά ενέργειας από ένα σώμα ή σύστημα σε ένα άλλο, και ποτέ στο ποσό ενέργειας που περιέχεται σε ένα συγκεκριμένο σύστημα (Young, 1994).

Η μετάδοση της θερμότητας οφείλεται αφενός στη χαρακτηριστική θερμοδυναμική «ιδιότητα» της ύλης, τη θερμοκρασία, και αφετέρου ότι η διακίνηση θερμικής ενέργειας γίνεται πάντοτε από τις υψηλότερες προς τις χαμηλότερες θερμοκρασίες (δεύτερο θερμοδυναμικό αξίωμα). Η μετάδοση της θερμότητας μπορεί να γίνει με: α) αγωγή, β) συναγωγή και γ) ακτινοβολία. Στη γη εμφανίζονται και οι τρεις τρόποι (Καρυδάκης, 2005).

4.2.2 Ενθαλπία

Η ενθαλπία αναφέρεται στην ικανότητα που έχουν τα σώματα να αποθηκεύουν θερμότητα και ορίζεται ως η ποσότητα της θερμότητας ενός σώματος ή συστήματος η οποία απαιτείται (με αντιστρεπτό τρόπο) για την αύξηση της θερμοκρασίας του από το απόλυτο μηδέν, μέχρι της θερμοκρασίας Τα του σώματος ή του συστήματος. Μεταξύ της κατάστασης του σώματος και της ενθαλπίας του, υπάρχει αμφιμονοσήμαντη αντιστοιχία. Η μεταβολή της ενθαλπίας (dH') ισούται με το γινόμενο της ειδικής θερμότητας υπό σταθερή πίεση (c_p) επί τη μεταβολή της απόλυτης θερμοκρασίας (dT):

$$dH' = c_p \cdot dT \quad (\text{kJ/kg})$$

Είναι χαρακτηριστικό ότι η ταξινόμηση των γεωθερμικών πεδίων γίνεται με βάση την ενθαλπία τους ως γεωθερμικά πεδία χαμηλής, μέσης και υψηλής ενθαλπίας. Οφείλεται δε στο ότι η ενθαλπία καλύπτει αφενός τη θερμοκρασιακή κατάσταση και αφετέρου την αποθηκευτική θερμική ικανότητα του σώματος, η οποία εκφράζεται με την ειδική θερμότητα. Η μέτρηση λοιπόν της ειδικής θερμότητας στη γεωθερμία είναι

απαραίτητη για την εκτίμηση της αποθηκευμένης ποσότητας θερμότητας στους διάφορους γεωλογικούς σχηματισμούς (Καρυδάκης, 2005).

4.2.3 Θερμική αγωγιμότητα

Ονομάζεται η ικανότητα ενός υλικού να επιτρέπει τη μετάδοση της θερμότητας δια μέσου του. Το ποσό της θερμότητας (dQ), που μεταφέρεται διαμέσου ενός υλικού σε χρόνο t , λόγω της διαφοράς θερμοκρασίας $dT = T_2 - T_1$, ισούται:

$$dQ = k' \cdot S' \cdot t \cdot dT / l'$$

k' = ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του υλικού, αποτελεί τη διερχόμενη ποσότητα θερμότητας που διαχέεται δια μέσου ενός ομογενούς υλικού και εξαρτάται από τη φύση και τη φυσική κατάσταση του υλικού

S' = η διατομή του υλικού

t = ο χρόνος μεταφοράς της θερμότητας l' = το πάχος του υλικού

Η θερμική αγωγιμότητα είναι βασική γεωθερμική παράμετρος των πετρωμάτων και έχει άμεση σχέση με τη γεωθερμική βαθμίδα (είναι αντιστρόφως ανάλογα). Είναι απαραίτητη για τη μέτρηση της θερμικής ροής των πετρωμάτων. Η θερμική αγωγιμότητα των στερεών και υγρών αυξάνεται με την πίεση, γι' αυτό στα μεγάλα βάθη η αγωγιμότητα των πετρωμάτων είναι αυξημένη (Καρυδάκης, 2005).

4.2.4 Γεωθερμική βαθμίδα

Οι υψηλές θερμοκρασίες που επικρατούν στο εσωτερικό της γης, είναι η αιτία που προκαλείται κατακόρυφη ροή θερμότητας από τα βαθύτερα σημεία προς την επιφάνεια. Η θερμοκρασία αυξάνει με το βάθος, με μέσο ρυθμό 1°C για κάθε 30 m ή 30°C ανά km. Ο ρυθμός αυτός αύξησης της θερμοκρασίας της γης με το βάθος καλείται γεωθερμική βαθμίδα. Η γεωθερμική βαθμίδα δεν είναι βέβαια σταθερή σε όλα τα σημεία του πλανήτη, επειδή επηρεάζεται από διάφορους γεωλογικούς παράγοντες. Στις περιοχές όπου η γεωθερμική βαθμίδα είναι μεγαλύτερη από τη μέση γήινη, χαρακτηρίζεται θετική γεωθερμική ανωμαλία (Φυτίκας κ.α., 2004). Η μέση τιμή της γήινης γεωθερμικής βαθμίδας είναι $1,43 \mu\text{cal}/\text{cm}^2 \cdot \text{s}$ (Καρυδάκης, 2005).

4.2.5 Θερμική ροή

Στη γεωθερμία ως ροή θερμότητας ορίζεται ο ρυθμός με τον οποίο η θερμότητα ανέρχεται από το εσωτερικό προς την επιφάνεια της γης και μεταδίδεται με αγωγή, αναφέρεται δε στην κατακόρυφη διανυσματική συνιστώσα της γήινης ροής θερμότητας (Καρυδάκης, 2005).

Η ροή θερμότητας που προσδιορίζεται στο φλοιό της γης, εξαρτάται από τη θερμική αγωγιμότητα των πετρωμάτων και από τη γεωθερμική βαθμίδα και αποτελεί

το γινόμενο τους. Η μέτρηση της ροής θερμότητας αναφέρεται είτε με τις μονάδες θερμικής ροής (Heat Flow Units, HFU= 1 $\mu\text{cal}/\text{cm}^2\cdot\text{s}$) είτε με τις μονάδες Mw/m^2 (Φυτίκας κ.α., 2004).

4.3 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΠΕΔΙΩΝ (ΧΑΜΗΛΗΣ ΕΝΘΑΛΠΙΑΣ)

Το συνηθέστερο κριτήριο για την ταξινόμηση των υδροθερμικών συστημάτων νερού βασίζεται στην ενθαλπία των γεωθερμικών ρευστών, τα οποία είναι και οι φορείς της θερμότητας στην επιφάνεια της Γης από τα θερμά βαθιά πετρώματα. Η ενθαλπία των ρευστών, ΔH , η οποία μπορεί να θεωρηθεί ανάλογη της θερμοκρασίας τους, χρησιμοποιείται για να εκφράσει το θερμικό περιεχόμενο τους. Οι γεωθερμικοί πόροι ταξινομούνται συνήθως για λόγους ευκολίας σε ρευστά χαμηλής, μέσης και υψηλής ενθαλπίας ή θερμοκρασίας. Υψηλής ενθαλπίας ορίζονται τα ρευστά με θερμοκρασία μεγαλύτερη από 150°C , μέσης ενθαλπίας τα ρευστά με θερμοκρασία από 90°C μέχρι 150°C και χαμηλής ενθαλπίας τα νερά με θερμοκρασία μικρότερη από 90°C .

Τα γεωθερμικά ρευστά είναι νερά μετεωρικής ή επιφανειακής προέλευσης, σπάνια μαγματικής. Σε υγρή ή αέρια φάση και συχνά περιέχουν σημαντικές ποσότητες διαλυμένων στερεών ουσιών και αερίων. Η κατάσταση των γεωθερμικών ρευστών εξαρτάται από την πίεση και τη θερμοκρασία τους. Η πηγή της θερμότητας μπορεί να είναι είτε μια μαγματική διείσδυση (με θερμοκρασίες $600\text{-}1200^\circ\text{C}$), η οποία έφθασε σε σχετικά μικρά βάθη ($3\text{-}10\text{ km}$), είτε ένα πλουτώνιο σώμα, είτε η γεωθερμική βαθμίδα της περιοχής, που δημιουργεί όλο και θερμότερους σχηματισμούς με το βάθος. Ο ταμιευτήρας αποτελείται από ένα σύστημα θερμών διαπερατών πετρωμάτων, που επιτρέπουν την εύκολη κυκλοφορία ή τον εγκλωβισμό των κυκλοφορούντων ρευστών, τα οποία απάγουν θερμότητα.

Όταν λείπει η εστία θερμότητας τότε η θερμική ανωμαλία είναι πολύ μικρότερη ή και ανύπαρκτη. Έτσι σε περιοχές π.χ. με εφελκυστικού τύπου τεκτονική, που δημιουργούν πρόσφατης ηλικίας λεκάνες, έχουμε μικρή θερμική ανωμαλία εξ αιτίας των ρηγμάτων, που επιτρέπουν την σύντομη άνοδο βαθύτερης προέλευσης θερμών ρευστών και τη μεταφορά προς τα πάνω σημαντικών ποσοτήτων ενέργειας. Δημιουργούνται έτσι ευνοϊκές σχετικά συνθήκες και εφόσον συντρέχουν και υπόλοιποι παράγοντες (κατάλληλος ταμιευτήρας, στεγανό κάλυμμα κτλ.) έχουμε γεωθερμικά πεδία μέσης και συνήθως χαμηλής ενθαλπίας. Ένα γεωθερμικό πεδίο χαρακτηρίζεται ως χαμηλής ενθαλπίας, όταν παρουσιάζει θερμοκρασίες κάτω από 90°C .

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΥΔΡΟΧΗΜΕΙΑ

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται αναφορά σεορισμένες βασικές παραμέτρους του νερού που συντελούν στον χαρακτηρισμό του, στην προέλευση των διαφόρων ιόντων που υπάρχουν σε αυτό, καθώς επίσης στα υδροχημικά διαγράμματα που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο της σύνθεσής του.

5.1 ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΤΩΝ ΝΕΡΩΝ

Οι κυριότερες παράμετροι του υπόγειου νερού είναι (Βουδούρης, 2015):

- **Φυσικές** (θερμοκρασία, χρώμα, θολότητα, οσμή, ραδιενέργεια)
- **Χημικές** (pH, Αγωγιμότητα, Σκληρότητα, Αλκαλικότητα, Δυναμικό οξειδοαναγωγής) Κύρια ιόντα: Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^-
Δευτερεύοντα ιόντα: Fe^{2+} , Fe^{3+} , Mn^{2+} , NH_4^+ , F^- , CO_3^{2-} , Al^{3+}
κ.ά. Βαρέα μέταλλα: Pb^{2+} , Cr^{6+} , Hg^{2+} , As^{3+} , Cd^{2+} κ.ά.
Θρεπτικές ενώσεις του N, P
Πρωτεΐνες, Οργανικές ενώσεις, Αέρια (O_2 , N_2 , H_2S , NH_3 , CH_4)

Θερμοκρασία

Η θερμοκρασία των υπόγειων νερών καθορίζεται κυρίως από τη θερμοκρασία των πετρωμάτων, τα οποία τα περιβάλλουν. Οι θερμοκρασίες του υπόγειου νερού τείνουν να παραμείνουν σταθερές, εκτός από τα επιφανειακά νερά που παρουσιάζουν διακυμάνσεις ως αποτέλεσμα των μεταβολών της ηλιακής ενέργειας πάνω στην επιφάνεια της γης. Η θερμοκρασία του υπόγειου νερού επηρεάζεται και από τις μεταβολές της πιεζομετρικής επιφάνειας του υδροφορέα. Κατά την ανάμειξη θερμού και ψυχρού νερού με θερμοκρασίες T_θ και T_ψ με όγκους V_θ , V_ψ , ισχύει αντίστοιχα:

$$V_{mix} \cdot T_{mix} = V_\theta \cdot T_\theta + V_\psi \cdot T_\psi \text{ και } V_{mix} = V_\theta + V_\psi = 100\%$$

Λύνοντας ως προς V_θ υπολογίζεται ο όγκος του θερμού νερού (%)

στο μίγμα:

$$V_\theta = \frac{(T_{mix} - T_\psi) 100}{(T_\theta - T_\psi)}$$

Ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC)

Το καθαρό νερό δεν είναι καλός αγωγός του ηλεκτρισμού. Η αύξηση της ποσότητας των διαλυμένων αλάτων και η αύξηση της θερμοκρασίας συνεπάγονται και αύξηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας, γι' αυτό η μέτρησή της πρέπει να γίνεται σε συγκεκριμένη θερμοκρασία (συνήθως 25°C). Έτσι η ηλεκτρική αγωγιμότητα συνδέεται άμεσα με την ποσότητα και τη φύση των διαλυμένων ηλεκτρολυτών. Το ενδεικτικό επίπεδο της αγωγιμότητας στο πόσιμο νερό είναι $400 \mu\text{S}/\text{cm}$. Αυξημένη

αγωγιμότητα υποδηλώνει αυξημένες ποσότητες αλάτων, που ανάλογα με τη φύση τους και τη συγκέντρωσή τους μπορεί να δημιουργήσουν προβλήματα υγείας.

Κατά την ανάμειξη δύο νερών με διαφορετικές τιμές EC

ισχύει: $EC_{mix} = EC1 \cdot x + EC2 \cdot (1-x)$,

όπου: EC_{mix} είναι η ηλεκτρική αγωγιμότητα του μίγματος που προκύπτει, $EC1$, $EC2$ οι αγωγιμότητες των νερών που αναμείχθηκαν και x = το ποσοστό ανάμειξης του ενός νερού στο μίγμα.

Ενεργός οξύτητα (pH)

Ενεργός οξύτητα είναι η συγκέντρωση των ιόντων H_3O^+ που περιέχεται στο διάλυμα και εκφράζεται με το pH, δηλ. με τον αρνητικό δεκαδικό λογάριθμο της συγκέντρωσης των ιόντων H_3O^+ . Ο προσδιορισμός του pH γίνεται χρωματομετρικά και ηλεκτρομετρικά. Το pH του υπόγειου νερού καθορίζεται από τις διάφορες χημικές αντιδράσεις και ισορροπίες μεταξύ των διαλυμένων ιόντων μέσα σε αυτό. Το pH που οφείλεται στην παρουσία του CO_2 αποτελεί το pH ισορροπίας ή pHs κορεσμού. Αν το pH του νερού είναι μικρότερο από το pH κορεσμού τότε το νερό έχει μεγάλη διαλυτική ικανότητα και μπορεί να διαλύσει το $CaCO_3$. Στην αντίθετη περίπτωση το διάλυμα είναι κορεσμένο και αποθέτει το $CaCO_3$.

Το pH των νερών γενικά μειώνεται όσο η υδάτινη μάζα ενηλικιώνεται. Μια νέα υδάτινη μάζα είναι συνήθως αλκαλική ($pH > 7$) και σιγά-σιγά με τον χρόνο γίνεται όξινη ($pH < 7$). Αυτό οφείλεται κυρίως στη συγκέντρωση οργανικού υλικού, που εκλύει CO_2 όταν αποσυντίθεται.

Η όξινη βροχή (acidrain) που οφείλεται στην έκλυση οξειδίων (SO_2 , NO_x) από την καύση υδρογονανθράκων και τη μετατροπή τους σε οξέα στην ατμόσφαιρα (H_2SO_4 , HNO_3), συμβάλλει στη μείωση του pH και στη δημιουργία **όξινων υπόγειων νερών**. Το pH του νερού του υπεδάφους είναι σημαντικός παράγοντας αποσάθρωσης. Όξινο περιβάλλον ευνοεί την αφαίρεση Fe και Al από τα μητρικά ορυκτά, καθώς και τη συγκέντρωση του SiO_2 . Το pH επίσης μπορεί να μειωθεί από την οξείδωση της αμμωνίας, που προέρχεται από τη χρήση της κοπριάς σαν λίπασμα, καθώς και την οξείδωση των πυριτών (FeS_2).

Δυναμικό Οξειδοαναγωγής (Redoxpotential)

Το δυναμικό οξειδοαναγωγής (Eh) ενός υδατικού διαλύματος μπορεί να υπολογισθεί από την εξίσωση του Nerst. Μετράται με ευαίσθητα ηλεκτρόδια και εξαρτάται από τη θέση ισορροπίας της αντίδρασης:

Οξειδωμένη μορφή + $e^- \leftrightarrow$ Ανηγμένη μορφή

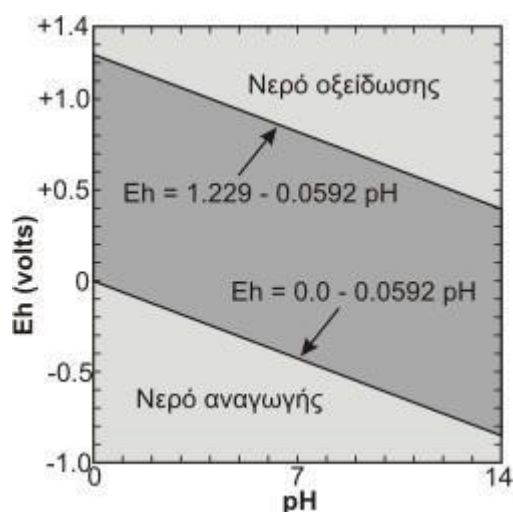
Η θέση της ισορροπίας εξαρτάται από τις συγκεντρώσεις του οξειδωτικού και του αναγωγικού σώματος. Το πιο άφθονο και ισχυρό οξειδωτικό στη φύση είναι το οξυγόνο και το ισχυρότερο αναγωγικό θεωρείται το υδρογόνο.

Η μεταβολή του pH στο περιβάλλον προκαλεί σημαντική μεταβολή της τιμής του

δυναμικού οξειδοαναγωγής, λόγω της συμμετοχής των ιόντων OH^- στις αντιδράσεις οξειδοαναγωγής. Γνωρίζοντας τις τιμές του δυναμικού οξειδοαναγωγής σε συνάρτηση με το pH, είναι δυνατός ο προσδιορισμός των μορφών με τις οποίες βρίσκεται ένα χημικό στοιχείο σε ένα συγκεκριμένο φυσικό περιβάλλον.

Στο Σχήμα 5.1 φαίνεται η σχέση Eh-pH και διακρίνονται περιοχές όπου το νερό οξειδώνεται σε O_2 και περιοχές όπου ανάγεται σε H_2 . Επίσης η κατανομή των H_2S , CH_4 , Fe^{2+} και άλλων ενώσεων καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό από την τιμή του Eh.

Με τη βοήθεια του Eh ενός υδάτινου περιβάλλοντος είναι δυνατόν να υπολογισθούν με ακρίβεια οι συγκεντρώσεις ιόντων ή ενώσεων στο περιβάλλον αυτό. Στην επιφάνεια της θάλασσας το $\text{Eh}=+0,3$ (οξειδωτικό περιβάλλον), λόγω εμπλουτισμού με αέρα και κοντά στον πυθμένα $\text{Eh}=-0,6$ (αναγωγικό περιβάλλον), λόγω περίσσειας οργανικού υλικού και έλλειψης οξυγόνου (Θεοδωρίκας, 1997). Χαμηλό Eh συμβάλλει στη διατήρηση οργανικής ύλης σ' ένα ίζημα. Στην ξηρά, άφθονη οργανική ύλη υπάρχει στον πυθμένα λιμνών και ελών και στη θάλασσα σε κλειστούς κόλπους με περιορισμένη κυκλοφορία νερού και απουσία αδρόκοκκων κλαστικών υλικών.



Σχήμα 5.1 Διάγραμμα Eh-pH.

Συνολικά Διαλυμένα Στερεά (T.D.S)- Αλατότητα του υπόγειου νερού

Η παρουσία αλάτων στο υπόγειο νερό σχετίζεται με το είδος των πετρωμάτων στα οποία κινείται, τον χρόνο παραμονής, την ταχύτητα ροής κ.λπ.

Το T.D.S εκφράζει τη συνολική συγκέντρωση των διαλυμένων στο νερό αλάτων, χωρίς να περιλαμβάνονται τα αιωρούμενα ιζήματα, τα κολλοειδή και τα διαλυμένα αέρια. Δηλ. το T.D.S αποτελεί ένα δείκτη μεταλλικότητας (αλατότητας) και συνδέεται με την ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) με τις σχέσεις :

$$T.D.S \text{ (ppm)} \sim 0.65 \text{ (EC)} \text{ (}\mu\text{S/cm)} \text{ και } T.D.S \text{ (meq/L)} \sim 0.01 \text{ (EC)} \text{ (}\mu\text{S/cm)}$$

Αν οι τιμές του T.D.S. κυμαίνονται μεταξύ 0-1.000 mg/L το νερό είναι **γλυκό**

(fresh), μεταξύ 1.000-10.000 mg/L θεωρείται **υφάλμυρο** (brackish), μεταξύ 10.000-100.000 mg/L **αλμυρό** (saltorsaline) και για τιμές μεγαλύτερες των 100.000 mg/L **υπεραλμυρό** (brine).

Για τον υπολογισμό του T.D.S. προστίθενται οι τιμές όλων των ιόντων, ενώ ο Hounslow (1995) προτείνει την κάτωθι αναλυτική έκφραση για το T.D.S.:

$$T.D.S. = \text{Σύνολο ιόντων} + SiO_2 - (0,5082 \times HCO_3^-)$$

Το T.D.S. μπορεί να επηρεασθεί από τη διεύθυνση της θάλασσας, την εξάτμιση του νερού και τη διάλυση ορυκτής ύλης. Το πλεόνασμα του αρδευτικού νερού που διηθείται στον υδροφόρο αυξάνει το T.D.S. Μεγάλες τιμές αλατότητας απαντώνται σε υδροφόρους ξηρών περιοχών και σε λεκάνες με κακή στράγγιση.

Στις παράκτιες περιοχές τα αερομεταφερόμενα άλατα αποτελούν μια σημαντική πηγή αλατότητας των υπόγειων νερών. Εγκλωβισμένα αλμυρά νερά εντοπίζονται σε περιοχές ιζηματογενών αποθέσεων (badlands).

Τα υπόγεια νερά έχουν μεγαλύτερες συγκεντρώσεις διαλυμένων αλάτων από τα επιφανειακά, λόγω φόρτισης με άλατα από τη διάλυση των πετρωμάτων. Η αλατότητα είναι μεγαλύτερη σε περιοχές, όπου η κίνηση του νερού είναι μικρότερη και σε ξηρές περιοχές με ασήμαντη έκπλυση από τη βροχή. Γενικά, η αλατότητα αυξάνει με το βάθος.

Διαλυμένο Οξυγόνο

Η παρουσία του οξυγόνου στο υπόγειο νερό, υποδηλώνει πρόσφατη έκθεση του νερού στην επίδραση της ατμόσφαιρας. Το οξυγόνο παρουσιάζει μικρή διαλυτότητα στο νερό, η οποία κυμαίνεται από 6 έως 15 ppm. Μικρές τιμές περιεκτικότητας σε οξυγόνο παρατηρούνται σε παλαιά νερά που δεν ανανεώνονται, ενώ αντίθετα μεγάλες συγκεντρώσεις συναντώνται σε νερά, τα οποία δεν παραμένουν για μεγάλο χρονικό διάστημα στους υδροφόρους ορίζοντες και ανανεώνονται συνεχώς. Μικρές τιμές του διαλυμένου οξυγόνου φανερώνουν έντονα ρυπασμένα νερά με οργανικές ουσίες.

Γενικά η περιεκτικότητα του διαλυμένου οξυγόνου στο νερό εξαρτάται από:

- α) Τη θερμοκρασία. Όσο υψηλότερη είναι η θερμοκρασία του νερού, τόσο μικρότερη είναι η περιεκτικότητα σε οξυγόνο.
- β) Την ποσότητα της οργανικής ύλης, η οποία αποσυντίθεται στο νερό.
- γ) Την παρουσία ή απουσία φυτών (μικροσκοπικών και μακροσκοπικών), τα οποία μπορούν να κάνουν φωτοσύνθεση.
- δ) Το βαθμό της διεύθυνσης του φωτός, που εξαρτάται από το βάθος.

Κατά την κίνηση του νερού στην ακόρεστη ζώνη μειώνεται η συγκέντρωση του οξυγόνου, λόγω κατανάλωσης στις οξειδωτικές διεργασίες που συντελούνται εκεί. Η μείωση του οξυγόνου με το βάθος είναι εκθετική και σπάνια περιέχεται διαλυμένο οξυγόνο σε βάθη μεγαλύτερα των

20 m από την υδροστατική επιφάνεια. Στα στάσιμα νερά η περιεκτικότητα σε οξυγόνο μεταβάλλεται με το βάθος και την εποχή. Το θέρος η περιεκτικότητα οξυγόνου στα μεγάλα βάθη ελαττώνεται και μπορεί να μηδενισθεί.

Αλκαλικότητα (Alkalinity)

Η αλκαλικότητα είναι ένα μέτρο της ικανότητας των νερών να εξουδετερώνουν ορισμένη ποσότητα υδρογονοκατιόντων. Η εξουδετέρωση αυτή οφείλεται στην παρουσία των ιόντων OH^- , CO_3^{2-} και HCO_3^- . Επιπλέον δρουν οι συζυγείς βάσεις του φωσφορικού και πυριτικού οξέος. Η παρουσία οργανικής ύλης μπορεί να έχει σημαντική επίδραση στον καθορισμό της αλκαλικότητας των υπόγειων νερών. Τα χλωριούχα, θειικά και νιτρικά ιόντα δεν συμβάλλουν στην αλκαλικότητα.

Σκληρότητα (Hardness)

Η σκληρότητα των νερών προέρχεται από την παρουσία δισθενών μεταλλικών κατιόντων, εκ των οποίων τα πιο συνηθισμένα είναι το Ca^{2+} και το Mg^{2+} . Τα ιόντα αυτά αντιδρούν με το σαπούνι και σχηματίζουν ίζημα και μαζί με ορισμένα ανιόντα, που βρίσκονται στο νερό δημιουργούν κρούστα.

Ο προσδιορισμός της σκληρότητας έχει μεγάλη σημασία γιατί αποτελεί κριτήριο καταλληλότητας για πολλές χρήσεις των νερών γιατί δείχνει την τάση για σχηματισμό ανθρακικών επικαθήσεων στους λέβητες και τις ψυκτικές δεξαμενές, την ικανότητα δέσμευσης σαπώνων και χρωμάτων κ.ά (Μήτρακας, 2001).

Η σκληρότητα διακρίνεται σε:

α) **Παροδική ή ανθρακική σκληρότητα** που προέρχεται από την παρουσία όξινων ανθρακικών αλάτων του Ca^{2+} και Mg^{2+} δηλ. $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ και $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$. Τα άλατα αυτά προέρχονται από τη διάλυση αλάτων Ca^{2+} και Mg^{2+} , που υπάρχουν στα διάφορα πετρώματα ή στο έδαφος μέσα από τα οποία διέρχεται το νερό. Η διάλυση αυτή διευκολύνεται από το CO_2 που ελευθερώνεται από τη βακτηριακή δράση σε οργανικές ουσίες του εδάφους ή προσλαμβάνεται από την ατμόσφαιρα. Όταν το νερό θερμανθεί τα άλατα αυτά αποσυντίθεται στα αντίστοιχα ανθρακικά και πέφτουν ως ίζημα.

β) **Μόνιμη σκληρότητα ή μη ανθρακική** που προέρχεται από την παρουσία αλκαλικών γαιών, ενωμένων με το θειικό ιόν, το ιόν χλωρίου και το νιτρικό ιόν. Η κύρια πηγή των θειικών ιόντων είναι η οξείδωση του σιδηροπυρίτη, εκτός και αν συμβαίνει απόθεση εβαποριτών.

γ) **Ολική σκληρότητα (Total Hardness)**: Είναι το άθροισμα της ανθρακικής και της μόνιμης σκληρότητας. Εκφράζεται σε ισοδύναμο CaCO_3 (mg/L), αλλά και σε βαθμούς σκληρότητας.

Ο Γαλλικός βαθμός ισοδυναμεί με 10 mg/L CaCO_3 και ο Γερμανικός βαθμός ισοδυναμεί με $17,86 \text{ mg/L Ca(HCO}_3)_2$.

Η ολική σκληρότητα (TH) δίνεται από τη σχέση: $TH=2,5Ca+4,1Mg$ αν οι περιεκτικότητες των ιόντων είναι εκφρασμένες σε mg/L και $TH=50 (Ca+Mg)$ αν είναι εκφρασμένες σε meq/L .

Η περιοχή μεταξύ 15-20 γαλλικών βαθμών χαρακτηρίζουν πολύ καλό νερό από άποψη σκληρότητας. Η μηδενική σκληρότητα, η παντελής δηλ. έλλειψη ασβεστίου και μαγνησίου δεν είναι επιθυμητή. Η μεγάλη σκληρότητα προκαλεί ελαφρά διάρροια σε όσους πίνουν για πρώτη φορά, ενώ η συνεχής εξωτερική του χρήση προκαλεί ερεθισμό στο δέρμα. Επίσης καταστρέφει τα υφάσματα και φθείρει τις συσκευές. Τα νερά με βάση τη σκληρότητα ταξινομούνται όπως φαίνεται στον πίνακα 5.1.

Η ολική αλκαλικότητα ισούται με $Alk=0,81967 \text{ HCO}_3^- (\text{mg/L})$.

Στην περίπτωση που η αλκαλικότητα είναι μεγαλύτερη από την ολική σκληρότητα τότε η μη ανθρακική σκληρότητα (μόνιμη) είναι μηδέν και η ολική σκληρότητα ισούται με την ανθρακική σκληρότητα (παροδική). Αν η αλκαλικότητα είναι μικρότερη από την ολική σκληρότητα τότε η παροδική σκληρότητα είναι ίση με την αλκαλικότητα και η μόνιμη είναι η διαφορά της αλκαλικότητας από την ολική σκληρότητα. (Βουδούρης Κ., 2015).

Ισοδύναμο $\text{CaCO}_3 (\text{mg/L})$	Γαλλικοί βαθμοί	Χαρακτηρισμός του νερού
0-100	0-10	Μαλακό
101-200	10-20	Μέτρια σκληρό
201-300	20-30	Σκληρό
>300	>30	Πολύ σκληρό

Πίνακας 5.1 Ταξινόμηση των νερών με βάση τη σκληρότητα.

5.2 ΥΔΡΟΧΗΜΙΚΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ

Η σύνθεση του νερού ελέγχεται από την σύνθεση του πετρώματος με το οποίο το θερμικό νερό έρχεται σε επαφή εντός της λεκάνης, και υδρολογικά χαρακτηριστικά όπως η διαπερατότητα του σχηματισμού και χρόνος παραμονής των κυκλοφορούντων υγρών κάτω από την επιφάνεια. Προσδιορισμός υδρογεωχημικών χαρακτηριστικών των γεωθερμικών νερών και των χημικών μεταβολών που προκύπτουν από την αλληλεπίδραση με τους βράχους πραγματοποιήθηκε μέσω της ερμηνείας των χημικών στοιχείων. Για το σκοπό αυτό, διαφορετικοί μέθοδοι κατάταξης χρησιμοποιούνται. Χημική ταξινόμηση των υδάτων είναι απαραίτητη για τη σωστή αξιοποίηση γεωχημικών τεχνικών, οι οποίες μπορούν να εφαρμοστούν με βεβαιότητα μόνο σε συγκεκριμένα είδη υγρών με περιορισμένα εύρη σύνθεσης, αντανakλώντας το περιβάλλον προέλευσης. Διάφορα διαγράμματα έχουν αναπτυχθεί για την απεικόνιση της χημείας των υδάτων. Τα συνηθέστερα χρησιμοποιούμενα διαγράμματα συνοψίζονται εν συντομία παρακάτω

5.2.1 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ WILCOX

Το διάγραμμα αυτό χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της καταλληλότητας του αρδευτικού ρευστού σε σχέση με τη φύση και τις ιδιότητες των καλλιεργούμενων εδαφών. Χρησιμοποιεί το δείκτη S.A.R. και την ηλεκτρική αγωγιμότητα E.C.

Ο συντελεστής προσρόφησης νατρίου (Sodium Adsorption Ratio) ισούται με:

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca+Mg}{2}}}$$

όπου οι συγκεντρώσεις των ιόντων είναι εκφρασμένες σε meq/L.

Ο συντελεστής προσρόφησης νατρίου αποτελεί ένα βασικό κριτήριο της καταλληλότητας ενός ρευστού για άρδευση. Το νάτριο δημιουργεί αποκροκίδωση του εδάφους, προκαλώντας μείωση του αερισμού και της περατότητας του εδάφους. Για ηλεκτρική αγωγιμότητα 750 $\mu S/cm$, τιμές του $SAR < 6$ υποδηλώνουν μικρό κίνδυνο νατρίου, 6-12 μέσο κίνδυνο νατρίου, 12-18 μεγάλο κίνδυνο νατρίου και τιμές $SAR > 18$ πολύ μεγάλο κίνδυνο νατρίου.

Με βάση το διάγραμμα αυτό μπορούμε να διακρίνουμε τις εξής κατηγορίες αρδευτικού ρευστού:

C1-S1. Ποιότητα καλή.

C1-S2, C2-S1. Ποιότητα καλή έως μέτρια. Το νερό πρέπει να χρησιμοποιείται με προφύλαξη στα βαριά εδάφη που δεν αποστραγγίζονται καλά και επίσης με

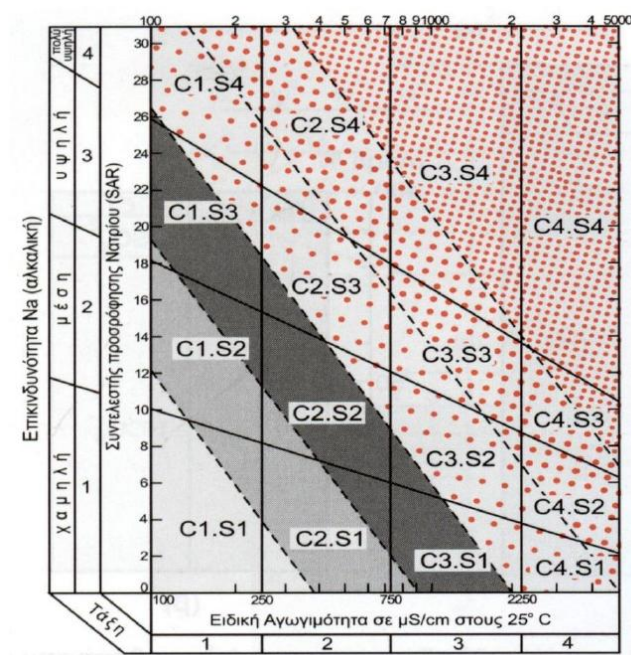
επιφύλαξη για ευαίσθητα φυτά.

C1-S3, C2-S2, C3-S1. Ποιότητα μέτρια έως πολύ μέτρια. Μπορεί να χρησιμοποιείται παίρνοντας μέτρα προφύλαξης. Το έδαφος πρέπει να αποστραγγίζεται καλά ή πρέπει να προστίθεται σε αυτό γύψος.

C1-S4, C2-S3, C3-S2, C4-S1. Ποιότητα πολύ μέτρια έως κακή. Δεν πρέπει να χρησιμοποιείται για ευαίσθητα φυτά, ούτε γενικά για βαριά εδάφη. Μπορεί να χρησιμοποιείται με μέτρα προφύλαξης σε ελαφρά εδάφη που αποστραγγίζονται καλά ή να προστίθεται γύψος.

C2-S4, C3-S3, C4-S2. Ποιότητα κακή. Δεν πρέπει να χρησιμοποιείται παρά μόνο για ανθεκτικά φυτά σε ελαφρά εδάφη καλώς αποστραγγιζόμενα, με προσθήκη γύψου.

C3-S4, C4-S3, C4-S4. Πολύ κακή ποιότητα. Δεν πρέπει να χρησιμοποιείται σε καμμία περίπτωση



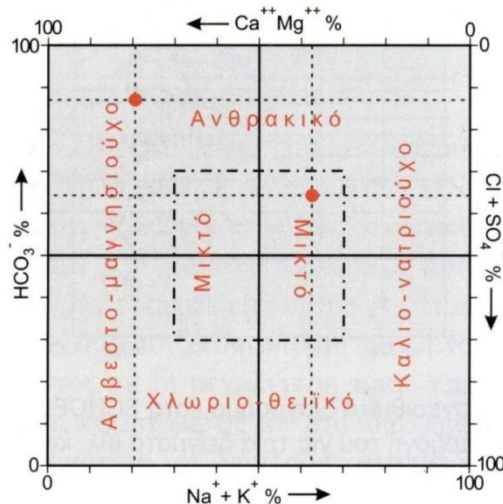
Σχήμα 5.2: Διάγραμμα Wilcox

5.2.2 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ LUDWIG- LANGELIER

Το διάγραμμα αυτό (Σχήμα 5.3) εμφανίζει την κατανομή των δειγμάτων σε σχέση με το χλωριο – θειικό και καλιο – νατριούχο χαρακτήρα τους. Όσο τα δείγματα απομακρύνονται από την αρχή των αξόνων τόσο ισχυροποιείται ο χαρακτήρας που έχουν. Για τον ασβεστο – μαγνησιούχο και ανθρακικό χαρακτήρα των δειγμάτων, αντικαθιστώνται οι άξονες του διαγράμματος με Ca – Mg και HCO₃ αντίστοιχα.

Στη μορφή που το διάγραμμα έχει και τους τέσσερις άξονες (HCO₃, Na – K, Ca – Mg, Cl – SO₄) εμφανίζεται η κατανομή των δειγμάτων και ως προς τους τέσσερις

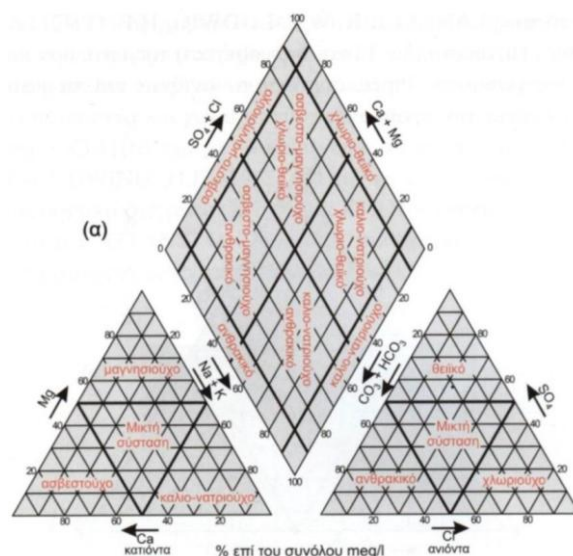
υδροχημικούς χαρακτήρες. Κάθε τομή των αξόνων σε σχέση με το κέντρο του διαγράμματος ορίζει μια τετραγωνική περιοχή όπου υπερισχύουν κάθε φορά δύο από τους τέσσερις χαρακτήρες. Στο κέντρο του διαγράμματος ορίζεται και μία μικτή περιοχή που όλοι σχεδόν οι χαρακτήρες είναι ισομερείς.



Σχήμα 5.3: Διάγραμμα Ludwig- Langelier

5.2.3 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ PIPER

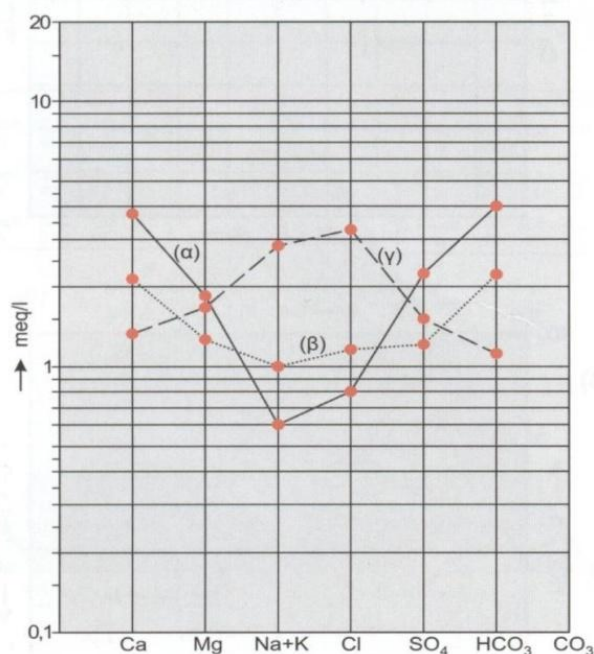
Αποτελείται από δύο τριγωνικά διαγράμματα, ένα για τα ανιόντα και ένα για τα κατιόντα και ένα ενδιάμεσο ρομβικό που στο σύνολό τους συνιστούν ένα τρίγωνο. Η θέση του αντίστοιχου δείγματος νερού στο διάγραμμα το κατατάσσει σε μία κατηγορία, τόσο ως προς τα κατιόντα ή ανιόντα όσο ως προς το σύνολο, δίνοντας έτσι την υδροχημική φάση του δείγματος (Σχήμα 5.4).



Σχήμα 5.4: Διάγραμμα Piper και κατάταξη του δείγματος νερού τόσο ως προς τα κατιόντα ή ανιόντα όσο ως προς το σύνολο (από Καλλέργη 1986)

5.2.4 Διάγραμμα SCHOELLER

Το Διάγραμμα Schoeller (Σχήμα 5.5) στον κατακόρυφο άξονα έχει τιμές διαφόρων ιόντων σε ημιλογαριθμική κλίμακα και στον οριζόντιο σε δεκαδική κλίμακα τα διάφορα ιόντα με την εξής σειρά: Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- . Οι τιμές των ιόντων κάθε δείγματος ενώνονται στο διάγραμμα με μία καμπύλη γραμμή. Όταν η καμπύλη αυτή έχει το κυρτό μέρος προς τα επάνω το νερό είναι υφάλμυρο, ενώ όταν έχει το κοίλο το νερό είναι γλυκό. Όσο πιο ψηλά βρίσκεται αυτή, τόσο πιο μεγάλη είναι η συνολική περιεκτικότητα σε ιόντα (T.D.S.).



Σχήμα 5.5: Διάγραμμα Schoeller (από Παρασκάκη, 2014)

5.3 ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ

Στην παρούσα εργασία διεξήχθη έλεγχος των φυσικοχημικών παραμέτρων που αφορούν στην ποιότητα του νερού των δεξαμενών 1 και 2, δηλαδή στις παραμέτρους που καθιστούν το νερό αποδεκτό για χρήση και ακολούθως πραγματοποιήθηκε σύγκριση των παραμέτρων αυτών με εκείνες εμφιαλωμένων νερών του εμπορίου.

Παρακάτω ακολουθεί σύντομη αναφορά σε καθεμία από τις παραμέτρους που μελετήθηκαν καθώς επίσης και στις επιπτώσεις που έχουν στην υγεία του ανθρώπου στις περιπτώσεις που εμφανίζονται σε υψηλές συγκεντρώσεις.

Ως ρη ορίζεται η ενεργός οξύτητα του νερού, η οποία βρίσκεται σε άμεση συνάρτηση με την χημική μορφή των ενώσεων στο νερό και η οποία επηρεάζει την

διαβρωτικότητα του. Στην περίπτωση που το νερό είναι πολύ όξινο μπορεί να προκαλέσει διάβρωση των μεταλλικών σωλήνων, ενώ αν είναι πολύ αλκαλικό τότε έχει τάση απόθεσης στους σωλήνες. Βάσει νομοθεσίας το επιτρεπτό όριο προκειμένου να θεωρηθεί πόσιμο το νερό είναι > 6.5 και < 9.5 . Για την διατύπωση συμπερασμάτων σχετικά με τις τιμές της ενεργούς οξύτητας των δειγμάτων που συλλέχθηκαν, λάβαμε υπ' όψιν το γεγονός ότι το pH των επιφανειακών νερών είναι ελαφρά αλκαλικό όταν διέρχεται από ασβεστούχα πετρώματα, όπως αυτά που εντοπίζονται στον ευρύτερο χώρο της λεκάνης της Μεσσαράς.

Ως σκληρότητα του νερού ορίζεται το άθροισμα των συγκεντρώσεων ασβεστίου και μαγνησίου. Η συνολική σκληρότητα του νερού οφείλεται στα διαλυμένα σε αυτό άλατα (χλωριούχα, θειικά, ανθρακικά κ.λ.π.), λόγω των πετρωμάτων από τα οποία έχει διέλθει το νερό και αποτελεί το άθροισμα μόνιμης και παροδικής σκληρότητας. Η μόνιμη σκληρότητα οφείλεται στα χλωριούχα και θειικά άλατα του ασβεστίου και του μαγνησίου (κυρίως) και δεν εξαφανίζεται με το βρασμό. Η παροδική σκληρότητα οφείλεται στα όξινα ανθρακικά άλατα ασβεστίου και μαγνησίου και με το βρασμό εξαφανίζεται, γιατί τα άλατα αυτά πέφτουν σαν ίζημα.

Ο όρος σκληρότητα χρησιμοποιείται για τον χαρακτηρισμό των νερών που δεν αφρίζουν καλά όταν χρησιμοποιούνται για πλύσιμο με σαπούνι και αφήνουν λευκά αποθέματα πουριού στην εσωτερική επιφάνεια οικιακών συσκευών. Μεγάλες τιμές σκληρότητας δεν αποτελούν κίνδυνο για την υγεία, αντιθέτως έχει βρεθεί συσχέτιση μεταξύ αυξημένης σκληρότητας και μείωση των καρδιοαγγειακών παθήσεων.

Ως αγωγιμότητα ορίζεται το μέτρο της ικανότητας ενός υδατικού διαλύματος να μεταφέρει ηλεκτρικό ρεύμα. Όσον αφορά στο πόσιμο νερό η ενδεικτική τιμή είναι $2500 \mu\text{S}/\text{cm}$. Η αύξησή της οφείλεται σε ρύπανση από ανόργανα λιπάσματα (χλωριούχα, νατριούχα κλπ.) ή σε διείσδυση θαλασσινού νερού. Ο έλεγχος αυτής της παραμέτρου παρέχει πληροφορίες τόσο για την ποιότητα του νερού, όσο και για την ποσότητα των διαλυμένων αλάτων σε αυτό, αλλά και τον βαθμό ρύπανσής του. Ως εκ τούτου μπορεί να θεωρηθεί ως μία σημαντική λειτουργική παράμετρος, που αφορά άμεσα με την υγεία. Νερά με πολύ χαμηλή αγωγιμότητα δεν ξεδιψούν, καθώς δεν προσθέτουν ηλεκτρολύτες στον οργανισμό.

Ως στερεά ορίζονται τα διαλυμένα ή αδιάλυτα στερεά που εμπεριέχονται στο νερό και επηρεάζουν την χρήση του. Διακρίνονται σε ολικά (TS), ολικά αιωρούμενα (TSS), ολικά διαλυμένα (TDS) και καθιζάνοντα στερεά. Τα ολικά διαλυμένα στερεά αποτελούν ευδιάλυτα ανόργανα άλατα (άλατα αλκαλίων, χλωριούχα, θειικά, νιτρικά νιτρώδη κ.α.) και η μέτρησή τους είναι επιτυγχάνεται γρήγορα μέσω της μέτρησης της ειδικής αγωγιμότητας. Τα προβλήματα που προκαλούν οφείλονται στα φυσικά χαρακτηριστικά των αλάτων.

Ως χλωριούχα νοούνται τα άλατα νατρίου, καλίου και ασβεστίου. Προέρχονται κυρίως από τη διάβρωση των βράχων και επειδή είναι πολύ ευκίνητα και ευδιάλυτα, εισδύουν στο έδαφος ή μεταφέρονται σε κλειστές δεξαμενές και στους ωκεανούς. Μπορεί όμως να προκύψουν και από τη χρήση λιπασμάτων, από λύματα και βιομηχανικά απόβλητα ή από την διείσδυση θαλασσινού νερού σε παράκτιες

περιοχές. Δεν έχουν επιβλαβή επίδραση στον ανθρώπινο οργανισμό, ενώ συμβάλλουν στην διατήρηση της ηλεκτρικής ουδετερότητας των ερυθρών αιμοσφαιρίων και στην παραγωγή του υδροχλωρικού οξέος στο στομάχι. Παρ'όλ' αυτά σε υψηλές συγκεντρώσεις δίνουν στο πόσιμο νερό γλυφή γεύση, ενώ σε συγκεντρώσεις >200ppm προκαλούν προβλήματα σε άτομα που πάσχουν από καρδιακές ή νεφρικές παθήσεις. Η απότομη αύξηση των χλωριόντων στο νερό, αν δεν οφείλεται στην είσοδο θαλασσινού νερού, δείχνει πιθανή ρύπανση από λύματα και απαιτείται άμεση επιτόπια υγειονομική επιθεώρηση. Όσον αφορά στο πόσιμο νερό το ανώτατο επιτρεπτό όριο είναι 250 mg/l.

Ως νιτρώδη ιόντα (NO^{2-}) ορίζονται τα προϊόντα του ενδιάμεσου σταδίου οξείδωσης της αμμωνίας και είναι ασταθή στο περιβάλλον. Η παρουσία τους στο νερό δείχνει πρόσφατη ρύπανση από οργανικές ουσίες των οποίων το άζωτο άρχισε να οξειδώνεται, δεν πραγματοποιήθηκε πλήρης οξείδωση και με την δράση των βακτηρίων μετατράπηκε σε νιτρώδη ιόντα. Παρουσιάζουν μεγάλο κίνδυνο για την δημόσια υγεία και το ανώτατο επιτρεπτό όριο συγκέντρωσης νιτρωδών είναι τα 0,1mg/L.

Ως νιτρικά ανιόντα (NO^3) ορίζονται τα προϊόντα του τελικού σταδίου οξείδωσης της αμμωνίας, προέρχονται δηλαδή από αζωτούχες ενώσεις (λιπάσματα, λύματα, ζωικά ή ανθρώπινα απόβλητα) που κατεισδύουν στο νερό. Η παρουσία τους στο νερό δείχνει παλαιότερη ρύπανση και επομένως δεν αποτελούν άμεση απειλή για την δημόσια υγεία, με κάποια επιφύλαξη, καθώς τα νιτρικά, όπως και τα νιτρώδη, στο περιβάλλον του στομάχου, σχηματίζουν N-νιτροζοενώσεις, που είναι καρκινογόνες. Τέλος, πόσιμα νερά με υψηλή περιεκτικότητα σε νιτρικά είναι πιθανό να βλάψουν το αίμα των παιδιών και των εγκύων, προκαλώντας την ασθένεια μεθαιμογλοβιναιμία, λόγω της αναγωγής τους σε νιτρώδη.

Ως θειικά ορίζονται τα ανιόντα που προέρχονται από την διάλυση ηφαιστειογενών πετρωμάτων κυρίως σε υπόγεια νερά με υψηλή θερμοκρασία, όπως της γύψου και του ανυδρίτη, από την χρήση θεικών λιπασμάτων τύπου $(\text{NH}_4)^2\text{SO}_4$, καθώς και από την οξείδωση θειούχων ενώσεων (πυριτών) των αργιλικών πετρωμάτων. Υψηλές συγκεντρώσεις θεικών μπορεί να εισέρθουν στο νερό από λιπάσματα ή βιομηχανικά απόβλητα. Τα θειικά προσδίδουν στο νερό χαρακτηριστικά δυσάρεστη οσμή και γεύση και σε μεγάλες περιεκτικότητες μπορούν να προκαλέσουν ερεθισμό του αναπνευστικού συστήματος, ενώ παράλληλα έχουν καθαρική δράση, αν και σε υψηλές συγκεντρώσεις μπορούν να προκαλέσουν έντονες γαστρεντερικές διαταραχές (διάρροια). Σε περίπτωση που η περιεκτικότητα σε θειικά υπερβαίνει τα 250 Mg/L το νερό καθίσταται ακατάλληλο για πόση και για βιομηχανική χρήση.

Ως φωσφορικά ορίζονται τα ιόντα που προέρχονται από την αποσύνθεση οργανικών ουσιών, από την χρήση φωσφορικών λιπασμάτων στην γεωργία, καθώς και την ρύπανση από αστικά λύματα και συναντώνται στα νερά είτε διαλυμένες, είτε σαν σωματίδια είτε στο σώμα των υδρόβιων οργανισμών. Μαζί με τα νιτρικά αποτελούν τους σπουδαιότερους παράγοντες δημιουργίας του φαινομένου του

ευτροφισμού στα νερά. Αν και δεν έχουν σοβαρές επιπτώσεις στην υγεία, σε μεγάλες συγκεντρώσεις μπορούν να προκαλέσουν μείωση του ασβεστίου στο αίμα. Σαν ανώτατη παραδεκτή συγκέντρωση φωσφορικών στο νερό θεωρούνται τα 5 mg/L, ενώ σαν ενδεικτικό τα 0,4 mg/L.

Όσον αφορά στα κύρια κατιόντα, τα αλκάλια Na και K συνδέουν την παρουσία τους με τους αστρίους, που αποτελούν τεκτοπυριτικά ορυκτά. Το κάλιο σχετίζεται επίσης και με καλιούχα λιπάσματα. Η παρουσία των αλκαλίων σχετίζεται και με τη διείσδυση της θάλασσας σε παράκτιους υδροφόρους ορίζοντες ή με αερομεταφερόμενα σταγονίδια από τη θάλασσα. Το ενδεικτικό επίπεδο συγκέντρωσης νατρίου στα υπόγεια νερά είναι τα 20 mg/L, ενώ στο θαλασσινό νερό ανέρχεται σε 10.000 mg/L. Περισσότερα από 50 mg/L νατρίου και καλίου προκαλούν σαπωνοποίηση, που επιταχύνει τη διάβρωση στους λέβητες, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η περιεκτικότητα του νερού σε μέταλλα (π.χ. σίδηρο, ψευδάργυρο, μόλυβδο, κάδμιο). Σε μικρές περιεκτικότητες το νάτριο και το κάλιο συμμετέχουν στην ωσμωτική ισορροπία του κυττάρου, αποτελώντας βασικά στοιχεία για την ανθρώπινη ζωή. Παρ' όλ' αυτά, μεγάλες συγκεντρώσεις ιόντων νατρίου στο πόσιμο νερό επιφέρουν προβλήματα στην υγεία, καθώς προκαλούν αύξηση της αρτηριακής πίεσης, επομένως σε ασθενείς με

χρόνιες καρδιακές παθήσεις ενδείκνυται νερό με χαμηλή περιεκτικότητα σε νάτριο. Το κάλιο επίσης σε μεγάλες συγκεντρώσεις έχει καθαρτική δράση ενώ σε πολύ μεγάλες είναι τοξικό.

Όσον αφορά στα κύρια κατιόντα Mg και Ca ανήκουν στα πιο συνηθισμένα συστατικά των φυσικών νερών. Η παρουσία του μαγνησίου στο νερό οφείλεται στην ύπαρξη ορυκτων μαγνησίου με τα οποία έρχεται σε επαφή το νερό, ή σε διείσδυση θαλασσινού νερού. Το μαγνήσιο επηρεάζει την γεύση και η ανεπάρκειά του επιφέρει ανορεξία, κόπωση και ταχυκαρδία. Αντιθέτως, η περίσσεια του δρά ανταγωνιστικά έναντι των καρδιοτοξικών ενώσεων. Νερά με συγκεντρώσεις μαγνησίου μεγαλύτερες από 125 mg/l μπορεί να έχουν καθαρτικές και διουρητικές ιδιότητες. Σε μεγάλες συγκεντρώσεις (> 400 ppm) δρά σαν καθαρτικό, διουρητικό και έχει επιπτώσεις στο νευρομυϊκό και στο ΚΝΣ. Η παρουσία του ασβεστίου οφείλεται στα ανθρακικά ιζηματογενή πετρώματα και τα μάρμαρα με τα οποία έρχεται σε επαφή το νερό. Τα άλατά του, μαζί με του ασβεστίου, αποτελούν την ολική σκληρότητα του νερού και όταν θερμανθούν σχηματίζουν επικαθήματα στις σωληνώσεις και τους λέβητες.

Η παρουσία του ασβεστίου στο νερό οφείλεται σε ασβεστολιθικά πετρώματα που διέρχεται το νερό ή άλλα ορυκτά όπως ασβεστονατριούχους άστριους, τη γύψο, τους πυρόξενους, τους αμφιβόλους, καθώς και σε ορυκτά της ομάδας του επίδοτου. Μεγάλες συγκεντρώσεις ασβεστίου μειώνουν το ποσοστό θνησιμότητας από καρδιοαγγειακές παθήσεις. Αντίθετα περίσσεια ασβεστίου μπορεί να προκαλέσει γαστρεντερικά έλκη. Και τα δύο παραπάνω στοιχεία είναι απαραίτητα για την υγεία του ανθρώπου, καθώς το ασβέστιο είναι διουρητικό, αντιυπερτασικό και αντιαλλεργικό και βοηθά στην πήξη του αίματος, ενώ το μαγνήσιο βοηθά στην ομαλή λειτουργία του νευρομυϊκού συστήματος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

6.1 ΣΥΛΛΟΓΗ ΤΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ

Απαραίτητη προϋπόθεση για την επίτευξη του σκοπού της παρούσας εργασίας ήταν κατ' αρχάς η συλλογή δειγμάτων, για την μετέπειτα χημική τους ανάλυση στο εργαστήριο και τέλος την σύγκρισή τους με χημικές αναλύσεις εμφιαλωμένων νερών. Κατά την εργασία υπαίθρου, που έλαβε χώρα στις αρχές του Αυγούστου, πραγματοποιήθηκε η συλλογή δύο δειγμάτων, σε διαφορετικό χρονικό διάστημα πριν και εντός της δεξαμενής χλωρίωσης και τροφοδοσίας δικτύου (δείγματα D1 και D2).



Εικόνα 6.1: Δεξαμενή χλωρίωσης και τροφοδοσίας δικτύου

6.2 ΕΠΙΤΟΠΙΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΧΗΜΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΤΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ

Η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με το πρωτόκολλο ανάλυσης ανόργανων στοιχείων. Η μέτρηση της θερμοκρασίας (T) και του pH των δειγμάτων νερού έγινε επί τόπου με φορητά όργανα. Στην συνέχεια τα δείγματα φιλτραρίστηκαν με πορώδη φίλτρα 0.45 μm , αποθηκεύτηκαν σε μπουκάλια πολυαιθυλενίου υψηλής πυκνότητας (HDPE) και συντηρηθήκαν με οξίνιση (HNO_3 2%) προκειμένου να μεταφερθούν στο εργαστήριο. Η ανάλυση των κύριων κατιόντων (K, Mg, Ca) και των ιχνοστοιχείων (Ti, V, Mn κτλ.) πραγματοποιήθηκε με φασματοσκοπία ατομικών μαζών επαγωγικά συζευγμένου πλάσματος (ICP-MS 7500cx, Agilent Technologies), ενώ των ανιόντων με φασματοφωτομετρία (Hach DR2800).



Εικόνα 6.2: Φορητός εξοπλισμός (πεχάμετρο) που χρησιμοποιήθηκε



Εικόνα 6.3: Όργανο μέτρησης φασματομετρίας/φασματοσκοπίας

Στον πίνακα 6.1 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων από δείγματα εμφιαλωμένων νερών καθώς και αυτά της δεξαμενής D1 και D2.

Πίνακας 6.1: Χημικές αναλύσεις των νερών ως προς τα κύρια ιόντα.

Δείγμα	pH (lab)	El. Cond.	Ca	Mg	K	Na	Cl	HCO ₃	SO ₄
		uS/cm	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
K1	NM	530	32,2	15,17		40,17	15,58	325	18,62
E1	NM	345	16,96	13,63		19,6	16,55	134,2	31,62
E10	7,6	378	48,06	5,48		9,93	9,53	215,6	16,8
E11	7,62	464	82,36	0,83		2,68	6,27	297,6	5,57
E2	NM	1994	473,51	73,62		10,46	9,29	403	110,79
K10	7,8	409	46,91	5,35		16,68	26,3	181	25,81
E3	7,8	277	26,07	14,79		8,41	13,4	147	6,43
E4	8	285	31	14	<0,5	7	13	151	<5
E5	7,5	421	42,12	25,73		6,77	7,51	268	12,64
E6	8,2	653	4,7	17,16		19,36	34,22	365	8,69
E12	7,3	499	96,39	2,56		5,84	11,51	305,5	9,034
K2	NM	523	51,75	30,44		26,54	40,63	240,2	64,33
E7	8,2	578	4,59	60,69		20,08	39,95	367,4	8,24
K3	7,8	392	44,22	12,29		16,16	25,51	202,6	10,84
D1	7,55	NM	75,21	23,98		31,28	48,4	283,4	104,52
D2	7,71	NM	77,91	29,32		41,13	68,8	228,9	175,44
GR Lim	NM	NM	NM	NM		200	250	NM	250
K4	8	236	19,81	13,44		8,4	13	156	10,33
K5	8	251	35,6	12,9	0,8	7,3	12	113	8,7
K6	7,8	325	29,44	14,98		8,81	13,84	147	6,93
K7	8	285	31	14	<0,5	7	13	151	<5
E8	9,14	184	<1	13,57		0,68	0,75	153	1,9
K8	7,7	312	29,89	11,26		9,84	14,1	144	9,12
E9	7,4	599	43,01	56,33		23,39	24,84	380	14,68
K9	7,8	291	23,64	12,42		9,05	12,96	150	6,78
E13	7,75	368	55,61	3,45		2,8	5,61	165	11,66
K11	8	261	21,84	14,79		7,04	10,91	138	6,35
E14	NM	600	76,78	22,14		22,64	33,98	331,1	89,24

Πίνακας 6.2: Χημικές αναλύσεις των νερών ως προς τα ιχνοστοιχεία.

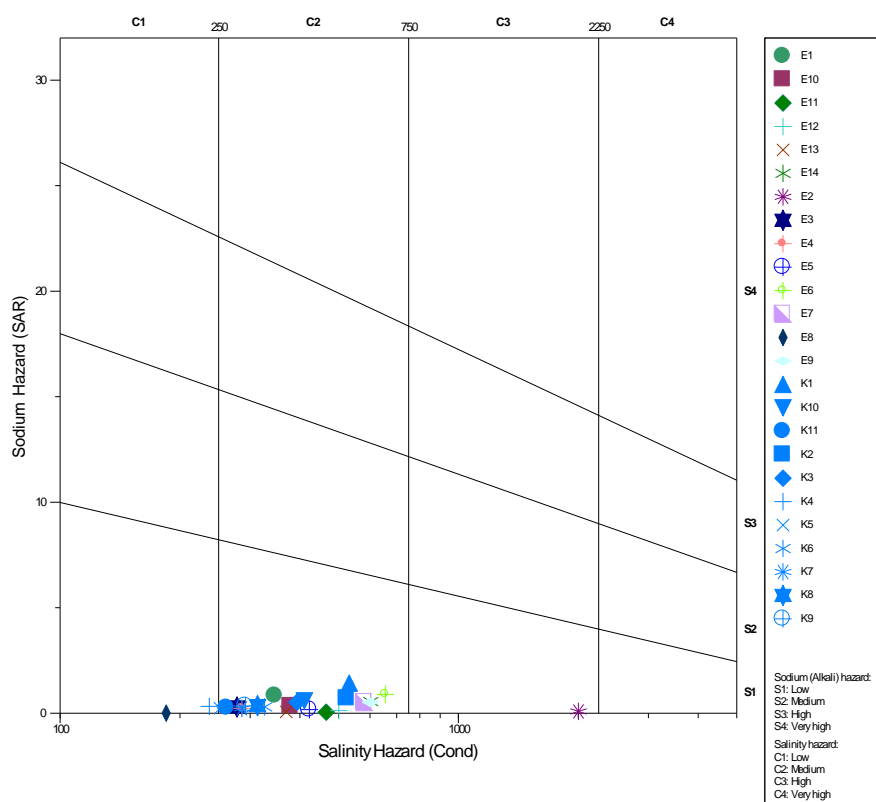
Δείγμα	TOC	F	NO2	NO3	As	Br	Cu	Fe	NH4
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	ug/l	mg/l	ug/L	mg/l	mg/l
K1	<0,5	<0,05	<0,2	<5	<4	<1	4,06	0,00001	<0,02
E1	<0,5	<0,05	<0,2	13,98	<4	<1	4,8	0,00013	0,0911
E10	<0,5	<0,05	<0,2	6,44	<4	<1	3,97	0,00007	<0,02
E11	<0,5	0,11	<0,2	8,29	<4	<1	<2	0,00005	<0,02
E2	<0,5	<0,05	<0,2	5,93	<4	<1	<2	0,00011	<0,02
K10	<0,5	<0,05	<0,2	8,85	<4	0,15	2,6	0,00011	<0,02
E3	<0,5	0,089	<0,2	7,21	<4	<1	<2	0,00003	<0,02
E4	NM	NM	<0,05	<5	NM	NM	NM	NM	<0,1
E5	<0,5	0,08	<0,2	9,81	<4	<1	<2	0,00002	<0,02
E6	<0,5	<0,05	<0,2	6,44	<4	<1	5,17	0,00007	<0,02
E12	<0,5	<0,05	<0,2	7,97	<4	<1	<2	0,00007	<0,02
K2	<0,5	0,11	<0,2	<5	<4	0,18	<2	0,00006	<0,02
E7	0,635	<0,05	<0,2	9,71	<4	0,21	<2	0,00009	<0,02
K3	<0,5	<0,05	<0,2	8,25	<4	<1	<2	0,00008	<0,02
D1	NM	NM	0,002	<0,52	<0	NM	0,00415	0,03	0,07
D2	NM	NM	0,002	2	<0	NM	0,00103	0,03	0,08
GR Lim		1,5	0,5	50		0,01	2000	0,2	
K4	<0,5	<0,05	<0,2	9,61	<4	<1	<2	0,00014	<0,02
K5	NM	NM	0	8,4	NM	NM	NM	NM	NM
K6	<0,5	0,067	<0,2	7,69	<4	<1	6,39	0,00002	0,0439
K7	NM	NM	<0,05	<5	NM	NM	NM	NM	<0,1
E8	<0,5	<0,05	<0,2	1,8	<4	<1	11,1	0,00006	<0,02
K8	0,685	<0,05	<0,2	6,34	<4	<1	<2	0,00008	<0,02
E9	<0,5	<0,05	<0,2	11,53	<4	0,1	<2	0,00018	<0,02
K9	<0,5	0,19	<0,2	5,25	<4	<1	5,61	0,00035	<0,02
E13	<0,5	<0,05	<0,2	10,68	<4	<1	<2	0,00011	<0,02
K11	<0,5	<0,05	<0,2	5,54	<4	<1	2,02	0,00013	<0,02
E14	0,661	<0,05	<0,2	0,51	<4	<1	2,6	0,00014	0,037

6.3 ΥΔΡΟΧΗΜΙΚΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ

6.3.1 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ WILCOX

Αν και το διάγραμμα SAR (σχήμα 6.1) αφορά στην καταλληλότητα του για νερού για άρδευση, γίνεται αναφορά σε αυτό λόγω του ότι το νερό των δεξαμενών προορίζεται και για

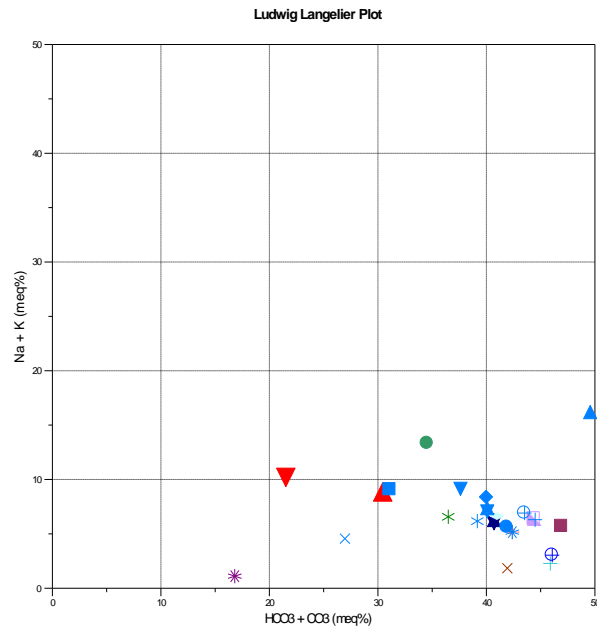
αυτόν τον σκοπό. Τα περισσότερα νερά, ανάμεσά τους και αυτά της δεξαμένης (D1 και D2), ανήκουν στην κατηγορία S1-C2, που σημαίνει μέτριας έως καλής ποιότητας νερό και το οποίο συνιστάται να χρησιμοποιείται με προφύλαξη στα βαριά εδάφη που δεν αποστραγγίζονται καλά και με επιφύλαξη στα ευαίσθητα φυτά. Τα νερά E8 και K4, K5 βρίσκονται στην κατηγορία S1-C1 δηλαδή καλής ποιότητας νερά. Το E2 απεικονίζεται στην περιοχή S1-C3, δηλαδή μέτριας έως πολύ μέτριας ποιότητας, αλλά το νερό αυτό είναι εμπλουτισμένο, οπότε πέρα από την λήψη του σε συγκεκριμένες δίαιτες δεν διαθέτει άλλες χρήσεις.



Σχήμα 6.1 Διάγραμμα SAR

6.3.2 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ LUDWIG- LANGE LIER

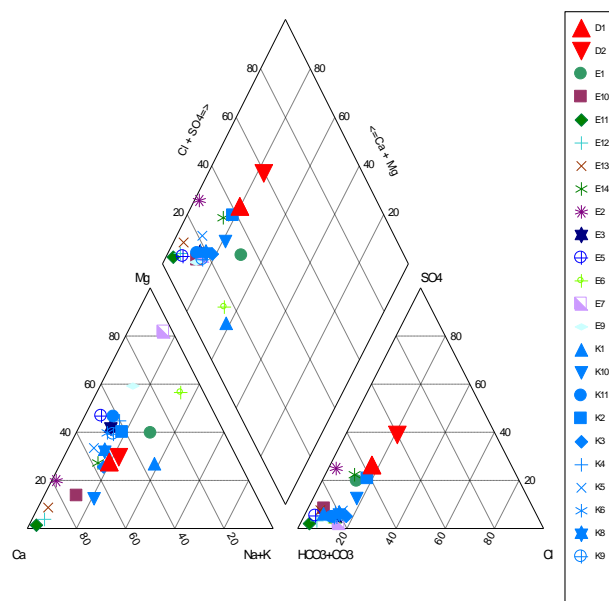
Όπως φαίνεται στο διάγραμμα Ludwig-Langellier (σχήμα 6.2), τα περισσότερα νερά περιέχουν >35% HCO_3 και >40% SO_4 , και ανήκουν στα υπόγεια νερά ενώ τα D2 και E2 απεικονίζονται στη περιοχή που αφορά τη διάλυση γύψου.



Σχήμα 6.2 Διάγραμμα Ludwig-Langellier

6.3.3 Διάγραμμα PIPER

Από το διάγραμμα Piper (σχήμα 6.3) παρατηρούνται οι τύποι των νερών. Προκύπτει ότι τα νερά E10, E11, K10, E12, E13 είναι τύπου Ca-HCO₃, ενώ τα νερά E6, E7, και E8 είναι τύπου Mg-HCO₃. Τα νερά E2, E3, E4, K3, K6, K7 και K8 είναι σύστασης Ca-Mg-HCO₃, ενώ τα E5, K4, K5, E9 και K11 είναι τύπου Mg-Ca-HCO₃. Τα νερά K1 είναι τύπου Na-Ca-Mg-HCO₃ ενώ το E1 Mg-Na-Ca-HCO₃. Τα νερά K2 καθώς και D1 και D2 κατατάσσονται στα ενδιάμεσης σύστασης νερά δηλαδή : Ca-Mg-HCO₃-SO₄.

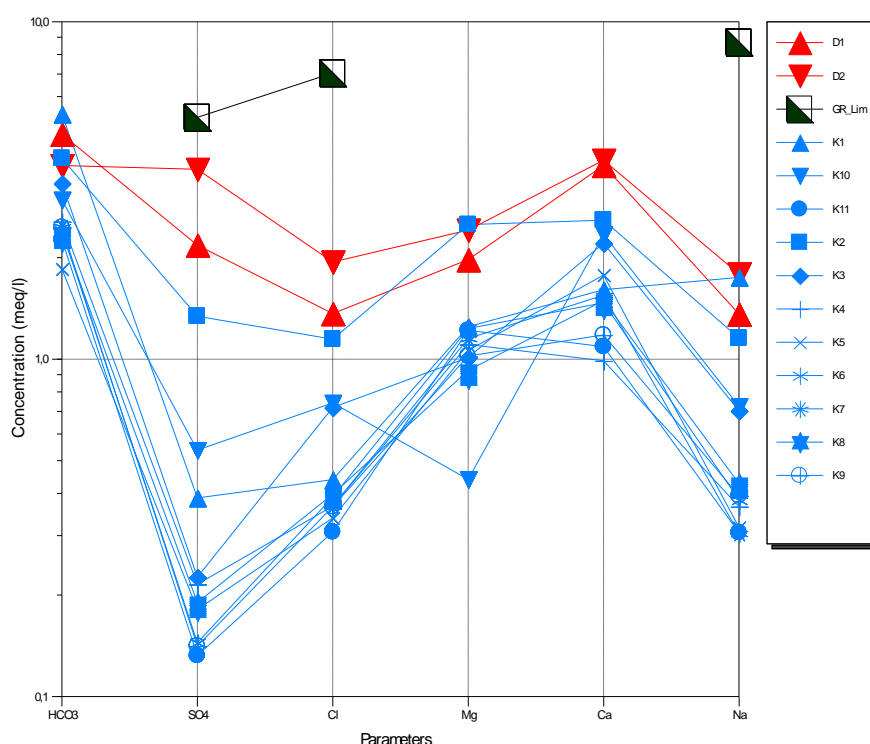


Σχήμα 6.3 Διάγραμμα Piper

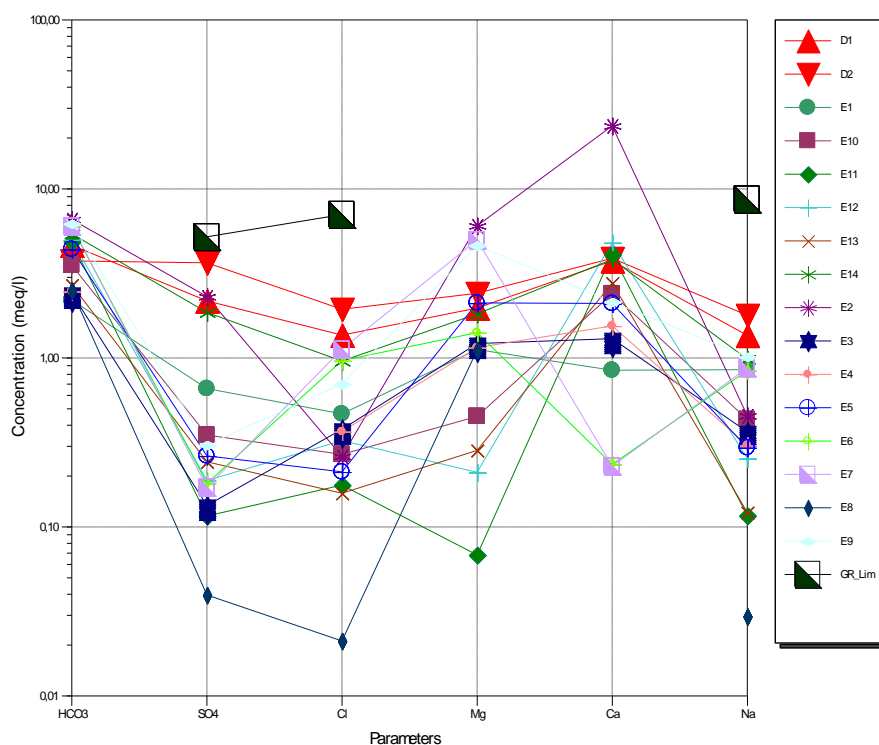
6.3.4 Διάγραμμα SCHOELLER

Στο διάγραμμα Schoeller του σχήματος 6.4 απεικονίζεται σχηματικά η περιεκτικότητα σε ιόντα, των εμφιαλωμένων νερών από την Κρήτη σε λογαριθμική κλίμακα και μονάδα meq/l. Παρατηρείται ότι τα νερά D1, D2 και K2 έχουν την μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε ανιόντα σε σχέση με τα άλλα νερά. Στο αντίστοιχο σχήμα 6.5 απεικονίζεται η περιεκτικότητα των νερών της ηπειρωτικής Ελλάδας για εποπτικούς λόγους.

Στο επόμενο κεφάλαιο η περιεκτικότητα κάθε δείγματος στα κύρια ιόντα περιγράφεται αναλυτικότερα μέσω της χρήσης συγκριτικών ραβδογραμμάτων που δημιουργήθηκαν με χρήση του προγράμματος excel.



Σχήμα 6.4 Διάγραμμα Schoeller για τα νερά από την Κρήτη.



Σχήμα 6.5 Διάγραμμα Schoeller για τα νερά από την ηπειρωτική Ελλάδα

6.4 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΧΗΜΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ

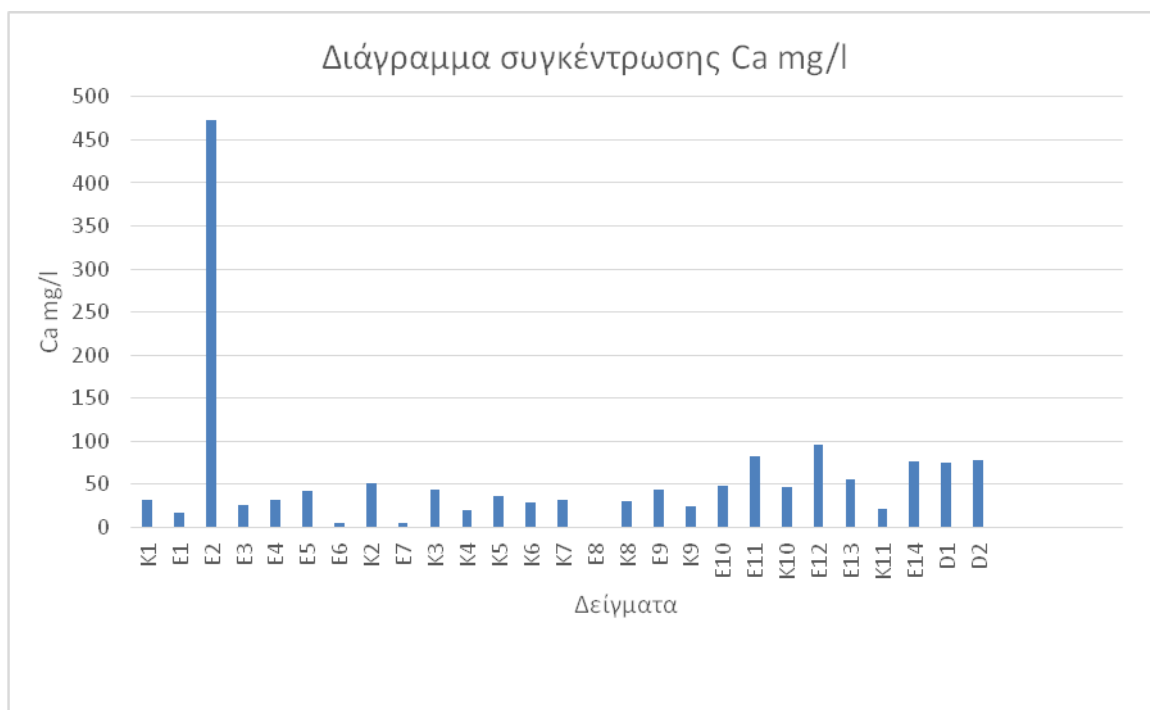
Η τελευταία φάση της ερευνητικής διαδικασίας αφορά στην σύγκριση των χημικών αναλύσεων δύο δειγμάτων υδάτων (D1 και D2) που πάρθηκαν πριν και εντός της δεξαμενής χλωρίωσης. Το δείγμα (D1) πάρθηκε πριν την δεξαμενή ενώ το δεύτερο δείγμα (D2) πάρθηκε μετά την χλωρίωση εντός της δεξαμενής. Οι αναλύσεις των εμφιαλωμένων νερών αντλήθηκαν από παλαιότερη διπλωματική εργασία της Σχολής Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πολυτεχνείου Κρήτης («Χημική ανάλυση σε εμφιαλωμένα νερά», Παπαϊωάννου Αλέκα, 2007), στην οποία είχε διενεργηθεί ποιοτικός έλεγχος σε εικοσιπέντε εμφιαλωμένα νερά, που κυκλοφορούν κυρίως στην αγορά των Χανίων και κάποια στην ευρύτερη Ελλάδα, καθώς και τρία δείγματα εμφιαλωμένων νερών που κυκλοφορούν στην Κύπρο.

Η ανάλυση των δειγμάτων, που πραγματοποιήθηκε τόσο με τα φορητά όργανα, όσο και με τα όργανα του εργαστηρίου, μέσω των μεθόδων που περιγράφηκαν στην προηγούμενη ενότητα, έδωσε αποτελέσματα για συγκεκριμένες παραμέτρους των δειγμάτων που εξετάστηκαν.

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται υπό την μορφή διαγραμμάτων, ενώ παράλληλα παρατίθενται τα αποτελέσματα των αναλύσεων των εμφιαλωμένων

νερών που συνεξετάστηκαν, καθώς και τα όρια (όπου δίνονται) που προτείνονται από την Ελληνική Νομοθεσία, ώστε να διευκολύνεται η άμεση σύγκρισή τους. Τα νερά στον οριζόντιο άξονα των διαγραμμάτων έχουν ομαδοποιηθεί βάσει του είδους τους, ξεκινώντας από αριστερά προς τα δεξιά με τα ασβεστομαγνησιούχα ή μαγνησιοασβεστιακά, έπειτα με τα ανθρακικά και τέλος με τα μεικτά στα οποία ανήκουν τα νερά της δεξαμενής που αφορούν την παρούσα διπλωματική εργασία (D1 και D2).

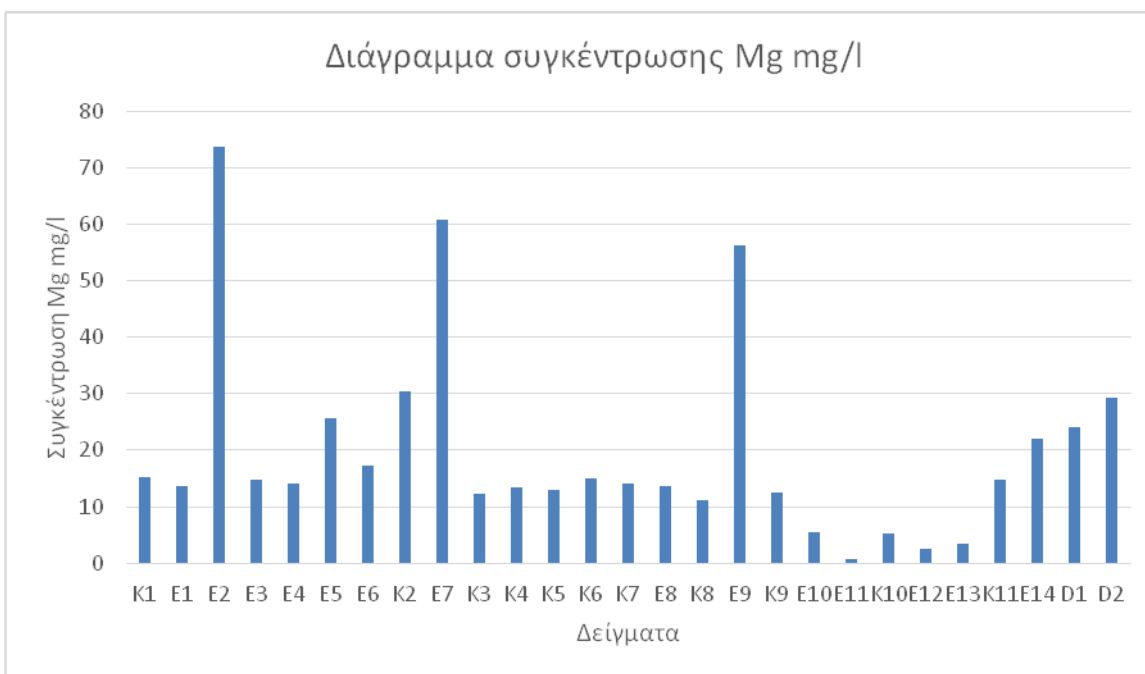
Όσον αφορά στις συγκεντρώσεις Ca των δειγμάτων παρατηρούμε ότι οι τιμές τους είναι αρκετά κοντά μεταξύ τους, καθώς το πρώτο δείγμα (D1) εμφανίζει συγκέντρωση Ca της τάξης των 75,21 mg/l, ενώ το δεύτερο (D2) της τάξης των 77,91 mg/l. Συγκριτικά με τις συγκεντρώσεις Ca των εμφιαλωμένων νερών που συνεξετάστηκαν, παρατηρούμε ότι πέντε εμφανίζουν τιμές υψηλότερες από αυτήν του δείγματος της πρώτης δεξαμενής (D1), με το E2 να εμφανίζει την υψηλότερη συγκέντρωση Ca από όλα (473,51 mg/l), ενώ το δείγμα της δεξαμενής (D2) είναι το τέταρτο σε σειρά με την μεγαλύτερη συγκέντρωση σε Ca. Στο διάγραμμα του παρακάτω σχήματος δεν ορίζονται νομοθετικά όρια, καθώς το ασβέστιο δεν εμφανίζει τοξικότητα.



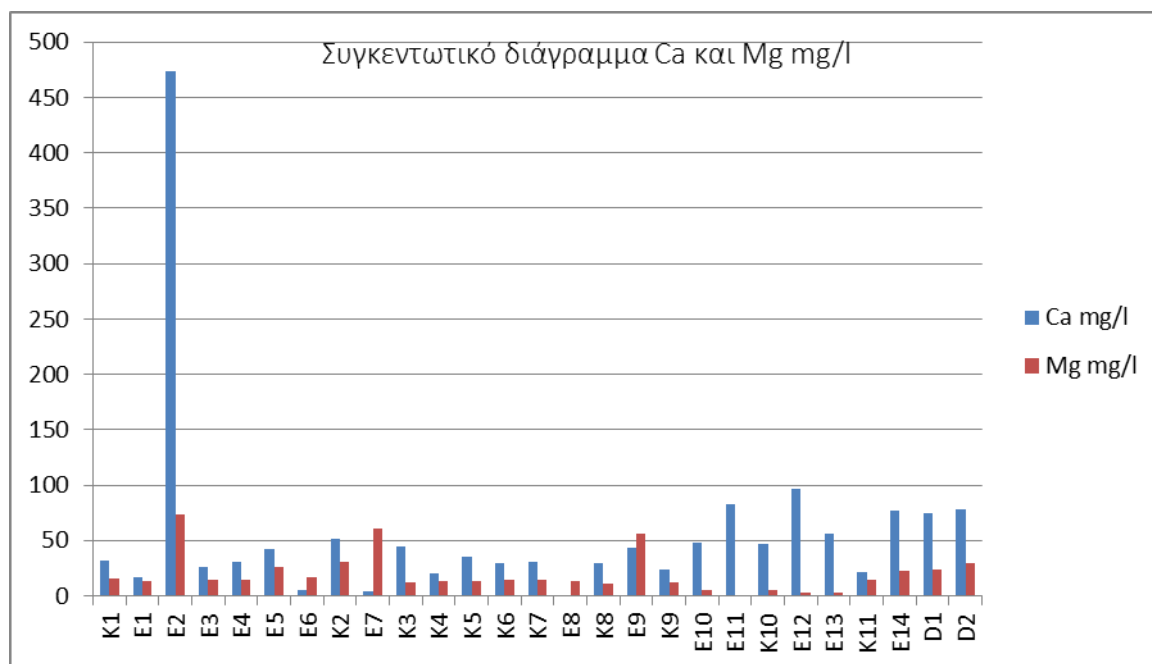
Σχήμα 6.6 Διάγραμμα συγκέντρωσης Ca

Το μαγνήσιο παρουσιάζει χαμηλές συγκεντρώσεις για τα δύο δείγματα (D1 και D2), όπως και για τα περισσότερα από τα εμφιαλωμένα νερά. Με εξαίρεση τα νερά E2, E7 και E9 τα οποία είναι εμπλουτισμένα σε μαγνήσιο τα υπόλοιπα δείγματα

έχουν μικρή συγκέντρωση σε αυτό. Ειδικότερα, το πρώτο δείγμα (D1) εμφανίζει συγκέντρωση Mg της τάξης των 23,98, ενώ το δεύτερο (D2) των 29,32 mg/l. Στο διάγραμμα του παρακάτω σχήματος δεν ορίζονται νομοθετικά όρια, καθώς το μαγνήσιο δεν εμφανίζει τοξικότητα.

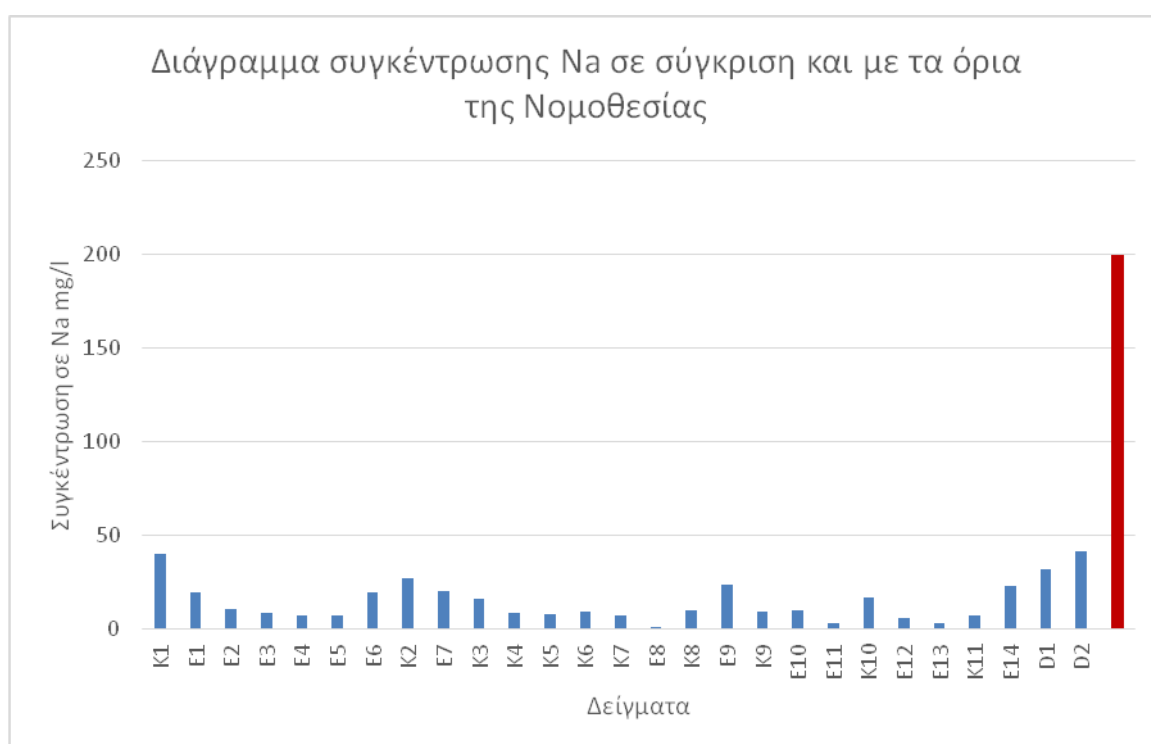


Σχήμα 6.7 Διάγραμμα συγκέντρωσης Mg



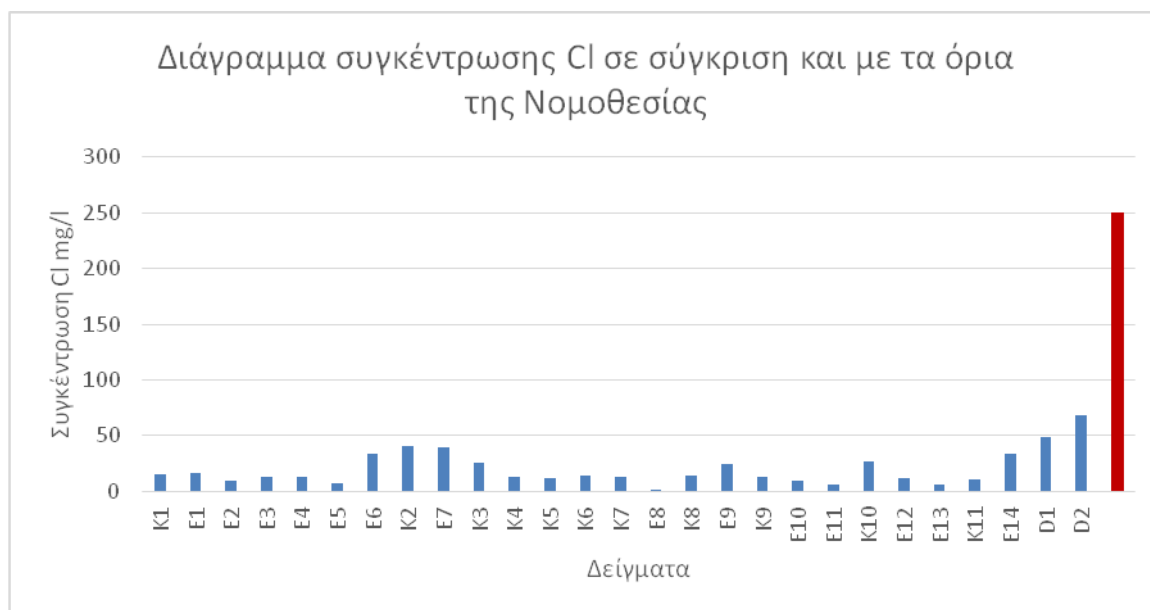
Σχήμα 6.8 Διαγραμμα ασβεστίου και μαγνησίου συγκεντρωτικά

Όσον αφορά στην συγκέντρωση του νατρίου των δειγμάτων που εξετάστηκαν, κυμαίνεται και στα δύο σε αρκετά χαμηλότερα επίπεδα από το επιτρεπτό όριο. Ειδικότερα, το πρώτο δείγμα (D1) εμφανίζει συγκέντρωση Na της τάξης των 31,28 mg/l, ενώ το δεύτερο δείγμα (D2) παρουσιάζει τιμή 41,13 mg/l, με το Νομοθετικό όριο να τοποθετείται στα 200 mg/l. Παρ' όλ' αυτά, παρατηρούμε ότι η συγκεντρώσεις του Na στα δείγματα που λάβαμε είναι υψηλότερες από τις συγκεντρώσεις των περισσότερων από τα συγκρινόμενα εμφιαλωμένα νερά. Μόνο το νερό K1 εμφανίζει συγκέντρωση Na της τάξης των 40,17 mg/l, δηλαδή υψηλότερη από την αντίστοιχη του πρώτου δείγματος (D1), αλλά χαμηλότερη από εκείνη του δεύτερου (D2).



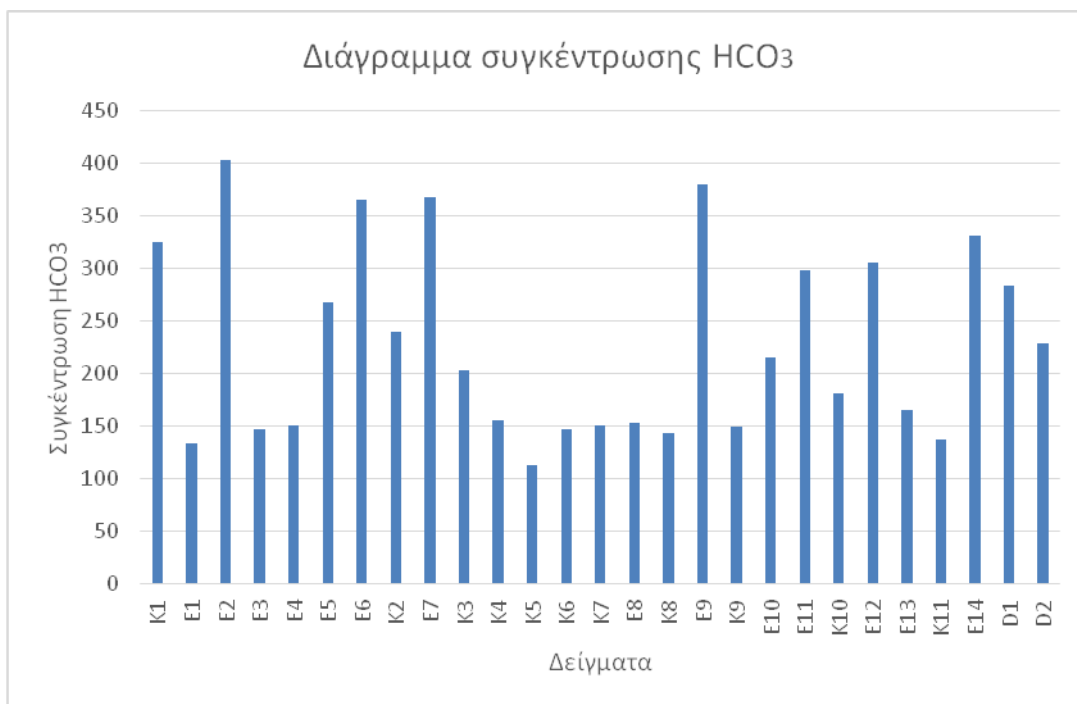
Σχήμα 6.9 Διάγραμμα συγκέντρωσης Na

Όσον αφορά στις συγκεντρώσεις Cl και τα δύο δείγματα D1 και D2 παρουσιάζουν πολύ χαμηλότερες τιμές από τα επιτρεπτά όρια όπως ορίζονται από την Νομοθεσία. Ειδικότερα, το πρώτο δείγμα (D1) πριν την δεξαμενή εμφανίζει συγκεντρώση Cl της τάξης των 48,4 mg/l, ενώ το δεύτερο δείγμα (D2) μετά την χλωρίωση, εντός της δεξαμενής εμφανίζει συγκέντρωση Cl της τάξης των 68,8 mg/l, όταν τα επιτρεπτά όρια κυμαίνονται στα 200 mg/l. Συγκριτικά με τις συγκεντρώσεις Cl στα εμφιαλωμένα νερά που συνεξετάστηκαν, παρατηρούμε ότι και τα δύο δείγματα παρουσιάζουν τις υψηλότερες συγκεντρώσεις από όλα.



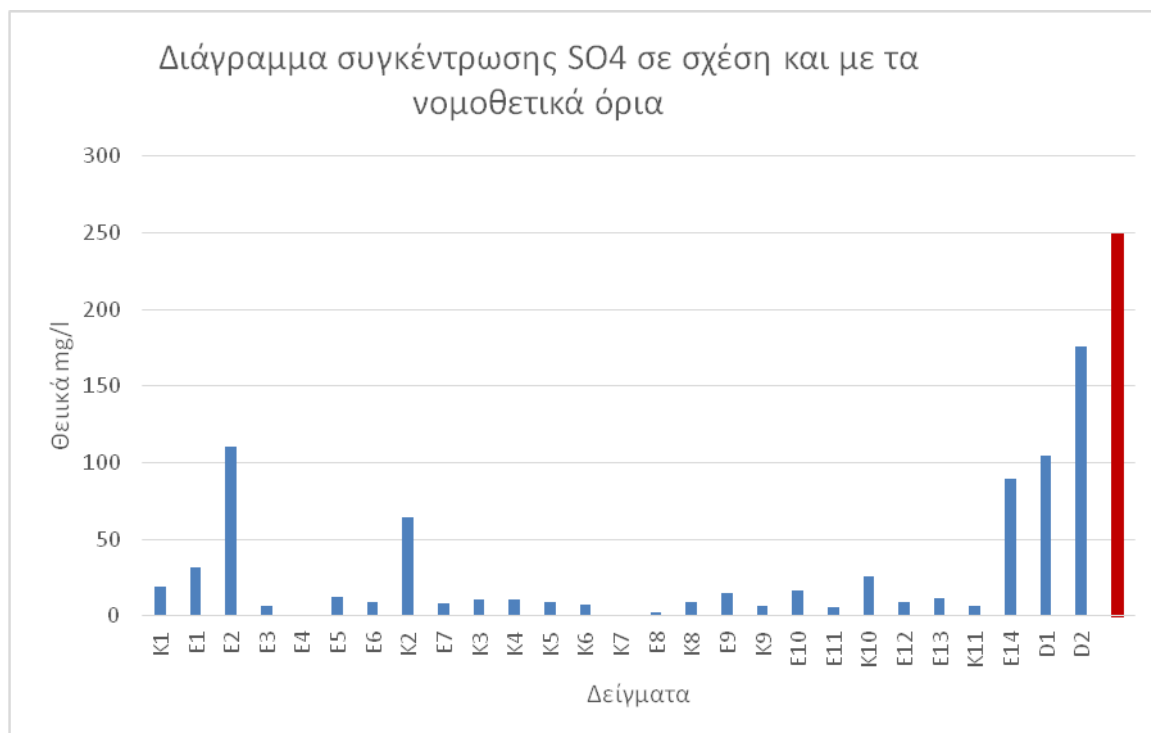
Σχήμα 6.10 Διάγραμμα συγκέντρωσης Cl

Όσον αφορά στο ιόν, διττανθρακικό άλας (HCO_3), που αναφέρεται και ως όξινο ανθρακικό ιόν και αποτελεί το κύριο αλκαλικό συστατικό σχεδόν σε όλες τις παροχές νερού, τα δείγματα παρουσίασαν τιμές της τάξης των 283,4 mg/l (D1) και 228,9 mg/l (D2). Συγκριτικά με τις τιμές των εμφιαλωμένων νερών που εξετάστηκαν οχτώ ξεπερνούν την συγκέντρωση HCO_3 σε σχέση με το δείγμα D1 και δέκα σε σχέση με το δείγμα D2. Η αλκαλικότητα στις παροχές πόσιμου ύδατος υπερβαίνει σπάνια την αλκαλικότητα διττανθρακικών αλάτων 300 mg/l, ενώ συνήθως ακολουθεί τις τιμές της ολικής σκληρότητας.



Σχήμα 6.11 Διάγραμμα συγκέντρωσης HCO₃

Όσον αφορά στα θειικά ιόντα που μετρήθηκαν στα δείγματα, παρατηρούμε ότι κανένα από τα δύο δείγματα δεν ξεπερνά τα όρια που προτείνονται από την ελληνική Νομοθεσία. Ειδικότερα το πρώτο δείγμα (D1) εμφανίζει συγκέντρωση θειικών ιόντων 104,52 mg/l, ενώ το δεύτερο δείγμα (D2) 175,44 mg/l, όταν τα επιτρεπτά όρια κυμαίνονται στα 250 mg/l. Παρ'όλ' αυτά, συγκριτικά με τα εμφιαλωμένα νερά που συνεξετάστηκαν εμφανίζουν υψηλότερες συγκεντρώσεις SO₄ και μόνο το E2 με συγκέντρωση θειικών 110,79 mg/l ξεπερνά την τιμή του πρώτου δείγματος (D1). Παρατηρούμε ότι η συγκέντρωση των θειικών ιόντων κυμαίνεται σε χαμηλά επίπεδα για τα περισσότερα από τα εξεταζόμενα δείγματα των εμφιαλωμένων νερών και ότι ακόμα και τα δείγματα που παρουσιάζουν πιο υψηλές συγκεντρώσεις συγκριτικά με τα υπόλοιπα δεν πλησιάζουν τα νομοθετικά όρια. Ακόμα και το δεύτερο δείγμα (D2) που εμφανίζει την υψηλότερη συγκέντρωση θειικών σε σχέση με όλα τα υπόλοιπα βρίσκεται αρκετά χαμηλά σε σχέση με το μέγιστο επιτρεπτό όριο.



Σχήμα 6.12 Διάγραμμα συγκέντρωσης θειικών ιόντων

Όσον αφορά στην περιεκτικότητα σε σίδηρο όλα τα δείγματα έχουν πολύ μικρή συγκέντρωση εκτός των δύο D1 και D2 που περιέχει έως και 100 φορές περισσότερο σίδηρο σε σχέση με τα υπόλοιπα.

Παρόλα αυτά με τη χρήση του λογισμικού Aquachem υπολογίστηκε ο δείκτης κορεσμού για μια σειρά ορυκτών και διαπιστώθηκε ότι τα νερά είναι υπέρκορα σε ορυκτά του σιδήρου όπως ο αιματίτης ($7.68 < SI < 14.5$) και ο γκαιτίτης ($2.9 < SI < 6.25$). Επίσης παρατηρείται ότι τα περισσότερα νερά είναι οριακά κορεσμένα σε φθορίτη. Ακολουθεί αναλυτικός πίνακας με τους δείκτες κορεσμού στα ορυκτά φθορίτη, γκαιτίτη και αιματίτη.

Πίνακας 6.3 Δείκτες κορεσμού σε ορυκτά

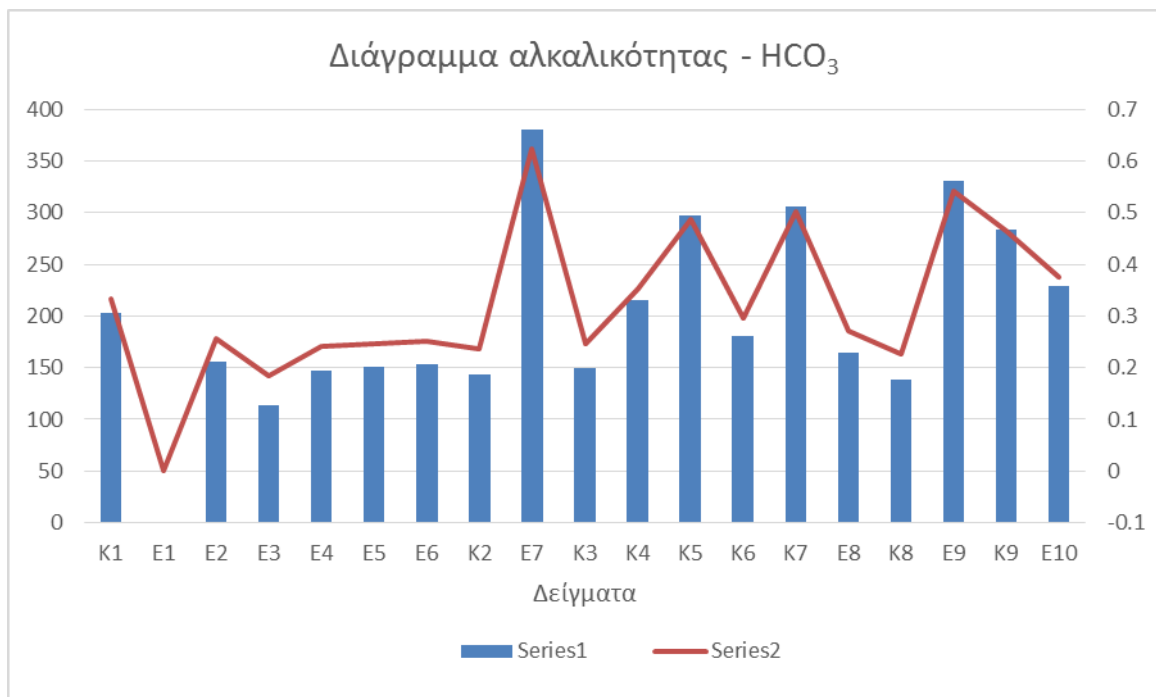
Station ID	SI (Φθορίτης)	SI (Γκαϊτίτης)	SI (Αιματίτης)
K1	1,4498	2,84	7,6891
E1	1,2158	4,0373	10,0845
E10	1,7343	3,4739	8,9319
E11	-2,8225	3,5611	9,1316
E2	2,3909	3,5626	9,1132
K10	1,7256	3,659	9,3001
E3	-3,4058	3,1629	8,3108
E5	-3,3484	2,8923	7,7671
E6	0,636	3,6622	9,3315
E12	1,9938	3,4497	8,8853
K2	-3,0345	3,3787	8,742
E7	0,5911	3,5324	9,0508
K3	1,6862	3,5298	9,0431
D1	NM	6,2554	14,5146
D2	NM	6,2264	14,4539
K4	1,3665	3,8157	9,6159
K6	-3,5986	2,9639	7,9109
E8	0,7259	3,7187	9,4477
K8	1,5577	3,5227	9,0251
E9	1,5612	3,7734	9,5285
K9	-2,8519	4,4859	10,9826
E13	1,8107	3,7007	9,3858
K11	1,4093	3,7982	9,5814
E14	1,8463	3,623	9,2238

Όσον αφορά στην αλκαλικότητα των δύο δειγμάτων παρατηρούμε ότι εμφανίζουν υψηλές τιμές σε σχέση με την πλειονότητα των συγκρινόμενων νερών. Παρ'όλ' αυτά οχτώ από τα εμφιαλωμένα νερά εμφανίζουν τιμές μεγαλύτερες από το δείγμα D1, ενώ δέκα από τα εμφιαλωμένα εμφανίζουν τιμές μεγαλύτερες από το δείγμα D2.



Σχήμα 6.13 Διάγραμμα αλκαλικότητας

Επίσης το διάγραμμα του σχήματος 6.14 παρουσιάζει την συγκέντρωση του HCO_3 σε συνάρτηση με την αλκαλικότητα. Όπως βλέπουμε για κάθε δείγμα όσο πιο μεγάλη αλκαλικότητα παρουσιάζει, τόσο πιο μεγάλη είναι και η συγκέντρωση του HCO_3 .



Σχήμα 6.14 Διάγραμμα αλκαλικότητας- HCO_3

Αντίστοιχα χαμηλή και κατώτερη από αυτή που ορίζει η νομοθεσία, είναι και η περιεκτικότητα σε νιτρικά ιόντα. Στα δείγματα K1, E3, E4, K2, K6 και του δείγματος D1 είναι κάτω από τα όρια ανίχνευσης.

Η συγκέντρωση φθορίου επίσης είναι εντός και πολύ κατώτερες από τις μέγιστες επιτρεπόμενες ενώ σε αρκετές περιπτώσεις είναι εκτός των ορίων ανίχνευσης. Αν και τα νερά των δειγμάτων D1 και D2 δεν αναλύθηκαν για την περιεκτικότητά τους σε φθόριο, σημειώνεται ότι οι γεωτρήσεις που τις τροφοδοτούν περιέχουν φθόριο της τάξης των <2mg/l (Καμίτση, 2017).

Όσον αφορά στη συγκέντρωση του χαλκού όπου τα νομοθετικά όρια είναι <0,0013mg/l δηλαδή < 1.3μg/l, όλα τα δείγματα βρίσκονται εντός αυτών.

Ο ολικός οργανικός άνθρακας στα περισσότερα δείγματα είναι κατώτερα της ανιχνεύσιμης τιμής (0,5mg/l) ενώ στα δείγματα E7 και K8 η περιεκτικότητα είναι της τάξης των 0.6-0.7mg/l.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Ο στόχος της παρούσας εργασίας είναι διπλός: πρωταρχικός ήταν ο φυσικοχημικός χαρακτηρισμός δειγμάτων νερού από υδρογεωτρήσεις που επηρεάζονται πολύ πιθανώς από υδροθερμικό ταμιευτήρα. Τα ύδατα των υδρογεωτρήσεων συγκεντρώνονται σε δεξαμενή χλωρίωσης και στην συνέχεια τροφοδοτούν το δίκτυο μιας μικρής κοινότητας/χωριού του νομού Ηρακλείου. Τα δείγματα που ελήφθησαν (D1 και D2) πάρθηκαν πριν και εντός της δεξαμενής χλωρίωσης. Όπως προκύπτει από τις χημικές αναλύσεις κύριων ιόντων το δείγμα (D1) που πάρθηκε πριν την δεξαμενή έχει περιεκτικότητα σε χλωρίοντα 48,4 ppm ενώ το δεύτερο δείγμα (D2) που πάρθηκε μετά την χλωρίωση εντός της δεξαμενής έχει περιεκτικότητα σε χλωρίοντα 68,8, ppm. Και οι δύο τιμές είναι εντός των νομοθετικών ορίων που έχουν θεσπιστεί για τα χλωρίοντα. Όπως αναφέρθηκε και στην εισαγωγή ο δεύτερος επίσης κύριος στόχος ήταν η σύγκριση των τιμών των αναλύσεων των δύο αυτών δειγμάτων με υφιστάμενα δεδομένα εμφιαλωμένων νερών που κυκλοφορούν ευρέως.

Συγκρίνοντας τις συγκεντρώσεις των κύριων ιόντων των νερών και της περιεκτικότητάς τους σε μέταλλα, που παρουσιάστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο με την μορφή ραβδοδιαγραμμάτων, για λόγους καλύτερης εποπτείας, διαπιστώθηκε ότι τα δείγματα των πιθανώς υδροθερμικών υδάτων (δείγματα D1 και D2) εμφανίζουν υψηλές τιμές τόσο στα κύρια ιόντα, όσο και στα ολικά διαλυμένα στερεά (TDS), σε σχέση με τα περισσότερα από τα εμφιαλωμένα νερά με τα οποία έγινε η σύγκριση. Λαμβάνοντας υπ' όψιν ότι τα νερά της δειγματοληψίας προέρχονται από ένα πιθανό ταμιευτήρα χαμηλής ενθαλπίας είναι πιθανώς αυξημένης γεωθερμικής βαθμίδας. Αυτή η διαπίστωση μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η πιθανώς αυξημένη θερμοκρασία του χαμηλής ενθαλπίας γεωθερμικού ρευστού νερού έχει προκαλέσει την αύξηση της διαλυτότητας και κατ'επέκταση την αύξηση της περιεκτικότητας σε διαλυμένα ιόντα.

Παρά το γεγονός ότι τα υδροθερμικά νερά εμφανίζουν υψηλότερες συγκεντρώσεις ιόντων συγκριτικά με την πλειονότητα των εμφιαλωμένων, παρατηρήθηκε ότι οι τιμές τους βρίσκονται εντός των νομοθετικών ορίων και δεν τα ξεπερνούν. Αν και χαρακτηρίζονται από υψηλή αλατότητα και TDS, σε σχέση με τα εμφιαλωμένα, που αποτελούν ελαφριά νερά, τα νερά αυτά δεν καθίστανται επικίνδυνα σύμφωνα με όρια της νομοθεσίας. Επομένως, συνάγουμε το συμπέρασμα ότι τα πιθανώς γεωθερμικά νερά εντός τη πεδιάδας της Μεσσαράς που τροφοδοτούν το υδροδοτικό δίκτυο ενός οικισμού του νομού Ηρακλείου χαρακτηρίζονται σύμφωνα με τα χημικά τους χαρακτηριστικά κατάλληλα για ύδρευση. Όσον αφορά την άρδευση το νερό των δειγμάτων D1 και D2 είναι μέτριας έως καλής ποιότητας νερό το οποίο συνιστάται να χρησιμοποιείται με προφύλαξη στα βαριά εδάφη που δεν αποστραγγίζονται καλά και με επιφύλαξη στα ευαίσθητα φυτά.

Βιβλιογραφία

Ελληνική

Αγριμάκη Α. (2016): Μελέτη γεωλογικών παραμέτρων και διερεύνηση της θερμοκρασίας του υπογείου υδροφορέα στη νοτιοδυτική Μεσσαρά, Κρήτη, Διπλωματική εργασία Πολυτεχνείο Κρήτης.

Αμβράζης Μ. (2015): Μελέτη γεωθερμικών υδάτων στην περιοχή νοτιοδυτικής Μεσσαράς, Κρήτη. Διπλωματική εργασία Σχολής Μηχανικών Ορυκτών Πόρων Πολυτεχνείου Κρήτης, 125 σελ.

Βλασταράς Π.Ν. (2006): Γεωφυσική έρευνα για τον εντοπισμό γεωθερμικού πεδίου στο Ακρωτήρι Χανίων. Διπλωματική εργασία του Τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων Πολυτεχνείου Κρήτης, 91 σελ.

Βουδούρης Κ. (2015): Εκμετάλλευση & Διαχείριση Υπόγειου Νερού. Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη, σελ. 35-67.

Καρυδάκης Γ. (2005): Γεωθερμική ενέργεια, εκδόσεις Αθλότυπο, Αθήνα.

Κριτσωτάκης Μ. (2009): Διαχείριση Υδατικών Πόρων Μεσσαράς Κρήτης. Διδακτορική Διατριβή. Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Διατμητικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών «Έλεγχος Ποιότητας & Διαχείριση Περιβάλλοντος» .

Κυρκιμτζή Ι.Χ. (2013): Καθορισμός γεωλογικών παραμέτρων εμφάνισης γεωθερμικών ρευστών, εντός σχηματισμών της Λεκάνης Μεσσαράς. Διατριβή ειδίκευσης, μεταπτυχιακό πρόγραμμα Γεωτεχνολογία και Περιβάλλον, Τμήμα Μηχ. Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης.

Μανούτσογλου Ε. (2012): Αδημοσίευτες Σημειώσεις Σεμιναρίου Γεωλογίας της Κρήτης, της Ερευνητικής Μονάδας Γεωλογίας της Σχολής Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης.

Μπουτσάκης Κ. (2016): Διερεύνηση θερμοκρασιακών μεταβολών σε υδροφορείς της Μεσσαράς, Διπλωματική εργασία Πολυτεχνείο Κρήτης

Παπαϊωάννου Αλέκα (2007). Χημική ανάλυση σε εμφιαλωμένα νερά. Διπλωματική εργασία Σχολής Μηχανικών Περιβάλλοντος Πολυτεχνείου Κρήτης

Σμπώκος Μ. (2015): Μελέτη γεωλογικών παραμέτρων και διερεύνηση της

θερμοκρασίας του υπόγειου υδροφορέα στην νοτιοδυτική Μεσσαρά, Κρήτη, Διπλωματική εργασία Σχολής Μηχανικών Ορυκτών Πόρων Πολυτεχνείου Κρήτης .

Φυτίκας Μ. και Ανδρίτσος Ν. (2004): Γεωθερμία–Γεωθερμικοί πόροι, Γεωθερμικά Ρευστά, Εφαρμογές, Περιβάλλον. Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη.

Φυτρολάκης Ν. (1980): Η γεωλογική δομή της Κρήτης. - Διατριβή επί υφηγεσία. ΕΜΠ, Αθήνα.

Διεθνής

Dornsiepen U.F., Manutsoglu E., Mertmann D. (2001): Permian – Triassic palaeogeography of the external Hellenides, Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 172, p 327-338.

Meulenkamp J.E. (1979): Field Guide to the Neogene of Crete. Publ. Dep. Geol. Pal. Univ. Athens, p 1-32.

Peterek, A. and Schwarze, J. (2004): Architecture and Late Pliocene to recent evolution of outer-arc basins of the Hellenic subduction zone (south-central Crete, Greece), Journal of Geodynamics, Volume 38, Issue 1, p. 19-55.

Seidel E., H. Kreuzer & W. Harre (1982): A late Oligocene/early Miocene high pressure belt in the external Hellenides, Geol. Jb., E23, 165-206.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

ΣΧΕΤΙΚΗ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ

Το ΦΕΚ 3282Β της 19/09/2017, που υπογράφουν οι υπουργοί Εσωτερικών, Οικονομίας και Ανάπτυξης, Υγείας καθώς και Περιβάλλοντος και Ενέργειας αναφέρεται στην «Ποιότητα νερού ανθρώπινης κατανάλωσης» σε συμμόρφωση προς τις διατάξεις της Οδηγίας 98/83/ΕΚ του Συμβουλίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης, της 3ης Νοεμβρίου 1998 όπως τροποποιήθηκε με την Οδηγία (ΕΕ) 2015/1787 (L260, 7.10.2015).

Παρακάτω παρατίθενται αποσπάσματα του ΦΕΚ που αφορούν στην ποιότητα του νερού

Σύμφωνα με το **Άρθρο 1** σκοπός της απόφασης που ελήφθη είναι:

α) η συμμόρφωση της Ελληνικής Νομοθεσίας με τις διατάξεις της Οδηγίας (ΕΕ) 2015/1787 της Επιτροπής (L260, 7.10.2015) για την τροποποίηση των παραρτημάτων II και III της Οδηγίας 98/83/ΕΚ του Συμβουλίου σχετικά με την ποιότητα του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης, και

*β) η αναδιατύπωση της κοινής υπουργικής απόφασης Υ2/2600/2001 (ΦΕΚ 892/Β/2001) σχετικά με την ποιότητα νερού ανθρώπινης κατανάλωσης όπως αυτή έχει τροποποιηθεί με τη ΔΥΓ2/ΓΠοικ 38295/22.3.2007 κοινή υπουργική απόφαση (ΦΕΚ 630/Β/26.4.2007) και έχει διορθωθεί στα ΦΕΚ 986/Β/2007 και ΦΕΚ 1215/Β/2012 με στόχο «**την προστασία της ανθρώπινης υγείας από τις δυσμενείς επιπτώσεις που οφείλονται στη ρύπανση ή/και μόλυνση του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης μέσω της εξασφάλισης ότι είναι υγιεινό και καθαρό**».*

Σύμφωνα με τους **ορισμούς του Άρθρου 2** (άρθρο 2 Οδηγίας 98/83/ΕΚ) νοούνται ως:

1. "Νερό ανθρώπινης κατανάλωσης": α) το νερό, είτε στη φυσική του κατάσταση είτε μετά από επεξεργασία, που προορίζεται για πόση, μαγείρεμα, προπαρασκευή τροφής ή άλλες οικιακές χρήσεις, ανεξάρτητα από την προέλευσή του και από το εάν παρέχεται από δίκτυο διανομής, από βυτίο, ή σε φιάλες ή δοχεία.

β) Το νερό που χρησιμοποιείται στις επιχειρήσεις παραγωγής τροφίμων για την παρασκευή, επεξεργασία, συντήρηση ή εμπορία προϊόντων ή ουσιών, που προορίζονται για ανθρώπινη κατανάλωση. Το νερό ανθρώπινης κατανάλωσης δεν εντάσσεται στην έννοια του τροφίμου, παρέχεται με υποχρέωση της Πολιτείας σε όλους τους πολίτες της επικράτειας ως δημόσιο αγαθό, μη υπαγόμενο στους κανόνες της αγοράς και διέπεται από τους νόμους της υγειονομικής μηχανικής.

Οι **εξαιρέσεις** από τους παραπάνω ορισμούς καθορίζονται στο **Άρθρο 3** (Άρθρο 3 Οδηγίας 98/83/EK) και αφορούν:

α) Στο **φυσικό μεταλλικό νερό** που αναγνωρίζεται ως τέτοιο με απόφαση του Υπουργού Υγείας, σύμφωνα με το π.δ. 433/1983 "Όροι εκμετάλλευσης και κυκλοφορίας στο εμπόριο των φυσικών μεταλλικών νερών" (ΦΕΚ163/ Α/1983), όπως αυτό τροποποιήθηκε με την κοινή υπουργική απόφαση Υ2/οικ. 329/1998 (ΦΕΚ 114 Β/1998), τα οποία εκδόθηκαν σε εναρμόνιση της Οδηγίας 80/777/ΕΟΚ της 15ης Ιουλίου 1980, όπως αυτή τροποποιήθηκε από την Οδηγία 96/70/Ε.Κ του Συμβουλίου της 23^{ης} Νοεμβρίου 1996, περί προσεγγίσεως των νομοθεσιών των κρατών μελών σχετικά με την εκμετάλλευση και τη θέση στο εμπόριο των φυσικών μεταλλικών νερών και αναδιατυπώθηκε με την Οδηγία 2009/54/EK.

β) Στο νερό, που θεωρείται **φάρμακο** κατά την έννοια της κοινής υπουργικής απόφασης ΔΥΓ3α/ΓΠ32221/13 (ΦΕΚ Β/1049), όπως ισχύει σήμερα.

γ) Στο νερό ανθρώπινης κατανάλωσης που λαμβάνεται από συγκεκριμένη (ατομική) πηγή με παροχή μικρότερη των 10 m³ ημερησίως κατά μέσο όρο, ή που εξυπηρετεί λιγότερα από 50 άτομα. Η ανωτέρω εξαίρεση είναι δυνατή μόνον εάν το νερό δεν διατίθεται στο πλαίσιο εμπορικής ή δημόσιας δραστηριότητας.

Οι **Γενικές υποχρεώσεις** του **Άρθρου 4** (Άρθρο 4 Οδηγίας 98/83/EK) καθορίζουν ότι:

1. οι υπεύθυνοι σε συνεργασία με τις αρμόδιες Αρχές λαμβάνουν τα αναγκαία μέτρα ώστε να εξασφαλιστεί ότι το νερό ανθρώπινης κατανάλωσης είναι υγιεινό και καθαρό. Για τους σκοπούς των ελαχίστων απαιτήσεων της παρούσας Υγειονομικής Διάταξης, το νερό ανθρώπινης κατανάλωσης είναι υγιεινό και καθαρό εφόσον:

α) είναι απαλλαγμένο μικροοργανισμών και παρασίτων, και οποιωνδήποτε ουσιών, σε αριθμούς και συγκεντρώσεις, που αποτελούν ενδεχόμενο κίνδυνο για την ανθρώπινη υγεία και

β) πληροί τις ελάχιστες απαιτήσεις του Παραρτήματος I μέρη Α και Β (Πίνακες Π1, Π2 και Π3), και εφόσον σύμφωνα με τις σχετικές διατάξεις των άρθρων 5 έως 9, οι υπεύθυνοι σε συνεργασία με τις αρμόδιες Αρχές λαμβάνουν όλα τα αναγκαία μέτρα προκειμένου να εξασφαλιστεί ότι, το νερό ανθρώπινης κατανάλωσης συμμορφούται προς τις απαιτήσεις της παρούσας διάταξης.

2. Οι υπεύθυνοι σε συνεργασία με τις αρμόδιες Αρχές εξασφαλίζουν ότι τα μέτρα που λαμβάνονται για την εφαρμογή της παρούσας διάταξης δεν οδηγούν, σε καμιά

περίπτωση, σε άμεση ή έμμεση υποβάθμιση της σημερινής ποιότητας του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης, στο μέτρο που αυτό αφορά στην προστασία της ανθρώπινης υγείας, ούτε σε αύξηση της ρύπανσης του νερού που χρησιμοποιείται για την παραγωγή πόσιμου νερού.

Πίνακας Π1. Πίνακας παραρτήματος Ι μέρος Α. Μικροβιολογικές παράμετροι

Παράμετρος	Παραμετρική τιμή (αριθμός/100 ml)
Escherichia coli (E. coli)	0
Εντερόκοκκοι	0

Πίνακας Π2. Πίνακας παραρτήματος Ι μέρος Α. Μικροβιολογικές παράμετροι για το νερό που πωλείται σε φιάλες ή δοχεία

Παράμετρος	Παραμετρική τιμή	Σημειώσεις
Escherichia coli (E. coli)	0/250 mL	
Εντερόκοκκοι	0/250 mL	
Pseudomonas aeruginosa	0/250 mL	
Αριθμός αποικιών σε 22 οC	100/mL	Οι τιμές της ανώτατης συγκέντρωσης πρέπει να μετρώνται μέσα στις 12 ώρες που ακολουθούν τη συσκευασία, ενώ το νερό των δειγμάτων θα πρέπει να διατηρείται σε θερμοκρασία 5±3°C κατά τη διάρκεια των 12 ωρών.
Αριθμός αποικιών σε 37o C	20/mL	

Οι Ποιοτικές προδιαγραφές του **Άρθρου 5** (Άρθρο 45 Οδηγίας 98/83/ΕΚ), δηλαδή οι τιμές των παραμέτρων του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης καθορίζονται στο Παράρτημα I του Άρθρου 5. Ειδικότερα όσον αφορά στις παραμέτρους του Παραρτήματος I μέρος Γ (πίνακας Π4), οι τιμές αυτές καθορίζονται μόνον για λόγους παρακολούθησης και για την τήρηση των υποχρεώσεων του άρθρου 8.

Πίνακας Π3. Πίνακας παραρτήματος I μέρος Β. Χημικές Παράμετροι.

Παράμετρος	Παραμετρική τιμή- Μονάδα	Σημειώσεις
Αντιμόνιο	5,0 µg/L	
Αρσενικό	10 µg/L	
Βόριο	1,0 mg/L	
Βρωμικά	10 µg/L	Σημείωση 2
Κάδμιο	5,0 µg/L	
Χρώμιο	50 µg/L	Σημείωση 3
Χαλκός	2,0 mg/L	Σημείωση 3
Κυανιούχα	50 µg/L	
Φθοριούχα	1,5 mg/L	
Μόλυβδος	10 µg/L	Σημείωση 3
Υδράργυρος	1,0 µg/L	
Νικέλιο	20 µg/L	Σημείωση 3
Σελήνιο	10 µg/L	
Νιτρικά	50 mg/L	Σημείωση 4
Νιτρώδη	0,50 mg/L	Σημείωση 4
Ακρυλαμίδιο	0,10 µg/L	Σημείωση 1
Βενζόλιο	1,0 µg/L	
Βενζο-α-πυρένιο	0,010 µg/L	
1,2 -διχλωροαιθάνιο	3,0 µg/L	
Επιγλωρυδρίνη	0,10 µg/L	Σημείωση 1
Παρασιτοκτόνα	0,10 µg/L	Σημειώσεις 5 και 6
Σύνολο παρασιτοκτόνων	0,50 µg/L	Σημειώσεις 5 και 7

Πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες	0,10 µg/L	Άθροισμα συγκεντρώσεων συγκεκριμένων ενώσεων σημείωση 8
Τετραχλωροαιθέριο και Τριχλωροαιθέριο	10 µg/L	Άθροισμα συγκεντρώσεων συγκεκριμένων παραμέτρων
Ολικά τριαλογονομεθάνια	100 µg/L	Άθροισμα συγκεντρώσεων συγκεκριμένων ενώσεων Σημείωση 9
Βινυλοχλωρίδιο	0,50 µg/L	Σημείωση 1
<p><u>Σημείωση 1:</u> Η παραμετρική τιμή αναφέρεται στην συγκέντρωση καταλοίπων μονομερούς στο νερό όπως υπολογίζεται σύμφωνα με τις προδιαγραφές περί μέγιστης μετανάστευσης εκ του αντιστοίχου πολυμερούς όταν βρίσκεται σε επαφή με το νερό.</p> <p><u>Σημείωση 2:</u> Εάν είναι δυνατόν, οι Αρμόδιες Αρχές, πρέπει να επιδιώκουν χαμηλότερη τιμή χωρίς να θίγεται η απολύμανση.</p> <p><u>Σημείωση 3:</u> Η τιμή ισχύει για δείγμα νερού ανθρώπινης κατανάλωσης που λαμβάνεται στη βρύση με μέθοδο δειγματοληψίας που ικανοποιεί τις απαιτήσεις της παρ. 2α του Μέρους Δ του Παραρτήματος II. Οι υπεύθυνοι σε συνεργασία με τις αρμόδιες Αρχές λαμβάνουν υπόψη τα περιστατικά μεγίστων επιπέδων που ενδέχεται να έχουν δυσμενείς επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία.</p> <p><u>Σημείωση 4:</u> Οι αρμόδιες Αρχές εξασφαλίζουν ότι τηρείται ο όρος $\frac{[\text{νιτρικά}]}{50} + \frac{[\text{νιτρώδη}]}{3} < 1$, οι αγκύλες υποδηλούν συγκέντρωση σε mg/l για νιτρικά (NO₃) και για τα νιτρώδη άλατα (NO₂), καθώς και ότι η τιμή 0,10 mg/l για τα νιτρώδη τηρείται για το νερό που προέρχεται από εγκαταστάσεις επεξεργασίας.</p> <p><u>Σημείωση 5:</u> Ως παρασιτοκτόνα νοούνται:-οργανικά εντομοκτόνα,-οργανικά ζιζανιοκτόνα, -οργανικά μυκητοκτόνα, -οργανικά νηματωδοκτόνα, -οργανικά ακαριοκτόνα, -οργανικά φυκοκτόνα, - οργανικά τρωκτικοκτόνα, - οργανικά γλινιοκτόνα, - συναφή προϊόντα (μεταξύ άλλων, οι ρυθμιστές αύξεσης) και οι σχετικοί μεταβολίτες αυτών, προϊόντα αποικοδόμησης και αντίδρασης. Ελέγχονται</p>		

μόνον τα παρασιτοκτόνα των οποίων πιθανολογείται η παρουσία σε μία δεδομένη παροχή νερού.

Σημείωση 6: Η παραμετρική τιμή ισχύει για κάθε επιμέρους παρασιτοκτόνο. Για τα aldrine, dieldrine, heptachlor, epoxi-heptachlor, η παραμετρική τιμή είναι 0,030 μg/l.

Σημείωση 7: Ως συνολικά παρασιτοκτόνα νοείται το άθροισμα όλων των επιμέρους παρασιτοκτόνων που ανιχνεύονται και προσδιορίζονται ποσοτικώς κατά τη διαδικασία παρακολούθησης.

Σημείωση 8: Οι συγκεκριμένες ενώσεις είναι: - βενζο(β)φθορανθένιο, - βενζο(λ)φθορανθένιο, - βενζο(η,θ,ι)περυλένιο, - ινδενο(1,2,3-γ,δ) πυρένιο.

Σημείωση 9: Εάν είναι δυνατόν, οι αρμόδιες Αρχές να επιδιώκουν χαμηλότερη τιμή χωρίς να θίγεται η απολύμανση. Οι συγκεκριμένες ενώσεις είναι: χλωροφόρμιο, βρωμοφόρμιο, διβρωμοχλωρομεθάνιο, βρωμοδιχλωρομεθάνιο.

Πίνακας Π4. Πίνακας παραρτήματος Ι μέρος Γ. Ενδεικτικές Παράμετροι.

Παράμετρος	Παραμετρική τιμή-Μονάδα	Σημειώσεις
Συγκέντρωση ιόντων υδρογόνου pH	$\geq 6,5$ και $\geq 9,5$ Μονάδες	Το νερό δεν πρέπει να είναι διαβρωτικό. και Για το μη ανθρακούχο νερό που τοποθετείται σε φιάλες ή δοχεία, η κατώτατη τιμή μπορεί να μειώνεται σε 4,5 μονάδες pH.
Οξειδωσιμότητα	5,0 mg/LO ₂	Η παράμετρος αυτή δεν χρειάζεται να μετράται εφόσον αναλύεται η παράμετρος ολικού οργανικού άνθρακα.
Αγωγιμότητα	2500 μS cm ⁻¹ στους 20 οC	Το νερό δεν πρέπει να είναι διαβρωτικό.
Αργίλιο	200 μg/L	
Αμμώνιο	0,50 mg/L	
Χλωριούχα	250 mg/L	Το νερό δεν πρέπει να είναι διαβρωτικό.

Σίδηρος	200 µg/l	
Μαγγάνιο	50 µg/l	
Θευκά	250 mg/L	Το νερό δεν πρέπει να είναι διαβρωτικό.
Νάτριο	200 mg/L	
Υπολειμματικό χλώριο mg/L		Σύμφωνα με την παρ. 1 του άρθρου 9 της παρούσας και την Υ.Μ.5673/4.12.57 (ΦΕΚ 5/Β/1958) Υγειονομική Διάταξη
Ολικός οργανικός άνθρακας (TOC)	Άνευ ασυνήθους μεταβολής	Η παράμετρος αυτή δεν χρειάζεται να μετράται για παροχές κάτω των 10.000 m3 ημερησίως.
Χρώμα	Αποδεκτό για τους καταναλωτές και άνευ ασυνήθους μεταβολής	
Οσμή	Αποδεκτή στους καταναλωτές και άνευ ασυνήθους μεταβολής	
Γεύση	Αποδεκτή στους καταναλωτές και άνευ ασυνήθους μεταβολής	
Clostridium perfringens (συμπεριλαμβανομένων των σπορίων)	0 Αριθμός / 100 ML	Βλ. Σημείωση
Αριθμός αποικιών σε 22o C και 37oC	Άνευ ασυνήθους μεταβολής	
Κολοβακτηριοειδή	0 Αριθμός / 100 mL	Για νερό που τοποθετείται σε φιάλες ή δοχεία, η μονάδα είναι: αριθμός

		/250 mL.
Θολότητα	Αποδεκτή στους καταναλωτές και άνευ ασυνήθους μεταβολής	Σε περίπτωση επεξεργασίας επιφανειακών υδάτων, οι υπεύθυνοι σε συνεργασία με τις αρμόδιες Αρχές επιδιώκουν παραμετρική τιμή που δεν υπερβαίνει την 1,0 NTU (νεφελομετρική μονάδα θολότητας) στο νερό που προέρχεται από εγκαταστάσεις επεξεργασίας.
<p><u>Σημείωση:</u> Η παράμετρος αυτή χρειάζεται να μετράται μόνον όταν το νερό προέρχεται ή επηρεάζεται από επιφανειακό νερό. Σε περίπτωση μη τήρησης της παραμετρικής αυτής τιμής οι αρμόδιες Αρχές εξετάζουν την παροχή νερού για να εξασφαλίσουν ότι δεν υπάρχει ενδεχόμενος κίνδυνος για την ανθρώπινη υγεία λόγω της παρουσίας παθογόνων μικροοργανισμών, όπως π.χ. Cryptosporidium. Οι υπεύθυνοι σε συνεργασία με τις αρμόδιες Αρχές περιλαμβάνουν τα αποτελέσματα των ερευνών αυτών στην έκθεση που υποβάλλουν σύμφωνα με το άρθρο 12, παράγραφος 2.</p>		

Σύμφωνα με τα **Σημεία τήρησης** που ορίζονται από το **Άρθρο 6** (Άρθρο 6 Οδηγίας 98/83/EK):

1. Οι παραμετρικές τιμές που καθορίζονται σύμφωνα με το άρθρο 5, πρέπει να τηρούνται:

α) για το νερό που παρέχεται από το δίκτυο διανομής, στο σημείο, εντός του κτιρίου ή της κτιριακής εγκατάστασης, στο οποίο βγαίνει από τη βρύση, που χρησιμοποιείται συνήθως για παροχή νερού ανθρώπινης κατανάλωσης.

β) για το νερό που παρέχεται από βυτίο, στο σημείο όπου το νερό εξέρχεται από το βυτίο.

γ) για νερό που τοποθετείται σε φιάλες ή δοχεία προς πώληση, στο σημείο στο οποίο το νερό τοποθετείται σε φιάλες ή δοχεία.

δ) για το νερό που χρησιμοποιείται σε επιχείρηση παραγωγής τροφίμων, στο σημείο όπου το νερό χρησιμοποιείται στην επιχείρηση

2. Στην περίπτωση του νερού της παραγράφου 1 εδάφιο (α), οι υπεύθυνοι σε συνεργασία με τις αρμόδιες Αρχές τεκμαίρεται ότι πληρούν τις υποχρεώσεις του παρόντος άρθρου, του άρθρου 4 και του άρθρου 8 παράγραφος 2, εφόσον είναι

δυνατόν να αποδειχθεί ότι η μη τήρηση των παραμετρικών τιμών που καθορίζονται σύμφωνα με το άρθρο 5, οφείλεται στο οικιακό σύστημα διανομής ή στην συντήρηση του, εξαιρουμένων όμως των κτιρίων και κτιριακών εγκαταστάσεων όπου το νερό παρέχεται στο κοινό, όπως στα σχολεία, τα νοσοκομεία και τα εστιατόρια, για τα οποία ο υπεύθυνος ορίζεται από τις κείμενες διατάξεις.

3. Όταν εφαρμόζεται η παράγραφος 2, και υπάρχει κίνδυνος ότι το νερό της παραγράφου 1 εδάφιο (α), δεν ανταποκρίνεται στις παραμετρικές τιμές που καθορίζονται σύμφωνα με το άρθρο 5, οι υπεύθυνοι σε συνεργασία με τις αρμόδιες Αρχές εξασφαλίζουν παρόλα ταύτα ότι:

α) λαμβάνονται κατάλληλα μέτρα ώστε να μειωθεί ή να εξαιρεθεί ο κίνδυνος μη τήρησης των παραμετρικών τιμών, όπως η παροχή οδηγιών στους ιδιοκτήτες σχετικά με κάθε ενδεχόμενη επανορθωτική ενέργεια που θα μπορούσαν να αναλάβουν ή και λαμβάνονται άλλα μέτρα, όπως κατάλληλες τεχνικές επεξεργασίας, προκειμένου να μεταβληθεί η φύση ή οι ιδιότητες του νερού πριν από την διάθεση του ώστε να μειωθεί ή να εξαιρεθεί ο κίνδυνος ότι το νερό δεν ανταποκρίνεται στις παραμετρικές τιμές μετά τη διάθεση και

β) οι ενδιαφερόμενοι καταναλωτές ενημερώνονται δεόντως και λαμβάνουν οδηγίες για ενδεχόμενες πρόσθετες επανορθωτικές ενέργειες που θα πρέπει να αναλάβουν.

Σύμφωνα με το **Άρθρο 7** (Άρθρο 7 Οδηγίας 98/83/ΕΚ) για την **παρακολούθηση** της ποιότητας του νερού:

1. Οι υπεύθυνοι σε συνεργασία με τις αρμόδιες Αρχές λαμβάνουν όλα τα αναγκαία μέτρα ώστε να εξασφαλίσουν ότι παρακολουθείται τακτικά η ποιότητα του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης, προκειμένου να ελέγχεται αν το διατιθέμενο στους καταναλωτές νερό πληροί τις απαιτήσεις της παρούσας διάταξης και ιδίως τις παραμετρικές τιμές που καθορίζονται σύμφωνα με το άρθρο 5. Θα πρέπει να λαμβάνονται δείγματα τα οποία να είναι αντιπροσωπευτικά της ποιότητας του νερού που καταναλώνεται καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Επιπλέον, οι υπεύθυνοι σε συνεργασία με τις αρμόδιες Αρχές λαμβάνουν όλα τα αναγκαία μέτρα ώστε να εξασφαλίζεται ο έλεγχος της αποτελεσματικής απολύμανσης του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης, σύμφωνα με τις διατάξεις της Υ.Μ. 5673/4.12.57 (ΦΕΚ 5/Β/1958), όταν αυτή αποτελεί μέρος της διαδικασίας επεξεργασίας ή διανομής του νερού και ότι η συγκέντρωση των παραπροϊόντων απολύμανσης συγκρατείται σε όσο το δυνατόν πιο χαμηλά όρια, χωρίς να διακυβεύεται η απολύμανση.

2. Για την τήρηση των υποχρεώσεων της παραγράφου 1, οι υπεύθυνοι σε συνεργασία με τις αρμόδιες Αρχές καταρτίζουν κατάλληλα προγράμματα παρακολούθησης του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης. Τα εν λόγω προγράμματα παρακολούθησης πρέπει να πληρούν τις ελάχιστες απαιτήσεις του Παραρτήματος II.

3. Τα σημεία δειγματοληψίας καθορίζονται από τους υπεύθυνους σε συνεργασία με τις αρμόδιες Αρχές και πρέπει να συμμορφώνονται με τις σχετικές απαιτήσεις του Παραρτήματος II.

4α) Οι υπεύθυνοι σε συνεργασία με τις αρμόδιες Αρχές πρέπει να τηρούν τις προδιαγραφές ανάλυσεως παραμέτρων που καθορίζονται στο Παράρτημα III.

β) Αντί των μεθόδων που αναφέρονται στο Παράρτημα III μέρος Α, είναι δυνατόν να χρησιμοποιούνται εναλλακτικές μέθοδοι (επικυρωμένες), εφόσον μπορεί να αποδειχθεί ότι τα λαμβανόμενα αποτελέσματα είναι τουλάχιστον εξίσου αξιόπιστα με εκείνα των μεθόδων που έχουν προκαθοριστεί. Εάν χρησιμοποιηθεί εναλλακτική μέθοδος το Υπουργείο Υγείας διαβιβάζει στην Επιτροπή όλα τα σχετικά στοιχεία που αφορούν τη μέθοδο αυτή και την ισοδυναμία της.

γ) Για τις παραμέτρους του Παραρτήματος III μέρος Β, είναι δυνατόν να χρησιμοποιείται οποιαδήποτε μέθοδος ανάλυσης, εφόσον τηρούνται οι απαιτήσεις του μέρους αυτού.

5. Παρακολούθηση της ποιότητας του νερού από τις αρμόδιες Αρχές

Οι Υπηρεσίες Περιβαλλοντικής Υγιεινής και Υγειονομικού Ελέγχου των Περιφερειακών Ενοτήτων παρακολουθούν συστηματικά την κατάσταση των συστημάτων ύδρευσης στην περιοχή αρμοδιότητας τους.

Ο υγειονομικός έλεγχος περιλαμβάνει:

- υγειονομική αναγνώριση των διαφόρων τμημάτων των συστημάτων ύδρευσης (από την πηγή έως το σημείο τήρησης του άρθρου 6) και του τρόπου λειτουργίας τους
- δειγματοληψία νερού για εργαστηριακές εξετάσεις όλων των παραμέτρων του Παραρτήματος I.
- έλεγχο του υπολειμματικού χλωρίου, Τα αποτελέσματα αποστέλλονται άμεσα στο Υπουργείο Υγείας.

6. Οι υπεύθυνοι σε συνεργασία με τις αρμόδιες Αρχές εξασφαλίζουν ότι διενεργείται συμπληρωματική κατά περίπτωση παρακολούθηση για τις ουσίες και τους μικροοργανισμούς για τους οποίους δεν καθορίζεται παραμετρική τιμή σύμφωνα με το άρθρο 5, όταν υπάρχουν λόγοι να πιστεύεται ότι οι ουσίες ή οι οργανισμοί αυτοί ενδέχεται να υπάρχουν σε ποσότητες ή αριθμούς που αποτελούν ενδεχόμενο κίνδυνο

για την ανθρώπινη υγεία (Παράρτημα II, Μέρος E).

Οι επανορθωτικές ενέργειες και οι περιορισμοί χρήσεως αναφέρονται στο άρθρο 8 (Άρθρο 8 Οδηγίας 98/83/EK) ως εξής:

1. Οι υπεύθυνοι σε συνεργασία με τις αρμόδιες Αρχές μεριμνούν ώστε να διερευνάται αμέσως κάθε παράλειψη της τήρησης των παραμετρικών τιμών που καθορίζονται σύμφωνα με το άρθρο 5 ώστε να εντοπίζονται τα αίτια.

2. Εάν, παρά τα μέτρα που λαμβάνονται για να τηρηθούν οι υποχρεώσεις του άρθρου 4 παράγραφος 1, το νερό ανθρώπινης κατανάλωσης εξακολουθεί να μην πληροί τις παραμετρικές τιμές που καθορίζονται σύμφωνα με το άρθρο 5, και με την επιφύλαξη του άρθρου 6 παράγραφος 2, οι υπεύθυνοι σε συνεργασία με τις αρμόδιες Αρχές εξασφαλίζουν ότι αναλαμβάνονται, το ταχύτερο δυνατόν, οι απαιτούμενες επανορθωτικές ενέργειες για την αποκατάσταση της ποιότητας του, και δίνουν προτεραιότητα στην εφαρμογή τους, λαμβάνοντας υπόψη μεταξύ άλλων και το βαθμό υπέρβασης των σχετικών παραμετρικών τιμών και τον ενδεχόμενο κίνδυνο για την ανθρώπινη υγεία.

3. Ανεξαρτήτως του αν έχει σημειωθεί ή όχι η μη τήρηση των παραμετρικών τιμών, οι υπεύθυνοι σε συνεργασία με τις αρμόδιες Αρχές εξασφαλίζουν ότι η παροχή νερού ανθρώπινης κατανάλωσης, το οποίο αποτελεί ενδεχόμενο κίνδυνο για την ανθρώπινη υγεία απαγορεύεται και διακόπτεται ή περιορίζεται η χρήση του ή αναλαμβάνονται οι αναγκαίες ενέργειες για να προστατευθεί η ανθρώπινη υγεία.

Στις περιπτώσεις αυτές, οι καταναλωτές ενημερώνονται αμέσως σχετικά και τους παρέχονται οι απαραίτητες οδηγίες. Οι υπεύθυνοι σε συνεργασία με τις αρμόδιες Αρχές αποφασίζουν ποιες ενέργειες δυνάμει της παρούσας παραγράφου θα πρέπει να αναληφθούν, λαμβάνοντας επίσης υπόψη τους κινδύνους για την ανθρώπινη υγεία οι οποίοι θα προέκυπταν από τυχόν διακοπή της παροχής ή περιορισμό της χρήσης νερού ανθρώπινης κατανάλωσης. Οι αρμόδιες Αρχές καταρτίζουν κατευθυντήριες οδηγίες προς τους υπευθύνους για την εκπλήρωση των ανωτέρω υποχρεώσεων της παρούσας παραγράφου. 4. Σε περίπτωση μη τήρησης των παραμετρικών τιμών ή των προδιαγραφών του παραρτήματος I μέρος Γ, οι υπεύθυνοι σε συνεργασία με τις αρμόδιες Αρχές εξετάζουν κατά πόσον αυτή η μη τήρηση δημιουργεί κίνδυνο για την ανθρώπινη υγεία. Οι υπεύθυνοι σε συνεργασία με τις αρμόδιες Αρχές αναλαμβάνουν επανορθωτικές ενέργειες για την αποκατάσταση της ποιότητας του νερού εφόσον αυτό απαιτείται για την προστασία της ανθρώπινης υγείας. Οι υπεύθυνοι σε συνεργασία με

τις αρμόδιες Αρχές εξασφαλίζουν ότι, όταν αναλαμβάνονται επανορθωτικές ενέργειες, οι καταναλωτές ενημερώνονται σχετικά εκτός από τις περιπτώσεις κατά τις οποίες οι αρμόδιες Αρχές κρίνουν ότι η μη τήρηση των παραμετρικών τιμών είναι άνευ σημασίας.

Το Άρθρο 9 αφορά στην Εξασφάλιση της ποιότητας, επεξεργασίας, εξοπλισμού και υλικών (Άρθρο 10 Οδηγίας 98/83/ΕΚ):

1. Οι υπεύθυνοι, όπως ορίζονται στο άρθρο 11 παρ. 2, λαμβάνουν όλα τα αναγκαία μέτρα ώστε να εξασφαλίζεται ότι κάθε ουσία ή κάθε υλικό νέων εγκαταστάσεων, που χρησιμοποιείται σύμφωνα με τις κείμενες διατάξεις, την τεχνογνωσία και τα επισήμως αναγνωρισμένα μέσα και τις Αρχές ελέγχου και πιστοποίησης, για την παραγωγή ή τη διανομή νερού ανθρώπινης κατανάλωσης καθώς και οι προσμείξεις που προέρχονται από αυτές τις ουσίες ή υλικά νέων εγκαταστάσεων δεν παραμένουν στο νερό ανθρώπινης κατανάλωσης σε συγκεντρώσεις μεγαλύτερες από εκείνες που απαιτούνται για τους σκοπούς της χρήσης τους και δεν υποβαθμίζουν, άμεσα ή έμμεσα, την προστασία της ανθρώπινης υγείας, όπως προβλέπεται στην παρούσα απόφαση.

2. Για τους πλαστικούς σωλήνες στα δίκτυα ύδρευσης εφαρμόζονται οι διατάξεις της υπ' αριθμ. οικ. 14097/757 (ΦΕΚ 3346/Β/14.12.2012) υπουργικής απόφασης.

Στο Άρθρο 10 καθορίζονται οι Ζώνες προστασίας:

Προκειμένου το νερό που παρέχεται για ανθρώπινη κατανάλωση να ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις της παρούσας και στα πλαίσια προστασίας της δημόσιας υγείας είναι αναγκαίο να λαμβάνονται κατά προτεραιότητα τα απαραίτητα μέτρα προστασίας των σημείων υδροληψίας για την παραγωγή νερού ανθρώπινης κατανάλωσης (θέσπιση ζωνών προστασίας, κ.λπ.) σύμφωνα με τις διατάξεις του ν. 1650/1986 για το περιβάλλον, τις διατάξεις για τη διαχείριση των υδατικών πόρων (π.δ. 51/2007, ν. 3199/2003), όπως αυτές εκάστοτε ισχύουν καθώς και τα οικεία Σχέδια Διαχείρισης Λεκανών Απορροής Ποταμών των Υδατικών Διαμερισμάτων της Χώρας.

Άρθρο 15. Κατάργηση

Από την έναρξη ισχύος της παρούσας καταργείται η κοινή υπουργική απόφαση Υ2/2600/2001 (ΦΕΚ 892/Β/2001) σχετικά με την ποιότητα νερού ανθρώπινης κατανάλωσης όπως αυτή έχει τροποποιηθεί με τη ΔΥΓ2/ΓΠοικ 38295/22.3.2007

κοινή υπουργική απόφαση (ΦΕΚ 630/Β/26.4.2007) και έχει διορθωθεί στα ΦΕΚ 986/Β/2007 και ΦΕΚ 1215/Β/2012.

Άρθρο 16

Η **ισχύς της παρούσας** αρχίζει από τη δημοσίευσή της στην Εφημερίδα της Κυβέρνησης εκτός εάν ορίζεται διαφορετικά σε επιμέρους διατάξεις της. Η εκτέλεση της ανατίθεται στα αρμόδια Υγειονομικά Όργανα.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ II

A. ΛΙΣΤΑ ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΜΕΝΩΝ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΝΕΡΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ.

Trade Description	Name of source	Place of exploitation
Alfa	Source Alfa	Arnissas, DE Vegoritidas Dimou Edessas N. Pellas
Anthemis (formely Ira)	Ira	Kinotita Stavriniidon, N. Samou
Apollonio	Apollonio	Agia Varvara Rodos, N. Dodekanisou
Avra	• Geotrisi Avra • Geotrisi Avra 4	Dimos Aigiou N. Ahaias
Corfu	Corfu	Kinotita Chloromation, N. Kerkiras
Dios	Source Dios	DD Karitsas Dimou Diou n. Pierias
Doumbia	Doumbia	Kinotita Doumbion, N. Chalkidikis
Evdoro	Evdoro	Dimotiko Diamertisma Meliaton Ipatis N. Fthiotidas
Florina	Afoi Efremidi ABEE	BI. PE. Florinas
Ias	Source Ias	Ditiko Diamerisma Kallianon Stimpthalias N. Korinthias
Trade Description	Name of source	Place of exploitation
Ioli	• Ioli • Ioli source	Kinotita Moshohoriou, N. Fthiotidas
Kalliroi	Silli	Kinotita Sillis, N. Dramas
Karies	Karies	Kinotita Leontiou (Veteika), N. Ahaias
Kimi	Source Kimi	Evia, N. Evias
Klinos	Palavi	Kinotita Klinou, N. Trikalon
Korpi	• Geotrisi Korpi (former Papagianni) • Source Korpi	Kinotita Monastirakiou Vonitsas, N. Etoloakarnanias
Krini	Krini	Kinotita «Polla Nera», N. Imathias
Krinos	Krinos	Rododafni Egiou N. Ahaias
Lefka Ori	Dihalorimata	DD Stilou Dimos Apokoronou N. Chanion
Lezina	Lezina	Vourkoti Apikion Androu N. Kykladon
Loutraki	Loutraki	Loutraki, N. Korinthias
Mega Perry	Kastri Mega Peristeri	Metsovo N. Ioanninon
Merkada	L. Thanella	Merkada, N. Fthiotidas

Meteora	Stagon	Kalabaka, N. Trikalon
Nigrita	Therma Nigritas	Therma Nigritas, N. Serron
Niki	Niki	Kinotita Ano Karyotes Samotharkis, N. Evrou
Olympos	Source Olympos	Leprokarya Dimos A. Olympou, N. Pierias
Piges Kostilatas stin Hpeiro	Pigi Mourtzia II Vrizekalamou Kostilatas	Siamantas, Kinotita Theodorianon, N. Artas
Pigi Olympou	• Pigi Olympou B' • Source A1	Vouliki Katerinis, N. Pierias
Samarina	Goura Samarinas	Samarina, N. Grevenon
Seli	Assos	Spilia, N. Kozanis
Souli	Geotrisi C1	Koutso DD Rematias Dimou Lourou N.Prevezas
Souroti	• Souroti • Souroti Source C1	Kinotita Sourotis, N. Thessalonikis
Stamna	Stamna (former Hamoprina)	Mallia, N. Irakleiou Kritis
Theoni	Goura	Karditsa N. Karditsas
Thetis	Honaïou	Kinotita Vasilikon (Galarinou) N. Xalkidikis
Veniza	Vakontios	Kinotita Villion, N. Attikis
Vikos	Vikos	Kinotita Perivleptou, N.Ioanninon
Xino Nero	Source Pouro	Dimos Amynteou, N. Florinas
Ydor Paggaio	Akrovouni	Akrovouni Dimou Paggaïou PE Kavalas
Zagori	Karakori Perivleptou	Kinotita Perivleptou, N.Ioanninon
Zagori	Galderimi Kranoulas	Koinotita Kranoulas, N.Ioanninon
Zagorohoria	Zagorohoria	Mesovouni Negrades N. Ioanninon
Zaros	Amati	Dimos Zarou N. Irakleiou

**Β. ΛΙΣΤΑ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΝΕΡΩΝ ΑΛΛΩΝ ΧΩΡΩΝ ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΜΕΝΩΝ
ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ.**

Trade Description	Name of source	Place of exploitation
Glina	Glina	Girokaster -Albania
Tepelene	Kryoneri- Tepeleni	Tepeleni Albania