



ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ, ΥΠΟΔΟΜΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΤΜΗΜΑ ΔΕΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ
& ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ - ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ, ΥΔΡΟΓΕΩΧΗΜΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΣΤΗ ΛΕΚΑΝΗ ΤΩΝ
ΜΕΓΑΡΩΝ

ΔΗΜΗΤΡΑ Ε. ΓΑΜΒΡΟΥΛΑ
Γεωλόγος, M.Sc.

ΥΠΟΒΛΗΘΗΚΕ ΣΤΟ ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΣΤΑΜΑΤΗΣ

ΑΘΗΝΑ 2013



ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ, ΥΠΟΔΟΜΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΤΜΗΜΑ ΔΕΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ
& ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ - ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ, ΥΔΡΟΓΕΩΧΗΜΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΣΤΗ ΛΕΚΑΝΗ ΤΩΝ
ΜΕΓΑΡΩΝ

ΔΗΜΗΤΡΑ Ε. ΓΑΜΒΡΟΥΛΑ
Γεωλόγος, M.Sc.

ΥΠΟΒΛΗΘΗΚΕ ΣΤΟ ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΣΤΑΜΑΤΗΣ

ΑΘΗΝΑ 2013

Διδακτορική διατριβή με τίτλο: **Περιβαλλοντική, υδρογεωχημική έρευνα στη λεκάνη των Μεγάρων**

Της: **Δήμητρας Γαμβρουλά**

Επιβλέπων: **Καθηγητής Γεώργιος Σταμάτης**

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

ΜΕΛΗ ΤΗΣ ΣΥΜΒΟΥΛΕΥΤΙΚΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ:

Γεώργιος Σταμάτης, Καθηγητής του Τμήματος Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, (επιβλέπων Καθηγητής)

Ευθύμιος Γκάρτζος, Καθηγητής του Τμήματος Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών

Κωνσταντίνος Σερέλης, Επίκουρος Καθηγητής του Τμήματος Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών

ΜΕΛΗ ΤΗΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ:

Γεώργιος Στουρνάρας, Καθηγητής του Τμήματος Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών

Νικόλαος Λαμπράκης, Καθηγητής του Τμήματος Γεωλογίας του Πανεπιστημίου Πατρών

Κωνσταντίνος Βουδούρης, Επίκουρος Καθηγητής Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης

Ιωάννης Παπανικολάου, Επίκουρος Καθηγητής του Τμήματος Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών

Η έγκριση της παρούσας διατριβής από την Εξεταστική Επιτροπή και το Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών δεν προϋποθέτει και την αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα (Νόμος 5343/1932, Άρθρο 202, παρ. 2).

*Αφιερώνεται
στον σύζυγο μου
Δημήτρη Αλεξιάκη*

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η περιοχή έρευνας περιλαμβάνει την πόλη των Μεγάρων και τα χωριά Ψάθα, Ντουράκος, Αλεποχώρι, Πευκενέας, Μεγάλο Πεύκο, Νέα Πέραμος και Πάχη και βρίσκεται μεταξύ γεωγραφικού πλάτους $37^{\circ}57'$ και $38^{\circ}08'$ και γεωγραφικού μήκους $23^{\circ}10'$ και $23^{\circ}27'$. Βρίσκεται στο δυτικό μέρος της Αττικής και απέχει περίπου 41 Km από την Αθήνα. Η έκταση της περιοχή έρευνας είναι περίπου 320 Km^2 και εκτείνεται από την ακτή του Κορινθιακού κόλπου στο βορρά έως το Σαρωνικό κόλπο στο νότο, τα Γεράνεια όρη στα δυτικά έως το όρος Πατέρας στα ανατολικά.

Η γεωλογική δομή της περιοχής έρευνας περιλαμβάνει: (α) το κρυσταλλικό υπόβαθρο, (β) τους αλπικούς σχηματισμούς και (γ) τα μεταλλικά ιζήματα. Το κρυσταλλικό υπόβαθρο αποτελείται από μεταμορφωμένα πετρώματα (αργιλικούς σχιστόλιθους που περιλαμβάνει ασβεστολιθικούς φακούς, ψαμμίτες εναλλασσόμενους με σώματα βασικών πυριγενών πετρωμάτων και τοφφίτες) της Πέρμιας – Άν. Λιθανθρακοφόρου ηλικίας. Οι Αλπικοί σχηματισμοί αποτελούνται από σύμπλεγμα κερατολίθων – ψαμμιτών, σχιστολίθων (Κάτω – Μέσου Τριαδικού), ανθρακικά πετρώματα (καρστικοποιημένοι ασβεστόλιθοι και δολομίτες ηλικίας Μέσου – Άνω Τριαδικού – Κάτω Ιουρασικού), ασβεστολίθους – δολομίτες, μάρμαρα – σιπολίτες Μέσου – Άνω Τριαδικού και ασβεστολίθους Κατώτερου – Μέσου Ιουρασικού), σχιστοψαμμιτοκερατολιθικούς σχηματισμούς Μέσου – Άνω Ιουρασικού και βωξίτες πisolιθικής δομής. Οι σχιστοψαμμιτοκερατολιθικοί σχηματισμοί περιλαμβάνουν ενδιαστρώσεις μαγγανίου. Τα υπερβασικά πετρώματα τοπικά υπέρκεινται στους ανθρακικούς σχηματισμούς. Ασβεστόλιθοι Άνω Κρητιδικής ηλικίας καλύπτουν κατά θέσεις τα βωξίτικα κοιτάσματα. Οι μεταλλικοί σχηματισμοί αποτελούνται κυρίως από λιγνιτικές ενδιαστρώσεις, μάργες, μαργαϊκούς ασβεστολίθους, αμμούχες μάργες, οργανικό υλικό και άλλο ασύνδετο υλικό. Οι μαργαϊκοί σχηματισμοί περιέχουν οξειδία του μαγγανίου και τεμάχια υπερβασικών πετρωμάτων. Οι Τεταρτογενείς σχηματισμοί αποτελούνται από εναλλαγές κροκαλοπαγών, ερυθροκαφέ αργίλων, αμμούχων αργίλων και πηλών.

Οι σχηματισμοί του κρυσταλλικού υποβάθρου παρουσιάζουν πολύ μικρή περατότητα. Οι έντονα καρστικοποιημένοι ασβεστόλιθοι – δολομίτες του Μέσου – Άνω Τριαδικού – Κάτω Ιουρασικού παρουσιάζουν μεγάλη έως πολύ μεγάλη υδροπερατότητα και διαμορφώνουν τον σημαντικότερο υδροφορέα της περιοχής έρευνας. Οι ασβεστόλιθοι και οι δολομίτες του Μέσου – Άνω Τριαδικού – Κάτω Ιουρασικού υπέρκεινται του κρυσταλλικού υποβάθρου. Το μετεωρικό νερό του καρστικού συστήματος κινείται πλευρικά στους Νεογενείς και Τεταρτογενείς σχηματισμούς. Μικρές καρστικές πηγές εκφορτίζουν το καρστικό σύστημα στο βόρειο τμήμα της περιοχής έρευνας. Οι Νεογενείς σχηματισμοί χαρακτηρίζονται ως χαμηλής υδροπερατότητας ενώ οι Τεταρτογενείς αποθέσεις χαρακτηρίζονται ως σχηματισμοί μέτριας περατότητας.

Η περιοχή έρευνας χαρακτηρίζεται από εντατική αγροτική και πτηνοτροφική δραστηριότητα και την παρουσία μικρών βιοτεχνικών μονάδων.

Δείγματα υπόγειου νερού συλλέχθηκαν από την περιοχή έρευνας ως εξής: (α) εξήντα (60) δείγματα νερού συλλέχθηκαν από 2 πηγές, 15 πηγάδια και 43 γεωτρήσεις κατά τον Μάρτιο 2010 (υγρή περίοδος), και (β) πενήντα δυο (52) δείγματα νερού συλλέχθηκαν από 1 πηγή, 14 πηγάδια και 37 γεωτρήσεις κατά τη διάρκεια του Σεπτεμβρίου 2010 (ξηρή περίοδος).

Κάθε δείγμα νερού χωρίστηκε σε δυο μέρη. Το πρώτο μέρος των δειγμάτων νερού διηθήθηκε με ηθμό $0,22 \mu\text{m}$ ο οποίος είχε προσαρμοστεί σε σύριγγα, οξυνίστηκε μέχρι $\text{pH} < 2$ με προσθήκη υπερκάθαρου HNO_3 και αποθηκεύτηκε σε δοχείο των 100 ml για την ανάλυση των ιχνοστοιχείων. Το δεύτερο μέρος των δειγμάτων νερού

αποθηκεύτηκε σε δοχείο των 1000 ml και μεταφέρθηκε στο εργαστήριο όπου μετά από διήθηση με ηθμούς διαμέτρου 0,45 μm χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό κύριων ανιόντων και κατιόντων.

Η θερμοκρασία του νερού (T), το διαλυμένο οξυγόνο (DO), η αγωγιμότητα (CND), τα ολικά διαλυμένα στερεά (TDS), η αλατότητα (Sal) και το pH μετρήθηκαν αμέσως μετά τη συλλογή των δειγμάτων με φορητό πολύμετρο YSI Professional Plus.

Συνολικά δεκαεφτά (17) διπλά δείγματα εδάφους συλλέχθηκαν από θέσεις πλησίον των θέσεων της δειγματοληψίας υπόγειου νερού, ώστε να αντιπροσωπεύουν τη στερεή φάση που είναι σε επαφή με το νερό. Τα δείγματα εδάφους συλλέχθηκαν από βάθη 0 έως 20 cm και 20 έως 40 cm. Όλα τα δείγματα ξηράνθηκαν σε θερμοκρασία περιβάλλοντος (< 25°C) για αρκετές ημέρες. Κάθε δείγμα εδάφους κοσκινίστηκε με κόσκινο 2,00 mm, διαχωρίστηκε σε τρία μέρη και αποθηκεύτηκε σε καθαρές σακούλες πολυαιθυλενίου.

Το πρώτο μέρος του δείγματος εδάφους χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό των ιχνοστοιχείων: Cd, Co, Mn, Ni, Cr, Cu και Zn. Το δεύτερο μέρος δείγματος χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό ιδιοτήτων του εδάφους όπως: κοκκομετρία, οργανική ύλη, pH, ηλεκτρική αγωγιμότητα και ανθρακικό ασβέστιο. Το τρίτο μέρος του δείγματος εδάφους χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό των μορφών των βαρέων μετάλλων: Cd, Co, Mn, Ni, Cr, Cu και Zn με τη μέθοδο των εκλεκτικών εκχυλίσεων. Το εύρος διακύμανσης των στοιχείων για τα δείγματα εδάφους είναι: (α) (βάθη 0-20 cm) Cr 40-549 mg/kg, Mn 300-845 mg/kg, Co 10-35 mg/kg, Ni 52-438 mg/kg, Cu 11-59 mg/kg, Zn 19-196 mg/kg, Cd 0,40-1,20 mg/kg), και (β) (βάθη 20-40 cm): Cr 15-602 mg/kg, Mn 164-796 mg/kg, Co 5-37 mg/kg, Ni 26-477 mg/kg, Cu 5-36 mg/kg, Zn 15-108 mg/kg, Cd <0,4-0,90 mg/kg).

Η πλειονότητα των δειγμάτων εδάφους ταξινομείται ως αμμοπηλώδη εδάφη. Η περιεκτικότητα ανθρακικού ασβεστίου στην πλειονότητα των δειγμάτων είναι > 40% που οφείλεται στην διάλυση των ανθρακικών πετρωμάτων τα οποία επικρατούν στην περιοχή έρευνας. Τα εδάφη παρουσιάζουν μέτριες αλκαλικές έως ισχυρά αλκαλικές τιμές pH και στα δυο βάθη δειγματοληψίας (0 – 20 cm και 20 – 40 cm). Επίσης οι τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και για τα δυο βάθη είναι μικρότερες από 4000 μS/cm.

Υψηλές συγκεντρώσεις Cd εκχυλίστηκαν κατά το πρώτο στάδιο (ανταλλάξιμο) της διαδικασίας εκλεκτικής εκχύλισης, που οδηγεί στο συμπέρασμα ότι το Cd στα εδάφη πρωτίστως σχετίζεται με ανθρωπογενείς δραστηριότητες όπως η χρήση λιπασμάτων, η απόθεση αποβλήτων και η εφαρμογή φυτοφαρμάκων. Υψηλές συγκεντρώσεις των στοιχείων Cd, Co, Cu και Zn ανιχνεύονται στο δεύτερο στάδιο (ανθρακικών). Οι συγκεντρώσεις αυτές δηλώνουν τη συσχέτιση αυτών των στοιχείων με τις καταγεγραμμένες ανθρώπινες δραστηριότητες και ειδικότερα την εντατική χρήση λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων.

Υψηλές συγκεντρώσεις Mn και Zn και μέτριες συγκεντρώσεις Cu, Co και Cr στο κλάσμα του σταδίου 3 (προσροφημένο στα οξείδια Fe – Mn) δηλώνουν συσχέτιση αυτών των στοιχείων με τα οξείδια μαγγανίου τα οποία απαντούν στις μάργες των Νεογενών σχηματισμών. Οι συγκεντρώσεις Cu, Cr, Mn, Co και Ni στο κλάσμα του σταδίου 4 (προσροφημένο στην οργανική ουσία) δηλώνει συσχέτιση αυτών των στοιχείων με τις λιγνιτικές ενδιαστρώσεις. Υψηλές συγκεντρώσεις Cr, Co και Ni στο κλάσμα του σταδίου 5 (υπολειμματικό) δηλώνει συσχέτιση των μετάλλων αυτών με τα προϊόντα αποσάθρωσης των υπερβασικών πετρωμάτων και των σχιστολίθων.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της ανάλυσης συσχέτισης, τα στοιχεία Co, Cr, Ni, Cu, Zn και Mn παρουσιάζουν υψηλή θετική συσχέτιση, το οποίο οφείλεται στην παρουσία τεμαχίων των υπερβασικών πετρωμάτων και σχιστολίθων εντός των

Νεογενών σχηματισμών. Η παραγοντική ανάλυση των αναλυτικών δεδομένων των δειγμάτων εδάφους, ερμηνεύει το 81,08% της συνολικής διακύμανσης:

Ο παράγοντας 1 αποτελείται από τα στοιχεία Ni, Co, Mn και Cr και ερμηνεύει την παρουσία τεμαχών υπερβασικών πετρωμάτων στους Νεογενείς σχηματισμούς. Ο παράγοντας 2 αποτελείται από τα στοιχεία Cu, Zn, Mn και Cd και αποδίδεται στην παρουσία οξειδίων Mn στους Νεογενείς και Τεταρτογενείς σχηματισμούς.

Οι υψηλές συγκεντρώσεις Co, Mn, Ni, Cr, Cu και Zn στα δείγματα εδάφους καταγράφονται κυρίως στο κεντρικό τμήμα της λεκάνης ειδικότερα στις περιοχές Τούτουλη, Κάτω Πευκενέας, Αγία Παρασκευή και Λουτρός, παρουσιάζοντας συσχέτιση των στοιχείων αυτών με γεωγενείς παράγοντες. Οι συγκεντρώσεις Cd στα εδάφη είναι μικρές και στα δυο βάθη.

Η διακύμανση της συγκέντρωσης των στοιχείων στα δείγματα νερού που κατά την υγρή περίοδο είναι: Ca^{2+} 17,2-301,4 mg/L, Mg^{2+} 27,2-351,8 mg/L, Na^+ 22,7-1033 mg/L, K^+ 0,5-80,2 mg/L, HCO_3^- 256,2-573,4 mg/L, Cl^- 33,3-2482,3 mg/L, NO_3^- 0,6-411 mg/L, SO_4^{2-} 6,7-867,1 mg/L, I 0,02-0,5 mg/L, SiO_2 6,5-61 mg/L, F^- 0,05-0,7 mg/L, Br^- 0,06-6,9 mg/L, Li <0,0001-0,12 mg/L, NH_4^+ 0,01-0,71 mg/L, PO_4^{3-} 0,05-4,74 mg/L, NO_2^- 0-0,61 mg/L, Cr_{tot} <0,04-70,3 $\mu\text{g/L}$, Mn 0,04-87,8 $\mu\text{g/L}$, Co < 0,02-0,97 $\mu\text{g/L}$, Ni 0,09-25,4 $\mu\text{g/L}$, Cu 0,08-10,2 $\mu\text{g/L}$, Zn 1,34-692,39 $\mu\text{g/L}$, Cd < 0,006-0,34 $\mu\text{g/L}$, Pb < 0,005-1,24 $\mu\text{g/L}$. Οι τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας στα υπόγεια νερά που συλλέχθηκαν κατά τη διάρκεια της υγρής περιόδου κυμαίνονται από 573 έως 8267 $\mu\text{S/cm}$.

Η διακύμανση της συγκέντρωσης των στοιχείων στα δείγματα νερού που κατά την ξηρή περίοδο είναι: Ca^{2+} 8,3-1035,63 mg/L, Mg^{2+} 32,8-1479,44 mg/L, Na^+ 19,67-4078,83 mg/L, K^+ 0,5-74,6 mg/L, HCO_3^- 262-549 mg/L, Cl^- 28,2-10174,6 mg/L, NO_3^- 0,3-605,4 mg/L, SO_4^{2-} 4,5-1627,8 mg/L, I 0-0,64 mg/L, SiO_2 5,1-62 mg/L, F^- 0,07-11,6 mg/L, Br^- 0,06-34,6 mg/L, Li <0,0001-0,35 mg/L, NH_4^+ 0,01-5,06 mg/L, PO_4^{3-} 0,05-296,3 mg/L, NO_2^- 0-4,15 mg/L, Cr_{tot} 0,02-66,9 mg/L, Mn 0,03-93,9 $\mu\text{g/L}$, Co 0,01-3,80 $\mu\text{g/L}$, Ni 0,01-35,6 $\mu\text{g/L}$, Cu 0,01-25,8 $\mu\text{g/L}$, Zn 0,01-1890,5 $\mu\text{g/L}$, Cd <0,006-0,3 $\mu\text{g/L}$ and Pb <0,005 $\mu\text{g/L}$. Οι τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας στα δείγματα υπόγειου νερού που συλλέχθηκαν την ξηρή περίοδο κυμαίνονται από 550 έως 10439 $\mu\text{S/cm}$.

Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- και για τις δυο περιόδους δειγματοληψίας καταγράφονται στις παραλιακές περιοχές Μεγάλο Πεύκο, Νέα Πέραμος, Λάκκοι Καλογήρου, Ψάθα, Αγ. Ιωάννης, Ντουράκος και στην πόλη των Μεγάρων. Αυτό οφείλεται στη διαδικασία της θαλάσσιας διείσδυσης και στη διήθηση οικιακών λυμάτων.

Σύμφωνα με τις τιμές του δείκτη Revelle, τα δείγματα υπόγειου νερού και για τις δυο περιόδους δειγματοληψίας χαρακτηρίζονται ρυπασμένα έως επικίνδυνα ρυπασμένα νερά. Η πλειονότητα των υπόγειων νερών της υγρής περιόδου (63,33%) και της ξηρής περιόδου (69,23%) δεν έχουν επηρεαστεί από το θαλασσινό νερό.

Το 58,33% των δειγμάτων υπόγειου νερού που συλλέχθηκε κατά την υγρή περίοδο και το 61,54% των δειγμάτων της ξηρής περιόδου υπερβαίνουν τις αντίστοιχες παραμετρικές τιμές για το νερό ανθρώπινης κατανάλωσης όπως δίνονται από την Κοινοτική Οδηγία (98/83/EC).

Σύμφωνα με το διάγραμμα Piper η πλειονότητα των δειγμάτων που συλλέχθηκαν από τα πηγάδια ανήκουν στους τύπους Ca – Mg – SO_4 – Cl και Na – Cl – SO_4 το οποίο γενικά δείχνει μια διαδικασία ανάμιξης ανάμεσα σε θαλάσσιο και υπόγειο νερό. Η πλειονότητα των δειγμάτων που συλλέχθηκε από τις γεωτρήσεις ανήκει στον τύπο Ca – Mg – HCO_3 το οποίο δείχνει την πλευρική κίνηση του νερού από τους καρστικούς ασβεστόλιθους – δολομίτες προς τις Νεογενείς – Τεταρτογενείς αποθέσεις.

Σύμφωνα με το διάγραμμα Durov ο επικρατέστερος υδροχημικός τύπος στο κεντρικό τμήμα της λεκάνης είναι ο τύπος Mg – HCO₃, ενώ οι τύποι Na – Cl και Mg – Cl είναι οι επικρατέστεροι υδροχημικοί τύποι στις παραλιακές περιοχές και για τις δυο περιόδους δειγματοληψίας.

Η παραγοντική ανάλυση αποδείχθηκε επιτυχής μέθοδος για την ομαδοποίηση των ποιοτικών παραμέτρων του νερού σύμφωνα με τις πηγές προέλευσης τους και βοήθησε στη διάκριση της φυσικής ή ανθρωπογενούς προέλευσης τους.

Η παραγοντική ανάλυση που εφαρμόστηκε στα δείγματα υπόγειου νερού κατά την υγρή περίοδο ερμηνεύει το 80,47% της συνολικής διακύμανσης: Ο παράγοντας 1 (παράγοντας αλατότητας) παρουσιάζει υψηλά θετικά φορτία για Br⁻, Ca²⁺, Cl⁻, Mg²⁺, Na⁺, SO₄²⁻, TDS, K⁺, NO₃⁻, Ni. Ο Παράγοντας 2 (γεωχημικός παράγοντας) αποτελείται από τις παραμέτρους Mn, Cr, NO₃⁻, HCO₃⁻, SO₄²⁻, Zn, Ca²⁺, Co. Ο Παράγοντας 3 (παράγοντας Co-Cu-Ni) αποτελείται από τις παραμέτρους Cu, Ni, Co, HCO₃⁻, NO₃⁻. Ο Παράγοντας 4 (παράγοντας διάλυσης ολιβίνη) αποτελείται από τις παραμέτρους SiO₂, K⁺, Ca²⁺, Cr_{tot}, Mg²⁺.

Για την ξηρή περίοδο δειγματοληψίας η παραγοντική ανάλυση ερμηνεύει το 78,77% της διακύμανσης: Ο Παράγοντας 1 (παράγοντας αλατότητας) περιλαμβάνει τις παραμέτρους Ca²⁺, Co, HCO₃⁻, Mn⁺, Na⁺, SO₄²⁻, TDS, Br⁻, Cl⁻, K⁺, Ni, Cr_{tot}, SiO₂. Ο Παράγοντας 2 (γεωχημικός παράγοντας) παρουσιάζει υψηλά θετικά φορτία των παραμέτρων Mg²⁺, Br⁻, Cl⁻, Na⁺, SiO₂, TDS, Cr, Ni, NO₃⁻. Ο Παράγοντας 3 (παράγοντας λιπασμάτων) αποτελείται από τις παραμέτρους NO₃⁻, K⁺, SiO₂, ενώ ο Παράγοντας 4 παρουσιάζει θετικά φορτία για τα Cu, Ni και Zn.

Οι υψηλές τιμές Cr_{tot}, Mn και Ni στο υπόγειο νερό της περιοχής έρευνας συνιστούν μια περίπτωση φυσικής ρύπανσης όπου οι συγκεντρώσεις Cr_{tot}, Mn και Ni υπερβαίνουν τις αντίστοιχες παραμετρικές τιμές της Κοινοτικής Οδηγίας. Η παρουσία οξειδίων Mn, τεμαχών υπερβασικών πετρωμάτων εντός των Νεογενών – Τεταρτογενών σχηματισμών και οι εμφανίσεις υπερβασικών πετρωμάτων είναι οι φυσικές πηγές οι οποίες ρυπαίνουν με Cr_{tot}, Mn και Ni τα υπόγεια νερά της λεκάνης των Μεγάρων.

Οι βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν την ποιότητα νερού στη λεκάνη των Μεγάρων είναι η θαλάσσια διείσδυση, ειδικότερα στις περιοχές των παράκτιων υδροφορέων που είναι αποτέλεσμα της υπρεκμετάλλευσης των υπόγειων νερών, η ρύπανση με νιτρικά και φωσφορικά ιόντα στις αγροτικές και αστικές περιοχές, καθώς επίσης και η αποσάθρωση των τεμαχών των υπερβασικών πετρωμάτων που βρίσκονται στους Νεογενείς και Τεταρτογενείς σχηματισμούς.

ABSTRACT

The area studied includes the city of Megara and the villages of Psatha, Ntourakos, Alepochorion, Pefkeneas, Megalo Pefko, Nea Peramos and Pachi and lies between latitude 37°57' and 38°08' and longitudes 23°10' and 23°27'. It is situated within the western part of the Attica region and is located about 41 km from Athens, the capital of Greece. The area studied covers about 320 km² and extends from the Korinthiakos Gulf coastline in the north, to the Saronikos Gulf in the south, from the Geraneia Mountain in the west to the Pateras Mountain in the east.

Three main units dominate in the geological structure of the study area: (a) the crystalline basement rocks, (b) the alpine basement rocks, and (c) the post-alpine sediments. The crystalline basement rocks are composed of metamorphic rocks (argillaceous shales including lenses of limestones, sandstones alternating with bodies of basic igneous rocks and tuffites) of Permian-U. Carboniferous age. The alpine basement rocks are composed of Complex of cherts-sandstones-schists (L.-M. Triassic age), carbonate rocks (karstified limestones-dolomites of M.-U. Triassic-L. Jurassic age, limestones-dolomites-marbles-cipolins of M.-U. Triassic age and limestones of L.-M. Jurassic age), Schist-Chert formation of M.-U. Jurassic age and Bauxites of pisolitic texture. Schist-Chert formation consists of shales containing Mn-layers. Bodies of ultrabasic rocks are locally preserved over the carbonate platform. Limestones of U. Cretaceous age cover bauxite ores in places. The post-alpine sediments consist mainly of Neogene and lignite bearing deposits, marls, lignite intercalations, marly limestones, sandy marls, organic material and other unconsolidated material. Marly formations with manganese oxides and ultrabasic rock fragments within Neogene and Quaternary deposits are covering a wide part of the area studied. The Quaternary deposits consist of alterations of conglomerates, reddish brown clays, sandy clays and loams.

The crystalline basement rocks show very low permeability. The intensively karstified limestones-dolomites of M.-U. Triassic-L. Jurassic show high to very high permeability and they constitute the most important aquifer of the study area. The limestones-dolomites of M.-U. Triassic-L. Jurassic are thrust at the practically impermeable crystalline basement rocks. The infiltration water of this karstic system moves laterally to the surrounding Neogene and Quaternary deposits. Small karstic springs which drain the karstic system outcrops at the north part of the study area. The Neogene deposits present low permeability while the Quaternary deposits form an aquifer of moderate permeability.

The land in the area studied is characterized by intensive agricultural and farming practices as well as small industries.

Water samples were collected from locations within the study area as follows: (a) Sixty (60) water samples were collected from 2 springs, 15 wells and 43 boreholes during March 2010 (wet season), and (b) fifty-two (52) water samples were collected from 1 spring, 14 wells and 37 boreholes during September 2010 (dry season).

Each water sample was divided into two water sub-samples. The first set of subsamples was filtered with a 0,22 µm disposable syringe filter, acidified to pH<2 with ultrapure HNO₃ and stored in a 100 mL container for trace element analysis. The second set of subsamples was stored in a 1000 mL container and transferred to the laboratory, where after filtration through 0.45 µm pore size membrane filters, major anions and cations were analyzed. The water temperature (T), dissolved oxygen (DO), conductivity (CND), total dissolved solids (TDS), salinity (Sal) and pH were measured immediately after collection with a YSI Professional Plus portable meter.

A total of seventeen (17) soil samples were collected from locations in the vicinity of the water sampling sites, in order to be representative of the solid phase in contact with groundwater. Soil samples were collected from 0 to 20 cm and 20 to 40 cm depths. All soil samples were dried at room temperature (<25°C) for several days. Each soil sample was passed through a 2.00 mm sieve, divided into three soil subsample sets and then stored in clean polyethylene bags. One set of subsamples was used for the determination of elements including: Cd, Co, Mn, Ni, Cr, Cu and Zn. The second set of subsamples was used for the measurements of soil properties including: grain size, organic matter content, pH, electrical conductivity and calcium carbonate (CaCO₃) content. The third set of subsamples was used for the determination of sequential fractions for the following metals: Cd, Co, Mn, Ni, Cr, Cu and Zn.

The element ranges for soil samples were: (a) (depth of 0-20 cm): Cr 40-549 mg/kg, Mn 300-845 mg/kg, Co 10-35 mg/kg, Ni 52-438 mg/kg, Cu 11-59 mg/kg, Zn 19-196 mg/kg, Cd 0,40-1,20 mg/kg), and (b) (depth of 20-40 cm): Cr 15-602 mg/kg, Mn 164-796 mg/kg, Co 5-37 mg/kg, Ni 26-477 mg/kg, Cu 5-36 mg/kg, Zn 15-108 mg/kg, Cd <0,4-0,90 mg/kg).

The majority of the soil samples were classified as sandy loam. The calcium carbonate contents (> 40%) in the examined soil samples originate from the calcareous rocks which dominate the study area. The soils showed moderate alkaline to strongly alkaline pH values in both sampling depths (0-20 cm and 20-40 cm). Also the values of electrical conductivity for both depths are lower than 4000 µS/cm.

High Cd contents were extracted in the first step (exchangeable) of sequential extraction procedure, suggesting that Cd in soils was primarily associated with anthropogenic activities such as fertilizer use, waste disposal and the use of pesticides. High concentrations of the elements Cd, Co, Cu and Zn were released in the fraction of the second step (carbonates). This suggests the association of these element soil contents with the recorded human activities and especially the intensive use of fertilizers and pesticides. High concentrations of Mn and Zn and moderate concentrations for Cu, Co and Cr in the fraction of step 3 (metal oxides of Fe-Mn) suggest associations of these elements, with the manganese oxides which presents in the marls of Neogene formations. Concentrations of Cu, Cr, Mn, Co and Ni in the fraction of step 4 (organic matter) suggests the association of these element soil contents with the lignite intercalations. High concentrations of Cr, Co and Ni in the fraction of step 5 (residual) suggest the association of these metal contents in soils, with the weathering products of ultramafic rocks and shales.

According to the correlation analysis of the dataset of soil samples, the elements Co, Cr, Ni, Cu, Zn and Mn present high positive correlation, which is attributed to the presence of fragments of ultramafic rocks and shales within the Neogene formations.

The factor analysis applied on the soils dataset explains 81,08% of the total variance: Factor 1 consists of the elements Ni, Co, Mn and Cr and interprets the presence of ultramafic rocks in Neogene formations of the basin. Factor 2 consists of the elements Cu, Zn, Mn and Cd indicating the presence of oxides in the Neogene and Quaternary formations of the study area.

The higher Co, Mn, Ni, Cr, Cu and Zn soil contents are mainly observed in the central part of the basin, especially in the areas of Toutouli, Kato Pefkeneas, Agia Paraskevi, Loutros demonstrating an association of these elements with geogenic factors. The recorded Cd concentrations in soils are low in both depths.

The element ranges for water samples collected in the wet season are: Ca²⁺ 17,2-301,4 mg/L, Mg²⁺ 27,2-351,8 mg/L, Na⁺ 22,7-1033 mg/L, K⁺ 0,5 -80,2 mg/L, HCO₃⁻ 256,2-573,4 mg/L, Cl⁻ 33,3-2482,3 mg/L, NO₃⁻ 0,6-411 mg/L, SO₄²⁻ 6,7 - 867,1 mg/L,

I 0,02-0,5 mg/L, SiO₂ 6,5-61 mg/L, F⁻ 0,05-0,7 mg/L, Br⁻ 0,06-6,9 mg/L, Li <0,0001-0,12 mg/L, NH₄⁺ 0,01-0,71 mg/L, PO₄³⁻ 0,05-4,74 mg/L, NO₂⁻ 0-0,61 mg/L, Cr_{tot} <0,04-70,3 µg/L, Mn 0,04-87,8 µg/L, Co <0,02-0,97 µg/L, Ni 0,09-25,4 µg/L, Cu 0,08-10,2 µg/L, Zn 1,34-692,39 µg/L, Cd <0,006-0,34 µg/L, Pb <0,005-1,24 µg/L. Electrical conductivity values in the groundwater samples collected during wet season varies between 573 and 8267 µS/cm.

The element ranges for water samples collected in the dry season are: Ca²⁺ 8,3-1035,63 mg/L, Mg²⁺ 32,8-1479,44 mg/L, Na⁺ 19,67-4078,83 mg/L, K⁺ 0,5-74,6 mg/L, HCO₃⁻ 262-549 mg/L, Cl⁻ 28,2-10174,6 mg/L, NO₃⁻ 0,3-605,4 mg/L, SO₄²⁻ 4,5-1627,8 mg/L, I 0-0,64 mg/L, SiO₂ 5,1-62 mg / L, F⁻ 0,07-11,6 mg/L, Br⁻ 0,06-34,6 mg/L, Li <0,0001-0,35 mg/L, NH₄⁺ 0,01-5,06 mg/L, PO₄³⁻ 0,05-296,3 mg/L, NO₂⁻ 0-4,15 mg/L, Cr_{tot} 0,02-66,95 mg/L, Mn 0,03-93,9 µg/L, Co 0,01-3,80 µg /L, Ni 0,01-35,6 µg/L, Cu 0,01-25,8 µg/L, Zn 0,01-1890,5 µg/L, Cd <0,006-0,3 µg/L and Pb <0,005 µg/L. The electrical conductivity values in the water samples of groundwater for the dry sampling period range from 550 to 5,272 µS/cm.

The higher concentrations of Na⁺, Cl⁻, SO₄²⁻, NO₃⁻ for both sampling periods were observed in the coastal areas of Megalo Pefko, Nea Peramos, Lakkoi Kalogirou, Psatha, Ag.Ioannis, Dourakos and the city of Megara. This is attributed to the processes of seawater intrusion and infiltration of domestic sewage.

According to the Revelle index, groundwater samples of both sampling periods are characterized as contaminated to dangerously contaminated waters. The majority of groundwater samples of the wet period (63,33%) and dry period (69,23%) is not influenced by the seawater.

The 58,33% of the groundwater samples collected during the wet period and 61,54% during the dry period, exceeded the parametric values for drinking purposes given by the EU Directive (98/83/EC).

The Piper diagram reveals that the majority of waters collected from wells showed Ca-Mg-SO₄-Cl and Na-Cl-SO₄ types which generally indicate a mixing process between seawater and groundwater. The majority of waters collected from boreholes cluster in the Ca-Mg-HCO₃ type which indicates the lateral movement of the water from the karstic limestones-dolomites to the Neogene-Quaternary deposits. The Durov diagram reveals that the prevailing hydrochemical type in the central part of the basin is Mg-HCO₃; while Na-Cl and Mg-Cl are the prevailing hydrochemical types in coastal areas for both sampling seasons.

Factor analysis was found to be a successful method for grouping the water quality parameters according to their sources and provided evidence about their natural or anthropogenic origin.

The factor analysis applied to the groundwater quality dataset of wet season explained 80,47% of the total variance: Factor 1 (salinity factor) shows high positive loadings of Br⁻, Ca²⁺, Cl⁻, Mg²⁺, Na⁺, SO₄²⁻, TDS, K⁺, NO₃⁻, Ni. Factor 2 (geochemical factor) shows positive loadings of Mn, Cr, NO₃⁻, HCO₃⁻, SO₄²⁻, Zn, Ca²⁺ and Co. Factor 3 (factor Co-Cu-Ni) shows positive loadings of Cu, Ni, Co, HCO₃⁻, NO₃⁻. Factor 4 (olivine dissolution factor) shows positive loadings of parameters SiO₂, K⁺, Ca²⁺, Cr_{tot} and Mg²⁺.

The factor analysis applied to the groundwater quality dataset of dry season explained 78,77% of the total variability: Factor 1 (salinity factor) shows positive loadings of Ca²⁺, Co, HCO₃⁻, Mn, Na⁺, SO₄²⁻, TDS, Br⁻, Cl⁻, K⁺, Ni, Cr_{tot}, SiO₂. Factor 2 (geochemical factor) shows positive loadings of parameters Mg²⁺, Br⁻, Cl⁻, Na⁺, SiO₂, TDS, Cr, Ni and NO₃⁻. Factor 3 (fertilizers factor) shows high positive loadings of NO₃⁻, K⁺, SiO₂, while Factor 4 presents positive loadings of Cu, Ni and Zn.

The elevated Cr_{total}, Mn and Ni contents in the groundwater of the study area constitute a natural case of contamination where Cr_{total}, Mn and Ni concentrations exceed the parametric values established by the European Community. Presence of Mn-oxides, ultrabasic rock fragments within Neogene-Quaternary deposits and bodies of ultrabasic rocks are the natural Cr_{total}, Mn and Ni contamination source for the groundwater of the Megara basin.

To sum up, the major issues affecting the groundwater quality in the Megara basin are seawater intrusion, especially along coastal aquifers as a result of the overexploitation of groundwater resources, nitrate and phosphate contamination in agricultural and urban areas, as well as the weathering of ultrabasic rock fragments within Neogene and Quaternary deposits.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1. Σκοπός της έρευνας - Προσέγγιση του θέματος	1
1.2. Το νερό	3
1.3. Το έδαφος	8
2. ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΡΕΥΝΑΣ	12
2.1. Γεωγραφική τοποθέτηση	12
2.2. Η πόλη των Μεγάρων	12
2.3. Ιστορικά στοιχεία	13
2.4. Πληθυσμιακή εξέλιξη	13
2.5. Χρήσεις γης	14
3. ΓΕΩΛΟΓΙΑ	16
3.1. Γεωλογικοί σχηματισμοί	16
3.2. Τεκτονική	23
3.2.1. Τεκτονική εξέλιξη της περιοχής έρευνας	23
3.2.2. Τεκτονικές δομές περιοχής έρευνας	24
3.2.3. Σεισμικότητα της περιοχής έρευνας	26
3.2.4. Κοιτασματολογικά στοιχεία	27
4. ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ	29
4.1. Γενικά	29
4.2. Υψομετρική ανάλυση της περιοχής έρευνας	30
4.3. Γεωμορφές του τεταρτογενούς, αλουβιακά ριπίδια και κώνοι κορημάτων	32
4.4. Αναβαθμίδες	33
4.5. Επιφάνειες ισοπέδωσης	34
4.6. Εμφανίσεις κάρστ	34
4.7. Υδρογραφικό δίκτυο	35
4.7.1. Οι κύριες υδρολογικές υπολεκάνες της υδρολογικής λεκάνης των Μεγάρων	36
4.7.1.1. Λεκάνη ρέματος Κουλουριώτικου	36
4.7.1.2. Λεκάνη ρέματος Καμάρας	37
4.7.1.3. Λεκάνη ρέματος Αγ. Στεφάνου	37
4.7.1.4. Λεκάνη ρέματος Μαυρατζά	37
4.7.2. Οι κύριες υδρολογικές υπολεκάνες της υδρολογικής λεκάνης του Αλεποχωρίου	38
4.7.2.1. Η λεκάνη της δολίνης Μεγάλο Βαθυχώρι	38
4.7.2.2. Η λεκάνη της Ψάθας	39
4.7.2.3. Η λεκάνη του Άνω Αλεποχωρίου και Ντουράκου	39
4.7.2.4. Η λεκάνη του Βαθύ Ρέματος	39
4.8. Γεωμυθολογική ερμηνεία της ευρύτερης περιοχής	39
5. ΥΔΡΟΛΟΓΙΑ	40
5.1. Γενικά	40
5.2. Θερμοκρασία	40
5.3. Ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα	42
5.4. Επιφανειακή Υδρολογία	43

5.4.1. Γενικά	43
5.4.2. Εκτίμηση των υδρολογικών παραμέτρων	44
5.4.2.1. Όγκος νερού από βροχόπτωση	44
5.4.2.2. Εξατμισοδιαπνοή	46
5.4.2.3. Κατείσδυση	48
5.4.2.4. Ολική απορροή	49
5.4.3. Εκτίμηση υδρολογικού ισοζυγίου	50
5.4.3.1. Υδρολογική λεκάνη Μεγάρων	50
5.4.3.2. Υδρολογική λεκάνη Αλεποχωρίου	51
6. ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ	55
6.1. Γενικά	55
6.2. Υδρογεωλογική συμπεριφορά των σχηματισμών της περιοχής έρευνας	55
6.3. Υδρογεωλογικές ενότητες	57
6.4. Πιεζομετρία και κίνηση υπόγειων υδάτων	59
7. ΓΕΩΧΗΜΕΙΑ	62
7.1. Εισαγωγή	62
7.2. Δειγματοληψία εδαφών – Αρχές δειγματοληψίας	63
7.3. Εργαστηριακές αναλύσεις	64
7.3.1. Προετοιμασία δειγμάτων εδαφών για εργαστηριακές αναλύσεις	64
7.3.2. Εκτέλεση εργαστηριακών αναλύσεων εδαφικών δειγμάτων	65
7.3.3. Παρουσίαση των αποτελεσμάτων	65
7.4. Περιγραφή – χωρική κατανομή των αποτελεσμάτων	67
7.4.1. Προσδιορισμός μηχανικής (κοκκομετρικής) σύστασης εδαφών	67
7.4.2. Προσδιορισμός οργανικής ουσίας με τη μέθοδο Walkley – Black	72
7.4.3. Τιμές του εδαφικού pH	75
7.4.4. Ηλεκτρική αγωγιμότητα (Electric Conductivity-EC)	77
7.4.5. Αδιάλυτα ανθρακικά ορυκτά – Μέθοδος Bernard	78
7.4.6. Βαρέα μέταλλα στα εδάφη	81
7.4.6.1. Γενικά	81
7.4.6.2. Διαδικασία και Μέθοδοι διαδοχικής εκχύλισης βαρέων μετάλλων	82
7.4.6.3. Εφαρμογή μεθοδολογίας διαδοχικής εκχύλισης των εδαφικών δειγμάτων	84
7.4.6.4. Κάδμιο (Cd)	88
7.4.6.5. Κοβάλτιο (Co)	92
7.4.6.6. Μαγγάνιο (Mn)	95
7.4.6.7. Νικέλιο (Ni)	98
7.4.6.8. Χρώμιο ολικό ($C_{r_{tot}}$)	102
7.4.6.9. Χαλκός (Cu)	105
7.4.6.10. Ψευδάργυρος (Zn)	108
7.5. Στατιστική επεξεργασία εδαφικών αναλύσεων	111
7.5.1. Στατιστική ανάλυση - γενικά	111
7.5.2. Περιγραφικά στατιστικά	111
7.5.3. Ανάλυση συσχέτισης (Correlation analysis)	112
7.5.4. Ανάλυση παραγόντων R – τύπου (factor analysis R – mode)	113
8. ΥΔΡΟΧΗΜΕΙΑ	118
8.1. Γενικά	118
8.2. Συλλογή δειγμάτων υπόγειου νερού και προετοιμασία τους στην	119

ύπαιθρο	
8.3. Προσδιορισμός φυσικοχημικών παραμέτρων στην ύπαιθρο	130
8.4. Εργαστηριακές αναλύσεις	130
8.4.1. Μέθοδοι προσδιορισμού των χημικών παραμέτρων	130
8.5. Έλεγχος των αποτελεσμάτων των χημικών αναλύσεων	131
8.6. Περιγραφή – Χωρική κατανομή των παραμέτρων	133
8.6.1. Φυσικοχημικές παράμετροι	133
8.6.1.1. Θερμοκρασία (T°C)	133
8.6.1.2. Η τιμή του pH	136
8.6.1.3. Διαλυμένο Οξυγόνο (DO)	142
8.6.1.4. Ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC)	143
8.6.1.5. Σκληρότητα	147
8.6.1.6. Ολικά Διαλυμένα Στερεά (TDS)	153
8.6.2. Κύρια στοιχεία	160
8.6.2.1. Ασβέστιο (Ca ²⁺)	160
8.6.2.2. Μαγνήσιο (Mg ²⁺)	163
8.6.2.3. Νάτριο (Na ⁺)	166
8.6.2.4. Κάλιο (K ⁺)	169
8.6.2.5. Οξυανθρακικά (HCO ₃ ⁻)	172
8.6.2.6. Χλώριο (Cl ⁻)	175
8.6.2.7. Θειϊκά (SO ₄ ²⁻)	180
8.6.2.8. Νιτρικά (NO ₃ ⁻)	183
8.6.3. Διοξείδιο του πυριτίου (SiO ₂)	186
8.6.4. Ιχνοενώσεις - Ιχνοστοιχεία	189
8.6.4.1. Αμμωνία (NH ₄ ⁺)	189
8.6.4.2. Φωσφορικά (PO ₄ ³⁻)	192
8.6.4.3. Νιτρώδη (NO ₂ ⁻)	195
8.6.4.4. Βρώμιο (Br ⁻)	197
8.6.4.5. Ιώδιο (I)	200
8.6.4.6. Φθόριο (F)	202
8.6.4.7. Λίθιο (Li)	206
8.6.5. Βαρέα μέταλλα	208
8.6.5.1. Κάδμιο (Cd)	208
8.6.5.2. Κοβάλτιο (Co)	209
8.6.5.3. Μαγγάνιο (Mn)	212
8.6.5.4. Μόλυβδος (Pb)	216
8.6.5.5. Νικέλιο (Ni)	218
8.6.5.6. Χρώμιο (Cr)	221
8.6.5.7. Χαλκός (Cu)	225
8.6.5.8. Ψευδάργυρος (Zn)	229
9. ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΥΔΡΟΧΗΜΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ	233
9.1. Γενικά	233
9.2. Ανάλυση συσχέτισης (correlation analysis)	233
9.3. Ανάλυση παραγόντων R – τύπου (factor analysis R – mode)	233
10. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ	245
10.1. Ταξινόμηση στο διάγραμμα Piper	245
10.2. Ταξινόμηση στο διάγραμμα Durov	252

11. ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΤΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ	258
11.1. Ιοντικές σχέσεις	258
11.2. Δείκτες Κορεσμού	261
11.3. Ταξινόμηση των υπόγειων νερών σύμφωνα με το συντελεστή Revelle	266
12. ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΧΡΗΣΕΙΣ	269
12.1. Γενικά	269
12.2. Ποσιμότητα	269
12.3. Άρδευση	280
12.3.1. Ταξινόμηση με βάση το διάγραμμα S.A.R	280
12.3.2. Ταξινόμηση με βάση το διάγραμμα Wilcox	284
12.3.3. Κατάταξη αρδευτικού νερού σύμφωνα με τον F.A.O	287
13. ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	293
14. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	297
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	304

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2.1: Πληθυσμός Δήμου Μεγάρων, λοιπών δήμων και Δήμου Μεγάρων, Δήμου Νέας Περάμου 1951-2001 (ΕΛ.ΣΤΑΤ.).	13
Πίνακας 3.1: Χημικές αναλύσεις βωξίτη (%) των κοιτασμάτων Μάνδρας και Μαλιαζέλας (Αρώνης 1954).	28
Πίνακας 5.1: Τιμές θερμοκρασίας για τους σταθμούς Μέγαρα και Ελευσίνα (ΕΜΥ).	42
Πίνακας 5.2: Μετεωρολογικοί σταθμοί στην ευρύτερη περιοχή έρευνας.	44
Πίνακας 5.3: Συντελεστές κατείδυσης των επιμέρους γεωλογικών σχηματισμών (Σούλιος 1996).	49
Πίνακας 5.4: Οι επιφάνειες ανάπτυξης των διαφόρων λιθολογικών σχηματισμών που συμμετέχουν στη δομή της υδρολογικής λεκάνης των Μεγάρων κατά ζώνη.	51
Πίνακας 5.5: Η επιφανειακή ανάπτυξη των γεωλογικών σχηματισμών της υδρολογικής λεκάνης των Μεγάρων και ο αντίστοιχος όγκος νερού που αυτοί δέχονται.	51
Πίνακας 5.6: Συγκεντρωτικός πίνακας εκτίμησης του υδρολογικού ισοζυγίου της υδρολογικής λεκάνης των Μεγάρων.	52
Πίνακας 5.7: Οι επιφάνειες ανάπτυξης των διαφόρων λιθολογικών σχηματισμών που συμμετέχουν στη δομή της υδρολογικής λεκάνης του Αλεποχωρίου κατά ζώνη.	53
Πίνακας 5.8: Η επιφανειακή ανάπτυξη των γεωλογικών σχηματισμών της υδρολογικής λεκάνης του Αλεποχωρίου και ο αντίστοιχος όγκος νερού που αυτοί δέχονται.	53
Πίνακας 5.9: Συγκεντρωτικός πίνακας εκτίμησης του υδρολογικού ισοζυγίου της υδρολογικής λεκάνης του Αλεποχωρίου.	54
Πίνακας 7.1: Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων ολικής συγκέντρωσης (mg/kg) των διαφόρων στοιχείων στα εδαφικά δείγματα βάθους προέλευσης 0-20 cm.	66
Πίνακας 7.2: Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων ολικής συγκέντρωσης (mg/kg) των διαφόρων στοιχείων στα εδαφικά δείγματα βάθους προέλευσης 20-40 cm.	66
Πίνακας 7.3: Εύρος λειτουργίας και ευαισθησία φασματόμετρου ατομικής απορρόφησης τύπου GBS 908.	67
Πίνακας 7.4: Αποτελέσματα κοκκομετρικής ανάλυσης των εδαφικών δειγμάτων του ανώτερου ορίζοντα (βάθος 0-20 cm).	69
Πίνακας 7.5: Αποτελέσματα κοκκομετρικής ανάλυσης των εδαφικών δειγμάτων του βαθύτερου ορίζοντα (βάθος 20-40 cm).	70
Πίνακας 7.6: Κλάσεις ή κατηγορίες μηχανικής σύστασης.	71
Πίνακας 7.7: Κατηγορίες μηχανικής σύστασης για το βάθος των 0-20 cm.	72
Πίνακας 7.8: Κατηγορίες μηχανικής σύστασης για το βάθος των 20-40 cm.	72
Πίνακας 7.9: Αποτελέσματα ολικής οργανικής ουσίας της μεθόδου Walkley – Black για τα δείγματα εδαφών βάθους 0-20 cm.	74
Πίνακας 7.10: Αποτελέσματα ολικής οργανικής ουσίας της μεθόδου Walkley – Black για τα δείγματα εδαφών βάθους 20-40 cm.	74
Πίνακας 7.11: Ταξινόμηση εδάφους βάσει της περιεκτικότητας σε οργανική ουσία κατά Walkley – Black.	75
Πίνακας 7.12: Κατηγορίες εδαφικών δειγμάτων σύμφωνα με Walkley – Black για τα βάθη των 0-20 cm και των 20-40cm.	75

Πίνακας 7.13: Χαρακτηρισμός εδαφών ανάλογα με το pH (Καλυβάς 2003).	76
Πίνακας 7.14: Μηχανισμοί που ελέγχουν το pH του εδάφους (Αλιφραγκής 2008).	76
Πίνακας 7.15: Τιμές pH εδαφικών δειγμάτων της λεκάνης των Μεγάρων για τα βάθη των 0-20 cm και 20-40 cm.	77
Πίνακας 7.16: Μετρήσεις ηλεκτρικής αγωγιμότητας εδαφικών δειγμάτων της λεκάνης των Μεγάρων για το βάθος των 0-20 cm και 20-40 cm.	78
Πίνακας 7.17: Κατηγορίες εδάφους κατά Bernard (Καλύβας 2003).	80
Πίνακας 7.18: Οι τιμές συγκέντρωσης του CaCO ₃ % στα δείγματα εδάφους 0-20 cm κατά Bernard.	80
Πίνακας 7.19: Τιμές CaCO ₃ % στα δείγματα εδάφους 20-40 cm βάθους κατά Bernard.	80
Πίνακας 7.20: Μέσες τιμές συγκέντρωσης ορισμένων βαρέων μετάλλων στο έδαφος (mg/kg) (Connor and Shackellete 1975).	81
Πίνακας 7.21: Πηγές βαρέων μετάλλων στα εδάφη (Κελεπερτζής 2000).	81
Πίνακας 7.22: Συγκεντρώσεις ανταλλάξιμων μορφών βαρέων μετάλλων των εδαφικών δειγμάτων των δυο οριζόντων 0-20 και 20-40 cm βάθους.	85
Πίνακας 7.23: Συγκεντρώσεις δεσμευμένων μορφών βαρέων μετάλλων στα ανθρακικά τεμαχίδια των εδαφικών δειγμάτων των δυο οριζόντων 0-20 και 20-40 cm βάθους.	85
Πίνακας 7.24: Συγκεντρώσεις δεσμευμένων μορφών βαρέων μετάλλων στα οξείδια Fe και Mn των εδαφικών δειγμάτων των δυο οριζόντων 0-20 και 20-40 cm βάθους.	86
Πίνακας 7.25: Συγκεντρώσεις δεσμευμένων μορφών βαρέων μετάλλων εδαφών στα οργανικά τεμαχίδια των εδαφικών δειγμάτων των δυο οριζόντων 0-20 και 20-40 cm βάθους.	86
Πίνακας 7.26: Συγκεντρώσεις δεσμευμένων μορφών βαρέων μετάλλων στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών των εδαφικών δειγμάτων των δυο οριζόντων 0-20 και 20-40 cm βάθους.	87
Πίνακας 7.27: Ολικές συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων στα εδαφικά δείγματα των δυο οριζόντων 0-20 και 20-40 cm βάθους.	87
Πίνακας 7.28: Στατιστικά στοιχεία εδαφών στα δυο βάθη (0 - 20 cm), (20 - 40 cm) και μέση συγκέντρωση εδαφών από Siegel (1974).	88
Πίνακας 7.29: Ανώτατες αποδεκτές τιμές μετάλλων σε εδάφη σύμφωνα με την Καναδική νομοθεσία (Canadian Environmental Quality Guidelines 2003).	89
Πίνακας 7.30: Ολικές συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων των εδαφών και ανώτατες αποδεκτές τιμές της Καναδικής (A.A.T.K.N.) και της Ολλανδικής νομοθεσίας (A.A.T.O.N.).	89
Πίνακας 7.31: Ανώτατες αποδεκτές τιμές μετάλλων σε εδάφη σύμφωνα με την Ολλανδική νομοθεσία (Dutch List 2000).	89
Πίνακας 7.32: Κατηγοριοποίηση εδαφών με βάση την ποσότητα εκχυλιζόμενου κοβαλτίου (Αλιφραγκής 2008).	92
Πίνακας 7.33: Περιγραφικά στατιστικά των δειγμάτων εδαφών της λεκάνης των Μεγάρων για το βάθος των 0-20 cm.	112
Πίνακας 7.34: Περιγραφικά στατιστικά των δειγμάτων εδαφών της λεκάνης των Μεγάρων για το βάθος των 20-40 cm.	112
Πίνακας 7.35: Τιμές του συντελεστή γραμμικής συσχέτισης (r) και χαρακτηρισμός συσχέτισης.	113

Πίνακας 7.36: Συντελεστές συσχέτισης των εδαφικών δειγμάτων της λεκάνης των Μεγάρων και για τα δυο βάθη δειγματοληψίας μαζί (0-20 cm και 20-40 cm).	113
Πίνακας 7.37: Ταξινόμηση παραγοντικών φορτίων (factor loadings) για τη διεξαγωγή παραγοντικής ανάλυσης R-τύπου (Liu et al. 2003, Panda et al. 2006).	116
Πίνακας 7.38: Παραγοντικά φορτία των μεταβλητών των εδαφών και για τα δυο βάθη δειγματοληψίας (0-20 cm και 20-40 cm) της λεκάνης των Μεγάρων.	117
Πίνακας 8.1: Αποτελέσματα φυσικοχημικών παραμέτρων και χημικών αναλύσεων στοιχείων και ιχνοστοιχείων των δειγμάτων των υπόγειων νερών υγρής περιόδου της περιοχής έρευνας.	121
Πίνακας 8.2: Αποτελέσματα φυσικοχημικών παραμέτρων και χημικών αναλύσεων στοιχείων και ιχνοστοιχείων των δειγμάτων των υπόγειων νερών ξηρής περιόδου της περιοχής έρευνας.	125
Πίνακας 8.3: Σφάλμα (%) των δειγμάτων των υπόγειων νερών της υγρής περιόδου.	132
Πίνακας 8.4: Σφάλμα (%) των δειγμάτων των υπόγειων νερών της ξηρής περιόδου.	133
Πίνακας 8.5: Περιγραφικά στατιστικά των δειγμάτων υπόγειων νερών της περιοχής έρευνας για την υγρή περίοδο δειγματοληψίας.	137
Πίνακας 8.6: Περιγραφικά στατιστικά των δειγμάτων υπόγειων νερών της περιοχής έρευνας για την ξηρή περίοδο δειγματοληψίας.	139
Πίνακας 8.7: Χαρακτηρισμός υπόγειων νερών με βάση την ολική σκληρότητα σύμφωνα με τους Sawyer et.al. (1994).	148
Πίνακας 8.8: Χαρακτηρισμός των υπόγειων νερών της περιοχής έρευνας για την υγρή περίοδο δειγματοληψίας ως προς τη σκληρότητα.	149
Πίνακας 8.9: Χαρακτηρισμός των υπόγειων νερών της περιοχής έρευνας για την ξηρή περίοδο δειγματοληψίας ως προς τη σκληρότητα.	150
Πίνακας 8.10: Ταξινόμηση νερού από τις τιμές του TDS σύμφωνα με τους Davis and De – Wiest (1996).	153
Πίνακας 8.11: Χαρακτηρισμός των υπόγειων νερών της λεκάνης των Μεγάρων για την υγρή περίοδο δειγματοληψίας ως προς τα ολικά διαλυμένα στερεά (TDS).	154
Πίνακας 8.12: Χαρακτηρισμός των υπόγειων νερών της λεκάνης των Μεγάρων για την ξηρή περίοδο δειγματοληψίας ως προς τα ολικά διαλυμένα στερεά (TDS).	155
Πίνακας 9.1: Συντελεστές συσχέτισης (r) κύριων στοιχείων και ιχνοστοιχείων στα υπόγεια νερά της λεκάνης των Μεγάρων για την υγρή περίοδο δειγματοληψίας.	234
Πίνακας 9.2: Συντελεστές συσχέτισης (r) κύριων στοιχείων και ιχνοστοιχείων στα υπόγεια νερά της λεκάνης των Μεγάρων για την ξηρή περίοδο δειγματοληψίας.	235
Πίνακας 9.3: Παραγοντικά φορτία των μεταβλητών του υπόγειου νερού για την υγρή περίοδο δειγματοληψίας.	236
Πίνακας 9.4: Παραγοντικά φορτία των μεταβλητών του υπόγειου νερού για την ξηρή περίοδο δειγματοληψίας.	236
Πίνακας 10.1: Υδροχημικοί τύποι που προκύπτουν για τα υπόγεια νερά των τεταρτογενών, νεογενών και καρστικών σχηματισμών κατά Piper.	251
Πίνακας 10.2: Κατάταξη των υπόγειων νερών της περιοχής έρευνας κατά	256

Δυγον για την υγρή περίοδο.	
Πίνακας 10.3: Κατάταξη των υπόγειων νερών της περιοχής έρευνας κατά Δυγον για την ξηρή περίοδο.	256
Πίνακας 11.1: Ο λόγος Na/Cl στα δείγματα υπόγειου νερού της περιοχής έρευνας για την υγρή και την ξηρή περίοδο δειγματοληψίας.	259
Πίνακας 11.2: Οι ιοντικές σχέσεις Na/Cl και (Ca + Mg - SO ₄ - HCO ₃)/Cl των υπόγειων νερών για την υγρή περίοδο δειγματοληψίας.	260
Πίνακας 11.3: Οι ιοντικές σχέσεις Na/Cl και (Ca + Mg - SO ₄ - HCO ₃)/Cl των υπόγειων νερών για την ξηρή περίοδο δειγματοληψίας.	261
Πίνακας 11.4: Οι τιμές της ιοντικής σχέσης Cl/Br στα υπόγεια νερά της περιοχής έρευνας για τις δυο περιόδους δειγματοληψίας.	262
Πίνακας 11.5: Δείκτες κορεσμού (S.I.) διαφόρων ορυκτών για τα δείγματα υπόγειων νερών υγρής περιόδου της περιοχής έρευνας.	263
Πίνακας 11.6: Δείκτες κορεσμού (S.I.) διαφόρων ορυκτών για τα δείγματα υπόγειων νερών ξηρής περιόδου της περιοχής έρευνας.	264
Πίνακας 11.7: Χαρακτηρισμός υπόγειου νερού σύμφωνα με το συντελεστή Revelle (Καλλέργης 2000).	267
Πίνακας 11.8: Χαρακτηρισμός δειγμάτων υπόγειων νερών υγρής περιόδου της λεκάνης των Μεγάρων σύμφωνα με το συντελεστή Revelle.	267
Πίνακας 11.9: Χαρακτηρισμός δειγμάτων υπόγειων νερών ξηρής περιόδου της λεκάνης των Μεγάρων σύμφωνα με το συντελεστή Revelle.	268
Πίνακας 12.1: Καταλληλότητα ποσιμότητας υπόγειων νερών της υγρής περιόδου δειγματοληψίας σύμφωνα με την κοινοτική οδηγία 98/83/EK.	270
Πίνακας 12.2: Καταλληλότητα ποσιμότητας υπόγειων νερών της ξηρής περιόδου δειγματοληψίας σύμφωνα με την κοινοτική οδηγία 98/83/EK.	274
Πίνακας 12.3: Καταλληλότητα ποσιμότητας των υπόγειων νερών της λεκάνης των Μεγάρων για την υγρή περίοδο σύμφωνα με την Κοινοτική οδηγία 98/83/EK.	278
Πίνακας 12.4: Καταλληλότητα ποσιμότητας των υπόγειων νερών της λεκάνης των Μεγάρων για την ξηρή περίοδο σύμφωνα με την Κοινοτική οδηγία 98/83/EK.	278
Πίνακας 12.5: Ποιοτική ταξινόμηση αρδευτικού νερού (Wilcox 1955, Καλλέργης 1986).	285
Πίνακας 12.6: Κατάταξη νερού άρδευσης (Ayers and Westcot 1985).	288
Πίνακας 12.7: Χαρακτηρισμός των υπόγειων νερών της υγρής περιόδου δειγματοληψίας ως προς την καταλληλότητά τους για άρδευση.	290
Πίνακας 12.8: Χαρακτηρισμός των υπόγειων νερών της ξηρής περιόδου δειγματοληψίας ως προς την καταλληλότητά τους για άρδευση.	290
Πίνακας 12.9: Ανώτατα επιτρεπτά όρια των ιχνοστοιχείων του νερού που προορίζονται για αρδευτική χρήση (Ayers and Westcot 1985).	291

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1.1: Σχηματική αναπαράσταση του υδρολογικού κύκλου (τροποποιημένη εικόνα από την αρχική έκδοση του USGS 2002).	4
Σχήμα 1.2: Περιοχές της Ελλάδας όπου παρατηρείται έντονη υφαλμύριση των παράκτιων υδροφορέων (www.geo.auth.gr).	6
Σχήμα 2.1: Χάρτης γεωγραφικής τοποθέτησης της λεκάνης των Μεγάρων όπου απεικονίζονται οι κυριότεροι οικισμοί και τοπωνύμια (■ Περιοχή έρευνας).	12
Σχήμα 2.2: Πληθυσμιακή κατανομή ετών 1951-2001 του Δ.Μεγάρων και των λοιπών δήμων και του Δ.Μεγάρων και Δ.Νέας Περάμου (ΕΛ.ΣΤΑΤ.).	13
Σχήμα 2.3: Χάρτης χωρικής κατανομής χρήσεων γης της περιοχής έρευνας (CORINE 2000).	14
Σχήμα 2.4: Διάγραμμα ποσοστιαίας κατανομής χρήσεων γης περιοχής έρευνας.	15
Σχήμα 3.1: Γεωλογικός χάρτης περιοχής έρευνας. Ο χάρτης έχει προκύψει με ψηφιοποίηση γεωλογικών δεδομένων τα οποία προέρχονται από τις ακόλουθες βιβλιογραφικές πηγές: Δούνας κ.α. (1971), Μπορνόβας κ.α. (1984) Γαϊτανάκης κ.α. (1984), Γαϊτανάκης κ.α. (1985).	17
Σχήμα 3.2: Στρωματογραφική στήλη περιοχής Μεγάρων – Ερυθρών (Δρίτσα και Μυτσικίδου 1993).	18
Σχήμα 3.3: Απλοποιημένος μορφοτεκτονικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής έρευνας (Mariolakos and Paranikolaou 1982).	25
Σχήμα 3.4: Σχηματικό block – διάγραμμα τεκτονικού καθεστώτος μορφοτεκτονικών δομών της ευρύτερης περιοχής έρευνας (Mariolakos and Paranikolaou 1982).	25
Σχήμα 4.1: Ψηφιακό μοντέλο εδάφους με το υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής έρευνας.	29
Σχήμα 4.2: Μορφολογικές ενότητες της περιοχής έρευνας.	30
Σχήμα 4.3: Τα κυριότερα ρέματα της περιοχής έρευνας.	31
Σχήμα 4.4: Χάρτης κλίσεων της περιοχής έρευνας.	31
Σχήμα 4.5: Χάρτης προσανατολισμού των πρηνών στην περιοχή έρευνας.	32
Σχήμα 4.6: Χάρτης όπου απεικονίζονται οι λεκάνες των ρεμάτων και οι τάξεις του υδρογραφικού δικτύου της περιοχής έρευνας.	35
Σχήμα 4.7: Οι κύριες υδρολογικές λεκάνες των Μεγάρων και του Αλεποχωρίου.	36
Σχήμα 4.8: Υδρογραφικό δίκτυο σε σύγκριση με τη γεωλογία της περιοχής έρευνας.	38
Σχήμα 5.1: Χάρτης θέσεων βροχομετρικών σταθμών.	40
Σχήμα 5.2: Κατανομή μέσης θερμοκρασίας (°C), (έτη 1960-1990), (Μετ. Σταθμός Μέγαρα).	41
Σχήμα 5.3: Κατανομή μέσης θερμοκρασίας (°C), (έτη 1990-2004), (Μετ. Σταθμός Ελευσίνα).	41
Σχήμα 5.4: Κατανομή μέσου ύψους βροχής (mm), (έτη 1960-1990) του μετεωρολογικού σταθμού Μέγαρα.	42
Σχήμα 5.5: Κατανομή μέσου ύψους βροχής (mm), (έτη 1990-2004) του μετεωρολογικού σταθμού Ελευσίνα.	43
Σχήμα 5.6: Ομβροθερμικό διάγραμμα, (έτη 1975-1990) του μετεωρολογικού σταθμού Μέγαρα.	43
Σχήμα 5.7: Ομβροθερμικό διάγραμμα, (έτη 1990-2004) του	44

μετεωρολογικού σταθμού Ελευσίνα.	
Σχήμα 5.8: Βροχοβαθμίδα της περιοχής έρευνας.	45
Σχήμα 5.9: Απεικόνιση των υψομετρικών ζωνών και των αντίστοιχων υψών βροχόπτωσης (P).	46
Σχήμα 5.10: Βροχομετρικός χάρτης Ελλάδας με βάση τα δεδομένα της ΔΕΗ για το χρονικό διάστημα 1950-1974 (Κούκης και Σαμπατακάκης 2007).	47
Σχήμα 5.11: Οι υδρολογικές λεκάνες των Μεγάρων και του Αλεποχωρίου	50
Σχήμα 5.12: Διαγραμματική απεικόνιση του υδρολογικού ισοζυγίου της λεκάνης των Μεγάρων και του Αλεποχωρίου.	54
Σχήμα 6.1: Υδρολιθολογικός χάρτης της περιοχής έρευνας	55
Σχήμα 6.2: Χάρτης υδροϊσοψών καμπυλών με στοιχεία διακύμανσης της στάθμης τα οποία έχουν προκύψει από τα απόλυτα υψόμετρα στάθμης των υπόγειων νερών της λεκάνης των Μεγάρων για τις περιόδους Φθινόπωρο 1999, Άνοιξη 2000, Φθινόπωρο 2000 και Άνοιξη 2001 (Παρασκούδης 2002) (___10___, Υδροϊσοψείς καμπύλες καρστικών οριζόντων, ___20___, Υδροϊσοψείς καμπύλες Νεογενούς και των υπερκείμενων Τεταρτογενών όπου υπάρχουν, - - - -, πιθανή προέκταση).	59
Σχήμα 7.1: Χάρτης σημείων δειγματοληψίας εδαφών.	63
Σχήμα 7.2: Εδαφοτρυπάνη (auger) που χρησιμοποιήθηκε για τη συλλογή των δειγμάτων εδάφους.	64
Σχήμα 7.3: Τριγωνικό διάγραμμα συντεταγμένων για την ταξινόμηση των δειγμάτων των εδαφών σε κλάσεις μηχανικής συστάσεως σε βάθος 0-20 cm.	70
Σχήμα 7.4: Κατανομή συγκεντρώσεων Cd (mg/kg) στα εδαφικά δείγματα βάθους 0-20 cm.	90
Σχήμα 7.5: Κατανομή συγκεντρώσεων Cd (mg/kg) στα εδαφικά δείγματα βάθους 20-40 cm.	90
Σχήμα 7.6: Διάγραμμα ποσοστών συμμετοχής των διαφόρων κλασμάτων Cd στα εδάφη της λεκάνης των Μεγάρων για το βάθος των 0-20 cm.	91
Σχήμα 7.7: Διάγραμμα ποσοστών συμμετοχής των διαφόρων κλασμάτων Cd στα εδάφη της λεκάνης των Μεγάρων για το βάθος των 20-40 cm.	91
Σχήμα 7.8: Κατανομή συγκέντρωσης Co (mg/kg) στα εδαφικά δείγματα βάθους 0-20 cm.	93
Σχήμα 7.9: Κατανομή συγκέντρωσης Co (mg/kg) στα εδαφικά δείγματα βάθους 20-40 cm.	94
Σχήμα 7.10: Διάγραμμα ποσοστών συμμετοχής των διαφόρων κλασμάτων Co στα εδάφη της λεκάνης των Μεγάρων για το βάθος των 0-20 cm.	95
Σχήμα 7.11: Διάγραμμα ποσοστών συμμετοχής των διαφόρων κλασμάτων Co στα εδάφη της λεκάνης των Μεγάρων για το βάθος των 20-40 cm.	95
Σχήμα 7.12: Κατανομή συγκεντρώσεων Mn (mg/kg) στα εδαφικά δείγματα βάθους 0-20 cm.	97
Σχήμα 7.13: Κατανομή συγκεντρώσεων Mn (mg/kg) στα εδαφικά δείγματα βάθους 20-40 cm.	97
Σχήμα 7.14: Διάγραμμα ποσοστών συμμετοχής των διαφόρων κλασμάτων Mn στα εδάφη της λεκάνης των Μεγάρων για το βάθος των 0-20 cm.	98
Σχήμα 7.15: Διάγραμμα ποσοστών συμμετοχής των διαφόρων κλασμάτων Mn στα εδάφη της λεκάνης των Μεγάρων για το βάθος των 20-40 cm.	98
Σχήμα 7.16: Κατανομή συγκεντρώσεων Ni (mg/kg) στα εδαφικά δείγματα βάθους 0-20 cm.	100

Σχήμα 7.17: Κατανομή συγκεντρώσεων Ni (mg/kg) στα εδαφικά δείγματα βάθους 20-40 cm.	100
Σχήμα 7.18: Διάγραμμα ποσοστών συμμετοχής των διαφόρων κλασμάτων Ni στα εδάφη της λεκάνης των Μεγάρων για το βάθος των 0-20 cm.	101
Σχήμα 7.19: Διάγραμμα ποσοστών συμμετοχής των διαφόρων κλασμάτων Ni στα εδάφη της λεκάνης των Μεγάρων για το βάθος των 20-40 cm.	101
Σχήμα 7.20: Κατανομή συγκέντρωσης Cr (mg/kg) στα εδαφικά δείγματα βάθους 0-20 cm.	103
Σχήμα 7.21: Κατανομή συγκεντρώσεων Cr (mg/kg) στα εδαφικά δείγματα βάθους 20-40 cm.	104
Σχήμα 7.22: Διάγραμμα ποσοστών συμμετοχής των διαφόρων κλασμάτων χρωμίου (Cr) στα εδάφη της λεκάνης των Μεγάρων για το βάθος των 0-20 cm.	104
Σχήμα 7.23: Διάγραμμα ποσοστών συμμετοχής των διαφόρων κλασμάτων Cr στα εδάφη της λεκάνης των Μεγάρων για το βάθος των 20-40 cm.	105
Σχήμα 7.24: Κατανομή συγκεντρώσεων Cu (mg/kg) στα εδαφικά δείγματα βάθους 0-20 cm.	106
Σχήμα 7.25: Κατανομή συγκεντρώσεων Cu (mg/kg) στα εδαφικά δείγματα βάθους 20-40 cm.	107
Σχήμα 7.26: Διάγραμμα ποσοστών συμμετοχής των διαφόρων κλασμάτων Cu στα εδάφη της λεκάνης των Μεγάρων για το βάθος των 0-20 cm.	107
Σχήμα 7.27: Διάγραμμα ποσοστών συμμετοχής των διαφόρων κλασμάτων Cu στα εδάφη της λεκάνης των Μεγάρων για το βάθος των 20-40 cm.	108
Σχήμα 7.28: Κατανομή συγκεντρώσεων Zn (mg/kg) στα εδαφικά δείγματα βάθους 0-20 cm.	109
Σχήμα 7.29: Κατανομή συγκεντρώσεων Zn (mg/kg) στα εδαφικά δείγματα βάθους 20-40 cm.	110
Σχήμα 7.30: Διάγραμμα ποσοστών συμμετοχής των διαφόρων κλασμάτων Zn στα εδάφη της λεκάνης των Μεγάρων για το βάθος των 0-20 cm.	110
Σχήμα 7.31: Διάγραμμα ποσοστών συμμετοχής των διαφόρων κλασμάτων Zn στα εδάφη της λεκάνης των Μεγάρων για το βάθος των 20-40 cm.	111
Σχήμα 8.1: Γεωλογικός χάρτης της περιοχής έρευνας με τα σημεία δειγματοληψίας υπόγειου νερού της υγρής περιόδου.	120
Σχήμα 8.2: Γεωλογικός χάρτης της περιοχής έρευνας με τα σημεία δειγματοληψίας υπόγειου νερού της ξηρής περιόδου.	120
Σχήμα 8.3: Παρουσίαση της αρχής λειτουργίας του ICP MS.	131
Σχήμα 8.4: Ιστόγραμμα κατανομής της θερμοκρασίας στα δείγματα υπόγειων νερών υγρής περιόδου.	134
Σχήμα 8.5: Ιστόγραμμα κατανομής της θερμοκρασίας στα δείγματα υπόγειων νερών ξηρής περιόδου.	134
Σχήμα 8.6: Διακύμανση των τιμών θερμοκρασίας υγρής περιόδου των τριών υδροφορέων.	134
Σχήμα 8.7: Διακύμανση των τιμών θερμοκρασίας ξηρής περιόδου των τριών υδροφορέων.	134
Σχήμα 8.8: Χωρική κατανομή της τιμής της θερμοκρασίας (oC) των υπόγειων νερών κατά την υγρή περίοδο.	135
Σχήμα 8.9: Χωρική κατανομή της τιμής της θερμοκρασίας (oC) των υπόγειων νερών κατά την ξηρή περίοδο.	136
Σχήμα 8.10: Ιστόγραμμα κατανομής του pH στα δείγματα υπόγειων νερών υγρής περιόδου.	141

Σχήμα 8.11: Ιστόγραμμα κατανομής του pH στα δείγματα υπόγειων νερών ξηρής περιόδου.	141
Σχήμα 8.12: Διακύμανση των τιμών pH υγρής περιόδου των τριών υδροφορέων.	141
Σχήμα 8.13: Διακύμανση των τιμών pH ξηρής περιόδου των τριών υδροφορέων.	141
Σχήμα 8.14: Ιστόγραμμα κατανομής του διαλυμένου οξυγόνου στα δείγματα υπόγειων νερών υγρής περιόδου.	142
Σχήμα 8.15: Ιστόγραμμα κατανομής του διαλυμένου οξυγόνου στα δείγματα υπόγειων νερών ξηρής περιόδου.	142
Σχήμα 8.16: Διακύμανση των τιμών διαλυμένου οξυγόνου υγρής περιόδου των τριών υδροφορέων.	143
Σχήμα 8.17: Διακύμανση των τιμών διαλυμένου οξυγόνου ξηρής περιόδου των τριών υδροφορέων.	143
Σχήμα 8.18: Ιστόγραμμα κατανομής της αγωγιμότητας στα δείγματα υπόγειων νερών υγρής περιόδου.	144
Σχήμα 8.19: Ιστόγραμμα κατανομής της αγωγιμότητας στα δείγματα υπόγειων νερών ξηρής περιόδου.	144
Σχήμα 8.20: Διακύμανση των τιμών αγωγιμότητας υγρής περιόδου των τριών υδροφορέων.	144
Σχήμα 8.21: Διακύμανση των τιμών αγωγιμότητας ξηρής περιόδου των τριών υδροφορέων.	144
Σχήμα 8.22: Τιμές αγωγιμότητας ($\mu\text{S}/\text{cm}$) των υπόγειων νερών κατά την υγρή περίοδο (α) σημειακή απεικόνιση κλάσεων, (β) απεικόνιση καμπυλών.	146
Σχήμα 8.23: Τιμές αγωγιμότητας ($\mu\text{S}/\text{cm}$) των υπόγειων νερών κατά την ξηρή περίοδο (α) σημειακή απεικόνιση κλάσεων, (β) απεικόνιση καμπυλών.	147
Σχήμα 8.24: Διάγραμμα που απεικονίζει την ταξινόμηση των δειγμάτων υπόγειων νερών υγρής περιόδου με βάση τη σκληρότητα.	150
Σχήμα 8.25: Διάγραμμα που απεικονίζει την ταξινόμηση των δειγμάτων υπόγειων νερών ξηρής περιόδου με βάση τη σκληρότητα.	150
Σχήμα 8.26: Ιστόγραμμα κατανομής της σκληρότητας στα δείγματα υπόγειων νερών υγρής περιόδου.	151
Σχήμα 8.27: Ιστόγραμμα κατανομής της σκληρότητας στα δείγματα υπόγειων νερών ξηρής περιόδου.	151
Σχήμα 8.28: Διακύμανση των τιμών σκληρότητας υγρής περιόδου των τριών υδροφορέων.	151
Σχήμα 8.29: Διακύμανση των τιμών σκληρότητας ξηρής περιόδου των τριών υδροφορέων.	151
Σχήμα 8.30: Χωρική κατανομή συγκέντρωσης σκληρότητας (CaCO_3 mg/L) των υπόγειων νερών κατά την υγρή περίοδο.	152
Σχήμα 8.31: Χωρική κατανομή συγκέντρωσης σκληρότητας (CaCO_3 mg/L) των υπόγειων νερών κατά την ξηρή περίοδο.	153
Σχήμα 8.32: Διάγραμμα που απεικονίζει την ταξινόμηση των δειγμάτων υπόγειων νερών υγρής περιόδου με βάση την αλατότητα τους.	155
Σχήμα 8.33: Διάγραμμα που απεικονίζει την ταξινόμηση των δειγμάτων υπόγειων νερών ξηρής περιόδου με βάση την αλατότητα τους.	155
Σχήμα 8.34: Ιστόγραμμα κατανομής των ολικών διαλυμένων στερεών (TDS) στα δείγματα υπόγειων νερών υγρής περιόδου.	156

Σχήμα 8.35: Ιστόγραμμα κατανομής των ολικών διαλυμένων στερεών (TDS) στα δείγματα υπόγειων νερών ξηρής περιόδου.	156
Σχήμα 8.36: Διακύμανση των τιμών των ολικών διαλυμένων στερεών (TDS) υγρής περιόδου των τριών υδροφορέων.	156
Σχήμα 8.37: Διακύμανση των τιμών των ολικών διαλυμένων στερεών (TDS) ξηρής περιόδου των τριών υδροφορέων.	156
Σχήμα 8.38: Χωρική κατανομή συγκέντρωσης των ολικών διαλυμένων στερεών (TDS) (mg/L) των υπόγειων νερών κατά την υγρή περίοδο και γεωλογική τομή AA' όπου απεικονίζονται τα ποσοστά των κύριων στοιχείων.	158
Σχήμα 8.39: Χωρική κατανομή συγκέντρωσης των ολικών διαλυμένων στερεών (TDS) (mg/L) των υπόγειων νερών κατά την ξηρή περίοδο και γεωλογική τομή AA' όπου απεικονίζονται τα ποσοστά των κύριων στοιχείων.	159
Σχήμα 8.40: Ιστόγραμμα κατανομής του ασβεστίου στα δείγματα υπόγειων νερών υγρής περιόδου.	160
Σχήμα 8.41: Ιστόγραμμα κατανομής του ασβεστίου στα δείγματα υπόγειων νερών ξηρής περιόδου.	160
Σχήμα 8.42: Διακύμανση των συγκεντρώσεων του ασβεστίου υγρής περιόδου των τριών υδροφόρων.	161
Σχήμα 8.43: Διακύμανση των συγκεντρώσεων του ασβεστίου ξηρής περιόδου των τριών υδροφόρων.	161
Σχήμα 8.44: Χωρική κατανομή συγκέντρωσης ασβεστίου (mg/l) των υπόγειων νερών κατά την υγρή περίοδο.	162
Σχήμα 8.45: Χωρική κατανομή συγκέντρωσης ασβεστίου (mg/l) των υπόγειων νερών κατά την ξηρή περίοδο.	162
Σχήμα 8.46: Ιστόγραμμα κατανομής του μαγνησίου στα δείγματα υπόγειων νερών υγρής περιόδου.	164
Σχήμα 8.47: Ιστόγραμμα κατανομής του μαγνησίου στα δείγματα υπόγειων νερών ξηρής περιόδου.	164
Σχήμα 8.48: Διακύμανση των συγκεντρώσεων του μαγνησίου υγρής περιόδου των τριών υδροφόρων.	164
Σχήμα 8.49: Διακύμανση των συγκεντρώσεων του μαγνησίου ξηρής περιόδου των τριών υδροφόρων.	164
Σχήμα 8.50: Χωρική κατανομή συγκέντρωσης μαγνησίου (mg/l) των υπόγειων νερών κατά την υγρή περίοδο.	165
Σχήμα 8.51: Χωρική κατανομή συγκέντρωσης μαγνησίου (mg/l) των υπόγειων νερών κατά την ξηρή περίοδο.	166
Σχήμα 8.52: Ιστόγραμμα κατανομής του νατρίου στα δείγματα υπόγειων νερών υγρής περιόδου.	167
Σχήμα 8.53: Ιστόγραμμα κατανομής του νατρίου στα δείγματα υπόγειων νερών ξηρής περιόδου.	167
Σχήμα 8.54: Διακύμανση των συγκεντρώσεων νατρίου υγρής περιόδου των τριών υδροφορέων.	167
Σχήμα 8.55: Διακύμανση των συγκεντρώσεων νατρίου ξηρής περιόδου των τριών υδροφορέων.	167
Σχήμα 8.56: Χωρική κατανομή συγκέντρωσης νατρίου (mg/l) των υπόγειων νερών κατά την υγρή περίοδο.	168
Σχήμα 8.57: Χωρική κατανομή συγκέντρωσης νατρίου (mg/l) των υπόγειων νερών κατά την ξηρή περίοδο.	169

Σχήμα 8.58: Ιστόγραμμα κατανομής του καλίου στα δείγματα υπόγειων νερών υγρής περιόδου.	170
Σχήμα 8.59: Ιστόγραμμα κατανομής του καλίου στα δείγματα υπόγειων νερών ξηρής περιόδου.	170
Σχήμα 8.60: Διακύμανση των συγκεντρώσεων καλίου υγρής περιόδου των τριών υδροφορέων.	170
Σχήμα 8.61: Διακύμανση των συγκεντρώσεων καλίου ξηρής περιόδου των τριών υδροφορέων.	170
Σχήμα 8.62: Χωρική κατανομή συγκέντρωσης καλίου (mg/L) των υπόγειων νερών κατά την υγρή περίοδο.	171
Σχήμα 8.63: Χωρική κατανομή συγκέντρωσης καλίου (mg/L) των υπόγειων νερών κατά την ξηρή περίοδο.	172
Σχήμα 8.64: Ιστόγραμμα κατανομής των όξινων ανθρακικών στα δείγματα υπόγειων νερών υγρής περιόδου.	173
Σχήμα 8.65: Ιστόγραμμα κατανομής των όξινων ανθρακικών στα δείγματα υπόγειων νερών ξηρής περιόδου.	173
Σχήμα 8.66: Διακύμανση των συγκεντρώσεων όξινων ανθρακικών υγρής περιόδου των τριών υδροφορέων.	173
Σχήμα 8.67: Διακύμανση των συγκεντρώσεων όξινων ανθρακικών ξηρής περιόδου των τριών υδροφορέων.	173
Σχήμα 8.68: Χωρική κατανομή συγκέντρωσης των όξινων ανθρακικών (mg/L) των υπόγειων νερών κατά την υγρή περίοδο.	174
Σχήμα 8.69: Χωρική κατανομή συγκέντρωσης των όξινων ανθρακικών (mg/L) των υπόγειων νερών κατά την ξηρή περίοδο.	175
Σχήμα 8.70: Ιστόγραμμα κατανομής του χλωρίου στα δείγματα υπόγειων νερών υγρής περιόδου.	176
Σχήμα 8.71: Ιστόγραμμα κατανομής του χλωρίου στα δείγματα υπόγειων νερών ξηρής περιόδου.	176
Σχήμα 8.72: Διακύμανση των συγκεντρώσεων χλωρίου υγρής περιόδου των τριών υδροφορέων.	177
Σχήμα 8.73: Διακύμανση των συγκεντρώσεων χλωρίου ξηρής περιόδου των τριών υδροφορέων.	177
Σχήμα 8.74: Χωρική κατανομή συγκέντρωσης χλωρίου (mg/L) των υπόγειων νερών κατά την υγρή περίοδο (α) σημειακή απεικόνιση κλάσεων, (β) απεικόνιση ισοπεριεκτικών καμπυλών.	178
Σχήμα 8.75: Χωρική κατανομή συγκέντρωσης χλωρίου (mg/L) των υπόγειων νερών κατά την ξηρή περίοδο (α) σημειακή απεικόνιση κλάσεων, (β) απεικόνιση ισοπεριεκτικών καμπυλών.	179
Σχήμα 8.76: Ιστόγραμμα κατανομής των θειϊκών στα δείγματα υπόγειων νερών υγρής περιόδου.	180
Σχήμα 8.77: Ιστόγραμμα κατανομής των θειϊκών στα δείγματα υπόγειων νερών ξηρής περιόδου.	180
Σχήμα 8.78: Διακύμανση των συγκεντρώσεων θειϊκών υγρής περιόδου των τριών υδροφορέων.	181
Σχήμα 8.79: Διακύμανση των συγκεντρώσεων θειϊκών ξηρής περιόδου των τριών υδροφορέων.	181
Σχήμα 8.80: Χωρική κατανομή συγκέντρωσης θειϊκών (mg/L) των υπόγειων νερών κατά την υγρή περίοδο.	182
Σχήμα 8.81: Χωρική κατανομή συγκέντρωσης θειϊκών (mg/L) των υπόγειων νερών κατά την ξηρή περίοδο.	182

Σχήμα 8.82: Ιστόγραμμα κατανομής των νιτρικών στα δείγματα υπόγειων νερών υγρής περιόδου.	183
Σχήμα 8.83: Ιστόγραμμα κατανομής των νιτρικών στα δείγματα υπόγειων νερών ξηρής περιόδου.	183
Σχήμα 8.84: Διακύμανση των συγκεντρώσεων νιτρικών υγρής περιόδου των τριών υδροφορέων.	184
Σχήμα 8.85: Διακύμανση των συγκεντρώσεων νιτρικών ξηρής περιόδου των τριών υδροφορέων.	184
Σχήμα 8.86: Χωρική κατανομή συγκέντρωσης νιτρικών (mg/L) των υπόγειων νερών κατά την υγρή περίοδο.	185
Σχήμα 8.87: Χωρική κατανομή συγκέντρωσης νιτρικών (mg/L) των υπόγειων νερών κατά την ξηρή περίοδο.	185
Σχήμα 8.88: Ιστόγραμμα κατανομής του διοξειδίου του πυριτίου στα δείγματα υπόγειων νερών υγρής περιόδου.	186
Σχήμα 8.89: Ιστόγραμμα κατανομής του διοξειδίου του πυριτίου στα δείγματα υπόγειων νερών ξηρής περιόδου.	186
Σχήμα 8.90: Διακύμανση των συγκεντρώσεων του διοξειδίου του πυριτίου υγρής περιόδου των τριών υδροφόρων.	187
Σχήμα 8.91: Διακύμανση των συγκεντρώσεων του διοξειδίου του πυριτίου ξηρής περιόδου των τριών υδροφόρων.	187
Σχήμα 8.92: Χωρική κατανομή συγκέντρωσης διοξειδίου του πυριτίου (mg/l) των υπόγειων νερών κατά την υγρή περίοδο.	188
Σχήμα 8.93: Χωρική κατανομή συγκέντρωσης διοξειδίου του πυριτίου (mg/l) των υπόγειων νερών κατά την ξηρή περίοδο.	188
Σχήμα 8.94: Ιστόγραμμα κατανομής της αμμωνίας στα δείγματα υπόγειων νερών υγρής περιόδου.	189
Σχήμα 8.95: Ιστόγραμμα κατανομής της αμμωνίας στα δείγματα υπόγειων νερών ξηρής περιόδου.	189
Σχήμα 8.96: Διακύμανση των συγκεντρώσεων της αμμωνίας υγρής περιόδου των τριών υδροφόρων.	190
Σχήμα 8.97: Διακύμανση των συγκεντρώσεων της αμμωνίας ξηρής περιόδου των τριών υδροφόρων.	190
Σχήμα 8.98: Χωρική κατανομή συγκέντρωσης αμμωνίας (mg/L) των υπόγειων νερών κατά την υγρή περίοδο.	191
Σχήμα 8.99: Χωρική κατανομή συγκέντρωσης αμμωνίας (mg/L) των υπόγειων νερών κατά την ξηρή περίοδο.	191
Σχήμα 8.100: Ιστόγραμμα κατανομής των φωσφορικών στα δείγματα υπόγειων νερών υγρής περιόδου.	192
Σχήμα 8.101: Ιστόγραμμα κατανομής των φωσφορικών στα δείγματα υπόγειων νερών ξηρής περιόδου.	192
Σχήμα 8.102: Διακύμανση των συγκεντρώσεων των φωσφορικών υγρής περιόδου των τριών υδροφόρων.	193
Σχήμα 8.103: Διακύμανση των συγκεντρώσεων των φωσφορικών ξηρής περιόδου των τριών υδροφόρων.	193
Σχήμα 8.104: Χωρική κατανομή συγκέντρωσης φωσφορικών (mg/L) των υπόγειων νερών κατά την υγρή περίοδο.	194
Σχήμα 8.105: Χωρική κατανομή συγκέντρωσης φωσφορικών (mg/L) των υπόγειων νερών κατά την ξηρή περίοδο.	194
Σχήμα 8.106: Ιστόγραμμα κατανομής των νιτρικών στα δείγματα υπόγειων νερών υγρής περιόδου.	195

Σχήμα 8.107: Ιστόγραμμα κατανομής των νιτρωδών στα δείγματα υπόγειων νερών ξηρής περιόδου.	195
Σχήμα 8.108: Διακύμανση των συγκεντρώσεων των νιτρωδών υγρής περιόδου των τριών υδροφόρων.	195
Σχήμα 8.109: Διακύμανση των συγκεντρώσεων των νιτρωδών ξηρής περιόδου των τριών υδροφόρων.	195
Σχήμα 8.110: Χωρική κατανομή συγκέντρωσης νιτρωδών (mg/L) των υπόγειων νερών κατά την υγρή περίοδο.	196
Σχήμα 8.111: Χωρική κατανομή συγκέντρωσης νιτρωδών (mg/L) των υπόγειων νερών κατά την ξηρή περίοδο.	197
Σχήμα 8.112: Ιστόγραμμα κατανομής του βρωμίου στα δείγματα υπόγειων νερών υγρής περιόδου.	198
Σχήμα 8.113: Ιστόγραμμα κατανομής του βρωμίου στα δείγματα υπόγειων νερών ξηρής περιόδου.	198
Σχήμα 8.114: Διακύμανση των συγκεντρώσεων του βρωμίου υγρής περιόδου των τριών υδροφόρων.	198
Σχήμα 8.115: Διακύμανση των συγκεντρώσεων του βρωμίου ξηρής περιόδου των τριών υδροφόρων.	198
Σχήμα 8.116: Χωρική κατανομή συγκέντρωσης βρωμίου (mg/L) των υπόγειων νερών κατά την υγρή περίοδο.	199
Σχήμα 8.117: Χωρική κατανομή συγκέντρωσης βρωμίου (mg/L) των υπόγειων νερών κατά την ξηρή περίοδο.	200
Σχήμα 8.118: Ιστόγραμμα κατανομής του ιωδίου στα δείγματα υπόγειων νερών υγρής περιόδου.	200
Σχήμα 8.119: Ιστόγραμμα κατανομής του ιωδίου στα δείγματα υπόγειων νερών ξηρής περιόδου.	200
Σχήμα 8.120: Διακύμανση των συγκεντρώσεων του ιωδίου υγρής περιόδου των τριών υδροφόρων.	201
Σχήμα 8.121: Διακύμανση των συγκεντρώσεων του ιωδίου ξηρής περιόδου των τριών υδροφόρων.	201
Σχήμα 8.122: Χωρική κατανομή συγκέντρωσης ιωδίου (mg/L) των υπόγειων νερών κατά την υγρή περίοδο.	202
Σχήμα 8.123: Χωρική κατανομή συγκέντρωσης ιωδίου (mg/L) των υπόγειων νερών κατά την ξηρή περίοδο.	202
Σχήμα 8.124: Ιστόγραμμα κατανομής του φθορίου στα δείγματα υπόγειων νερών υγρής περιόδου.	203
Σχήμα 8.125: Ιστόγραμμα κατανομής του φθορίου στα δείγματα υπόγειων νερών ξηρής περιόδου.	203
Σχήμα 8.126: Διακύμανση των συγκεντρώσεων του φθορίου υγρής περιόδου των τριών υδροφόρων.	204
Σχήμα 8.127: Διακύμανση των συγκεντρώσεων του φθορίου ξηρής περιόδου των τριών υδροφόρων.	204
Σχήμα 8.128: Χωρική κατανομή συγκέντρωσης φθορίου (mg/L) των υπόγειων νερών κατά την υγρή περίοδο.	205
Σχήμα 8.129: Χωρική κατανομή συγκέντρωσης φθορίου (mg/L) των υπόγειων νερών κατά την ξηρή περίοδο.	205
Σχήμα 8.130: Ιστόγραμμα κατανομής του λιθίου στα δείγματα υπόγειων νερών υγρής περιόδου.	206
Σχήμα 8.131: Ιστόγραμμα κατανομής του λιθίου στα δείγματα υπόγειων νερών ξηρής περιόδου.	206

Σχήμα 8.132: Διακύμανση των συγκεντρώσεων του λιθίου υγρής περιόδου των τριών υδροφόρων.	207
Σχήμα 8.133: Διακύμανση των συγκεντρώσεων του λιθίου ξηρής περιόδου των τριών υδροφόρων.	207
Σχήμα 8.134: Ιστόγραμμα κατανομής του καδμίου στα δείγματα υπόγειων νερών υγρής περιόδου.	208
Σχήμα 8.135: Ιστόγραμμα κατανομής του καδμίου στα δείγματα υπόγειων νερών ξηρής περιόδου.	208
Σχήμα 8.136: Διακύμανση των συγκεντρώσεων του καδμίου υγρής περιόδου των τριών υδροφόρων.	209
Σχήμα 8.137: Διακύμανση των συγκεντρώσεων του καδμίου ξηρής περιόδου των τριών υδροφόρων.	209
Σχήμα 8.138: Ιστόγραμμα κατανομής του κοβαλτίου στα δείγματα υπόγειων νερών υγρής περιόδου.	210
Σχήμα 8.139: Ιστόγραμμα κατανομής του κοβαλτίου στα δείγματα υπόγειων νερών ξηρής περιόδου.	210
Σχήμα 8.140: Διακύμανση των συγκεντρώσεων του κοβαλτίου υγρής περιόδου των τριών υδροφόρων.	210
Σχήμα 8.141: Διακύμανση των συγκεντρώσεων του κοβαλτίου ξηρής περιόδου των τριών υδροφόρων.	210
Σχήμα 8.142: Χωρική κατανομή συγκέντρωσης κοβαλτίου (μg/L) των υπόγειων νερών κατά την υγρή περίοδο.	211
Σχήμα 8.143: Χωρική κατανομή συγκέντρωσης κοβαλτίου (μg/L) των υπόγειων νερών κατά την ξηρή περίοδο.	212
Σχήμα 8.144: Ιστόγραμμα κατανομής του μαγγανίου στα δείγματα υπόγειων νερών υγρής περιόδου.	213
Σχήμα 8.145: Ιστόγραμμα κατανομής του μαγγανίου στα δείγματα υπόγειων νερών ξηρής περιόδου.	213
Σχήμα 8.146: Διακύμανση των συγκεντρώσεων του μαγγανίου υγρής περιόδου των τριών υδροφόρων.	214
Σχήμα 8.147: Διακύμανση των συγκεντρώσεων του μαγγανίου ξηρής περιόδου των τριών υδροφόρων.	214
Σχήμα 8.148: Χωρική κατανομή συγκέντρωσης μαγγανίου (μg/L) των υπόγειων νερών κατά την υγρή περίοδο.	215
Σχήμα 8.149: Χωρική κατανομή συγκέντρωσης μαγγανίου (μg/L) των υπόγειων νερών κατά την ξηρή περίοδο.	215
Σχήμα 8.150: Ιστόγραμμα κατανομής του μολύβδου στα δείγματα υπόγειων νερών υγρής περιόδου.	217
Σχήμα 8.151: Διακύμανση των συγκεντρώσεων του μολύβδου υγρής περιόδου των τριών υδροφόρων.	217
Σχήμα 8.152: Χωρική κατανομή συγκέντρωσης μολύβδου (μg/L) των υπόγειων νερών κατά την υγρή περίοδο.	218
Σχήμα 8.153: Ιστόγραμμα κατανομής του νικελίου στα δείγματα υπόγειων νερών υγρής περιόδου.	219
Σχήμα 8.154: Ιστόγραμμα κατανομής του νικελίου στα δείγματα υπόγειων νερών ξηρής περιόδου.	219
Σχήμα 8.155: Διακύμανση των συγκεντρώσεων του νικελίου υγρής περιόδου των τριών υδροφόρων.	219
Σχήμα 8.156: Διακύμανση των συγκεντρώσεων του νικελίου ξηρής περιόδου των τριών υδροφόρων.	219

Σχήμα 8.157: Χωρική κατανομή συγκέντρωσης νικελίου (μg/L) των υπόγειων νερών κατά την υγρή περίοδο.	221
Σχήμα 8.158: Χωρική κατανομή συγκέντρωσης νικελίου (μg/L) των υπόγειων νερών κατά την ξηρή περίοδο.	221
Σχήμα 8.159: Ιστόγραμμα κατανομής του χρωμίου στα δείγματα υπόγειων νερών υγρής περιόδου.	223
Σχήμα 8.160: Ιστόγραμμα κατανομής του χρωμίου στα δείγματα υπόγειων νερών ξηρής περιόδου.	223
Σχήμα 8.161: Διακύμανση των συγκεντρώσεων του χρωμίου υγρής περιόδου των τριών υδροφόρων.	223
Σχήμα 8.162: Διακύμανση των συγκεντρώσεων του χρωμίου ξηρής περιόδου των τριών υδροφόρων.	223
Σχήμα 8.163: Χωρική κατανομή συγκέντρωσης χρωμίου (μg/L) των υπόγειων νερών κατά την υγρή περίοδο.	225
Σχήμα 8.164: Χωρική κατανομή συγκέντρωσης χρωμίου (μg/L) των υπόγειων νερών κατά την ξηρή περίοδο.	225
Σχήμα 8.165: Ιστόγραμμα κατανομής του χαλκού στα δείγματα υπόγειων νερών υγρής περιόδου.	227
Σχήμα 8.166: Ιστόγραμμα κατανομής του χαλκού στα δείγματα υπόγειων νερών ξηρής περιόδου.	227
Σχήμα 8.167: Διακύμανση των συγκεντρώσεων του χαλκού υγρής περιόδου των τριών υδροφόρων.	227
Σχήμα 8.168: Διακύμανση των συγκεντρώσεων του χαλκού ξηρής περιόδου των τριών υδροφόρων.	227
Σχήμα 8.169: Χωρική κατανομή συγκέντρωσης χαλκού (μg/L) των υπόγειων νερών κατά την υγρή περίοδο.	228
Σχήμα 8.170: Χωρική κατανομή συγκέντρωσης χαλκού (μg/L) των υπόγειων νερών κατά την ξηρή περίοδο.	229
Σχήμα 8.171: Ιστόγραμμα κατανομής του ψευδαργύρου στα δείγματα υπόγειων νερών υγρής περιόδου.	230
Σχήμα 8.172: Ιστόγραμμα κατανομής του ψευδαργύρου στα δείγματα υπόγειων νερών ξηρής περιόδου.	230
Σχήμα 8.173: Διακύμανση των συγκεντρώσεων του ψευδαργύρου υγρής περιόδου των τριών υδροφόρων.	230
Σχήμα 8.174: Διακύμανση των συγκεντρώσεων του ψευδαργύρου ξηρής περιόδου των τριών υδροφόρων.	230
Σχήμα 8.175: Χωρική κατανομή συγκέντρωσης ψευδαργύρου (μg/L) των υπόγειων νερών κατά την υγρή περίοδο.	232
Σχήμα 8.176: Χωρική κατανομή συγκέντρωσης ψευδαργύρου (μg/L) των υπόγειων νερών κατά την ξηρή περίοδο.	232
Σχήμα 9.1: Χωρική κατανομή φορτίων του Παράγοντα 1 στα υπόγεια νερά της περιοχής έρευνας για την υγρή περίοδο δειγματοληψίας (< 0 αντιστοιχούν σε θέσεις που δεν επηρεάζονται από τις υδροχημικές διαδικασίες, > 0 αντιστοιχούν σε θέσεις που επηρεάζονται από τις υδροχημικές διαδικασίες).	237
Σχήμα 9.2: Χωρική κατανομή φορτίων του Παράγοντα 2 στα υπόγεια νερά της περιοχής έρευνας για την υγρή περίοδο δειγματοληψίας.	238
Σχήμα 9.3: Χωρική κατανομή φορτίων του Παράγοντα 3 στα υπόγεια νερά της περιοχής έρευνας για την υγρή περίοδο δειγματοληψίας.	239
Σχήμα 9.4: Χωρική κατανομή φορτίων του Παράγοντα 4 στα υπόγεια νερά	240

της περιοχής έρευνας για την υγρή περίοδο δειγματοληψίας.	
Σχήμα 9.5: Χωρική κατανομή φορτίων του Παράγοντα 1 στα υπόγεια νερά της περιοχής έρευνας για την ξηρή περίοδο δειγματοληψίας.	241
Σχήμα 9.6: Χωρική κατανομή φορτίων του Παράγοντα 2 στα υπόγεια νερά της περιοχής έρευνας για την ξηρή περίοδο δειγματοληψίας.	242
Σχήμα 9.7: Χωρική κατανομή φορτίων του Παράγοντα 3 στα υπόγεια νερά της περιοχής έρευνας για την ξηρή περίοδο δειγματοληψίας.	243
Σχήμα 9.8: Χωρική κατανομή φορτίων του Παράγοντα 4 στα υπόγεια νερά της περιοχής έρευνας για την ξηρή περίοδο δειγματοληψίας.	243
Σχήμα 10.1: Τριγραμμικό διάγραμμα Piper (Hounslow 2000)	245
Σχήμα 10.2: Ταξινόμηση των υπόγειων νερών των τεταρτογενών σχηματισμών δειγμάτων υγρής περιόδου.	248
Σχήμα 10.3: Ταξινόμηση των υπόγειων νερών των τεταρτογενών σχηματισμών δειγμάτων ξηρής περιόδου.	248
Σχήμα 10.4: Ταξινόμηση των υπόγειων νερών των νεογενών σχηματισμών δειγμάτων υγρής περιόδου.	249
Σχήμα 10.5: Ταξινόμηση των υπόγειων νερών των νεογενών σχηματισμών δειγμάτων ξηρής περιόδου.	249
Σχήμα 10.6: Ταξινόμηση των υπόγειων νερών των καρστικών σχηματισμών δειγμάτων υγρής περιόδου.	250
Σχήμα 10.7: Ταξινόμηση των υπόγειων νερών των καρστικών σχηματισμών δειγμάτων ξηρής περιόδου.	250
Σχήμα 10.8: Πεδία του διαγράμματος Durov.	252
Σχήμα 10.9: Διαγράμματα Durov και σημεία προβολής νερών περιοχής έρευνας για την υγρή περίοδο δειγματοληψίας: (α) τεταρτογενή (β) νεογενή (γ) καρστικά, (G = Γεώτρηση, W = Πηγάδι, S = Πηγή).	254
Σχήμα 10.10: Διαγράμματα Durov και σημεία προβολής νερών περιοχής έρευνας για την ξηρή περίοδο δειγματοληψίας: (α) τεταρτογενή (β) νεογενή (γ) καρστικά, (G = Γεώτρηση, W = Πηγάδι, S = Πηγή).	255
Σχήμα 10.11: Χωρική κατανομή υδροχημικών τύπων κατά Durov των δειγμάτων της υγρής περιόδου.	257
Σχήμα 10.12: Χωρική κατανομή υδροχημικών τύπων κατά Durov των δειγμάτων της ξηρής περιόδου.	257
Σχήμα 11.1: Διάγραμμα Na - Cl των υπόγειων νερών της περιοχής έρευνας για την υγρή περίοδο.	259
Σχήμα 11.2: Διάγραμμα Na - Cl των υπόγειων νερών της περιοχής έρευνας για την ξηρή περίοδο.	260
Σχήμα 11.3: Ιστογράμματα κορεσμού των υπόγειων νερών υγρής περιόδου της περιοχής έρευνας στα κυριότερα ορυκτά.	265
Σχήμα 11.4: Ιστογράμματα κορεσμού των υπόγειων νερών ξηρής περιόδου της περιοχής έρευνας στα κυριότερα ορυκτά.	266
Σχήμα 12.1: Χάρτης καταλληλότητας ποσιμότητας υπόγειων νερών για την υγρή περίοδο δειγματοληψίας.	279
Σχήμα 12.2: Χάρτης καταλληλότητας ποσιμότητας υπόγειων νερών για την ξηρή περίοδο δειγματοληψίας.	280
Σχήμα 12.3: Διάγραμμα ποιοτικής κατάταξης για άρδευση χρήσεως των υπόγειων νερών για τους τεταρτογενείς σχηματισμούς της υγρής περιόδου δειγματοληψίας σύμφωνα με το U.S.Salinity Laboratory (Richard 1954).	282
Σχήμα 12.4: Διάγραμμα ποιοτικής κατάταξης για άρδευση χρήσεως των υπόγειων νερών για τους τεταρτογενείς σχηματισμούς της ξηρής περιόδου	282

δειγματοληψίας σύμφωνα με το U.S.Salinity Laboratory (Richard 1954).	
Σχήμα 12.5: Διάγραμμα ποιοτικής κατάταξης για άρδευση χρήσεως των υπόγειων νερών για τους νεογενείς σχηματισμούς της υγρής περιόδου δειγματοληψίας σύμφωνα με το U.S.Salinity Laboratory (Richard 1954).	283
Σχήμα 12.6: Διάγραμμα ποιοτικής κατάταξης για άρδευση χρήσεως των υπόγειων νερών για τους νεογενείς σχηματισμούς της ξηρής περιόδου δειγματοληψίας σύμφωνα με το U.S.Salinity Laboratory (Richard 1954).	283
Σχήμα 12.7: Διάγραμμα ποιοτικής κατάταξης για άρδευση χρήσεως των υπόγειων νερών για τους καρστικούς ανθρακικούς σχηματισμούς της υγρής περιόδου δειγματοληψίας σύμφωνα με το U.S.Salinity Laboratory (Richard 1954).	284
Σχήμα 12.8: Διάγραμμα ποιοτικής κατάταξης για άρδευση χρήσεως των υπόγειων νερών για τους καρστικούς ανθρακικούς σχηματισμούς της ξηρής περιόδου δειγματοληψίας σύμφωνα με το U.S.Salinity Laboratory (Richard 1954).	284
Σχήμα 12.9: Διάγραμμα ταξινόμησης υγρής περιόδου τεταρτογενών σχηματισμών αρδευτικών νερών κατά Wilcox (1955).	285
Σχήμα 12.10: Διάγραμμα ταξινόμησης ξηρής περιόδου τεταρτογενών σχηματισμών αρδευτικών νερών κατά Wilcox (1955).	285
Σχήμα 12.11: Διάγραμμα ταξινόμησης υγρής περιόδου νεογενών σχηματισμών αρδευτικών νερών κατά Wilcox (1955).	286
Σχήμα 12.12: Διάγραμμα ταξινόμησης ξηρής περιόδου νεογενών σχηματισμών αρδευτικών νερών κατά Wilcox (1955).	286
Σχήμα 12.13: Διάγραμμα ταξινόμησης υγρής περιόδου καρστικών ανθρακικών σχηματισμών αρδευτικών νερών κατά Wilcox (1955).	287
Σχήμα 12.14: Διάγραμμα ταξινόμησης ξηρής περιόδου καρστικών ανθρακικών σχηματισμών αρδευτικών νερών κατά Wilcox (1955).	287
Σχήμα 12.15: Χάρτης καταλληλότητας υπόγειων νερών υγρής περιόδου δειγματοληψίας ως προς την άρδευση.	289
Σχήμα 12.16: Χάρτης καταλληλότητας υπόγειων νερών ξηρής περιόδου δειγματοληψίας ως προς την άρδευση.	289

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διδακτορική διατριβή φέρει τον τίτλο «Περιβαλλοντική, Υδρογεωχημική Έρευνα στη Λεκάνη των Μεγάρων», και πραγματοποιήθηκε στο Γενικό Τμήμα του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών. Αντικείμενο αυτής της διατριβής είναι η μελέτη της επίδρασης των ανθρωπογενών και γεωγενών παραγόντων στη χημική σύσταση και στην ποιότητα των υπόγειων νερών καθώς και στη χημική σύσταση των εδαφών.

Η ανάθεση του θέματος της διδακτορικής διατριβής έγινε από τον Καθηγητή Υδρογεωλογίας κ. Γ. Σταμάτη, τον οποίο ευχαριστώ θερμότατα για την καθοδήγηση και παρακολούθηση σε όλα τα στάδια της. Επίσης τον ευχαριστώ για τις πολύτιμες συμβουλές του πάνω σε περιβαλλοντικά και υδρογεωλογικά θέματα καθώς και για την εμπιστοσύνη και την αμέριστη συμπαράσταση που έδειξε απέναντι μου. Η συνεργασία που είχαμε ήταν άψογη σε όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της διδακτορικής διατριβής.

Ευχαριστώ θερμά το μέλος της συμβουλευτικής επιτροπής τον Καθηγητή κ. Ε. Γκάρτζο, για τις συμβουλές που μου παρείχε σε θέματα γεωχημείας, για τη συμπαράσταση και κατανόηση του, καθώς και για την κριτική ανάγνωση του κειμένου. Ευχαριστίες οφείλω επίσης στο μέλος της συμβουλευτικής επιτροπής τον Επικ. Καθηγητή κ.Κ. Σερέλη για την πολύτιμη βοήθεια που μου προσέφερε σε θέματα γεωχημείας εδαφών, θέματα που αφορούσαν τη χημική επεξεργασία των εδαφών καθώς και για τη συμπαράσταση του κατά τη διάρκεια πραγματοποίησης της διδακτορικής διατριβής μου.

Ευχαριστώ θερμά τα μέλη της εξεταστικής επιτροπής, τον Καθηγητή κ. Γ. Στουρνάρα, τον Καθηγητή κ. Ν. Λαμπράκη, τον Επικ. Καθηγητή κ. Κ. Βουδούρη και τον Επικ. Καθηγητή κ. Ι. Παπανικολάου για την κριτική ανάγνωση του κειμένου και τα εποικοδομητικά τους σχόλια.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω στο σύζυγο μου Δρ.Γεωλόγο-Γεωχημικό κ.Δ.Αλεξάκη για την υπομονή και την πολύτιμη στήριξη του στις δυσκολίες που αντιμετώπισα. Επίσης, για το χρόνο που μου αφιέρωσε κατά το στάδιο της δειγματοληψίας και για τη διευκόλυνση που μου παρείχε κατά την πραγματοποίηση των χημικών αναλύσεων δειγμάτων νερού με την ιοντική χρωματογραφία και τη φασματομετρία ατομικών μαζών σε επαγωγικά συζευγμένο πλάσμα (ICP-MS) στο εργαστήριο του ΕΜΠ.

Ευχαριστώ το προσωπικό του Εργαστηρίου Ορυκτολογίας και Γεωλογίας του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, το προσωπικό του Εργαστηρίου Εγγειοβελτιωτικών Έργων και Διαχείρισης Υδατικών Πόρων της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του ΕΜΠ καθώς και το προσωπικό του Εργαστηρίου Γενικής Χημείας, της Σχολής Χημικών Μηχανικών του ΕΜΠ, για τη συνδρομή τους στην πραγματοποίηση των εργαστηριακών αναλύσεων.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τους συναδέλφους και φίλους, τον Δρ. Γεωλόγο κ.Ν.Βούτση, τον Αγρονόμο & Τοπογράφο Μηχανικό MSc κ.Δ.Γκότση, τον Γεωπόνο κ.Κ.Παρπώδη και τον Γεωλόγο-Αγρονόμο & Τοπογράφο Μηχανικό MSc κ.Ν.Κουρή για τη βοήθεια που μου προσέφεραν στην ύπαιθρο για τη συλλογή των δειγμάτων.

Ευχαριστώ τους γονείς μου, τα αδέρφια μου και τους γονείς του συζύγου μου για την ηθική στήριξη, την υπομονή και τη συμπαράσταση τους, χωρίς την οποία δεν θα είχε ολοκληρωθεί η προσπάθειά μου. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους συναδέλφους Δρ.Γεωπόνο κ.Μ.Ψωμιάδη και τον Γεωλόγο MSc Φ.Φιλλιπίδη, για την υποστήριξη τους σε θέματα ψηφιακών δεδομένων, καθώς επίσης την Δρ. Γεωπόνο Π.Χαμπίδη και την Γεωλόγο MSc Ε.Τροϊκίλη για τη συμπαράσταση τους και τη συναδελφική τους υποστήριξη.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. Σκοπός της έρευνας - Προσέγγιση του θέματος

Η χημική σύσταση και η ποιότητα του υπόγειου νερού ελέγχονται από φυσικούς και ανθρωπογενείς παράγοντες οι οποίοι περιλαμβάνουν: τη γεωλογική δομή, τη λιθολογία και την ορυκτολογική σύσταση της ακόρεστης και κορεσμένης ζώνης, τις γεωχημικές αντιδράσεις που συμβαίνουν εντός των υδροφόρων στρωμάτων καθώς επίσης και το είδος των χρήσεων γης. Η διερεύνηση της ποιότητας του νερού και η αξιολόγηση του είναι ανάμεσα στους παράγοντες που καθορίζουν την ορθολογική διαχείριση των υπόγειων υδατικών πόρων.

Στη λεκάνη των Μεγάρων αναπτύσσεται έντονη ανθρωπογενής δραστηριότητα, η οποία περιλαμβάνει αγροτικές καλλιέργειες (κηπευτικά, αμπελώνες, φυσικόδεντρα, ελαιόδενδρα και θερμοκήπια), πτηνοτροφικές και κτηνοτροφικές μονάδες, μικρές βιοτεχνικές μονάδες (επεξεργασίας μαρμάρου, παρασκευής σκυροδέματος), χημικές και ενεργειακές βιομηχανίες, και οικισμούς στις παραλιακές περιοχές.

Οι καλλιεργήσιμες εκτάσεις φτάνουν τα 100 Km² με αποτέλεσμα να υπάρχει μεγάλη ζήτηση ποσοτήτων αρδευτικού νερού. Οι αυξημένες αυτές ανάγκες σε νερό οδήγησαν στην ανεξέλεκτη ανόρυξη γεωτρήσεων από τη δεκαετία του 1980 οι οποίες αντλούνται εντατικά. Σύμφωνα με το ΥΠΕΚΑ (2012β) υπολογίζεται ότι λειτουργούν περίπου 1000 και πλέον γεωτρήσεις με μέση παροχή 20 m³/h καθώς και 13 υδρευτικές γεωτρήσεις.

Η υπεράντληση για την κάλυψη των αυξημένων αρδευτικών και κτηνοτροφικών αναγκών έχει σαν αποτέλεσμα την υποβάθμιση της ποιότητας του υπόγειου νερού της λεκάνης των Μεγάρων εξαιτίας της διείσδυσης του θαλασσινού νερού στους υπόγειους υδροφορείς. Η υπαλμύριση των υπόγειων νερών είναι κυρίως έντονη στις παράκτιες ζώνες, τόσο από την πλευρά του Σαρωνικού όσο και από την πλευρά του Κορινθιακού κόλπου, αλλά και στην ενδοχωρική περιοχή, όπως στην πόλη των Μεγάρων, στη Νέα Πέραμο, στους Λάκκους Καλογήρου, στην Ψάθα και το Αλεποχώρι.

Η ποιότητα της υδροφορίας επηρεάζεται έντονα από τη γεωργική δραστηριότητα αλλά και την αστική επιβάρυνση, στην περιοχή των Μεγάρων, με συνέπεια τη γενικευμένη νιτρορύπανση. Οι συγκεντρώσεις των νιτρικών κυμαίνονται συνήθως μεταξύ 40 και 150 mg/L. Σε ορισμένες ιδιαίτερα μολυσμένες περιοχές, κοντά στα Μέγαρα, οι συγκεντρώσεις νιτρικών φτάνουν τα 350 mg/L (ΥΠΑΝ, ΕΜΠ, ΙΓΜΕ, ΚΕΠΕ 2003).

Στη λεκάνη των Μεγάρων είχε παρατηρηθεί έντονη παρουσία εσταυλισμένης κτηνοτροφίας πουλερικών, χοιρινών και βοοειδών εξαιτίας των ικανοποιητικών οικονομικών οφελών που απέδιδε διότι το κόστος των ζωοτροφών μέχρι τις αρχές της προηγούμενης δεκαετίας ήταν σχετικά χαμηλό (ΥΠΕΚΑ 2012α). Οι πτηνοτροφικές μονάδες παράγουν μεγάλο αριθμό αποβλήτων όπως οργανικές ενώσεις (εντομοκτόνα και ζιζανιοκτόνα), ανόργανα στοιχεία, ενώσεις (As, B, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, P, Zn) και νιτρικά που μολύνουν το έδαφος και τους υπόγειους υδροφορείς εάν δεν γίνει σωστή διαχείριση τους.

Σημαντικός παράγοντας που συμβάλλει καθοριστικά στη διαμόρφωση του ποιοτικού χαρακτήρα των υπόγειων νερών είναι το γεωλογικό υπόβαθρο της λεκάνης των Μεγάρων. Η περιοχή δομείται από το κρυσταλλικό υπόβαθρο με ασβεστολιθικούς φακούς και αργιλικούς σχιστόλιθους και ψαμμίτες ηλικίας Πέρμιο-Αν.Λιθανθρακοφόρο. Τους Αλπικούς σχηματισμούς οι οποίοι αποτελούνται από κερατόλιθους, ψαμμίτες, σχιστόλιθους (Μ.Τριαδικό), ασβεστόλιθους και δολομίτες

(Μ-Α.Τριαδικό – Κ.Ιουρασικό), ασβεστόλιθοι και δολομίτες (Μ-Α.Τριαδικού), ασβεστόλιθοι (Κ-Μ.Ιουρασικού), σχιστοψαμμιτοκερατολιθική διάπλαση (Μ-Α.Ιουρασικό), υπερβασικά πετρώματα, βωξίτες και ασβεστολίθους (Αν. Κρητιδικού). Τα Νεογενή ιζήματα της περιοχής έρευνας αποτελούνται από κροκαλοπαγή, άμμο, ψαμμίτες, μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι και μάργες με λιγνιτικές ενδιαστρώσεις. Τα Τεταρτογενή ιζήματα αποτελούνται από αλουβιακές αποθέσεις.

Η παρουσία των υπερβασικών πετρωμάτων και των σχιστολίθων, οι λιγνιτικές ενδιαστρώσεις εντός των ιζημάτων, τα διάφορα οξείδια και τα προϊόντα εξαλλοίωσης τους, παίζουν καθοριστικό ρόλο στον εμπλουτισμό των υπόγειων νερών της περιοχής σε βαρέα μέταλλα και στην υποβάθμιση της ποιότητάς τους.

Στη λεκάνη των Μεγάρων έχουν διεξαχθεί παλαιότερα αρκετές μελέτες σε σχέση με τη γεωλογία της περιοχής. Ο Μαρίνος (1951) μελέτησε τις λιγνιτικές εμφανίσεις στη λεκάνη, ο Σπηλιάδης (1960, 1963, 1964) εντάσσει την περιοχή στην Υποπελαγονική ζώνη, ο Θεοδωρόπουλος (1971) μελετά τους νεογενείς σχηματισμούς της λεκάνης, ο Δούνας (1971) εξετάζει γεωλογικώς την περιοχή μεταξύ των Μεγάρων και των Ερυθρών και συνθέτει τον πρώτο υδρογεωλογικό χάρτη. Μεταγενέστερες έρευνες από τους Δρίτσα κ.α (1994) και Παρασκούδης (2002), ασχολήθηκαν με τον προσδιορισμό των ποιοτικών χαρακτηριστικών των υπόγειων νερών της λεκάνης των Μεγάρων και προσδιόρισαν της περιοχές εκείνες όπου είναι περισσότερο επηρεασμένες από τη διείσδυση του θαλασσινού νερού.

Η περιοχή έρευνας παρουσιάζει έντονο το φαινόμενο της υφαλμύρισης κυρίως στις περιοχές Μεγάρων και Ν.Περάμου, επίσης παρατηρήθηκαν συγκεντρώσεις των στοιχείων Mn, Cr, Ni, Pb, As μεγαλύτερες από το όριο ανιχνευσιμότητας της Κοινοτικής Οδηγίας 98/83/ΕΚ (Γιαννουλόπουλος και Λάππας 2010).

Σύμφωνα με έκθεση για το σχέδιο των λεκανών απορροής ποταμών του υδατικού διαμερίσματος Αττικής της Ειδικής Γραμματείας Υδάτων, Διεύθυνσης Υποστήριξης και Ανάπτυξης που πραγματοποιήθηκε τον Ιανουάριο του 2012 μετρήθηκαν οι συγκεντρώσεις των χημικών στοιχείων στη λεκάνη των Μεγάρων και διαπιστώθηκε ότι επικρατούν αυξημένες συγκεντρώσεις νιτρικών, χλωριόντων, αγωγιμότητας και βαρέων μετάλλων τα οποία οφείλονται στις ανθρώπινες δραστηριότητες όπως στη (γεωργία, πτηνοτροφία, κτηνοτροφία) και στην υφαλμύριση (ΥΠΕΚΑ 2012β).

Ποιοτικά υποβαθμισμένο είναι το νερό που προέρχεται από τον προσχωματικό υδροφορέα και η κατάσταση αυτή επιδεινώνεται στις παράκτιες περιοχές. Οι συγκεντρώσεις των χλωριόντων κυμαίνονται από 30 έως >4700 mg/l και οι τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας από 530 έως 13800 μS/cm, οι υψηλότερες συγκεντρώσεις παρατηρούνται στις παράκτιες περιοχές της λεκάνης των Μεγάρων. Τα νιτρικά κυμαίνονται από 1 έως 434 mg/l και ο κύριος παράγοντας εμφάνισης αυτών είναι η αστική ρύπανση (ΥΠΕΚΑ 2012β).

Σκοπός της παρούσας διατριβής είναι η περιγραφή των υδρογεωλογικών και γεωχημικών χαρακτηριστικών που επικρατούν στη λεκάνη των Μεγάρων. Πιο συγκεκριμένα, οι στόχοι της έρευνας είναι:

- (α) η περιγραφή όλων των παραμέτρων που συμβάλλουν στη διαμόρφωση του υδρογεωλογικού καθεστώτος της λεκάνης,
- (β) ο προσδιορισμός της επίδρασης των γεωγενών και ανθρωπογενών παραγόντων που συμβάλλουν στη διαμόρφωση του ποιοτικού χαρακτήρα των υπόγειων νερών και των εδαφών της λεκάνης των Μεγάρων,
- (γ) η οριοθέτηση των επιβαρημένων περιοχών της λεκάνης με τις υψηλότερες συγκεντρώσεις κύριων στοιχείων και ιχνοστοιχείων στα υπόγεια νερά και εδάφη,
- (δ) ο προσδιορισμός του μετώπου υφαλμύρισης και του βαθμού επίδρασης της διείσδυσης του θαλασσινού νερού στους υπόγειους υδροφορείς και

(ε) η αξιολόγηση της καταλληλότητας των υπόγειων νερών για διάφορες χρήσεις.

1.2. Το νερό

Γενικά: Η ύπαρξη και η δημιουργία της ζωής οφείλεται στο νερό. Αρχή των πάντων ονομάζει το νερό ο φιλόσοφος Θαλής ο Μιλήσιος (6^{ος} π.χ αιώνας). Τα $\frac{3}{4}$ της επιφάνειας της γης καλύπτονται από νερό. Ως υδρόσφαιρα χαρακτηρίζεται το σύνολο όλων των υδατικών αποθεμάτων που υπάρχουν στη γη, η οποία περιλαμβάνει το νερό των ωκεανών, των ηπείρων και της ατμόσφαιρας. Το μεγαλύτερο ποσοστό του νερού της υδρόσφαιρας (97,3%) υπάρχει στους ωκεανούς και στις θάλασσες και ένα μικρό ποσοστό (2,7%) βρίσκεται στις ηπείρους με το μεγαλύτερο τμήμα να βρίσκεται στους παγετώνες των οροσειρών και της Ανταρκτικής (Κουϊμτζής κ.α. 1998). Το διαθέσιμο νερό αποτελεί μόνο το 0,3% του συνολικού ποσοστού του νερού που υπάρχει στη γη. Το ποσοστό αυτό μπορεί να είναι και λιγότερο διότι οι ποσότητες νερού έχουν υποβαθμιστεί ποιοτικά και είναι ακατάλληλες για οποιαδήποτε χρήση.

Αναγκαιότητα νερού: Το νερό αποτελεί βασική παράμετρο που διατηρεί τη ζωή πάνω στη γη. Ένας άνθρωπος καθημερινά σε μέσες κλιματικές συνθήκες καταναλώνει ως πόσιμο περίπου 2,5 l νερό. Το νερό συνδέεται άμεσα με τη διαμόρφωση των κλιματολογικών συνθηκών, και τις καθιστά κατάλληλες για τη διαμόρφωση της ζωής. Εξαιτίας της υψηλής θερμοχωρητικότητάς του και της υψηλής λανθάνουσας θερμότητας εξάτμισης, δρα ρυθμιστικά στη διατήρηση σταθερής θερμοκρασίας προστατεύοντας έτσι τον πλανήτη από βίαιες μεταβολές της θερμοκρασίας. Η τεχνολογία και η βιομηχανική παραγωγή είναι άμεσα συνδεδεμένες με τη κατανάλωση νερού, αφού οι περισσότερες βιομηχανικές διεργασίες χρησιμοποιούν το νερό. Το νερό των ωκεανών, των ηπείρων και της ατμόσφαιρας βρίσκεται σε μια συνεχή αλληλεπίδραση και η σχέση αυτή αποτελεί τον κύκλο του νερού στη φύση (Σχ. 1.1), (Κουϊμτζής κ.α. 1998).

Ο κύκλος του νερού: Μεγάλες ποσότητες νερού από τους ωκεανούς, τα ποτάμια και τις λίμνες εξατμίζονται με την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας. Από τις διεργασίες της εξάτμισης και της διαπνοής 500.000 Km³/έτος νερού μετατρέπονται σε υδρατμούς. Οι υδρατμοί μεταφέρονται από τα ρεύματα που δημιουργούνται στην ατμόσφαιρα και εξαιτίας της μεταβολής της θερμοκρασίας και της πίεσης συμπυκνώνονται και ως κατακρημνίσματα επιστρέφουν στην επιφάνεια της γης. Έτσι το νερό είναι ένας ανανεώσιμος φυσικός πόρος και με τη διεργασία του υδρολογικού κύκλου μια σημαντική ποσότητα καθαρού νερού συλλέγεται συνεχώς. Το ατμοσφαιρικό νερό που επιστρέφει στην επιφάνεια της γης ρέει σε ποτάμια και τελικώς καταλήγει σε λίμνες και ωκεανούς (Σχ. 1.1). Επίσης μπορεί πάλι να εξατμίζεται ή να διηθείται στο έδαφος εμπλουτίζοντας τους υπόγειους υδροφορείς (Χαραλάμπους 2007)

Οι μεταβολές που συμβαίνουν στην επιφάνεια της γης, η κλιματική αλλαγή, η υπεράντληση των αποθεμάτων και η ατμοσφαιρική ρύπανση είναι παράγοντες που επιδρούν στη διατάραξη της ισορροπίας του υδρολογικού κύκλου.

Σε πολλές περιοχές της γης το πρόβλημα της ανεπάρκειας του νερού είναι ιδιαίτερα έντονο. Η μεταβολή των κλιματολογικών συνθηκών στη γη επιτείνει τη σοβαρότητα του προβλήματος της έλλειψης διαθέσιμου νερού. Τα βασικά αίτια της ανεπάρκειας του νερού είναι η ξηρασία, η αύξηση του πληθυσμού, η αύξηση του βιοτικού επιπέδου, η αύξηση κατανάλωσης νερού από τη βιομηχανία και τη γεωργία, η υποβάθμιση της ποιότητας των επιφανειακών (λιμνών, ποταμών) και υπόγειων νερών.

Πηγές ρύπανσης: Οι κυριότερες πηγές ρύπανσης του υπόγειου νερού είναι φυσικές και ανθρωπογενείς. Οι φυσικές πηγές ρύπανσης του υπόγειου νερού είναι η ύπαρξη

ορυκτών ή πετρωμάτων με υψηλότερες συγκεντρώσεις σε κάποια στοιχεία και η ύπαρξη κοιτασμάτων. Επίσης η διείσδυση του θαλασσινού νερού στην ξηρά εξαιτίας καρστ ή ρηγμάτων. Ανθρωπογενή αίτια που οδηγούν στη ρύπανση και υποβάθμιση του υπόγειου νερού είναι τα βιομηχανικά και αστικά λύματα, τα στερεά απόβλητα, οι αγροτικές χρήσεις γης, η διείσδυση της θάλασσας εξαιτίας υπεραντλήσεων και οι μεταλλευτικές δραστηριότητες (Στουρνάρας 2007).



Σχήμα 1.1: Σχηματική αναπαράσταση του υδρολογικού κύκλου (τροποποιημένη εικόνα από την αρχική έκδοση του USGS 2002).

Η αγροτική δραστηριότητα συμβάλει σε μεγάλο ποσοστό στη ρύπανση των υπόγειων υδροφόρων διότι το χρησιμοποιούμενο νερό για τις αρδεύσεις επιστρέφει στους υπόγειους υδροφορείς εμπλουτισμένο με χημικές ουσίες και μέταλλα τα οποία προέρχονται από τα λιπάσματα και τα προσθετικά των εδαφών που χρησιμοποιούνται στις καλλιέργειες. Σε αρκετές περιοχές του Ελλαδικού χώρου τα νιτρικά αποτελούν πηγή ρύπανσης για τα υπόγεια νερά εξαιτίας της αλόγιστης χρήσης αζωτούχων λιπασμάτων. Άλλη σημαντική πηγή νιτρικών είναι τα στερεά απόβλητα των κτηνοτροφικών μονάδων (Στουρνάρας 2007, Βουδούρης 2009).

Τα απόβλητα των βιομηχανιών μπορεί να περιέχουν επικίνδυνα στοιχεία και βαρέα μέταλλα. Τα απόβλητα αυτά μπορεί να είναι βιολογικά και μη βιολογικά. Βιολογικά χαρακτηρίζονται τα απόβλητα τα οποία προέρχονται από εργοστάσια που παράγουν χαρτί, τρόφιμα και υφαντικές ίνες και μη βιολογικά αυτά που προέρχονται από χημικά εργοστάσια και μπορεί να περιέχουν μέταλλα, υδρογονάνθρακες, φωσφορικά οξέα, βάσεις και χλώριο. Τα απόβλητα αυτά μπορεί να είναι τοξικά και άρα επικίνδυνα για το περιβάλλον και ακόμα και τον άνθρωπο διότι μπορεί να περάσουν στην τροφική αλυσίδα (Βουδούρης 2009).

Τα απόβλητα μεταλλευτικών δραστηριοτήτων τα οποία προέρχονται από την εξόρυξη ορυκτών πόρων σε μεταλλεία και ανθρακωρυχεία είναι εμπλουτισμένα σε βαρέα μέταλλα τα οποία μεταφέρονται στους υπόγειους υδροφορείς κατά την εξόρυξη του

μεταλλεύματος. Το υπόγειο νερό όταν έρθει σε επαφή με το μέταλλο το οποίο εξορύσσεται εμπλουτίζεται σε βαρέα μέταλλα. Επίσης οι υπόγειες εκσκαφές για την εξόρυξη του μεταλλεύματος παίζουν το ρόλο υδρομαστευτικού έργου για τα υπόγεια νερά, διότι οι γραμμές ροής των υπόγειων υδροφορέων στρέφονται σε αυτές και δημιουργούνται έτσι πολλαπλά προβλήματα στη λειτουργία γεωτρήσεων και πηγών. Τέλος, το νερό από τις βροχοπτώσεις εμπλουτίζεται από τα στεφάνια όταν έρθει σε επαφή με αυτά και στη συνέχεια ρυπαίνει τα επιφανειακά και υπόγεια νερά στη φάση του εμπλουτισμού (Στουρνάρας 2007).

Τα οικιακά λύματα αποτελούν και αυτά έναν σημαντικό παράγοντα ρύπανσης των υπόγειων υδροφορέων. Πρόκειται για χημική, οργανική και βακτηριολογική ρύπανση που είναι αποτέλεσμα σηπτικών βόθρων, αποχωρητηρίων, δικτύων αποχέτευσης, απορρυπαντικών, υπολειμμάτων τροφών, λίπη και έλαια καθώς και ανόργανων συστατικών όπως αμμωνία, άργιλος, γυαλί, στάχτες. Τα οικιακά λύματα προσθέτουν στους υπόγειους υδροφορείς θρεπτικά συστατικά και βιοαποδομήσιμα υλικά, καταστρέφουν την ικανότητα αυτοκαθαρισμού του υπόγειου νερού καθώς και τις βιοκοινωνίες του (Βουδούρης 2009).

Άλλες πηγές ρύπανσης του υπόγειου νερού είναι οι χώροι υγειονομικής ταφής απορριμμάτων (Χ.Υ.Τ.Α) όταν υπάρχουν διαρροές εξαιτίας κακής κατασκευής και λειτουργίας των χώρων αυτών. Στις περιπτώσεις αυτές η διαρροή των υγρών των απορριμμάτων ή η διέλευση του μετεωρικού νερού στη μάζα των απορριμμάτων είναι ικανοί παράγοντες να μολύνουν τα υπόγεια νερά.

Τέλος τα νεκροταφεία αποτελούν πηγή ρύπανσης, η οποία αντικατοπτρίζεται με υψηλές συγκεντρώσεις σε COD, θεικών, χλωριόντων, ενώσεων του αζώτου και παθογόνους μικροοργανισμούς (Στουρνάρας 2007).

Πέρα από τις ανθρωπογενείς πηγές ρύπανσης των υπόγειων υδροφορέων υπάρχουν και οι φυσικές πηγές. Το υπόγειο νερό περνά μέσα από σχηματισμούς του υπεδάφους, τα πετρώματα και τα ορυκτά αυτών και εμπλουτίζεται από αυτά με στοιχεία.

Άλλος ένας φυσικός παράγοντας είναι η ρύπανση του υπόγειου νερού από τη διείσδυση του θαλασσινού νερού. Η διείσδυση της θάλασσας μπορεί να συμβεί όταν υπάρξουν μεταβολές στα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα εποχιακά ή ετήσια ή με τις αυξημένες αντλήσεις που δημιουργούν τις κατάλληλες συνθήκες για ταχεία μετακίνηση της διεπιφάνειας γλυκού – αλμυρού νερού προς την ενδοχώρα ή την ανύψωση του κώνου αλμυρού νερού κάτω από το φρεάτιο (Αντωνόπουλος 2001).

Η υπαλμύριση των υπόγειων νερών είναι αποτέλεσμα φυσικών διεργασιών (γεωλογική εξέλιξη της περιοχής, ύπαρξη αποθέσεων ορυκτών αλάτων (εβαπορίτες), εγκλωβισμένα υπεράλμυρα νερά, μεταβολές της στάθμης της θάλασσας, παλίρροιες, ξηρασίες) και ανθρωπογενών παραγόντων (υπερεκμετάλλευση των παράκτιων και ενδοχώριων υδροφόρων συστημάτων, αποστραγγιστικά δίκτυα καλλιεργούμενων περιοχών).

Η υπαλμύριση των υπόγειων νερών σε παράκτιους υδροφορείς της Ελλάδας αποτελεί ένα σημαντικό πρόβλημα που απειλεί να περιορίσει τη χρήση σημαντικού μέρους των διαθέσιμων υπόγειων υδατικών πόρων ή ακόμα και σε ολοκληρωτική έλλειψη γλυκού νερού. Αυτό μπορεί να συμβεί σε περιοχές της Ελλάδας όπως είναι τα νησιά όπου οι υπόγειοι υδροφορείς αποτελούν το μοναδικό διαθέσιμο υδατικό πόρο.

Στις παράκτιες περιοχές έχει παρατηρηθεί τα τελευταία χρόνια ταπεινώση της στάθμης των υπόγειων νερών σε επίπεδα κάτω από το μέσο επίπεδο της θάλασσας εξαιτίας του αυξανόμενου αριθμού γεωτρήσεων και των υπεραντλήσεων. Αποτέλεσμα της κατάστασης αυτής ήταν η προέλαση της διεπιφάνειας μεταξύ

γλυκού και θαλασσινού νερού προς την ενδοχώρα έως ότου να δημιουργηθεί μια νέα κατάσταση ισορροπίας.

Σε πολλές περιοχές της Ελλάδος, έρευνες οι οποίες έχουν διεξαχθεί εντοπίζουν το πρόβλημα της υφαλμύρισης των υπόγειων νερών, το οποίο είναι αποτέλεσμα της υπερεκμετάλλευσης των παράκτιων υδροφόρων στρωμάτων. Έχει διαπιστωθεί ότι στις περιοχές αυτές οι συγκεντρώσεις του χλωρίου κυμαίνονται από 500 έως 1000 mg/L και σε κάποιες περιοχές ξεπερνούν και τα 1000 mg/L. Στο Σχ. 1.2 που ακολουθεί παρουσιάζονται οι περιοχές της Ελλάδας που έχουν υποστεί το φαινόμενο της υφαλμύρισης στους παράκτιους υδροφορείς (www.geo.auth.gr).



Σχήμα 1.2: Περιοχές της Ελλάδας όπου παρατηρείται έντονη υφαλμύριση των παράκτιων υδροφορέων (www.geo.auth.gr).

Από το Σχ. 1.2 διαπιστώνεται ότι σε όλες σχεδόν τις παράκτιες περιοχές της Ελλάδας είναι γεγονός το πρόβλημα της υφαλμύρισης με εξαίρεση τις ακτές Κορινθιακού-Πατραϊκού, τις ηπειρωτικές ακτές Ιονίου, τις ακτές ανατολικά του Πηλίου και της Όσσας, όπου εκφορτίζονται μεγάλες καρστικές μάζες (www.geo.auth.gr).

Νομοθεσία περί προστασίας των νερών: Το νερό το οποίο προορίζεται για ανθρώπινη κατανάλωση μπορεί να είναι νερό από γεωτρήσεις, πηγάδια, πηγές, λίμνες και ποτάμια, ή να προέρχεται από αφαλάτωση θαλασσινού νερού ή τήξη των πάγων.

Η χημική σύσταση και η ποιότητα του νερού μεταβάλλεται συνεχώς κατά τη διάρκεια της κίνησης του από την ατμόσφαιρα στην επιφάνεια της γης και τους υδροφορείς. Αποτέλεσμα της αντίδρασης του νερού με τα διάφορα υλικά (πετρώματα, ορυκτά, έδαφος, ιζήματα) είναι η χημική σύσταση του νερού που εισέρχεται στη λεκάνη απορροής να είναι διαφορετική από αυτή που απομακρύνεται από τη λεκάνη απορροής μέσω του υδρογραφικού δικτύου (Τσακίρης και Αλεξιάκης 2010).

Η χημική σύσταση και η ποιότητα του νερού ελέγχεται από τα πετρώματα, το έδαφος, τα ιζήματα με τα οποία έρχεται σε επαφή και με τα οποία ανταλλάσσει στοιχεία και ιχνοστοιχεία (Brantley et al. 2008, Alexakis 2008).

Σύμφωνα με τον Αντωνόπουλο (2001) απαιτείται λεπτομερής ανάλυση των ποιοτικών απαιτήσεων διαφορετικών χρήσεων του νερού προκειμένου να εκτιμηθεί η ποιότητα του νερού. Τα σημαντικότερα ποιοτικά χαρακτηριστικά του νερού είναι:

- οργανοληπτικές παράμετροι, έχουν σχέση με τα αισθητικά χαρακτηριστικά του νερού και αυτά είναι το χρώμα, η θολερότητα, η γεύση και η οσμή
- χημικές παράμετροι περιλαμβάνουν τις φυσικοχημικές (θερμοκρασία, pH, Eh, ηλεκτρική αγωγιμότητα, αλκαλικότητα, σκληρότητα και ολικά διαλυμένα στερεά), οι ανόργανες και οργανικές παράμετροι και
- μικροβιολογικές παράμετροι

Οι φυσικές, χημικές και βιολογικές παράμετροι του νερού συγκρίνονται με νομοθετημένες και θεσμοθετημένες οριακές τιμές ποιοτικών παραμέτρων για να διαπιστωθεί εάν είναι κατάλληλο για ανθρώπινη κατανάλωση. Υπάρχουν αρμόδιοι φορείς που ελέγχουν τις οριακές αυτές τιμές των ποιοτικών παραμέτρων και αυτοί είναι ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (WHO 1996, WHO 1998a, WHO 1998b), η Ευρωπαϊκή Ένωση (EC 1980, EC 1998, EK 2003), οι ΗΠΑ (EPA 2001, EPA 2006) και η Αυστραλία (ADWG 2004) που έχουν θεσπίσει οριακές τιμές για τις ποιοτικές παραμέτρους ο κάθε φορέας ξεχωριστά.

Στις 22 Δεκεμβρίου 2000 τέθηκε σε ισχύ η Οδηγία 2000/60/EK μεταξύ των Κρατών Μελών της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την προστασία των υδάτων. Η οδηγία αυτή ονομάζεται και Οδηγία-Πλαίσιο για τα Νερά.

Η Οδηγία 2000/60/EK σκοπό έχει σε Ευρωπαϊκό και διεθνές πλαίσιο να υιοθετήσει ένα περιβαλλοντικό πρόγραμμα και να προστατέψει έτσι μακροπρόθεσμα τα ύδατα είτε πρόκειται για επιφανειακά είτε για υπόγεια καθώς και τα οικοσυστήματα και να δημιουργήσει ένα πλαίσιο στο οποίο (ΥΠΕΚΑ 2012β):

- να υπάρξει βελτίωση και προστασία των υδατικών πόρων από περαιτέρω υποβάθμιση
- μέσω της μακροπρόθεσμης προστασίας των διαθέσιμων υδατικών πόρων να συντελέσει στη βιώσιμη διαχείριση αυτών
- να παρθούν μέτρα για την εξάλειψη της απόρριψης ορισμένων επικίνδυνων ρυπαντών που προσδιορίζονται και επικαιροποιούνται σε ειδικούς καταλόγους ουσιών προτεραιότητας καθώς και μέτρα για τη μείωση της απόρριψης ρυπαντικών ουσιών για να επιτευχθεί έτσι η προστασία του υδατικού περιβάλλοντος
- να αποκατασταθεί η ποιότητα των υπόγειων υδάτων και να διασφαλιστεί η προοδευτική μείωση της ρύπανσης αυτών
- να συμβάλει στην αντιμετώπιση των επιπτώσεων ακραίων φαινομένων όπως ξηρασίες και πλημμύρες

Η Οδηγία Πλαίσιο για τα Νερά 2000/60/EK προκειμένου να φέρει εις πέρας τους περιβαλλοντικούς στόχους που έχει θέσει πρέπει να κινηθεί μέσα σε ένα συγκεκριμένο χρονοδιάγραμμα μιας 15 ετίας. Στην Ελλάδα από τη δημοσίευσή της μέχρι σήμερα η Κοινοτική Οδηγία παρουσιάζει μια χρονική υστέρηση, για το λόγο

αυτό, προκειμένου να πραγματοποιηθούν οι ποιοτικοί στόχοι της Οδηγίας για να διατηρηθούν σε μια καλή κατάσταση οι υδατικοί πόροι μέχρι το 2015 κρίνεται αναγκαία η επίτευξη των σχετικών διαδικασιών που απαιτούνται.

Στην Ελλάδα οι υδατικοί πόροι αντιμετωπίζουν προβλήματα σε πολλές περιοχές. Ο νόμος πλαίσιο θα βοηθήσει στην αποτελεσματική προστασία και στην ορθολογική χρήση των υδατικών πόρων και θα θέσει τις βάσεις για τη στήριξη μιας σταθερής πολιτικής διαχείρισης των υδάτων (ΥΠΕΚΑ 2012β).

Η Κοινοτική Οδηγία 2000/60/ΕΚ ενσωματώνει τις οδηγίες (91/271/ΕΟΚ, 91/676/ΕΟΚ, 96/61/ΕΚ, 98/83/ΕΚ κλπ.) καθώς και νέες Οδηγίες μεταγενέστερες της 2000/60/ΕΚ (2006/7/ΕΚ, 2006/118/ΕΚ, 2008/105/ΕΚ, 2009/90/ΕΚ), οι οποίες σχετίζονται με την προστασία των υδατικών πόρων και τη σωστή διαχείριση του περιβάλλοντος και συμπληρώνουν την οδηγία 2000/60/ΕΚ.

Ο νόμος 3199/9-12-2003 (ΦΕΚ 280 Α) εναρμονίζει την Ελληνική με την Ευρωπαϊκή νομοθεσία και συγκεκριμένα με την Οδηγία 2000/60/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του συμβουλίου της 23^{ης} Οκτωβρίου 2003 για την προστασία και διαχείριση των υδάτων, όπως αυτός τροποποιήθηκε με τους νόμους Ν. 3481/2006, Ν. 3587/2007, Ν. 3621/2007 και Ν. 3734/2009. Τέλος, το Προεδρικό Διάταγμα υπ' αριθμ. 51/2007 (ΦΕΚ 54Α/8-3-2007) προσαρμόζει την οδηγία 2000/60/ΕΚ στα Ελληνικά δεδομένα (ΥΠΕΚΑ 2012β).

Εκτός από την Οδηγία 2000/60/ΕΚ η οποία έχει θεσπιστεί για την προστασία, τη βελτίωση και την ορθολογική διαχείριση όλων των υδάτων υπόγειων, επιφανειακών (ποτάμιων, λιμναίων), μεταβατικών και παράκτιων, υπάρχει και η κοινοτική οδηγία 98/83/ΕΚ (ΕΚ 1998) της Ευρωπαϊκής Ένωσης η οποία το έτος 1998 κατέργησε την Οδηγία 80/778/ΕΕΚ και από τότε βρίσκεται σε ισχύ. Η οδηγία 98/83/ΕΚ έχει εκδώσει κριτήρια σχετικά με την ποιότητα του νερού για ανθρώπινη κατανάλωση. Σύμφωνα λοιπόν με την οδηγία 98/83/ΕΚ ως πόσιμο νερό χαρακτηρίζεται αυτό το οποίο είτε σε φυσική κατάσταση είτε μετά από επεξεργασία προορίζεται για πόση, για παρασκευή τροφής και επεξεργασία ή εμπορία προϊόντων που προορίζονται για ανθρώπινη κατανάλωση (ΥΠΕΚΑ 2012β).

Σε Ευρωπαϊκό και Διεθνές επίπεδο έχουν θεσπιστεί κάποιες βασικές παράμετροι που πρέπει να ισχύουν για το πόσιμο νερό έτσι ώστε να είναι ασφαλές για ανθρώπινη κατανάλωση και να εξασφαλίζεται με αυτόν τον τρόπο η δημόσια υγεία (ΕΚ 1998, ΕΡΑ 2006). Η Οδηγία 98/83/ΕΚ περιλαμβάνει 51 ποιοτικές παραμέτρους οι οποίες διαχωρίζονται σε τρεις ομάδες:

- μικροβιολογικοί παράμετροι
- χημικοί παράμετροι
- ενδεικτικές παράμετροι

Η κοινή Υπουργική απόφαση ΚΥΑ Υ2/2600/2001 (ΦΕΚ 892Β/11-7-2001) της Ελληνικής Δημοκρατίας εναρμονίζει την Ελληνική με την Ευρωπαϊκή νομοθεσία και συγκεκριμένα με την Κοινοτική Οδηγία 98/83/ΕΚ.

1.3. Το έδαφος

Έδαφος είναι το ενεργό και χαλαρό επιφανειακό στρώμα της γης που αποτελείται από ανόργανα και οργανικά συστατικά, είναι το υλικό το οποίο στηρίζει την ανάπτυξη των φυτών, παρέχοντας σε αυτά νερό και θρεπτικά στοιχεία (Αλιφραγκής 2008).

Το έδαφος ταξινομείται σε εδαφικούς ορίζοντες Ο, Α, Β, C και R. Οι Α και Β αποκαλούνται επιφανειακό έδαφος (topsoil), και R είναι η στρώση του μητρικού πετρώματος. Οι ορίζοντες Α, Β και C απαντούν σε εξελιγμένα εδάφη στην ιδανική

τους μορφή, συνήθως όμως συναντώνται εδάφη με τους ορίζοντες A και C ή με τους B και C όπου ο A έχει διαβρωθεί (Sopher and Baird 1978).

Το έδαφος αποτελείται από ανόργανα συστατικά (τεμάχια πετρωμάτων, δευτερογενή ορυκτά, οξείδια και υδροξείδια), οργανική ουσία (πανίδα και χλωρίδα, ρίζες φυτών και οργανικά υπολείμματα που προέρχονται από αποσύνθεση οργανικής ύλης), αέρα και νερό.

Το έδαφος χαρακτηρίζεται από κάποιες φυσικές ιδιότητες οι οποίες είναι: το βάθος, η κοκκομετρική σύσταση, η συσσωμάτωση και διασπορά των τεμαχιδίων, το πορώδες, η πυκνότητα, η συμπίεση, η συνεκτικότητα, ο αερισμός, η συρρίκνωση – διόγκωση, η θερμοκρασία και το χρώμα.

Παρακάτω περιγράφονται οι κίνδυνοι που αντιμετωπίζει το έδαφος στην Ελλάδα και σε όλη την Ευρώπη σύμφωνα με την European Commission (2006):

Διάβρωση: Η διάβρωση είναι αποτέλεσμα πολλών παραγόντων όπως α) του κλίματος, μεγάλα χρονικά διαστήματα ξηρασίας και απότομες βροχοπτώσεις, β) εξαιτίας του είδους της φυτικής εδαφοκάλυψης, γ) εξαιτίας των χαρακτηριστικών τους όπως είναι η χαμηλή περιεκτικότητα σε οργανική ύλη και η υφή τους. Εκτός όμως από τους παράγοντες αυτούς υπεύθυνος είναι και ο ανθρώπινος παράγοντας ο οποίος είναι υπεύθυνος για τις οικολογικές καταστροφές που προκαλεί όπως είναι οι πυρκαγιές και η ακατάλληλη χρήση της γης.

Αλάτωση: Η αλάτωση είναι αποτέλεσμα της ανεξέλεγκτης άρδευσης εξαιτίας αυξημένων γεωργικών αναγκών και είναι έντονη κυρίως σε παράκτιες περιοχές όπου εξαιτίας της υπέρμετρης άντλησης των υπόγειων υδάτων παρατηρείται πτώση της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα που έχει ως επακόλουθο την είσοδο του θαλασσινού νερού. Η άρδευση δημιουργεί αλάτωση σε αυτές τις περιοχές διότι το αρδευόμενο νερό περιέχει μεγάλες ποσότητες αλάτων που έχουν σαν αποτέλεσμα τη μείωση της εδαφικής γονιμότητας κυρίως σε περιοχές όπου οι βροχοπτώσεις είναι χαμηλές και η εξατμισοδιαπνοή υψηλή. Στην αλάτωση σημαντικό ρόλο παίζει και η υφή του εδάφους η οποία παρεμποδίζει την απόπλυση των αλάτων με αποτέλεσμα να συγκεντρώνονται στις επιφανειακές στοιβάδες του εδάφους (SEC 2006). Η αλάτωση μπορεί να έχει αρνητικές επιπτώσεις στις καλλιέργειες μειώνοντας την ικανότητα του φυτού να προσλάβει νερό (Bouksila et al. 2012).

Πλημμύρες και κατολισθήσεις: Οι πλημμύρες και οι κατολισθήσεις σχετίζονται άμεσα με το έδαφος και τη χωροταξική διαχείριση, είναι φυσικές καταστροφές. Κυρίως παρατηρούνται σε περιοχές όπου το υπέδαφος είναι ασβεστώδες, εκεί όπου επικρατούν βαθιές χαραδρώσεις και σε εγκαταλειμμένη ύπαιθρο. Η καταστροφή των δασών και η εγκατάλειψη των γαιών επιτείνει το φαινόμενο της διάβρωσης το οποίο με τη σειρά του συμβάλει στο φαινόμενο των πλημμύρων. Οι περιοχές οι οποίες πλήττονται περισσότερο από τα δυο αυτά φαινόμενα σύμφωνα με τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Περιβάλλοντος είναι οι περιοχές της Μεσογείου και των Αλπεών.

Ρύπανση: Σύμφωνα με τους Kabata Pendias and Pendias (1992) η βιομηχανική ανάπτυξη είχε σαν αποτέλεσμα να διαταράξει την ισορροπία που υπήρχε ανάμεσα στο έδαφος και στα ιχνοστοιχεία, οι συγκεντρώσεις των οποίων είναι σημαντικές για την οικολογία και τη βιολογία. Έτσι στα σύγχρονα εδάφη η προέλευση των ιχνοστοιχείων ποικίλει, μπορεί να προέρχονται κατευθείαν από τη λιθόσφαιρα ή από ανθρωπογενή αίτια που επιβαρύνουν τα εδάφη άμεσα ή έμμεσα εξαιτίας ανθρωπινων δραστηριοτήτων. Ο όρος ρύπανση του εδάφους αναφέρεται στην απόθεση οργανικών ή ανόργανων ενώσεων που μπορεί να καταστούν επιβλαβείς για τον άνθρωπο και τους ζωντανούς οργανισμούς (Alloway 1997).

Η ρύπανση του εδάφους μπορεί να προέλθει από φυσικές διεργασίες και από ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Οι φυσικές διεργασίες είναι η αποσάθρωση των

πετρωμάτων και η απελευθέρωση μετάλλων στο περιβάλλον. Οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες διακρίνονται στις: (α) αγροτικές όπως χρήση αγροχημικών, λιπάσματα, εδαφοβελτιωτικά και γεωργικά φάρμακα, (β) κτηνοτροφικές, (γ) αστικές, (δ) βιομηχανικές και (ε) μεταλλευτικές - μεταλλουργικές.

Σε έντονα όξινες συνθήκες τα μέταλλα που υπάρχουν στο έδαφος μετακινούνται προς τους βαθύτερους εδαφικούς ορίζοντες ενώ κάποια δεσμεύονται και ακινητοποιούνται από τα οξειδία και υδροξειδία του Fe - Mn, ένα άλλο ποσοστό απορροφάται από τα άγλη ή άλλες μορφές του χαμηλότερου τροφικού επιπέδου. Τα μέταλλα αυτά μπορεί να καταστούν επικίνδυνα για κάποιες μορφές ζωής εάν βιοσυσσωρευτούν στον τροφικό ιστό (Kabata-Pendias and Mukherjee 2007, Περδικάτσης 2005, Papazoglou et al. 2007).

Η ρύπανση των εδαφών από βαρέα μέταλλα είναι ένα πολύ σημαντικό πρόβλημα σε πολλές περιοχές. Τα συνηθέστερα βαρέα μέταλλα τα οποία υπάρχουν σε εδάφη ρυπασμένων περιοχών είναι μόλυβδος (Pb), χρώμιο (Cr), αρσενικό (As), ψευδάργυρος (Zn), κάδμιο (Cd), χαλκός (Cu), και υδράργυρος (Hg). Η παρουσία των βαρέων μετάλλων στα εδάφη μπορεί να αποτελέσει σημαντική απειλή για την ανθρώπινη υγεία και τα οικολογικά συστήματα. Η χημική μορφή των βαρέων μετάλλων εξαρτάται από την πηγή προέλευση τους και τη χημική σύσταση των εδαφών σε μια περιοχή.

Τα βαρέα μέταλλα τα οποία βρίσκονται στα ρυπασμένα εδάφη μπορεί να προέρχονται από:

- Αερομεταφερόμενες εκπομπές
- Στερεά απόβλητα
- Σωρούς μεταλλευτικών σκωριών

Η ρύπανση των εδαφών, από βαρέα μέταλλα από τη βιομηχανία (συνήθως από βιομηχανίες επιμεταλλώσεων) είναι το αποτέλεσμα διαρροών από δεξαμενές μέσα ή έξω από το εργοστάσιο ή από τη μη-υγειονομική ταφή τοξικών ουσιών στις βιομηχανικές εγκαταστάσεις (Νικολαΐδης 2005).

Ερημοποίηση: Η ερημοποίηση οφείλεται κυρίως στην αποψίλωση εκτεταμένων εκτάσεων, στην ξηρασία στις πυρκαγιές, στη γεωργία, στη βιομηχανία και στη βόσκηση. Εκτεταμένες περιοχές της Ελλάδας, της κεντρικής και νοτιοανατολικής Ισπανίας, της κεντρικής και νότιας Ιταλίας, της νότιας Γαλλίας και της Πορτογαλίας απειλούνται από ερημοποίηση.

Σύμφωνα με τον Thornes (1988) η ερημοποίηση, ανάλογα με τις διαδικασίες που εμπλέκονται στην εξέλιξή της, μπορεί να διαχωριστεί σε φυσική και χημική.

- Η φυσική ερημοποίηση, εμφανίζεται σε επικλινείς περιοχές και είναι συχνά πολύ εκτεταμένη, μπορεί να είναι αντιστρεπτή ή και όχι. Εμφανίζεται κυρίως σε ημίξηρες και ύφυγρες περιοχές και ο βασικός επιδρών παράγοντας που τη δημιουργεί είναι η διάβρωση του εδάφους
- Η κύρια διαδικασία (δευτερογενής) χημική ερημοποίηση είναι η αλάτωση των εδαφών η οποία προκαλείται από την ανεξέλεκτη διαχείριση υδάτων σε αρδευόμενες περιοχές. Επηρεάζει κυρίως αλουβιακά εδάφη και δεν είναι τόσο εκτεταμένη στην Ευρώπη, όσο σε ξηρές κυρίως περιοχές (Yassoglou 1987).

Το έδαφος συνδέεται στενά με το νερό και τον αέρα και για το λόγο αυτό έχουν παρθεί μέτρα για μια ειδική περιβαλλοντική νομοθεσία η οποία συμβάλει στην προστασία του εδάφους. Η νομοθεσία αυτή περιλαμβάνει και τη νομοθεσία για τα απόβλητα και τη χωροταξική πολιτική σύμφωνα με την (European Commission 2006).

Η Οδηγία πλαίσιο για το νερό (Οδηγία 2000/60) όπως προαναφέρθηκε καθιερώνει πρότυπα για την προστασία του νερού (είτε πρόκειται για επιφανειακό είτε για υπόγειο) από την απόπλυση επικίνδυνων ουσιών από το έδαφος στο νερό.

Διατάξεις για τη βελτίωση της κατάστασης του εδάφους περιλαμβάνει και η Οδηγία 91/676 για τη νιτρορύπανση. Εδάφη τα οποία έχουν υποστεί υπέρμετρη λίπανση έχουν σαν επακόλουθο τη ρύπανση των υπόγειων υδάτων, επομένως εάν παρθούν μέτρα για την αντιμετώπιση της νιτρορύπανσης αυτά θα οδηγήσουν και στη βελτίωση της προστασίας του εδάφους.

Οι οδηγίες οι οποίες έχουν παρθεί για την αντιμετώπιση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης συμβάλλουν και στην προστασία του εδάφους διότι οι ατμοσφαιρικοί ρύποι μέσω των βροχοπτώσεων φτάνουν στο έδαφος και συμβάλλουν στο φαινόμενο της οξύνισης και ευτροφισμού. Η Οδηγία 96/92/EK, αφορά την εκτίμηση και τη διαχείριση της ποιότητας του αέρα του περιβάλλοντος, η Οδηγία 1999/30/EK, σχετίζεται με τις οριακές τιμές του διοξειδίου του θείου, διοξειδίου του αζώτου, μόλυβδος και σωματιδίων του ατμοσφαιρικού αέρα. Η Οδηγία 2000/69/EK σχετίζεται με τις οριακές τιμές του βενζολίου και του μονοξειδίου του άνθρακα στον ατμοσφαιρικό αέρα. Η Οδηγία 2001/81/EK για τις οριακές τιμές εκπομπών που επηρεάζουν την προστασία του εδάφους. Άλλες οδηγίες που περιλαμβάνουν την προστασία του εδάφους από τη ρύπανση είναι η Οδηγία 86/278/ΕΟΚ για τη χρησιμοποίηση της ιλύος καθαρισμού λυμάτων στη γεωργία, η Οδηγία 75/442/ΕΟΚ για την εναπόθεση των αποβλήτων ώστε να είναι αβλαβή για το έδαφος, η Οδηγία 1999/31/EK για τους χώρους υγειονομικής ταφής απορριμμάτων, η Οδηγία 2000/76/EK για της αποτεφρώσεις και η Οδηγία 91/271/ΕΟΚ για την επεξεργασία των αστικών λυμάτων.

Η Οδηγία 96/61/EK η οποία επιβάλλει στις βιομηχανίες και στις μονάδες εντατικής κτηνοτροφίας που υπερβαίνουν κάποια όρια την πρόληψη εκπομπών ρύπων στον αέρα, το νερό και το έδαφος για την αποφυγή αποβλήτων και τη διάθεση στο έδαφος.

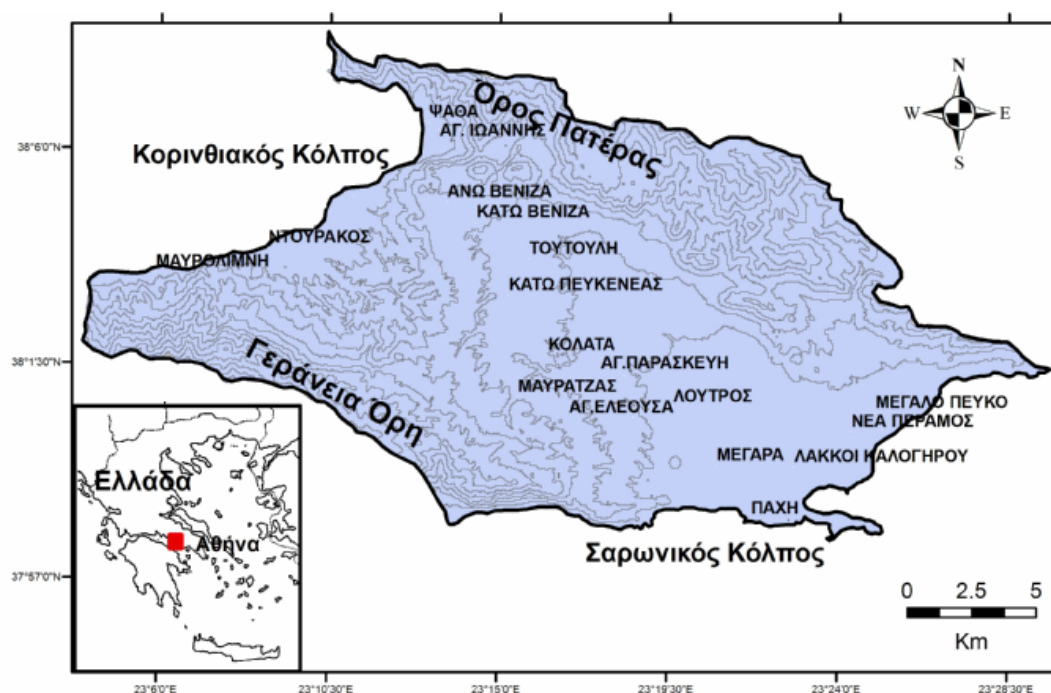
Η Οδηγία 2004/35/EK είναι η οδηγία για την αποκατάσταση περιβαλλοντικής ζημιάς, η Οδηγία 97/11/EK έχει καθιερωθεί για να εκτιμά της επιπτώσεις ορισμένων έργων (δημόσιων και ιδιωτικών) στο περιβάλλον. Καθιερώνει τις περιβαλλοντικές αξιολογήσεις για ορισμένα προγράμματα και σχέδια χωροταξικού χαρακτήρα που έχουν επιπτώσεις στο έδαφος και τέλος η Οδηγία 2001/42/EK για την εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από δημόσια ή ιδιωτικά έργα και τις πιθανές επιπτώσεις στο έδαφος.

Οι παραπάνω Οδηγίες δεν αφορούν εξ'ολοκλήρου νομοθεσία για το έδαφος αλλά συμπεριλαμβάνουν αυτό, η οδηγία για την προστασία και την ορθολογική διαχείριση του εδάφους βρίσκεται υπό ψήφιση.

2. ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΡΕΥΝΑΣ

2.1. Γεωγραφική τοποθέτηση

Η λεκάνη των Μεγάρων βρίσκεται στο ΝΔ τμήμα της Στερεάς Ελλάδος και στο δυτικό τμήμα του νομού Αττικής. Η λεκάνη αυτή ορίζεται από τις συντεταγμένες $37^{\circ} 57' - 38^{\circ} 9'$ βόρειο πλάτος και $23^{\circ} 6' - 23^{\circ} 28'$ ανατολικό μήκος. Η συνολική έκταση της λεκάνης είναι περίπου 362 km^2 . Η περιοχή έρευνας αποτελείται από δυο υδρογεωλογικές λεκάνες τη λεκάνη των Μεγάρων με συνολική έκταση $261,59 \text{ km}^2$ και τη λεκάνη του Αλεποχωρίου με συνολική έκταση $100,60 \text{ km}^2$. Αναπτύσσεται μεταξύ δυο οροσειρών και δυο θαλασσών, της οροσειράς των Γερανείων στα ΝΔ και της οροσειράς του Πατέρα στα ΒΑ, στα ΝΔ από τον Σαρωνικό κόλπο και στα ΒΔ από τον Κορινθιακό κόλπο (Σχ. 2.1).



Σχήμα 2.1: Χάρτης γεωγραφικής τοποθέτησης της λεκάνης των Μεγάρων όπου απεικονίζονται οι κυριότεροι οικισμοί και τοπωνύμια (■ Περιοχή έρευνας).

2.2. Η πόλη των Μεγάρων

Η πόλη των Μεγάρων είναι πρωτεύουσα της επαρχίας των Μεγάρων του Νομού Αττικής, απέχει 41 km από την Αθήνα και 43 km από την Κόρινθο. Βρίσκεται σε απόσταση περίπου 1,5 km από τον Σαρωνικό κόλπο και είναι κτισμένη αμφιθεατρικώς σε δυο λόφους στους οποίους είχαν κτιστεί και οι ακρόπολεις της αρχαίας πόλεως των Μεγάρων.

Ο δήμος των Μεγάρων περιλαμβάνει επίσης τις εξής κοινότητες και οικισμούς: Αγ.Τριάδα, Βλυχάδα, Κάτω Βλυχάδα, Κινέττα, Κουμίνδρι, Πάχη, Λάκκοι Καλογήρου, Στίκας, Σπάρτα, Αλεποχώρι και Ψάθα.

2.3. Ιστορικά στοιχεία

Υπάρχουν δύο εκδοχές για την προέλευση του ονόματος της πόλεως των Μεγάρων. Η πρώτη εκδοχή προέρχεται από τον Πausανία ο οποίος υποστηρίζει ότι η πόλη ιδρύθηκε τον καιρό του Κάρου του Φορωνέως ο οποίος έκτισε την Καρίαν ακρόπολη και τους ναούς της Δήμητρας τους οποίους τους ονόμασε Μέγαρα και από εκεί προέρχεται και το όνομα της πόλεως. Η δεύτερη εκδοχή υποστηρίζει ότι το όνομα της πόλεως προέρχεται από τον Μεγαρέα ο οποίος ήρθε από τη Βοιωτία για να βοηθήσει τους Μεγαρείς στη μάχη εναντίον του Μίνωος, στη διαμάχη όμως αυτή ο Μεγαρέας εφονεύθη και οι Μεγαρείς ονόμασαν την πόλη τους Μέγαρα προς τιμή του.

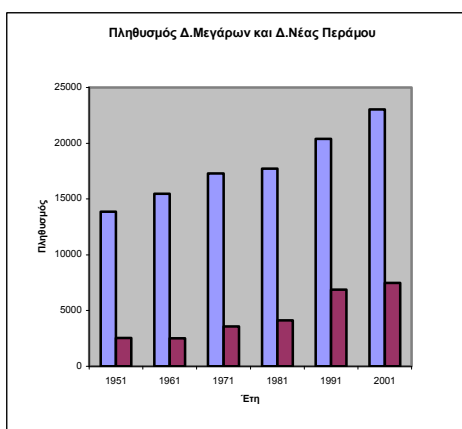
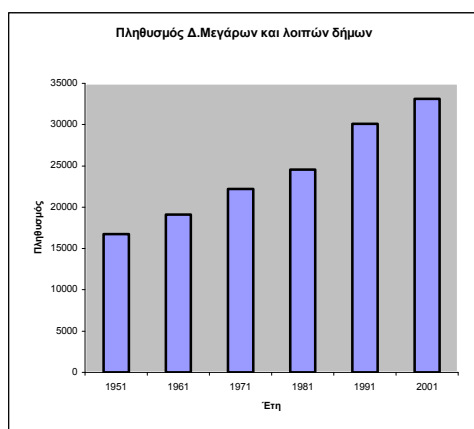
Μεγάλη οικονομική ακμή σημειώθηκε στα Μέγαρα κατά τον Ζ΄ αιώνα. Το χρονικό αυτό διάστημα ιδρύθηκαν πολλές αποικίες και αναπτύχθηκε το εμπόριο εξαιτίας της γεωγραφικής θέσεως. Τα Μέγαρα έγιναν γνωστά και από τη φιλοσοφική σχολή η οποία ιδρύθηκε από τον Ευκλείδη μαθητή του Σωκράτη.

2.4. Πληθυσμιακή εξέλιξη

Σύμφωνα με στοιχεία της Ελληνικής Στατιστικής Αρχής (ΕΛ.ΣΤΑΤ.) ο πληθυσμός της πόλης των Μεγάρων παρουσιάζει αύξηση κατά τα τελευταία χρόνια και καθώς ο πληθυσμός αυξάνει αλλάζουν και οι δραστηριότητες των ανθρώπων και ποσοτικά αλλά και ποιοτικά. Ο Πιν. 2.1 καταγράφει την πληθυσμιακή εξέλιξη του Δήμου Μεγάρων και των λοιπών Δήμων που συμπεριλαμβάνονται σε αυτόν καθώς και του Δήμου Μεγάρων και Δήμου Νέας Περάμου. Στο Σχ. 2.2 παρουσιάζεται η πληθυσμιακή κατανομή για τα έτη 1951 - 2001 και όπως διαπιστώνεται παρουσιάζεται αύξηση του πληθυσμού.

Πίνακας 2.1: Πληθυσμός Δήμου Μεγάρων, λοιπών δήμων και Δήμου Μεγάρων, Δήμου Νέας Περάμου 1951-2001 (ΕΛ.ΣΤΑΤ.).

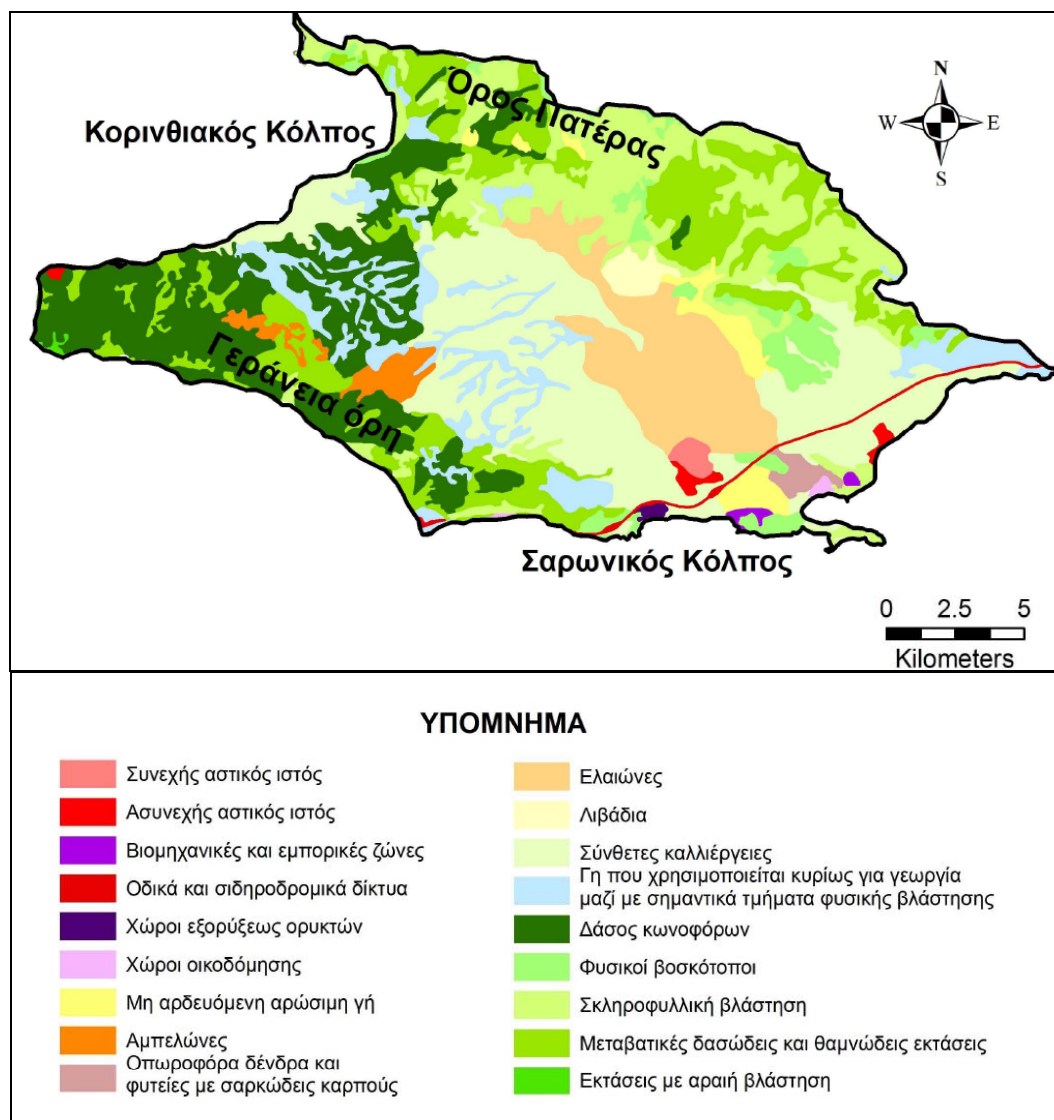
ΔΗΜΟΣ	1951 Πληθυσμός	1961 Πληθυσμός	1971 Πληθυσμός	1981 Πληθυσμός	1991 Πληθυσμός	2001 Πληθυσμός
Δ.Μεγάρων και λοιποί Δήμοι	13863	15450	17294	17719	20403	23032
Δ.Νέας Περάμου	2559	2522	3580	4129	6869	7480



Σχήμα 2.2: Πληθυσμιακή κατανομή ετών 1951-2001 του Δ.Μεγάρων και των λοιπών δήμων και του Δ.Μεγάρων και Δ.Νέας Περάμου (ΕΛ.ΣΤΑΤ.).

2.5. Χρήσεις γης

Οι κάτοικοι στα Μέγαρα ασχολούνται κατά κύριο λόγο με τη γεωργία. Το υψόμετρο των καλλιεργούμενων αυτών εκτάσεων κυμαίνεται από 2 έως 5 m στη Ν. Πέραμο και σε υψόμετρο 300 m στα ενδοχωρικά των Μεγάρων Πευκενέα και Βένιζα (Παρασχούδης 2002). Εκτεταμένος ελαιώνας, έκτασης περίπου 15.000 στρεμμάτων βρίσκεται στην περιοχή της πόλης των Μεγάρων, στη Ν.Πέραμο και στη Λάκκα Καλογήρου (Σχ. 2.3).



Σχήμα 2.3: Χάρτης χωρικής κατανομής χρήσεων γης της περιοχής έρευνας (CORINE 2000).

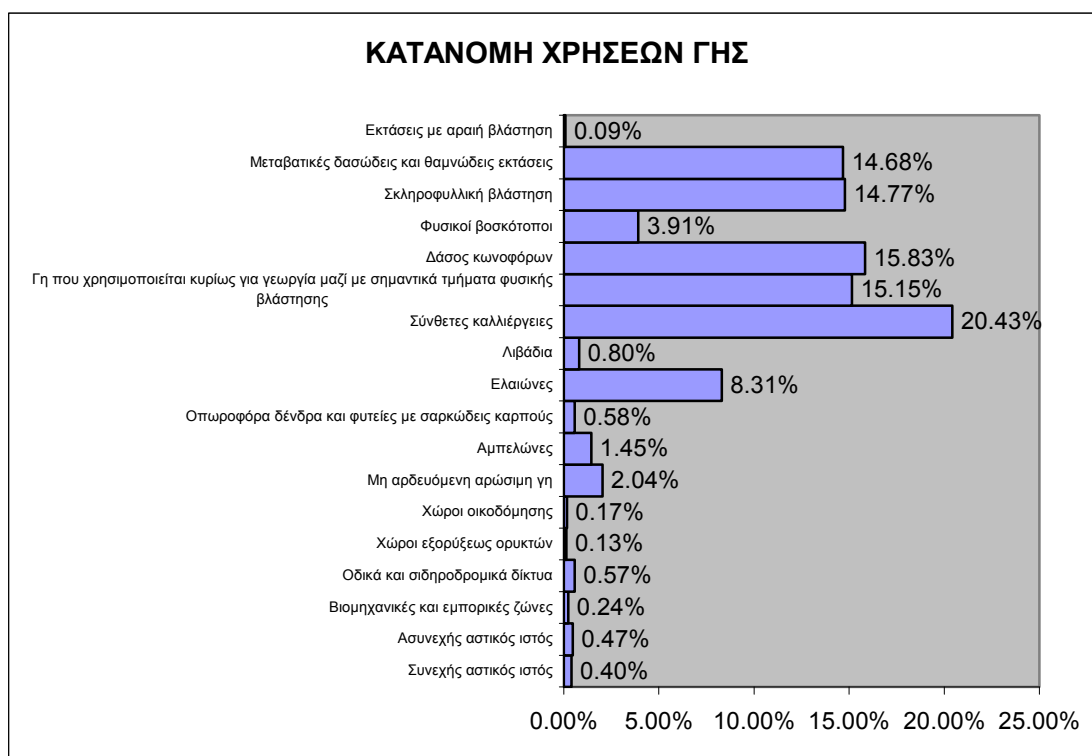
Στις ίδιες περιοχές τις τελευταίες δεκαετίες γίνεται και καλλιέργεια φιστικιάς. Υπάρχουν και πολλά θερμοκήπια κηπευτικών τα οποία θα ήταν δυνατόν να αυξηθούν εφόσον καλυφθούν οι απαιτήσεις τους σε αρδευτικό νερό. Επίσης στη λεκάνη των Μεγάρων γίνεται και καλλιέργεια αμπελιού. Υπάρχουν εκτεταμένοι αμπελώνες εκτάσεως 3.000 - 4.000 στρεμμάτων στις περιοχές Χάνι Δερβένι, Πευκενέα, Αγία Παρασκευή και Σπάρτα.

Σε μια έκταση 10.000 - 12.000 στρεμμάτων υπάρχει εκτεταμένος ελαιώνας στην περιοχή γύρω από τα Μέγαρα που παρουσιάζει φαινόμενα γήρανσης και εγκατάλειψης (Παρασκούδης 2002).

Άλλες δραστηριότητες στη λεκάνη των Μεγάρων είναι η λειτουργία αρκετών κτηνοτροφικών μονάδων και πολλών βιοτεχνιών επεξεργασίας μαρμάρου, ενώ στις παραλιακές περιοχές και ειδικά στον Κόλπο των Αλκυονίδων, Αιγειρούσαι, Αλεποχώρι και Ψάθα παρουσιάζεται έντονη παραθεριστική και τουριστική ανάπτυξη (Παρασκούδης 2002).

Στο Σχ. 2.3 απεικονίζεται ο χάρτης χρήσεων γης της λεκάνης των Μεγάρων ο οποίος έχει προέλθει από επεξεργασία του προγράμματος CORINE (2000).

Με βάση το χάρτη των χρήσεων γης (Σχ. 2.3) πραγματοποιήθηκε εμβαδομέτρηση αυτών και δημιουργήθηκε το διάγραμμα κατανομής των χρήσεων γης (Σχ. 2.4). Σύμφωνα με το διάγραμμα αυτό, η πλειονότητα των χρήσεων γης είναι σύνθετες καλλιέργειες με ποσοστό 20,43% και ακολουθούν με επίσης σημαντικό ποσοστό τα δάση κωνοφόρων 15,83%, η γη που χρησιμοποιείται κυρίως για γεωργία μαζί με σημαντικά τμήματα φυσικής βλάστησης 15,15%, η σκληροφυλλική βλάστηση 14,77%, οι μεταβατικές δασώδεις και θαμνώδεις εκτάσεις 14,68%. Οι ελαιώνες κατέχουν ένα σημαντικό ποσοστό 8,31% και οι φυσικοί βοσκότοποι ακολουθούν με ποσοστό 3,91%, η μη αρδευόμενη αρόσιμη γη 2,04% και οι αμπελώνες 1,45%. Η κύρια ενασχόληση του πληθυσμού είναι η γεωργία όπως προκύπτει από την κατανομή των χρήσεων γης. Όσον αφορά τις αστικές περιοχές αυτές καταλαμβάνουν μια μικρή έκταση 7,66 Km² με ποσοστό στο σύνολο των χρήσεων γης 1,97%.



Σχήμα 2.4: Διάγραμμα ποσοστιαίας κατανομής χρήσεων γης περιοχής έρευνας.

3. ΓΕΩΛΟΓΙΑ

3.1. Γεωλογικοί σχηματισμοί

Η γεωλογία της περιοχής έρευνας απεικονίζεται στο γεωλογικό χάρτη του Σχ. 3.1 η κατασκευή του οποίου βασίστηκε στα φύλλα Μέγαρο, Σοφικόν, Καπαρέλλι και Ερυθραί (κλίμακας 1:50000) των γεωλογικών χαρτών Ελλάδος του Ι.Γ.Μ.Ε [(Δούνας κ.α. (1971), Μπορνόβας κ.α. (1984) Γαϊτανάκης κ.α. (1984), Γαϊτανάκης κ.α. (1985)]. Η γεωλογική δομή της λεκάνης των Μεγάρων αποτελείται από προαλπικούς σχηματισμούς, αλπικούς και μεταλπικούς. Η διάκριση αυτή γίνεται με βάση την ηλικία του σχηματισμού τους καθώς και την τεκτονική τους εξέλιξη (Σχ. 3.1, 3.2).

A) Προαλπικοί σχηματισμοί

Σύμφωνα με τις απόψεις προγενέστερων ερευνητών τα παλαιότερα ιζήματα βρέθηκαν στο όρος Πατέρας (Βαθυχώρι, Πηγάδια Σταμέλου), ανήκουν στο Λιθανθρακοφόρο – Πέρμιο και προσδιορίστηκαν σύμφωνα με τα απολιθώματα που ανευρέθησαν σε αυτά *Fusulina* – *Schwagerina*. Τα νεοπαλαιοζωϊκά αυτά στρώματα αποτελούνται από αργιλικούς σχιστόλιθους, ψαμμίτες, γραουβάκες και κροκαλοπαγή. Ανάμεσα στα στρώματα αυτά παρεμβάλλονται εκρηξιγενή πετρώματα, κερατοφύρες, μελανοφύρες και κερατοφυρικοί τόφοι. Τα εκρηξιγενή αυτά πετρώματα χρονολογούνται στο Λιθανθρακοφόρο, Πέρμιο και κάτω Τριαδικό (Σπηλιάδης 1961, Σαφιγέ 1982).

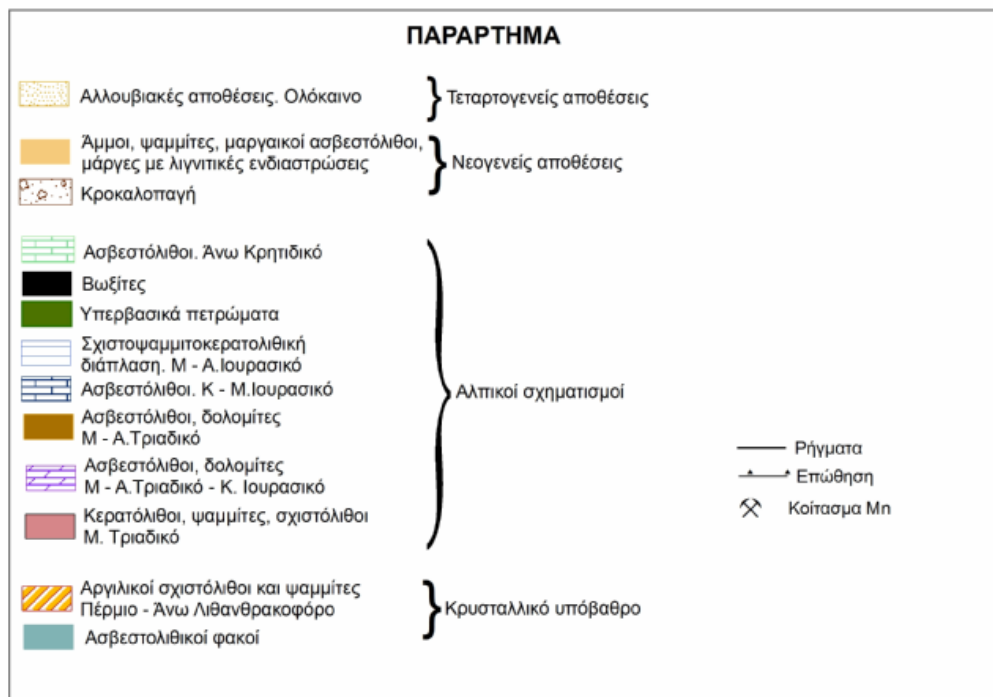
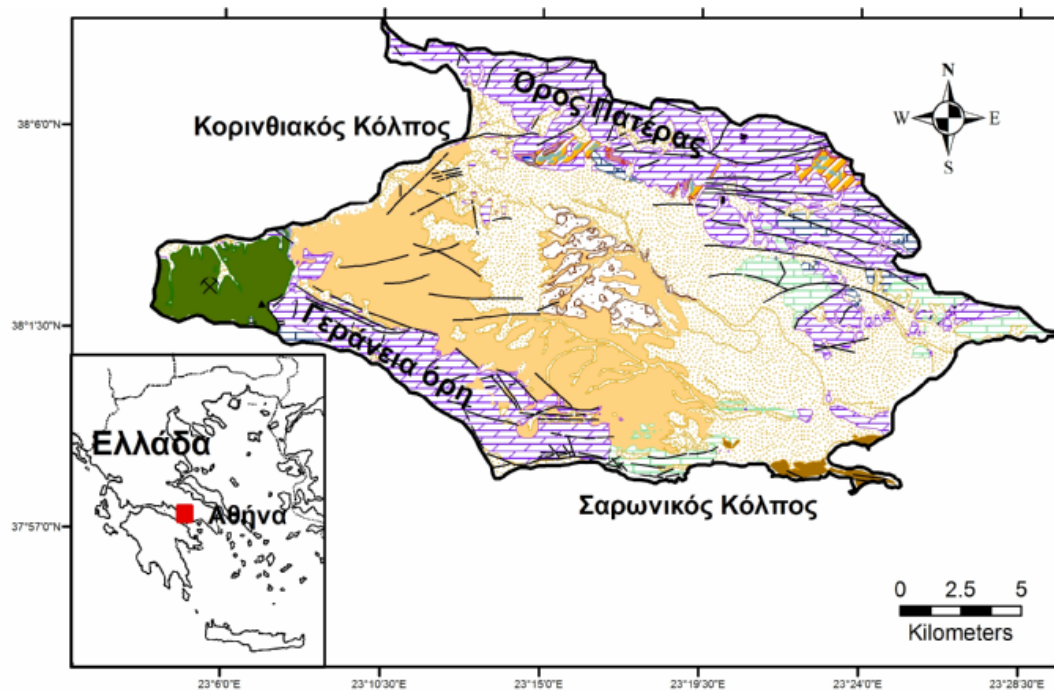
Με βάση τους γεωλογικούς χάρτες του ΙΓΜΕ (Δούνας κ.α. 1971, Μπορνόβας κ.α. 1984, Γαϊτανάκης κ.α. 1984, Γαϊτανάκης κ.α. 1985) οι προαλπικοί σχηματισμοί ανήκουν στο Πέρμιο – Αν.Λιθανθρακοφόρο και αποτελούνται από άργιλους, σχιστόλιθους και ψαμμίτες οι οποίοι εναλλάσσονται με γραουβάκες, κροκαλοπαγή, τοφφίτες και τόφους. Εγκλείουν φακοειδείς ενστρώσεις και φακούς ασβεστολίθων, καθώς και σώματα βασικών εκρηξιγενών πετρωμάτων. Τα ιζήματα της αβαθούς θαλάσσης (φυλλίτες και χαλαζίτες) παρουσιάζουν ασθενή μεταμόρφωση. Περιέχουν πλήθος απολιθωμάτων κρινοειδών φυκών, κορραλιών και κυρίως πρωτοζώων. Ανάμεσα στα στρώματα αυτά διακρίνονται ολισθημένα τεμάχια ασβεστολίθων. Το πάχος των σχηματισμών κυμαίνεται από 300 έως 400 m (Δούνας 1971).

B) Αλπικοί σχηματισμοί

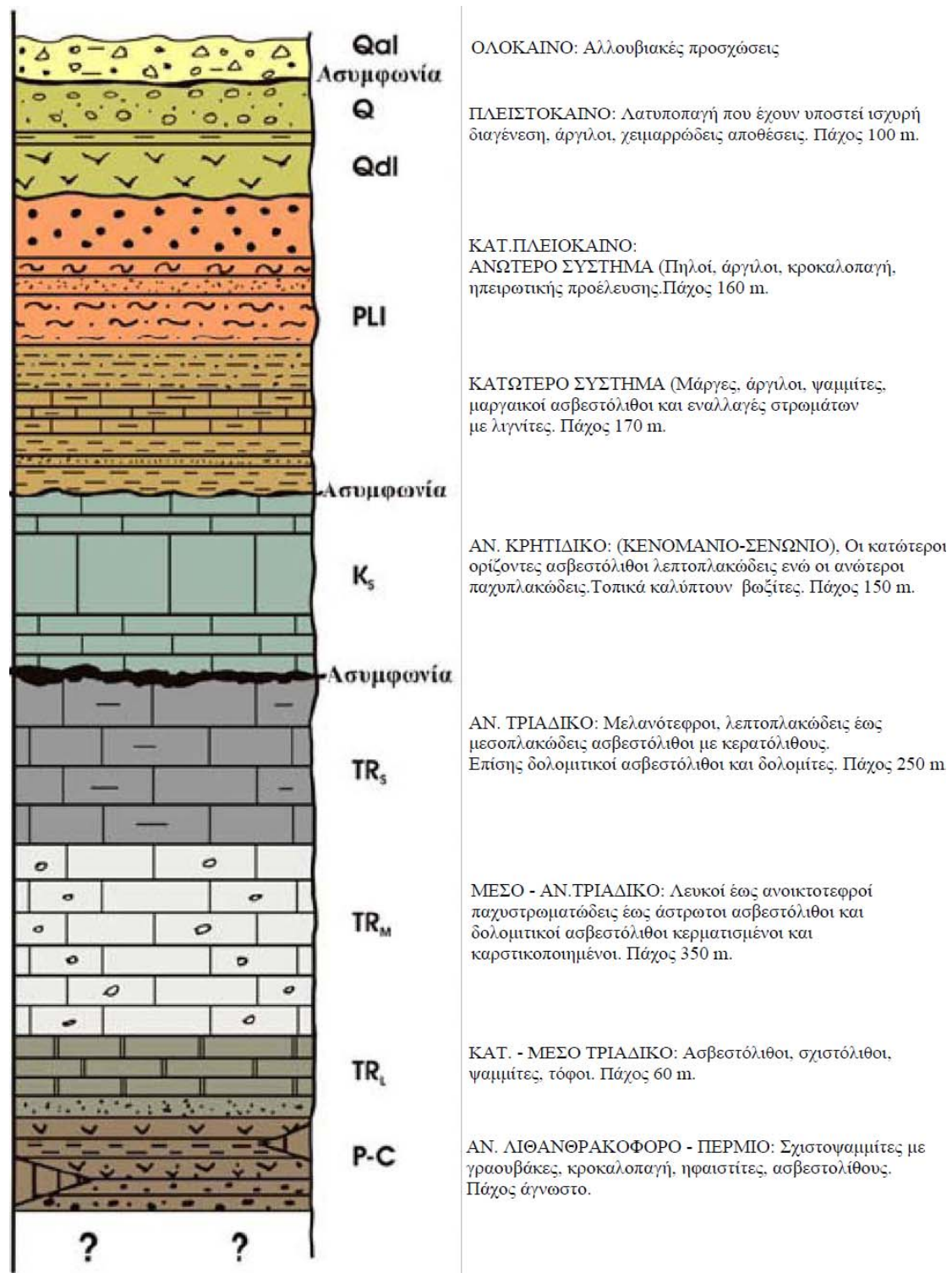
Η περιοχή έρευνας εντάσσεται στην Υποπελαγονική ζώνη, η οποία αποτελεί ζώνη της ανατολικής Ελλάδος. Αποτελεί το μέτωπο των εσωτερικών ζωνών του ελληνικού γεωσύγκλινου και γειτνιάζει με την αύλακα της Πίνδου. Θεωρείται ότι βρίσκεται επωθημένη προς Δυτικά και αποτελεί ένα τεράστιο τεκτονικό κάλυμμα των ζωνών Πίνδου και Παρνασσού. Η Υποπελαγονική χαρακτηρίζεται σαν αυτοτελής ζώνη εξαιτίας της παρουσίας οφιολιθικών συμπλεγμάτων, οι οποίες έλαβαν χώρα κατά το Αν.Ιουρασικό (Σαφιγέ 1982).

Η ενότητα της ανατολικής Ελλάδος αποτελείται από τους σχηματισμούς της Άνω – Κρητιδικής επίκλυσης και των υπερκείμενων της, οι οποίοι έχουν λάβει μέρος στην κύρια φάση τεκτονισμού του Ηωκαίνου, καθώς και από όλες τις παλαιοτεκτονισμένες ενότητες, οι οποίες αποτελούν τη βάση της επίκλυσης και οι οποίες έχουν υποστεί δύο φάσεις τεκτονισμού (Παπανικολάου 1986). Επίσης οι οφιόλιθοι βρίσκονται επωθημένοι στις παλαιοτεκτονισμένες ενότητες. Η Υποπελαγονική ζώνη είναι μια μη μεταμορφωμένη ζώνη, η οποία λειτουργεί σαν ανεξάρτητος παλαιογεωγραφικός χώρος κατά το Τριαδικό - Αν.Ιουρασικό. Η στρωματογραφική στήλη της

Υποπελαγονικής δεν είναι ίδια σε όλες τις περιοχές που εμφανίζεται, αλλά διαφοροποιείται σημαντικά. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι συνθήκες που επικρατούσαν από περιοχή σε περιοχή άλλαζαν μέσα στον ενιαίο παλαιογεωγραφικό της χώρο (Παπανικολάου 1986).



Σχήμα 3.1: Γεωλογικός χάρτης περιοχής έρευνας. Ο χάρτης έχει προκύψει με ψηφιοποίηση γεωλογικών δεδομένων τα οποία προέρχονται από τις ακόλουθες βιβλιογραφικές πηγές: Δούνας κ.α. (1971), Μπορνόβας κ.α. (1984) Γαϊτανάκης κ.α. (1984), Γαϊτανάκης κ.α. (1985).



Σχήμα 3.2: Στρωματογραφική στήλη περιοχής Μεγάρων – Ερυθρών (Δρίτσα και Μυτσικίδου 1993).

Οι σχηματισμοί οι οποίοι παρουσιάζονται στους γεωλογικούς χάρτες του ΙΓΜΕ για την περιοχή έρευνας ανήκουν στην ενότητα της Ανατολικής Ελλάδος και της Υποπελαγονικής ζώνης και είναι οι παρακάτω (Δούνας κ.α 1971, Μπορνόβας κ.α 1984, Γαϊτανάκης κ.α 1984, Γαϊτανάκης κ.α 1985):

B1) Σύμπλεγμα από Κερατόλιθους, Ψαμμίτες και Σχιστόλιθους με ερυθρότεφρους, στριφρούς μαργαϊκούς Ασβεστόλιθους Κατ – Μέσου Τριαδικού (Ti-m.sch).

Ο σχηματισμός αυτός αποτελείται από ελαφρά μεταμορφωμένους σχιστόλιθους και ψαμμίτες με παρεμβολές ασβεστόλιθων και δολομιτών χρώματος ερυθρού έως ερυθρομέλανου (Φάση Hallstatt) και οι οποίοι είναι λεπτοστρωματώδεις καθώς και από κερατόλιθους και ηφαιστειακούς τόφους που παρατηρούνται τοπικά. Ο σχηματισμός αυτός διακρίνεται κατά τόπους στο όρος Πατέρας και το πάχος του φτάνει τα 50 m περίπου (Δούνας κ.α 1971, Μπορνόβας κ.α 1984, Γαϊτανάκης κ.α 1984, Γαϊτανάκης κ.α 1985).

B2) Ασβεστόλιθοι και Δολομίτες Μέσου – Αν.Τριαδικού (Tm-s.K).

Πρόκειται για ασβεστόλιθους, δολομιτικούς ασβεστόλιθους και δολομίτες, οι οποίοι εμφανίζονται στην περιοχή των Μεγάρων. Χαρακτηρίζονται παχυστρωματώδεις έως άστρωτοι, βιομικρίτες. Όσον αφορά το χρώμα τους είναι λευκοί, λευκοκίτρινοι και τεφροί. Κατά θέσεις συναντώνται λεπτές ενστρώσεις (1 - 2 εκ) δολομιτωμένες (δολοσπαρίτες). Είναι έντονα κατακερματισμένοι και παρουσιάζουν ένα αρκετά ανεπτυγμένο, καρστικό σύστημα. Το πάχος τους μπορεί να φτάσει και πάνω από 450 m (Δούνας κ.α 1971, Μπορνόβας κ.α 1984, Γαϊτανάκης κ.α 1984, Γαϊτανάκης κ.α 1985).

B3) Ασβεστόλιθοι και Δολομίτες Μέσου – Αν.Τριαδικού – Κατ.Ιουρασικό (T-Ji.k,d).

Ο σχηματισμός αυτός είναι ο επικρατέστερος στην περιοχή έρευνας, ο οποίος καλύπτει μεγάλο τμήμα της. Αποτελεί τον κυρίαρχο σχηματισμό του όρους Πατέρα με τη μεγαλύτερη επιφανειακή εξάπλωση καθώς και σημαντικό τμήμα των Γερανείων. Αποτελείται από ασβεστόλιθους και δολομίτες, τεφρούς, λευκότεφρους, λευκοκίτρινους, ερυθρόλευκους, παχυστρωματώδεις έως άστρωτους βιομικρίτες και δολοσπαρίτες. Οι ασβεστόλιθοι και δολομίτες είναι πτυχωμένοι και σχηματίζουν σύγκλινα και αντίκλινα. Επιφανειακά χαρακτηρίζονται αποκαρστικοποιημένοι, κερματισμένοι και διερρηγμένοι. Το πάχος τους κυμαίνεται στα 350 m μπορεί να φτάσει όμως και μέχρι τα 600 m περίπου (Δούνας κ.α 1971, Μπορνόβας κ.α 1984, Γαϊτανάκης κ.α 1984, Γαϊτανάκης κ.α 1985).

B4) Ασβεστόλιθοι Κατ – Μέσο Ιουρασικό (Ji – m.k).

Οι ασβεστόλιθοι αυτοί κλείνουν τη σειρά των προηγούμενων ανθρακικών ιζημάτων (ασβεστόλιθοι και δολομίτες), χαρακτηρίζονται ως τεφροί, τεφρομέλανες, παχυστρωματώδεις, ωβιομικρίτες και δολοσπαρίτες στα κατώτερα μέλη. Προς τα πάνω εξελίσσονται σε καστανούς κοκκινωπούς, πλακώδεις, παχυπλακώδεις, βιομικρίτες, σπαρίτες με τομές Αμμωνιτών και Βελεμνιτών. Εμφανίζονται κυρίως στα Γεράνεια όρη, στην περιοχή της Αγ.Μαρίνας (νότια της Μονής) και Πίντιζας των Γερανείων ορέων. Το πάχος τους μπορεί να υπερβεί τα 80 m (Δούνας κ.α 1971, Μπορνόβας κ.α 1984, Γαϊτανάκης κ.α 1984, Γαϊτανάκης κ.α 1985).

B5) Σχιστοκερατολιθική διάπλαση με οφιολίθους Αν.Δογγέριο – Μάλμιο (Jm-s.sh).

Πρόκειται για σχιστοκερατολιθική διάπλαση, η οποία αποτελείται από αργιλικούς σχιστόλιθους εναλλασσόμενους με ερυθρούς ραδιολαρίτες μέσα στους οποίους

υπάρχουν λεπτές διαχωριστικές επιφάνειες μαγγανίου και λεπτοπλακώδεις ερυθρωποί ή τεφροί ασβεστόλιθοι με πυριτιολίθους. Στους σχηματισμούς αυτούς παρεμβάλλονται ή επίκεινται (τεκτονικώς) υπερβασικά πετρώματα που αποτελούν το γνωστό 'Οφιολιθικό Κάλυμμα'. Εμφανίζονται κυρίως στα Γεράνεια Όρη και το πάχος τους είναι πολύ μεγάλο και υπερβαίνει τα 500 m (Δούνας κ.α 1971, Μπορνόβας κ.α 1984, Γαϊτανάκης κ.α 1984, Γαϊτανάκης κ.α 1985).

B6) Κοιτάσματα Βωξίτη

Οι βωξίτες είναι καστανέρυθρου χρώματος και ο εσωτερικός ιστός τους είναι πισσολιθικής υφής. Οι βωξίτες απαντούν στα έγκοιλα ασβεστολίθων Τριαδικής και πιθανώς Ιουρασικής ηλικίας, οι οποίοι είναι κατακερματισμένοι και στην οροφή των εμφανίσεων αυτών παρατηρούνται παρεμβολές ερυθρής αργίλου (terra rossa).

Τα κοιτάσματα των βωξιτών συναντώνται ανάμεσα σε Αν.Τριαδικούς ασβεστολίθους και Κρητιδικούς ασβεστολίθους. Οι Αν.Τριαδικοί ασβεστόλιθοι αποτελούν το «δάπεδο» των βωξιτών και οι Κρητιδικοί ασβεστόλιθοι την «οροφή» (Δούνας κ.α 1971, Γαϊτανάκης κ.α 1985).

Οι βωξίτες σχηματίστηκαν κατά το Ιουρασικό, όπου οι ασβεστόλιθοι του Τριαδικού είχαν αναδυθεί – χερσεύσει, εξαιτίας της παλαιοκιμμερικής πτύχωσης και έτσι για πολύ μεγάλο χρονικό διάστημα ήταν εκτεθειμένοι στην καρστική λατεριτική αποσάθρωση και διάβρωση. Η εναπομένουσα άργιλος, η οποία ήταν προϊόν της αποσάθρωσης – διάβρωσης συγκεντρώθηκε σε κατάλληλες κοιλότητες και σχημάτισε τα κοιτάσματα των βωξιτών, το πάχος των οποίων κυμαίνεται από 0 έως 20 m (Δούνας κ.α 1971, Μπορνόβας κ.α 1984, Γαϊτανάκης κ.α 1984, Γαϊτανάκης κ.α 1985).

B7) Ασβεστόλιθοι Κενομάνιο – Τουρώνιο (Ks)

Οι ασβεστόλιθοι αυτοί είναι παχυπλακώδεις στα ανώτερα μέλη, παχυστρωματώδεις έως άστρωτοι, τεφροί έως τεφρόμαυροι, βιομικρίτες έως σπαρίτες που εναλλάσσονται με κίτρινες έως κιτρινόφαιες μάργες και μαργαϊκούς ασβεστολίθους. Στην περιοχή Καβελάρη απαντούν μικρές εμφανίσεις βωξίτη. Ο σχηματισμός αυτός έχει αποθεθεί επικλυσιογενώς στα υποκείμενα στρώματα (Δούνας κ.α 1971, Μπορνόβας κ.α 1984, Γαϊτανάκης κ.α 1984, Γαϊτανάκης κ.α 1985).

Επίκεινται επικλυσιογενώς δια διαφορετικών εκάστοτε οριζόντων, ασβεστολίθων του Μέσου Τριαδικού, του Αν.τριαδικού ή και αμφοτέρων. Στους κατώτερους ορίζοντες αυτοί είναι λευκόφαιοι, έως πρασινοφαιοι, λεπτοστρωματώδεις, στριφροί, συχνά κονδυλώδεις εναλλασσόμενοι μετά στρωμάτων μαργαϊκού ασβεστολίθου και φυλλώδων μαργών, καλύπτοντας κατά θέσεις κοιτάσματα βωξίτη (Κενομάνιο). Στους ανώτερους ορίζοντες είναι φαιότεφροι, μεσοπλακώδεις έως παχυπλακώδεις, μετά κονδύλων κερατολίθων (Τουρώνιο). Στους ανώτερους ορίζοντες είναι λεπτοστρωματώδεις, κεραμόχρωοι, πράσινοι έως πρασινότεφροι, εναλλάσσονται προς τα πάνω, μετά κλαστικών ασβεστολίθων και ψαμιμιτών (Σενόνιο) και περιέχουν ρουδιστές. Στους κατώτερους ορίζοντες απαντούν χαρόφυτα (υφάλμυρη φάση) πάχους έως 200 m τα οποία ελαττώνονται από Νότο προς Βορρά (Δούνας κ.α 1971, Μπορνόβας κ.α 1984, Γαϊτανάκης κ.α 1984, Γαϊτανάκης κ.α 1985).

Γ) Μεταλικοί σχηματισμοί

Γ1) Νεογενές

Κατά τον Μαρίνο (1951) οι νεογενείς αποθέσεις της περιοχής έρευνας χωρίζονται σε δυο συστήματα :

1. Το Κατώτερο σύστημα το οποίο αποτελείται από λιμναία, λιμνοθάλασσα και θαλάσσια ιζήματα. Όσον αφορά τη λιθολογία του Κατώτερου συστήματος, αυτή συνίσταται από μάργες, άργιλους, τραβερτίνες, πορόλιθους, μαργαϊκούς ασβεστόλιθους και ψαμμίτες. Συμμετέχουν επίσης μάργες και κροκαλοπαγή. Το πάχος του φτάνει τα 200-300 m και η ηλικία του τοποθετείται στο Μειόκαινο. Στρώματα λιγνίτη και σαπροπηλού, πάχους 0,1 έως 0,5 m βρίσκονται εντός των μαργών στο Κατώτερο σύστημα.
2. Το Ανώτερο σύστημα αποτελείται από χαλαρά υλικά ηπειρογενετικής προέλευσης. Πρόκειται για πηλούς, άργιλους και κροκαλοπαγή χαλαρών ή συνεκτικών με λεπτές ασβεστομαργαϊκές ενδιαστρώσεις. Η ηλικία του Ανώτερου συστήματος χρονολογείται στο Πλειόκαινο με πιθανή συνέχιση αυτού στο Κατ. Πλειστόκαινο. Το πάχος του φτάνει περίπου τα 150 m.

Η γενική στρωματογραφική – λιθολογική στήλη από τα παλαιότερα προς τα νεότερα παρατίθεται παρακάτω (Μαρίνος 1951):

- Βασικό κροκαλοπαγές με πάχος 2 έως 5 m.
- Μάργες φυλλώδεις έως λεπτοστρωματώδεις, εναλλασσόμενες με αργλικές μάργες, πάχους περίπου 80 m.
- Μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι και ασβεστολιθικές μάργες με παρεμβολές αργλικών μαργών, ψαμμιτών και λεπτών στρωμάτων λιγνίτη (0,1 έως 0,5 m), το πάχος των οποίων φτάνει τα 50 m.
- Μάργες αργλικές – αργιλούχες με μαργαϊκούς ασβεστολίθους και λεπτά στρώματα τραβερτίνη (πυριτόλιθος) και λιγνίτη πάχους 30 m.
- Ερυθροί άργιλοι και πηλοί με φακοειδείς παρεμβολές ψαμμιτών και κροκαλοπαγών, συνδεδεμένων με αμμοαργιλοϊλύ, το πάχος των οποίων φτάνει τα 80 m.
- Κροκαλοπαγή παχυστρωματώδη, χερσαίας προέλευσης με άργιλο, το πάχος των οποίων φτάνει τα 10 με 15 m (τοπικά δίδεται και πάχος 80 m).

Σύμφωνα με τους γεωλογικούς χάρτες του ΙΓΜΕ (Δούνας κ.α 1971, Μπορνόβας κ.α 1984, Γαϊτανάκης κ.α 1984, Γαϊτανάκης κ.α 1985) το Νεογενές στη περιοχή έρευνας αποτελείται από τους εξής σχηματισμούς :

1) Κατώτερο Πλειόκαινο

- Κροκαλοπαγή ηπειρωτικής φάσεως, παχυστρωματώδη με κροκάλες κυρίως από μεσοζωϊκούς ασβεστολίθους, τα οποία είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους με ψαμμιτομαργαϊκό υλικό, μεταβαλλόμενης συνεκτικότητας, άνευ απολιθωμάτων.

2) Πλειόκαινο

- Εναλλαγές λιμναίων υφάλμυρων υποκίτρινων μαργών, αμμούχων μαργών, ψαμμιτών διαφορετικής συνεκτικότητας και χαλαρών κροκαλοπαγών καστανού χρώματος, στα ανώτερα κυρίως μέλη.
- Τα κατώτερα μέλη αποτελούνται από υπόλευκες μάργες και συνεκτικούς ψαμμίτες. Μέσα σ'αυτά απαντά ένστροψη θαλάσσιων αμμούχων μαργών σε εναλλαγή με μαργαϊκές άμμους.
- Στη βάση ολόκληρης της σειράς κατά θέσεις απαντούν συνεκτικά κροκαλοπαγή με μικρό πάχος.
- Ολισθημένα τεμάχια ασβεστολίθων.

- Δυτικά των Μεγάρων, μέσα στα κατώτερα μέλη της σειράς, παρεμβάλλονται χερσαίοι σχηματισμοί κόκκινου χρώματος, που αποτελούνται από αργίλους, πηλούς, άμμους και ψαμμίτες που δεν προσδιορίστηκαν. Μέσα στις αποθέσεις αυτές βρέθηκαν απολιθώματα σπονδυλωτών.

3) Ανώτερο Πλειόκαινο

- Άργιλοι και μάργες λιμναίας - υφάλμυρης φάσεως, τα κατώτερα μέλη αποτελούνται από εναλλαγές καστανέρυθρων αργίλων, αμμούχων αργίλων, αργιλούχων μαργών και λεπτών ενστρώσεων άμμων και ψαμμιτών.

- Οι σχηματισμοί αυτοί μεταβαίνουν πλευρικά σε αργίλους και μάργες που εναλλάσσονται με αμμούχες αργίλους, ενστρώσεις μαργαϊκών ασβεστολίθων μικρού πάχους και χαλαρών κροκαλοψαμμιτών καστανού χρώματος. Μέσα στις μάργες υπάρχουν κατά θέσεις εμφανίσεις λιγνίτη μικρού πάχους.

Γ2) Τεταρτογενές

Ο Θεοδωρόπουλος (1971) καθορίζει την έναρξη του Πλειστοκαίνου με την ερυθρά σειρά, η οποία αποτελείται από αργίλους με εναλλαγές κροκαλοπαγών. Το υλικό της ερυθράς σειράς προέρχεται από το ΝΔ τμήμα των Γερανείων.

Κατά τον Θεοδωρόπουλο (1971) στο Πλειστόκαινο τοποθετείται ο ερυθρός πηλός των Μεγάρων και Αλεποχωρίου και κορήματα από τα γειτονικά όρη.

Ο Δούνας (1971) διαχωρίζει τις αποθέσεις του Τεταρτογενούς σε διλουβιακές και αλλουβιακές και τις διαχωρίζει περαιτέρω ανάλογα με τη σύσταση και τον τρόπο σχηματισμού τους. Έτσι οι αλλουβιακές αποθέσεις διαχωρίζονται σε αποθέσεις χειμάρρων, αποθέσεις κλειστών λεκανών και πλευρικά κορήματα. Στις αλλουβιακές αποθέσεις ανήκουν οι αποθέσεις των κοιλάδων και των κλειστών λεκανών, οι αναβαθμίδες χειμάρρων, τα κορήματα κλιτύων και τα αποσαθρωμένα υλικά των πετρωμάτων.

Σύμφωνα με τους γεωλογικούς χάρτες του ΙΓΜΕ διακρίνουμε τα εξής τεταρτογενή στρώματα (Δούνας κ.α 1971, Μπορνόβας κ.α 1984, Γαϊτανάκης κ.α 1984, Γαϊτανάκης κ.α 1985):

1) Πλειστόκαινο

- Κώνοι κορημάτων οι οποίοι αποτελούνται από α) λατύπες διατεταγμένες σε λεπτές στρώσεις, ελαφρά συγκολλημένες στα ανώτερα μέλη τους και ισχυρά στα κατώτερα. Το συνδετικό υλικό είναι ασβεστιτικό και μερικές φορές αργιλικό στα κατώτερα μέλη. Ηλικία πιθανότατα Βούρμιο και μέγιστο πάχος 10 m, β) από λατύπες κυρίως ασβεστολιθικές, μέσα στις οποίες απαντούν πολλές φορές μεγάλα ασβεστολιθικά τεμάχια. Το συνδετικό υλικό είναι αργιλομαργαϊκό. Χαρακτηριστικό τους είναι οι διαστρώσεις από κόκκινες αργίλους με μέγιστο πάχος 20 m.

- Θαλάσσια αναβαθμίδα, θαλάσσιες αποθέσεις μικρού πάχους που αποτελούνται από ψαμμίτες, άμμους και κροκαλοπαγή. Ηλικία πιθανότατα Τυρρήνιο με πάχος 6 m.

- Ποταμοχερσαίες αποθέσεις, αποτελούνται από εναλλαγές κροκαλοπαγών, ψαμμιτών, καστανέρυθρων αργίλων, αμμούχων αργίλων και πηλών χωρίς απολιθώματα. Μέγιστο πάχος 150 m περίπου. Στο Ανω Αλεποχώρι παρατηρείται ένστροψη πάχους περίπου 60 m που αποτελείται από λατύπες και μεγάλα τεμάχια ασβεστολίθων, όπου συνδέονται ισχυρά μεταξύ τους. Το πάχος τους φτάνει τα 150 m περίπου.

- Συνεκτικά λατυποπαγή, αποτελούν τη βάση των ποταμοχερσαίων αποθέσεων και είναι κυρίως ασβεστολιθικά διατεταγμένα σε παχιές τράπεζες, με παρεμβολές λεπτών ασβεστομαργαϊκών ενστρώσεων με πάχος 80 m περίπου.
- Ποτάμιες αναβαθμίδες, απαντούν κατά μήκος των μεγάλων ρεμάτων. Υπολείμματα αναβαθμίδων που απαντούν στο εσωτερικό της Πλείο-Πλειστοκαινικής λεκάνης. Οι αποθέσεις των αναβαθμίδων αυτών αποτελούνται από υλικά των νεογενών – τεταρτογενών σχηματισμών πάχους 4 - 5 m.
- Παλαιές προσχώσεις, χειμαρρώδεις αποθέσεις και αλλουβιακά ριπίδια που αποτελούνται από κροκάλες, λατύπες και άμμο, ποικίλης προέλευσης και με μεταβαλλόμενη κατά τόπους αναλογία. Συνήθως με ισχυρή διαγένεση, αποτελούνται από συνεκτικά κροκαλοπαγή, μεταξύ των οποίων παρεμβάλλονται ακανόνιστοι φακοειδείς ενστρώσεις καστανέρυθρου αμμούχου αργίλου με ασβεστιτικά συγκρίματα πάχους μεγαλύτερο των 100 m κατά θέσεις.
- Παλαιά συνεκτικά κορήματα, κυρίως ασβεστολιθικά, μεγάλης συνοχής, αποτελούνται από λατυποκροκαλοπαγή με παρεμβολές λεπτών κιτρινόφαιων ασβεστομαργαϊκών ενστρώσεων.

2) Ολόκαινο

- Άμμοι ακτών, άμμοι και κροκάλες ακτής με αρτίγωνα απολιθώματα που καλύπτονται από νεώτερα υλικά αποσάθρωσης των γύρω σχηματισμών.
- Αλλουβιακές αποθέσεις, ασύνδετα υλικά από άμμους και κροκαλολάτυπες στις κοίτες των χειμάρρων, χαλαρά αργιλοαμμώδη υλικά, υλικά χειμαρρωδών αναβαθμίδων και ερυθρογή με κροκαλολάτυπες σε μικρές εσωτερικές λεκάνες.
- Ιλύς τεναγών.
- Σύγχρονα πλευρικά κορήματα και κώνοι κορημάτων, ασύνδετα υλικά που αναπτύσσονται στις πλαγιές.

3.2. Τεκτονική

3.2.1. Τεκτονική εξέλιξη της περιοχής έρευνας

Η τεκτονική εξέλιξη της περιοχής έρευνας συνδέεται με την τεκτονική εξέλιξη της Υποπελαγονικής. Η Υποπελαγονική αποτελεί το μέτωπο των εσωτερικών ζωνών του Ελληνικού ορογενετικού τόξου. Θεωρείται ότι βρίσκεται επωθημένη προς Δυσμάς και αποτελεί ένα τεράστιο τεκτονικό κάλυμμα των ζωνών Πίνδου και Παρνασσού. Χαρακτηρίζεται σαν αυτοτελή γεωτεκτονική ενότητα εξαιτίας των οφιολιθικών εκχύσεων. Τα στρώματα του Άνω Κρητιδικού έχουν αποθεθεί ασύμφωνα. Κατά το Κιμμερίδιο λαμβάνουν χώρα οι οφιολιθικές εκχύσεις και κατά το Άπτιον – Άλβιον αναδύεται η Υποπελαγονική και παραμένει αναδυμένη μέχρι και το Σαντόνιο. Κατά το Σενώνιον βυθίζεται και κατά το Μαιστρίχτιο αρχίζει ιζηματογένεση του φλύσχη. Κατά το Ηώκαινο η ορογένεση μετατίθεται προς Δυσμάς και προσβάλλει την Υποπελαγονική η οποία και αναδύεται κατά το Μέσο Ηώκαινο (Σαφιγέ 1982).

Μετά την τελική φάση των Αλπικών πτυχώσεων στο χώρο του Ελληνικού γεωσύγκλινου εκδηλώθηκε ρηγματογόνος τεκτονισμός βαρύτητας, με αποτέλεσμα τη δημιουργία τεκτονικών βυθισμάτων, μέσα στα οποία αποτέθηκαν οι νεογενείς μεταλλικοί σχηματισμοί (Σαφιγέ 1982).

Σύμφωνα με τον Theodoropoulo (1968) το τεκτονικό βύθισμα στη λεκάνη των Μεγάρων έχει πληρωθεί από νεογενή ιζήματα τα οποία αρχίζουν να αποτίθενται κατά το Μειόκαινο. Επομένως και ο χρόνος σχηματισμού του τεκτονικού βυθίσματος θα πρέπει να θεωρηθεί ο ίδιος. Κατά το Πλειόκαινο δημιουργείται μια λίμνη η οποία

δέχεται ιζήματα από τις περιοχές που βρίσκονται νότια από αυτή. Η λεκάνη αυτή (λίμνη) επικοινωνεί με τη θάλασσα διότι οι λιμναίες αυτές αποθέσεις εναλλάσσονται με ιζήματα υφάλμυρου φάσεως. Μετά το τέλος του Πλειοκαίνου ακολουθεί ανύψωση της περιοχής εξαιτίας της Βαλαχικής πτύχωσης και της ασύμφωνης τοποθέτησης πλειστοκαινικών αποθέσεων οι οποίες αντιπροσωπεύονται από ιζήματα ερυθράς σειράς με υπερκείμενα κροκαλοπαγή και ερυθρούς πηλούς Μεγάρων και Αλεποχωρίου. Τα στρώματα της ερυθράς σειράς προσβάλλονται από την Πασαδενική ορογένεση η οποία χαρακτηρίζεται από μεγάλα ρήγματα και η οποία προκαλεί την ανύψωση ολόκληρης της περιοχής η οποία διαπιστώνεται από τις θαλάσσιες και ποτάμιες αναβαθμίδες στην περιοχή των Μεγάρων και του Αλεποχωρίου.

Σύμφωνα με τους Mariolakos and Papanikolaou (1982) η λεκάνη των Μεγάρων οριοθετείται από μεγάλες ρηξιγενείς ζώνες διεύθυνσεως ΔΒΔ – ΑΝΑ. Αποτελεί ένα τεκτονικό βύθισμα μεταξύ δυο τεκτονικών κεράτων του όρους Πατέρας, προς Βορρά, και των Γερανείων ορέων, προς Νότο (Σχ. 3.3). Η περιοχή έχει περιστραφεί γύρω από έναν άξονα ΔΒΔ – ΑΝΑ προς τα ΒΑ καθώς και γύρω από έναν άξονα ΑΒΑ – ΔΝΔ με βύθιση του ΝΑ τμήματος (Σχ. 3.4).

Από παρατηρήσεις που έγιναν στο υδρογραφικό δίκτυο (για το οποίο περισσότερα στοιχεία παρατίθενται στη συνέχεια) και τη γενική κατανομή των αλλουβιακών ριπιδίων κατά μήκος της ρηξιγενούς ζώνης του βόρειου περιθωρίου οι συγγραφείς συμπεραίνουν ότι η περιοχή έχει περιστραφεί αφενός γύρω από έναν άξονα ΔΒΔ – ΑΝΑ προς τα ΒΑ καθώς και γύρω από έναν άξονα ΑΒΑ – ΔΝΔ με βύθιση του ΝΑ τμήματος.

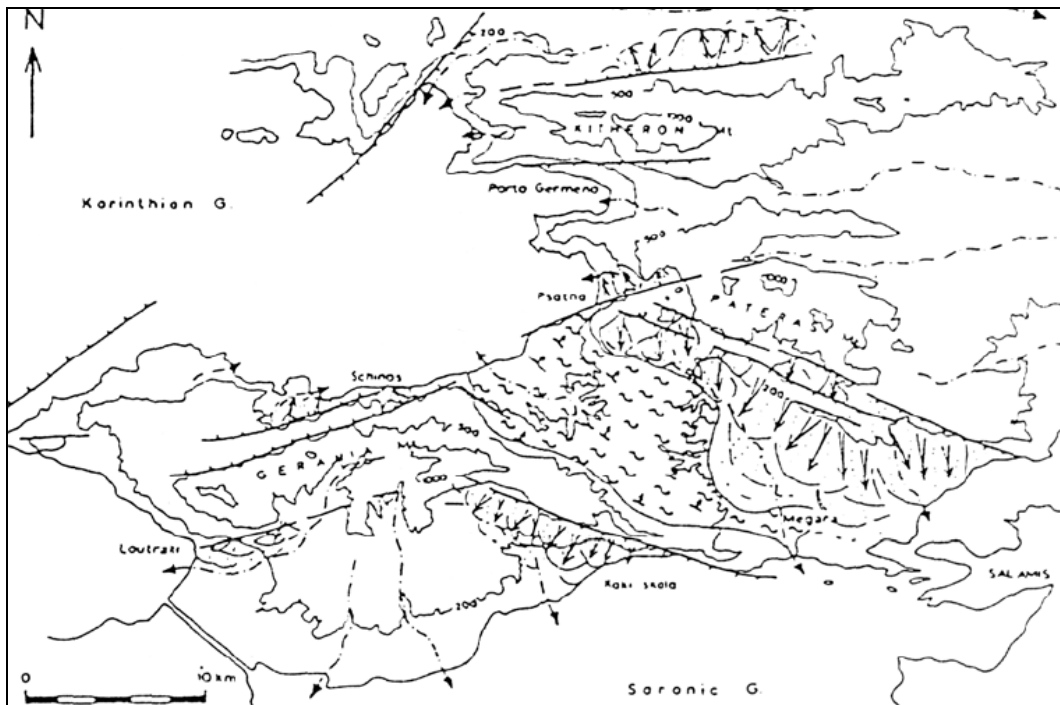
Η λεκάνη των Μεγάρων ήταν ένα ενεργό κέντρο ιζηματοπόθεσης από το Πλειόκαινο έως το Μέσο Πλειστόκαινο όπως διαπιστώνεται από τις γεωμορφές και τις ιζηματολογικές δομές καθώς και από τις αναβαθμίδες. Η κύρια περιθωριακή δομή της ήταν το ρήγμα του όρους Πατέρα και είχε χαρακτηριστικά τεκτονικής δομής ημιτάφρου (Leeder et al. 1991).

Το ρήγμα του όρους Πατέρα περιστρέφεται γύρω από έναν κατακόρυφο άξονα και αυτό διαπιστώνεται από την αλλαγή της διεύθυνσης αυτού που αρχικά ήταν Α – Δ ενώ η σημερινή του διεύθυνση είναι ΑΝΑ – ΔΒΔ (Leeder et al. 1991).

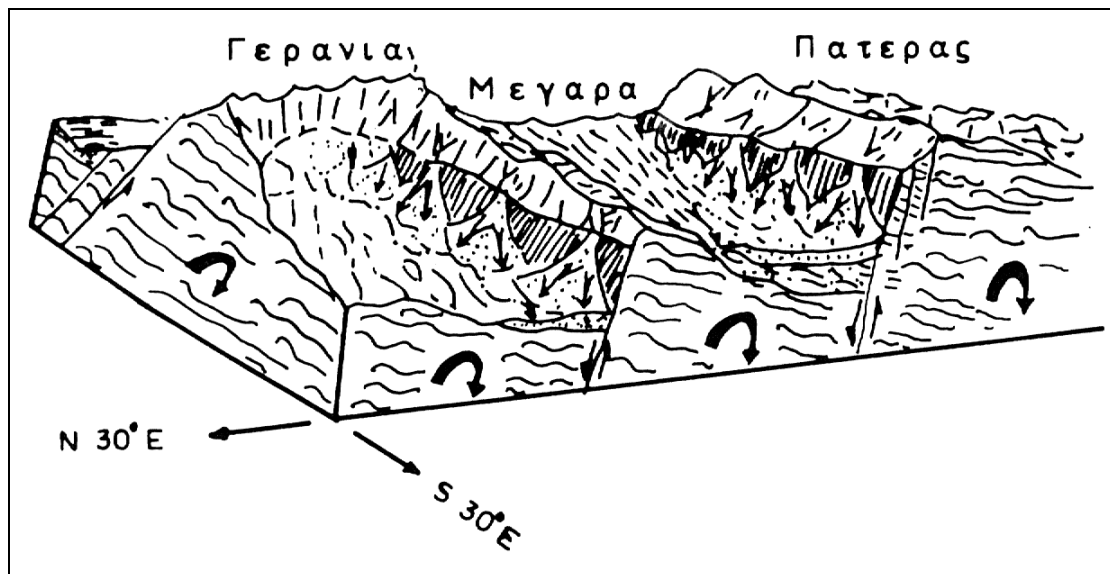
Τα παράκτια ρήγματα αρχίζουν να λειτουργούν στο ανώτερο Πλειόκαινο και να οριοθετούν τον κόλπο των Αλκυονίδων (ρηξιγενής ζώνη της Ψάθας, η οποία αποτελεί βορειοανατολική προέκταση της ρηξιγενούς ζώνης των Πισσιών - Σχίνου). Αποτέλεσμα της ενεργοποίησης των ρηγμάτων αυτών ήταν η ανύψωση των ιζημάτων της λεκάνης των Μεγάρων, ανύψωση των Μεσοζωικών ασβεστολίθων και των οφιολίθων των Γερανείων. Ταυτόχρονα δημιουργήθηκε σημαντικός υδροκρίτης που χωρίζει τα δύο μεγάλα υδρογραφικά συστήματα που συναντώνται στη λεκάνη (Leeder et al. 1991).

3.2.2. Τεκτονικές δομές περιοχής έρευνας

Αλπικές Δομές: Οι αλπικές δομές (πτυχές, επιπτεύσεις και διαρρήξεις) παρατηρούνται στα κράσπεδα της λεκάνης και αναμένονται και στο υπόβαθρό της. Οι σημερινές δομές (αντίκλινα, σύγκλινα) που παρατηρούνται στην περιοχή μελέτης είναι αποτέλεσμα του συνόλου των πτυχωσιγενών κινήσεων που συντελέστηκαν στην εν λόγω περιοχή. Κατά την Αλπική ορογένεση πτυχώθηκαν οι σχηματισμοί της περιοχής έρευνας ενώ οι προαλπικοί σχηματισμοί είχαν πτυχωθεί κατά την Ερκύνια Φάση (Προαλπική περίοδος).



Σχήμα 3.3: Απλοποιημένος μορφοτεκτονικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής έρευνας (Mariolakos and Papanikolaou 1982).



Σχήμα 3.4: Σχηματικό block – διάγραμμα τεκτονικού καθεστώτος μορφοτεκτονικών δομών της ευρύτερης περιοχής έρευνας (Mariolakos and Papanikolaou 1982).

“Ανοιχτές” έως “πολύ ανοιχτές” και συνήθως σχετικά συμμετρικές χαρακτηρίζονται οι πτυχές (σύγκλινα – αντίκλινα) της περιοχής μελέτης. Εκτός όμως από τις πτυχές αυτές υπάρχουν και πιο περίπλοκες πτυχές οι οποίες είναι αποτέλεσμα των διαφορετικών διευθύνσεων και εντάσεων των πτυχωσιγενών εφαπτομενικών τεκτονικών δυνάμεων, και των μηχανικών ιδιοτήτων των σχηματισμών (εύκαμπτοι, δύσκαμπτοι σχηματισμοί) που δέχονται τις παραπάνω δυνάμεις (Παρασχούδης 2002).

Μεταλλικές δομές: Η τεκτονική παραμόρφωση που παρουσιάζεται στη λεκάνη Μεγάρων και στην ευρύτερη περιοχή του Ανατολικού Κορινθιακού κόλπου είναι πολυσύνθετη από κινηματικής και δυναμικής άποψης. Πιστοποιείται μια έντονη νεοτεκτονική δράση από διαρρήξεις και μετατοπίσεις των ιζημάτων της λεκάνης, μια από τις πιο πρόσφατες δραστηριοποιήσεις είναι εκείνη των σεισμών του 1981.

Τα ρήγματα της περιοχής ταξινομούνται σε τρεις κύριες κατηγορίες και είναι κανονικά:

- Η πρώτη κατηγορία ρηγμάτων που είναι και η αρχαιότερη παρουσιάζει γενική διεύθυνση Β – Ν, και είναι το ασθενέστερο.
- Η δεύτερη κατηγορία ρηγμάτων έχει διεύθυνση ΑΒΑ – ΔΝΔ και χαρακτηρίζεται από μια διαδοχή υποπαράλληλων τεκτονικών κεράτων και βυθισμάτων και η οποία είναι υπεύθυνη για την απότομη ανύψωση των ΒΔ τμημάτων των Γερανείων καθώς και του όρους Πατέρα. Στα ΝΑ των οροσειρών του Πατέρα και των Γερανείων η εικόνα διαφοροποιείται, το ανάγλυφο είναι σχετικά ομαλό. Αρκετά σεισμικά φαινόμενα χαρακτηρίζουν την κατηγορία αυτή των ρηγμάτων.
- και η τρίτη κατηγορία έχει διεύθυνση ΒΔ – ΝΑ. Και είναι υπεύθυνη για τη δημιουργία της λεκάνης των Μεγάρων. Σήμερα το σύστημα των ρηγμάτων αυτών θεωρείται ανενεργό έως ελάχιστα ενεργό.

Οι Leeder et al (1991) θεωρούν ότι το ρήγμα του όρους Πατέρας (ΔΒΔ – ΑΝΑ) είναι ανενεργό ενώ σύμφωνα με Mariolako and Papanikolaou (1982) η λεκάνη ιζηματογένεσης βρισκόταν σε λειτουργία μέχρι το Μέσο Πλειστόκαινο άρα το ρήγμα του όρους Πατέρα θεωρείται ενεργό από σεισμική άποψη. Η σεισμική δραστηριότητα του δεύτερου συστήματος (Α – Δ) είναι έντονη με την εκδήλωση πολλών σεισμών με πιο πρόσφατη αυτή του 1981 όπου σύμφωνα με την κλίμακα Mercalli, κυμαίνονται από 7 έως 8 μονάδες για τους σεισμούς της 24^{ης} – 25^{ης} Φεβρουαρίου και 4^{ης} Μαρτίου του 1981 (Τερζόπουλος και Ματζαράκης 1993).

3.2.3. Σεισμικότητα της περιοχής έρευνας

Ανενεργή θεωρείται η λεκάνη των Μεγάρων σύμφωνα με στοιχεία της γεωλογίας και της σεισμολογίας. Το ρήγμα των νότιων Αλκυονίδων στη λεκάνη των Μεγάρων έδρασε ταυτόχρονα με τη δημιουργία των πλειοκαινικών και πλειστοκαινικών αποθέσεων. Στο νότιο, κεντρικό και βόρειο τμήμα της λεκάνης σε περιοχές σχεδόν επίπεδες υπάρχουν κροκαλοπαγή πιθανών ποτάμιας προέλευσης ή αλλουβιακών ριπιδίων. Οι μάργες, οι ψαμμίτες και τα κροκαλοπαγή του πλειοκαινού επικαλύπτονται από τα νεότερα κροκαλοπαγή στα βόρεια τμήματα της λεκάνης (Morewood and Roberts 2001).

Στο ρήγμα των νότιων Αλκυονίδων, ο στρωματογραφικός διαχωρισμός των νεότερων ιζημάτων τα οποία είχαν αποθεθεί πριν τη δραστηριοποίηση αυτού δίνει τη δυνατότητα του υπολογισμού της συνολικής μετατόπισης επί του ανατολικού ορίου του ρήγματος των νότιων Αλκυονίδων. Η αλλουβιακή επιφάνεια είναι η ανώτατη επιφάνεια των ιζημάτων αυτών και το ανενεργό τμήμα της λεκάνης των Μεγάρων. Δυτικά του Αλεποχωρίου στη βάση του ρήγματος των νότιων Αλκυονίδων η αλλουβιακή επιφάνεια ανυψώνεται. Στην παράκτια περιοχή του Αλεποχωρίου το πάχος των ιζημάτων που αποτίθενται ταυτόχρονα με τη δράση του ρήγματος των νότιων Αλκυονίδων φτάνει τα 900 m όπως προκύπτει από σεισμική τομή ανάκλασης. Το ρήγμα των νότιων Αλκυονίδων, δυτικά του Αλεποχωρίου μετατοπίζεται κατά 1510-1810 m (Morewood and Roberts 2002).

Σύμφωνα με τους Morewood and Roberts (2001) γύρω από το Αλεποχώρι υπάρχουν θαλάσσιες αναβαθμίσεις, οι οποίες ανυψώνονται στη βάση του ρήγματος της Ψάθας. Στον κόλπο της Ψάθας οι παράκτιες αποθέσεις βυθίζονται στην οροφή του ρήγματος στο κόλπο της Ψάθας. Επίσης στην περιοχή της Ψάθας είναι έντονο το φαινόμενο των πτώσεων βράχων και η ανάπτυξη ενεργών αλλουβιακών ριπιδίων.

Το ρήγμα του Καπαρελίου στο Βορρά και το ανατολικό όριο του ρήγματος των νότιων Αλκυονίδων στο Νότο περιορίζουν τον κόλπο της Ψάθας. Στον κόλπο της Ψάθας χερσαίες και θαλάσσιες αποθέσεις επικαλύπτουν τους μεσοζωϊκούς ασβεστολίθους.

Στην περιοχή της Ψάθας οι διευθύνσεις των ρηγμάτων είναι Α-Δ, ΑΒΑ-ΔΝΔ, ΒΑ-ΝΔ και ΔΒΔ-ΑΝΑ, βρίσκονται στους μεσοζωϊκούς ασβεστολίθους και σε χερσαία ιζήματα και παίζουν σημαντικό ρόλο στην ιζηματογένεση των πλειοκαινικών-πλειστοκαινικών ιζημάτων και των πρόσφατων αλλουβιακών αποθέσεων.

Οι Morewood and Roberts (1999) αναφέρουν και ένα άλλο σύστημα ρηγμάτων στην περιοχή της Ψάθας, διεύθυνσεως ΒΑ-ΝΔ. Πρόκειται για ένα κανονικό ρήγμα που κλίνει στα ΒΔ μήκους 8,5 Km, το οποίο ελέγχει την ιζηματογένεση πλειοκαινικών αποθέσεων έως και πιο πρόσφατων.

3.2.4. Κοιτασματολογικά στοιχεία

Λιγνίτες

Οι λιγνίτες εμφανίζονται εντός των νεογενών ιζημάτων, συγκεκριμένα εντός του κατώτερου νεογενούς συστήματος μέσα στις μάργες. Δεν συναντώνται στρώματα λιγνίτη στο ανώτερο σύστημα των ερυθρών πηλών και κροκαλοπαγών. Τα στρώματα των λιγνιτών εναλλάσσονται με στρώματα μάργας και μαργαϊκού ασβεστόλιθου και τοπικά και με τραβερτίνη (Μαρίνος 1951).

Ο αριθμός των στρωμάτων των λιγνιτών είναι 7 έως 10, σε αυτά δεν συμπεριλαμβάνονται τα μικρότερα στρώματα τα οποία είναι αρκετά σε αριθμό. Το πάχος των λιγνιτικών ενδιαστρώσεων κυμαίνεται από 0,10 έως 0,30 cm, χωρίς όμως αυτό να είναι το πραγματικό πάχος. Πολλές φορές ο λιγνίτης βρίσκεται αναμεμιγμένος με μάργες, άργιλο και μαργαϊκούς ασβεστόλιθους.

Οι μεγαλύτερες εμφανίσεις λιγνιτών συναντώνται στο Δ και ΝΔ κεντρικό τμήμα της λεκάνης των Μεγάρων, στα τοιχώματα του ρέματος Μαυρατζά, και σε μικρότερες εμφανίσεις στο Αλεποχώρι. Στα ΒΔ, Δ και ΝΔ της λεκάνης των Μεγάρων δεν υπάρχουν καθόλου εμφανίσεις λιγνίτη. Στο ρέμα του Μαυρατζά η λιγνιτοφορία εμφανίζεται σε ύψος 140-160 m και σε αρκετά χιλιόμετρα κατά μήκος του ρέματος. Το πάχος των λιγνιτών αυτών είναι ασήμαντο. Σε απόσταση 5 Km από την πόλη των Μεγάρων το πάχος του λιγνίτη θεωρείται υπολογίσιμο στο ρέμα Μαυρατζά. Στο Αλεποχώρι τα στρώματα του λιγνίτη είναι πολύ μικρά, όπως και στο ρέμα του Μαυρατζά, και δίνουν την εντύπωση ότι είναι η συνέχεια των λιγνιτικών αποθέσεων του ρέματος του Μαυρατζά (Μαρίνος 1951).

Βωξίτες

Τα κοιτάσματα των βωξιτών απαντούν ανάμεσα σε Αν.Τριαδικούς ασβεστολίθους και Κρητιδικούς ασβεστολίθους. Οι Αν.Τριαδικοί ασβεστόλιθοι αποτελούν το «δάπεδο» των βωξιτών και οι Κρητιδικοί ασβεστόλιθοι την «οροφή». Στην περιοχή έρευνας οι βωξίτες εμφανίζονται στο ΒΑ τμήμα της και συγκεκριμένα στην κορυφογραμμή του όρους Πατέρα.

Οι βωξίτες είναι μικρές εμφανίσεις, ακάλυπτες, δεν έχουν διαβρωθεί και βρίσκονται μέσα σε καρστικά έγκοιλα των Αν.Τριαδικών ασβεστολίθων. Οι βωξίτες βρίσκονται

σε στρωματοειδείς κοίτες. Το πάχος τους κυμαίνεται από 0 - 20 m και οι διαστάσεις ποικίλουν από θέση σε θέση. Οι βωξίτες είναι πολύπτυχωμένα στρωματοειδή σώματα τα οποία ακολουθούν τις πτυχώσεις των Κρητιδικών ασβεστολίθων. Σπάνια συναντώνται σε επίπεδα στρώματα. Το χρώμα των βωξιτών είναι καφέ έως σκούρο ερυθρό και ο ιστός τους είναι πisolιθικός. Οι βωξίτες είναι έντονα κατακερματισμένοι. Στο ανώτερο τμήμα των βωξιτών ανάμεσα στους βωξίτες και στους Κρητιδικούς ασβεστολίθους παρεμβάλλεται στρώμα ερυθρής αργίλου (terra rossa), (Δούνας 1971).

Στον Πιν. 3.1 δίνονται οι χημικές αναλύσεις δυο κοιτασμάτων βωξίτη της Μάνδρας και της Μαλιαζέλας καθώς και οι οριακές τιμές του βωξίτη σύμφωνα με τον Αρώνη (1954).

Πίνακας 3.1: Χημικές αναλύσεις βωξίτη (%) των κοιτασμάτων Μάνδρας και Μαλιαζέλας (Αρώνης 1954).

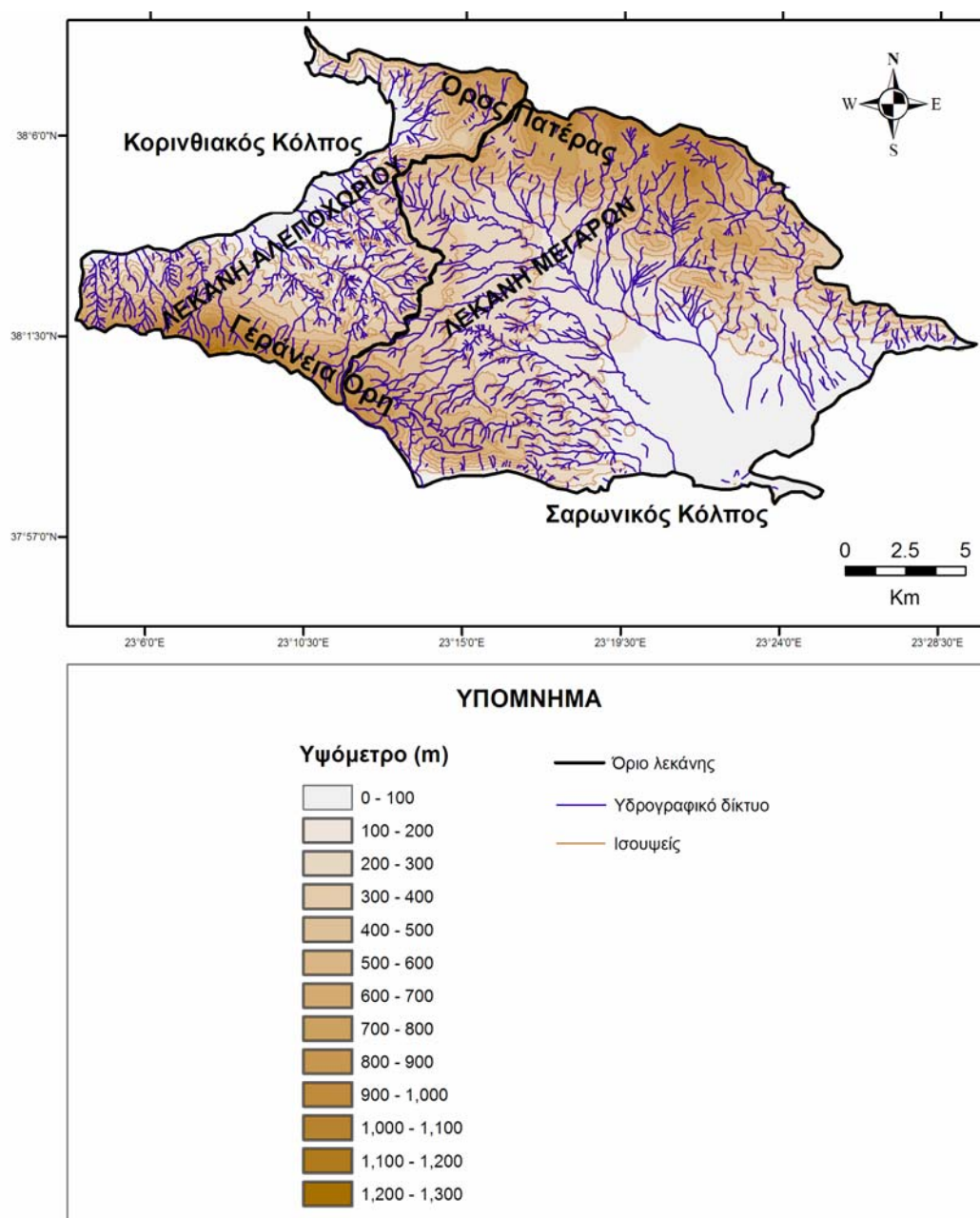
<i>Περιεκτικότητα (%)</i>	<i>Κοίτασμα Μάνδρας</i>	<i>Κοίτασμα Μαλιαζέλας</i>	<i>Οριακές τιμές</i>
SiO ₂	3,32	0,90	0,7-2
Al ₂ O ₃	45,10	50,50	45-57
Fe ₂ O ₃	31,00	29,90	25-31
TiO ₂	2,50	2,70	2,7
Απώλεια πυρώσεως	8,65	13,72	-
CaO	απουσία	5,13	-
MgO	απουσία	5,13	-
Mn	0,91	0,17	-
Ni	απουσία	απουσία	-

Οι βωξίτες των παραπάνω κοιτασμάτων κατατάσσονται στους βαιμιτικούς βωξίτες εξαιτίας της χαμηλής απώλειας κατά την πύρωση και σε συνδυασμό με το γεγονός ότι είναι διαλυτοί στα αλκάλια (Αρώνης 1954).

4. ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ

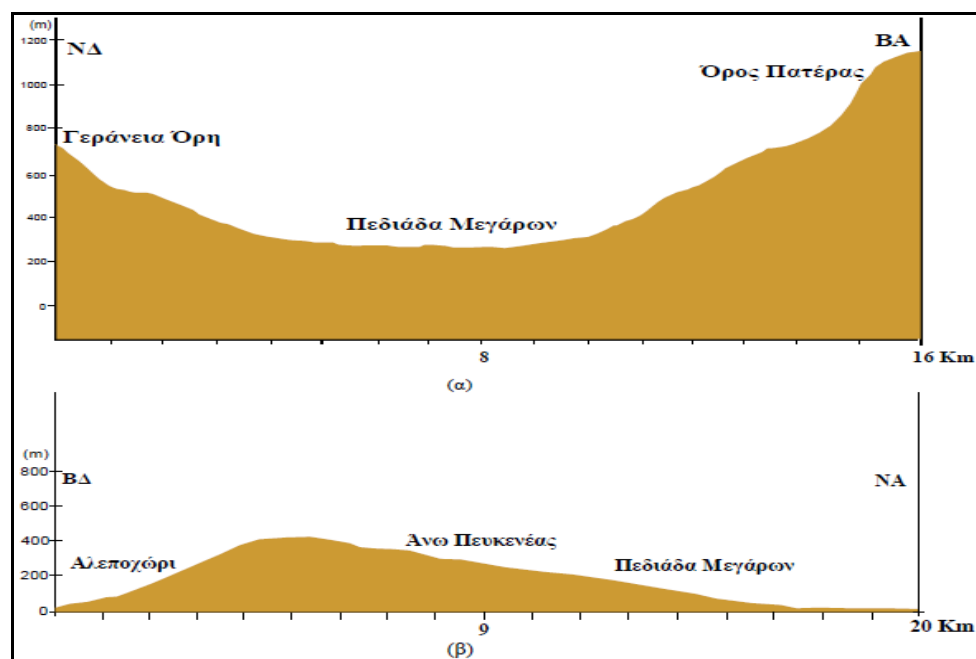
4.1. Γενικά

Η περιοχή έρευνας οριοθετείται στα ΝΔ από την οροσειρά των Γερανείων και στα ΒΑ από την οροσειρά του Πατέρα, ΝΑ από τον Σαρωνικό κόλπο και ΒΔ από τον Κορινθιακό. Η έκταση που καταλαμβάνει είναι 362 km². Αποτελείται από δυο υδρολογικές λεκάνες, τη λεκάνη των Μεγάρων που χωρίζεται στο τμήμα της πεδιάδας των Μεγάρων που βρίσκεται στο κεντρικό τμήμα της λεκάνης, τις υπώρειες των Γερανείων και του Πατέρα και τη λεκάνη του Αλεποχωρίου στα ΒΔ (Σχ. 4.1, 4.2α).



Σχήμα 4.1: Ψηφιακό μοντέλο εδάφους με το υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής έρευνας.

Η πεδιάδα των Μεγάρων αποτελεί ένα μεταλλικό τεκτονικό βύθισμα, το οποίο αποτελείται από νεογενείς και τεταρτογενείς σχηματισμούς το πάχος των οποίων φτάνει τα 500-600 m. Αναπτύσσεται στα ΝΑ της πόλης των Μεγάρων και προεκτείνεται με μικρή κλίση 1-2% προς τη θαλάσσια περιοχή της Πάχης και προσφέρει γόνιμο έδαφος για καλλιέργεια. Στα ΒΔ η πεδιάδα αυτή φτάνει τα 340 m στην περιοχή Άνω Πευκενέα. Εκεί αναπτύσσεται υδροκρίτης που χωρίζει σε δυο τμήματα την περιοχή με διαφορετικά χαρακτηριστικά. Η πεδιάδα των Μεγάρων αλλάζει διεύθυνση με κλίση μεγαλύτερη από 50% εκεί όπου αρχίζει η κοιλάδα του Αλεποχωρίου με βαθιές φαραγγοειδείς διαβρωσιγενείς χαραδρώσεις που φτάνουν μέχρι τη θάλασσα (Σχ. 4.2β).



Σχήμα 4.2: Μορφολογικές ενότητες της περιοχής έρευνας.

Οι οροσειρές των Γερανείων και του Πατέρα αποτελούνται από ασβεστολίθους και δολομίτες οι οποίοι έχουν υποστεί το φαινόμενο της καρστικής διάβρωσης. Μεγάλες δολίνες παρατηρούνται στο νότιο τμήμα του όρους Πατέρα. Χαρακτηριστικό αυτών είναι οι βαθιές χαραδροκοιλιάδες που είναι αποτέλεσμα έντονης ρηξιγενούς τεκτονικής κατά τη διάρκεια του Πλειστοκαίνου και των ευστατικών κινήσεων του Τεταρτογενούς.

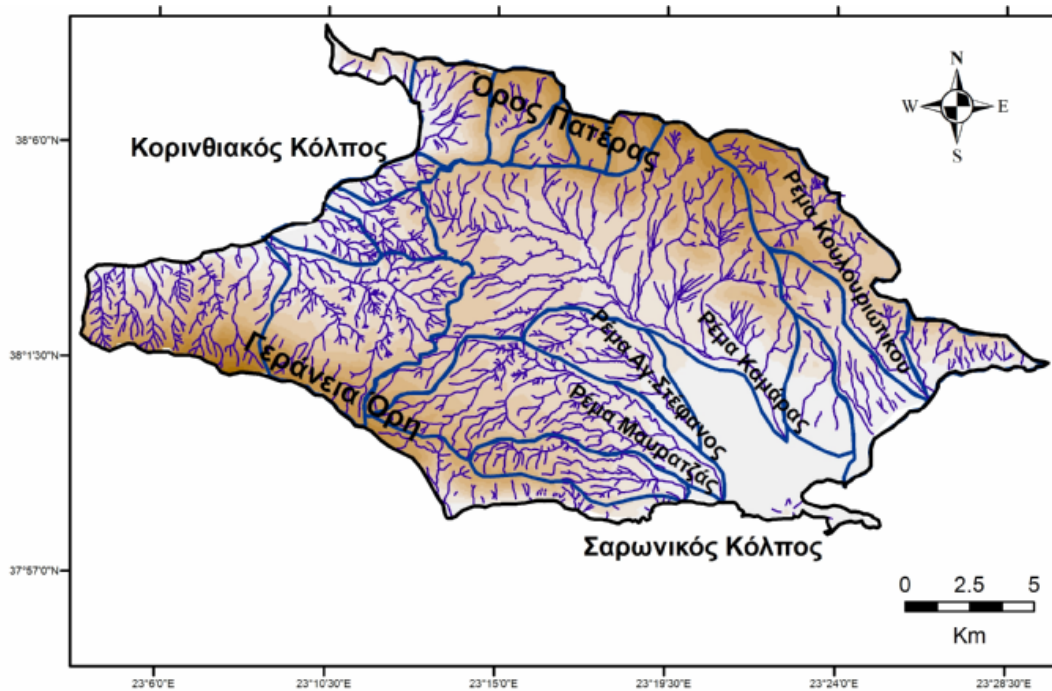
Στις οροσειρές των Γερανείων και του Πατέρα υπάρχουν μορφολογικές ενότητες οι οποίες καλύπτονται από κώνους κορημάτων και πλευρικά κορήματα.

Πλήθος ρεμάτων διασχίζουν τη λεκάνη των Μεγάρων με κυριότερα τα ρέματα του Καμάρα και Μαυρατζά τα οποία καταλήγουν στον Σαρωνικό κόλπο (Σχ. 4.3). Τα ρέματα αυτά είναι που αποστραγγίζουν ολόκληρη τη λεκάνη. Επίσης εμφανίζονται θαλάσσιες και ποτάμιες αναβαθμίδες.

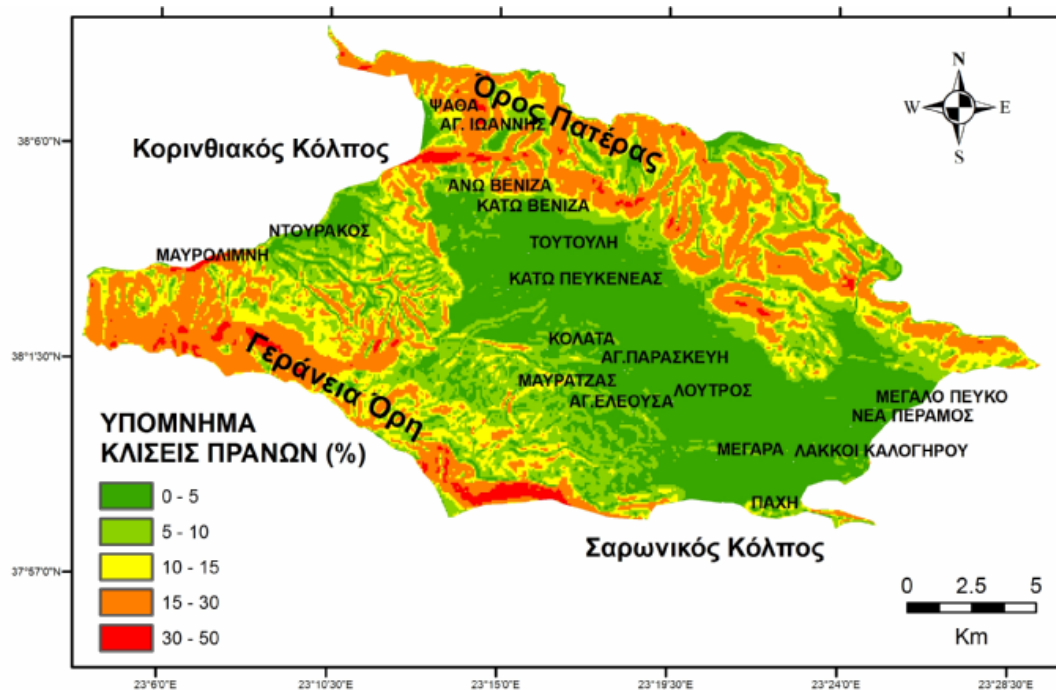
4.2. Υψομετρική ανάλυση της περιοχής έρευνας

Στο Σχ. 4.4 αποτυπώνονται οι τοπογραφικές κλίσεις της περιοχής έρευνας. Οι κλίσεις αυτές υπολογίστηκαν με τη βοήθεια του λογισμικού προγράμματος Arc-GIS. Η μορφολογική κλίση είναι άρρητα συνδεδεμένη με την επιφανειακή απορροή, εκεί

όπου υπάρχουν μεγάλες κλίσεις η επιφανειακή ροή εξελίσσεται με γρήγορους ρυθμούς, ενώ εκεί όπου οι κλίσεις είναι μικρές επικρατεί αργή επιφανειακή ροή.



Σχήμα 4.3: Τα κυριότερα ρέματα της περιοχής έρευνας.



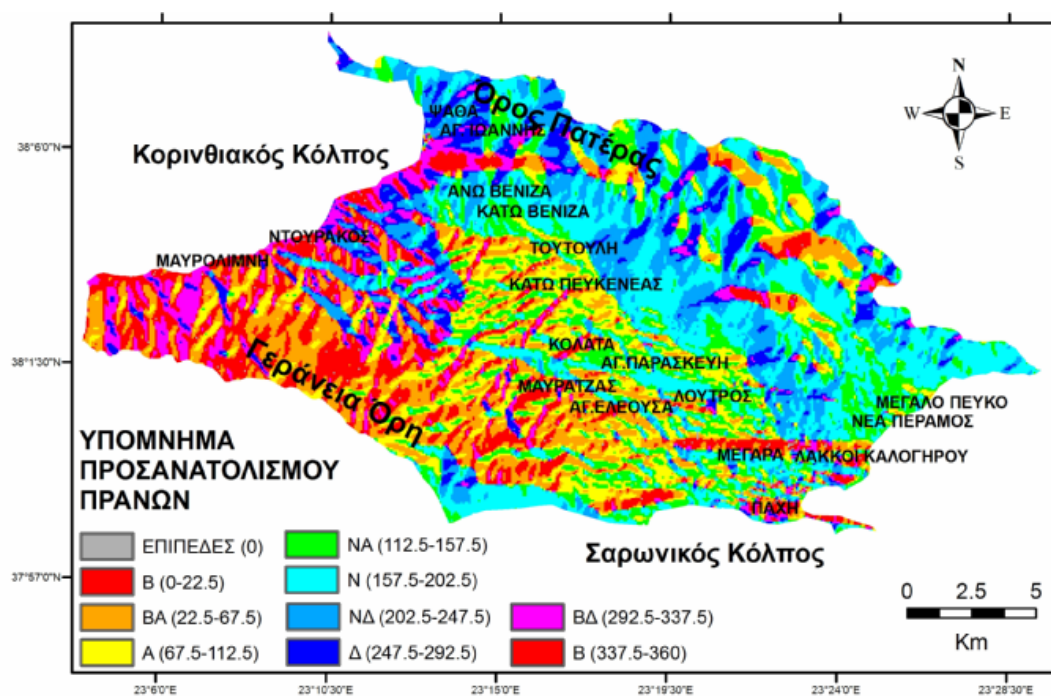
Σχήμα 4.4: Χάρτης κλίσεων της περιοχής έρευνας.

Στην υδρολογική λεκάνη των Μεγάρων από το χάρτη των κλίσεων (Σχ. 4.4) παρατηρούνται πέντε ειδών κλίσεις. Κλίσεις από 0-5% που θεωρούνται ήπιες και εμφανίζονται στο κεντρικό τμήμα της λεκάνης των Μεγάρων όπου βρίσκονται και οι

περισσότερες καλλιέργειες της λεκάνης, στην πόλη των Μεγάρων, στις παραλιακές περιοχές Μεγάλο Πεύκο, Νέα Πέραμος και Λάκκοι Καλογήρου. Ήπιες κλίσεις επίσης θεωρούνται και αυτές με κλίση από 5-10% οι οποίες παρατηρούνται στις υπώρειες του όρους Πατέρα και των Γερανείων. Κλίσεις 10-15% θεωρούνται ομαλές και εμφανίζονται στο όρος Γεράνεια και Πατέρας καθώς και στην Πάχη. Μέσες κλίσεις 15-30% παρατηρούνται στα Γεράνεια όρη και στο όρος Πατέρα. Οι κλίσεις αυτές έχουν προέλθει από τη διάβρωση που έχουν υποστεί οι Αν. Τριαδικοί ασβεστόλιθοι και δολομίτες. Επίσης κλίσεις 15-30% παρατηρούνται σε ένα μικρό τμήμα της Πάχης. Οι μεγαλύτερες κλίσεις 30-50%, οι οποίες και θεωρούνται απότομες βρίσκονται στις κορυφές του Πατέρα και των Γερανείων, με την υψηλότερη κλίση 48,96% να εμφανίζεται στα ΝΑ των Γερανείων.

Στην υδρολογική λεκάνη του Αλεποχωρίου από το χάρτη των κλίσεων (Σχ. 4.4) παρατηρούνται οι εξής κλίσεις: α) ήπιες κλίσεις από 0-5% στις περιοχές Ψάθα και Ντουράκος. Ομαλές κλίσεις 10-15% εμφανίζονται στον Αγ.Ιωάννη και στα ΝΑ του Ντουράκου. Μέσες κλίσεις 15-30% παρατηρούνται στα νότια της Μαυρολίμνης και στα ΒΑ της Ψάθας και του Αγ.Ιωάννη. Οι μεγαλύτερες κλίσεις 30-50%, συναντώνται στα ΝΔ του Αγ.Ιωάννη και στην περιοχή της Μαυρολίμνης.

Με τη βοήθεια του Arc-GIS δημιουργήθηκε ο χάρτης προσανατολισμού των πρανών (Σχ. 4.5). Από το σχήμα αυτό διαπιστώνεται, ότι οι επικρατούντες προσανατολισμοί είναι οι Ν, ΒΑ και Δ. Ακολουθούν με ελάχιστη διαφορά στο ποσοστό οι Α, ΝΑ, ΝΔ και ΒΔ και τέλος το μικρότερο ποσοστό κατέχουν οι Β.



Σχήμα 4.5: Χάρτης προσανατολισμού των πρανών στην περιοχή έρευνας.

4.3. Γεωμορφές του τεταρτογενούς, αλουβιακά ριπίδια και κώνοι κορημάτων

Αλουβιακά ριπίδια και κώνοι κορημάτων συναντώνται στα ΒΑ της πεδιάδας των Μεγάρων στις ΝΔ κλιτύς της οροσειράς του Πατέρα, καταλαμβάνουν μια έκταση 40 Km² περίπου και το πλάτος κυμαίνεται από 1 έως 4 km. Στα Γεράνεια όρη δεν έχει παρατηρηθεί ανάπτυξη κώνων κορημάτων διότι οι συνθήκες εκεί δεν ευνοούσαν την

ανάπτυξη τους. Τα ρέματα εξαιτίας της ελεύθερης ροής τους και των μεγάλων κλίσεων δεν επέτρεπαν την απόθεση υλικών.

Η ζώνη αυτή των αλουβιακών ριπιδίων και των κώνων κορημάτων ξεκινά 15 Km ΒΔ της πόλης των Μεγάρων, στην περιοχή του ρέματος Βαθυχωρίου, ακολουθεί τον ορεογραφικό άξονα της οροσειράς του Πατέρα και καταλήγει στην περιοχή του Μεγάλου Πεύκου. Στα ΝΑ φτάνει μέχρι το ρέμα Καμάρα, εκεί τα όρια δεν είναι πάντα σαφή. Η επιφάνεια των κώνων κορημάτων και των αλλουβιακών ριπιδίων διασχίζεται από χειμάρρους και σε αρκετά σημεία είναι ορατή η λιθολογική σύσταση των πετρωμάτων εξαιτίας της διάβρωσης. Οι υπόγειες του όρους Πατέρα καθώς και οι απότομες αλλαγές του αναγλύφου και των κλίσεων συντελούν στη δημιουργία κώνων κορημάτων. Σύμφωνα με τον Bull (1977) οι χειμάρροι πρέπει να ρέουν ελεύθερα για να επιτρέπουν την απόθεση των ιζημάτων στην επιφάνεια των κώνων. Επίσης όταν αποτίθεται το υλικό γίνεται και κατανομή μεγέθους. Δηλαδή τα μεγαλύτερα υλικά αποτίθενται πρώτα και διασχίζουν μικρή απόσταση (αποτίθενται σε κάποιο υψόμετρο), ενώ τα ελαφρύτερα φτάνουν μέχρι την πεδιάδα των Μεγάρων και αποτίθενται εκεί. Στη δημιουργία των κώνων κορημάτων συμβάλει και η διαπερατότητα των πετρωμάτων. Πρόκειται για ασβεστόλιθους έντονα τεκτονισμένους που βοηθούν στη διήθηση μέρους του επιφανειακού νερού και επιτρέπουν την απόθεση των υλικών. Επίσης η έλλειψη της βλάστησης είναι παράγοντας ο οποίος βοήθησε στην αποσάθρωση των πετρωμάτων και στη δημιουργία των κώνων. Το μέγεθος και το σχήμα των κώνων κορημάτων στην περιοχή των Μεγάρων ποικίλει, διότι έχουν προέλθει από διαφορετικά πετρώματα.

4.4. Αναβαθμίδες

Οι αναβαθμίδες από μορφολογική άποψη είναι επίπεδες επιφάνειες που χαρακτηρίζονται από μια επίπεδη επιφάνεια και μια απότομη κλιτύ. Στην περιοχή έρευνας συναντώνται αναβαθμίδες διαφορετικής προελεύσεως, στην πεδιάδα των Μεγάρων και στην περιοχή του Αλεποχωρίου. Στην πεδιάδα των Μεγάρων οι αναβαθμίδες είναι ποτάμιας προέλευσης και έχουν δημιουργηθεί εξαιτίας των δυο μεγάλων ρεμάτων Μαυρατζά και Καμάρα, εξαιτίας των ανοδικών κινήσεων που υπέστη η περιοχή. Στη λεκάνη του Αλεποχωρίου είναι θαλάσσιας προέλευσης με διάμετρο κροκάλων 8 έως 25 cm και σε ύψος 42 m (Zamanis and Livaditis 1981). Τα κύρια συστατικά των κροκαλών είναι ασβεστόλιθοι, περιδοτίτες και ραδιολαρίτες.

Οι ποτάμιες αναβαθμίδες στην πεδιάδα των Μεγάρων ταξινομούνται σε 4 ομάδες, ανάλογα με το ύψος που βρίσκονται στην κοίτη των χειμάρρων. Οι ομάδες αυτές είναι:

- A) σε ύψος 60 m πάνω από την κοίτη
- B) σε ύψος 25 έως 30 m πάνω από την κοίτη
- Γ) σε ύψος 15 έως 20 m πάνω από την κοίτη
- Δ) σε ύψος 5 έως 10 m πάνω από την κοίτη

Διαβρωσιγενή επίπεδα βρίσκονται στην ορεινή περιοχή της λεκάνης των Μεγάρων σε υψόμετρα 500 έως 700 m και 800 έως 1000 m. Η ηλικία των επιφανειών αυτών είναι Ανώτερο Πλειόκαινο – Κατώτερο Πλειστόκαινο και Μειόκαινο αντίστοιχα (Παρασχούδης 2002). Κατά το τεταρτογενές λαμβάνει μέρος η δημιουργία βαθιών κοιλάδων εξαιτίας της ρηξιγενούς τεκτονικής του Πλειστόκαινου (διαμόρφωση του σημερινού Αιγαίου) και των ευστατικών κινήσεων, εξαιτίας των παγετώνων του Τεταρτογενούς που μετέβαλαν τη στάθμη της θάλασσας κατά 30 έως 120 m. Οι

μεταβολές αυτές στη στάθμη της θάλασσας καθόριζαν το βάθος της διάβρωσης και δημιούργησαν τις βαθιές αυτές κοιλάδες.

4.5. Επιφάνειες ισοπέδωσης

Στα Γεράνεια όρη καθώς και στο όρος Πατέρα παρατηρούνται επιφάνειες ισοπέδωσης, οι οποίες βυθίζονται προς τα νοτιοανατολικά. Ειδικότερα οι επιφάνειες ισοπέδωσης από τα 1351 m υψόμετρο φτάνουν βαθμιαία σε μια απόσταση 10 km από το επίπεδο της θάλασσας, στην περιοχή νοτιοδυτικά των Μεγάρων στα ανατολικά Γεράνεια.

Κλιτείς, οι οποίες καθορίζονται από ρηξιγενείς ζώνες, διακόπτουν τις επιφάνειες ισοπέδωσης σε αρκετά σημεία. Η διεύθυνση εκβολής των δυο κύριων ρεμάτων της λεκάνης των Μεγάρων (προς νοτιοανατολικά) συμπίπτει με την κλίση των επιφανειών ισοπέδωσης σε μια συσχέτιση μεταξύ των επιφανειών ισοπέδωσης και του υδρογραφικού δικτύου (Σαφιγέ 1982).

4.6. Εμφανίσεις κάρστ

Η γεωλογική δομή της λεκάνης των Μεγάρων (ασβεστόλιθοι και δολομίτες) συμβάλει στην έντονη καρστική διάβρωση κατά το Μεσοζωικό και το Καινοζωικό. Η καρστική διάβρωση στην περιοχή ευνοούταν εξαιτίας των τεκτονικών και ηπειρογενετικών – ευστατικών κινήσεων, που κάθε φορά ωφελούσαν την καρστική διάβρωση, προσαρμόζοντας την στις καινούργιες συνθήκες σε σχέση με τα επίπεδα βάσης (Παρασχούδης 2002). Τα επίπεδα βάσης κάθε φορά παρουσίαζαν σημαντικές μεταβολές εξαιτίας τριών παραγόντων:

1. της αλπικής πτυχωσιγενούς τεκτονικής (αντίκλινα – σύγκλινα)
2. της μεταλπικής ρηξιγενούς τεκτονικής (ανύψωση ή βύθιση μεγάλων τεμαχών) και
3. των ευστατικών κινήσεων εξαιτίας των “παγετωδών” και “μεσοπαγετωδών” περιόδων του Τεταρτογενούς.

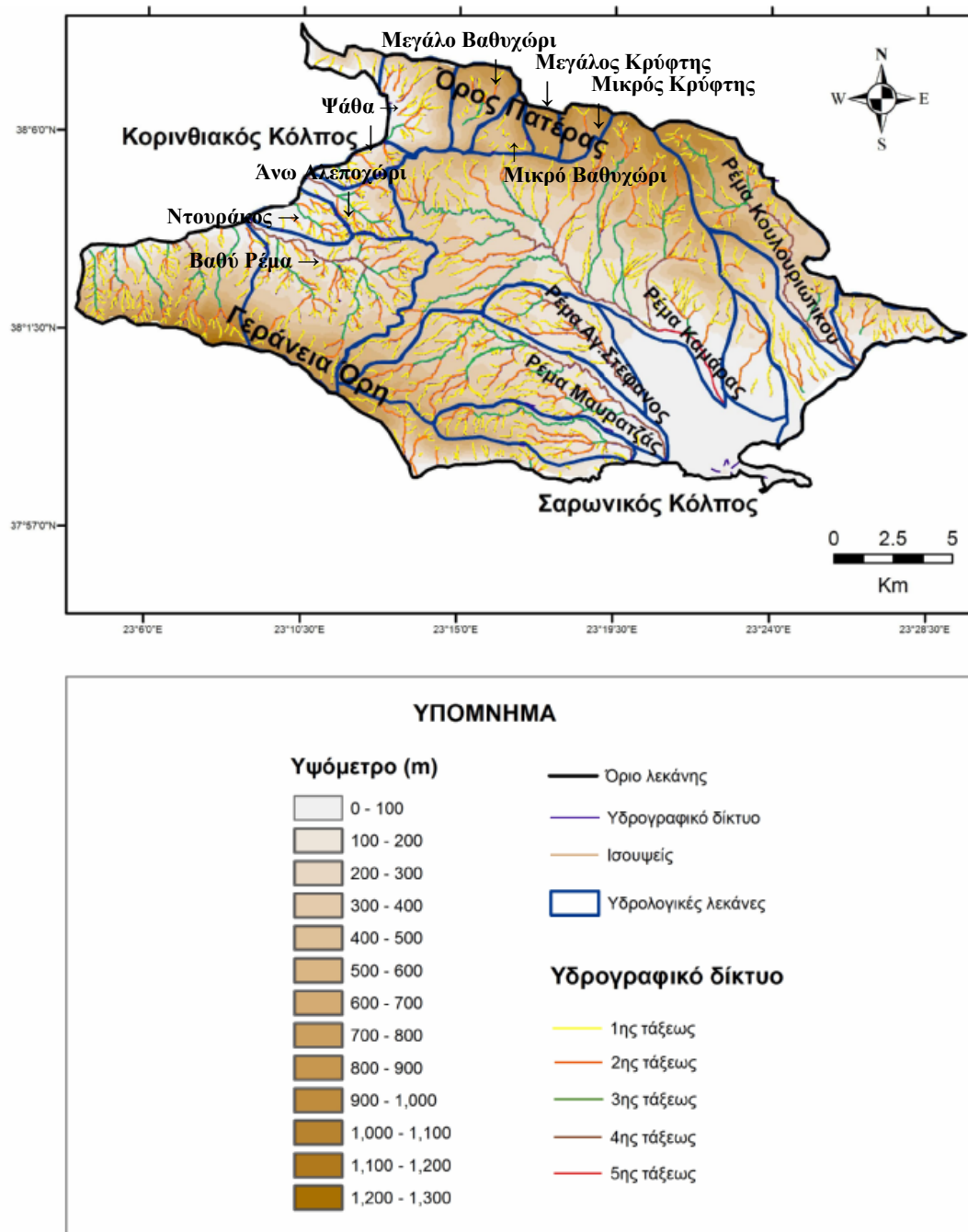
Η καρστική διάβρωση σήμερα βρίσκεται σε πολύ προχωρημένο στάδιο, γεγονός το οποίο αποδεικνύεται από τις βαθιές δολίνες και ουβάλες που βρίσκονται στο Μικρό και Μεγάλο Βαθυχώρι, καθώς και Μικρό και Μεγάλο Κρύφτη στο Όρος Πατέρας (Παρασχούδης 2002).

Η εκδήλωση παράκτιων και υποθαλάσσιων πηγών στον Κορινθιακό και Σαρωνικό κόλπο αποδεικνύει, ότι η καρστική διάβρωση έχει εισχωρήσει πολύ βαθύτερα από τη σημερινή στάθμη της θάλασσας, εξαιτίας των ευστατικών κινήσεων κατά τη διάρκεια του Τεταρτογενούς. Η παρουσία υφάλμυρων υπόγειων νερών στο εσωτερικό της λεκάνης ήταν γεγονός προ των αντλήσεων και αυτό γιατί η θάλασσα είχε εισχωρήσει σε βάθος μέσα στην ενδοχώρα εξαιτίας της προχωρημένης σε έκταση και βάθος καρστικής διάβρωσης. Οι κατακόρυφες κινήσεις των ακτών έχουν μεγάλη σημασία για το μηχανισμό δημιουργίας και το βάθος του karst και κατ’ επέκταση για την κυκλοφορία και την επικοινωνία με τη θάλασσα των καρστικών υπόγειων υδάτων (Παρασχούδης 2002).

Κατά μήκος του Σαρωνικού Κόλπου και του Κορινθιακού, σε διεύθυνση σχεδόν Α - Δ έως ΒΒΑ - ΝΝΑ, υπάρχουν παράλληλα ενεργά ρήγματα. Κατά τη διάρκεια του Τεταρτογενούς διαδραματίστηκαν κατακόρυφες ευστατικές και ηπειρογενετικές κινήσεις 30 με 50 m που μπορεί να έφταναν και τα 100 m στο Σαρωνικό κόλπο. Αυτό αποδεικνύεται από την παρουσία παράκτιας αναβαθμίδας στο Αλεποχώρι σε ύψος 25 - 30 m πάνω από τη σημερινή στάθμη της θάλασσας (Παρασχούδης 2002).

4.7. Υδρογραφικό δίκτυο

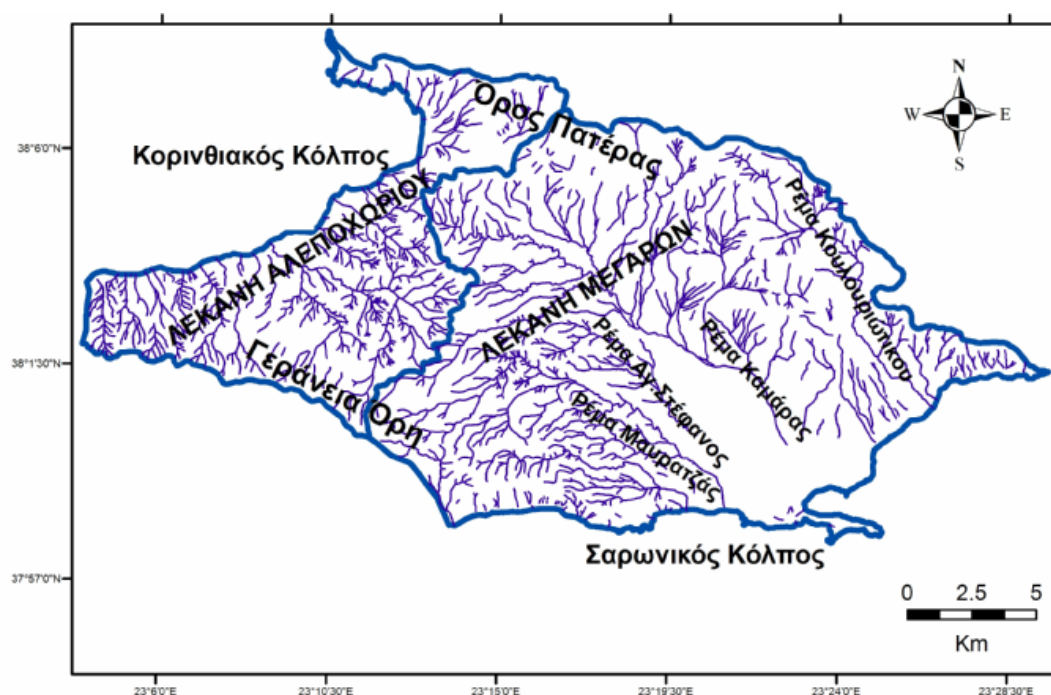
Η λεκάνη των Μεγάρων αποστραγγίζεται στον Σαρωνικό κόλπο από τα ρέματα Καμάρα, Μαυρατζάς, Αγ.Στέφανος και ρέμα Κουλουριώτικου, ενώ η λεκάνη του Αλεποχωρίου αποστραγγίζεται από μικρότερα ρέματα στην πλευρά του Κορινθιακού κόλπου. Η τεκτονική δομή της περιοχής καθορίζει τη διεύθυνση των ρηγμάτων, αντικλινικές και συγκλινικές δομές με διεύθυνση ΑΝΑ-ΔΒΔ και άξονα Α-Δ και ρήγματα διευθύνσεως Α-Δ και ΑΝΑ-ΔΒΔ. Στα Σχ. 4.3 και 4.6 παρουσιάζεται η εικόνα του υδρογραφικού δικτύου της περιοχής έρευνας.



Σχήμα 4.6: Χάρτης όπου απεικονίζονται οι λεκάνες των ρεμάτων και οι τάξεις του υδρογραφικού δικτύου της περιοχής έρευνας.

Από τα σχήματα αυτά διαπιστώνεται ότι η υδρολογική λεκάνη των Μεγάρων οριοθετείται από τον υδροκρίτη ο οποίος έχει διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ στα Γεράνεια όρη και στο όρος Πατέρας. Σε διεύθυνση Δ-ΒΔ το υδρογραφικό δίκτυο έχει διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ και διαχωρίζει τη λεκάνη των Μεγάρων από τη μικρότερη λεκάνη του Αλεποχωρίου (Σχ. 4.6 και 4.7). Στα Ν-ΝΑ καταλήγει στον Σαρωνικό κόλπο. Η μέγιστη τάξη του υδρογραφικού δικτύου είναι 5^{ης} τάξεως. Με κίτρινο συμβολίζονται τα ρέματα 1^{ης} τάξεως, με πορτοκαλί τα 2^{ης} τάξεως, με πράσινο τα 3^{ης} τάξεως, με καφέ τα 4^{ης} τάξεως και με κόκκινο τα 5^{ης} τάξεως (Σχ. 4.6).

Η υδρολογική λεκάνη του Αλεποχωρίου οριοθετείται από τον υδροκρίτη ο οποίος έχει διεύθυνση ΝΑ-ΒΔ στα Γεράνεια όρη και ΒΑ-ΝΔ στο όρος Πατέρας (Σχ. 4.6 και 4.7). Στα ΒΔ καταλήγει στον Κορινθιακό κόλπο. Η μέγιστη τάξη του υδρογραφικού δικτύου είναι 4^{ης} τάξεως (Σχ. 4.6). Παρακάτω αναλύονται οι σημαντικότερες υπολεκάνες που συνθέτουν τη λεκάνη των Μεγάρων και την λεκάνη του Αλεποχωρίου.



Σχήμα 4.7: Οι κύριες υδρολογικές λεκάνες των Μεγάρων και του Αλεποχωρίου.

4.7.1. Οι κύριες υδρολογικές υπολεκάνες της υδρολογικής λεκάνης των Μεγάρων

4.7.1.1. Λεκάνη ρέματος Κουλουριώτικου

Ο Κουλουριώτικος βρίσκεται στα ΝΑ της λεκάνης των Μεγάρων, εκβάλλει στα ΝΑ του Σαρωνικού κόλπου στο Μεγάλο Πεύκο (Σχ. 4.6 και 4.8) και αποστραγγίζει ένα μικρό τμήμα ΝΑ του όρους Πατέρα. Το εμβαδό της υδρολογικής λεκάνης του ρέματος Κουλουριώτικου είναι 26,37 Km² και η περίμετρος της 31,50 Km. Ο κύριος κλάδος του ποταμού ρέει μέσω ασβεστολίθων και δολομιτών του Μ-Α.Τριαδικού – Κ.Ιουρασικού και οι κλάδοι του υδρογραφικού δικτύου είναι 1^{ης} έως 4^{ης} τάξεως (Σχ. 4.6). Το υδρογραφικό δίκτυο είναι πολύ αραιό γεγονός το οποίο οφείλεται στα πετρώματα από τα οποία διέρχεται (ασβεστόλιθοι και δολομίτες) στα οποία επικρατεί μεγάλη διήθηση και πολύ μικρή επιφανειακή απορροή η οποία δεν επιτρέπει την

ανάπτυξη του υδρογραφικού δικτύου επιφανειακά και γι'αυτό χαρακτηρίζεται παράλληλο και γωνιώδες (Σχ. 4.8).

4.7.1.2. Λεκάνη ρέματος Καμάρας

Το ρέμα της Καμάρας βρίσκεται στο κεντρικό τμήμα της λεκάνης των Μεγάρων, εκβάλλει στον Σαρωνικό κόλπο στους Λάκκους Καλογήρου (Σχ. 4.6 και 4.8) και αποστραγγίζει το μεγαλύτερο τμήμα της πεδιάδας των Μεγάρων, τους ασβεστολίθους και δολομίτες (Μ-Α.Τριαδικού – Κ.Ιουρασικού) των κλιτύων του όρους Πατέρα, μικρό τμήμα των τριαδικών ασβεστολίθων των Γερανείων, τους κρητιδικούς ασβεστολίθους, τους τεταρτογενείς σχηματισμούς, τα κροκαλοπαγή και τμήμα των νεογενών σχηματισμών. Το εμβαδόν της υδρολογικής λεκάνης του ρέματος Καμάρα είναι 95,24 Km² και η περίμετρος της 60,08 Km.

Οι κλάδοι του υδρογραφικού δικτύου είναι 1^{ης} έως 5^{ης} τάξεως (Σχ. 4.6). Το υδρογραφικό δίκτυο είναι πολύ αραιό στις περιοχές των ανθρακικών σχηματισμών όπου επικρατεί μεγάλη διήθηση και πολύ μικρή επιφανειακή απορροή και άρα εκεί είναι παράλληλο, στο κεντρικό τμήμα με τους τεταρτογενείς σχηματισμούς και νεογενείς γίνεται πιο πυκνό διότι εδώ η διήθηση είναι μικρότερη και η επιφανειακή απορροή πιο μεγάλη έτσι μεταβαίνει από παράλληλο σε δενδριτικού τύπου εξαιτίας της εύκολης διάβρωσης των τεταρτογενών και νεογενών σχηματισμών που συμβάλλουν στην ανάπτυξη αυτής της μορφής του δικτύου (Σχ. 4.8).

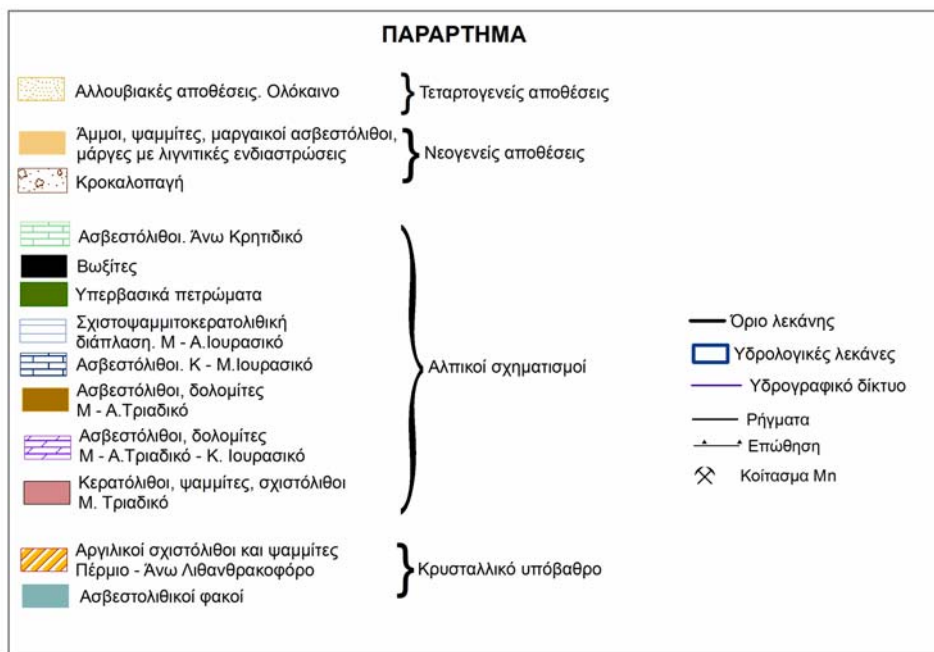
4.7.1.3. Λεκάνη ρέματος Αγ. Στεφάνου

Το ρέμα του Αγ. Στεφάνου βρίσκεται στο κεντρικό τμήμα της λεκάνης των Μεγάρων, εκβάλλει στον Σαρωνικό κόλπο και αποστραγγίζει το κεντρικό τμήμα της λεκάνης. Το ρέμα του Αγ. Στεφάνου σε περιπτώσεις ισχυρών βροχοπτώσεων πλημμυρίζει την πόλη των Μεγάρων (Σχ. 4.6 και 4.8). Το εμβαδόν της υδρολογικής λεκάνης του ρέματος του Αγ. Στεφάνου είναι 13,80 Km² και η περίμετρος της 19,09 Km. Ο κύριος κλάδος του ποταμού ρέει μέσω των τεταρτογενών και νεογενών σχηματισμών και οι κλάδοι του υδρογραφικού δικτύου είναι 1^{ης} έως 4^{ης} τάξεως (Σχ. 4.6). Το υδρογραφικό δίκτυο είναι πυκνό με μέτρια διήθηση και μεγάλη επιφανειακή απορροή, είναι δενδριτικού τύπου (Σχ. 4.8).

4.7.1.4. Λεκάνη ρέματος Μαυρατζά

Ο Μαυρατζάς βρίσκεται στα ΝΔ της λεκάνης των Μεγάρων, εκβάλλει στο Σαρωνικό κόλπο (Σχ. 4.6 και 4.8) και αποστραγγίζει το ΝΔ τμήμα της λεκάνης των Μεγάρων και μικρό τμήμα των ασβεστολίθων και δολομιτών (Μ-Α.Τριαδικού – Κ.Ιουρασικού) των Γερανείων. Το εμβαδόν της υδρολογικής λεκάνης του ρέματος Μαυρατζά είναι 34,70 Km² και η περίμετρος της 33,16 Km. Ο κύριος κλάδος του ρέματος αναπτύσσεται στους νεογενείς σχηματισμούς και οι κλάδοι του υδρογραφικού δικτύου είναι 1^{ης} έως 4^{ης} τάξεως (Σχ. 4.6). Το υδρογραφικό δίκτυο είναι πυκνό και ανήκει στο δενδριτικό τύπο, το οποίο ερμηνεύεται από τη μικρή περατότητα και διηθητικότητα των νεογενών σχηματισμών (Σχ. 4.8).

Τέλος στη λεκάνη των Μεγάρων αναπτύσσονται και μικρότερες υδρολογικές λεκάνες όπως οι κλειστές λεκάνες των δολινών (Μικρός Κρύφτης, Μεγάλος Κρύφτης και Μικρό Βαθυχώρι) που βρίσκονται Β-ΒΑ της Άνω Βένιζας στο όρος Πατέρας.



Σχήμα 4.8: Υδρογραφικό δίκτυο σε σύγκριση με τη γεωλογία της περιοχής έρευνας.

4.7.2. Οι κύριες υδρολογικές υπολεκάνες της υδρολογικής λεκάνης του Αλεποχωρίου

4.7.2.1. Η λεκάνη της δολίνης Μεγάλο Βαθυχώρι

Στη λεκάνη του Αλεποχωρίου αναπτύσσονται μικρότερες υδρολογικές λεκάνες εκ των οποίων οι περισσότερες από αυτές αποστραγγίζονται στον Κορινθιακό κόλπο. Πρόκειται για τη λεκάνη της δολίνης Μεγάλο Βαθυχώρι που βρίσκεται στα ΒΑ της λεκάνης του Αλεποχωρίου, και αποστραγγίζεται στον κορινθιακό κόλπο. Το εμβαδόν της λεκάνης αυτής είναι 6,94 Km² και η περίμετρος της 11,11 Km. Αναπτύσσεται μέσα στους Μ-Α.Τριαδικούς - Κ.Ιουρασικούς ασβεστόλιθους και δολομίτες και οι κλάδοι του είναι 1^{ης} έως 3^{ης} τάξεως (Σχ. 4.6, 4.8). Το υδρογραφικό δίκτυο είναι παράλληλο και γωνιώδες διότι δεν επιτρέπεται η ανάπτυξη του υδρογραφικού

δικτύου εξαιτίας των σχηματισμών από τους οποίους διέρχεται στα οποία η διήθηση είναι μεγάλη (Σχ. 4.8).

4.7.2.2. Η λεκάνη της Ψάθας

Η λεκάνη της Ψάθας που αποτελείται από δυο υπολεκάνες με εμβαδόν 10,92 και 3,97 Km² και περίμετρο 13,90 και 10,35 Km αντίστοιχα. Βρίσκονται στην περιοχή της Ψάθας και ΝΔ αυτής και αποστραγγίζονται στον Κορινθιακό κόλπο. Αναπτύσσονται μέσα σε Μ-Α.Τριαδικούς - Κ.Ιουρασικούς ασβεστόλιθους και δολομίτες, τεταρτογενείς και νεογενείς σχηματισμούς και οι κλάδοι είναι από 1^{ης} έως 3^{ης} τάξεως (Σχ. 4.6). Το υδρογραφικό δίκτυο είναι παράλληλο στους Μ-Α.Τριαδικούς - Κ.Ιουρασικούς ασβεστόλιθους και αρχίζει να γίνεται δενδριτικού τύπου στους τεταρτογενείς και νεογενείς σχηματισμούς από όπου αυτό διέρχεται (Σχ. 4.8).

4.7.2.3. Η λεκάνη του Άνω Αλεποχωρίου και Ντουράκου

Η λεκάνη του Άνω Αλεποχωρίου βρίσκεται στο Άνω Αλεποχώρι και αποστραγγίζεται στον Κορινθιακό κόλπο. Έχει συνολικό εμβαδόν 6,96 Km² και περίμετρο 13,13 Km. Αναπτύσσεται μέσα στους νεογενείς και τεταρτογενείς σχηματισμούς, είναι δενδριτικού τύπου και οι κλάδοι είναι από 1^{ης} έως 4^{ης} τάξεως (Σχ. 4.6, 4.8). Επίσης η λεκάνη του Ντουράκου βρίσκεται στην περιοχή Ντουράκος και αποστραγγίζεται στον Κορινθιακό κόλπο. Το εμβαδόν της είναι 5,24 Km² και η περίμετρος της 10,57 Km. Αναπτύσσεται σε τεταρτογενείς και νεογενείς σχηματισμούς, είναι δενδριτικού τύπου και οι κλάδοι είναι από 1^{ης} έως 3^{ης} τάξεως (Σχ. 4.6, 4.8).

4.7.2.4. Η λεκάνη του Βαθύ Ρέματος

Τέλος μια σημαντική λεκάνη που συνθέτει τη λεκάνη του Αλεποχωρίου είναι η λεκάνη του Βαθύ Ρέματος. Η λεκάνη αυτή βρίσκεται ΝΔ του Αλεποχωρίου και έχει συνολικό εμβαδόν 34,13 Km² και περίμετρο 28,20 Km. Αποστραγγίζεται στον Κορινθιακό κόλπο και αναπτύσσεται μέσα σε νεογενείς σχηματισμούς και σε ένα πολύ μικρό τμήμα σε τεταρτογενείς σχηματισμούς. Το υδρογραφικό δίκτυο είναι πυκνό, δενδριτικού τύπου και οι κλάδοι είναι από 1^{ης} έως 4^{ης} τάξεως (Σχ. 4.6, 4.8).

4.8. Γεωμυθολογική ερμηνεία της ευρύτερης περιοχής

Σύμφωνα με τους Μαριολάκο και Θεοχάρη (2002), ο Σαρωνικός κόλπος και οι γύρω περιοχές από τον Σαρωνικό και ιδιαίτερα η Αττική είναι μία από τις ιερότερες περιοχές του αρχαιοελληνικού κόσμου. Τονίζεται η σύνδεση αυτού του γεγονότος με τις γεωπεριβαλλοντικές μεταβολές που είχαν συμβεί στον Περιοιγαιακό χώρο και ιδιαίτερα στον Σαρωνικό, οι οποίες συνδέονται με τις παλαιοκλιματικές μεταβολές των τελευταίων 100.000 ετών. Πιο συγκεκριμένα, κατά το τέλος της τελευταίας παγετώδους περιόδου (πριν από 18.000 χρόνια), η στάθμη της θάλασσας εκτιμάται ότι βρισκόταν περί τα 125 m χαμηλότερα απ'ότι σήμερα, ενώ πριν από 12.000 χρόνια βρισκόταν περί τα 70 m χαμηλότερα. Με βάση τα προηγούμενα στοιχεία, προκύπτει η ύπαρξη μιας λίμνης, η οποία ονομάστηκε Κυχρεία Λίμνη, όπως αποδεικνύεται και από την παρουσία λιμναίων ιζημάτων στον πυθμένα της σημερινής θάλασσας (κόλπος Ελευσίνας), που παλαιότερα ήταν σίγουρα λίμνη.

5. ΥΔΡΟΛΟΓΙΑ

5.1. Γενικά

Για τη μελέτη των κλιματολογικών συνθηκών της λεκάνης των Μεγάρων επεξεργάστηκαν στοιχεία σχετικά με τη θερμοκρασία του αέρα και τη βροχόπτωση. Το είδος και το ύψος των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων όσο και η κατανομή τους στη διάρκεια του έτους διαμορφώνουν τον κλιματικό χαρακτήρα μιας περιοχής (Καρύμπαλης 2005). Τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα, η θερμοκρασία, η υγρασία, η εξάτμιση και η ηλιακή ακτινοβολία είναι χρήσιμα στοιχεία τα οποία καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό το υδατικό δυναμικό μιας περιοχής και διαμορφώνουν τις κλιματολογικές συνθήκες της συγκεκριμένης περιοχής.

Το κλίμα της λεκάνης των Μεγάρων χαρακτηρίζεται μεσογειακού τύπου (ημίξηρο) με θερμά και ξηρά καλοκαίρια και σχετικά ήπιους χειμώνες με μέτριες βροχοπτώσεις και σπάνιες χιονοπτώσεις το χειμώνα.

Τα στοιχεία τα οποία χρησιμοποιήθηκαν προέρχονται από την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (ΕΜΥ) και αναφέρονται στον πλησιέστερο Μετεωρολογικό σταθμό των Μεγάρων, ο οποίος έχει γεωγραφικό μήκος $23^{\circ} 21'$ και γεωγραφικό πλάτος $38^{\circ} 58'$, βρίσκεται σε υψόμετρο 5 m και η χρονική περίοδος λειτουργίας του είναι από 1960 - 1990. Χρησιμοποιήθηκε και ο μετεωρολογικός σταθμός της Ελευσίνας με γεωγραφικό μήκος $23^{\circ} 33'$ και γεωγραφικό πλάτος $38^{\circ} 04'$, βρίσκεται σε υψόμετρο 30 m με χρονική περίοδο λειτουργίας 1990 - 2004. Επίσης χρησιμοποιήθηκε και ο σταθμός του Αγ.Μερκούριου της Ελληνικής Εταιρείας Υδάτων (από Δούνα 1971) ο οποίος βρίσκεται ΒΑ της Πάρνηθας σε υψόμετρο 600 m με χρονική περίοδο λειτουργίας 1946-1965 με μέσο ύψος βροχής 623,3 mm για τον υπολογισμό της βροχοβαθμίδας (Σχ. 5.1).



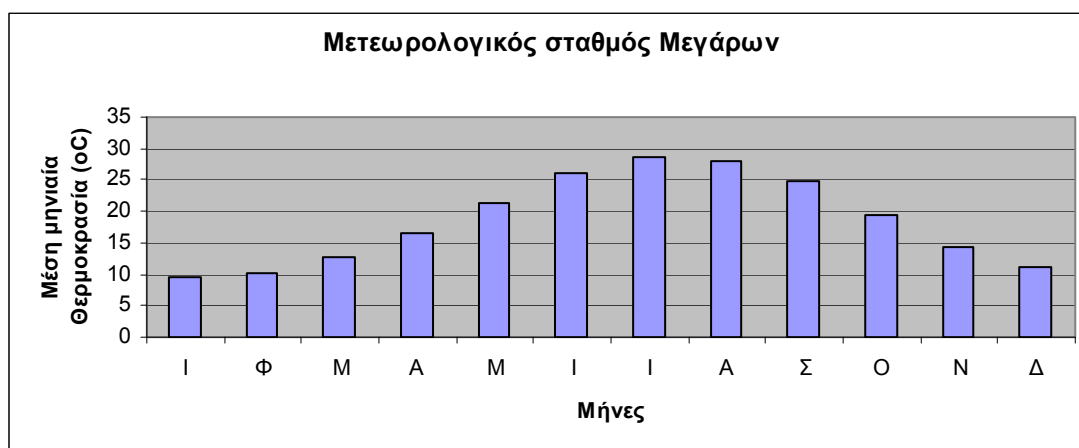
Σχήμα 5.1: Χάρτης θέσεων βροχομετρικών σταθμών.

5.2. Θερμοκρασία

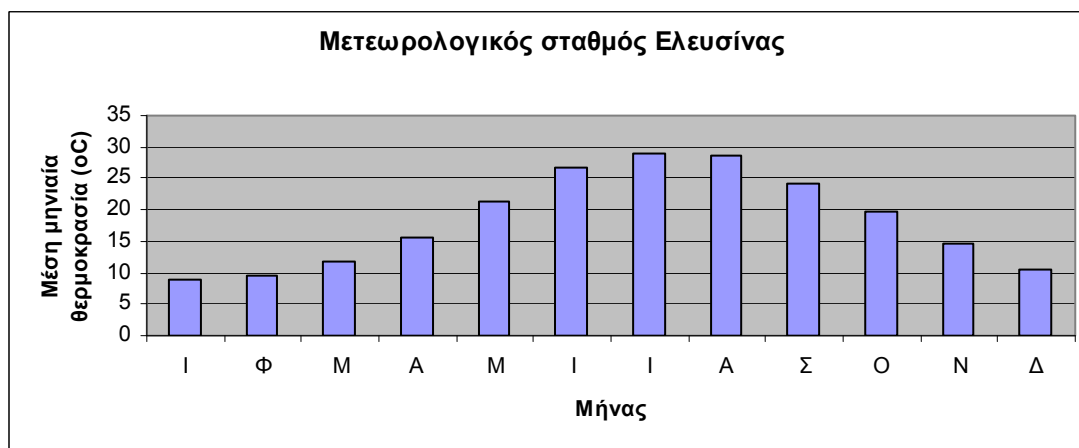
Σύμφωνα με το σταθμό των Μεγάρων και της Ελευσίνας οι θερμότεροι μήνες του έτους είναι ο Ιούλιος και ο Αύγουστος και οι ψυχρότεροι ο Ιανουάριος και ο Φεβρουάριος. Για το σύνολό των ετών στο σταθμό των Μεγάρων η μέση τιμή της

θερμοκρασίας είναι $18,56^{\circ}\text{C}$, η μέση μέγιστη $19,89^{\circ}\text{C}$ και η μέση ελάχιστη $17,79^{\circ}\text{C}$ και για το σταθμό της Ελευσίνας η μέση τιμή της θερμοκρασίας είναι $18,39^{\circ}\text{C}$ η μέση μέγιστη $19,2^{\circ}\text{C}$ και η μέση ελάχιστη $17,39^{\circ}\text{C}$. Παρατηρείται ότι για δυο διαφορετικές περιόδους 1960-1990 και 1990-2004 και δυο διαφορετικούς σταθμούς η θερμοκρασία παραμένει περίπου η ίδια με πολύ μικρή μεταβολή.

Στα Σχ. 5.2 και 5.3 απεικονίζεται η κατανομή της μέσης θερμοκρασίας ($^{\circ}\text{C}$) για τους μετεωρολογικούς σταθμούς των Μεγάρων (έτη 1960-1990) και της Ελευσίνας (έτη 1990-2004).



Σχήμα 5.2: Κατανομή μέσης θερμοκρασίας ($^{\circ}\text{C}$), (έτη 1960-1990), (Μετεωρολογικός Σταθμός Μέγαρο).



Σχήμα 5.3: Κατανομή μέσης θερμοκρασίας ($^{\circ}\text{C}$), (έτη 1990-2004), (Μετεωρολογικός Σταθμός Ελευσίνα).

Στον Πιν. 5.1 παρουσιάζονται οι τιμές της θερμοκρασίας των σταθμών Μέγαρο (έτη 1960-1990) και Ελευσίνα (έτη 1990-2004).

Για το σταθμό των Μεγάρων παρατηρείται ότι η μέση μέγιστη θερμοκρασία είναι το μήνα Ιούλιο $31,33^{\circ}\text{C}$ και η μέση ελάχιστη θερμοκρασία το μήνα Ιανουάριο $11,25^{\circ}\text{C}$. Η μεγαλύτερη μέση μηνιαία θερμοκρασία παρατηρείται το μήνα Ιούλιο $28,76^{\circ}\text{C}$ και η μικρότερη μέση μηνιαία θερμοκρασία το μήνα Ιανουάριο $9,66^{\circ}\text{C}$ (Πιν. 5.1).

Για το σταθμό της Ελευσίνας παρατηρείται ότι η μέση μέγιστη θερμοκρασία είναι το μήνα Ιούλιο $30,75^{\circ}\text{C}$ και η μέση ελάχιστη θερμοκρασία το μήνα Ιανουάριο $11,61^{\circ}\text{C}$.

Η μεγαλύτερη μέση μηνιαία θερμοκρασία παρατηρείται το μήνα Ιούλιο 29,09 °C και η μικρότερη μέση μηνιαία θερμοκρασία το μήνα Ιανουάριο 9,04 °C (Πιν. 5.1).

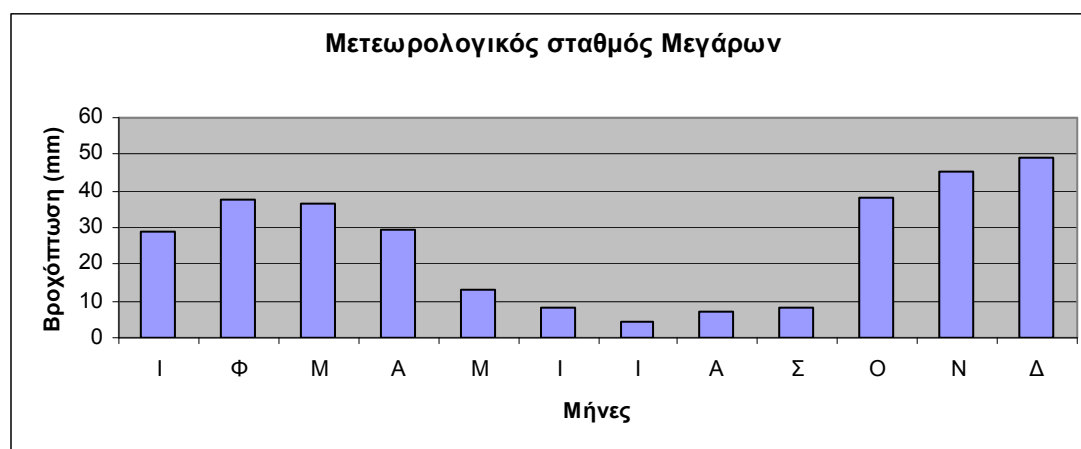
Πίνακας 5.1: Τιμές θερμοκρασίας για τους σταθμούς Μέγαρο και Ελευσίνα (ΕΜΥ).

ΣΤΑΘΜΟΣ ΜΕΓΑΡΑ				ΣΤΑΘΜΟΣ ΕΛΕΥΣΙΝΑ			
Μήνες	Μέση Τιμή θερμοκρασίας	Μέγιστη Τιμή θερμοκρασίας	Ελάχιστη Τιμή θερμοκρασίας	Μήνες	Μέση Τιμή θερμοκρασίας	Μέγιστη Τιμή θερμοκρασίας	Ελάχιστη Τιμή θερμοκρασίας
Ι	9,66	11,25	7,45	Ι	9,05	11,61	7,7
Φ	10,03	13,13	7,39	Φ	9,41	12,43	5,74
Μ	12,67	15,79	8,46	Μ	11,79	16,01	8,4
Α	16,43	18,83	14,35	Α	15,64	17,27	12,14
Μ	21,34	22,76	19,34	Μ	21,26	24,15	18,76
Ι	26,00	27,25	24,25	Ι	26,69	28,81	25,2
Ι	28,76	31,33	27,37	Ι	29,09	30,75	27,12
Α	27,93	29,72	25,38	Α	28,65	30,49	26,56
Σ	24,85	27,19	22,49	Σ	24,29	27,66	22,45
Ο	19,34	22,12	17,45	Ο	19,79	21,15	16,71
Ν	14,43	17,56	12,02	Ν	14,55	16,26	12,32
Δ	11,29	13,22	9,23	Δ	10,41	13,15	6,51

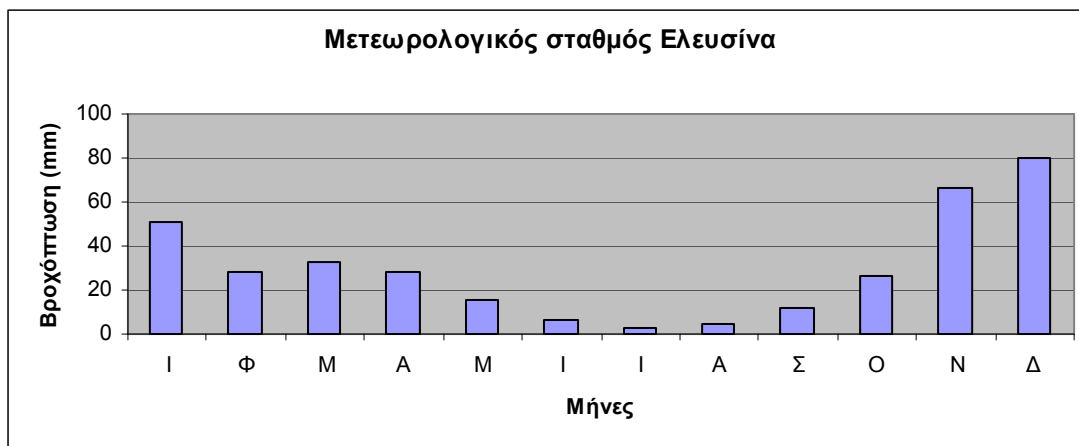
5.3. Ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα

Σύμφωνα με τα στοιχεία της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας για το σταθμό των Μεγάρων (έτη 1960-1990) το ετήσιο ύψος βροχής κυμαίνεται στα 305,05 χιλιοστά και για το σταθμό της Ελευσίνας (έτη 1990-2004) φτάνει τα 349,62 χιλιοστά ανά έτος. Για το σταθμό των Μεγάρων ο μήνας με το μεγαλύτερο ύψος βροχής είναι ο Δεκέμβριος 48,91 mm και το ίδιο ισχύει και για το σταθμό της Ελευσίνας 79,67 mm (Σχ. 5.4 και 5.5).

Κατά τα έτη 1990-2004 που καταγράφει ο σταθμός της Ελευσίνας η βροχόπτωση έχει αυξηθεί. Το καλοκαίρι και για τους δυο σταθμούς παρατηρούνται τα μικρότερα ύψη βροχής, σταθμός Μεγάρων (Ιούνιος 8,18 mm, Ιούλιος 4,2 mm, Αύγουστος 6,88 mm) και σταθμός Ελευσίνα (Ιούνιος 6,45 mm, Ιούλιος 2,89 mm, Αύγουστος 4,47 mm) (Σχ. 5.4 και 5.5). Η κατανομή του μέσου ύψους βροχής (mm) βάσει των στοιχείων των μετεωρολογικών σταθμών Μέγαρο και Ελευσίνα δίδεται στα Σχ. 5.4 και 5.5.



Σχήμα 5.4: Κατανομή μέσου ύψους βροχής (mm), (έτη 1960-1990) του μετεωρολογικού σταθμού Μέγαρο.



Σχήμα 5.5: Κατανομή μέσου ύψους βροχής (mm), (έτη 1990-2004) του μετεωρολογικού σταθμού Ελευσίνα.

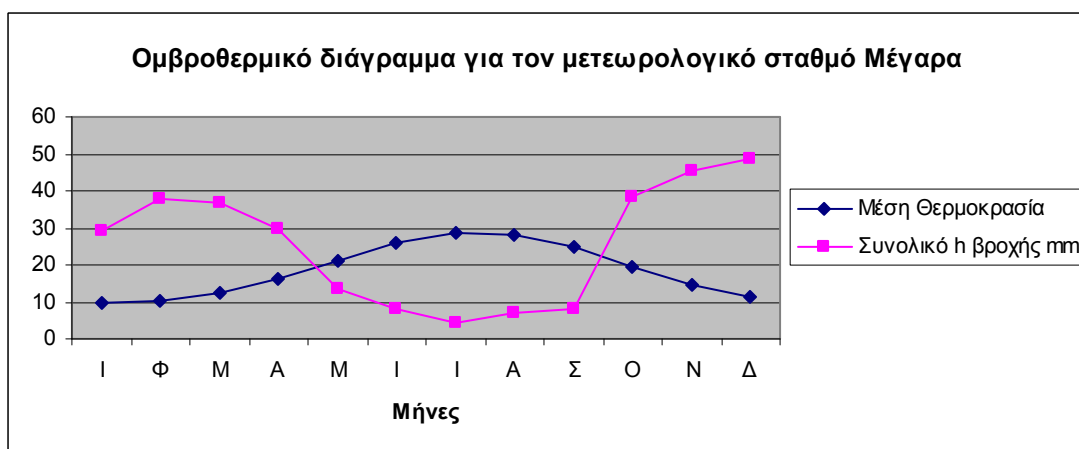
Στα Σχ. 5.6 και 5.7 παρουσιάζονται τα ομβροθερμικά διαγράμματα για τους σταθμούς Μέγαρο και Ελευσίνα τα οποία απεικονίζουν την πορεία για κάθε μήνα της μέσης θερμοκρασίας σε °C και του μέσου μηνιαίου ύψους βροχής.

Από τα διαγράμματα αυτά και για τους δυο σταθμούς προκύπτει, ότι η ξηρή περίοδος διαρκεί από τον Απρίλιο έως τον Οκτώβριο.

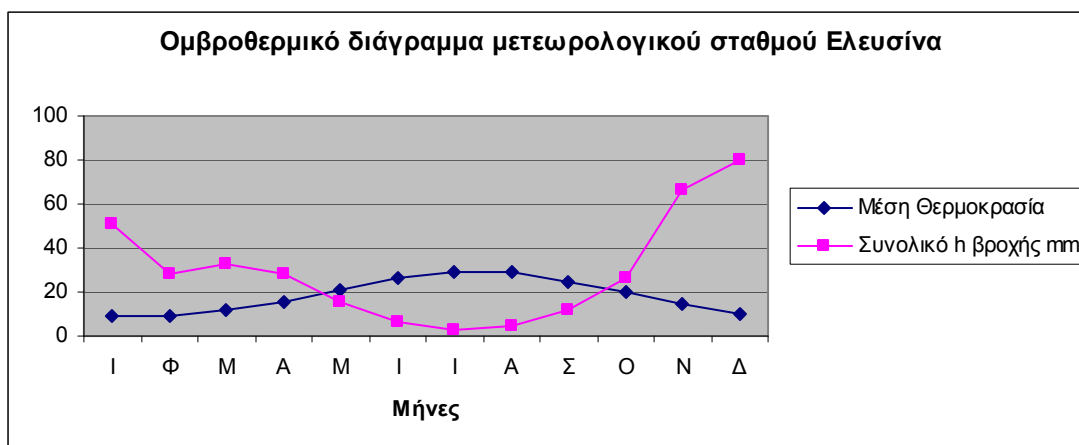
5.4. Επιφανειακή Υδρολογία

5.4.1. Γενικά

Τα υπόγεια νερά βρίσκονται σε άμεση σχέση με τα επιφανειακά νερά, έτσι όταν γίνεται λόγος για υδρολογικό ισοζύγιο των υπόγειων νερών κρίνεται σκόπιμη η γνώση του ισοζυγίου των επιφανειακών νερών. Το υδρολογικό ισοζύγιο δεν είναι παρά μια εξίσωση που συνδέει τις αφίξεις νερού και τις απώλειες για μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο και έναν συγκεκριμένο χώρο. Το υδρολογικό ισοζύγιο περιλαμβάνει τα κατακρημνίσματα P , την επιφανειακή απορροή R , την κατείσδυση I , την εξατμισοδιαπνοή ET και τις μεταβολές των αποθεμάτων ΔW των υπόγειων υδάτων και δίδεται από τον τύπο: $P = R + I + ET \pm \Delta W$ (Στουρνάρας 2007).



Σχήμα 5.6: Ομβροθερμικό διάγραμμα, (έτη 1975-1990) του μετεωρολογικού σταθμού Μέγαρο.



Σχήμα 5.7: Ομβροθερμικό διάγραμμα, (έτη 1990-2004) του μετεωρολογικού σταθμού Ελευσίνα.

Με τη γνώση των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων και υπολογίζοντας την εξατμισοδιαπνοή είναι δυνατός ο υπολογισμός της απορροής και της κατείδυσης.

Οι υδρολογικές λεκάνες αποτελούν αυτοτελή συστήματα και εάν υποθεθεί ότι είναι αμελητέες οι ανθρώπινες παρεμβάσεις τότε η εξίσωση του υδρολογικού ισοζυγίου παίρνει τη μορφή $P = E + A$ όπου $A = R + I$. Τα μεγέθη που χρησιμοποιούνται για τις παραπάνω εξισώσεις είναι σε mm, είτε όγκος νερού σε m^3 ή σε ποσοστά επί της %.

Παράμετροι, όπως οι κλιματικές, οι υδρολιθολογικές, υδρογραφικές, γεωλογικές, γεωμορφολογικές, που επικρατούν σε μια περιοχή, επηρεάζουν και διαμορφώνουν ανάλογα το υδρολογικό ισοζύγιο. Επίσης δυο ακόμα σημαντικοί παράμετροι είναι η φυτοκάλυψη και οι καλλιέργειες που υπάρχουν σε μια συγκεκριμένη περιοχή.

Για τον υπολογισμό του υδρολογικού ισοζυγίου ελήφθησαν υπόψη τα κλιματικά δεδομένα του μετεωρολογικού σταθμού των Μεγάρων, διότι θεωρείται ο πιο αντιπροσωπευτικός και ο πιο κοντινός για τη λεκάνη των Μεγάρων. Ενδεικτικά των κλιματικών συνθηκών της περιοχής έρευνας είναι η μέση τιμή των ετήσιων υψών βροχής που φτάνουν τα 305,05 mm και η μέση ετήσια θερμοκρασία που φτάνει τα 18,56 °C, σύμφωνα πάντα με το μετεωρολογικό σταθμό των Μεγάρων.

5.4.2. Εκτίμηση των υδρολογικών παραμέτρων

5.4.2.1. Όγκος νερού από βροχόπτωση

Από τους διαθέσιμους βροχομετρικούς σταθμούς της περιοχής συγκεντρώθηκαν τα δεδομένα και υπολογίστηκε ο μέσος όρος της βροχόπτωσης, της εξατμισοδιαπνοής και της θερμοκρασίας, τα δεδομένα των σταθμών αποτυπώνονται στον Πιν. 5.2.

Για να εκτιμηθεί καλύτερα ο όγκος νερού που δέχεται η περιοχή μελέτης έγινε ταξινόμηση της περιοχής κατά υψομετρικές ζώνες και αντίστοιχη κατανομή του ύψους των κατακρημνισμάτων σε κάθε ζώνη.

Πίνακας 5.2: Μετεωρολογικοί σταθμοί στην ευρύτερη περιοχή έρευνας.

Σταθμός	Φορέας	Περίοδος λειτουργίας	Συντεταγμένες	Υψόμετρο (m)	Θερμοκρασία (°C)	Βροχόπτωση (mm)
Μέγαρα	E.M.Y	1960-1990	23,21-38,58	5	18,56	305,5
Ελευσίνα	E.M.Y	1990-2004	23,33-38,04	30	18,39	349,62
Αγ. Μερκούριος	E.E.Y	1946-1965		600		623,3

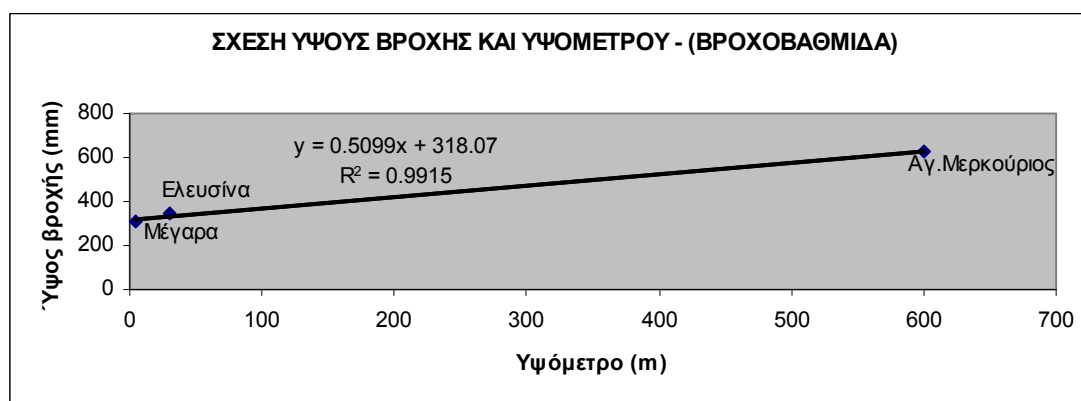
Τα υψόμετρα κυμαίνονται από 0 m στην ακτογραμμή έως 1300 m. Με βάση λοιπόν τα γεωμορφολογικά δεδομένα η περιοχή ταξινομήθηκε σε τρεις ζώνες:

- Χαμηλή και λοφώδη περιοχή με κυμαινόμενο υψόμετρο από 0-300 m
- Ημιορεινή περιοχή με κυμαινόμενο υψόμετρο από 300-600 m και
- Ορεινή περιοχή με κυμαινόμενο υψόμετρο από >600 m

Από τη βροχοβαθμίδα (Σχ. 5.8) το μέσο ετήσιο ύψος των κατακρημνισμάτων στη χαμηλή ζώνη ανέρχεται στα 394,56 mm, στην ημιορεινή ζώνη στα 547,53 mm και στην ορεινή ζώνη στα 802,48 mm.

Στο Σχ. 5.9 παρουσιάζεται ο χάρτης της περιοχής με τις υψομετρικές ζώνες που προέκυψαν και τα αντίστοιχα μεγέθη της βροχόπτωσης που προκύπτουν για κάθε προαναφερόμενη ζώνη.

Τα ύψη βροχής τα οποία υπολογίστηκαν από τη βροχοβαθμίδα είναι αξιόπιστα διότι συμφωνούν με τα μόνα διαθέσιμα δεδομένα τα οποία προκύπτουν από το βροχομετρικό χάρτη των Κούκη και Σαμπατακάκη (2007), οι οποίοι έφτιαξαν το βροχομετρικό χάρτη της Ελλάδος σύμφωνα με τα βροχομετρικά δεδομένα της ΔΕΗ για τη χρονική περίοδο 1950-1974 (Σχ. 5.10).



Σχήμα 5.8: Βροχοβαθμίδα της περιοχής έρευνας.

Παρακάτω δίδονται τα βασικά στοιχεία μεταξύ των τριών ζωνών των δυο υδρολογικών λεκανών (χαμηλή και λοφώδη περιοχή 0-300 m, ημιορεινή περιοχή 300-600 m, ορεινή περιοχή > 600 m) που προσδιορίστηκαν, δηλαδή το εμβαδόν (E) σε Km², το μέσο ύψος βροχής (h) σε mm και ο όγκος βροχής (V) (που προκύπτει από το γινόμενο V=h × E) σε m³.

Λεκάνη Μεγάρων

1) Χαμηλή και λοφώδη περιοχή (0-300 m)

Εμβαδόν (E)	153,91 Km ²
Μέσο ετήσιο ύψος βροχής (h)	394,56 mm
Όγκος βροχής (V)	60,73x10 ⁶ m ³

2) Ημιορεινή περιοχή (300-600 m)

Εμβαδόν (E)	70,83 Km ²
Μέσο ετήσιο ύψος βροχής (h)	547,53 mm
Όγκος βροχής (V)	38,78x10 ⁶ m ³

3) Ορεινή περιοχή (> 600 m)

Εμβαδόν (E)	36,85 Km ²
Μέσο ετήσιο ύψος βροχής (h)	802,48 mm
Όγκος βροχής (V)	29,57x10 ⁶ m ³

Λεκάνη Αλεποχωρίου

1) Χαμηλή και λοφώδη περιοχή (0-300 m)

Εμβαδόν (E)	52,96 Km ²
Μέσο ετήσιο ύψος βροχής (h)	394,56 mm
Όγκος βροχής (V)	20,90x10 ⁶ m ³

2) Ημιορεινή περιοχή (300-600 m)

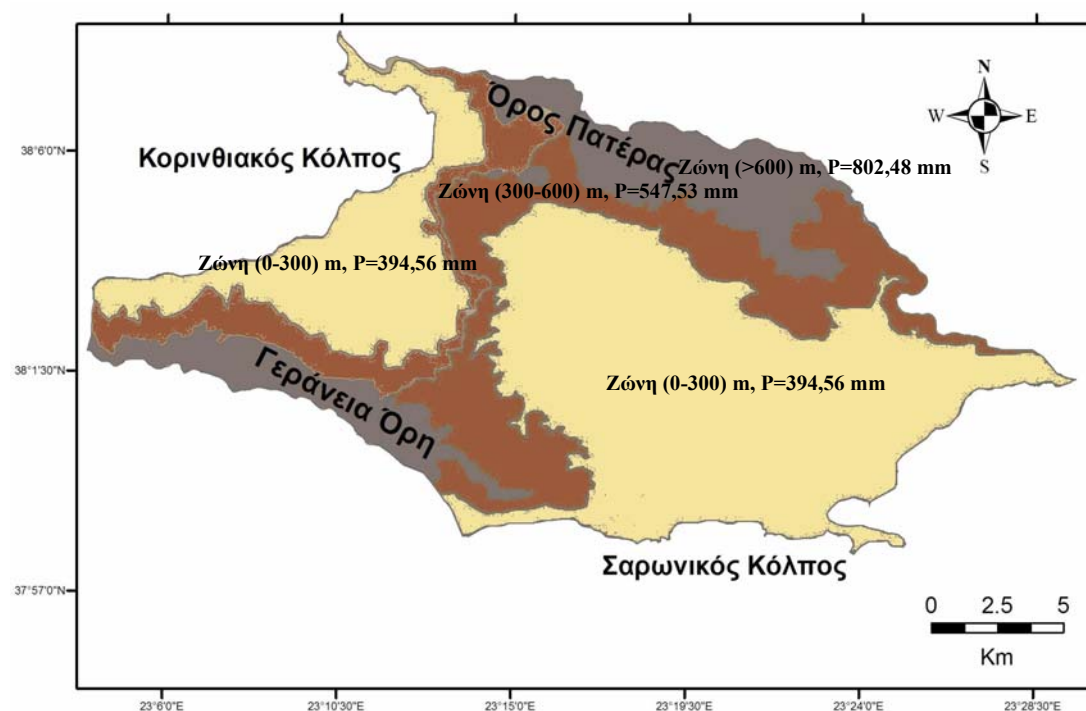
Εμβαδόν (E)	28,35 Km ²
Μέσο ετήσιο ύψος βροχής (h)	547,53 mm
Όγκος βροχής (V)	15,52x10 ⁶ m ³

3) Ορεινή περιοχή (> 600 m)

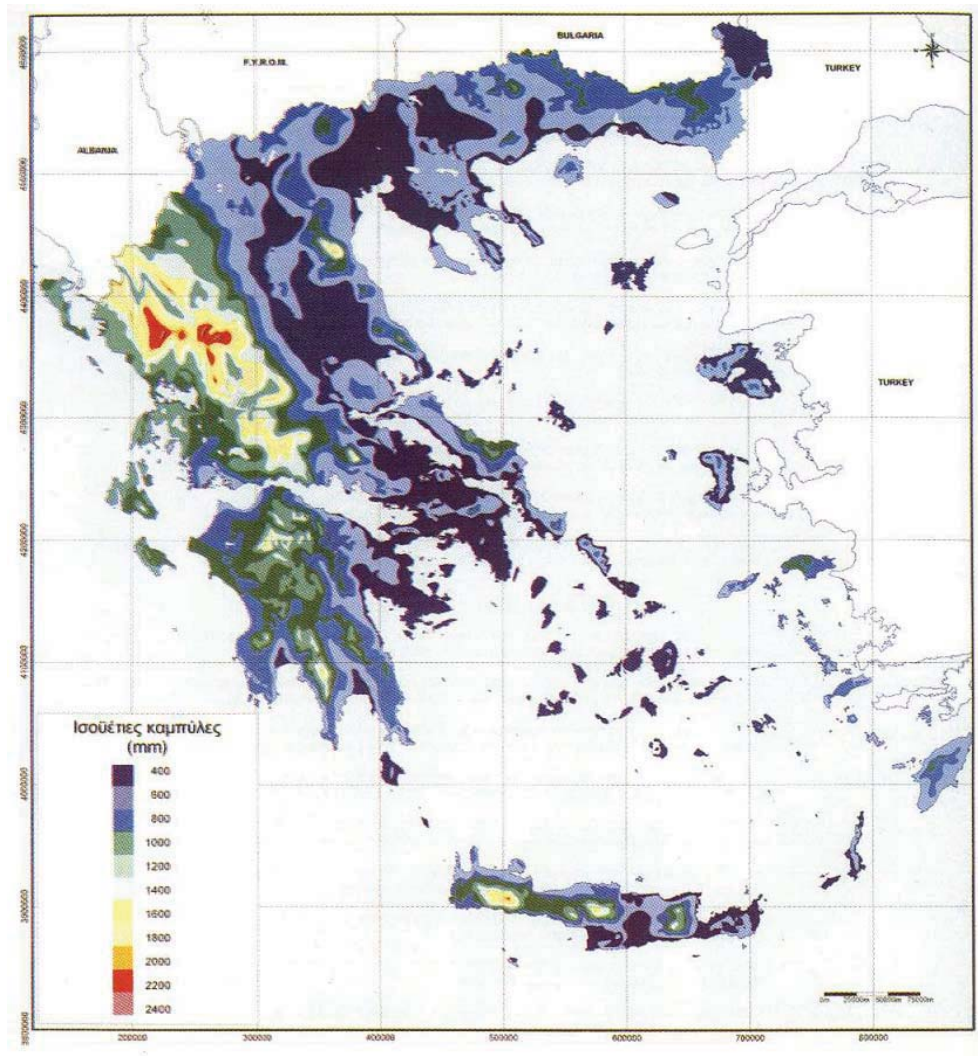
Εμβαδόν (E)	19,29 Km ²
Μέσο ετήσιο ύψος βροχής (h)	802,48 mm
Όγκος βροχής (V)	15,48x10 ⁶ m ³

5.4.2.2. Εξατμισοδιαπνοή

Η πραγματική εξατμισοδιαπνοή μπορεί να υπολογιστεί με διάφορους τύπους όπως των TURC, COUTAGNE, THORNHWAITE-MATHER και BURDON – PAPAΚIS (μόνο για καρστικές περιοχές). Σύμφωνα με τον Σούλιο (1985), οι τύποι του TURC και COUTAGNE δεν ισχύουν για τις καρστικές περιοχές του ελληνικού χώρου, σε αντίθεση με τη μέθοδο του THORNHWAITE-MATHER. Ο τύπος του TURC ανταποκρίνεται σε εδάφη με μέση λιθολογική σύσταση και δίνει καλά αποτελέσματα όταν η περιοχή δεν είναι πολύ μικρής ή μεγάλης ηλιοφάνειας και όταν η μέση ετήσια βροχόπτωση ξεπερνά τα 700 mm. Τα ίδια ισχύουν και για τον τύπο του COUTAGNE ο τύπος αυτός δίνει μικρότερα σφάλματα όταν επικρατούν υψηλά ποσοστά κατακρημνισμάτων (Σούλιος 1985).



Σχήμα 5.9: Απεικόνιση των υψομετρικών ζωνών και των αντίστοιχων υψών βροχόπτωσης (P).



Σχήμα 5.10: Βροχομετρικός χάρτης Ελλάδας με βάση τα δεδομένα της ΔΕΗ για το χρονικό διάστημα 1950-1974 (Κούκης και Σαμπατακάκης 2007).

α) Εκτίμηση ΕΤ κατά Coutagne

Σύμφωνα με τον Coutagne η εξατμισοδιαπνοή δίδεται από τον τύπο:

$ET = P(1 - \lambda x P)$ σε (mm), (Σούλιος 1996) όπου

ET= εξατμισοδιαπνοή (+ κατείδυση, δηλαδή έλλειμμα απορροής) και

P= Βροχόπτωση σε m

$$\lambda = \frac{1}{(0,8 + 0,14T)}, \quad T = \text{μέση ετήσια θερμοκρασία } ^\circ\text{C}$$

Με βάση τα στοιχεία του μετεωρολογικού σταθμού των Μεγάρων ισχύει:

P= 305,05 mm = 0,30505 m και T= 18,56 °C

Τότε $\lambda = 0,294$ και με βάση αυτά υπολογίστηκε η εξατμισοδιαπνοή που είναι:

$$ET = 0,30505 \times (1 - 0,294 \times 0,30505) = 0,28 \text{ m} \Rightarrow ET = 0,28 \text{ m ή } 280 \text{ mm}$$

Αυτό σημαίνει ότι από τα 305,05 mm βροχόπτωσης τα 280 mm (ή το 91,79%) εξατμίζονται (+κατειδύουν) οπότε με βάση τον τύπο του υδρολογικού ισοζυγίου:

$P=R+I+ET \Rightarrow R=P-(I+ET) \Rightarrow R=305,05-280 \Rightarrow R=25,05 \text{ mm}$ (ή το 8,21%) καταλήγουν στην απορροή.

Ο τύπος Coutagne δίνει αποτελέσματα μόνο σε περιοχές που η κατείσδυση είναι ελάχιστη έως μηδενική, όπως ισχύει για το αδιαπέρατο τμήμα των νεογενών σχηματισμών, ενώ δεν ανταποκρίνεται σε περιοχές με μεγάλη κατείσδυση και μικρή απορροή, όπως οι ασβεστόλιθοι και οι δολομίτες καθώς και οι αδρομερείς προσχώσεις.

β) Εκτίμηση ET κατά Turc

Σύμφωνα με τον τύπο του Turc η εξατμισοδιαπνοή δίδεται από τον τύπο:

$$ET = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \frac{P^2}{L^2}}} \text{ (mm)}$$

Όπου ET= η πραγματική ετήσια εξατμισοδιαπνοή σε mm

P= ύψος βροχής σε mm

L= $300+25T+0,05.T^3$ και

T= η μέση ετήσια θερμοκρασία του αέρα σε °C

Με βάση τα μετεωρολογικά δεδομένα του μετεωρολογικού σταθμού των Μεγάρων ισχύει:

L= 1083,67 και **ET= 308.27 mm.**

Η εξατμισοδιαπνοή προκύπτει μεγαλύτερη από το ύψος βροχής άρα ο τύπος του Turc δεν ευσταθεί και δεν μπορεί να εφαρμοστεί στη συγκεκριμένη λεκάνη. Για το λόγο αυτό έγινε προσπάθεια να υπολογιστεί ο τύπος του Turc λαμβάνοντας όμως τώρα τη διορθωμένη τιμή T_{Δ} της θερμοκρασίας που δίνεται από τον τύπο (Σούλιος 1996):

$$T_{\Delta} = \frac{P1 * T1 + P2 * T2 + \dots + P12 * T12}{P1 + P2 + \dots + P12}, \text{ έτσι προκύπτει } T_{\Delta} = 14,93 \text{ }^{\circ}\text{C} \text{ και } L = 839,65$$

και **E=299,07 mm**

Η εξατμισοδιαπνοή σύμφωνα με τον τύπο του Turc ισχύει, όπως και στον τύπο του Coutagne, για περιοχές όπου η κατείσδυση είναι ελάχιστη έως μηδενική (αδιαπέρατο τμήμα νεογενών σχηματισμών) και δεν έχει εφαρμογή, η απόκλιση είναι μεγάλη σε περιοχές με μεγάλη κατείσδυση και ελάχιστη απορροή, όπως είναι οι περιοχές με ασβεστολίθους και δολομίτες αλλά και οι περιοχές με αδρομερείς προσχώσεις.

Η εξατμισοδιαπνοή στην περιοχή έρευνας δεν είναι αντιπροσωπευτική με βάση τους τύπους των Coutagne και Turc. Για το λόγο αυτό, υπολογίστηκε η κατείσδυση και η επιφανειακή απορροή, ενώ η εξατμισοδιαπνοή υπολογίστηκε με χρήση της εξίσωσης του υδρολογικού ισοζυγίου.

5.4.2.3. Κατείσδυση

Με τον όρο κατείσδυση εννοείται η κατά βάθος κίνηση του νερού από τα επιφανειακά στρώματα του εδάφους προς τα βαθύτερα. Ο ρόλος του νερού κατείσδυσης είναι να συμπληρώνει το έλλειμμα υγρασίας του εδάφους και αυτό που μένει να κινείται σε βάθος και να τροφοδοτεί τους υπόγειους υδροφόρους ορίζοντες. Η κατείσδυση επηρεάζεται από κάποιους παράγοντες όπως είναι η κατανομή και ένταση της βροχόπτωσης, η λιθολογία, η βλάστηση και η υγρασία του εδάφους (Σούλιος 1996).

Η κατείδυση υπολογίστηκε με βάση τους συντελεστές κατείδυσης σύμφωνα με τον Σούλιο (1996), ο οποίος εκτιμά το συντελεστή κατείδυσης για καστικοποιημένες ασβεστολιθικές περιοχές 25-60%, για προσχωσιγενείς περιοχές 10-20%, για περιοχές με φλύσχη, μάργες, σχιστόλιθους και παρόμοιους λιθολογικούς τύπους 3-7% για μολλασικούς, ψαμμιτικούς και παρεμφερείς σχηματισμούς 15-25%.

Ο Σούλιος (1996) επίσης αναφέρει, ότι στα τεταρτογενή ιζήματα ο συντελεστής κατείδυσης είναι 18% επί του ολικού όγκου των κατά κρημνισμάτων, 13% στα νεογενή ιζήματα, στη μόλασσα 7%, στο φλύσχη 6%, στα ανθρακικά πετρώματα ανέρχεται στο 45% (30% στους τριαδικουρασικούς και 40% στους κρητιδικούς ασβεστόλιθους) και στους φυλλίτες, γενέσιους και σχιστόλιθους φτάνει το 5%.

Στον Πιν. 5.3 παρουσιάζονται οι συντελεστές κατείδυσης που χρησιμοποιήθηκαν για τους γεωλογικούς σχηματισμούς που αναπτύσσονται στην τεκτονική λεκάνη των Μεγάρων που αποτελείται από δυο υδρολογικές λεκάνες των Μεγάρων και του Αλεποχωρίου (Σχ. 5.11).

5.4.2.4. Ολική απορροή

Η ολική απορροή δίδεται από τον τύπο: $A = R + I$ όπου R η επιφανειακή απορροή και I η υπόγεια απορροή. Από τον τύπο του υδρολογικού ισοζυγίου η ολική απορροή δίδεται από τον τύπο $A = P - E$ (mm). Επιφανειακή απορροή ορίζεται στο τμήμα του νερού των βροχοπτώσεων που όταν πέσει στην επιφάνεια της γης ρέει επιφανειακά στο υδρογραφικό σύστημα και καταλήγει στη θάλασσα ή σε μια λίμνη όπου και εκχύνεται (Σούλιος 1996).

Η επιφανειακή απορροή εξαρτάται από κάποιους παράγοντες που ρυθμίζουν αυτή, οι παράγοντες αυτοί χωρίζονται σε δυο κατηγορίες τους κλιματικούς και τους φυσιογραφικούς. Στους κλιματικούς ανήκουν η ένταση και η κατανομή της βροχόπτωσης, το συνολικό ετήσιο ύψος βροχόπτωσης, η θερμοκρασία, ο άνεμος και άλλοι κλιματικοί παράγοντες που ρυθμίζουν την εξατμισοδιαπνοή και επιδρούν στην επιφανειακή απορροή. Στους φυσιογραφικούς παράγοντες συγκαταλέγονται το υδρογραφικό δίκτυο, η βλάστηση, η κλίση του εδάφους καθώς και η φύση του εδάφους και υπεδάφους που οφείλεται στη λιθολογική σύσταση των εδαφών (Σούλιος 1996).

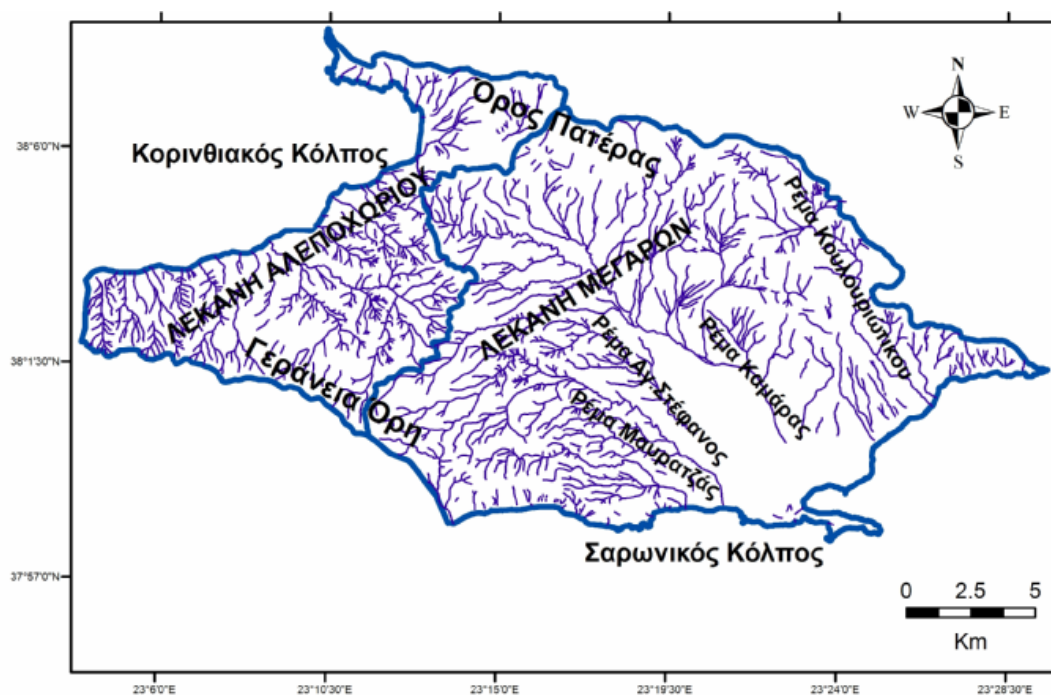
Πίνακας 5.3: Συντελεστές κατείδυσης των επιμέρους γεωλογικών σχηματισμών (Σούλιος 1996).

Γεωλογικός σχηματισμός	Συντελεστής κατείδυσης
Τεταρτογενείς σχηματισμοί	18%
Νεογενείς σχηματισμοί	13%
Ανθρακικοί σχηματισμοί κρητιδικού	40%
Ανθρακικοί σχηματισμοί Τριαδικού - Ιουρασικού	30%
Αργιλικό σχιστόλιθοι και ψαμμίτες	3-7%
Οφιόλιθοι	4-8%

Για την περιοχή έρευνας δεν υπάρχουν μετρήσεις επιφανειακής απορροής των ρεμάτων. Για το λόγο αυτό η επιφανειακή απορροή εκτιμήθηκε έμμεσα με βάση τους συντελεστές που δίνει ο Σούλιος (1996).

Ο Σούλιος (1996) λοιπόν εκτιμά το συντελεστή επιφανειακής απορροής για καστικοποιημένες ασβεστολιθικές περιοχές από 0-10%, για προσχωσιγενείς περιοχές 5-20%, για οφιόλιθους 14-35%, για περιοχές με φλύσχη, μάργες, σχιστόλιθους και παρόμοιους λιθολογικούς τύπους 15-40% για μολλασικούς, ψαμμιτικούς και

παρεμφερείς σχηματισμούς 10-30% και για πρασινόλιθους, γνεύσιους, μαρμαρυγιακούς σχιστόλιθους και παρεμφερού μεταμορφωμένα 15-45%.



Σχήμα 5.11: Οι υδρολογικές λεκάνες των Μεγάρων και του Αλεποχωρίου

5.4.3. Εκτίμηση υδρολογικού ισοζυγίου

5.4.3.1. Υδρολογική λεκάνη Μεγάρων

Η υδρολογική λεκάνη των Μεγάρων καταλαμβάνει επιφάνεια εμβαδού 261,59 Km² και περιλαμβάνει τα ρέματα Κουλουριώτικου, Καμάρα, Αγ.Στέφανος και Μαουρατζιάς (Σχ. 5.11). Για τον υπολογισμό του υδρολογικού ισοζυγίου η λεκάνη χωρίστηκε σε τρεις ζώνες όπως προαναφέρθηκε (χαμηλή και λοφώδης περιοχή 0-300 m, ημιορεινή περιοχή 300-600 m, και ορεινή > 600 m).

Η χαμηλή και λοφώδης περιοχή 0-300 m της λεκάνης έχει εμβαδόν 153,91 Km² και αποτελείται από τεταρτογενείς σχηματισμούς 90,04 Km², νεογενείς σχηματισμούς 32,19 Km², ανθρακικά Κρητιδικού 18,04 Km², ανθρακικά Τριαδικού-Ιουρασικού 13,64 Km².

Η ημιορεινή περιοχή 300-600 m της λεκάνης έχει εμβαδόν 70,83 Km² και αποτελείται από τεταρτογενείς σχηματισμούς 29,14 Km², νεογενείς σχηματισμούς 12,18 Km², ανθρακικά Κρητιδικού 6,77 Km², ανθρακικά Τριαδικού-Ιουρασικού 22,50 Km² και αργιλικούς σχιστόλιθους και ψαμμίτες 0,24 Km².

Η ορεινή περιοχή > 600 m της λεκάνης έχει εμβαδόν 36,85 Km² και αποτελείται από τεταρτογενείς σχηματισμούς 2,74 Km², ανθρακικά Τριαδικού-Ιουρασικού 31,36 Km² και αργιλικούς σχιστόλιθους και ψαμμίτες 2,75 Km².

Στον Πιν. 5.4 που ακολουθεί υπολογίζονται οι επιφάνειες των διαφόρων λιθολογικών σχηματισμών κατά ζώνη ταξινόμησης.

Για κάθε υψομετρική ζώνη υπολογίστηκε το αντίστοιχο ύψος βροχής το οποίο αυτή δέχεται με βάση τα βροχομετρικά δεδομένα. Έτσι για τη ζώνη Α το ύψος βροχής ανέρχεται στα 394,56 mm, για τη ζώνη Β στα 547,53 mm και τέλος για τη ζώνη Γ στα 802,48 mm βροχής ετησίως. Κατά συνέπεια ο κάθε γεωλογικός σχηματισμός,

ανάλογα με την έκταση του δέχεται έναν όγκο νερού ο οποίος μετά από υπολογισμούς παρουσιάζεται στους Πιν. 5.5 και 5.6 που ακολουθούν.

Αρα σύμφωνα με τον Πιν. 5.6 από τα $123,09 * 10^6 \text{ m}^3$ βροχόπτωσης που πέφτουν στη λεκάνη των Μεγάρων τα $79,62 * 10^6 \text{ m}^3$ (ποσοστό 64,68%) εξατμίζονται, τα $14,77 * 10^6 \text{ m}^3$ (ποσοστό 12%) ρέουν επιφανειακά και τα $28,70 * 10^6 \text{ m}^3$ (ποσοστό 23,32%) κατεισδύουν.

5.4.3.2. Υδρολογική λεκάνη Αλεποχωρίου

Η υδρολογική λεκάνη του Αλεποχωρίου είναι πολύ μικρότερη από την υδρολογική λεκάνη των Μεγάρων, έχει εμβαδόν $100,6 \text{ Km}^2$ (Σχ. 5.11).

Πίνακας 5.4: Οι επιφάνειες ανάπτυξης των διαφόρων λιθολογικών σχηματισμών που συμμετέχουν στη δομή της υδρολογικής λεκάνης των Μεγάρων κατά ζώνη.

<u>Συνολική επιφάνεια υδρολογικής λεκάνης Μεγάρων: 261,59 Km².</u>	
<u>Ζώνη Α: 0-300 m</u>	
Σύνολο επιφάνειας	EA = 153,91 Km ² = 100%
Τεταρτογενείς σχηματισμοί	E1 = 90,04 Km ² = 58,5%
Νεογενείς σχηματισμοί	E2 = 32,19 Km ² = 20,91%
Ανθρακικά Κρητιδικού	E3 = 18,04 Km ² = 11,72%
Ανθρακικά Τριαδικού-Ιουρασικού	E4 = 13,64 Km ² = 8,86%
<u>Ζώνη Β: 300-600 m</u>	
Σύνολο επιφάνειας	EA = 70,83 Km ² = 100%
Τεταρτογενείς σχηματισμοί	E1 = 29,14 Km ² = 41,14%
Νεογενείς σχηματισμοί	E2 = 12,18 Km ² = 17,20%
Ανθρακικά Κρητιδικού	E3 = 6,77 Km ² = 9,56%
Ανθρακικά Τριαδικού-Ιουρασικού	E4 = 22,50 Km ² = 31,77%
Αργιλικό σχιστόλιθοι και ψαμμίτες	E5 = 0,24 Km ² = 0,34%
<u>Ζώνη Γ: >600 m</u>	
Σύνολο επιφάνειας	EA = 36,85 Km ² = 100%
Τεταρτογενείς σχηματισμοί	E1 = 2,74 Km ² = 7,44%
Ανθρακικά Τριαδικού-Ιουρασικού	E4 = 31,36 Km ² = 85,10%
Αργιλικό σχιστόλιθοι και ψαμμίτες	E5 = 2,75 Km ² = 7,46%

Πίνακας 5.5: Η επιφανειακή ανάπτυξη των γεωλογικών σχηματισμών της υδρολογικής λεκάνης των Μεγάρων και ο αντίστοιχος όγκος νερού που δέχονται.

<u>Ζώνη Α: 0-300 m</u>	
Τεταρτογενείς σχηματισμοί	E1 = 90,04 Km ² * 394,56 mm = 35,53 * 10 ⁶ m ³
Νεογενείς σχηματισμοί	E2 = 32,19 Km ² * 394,56 mm = 12,70 * 10 ⁶ m ³
Ανθρακικά Κρητιδικού	E3 = 18,04 Km ² * 394,56 mm = 7,12 * 10 ⁶ m ³
Ανθρακικά Τριαδικού-Ιουρασικού	E4 = 13,64 Km ² * 394,56 mm = 5,38 * 10 ⁶ m ³
<u>Ζώνη Β: 300-600 m</u>	
Τεταρτογενείς σχηματισμοί	E1 = 29,14 Km ² * 547,53 mm = 15,96 * 10 ⁶ m ³
Νεογενείς σχηματισμοί	E2 = 12,18 Km ² * 547,53 mm = 6,67 * 10 ⁶ m ³
Ανθρακικά Κρητιδικού	E3 = 6,77 Km ² * 547,53 mm = 3,71 * 10 ⁶ m ³
Ανθρακικά Τριαδικού-Ιουρασικού	E4 = 22,50 Km ² * 547,53 mm = 12,32 * 10 ⁶ m ³
Αργιλικό σχιστόλιθοι και ψαμμίτες	E5 = 0,24 Km ² * 547,53 mm = 0,13 * 10 ⁶ m ³
<u>Ζώνη Γ: >600 m</u>	
Τεταρτογενείς σχηματισμοί	E1 = 2,74 Km ² * 802,48 mm = 2,20 * 10 ⁶ m ³
Ανθρακικά Τριαδικού-Ιουρασικού	E4 = 31,36 Km ² * 802,48 mm = 25,16 * 10 ⁶ m ³
Αργιλικό σχιστόλιθοι και ψαμμίτες	E5 = 2,75 Km ² * 802,48 mm = 2,21 * 10 ⁶ m ³

Πίνακας 5.6: Συγκεντρωτικός πίνακας εκτίμησης του υδρολογικού ισοζυγίου της υδρολογικής λεκάνης των Μεγάρων.

Μέσος ετήσιος όγκος βροχής	$123,09 * 10^6 \text{ m}^3$
Κατανομή όγκου κατακρημνισμάτων ανά υδρολιθολογικό σχηματισμό:	Τεταρτογενείς σχηματισμοί: $53,69 * 10^6 \text{ m}^3$
	Νεογενείς σχηματισμοί: $13,37 * 10^6 \text{ m}^3$
	Ανθρακικά Κρητιδικού: $10,83 * 10^6 \text{ m}^3$
	Ανθρακικά Τριαδικού-Ιουρασικού: $42,86 * 10^6 \text{ m}^3$
	Αργιλικό σχιστόλιθοι και ψαμμίτες: $2,34 * 10^6 \text{ m}^3$
Όγκος του νερού που κατεισδύει μέσω κάθε λιθολογικού σχηματισμού ανάλογα με το συντελεστή κατεισδύσης που έχει οριστεί για καθέναν από αυτούς:	Τεταρτογενείς σχηματισμοί: $53,69 * 10^6 \text{ m}^3 * 18\% = 9,66 * 10^6 \text{ m}^3$
	Νεογενείς σχηματισμοί: $13,37 * 10^6 \text{ m}^3 * 13\% = 1,74 * 10^6 \text{ m}^3$
	Ανθρακικά Κρητιδικού: $10,83 * 10^6 \text{ m}^3 * 40\% = 4,33 * 10^6 \text{ m}^3$
	Ανθρακικά Τριαδικού-Ιουρασικού: $42,86 * 10^6 \text{ m}^3 * 30\% = 12,86 * 10^6 \text{ m}^3$
	Αργιλικό σχιστόλιθοι και ψαμμίτες: $2,34 * 10^6 \text{ m}^3 * 5\% = 0,11 * 10^6 \text{ m}^3$
Όγκος του νερού που ρέει επιφανειακά σε κάθε λιθολογικό σχηματισμό ανάλογα με το συντελεστή επιφανειακής απορροής που έχει οριστεί για καθέναν από αυτούς:	Τεταρτογενείς σχηματισμοί: $53,69 * 10^6 \text{ m}^3 * 15\% = 8,05 * 10^6 \text{ m}^3$
	Νεογενείς σχηματισμοί: $13,37 * 10^6 \text{ m}^3 * 25\% = 3,34 * 10^6 \text{ m}^3$
	Ανθρακικά Κρητιδικού: $10,83 * 10^6 \text{ m}^3 * 5\% = 0,54 * 10^6 \text{ m}^3$
	Ανθρακικά Τριαδικού-Ιουρασικού: $42,86 * 10^6 \text{ m}^3 * 5\% = 2,14 * 10^6 \text{ m}^3$
	Αργιλικό σχιστόλιθοι και ψαμμίτες: $2,34 * 10^6 \text{ m}^3 * 30\% = 0,70 * 10^6 \text{ m}^3$
Μέσος ετήσιος όγκος επιφανειακής απορροής	$VR = 14,77 * 10^6 \text{ m}^3$
Μέσος ετήσιος όγκος Εξατμισοδιαπνοής της λεκάνης	$VE = VP - (VI + VR)$ $VE = 123,09 * 10^6 \text{ m}^3 - (28,70 * 10^6 \text{ m}^3 + 14,77 * 10^6 \text{ m}^3) = 79,62 * 10^6 \text{ m}^3$
Μέσος ετήσιος όγκος υπόγειας απορροής:	$VI = 28,70 * 10^6 \text{ m}^3$

Η ανάπτυξη των διαφόρων γεωλογικών σχηματισμών σε κάθε υψομετρική ζώνη της λεκάνης διαμορφώνονται ως εξής:

Ζώνη Α (0-300 m): Το συνολικό εμβαδόν της ζώνης υπολογίστηκε σε $52,96 \text{ Km}^2$. Η επιφάνεια αυτή καταλαμβάνεται από τους ακόλουθους γεωλογικούς σχηματισμούς, α) τεταρτογενείς σχηματισμούς $11,24 \text{ Km}^2$, β) νεογενείς σχηματισμούς $23,15 \text{ Km}^2$, γ) ανθρακικά Τριαδικού-Ιουρασικού $4,83 \text{ Km}^2$, δ) σχιστοκερατολιθική διάπλαση $0,20 \text{ Km}^2$ και ε) υπερβασικά $13,54 \text{ Km}^2$.

Ζώνη Β (300-600 m): το συνολικό εμβαδόν της λεκάνης είναι $28,35 \text{ Km}^2$ και αποτελείται από α) τεταρτογενείς σχηματισμούς $4,83 \text{ Km}^2$, β) νεογενείς σχηματισμούς $4,95 \text{ Km}^2$, γ) ανθρακικά Τριαδικού-Ιουρασικού $4,16 \text{ Km}^2$, δ) σχιστοκερατολιθική διάπλαση $0,24 \text{ Km}^2$ και ε) υπερβασικά $14,17 \text{ Km}^2$.

Ζώνη Γ (>600 m): το εμβαδόν της λεκάνης είναι $19,29 \text{ Km}^2$ και αποτελείται από α) τεταρτογενείς σχηματισμούς $0,18 \text{ Km}^2$, β) ανθρακικά Τριαδικού-Ιουρασικού $10,58 \text{ Km}^2$, και γ) υπερβασικά $8,53 \text{ Km}^2$.

Στον Πιν. 5.7 που ακολουθεί υπολογίζονται οι επιφάνειες των διαφόρων λιθολογικών σχηματισμών κατά ζώνη ταξινόμησης.

Πίνακας 5.7: Οι επιφάνειες ανάπτυξης των διαφόρων λιθολογικών σχηματισμών που συμμετέχουν στη δομή της υδρολογικής λεκάνης του Αλεποχωρίου κατά ζώνη.

<u>Συνολική επιφάνεια υδρολογικής λεκάνης Αλεποχωρίου: 100,6 Km².</u>	
<u>Ζώνη Α: 0-300 m</u>	
Σύνολο επιφάνειας	EA = 52,96 Km ² = 100%
Τεταρτογενείς σχηματισμοί	E1 = 11,24 Km ² = 21,22%
Νεογενείς σχηματισμοί	E2 = 23,15 Km ² = 43,71%
Ανθρακικά Τριαδικού-Ιουρασικού	E3 = 4,83 Km ² = 9,12%
Σχιστοκερατολιθική διάπλαση	E4 = 0,20 Km ² = 0,38%
Υπερβασικά	E5 = 13,54 Km ² = 25,57%
<u>Ζώνη Β: 300-600 m</u>	
Σύνολο επιφάνειας	EA = 28,35 Km ² = 100%
Τεταρτογενείς σχηματισμοί	E1 = 4,83 Km ² = 17,04%
Νεογενείς σχηματισμοί	E2 = 4,95 Km ² = 17,46%
Ανθρακικά Τριαδικού-Ιουρασικού	E3 = 4,16 Km ² = 14,67%
Σχιστοκερατολιθική διάπλαση	E4 = 0,24 Km ² = 0,85%
Υπερβασικά	E5 = 14,17 Km ² = 49,98%
<u>Ζώνη Γ: >600 m</u>	
Σύνολο επιφάνειας	EA = 19,29 Km ² = 100%
Τεταρτογενείς σχηματισμοί	E1 = 0,18 Km ² = 0,93%
Ανθρακικά Τριαδικού-Ιουρασικού	E3 = 10,58 Km ² = 54,85%
Υπερβασικά	E5 = 8,53 Km ² = 44,22%

Για κάθε υψομετρική ζώνη υπολογίστηκε το αντίστοιχο ύψος βροχής το οποίο αυτή δέχεται με βάση τα βροχομετρικά δεδομένα. Έτσι για τη ζώνη Α το ύψος βροχής ανέρχεται στα 394,56 mm, για τη ζώνη Β στα 547,53 mm και τέλος για τη ζώνη Γ στα 802,48 mm βροχής ετησίως. Κατά συνέπεια ο κάθε γεωλογικός σχηματισμός, ανάλογα με την έκταση του δέχεται έναν όγκο νερού ο οποίος μετά από υπολογισμούς παρουσιάζεται στους Πιν. 5.8 και 5.9 που ακολουθούν.

Πίνακας 5.8: Η επιφανειακή ανάπτυξη των γεωλογικών σχηματισμών της υδρολογικής λεκάνης του Αλεποχωρίου και ο αντίστοιχος όγκος νερού που δέχονται.

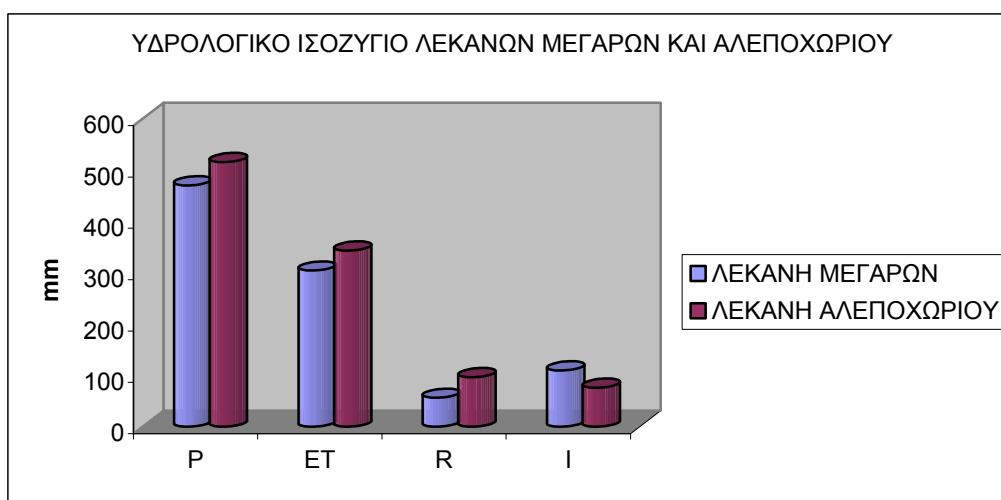
<u>Ζώνη Α: 0-300 m</u>	
Τεταρτογενείς σχηματισμοί	E1 = 11,24 Km ² * 394,56 mm = 4,43 * 10 ⁶ m ³
Νεογενείς σχηματισμοί	E2 = 23,15 Km ² * 394,56 mm = 9,13 * 10 ⁶ m ³
Ανθρακικά Τριαδικού-Ιουρασικού	E3 = 4,83 Km ² * 394,56 mm = 1,91 * 10 ⁶ m ³
Σχιστοκερατολιθική διάπλαση	E4 = 0,20 Km ² * 394,56 mm = 0,08 * 10 ⁶ m ³
Υπερβασικά	E5 = 13,54 Km ² * 394,56 mm = 5,34 * 10 ⁶ m ³
<u>Ζώνη Β: 300-600 m</u>	
Τεταρτογενείς σχηματισμοί	E1 = 4,83 Km ² * 547,53 mm = 2,64 * 10 ⁶ m ³
Νεογενείς σχηματισμοί	E2 = 4,95 Km ² * 547,53 mm = 2,71 * 10 ⁶ m ³
Ανθρακικά Τριαδικού-Ιουρασικού	E3 = 4,16 Km ² * 547,53 mm = 2,28 * 10 ⁶ m ³
Σχιστοκερατολιθική διάπλαση	E4 = 0,24 Km ² * 547,53 mm = 0,13 * 10 ⁶ m ³
Υπερβασικά	E5 = 14,17 Km ² * 547,53 mm = 7,76 * 10 ⁶ m ³
<u>Ζώνη Γ: >600 m</u>	
Τεταρτογενείς σχηματισμοί	E1 = 0,18 Km ² * 802,48 mm = 0,14 * 10 ⁶ m ³
Ανθρακικά Τριαδικού-Ιουρασικού	E3 = 10,58 Km ² * 802,48 mm = 8,49 * 10 ⁶ m ³
Υπερβασικά	E5 = 8,53 Km ² * 802,48 mm = 6,84 * 10 ⁶ m ³

Άρα σύμφωνα με τον Πιν. 5.9 από τα 51,88 * 10⁶ m³ βροχόπτωσης που πέφτουν στη λεκάνη του Αλεποχωρίου τα 34,52 * 10⁶ m³ (ποσοστό 66,54%) εξατμίζονται, τα 9,71 * 10⁶ m³ (ποσοστό 18,72%) ρέουν επιφανειακά και τα 7,65 * 10⁶ m³ (ποσοστό 14,74%) κατεισδύουν.

Πίνακας 5.9: Συγκεντρωτικός πίνακας εκτίμησης του υδρολογικού ισοζυγίου της υδρολογικής λεκάνης του Αλεποχωρίου.

Μέσος ετήσιος όγκος βροχής	$51,88 * 10^6 \text{ m}^3$
Κατανομή όγκου κατακρημνισμάτων ανά υδρολιθολογικό σχηματισμό:	Τεταρτογενείς σχηματισμοί: $7,21 * 10^6 \text{ m}^3$
	Νεογενείς σχηματισμοί: $11,84 * 10^6 \text{ m}^3$
	Ανθρακικά Τριαδικού-Ιουρασικού: $12,68 * 10^6 \text{ m}^3$
	Σχιστοκερατολιθική διάπλαση: $0,21 * 10^6 \text{ m}^3$
	Υπερβασικά: $19,94 * 10^6 \text{ m}^3$
Όγκος του νερού που κατεisdύει μέσω κάθε λιθολογικού σχηματισμού ανάλογα με το συντελεστή κατείσδυσης που έχει οριστεί για καθέναν από αυτούς:	Τεταρτογενείς σχηματισμοί: $7,21 * 10^6 \text{ m}^3 * 18\% = 1,3 * 10^6 \text{ m}^3$
	Νεογενείς σχηματισμοί: $11,84 * 10^6 \text{ m}^3 * 13\% = 1,54 * 10^6 \text{ m}^3$
	Ανθρακικά Τριαδικού-Ιουρασικού: $12,68 * 10^6 \text{ m}^3 * 30\% = 3,80 * 10^6 \text{ m}^3$
	Σχιστοκερατολιθική διάπλαση: $0,21 * 10^6 \text{ m}^3 * 5\% = 0,01 * 10^6 \text{ m}^3$
	Υπερβασικά: $19,94 * 10^6 \text{ m}^3 * 5\% = 1 * 10^6 \text{ m}^3$
Όγκος του νερού που ρέει επιφανειακά σε κάθε λιθολογικό σχηματισμό ανάλογα με το συντελεστή επιφανειακής απορροής που έχει οριστεί για καθέναν από αυτούς:	Τεταρτογενείς σχηματισμοί: $7,21 * 10^6 \text{ m}^3 * 15\% = 1,08 * 10^6 \text{ m}^3$
	Νεογενείς σχηματισμοί: $11,84 * 10^6 \text{ m}^3 * 25\% = 2,96 * 10^6 \text{ m}^3$
	Ανθρακικά Τριαδικού-Ιουρασικού: $12,68 * 10^6 \text{ m}^3 * 5\% = 0,63 * 10^6 \text{ m}^3$
	Σχιστοκερατολιθική διάπλαση: $0,21 * 10^6 \text{ m}^3 * 25\% = 0,05 * 10^6 \text{ m}^3$
	Υπερβασικά: $19,94 * 10^6 \text{ m}^3 * 25\% = 4,99 * 10^6 \text{ m}^3$
Μέσος ετήσιος όγκος επιφανειακής απορροής	$VR = 9,71 * 10^6 \text{ m}^3$
Μέσος ετήσιος όγκος Εξατμισοδιαπνοής της λεκάνης	$VE = VP - (VI + VR)$ $VE = 51,88 * 10^6 \text{ m}^3 - (7,65 * 10^6 \text{ m}^3 + 9,71 * 10^6 \text{ m}^3) = 34,52 * 10^6 \text{ m}^3$
Μέσος ετήσιος όγκος υπόγειας απορροής:	$VI = 7,65 * 10^6 \text{ m}^3$

Στο Σχ. 5.12 που ακολουθεί παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της εκτίμησης του υδρολογικού ισοζυγίου για τη λεκάνη των Μεγάρων και του Αλεποχωρίου.



Σχήμα 5.12: Διαγραμματική απεικόνιση του υδρολογικού ισοζυγίου της λεκάνης των Μεγάρων και του Αλεποχωρίου.

6. ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ

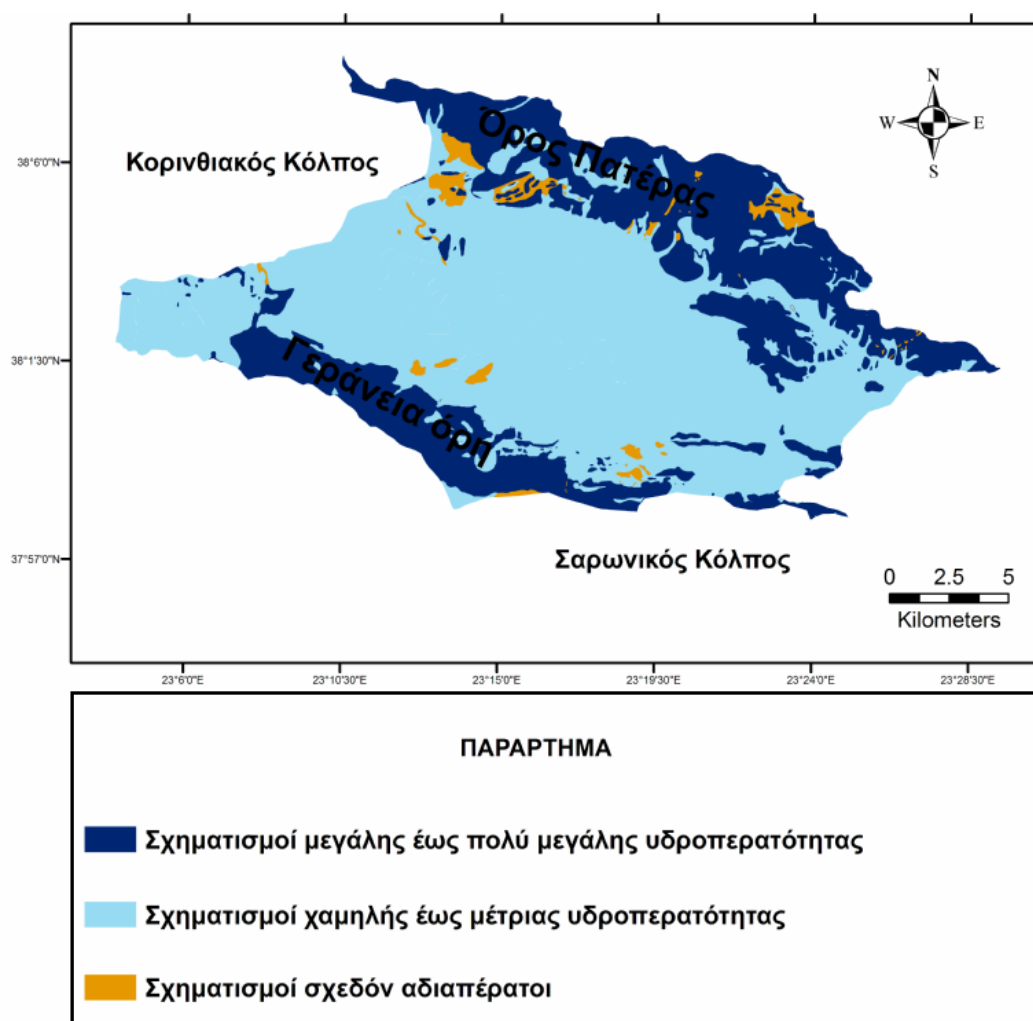
6.1. Γενικά

Η υδρογεωλογική συμπεριφορά των διαφόρων γεωλογικών σχηματισμών εξαρτάται από τη λιθολογική σύσταση, την κοκκομετρία, το βαθμό διαγένεσης και τις τεκτονικές διεργασίες που έχουν υποστεί τα συμπαγή πετρώματα. Στα ανθρακικά πετρώματα υπάρχει ακόμα ένας παράγοντας που ελέγχει την υδρογεωλογική συμπεριφορά και αυτός είναι ο βαθμός καρστικοποίησης (Δούνας 1971).

Η σχετική θέση υδροπερατών και αδιαπέρατων σχηματισμών, το μέγεθος της επιφανειακής και υπόγειας ανάπτυξης των γεωλογικών σχηματισμών καθώς επίσης και ο τεκτονισμός και ο υψηλός βαθμός καρστικοποίησης των ανθρακικών πετρωμάτων είναι παράγοντες που διαμορφώνουν την κίνηση του υπόγειων νερών και την ανάπτυξη υδροφόρων οριζόντων.

6.2. Υδρογεωλογική συμπεριφορά των σχηματισμών της περιοχής έρευνας

Οι σχηματισμοί της λεκάνης των Μεγάρων διακρίνονται ως προς την υδρογεωλογική τους συμπεριφορά στις ακόλουθες κύριες κατηγορίες (Σχ. 6.1):



Σχήμα 6.1: Υδρολιθολογικός χάρτης της περιοχής έρευνας.

α) Σχηματισμοί μεγάλης έως πολύ μεγάλης υδροπερατότητας: Στην κατηγορία αυτή ανήκουν οι έντονα αποκαρστομένοι ανθρακικοί σχηματισμοί, ασβεστόλιθοι, δολομιτικοί ασβεστόλιθοι και δολομίτες του Μεσοζωϊκού, οι οποίοι, λόγω κερματισμού και κυρίως λόγω ισχυρής επιφανειακής και κατακόρυφης καρστικής διάβρωσης, έχουν αναπτύξει ιδιαίτερα μεγάλο και συνεχόμενο δευτερογενές πορώδες, όπως είναι οι διακλάσεις, οι διαρρήξεις, τα ρήγματα, οι καρστικοί αγωγοί, τα καρστικά έγκοιλα και τα σπήλαια. Οι σχηματισμοί αυτοί είναι οι ασβεστόλιθοι και οι δολομίτες του Μέσου – Ανώτερου Τριαδικού, οι ασβεστόλιθοι και οι δολομίτες του Ιουρασικού και τα ανώτερα μέλη των ασβεστόλιθων του Κρητιδικού. Ο συντελεστής υδραυλικής αγωγιμότητας «Κ» στους σχηματισμούς αυτούς εκτιμάται γενικά σε 10^{-2} και 10^{-3} m/sec (Δούνας 1971, Κούνης 1976, Παρασχοῦδης 2002).

- **Καρστικοί ασβεστόλιθοι και δολομίτες (Μέσου–Αν. Τριαδικού):** Οι σχηματισμοί αυτοί παρουσιάζουν μεγάλη ανάπτυξη στη λεκάνη των Μεγάρων και χαρακτηρίζονται από πολύ μεγάλη υδροπερατότητα εξαιτίας του ενεργού πορώδους τους που είναι ανεπτυγμένο. Οι σχηματισμοί αυτοί έχουν υποστεί έντονη τεκτονική καταπόνηση και καρστική διάβρωση. Στους σχηματισμούς αυτούς έχουν αναπτυχθεί δίκτυα διακλάσεων και ρηγμάτων καθώς επίσης καρστικοί αγωγοί και σπήλαια. Μεγάλο ποσοστό των ετήσιων κατακρημνισμάτων κατεισδύει στους ανθρακικούς σχηματισμούς και δημιουργεί σημαντικούς υπόγειους υδροφορείς, οι οποίοι στη συνέχεια, με τη μορφή παράκτιων και υποθαλάσσιων πηγών, εκφορτίζονται στη θάλασσα. Χαρακτηριστικές παράκτιες και υποθαλάσσιες αναβλύσεις εντοπίζονται στον κόλπο της Ψάθας, όπου εκφορτώνεται μέρος των υπόγειων καρστικών νερών του όρους Πατέρα (Δούνας 1971).
- **Ασβεστόλιθοι και δολομίτες του Αν. Τριαδικού και Κρητιδικού ασβεστόλιθοι:** Οι σχηματισμοί αυτοί χαρακτηρίζονται από μεγάλη περατότητα. Η κατάταξη των ασβεστολίθων και δολομιτών του Ανώτερου Τριαδικού σε αυτήν τη κατηγορία οφείλεται στο γεγονός, ότι εναλλάσσονται συχνά με κερατολιθικές ενδιαστρώσεις ή περικλείουν κερατολίθους με τη μορφή κονδύλων, καθώς και στην παρουσία παρεμβολών μαργαϊκών ασβεστολίθων (Δούνας 1971, Παρασχοῦδης 2002).
- **Ασβεστόλιθοι του Κρητιδικού:** Οι σχηματισμοί αυτοί, παρά την εμφανή καρστική διάβρωση τους, κατατάσσονται στην κατηγορία αυτή, καθώς στους ανώτερους ορίζοντες είναι μεσοπλακάδεις έως λεπτοστρωματώδεις και εναλλάσσονται με κλαστικούς ασβεστολίθους και ψαμμίτες, γεγονός που περιορίζει σχετικά την κάθετη διακίνηση των κατεισδυόμενων νερών (Δούνας κ.α 1971, Μπορνόβας κ.α 1984, Γαϊτανάκης κ.α 1984, Γαϊτανάκης κ.α 1985).

β) Σχηματισμοί χαμηλής έως μέτριας υδροπερατότητας: Οι χερσαίες αποθέσεις του τεταρτογενούς, όπως οι αμμούχοι άργιλοι, τα κροκαλοπαγή, οι αδρομερείς χαλαρές επιφανειακές αποθέσεις, οι πρόσφατες αλλουβιακές αποθέσεις, τα πρόσφατα χαλαρά πλευρικά κορήματα, οι αποθέσεις κοίτης ρεμάτων και οι παραθαλάσσιες αναβαθμίδες, χαρακτηρίζονται ως σχηματισμοί μέτριας υδροπερατότητας. Επίσης στην κατηγορία αυτή, κυρίως χαμηλής υδροπερατότητας, ανήκει και το ανώτερο σύστημα των νεογενών αποθέσεων, το οποίο δεν είναι καλυμμένο από ερυθρές αργίλους και πηλούς.

- **Χαλαρές αποθέσεις του Τεταρτογενούς:** Οι χαλαρές αποθέσεις του Τεταρτογενούς καταλαμβάνουν σημαντική έκταση στη λεκάνη των Μεγάρων και κυρίως στα πεδινά και ημιλοφώδη τμήματα της λεκάνης. Είναι σχηματισμοί με μέτρια περατότητα εξαιτίας των παρεμβολών πολύ λεπτόκοκκου κλαστικού υλικού, κυρίως αργιλικής συστάσεως, μεταξύ των φάσεων των αποθέσεων. Οι

τεταρτογενείς αποθέσεις χαρακτηρίζονται από έντονη διαφοροποίηση του βαθμού υδροπερατότητας τους, τόσο κατά την κατακόρυφη όσο και κατά την οριζόντια ανάπτυξή τους. Βασικός παράγοντας είναι η κοκκομετρική τους σύσταση και το ποσοστό συμμετοχής του αργιλικού υλικού. Εντός των αδρομερών σχηματισμών αναπτύσσονται υδροφόροι ορίζοντες σχετικής υδροδυναμικότητας. Ανάλογα με την οριζόντια ανάπτυξη των σχηματισμών αυτών δημιουργούνται εντός αυτών αβαθείς ελεύθεροι (φρεάτιοι) και κατά τόπους υπό πίεση υδροφόροι ορίζοντες.

- *Νεογενείς σχηματισμοί*: Είναι σχηματισμοί γενικά χαμηλής υδροπερατότητας. Η υδροφορία εντός των σχηματισμών αυτών εξαρτάται κυρίως από την συμμετοχή ενστρώσεων από κροκαλοπαγή, τραβερτίνες, ψαμμίτες και μαργαϊκούς ασβεστόλιθους και κατά δεύτερο λόγο από την τεκτονική τους καταπόνηση. Η κυκλοφορία των υδάτων συντελείται τόσο μέσω του πορώδους όσο και μέσω των ασυνεχειών των σχηματισμών. Στα ανώτερα τμήματα και μέχρι ένα βάθος 10 m περίπου παρατηρούνται υψηλότερες τιμές υδραυλικής αγωγιμότητας, εξαιτίας της χαλαρότητας των σχηματισμών. Καθώς όμως αυξάνει το βάθος η υδραυλική αγωγιμότητα μειώνεται αισθητά. Ο συντελεστής υδραυλικής αγωγιμότητας «Κ» στους σχηματισμούς αυτούς κατά εκτίμηση είναι της τάξης του 10^{-4} cm/sec και βαθύτερα ακόμη μικρότερος (Δούνας 1971, Παρασχούδης 2002).
- *Διαρρηγμένοι οφιολιθικοί σχηματισμοί*: Στην κατηγορία των σχηματισμών χαμηλής υδροπερατότητας κατατάσσονται επίσης οι περιδοτίτες των Γερανείων, οι οποίοι αναπτύσσονται στο βορειοδυτικό τμήμα της περιοχής έρευνας και έχουν περιορισμένη έκταση και πάχος μέχρι 20 m περίπου (Παρασχούδης 2002).

γ) Σχηματισμοί σχεδόν αδιαπέρατοι: Στους πρακτικά αδιαπέρατους σχηματισμούς εντάσσονται οι μάργες και οι άργιλοι του νεογενούς και η σχιστοκερατολιθική ενότητα του μη μεταμορφωμένου συστήματος.

- *Σχηματισμοί Παλαιοζωϊκού*: Πρόκειται για αργιλικούς σχιστόλιθους, ψαμμίτες, γραουβάκες και πολύ συνεκτικά κροκαλοπαγή. Οι σχηματισμοί αυτοί χαρακτηρίζονται σχεδόν αδιαπέρατοι, και μόνον κατά τόπους παρουσιάζουν πολύ μικρή υδροπερατότητα σε μια ζώνη πάχους 2-5 m από την επιφάνεια, εξαιτίας χαλάρωσης και κερματισμού, χωρίς όμως κανένα πρακτικό ενδιαφέρον. Οι σχηματισμοί αυτοί αποκτούν ιδιαίτερο υδρογεωλογικό ενδιαφέρον διότι αποτελούν το στεγανό υπόβαθρο του καρστικού συστήματος και καθορίζουν την διεύθυνση ροής των υπόγειων καρστικών νερών, λόγω της στεγανότητας τους (Παρασχούδης 2002).
- *Νεογενείς σχηματισμοί με μάργες και πηλούς και terra rossa*: Η στρώση των ερυθρών αργίλων του Πλειόκαινου καθώς επίσης και η ερυθρογή (terra rossa) στις δολίνες και όπου αλλού εμφανίζεται (δυτικά της πόλης των Μεγάρων) αποτελούν σχηματισμούς αδιαπέρατους χωρίς υδρογεωλογικό ενδιαφέρον. Οι αποθέσεις αυτές δεσμεύουν το κατεισδυμένο νερό, δεν επιτρέπουν την ελεύθερη διακίνηση αυτού μέσα στη μάζα τους και εμποδίζουν τον εμπλουτισμό των υδροφόρων σχηματισμών του Νεογενούς και Τεταρτογενούς που τυχόν υπάρχουν βαθύτερα (Δούνας 1971, Παρασχούδης 2002).

6.3. Υδρογεωλογικές ενότητες

Η λεκάνη των Μεγάρων αποτελείται από τέσσερις υδρολιθολογικές ενότητες, του νεοπαλαιοζωϊκού, του μεσοζωϊκού, του νεογενούς και του τεταρτογενούς, οι οποίες περιγράφονται παρακάτω:

α) Ενότητα Νεοπαλαιοζωϊκού – Φυλλίτες και ψαμμίτες του Κατ. Μέσου Τριαδικού:

Η ενότητα αυτή αποκτά χαρακτηριστικό υδρογεωλογικό ενδιαφέρον, αφού διαμορφώνει τις καρστικές υδρογεωλογικές ενότητες, αποτελεί το στεγανό υπόβαθρο της περιοχής και καθορίζει τη διεύθυνση κίνησης των υπόγειων καρστικών υδάτων, ανάλογα με το βάθος ανάπτυξης αυτής και την τεκτονική καταπόνησή της. Σε πολλές περιπτώσεις η ενότητα του νεοπαλαιοζωϊκού βρίσκεται σε υψόμετρο χαμηλότερο από τη στάθμη της θάλασσας. Στην περίπτωση αυτή το νερό της θάλασσας επικοινωνεί υδραυλικά με τους καρστικούς υπόγειους υδροφορείς, με αποτέλεσμα την ανάμιξη καρστικού υπόγειου και θαλάσσιου νερού. Αυτό συμβαίνει στην παράκτια περιοχή του Κορινθιακού και του Σαρωνικού κόλπου. Εξαιτίας της στεγανότητας που παρουσιάζει η ενότητα αυτή συμβάλλει στην εκδήλωση πηγών καθώς και στη δημιουργία μικρών υπόγειων υδροφοριών στα ασβεστολιθικά σώματα που περικλείονται εντός του Παλαιοζωϊκού.

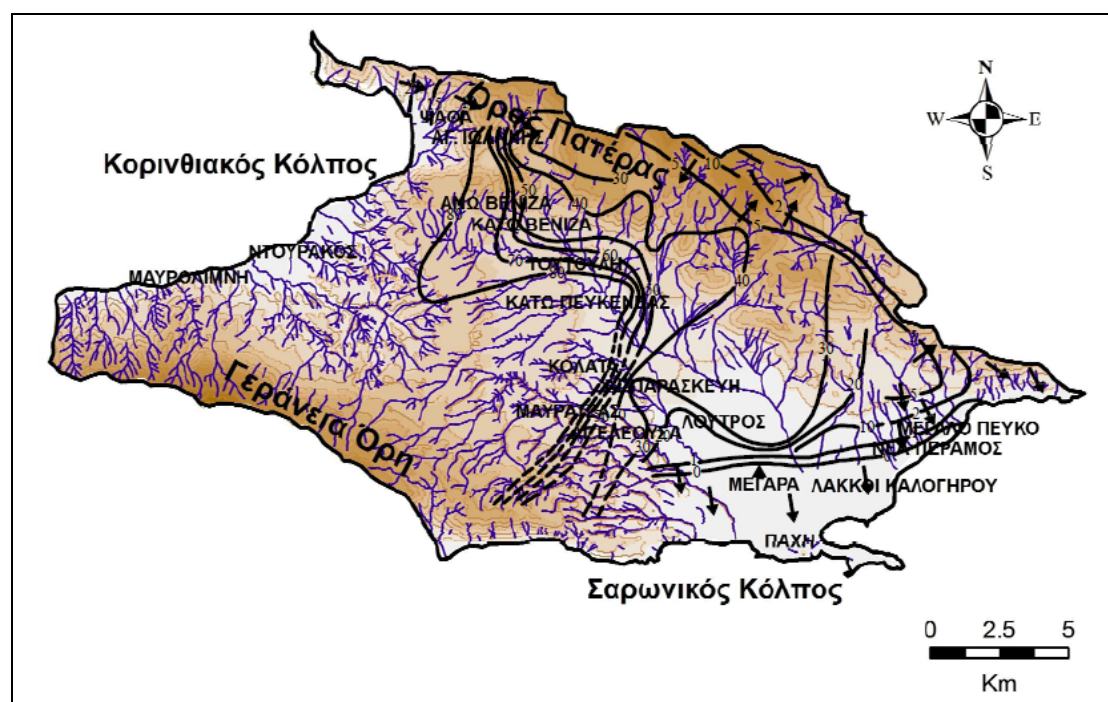
β) Ενότητα Μεσοζωϊκών–Άνω Κρητιδικών ασβεστόλιθων και δολομιτών: Η υδρογεωλογική αυτή ενότητα αντιπροσωπεύει σε μεγάλο βαθμό την περιοχή έρευνας, εξαιτίας της έντονης παρουσίας και της υδρογεωλογικής συμπεριφοράς των ανθρακικών σχηματισμών. Εντός των σχηματισμών αυτών αναπτύσσεται ένας αξιόλογος καρστικός υδροφορέας. Το αδιαπέρατο υπόβαθρο του καρστικού υδροφορέα αποτελούν οι νεοπαλαιοζωϊκοί σχηματισμοί. Η επαφή αυτή βρίσκεται στην περιοχή έρευνας περίπου στο υψόμετρο της θάλασσας και κατά τόπους στα 5-10 m ψηλότερα από αυτό. Ο εμπλουτισμός του καρστικού υδροφορέα συντελείται απευθείας από τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα. Η ενότητα αυτή βρίσκεται σε άμεση υδραυλική επαφή με τη θάλασσα τόσο από την πλευρά του Κορινθιακού, όσο και από την πλευρά του Σαρωνικού κόλπου. Ο καρστικός υδροφορέας εκτονώνεται, μέσω παράκτιων πηγών και υποθαλάσσιων αναβλύσεων στο Σαρωνικό και Κορινθιακό κόλπο. Αφενός η άμεση επαφή του καρστικού υδροφορέα με τη θάλασσα και αφετέρου η υπερεκμετάλλευση του, μέσω υπεράριθμων γεωτρήσεων, έχουν συμβάλλει στην υφαλμύρωση του καρστικού υδροφόρου. Το μέτωπο υφαλμύρωσης του καρστικού υδροφόρου προς την ενδοχώρα περιοχή από την πλευρά του Σαρωνικού εγγίζει τα 8 χιλιόμετρα περίπου.

γ) Ενότητα Νεογενούς: Η ενότητα αυτή αναπτύσσεται μεταξύ της πόλεως των Μεγάρων και του Αλεποχωριού. Πρόκειται για ένα τεκτονικό βύθισμα, το οποίο αποτελείται εναλλαγές από μάργες, ασβεστομάργες, αμμοϊλύες, αργίλους και λίγα εγκλωβισμένα κροκαλοπαγή, τα οποία βρίσκονται συνδεδεμένα με ερυθρά αργιλοαμμοϊλύ. Είναι ιζήματα πολύ μικρής περατότητας έως σχεδόν υδροστεγανά. Στα νεογενή και ειδικότερα εντός των οριζόντων των κροκαλοπαγών και ψαμμιτών αναπτύσσεται υδροφορέας μικρής δυναμικότητας. Οι γεωτρήσεις που έχουν πραγματοποιηθεί μέσα στα κροκαλοπαγή παρουσιάζουν με την πάροδο του χρόνου μια φθίνουσα πορεία της παροχής τους. Το γεγονός αυτό σχετίζεται προφανώς με την περιορισμένη δυνατότητα αναπλήρωσης του εκμεταλλεζόμενου υδροφορέα, διότι καθώς αυξάνει το βάθος οι αδιαπέρατες μάργες και ιλυόλιθοι που καλύπτουν τα κροκαλοπαγή και τους ψαμμίτες εμποδίζουν τον φυσικό εμπλουτισμό τους μέσω των κατεισδυόμενων μετεωρικών νερών. Στα λίγα κροκαλοπαγή και στους ψαμμίτες αναπτύσσονται σχετικές υδροφορίες που καλύπτουν ικανοποιητικά τις ανάγκες ενός αριθμού χρηστών (αρδεύσεις, θερμοκήπια, κτηνοτροφικές μονάδες κλπ.). Η τροφοδοσία των υδροφόρων σχηματισμών του Νεογενούς συντελείται κατά ένα ποσοστό μέσω των μετεωρικών κατακρημνισμάτων και κατά ένα ποσοστό μέσω πλευρικών μεταγγίσεων από τους καρστικούς υδροφορείς, ανατολικά από το όρος Πατέρα και δυτικά από τα Γεράνεια.

δ) **Ενότητα αποθέσεων του Τεταρτογενούς:** Στα κεντρικά τμήματα της λεκάνης των Μεγάρων και στις παράκτιες ζώνες του Σαρωνικού και Κορινθιακού κόλπου εντοπίζονται μεγάλου πάχους χαλαρών αποθέσεων του Τεταρτογενούς και στις οποίες αναπτύσσονται προσχωματικές υδροφορίες σχετικής υδροδυναμικότητας. Οι εν λόγω υδροφορίες τυγχάνουν έντονης εκμετάλλευσης για αρδευτικούς σκοπούς. Αυτό επιβεβαιώνεται από τον μεγάλο αριθμό πηγαδιών και από μικρού βάθους γεωτρήσεις που εντοπίζονται στις εν λόγω περιοχές της λεκάνης. Η υπερεκμετάλλευση των υδροφοριών αυτών αντικατοπτρίζεται στην έντονη υφαλμύρωση που έχει υποστεί ο φρεάτιος υδροφορέας της περιοχής. Το μέτωπο της υφαλμύρωσεως του φρεάτιου υδροφορέα από την πλευρά του Κορινθιακού εγγίζει το 1 χιλιόμετρο, ενώ από την πλευρά του Σαρωνικού η διείσδυση του θαλάσσιου μετώπου στην ενδοχώρα περιοχή φθάνει τα 5 χιλιόμετρα περίπου.

6.4. Πιεζομετρία και κίνηση υπόγειων υδάτων

Στο Σχ. 6.2 απεικονίζεται ο χάρτης υδροϊσοψών καμπυλών (ή ισοπιεζομετρικός χάρτης) με στοιχεία διακύμανσης της στάθμης τα οποία έχουν προκύψει από τα απόλυτα υψόμετρα στάθμης των υπόγειων νερών της λεκάνης των Μεγάρων για τις περιόδους Φθινόπωρο 1999, Άνοιξη 2000, Φθινόπωρο 2000 και Άνοιξη 2001 (Παρασχούδης 2002). Με τα βέλη σημειώνονται οι γραμμές ροής των υπόγειων νερών της λεκάνης των Μεγάρων (Σχ. 6.2). Η αραιή διάταξη των ισοπιεζομετρικών καμπυλών στο κεντρικό τμήμα της περιοχής έρευνας υποδηλώνει μικρές υδραυλικές κλίσεις. Η ροή των υπόγειων υδάτων στις μικρές υπολεκάνες βόρεια της περιοχής των Μεγάρων συντελείται κυρίως προς το κεντρικό άξονα της λεκάνης.



Σχήμα 6.2: Χάρτης υδροϊσοψών καμπυλών με στοιχεία διακύμανσης της στάθμης τα οποία έχουν προκύψει από τα απόλυτα υψόμετρα στάθμης των υπόγειων νερών της λεκάνης των Μεγάρων για τις περιόδους Φθινόπωρο 1999, Άνοιξη 2000, Φθινόπωρο 2000 και Άνοιξη 2001 (Παρασχούδης 2002) (—10—, Υδροϊσοψείς καμπύλες καρστικών οριζόντων, —20—, Υδροϊσοψείς καμπύλες Νεογενούς και των υπερεκείμενων Τεταρτογενών όπου υπάρχουν, - - - -, πιθανή προέκταση).

Μέρος των υπόγειων υδάτων του καρστικού υδροφορέα κινείται με Α-ΒΑ διεύθυνση, τροφοδοτώντας την καρστική λεκάνη του Ασπροπύργου. Ένα ποσοστό του καρστικού νερού κινείται με ΝΑ διεύθυνση προς την περιοχή της Νέας Περάμου και Μεγάλου Πεύκου και εκτονώνεται μέσω υποθαλάσσιων αναβλύσεων στον Σαρωνικό. Ένα ποσοστό του καρστικού νερού του όρους Πατέρα παρουσιάζει ΒΑ διεύθυνση υπόγειας ροής τροφοδοτώντας την περιοχή της Ψάθας, όπου εκτονώνεται μέσω των παράκτιων και υποθαλάσσιων πηγών της περιοχής (Δούνας 1971, Παρασχούδης 2002).

Οι βροχοπτώσεις που δέχεται η περιοχή, σε μεγάλο ποσοστό, κατεισδύουν στη μάζα των ασβεστόλιθων και στη συνέχεια μέσω των ρωγμών και του δικτύου καρστικών αγωγών, το υπόγειο νερό κινείται βαθύτερα τροφοδοτώντας τους υπόγειους υδροφορείς. Η κίνηση του υπόγειου νερού ελέγχεται από την κλίση της επιφάνειας επαφής των ασβεστόλιθων με το υποκείμενο στεγανό υπόβαθρο των παλαιοζωικών σχηματισμών, από την παρουσία σημαντικών ρηγμάτων και από τις προνομιακές διευθύνσεις ανάπτυξης των καρστικών δομών στη μάζα του πετρώματος.

Οι άξονες των πτυχών (σύγκλινα και αντίκλινα) καθορίζουν τη δημιουργία των καρστικών λεκανών. Τα νεογενή ιζήματα θεωρούνται στη πλειονότητα τους στεγανοί σχηματισμοί και είναι αυτά που καθορίζουν την κατεύθυνση των υπόγειων υδάτων. Συνήθως βρίσκονται τοποθετημένα ασύμφωνα σε επαφή με τους ασβεστολίθους και αποτελούν εμπόδια στη ροή των υπεδάφικων υδάτων προς ορισμένες κατευθύνσεις (Δούνας 1971).

Το υπόγειο νερό ακολουθεί γενικά τη διεύθυνση ανάπτυξης της λεκάνης, δηλαδή ΝΑ προς την παράκτια ζώνη της λεκάνης των Μεγάρων και ΒΔ προς την παράκτια ζώνη της λεκάνης του Αλεποχωρίου. Το υπόγειο νερό το οποίο προέρχεται από τις ανθρακικές μάζες του Πατέρα και των Γερανείων συμβάλλει μέσω πλευρικών μεταγίσεων στον εμπλουτισμό των τεταρτογενών και νεογενών υδροπερατών στρωμάτων (Κούνης 1976).

Μέσα στους νεογενείς σχηματισμούς εμφανίζονται υδροφόροι ορίζοντες υπό πίεση, κυρίως στα δυτικά τμήματα της λεκάνης των Μεγάρων. Το γεγονός αυτό σχετίζεται αφενός με την παρουσία υδροπερατών και μη περατών σχηματισμών και αφετέρου με την κλίση των νεογενών σχηματισμών και την τεκτονική τους καταπόνηση.

Στη λεκάνη των Μεγάρων παρατηρούνται δύο χαρακτηριστικές περιοχές με μεγάλη πτώση και μεγάλη ανύψωση της στάθμης των υπόγειων νερών. Πιο συγκεκριμένα, στο ΒΑ τμήμα της λεκάνης, σημειώνεται μεγάλη πτώση της στάθμης κυρίως λόγω των μεγάλων αντλήσεων. Νότια της πόλης των Μεγάρων, στην περιοχή του αεροδρομίου της Πάχης, δημιουργείται ύψωμα (ανύψωση) της προσχωματικής στάθμης, πιθανόν εξ' αιτίας της παρουσίας αδιαπέρατων υλικών. Αρνητικά υψόμετρα στάθμης σημειώνονται στην περιοχή της Πάχης, υποδηλώνοντας περιοχές με έντονη υφαλμύρωση.

Όπως διαπιστώνεται από την έρευνα που πραγματοποιήθηκε η διεύθυνση της θάλασσας στους παράκτιους υδροφορείς της περιοχής έρευνας προβάλλει τα τελευταία χρόνια ως ένα ιδιαίτερα σοβαρό πρόβλημα που απειλεί να περιορίσει τη χρήση σημαντικού μέρους των διαθέσιμων υπόγειων υδατικών της πόρων. Η σημαντική αύξηση των αντλούμενων ποσοτήτων υπόγειου νερού τα τελευταία χρόνια από μεγάλο αριθμό γεωτρήσεων με συνεχώς αυξανόμενο βάθος, οδήγησε στην ταπεινώση της στάθμης του υπόγειου νερού στις παράκτιες ζώνες της λεκάνης των Μεγάρων και Αλεποχωρίου σε επίπεδα κάτω από το μέσο επίπεδο της θάλασσας. Το γεγονός αυτό είχε ως συνέπεια την προέλαση της διεπιφάνειας μεταξύ γλυκού και θαλασσινού νερού προς την ενδοχώρα, μέχρι να φθάσει σε μια νέα ισορροπία.

Το φαινόμενο της υφαλμύρωσης είναι δύσκολα αναστρέψιμο, γι' αυτό η αντιμετώπισή του συνδέεται πρακτικά με πρόβλεψη και ορθή διαχείριση των υδατικών πόρων της κάθε εκμεταλλεόμενης περιοχής. Η εφαρμογή μαθηματικών μοντέλων που έχουν εφαρμοσθεί, για παράδειγμα στο Αργολικό πεδίο (Λαμπράκης κ.α 2001), δίνουν μια περίοδο πάνω από 20 χρόνια για την φυσική απορρύπανση των υπόγειων νερών, με τη συμβολή του φυσικού εμπλουτισμού τους, φυσικά υπό την προϋπόθεση ότι σήμερα θα σταματούσε η εκμετάλλευση των γεωτρήσεων στην επιβαρημένη περιοχή.

Το πρόβλημα και η εξέλιξη του φαινομένου της υφαλμύρωσης στους παράκτιους υδροφορείς είναι ιδιαίτερα σύνθετο και δεν είναι απλός ο τρόπος προσέγγισής του. Η εφαρμογή των μαθηματικών προσεγγίσεων περιορίζεται κυρίως σε ομοιογενείς χαλαρούς υδροφορείς, ενώ δεν ανταποκρίνεται στους συμπαγείς διερρηγμένους ή καρστικοποιημένους ανθρακικούς σχηματισμούς. Στην περίπτωση παράκτιων καρστικών υδροφόρων συστημάτων η υδροδυναμική ισορροπία γλυκού αλμυρού-νερού γίνεται πολύπλοκη, από το γεγονός, ότι η διεπιφάνεια έχει μεγάλο πάχος και αποτελεί μια μεταβατική ζώνη, οι διαστάσεις της οποίας εξαρτώνται από τα φυσικά χαρακτηριστικά των αγωγών του συστήματος. Οι έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί μέχρι σήμερα σε πολλές περιοχές της Ελλάδας, εντοπίζουν σε κάθε περίπτωση, λόγω της γεωγραφικής ιδιαιτερότητάς της, το μέγεθος του προβλήματος που έχει προκύψει και το οποίο αποδίδεται αποκλειστικά στην υπερεκμετάλλευση των παράκτιων υδροφόρων στρωμάτων.

7. ΓΕΩΧΗΜΕΙΑ

7.1. Εισαγωγή

Οι φυσικές και μηχανικές ιδιότητες των γεωλογικών σχηματισμών είναι αυτές που καθορίζουν τη μηχανική συμπεριφορά τους. Πολλοί παράγοντες όπως η λιθολογία, η κοκκομετρία, η τεκτονική, η φυσική κατάσταση καθορίζουν τις ιδιότητες των παραπάνω σχηματισμών. Έτσι σύμφωνα με τα υλικά υπάρχουν δυο μεγάλες κατηγορίες από τεχνικογεωλογική άποψη, α) το έδαφος και β) ο βράχος. Σύμφωνα με τους Liddell and Scott (1902) και Μπαμπινιώτη (1998) η λέξη 'έδαφος' προέρχεται από το ρήμα 'έζομαι' (μέλλον εδούμαι) που σημαίνει στηρίζομαι – κάθομαι. Πολλοί ερευνητές έχουν δώσει αρκετούς ορισμούς για τη λέξη έδαφος, κάποιοι από αυτούς αναφέρονται παρακάτω:

Σύμφωνα με τον Hilgard (1914) έδαφος είναι το μη συμπαγές υλικό πάνω στο οποίο ζουν και αναπτύσσονται τα φυτά. Ο Joffe (1936) αναφέρει ότι έδαφος είναι ένα φυσικό σώμα του οποίου το μέγεθος ποικίλει και αποτελείται από ορίζοντες από ορυκτά και οργανικά συστατικά. Το σώμα αυτό διαφέρει από το μητρικό πέτρωμα το οποίο προήλθε ως προς τα μορφολογικά και βιολογικά χαρακτηριστικά καθώς επίσης και ως προς τις φυσικές και χημικές ιδιότητες.

Σύμφωνα με τον Soil Survey Staff (1975) ως έδαφος ορίζεται μια συλλογή φυσικών σωμάτων που βρίσκεται πάνω στην επιφάνεια της γης και μπορεί να τροποποιηθεί από τον άνθρωπο και τους ζωντανούς οργανισμούς ώστε να βοηθήσουν στην ανάπτυξη των φυτών. Νεώτεροι ερευνητές όπως ο Βουδούρης (2009) ορίζει το έδαφος σαν ένα φυσικό συσσωμάτωμα κόκκων που μπορεί να διαχωριστεί με μηχανικό τρόπο. Το έδαφος αποτελείται από τους εδαφικούς ορίζοντες A, B, C και O που υπέρκειται του ορίζοντα A και είναι πλούσιος σε οργανικά υλικά. Ο ορίζοντας A είναι πλούσιος σε οργανικά υλικά, έχει σκουρόχρωμο χρώμα, τα ευκίνητα και τα αργιλικά υλικά με έκπλυση μεταφέρονται στους βαθύτερους ορίζοντες. Στον ορίζοντα B που είναι και ο ενδιάμεσος ορίζοντας συγκρατώνται χημικές ουσίες που προέρχονται από τον A όπως οξείδια του σιδήρου και αργιλικά ορυκτά. Ο ορίζοντας C είναι ο κατώτερος ορίζοντας, πριν το μητρικό πέτρωμα, μπορεί να είναι οξειδωμένος ή να περιέχει CaCO_3 και αποτελείται από αποσπασμένο μητρικό υλικό. Διάφορες χημικές αντιδράσεις οι οποίες συμβαίνουν στα υπόγεια νερά πραγματοποιούνται όταν το νερό έρχεται σε επαφή με αέριες και στερεές φάσεις. Όσον αφορά στα αέρια τα οποία επηρεάζουν τις αντιδράσεις που συμβαίνουν στο σύστημα έδαφος - νερό, αυτά εισέρχονται κυρίως από την ατμόσφαιρα και τα πιο συνηθισμένα είναι CO_2 , O_2 και N_2 . Η διαλυτότητα των αερίων αυτών σε ένα υδατικό σύστημα καθορίζεται από παραμέτρους όπως η συγκέντρωση του αερίου και η θερμοκρασία.

Η ισορροπία των ανθρακικών και το pH του συστήματος έδαφος - νερό επηρεάζεται σημαντικά από το σύστημα CO_2 - H_2O (Κελεπερτζής 2000).

Επίσης στη συγκέντρωση των αερίων CO_2 , O_2 και N_2 σημαντικό ρόλο έχουν και διαδικασίες όπως η αναπνοή, η αζώτωση και η φωτοσύνθεση. Οι διαδικασίες αυτές ελέγχουν τη χημική σύσταση και την ποιότητα του νερού, ενώ σε πολλές περιπτώσεις αποτελούν καθοριστικό παράγοντα ελέγχου. Πιο συγκεκριμένα η αναπνοή των οργανισμών παράγει CO_2 το οποίο έχει σαν αποτέλεσμα τα υπόγεια νερά να είναι μετρίως όξινα. Επίσης το νερό της βροχής εμπλουτίζεται σε CO_2 από την ατμόσφαιρα με αποτέλεσμα να προκύπτει ένα διάλυμα ασθενούς ανθρακικού οξέως το οποίο έχει μετρίως όξινο pH (pH: 5-6). Έτσι το ασθενές αυτό οξύ έχει αυξημένη διαλυτική

ικανότητα σε σχέση με το καθαρό νερό και συνεπώς εμπλουτίζεται σε κύρια στοιχεία και ιχνοστοιχεία (Stumm and Morgan 1996).

Επίσης σύμφωνα με τον Λαμπράκη (1991), η χημική σύσταση των εδαφών με τα οποία έρχεται σε επαφή το νερό για να φτάσει στον υδροφόρο ορίζοντα, παίζει καθοριστικό ρόλο στη χημική σύσταση του υπόγειου νερού καθώς και η συγκέντρωση των αλάτων στο νερό εξαρτάται από την απόσταση που διανύει το νερό μέσα στο έδαφος.

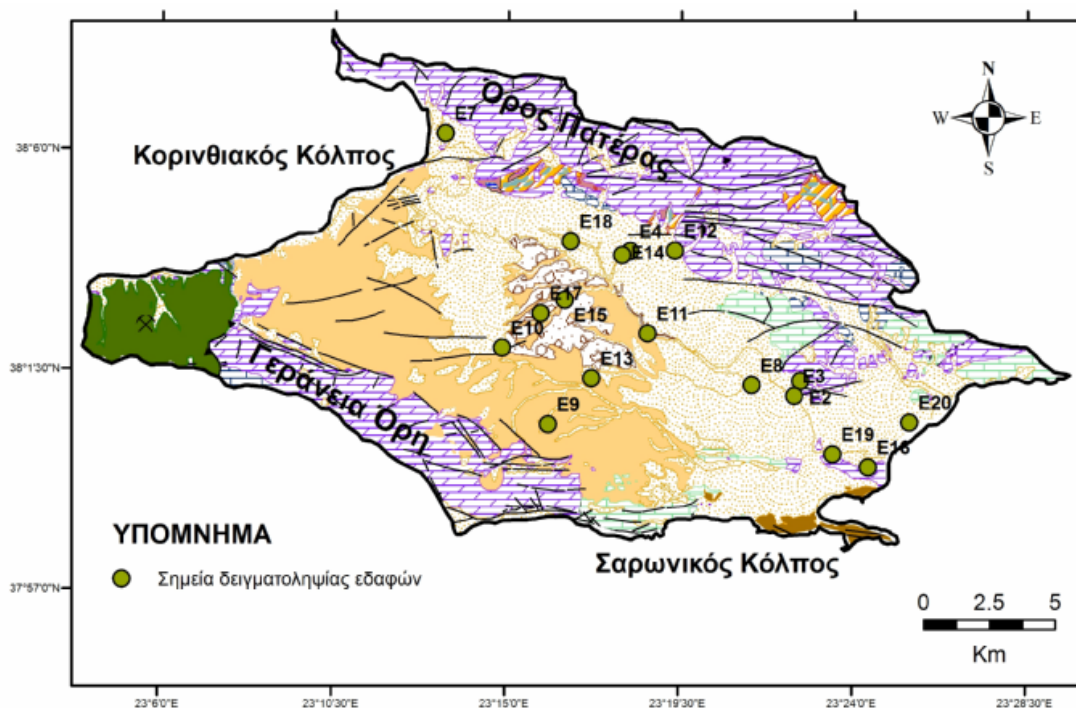
Συμπερασματικά, τα εδαφικά συστήματα αποτελούν μια από τις κύριες πηγές στοιχείων και ιχνοστοιχείων για τα περισσότερα υδατικά συστήματα και συνεπώς η μελέτη των εδαφικών συστημάτων έχει καθοριστική σημασία για τη διερεύνηση της προέλευσης των στοιχείων και των ιχνοστοιχείων που απαντούν στο νερό.

Ο σκοπός της συλλογής και των εργαστηριακών αναλύσεων των εδαφικών δειγμάτων ήταν να συγκριθεί η χημική τους σύσταση με αυτήν των δειγμάτων υπόγειου νερού, έτσι ώστε να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα για την πιθανή επίδραση της χημικής σύστασης των εδαφικών δειγμάτων στη χημική σύσταση των υπόγειων νερών.

7.2. Δειγματοληψία εδαφών – Αρχές δειγματοληψίας

α) Γενικά: Κατά το διάστημα δειγματοληψίας του Σεπτεμβρίου συλλέχθηκαν 17 διπλά δείγματα σε δυο βάθη (0 έως 20 cm και 20 έως 40 cm) για να διαπιστωθούν οι τυχόν διαφορές ανάμεσα στους δύο αυτούς ορίζοντες και να διερευνηθούν οι διαφορές στην κατανομή των στοιχείων. Τα δείγματα αυτά αποθηκεύτηκαν μέσα σε καθαρές πλαστικές (nylon) σακούλες και με τη χρήση δορυφορικής συσκευής GPS προσδιορίστηκε η γεωγραφική τους θέση.

Στο Σχ. 7.1 απεικονίζονται οι θέσεις δειγματοληψίας των εδαφών.



Σχήμα 7.1: Χάρτης σημείων δειγματοληψίας εδαφών.

Διανοίχτηκαν οπές στο έδαφος και συλλέχθηκαν τα εδαφικά δείγματα με τη βοήθεια εδαφοτρυπάνης (auger). Στο Σχ. 7.2 απεικονίζεται η εδαφοτρυπάνη που χρησιμοποιήθηκε για τη συλλογή των δειγμάτων.

β) Αρχές δειγματοληψίας: Τα δείγματα εδάφους τα οποία συλλέχθηκαν αποτελούν αντιπροσωπευτικά δείγματα της περιοχής έρευνας και ελήφθησαν σε σημεία πλησίον των θέσεων δειγματοληψίας των υπόγειων νερών. Τα δείγματα εδάφους συλλέγονταν εφόσον πρώτα απομακρύνονταν τα επιφανειακά κατάλοιπα και η βλάστηση. Κάθε δείγμα εδάφους ζύγιζε περίπου 1-1,5 kg, ώστε το δείγμα να είναι αρκετό για την πραγματοποίηση των εργαστηριακών προσδιορισμών.



Σχήμα 7.2: Εδαφοτρυπάνη (auger) που χρησιμοποιήθηκε για τη συλλογή των δειγμάτων εδάφους.

7.3. Εργαστηριακές αναλύσεις

7.3.1. Προετοιμασία δειγμάτων εδαφών για εργαστηριακές αναλύσεις

Τα δείγματα των εδαφών μεταφέρθηκαν στο Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών όπου έγινε η προετοιμασία τους για το τελικό στάδιο της ανάλυσης τους. Το κλάσμα του εδάφους το οποίο χρησιμοποιήθηκε για τον εργαστηριακό προσδιορισμό είναι αυτό που έχει διάμετρο < 2 mm και ονομάζεται λεπτή γη. Για να ληφθεί το κλάσμα αυτό του εδάφους τα δείγματα πέρασαν από μια σειρά απαραίτητων διαδικασιών που περιλαμβάνουν τα εξής:

- αεροζήρανση
- λειοτρίβηση
- κοσκίνισμα

Αεροζήρανση: αρχικά τα δείγματα απλώθηκαν πάνω σε κατάλληλη επιφάνεια (χαρτί) για να στεγνώσουν σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Το έδαφος απλώθηκε σε μια στρώση μικρού σχετικά πάχους και θρυμματίστηκαν τα μεγάλα συσσωματώματα. Τα δείγματα αφέθηκαν να στεγνώσουν για τουλάχιστον τέσσερις ημέρες.

Στη συνέχεια ακολούθησε λειοτρίβηση: μικρές ποσότητες εδάφους κάθε φορά θρυμματίστηκαν με τη βοήθεια γουδιού και γουδοχειριού κατασκευασμένου συνήθως από πορσελάνη. Τέλος ακολούθησε το κοσκίνισμα: το λειοτριβημένο δείγμα διήλθε από κόσκινο το οποίο ήταν κατασκευασμένο από ανοξείδωτο υλικό και του οποίου η

διάμετρος ήταν 2 mm. Το δείγμα το οποίο προέκυψε από το κοσκίνισμα τοποθετήθηκε σε σακούλες και στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκε για όλες τις εργαστηριακές αναλύσεις.

7.3.2. Εκτέλεση εργαστηριακών αναλύσεων εδαφικών δειγμάτων

Οι χημικές αναλύσεις των δειγμάτων εδαφών πραγματοποιήθηκαν στο Εργαστήριο Γεωλογίας και Ορυκτολογίας του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών και στο Πιστοποιημένο Εργαστήριο της Acme Analytical Laboratories του Καναδά.

Στο Εργαστήριο Γεωλογίας και Ορυκτολογίας του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών μετρήθηκαν η κοκκομετρική σύσταση των εδαφών, η οργανική ουσία, το ανθρακικό ασβέστιο, οι τιμές του εδαφικού pH, Eh και ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Επίσης πραγματοποιήθηκαν διαδοχικές εκχυλίσεις των εδαφικών δειγμάτων με τη μέθοδο (Sequential Extraction) Tessier et al. (1979) με στόχο να διερευνηθεί η προέλευση των μετάλλων.

Στο εργαστήριο της Acme Analytical Laboratories του Καναδά αναλύθηκαν 12 εδαφικά δείγματα και από τα δύο βάθη (0 έως 20cm και 20 έως 40 cm) και πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις των ολικών συγκεντρώσεων των μετάλλων με τη μέθοδο ICP-MS. Τα κατώτερα όρια ανιχνευσιμότητας της μεθόδου ICP-MS καθώς και τα αποτελέσματα των στοιχείων που αναλύθηκαν παρουσιάζονται στους Πιν. 7.1 και 7.2.

Οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων των διαδοχικών εκχυλίσεων προσδιορίστηκαν σε ατομική απορρόφηση AAS τύπου GBC 908 του Εργαστηρίου του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών. Κατά την εφαρμογή της μεθόδου επιλέχθηκε η μέτρηση κάθε δείγματος στα 10 sec με 3 επαναλήψεις (συνολικά 30 sec). Το εύρος λειτουργίας της ατομικής απορρόφησης και η ευαισθησία του οργάνου με το μετρούμενο στοιχείο αναφέρονται στον Πιν. 7.3. Τα αποτελέσματα αυτά παρουσιάζονται στους Πιν. 7.22 έως 7.26 του επόμενου κεφαλαίου.

7.3.3. Παρουσίαση των αποτελεσμάτων

Δυναμικά συστήματα πληροφοριών αποτελούν τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (G.I.S.), τα οποία διαχειρίζονται και αξιοποιούν δεδομένα στις Γεωεπιστήμες με τη βοήθεια της πληροφορικής και των μαθηματικών.

Για το σχεδιασμό των γεωλογικών, τοπογραφικών χαρτών καθώς και των γεωχημικών χαρτών χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Arc GIS 9.3 της εταιρίας ESRI®. Δημιουργήθηκε μια γεωβάση δεδομένων και με βάση αυτή αξιοποιήθηκαν όλα τα δεδομένα της έρευνας όπως αναλύσεις εδαφών και νερών, τοπογραφικοί και γεωλογικοί χάρτες. Για τη δημιουργία της γεωβάσης αυτής ακολουθήθηκαν κάποια βήματα που με τη σειρά που πραγματοποιήθηκαν είναι:

1. *Γεωαναφορά χαρτών*: Οι τοπογραφικοί και γεωλογικοί χάρτες κλίμακας 1:50.000 (φύλλα Μέγαρο, Σοφικό, Καπαρέλι και Ερυθραί) γεωαναφέρθηκαν στο Ελληνικό Γεωγραφικό Σύστημα Αναφοράς (ΕΓΣΑ 87) έτσι ώστε να δημιουργηθεί ένας ενιαίος χάρτης της περιοχής έρευνας με τις απαιτούμενες πληροφορίες (λιθολογία, τεκτονική, ισοψείς, πόλεις κτλ).

2. *Ψηφιοποίηση και δημιουργία επιπέδων πληροφοριών*: τα ποτάμια, οι πόλεις, οι ισοψείς, η τεκτονική, η γεωλογία ψηφιοποιήθηκαν όπως αναφέρονται στους χάρτες. Ξεχωριστά επίπεδα πληροφοριών (layers) δημιουργήθηκαν για την ψηφιοποίηση διαφορετικών δεδομένων.

Πίνακας 7.1: Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων ολικής συγκέντρωσης (mg/Kg) των διαφόρων στοιχείων στα εδαφικά δείγματα βάθους προέλευσης 0-20 cm.

		E8	E9	E10	E11	E12	E13	E14	E15	E16	E17	E18	E20
Στοιχείο	Όριο ανιχνευσιμότητας												
Cd	0,4	0,5	0,4	0,4	0,5	1,2	0,5	0,5	0,4	0,7	0,7	0,5	0,5
Co	2	32	10	18	35	19	19	10	23	13	23	20	10
Mn	5	804	300	310	803	845	495	449	333	539	553	552	470
Ni	2	438	103	284	437	113	255	52	395	86	347	266	54
Cr	2	397	91	210	549	126	189	40	225	71	313	400	66
Cu	2	29	14	13	18	23	20	11	13	34	59	18	25
Zn	2	77	31	19	39	85	36	33	22	82	196	44	127

Πίνακας 7.2: Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων ολικής συγκέντρωσης (mg/Kg) των διαφόρων στοιχείων στα εδαφικά δείγματα βάθους προέλευσης 20-40 cm.

		E8	E9	E10	E11	E12	E13	E14	E15	E16	E17	E18	E20
Στοιχείο	Όριο ανιχνευσιμότητας												
Cd	0,4	0,5	<0,4	<0,4	0,4	0,9	<0,4	<0,4	<0,4	0,5	<0,4	0,5	0,5
Co	2	29	7	23	37	15	19	5	21	16	19	23	13
Mn	5	684	164	360	796	649	484	222	286	644	337	740	542
Ni	2	379	69	327	477	86	243	26	362	110	237	269	65
Cr	2	602	44	186	490	100	238	15	336	90	178	209	78
Cu	2	30	8	15	19	18	20	5	12	36	21	24	24
Zn	2	75	21	24	38	59	32	15	21	79	28	62	108

Πίνακας 7.3: Εύρος λειτουργίας και ευαισθησία φασματομέτρου ατομικής απορρόφησης τύπου GBS 908.

Στοιχείο	Μήκος κύματος	Ιδανικό εύρος λειτουργίας οργάνου (µg/ml)	Ευαισθησία (µg/ml)
Cr	357,9	2 - 15	0,05
Mn	279,5	1 - 3,6	0,02
Mn	403,1	7 - 27	0,15
Co	240,7	2,5 - 9	0,05
Ni	232	1,8 - 8	0,04
Cu	324,7	1 - 5	0,025
Cu	327,4	2,5 - 10	0,05
Cu	217,9	7,5 - 30	0,16
Zn	213,9	0,4 - 1,5	0,008
Zn	307,6	3.000 - 12.000	0,5
Cd	228,8	0,2 - 1,8	0,009

3. *Αποτύπωση των θέσεων δειγματοληψίας:* με τη χρήση GPS καταγράφηκαν οι θέσεις δειγματοληψίας των δειγμάτων των νερών και των εδαφών. Αυτά τα στοιχεία αποτυπώθηκαν με την κατασκευή ξεχωριστών επιπέδων πληροφοριών (layers) για καθένα από αυτά.

4. *Δημιουργία πινάκων δεδομένων (data tables):* για κάθε δείγμα δημιουργήθηκαν πίνακες με τις υπαίθριες μετρήσεις και με τις τιμές των χημικών αναλύσεων. Με αυτό τον τρόπο έγινε η σύνδεση των χωρικών πληροφοριών (π.χ. συντεταγμένες δείγματος) με τα δεδομένα που προέκυψαν από τις μετρήσεις υπαίθρου και τις εργαστηριακές αναλύσεις. Σε ένα επόμενο στάδιο πραγματοποιήθηκε η απεικόνιση της χωρικής κατανομής των διαφόρων παραμέτρων (π.χ. συγκεντρώσεις στοιχείων στα εδάφη, νερά) στο χάρτη της περιοχής έρευνας.

7.4. Περιγραφή – χωρική κατανομή των αποτελεσμάτων

7.4.1. Προσδιορισμός μηχανικής (κοκκομετρικής) σύστασης εδαφών

Γενικά: Το έδαφος αποτελείται από τρία συστατικά, στερεά υλικά (ανόργανα και οργανικά), νερό και αέρα. Τα στερεά ανόργανα υλικά είναι διαφορετικού μεγέθους από πολύ μικρά έως πολύ μεγάλα και γι' αυτό το λόγο κατατάσσονται σε κατηγορίες ανάλογα με το μέγεθος τους, ανεξάρτητα από τη χημική και ορυκτολογική σύσταση. Αρχικά η διάκριση γίνεται με τη χρησιμοποίηση κόσκινων διαφορετικής διαμέτρου όπου διαχωρίζονται τα συστατικά του εδάφους σε τρεις κατηγορίες: α) λεπτή γη, είναι το τμήμα του εδάφους που περνά από κόσκινο διαμέτρου 2 mm και είναι και αυτό το οποίο χρησιμοποιείται για την εργαστηριακή ανάλυση του εδάφους, β) χαλίκες, είναι τεμαχίδια που περνούν από το κόσκινο με διάμετρο 20 mm και γ) λίθοι, υλικά με διάμετρο κόκκων μεγαλύτερη από 20 mm. Οι κόκκοι που αποτελούν τη λεπτή γη κατατάσσονται σε κλάσματα μηχανικής σύστασης ή μηχανικά κλάσματα του εδάφους. Τα κλάσματα αυτά αποτελούνται από άμμο, ιλύ και άργιλο. Ο προσδιορισμός της περιεκτικότητας των τριών αυτών κλασμάτων, επί τοις εκατό ονομάζεται μηχανική ή κοκκομετρική ανάλυση του εδάφους.

Κοκκομετρική σύσταση των εδαφών: Για την κοκκομετρική ανάλυση των εδαφών εφαρμόζεται η μέθοδος Βουγιούκου (Βουγιουκος 1962). Η μέθοδος σκοπό έχει να διαχωρίσει τα τρία κλάσματα της λεπτής γης, την άμμο, την ιλύ και την άργιλο και να υπολογιστεί η επί της εκατό περιεκτικότητα αυτών των συστατικών. Οι κόκκοι της άμμου, της ιλύος και της αργίλου ενώνονται μεταξύ τους και σχηματίζουν συσσωματώματα, συμβάλλοντας έτσι στο σχηματισμό του εδάφους. Τα

συσσωματώματα αυτά πρέπει να διαχωριστούν για να υπάρξει σωστό αποτέλεσμα της περιεκτικότητας των τριών συστατικών, διότι διαφορετικά προκύπτουν λάθος συμπεράσματα. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκε ένα διασπορικό μέσο το Calgon, το οποίο συμβάλλει στη διάσπαση των συσσωματωμάτων. Το Calgon είναι ένα μείγμα 8 gr Na_2CO_3 και 35,7 gr $(\text{NaPO}_3)_6$ σε 1L απεσταγμένου νερού. Το Calgon αυξάνει τη συγκέντρωση του νατρίου προκαλώντας διασπορά των κολλοειδών ενώ ειδικά το $(\text{NaPO}_3)_6$ προσροφάτε στα οξειδία του σιδήρου – αργιλίου εμποδίζοντας την έλξη από τα αρνητικώς φορτισμένα τεμαχίδια της αργίλου.

Για τον προσδιορισμό της κοκκομετρικής ανάλυσης των δειγμάτων των εδαφών χρησιμοποιήθηκε κάθε φορά ποσότητα εδάφους ίση με 50 gr, η οποία τοποθετήθηκε σε ένα δοχείο του ηλεκτρικού αναμεικτη, και σ' αυτήν την ποσότητα του εδάφους προστέθηκαν 40-45 gr Calgon καθώς και απεσταγμένο νερό μέχρι τα $\frac{3}{4}$ του ύψους του δοχείου του ηλεκτρικού αναμεικτη. Ο ηλεκτρικός αναμεικτης χρησιμοποιήθηκε για την ομογενοποίηση και τη διάσπαση με μηχανικό τρόπο των εδαφικών συσσωματωμάτων. Τα δείγματα των εδαφών αναμείχθηκαν στον ηλεκτρικό αναμεικτη για περίπου πέντε λεπτά. Στη συνέχεια το περιεχόμενο του δοχείου του ηλεκτρικού αναμεικτη μεταφέρθηκε σε κύλινδρο Βουγιούκου, ξεπλένοντας όλη την ποσότητα του δοχείου μέσα στον κύλινδρο με απεσταγμένο νερό. Ο κύλινδρος συμπληρώθηκε με απεσταγμένο νερό μέχρι τα 1000 ml. Στη συνέχεια ο κύλινδρος πωματίστηκε και ανακινήθηκε καλά (αναστράφηκε πολλές φορές) έτσι ώστε να μην απομείνει ποσότητα εδαφικού δείγματος στον πυθμένα του κυλίνδρου.

Μετά την ανακίνηση ο κύλινδρος τοποθετήθηκε σε σταθερό μέρος και σημειώθηκε ο χρόνος αμέσως μετά την τοποθέτηση στο στερεό μέρος, μέσα σε 40'' από την τοποθέτηση του πάρθηκε και η πρώτη τιμή από το υδρόμετρο Βουγιούκου. Επίσης στο χρονικό αυτό διάστημα αυτό έγινε καταγραφή της ένδειξης του υδρομέτρου από κύλινδρο που περιείχε μόνο διασπορικό διάλυμα Calgon και νερό. Στο χρονικό διάστημα των 40'' πάρθηκαν τιμές από το υδρόμετρο που οφείλονται σε εδαφικούς κόκκους που βρίσκονται σε αιώρηση. Οι κόκκοι που βρίσκονται σε αιώρηση είναι οι κόκκοι της ιλύος και της αργίλου στο διάστημα των 40'', αυτή που καθιζάνει είναι η άμμος. Σύμφωνα με το νόμο του Stokes τα χονδρόκοκκα υλικά καθιζάνουν ταχύτερα από τα λεπτόκοκκα και σε αυτόν το νόμο στηρίζεται και η μέθοδος Βουγιούκου. Οι διαφορετικοί χρόνοι καθίζησης των λεπτόκοκκων υλικών του εδαφικού δείγματος συμβάλλουν στην εκτίμηση της εκατοστιαίας αναλογίας άμμου, ιλύος και αργίλου. Στο διάστημα των 40'' πάρθηκε μια μέτρηση της θερμοκρασίας του διαλύματος καθώς το υδρόμετρο Βουγιούκου έχει βαθμομετρηθεί σε μια συγκεκριμένη θερμοκρασία των 19,44°C. Έτσι η θερμοκρασία διορθώθηκε κάθε φορά προσθέτοντας ή αφαιρώντας ανάλογα εάν η θερμοκρασία του δείγματος είναι μεγαλύτερη ή μικρότερη από την τιμή 19,44°C.

Μόλις πάρθηκε η μέτρηση το υδρόμετρο απομακρύνθηκε από τον κύλινδρο και ξεπλύθηκε με απεσταγμένο νερό για να είναι έτοιμο για τη δεύτερη μέτρηση. Μετά το πέρας των δυο ωρών τοποθετήθηκε πάλι το υδρόμετρο μέσα στον κύλινδρο και πάρθηκε η καινούργια ένδειξη του δείγματος, η ένδειξη του διαλύματος με το Calgon και το νερό, καθώς επίσης και η θερμοκρασία από το θερμόμετρο. Η ένδειξη αυτή αντιπροσωπεύει την άργιλο, καθώς στο χρόνο των δύο ωρών έχει καθιζάνει το κλάσμα της ιλύος.

Σύμφωνα λοιπόν με τις τιμές που πάρθηκαν από την παραπάνω διαδικασία και με βάση τους υπολογισμούς που ακολουθούν, υπολογίστηκε σε κάθε δείγμα η περιεκτικότητα επί της % σε άμμο, ιλύ και άργιλο:

A1: ένδειξη υδρομέτρου σε 40''
 Θ1: ένδειξη θερμομέτρου σε 40''
 O1: ένδειξη υδρομέτρου σε μάρτυρα (Calgon με νερό) σε 40''

A2: ένδειξη υδρομέτρου σε 2 ώρες
 Θ2: ένδειξη θερμομέτρου σε 2 ώρες
 O2: : ένδειξη υδρομέτρου σε μάρτυρα (Calgon με νερό) σε 2 ώρες

Υπολογισμός % της άμμου:

$$A = (A1-O1) - [(19,44-\Theta1)\times 0,36] \text{ εάν } \Theta1 < 19,44$$

$$A = (A1-O1) + [(\Theta1-19,44)\times 0,36] \text{ εάν } \Theta1 > 19,44$$

$$\% \text{ άμμου} = 100 - (2*A)$$

$$B = (A2-O2) - [(19,44-\Theta2)\times 0,36] \text{ εάν } \Theta2 < 19,44$$

$$B = (A2-O2) + [(\Theta2-19,44)\times 0,36] \text{ εάν } \Theta2 > 19,44$$

$$\% \text{ αργίλου} = 2*B$$

$$\% \text{ Ιλύος} = 100 - (\% \text{ άμμου} + \% \text{ αργίλου})$$

Οι τιμές οι οποίες υπολογίστηκαν από τη μέθοδο Βουγιούκου είναι αυτές που παρουσιάζονται στους Πιν. 7.4 και 7.5.

Οι τιμές που προέκυψαν απεικονίστηκαν σε ένα τριγωνικό διάγραμμα συντεταγμένων (Σχ. 7.3), όπου το κάθε δείγμα εδάφους χαρακτηρίστηκε από άποψη κλάσης μηχανικής σύστασης, δηλαδή εντάχθηκε σε μια από τις 12 γνωστές κλάσεις που αναφέρονται στον Πίν. 7.6.

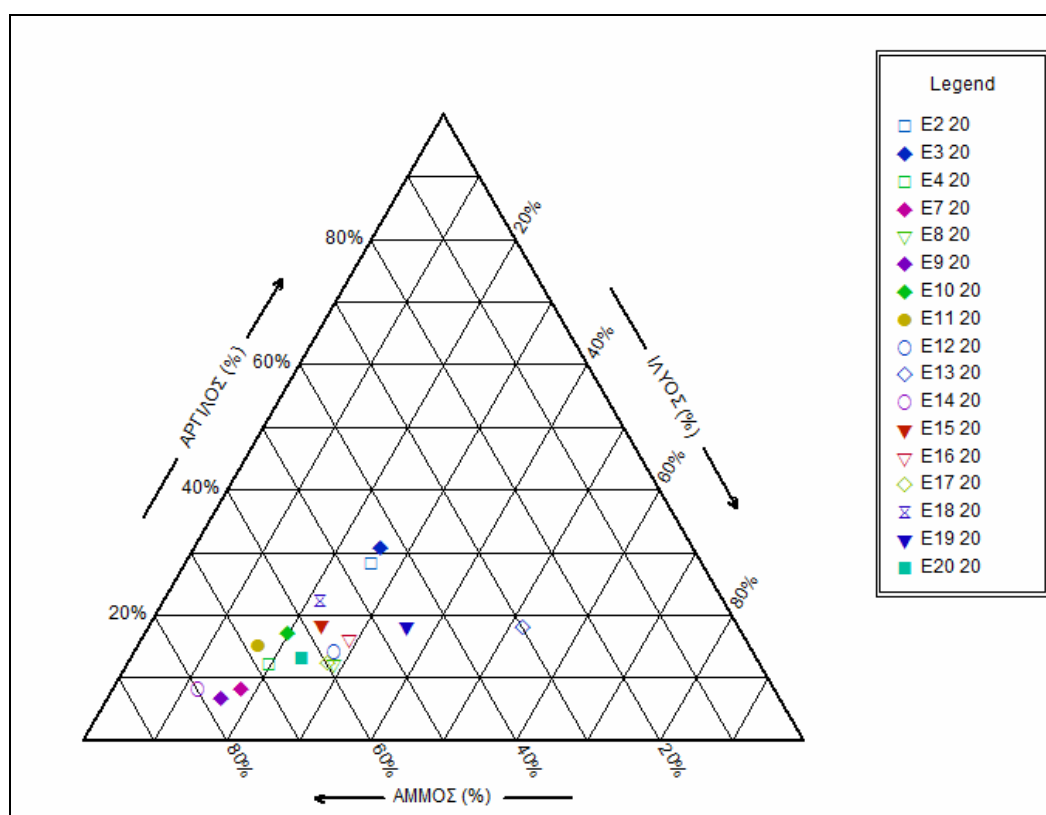
Πίνακας 7.4: Αποτελέσματα κοκκομετρικής ανάλυσης των εδαφικών δειγμάτων του ανώτερου ορίζοντα (βάθος 0-20 cm).

ΔΕΙΓΜΑ	% ΑΜΜΟΥ	% ΑΡΓΙΛΟΥ	% ΙΛΥΟΣ
E2(0-20 cm)	45,88	28,12	26,00
E3(0-20 cm)	43,24	30,76	26,00
E4(0-20 cm)	67,88	12,12	20,00
E7(0-20 cm)	73,88	8,12	18,00
E8(0-20 cm)	58,88	12,12	29,00
E9(0-20 cm)	77,24	6,76	16,00
E10(0-20 cm)	62,88	17,12	20,00
E11(0-20 cm)	67,88	15,12	17,00
E12(0-20 cm)	57,88	14,12	28,00
E13(0-20 cm)	29,88	18,12	52,00
E14(0-20 cm)	79,88	8,12	12,00
E15(0-20 cm)	57,60	18,40	24,00
E16(0-20 cm)	54,88	16,12	29,00
E17(0-20 cm)	59,60	12,40	28,00
E18(0-20 cm)	55,88	22,12	22,00
E19(0-20 cm)	45,88	18,12	36,00
E20(0-20 cm)	62,88	13,12	24,00

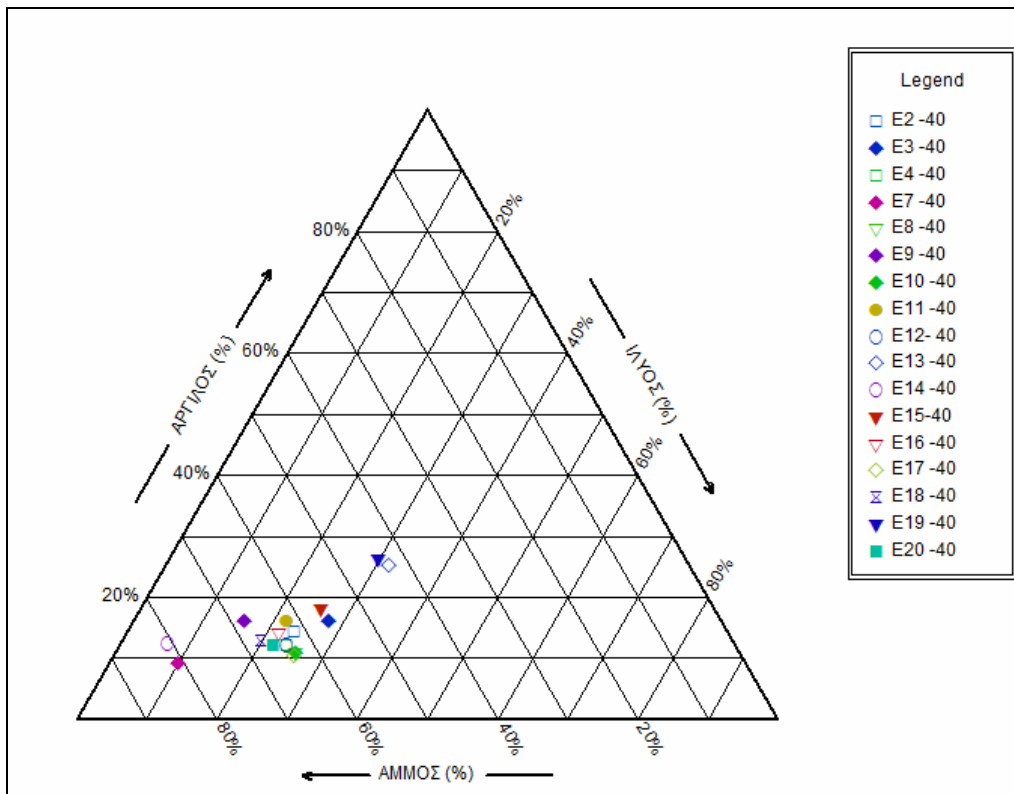
Πίνακας 7.5: Αποτελέσματα κοκκομετρικής ανάλυσης των εδαφικών δειγμάτων του βαθύτερου οριζοντα (βάθος 20-40 cm).

ΔΕΙΓΜΑ	% ΑΜΜΟΥ	% ΑΡΓΙΛΟΥ	% ΙΛΥΟΣ
E2(20-40 cm)	61,60	14,40	24,00
E3(20-40 cm)	55,88	16,12	28,00
E4(20-40 cm)	63,88	12,12	24,00
E7(20-40 cm)	80,88	9,12	10,00
E8(20-40 cm)	63,24	10,76	26,00
E9(20-40 cm)	67,88	16,12	16,00
E10(20-40 cm)	63,24	10,76	26,00
E11(20-40 cm)	61,88	16,12	22,00
E12(20-40 cm)	63,88	12,12	24,00
E13(20-40 cm)	42,88	25,12	32,00
E14(20-40 cm)	80,60	12,40	7,00
E15(20-40 cm)	55,88	18,12	26,00
E16(20-40 cm)	63,88	14,12	22,00
E17(20-40 cm)	63,60	10,40	26,00
E18(20-40 cm)	67,24	12,76	20,00
E19(20-40 cm)	43,88	26,12	30,00
E20(20-40 cm)	65,88	12,12	22,00

Το τριγωνικό αυτό σύστημα συντεταγμένων είναι ένα ισόπλευρο τρίγωνο του οποίου η κάθε πλευρά παριστά ένα από τα τρία μηχανικά κλάσματα σε ποσοστιαία κλίμακα (0 - 100%) της οποίας οι τιμές αυξάνουν κατά τη φορά των δεικτών του ρολογιού (δεξιόστροφα).



Σχήμα 7.3: Τριγωνικό διάγραμμα συντεταγμένων για την ταξινόμηση των δειγμάτων των εδαφών σε κλάσεις μηχανικής συστάσεως σε βάθος 0-20 cm.



Σχήμα 7.3 (συνέχεια): Τριγωνικό διάγραμμα συντεταγμένων για την ταξινόμηση των δειγμάτων των εδαφών σε κλάσεις μηχανικής συστάσεως σε βάθος 20-40 cm.

Πίνακας 7.6: Κλάσεις ή κατηγορίες μηχανικής σύστασης.

1	Αμμώδες	S (sandy)	Αμμώδη (ή ελαφριά ή χονδρόκοκκα)
2	Πηλοαμμώδες	LS (loam sandy)	
3	Αμμοπηλώδες	SL (sandy loam)	Πηλώδη ή μέσης συστάσεως
4	Πηλώδες	L (loam)	
5	Ίλοπηλώδες	SiL (silty loam)	
6	Ίλώδες	Si (silty)	
7	Αμμοαργιλοπηλώδες	SCL (sandy clay loam)	
8	Αργιλοπηλώδες	CL (clay loam)	
9	Ίλοαργιλοπηλώδες	SiCL (silty clay loam)	Αργιλώδη (ή βαριά ή λεπτόκοκκα) εδάφη
10	Αμμοαργιλώδες	SC (sandy clay)	
11	Ίλοαργιλώδες	SiC (silty clay)	
12	Αργιλώδες	C (clay)	

Σύμφωνα με το τριγωνικό διάγραμμα (Σχ. 7.3) για την ταξινόμηση των δειγμάτων των εδαφών σε κλάσεις μηχανικής συστάσεως παρατηρείται ότι η πλειονότητα των δειγμάτων των εδαφών και στα δύο βάθη ανήκουν στο πεδίο 3 Αμμοπηλώδες (SL), τα υπόλοιπα δείγματα εδαφών κατατάσσονται και για τα δύο βάθη των 0-20 cm και 20-40 cm στις κατηγορίες που δείχνουν οι Πιν. 7.7 και 7.8.

Πίνακας 7.7: Κατηγορίες μηχανικής σύστασης για το βάθος των 0-20 cm.

2	Πηλοαμμώδεις	E9, E14	LS (loam sandy)
3	Αμμοπηλώδεις	E4, E7, E8, E10, E11, E12, E13, E15, E16, E17, E20	SL (sandy loam)
4	Πηλώδεις	E19	L (loam)
7	Αμμοαργιλοπηλώδεις	E2, E18	SCL (sandy clay loam)
8	Αργιλοπηλώδεις	E3	CL (clay loam)

Πίνακας 7.8: Κατηγορίες μηχανικής σύστασης για το βάθος των 20-40 cm.

2	Πηλοαμμώδεις	E7	LS (loam sandy)
3	Αμμοπηλώδεις	E2, E3, E4, E8, E9, E10, E11, E12, E14, E15, E16, E17, E18, E20	SL (sandy loam)
4	Πηλώδεις	E13, E19	L (loam)

7.4.2. Προσδιορισμός οργανικής ουσίας με τη μέθοδο Walkley – Black

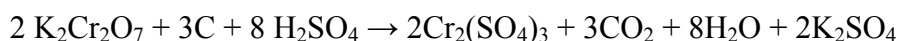
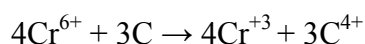
Ως οργανική ουσία χαρακτηρίζεται το ποσοστό του εδάφους που έχει προκύψει από την αποσύνθεση των φυτικών, ζωϊκών και μικροβιακών υπολειμμάτων. Η οργανική ουσία, σε ένα μέσης σύστασης έδαφος, καταλαμβάνει το 5% του όγκου του και περιλαμβάνεται στα στερεά συστατικά του εδάφους. Η χημική σύσταση της οργανικής ουσίας εξαρτάται από τη σύνθεση των συστατικών από τα οποία προέρχεται (φυτά και ζώα), (Πασχαλίδης 2005, Καλύβας 2003). Σύμφωνα με τον Jenny (1980) σαν οργανική ουσία συμπεριλαμβάνεται οποιαδήποτε ένωση οργανικού άνθρακα, μικρή ή μεγάλη, ‘ζωντανή ή νεκρή’.

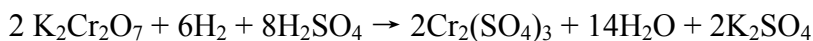
Η οργανική ουσία που υπάρχει σε ένα έδαφος εξαρτάται από το οικολογικό περιβάλλον από το οποίο προέρχεται, διότι αυτό προσθέτει και αποσυνθέτει τα υλικά που την αποτελούν. Άλλος ένας παράγοντας είναι το κλίμα, έτσι σε υγρά κλίματα παράγεται μεγάλη ποσότητα οργανικής ουσίας, ενώ σε ξηρά μικρή. Σε ορυκτά (ανόργανα) εδάφη η περιεκτικότητα της οργανικής ουσίας φτάνει τα 1 - 6%, ενώ σε οργανικά (τυρφώδη) εδάφη είναι μεγαλύτερη από 15 - 20%, και μπορεί να φτάσει ή και να ξεπεράσει τα 45% (Καλύβας 2003).

Η οργανική ουσία παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στα εδάφη διότι παρέχει θρεπτικά στοιχεία στα φυτά με κύριο συστατικό το άζωτο, αυξάνει την ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων κάνοντας τα εδάφη γονιμότερα, βελτιώνει τις φυσικές ιδιότητές του (υδροπερατότητα και υδατοχωρητικότητα), εμπλουτίζει με χούμο και δημιουργεί καλή δομή στο έδαφος (Πασχαλίδης 2005).

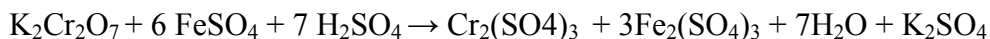
Η οργανική ουσία προσδιορίζεται έμμεσα με το ποσό του εκλυόμενου CO₂ κατά την καύση του εδάφους ή με τον προσδιορισμό του ποσού του οργανικού άνθρακα που οξειδώνεται από ένα ισχυρό οξειδωτικό ή με την απώλεια σε ξηρό βάρος του εδάφους μετά από καύση σε θερμοκρασία 450 - 500°C (η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται σε εδάφη τα οποία περιέχουν μεγάλη ποσότητα οργανικής ουσίας).

Οι Walkley - Black (1934) ανέπτυξαν μια μέθοδο προσδιορισμού του οργανικού άνθρακα που υπάρχει στο έδαφος η οποία είναι γνωστή ως ‘υγρή καύση’. Η μέθοδος βασίζεται στην οξείδωση του άνθρακα με K₂Cr₂O₇ παρουσία H₂SO₄. Κατά την οξείδωση του οργανικού άνθρακα του εδάφους λαμβάνουν χώρα οι παρακάτω αντιδράσεις:





Η ογκομέτρηση των ιόντων $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ τα οποία δεν έλαβαν μέρος στην οξείδωση του άνθρακα βοηθούν στον προσδιορισμό της εκατοστιαίας αναλογίας του οργανικού άνθρακα. Η ογκομέτρηση της περίσσειας των ιόντων $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ προσδιορίζεται με τη χρησιμοποίηση διαλύματος FeSO_4 σύμφωνα με την αντίδραση που ακολουθεί:



Για τον προσδιορισμό της οργανικής ουσίας κατά Walkley – Black πήραν μέρος στη διαδικασία τα εξής αντιδραστήρια:

- Διχρωμικό κάλιο ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) 1N, χρησιμοποιήθηκαν 49,04 gr χημικά καθαρής ουσίας σε 1L αποσταγμένο νερό. Αρχικά το διχρωμικό κάλιο ξηράθηκε στους 105 °C και ψύχθηκε σε ξηραντήρα.
- Θεικό οξύ (H_2SO_4) πυκνότητας 96%.
- Δισθενής θειικός σίδηρος ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) 0,5 N, 139 gr δισθενούς θειικού σιδήρου διαλύονται σε ένα λίτρο αποσταγμένο νερό. Πριν τη συμπλήρωση του όγκου προσθέτουμε 20 ml πυκνού H_2SO_4 . Το διάλυμα είναι ευαίσθητο και πρέπει να ελέγχεται ο τίτλος του τακτικά. Δεν πρέπει να χρησιμοποιείται μετά από 2 μέρες.
- Διάλυμα δείκτη διφαινολαμίνης 0,5%, 0,5 gr του δείκτη της διφαινολαμίνης διαλύεται σε 20 ml H_2O και προστίθενται 100 ml H_2SO_4 .

Τα δείγματα των εδαφών αφού πρώτα πέρασαν από κόσκινο των 2 mm, ζυγίστηκε ποσότητα ίση με 0,5 gr και τοποθετήθηκαν σε κωνικές φιάλες των 500 ml. Στη συνέχεια προστέθηκαν σε κάθε κωνική φιάλη 10 ml ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) 1N με προχοΐδα και αναδεύτηκαν οι φιάλες για να αναμιχθεί το αντιδραστήριο με το έδαφος.

Στη συνέχεια προστέθηκαν γρήγορα και με συνεχή ροή 20 ml πυκνού H_2SO_4 , πραγματοποιήθηκε πάλι ανάδευση των δειγμάτων για 30 με 60 λεπτά, με προσοχή για να μην μείνει υπόλειμμα εδάφους στα τοιχώματα της κάθε φιάλης. Αφέθηκαν σε ηρεμία για 30 λεπτά.

Κατόπιν προστέθηκαν 200 ml H_2O και 10 ml H_3PO_4 και αφέθηκαν να ψυχθούν. Μετά την ψύξη προστέθηκαν 0,5 ml διαλύματος διφαινολαμικού – σουλφονικού βαρίου (δείκτη) και πραγματοποιήθηκε τιτλοδότηση των δειγμάτων με την περίσσεια του $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ με το δισθενή θειικό σίδηρο.

Προς το τέλος της τιτλοδότησης πραγματοποιήθηκε αλλαγή χρώματος και τα δείγματα απέκτησαν χρώμα σκούρο κυανοιώδες, έτσι η προσθήκη του διαλύματος του θειικού σιδήρου πραγματοποιούνταν σταγόνα - σταγόνα και με συνεχή ανάδευση. Στο σημείο εξουδετέρωσης το χρώμα μεταβλήθηκε απότομα σε πράσινο.

Η διαδικασία που πραγματοποιήθηκε για τα δείγματα των εδαφών πραγματοποιήθηκε και σε έναν μάρτυρα μια κωνική φιάλη όπου μέσα προστέθηκαν όλα τα παραπάνω χωρίς να υπάρχει δείγμα εδάφους.

Ο οργανικός άνθρακας C% υπολογίστηκε από τον παρακάτω τύπο:

$$C \% = (T - T') \times N \times 0,3/B$$

όπου

T = τα ml του διαλύματος του Fe_2SO_4 που καταναλώθηκαν από το μάρτυρα

T' = τα ml του διαλύματος του Fe_2SO_4 που καταναλώθηκαν για την τιτλοδότηση των δειγμάτων των εδαφών

N = η κανονικότητα του διαλύματος του δισθενούς σιδήρου (0,5 N) και

B = το βάρος του εδάφους που έχει χρησιμοποιηθεί.

Επειδή όμως με την παραπάνω μέθοδο οξειδώνεται μόνο το 77% περίπου του ολικού άνθρακα, ο ολικός άνθρακας προσδιορίστηκε πολλαπλασιάζοντας με 1,3 (=1/0,77).

Ολικός οργανικός άνθρακας:

$$C \% = (T - T') \times N \times (0,3/B) \times 1,3 = (T - T') \times N \times 0,39/B$$

Και επειδή η περιεκτικότητα της οργανικής ουσίας σε άνθρακα θεωρείται ότι είναι 58% για να εκφραστούν τα αποτελέσματα σε οργανική ουσία πολλαπλασιάζουμε επί το συντελεστή 1,72 (=1/0,58).

$$\text{Ολική οργανική ουσία} = (T - T') \times N \times (0,39/B) \times 1,72 = (T - T') \times N \times 0,67/B$$

Στους Πιν. 7.9 και 7.10 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της μεθόδου Walkley – Black για τα δείγματα των εδαφών της λεκάνης των Μεγάρων.

Πίνακας 7.9: Αποτελέσματα ολικής οργανικής ουσίας της μεθόδου Walkley – Black για τα δείγματα εδαφών βάθους 0-20 cm.

Κωδικός Δείγματος	Οργανικός άνθρακας που οξειδώθηκε	ολικός οργανικός άνθρακας	Ολική οργανική ουσία
E2(0-20 cm)	1,47	1,91	3,28
E3(0-20 cm)	0,42	0,55	0,94
E4(0-20 cm)	1,92	2,50	4,29
E7(0-20 cm)	1,86	2,42	4,15
E8(0-20 cm)	0,90	1,17	2,01
E9(0-20 cm)	3,12	4,06	6,97
E10(0-20 cm)	0,84	1,09	1,88
E11(0-20 cm)	0,24	0,31	0,54
E12(0-20 cm)	1,95	2,54	4,36
E13(0-20 cm)	2,91	3,78	6,50
E14(0-20 cm)	0,90	1,17	2,01
E15(0-20 cm)	0,87	1,13	1,94
E16(0-20 cm)	0,87	1,13	1,94
E17(0-20 cm)	2,67	3,47	5,96
E18(0-20 cm)	1,20	1,56	2,68
E19(0-20 cm)	1,11	1,44	2,48
E20(0-20 cm)	1,35	1,76	3,02

Πίνακας 7.10: Αποτελέσματα ολικής οργανικής ουσίας της μεθόδου Walkley – Black για τα δείγματα εδαφών βάθους 20-40 cm.

Κωδικός Δείγματος	Οργανικός άνθρακας που οξειδώθηκε	ολικός οργανικός άνθρακας	Ολική οργανική ουσία
E2(20-40 cm)	2,46	3,20	5,49
E3(20-40 cm)	0,21	0,27	0,47
E4(20-40 cm)	2,07	2,69	4,62
E7(20-40 cm)	1,47	1,91	3,28
E8(20-40 cm)	0,51	0,66	1,14
E9(20-40 cm)	0,21	0,27	0,47
E10(20-40 cm)	0,72	0,94	1,61
E11(20-40 cm)	0,12	0,16	0,27
E12(20-40 cm)	1,47	1,91	3,28
E13(20-40 cm)	1,32	1,72	2,95
E14(20-40 cm)	0,39	0,51	0,87
E15(20-40 cm)	0,33	0,43	0,74
E16(20-40 cm)	1,08	1,40	2,41
E17(20-40 cm)	1,08	1,40	2,41
E18(20-40 cm)	2,28	2,96	5,09
E19(20-40 cm)	0,81	1,05	1,81
E20(20-40 cm)	0,90	1,17	2,01

Σύμφωνα με τους Walkley – Black τα εδάφη κατατάσσονται στις εξής κατηγορίες που παρουσιάζονται στον Πιν. 7.11 που ακολουθεί:

Πίνακας 7.11: Ταξινόμηση εδάφους βάσει της περιεκτικότητας σε οργανική ουσία κατά Walkley – Black.

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΕΔΑΦΟΥΣ	ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΕ ΟΡΓΑΝΙΚΗ ΟΥΣΙΑ (%)
Πολύ πτωχό	<0,5
Πτωχό	0,5 - 2
Μέτρια εφοδιασμένο	2 - 3
Καλώς εφοδιασμένο	3 - 5
Πλούσιο	> 5

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των αναλύσεων τα εδάφη της λεκάνης των Μεγάρων ταξινομούνται στις ακόλουθες κατηγορίες (Πίν. 7.12):

Πίνακας 7.12: Κατηγορίες εδαφικών δειγμάτων σύμφωνα με Walkley – Black για τα βάθη των 0-20 cm και των 20-40cm.

Κωδικός Δείγματος	Κατηγορία εδάφους	Κωδικός Δείγματος	Κατηγορία εδάφους
E2(0-20 cm)	Καλώς εφοδιασμένο	E2(20-40 cm)	Πλούσιο
E3(0-20 cm)	Πτωχό	E3(20-40 cm)	Πολύ πτωχό
E4(0-20 cm)	Καλώς εφοδιασμένο	E4(20-40 cm)	Καλώς εφοδιασμένο
E7(0-20 cm)	Καλώς εφοδιασμένο	E7(20-40 cm)	Καλώς εφοδιασμένο
E8(0-20 cm)	Μέτρια εφοδιασμένο	E8(20-40 cm)	Πτωχό
E9(0-20 cm)	Πλούσιο	E9(20-40 cm)	Πολύ πτωχό
E10(0-20 cm)	Πτωχό	E10(20-40 cm)	Πτωχό
E11(0-20 cm)	Πτωχό	E11(20-40 cm)	Πολύ πτωχό
E12(0-20 cm)	Καλώς εφοδιασμένο	E12(20-40 cm)	Καλώς εφοδιασμένο
E13(0-20 cm)	Πλούσιο	E13(20-40 cm)	Μέτρια εφοδιασμένο
E14(0-20 cm)	Μέτρια εφοδιασμένο	E14(20-40 cm)	Πτωχό
E15(0-20 cm)	Πτωχό	E15(20-40 cm)	Πτωχό
E16(0-20 cm)	Πτωχό	E16(20-40 cm)	Μέτρια εφοδιασμένο
E17(0-20 cm)	Πλούσιο	E17(20-40 cm)	Μέτρια εφοδιασμένο
E18(0-20 cm)	Μέτρια εφοδιασμένο	E18(20-40 cm)	Πλούσιο
E19(0-20 cm)	Μέτρια εφοδιασμένο	E19(20-40 cm)	Πτωχό
E20(0-20 cm)	Καλώς εφοδιασμένο	E20(20-40 cm)	Μέτρια εφοδιασμένο

Από τα παραπάνω προκύπτει το συμπέρασμα, ότι στην πλειονότητα των δειγμάτων των εδαφών η οργανική ουσία μειώνεται με το βάθος.

7.4.3. Τιμές του εδαφικού pH

Το pH των εδαφών είναι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας διότι καθορίζει τις φυσικοχημικές διεργασίες του εδάφους καθώς παίζει και πρωτεύοντα ρόλο στην ανάπτυξη των φυτών. Η οξύτητα των εδαφών ορίζεται σαν τον αρνητικό δεκαδικό λογάριθμο της συγκέντρωσης (mol/L) των ιόντων υδρογόνου στο εδαφικό διάλυμα.

$$pH = - \log[H^+] = \log (1/[H^+])$$

Ένα διάλυμα χαρακτηρίζεται σαν όξινο όταν η τιμή του pH κυμαίνεται από 0 έως 7 και ως αλκαλικό από 7 έως 14. Τα εδάφη διακρίνονται σε 9 κατηγορίες ανάλογα με την τιμή του pH (Πιν. 7.13). Στα καλλιεργήσιμα εδάφη το pH κυμαίνεται από 5 έως 8,5 και σε σπάνιες περιπτώσεις μπορεί να υπάρξουν τιμές 3 και 10 (Καλύβας 2003).

Πίνακας 7.13: Χαρακτηρισμός εδαφών ανάλογα με το pH (Καλύβας 2003).

Κατηγορία Εδαφών	Εύρος τιμών pH
Πολύ ισχυρά όξινα	<5
Ισχυρά όξινα	5 - 5,5
Μέτρια όξινα	5,5 - 6
Ελαφρά όξινα	6 - 6,7
Ουδέτερα	6,7 - 7
Ελαφρά αλκαλικά	7 - 7,5
Μέτρια αλκαλικά	7,5 - 8
Αλκαλικά	8 - 8,5
Ισχυρά αλκαλικά	>8,5

Όταν το pH των εδαφών είναι μικρότερο από 7 τότε τα εδάφη χαρακτηρίζονται ως όξινα. Ο βαθμός οξίνισης ενός εδάφους αντιπροσωπεύει το βαθμό αποσάθρωσης και το βαθμό έκπλυσης των βασικών του (Baligar et al. 1998). Τα όξινα εδάφη είναι μικρής γονιμότητας εδάφη διότι παρουσιάζουν έλλειψη βασικών θρεπτικών στοιχείων όπως Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} και αυξημένες συγκεντρώσεις σε τοξικά στοιχεία όπως Al και Mn που δρουν αρνητικά στην ανάπτυξη των φυτών.

Στον Πιν. 7.14 αναφέρονται οι μηχανισμοί που ελέγχουν την τιμή του pH. Η τιμή του pH κυμαίνεται από 2 έως 10,5.

Το pH παίρνει τιμή 2 όταν τα εδάφη προέρχονται από μητρικά υλικά πλούσια σε θειούχα ορυκτά ή αποθέσεις μεταλλείων και 10,5 όταν τα εδάφη είναι ισχυρώς αλκαλιωμένα. Το pH παίρνει τιμές από 4,5 έως 7,2 σε υγρές περιοχές όπου συμβαίνει μεγάλη έκπλυση βάσεων, και 6,8 έως 8,5 σε ξηρές περιοχές (Αλιφραγκής 2008)

Πίνακας 7.14: Μηχανισμοί που ελέγχουν το pH του εδάφους (Αλιφραγκής 2008).

Εύρος pH	Κύριος μηχανισμός που ελέγχει την τιμή του pH
2 - 4	Η οξείδωση των θειούχων ορυκτών
4 - 5,5	Τα υδροξύλια του Al, τα ανταλλάξιμα H^+ και τα ανταλλάξιμα Al^{3+}
5,5 - 6,8	Οι ελαφρώς όξινες ομάδες που υπάρχουν στα ορυκτά της αργίλου και στην οργανική ουσία, τα ανταλλάξιμα H^+ και το CO_2 που είναι διαλυμένο στο εδαφικό διάλυμα.
6,8 - 7,2	Τα ανταλλάξιμα Ca^{2+} και Mg^{2+} και οι ελαφρώς όξινες ομάδες των χουμικών ουσιών
7,2 - 8,5	Η διάλυση του $CaCO_3$ και $MgCO_3$ στο νερό
8,5 - 10,5	Η υδρόλυση του Na_2CO_3 και το ανταλλάξιμο Na^+ , όταν η ποσότητα του ξεπερνά το 15% της ικανότητας ανταλλαγής κατιόντων.

Όταν το pH των εδαφών είναι μεγαλύτερο από 7 τότε τα εδάφη χαρακτηρίζονται ως αλκαλικά. Αλκαλικά εδάφη απαντούν σε ξηρές περιοχές εκεί όπου τα κατακρημνίσματα είναι λιγότερα από τη δυναμική εξατμισοδιαπνοή. Η αποσάθρωση των πλούσιων σε βάσεις ορυκτών ελευθερώνει κατιόντα στο έδαφος τα οποία συσσωρεύονται διότι δεν υπάρχει το απαιτούμενο νερό για να εκπλυθούν. Τα Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ και Na^+ κυριαρχούν. Η αύξηση όμως του pH δημιουργείται από τη διάλυση ανθρακικών αλάτων και των προηγούμενων κατιόντων (Αλιφραγκής 2008).

Η μέτρηση του pH καθώς επίσης του Eh και της αγωγιμότητας των δειγμάτων εδάφους πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο πάστας κορεσμού και με τη χρησιμοποίηση πεχαμέτρου (Model WTW pH 330i/SET) και αγωγιμόμετρου (Model WTW LF 330/SET).

Η μεθοδολογία παρασκευής της εδαφικής πάστας κορεσμού είναι η εξής:

- ζύγιση 200 gr εδάφους και τοποθέτηση τους σε ένα αλουμινένιο ταψάκι
- προσθήκη απεσταγμένου νερού με μικρή ελεγχόμενη ροή στο ταψάκι που περιείχε το εδαφικό δείγμα και ταυτόχρονη ανάδευση με μικρή σπάτουλα μέχρι το δείγμα να γίνει ομοιογενές και να χαρακτηριστεί ότι έχει φτάσει σε σημείο κορεσμού, το οποίο διαπιστώνεται από τη διατήρηση χαραγής επάνω στην εδαφική πάστα
- η πάστα του εδάφους αφέθηκε σε ηρεμία για 2 ώρες και μετρήθηκαν οι φυσικοχημικές ιδιότητες pH, Eh και αγωγιμότητα.

Στον Πιν. 7.15 αναφέρονται οι τιμές του pH των εδαφικών δειγμάτων καθώς και η κατηγορία στην οποία κατατάσσονται σύμφωνα με τον Καλύβα (2003). Διαπιστώνεται, ότι τα δείγματα εδαφών της λεκάνης των Μεγάρων που προέρχονται από τους εδαφικούς ορίζοντες 0-20 cm και 20-40 cm χαρακτηρίζονται μέτρια αλκαλικά έως ισχυρά αλκαλικά.

Πίνακας 7.15: Τιμές pH εδαφικών δειγμάτων της λεκάνης των Μεγάρων για τα βάθη των 0-20 cm και 20-40 cm.

Δείγματα εδαφών (0-20 cm)	pH	Κατηγορία	Δείγματα εδαφών (20-40 cm)	pH	Κατηγορία
E2(0-20 cm)	8,0	μέτρια αλκαλικά	E2(20-40 cm)	7,8	μέτρια αλκαλικά
E3(0-20 cm)	7,9	μέτρια αλκαλικά	E3(20-40 cm)	7,9	μέτρια αλκαλικά
E4(0-20 cm)	7,8	μέτρια αλκαλικά	E4(20-40 cm)	7,8	μέτρια αλκαλικά
E7(0-20 cm)	7,8	μέτρια αλκαλικά	E7(20-40 cm)	7,9	μέτρια αλκαλικά
E8(0-20 cm)	7,8	μέτρια αλκαλικά	E8(20-40 cm)	7,9	μέτρια αλκαλικά
E9(0-20 cm)	8,0	μέτρια αλκαλικά	E9(20-40 cm)	8,0	μέτρια αλκαλικά
E10(0-20 cm)	7,9	μέτρια αλκαλικά	E10(20-40 cm)	8,0	μέτρια αλκαλικά
E11(0-20 cm)	8,2	αλκαλικά	E11(20-40 cm)	8,3	αλκαλικά
E12(0-20 cm)	8,1	αλκαλικά	E12(20-40 cm)	8,2	αλκαλικά
E13(0-20 cm)	8,0	μέτρια αλκαλικά	E13(20-40 cm)	8,2	αλκαλικά
E14(0-20 cm)	8,2	αλκαλικά	E14(20-40 cm)	8,3	αλκαλικά
E15(0-20 cm)	8,5	αλκαλικά	E15(20-40 cm)	8,7	ισχυρά αλκαλικά
E16(0-20 cm)	8,5	αλκαλικά	E16(20-40 cm)	8,5	αλκαλικά
E17(0-20 cm)	8,3	αλκαλικά	E17(20-40 cm)	8,6	ισχυρά αλκαλικά
E18(0-20 cm)	8,6	ισχυρά αλκαλικά	E18(20-40 cm)	8,5	αλκαλικά
E19(0-20 cm)	8,6	ισχυρά αλκαλικά	E19(20-40 cm)	8,7	ισχυρά αλκαλικά
E20(0-20 cm)	8,7	ισχυρά αλκαλικά	E20(20-40 cm)	8,8	ισχυρά αλκαλικά

7.4.4. Ηλεκτρική αγωγιμότητα (Electric Conductivity-EC)

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους ορίζεται σαν η ικανότητα των διαλυμάτων των ηλεκτρολυτών να επιτρέπουν τη διέλευση του ηλεκτρικού ρεύματος μέσα από αυτά και εξαρτάται από το ηλεκτρικό φορτίο, τη θερμοκρασία και τη συγκέντρωση των ιόντων. Η αγωγιμότητα του εδάφους μετρείται όπως και το pH με τη δημιουργία πάστας και σαν μονάδα μέτρησης χρησιμοποιείται το $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Οι τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους καθορίζουν την καλλιέργεια των φυτών και την ανάπτυξη τους, έτσι εδάφη με ηλεκτρική αγωγιμότητα $2000 \mu\text{S}/\text{cm}$ δεν επηρεάζουν τα φυτά. Οι πολύ ευαίσθητες καλλιέργειες επηρεάζονται με τιμές από 2000 έως $4000 \mu\text{S}/\text{cm}$. Μείωση των καλλιεργειών επιτυγχάνεται με τιμές από 4000 έως $8000 \mu\text{S}/\text{cm}$. Σε τιμές από 8000 έως $16.000 \mu\text{S}/\text{cm}$ δίνουν ικανοποιητική απόδοση μόνο ο ανθεκτικές καλλιέργειες και τέλος σε τιμές $>16.000 \mu\text{S}/\text{cm}$ εμφανίζονται σημαντικά προβλήματα σε όλα τα φυτά.

Τα εδάφη ανάλογα με τις τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και του ανταλλάξιμου νατρίου ή του λόγου προσρόφησης νατρίου διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες:

- Αλατούχα, η αγωγιμότητα αυτών είναι μεγαλύτερη από 4000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ στο εκχύλισμα κορεσμού και το pH του μικρότερο του 8,5. Τα κυρίαρχα άλατα είναι χλωριούχα και θειικά των Ca, Mg, K και Na. ο βαθμός κορεσμού του Na σε πάστα κορεσμού είναι < 15%.
- Αλατούχα – Αλκαλιωμένα, η αγωγιμότητα αυτών είναι μεγαλύτερη από 4000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ στο εκχύλισμα κορεσμού και το pH του μικρότερο του 8,5. Ο βαθμός κορεσμού του Na σε πάστα κορεσμού είναι > 15%.
- Μη αλατούχα – Αλκαλιωμένα, η αγωγιμότητα αυτών είναι μικρότερη από 4000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ στο εκχύλισμα κορεσμού και το pH του μεγαλύτερο του 8,5. Επίσης ο βαθμός κορεσμού του Na σε πάστα κορεσμού είναι πολύ υψηλός > 15%.

Στον Πιν. 7.16 που ακολουθεί παρουσιάζονται οι μετρήσεις της ηλεκτρικής αγωγιμότητας των εδαφικών δειγμάτων.

Πίνακας 7.16: Μετρήσεις ηλεκτρικής αγωγιμότητας εδαφικών δειγμάτων της λεκάνης των Μεγάρων για το βάθος των 0-20 cm και 20-40 cm.

Δείγματα εδαφών βάθους 0-20 cm	Ηλεκτρ. αγωγιμότητα ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Δείγματα εδαφών βάθους 20-40 cm	Ηλεκτρ. αγωγιμότητα ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
E2(0-20 cm)	422	E2(20-40 cm)	401
E3(0-20 cm)	545	E3(20-40 cm)	600
E4(0-20 cm)	565	E4(20-40 cm)	560
E7(0-20 cm)	422	E7(20-40 cm)	320
E8(0-20 cm)	560	E8(20-40 cm)	517
E9(0-20 cm)	314	E9(20-40 cm)	242
E10(0-20 cm)	350	E10(20-40 cm)	355
E11(0-20 cm)	210	E11(20-40 cm)	269
E12(0-20 cm)	376	E12(20-40 cm)	287
E13(0-20 cm)	727	E13(20-40 cm)	481
E14(0-20 cm)	334	E14(20-40 cm)	203
E15(0-20 cm)	175	E15(20-40 cm)	222
E16(0-20 cm)	213	E16(20-40 cm)	263
E17(0-20 cm)	598	E17(20-40 cm)	250
E18(0-20 cm)	594	E18(20-40 cm)	550
E19(0-20 cm)	380	E19(20-40 cm)	349
E20(0-20 cm)	172	E20(20-40 cm)	263

Διαπιστώνεται, ότι τα δείγματα των εδαφών και για τα δύο βάθη 0-20 και 20-40 cm έχουν σχετικά χαμηλές τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας < 4000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ και άρα είναι κατάλληλα για όλες τις καλλιέργειες.

7.4.5. Αδιάλυτα ανθρακικά ορυκτά – Μέθοδος Bernard

Τα ανθρακικά ορυκτά του εδάφους είναι πολύ χρήσιμα για την ανάπτυξη των φυτών διότι αποτελούν θρεπτικά στοιχεία γι' αυτά. Στο έδαφος υπάρχουν ανθρακικά ορυκτά και ανάλογα με αυτά το έδαφος χαρακτηρίζεται ως ασβεστολιθικό, όταν περιέχει ασβεστίτη (CaCO_3), δολομιτικό όταν περιέχει ισομοριακό μίγμα ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$) και μαγνησιούχο όταν περιέχει (Μαγνησίτη – MgCO_3). Ο ασβεστόλιθος όταν διαλυθεί τροφοδοτεί το έδαφος με Ca^{2+} και CO_3^{2-} , τα οποία μπορεί να επηρεάσουν το pH και τη ρυθμιστική ικανότητα του εδάφους. Όταν τα ιόντα δισθενούς Fe^{2+} αντιδράσουν με

το ανθρακικό ασβέστιο (CaCO_3) μετατρέπουν το σίδηρο σε τρισθενή Fe^{3+} και ο οποίος είναι αδιάλυτος και έτσι ο σίδηρος αδρανοποιείται (Καλύβας 2003).

Έλλειψη σιδήρου, μαγγανίου και ψευδαργύρου μπορεί να προκαλέσει η αυξημένη συγκέντρωση ασβεστίου σε ένα έδαφος. Σε εδάφη με $\text{pH} < 7$ παρατηρείται έλλειψη ανθρακικού ασβεστίου ενώ σε εδάφη με $\text{pH} > 7$ υπάρχει αρκετή ποσότητα ανθρακικού ασβεστίου (Πασχαλίδης 2005).

Το pH εδαφών πλούσιων σε ανθρακικό ασβέστιο σπάνια υπερβαίνει την τιμή 8,8 με την προϋπόθεση ότι δεν υπάρχει Na στο σύμπλοκο (Na_2CO_3).

Ο προσδιορισμός του ανθρακικού ασβεστίου με τη μέθοδο Bernard βασίζεται στην αντίδραση:



Όπου μετράται ο όγκος του εκλυόμενου CO_2 και με υπολογισμούς μετράται το CaCO_3 %.

Πειραματικό μέρος

Ποσότητα δείγματος εδάφους διαμέτρου < 2 mm κονιοποιήθηκε εντός γουδιού και στη συνέχεια ζυγίστηκε ποσότητα ίση με 0,25 gr εδάφους από κάθε δείγμα και τοποθετήθηκε μέσα στην κωνική φιάλη της συσκευής Bernard. Μέσα στην κωνική φιάλη εισήλθε μικρός δοκιμαστικός σωλήνας της συσκευής με διάλυμα HCl 1:1 το οποίο κάλυπτε τα 2/3 του σωλήνα. Κατά την τοποθέτηση του σωλήνα με το HCl μέσα στην κωνική φιάλη της συσκευής απαιτήθηκε μεγάλη προσοχή έτσι ώστε να μην εκχυθεί HCl στο εδαφικό δείγμα.

Μέσα στον ογκομετρικό σωλήνα της συσκευής η στάθμη του νερού βρίσκονταν πάντα πάνω από το μηδέν ώστε όταν η κωνική φιάλη πωματίστηκε αυτό έφτασε στο μηδέν. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε ανακίνηση της κωνικής φιάλης έτσι ώστε το HCl να εκχυθεί σε όλη την ποσότητα του εδάφους. Η κωνική φιάλη κρατιόταν πάντα από το πάνω μέρος της έτσι ώστε να μην θερμαίνονταν από την παλάμη και παράλληλα η γυάλινη χοάνη της συσκευής μετακινούνταν πάντα έτσι ώστε η ελεύθερη στάθμη του νερού, που υπήρχε μέσα σε αυτή να ήταν πάντα στο ίδιο επίπεδο με τη στάθμη του νερού μέσα στον ογκομετρικό σωλήνα. Αυτό συνέβαινε διότι η στάθμη του σωλήνα κατέρχονταν όσο διάστημα εκλύονταν CO_2 . Όταν η έκλυση του CO_2 τελείωσε τότε παίρνονταν κάθε φορά τα εκλυόμενα cm^3 CO_2 (Καλύβας 2003).

Στη συνέχεια σύμφωνα με τον τύπο $\text{CaCO}_3 \% = K \times (V/G)$ όπου:

V = το CO_2 που εκλύθηκε σε cm^3

G = gr εδαφικού δείγματος που χρησιμοποιήθηκε

K = συντελεστές μετατροπής 1 cm^3 CO_2 σε gr CaCO_3 που εξαρτάται πάντα από τη θερμοκρασία και παίρνει τις ακόλουθες τιμές:

Τιμές συντελεστή K	Θερμοκρασία °C	Πίεση
0,44	0	760''
0,42	15	760''
0,41	20	760''
0,40	30	760''

Βάσει της περιεκτικότητας ενός εδαφικού δείγματος σε CaCO_3 γίνεται η ταξινόμηση αυτού, όπως αυτή παρουσιάζεται στον Πιν. 7.17 που ακολουθεί.

Στους Πιν. 7.18 και 7.19 δίδονται οι τιμές συγκέντρωσης του CaCO_3 % στα δείγματα εδάφους της λεκάνης των Μεγάρων. Διαπιστώνεται ότι τα εδαφικά δείγματα E2 (0-20

και 20-40 cm), E4 (0-20 και 20-40 cm), E12 (0-20 και 20-40 cm) και E20 (0-20 και 20-40 cm) χαρακτηρίζονται μαργαϊκά εδάφη, ενώ τα υπόλοιπα ασβεστούχα. Η πλειονότητα των εδαφών ανήκει στα ασβεστούχα εδάφη με περιεκτικότητα σε CaCO_3 > από 40%.

Πίνακας 7.17: Κατηγορίες εδάφους κατά Bernard (Καλύβας 2003).

Κατηγορία εδάφους	Περιεκτικότητα σε CaCO_3 - εύρος τιμών %
Πτωχό	< 0,5
Μέτρια εφοδιασμένο	0,5 - 2
Εφοδιασμένο – Πλούσιο	2 - 20
Μαργαϊκό	20 - 40
Ασβεστούχο	> 40

Πίνακας 7.18: Οι τιμές συγκέντρωσης του CaCO_3 % στα δείγματα εδάφους 0-20 cm κατά Bernard.

Δείγμα	V	K	G	CaCO_3 %
E2(0-20 cm)	24,6	0,41	0,25	40,34
E3(0-20 cm)	39	0,41	0,25	63,96
E4(0-20 cm)	24,8	0,41	0,25	40,67
E7(0-20 cm)	35,2	0,41	0,25	57,73
E8(0-20 cm)	36,2	0,41	0,25	59,37
E9(0-20 cm)	42,4	0,41	0,25	69,54
E10(0-20 cm)	47,6	0,41	0,25	78,06
E11(0-20 cm)	31,6	0,41	0,25	51,82
E12(0-20 cm)	18,2	0,41	0,25	29,85
E13(0-20 cm)	39,2	0,41	0,25	64,29
E14(0-20 cm)	28,4	0,41	0,25	46,58
E15(0-20 cm)	47,2	0,41	0,25	77,41
E16(0-20 cm)	39,6	0,41	0,25	64,94
E17(0-20 cm)	35,4	0,41	0,25	58,06
E18(0-20 cm)	26,4	0,41	0,25	43,30
E19(0-20 cm)	33	0,41	0,25	54,12
E20(0-20 cm)	22,2	0,41	0,25	36,41

Πίνακας 7.19: Τιμές CaCO_3 % στα δείγματα εδάφους 20-40 cm βάθους κατά Bernard.

Δείγμα	V	K	G	CaCO_3 %
E2(20-40 cm)	23,4	0,41	0,25	38,38
E3(20-40 cm)	57	0,41	0,25	93,48
E4(20-40 cm)	19,6	0,41	0,25	32,14
E7(20-40 cm)	30,8	0,41	0,25	50,51
E8(20-40 cm)	32,4	0,41	0,25	53,14
E9(20-40 cm)	51	0,41	0,25	83,64
E10(20-40 cm)	43,4	0,41	0,25	71,18
E11(20-40 cm)	30,4	0,41	0,25	49,86
E12(20-40 cm)	23,2	0,41	0,25	38,05
E13(20-40 cm)	39,2	0,41	0,25	64,29
E14(20-40 cm)	30	0,41	0,25	49,20
E15(20-40 cm)	48,4	0,41	0,25	79,38
E16(20-40 cm)	35,2	0,41	0,25	57,73
E17(20-40 cm)	48,6	0,41	0,25	79,70
E18(20-40 cm)	25,2	0,41	0,25	41,33
E19(20-40 cm)	34,2	0,41	0,25	56,09
E20(20-40 cm)	16	0,41	0,25	26,24

7.4.6. Βαρέα μέταλλα στα εδάφη

7.4.6.1. Γενικά

Η ρύπανση των εδαφών από βαρέα μέταλλα είναι ένα πολύ σημαντικό πρόβλημα σε πολλές περιοχές. Τα συνηθέστερα βαρέα μέταλλα, τα οποία υπάρχουν στα εδάφη ρυπασμένων περιοχών είναι ο μόλυβδος (Pb), το χρώμιο (Cr), το αρσενικό (As), ο ψευδάργυρος (Zn), το κάδμιο (Cd), ο χαλκός (Cu), και ο υδράργυρος (Hg) (Mico et al. 2006, Fernandez - Pazos et al. 2013). Η παρουσία των βαρέων μετάλλων στα εδάφη μπορεί να αποτελέσει σημαντική απειλή για την ανθρώπινη υγεία και τα οικολογικά συστήματα (Kabata - Pendias and Mukherjee 2007). Η χημική μορφή των βαρέων μετάλλων εξαρτάται από την πηγή προέλευση τους και τη χημική σύσταση των εδαφών σε μια περιοχή.

Οι πηγές ρύπανσης των εδαφών από βαρέα μέταλλα είναι φυσικές και ανθρωπογενείς. Οι φυσικές πηγές μπορεί να είναι η χημική αποσάθρωση των μητρικών πετρωμάτων, και η ηφαιστειακή δραστηριότητα. Οι ανθρωπογενείς διακρίνονται σε μη σημειακές και σε σημειακές πηγές. Στην κατηγορία των σημειακών πηγών είναι τα λιπάσματα, τα ζιζανιοκτόνα, οι λυματολάσπες και η άρδευση, ενώ στην κατηγορία των μη σημειακών πηγών ανήκουν οι βιομηχανίες, τα ραδιοϊσότοπα, η μεταλλευτική και μεταλλουργική δραστηριότητα και τα γεωθερμικά αλατούχα διαλύματα.

Στον Πιν. 7.20 που ακολουθεί παρουσιάζονται οι μέσες τιμές των βαρέων μετάλλων στο έδαφος (Connor and Shackellete 1975). Στον Πιν. 7.21 παρουσιάζονται οι σημαντικότερες ανθρωπογενείς πηγές ρύπανσης των εδαφών σε βαρέα μέταλλα (Κελεπερτζής 2000).

Πίνακας 7.20: Μέσες τιμές συγκέντρωσης ορισμένων βαρέων μετάλλων στο έδαφος (mg/kg) (Connor and Shackellete 1975).

Στοιχείο	Μέση τιμή συγκέντρωσης στο έδαφος
Cu	15
Co	10
Cr	43
Fe	21000
Mn	320
Ni	17
Pb	17
Zn	36
V	57

Πίνακας 7.21: Πηγές βαρέων μετάλλων στα εδάφη (Κελεπερτζής 2000).

Πρωτογενείς πηγές	Συνήθη στοιχεία	Δευτερογενείς πηγές	Συνήθη στοιχεία
Λιπάσματα	Cd, Pb, As	Καυσαέρια	Pb
Άσβεστος	As, Pb	Χυτήρια	Pb, Cd, Sb, As, Se, In, Hg
Πότισμα	Cd, Pb, Se	Περιοχές μεταλλείων	Pb, Cd, As, Hg
Κόπρος	As, Se	Λάστιχα αυτοκινήτων	Cd
Λιματολάσπες	Cd, Pb, As	Χωματαρές	Pb, Cd, As
		Καύση λιγνίτη	As, Se, Pb, Sb

Τα βαρέα μέταλλα τα οποία βρίσκονται στα ρυπασμένα εδάφη μπορεί να προέρχονται από αερομεταφερόμενες εκπομπές, στερεά απόβλητα, σωρούς μεταλλευτικών σκωριών (Alexakis 2011, Iavazo et al. 2012). Η ρύπανση των εδαφών με βαρέα μέταλλα βιομηχανικής προέλευσης (συνήθως από βιομηχανίες επιμεταλλώσεων) είναι το αποτέλεσμα διαρροών από δεξαμενές μέσα ή έξω από το

εργοστάσιο ή από τη μη-υγειονομική ταφή τοξικών ουσιών στις βιομηχανικές εγκαταστάσεις. Η κινητικότητα των βαρέων μετάλλων στο υπέδαφος καθώς και η αποτελεσματική αποκατάσταση του εδάφους εξαρτάται από πολλές φυσικοχημικές παραμέτρους που δρουν στη ρυπασμένη περιοχή. Αυτές οι παράμετροι συμπεριλαμβάνουν τη διαλυτότητα και κατανομή των χημικών ειδών των μετάλλων στο έδαφος, καθώς και τις διαδικασίες εξασθένησης της ρύπανσης και ακινητοποίησης των μετάλλων στα εδάφη (Νικολαΐδης 2005).

Η ρύπανση του εδάφους από βαρέα μέταλλα είναι επικίνδυνη, εξαιτίας της τοξικοτητάς τους η οποία αποτελεί απειλή για το περιβάλλον και τον άνθρωπο. Η κινητικότητα των βαρέων μετάλλων και η διαθεσιμότητα τους είναι οι κύριοι παράγοντες που διαμορφώνουν τις επιπτώσεις αυτών στο περιβάλλον. Η κινητικότητα των βαρέων μετάλλων και η χημική τους συμπεριφορά καθορίζεται από τις χημικές μορφές με τις οποίες αυτά εμφανίζονται στο έδαφος. Σημαντική λοιπόν είναι η γνώση των μορφών με τις οποίες απαντούν τα βαρέα μέταλλα στο έδαφος καθώς και ο τρόπος με τον οποίο προσροφούνται στα εδαφικά συστατικά (Hall et al. 1996a,b).

7.4.6.2. Διαδικασία και Μέθοδοι διαδοχικής εκχύλισης βαρέων μετάλλων

Η γνώση των διαφόρων μορφών σύνδεσης των βαρέων μετάλλων με τα συστατικά του εδάφους είναι σημαντική για την κατανόηση της συμπεριφοράς τους και την καλύτερη ερμηνεία των αποτελεσμάτων. Για το λόγο αυτό κρίνεται απαραίτητη η διαδικασία ανάλυσης των εδαφών με τις μεθόδους της διαδοχικής εκχύλισης των βαρέων μετάλλων, για να εντοπιστούν οι πηγές προέλευσης, να κατανοηθούν τα προβλήματα που προκύπτουν και να μπορούν να αντιμετωπιστούν.

Η διαδικασία της διαδοχικής εκχύλισης χαρακτηρίζεται από πολλά πλεονεκτήματα αλλά και από μειονεκτήματα. Η διαδοχική εκχύλιση δίνει σημαντικές πληροφορίες για την κινητικότητα και τη βιολογική διαθεσιμότητα των βαρέων μετάλλων στα αστικά εδάφη (Wilcke et al. 1999).

Η διαδικασία της διαδοχικής εκχύλισης είναι χρήσιμη για να κατανοηθούν τα εξής (Tack and Verloo 1995):(α) οι γεωχημικές διαδικασίες, (β) η επίδραση της αλλαγής του pH στην κινητοποίηση των βαρέων μετάλλων, (γ) η συμπεριφορά των βαρέων μετάλλων στο έδαφος, ανάλογα με τη χημική τους μορφή και τις φυσικοχημικές ιδιότητες του εδάφους, (δ) η βιολογική διαθεσιμότητα του στοιχείου, (ε) η φυσική ή η ανθρωπογενής ρύπανση.

Εκτός όμως από τη χρησιμότητα της μεθόδου διάφορα προβλήματα έχουν αναφερθεί στο παρελθόν. Σύμφωνα με τον Tessier et al. (1979) η καταλληλότητα των χρησιμοποιούμενων αντιδραστηρίων και το κατά πόσο μπορούν αυτά να δεσμεύσουν ή να αποσπάσουν τις συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων καθώς και ποιες είναι οι κατάλληλες αναλογίες των χρησιμοποιούμενων αντιδραστηρίων είναι σύγχρονα θέματα προς διερεύνηση. Επίσης αναφέρει ότι το παραμικρό λάθος και η παραμικρή απόκλιση στη μέτρηση των συγκεντρώσεων μπορεί να οδηγήσουν σε λανθασμένα συμπεράσματα για την αντιμετώπιση του προβλήματος.

Επίσης πολλοί ερευνητές (Ahnstrom and Parker 1999, Kim and Fergusson 1991) αναφέρουν άλλα προβλήματα που αφορούν τη μέθοδο της διαδοχικής εκχύλισης, όπως: (α) την περιορισμένη επιλεκτικότητα των μέσων εκχύλισης (β) την ανακατανομή των στοιχείων μεταξύ των φάσεων και (γ) την ποικιλομορφία των διαφόρων σχεδίων της διαδοχικής εκχύλισης και την περιορισμένη δυνατότητα σύγκρισης των στοιχείων με τις διάφορες μεθόδους.

Πέρα όμως από τα θετικά και τα αρνητικά της διαδοχικής εκχύλισης κρίνεται αναγκαία η χρησιμοποίησή της, με όσο το δυνατό μεγαλύτερη προσοχή, για την εξαγωγή συμπερασμάτων για τον προσδιορισμό των μορφών, της κινητικότητας της τοξικότητας και της βιοδιαθεσιμότητας των βαρέων μετάλλων στο έδαφος.

Από το παρελθόν έχουν εφαρμοστεί πολλές διαφορετικές μέθοδοι διαδοχικής εκχύλισης από πολλούς ερευνητές με σημαντικότερη τη μέθοδο Tessier et al (1979), η οποία είναι η πιο διαδεδομένη και περισσότερο χρησιμοποιούμενη μέθοδος.

Άλλα δημοφιλή σχέδια διαδοχικής εκχύλισης τα οποία έχουν στηριχθεί στο σχέδιο του Tessier είναι αυτά του Kersten and Forstner (1986).

Για να μπορεί να υπάρξει σύγκριση ανάμεσα στα διάφορα πρωτόκολλα διαδοχικής εκχύλισης η BCR (the Commission of the European Communities Bureau of Reference), (1987) έθεσε σε εφαρμογή ένα πρόγραμμα με σκοπό την τυποποίηση μιας διαδοχικής εκχύλισης και τη δημιουργία ενός επικυρωμένου πρωτοκόλλου αναφοράς (Ure et al. 1992, Ure et al. 1993, Quevauviller 1998).

Η BCR δημιούργησε ένα πρωτόκολλο το οποίο βασιζόταν σε τρία στάδια και στηριζόταν πάνω στα σχέδια του Tessier et al (1979) και Salomous and Forstner (1984). Τα τρία πρώτα στάδια τυποποιήθηκαν από τους Quevauviller et al. (1994) και είναι τα εξής: (α) το ανταλλάξιμο μέρος μαζί με το προσροφημένο στα ανθρακικά άλατα (β) το προσροφημένο στα οξείδια σιδήρου - μαγγανίου (αναγωγίμο μέρος) και (γ) το προσροφημένο στην οργανική ουσία (οξειδώσιμο μέρος). Το σχέδιο αυτό είναι πλήρως πιστοποιημένο για τον προσδιορισμό των μετάλλων Cd, Cr, Cu, Ni, Pb και Zn.

Η μέθοδος που προτάθηκε από την BCR ήταν μια μέθοδος ικανή να διαχωρίσει τα βαρέα μέταλλα που προέρχονται από ανθρωπογενείς διεργασίες και τα βαρέα μέταλλα που είναι γεωχημικής προελεύσεως. Η BCR είχε κάποια αρνητικά στοιχεία όπως αρχικά το γεγονός ότι διαδραματιζόταν σε τρεις φάσεις και το πως κατανέμονταν τα βαρέα μέταλλα στις φάσεις αυτές καθώς και οι μικρές ίσως διαφορές στο pH της υδροξυλαμίνης που χρησιμοποιούνταν στο 2^ο στάδιο από διάφορους ερευνητές (Sahuquillo et al. 1999, Raksasataya et al. 1996). Για τους παραπάνω λόγους στη μέθοδο της BCR προστέθηκε και ένα 4^ο στάδιο ακόμα για να βελτιωθεί η δυνατότητα καλύτερων αποτελεσμάτων και συμπερασμάτων (Rauret et al. 1999).

Άλλη μια μέθοδο διαδοχικής εκχύλισης που και αυτή στηρίζεται στη μέθοδο Tessier et al (1979) είναι η μέθοδος που πρότειναν οι Salbu et al (1998) που είναι η Tessier με ένα ακόμα στάδιο τα υδατοδιαλυτά. Αποτελείται δηλαδή από 6 στάδια.

Η μέθοδος η οποία χρησιμοποιήθηκε στη συγκεκριμένη έρευνα προσδιορισμού των μορφών των βαρέων μετάλλων στη λεκάνη των Μεγάρων είναι η μέθοδος (Sequential Extraction) Tessier et al. (1979) η οποία περιλαμβάνει 5 στάδια:

α) Το *ανταλλάξιμο*, το στάδιο αυτό περιλαμβάνει τις ασθενώς προσροφημένες μορφές των βαρέων μετάλλων που διατηρούνται στην επιφάνεια των εδαφικών κolloειδών με σχετικά ασθενείς ηλεκτροστατικές δυνάμεις. Στο στάδιο αυτό τα ευρέως χρησιμοποιούμενα αντιδραστήρια είναι ηλεκτρολύτες σε διάλυμα ύδατος, όπως άλατα ισχυρών οξέων και βάσεων ή άλατα οξέων και βάσεων σε pH=7.

β) Το *προσροφημένο στα ανθρακικά ορυκτά*, είναι οι μορφές των βαρέων μετάλλων που βρίσκονται προσροφημένα στα ανθρακικά ορυκτά του ασβεστίου. Οι μεταβολές του pH καθιστούν ευαίσθητο το στάδιο αυτό, η διάλυση ενός μέρους του στερεού υλικού επιτυγχάνεται με pH= 5.

γ) Το *προσροφημένο στα οξείδια σιδήρου - μαγγανίου* (αναγωγίμο μέρος), τα αντιδραστήρια τα οποία χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό των μετάλλων που βρίσκονται προσροφημένα στα οξείδια σιδήρου - μαγγανίου είναι ένας αναγωγικός

παράγοντας και ένα σύμπλοκο το οποίο έχει τη ικανότητα να δεσμεύει από το διάλυμα τα ιόντα Fe και Mn.

δ) Το προσροφημένο στην οργανική ουσία, τα ιχνοστοιχεία ενσωματώνονται σε διάφορες μορφές στην οργανική ουσία, συνήθως πολυμερείς ενώσεις, γνωστές ως χουμικές περιλαμβάνονται στο οργανικό υλικό του εδάφους.

ε) Το υπολειμματικό, το στάδιο αυτό περιλαμβάνει τα μέταλλα που βρίσκονται στο κρυσταλλικό πλέγμα των πρωτογενών και δευτερογενών υλικών. Για να καταστραφεί το πλέγμα και να προσδιορισθούν οι συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων πρέπει να χρησιμοποιούνται ισχυρά οξέα όπως HF, HClO₄, HCl + HNO₃.

7.4.6.3. Εφαρμογή μεθοδολογίας διαδοχικής εκχύλισης των εδαφικών δειγμάτων

Η μεθοδολογία η οποία χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό των 5 σταδίων της διαδοχικής εκχύλισης περιγράφεται παρακάτω:

1^ο Στάδιο: 1 g εδάφους από κάθε δείγμα τοποθετήθηκε σε πλαστικό μπουκάλι των 100 ml, μέσα στο οποίο προστέθηκαν κατά σειρά τα εξής αντιδραστήρια, αρχικά προστέθηκαν 8 ml διαλύματος MgCl₂ (1 M) σε pH=7 και στη συνέχεια τα δείγματα ανακινήθηκαν για 1 ώρα, ακολούθησε φυγοκέντριση στις 5000 στροφές/min για 5 min και στη συνέχεια διήθηση, όπου και λήφθηκε το ανταλλάξιμο κλάσμα.

2^ο Στάδιο: Στο υπόλειμμα του πρώτου σταδίου προστέθηκαν 8 ml CH₃COONa (1 M) σε pH=5 και στη συνέχεια τα δείγματα ανακινήθηκαν για 5 ώρες, ακολούθησε φυγοκέντριση στις 5000 στροφές / min για 5 min και διήθηση και λήφθηκε το κλάσμα το προσροφημένο στα ανθρακικά.

3^ο Στάδιο: Στο υπόλειμμα του δεύτερου σταδίου προστέθηκαν 20 ml διαλύματος υδροξυλαμίνης σε CH₃COOH σε κάθε δείγμα. Στη συνέχεια τα δείγματα τοποθετήθηκαν σε υδατόλουτρο (στους 95 °C) για 5 ώρες με περιοδική ανακίνηση. Ακολούθησε φυγοκέντριση στις 5000 στροφές/min για 5 min και διήθηση των δειγμάτων.

4^ο Στάδιο: Στο υπόλειμμα που λήφθηκε από το τρίτο στάδιο προστέθηκαν 8 ml εκχυλιστικού (10 ml H₂O₂ με pH=2 και 6 ml HNO₃ 0,02 N) σε κάθε δείγμα, τα δείγματα αυτά στη συνέχεια τοποθετήθηκαν για 2 ώρες σε υδατόλουτρο (85 ± 2 °C) με περιοδική ανακίνηση. Μετά από 2 ώρες σε κάθε δείγμα προστέθηκαν ακόμα 3 ml H₂O₂ με pH=2 και ξανατοποθετήθηκαν στο υδατόλουτρο για ακόμα 3 ώρες με περιοδική ανακίνηση. Στη συνέχεια προστέθηκαν 5 ml εκχυλιστικού (3,2 M οξικό αμμώνιο σε 20% HNO₃) + 8 ml απιονισμένο νερό. Στη συνέχεια ακολούθησε ανακίνηση των δειγμάτων για 30 min, φυγοκέντριση στις 5000 στροφές / min και διήθηση αυτών.

5^ο Στάδιο: Στο υπόλειμμα του τέταρτου σταδίου προστέθηκαν σε κάθε δείγμα 25 ml aqua regia. Ακολούθησε προσεχτική ανάδευση των δειγμάτων και διήθηση τους.

Τα κλάσματα που λήφθηκαν από τα 5 στάδια της διαδοχικής εκχύλισης χρησιμοποιήθηκαν για τον προσδιορισμό των βαρέων μετάλλων, τα οποία μετρήθηκαν σε ατομική απορρόφηση AAS τύπου GBS 908 στο Εργαστήριο Ορυκτολογίας-Γεωλογίας του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών.

Στους Πιν. 7.22 έως 7.27 αναφέρονται τα αποτελέσματα των εργαστηριακών αναλύσεων των κλασμάτων της διαδοχικής εκχύλισης και οι ολικές συγκεντρώσεις των 12 αντιπροσωπευτικών δειγμάτων, τα οποία επιλέχθηκαν από τη περιοχή έρευνας για δυο συγκεκριμένα βάθη 0-20 και 20-40 cm.

Πίνακας 7.22: Συγκεντρώσεις ανταλλάξιμων μορφών βαρέων μετάλλων των εδαφικών δειγμάτων των δυο οριζόντων 0-20 και 20-40 cm βάθους.

Ανταλλάξιμες μορφές βαρέων μετάλλων των εδαφικών δειγμάτων							
	Cd (mg/kg)	Co (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)
E8 (0-20 cm)	0,30	1,23	1,45	1,80	2,28	2,97	2,26
E8(20-40 cm)	0,30	1,53	4,18	4,80	1,20	3,52	2,30
E9(0-20 cm)	0,24	0,75	1,56	6,16	0,00	1,65	2,78
E9(20-40 cm)	0,00	0,99	0,51	8,00	3,08	0,99	2,96
E10(0-20 cm)	0,24	1,49	1,20	2,88	2,96	1,32	2,88
E10(20-40 cm)	0,00	1,16	1,93	0,00	0,00	1,54	3,14
E11(0-20 cm)	0,30	1,01	0,19	0,16	3,28	1,87	2,06
E11(20-40 cm)	0,24	1,15	0,19	8,84	0,88	1,87	2,94
E12(0-20 cm)	0,72	0,69	1,97	3,56	2,04	2,42	2,24
E12(20-40 cm)	0,54	1,00	0,50	9,52	1,88	2,09	2,82
E13(0-20 cm)	0,30	0,99	3,64	5,32	4,12	2,20	3,30
E13(20-40 cm)	0,00	0,93	0,32	10,48	0,00	2,31	3,26
E14(0-20 cm)	0,30	1,21	1,70	4,76	1,36	0,99	2,32
E14(20-40 cm)	0,00	0,85	0,27	4,36	1,08	0,44	2,52
E15(0-20 cm)	0,24	1,66	0,81	1,68	3,12	1,32	3,06
E15(20-40 cm)	0,00	0,82	0,60	17,60	4,40	1,54	2,46
E16(0-20 cm)	0,42	0,84	3,37	4,28	2,08	1,76	2,62
E16(20-40 cm)	0,30	1,23	2,08	2,04	0,88	1,65	2,34
E17(0-20 cm)	0,42	1,14	1,06	0,52	1,00	6,60	2,52
E17(20-40 cm)	0,00	0,73	0,75	3,12	3,24	2,20	3,24
E18(0-20 cm)	0,30	1,74	1,68	7,24	2,40	1,87	3,24
E18(20-40 cm)	0,30	1,09	2,99	3,00	3,68	2,42	3,12
E20(0-20 cm)	0,30	1,56	1,50	5,92	2,00	2,53	3,18
E20(20-40 cm)	0,30	1,04	1,79	1,56	2,24	2,64	3,26

Πίνακας 7.23: Συγκεντρώσεις δεσμευμένων μορφών βαρέων μετάλλων στα ανθρακικά τεμαχίδια των εδαφικών δειγμάτων των δυο οριζόντων 0-20 και 20-40 cm βάθους.

Δεσμευμένες μορφές βαρέων μετάλλων στα ανθρακικά τεμαχίδια του εδάφους							
	Cd (mg/kg)	Co (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)
E8 (0-20 cm)	0,10	1,46	12,75	11,40	1,64	3,78	3,90
E8(20-40 cm)	0,10	1,30	16,87	12,72	4,52	4,48	3,66
E9(0-20 cm)	0,08	1,96	11,43	11,04	3,24	2,10	3,76
E9(20-40 cm)	0,00	1,63	1,07	6,04	4,32	1,26	3,50
E10(0-20 cm)	0,08	1,60	6,23	0,00	5,16	1,68	3,20
E10(20-40 cm)	0,00	0,91	8,23	8,52	3,76	1,96	3,12
E11(0-20 cm)	0,10	1,19	11,11	8,12	3,16	2,38	3,88
E11(20-40 cm)	0,08	1,12	13,35	7,68	4,00	2,38	3,36
E12(0-20 cm)	0,24	1,72	11,31	7,00	3,60	3,08	3,08
E12(20-40 cm)	0,18	1,53	9,39	10,44	5,08	2,66	3,36
E13(0-20 cm)	0,10	0,95	14,31	3,92	4,28	2,80	3,44
E13(20-40 cm)	0,00	1,78	6,43	2,24	4,76	2,94	3,82
E14(0-20 cm)	0,10	1,49	11,63	4,12	3,24	1,26	3,76
E14(20-40 cm)	0,00	1,49	8,43	6,92	1,60	0,56	3,50
E15(0-20 cm)	0,08	0,83	6,23	4,24	5,40	1,68	3,52
E15(20-40 cm)	0,00	1,55	3,51	5,84	4,04	1,96	3,92
E16(0-20 cm)	0,14	1,51	18,39	10,40	4,00	2,24	4,06
E16(20-40 cm)	0,10	1,29	15,43	4,76	5,28	2,10	3,42
E17(0-20 cm)	0,14	1,63	12,79	10,32	7,72	8,40	4,56
E17(20-40 cm)	0,00	1,37	6,59	5,88	5,56	2,80	3,46
E18(0-20 cm)	0,10	1,67	13,95	3,20	3,96	2,38	3,26
E18(20-40 cm)	0,10	1,71	16,95	5,32	4,76	3,08	3,82
E20(0-20 cm)	0,10	1,29	11,83	0,00	4,80	3,22	4,08
E20(20-40 cm)	0,10	1,46	11,71	5,08	4,56	3,36	3,62

Πίνακας 7.24: Συγκεντρώσεις δεσμευμένων μορφών βαρέων μετάλλων στα οξείδια Fe και Mn των εδαφικών δειγμάτων των δυο οριζόντων 0-20 και 20-40 cm βάθους.

Δεσμευμένες μορφές βαρέων μετάλλων στα οξείδια Fe και Mn των εδαφών							
	Cd (mg/kg)	Co (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)
E8 (0-20 cm)	0,00	4,69	179,40	22,20	1,73	6,75	43,90
E8(20-40 cm)	0,00	4,21	192,10	62,02	18,20	8,00	42,50
E9(0-20 cm)	0,00	1,17	95,80	7,40	12,20	3,75	11,70
E9(20-40 cm)	0,00	0,69	14,30	2,50	4,00	2,25	7,35
E10(0-20 cm)	0,00	2,45	110,80	10,60	8,28	3,00	6,65
E10(20-40 cm)	0,00	3,25	108,00	12,90	20,00	3,50	8,40
E11(0-20 cm)	0,00	5,17	228,20	40,00	65,40	4,25	14,65
E11(20-40 cm)	0,00	5,49	248,70	79,80	102,00	4,25	13,30
E12(0-20 cm)	0,00	2,61	186,30	2,08	20,60	5,50	49,50
E12(20-40 cm)	0,00	1,97	159,00	2,20	7,80	4,75	31,30
E13(0-20 cm)	0,00	2,61	164,90	5,60	37,80	5,00	15,20
E13(20-40 cm)	0,00	2,61	160,30	31,20	9,16	5,25	12,40
E14(0-20 cm)	0,00	1,17	122,00	2,40	9,91	2,25	11,55
E14(20-40 cm)	0,00	0,37	134,60	0,00	3,00	1,00	5,50
E15(0-20 cm)	0,00	3,25	95,10	33,40	4,03	3,00	7,40
E15(20-40 cm)	0,00	2,93	83,10	10,20	2,34	3,50	7,70
E16(0-20 cm)	0,00	1,65	111,40	1,65	2,22	4,00	47,40
E16(20-40 cm)	0,00	2,13	146,70	3,60	16,80	3,75	45,30
E17(0-20 cm)	0,00	3,25	154,30	29,60	0,60	15,00	112,80
E17(20-40 cm)	0,00	2,61	83,50	10,20	10,42	5,00	9,80
E18(0-20 cm)	0,00	2,77	188,50	19,03	58,80	4,25	20,80
E18(20-40 cm)	0,00	3,25	216,30	13,18	1,34	5,50	33,40
E20(0-20 cm)	0,00	1,17	130,90	4,90	6,78	5,75	78,90
E20(20-40 cm)	0,00	1,65	125,20	0,61	13,48	6,00	65,60

Πίνακας 7.25: Συγκεντρώσεις δεσμευμένων μορφών βαρέων μετάλλων εδαφών στα οργανικά τεμαχίδια των εδαφικών δειγμάτων των δυο οριζόντων 0-20 και 20-40 cm.

Δεσμευμένες μορφές βαρέων μετάλλων στα οργανικά τεμαχίδια του εδάφους							
	Cd (mg/kg)	Co (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)
E8 (0-20 cm)	0,00	6,80	252,59	70,10	151,59	9,86	9,59
E8(20-40 cm)	0,00	6,10	193,55	25,00	156,85	10,20	6,29
E9(0-20 cm)	0,00	1,70	78,63	1,15	9,06	4,76	4,71
E9(20-40 cm)	0,00	1,00	52,13	1,30	1,30	2,72	6,64
E10(0-20 cm)	0,00	3,55	86,84	55,52	16,90	4,42	2,82
E10(20-40 cm)	0,00	4,71	95,27	52,33	30,94	5,10	7,14
E11(0-20 cm)	0,00	7,50	230,79	37,06	125,68	6,12	5,96
E11(20-40 cm)	0,00	7,96	211,58	47,93	48,15	6,46	7,50
E12(0-20 cm)	0,00	3,78	279,48	20,79	15,65	7,82	8,43
E12(20-40 cm)	0,00	2,86	210,47	10,34	14,12	6,12	3,37
E13(0-20 cm)	0,00	3,78	131,10	50,92	13,90	6,80	2,26
E13(20-40 cm)	0,00	3,78	137,32	7,85	42,85	6,80	2,92
E14(0-20 cm)	0,00	1,70	136,36	0,30	0,95	3,74	6,22
E14(20-40 cm)	0,00	0,54	23,81	0,10	0,28	1,70	1,23
E15(0-20 cm)	0,00	4,71	110,40	74,05	35,60	4,42	6,92
E15(20-40 cm)	0,00	4,25	87,69	65,08	76,12	4,08	4,37
E16(0-20 cm)	0,00	2,39	173,81	4,17	15,20	18,56	7,82
E16(20-40 cm)	0,00	3,09	212,43	20,10	1,04	17,23	9,29
E17(0-20 cm)	0,00	4,71	157,43	55,26	85,60	20,06	18,32
E17(20-40 cm)	0,00	3,78	87,85	53,04	15,80	7,14	4,40
E18(0-20 cm)	0,00	4,02	133,50	42,03	85,40	6,12	8,00
E18(20-40 cm)	0,00	4,71	228,38	44,90	39,00	8,16	7,56
E20(0-20 cm)	0,00	1,70	128,42	3,77	4,29	8,50	11,99
E20(20-40 cm)	0,00	2,39	164,34	6,35	10,22	8,16	16,12

Πίνακας 7.26: Συγκεντρώσεις δεσμευμένων μορφών βαρέων μετάλλων στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών των εδαφικών δειγμάτων των δυο οριζόντων 0-20 και 20-40 cm βάθους.

Δεσμευμένες μορφές βαρέων μετάλλων στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών							
	Cd (mg/kg)	Co (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)
E8 (0-20 cm)	0,10	15,79	360,84	325,50	245,20	5,94	18,25
E8(20-40 cm)	0,10	17,59	276,51	265,05	412,50	7,04	17,75
E9(0-20 cm)	0,08	3,49	112,32	76,25	65,50	3,30	8,75
E9(20-40 cm)	0,00	4,29	74,47	50,45	29,50	1,98	4,25
E10(0-20 cm)	0,08	9,19	124,06	220,00	174,00	2,64	3,75
E10(20-40 cm)	0,00	11,29	136,10	255,25	120,30	3,08	5,00
E11(0-20 cm)	0,10	17,39	329,70	350,65	348,30	3,74	10,75
E11(20-40 cm)	0,08	22,59	302,25	330,75	335,00	3,74	9,50
E12(0-20 cm)	0,24	7,99	399,25	80,57	85,20	4,84	23,25
E12(20-40 cm)	0,18	6,39	300,67	54,50	73,00	4,18	17,45
E13(0-20 cm)	0,10	8,99	187,29	190,25	123,50	4,40	11,00
E13(20-40 cm)	0,00	9,05	196,17	190,20	180,50	4,62	10,00
E14(0-20 cm)	0,10	4,50	194,80	40,25	24,00	1,98	9,25
E14(20-40 cm)	0,00	3,19	34,02	14,50	8,50	0,88	2,75
E15(0-20 cm)	0,08	11,29	157,72	285,25	175,50	2,64	4,50
E15(20-40 cm)	0,00	9,01	125,28	260,50	253,60	3,08	4,25
E16(0-20 cm)	0,14	4,95	248,30	66,50	45,50	6,52	22,50
E16(20-40 cm)	0,10	9,79	303,48	80,50	65,00	6,50	17,95
E17(0-20 cm)	0,14	11,50	224,91	250,30	220,00	13,20	59,00
E17(20-40 cm)	0,00	8,50	125,49	165,75	142,60	4,40	8,70
E18(0-20 cm)	0,10	9,39	190,72	195,50	225,00	3,74	9,50
E18(20-40 cm)	0,10	10,20	326,26	190,50	164,30	4,84	15,50
E20(0-20 cm)	0,10	3,50	183,46	39,40	46,50	5,06	30,75
E20(20-40 cm)	0,10	7,22	234,78	50,75	39,50	5,28	17,00

Πίνακας 7.27: Ολικές συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων στα εδαφικά δείγματα των δυο οριζόντων 0-20 και 20-40 cm βάθους.

Ολικές συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων							
	Cd (mg/kg)	Co (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)
E8 (0-20 cm)	0,5	32	804	438	397	29	77
E8(20-40 cm)	0,5	29	684	379	602	30	75
E9(0-20 cm)	<0,4	10	300	103	91	14	31
E9(20-40 cm)	<0,4	7	164	69	44	8	21
E10(0-20 cm)	<0,4	18	310	284	210	13	19
E10(20-40 cm)	<0,4	23	360	327	186	15	24
E11(0-20 cm)	0,5	35	803	437	549	18	39
E11(20-40 cm)	0,4	37	796	477	490	19	38
E12(0-20 cm)	1,2	19	845	113	126	23	85
E12(20-40 cm)	0,9	15	649	86	100	18	59
E13(0-20 cm)	0,5	19	495	255	189	20	36
E13(20-40 cm)	<0,4	19	484	243	238	20	32
E14(0-20 cm)	0,5	10	449	52	40	11	33
E14(20-40 cm)	<0,4	5	222	26	15	5	15
E15(0-20 cm)	<0,4	23	333	395	225	13	22
E15(20-40 cm)	<0,4	21	286	362	336	12	21
E16(0-20 cm)	0,7	13	539	86	71	34	82
E16(20-40 cm)	0,5	16	644	110	90	36	79
E17(0-20 cm)	0,7	23	553	347	313	59	196
E17(20-40 cm)	<0,4	19	337	237	178	21	28
E18(0-20 cm)	0,5	20	552	266	400	18	44
E18(20-40 cm)	0,5	23	740	269	209	24	62
E20(0-20 cm)	0,5	10	470	54	66	25	127
E20(20-40 cm)	0,5	13	542	65	78	24	108

7.4.6.4. Κάδμιο (Cd)

Το κάδμιο εμφανίζεται με πολλές μορφές σύνθετων ιόντων και οργανικών χημικών ενώσεων. Σύμφωνα με τους Kabata Pendias and Sadurski (2004), οι κυριότερες μορφές με τις οποίες εμφανίζεται το κάδμιο είναι οι εξής: CdCl^- , CdOH^+ , CdHCO_3^+ , CdHS^+ και ως ανιόν CdCl_3^- , $\text{Cd}(\text{OH})_3^-$, $\text{Cd}(\text{OH})_4^{2-}$, $\text{Cd}(\text{HS})_4^{2-}$.

Το κάδμιο συναντάται στα εδαφικά διαλύματα σε μεγάλες συγκεντρώσεις διότι το 99% του καδμίου στα περισσότερα εδάφη συνδέεται με τα κolloειδή του εδάφους (Christensen and Huang 1999).

Η κινητικότητα του καδμίου εξαρτάται από το pH του εδάφους. Σε όξινο περιβάλλον ($\text{pH} < 3$) και σε συνθήκες όπου υπάρχει χαμηλή περιεκτικότητα σε σωματίδια πλούσια σε Fe το κάδμιο είναι πολύ ευκίνητο. Το κάδμιο επίσης παρουσιάζει μεγάλη κινητικότητα σε αναγωγικές συνθήκες με $\text{pH} > 5$ και παρουσία υδρόθειου (Kabata Pendias and Sadurski 2004). Η κινητικότητα του καδμίου στο έδαφος ελέγχεται από τις αντιδράσεις οξειδοαναγωγής και το σχηματισμό συμπλόκων (Herrero and Martin 1993).

Η συγκέντρωση του καδμίου στα δείγματα των εδαφών κυμαίνεται για το βάθος των 0-20 cm από 0,40 έως 1,20 mg/kg, με μέση τιμή 0,57 mg/kg και για το βάθος των 20-40 cm από 0,40 έως 0,90 mg/kg, με μέση τιμή 0,48 mg/kg. Η μέση τιμή και στα δύο βάθη ξεπερνά τη μέση συγκέντρωση των εδαφών των 0,06 mg/kg (Siegel 1974), (Πιν. 7.28).

Πίνακας 7.28: Στατιστικά στοιχεία εδαφών στα δυο βάθη (0 - 20 cm), (20 - 40 cm) και μέση συγκέντρωση εδαφών από Siegel (1974).

	Cd (mg/kg)	Co (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)
Βάθος (0-20 cm)							
Μέσος όρος	0,57	19,33	537,75	235,83	223,08	23,08	65,92
Ελάχιστο	0,4	10	300	52	40	11	19
Μέγιστο	1,2	35	845	438	549	59	196
Βάθος (20-40 cm)							
Μέσος όρος	0,48	18,92	492,33	220,83	213,83	19,33	46,83
Ελάχιστο	0,4	5	164	26	15	5	15
Μέγιστο	0,9	37	796	477	602	36	108
Μέση συγκέντρωση κατά Siegel.	0,06	10	-	40	100	20	50

Οι συγκεντρώσεις καδμίου σε όλα τα δείγματα εδαφών και στα δύο βάθη (0-20 και 20-40 cm) δεν υπερβαίνουν την ανώτατη αποδεκτή συγκέντρωση του καδμίου (1,4 mg/kg) που καθορίζεται από την Καναδική νομοθεσία (Canadian Environmental Quality Guidelines 2003) για αγροτικές περιοχές (Πιν. 7.29 και 7.30).

Σύμφωνα με την Ολλανδική νομοθεσία (Dutch List 2000) οι συγκεντρώσεις του καδμίου σε κανένα δείγμα από τα δύο βάθη (0-20 και 20-40 cm) δεν υπερβαίνουν την ανώτατη αποδεκτή τιμή του καδμίου (12 mg/kg) (Πιν. 7.30 και 7.31).

Πίνακας 7.29: Ανώτατες αποδεκτές τιμές μετάλλων σε εδάφη σύμφωνα με την Καναδική νομοθεσία (Canadian Environmental Quality Guidelines 2003).

ΕΛΑΦΗ	
ΜΕΤΑΛΛΑ (mg/kg)	ΑΓΡΟΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ
Cd	1,4
Co	40
Ni	50
Cr	64
Cu	63
Zn	200

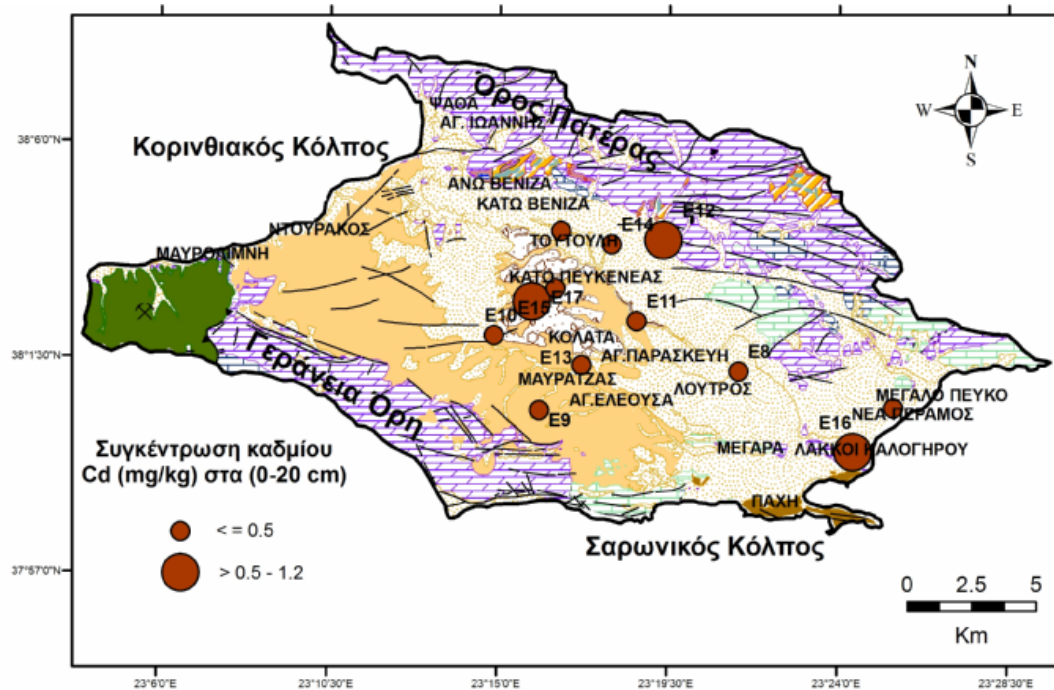
Πίνακας 7.30: Ολικές συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων των εδαφών και ανώτατες αποδεκτές τιμές της Καναδικής (Α.Α.Τ.Κ.Ν.) και της Ολλανδικής νομοθεσίας (Α.Α.Τ.Ο.Ν.).

	Cd (mg/kg)	Co (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)
E8 (0-20 cm)	0,5	32	804	438	397	29	77
E8(20-40 cm)	0,5	29	684	379	602	30	75
E9(0-20 cm)	<0,4	10	300	103	91	14	31
E9(20-40 cm)	<0,4	7	164	69	44	8	21
E10(0-20 cm)	<0,4	18	310	284	210	13	19
E10(20-40 cm)	<0,4	23	360	327	186	15	24
E11(0-20 cm)	0,5	35	803	437	549	18	39
E11(20-40 cm)	0,4	37	796	477	490	19	38
E12(0-20 cm)	1,2	19	845	113	126	23	85
E12(20-40 cm)	0,9	15	649	86	100	18	59
E13(0-20 cm)	0,5	19	495	255	189	20	36
E13(20-40 cm)	<0,4	19	484	243	238	20	32
E14(0-20 cm)	0,5	10	449	52	40	11	33
E14(20-40 cm)	<0,4	5	222	26	15	5	15
E15(0-20 cm)	<0,4	23	333	395	225	13	22
E15(20-40 cm)	<0,4	21	286	362	336	12	21
E16(0-20 cm)	0,7	13	539	86	71	34	82
E16(20-40 cm)	0,5	16	644	110	90	36	79
E17(0-20 cm)	0,7	23	553	347	313	59	196
E17(20-40 cm)	<0,4	19	337	237	178	21	28
E18(0-20 cm)	0,5	20	552	266	400	18	44
E18(20-40 cm)	0,5	23	740	269	209	24	62
E20(0-20 cm)	0,5	10	470	54	66	25	127
E20(20-40 cm)	0,5	13	542	65	78	24	108
Α.Α.Τ.Κ.Ν.	1,4	40	-	50	64	63	200
Α.Α.Τ.Ο.Ν.	12	240	-	210	380	190	720

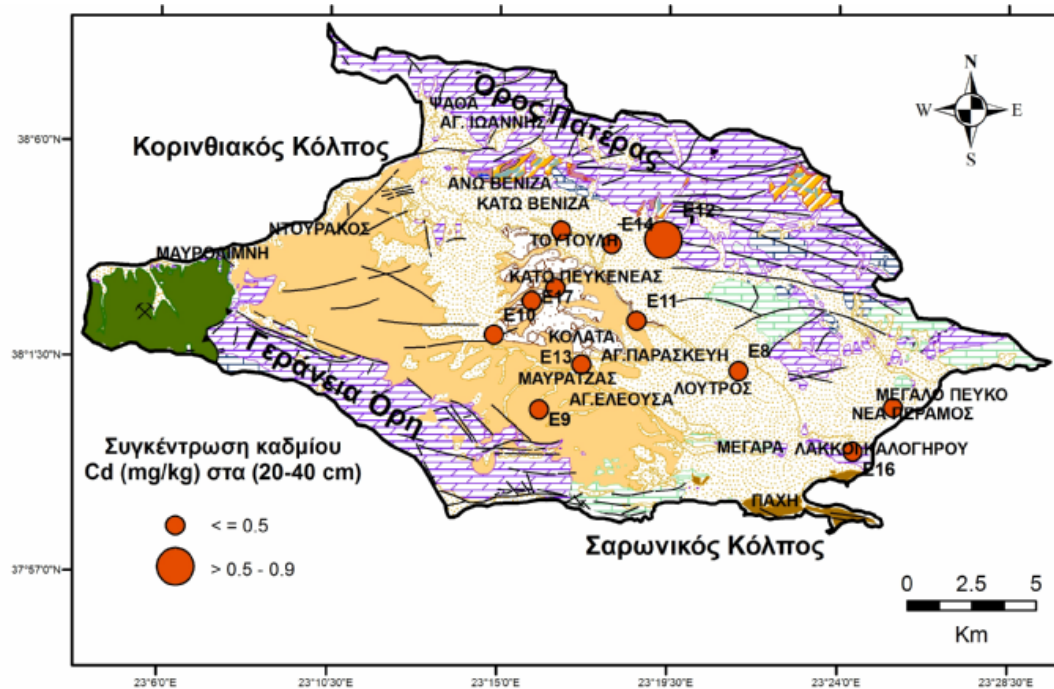
Πίνακας 7.31: Ανώτατες αποδεκτές τιμές μετάλλων σε εδάφη σύμφωνα με την Ολλανδική νομοθεσία (Dutch List 2000).

ΕΛΑΦΟΣ/ΙΖΗΜΑ	
ΜΕΤΑΛΛΑ (mg/kg)	ΑΝΩΤΑΤΗ ΑΠΟΔΕΚΤΗ ΤΙΜΗ (mg/kg)
Cd	12
Co	240
Ni	210
Cr	380
Cu	190
Zn	720

Η χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων του καδμίου στα δείγματα εδαφών για τα βάθη των 0-20 και 20-40 cm παρουσιάζονται στα Σχ. 7.4 και 7.5. Τα δεδομένα έχουν ομαδοποιηθεί σε 2 κλάσεις, για το βάθος 0-20 και 20-40 cm. Οι κλάσεις αυτές στα 0-20 cm είναι $\leq 0,5$ mg/kg, και $> 0,5 - 1,2$ mg/kg, και για το βάθος των 20-40 cm $\leq 0,5$ mg/kg, $> 0,5 - 0,9$ mg/kg (Σχ. 7.4 και 7.5).



Σχήμα 7.4: Κατανομή συγκεντρώσεων Cd (mg/kg) στα εδαφικά δείγματα βάθους 0-20 cm.



Σχήμα 7.5: Κατανομή συγκεντρώσεων Cd (mg/kg) στα εδαφικά δείγματα βάθους 20-40 cm.

Με την εφαρμογή της μεθόδου του Tessier et al. (1979), από τις συγκεντρώσεις που προσδιορίστηκαν για κάθε μεταλλικό στοιχείο χωριστά, υπολογίζεται το ποσοστό συμμετοχής του στοιχείου σε κάθε ένα από τα 5 κλάσματα. Ο υπολογισμός του ποσοστού επί τις % έγινε με βάση το συνολικό άθροισμα των 5 βημάτων της μεθόδου για το κάθε στοιχείο.

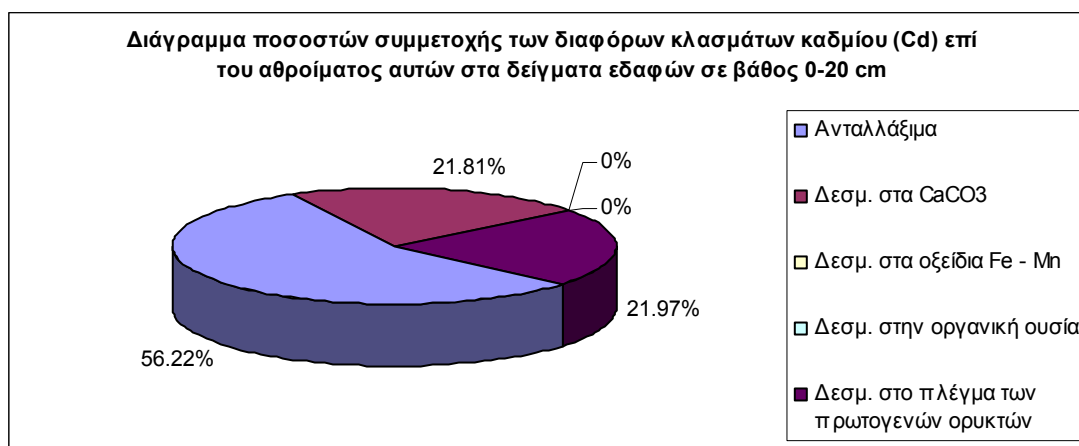
Η διαδοχική εκχύλιση έδωσε τα εξής αποτελέσματα για το κάδμιο.

Για το βάθος των 0-20 cm προκύπτει (Σχ. 7.6):

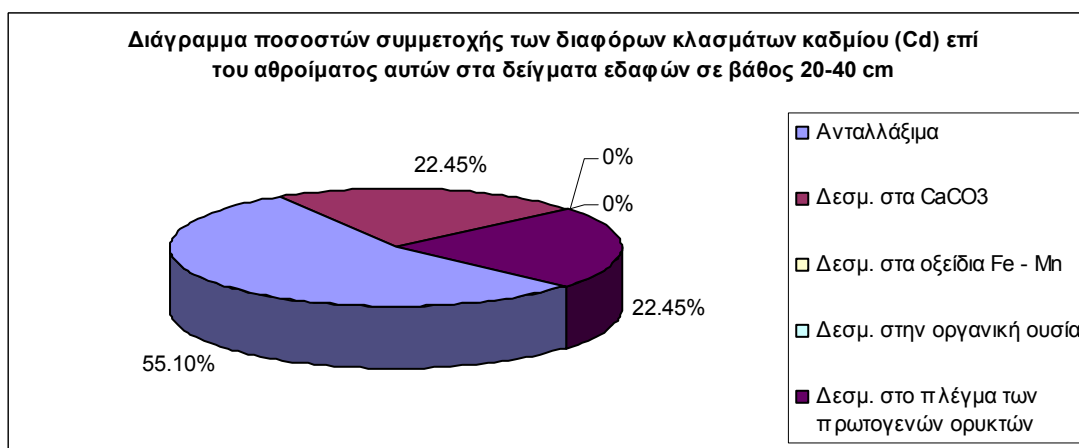
Ανταλλάξιμα > Δεσμευμένο στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών > Δεσμευμένο στο $CaCO_3$ > Δεσμευμένο στα οξείδια Fe-Mn + Δεσμευμένο στην οργανική ουσία.

Για το βάθος των 20-40cm προκύπτει (Σχ. 7.7):

Ανταλλάξιμα > Δεσμευμένο στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών + Δεσμευμένο στο $CaCO_3$ > Δεσμευμένο στα οξείδια Fe-Mn + Δεσμευμένο στην οργανική ουσία.



Σχήμα 7.6: Διάγραμμα ποσοστών συμμετοχής των διαφόρων κλασμάτων Cd στα εδάφη της λεκάνης των Μεγάρων για το βάθος των 0-20 cm.



Σχήμα 7.7: Διάγραμμα ποσοστών συμμετοχής των διαφόρων κλασμάτων Cd στα εδάφη της λεκάνης των Μεγάρων για το βάθος των 20-40 cm.

Το μεγαλύτερο ποσοστό του καδμίου βρίσκεται στα ανταλλάξιμα και για τα δυο βάθη 56,22% (για το βάθος των 0-20 cm) και 55,10% (για το βάθος των 20-40 cm). Το αποτέλεσμα αυτό φανερώνει, ότι η κύρια πηγή του καδμίου στα εδάφη της λεκάνης των Μεγάρων σχετίζεται με ανθρωπογενείς παράγοντες και κυρίως με τη χρήση

λιπασμάτων. Σύμφωνα με τον Kabata Pendias and Pendias (1992), η χρήση λιπασμάτων αποτελεί συνηθισμένη πηγή ρύπανσης καδμίου στα εδάφη, αφού η συγκέντρωση καδμίου στα φωσφορικά λιπάσματα φτάνει έως τα 170 mg/Kg και στα αζωτούχα λιπάσματα φτάνει έως τα 8,5 mg/Kg. Ένα ποσοστό καδμίου μπορεί να έχει γεωγενή προέλευση και συγκεκριμένα να προέρχεται από τα προϊόντα εξαλλοίωσης των υπερβασικών πετρωμάτων και των σχιστόλιθων που απαντούν στην περιοχή έρευνας. Στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών βρίσκεται δεσμευμένο το 21,97% (για το βάθος των 0-20 cm) και 22,45% (για το βάθος των 20-40 cm). Τέλος στα ανθρακικά ορυκτά βρίσκεται δεσμευμένο ποσοστό ίσο με 21,81% (για το βάθος των 0-20 cm) και 22,45% (για το βάθος των 20-40 cm).

Μηδενικά είναι τα ποσοστά καδμίου τα οποία βρίσκονται δεσμευμένα στα οξειδία Fe-Mn και στην οργανική ουσία και για τα δυο βάθη δειγματοληψίας, επομένως αυτό δείχνει ότι το κάδμιο δεν σχετίζεται με την παρουσία των οξειδίων του μαγγανίου και ούτε με την οργανική ουσία.

7.4.6.5. Κοβάλτιο (Co)

Το κοβάλτιο συναντάται συνήθως σε διάφορα πυριτικά ορυκτά (ολιβίνης, πυρόξενος) στα οποία βρίσκεται σαν συνοδό στοιχείο και στα ορυκτά κοβαλτίτη (CoASS) και σκοντερουδίτη (CoAS₂₋₃). Το κοβάλτιο στα διάφορα ορυκτά συνυπάρχει με άλλα στοιχεία όπως Cu, Bi, Fe και Ni (Αλιφραγκής 2008).

Στα βασικά και υπερβασικά πετρώματα συναντώνται οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις κοβαλτίου. Στο στερεό φλοιό κατά μέσο όρο η συγκέντρωση του είναι 10 mg/kg και στο έδαφος 0,15 έως 1,5 mg/kg, με μέσο όρο 0,80 mg/kg. Οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις κοβαλτίου συναντώνται σε ξηρές και ημίξερές περιοχές πχ: η συγκέντρωση κοβαλτίου στην Αίγυπτο κυμαίνεται από 16,5 έως 26,8 mg/kg (Αλιφραγκής 2008).

Το λεπτόκοκκο κλάσμα του εδάφους δείχνει μια θετική συσχέτιση με την περιεκτικότητα του κοβαλτίου στα εδάφη. Μεγάλη ικανότητα προσρόφησης του κοβαλτίου εμφανίζουν τα άμορφα υδροξείδια Fe-Al και ο μοντμοριλλονίτης (Αλιφραγκής 2008).

Το Eh και το pH του εδάφους διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην ειδοταυτοποίηση (speciation) του κοβαλτίου. Γενικά όταν μειώνεται το pH τότε διαλυτοποιείται το κοβάλτιο που έχει καθιζήσει ή προσροφηθεί. Τα συγκρίματα Fe και Mn περιέχουν υψηλή συγκέντρωση κοβαλτίου. Επίσης τα οξειδία του Mn βοηθούν στην οξειδωση του κοβαλτίου από Co²⁺ σε Co³⁺. Σύμφωνα με τον Αλιφραγκή (2008) τα εδάφη κατατάσσονται σε 4 κατηγορίες, ανάλογα με τη συγκέντρωσή τους σε κοβάλτιο. Οι συνθήκες αποστράγγισης παίζουν σημαντικό ρόλο στην περιεκτικότητα των εδαφών σε κοβάλτιο. Η κατηγοριοποίηση αυτή αφορά εδάφη με περιεκτικότητα σε οργανική ύλη < 12%. Σκοπός της κατηγοριοποίησης αυτής είναι η αναγνώριση περιοχών που εμφανίζουν έλλειψη κοβαλτίου (Πιν. 7.32).

Πίνακας 7.32: Κατηγοριοποίηση εδαφών με βάση την ποσότητα εκχυλιζόμενου κοβαλτίου (Αλιφραγκής 2008).

Κατηγορία	Συγκέντρωση (mg/kg)
Πολύ χαμηλή	< 0,20
Χαμηλή	0,20 – 0,45
Μέτρια	0,56 – 0,85
Υψηλή	> 0,85

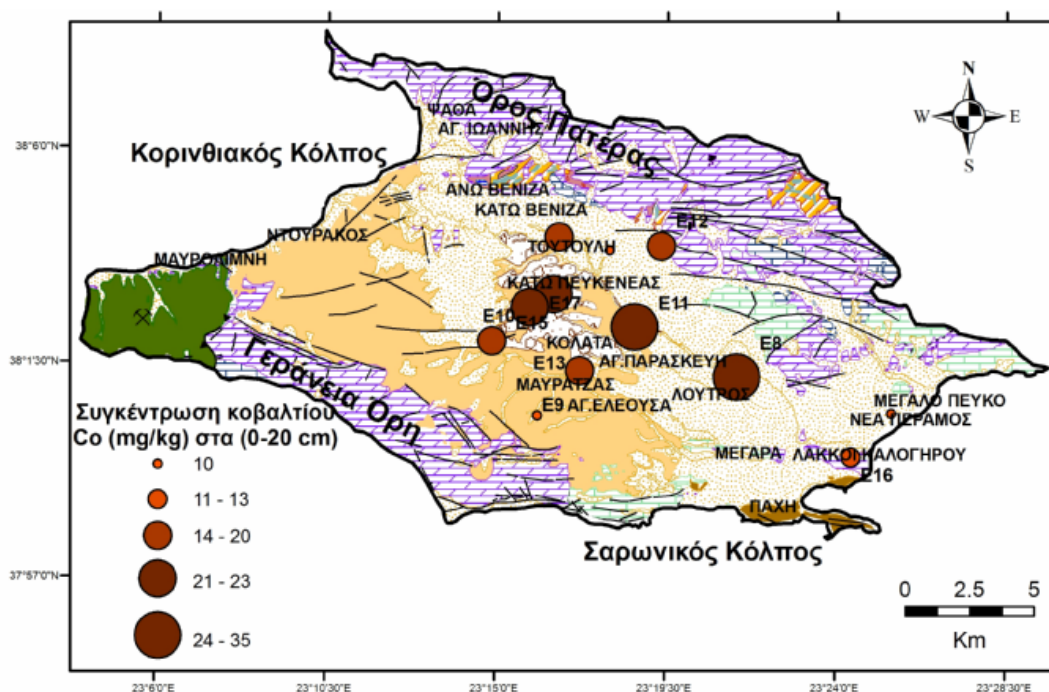
Η συγκέντρωση του κοβαλτίου στα δείγματα των εδαφών κυμαίνεται από 10 έως 35 mg/kg με μέση τιμή 19,33 για το εδαφικό βάθος των 0-20 cm και από 5 έως 37 mg/kg με μέση τιμή 18,92 για τον εδαφικό βάθος των 20-40 cm. Η μέση τιμή και στα δύο βάθη (0-20 και 20-40 cm) ξεπερνά τη μέση συγκέντρωση των εδαφών που είναι τα 10 mg/kg (Siegel 1974), (Πιν. 7.28). Οι συγκεντρώσεις του κοβαλτίου σε κανένα δείγμα εδάφους και στα δύο βάθη (0-20 και 20-40 cm) δεν υπερβαίνει την ανώτατη αποδεκτή συγκέντρωση του κοβαλτίου (40 mg/kg) που καθορίζεται από την Καναδική νομοθεσία (Canadian Environmental Quality Guidelines 2003) για αγροτικές περιοχές (Πιν. 7.29 και 7.30).

Σύμφωνα με την Ολλανδική νομοθεσία (Dutch List 2000) οι συγκεντρώσεις του κοβαλτίου σε κανένα δείγμα εδάφους και στα δύο βάθη (0-20 και 20-40 cm) δεν υπερβαίνει την ανώτατη αποδεκτή τιμή του κοβαλτίου (240 mg/kg), (Πιν. 7.30 και 7.31).

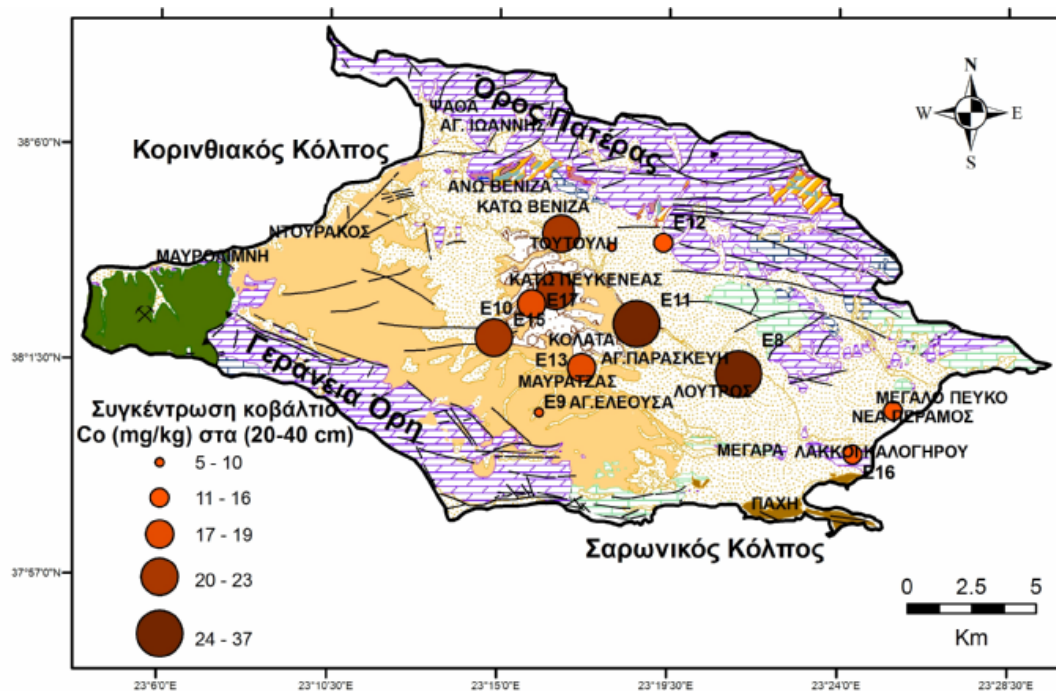
Η χωρική κατανομή του κοβαλτίου στα δείγματα των εδαφών απεικονίζεται στα Σχ. 7.8 και 7.9 για τα 0-20 cm και 20-40 cm βάθος αντίστοιχα. Τα δεδομένα ομαδοποιήθηκαν σε 5 κλάσεις, για τα 0-20 cm: 10 mg/kg, 11-13 mg/kg, 14-20 mg/kg, 21-23 mg/kg και 24-35 mg/kg, και για τα 20-40 cm : 5-10 mg/kg, 11-16 mg/kg, 17-19 mg/kg, 20-23 mg/kg και 24-37 mg/kg (Σχ. 7.8 και 7.9).

Οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις κοβαλτίου καταγράφονται και για τα δύο βάθη δειγματοληψίας στο κεντρικό τμήμα της λεκάνης και συγκεκριμένα στις περιοχές Τούτουλη, Κάτω Πευκενέας, Αγ.Παρασκευή και Λουτρός.

Οι σχετικά υψηλές συγκεντρώσεις κοβαλτίου στα εδάφη της περιοχής έρευνας, αποδίδονται στην παρουσία κλαστικού υλικού εντός των νεογενών και τεταρτογενών ιζημάτων που προέρχεται από την αποσάθρωση των υπερβασικών πετρωμάτων. Επίσης, η μέση συγκέντρωση του κοβαλτίου στα υπερβασικά πετρώματα είναι 150 mg/kg όπως αναφέρεται και από τους Turekian and Wedepohl (1961).



Σχήμα 7.8: Κατανομή συγκέντρωσης Co (mg/kg) στα εδαφικά δείγματα βάθους 0-20 cm.



Σχήμα 7.9: Κατανομή συγκέντρωσης Co (mg/kg) στα εδαφικά δείγματα βάθους 20-40 cm.

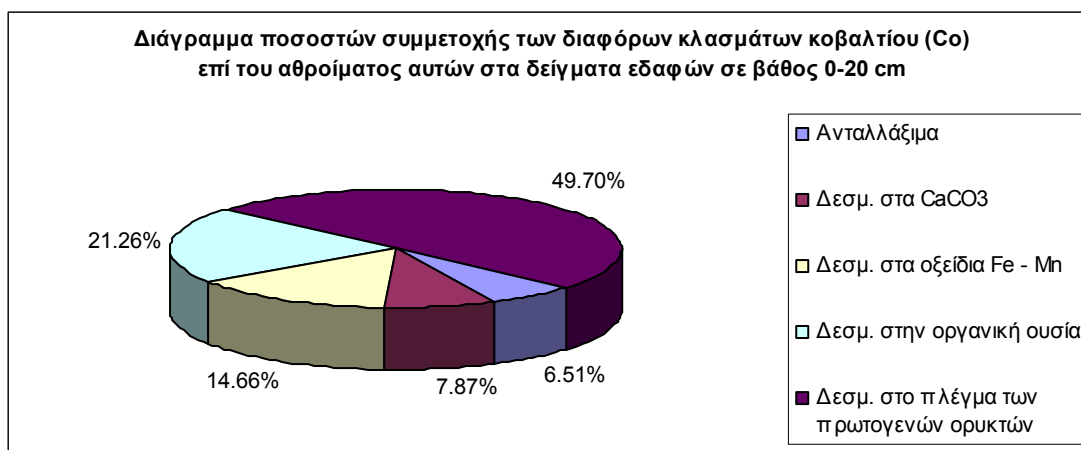
Με βάση τα αποτελέσματα του κοβαλτίου τα οποία πάρθηκαν από τα 5 στάδια της διαδοχικής εκχύλισης φαίνεται ότι ακολουθούν την εξής κατανομή και για τα δυο βάθη των 0-20 και 20-40 cm (Σχ. 7.10 και 7.11):

Δεσμευμ. στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών > Δεσμευμ. στην οργανική ουσία > Δεσμευμ. στα οξείδια Fe-Mn > Δεσμευμ. στο CaCO₃ > ανταλλάξιμα

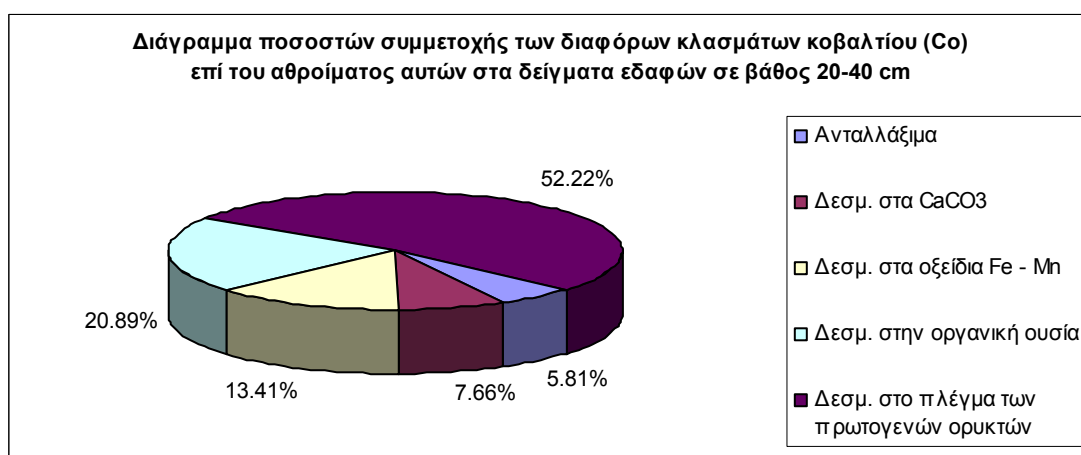
Παρατηρείται ότι το μεγαλύτερο ποσοστό κοβαλτίου και στους δυο εδαφικούς ορίζοντες, βρίσκεται δεσμευμένο στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών 49,70% (για το βάθος των 0-20 cm) και 52,22% (για το βάθος των 20-40 cm).

Επομένως το κοβάλτιο προέρχεται από το μητρικό πέτρωμα και συγκεκριμένα από τα τεμάχια των υπερβασικών που βρίσκονται αποσπασμένα στα νεογενή και τεταρτογενή ιζήματα της λεκάνης των Μεγάρων. Επίσης ποσοστά κοβαλτίου 21,26% (για το βάθος των 0-20 cm) και 20,89% (για το βάθος των 20-40 cm) βρίσκονται δεσμευμένα στην οργανική ουσία. Στα οξείδια του σιδήρου, τα ποσοστά του κοβαλτίου είναι 14,66% (για το βάθος των 0-20 cm) και 13,41% (για το βάθος των 20-40 cm) που υποδηλώνουν την παρουσία γεωγενούς πηγής προέλευσης (Σχ. 7.10 και 7.11).

Στα ανταλλάξιμα το ποσοστό του κοβαλτίου είναι 6,51% (για το βάθος των 0-20 cm) και 5,81% (για το βάθος των 20-40 cm), το οποίο πιθανόν να οφείλεται σε ανθρωπογενή παράγοντα και τέλος 7,87% (για το βάθος των 0-20 cm) και 7,66% (για το βάθος των 20-40 cm) βρίσκεται δεσμευμένο στα ανθρακικά (Σχ. 7.10 και 7.11).



Σχήμα 7.10: Διάγραμμα ποσοστών συμμετοχής των διαφόρων κλασμάτων Co στα εδάφη της λεκάνης των Μεγάρων για το βάθος των 0-20 cm.



Σχήμα 7.11: Διάγραμμα ποσοστών συμμετοχής των διαφόρων κλασμάτων Co στα εδάφη της λεκάνης των Μεγάρων για το βάθος των 20-40 cm.

7.4.6.6. Μαγγάνιο (Mn)

Κύρια πηγή προέλευσης του μαγγανίου στο έδαφος είναι τα ορυκτά ροδοχρωσίτης (MnCO₃), ο πυρολουσίτης (MnO₂) και ο μαγγανίτης (MnOOH). Το μαγγάνιο στο έδαφος μπορεί να φτάσει σε συγκέντρωση από 20 έως 3000 mg/kg, με μέσο όρο τα 600 mg/kg (Lindsay 1979).

Σύμφωνα με τους Aubert and Pinda (1997) η συγκέντρωση του μαγγανίου στο έδαφος εξαρτάται από το μητρικό πέτρωμα από το οποίο προέρχεται. Έτσι οι μικρότερες συγκεντρώσεις μαγγανίου απαντώνται σε εδάφη όπου τα μητρικά πετρώματα είναι ψαμμίτες 50 έως 500 mg/kg και οι μεγαλύτερες σε εδάφη από όξινα πετρώματα (γρανίτης, ρυόλιθος), ορισμένα ιζηματογενή και μεταμορφωσιγενή πετρώματα όπου φτάνει τα 200 έως 1200 mg/kg. Στα εδάφη από ασβεστόλιθους η συγκέντρωση του μαγγανίου κυμαίνεται από 400 έως 600 mg/kg.

Το μαγγάνιο εμφανίζεται στο έδαφος ως Mn²⁺, Mn³⁺, Mn⁴⁺, με πιο σπάνιο το Mn³⁺. Όταν επικρατούν αλκαλικές συνθήκες σε ένα έδαφος και παράγεται Mn²⁺ με τη διαδικασία της αποσάθρωσης, τότε αυτό οξειδώνεται γρήγορα με τη βοήθεια αερόβιων βακτηρίων και μυκήτων (Bromfield 1958).

Το μαγγάνιο απαντάται στο έδαφος κυρίως με τη μορφή οξειδίων. Με τη μορφή επίσης εδαφικών επικαλύψεων τεμαχιδίων ή κονδύλων διαφορετικής διαμέτρου απαντούν οξειδία και υδροξειδία. Τα οξειδία του μαγγανίου μπορούν να αυξήσουν την ευκινησία ορισμένων μετάλλων εξαιτίας των αναγωγικών και οξειδωτικών ιδιοτήτων κάτω από ειδικές συνθήκες του εδάφους (Kabata Pendias and Pendias 2001).

Το pH του εδάφους παίζει σημαντικό ρόλο στην κινητικότητα του μαγγανίου καθώς και στις συγκεντρώσεις αυτού όταν βρίσκεται σε εδάφη που είναι ρυπασμένα από μέταλλα (Karczewska 2004).

Όταν η συγκέντρωση του μαγγανίου είναι μεγαλύτερη από 100 mg/kg και το pH του εδάφους μικρότερο από 5 τότε δημιουργούνται συνθήκες τοξικότητας (Corpenet and Juste 1982).

Η ολική συγκέντρωση του μαγγανίου στα εδαφικά δείγματα της περιοχής έρευνας κυμαίνεται από 300 έως 845 mg/kg, με μέση τιμή 537,75 για το εδαφικό βάθος των 0-20 cm και από 164 έως 796 mg/kg με μέση τιμή 492,33 για τον εδαφικό βάθος των 20-40 cm (Πίν. 7.28).

Η χωρική κατανομή του μαγγανίου στα δείγματα των εδαφών απεικονίζεται στα Σχ. 7.12 και 7.13 για τα 0-20 cm και 20-40 cm βάθους αντίστοιχα. Τα δεδομένα ομαδοποιήθηκαν σε 5 κλάσεις, για τα 0-20 cm: 300-350 mg/kg, 351-450 mg/kg, 451-500 mg/kg, 501-550 mg/kg και 551-845 mg/kg, και για τα 20-40 cm: 164-350 mg/kg, 351-450 mg/kg, 451-500 mg/kg, 501-550 mg/kg και 551-796 mg/kg.

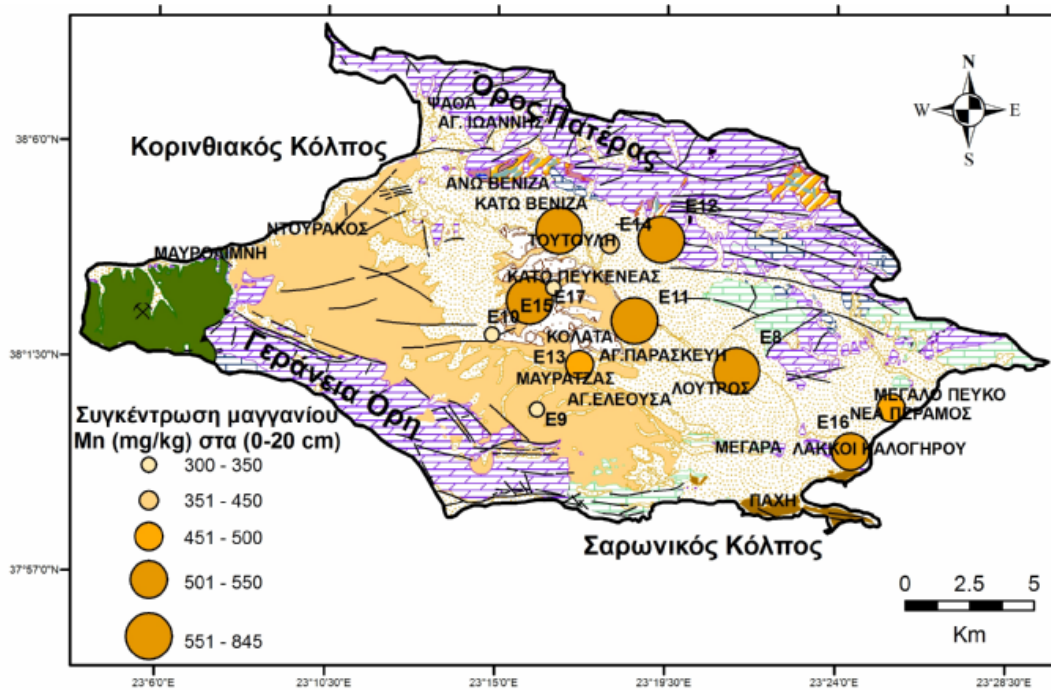
Οι συγκεντρώσεις του μαγγανίου που προσδιορίστηκαν στα εδάφη της λεκάνης των Μεγάρων αποδίδονται στα οξειδία του μαγγανίου που υπάρχουν μέσα στις μάργες των νεογενών καθώς και στα αποσθρωμένα τεμάχια των υπερβασικών πετρωμάτων και των σχιστολίθων που βρίσκονται μέσα στα νεογενή και τεταρτογενή ιζήματα. Η μέση συγκέντρωση του μαγγανίου στα υπερβασικά πετρώματα είναι 1620 mg/kg και στους σχιστολίθους 850 mg/kg (Turekian and Wedepohl 1961). Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις μαγγανίου εντοπίζονται σε εδάφη των περιοχών Τούτουλη, Κάτω Πευκενάς, Αγ.Παρασκευή, Λουτρός και Λάκκοι Καλογήρου. Η κατανομή του μαγγανίου εμφανίζει ομοιότητες και στους δυο εδαφικούς ορίζοντες δειγματοληψίας (Σχ. 7.12 και 7.13).

Με βάση τα αποτελέσματα του μαγγανίου τα οποία προέκυψαν από τα 5 στάδια της διαδοχικής εκχύλισης φαίνεται ότι ακολουθούν την εξής κατανομή και για τα δυο βάθη των 0-20 cm και 20-40 cm (Σχ. 7.14 και 7.15):

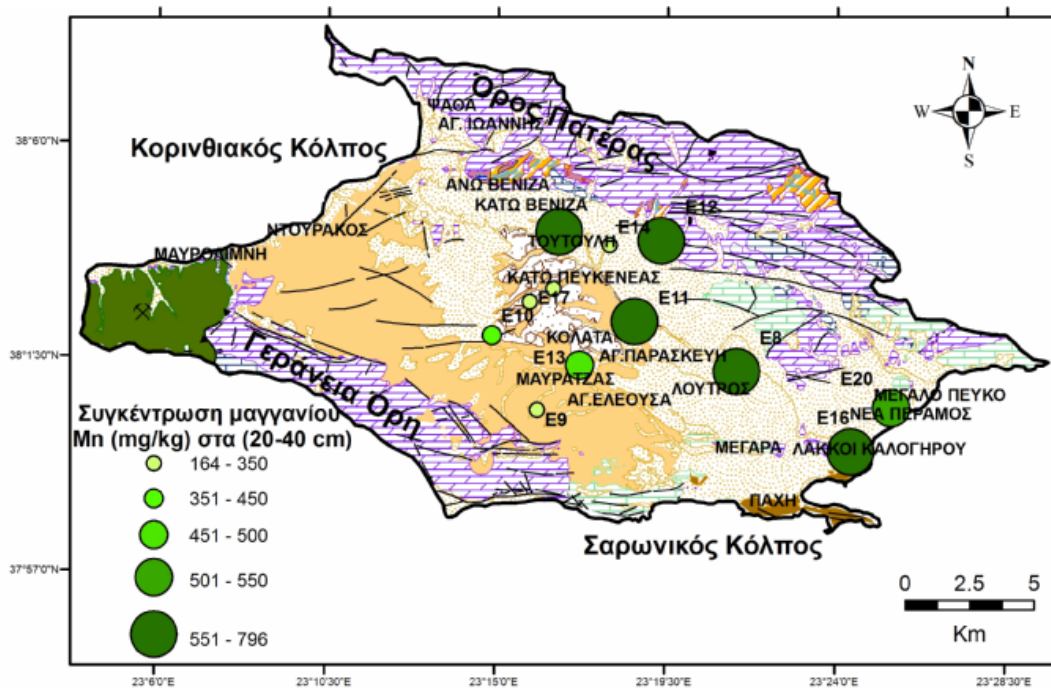
Δεσμευμένο στα οξειδία Fe-Mn > Δεσμευμένο στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών > Δεσμευμένο στην οργανική ουσία > Δεσμευμένο στο CaCO₃ > Ανταλλάξιμο.

Το μεγαλύτερο ποσοστό του μαγγανίου βρίσκεται δεσμευμένο στα οξειδία Fe-Mn 54,03% (για το βάθος των 0-20 cm) και 54,26% (για το βάθος των 20-40 cm), γεγονός το οποίο ερμηνεύεται από την παρουσία οξειδίων του μαγγανίου μέσα στις μάργες των νεογενών σχηματισμών. Η παρουσία οξειδίων μαγγανίου στους νεογενείς σχηματισμούς της λεκάνης των Μεγάρων αναφέρεται και από τον Σαφιγέ (1982).

Ποσοστά μαγγανίου τα οποία ισούνται με 29,22% (για το βάθος των 0-20 cm) και 26,68% (για το βάθος των 20-40 cm) βρίσκονται στο υπολειμματικό στάδιο, γεγονός το οποίο ερμηνεύεται από την παρουσία αποσθρωμένων τεμαχίων υπερβασικών πετρωμάτων εντός των νεογενών και τεταρτογενών σχηματισμών. Στην οργανική ουσία βρίσκεται ποσοστό μαγγανίου ίσο με 14,27% (για το βάθος των 0-20 cm) και 16,77% (για το βάθος των 20-40 cm) (Σχ. 7.14 και 7.15).



Σχήμα 7.12: Κατανομή συγκεντρώσεων Mn (mg/kg) στα εδαφικά δείγματα βάθους 0-20 cm.

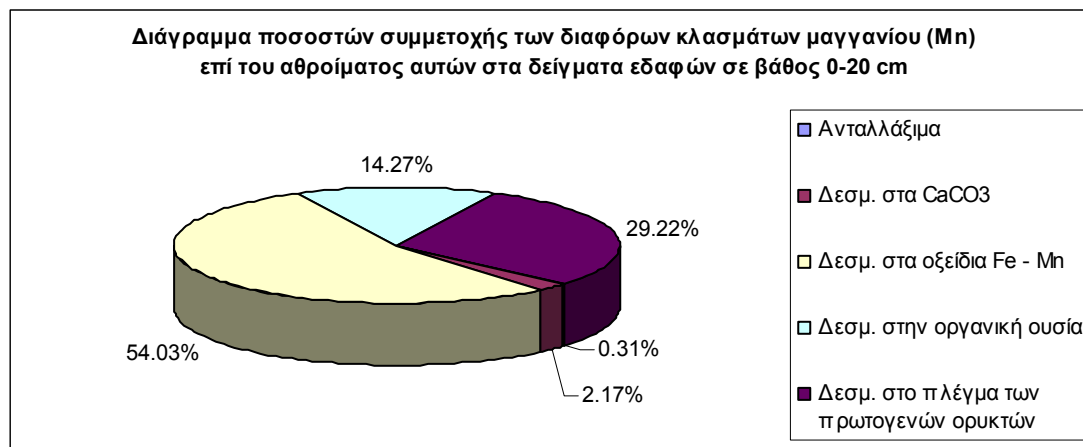


Σχήμα 7.13: Κατανομή συγκεντρώσεων Mn (mg/kg) στα εδαφικά δείγματα βάθους 20-40 cm.

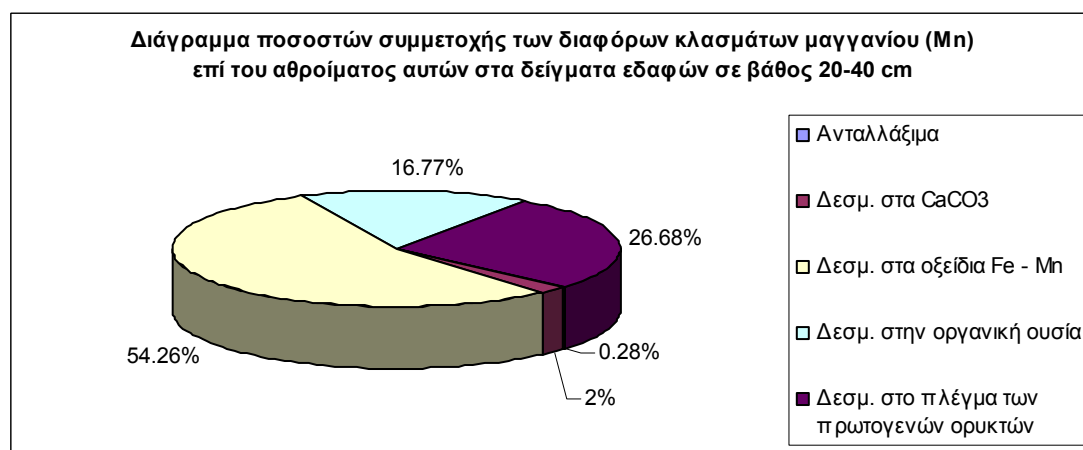
Ποσοστό μαγγανίου ίσο με 0,31% (για το βάθος των 0-20 cm) και 0,28 % (για το βάθος των 20-40 cm) ανήκει στα ανταλλάξιμα, αυτό αποδεικνύει ότι ο ανθρωπογενής παράγοντας για το μαγγάνιο είναι αμελητέος σύμφωνα με τα παραπάνω αποτελέσματα. Επίσης ποσοστό μαγγανίου 2,17% (για το βάθος των 0-20 cm) και 2%

(για το βάθος των 20-40 cm) βρίσκεται δεσμευμένο στα ανθρακικά ορυκτά (Σχ. 7.14 και 7.15).

Το συμπέρασμα το οποίο προκύπτει είναι ότι το μαγγάνιο είναι κυρίως γεωγενούς προέλευσης προερχόμενο από τα οξείδια του μαγγανίου και τα υπερβασικά πετρώματα και όχι ανθρωπογενούς προέλευσης.



Σχήμα 7.14: Διάγραμμα ποσοστών συμμετοχής των διαφόρων κλασμάτων Mn στα εδάφη της λεκάνης των Μεγάρων για το βάθος των 0-20 cm.



Σχήμα 7.15: Διάγραμμα ποσοστών συμμετοχής των διαφόρων κλασμάτων Mn στα εδάφη της λεκάνης των Μεγάρων για το βάθος των 20-40 cm.

7.4.6.7. Νικέλιο (Ni)

Το νικέλιο στο έδαφος είναι στενά συνδεδεμένο με τα οξείδια του σιδήρου και του μαγγανίου. Συγκεκριμένα οι υψηλότερες συγκεντρώσεις του νικελίου απαντούν στα συγκρίματα Fe-Mn όπου φτάνουν τα 680 mg/kg και ακολουθούν τα οξείδια του σιδήρου και τα ορυκτά με συγκέντρωση νικελίου από 100 έως 170 mg/kg. Το νικέλιο εξαρτάται από την περιεκτικότητα του στο μητρικό πέτρωμα και αντικατοπτρίζει τα αποτελέσματα της ρύπανσης και του σχηματισμού του εδάφους. Το νικέλιο επίσης δεσμεύεται από τα αργιλικά ορυκτά και κυρίως το μοντμοριλλονίτη (Dahn et al. 2003).

Το νικέλιο στο έδαφος μπορεί να είναι πολύ ευκίνητο μπορεί όμως να μην παρουσιάζει και καμία κινητικότητα. Η κινητικότητα του νικελίου εξαρτάται από το pH και μάλιστα είναι αντιστρόφως ανάλογη. Οι Siebielec and Chaney (2006) αναφέρουν ότι σε $\text{pH} > 6,5$ μειώνεται δραστικά το εκχυλίσμο νικέλιο. Επίσης το pH του εδάφους, η οργανική ύλη και η περιεκτικότητα σε άργιλο ελέγχουν τη φυτοδιαθεσιμότητα και συμπεριφορά του νικελίου. Εδάφη τα οποία προέρχονται από σερπεντίνες διαπιστώνεται, ότι η συγκέντρωση του ασβεστίου είναι χαμηλή και ταυτόχρονα η συγκέντρωση Fe, Mg, Ni, Cr και Co είναι πολύ υψηλή (Homer et al. 1991).

Η συγκέντρωση του νικελίου στα δείγματα των εδαφών κυμαίνεται για το βάθος των 0-20 cm από 52 έως 438 mg/kg, με μέση τιμή 235,83 mg/kg και για το βάθος των 20-40 cm από 26 έως 477 mg/kg, με μέση τιμή 220,83 mg/kg. Η μέση τιμή και στα δύο βάθη ξεπερνά τη μέση συγκέντρωση των εδαφών των 40 mg/kg (Siegel 1974) (Πιν. 7.28). Όλα τα δείγματα εδαφών και στα δύο βάθη (0-20 και 20-40 cm) εκτός από το δείγμα E14 (20-40 cm) υπερβαίνουν την ανώτατη αποδεκτή συγκέντρωση του νικελίου (50 mg/kg) που καθορίζεται από την Καναδική νομοθεσία για αγροτικές περιοχές (Canadian Environmental Quality Guidelines 2003), (Πιν. 7.29 και 7.30). Σύμφωνα με την Ολλανδική νομοθεσία (Dutch List 2000) 7 από τα 12 δείγματα εδαφών και στα δύο βάθη (0-20 cm και 20-40 cm), (ποσοστό 58,33%) υπερβαίνουν την ανώτατη αποδεκτή τιμή του νικελίου (210 mg/kg) (Πιν. 7.30 και 7.31).

Η χωρική κατανομή του νικελίου στα δείγματα εδαφών για τα βάθη των 0-20 και 20-40 cm παρουσιάζεται στα Σχ. 7.16 και 7.17. Τα δεδομένα έχουν ομαδοποιηθεί σε 5 κλάσεις για το βάθος των 0-20 cm και 20-40 cm. Οι κλάσεις αυτές στα 0-20 cm είναι 52-54 mg/kg, 55-13 mg/kg, 114-210 mg/kg, 211-395 mg/kg, 396-438 mg/kg, και για το βάθος των 20-40 cm 26-50 mg/kg, 51-10 mg/kg, 111-210 mg/kg, 211-379 mg/kg και 380-477 mg/kg (Σχ. 7.16 και 7.17).

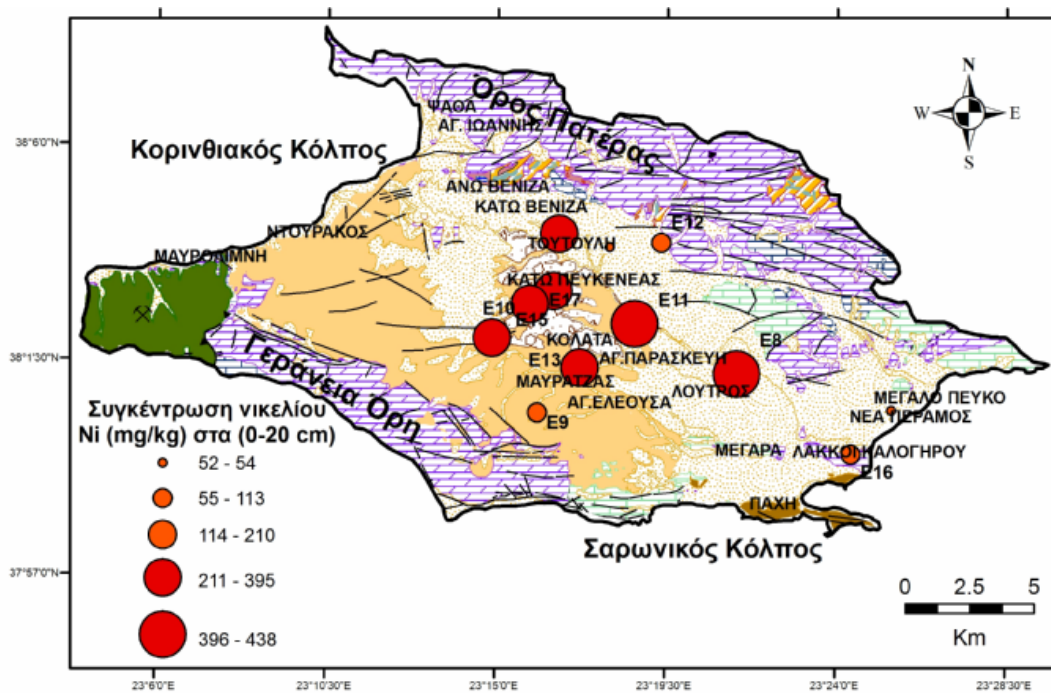
Στους χάρτες χωρικής κατανομής του νικελίου (Σχ. 7.16 και 7.17), τα δείγματα των εδαφών που οι τιμές τους σε νικέλιο ξεπερνούν τα όρια της Καναδικής, αλλά όχι της Ολλανδικής νομοθεσίας, απεικονίζονται με πορτοκαλί χρώμα, ενώ τα δείγματα εδαφών που οι τιμές σε νικέλιο ξεπερνούν τα όρια τόσο της Καναδικής όσο και της Ολλανδικής νομοθεσίας απεικονίζονται με κόκκινο χρώμα.

Από τη χωρική κατανομή διαπιστώνεται, ότι οι υψηλότερες συγκεντρώσεις νικελίου εμφανίζονται στο κεντρικό τμήμα της λεκάνης, εντός των νεογενών και τεταρτογενών σχηματισμών. Η παρουσία του αποδίδεται κυρίως στην ύπαρξη κλαστικού υλικού που έχει προέλθει από την αποσάθρωση των υπερβασικών πετρωμάτων και σχιστόλιθων.

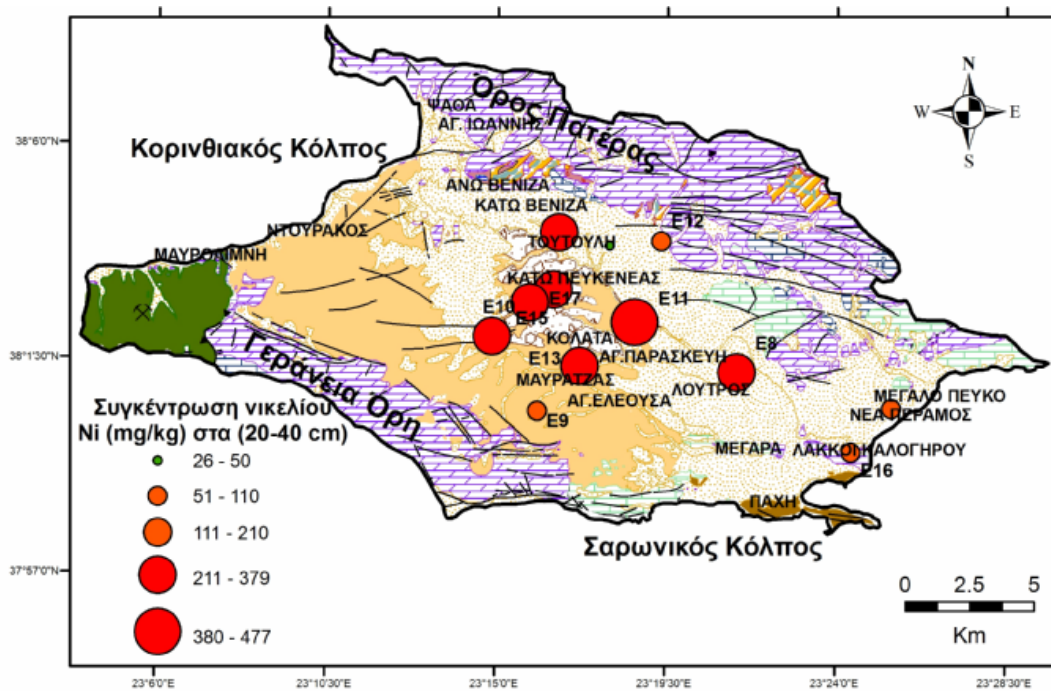
Η συγκέντρωση του νικελίου στα υπερβασικά πετρώματα φθάνει έως τα 2000 mg/kg και στους σχιστολίθους έως τα 68 mg/kg (Turekian and Wedepohl 1961).

Σύμφωνα με τους Kabata Pendias and Sadurski (2004) και τον Cox (1997) η κύρια πηγή προέλευσης του νικελίου στα εδάφη είναι η αποσάθρωση των υπερβασικών πετρωμάτων.

Επίσης αποδίδεται στην παρουσία των οξειδίων μαγγανίου που βρίσκονται στα νεογενή ιζήματα και στην ύπαρξη λιγνιτικού υλικού εντός των μαργαϊκών ιζημάτων του Νεογενούς. Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις νικελίου (> 210 mg/kg) καταγράφονται στα εδάφη των περιοχών Κάτω Πευκενέας, Μαυρατζάς, Αγ.Παρασκευή, Λουτρός και Τούτουλη (Σχ. 7.16 και 7.17).



Σχήμα 7.16: Κατανομή συγκεντρώσεων Ni (mg/kg) στα εδαφικά δείγματα βάθους 0-20 cm.



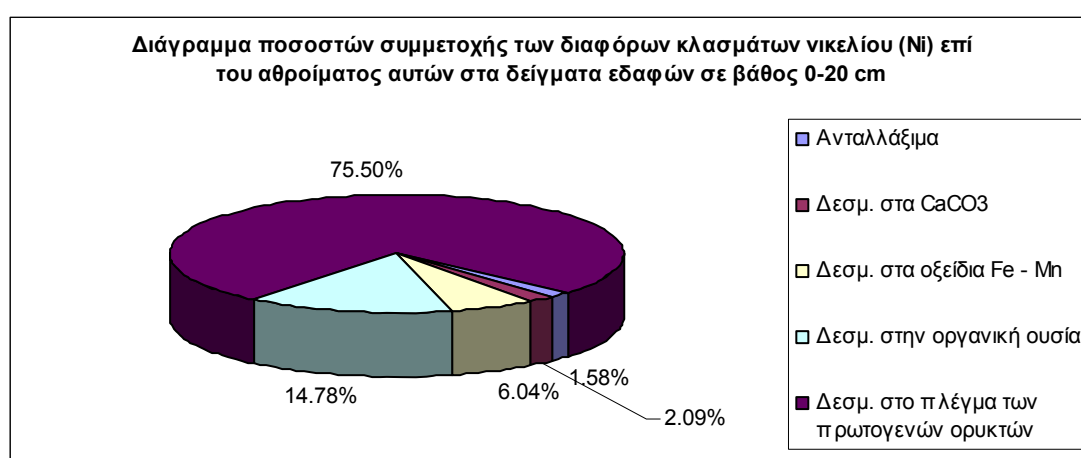
Σχήμα 7.17: Κατανομή συγκεντρώσεων Ni (mg/kg) στα εδαφικά δείγματα βάθους 20-40 cm.

Με βάση τα αποτελέσματα του νικελίου τα οποία πάρθηκαν από τα 5 στάδια της διαδοχικής εκχύλισης, φαίνεται ότι ακολουθούν την εξής κατανομή και για τα δύο βάθη των 0-20 και 20-40 cm (Σχ. 7.18 και 7.19):

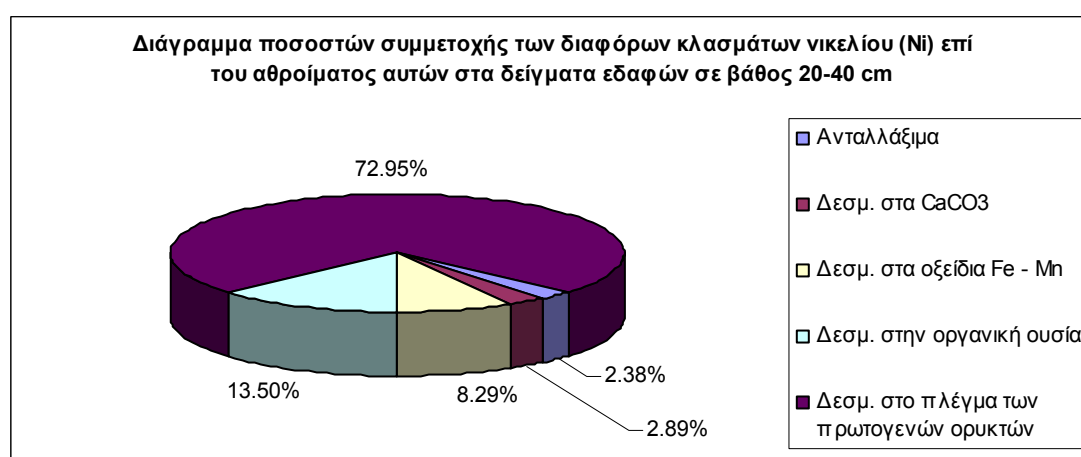
*Δεσμευμένο στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών > Δεσμευμένο στην οργανική ουσία
> Δεσμευμένο στα οξείδια Fe-Mn > Δεσμευμένο στο CaCO₃ > Ανταλλάξιμα.*

Από τα Σχ. 7.18 και 7.19 φαίνεται ότι το μεγαλύτερο ποσοστό του νικελίου βρίσκεται συνδεδεμένο στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών 75,50% (για το βάθος των 0-20 cm) και 72,95% (για το βάθος των 20-40 cm), του οποίου η προέλευση είναι γεωγενής. Συγκεκριμένα η προέλευση του νικελίου στα εδάφη της λεκάνης των Μεγάρων αποδίδεται στην αποσάθρωση των τεμαχίων των υπερβασικών πετρωμάτων που βρίσκονται στους νεογενείς σχηματισμούς.

Σημαντικό ποσοστό νικελίου εντοπίζεται στο οργανικό κλάσμα το οποίο φθάνει το ποσοστό 14,78% (για το βάθος των 0-20 cm) και 13,50% (για το βάθος των 20-40 cm) και στα οξείδια του Fe-Mn 6,04% (για το βάθος των 0-20 cm) και 8,29% (για το βάθος των 20-40 cm), αυτό αποδίδεται στην παρουσία του νικελίου μέσα στο λιγνίτη των νεογενών σχηματισμών (Gamnroula et al. 2011) (Σχ. 7.18 και 7.19).



Σχήμα 7.18: Διάγραμμα ποσοστών συμμετοχής των διαφόρων κλασμάτων Ni στα εδάφη της λεκάνης των Μεγάρων για το βάθος των 0-20 cm.



Σχήμα 7.19: Διάγραμμα ποσοστών συμμετοχής των διαφόρων κλασμάτων Ni στα εδάφη της λεκάνης των Μεγάρων για το βάθος των 20-40 cm.

Επίσης το ποσοστό νικελίου το οποίο είναι δεσμευμένο στα ανθρακικά ορυκτά είναι 2,09% (για το βάθος των 0-20 cm) και 2,89% (για το βάθος των 20-40 cm). Στα

ανταλλάξιμα ανήκει ποσοστό νικελίου ίσο με 1,58% (για το βάθος των 0-20 cm) και 2,38% (για το βάθος των 20-40 cm), το οποίο υποδηλώνει τη μικρή συμμετοχή του ανθρωπογενή παράγοντα στην κατανομή του νικελίου (Σχ. 7.18 και 7.19).

7.4.6.8. Χρώμιο ολικό (Cr_{tot})

Οι αριθμοί οξείδωσης με τους οποίους εμφανίζεται το χρώμιο στη φύση είναι +3 και +6. Σε όξινα και αλκαλικά εδάφη πιο ευκίνητο είναι το εξασθενές χρώμιο εξαιτίας των ανιόντων που σχηματίζει. Οι ενώσεις στα εδάφη που σχηματίζει το χρώμιο είναι $CrOH^{2+}$, CrO_4^{2-} , $HCrO_4^-$, $HCrO_3^{2-}$, $Cr(OH)_4^-$, $Cr(CO_3)_3^{3-}$ (Kabata Pendias and Sadurski 2004).

Στο έδαφος η συγκέντρωση του χρωμίου εξαρτάται από την περιεκτικότητα του στο μητρικό πέτρωμα. Υψηλές συγκεντρώσεις χρωμίου απαντώνται σε βασικά και υπερβασικά πετρώματα. Επίσης υψηλές συγκεντρώσεις εμφανίζονται σε σερπεντινωμένα εδάφη όπου η συγκέντρωση αυτών μπορεί να είναι μεγαλύτερη από 100.000 mg/kg (Kabata Pendias and Sadurski 2004). Σύμφωνα με τον Becquer et al. (2003) το χρώμιο σε εδάφη που προέρχονται από υπερβασικά πετρώματα στο εδαφικό κάλυμμα εμφανίζεται αδιάλυτο με περιεκτικότητα 2,7 - 10 $\mu\text{g/L}$ κάτω από φυσική βλάστηση και 700 $\mu\text{g/L}$ σε καλλιέργειες εξαιτίας φωσφορούχων λιπασμάτων. Οι οξειδωτικές - αναγωγικές διεργασίες του Fe και του Mn στα εδάφη συνδέονται με τη γρήγορη μεταβολή της κατάστασης οξείδωσης του χρωμίου (James et al. 1997, Geelhoed et al. 2003). Στην αναγωγή του Cr^{6+} συμμετέχει ο βιογενής Fe^{2+} (Becquer et al. 2003). Ο αριθμός οξείδωσης του χρωμίου επηρεάζεται σημαντικά και από το pH του εδάφους. Επίσης οι οργανικές ουσίες επηρεάζουν τη συμπεριφορά και τις μορφές του χρωμίου. Το Cr^{6+} σε συνδυασμό με τις ιδιότητες του εδάφους, την υφή και το pH αποκτά τοξικές ιδιότητες για τα φυτά και τα ζώα. Όταν η συγκέντρωση του χρωμίου στο έδαφος είναι υψηλή τότε μειώνεται η δράση των εδαφικών μικροβιολογικών ενζύμων (Pacha and Galimska - Stypa 1988).

Η ολική συγκέντρωση του χρωμίου στα δείγματα των εδαφών κυμαίνεται για το βάθος των 0-20 cm από 40-549 mg/kg, με μέση τιμή 223,08 mg/kg και για το βάθος των 20-40 cm από 15-602 mg/kg, με μέση τιμή 213,83 mg/kg. Η μέση τιμή και στα δύο βάθη ξεπερνά τη μέση συγκέντρωση των εδαφών των 100 mg/kg που παρουσιάζονται στη διεθνή βιβλιογραφία (Siegel 1974) (Πιν. 7.28).

Όλα τα δείγματα εδαφών και στα δύο βάθη (0-20 και 20-40 cm), εκτός από τα εδαφικά δείγματα E14 (0-20 και 20-40 cm) και E9 (20-40 cm), υπερβαίνουν την ανώτατη αποδεκτή συγκέντρωση του χρωμίου (64 mg/kg) που καθορίζεται από την Καναδική νομοθεσία για αγροτικές περιοχές (Canadian Environmental Quality Guidelines 2003) (Πιν. 7.29 και 7.30).

Σύμφωνα με την Ολλανδική νομοθεσία (Dutch List 2000) (Πιν. 7.30 και 7.31), 3 από τα 12 δείγματα εδαφών του βάρους των 0-20 cm (ποσοστό 25%) και 2 από τα 12 δείγματα του βάρους των 20-40 cm (ποσοστό 16,7%) υπερβαίνουν την ανώτατη αποδεκτή τιμή του χρωμίου (380 mg/kg).

Η χωρική κατανομή του ολικού χρωμίου στα δείγματα εδαφών για τα βάθη των 0-20 και 20-40 cm παρουσιάζεται στα Σχ. 7.20 και 7.21. Τα δεδομένα έχουν ομαδοποιηθεί σε 5 κλάσεις για το βάθος των 0-20 και 20-40 cm. Οι κλάσεις αυτές στα 0-20 cm είναι 40-64 mg/kg, 65-26 mg/kg, 127-225 mg/kg, 226-380 mg/kg, 381-549 mg/kg και για το βάθος των 20-40 cm 15-64 mg/kg, 65-100 mg/kg, 101-238 mg/kg, 239-380 mg/kg και 381-602 mg/kg (Σχ. 7.20 και 7.21).

Στους χάρτες του χρωμίου (Σχ. 7.20 και 7.21) τα δείγματα των εδαφών που οι τιμές τους σε χρώμιο ξεπερνούν τα όρια της Καναδικής αλλά όχι της Ολλανδικής

νομοθεσίας απεικονίζονται με πορτοκαλί χρώμα, ενώ τα δείγματα εδαφών που οι τιμές σε χρωμίο ξεπερνούν τα όρια τόσο της Καναδικής όσο και της Ολλανδικής νομοθεσίας απεικονίζονται με κόκκινο χρώμα.

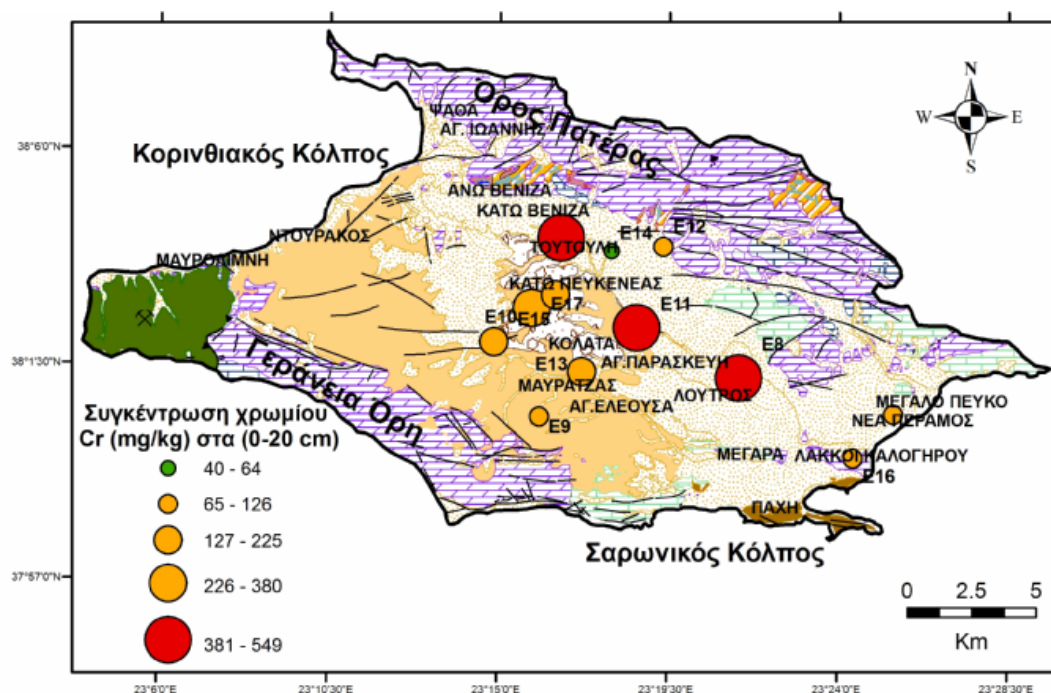
Από τα Σχ. 7.20 και 7.21 προκύπτει ότι οι υψηλότερες συγκεντρώσεις χρωμίου καταγράφονται στους νεογενείς και τεταρτογενείς σχηματισμούς και οφείλονται κατά κύριο λόγο στη παρουσία κλαστικού υλικού εντός των ιζημάτων, προερχόμενο από την αποσάθρωση των υπερβασικών πετρωμάτων και των σχιστόλιθων που αναπτύσσονται στα δυτικά και ανατολικά περιθώρια της λεκάνης των Μεγάρων αντίστοιχα.

Η συγκέντρωση του χρωμίου στα υπερβασικά πετρώματα είναι 1600 mg/kg και στους σχιστόλιθους 90 mg/kg σύμφωνα με τους Turekian and Wedepohl (1961). Οι λιγνιτικές ενδιαστρώσεις αποτελούν μια επιπλέον πιθανή πηγή χρωμίου για τα εδάφη της λεκάνης των Μεγάρων. Οι λιγνιτικές ενδιαστρώσεις έχουν καταγραφεί και από άλλους ερευνητές (Pentari et al. 2004, Sakorafas et al. 1996) ως πηγή προέλευσης χρωμίου, σε συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από 90-137 mg/kg και από 236-651 mg/kg στις λεκάνες της Ελασσόνας και Μεγαλόπολης, αντίστοιχα.

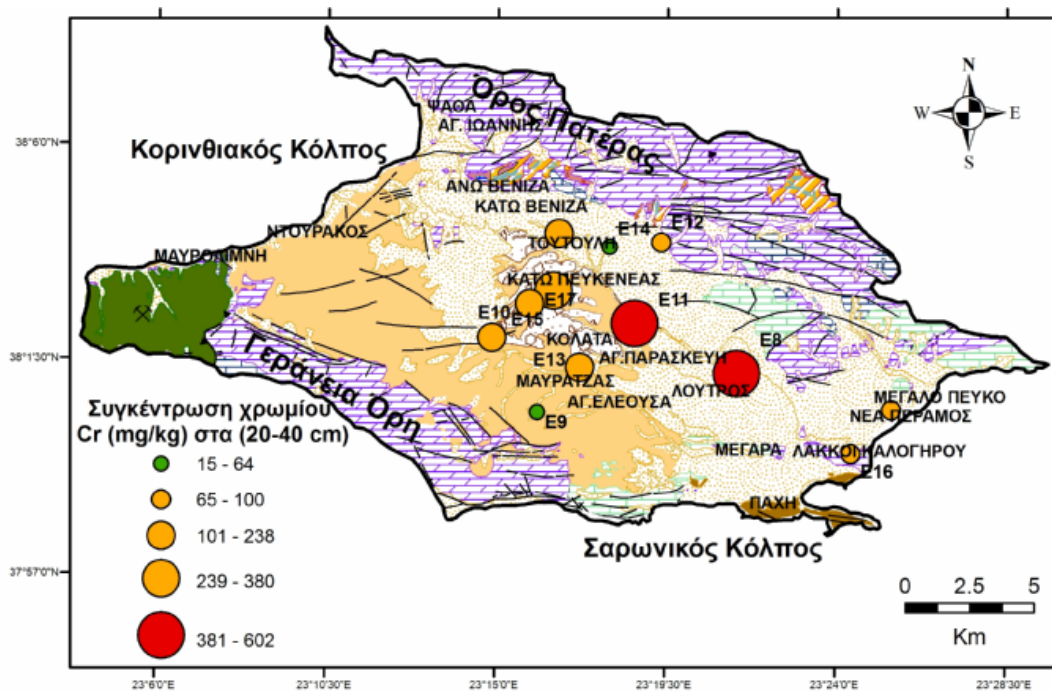
Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις χρωμίου (>380 mg/kg) εντοπίζονται στα εδάφη των περιοχών Αγ.Παρασκευή, Λουτρός και Τούτουλη.

Με βάση τις συγκεντρώσεις του χρωμίου που προσδιορίστηκαν από τα 5 στάδια της διαδοχικής εκχύλισης, φαίνεται ότι ακολουθούν την εξής κατανομή και για τα δυο βάθη των 0-20 cm και 20-40 cm (Σχ. 7.22 και 7.23):

Δεσμευμένο στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών > Δεσμευμένο στην οργανική ουσία > Δεσμευμένο στα οξείδια Fe-Mn > Δεσμευμένο στο CaCO₃ > Ανταλλάξιμα.



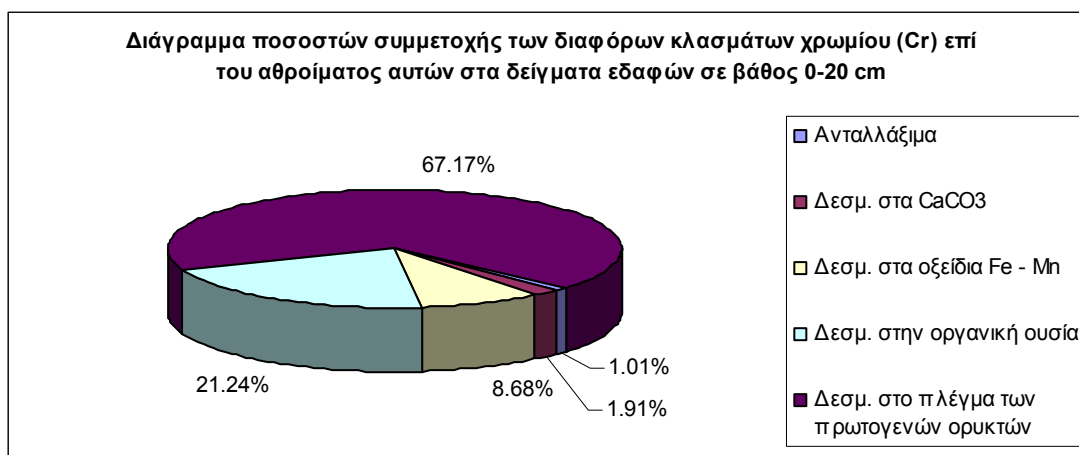
Σχήμα 7.20: Κατανομή συγκέντρωσης Cr (mg/kg) στα εδαφικά δείγματα βάθους 0-20 cm.



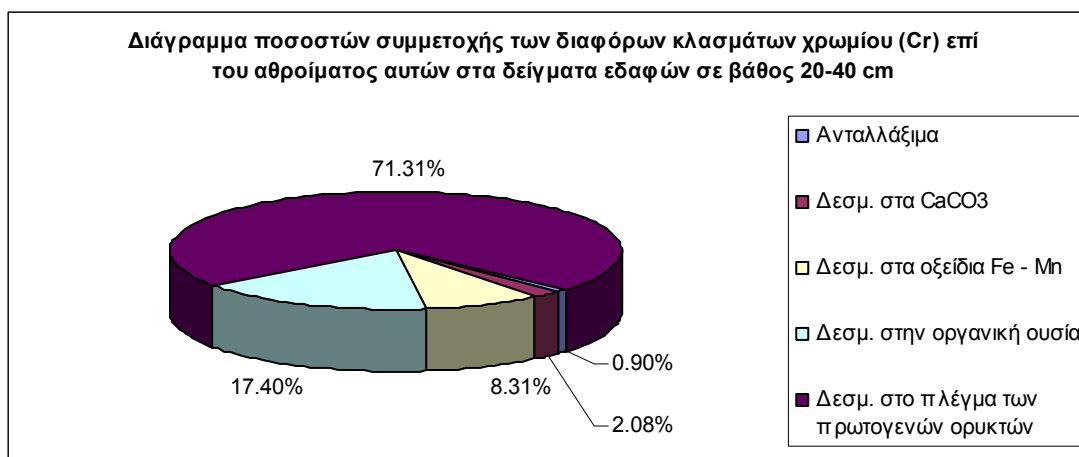
Σχήμα 7.21: Κατανομή συγκεντρώσεων Cr (mg/kg) στα εδαφικά δείγματα βάθους 20-40 cm.

Από τα Σχ. 7.22 και 7.23 φαίνεται, ότι το μεγαλύτερο ποσοστό του χρωμίου είναι δεσμευμένο στο τελευταίο υπολειμματικό στάδιο 67,17% (για το βάθος των 0-20 cm) και 71,31% (για το βάθος των 20-40 cm). Η προέλευση λοιπόν του χρωμίου είναι καθαρά γεωγενής, εφόσον το μεγαλύτερο ποσοστό του χρωμίου βρίσκεται στα ορυκτά των μητρικών πετρωμάτων. Αυτό εξηγείται διότι μέσα στους νεογενείς σχηματισμούς της λεκάνης υπάρχουν τεμάχια υπερβασικών πετρωμάτων και σχιστόλιθων που αποτελούν την κύρια πηγή προέλευσης του χρωμίου.

Ποσοστό χρωμίου 1,01% (για το βάθος των 0-20 cm) και 0,90% (για το βάθος των 20-40 cm) βρίσκεται στα ανταλλάξιμα γεγονός το οποίο δείχνει ότι ο ανθρωπογενής παράγοντας για την προέλευση του χρωμίου είναι αμελητέος.



Σχήμα 7.22: Διάγραμμα ποσοστών συμμετοχής των διαφόρων κλασμάτων χρωμίου (Cr) στα εδάφη της λεκάνης των Μεγάρων για το βάθος των 0-20 cm.



Σχήμα 7.23: Διάγραμμα ποσοστών συμμετοχής των διαφόρων κλασμάτων Cr στα εδάφη της λεκάνης των Μεγάρων για το βάθος των 20-40 cm.

Στα ανθρακικά ορυκτά βρίσκεται δεσμευμένο ποσοστό ίσο με 1,91% (για το βάθος των 0-20 cm) και 2,08% (για το βάθος των 20-40 cm). Ποσοστό χρωμίου 8,68% (για το βάθος των 0-20 cm) και 8,31% (για το βάθος των 20-40 cm) βρίσκεται στα οξειδία Fe - Mn. Επίσης ποσοστό χρωμίου ίσο με 21,24% (για το βάθος των 0-20 cm) και 17,40% (για το βάθος των 20-40 cm) βρίσκεται δεσμευμένο στην οργανική ουσία (Σχ. 7.22 και 7.23).

7.4.6.9. Χαλκός (Cu)

Ο χαλκός βρίσκεται σε πολλά εδάφη προσροφημένος σε αργιλικά ορυκτά, είτε δεσμευμένος στα οργανικά συστατικά του εδάφους. Προέρχεται κυρίως από την αποσάθρωση των ορυκτών του χαλκοπυρίτη (CuFeS_2), του μαλαχίτη (CuCO_3 , Cu(OH)_2), του κοβελίνη (CuS) και του κυπρίτη (Cu_2O). Οι μορφές με τις οποίες απαντά ο χαλκός στο έδαφος εξαρτώνται από το pH και είναι Cu^+ , Cu^{2+} , $\text{Cu}(\text{Cl}_2)^-$, CuSO_4^0 , Cu(OH)_2^0 , CuCO_3^0 , CuCl^0 (Mc Bride 1994, Alloway 1995).

Σύμφωνα με τους Kabata Pendias and Sadurski (2004) στα εδαφικά διαλύματα οι μορφές με τις οποίες εμφανίζεται ο χαλκός είναι ως κατιόν: Cu^{2+} , CuOH^+ , $\text{Cu}_2(\text{OH})_2^{+2}$, και ως ανιόν: Cu(OH)_3^- , Cu(OH)_4^{-2} και $\text{Cu(CO}_3)_2^{-2}$.

Παράγοντες όπως το pH, το δυναμικό οξειδοαναγωγής, η οργανική ύλη, η ορυκτολογική σύσταση, η υφή του εδάφους και η θερμοκρασία ελέγχουν τη βιοδιαθεσιμότητα και τη διαλυτότητα του χαλκού (Zhou and Wong 2003).

Η συγκέντρωση του χαλκού στα δείγματα των εδαφών της περιοχής έρευνας κυμαίνεται για το βάθος των 0-20 cm από 11 έως 59 mg/kg, με μέση τιμή 23,08 mg/kg, και για το βάθος των 20-40 cm από 5 έως 36 mg/kg, με μέση τιμή 19,33 mg/kg. Η μέση τιμή για το βάθος των 0-20 cm ξεπερνά τη μέση συγκέντρωση των εδαφών των 20 mg/kg σύμφωνα με τον Siegel (1974), ενώ δεν την ξεπερνά για το βάθος των 20-40 cm (Πιν. 7.28). Κανένα δείγμα εδάφους δεν έχει συγκέντρωση χαλκού η οποία να υπερβαίνει την αντίστοιχη ανώτατη αποδεκτή συγκέντρωση (63 mg/kg) που καθορίζεται από την Καναδική νομοθεσία για αγροτικές περιοχές (Canadian Environmental Quality Guidelines 2003) (Πιν. 7.29 και 7.30). Σύμφωνα με την Ολλανδική νομοθεσία (Dutch List 2000) όλα τα δείγματα εδάφους και στα δύο βάθη (0-20 και 20-40 cm) έχουν συγκεντρώσεις χαλκού μικρότερες από την αντίστοιχη ανώτατη αποδεκτή τιμή (190 mg/kg) (Πιν. 7.30 και 7.31).

Η χωρική κατανομή του χαλκού στα δείγματα εδαφών για τα δύο βάθη των 0-20 και 20-40 cm παρουσιάζονται στα Σχ. 7.24 και 7.25. Τα δεδομένα έχουν ομαδοποιηθεί σε 5 κλάσεις για τα βάθη των 0-20 και 20-40 cm. Οι κλάσεις αυτές και στα δύο βάθη είναι 11-15 mg/kg, 16-20 mg/kg, 21-25 mg/kg, 26-35 mg/kg και ≥ 36 mg/kg (Σχ. 7.24 και 7.25).

Στους χάρτες κατανομής του χαλκού (Σχ. 7.24 και 7.25) διαφαίνεται, ότι οι συγκεντρώσεις του χαλκού γενικά κυμαίνονται σε χαμηλά επίπεδα. Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις εμφανίζονται στις περιοχές Λάκκοι Καλογήρου, Μεγάλο Πεύκο, Τούτουλη, Κάτω Πευκενάς και Λουτρός και για τα δύο βάθη δειγματοληψίας 0-20 και 20-40 cm. Η παρουσία του χαλκού στα εδάφη της λεκάνης σχετίζεται με γεωγενείς παράγοντες και συγκεκριμένα με την παρουσία σχιστολίθων και υπερβασικών πετρωμάτων. Επίσης η ύπαρξη οργανικού υλικού εντός των ιζημάτων αποτελεί βασική πηγή προέλευσης του χαλκού και των άλλων βαρέων μετάλλων που εντοπίζονται στα εδάφη της περιοχής.

Με βάση τα αποτελέσματα του χαλκού τα οποία πάρθηκαν από τα 5 στάδια της διαδοχικής εκχύλισης ακολουθούν την εξής κατανομή:

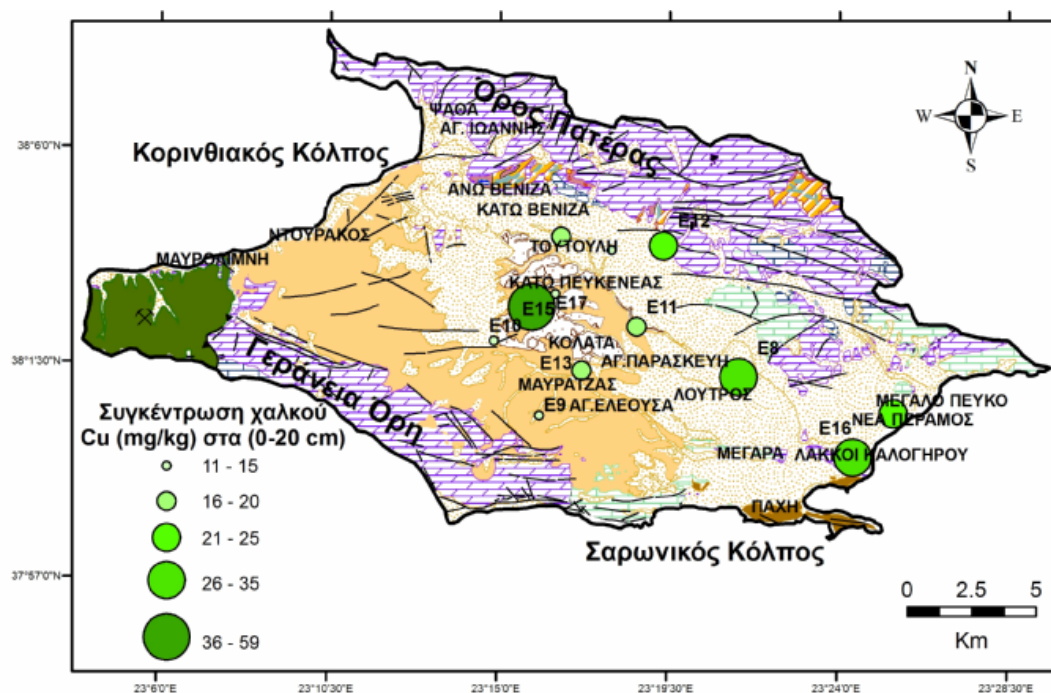
Για το βάθος των 0-20 cm (Σχ. 7.26):

Δεσμευμένο στην οργανική ουσία > Δεσμευμένο στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών > Δεσμευμένο στα οξείδια Fe-Mn > Δεσμευμένο στο CaCO₃ > Ανταλλάξιμα.

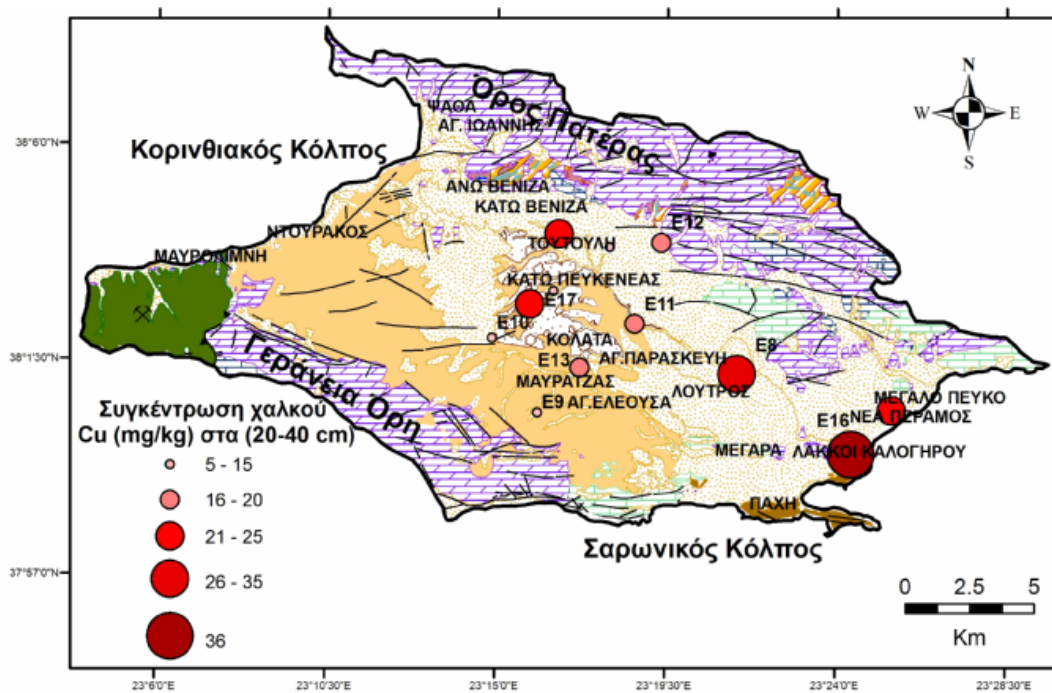
Για το βάθος των 20-40 cm (Σχ. 7.27):

Δεσμευμένο στην οργανική ουσία > Δεσμευμένο στα οξείδια Fe-Mn > Δεσμευμένο στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών > Δεσμευμένο στο CaCO₃ > Ανταλλάξιμα.

Το μεγαλύτερο ποσοστό του χαλκού βρίσκεται δεσμευμένο στην οργανική ουσία και για τα δυο βάθη 35,72% (για το βάθος των 0-20 cm) και 35,09% (για το βάθος των 20-40 cm) (Σχ. 7.26 και 7.27). Σύμφωνα και με άλλους ερευνητές (Zhou and Wong 2003), η οργανική ουσία του εδάφους έχει την ικανότητα να δεσμεύει σημαντικά ποσοστά του χαλκού.

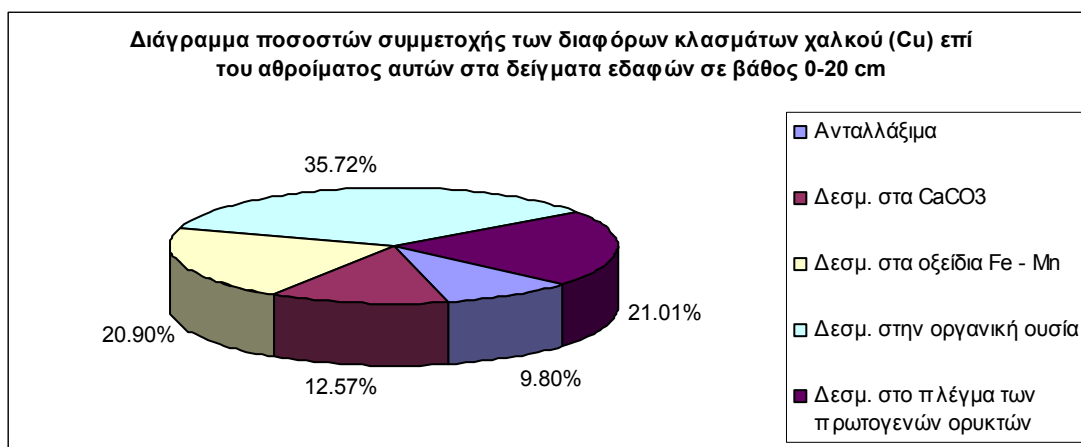


Σχήμα 7.24: Κατανομή συγκεντρώσεων Cu (mg/kg) στα εδαφικά δείγματα βάθους 0-20 cm.

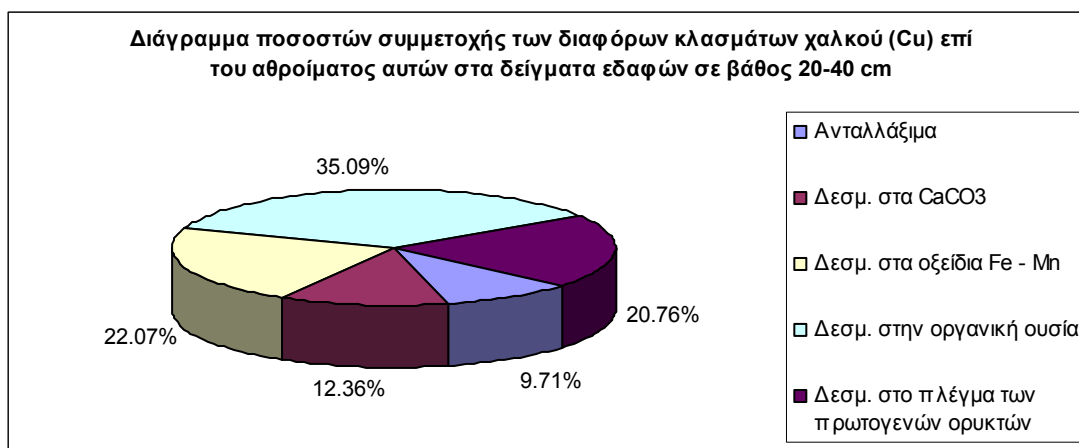


Σχήμα 7.25: Κατανομή συγκεντρώσεων Cu (mg/kg) στα εδαφικά δείγματα βάθους 20-40 cm.

Για τα εδαφικά δείγματα βάθους 0-20 cm, το αμέσως επόμενο μεγαλύτερο ποσοστό χαλκού (21,01%), βρίσκεται δεσμευμένο στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών, ενώ για τα εδαφικά δείγματα βάθους 20-40 cm αυτό δεν ισχύει. Συγκεκριμένα για τα εδαφικά δείγματα βάθους 20-40 cm, το αμέσως επόμενο μεγαλύτερο ποσοστό χαλκού (22,07%) βρίσκεται προσροφημένο στα οξείδια Fe-Mn. Από το γεγονός αυτό συμπεραίνεται ότι ο χαλκός προέρχεται από τα οξείδια του μαγγανίου που βρίσκονται μέσα στους νεογενείς σχηματισμούς της λεκάνης των Μεγάρων, όπως έχουν καταγραφεί από τον Σαφιγέ (1982). Στα ανθρακικά ορυκτά βρίσκεται δεσμευμένο το 12,57% του χαλκού (για το βάθος των 0-20 cm) και 12,36% (για το βάθος των 20-40 cm) (Σχ. 7.26 και 7.27).



Σχήμα 7.26: Διάγραμμα ποσοστών συμμετοχής των διαφόρων κλασμάτων Cu στα εδάφη της λεκάνης των Μεγάρων για το βάθος των 0-20 cm.



Σχήμα 7.27: Διάγραμμα ποσοστών συμμετοχής των διαφόρων κλασμάτων Cu στα εδάφη της λεκάνης των Μεγάρων για το βάθος των 20-40 cm.

Όσον αφορά στο ποσοστό του χαλκού το οποίο βρίσκεται δεσμευμένο στο ανταλλάξιμο κλάσμα, είναι ίσο με 9,80% (για το βάθος των 0-20 cm) και 9,71% (για το βάθος των 20-40 cm). Το γεγονός αυτό υποδηλώνει ότι ο χαλκός μπορεί να οφείλεται σε κάποιο ποσοστό και σε ανθρωπογενή παράγοντα όπως η χρήση λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων (Σχ. 7.26 και 7.27). Αντίστοιχη πηγή επιβάρυνσης εδαφών λόγω χρήσης λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων καταγράφεται και από τους Kabata Pendias and Mukherjee (2007).

7.4.6.10. Ψευδάργυρος (Zn)

Κύριες πηγές προέλευσης του ψευδαργύρου στο έδαφος είναι από ορυκτά και πετρώματα τα οποία περιέχουν το στοιχείο αυτό, όπως οξείδια, ανθρακικά άλατα και διάφορα σουλφίδια (ζινκίτης ZnO και σφαλερίτης ZnS). Ο ψευδάργυρος εμφανίζεται με τη μορφή ελεύθερων και σύνθετων ιόντων στα εδαφικά διαλύματα και κυρίως με τις μορφές: Zn^{2+} , $ZnCl^+$, $ZnOH^+$, $ZnHCO_3^+$, ZnO_2^{2-} , $Zn(OH)_3^-$, $ZnCl_3^-$ (Kabata Pendias and Sadurski 2004).

Σε ανταλλάξιμες μορφές βρίσκεται μόνο ένα μικρό μέρος (< 5%) ενώ σε όξινες συνθήκες ο ψευδάργυρος είναι πολύ ευκίνητος (Αλιφραγκής 2008). Σε περιβάλλοντα με ουδέτερο και αλκαλικό pH ο ψευδάργυρος παρόλο που είναι ευκίνητος συγκρατείται από την εδαφική οργανική ύλη και από τα κλάσματα αργίλου (Kabata Pendias and Pendias 2001, Peganova and Edler 2004, Shtangeeva et al. 2005). Επίσης ο ψευδάργυρος μπορεί να συγκρατείται και από οξείδια, οργανική ύλη, πυριτικά φωσφορικά και ανθρακικά άλατα (Mc Bride et al. 1997). Σύμφωνα με τους Kabata Pendias and Krakowiak (1995), το 60% του ψευδαργύρου που κατανέμεται στα εδάφη ελέγχεται από το ποσοστό της αργίλου.

Η συγκέντρωση του ψευδαργύρου στα δείγματα των εδαφών της λεκάνης των Μεγάρων κυμαίνεται από 19 έως 196 mg/kg, με μέση τιμή 65,92 mg/kg για το εδαφικό βάθος των 0-20 cm και από 15 έως 108 mg/kg, με μέση τιμή 46,83 mg/kg για το εδαφικό βάθος των 20-40 cm. Η μέση τιμή, για το βάθος των 0-20 cm, ξεπερνά τη μέση συγκέντρωση των εδαφών που είναι τα 50 mg/kg σύμφωνα με τον Siegel (1974), ενώ στο βάθος των 20-40 cm δεν την ξεπερνά (Πιν. 7.28).

Η συγκέντρωση ψευδαργύρου όλων των δειγμάτων εδάφους δεν υπερβαίνει την ανώτατη αποδεκτή συγκέντρωση του ψευδαργύρου (200 mg/kg) που καθορίζεται από την Καναδική νομοθεσία (Canadian Environmental Quality Guidelines 2003) για

αγροτικές περιοχές (Πιν. 7.27 και 7.30). Σύμφωνα με την Ολλανδική νομοθεσία (Dutch List 2000), οι συγκεντρώσεις του ψευδαργύρου σε κανένα εδαφικό δείγμα και για τα δύο βάθη (0-20 και 20-40 cm) δεν υπερβαίνει την ανώτατη αποδεκτή τιμή του ψευδαργύρου (720 mg/kg) (Πιν. 7.30 και 7.31).

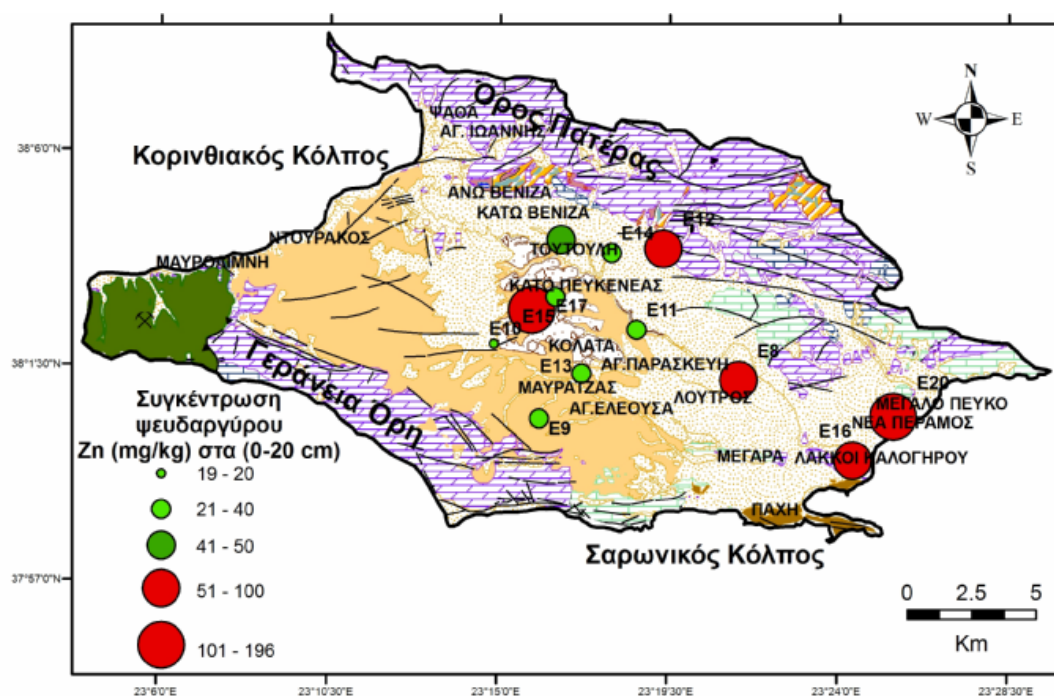
Η χωρική κατανομή του ψευδαργύρου στα δείγματα των εδαφών απεικονίζεται στα Σχ. 7.28 και 7.29 για τα 0-20 cm και 20-40 cm βάθος. Τα δεδομένα ομαδοποιήθηκαν σε 5 κλάσεις:

α) για τα δείγματα 0-20 cm βάθους: 19-20 mg/kg, 20-40 mg/kg, 41-50 mg/kg, 51-100 mg/kg και 101-196 mg/kg, και

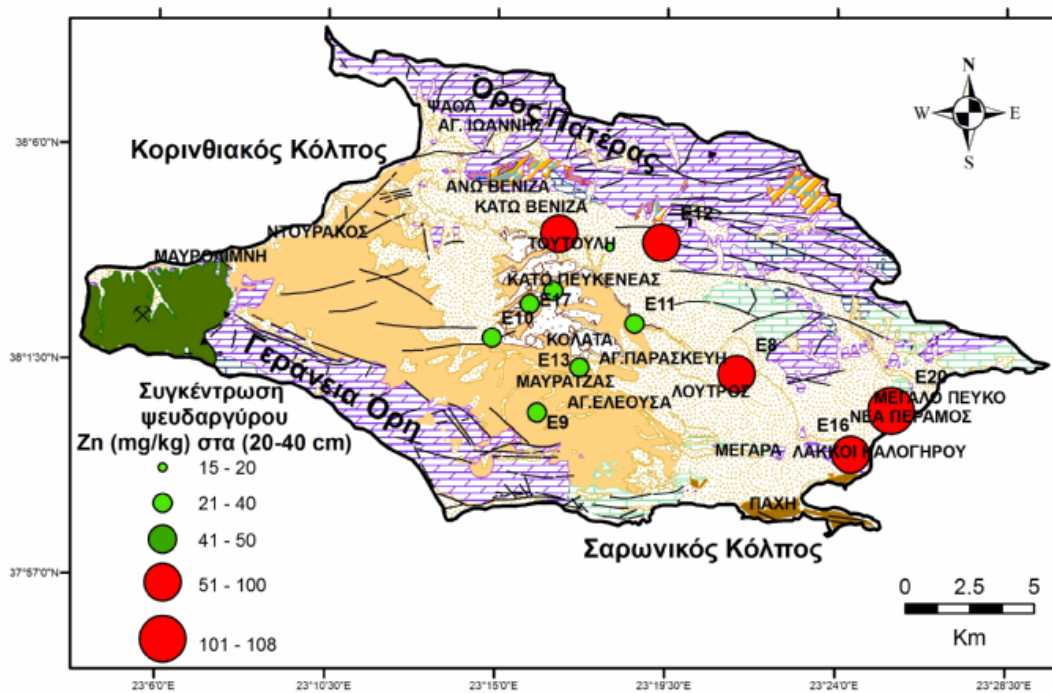
β) για τα δείγματα 20-40 cm βάθους: 15-20 mg/kg, 21-40 mg/kg, 41-50 mg/kg, 51-100 mg/kg και 101-108 mg/kg.

Με κόκκινο χρώμα απεικονίζονται οι συγκεντρώσεις των δειγμάτων εδαφών που ξεπερνούν τη μέση σύσταση των εδαφών (50 mg/kg; Siegel 1974). Βασική πηγή προέλευσης του ψευδαργύρου στα εδάφη της περιοχής, είναι τα οξείδια Fe-Mn, οι σχιστόλιθοι και τα υπερβασικά πετρώματα που αναπτύσσονται στα περιθώρια της λεκάνης. Η εξαλλοίωση τους συμβάλλει στον εμπλουτισμό των εδαφών με ψευδάργυρο. Επίσης, υψηλές συγκεντρώσεις ψευδαργύρου που έχουν συγκρατηθεί σε οξείδια Fe-Mn αναφέρονται και από τον Mc Bride et al. (1997). Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις ψευδαργύρου και για τα δύο εδαφικά βάθη (Σχ. 7.28 και 7.29), καταγράφονται στις περιοχές Τούτουλη (και στα ανατολικά της), Λουτρός, Λάκκοι Καλογήρου, Μεγάλο Πεύκο και Κάτω Πευκενάς μόνο για το βάθος των 0-20 cm. Σύμφωνα με τη διαδοχική εκχύλιση και για τα δυο βάθη 0-20 και 20-40 cm, τηρείται η εξής σειρά των 5 διαδοχικών σταδίων (Σχ. 7.30 και 7.31):

Δεσμευμένο στα οξείδια Fe-Mn > Δεσμευμένο στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών > Δεσμευμένο στην οργανική ουσία > Δεσμευμένο στο CaCO₃ > Ανταλλάξιμα.



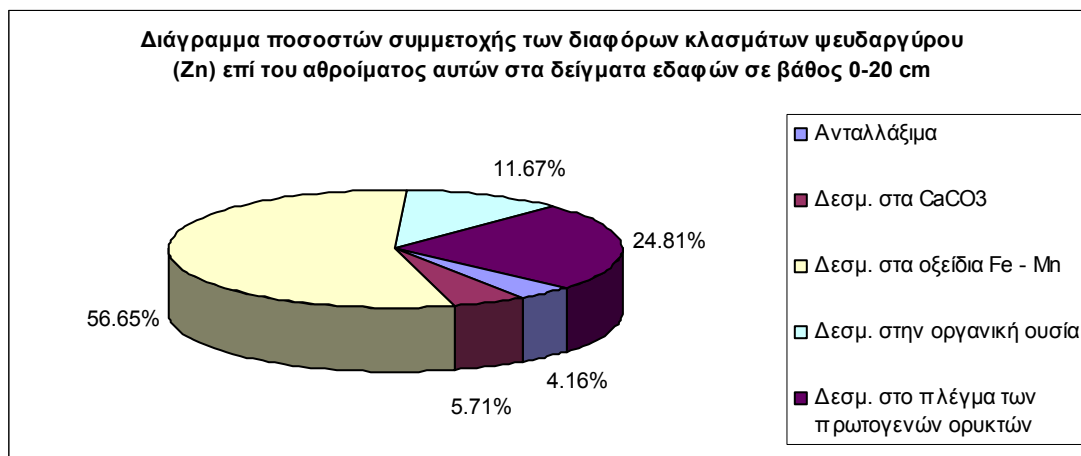
Σχήμα 7.28: Κατανομή συγκεντρώσεων Zn (mg/kg) στα εδαφικά δείγματα βάθους 0-20 cm.



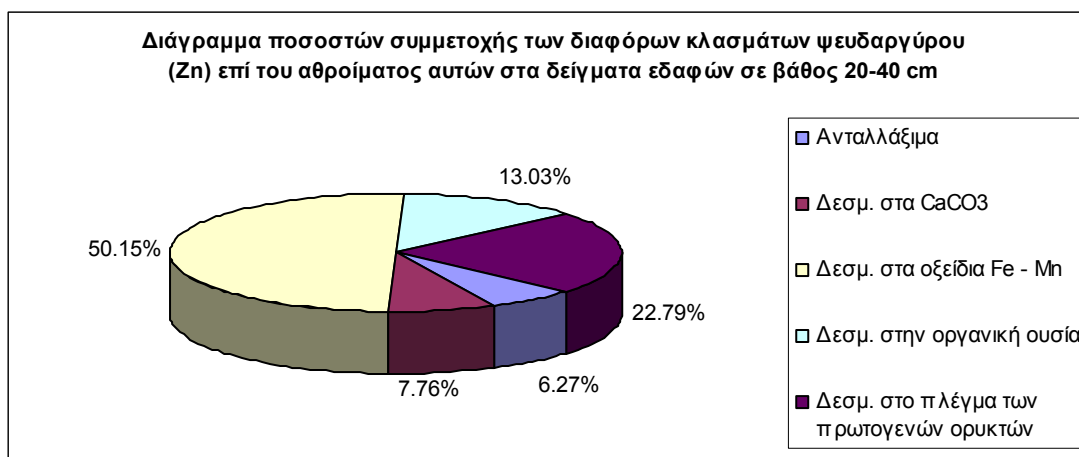
Σχήμα 7.29: Κατανομή συγκεντρώσεων Zn (mg/kg) στα εδαφικά δείγματα βάθους 20-40 cm.

Παρατηρείται λοιπόν, ότι το μεγαλύτερο ποσοστό ψευδαργύρου βρίσκεται δεσμευμένο στα οξείδια Fe-Mn 56,65% (για το βάθος των 0-20 cm) και 50,15% (για το βάθος των 20-40 cm) (Σχ. 7.30 και 7.31), γεγονός που οφείλεται στη συγκράτηση του ψευδαργύρου από τα οξείδια όπως προαναφέρθηκε.

Ποσοστό ψευδαργύρου 24,81% (για το βάθος των 0-20 cm) και 22,79% (για το βάθος των 20-40 cm) (Σχ. 7.30 και 7.31), βρίσκεται στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών, γεγονός το οποίο οφείλεται στην παρουσία αποσαθρωμένων τεμαχών σχιστολίθων και υπερβασικών μέσα στη λεκάνη. Αναφέρεται ότι οι σχιστόλιθοι και τα υπερβασικά πετρώματα έχουν μέση συγκέντρωση ψευδαργύρου 95 mg/kg και 50 mg/kg, αντίστοιχα (Turekian and Wedepohl 1961).



Σχήμα 7.30: Διάγραμμα ποσοστών συμμετοχής των διαφόρων κλασμάτων Zn στα εδάφη της λεκάνης των Μεγάρων για το βάθος των 0-20 cm.



Σχήμα 7.31: Διάγραμμα ποσοστών συμμετοχής των διαφόρων κλασμάτων Zn στα εδάφη της λεκάνης των Μεγάρων για το βάθος των 20-40 cm.

Ποσοστό ψευδαργύρου ίσο με 11,67% (για το βάθος των 0-20 cm) και 13,03% (για το βάθος των 20-40 cm) (Σχ. 7.30 και 7.31), βρίσκεται δεσμευμένο στην οργανική ουσία του εδάφους. Στα ανθρακικά βρίσκεται δεσμευμένο το 5,71% (για το βάθος των 0-20 cm) και 7,76% (για το βάθος των 20-40 cm), και στα ανταλλάξιμα έχει δεσμευτεί το 4,16% (για το βάθος των 0-20 cm) και 6,27 % (για το βάθος των 20-40 cm) (Σχ. 7.30 και 7.31), γεγονός το οποίο υποδηλώνει μικρή παρουσία του ψευδαργύρου και από τη χρησιμοποίηση λιπασμάτων στις αγροτικές περιοχές της λεκάνης των Μεγάρων.

7.5. Στατιστική επεξεργασία εδαφικών αναλύσεων

7.5.1. Στατιστική ανάλυση - γενικά

Η στατιστική επεξεργασία εφαρμόστηκε στα δεδομένα των εδαφικών αναλύσεων προκειμένου να διερευνηθεί η πιθανή πηγή προέλευσης των ιχνοστοιχείων καθώς και η κοινή γεωχημική συμπεριφορά τους. Οι μέθοδοι οι οποίες εφαρμόστηκαν περιλαμβάνουν γενικά περιγραφικά στατιστικά (Descriptive statistics), ανάλυση συσχέτισης (Correlation analysis) και ανάλυση παραγόντων R-τύπου (Factor analysis R-mode).

Οι μέθοδοι αυτοί έχουν εφαρμοστεί επιτυχώς σε διάφορες περιοχές από το διεθνή χώρο και έχουν δώσει ερμηνεία σε προβλήματα διερεύνησης της προέλευσης των πηγών ρύπανσης (Tripathi 1979, Kumru and Bakac 2003, Yaylali-Abanuz et al. 2012, Yushu Shan et al. 2013).

Η στατιστική ανάλυση των δεδομένων πραγματοποιήθηκε με τη χρήση των προγραμμάτων Excel της εταιρίας Microsoft® και του SPSS.

Η στατιστική επεξεργασία εφαρμόστηκε στα διαθέσιμα αναλυτικά δεδομένα τα οποία αφορούσαν 24 δείγματα εδάφους.

7.5.2. Περιγραφικά στατιστικά

Τα περιγραφικά στατιστικά των στοιχείων των εδαφών που αναλύθηκαν, υπολογίστηκαν με τη βοήθεια του λογισμικού πακέτου Excell. Στους Πιν. 7.33 και 7.34 που ακολουθούν παρουσιάζονται τα περιγραφικά στατιστικά των δειγμάτων των εδαφών για τα δυο βάθη δειγματοληψίας (0-20 cm και 20-40 cm) αντίστοιχα.

Πίνακας 7.33: Περιγραφικά στατιστικά των δειγμάτων εδαφών της λεκάνης των Μεγάρων για το βάθος των 0-20 cm.

	Μέσος (Mean)	Διάμεσος (Median)	Διακύμανση (Variance)	Εύρος (Range)	Ελάχιστο (Min)	Μέγιστο (Max)	Πλήθος (N)
Cd (mg/Kg)	0,57	0,50	0,05	0,80	0,40	1,20	12
Co (mg/Kg)	19,33	19,00	66,97	25,00	10,00	35,00	12
Mn(mg/Kg)	537,75	517,00	36427,11	545,00	300,00	845,00	12
Ni (mg/Kg)	235,83	260,50	22242,70	386,00	52,00	438,00	12
Cr (mg/Kg)	223,08	199,50	25944,08	509,00	40,00	549,00	12
Cu (mg/Kg)	23,08	19,00	176,45	48,00	11,00	59,00	12
Zn (mg/Kg)	65,92	41,50	2720,99	177,00	19,00	196,00	12

Πίνακας 7.34: Περιγραφικά στατιστικά των δειγμάτων εδαφών της λεκάνης των Μεγάρων για το βάθος των 20-40 cm.

	Μέσος (Mean)	Διάμεσος (Median)	Διακύμανση (Variance)	Εύρος (Range)	Ελάχιστο (Min)	Μέγιστο (Max)	Πλήθος (N)
Cd (mg/Kg)	0,48	< 0,4	0,02	0,50	< 0,4	0,90	12
Co (mg/Kg)	18,92	19,00	78,27	32,00	5,00	37,00	12
Mn (mg/Kg)	492,33	513,00	45951,70	632,00	164,00	796,00	12
Ni (mg/Kg)	220,83	240,00	21879,24	451,00	26,00	477,00	12
Cr (mg/Kg)	213,83	182,00	32695,79	587,00	15,00	602,00	12
Cu (mg/Kg)	19,33	19,50	76,97	31,00	5,00	36,00	12
Zn (mg/Kg)	46,83	35,00	860,88	93,00	15,00	108,00	12

7.5.3. Ανάλυση συσχέτισης (Correlation analysis)

Η ανάλυση συσχέτισης (correlation analysis) βοηθά στον προσδιορισμό του βαθμού συνάφειας μεταξύ των μεταβλητών. Τα δεδομένα συσχετίστηκαν μεταξύ τους με τη χρήση του συντελεστή γραμμικής συσχέτισης (r) ο οποίος δείχνει το βαθμό αλληλοεξάρτησης δυο μεταβλητών. Αρχικά κατασκευάστηκε ένας πίνακας που περιείχε όλους τους συντελεστές γραμμικής συσχέτισης όλων των δυνατών ζευγών των στοιχείων που αναλύθηκαν ώστε να διερευνηθούν ποια στοιχεία έχουν σημαντική συσχέτιση. Η συσχέτιση μεταξύ των στοιχείων που συσχετίζονται θετικά δίνει χρήσιμες πληροφορίες για την πιθανή πηγή ρύπανσης της περιοχής έρευνας. Σύμφωνα με τους Παπαδήμα και Κοίλια (2002), Γναρδέλλης (2003) ο συντελεστής γραμμικής συσχέτισης (r) δύο μεταβλητών είναι καθαρός αριθμός και παίρνει τιμές από -1 έως +1. Όταν $r=+1$ τότε επικρατεί απόλυτη θετική συσχέτιση και όταν $r=-1$ τότε επικρατεί απόλυτη αρνητική συσχέτιση. Όταν ο συντελεστής συσχέτισης λαμβάνει την τιμή 0 σημαίνει, ότι δεν υπάρχει γραμμική σχέση μεταξύ των δύο μεταβλητών, αλλά δεν αποκλείεται η ύπαρξη μιας άλλης μη γραμμικής σχέσης. Ο συνδυασμός μερικών στοιχείων με θετική συσχέτιση βοηθά στην ερμηνεία της συσχέτισης και προέλευσης των στοιχείων στην περιοχή έρευνας.

Εάν το μέγεθος της μιας μεταβλητής τείνει να αυξάνεται και ταυτόχρονα αυξάνεται και της άλλης μεταβλητής, τότε υπάρχει θετική συσχέτιση μεταξύ τους και ο συντελεστής συσχέτισης είναι > 0 . Αντίθετα, εάν το μέγεθος της μιας μεταβλητής τείνει να αυξάνεται, ενώ να ελαττώνεται το μέγεθος της άλλης μεταβλητής, τότε υπάρχει αρνητική συσχέτιση μεταξύ τους και ο συντελεστής συσχέτισης είναι < 0 . Ανάλογα με την τιμή του συντελεστή συσχέτισης υπάρχει η παρακάτω διάκριση (Πιν. 7.35).

Σύμφωνα με πολλούς ερευνητές Qiang et al (2010), Özlem et al (2008), Bulut et al (2010), Sarris et al (2009), Feng et al (2010) η ανάλυση συσχέτισης μπορεί να συσχετίζει κάποια στοιχεία μόνο μαθηματικά και να μην μπορεί να δοθεί κάποια φυσική εξήγηση. Για την ερμηνεία των αποτελεσμάτων της ανάλυσης συσχέτισης επιβάλλεται η καλή γνώση της γεωλογίας και των ανθρωπογενών παραγόντων που

επιδρούν σε μια περιοχή έρευνας, έτσι ώστε τα συμπεράσματα, τα οποία εξάγονται από αυτή, να είναι αντιπροσωπευτικά της περιοχής έρευνας και αξιόπιστα.

Πίνακας 7.35: Τιμές του συντελεστή γραμμικής συσχέτισης (r) και χαρακτηρισμός συσχέτισης.

Τιμές συντελεστή γραμμικής συσχέτισης (r)	Χαρακτηρισμός συσχέτισης
+0,75 ως +1	πολύ καλή θετική συσχέτιση
+0,50 ως +0,75	καλή θετική συσχέτιση
+0,30 ως +0,50	μέτρια θετική συσχέτιση
-0,75 ως -1	πολύ καλή αρνητική συσχέτιση
-0,50 ως -0,75	καλή αρνητική συσχέτιση
-0,30 ως -0,50	μέτρια αρνητική συσχέτιση

Οι συντελεστές συσχέτισης των εδαφών και για τα δυο βάθη δειγματοληψίας μαζί των 20 cm και 40 cm παρουσιάζονται αναλυτικά στον Πιν. 7.36. Ο λόγος για τον οποίο δεν πραγματοποιήθηκε ξεχωριστή ανάλυση συσχέτισης για τα δυο βάθη οφείλεται στο μικρό αριθμό δειγμάτων τα οποία υπήρχαν.

Πίνακας 7.36: Συντελεστές συσχέτισης των εδαφικών δειγμάτων της λεκάνης των Μεγάρων και για τα δυο βάθη δειγματοληψίας μαζί (0-20 cm και 20-40 cm).

		Cu	Zn	Ni	Co	Mn	Cd	Cr
Cu	Pearson Correlation Sig. (2-tailed)	1.00						
Zn	Pearson Correlation Sig. (2-tailed)	0.88 0.00	1.00					
Ni	Pearson Correlation Sig. (2-tailed)	0.16 0.44	-0.08 0.72	1.00				
Co	Pearson Correlation Sig. (2-tailed)	0.27 0.21	0.05 0.83	0.92 0.00	1.00			
Mn	Pearson Correlation Sig. (2-tailed)	0.47 0.02	0.42 0.04	0.33 0.11	0.64 0.00	1.00		
Cd	Pearson Correlation Sig. (2-tailed)	0.36 0.09	0.46 0.02	-0.26 0.21	-0.03 0.87	0.52 0.01	1.00	
Cr	Pearson Correlation Sig. (2-tailed)	0.21 0.33	0.02 0.92	0.88 0.00	0.89 0.00	0.49 0.01	-0.15 0.50	1.00

Τα χημικά στοιχεία Co - Cr - Ni - Cu - Zn - Mn παρουσιάζουν πολύ καλή θετική συσχέτιση (0,75 - 0,99), γεγονός το οποίο οφείλεται στην παρουσία υπερβασικών πετρωμάτων και σχιστολίθων μέσα στα νεογενή της λεκάνης των Μεγάρων.

Καλή θετική συσχέτιση (0,5 - 0,74) έχουν τα στοιχεία Mn - Co - Cd, γεγονός το οποίο οφείλεται στα οξείδια του μαγγανίου που συνυπάρχουν εντός των ιζημάτων της λεκάνης. Μέτρια θετική συσχέτιση παρουσιάζουν τα στοιχεία Cu - Mn - Zn - Cd - Cr, που οφείλεται και αυτό στην παρουσία υπερβασικών πετρωμάτων, διαφόρων οξειδίων και της οργανικής ύλης.

7.5.4. Ανάλυση παραγόντων R – τύπου (factor analysis R – mode)

Αυτό που πολλοί ερευνητές ονομάζουν παραγοντική ανάλυση (factor analysis) αναφέρεται σε μια συγκεκριμένη στατιστική τεχνική, αλλά στην πραγματικότητα καλύπτει ένα μεγάλο εύρος από μαθηματικές επεξεργασίες.

Στις γεωεπιστήμες η παραγοντική ανάλυση εφαρμόστηκε στα τέλη της δεκαετίας του '50 και κυρίως στη δεκαετία του '60 από τρεις κυρίως ερευνητές: τον Imbrie (Imbrie and Purdy 1962, Imbrie 1963, Imbrie and Van Andel 1964, τον Klovan (Klovan 1968), και τον Mc Cammon (Mc Cammon 1969).

Η μέθοδος ανάλυσης παραγόντων R-τύπου έχει χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά για να περιγράψει μεγάλο αριθμό δεδομένων και να ομαδοποιήσει τα δεδομένα αυτά σε ένα μικρό αριθμό παραγόντων (factors) (Βουδούρης 2009).

Σκοπός της μεθόδου αυτής είναι να μπορέσει να εξηγήσει μια μεγάλη ομάδα δεδομένων με ένα μικρό αριθμό παραγόντων (factors) και να εκφράσουν έτσι με υψηλά ποσοστά διακύμανσης (variance) τις αρχικές μεταβλητές (υδροχημικές παραμέτρους).

Ο κάθε factor αντιπροσωπεύει μια συγκεκριμένη υδρογεωχημική διεργασία που διαμόρφωσε τα ποσοστά διακύμανσης των μεταβλητών και αποτελείται από μεταβλητές, οι οποίες είναι ισχυρά συσχετιζόμενες μεταξύ τους (Βουδούρης 2009).

Πολλοί ερευνητές, όπως οι Saager and Esselaar 1969, Briz-Kishore & Murali 1989, Ruiz et al. 1990, Jayakumar-Siraz 1997, Voudouris et al. 1997, Davis 1973, Saager and Sinclair 1974, Αλεξιάκης 2002, Stamatis et al. 2001, χρησιμοποιούν και περιγράφουν τη μεθοδολογία της παραγοντικής ανάλυσης R – τύπου (Factor analysis R – mode). Η παραγοντική ανάλυση R – τύπου χρησιμοποιήθηκε για να ομαδοποιήσει τις διάφορες μεταβλητές, ώστε να αντιπροσωπεύουν κάποιο παράγοντα (ανθρωπογενή ή φυσικό) που επιδρά στην περιοχή και να διαπιστωθούν οι σχέσεις που υπάρχουν μεταξύ των μεταβλητών.

Οι απαραίτητες προϋποθέσεις για να εφαρμοστεί η μέθοδος παρουσιάζονται παρακάτω (Βουδούρης 2009, Voudouris et al. 1997, Davis 1973, Saager and Sinclair 1974, Stamatis et al. 2001):

α) μεγάλο συντελεστή συσχέτισης πρέπει να έχουν οι αρχικές μεταβλητές, για το λόγο αυτό ελέγχεται ο πίνακας συντελεστών συσχέτισης πριν την εφαρμογή της μεθόδου και

β) ο αριθμός των μεταβλητών πρέπει να είναι (> 4) διαφορετικά δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί η μέθοδος.

Η παραγοντική ανάλυση έχει τη δυνατότητα ανάμεσα σε μια ομάδα μεταβλητών να εντοπίσει την ύπαρξη κοινών παραγόντων. Η παραγοντική ανάλυση εξηγεί τη δομή και τη μεταβλητότητα – διασπορά που παρατηρείται μεταξύ των αρχικών μεταβλητών και δημιουργεί νέες μεταβλητές που ονομάζονται παράγοντες.

Οι παράγοντες αυτοί μπορούν να διατηρούν την πληροφορία που υπάρχει στις αρχικές μεταβλητές και έτσι να μειώνονται οι διαστάσεις του προβλήματος, επίσης εξηγούν τις συσχετίσεις που υπάρχουν στα δεδομένα για τις οποίες έχουν υποτεθεί, ότι οφείλονται αποκλειστικά στην ύπαρξη κάποιων κοινών παραγόντων που δημιούργησαν τα δεδομένα.

Η παραγοντική ανάλυση έχει κάποια μειονεκτήματα τα οποία είναι:

α) στηρίζεται σε υποθέσεις οι οποίες δεν είναι απαραίτητα ρεαλιστικές για πραγματικά προβλήματα και ένας ερευνητής δεν μπορεί εύκολα να ελέγξει.

β) για τα ίδια δεδομένα διαφορετικοί επιστήμονες μπορεί να δώσουν διαφορετικές ερμηνείες και να καταλήξουν σε διαφορετικά αποτελέσματα διότι εξαρτώνται και από άλλα στοιχεία.

γ) οι διαφορετικές ερμηνείες των παραγόντων μπορεί να έρχονται σε αντιπαράθεση.

δ) πόσοι παράγοντες χρειάζονται για να εξαχθούν βέσιμα αποτελέσματα δεν είναι σαφή και εξαρτώνται από τη μέθοδο εκτίμησης που χρησιμοποιείται.

Η κύρια υπόθεση, στην οποία στηρίζεται η παραγοντική ανάλυση είναι, ότι οι όποιες συσχετίσεις μεταξύ των αρχικών μεταβλητών οφείλονται αποκλειστικά στην ύπαρξη κάποιων κοινών παραγόντων οι οποίοι όμως δεν είναι γνωστοί και στόχος είναι να εκτιμηθούν.

Διαδικασία εφαρμογής της παραγοντικής ανάλυσης.

Στην παραγοντική ανάλυση ακολουθούνται κάποια βήματα, αυτά είναι:

A) Έλεγχος για το αν υπάρχουν ικανοποιητικές συσχετίσεις μεταξύ των παραγόντων.

Για την παραγοντική ανάλυση είναι σημαντικό να υπάρχουν συσχετίσεις ανάμεσα στις μεταβλητές, καθώς αυτές οι συσχετίσεις είναι εκείνες που γίνεται προσπάθεια να εξηγηθούν. Όταν τα δεδομένα είναι ασυσχέτιστα, τότε δεν υπάρχει λόγος να εφαρμοσθεί η παραγοντική ανάλυση. Αυτό που ενδιαφέρει είναι να υπάρχουν μεγάλες συσχετίσεις (>0,40) σε μεγάλο ποσοστό του πίνακα συσχετίσεων. Για το σκοπό αυτό, εφαρμόζεται η διαδικασία προσδιορισμού του συντελεστή συσχέτισης (Βουδούρης 2009). Όμως ο απλός συντελεστής συσχέτισης υπολογίζει τη συσχέτιση μεταξύ δύο μεταβλητών αγνοώντας τις υπόλοιπες. Έτσι, κάποιες μεταβλητές μπορεί να εμφανίζονται συσχετισμένες, επειδή κάποιες άλλες έχουν μεγάλη συσχέτιση με αυτές και, όταν ακυρωθεί η επίδρασή τους, οι αρχικές μεταβλητές να μην εμφανίζουν πια καμιά συσχέτιση. Για το λόγο αυτό, είναι χρήσιμος ένας συντελεστής συσχέτισης, ο οποίος θα υπολογίζει τη συσχέτιση, αφού αφαιρεθεί η συσχέτιση των υπολοίπων μεταβλητών. Αυτός είναι ο συντελεστής μερικής συσχέτισης. Έτσι, για να προχωρήσει η παραγοντική ανάλυση είναι σημαντικό οι συντελεστές μερικής συσχέτισης να είναι μικροί. Ένα μέτρο για να συγκριθεί το σχετικό μέγεθος των συντελεστών συσχέτισης, σχετικά με τους συντελεστές μερικής συσχέτισης, είναι το στατιστικό κριτήριο Kaiser-Meyer-Olkin που υπολογίζεται ως εξής:

$$KMO = \frac{\sum_{i \neq j} r_{ij}^2}{\sum_{i \neq j} r_{ij}^2 + \sum_{i \neq j} a_{ij}^2}$$

όπου r_{ij} και a_{ij} είναι οι δειγματικοί συντελεστές συσχέτισης και μερικής συσχέτισης αντίστοιχα. Αν η τιμή του KMO είναι μεγάλη, τότε τα δεδομένα μπορούν να θεωρηθούν κατάλληλα για παραγοντική ανάλυση. Τιμές μικρότερες από 0,5 θεωρούνται τιμές που καθιστούν την εφαρμογή της παραγοντικής ανάλυσης μη αποδεκτή. Στην πράξη τιμές της τάξης του 0,8 θεωρούνται αρκετά καλές (Καρλής 2001, Kaiser 1958).

B) Εύρεση του αριθμού των παραγόντων και εκτίμηση των παραμέτρων του μοντέλου.

Για την εκτίμηση του αριθμού των παραγόντων χρησιμοποιούνται διάφορες τεχνικές όπως είναι με βάση (α) τις τιμές των ιδιοτιμών του πίνακα διακύμανσης – συνδιακύμανσης, (β) τιμές που εξηγούν κάποιο ποσοστό της διακύμανσης ή (γ) το scree plot (το γράφημα των ιδιοτιμών ως προς τον αύξοντα αριθμό τους). Για την εκτίμηση των παραμέτρων του μοντέλου συνήθως στην πράξη χρησιμοποιείται η μέθοδος των κύριων συνιστωσών και η μέθοδος της μέγιστης πιθανοφάνειας. Άλλες μέθοδοι που εφαρμόζονται είναι η μέθοδος ελαχίστων τετραγώνων, η γενικευμένη μέθοδος ελαχίστων τετραγώνων και η μέθοδος των κύριων αξόνων.

Η μέθοδος των κύριων συνιστωσών από μαθηματικής πλευράς είναι η εύρεση των ιδιοτιμών (eigenvalues) και των υπολογισμό των ιδιοδιανυσμάτων (eigenvectors) του πίνακα των διακυμάνσεων-συνδιακυμάνσεων των δεδομένων. Οι ιδιοτιμές και κυρίως τα ιδιοδιανύσματα δίνουν μια σαφή εικόνα της δομής του πίνακα συσχετίσεων ή του πίνακα διακυμάνσεων - συνδιακυμάνσεων. Αφού υπολογιστούν οι ιδιοτιμές και τα ιδιοδιανύσματα, στη συνέχεια, γίνεται ομαλοποίηση των ιδιοδιανυσμάτων. Αυτό συμβαίνει γιατί τα ιδιοδιανύσματα σχετίζονται με τις λύσεις ενός συστήματος ομογενών εξισώσεων. Αυτό σημαίνει ότι υπάρχει ένας άπειρος αριθμός πιθανών

λύσεων που ικανοποιούν τις εξισώσεις, δηλαδή υπάρχει ένας άπειρος αριθμός ιδιοδιανυσμάτων. Η ομαλοποίηση συνίσταται στην επιλογή της τιμής της σταθεράς που εισάγεται κατά την επίλυση των εξισώσεων για τον προσδιορισμό των ιδιοδιανυσμάτων έτσι ώστε το μήκος του αντίστοιχου ιδιοδιανύσματος να είναι ίσο με τη μονάδα.

Τα φορτία παραγόντων (factor loadings) δείχνουν πόσο σημαντική είναι η συμμετοχή κάθε μεταβλητής στον αντίστοιχο παράγοντα (Πιν. 7.37). Μια μεταβλητή μπορεί να απαντά σε ένα ή περισσότερους παράγοντες. Η ανάλυση παραγόντων είναι μια τεχνική η οποία χρησιμοποιεί τον πίνακα συσχέτισης (correlation matrix) ως αρχικό σημείο. Γενικά, στόχος της παραγοντικής ανάλυσης είναι η απλοποίηση των πολύπλοκων σχέσεων οι οποίες δίδονται π.χ. από ένα πίνακα συσχέτισης. Η μέθοδος απλοποιεί συγγενείς ομάδες συστατικών σε ένα περιορισμένο αριθμό παραγόντων (Liu et al 2003, Panda et al 2006).

Πίνακας 7.37: Ταξινόμηση παραγοντικών φορτίων (factor loadings) για τη διεξαγωγή παραγοντικής ανάλυσης R-τύπου (Liu et al. 2003, Panda et al. 2006).

Factor loading (φορτίο)		Factor loading (φορτίο)	
> +0,75	Ισχυρό θετικό	< -0,75	Ισχυρό αρνητικό
+ 0,50 έως +0,75	Μέτριο θετικό	-0,50 έως -0,75	Μέτριο αρνητικό
+ 0,40 έως +0,50	Ασθενές θετικό	-0,40 έως -0,50	Ασθενές αρνητικό

Γ) Περιστροφή του μοντέλου με σκοπό την αύξηση της ερμηνευτικής ικανότητάς του.

Η περιστροφή των παραγόντων εφαρμόζεται ώστε να τους καταστήσει περισσότερο ερμηνεύσιμους. Με την περιστροφή δεν αλλάζουν κάποια από τα χαρακτηριστικά του μοντέλου όπως η καλή προσαρμοστικότητα και το ποσό της διακύμανσης – συνδιακύμανσης που ερμηνεύει το μοντέλο παρά μόνον οι τιμές των επιβαρύνσεων. Η περιστροφή πραγματοποιείται με τη βοήθεια ενός ορθογωνίου πίνακα G ο οποίος ορίζει ένα ορθογώνιο μετασχηματισμό. Αυτό που επιδιώκεται με την περιστροφή είναι οι επιβαρύνσεις κάποιων παραγόντων να είναι μεγάλες σε απόλυτη κλίμακα μόνο για κάποιες από τις μεταβλητές οπότε να μπορεί να φανεί ποιες μεταβλητές συνδέονται με ποιους παράγοντες ώστε να είναι δυνατή η ερμηνεία των παραγόντων. Οι βασικές μέθοδοι περιστροφής είναι η Varimax (η οποία στόχο έχει να ελαχιστοποιήσει τον αριθμό των μεταβλητών που έχουν μεγάλες επιβαρύνσεις για κάθε παράγοντα), η Quartimax (στόχο έχει να ελαχιστοποιήσει τον αριθμό των παραγόντων που εξηγούν μια μεταβλητή), η Equimax (που είναι συνδυασμός των Varimax και Quartimax), και η Oblique (που αφορά σε μη ορθογώνια περιστροφή με αποτέλεσμα οι παράγοντες που προκύπτουν τελικά να μην είναι ανεξάρτητοι.

Προκειμένου να διερευνηθεί η επίδραση του κάθε παράγοντα σε κάθε θέση συλλογής δείγματος είναι απαραίτητος ο υπολογισμός των παραγοντικών τιμών (factor scores). Η τιμή των παραγοντικών τιμών μπορεί να είναι θετική ή αρνητική ανάλογα με το εάν η θέση δειγματοληψίας είναι επηρεασμένη ή όχι από την υδροχημική διαδικασία, αντίστοιχα.

Η ανάλυση παραγόντων στα δείγματα των εδαφών εφαρμόστηκε με σχετική επιφύλαξη εξαιτίας του μικρού αριθμού των δειγμάτων (N=24). Επίσης εφαρμόστηκε συνολικά και για τα δυο βάθη δειγματοληψίας (0-20 cm και 20-40 cm). Στον Πιν. 7.38 παρουσιάζονται τα φορτία παραγόντων (factor loadings) για τους δυο παράγοντες, ο πίνακας αυτός δείχνει την παρουσία δυο ανεξάρτητων παραγόντων. Οι δυο αυτοί παράγοντες ερμηνεύουν συνολικά το 81,08 % της ολικής διακύμανσης.

Πίνακας 7.38: Παραγοντικά φορτία των μεταβλητών των εδαφών και για τα δυο βάθη δειγματοληψίας (0-20 cm και 20-40 cm) της λεκάνης των Μεγάρων.

ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ	ΠΑΡΑΓ. 1	ΠΑΡΑΓ. 2
Cu	0,200	0,848
Zn	-0,030	0,900
Ni	0,957	-0,099
Co	0,976	0,129
Mn	0,530	0,656
Cd	-0,190	0,747
Cr	0,951	0,031
Ποσοστό ερμηνευόμενης διακύμανσης (%)	47,730	33,350

- **Παράγοντας 1:** ερμηνεύει το 47,730 % της συνολικής διακύμανσης. Είναι ο πιο σημαντικός παράγοντας και αποτελείται από τα στοιχεία Ni, Co, Mn και Cr. Τα στοιχεία αυτά απαντούν στα υπερβασικά πετρώματα και συνεπώς ο Παράγοντας 1 ερμηνεύει τη συνεισφορά των τεμαχών των υπερβασικών πετρωμάτων στη χημική σύσταση των εδαφών της λεκάνης.
- **Παράγοντας 2:** ερμηνεύει συνολικά το 33,350 % της συνολικής διακύμανσης. Αποτελείται από τα στοιχεία Cu, Zn, Mn, Cd τα οποία συναντώνται στα οξειδία του Mn και συνεπώς ο Παράγοντας 2 εκφράζει την επίδραση των οξειδίων του Mn που εντοπίζονται στους νεογενείς και τεταρτογενείς σχηματισμούς στα εδάφη της περιοχής έρευνας.

8. ΥΔΡΟΧΗΜΕΙΑ

8.1. Γενικά

Η υδροχημεία συμβάλλει καθοριστικά στην επίλυση προβλημάτων της υδρογεωλογίας. Προβλήματα της υδρογεωλογίας όπως η διερεύνηση της επικοινωνίας υδροφόρων με άλλα υδατικά σώματα (θάλασσα, λίμνες, ποτάμια), η διερεύνηση της υφαλμύρινσης του υπόγειου υδροφορέα, η διερεύνηση της προέλευσης του νερού, απαιτούν πληροφορίες που σχετίζονται με το αντικείμενο της υδροχημείας, όπως είναι η συγκέντρωση των κυρίων στοιχείων και ιχνοστοιχείων, η συγκέντρωση των ολικών διαλυμένων στερεών και η τιμή της αγωγιμότητας.

Άλλες εφαρμογές μεθόδων της υδροχημείας για την επίλυση προβλημάτων της υδρογεωλογίας περιλαμβάνουν χρονολογήσεις με ραδιενεργά φυσικά ισότοπα σύμφωνα με τα οποία μπορεί να υπολογιστούν η σχετική ηλικία του νερού, ο μέσος χρόνος παραμονής του νερού στο πορώδες μέσο και ο ρυθμός εμπλουτισμού των υδροφορέων. Επίσης από την εφαρμογή ιχνηθετήσεων είναι δυνατός ο προσδιορισμός του ενεργού πορώδους, της ταχύτητας ροής του υπόγειου νερού και της διεύθυνσης ροής της υπόγειας ροής (Καλλέργης 2001).

Η μελέτη της υδροχημείας των υπόγειων νερών έχει ως στόχο αφ' ενός να συμβάλλει στην καλύτερη κατανόηση των υδρογεωλογικών συνθηκών της περιοχής έρευνας, αφ' ετέρου να συμβάλλει στον εντοπισμό περιβαλλοντικών προβλημάτων που συνδέονται με την ποιοτική υποβάθμιση του υπόγειου νερού, από φυσικά ή ανθρωπογενή αίτια καθώς και να συνδράμει στην αξιοποίηση των υπόγειων νερών της περιοχής.

Διαδικασία δειματοληψίας

Ο σωστός σχεδιασμός της συλλογής των δειγμάτων νερού, η συντήρηση των δειγμάτων και η προετοιμασία τους στο εργαστήριο, συνδέονται άμεσα με την εξαγωγή αξιόπιστων αποτελεσμάτων των χημικών αναλύσεων.

Σύμφωνα με APHA-AWWA-WEF (2005) οι κύριες απαιτήσεις που πρέπει να πληρούνται για μια σωστή δειματοληψία είναι οι παρακάτω:

- α) Το δείγμα να είναι αντιπροσωπευτικό της πραγματικής κατάστασης του περιβάλλοντος.
- β) Να μην αλλοιώνεται η σύσταση του δείγματος κατά τη δειματοληψία, είτε λόγω επιμόλυνσης του δείγματος, είτε λόγω μεταβολής της σύστασης, ως αποτέλεσμα φυσικοχημικών ή βιολογικών διαδικασιών που μπορούν να λάβουν μέρος εντός του περιέκτη (δοχείου) δειματοληψίας.
- γ) Να λαμβάνονται τα απαραίτητα μέτρα για τη συντήρηση του δείγματος για όσο το δυνατό μεγαλύτερο χρονικό διάστημα.
- δ) Να είναι όσο το δυνατό απλή και οικονομική.

Ο καθορισμός των θέσεων δειματοληψίας είναι επίσης μια πολύ σημαντική παράμετρος και θα πρέπει να χαρακτηρίζεται από :

- α) Τη χωρική διασπορά των θέσεων δειματοληψίας ώστε να είναι όσο το δυνατό αντιπροσωπευτικότερη η μελέτη του υπόγειου υδροφορέα.
- β) Τον προσδιορισμό της γεωγραφικής τους θέσης (συντεταγμένες X, Y).
- γ) Προσβασιμότητα, η οποία συνδέεται τόσο με την εφαρμογή της ορθής πρακτικής δειματοληψίας και της ασφάλειας του προσωπικού που διενεργεί τις δειματοληψίες, όσο και με την παρεχόμενη δυνατότητα μελλοντικών

δειγματοληψιών από την ίδια θέση για λόγους σύγκρισης των αποτελεσμάτων και περαιτέρω έρευνας.

8.2. Συλλογή δειγμάτων υπόγειου νερού και προετοιμασία τους στην ύπαιθρο

Στην παρούσα έρευνα πραγματοποιήθηκε η συλλογή 60 δειγμάτων νερών υγρής περιόδου (Μάρτιος 2010) και 52 δειγμάτων νερών ξηρής περιόδου (Σεπτέμβριος 2010).

Η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε στις δυο λεκάνες των Μεγάρων και Αλεποχωρίου και συγκεκριμένα στις περιοχές Μέγαρο, Λάκκοι Καλογήρου, Νέα Πέραμος, Μεγάλο Πεύκο, Λουτρός, Αγ.Ελεούσα, Μαυρατζάς, Αγ.Παρασκευή, Κολάτα, Κάτω Πευκενέας, Τούτουλη, Άνω και Κάτω Βένιζα, Ψάθα, Αγ.Ιωάννης, Ντουράκος και στους πρόποδες του όρους Πατέρα. Τα δείγματα νερού συλλέχθηκαν από πηγάδια (W), γεωτρήσεις (G) και πηγές (S) της περιοχής (Σχ. 8.1 και 8.2).

Κατά τη διάρκεια της δειγματοληψίας πάρθηκαν όλα τα απαραίτητα μέτρα, ώστε το δείγμα νερού να είναι όσο δυνατόν πιο αντιπροσωπευτικό και να μειωθεί στο ελάχιστο το ενδεχόμενο ρύπανσης του από τυχαίους παράγοντες. Έτσι, κάθε φορά που λαμβάνονταν ένα δείγμα υπόγειου νερού από μια γεώτρηση ή ένα πηγάδι που περιείχε αντλία, ετίθετο σε λειτουργία για αρκετή ώρα προτού ληφθεί το δείγμα νερού, έτσι ώστε να ξεπλυθούν οι σωληνώσεις. Όταν κάποιο πηγάδι δεν είχε αντλία τότε το δείγμα υπόγειου νερού λαμβάνονταν με ειδικό δειγματολήπτη.

Κάθε δείγμα υπόγειου νερού διαχωρίστηκε σε δυο μέρη ως εξής:

(α) Το πρώτο μέρος του δείγματος υπόγειου νερού, το οποίο προορίζονταν για τον εργαστηριακό προσδιορισμό των ιχνοστοιχείων, διηθήθηκε επιτόπου με τη χρήση ηθμού 0,22 μm , ο οποίος είχε προσαρμοστεί σε πλαστική σύριγγα μιας χρήσεως. Στη συνέχεια το νερό αποθηκεύτηκε σε δοχείο πολυαιθυλενίου όγκου 100 ml και έγινε προσθήκη υπερκάθαρου πυκνού HNO_3 , ώστε το pH να είναι μικρότερο από 2. Η διήθηση πραγματοποιήθηκε προκειμένου να απομακρυνθούν τα αιωρούμενα στερεά από το δείγμα νερού, ενώ η προσθήκη του πυκνού HNO_3 έγινε για τη συντήρηση των ιχνοστοιχείων. Το πυκνό HNO_3 δεν επιτρέπει την ανάπτυξη βακτηριδίων, εμποδίζει να λάβουν χώρα αντιδράσεις οξειδωσης, καθώς και την προσρόφιση ιχνοστοιχείων από τα τοιχώματα του δοχείου αποθήκευσης.

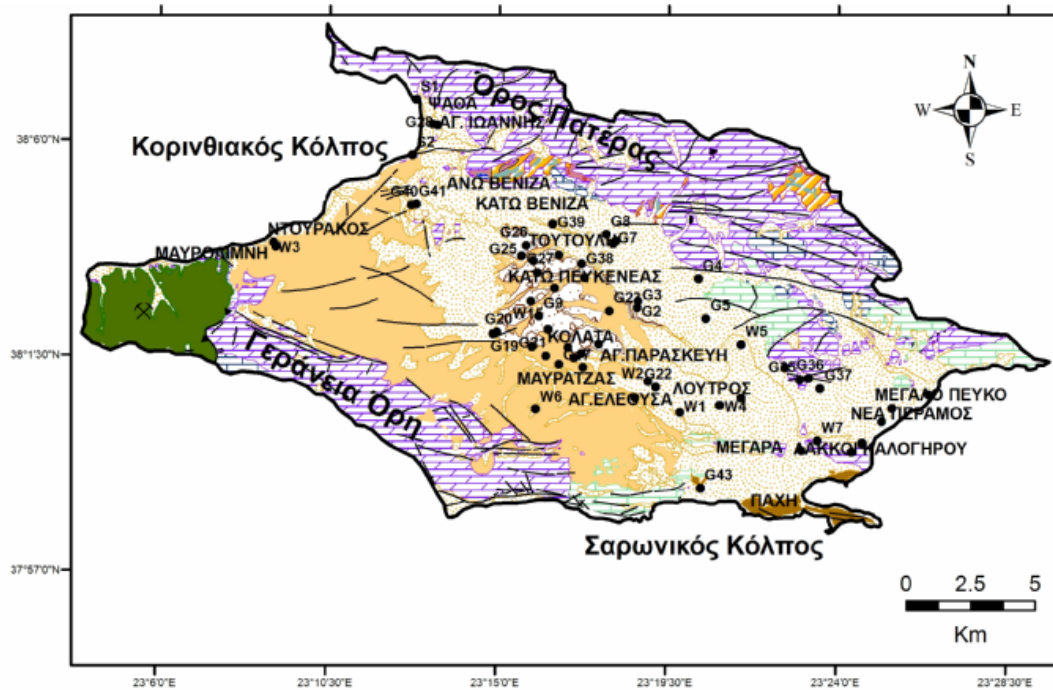
(β) Το δεύτερο μέρος του δείγματος υπόγειου νερού, το οποίο προορίζονταν για τον εργαστηριακό προσδιορισμό των κύριων στοιχείων, αποθηκεύτηκε σε δοχείο πολυαιθυλενίου των 1000 ml με σκοπό τον προσδιορισμό των κύριων στοιχείων.

Προτού γίνει η αποθήκευση του δείγματος νερού στο αντίστοιχο δοχείο, το δοχείο και το πόμα του ξεπλένονταν με το ίδιο νερό που επρόκειτο να αποθηκευτεί ως δείγμα κάθε φορά.

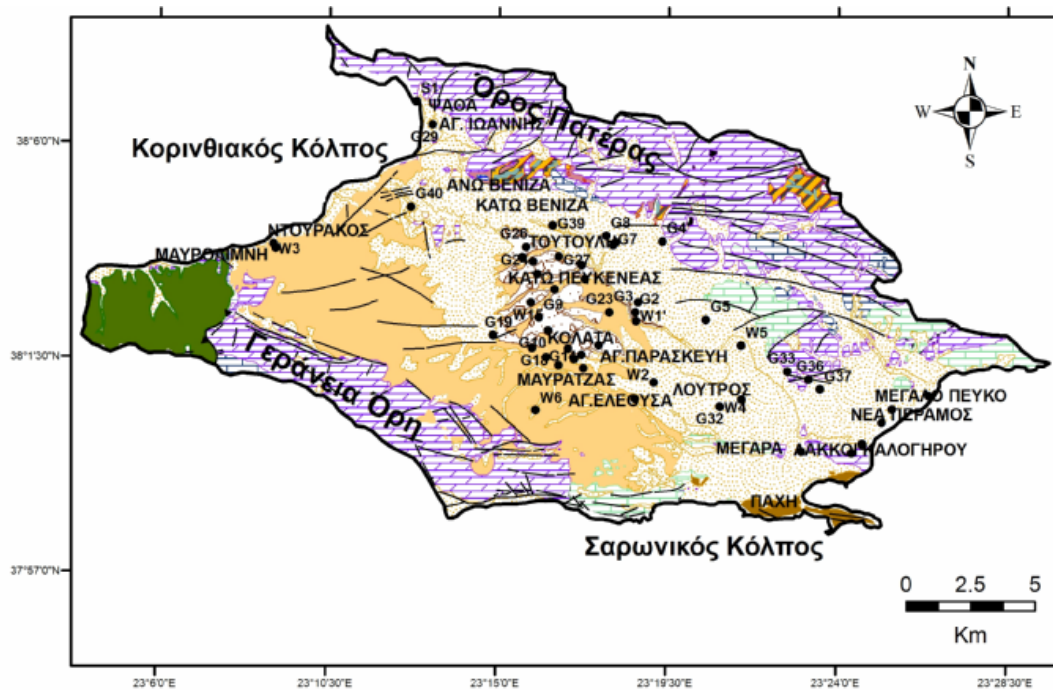
Όλα τα δοχεία του πολυαιθυλενίου με τα υπο-δείγματα του υπόγειου νερού σφραγιζόταν ερμητικά και διατηρούνταν μέσα σε φορητό ψυγείο μέχρι τη μεταφορά τους στο εργαστήριο, όπου εκεί φυλάσσονταν μέσα σε θάλαμο συντήρησης σε θερμοκρασία 4 °C μέχρι την ανάλυση τους.

Στα Σχ. 8.1 και 8.2 απεικονίζονται τα σημεία δειγματοληψίας των υπόγειων νερών της υγρής και της ξηρής περιόδου δειγματοληψίας και στους Πιν. 8.1 και 8.2 παρουσιάζονται αναλυτικά οι φυσικοχημικές παράμετροι και οι χημικές αναλύσεις των στοιχείων και των ιχνοστοιχείων.

Οι συντεταγμένες του κάθε δείγματος υπόγειου νερού καταγράφηκαν με τη χρήση συσκευής προσδιορισμού γεωγραφικής θέσης (GPS) τύπου Garmin 60 Csx.



Σχήμα 8.1: Γεωλογικός χάρτης της περιοχής έρευνας με τα σημεία δειγματοληψίας υπόγειου νερού της υγρής περιόδου.



Σχήμα 8.2: Γεωλογικός χάρτης της περιοχής έρευνας με τα σημεία δειγματοληψίας υπόγειου νερού της ξηρής περιόδου.

Πίνακας 8.1: Αποτελέσματα φυσικοχημικών παραμέτρων και χημικών αναλύσεων στοιχείων και ιχνοστοιχείων των δειγμάτων των υπόγειων νερών υγρής περιόδου της περιοχής έρευνας.

ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΙΣ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ																		
Κ/Α	Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά							Σκληρότητα (odH)			SiO ₂	TDS (mg/L)	Κύρια Στοιχεία (mg/L)					
	T °C	pH	O ₂ (mg/L)	O ₂ (%)	EC (μS/cm)	SPC (μS/cm)	SAL (ppt)	Ολ.	Παρ.	Μόν.			Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻
W1	17,5	7,9	5,8	77,0	280	326	0,16	8	6,72	1,39	4,10	212	48,80	5,47	4,18	0,79	146,40	8,66
W2	18,8	7,9	7,7	85,0	2340	2652	1,38	42	25,76	16,02	52,50	1723	50,85	150,37	214,80	8,80	561,20	503,54
W3	19,0	7,4	9,8	118,0	8267	9315	5,24	122	11,76	110,18	30,70	6051	291,20	351,83	983,38	10,54	256,20	2482,27
W4	19,8	7,3	7,5	79,6	1347	1496	0,75	31	18,48	12,36	21,40	975	89,50	79,30	69,00	6,14	402,60	107,84
W5	18,7	7,6	6,6	70,3	2124	2412	1,25	46	14,00	31,64	25,60	1566	103,20	135,20	100,72	0,88	305,00	293,20
W7	17,6	8,2	8,0	89,3	10624	12372	7,12	98	19,04	78,53	12,20	8028	150,72	331,68	1788,96	91,60	414,80	3954,72
W8	17,5	7,7	8,5	82,6	4891	5708	3,11	78	24,92	52,74	13,70	3712	164,08	237,12	604,32	16,80	542,90	1332,24
W9	17,9	7,6	7,7	97,0	7063	8174	4,55	95	22,96	71,58	26,40	5304	301,44	226,64	1032,96	1,68	500,20	1732,16
W10	18,7	8,1	4,9	53,6	3822	4350	2,32	50	19,32	31,08	19,50	2827	153,28	125,36	501,60	4,88	420,90	923,44
W11	19,1	7,7	6,9	72,4	877	989	6,49	19	17,08	1,88	19,50	643	90,40	27,21	63,85	5,27	372,10	46,13
W12	16,9	7,6	9,5	110,8	3304	3672	1,94	38	15,96	21,60	15,60	2386	109,76	96,16	423,20	18,57	347,70	853,36
W13	19,8	6,9	11,0	123,8	3087	3420	1,80	43	14,84	28,18	17,50	2223	150,96	94,72	340,80	13,52	323,30	790,08
W14	20,7	6,8	10,2	115,6	6361	6361	3,79	63	17,92	45,10	10,80	4465	205,36	148,40	882,64	31,20	390,40	1912,56
G28	18,9	8,2	10,1	116,0	1834	2083	1,07	22	15,01	6,89	7,10	1352	77,82	47,62	231,00	7,95	327,00	470,00
G29	18,1	7,8	8,7	93,0	2740	3146	1,65	29	15,40	13,28	6,50	2048	102,83	61,83	385,74	13,60	335,50	801,60
G30	19,2	7,5	5,3	58,8	2991	3357	1,77	54	20,33	33,64	23,20	2184	124,24	158,56	272,54	4,00	443,00	623,00
G40	19,9	7,7	9,5	108,0	639	708	0,35	16	14,28	2,13	15,00	461	25,69	55,60	24,83	0,77	311,10	52,85
G41	18,1	7,5	9,5	102,7	611	704	0,34	17	14,56	1,99	42,50	455	24,78	56,73	24,36	0,74	317,20	52,69

ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΙΣ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ																	
Κ/Α	Κύρια Στοιχεία (mg/L)		Ιχνοενώσεις και ιχνοστοιχεία							Βαρέα μέταλλα							
	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻ (mg/L)	NH ₄ ⁺ (mg/L)	Br ⁻ (mg/L)	I (mg/L)	F (mg/L)	NO ₂ (mg/L)	Li (mg/L)	Cr (μg/L)	Mn (μg/L)	Co (μg/L)	Ni (μg/L)	Cu (μg/L)	Zn (μg/L)	Cd (μg/L)	Pb (μg/L)
W1	21,72	0,27	<0,1	0,04	n.a.	0,06	0,14	0,00	<0,0001	0,37	0,22	0,02	0,43	0,57	1,78	0,03	0,03
W2	68,90	8,73	<0,1	0,054	1,08	0,16	0,41	0,00	0,06	39,11	0,29	0,04	4,17	0,59	6,21	0,03	0,10
W3	135,96	59,40	<0,1	<0,01	6,93	0,13	0,15	0,00	0,12	3,44	0,95	0,09	13,34	1,74	15,07	0,10	0,10
W4	41,52	182,28	<0,1	<0,01	0,28	0,08	0,17	0,11	0,02	8,17	5,53	0,12	2,70	2,21	44,70	0,01	0,19
W5	83,84	218,88	0,42	0,038	0,79	0,14	0,19	0,00	0,02	12,42	0,36	0,18	3,33	0,57	4,43	0,05	0,03
W7	255,44	53,60	<0,1	<0,01	12,07	0,06	0,83	0,00	0,10	1,00	0,60	0,05	4,63	2,01	6,20	0,03	0,17
W8	185,52	222,40	<0,1	<0,01	3,75	0,17	0,35	0,00	0,04	2,36	0,74	0,44	5,01	1,50	4,08	0,02	0,06
W9	867,12	410,96	<0,1	<0,01	4,90	0,21	0,38	0,00	0,06	0,53	18,28	0,19	4,15	2,26	65,73	0,06	1,24
W10	188,80	158,88	0,34	<0,01	2,77	0,20	0,72	0,00	0,03	1,04	0,50	0,20	1,37	1,35	12,92	0,01	0,08
W11	60,08	35,95	<0,1	0,120	0,18	0,06	0,20	0,61	0,01	0,49	1,90	0,14	15,23	4,73	7,86	0,04	0,36

Πίνακας 8.1 (συνέχεια): Αποτελέσματα φυσικοχημικών παραμέτρων και χημικών αναλύσεων στοιχείων και ιχνοστοιχείων των δειγμάτων των υπόγειων νερών υγρής περιόδου της περιοχής έρευνας.

ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΙΣ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ																	
Κ/Δ	Κόρια Στοιχεία (mg/L)		Ιχνοενώσεις και ιχνοστοιχεία							Βαρέα μέταλλα							
	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻ (mg/L)	NH ₄ ⁺ (mg/L)	Br ⁻ (mg/L)	I (mg/L)	F (mg/L)	NO ₂ (mg/L)	Li (mg/L)	Cr (μg/L)	Mn (μg/L)	Co (μg/L)	Ni (μg/L)	Cu (μg/L)	Zn (μg/L)	Cd (μg/L)	Pb (μg/L)
W12	95,68	38,80	1,17	<0,01	2,45	0,04	0,07	0,00	0,01	4,00	0,07	0,08	0,34	0,17	8,44	0,01	0,03
W13	103,20	99,68	<0,1	<0,01	2,36	0,15	0,06	0,00	0,02	2,87	0,33	0,07	0,57	0,41	8,51	0,01	0,03
W14	240,00	41,36	<0,1	<0,01	2,53	0,02	0,16	0,00	0,02	0,98	0,19	0,06	0,41	0,89	13,24	0,01	0,33
G28	55,24	4,18	<0,1	<0,01	1,40	0,23	0,06	0,00	0,01	1,53	0,57	0,24	1,84	2,88	417,68	0,03	0,69
G29	100,70	4,43	<0,1	<0,01	2,42	0,05	0,05	0,00	0,01	0,55	0,13	0,02	0,39	2,07	16,37	0,01	0,15
G30	441,80	28,98	<0,1	0,118	1,64	0,06	0,13	0,00	0,08	1,31	24,17	0,08	6,78	1,52	12,95	0,01	0,06
G40	8,05	5,18	<0,1	0,017	0,16	0,13	0,12	0,00	<0,0001	32,64	0,17	<0,02	0,29	0,36	12,91	0,01	0,09
G41	7,67	5,29	<0,1	<0,01	0,15	0,05	0,16	0,00	<0,0001	34,08	0,10	<0,02	0,21	0,46	7,27	0,01	0,16

ΝΕΟΓΕΝΕΙΣ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ																		
Κ/Δ	Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά							Σκληρότητα (odH)			SiO ₂	TDS (mg/L)	Κόρια Στοιχεία (mg/L)					
	T °C	pH	O ₂ (mg/L)	O ₂ (%)	EC (μS/cm)	SPC (μS/cm)	SAL (ppt)						Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻
								Ολ.	Παρ.	Μόν.								
W6	20,6	7,7	9,4	109,4	834	911		17	14,56	1,97	57,00	592	62,43	33,68	56,48	2,29	317,20	91,90
W15	19,2	7,6	4,0	43,0	1347	1522	0,77	29	23,80	4,75	9,20	988	153,28	30,48	72,16	80,24	518,50	79,12
G1	18,8	8,5	7,2	86,0	631	631		14	13,16	0,94	45,00	467	19,46	49,35	39,00	0,49	286,70	60,63
G2	19,1	7,8	6,9	80,0	975	1096	0,55	21	21,28	0,00	46,00	715	24,18	76,17	72,39	0,94	463,60	82,90
G3	19,3	7,9	10,8	105,0	986	1103	0,55	20	21,56	0,00	55,00	715	22,86	72,70	68,40	0,84	469,70	74,13
G6	19,1	8,2	9,3	101,8	593	668	0,33	14	14,00	0,03	38,00	436	20,20	48,61	29,20	0,60	305,00	33,30
G7	19,6	8,1	10,5	110,0	637	710	0,35	16	14,84	1,44	24,30	462	21,69	57,47	36,07	0,83	323,30	43,74
G8	21,6	8,7	3,5	40,3	663	709	0,35	15	14,28	0,45	19,00	462	18,80	52,50	35,20	0,55	311,10	43,30
G9	19,9	8,1	9,1	105,0	706	778	0,38	15	14,84	0,37	56,50	507	22,51	52,32	32,14	0,67	323,30	54,11
G10	19,9	7,2	10,7	125,0	1165	1292	0,65	26	21,00	4,73	42,50	839	97,70	52,12	57,20	1,28	457,50	112,70
G11	18,8	8,0	10,6	111,0	970	1103	0,55	19	19,04	0,00	51,50	715	21,22	68,80	61,93	0,90	414,80	104,00
G12	18,4	7,4	9,4	99,0	1430	1637	0,83	31	22,40	8,68	39,00	1066	112,37	66,40	88,34	2,39	488,00	161,90
G13	18,6	7,6	12,6	135,0	1794	2040	1,05	33	25,76	7,07	51,50	1326	74,31	97,20	89,80	2,35	561,20	176,60
G14	18,0	7,8	10,7	114,0	1428	1647	0,84	28	24,64	3,44	47,00	1073	55,95	87,81	144,68	1,61	536,80	212,88
G15	17,2	7,6	9,2	96,3	1394	1635	0,83	31	26,32	5,04	28,40	1060	101,37	74,35	94,34	1,67	573,40	175,26

Πίνακας 8.1 (συνέχεια): Αποτελέσματα φυσικοχημικών παραμέτρων και χημικών αναλύσεων στοιχείων και ιχνοστοιχείων των δειγμάτων των υπόγειων νερών υγρής περιόδου της περιοχής έρευνας.

ΝΕΟΓΕΝΕΙΣ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ																		
Κ/Α	Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά							Σκληρότητα (odH)			SiO ₂	TDS (mg/L)	Κύρια Στοιχεία (mg/L)					
	T °C	pH	O ₂ (mg/L)	O ₂ (%)	EC (μS/cm)	SPC (μS/cm)	SAL (ppt)	Ολ.	Παρ.	Μόν.			Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻
G16	18,4	8,1	11,9	128,0	893	1022	0,55	20	18,48	1,25	60,00	663	23,81	71,15	69,30	1,01	402,60	107,85
G17	18,7	7,3	7,3	77,1	1130	1284	0,64	26	22,40	3,66	10,00	832	105,56	48,76	60,30	1,42	488,00	107,46
G18	18,0	7,6	16,6	177,4	1208	1392	0,70	29	22,40	6,17	37,50	904	120,00	50,88	59,20	1,20	488,00	88,00
G19	17,5	8,0	6,5	72,8	698	698	0,40	15	14,56	0,30	61,00	527	25,44	49,00	28,68	0,72	317,20	56,28
G20	20,2	8,7	7,7	82,0	706	777	0,38	17	14,56	2,51	57,00	507	31,27	55,03	35,38	0,92	317,20	58,51
G21	18,6	7,4	6,1	75,0	1135	1293	0,65	20	17,44	2,63	25,50	839	66,00	46,88	69,14	1,54	380,00	80,00
G22	20,2	7,1	7,2	87,0	1978	2174		39	29,96	8,81	15,60	1411	94,08	110,96	172,56	2,88	652,70	258,40
G23	18,4	7,6	6,8	72,4	1369	1565	0,79	29	23,24	6,17	11,60	1014	33,95	106,98	103,37	1,10	506,30	211,90
G24	17,3	8,7	9,7	104,0	573	670	0,33	14	12,60	1,08	38,50	436	19,40	47,55	33,15	0,60	274,50	52,20
G25	19,4	8,4	10,6	115,0	610	683	0,34	14	12,88	1,36	10,50	449	19,17	50,14	34,50	0,63	280,60	58,20
G26	17,7	8,7	12,2	128,0	602	702	0,34	14	13,44	0,95	43,50	455	18,84	51,00	34,95	0,60	292,80	51,12
G27	17,9	8,7	10,7	108,0	589	680	0,33	14	12,60	1,07	27,50	442	17,20	48,88	34,64	0,80	274,50	54,50
G31	17,6	8,7	11,6	122,0	584	680	0,33	14	12,88	0,81	39,00	442	19,46	47,58	34,68	0,62	280,60	53,53
G32	19,6	7,7	9,2	109,6	1275	1421	0,72	29	17,08	11,75	21,70	929	81,54	75,44	66,36	5,50	372,10	104,56
G34	19,5	7,3	9,3	100,6	2887	3229	1,69	58	16,80	41,58	20,50	2100	163,36	153,84	196,80	2,96	366,00	609,60
G38	19,5	7,6	10,4	122,5	724	751	0,37	15	14,00	1,15	12,00	488	20,52	53,24	41,19	0,59	305,00	67,53
G39	21,5	7,5	11,4	129,7	583	624		14	12,88	1,29	9,50	403	24,80	46,38	22,66	0,73	280,60	38,22
G42	18,1	7,8	12,6	133,8	596	685	0,33	14	12,60	1,65	47,50	442	21,54	48,72	34,05	0,70	274,50	57,60

ΝΕΟΓΕΝΕΙΣ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ																		
Κ/Α	Κύρια Στοιχεία (mg/L)		Ιχνοενώσεις και ιχνοστοιχεία							Βαρέα μέταλλα								
	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻ (mg/L)	NH ₄ ⁺ (mg/L)	Br ⁻ (mg/L)	I (mg/L)	F (mg/L)	NO ₂ (mg/L)	Li (mg/L)	Cr (μg/L)	Mn (μg/L)	Co (μg/L)	Ni (μg/L)	Cu (μg/L)	Zn (μg/L)	Cd (μg/L)	Pb (μg/L)	
W6	20,75	3,85	<0,1	0,020	0,37	0,05	0,40	0,00	0,01	2,17	<0,05	0,02	0,41	9,20	25,03	0,01	0,11	
W15	156,72	3,44	4,74	<0,01	1,42	0,21	0,50	0,33	<0,0001	0,57	87,77	0,97	25,39	10,20	8,09	0,02	0,16	
G1	11,01	2,50	<0,1	<0,01	0,13	0,03	0,17	0,00	0,01	31,98	1,66	<0,02	0,60	0,94	21,38	0,10	0,27	
G2	27,36	5,31	<0,1	<0,01	0,20	0,04	0,40	0,00	0,03	66,56	0,15	0,02	0,95	1,96	6,73	0,04	0,07	
G3	27,60	8,00	<0,1	<0,01	0,17	0,10	0,23	0,00	0,02	70,35	1,07	0,03	1,08	2,92	8,41	0,05	0,05	
G6	8,90	7,87	<0,1	0,012	0,12	0,07	0,16	0,00	0,01	30,90	0,53	<0,02	0,23	0,82	3,83	0,01	0,02	
G7	15,16	8,32	<0,1	0,032	0,14	0,12	0,27	0,02	0,01	41,61	2,52	0,02	0,34	0,71	8,97	<0,006	0,02	
G8	13,74	4,30	<0,1	0,205	0,12	0,09	0,18	0,00	0,02	45,89	0,37	<0,02	0,21	0,13	1,34	<0,006	0,02	
G9	19,51	0,76	<0,1	<0,01	0,06	0,26	0,23	0,00	0,01	40,28	0,72	<0,02	0,46	3,44	18,72	0,03	0,15	
G10	63,90	0,90	<0,1	0,709	0,32	0,17	0,28	0,00	0,04	<0,04	4,61	0,34	3,24	0,45	9,14	0,01	0,02	

Πίνακας 8.1 (συνέχεια): Αποτελέσματα φυσικοχημικών παραμέτρων και χημικών αναλύσεων στοιχείων και ιχνοστοιχείων των δειγμάτων των υπόγειων νερών υγρής περιόδου της περιοχής έρευνας.

ΝΕΟΓΕΝΕΙΣ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ																	
Κ/Δ	Κόρια Στοιχεία (mg/L)		Ιχνοενώσεις και ιχνοστοιχεία							Βαρέα μέταλλα							
	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻ (mg/L)	NH ₄ ⁺ (mg/L)	Br ⁻ (mg/L)	I (mg/L)	F (mg/L)	NO ₂ (mg/L)	Li (mg/L)	Cr (μg/L)	Mn (μg/L)	Co (μg/L)	Ni (μg/L)	Cu (μg/L)	Zn (μg/L)	Cd (μg/L)	Pb (μg/L)
G11	24,64	8,73	<0,1	0,006	0,24	0,13	0,30	0,00	0,03	55,71	0,12	<0,02	0,74	0,37	5,41	0,02	0,09
G12	156,40	0,59	<0,1	0,218	0,63	0,06	0,54	0,00	0,03	<0,04	21,74	0,03	0,77	0,61	235,37	0,01	0,01
G13	70,30	7,04	<0,1	0,104	0,35	0,11	0,26	0,52	0,04	<0,04	19,10	0,02	0,43	4,00	28,23	0,02	0,09
G14	84,63	1,21	<0,1	0,195	0,57	0,06	0,28	0,00	0,05	0,30	17,63	0,39	11,13	1,68	294,46	0,02	0,57
G15	65,42	0,60	<0,1	0,338	0,56	0,36	0,39	0,00	0,04	<0,04	73,08	0,06	0,55	0,23	306,38	<0,006	0,11
G16	25,21	2,82	<0,1	<0,01	0,22	0,13	0,48	0,00	0,02	48,24	0,48	<0,02	0,64	0,63	6,07	0,02	0,10
G17	42,44	7,48	<0,1	0,010	0,30	0,08	0,48	0,00	0,02	0,06	4,98	0,07	3,96	2,89	19,82	0,01	0,11
G18	84,48	0,64	<0,1	<0,01	0,24	0,24	0,17	0,40	0,03	<0,04	15,75	0,05	0,53	0,79	13,83	0,01	0,08
G19	22,87	2,03	<0,1	0,011	0,14	0,07	0,22	0,00	0,01	34,72	0,22	<0,02	0,46	0,08	27,02	0,02	0,14
G20	24,75	1,52	<0,1	<0,01	n.a.	0,07	0,30	0,00	0,01	33,70	0,30	<0,02	0,69	0,83	17,16	0,01	0,27
G21	51,20	7,04	<0,1	0,129	0,25	0,03	0,30	0,00	0,02	<0,04	28,62	0,14	1,34	0,24	3,83	0,02	0,04
G22	74,56	0,32	<0,1	<0,01	0,70	0,08	0,08	0,00	0,04	0,83	2,09	0,40	6,96	2,33	1,16	0,04	0,04
G23	40,48	9,38	<0,1	<0,01	0,50	0,14	0,22	0,00	0,03	53,67	1,71	0,02	1,14	0,91	298,56	0,34	0,72
G24	9,61	2,27	<0,1	<0,01	0,67	0,14	0,34	0,00	0,01	40,12	2,17	<0,02	0,33	0,23	2,19	0,01	0,01
G25	10,10	1,90	<0,1	<0,01	0,13	0,05	0,21	0,00	0,01	50,99	0,16	<0,02	0,31	1,25	36,12	0,01	0,09
G26	8,97	2,04	<0,1	<0,01	0,12	0,16	0,09	0,00	0,01	41,15	0,25	<0,02	0,29	1,44	5,38	0,01	0,04
G27	11,60	2,60	<0,1	<0,01	0,10	0,13	0,13	0,00	0,01	54,23	0,66	<0,02	0,33	0,33	1,81	0,01	0,15
G31	10,66	2,26	0,14	<0,01	0,14	0,10	0,19	0,00	0,01	43,09	4,68	0,03	0,39	0,62	7,85	0,01	0,09
G32	31,36	153,34	<0,1	<0,01	0,27	0,07	0,14	0,02	0,02	6,14	0,36	0,07	0,82	0,49	692,39	0,10	0,57
G34	72,00	196,80	<0,1	0,069	1,98	0,05	0,19	0,00	0,03	10,02	0,14	0,11	0,84	0,72	3,03	0,01	0,02
G38	14,64	2,53	<0,1	<0,01	0,17	0,03	0,37	0,00	0,01	52,23	0,13	<0,02	0,32	8,06	28,93	0,01	0,15
G39	6,69	2,21	0,20	<0,01	0,15	0,09	0,41	0,02	0,01	33,19	0,15	<0,02	0,09	0,45	5,87	0,01	0,30
G42	14,76	3,35	<0,1	0,027	0,16	0,23	0,44	0,04	0,01	34,24	1,35	<0,02	0,40	0,34	48,82	0,01	0,07

ΚΑΡΣΤΙΚΟΙ ΑΝΘΡΑΚΙΚΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ																		
Κ/Δ	Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά							Σκληρότητα (odH)			SiO ₂	TDS (mg/L)	Κόρια Στοιχεία (mg/L)					
	T °C	pH	O ₂ (mg/L)	O ₂ (%)	EC (μS/cm)	SPC (μS/cm)	SAL (ppt)						Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻
								Ολ.	Παρ.	Μόν.								
S1	17,2	7,0	8,2	83,0	18900			126	14,56	111,18	6,20	10395	255,00	390,40	3435,50	129,0	317,20	6981
S2	16,6	6,7	5,4	59,1	19500			151	21,90	129,03	10,10	10725	394,00	415,00	3679,20	151,8	477,00	7675
G4	21,1	7,8	7,9	92,0	2915	3148	1,65	28	13,54	14,18	17,70	2048	65,25	80,56	318,44	9,93	295,00	718
G5	20,5	8,2	6,2	72,4	762	838	0,40	18	15,68	2,16	39,00	540	22,96	63,45	40,13	1,04	341,60	61,91
G33	19,2	7,6	10,7	115,8	3257	3645	1,93	33	15,12	17,86	12,40	2373	96,96	84,08	441,04	16,16	329,40	829,92

Πίνακας 8.1 (συνέχεια): Αποτελέσματα φυσικοχημικών παραμέτρων και χημικών αναλύσεων στοιχείων και ιχνοστοιχείων των δειγμάτων των υπόγειων νερών υγρής περιόδου της περιοχής έρευνας.

ΚΑΡΣΤΙΚΟΙ ΑΝΘΡΑΚΙΚΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ																		
Κ/Α	Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά							Σκληρότητα (odH)			SiO ₂	TDS (mg/L)	Κύρια Στοιχεία (mg/L)					
	T °C	pH	O ₂ (mg/L)	O ₂ (%)	EC (μS/cm)	SPC (μS/cm)	SAL (ppt)						Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻
								Ολ.	Παρ.	Μόν.								
G35	19,1	7,8	10,4	110,3	2941	3315	1,74	32	14,28	17,64	15,20	2158	88,96	84,32	388,80	15,20	311,10	726,40
G36	18,9	7,7	11,5	118,0	2799	3559	1,77	33	14,56	18,48	15,00	2184	96,80	84,40	390,88	15,36	317,20	738,96
G37	19,1	8,2	10,5	110,8	2971	3336	1,76	32	14,28	17,57	14,10	2171	92,96	81,60	390,16	14,24	311,10	726,80
G43	26,0	7,1	7,3	94,2	4070	3990	2,10	38	24,36	13,74	20,90	2594	93,76	108,24	504,72	32,08	530,70	727,52

ΚΑΡΣΤΙΚΟΙ ΑΝΘΡΑΚΙΚΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ																		
Κ/Α	Κύρια Στοιχεία (mg/L)		Ιχνοενώσεις και ιχνοστοιχεία							Βαρέα μέταλλα								
	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻ (mg/L)	NH ₄ ⁺ (mg/L)	Br ⁻ (mg/L)	I (mg/L)	F (mg/L)	NO ₂ (mg/L)	Li (mg/L)	Cr (μg/L)	Mn (μg/L)	Co (μg/L)	Ni (μg/L)	Cu (μg/L)	Zn (μg/L)	Cd (μg/L)	Pb (μg/L)	
S1	857,60	3,10	<0,1	<0,01	21,87	0,19	0,21	0,00	0,09	0,50	0,09	0,03	0,60	0,55	7,82	0,37	0,19	
S2	902,00	1,10	<0,1	0,10	22,17	0,05	0,11	0,00	0,43	0,96	0,08	0,04	2,48	0,48	3,39	0,04	0,12	
G4	61,78	19,00	<0,1	<0,01	2,18	0,05	0,00	0,00	0,01	5,51	1,04	0,02	0,27	0,60	19,87	0,02	0,02	
G5	11,33	31,59	<0,1	<0,01	0,22	0,08	0,26	0,00	0,01	46,97	0,16	0,08	0,61	1,92	2,92	0,03	0,20	
G33	80,80	15,12	<0,1	0,044	2,57	0,22	0,08	0,00	0,01	3,79	1,19	0,03	0,58	0,39	1,73	<0,006	<0,005	
G35	74,96	29,12	0,28	<0,01	2,96	0,17	0,30	0,00	0,02	8,91	0,17	0,03	0,29	0,27	3,75	<0,006	0,02	
G36	78,40	30,24	2,73	<0,01	2,83	0,52	0,05	0,00	0,01	7,47	0,18	0,04	0,41	0,47	1,41	0,01	0,20	
G37	77,60	28,56	<0,1	<0,01	2,47	0,12	0,08	0,00	0,01	5,48	0,32	0,02	0,32	0,71	16,87	0,01	0,15	
G43	230,72	170,40	<0,1	<0,01	1,66		0,54	0,00	0,04	16,80	1,34	0,56	5,34	1,47	322,90	0,03	0,29	

Πίνακας 8.2: Αποτελέσματα φυσικοχημικών παραμέτρων και χημικών αναλύσεων στοιχείων και ιχνοστοιχείων των δειγμάτων των υπόγειων νερών ξηρής περιόδου της περιοχής έρευνας.

ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΙΣ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ																		
Κ/Α	Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά							Σκληρότητα (odH)			SiO ₂	TDS (mg/L)	Κύρια Στοιχεία (mg/L)					
	T °C	pH	O ₂ (mg/L)	O ₂ (%)	EC (μS/cm)	SPC (μS/cm)	SAL (ppt)						Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻
								Ολ.	Παρ.	Μόν.								
W1	19,9	8,2	10,2	117,6	2414	2673	1,39	25,04	20,16	4,88	19,70	1736	39,20	84,80	78,40	2,24	439,20	78,40
W2	22,8	7,8	8,1	95,1	2466	2564	1,33	38,14	25,20	12,94	39,00	1677	47,85	136,40	212,64	13,32	549,00	519,80
W3	20,1	7,3	5,7	75,4	15272	16847		148,8	24,05	124,77	23,30	10940	335,36	441,60	1460,48	13,44	524,00	2932,00
W4	20,0	7,3	6,2	81,2	1299	1437	0,72	29,52	18,50	11,02	21,20	936	89,40	73,64	66,48	8,18	403,00	113,14
W5	22,0	6,9	7,8	90,8	1990	2100	1,08	41,45	13,54	27,91	25,30	1371	92,72	123,42	90,30	1,10	295,00	319,00

Πίνακας 8.2 (συνέχεια): Αποτελέσματα φυσικοχημικών παραμέτρων και χημικών αναλύσεων στοιχείων και ιχνοστοιχείων των δειγμάτων των υπόγειων νερών ξηρής περιόδου της περιοχής έρευνας.

ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΙΣ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ																		
Κ/Α	Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά							Σκληρότητα (odH)			SiO ₂	TDS (mg/L)	Κύρια Στοιχεία (mg/L)					
	T °C	pH	O ₂ (mg/L)	O ₂ (%)	EC (μS/cm)	SPC (μS/cm)	SAL (ppt)	Ολ.	Παρ.	Μόν.			Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻
W8	19,5	7,7	8,1	101,5	4610	5143	2,77	76,41	21,84	54,57	14,50	3341	162,40	232,72	549,04	17,84	475,80	1299,04
W9	20,7	7,5	8,3	103,0	8911	9680	5,46	129,2	21,84	107,39	25,50	6305	411,60	310,08	1321,84	1,44	475,80	2601,12
W10	22,1	7,8	5,1	61,5	4357	4612	2,46	50,27	16,80	33,47	20,30	2997	153,28	124,80	543,36	5,12	366,00	989,60
W11	24,1	7,6	6,1	74,8	1201	1216	0,60	24,81	19,46	5,35	17,60	796	122,88	32,80	83,36	8,32	424,00	74,56
W12	19,4	7,6	9,3	106,8	3263	3649	1,93	35,89	15,68	20,21	16,40	2373	104,56	92,08	412,56	17,44	341,60	788,48
W13	20,7	7,4	9,8	100,5	2965	3259	1,71	38,70	14,56	24,14	14,90	2119	134,71	85,87	332,70	14,22	317,20	790,00
W14	20,6	7,4	9,7	107,9	6628	7232	3,99	76,26	20,16	56,10	14,20	4700	270,48	166,16	916,32	28,24	439,20	2011,04
G29	22,8	8,0	5,9	73,3	3081	3216	1,68	41,32	18,68	22,63	8,80	2086	189,60	63,76	392,80	15,20	407,00	723,76
G30	20,1	7,8	7,9	88,2	10439	11459	6,45	486,2	23,41	462,82	19,30	7377	1035,6	1479,4	4078,84	26,69	510,00	10174,6
G40	19,5	8,0	9,4	101,6	651	727	0,36	19,43	14,69	4,74	32,50	474	8,32	79,29	39,79	1,20	320,00	84,38

ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΙΣ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ																		
Κ/Α	Κύρια Στοιχεία (mg/L)		Ιχνοενώσεις και ιχνοστοιχεία							Βαρέα μέταλλα								
	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻ (mg/L)	NH ₄ ⁺ (mg/L)	Br ⁻ (mg/L)	I (mg/L)	F (mg/L)	NO ₂ (mg/L)	Li (mg/L)	Cr (μg/L)	Mn (μg/L)	Co (μg/L)	Ni (μg/L)	Cu (μg/L)	Zn (μg/L)	Cd (μg/L)	Pb (μg/L)	
W1	26,08	161,36	0,06	1,10	0,29	0,01	0,22	0,00	0,02									
W2	69,37	10,67	1,90	0,03	1,05	0,22	0,53	0,00	0,06									
W3	627,20	110,08	<0,1	<0,01	9,77	0,05	0,20	0,00	0,09									
W4	41,60	153,00	0,43	<0,01	0,06	0,11	0,23	0,21	0,00	6,67	11,97	0,99	24,72	6,59	30,61	<0,006	<0,005	
W5	70,54	232,60	0,25	0,04	1,03	0,15	0,30	0,00	0,01	14,29	<0,05	0,91	3,32	<0,1	<0,02	<0,006	<0,005	
W8	175,20	207,20	<0,1	1,34	4,03	0,15	0,44	0,00	0,04									
W9	851,04	605,36	<0,1	<0,01	7,70	0,06	0,84	4,15	0,06									
W10	220,80	162,56	164,51	<0,01	3,25	0,16	0,37	0,00	0,04									
W11	75,68	53,68	<0,1	0,05	0,30	0,06	0,18	1,59	0,01	0,78	1,23	1,10	1,95	0,24	<0,02	<0,006	<0,005	
W12	94,24	37,84	<0,1	<0,01	2,70	0,09	0,07	0,00	0,02									
W13	104,22	88,90	<0,1	<0,01	1,43	0,00	0,09	0,00	0,01									
W14	284,96	80,16	296,32	0,14	6,22	0,03	0,11	0,00	0,03									
G29	86,56	3,52	<0,1	<0,01	2,55	0,21	0,22	0,00	<0,0001									
G30	1627,77	115,46	0,75	<0,01	34,64	0,14	3,12	0,00	0,35									
G40	11,07	7,70	<0,1	<0,01	0,23	0,26	0,19	0,00	0,01	36,52	<0,05	<0,02	0,73	0,19	3,84	<0,006	<0,005	

Πίνακας 8.2 (συνέχεια): Αποτελέσματα φυσικοχημικών παραμέτρων και χημικών αναλύσεων στοιχείων και ιχνοστοιχείων των δειγμάτων των υπόγειων νερών ξηρής περιόδου της περιοχής έρευνας.

ΝΕΟΓΕΝΕΙΣ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ																		
Κ/Λ	Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά							Σκληρότητα (odH)			SiO ₂	TDS (mg/L)	Κύρια Στοιχεία (mg/L)					
	T °C	pH	O ₂ (mg/L)	O ₂ (%)	EC (μS/cm)	SPC (μS/cm)	SAL (ppt)	Ολ.	Παρ.	Μόν.			Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻
W6	20,3	7,2	8,1	90,4	826	900	0,45	16,88	14,49	2,39	59,50	592	63,96	34,29	57,32	2,10	315,70	91,38
W15	19,2	8,5	8,1	104,2	1374	1507	0,76	34,24	24,64	9,60	9,10	982	187,60	34,24	76,00	74,56	536,80	89,64
G1	19,3	8,1	8,7	93,0	667	746	0,37	14,13	14,00	0,13	51,00	486	19,61	49,40	40,78	0,55	305,00	60,10
G2	19,7	8,1	9,9	108,7	947	1054	6,52	20,04	20,16	0,00	48,20	683	22,32	73,38	70,15	0,94	439,20	94,30
G3	19,3	8,4	10,4	116,3	984	1101	0,55	20,94	20,16	0,78	45,00	715	24,30	76,11	74,59	0,87	439,20	98,87
G6	18,8	7,7	8,6	92,6	601	677	0,33	14,43	14,56	0,00	40,00	442	21,00	49,85	29,21	0,77	317,20	31,72
G7	18,7	8,1	11,5	120,8	628	713	0,35	14,98	15,68	0,00	41,00	462	20,35	52,64	32,80	0,69	341,60	34,24
G8	21,6	8,1	10,7	120,7	640	722	0,35	14,77	15,12	0,00	40,50	468	20,36	51,73	35,56	0,61	329,40	45,08
G9	21,4	7,4	9,4	107,0	755	812	0,40	17,27	16,24	1,03	59,50	526	26,07	59,07	41,30	0,90	353,80	68,88
G10	18,4	7,5	11,7	135,5	1124	1286	0,64	21,96	20,26	1,70	38,00	839	85,67	43,12	50,90	1,18	441,40	84,49
G11	18,8	8,3	11,8	132,0	928	1072	0,53	19,80	19,60	0,20	59,50	696	22,42	72,29	79,94	0,93	427,00	113,23
G12	18,0	7,5	9,8	103,6	1413	1630	0,83	28,92	22,96	5,96	42,50	1060	107,40	60,07	85,50	2,28	500,20	138,28
G13	18,1	6,7	14,2	153,0	1741	2004	1,02	44,19	23,82	20,36	58,00	1300	163,03	92,43	90,97	2,22	519,00	184,34
G14	18,1	7,4	10,7	128,0	1333	1536	0,78	22,03	24,05	0,00	42,00	1000	44,00	68,80	120,00	1,60	524,00	115,36
G15	17,3	8,1	9,2	96,3	1135	1338	0,67	26,87	23,52	3,35	20,60	871	104,80	52,77	71,52	1,46	512,40	133,31
G16	18,5	8,3	11,9	128,0	899	1026	0,51	19,18	19,02	0,16	62,00	670	23,05	69,22	67,31	0,95	414,32	95,19
G17	17,3	7,7	7,3	77,1	1631	1910	0,98	28,94	25,20	3,74	27,10	1242	102,83	62,96	73,75	1,32	549,00	92,68
G18	17,8	7,3	16,6	177,4	1146	1327	0,67	26,42	21,84	4,58	48,50	865	109,16	48,16	59,49	1,45	475,80	113,65
G19	16,9	7,8	11,1	115,4	689	814	0,40	16,51	15,12	1,39	61,00	526	29,25	53,86	37,65	0,87	329,40	65,97
G21	25,5	6,7	6,0	70,3	1201	1244	0,62	24,04	17,30	6,74	5,10	806	101,34	42,58	61,31	1,29	377,00	108,67
G23	19,8	7,2	8,3	90,0	1218	1346	0,68	24,42	20,16	4,26	57,00	878	29,62	87,96	88,32	1,04	439,20	157,78
G24	18,0	8,5	8,5	91,0	587	683	0,33	13,48	13,44	0,04	41,50	442	19,25	46,81	33,68	0,61	292,80	52,30
G25	18,9	8,3	8,7	94,9	618	700	0,34	16,39	13,19	3,19	26,00	455	13,14	63,13	49,50	0,88	287,40	78,70
G26	17,7	8,5	9,7	101,5	579	678	0,33	16,30	13,40	2,89	42,50	442	17,26	60,23	43,38	0,74	292,00	66,38
G27	17,9	8,1	12,1	128,6	586	678	0,33	13,36	12,32	1,04	23,20	442	16,65	47,85	34,24	0,75	268,40	53,58
G31	17,0	8,2	9,7	104,4	566	670	0,33	13,83	12,72	1,11	37,00	436	19,70	48,04	35,06	0,62	277,20	54,53
G32	19,7	7,5	6,8	74,6	1209	1344	0,67	24,61	17,92	6,69	16,70	871	59,94	70,30	65,84	5,01	390,40	115,53
G34	20,9	6,8	7,5	84,9	2890	3117	1,64	40,48	15,12	25,36	17,20	2034	118,24	103,65	314,32	9,47	329,40	672,72
G38	29,0	7,4	6,6	93,7	841	763	0,37	14,84	14,56	0,28	52,50	494	20,20	52,10	41,47	0,54	317,20	56,13
G39	18,3	8,2	9,7	107,6	550	629	0,31	10,90	12,03	0,00	22,90	410	19,22	35,61	19,67	0,73	262,00	28,20
G42	17,8	8,4	13,1	143,0	594	691	0,34	13,97	12,32	1,65	42,50	449	20,84	47,96	33,73	0,63	268,40	54,00

Πίνακας 8.2 (συνέχεια): Αποτελέσματα φυσικοχημικών παραμέτρων και χημικών αναλύσεων στοιχείων και ιχνοστοιχείων των δειγμάτων των υπόγειων νερών ξηρής περιόδου της περιοχής έρευνας.

ΝΕΟΓΕΝΕΙΣ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ																	
Κ/Δ	Κύρια Στοιχεία (mg/L)		Ιχνογενώσεις και ιχνοστοιχεία							Βαρέα μέταλλα							
	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻ (mg/L)	NH ₄ ⁺ (mg/L)	Br ⁻ (mg/L)	I (mg/L)	F (mg/L)	NO ₂ (mg/L)	Li (mg/L)	Cr (μg/L)	Mn (μg/L)	Co (μg/L)	Ni (μg/L)	Cu (μg/L)	Zn (μg/L)	Cd (μg/L)	Pb (μg/L)
W6	20,81	2,80	18,38	0,02	0,27	0,11	0,96	0,06	0,01	1,53	<0,05	<0,02	1,11	10,02	102,15	0,007	<0,005
W15	173,00	40,80	4,36	<0,01	0,49	0,27	0,13	0,22	<0,0001	0,42	84,08	3,80	35,59	<0,1	<0,02	<0,006	<0,005
G1	11,40	2,38	<0,1	0,03	0,17	0,01	0,37	0,04	0,01	47,19	<0,05	<0,02	1,48	0,54	7,17	<0,006	<0,005
G2	29,32	4,27	<0,1	<0,01	0,23	0,08	0,32	2,79	0,02	64,70	<0,05	0,40	1,27	<0,1	86,39	<0,006	<0,005
G3	33,99	5,70	<0,1	0,05	0,30	0,02	0,25	0,04	0,02	55,20	<0,05	0,20	0,67	<0,1	<0,02	<0,006	<0,005
G6	9,99	9,07	0,17	<0,01	0,11	0,01	0,20	0,00	0,01	28,27	<0,05	<0,02	2,53	0,23	3,17	<0,006	<0,005
G7	12,67	6,41	<0,1	0,04	0,13	0,09	0,27	0,00	0,01	45,70	<0,05	<0,02	<0,025	<0,1	5,48	<0,006	<0,005
G8	16,27	6,02	<0,1	0,06	0,13	0,01	0,50	0,00	0,01	43,11	<0,05	<0,02	0,03	<0,1	1,15	<0,006	<0,005
G9	21,06	2,21	<0,1	<0,01	0,15	0,02	0,22	0,02	0,02	44,38	<0,05	<0,02	2,25	12,74	48,83	<0,006	<0,005
G10	48,44	1,12	0,30	0,29	0,27	0,14	0,26	0,09	0,03	0,75	5,82	1,75	3,46	<0,1	<0,02	<0,006	<0,005
G11	26,19	3,37	<0,1	<0,01	0,29	0,02	0,42	0,00	0,02	65,56	<0,05	0,34	0,84	<0,1	<0,02	<0,006	<0,005
G12	124,91	0,55	1,28	0,13	0,39	0,10	0,47	0,08	0,02	0,61	27,34	1,73	2,56	<0,1	69,26	<0,006	<0,005
G13	386,00	0,85	<0,1	0,28	0,45	0,13	0,53	0,00	0,04	0,52	22,35	2,76	3,21	<0,1	<0,02	<0,006	<0,005
G14	59,28	1,12	3,24	5,06	0,60	0,10	11,64	0,00	0,03	1,02	14,27	1,49	8,10	<0,1	1890,52	<0,006	<0,005
G15	34,36	0,26	<0,1	0,19	0,23	0,64	0,37	0,00	0,02	0,30	93,88	1,50	1,40	<0,1	207,08	<0,006	<0,005
G16	23,64	2,54	<0,1	<0,01	0,20	0,05	0,42	0,00	0,02	40,61	0,72	0,30	2,46	<0,1	<0,02	<0,006	<0,005
G17	75,12	11,94	<0,1	<0,01	0,11	0,06	0,41	0,00	0,03	<0,04	<0,05	<0,02	<0,025	<0,1	<0,02	<0,006	<0,005
G18	90,87	1,22	<0,1	<0,01	0,33	0,01	0,33	0,00	0,03	0,04	3,70	1,01	0,57	3,83	<0,02	<0,006	<0,005
G19	27,75	2,35	<0,1	<0,01	0,19	0,01	0,57	0,00	0,01	33,52	<0,05	<0,02	0,68	0,01	62,54	<0,006	<0,005
G21	42,00	0,60	<0,1	0,04	0,29	0,12	0,50	0,00	0,02	0,39	4,12	1,63	1,64	25,84	<0,02	<0,006	<0,005
G23	36,41	6,99	<0,1	0,02	0,44	0,09	0,24	0,00	0,03	66,95	0,36	0,49	1,18	<0,1	458,84	0,299	<0,005
G24	9,69	2,23	<0,1	<0,01	0,28	0,04	0,33	0,00	0,01	42,11	<0,05	<0,02	1,10	0,16	0,29	<0,006	<0,005
G25	12,31	2,18	<0,1	0,05	0,22	0,10	0,23	0,00	0,01	63,49	<0,05	<0,02	4,70	2,45	44,50	<0,006	<0,005
G26	11,06	2,37	2,74	<0,01	0,16	0,32	0,21	0,00	0,01	50,90	<0,05	<0,02	3,50	0,47	1,57	<0,006	<0,005
G27	11,96	2,55	<0,1	<0,01	0,15	0,03	0,27	0,00	0,01	61,86	<0,05	<0,02	<0,025	<0,1	<0,02	<0,006	<0,005
G31	10,99	2,17	<0,1	<0,01	0,13	0,11	0,22	0,02	0,01	2,77	<0,05	<0,02	0,03	<0,1	<0,02	<0,006	<0,005
G32	33,58	88,46	<0,1	0,02	0,36	0,02	0,18	0,00	0,02	5,39	1,95	1,28	2,00	<0,1	441,60	<0,006	<0,005
G34	73,14	83,24	<0,1	<0,01	2,17	0,29	0,16	0,00	0,01								
G38	13,97	2,94	<0,1	<0,01	0,14	0,13	0,42	0,03	0,01	55,55	<0,05	<0,02	1,31	19,69	24,01	<0,006	<0,005
G39	4,51	1,34	<0,1	<0,01	0,09	0,30	0,10	0,00	0,00	35,81	<0,05	<0,02	<0,025	0,11	1,34	<0,006	<0,005
G42	14,32	3,51	<0,1	<0,01	0,12	0,06	0,35	0,00	0,01	32,16	<0,05	<0,02	0,02	0,08	34,99	<0,006	<0,005

Πίνακας 8.2 (συνέχεια): Αποτελέσματα φυσικοχημικών παραμέτρων και χημικών αναλύσεων στοιχείων και ιχνοστοιχείων των δειγμάτων των υπόγειων νερών ξηρής περιόδου της περιοχής έρευνας.

ΚΑΡΣΤΙΚΟΙ ΑΝΘΡΑΚΙΚΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ																		
Κ/Δ	Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά							Σκληρότητα (odH)			SiO ₂	TDS (mg/L)	Κύρια Στοιχεία (mg/L)					
	T °C	pH	O ₂ (mg/L)	O ₂ (%)	EC (μS/cm)	SPC (μS/cm)	SAL (ppt)	Ολ.	Παρ.	Μόν.			Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻
S1	19,7	7,0	9,1	109,0	20432	22309	13,70	277,0	28,87	248,16	5,80	14787	1074,6	547,46	4825,16	175,1	629,00	8822,02
G4'	18,8	8,1	9,5	103,2	602	683	0,33	10,66	11,06	0,00	4,90	442	26,83	29,90	15,87	0,70	241,00	24,04
G5	19,4	8,2	10,7	111,3	739	826	0,41	16,14	16,24	0,00	37,50	540	18,93	58,51	38,75	0,94	353,80	54,72
G33	19,2	7,1	7,9	88,0	2834	3146	1,65	32,31	14,56	17,75	14,90	2041	96,49	81,42	371,72	13,09	317,20	708,23
G36	20,9	6,8	7,7	85,6	3099	3363	1,80	34,32	15,12	19,20	13,80	2210	100,42	87,76	426,06	16,01	329,40	816,44
G37	22,6	6,9	8,7	103,1	3063	3207	1,68	32,80	14,56	18,24	10,50	2086	96,24	83,72	425,76	15,00	317,20	805,92

ΚΑΡΣΤΙΚΟΙ ΑΝΘΡΑΚΙΚΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ																		
Κ/Δ	Κύρια Στοιχεία (mg/L)		Ιχνοενώσεις και ιχνοστοιχεία							Βαρέα μέταλλα								
	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻ (mg/L)	NH ₄ ⁺ (mg/L)	Br ⁻ (mg/L)	I (mg/L)	F (mg/L)	NO ₂ (mg/L)	Li (mg/L)	Cr (μg/L)	Mn (μg/L)	Co (μg/L)	Ni (μg/L)	Cu (μg/L)	Zn (μg/L)	Cd (μg/L)	Pb (μg/L)	
S1	1022,28	4,10	<0,1	<0,01	32,36	0,23	10,39	0,00	0,11									
G4'	9,70	8,55	<0,1	0,05	0,11	0,23	0,03	0,00	<0,0001	<0,04	<0,05	<0,02	0,46	1,58	35,58	<0,006	0,037	
G5	8,90	23,35	0,53	<0,01	0,45	0,11	0,20	0,00	0,01	47,93	<0,05	<0,02	0,40	<0,1	<0,02	<0,006	<0,005	
G33	73,23	34,19	<0,1	<0,01	2,62	0,10	0,09	0,00	<0,0001									
G36	87,09	27,87	<0,1	<0,01	2,76	0,07	0,15	0,00	<0,0001									
G37	85,86	27,36	1,36	<0,01	2,90	0,17	0,09	0,00	<0,0001									

8.3. Προσδιορισμός φυσικοχημικών παραμέτρων στην ύπαιθρο

Κατά τη διάρκεια της συλλογής των δειγμάτων υπόγειων νερών πραγματοποιήθηκε προσδιορισμός των εξής φυσικοχημικών παραμέτρων: θερμοκρασία (T), pH, ολικά διαλυμένα στερεά (TDS), ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC), ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα (SPC), αλατότητα (SAL) διαλυμένο οξυγόνο (DO) με τη χρήση του πολύμετρου YSI Professional plus. Για τη βαθμονόμηση των ηλεκτροδίων και της συσκευής πολυμέτρου χρησιμοποιήθηκαν διαλύματα της εταιρείας YSI. Οι παράμετροι αυτοί προσδιορίστηκαν στην ύπαιθρο προκειμένου οι τιμές των παραμέτρων να είναι αντιπροσωπευτικές των συνθηκών που επικρατούν σε κάθε υδροφορέα. Στους Πιν. 8.1 και 8.2 αναγράφονται οι τιμές των φυσικοχημικών παραμέτρων που προσδιορίστηκαν στην ύπαιθρο για κάθε δείγμα υπόγειου νερού κατά τις δυο περιόδους δειγματοληψίας.

8.4. Εργαστηριακές αναλύσεις

Για τα δείγματα νερού της υγρής και της ξηρής περιόδου πραγματοποιήθηκαν χημικές αναλύσεις των κύριων στοιχείων καθώς και των ιχνοστοιχείων. Τα κύρια στοιχεία και τα ιχνοστοιχεία τα οποία προσδιορίστηκαν είναι: Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , SiO_2 , F, NO_2 , Li, PO_4^{3-} , NH_4^+ , Br^- , I, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb. Οι αναλύσεις των κύριων στοιχείων (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , SiO_2 , F, NO_2 , Li, PO_4^{3-} , NH_4^+ , Br^- , I) πραγματοποιήθηκαν στο Εργαστήριο Εγγειοβελτιωτικών Έργων και Διαχείρισης Υδατικών Πόρων της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του ΕΜΠ με τη χρήση της συσκευής ιοντικής χρωματογραφίας (DIONEX: ICS 3000). Τα HCO_3^- και η ολική σκληρότητα προσδιορίστηκαν στο Εργαστήριο Ορυκτολογίας και Γεωλογίας του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών με τη μέθοδο της τιτλοδότησης. Τα ιχνοστοιχεία Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb προσδιορίστηκαν στο Εργαστήριο Γενικής Χημείας, της Σχολής Χημικών Μηχανικών του ΕΜΠ, με τη χρήση συσκευής ICP-MS (AGILENT: MassHunter 7700). Σημειώνεται ότι για την υγρή περίοδο πραγματοποιήθηκαν προσδιορισμοί ιχνοστοιχείων σε 60 δείγματα ενώ για την ξηρή σε 36 δείγματα νερού, λόγω τεχνικών προβλημάτων.

8.4.1. Μέθοδοι προσδιορισμού των χημικών παραμέτρων

Ιοντική χρωματογραφία

Στη μέθοδο της ιοντικής χρωματογραφίας χρησιμοποιείται εναλλάκτης ιόντων χαμηλής ικανότητας ως στατική φάση και συνήθως υδατικά διαλύματα αλάτων ασθενών μονοβασικών και διβασικών οξέων ως κινητές φάσεις (διάλυμα έκλουσης). Το διάλυμα έκλουσης που χρησιμοποιείται έχει σύσταση 4,5 mM Na_2CO_3 και 0,8 mM NaHCO_3 .

Η ανίχνευση των ιόντων πραγματοποιείται με τη βοήθεια αγωγιμομετρικού ανιχνευτή (ο πλέον ευρέως χρησιμοποιούμενος), ο οποίος συνδυάζεται με διάταξη καταστολής της αγωγιμότητας, η οποία μειώνει την αγωγιμότητα του διαλύματος έκλουσης και μετατρέπει τα διαχωριζόμενα ανιόντα στα αντίστοιχα με αυτά οξέα. Ένας τέτοιος συνδυασμός υπάρχει και στη συσκευή χρωματογραφικής ιοντοανταλλαγής της DIONEX ICS-3000 που χρησιμοποιήθηκε.

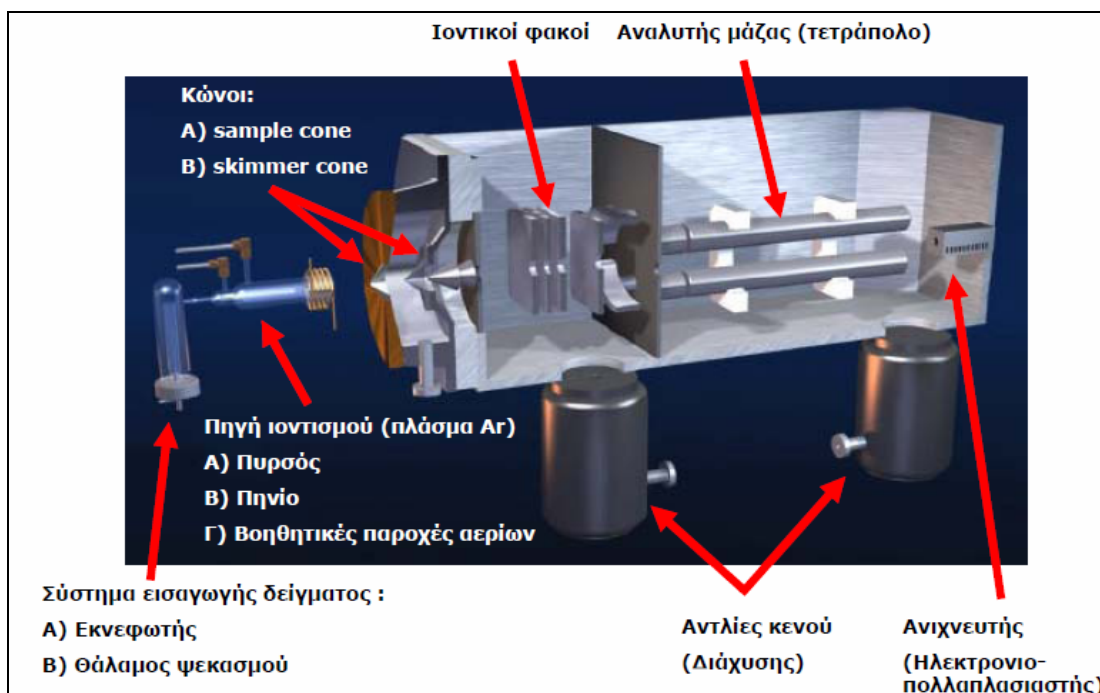
Τα ιόντα προσδιορίστηκαν συγκρίνοντας τους χρόνους κατακράτησης τους (retention times) με τους χρόνους των μεικτών προτύπων διαλυμάτων που χρησιμοποιήθηκαν

για να δημιουργηθεί η καμπύλη βαθμονόμησης (ποιοτικός προσδιορισμός). Σημειώνεται, ότι σύμφωνα με τον κατασκευαστή, κατά την ανάλυση μιας σειράς δειγμάτων (batch), η απόκλιση των χρόνων κατακράτησης για κάθε ένα από τα ιόντα πρέπει να είναι μικρότερη από $\pm 10\%$. Οι χρόνοι κατακράτησης μπορεί να εξαρτώνται από τη γενική σύσταση του δείγματος και τη συγκέντρωση των ιόντων. Το εμβαδόν της κορυφής που λαμβάνεται από τα χρωματογραφήματα είναι ανάλογο της συγκέντρωσης του ανιόντος (ποσοτικός προσδιορισμός).

Φασματομετρική Ανάλυση

Ο αναλυτικός προσδιορισμός των ιχνοστοιχείων πραγματοποιήθηκε με φασματομετρία ατομικών μαζών σε επαγωγικά συζευγμένο πλάσμα (ICP-MS). Η λειτουργία της τεχνικής ICP-MS περιγράφεται παρακάτω (Σχ. 8.3):

- εισαγωγή του δείγματος στο σύστημα του πλάσματος και ιοντισμός, μέσω ρεύματος αερίου αργού για τη μεταφορά
- διαχωρισμός των παραγόμενων ιόντων με βάση το λόγο (μάζα/φορτίο) σε αναλυτή μαζών
- μέτρηση της σχετικής έντασης που αντιστοιχεί σε κάθε λόγο m/z σε ηλεκτρονικό πολλαπλασιαστή/ανιχνευτή



Σχήμα 8.3: Παρουσίαση της αρχής λειτουργίας του ICP MS.

8.5. Έλεγχος των αποτελεσμάτων των χημικών αναλύσεων

Ο έλεγχος των χημικών αναλύσεων των δειγμάτων των υπόγειων νερών υπολογίστηκε σύμφωνα με το επί τοις εκατό σφάλμα ισοζυγίου ή ηλεκτρική ουδετερότητα από τη σχέση (Λαμπράκης 2005, Hounslaw 1995, Appelo and Postma 2005):

$$\text{Σφάλμα} \cdot \text{Ισοζυγίου} \cdot (\text{Σ.Ι.}\%) = \frac{\Sigma_{\text{κατιόντων}} - \Sigma_{\text{ανιόντων}}}{\Sigma_{\text{κατιόντων}} + \Sigma_{\text{ανιόντων}}} \times 100$$

όπου $\Sigma_{\text{κατιόντων}} = \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{Na}^{+} + \text{K}^{+}$ (σε meq/l)

και $\Sigma_{\text{ανιόντων}} = \text{Cl}^{-} + \text{HCO}_3^{-} + \text{SO}_4^{2-} + \text{NO}_3^{-}$ (σε meq/l)

Το αποδεκτό σφάλμα στις χημικές αναλύσεις των δειγμάτων των υπόγειων νερών είναι από 2 έως 5%, μερικές φορές όμως γίνεται αποδεκτό και σφάλμα έως και 10% (Appelo and Postma 2005).

Όταν το σφάλμα είναι μεγαλύτερο από 10% τότε θα πρέπει να ελέγχεται. Ο Hounslow (1995) αναφέρει, ότι μεγάλο σφάλμα μπορεί να οφείλεται στα εξής:

1. Μη ακριβής χημική ανάλυση.
2. Παρουσία κάποιων συστατικών στο διάλυμα τα οποία δε μετρήθηκαν.
3. Το νερό είναι πολύ όξινο, οπότε τα H^{+} δε λήφθηκαν υπόψη.
4. Παρουσία οργανικών ιόντων σε σημαντικές ποσότητες.

Στους Πιν. 8.3 και 8.4 παρουσιάζεται το επί τοις εκατό σφάλμα των δειγμάτων των χημικών αναλύσεων των υπόγειων νερών και για τις δυο περιόδους δειγματοληψίας. Το σφάλμα των χημικών αναλύσεων για τα περισσότερα δείγματα νερού (ποσοστό 86,89% για την υγρή περίοδο δειγματοληψίας και 96,15% για την ξηρή περίοδο δειγματοληψίας) δεν ξεπερνά το όριο του 5%.

Πίνακας 8.3: Σφάλμα (%) των δειγμάτων των υπόγειων νερών της υγρής περιόδου.

Κωδικός δείγματος	Σφάλμα %	Κωδικός δείγματος	Σφάλμα %	Κωδικός δείγματος	Σφάλμα %
S1	5,36	G4	5,31	G25	0,85
S2	5,50	G5	0,26	G26	1,56
W1	0,23	G7	2,86	G28	4,71
W2	1,03	G8	0,90	G29	5,09
W3	5,18	G9	2,89	G30	5,02
W4	2,54	G10	1,45	G31	0,29
W5	5,43	G11	4,83	G32	4,42
W6	0,67	G12	2,80	G33	1,00
W7	3,99	G13	0,30	G34	2,75
W8	0,45	G14	0,73	G35	1,88
W9	1,90	G15	1,29	G36	1,76
W10	0,59	G16	0,67	G37	1,79
W11	2,27	G17	0,42	G38	0,31
W12	0,18	G18	2,09	G39	1,68
W13	1,37	G19	5,30	G40	0,79
W14	3,41	G20	1,70	G41	0,33
W15	4,41	G21	2,66	G42	0,70
G1	0,42	G22	4,51	G43	0,56
G2	0,21	G23	0,86		
G3	1,86	G24	0,99		

Πίνακας 8.4: Σφάλμα (%) των δειγμάτων των υπόγειων νερών της ξηρής περιόδου.

Κωδικός δείγματος	Σφάλμα %	Κωδικός δείγματος	Σφάλμα %	Κωδικός δείγματος	Σφάλμα %
S1	5,49	G4'	4,91	G24	0,02
W1'	0,64	G5	2,88	G25	0,05
W2	4,30	G6	0,00	G26	0,05
W3	4,85	G7	0,01	G27	0,01
W4	1,82	G8	0,02	G29	0,05
W5	0,84	G9	0,01	G30	0,03
W6	1,94	G10	0,03	G31	0,01
W8	0,15	G11	0,01	G32	0,00
W9	2,37	G12	0,02	G33	0,01
W10	0,67	G13	0,05	G34	0,02
W11	4,85	G14	0,00	G36	0,01
W12	1,25	G15	0,01	G37	0,01
W13	4,12	G16	0,01	G38	0,00
W14	2,44	G17	0,01	G39	0,04
W15	5,47	G18	0,04	G40	0,04
G1	1,06	G19	0,02	G42	0,01
G2	1,54	G21	0,05		
G3	0,25	G23	0,00		

8.6. Περιγραφή – Χωρική κατανομή των παραμέτρων

8.6.1. Φυσικοχημικές παράμετροι

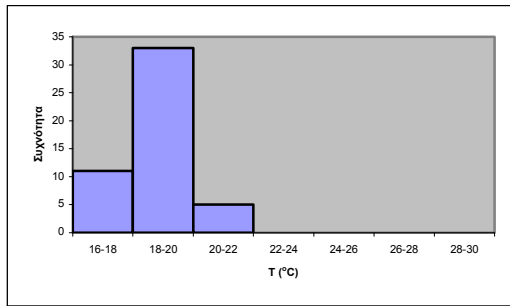
8.6.1.1. Θερμοκρασία (T°C)

Η θερμοκρασία του υπόγειου νερού εξαρτάται από τη θερμοκρασία των πετρωμάτων μέσα από τα οποία διέρχεται. Η θερμοκρασία του υπόγειου νερού συνήθως δεν μεταβάλλεται, αυτή που μεταβάλλεται είναι η θερμοκρασία του επιφανειακού νερού εξαιτίας της θέρμανσης του από την ηλιακή ενέργεια. Η θέση της πιεζομετρικής επιφάνειας του υδροφορέα καθορίζει τη θερμοκρασία του υπόγειου νερού, έτσι το υπόγειο νερό γεωτρήσεων που βρίσκεται σε μεγάλο βάθος έχει και μεγαλύτερη θερμοκρασία από αυτό που βρίσκεται σε μικρότερο βάθος (Βουδούρης 2009). Η θερμοκρασία είναι ένας σημαντικός παράγοντας του υπόγειου νερού διότι καθορίζει πολλές από τις αντιδράσεις και τα φυσικά φαινόμενα που συμβαίνουν σε αυτό. Όταν αυξάνεται η θερμοκρασία προκαλείται μείωση της διαλυτότητας των αερίων με αποτέλεσμα σοβαρές περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Όταν αυξάνεται η θερμοκρασία μειώνεται η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου με αποτέλεσμα να μειώνεται και η πυκνότητα του νερού, και σαν ελαφρύτερο εμποδίζει τη διάλυση του οξυγόνου.

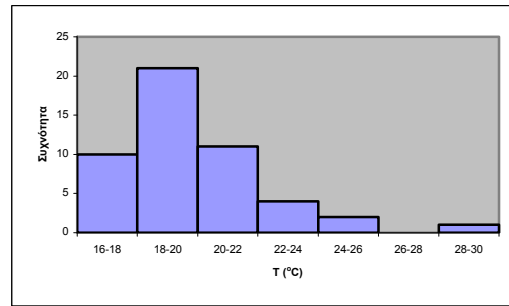
Θερμοκρασία 7 - 11 °C είναι αποδεκτή για το πόσιμο νερό, όταν όμως η θερμοκρασία του νερού ξεπεράσει τους 25 °C, τότε το νερό είναι ανεπιθύμητο από τους καταναλωτές διότι επηρεάζεται η γεύση του (Χαραλάμπους 2007).

Τα δεδομένα της θερμοκρασίας στα υπόγεια νερά ομαδοποιήθηκαν σε κλάσεις με εύρος κλάσης 2 °C και για τις δυο περιόδους δειγματοληψίας (Σχ. 8.4 και 8.5).

Στο ιστόγραμμα κατανομής της θερμοκρασίας και για τις δυο περιόδους διακρίνεται ένας κύριος πληθυσμός με μέγιστη κλάση από 18 έως 20 °C, όπου αντιστοιχούν 33 δείγματα υπόγειου νερού στην υγρή περίοδο και 21 δείγματα υπόγειου νερού στην ξηρή περίοδο (Σχ. 8.4 και 8.5).

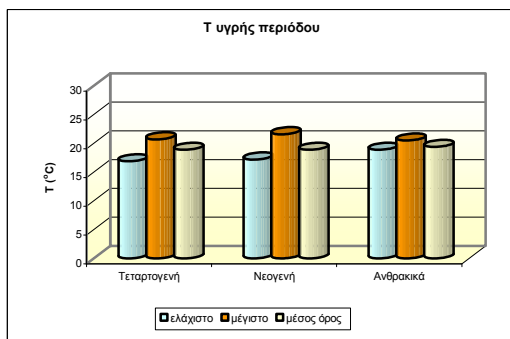


Σχήμα 8.4: Ιστόγραμμα κατανομής της θερμοκρασίας στα δείγματα υπόγειων νερών υγρής περιόδου.

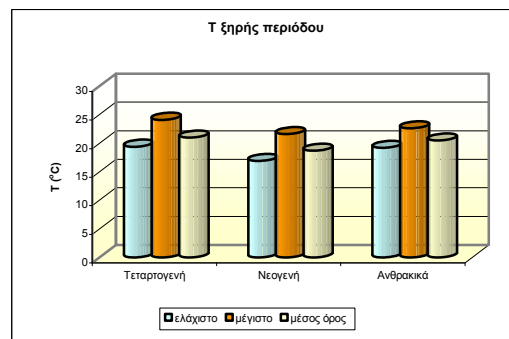


Σχήμα 8.5: Ιστόγραμμα κατανομής της θερμοκρασίας στα δείγματα υπόγειων νερών ξηρής περιόδου.

Στα Σχ. 8.6 και 8.7 παρουσιάζονται οι διακυμάνσεις των τιμών θερμοκρασίας των υπόγειων νερών της λεκάνης που προκύπτουν για τις δυο περιόδους δειγματοληψίας.



Σχήμα 8.6: Διακύμανση των τιμών θερμοκρασίας υγρής περιόδου των τριών υδροφορέων.



Σχήμα 8.7: Διακύμανση των τιμών θερμοκρασίας ξηρής περιόδου των τριών υδροφορέων.

Διαπιστώνεται, ότι κατά την υγρή περίοδο η διακύμανση των τιμών είναι περιορισμένη και στους τρεις υδροφορείς. Αντίθετα κατά την ξηρή περίοδο οι μεγαλύτερες διαφοροποιήσεις εντοπίζονται στα υπόγεια νερά των τεταρτογενών σχηματισμών και ανθρακικών σχηματισμών ενώ στα νερά των νεογενών σχηματισμών οι τιμές διαφοροποιούνται σε περιορισμένο εύρος.

Σημαντικοί παράγοντες για την έντονη διαφοροποίηση των τιμών θερμοκρασίας στο φρεάτιο ορίζοντα των τεταρτογενών σχηματισμών, είναι το περιορισμένο πάχος της ακόρεστης ζώνης, οι επιδράσεις της ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας, καθώς τα περισσότερα πηγάδια δεν προστατεύονται επαρκώς και οι διάφορες ανθρωπογενείς επιδράσεις.

Αναλυτικότερα, οι τιμές της θερμοκρασίας στα υπόγεια νερά της περιοχής έρευνας για τις δυο περιόδους δειγματοληψίας βάσει της λιθολογικής ταξινόμησης έχουν ως εξής (Σχ. 8.6 και 8.7):

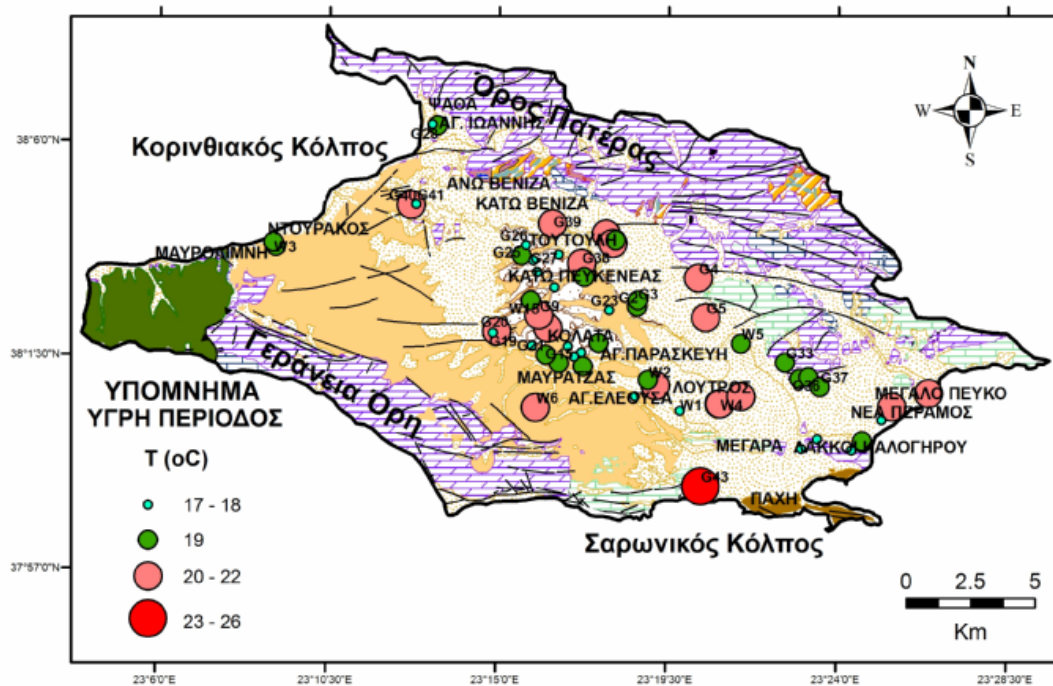
α) νερά των τεταρτογενών σχηματισμών: Οι τιμές της θερμοκρασίας στα νερά των τεταρτογενών σχηματισμών παρουσιάζουν μια μικρή αύξηση κατά την ξηρή περίοδο. Την υγρή περίοδο ο μέσος όρος της θερμοκρασίας είναι 18,9 °C με τιμές που κυμαίνονται από 16,9 έως 20,7 °C, ενώ κατά την ξηρή περίοδο ο μέσος όρος της θερμοκρασίας είναι 21 °C με τιμές που κυμαίνονται από 19,4 °C έως 24,1 °C (Πιν. 8.5 και 8.6). Η αύξηση της θερμοκρασίας κατά την ξηρή περίοδο οφείλεται στην αύξηση της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας.

β) νερά των νεογενών σχηματισμών: Στους νεογενείς σχηματισμούς, οι τιμές της θερμοκρασίας των υπόγειων νερών κυμαίνονται στα ίδια επίπεδα και για τις δυο περιόδους. Πιο συγκεκριμένα, κατά την υγρή περίοδο ο μέσος όρος της θερμοκρασίας είναι 18,9 °C με τιμές που κυμαίνονται από 17,2 έως 21,6 °C ενώ κατά την ξηρή περίοδο ο μέσος όρος της θερμοκρασίας είναι 18,7 °C με τιμές που κυμαίνονται από 16,9 έως 21,6 °C (Πιν. 8.5 και 8.6). Εξάίρεση αποτελούν τα δείγματα G21 και G38 με θερμοκρασίες 25,5 και 29,0 °C αντίστοιχα γεγονός το οποίο αποδίδεται στην ατμοσφαιρική θερμοκρασία.

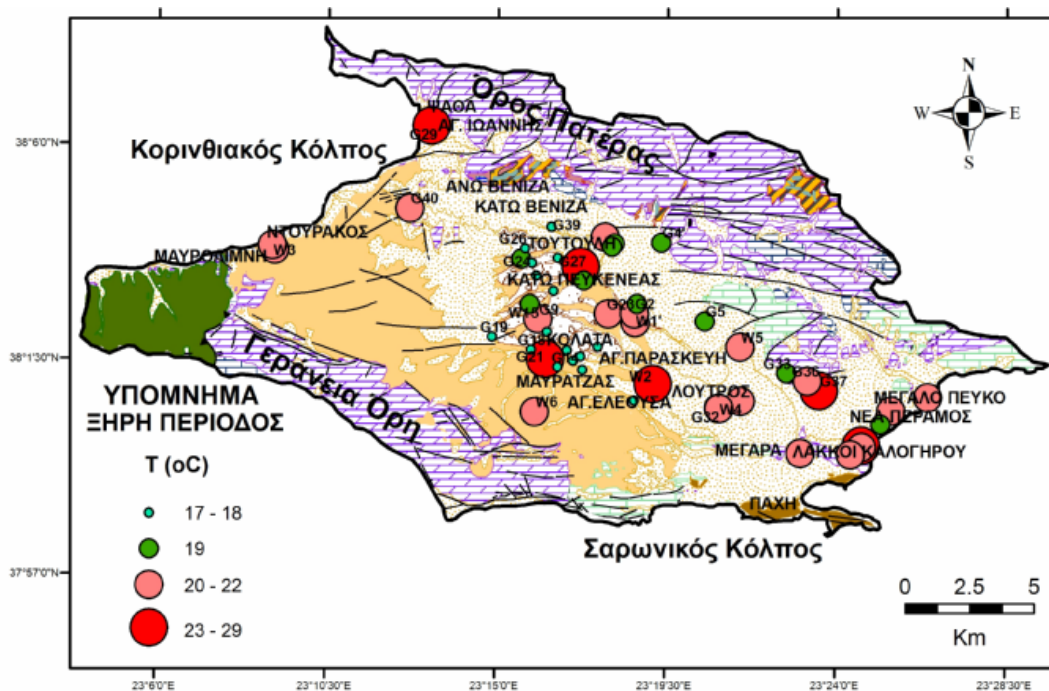
γ) νερά των καρστικών ανθρακικών σχηματισμών: Στα υπόγεια νερά των καρστικών σχηματισμών καταγράφεται μικρή αύξηση της θερμοκρασίας. Την υγρή περίοδο ο μέσος όρος της θερμοκρασίας είναι 19,7 °C με τιμές που κυμαίνονται από 18,9 έως 20,5 °C ενώ κατά την ξηρή περίοδο ο μέσος όρος της θερμοκρασίας είναι 20,5 °C με τιμές που κυμαίνονται από 19,2 έως 22,6 °C (Πιν. 8.5 και 8.6).

Η χωρική κατανομή των τιμών της θερμοκρασίας στη λεκάνη των Μεγάρων για τις δυο περιόδους δειγματοληψίας απεικονίζεται στα Σχ. 8.8 και 8.9.

Διαπιστώνεται, ότι κατά την ξηρή περίοδο αυξάνεται η θερμοκρασία του φρεάτιου υδροφόρου κυρίως στις παράκτιες περιοχές της Ψάθας, Ντουράκος, Μεγάλο Πεύκο, Νέα Πέραμος και Λάκκοι Καλογήρου. Επίσης στο κεντρικό τμήμα της λεκάνης παρατηρείται αύξηση της θερμοκρασίας κατά την ξηρή περίοδο σε σχέση με την υγρή περίοδο δειγματοληψίας, κυρίως όμως οι θερμοκρασίες και στις δυο περιόδους δειγματοληψίας υγρή και ξηρή κυμαίνονται από 17 έως 22 °C για το κεντρικό τμήμα της λεκάνης (Σχ. 8.8 και 8.9).



Σχήμα 8.8: Χωρική κατανομή της τιμής της θερμοκρασίας (°C) των υπόγειων νερών κατά την υγρή περίοδο.



Σχήμα 8.9: Χωρική κατανομή της τιμής της θερμοκρασίας (°C) των υπόγειων νερών κατά την ξηρή περίοδο.

8.6.1.2. Η τιμή του pH

Το pH εκφράζει τη συγκέντρωση των H_3O^+ που περιέχονται σε ένα διάλυμα και ονομάζεται ενεργός οξύτητα, δηλαδή το pH είναι ο αρνητικός λογάριθμος της συγκέντρωσης των H_3O^+ . Το pH κορεσμού ή pH ισορροπίας ονομάζεται το pH που οφείλεται στην παρουσία του CO_2 . Όταν το pH κορεσμού > pH του νερού, τότε το υπόγειο νερό έχει μεγάλη διαλυτική ικανότητα και μπορεί να διαλύσει το $CaCO_3$, σε αντίθετη περίπτωση αποθέτει $CaCO_3$ εξαιτίας κορεσμού του διαλύματος. Όσο πιο νέα είναι μια υδατική μάζα τόσο πιο αλκαλική είναι, ενώ καθώς παλαιώνει μετατρέπεται από αλκαλική σε όξινη, διότι αυξάνεται το CO_2 εξαιτίας αποσύνθεσης του οργανικού υλικού (Βουδούρης 2009).

Το pH ελέγχει πολλούς παράγοντες στο νερό και γι' αυτό είναι ένας καθοριστικός δείκτης για την ποιότητα του. Το pH ρυθμίζει τους μηχανισμούς των αντιδράσεων, βοηθά ή παρεμποδίζει τις βιοχημικές διεργασίες και εξαρτάται άμεσα από το είδος των χημικών ουσιών που περιέχονται μέσα στο νερό. Μια τιμή του pH ανάμεσα σε 6,6 έως 8,5 θεωρείται ικανοποιητική για το πόσιμο νερό (Χαραλάμπους 2007).

Στα υπόγεια νερά η τιμή του pH είναι περίπου 7,4 (Κελεπερτζής 2000). Η παραμετρική τιμή pH σύμφωνα με την κοινοτική οδηγία 98/83/EK κυμαίνεται από 6,5 έως 9,5.

Τα δεδομένα του pH στα υπόγεια νερά ομαδοποιήθηκαν σε κλάσεις με εύρος κλάσης και για την υγρή και για την ξηρή περίοδο 0,3 (Σχ. 8.10 και 8.11).

Στο ιστόγραμμα κατανομής του pH για την υγρή περίοδο διακρίνεται ένας κύριος πληθυσμός με μέγιστη κλάση από 7,5 έως 7,8 όπου αντιστοιχούν 20 δείγματα υπόγειου νερού. Στην ξηρή περίοδο διακρίνεται ένας κύριος πληθυσμός με μέγιστη κλάση από 7,2 έως 7,5 όπου αντιστοιχούν 12 δείγματα υπόγειου νερού.

Πίνακας 8.5: Περιγραφικά στατιστικά των δειγμάτων υπόγειων νερών της περιοχής έρευνας για την υγρή περίοδο δειγματοληψίας.

Τεταρτογενείς σχηματισμοί														
	$T^{\circ}C$	pH	DO (mg/L)	EC ($\mu S/cm$)	$\Sigma ΚΛΗΡΟΤΗΤΑ$ $ΟΛΙΚΗ$ (mg/L)	TDS (mg/L)	Ca^{2+} (mg/L)	Mg^{2+} (mg/L)	Na^{+} (mg/L)	K^{+} (mg/L)	HCO_3^{-} (mg/L)	Cl^{-} (mg/L)	SO_4^{2-} (mg/L)	NO_3^{-} (mg/L)
Μέσος	18,9	7,5	8,1	3560,9	825,0	2611,9	114,2	122,8	421,5	8,1	393,7	889,6	109,4	108,3
Διάμεσος	18,9	7,6	8,1	3039,0	765,8	2203,5	106,5	125,4	363,3	6,1	381,3	795,8	98,2	50,4
Διακύμανση	1,1	0,1	3,3	5352051,8	157455,7	2887357,2	2461,0	3955,7	117477,1	36,5	8418,6	546734,0	4524,4	13809,3
Εύρος	3,8	1,3	6,1	7628,0	1390,6	5590,0	179,7	209,9	1008,1	17,8	305,0	2436,1	231,9	406,5
Ελάχιστο	16,9	6,8	4,9	639,0	292,2	461,0	25,7	27,2	24,8	0,8	256,2	46,1	8,1	4,4
Μέγιστο	20,7	8,1	11,0	8267,0	1682,8	6051,0	205,4	237,1	1033,0	18,6	561,2	2482,3	240,0	411,0
Πλήθος	14,0	14,0	14,0	14,0	13,0	14,0	12,0	13,0	14,0	13,0	14,0	14,0	12,0	14,0

Τεταρτογενείς σχηματισμοί																
	SiO_2 (mg/L)	NH_4^{+} (mg/L)	PO_4^{3-} (mg/L)	NO_2^{-} (mg/L)	Br^{-} (mg/L)	I (mg/L)	F (mg/L)	Li (mg/L)	Cd ($\mu g/L$)	Co ($\mu g/L$)	Mn ($\mu g/L$)	Pb ($\mu g/L$)	Ni ($\mu g/L$)	Cr ($\mu g/L$)	Cu ($\mu g/L$)	Zn ($\mu g/L$)
Μέσος	18,9	0,03	0,22	0,05	1,95	0,11	0,23	0,04	0,02	0,10	0,51	0,12	2,46	3,18	1,20	10,25
Διάμεσος	19,5	0,01	0,10	0,00	2,36	0,13	0,16	0,02	0,01	0,08	0,33	0,09	2,03	1,84	1,35	10,71
Διακύμανση	45,0	0,00	0,09	0,03	2,07	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,28	0,01	4,93	13,25	0,55	17,39
Εύρος	24,2	0,11	1,07	0,61	4,73	0,19	0,67	0,12	0,05	0,18	1,83	0,33	6,49	11,92	2,08	12,29
Ελάχιστο	6,5	0,01	<0,10	0,00	0,16	0,02	0,05	0,00	0,01	<0,02	0,07	0,03	0,29	0,49	0,17	4,08
Μέγιστο	30,7	0,12	1,17	0,61	4,90	0,21	0,72	0,12	0,06	0,20	1,90	0,36	6,78	12,42	2,26	16,37
Πλήθος	13,0	14,00	14,00	14,00	13,00	14,00	14,00	14,00	13,00	13,00	11,00	13,00	12,00	12,00	13,00	12,00

Νεογενείς σχηματισμοί														
	$T^{\circ}C$	pH	DO (mg/L)	EC ($\mu S/cm$)	$\Sigma ΚΛΗΡΟΤΗΤΑ$ $ΟΛΙΚΗ$ (mg/L)	TDS (mg/L)	Ca^{2+} (mg/L)	Mg^{2+} (mg/L)	Na^{+} (mg/L)	K^{+} (mg/L)	HCO_3^{-} (mg/L)	Cl^{-} (mg/L)	SO_4^{2-} (mg/L)	NO_3^{-} (mg/L)
Μέσος	18,9	7,9	9,7	937,4	361,4	689,4	51,9	57,1	53,8	1,1	384,9	81,1	31,4	3,9
Διάμεσος	18,8	7,8	10,0	863,5	314,7	627,2	24,2	51,0	56,5	0,8	366,0	70,8	22,9	2,6
Διακύμανση	1,2	0,2	3,5	120262,3	14338,8	67835,3	1917,9	231,6	509,5	0,4	9895,6	1533,1	606,6	8,0
Εύρος	4,4	1,5	6,5	1221,0	340,9	923	146,2	66,7	80,7	2,5	298,9	143,3	77,9	8,8
Ελάχιστο	17,2	7,2	6,1	573,0	243,4	403,0	17,2	30,5	22,7	0,5	274,5	33,3	6,7	0,6
Μέγιστο	21,6	8,7	12,6	1794,0	584,3	1326,0	163,4	97,2	103,4	3,0	573,4	176,6	84,6	9,4
Πλήθος	31,0	31,0	28,0	30,0	30,0	30	31,0	29,0	29,0	29,0	31,0	28,0	29,0	29,0

Πίνακας 8.5 (συνέχεια): Περιγραφικά στατιστικά των δειγμάτων υπόγειων νερών της περιοχής έρευνας για την υγρή περίοδο δειγματοληψίας.

Νεογενείς σχηματισμοί																
	SiO_2 (mg/L)	NH_4^+ (mg/L)	PO_4^{3-} (mg/L)	NO_2^- (mg/L)	Br^- (mg/L)	I (mg/L)	F (mg/L)	Li (mg/L)	Cd (μ g/L)	Co (μ g/L)	Mn (μ g/L)	Pb (μ g/L)	Ni (μ g/L)	Cr (μ g/L)	Cu (μ g/L)	Zn (μ g/L)
Μέσος	35,0	0,02	0,10	0,04	0,26	0,10	0,29	0,02	0,01	0,03	1,22	0,09	0,56	28,67	0,95	13,69
Διάμεσος	38,5	0,01	0,10	0,00	0,20	0,09	0,27	0,02	0,01	0,02	0,51	0,09	0,46	34,24	0,63	8,25
Διακύμανση	282,2	0,00	0,00	0,02	0,03	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	2,35	0,01	0,10	556,88	0,81	151,39
Εύρος	51,8	0,10	0,00	0,52	0,61	0,21	0,45	0,05	0,02	0,06	4,93	0,29	1,25	70,31	3,36	47,48
Ελάχιστο	9,2	0,01	<0,10	0,00	0,06	0,03	0,09	0,00	<0,006	0,02	0,05	0,01	0,09	<0,04	0,08	1,34
Μέγιστο	61,0	0,10	0,10	0,52	0,67	0,24	0,54	0,05	0,03	0,07	4,98	0,30	1,34	70,35	3,44	48,82
Πλήθος	31,0	25,00	28,00	31,00	29,00	29,00	31,00	31,00	26,00	26,00	24,00	28,00	27,00	31,00	27,00	26,00

Καρστικοί ανθρακικοί σχηματισμοί															
	$T^{\circ}C$	pH	DO (mg/L)	EC (Ms/cm)	Σ ΚΛΗΡΟΤΗΤΑ ΟΛΙΚΗ (mg/L)	TDS (mg/L)	Ca^{2+} (mg/L)	Mg^{2+} (mg/L)	Na^+ (mg/L)	K^+ (mg/L)	HCO_3^- (mg/L)	Cl^- (mg/L)	SO_4^{2-} (mg/L)	NO_3^- (mg/L)	
Μέσος	19,4	7,9	9,7	2447,3	514,9	1816,8	77,4	78,4	315,6	11,7	324,8	589,4	62,0	26,4	
Διάμεσος	19,2	7,9	10,6	2885,0	577,1	2177,5	94,9	82,8	390,5	14,8	323,3	732,9	78,0	29,4	
Διακύμανση	0,5	0,1	5,7	1297934,9	17399,4	733530,4	1321,4	100,7	34280,8	51,1	182,9	125781,7	1144,3	57,9	
Εύρος	1,6	0,6	5,3	2495,0	270,4	1833,0	74,0	20,9	400,9	15,1	30,5	768,0	69,5	16,5	
Ελάχιστο	18,9	7,6	6,2	762,0	317,6	539,5	23,0	63,5	40,1	1,0	311,1	61,9	11,3	15,1	
Μέγιστο	20,5	8,2	11,5	3257,0	588,0	2372,5	97,0	84,4	441,0	16,2	341,6	829,9	80,8	31,6	
Πλήθος	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	

Καρστικοί ανθρακικοί σχηματισμοί																
	SiO_2 (mg/L)	NH_4^+ (mg/L)	PO_4^{3-} (mg/L)	NO_2^- (mg/L)	Br^- (mg/L)	I (mg/L)	F (mg/L)	Li (mg/L)	Cd (μ g/L)	Co (μ g/L)	Mn (μ g/L)	Pb (μ g/L)	Ni (μ g/L)	Cr (μ g/L)	Cu (μ g/L)	Zn (μ g/L)
Μέσος	20,1	0,02	0,76	0,000	2,02	0,24	0,12	0,01	0,01	0,04	0,46	0,14	0,48	15,93	0,87	5,73
Διάμεσος	14,6	0,01	0,10	0,000	2,52	0,17	0,08	0,01	0,01	0,03	0,25	0,17	0,49	6,48	0,59	2,32
Διακύμανση	159,5	0,00	1,73	0,000	1,47	0,04	0,01	0,00	0,00	0,00	0,24	0,01	0,02	430,52	0,51	55,58
Εύρος	26,6	0,03	2,63	0,000	2,61	0,44	0,20	0,00	0,03	0,06	1,03	0,19	0,29	43,18	1,53	15,47
Ελάχιστο	12,4	0,01	<0,10	0,000	0,22	0,08	0,05	0,01	<0,006	0,02	0,16	<0,005	0,32	3,79	0,39	1,41
Μέγιστο	39,0	0,04	2,73	0,000	2,83	0,52	0,26	0,01	0,03	0,08	1,19	0,20	0,61	46,97	1,92	16,87
Πλήθος	4,0	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00

Πίνακας 8.6: Περιγραφικά στατιστικά των δειγμάτων υπόγειων νερών της περιοχής έρευνας για την ξηρή περίοδο δειγματοληψίας.

<i>Τεταρτογενείς σχηματισμοί</i>														
	$T^{\circ}C$	pH	DO (mg/L)	EC ($\mu S/cm$)	ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ ΟΛΙΚΗ (mg/L)	TDS (mg/L)	Ca^{2+} (mg/L)	Mg^{2+} (mg/L)	Na^{+} (mg/L)	K^{+} (mg/L)	HCO_3^{-} (mg/L)	Cl (mg/L)	SO_4^{2-} (mg/L)	NO_3^{-} (mg/L)
Μέσος	21,0	7,6	7,67	3989,3	892,1	2811,6	163,3	151,0	494,0	12,3	417,7	1018,9	112,2	97,2
Διάμεσος	20,7	7,6	8	3081,0	712,1	2119,0	134,7	123,4	392,8	13,4	415,5	788,5	86,6	88,9
Διακύμανση	2,2	0,1	2,571477	9015075,2	295788,4	4544338,5	13102,5	13228,8	220496,4	75,7	6754,4	895342,9	6676,8	5697,4
Εύρος	4,7	1,1	4,73	9788,0	1954,4	6903,0	403,3	408,8	1420,7	27,1	254,0	2857,4	273,9	229,1
Ελάχιστο	19,4	6,9	5,1	651,0	345,9	474,0	8,3	32,8	39,8	1,1	295,0	74,6	11,1	3,5
Μέγιστο	24,1	8,0	9,83	10439,0	2300,3	7377,0	411,6	441,6	1460,5	28,2	549,0	2932,0	285,0	232,6
Πλήθος	14,0	14,0	14	13,0	12,0	13,0	13,0	13,0	13,0	14,0	14,0	13,0	11,0	13,0

<i>Τεταρτογενείς σχηματισμοί</i>																
	SiO_2 (mg/L)	NH_4^{+} (mg/L)	PO_4^{3-} (mg/L)	NO_2^{-} (mg/L)	Br^{-} (mg/L)	I (mg/L)	F (mg/L)	Li (mg/L)	Cd ($\mu g/L$)	Co ($\mu g/L$)	Mn ($\mu g/L$)	Pb ($\mu g/L$)	Ni ($\mu g/L$)	Cr ($\mu g/L$)	Cu ($\mu g/L$)	Zn ($\mu g/L$)
Μέσος	20,9	0,12	0,34	0,42	3,10	0,12	0,49	0,05	<0,006	0,75	3,32	<0,005	7,68	14,57	1,78	8,62
Διάμεσος	19,8	0,01	0,10	0,00	2,55	0,13	0,22	0,02	<0,006	0,95	0,64	<0,005	2,63	10,48	0,21	1,93
Διακύμανση	62,4	0,13	0,28	1,33	9,44	0,01	0,61	0,01	0,00	0,24	33,52	0,00	130,14	244,82	10,30	218,03
Εύρος	30,2	1,33	1,80	4,15	9,71	0,26	3,05	0,35	0,00	1,08	11,92	0,00	23,99	35,74	6,49	30,59
Ελάχιστο	8,8	0,01	<0,10	0,00	0,06	0,00	0,07	0,00	<0,006	<0,02	0,05	<0,005	0,73	0,78	0,10	<0,02
Μέγιστο	39,0	1,34	1,90	4,15	9,77	0,26	3,12	0,35	<0,006	1,10	11,97	<0,005	24,72	36,52	6,59	30,61
Πλήθος	14,0	14,00	12,00	14,00	13,00	14,00	14,00	14,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00

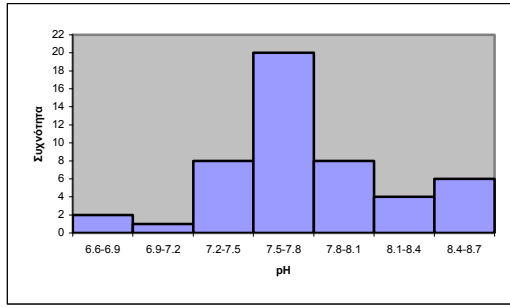
<i>Νεογενείς σχηματισμοί</i>														
	$T^{\circ}C$	pH	DO (mg/L)	EC ($\mu S/cm$)	ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ ΟΛΙΚΗ (mg/L)	TDS (mg/L)	Ca^{2+} (mg/L)	Mg^{2+} (mg/L)	Na^{+} (mg/L)	K^{+} (mg/L)	HCO_3^{-} (mg/L)	Cl (mg/L)	SO_4^{2-} (mg/L)	NO_3^{-} (mg/L)
Μέσος	18,7	7,8	9,7	933,7	346,5	684,8	53,3	56,9	56,7	1,1	383,0	85,9	29,1	3,3
Διάμεσος	18,5	8,1	9,7	870,0	307,4	630,5	24,3	52,7	54,1	0,9	353,8	87,1	22,4	2,4
Διακύμανση	1,5	0,3	3,9	117680,9	10791,8	65826,1	2293,4	212,8	540,8	0,2	8422,9	1430,8	496,1	7,5
Εύρος	4,7	1,8	8,3	1191,0	415,4	890,5	174,5	58,2	100,3	1,7	287,0	156,1	86,4	11,7
Ελάχιστο	16,9	6,7	6,0	550,0	194,0	409,5	13,1	34,2	19,7	0,5	262,0	28,2	4,5	0,3
Μέγιστο	21,6	8,5	14,2	1741,0	609,4	1300,0	187,6	92,4	120,0	2,3	549,0	184,3	90,9	11,9
Πλήθος	29,0	31,0	30,0	30,0	29,0	30,0	31,0	30,0	30,0	28,0	31,0	30,0	28,0	28,0

Πίνακας 8.6 (συνέχεια): Περιγραφικά στατιστικά των δειγμάτων υπόγειων νερών της περιοχής έρευνας για την ξηρή περίοδο δειγματοληψίας.

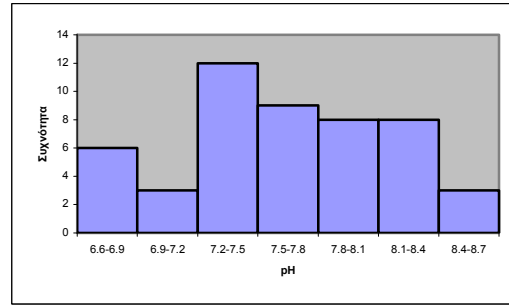
Νεογενείς σχηματισμοί																
	SiO_2 (mg/L)	NH_4^+ (mg/L)	PO_4^{3-} (mg/L)	NO_2^- (mg/L)	Br^- (mg/L)	I (mg/L)	F (mg/L)	Li (mg/L)	Cd (μ g/L)	Co (μ g/L)	Mn (μ g/L)	Pb (μ g/L)	Ni (μ g/L)	Cr (μ g/L)	Cu (μ g/L)	Zn (μ g/L)
Μέσος	39,9	0,02	0,10	0,11	0,23	0,07	0,32	0,02	<0,006	0,52	0,70	<0,005	1,43	29,69	0,14	25,93
Διάμεσος	42,0	0,01	0,10	0,00	0,22	0,06	0,32	0,01	<0,006	0,02	0,05	<0,005	1,22	34,67	0,10	1,34
Διακύμανση	256,9	0,00	0,00	0,25	0,01	0,00	0,02	0,00	0,00	0,58	2,36	0,00	1,60	653,13	0,01	2215,24
Εύρος	56,9	0,05	0,00	2,79	0,40	0,26	0,47	0,04	0,00	2,74	5,77	0,00	4,67	66,92	0,54	207,06
Ελάχιστο	5,1	0,01	<0,10	0,00	0,09	0,01	0,10	0,00	<0,006	<0,02	0,05	<0,005	0,02	<0,04	0,01	<0,02
Μέγιστο	62,0	0,06	0,10	2,79	0,49	0,27	0,57	0,04	<0,006	2,76	5,82	<0,005	4,70	66,95	0,54	207,08
Πλήθος	31,0	26,00	24,00	31,00	29,00	27,00	29,00	31,00	29,00	29,00	25,00	30,00	28,00	30,00	24,00	27,00

Καρστικοί ανθρακικοί σχηματισμοί															
	$T^{\circ}C$	pH	DO (mg/L)	EC (μ S/cm)	Σ ΚΛΗΡΟΤΗΤΑ ΟΛΙΚΗ (mg/L)	TDS (mg/L)	Ca^{2+} (mg/L)	Mg^{2+} (mg/L)	Na^+ (mg/L)	K^+ (mg/L)	HCO_3^- (mg/L)	Cl^- (mg/L)	SO_4^{2-} (mg/L)	NO_3^- (mg/L)	
Μέσος	20,5	7,2	8,8	2433,8	514,2	1719,1	78,0	77,9	315,6	11,3	329,4	596,3	63,8	28,2	
Διάμεσος	20,2	7,0	8,3	2948,5	579,4	2063,5	96,4	82,6	398,7	14,0	323,3	757,1	79,5	27,6	
Διακύμανση	2,5	0,4	1,9	1290296,9	23140,2	623558,1	1555,4	173,2	34710,3	48,8	297,7	132745,6	1377,4	20,1	
Εύρος	3,4	1,5	3,0	2360,0	323,7	1670,5	81,5	29,3	387,3	15,1	36,6	761,7	78,2	10,8	
Ελάχιστο	19,2	6,8	7,7	739,0	287,2	539,5	18,9	58,5	38,8	0,9	317,2	54,7	8,9	23,4	
Μέγιστο	22,6	8,2	10,7	3099,0	610,9	2210,0	100,4	87,8	426,1	16,0	353,8	816,4	87,1	34,2	
Πλήθος	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	

Καρστικοί ανθρακικοί σχηματισμοί																
	SiO_2 (mg/L)	NH_4^+ (mg/L)	PO_4^{3-} (mg/L)	NO_2^- (mg/L)	Br^- (mg/L)	I (mg/L)	F (mg/L)	Li (mg/L)	Cd (μ g/L)	Co (μ g/L)	Mn (μ g/L)	Pb (μ g/L)	Ni (μ g/L)	Cr (μ g/L)	Cu (μ g/L)	Zn (μ g/L)
Μέσος	19,2	<0,01	0,52	0,00	2,18	0,11	0,13	0,00	<0,006	<0,02	<0,05	<0,005	0,40	47,93	<0,10	<0,02
Διάμεσος	14,4	<0,01	0,31	0,00	2,69	0,11	0,12	0,00	<0,006	<0,02	<0,05	<0,005	0,40	47,93	<0,10	<0,02
Διακύμανση	152,7	0,00	0,35	0,00	1,35	0,00	0,00	0,00								
Εύρος	27,0	0,00	1,26	0,00	2,45	0,10	0,11	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ελάχιστο	10,5	<0,01	<0,10	0,00	0,45	0,07	0,09	0,00	<0,006	<0,02	<0,05	<0,005	0,40	47,93	<0,10	<0,02
Μέγιστο	37,5	<0,01	1,36	0,00	2,90	0,17	0,20	0,01	<0,006	<0,02	<0,05	<0,005	0,40	47,93	<0,10	<0,02
Πλήθος	4,0	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

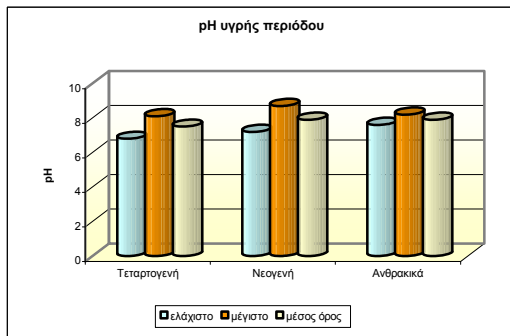


Σχήμα 8.10: Ιστόγραμμα κατανομής του pH στα δείγματα υπόγειων νερών υγρής περιόδου.

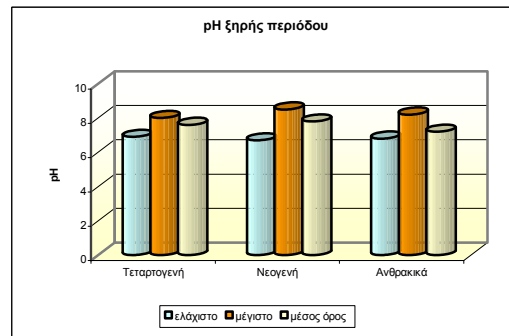


Σχήμα 8.11: Ιστόγραμμα κατανομής του pH στα δείγματα υπόγειων νερών ξηρής περιόδου.

Στα Σχ. 8.12 και 8.13 παρουσιάζονται οι διακυμάνσεις των τιμών του pH των υπόγειων νερών που προκύπτουν για τις δυο περιόδους δειγματοληψίας. Από τα σχήματα αυτά διαπιστώνεται, ότι και στις δυο περιόδους δειγματοληψίας η διακύμανση των τιμών του pH είναι περιορισμένη και στους τρεις υδροφορείς.



Σχήμα 8.12: Διακύμανση των τιμών pH υγρής περιόδου των τριών υδροφορέων.



Σχήμα 8.13: Διακύμανση των τιμών pH ξηρής περιόδου των τριών υδροφορέων.

Βάσει της λιθολογικής ταξινόμησης στη περιοχή έρευνας για τις δυο περιόδους δειγματοληψίας οι τιμές του pH των υπόγειων νερών έχουν ως εξής (Σχ. 8.12 και 8.13):

α) νερά των τεταρτογενών σχηματισμών: Την υγρή περίοδο ο μέσος όρος του pH είναι 7,5 με τιμές που κυμαίνονται από 6,8 έως 8,1 ενώ κατά την ξηρή περίοδο ο μέσος όρος του pH είναι 7,6 με τιμές που κυμαίνονται από 6,9 έως 8,0 (Πιν. 8.5 και 8.6).

β) νερά των νεογενών σχηματισμών: Την υγρή περίοδο ο μέσος όρος του pH είναι 7,9 με τιμές που κυμαίνονται από 7,2 έως 8,7 ενώ κατά την ξηρή περίοδο ο μέσος όρος του pH είναι 7,8 με τιμές που κυμαίνονται από 6,7 έως 8,5 (Πιν. 8.5 και 8.6).

γ) νερά των καρστικών ανθρακικών σχηματισμών: Οι τιμές του pH κατά την υγρή περίοδο στα καρστικά κυμαίνονται ως εξής: ο μέσος όρος του pH κατά την υγρή περίοδο είναι 7,9 με τιμές που κυμαίνονται από 7,6 έως 8,2 ενώ κατά την ξηρή περίοδο ο μέσος όρος του pH είναι 7,2 με τιμές που κυμαίνονται από 6,8 έως 8,2 (Πιν. 8.5 και 8.6).

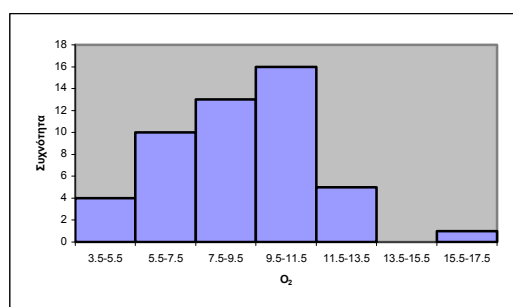
Καμία τιμή του pH και στις δυο περιόδους δειγματοληψίας και στους τρεις λιθολογικούς σχηματισμούς δεν ξεπερνά την παραμετρική τιμή που ορίζεται από την Κοινοτική Οδηγία 98/83/EK (EC 1998).

8.6.1.3. Διαλυμένο Οξυγόνο (DO)

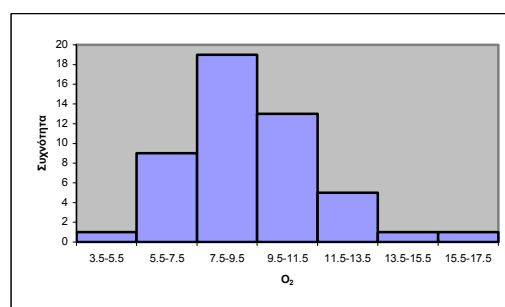
Το οξυγόνο στο νερό προέρχεται από την ατμόσφαιρα όπου υπάρχει σε ποσοστό 20,95%. Το οξυγόνο παρουσιάζει διαλυτότητα στο νερό, η οποία κυμαίνεται από 6 έως 15 mg/L. Οι παράγοντες οι οποίοι ελέγχουν τη διαλυτότητα του οξυγόνου στο νερό είναι η μερική πίεση του οξυγόνου στην ατμόσφαιρα, η θερμοκρασία του νερού, η παρουσία οργανικής ύλης καθώς και η περιεκτικότητα του νερού σε άλατα. Η διαλυτότητα του οξυγόνου, όπως και όλων των αερίων, αυξάνεται με την αύξηση της πίεσης. Η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου στο νερό σε κατάσταση ισορροπίας με τον ατμοσφαιρικό αέρα είναι 8,32 mg/L στους 25 °C. Η μέση συγκέντρωση του οξυγόνου σε φυσικά μη ρυπασμένα επιφανειακά νερά είναι 9 - 10 mg/L (Χαραλάμπους 2007).

Σε παλαιά νερά, τα οποία δεν ανανεώνονται, παρατηρούνται μικρές τιμές συγκεντρώσεων οξυγόνου, ενώ νερά τα οποία δεν παραμένουν στάσιμα και ανανεώνονται, οι τιμές του οξυγόνου είναι μεγάλες. Όταν το υπόγειο νερό έχει χαμηλές τιμές οξυγόνου, τότε η οργανική ουσία είναι σε περίσσεια και χαρακτηρίζεται υποβαθμισμένης ποιότητας (Γεωργαλάς 1996).

Στα δείγματα των υπόγειων νερών της υγρής και της ξηρής περιόδου τα δεδομένα του διαλυμένου οξυγόνου ομαδοποιήθηκαν σε κλάσεις με εύρος κλάσης και για τις δυο περιόδους 2 mg/L (Σχ. 8.14 και 8.15).



Σχήμα 8.14: Ιστόγραμμα κατανομής του διαλυμένου οξυγόνου στα δείγματα υπόγειων νερών υγρής περιόδου.

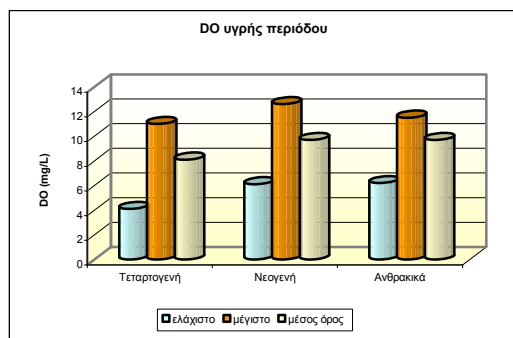


Σχήμα 8.15: Ιστόγραμμα κατανομής του διαλυμένου οξυγόνου στα δείγματα υπόγειων νερών ξηρής περιόδου.

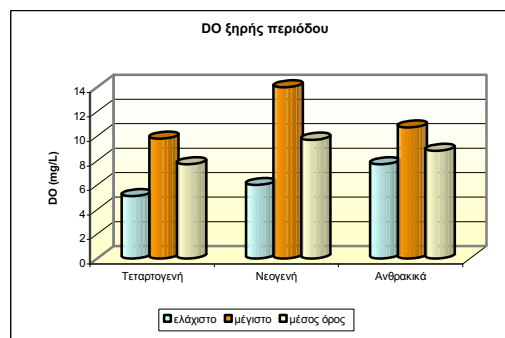
Στο ιστόγραμμα κατανομής του διαλυμένου οξυγόνου για την υγρή περίοδο διακρίνεται ένας κύριος πληθυσμός με μέγιστη κλάση από 9,5 έως 11,5 mg/L, όπου αντιστοιχούν 16 δείγματα υπόγειου νερού για την ξηρή περίοδο ένας κύριος πληθυσμός με μέγιστη κλάση από 7,5 έως 9,5 mg/L, όπου αντιστοιχούν 19 δείγματα υπόγειου νερού.

Στα υπόγεια νερά της λεκάνης των Μεγάρων, οι διακυμάνσεις του διαλυμένου οξυγόνου για τις δυο περιόδους δειγματοληψίας παρουσιάζονται στα Σχ. 8.16 και 8.17.

Κατά την υγρή περίοδο δειγματοληψίας η διακύμανση των τιμών του διαλυμένου οξυγόνου είναι σημαντική και για τους τρεις υδροφορείς. Κατά την ξηρή περίοδο οι διακυμάνσεις του οξυγόνου μειώνονται στους τεταρτογενείς και ανθρακικούς σχηματισμούς σε σχέση με την υγρή περίοδο και αυξάνονται λίγο στους νεογενείς σχηματισμούς.



Σχήμα 8.16: Διακύμανση των τιμών διαλυμένου οξυγόνου υγρής περιόδου των τριών υδροφορέων.



Σχήμα 8.17: Διακύμανση των τιμών διαλυμένου οξυγόνου ξηρής περιόδου των τριών υδροφορέων.

Στα υπόγεια νερά της περιοχής έρευνας, οι τιμές του διαλυμένου οξυγόνου ανάλογα με την περίοδο δειγματοληψίας και τη lithολογική ταξινόμηση, παρουσιάζονται παρακάτω (Σχ. 8.16 και 8.17):

α) νερά των τεταρτογενών σχηματισμών: Οι τιμές του διαλυμένου οξυγόνου στο νερό των τεταρτογενών σχηματισμών έχουν ως εξής: Την υγρή περίοδο ο μέσος όρος του διαλυμένου οξυγόνου είναι 8,1 mg/L με τιμές που κυμαίνονται από 4,1 έως 11 mg/L ενώ κατά την ξηρή περίοδο ο μέσος όρος του διαλυμένου οξυγόνου είναι 7,7 mg/L με τιμές που κυμαίνονται από 5,1 έως 9,8 mg/L (Πιν. 8.5 και 8.6).

β) νερά των νεογενών σχηματισμών: Κατά την υγρή περίοδο ο μέσος όρος του διαλυμένου οξυγόνου στο νερό των νεογενών σχηματισμών είναι 9,7 mg/L με τιμές που κυμαίνονται από 6,1 έως 12,6 mg/L ενώ κατά την ξηρή περίοδο ο μέσος όρος του διαλυμένου οξυγόνου είναι 9,7 mg/L με τιμές που κυμαίνονται από 6,0 έως 14,2 mg/L (Πιν. 8.5 και 8.6). Εξάιρεση στους νεογενείς σχηματισμούς αποτελούν τα δείγματα W15, G8 και G18 με τιμές 4, 3,5 και 16,6 mg/L αντίστοιχα για την υγρή περίοδο δειγματοληψίας και G18 = 16,6 mg/L για την ξηρή περίοδο.

γ) νερά των καρστικών ανθρακικών σχηματισμών: Οι τιμές του διαλυμένου οξυγόνου στο νερό των καρστικών ανθρακικών σχηματισμών κατά την υγρή περίοδο κυμαίνονται ως εξής: ο μέσος όρος του διαλυμένου οξυγόνου κατά την υγρή περίοδο είναι 9,7 mg/L με τιμές που κυμαίνονται από 6,2 έως 11,5 mg/L ενώ κατά την ξηρή περίοδο ο μέσος όρος του διαλυμένου οξυγόνου είναι 8,8 mg/L με τιμές που κυμαίνονται από 7,7 έως 10,7 mg/L (Πιν. 8.5 και 8.6).

8.6.1.4. Ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC)

Με τον όρο ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) ορίζεται η ιδιότητα του ηλεκτρικού ρεύματος να διέρχεται μέσα από τους διάφορους αγωγούς. Όταν αυξάνεται η συγκέντρωση των ιόντων μέσα σε ένα διάλυμα και κατ' επέκταση και στο νερό, τότε αυξάνεται και η αγωγιμότητα του. Η συγκέντρωση των ιόντων στο νερό είναι ανάλογη της συγκέντρωσης των ολικών διαλυμένων στερεών. Η μέτρηση της αγωγιμότητας παρέχει πληροφορίες σχετικά με την ποιότητα του νερού και την ποσότητα των διαλυμένων αλάτων. Μονάδα μέτρησης της αγωγιμότητας είναι το microSiemens ανά cm ($\mu\text{S}/\text{cm}$). Σαν ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα (SPC) ορίζεται η αγωγιμότητα ενός cm^3 νερού, σε θερμοκρασία 25 °C. Η αγωγιμότητα με τα ολικά διαλυμένα στερεά (TDS) συνδέονται με μια γραμμική σχέση σύμφωνα με τη σχέση:

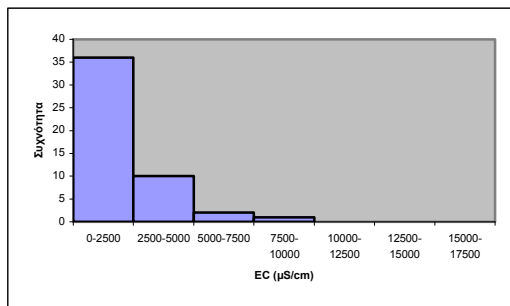
$$\text{TDS} = k \times \text{EC}$$

όπου k είναι ένας συντελεστής που λαμβάνει τιμές ανάμεσα σε 0,54 έως 0,90 ανάλογα με την προέλευση του νερού και τη θερμοκρασία (Hutton 1983, Bartram and Ballance 2001, Keith 1988, U.S.G.S 2002).

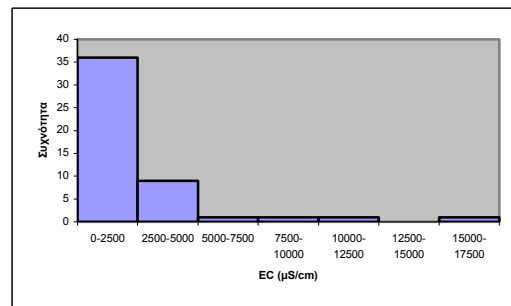
Προβλήματα στην ανθρώπινη υγεία μπορεί να προκαλέσει η κατανάλωση νερού, το οποίο έχει μεγάλες τιμές αγωγιμότητας, διότι υψηλή αγωγιμότητα συνεπάγεται και υψηλές ποσότητες αλάτων διαφορετικής προέλευσης (Βουδούρης 2009).

Τα δεδομένα της αγωγιμότητας στα υπόγεια νερά ομαδοποιήθηκαν σε κλάσεις με εύρος κλάσης και για τις δυο περιόδους δειγματοληψίας 2500 $\mu\text{S/cm}$ (Σχ. 8.18 και 8.19).

Στα ιστογράμματα κατανομής της αγωγιμότητας και για τις δυο περιόδους δειγματοληψίας διακρίνεται ένας κύριος πληθυσμός με μέγιστη κλάση από 0 έως 2500 $\mu\text{S/cm}$ όπου αντιστοιχούν 36 δείγματα υπόγειου νερού.

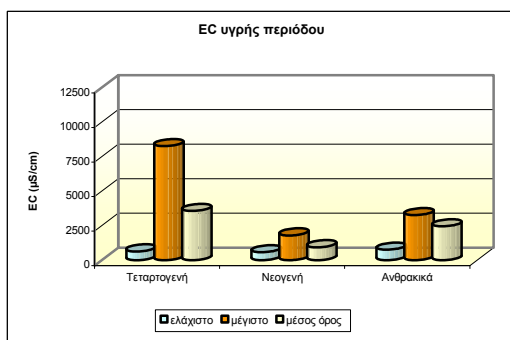


Σχήμα 8.18: Ιστόγραμμα κατανομής της αγωγιμότητας στα δείγματα υπόγειων νερών υγρής περιόδου.

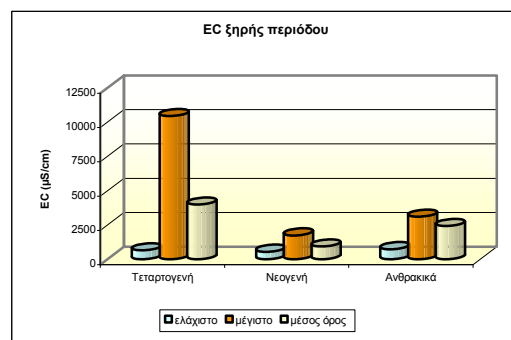


Σχήμα 8.19: Ιστόγραμμα κατανομής της αγωγιμότητας στα δείγματα υπόγειων νερών ξηρής περιόδου.

Στα Σχ. 8.20 και 8.21 παρουσιάζονται οι διακυμάνσεις των τιμών της αγωγιμότητας των υπόγειων νερών της λεκάνης των Μεγάρων που προκύπτουν για τις δυο περιόδους δειγματοληψίας. Διαπιστώνεται ότι και στις δυο περιόδους δειγματοληψίας η διακύμανση των τιμών είναι περιορισμένη στους νεογενείς και ανθρακικούς υδροφορείς, ενώ στους τεταρτογενείς υδροφορείς παρατηρούνται οι μεγαλύτερες διαφοροποιήσεις.



Σχήμα 8.20: Διακύμανση των τιμών αγωγιμότητας υγρής περιόδου των τριών υδροφορέων.



Σχήμα 8.21: Διακύμανση των τιμών αγωγιμότητας ξηρής περιόδου των τριών υδροφορέων.

Αναλυτικότερα οι τιμές της αγωγιμότητας στα υπόγεια νερά της λεκάνης των Μεγάρων για τις δυο περιόδους δειγματοληψίας, βάσει της λιθολογικής ταξινόμησης έχουν ως εξής (Σχ. 8.20 και 8.21):

α) νερά των τεταρτογενών σχηματισμών: Οι τιμές της αγωγιμότητας στο νερό των τεταρτογενών σχηματισμών παρουσιάζουν αύξηση κατά την ξηρή περίοδο σε σχέση με την υγρή. Την υγρή περίοδο ο μέσος όρος της αγωγιμότητας είναι 3561 $\mu\text{S}/\text{cm}$ με τιμές που κυμαίνονται από 639 έως 8267 $\mu\text{S}/\text{cm}$, ενώ κατά την ξηρή περίοδο ο μέσος όρος της αγωγιμότητας είναι 3983 $\mu\text{S}/\text{cm}$ με τιμές που κυμαίνονται από 651 έως 10439 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Η αύξηση που παρατηρείται κατά την ξηρή περίοδο οφείλεται στην αύξηση της συγκέντρωσης των διαλυμένων αλάτων στο νερό λόγω της ανάμιξης του υπόγειου νερού με το θαλασσίνο το οποίο οφείλεται στις αυξημένες αρδευτικές ανάγκες νερού κατά την καλοκαιρινή περίοδο (Πιν. 8.5 και 8.6). Εξαιρέση αποτελεί το δείγμα υπόγειου νερού W3 = 15272 $\mu\text{S}/\text{cm}$ της ξηρής περιόδου δειγματοληψίας εξαιτίας της αυξημένης αγωγιμοτητάς του η οποία είναι αποτέλεσμα της επίδρασης της θάλασσας.

β) νερά των νεογενών σχηματισμών: Οι τιμές της αγωγιμότητας στο νερό των νεογενών σχηματισμών παρουσιάζουν περίπου τις ίδιες τιμές και για τις δύο περιόδους δειγματοληψίας. Κατά την υγρή περίοδο ο μέσος όρος της αγωγιμότητας είναι 937 $\mu\text{S}/\text{cm}$ με τιμές που κυμαίνονται από 573 έως 1794 $\mu\text{S}/\text{cm}$, ενώ κατά την ξηρή περίοδο ο μέσος όρος της αγωγιμότητας είναι 934 $\mu\text{S}/\text{cm}$, με τιμές που κυμαίνονται από 550 έως 1741 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Παρατηρείται ότι η αγωγιμότητα του νερού των νεογενών σχηματισμών παρουσιάζει παρόμοιες τιμές και στις δυο περιόδους δειγματοληψίας διότι δεν επηρεάζεται από τη θαλάσσια διείσδυση (Πιν. 8.5 και 8.6). Εξαιρέση αποτελεί το δείγμα G34 και για τις δυο περιόδους δειγματοληψίας με τιμές 2887 και 2890 $\mu\text{S}/\text{cm}$ για την υγρή και ξηρή περίοδο δειγματοληψίας εξαιτίας της αυξημένης αγωγιμοτητάς του σε σχέση με τα υπόλοιπα δείγματα των νεογενών σχηματισμών.

γ) νερά των καρστικών ανθρακικών σχηματισμών: Οι τιμές της αγωγιμότητας στο νερό των καρστικών σχηματισμών δεν παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές όπως και στα νεογενή ανάμεσα στις δύο περιόδους. Κατά την υγρή περίοδο ο μέσος όρος της αγωγιμότητας είναι 2447 $\mu\text{S}/\text{cm}$ με τιμές που κυμαίνονται από 762 έως 3257 $\mu\text{S}/\text{cm}$, ενώ κατά την ξηρή περίοδο ο μέσος όρος της αγωγιμότητας είναι 2434 $\mu\text{S}/\text{cm}$ με τιμές που κυμαίνονται από 739 έως 3099 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Στο νερό των καρστικών σχηματισμών η επίδραση της θάλασσας παραμένει σταθερή και στις δυο περιόδους δειγματοληψίας (Πιν. 8.5 και 8.6).

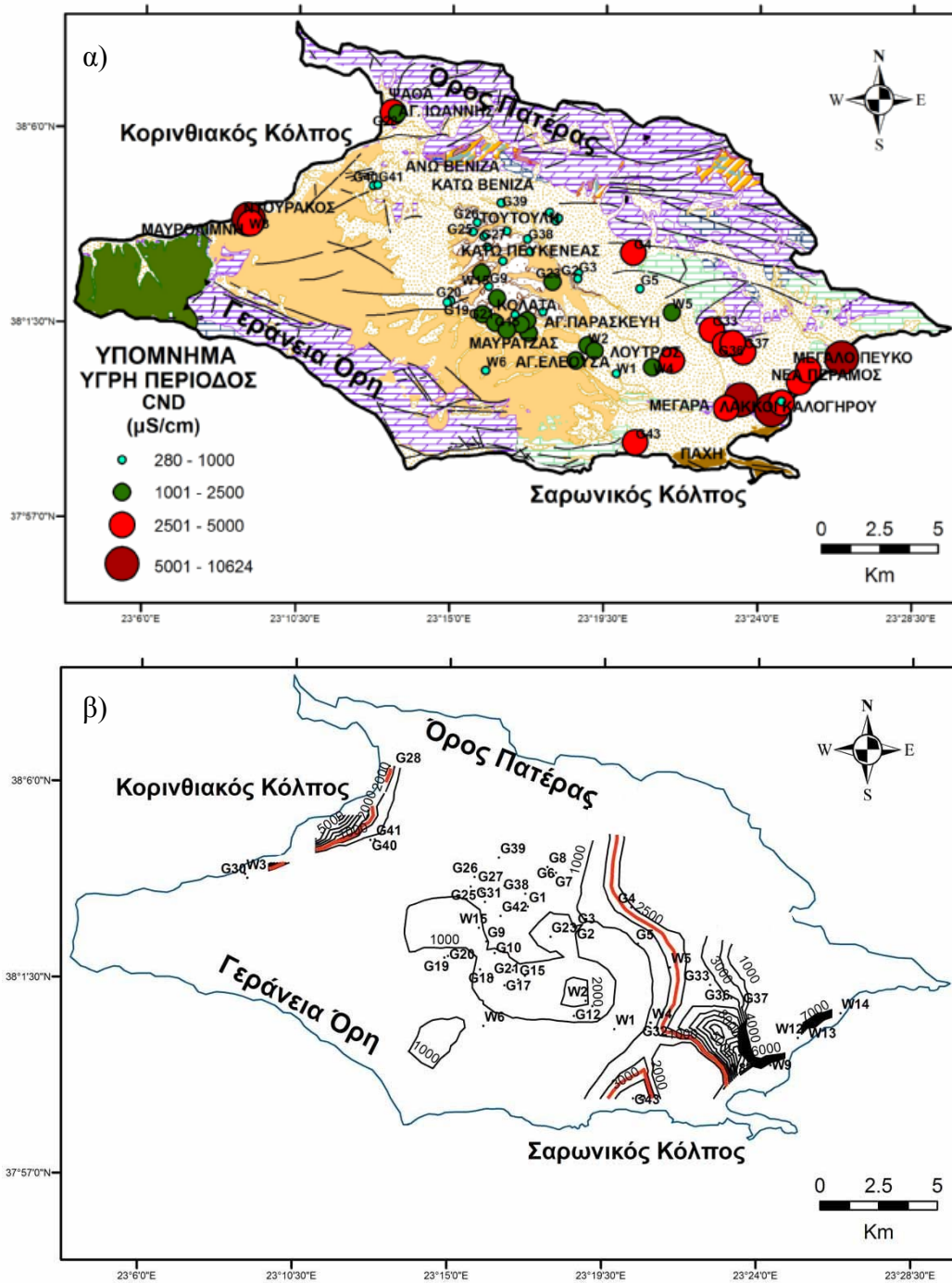
Οι τιμές της αγωγιμότητας σε 13 από τα 49 δείγματα νερού (W3, W8, W9, W10, W12, W13, W14, G29, G30, G33, G34, G36, G37), (ποσοστό 26,53%) και στις δυο περιόδους δειγματοληψίας υπερβαίνουν την παραμετρική τιμή των 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ της Κοινοτικής Οδηγίας 98/83/EK (EC 1998).

Η χωρική κατανομή των τιμών της αγωγιμότητας στη λεκάνη των Μεγάρων για τις δυο περιόδους δειγματοληψίας απεικονίζεται στα Σχ. 8.22 και 8.23. Οι τιμές της αγωγιμότητας στις περιοχές Ψάθα, Ντουράκος, Νέα Πέραμος, Λάκα Καλογήρου και Μεγάλο Πεύκο υπερβαίνουν τα 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ και για τις δυο περιόδους δειγματοληψίας. Η μικρή σχετικά απόσταση των θέσεων δειγματοληψίας των περιοχών Ψάθα, Ντουράκος, Νέα Πέραμος, Λάκα Καλογήρου και Μεγάλο Πεύκο από τη θάλασσα συνηγορεί στην ανάμιξη του υπόγειου νερού με το νερό της θάλασσας (Σχ. 8.22 και 8.23). Στις περιοχές Βένιζα, Τούτουλη, Κάτω Πευκενέας, Κολάτα, Αγ. Παρασκευή, Μαυρατζάς, Αγ.Ελεούσα και Λουτρός οι τιμές της αγωγιμότητας φθάνουν έως 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ και για τις δυο περιόδους δειγματοληψίας (Σχ. 8.22 και 8.23).

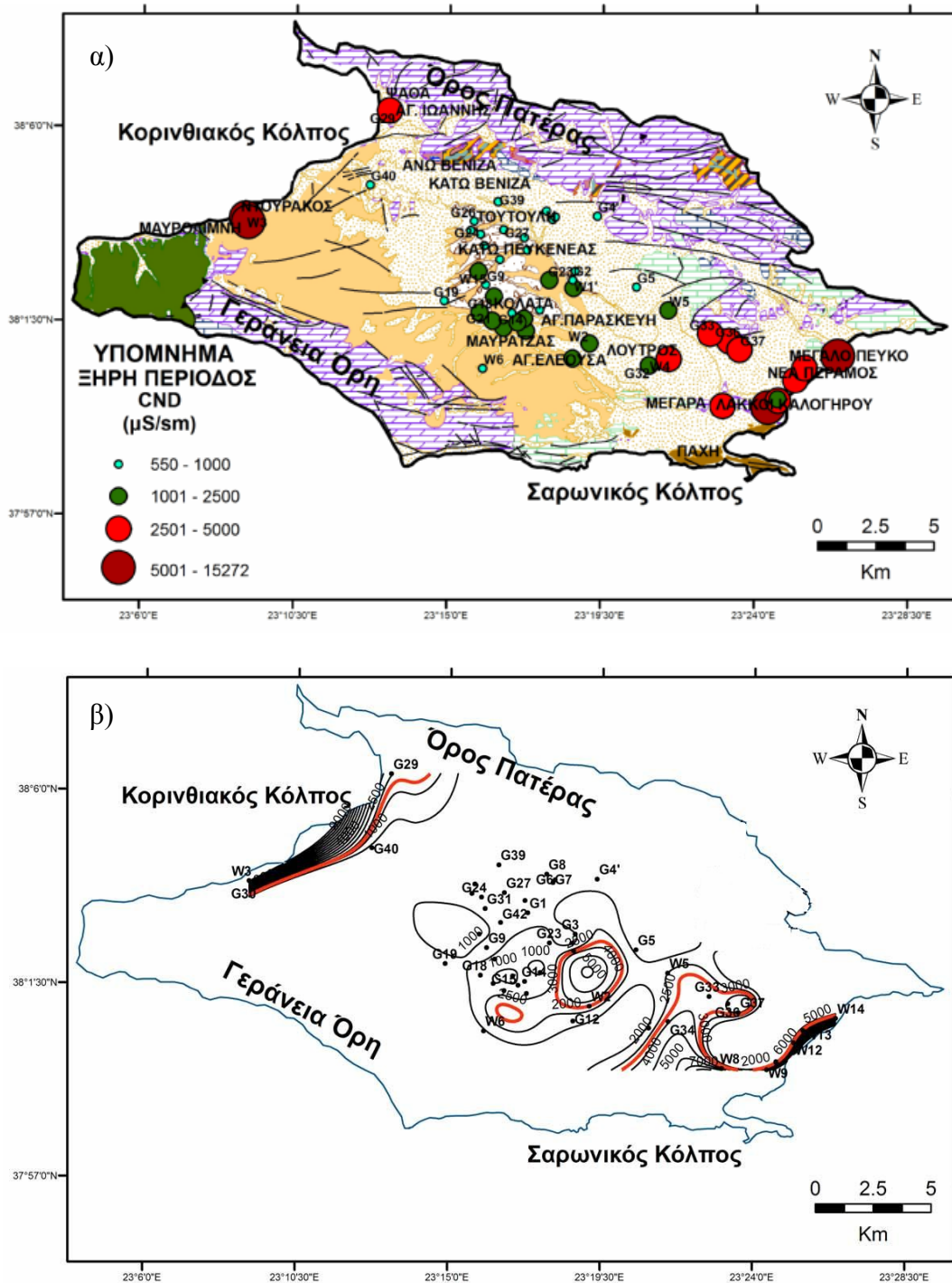
Στα Σχ. 8.22 (β) και 8.23 (β) απεικονίζεται η ζώνη, στην οποία οι τιμές της αγωγιμότητας υπερβαίνουν την παραμετρική τιμή των 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ της Κοινοτικής

Οδηγίας 98/83/ΕΚ (ΕC 1998), που αντιστοιχεί στην περιοχή που έχει επηρεαστεί περισσότερο από τη διείσδυση του θαλασσινού νερού.

Η θαλάσσια διείσδυση στις παράκτιες περιοχές έρευνας καταγράφεται: (α) σε απόσταση που κυμαίνεται από 0,5 έως 1 Km από την θάλασσα για το βόρειο δυτικό τμήμα (περιοχή Ντουράκος – Ψάθα) και (β) σε απόσταση που κυμαίνεται από 2 έως 3 Km από τη θάλασσα για το νότιο ανατολικό τμήμα (περιοχή Πάχης – Μεγάρων). Σημειώνεται ότι η θαλάσσια διείσδυση έχει προχωρήσει σε μεγαλύτερη απόσταση στο νότιο ανατολικό τμήμα της περιοχής.



Σχήμα 8.22: Τιμές αγωγιμότητας ($\mu\text{S}/\text{cm}$) των υπόγειων νερών κατά την υγρή περίοδο (α) σημειωτική απεικόνιση κλάσεων, (β) απεικόνιση καμπυλών.



Σχήμα 8.23: Τιμές αγωγιμότητας ($\mu\text{S}/\text{cm}$) των υπόγειων νερών κατά την ξηρή περίοδο (α) σημειακή απεικόνιση κλάσεων, (β) απεικόνιση καμπυλών.

8.6.1.5. Σκληρότητα

Η σκληρότητα του νερού καθορίζεται από την παρουσία διασθενών μεταλλικών κατιόντων, τα κυριότερα από τα οποία είναι το ασβέστιο και το μαγνήσιο. Η ολική σκληρότητα (ΤΗ) υπολογίζεται από το άθροισμα της συγκέντρωσης του ασβεστίου και του μαγνησίου και εκφράζεται σε mg/L CaCO_3 νερού, σύμφωνα με τον τύπο:

$$TH=2,5 \times Ca^{2+} + 4,1 \times Mg^{2+}$$

Τα ιόντα του ασβεστίου και του μαγνησίου αντιδρούν με το σαπούνι και σχηματίζουν ίζημα και μαζί με άλλα ανιόντα που βρίσκονται στο νερό δημιουργούν κρούστα (Freeze & Cherry 1997). Σύμφωνα με τους Rajankar et al. (2010) και Sujatha and Reddy (2003) νερό το οποίο έχει ολική σκληρότητα μεγαλύτερη από 80 mg/L δεν ενδείκνυται για οικιακή χρήση.

Η σκληρότητα του νερού διακρίνεται στις παρακάτω κατηγορίες (Βουδούρης 2009):

α) Μόνιμη σκληρότητα: οφείλεται στην παρουσία αλκαλικών γαιών που είναι ενωμένες με ιόντα θειικών, χλωρίου και νιτρικά. Τα θειικά ιόντα μπορεί να προέρχονται από την οξείδωση του σιδηροπυρίτη και από τη διάλυση εβαποριτών. Τα άλατα αυτά δεν καθιζάνουν με το βρασμό.

β) Παροδική σκληρότητα: οφείλεται στην παρουσία όξινων ανθρακικών αλάτων του Ca^{2+} και του Mg^{2+} και είναι τα $Ca(HCO_3)_2$ και $Mg(HCO_3)_2$. Τα άλατα αυτά προέρχονται από τη διάλυση των ανθρακικών ορυκτών. Με το βρασμό του νερού τα άλατα αυτά μετατρέπονται στα αντίστοιχα ανθρακικά και καθιζάνουν.

γ) Ολική σκληρότητα: με τον όρο αυτό εκφράζεται το συνολικό άθροισμα της παροδικής και της μόνιμης σκληρότητας σε $CaCO_3$ mg/L.

Σύμφωνα με τον Βουδούρη (2009), όταν η αλκαλικότητα είναι μεγαλύτερη από την ολική σκληρότητα τότε η μόνιμη σκληρότητα είναι ίση με μηδέν και η ολική σκληρότητα ισούται με την παροδική. Επίσης όταν 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. Σαν αλκαλικότητα ορίζεται το γινόμενο $Alk=0,81967 \times HCO_3^-$ (mg/L) και είναι η ικανότητα των νερών να εξουδετερώνουν ορισμένη ποσότητα υδρογονοκατιόντων, οφείλεται κυρίως στην παρουσία ιόντων OH^- , CO_3^{2-} και HCO_3^- καθώς επίσης και στην παρουσία οργανικής ύλης.

Η υψηλή σκληρότητα στο νερό είναι υπεύθυνη για ορισμένες επιπτώσεις στον ανθρώπινο οργανισμό όπως είναι οι καρδιακές παθήσεις. Επίσης μπορεί να προκαλέσει στομαχικές διαταραχές και η συνεχής χρήση ακόμα και ερεθισμό στο δέρμα. Όταν ένα νερό έχει σκληρότητα 15 - 20 γαλλικούς βαθμούς χαρακτηρίζεται ως πολύ καλό νερό από άποψη σκληρότητας (Βουδούρης 2009).

Σύμφωνα με τους Sawyer et.al. (1994) τα δείγματα των υπόγειων νερών χαρακτηρίζονται σαν μαλακά, μέτρια σκληρά, σκληρά ή πολύ σκληρά σύμφωνα με τον Πιν. 8.7.

Πίνακας 8.7: Χαρακτηρισμός υπόγειων νερών με βάση την ολική σκληρότητα σύμφωνα με τους Sawyer et.al. (1994).

TH (mg/L $CaCO_3$)	Χαρακτηρισμός νερών
0 - 75	Μαλακό
76 - 150	Μέτρια σκληρό
150 - 300	Σκληρό
> 300	Πολύ σκληρό

Οι Πιν. 8.8 και 8.9 περιλαμβάνουν το χαρακτηρισμό των δειγμάτων των υπόγειων νερών της υγρής και της ξηρής περιόδου δειγματοληψίας της περιοχής έρευνας ως προς τη σκληρότητά τους:

Τα δείγματα υπόγειων νερών της υγρής περιόδου όσον αφορά τη σκληρότητά τους, χαρακτηρίζονται από μέτρια σκληρά έως πολύ σκληρά και τα δείγματα της ξηρής περιόδου από σκληρά έως πολύ σκληρά (Πιν. 8.8 και 8.9).

Συγκεκριμένα, για την υγρή περίοδο δειγματοληψίας, τα 42 από τα 60 δείγματα (ποσοστό 70%) χαρακτηρίζονται ως *πολύ σκληρά*, τα 17 από τα 60 δείγματα (ποσοστό 28,33%) χαρακτηρίζονται ως *σκληρά* και 1 από τα 60 δείγματα (ποσοστό 1,67%) χαρακτηρίζεται ως *μέτρια σκληρό*. Αντίστοιχα για την ξηρή περίοδο δειγματοληψίας τα 37 από τα 52 δείγματα (ποσοστό 71,54%) χαρακτηρίζονται ως *πολύ σκληρά*, τα 15 από τα 52 δείγματα (ποσοστό 28,85%) χαρακτηρίζονται ως *σκληρά* (Σχ. 8.24 και 8.25).

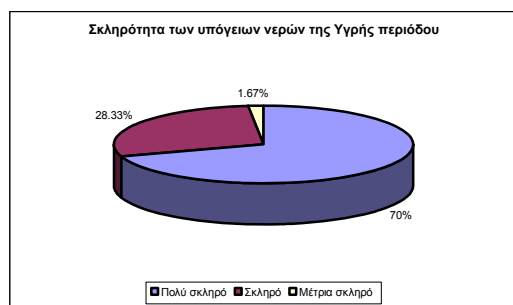
Όλα τα δείγματα και στις δυο περιόδους δειγματοληψίας είναι ακατάλληλα για οικιακή χρήση καθώς υπερβαίνουν την τιμή των 80 mg/L CaCO₃, σύμφωνα με τον Καλλέργη (2000).

Πίνακας 8.8: Χαρακτηρισμός των υπόγειων νερών της περιοχής έρευνας για την υγρή περίοδο δειγματοληψίας ως προς τη σκληρότητα.

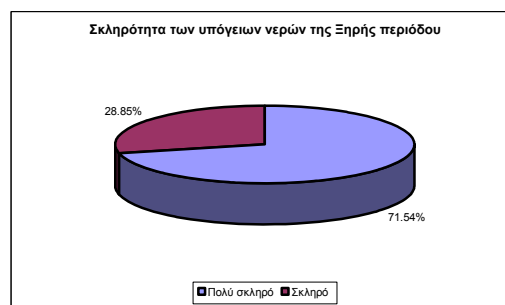
Δείγμα	Ολική σκληρότητα (TH σε mg/L CaCO ₃)	Χαρακτηρισμός σκληρότητας	Δείγμα	Ολική σκληρότητα (TH σε mg/L CaCO ₃)	Χαρακτηρισμός σκληρότητας
S1	2238,1	Πολύ σκληρό	G14	499,9	Πολύ σκληρό
S2	2686,5	Πολύ σκληρό	G15	558,3	Πολύ σκληρό
W1	144,4	Μέτρια σκληρό	G16	351,3	Πολύ σκληρό
W2	743,6	Πολύ σκληρό	G17	463,8	Πολύ σκληρό
W3	2170,5	Πολύ σκληρό	G18	508,6	Πολύ σκληρό
W4	548,9	Πολύ σκληρό	G19	264,5	Σκληρό
W5	812,3	Πολύ σκληρό	G20	303,8	Πολύ σκληρό
W6	294,2	Σκληρό	G21	357,2	Πολύ σκληρό
W7	1736,7	Πολύ σκληρό	G22	690,1	Πολύ σκληρό
W8	1382,4	Πολύ σκληρό	G23	523,5	Πολύ σκληρό
W9	1682,8	Πολύ σκληρό	G24	243,5	Σκληρό
W10	897,2	Πολύ σκληρό	G25	253,5	Σκληρό
W11	337,6	Πολύ σκληρό	G26	256,2	Σκληρό
W12	668,7	Πολύ σκληρό	G27	243,4	Σκληρό
W13	765,8	Πολύ σκληρό	G28	389,8	Πολύ σκληρό
W14	1121,8	Πολύ σκληρό	G29	510,6	Πολύ σκληρό
W15	508,2	Πολύ σκληρό	G30	960,7	Πολύ σκληρό
G1	251	Σκληρό	G31	243,7	Σκληρό
G2	372,8	Πολύ σκληρό	G32	513,2	Πολύ σκληρό
G3	355,2	Πολύ σκληρό	G33	587,1	Πολύ σκληρό
G4	493,4	Πολύ σκληρό	G34	1039,1	Πολύ σκληρό
G5	317,6	Πολύ σκληρό	G35	568,1	Πολύ σκληρό
G6	249,8	Σκληρό	G36	588,0	Πολύ σκληρό
G7	289,8	Σκληρό	G37	567	Πολύ σκληρό
G8	262,3	Σκληρό	G38	269,6	Σκληρό
G9	270,8	Σκληρό	G39	252,1	Σκληρό
G10	457,9	Πολύ σκληρό	G40	292,2	Σκληρό
G11	335,1	Πολύ σκληρό	G41	294,5	Σκληρό
G12	553,2	Πολύ σκληρό	G42	253,6	Σκληρό
G13	584,3	Πολύ σκληρό	G43	678,2	Πολύ σκληρό

Πίνακας 8.9: Χαρακτηρισμός των υπόγειων νερών της περιοχής έρευνας για την ξηρή περίοδο δειγματοληψίας ως προς τη σκληρότητα.

Δείγμα	Ολική σκληρότητα (TH σε mg/L CaCO ₃)	Χαρακτηρισμός σκληρότητας	Δείγμα	Ολική σκληρότητα (TH σε mg/L CaCO ₃)	Χαρακτηρισμός σκληρότητας
S1	4931,1	Πολύ σκληρό	G12	514,8	Πολύ σκληρό
W1'	445,7	Πολύ σκληρό	G13	786,5	Πολύ σκληρό
W2	678,9	Πολύ σκληρό	G14	392,1	Πολύ σκληρό
W3	2649	Πολύ σκληρό	G15	478,4	Πολύ σκληρό
W4	525,4	Πολύ σκληρό	G16	341,4	Πολύ σκληρό
W5	737,8	Πολύ σκληρό	G17	515,2	Πολύ σκληρό
W6	300,5	Σκληρό	G18	470,4	Πολύ σκληρό
W8	1360,2	Πολύ σκληρό	G19	294	Σκληρό
W9	2300,3	Πολύ σκληρό	G21	427,9	Πολύ σκληρό
W10	894,9	Πολύ σκληρό	G23	434,7	Πολύ σκληρό
W11	441,7	Πολύ σκληρό	G24	240,0	Σκληρό
W12	638,9	Πολύ σκληρό	G25	291,7	Σκληρό
W13	688,8	Πολύ σκληρό	G26	290,1	Σκληρό
W14	1357,5	Πολύ σκληρό	G27	237,8	Σκληρό
W15	609,4	Πολύ σκληρό	G29	735,4	Πολύ σκληρό
G1	251,5	Πολύ σκληρό	G30	8654,8	Πολύ σκληρό
G2	356,7	Πολύ σκληρό	G31	246,2	Σκληρό
G3	372,8	Πολύ σκληρό	G32	438,1	Πολύ σκληρό
G4'	189,7	Σκληρό	G33	575,0	Πολύ σκληρό
G5	287,2	Σκληρό	G34	720,6	Πολύ σκληρό
G6	256,9	Σκληρό	G36	610,9	Πολύ σκληρό
G7	266,7	Σκληρό	G37	583,8	Πολύ σκληρό
G8	263	Σκληρό	G38	264,1	Σκληρό
G9	307,4	Πολύ σκληρό	G39	194,0	Σκληρό
G10	391	Πολύ σκληρό	G40	345,9	Πολύ σκληρό
G11	352,4	Πολύ σκληρό	G42	248,7	Σκληρό



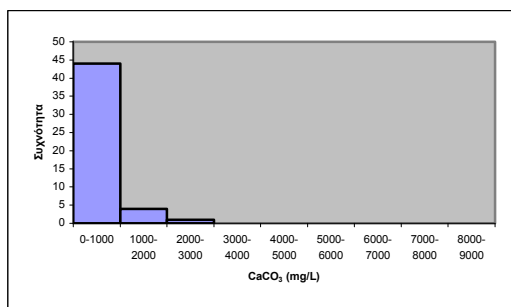
Σχήμα 8.24: Διάγραμμα που απεικονίζει την ταξινόμηση των δειγμάτων υπόγειων νερών υγρής περιόδου με βάση τη σκληρότητα.



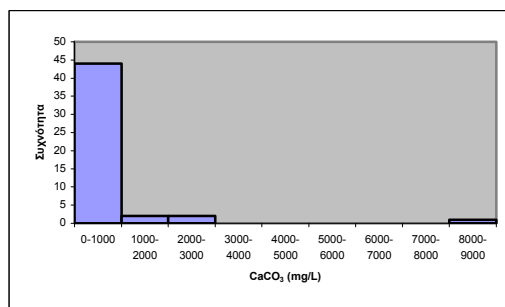
Σχήμα 8.25: Διάγραμμα που απεικονίζει την ταξινόμηση των δειγμάτων υπόγειων νερών ξηρής περιόδου με βάση τη σκληρότητα.

Τα δεδομένα της σκληρότητας στα υπόγεια νερά ομαδοποιήθηκαν σε κλάσεις με εύρος κλάσης 1000 mg/L και για τις δυο περιόδους δειγματοληψίας (Σχ. 8.26 και 8.27).

Στα ιστογράμματα κατανομής της συχνότητας και για τις δυο περιόδους δειγματοληψίας επικρατεί ένας κύριος πληθυσμός με μέγιστη κλάση από 0 έως 1000 mg/L CaCO₃ όπου αντιστοιχούν 44 δείγματα υπόγειου νερού.

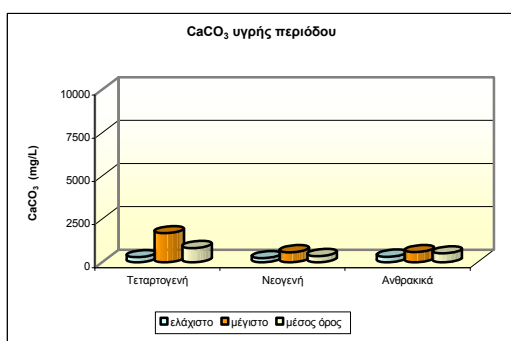


Σχήμα 8.26: Ιστόγραμμα κατανομής της σκληρότητας στα δείγματα υπόγειων νερών υγρής περιόδου.

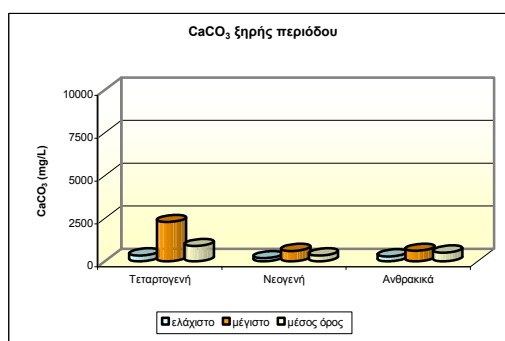


Σχήμα 8.27: Ιστόγραμμα κατανομής της σκληρότητας στα δείγματα υπόγειων νερών ξηρής περιόδου.

Στα Σχ. 8.28 και 8.29 παρουσιάζονται οι διακυμάνσεις των τιμών της σκληρότητας των υπόγειων νερών της λεκάνης των Μεγάρων που προκύπτουν για τις δυο περιόδους δειγματοληψίας. Διαπιστώνεται ότι και στις δυο περιόδους δειγματοληψίας η διακύμανση των τιμών είναι περιορισμένη στους νεογενείς και ανθρακικούς υδροφορείς. Μικρή διαφοροποίηση ανάμεσα στην τιμή της σκληρότητας των νερών της υγρής περιόδου και στην αντίστοιχη τιμή της ξηρής περιόδου παρατηρείται μόνο για τους τεταρτογενείς υδροφορείς, το οποίο ερμηνεύεται από την ανάμιξη του υπόγειου νερού με το θαλάσσιο νερό ιδιαίτερα κατά την ξηρή περίοδο.



Σχήμα 8.28: Διακύμανση των τιμών σκληρότητας υγρής περιόδου των τριών υδροφορέων.



Σχήμα 8.29: Διακύμανση των τιμών σκληρότητας ξηρής περιόδου των τριών υδροφορέων.

Για τις δυο περιόδους δειγματοληψίας οι τιμές της σκληρότητας στα υπόγεια νερά της λεκάνης των Μεγάρων βάσει της λιθολογικής ταξινόμησης έχουν ως εξής (Σχ. 8.28 και 8.29):

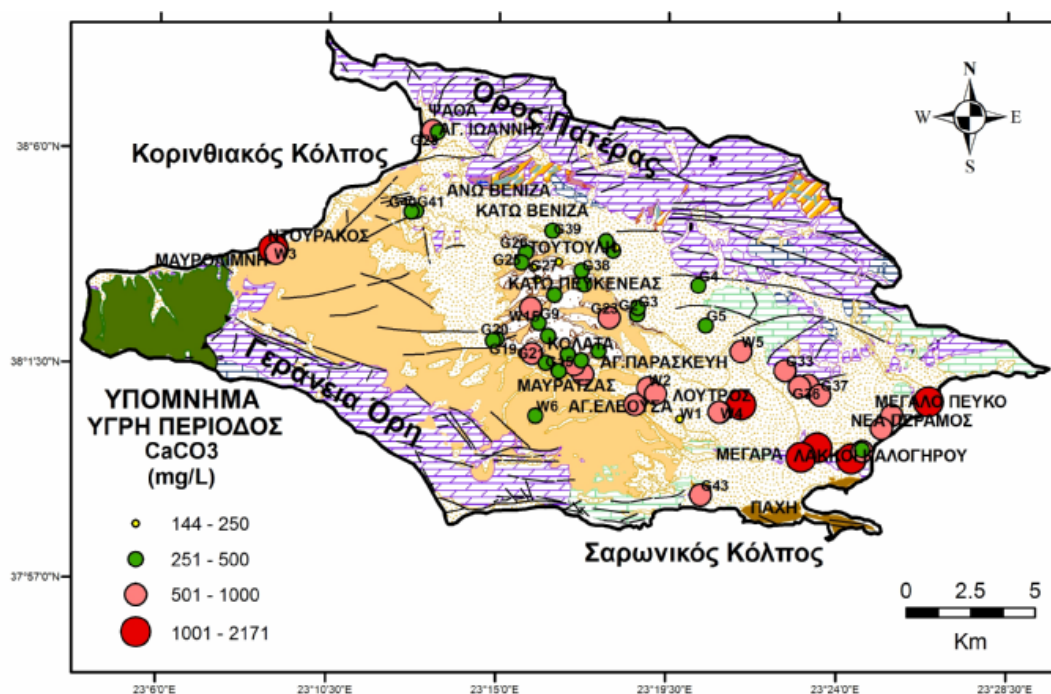
α) νερά των τεταρτογενών σχηματισμών: Οι τιμές της σκληρότητας στο νερό των τεταρτογενών σχηματισμών παρουσιάζουν διαφορές ανάμεσα στις δύο περιόδους και συγκεκριμένα κατά την ξηρή περίοδο παρατηρείται αύξηση στις τιμές της σκληρότητας. Την υγρή περίοδο ο μέσος όρος της σκληρότητας είναι 825 mg/L CaCO_3 με τιμές που κυμαίνονται από 292,2 έως 1682,8 mg/L CaCO_3 , ενώ κατά την ξηρή περίοδο ο μέσος όρος της σκληρότητας είναι 892,1 mg/L CaCO_3 με τιμές που κυμαίνονται από 345,9 έως 2300,3 mg/L CaCO_3 (Πιν. 8.5 και 8.6). Εξαιρεση αποτελεί το δείγμα W3 = 2170,5 mg/L CaCO_3 του υπόγειου νερού κατά την υγρή περίοδο και τα δείγματα W3 = 2649 mg/L CaCO_3 και G30 = 8654,8 mg/L CaCO_3 κατά την ξηρή περίοδο δειγματοληψίας εξαιτίας της αυξημένης τιμής της αγωγιμότητας που παρουσιάζουν σε σχέση με το σύνολο των δειγμάτων. Οι αυξημένες τιμές της σκληρότητας στο νερό των τεταρτογενών σχηματισμών κατά την

ξηρή περίοδο οφείλονται στην ανάμιξη του υπόγειου νερού με το θαλασσίνο νερό, που εμπλουτίζει τα νερά σε ασβέστιο και μαγνήσιο αυξάνοντας με αυτό τον τρόπο τη σκληρότητα τους. Το θαλασσίνο νερό διεισδύει κατά την ξηρή περίοδο λόγω των υπεραντλήσεων και των αυξημένων αναγκών για αρδευτικό νερό.

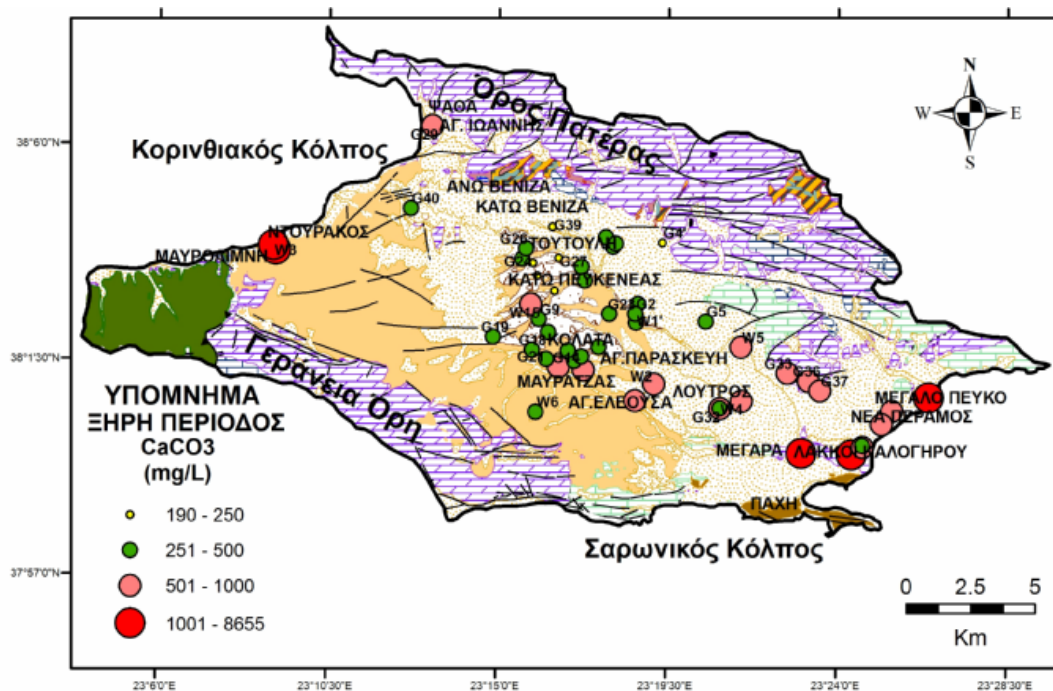
β) νερά των νεογενών σχηματισμών: Οι τιμές της σκληρότητας στο νερό των νεογενών σχηματισμών δεν παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές ανάμεσα στις δύο περιόδους την υγρή και την ξηρή. Την υγρή περίοδο ο μέσος όρος της σκληρότητας είναι 361,4 mg/L CaCO₃ με τιμές που κυμαίνονται από 243,4 έως 584,3 mg/L CaCO₃ ενώ κατά την ξηρή περίοδο ο μέσος όρος της σκληρότητας είναι 346,5 mg/L CaCO₃ με τιμές που κυμαίνονται από 194,0 έως 609,4 mg/L CaCO₃ (Πιν. 8.5 και 8.6). Εξάιρεση αποτελεί το δείγμα G34 = 1039,1 mg/L CaCO₃ του υπόγειου νερού κατά την υγρή περίοδο και τα δείγματα G34 = 720,6 mg/L CaCO₃ και G13 = 786,5 mg/L CaCO₃ κατά την ξηρή περίοδο δειγματοληψίας εξαιτίας της αυξημένης τιμής της αγωγιμότητας που παρουσιάζουν σε σχέση με το σύνολο των δειγμάτων των νεογενών σχηματισμών.

γ) νερά των καρστικών ανθρακικών σχηματισμών: Οι τιμές της σκληρότητας στο νερό των καρστικών ανθρακικών σχηματισμών δεν παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές ανάμεσα στις δύο περιόδους την υγρή και την ξηρή. Την υγρή περίοδο ο μέσος όρος της σκληρότητας είναι 514,9 mg/L με τιμές που κυμαίνονται από 317,6 έως 588 mg/L CaCO₃ ενώ κατά την ξηρή περίοδο ο μέσος όρος της σκληρότητας είναι 514,2 mg/L CaCO₃ με τιμές που κυμαίνονται από 287,2 έως 610,9 mg/L CaCO₃ (Πιν. 8.5 και 8.6). Οι τιμές της σκληρότητας στο νερό των καρστικών ανθρακικών σχηματισμών δεν διαφέρουν σημαντικά για τις δυο περιόδους δειγματοληψίας, διότι η σκληρότητα οφείλεται αποκλειστικά στη διάλυση των ανθρακικών ορυκτών.

Η χωρική κατανομή των τιμών της σκληρότητας στη λεκάνη των Μεγάρων για τις δυο περιόδους δειγματοληψίας απεικονίζεται στα Σχ. 8.30 και 8.31.



Σχήμα 8.30: Χωρική κατανομή συγκέντρωσης σκληρότητας (CaCO₃ mg/L) των υπόγειων νερών κατά την υγρή περίοδο.



Σχήμα 8.31: Χωρική κατανομή συγκέντρωσης σκληρότητας (CaCO_3 mg/L) των υπόγειων νερών κατά την ξηρή περίοδο.

Από τη χωρική κατανομή της σκληρότητας διαπιστώνεται ότι οι υψηλές τιμές εντοπίζονται, στις παράκτιες περιοχές της Ψάθας, Ντουράκος, Νέα Πέραμος, Λάκα Καλογήρου, Μεγάλο Πεύκο και οφείλονται στην ανάμιξη του υπόγειου με το θαλασσινό νερό. Η κατάσταση αυτή παραμένει η ίδια και για τις δυο περιόδους δειγματοληψίας όπως φαίνεται στα Σχ. 8.30 και 8.31.

Μεσαίες έως χαμηλές τιμές της σκληρότητας παρατηρούνται στο κεντρικό τμήμα της λεκάνης των Μεγάρων.

8.6.1.6. Ολικά Διαλυμένα Στερεά (TDS)

Τα ολικά διαλυμένα στερεά εκφράζουν τη συνολική συγκέντρωση των διαλυμένων θεϊκών, ανθρακικών, χλωριούχων, νιτρικών και αμμωνιακών αλάτων. Η συγκέντρωση και το είδος των διαλυμένων στερεών εξαρτώνται από τη χημική σύσταση και την ορυκτολογία των πετρωμάτων, καθώς και το χρόνο παραμονής του νερού στον υδροφορέα (Stumm and Morgan 1996, Stamatis and Gartzos 1999).

Σύμφωνα με τους Davis and De – Wiest (1996) τα δείγματα του υπόγειου νερού ταξινομούνται ανάλογα με την περιεκτικότητά τους σε ολικά διαλυμένα στερεά στις εξής κατηγορίες όπως φαίνεται στον Πιν. 8.10.

Πίνακας 8.10: Ταξινόμηση νερού από τις τιμές του TDS σύμφωνα με τους Davis and De – Wiest (1996).

TDS (mg/L)	Χαρακτηρισμός νερού
0 - 1000	Γλυκό
1000 - 10000	Υφάλμυρο
10.000 – 100.000	Αλμυρό
>100.000	Υπεραλμυρό

Οι Πιν. 8.11 και 8.12 περιλαμβάνουν το χαρακτηρισμό των δειγμάτων του υπόγειου νερού της λεκάνης των Μεγάρων ως προς τα ολικά διαλυμένα στερεά (TDS).

Το μεγαλύτερο ποσοστό των δειγμάτων της υγρής περιόδου, 32 από τα 60 (ποσοστό 53,33%) είναι *γλυκά νερά*, 26 δείγματα από τα 60 (ποσοστό 43,33%) είναι *υφάλμυρα* ενώ μόνο δύο δείγματα (ποσοστό 3,33%) είναι *αλμυρά νερά* (Σχ. 8.32 και 8.33).

Το μεγαλύτερο ποσοστό των δειγμάτων της ξηρής περιόδου χαρακτηρίζονται ως *γλυκά*, 32 από τα 52 δείγματα (ποσοστό 61,54%) είναι *γλυκά νερά*, 18 δείγματα από τα 52 (ποσοστό 34,61%) είναι *υφάλμυρα* ενώ μόνο δύο δείγματα (ποσοστό 3,85%) είναι *αλμυρά νερά* (Σχ. 8.32 και 8.33).

Ο χημισμός των δειγμάτων S1, S2 για την υγρή περίοδο δειγματοληψίας καθώς και τα δείγματα S1, W3 για την ξηρή περίοδο δειγματοληψίας που βρίσκονται ΒΔ της περιοχής έρευνας φαίνεται να έχουν επηρεαστεί σημαντικά από τη διείσδυση του θαλασσινού νερού στον υπόγειο υδροφόρο.

Πίνακας 8.11: Χαρακτηρισμός των υπόγειων νερών της λεκάνης των Μεγάρων για την υγρή περίοδο δειγματοληψίας ως προς τα ολικά διαλυμένα στερεά (TDS).

Δείγμα	Ολικά διαλυμένα στερεά (TDS), (mg/l)	Χαρακτηρισμός αλατότητας	Δείγμα	Ολικά διαλυμένα στερεά (TDS), (mg/l)	Χαρακτηρισμός αλατότητας
S1	10395,0	Αλμυρό	G14	1072,5	Υφάλμυρο
S2	10725,0	Αλμυρό	G15	1059,5	Υφάλμυρο
W1	211,9	Γλυκό	G16	663,0	Γλυκό
W2	1722,5	Υφάλμυρο	G17	832,0	Γλυκό
W3	6051,0	Υφάλμυρο	G18	903,5	Γλυκό
W4	975,0	Γλυκό	G19	526,5	Γλυκό
W5	1566,0	Υφάλμυρο	G20	507,0	Γλυκό
W6	591,5	Γλυκό	G21	838,5	Γλυκό
W7	8027,5	Υφάλμυρο	G22	1410,5	Υφάλμυρο
W8	3711,5	Υφάλμυρο	G23	1014,0	Υφάλμυρο
W9	5304,0	Υφάλμυρο	G24	435,5	Γλυκό
W10	2827,0	Υφάλμυρο	G25	448,5	Γλυκό
W11	643,0	Γλυκό	G26	455,0	Γλυκό
W12	2385,5	Υφάλμυρο	G27	442,0	Γλυκό
W13	2223,0	Υφάλμυρο	G28	1352,0	Υφάλμυρο
W14	4465,0	Υφάλμυρο	G29	2047,5	Υφάλμυρο
W15	988,0	Γλυκό	G30	2184,0	Υφάλμυρο
G1	467,0	Γλυκό	G31	442,0	Γλυκό
G2	715,0	Γλυκό	G32	929,3	Γλυκό
G3	715,0	Γλυκό	G33	2372,5	Υφάλμυρο
G4	2047,5	Υφάλμυρο	G34	2099,5	Υφάλμυρο
G5	539,5	Γλυκό	G35	2158,0	Υφάλμυρο
G6	435,5	Γλυκό	G36	2184,0	Υφάλμυρο
G7	461,5	Γλυκό	G37	2171,0	Υφάλμυρο
G8	461,5	Γλυκό	G38	487,5	Γλυκό
G9	507,0	Γλυκό	G39	403,0	Γλυκό
G10	838,5	Γλυκό	G40	461,0	Γλυκό
G11	715,0	Γλυκό	G41	455,0	Γλυκό
G12	1066,0	Υφάλμυρο	G42	442,0	Γλυκό
G13	1326,0	Υφάλμυρο	G43	2593,5	Υφάλμυρο

Πίνακας 8.12: Χαρακτηρισμός των υπόγειων νερών της λεκάνης των Μεγάρων για την ξηρή περίοδο δειγματοληψίας ως προς τα ολικά διαλυμένα στερεά (TDS).

Δείγμα	Ολικά διαλυμένα στερεά (TDS), (mg/l)	Χαρακτηρισμός αλατότητας	Δείγμα	Ολικά διαλυμένα στερεά (TDS), (mg/l)	Χαρακτηρισμός αλατότητας
S1	14787,0	Αλμυρό	G12	1059,5	Υφάλμυρο
W1'	1735,5	Υφάλμυρο	G13	1300,0	Υφάλμυρο
W2	1677,0	Υφάλμυρο	G14	1000,0	Γλυκό
W3	10939,5	Αλμυρό	G15	871,0	Γλυκό
W4	936,0	Γλυκό	G16	669,5	Γλυκό
W5	1371,0	Υφάλμυρο	G17	1241,5	Υφάλμυρο
W6	591,5	Γλυκό	G18	864,5	Γλυκό
W8	3341,0	Υφάλμυρο	G19	526,0	Γλυκό
W9	6305,0	Υφάλμυρο	G21	806,0	Γλυκό
W10	2997,0	Υφάλμυρο	G23	877,5	Γλυκό
W11	796,0	Γλυκό	G24	442,0	Γλυκό
W12	2372,5	Υφάλμυρο	G25	455,0	Γλυκό
W13	2119,0	Υφάλμυρο	G26	442,0	Γλυκό
W14	4699,5	Υφάλμυρο	G27	442,0	Γλυκό
W15	981,5	Γλυκό	G29	2086,0	Υφάλμυρο
G1	485,7	Γλυκό	G30	7377,0	Υφάλμυρο
G2	682,5	Γλυκό	G31	435,5	Γλυκό
G3	715,0	Γλυκό	G32	871,0	Γλυκό
G4'	442,0	Γλυκό	G33	2041,0	Υφάλμυρο
G5	539,5	Γλυκό	G34	2034,0	Υφάλμυρο
G6	442,0	Γλυκό	G36	2210,0	Υφάλμυρο
G7	461,5	Γλυκό	G37	2086,0	Υφάλμυρο
G8	468,0	Γλυκό	G38	494,0	Γλυκό
G9	526,0	Γλυκό	G39	409,5	Γλυκό
G10	838,5	Γλυκό	G40	474,0	Γλυκό
G11	695,5	Γλυκό	G42	448,5	Γλυκό



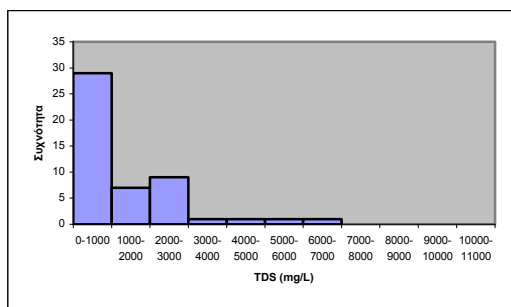
Σχήμα 8.32: Διάγραμμα που απεικονίζει την ταξινόμηση των δειγμάτων υπόγειων νερών υγρής περιόδου με βάση την αλατότητα τους.



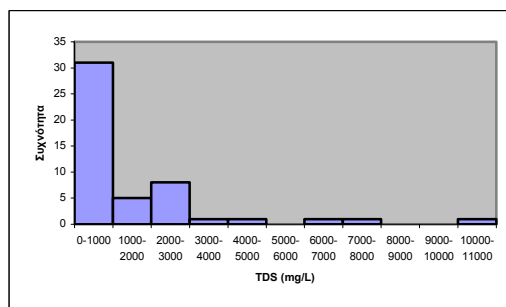
Σχήμα 8.33: Διάγραμμα που απεικονίζει την ταξινόμηση των δειγμάτων υπόγειων νερών ξηρής περιόδου με βάση την αλατότητα τους.

Οι συγκεντρώσεις των ολικών διαλυμένων στερεών (TDS) στα υπόγεια νερά ομαδοποιήθηκαν σε κλάσεις με εύρος κλάσης και για τις δυο περιόδους δειγματοληψίας τα 1000 mg/L (Σχ. 8.34 και 8.35).

Από το ιστόγραμμα κατανομής των ολικών διαλυμένων στερεών (TDS) διακρίνεται ένας κύριος πληθυσμός με μέγιστη κλάση από 0 έως 1000 mg/L και για τις δυο περιόδους δειγματοληψίας όπου αντιστοιχούν 29 δείγματα υπόγειου νερού για την υγρή περίοδο και 31 δείγματα υπόγειου νερού για την ξηρή περίοδο δειγματοληψίας.

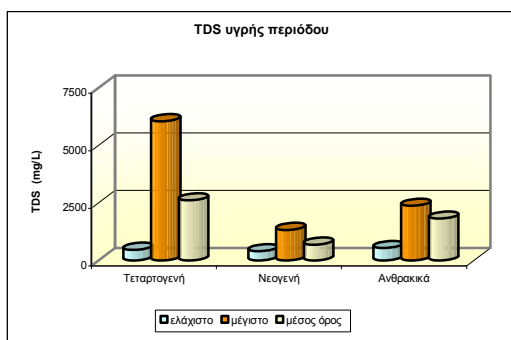


Σχήμα 8.34: Ιστόγραμμα κατανομής των ολικών διαλυμένων στερεών (TDS) στα δείγματα υπόγειων νερών υγρής περιόδου.

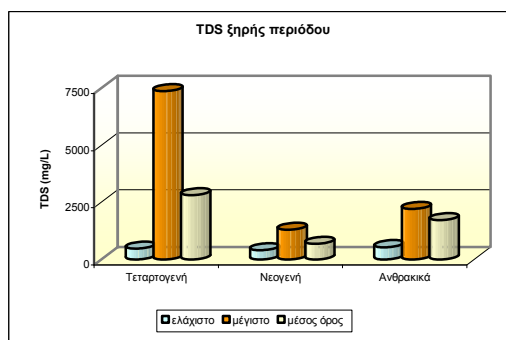


Σχήμα 8.35: Ιστόγραμμα κατανομής των ολικών διαλυμένων στερεών (TDS) στα δείγματα υπόγειων νερών ξηρής περιόδου.

Οι διακυμάνσεις των τιμών των ολικών διαλυμένων στερεών (TDS) των υπόγειων νερών που προκύπτουν για τις δυο περιόδους δειγματοληψίας παρουσιάζονται στα Σχ. 8.36 και 8.37. Διαπιστώνεται ότι κατά την υγρή περίοδο η διακύμανση των τιμών είναι περιορισμένη στους νεογενείς και ανθρακικούς υδροφορείς, ενώ στους τεταρτογενείς παρατηρείται μεγαλύτερη διαφοροποίηση. Το ίδιο συμβαίνει και κατά την ξηρή περίοδο μόνο που κατά την περίοδο αυτή η διακύμανση στους τεταρτογενείς υδροφορείς έχει ακόμα μεγαλύτερο εύρος (Σχ. 8.36 και 8.37).



Σχήμα 8.36: Διακύμανση των τιμών των ολικών διαλυμένων στερεών (TDS) υγρής περιόδου των τριών υδροφορέων.



Σχήμα 8.37: Διακύμανση των τιμών των ολικών διαλυμένων στερεών (TDS) ξηρής περιόδου των τριών υδροφορέων.

Οι τιμές των ολικών διαλυμένων στερεών (TDS) βάσει της λιθολογικής ταξινόμησης στα υπόγεια νερά της υγρής και ξηρής περιόδου δειγματοληψίας της λεκάνης των Μεγάρων έχουν ως εξής (Σχ. 8.36 και 8.37):

α) νερά των τεταρτογενών σχηματισμών: Οι τιμές των ολικών διαλυμένων στερεών (TDS) στο νερό των τεταρτογενών σχηματισμών παρουσιάζουν αύξηση κατά την ξηρή περίοδο σε σχέση με την υγρή. Την υγρή περίοδο ο μέσος όρος των ολικών διαλυμένων στερεών (TDS) είναι 2611,9 mg/L με τιμές που κυμαίνονται από 461 έως 6051 mg/L ενώ κατά την ξηρή περίοδο ο μέσος όρος των ολικών διαλυμένων στερεών (TDS) είναι 2811,6 mg/L με τιμές που κυμαίνονται από 474 έως 7377 mg/L (Πιν. 8.5 και 8.6). Εξάιρεση αποτελεί το δείγμα υπόγειου νερού W3=10940 mg/L της ξηρής περιόδου που παρουσιάζει τη μεγαλύτερη τιμή σε ολικά διαλυμένα στερεά γεγονός το οποίο αποδίδεται στη διείσδυση του θαλασσινού νερού. Η αύξηση αυτή κατά την ξηρή περίοδο οφείλεται στη διείσδυση του θαλασσινού νερού στους υπόγειους υδροφορείς των τεταρτογενών εξαιτίας των αυξημένων αναγκών σε νερό κατά τους καλοκαιρινούς μήνες.

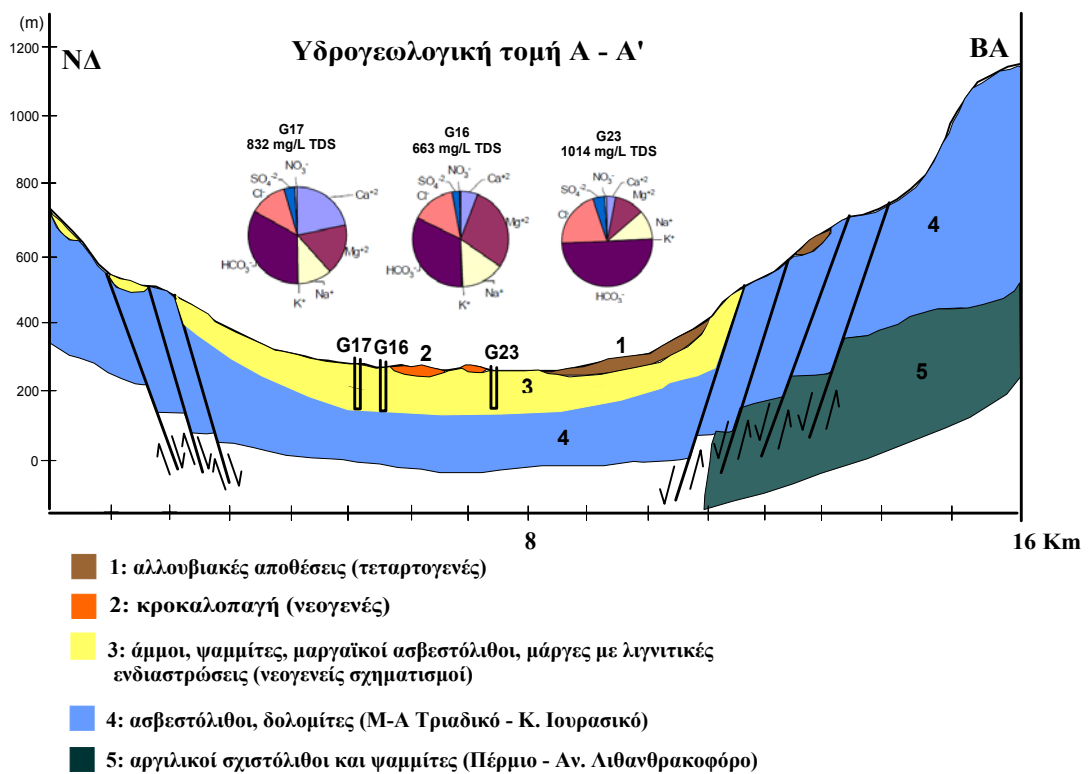
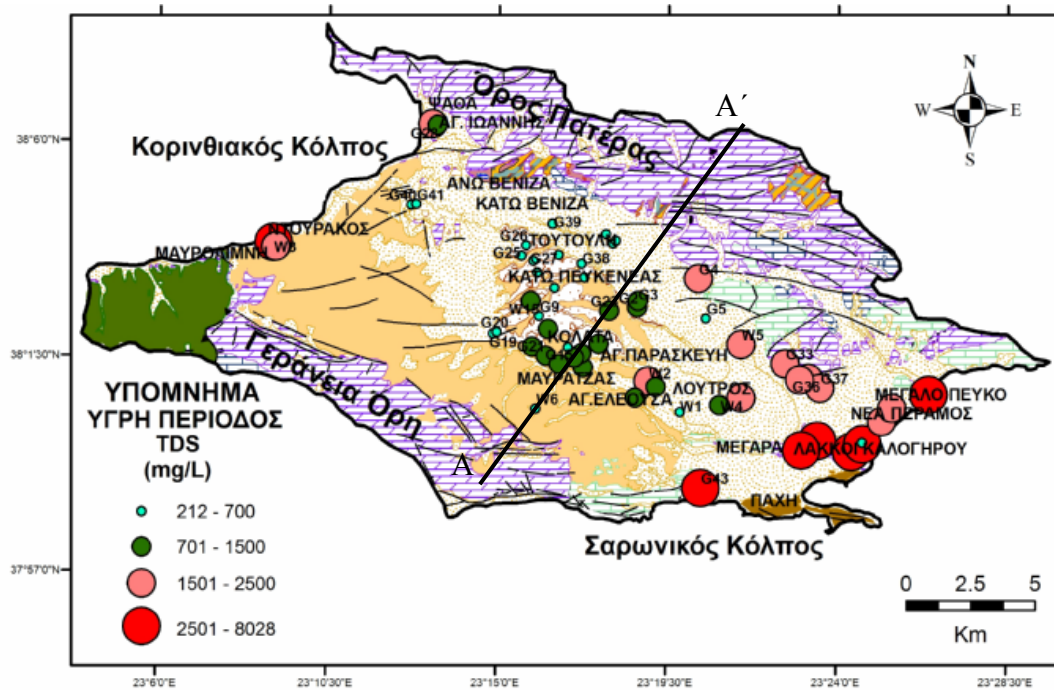
β) νερά των νεογενών σχηματισμών: Οι τιμές των ολικών διαλυμένων στερεών (TDS) στο νερό των νεογενών σχηματισμών δεν παρουσιάζουν διαφορές ανάμεσα στις δύο περιόδους. Κατά την υγρή περίοδο ο μέσος όρος των ολικών διαλυμένων στερεών (TDS) είναι 689,4 mg/L με τιμές που κυμαίνονται από 403 έως 1326 mg/L ενώ κατά την ξηρή περίοδο ο μέσος όρος των ολικών διαλυμένων στερεών (TDS) είναι 684,8 mg/L με τιμές που κυμαίνονται από 409,5 έως 1300 mg/L (Πιν. 8.5 και 8.6). Εξαιρέση αποτελεί το δείγμα G34 και για τις δυο περιόδους δειγματοληψίας με τιμές 2100 mg/L για την υγρή περίοδο και 2034 mg/L για την ξηρή περίοδο δειγματοληψίας. Το δείγμα αυτό έχει επηρεαστεί πολύ περισσότερο από τη διείσδυση της θάλασσας σε σχέση με τα υπόλοιπα δείγματα των νεογενών σχηματισμών. Οι τιμές των ολικών διαλυμένων στερεών (TDS) παραμένουν σχεδόν ίδιες και στις δυο περιόδους δειγματοληψίας.

γ) νερά των καρστικών ανθρακικών σχηματισμών: Οι τιμές των ολικών διαλυμένων στερεών (TDS) στο νερό των καρστικών ανθρακικών σχηματισμών δεν παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές όπως και στα νεογενή ανάμεσα στις δύο περιόδους. Την υγρή περίοδο ο μέσος όρος των ολικών διαλυμένων στερεών (TDS) είναι 1816,8 mg/L με τιμές που κυμαίνονται από 539,5 έως 2372,5 mg/L ενώ κατά την ξηρή περίοδο ο μέσος όρος των ολικών διαλυμένων στερεών (TDS) είναι 1719,1 mg/L με τιμές που κυμαίνονται από 539,5 έως 2210 mg/L (Πιν. 8.5 και 8.6). Όπως και στα νεογενή οι τιμές των ολικών διαλυμένων στερεών (TDS) παραμένουν σχεδόν αμετάβλητες και για τις δυο περιόδους δειγματοληψίας.

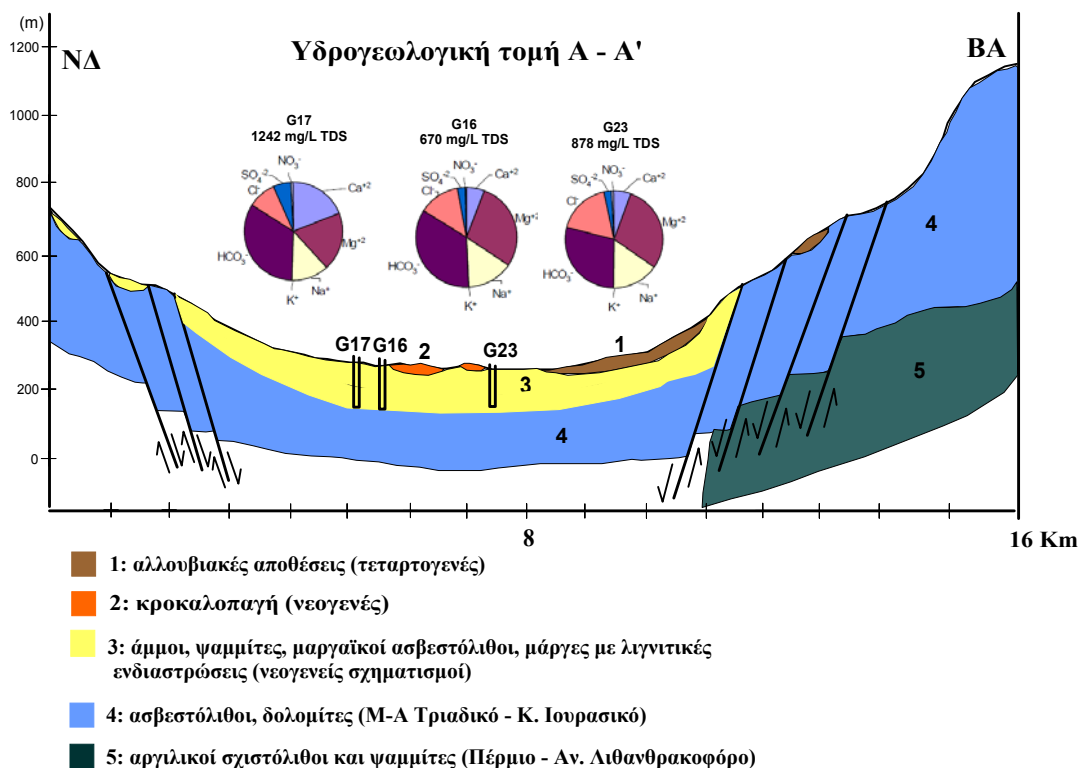
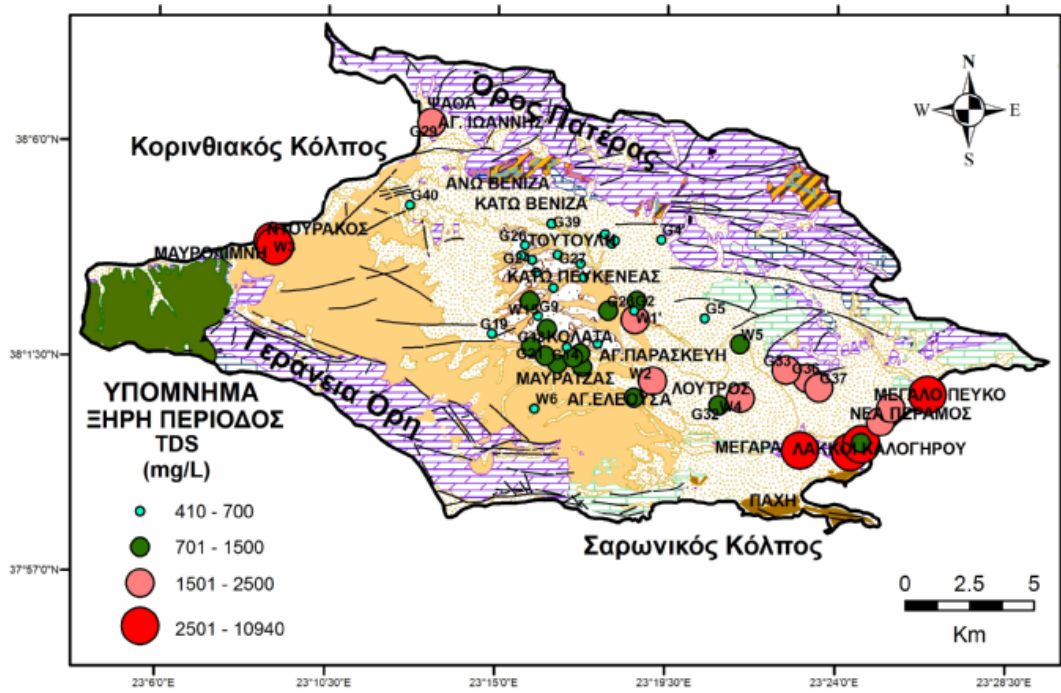
Η χωρική κατανομή των τιμών των ολικών διαλυμένων στερεών (TDS) για τις δυο περιόδους δειγματοληψίας απεικονίζεται στα Σχ. 8.38 και 8.39.

Από τη χωρική κατανομή των ολικών διαλυμένων στερεών (TDS) διαπιστώνεται ότι και στις δυο περιόδους δειγματοληψίας οι υψηλότερες τιμές εντοπίζονται στις παραθαλάσσιες περιοχές (π.χ. Μεγάλο Πεύκο, Νέα Πέραμος, Λάκκα Καλογήρου, Ντουράκος και Ψάθα) και οφείλονται στη θαλάσσια διείσδυση. Μικρότερες τιμές ολικών διαλυμένων στερεών (TDS) παρατηρούνται στο κεντρικό τμήμα της λεκάνης το οποίο δεν επηρεάζεται από τη θαλάσσια διείσδυση (Σχ. 8.38 και 8.39).

Στα Σχ. 8.38 και 8.39 απεικονίζεται η σχηματική υδρογεωλογική τομή ΑΑ' η οποία περιλαμβάνει τις γεωτρήσεις G16, G17 και G23 για τις δυο περιόδους δειγματοληψίας. Οι γεωτρήσεις G16, G17 και G23 βρίσκονται εντός των νεογενών σχηματισμών και παρουσιάζουν τιμές TDS για την υγρή περίοδο (Σχ. 8.38): 663 mg/L, 832 mg/L και 1014 mg/L, αντίστοιχα και 670 mg/L, 878 mg/L και 1242 mg/L, αντίστοιχα για την ξηρή περίοδο (Σχ. 8.39). Από τις υδρογεωλογικές τομές και σχετικά με τις συγκεντρώσεις κύριων στοιχείων και τις τιμές TDS, δεν παρατηρείται σημαντική διαφοροποίηση ανάμεσα στις δυο περιόδους.



Σχήμα 8.38: Χωρική κατανομή συγκέντρωσης των ολικών διαλυμένων στερεών (TDS) (mg/L) των υπόγειων νερών κατά την υγρή περίοδο και γεωλογική τομή ΑΑ' όπου απεικονίζονται τα ποσοστά των κύριων στοιχείων.



Σχήμα 8.39: Χωρική κατανομή συγκέντρωσης των ολικών διαλυμένων στερεών (TDS) (mg/L) των υπόγειων νερών κατά την ξηρή περίοδο και γεωλογική τομή ΑΑ' όπου απεικονίζονται τα ποσοστά των κύριων στοιχείων.

8.6.2. Κύρια στοιχεία

8.6.2.1. Ασβέστιο (Ca^{2+})

Το ασβέστιο είναι το κύριο κατιόν του υπόγειου νερού. Η παρουσία του στο υπόγειο νερό οφείλεται στη διάλυση ορυκτών που περιέχουν το στοιχείο αυτό όπως ο ασβεστίτης (CaCO_3), ο δολομίτης ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$), ο γύψος ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), ο ανυδρίτης (CaSO_4), ο ανορθίτης ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$) και το επίδοτο [$\text{Ca}_2(\text{FeAl})\text{Al}_2(\text{SiO}_4)(\text{SiO}_7)\text{O}(\text{OH})$]. Επίσης μπορεί να προέρχεται από τους αστρίους, το φθορίτη, τους πυροξένους, τους αμφιβόλους καθώς και τα ορυκτά της ομάδας του επιδότου (Appelo and Postma 1996). Το ασβέστιο προέρχεται και από τη διάλυση πετρωμάτων όπως είναι ο ασβεστόλιθος, οι ασβεστολιθικοί ψαμμίτες και μάργες και τα κροκαλοπαγή (Appelo and Postma 1996), (Βουδούρης 2009).

Το ασβέστιο επιδρά στη λειτουργία του κεντρικού νευρικού συστήματος, είναι διουρητικό και αντιαλλεργικό, επιδρά αρνητικά στην υπέρταση και μειώνει την κυτταρική διαπερατότητα (Θεοδωρίκας 2005).

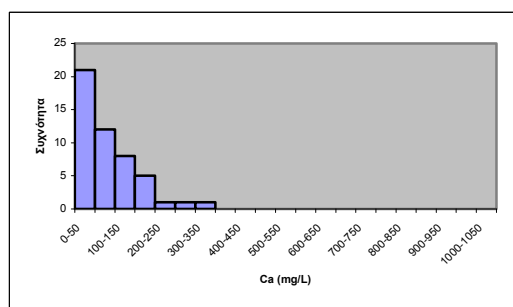
Σύμφωνα με τον Clayton (1975) σε περιοχές όπου οι κάτοικοι χρησιμοποιούσαν πόσιμο νερό με υψηλή συγκέντρωση ασβεστίου υπήρχε μικρότερη θνησιμότητα από καρδιακές παθήσεις. Η περίσσεια πρόσληψη ασβεστίου προκαλεί το σύνδρομο Burnett ή το σύνδρομο milk-drink. Γαστρεντερικά έλκη προκαλούνται από αυξημένες συγκεντρώσεις ασβεστίου. Η μικρή ημερήσια πρόσληψη ασβεστίου (<50 mg/ημέρα) κατά το στάδιο της ανάπτυξης των μικρών παιδιών προκαλεί ανεπαρκή ανάπτυξη των οστών που συνοδεύεται από πόνο των οστών και εμφάνιση ραχίτιδας (Hartmann and Sponholz 2011, Ross et. al. 2011).

Στα υπόγεια νερά η συγκέντρωση του ασβεστίου κυμαίνεται στα 50 mg/L και στα επιφανειακά νερά στα 15 mg/L και η συγκέντρωση του ασβεστίου στο θαλασσινό νερό είναι 400 mg/L (Κελεπερτζής 2000, 2007). Σύμφωνα με τον Emsley (1998), η συγκέντρωση του ασβεστίου στον Ατλαντικό και τον Ειρηνικό ωκεανό είναι 390 mg/L στην επιφάνεια και 430 mg/L στο βάθος.

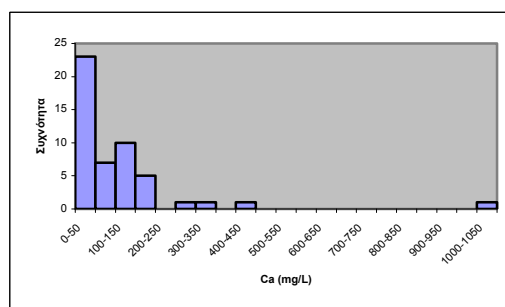
Το ενδεικτικό επίπεδο της συγκέντρωσης ασβεστίου στο πόσιμο νερό είναι τα 100 mg/L σύμφωνα με την Οδηγία 80/778/EC (EC 1980), ενώ η νεώτερη οδηγία 98/83/EC (EC 1998) δεν ορίζει ανώτερη παραμετρική τιμή για το ασβέστιο.

Τα δεδομένα του ασβεστίου στα υπόγεια νερά ομαδοποιήθηκαν σε κλάσεις με εύρος κλάσης 50 mg/L και για τις δυο περιόδους δειγματοληψίας (Σχ. 8.40 και 8.41).

Στο ιστόγραμμα κατανομής του ασβεστίου και για την υγρή και για την ξηρή περίοδο διακρίνεται ένας κύριος πληθυσμός με μέγιστη κλάση από 0 έως 50 mg/L ασβεστίου. Στην κλάση αυτή αντιστοιχούν 21 δείγματα υπόγειου νερού στην υγρή περίοδο και 23 δείγματα υπόγειου νερού στην ξηρή περίοδο (Σχ. 8.40 και 8.41).

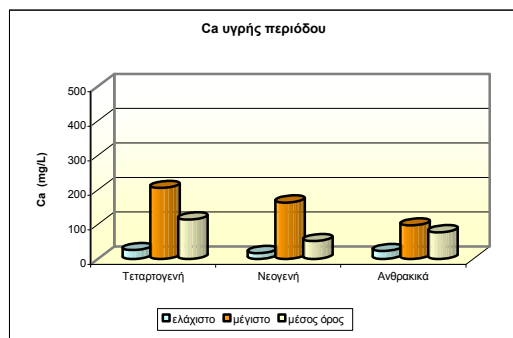


Σχήμα 8.40: Ιστόγραμμα κατανομής του ασβεστίου στα δείγματα υπόγειων νερών υγρής περιόδου.

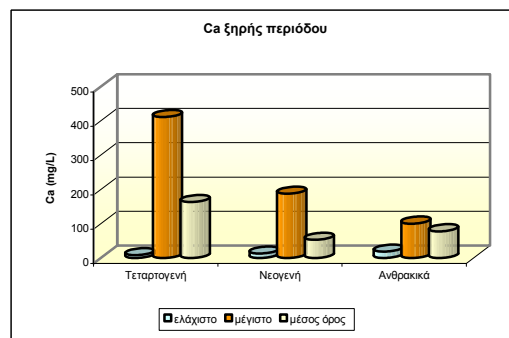


Σχήμα 8.41: Ιστόγραμμα κατανομής του ασβεστίου στα δείγματα υπόγειων νερών ξηρής περιόδου.

Από τα Σχ. 8.42 και 8.43 προκύπτει ότι κατά την υγρή περίοδο δεν παρατηρούνται σημαντικές διαφοροποιήσεις στις συγκεντρώσεις ασβεστίου στο νερό των τριών υδροφορέων. Αντίθετα μεγάλη διακύμανση παρατηρείται στα υπόγεια νερά των τεταρτογενών σχηματισμών κατά την ξηρή περίοδο. Η διακύμανση των τεταρτογενών σχηματισμών οφείλεται στη διείσδυση του θαλασσινού νερού κατά την ξηρή περίοδο και παρατηρείται στις περιοχές Ντουράκος και Λάκκοι Καλογήρου (Σχ. 8.45).



Σχήμα 8.42: Διακύμανση των συγκεντρώσεων του ασβεστίου υγρής περιόδου των τριών υδροφόρων.



Σχήμα 8.43: Διακύμανση των συγκεντρώσεων του ασβεστίου ξηρής περιόδου των τριών υδροφόρων.

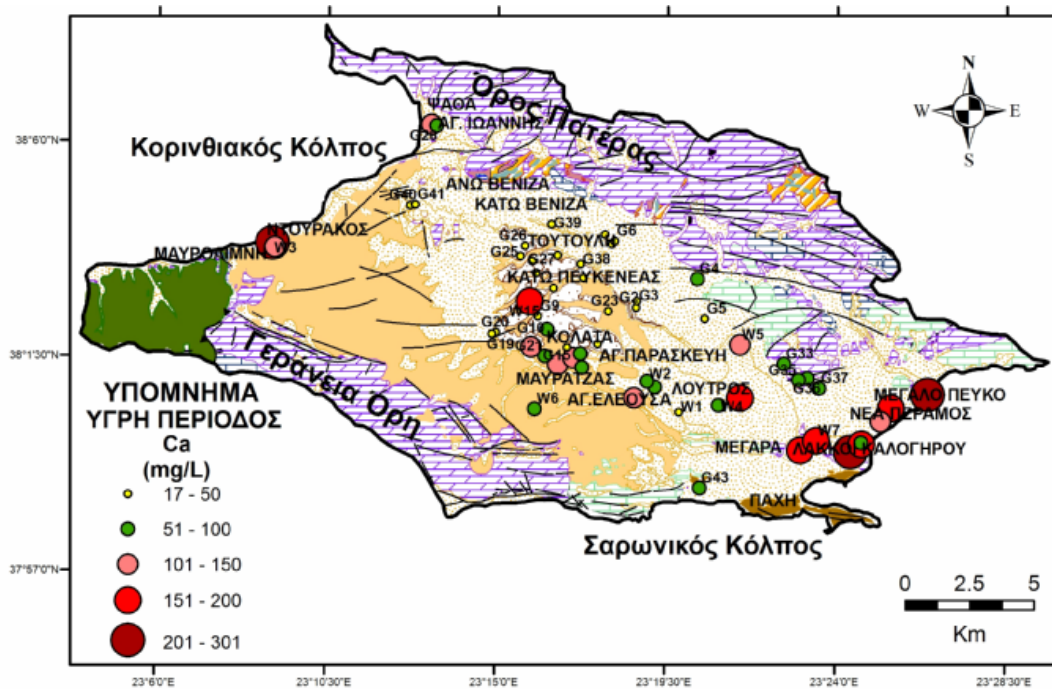
Οι συγκεντρώσεις του ασβεστίου στα υπόγεια νερά των τριών σχηματισμών έχουν ως εξής (Σχ. 8.42 και 8.43):

α) νερά των τεταρτογενών σχηματισμών: Οι συγκεντρώσεις του ασβεστίου στα νερά των τεταρτογενών σχηματισμών παρουσιάζουν διαφορές ανάμεσα στις δύο περιόδους. Την υγρή περίοδο ο μέσος όρος του ασβεστίου είναι 114,2 mg/L με τιμές που κυμαίνονται από 25,7 έως 205,4 mg/L ενώ κατά την ξηρή περίοδο ο μέσος όρος του ασβεστίου είναι 163,3 mg/L με συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από 8,3 έως 411,6 mg/L (Πιν. 8.5 και 8.6). Εξαιρέση αποτελούν τα δείγματα W3 και W9 για την υγρή περίοδο με τιμές 291,2 και 301,44 mg/L αντίστοιχα και το δείγμα G30 με τιμή 1035,64 mg/L για την ξηρή περίοδο. Τα δείγματα αυτά είναι έντονα επηρεασμένα από τη διείσδυση του θαλασσινού νερού. Παρατηρείται ότι κατά την ξηρή περίοδο αυξήθηκε ο μέσος όρος του ασβεστίου περίπου στο διπλάσιο της υγρής περιόδου. Η αύξηση αυτή αποδίδεται κυρίως στη ανάμιξη του θαλασσινού νερού με το υπόγειο νερό.

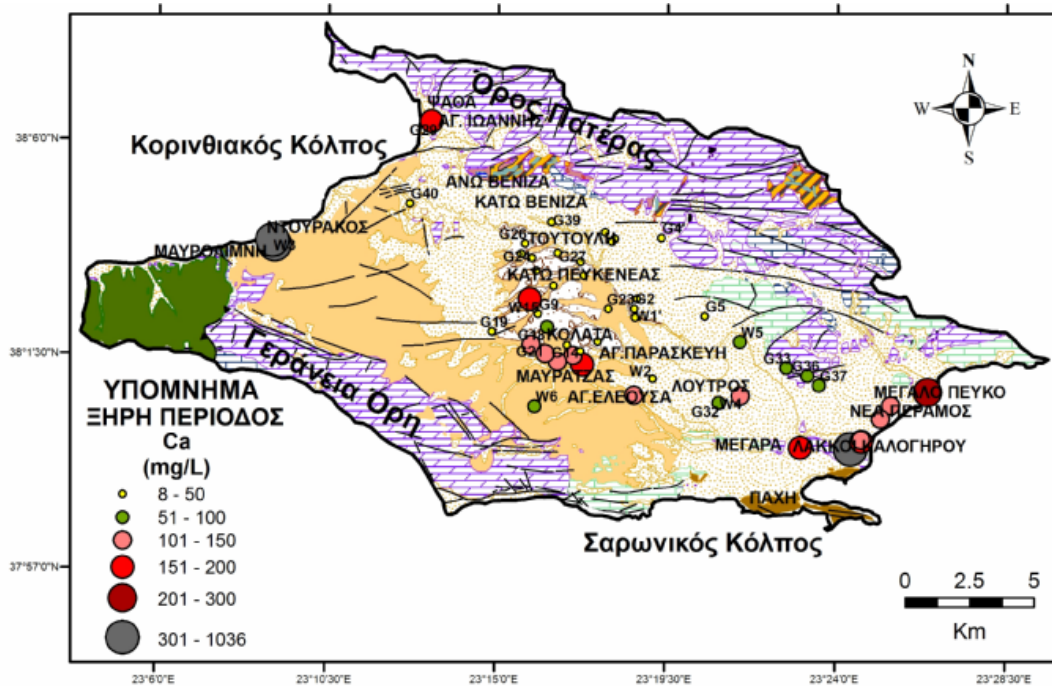
β) νερά των νεογενών σχηματισμών: Δεν παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές οι συγκεντρώσεις του ασβεστίου στα νερά των νεογενών σχηματισμών μεταξύ των δυο περιόδων δειγματοληψίας. Την υγρή περίοδο ο μέσος όρος του ασβεστίου είναι 51,9 mg/L με συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από 17,2 έως 163,4 mg/L ενώ κατά την ξηρή περίοδο ο μέσος όρος του ασβεστίου είναι 53,3 mg/L με συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από 13,1 έως 187,6 mg/L (Πιν. 8.5 και 8.6). Οι σχεδόν σταθερές συγκεντρώσεις του ασβεστίου που παρατηρούνται, σχετίζονται με τη λιθολογία του υδροφορέα και δεν φανερώνουν ανθρωπογενείς επιδράσεις, όπως η διείσδυση του θαλασσινού νερού η οποία παρατηρείται στον υδροφορέα των τεταρτογενών αποθέσεων. Η μεταβολή αυτή των συγκεντρώσεων προέρχεται από τη διάλυση ανθρακικών ορυκτών.

γ) νερά των καρστικών ανθρακικών σχηματισμών: Στα νερά του καρστικού υδροφορέα οι συγκεντρώσεις του ασβεστίου δεν παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές μεταξύ των δύο περιόδων δειγματοληψίας. Την υγρή περίοδο ο μέσος όρος του ασβεστίου είναι 77,4 mg/L με τιμές που κυμαίνονται από 23 έως 97 mg/L ενώ κατά

την ξηρή περίοδο ο μέσος όρος του ασβεστίου είναι 78 mg/L με τιμές που κυμαίνονται από 18,9 έως 100,4 mg/L (Πιν. 8.5 και 8.6). Στα Σχ. 8.44 και 8.45 παρουσιάζεται η χωρική κατανομή του ασβεστίου στα υπόγεια νερά της λεκάνης των Μεγάρων για την υγρή και την ξηρή περίοδο, αντίστοιχα.



Σχήμα 8.44: Χωρική κατανομή συγκέντρωσης ασβεστίου (mg/l) των υπόγειων νερών κατά την υγρή περίοδο.



Σχήμα 8.45: Χωρική κατανομή συγκέντρωσης ασβεστίου (mg/l) των υπόγειων νερών κατά την ξηρή περίοδο.

Οι υψηλές συγκεντρώσεις του ασβεστίου εντοπίζονται, στις παράκτιες περιοχές της Ψάθας, Ντουράκος, Νέα Πέραμος και Λάκα Καλογήρου και οφείλονται στη θαλάσσια διείσδυση (Σχ. 8.44 και 8.45).

Κατά την υγρή και ξηρή περίοδο δειγματοληψίας οι συγκεντρώσεις του ασβεστίου δεν διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους και φθάνουν έως 200 mg/L στο κεντρικό τμήμα της λεκάνης και συγκεκριμένα στις περιοχές Βένιζα, Τούτουλη, Κάτω Πευκενέας, Κολάτα, Αγ. Παρασκευή, Μαυρατζάς, Αγ.Ελεούσα και Λουτρός. Η συγκέντρωση του ασβεστίου αποδίδεται στη διάλυση των ανθρακικών ορυκτών. Σημειώνεται, ότι ιδιαίτερα για την ξηρή περίοδο τα δείγματα W3, G30 και W9 στην περιοχή Ντουράκο και στη Λάκα Καλογήρου, παρουσιάζουν συγκεντρώσεις ασβεστίου μεγαλύτερες από 300 mg/L οι οποίες αποδίδονται στη διείσδυση του θαλασσινού νερού ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια της ξηρής περιόδου.

Γενικά διαπιστώνεται ότι οι χαμηλότερες συγκεντρώσεις ασβεστίου εντοπίζονται στα υπόγεια νερά του κεντρικού τμήματος της λεκάνης και προέρχονται κυρίως από νερά των ανθρακικών και νεογενών σχηματισμών.

8.6.2.2. Μαγνήσιο (Mg^{2+})

Κύριες πηγές προέλευσης του μαγνησίου στα υπόγεια νερά είναι τα μαγνησιούχα ορυκτά όπως ο ολιβίνης $[(Mg,Fe)_2SiO_4]$, ο δολομίτης $(CaCO_3 \cdot MgCO_3)$, ο μαγνησίτης $(MgCO_3)$, ο πολυαλίτης $[K_2Ca_2Mg(SO_4)_4 \cdot 2H_2O]$, ο καρναλίτης $(KCl \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O)$, οι πυρόξενοι, οι αμφίβολοι, οι σερπεντίνες, οι μαγνησίτες και οι μαρμαρυγίες. Η διάλυση δολομιτικών και ανθρακικών πετρωμάτων καθώς και η διάλυση πυριτικών και αργιλοπυριτικών ορυκτών είναι η κύρια διεργασία που εμπλουτίζει το νερό με μαγνήσιο (Nahar and Zhang 2012, Καλλέργης 2000).

Η συγκέντρωση του μαγνησίου στο υπόγειο νερό κυμαίνεται από 4 - 40 mg/L (Nahar and Zhang 2012).

Σύμφωνα με τον Κελεπερτζή (2000) η συγκέντρωση του μαγνησίου στα υπόγεια νερά είναι περίπου 7 mg/L και στα επιφανειακά 4,1 mg/L. Επίσης η συγκέντρωση του στο θαλασσινό νερό είναι 1350 mg/L.

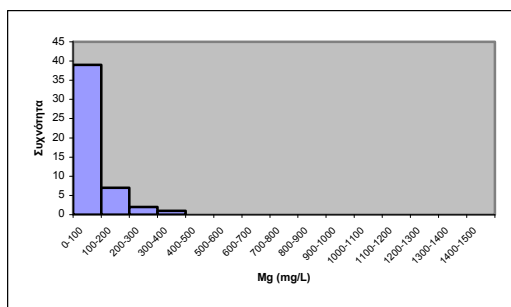
Ο Emsley (1998) αναφέρει ότι η συγκέντρωση του μαγνησίου στο θαλασσινό νερό είναι 1200 mg/L.

Ο λόγος Ca^{2+}/Mg^{2+} στο θαλασσινό νερό είναι περίπου 0,25, σε υφάλμυρα νερά 1,5-3,7, ενώ σε ασβεστολιθικά νερά 1,6 και σε δολομιτικά νερά 1,25 (Βουδούρης 2009).

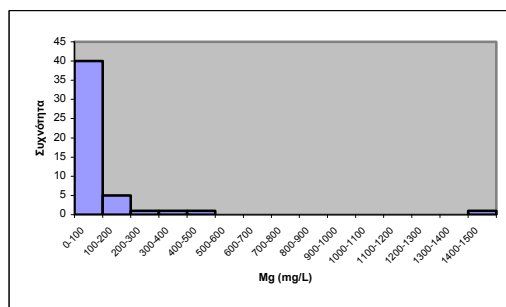
Η συνιστώμενη ημερήσια ποσότητα μαγνησίου για έναν ενήλικα είναι 6 mg/Kg. Το μαγνήσιο είναι απαραίτητο στοιχείο για τον ανθρώπινο οργανισμό διότι συμβάλει στην ομαλή λειτουργία του νευρομυϊκού συστήματος (Nahar and Zhang 2012).

Οι συγκεντρώσεις του μαγνησίου στα υπόγεια νερά της υγρής και ξηρής περιόδου ομαδοποιήθηκαν σε κλάσεις, με εύρος κλάσης 100 mg/L και για τις δυο περιόδους δειγματοληψίας (Σχ. 8.46 και 8.47).

Από το ιστόγραμμα κατανομής μαγνησίου της υγρής περιόδου διακρίνεται ένας κύριος πληθυσμός με μέγιστη κλάση από 0 έως 100 mg/L όπου αντιστοιχούν 39 δείγματα υπόγειου νερού. Η ίδια μέγιστη κλάση από 0 έως 100 mg/L παρατηρείται και στην ξηρή περίοδο όπου αντιστοιχούν 40 δείγματα υπόγειου νερού.

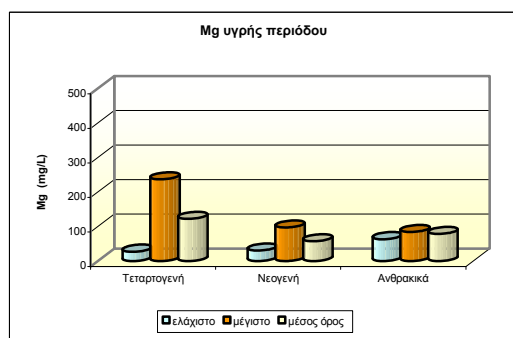


Σχήμα 8.46: Ιστόγραμμα κατανομής του μαγνησίου στα δείγματα υπόγειων νερών υγρής περιόδου.

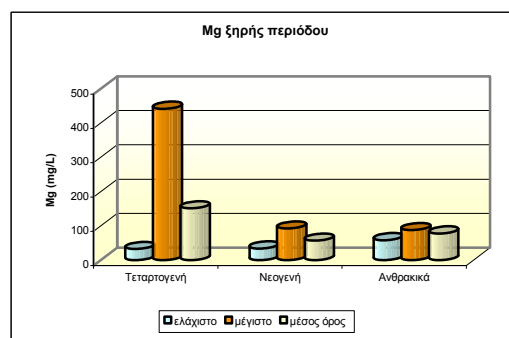


Σχήμα 8.47: Ιστόγραμμα κατανομής του μαγνησίου στα δείγματα υπόγειων νερών ξηρής περιόδου.

Οι διακυμάνσεις των συγκεντρώσεων του μαγνησίου των υπόγειων νερών της λεκάνης των Μεγάρων παρουσιάζονται στα Σχ. 8.48 και 8.49. Αναλυτικότερα, η διακύμανση των συγκεντρώσεων του μαγνησίου κατά την υγρή περίοδο είναι περιορισμένη και στους τρεις υδροφορείς. Αντίθετα κατά την ξηρή περίοδο οι μεγαλύτερες διαφοροποιήσεις εντοπίζονται στα υπόγεια νερά των τεταρτογενών σχηματισμών, ενώ στα νερά των νεογενών και ανθρακικών σχηματισμών οι τιμές διαφοροποιούνται σε περιορισμένο εύρος. Η έντονη διαφοροποίηση στους τεταρτογενείς σχηματισμούς κατά την ξηρή περίοδο οφείλεται στη διείσδυση του θαλασσινού νερού εξ' αιτίας των υπεραντλήσεων.



Σχήμα 8.48: Διακύμανση των συγκεντρώσεων του μαγνησίου υγρής περιόδου των τριών υδροφόρων.



Σχήμα 8.49: Διακύμανση των συγκεντρώσεων του μαγνησίου ξηρής περιόδου των τριών υδροφόρων.

Οι συγκεντρώσεις του μαγνησίου στα υπόγεια νερά βάσει της λιθολογικής ταξινόμησης έχουν ως εξής (Σχ. 8.48 και 8.49):

α) νερά των τεταρτογενών σχηματισμών: Οι συγκεντρώσεις του μαγνησίου στα νερά των τεταρτογενών σχηματισμών παρουσιάζουν διαφορές ανάμεσα στις δύο περιόδους. Αναλυτικότερα, κατά την υγρή περίοδο ο μέσος όρος του μαγνησίου είναι 122,08 mg/L με συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από 27,2 έως 237,1 mg/L ενώ κατά την ξηρή περίοδο ο μέσος όρος του μαγνησίου είναι 151 mg/L με συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από 32,8 έως 441,6 mg/L (Πιν. 8.5 και 8.6).

Εξαίρεση για την υγρή περίοδο αποτελεί το δείγμα W3 (351,83 mg/L) και για την ξηρή περίοδο το δείγμα G30 (1479,44 mg/L) τα οποία παρουσιάζουν υψηλές συγκεντρώσεις σε σχέση με τα υπόλοιπα δείγματα των τεταρτογενών σχηματισμών.

β) νερά των νεογενών σχηματισμών: Στα νερά των νεογενών σχηματισμών οι συγκεντρώσεις του μαγνησίου δεν παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές ανάμεσα στις δύο περιόδους. Κατά την υγρή περίοδο ο μέσος όρος είναι 57,1 mg/L και με

συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από 30,5 έως 97,2 mg/L ενώ κατά την ξηρή περίοδο ο μέσος όρος του μαγνησίου είναι 56,9 mg/L με συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από 34,2 έως 92,4 mg/L (Πιν. 8.5 και 8.6).

Εξαιρείται το δείγμα G34 και για τις δυο περιόδους δειγματοληψίας με τιμές 153,84 mg/L για την υγρή περίοδο δειγματοληψίας και 103,65 mg/L για την ξηρή περίοδο δειγματοληψίας. Επίσης το δείγμα G23 για την υγρή περίοδο με συγκέντρωση 106,98 mg/L. Τα δείγματα αυτά έχουν επηρεαστεί από το θαλασσινό νερό και για το λόγο αυτό παρουσιάζουν αυξημένες τιμές.

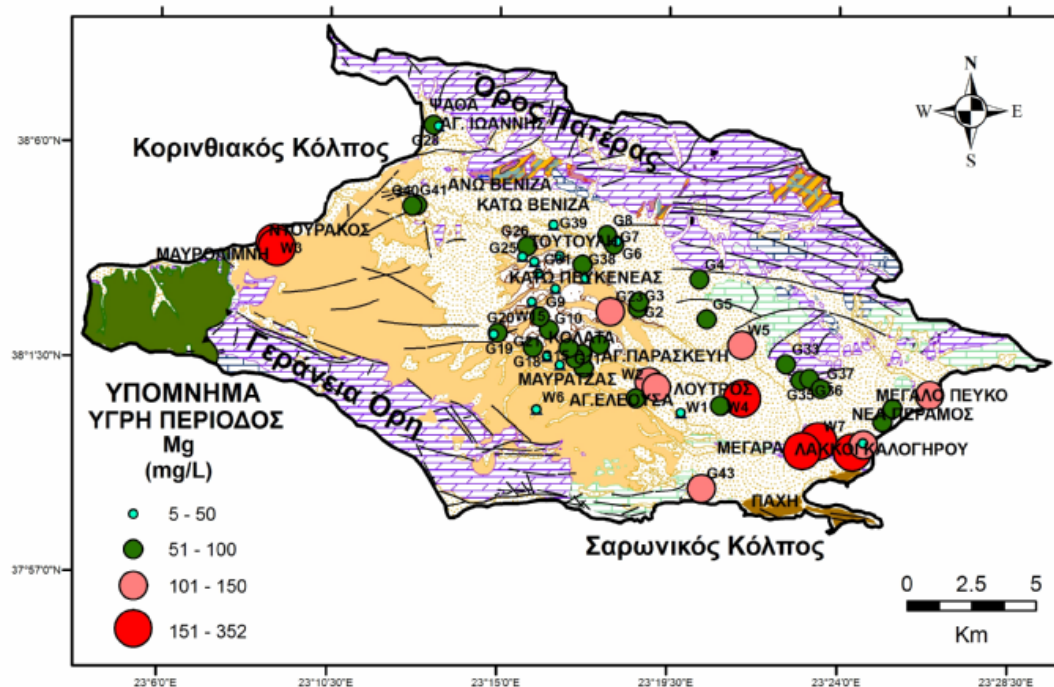
γ) νερά των καρστικών ανθρακικών σχηματισμών: Δεν παρουσιάζονται σημαντικές διαφορές στις συγκεντρώσεις του μαγνησίου στα νερά των καρστικών ανθρακικών σχηματισμών για τις δύο περιόδους δειγματοληψίας.

Ο μέσος όρος κατά την υγρή περίοδο του μαγνησίου είναι 78,4 mg/L και οι συγκεντρώσεις κυμαίνονται από 63,5 έως 84,4 mg/L, ενώ κατά την ξηρή περίοδο ο μέσος όρος του μαγνησίου είναι 77,9 mg/L και το εύρος των συγκεντρώσεων είναι από 58,5 έως 87,8 mg/L (Πιν. 8.5 και 8.6).

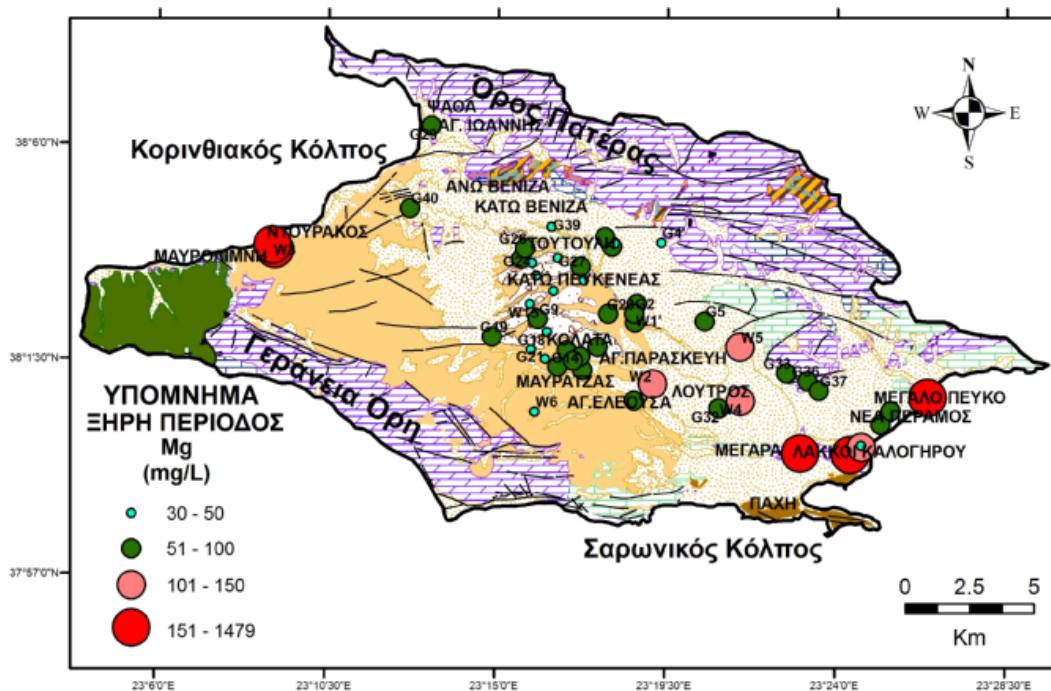
Η χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων μαγνησίου στη λεκάνη των Μεγάρων για τις δυο περιόδους δειγματοληψίας, παρουσιάζεται στα Σχ. 8.50 και 8.51.

Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις μαγνησίου εντοπίζονται στις παραθαλάσσιες περιοχές (π.χ. Μεγάλο Πεύκο, Νέα Πέραμος, Λάκκα Καλογήρου, Ντουράκος) και αποδίδονται στη διείσδυση θαλασσινού νερού.

Μικρότερες συγκεντρώσεις μαγνησίου παρουσιάζονται στα νερά των νεογενών και τεταρτογενών σχηματισμών και οφείλονται στα συστατικά αυτών των σχηματισμών (τεμάχη υπερβασικών πετρωμάτων, ασβεστόλιθικά και δολομιτικά συστατικά). Η κατάσταση παραμένει η ίδια και για τις δυο περιόδους δειγματοληψίας.



Σχήμα 8.50: Χωρική κατανομή συγκέντρωσης μαγνησίου (mg/l) των υπόγειων νερών κατά την υγρή περίοδο.



Σχήμα 8.51: Χωρική κατανομή συγκέντρωσης μαγνησίου (mg/l) των υπόγειων νερών κατά την ξηρή περίοδο.

8.6.2.3. Νάτριο (Na⁺)

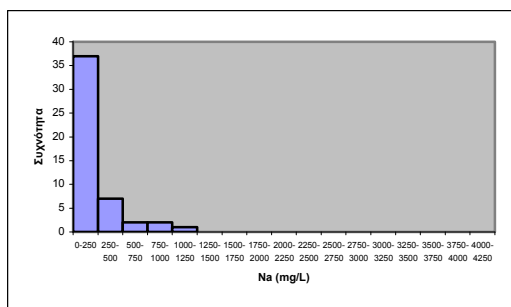
Κύριες πηγές προέλευσης του νατρίου στο νερό είναι η διάλυση ορυκτών όπως οι άστριοι, το χλωριούχο νάτριο, οι νατριούχοι αμφίβολοι, τα αργιλοπυριτικά ορυκτά του νατρίου (NaAlSiO₄) και ο αλβίτης (NaAlSi₃O₈) (Stumm and Morgan 1996). Το νάτριο σύμφωνα με τον Matthes (1973) βρίσκεται στα μαγματικά πετρώματα, στους ψαμίτες, στους αργίλους, στους εβαπορίτες και τα ανθρακικά πετρώματα. Επίσης το νάτριο μπορεί να προέρχεται από την ανάμιξη του υπόγειου νερού με το θαλασσίνο νερό, καθώς και από βιομηχανικά απόβλητα (Αλεξάκης 2002).

Η συγκέντρωση του νατρίου στα υπόγεια νερά είναι περίπου 30 mg/L, στα επιφανειακά νερά 6,3 mg/L και στο θαλασσίνο νερό 10500 mg/L (Emsley 1998, Κελεπερτζής 2000).

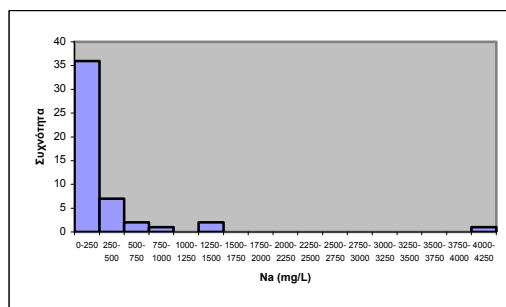
Η συγκέντρωση του νατρίου σε 13 από τα 49 δείγματα (W2, W3, W8, W9, W10, W12, W13, W14, G29, G30, G33, G36, G37) με ποσοστό 26,53% για την υγρή περίοδο και σε 14 από τα 49 δείγματα (W2, W3, W8, W9, W10, W12, W13, W14, G29, G30, G33, G34, G36, G37) με ποσοστό 28,57% για την ξηρή περίοδο υπερβαίνει την παραμετρική τιμή των 200 mg/L της Κοινοτικής Οδηγίας 98/83/ΕΚ (EC 1998).

Οι συγκεντρώσεις του νατρίου στα υπόγεια νερά ομαδοποιήθηκαν σε κλάσεις με εύρος κλάσης τα 250 mg/L και για την υγρή και για την ξηρή περίοδο δειγματοληψίας (Σχ. 8.52 και 8.53).

Στο ιστόγραμμα κατανομής του νατρίου ο κύριος πληθυσμός και για τις δυο περιόδους δειγματοληψίας είναι αυτός με μέγιστη κλάση από 0 έως 250 mg/L νατρίου όπου αντιστοιχούν 37 δείγματα υπόγειου νερού για την υγρή περίοδο και 36 δείγματα υπόγειου νερού για την ξηρή περίοδο δειγματοληψίας.

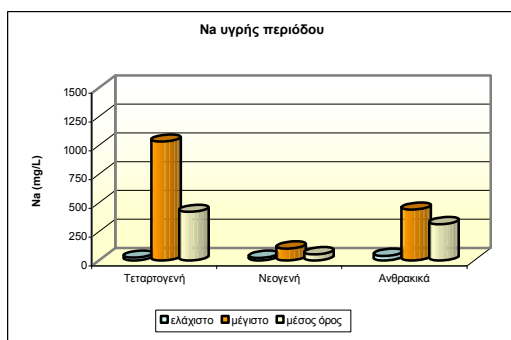


Σχήμα 8.52: Ιστόγραμμα κατανομής του νατρίου στα δείγματα υπόγειων νερών υγρής περιόδου.

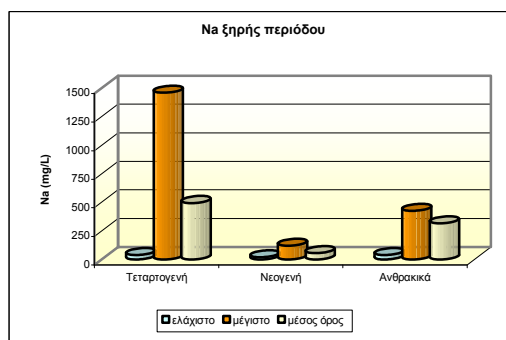


Σχήμα 8.53: Ιστόγραμμα κατανομής του νατρίου στα δείγματα υπόγειων νερών ξηρής περιόδου.

Η διακύμανση των συγκεντρώσεων του νατρίου στους νεογενείς και ανθρακικούς σχηματισμούς παρουσιάζει μικρή διαφοροποίηση όπως φαίνεται από τα διαγράμματα και για τις δυο περιόδους δειγματοληψίας (Σχ. 8.54 και 8.55). Το ίδιο ισχύει και για τους τεταρτογενείς σχηματισμούς της υγρής περιόδου αντίθετα κατά την ξηρή περίοδο η διαφοροποίηση στους τεταρτογενείς σχηματισμούς παρουσιάζει κάποιο εύρος γεγονός το οποίο οφείλεται στη διείσδυση του θαλασσινού νερού (Σχ. 8.54 και 8.55).



Σχήμα 8.54: Διακύμανση των συγκεντρώσεων νατρίου υγρής περιόδου των τριών υδροφορέων.



Σχήμα 8.55: Διακύμανση των συγκεντρώσεων νατρίου ξηρής περιόδου των τριών υδροφορέων.

Η διακύμανση των συγκεντρώσεων νατρίου στα υπόγεια νερά ανάλογα με τη λιθολογική ταξινόμηση, περιγράφεται αναλυτικά παρακάτω:

α) νερά των τεταρτογενών σχηματισμών: Στα νερά των τεταρτογενών σχηματισμών οι συγκεντρώσεις του νατρίου παρουσιάζουν αύξηση κατά την ξηρή περίοδο. Κατά την υγρή περίοδο ο μέσος όρος του νατρίου είναι 421,5 mg/L με συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από 24,8 έως 1033 mg/L ενώ κατά την ξηρή περίοδο ο μέσος όρος του νατρίου είναι 494 mg/L με συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από 39,8 έως 1460,5 mg/L (Πιν. 8.5 και 8.6). Εξάιρεση αποτελεί το δείγμα G30 της ξηρής περιόδου με συγκέντρωση 4078,84 mg/L το οποίο λόγω της στατιστικής βρέθηκε να είναι outlier. Παρατηρείται, ότι κατά την ξηρή περίοδο αυξάνεται ο μέσος όρος του νατρίου γεγονός το οποίο αποδίδεται στις αυξημένες απαιτήσεις άρδευσης με αποτέλεσμα τη διείσδυση του θαλασσινού νερού στους υπόγειους υδροφορείς λόγω των υπεραντλήσεων.

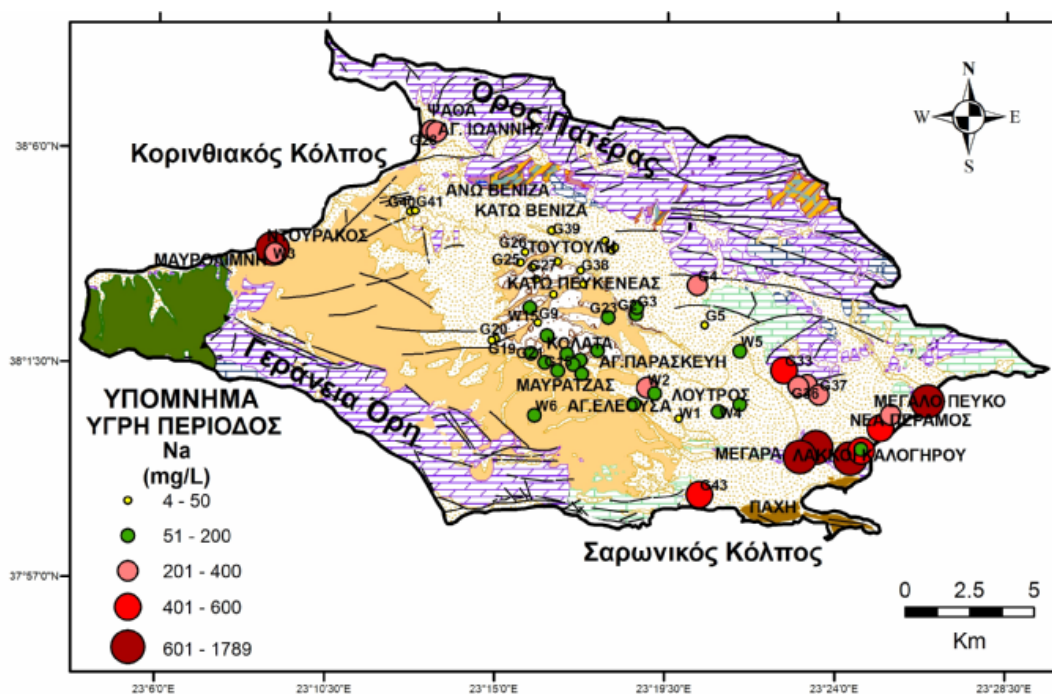
β) νερά των νεογενών σχηματισμών: Οι συγκεντρώσεις του νατρίου στο νερό των νεογενών σχηματισμών δεν παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές ανάμεσα στις δυο περιόδους. Την υγρή περίοδο ο μέσος όρος του νατρίου είναι 53,8 mg/L με τιμές που

κυμαίνονται από 22,7 έως 103,4 mg/L ενώ κατά την ξηρή περίοδο ο μέσος όρος του νατρίου είναι 56,7 mg/L με τιμές που κυμαίνονται από 19,7 έως 120 mg/L (Πιν. 8.5 και 8.6). Η επίδραση της θάλασσας στα νεογενή και στις δυο περιόδους δειγματοληψίας δεν επηρεάζει. Το δείγμα G34 αποτελεί εξαίρεση και για τις δυο περιόδους δειγματοληψίας με συγκεντρώσεις 196,8 mg/L για την υγρή περίοδο και 314,32 mg/L για την ξηρή περίοδο δειγματοληψίας. Επίσης εξαίρεση αποτελεί και το δείγμα G14 της υγρής περιόδου δειγματοληψίας με συγκέντρωση 144,68 mg/L. Τα δείγματα αυτά παρουσιάζουν μεγαλύτερες συγκεντρώσεις σε σχέση με το σύνολο των δειγμάτων γεγονός το οποίο αποδίδεται στη μόλυνση αυτών από τη διείσδυση του θαλασσινού νερού.

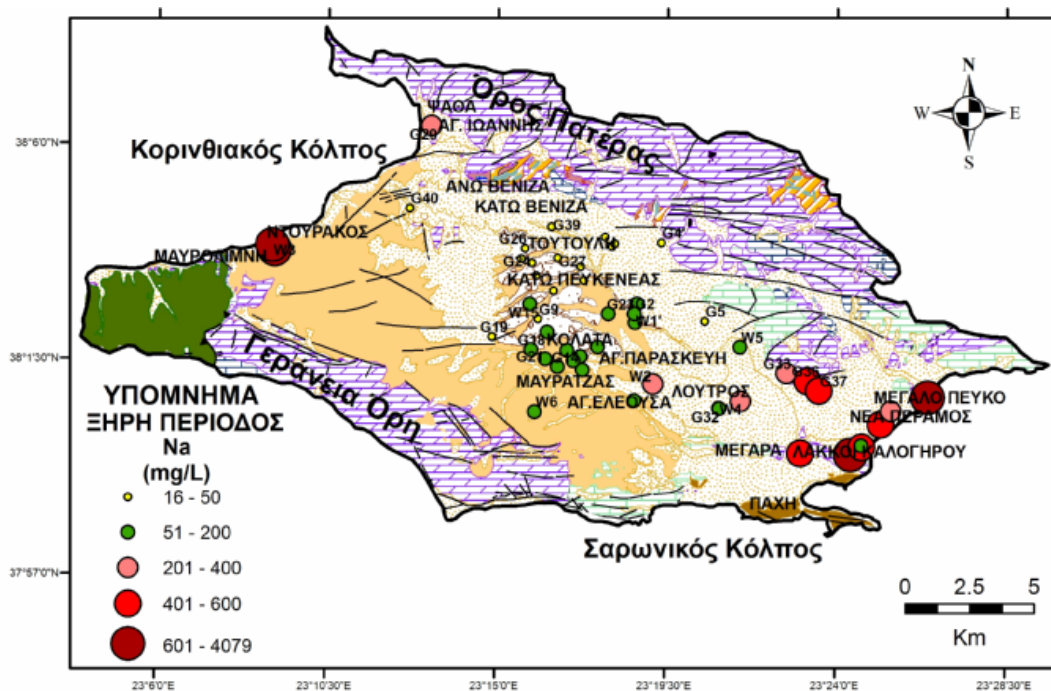
γ) νερά των καρστικών ανθρακικών σχηματισμών: Την υγρή περίοδο ο μέσος όρος του νατρίου είναι 315,6 mg/L με συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από 40,1 έως 441,0 mg/L ενώ κατά την ξηρή περίοδο ο μέσος όρος του νατρίου είναι 315,6 mg/L με το εύρος των συγκεντρώσεων να είναι από 38,8 έως 426,1 mg/L (Πιν. 8.5 και 8.6). Οι συγκεντρώσεις του νατρίου στο νερό των καρστικών σχηματισμών δεν παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές και για τις δύο περιόδους που ερμηνεύεται από το ότι η επίδραση της θάλασσας παραμένει σταθερή και για τις δυο περιόδους.

Από τη χωρική κατανομή του νατρίου διαπιστώνεται ότι οι υψηλές συγκεντρώσεις εντοπίζονται στις παράκτιες περιοχές της Ψάθας, Ντουράκος, Νέα Πέραμος, Λάκκοι Καλογήρου και στην πόλη των Μεγάρων, οι οποίες αποδίδονται στη θαλάσσια διείσδυση (Σχ. 8.56 και 8.57).

Επίσης από τη σύγκριση των κατανομών των συγκεντρώσεων νατρίου των δυο περιόδων προκύπτει ότι η κατάσταση δεν παρουσιάζει σημαντικές μεταβολές (Σχ. 8.56 και 8.57). Χαμηλές συγκεντρώσεις νατρίου παρατηρούνται στο κεντρικό τμήμα της περιοχής έρευνας και συγκεκριμένα στις περιοχές Βένιζα, Τούτουλη, Κάτω Πευκενάς, Κολάτα, Αγ. Παρασκευή, Μαυρατζάς, Αγ.Ελεούσα.



Σχήμα 8.56: Χωρική κατανομή συγκέντρωσης νατρίου (mg/l) των υπόγειων νερών κατά την υγρή περίοδο.



Σχήμα 8.57: Χωρική κατανομή συγκέντρωσης νατρίου (mg/l) των υπόγειων νερών κατά την ξηρή περίοδο.

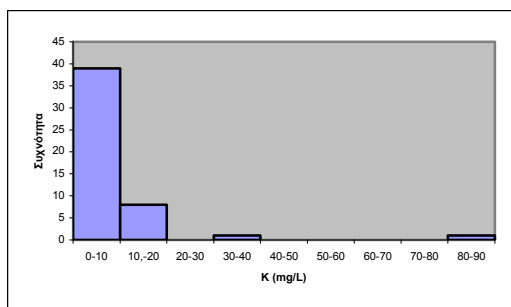
8.6.2.4. Κάλιο (K⁺)

Το κάλιο προέρχεται από τους αστρίους (ορθόκλαστο [(SiO₄.SiO₂.SiO₂)Al,K] και μικροκλινή) καθώς και από τον αστριοειδή λευκίτη. Παρόλο που το κάλιο είναι πολύ διαδεδομένο στοιχείο σε πυριγενή και ιζηματογενή πετρώματα η συγκέντρωσή του στο υπόγειο νερό είναι σχετικά χαμηλή. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα ορυκτά του καλίου είναι ανθεκτικά στη διάβρωση και διάλυση (Stumm and Morgan 1996). Μεγάλες συγκεντρώσεις καλίου βρίσκονται και στο θαλασσίνο νερό. Το κάλιο μπορεί επίσης να προέρχεται και από καλιούχα λιπάσματα τα οποία χρησιμοποιούνται σε καλλιεργήσιμες περιοχές (Jain et. al. 2010).

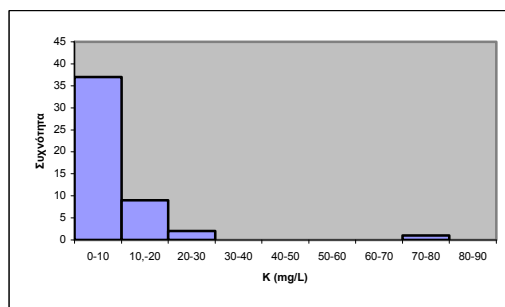
Το κάλιο είναι βασικό στοιχείο των εσωτερικών κυττάρων του ανθρώπινου οργανισμού που όμως το καλύπτει κυρίως από τις τροφές, ενώ το κάλιο του πόσιμου νερού παίζει πολύ μικρό ρόλο. Μεγάλες ποσότητες είναι τοξικές, ενώ δόσεις καλίου της τάξης των 1-2 gr έχουν καθαρτικές ιδιότητες. Στο νερό ύδρευσης μπορεί να εμφανιστεί ως συνέπεια της χρήσης του υπερμαγγανικού καλίου ως οξειδωτικό που χρησιμοποιείται κατά την επεξεργασία του νερού (WHO 2003).

Η συγκέντρωση του καλίου στα υπόγεια νερά είναι περίπου 3 mg/L και στο επιφανειακό νερό 2,3 mg/L, στη θάλασσα η συγκέντρωση του καλίου φτάνει τα 380 mg/L (Κελεπερτζής 2000, 2007).

Οι συγκεντρώσεις του καλίου στα υπόγεια νερά ομαδοποιήθηκαν σε κλάσεις με εύρος κλάσης και για την υγρή και για την ξηρή περίοδο τα 10 mg/L (Σχ. 8.58 και 8.59). Από τα ιστογράμματα της υγρής και της ξηρής περιόδου δειγματοληψίας διαπιστώνεται ένας κύριος πληθυσμός με μέγιστη κλάση από 0-10 mg/L όπου αντιστοιχούν 39 δείγματα υπόγειου νερού για την υγρή περίοδο και 37 για την ξηρή περίοδο (Σχ. 8.58 και 8.59).

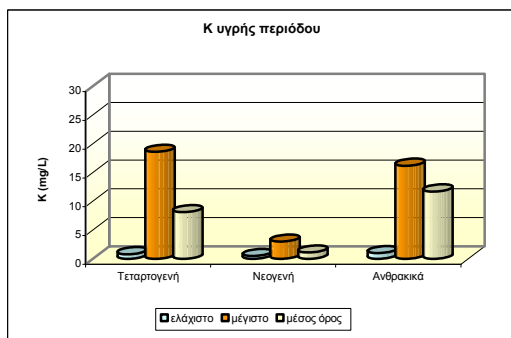


Σχήμα 8.58: Ιστόγραμμα κατανομής του καλίου στα δείγματα υπόγειων νερών υγρής περιόδου.

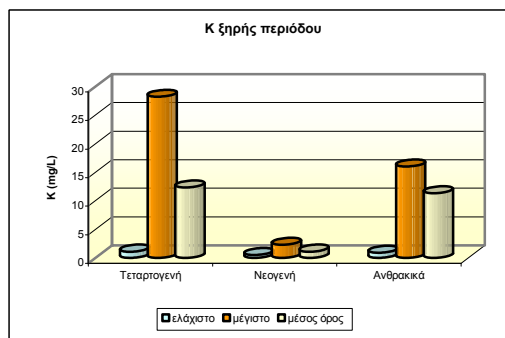


Σχήμα 8.59: Ιστόγραμμα κατανομής του καλίου στα δείγματα υπόγειων νερών ξηρής περιόδου.

Κατά την υγρή περίοδο η διακύμανση της συγκέντρωσης του καλίου στα νερά των τεταρτογενών και των ανθρακικών σχηματισμών παρουσιάζουν μεγαλύτερο εύρος σε σχέση με τη διακύμανση της συγκέντρωσης του καλίου στα νερά των νεογενών. Το ίδιο συμβαίνει και κατά την ξηρή περίοδο και αποδίδεται στην επίδραση του θαλασσινού νερού στους συγκεκριμένους υδροφορείς (Σχ. 8.60 και 8.61).



Σχήμα 8.60: Διακύμανση των συγκεντρώσεων καλίου υγρής περιόδου των τριών υδροφορέων.



Σχήμα 8.61: Διακύμανση των συγκεντρώσεων καλίου ξηρής περιόδου των τριών υδροφορέων.

Τα υπόγεια νερά της περιοχής έρευνας παρουσιάζουν βάσει τις λιθολογικής ταξινόμησης τους, τις ακόλουθες τιμές συγκέντρωσης καλίου (Σχ. 8.60 και 8.61):

α) νερά των τεταρτογενών σχηματισμών: Οι συγκεντρώσεις του καλίου στα νερά των τεταρτογενών σχηματισμών παρουσιάζουν μια μικρή αύξηση κατά την ξηρή περίοδο σε σχέση με τις συγκεντρώσεις της υγρής περιόδου. Το εύρος των συγκεντρώσεων καλίου είναι από 0,8 έως 18,6 mg/L για την υγρή περίοδο και ο μέσος όρος είναι 8,1 mg/L. Αντίστοιχα, για την ξηρή περίοδο ο μέσος όρος του καλίου είναι 12,3 mg/L με συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από 1,1 έως 28,2 mg/L (Πιν. 8.5 και 8.6). Παρατηρείται ότι κατά την ξηρή περίοδο ο μέσος όρος του καλίου αυξήθηκε, γεγονός το οποίο πιθανώς να συνδέεται με το φαινόμενο της θαλάσσιας διείσδυσης στους υπόγειους υδροφορείς το οποίο επιτείνεται κατά την ξηρή περίοδο αφού οι αρδευτικές ανάγκες αυξάνονται. Εξαιρέση αποτελεί το δείγμα W14 της υγρής περιόδου το οποίο έχει συγκέντρωση καλίου 31,20 mg/L.

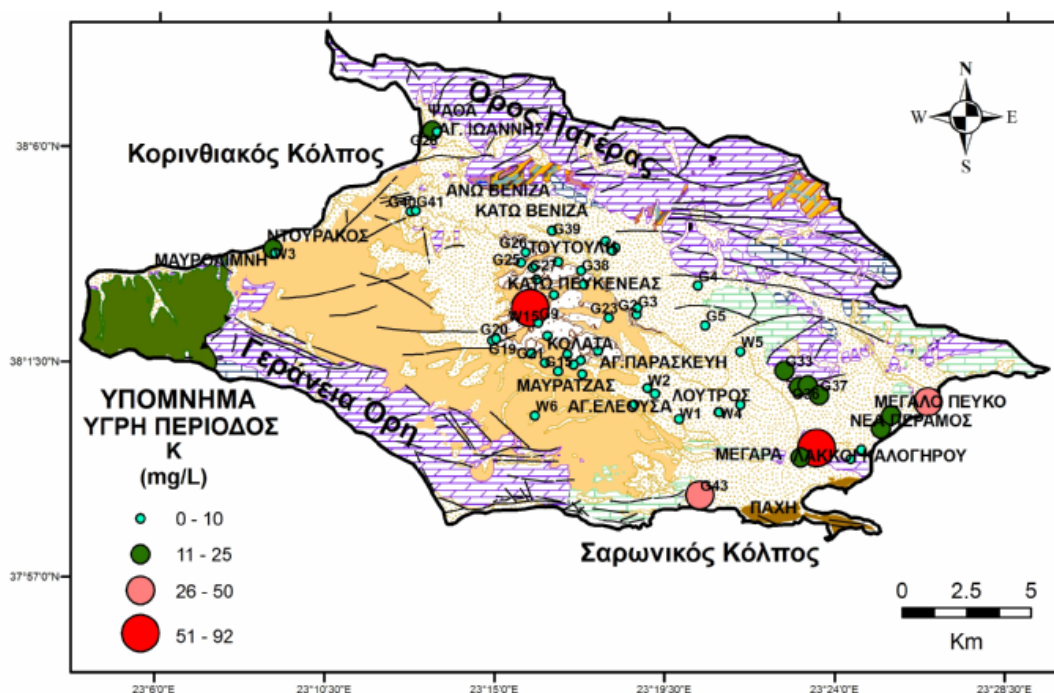
β) νερά των νεογενών σχηματισμών: Το εύρος των συγκεντρώσεων καλίου στα νερά των νεογενών σχηματισμών είναι από 0,5 έως 3 mg/L και ο μέσος όρος είναι 1,1 mg/L κατά την υγρή περίοδο. Όσον αφορά στην ξηρή περίοδο ο μέσος όρος του καλίου είναι 1,1 mg/L με τιμές που κυμαίνονται από 0,5 έως 2,3 mg/L (Πιν. 8.5 και 8.6). Παρατηρείται ότι οι συγκεντρώσεις του καλίου στα νερά των νεογενών

σχηματισμών δεν παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές ανάμεσα στις δύο περιόδους. Εξαιρέση αποτελούν τα δείγματα W15 και G32 για την υγρή περίοδο με συγκεντρώσεις 80,2 και 5,5 mg/L αντίστοιχα. Επίσης τα δείγματα W15, G32 και G34 για την ξηρή περίοδο με συγκεντρώσεις 74,6 mg/L, 5 mg/L και 9,47 mg/L αντίστοιχα.

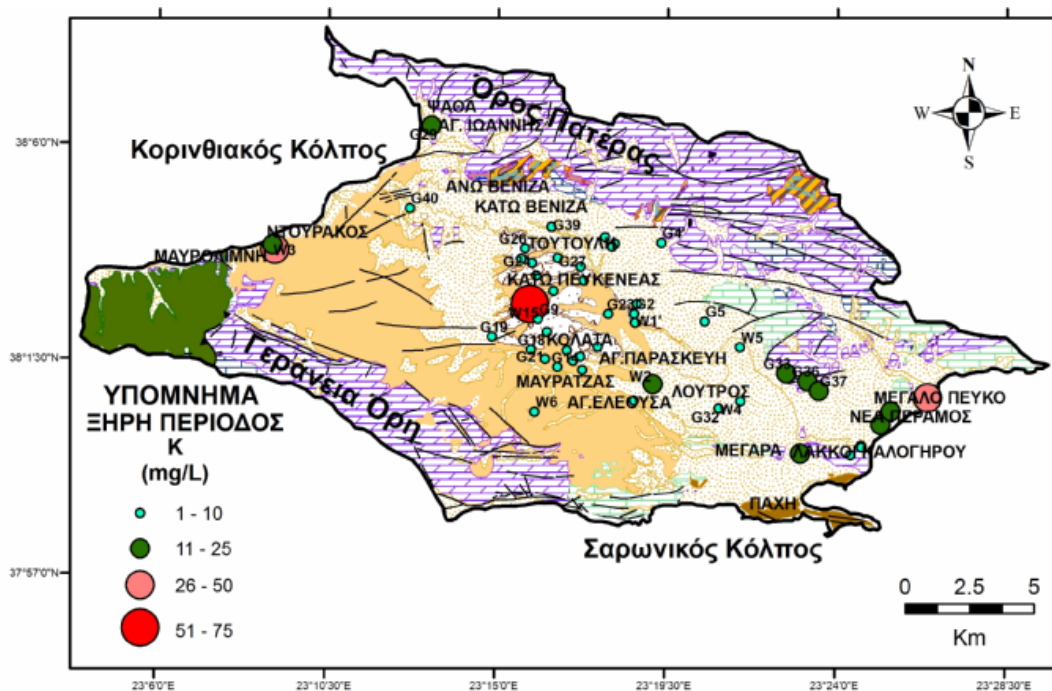
γ) νερά των καρστικών ανθρακικών σχηματισμών: Στα νερά της υγρής περιόδου, το εύρος των συγκεντρώσεων καλίου για τους καρστικούς ανθρακικούς σχηματισμούς είναι από 1 έως 16,2 mg/L και ο μέσος όρος του καλίου είναι 11,7 mg/L. Οι συγκεντρώσεις του καλίου κυμαίνονται κατά την ξηρή περίοδο από 0,9 έως 16 mg/L και ο μέσος όρος του καλίου είναι 11,3 mg/L (Πιν. 8.5 και 8.6). Οι συγκεντρώσεις του καλίου στο νερό των καρστικών ανθρακικών σχηματισμών δεν παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές ανάμεσα στις δύο περιόδους.

Στις παράκτιες περιοχές Ψάθα, Ντουράκος, Νέα Πέραμος και Λάκα Καλογήρου παρατηρούνται και για τις δυο περιόδους δειγματοληψίας συγκεντρώσεις καλίου οι οποίες υπερβαίνουν τα 11 mg/L το οποίο ερμηνεύεται από την ανάμιξη θαλασσινού και υπόγειου νερού (Σχ. 8.62 και 8.63).

Χαμηλές συγκεντρώσεις καλίου στο υπόγειο νερό παρατηρούνται στο κεντρικό τμήμα της λεκάνης των Μεγάρων και συγκεκριμένα στις περιοχές Βένιζα, Τούτουλη, Κάτω Πευκενέας, Κολάτα, Αγ. Παρασκευή, Μαυρατζάς, Αγ.Ελεούσα με εξαίρεση ένα μόνο δείγμα του οποίου η συγκέντρωση είναι μεγαλύτερη από 51 mg/L. Το δείγμα αυτό είναι το W15 και η συγκέντρωσή του είναι 74,6 mg/L και εφόσον πρόκειται για αγροτική περιοχή, η συγκέντρωση αποδίδεται πιθανόν στη χρήση λιπασμάτων.



Σχήμα 8.62: Χωρική κατανομή συγκέντρωσης καλίου (mg/L) των υπόγειων νερών κατά την υγρή περίοδο.

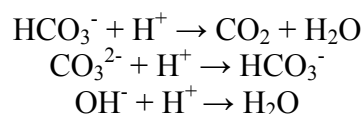


Σχήμα 8.63: Χωρική κατανομή συγκέντρωσης καλίου (mg/L) των υπόγειων νερών κατά την ξηρή περίοδο.

8.6.2.5. Οξυανθρακικά (HCO_3^-)

Τα όξινα ανθρακικά (HCO_3^-) προέρχονται κυρίως από τη διάλυση των ανθρακικών πετρωμάτων, ενώ άλλη πηγή προέλευσης τους είναι το διοξείδιο του άνθρακα το οποίο σχηματίζεται στο έδαφος από τη σήψη της οργανικής ύλης και το διοξείδιο του άνθρακα το οποίο υπάρχει στην ατμόσφαιρα.

Αλκαλικότητα του νερού ονομάζεται η ικανότητα του να εξουδετερώνει βάσεις. Η αλκαλικότητα οφείλεται στην παρουσία των όξινων ανθρακικών, των ανθρακικών και των υδροξυλικών ιόντων. Τα όξινα ανθρακικά ιόντα παρουσιάζονται σε πολύ μεγαλύτερο βαθμό έναντι των άλλων επειδή προέρχονται από την αντίδραση του διοξειδίου του άνθρακα με το νερό:



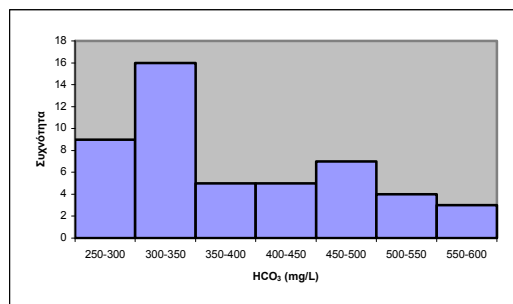
Νερά υψηλής αλκαλικότητας παρουσιάζουν συνήθως υψηλές τιμές pH και περιέχουν αυξημένες συγκεντρώσεις διαλυμένων στερεών. Όταν το pH του διαλύματος είναι κάτω από 4,5, το διαλυμένο διοξείδιο του άνθρακα είναι σε ισορροπία με το ανθρακικό οξύ στο διάλυμα, οπότε δεν υπάρχει αλκαλικότητα. Όταν το pH βρίσκεται μεταξύ 4,5 και 8,3 μειώνεται το διοξείδιο του άνθρακα και αυξάνονται τα όξινα ανθρακικά, επίσης ιόντα υδροξυλίου εμφανίζονται σε pH μεγαλύτερο του 9,5 (Καλλέργης 2000).

Σημαντική επίδραση στον καθορισμό της αλκαλικότητας των νερών έχει η παρουσία της οργανικής ύλης. Τα χλωριούχα, θειικά και νιτρικά ιόντα δεν καθορίζουν την αλκαλικότητα (Βουδούρης 2009).

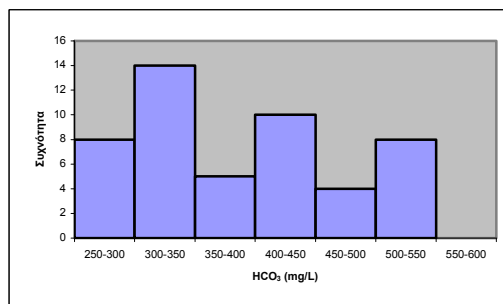
Η συγκέντρωση των όξινων ανθρακικών στα υπόγεια νερά είναι περίπου 200 mg/L και στο επιφανειακό νερό 58 mg/L (Κελεπερτζής 2000).

Οι συγκεντρώσεις όξινων ανθρακικών στα υπόγεια νερά ομαδοποιήθηκαν σε κλάσεις με εύρος κλάσης 50 mg/L και για τις δυο περιόδους δειγματοληψίας (Σχ. 8.64 και 8.65).

Από το ιστόγραμμα κατανομής των όξινων ανθρακικών διακρίνεται ένας κύριος πληθυσμός με μέγιστη κλάση από 300 έως 350 mg/L και για τις δυο περιόδους όπου αντιστοιχούν 16 δείγματα υπόγειου νερού στην υγρή και 14 δείγματα υπόγειου νερού στην ξηρή περίοδο.



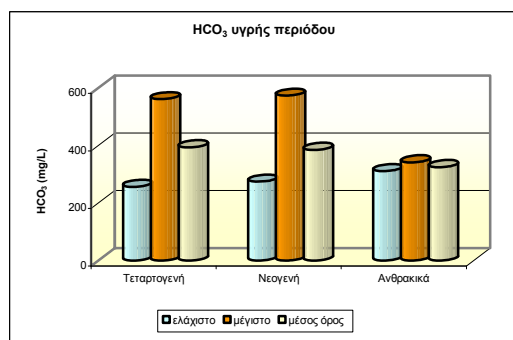
Σχήμα 8.64: Ιστόγραμμα κατανομής των όξινων ανθρακικών στα δείγματα υπόγειων νερών υγρής περιόδου.



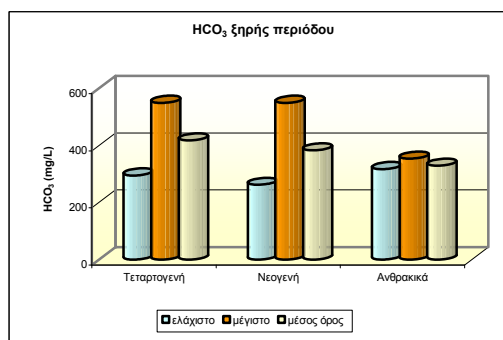
Σχήμα 8.65: Ιστόγραμμα κατανομής των όξινων ανθρακικών στα δείγματα υπόγειων νερών ξηρής περιόδου.

Στα Σχ. 8.66 και 8.67 παρουσιάζονται οι διακυμάνσεις των συγκεντρώσεων των όξινων ανθρακικών των υπόγειων νερών που προκύπτουν για τις δυο περιόδους δειγματοληψίας.

Από τα Σχ. 8.66 και 8.67, διαπιστώνεται ότι και στις δυο περιόδους δειγματοληψίας, η διακύμανση των συγκεντρώσεων στο νερό των ανθρακικών σχηματισμών είναι περιορισμένη. Αντίθετα, στο νερό των τεταρτογενών και νεογενών σχηματισμών παρατηρούνται μεγαλύτερες διακυμάνσεις και για τις δυο περιόδους.



Σχήμα 8.66: Διακύμανση των συγκεντρώσεων όξινων ανθρακικών υγρής περιόδου των τριών υδροφορέων.



Σχήμα 8.67: Διακύμανση των συγκεντρώσεων όξινων ανθρακικών ξηρής περιόδου των τριών υδροφορέων.

Αναλυτικότερα οι συγκεντρώσεις των όξινων ανθρακικών στα υπόγεια νερά της περιοχής έρευνας για τις δυο περιόδους δειγματοληψίας βάσει της λιθολογικής ταξινόμησης έχουν ως εξής (Σχ. 8.66 και 8.67):

α) νερά των τεταρτογενών σχηματισμών: Οι συγκεντρώσεις των όξινων ανθρακικών στα νερά των τεταρτογενών σχηματισμών δεν παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές ανάμεσα στις δύο περιόδους. Κατά την υγρή περίοδο ο μέσος όρος των όξινων

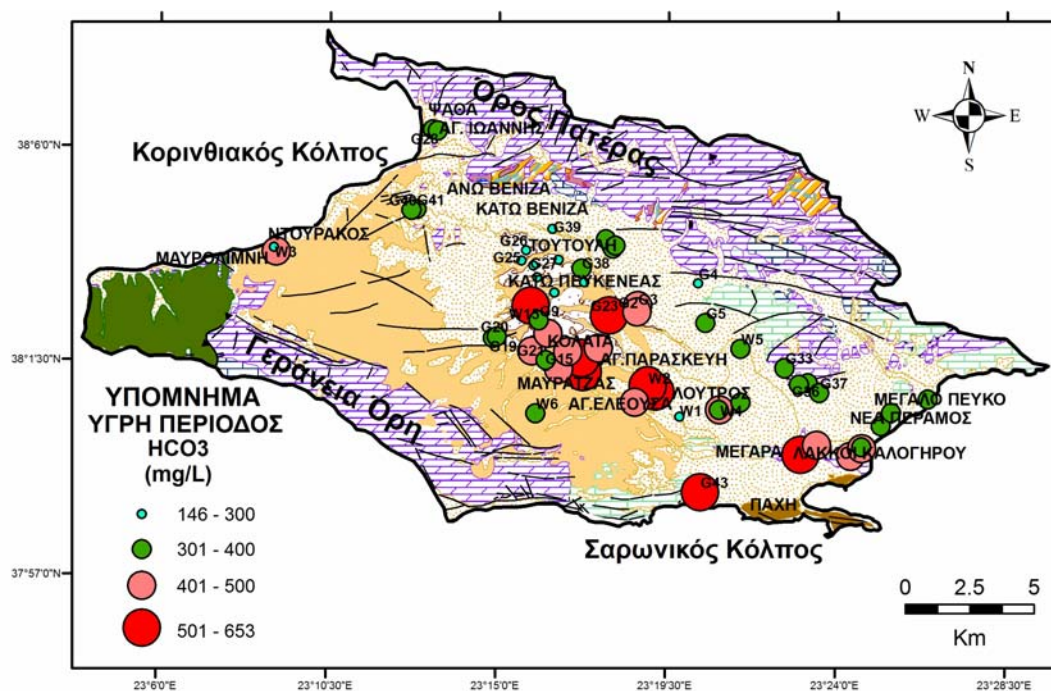
ανθρακικών είναι 393,7 mg/L με συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από 256,2 έως 561,2 mg/L, ενώ κατά την ξηρή περίοδο ο μέσος όρος των όξινων ανθρακικών είναι 417,7 mg/L με συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από 295 έως 549 mg/L (Πιν. 8.5 και 8.6). Οι υψηλές συγκεντρώσεις όξινων ανθρακικών στα νερά των τεταρτογενών οφείλονται στη θαλάσσια διείσδυση.

β) νερά των νεογενών σχηματισμών: Στα νερά των νεογενών σχηματισμών οι συγκεντρώσεις των όξινων ανθρακικών δεν παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές ανάμεσα στις δύο περιόδους. Την υγρή περίοδο ο μέσος όρος των όξινων ανθρακικών είναι 384,9 mg/L με συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από 274,5 έως 573,4 mg/L ενώ κατά την ξηρή περίοδο ο μέσος όρος των όξινων ανθρακικών είναι 383 mg/L με συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από 262 έως 549 mg/L (Πιν. 8.5 και 8.6). Οι υψηλές συγκεντρώσεις όξινων ανθρακικών στα νεογενή οφείλονται στη διάλυση των ανθρακικών ορυκτών που εμπεριέχονται στα νεογενή.

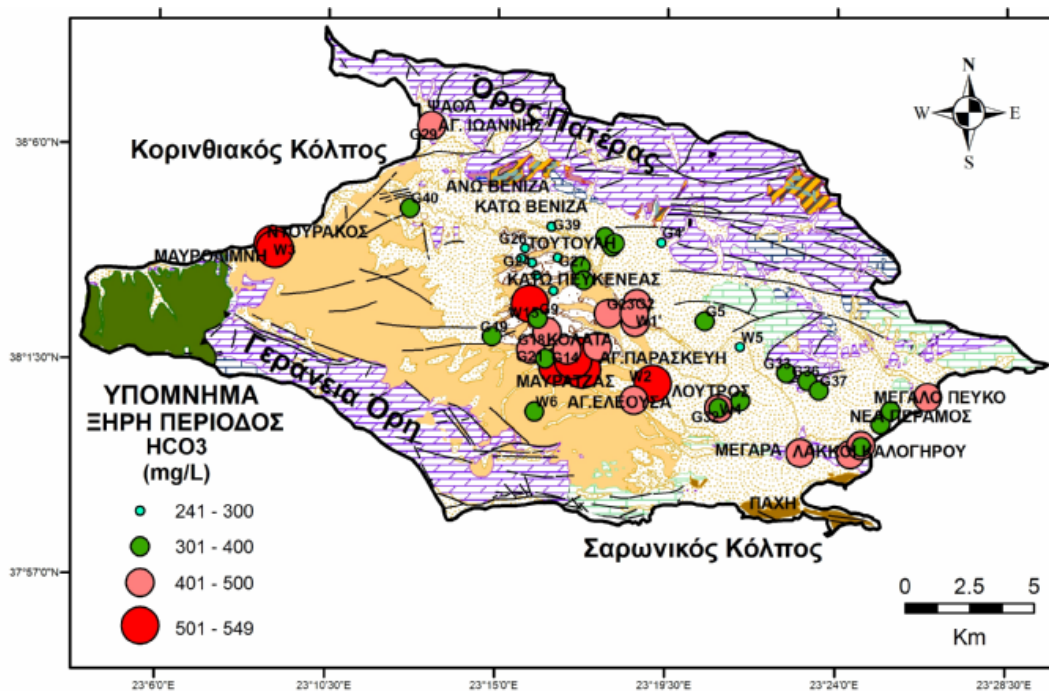
Ένα μέρος των όξινων ανθρακικών που υπάρχει στο νερό των νεογενών σχηματισμών οφείλεται στην πλευρική μετάγχιση νερού με υψηλή συγκέντρωση όξινων ανθρακικών από τους ανθρακικούς σχηματισμούς.

γ) νερά των καρστικών ανθρακικών σχηματισμών: Οι συγκεντρώσεις των όξινων ανθρακικών στα νερά των καρστικών πετρωμάτων δεν παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές ανάμεσα στις δύο περιόδους. Το εύρος των συγκεντρώσεων όξινων ανθρακικών κατά την υγρή περίοδο είναι από 311,1 έως 341,6 mg/L και ο μέσος όρος είναι 324,8 mg/L. Ο μέσος όρος των όξινων ανθρακικών, κατά την ξηρή περίοδο, είναι 329,4 mg/L με συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από 317,2 έως 353,8 mg/L (Πιν. 8.5 και 8.6). Οι υψηλές συγκεντρώσεις όξινων ανθρακικών στα καρστικά πετρώματα οφείλονται στη διάλυση των ανθρακικών αυτών των σχηματισμών που περιέχουν CaCO₃.

Η χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων των όξινων ανθρακικών απεικονίζεται στα Σχ. 8.68 και 8.69.



Σχήμα 8.68: Χωρική κατανομή συγκέντρωσης των όξινων ανθρακικών (mg/L) των υπόγειων νερών κατά την υγρή περίοδο.



Σχήμα 8.69: Χωρική κατανομή συγκέντρωσης των όξινων ανθρακικών (mg/L) των υπόγειων νερών κατά την ξηρή περίοδο.

Από τη χωρική κατανομή των όξινων ανθρακικών και για τις δυο περιόδους δειγματοληψίας διαπιστώνεται ότι οι υψηλές συγκεντρώσεις των όξινων ανθρακικών εντοπίζονται, στις παράκτιες περιοχές της Ψάθας, Ντουράκος, Νέα Πέραμος και Λάκα Καλογήρου και οφείλονται στη θαλάσσια διείσδυση (Σχ. 8.68 και 8.69).

Τα όξινα ανθρακικά στο υπόγειο νερό της λεκάνης των Μεγάρων παρουσιάζουν παρόμοια χωρική κατανομή και για τις δυο περιόδους δειγματοληψίας (Σχ. 8.68 και 8.69). Επίσης υψηλές συγκεντρώσεις όξινων ανθρακικών παρατηρούνται και για τις δυο περιόδους δειγματοληψίας στο κεντρικό τμήμα της λεκάνης (περιοχές Κολάτα, Αγ. Παρασκευή, Μαυρατζάς, Αγ.Ελεούσα και Λουτρός) όπου υπάρχουν νεογενείς σχηματισμοί και οφείλονται στη διάλυση του ορυκτού ασβεστίτης.

Χαμηλές συγκεντρώσεις οξυανθρακικών παρατηρούνται στις περιοχές Βένιζα, Τούτουλη, Κάτω Πευκενέας και στην περιοχή ΒΑ της πόλης των Μεγάρων στους πρόποδες του όρους Πατέρα (Σχ. 8.68 και 8.69).

8.6.2.6. Χλώριο (Cl)

Ένα από τα κύρια συστατικά του νερού είναι το χλώριο το οποίο προέρχεται από διαφορετικές πηγές, βρίσκεται στα ορυκτά χλωρίτη και αλίτη (NaCl) και στον καρναλίτη (KCl.MgCl₂.6H₂O) επίσης στα ιζηματογενή πετρώματα και κυρίως στους εβαπορίτες (Arello and Postma 2005). Επίσης άλλη σημαντική πηγή χλωρίου είναι τα χλωριούχα άλατα ή το θαλασσινό νερό που μπορεί να βρίσκονται εγκλωβισμένα μέσα σε γεωλογικούς σχηματισμούς από την εποχή της απόθεσης τους. Άλλη μια πολύ σημαντική πηγή χλωρίου είναι η διείσδυση του θαλασσινού νερού σε παραλιακές περιοχές. Επίσης μπορεί να προέλθει και από μεταφορά θαλασσινού νερού στη χέρσο μέσω των ανέμων και των βροχοπτώσεων. Στις νησιωτικές και παράκτιες περιοχές η συγκέντρωση χλωρίου του βρόχινου νερού είναι μεγαλύτερη σε σχέση με την ενδοχώρα, διότι σταγονίδια πλούσια σε άλατα που έχουν προέλευση από το

θαλασσινό νερό, μεταφέρονται μέσω του αέρα και καταλήγουν στους υπόγειους υδροφορείς επηρεάζοντας μερικώς τη χημική σύσταση των υπόγειων νερών (Dazy et al. 1997, Lambrakis et al. 2000).

Το χλώριο αποτελεί ένα σημαντικό στοιχείο για τον ανθρώπινο οργανισμό και συμβάλει στη δημιουργία του υδροχλωρικού οξέως στο στομάχι, ενώ όταν βρίσκεται σε συγκεντρώσεις μεγαλύτερες από 250 mg/L στο πόσιμο νερό προκαλεί βλάβες σε άτομα που πάσχουν από ασθένειες των νεφρών και της καρδιάς (Θεοδωρίκας 2005).

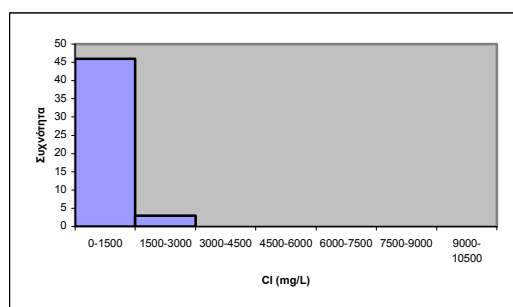
Η αυξημένη συγκέντρωση συμπλόκων του χλωρίου σε εδαφικά διαλύματα αυξάνει τη διαλυτότητα και την ευκινησία ορισμένων ιχνοστοιχείων όπως το κάδμιο (Ondrasek et. al. 2009, Romić et. al. 2012)

Η συγκέντρωση του χλωρίου στα υπόγεια νερά είναι περίπου 20 mg/L ενώ στα επιφανειακά 7,8 mg/L, στο θαλασσινό νερό είναι περίπου 18000 mg/L (Emsley 1998, Κελεπερτζής 2000).

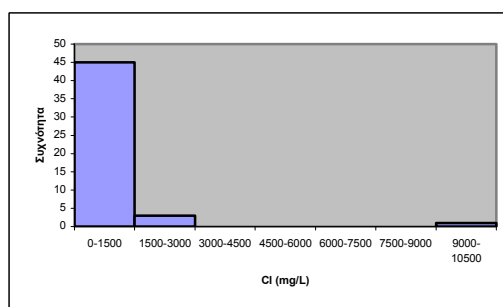
Η συγκέντρωση του χλωρίου σε 15 από τα 49 δείγματα (W2, W3, W5, W8, W9, W10, W12, W13, W14, G29, G30, G33, G34, G36, G37) με ποσοστό 30,61% και στις δυο περιόδους δειγματοληψίας υπερβαίνει την παραμετρική τιμή των 250 mg/L της Κοινοτικής Οδηγίας 98/83/ΕΚ (ΕC 1998).

Οι συγκεντρώσεις του χλωρίου στα υπόγεια νερά της υγρής και της ξηρής περιόδου ομαδοποιήθηκαν σε κλάσεις με εύρος κλάσης και για την υγρή και για την ξηρή περίοδο 1500 mg/L (Σχ. 8.70 και 8.71).

Στο ιστόγραμμα κατανομής του χλωρίου διακρίνεται ένας κύριος πληθυσμός με μέγιστη κλάση από 0 έως 1500 mg/L χλωρίου όπου αντιστοιχούν 46 δείγματα υπόγειου νερού για την υγρή περίοδο και 45 δείγματα υπόγειου νερού για την ξηρή περίοδο (Σχ. 8.70 και 8.71).

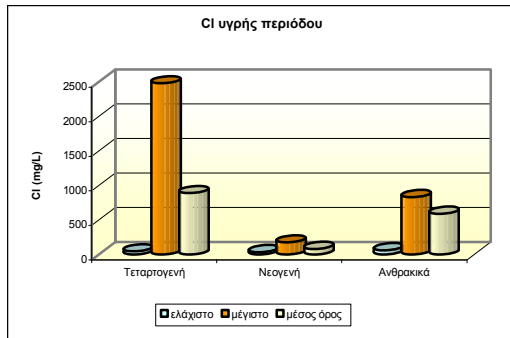


Σχήμα 8.70: Ιστόγραμμα κατανομής του χλωρίου στα δείγματα υπόγειων νερών υγρής περιόδου.

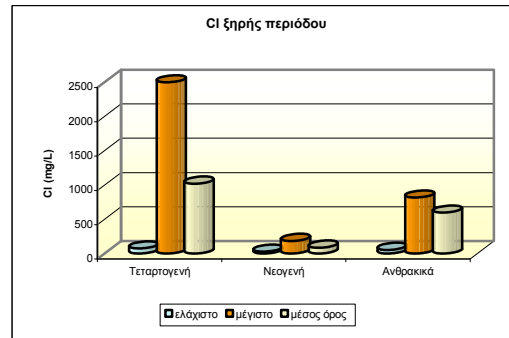


Σχήμα 8.71: Ιστόγραμμα κατανομής του χλωρίου στα δείγματα υπόγειων νερών ξηρής περιόδου.

Από τα διαγράμματα διακύμανσης των συγκεντρώσεων χλωρίου της υγρής και της ξηρής περιόδου δειγματοληψίας, παρατηρείται ότι η διακύμανση των συγκεντρώσεων του χλωρίου είναι περιορισμένη για τους νεογενείς και ανθρακικούς σχηματισμούς. Στους τεταρτογενείς σχηματισμούς παρατηρείται το μεγαλύτερο εύρος τιμών και για τις δυο περιόδους δειγματοληψίας (Σχ. 8.72 και 8.73).



Σχήμα 8.72: Διακύμανση των συγκεντρώσεων χλωρίου υγρής περιόδου των τριών υδροφορέων.



Σχήμα 8.73: Διακύμανση των συγκεντρώσεων χλωρίου ξηρής περιόδου των τριών υδροφορέων.

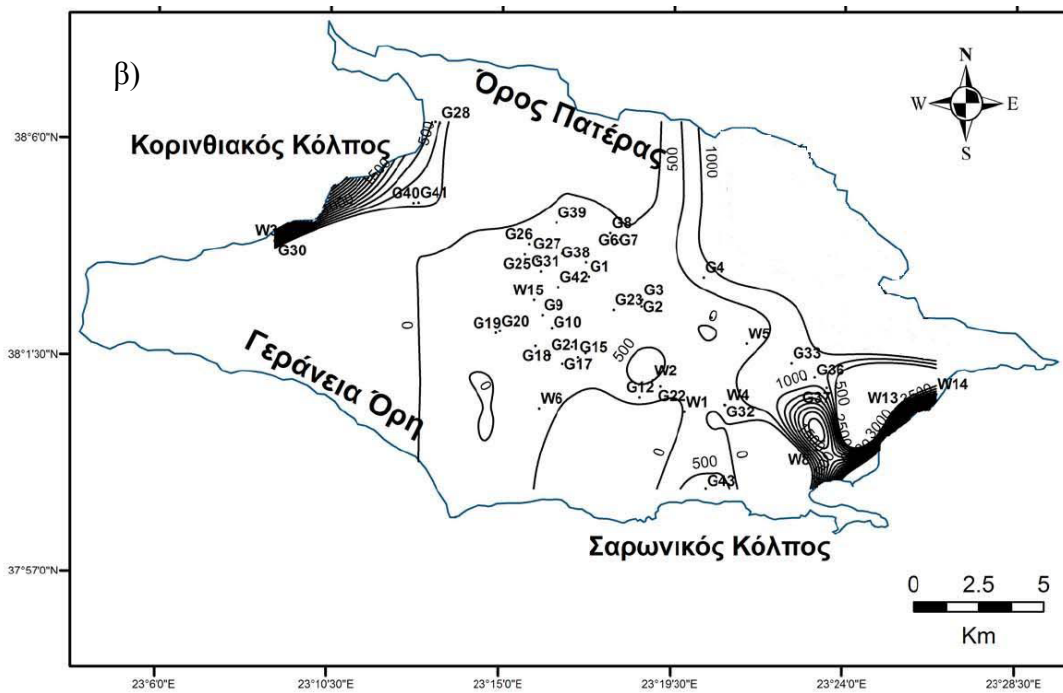
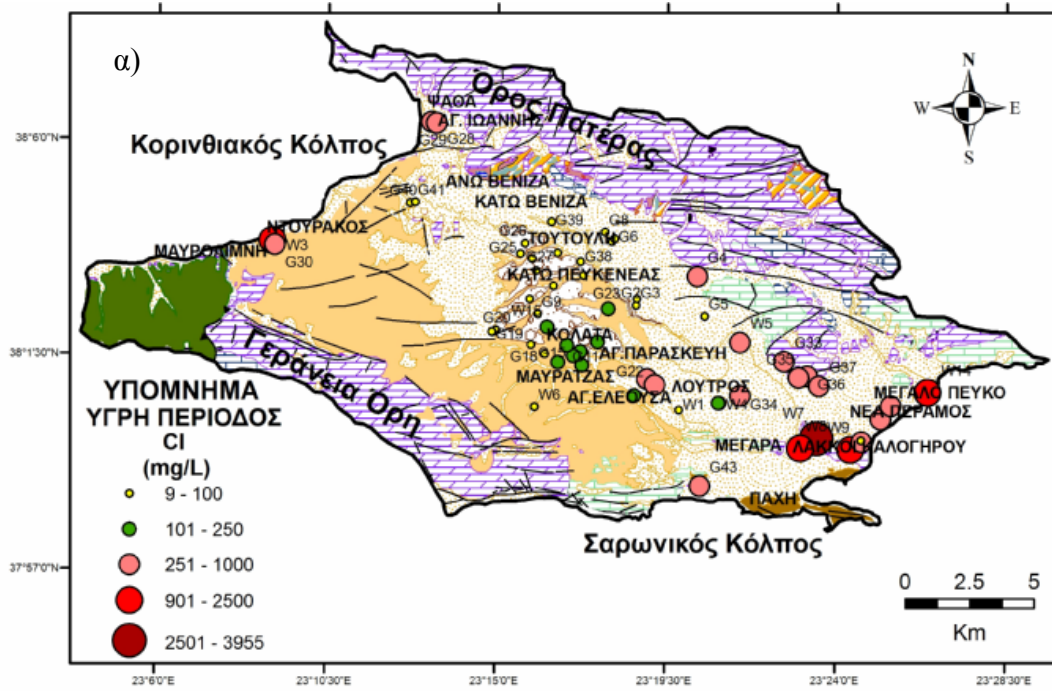
Στους γεωλογικούς σχηματισμούς οι συγκεντρώσεις του χλωρίου στα δείγματα υπόγειου νερού για τις δυο περιόδους δειγματοληψίας έχουν ως εξής (Σχ. 8.72 και 8.73):

α) νερά των τεταρτογενών σχηματισμών: Την υγρή περίοδο ο μέσος όρος του χλωρίου είναι 889,6 mg/L με τιμές που κυμαίνονται από 46,1 έως 2482,3 mg/L ενώ κατά την ξηρή περίοδο ο μέσος όρος του χλωρίου είναι 1018,9 mg/L με συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από 74,6 έως 2932 mg/L (Πιν. 8.5 και 8.6). Εξαίρεση αποτελεί το δείγμα G30 της ξηρής περιόδου με συγκέντρωση 10174,6 mg/L, το οποίο είναι έντονα επηρεασμένο από την επίδραση της θάλασσας. Οι συγκεντρώσεις του χλωρίου στα νερά των τεταρτογενών σχηματισμών παρουσιάζουν διαφορές ανάμεσα στις δύο περιόδους. Πιο συγκεκριμένα, παρατηρείται ότι κατά την ξηρή περίοδο αυξήθηκε ο μέσος όρος του χλωρίου. Αυτό ερμηνεύεται από τη διεύσδυση της θάλασσας στις παράκτιες περιοχές λόγω των αυξημένων αρδευτικών αναγκών κατά τη διάρκεια της ξηρής περιόδου. Επίσης οι υψηλές συγκεντρώσεις χλωρίου στην περιοχή κοντά στην πόλη των Μεγάρων αποδίδονται σε ανθρωπογενείς παράγοντες όπως τα αστικά λύματα.

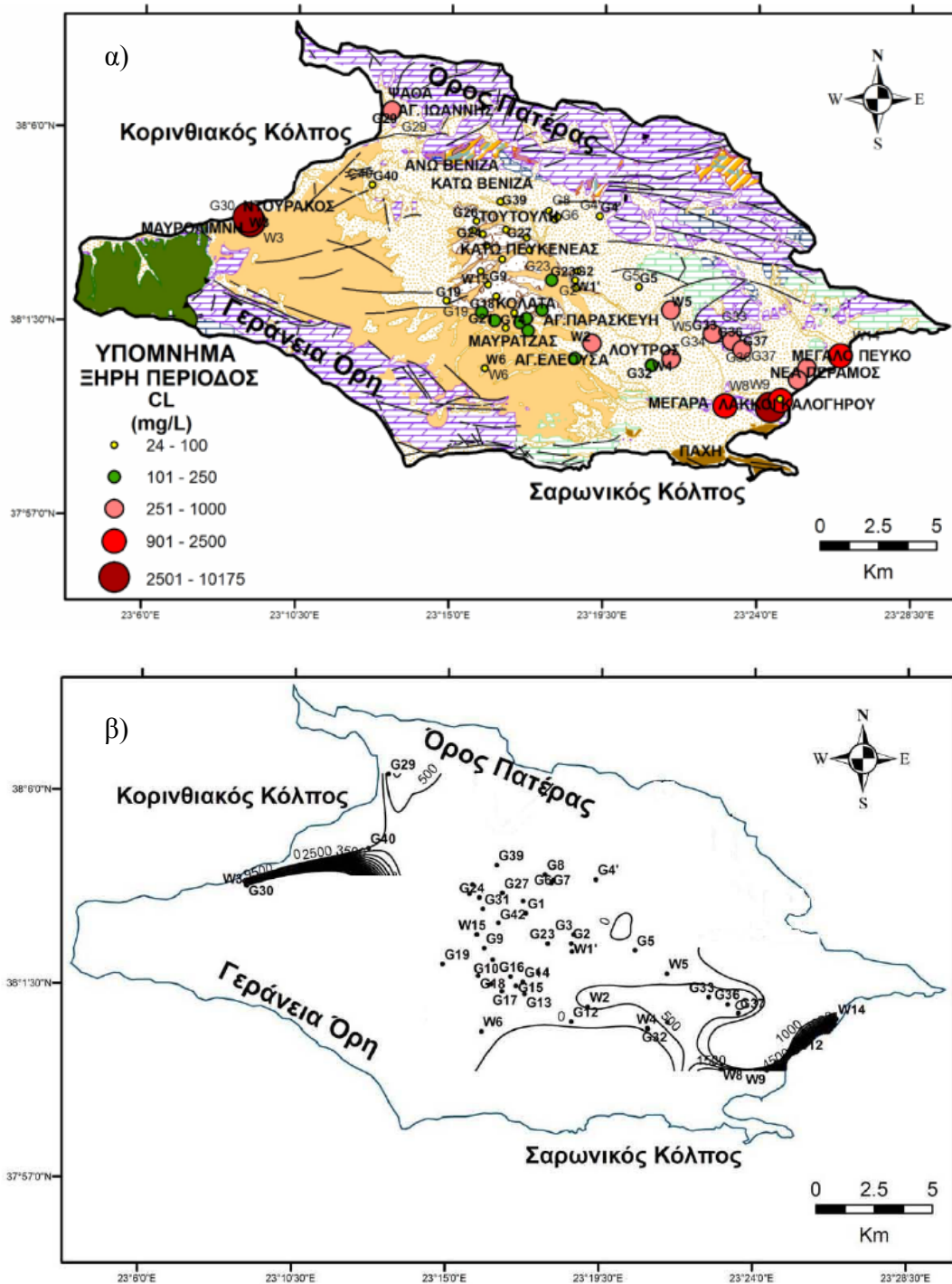
β) νερά των νεογενών σχηματισμών: Στα νερά των νεογενών σχηματισμών οι συγκεντρώσεις του χλωρίου δεν παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές ανάμεσα στις δύο περιόδους. Κατά την υγρή περίοδο ο μέσος όρος του χλωρίου είναι 81,1 mg/L με συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από 33,3 έως 176,6 mg/L ενώ κατά την ξηρή περίοδο ο μέσος όρος του χλωρίου είναι 85,9 mg/L με συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από 28,2 έως 184,3 mg/L (Πιν. 8.5 και 8.6). Εξαίρεση αποτελούν για την υγρή περίοδο τα δείγματα G14, G23 και G34 με συγκεντρώσεις 212,9 mg/L, 211,9 mg/L και 609,6 mg/L αντίστοιχα. Για την ξηρή περίοδο εξαίρεση αποτελεί το δείγμα G34 (672,72 mg/L). Οι συγκεντρώσεις του χλωρίου στους σχηματισμούς αυτούς πιθανών να αποδίδονται στη διάλυση εβαποριτικών ορυκτών που βρίσκονται μέσα στους νεογενείς σχηματισμούς. Αντίστοιχος μηχανισμός εμπλουτισμού του υπόγειου υδροφορέα νεογενών σχηματισμών με χλώριο, περιγράφεται από τους Stamatis et al. (2006) για τη λεκάνη των Μεσογείων.

γ) νερά των καρστικών ανθρακικών σχηματισμών: Δεν παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές ανάμεσα στις δύο περιόδους οι συγκεντρώσεις του χλωρίου στα νερά των καρστικών ανθρακικών σχηματισμών. Την υγρή περίοδο ο μέσος όρος του χλωρίου είναι 589,4 mg/L με συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από 61,9 έως 829,9 mg/L ενώ κατά την ξηρή περίοδο ο μέσος όρος του χλωρίου είναι 596,3 mg/L με εύρος συγκεντρώσεων από 54,7 έως 816,4 mg/L (Πιν. 8.5 και 8.6).

Στα Σχ. 8.74 και 8.75 απεικονίζονται οι χωρικές κατανομές της συγκέντρωσης του χλωρίου για τις δυο περιόδους δειγματοληψίας.



Σχήμα 8.74: Χωρική κατανομή συγκέντρωσης χλωρίου (mg/L) των υπόγειων νερών κατά την υγρή περίοδο (α) σημειακή απεικόνιση κλάσεων, (β) απεικόνιση ισοπεριεκτικών καμπυλών.



Σχήμα 8.75: Χωρική κατανομή συγκέντρωσης χλωρίου (mg/L) των υπόγειων νερών κατά την ξηρή περίοδο (α) σημειακή απεικόνιση κλάσεων, (β) απεικόνιση ισοπεριεκτικών καμπυλών.

Οι υψηλές συγκεντρώσεις χλωρίου εντοπίζονται, στις παράκτιες περιοχές της Ψάθας, Ντουράκος, Νέα Πέραμος και Λάκα Καλογήρου και οφείλονται στη θαλάσσια διείσδυση. Επίσης στην περιοχή της πόλης των Μεγάρων παρουσιάζονται σχετικά υψηλές συγκεντρώσεις χλωρίου που οφείλονται σε αστικά λύματα. Η κατάσταση αυτή παραμένει σταθερή και για τις δυο περιόδους δειγματοληψίας (Σχ. 8.74 και 8.75).

Χαμηλές συγκεντρώσεις χλωρίου παρατηρούνται στο κεντρικό τμήμα της λεκάνης των Μεγάρων, στις περιοχές Βένιζα, Τούτουλη, Κάτω Πευκενάς, Κολάτα, Αγ. Παρασκευή, Μαυρατζάς, Αγ.Ελεούσα (Σχ. 8.74 και 8.75). Στις περιοχές αυτές η αγροτική δραστηριότητα είναι έντονη και τα υπόγεια νερά των γεωτρήσεων χρησιμοποιούνται για αρδευτικούς σκοπούς. Οι συγκεντρώσεις του χλωρίου σε αυτές τις περιοχές, όπως διαφαίνεται από τους χάρτες της υγρής και της ξηρής περιόδου, δεν ξεπερνούν την παραμετρική τιμή των 250 mg/L.

8.6.2.7. Θεϊικά (SO₄²⁻)

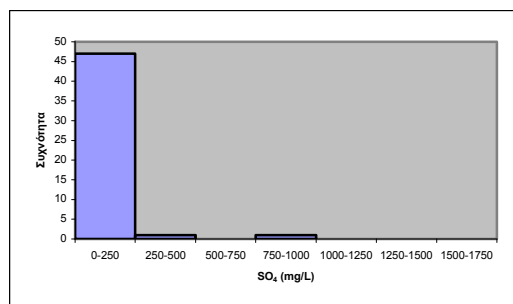
Τα θεϊκά ιόντα προέρχονται από την οξείδωση θειούχων ορυκτών όπως ο σιδηροπυρίτης (FeS₂) και από τη διαλυτοποίηση της γύψου (CaSO₄·2H₂O) και του ανυδρίτη (CaSO₄). Επίσης μπορεί να προέρχονται από τα απόβλητα των βιομηχανιών που χρησιμοποιούν αντιδραστήρια όπως το θειικό οξύ, θειούχο σίδηρο και άλλα θειούχα και θεϊκά άλατα. Η υψηλή συγκέντρωση θεϊκών προσδίδει δυσάρεστη γεύση στο νερό (Nahar and Zhang 2012).

Σύμφωνα με τον Καλλέργη (2000) τα θεϊκά ιόντα στα υπόγεια νερά δεν ξεπερνούν τα 300 mg/L, εάν ένα νερό παρουσιάσει συγκέντρωση μεγαλύτερη από αυτή την τιμή αυτό σημαίνει ότι το νερό αυτό έχει ρυπανθεί. Συγκέντρωση θεϊκών μεγαλύτερη από 250 mg/L κάνει τη χρήση του νερού ακατάλληλη για πόση και βιομηχανική χρήση.

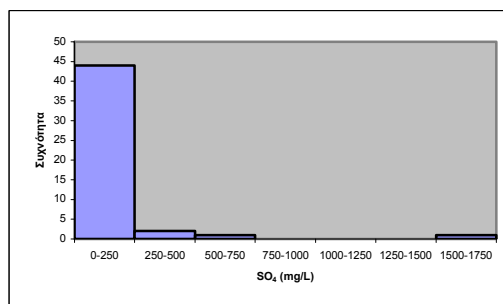
Στα υπόγεια νερά σύμφωνα με τον Κελεπερτζή (2000) η συγκέντρωση των θεϊκών ιόντων κυμαίνεται περίπου στα 30 mg/L και στα επιφανειακά νερά στα 3,7 mg/L. Η παραμετρική τιμή για τα θεϊκά ιόντα σύμφωνα με την κοινοτική οδηγία 98/83/EK είναι 250 mg/L.

Η συγκέντρωση των θεϊκών σε 2 από τα 49 δείγματα της υγρής περιόδου (W9, G30), (ποσοστό 4,08%) και σε 5 από τα δείγματα της ξηρής περιόδου (W3, W9, W14, G13, G30), (ποσοστό 10,20%) υπερβαίνει την παραμετρική τιμή των 250 mg/L της Κοινοτικής Οδηγίας 98/83/EK (EC 1998).

Οι συγκεντρώσεις των θεϊκών στα υπόγεια νερά της υγρής και ξηρής περιόδου ομαδοποιήθηκαν σε κλάσεις με εύρος κλάσης 250 mg/L (Σχ. 8.76 και 8.77).



Σχήμα 8.76: Ιστόγραμμα κατανομής των θεϊκών στα δείγματα υπόγειων νερών υγρής περιόδου.

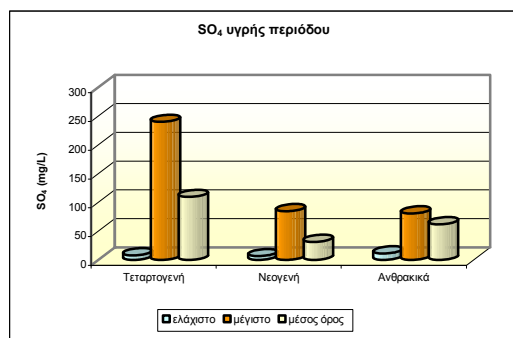


Σχήμα 8.77: Ιστόγραμμα κατανομής των θεϊκών στα δείγματα υπόγειων νερών ξηρής περιόδου.

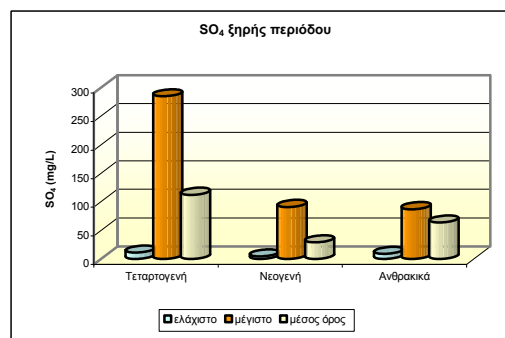
Στο ιστόγραμμα κατανομής των θεϊκών για την υγρή και την ξηρή περίοδο διακρίνεται ένας κύριος πληθυσμός με μέγιστη κλάση από 0 έως 250 mg/L όπου αντιστοιχούν 47 δείγματα υπόγειου νερού για την υγρή περίοδο και 44 δείγματα υπόγειου νερού για την ξηρή περίοδο.

Διαπιστώνεται διακύμανση στις συγκεντρώσεις θεϊκών στους υδροφόρους των τεταρτογενών σχηματισμών. Κατά την ξηρή περίοδο παρατηρείται αύξηση στις συγκεντρώσεις των τεταρτογενών σχηματισμών. Οι υδροφόροι των νεογενών και

ανθρακικών σχηματισμών παρουσιάζουν μικρό εύρος διαφοροποίησης για τις δυο περιόδους δειγματοληψίας (Σχ. 8.78 και 8.79).



Σχήμα 8.78: Διακύμανση των συγκεντρώσεων θειικών υγρής περιόδου των τριών υδροφορέων.



Σχήμα 8.79: Διακύμανση των συγκεντρώσεων θειικών ξηρής περιόδου των τριών υδροφορέων.

Στα υπόγεια νερά της περιοχής έρευνας, οι συγκεντρώσεις των θειικών, βάσει της λιθολογικής ταξινόμησης έχουν ως εξής (Σχ. 8.78 και 8.79):

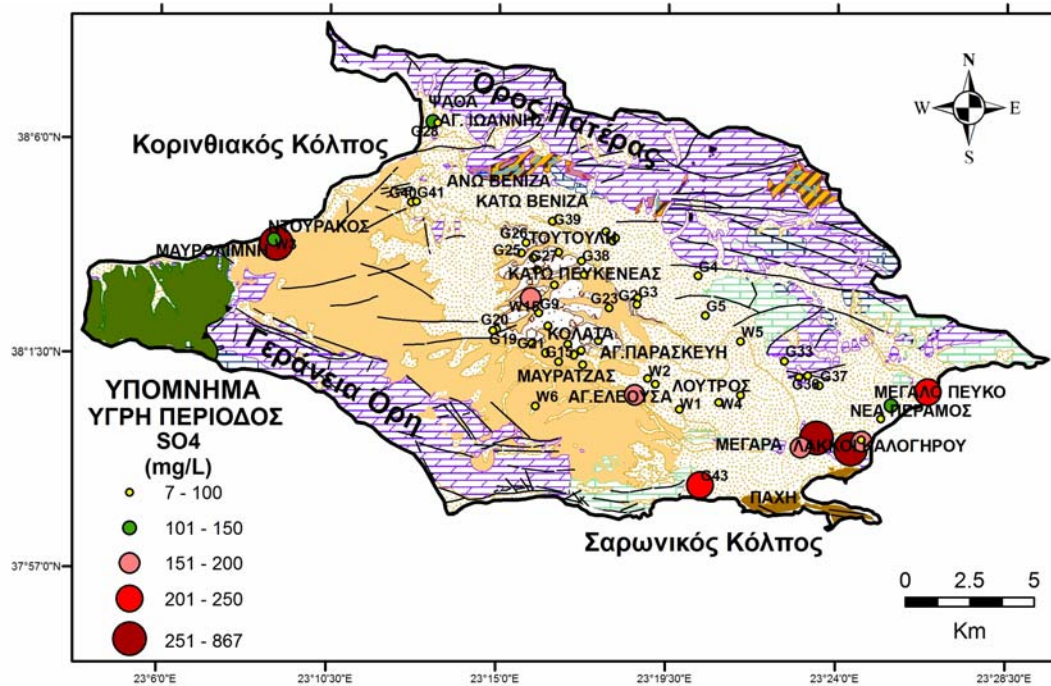
α) νερά των τεταρτογενών σχηματισμών: Αύξηση της συγκέντρωσης των θειικών παρατηρείται κατά την ξηρή περίοδο. Οι συγκεντρώσεις των θειικών στα νερά των τεταρτογενών σχηματισμών παρουσιάζουν διαφορές ανάμεσα στις δύο περιόδους. Ο μέσος όρος των θειικών κατά την υγρή περίοδο είναι 109,4 mg/L και το εύρος των συγκεντρώσεων είναι 8,1 - 240 mg/L. Κατά την ξηρή περίοδο παρατηρούνται συγκεντρώσεις από 11,1 - 285 mg/L και ο μέσος όρος των θειικών είναι 112,2 mg/L (Πιν. 8.5 και 8.6). Εξαίρεση αποτελούν τα δείγματα W9 = 867,1 mg/L και G30 = 441,8 mg/L της υγρής περιόδου καθώς και τα δείγματα W9 = 851 mg/L, G30 = 1627,8 mg/L και W3 = 627,2 mg/L της ξηρής περιόδου. Η αύξηση των θειικών κατά την ξηρή περίοδο οφείλεται στην επίδραση της θάλασσας.

β) νερά των νεογενών σχηματισμών: Την υγρή περίοδο ο μέσος όρος των θειικών είναι 31,4 mg/L με συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από 6,7 έως 84,6 mg/L ενώ κατά την ξηρή περίοδο ο μέσος όρος των θειικών είναι 29,1 mg/L με συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από 4,5 έως 90,9 mg/L (Πιν. 8.5 και 8.6). Εξαίρεση αποτελούν τα δείγματα W15 και G12 και στις δυο περιόδους δειγματοληψίας, με συγκεντρώσεις (W15 = 156,7 mg/L για την υγρή και W15 = 173 mg/L για την ξηρή περίοδο), (G12 = 156,4 mg/L για την υγρή και G12 = 124,9 mg/L για την ξηρή περίοδο), και το δείγμα G13 = 386 mg/L της ξηρής περιόδου.

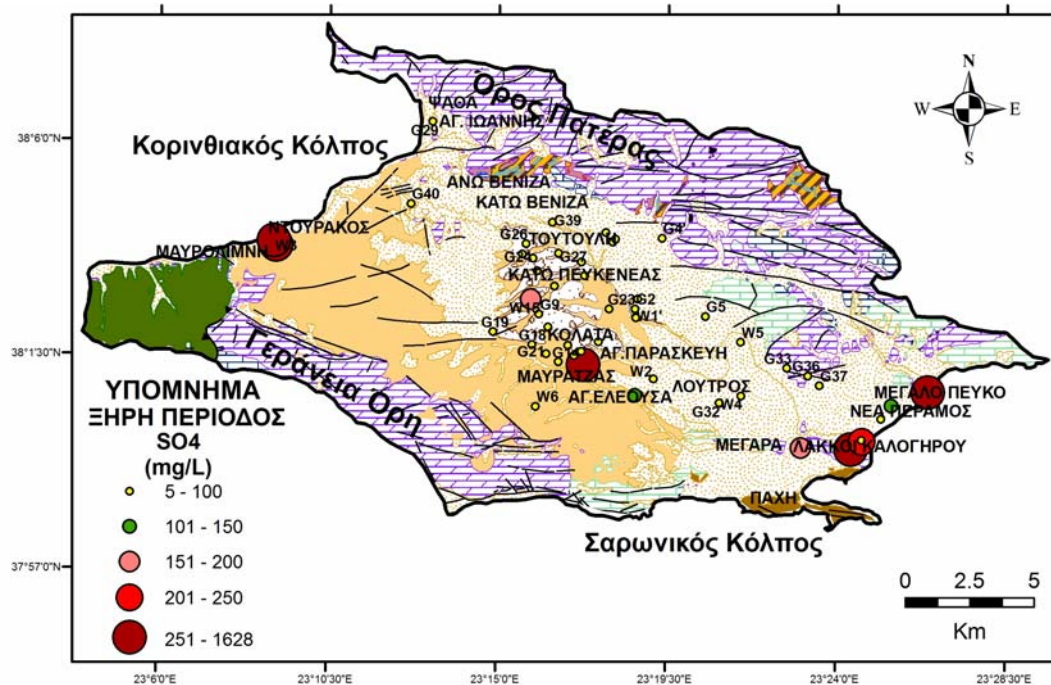
γ) νερά των καρστικών ανθρακικών σχηματισμών: Μεταξύ των δύο περιόδων δειγματοληψίας, οι συγκεντρώσεις των θειικών στα νερά των καρστικών ανθρακικών σχηματισμών δεν παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές. Κατά την υγρή περίοδο ο μέσος όρος των θειικών είναι 62,0 mg/L με συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από 11,3 έως 80,8 mg/L, ενώ κατά την ξηρή περίοδο ο μέσος όρος των θειικών είναι 63,8 mg/L με συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από 8,9 έως 87,1 mg/L (Πιν. 8.5 και 8.6). Στα νερά των καρστικών σχηματισμών, η επίδραση της θάλασσας παραμένει σταθερή και για τις δυο περιόδους δειγματοληψίας και γ'αυτό δεν παρατηρούνται σημαντικές διαφορές στους μέσους όρους στις συγκεντρώσεις των θειικών.

Οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις θειικών βρίσκονται στις παράκτιες περιοχές Ντουράκος, Νέα Πέραμος και Λάκα Καλογήρου και αποδίδονται στην επίδραση της θάλασσας (Σχ. 8.80 και 8.81). Μικρότερες συγκεντρώσεις θειικών παρατηρούνται στα νερά που βρίσκονται στην εσωτερική περιοχή της λεκάνης όπου καταγράφεται έντονη αγροτική δραστηριότητα (περιοχές Βένιζα, Τούτουλη, Κάτω Πευκενάς,

Κολάτα, Αγ. Παρασκευή, Μαυρατζάς, Αγ.Ελεούσα) και πιθανώς οφείλονται στη χρήση λιπασμάτων θειικής αμμωνίας.



Σχήμα 8.80: Χωρική κατανομή συγκέντρωσης θεικών (mg/L) των υπόγειων νερών κατά την υγρή περίοδο.



Σχήμα 8.81: Χωρική κατανομή συγκέντρωσης θεικών (mg/L) των υπόγειων νερών κατά την ξηρή περίοδο.

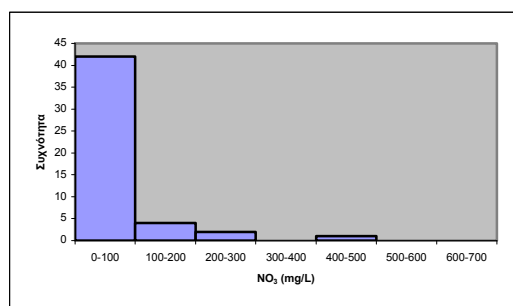
8.6.2.8. Νιτρικά (NO₃⁻)

Κύριες πηγές προέλευσης των νιτρικών είναι τα αζωτούχα λιπάσματα, η φυσική αποσύνθεση οργανικών αζωτούχων ενώσεων φυτικής και ζωικής πρωτεΐνης, τα προϊόντα αποσύνθεσης των οργανικών λιπασμάτων και των φυτικών υπολειμμάτων προηγούμενων καλλιεργειών. Επίσης άλλες πηγές προέλευσης νιτρικών είναι η διάθεση των αστικών λυμάτων στο έδαφος μέσω απορροφητικών βόθρων, η επιφανειακή διάθεση κτηνοτροφικών αποβλήτων, τα λύματα, τα υγρά απόβλητα και τα στραγγίσματα από χώρους απόθεσης αποβλήτων (Wakida and Lerner 2005, Chanakya and Sharatchandra 2008). Οι αυξημένες συγκεντρώσεις νιτρικών είναι και η συνηθέστερη ένδειξη ρύπανσης του υδροφορέα, ενώ σύμφωνα με τους Vijay et. al. (2011) και Schmoll et. al. (2006) η παρουσία νιτρικών στο υπόγειο νερό είναι ένδειξη πρόσφατης υποβάθμισης της ποιότητας του.

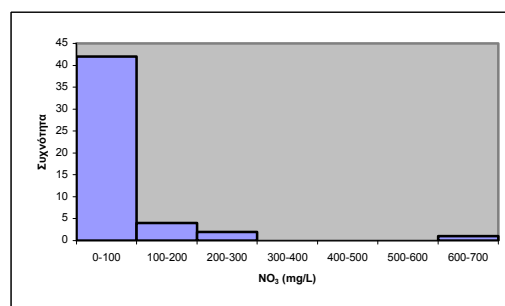
Όταν υπάρχουν αυξημένες συγκεντρώσεις στο νερό ανθρώπινης κατανάλωσης τότε μπορεί να προκαλέσουν βλάβες στον ανθρώπινο οργανισμό. Τα νιτρικά είναι υπεύθυνα για διάφορες μορφές καρκινογένεσης, ενώ προκαλούν μεθαιμοσφαιριναιμία στα βρέφη (blue – baby syndrome), (Cantor 1997). Επίσης έχουν αναφερθεί περιστατικά αποβολών από έγκυες γυναίκες οι οποίες είχαν καταναλώσει νερό το οποίο είχε συγκέντρωση νιτρικών που κυμαίνονταν από 19 έως 26 mg/L (La Grange County-Health Department 1996).

Η παραμετρική τιμή της Κοινοτικής Οδηγίας 98/83/EK για τα νιτρικά είναι τα 50 mg/L (EC 1998). Η συγκέντρωση των νιτρικών σε 9 από τα 49 δείγματα (W3, W4, W5, W8, W9, W10, W13, G32, G34), (ποσοστό 18,37%) για την υγρή περίοδο και σε 12 από τα 49 δείγματα (W3, W4, W5, W8, W9, W10, W11, W13, W14, G30, G32, G34), (ποσοστό 24,49%) για την ξηρή περίοδο υπερβαίνει την παραμετρική τιμή των 50 mg/L της Κοινοτικής Οδηγίας 98/83/EK (EC 1998).

Τα δεδομένα των νιτρικών στα υπόγεια νερά ομαδοποιήθηκαν σε κλάσεις με εύρος κλάσης και για τις δυο περιόδους δειγματοληψίας τα 100 mg/L (Σχ. 8.82 και 8.83). Στο ιστόγραμμα κατανομής των νιτρικών (Σχ. 8.82 και 8.83) για την υγρή και για την ξηρή περίοδο διακρίνεται ένας κύριος πληθυσμός με μέγιστη κλάση από 0 έως 100 mg/L νιτρικών όπου αντιστοιχούν 42 δείγματα υπόγειου νερού και για τις δυο περιόδους.



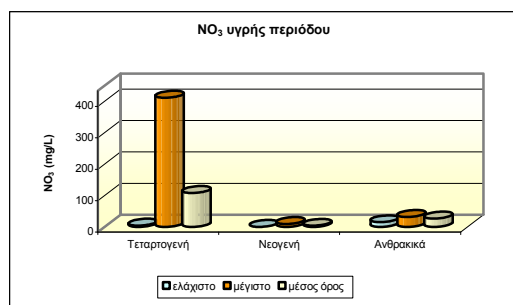
Σχήμα 8.82: Ιστόγραμμα κατανομής των νιτρικών στα δείγματα υπόγειων νερών υγρής περιόδου.



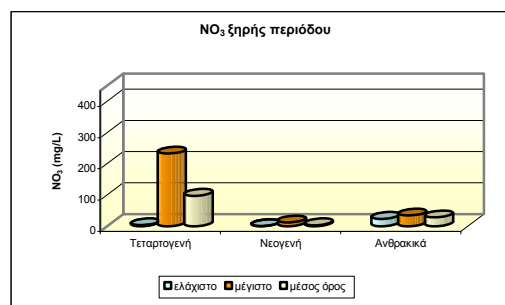
Σχήμα 8.83: Ιστόγραμμα κατανομής των νιτρικών στα δείγματα υπόγειων νερών ξηρής περιόδου.

Από τα διαγράμματα της διακύμανσης των συγκεντρώσεων (Σχ. 8.84, 8.85) διαπιστώνεται ότι κατά την υγρή περίοδο, η συγκέντρωση των νιτρικών στους υδροφόρους των τεταρτογενών σχηματισμών παρουσιάζει μεγαλύτερο εύρος διακύμανσης σε σχέση με τις συγκεντρώσεις νιτρικών στους άλλους δυο υδροφορείς (νεογενείς και ανθρακικούς). Όσον αφορά στην ξηρή περίοδο δειγματοληψίας ισχύει

το ίδιο που ισχύει για την υγρή μόνο που η διακύμανση στους τεταρτογενείς σχηματισμούς είναι μικρότερη από αυτή της υγρής περιόδου. Οι ανθρακικοί και νεογενείς σχηματισμοί παρουσιάζουν μικρό εύρος διακύμανσης και για τις δυο περιόδους δειγματοληψίας (Σχ. 8.84, 8.85).



Σχήμα 8.84: Διακύμανση των συγκεντρώσεων νιτρικών υγρής περιόδου των τριών υδροφορέων.



Σχήμα 8.85: Διακύμανση των συγκεντρώσεων νιτρικών ξηρής περιόδου των τριών υδροφορέων.

Για τις δυο περιόδους δειγματοληψίας, οι συγκεντρώσεις των νιτρικών στα υπόγεια νερά της περιοχής έρευνας έχουν ως εξής (Σχ.8.84 και 8.85):

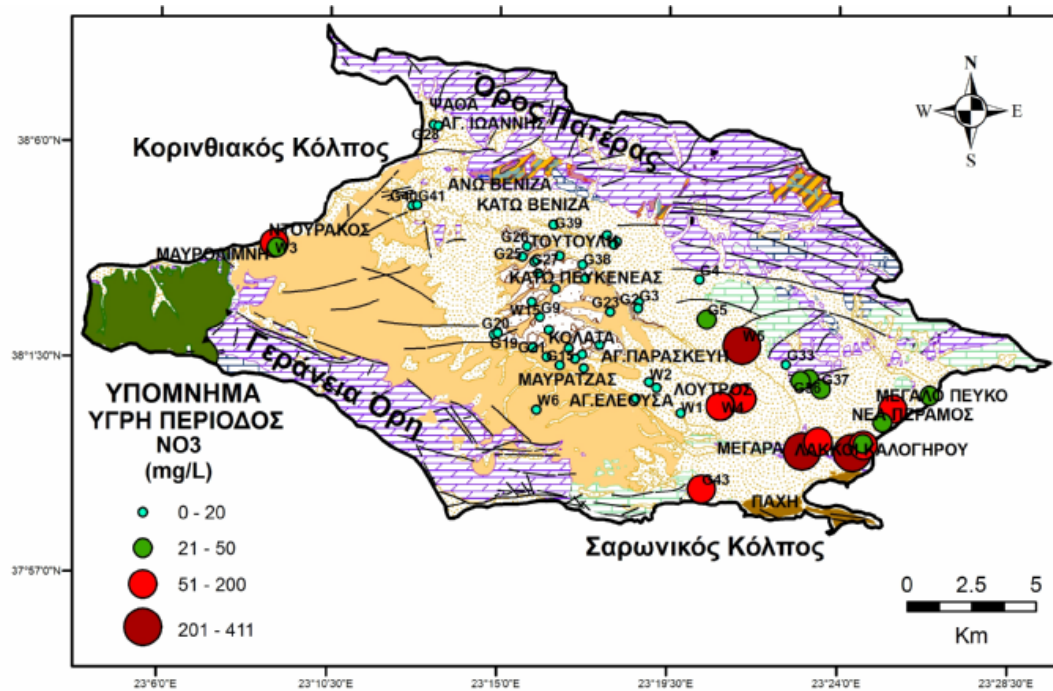
α) νερά των τεταρτογενών σχηματισμών: Διαφορές ανάμεσα στις δύο περιόδους δειγματοληψίας, παρουσιάζουν οι συγκεντρώσεις των νιτρικών στα νερά των τεταρτογενών σχηματισμών. Κατά την υγρή περίοδο ο μέσος όρος των νιτρικών είναι 108,3 mg/L με εύρος διακύμανσης 4,4 - 411 mg/L, ενώ κατά την ξηρή περίοδο ο μέσος όρος των νιτρικών είναι 97,2 mg/L με εύρος διακύμανσης 3,5 - 232,6 mg/L (Πιν. 8.5 και 8.6). Εξαιρέση αποτελεί το δείγμα W9 = 605,36 mg/L της ξηρής περιόδου. Σύμφωνα με τους Vijay et. al. (2011) η παρουσία νιτρικών στα υπόγεια νερά είναι δείκτης πολύ πρόσφατης ρύπανσης λόγω διαρροής οικιακών λυμάτων.

β) νερά των νεογενών σχηματισμών: Οι συγκεντρώσεις των νιτρικών στο νερό των νεογενών σχηματισμών δεν παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές ανάμεσα στις δύο περιόδους. Την υγρή περίοδο ο μέσος όρος των νιτρικών είναι 3,9 mg/L με συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από 0,6 έως 9,4 mg/L ενώ κατά την ξηρή περίοδο ο μέσος όρος των νιτρικών είναι 3,3 mg/L με συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από 0,3 έως 11,9 mg/L (Πιν. 8.5 και 8.6). Εξαιρέση αποτελούν τα δείγματα G32 και G34 της υγρής περιόδου με συγκεντρώσεις 153,34 και 196,80 mg/L αντίστοιχα. Για την ξηρή περίοδο τα δείγματα W15, G32 και G34 με συγκεντρώσεις 40,80 mg/L, 88,46 mg/L και 83,24 mg/L αντίστοιχα. Η εφαρμογή των λιπασμάτων στις καλλιεργούμενες περιοχές συνδέεται με την υγρή περίοδο. Το μετεωρικό νερό διαλύει ένα μέρος των νιτρικών που δεν απορροφώνται από τις καλλιέργειες με αποτέλεσμα στη συνέχεια να καταλήγει στους υπόγειους υδροφορείς, έτσι παρατηρείται μεγαλύτερη συγκέντρωση νιτρικών κατά την υγρή περίοδο και όχι κατά την ξηρή.

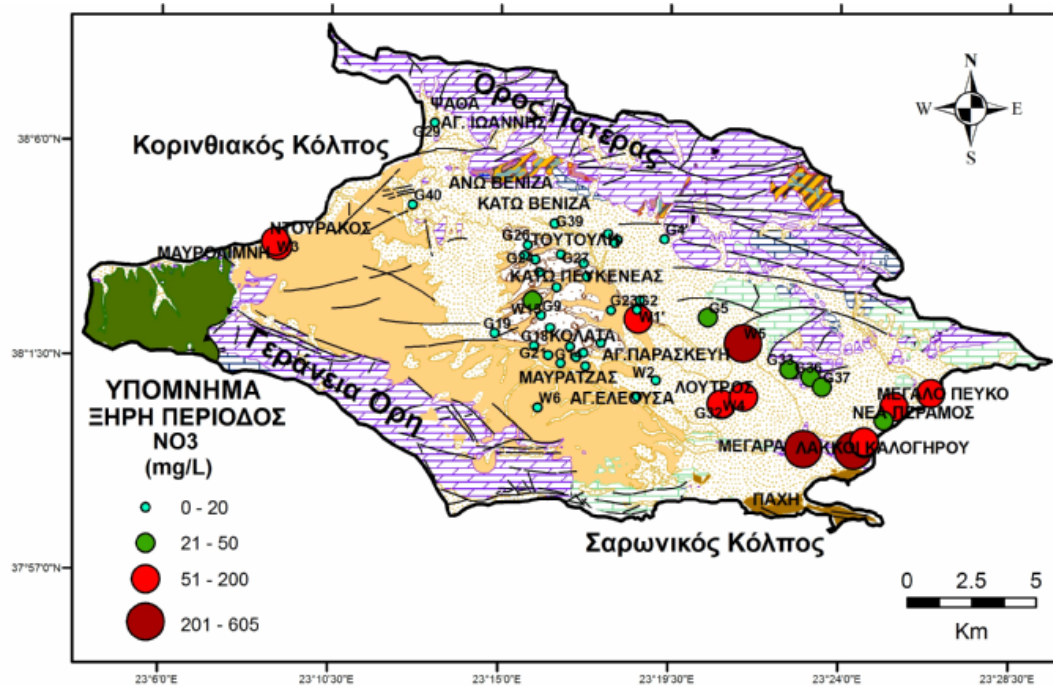
γ) νερά των καρστικών ανθρακικών σχηματισμών: Το εύρος των συγκεντρώσεων νιτρικών είναι 15,1 έως 31,6 mg/L και ο μέσος όρος 26,4 mg/L για την υγρή περίοδο. Κατά την ξηρή περίοδο ο μέσος όρος των νιτρικών είναι 28,2 mg/L με εύρος διακύμανσης από 23,4 έως 34,2 mg/L (Πιν. 8.5 και 8.6). Οι συγκεντρώσεις των νιτρικών στο νερό των καρστικών ανθρακικών σχηματισμών δεν παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές ανάμεσα στις δύο περιόδους.

Οι υψηλές συγκεντρώσεις παρατηρούνται στις παράκτιες περιοχές Ντουράκος, Νέα Πέραμος και Λάκα Καλογήρου και οφείλονται σε οικιακά λύματα, το ίδιο συμβαίνει και στην περιοχή της πόλης των Μεγάρων, όπου παρουσιάζονται υψηλές συγκεντρώσεις νιτρικών οι οποίες επίσης οφείλονται σε οικιακά λύματα. Οι

συγκεντρώσεις νιτρικών στο υπόγειο νερό που παρατηρούνται στο κεντρικό τμήμα της λεκάνης των Μεγάρων (περιοχές Βένιζα, Τούτουλη, Κάτω Πευκενέας, Κολάτα, Αγ. Παρασκευή, Μαυρατζάς, Αγ.Ελεούσα) οφείλονται στη χρήση λιπασμάτων κατά την υγρή περίοδο (Σχ. 8.86 και 8.87).



Σχήμα 8.86: Χωρική κατανομή συγκέντρωσης νιτρικών (mg/L) των υπόγειων νερών κατά την υγρή περίοδο.



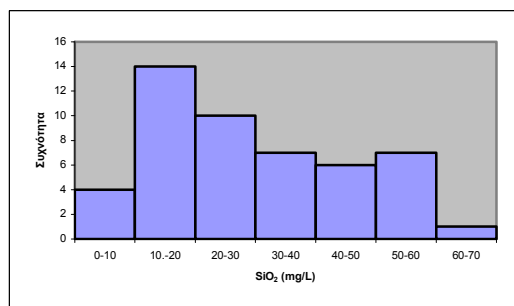
Σχήμα 8.87: Χωρική κατανομή συγκέντρωσης νιτρικών (mg/L) των υπόγειων νερών κατά την ξηρή περίοδο.

8.6.3. Διοξείδιο του πυριτίου (SiO₂)

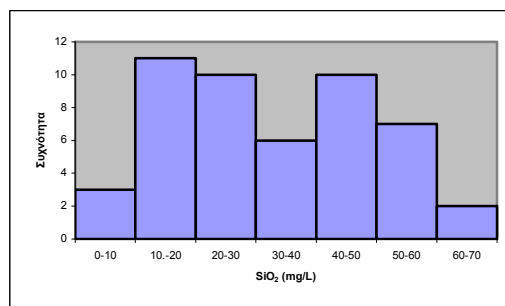
Μετά το οξυγόνο το πυρίτιο είναι το πιο διαδεδομένο στοιχείο στη φύση, γιατί βρίσκεται στα περισσότερα πετρώματα. Κύρια πηγή του πυριτίου είναι τα αργιλικά ορυκτά, οι άστριοι και τα σιδηρομαγνησιούχα ορυκτά. Προέρχεται από τα πυριτικά ορυκτά όπως το μοσχοβίτη (H₂KAl₃Si₃O₁₂), το επίδοτο [Ca₂(FeAl)Al₂(SiO₄)(SiO₇)O(OH)], το ορθόκλαστο [(SiO₄.SiO₂.SiO₂)Al], τον ανορθίτη (CaAl₂Si₂O₈), τον ολιβίνη [(Mg,Fe)₂SiO₄] και το χαλαζία. Επίσης το πυρίτιο βρίσκεται σε μεγάλες ποσότητες στα πυριγενή πετρώματα (Matthess 1973).

Όταν προέρχεται από την αποσάθρωση των πετρωμάτων τότε μεταφέρεται στο υπόγειο νερό με τη μορφή κολοειδούς ή ιόντων. Οι μορφές που συναντάται στα υπόγεια νερά είναι αυτή του πυριτικού οξέως (H₄SiO₄) και αυτή του υδροξειδίου του πυριτίου (Si(OH)₄). Στο υπόγειο νερό το πυρίτιο μετράται σε mg/L και η συγκέντρωση του διαλυτού πυριτίου ισοδυναμεί με ίση ποσότητα SiO₂ (silica) Υψηλές σχετικά συγκεντρώσεις διοξειδίου του πυριτίου παρουσιάζονται στο νερό θερμών πηγών και οφείλονται στην αύξηση της διαλυτότητας με τη θερμοκρασία (Stamatis and Gartzos 1999, Χαραλάμπους 2007).

Οι συγκεντρώσεις του διοξειδίου του πυριτίου στα υπόγεια νερά ομαδοποιήθηκαν σε κλάσεις με εύρος κλάσης και για την υγρή και για την ξηρή περίοδο τα 10 mg/L (Σχ. 8.88 και 8.89).



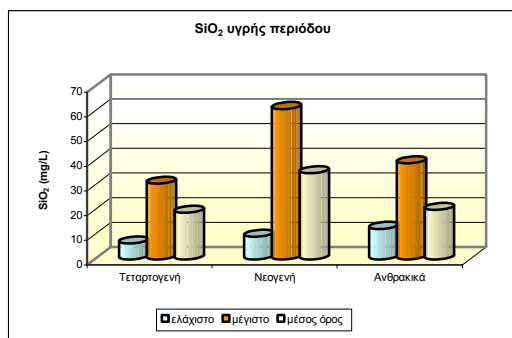
Σχήμα 8.88: Ιστόγραμμα κατανομής του διοξειδίου του πυριτίου στα δείγματα υπόγειων νερών υγρής περιόδου.



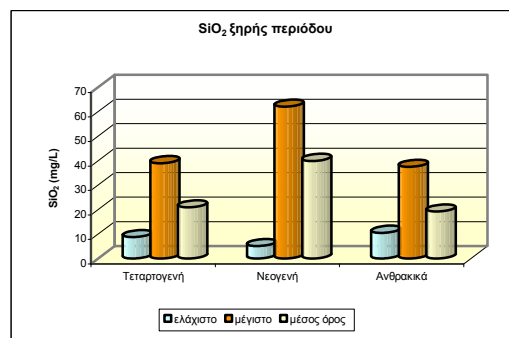
Σχήμα 8.89: Ιστόγραμμα κατανομής του διοξειδίου του πυριτίου στα δείγματα υπόγειων νερών ξηρής περιόδου.

Για την υγρή περίοδο δειγματοληψίας, στο ιστόγραμμα κατανομής του διοξειδίου του πυριτίου διακρίνονται δυο κύριοι πληθυσμοί με μέγιστη κλάση από 10 έως 20 mg/L και 20 έως 30 mg/L όπου αντιστοιχούν 14 και 10 δείγματα υπόγειου νερού αντιστοίχως. Στην ξηρή περίοδο επικρατούν τρεις κύριοι πληθυσμοί με μέγιστη κλάση από 10 έως 20 mg/L όπου αντιστοιχούν 11 δείγματα υπόγειου νερού, από 20 έως 30 όπου αντιστοιχούν 10 δείγματα υπόγειου νερού και από 40 έως 50 mg/L όπου αντιστοιχούν 10 δείγματα υπόγειου νερού.

Οι υδροφόροι των νεογενών σχηματισμών παρουσιάζουν τις μεγαλύτερες διακυμάνσεις και για τις δυο περιόδους δειγματοληψίας, ενώ οι υδροφόροι των τεταρτογενών και ανθρακικών σχηματισμών παρουσιάζουν μικρότερη διακύμανση και στις δυο περιόδους δειγματοληψίας (Σχ. 8.90 και 8.91).



Σχήμα 8.90: Διακύμανση των συγκεντρώσεων του διοξειδίου του πυριτίου υγρής περιόδου των τριών υδροφόρων.



Σχήμα 8.91: Διακύμανση των συγκεντρώσεων του διοξειδίου του πυριτίου ξηρής περιόδου των τριών υδροφόρων.

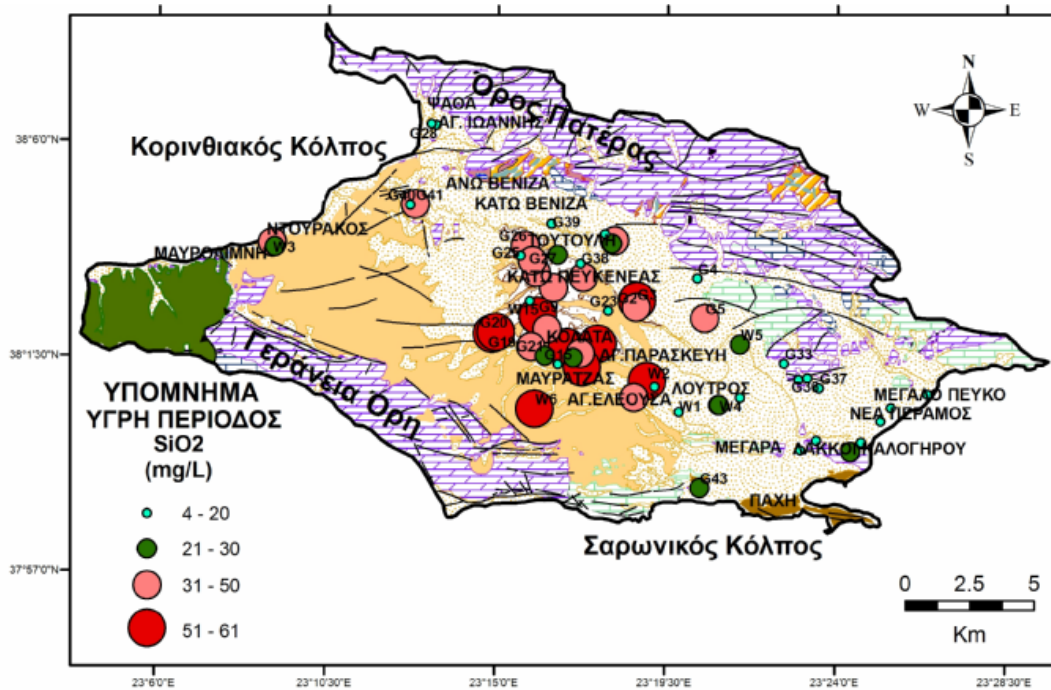
Αναλυτικότερα η διακύμανση των συγκεντρώσεων του διοξειδίου του πυριτίου στα υπόγεια νερά της περιοχής έρευνας, έχει ως εξής (Σχ. 8.90 και 8.91):

α) νερά των τεταρτογενών σχηματισμών: Ο μέσος όρος του διοξειδίου του πυριτίου στα νερά των τεταρτογενών σχηματισμών είναι 18,9 mg/L με συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από 6,5 έως 30,7 mg/L κατά την υγρή περίοδο. Κατά την ξηρή περίοδο ο μέσος όρος του διοξειδίου του πυριτίου είναι 20,9 mg/L με εύρος συγκεντρώσεων από 8,8 έως 39,0 mg/L (Πιν. 8.5 και 8.6). Εξαίρεση αποτελεί το δείγμα W2 για την υγρή περίοδο με συγκέντρωση 52,5 mg/L.

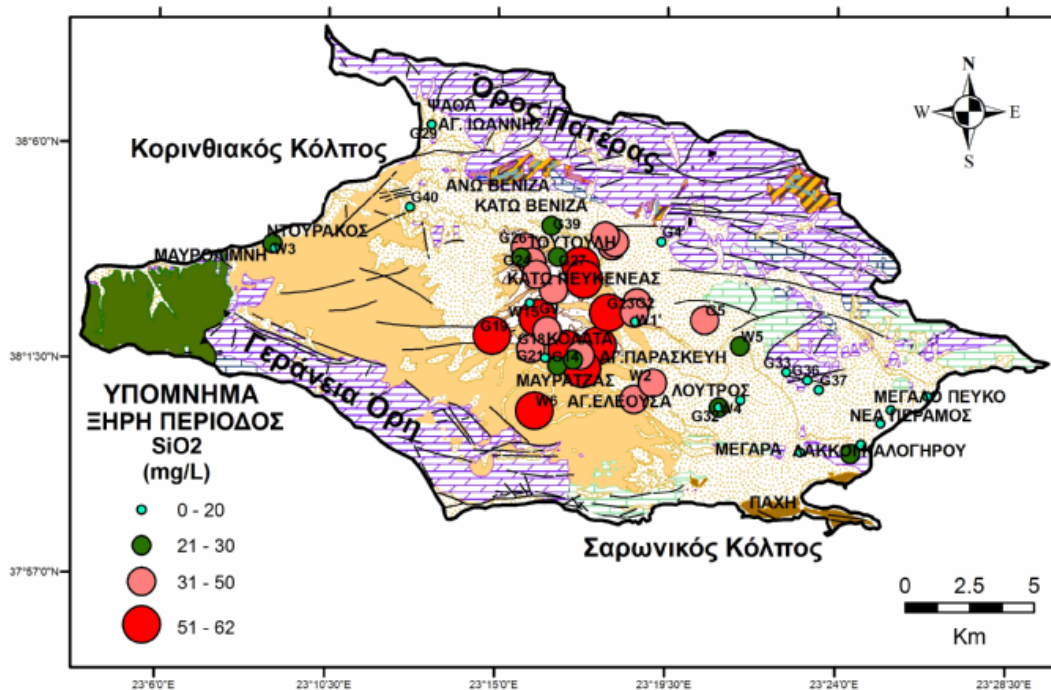
β) νερά των νεογενών σχηματισμών: Η διακύμανση των συγκεντρώσεων του διοξειδίου του πυριτίου είναι 9,2 έως 61,0 mg/L κατά την υγρή περίοδο και 5,1 έως 62,0 mg/L κατά την ξηρή περίοδο. Αντίστοιχα οι μέσες τιμές του διοξειδίου του πυριτίου είναι 35,0 mg/L και 39,9 mg/L (Πιν. 8.5 και 8.6). Οι συγκεντρώσεις του διοξειδίου του πυριτίου στα νερά των νεογενών σχηματισμών δεν παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές ανάμεσα στις δύο περιόδους δειγματοληψίας. Η προέλευση του διοξειδίου του πυριτίου είναι γεωγενής και αποδίδεται στη διάλυση των αργιλικών ορυκτών και κυρίως στη αποσάθρωση τεμαχίων των υπερβασικών πετρωμάτων που βρίσκονται στα νεογενή.

γ) νερά των καρστικών ανθρακικών σχηματισμών: Οι συγκεντρώσεις διοξειδίου του πυριτίου στο νερό των καρστικών ανθρακικών σχηματισμών δεν παρουσιάζει σημαντικές διαφορές ανάμεσα στις δύο περιόδους. Κατά την υγρή περίοδο παρατηρούνται συγκεντρώσεις διοξειδίου του πυριτίου στα νερά των καρστικών ανθρακικών σχηματισμών που κυμαίνονται από 12,4 έως 39 mg/L και ο μέσος όρος του διοξειδίου του πυριτίου είναι 20,1 mg/L, ενώ κατά την ξηρή περίοδο ο μέσος όρος του διοξειδίου του πυριτίου είναι 19,2 mg/L με τιμές που κυμαίνονται από 10,5 έως 37,5 mg/L (Πιν. 8.5 και 8.6).

Από τη σύγκριση της χωρικής κατανομής των συγκεντρώσεων του διοξειδίου του πυριτίου της υγρής και της ξηρής περιόδου, διαπιστώνεται ότι: (α) υπάρχει ομοιότητα στη χωρική κατανομή, (β) οι υψηλότερες συγκεντρώσεις παρατηρούνται στο κεντρικό τμήμα της λεκάνης των Μεγάρων το οποίο καλύπτεται από νεογενείς σχηματισμούς (Σχ. 8.92 και 8.93).



Σχήμα 8.92: Χωρική κατανομή συγκέντρωσης διοξειδίου του πυριτίου (mg/l) των υπόγειων νερών κατά την υγρή περίοδο.



Σχήμα 8.93: Χωρική κατανομή συγκέντρωσης διοξειδίου του πυριτίου (mg/l) των υπόγειων νερών κατά την ξηρή περίοδο.

8.6.4. Ιχνοενώσεις - Ιχνοστοιχεία

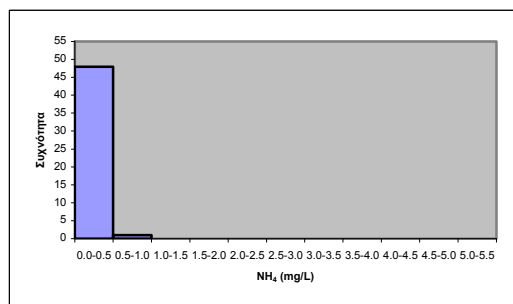
8.6.4.1. Αμμωνία (NH₄⁺)

Στα υπόγεια νερά η συγκέντρωση της αμμωνίας είναι μικρή, ενώ εάν η συγκεντρωσή της είναι υψηλή αποτελεί δείκτη περιβάλλοντος με αναγωγικό χαρακτήρα. Η αυξημένη συγκέντρωση αμμωνίας οφείλεται σε αστικά λύματα και απόβλητα βιομηχανιών και η παρουσία της είναι συνήθως προϊόν αποικοδομήσεως, οργανικών αζωτούχων ενώσεων (πρωτεΐνες και αμινοξέα). Όταν βιοαποικοδομείται μια οργανική ύλη παράγεται όχι μόνο H₂O και CO₂ αλλά άζωτο και φώσφορος που περιέχονται στα πρωτεϊνικά συστατικά των φυτών και των ζώων. Έτσι η παρουσία αμμωνίας στο νερό συνεπάγεται παρουσία μικροοργανισμών και κατ' επέκταση το νερό κρίνεται ακατάλληλο ως πόσιμο (Canter 1997, Καλογήρου 1994).

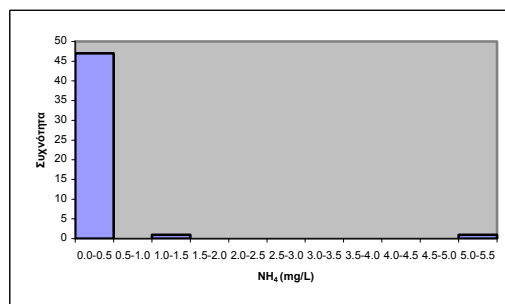
Η παραμετρική τιμή για την αμμωνία της Κοινοτικής Οδηγίας 98/83/EK για τα υπόγεια νερά είναι 0,50 mg/L (EC 1998).

Η συγκέντρωση της αμμωνίας σε 1 από τα 49 δείγματα με ποσοστό (G10), 2,04% για την υγρή περίοδο και σε 2 από τα 49 δείγματα (W8, G14), με ποσοστό 4,08% για την ξηρή περίοδο υπερβαίνει την παραμετρική τιμή των 0,50 mg/L της Κοινοτικής Οδηγίας 98/83/EK (EC 1998). Παρατηρείται ότι το ποσοστό των δειγμάτων που υπερβαίνει την παραμετρική τιμή αυξήθηκε κατά τη διάρκεια της ξηρής περιόδου.

Τα δεδομένα της αμμωνίας στα υπόγεια νερά της υγρής και ξηρής περιόδου ομαδοποιήθηκαν σε κλάσεις με εύρος κλάσης 0,5 mg/L και για την υγρή και για την ξηρή περίοδο (Σχ. 8.94 και 8.95).



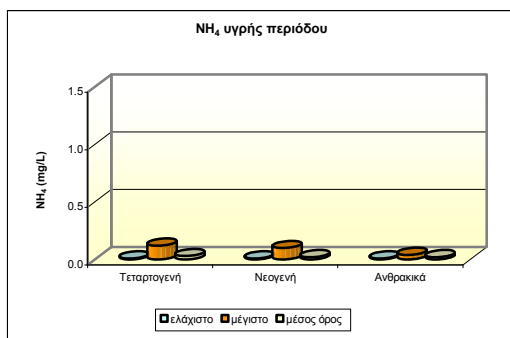
Σχήμα 8.94: Ιστόγραμμα κατανομής της αμμωνίας στα δείγματα υπόγειων νερών υγρής περιόδου.



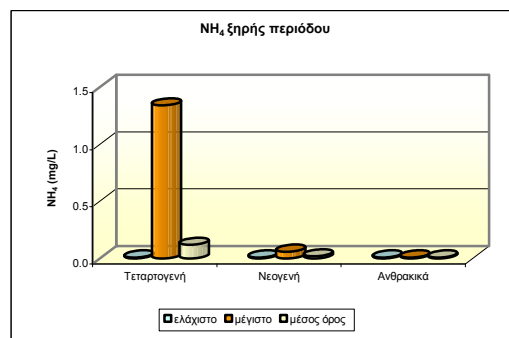
Σχήμα 8.95: Ιστόγραμμα κατανομής της αμμωνίας στα δείγματα υπόγειων νερών ξηρής περιόδου.

Στο ιστόγραμμα κατανομής της αμμωνίας για τις δυο περιόδους διακρίνεται ένας κύριος πληθυσμός με μέγιστη κλάση από 0 έως 0,5 mg/L αμμωνίας όπου αντιστοιχούν 48 δείγματα υπόγειου νερού για την υγρή περίοδο και 47 δείγματα υπόγειου νερού για την ξηρή περίοδο.

Στα Σχ. 8.96 και 8.97 απεικονίζονται οι διακυμάνσεις των συγκεντρώσεων της αμμωνίας για την υγρή και την ξηρή περίοδο δειγματοληψίας για τους τρεις υδροφόρους των τεταρτογενών, των νεογενών και των ανθρακικών σχηματισμών. Από τους τρεις αυτούς υδροφόρους οι μεγαλύτερες διακυμάνσεις παρατηρούνται στους υδροφόρους των τεταρτογενών σχηματισμών, μικρότερη διακύμανση παρατηρείται στους υδροφόρους των ανθρακικών σχηματισμών και ιδιαίτερα κατά την ξηρή περίοδο δειγματοληψίας. Οι υδροφόροι των νεογενών σχηματισμών παρουσιάζουν μικρό εύρος διακύμανσης (Σχ. 8.96 και 8.97).



Σχήμα 8.96: Διακύμανση των συγκεντρώσεων της αμμωνίας υγρής περιόδου των τριών υδροφόρων.



Σχήμα 8.97: Διακύμανση των συγκεντρώσεων της αμμωνίας ξηρής περιόδου των τριών υδροφόρων.

Για τις δυο περιόδους δειγματοληψίας, οι συγκεντρώσεις της αμμωνίας στα υπόγεια νερά έχουν ως εξής (Σχ. 8.96 και 8.97):

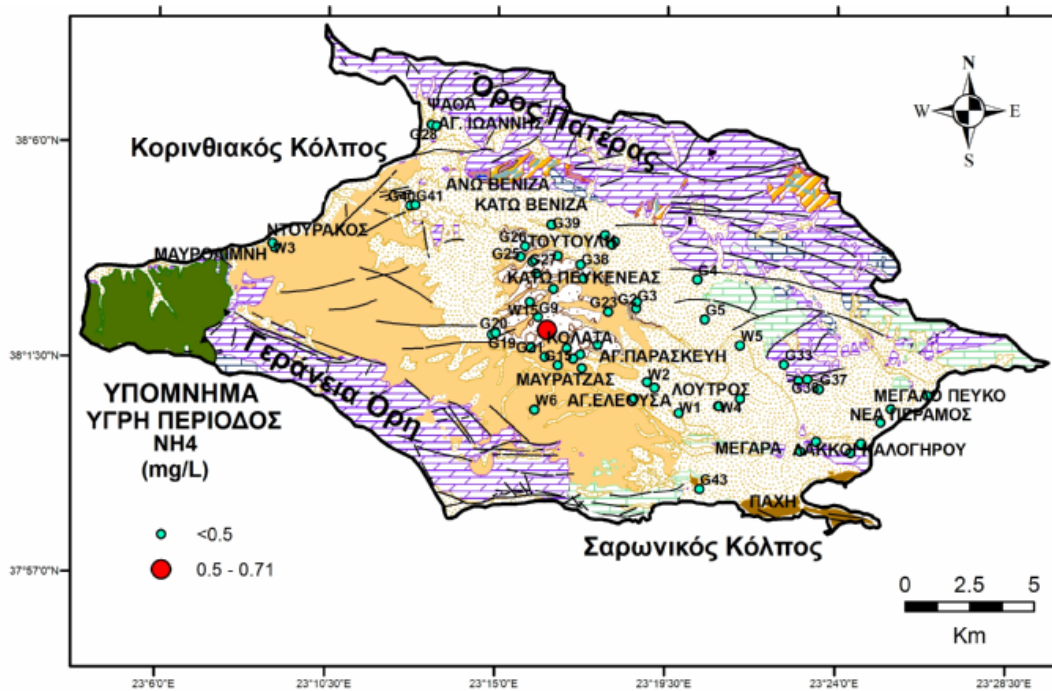
α) νερά των τεταρτογενών σχηματισμών: Αύξηση παρατηρείται κατά την ξηρή περίοδο σε σχέση με την υγρή οι συγκεντρώσεις της αμμωνίας στα νερά των τεταρτογενών σχηματισμών. Την υγρή περίοδο ο μέσος όρος της αμμωνίας είναι 0,03 mg/L με τιμές που κυμαίνονται από <0,01 (όριο ανιχνευσιμότητας μεθόδου) έως 0,12 mg/L ενώ κατά την ξηρή περίοδο ο μέσος όρος της αμμωνίας είναι 0,12 mg/L με τιμές που κυμαίνονται από <0,01 έως 1,34 mg/L (Πιν. 8.5 και 8.6). Η αύξηση αυτή της αμμωνίας στους τεταρτογενείς σχηματισμούς κατά την ξηρή περίοδο οφείλεται στην αύξηση των οικιακών λυμάτων εξαιτίας της αύξησης του πληθυσμού κατά τους θερινούς μήνες.

β) νερά των νεογενών σχηματισμών: Οι συγκεντρώσεις της αμμωνίας στα νερά των νεογενών σχηματισμών δεν παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές ανάμεσα στις δυο περιόδους. Την υγρή περίοδο ο μέσος όρος της αμμωνίας είναι 0,02 mg/L με τιμές που κυμαίνονται από <0,01 έως 0,10 mg/L ενώ κατά την ξηρή περίοδο ο μέσος όρος της αμμωνίας είναι 0,02 mg/L με τιμές που κυμαίνονται από <0,01 έως 0,06 mg/L (Πιν. 8.5 και 8.6). Η μικρή αυτή διαφορά στις συγκεντρώσεις της αμμωνίας πιθανών να οφείλεται στη χρήση λιπασμάτων κατά τη χειμερινή περίοδο. Εξαιρέση αποτελούν τα δείγματα G8 (0,20 mg/L), G10(0,71 mg/L), G12(0,22 mg/L), G14(0,19 mg/L), G15 (0,34 mg/L), και G21 (0,13 mg/L) για την υγρή περίοδο και τα δείγματα G10 (0,29 mg/L), G12 (0,13 mg/L), G13 (0,28 mg/L), G14 (5,06 mg/L), και G15 (0,19 mg/L) για την ξηρή περίοδο των οποίων οι συγκεντρώσεις τους είναι μεγαλύτερες από το σύνολο των δειγμάτων γεγονός το οποίο αποδίδεται σε τοπική χρήση λιπασμάτων.

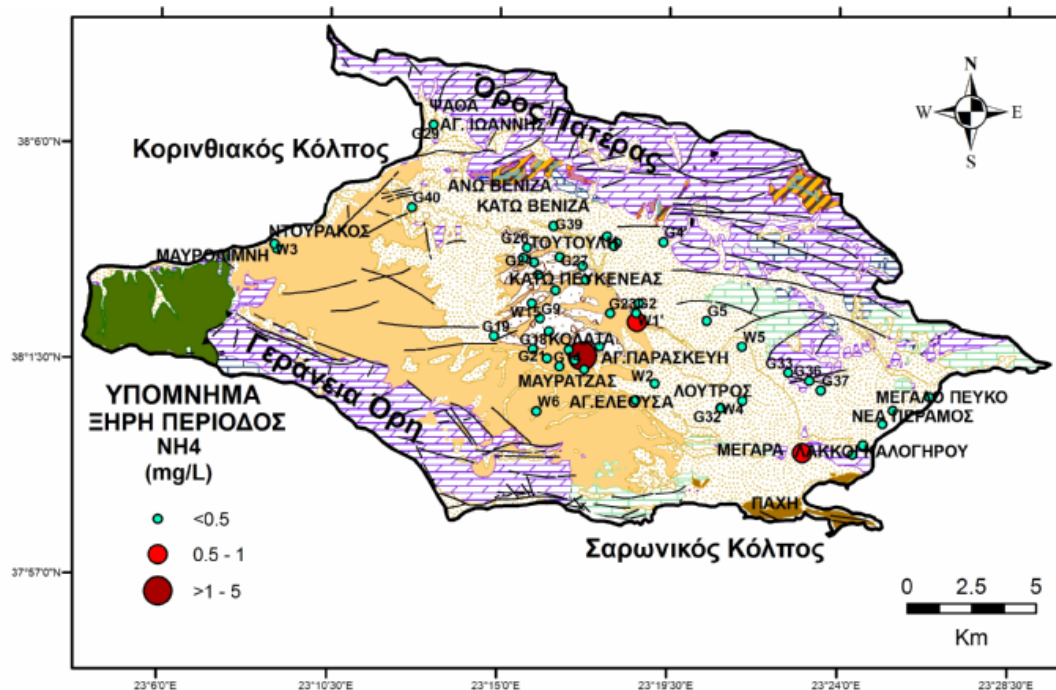
γ) νερά των καρστικών ανθρακικών σχηματισμών: Οι συγκεντρώσεις της αμμωνίας κατά την υγρή περίοδο στα νερά των καρστικών ανθρακικών σχηματισμών κυμαίνονται ως εξής: ο μέσος όρος της αμμωνίας κατά την υγρή περίοδο είναι 0,02 mg/L με τιμές που κυμαίνονται από <0,01 έως 0,04 mg/L ενώ κατά την ξηρή περίοδο οι τιμές της αμμωνίας είναι όλες <0,01 mg/L (Πιν. 8.5 και 8.6).

Από τη χωρική κατανομή της συγκέντρωσης της αμμωνίας για την υγρή και για την ξηρή περίοδο προκύπτει το συμπέρασμα ότι οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις >0,5 mg/L εμφανίζονται στο κεντρικό τμήμα της λεκάνης στην περιοχή Κολάτα και συγκεκριμένα κατά την ξηρή περίοδο η συγκέντρωση αμμωνίας είναι έως 5,06 mg/L. Επίσης παρατηρείται αύξηση της συγκέντρωσης της αμμωνίας στο υπόγειο νερό στα ΒΑ της περιοχής Κολάτα καθώς και στην πόλη των Μεγάρων. Οι συγκεντρώσεις αυτές αποδίδονται στη χρήση λιπασμάτων στην περιοχή Κολάτα και στην αύξηση των οικιακών λυμάτων στην πόλη των Μεγάρων όπως έχει προαναφερθεί. Στα

υπόλοιπα τμήματα της λεκάνης των Μεγάρων οι συγκεντρώσεις είναι $<0,5$ mg/L (Σχ. 8.98 και 8.99).



Σχήμα 8.98: Χωρική κατανομή συγκέντρωσης αμμωνίας (mg/L) των υπόγειων νερών κατά την υγρή περίοδο.



Σχήμα 8.99: Χωρική κατανομή συγκέντρωσης αμμωνίας (mg/L) των υπόγειων νερών κατά την ξηρή περίοδο.

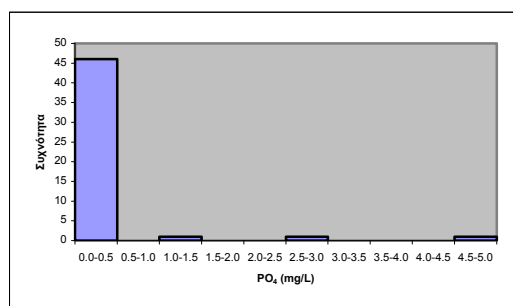
8.6.4.2. Φωσφορικά (PO_4^{3-})

Ο φώσφορος ανάλογα με τις τιμές του pH βρίσκεται με διάφορες μορφές στο υπόγειο νερό H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} , PO_4^{3-} (Freeze and Cherry 1979). Σύμφωνα με τον Matthes (1973) η συγκέντρωση του φωσφόρου στα μαγματικά πετρώματα είναι 1100 mg/kg, στους ψαμίτες 539 mg/kg, στους αργίλους 733 mg/kg και στα ανθρακικά πετρώματα 281 mg/kg.

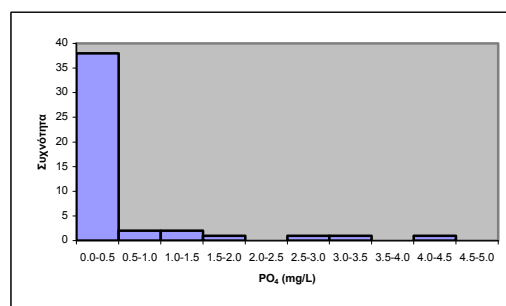
Ο φώσφορος βρίσκεται ελεύθερος στο περιβάλλον και στο νερό με διάφορες μορφές ανόργανων και οργανικών φωσφορικών ενώσεων. Αποτελεί απαραίτητο στοιχείο στους ζωντανούς οργανισμούς. Ένας ενήλικας χρειάζεται καθημερινά 800 mg φωσφόρου.

Πηγές φωσφόρου στα φυσικά νερά είναι τα συνθετικά απορρυπαντικά, τα λιπάσματα, τα απόβλητα κτηνοτροφικών μονάδων και τα υγρά βιομηχανικά απόβλητα (Alexakis and Kelepertsis 1998).

Οι συγκεντρώσεις των φωσφορικών στα υπόγεια νερά ομαδοποιήθηκαν σε κλάσεις με εύρος κλάσης και για τις δυο περιόδους δειγματοληψίας τα 0,5 mg/L (Σχ. 8.100 και 8.101).



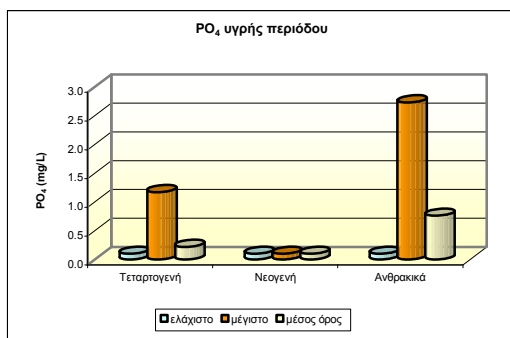
Σχήμα 8.100: Ιστόγραμμα κατανομής των φωσφορικών στα δείγματα υπόγειων νερών υγρής περιόδου.



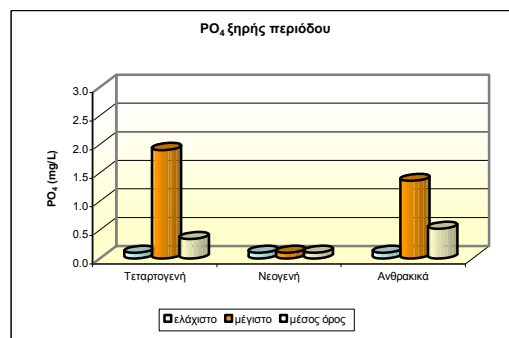
Σχήμα 8.101: Ιστόγραμμα κατανομής των φωσφορικών στα δείγματα υπόγειων νερών ξηρής περιόδου.

Στο ιστόγραμμα κατανομής των φωσφορικών για την υγρή και την ξηρή περίοδο διακρίνεται ένας κύριος πληθυσμός με μέγιστη κλάση από 0,0 έως 0,5 mg/L όπου αντιστοιχούν 46 δείγματα υπόγειου νερού για την υγρή περίοδο και 38 δείγματα υπόγειου νερού για στην ξηρή. Από το ιστόγραμμα κατανομής των φωσφορικών της ξηρής περιόδου έχουν εξαιρεθεί τα δείγματα W6 (18,4 mg/L), W10 (164,5 mg/L) και W14 (296,3 mg/L) εξαιτίας των πολύ υψηλών τιμών τους.

Οι συγκεντρώσεις φωσφορικών στα νερά των τεταρτογενών και ανθρακικών σχηματισμών, παρουσιάζουν διακύμανση κατά την υγρή και την ξηρή περίοδο δειγματοληψίας. Στους νεογενείς σχηματισμούς δεν παρατηρείται κάποια διακύμανση σε καμιά περίοδο δειγματοληψίας (Σχ. 8.102 και 8.103).



Σχήμα 8.102: Διακύμανση των συγκεντρώσεων των φωσφορικών υγρής περιόδου των τριών υδροφόρων.



Σχήμα 8.103: Διακύμανση των συγκεντρώσεων των φωσφορικών ξηρής περιόδου των τριών υδροφόρων.

Αναλυτικότερα οι συγκεντρώσεις των φωσφορικών στα υπόγεια νερά βάσει της λιθολογικής ταξινόμησης έχουν ως εξής (Σχ. 8.102 και 8.103):

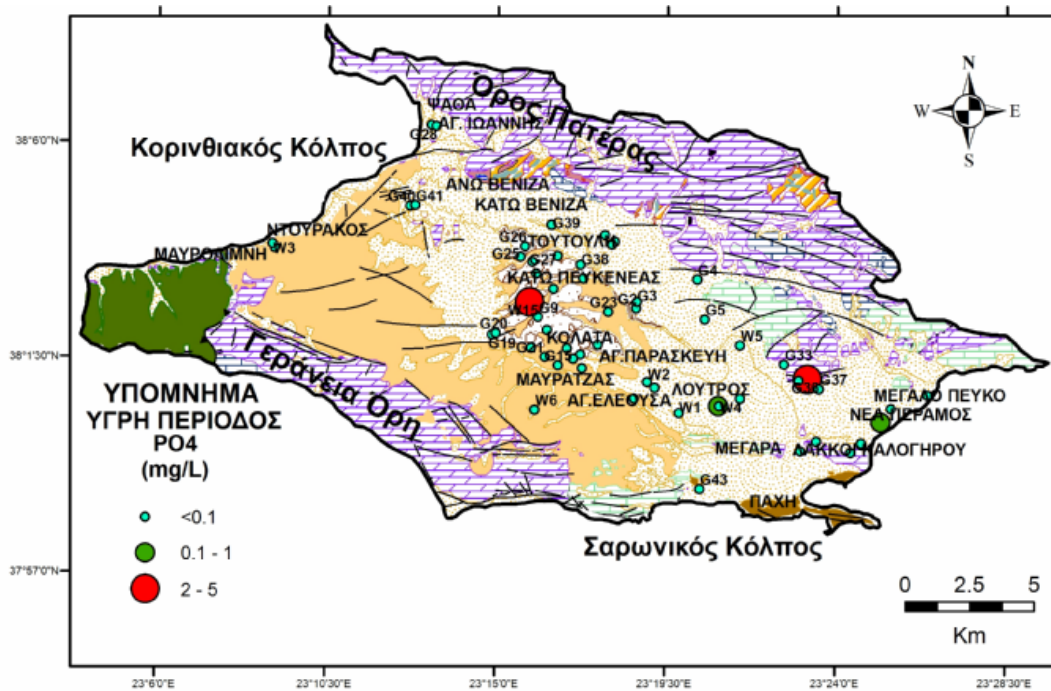
α) νερά των τεταρτογενών σχηματισμών: Οι συγκεντρώσεις των φωσφορικών στα νερά των τεταρτογενών σχηματισμών παρουσιάζουν μικρή αύξηση κατά την ξηρή περίοδο σε σχέση με την υγρή. Την υγρή περίοδο ο μέσος όρος των φωσφορικών είναι 0,2 mg/L με συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από <0,1 (όριο ανιχνευσιμότητας μεθόδου) έως 1,2 mg/L ενώ κατά την ξηρή περίοδο ο μέσος όρος των φωσφορικών είναι 0,3 mg/L με συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από <0,1 έως 1,9 mg/L (Πιν. 8.5 και 8.6). Εξαιρέση αποτελούν τα δείγματα W10 (164,5 mg/L) και W14 (296,32 mg/L) εξαιτίας των πολύ υψηλών συγκεντρώσεων τους που πιθανόν να οφείλονται σε σημειακές πηγές ρύπανσης, όπως οικιακά λύματα και σηπτικούς βόθρους. Η αύξηση των φωσφορικών κατά την ξηρή περίοδο σε σχέση με την υγρή οφείλεται στην αύξηση του πληθυσμού κατά τους θερινούς μήνες που έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση των οικιακών λυμάτων.

β) νερά των νεογενών σχηματισμών: Οι συγκεντρώσεις των φωσφορικών στα νερά των νεογενών σχηματισμών δεν παρουσιάζουν διαφορές ανάμεσα στις δυο περιόδους δειγματοληψίας. Και στις δυο περιόδους δειγματοληψίας το σύνολο των δειγμάτων δίνει συγκεντρώσεις <0,1 mg/L. Εξαιρέση αποτελούν κάποια δείγματα της υγρής και της ξηρής περιόδου που παρουσιάζουν υψηλές συγκεντρώσεις. Τα δείγματα αυτά είναι το W15 (4,74 mg/L) για την υγρή περίοδο και τα W6 (18,4 mg/L), W15 (4,4 mg/L), G6 (0,2 mg/L), G10 (0,3 mg/L), G12 (1,3 mg/L), G14 (3,2 mg/L) και το G26 (2,7 mg/L) για την ξηρή περίοδο. Οι τιμές αυτές των παραπάνω δειγμάτων πιθανόν να οφείλονται στη χρήση φωσφορικών λιπασμάτων στις καλλιεργούμενες εκτάσεις.

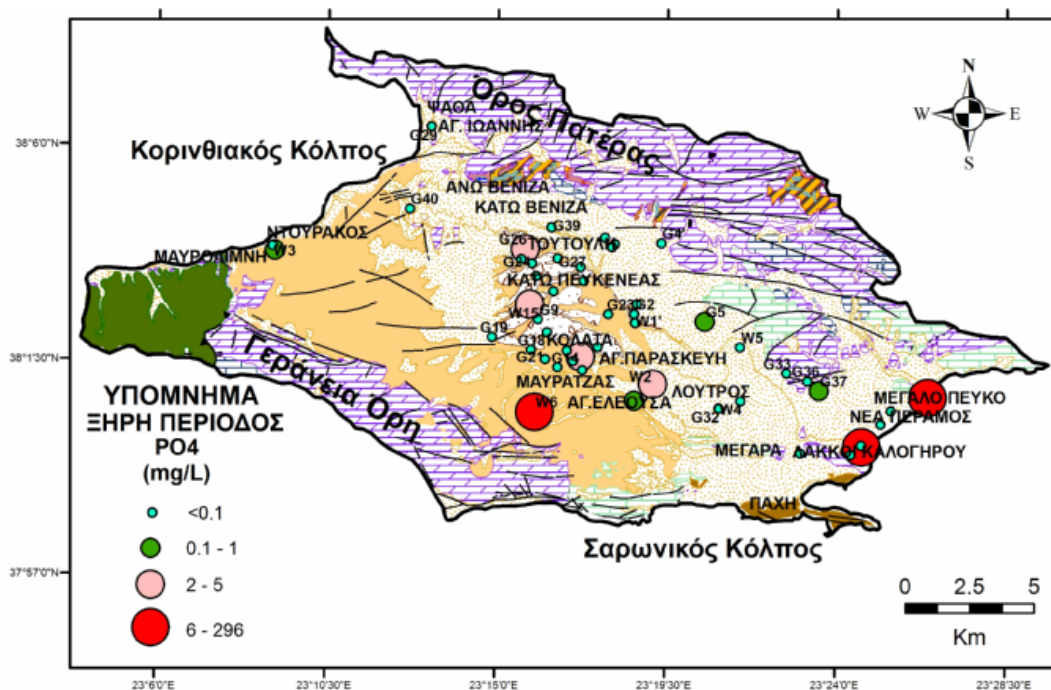
γ) νερά των καρστικών ανθρακικών σχηματισμών: Οι συγκεντρώσεις των φωσφορικών κατά την υγρή περίοδο στα νερά των καρστικών ανθρακικών σχηματισμών παρουσιάζουν μια μικρή μείωση κατά την ξηρή περίοδο, έτσι ο μέσος όρος των φωσφορικών κατά την υγρή περίοδο είναι 0,8 mg/L με συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από <0,1 έως 2,7 mg/L ενώ κατά την ξηρή περίοδο ο μέσος όρος των φωσφορικών είναι 0,5 mg/L με συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από <0,1 έως 1,4 mg/L (Πιν. 8.5 και 8.6).

Συγκρίνοντας τους χάρτες της χωρικής κατανομής για την υγρή και την ξηρή περίοδο προκύπτει ότι οι υψηλότερες συγκεντρώσεις φωσφορικών παρατηρούνται κατά την ξηρή περίοδο δειγματοληψίας στις περιοχές Μεγάλο Πεύκο και Λάκκοι Καλογήρου. Οι συγκεντρώσεις αυτές οφείλονται σε σηπτικούς βόθρους και οικιακά λύματα κατά τους θερινούς μήνες όπου σημειώνεται αύξηση του πληθυσμού κυρίως του παραθεριστικού πληθυσμού. Επίσης υψηλές συγκεντρώσεις παρατηρούνται στις περιοχές Τούτουλη, Κάτω Πευκενάς, Κολάτα, Μαυρατζάς και Αγ.Παρασκευή όπου

υπάρχει έντονη αγροτική δραστηριότητα. Οι συγκεντρώσεις αυτές αποδίδονται στη χρήση φωσφορικών λιπασμάτων (Σχ. 8.104 και 8.105).



Σχήμα 8.104: Χωρική κατανομή συγκέντρωσης φωσφορικών (mg/L) των υπόγειων νερών κατά την υγρή περίοδο.



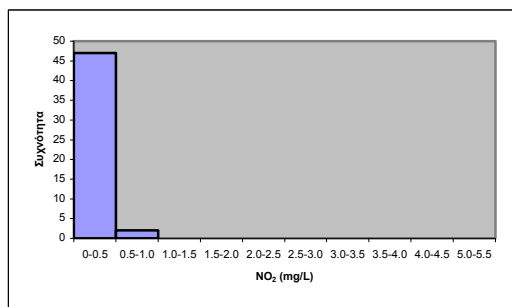
Σχήμα 8.105: Χωρική κατανομή συγκέντρωσης φωσφορικών (mg/L) των υπόγειων νερών κατά την ξηρή περίοδο.

8.6.4.3. Νιτρώδη (NO₂)

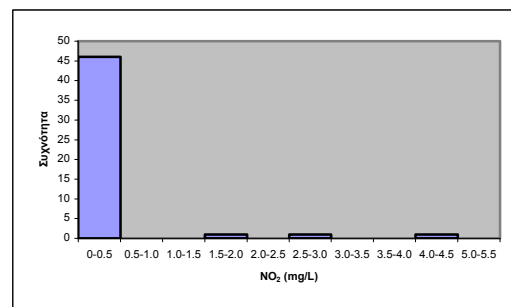
Τα νιτρώδη προέρχονται κυρίως από δύο διεργασίες: (α) την αναγωγή των νιτρικών και (β) την οξείδωση της αμμωνίας από μικροοργανισμούς. Άλλες πηγές προέλευσης τους είναι τα νερά ψύξης βιομηχανικών μονάδων στα οποία τα νιτρώδη προστίθενται ως αντιδιαβρωτικό μέσο, τα απόβλητα συγκεκριμένων βιομηχανικών κλάδων και τα αστικά λύματα (Καλογήρου 1994).

Δύο από τα δείγματα της υγρής περιόδου, με ποσοστό 4,08% και τρία από τα δείγματα της ξηρής περιόδου με ποσοστό 6,12% ξεπερνούν το όριο των 0,5 mg/L της κοινοτικής οδηγίας 98/83/EK (EC 1998).

Οι συγκεντρώσεις των νιτρωδών στα υπόγεια νερά ομαδοποιήθηκαν σε κλάσεις με εύρος κλάσης 0,5 mg/L και για τις δυο περιόδους δειγματοληψίας (Σχ. 8.106 και 8.107).



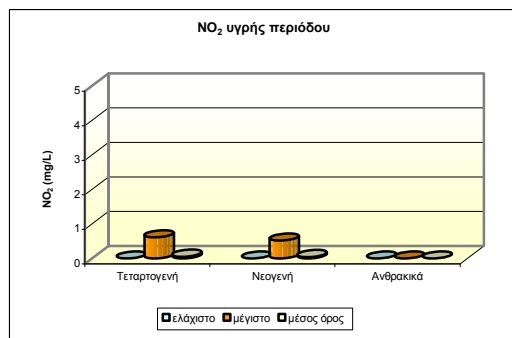
Σχήμα 8.106: Ιστόγραμμα κατανομής των νιτρωδών στα δείγματα υπόγειων νερών υγρής περιόδου.



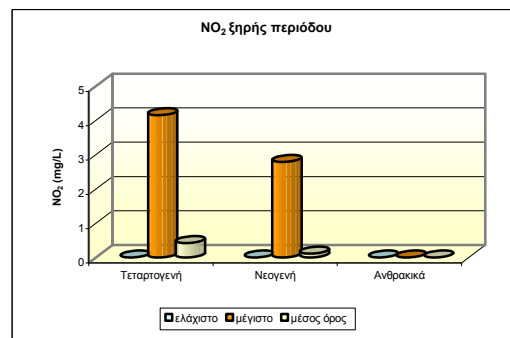
Σχήμα 8.107: Ιστόγραμμα κατανομής των νιτρωδών στα δείγματα υπόγειων νερών ξηρής περιόδου.

Στο ιστόγραμμα κατανομής των νιτρωδών για την υγρή περίοδο διακρίνεται ένας κύριος πληθυσμός με μέγιστη κλάση από 0,0 έως 0,5 mg/L όπου αντιστοιχούν 47 δείγματα υπόγειου νερού και στην ξηρή επίσης ένας κύριος πληθυσμός με μέγιστη κλάση από 0,0 έως 0,5 mg/L όπου αντιστοιχούν 46 δείγματα υπόγειου νερού.

Κατά την υγρή περίοδο δειγματοληψίας, οι συγκεντρώσεις των νιτρωδών στα νερά των τεταρτογενών και νεογενών σχηματισμών παρουσιάζουν μικρό εύρος διακύμανσης, ενώ κατά την ξηρή περίοδο το εύρος διακύμανσης αυξάνεται. Όσον αφορά στη συγκέντρωση νιτρωδών του νερού των ανθρακικών σχηματισμών, δεν παρουσιάζεται εύρος διακύμανσης για τις δυο περιόδους (Σχ. 8.108 και 8.109).



Σχήμα 8.108: Διακύμανση των συγκεντρώσεων των νιτρωδών υγρής περιόδου των τριών υδροφόρων.



Σχήμα 8.109: Διακύμανση των συγκεντρώσεων των νιτρωδών ξηρής περιόδου των τριών υδροφόρων.

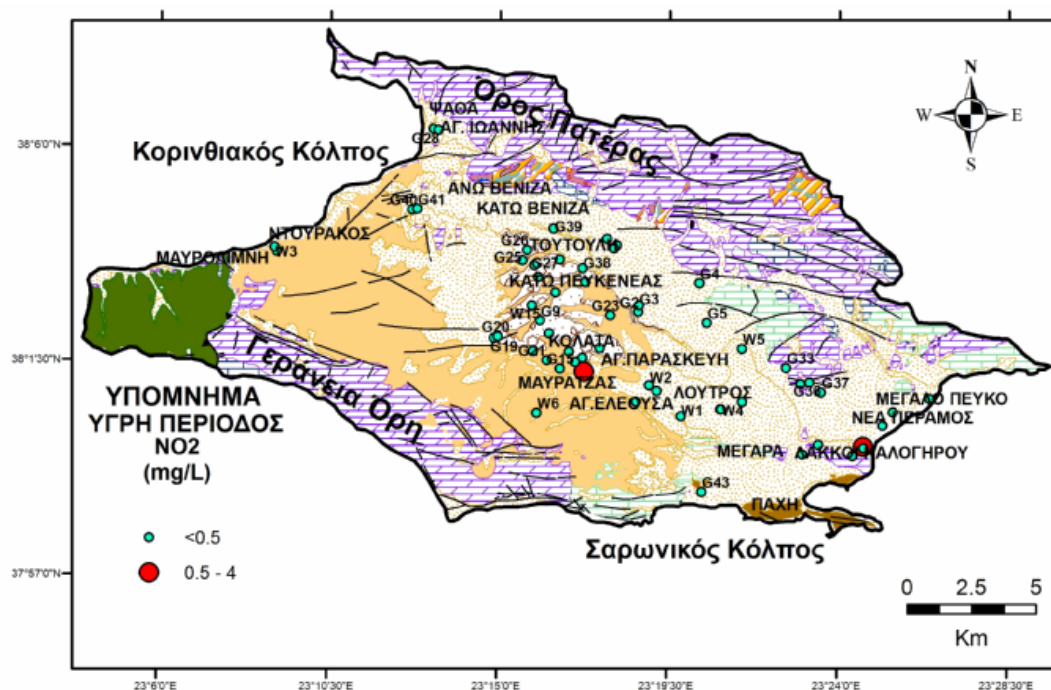
Οι συγκεντρώσεις των νιτρωδών στα υπόγεια νερά της περιοχής έρευνας για τις δυο περιόδους δειγματοληψίας έχουν ως εξής (Σχ. 8.108 και 8.109):

α) νερά των τεταρτογενών σχηματισμών: Οι συγκεντρώσεις των νιτρωδών στα νερά των τεταρτογενών σχηματισμών παρουσιάζουν αύξηση κατά την ξηρή περίοδο δειγματοληψίας. Την υγρή περίοδο ο μέσος όρος των νιτρωδών είναι 0,1 mg/L με συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από 0,0 έως 0,6 mg/L ενώ κατά την ξηρή περίοδο ο μέσος όρος των νιτρωδών είναι 0,4 mg/L με συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από 0,0 έως 4,2 mg/L (Πιν. 8.5 και 8.6). Η αύξηση των νιτρωδών κατά την ξηρή περίοδο οφείλεται σε αστικά λύματα, εξαιτίας της αύξησης του πληθυσμού κατά τους θερινούς μήνες.

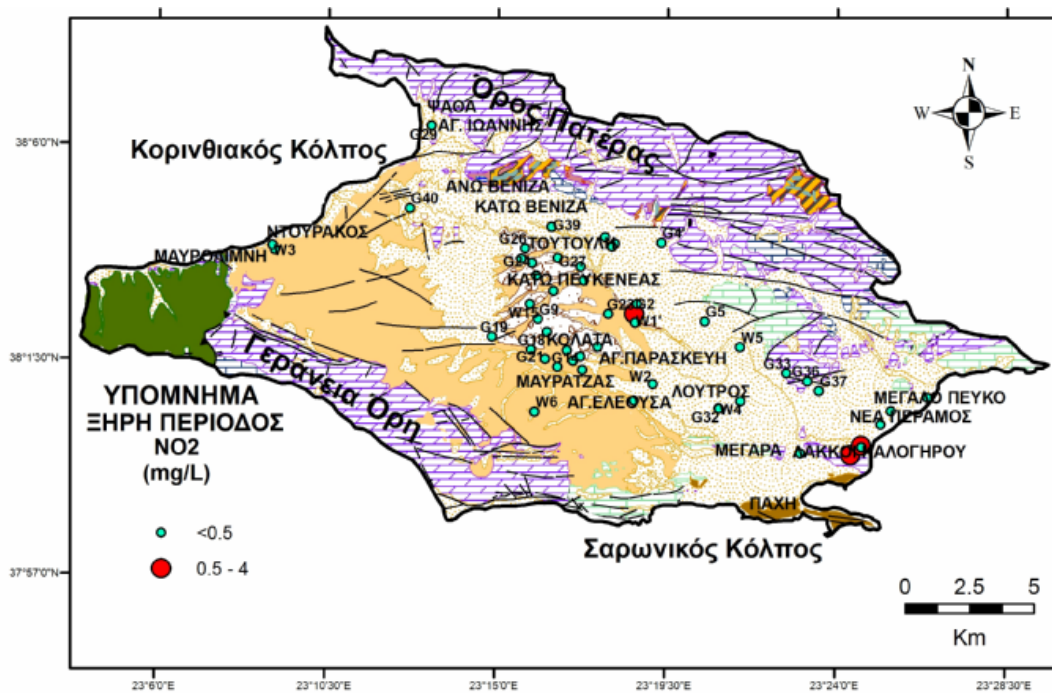
β) νερά των νεογενών σχηματισμών: Οι συγκεντρώσεις των νιτρωδών στα νερά των νεογενών σχηματισμών παρουσιάζουν μικρή αύξηση κατά την ξηρή περίοδο. Την υγρή περίοδο ο μέσος όρος των νιτρωδών είναι 0,0 mg/L με συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από 0,0 έως 0,5 mg/L ενώ κατά την ξηρή περίοδο ο μέσος όρος των νιτρωδών είναι 0,1 mg/L με συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από 0,0 έως 2,8 mg/L (Πιν. 8.5 και 8.6). Η μικρή αυτή αύξηση κατά την ξηρή περίοδο οφείλεται στη χρήση λιπασμάτων και στην περιορισμένη αναπλήρωση των υδροφόρων με μετεωρικό νερό.

γ) νερά των καρστικών ανθρακικών σχηματισμών: Οι συγκεντρώσεις των νιτρωδών στα νερά των καρστικών ανθρακικών σχηματισμών είναι μηδενικές και για τις δυο περιόδους δειγματοληψίας (Πιν. 8.5 και 8.6). Οι μηδενικές συγκεντρώσεις οφείλονται στο ότι τα νιτρώδη ιόντα αποτελούν το ενδιάμεσο στάδιο οξείδωσης των αζωτούχων ενώσεων δηλαδή τα νιτρώδη ιόντα έχουν μετατραπεί σε νιτρικά ιόντα τα οποία και ανιχνεύτηκαν στα νερά των καρστικών ανθρακικών σχηματισμών.

Από τη χωρική κατανομή των νιτρωδών διαπιστώνεται ότι και στις δυο περιόδους δειγματοληψίας η κατάσταση παραμένει σχεδόν η ίδια (Σχ. 8.110 και 8.111).



Σχήμα 8.110: Χωρική κατανομή συγκέντρωσης νιτρωδών (mg/L) των υπόγειων νερών κατά την υγρή περίοδο.



Σχήμα 8.111: Χωρική κατανομή συγκέντρωσης νιτρικών (mg/L) των υπόγειων νερών κατά την ξηρή περίοδο.

Οι συγκεντρώσεις των νιτρικών στα υπόγεια νερά του κεντρικού τμήματος της λεκάνης καθώς και στα ΒΔ και ΝΑ τμήματα της, είναι μικρότερες από 0,5 mg/L. Κατά την ξηρή περίοδο παρατηρείται αύξηση της συγκέντρωσης των νιτρικών στο υπόγειο νερό της περιοχής Λάκκοι Καλογήρου που πιθανώς οφείλεται στην αύξηση των αστικών λυμάτων εξαιτίας αύξησης του πληθυσμού κατά τους θερινούς μήνες. Επίσης οι αυξημένες συγκεντρώσεις στην περιοχή Μαυρατζάς κατά την υγρή περίοδο και νότια της περιοχής Κάτω Πευκενέα κατά την ξηρή περίοδο, πιθανόν να οφείλονται σε χρήση λιπασμάτων καθώς και σε ζωικά απόβλητα κτηνοτροφικών και πτηνοτροφικών μονάδων που υπάρχουν στις περιοχές αυτές (Σχ. 8.110 και 8.111).

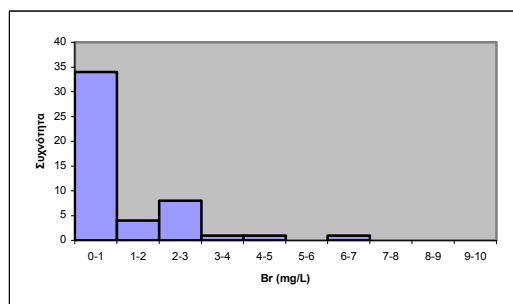
8.6.4.4. Βρώμιο (Br⁻)

Το βρώμιο συναντάται στους εβαπορίτες με συγκέντρωση 33 mg/kg, επίσης η συγκέντρωσή του στα ανθρακικά πετρώματα είναι 6,6 mg/kg, στις αργίλους 4,3 mg/kg, στους ψαμμίτες 1,0 mg/kg και στα μαγματικά πετρώματα 2,37 mg/kg (Matthess 1973).

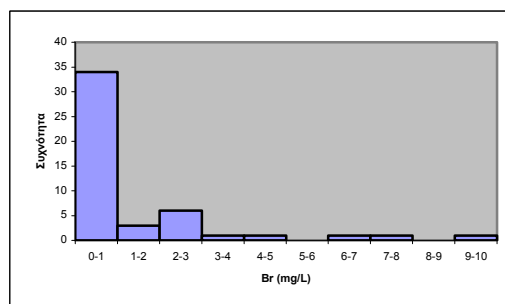
Το βρώμιο δεν βρίσκεται ελεύθερο στη φύση, αλλά με τη μορφή αλάτων, κυρίως του νατρίου, του καλίου και του μαγνησίου. Τα άλατα αυτά συνοδεύουν τα αντίστοιχα χλωριούχα, αλλά σε μικρότερη αναλογία από εκείνα. Έτσι το θαλάσσιο νερό περιέχει κυρίως βρωμιούχα άλατα. Το βρώμιο απαντάται κυρίως στις άλμες και στο θαλασσινό νερό. Το βρώμιο βρίσκεται επίσης σαν συστατικό των λιπασμάτων ή των ζιζανιοκτόνων. Τα ιόντα του βρωμίου έχουν την ίδια συμπεριφορά με τα ιόντα του χλωρίου μόνο που αυτά συναντώνται πολύ σπανιότερα σε σχέση με τα χλωριόντα (Whitehead 1974).

Στα φυσικά νερά η τιμή πλαισίου της συγκέντρωσης του βρωμίου είναι περίπου 20 mg/L και στο θαλασσινό νερό 65 mg/L (Emsley 1998, Κελεπερτζής 2000).

Οι συγκεντρώσεις του βρωμίου στα υπόγεια νερά ομαδοποιήθηκαν σε κλάσεις με εύρος κλάσης 1 mg/L (Σχ. 8.112 και 8.113).



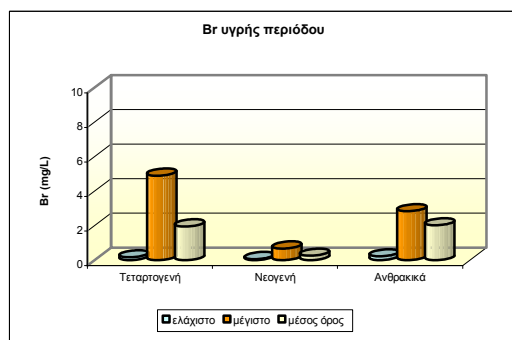
Σχήμα 8.112: Ιστόγραμμα κατανομής του βρωμίου στα δείγματα υπόγειων νερών υγρής περιόδου.



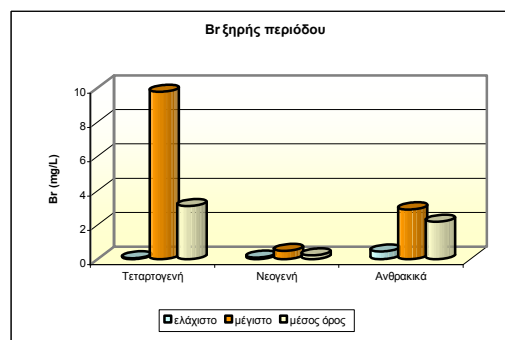
Σχήμα 8.113: Ιστόγραμμα κατανομής του βρωμίου στα δείγματα υπόγειων νερών ξηρής περιόδου.

Στο ιστόγραμμα κατανομής του βρωμίου για την υγρή και την ξηρή περίοδο διακρίνεται ένας κύριος πληθυσμός με μέγιστη κλάση από 0 έως 1 mg/L βρωμίου όπου αντιστοιχούν 34 δείγματα υπόγειου νερού και για τις δυο περιόδους δειγματοληψίας. Στο ιστόγραμμα της ξηρής περιόδου δεν συμπεριλαμβάνεται το δείγμα G30 (34,64 mg/L) εξαιτίας της υψηλής συγκέντρωσης του που οφείλεται στη θαλάσσια διείσδυση.

Για τις δυο περιόδους δειγματοληψίας παρατηρούνται τα εξής: α) οι υδροφόροι των τεταρτογενών σχηματισμών παρουσιάζουν αξιόλογη διακύμανση κατά την υγρή περίοδο που στην ξηρή περίοδο η διακύμανση αυτή αυξάνει, και β) όσον αφορά στους νεογενείς και ανθρακικούς σχηματισμούς αυτοί δεν παρουσιάζουν κάποιο αξιόλογο εύρος διακύμανσης (Σχ. 8.114 και 8.115).



Σχήμα 8.114: Διακύμανση των συγκεντρώσεων του βρωμίου υγρής περιόδου των τριών υδροφόρων.



Σχήμα 8.115: Διακύμανση των συγκεντρώσεων του βρωμίου ξηρής περιόδου των τριών υδροφόρων.

Οι συγκεντρώσεις του βρωμίου στα υπόγεια νερά της περιοχής έρευνας έχουν ως εξής (Σχ. 8.114 και 8.115):

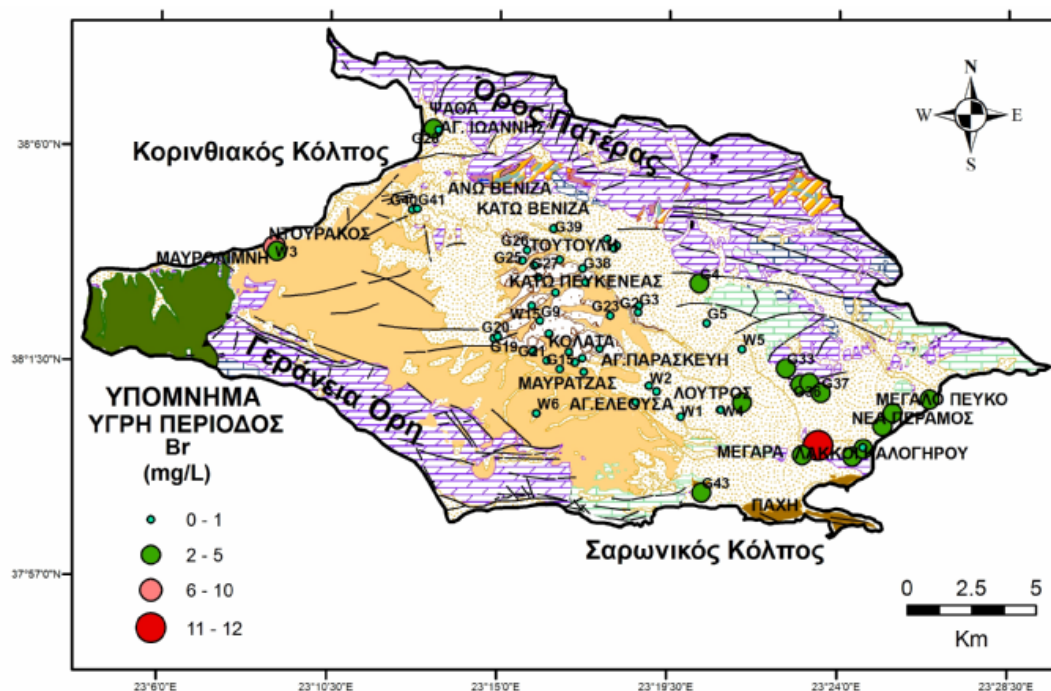
α) νερά των τεταρτογενών σχηματισμών: Την υγρή περίοδο ο μέσος όρος του βρωμίου είναι 1,9 mg/L με συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από 0,2 έως 4,9 mg/L ενώ κατά την ξηρή περίοδο ο μέσος όρος του βρωμίου είναι 3,1 mg/L με συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από 0,1 έως 9,8 mg/L (Πιν. 8.5 και 8.6). Εξαιρούνται από τα περιγραφικά στατιστικά το δείγμα W3 (6,93 mg/L) της υγρής και G30 (34,64 mg/L) της ξηρής περιόδου εξ' αιτίας των αυξημένων συγκεντρώσεων που παρουσιάζουν σε σχέση με τα υπόλοιπα δείγματα και που οφείλεται στον επηρεασμό

τους από τη διείσδυση του θαλασσινού νερού. Οι συγκεντρώσεις του βρωμίου στα νερά των τεταρτογενών σχηματισμών παρουσιάζουν αύξηση κατά την ξηρή περίοδο δειγματοληψίας που οφείλεται στη διείσδυση του θαλασσινού νερού εξ'αιτίας των αυξημένων αρδευτικών αναγκών κατά τη διάρκεια της θερινής περιόδου.

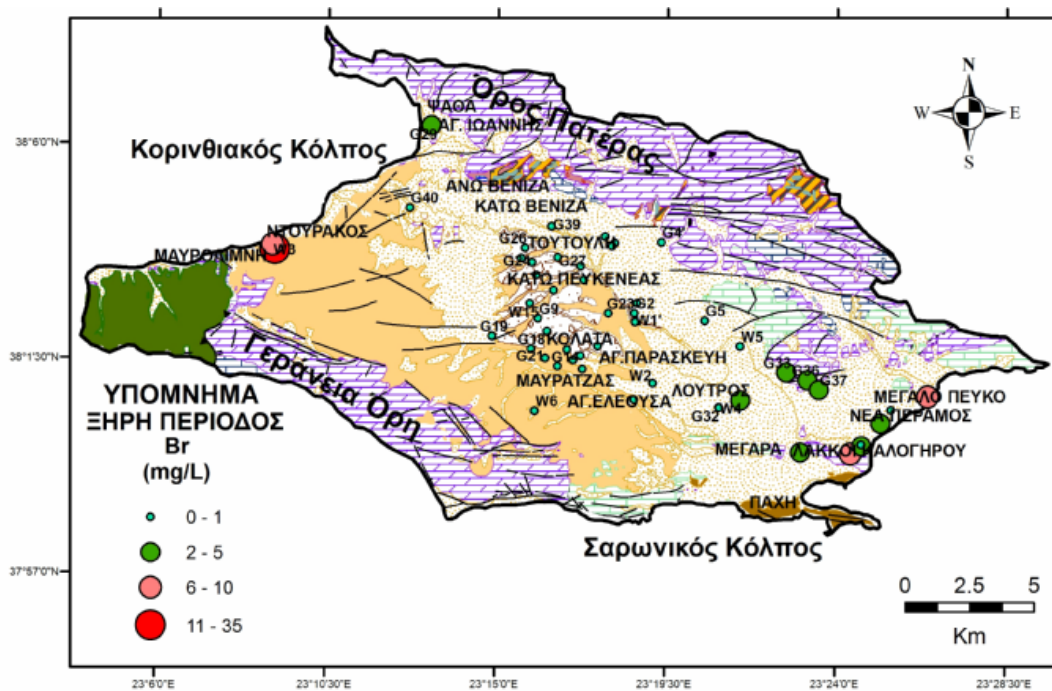
β) νερά των νεογενών σχηματισμών: Την υγρή περίοδο ο μέσος όρος του βρωμίου είναι 0,3 mg/L με συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από 0,1 έως 0,7 mg/L ενώ κατά την ξηρή περίοδο ο μέσος όρος του βρωμίου είναι 0,2 mg/L με συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από 0,1 έως 0,5 mg/L (Πιν. 8.5 και 8.6). Εξαιρέση αποτελούν τα δείγματα W15 (1,4 mg/L) και G34 (2 mg/L) της υγρής περιόδου και τα δείγματα G14 (0,6 mg/L) και G34 (2,17 mg/L) της ξηρής περιόδου, εξ'αιτίας των υψηλότερων συγκεντρώσεων σε σχέση με το σύνολο των δειγμάτων. Οι συγκεντρώσεις του βρωμίου στα νερά των νεογενών σχηματισμών παρουσιάζουν μικρές διαφορές ανάμεσα στις δύο περιόδους δειγματοληψίας.

γ) νερά των καρστικών ανθρακικών σχηματισμών: Την υγρή περίοδο ο μέσος όρος του βρωμίου είναι 2,0 mg/L με συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από 0,2 έως 2,8 mg/L ενώ κατά την ξηρή περίοδο ο μέσος όρος του βρωμίου είναι 2,2 mg/L με συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από 0,5 έως 2,9 mg/L (Πιν. 8.5 και 8.6). Οι συγκεντρώσεις του βρωμίου στα νερά των καρστικών ανθρακικών σχηματισμών δεν παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές ανάμεσα στις δύο περιόδους.

Οι υψηλές συγκεντρώσεις βρωμίου στο υπόγειο νερό εντοπίζονται, στις παράκτιες περιοχές της Ψάθας, Ντουράκος, Νέα Πέραμος, Μεγάλο Πεύκο, Μέγαρο και Λάκκοι Καλογήρου και οφείλονται στη θαλάσσια διείσδυση (Σχ. 8.116 και 8.117).



Σχήμα 8.116: Χωρική κατανομή συγκέντρωσης βρωμίου (mg/L) των υπόγειων νερών κατά την υγρή περίοδο.



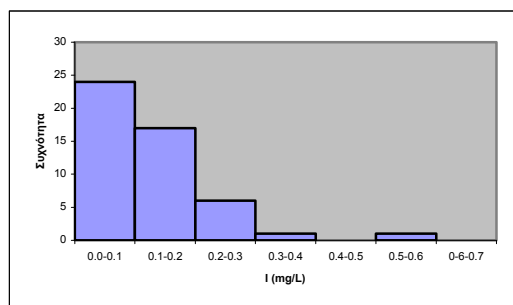
Σχήμα 8.117: Χωρική κατανομή συγκέντρωσης βρωμίου (mg/L) των υπόγειων νερών κατά την ξηρή περίοδο.

8.6.4.5. Ιώδιο (I)

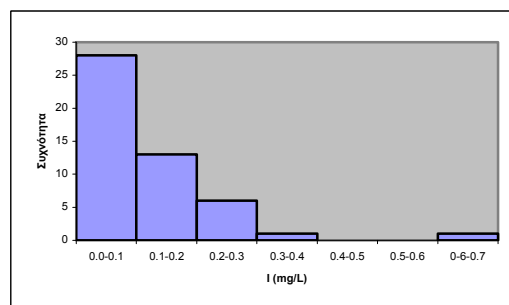
Το ιώδιο βρίσκεται στους σχιστόλιθους όταν αυτοί περιέχουν υψηλό ποσοστό οργανικής ουσίας με αποτέλεσμα η αποσάθρωση τους να απελευθερώνει σημαντικές ποσότητες ιωδίου. Η συγκέντρωση του ιωδίου στους εβαπορίτες είναι 1 mg/kg, στους ψαμίτες 3,75 mg/kg, στους αργίλους 4,4 mg/kg και στα ανθρακικά πετρώματα 1,59 mg/kg (Matthess 1973).

Το ιώδιο είναι απαραίτητο για τη ζωή και είναι γνωστή η λειτουργία στον ανθρώπινο οργανισμό που συμμετέχει ως συστατικό στην ορμόνη θυροξίνη. Ανεπάρκεια του ιωδίου προκαλεί την ασθένεια του θυρεοειδούς αδένα, αυτό μπορεί να προληφθεί με συμπληρώματα διατροφής τα οποία περιέχουν ιωδιούχο νάτριο. Περιοχές οι οποίες είναι απομακρυσμένες από τη θάλασσα, όπως η Ελβετία και περιοχές της Κίνας η ανεπάρκεια ιωδίου είναι ένα σημαντικό πρόβλημα (Cox 1997, Hem 2005).

Οι συγκεντρώσεις του ιωδίου στα υπόγεια νερά ομαδοποιήθηκαν σε κλάσεις με εύρος κλάσης 0,1 mg/L και για τις δυο περιόδους υγρή και ξηρή (Σχ. 8.118 και 8.119).



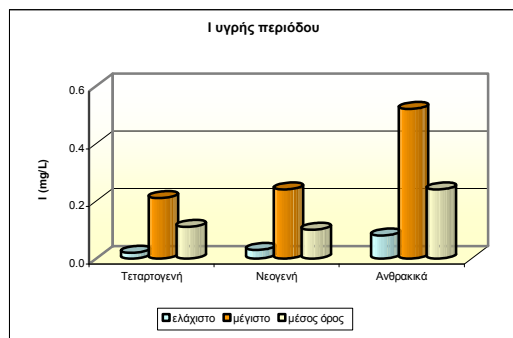
Σχήμα 8.118: Ιστόγραμμα κατανομής του ιωδίου στα δείγματα υπόγειων νερών υγρής περιόδου.



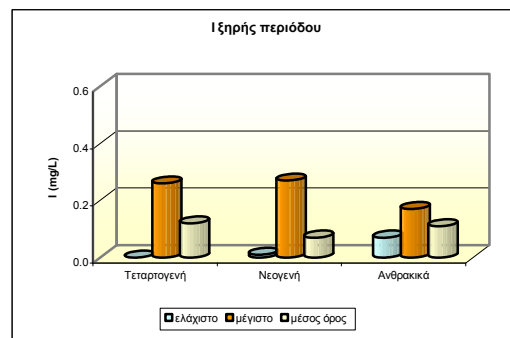
Σχήμα 8.119: Ιστόγραμμα κατανομής του ιωδίου στα δείγματα υπόγειων νερών ξηρής περιόδου.

Στο ιστόγραμμα κατανομής του ιωδίου για την υγρή και την ξηρή περίοδο διακρίνεται ένας κύριος πληθυσμός με μέγιστη κλάση από 0,0 έως 0,1 mg/L ιωδίου όπου αντιστοιχούν 24 δείγματα υπόγειου νερού για την υγρή περίοδο και 28 δείγματα υπόγειου νερού για την ξηρή περίοδο.

Οι συγκεντρώσεις ιωδίου στα νερά των τεταρτογενών και των νεογενών σχηματισμών παρουσιάζουν μεγάλο εύρος διακύμανσης και για τις δυο περιόδους δειγματοληψίας. Σχετικά με τις συγκεντρώσεις ιωδίου στα νερά των ανθρακικών σχηματισμών, η διακύμανση που παρουσιάζουν είναι μεγαλύτερη κατά την υγρή περίοδο σε σχέση με την ξηρή περίοδο (Σχ. 8.120 και 8.121).



Σχήμα 8.120: Διακύμανση των συγκεντρώσεων του ιωδίου υγρής περιόδου των τριών υδροφόρων.



Σχήμα 8.121: Διακύμανση των συγκεντρώσεων του ιωδίου ξηρής περιόδου των τριών υδροφόρων.

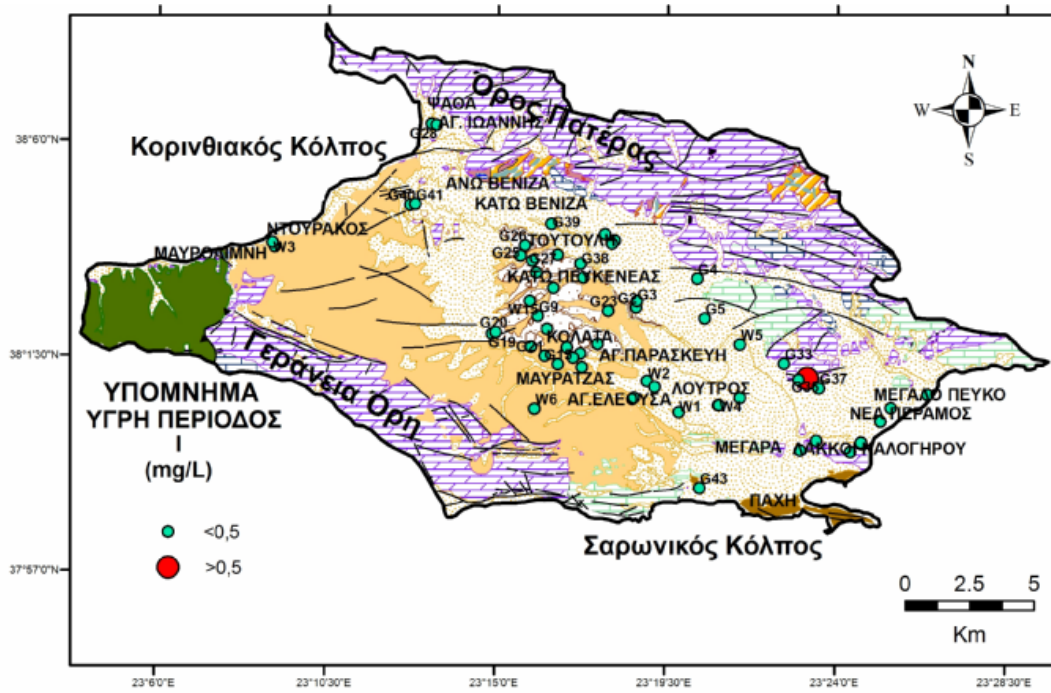
Αναλυτικότερα, οι συγκεντρώσεις του ιωδίου στα υπόγεια νερά βάσει της λιθολογικής ταξινόμησης, έχουν ως εξής (Σχ. 8.120 και 8.121):

α) νερά των τεταρτογενών σχηματισμών: Την υγρή περίοδο ο μέσος όρος του ιωδίου είναι 0,11 mg/L με συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από 0,02 έως 0,21 mg/L ενώ κατά την ξηρή περίοδο ο μέσος όρος του ιωδίου είναι 0,12 mg/L με συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από 0,00 έως 0,26 mg/L (Πιν. 8.5 και 8.6). Οι συγκεντρώσεις του ιωδίου δεν παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές ανάμεσα στις δυο περιόδους.

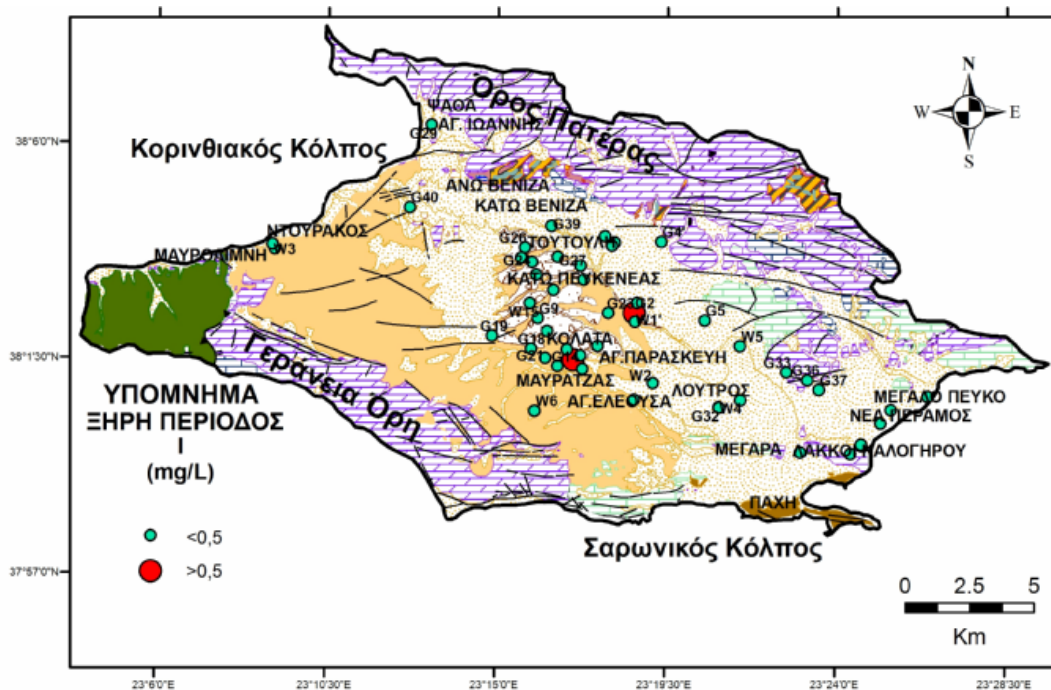
β) νερά των νεογενών σχηματισμών: Την υγρή περίοδο ο μέσος όρος του ιωδίου είναι 0,10 mg/L με συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από 0,03 έως 0,24 mg/L ενώ κατά την ξηρή περίοδο ο μέσος όρος του ιωδίου είναι 0,07 mg/L με συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από 0,01 έως 0,27 mg/L (Πιν. 8.5 και 8.6). Οι συγκεντρώσεις του ιωδίου δεν μεταβάλλονται σημαντικά για τις δυο περιόδους δειγματοληψίας. Εξαιρέση αποτελούν για την υγρή περίοδο τα δείγματα G9 και G15 με συγκεντρώσεις 0,26 και 0,36 mg/L αντίστοιχα και για την ξηρή περίοδο τα δείγματα G15, G26, G34 και G39 με συγκεντρώσεις 0,64 , 0,32 , 0,29 και 0,30 mg/L αντίστοιχα.

γ) νερά των καρστικών ανθρακικών σχηματισμών: Την υγρή περίοδο ο μέσος όρος του ιωδίου είναι 0,24 mg/L με συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από 0,08 έως 0,52 mg/L ενώ κατά την ξηρή περίοδο ο μέσος όρος του ιωδίου είναι 0,11 mg/L με συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από 0,07 έως 0,17 mg/L (Πιν. 8.5 και 8.6). Οι συγκεντρώσεις του ιωδίου δεν μεταβάλλονται σημαντικά για τις δυο περιόδους δειγματοληψίας.

Από τη σύγκριση της χωρικής κατανομής του ιωδίου στα υπόγεια νερά της περιοχής έρευνας κατά τη διάρκεια της υγρής και της ξηρής περιόδου, προκύπτει ότι δεν παρατηρούνται σημαντικές μεταβολές (Σχ. 8.122 και 8.123).



Σχήμα 8.122: Χωρική κατανομή συγκέντρωσης ιωδίου (mg/L) των υπόγειων νερών κατά την υγρή περίοδο.



Σχήμα 8.123: Χωρική κατανομή συγκέντρωσης ιωδίου (mg/L) των υπόγειων νερών κατά την ξηρή περίοδο.

8.6.4.6. Φθόριο (F)

Τα σημαντικότερα ορυκτά του φθορίου είναι ο φθορίτης (CaF_2) και ο φθοροαπατίτης ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$), ενώ βρίσκεται ως ιχνοστοιχείο στο πλέγμα των μαρμαρυγιών και των

αμφιβόλων. Το φθόριο προέρχεται από τη μετατροπή του φθοροαπατίτη σε υδροξυαπατίτη: $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F} + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH} + \text{H}^+ + \text{F}^-$. Νερά με υψηλές συγκεντρώσεις φθορίου έχουν χαμηλές συγκεντρώσεις σε ασβέστιο, επίσης η διαλυτότητα του είναι πολύ μικρή και η συγκέντρωσή του στα νερά είναι επίσης μικρή (Hem 2005).

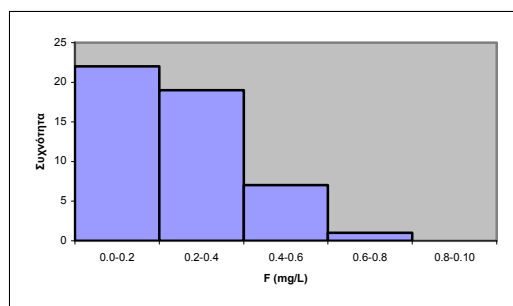
Συγκεντρώσεις φθορίου μέχρι 1 mg/L είναι ωφέλιμες στον ανθρώπινο οργανισμό. Το φθόριο χρησιμοποιήθηκε σε πολλές χώρες στο πόσιμο νερό για την αποφυγή της τερηδόνας στα μικρά παιδιά και στην καλύτερη ανάπτυξη της αδαμαντίνης, μελέτες όμως έδειξαν ότι το φθόριο προκαλεί προβλήματα στα δόντια όπως κηλίδες και παραμόρφωση στα οστά (Cox 1997).

Το φθόριο χρησιμοποιείται για την παρασκευή χημικών ενώσεων, όπως CFCs και PTFE (ή Teflon), επίσης χρησιμοποιείται με τη μορφή H_2SiF_6 ως πρόσθετο στις οδοντόκρεμες και στο πόσιμο νερό (Cox 1997).

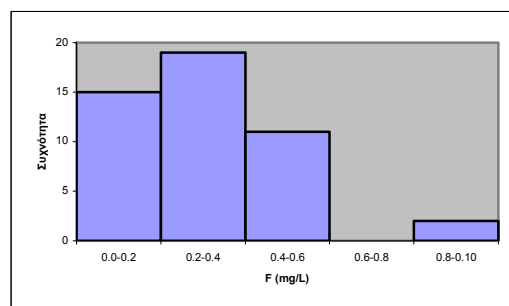
Η τιμή πλαισίου για το φθόριο στα φυσικά νερά είναι 100 µg/L και η συγκέντρωσή του στο θαλασσίνο νερό είναι 1,3 mg/L (Emsley 1998, Κελεπερτζής 2000).

Η παραμετρική τιμή φθορίου στο πόσιμο νερό είναι 1,5 mg/L σύμφωνα με την Κοινοτική Οδηγία 98/83/EK (EC 1998).

Σύμφωνα με την κοινοτική οδηγία 98/83/EK ένα από τα 49 δείγματα της ξηρής περιόδου υπερβαίνει την παραμετρική τιμή των 1,5 mg/L. Τα δεδομένα του φθορίου στα υπόγεια νερά ομαδοποιήθηκαν σε κλάσεις με εύρος κλάσης και για τις δυο περιόδους τα 0,2 mg/L (Σχ. 8.124 και 8.125).



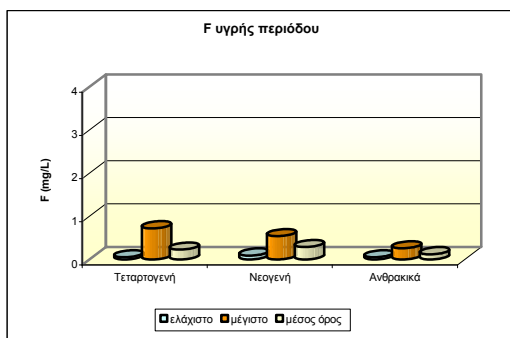
Σχήμα 8.124: Ιστόγραμμα κατανομής του φθορίου στα δείγματα υπόγειων νερών υγρής περιόδου.



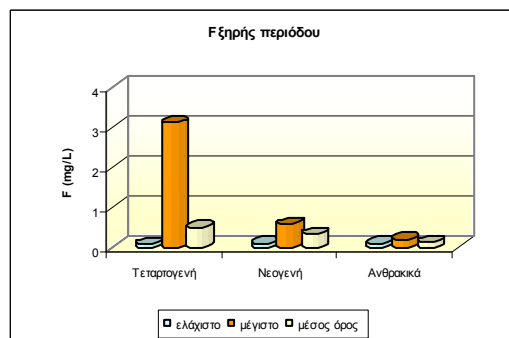
Σχήμα 8.125: Ιστόγραμμα κατανομής του φθορίου στα δείγματα υπόγειων νερών ξηρής περιόδου.

Στο ιστόγραμμα κατανομής του φθορίου για την υγρή περίοδο διακρίνεται ένας κύριος πληθυσμός με μέγιστη κλάση από 0,0 έως 0,2 mg/L καλίου όπου αντιστοιχούν 22 δείγματα υπόγειου νερού και στην ξηρή ένας κύριος πληθυσμός με μέγιστη κλάση από 0,2 έως 0,4 mg/L όπου αντιστοιχούν 19 δείγματα υπόγειου νερού. Στο ιστόγραμμα της ξηρής περιόδου έχουν εξαιρεθεί τα δείγματα G14 (11,64 mg/L) και G30 (3,12 mg/L) εξαιτίας των υψηλών συγκεντρώσεων.

Παρατηρείται, ότι η διακύμανση των συγκεντρώσεων του φθορίου στα νερά των τεταρτογενών σχηματισμών παρουσιάζει αύξηση στην ξηρή περίοδο σε σχέση με την υγρή. Όσον αφορά στους νεογενείς και στους ανθρακικούς σχηματισμούς, οι συγκεντρώσεις του φθορίου παραμένουν σχεδόν αμετάβλητες τόσο κατά την υγρή, όσο και κατά την ξηρή περίοδο (Σχ. 8.126 και 8.127).



Σχήμα 8.126: Διακύμανση των συγκεντρώσεων του φθορίου υγρής περιόδου των τριών υδροφόρων.



Σχήμα 8.127: Διακύμανση των συγκεντρώσεων του φθορίου ξηρής περιόδου των τριών υδροφόρων.

Οι συγκεντρώσεις του φθορίου στα υπόγεια νερά της περιοχής έρευνας βάσει της λιθολογικής ταξινόμησης έχουν ως εξής (Σχ. 8.126 και 8.127):

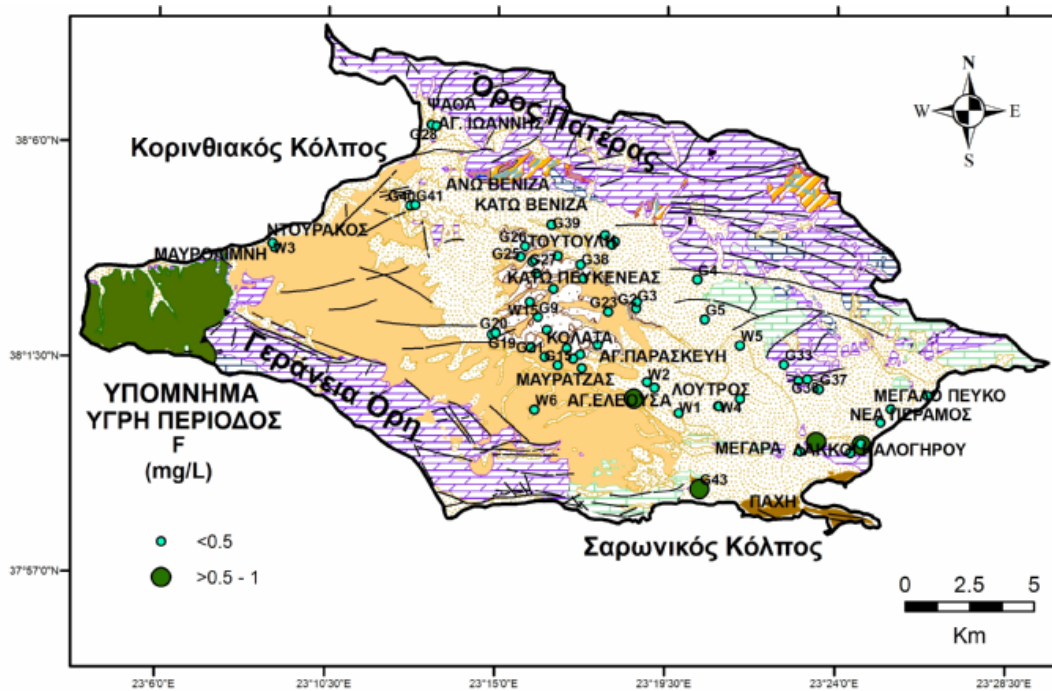
α) νερά των τεταρτογενών σχηματισμών: Την υγρή περίοδο ο μέσος όρος του φθορίου είναι 0,23 mg/L με συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από 0,05 έως 0,72 mg/L ενώ κατά την ξηρή περίοδο ο μέσος όρος του φθορίου είναι 0,49 mg/L με συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από 0,07 έως 3,12 mg/L (Πιν. 8.5 και 8.6). Οι συγκεντρώσεις του φθορίου στα νερά των τεταρτογενών σχηματισμών παρουσιάζουν μικρή αύξηση κατά την ξηρή περίοδο σε σχέση με τις συγκεντρώσεις της υγρής περιόδου, το οποίο πιθανώς οφείλεται στη διείδυση του θαλασσινού νερού στον υπόγειο υδροφόρο.

β) νερά των νεογενών σχηματισμών: Την υγρή περίοδο ο μέσος όρος του φθορίου είναι 0,29 mg/L με συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από 0,09 έως 0,54 mg/L ενώ κατά την ξηρή περίοδο ο μέσος όρος του φθορίου είναι 0,32 mg/L με συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από 0,10 έως 0,57 mg/L (Πιν. 8.5 και 8.6). Εξαιρούνται τα δείγματα G14 (11,64 mg/L) και W6 (0,96 mg/L) της ξηρής περιόδου εξαιτίας της υψηλής συγκέντρωσης τους σε σχέση με το σύνολο των δειγμάτων των νεογενών σχηματισμών.

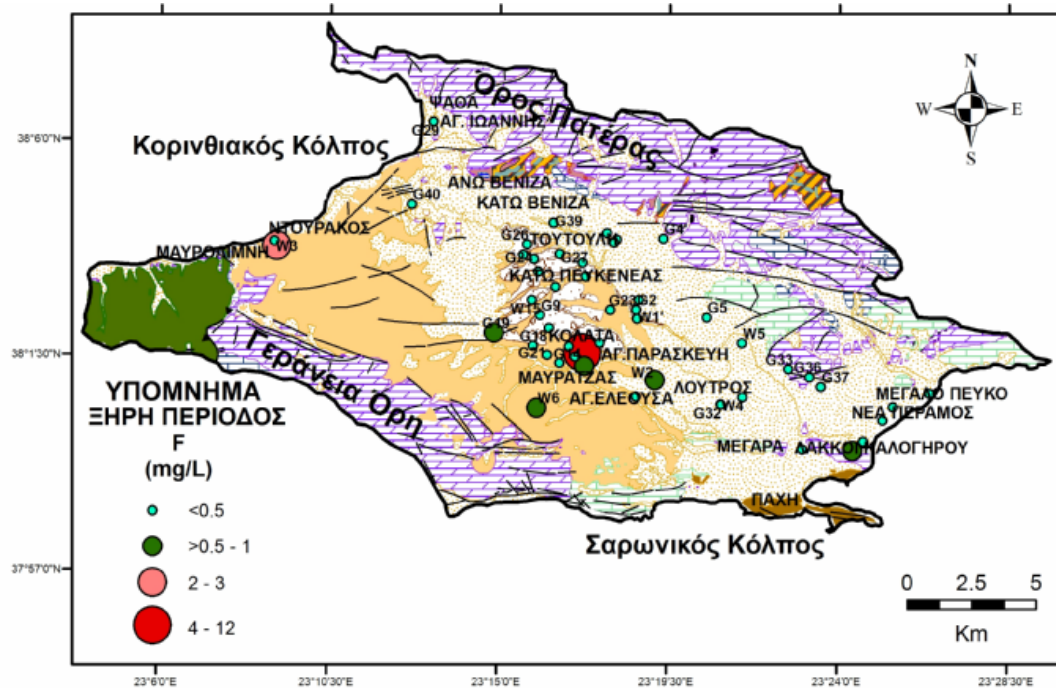
Πιθανή πηγή προέλευσης του φθορίου στο υπόγειο νερό των νεογενών σχηματισμών είναι το οργανικό υλικό των λιγνιτικών ενδιαστρώσεων. Σύμφωνα με τους Greta et al. (2013) και Finkelman et al. (2002) το οργανικό υλικό μπορεί να έχει προσροφημένα ιόντα φθορίου και να αποτελέσει πηγή φθορίου για τα υπόγεια νερά. Αντίστοιχη πηγή προέλευσης φθορίου αναφέρεται στην περιοχή Guizhou της Κίνας, όπου η συγκέντρωση φθορίου στο υπόγειο νερό φθάνει έως τα 2,4 mg/L, ενώ στους γαιάνθρακες της ίδιας περιοχής η συγκέντρωση φθορίου κυμαίνεται από 16,6 έως 500 mg/L (Dai et al. 2004). Ενδεικτικά αναφέρεται ότι η συγκέντρωση φθορίου στο οργανικό υλικό των γαιανθράκων της περιοχής Yunnan της Κίνας κυμαίνεται από 274 έως 933 mg/Kg και η μέση συγκέντρωση φθορίου στο γαιάνθρακα είναι 84 mg/Kg (Dai et al. 2008). Επίσης σύμφωνα με τους Greta et al. (2013) η έκπλυση με κρύο νερό της τέφρας λιγνίτη από το Mariza East Deposit η οποία έχει συγκέντρωση 3,2% σε φθόριο, απελευθερώνει στο διάλυμα 19 mg/L φθορίου. Σημειώνεται ότι η σύμφωνα με τους Foscolos et al. (1989) η συγκέντρωση φθορίου στους ελληνικούς λιγνίτες κυμαίνεται από 36-217 mg/Kg.

γ) νερά των καρστικών ανθρακικών σχηματισμών: Οι συγκεντρώσεις του φθορίου στα νερά των καρστικών ανθρακικών πετρωμάτων δεν παρουσιάζουν διαφορές όπως και στα νεογενή ανάμεσα στις δύο περιόδους. Την υγρή περίοδο ο μέσος όρος του φθορίου είναι 0,12 mg/L με συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από 0,05 έως 0,26 mg/L

ενώ κατά την ξηρή περίοδο ο μέσος όρος του φθορίου είναι 0,13 mg/L με συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από 0,09 έως 0,20 mg/L (Πιν. 8.5 και 8.6). Οι χωρικές κατανομές του φθορίου για τις δυο περιόδους απεικονίζονται στα Σχ. 8.128 και 8.129.



Σχήμα 8.128: Χωρική κατανομή συγκέντρωσης φθορίου (mg/L) των υπόγειων νερών κατά την υγρή περίοδο.



Σχήμα 8.129: Χωρική κατανομή συγκέντρωσης φθορίου (mg/L) των υπόγειων νερών κατά την ξηρή περίοδο.

Από τη χωρική κατανομή του φθορίου διαπιστώνεται ότι κατά την υγρή περίοδο οι υψηλότερες συγκεντρώσεις (0,5 έως 1 mg/L) καταγράφονται στις περιοχές Αγ.Ελεούσα, Λάκκοι Καλογήρου και ΝΔ των Μεγάρων (Σχ. 8.128). Σχετικά με τη χωρική κατανομή του φθορίου κατά την ξηρή περίοδο, αναφέρεται ότι οι υψηλότερες συγκεντρώσεις (0,5 έως 12 mg/L) παρατηρούνται στις περιοχές Αγ.Ελεούσα, Λάκκοι Καλογήρου, Κολάτα, Μαυρατζάς, Λουτρός και Ντουράκος (Σχ. 8.129). Οι συγκεντρώσεις φθορίου οι οποίες καταγράφηκαν στο κεντρικό τμήμα της λεκάνης συνδέονται με το οργανικό υλικό των λιγνιτικών ενδιαστρώσεων.

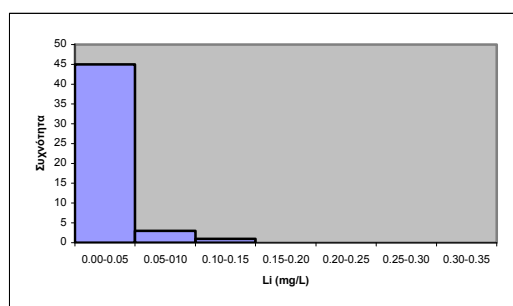
8.6.4.7. Λίθιο (Li)

Το λίθιο είναι σχετικά σπάνιο στοιχείο και παρουσιάζει παρόμοια χημική συμπεριφορά με το νάτριο και το μαγνήσιο. Το κύριο ορυκτό του είναι το σποδούμενο ($\text{LiAlSi}_2\text{O}_6$) ενώ απαντά και στο θαλασσινό νερό. Χρησιμοποιείται επίσης σε μπαταρίες, υαλοπίνακες και βιομηχανικά προϊόντα. Έχει σημαντική επίδραση στο νευρικό σύστημα και χρησιμοποιείται με τη μορφή ανθρακικού λιθίου για την θεραπεία ψυχιατρικών ασθενειών. Ορισμένες ενώσεις του λιθίου προκαλούν καρκίνο και τερατογενέσεις (Cox 1997, Emsley 1998).

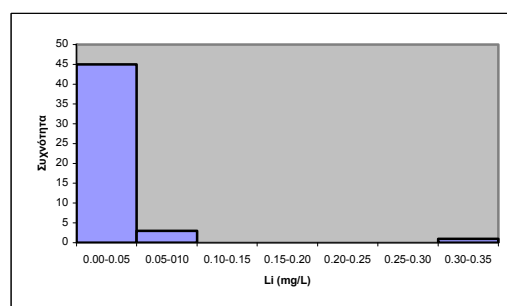
Η τιμή πλαισίου για το λίθιο στα φυσικά νερά είναι 3 mg/L και η συγκέντρωση του θαλασσινού νερού 0,17 mg/L (Emsley 1998, Κελεπερτζής 2000).

Η συγκέντρωση του λιθίου στα δείγματα της περιοχής έρευνας για την υγρή περίοδο κυμαίνεται από 0,00 έως 0,12 mg/L, ενώ η αριθμητική μέση τιμή ισούται με 0,03 mg/L. Αντίστοιχα για την ξηρή περίοδο εμφανίζονται συγκεντρώσεις από 0,00 έως 0,35 mg/L, ενώ η αριθμητική μέση τιμή ισούται με 0,03 mg/L.

Τα δεδομένα του λιθίου στα υπόγεια νερά ομαδοποιήθηκαν σε κλάσεις με εύρος κλάσης 0,05 mg/L και για την υγρή και για την ξηρή περίοδο (Σχ. 8.130 και 8.131).



Σχήμα 8.130: Ιστόγραμμα κατανομής του λιθίου στα δείγματα υπόγειων νερών υγρής περιόδου.

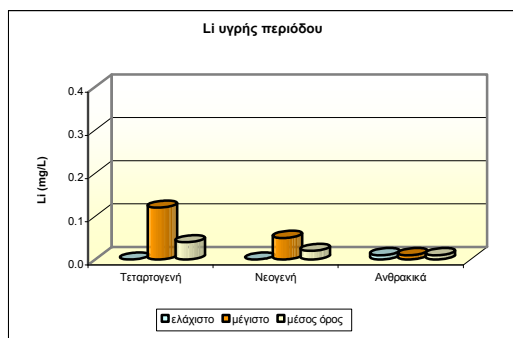


Σχήμα 8.131: Ιστόγραμμα κατανομής του λιθίου στα δείγματα υπόγειων νερών ξηρής περιόδου.

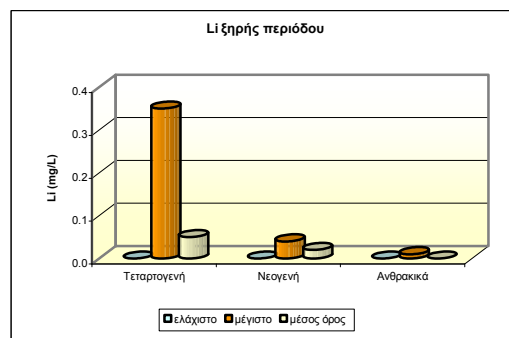
Στο ιστόγραμμα κατανομής του λιθίου για τις δυο περιόδους διακρίνεται ένας κύριος πληθυσμός με μέγιστη κλάση από 0,00 έως 0,05 mg/L ασβεστίου όπου αντιστοιχούν 45 δείγματα υπόγειου νερού για την υγρή και την ξηρή περίοδο.

Στους υδροφορείς των τεταρτογενών σχηματισμών για τις δυο περιόδους δειγματοληψίας παρατηρείται μια μικρή διακύμανση του λιθίου που αυξάνει λίγο κατά την ξηρή περίοδο (Σχ. 8.132 και 8.133).

Οι υδροφορείς των νεογενών και ανθρακικών σχηματισμών δεν παρουσιάζουν αξιόλογη διακύμανση ως προς τη συγκέντρωση λιθίου.



Σχήμα 8.132: Διακύμανση των συγκεντρώσεων του λιθίου υγρής περιόδου των τριών υδροφόρων.



Σχήμα 8.133: Διακύμανση των συγκεντρώσεων του λιθίου ξηρής περιόδου των τριών υδροφόρων.

Στα υπόγεια νερά της περιοχής έρευνας βάσει της λιθολογικής ταξινόμησης οι συγκεντρώσεις του λιθίου έχουν ως εξής (Σχ. 8.132 και 8.133):

α) νερά των τεταρτογενών σχηματισμών: Την υγρή περίοδο ο μέσος όρος του λιθίου είναι 0,04 mg/L με συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από 0,00 έως 0,12 mg/L ενώ κατά την ξηρή περίοδο ο μέσος όρος του λιθίου είναι 0,05 mg/L με συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από 0,00 έως 0,35 mg/L.

β) νερά των νεογενών σχηματισμών: Την υγρή περίοδο ο μέσος όρος του λιθίου είναι 0,02 mg/L με συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από 0,00 έως 0,05 mg/L ενώ κατά την ξηρή περίοδο ο μέσος όρος του λιθίου είναι 0,02 mg/L με συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από 0,00 έως 0,04 mg/L.

γ) νερά των καρστικών ανθρακικών σχηματισμών: Την υγρή περίοδο ο μέσος όρος του λιθίου είναι 0,01 mg/L με συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από 0,01 έως 0,01 mg/L ενώ κατά την ξηρή περίοδο ο μέσος όρος του λιθίου είναι 0,00 mg/L με συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από 0,00 έως 0,01 mg/L.

Οι πολύ μικρές συγκεντρώσεις λιθίου που ανιχνεύτηκαν στα υπόγεια νερά της λεκάνης των Μεγάρων και για τις δυο περιόδους δειγματοληψίας δεν επέτρεψαν τη δημιουργία χαρτών χωρικής κατανομής.

8.6.5. Βαρέα μέταλλα

8.6.5.1. Κάδμιο (Cd)

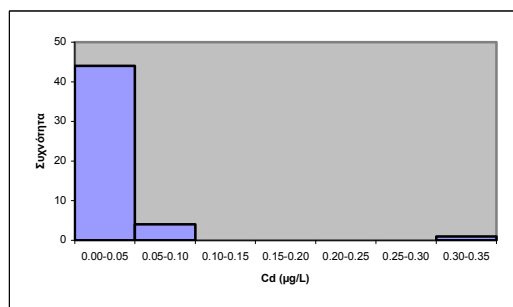
Το κάδμιο εμφανίζεται σπάνια στη φύση σε καθαρή μορφή, τα ορυκτά στα οποία αυτό περιέχεται είναι CdS, CdSe, και CdO, επίσης βρίσκεται στο σφαλερίτη, στο βιοτίτη και στους αμφιβόλους. Ο σφαλερίτης είναι ο κύριος φορέας του Cd στις γεωχημικές διεργασίες. Η συγκέντρωση του καδμίου είναι περίπου η ίδια τόσο στα πυριγενή όσο και στα ιζηματογενή πετρώματα και η μέση περιεκτικότητα του στο φλοιό της Γης ισούται με 0,1 - 0,2 mg/kg (Fairbridge 1972, Garrett 1996).

Το κάδμιο είναι επιβλαβές στοιχείο για τον ανθρώπινο οργανισμό. Προέρχεται από την καύση του άνθρακα, την αποτέφρωση στερεών αποβλήτων, τα υγρά απόβλητα και τα λιπάσματα (Hamdan and Rady 2011). Στο υπόγειο νερό το κάδμιο εμφανίζεται σε πάρα πολύ μικρές συγκεντρώσεις, ενώ στο νερό το οποίο προορίζεται για ανθρώπινη κατανάλωση πρέπει να έχει συγκέντρωση μικρότερη από την αντίστοιχη παραμετρική τιμή των 5 µg/L της Κοινοτικής Οδηγίας 98/83/ΕΚ. Στο νερό το κάδμιο εμφανίζεται με τις μορφές Cd^{2+} , $Cd(OH)^+$, $CdCO_3^0$, καθώς επίσης και με τη μορφή οργανικών ενώσεων (Kabata – Pendias and Mukherjee 2007).

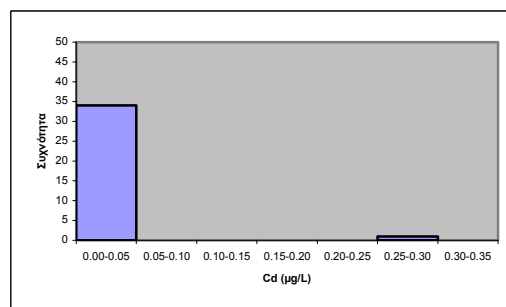
Ο άνθρωπος μέσω της αναπνοής και της τροφής προσλαμβάνει κάδμιο και όταν οι συγκεντρώσεις του είναι υψηλές τότε εναποτίθεται στο ήπαρ, τα νεφρά και το θυροειδή αδένα προκαλώντας σοβαρές παθήσεις. Σημειώνεται επίσης, ότι μπορεί να αντικαταστήσει και το ασβέστιο που περιέχεται στα ανθρώπινα οστά. Το κάδμιο δεν έχει απαραίτητο βιολογικό ρόλο, ενώ σε υψηλές συγκεντρώσεις είναι τοξικό για τον άνθρωπο, τα ζώα και τα φυτά (Alloway 1990, Loganathan et. al. 2012).

Κανένα δείγμα υπόγειου νερού και για τις δυο περιόδους δειγματοληψίας δεν υπερβαίνει την παραμετρική τιμή των 5 µg/L της Κοινοτικής Οδηγίας 98/83/ΕΚ (EC 1998).

Οι συγκεντρώσεις του καδμίου στα υπόγεια νερά ομαδοποιήθηκαν σε κλάσεις με εύρος κλάσης και για τις δυο περιόδους τα 0,05 µg/L (Σχ. 8.134 και 8.135).



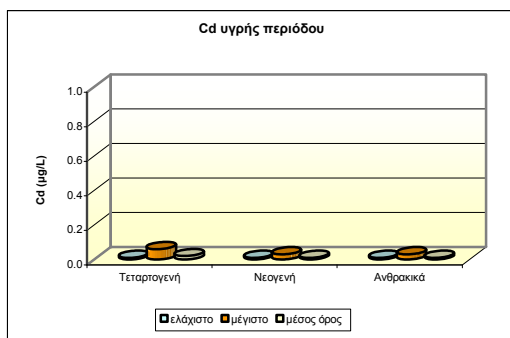
Σχήμα 8.134: Ιστόγραμμα κατανομής του καδμίου στα δείγματα υπόγειων νερών υγρής περιόδου.



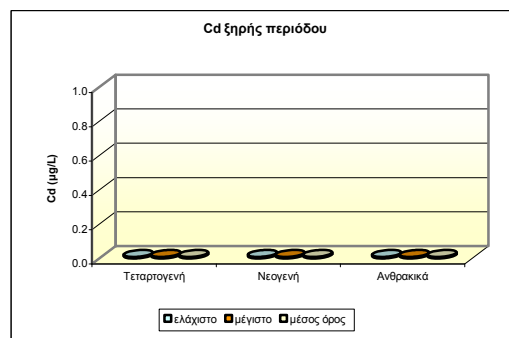
Σχήμα 8.135: Ιστόγραμμα κατανομής του καδμίου στα δείγματα υπόγειων νερών ξηρής περιόδου.

Στο ιστόγραμμα κατανομής του καδμίου για την υγρή και την ξηρή περίοδο διακρίνεται ένας κύριος πληθυσμός με μέγιστη κλάση από 0,00 έως 0,05 µg/L καδμίου όπου αντιστοιχούν 44 δείγματα υπόγειου νερού για την υγρή περίοδο και 34 δείγματα υπόγειου νερού για την ξηρή περίοδο.

Οι συγκεντρώσεις του καδμίου δεν παρουσιάζουν αξιόλογο εύρος διακύμανσης σε κανέναν από τους τρεις υδροφορείς και για τις δυο περιόδους δειγματοληψίας (Σχ. 8.136 και 8.137).



Σχήμα 8.136: Διακύμανση των συγκεντρώσεων του καδμίου υγρής περιόδου των τριών υδροφόρων.



Σχήμα 8.137: Διακύμανση των συγκεντρώσεων του καδμίου ξηρής περιόδου των τριών υδροφόρων.

Αναλυτικότερα οι συγκεντρώσεις του καδμίου στα υπόγεια νερά για τις δυο περιόδους δειγματοληψίας βάσει της λιθολογικής ταξινόμησης έχουν ως εξής (Σχ. 8.136 και 8.137):

α) νερά των τεταρτογενών σχηματισμών: Την υγρή περίοδο ο μέσος όρος του καδμίου είναι 0,02 µg/L με συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από 0,01 έως 0,06 µg/L, ενώ κατά την ξηρή περίοδο ο μέσος όρος του καδμίου είναι <0,006 µg/L, διότι όλες οι συγκεντρώσεις στα νερά των τεταρτογενών είναι μικρότερες από το όριο ανιχνευσιμότητας της μεθόδου (0,006 µg/L), (Πιν. 8.5 και 8.6). Οι συγκεντρώσεις του καδμίου στο νερό των τεταρτογενών σχηματισμών, δεν παρουσιάζουν ουσιαστικές διαφορές ανάμεσα στις δύο περιόδους. Εξαιρέση αποτελεί για την υγρή περίοδο το δείγμα W3 (0,10 µg/L) διότι η συγκέντρωσή του είναι μεγαλύτερη από το σύνολο των δειγμάτων. Σημειώνεται ότι η πηγή του καδμίου στα υπόγεια νερά των τεταρτογενών σχηματισμών είναι ανθρωπογενής και κυρίως η χρήση λιπασμάτων, όπως έχει καταγραφεί και στα εδάφη της περιοχής έρευνας.

β) νερά των νεογενών σχηματισμών: Την υγρή περίοδο ο μέσος όρος του καδμίου είναι 0,01 µg/L με συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από <0,006 έως 0,03 µg/L. Κατά την ξηρή περίοδο ο μέσος όρος του καδμίου είναι <0,006 µg/L, διότι όλες οι συγκεντρώσεις στο νερό των νεογενών σχηματισμών είναι μικρότερες από το όριο ανιχνευσιμότητας της μεθόδου (0,006 µg/L), (Πιν. 8.5 και 8.6). Οι συγκεντρώσεις του καδμίου στο νερό των νεογενών σχηματισμών δεν παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές ανάμεσα στις δυο περιόδους δειγματοληψίας. Εξαιρέση αποτελούν τα δείγματα G1 (0,10 µg/L), G2 (0,04 µg/L), G3 (0,05 µg/L), G23 (0,34 µg/L), G32 (0,10 µg/L) για την υγρή περίοδο εξαιτίας των υψηλών συγκεντρώσεων σε σχέση με το σύνολο των δειγμάτων. Επίσης εξαιρείται το δείγμα G23 (0,30 µg/L) της ξηρής περιόδου.

γ) νερά των καρστικών ανθρακικών σχηματισμών: Την υγρή περίοδο ο μέσος όρος του καδμίου είναι 0,01 µg/L με συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από <0,006 έως 0,03 µg/L, ενώ κατά την ξηρή περίοδο πραγματοποιήθηκε προσδιορισμός μόνο σε ένα δείγμα υπόγειου νερού (G5) στο οποίο δεν ανιχνεύτηκε κάδμιο (Πιν. 8.5 και 8.6).

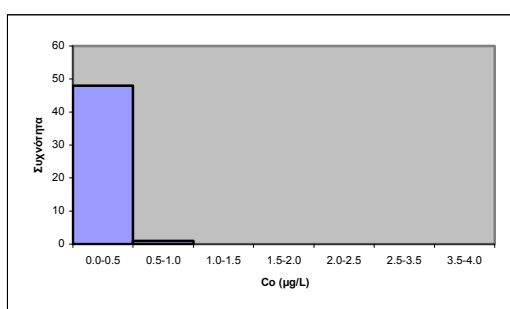
8.6.5.2. Κοβάλτιο (Co)

Το κοβάλτιο μπορεί να σχηματίσει ορυκτά με το S το As και το Se. Τα πιο σημαντικά ορυκτά του κοβαλτίου είναι ο κοβαλτίτης (CoAsS) και το αρσενοσουλφίδιο (CoAsS). Το κοβάλτιο βρίσκεται στο φλοιό της γης σε υψηλές συγκεντρώσεις που μπορεί να φτάσουν τα 200 mg/kg κυρίως στα βασικά πετρώματα (Kabata-Pendias and Mukherjee 2007). Ο γεωχημικός κύκλος του Co είναι παρόμοιος με αυτούς των Fe

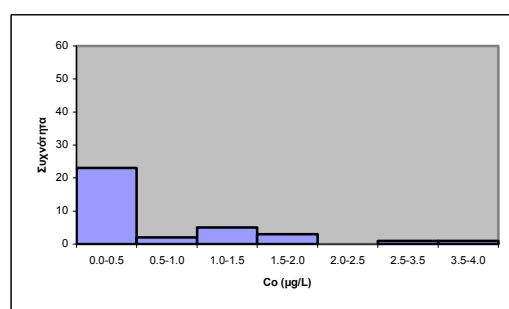
και Mn, και είναι πιθανό να συνδέεται με διάφορα ορυκτά αυτών των μετάλλων. Η φάση σχηματισμού του οξειδίου του μαγγανίου επηρεάζει τη συμπεριφορά του κοβαλτίου. Τα οξείδια του μαγγανίου, τόσο βιογενούς όσο και αβιογενούς προελεύσεως, έχουν την ικανότητα να απορροφούν το κοβάλτιο (Tani et al. 2003).

Σύμφωνα με τον Cox (1997) το κοβάλτιο αποτελεί απαραίτητο ιχνοστοιχείο για τον άνθρωπο και τα ζώα και βρίσκεται στον οργανισμό τους με τη μορφή της βιταμίνης B12. Οργανικές ενώσεις του κοβαλτίου συμμετέχουν στη σταθεροποίηση της δομής του DNA (Munno et al. 1996). Μεγάλες συγκεντρώσεις κοβαλτίου μπορούν να προκαλέσουν αύξηση των ερυθρών αιμοσφαιρίων, μυοκαρδιοπάθεια, υποθυρεοειδισμό, ανεπάρκεια του παγκρέατος, υπερπλασία του μυελού των οστών, καθώς και ορισμένες μορφές καρκίνου, ενώ η έλλειψη του προκαλεί αναιμία και ανορεξία (Plumlee and Ziegel 2003).

Τα δεδομένα του κοβαλτίου στα υπόγεια νερά ομαδοποιήθηκαν σε κλάσεις με εύρος κλάσης 0,5 $\mu\text{g/L}$ και για την υγρή και για την ξηρή περίοδο (Σχ. 8.138 και 8.139).



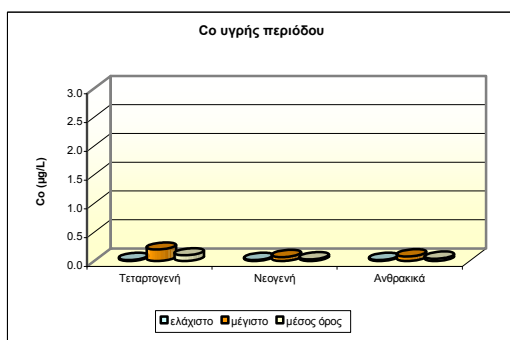
Σχ. 8.138: Ιστόγραμμα κατανομής του κοβαλτίου στα δείγματα υπόγειων νερών υγρής περιόδου.



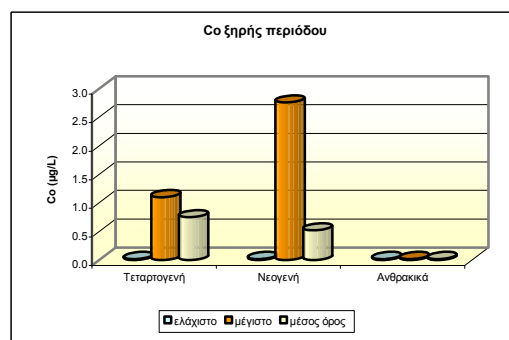
Σχ. 8.139: Ιστόγραμμα κατανομής του κοβαλτίου στα δείγματα υπόγειων νερών ξηρής περιόδου.

Στο ιστόγραμμα κατανομής του κοβαλτίου για την υγρή περίοδο διακρίνεται ένας κύριος πληθυσμός με μέγιστη κλάση από 0,0 έως 0,5 $\mu\text{g/L}$ όπου αντιστοιχούν 48 δείγματα υπόγειου νερού και στην ξηρή επίσης ένας κύριος πληθυσμός με μέγιστη κλάση από 0,0 έως 0,5 $\mu\text{g/L}$ όπου αντιστοιχούν 23 δείγματα υπόγειου νερού.

Οι διακυμάνσεις του κοβαλτίου παρουσιάζονται στα Σχ. 8.140 και 8.141.



Σχ. 8.140: Διακύμανση των συγκεντρώσεων του κοβαλτίου υγρής περιόδου των τριών υδροφόρων.



Σχ. 8.141: Διακύμανση των συγκεντρώσεων του κοβαλτίου ξηρής περιόδου των τριών υδροφόρων.

Από τα Σχ. 8.140 και 8.141, διαπιστώνεται ότι το κοβάλτιο στα νερά των τεταρτογενών και νεογενών σχηματισμών παρουσιάζει μεγαλύτερο εύρος διακύμανσης κατά την ξηρή περίοδο σε σχέση με την υγρή περίοδο δειγματοληψίας.

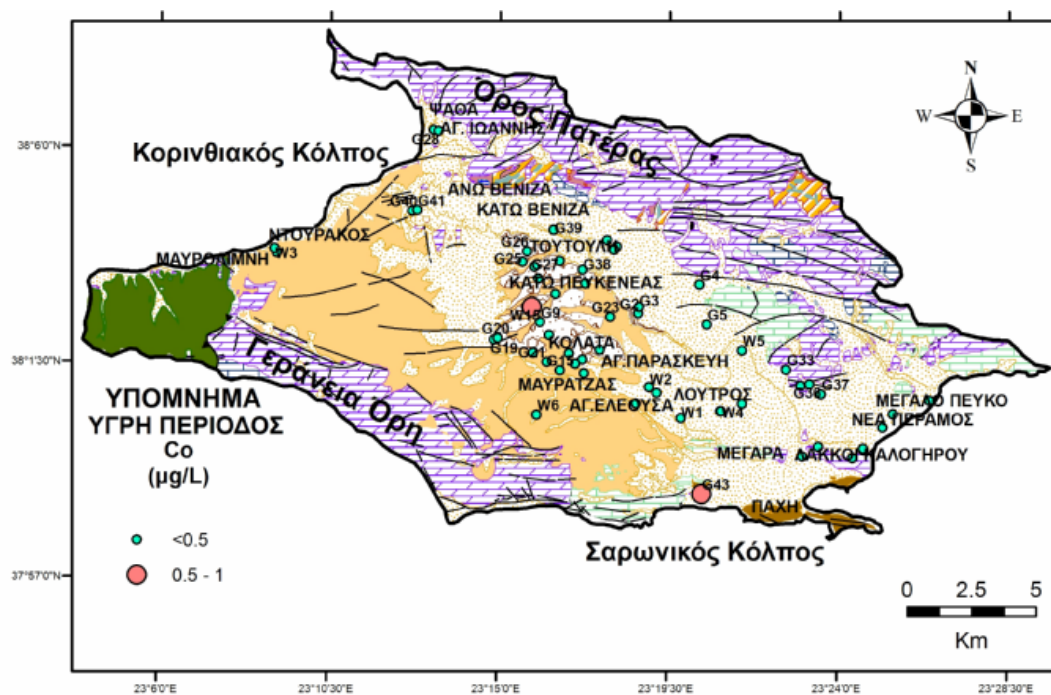
Αναλυτικότερα οι συγκεντρώσεις του κοβαλτίου στα υπόγεια νερά της περιοχής έρευνας βάσει της λιθολογικής ταξινόμησης έχουν ως εξής (Σχ. 8.140 και 8.141):

α) νερά των τεταρτογενών σχηματισμών: Την υγρή περίοδο ο μέσος όρος του κοβαλτίου είναι 0,10 $\mu\text{g/L}$ με συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από <0,02 (όριο ανιχνευσιμότητας μεθόδου) έως 0,20 $\mu\text{g/L}$ ενώ κατά την ξηρή περίοδο ο μέσος όρος του κοβαλτίου είναι 0,75 $\mu\text{g/L}$ με συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από <0,02 έως 1,10 $\mu\text{g/L}$ (Πιν. 8.5 και 8.6). Εξαιρέση αποτελεί το δείγμα W8 με συγκέντρωση κοβαλτίου 0,44 $\mu\text{g/L}$.

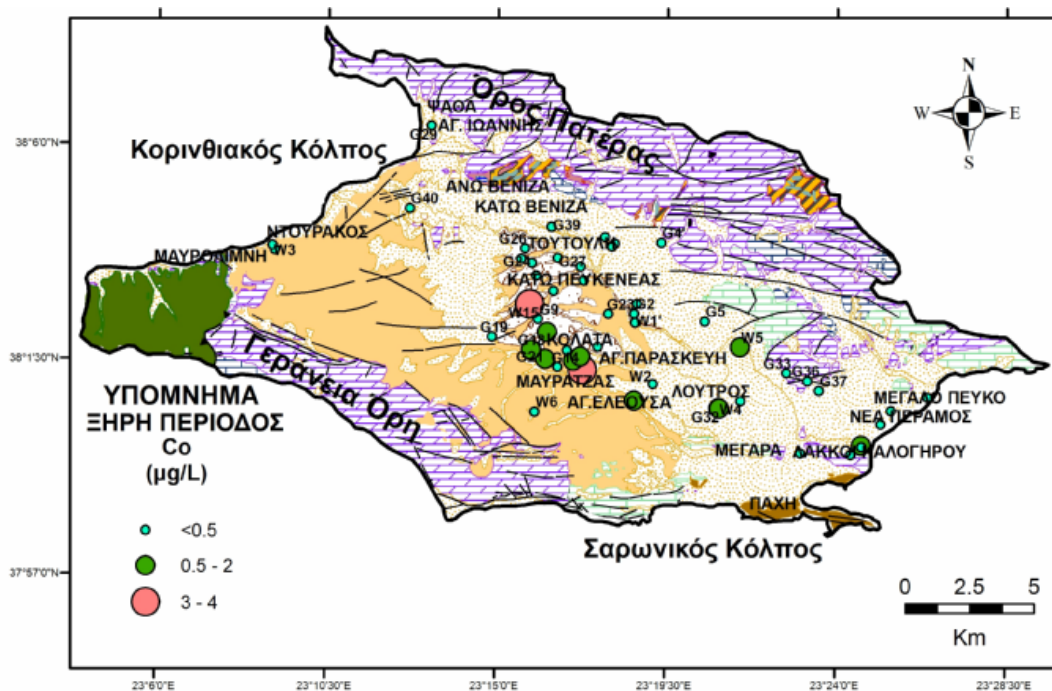
β) νερά των νεογενών σχηματισμών: Την υγρή περίοδο ο μέσος όρος του κοβαλτίου είναι 0,03 $\mu\text{g/L}$ με συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από <0,02 έως 0,07 $\mu\text{g/L}$ ενώ κατά την ξηρή περίοδο ο μέσος όρος του κοβαλτίου είναι 0,52 $\mu\text{g/L}$ με συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από <0,02 έως 2,76 $\mu\text{g/L}$ (Πιν. 8.5 και 8.6). Παρουσιάζεται μια μικρή αύξηση κατά την ξηρή περίοδο γεγονός που πιθανώς αποδίδεται στη μείωση του εμπλουτισμού του υδροφορέα με μετεωρικό νερό. Στα δείγματα υπόγειου νερού της υγρής περιόδου εξαιρούνται τα δείγματα W15 (0,97 $\mu\text{g/L}$), G10 (0,34 $\mu\text{g/L}$), G14 (0,39 $\mu\text{g/L}$), G21 (0,14 $\mu\text{g/L}$), G34 (0,11 $\mu\text{g/L}$), εξαιτίας της υψηλής συγκέντρωσης τους σε σχέση με το σύνολο των δειγμάτων και κατά την ξηρή το δείγμα W15 (3,80 $\mu\text{g/L}$).

γ) νερά των καρστικών ανθρακικών σχηματισμών: Την υγρή περίοδο ο μέσος όρος του κοβαλτίου είναι 0,04 $\mu\text{g/L}$ με συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από 0,02 έως 0,08 $\mu\text{g/L}$ (Πιν. 8.5 και 8.6). Κατά την ξηρή περίοδο πραγματοποιήθηκε προσδιορισμός συγκέντρωσης κοβαλτίου μόνο σε ένα δείγμα νερού (G5) από τις κοινές θέσεις δειγματοληψίας των δυο περιόδων. Στο δείγμα αυτό η συγκέντρωση κοβαλτίου βρέθηκε να είναι μικρότερη από το όριο ανιχνευσιμότητας (< 0,02 $\mu\text{g/L}$), (Πιν. 8.5 και 8.6).

Η χωρική κατανομή της συγκέντρωσης του κοβαλτίου για την υγρή και την ξηρή περίοδο δειγματοληψίας απεικονίζεται στα Σχ. 8.142 και 8.143.



Σχήμα 8.142: Χωρική κατανομή συγκέντρωσης κοβαλτίου ($\mu\text{g/L}$) των υπόγειων νερών κατά την υγρή περίοδο.



Σχήμα 8.143: Χωρική κατανομή συγκέντρωσης κοβαλτίου ($\mu\text{g/L}$) των υπόγειων νερών κατά την ξηρή περίοδο.

Από την χωρική κατανομή της συγκέντρωσης του κοβαλτίου (Σχ. 8.142 και 8.143), παρατηρείται ότι κατά την υγρή περίοδο δειγματοληψίας, οι συγκεντρώσεις του κοβαλτίου στο νερό είναι μικρότερες συγκριτικά με τις αντίστοιχες συγκεντρώσεις κατά την ξηρή περίοδο δειγματοληψίας. Στην ξηρή περίοδο καταγράφονται υψηλότερες συγκεντρώσεις κοβαλτίου στο κεντρικό τμήμα της λεκάνης (περιοχές Κάτω Πευκενέας, Κολάτα, Μαυρατζάς και Αγ.Ελεούσα) και αποδίδονται στην αποσάθρωση τεμαχών υπερβασικών πετρωμάτων που βρίσκονται εντός των νεογενών. Επίσης, είναι πιθανή και η συνεισφορά κοβαλτίου από τη χρήση λιπασμάτων και κοπριάς στις αγροτικές αυτές περιοχές. Σημειώνεται ότι η συγκέντρωση κοβαλτίου στα λιπάσματα κυμαίνεται από 5,4 έως 12 mg/Kg και στην κοπριά κυμαίνεται από 0,3 έως 24 mg/Kg (Kabata Pendias and Pendias 1992).

8.6.5.3. Μαγγάνιο (Mn)

Σύμφωνα με τους Kabata-Pendias and Pendias (2001) το μαγγάνιο συναντάται σε αφθονία στη λιθόσφαιρα με συγκέντρωση από 350 έως 2000 mg/Kg και με υψηλότερες συγκεντρώσεις στα βασικά και υπερβασικά πετρώματα.

Η ορυκτολογική και χημική συμπεριφορά του μαγγανίου είναι πολύπλοκη. Το μαγγάνιο λαμβάνει μέρος σε πολλές οξειδοαναγωγικές διεργασίες και δημιουργεί πλήθος αριθμού οξειδίων και υδροξειδίων ποικίλης σταθερότητας και ιδιοτήτων. Συνήθως εμφανίζεται σαν δισθενές Mn^{2+} και αντικαθιστά άλλα δισθενή κατιόντα όπως τον Fe^{2+} και το Mg^{2+} .

Πολλά είδη του Mn είναι δυνατόν να εμφανίζονται στα επιφανειακά νερά, όπως: Mn^{2+} , MnOH^+ , MnCl^+ , MnHCO_3^+ , Mn(OH)_3^- , και MnSO_4 (Witczak and Adamczyk 1995).

Το μαγγάνιο καθιζάνει εφόσον πρώτα οξειδωθεί όταν περιέχεται στο νερό με συγκέντρωση μεγαλύτερη από 0,2 mg/L , σαν αποτέλεσμα αυτού είναι η δημιουργία

δυσάρεστης γεύσης στο νερό. Επίσης προσλαμβάνεται από τα τρόφιμα κατά τη διαδικασία παρασκευή τους ή κατά τη διεργασία του μαγειρέματος, δημιουργεί επικαθίσεις οξειδίων στις δεξαμενές, τα φίλτρα και τα συστήματα διανομής και τέλος σχηματίζει κηλίδες στις σωληνώσεις και στα ρούχα (Καλλέργης 2000).

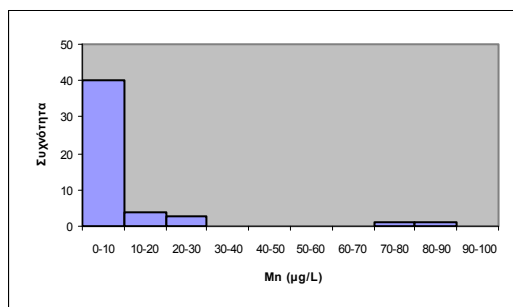
Το μαγγάνιο είναι απαραίτητο για την ανάπτυξη των φυτών και των ζωικών οργανισμών. Οι Brandi et al (2004) υποστηρίζουν ότι το μαγγάνιο παίρνει μέρος σε κάποιες διεργασίες των ενζύμων και συνδέεται στενά με αυτά, επίσης οι Munno De et al (1996) αναφέρουν ότι παίζει καθοριστικό ρόλο στις γονιδιακές διεργασίες και στη σταθεροποίηση της δομής του DNA.

Η ανεπάρκεια μαγγανίου μπορεί να επιφέρει σκελετικές παραμορφώσεις, οστεοπόρωση και δερματίτιδα (Plumlee and Ziegler 2003). Αντίθετα υψηλές δόσεις μαγγανίου μπορεί να επιφέρουν κίρρωση του ήπατος (Plumlee and Ziegler 2003). Οι υψηλές συγκεντρώσεις μαγγανίου που λαμβάνει ένας ενήλικας μπορεί να οδηγήσουν σε μια ασθένεια που ονομάζεται μαγγανισμός που τα κύρια χαρακτηριστικά της είναι το αργό βάδισμα, η αστάθεια και διανοητικές και σωματικές διαταραχές (Mielke et. al. 2002).

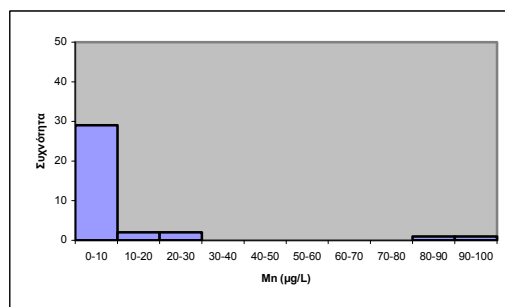
Σημειώνεται επίσης ότι υψηλές συγκεντρώσεις μαγγανίου στο νερό ανθρώπινης κατανάλωσης έχουν συνδεθεί με εμφάνιση εγκεφαλικών και πνευματικών δυσλειτουργιών σε δεκάχρονα παιδιά περιοχών του Μπαγκλαντές (Wasserman et al. 2006, Nahar and Zhang 2012).

Η συγκέντρωση του μαγγανίου σε 2 από τα 49 δείγματα της υγρής περιόδου (W15, G15), με ποσοστό 4,08% και σε 2 από τα 35 δείγματα της ξηρής περιόδου (W15, G15), με ποσοστό 5,71% υπερβαίνει την παραμετρική τιμή των 50 $\mu\text{g/L}$ της Κοινοτικής Οδηγίας 98/83/EK (EC 1998). Τα δείγματα που υπερβαίνουν την παραμετρική τιμή των 50 $\mu\text{g/L}$ της Κοινοτικής Οδηγίας 98/83/EK και για τις δυο περιόδους δειγματοληψίας είναι τα W15 και G15.

Τα δεδομένα του μαγγανίου στα υπόγεια νερά ομαδοποιήθηκαν σε κλάσεις με εύρος κλάσης για την υγρή και για την ξηρή περίοδο τα 10 $\mu\text{g/L}$ (Σχ. 8.144 και 8.145).



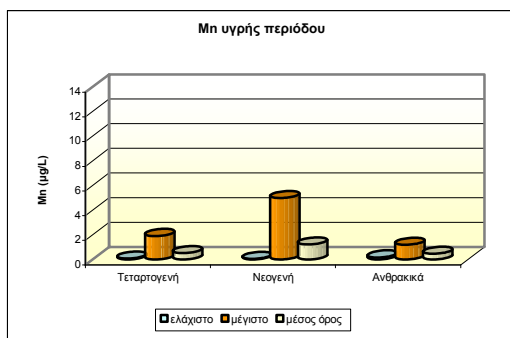
Σχήμα 8.144: Ιστόγραμμα κατανομής του μαγγανίου στα δείγματα υπόγειων νερών υγρής περιόδου.



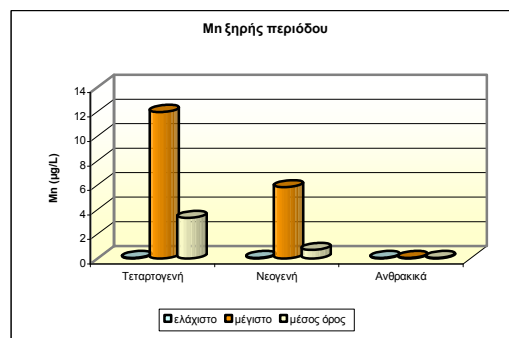
Σχήμα 8.145: Ιστόγραμμα κατανομής του μαγγανίου στα δείγματα υπόγειων νερών ξηρής περιόδου.

Στο ιστόγραμμα κατανομής του μαγγανίου και για τις δυο περιόδους διακρίνεται ένας κύριος πληθυσμός με μέγιστη κλάση από 0 έως 10 $\mu\text{g/L}$ μαγγανίου όπου αντιστοιχούν 40 δείγματα υπόγειου νερού για την υγρή περίοδο και 29 δείγματα υπόγειου νερού για την ξηρή περίοδο.

Η διακύμανση της συγκέντρωσης του μαγγανίου στα νερά των τεταρτογενών και των νεογενών σχηματισμών παρουσιάζει αύξηση κατά την ξηρή περίοδο (Σχ. 8.146 και 8.147). Στα νερά των ανθρακικών σχηματισμών τα οποία συλλέχθηκαν κατά την υγρή περίοδο παρατηρείται μικρή διακύμανση, ενώ στα δείγματα της ξηρής περιόδου τα οποία αναλύθηκαν δεν προσδιορίστηκε μαγγάνιο.



Σχήμα 8.146: Διακύμανση των συγκεντρώσεων του μαγγανίου υγρής περιόδου των τριών υδροφόρων.



Σχήμα 8.147: Διακύμανση των συγκεντρώσεων του μαγγανίου ξηρής περιόδου των τριών υδροφόρων.

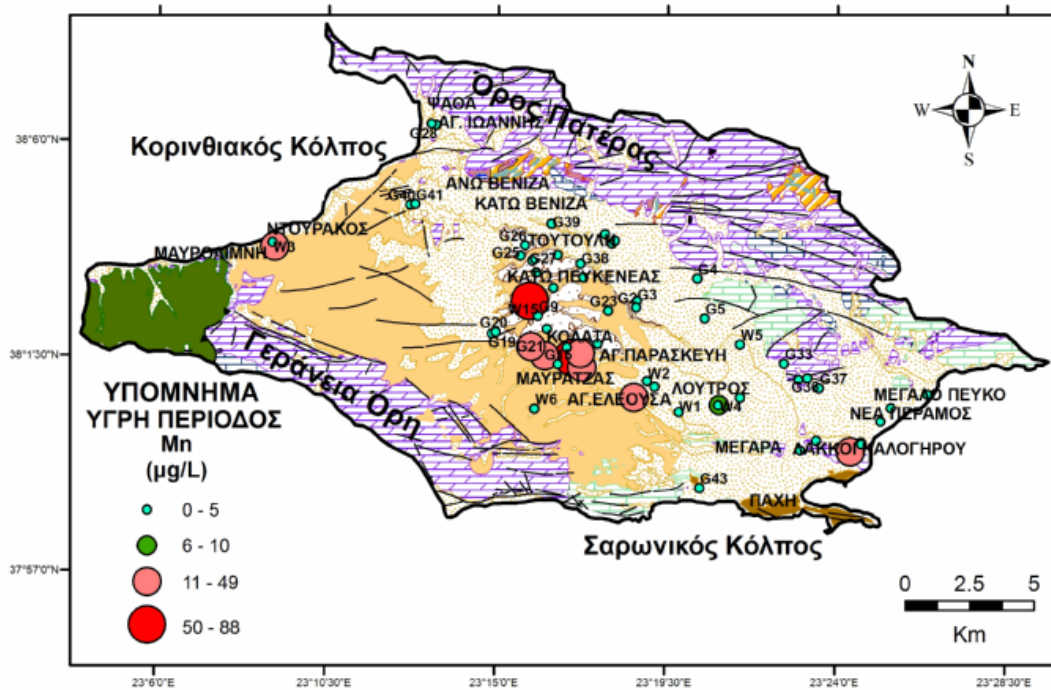
Αναλυτικότερα οι τιμές του μαγγανίου στα υπόγεια νερά της περιοχής έρευνας για τις δυο περιόδους δειγματοληψίας βάσει της λιθολογικής ταξινόμησης έχουν ως εξής (Σχ. 8.146 και 8.147):

α) νερά των τεταρτογενών σχηματισμών: Την υγρή περίοδο ο μέσος όρος του μαγγανίου είναι 0,51 µg/L με συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από 0,07 έως 1,90 µg/L ενώ κατά την ξηρή περίοδο ο μέσος όρος του μαγγανίου είναι 3,32 µg/L με συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από <0,05 (όριο ανιχνευσιμότητας μεθόδου) έως 11,97 µg/L (Πιν. 8.5 και 8.6). Οι συγκεντρώσεις του μαγγανίου στο νερό των τεταρτογενών σχηματισμών παρουσιάζουν αύξηση κατά την ξηρή περίοδο δειγματοληψίας. Εξαιρέση αποτελούν τα δείγματα G30 (24,17 µg/L), W4 (5,53 µg/L) και W9 (18,28 µg/L) τα οποία εξαιρέθηκαν από το σύνολο των περιγραφικών διότι οι συγκεντρώσεις τους είναι υψηλές σε σχέση με το σύνολο των δειγμάτων.

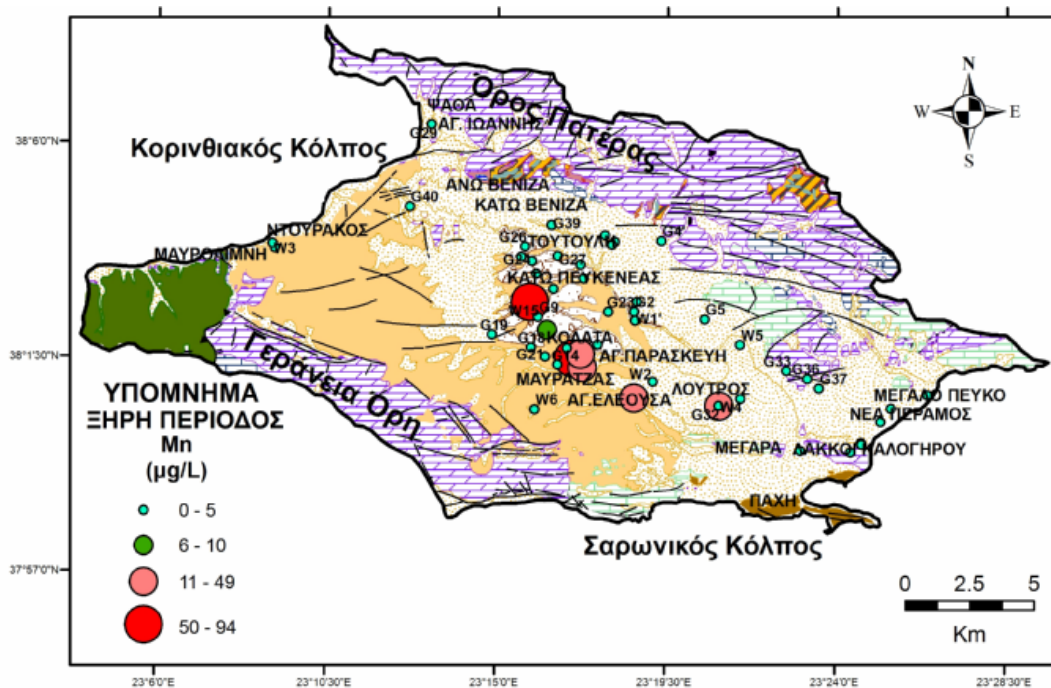
β) νερά των νεογενών σχηματισμών: Την υγρή περίοδο ο μέσος όρος του μαγγανίου είναι 1,22 µg/L με συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από <0,05 έως 4,98 µg/L ενώ κατά την ξηρή περίοδο ο μέσος όρος του μαγγανίου είναι 0,70 µg/L με συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από <0,05 έως 5,82 µg/L (Πιν. 8.5 και 8.6). Οι συγκεντρώσεις του μαγγανίου στο νερό των νεογενών σχηματισμών δεν παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές ανάμεσα στις δυο περιόδους δειγματοληψίας. Εξαιρέση από το σύνολο των περιγραφικών αποτελούν τα δείγματα W15, G12, G13, G14 και G15 και για τις δυο περιόδους δειγματοληψίας, με συγκεντρώσεις 87,77 µg/L, 21,74 µg/L, 19,10 µg/L, 17,63 µg/L, 73,08 µg/L αντίστοιχα για την υγρή περίοδο και 84,08 µg/L, 27,34 µg/L, 22,35 µg/L, 14,27 µg/L, 93,88 µg/L αντίστοιχα για την ξηρή περίοδο. Επίσης τα δείγματα G18 (15,75 µg/L) και G21 (28,62 µg/L) για την υγρή περίοδο. Τα δείγματα αυτά εξαιρέθηκαν εξαιτίας των υψηλών συγκεντρώσεων τους σε μαγγάνιο. Οι συγκεντρώσεις μαγγανίου στο νερό των νεογενών σχηματισμών συνδέονται με την παρουσία οξειδίων του μαγγανίου που υπάρχουν στους νεογενείς σχηματισμούς και στις λιγνιτικές ενδιαστρώσεις (Gamvroula et al. 2011, Gamvroula et al. 2013). Η παρουσία οξειδίων του μαγγανίου στα ιζήματα των νεογενών σχηματισμών καταγράφεται από τον Σαφιγέ (1982).

γ) νερά των καρστικών ανθρακικών σχηματισμών: Την υγρή περίοδο ο μέσος όρος του μαγγανίου είναι 0,46 µg/L με συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από 0,16 έως 1,19 µg/L ενώ κατά την ξηρή περίοδο δεν ανιχνεύθηκε μαγγάνιο στα δείγματα του υπόγειου νερού που αναλύθηκαν οι συγκεντρώσεις βρέθηκαν <0,05 µg/L που είναι το όριο ανιχνευσιμότητας του οργάνου (Πιν. 8.5 και 8.6).

Η χωρική κατανομή της συγκέντρωσης του μαγγανίου απεικονίζεται στα Σχ. 8.148 και 8.149.



Σχήμα 8.148: Χωρική κατανομή συγκέντρωσης μαγγανίου ($\mu\text{g/L}$) των υπόγειων νερών κατά την υγρή περίοδο.



Σχήμα 8.149: Χωρική κατανομή συγκέντρωσης μαγγανίου ($\mu\text{g/L}$) των υπόγειων νερών κατά την ξηρή περίοδο.

Οι υψηλές συγκεντρώσεις μαγγανίου (υγρή περίοδος: 11-88 $\mu\text{g/L}$, ξηρή περίοδος: 11-94 $\mu\text{g/L}$) (Σχ. 8.148 και 8.149), καταγράφονται στο νερό των περιοχών Κάτω Πευκενέας, Κολάτα, Μαυρατζάς και Αγ.Ελεούσα. Οι συγκεντρώσεις αυτές συνδέονται με την παρουσία οξειδίων του μαγγανίου που εμπεριέχονται στους

νεογενείς σχηματισμούς καθώς και στην αποδέσμευση του από τις λιγνιτικές ενδιαστρώσεις (Gamvroula et al. 2011). Επίσης αποδίδονται στην παρουσία αποσαθρωμένων τεμαχών υπερβασικών και σχιστολίθων που βρίσκονται εντός των νεογενών και τεταρτογενών σχηματισμών. Χαμηλότερες συγκεντρώσεις μαγγανίου παρουσιάζονται στις παραλιακές περιοχές Ψάθα, Μεγάλο Πεύκο, Λάκκοι Καλογήρου, Μέγαρο καθώς και στις περιοχές Άνω και Κάτω Βένιζα, Τούτουλη και στους πρόποδες του όρους Πατέρα.

8.6.5.4. Μόλυβδος (Pb)

Ο μόλυβδος είναι ευρέως διαδεδομένος στο περιβάλλον. Όταν βρίσκεται σε μορφή ιόντος προκαλεί κίνδυνο για το περιβάλλον. Στη μορφή των οργανικών ενώσεων του είναι τοξικός. Ο μόλυβδος βρίσκεται στο περιβάλλον κυρίως με τη μορφή Pb^{2+} αλλά και ως $PbSO_4$ και $PbCO_3$. Οι ενώσεις του μολύβδου είναι αδιάλυτες στα φυσικά νερά (Emsley 1998). Ο μόλυβδος μπορεί να προέρχεται από τα απόβλητα επιμεταλλωτηρίων, βιομηχανιών παραγωγής μπαταριών και σαν υλικό στις οροφές κτιρίων, σε χρωστικές με τη μορφή $(C_2H_5)_4Pb$ και ως προσθετικό βενζίνης για τη βελτίωση της καύσης (Cox 1997). Η χρήση μολυβδούχου βενζίνης κατά τις δεκαετίες 1970 και 1980 επέφερε μεγάλη ρύπανση του περιβάλλοντος από μόλυβδο.

Οι συγκεντρώσεις Pb στα επιφανειακά νερά είναι αποτέλεσμα πολλών παραγόντων όπως το pH, την περιεκτικότητα των διαλυμένων αλάτων του νερού, τη θερμοκρασία, τις πηγές ρύπανσης, την περιεκτικότητα μολύβδου στα ιζήματα, και στα είδη και τα ποσά της οργανικής ύλης. Οι μορφές με τις οποίες εμφανίζεται ο μόλυβδος στα επιφανειακά και υπόγεια νερά είναι Pb^{2+} , $PbOH^+$, $PbHCO_3^+$, και $PbSO_4^0$, στο θαλασσινό νερό εμφανίζεται σαν $PbCO_3$ και $PbCl_2$ (Witczak and Adamczyk 1995).

Τα επιφανειακά νερά είναι γενικά ουδέτερα ή αλκαλικά, γεγονός που οδηγεί στη σύνδεση του Pb με λιγότερο ευκίνητες μορφές (Laxen and Harrison 1983). Σε μια μεταλλευτική περιοχή, η συγκέντρωση του Pb μπορεί να είναι δέκα φορές μεγαλύτερη από εκείνη μιας «μη-μεταλλευτικής» περιοχής. Ωστόσο, σε ρυπασμένα ποτάμια, ιδιαίτερα από απόβλητα βιομηχανιών και ορυχείων, η περιεκτικότητα του Pb παρουσιάζει ένα εύρος από 700 έως 2600 mg/kg (Kabata-Pendias and Pendias 1999).

Το συγκεκριμένο μέταλλο επανακινητοποιείται στα οικοσυστήματα προκαλώντας τοξικές επιπτώσεις σε χερσαία και υδροβία είδη (Kabata-Pendias and Mukherjee 2007). Η έκθεση του ανθρώπινου οργανισμού στο μόλυβδο μπορεί να προκαλέσει προβλήματα στο νευρικό σύστημα, στο ήπαρ και στην αναπαραγωγή. Επίσης αναιμία, ανορεξία, πόνους στην κοιλιακή χώρα, καθώς και νευρολογικές επιπτώσεις όπως νευρική διαταραχή της διάθεσης και έλλειψη νοητικής συγκέντρωσης (Barati et al. 2010, Liu et al. 2005, Mora et al. 2009).

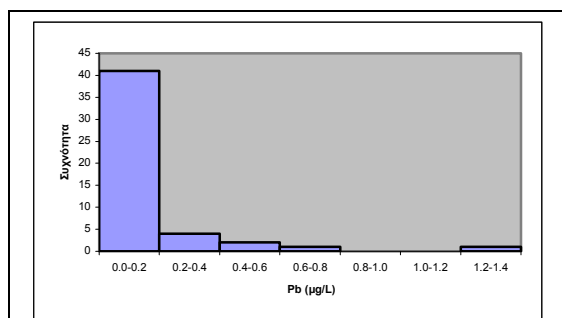
Από τα δείγματα της υγρής περιόδου κανένα δεν ξεπερνά την παραμετρική τιμή των 10 $\mu\text{g/L}$ της Κοινοτικής Οδηγίας 98/83/EK (EC 1998).

Τα δεδομένα του μολύβδου στα υπόγεια νερά της υγρής περιόδου ομαδοποιήθηκαν σε κλάσεις με εύρος κλάσης για την υγρή περίοδο 0,2 $\mu\text{g/L}$ (Σχ. 8.150).

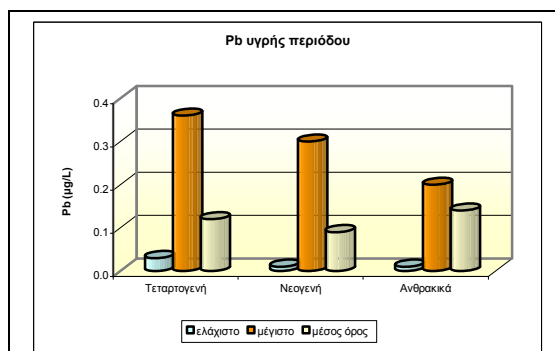
Στο ιστόγραμμα κατανομής του μολύβδου για την υγρή περίοδο διακρίνεται ένας κύριος πληθυσμός με μέγιστη κλάση από 0,0 έως 0,2 $\mu\text{g/L}$ μολύβδου όπου αντιστοιχούν 41 δείγματα υπόγειου νερού.

Στο Σχ. 8.151 παρουσιάζεται η διακύμανση του μολύβδου για τους τρεις υδροφορείς της υγρής περιόδου δειγματοληψίας. Κατά την ξηρή περίοδο, δεν ανιχνεύτηκε μόλυβδος στα δείγματα υπόγειου νερού και συνεπώς δεν ήταν εφικτή η δημιουργία διαγράμματος διακύμανσης. Από το Σχ. 8.151 παρατηρείται ότι και στους τρεις

υδροφορείς η διακύμανση των συγκεντρώσεων δεν παρουσιάζει μεγάλο εύρος. Η μεγαλύτερη διακύμανση εμφανίζεται στα υπόγεια νερά των τεταρτογενών σχηματισμών.



Σχήμα 8.150: Ιστόγραμμα κατανομής του μολύβδου στα δείγματα υπόγειων νερών υγρής περιόδου.



Σχήμα 8.151: Διακύμανση των συγκεντρώσεων του μολύβδου υγρής περιόδου των τριών υδροφόρων.

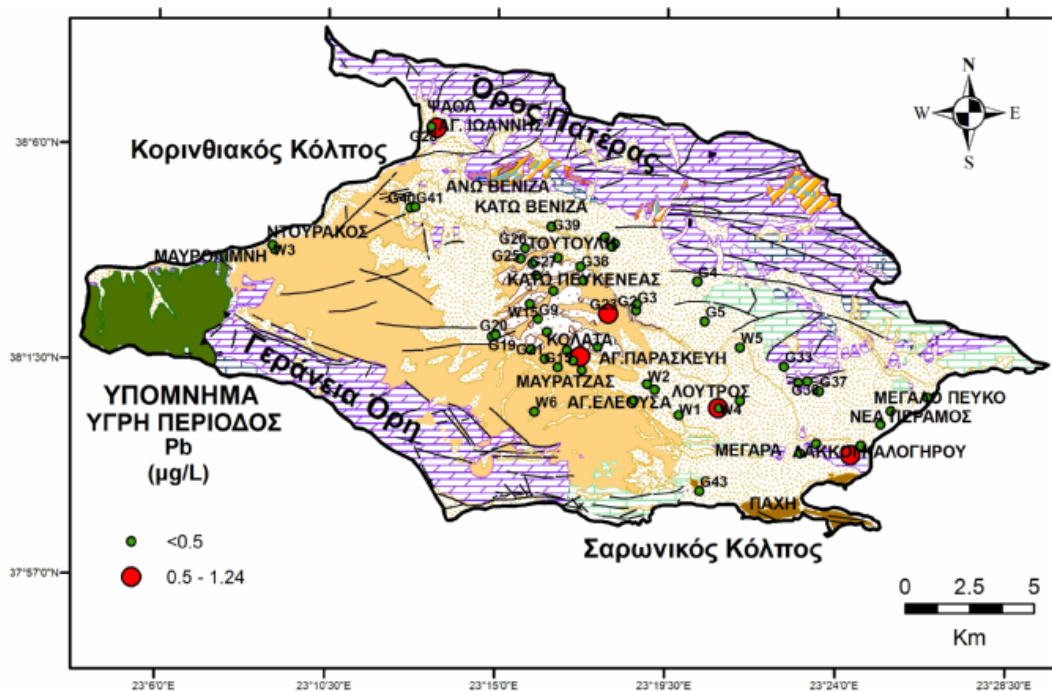
Πιο αναλυτικά, οι συγκεντρώσεις του μολύβδου στα υπόγεια νερά της λεκάνης των Μεγάρων για την υγρή περίοδο δειγματοληψίας (στην ξηρή δεν ανιχνεύτηκε μολύβδος) έχουν ως εξής (Σχ. 8.151):

α) νερά των τεταρτογενών σχηματισμών: Για την υγρή περίοδο ο μέσος όρος του μολύβδου είναι 0,12 µg/L με τιμές που κυμαίνονται από 0,03 έως 0,36 µg/L (Πιν. 8.5 και 8.6). Εξαιρεση αποτελεί το δείγμα W9 (1,24 µg/L) το οποίο παρουσιάζει υψηλή συγκέντρωση σε σχέση με το σύνολο των δειγμάτων.

β) νερά των νεογενών σχηματισμών: Την υγρή περίοδο ο μέσος όρος του μολύβδου είναι 0,09 µg/L με τιμές που κυμαίνονται από 0,01 έως 0,30 µg/L (Πιν. 8.5 και 8.6). Εξαιρούνται τα δείγματα G14, G23, G32 με συγκεντρώσεις 0,57 µg/L, 0,72 µg/L και 0,57 µg/L αντίστοιχα, τα οποία εμφανίζουν υψηλές τιμές σε σχέση με τα υπόλοιπα δείγματα.

γ) νερά των καρστικών ανθρακικών σχηματισμών: Την υγρή περίοδο ο μέσος όρος του μολύβδου είναι 0,14 µg/L με τιμές που κυμαίνονται από <0,005 (όριο ανιχνευσιμότητας μεθόδου) έως 0,20 µg/L (Πιν. 8.5 και 8.6).

Από τη χωρική κατανομή της συγκέντρωσης του μολύβδου παρατηρείται ότι οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις μολύβδου εμφανίζονται στις περιοχές Κάτω Πευκενέας, Κολάτα, Λουτρος, Λάκκοι Καλογήρου, και Ψάθα (Σχ. 8.152).



Σχήμα 8.152: Χωρική κατανομή συγκέντρωσης μολύβδου ($\mu\text{g/L}$) των υπόγειων νερών κατά την υγρή περίοδο.

8.6.5.5. Νικέλιο (Ni)

Κύρια πηγή προέλευσης του νικελίου είναι τα υπερβασικά πετρώματα όπου η συγκεντρωσή του σε αυτά φτάνει τα 1400 έως 2000 mg/Kg , ενώ πάνω στο φλοιό της γης η μέση συγκέντρωση του φτάνει τα 20 mg/Kg . Η συγκέντρωση νικελίου στα ιζηματογενή πετρώματα κυμαίνεται από 5 έως 90 mg/Kg , με τη μεγαλύτερη περιεκτικότητα στα αργιλώδη ιζήματα (Kabata-Pendias and Mukherjee 2007).

Σύμφωνα με τον Cox (1997) το νικέλιο βρίσκεται σε ορυκτά σουλφιδίων και οξειδίων. Νικέλιο απελευθερώνεται από την αποσάθρωση θειούχων κοιτασμάτων είναι παρόμοιο σε μέγεθος με το Mg και συναντάται σε μαγνησιούχα ορυκτά, ειδικά πυριτικά.

Κύρια πηγή νικελίου είναι οι γαιάνθρακες και το πετρέλαιο. Μεγάλες ποσότητες νικελίου απελευθερώνονται στο περιβάλλον από την καύση γαιανθράκων και πετρελαίου. Αυτό συμβαίνει διότι το νικέλιο βρίσκεται προσροφημένο στην οργανική ύλη διότι σε αναγωγικές συνθήκες μπορεί να καθιζάνει με τη μορφή σουλφιδίων στα ιζήματα που είναι πλούσια σε οργανική ύλη (Kabata-Pendias and Pendias 1999).

Επίσης το νικέλιο μπορεί να περιέχεται σε απόβλητα επιμεταλλωτηρίων και απόβλητα βιομηχανιών κατεργασίας μετάλλων.

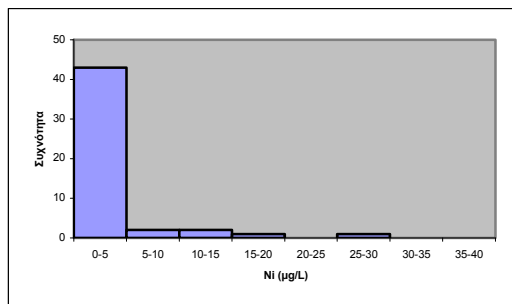
Το νικέλιο βρίσκεται για πολύ μικρό χρονικό διάστημα διαλυμένο στο υδατικό περιβάλλον διότι απορροφάται από τα αιωρούμενα στερεά και τα υδροξείδια του Fe-Mn και αποτίθεται στα ιζήματα του βυθού. Σύμφωνα με τον Kotlinski (1999) υπάρχουν αυξημένες συγκεντρώσεις νικελίου στα συγκρίματα και στους κονδύλους των ωκεάνιων ιζημάτων.

Η Ευρωπαϊκή Ένωση ορίζει ως παραμετρική τιμή νικελίου τα 20 $\mu\text{g/L}$ (EC 1998) διότι το νικέλιο είναι πολύ τοξικό στον άνθρωπο αλλά και στα ζώα και μπορεί να προκαλέσει αλλεργικές δερματίτιδες και άσθμα. Ο Sunderman (2004) επισημαίνει ότι η περίσσεια νικελίου επιφέρει αναπτυξιακές γονιδοτοξικές, νευρολογικές,

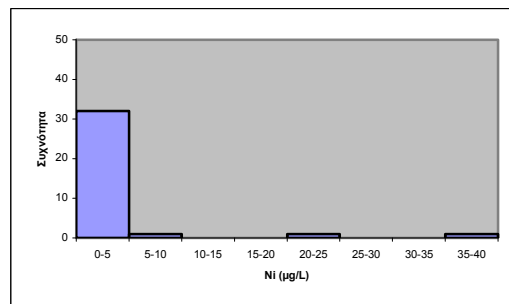
αναπαραγωγικές και καρκινογόνες συνέπειες στον ανθρώπινο οργανισμό. Σύμφωνα με τον Cox (1997) η εισπνοή σκόνης που περιέχει νικέλιο μπορεί να προκαλέσει καρκίνο των πνευμόνων.

Η συγκέντρωση του νικελίου σε 1 από τα δείγματα της υγρής περιόδου (W15) με ποσοστό 2,04% και σε 2 από τα δείγματα της ξηρής περιόδου (W4, W15) με ποσοστό 5,71% υπερβαίνει την παραμετρική τιμή των 20 µg/L της Κοινοτικής Οδηγίας 98/83/EK (EC 1998). Τα δείγματα νερού που υπερβαίνουν την παραμετρική τιμή των 20 µg/L της Κοινοτικής Οδηγίας 98/83/EK, για την υγρή περίοδο είναι το W15 και για την ξηρή περίοδο είναι το W4.

Οι συγκεντρώσεις του νικελίου στα υπόγεια νερά ομαδοποιήθηκαν σε κλάσεις με εύρος κλάσης και για τις δυο περιόδους τα 5 µg/L (Σχ. 8.153 και 8.154). Στο ιστόγραμμα κατανομής του νικελίου για την υγρή περίοδο διακρίνεται ένας κύριος πληθυσμός με μέγιστη κλάση 0 από έως 0,5 µg/L όπου αντιστοιχούν 43 δείγματα υπόγειου νερού. Στην ξηρή περίοδο διακρίνεται επίσης ένας κύριος πληθυσμός με μέγιστη κλάση 0 από έως 0,5 µg/L όπου αντιστοιχούν 32 δείγματα υπόγειου νερού.

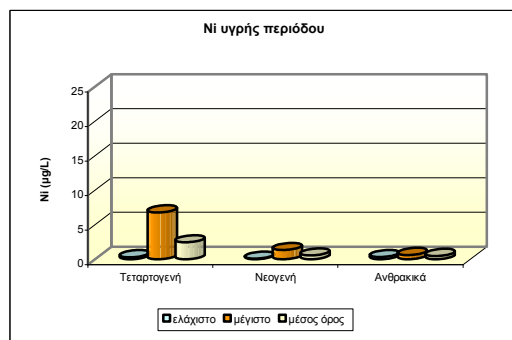


Σχήμα 8.153: Ιστόγραμμα κατανομής του νικελίου στα δείγματα υπόγειων νερών υγρής περιόδου.

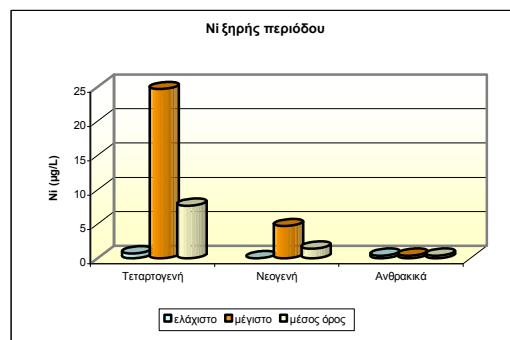


Σχήμα 8.154: Ιστόγραμμα κατανομής του νικελίου στα δείγματα υπόγειων νερών ξηρής περιόδου.

Από τα Σχ. 8.155 και 8.156 παρατηρείται ότι οι συγκεντρώσεις νικελίου του υπόγειου νερού των τεταρτογενών σχηματισμών κατά την υγρή περίοδο δειγματοληψίας παρουσιάζουν μικρή διακύμανση, ενώ κατά την ξηρή η διακύμανση είναι μεγαλύτερη. Όσον αφορά στις συγκεντρώσεις νικελίου στο υπόγειο νερό των νεογενών σχηματισμών κατά την υγρή περίοδο, παρουσιάζουν μικρή διακύμανση, η οποία παρουσιάζεται μεγαλύτερη κατά την ξηρή περίοδο. Όσον αφορά στα νερά των ανθρακικών σχηματισμών, η έλλειψη δεδομένων δεν επιτρέπει τον προσδιορισμό της διακύμανσης (Σχ. 8.155 και 8.156).



Σχήμα 8.155: Διακύμανση των συγκεντρώσεων του νικελίου υγρής περιόδου των τριών υδροφόρων.



Σχήμα 8.156: Διακύμανση των συγκεντρώσεων του νικελίου ξηρής περιόδου των τριών υδροφόρων.

Αναλυτικότερα οι συγκεντρώσεις του νικελίου στα υπόγεια νερά της περιοχής έρευνας για τις δυο περιόδους δειγματοληψίας βάσει της λιθολογικής ταξινόμησης έχουν ως εξής (Σχ. 8.155 και 8.156):

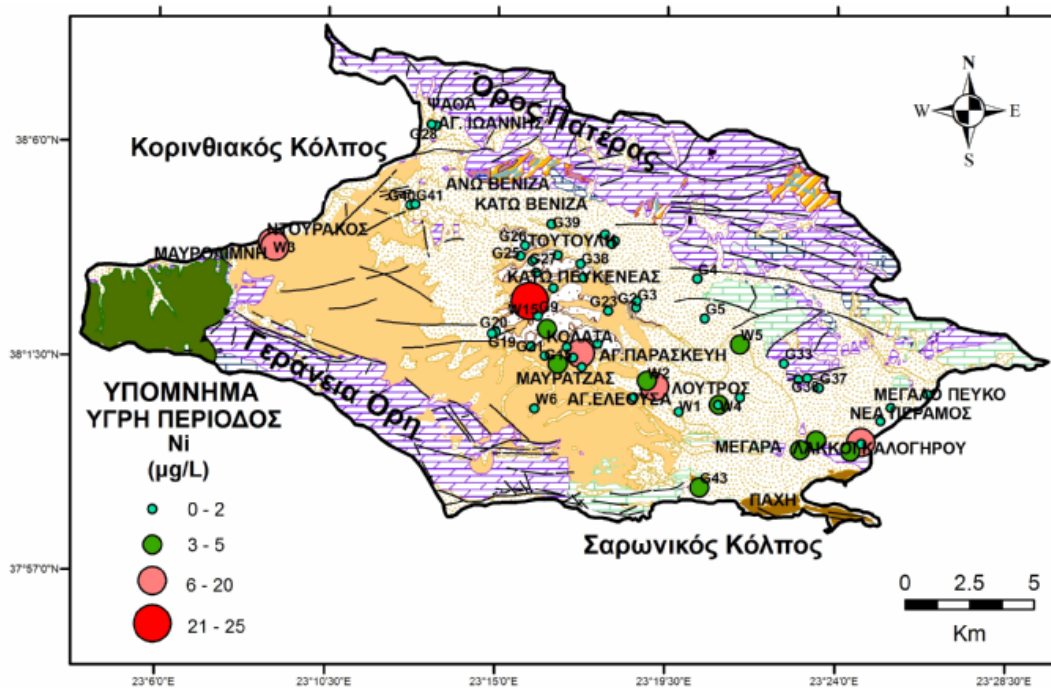
α) νερά των τεταρτογενών σχηματισμών: Την υγρή περίοδο ο μέσος όρος του νικελίου είναι 2,46 μg/L με συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από 0,29 έως 6,78 μg/L ενώ κατά την ξηρή περίοδο ο μέσος όρος του νικελίου είναι 7,68 μg/L με συγκεντρώσεις που κυμαίνονται 0,73 από έως 24,72 μg/L (Πιν. 8.5 και 8.6). Εξαιρέση αποτελούν τα δείγματα W3 και W11 της υγρής περιόδου με συγκεντρώσεις 13,34 μg/L και 15,23 μg/L τα οποία παρουσιάζουν υψηλές συγκεντρώσεις.

β) νερά των νεογενών σχηματισμών: Την υγρή περίοδο ο μέσος όρος του νικελίου είναι 0,56 μg/L με συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από 0,09 έως 1,34 μg/L ενώ κατά την ξηρή περίοδο ο μέσος όρος του νικελίου είναι 1,43 μg/L με συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από 0,02 έως 4,70 μg/L (Πιν. 8.5 και 8.6). Οι συγκεντρώσεις του νικελίου στα νερά των νεογενών σχηματισμών παρουσιάζουν αύξηση κατά την ξηρή περίοδο η οποία πιθανώς να οφείλεται στο μειωμένο εμπλουτισμό του υπόγειου υδροφορέα. Εξαιρούνται τα δείγματα W15, G10, G14 και G17 της υγρής περιόδου με συγκεντρώσεις 25,39 μg/L, 3,24 μg/L, 11,13 μg/L και 3,96 μg/L αντίστοιχα, και για την ξηρή περίοδο τα δείγματα W15 και G14 με συγκεντρώσεις 35,59 μg/L και 8,10 μg/L αντίστοιχα.

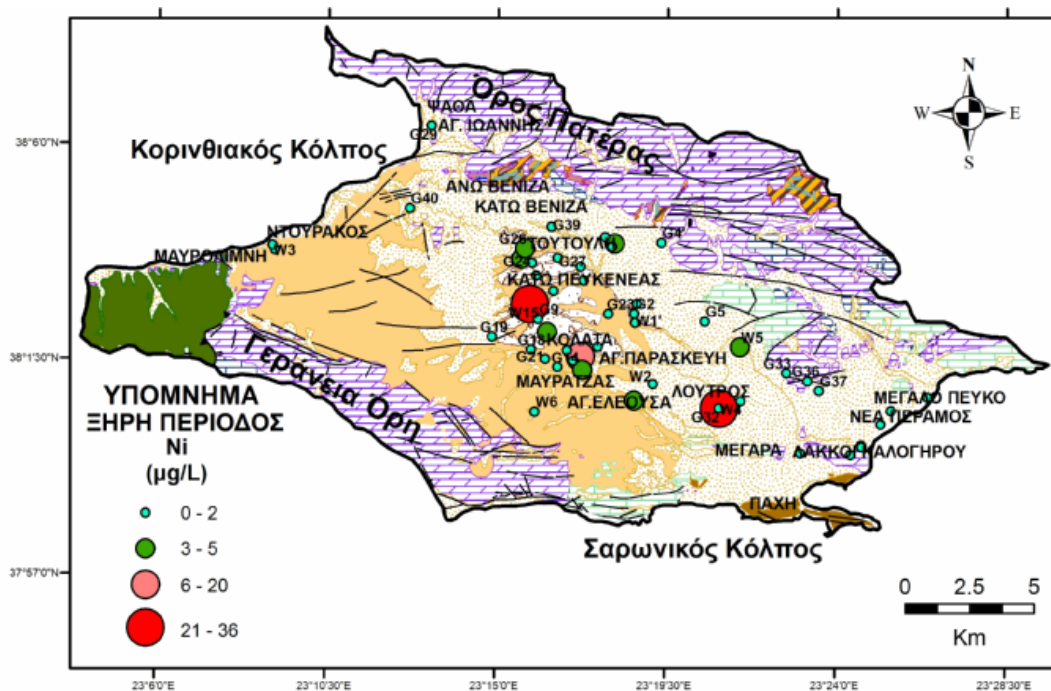
γ) νερά των καρστικών ανθρακικών σχηματισμών: Την υγρή περίοδο ο μέσος όρος του νικελίου είναι 0,48 μg/L με συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από 0,32 έως 0,61 μg/L, ενώ κατά την ξηρή περίοδο πραγματοποιήθηκε προσδιορισμός συγκέντρωσης νικελίου μόνο σε ένα δείγμα νερού (G5) από τις κοινές θέσεις δειγματοληψίας των δυο περιόδων. Στο δείγμα αυτό η συγκέντρωση νικελίου βρέθηκε να είναι 0,40 μg/L (Πιν. 8.5 και 8.6).

Η χωρική κατανομή της συγκέντρωσης του νικελίου στα υπόγεια νερά της περιοχής έρευνας παρουσιάζει παρόμοια εικόνα και για τις δυο περιόδους δειγματοληψίας (Σχ. 8.157 και 8.158).

Οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις νικελίου παρατηρούνται στο κεντρικό τμήμα της λεκάνης (περιοχές Κάτω Πευκενέας, Κολάτα, Αγ.Παρασκευή, Μαυρατζάς, Αγ.Ελεούσα και Λουτρός) και αποδίδονται σε φυσική πηγή ρύπανσης όπως η αποσάθρωση των τεμαχών των υπερβασικών πετρωμάτων και σχιστολίθων που βρίσκονται εντός των νεογενών και τεταρτογενών σχηματισμών (Gamvroula et al. 2013). Άλλη πηγή προέλευσης του νικελίου στο υπόγειο νερό είναι το οργανικό υλικό των λιγνιτικών ενδιαστρώσεων, όπως παρατηρείται και από τη χωρική κατανομή των υψηλών συγκεντρώσεων νικελίου που εμφανίζονται στον υδροφορέα των νεογενών σχηματισμών (Gamvroula et al. 2011) (Σχ. 8.157 και 8.158). Σημειώνεται ότι οι υψηλότερες συγκεντρώσεις νικελίου (6 έως 36 mg/L) καταγράφονται στους υδροφορείς των νεογενών σχηματισμών που φιλοξενούν τις λιγνιτικές ενδιαστρώσεις (Σχ. 8.157 και 8.158). Αντίστοιχη περίπτωση εμπλουτισμού του υπόγειου νερού με νικέλιο καταγράφεται από τους Stamatati et al. (2011) στη λεκάνη Ωρωπός-Κάλαμος, όπου οι λιγνιτικές ενδιαστρώσεις και οι σωροί τέφρας λιγνίτη αποτελούν σημαντική πηγή νικελίου για τα υπόγεια νερά.



Σχήμα 8.157: Χωρική κατανομή συγκέντρωσης νικελίου ($\mu\text{g/L}$) των υπόγειων νερών κατά την υγρή περίοδο.



Σχήμα 8.158: Χωρική κατανομή συγκέντρωσης νικελίου ($\mu\text{g/L}$) των υπόγειων νερών κατά την ξηρή περίοδο.

8.6.5.6. Χρώμιο (Cr)

Η παρουσία του χρωμίου στη χέρσο συνδέεται κυρίως με την εμφάνιση βασικών και υπερβασικών πετρωμάτων. Στα υπερβασικά πετρώματα η συγκέντρωση του χρωμίου

μπορεί να ξεπερνά τα 1000 mg/Kg. Ορυκτά του χρωμίου είναι πιθανόν να σχετίζονται με πυρόξενους, αμφιβολίτες και μαρμαρυγίες. Κύριο ορυκτό του χρωμίου είναι ο χρωμίτης (FeCrO_4), ο οποίος έχει οικονομική σημασία (Kabata-Pendias and Pendias 1999).

Το χρώμιο παρουσιάζει μεγάλο αριθμό βαθμίδων οξείδωσης που κυμαίνονται από -2 έως +6 και επειδή η μετάπτωση του από την μια βαθμίδα οξείδωσης στην άλλη είναι πολύ εύκολη η γεωχημεία του είναι πολύπλοκη. Η σχέση Eh-pH ρυθμίζει την ειδοταυτοποίηση (speciation) του χρωμίου (Kotas and Stasicka 2000, Bartlett 1999, James et al. 1997).

Οι πιο σταθερές βαθμίδες οξείδωσης που συναντώνται συνήθως στο περιβάλλον είναι από +3 έως +6 (Νικολαΐδης 2005, Palmer and Puls 1994). Σύμφωνα με τον Cox (1997) οι μορφές του χρωμίου στην υδρόσφαιρα δεν παρουσιάζουν μεγάλη κινητικότητα για μεγάλο χρονικό διάστημα. Οι μορφές οξείδωσης του χρωμίου που συναντώνται στους ωκεανούς είναι ως τρισθενές (Cr^{3+}) και ως εξασθενές (Cr^{6+}), πιο συχνά όμως συναντάται σαν (CrO_4^{2-}).

Στα υπόγεια νερά το χρώμιο απαντά σαν τρισθενές (Cr^{3+}) και σαν εξασθενές (Cr^{6+}). Στην τρισθενή μορφή του το χρώμιο είναι μερικώς αδιάλυτο στο νερό και σχετικά δυσκίνητο, ενώ το εξασθενές μερικώς διαλυτό στο νερό και σχετικά πιο ευκίνητο (Kabata Pendias and Mukherjee 2007). Σε όλα τα φυσικά νερά η συγκέντρωση του διαλυμένου τρισθενούς χρωμίου (Cr^{3+}) είναι πολύ χαμηλή διότι σε ουδέτερα pH είναι πολύ αδιάλυτο, ενώ όταν απαντάται στην οξειδωμένη του μορφή (CrO_4^{2-}) είναι πολύ πιο ευδιάλυτο στο νερό, τοξικό και καρκινογενετικό (Cox 1997).

Το Cr^{6+} είναι περισσότερο τοξικό από το Cr^{3+} εξαιτίας του υψηλότερου ρυθμού απορρόφησης του από τους εντερικούς σωλήνες (Jain et al. 2010).

Στα επιφανειακά νερά σύμφωνα με τους Kabata Pendias and Mukherjee (2007) και Witeczak and Adamczyk (1995) οι μορφές με τις οποίες εμφανίζεται το χρώμιο είναι CrO_4^{2-} , $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$, CrOH^{2+} και Cr^{3+} .

Στα υγρά απόβλητα το χρώμιο εμφανίζεται σαν τρισθενές και σαν εξασθενές. Το χρώμιο περιέχεται στα βιομηχανικά απόβλητα αφού χρησιμοποιείται σαν συστατικό των κραμάτων, ως προστατευτικό διάβρωσης μετάλλων και ως μέσο για την προστασία αντλιών και εναλλακτών θερμότητας. Το εξασθενές χρώμιο υπάρχει στα υγρά απόβλητα μεταλλουργικών βιομηχανιών και βιομηχανιών χρωστικών ουσιών και πυρίμαχων υλικών. Το τρισθενές χρώμιο είναι πιθανό να βρίσκεται σε υγρά απόβλητα από βιομηχανίες βυρσοδεψίας, κλωστοϋφαντουργίας και επιμετάλλωσης (Kabata Pendias and Mukherjee 2007, Kotas and Stasicka 2000).

Σύμφωνα με τους Farmer et al. (2002) οι συγκεντρώσεις του χρωμίου σε υπόγεια νερά περιοχών όπου υπάρχουν χώροι απόρριψης υπολειμμάτων επεξεργασίας μεταλλευμάτων χρωμίου, μπορεί να φτάσουν τα 91 mg/L.

Στα υπόγεια και επιφανειακά νερά το εξασθενές χρώμιο Cr^{6+} συνδέεται κυρίως με υπερβασικά πετρώματα και σερπεντινικά εδάφη όπως αναφέρουν οι Nriagu (1988), Ball and Izbicki (2004), Fantoni et al (2002), Gonzalez et al (2005) και Oze et al (2004), Stamatis et al. (2011).

Οι συγκεντρώσεις του εξασθενούς χρωμίου Cr^{6+} σε νερό αλλουβιακού υδροφορέα μπορεί να φτάνουν τα 60 $\mu\text{g}/\text{L}$ όταν προέρχονται από την αποσάθρωση υπερβασικών πετρωμάτων (Ball and Izbicki 2004).

Σύμφωνα με WHO (2006) οι ενώσεις του εξασθενούς χρωμίου καταστρέφουν το DNA και προκαλούν μεταλλάξεις. Η βραχυχρόνια έκθεση σε συγκεντρώσεις του χρωμίου μεγαλύτερες από 50 $\mu\text{g}/\text{L}$ προκαλούν στομαχικό και δερματικό ερεθισμό και επίσης μπορεί να προκληθούν βλάβες σε σκώτι, νεφρά και νευρικό σύστημα από

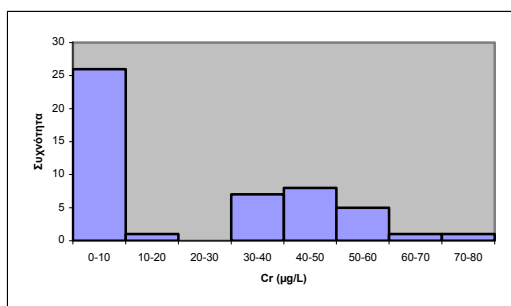
μακροχρόνια έκθεση σε συγκεντρώσεις του χρωμίου μεγαλύτερες από 50 µg/L (Ball and Izbicki 2004, WHO 2006).

Σύμφωνα με την Κοινοτικής Οδηγία 98/83/EK η παραμετρική τιμή του χρωμίου είναι τα 50 µg/L (EC 1998). Η τιμή πλαισίου για τα φυσικά νερά είναι το 1 µg/L σύμφωνα με τον Κελεπερτζή (2000).

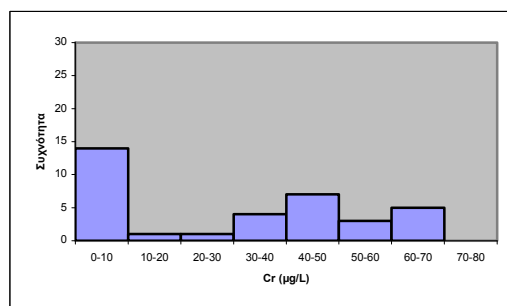
Η συγκέντρωση του χρωμίου σε 7 από τα 49 δείγματα της υγρής περιόδου (G2, G3, G11, G23, G25, G27, G38), με ποσοστό 14,29 % και σε 8 από τα 35 δείγματα της ξηρής περιόδου (G2, G3, G11, G23, G25, G26, G27, G38) με ποσοστό 22,86 % υπερβαίνει την παραμετρική τιμή των 50 µg/L της Κοινοτικής Οδηγίας 98/83/EK (EC 1998).

Τα δεδομένα του χρωμίου στα υπόγεια νερά ομαδοποιήθηκαν σε κλάσεις με εύρος κλάσης για την υγρή και την ξηρή περίοδο τα 10 µg/L (Σχ. 8.159 και 8.160).

Στο ιστόγραμμα κατανομής του χρωμίου και για την υγρή και για την ξηρή περίοδο διακρίνεται ένας κύριος πληθυσμός με μέγιστη κλάση από 0 έως 10 µg/L χρωμίου όπου αντιστοιχούν 26 δείγματα υπόγειου νερού για την υγρή περίοδο και 14 δείγματα υπόγειου νερού για την ξηρή περίοδο.

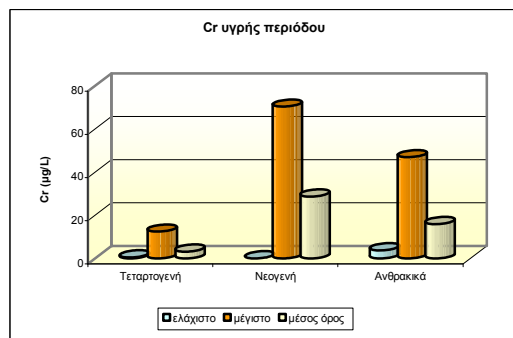


Σχήμα 8.159: Ιστόγραμμα κατανομής του χρωμίου στα δείγματα υπόγειων νερών υγρής περιόδου.

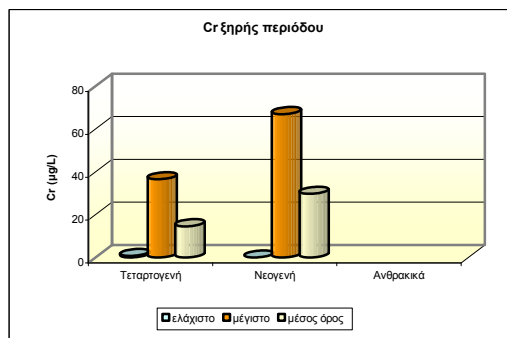


Σχήμα 8.160: Ιστόγραμμα κατανομής του χρωμίου στα δείγματα υπόγειων νερών ξηρής περιόδου.

Από τα Σχ. 8.161 και 8.162 παρατηρείται ότι και για τις δυο περιόδους δειγματοληψίας οι συγκεντρώσεις χρωμίου στα νερά των τεταρτογενών και νεογενών σχηματισμών παρουσιάζουν αξιόλογο εύρος διακύμανσης, το οποίο κατά την ξηρή περίοδο αυξάνεται στους τεταρτογενείς σχηματισμούς. Όσον αφορά στους ανθρακικούς σχηματισμούς η έλλειψη δεδομένων κατά την ξηρή περίοδο καθιστά αδύνατη τη σύγκριση των δυο περιόδων δειγματοληψίας.



Σχήμα 8.161: Διακύμανση των συγκεντρώσεων του χρωμίου υγρής περιόδου των τριών υδροφόρων.



Σχήμα 8.162: Διακύμανση των συγκεντρώσεων του χρωμίου ξηρής περιόδου των τριών υδροφόρων.

Αναλυτικότερα οι συγκεντρώσεις του χρωμίου στα υπόγεια νερά της περιοχής έρευνας για τις δυο περιόδους δειγματοληψίας βάσει της λιθολογικής ταξινόμησης έχουν ως εξής (Σχ. 8.161 και 8.162):

α) νερά των τεταρτογενών σχηματισμών: Την υγρή περίοδο ο μέσος όρος του χρωμίου είναι 3,18 μg/L με συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από 0,49 έως 12,42 μg/L ενώ κατά την ξηρή περίοδο ο μέσος όρος του χρωμίου είναι 14,57 μg/L με συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από 0,78 έως 36,52 μg/L (Πιν. 8.5 και 8.6). Οι συγκεντρώσεις του χρωμίου στα νερά των τεταρτογενών σχηματισμών δεν παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές ανάμεσα στις δύο περιόδους. Εξαιρέση στους τεταρτογενείς σχηματισμούς αποτελούν τα δείγματα W2 και G40 της υγρής περιόδου με συγκεντρώσεις 39,11 και 32,64 μg/L αντίστοιχα εξαιτίας των υψηλών συγκεντρώσεων τους σε σχέση με τα υπόλοιπα δείγματα των τεταρτογενών.

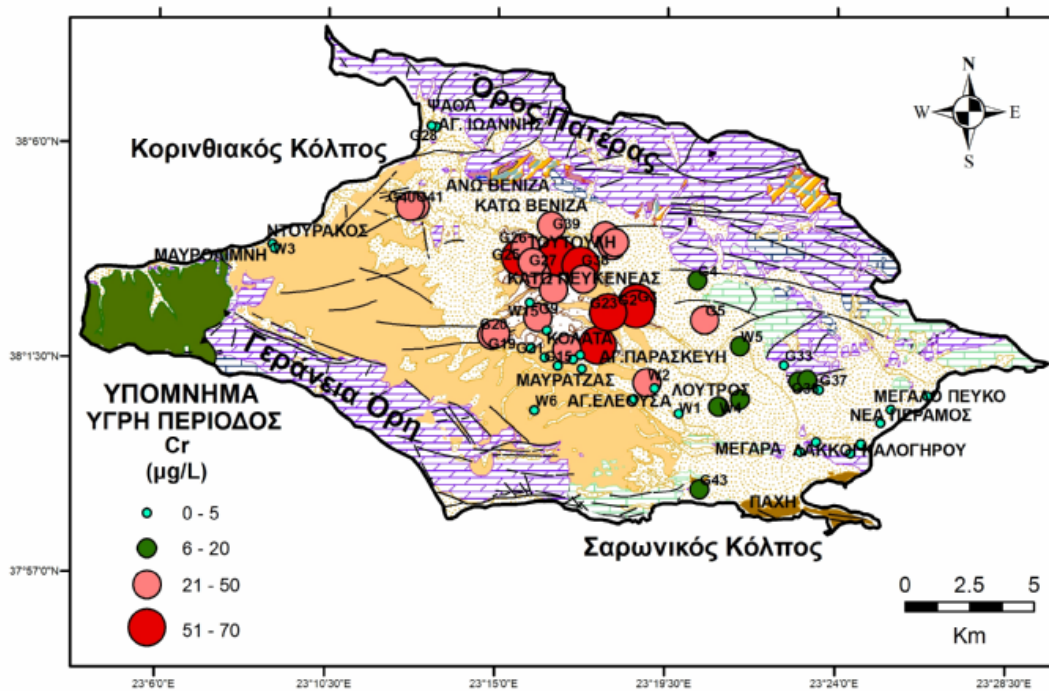
β) νερά των νεογενών σχηματισμών: Την υγρή περίοδο ο μέσος όρος του χρωμίου είναι 28,66 μg/L με συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από <0,04 (όριο ανιχνευσιμότητας μεθόδου) έως 70,35 μg/L ενώ κατά την ξηρή περίοδο ο μέσος όρος του χρωμίου είναι 29,69 μg/L με συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από <0,04 έως 66,95 μg/L (Πιν. 8.5 και 8.6). Οι συγκεντρώσεις του χρωμίου στα νερά των νεογενών σχηματισμών δεν παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές ανάμεσα στις δύο περιόδους.

γ) νερά των καρστικών ανθρακικών σχηματισμών: Την υγρή περίοδο ο μέσος όρος του χρωμίου είναι 15,93 μg/L με συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από 3,79 έως 46,97 μg/L. Κατά την ξηρή περίοδο πραγματοποιήθηκε προσδιορισμός συγκέντρωσης χρωμίου μόνο σε ένα δείγμα νερού (G5) από τις κοινές θέσεις δειγματοληψίας των δυο περιόδων. Στο δείγμα αυτό η συγκέντρωση χρωμίου είναι 47,9 μg/L (Πιν. 8.5 και 8.6).

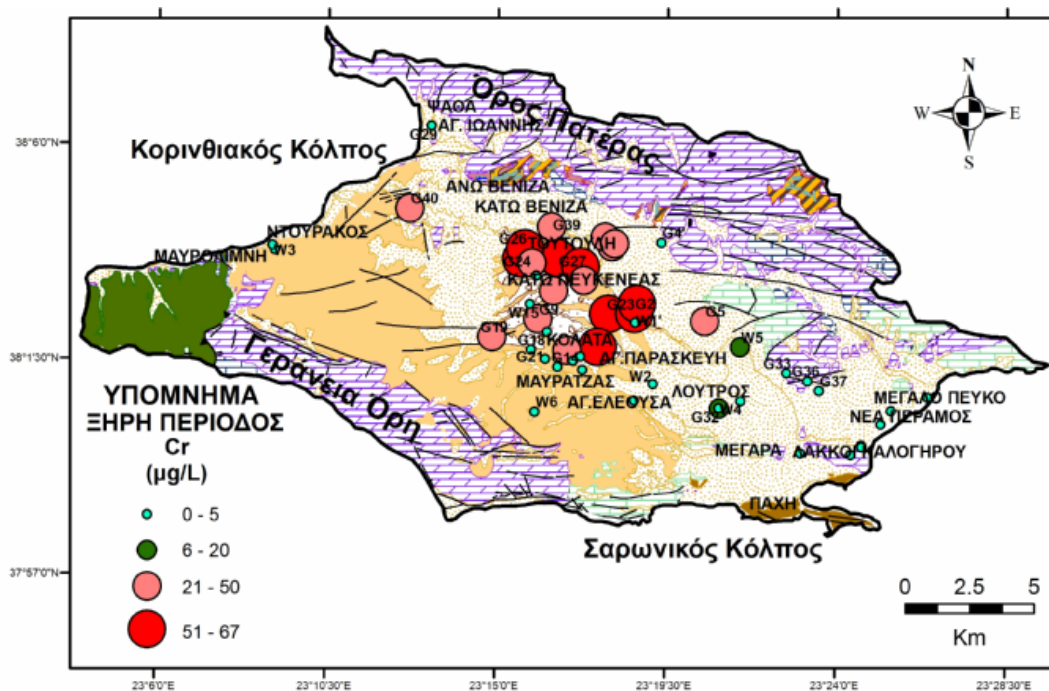
Η χωρική κατανομή της συγκέντρωσης του χρωμίου στα υπόγεια νερά της περιοχής έρευνας δεν παρουσιάζει σημαντικές διαφοροποιήσεις για τις δυο περιόδους δειγματοληψίας (Σχ. 8.163 και 8.164).

Συγκεντρώσεις μεγαλύτερες από 20 μg/L καταγράφονται στο κεντρικό τμήμα της λεκάνης και συγκεκριμένα στο υπόγειο νερό των περιοχών Τούτουλη, Κάτω Πευκενέας, Κολάτα και Αγ. Παρασκευή και οφείλονται στην αποσάθρωση τεμαχών υπερβασικών πετρωμάτων και σχιστολίθων που βρίσκονται εντός των νεογενών και τεταρτογενών σχηματισμών καθώς και στην έκπλυση των λιγνιτικών ενδιαστρώσεων που βρίσκονται στις μάργες των Νεογενών σχηματισμών (Gamvroula et al. 2013). Αντίστοιχος μηχανισμός εμπλουτισμού χρωμίου στο υπόγειο νερό νεογενών σχηματισμών, με συγκεντρώσεις χρωμίου που φθάνουν έως τα 34,3 μg/L, αναφέρεται από τους Stamatis et al. (2011) για τη λεκάνη του Ωρωπού – Καλάμου. Σημειώνεται, ότι οι συγκεντρώσεις χρωμίου οι οποίες έχουν καταγραφεί σε λιγνιτικές ενδιαστρώσεις που βρίσκονται σε άλλες περιοχές του ελληνικού χώρου κυμαίνονται από 90 έως 137 mg/Kg και 236 έως 651 mg/Kg (Pentari et al. 2004, Sakorafa et al. 1996).

Χαμηλές συγκεντρώσεις χρωμίου καταγράφονται στα υπόγεια νερά των παραλιακών περιοχών Ψάθα, Ντουράκος, Μεγάλο Πεύκο, Νέα Πέραμος, Λάκκοι Καλογήρου καθώς και στις περιοχές Μέγαρο και Λουτρός (Σχ. 8.163 και 8.164).



Σχήμα 8.163: Χωρική κατανομή συγκέντρωσης χρωμίου ($\mu\text{g/L}$) των υπόγειων νερών κατά την υγρή περίοδο.



Σχήμα 8.164: Χωρική κατανομή συγκέντρωσης χρωμίου ($\mu\text{g/L}$) των υπόγειων νερών κατά την ξηρή περίοδο.

8.6.5.7. Χαλκός (Cu)

Τα κύρια ορυκτά του χαλκού είναι ο χαλκοπυρίτης (CuFeS_2), ο βορνίτης (Cu_5FeS_4), ο χαλκοσίνης (Cu_2S) και ο κοβελίνης (CuS). Ο χαλκός συγκεντρώνεται σε βασικά

πυριγενή πετρώματα και σε αργιλώδη ιζήματα, η συγκέντρωση του στο φλοιό της γης φτάνει τα 25-75 mg/kg (Kabata-Pendias and Mukherjee 2007). Ο χαλκός προέρχεται από τα απόβλητα που προέρχονται από τα επιμεταλλωτήρια, την ηλεκτρονική βιομηχανία και τη βιομηχανία παραγωγής ηλεκτρικών καλωδίων.

Οι μορφές με τις οποίες εμφανίζεται ο χαλκός στα επιφανειακά νερά είναι ως $\text{Cu}(\text{OH})^+$, CuCO_3 και CuSO_4 (Witczak and Adamczyk 1995). Αντίστοιχα στο θαλασσίνο νερό ο χαλκός εμφανίζεται ως $\text{Cu}(\text{OH})_2$, CuCO_3 και Cu^{2+} και η συγκέντρωση του χαλκού είναι άρρητα συνδεδεμένη με το pH του νερού (US.EPA. 1980). Στο θαλασσίνο νερό, τα βασικά χημικά είδη του Cu είναι τα $\text{Cu}(\text{OH})\text{Cl}$ και $\text{Cu}(\text{OH})_2$.

Στο υπόγειο και επιφανειακό νερό, η διαλυτότητα των αλάτων του χαλκού μειώνεται σε αναγωγικές συνθήκες, και ελέγχεται από παράγοντες όπως το pH του νερού, η θερμοκρασία, η σκληρότητα, η πυκνότητα των αιωρούμενων υλικών και πολλές άλλες παραμέτρους (Eisler 1998).

Ο χαλκός είτε σχετίζεται με την ανόργανη ύλη είτε βρίσκεται συνδεδεμένος με το οργανικό υλικό των εδαφών και των ιζημάτων και έτσι βρίσκεται σε μια δυναμική ισορροπία με το περιεχόμενο του στα ιζήματα (Kennish 1998).

Ο χαλκός παρουσιάζει ισχυρή προτίμηση να δεσμεύεται από το οργανικό υλικό του εδάφους έτσι ώστε το οργανικό κλάσμα του χαλκού να είναι υψηλότερο εάν συγκριθεί με τα άλλα μέταλλα ακόμα και εάν η συγκέντρωση του χαλκού είναι σχετικά χαμηλή (Romio et al. 2012).

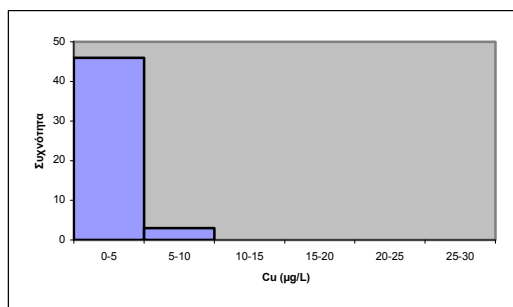
Όταν ο χαλκός βρίσκεται σε μικρές ποσότητες στον ανθρώπινο οργανισμό βοηθά στο μεταβολισμό και στην παραγωγή των ερυθρών αιμοσφαιρίων καθώς επίσης βοηθά στην απελευθέρωση του σιδήρου που βρίσκεται στους ιστούς, στην ανάπτυξη των οστών και στη σωστή λειτουργία του νευρικού συστήματος (Χαραλάμπους 2007). Το ήπαρ είναι χώρος αποθήκευσης για τον Cu που μπορεί να κινητοποιηθεί σε περίπτωση αρνητικής ισορροπίας του Cu (Momcilovic 2004). Ένας ενήλικας πρέπει να λαμβάνει καθημερινά 2 mg χαλκού, μεγαλύτερες συγκεντρώσεις προκαλούν προβλήματα στον ανθρώπινο οργανισμό όπως ερεθισμός των βλεννογόνων, αγγειακά προβλήματα, διαταραχή στο DNA και τις λειτουργίες των ενζύμων, κυτταρική βλάβη που οφείλεται στη δημιουργία των ριζών υδροξυλίου OH^- και OH^+ από το υπεροξείδιο του υδρογόνου (H_2O_2) η οποία μπορεί να οδηγήσει σε οξειδωτικό στρες, και ερεθισμό του νευρικού και γαστρεντερικού συστήματος. Επίσης συγκεντρώσεις χαλκού μεγαλύτερες από 2 mg μπορεί να οδηγήσουν ακόμα και στη νόσο του “Wilson”, η οποία ως επί το πλείστον καταλήγει σε θάνατο (Aaseth and Norseth 1986).

Επίσης η έλλειψη χαλκού οδηγεί σε αργή ανάπτυξη, αναιμία, προβλήματα γονιμότητας, απώλεια μαλλιών και βάρους, διαταραχές του κεντρικού νευρικού συστήματος, καρδιαγγειακά προβλήματα, οστεοπόρωση και διάφορες άλλες μεταβολικές δυσλειτουργίες (ATSDR 1990, Percival 1995).

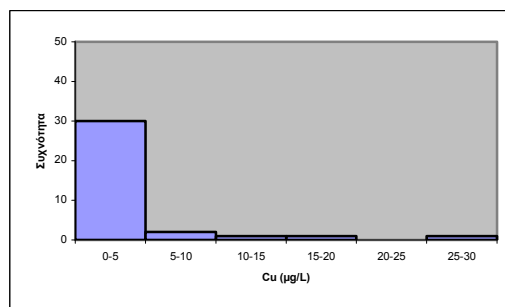
Η ανώτατη αποδεκτή συγκέντρωση χαλκού στο νερό είναι τα 2000 $\mu\text{g}/\text{L}$ σύμφωνα με την κοινοτική οδηγία 98/83/EK (EC 1998). Σημειώνεται επίσης ότι όταν η συγκέντρωση του χαλκού υπερβεί τα 50 $\mu\text{g}/\text{L}$ τότε το νερό αποκτά δυσάρεστη γεύση (Jain et al. 2010).

Οι συγκεντρώσεις του χαλκού και στις δυο περιόδους δειγματοληψίας δεν υπερβαίνουν την παραμετρική τιμή των 2000 $\mu\text{g}/\text{L}$ της κοινοτικής οδηγίας 98/83/EK (EC 1998).

Τα δεδομένα του χαλκού στα υπόγεια νερά ομαδοποιήθηκαν σε κλάσεις με εύρος κλάσης και για τις δυο περιόδους δειγματοληψίας τα 5 $\mu\text{g}/\text{L}$ (Σχ. 8.165 και 5.166).



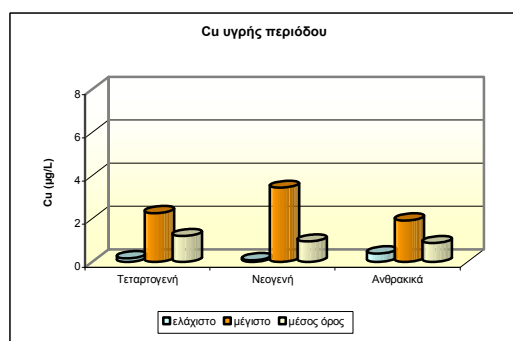
Σχήμα 8.165: Ιστόγραμμα κατανομής του χαλκού στα δείγματα υπόγειων νερών υγρής περιόδου.



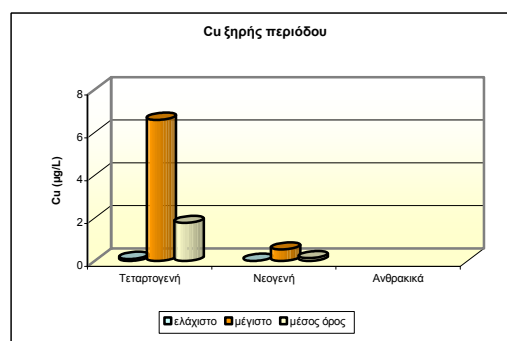
Σχήμα 8.166: Ιστόγραμμα κατανομής του χαλκού στα δείγματα υπόγειων νερών ξηρής περιόδου.

Στο ιστόγραμμα κατανομής του χαλκού και για τις δυο περιόδους διακρίνεται ένας κύριος πληθυσμός με μέγιστη κλάση από 0 έως 5 µg/L χαλκού όπου αντιστοιχούν 46 δείγματα υπόγειου νερού για την υγρή περίοδο και 30 δείγματα υπόγειου νερού για την ξηρή περίοδο.

Μικρή διακύμανση της συγκέντρωσης χαλκού παρατηρείται στους υδροφορείς των νεογενών σχηματισμών ανάμεσα στις δυο περιόδους δειγματοληψίας, συγκεκριμένα είναι λίγο αυξημένο κατά την υγρή περίοδο (Σχ. 8.167 και 8.168). Όσον αφορά στα νερά των τεταρτογενών σχηματισμών οι συγκεντρώσεις του χαλκού δεν παρουσιάζουν σημαντική διαφορά ανάμεσα στις δυο περιόδους δειγματοληψίας. Παρατηρείται μικρή αύξηση κατά την ξηρή περίοδο (Σχ. 8.167 και 8.168).



Σχήμα 8.167: Διακύμανση των συγκεντρώσεων του χαλκού υγρής περιόδου των τριών υδροφόρων.



Σχήμα 8.168: Διακύμανση των συγκεντρώσεων του χαλκού ξηρής περιόδου των τριών υδροφόρων.

Αναλυτικότερα οι συγκεντρώσεις του χαλκού στα υπόγεια νερά της περιοχής έρευνας βάσει της λιθολογικής ταξινόμησης έχουν ως εξής (Σχ. 8.167 και 8.168):

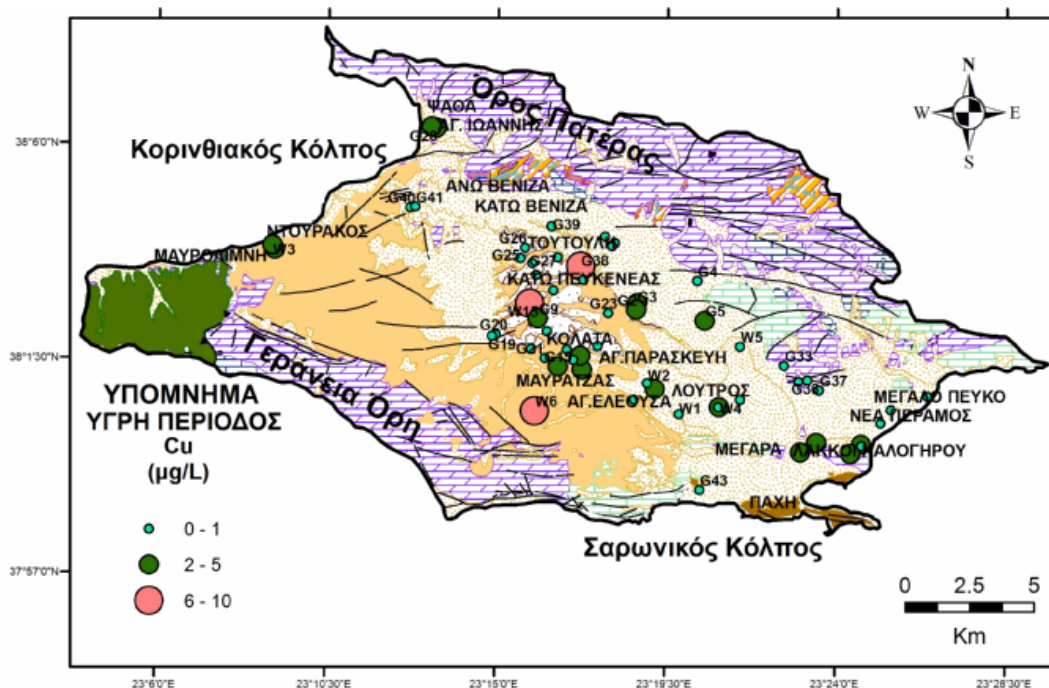
α) νερά των τεταρτογενών σχηματισμών: Την υγρή περίοδο ο μέσος όρος του χαλκού είναι 1,20 µg/L με συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από 0,17 έως 2,26 µg/L ενώ κατά την ξηρή περίοδο ο μέσος όρος του χαλκού είναι 1,78 µg/L με τιμές που κυμαίνονται από 0,10 έως 6,59 µg/L (Πιν. 8.5 και 8.6). Οι συγκεντρώσεις του χαλκού στα νερά των τεταρτογενών σχηματισμών δεν παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές ανάμεσα στις δύο περιόδους. Εξαιρείται το δείγμα W11= 4,73 µg/L εξαιτίας της υψηλής συγκέντρωσης που έχει σε σχέση με τα υπόλοιπα δείγματα.

β) νερά των νεογενών σχηματισμών: Την υγρή περίοδο ο μέσος όρος του χαλκού είναι 0,95 µg/L με συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από 0,08 έως 3,44 µg/L ενώ κατά την ξηρή περίοδο ο μέσος όρος του χαλκού είναι 0,14 µg/L με τιμές που κυμαίνονται από 0,01 έως 0,54 µg/L (Πιν. 8.5 και 8.6). Οι συγκεντρώσεις του χαλκού στα νερά

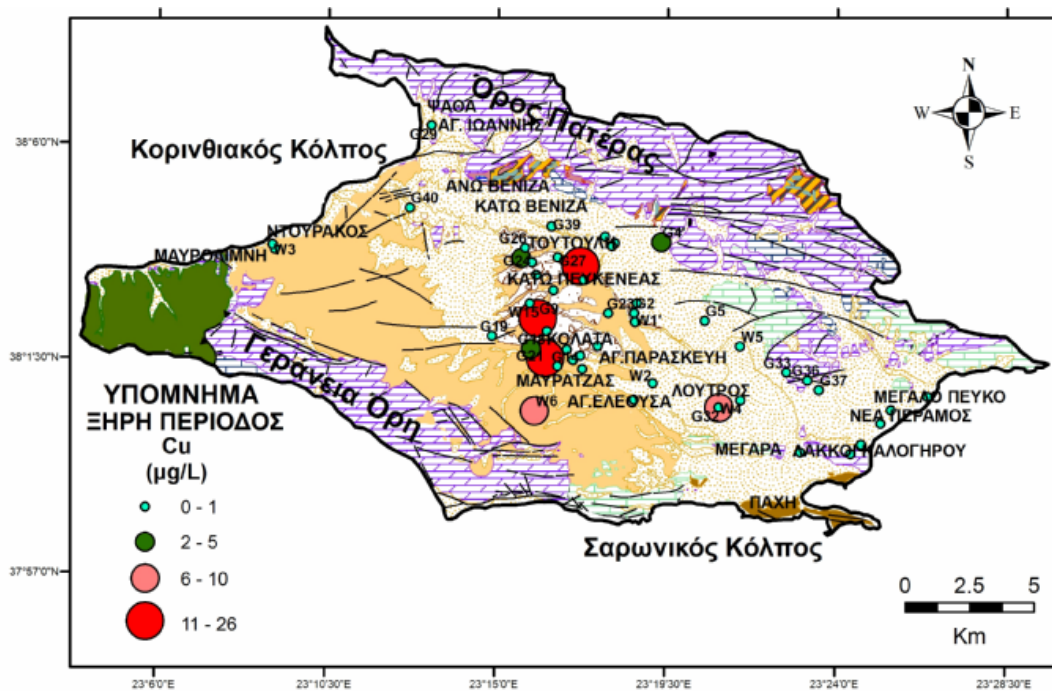
των νεογενών σχηματισμών παρουσιάζουν μια μικρή αύξηση κατά την υγρή περίοδο. Εξαιρούνται τα δείγματα (W6 = 9,20 µg/L, W15 = 10,20 µg/L, G13 = 4 µg/L και G38 = 8,06 µg/L) της υγρής περιόδου καθώς και τα δείγματα (W6 = 10,02 µg/L, G9 = 12,74 µg/L, G18 = 3,83 µg/L και G21 = 25,84 µg/L, G25 = 2,47 µg/L και G38 = 19,69 µg/L) της ξηρής περιόδου.

γ) **νερά των καρστικών ανθρακικών σχηματισμών:** Την υγρή περίοδο ο μέσος όρος του χαλκού είναι 0,87 µg/L με συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από 0,39 έως 1,92 µg/L. Κατά την ξηρή περίοδο πραγματοποιήθηκε προσδιορισμός συγκέντρωσης χαλκού μόνο σε ένα δείγμα νερού (G5) από τις κοινές θέσεις δειγματοληψίας των δυο περιόδων. Στο δείγμα αυτό η συγκέντρωση χαλκού βρέθηκε να είναι μικρότερη από το όριο ανιχνευσιμότητας (< 0,1 µg/L), (Πιν. 8.5 και 8.6).

Από τη χωρική κατανομή της συγκέντρωσης του χαλκού στα δείγματα υπόγειου νερού της λεκάνης των Μεγάρων (Σχ. 8.169 και 8.170) διαπιστώνεται ότι δεν παρουσιάζονται σημαντικές διαφορές κατά τις δυο περιόδους. Από τη χωρική κατανομή διαπιστώνεται ότι οι υψηλότερες συγκεντρώσεις (>5 µg/L) και για τις δυο περιόδους δειγματοληψίας εντοπίζονται στο κεντρικό τμήμα της λεκάνης και ιδιαίτερα στα νερά των νεογενών σχηματισμών των περιοχών Κάτω Πευκενέας, Κολάτα, Μαυρατζάς και Αγ.Ελεούσα. Οι συγκεντρώσεις αυτές οφείλονται στην παρουσία τεμαχών υπερβασικών πετρωμάτων και σχιστολίθων μέσα στους νεογενείς σχηματισμούς. Επίσης οι συγκεντρώσεις του χαλκού στα νερά των νεογενών σχηματισμών αποδίδονται σε φυσική πηγή ρύπανσης όπως η αποσάθρωση των τεμαχών των υπερβασικών πετρωμάτων που βρίσκονται εντός των νεογενών σχηματισμών (Gamvroula et al. 2013).



Σχήμα 8.169: Χωρική κατανομή συγκέντρωσης χαλκού (µg/L) των υπόγειων νερών κατά την υγρή περίοδο.



Σχήμα 8.170: Χωρική κατανομή συγκέντρωσης χαλκού (µg/L) των υπόγειων νερών κατά την ξηρή περίοδο.

8.6.5.8. Ψευδάργυρος (Zn)

Ο ψευδάργυρος απαντά στα μαγματικά πετρώματα και στα αργιλικά ιζήματα. Εμφανίζεται ενωμένος με άλλα στοιχεία όπως και σχηματίζει ενώσεις με σημαντικότερες το χλωριούχο ψευδάργυρο ($ZnCl_2$), το οξείδιο του ψευδαργύρου (ZnO), το θειικό ψευδάργυρο ($ZnSO_4$) και το θειούχο ψευδάργυρο (ZnS), (Kabata-Pendias and Mukherjee 2007).

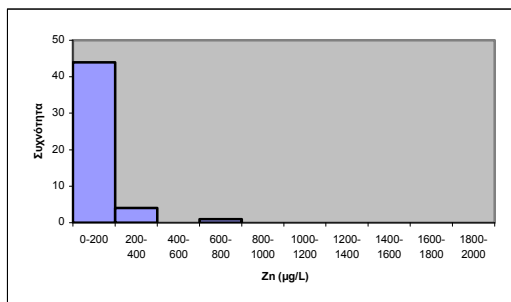
Ο ψευδάργυρος προέρχεται από τα απόβλητα μεταλλευτικών δραστηριοτήτων, επιμεταλλωτήρια και από τη διάβρωση γαλβανισμένων σωληνών (Χαραλάμπους 2007). Κύριες πηγές του ψευδαργύρου στα φυσικά νερά είναι η απορροή μεταλλείων, βιομηχανικών και αστικών αποβλήτων, η αστικής απορροή, και η διάβρωση των σωματιδίων του εδάφους που περιέχουν Zn (US.EPA 1980).

Οι βιομηχανίες χημικών προϊόντων των Ευρωπαϊκών χωρών προκαλούν το 28% της εισροής του ψευδαργύρου στο υδάτινο περιβάλλον (Helios-Rybicka et al. 1998, Kabata-Pendias and Pendias 1999).

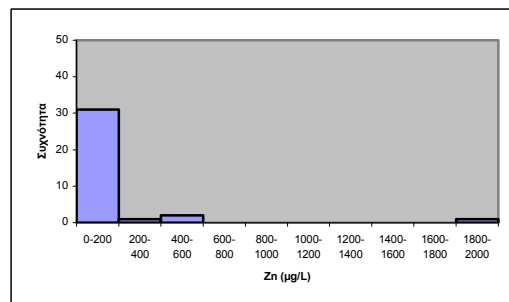
Η έλλειψη ψευδαργύρου σύμφωνα με τους Peganova and Eder (2004) μπορεί να προκαλέσει συχνές λοιμώξεις, διάρροια, μειωμένη ανοσολογική λειτουργία, αλωπεκία, καθυστέρηση στην ωρίμανση των οστών και ψυχικές διαταραχές. Επίσης μπορεί να προκαλέσει καθυστερημένη επούλωση πληγών και δερματικών βλαβών, διευρυμένη σπλήνα και ήπαρ, διαταραχή της γεύσης και της όσφρησης.

Κανένα δείγμα και από τις δυο περιόδους δειγματοληψίας δεν ξεπερνά το όριο των 5000 µg/L της Κοινοτικής Οδηγίας 98/83/EK (EC 1998). Κατά την ξηρή περίοδο δειγματοληψίας παρατηρείται αύξηση στις συγκεντρώσεις του ψευδαργύρου σε σχέση με την υγρή, αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι κατά τη θερινή περίοδο οι υπόγειοι υδροφορείς δεν εμπλουτίζονται και έτσι η συγκέντρωση πολλών στοιχείων αυξάνεται.

Τα δεδομένα του ψευδαργύρου στα υπόγεια νερά ομαδοποιήθηκαν σε κλάσεις με εύρος κλάσης για την υγρή και την ξηρή περίοδο τα 200 $\mu\text{g/L}$ (Σχ. 8.171 και 8.172).



Σχήμα 8.171: Ιστόγραμμα κατανομής του ψευδαργύρου στα δείγματα υπόγειων νερών υγρής περιόδου.

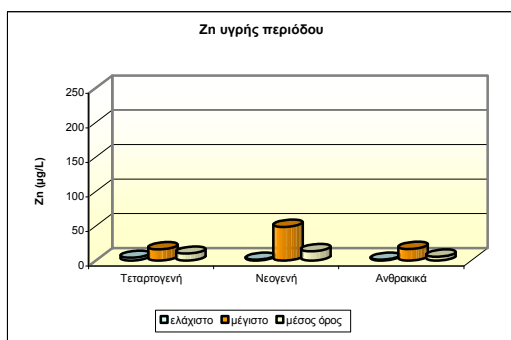


Σχήμα 8.172: Ιστόγραμμα κατανομής του ψευδαργύρου στα δείγματα υπόγειων νερών ξηρής περιόδου.

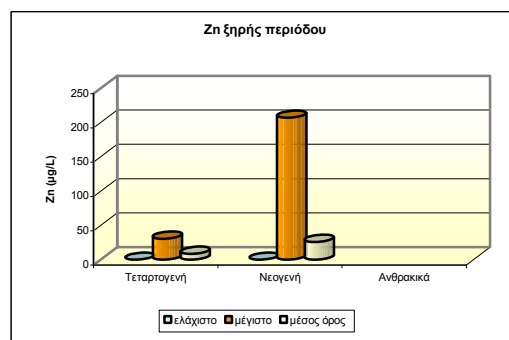
Στο ιστόγραμμα κατανομής του ψευδαργύρου και για τις δυο περιόδους διακρίνεται ένας κύριος πληθυσμός με μέγιστη κλάση από 0 έως 200 $\mu\text{g/L}$ μαγγανίου όπου αντιστοιχούν 44 δείγματα υπόγειου νερού στην υγρή περίοδο και 31 δείγματα υπόγειου νερού στην ξηρή.

Η διακύμανση της συγκέντρωσης ψευδαργύρου στα υπόγεια νερά των τριών σχηματισμών για τις δυο περιόδους δειγματοληψίας παρουσιάζεται στα Σχ. 8.173 και 8.174.

Όσον αφορά τις συγκεντρώσεις ψευδαργύρου των νερών των τεταρτογενών και νεογενών σχηματισμών παρουσιάζουν μικρό εύρος διακύμανσης κατά την υγρή περίοδο, το ίδιο ισχύει και για τους ανθρακικούς σχηματισμούς. Στην ξηρή περίοδο η διακύμανση των συγκεντρώσεων ψευδαργύρου των τεταρτογενών είναι μικρή ενώ όσον αφορά τους νεογενείς σχηματισμούς η διακύμανση ψευδαργύρου αυξάνει. Κατά την ξηρή περίοδο δεν υπάρχουν δεδομένα για τους ανθρακικούς σχηματισμούς (Σχ. 8.173 και 8.174).



Σχήμα 8.173: Διακύμανση των συγκεντρώσεων του ψευδαργύρου υγρής περιόδου των τριών υδροφόρων.



Σχήμα 8.174: Διακύμανση των συγκεντρώσεων του ψευδαργύρου ξηρής περιόδου των τριών υδροφόρων.

Αναλυτικότερα οι συγκεντρώσεις του ψευδαργύρου στα υπόγεια νερά της περιοχής έρευνας βάσει της λιθολογικής ταξινόμησης έχουν ως εξής (Σχ. 8.173 και 8.174):

α) νερά των τεταρτογενών σχηματισμών: Οι συγκεντρώσεις του ψευδαργύρου στα νερά των τεταρτογενών σχηματισμών κυμαίνονται ως εξής για την υγρή περίοδο ο μέσος όρος του ψευδαργύρου είναι 10,25 $\mu\text{g/L}$ με συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από 4,08 έως 16,37 $\mu\text{g/L}$ ενώ κατά την ξηρή περίοδο ο μέσος όρος του ψευδαργύρου

είναι 8,62 µg/L με συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από <0,02 (όριο ανιχνευσιμότητας μεθόδου) έως 30,61 µg/L (Πιν. 8.5 και 8.6). Στην υγρή περίοδο εξαιρούνται τα δείγματα W4 και W9 με συγκεντρώσεις 44,70 και 65,73 µg/L, διότι παρουσιάζουν υψηλές συγκεντρώσεις σε σχέση με το σύνολο των δειγμάτων.

β) νερά των νεογενών σχηματισμών: Οι συγκεντρώσεις του ψευδαργύρου στα νερά των νεογενών σχηματισμών παρουσιάζουν αύξηση κατά την ξηρή περίοδο δειγματοληψίας. Την υγρή περίοδο ο μέσος όρος του ψευδαργύρου είναι 13,69 µg/L με συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από 1,34 έως 48,82 µg/L ενώ κατά την ξηρή περίοδο ο μέσος όρος του ψευδαργύρου είναι 25,93 µg/L με τιμές που κυμαίνονται από <0,02 έως 207,08 µg/L (Πιν. 8.5 και 8.6).

Κάποια δείγματα των νεογενών σχηματισμών και για τις δυο περιόδους δειγματοληψίας έχουν εξαιρεθεί εξαιτίας των υψηλών συγκεντρώσεών τους. Τα δείγματα αυτά είναι, για την υγρή περίοδο τα G12 (235,37 µg/L), G14 (294,46 µg/L), G15 (306,38 µg/L), G23 (298,56 µg/L), G32 (692,39 µg/L) και για την ξηρή περίοδο τα δείγματα G14 (1890,52 µg/L), G23 (458,84 µg/L), G32 (441,60 µg/L).

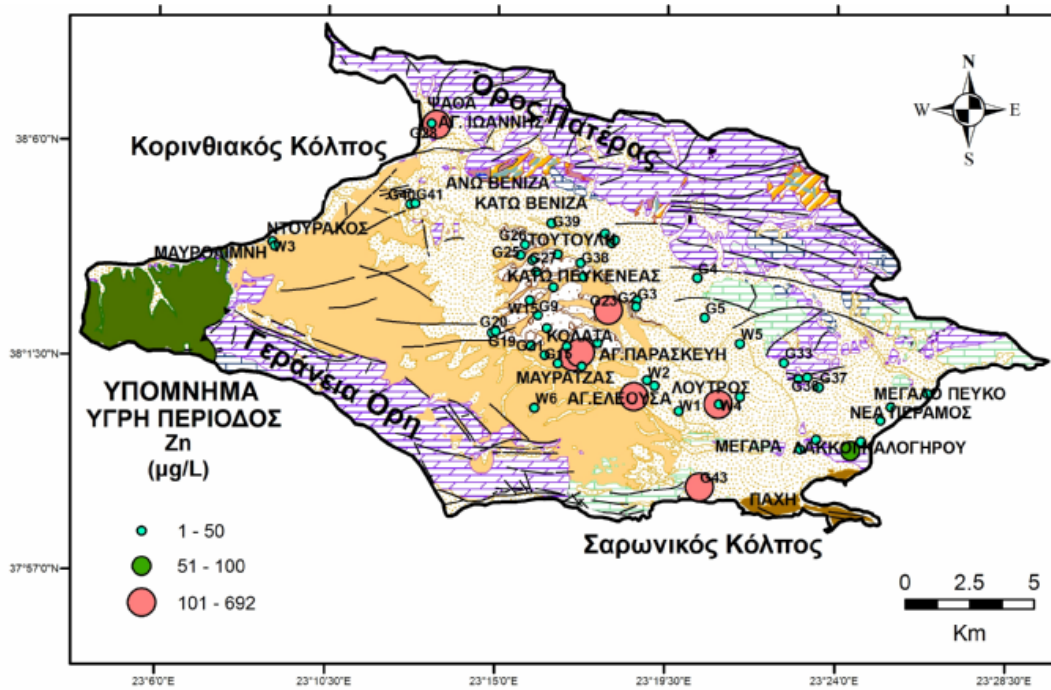
γ) νερά των καρστικών ανθρακικών σχηματισμών: Την υγρή περίοδο ο μέσος όρος του ψευδαργύρου είναι 5,73 µg/L με συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από 1,41 έως 16,87 µg/L ενώ κατά την ξηρή περίοδο δεν έγινε προσδιορισμός της συγκέντρωσης ψευδαργύρου (Πιν. 8.5 και 8.6).

Από τη χωρική κατανομή της συγκέντρωσης του ψευδαργύρου στο υπόγειο νερό της λεκάνης των Μεγάρων παρατηρείται ότι η συγκέντρωση του ψευδαργύρου παραμένει σχεδόν η ίδια και για τις δυο περιόδους δειγματοληψίας (Σχ. 8.175 και 5.176).

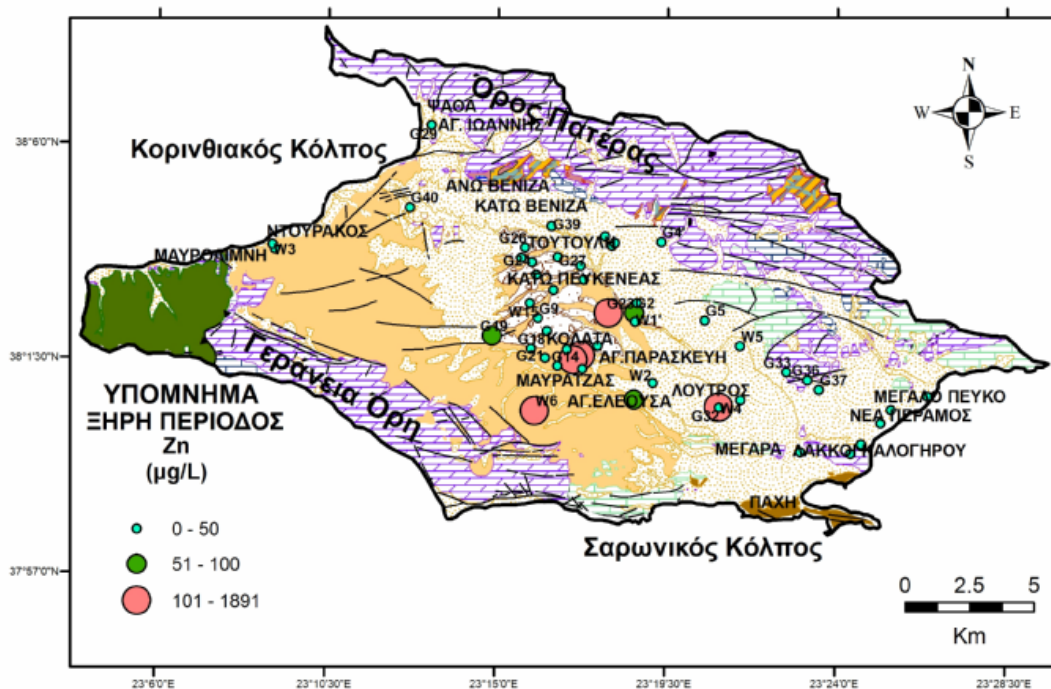
Οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις ψευδαργύρου από 100 µg/L εμφανίζονται και για τις δυο περιόδους στις περιοχές Κάτω Πευκενέας, Κολάτα, Μαυρατζάς, Λουτρός. Κατά την υγρή περίοδο συγκεντρώσεις μεγαλύτερες από 100 µg/L ψευδαργύρου καταγράφονται στις περιοχές Ψάθα, Αγ.Ελεούσα και νότια της πόλης των Μεγάρων. Συγκεντρώσεις μεγαλύτερες από 100 µg/L παρατηρούνται και για τις δυο περιόδους δειγματοληψίας στις περιοχές Ντουράκος, Άνω και Κάτω Βένιζα, Τούτουλη, Λάκκοι Καλογήρου, Νέα Πέραμος, Μεγάλο Πεύκο.

Οι συγκεντρώσεις ψευδαργύρου στα υπόγεια νερά της λεκάνης των Μεγάρων ερμηνεύονται από την παρουσία οξειδίων του μαγγανίου εντός των νεογενών σχηματισμών. Η παρουσία ψευδαργύρου στα οξείδια του μαγγανίου αναφέρεται και από τους Mc Bride et al (1997).

Επίσης οι υψηλές συγκεντρώσεις ψευδαργύρου οφείλονται στην παρουσία τεμαχών υπερβασικών πετρωμάτων και σχιστολίθων που βρίσκονται μέσα στους νεογενείς και τεταρτογενείς σχηματισμούς.



Σχήμα 8.175: Χωρική κατανομή συγκέντρωσης ψευδαργύρου (µg/L) των υπόγειων νερών κατά την υγρή περίοδο.



Σχήμα 8.176: Χωρική κατανομή συγκέντρωσης ψευδαργύρου (µg/L) των υπόγειων νερών κατά την ξηρή περίοδο.

9. ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΥΔΡΟΧΗΜΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ

9.1. Γενικά

Για την επεξεργασία των δεδομένων που προέκυψαν από την εργαστηριακή έρευνα χρησιμοποιήθηκαν μέθοδοι στατιστικής ανάλυσης για πολυμεταβλητά συστήματα δεδομένων, όπως η ανάλυση συσχέτισης (correlation analysis) και η ανάλυση παραγόντων (factor analysis).

Στα δεδομένα των υδροχημικών αναλύσεων εφαρμόστηκε στατιστική επεξεργασία για να προσδιοριστεί η πιθανή πηγή προέλευσης των ιχνοστοιχείων και να εντοπιστεί η κοινή γεωχημική συμπεριφορά τους.

Αντίστοιχες περιπτώσεις επιτυχούς εφαρμογής των στατιστικών αυτών μεθόδων οι οποίες έχουν ερμηνεύσει την πηγή προέλευσης των στοιχείων στο νερό, καταγράφονται στη διεθνή βιβλιογραφία (Stamatis and Voudouris 2003, Petalas et al. 2006, Fernades et al. 2008, Cheng-Shin Jang 2010, Taiwo 2012, Vasanthavigar et al. 2013).

9.2. Ανάλυση συσχέτισης (correlation analysis)

Οι τιμές των συντελεστών συσχέτισης των δεδομένων των χημικών αναλύσεων των δειγμάτων υπόγειου νερού και για τις δυο περιόδους δειγματοληψίας, παρουσιάζονται στους Πιν. 9.1 και 9.2. Κατά την ανάλυση συσχέτισης των δεδομένων, τα χημικά στοιχεία τα οποία παρουσίαζαν χαμηλές τιμές και μικρή διακύμανση δεν λήφθηκαν υπ' όψη. Επίσης στους πίνακες αποτελεσμάτων των συντελεστών συσχέτισης αναγράφονται μόνο οι τιμές του συντελεστή συσχέτισης με υψηλή αξιοπιστία ($p < 0,05$).

Για την υγρή περίοδο δειγματοληψίας, οι χημικές παράμετροι Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , Cl^- , Br^- , TDS, Co και Ni παρουσιάζουν υψηλές θετικές τιμές συσχέτισης μεταξύ τους (από +0,75 έως +0,99). Οι υψηλές θετικές τιμές συσχέτισης των παραπάνω παραμέτρων πιθανόν να ερμηνεύονται από την ανάμιξη του θαλασσινού νερού με το υπόγειο νερό.

Για την ξηρή περίοδο δειγματοληψίας οι χημικές παράμετροι Na^+ , Cl^- και Br^- παρουσιάζουν τέλεια συσχέτιση (+1) και οι χημικές παράμετροι Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , Br^- , TDS, Co και Ni παρουσιάζουν πολύ καλή θετική συσχέτιση μεταξύ τους (από +0,75 έως + 0,99), γεγονός που οφείλεται και σε αυτήν την περίπτωση στην παρουσία θαλασσινού νερού.

9.3. Ανάλυση παραγόντων R – τύπου (factor analysis R – mode)

Η ανάλυση παραγόντων των δεδομένων που προέκυψαν από τις χημικές αναλύσεις των υπόγειων νερών περιλαμβάνει τον υπολογισμό των παραγοντικών φορτίων αλλά και των παραγοντικών τιμών για κάθε παράγοντα.

Κατά την εφαρμογή της ανάλυσης παραγόντων από τα δεδομένα για την υγρή και την ξηρή περίοδο δειγματοληψίας προέκυψαν οι Πίν. 9.3 και 9.4 που παρουσιάζουν τα παραγοντικά φορτία (factor loadings) για τέσσερις παράγοντες, οι οποίοι ερμηνεύουν συνολικά το 80,47% της διακύμανσης για την υγρή και 78,77% για την ξηρή περίοδο δειγματοληψίας. Τα φορτία παραγόντων εκφραζουν την επίδραση του παράγοντα σε μια μεταβλητή. Έτσι η ανάλυση παραγόντων στην περιοχή έρευνας, ανέδειξε τέσσερις ανεξάρτητους παράγοντες.

Πίνακας 9.1: Συντελεστές συσχέτισης (r) κύριων στοιχείων και ιχνοστοιχείων στα υπόγεια νερά της λεκάνης των Μεγάρων για την υγρή περίοδο δειγματοληψίας.

	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Br ⁻	TDS	SiO ₂	Cr _{tot}	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	Cd
Ca ²⁺ (p)	1.00																	
Mg ²⁺ (p)	0.75 0.00	1.00																
Na ⁺ (p)	0.85 0.00	0.81 0.00	1.00															
K ⁺ (p)	0.40 0.00			0.30 0.04	1.00													
HCO ₃ ⁻ (p)					1.00													
Cl ⁻ (p)	0.85 0.00	0.86 0.00	0.98 0.00	0.30 0.04		1.00												
SO ₄ ²⁻ (p)	0.73 0.00	0.56 0.00	0.70 0.00		0.34 0.02	0.60 0.00	1.00											
NO ₃ ⁻ (p)	0.63 0.00	0.58 0.00	0.54 0.00			0.49 0.00	0.66 0.00	1.00										
Br ⁻ (p)	0.85 0.00	0.84 0.00	0.94 0.00	0.35 0.01		0.95 0.00	0.60 0.00	0.52 0.00	1.00									
TDS (p)	0.90 0.00	0.89 0.00	0.98 0.00	0.30 0.04		0.99 0.00	0.69 0.00	0.58 0.00	0.95 0.00	1.00								
SiO ₂ (p)	-0.36 0.01		-0.33 0.02	-0.39 0.01		-0.32 0.03			-0.35 0.01	-0.31 0.03	1.00							
Cr _{tot} (p)	-0.73 0.00	-0.37 0.02	-0.56 0.00	-0.43 0.00		-0.55 0.00	-0.45 0.00	-0.44 0.00	-0.59 0.00	-0.58 0.00	0.45 0.00	1.00						
Mn (p)				0.53 0.00	0.51 0.00								1.00					
Co (p)				0.70 0.00	0.33 0.06								0.57 0.00	1.00				
Ni (p)	0.41 0.00			0.64 0.00	0.30 0.04							-0.41 0.01	0.53 0.00	0.77 0.00	1.00			
Cu (p)				0.43 0.00									0.43 0.00	0.50 0.00	0.51 0.00	1.00		
Zn (p)																	1.00	
Cd (p)																	0.46 0.00	1.00

Πίνακας 9.2: Συντελεστές συσχέτισης (r) κύριων στοιχείων και ιχνοστοιχείων στα υπόγεια νερά της λεκάνης των Μεγάρων για την ξηρή περίοδο δειγματοληψίας.

	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Br ⁻	TDS	SiO ₂	Cr _{tot}	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	Cd
Ca ²⁺ (p)	1.00																	
Mg ²⁺ (p)	0.93 0.00	1.00																
Na ⁺ (p)	0.97 0.00	0.97 0.00	1.00															
K ⁺ (p)	0.42 0.00		0.34 0.02	1.00														
HCO ₃ ⁻ (p)	0.42 0.00	0.31 0.03	0.31 0.03	0.33 0.02	1.00													
Cl ⁻ (p)	0.96 0.00	0.98 0.00	1.00 0.00	0.33 0.02	0.29 0.04	1.00												
SO ₄ ²⁻ (p)	0.97 0.00	0.93 0.00	0.96 0.00	0.31 0.03	0.42 0.00	0.95 0.00	1.00											
NO ₃ ⁻ (p)	0.45 0.00	0.31 0.03	0.41 0.00			0.36 0.01	0.51 0.00	1.00										
Br ⁻ (p)	0.96 0.00	0.99 0.00	0.99 0.00	0.33 0.02		1.00 0.00	0.94 0.00	0.34 0.02	1.00									
TDS (p)	0.76 0.00	0.69 0.00	0.80 0.00	0.33 0.02	0.40 0.00	0.75 0.00	0.79 0.00	0.55 0.00	0.73 0.00	1.00								
SiO ₂ (p)	-0.35 0.01		-0.30 0.04	-0.52 0.00				-0.32 0.03		-0.37 0.01	1.00							
Cr _{tot} (p)	-0.77 0.00		-0.37 0.03		-0.46 0.01		-0.46 0.01			-0.59 0.00	0.39 0.02	1.00						
Mn (p)	0.62 0.00			0.63 0.00	0.55 0.00		0.39 0.02			0.36 0.03	-0.35 0.04	-0.42 0.01	1.00					
Co (p)	0.87 0.00		0.60 0.00	0.65 0.00	0.69 0.00	0.44 0.01	0.75 0.00		0.48 0.00	0.68 0.00	-0.36 0.03	-0.62 0.00	0.70 0.00	1.00				
Ni (p)	0.52 0.00			0.85 0.00				0.36 0.03			-0.38 0.03		0.55 0.00	0.62 0.00	1.00			
Cu (p)																1.00		
Zn (p)			0.53 0.00														1.00	
Cd (p)																		1.00

Πίνακας 9.3: Παραγοντικά φορτία των μεταβλητών του υπόγειου νερού για την υγρή περίοδο δειγματοληψίας.

Μεταβλητή	Παράγοντας 1	Παράγοντας 2	Παράγοντας 3	Παράγοντας 4
Br	0,915	0,060	0,058	0,269
Ca	0,778	0,361	0,253	0,341
Cl	0,972	0,031	-0,023	0,129
Co	0,496	0,359	0,626	0,127
Cr	-0,230	-0,836	-0,064	-0,311
Cu	-0,104	0,073	0,776	0,080
HCO ₃ ⁻	0,232	0,680	0,318	-0,177
K	0,652	0,065	0,244	0,547
Mg	0,890	-0,025	0,008	-0,317
Mn	-0,070	0,831	0,215	-0,053
Na	0,956	0,064	0,050	0,158
Ni	0,333	0,294	0,788	-0,091
NO ₃ ⁻	0,707	-0,340	0,331	0,025
SiO ₂	-0,184	0,145	0,007	-0,839
SO ₄ ⁻²	0,807	0,432	0,258	0,143
Zn	-0,037	0,605	0,012	-0,120
TDS	0,970	0,122	0,093	0,138
Ποσοστό ερμηνευόμενης διακύμανσης %	48,59	17,25	7,35	7,28

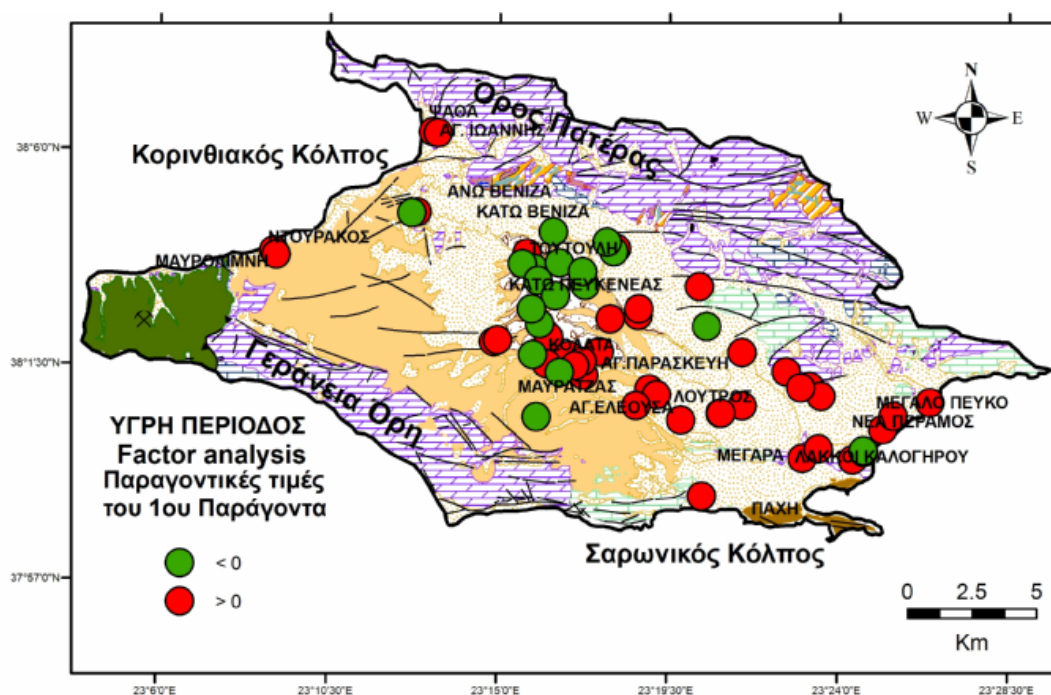
Πίνακας 9.4: Παραγοντικά φορτία των μεταβλητών του υπόγειου νερού για την ξηρή περίοδο δειγματοληψίας.

Μεταβλητή	Παράγοντας 1	Παράγοντας 2	Παράγοντας 3	Παράγοντας 4
Br	0,489	0,537	0,108	-0,087
Ca	0,910	-0,075	0,241	-0,019
Cl	0,654	0,641	0,087	0,098
Co	0,863	0,245	0,198	0,082
Cr	-0,860	0,308	0,000	0,111
Cu	0,010	-0,295	0,090	0,674
HCO ₃ ⁻	0,853	0,201	-0,080	-0,027
K	0,621	-0,087	0,644	0,147
Mg	-0,005	0,906	-0,049	-0,013
Mn	0,880	-0,081	0,076	0,211
Na	0,756	0,545	0,092	0,101
Ni	0,441	0,319	0,304	0,612
NO ₃ ⁻	-0,138	0,315	0,857	-0,100
SiO ₂	-0,317	0,398	-0,644	-0,001
SO ₄ ⁻²	0,902	0,255	0,104	-0,075
Zn	-0,147	0,152	-0,253	0,689
TDS	0,855	0,400	0,175	-0,073
Ποσοστό ερμηνευόμενης διακύμανσης %	47,95	13,67	8,84	8,31

Με βάση τους παράγοντες αυτούς, μπορεί να διατυπωθεί μια υπόθεση για την ερμηνεία των γεωλογικών και των ανθρωπογενών αιτιών που ελέγχουν την κατανομή των κύριων στοιχείων και ιχνοστοιχείων στα υπόγεια νερά της περιοχής έρευνας. Οι παράγοντες αυτοί, για κάθε περίοδο δειγματοληψίας, παρουσιάζονται παρακάτω:

Υγρή περίοδος

Παράγοντας 1 (Υγρής περιόδου): Ο Παράγοντας 1 είναι ο σημαντικότερος παράγοντας αφού ελέγχει το μεγαλύτερο ποσοστό (48,59%) της συνολικής διακύμανσης (Πιν. 9.3). Παρουσιάζει ισχυρά θετικά παραγοντικά φορτία για τα: Br^- (+0,91), Ca^{2+} (+0,78), Cl^- (+0,97), Mg^{2+} (+0,89), Na^+ (+0,96), SO_4^{2-} (+0,81), TDS (+0,97), μέτρια θετικά παραγοντικά φορτία για τα: K^+ (+ 0,65), NO_3^- (+0,71) και ασθενή παραγοντικά φορτία για το Ni (+0,33). Ο Παράγοντας 1 όπως φαίνεται από τις μεταβλητές που τον αποτελούν, εκφράζει το περιεχόμενο των αλάτων στα δείγματα του υπόγειου νερού, συνεπώς ο Παράγοντας 1 ονομάζεται «**παράγοντας αλατότητας**». Οι μεγαλύτερες παραγοντικές τιμές παρατηρούνται κυρίως στις παράκτιες περιοχές της Ψάθας, Ντουράκος, Μεγάλο Πεύκο, Νέα Πέραμος και αποδίδονται στην ανάμιξη του θαλασσινού νερού με το γλυκό νερό (Σχ. 9.1).



Σχήμα 9.1: Χωρική κατανομή φορτίων του Παράγοντα 1 στα υπόγεια νερά της περιοχής έρευνας για την υγρή περίοδο δειγματοληψίας (< 0 αντιστοιχούν σε θέσεις που δεν επηρεάζονται από τις υδροχημικές διαδικασίες, > 0 αντιστοιχούν σε θέσεις που επηρεάζονται από τις υδροχημικές διαδικασίες).

Στο Σχ. 9.1 απεικονίζονται οι παραγοντικές τιμές (factor scores) οι οποίες διακρίνονται σε θετικές και αρνητικές ανάλογα με το εάν η θέση δειγματοληψίας επηρεάζεται ή όχι από την υδροχημική διαδικασία. Ανάλογη κατηγοριοποίηση των παραγοντικών τιμών έχει χρησιμοποιηθεί και στους υπόλοιπους χάρτες χωρικής κατανομής των παραγόντων. Υψηλές τιμές του παράγοντα παρατηρούνται στην περιοχή βόρεια της πόλης των Μεγάρων (Λουτρός, Αγ.Ελεούσα και Μαυρατζάς) και πιθανώς αποδίδονται στη περιορισμένη κίνηση του υπόγειου νερού και τη μικρή ταχύτητα ανανέωσης του υδροφορέα. Οι μικρότερες τιμές του παράγοντα παρατηρούνται κυρίως στις περιοχές Τούτουλη και Κάτω Πευκενέας.

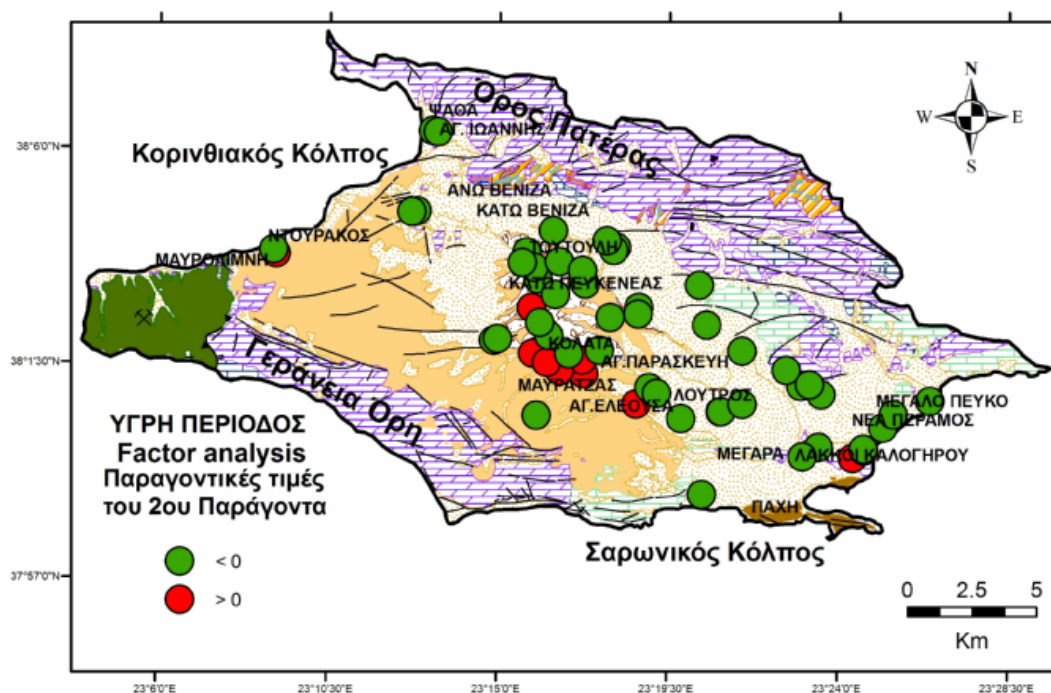
Παράγοντας 2 (Υγρής περιόδου): Ο Παράγοντας 2 ελέγχει ποσοστό 17,25 % της συνολικής διακύμανσης (Πιν. 9.3). Παρουσιάζει ισχυρά θετικά παραγοντικά φορτία

για το Mn (+0,83), ισχυρά αρνητικά παραγοντικά φορτία για το Cr_{tot} (-0,84) και ασθενή παραγοντικά φορτία για τα NO₃⁻ (-0,34). Επίσης ο Παράγοντας 2 παρουσιάζει μέτρια θετικά παραγοντικά φορτία για τα: HCO₃⁻ (+0,68), SO₄²⁻ (+0,43) και Zn (+0,60), ασθενή θετικά παραγοντικά φορτία για το Ca²⁺ (+0,36), Co (+0,36).

Ο Παράγοντας 2, όπως φαίνεται από τις μεταβλητές που τον αποτελούν, εκφράζει κυρίως τη γεωχημική διασπορά των στοιχείων Mn και Cr στα δείγματα του υπόγειου νερού εξαιτίας της παρουσίας τους στα υπερβασικά πετρώματα και τα προϊόντα αποσάθρωσης τους, συνεπώς ο Παράγοντας 2 ονομάζεται «**γεωχημικός παράγοντας Cr**».

Η συνύπαρξη του Cr_{tot} με τα NO₃⁻ στον ίδιο παράγοντα πιθανά σχετίζεται με το ρόλο του οξειδοαναγωγικού ζεύγους NO₃⁻/NO₂⁻ στη γεωχημεία του Cr. Επίσης, η συνύπαρξη NO₃⁻, Cr³⁺ και Cr⁶⁺ έχει αναφερθεί και για τη λεκάνη Ωρωπός-Κάλαμος στην οποία παρατηρούνται αντίστοιχες πηγές προέλευσης του Cr και των NO₃⁻ (υπερβασικά πετρώματα, νεογενείς σχηματισμοί και λιπάσματα) (Γαμβρουλά 2009, Stamatīs et al. 2011). Επιπλέον έρευνες από τους Ball and Izbicki (2004), Stamatīs et al. (2011), Γαμβρουλά et al. (2011) αποδεικνύουν ότι υψηλές συγκεντρώσεις Cr_{tot} και Mn στο υπόγειο νερό αποδίδονται σε γεωγενείς διαδικασίες (αποσάθρωση υπερβασικών πετρωμάτων και νεογενών σχηματισμών).

Από τη χωρική κατανομή των φορτίων του Παράγοντα 2 (Σχ. 9.2) συμπεραίνεται, ότι τα υψηλά θετικά φορτία εντοπίζονται στις περιοχές που εμφανίζουν τα εξής χαρακτηριστικά: (α) απαντούν υπερβασικά πετρώματα και νεογενείς σχηματισμοί, μέσα στους οποίους εμπεριέχονται οξείδια του Mn και οργανικό υλικό (προσφορά Cr, Mn) και (β) εντοπίζεται αγροτική δραστηριότητα και εντατική χρήση αζωτούχων λιπασμάτων (προσφορά NO₃⁻ στο υπόγειο νερό).



Σχήμα 9.2: Χωρική κατανομή φορτίων του Παράγοντα 2 στα υπόγεια νερά της περιοχής έρευνας για την υγρή περίοδο δειγματοληψίας.

Σημειώνεται επίσης, ότι οι λιγνιτικές ενδιάστρωσεις και το οργανικό υλικό των νεογενών σχηματισμών της λεκάνης των Μεγάρων αποτελούν πηγή προέλευσης Cr.

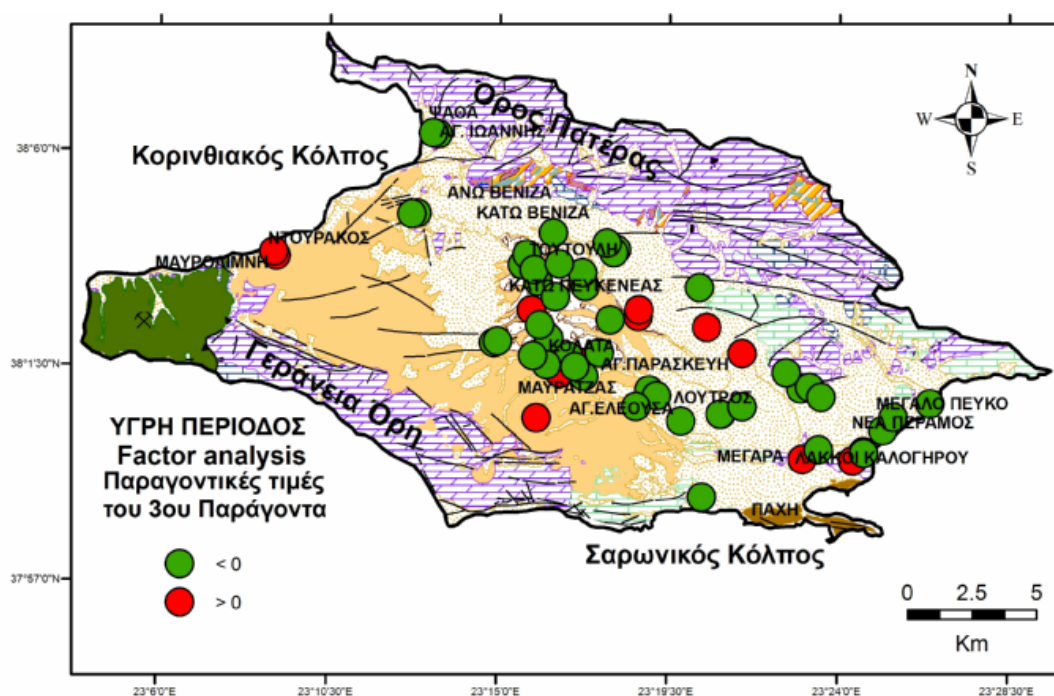
Ενδεικτικά αναφέρεται, ότι η συγκέντρωση Cr σε δείγματα λιγνίτη των νεογενών λεκανών Ελασσόνας και Μεγαλόπολης κυμαίνονται από 90 έως 137 mg/kg και 236 έως 651 mg/kg, αντίστοιχα (Pentari et al. 2004, Sakorafa et al. 1996).

Παράγοντας 3 (Υγρής περιόδου): Ο Παράγοντας 3 ελέγχει ποσοστό 7,35 % της συνολικής διακύμανσης (Πιν. 9.3). Παρουσιάζει ισχυρά θετικά παραγοντικά φορτία για τον Cu (+0,78) και Ni (+0,79), μέτρια θετικά παραγοντικά φορτία για τα Co (+0,63) και ασθενή θετικά παραγοντικά φορτία για τα HCO_3^- (+0,32) και NO_3^- (+0,33).

Ο Παράγοντας 3, όπως φαίνεται από τις μεταβλητές που τον αποτελούν, συνδέεται πιθανώς με την παρουσία των στοιχείων Cu, Ni, Co στα υπερβασικά πετρώματα και τα προϊόντα αποσάθρωσης τους, συνεπώς ο Παράγοντας 3 ονομάζεται «**παράγοντας Co-Cu-Ni**».

Οι μεγαλύτερες παραγοντικές τιμές δεν παρουσιάζουν σαφή χωρική κατανομή στα υπόγεια νερά της λεκάνης των Μεγάρων (Σχ. 9.3), αυτό πιθανά οφείλεται στο ότι ο Παράγοντας 3 ερμηνεύει μόνο ένα μικρό ποσοστό της συνολικής διακύμανσης.

Οι μικρότερες παραγοντικές τιμές παρατηρούνται στο κεντρικό τμήμα της λεκάνης των Μεγάρων και στις παράκτιες περιοχές Μεγάλο Πεύκο, Νέα Πέραμος και Λάκκα Καλογήρου, το οποίο σημαίνει ότι ο Παράγοντας 3 δεν επηρεάζει σημαντικά τη χημική σύσταση του υπόγειου νερού στις περιοχές αυτές.



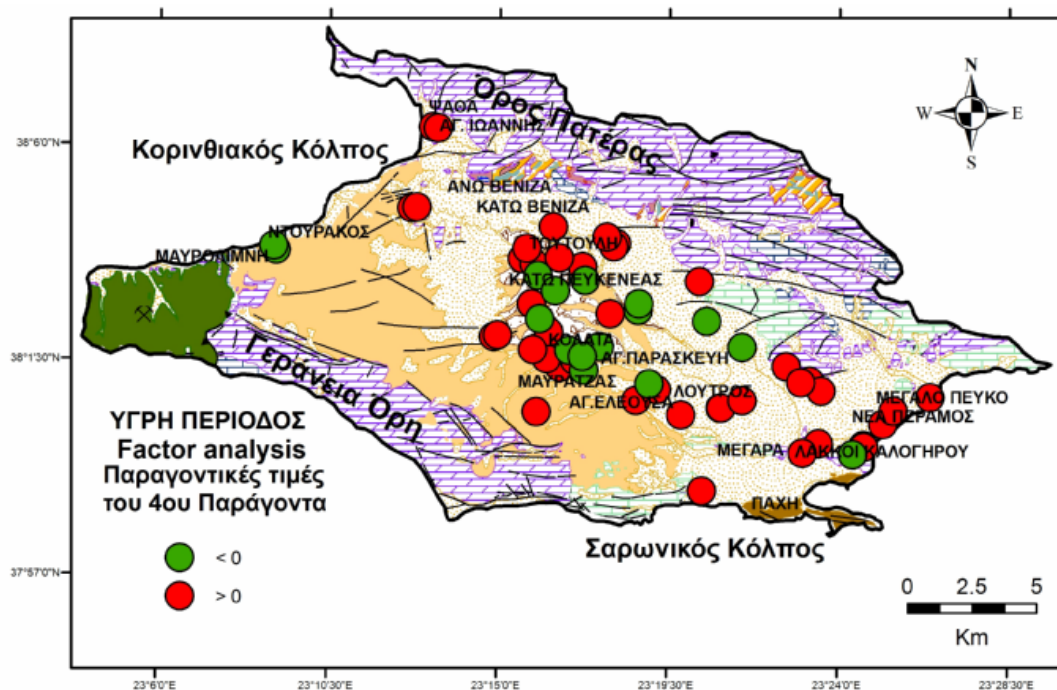
Σχήμα 9.3: Χωρική κατανομή φορτίων του Παράγοντα 3 στα υπόγεια νερά της περιοχής έρευνας για την υγρή περίοδο δειγματοληψίας.

Παράγοντας 4 (Υγρής περιόδου): Ο Παράγοντας 4 ελέγχει ποσοστό 7,28% της συνολικής διακύμανσης (Πιν. 9.3). Παρουσιάζει ισχυρά αρνητικά παραγοντικά φορτία για το SiO_2 (-0,84), μέτρια θετικά παραγοντικά φορτία για το K^+ (+0,55), ασθενή θετικά παραγοντικά φορτία για το Ca^{2+} (+0,34) και ασθενή αρνητικά φορτία για το Cr_{tot} (-0,31) και το Mg^{2+} (-0,32).

Τα αρνητικά παραγοντικά φορτία των μεταβλητών SiO_2 και Mg^{2+} αντανακλούν πιθανώς τη διάλυση του ορυκτού ολιβίνη ο οποίος είναι βασικό ορυκτολογικό

συστατικό των υπερβασικών πετρωμάτων και συνεπώς ο Παράγοντας 4 ονομάζεται «**παράγοντας διάλυσης ολιβίνη**».

Οι μεγαλύτερες παραγοντικές τιμές κατανέμονται σχεδόν σε όλη την έκταση της λεκάνης των Μεγάρων που πιθανά συνδέονται με την παρουσία του ορυκτού ολιβίνη (Σχ. 9.4).



Σχήμα 9.4: Χωρική κατανομή φορτίων του Παράγοντα 4 στα υπόγεια νερά της περιοχής έρευνας για την υγρή περίοδο δειγματοληψίας.

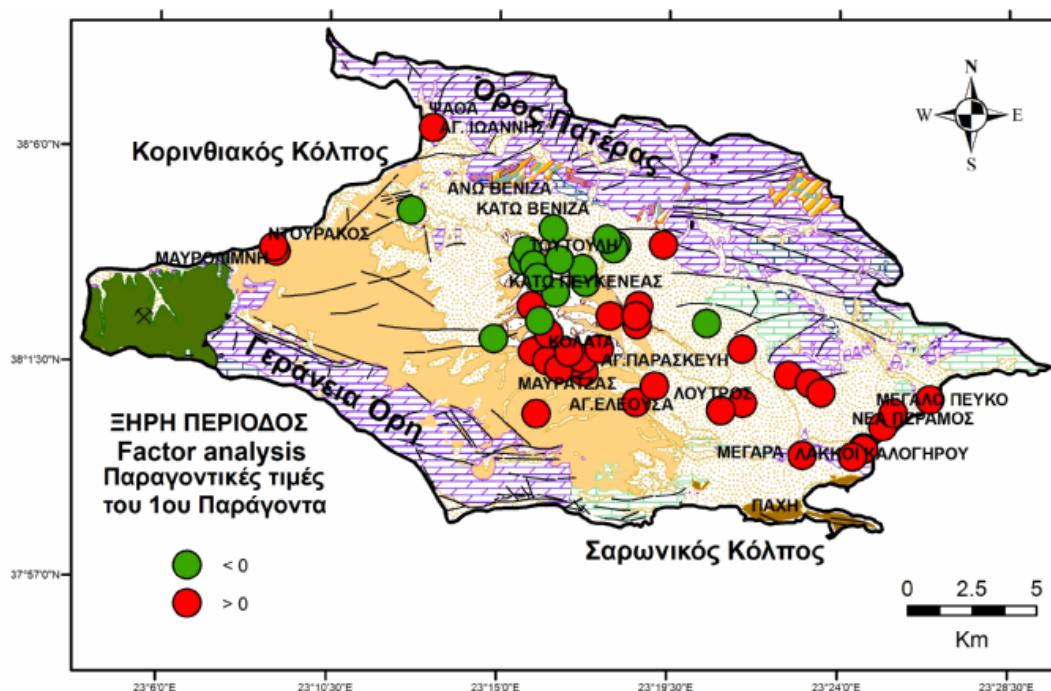
Ξηρή περίοδος

Παράγοντας 1 (Ξηρής περιόδου): Ο Παράγοντας 1 είναι ο πιο σημαντικός παράγοντας διότι ελέγχει ποσοστό 47,95 % της συνολικής διακύμανσης (Πιν. 9.4). Παρουσιάζει ισχυρά θετικά παραγοντικά φορτία για τα: Ca^{2+} (+0,91), Co (+0,86), HCO_3^- (+0,85), Mn (+0,88), Na^+ (+0,76), SO_4^{2-} (+0,90), TDS (+0,86), μέτρια θετικά παραγοντικά φορτία για τα: Br^- (+0,49), Cl^- (+0,65), K^+ (+ 0,62), Ni (+0,44), ισχυρά αρνητικά παραγοντικά φορτία για το Cr_{tot} (-0,86) και ασθενές παραγοντικό φορτίο για το SiO_2 (-0,32).

Ο Παράγοντας 1 όπως φαίνεται από τις μεταβλητές που τον αποτελούν, εκφράζει κυρίως το περιεχόμενο των αλάτων στα δείγματα του υπόγειου νερού της λεκάνης των Μεγάρων συνεπώς ο Παράγοντας 1 ονομάζεται «**παράγοντας αλατότητας**».

Οι μεγαλύτερες παραγοντικές τιμές κατά την ξηρή περίοδο εμφανίζονται στις ίδιες περιοχές με την υγρή περίοδο, δηλαδή στις παράκτιες περιοχές της Ψάθας, Ντουράκος, Μεγάλο Πεύκο, Νέα Πέραμος και αποδίδονται στην ανάμιξη του θαλασσινού νερού με το γλυκό νερό (Σχ. 9.5). Οι μικρότερες τιμές του παράγοντα καταγράφονται κυρίως στις περιοχές Τούτουλη και Κάτω Πευκενέας. Επίσης υψηλές τιμές του παράγοντα παρατηρούνται στην περιοχή βόρεια της πόλης των Μεγάρων (Λουτρός, Αγ.Ελεούσα και Μαυρατζάς) και πιθανώς αποδίδονται στη περιορισμένη κίνηση του υπόγειου νερού και τη μικρή ταχύτητα ανανέωσης του υδροφορέα. Τα υψηλά αρνητικά παραγοντικά φορτία του Cr_{tot} αποδίδονται στον εμπλουτισμό σε Cr

των υπόγειων νερών της λεκάνης των Μεγάρων εξ' αιτίας της αποσάθρωσης των υπερβασικών πετρωμάτων.



Σχήμα 9.5: Χωρική κατανομή φορτίων του Παράγοντα 1 στα υπόγεια νερά της περιοχής έρευνας για την ξηρή περίοδο δειγματοληψίας.

Παράγοντας 2 (Ξηρής περιόδου): Ο Παράγοντας 2 ελέγχει ποσοστό 13,66 % της συνολικής διακύμανσης (Πιν. 9.4). Παρουσιάζει ισχυρά θετικά παραγοντικά φορτία για το Mg^{2+} (+0,91), μέτρια θετικά παραγοντικά φορτία για τα: Br^- (+0,54), Cl^- (+0,64), Na (+0,54), SiO_2 (+0,40) και TDS (+0,40) και ασθενή θετικά παραγοντικά φορτία για το Cr (+ 0,31), Ni (+0,32) και NO_3^- (+0,31).

Το ισχυρό θετικό παραγοντικό φορτίο του Mg^{2+} πιθανά σχετίζεται με τις διαδικασίες εμπλουτισμού του Mg^{2+} στο υπόγειο νερό, όπως: (α) διάλυση ανθρακικών πετρωμάτων (ασβεστόλιθοι, δολομίτες), (β) διάλυση ανθρακικών ορυκτών που βρίσκονται στους νεογενείς σχηματισμούς, (γ) διάλυση του ορυκτού ολιβίνη, (δ) ανάμιξη θαλασσινού και γλυκού νερού.

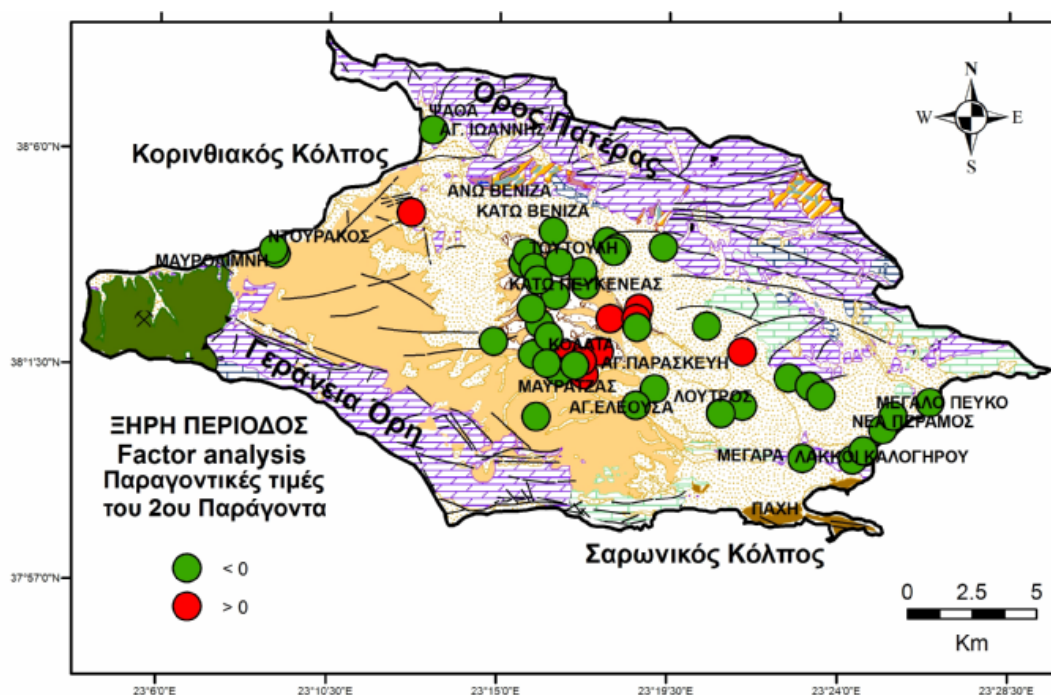
Οι διαφορές οι οποίες παρατηρούνται ανάμεσα στις μεταβλητές που αποτελούν τον παράγοντα 2 της υγρής περιόδου και στις μεταβλητές που αποτελούν τον παράγοντα 2 της ξηρής περιόδου, αποδίδονται στη μεταβολή των συγκεντρώσεων των κύριων στοιχείων, των ιχνοστοιχείων και των τιμών των φυσικοχημικών παραμέτρων των δυο περιόδων δειγματοληψίας.

Ο Παράγοντας 2 εκφράζει κυρίως τον εμπλουτισμό του υπόγειου νερού σε Mg^{2+} και δευτερευόντως τη συνύπαρξη του Cr_{tot} με τα NO_3^- στον ίδιο παράγοντα, συνεπώς ο Παράγοντας 2 ονομάζεται «γεωχημικός παράγοντας Cr».

Η συνύπαρξη του Cr_{tot} με τα NO_3^- στον ίδιο παράγοντα, όπως παρατηρείται και στην υγρή περίοδο, πιθανά σχετίζεται με το ρόλο του οξειδοαναγωγικού ζεύγους NO_3^-/NO_2^- στη γεωχημεία του Cr. Επίσης το Ni συνυπάρχει με το Cr και τα NO_3^- εξαιτίας της αποσάθρωσης των υπερβασικών πετρωμάτων.

Η χωρική κατανομή των φορτίων του Παράγοντα 2 είναι αντίστοιχη και στις δυο περιόδους δειγματοληψίας (Σχ. 9.6). Πιο συγκεκριμένα τα υψηλά θετικά φορτία του

παράγοντα εντοπίζονται σε αντίστοιχες περιοχές με αυτές της υγρής περιόδου οι οποίες εμφανίζουν τα εξής χαρακτηριστικά: (α) απαντούν υπερβασικά πετρώματα και νεογενείς σχηματισμοί, (β) εντοπίζεται αγροτική δραστηριότητα και εντατική εφαρμογή αζωτούχων λιπασμάτων.



Σχήμα 9.6: Χωρική κατανομή φορτίων του Παράγοντα 2 στα υπόγεια νερά της περιοχής έρευνας για την ξηρή περίοδο δειγματοληψίας.

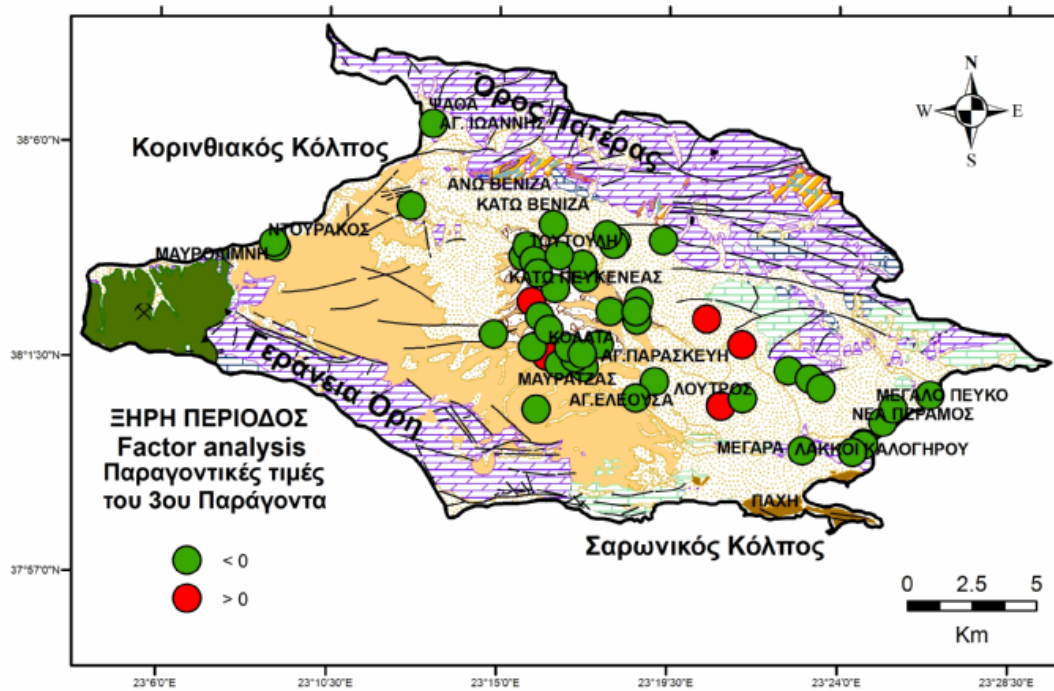
Παράγοντας 3 (Ξηρής περιόδου): Ο Παράγοντας 3 ελέγχει ποσοστό 8,84 % της συνολικής διακύμανσης (Πιν. 9.4). Παρουσιάζει υψηλά θετικά παραγοντικά φορτία για τα NO_3^- (+0,86), μέτρια θετικά παραγοντικά φορτία για το K^+ (+0,64) και μέτρια αρνητικά παραγοντικά φορτία για το SiO_2 (-0,64).

Η συνύπαρξη K^+ και NO_3^- στον ίδιο παράγοντα ερμηνεύεται από την κοινή παρουσία τους στα νιτρικά λιπάσματα τα οποία χρησιμοποιούνται εντατικά στη λεκάνη των Μεγάρων. Ο Παράγοντας 3 όπως φαίνεται από τις μεταβλητές που τον αποτελούν, συνδέεται πιθανώς με τη χρήση αζωτούχων λιπασμάτων και τις αγροτικές δραστηριότητες, συνεπώς ο Παράγοντας 3 ονομάζεται «**παράγοντας λιπασμάτων**». Οι παραγοντικές τιμές δεν παρουσιάζουν σαφή χωρική κατανομή στα υπόγεια νερά της λεκάνης των Μεγάρων (Σχ. 9.7). Οι μεγαλύτερες τιμές του Παράγοντα 3 σημειώνονται στις περιοχές Αγ. Παρασκευή και Λουτρός όπου υπάρχει έντονη αγροτική δραστηριότητα.

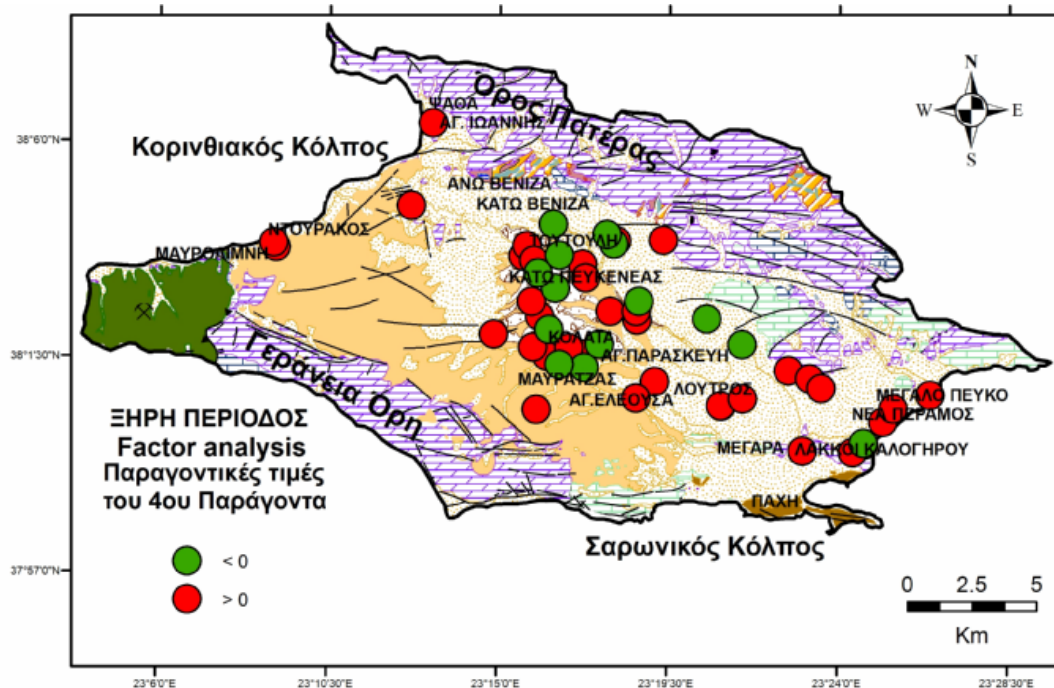
Παράγοντας 4 (Ξηρής περιόδου): Ο Παράγοντας 4 ελέγχει ποσοστό 8,31 % της συνολικής διακύμανσης (Πιν. 9.4). Παρουσιάζει μέτρια θετικά παραγοντικά φορτία για τον Cu (+0,67), το Ni (+0,61) και τον Zn (+0,69).

Τα στοιχεία Cu, Ni και Zn απαντούν στα υπερβασικά πετρώματα σε συγκεντρώσεις οι οποίες κυμαίνονται από 10-80 mg/kg, 800-3000 mg/kg, 50-60 mg/kg, αντίστοιχα. Τα θετικά παραγοντικά φορτία των μεταβλητών Cu, Ni και Zn κατανέμονται σχεδόν σε όλη την έκταση της λεκάνης των Μεγάρων που συνδέεται με τα προϊόντα

αποσάθρωσης των υπερβασικών πετρωμάτων και τους νεογενείς σχηματισμούς (Σχ. 9.8).



Σχήμα 9.7: Χωρική κατανομή φορτίων του Παράγοντα 3 στα υπόγεια νερά της περιοχής έρευνας για την ξηρή περίοδο δειγματοληψίας.



Σχήμα 9.8: Χωρική κατανομή φορτίων του Παράγοντα 4 στα υπόγεια νερά της περιοχής έρευνας για την ξηρή περίοδο δειγματοληψίας.

Σχέση ανάμεσα στα αποτελέσματα στατιστικής επεξεργασίας των δυο μέσων δειγματοληψίας (εδάφη και νερά)

Από τη στατιστική ανάλυση των δεδομένων των εδαφικών δειγμάτων (δεδομένα 7 μεταβλητών), προέκυψε ότι οι πηγές προέλευσης των ιχνοστοιχείων είναι τα υπερβασικά πετρώματα και τα οξείδια του μαγγανίου.

Τα υπερβασικά πετρώματα και τα οξείδια του μαγγανίου, έχουν προσδιοριστεί ανάμεσα στις πηγές προέλευσης των στοιχείων και από τη στατιστική επεξεργασία των υδροχημικών δεδομένων.

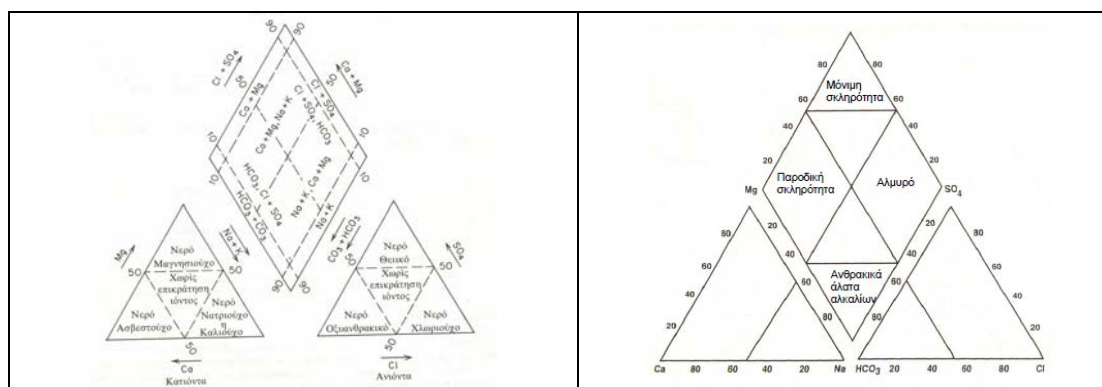
Σημειώνεται ότι λόγω του μεγαλύτερου αριθμού μεταβλητών (18 μεταβλητές) που χρησιμοποιήθηκαν για την επεξεργασία των υδροχημικών δεδομένων, τα αποτελέσματα της επεξεργασίας τους θεωρούνται πληρέστερα. Συνεπώς υπάρχει συμφωνία ανάμεσα στα αποτελέσματα της στατιστικής επεξεργασίας των δεδομένων των δειγμάτων εδάφους και των δειγμάτων νερού.

10. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ

10.1. Ταξινόμηση στο διάγραμμα Piper

Το τριγωνικό διάγραμμα Piper προτάθηκε από τον Piper (1944). Στο διάγραμμα αυτό προβάλλονται σε ισόπλευρο τρίγωνο οι συγκεντρώσεις των κατιόντων και των ανιόντων. Σε 50 ίσα μέρη είναι χωρισμένες οι πλευρές του τριγώνου, έτσι δημιουργείται ένα διάγραμμα όπου οι τρεις άξονες των συντεταγμένων είναι παράλληλοι προς τα ύψη του ισοπλεύρου τριγώνου (Σχ. 10.1). Επί τοις εκατό των αντίστοιχων συγκεντρώσεων σε μεq είναι εκφρασμένα τα ανιόντα (HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-}) και τα κατιόντα (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+).

Τρία πεδία μπορεί να οριστούν μέσα σε κάθε τρίγωνο, όπου επικρατούν ένα πεδίο με μεικτές συστάσεις και ένα ιόν. Έτσι στο τρίγωνο των κατιόντων διακρίνονται τα πεδία των ασβεστούχων, μαγνησιούχων, νατρίουχων και μικτών νερών και στο τρίγωνο των ανιόντων διακρίνονται τα χλωριούχα, οξυανθρακικά, θειικά και μικτά νερά (Σχ. 10.1) (Hounslow 2000).



Σχήμα 10.1: Τριγραμμικό διάγραμμα Piper (Hounslow 2000)

Στα ισόπλευρα τρίγωνα των ανιόντων και των κατιόντων προκύπτουν δυο σημεία από τις προβολές των συγκεντρώσεων (ένα σημείο σε κάθε τρίγωνο). Τα σημεία αυτά προβάλλονται παράλληλα προς της δυο άνω πλευρές του ρόμβου. Η τομή των δυο παραπάνω ευθειών καθορίζει τον τύπο του νερού.

Τα δείγματα του υπόγειου νερού της λεκάνης των Μεγάρων χωρίσθηκαν ανά σχηματισμό (τεταρτογενή, νεογενή, καρστικά), (Σχ. 10.2, 10.3, 10.4, 10.5, 10.6, 10.7) και έτσι δημιουργήθηκαν 6 διαγράμματα piper, 3 για την υγρή περίοδο δειγματοληψίας και 3 για την ξηρή. Σύμφωνα λοιπόν με τα διαγράμματα αυτά εξάγονται τα εξής συμπεράσματα:

α) νερά των τεταρτογενών σχηματισμών: σύμφωνα με το διάγραμμα Piper (Σχ. 10.2 και 10.3) για την υγρή περίοδο δειγματοληψίας των τεταρτογενών σχηματισμών (Σχ. 10.2) τα δείγματα νερού (G28, G29, W7, W9, W10, W12, W14) με ποσοστό 38,89% είναι νερά τα οποία χαρακτηρίζονται ως αλμυρά διότι είναι πλούσια σε ($\text{Na}^+ + \text{K}^+$) και ($\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}$), η πρωτεύουσα αλατότητα υπερβαίνει το 50% δηλαδή το νερό κυριαρχείται από αλκάλια και ισχυρά οξέα. Ως προς τα κατιόντα τα δείγματα αυτά χαρακτηρίζονται νατριούχα ή καλιούχα και ως προς τα ανιόντα χλωριούχα.

Τα δείγματα (W2, W3, W5, W8, W13, G30) με ποσοστό 33,33% είναι νερά ενδιάμεσης σύστασης, κανένα από τα ζεύγη ανιόντων ή κατιόντων δεν υπερβαίνει το 50%.

Ως προς τα κατιόντα τα δείγματα αυτά χαρακτηρίζονται ως μαγνησιούχα (τα W2 και W5) και χωρίς καμιά επικράτηση ιόντος τα υπόλοιπα. Ως προς τα ανιόντα ως οξυανθρακικό το δείγμα W13 και τα υπόλοιπα χλωριούχα.

Τέλος τα δείγματα (G40, G41, W1, W4, W11) με ποσοστό 27,78% είναι νερά παροδικής σκληρότητας πλούσια σε $(Ca^{2+}+Mg^{2+}+HCO_3^-)$. Η δευτερεύουσα αλκαλικότητα υπερβαίνει το 50% και στα δείγματα αυτά του υπόγειου νερού κυριαρχούν οι αλκαλικές γαίες και τα ασθενή οξέα.

Ως προς τα κατιόντα χαρακτηρίζονται μαγνησιούχα τα G40, G41, ως ασβεστούχο το W1 και χωρίς καμιά επικράτηση ιόντος τα W4, W11. Ως προς τα ανιόντα χαρακτηρίζονται ως χλωριούχο το G41 και ως οξυανθρακικά τα υπόλοιπα.

Αντίστοιχα τώρα για την ξηρή περίοδο (Σχ. 10.3) δειγματοληψίας των τεταρτογενών σχηματισμών τα δείγματα νερού (W3, W9, W10, W12, W13, W14, G29, G30) με ποσοστό 53,33% είναι νερά τα οποία χαρακτηρίζονται ως αλμυρά διότι είναι πλούσια σε $(Na^+ +K^+)$ και $(Cl^-+SO_4^{2-})$, η πρωτεύουσα αλατότητα υπερβαίνει το 50% δηλαδή το νερό κυριαρχείται από αλκάλια και ισχυρά οξέα. Ως προς τα κατιόντα τα δείγματα αυτά χαρακτηρίζονται ως νατρούχα ή καλιούχα και ως προς τα ανιόντα χλωριούχα.

Τα δείγματα (W1', W4, W11, G40) με ποσοστό 26,67% είναι νερά τα οποία χαρακτηρίζονται είναι νερά παροδικής σκληρότητας πλούσια σε $(Ca^{2+}+Mg^{2+}+HCO_3^-)$. Η δευτερεύουσα αλκαλικότητα υπερβαίνει το 50% και στα δείγματα αυτά του υπόγειου νερού κυριαρχούν οι αλκαλικές γαίες και τα ασθενή οξέα. Ως προς τα κατιόντα χαρακτηρίζονται μαγνησιούχα τα G40, W1' και χωρίς καμιά επικράτηση ιόντος τα W4, W11. Ως προς τα ανιόντα χαρακτηρίζονται ως οξυανθρακικά.

Τα δείγματα W2, W8 με ποσοστό 13,33% είναι νερά ενδιάμεσης σύστασης, κανένα από τα ζεύγη ανιόντων ή κατιόντων δεν υπερβαίνει το 50%. Ως προς τα κατιόντα τα δείγματα αυτά χαρακτηρίζονται χωρίς καμιά επικράτηση ιόντος και ως προς τα ανιόντα ως χλωριούχα.

Τέλος το δείγμα W5 με ποσοστό 6,67% είναι ένα δείγμα υπόγειου νερού όπου η δευτερεύουσα αλκαλικότητα υπερβαίνει το 50%, είναι ένα νερό πλούσιο σε $(Ca^{2+}+Mg^{2+})$ και $(Cl^-+SO_4^{2-})$. Ως προς τα κατιόντα χαρακτηρίζεται ως μαγνησιούχο και ως προς τα ανιόντα ως χλωριούχο.

Τα σημεία προβολής των δειγμάτων W5, W3, W13 και G30 παρουσίασαν μεταβολή κατά τις δυο περιόδους. Συγκεκριμένα, το δείγμα W5 ανήκε στο πεδίο της ενδιάμεσης σύστασης κατά την υγρή περίοδο, ενώ κατά την ξηρή περίοδο προβάλλεται στο πεδίο μόνιμης σκληρότητας. Όσον αφορά στα δείγματα W3, W13 και G30, τα σημεία προβολής τους παρουσίασαν μετακίνηση από το πεδίο ενδιάμεσης σύστασης (υγρή περίοδος) στο πεδίο των αλμυρών νερών (ξηρή περίοδος). Αυτό συνέβη διότι κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού οι αντλήσεις αυξήθηκαν με αποτέλεσμα η θάλασσα να εισέλθει μέσα στους υπόγειους υδροφορείς και να υποβαθμίσει την ποιότητα τους.

Και στις δυο περιόδους δειγματοληψίας υγρή και ξηρή στους τεταρτογενείς σχηματισμούς φαίνεται ότι επικρατούντα νερά είναι τα αλμυρά νερά, η θάλασσα έχει διεισδύσει και αναμιχθεί με τα υπόγεια νερά των τεταρτογενών σχηματισμών.

β) νερά των νεογενών σχηματισμών: σύμφωνα με το διάγραμμα Piper (Σχ. 10.4 και 10.5) για την υγρή περίοδο δειγματοληψίας των νεογενών σχηματισμών (Σχ. 10.4) όλα τα δείγματα με ποσοστό 93,34% ανήκουν στο πεδίο της παροδικής σκληρότητας, είναι πλούσια σε $(Ca^{2+}+Mg^{2+}+HCO_3^-)$. Η δευτερεύουσα αλκαλικότητα υπερβαίνει το 50% και στα δείγματα αυτά του υπόγειου νερού κυριαρχούν οι αλκαλικές γαίες και τα ασθενή οξέα. Εξαιρέση αποτελούν τα δείγματα G34 και G12, ποσοστό 6,06% όπου ανήκουν στο πεδίο της ενδιάμεσης σύστασης.

Ως προς τα κατιόντα τα δείγματα υπόγειου νερού G1, G2, G3, G6, G7, G8, G9, G11, G13, G16, G19, G20, G23, G24, G25, G26, G27, G31, G38, G39, G42 χαρακτηρίζονται μαγνησιούχα και τα W6, G10, G12, G14, G15, G17, G18, G21, G22, G32, G34 χωρίς επικράτηση ιόντος εξαίρεση αποτελεί το δείγμα W15 το οποίο χαρακτηρίζεται ασβεστούχο.

Ως προς τα ανιόντα χαρακτηρίζονται οξυανθρακικά με εξαίρεση το G12 όπου δεν κυριαρχεί κανένα ανιόν και το G34 όπου είναι χλωριούχο.

Ίδια κατάσταση παρατηρείται και στα δείγματα της ξηρής περιόδου δειγματοληψίας (Σχ. 10.5) όπου όλα βρίσκονται στο πεδίο της παροδικής σκληρότητας ποσοστό 93,55% και μόνο τα G13 και G34, ποσοστό 6,45% ανήκουν στο πεδίο της ενδιάμεσης σύστασης.

Ως προς τα κατιόντα τα δείγματα υπόγειου νερού G1, G2, G3, G6, G7, G8, G9, G11, G16, G19, G23, G24, G25, G26, G27, G31, G38, G39, G42 χαρακτηρίζονται μαγνησιούχα και τα W6, G10, G12, G13, G14, G15, G17, G18, G21, G32, G34 χωρίς επικράτηση ιόντος εξαίρεση αποτελεί το δείγμα W15 το οποίο χαρακτηρίζεται ασβεστούχο.

Ως προς τα ανιόντα οξυανθρακικά με εξαίρεση το δείγμα G13 όπου δεν επικρατεί κανένα ανιόν και το δείγμα G34 που είναι χλωριούχο. Τα περισσότερα δείγματα των υπόγειων νερών και για τις δυο περιόδους δειγματοληψίας είναι εμπλουτισμένα σε μαγνησιούχα ορυκτά εξαιτίας των τεμαχών υπερβασικών πετρωμάτων που βρίσκονται εντός των νεογενών σχηματισμών και που έχουν προέλθει από αποσάθρωση των γειτονικών υπερβασικών πετρωμάτων.

γ) νερά των καρστικών ανθρακικών σχηματισμών: σύμφωνα με το διάγραμμα Piper (Σχ. 10.6 και 10.7) για την υγρή περίοδο δειγματοληψίας των καρστικών ανθρακικών (Σχ. 10.6) σχηματισμών τα δείγματα (S1, S2, G4, G33, G35, G36, G37, G43) με ποσοστό 88,9 % είναι νερά τα οποία χαρακτηρίζονται ως αλμυρά διότι είναι πλούσια σε $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ και $\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}$, η πρωτεύουσα αλατότητα υπερβαίνει το 50%.

Ως προς τα κατιόντα τα δείγματα αυτά χαρακτηρίζονται ως νατρούχα ή καλιούχα και ως προς τα ανιόντα χλωριούχα.

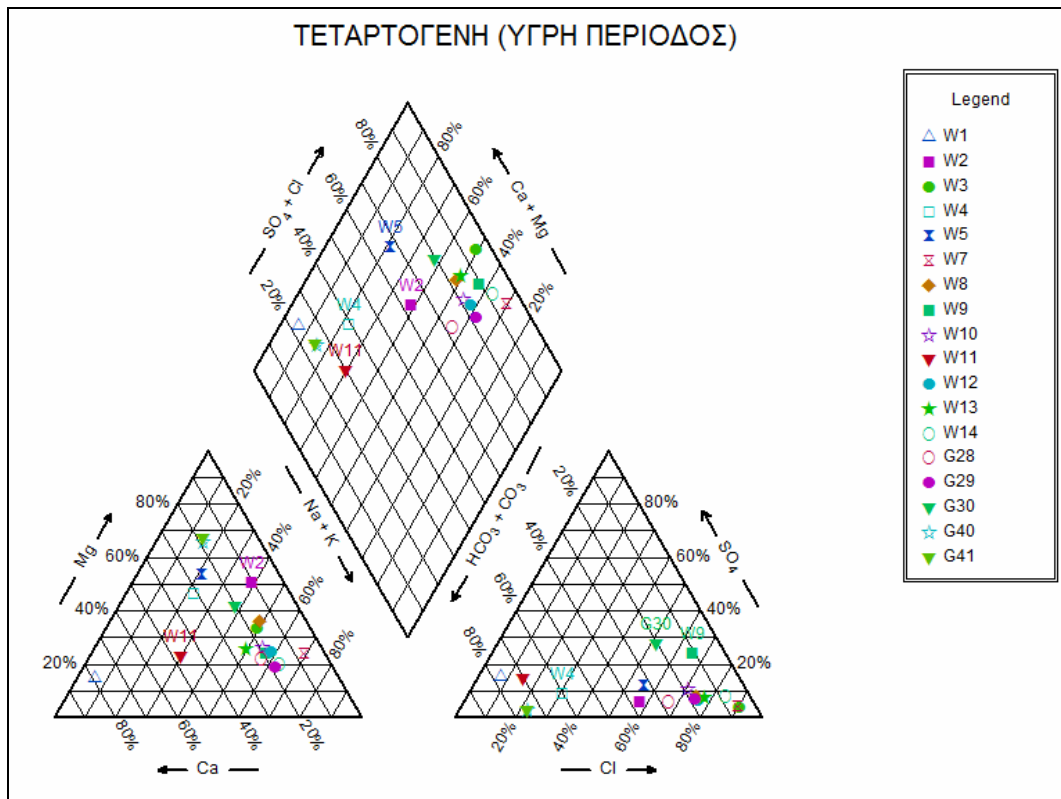
Το δείγμα G5 ανήκει στα νερά παροδικής σκληρότητας πλούσια σε $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{HCO}_3^-$. Η δευτερεύουσα αλκαλικότητα υπερβαίνει το 50% και στα δείγματα αυτά του υπόγειου νερού κυριαρχούν οι αλκαλικές γαίες και τα ασθενή οξέα. Ως προς τα κατιόντα χαρακτηρίζεται μαγνησιούχο και ως προς τα ανιόντα χαρακτηρίζονται ως οξυανθρακικό.

Στην ξηρή περίοδο δειγματοληψίας (Σχ. 10.7) εμφανίζεται σχεδόν η ίδια κατάσταση. Τα δείγματα (S1, G4', G33, G36, G37) με ποσοστό 83,33% είναι νερά, τα οποία χαρακτηρίζονται ως αλμυρά. Ως προς τα κατιόντα τα δείγματα αυτά χαρακτηρίζονται νατρούχα ή καλιούχα τα (S1, G33, G36, G37) και μαγνησιούχο (G4'), ως προς τα ανιόντα χλωριούχα τα (S1, G33, G36, G37) και οξυανθρακικό το (G4').

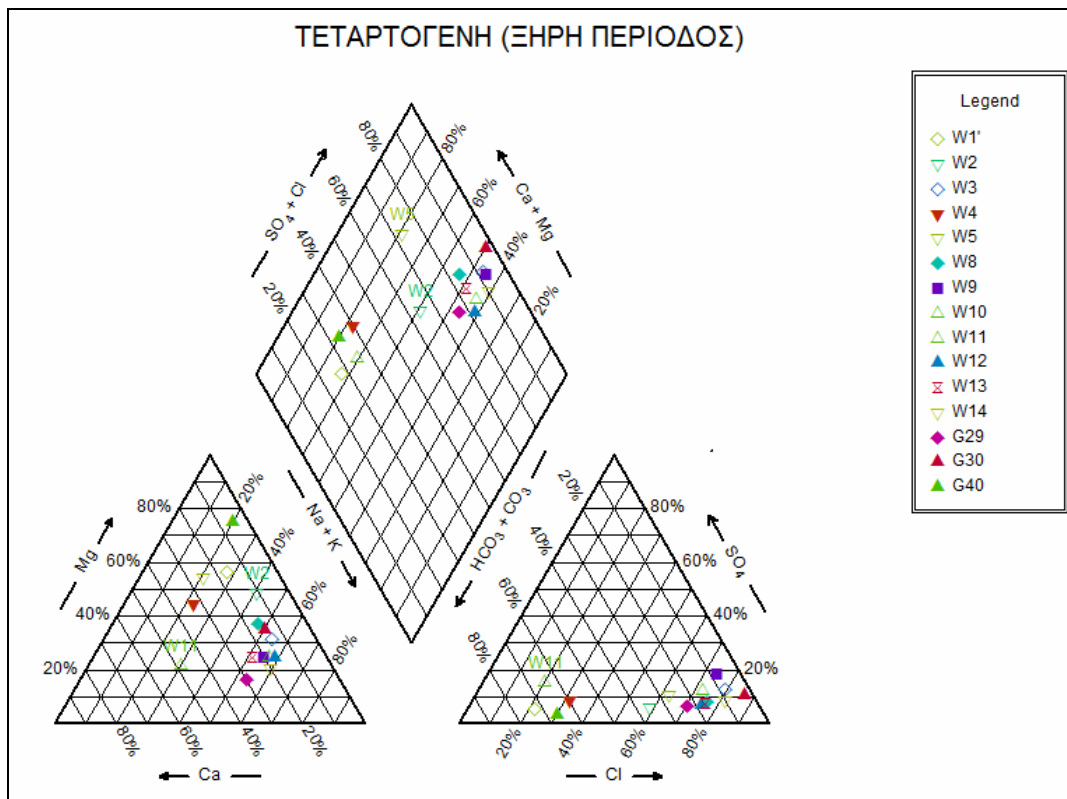
Το δείγμα G5 με ποσοστό 16,67% ανήκει στα νερά παροδικής σκληρότητας πλούσια σε Ca^{2+} , Mg^{2+} και HCO_3^- . Ως προς τα κατιόντα το δείγμα G5 χαρακτηρίζεται ως μαγνησιούχο και ως προς τα ανιόντα οξυανθρακικό.

Και στις δύο περιόδους δειγματοληψίας τα δείγματα υπόγειου νερού που κυριαρχούν στους καρστικούς ανθρακικούς σχηματισμούς είναι τα αλμυρά νερά και αυτό διότι η διείσδυση της θάλασσας έχει επηρεάσει τους παράκτιους καρστικούς υπόγειους υδροφορείς εξαιτίας της υπεραντλήσεως.

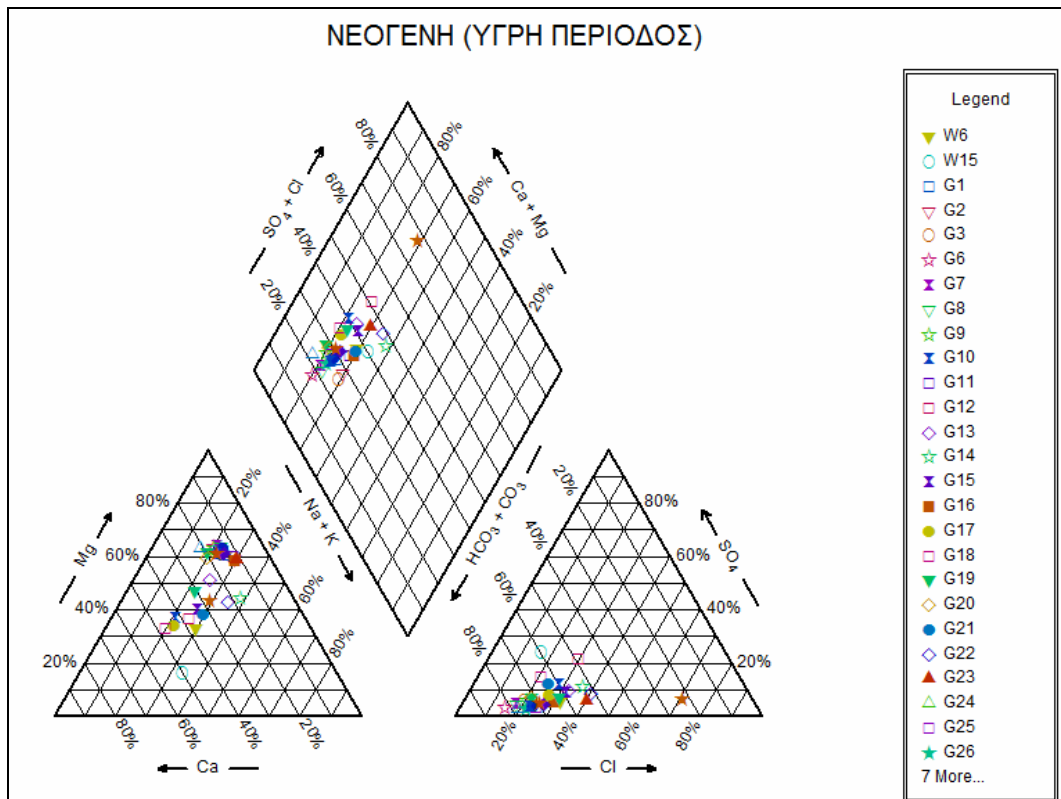
Στον Πιν. 10.1 που ακολουθεί παρουσιάζονται αναλυτικά οι υδροχημικοί τύποι των δειγμάτων της υγρής και ξηρής περιόδου.



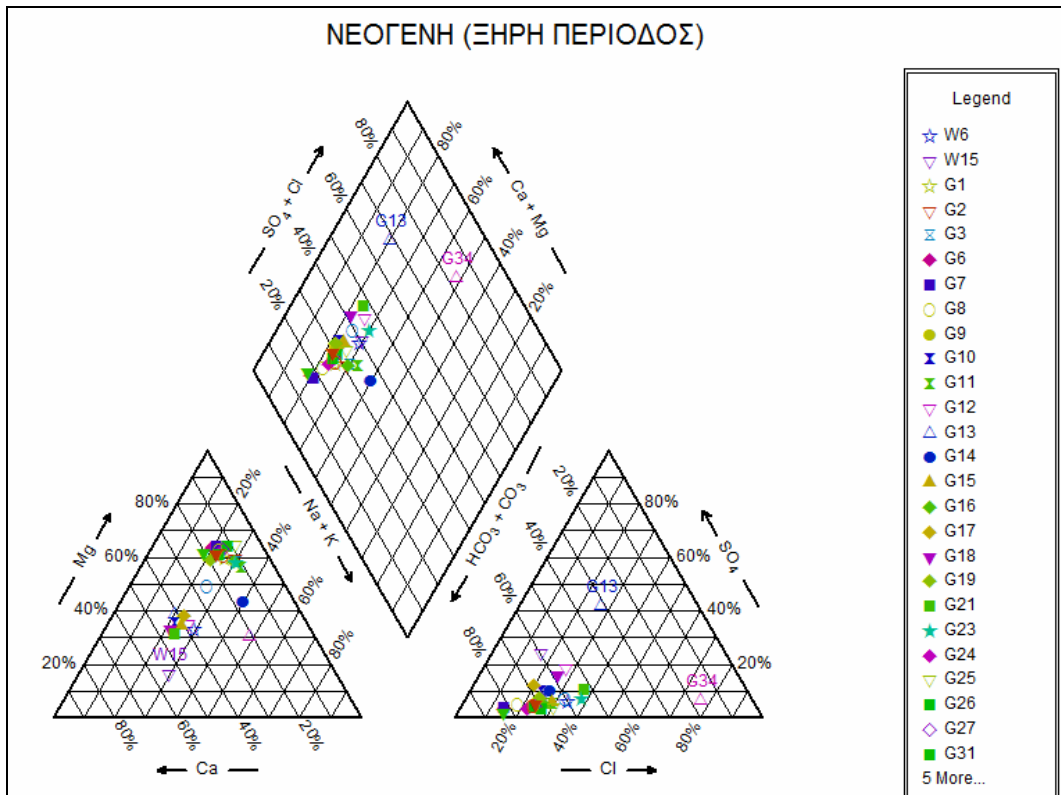
Σχήμα 10.2: Ταξινόμηση των υπόγειων νερών των τεταρτογενών σχηματισμών δειγμάτων υγρής περιόδου.



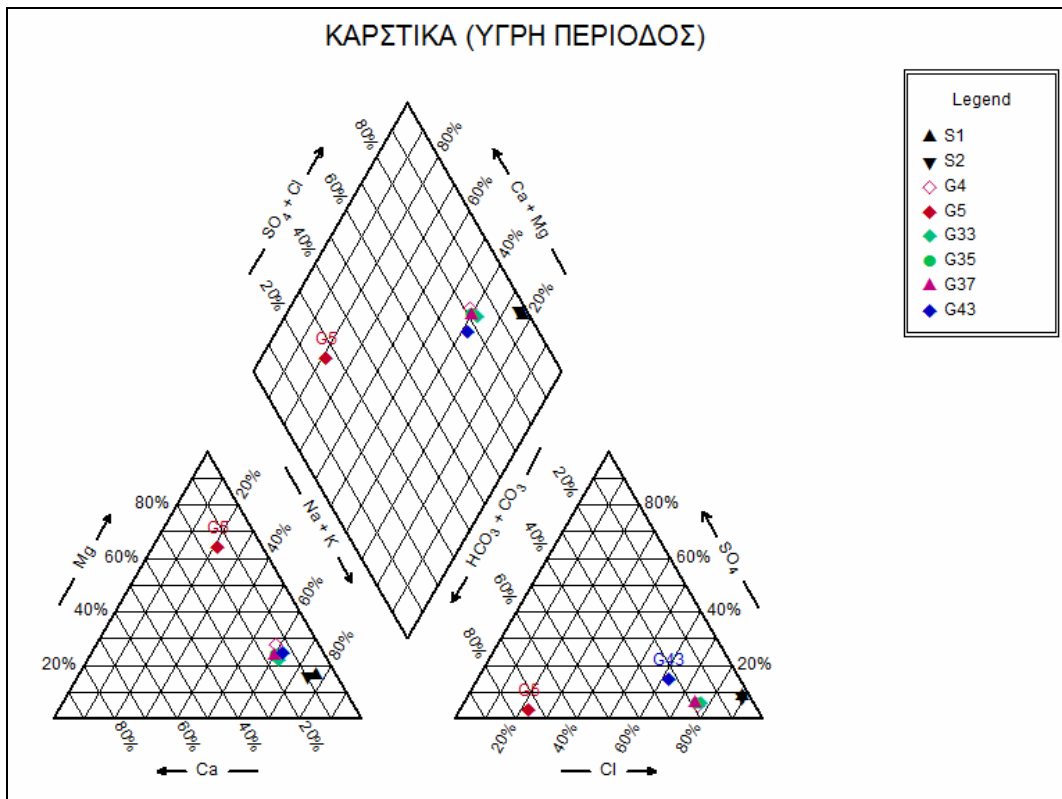
Σχήμα 10.3: Ταξινόμηση των υπόγειων νερών των τεταρτογενών σχηματισμών δειγμάτων ξηρής περιόδου.



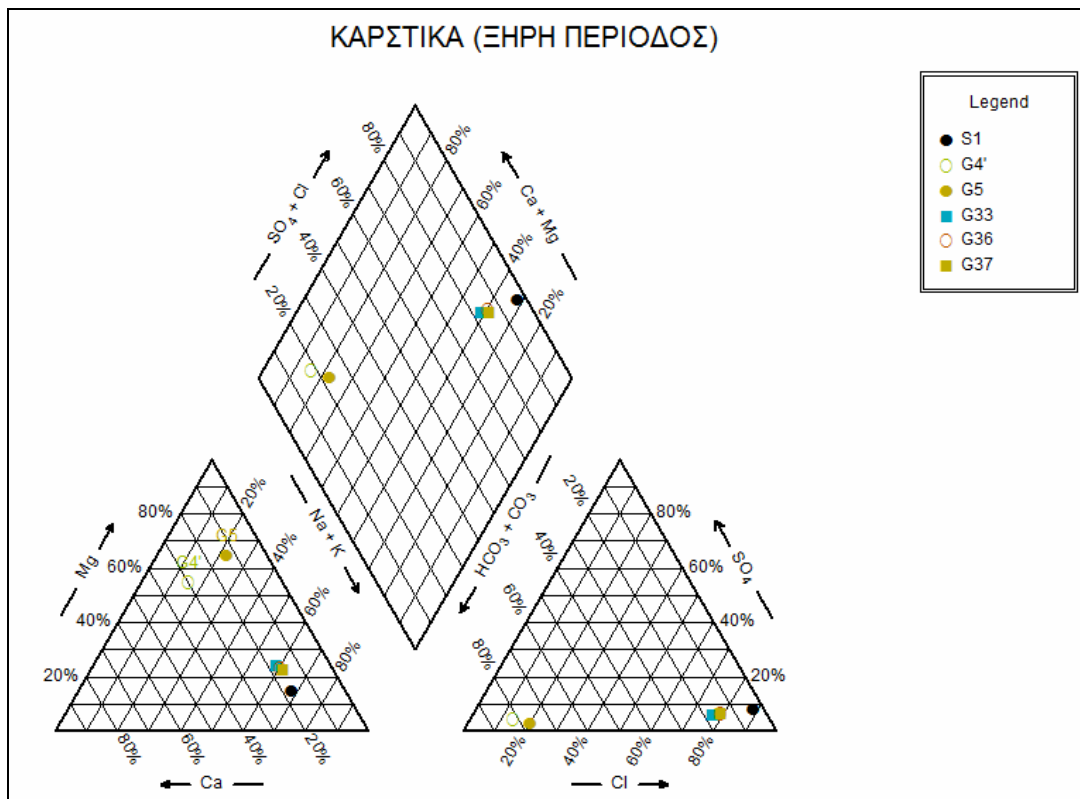
Σχήμα 10.4: Ταξινόμηση των υπόγειων υδάτων των νεογενών σχηματισμών δειγμάτων υγρής περιόδου.



Σχήμα 10.5: Ταξινόμηση των υπόγειων υδάτων των νεογενών σχηματισμών δειγμάτων ξηρής περιόδου.



Σχήμα 10.6: Ταξινόμηση των υπόγειων νερών των καρστικών σχηματισμών δειγμάτων υγρής περιόδου.



Σχήμα 10.7: Ταξινόμηση των υπόγειων νερών των καρστικών σχηματισμών δειγμάτων ξηρής περιόδου.

Πίνακας 10.1: Υδροχημικοί τύποι που προκύπτουν για τα υπόγεια νερά των τεταρτογενών, νεογενών και καρστικών σχηματισμών κατά Piper.

Υγρή περίοδος			Ξηρή περίοδος		
Υδροφορέας	Δείγμα	Υδροχημικός τύπος	Υδροφορέας	Δείγμα	Υδροχημικός τύπος
α) Τεταρτογενούς	G28, G29, W7, W9, W10, W12, W14	Na-K-Cl-SO ₄	α) Τεταρτογενούς	G29, G30, W3, W9, W10, W12, W13, W14,	Na-K-Cl-SO ₄
	G30, W2, W3, W5, W8, W13,	Δεν υπάρχει συγκεκριμένος υδροχημικός τύπος – νερά ενδιάμεσης σύστασης		W2, W8	Δεν υπάρχει συγκεκριμένος υδροχημικός τύπος – νερά ενδιάμεσης σύστασης
	G40, G41, W1, W4, W11	Ca-Mg-HCO ₃		W1, W4, W11, G40	Ca-Mg-HCO ₃
				W5	Ca-Mg-Cl-SO ₄
β) Νεογενούς	G1, G2, G3, G6, G7, G8, G9, G10, G11, G13, G14, G15, G16, G17, G18, G19, G20, G21, G22, G23, G24, G25, G26, G27, G31, G32, G38, G39, G42, W6, W15	Ca-Mg-HCO ₃	β) Νεογενούς	G1, G2, G3, G6, G7, G8, G9, G10, G11, G12, G14, G15, G16, G17, G18, G19, G21, G23, G24, G25, G26, G27, G31, G32, G38, G39, G42, W6, W15	Ca-Mg-HCO ₃
	G12, G34	Δεν υπάρχει συγκεκριμένος υδροχημικός τύπος – νερά ενδιάμεσης σύστασης		G13, G34	Δεν υπάρχει συγκεκριμένος υδροχημικός τύπος – νερά ενδιάμεσης σύστασης
γ) Καρστικούς	S1, S2, G4, G33, G35, G36, G37, G43	Na-K-Cl-SO ₄	γ) Καρστικούς	S1, G4, G33, G36, G37	Na-K-Cl-SO ₄
	G5	Ca-Mg-HCO ₃		G5	Ca-Mg-HCO ₃

Σημειώνεται ότι η πλειονότητα των σημείων προβολής των δειγμάτων των υπόγειων νερών στο διάγραμμα Piper κατά τις δυο περιόδους δειγματοληψίας, ανήκουν στα ίδια πεδία του διαγράμματος Piper. Εξαιρέση αποτελούν ελάχιστα δείγματα τα οποία είναι τα G30, W3, W5, W13 για τους τεταρτογενείς σχηματισμούς και τα G12 και G13 για τους νεογενείς σχηματισμούς. Η μετάπτωση αυτή των προαναφερόμενων δειγμάτων αποδίδεται σε παράγοντες όπως η ανάμιξη του θαλασσινού νερού με το υπόγειο των τεταρτογενών και νεογενών σχηματισμών, ιδιαίτερα κατά την ξηρή περίοδο.

10.2. Ταξινόμηση στο διάγραμμα Durov

Το διάγραμμα Durov στηρίζεται στη γενετική χημική προέλευση του νερού και αποτελεί ένα μεταγενέστερο διάγραμμα που βελτίωσε το διάγραμμα Piper. Τα κατιόντα και τα ανιόντα στο διάγραμμα Durov αποτελούνται από το δικό τους τρίγωνο στα οποία προβάλλονται οι συγκεντρώσεις τους εκφρασμένες σε meq/l. Στο διάγραμμα προβάλλεται το 50% της ολικής συγκέντρωσης των ιόντων.

Για να διευκολύνεται η προβολή στο κεντρικό τετράγωνο, τα δύο τρίγωνα των κατιόντων και ανιόντων χωρίζονται και δημιουργούνται δύο μικρότερα τρίγωνα και ένας ρόμβος.

Οι Lloyd and Heathcote (1985) περιέγραψαν το διάγραμμα Durov και χώρισαν 9 πεδία όπως φαίνεται στο Σχ. 10.8.

Στο πεδίο 1 προβάλλονται τα φρέσκα νερά φυσικής αναπλήρωσης που κατεισδύουν μέσα στα ανθρακικά πετρώματα κυρίως τους ασβεστολίθους και στους ψαμμίτες. Κυρίαρχα ιόντα είναι τα HCO_3^- και το Ca^{+2} .

Στο πεδίο 2 απεικονίζονται νερά τα οποία έχουν σχέση με δολομίτες. Όταν το Na^+ αρχίζει να αυξάνεται ο μηχανισμός 3 αρχίζει να ενεργοποιείται, κυρίαρχα ιόντα εδώ είναι τα HCO_3^- με το Mg^{+2} ή με κανένα κατιόν.

Στο πεδίο 3 κυριαρχούν τα HCO_3^- και τα Na^+ και ο μηχανισμός 3 (φαινόμενο κατιοντοανταλλαγής) βρίσκεται σε πλήρη εξέλιξη.

Στο πεδίο 4 κυριαρχούν το Ca^+ και τα SO_4^{-2} αυτό σημαίνει ότι τα νερά προέρχονται από ζώνες αναπλήρωσης διαμέσου ηφαιστειακών λαβών και γύψων.

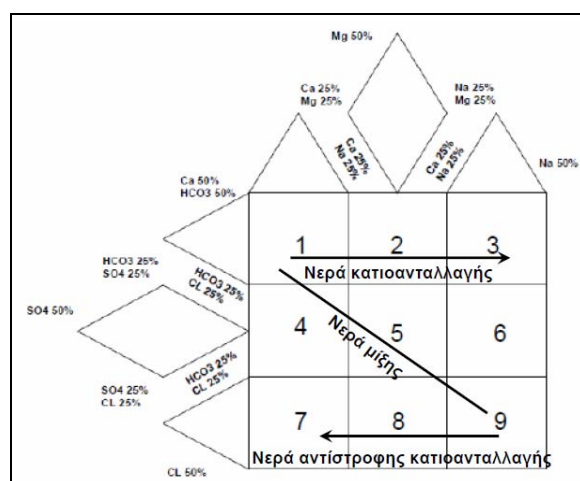
Στο πεδίο 5 δεν υπάρχει κανένα κυρίαρχο ιόν με αποτέλεσμα τα νερά να είναι μικτά νερά ή νερά διαλυτοποίησης.

Στο πεδίο 6 τα νερά τα οποία προβάλλονται δεν συναντώνται συχνά με πιθανή επιρροή και ανάμιξη. Μπορεί να υπάρχουν νερά στα οποία κυριαρχεί το Na^+ με το SO_4^{-2} ή το Na^+ με κανένα ανιόν.

Στο πεδίο 7 προβάλλονται προϊόντα αντίστροφης κατιονταλλαγής από νερά $\text{Na} - \text{Cl}$ σαν τελικό προϊόν. Πρόκειται για σπάνιο υπόγειο νερό με κυρίαρχα ιόντα τα Ca^+ και τα Cl^- .

Στο πεδίο 8 η αντίστροφη κατιονταλλαγή βρίσκεται σε πλήρη εξέλιξη και στα νερά αυτά που προβάλλονται σε αυτό το πεδίο κυριαρχεί μόνο το Cl^- χωρίς κανένα κατιόν.

Τέλος στο πεδίο 9 προβάλλονται νερά πεδίου ροής όταν κυριαρχούν τα Na^+ και τα Cl^- . Πρόκειται για τελικά νερά πεδίου ροής.



Σχήμα 10.8: Πεδία του διαγράμματος Durov.

Στα Σχ. 10.9 και 10.10 απεικονίζονται τα σημεία προβολής των νερών της λεκάνης των Μεγάρων για τις δυο περιόδους δειγματοληψίας την υγρή και την ξηρή.

α) νερά των τεταρτογενών σχηματισμών: Όπως φαίνεται από τα διαγράμματα Durov (Σχ. 10.9 και 10.10) για τους τεταρτογενείς σχηματισμούς και για τις δυο περιόδους δειγματοληψίας η πλειονότητα των υπόγειων νερών ανήκουν στο πεδίο 9 (δείγματα υγρής περιόδου G28, G29, W7, W9, W10, W12, W14 και δείγματα ξηρής περιόδου G29, G30, W3, W9, W10, W12, W13, W14). Τα δείγματα αυτά του υπόγειου νερού έχουν σαν κυρίαρχα συστατικά το Na^+ και το Cl^- και πρόκειται για τελικά νερά πεδίου ροής. Στα νερά αυτά το φαινόμενο της αντίστροφης κατιοανταλλαγής είναι στο τελικό στάδιο και ο υδροχημικός τους τύπος είναι Na-Cl. Αυτό συμβαίνει διότι τα υπόγεια νερά των τεταρτογενών σχηματισμών έχουν επηρεασθεί από τη διείδυση θαλάσσιου νερού.

Στο πεδίο 1 του διαγράμματος Durov ανήκει για την υγρή περίοδο το δείγμα W1 ενώ στην ξηρή δεν υπάρχει διότι ήταν αδύνατη η δειγματοληψία αυτού του δείγματος. Στο δείγμα αυτό του υπόγειου νερού κυρίαρχα ιόντα είναι τα HCO_3^- και Ca^{+2} πρόκειται για φρέσκα νερά εμπλουτισμού με υδροχημικό τύπο Ca- HCO_3 . Αυτό σημαίνει ότι το νερό του δείγματος αυτού προέρχεται από τεταρτογενείς σχηματισμούς οι οποίοι περιέχουν ανθρακικά υλικά που έχουν προέλθει από τη διάλυση των ανθρακικών σχηματισμών.

Στο πεδίο 2 του διαγράμματος Durov για τους τεταρτογενείς σχηματισμούς ανήκουν και για τις δύο περιόδους δειγματοληψίας υγρή και ξηρή τα δείγματα G40, W4 και W11. Επίσης στην υγρή περίοδο ανήκει και το δείγμα G41 και στην ξηρή το W1'. Τα δείγματα αυτά δεν υπάρχουν και στις δύο περιόδους διότι το δείγμα G41 δεν ήταν δυνατό να παρθεί κατά την ξηρή περίοδο και το W1' βρέθηκε μόνο στην ξηρή περίοδο. Κυρίαρχα ιόντα είναι η ρίζα HCO_3^- και το Mg^{+2} . Τα δείγματα του πεδίου 2 είναι εμπλουτισμένα σε μαγνησιούχα ορυκτά και φανερώνουν ότι το φαινόμενο της κατιοανταλλαγής είναι σε πλήρη εξέλιξη.

Στο πεδίο 8 του διαγράμματος Durov στους τεταρτογενείς σχηματισμούς ανήκουν τα δείγματα (G30, W2, W3, W5, W8, W13) για την υγρή περίοδο δειγματοληψίας και (W2, W5, W8) για την ξηρή περίοδο. Τα δείγματα αυτά του υπόγειου νερού έχουν μολυνθεί από τη διείδυση της θάλασσας και τα κυρίαρχα ιόντα είναι το Mg και το Cl⁻. Η αντίστροφη κατιοανταλλαγή βρίσκεται σε πλήρη εξέλιξη και ο υδροχημικός τύπος είναι Mg-Cl. Τα δείγματα G30, W3 και W13 δεν βρίσκονται στο πεδίο 8 στην ξηρή περίοδο δειγματοληψίας διότι έχουν μετακινηθεί στο πεδίο 9, αυτό σημαίνει ότι τα δείγματα αυτά κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού μολύνθηκαν ακόμα περισσότερο από τη διείδυση της θάλασσας και αυξήθηκε το Na^+ και το Cl⁻.

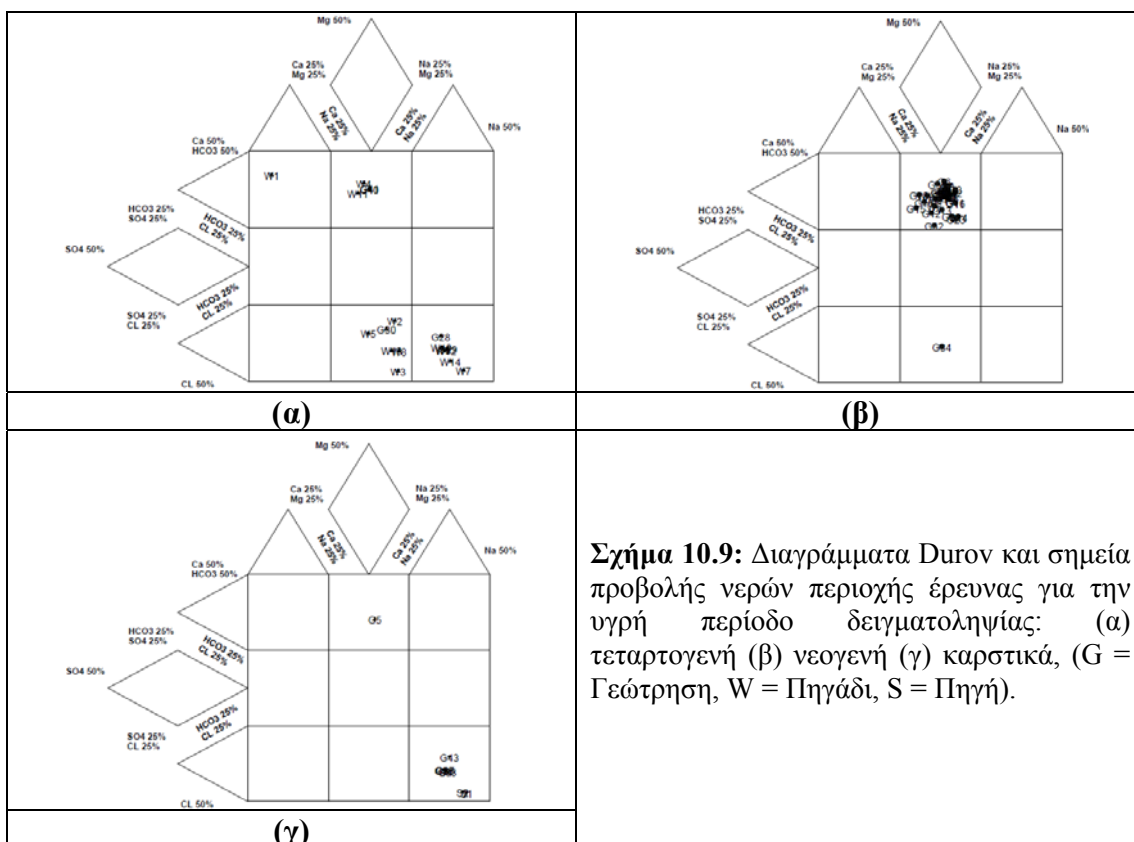
β) νερά των νεογενών σχηματισμών: Στα διαγράμματα Durov (Σχ. 10.9 και 10.10) για τους νεογενείς σχηματισμούς και για τις δυο περιόδους δειγματοληψίας η πλειονότητα των υπόγειων νερών ανήκουν στο πεδίο 2 (δείγματα υγρής περιόδου G1, G2, G3, G6, G7, G8, G9, G10, G11, G12, G13, G14, G15, G16, G17, G18, G19, G20, G21, G22, G23, G24, G25, G26, G27, G31, G32, G38, G39, G42, W6, W15 και δείγματα ξηρής περιόδου G1, G2, G3, G6, G7, G8, G9, G10, G11, G12, G13, G14, G15, G16, G17, G18, G19, G21, G23, G24, G25, G26, G27, G31, G32, G34, G38, G39, G42, W6). Τα δείγματα αυτά του υπόγειου νερού έχουν σαν κυρίαρχα συστατικά τα HCO_3^- με το Mg^{+2} , λόγω της παρουσίας μαγνησιούχων ορυκτών στους νεογενείς σχηματισμούς και της αντικατάστασης Ca από Mg. Αυτό συμβαίνει διότι στη λεκάνη των Μεγάρων μέσα στους Νεογενείς σχηματισμούς υπάρχουν κλαστικά

υλικά τα οποία έχουν προέλθει από διάλυση ανθρακικών και οφιολιθικών πετρωμάτων και τα οποία είναι πλούσια σε μαγνησιούχα – ανθρακικά ορυκτά.

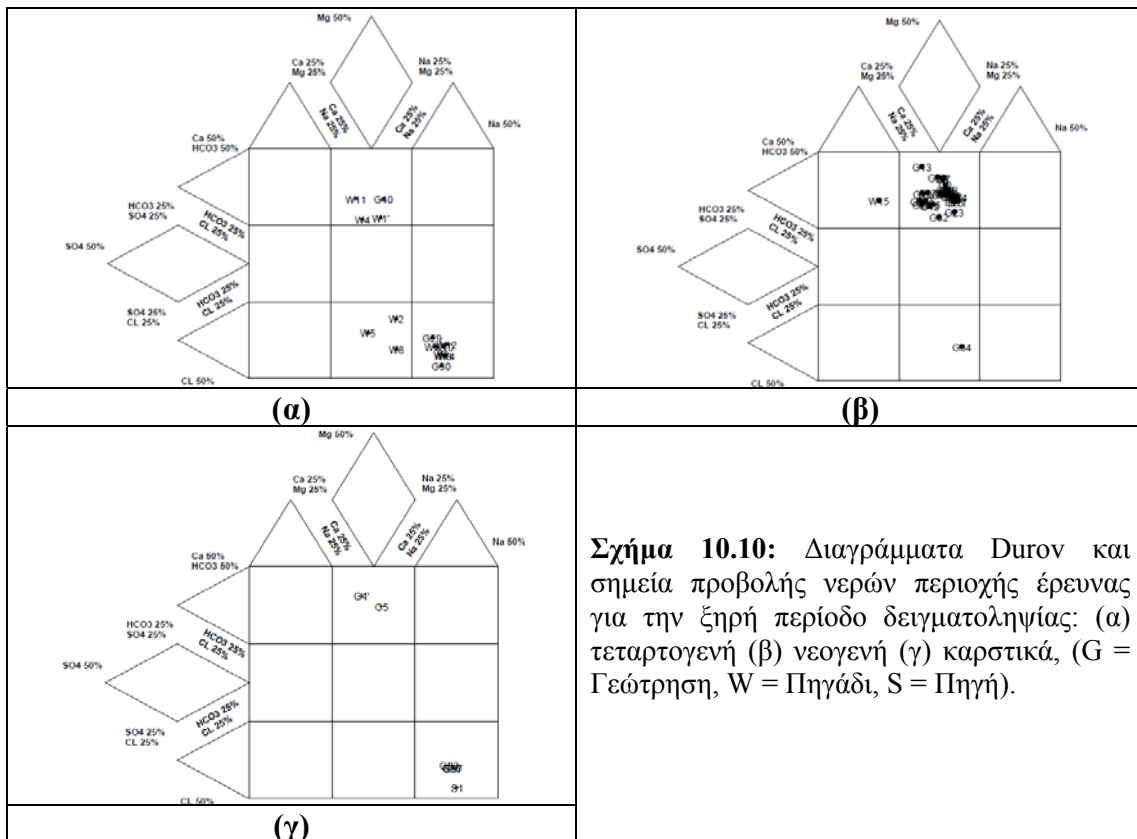
Στο πεδίο 1 του διαγράμματος Duroν για τους νεογενείς σχηματισμούς ανήκει μόνο για την ξηρή περίοδο δειγματοληψίας το δείγμα W15. Στην υγρή περίοδο το δείγμα W15 προβάλλεται στο πεδίο 2, αυτό σημαίνει ότι το δείγμα W15 εμπλουτίστηκε σε περισσότερα ανθρακικά ορυκτά και λιγότερο μαγνησιούχα και έτσι βρέθηκε στο πεδίο 1 κατά την ξηρή. Το δείγμα W15 περιέχει αυξημένες ποσότητες HCO_3^- και Ca^{+2} και πρόκειται για φρέσκο νερό εμπλουτισμού. Αυτό σημαίνει ότι το νερό αυτών προέρχεται από νεογενείς σχηματισμούς οι οποίοι περιέχουν ανθρακικά υλικά που έχουν προέλθει από τη διάλυση των ανθρακικών σχηματισμών.

Στο πεδίο 8 και για τις δυο περιόδους δειγματοληψίας ανήκει το δείγμα G34. Το δείγμα αυτό του υπόγειου νερού έχει μολυνθεί από τη διείσδυση της θάλασσας και τα κυρίαρχα ιόντα είναι το Mg και Cl^- . Η αντίστροφη κατιοανταλλαγή βρίσκεται σε πλήρη εξέλιξη.

γ) νερά των καρστικών ανθρακικών σχηματισμών: Τέλος από τα διαγράμματα Duroν (Σχ. 10.9 και 10.10) για τους καρστικούς ανθρακικούς σχηματισμούς και για τις δυο περιόδους δειγματοληψίας η πλειονότητα των υπόγειων νερών της λεκάνης των Μεγάρων ανήκουν στο πεδίο 9 (δείγματα υγρής περιόδου G33, G35, G36, G37, G43, S1, S2 και δείγματα ξηρής περιόδου G33, G36, G37, S1). Τα δείγματα αυτά του υπόγειου νερού έχουν σαν κυρίαρχα συστατικά τα Na^+ και τα Cl^- πρόκειται για τελικά νερά πεδίου ροής. Το φαινόμενο της αντίστροφης κατιοανταλλαγής βρίσκεται στο τελικό στάδιο. Αυτό συμβαίνει διότι και εδώ η διείσδυση του θαλασσινού νερού έχει επηρεάσει την ποιότητα του υπόγειου νερού.



Σχήμα 10.9: Διαγράμματα Duroν και σημεία προβολής νερών περιοχής έρευνας για την υγρή περίοδο δειγματοληψίας: (α) τεταρτογενή (β) νεογενή (γ) καρστικά, (G = Γεώτρηση, W = Πηγάδι, S = Πηγή).



Σχήμα 10.10: Διαγράμματα Durov και σημεία προβολής νερών περιοχής έρευνας για την ξηρή περίοδο δειγματοληψίας: (α) τεταρτογενή (β) νεογενή (γ) καρστικά, (G = Γεώτρηση, W = Πηγάδι, S = Πηγή).

Στο πεδίο 2 του διαγράμματος Durov για τους καρστικούς ανθρακικούς σχηματισμούς ανήκουν για την υγρή περίοδο δειγματοληψίας τα δείγματα G4, G5 και για την ξηρή τα G4', G5. Το δείγμα G4 δεν βρέθηκε κατά την ξηρή περίοδο δειγματοληψίας και το G4' κατά την υγρή. Στα δείγματα αυτά κυρίαρχα ιόντα είναι τα HCO_3^- με το Mg^{+2} και είναι πλούσια σε μαγνησιούχα-ανθρακικά ορυκτά. Το φαινόμενο της ανταλλαγής κατιόντων λαμβάνει χώρα με κυρίαρχο ανιόν την οξυανθρακική ρίζα και κατιόν το μαγνήσιο. Το φαινόμενο της κατιοανταλλαγής βρίσκεται σε πλήρη εξέλιξη και ο υδροχημικός τους τύπος είναι Mg-HCO_3 . Στους Πιν. 10.2 και 10.3 που ακολουθούν παρουσιάζονται οι κατατάξεις των υπόγειων νερών των δειγμάτων των τεταρτογενών, νεογενών και καρστικών σχηματισμών σύμφωνα με το διάγραμμα Durov για τις δυο περιόδους δειγματοληψίας.

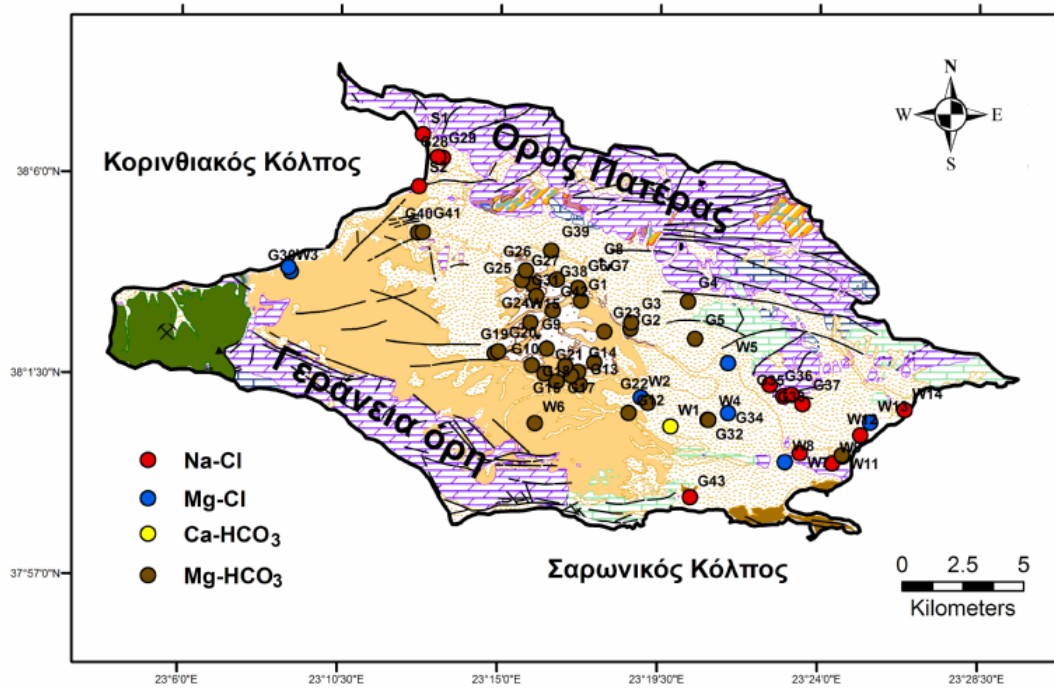
Πίνακας 10.2: Κατάταξη των υπόγειων νερών της περιοχής έρευνας κατά Duroν για την υγρή περίοδο.

	Υδροχημική φάση	Τεταρτογενείς σχηματισμοί	Νεογενείς σχηματισμοί	Καρστικοί ανθρακικοί σχηματισμοί
Νερά κατιοανταλλαγής	Ca - HCO ₃	W1		
	Mg - HCO ₃	G40, G41, W4, W11	G1, G2, G3, G6, G7, G8, G9, G10, G11, G12, G13, G14, G15, G16, G17, G18, G19, G20, G21, G22, G23, G24, G25, G26, G27, G31, G32, G38, G39, G42, W6, W15	G4, G5
Νερά αντίστροφης κατιοανταλλαγής	Na - Cl	G28, G29, W7, W9, W10, W12, W14		G33, G35, G36, G37, G43, S1, S2
	Mg - Cl	G30, W2, W3, W5, W8, W13	G34	

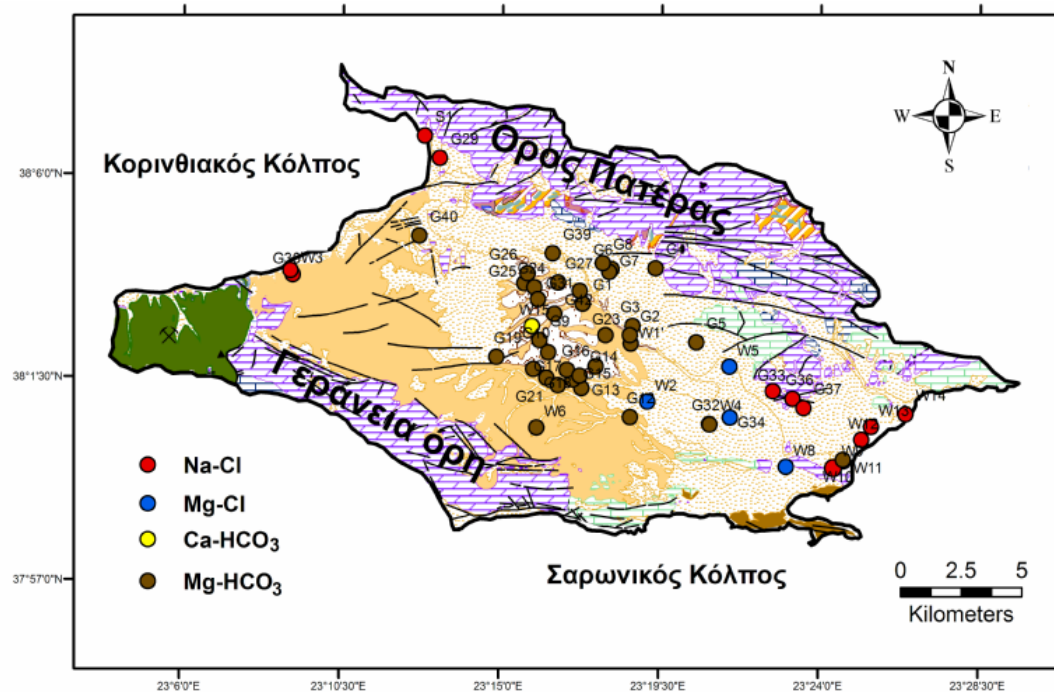
Πίνακας 10.3: Κατάταξη των υπόγειων νερών της περιοχής έρευνας κατά Duroν για την ξηρή περίοδο.

	Υδροχημική φάση	Τεταρτογενείς σχηματισμοί	Νεογενείς σχηματισμοί	Καρστικοί ανθρακικοί σχηματισμοί
Νερά κατιοανταλλαγής	Ca - HCO ₃		W15	
	Mg - HCO ₃	W1', G40, W4, W11	G1, G2, G3, G6, G7, G8, G9, G10, G11, G12, G13, G14, G15, G16, G17, G18, G19, G21, G23, G24, G25, G26, G27, G31, G32, G38, G39, G42, W6	G4', G5
Νερά αντίστροφης κατιοανταλλαγής	Na - Cl	G29, G30, W3, W9, W10, W12, W13, W14		G33, G36, G37, S1
	Mg - Cl	W2, W5, W8	G34	

Η χωρική κατανομή των υδροχημικών τύπων κατά Duroν για τις δυο περιόδους παρουσιάζει σημαντικές ομοιότητες (Σχ. 10.11 και 10.12). Πιο συγκεκριμένα στο κεντρικό τμήμα της περιοχής έρευνας η πλειονότητα των δειγμάτων υπόγειου νερού ανήκουν στον υδροχημικό τύπο Mg-HCO₃, το οποίο ερμηνεύεται από τη διάλυση κλαστικών υλικών των ανθρακικών και οφιολιθικών πετρωμάτων. και τα οποία είναι πλούσια σε μαγνησιούχα – ανθρακικά ορυκτά. Όσον αφορά στις παράκτιες περιοχές, ο υδροχημικός τύπος κατά Duroν που επικρατεί είναι το Na-Cl και Mg-Cl το οποίο τεκμηριώνει τη σημαντική επίδραση της θάλασσας στους παράκτιους υπόγειους υδροφορείς (Σχ. 10.11 και 10.12).



Σχήμα 10.11: Χωρική κατανομή υδροχημικών τύπων κατά Διγρον των δειγμάτων της υγρής περιόδου.



Σχήμα 10.12: Χωρική κατανομή υδροχημικών τύπων κατά Διγρον των δειγμάτων της ξηρής περιόδου.

11. ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΤΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

11.1. Ιοντικές σχέσεις

Η χημική σύσταση των υπόγειων νερών εξαρτάται από τα ορυκτολογικά συστατικά των πετρωμάτων από τα οποία προέρχεται και μέσα στα οποία διέρχεται. Επίσης εξαρτάται από την αλληλεπίδραση με την ατμόσφαιρα και τη βιόσφαιρα. Από τις ανθρώπινες δραστηριότητες και από τις συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης (Βουδούρης 2009). Άλλος ένας παράγοντας που επηρεάζει τη χημική σύσταση των υπόγειων νερών είναι η διείσδυση της θάλασσας στην ενδοχώρα εξαιτίας αυξημένων αρδευτικών αναγκών.

Οι ιοντικές σχέσεις χρησιμοποιούνται για την εξαγωγή πληροφοριών σχετικά με την προέλευση των στοιχείων. Σύμφωνα με αυτές διαπιστώνεται εάν η χημική σύσταση ενός υπόγειου νερού είναι επηρεασμένη από τη θαλάσσια διείσδυση ή από το χημισμό των πετρωμάτων μέσα από τα οποία διέρχεται.

Η ιοντική σχέση Na/Cl

Στην περιοχή έρευνας χρησιμοποιήθηκε η ιοντική σχέση Na/Cl για να διαπιστωθεί εάν τα υπόγεια νερά είναι επηρεασμένα από τη θαλάσσια διείσδυση. Όταν ο λόγος παίρνει πολύ μικρές τιμές τότε υποδηλώνει θαλάσσια διείσδυση. Όταν $Na/Cl > 1$ υποδηλώνει ότι το υπόγειο νερό υφίσταται ιοντική ανταλλαγή Ca και Mg με Na (Mathes 1973).

Όταν η τιμή του Na/Cl είναι ίση με $0,876 \pm 10\%$ τότε πρόκειται για φυσικά υπόγεια νερά. Επίσης όταν η τιμή του λόγου Na/Cl κυμαίνεται από 0,556 έως 0,875 τότε πρόκειται για θαλασσινό νερό. Τέλος όταν η σχέση Na/Cl παίρνει τιμές μικρότερες από αυτές του θαλασσινού νερού τότε υφίσταται αντίστροφη κατιοανταλλαγή και μάλιστα όταν $Na/Cl < 0,7$ τότε πρόκειται για άμεση επίδραση της θάλασσας. Η ιοντική σχέση Na/Cl υπολογίζεται πάντα σε meq/L όπως και όλες οι ιοντικές σχέσεις (Βουδούρης 2009, Καλλέργης 2000, Mathes 1973).

Ο λόγος Na/Cl υπολογίστηκε και για τις δυο περιόδους δειγματοληψίας και οι τιμές του αναφέρονται στον Πιν. 11.1.

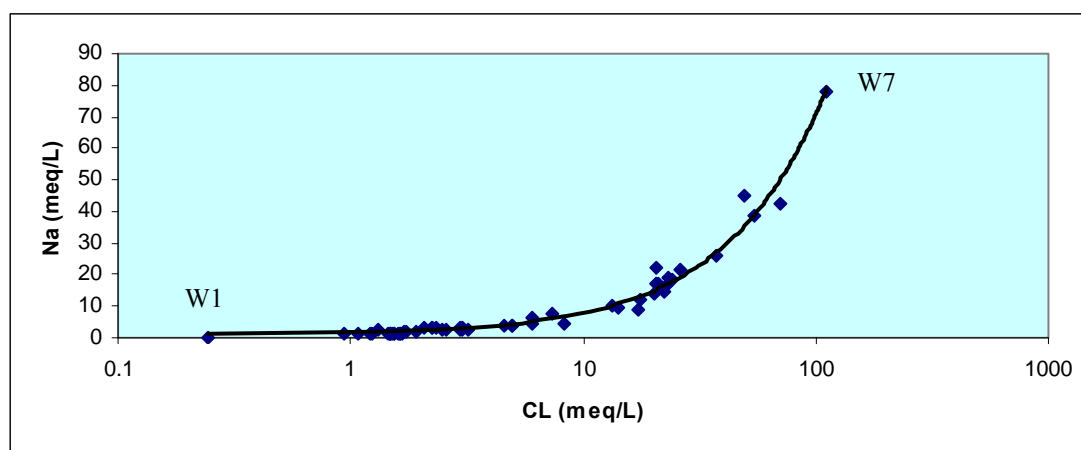
Σύμφωνα με τον Πιν. 11.1 ποσοστό ίσο με 15% για την υγρή περίοδο και 11,54% για την ξηρή περίοδο ανήκει στα φυσικά υπόγεια νερά. Ιοντική ανταλλαγή Ca και Mg με Na παρατηρείται σε ποσοστό 21,66% της υγρής περιόδου και 34,61% της ξηρής περιόδου. Τέλος ποσοστό 13,33% για την υγρή περίοδο και 9,61% για την ξηρή περίοδο παρουσιάζει λόγο $Na/Cl < 0,7$ και αντιπροσωπεύει τα δείγματα του υπόγειου νερού που έχουν επηρεαστεί άμεσα από τη διείσδυση της θάλασσας. Κάποιο μικρό ποσοστό αυτών των δειγμάτων που βρίσκονται στην ενδοχώρα μπορεί να παρουσιάζουν τιμή $Na/Cl < 0,7$ και να οφείλονται στην πιθανή ύπαρξη εβαποριτικών αλάτων εφόσον το κεντρικό τμήμα της λεκάνης δεν είναι έντονα επηρεασμένο από τη διείσδυση της θάλασσας (Stamatis et al., 2006).

Στα Σχ. 11.1 και 11.2 παρουσιάζονται τα διαγράμματα του Na - Cl των υπόγειων νερών της περιοχής έρευνας για την υγρή και την ξηρή περίοδο. Προκειμένου να βελτιωθεί η παρουσίαση των χαμηλών και ενδιάμεσων υφάλμυρων νερών χρησιμοποιήθηκε η λογαριθμική κλίμακα για την απεικόνιση των συγκεντρώσεων Cl. Η καμπύλη η οποία συνδέει τα ακραία μέλη W1 (ελάχιστη συγκέντρωση TDS = 212 mg/L) και W7 (μέγιστη συγκέντρωση TDS = 8028 mg/L) της υγρής περιόδου, και τα ακραία μέλη G4' (ελάχιστη συγκέντρωση TDS = 442 mg/L) και G30 (μέγιστη συγκέντρωση TDS = 7377 mg/L) της ξηρής περιόδου, αντιπροσωπεύει την ανάμιξη μεταξύ φρέσκου υπόγειου νερού και θαλασσινού νερού. Όσον αφορά την περίπτωση

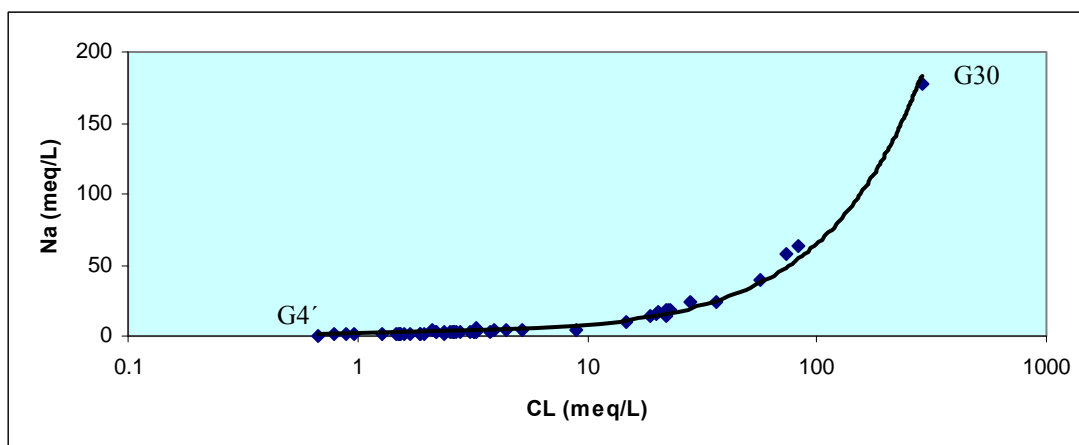
Na και Cl σχεδόν όλα τα υπόγεια νερά της περιοχής έρευνας και για τις δυο περιόδους δειγματοληψίας προκύπτουν από την ανάμιξη των ακραίων μελών και παρουσιάζουν παρόμοια χημική σύσταση.

Πίνακας 11.1: Ο λόγος Na/Cl στα δείγματα υπόγειου νερού της περιοχής έρευνας για την υγρή και την ξηρή περίοδο δειγματοληψίας.

ΥΓΡΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ				ΞΗΡΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ			
ΔΕΙΓΜΑ	Na/Cl	ΔΕΙΓΜΑ	Na/Cl	ΔΕΙΓΜΑ	Na/Cl	ΔΕΙΓΜΑ	Na/Cl
S1	0,759	G14	1,048	S1	0,844	G16	1,091
S2	0,739	G15	0,830	W1'	1,543	G17	1,227
W1	0,744	G16	0,991	W2	0,631	G18	0,807
W2	0,658	G17	0,866	W3	0,768	G19	0,880
W3	0,611	G18	1,038	W4	0,906	G21	0,870
W4	0,987	G19	0,786	W5	0,437	G23	0,863
W5	0,530	G20	0,933	W6	0,968	G24	0,993
W6	0,948	G21	1,333	W8	0,652	G25	0,970
W7	0,698	G22	1,030	W9	0,784	G26	1,008
W8	0,700	G23	0,752	W10	0,847	G27	0,986
W9	0,920	G24	0,980	W11	1,725	G29	0,837
W10	0,838	G25	0,914	W12	0,807	G30	0,618
W11	2,135	G26	1,055	W13	0,650	G31	0,992
W12	0,765	G27	0,980	W14	0,703	G32	0,879
W13	0,665	G28	0,758	W15	1,308	G33	0,810
W14	0,712	G29	0,742	G1	1,047	G34	0,721
W15	1,407	G30	0,675	G2	1,148	G36	0,805
G1	0,992	G31	0,999	G3	1,164	G37	0,815
G2	1,347	G32	0,979	G4'	1,018	G38	1,140
G3	1,423	G33	0,820	G5	1,092	G39	1,076
G4	0,684	G34	0,498	G6	1,421	G40	0,727
G5	1,000	G35	0,826	G7	1,478	G42	0,964
G6	1,353	G36	0,816	G8	1,217		
G7	1,272	G37	0,828	G9	0,925		
G8	1,254	G38	0,941	G10	0,929		
G9	0,916	G39	0,914	G11	1,089		
G10	0,783	G40	0,725	G12	0,954		
G11	0,919	G41	0,713	G13	0,761		
G12	0,842	G42	0,912	G14	1,605		
G13	0,784	G43	1,070	G15	0,828		



Σχήμα 11.1: Διάγραμμα Na - Cl των υπόγειων νερών της περιοχής έρευνας για την υγρή περίοδο.



Σχήμα 11.2: Διάγραμμα Na - Cl των υπόγειων νερών της περιοχής έρευνας για την ξηρή περίοδο.

Ο συνδυασμός της σχέσης Na/Cl με τη σχέση $(Ca + Mg - SO_4 - HCO_3)/Cl$

Στην παρούσα περιοχή έρευνας χρησιμοποιήθηκε επίσης ο συνδυασμός της σχέσης Na/Cl με τη σχέση $(Ca + Mg - SO_4 - HCO_3)/Cl$ (Πιν. 11.2 και 11.3).

Εάν λοιπόν ισχύει $Na/Cl < 1$ και $(Ca + Mg - SO_4 - HCO_3)/Cl > 0$ τότε αυτό δείχνει αντικατάσταση υπόγειου νερού με θαλασσινό. Από τα δείγματα λοιπόν υπόγειου νερού της περιοχής έρευνας διαπιστώνεται ότι 68,33% της υγρής περιόδου και 51,92% της ξηρής περιόδου ισχύει $Na/Cl < 1$ και $(Ca + Mg - SO_4 - HCO_3)/Cl > 0$, το οποίο επιβεβαιώνει την ανάμιξη του θαλασσινού νερού με το υπόγειο νερό (Πιν. 11.2 και 11.3).

Πίνακας 11.2: Οι ιοντικές σχέσεις Na/Cl και $(Ca + Mg - SO_4 - HCO_3)/Cl$ των υπόγειων νερών για την υγρή περίοδο δειγματοληψίας.

ΔΕΙΓΜΑ	$(Ca+Mg-SO_4-HCO_3)/Cl$	Na/Cl	ΔΕΙΓΜΑ	$(Ca+Mg-SO_4-HCO_3)/Cl$	Na/Cl
S1	0,111	0,759	G14	-0,092	1,048
S2	0,126	0,739	G15	0,082	0,830
W1	0,132	0,744	G16	-0,030	0,991
W2	0,300	0,658	G17	0,129	0,866
W3	0,520	0,611	G18	0,165	1,038
W4	1,157	0,987	G19	-0,240	0,786
W5	1,151	0,530	G20	0,222	0,933
W6	0,096	0,948	G21	-0,067	1,333
W7	0,203	0,698	G22	0,214	1,030
W8	0,397	0,700	G23	0,225	0,752
W9	0,152	0,920	G24	0,119	0,980
W10	0,274	0,838	G25	0,162	0,914
W11	-0,465	2,135	G26	0,100	1,055
W12	0,236	0,765	G27	0,087	0,980
W13	0,353	0,665	G28	0,097	0,758
W14	0,205	0,712	G29	0,116	0,742
W15	-0,721	1,407	G30	0,158	0,675
G1	0,057	0,992	G31	0,039	0,999
G2	-0,301	1,347	G32	1,192	0,979
G3	-0,555	1,423	G33	0,199	0,820
G4	0,185	0,684	G34	0,774	0,498
G5	0,300	1,000	G35	0,230	0,826
G6	-0,195	1,353	G36	0,237	0,816
G7	0,153	1,272	G37	0,226	0,828
G8	-0,110	1,254	G38	0,049	0,941
G9	-0,186	0,916	G39	0,286	0,914
G10	0,103	0,783	G40	0,391	0,725
G11	-0,205	0,919	G41	0,362	0,713
G12	-0,042	0,842	G42	0,167	0,912
G13	0,207	0,784	G43	0,004	1,070

Πίνακας 11.3: Οι ιοντικές σχέσεις Na/Cl και (Ca + Mg - SO₄ - HCO₃)/Cl των υπόγειων νερών για την ξηρή περίοδο δειγματοληψίας.

ΔΕΙΓΜΑ	(Ca+Mg-SO4-HCO3)/Cl	Na/Cl	ΔΕΙΓΜΑ	(Ca+Mg-SO4-HCO3)/Cl	Na/Cl
S1	0,269	0,844	G12	-0,129	0,954
W1'	0,534	1,543	G13	-0,155	0,761
W2	0,215	0,631	G14	-0,607	1,605
W3	0,380	0,768	G15	0,119	0,828
W4	0,953	0,906	G16	-0,166	1,091
W5	0,941	0,437	G17	-0,099	1,227
W6	0,155	0,968	G18	-0,090	0,807
W8	0,431	0,652	G19	-0,050	0,880
W9	0,280	0,784	G21	0,490	0,870
W10	0,262	0,847	G23	0,168	0,863
W11	0,143	1,725	G24	-0,132	0,993
W12	0,235	0,807	G25	0,395	0,970
W13	0,288	0,650	G26	0,424	1,008
W14	0,247	0,703	G27	0,075	0,986
W15	-0,089	1,308	G29	0,305	0,837
G1	-0,118	1,047	G30	0,457	0,618
G2	-0,251	1,148	G31	0,102	0,992
G3	-0,158	1,164	G32	0,512	0,879
G4'	-0,527	1,018	G33	0,239	0,810
G5	-0,151	1,092	G34	0,395	0,721
G6	-0,296	1,421	G36	0,218	0,805
G7	-0,542	1,478	G37	0,207	0,815
G8	-0,372	1,217	G38	-0,128	1,140
G9	-0,043	0,925	G39	-0,635	1,076
G10	-0,179	0,929	G40	0,611	0,727
G11	-0,152	1,089	G42	0,186	0,964

Ιοντική σχέση Cl/Br

Σύμφωνα με τον Καλλέργη (2000) η ιοντική σχέση Cl/Br είναι περίπου ίση με 300 όταν πρόκειται για θαλασσινό νερό και 500 έως 4000 όταν πρόκειται για νερό σε επαφή με εβαπορίτες. Στην περιοχή έρευνας τα υπόγεια νερά παρουσιάζουν υψηλές τιμές Cl/Br, συγκεκριμένα ποσοστό ίσο με 88,33% της υγρής περιόδου και 88,46% της ξηρής περιόδου των υπόγειων νερών της περιοχής έρευνας φαίνεται να είναι επηρεασμένα από εβαπορίτες (Πιν. 11.4), ωστόσο η παρουσία εβαποριτών στην περιοχή έρευνας δεν έχει τεκμηριωθεί βιβλιογραφικά και εργαστηριακά.

11.2. Δείκτες Κορεσμού

Το υπόγειο νερό έρχεται σε επαφή με ορυκτά και πετρώματα, τα οποία διαλύει, μέχρι να διαλυθούν όλα τα ορυκτά ή μέχρι να επιτευχθεί κατάσταση ισορροπίας. Κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες, η μάζα του ορυκτού που διαλύεται στη μονάδα του όγκου του διαλύματος ορίζεται σαν διαλυτότητα του ορυκτού. Ο δείκτης κορεσμού χρησιμοποιείται προκειμένου να εκτιμηθεί η ικανότητα ενός υπόγειου νερού να αποθέσει ή να διαλύει άλατα (Λαμπράκης 1991).

Για να προσδιορισθεί ο δείκτης κορεσμού ενός υπόγειου νερού πρέπει να είναι γνωστή η συγκέντρωση των ιόντων που περιέχει το νερό, η θερμοκρασία, το pH, η αλκαλικότητα και το σύνολο των διαλυμένων στερεών (TDS).

Ο δείκτης κορεσμού (S.I.) ορίζεται από τον τύπο:

$$S.I. = pH - pH_s,$$

όπου pH_s ορίζεται το pH στο οποίο ένα υπόγειο νερό είναι κορεσμένο σε ένα καθορισμένο ορυκτό. Η λογαριθμική μορφή του (S.I.) είναι η εξής:

$$S.I. = \log[(\text{Ion Activity product})/K_s],$$

Όπου Ion Activity product ορίζεται το γινόμενο των ενεργοτήτων των ιόντων των ορυκτών και K_s η σταθερά ισορροπίας τους. Όταν ο δείκτης κορεσμού (S.I.) παίρνει θετικές τιμές το νερό έχει την τάση να αποθέσει το ορυκτό, όταν παίρνει αρνητικές

τιμές το νερό διαλύει το ορυκτό. Όταν ο δείκτης κορεσμού (S.I.) είναι ίσος με μηδέν, τότε το υπόγειο νερό βρίσκεται σε ισορροπία με το ορυκτό. Το μέγεθος της απόθεσης ή της διάλυσης εκφράζει η απόλυτη τιμή του δείκτη κορεσμού (Appelo and Postma 1996).

Πίνακας 11.4: Οι τιμές της ιοντικής σχέσης Cl/Br στα υπόγεια νερά της περιοχής έρευνας για τις δυο περιόδους δειγματοληψίας.

ΥΓΡΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ				ΞΗΡΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ			
ΔΕΙΓΜΑ	Cl/Br	ΔΕΙΓΜΑ	Cl/Br	ΔΕΙΓΜΑ	Cl/Br	ΔΕΙΓΜΑ	Cl/Br
S1	720,1	G14	850,0	S1	614,2039	G16	1076,2
S2	781,0	G15	706,8	W1'	603,3	G17	1948,1
W1		G16	1112,0	W2	1111,8	G18	782,7
W2	1049,0	G17	802,2	W3	676,5	G19	798,3
W3	807,6	G18	830,7	W4	4488,3	G21	836,6
W4	868,9	G19		W5	695,4	G23	807,9
W5	840,3	G20		W6	762,9	G24	423,4
W6	561,1	G21	736,4	W8	726,4	G25	794,9
W7	739,3	G22	827,5	W9	761,1	G26	934,8
W8	801,4	G23	965,0	W10	686,9	G27	831,5
W9	798,3	G24	176,1	W11		G29	640,5
W10	751,5	G25	1002,3	W12	659,2	G30	661,8
W11	590,6	G26		W13	1246,4	G31	959,9
W12	786,4	G27	1193,7	W14	728,6	G32	717,9
W13	756,0	G28	755,6	W15	413,2	G33	608,9
W14	1706,8	G29	748,2	G1	808,5	G34	697,1
W15	125,3	G30	856,4	G2	936,9	G36	666,0
G1	1065,3	G31	871,9	G3	744,1	G37	627,1
G2	913,2	G32	873,0	G4'	496,5	G38	882,0
G3	994,9	G33	728,0	G5		G39	738,8
G4	741,8	G34	695,1	G6	642,2	G40	828,1
G5	631,4	G35	553,0	G7	616,2	G42	1016,5
G6		G36	589,3	G8	793,6		
G7	687,2	G37	663,9	G9	1012,4		
G8	787,8	G38	921,6	G10	706,9		
G9	2156,8	G39	568,8	G11	892,7		
G10	791,1	G40	729,2	G12	802,0		
G11	971,1	G41	773,9	G13	916,1		
G12	584,0	G42	815,8	G14			
G13	1122,6	G43	986,3	G15	1294,2		

Τα δεδομένα των χημικών αναλύσεων επεξεργάστηκαν σύμφωνα με το πρόγραμμα Hydrowin V.3.0. Οι Πίν. 11.5 και 11.6 παρουσιάζουν τους δείκτες κορεσμού των διαφόρων ορυκτών για κάθε δείγμα υπόγειου νερού της υγρής και της ξηρής περιόδου.

Η πλειονότητα των δειγμάτων των υπόγειων νερών της υγρής περιόδου παρουσιάζουν θετικούς δείκτες κορεσμού (S.I) στα ορυκτά ασβεσίτη (93,34%), αραγωνίτη (81,67%), δολομίτη (98,32%) και μαγνησίτη (65%), αυτό σημαίνει ότι τα υπόγεια αυτά νερά έχουν μια τάση απόθεσης των παραπάνω ορυκτών. Όσον αφορά το ορυκτό γύψο όλα τα δείγματα νερών παρουσιάζουν αρνητικούς δείκτες κορεσμού και επομένως δείχνουν μια τάση διάλυσης των συγκεκριμένων ορυκτών. Σχετικά με τον ανυδρίτη ποσοστό ίσο με (35%) των υπόγειων νερών έχουν δείκτη κορεσμού θετικό (S.I>0) και χαρακτηρίζονται ως κορεσμένα (S.I>0), ενώ ποσοστό (65%) έχουν δείκτη κορεσμού αρνητικό (S.I<0) και χαρακτηρίζονται ως ακόρεστα (Σχ. 11.3).

Η πλειονότητα των δειγμάτων των υπόγειων νερών της ξηρής περιόδου παρουσιάζουν θετικούς δείκτες κορεσμού (S.I) στα ορυκτά ασβεσίτη (98,08%), αραγωνίτη (76,92%), δολομίτη (98,08%) και μαγνησίτη (82,69%), αυτό σημαίνει ότι τα υπόγεια αυτά νερά έχουν μια τάση απόθεσης των παραπάνω ορυκτών, όπως αλώςτε συμβαίνει και στην υγρή περίοδο. Τα ορυκτά γύψος και ανυδρίτης σε όλα τα δείγματα υπόγειων νερών παρουσιάζουν αρνητικούς δείκτες κορεσμού. Τα υπόγεια

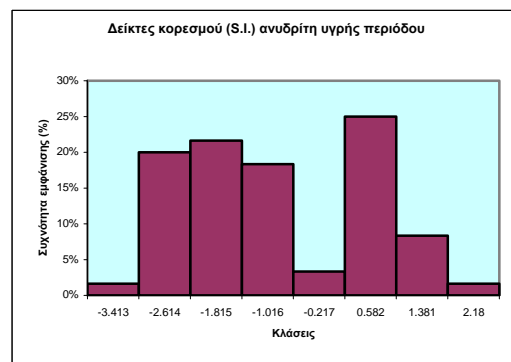
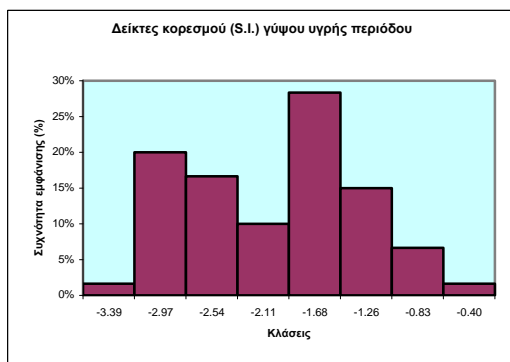
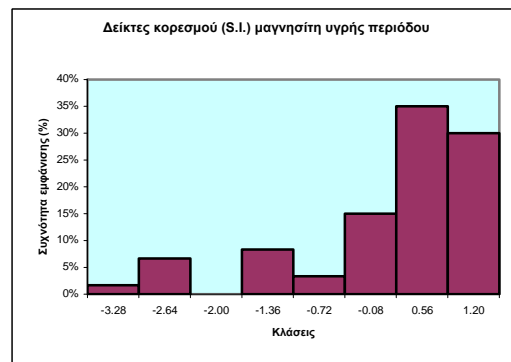
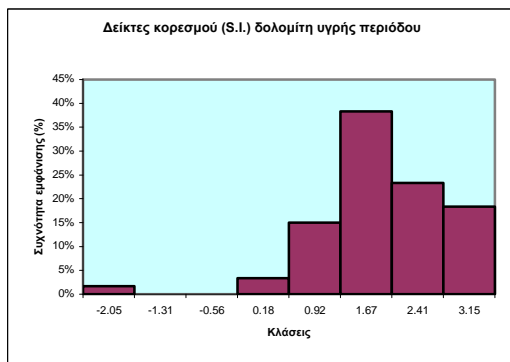
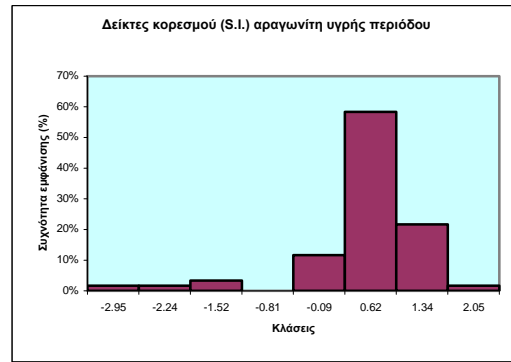
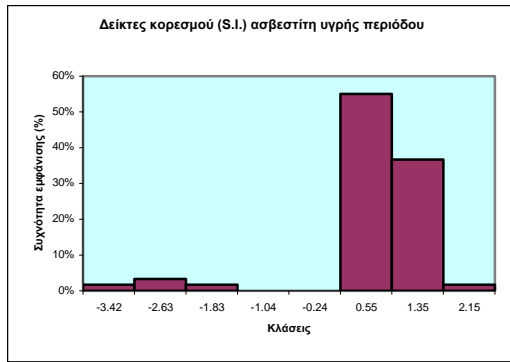
νερά της περιοχής έρευνας είναι ακόρεστα στα συγκεκριμένα ορυκτά και επομένως δείχνουν μια τάση διάλυσης των συγκεκριμένων ορυκτών (Σχ. 11.4).

Πίνακας 11.5: Δείκτες κορεσμού (S.I.) διαφόρων ορυκτών για τα δείγματα υπόγειων νερών υγρής περιόδου της περιοχής έρευνας.

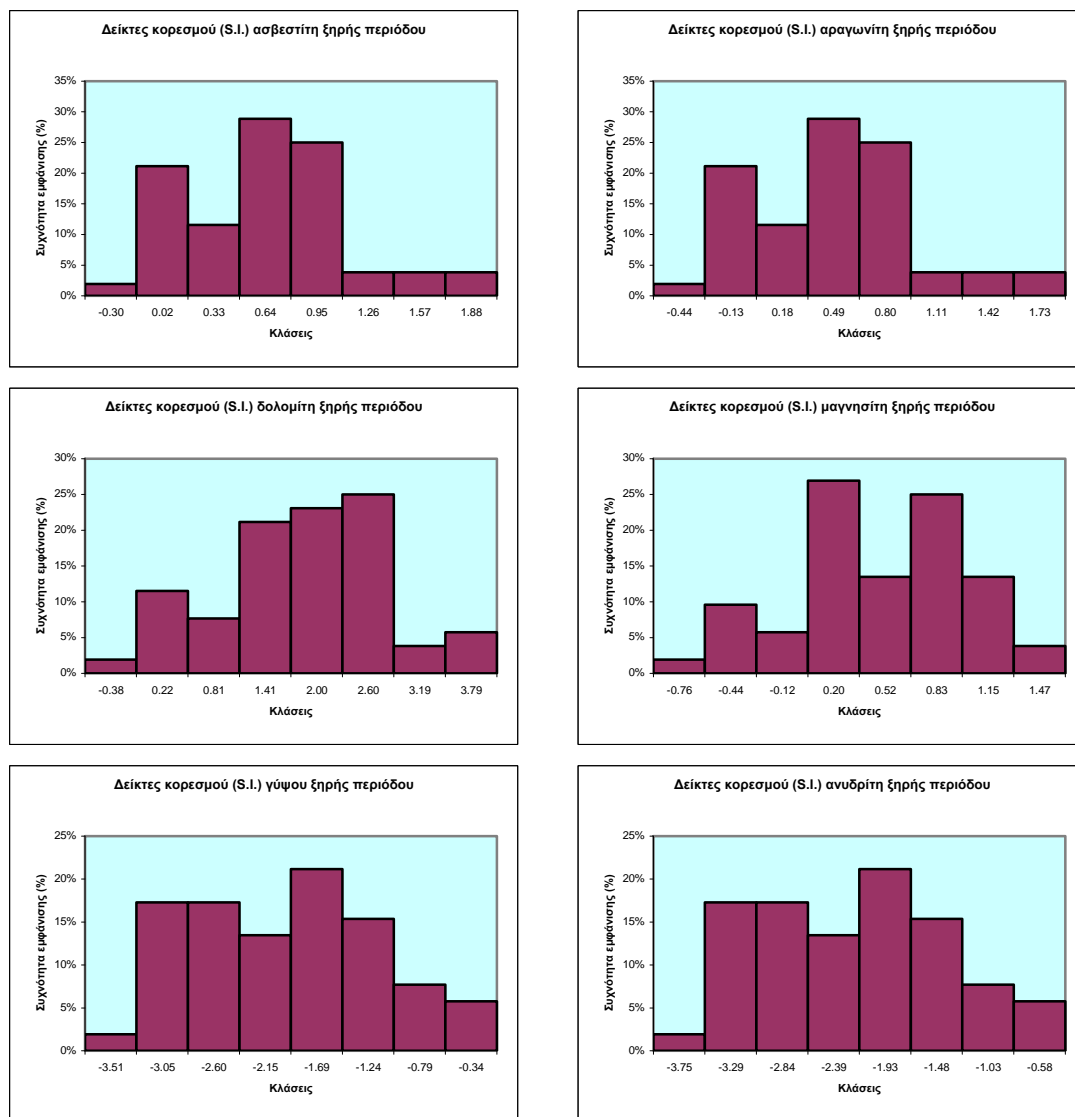
	Ασβεστίτης	Αραγονίτης	Δολομίτης	Μαγνησίτης	Γύψος	Ανυδρίτης
S1	0,00	-0,15	0,66	-0,14	-1,09	-0,85
S2	0,05	-0,10	0,60	-0,26	-0,92	-0,67
W1	0,27	0,12	0,06	-0,99	-2,27	-2,52
W2	0,73	0,58	2,38	0,90	-2,16	-2,40
W3	0,51	0,36	1,54	0,29	-1,45	-1,69
W4	0,29	0,14	0,95	-0,05	-2,27	-2,03
W5	0,47	0,32	1,51	0,29	-2,01	-1,77
W6	0,50	0,36	1,16	-0,04	-2,57	-2,34
W7	1,17	1,02	3,15	1,20	-1,72	-1,47
W8	0,90	0,75	2,43	-1,68	-1,44	0,75
W9	2,15	2,05	1,97	0,31	-0,40	2,18
W10	1,22	1,07	2,79	0,83	-1,59	-1,35
W11	0,69	0,54	1,30	-1,99	-1,75	-0,13
W12	0,50	0,35	1,42	-1,95	-1,70	0,12
W13	-0,05	-0,20	0,13	-0,54	-1,55	-1,79
W14	-0,01	-0,16	0,26	-0,42	-1,45	-1,21
W15	0,91	0,76	1,56	-0,09	-1,22	-1,46
G1	0,74	0,60	2,34	0,85	-3,08	-3,32
G2	0,31	0,16	1,57	0,52	-2,68	-2,92
G3	0,40	-2,94	1,74	0,61	-2,70	0,25
G4	0,50	0,35	1,50	0,32	-2,28	-2,05
G5	0,60	0,45	2,06	-3,28	-3,05	0,76
G6	0,49	0,35	1,81	0,58	-3,39	-3,15
G7	0,45	0,30	1,75	-3,16	-2,92	0,58
G8	1,00	0,86	2,86	1,19	-3,24	-3,01
G9	0,47	0,32	1,74	-3,02	-2,78	0,55
G10	0,30	0,16	0,77	-0,25	-1,99	-1,75
G11	0,41	0,26	1,78	0,62	-2,77	-3,01
G12	0,53	0,38	1,29	0,00	-1,37	-1,61
G13	0,63	0,48	1,83	0,45	-1,89	-2,14
G14	0,68	0,53	2,01	0,56	-1,92	-2,17
G15	0,76	0,61	1,85	0,30	-1,78	-2,02
G16	0,54	-2,95	2,01	0,71	-2,71	0,39
G17	0,45	-2,13	1,02	-0,18	-1,89	0,30
G18	0,78	0,64	1,65	-1,80	-1,56	0,10
G19	0,38	0,23	1,51	-2,90	-2,66	0,35
G20	-2,79	1,05	3,07	1,17	-2,56	1,20
G21	-2,21	0,10	0,81	-0,20	-1,97	0,25
G22	0,19	0,05	-2,05	-0,02	-1,81	0,88
G23	-2,69	0,10	1,46	0,45	-2,45	0,25
G24	0,91	0,76	2,67	0,98	-3,37	-3,13
G25	0,64	0,49	2,13	0,77	-3,12	-3,36
G26	-3,42	0,77	2,75	1,04	-3,18	0,92
G27	0,86	0,71	2,64	1,01	-3,10	-3,35
G28	1,17	1,02	2,57	0,66	-1,95	-2,20
G29	0,69	-1,90	1,62	0,16	-1,66	0,54
G30	0,54	0,39	1,62	-1,33	-1,09	0,35
G31	0,92	0,77	2,69	1,00	-3,33	-3,08
G32	0,62	0,47	1,64	0,30	-2,17	-2,41
G33	0,47	0,32	1,31	0,11	-1,80	-2,04
G34	0,43	0,28	1,27	-1,95	-1,71	0,12
G35	0,61	0,46	1,65	0,30	-2,10	-1,86
G36	0,55	0,40	1,49	0,20	-2,05	-1,81
G37	1,03	0,88	2,45	0,68	-2,06	-1,82
G38	-0,10	-0,25	0,65	-3,19	-2,95	0,02
G39	-0,11	-0,26	0,45	-0,10	-3,18	-3,41
G40	0,11	-0,04	0,99	0,16	-3,35	-3,11
G41	-0,12	-0,27	0,57	-0,07	-3,39	-3,15
G42	0,06	-0,09	0,93	0,11	-3,15	-2,91
G43	0,21	0,07	0,82	0,07	-1,66	-1,44

Πίνακας 11.6: Δείκτες κορεσμού (S.I.) διαφόρων ορυκτών για τα δείγματα υπόγειων νερών ξηρής περιόδου της περιοχής έρευνας.

	Ασβεστίτης	Αραγωνίτης	Δολομίτης	Μαγνησίτης	Γύψος	Ανυδρίτης
S1	0,94	0,79	2,01	0,35	-0,34	-0,58
W1'	0,88	0,73	2,53	0,93	-2,56	-2,79
W2	0,65	0,51	2,15	0,86	-2,17	-2,40
W3	1,47	1,32	3,48	1,30	-0,85	-1,08
W4	0,28	0,14	0,91	-0,08	-2,04	-2,28
W5	-0,24	-0,38	0,05	-0,37	-1,88	-2,11
W6	-0,02	-0,16	0,12	-0,57	-2,36	-2,60
W8	0,88	0,73	2,34	0,74	-1,46	-1,70
W9	0,97	0,83	2,24	0,57	-0,60	-0,83
W10	0,90	0,75	2,10	0,55	-1,29	-1,52
W11	0,82	0,68	1,44	0,02	-1,59	-1,81
W12	0,51	0,37	1,41	0,17	-1,72	-1,96
W13	0,41	0,26	1,04	-0,06	-1,58	-1,81
W14	0,75	0,60	1,70	0,26	-1,06	-1,30
W15	1,88	1,73	3,46	0,85	-1,15	-1,39
G1	0,38	0,23	1,60	0,49	-3,07	-3,31
G2	0,55	0,40	2,05	0,78	-2,71	-2,95
G3	0,89	0,74	2,72	1,10	-2,59	-2,83
G4'	0,43	0,28	1,36	0,18	-2,94	-3,18
G5	0,52	0,37	1,97	0,72	-3,22	-3,45
G6	0,02	-0,13	0,86	0,10	-3,09	-3,33
G7	0,43	0,28	1,73	0,55	-3,01	-3,25
G8	0,46	0,31	1,73	0,60	-2,90	-3,14
G9	-0,12	-0,26	0,53	-0,03	-2,71	-2,95
G10	0,53	0,38	1,21	-0,08	-1,89	-2,13
G11	0,74	0,59	2,44	0,95	-2,73	-2,97
G12	0,63	0,48	1,46	0,07	-1,46	-1,71
G13	-0,05	-0,20	0,11	-0,61	-0,94	-1,18
G14	0,19	0,04	1,03	0,08	-2,12	-2,36
G15	1,25	1,10	2,67	0,63	-1,99	-2,24
G16	0,74	0,59	2,41	0,92	-2,75	-2,99
G17	0,85	0,70	1,96	0,32	-1,69	-1,93
G18	0,43	0,28	0,97	-0,24	-1,56	-1,80
G19	0,24	0,09	1,22	0,18	-2,53	-2,78
G21	-0,17	-0,31	-0,38	-0,76	-1,90	-2,11
G23	-0,23	-0,38	0,45	-0,04	-2,51	-2,75
G24	0,74	0,59	2,33	0,82	-3,13	-3,37
G25	0,37	0,22	1,86	0,75	-3,23	-3,47
G26	0,68	0,53	2,36	0,91	-3,15	-3,40
G27	0,24	0,09	1,40	0,39	-3,10	-3,34
G29	1,30	1,15	2,51	0,58	-1,51	-1,74
G30	1,61	1,46	3,79	1,47	-0,66	-0,90
G31	0,41	0,26	1,68	0,48	-3,07	-3,31
G32	0,32	0,17	1,15	0,10	-2,24	-2,48
G33	-0,04	-0,19	0,29	-0,41	-1,83	-2,07
G34	-0,22	-0,37	-0,08	-0,55	-1,78	-2,01
G36	-0,30	-0,44	-0,23	-0,63	-1,77	-2,00
G37	-0,20	-0,35	-0,08	-0,51	-1,78	-2,01
G38	-0,16	-0,30	0,38	0,08	-2,98	-3,18
G39	0,41	0,27	1,55	0,38	-3,42	-3,66
G40	-0,09	-0,24	1,24	0,60	-3,51	-3,75
G42	0,63	0,48	2,09	0,68	-2,93	-3,17



Σχήμα 11.3: Ιστογράμματα κορεσμού των υπόγειων νερών υγρής περιόδου της περιοχής έρευνας στα κυριότερα ορυκτά.



Σχήμα 11.4: Ιστογράμματα κορεσμού των υπόγειων νερών ξηρής περιόδου της περιοχής έρευνας στα κυριότερα ορυκτά.

11.3. Ταξινόμηση των υπόγειων νερών σύμφωνα με το συντελεστή Revelle

Ο συντελεστής Revelle χρησιμοποιείται συχνά σε μελέτες για τη διερεύνηση της διεύθυνσης θαλασσινού νερού σε υπόγειους υδροφόρους (Voudouris and Myriounis 2009, Pujari and Soni 2009, Mahmoudlu and Naseri 2008, Mahmoudlu et al. 2008, Chachadi 2005, Αλεξιάκης 2002).

Σύμφωνα με τον Revelle (1941) έγινε ταξινόμηση των υπόγειων νερών βάση της σχέσης $Cl / (CO_3 + HCO_3^-)$ που δείχνει το βαθμό διεύθυνσης του θαλασσινού νερού. Η σχέση αυτή προτάθηκε για δυο σημαντικούς λόγους α) γιατί το χλώριο το οποίο είναι το επικρατούν ανιόν στο θαλασσινό νερό παρουσιάζει χημική αδράνεια και β) τα HCO_3^- είναι το επικρατούν ανιόν στο υπόγειο νερό, ενώ στο θαλασσινό νερό βρίσκεται μόνο σε μικρές συγκεντρώσεις.

Ο συντελεστής Revelle δίνεται από τη σχέση: $R = r Cl / r (CO_3 + HCO_3^-)$, όπου r είναι η συγκέντρωση του ιόντος σε meq/lit. Όταν ο συντελεστής Revelle παίρνει τιμές >10 τότε αποτελεί ένδειξη διεύθυνσης θαλασσινού νερού. Το χλώριο όμως μπορεί να

προέρχεται και από αστικά λύματα ή από χώρο απόθεσης αποβλήτων και έτσι η χρήση του συντελεστή Revelle θα πρέπει να γίνεται προσεχτικά και σε συνδυασμό με άλλα κριτήρια.

Με βάση το συντελεστή Revelle το υπόγειο νερό χαρακτηρίζεται από βαθμούς ρύπανσης όπως δείχνει ο Πιν. 11.7 (Καλλέργης 2000).

Πίνακας 11.7: Χαρακτηρισμός υπόγειου νερού σύμφωνα με το συντελεστή Revelle (Καλλέργης 2000).

Συντελεστής Revelle	Χαρακτηρισμός νερού
< 1	Καλό υπόγειο νερό χωρίς ρύπανση από θάλασσα
1-2	Ελαφρά ρυπασμένο νερό
2-6	Μέτρια ρυπασμένο νερό
6-10	Σοβαρά ρυπασμένο νερό
10-150	Επικίνδυνα ρυπασμένο νερό
> 150	Θαλασσινό νερό

Στους Πιν. 11.8 και 11.9 που ακολουθούν παρουσιάζεται η ταξινόμηση των δειγμάτων υπόγειων νερών της λεκάνης των μεγάρων για την υγρή και τη ξηρή περίοδο δειγματοληψίας.

Σύμφωνα με τις τιμές του συντελεστή Revelle, τα δείγματα των υπόγειων νερών της υγρής περιόδου δειγματοληψίας χαρακτηρίζονται από καλά υπόγεια νερά χωρίς ρύπανση από θάλασσα έως επικίνδυνα ρυπασμένα νερά. Το μεγαλύτερο ποσοστό 63,33% των δειγμάτων αυτών ανήκουν στα υπόγεια νερά τα οποία είναι καλά και δεν έχουν ρυπανθεί από τη θάλασσα. Ακολουθούν τα υπόγεια νερά τα οποία είναι μέτρια ρυπασμένα από τη θάλασσα με ποσοστό 25%, στη συνέχεια επικίνδυνα ρυπασμένα νερά (S1, S2, W3, W7) με ποσοστό 6,67%, τα ελαφρά ρυπασμένα νερά (W2 και W5) με ποσοστό 3,33% και τέλος τα σοβαρά ρυπασμένα νερά (όπου ανήκει μόνο ένα δείγμα W14) με ποσοστό 1,67%.

Κατά την ξηρή περίοδο δειγματοληψίας τα υπόγεια νερά χαρακτηρίζονται από καλά υπόγεια νερά χωρίς ρύπανση από θάλασσα έως επικίνδυνα ρυπασμένα νερά. Το μεγαλύτερο ποσοστό 69,23% των δειγμάτων αυτών ανήκουν στα υπόγεια νερά τα οποία είναι καλά και δεν έχουν ρυπανθεί από τη θάλασσα.

Πίνακας 11.8: Χαρακτηρισμός δειγμάτων υπόγειων νερών υγρής περιόδου της λεκάνης των Μεγάρων σύμφωνα με το συντελεστή Revelle.

	ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	ΚΩΔΙΚΟΣ	ΠΟΣΟΣΤΟ % ΤΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ	ΕΥΡΟΣ ΤΙΜΩΝ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ REVELLE $rCl / r(CO3+HCO3)$
1.	Καλό υπόγειο νερό χωρίς ρύπανση από θάλασσα	W1, W4, W6, W11, W15, G1, G2, G3, G5, G6, G7, G8, G9, G10, G11, G12, G13, G14, G15, G16, G17, G18, G19, G20, G21, G22, G23, G24, G25, G26, G27, G31, G32, G38, G39, G40, G41, G42	63,33%	0,10 – 0,72
2.	Ελαφρά ρυπασμένο νερό	W2, W5	3,33%	1,54 - 1,65
3.	Μέτρια ρυπασμένο νερό	W8, W9, W10, W12, W13, G4, G28, G29, G30, G33, G34, G35, G36, G37, G43	25%	2,36 – 5,95
4.	Σοβαρά ρυπασμένο νερό	W14	1,67%	8,42
5.	Επικίνδυνα ρυπασμένο νερό	S1, S2, W3, W7	6,67%	16,39 – 37,84

Ακολουθούν τα υπόγεια νερά τα οποία είναι μέτρια ρυπασμένα από τη θάλασσα με ποσοστό 17,31%, στη συνέχεια τα σοβαρά ρυπασμένα νερά (W3, W9 και W14) με ποσοστό 5,77% και τέλος τα επικίνδυνα ρυπασμένα νερά (S1 και G30) και τα ελαφρά ρυπασμένα νερά (W2 και W5) με ποσοστό 3,85% και τα δύο.

Πίνακας 11.9: Χαρακτηρισμός δειγμάτων υπόγειων νερών ξηρής περιόδου της λεκάνης των Μεγάρων σύμφωνα με το συντελεστή Revelle.

	ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	ΚΩΔΙΚΟΣ	ΠΟΣΟΣΤΟ % ΤΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ	ΕΥΡΟΣ ΤΙΜΩΝ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ REVELLE $r_{Cl} / r(CO_3+HCO_3)$
1.	Καλό υπόγειο νερό χωρίς ρύπανση από θάλασσα	W1', W4, W6, W11, W15, G1, G2, G3, G4', G5, G6, G7, G8, G9, G10, G11, G12, G13, G14, G15, G16, G17, G18, G19, G21, G23, G24, G25, G26, G27, G31, G32, G38, G39, G40, G42	69,23%	0,17 – 0,62
2.	Ελαφρά ρυπασμένο νερό	W2, W5	3,85%	1,63 – 1,86
3.	Μέτρια ρυπασμένο νερό	W8, W10, W12, W13, G29, G33, G34, G36, G37	17,31%	3,06 – 4,69
4.	Σοβαρά ρυπασμένο νερό	W3, W9, W14	5,77%	7,87 – 9,62
5.	Επικίνδυνα ρυπασμένο νερό	S1, G30	3,85%	24,12 – 34,30

12. ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΧΡΗΣΕΙΣ

12.1. Γενικά

Η αξιολόγηση της καταλληλότητας του υπόγειου νερού για διάφορες χρήσεις (π.χ. ανθρώπινη κατανάλωση, αρδευτική χρήση) πραγματοποιείται συγκρίνοντας τις χημικές και φυσικές παραμέτρους του νερού με θεσμοθετημένες οριακές τιμές.

Οι οριακές τιμές των ποιοτικών παραμέτρων καθορίζονται από εθνικούς και διεθνείς φορείς και οργανισμούς όπως ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας και η Ευρωπαϊκή Ένωση.

Αρχικά οι πρώτες νομοθετικές οδηγίες είχαν εστιάσει στην αξιολόγηση καταλληλότητας του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης βασιζόμενες μόνο στον προσδιορισμό της παρουσίας παθογενών μικροβίων ή στον εύκολο προσδιορισμό ποιοτικών παραμέτρων. Αργότερα ανθρωπογενείς παράγοντες όπως η ραγδαία βιομηχανική ανάπτυξη και η εντατική αγροτική δραστηριότητα, είχαν ως αποτέλεσμα την απελευθέρωση στο περιβάλλον και άλλων πολύπλοκων οργανικών ενώσεων. Έτσι η επικαιροποίηση των νομοθετικών οδηγιών και η ενσωμάτωση νέων ποιοτικών παραμέτρων ήταν επιβεβλημένη. Σημειώνεται ότι οι σύγχρονες νομοθετικές οδηγίες δεν περιλαμβάνουν παραμέτρους που είναι πολύ τοξικές αλλά προσδιορίζονται δύσκολα αναλυτικά (π.χ. βηρύλλιο) ενώ περιλαμβάνουν παραμέτρους που είναι εύκολο να προσδιορισθούν αναλυτικά (π.χ. νιτρικά, χλώριο, θειικά).

Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικά τα κριτήρια καταλληλότητας και η αξιολόγηση των δειγμάτων νερού της περιοχής έρευνας για ποσιμότητα και αρδευτική χρήση.

12.2. Ποσιμότητα

Η καταλληλότητα του νερού για ποσιμότητα ή ανθρώπινη κατανάλωση έχει πρωταρχική σημασία για την ανθρώπινη υγεία. Για την αξιολόγηση της καταλληλότητας λαμβάνονται υπόψη χημικές παράμετροι, φυσικές παράμετροι και μικροβιολογικές παράμετροι.

Τα κριτήρια καταλληλότητας καθορίζονται με βάση ιατρικές οδηγίες και πορίσματα επιδημιολογικών ερευνών. Τονίζεται ότι τα κριτήρια καταλληλότητας διαφέρουν από χώρα σε χώρα εξαιτίας της επάρκειας ή μη νερού ορισμένης ποιότητας σε μια χώρα, του κλίματος και της γεωγραφικής θέσης της κάθε χώρας.

Ο έλεγχος της καταλληλότητας ποσιμότητας των υπόγειων νερών της περιοχής έρευνας, πραγματοποιήθηκε λαμβάνοντας υπόψη μόνο ορισμένες από τις παραμετρικές τιμές της Κοινοτικής Οδηγίας 98/83/EK (EC 1998) που αφορούν στις ανόργανες παραμέτρους. Τονίζεται ότι λόγω έλλειψης δεδομένων δεν ήταν δυνατή η αξιολόγηση των δειγμάτων ως προς τις οργανικές και μικροβιολογικές παραμέτρους.

Στους Πίν. 12.1 και 12.2 αναγράφονται τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων για τα υπόγεια νερά της υγρής και της ξηρής περιόδου δειγματοληψίας και υπογραμμίζονται με κόκκινο χρώμα οι τιμές των παραμέτρων που υπερβαίνουν τις παραμετρικές τιμές της Κοινοτικής Οδηγίας 98/83/EK και που τα καθιστούν ακατάλληλα για ποσιμότητα.

Επίσης στους Πίν. 12.3 και 12.4 αναφέρονται ποια δείγματα υπόγειων νερών της υγρής και ξηρής περιόδου δειγματοληψίας κρίνονται ακατάλληλα ως πόσιμα σύμφωνα με τις παραμέτρους που υπερβαίνουν τα όρια της Κοινοτικής Οδηγίας 98/83/EK.

Πίνακας 12.1: Καταλληλότητα ποσιμότητας υπόγειων νερών της υγρής περιόδου δειγματοληψίας σύμφωνα με την κοινοτική οδηγία 98/83/ΕΚ.

α/α	K/Δ	T °C	pH	EC (μS/cm)	SPC (μS/cm)	Ca ²⁺ (mg/L)	Mg ²⁺ (mg/L)	Na ⁺ (mg/L)	K ⁺ (mg/L)	HCO ₃ ⁻ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	SO ₄ ²⁻ (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)
1	S1	17,2	7,0	18900		255,00	390,40	3435,50	129,00	317,20	6981,00	857,60	3,10
2	S2	16,6	6,7	19500		394,00	415,00	3679,20	151,80	477,00	7675,00	902,00	1,10
3	W1	17,5	7,9	280	326	48,80	5,47	4,18	0,79	146,40	8,66	21,72	0,27
4	W2	18,8	7,9	2340	2652	50,85	150,37	214,80	8,80	561,20	503,54	68,90	8,73
5	W3	19,0	7,4	8267	9315	291,20	351,83	983,38	10,54	256,20	2482,27	135,96	59,40
6	W4	19,8	7,3	1347	1496	89,50	79,30	69,00	6,14	402,60	107,84	41,52	182,28
7	W5	18,7	7,6	2124	2412	103,20	135,20	100,72	0,88	305,00	293,20	83,84	218,88
8	W6	20,6	7,7	834	911	62,43	33,68	56,48	2,29	317,20	91,90	20,75	3,85
9	W7	17,6	8,2	10624	12372	150,72	331,68	1788,96	91,60	414,80	3954,72	255,44	53,60
10	W8	17,5	7,7	4891	5708	164,08	237,12	604,32	16,80	542,90	1332,24	185,52	222,40
11	W9	17,9	7,6	7063	8174	301,44	226,64	1032,96	1,68	500,20	1732,16	867,12	410,96
12	W10	18,7	8,1	3822	4350	153,28	125,36	501,60	4,88	420,90	923,44	188,80	158,88
13	W11	19,1	7,7	877	989	90,40	27,21	63,85	5,27	372,10	46,13	60,08	35,95
14	W12	16,9	7,6	3304	3672	109,76	96,16	423,20	18,57	347,70	853,36	95,68	38,80
15	W13	19,8	6,9	3087	3420	150,96	94,72	340,80	13,52	323,30	790,08	103,20	99,68
16	W14	20,7	6,8	6361	6361	205,36	148,40	882,64	31,20	390,40	1912,56	240,00	41,36
17	W15	19,2	7,6	1347	1522	153,28	30,48	72,16	80,24	518,50	79,12	156,72	3,44
18	G1	18,8	8,5	631	631	19,46	49,35	39,00	0,49	286,70	60,63	11,01	2,50
19	G2	19,1	7,8	975	1096	24,18	76,17	72,39	0,94	463,60	82,90	27,36	5,31
20	G3	19,3	7,9	986	1103	22,86	72,70	68,40	0,84	469,70	74,13	27,60	8,00
21	G4	21,1	7,8	2915	3148	65,25	80,56	318,44	9,93	295,00	718,00	61,78	19,00
22	G5	20,5	8,2	762	838	22,96	63,45	40,13	1,04	341,60	61,91	11,33	31,59
23	G6	19,1	8,2	593	668	20,20	48,61	29,20	0,60	305,00	33,30	8,90	7,87
24	G7	19,6	8,1	637	710	21,69	57,47	36,07	0,83	323,30	43,74	15,16	8,32
25	G8	21,6	8,7	663	709	18,80	52,50	35,20	0,55	311,10	43,30	13,74	4,30
26	G9	19,9	8,1	706	778	22,51	52,32	32,14	0,67	323,30	54,11	19,51	0,76
27	G10	19,9	7,2	1165	1292	97,70	52,12	57,20	1,28	457,50	112,70	63,90	0,90
28	G11	18,8	8,0	970	1103	21,22	68,80	61,93	0,90	414,80	104,00	24,64	8,73
29	G12	18,4	7,4	1430	1637	112,37	66,40	88,34	2,39	488,00	161,90	156,40	0,59
30	G13	18,6	7,6	1794	2040	74,31	97,2	89,8	2,35	561,2	176,6	70,3	7,04
31	G14	18	7,76	1428	1647	55,95	87,81	144,68	1,61	536,8	212,88	84,63	1,21
	παραμετρική τιμή 98/83/ΕΚ		≥ 6,5 και ≤ 9,5	2500				200			250	250	50

Πίνακας 12.1 (συνέχεια): Καταλληλότητα ποσιμότητας υπόγειων νερών της υγρής περιόδου δειγματοληψίας σύμφωνα με την κοινοτική οδηγία 98/83/ΕΚ.

α/α	Κ/Λ	T οC	pH	EC (μS/cm)	SPC (μS/cm)	Ca ²⁺ (mg/L)	Mg ²⁺ (mg/L)	Na ⁺ (mg/L)	K ⁺ (mg/L)	HCO ₃ ⁻ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	SO ₄ ²⁻ (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)
32	G15	17,2	7,6	1394	1635	101,37	74,35	94,34	1,67	573,40	175,26	65,42	0,60
33	G16	18,4	8,1	893	1022	23,81	71,15	69,30	1,01	402,60	107,85	25,21	2,82
34	G17	18,7	7,3	1130	1284	105,56	48,76	60,30	1,42	488,00	107,46	42,44	7,48
35	G18	18,0	7,6	1208	1392	120,00	50,88	59,20	1,20	488,00	88,00	84,48	0,64
36	G19	17,5	8,0	698	698	25,44	49,00	28,68	0,72	317,20	56,28	22,87	2,03
37	G20	20,2	8,7	706	777	31,27	55,03	35,38	0,92	317,20	58,51	24,75	1,52
38	G21	18,6	7,4	1135	1293	66,00	46,88	69,14	1,54	380,00	80,00	51,20	7,04
39	G22	20,2	7,1	1978	2174	94,08	110,96	172,56	2,88	652,70	258,40	74,56	0,32
40	G23	18,4	7,6	1369	1565	33,95	106,98	103,37	1,10	506,30	211,90	40,48	9,38
41	G24	17,3	8,7	573	670	19,40	47,55	33,15	0,60	274,50	52,20	9,61	2,27
42	G25	19,4	8,4	610	683	19,17	50,14	34,50	0,63	280,60	58,20	10,10	1,90
43	G26	17,7	8,7	602	702	18,84	51,00	34,95	0,60	292,80	51,12	8,97	2,04
44	G27	17,9	8,7	589	680	17,20	48,88	34,64	0,80	274,50	54,50	11,60	2,60
45	G28	18,9	8,2	1834	2083	77,82	47,62	231,00	7,95	327,00	470,00	55,24	4,18
46	G29	18,1	7,8	2740	3146	102,83	61,83	385,74	13,60	335,50	801,60	100,70	4,43
47	G30	19,2	7,5	2991	3357	124,24	158,56	272,54	4,00	443,00	623,00	441,80	28,98
48	G31	17,6	8,7	584	680	19,46	47,58	34,68	0,62	280,60	53,53	10,66	2,26
49	G32	19,6	7,7	1275	1421	81,54	75,44	66,36	5,50	372,10	104,56	31,36	153,34
50	G33	19,2	7,6	3257	3645	96,96	84,08	441,04	16,16	329,40	829,92	80,80	15,12
51	G34	19,5	7,3	2887	3229	163,36	153,84	196,80	2,96	366,00	609,60	72,00	196,80
52	G35	19,1	7,8	2941	3315	88,96	84,32	388,80	15,20	311,10	726,40	74,96	29,12
53	G36	18,9	7,7	2799	3559	96,80	84,40	390,88	15,36	317,20	738,96	78,40	30,24
54	G37	19,1	8,2	2971	3336	92,96	81,60	390,16	14,24	311,10	726,80	77,60	28,56
55	G38	19,5	7,6	724	751	20,52	53,24	41,19	0,59	305,00	67,53	14,64	2,53
56	G39	21,5	7,5	583	624	24,80	46,38	22,66	0,73	280,60	38,22	6,69	2,21
57	G40	19,9	7,7	639	708	25,69	55,60	24,83	0,77	311,10	52,85	8,05	5,18
58	G41	18,1	7,5	611	704	24,78	56,73	24,36	0,74	317,20	52,69	7,67	5,29
59	G42	18,1	7,8	596	685	21,54	48,72	34,05	0,70	274,50	57,60	14,76	3,35
60	G43	26,0	7,1	4070	3990	93,76	108,24	504,72	32,08	530,70	727,52	230,72	170,40
	παραμετρική τιμή 98/83/ΕΚ		≥ 6,5 και ≤ 9,5	2500				200			250	250	50

Πίνακας 12.1 (συνέχεια): Καταλληλότητα ποσιμότητας υπόγειων νερών της υγρής περιόδου δειγματοληψίας σύμφωνα με την κοινοτική οδηγία 98/83/ΕΚ.

a/a	Κ/Δ	PO ₄ ³⁻ (mg/L)	NH ₄ ⁺ (mg/L)	Br ⁻ (mg/L)	I (mg/L)	F (mg/L)	NO ₂ (mg/L)	Li (mg/L)	Cr tot (μg/L)	Mn (μg/L)	Co (μg/L)	Ni (μg/L)	Cu (μg/L)	Zn (μg/L)	Cd (μg/L)	Pb (μg/L)
1	S1	<0,1	<0,01	21,87	0,19	0,21	0,00	0,09	0,50	0,09	0,03	0,60	0,55	7,82	0,37	0,19
2	S2	<0,1	0,10	22,17	0,05	0,11	0,00	0,43	0,96	0,08	0,04	2,48	0,48	3,39	0,04	0,12
3	W1	<0,1	0,04	0,005	0,06	0,14	0,00	<0,0001	0,37	0,22	0,02	0,43	0,57	1,78	0,03	0,03
4	W2	<0,1	0,054	1,08	0,16	0,41	0,00	0,06	39,11	0,29	0,04	4,17	0,59	6,21	0,03	0,10
5	W3	<0,1	<0,01	6,93	0,13	0,15	0,00	0,12	3,44	0,95	0,09	13,34	1,74	15,07	0,10	0,10
6	W4	<0,1	<0,01	0,28	0,08	0,17	0,11	0,02	8,17	5,53	0,12	2,70	2,21	44,70	0,01	0,19
7	W5	0,42	0,038	0,79	0,14	0,19	0,00	0,02	12,42	0,36	0,18	3,33	0,57	4,43	0,05	0,03
8	W6	<0,1	0,020	0,37	0,05	0,40	0,00	0,01	2,17	<0,05	0,02	0,41	9,20	25,03	0,01	0,11
9	W7	<0,1	<0,01	12,07	0,06	0,83	0,00	0,10	1,00	0,60	0,05	4,63	2,01	6,20	0,03	0,17
10	W8	<0,1	<0,01	3,75	0,17	0,35	0,00	0,04	2,36	0,74	0,44	5,01	1,50	4,08	0,02	0,06
11	W9	<0,1	<0,01	4,90	0,21	0,38	0,00	0,06	0,53	18,28	0,19	4,15	2,26	65,73	0,06	1,24
12	W10	0,34	<0,01	2,77	0,20	0,72	0,00	0,03	1,04	0,50	0,20	1,37	1,35	12,92	0,01	0,08
13	W11	<0,1	0,120	0,18	0,06	0,20	0,61	0,01	0,49	1,90	0,14	15,23	4,73	7,86	0,04	0,36
14	W12	1,17	<0,01	2,45	0,04	0,07	0,00	0,01	4,00	0,07	0,08	0,34	0,17	8,44	0,01	0,03
15	W13	<0,1	<0,01	2,36	0,15	0,06	0,00	0,02	2,87	0,33	0,07	0,57	0,41	8,51	0,01	0,03
16	W14	<0,1	<0,01	2,53	0,02	0,16	0,00	0,02	0,98	0,19	0,06	0,41	0,89	13,24	0,01	0,33
17	W15	4,74	<0,01	1,42	0,21	0,50	0,33	<0,0001	0,57	87,77	0,97	25,39	10,20	8,09	0,02	0,16
18	G1	<0,1	<0,01	0,13	0,03	0,17	0,00	0,01	31,98	1,66	<0,02	0,60	0,94	21,38	0,10	0,27
19	G2	<0,1	<0,01	0,20	0,04	0,40	0,00	0,03	66,56	0,15	0,02	0,95	1,96	6,73	0,04	0,07
20	G3	<0,1	<0,01	0,17	0,10	0,23	0,00	0,02	70,35	1,07	0,03	1,08	2,92	8,41	0,05	0,05
21	G4	<0,1	<0,01	2,18	0,05	0,00	0,00	0,01	5,51	1,04	0,02	0,27	0,60	19,87	0,02	0,02
22	G5	<0,1	<0,01	0,22	0,08	0,26	0,00	0,01	46,97	0,16	0,08	0,61	1,92	2,92	0,03	0,20
23	G6	<0,1	0,012	0,12	0,07	0,16	0,00	0,01	30,90	0,53	<0,02	0,23	0,82	3,83	0,01	0,02
24	G7	<0,1	0,032	0,14	0,12	0,27	0,02	0,01	41,61	2,52	0,02	0,34	0,71	8,97	<0,006	0,02
25	G8	<0,1	0,205	0,12	0,09	0,18	0,00	0,02	45,89	0,37	<0,02	0,21	0,13	1,34	<0,006	0,02
26	G9	<0,1	<0,01	0,06	0,26	0,23	0,00	0,01	40,28	0,72	<0,02	0,46	3,44	18,72	0,03	0,15
27	G10	<0,1	0,709	0,32	0,17	0,28	0,00	0,04	<0,04	4,61	0,34	3,24	0,45	9,14	0,01	0,02
28	G11	<0,1	0,006	0,24	0,13	0,30	0,00	0,03	55,71	0,12	<0,02	0,74	0,37	5,41	0,02	0,09
29	G12	<0,1	0,218	0,63	0,06	0,54	0,00	0,03	<0,04	21,74	0,03	0,77	0,61	235,37	0,01	0,01
30	G13	<0,1	0,104	0,35	0,11	0,26	0,52	0,04	<0,04	19,10	0,02	0,43	4,00	28,23	0,02	0,09
31	G14	<0,1	0,195	0,57	0,06	0,28	0,00	0,05	0,30	17,63	0,39	11,13	1,68	294,46	0,02	0,57
	παραμετρική τιμή 98/83/ΕΚ		0,5						50	50		20	2000		5	10

Πίνακας 12.1 (συνέχεια): Καταλληλότητα ποσιμότητας υπόγειων νερών της υγρής περιόδου δειγματοληψίας σύμφωνα με την κοινοτική οδηγία 98/83/ΕΚ.

a/a	K/Δ	PO ₄ ³⁻ (mg/L)	NH ₄ ⁺ (mg/L)	Br ⁻ (mg/L)	I (mg/L)	F (mg/L)	NO ₂ (mg/L)	Li (mg/L)	Cr tot (μg/L)	Mn (μg/L)	Co (μg/L)	Ni (μg/L)	Cu (μg/L)	Zn (μg/L)	Cd (μg/L)	Pb (μg/L)
32	G15	<0,1	0,338	0,56	0,36	0,39	0,00	0,04	<0,04	73,08	0,06	0,55	0,23	306,38	<0,006	0,11
33	G16	<0,1	<0,01	0,22	0,13	0,48	0,00	0,02	48,24	0,48	<0,02	0,64	0,63	6,07	0,02	0,10
34	G17	<0,1	0,010	0,30	0,08	0,48	0,00	0,02	0,06	4,98	0,07	3,96	2,89	19,82	0,01	0,11
35	G18	<0,1	<0,01	0,24	0,24	0,17	0,40	0,03	<0,04	15,75	0,05	0,53	0,79	13,83	0,01	0,08
36	G19	<0,1	0,011	0,14	0,07	0,22	0,00	0,01	34,72	0,22	<0,02	0,46	0,08	27,02	0,02	0,14
37	G20	<0,1	<0,01	0,005	0,07	0,30	0,00	0,01	33,70	0,30	<0,02	0,69	0,83	17,16	0,01	0,27
38	G21	<0,1	0,129	0,25	0,03	0,30	0,00	0,02	<0,04	28,62	0,14	1,34	0,24	3,83	0,02	0,04
39	G22	<0,1	<0,01	0,70	0,08	0,08	0,00	0,04	0,83	2,09	0,40	6,96	2,33	1,16	0,04	0,04
40	G23	<0,1	<0,01	0,50	0,14	0,22	0,00	0,03	53,67	1,71	0,02	1,14	0,91	298,56	0,34	0,72
41	G24	<0,1	<0,01	0,67	0,14	0,34	0,00	0,01	40,12	2,17	<0,02	0,33	0,23	2,19	0,01	0,01
42	G25	<0,1	<0,01	0,13	0,05	0,21	0,00	0,01	50,99	0,16	<0,02	0,31	1,25	36,12	0,01	0,09
43	G26	<0,1	<0,01	0,12	0,16	0,09	0,00	0,01	41,15	0,25	<0,02	0,29	1,44	5,38	0,01	0,04
44	G27	<0,1	<0,01	0,10	0,13	0,13	0,00	0,01	54,23	0,66	<0,02	0,33	0,33	1,81	0,01	0,15
45	G28	<0,1	<0,01	1,40	0,23	0,06	0,00	0,01	1,53	0,57	0,24	1,84	2,88	417,68	0,03	0,69
46	G29	<0,1	<0,01	2,42	0,05	0,05	0,00	0,01	0,55	0,13	0,02	0,39	2,07	16,37	0,01	0,15
47	G30	<0,1	0,118	1,64	0,06	0,13	0,00	0,08	1,31	24,17	0,08	6,78	1,52	12,95	0,01	0,06
48	G31	0,14	<0,01	0,14	0,10	0,19	0,00	0,01	43,09	4,68	0,03	0,39	0,62	7,85	0,01	0,09
49	G32	<0,1	<0,01	0,27	0,07	0,14	0,02	0,02	6,14	0,36	0,07	0,82	0,49	692,39	0,10	0,57
50	G33	<0,1	0,044	2,57	0,22	0,08	0,00	0,01	3,79	1,19	0,03	0,58	0,39	1,73	<0,006	<0,005
51	G34	<0,1	0,069	1,98	0,05	0,19	0,00	0,03	10,02	0,14	0,11	0,84	0,72	3,03	0,01	0,02
52	G35	0,28	<0,01	2,96	0,17	0,30	0,00	0,02	8,91	0,17	0,03	0,29	0,27	3,75	<0,006	0,02
53	G36	2,73	<0,01	2,83	0,52	0,05	0,00	0,01	7,47	0,18	0,04	0,41	0,47	1,41	0,01	0,20
54	G37	<0,1	<0,01	2,47	0,12	0,08	0,00	0,01	5,48	0,32	0,02	0,32	0,71	16,87	0,01	0,15
55	G38	<0,1	<0,01	0,17	0,03	0,37	0,00	0,01	52,23	0,13	<0,02	0,32	8,06	28,93	0,01	0,15
56	G39	0,20	<0,01	0,15	0,09	0,41	0,02	0,01	33,19	0,15	<0,02	0,09	0,45	5,87	0,01	0,30
57	G40	<0,1	0,017	0,16	0,13	0,12	0,00	<0,0001	32,64	0,17	<0,02	0,29	0,36	12,91	0,01	0,09
58	G41	<0,1	<0,01	0,15	0,05	0,16	0,00	<0,0001	34,08	0,10	<0,02	0,21	0,46	7,27	0,01	0,16
59	G42	<0,1	0,027	0,16	0,23	0,44	0,04	0,01	34,24	1,35	<0,02	0,40	0,34	48,82	0,01	0,07
60	G43	<0,1	<0,01	1,66		0,54	0,00	0,04	16,80	1,34	0,56	5,34	1,47	322,90	0,03	0,29
	παραμετρική τιμή 98/83/ΕΚ		0,5						50	50		20	2000		5	10

Πίνακας 12.2: Καταλληλότητα ποσιμότητας υπόγειων νερών της ξηρής περιόδου δειγματοληψίας σύμφωνα με την κοινοτική οδηγία 98/83/ΕΚ.

a/a	Κ/Δ	T οC	pH	EC (μS/cm)	SPC (μS/cm)	Ca ²⁺ (mg/L)	Mg ²⁺ (mg/L)	Na ⁺ (mg/L)	K ⁺ (mg/L)	HCO ₃ ⁻ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	SO ₄ ²⁻ (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)
1	S1	19,7	7,0	20432	22309	1074,62	547,46	4825,16	175,12	629,00	8822,02	1022,28	4,10
2	W1'	19,9	8,2	2414	2673	39,20	84,80	78,40	2,24	439,20	78,40	26,08	161,36
3	W2	22,8	7,8	2466	2564	47,85	136,40	212,64	13,32	549,00	519,80	69,37	10,67
4	W3	20,1	7,3	15272	16847	335,36	441,60	1460,48	13,44	524,00	2932,00	627,20	110,08
5	W4	20,0	7,3	1299	1437	89,40	73,64	66,48	8,18	403,00	113,14	41,60	153,00
6	W5	22,0	6,9	1990	2100	92,72	123,42	90,30	1,10	295,00	319,00	70,54	232,60
7	W6	20,3	7,2	826	900	63,96	34,29	57,32	2,10	315,70	91,38	20,81	2,80
8	W8	19,5	7,7	4610	5143	162,40	232,72	549,04	17,84	475,80	1299,04	175,20	207,20
9	W9	20,7	7,5	8911	9680	411,60	310,08	1321,84	1,44	475,80	2601,12	851,04	605,36
10	W10	22,1	7,8	4357	4612	153,28	124,80	543,36	5,12	366,00	989,60	220,80	162,56
11	W11	24,1	7,6	1201	1216	122,88	32,80	83,36	8,32	424,00	74,56	75,68	53,68
12	W12	19,4	7,6	3263	3649	104,56	92,08	412,56	17,44	341,60	788,48	94,24	37,84
13	W13	20,7	7,4	2965	3259	134,71	85,87	332,70	14,22	317,20	790,00	104,22	88,90
14	W14	20,6	7,4	6628	7232	270,48	166,16	916,32	28,24	439,20	2011,04	284,96	80,16
15	W15	19,2	8,5	1374	1507	187,60	34,24	76,00	74,56	536,80	89,64	173,00	40,80
16	G1	19,3	8,1	667	746	19,61	49,40	40,78	0,55	305,00	60,10	11,40	2,38
17	G2	19,7	8,1	947	1054	22,32	73,38	70,15	0,94	439,20	94,30	29,32	4,27
18	G3	19,3	8,4	984	1101	24,30	76,11	74,59	0,87	439,20	98,87	33,99	5,70
19	G4'	18,8	8,1	602	683	26,83	29,90	15,87	0,70	241,00	24,04	9,70	8,55
20	G5	19,4	8,2	739	826	18,93	58,51	38,75	0,94	353,80	54,72	8,90	23,35
21	G6	18,8	7,7	601	677	21,00	49,85	29,21	0,77	317,20	31,72	9,99	9,07
22	G7	18,7	8,1	628	713	20,35	52,64	32,80	0,69	341,60	34,24	12,67	6,41
23	G8	21,6	8,1	640	722	20,36	51,73	35,56	0,61	329,40	45,08	16,27	6,02
24	G9	21,4	7,4	755	812	26,07	59,07	41,30	0,90	353,80	68,88	21,06	2,21
25	G10	18,4	7,5	1124	1286	85,67	43,12	50,90	1,18	441,40	84,49	48,44	1,12
26	G11	18,8	8,3	928	1072	22,42	72,29	79,94	0,93	427,00	113,23	26,19	3,37
	παραμετρική τιμή 98/83/ΕΚ		≥ 6,5 και ≤ 9,5	2500				200			250	250	50

Πίνακας 12.2 (συνέχεια): Καταλληλότητα ποσιμότητας υπόγειων νερών της ξηρής περιόδου δειγματοληψίας σύμφωνα με την κοινοτική οδηγία 98/83/ΕΚ.

a/a	K/Δ	T οC	pH	EC (μS/cm)	SPC (μS/cm)	Ca ²⁺ (mg/L)	Mg ²⁺ (mg/L)	Na ⁺ (mg/L)	K ⁺ (mg/L)	HCO ₃ ⁻ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	SO ₄ ²⁻ (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)
27	G12	18,0	7,5	1413	1630	107,40	60,07	85,50	2,28	500,20	138,28	124,91	0,55
28	G13	18,1	6,7	1741	2004	163,03	92,43	90,97	2,22	519,00	184,34	386,00	0,85
29	G14	18,1	7,4	1333	1536	44,00	68,80	120,00	1,60	524,00	115,36	59,28	1,12
30	G15	17,3	8,1	1135	1338	104,80	52,77	71,52	1,46	512,40	133,31	34,36	0,26
31	G16	18,5	8,3	899	1026	23,05	69,22	67,31	0,95	414,32	95,19	23,64	2,54
32	G17	17,3	7,7	1631	1910	102,83	62,96	73,75	1,32	549,00	92,68	75,12	11,94
33	G18	17,8	7,3	1146	1327	109,16	48,16	59,49	1,45	475,80	113,65	90,87	1,22
34	G19	16,9	7,8	689	814	29,25	53,86	37,65	0,87	329,40	65,97	27,75	2,35
35	G21	25,5	6,7	1201	1244	101,34	42,58	61,31	1,29	377,00	108,67	42,00	0,60
36	G23	19,8	7,2	1218	1346	29,62	87,96	88,32	1,04	439,20	157,78	36,41	6,99
37	G24	18,0	8,5	587	683	19,25	46,81	33,68	0,61	292,80	52,30	9,69	2,23
38	G25	18,9	8,3	618	700	13,14	63,13	49,50	0,88	287,40	78,70	12,31	2,18
39	G26	17,7	8,5	579	678	17,26	60,23	43,38	0,74	292,00	66,38	11,06	2,37
40	G27	17,9	8,1	586	678	16,65	47,85	34,24	0,75	268,40	53,58	11,96	2,55
41	G29	22,8	8,0	3081	3216	189,60	63,76	392,80	15,20	407,00	723,76	86,56	3,52
42	G30	20,1	7,8	10439	11459	1035,64	1479,44	4078,84	26,69	510,00	10174,56	1627,77	115,46
43	G31	17,0	8,2	566	670	19,70	48,04	35,06	0,62	277,20	54,53	10,99	2,17
44	G32	19,7	7,5	1209	1344	59,94	70,30	65,84	5,01	390,40	115,53	33,58	88,46
45	G33	19,2	7,1	2834	3146	96,49	81,42	371,72	13,09	317,20	708,23	73,23	34,19
46	G34	20,9	6,8	2890	3117	118,24	103,65	314,32	9,47	329,40	672,72	73,14	83,24
47	G36	20,9	6,8	3099	3363	100,42	87,76	426,06	16,01	329,40	816,44	87,09	27,87
48	G37	22,6	6,9	3063	3207	96,24	83,72	425,76	15,00	317,20	805,92	85,86	27,36
49	G38	29,0	7,4	841	763	20,20	52,10	41,47	0,54	317,20	56,13	13,97	2,94
50	G39	18,3	8,2	550	629	19,22	35,61	19,67	0,73	262,00	28,20	4,51	1,34
51	G40	19,5	8,0	651	727	8,32	79,29	39,79	1,20	320,00	84,38	11,07	7,70
52	G42	17,8	8,4	594	691	20,84	47,96	33,73	0,63	268,40	54,00	14,32	3,51
	παραμετρική τιμή 98/83/ΕΚ		≥ 6,5 και ≤ 9,5	2500				200			250	250	50

Πίνακας 12.2 (συνέχεια): Καταλληλότητα ποσιμότητας υπόγειων νερών της ξηρής περιόδου δειγματοληψίας σύμφωνα με την κοινοτική οδηγία 98/83/ΕΚ.

a/a	K/Δ	PO ₄ ³⁻ (mg/L)	NH ₄ ⁺ (mg/L)	Br ⁻ (mg/L)	I (mg/L)	F (mg/L)	NO ₂ (mg/L)	Li (mg/L)	Cr tot (μg/L)	Mn (μg/L)	Co (μg/L)	Ni (μg/L)	Cu (μg/L)	Zn (μg/L)	Cd (μg/L)	Pb (μg/L)
1	S1	<0,1	<0,01	32,36	0,23	10,39	0,00	0,11								
2	W1'	0,06	1,10	0,29	0,01	0,22	0,00	0,02								
3	W2	1,90	0,03	1,05	0,22	0,53	0,00	0,06								
4	W3	<0,1	<0,01	9,77	0,05	0,20	0,00	0,09								
5	W4	0,43	<0,01	0,06	0,11	0,23	0,21	0,00	6,67	11,97	0,99	24,72	6,59	30,61	<0,006	<0,005
6	W5	0,25	0,04	1,03	0,15	0,30	0,00	0,01	14,29	<0,05	0,91	3,32	<0,1	<0,02	<0,006	<0,005
7	W6	18,38	0,02	0,27	0,11	0,96	0,06	0,01	1,53	<0,05	<0,02	1,11	10,02	102,15	0,007	<0,005
8	W8	<0,1	1,34	4,03	0,15	0,44	0,00	0,04								
9	W9	<0,1	<0,01	7,70	0,06	0,84	4,15	0,06								
10	W10	164,51	<0,01	3,25	0,16	0,37	0,00	0,04								
11	W11	<0,1	0,05	0,30	0,06	0,18	1,59	0,01	0,78	1,23	1,10	1,95	0,24	<0,02	<0,006	<0,005
12	W12	<0,1	<0,01	2,70	0,09	0,07	0,00	0,02								
13	W13	<0,1	<0,01	1,43	0,00	0,09	0,00	0,01								
14	W14	296,32	0,14	6,22	0,03	0,11	0,00	0,03								
15	W15	4,36	<0,01	0,49	0,27	0,13	0,22	<0,0001	0,42	84,08	3,80	35,59	<0,1	<0,02	<0,006	<0,005
16	G1	<0,1	0,03	0,17	0,01	0,37	0,04	0,01	47,19	<0,05	<0,02	1,48	0,54	7,17	<0,006	<0,005
17	G2	<0,1	<0,01	0,23	0,08	0,32	2,79	0,02	64,70	<0,05	0,40	1,27	<0,1	86,39	<0,006	<0,005
18	G3	<0,1	0,05	0,30	0,02	0,25	0,04	0,02	55,20	<0,05	0,20	0,67	<0,1	<0,02	<0,006	<0,005
19	G4'	<0,1	0,05	0,11	0,23	0,03	0,00	<0,0001	<0,04	<0,05	<0,02	0,46	1,58	35,58	<0,006	0,037
20	G5	0,53	<0,01	0,45	0,11	0,20	0,00	0,01	47,93	<0,05	<0,02	0,40	<0,1	<0,02	0,002	<0,005
21	G6	0,17	<0,01	0,11	0,01	0,20	0,00	0,01	28,27	<0,05	<0,02	2,53	0,23	3,17	<0,006	<0,005
22	G7	<0,1	0,04	0,13	0,09	0,27	0,00	0,01	45,70	<0,05	<0,02	<0,025	<0,1	5,48	<0,006	<0,005
23	G8	<0,1	0,06	0,13	0,01	0,50	0,00	0,01	43,11	<0,05	<0,02	0,03	<0,1	1,15	<0,006	<0,005
24	G9	<0,1	<0,01	0,15	0,02	0,22	0,02	0,02	44,38	<0,05	<0,02	2,25	12,74	48,83	<0,006	<0,005
25	G10	0,30	0,29	0,27	0,14	0,26	0,09	0,03	0,75	5,82	1,75	3,46	<0,1	<0,02	<0,006	<0,005
26	G11	<0,1	<0,01	0,29	0,02	0,42	0,00	0,02	65,56	<0,05	0,34	0,84	<0,1	<0,02	<0,006	<0,005
	παραμετρική τιμή 98/83/ΕΚ		0,5						50	50		20	2000		5	10

Πίνακας 12.2 (συνέχεια): Καταλληλότητα ποσιμότητας υπόγειων νερών της ξηρής περιόδου δειγματοληψίας σύμφωνα με την κοινοτική οδηγία 98/83/ΕΚ.

a/a	Κ/Δ	PO ₄ ³⁻ (mg/L)	NH ₄ ⁺ (mg/L)	Br ⁻ (mg/L)	I (mg/L)	F (mg/L)	NO ₂ (mg/L)	Li (mg/L)	Cr tot (µg/L)	Mn (µg/L)	Co (µg/L)	Ni (µg/L)	Cu (µg/L)	Zn (µg/L)	Cd (µg/L)	Pb (µg/L)
27	G12	1,28	0,13	0,39	0,10	0,47	0,08	0,02	0,61	27,34	1,73	2,56	<0,1	69,26	<0,006	<0,005
28	G13	<0,1	0,28	0,45	0,13	0,53	0,00	0,04	0,52	22,35	2,76	3,21	<0,1	<0,02	<0,006	<0,005
29	G14	3,24	5,06	0,60	0,10	11,64	0,00	0,03	1,02	14,27	1,49	8,10	<0,1	1890,52	<0,006	<0,005
30	G15	<0,1	0,19	0,23	0,64	0,37	0,00	0,02	0,30	93,88	1,50	1,40	<0,1	207,08	<0,006	<0,005
31	G16	<0,1	<0,01	0,20	0,05	0,42	0,00	0,02	40,61	0,72	0,30	2,46	<0,1	<0,02	<0,006	<0,005
32	G17	<0,1	<0,01	0,11	0,06	0,41	0,00	0,03	<0,04	<0,05	<0,02	<0,025	<0,1	<0,02	<0,006	<0,005
33	G18	<0,1	<0,01	0,33	0,01	0,33	0,00	0,03	0,04	3,70	1,01	0,57	3,83	<0,02	<0,006	<0,005
34	G19	<0,1	<0,01	0,19	0,01	0,57	0,00	0,01	33,52	<0,05	<0,02	0,68	0,01	62,54	<0,006	<0,005
35	G21	<0,1	0,04	0,29	0,12	0,50	0,00	0,02	0,39	4,12	1,63	1,64	25,84	<0,02	<0,006	<0,005
36	G23	<0,1	0,02	0,44	0,09	0,24	0,00	0,03	66,95	0,36	0,49	1,18	<0,1	458,84	0,299	<0,005
37	G24	<0,1	<0,01	0,28	0,04	0,33	0,00	0,01	42,11	<0,05	<0,02	1,10	0,16	0,29	<0,006	<0,005
38	G25	<0,1	0,05	0,22	0,10	0,23	0,00	0,01	63,49	<0,05	<0,02	4,70	2,45	44,50	<0,006	<0,005
39	G26	2,74	<0,01	0,16	0,32	0,21	0,00	0,01	50,90	<0,05	<0,02	3,50	0,47	1,57	<0,006	<0,005
40	G27	<0,1	<0,01	0,15	0,03	0,27	0,00	0,01	61,86	<0,05	<0,02	<0,025	<0,1	<0,02	<0,006	<0,005
41	G29	<0,1	<0,01	2,55	0,21	0,22	0,00	<0,0001								
42	G30	0,75	<0,01	34,64	0,14	3,12	0,00	0,35								
43	G31	<0,1	<0,01	0,13	0,11	0,22	0,02	0,01	2,77	<0,05	<0,02	0,03	<0,1	<0,02	<0,006	<0,005
44	G32	<0,1	0,02	0,36	0,02	0,18	0,00	0,02	5,39	1,95	1,28	2,00	<0,1	441,60	<0,006	<0,005
45	G33	<0,1	<0,01	2,62	0,10	0,09	0,00	<0,0001								
46	G34	<0,1	<0,01	2,17	0,29	0,16	0,00	0,01								
47	G36	<0,1	<0,01	2,76	0,07	0,15	0,00	<0,0001								
48	G37	1,36	<0,01	2,90	0,17	0,09	0,00	<0,0001								
49	G38	<0,1	<0,01	0,14	0,13	0,42	0,03	0,01	55,55	<0,05	<0,02	1,31	19,69	24,01	<0,006	<0,005
50	G39	<0,1	<0,01	0,09	0,30	0,10	0,00	0,00	35,81	<0,05	<0,02	<0,025	0,11	1,34	<0,006	<0,005
51	G40	<0,1	<0,01	0,23	0,26	0,19	0,00	0,01	36,52	<0,05	<0,02	0,73	0,19	3,84	<0,006	<0,005
52	G42	<0,1	<0,01	0,12	0,06	0,35	0,00	0,01	32,16	<0,05	<0,02	0,02	0,08	34,99	<0,006	<0,005
	παραμετρική τιμή 98/83/ΕΚ		0,5						50	50		20	2000		5	10

Πίνακας 12.3: Καταλληλότητα ποσιμότητας των υπόγειων νερών της λεκάνης των Μεγάρων για την υγρή περίοδο σύμφωνα με την Κοινοτική οδηγία 98/83/ΕΚ.

Κ/Α	Καταλληλότητα ποσιμότητας	Παράμετροι που υπερβαίνουν την κοινοτική οδηγία 98/83/ΕΚ	Κ/Α	Καταλληλότητα ποσιμότητας	Παράμετροι που υπερβαίνουν την κοινοτική οδηγία 98/83/ΕΚ
S1	Ακατάλληλο	EC, Na ⁺ , Cl ⁻ , SO ₄ ²⁻	G14	Κατάλληλο	
S2	Ακατάλληλο	EC, Na ⁺ , Cl ⁻ , SO ₄ ²⁻	G15	Ακατάλληλο	Mn
W1	Κατάλληλο		G16	Κατάλληλο	
W2	Ακατάλληλο	Na ⁺ , Cl ⁻	G17	Κατάλληλο	
W3	Ακατάλληλο	EC, Na ⁺ , Cl ⁻ , NO ₃ ⁻	G18	Κατάλληλο	
W4	Ακατάλληλο	NO ₃ ⁻	G19	Κατάλληλο	
W5	Ακατάλληλο	Cl ⁻ , NO ₃ ⁻	G20	Κατάλληλο	
W6	Κατάλληλο		G21	Κατάλληλο	
W7	Ακατάλληλο	EC, Na ⁺ , Cl ⁻ , SO ₄ ²⁻ , NO ₃ ⁻	G22	Ακατάλληλο	Cl ⁻
W8	Ακατάλληλο	EC, Na ⁺ , Cl ⁻ , NO ₃ ⁻	G23	Ακατάλληλο	Cr
W9	Ακατάλληλο	EC, Na ⁺ , Cl ⁻ , SO ₄ ²⁻ , NO ₃ ⁻	G24	Κατάλληλο	
W10	Ακατάλληλο	EC, Na ⁺ , Cl ⁻ , NO ₃ ⁻	G25	Ακατάλληλο	Cr
W11	Κατάλληλο		G26	Κατάλληλο	
W12	Ακατάλληλο	EC, Na ⁺ , Cl ⁻	G27	Ακατάλληλο	Cr
W13	Ακατάλληλο	EC, Na ⁺ , Cl ⁻ , NO ₃ ⁻	G28	Ακατάλληλο	Na ⁺ , Cl ⁻
W14	Ακατάλληλο	EC, Na ⁺ , Cl ⁻	G29	Ακατάλληλο	EC, Na ⁺ , Cl ⁻
W15	Ακατάλληλο	Mn, Ni	G30	Ακατάλληλο	EC, Na ⁺ , Cl ⁻ , SO ₄ ²⁻
G1	Κατάλληλο		G31	Κατάλληλο	
G2	Ακατάλληλο	Cr	G32	Ακατάλληλο	NO ₃ ⁻
G3	Ακατάλληλο	Cr	G33	Ακατάλληλο	EC, Na ⁺ , Cl ⁻
G4	Ακατάλληλο	EC, Na ⁺ , Cl ⁻	G34	Ακατάλληλο	EC, Na ⁺ , Cl ⁻ , NO ₃ ⁻
G5	Κατάλληλο		G35	Ακατάλληλο	EC, Na ⁺ , Cl ⁻
G6	Κατάλληλο		G36	Ακατάλληλο	EC, Na ⁺ , Cl ⁻
G7	Κατάλληλο		G37	Ακατάλληλο	EC, Na ⁺ , Cl ⁻
G8	Κατάλληλο		G38	Ακατάλληλο	Cr
G9	Κατάλληλο		G39	Κατάλληλο	
G10	Ακατάλληλο	NH ₄ ⁺	G40	Κατάλληλο	
G11	Ακατάλληλο	Cr	G41	Κατάλληλο	
G12	Κατάλληλο		G42	Κατάλληλο	
G13	Κατάλληλο		G43	Ακατάλληλο	EC, Na ⁺ , Cl ⁻ , NO ₃ ⁻

Πίνακας 12.4: Καταλληλότητα ποσιμότητας των υπόγειων νερών της λεκάνης των Μεγάρων για την ξηρή περίοδο σύμφωνα με την Κοινοτική οδηγία 98/83/ΕΚ.

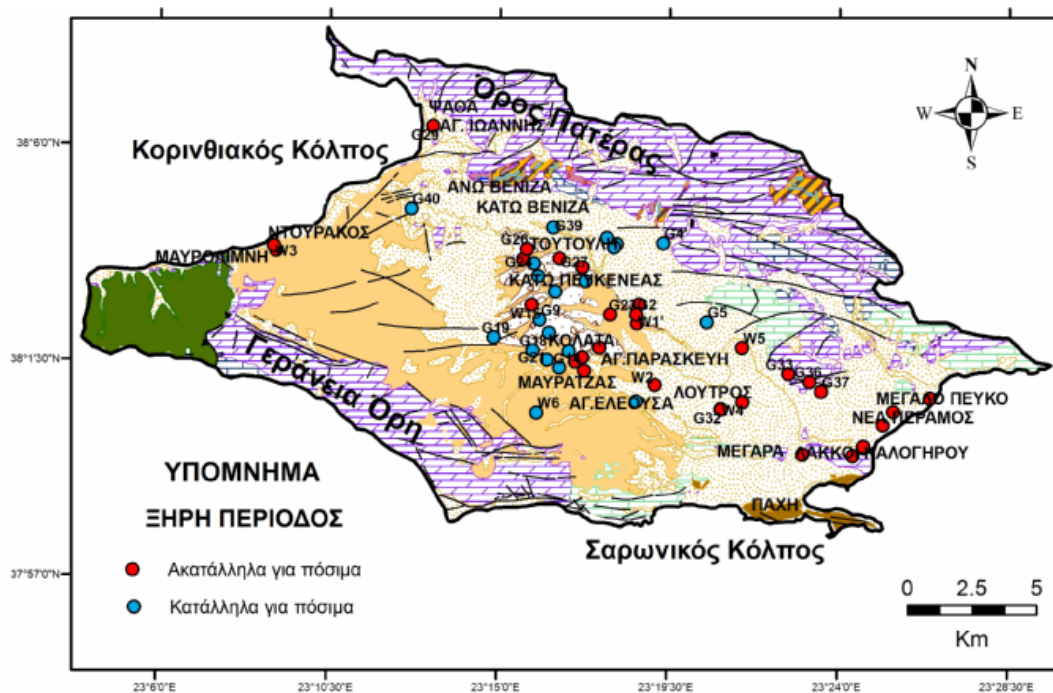
Κ/Α	Καταλληλότητα ποσιμότητας	Παράμετροι που υπερβαίνουν την κοινοτική οδηγία 98/83/ΕΚ	Κ/Α	Καταλληλότητα ποσιμότητας	Παράμετροι που υπερβαίνουν την κοινοτική οδηγία 98/83/ΕΚ
S1	Ακατάλληλο	EC, Na ⁺ , Cl ⁻ , SO ₄ ²⁻	G12	Κατάλληλο	
W1'	Ακατάλληλο	NO ₃ ⁻ , NH ₄ ⁺	G13	Ακατάλληλο	SO ₄ ²⁻
W2	Ακατάλληλο	Na ⁺ , Cl ⁻	G14	Ακατάλληλο	NH ₄ ⁺
W3	Ακατάλληλο	EC, Na ⁺ , Cl ⁻ , SO ₄ ²⁻ , NO ₃ ⁻	G15	Ακατάλληλο	Mn
W4	Ακατάλληλο	NO ₃ ⁻ , Ni	G16	Κατάλληλο	
W5	Ακατάλληλο	Cl ⁻ , NO ₃ ⁻	G17	Κατάλληλο	
W6	Κατάλληλο		G18	Κατάλληλο	
W8	Ακατάλληλο	EC, Na ⁺ , Cl ⁻ , NO ₃ ⁻ , NH ₄ ⁺	G19	Κατάλληλο	
W9	Ακατάλληλο	EC, Na ⁺ , Cl ⁻ , SO ₄ ²⁻ , NO ₃ ⁻	G21	Κατάλληλο	
W10	Ακατάλληλο	EC, Na ⁺ , Cl ⁻ , NO ₃ ⁻	G23	Ακατάλληλο	Cr
W11	Ακατάλληλο	NO ₃ ⁻	G24	Κατάλληλο	
W12	Ακατάλληλο	EC, Na ⁺ , Cl ⁻	G25	Ακατάλληλο	Cr
W13	Ακατάλληλο	EC, Na ⁺ , Cl ⁻ , NO ₃ ⁻	G26	Ακατάλληλο	Cr
W14	Ακατάλληλο	EC, Na ⁺ , Cl ⁻ , SO ₄ ²⁻ , NO ₃ ⁻	G27	Ακατάλληλο	Cr
W15	Ακατάλληλο	Mn, Ni	G29	Ακατάλληλο	EC, Na ⁺ , Cl ⁻
G1	Κατάλληλο		G30	Ακατάλληλο	EC, Na ⁺ , Cl ⁻ , SO ₄ ²⁻ , NO ₃ ⁻
G2	Ακατάλληλο	Cr	G31	Κατάλληλο	
G3	Ακατάλληλο	Cr	G32	Ακατάλληλο	NO ₃ ⁻
G4'	Κατάλληλο		G33	Ακατάλληλο	EC, Na ⁺ , Cl ⁻
G5	Κατάλληλο		G34	Ακατάλληλο	EC, Na ⁺ , Cl ⁻ , NO ₃ ⁻
G6	Κατάλληλο		G36	Ακατάλληλο	EC, Na ⁺ , Cl ⁻
G7	Κατάλληλο		G37	Ακατάλληλο	EC, Na ⁺ , Cl ⁻
G8	Κατάλληλο		G38	Ακατάλληλο	Cr
G9	Κατάλληλο		G39	Κατάλληλο	
G10	Κατάλληλο		G40	Κατάλληλο	
G11	Ακατάλληλο	Cr	G42	Κατάλληλο	

Από τους Πιν. 12.3 και 12.4 διαπιστώνεται ότι κατά την υγρή περίοδο δειγματοληψίας από τα 60 δείγματα υπόγειου νερού τα 35 (ποσοστό 58,33%) υπερβαίνουν τα όρια της κοινοτικής οδηγίας 98/83/EK έστω σε ένα στοιχείο και κρίνονται ακατάλληλα ως πόσιμα. Κατά την ξηρή περίοδο δειγματοληψίας 32 από τα 52 δείγματα (ποσοστό 61,54%) υπερβαίνουν τα όρια της κοινοτικής οδηγίας 98/83/EK και κρίνονται ακατάλληλα ως πόσιμα. Σχετικά με το ποσοστό των δειγμάτων τα οποία κρίνονται κατάλληλα ως προς την ποσιμότητά τους, αυτά αξιολογήθηκαν μη λαμβάνοντας υπόψη οργανικές και μικροβιολογικές παραμέτρους. Παρατηρείται ότι κατά την ξηρή περίοδο αυξήθηκε το ποσοστό των δειγμάτων που υπερβαίνουν τα όρια της κοινοτικής οδηγίας και αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι προστέθηκαν τα δείγματα W1', W11, G13 και G14 τα οποία κρίνονται ακατάλληλα λόγω των NO_3^- , της NH_4^+ και των SO_4^{2-} που μπορεί να οφείλονται σε λιπάσματα. Στα Σχ. 12.1 και 12.2 παρουσιάζονται τα δείγματα υπόγειου νερού για την υγρή και την ξηρή περίοδο δειγματοληψίας τα οποία είναι κατάλληλα και ακατάλληλα για πόση.

Από τα σχήματα αυτά διαφαίνεται ότι και στις δυο περιόδους δειγματοληψίας υγρή και ξηρή τα ακατάλληλα προς ποσιμότητα νερά βρίσκονται στις παραλιακές περιοχές Μεγάλο Πεύκο, Νέα Πέραμος, Λάκκοι Καλογήρου, Ψάθα, Αγ.Ιωάννης, Ντουράκος και στην πόλη των Μεγάρων και η μόλυνση τους οφείλονται στη διείσδυση του θαλασσινού νερού στα υπόγεια νερά καθώς και στα οικιακά αστικά λύματα που αυξάνουν τις συγκεντρώσεις των EC , Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- . Στα ΝΑ της λεκάνης των Μεγάρων και στους πρόποδες του όρους Πατέρα, όπου η μόλυνση και εδώ οφείλεται στη διείσδυση της θάλασσας στους υπόγειους υδροφορείς εξαιτίας των αυξημένων αντλήσεων των υπόγειων νερών για τις αρδευτικές ανάγκες και στις αγροτικές δραστηριότητες που λαμβάνουν χώρα στην περιοχή η οποία συνοδεύεται από χρήση λιπασμάτων και προκαλεί και εδώ αύξηση των συγκεντρώσεων EC , Na^+ , Cl^- , NO_3^- .



Σχήμα 12.1: Χάρτης καταλληλότητας ποσιμότητας υπόγειων νερών για την υγρή περίοδο δειγματοληψίας.



Σχήμα 12.2: Χάρτης καταλληλότητας ποσιμότητας υπόγειων νερών για την ξηρή περίοδο δειγματοληψίας.

Τέλος ακατάλληλα για ποσιμότητα νερά βρίσκονται στο κεντρικό τμήμα της λεκάνης των Μεγάρων. Η ακαταλληλότητά τους οφείλεται κυρίως στις συγκεντρώσεις Cr, Ni και Mn, η οποία αποδίδεται κυρίως στη διάλυση των υπερβασικών πετρωμάτων, στην παρουσία οξειδίων του Mn καθώς και στις λιγνιτικές ενδιαστρώσεις που βρίσκονται μέσα στα νεογενή.

12.3. Άρδευση

12.3.1. Ταξινόμηση με βάση το διάγραμμα S.A.R

Τα υπόγεια νερά της περιοχής έρευνας ταξινομήθηκαν ως προς την καταλληλότητά τους για άρδευση με βάση το διάγραμμα Richard (1954), το οποίο κατατάσσει τα υπόγεια νερά σύμφωνα με το S.A.R και την αγωγιμότητα (που εκφράζει το TDS).

Η διερεύνηση της καταλληλότητας για άρδευση των νερών γίνεται με τη χρήση των διαγραμμάτων E.C.-S.A.R. τα οποία προτάθηκαν από το U.S. Salinity Laboratory (1954). Στα διαγράμματα αυτά η ταξινόμηση των νερών γίνεται με βάση τις τιμές της ειδικής αγωγιμότητας E.C και του συντελεστή S.A.R, ο οποίος δίνεται από τη σχέση:

$$S.A.R = \frac{meqNa}{\sqrt{\left[\frac{(meqCa + meqMg)}{2} \right]}}$$

Κάθε δείγμα υπόγειου νερού προβάλλεται στο διάγραμμα EC.-S.A.R με ένα σημείο, το οποίο προκύπτει εάν ενωθεί κάθε φορά η τιμή της αγωγιμότητας με την τιμή του συντελεστή S.A.R. Η περιοχή μέσα στην οποία προβάλλεται αποτελεί την ταξινόμηση του δείγματος (Σχ. 12.3 έως 12.8).

Ανάλογα με τον κίνδυνο αλατότητας διακρίνονται οι εξής κλάσεις αρδευτικού νερού:

- Νερό χαμηλής αλατότητας (C1), αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί στις περισσότερες καλλιέργειες και τα περισσότερα εδάφη. Σε περιοχές πολύ χαμηλής περατότητας απαιτείται κάποια απόπλυση.
- Νερό μέσης αλατότητας (C2), μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε εδάφη με μέτρια περατότητα και απαιτείται μέτρια απόπλυση των αρδευόμενων εδαφών.
- Νερό Υψηλής αλατότητας (C3), ακατάλληλο για άρδευση σε εδάφη περιορισμένης στράγγισης. Καλλιέργεια μόνο ανθεκτικών φυτών κάτω από μέτρα ελέγχου της αλατότητας.
- Νερό πολύ υψηλής αλατότητας (C4), κατάλληλο για εδάφη με πολύ καλή στράγγιση και ακατάλληλο για άρδευση κάτω από συνηθισμένες συνθήκες, ενδείκνυται για καλλιέργεια φυτών πολύ ανθεκτικών στην αλατότητα.

Ανάλογα με τον κίνδυνο νατρίου διακρίνονται οι εξής κλάσεις αρδευτικού νερού:

- Νερό χαμηλού νατρίου (S1), χρησιμοποιείται για άρδευση των περισσότερων εδαφών με μικρό κίνδυνο ανάπτυξης βλαβερών επιπέδων νατρίου.
- Νερό μέσου νατρίου (S2), χρησιμοποιείται σε αδρόκοκκα εδάφη μεγάλης περατότητας και δημιουργεί προβλήματα αλκαλίωσης σε λεπτόκοκκα εδάφη με περιορισμένη περατότητα.
- Νερό υψηλού νατρίου (S3), χρησιμοποιείται σε εδάφη με καλή στράγγιση και μεγάλη απόπλυση, μπορεί να δημιουργήσει πρόβλημα αλκαλίωσης.
- Νερό πολύ υψηλού νατρίου (S4), το νερό αυτό είναι ακατάλληλο για αρδευτική χρήση.

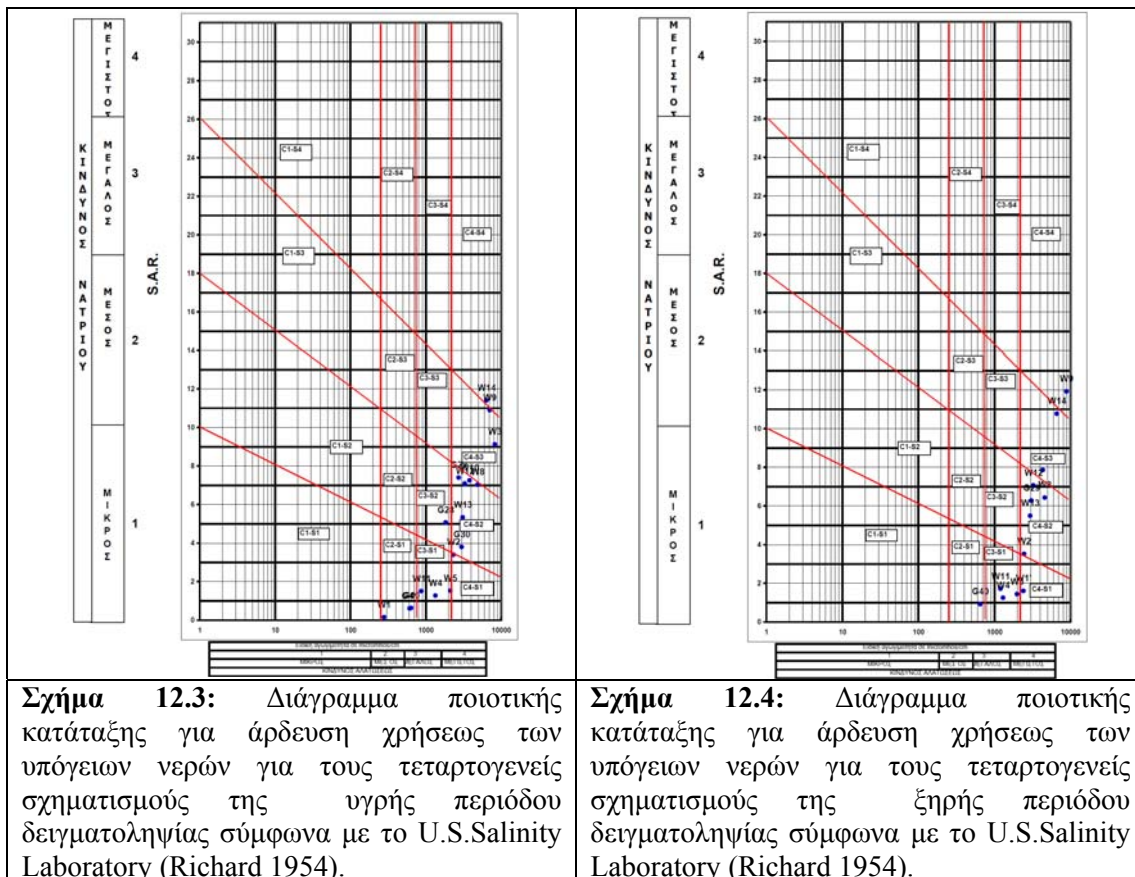
Σύμφωνα με το διάγραμμα Richard (1954) τα υπόγεια νερά κατατάσσονται στις εξής κατηγορίες ανά σχηματισμό:

α) νερά των τεταρτογενών σχηματισμών: τα περισσότερα δείγματα στους τεταρτογενείς σχηματισμούς και για τις δυο περιόδους δειγματοληψίας υγρή και ξηρή ανήκουν στο πεδίο **C4-S2**, (W8, W10, W12, W13, G30, G29 της υγρής περιόδου) και (W2, W8, W12, W13, G29 της ξηρής περιόδου), (Σχ. 12.3 και 12.4). Τα δείγματα αυτά είναι νερά τα οποία παρουσιάζουν μέσο κίνδυνο αλκαλίωσης και πολύ υψηλό κίνδυνο αλατότητας. Κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες στράγγισης και περατότητας είναι ακατάλληλα για άδρευση. Μπορεί να χρησιμοποιηθούν για άρδευση διαπερατών και καλά στραγγιζόμενων χονδρόκοκκων εδαφών (Λέκκας και Αλεξόπουλος 1984).

Στην κατηγορία **C4-S3** ανήκουν τα δείγματα (W3, W9 για την υγρή περίοδο) και τα (W10, W14 για την ξηρή περίοδο). Νερά τα οποία παρουσιάζουν μεγάλο κίνδυνο αλκαλίωσης και πολύ υψηλό κίνδυνο αλατότητας. Κατάλληλα για άρδευση κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες όπως πολύ καλή στράγγιση και πολύ περατά εδάφη. Για να επιτευχθεί απόπλυση εδάφους συνίσταται η χρησιμοποίηση πλεονάσματος νερού.

Ακολουθεί η κατηγορία **C2-S1** όπου βρίσκονται τα δείγματα (W1, G40, G41 για την υγρή περίοδο) και (G40 για την ξηρή περίοδο). Τα δείγματα αυτά είναι νερά τα οποία παρουσιάζουν μέσο κίνδυνο αλατότητας και μικρό κίνδυνο αλκαλίωσης. Τα υπόγεια αυτά νερά απαιτούν εδάφη με μέτρια απόπλυση που στραγγίζονται καλά και φυτά με μέτρια ανθεκτικότητα σε άλατα.

Στην κατηγορία **C3-S1** ανήκουν τα δείγματα (W4, W5, W11 για την υγρή περίοδο) και τα ίδια δείγματα για την ξηρή περίοδο δειγματοληψίας. Είναι νερά τα οποία παρουσιάζουν υψηλό κίνδυνο αλατότητας και μικρό κίνδυνο αλκαλίωσης. Είναι κατάλληλα για άρδευση εδαφών με περιορισμένη στράγγιση και ακατάλληλα για καλλιέργεια ευαίσθητων φυτών. Τα υπόλοιπα δείγματα ανήκουν, στην κατηγορία **C4-S1** το δείγμα W1' για την ξηρή περίοδο δειγματοληψίας όπου κάτω από συνηθισμένες συνθήκες είναι ακατάλληλο για άρδευση.



Σχήμα 12.3: Διάγραμμα ποιοτικής κατάταξης για άρδευση χρήσεως των υπόγειων νερών για τους τεταρτογενείς σχηματισμούς της υγρής περιόδου δειγματοληψίας σύμφωνα με το U.S.Salinity Laboratory (Richard 1954).

Σχήμα 12.4: Διάγραμμα ποιοτικής κατάταξης για άρδευση χρήσεως των υπόγειων νερών για τους τεταρτογενείς σχηματισμούς της ξηρής περιόδου δειγματοληψίας σύμφωνα με το U.S.Salinity Laboratory (Richard 1954).

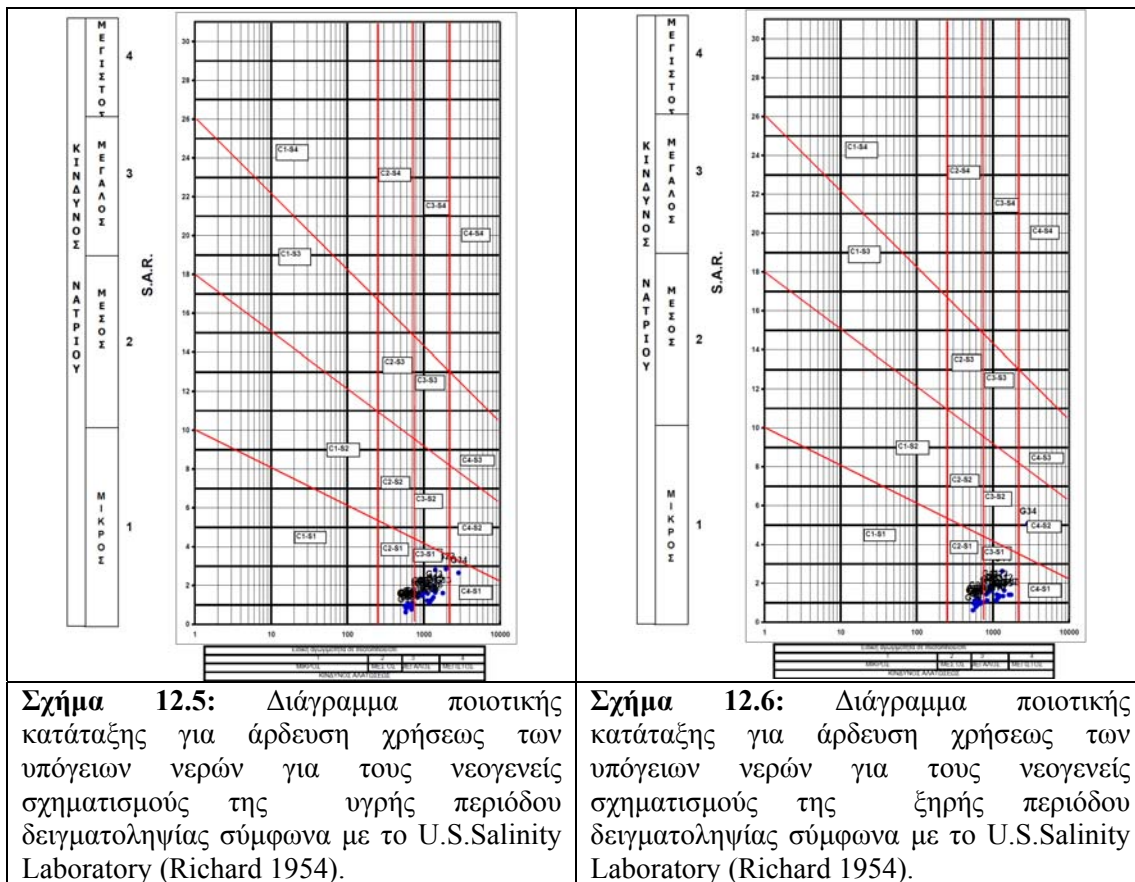
Στην κατηγορία **C4-S4** ανήκει το δείγμα (W14 για την υγρή περίοδο) και το δείγμα (W9 για την ξηρή περίοδο δειγματοληψίας), είναι νερά πολύ υψηλής αλατότητας και είναι ακατάλληλα για άρδευση κάτω από συνηθισμένες συνθήκες.

Το δείγμα (G28 της υγρής περιόδου) ανήκει στην κατηγορία **C3-S2**, είναι ένα δείγμα νερού το οποίο παρουσιάζει υψηλό κίνδυνο αλατότητας και μέσο κίνδυνο αλκαλίωσης. Είναι ακατάλληλο για άρδευση εδαφών περιορισμένης στράγγισης.

Τέλος στην κατηγορία (**C4-S1+C4-S2**) ανήκει το δείγμα W2 της υγρής περιόδου δειγματοληψίας, όπου έχει χαρακτηριστικά και από τις δυο κατηγορίες.

Το δείγμα W7 δεν προβάλλεται στο διάγραμμα Richard διότι η αλατοτητά του είναι μεγαλύτερη από 10000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ και άρα δεν μπορεί να συμπεριληφθεί στο διάγραμμα. Κατά την ξηρή περίοδο δειγματοληψίας δεν προβάλλονται τα δείγματα W1, W7, G28 και G41 διότι δεν ήταν δυνατή η συλλογή αυτών κατά την ξηρή περίοδο (Σχ. 12.3 και 12.4).

β) νερά των νεογενών σχηματισμών: τα περισσότερα δείγματα των νεογενών σχηματισμών ανήκουν στην κατηγορία **C3-S1** και για τις δυο περιόδους δειγματοληψίας υγρή και ξηρή. Όπως προαναφέρθηκε και στους τεταρτογενείς σχηματισμούς τα δείγματα αυτά είναι νερά τα οποία παρουσιάζουν υψηλό κίνδυνο αλατότητας και μικρό κίνδυνο αλκαλίωσης. Είναι κατάλληλα για άρδευση εδαφών με περιορισμένη στράγγιση και ακατάλληλα για καλλιέργεια ευαίσθητων φυτών. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τα δείγματα (W6, W15, G2, G3, G10, G11, G12, G13, G14, G15, G16, G17, G18, G21, G23, G32) και για της δυο περιόδους δειγματοληψίας υγρή και ξηρή και επίσης το δείγμα G22 για την υγρή περίοδο και G38 για την ξηρή (Σχ. 12.5 και 12.6).



Σχήμα 12.5: Διάγραμμα ποιοτικής κατάταξης για άρδευση χρήσεως των υπόγειων νερών για τους νεογενείς σχηματισμούς της υγρής περιόδου δειγματοληψίας σύμφωνα με το U.S.Salinity Laboratory (Richard 1954).

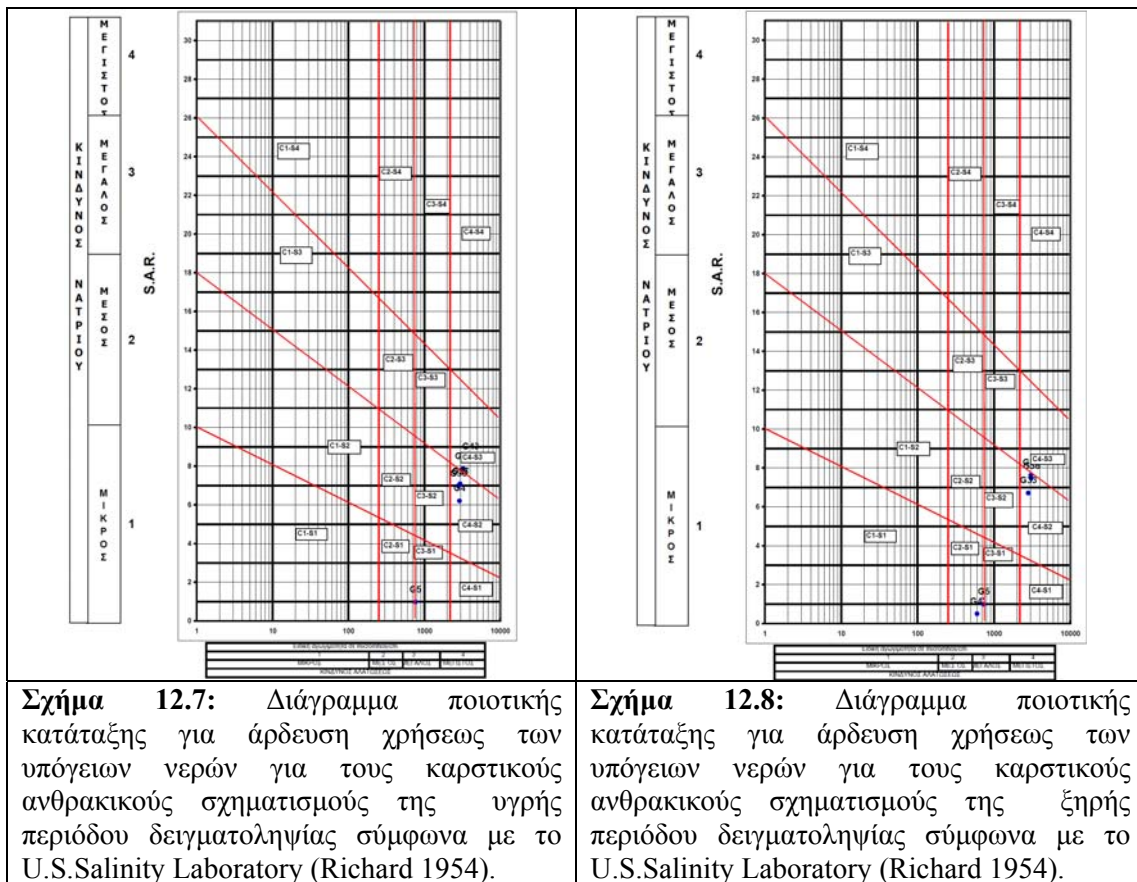
Σχήμα 12.6: Διάγραμμα ποιοτικής κατάταξης για άρδευση χρήσεως των υπόγειων νερών για τους νεογενείς σχηματισμούς της ξηρής περιόδου δειγματοληψίας σύμφωνα με το U.S.Salinity Laboratory (Richard 1954).

Ακολουθεί μια άλλη μεγάλη κατηγορία στους νεογενείς σχηματισμούς η **C2-S1** όπου αντιστοιχούν τα κοινά δείγματα (G1, G6, G7, G8, G19, G24, G25, G26, G27, G31, G39, G42) και για τις δυο περιόδους δειγματοληψίας και τα δείγματα (G9, G20, G38) για την υγρή περίοδο δειγματοληψίας. Τα δείγματα αυτά είναι νερά τα οποία παρουσιάζουν μέσο κίνδυνο αλατότητας και μικρό κίνδυνο αλκαλίωσης. Τα υπόγεια αυτά νερά απαιτούν εδάφη με μέτρια απόπλυση που στραγγίζονται καλά και φυτά με μέτρια ανθεκτικότητα σε άλατα (Σχ. 12.5 και 12.6).

Τέλος το δείγμα G34 ανήκει στην κατηγορία **C4-S1** για την υγρή περίοδο δειγματοληψίας, το δείγμα G34 στην κατηγορία **C4-S2** και το δείγμα G9 στην κατηγορία **C2-S1+C3-S1** όπου παρουσιάζει χαρακτηριστικά και από τις δυο κατηγορίες (Σχ. 12.5 και 12.6)

Όπως και στους τεταρτογενείς σχηματισμούς έτσι και εδώ υπάρχουν δείγματα τα οποία προβάλλονται σε κάποια κατηγορία στην υγρή περίοδο και δεν προβάλλονται στην ξηρή διότι έχει μεταβληθεί η αλατοτητά τους και ο συντελεστής προσρόφησης νατρίου και είτε έχουν αλλάξει κατηγορία είτε δεν συμπεριλαμβάνονται στο διάγραμμα Richard (Σχ. 12.5 και 12.6). Επίσης τα δείγματα G20 και G22 δεν υπάρχουν στο διάγραμμα της ξηρής περιόδου δειγματοληψίας διότι δεν ήταν δυνατή η συλλογή αυτών κατά την ξηρή περίοδο.

γ) νερά των καρστικών ανθρακικών σχηματισμών: τα περισσότερα δείγματα των καρστικών ανθρακικών σχηματισμών ανήκουν στην κατηγορία **C4-S2**, πρόκειται για τα δείγματα (G4, G35, G36, G37 της υγρής περιόδου δειγματοληψίας) και (G33, G36, G37 της ξηρής περιόδου δειγματοληψίας). Τα δείγματα αυτά είναι νερά τα οποία παρουσιάζουν μέσο κίνδυνο αλκαλίωσης και πολύ υψηλό κίνδυνο αλατότητας. Κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες στραγγίσης και περατότητας είναι ακατάλληλα για άρδευση (Σχ. 12.7 και 12.8).



Σχήμα 12.7: Διάγραμμα ποιοτικής κατάταξης για άρδευση χρήσεως των υπόγειων νερών για τους καρστικούς ανθρακικούς σχηματισμούς της υγρής περιόδου δειγματοληψίας σύμφωνα με το U.S.Salinity Laboratory (Richard 1954).

Σχήμα 12.8: Διάγραμμα ποιοτικής κατάταξης για άρδευση χρήσεως των υπόγειων νερών για τους καρστικούς ανθρακικούς σχηματισμούς της ξηρής περιόδου δειγματοληψίας σύμφωνα με το U.S.Salinity Laboratory (Richard 1954).

Στην κατηγορία **C4-S3** ανήκουν τα δείγματα G33, G43 της υγρής περιόδου δειγματοληψίας, στην κατηγορία **C2-S1** το δείγμα G4' της ξηρής περιόδου και τέλος το δείγμα G5 στην υγρή και στην ξηρή περίοδο δειγματοληψίας ανήκει στην κατηγορία **C2-S1 + C3-S1** όπου παρουσιάζει χαρακτηριστικά και από τις δυο κατηγορίες (Σχ. 12.7 και 12.8).

Τα δείγματα G4, G35, G43 δεν υπάρχουν στο διάγραμμα της ξηρής περιόδου διότι δεν ήταν δυνατή η δειγματοληψία αυτών. Το ίδιο συμβαίνει και με το δείγμα G4' όπου δεν λήφθηκε κατά την υγρή. Οι πηγές S1 και S2 παρουσιάζουν μεγάλη αλατότητα > από 10000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ και έτσι είναι αδύνατο να απεικονισθούν στο διάγραμμα Richard (Σχ. 12.7 και 12.8).

12.3.2. Ταξινόμηση με βάση το διάγραμμα Wilcox

Άλλος ένας τρόπος ταξινόμησης του αρδευτικού νερού είναι σύμφωνα με το διάγραμμα Wilcox. Κατά τον Wilcox (1955) το νερό ταξινομείται με βάση την επί της % περιεκτικότητα αυτού σε Na και την αγωγιμότητα του εκφρασμένη σε $\mu\text{S}/\text{cm}$ στις κατηγορίες που παρουσιάζονται στον Πιν. 12.5.

Η περιεκτικότητα του σε Na % εκφράζεται από τη σχέση:

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

Πίνακας 12.5: Ποιοτική ταξινόμηση αρδευτικού νερού (Wilcox 1955, Καλλέργης 1986).

Τάξη νερού	Na %	Αγωγιμότητα σε $\mu\text{S}/\text{cm}$
Εξαιρετική	<20	<250
Καλή	20-40	250-750
Αποδεκτή	40-60	750-2000
Αμφίβολη	60-80	2000-3000
Ακατάλληλη	>80	>3000

Σύμφωνα με το διάγραμμα Wilcox (1955) τα υπόγεια νερά της λεκάνης των Μεγάρων κατατάσσονται στις εξής κατηγορίες ανά σχηματισμό:

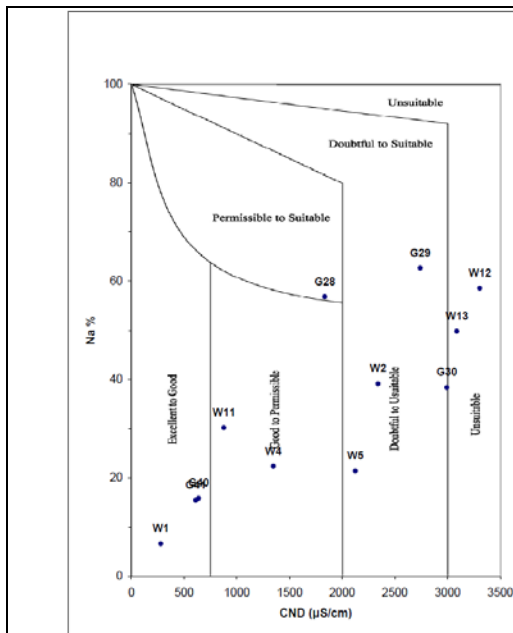
α) νερά των τεταρτογενών σχηματισμών: από τα διαγράμματα Wilcox για τους τεταρτογενείς σχηματισμούς διαφαίνεται ότι τα δείγματα των σχηματισμών αυτών και για τις δυο περιόδους δειγματοληψίας υγρή και ξηρή είναι κατανομημένα σε διαφορετικά πεδία του διαγράμματος Wilcox, τα περισσότερα δείγματα (W2, W5, G29, G30 της υγρής περιόδου) και (W1', W2, W13 της ξηρής περιόδου) ανήκουν στα αμφίβολα μέχρι ακατάλληλα νερά.

Τα δείγματα (W1, G40, G41 της υγρής περιόδου) και το δείγμα G40 της ξηρής περιόδου ανήκουν στα εξαιρετικά μέχρι καλά νερά.

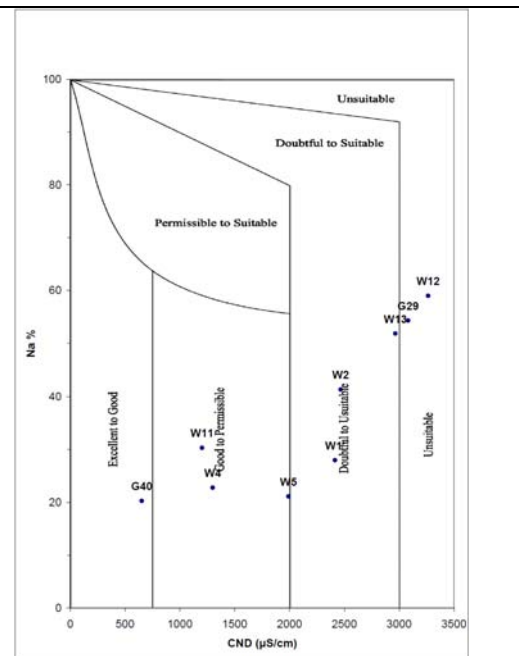
Τα δείγματα (W4, W11 της υγρής περιόδου) και (W4, W5, W11 της ξηρής περιόδου) θεωρούνται καλά μέχρι αποδεκτά νερά.

Το δείγμα G28 της υγρής περιόδου καλείται αποδεκτό μέχρι αμφίβολο και τα (W12, W13 της υγρής) και (G29, W12 της ξηρής) ανήκουν στα ακατάλληλα νερά.

Δείγματα της υγρής και της ξηρής περιόδου δειγματοληψίας που δεν απεικονίζονται στο διάγραμμα Wilcox θεωρούνται ακατάλληλα διότι η ηλεκτρική αγωγιμότητα τους ξεπερνά τα 3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Σχ. 12.9 και 12.10).



Σχήμα 12.9: Διάγραμμα ταξινόμησης υγρής περιόδου τεταρτογενών σχηματισμών αρδευτικών νερών κατά Wilcox (1955).

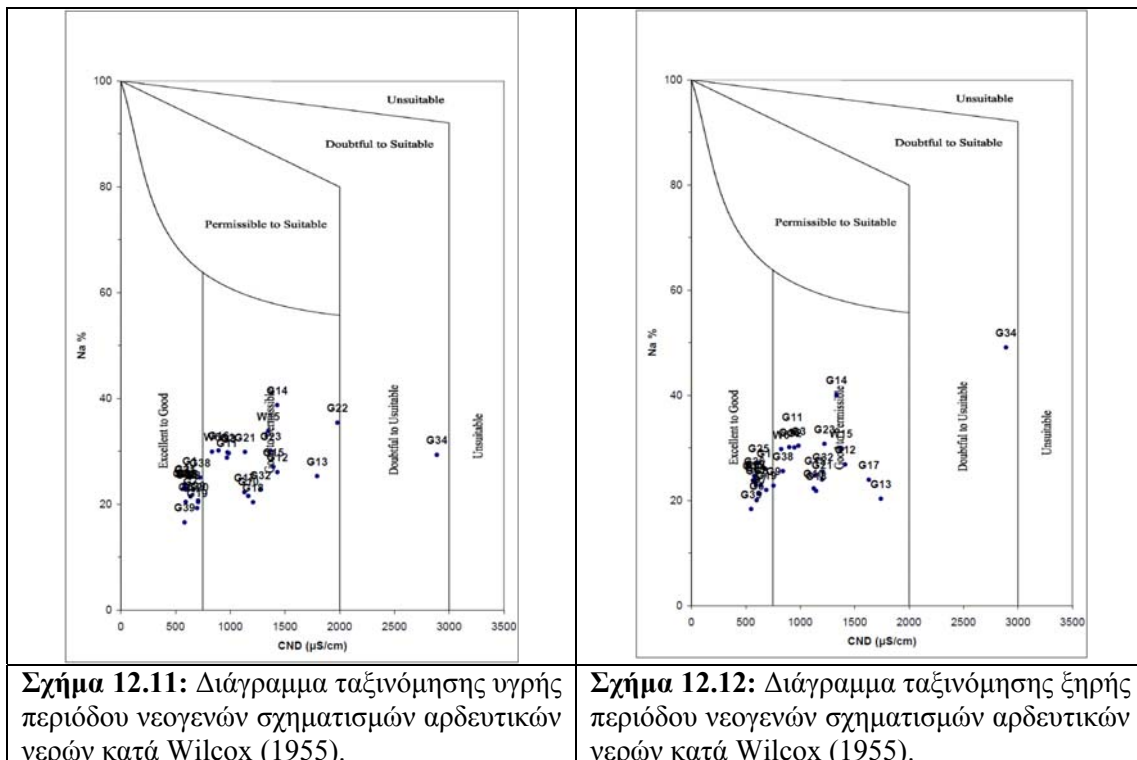


Σχήμα 12.10: Διάγραμμα ταξινόμησης ξηρής περιόδου τεταρτογενών σχηματισμών αρδευτικών νερών κατά Wilcox (1955).

β) νερά των νεογενών σχηματισμών: για την υγρή περίοδο δειγματοληψίας τα δείγματα (G2, G3, G10, G11, G12, G13, G14, G15, G16, G17, G18, G21, G22, G23,

G32, W6, W15) και για την ξηρή περίοδο (G2, G3, G9, G10, G11, G12, G13, G14, G15, G16, G17, G18, G21, G23, G32, G38, W6, W15) αποτελούν την πλειονότητα και ανήκουν στα καλά μέχρι αποδεκτά νερά για άρδευση. Τα δείγματα G22 δεν συλλέχθηκε κατά την ξηρή περίοδο διότι δεν ήταν εφικτή η δειγματοληψία του και τέλος τα δείγματα G9 και G38 υπάρχουν στην ξηρή περίοδο αλλά δεν υπάρχουν στην υγρή διότι στην υγρή ανήκουν στην κατηγορία των εξαιρετικών μέχρι καλών νερών διότι η αγωγιμότητα αυτών είναι μειωμένη κατά την υγρή περίοδο (Σχ. 12.11 και 12.12).

Η δεύτερη μεγαλύτερη ομάδα των δειγμάτων νερού των νεογενών σχηματισμών ανήκουν στην κατηγορία των εξαιρετικά καλών νερών για άρδευση. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τα δείγματα (G1, G6, G7, G8, G9, G19, G20, G24, G25, G26, G27, G31, G38, G39, G42 της υγρής περιόδου) και τα δείγματα (G1, G4', G6, G7, G8, G19, G24, G25, G26, G27, G31, G39, G42 της ξηρής περιόδου). Το δείγμα G20 της υγρής περιόδου δεν βρίσκεται στην κατηγορία αυτή κατά την ξηρή περίοδο διότι δεν ήταν δυνατή η δειγματοληψία του, το ίδιο ισχύει και για το δείγμα G4' το οποίο δεν συλλέχθηκε στην υγρή περίοδο. Τέλος το δείγμα G34 και για τις δυο περιόδους δειγματοληψίας υγρή και ξηρή χαρακτηρίζεται ως αμφίβολο μέχρι ακατάλληλο (Σχ. 12.11 και 12.12).



Σχήμα 12.11: Διάγραμμα ταξινόμησης υγρής περιόδου νεογενών σχηματισμών αρδευτικών νερών κατά Wilcox (1955).

Σχήμα 12.12: Διάγραμμα ταξινόμησης ξηρής περιόδου νεογενών σχηματισμών αρδευτικών νερών κατά Wilcox (1955).

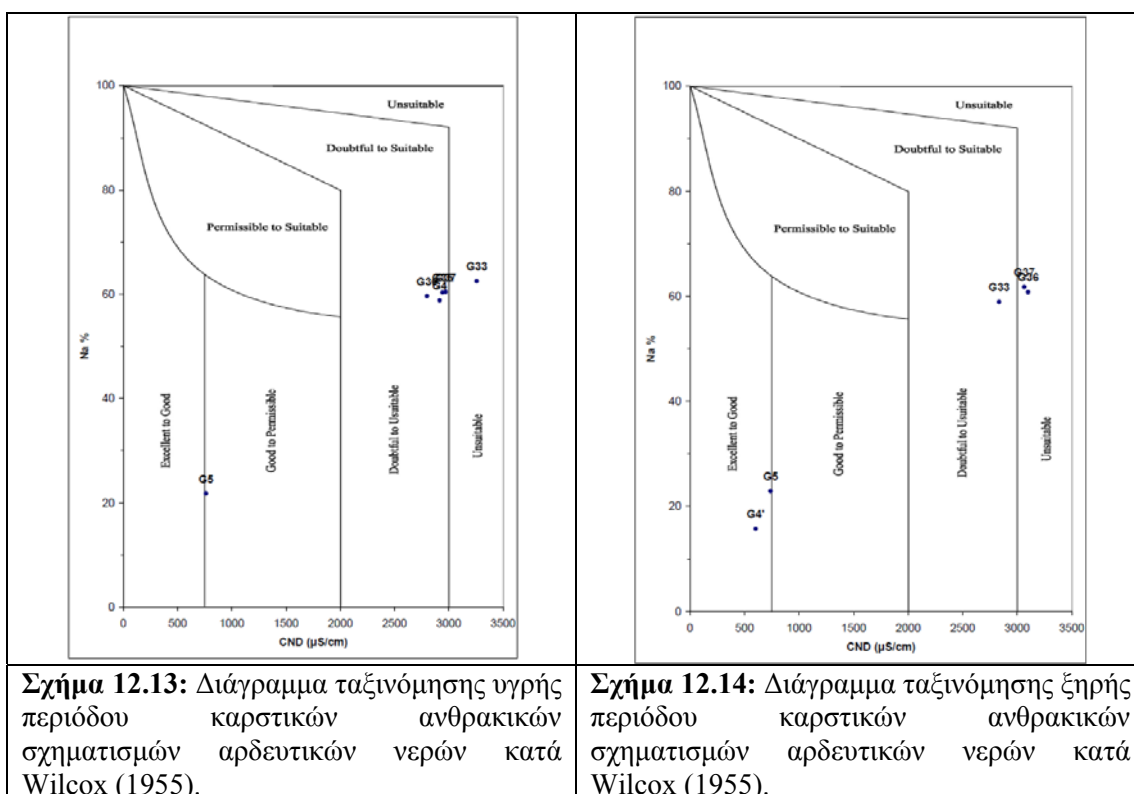
γ) νερά των καρστικών ανθρακικών σχηματισμών: για τους καρστικούς σχηματισμούς τα δείγματα (G4, G35, G36, G37 της υγρής περιόδου) και για την ξηρή περίοδο το δείγμα G33 ανήκουν στα αμφίβολα έως ακατάλληλα νερά για άρδευση. Το δείγμα G33 στην υγρή περίοδο χαρακτηρίζεται ως ακατάλληλο και όχι ως αμφίβολο έως ακατάλληλο όπως είναι στην ξηρή εξαιτίας αύξησης της αγωγιμότητας του.

Τα δείγματα G5 της υγρής περιόδου χαρακτηρίζεται καλό μέχρι αποδεκτό νερό για άρδευση και τα δείγματα G4' και G5 της ξηρής κρίνονται εξαιρετικά μέχρι καλά. Τα δείγματα G36, G37 της ξηρής περιόδου κρίνονται ακατάλληλα όπως επίσης

ακατάλληλα για άρδευση κρίνονται και όσα έχουν ηλεκτρική αγωγιμότητα > από 3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ και δεν μπορούν να απεικονιστούν στο διάγραμμα Wilcox.

Τα δείγματα G4 και G35 της υγρής περιόδου δεν υπάρχουν στην ξηρή περίοδο διότι αυτά δεν συλλέχθηκαν (Σχ. 12.13 και 12.14).

Καταλήγουμε λοιπόν στο συμπέρασμα ότι υπάρχουν κάποιες μεταπτώσεις των υπόγειων νερών από τη μια κατηγορία στην άλλη στην υγρή και ξηρή περίοδο που οφείλεται κατά κύριο λόγο στην αύξηση της αγωγιμότητας αυτών εξαιτίας της επίδρασης της θάλασσας.



12.3.3. Κατάταξη αρδευτικού νερού σύμφωνα με τον F.A.O

Ο οργανισμός τροφίμων και Γεωργίας (F.A.O) έχει παρουσιάσει ένα σύστημα ταξινόμησης των αρδευτικών νερών στηριζόμενος στους Ayers and Westcot (1976). Η ταξινόμηση αυτή βασίζεται στα προβλήματα της αλατότητας, της διηθητικότητας, τοξικότητας και ειδικών προβλημάτων που μπορεί να δημιουργεί στο έδαφος και στα φυτά η σύσταση ενός υπόγειου νερού.

Με βάση λοιπόν αυτά τα τέσσερα προβλήματα διακρίνονται τρεις διαβαθμίσεις:

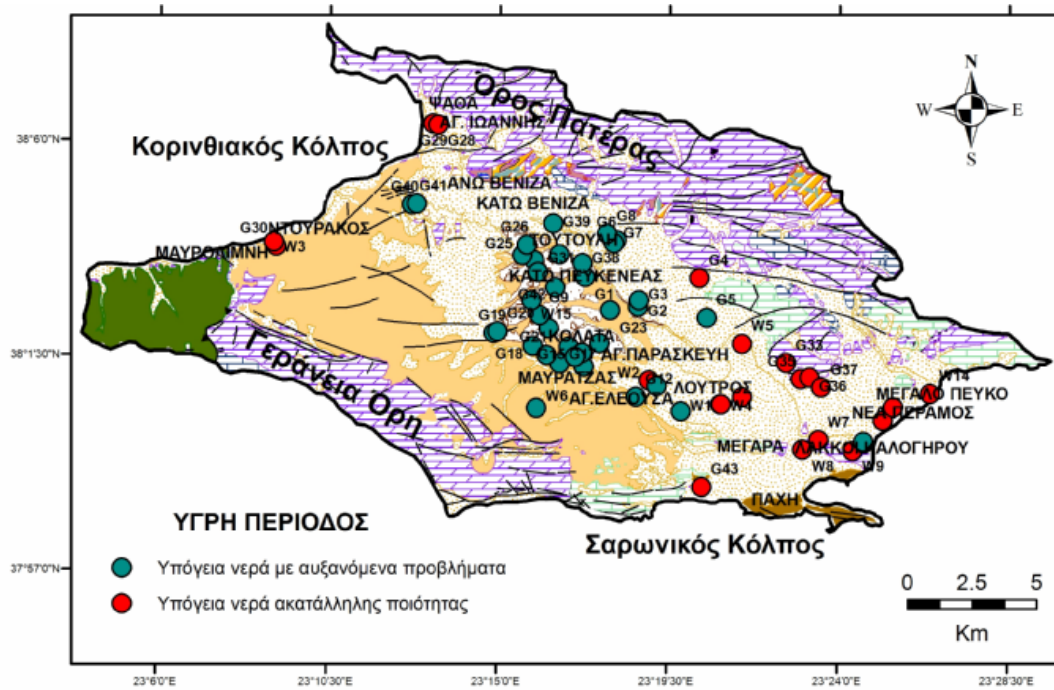
- A) Καλή ποιότητα νερού χωρίς προβλήματα στα φυτά και στο έδαφος
- B) Αύξηση κινδύνου προβλημάτων από τη συνεχή χρήση του νερού
- Γ) ακατάλληλη ποιότητα νερού, δημιουργεί σοβαρά προβλήματα σε καλλιέργειες και έδαφος.

Στον Πιν. 12.6 κατατάσσεται το νερό άρδευσης ως προς την ποιότητα του και τους κινδύνους δημιουργίας προβλημάτων σύμφωνα με τους Ayers and Westcot (1985). Σύμφωνα με τον πίνακα αυτό τα υπόγεια νερά της λεκάνης των Μεγάρων και για τις δυο περιόδους δειγματοληψίας υγρή και ξηρή κατατάσσονται σε νερά με αυξανόμενα προβλήματα (κατηγορία 2) και νερά ακατάλληλα (κατηγορία 3) όπως φαίνεται στους Πιν. 12.7 και 12.8 καθώς επίσης η καταλληλότητα ως προς την άρδευση διαφαίνεται και στα Σχ. 12.15 και 12.16. Από τα σχήματα αυτά παρατηρείται και στις δύο

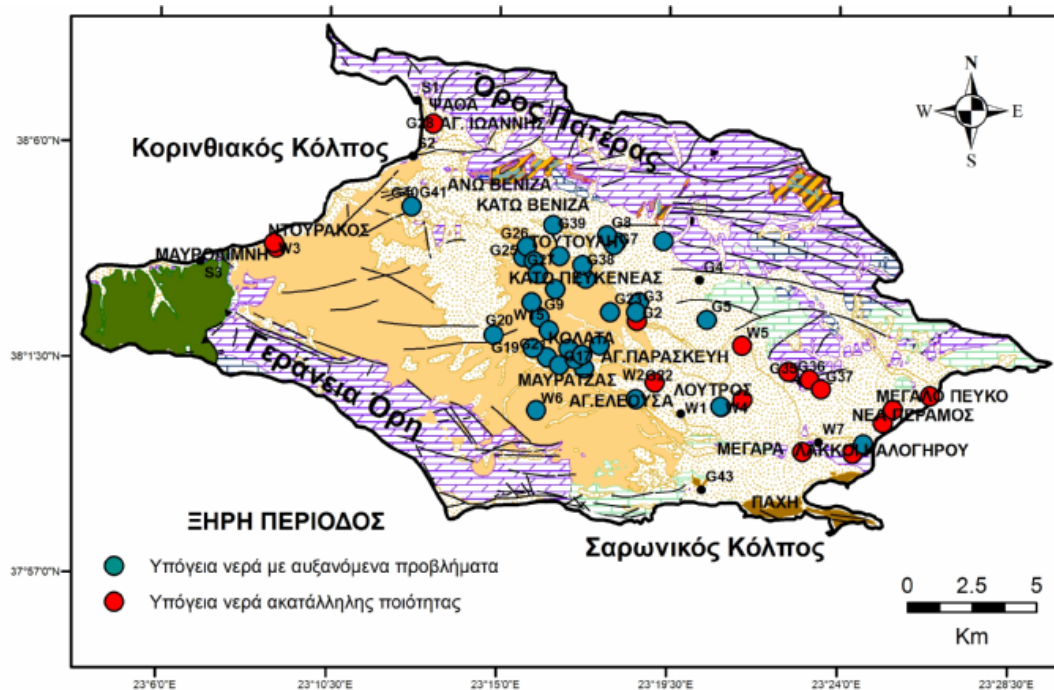
περιόδους δειγματοληψίας υγρή και ξηρή τα ακατάλληλα για άρδευση νερά βρίσκονται στις παραλιακές περιοχές Μεγάλο Πεύκο, Νέα Πέραμος, Λάκκοι Καλογήρου, Ψάθα, Αγ.Ιωάννης, Ντουράκος, στην πόλη των Μεγάρων και στα ΝΑ της λεκάνης των Μεγάρων, στους πρόποδες του όρους Πατέρα ενώ στο κεντρικό τμήμα της λεκάνης τα υπόγεια νερά είναι λίγο καλύτερης ποιότητας από τα προηγούμενα με αυξανόμενα όμως προβλήματα. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η θάλασσα έχει εισέλθει μέχρι ενός ορισμένου σημείου στην ενδοχώρα και έχει μολύνει τα υπόγεια νερά και τα έχει καταστήσει ακατάλληλα για άρδευση εξαιτίας των αυξημένων αντλήσεων.

Πίνακας 12.6: Κατάταξη νερού άρδευσης (Ayers and Westcot 1985).

Προβλήματα και σχετική ποιοτική παράμετρος	Μονάδες	Διαβαθμίσεις κινδύνου		
		(1) Καλή ποιότητα	(2) Αυξανόμενα προβλήματα	(3) Ακατάλληλη ποιότητα
Αλατότητα				
SPC	($\mu\text{S}/\text{cm}$)	<700	700–3000	>3000
TDS	(mg/L)	<450	450–2000	>2000
Διηθητικότητα				
SAR and SPC	($\mu\text{S}/\text{cm}$)	SAR = 0–3	SAR = 0–3	SAR = 0–3
		SPC > 700	SPC = 700–200	SPC < 200
		SAR = 3–6	SAR = 3–6	SAR = 3–6
		SPC > 1200	SPC = 1200–300	SPC < 300
		SAR = 6–12	SAR = 6–12	SAR = 6–12
		SPC > 1900	SPC = 1,900–500	SPC < 500
		SAR = 12–20	SAR = 12–20	SAR = 12–20
		SPC > 2900	SPC = 2900–1300	SPC < 1300
		SAR = 20 – 40	SAR = 20–40	SAR = 20–40
		SPC > 5000	SPC = 5000–2900	SPC < 2900
Τοξικότητα ιόντων				
Προσρόφηση από τις ρίζες				
Na ⁺	(mg/L)	< 69	69 – 207	> 207
Cl ⁻	(mg/L)	< 142	142 – 355	> 355
Προσρόφηση από τα φύλλα κατά τον ψεκασμό				
Na ⁺	(mg/L)	< 69	–	> 69
Cl ⁻	(mg/L)	< 106	–	>106
Ειδικά προβλήματα				
Για ευαίσθητες καλλιέργειες				
NH ₄ ⁺ and NO ₃ ⁻	(mg/L)	< 22	22 – 133	> 133
Μόνο για ψεκασμό				
HCO ₃ ⁻	(mg/L)	< 90	90 – 520	> 520
pH			Κανονικά επίπεδα 6.5–8.4	



Σχήμα 12.15: Χάρτης καταλληλότητας υπόγειων νερών υγρής περιόδου δειγματοληψίας ως προς την άρδευση.



Σχήμα 12.16: Χάρτης καταλληλότητας υπόγειων νερών ξηρής περιόδου δειγματοληψίας ως προς την άρδευση.

Πίνακας 12.7: Χαρακτηρισμός των υπόγειων νερών της υγρής περιόδου δειγματοληψίας ως προς την καταλληλότητά τους για άρδευση.

Κωδικός	Αριθμός ομάδας	Χαρακτηρισμός υπόγειων νερών για άρδευση σύμφωνα με FAO	Κωδικός	Αριθμός ομάδας	Χαρακτηρισμός υπόγειων νερών για άρδευση σύμφωνα με FAO
W1	2	Νερά με αυξανόμενα προβλήματα	G15	2	Νερά με αυξανόμενα προβλήματα
W2	3	Ακατάλληλα	G16	2	Νερά με αυξανόμενα προβλήματα
W3	3	Ακατάλληλα	G17	2	Νερά με αυξανόμενα προβλήματα
W4	3	Ακατάλληλα	G18	2	Νερά με αυξανόμενα προβλήματα
W5	3	Ακατάλληλα	G19	2	Νερά με αυξανόμενα προβλήματα
W6	2	Νερά με αυξανόμενα προβλήματα	G20	2	Νερά με αυξανόμενα προβλήματα
W7	3	Ακατάλληλα	G21	2	Νερά με αυξανόμενα προβλήματα
W8	3	Ακατάλληλα	G22	2	Νερά με αυξανόμενα προβλήματα
W9	3	Ακατάλληλα	G23	2	Νερά με αυξανόμενα προβλήματα
W10	3	Ακατάλληλα	G24	2	Νερά με αυξανόμενα προβλήματα
W11	2	Νερά με αυξανόμενα προβλήματα	G25	2	Νερά με αυξανόμενα προβλήματα
W12	3	Ακατάλληλα	G26	2	Νερά με αυξανόμενα προβλήματα
W13	3	Ακατάλληλα	G27	2	Νερά με αυξανόμενα προβλήματα
W14	3	Ακατάλληλα	G28	3	Ακατάλληλα
W15	2	Νερά με αυξανόμενα προβλήματα	G29	3	Ακατάλληλα
G1	2	Νερά με αυξανόμενα προβλήματα	G30	3	Ακατάλληλα
G2	2	Νερά με αυξανόμενα προβλήματα	G31	2	Νερά με αυξανόμενα προβλήματα
G3	2	Νερά με αυξανόμενα προβλήματα	G32	3	Ακατάλληλα
G4	3	Ακατάλληλα	G33	3	Ακατάλληλα
G5	2	Νερά με αυξανόμενα προβλήματα	G34	3	Ακατάλληλα
G6	2	Νερά με αυξανόμενα προβλήματα	G35	3	Ακατάλληλα
G7	2	Νερά με αυξανόμενα προβλήματα	G36	3	Ακατάλληλα
G8	2	Νερά με αυξανόμενα προβλήματα	G37	3	Ακατάλληλα
G9	2	Νερά με αυξανόμενα προβλήματα	G38	2	Νερά με αυξανόμενα προβλήματα
G10	2	Νερά με αυξανόμενα προβλήματα	G39	2	Νερά με αυξανόμενα προβλήματα
G11	2	Νερά με αυξανόμενα προβλήματα	G40	2	Νερά με αυξανόμενα προβλήματα
G12	2	Νερά με αυξανόμενα προβλήματα	G41	2	Νερά με αυξανόμενα προβλήματα
G13	2	Νερά με αυξανόμενα προβλήματα	G42	2	Νερά με αυξανόμενα προβλήματα
G14	2	Νερά με αυξανόμενα προβλήματα	G43	3	Ακατάλληλα

Πίνακας 12.8: Χαρακτηρισμός των υπόγειων νερών της ξηρής περιόδου δειγματοληψίας ως προς την καταλληλότητά τους για άρδευση.

Κωδικός	Αριθμός ομάδας	Χαρακτηρισμός υπόγειων νερών για άρδευση σύμφωνα με FAO	Κωδικός	Αριθμός ομάδας	Χαρακτηρισμός υπόγειων νερών για άρδευση σύμφωνα με FAO
W1'	3	Ακατάλληλα	G13	2	Νερά με αυξανόμενα προβλήματα
W2	3	Ακατάλληλα	G14	2	Νερά με αυξανόμενα προβλήματα
W3	3	Ακατάλληλα	G15	2	Νερά με αυξανόμενα προβλήματα
W4	3	Ακατάλληλα	G16	2	Νερά με αυξανόμενα προβλήματα
W5	3	Ακατάλληλα	G17	2	Νερά με αυξανόμενα προβλήματα
W6	2	Νερά με αυξανόμενα προβλήματα	G18	2	Νερά με αυξανόμενα προβλήματα
W8	3	Ακατάλληλα	G19	2	Νερά με αυξανόμενα προβλήματα
W9	3	Ακατάλληλα	G21	2	Νερά με αυξανόμενα προβλήματα
W10	3	Ακατάλληλα	G23	2	Νερά με αυξανόμενα προβλήματα
W11	2	Νερά με αυξανόμενα προβλήματα	G24	2	Νερά με αυξανόμενα προβλήματα
W12	3	Ακατάλληλα	G25	2	Νερά με αυξανόμενα προβλήματα
W13	3	Ακατάλληλα	G26	2	Νερά με αυξανόμενα προβλήματα
W14	3	Ακατάλληλα	G27	2	Νερά με αυξανόμενα προβλήματα
W15	2	Νερά με αυξανόμενα προβλήματα	G29	3	Ακατάλληλα
G1	2	Νερά με αυξανόμενα προβλήματα	G30	3	Ακατάλληλα
G2	2	Νερά με αυξανόμενα προβλήματα	G31	2	Νερά με αυξανόμενα προβλήματα
G3	2	Νερά με αυξανόμενα προβλήματα	G32	2	Νερά με αυξανόμενα προβλήματα

Πίνακας 12.8 (συνέχεια): Χαρακτηρισμός των υπόγειων νερών της ξηρής περιόδου δειγματοληψίας ως προς την καταλληλότητά τους για άρδευση.

Κωδικός	Αριθμός ομάδας	Χαρακτηρισμός υπόγειων νερών για άρδευση σύμφωνα με FAO	Κωδικός	Αριθμός ομάδας	Χαρακτηρισμός υπόγειων νερών για άρδευση σύμφωνα με FAO
G4'	2	Νερά με αυξανόμενα προβλήματα	G33	3	Ακατάλληλα
G5	2	Νερά με αυξανόμενα προβλήματα	G34	3	Ακατάλληλα
G6	2	Νερά με αυξανόμενα προβλήματα	G36	3	Ακατάλληλα
G7	2	Νερά με αυξανόμενα προβλήματα	G37	3	Ακατάλληλα
G8	2	Νερά με αυξανόμενα προβλήματα	G38	2	Νερά με αυξανόμενα προβλήματα
G9	2	Νερά με αυξανόμενα προβλήματα	G39	2	Νερά με αυξανόμενα προβλήματα
G10	2	Νερά με αυξανόμενα προβλήματα	G40	2	Νερά με αυξανόμενα προβλήματα
G11	2	Νερά με αυξανόμενα προβλήματα	G42	2	Νερά με αυξανόμενα προβλήματα
G12	2	Νερά με αυξανόμενα προβλήματα			

Οι Ayers and Westcot (1985) συμπεριέλαβαν και 20 ιχνοστοιχεία για την κατάταξη του αρδευτικού νερού διότι όπως υποστηρίζουν η μακροχρόνια χρήση του νερού που είναι μολυσμένο έστω και σε μικρές συγκεντρώσεις στη γεωργική παραγωγή μπορεί να προκαλέσει επικίνδυνες βλάβες στην ανθρώπινη υγεία (Πιν. 12.9).

Πίνακας 12.9: Ανώτατα επιτρεπτά όρια των ιχνοστοιχείων του νερού που προορίζονται για αρδευτική χρήση (Ayers and Westcot 1985).

Χημικό στοιχείο	Μέγιστη επιτρεπόμενη συγκέντρωση (mg/L)	Παρατηρήσεις
Al	5	Σε όξινα εδάφη (pH < 5.5) μπορεί να προκαλέσει μείωση της παραγωγής, αλλά σε αλκαλικά εδάφη (pH > 7.0) κατακρημνίζεται οπότε δεν δρα πλέον τοξικά
As	0,1	Η τοξικότητα στα φυτά ποικίλει αρκετά, και κυμαίνεται από 12 mg/L για Sudan grass μέχρι 0,05 mg/L για παραγωγή όρυζας
Be	0,1	Η τοξικότητα στα φυτά ποικίλει αρκετά, και κυμαίνεται από 5 mg/L για παραγωγή λάχανου μέχρι 0,5 για bush beans
Cd	0,01	Τοξικό για την παραγωγή φασολιών (beans), παντζαριών (beets) και κράμβης (turnips) σε συγκεντρώσεις της τάξης του 0,1 mg/L σε φυσικά διαλύματα. Προτείνονται συντηρητικά όρια εξαιτίας της πιθανής συσσώρευσης του στα φυτά και στα εδάφη σε συγκεντρώσεις επικίνδυνες για τον άνθρωπο.
Co	0,05	Είναι τοξικό για την παραγωγή τομάτας σε συγκέντρωση 0,1 mg/L. Σχετικά αδρανοποιείται σε ουδέτερα και αλκαλικά εδάφη
Cr	0,1	Δεν είναι γνωστή η τοξική του δράση στα φυτά και για το λόγο αυτό συνιστώνται συντηρητικά όρια
Cu	0,2	Τοξικό για πληθώρα φυτών σε συγκεντρώσεις 0,1 ως 1,0 mg/L στα φυσικά διαλύματα
F	1	Αδρανοποιείται σε αλκαλικά και ουδέτερα εδάφη
Fe	5	Σε εδάφη με καλή κυκλοφορία αέρα δεν δρα τοξικά ο σίδηρος, αλλά μπορεί να συνεισφέρει στην οξίνιση των εδαφών με αποτέλεσμα να χάνεται η βιοδιαθεσιμότητα του φωσφόρου και του μολυβδαινίου. Κατά την άρδευση με ψεκάσιο δημιουργεί αποθέσεις στα φυτά και στον εξοπλισμό
Li	2,5	Δρα τοξικά στα εσπεριδοειδή σε χαμηλές συγκεντρώσεις (< 0,075 mg/L)
Mn	0,2	Δρα τοξικά σε πληθώρα καλλιεργειών αλλά κυρίως σε όξινα εδάφη
Ni	0,2	Είναι τοξικό για ένα αριθμό φυτών σε συγκεντρώσεις 0,5-1 mg/L με μειούμενη τοξική δράση στα ουδέτερα και αλκαλικά εδάφη
Pb	5	Σε υψηλές συγκεντρώσεις αναστέλλει την ανάπτυξη των φυτικών κυττάρων
Se	0,02	Τοξικό τα φυτά σε συγκεντρώσεις 0,025 mg/L και επίσης για την κτηνοτροφία όταν η τροφή ζώων
Ti	--	
Sn	--	
W	--	
V	0,1	Σε χαμηλές συγκεντρώσεις είναι σχετικά τοξικό για πολλές κατηγορίες φυτών
Zn	2	Σε εδάφη με pH > 6,0 μειώνεται η τοξικότητα του
Hg	0,002	

Τα δείγματα υπόγειου νερού και για τις δυο περιόδους δειγματοληψίας υγρή και ξηρή δεν ξεπερνούν τις επιτρεπτές συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων σύμφωνα με τους Ayers and Westcot (1985), έτσι από το θέμα των ιχνοστοιχείων κρίνονται κατάλληλα για άρδευση.

13. ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Με βάση τις παρατηρήσεις κατά τη διάρκεια των εργασιών υπαίθρου, τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις μετρήσεις στο πεδίο έρευνας, τις εργαστηριακές αναλύσεις, την υδροχημική ανάλυση, τη γεωχημική ανάλυση και τη στατιστική επεξεργασία, προέκυψαν τα ακόλουθα:

ΕΔΑΦΗ

Η πλειονότητα των δειγμάτων των εδαφών και στους δυο ορίζοντες 0-20 και 20-40 cm είναι αμμοπηλώδη (SL). Ως προς την οργανική ουσία για τον εδαφικό ορίζοντα 0-20 cm χαρακτηρίζονται από πτωχά έως πλούσια και για τον εδαφικό ορίζοντα 20-40 cm από πολύ φτωχά έως πλούσια, ενώ παρατηρείται ότι στην πλειονότητα των θέσεων δειγματοληψίας παρουσιάζεται μείωση της οργανικής ουσίας ανάλογα με το βάθος. Τα εδάφη χαρακτηρίζονται μέτρια αλκαλικά έως ισχυρά αλκαλικά, χαμηλής ηλεκτρικής αγωγιμότητας και ασβεστούχα. Η διασπορά των στοιχείων στα εδάφη συνδέεται με τις χρήσεις γης όπως αγροτική χρήση-καλλιεργούμενες εκτάσεις, την αστική-περιαστική χρήση και τη χρήση γης από κτηνοτροφικές και βιοτεχνικές εγκαταστάσεις.

Οι υψηλές συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων αποδίδονται κυρίως σε γεωγενείς παράγοντες, όπως διαπιστώθηκε από την εφαρμογή της παραγοντικής ανάλυσης (factor analysis) στα εδάφη και από τα αποτελέσματα των διαδοχικών εκχυλίσεων. Πιο συγκεκριμένα, η εμφάνιση Ni, Co, Mn και Cr συνδέεται άμεσα με τις εμφανίσεις τεμαχών υπερβασικών πετρωμάτων και σχιστολίθων μέσα στους νεογενείς και τεταρτογενείς σχηματισμούς της λεκάνης των Μεγάρων, την παρουσία των οξειδίων, τις εμφανίσεις οργανικού υλικού εντός των λιγνιτικών ενδιαστρώσεων.

ΥΠΟΓΕΙΑ ΝΕΡΑ

Η χημική σύσταση των υπόγειων νερών της περιοχής έρευνας καθορίζεται από τις διεργασίες αποσάθρωσης των υπερβασικών πετρωμάτων, των σχιστολίθων και των ανθρακικών και των νεογενών σχηματισμών. Επίσης καθοριστικό ρόλο έχει η παρουσία των οξειδίων μέσα στους τεταρτογενείς σχηματισμούς καθώς και η οργανική ύλη των λιγνιτικών ενδιαστρώσεων. Εκτός από τους γεωγενείς παράγοντες η χημική σύσταση των υπόγειων νερών ελέγχεται και από τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Αυξημένες αντλήσεις έχουν σαν συνέπεια την υφαλμύριση των υπόγειων νερών εξαιτίας της διείσδυσης του θαλασσινού νερού, εφαρμογή λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων σε υπερβολικές ποσότητες, σηπτικοί βόθροι και αστικά απόβλητα καθώς και απόβλητα κτηνοτροφικών και βιοτεχνικών μονάδων υποβαθμίζουν την ποιότητα του υπόγειου νερού της περιοχής έρευνας.

Ως προς την αλατότητα, τα υπόγεια νερά της περιοχής έρευνας χαρακτηρίζονται από υψηλές τιμές. Το γεγονός αυτό αποδεικνύει τη διείσδυση του θαλασσινού νερού κυρίως στις παράκτιες περιοχές (> 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$), ενώ στο εσωτερικό της λεκάνης επικρατούν τιμές έως 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Οι υψηλές συγκεντρώσεις NO_3 και PO_4 καταγράφονται κυρίως στις αγροτικές περιοχές που βρίσκονται στο εσωτερικό της λεκάνης, εξαιτίας της εφαρμογής αζωτούχων και φωσφορικών λιπασμάτων. Επίσης υψηλές τιμές NO_3 και PO_4 καταγράφονται στις παράκτιες περιοχές και αποδίδονται κυρίως στους σηπτικούς βόθρους και στα οικιακά λύματα.

Από τη χωρική κατανομή των τιμών της ηλεκτρικής αγωγιμότητας, των συγκεντρώσεων TDS, Na, Cl, Ca, Mg, HCO₃, SO₄ και των υδροχημικών τύπων κατά Durog, προκύπτει ότι οι παράκτιες υδροφορίες έχουν υποβαθμιστεί από τη θαλάσσια διείσδυση. Η ανεξέλεγκτη ανόρυξη και λειτουργία των έργων υδροληψίας συνδέεται με τη διείσδυση θαλασσινού νερού στους παράκτιους υπόγειους υδροφορείς της λεκάνης.

Στα υπόγεια νερά της περιοχής καταγράφονται κυρίως υψηλές συγκεντρώσεις ιχνοστοιχείων στους υπόγειους υδροφορείς των νεογενών και τεταρτογενών σχηματισμών. Οι υψηλές συγκεντρώσεις των στοιχείων Cr, Ni, Mn, Co, Cu και Zn ερμηνεύονται κυρίως από την παρουσία τεμαχών υπερβασικών πετρωμάτων στους σχηματισμούς αυτούς, την παρουσία οξειδίων του Mn και σχιστολίθων. Εν μέρει οι υψηλές συγκεντρώσεις Cr, Ni, Mn και F αποδίδονται στο οργανικό υλικό των λιγνιτικών ενδιαστρώσεων.

Τα αποτελέσματα της παραγοντικής ανάλυσης συνδράμουν στην ερμηνεία της πηγής προέλευσης των στοιχείων και των παραμέτρων που ελέγχουν τη χημική σύσταση των υπόγειων νερών. Σημειώνεται ότι τα αποτελέσματα της παραγοντικής ανάλυσης συμφωνούν με την ερμηνεία της προέλευσης των στοιχείων όπως αυτή έχει προκύψει από τις υπόλοιπες μεθόδους.

Σχετικά με την καταλληλότητα για ανθρώπινη κατανάλωση, τα υπόγεια νερά χαρακτηρίζονται σύμφωνα με την Κοινοτική Οδηγία 98/83/EK, ακατάλληλα ως προς τις παραμέτρους EC, Na, Cl, SO₄, NO₃, NH₄, Cr, Mn και Ni, σε ποσοστά 58,33% και 61,54% για την υγρή περίοδο και ξηρή περίοδο, αντίστοιχα.

Όσον αφορά στην ταξινόμηση κατά Wilcox, η πλειονότητα των υπόγειων νερών, ανήκει στα καλά έως αποδεκτά. Σχετικά με την ταξινόμηση κατά Richards (διάγραμμα S.A.R) η πλειονότητα των υπόγειων νερών είναι κατάλληλα για άρδευση κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες στράγγισης και περατότητας. Τα υπόγεια νερά σύμφωνα με τον FAO είναι νερά που προκαλούν αυξανόμενα προβλήματα και νερά ακατάλληλα.

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ ΚΑΙ ΕΔΑΦΩΝ

Από τη σύγκριση των συγκεντρώσεων των στοιχείων που προσδιορίστηκαν στα εδαφικά δείγματα και στα δείγματα υπόγειου νερού, διαπιστώθηκε ότι υπάρχει συσχέτιση μεταξύ τους. Οι συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων Co, Mn, Ni, Cr, Cu και Zn των υπόγειων νερών, συσχετίζονται με τις αντίστοιχες συγκεντρώσεις στα εδάφη.

Οι συσχετίσεις αυτές προκύπτουν από τα κοινά συμπεράσματα τα οποία εξάγονται από τη στατιστική επεξεργασία καθώς και από την ομοιότητα που παρουσιάζουν οι χάρτες των χωρικών κατανομών τους. Πιο συγκεκριμένα παρατηρείται σύμπτωση των περιοχών στις οποίες καταγράφονται οι υψηλές συγκεντρώσεις των στοιχείων Co, Mn, Ni, Cr, Cu και Zn στα υπόγεια νερά με τις περιοχές που καταγράφονται υψηλές συγκεντρώσεις των ίδιων στοιχείων στα εδάφη. Η συσχέτιση αυτή είναι αποτέλεσμα των κοινών πηγών προέλευσης των στοιχείων που είναι οι διεργασίες αποσάθρωσης των υπερβασικών πετρωμάτων και των σχιστολίθων, η παρουσία τεμαχών υπερβασικών πετρωμάτων και σχιστολίθων στους νεογενείς και τεταρτογενείς σχηματισμούς καθώς και η παρουσία οξειδίων Fe-Mn.

Η ομοιότητα που παρουσιάζεται ανάμεσα στις συγκεντρώσεις των στοιχείων Mn, Ni και Cr στα υπόγεια νερά και εδάφη, οφείλεται πρωτίστως στα τεμάχια υπερβασικών πετρωμάτων και σχιστολίθων και δευτερευόντως στις λιγνιτικές ενδιαστρώσεις.

Οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις Cd στα εδάφη οφείλονται στη χρήση λιπασμάτων και γ' αυτό το λόγο εντοπίζονται κυρίως στο κεντρικό τμήμα της λεκάνης όπου

καταγράφονται αγροτικές δραστηριότητες. Στα υπόγεια νερά οι τιμές του Cd είναι πολύ χαμηλές.

ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΜΕΤΡΑ ΠΟΥ ΠΡΕΠΕΙ ΝΑ ΛΗΦΘΟΥΝ

Η κατανομή των κύριων στοιχείων και των ιχνοστοιχείων στα υπόγεια νερά και εδάφη της περιοχής έρευνας, είναι αποτέλεσμα της συνδυαστικής δράσης φυσικών και ανθρωπογενών παραγόντων όπως, η αποσάθρωση τεμαχών υπερβασικών πετρωμάτων και λιγνιτικών ενδιαστρώσεων, η χρήση αγροχημικών προϊόντων, η υπεράντληση υπόγειων νερών, οι διαρροές αποβλήτων από κτηνοτροφικές-πτηνοτροφικές μονάδες και βιοτεχνίες, οι σηπτικοί βόθροι και τα απόβλητα από κατοικημένες περιοχές.

Το αποτέλεσμα της δράσης των προαναφερόμενων παραγόντων, είναι η συνεχής υποβάθμιση των υπόγειων νερών και των εδαφών η οποία αναμένεται να υποβαθμιστεί περισσότερο στο μέλλον εάν δεν παρθούν τα κατάλληλα μέτρα.

Τα μέτρα τα οποία προτείνονται για την περιοχή έρευνας, περιλαμβάνουν:

- το σχεδιασμό ενός δικτύου καταγραφής ποσοτικών και ποιοτικών παραμέτρων για τα υπόγεια νερά προκειμένου να υπάρχει συνεχής καταγραφή της υφιστάμενης κατάστασης. Η συνεχής καταγραφή των δεδομένων της υφιστάμενης κατάστασης βοηθάει στην εκτίμηση των τάσεων μεταβολής τους
- την εφαρμογή ορθών αρδευτικών πρακτικών όπως, α) μείωση των απωλειών νερού με τη βελτίωση ή αντικατάσταση του δικτύου μεταφοράς και διανομής του νερού (αποκατάσταση φθορών και κακοτεχνιών), β) εγκατάσταση σύγχρονων συστημάτων άρδευσης (σταγόνες, κλπ) που εξοικονομούν νερό, σχεδιασμός της άρδευσης με βάση τις συνθήκες της περιοχής (κλίμα, έδαφος), γ) τη ζήτηση σε νερό των συγκεκριμένων καλλιεργειών και την καταλληλότερη χρονική στιγμή εφαρμογής της άρδευσης, δ) την άρδευση συνήθως κατά τις βραδινές ώρες για να μειωθούν οι απώλειες λόγω εξάτμισης
- τη λειτουργία συστήματος ενημέρωσης των αγροτών για το σχεδιασμό της άρδευσης και την ζήτηση της καλλιέργειας σε νερό. Οι αγρότες θα πρέπει να ενημερωθούν από αρμόδιους φορείς για επιλογή κατάλληλων καλλιεργειών λαμβάνοντας υπόψη τη βροχόπτωση, τη διαθεσιμότητα του νερού άρδευσης και την απόδοση της καλλιέργειας και την επιλογή καλλιεργειών που έχουν μειωμένες απαιτήσεις σε νερό
- την ορθολογική χρήση των λιπασμάτων και των αγροχημικών προϊόντων (ποσότητα και τύπος) ανάλογα με τις απαιτήσεις της καλλιέργειας και μείωση της ποσότητας των λιπασμάτων π.χ. σε έτη κατά τα οποία αναμένεται μειωμένη παραγωγή (μείωση κόστους παραγωγής και επιβάρυνσης του περιβάλλοντος)
- την εφαρμογή από τους αγρότες μέτρων ορθής διαχείρισης του εδάφους, όπως α) η φυτοκάλυψη του εδάφους για μείωση των απωλειών νερού με εξάτμιση και β) η καταστροφή των ζιζανίων ώστε να μειωθεί ο ανταγωνισμός για το νερό και οι απώλειες λόγω διαπνοής από τα ζιζάνια
- εφαρμογή πρακτικών εσωτερικής ανακύκλωσης και επαναχρησιμοποίησης του νερού στις κτηνοτροφικές-πτηνοτροφικές μονάδες και στις βιοτεχνίες
- επεξεργασία αποβλήτων κτηνοτροφικών και πτηνοτροφικών μονάδων με σκοπό τη μείωση της διασποράς της ρύπανσης στο περιβάλλον

ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

Για την εκτίμηση της μελλοντικής περιβαλλοντικής κατάστασης είναι απαραίτητη η πολύ καλή γνώση όλων των παραγόντων που επηρεάζουν την ποιότητα των υπόγειων νερών και των εδαφών. Ένας από τους κύριους παράγοντες που αναμένεται να επηρεάσει σημαντικά την περιβαλλοντική κατάσταση της περιοχής είναι η μεταβολή των χρήσεων γης και η πιθανή αλλαγή των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων. Πιο συγκεκριμένα εάν εγκατασταθεί μια βιομηχανική μονάδα η οποία έχει αυξημένες απαιτήσεις σε νερό αναμένεται να επιτείνει περαιτέρω το φαινόμενο της υφαλμύρισης. Επίσης το ίδιο αποτέλεσμα θα έχει και η πιθανή καλλιέργεια φυτικών ειδών τα οποία θα έχουν μεγαλύτερες απαιτήσεις σε νερό από αυτά που ήδη καλλιεργούνται.

Η μη εφαρμογή των μέτρων τα οποία έχουν ήδη προταθεί θα έχουν σαν αποτέλεσμα την αύξηση της συγκέντρωσης NO_3 στα υπόγεια νερά, αύξηση της αγωγιμότητας και των χλωριόντων στα υπόγεια νερά των παράκτιων υδροφορέων. Όσον αφορά στα εδάφη, η μη εφαρμογή των προτεινόμενων μέτρων θα έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της ρύπανσης των εδαφών.

Φυσικοί παράγοντες όπως η αύξηση της θερμοκρασίας και της εξατμισοδιαπνοής θα έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της κατανάλωσης νερού για αγροτικές χρήσεις με αποτέλεσμα την υπεράντληση νερού και την περαιτέρω υποβάθμιση.

14. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με βάση τα δεδομένα της διεθνούς βιβλιογραφίας, τα δεδομένα από την εργασία υπαίθρου (παρατηρήσεις και μετρήσεις φυσικοχημικών παραμέτρων), τα αναλυτικά δεδομένα της εργαστηριακής έρευνας και τη στατιστική επεξεργασία των αναλυτικών δεδομένων των εδαφών και των υπόγειων νερών, προέκυψαν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Σύμφωνα με τις τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας ($< 4000 \mu\text{S}/\text{cm}$) που προσδιορίστηκαν στα δείγματα των εδαφών και για τα δύο βάθη 0-20 και 20-40 cm, τα εδάφη της λεκάνης είναι κατάλληλα για όλες τις καλλιέργειες.
- Τα δείγματα των εδαφών που αναλύθηκαν και για τα δυο βάθη δειγματοληψίας παρουσιάζουν υψηλές συγκεντρώσεις σε Cr, Ni, Co στο κεντρικό τμήμα της λεκάνης και συγκεκριμένα στις περιοχές Αγ.Παρασκευή, Λουτρός, Τούτουλη, Κάτω Πευκενέας και Μαυρατζάς. Οι υψηλές αυτές συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων οφείλονται αρχικά στην παρουσία κλαστικού υλικού προερχόμενο από την αποσάθρωση υπερβασικών πετρωμάτων και σχιστολίθων, μέσα στους νεογενείς και τεταρτογενείς σχηματισμούς καθώς επίσης και στην παρουσία λιγνιτικών ενδιαστρώσεων που βρίσκονται μέσα στους νεογενείς σχηματισμούς.
- Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις Mn, Cu και Zn στα εδαφικά δείγματα και για τα δυο βάθη δειγματοληψίας απαντώνται στις περιοχές Τούτουλη, Κάτω Πευκενέας, Αγ.Παρασκευή, Λουτρός, Λάκκοι Καλογήρου και Μεγάλο Πεύκο και οφείλονται στα οξείδια που υπάρχουν στις μάργες των νεογενών καθώς και στα αποσαθρωμένα τεμάχια των υπερβασικών πετρωμάτων και των σχιστολίθων που βρίσκονται μέσα στους νεογενείς και τεταρτογενείς σχηματισμούς της λεκάνης.
- Από τις διαδοχικές εκχυλίσεις που πραγματοποιήθηκαν στα δείγματα των εδαφών και για τα δυο βάθη δειγματοληψίας, προκύπτει ότι τα στοιχεία Cr, Ni και Co βρίσκονται δεσμευμένα στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών, άρα κύρια πηγή προέλευσης των στοιχείων αυτών είναι τα υπερβασικά πετρώματα. Για τα στοιχεία αυτά το ποσοστό που βρίσκεται δεσμευμένο στα ανταλλάξιμα είναι μικρό έως αμελητέο (Cr: 1,01% στα 0-20 cm και 0,90% στα 20-40 cm), (Ni: 1,58% στα 0-20 cm και 2,38% στα 20-40 cm), (Co: 6,51% στα 0-20 cm και 5,81% στα 20-40 cm), αυτό δείχνει ότι η προέλευση των στοιχείων αυτών δεν έχουν ανθρωπογενή προέλευση.
- Όσον αφορά στα στοιχεία Mn και Zn το μεγαλύτερο ποσοστό τους βρίσκεται δεσμευμένο, για τα δυο βάθη δειγματοληψίας, στα οξείδια του Fe-Mn που απαντούν στις μάργες των νεογενών σχηματισμών. Το ποσοστό του Mn που βρίσκεται δεσμευμένο στα ανταλλάξιμα, είναι σχεδόν μηδενικό (0,31% στα 0-20 cm και 0,28% στα 20-40 cm), αυτό υποδηλώνει ότι η ανθρωπογενής προέλευση του Mn είναι αμελητέα. Μικρό ποσοστό Zn (4,16% στα 0-20 cm και 6,27% στα 20-40 cm), βρίσκεται δεσμευμένο στα ανταλλάξιμα γεγονός το οποίο υποδηλώνει μικρή παρουσία του Zn από την εφαρμογή λιπασμάτων στις αγροτικές περιοχές της λεκάνης των Μεγάρων.

- Τα αποτελέσματα των διαδοχικών εκχυλίσεων και για τα δυο εδαφικά βάρη δειγματοληψίας, έδειξαν ότι μεγάλο ποσοστό του Cu είναι δεσμευμένο στην οργανική ουσία καθώς και στα οξείδια Fe-Mn. Μικρό ποσοστό Cu (9,80% στα 0-20 cm και 9,71% στα 20-40 cm), βρίσκεται δεσμευμένο στα ανταλλάξιμα, το γεγονός αυτό υποδηλώνει ότι ο Cu μπορεί να οφείλεται σε κάποιο ποσοστό και σε ανθρωπογενή παράγοντα όπως η εντατική χρήση αγροχημικών προϊόντων στις καλλιεργούμενες περιοχές της λεκάνης των Μεγάρων.
- Το μεγαλύτερο ποσοστό του Cd (56,22% στα 0-20 cm και 55,10% στα 20-40 cm), εντοπίζεται στο στάδιο των ανταλλάξιμων και για τα δυο βάρη, αυτό φανερώνει, ότι η κύρια πηγή του καδμίου σχετίζεται με ανθρωπογενείς παράγοντες. Η παρουσία του Cd αποδίδεται κυρίως στη χρήση φωσφορικών λιπασμάτων καθώς επίσης και στη διάθεση αποβλήτων στο έδαφος. Ένα ποσοστό μπορεί να έχει γεωγενή προέλευση, που είναι η εξαλλοίωση των υπερβασικών πετρωμάτων και των σχιστόλιθων.
- Από την ανάλυση συσχέτισης (Correlation analysis) στα αναλυτικά δεδομένα των δειγμάτων εδάφους, προκύπτει ότι τα χημικά στοιχεία Co - Cr - Ni - Cu - Zn - Mn παρουσιάζουν πολύ καλή θετική συσχέτιση μεταξύ τους που οφείλεται στην παρουσία υπερβασικών πετρωμάτων και σχιστόλιθων μέσα στους νεογενείς σχηματισμούς της λεκάνης.
- Η παραγοντική ανάλυση των εδαφών (factor analysis) ανέδειξε δύο παράγοντες, οι οποίοι ελέγχουν συνολικά το 81,08% της κατανομής των βαρέων μετάλλων στα εδάφη της λεκάνης των Μεγάρων. Ο **Παράγοντας 1** αποτελείται από τα στοιχεία Ni, Co, Mn, Cr και αποδίδεται στην παρουσία τεμαχών υπερβασικών πετρωμάτων στους νεογενείς σχηματισμούς της λεκάνης των Μεγάρων. Ο **Παράγοντας 2** αποτελείται από τα στοιχεία Cu, Zn, Mn, Cd και ερμηνεύει την επίδραση των οξειδίων του Mn στη χημική σύσταση των εδαφών της λεκάνης των Μεγάρων.
- Τα υπόγεια νερά της λεκάνης των Μεγάρων και για τις δυο περιόδους δειγματοληψίας υγρή και ξηρή παρουσιάζουν αλκαλικό χαρακτήρα. Όσον αφορά στη σκληρότητα τους είναι μέτρια σκληρά έως πολύ σκληρά για την υγρή περίοδο δειγματοληψίας και σκληρά έως πολύ σκληρά για την ξηρή περίοδο. Τα υπόγεια νερά χαρακτηρίζονται για τις δυο περιόδους δειγματοληψίας από υψηλές τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας και περιέχουν υψηλές συγκεντρώσεις ολικών διαλυμένων στερεών, γεγονός το οποίο αποδεικνύει την ανάμιξη του υπόγειου νερού με το θαλασσινό. Οι περιοχές οι οποίες είναι περισσότερο επηρεασμένες από την επίδραση της θάλασσας είναι οι παράκτιες περιοχές, από την πλευρά του Σαρωνικού κόλπου, οι περιοχές Νέα Πέραμος, Λάκκοι Καλογήρου και Μεγάλο Πεύκο και από τον Κορινθιακό η Ψάθα και η περιοχή Ντουράκος. Στο εσωτερικό της λεκάνης στις περιοχές Βένιζα, Τούτουλη, Κάτω Πευκενέας, Κολάτα, Αγ. Παρασκευή, Μαυρατζάς, Αγ.Ελεούσα και Λουτρός, παρατηρούνται μικρότερες τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας και ολικών διαλυμένων στερεών, οι τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας φθάνουν έως 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ και για τις δυο περιόδους δειγματοληψίας. Επίσης στις παράκτιες περιοχές και για τις δυο περιόδους δειγματοληψίας παρατηρούνται υψηλές συγκεντρώσεις των παραμέτρων Ca^{2+} ,

Mg^{2+} , Na^+ , HCO_3^- , Cl^- και SO_4^{2-} , που αποδίδονται στη θαλάσσια διείσδυση εξ' αιτίας των υπεραντλήσεων. Μικρότερες συγκεντρώσεις των παραπάνω παραμέτρων καταγράφονται στο εσωτερικό της λεκάνης και για τις δυο περιόδους δειγματοληψίας, διότι η επίδραση της θάλασσας είναι περιορισμένη και πολλά από τα στοιχεία αυτά αποδίδονται στη διάλυση ανθρακικών ορυκτών και εβαποριτών.

- Τα υπόγεια νερά των τεταρτογενών σχηματισμών και για τις δυο περιόδους δειγματοληψίας παρουσιάζουν τις μεγαλύτερες τιμές όσον αφορά στην αγωγιμότητα, τη σκληρότητα, τα ολικά διαλυμένα στερεά, το Ca^{2+} , το Mg^{2+} , το Na^+ , τα HCO_3^- , το Cl^- και τα SO_4^{2-} . Οι υψηλές αυτές συγκεντρώσεις στο νερό των τεταρτογενών σχηματισμών οφείλονται στη θαλάσσια διείσδυση. Επίσης παρουσιάζουν υψηλές συγκεντρώσεις NO_3^- που οφείλονται σε ανθρωπογενείς δραστηριότητες όπως η ρύπανση εξαιτίας των οικιακών λυμάτων.
- Τα υπόγεια νερά των νεογενών σχηματισμών παρουσιάζουν μικρότερες τιμές αγωγιμότητας και σκληρότητας, μικρότερες συγκεντρώσεις ολικών διαλυμένων στερεών, ασβεστίου, μαγνησίου, νατρίου, όξινων ανθρακικών, χλωρίου και θειϊκών σε σχέση με τους τεταρτογενείς. Η διαφορά αυτή στις τιμές οφείλεται στο γεγονός ότι οι σχηματισμοί αυτοί έχουν επηρεαστεί λιγότερο από τη θαλάσσια διείσδυση. Οι συγκεντρώσεις των NO_3^- στο νερό των νεογενών σχηματισμών είναι μικρότερες από αυτές των τεταρτογενών και για τις δυο περιόδους δειγματοληψίας.
- Τα υπόγεια νερά των καρστικών ανθρακικών σχηματισμών παρουσιάζουν μια ενδιάμεση κατάσταση ανάμεσα στα υπόγεια νερά των τεταρτογενών και των νεογενών σχηματισμών και για τις δυο περιόδους δειγματοληψίας. Ο καρστικός υδροφορέας έχει επηρεαστεί από τη θαλάσσια διείσδυση ως αποτέλεσμα των υπεραντλήσεων.
- Οι υψηλές συγκεντρώσεις F που καταγράφονται στα υπόγεια νερά του κεντρικού τμήματος της λεκάνης, και συγκεκριμένα στις περιοχές Κολάτα, Μαυρατζάς, Λουτρός, Ντουράκος, Αγ.Ελεούσα και Λάκκοι Καλογήρου, συνδέονται με το οργανικό υλικό των λιγνιτικών ενδιαστρώσεων.
- Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων Cd, Co, Mn, Ni, Cr, Cu και Zn παρατηρούνται στα υπόγεια νερά του κεντρικού τμήματος της λεκάνης των Μεγάρων και συγκεκριμένα στα υπόγεια νερά των νεογενών και τεταρτογενών σχηματισμών. Αυτό αποδίδεται στην αποσάθρωση των τεμαχών υπερβασικών πετρωμάτων, σχιστολίθων και των οξειδίων που υπάρχουν μέσα στους σχηματισμούς αυτούς καθώς επίσης και στην παρουσία λιγνιτικών ενδιαστρώσεων μέσα στις μάργες των νεογενών σχηματισμών.
- Από την εφαρμογή της ανάλυσης συσχέτισης προκύπτει ότι οι χημικές παράμετροι: Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , Cl^- , Br^- , TDS και SO_4^{2-} παρουσιάζουν υψηλές θετικές τιμές συσχέτισης μεταξύ τους, οι οποίες ερμηνεύονται από την κοινή παρουσία τους στο θαλασσινό νερό.

- Από την εφαρμογή της ανάλυσης παραγόντων στα αναλυτικά δεδομένα των υπόγειων νερών της περιοχής έρευνας, για τις δυο περιόδους δειγματοληψίας (υγρή και ξηρή), προέκυψαν 4 παράγοντες οι οποίοι ερμηνεύουν συνολικά το 80,47% της διακύμανσης για την υγρή περίοδο και το 78,77% για την ξηρή περίοδο.
- Τα αποτελέσματα της παραγοντικής ανάλυσης στα υπόγεια νερά συμφωνούν με τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τη χωρική κατανομή των στοιχείων και τα υδροχημικά και τα στατιστικά δεδομένα.
- Οι δυο πιο σημαντικοί παράγοντες που ελέγχουν τη χημική σύσταση του νερού είναι ο παράγοντας της αλατότητας και ο γεωχημικός παράγοντας, και εμφανίζονται και στις δυο περιόδους. Ο παράγοντας της αλατότητας αποτελείται από τις μεταβλητές Br^- , Ca^{2+} , Cl^- , Mg^{2+} , Na^+ , SO_4^{2-} , TDS και δείχνει ότι τα υπόγεια νερά έχουν επηρεαστεί από τη διείσδυση της θάλασσας. Οι μεγαλύτερες παραγοντικές τιμές παρατηρούνται κυρίως στις παράκτιες περιοχές της Ψάθας, Ντουράκος, Μεγάλο Πεύκο, Νέα Πέραμος και αποδίδονται στην ανάμιξη του θαλασσινού νερού με το γλυκό νερό. Ο γεωχημικός παράγοντας αποτελείται από τις μεταβλητές Mg^{2+} , Br^- , Cl^- , Mn, Na^+ , SiO_2 , TDS, Cr, Ni, NO_3^- και καταγράφει την επίδραση των τεμαχών των υπερβασικών πετρωμάτων και της νιτρορύπανσης στη χημική σύσταση των υπόγειων νερών. Στον παράγοντα αυτό, η συνύπαρξη του Cr_{tot} με τα NO_3^- σχετίζεται με το ρόλο του οξειδοαναγωγικού ζεύγους $\text{NO}_3^-/\text{NO}_2^-$ στη γεωχημεία του Cr. Υψηλά θετικά φορτία του παράγοντα εντοπίζονται στις περιοχές οι οποίες εμφανίζουν τα εξής χαρακτηριστικά: (α) παρουσία υπερβασικών πετρωμάτων και νεογενών σχηματισμών μέσα στους οποίους εμπεριέχονται οξείδια του Fe-Mn και οργανικό υλικό (προσφορά Cr, Mn) και (β) αγροτική δραστηριότητα και χρήση αζωτούχων λιπασμάτων (προσφορά NO_3^- στο υπόγειο νερό).
- Στην παραγοντική ανάλυση μεταξύ των δυο περιόδων δειγματοληψίας εμφανίζονται κάποιες διαφοροποιήσεις οι οποίες αποδίδονται στη μεταβολή των συγκεντρώσεων των κύριων στοιχείων, των ιχνοστοιχείων και των τιμών των φυσικοχημικών παραμέτρων των δυο περιόδων δειγματοληψίας. Συγκεκριμένα ο παράγοντας 3 αποτελείται από τις παραμέτρους Cu, Ni, Co κατά την υγρή και NO_3^- , K^+ , SiO_2 κατά την ξηρή περίοδο, ενώ δεν εμφανίζει σαφή χωρική κατανομή στα υπόγεια νερά και στις δυο περιόδους. Όσον αφορά στον παράγοντα 4 αποτελείται από τις παραμέτρους SiO_2 , K^+ , Ca^{2+} , Cr_{tot} , Mg^{2+} κατά την υγρή και Cu, Ni, Zn κατά την ξηρή περίοδο, οι μεγαλύτερες παραγοντικές τιμές κατανομούνται σχεδόν σε όλη την έκταση της λεκάνης των Μεγάρων που πιθανά συνδέεται με την παρουσία υπερβασικών πετρωμάτων.
- Με βάση τα διαγράμματα Piper και Durov της υγρής και ξηρής περιόδου δειγματοληψίας τα υπόγεια νερά της λεκάνης των Μεγάρων ταξινομούνται στους εξής υδροχημικούς τύπους: α) στους τεταρτογενείς σχηματισμούς η πλειονότητα των δειγμάτων χαρακτηρίζονται ως $\text{Na}^+ - \text{Cl}^-$ και φανερώνει την επίδραση της θαλάσσιας διείσδυσης στους υπόγειους υδροφορείς των τεταρτογενών σχηματισμών, β) στους νεογενείς σχηματισμούς η πλειονότητα των δειγμάτων χαρακτηρίζονται ως ($\text{Mg}^{2+} - \text{HCO}_3^-$), τα υπόγεια αυτά νερά

έχουν προέλθει από διαδικασίες αποσάθρωσης των γειτονικών υπερβασικών πετρωμάτων τα οποία είναι πλούσια σε μαγνήσιο, και γ) στους καρστικούς σχηματισμούς η πλειονότητα των δειγμάτων χαρακτηρίζονται ως (Na⁺ - Cl⁻), και φανερώνει την επίδραση της θαλάσσιας διείσδυσης στους υπόγειους υδροφορείς εξαιτίας των υπεραντλήσεων.

- Η χωρική κατανομή των υδροχημικών τύπων Na-Cl και Mg-Cl επιβεβαιώνει την ανάμιξη υπόγειου και θαλασσινού νερού στους παράκτιους υδροφορείς. Η επικράτηση του υδροχημικού τύπου Mg-HCO₃ στο κεντρικό τμήμα της λεκάνης συνδέεται με τη διάλυση των ανθρακικών ορυκτών και την αποσάθρωση υπερβασικών πετρωμάτων.
- Από τα διάγραμμα Na - Cl για τις δυο περιόδους προκύπτει ότι όλα τα υπόγεια νερά της περιοχής έρευνας και για τις δυο περιόδους δειγματοληψίας προέρχονται από την ανάμιξη των ακραίων μελών και παρουσιάζουν παρόμοια χημική σύσταση. Ο συνδυασμός της σχέσης Na/Cl με τη σχέση (Ca + Mg - SO₄ - HCO₃)/Cl σε όλα τα δείγματα υπόγειου νερού της περιοχής έρευνας για τις δυο περιόδους, επιβεβαιώνει την ανάμιξη του θαλασσινού νερού με το υπόγειο νερό.
- Η πλειονότητα των υπόγειων νερών έχει τάση απόθεσης ασβεστίτη, αραγωνίτη, δολομίτη και μαγνησίτη, ενώ παρουσιάζει τάση διάλυσης γύψου και ανυδρίτη.
- Σύμφωνα με τις τιμές του συντελεστή Revelle, τα υπόγεια νερά της υγρής και της ξηρής περιόδου δειγματοληψίας, χαρακτηρίζονται από *καλά υπόγεια νερά χωρίς ρύπανση από θάλασσα έως επικίνδυνα ρυπασμένα νερά*. Τα υπόγεια νερά της υγρής και της ξηρής περιόδου δειγματοληψίας (ποσοστό 63,33% της υγρής περιόδου και 69,23% της ξηρής περιόδου) χαρακτηρίζονται *ως καλά και δεν έχουν ρυπανθεί από το νερό της θάλασσας*.
- Σύμφωνα με τις παραμετρικές τιμές της κοινοτικής οδηγίας 98/83/EK, και στις δυο περιόδους δειγματοληψίας τα υπόγεια νερά που κρίνονται ακατάλληλα ως πόσιμα υπερβαίνουν το 50% (ποσοστό 58,33% για την υγρή και 61,54% για την ξηρή περίοδο δειγματοληψίας). Τονίζεται ότι, τα υπόγεια νερά αξιολογήθηκαν μη λαμβάνοντας υπόψη οργανικές και μικροβιολογικές παραμέτρους.
- Η χωρική κατανομή της καταλληλότητας ποσιμότητας των υπόγειων νερών των δυο περιόδων δειγματοληψίας, έδειξε ότι τα ακατάλληλα νερά εντοπίζονται κυρίως στις παράκτιες περιοχές και στην πόλη των Μεγάρων, στα ΝΑ της λεκάνης των Μεγάρων και στους πρόποδες του όρους Πατέρα. Η ακαταλληλότητά τους οφείλεται στη διείσδυση του θαλασσινού νερού στους υπόγειους υδροφόρους καθώς και στα οικιακά αστικά λύματα, στη χρησιμοποίηση λιπασμάτων που αυξάνουν τις συγκεντρώσεις των EC, Na⁺, Cl⁻, SO₄²⁻, NO₃⁻. Στο κεντρικό τμήμα της λεκάνης η ακαταλληλότητα των υπόγειων νερών οφείλεται κυρίως στις υψηλές συγκεντρώσεις Cr, Ni και Mn.
- Σύμφωνα με το διάγραμμα S.A.R της υγρής και της ξηρής περιόδου δειγματοληψίας: α) τα υπόγεια νερά των τεταρτογενών σχηματισμών

παρουσιάζουν μέσο κίνδυνο αλκαλίωσης και πολύ υψηλό κίνδυνο αλατότητας, β) τα υπόγεια νερά των νεογενών σχηματισμών παρουσιάζουν υψηλό κίνδυνο αλατότητας και μικρό κίνδυνο αλκαλίωσης, και γ) τα υπόγεια νερά των καρστικών ανθρακικών σχηματισμών, παρουσιάζουν μέσο κίνδυνο αλκαλίωσης και πολύ υψηλό κίνδυνο αλατότητας.

- Σύμφωνα με το διάγραμμα Wilcox τα υπόγεια νερά της λεκάνης των Μεγάρων κατατάσσονται στις εξής κατηγορίες ανά σχηματισμό: α) στους τεταρτογενείς σχηματισμούς τα περισσότερα δείγματα και για τις δυο περιόδους δειγματοληψίας ανήκουν στα *αμφίβολα μέχρι ακατάλληλα νερά*, β) στους νεογενείς σχηματισμούς για την υγρή περίοδο και την ξηρή περίοδο δειγματοληψίας η πλειονότητα των υπόγειων νερών ανήκουν στα *καλά μέχρι αποδεκτά νερά* για άρδευση. Η δεύτερη μεγαλύτερη ομάδα των δειγμάτων νερού των νεογενών σχηματισμών ανήκουν στην κατηγορία των εξαιρετικά καλών νερών για άρδευση, και γ) στους καρστικούς ανθρακικούς σχηματισμούς για την υγρή περίοδο τα περισσότερα δείγματα ανήκουν στα *αμφίβολα έως ακατάλληλα νερά* για άρδευση και στην ξηρή περίοδο συναντώνται νερά τα οποία ανήκουν στα *αμφίβολα έως ακατάλληλα νερά* για άρδευση καθώς και νερά τα οποία κρίνονται *εξαιρετικά μέχρι καλά*.
- Σύμφωνα με τα κριτήρια του FAO τα υπόγεια νερά της λεκάνης των Μεγάρων και για τις δυο περιόδους δειγματοληψίας, κατατάσσονται σε νερά με *αυξανόμενα προβλήματα* και νερά *ακατάλληλα*. Και για τις δύο περιόδους δειγματοληψίας τα ακατάλληλα για άρδευση νερά παρατηρούνται στις παραλιακές περιοχές Μεγάλο Πεύκο, Νέα Πέραμος, Λάκκοι Καλογήρου, Ψάθα, Αγ.Ιωάννης, Ντουράκος, στην πόλη των Μεγάρων και στα ΝΑ της λεκάνης των Μεγάρων, στους πρόποδες του όρους Πατέρα. Στο κεντρικό τμήμα της λεκάνης τα υπόγεια νερά παρουσιάζουν αυξανόμενα προβλήματα είναι σχετικά καλύτερης ποιότητας σε σχέση με τα υπόγεια νερά των περιοχών που προαναφέρθηκαν. Το νερό των υδροφορέων των παράκτιων περιοχών έχει υποβαθμιστεί από τη διείδυση της θάλασσας εξ' αιτίας των αυξημένων αντλήσεων.

Από τη συγκριτική μελέτη των χωρικών κατανομών των ιχνοστοιχείων των υπόγειων νερών και εδαφών, προέκυψε ότι:

- Υψηλές συγκεντρώσεις Cr, Mn, Ni εντοπίζονται στα υπόγεια νερά και στα εδάφη του κεντρικού τμήματος της περιοχής έρευνας. Οι συγκεντρώσεις αυτές αποδίδονται στην παρουσία κλαστικού υλικού προερχόμενου από την αποσάθρωση τεμαχών υπερβασικών πετρωμάτων και σχιστολίθων, από την παρουσία οξειδίων του Mn-Fe καθώς και από το οργανικό υλικό των λιγνιτικών ενδιαστρώσεων που βρίσκονται μέσα στις μάργες των νεογενών σχηματισμών.
- Υψηλές συγκεντρώσεις Cu και Zn εντοπίζονται στα υπόγεια νερά και στα εδάφη του κεντρικού τμήματος καθώς και στις παραλιακές περιοχές Λάκκοι Καλογήρου και Μεγάλο Πεύκο. Οι συγκεντρώσεις αυτές αποδίδονται στην παρουσία οξειδίων του Mn-Fe που εντοπίζονται στους νεογενείς και τεταρτογενείς σχηματισμούς καθώς και στην παρουσία τεμαχών υπερβασικών πετρωμάτων και σχιστολίθων.

- Οι υψηλές συγκεντρώσεις Co στα υπόγεια νερά και στα εδάφη, καταγράφονται στο κεντρικό τμήμα της λεκάνης οι οποίες αποδίδονται στην αποσάθρωση τεμαχών υπερβασικών πετρωμάτων που απαντούν στους νεογενείς και τεταρτογενείς σχηματισμούς.
- Οι συγκεντρώσεις του Cd όσον αφορά στα εδάφη, εντοπίζονται στο κεντρικό τμήμα της λεκάνης και αποδίδονται κυρίως στη χρήση λιπασμάτων και δευτερευόντως στην αποσάθρωση υπερβασικών πετρωμάτων και σχιστολίθων. Στα υπόγεια νερά οι συγκεντρώσεις του Cd ήταν μικρότερες από το όριο ανιχνευσιμότητας.

Τα υπόγεια νερά της περιοχής έρευνας έχουν υποστεί έντονη υποβάθμιση η οποία οφείλεται στη συνδυαστική δράση γεωγενών και ανθρωπογενών παραγόντων. Η εφαρμογή μέτρων για τον περιορισμό της επίδρασης κυρίως των ανθρωπογενών παραγόντων (υπεράντληση, υπερλίπανση) είναι απαραίτητη και καθοριστική για τη βιώσιμη ανάπτυξη της περιοχής. Επίσης η ενημέρωση και η συμμετοχή των κύριων καταναλωτών νερού (αγρότες, κτηνοτρόφοι) σε πολιτικές προστασίας των υπόγειων νερών κρίνεται απαραίτητη.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

A. ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ

Aaseth J., Norseth T., 1986: Copper. In: Friberg L, Nordberg, GF, Vouk VB (eds) Handbook on the toxicology of metals. 2nd ed., vol 2: Specific metals. Elsevier, New York: 233–254.

ADWG., 2004: Australian Drinking Water Guidelines, Australian Government. National Health and Medical Research Council.

Ahnstrom Z.S and Parker D.R., 1999: Development and assessment of a sequential extraction procedure for the fractionation of soil cadmium. Soil Sci. Soc. Am. J. 63: 1650-1658.

Alexakis D. and Kelepertsis A., 1998: The relationship between the chemical composition-quality of groundwaters and the geological environment in the East Attiki area, Greece. Mineral Wealth 109:9-20.

Alexakis D., 2008: Geochemistry of stream sediments as a tool for assessing contamination by Arsenic, Chromium and other toxic elements: East Attica region, Greece. European Water 21/22.

Alexakis D., 2011: Diagnosis of stream sediment quality and assessment of toxic element contamination sources in East Attica, Greece. Environmental Earth Sciences 63: 1369-1383.

Alloway B.J., 1990: Heavy metals in soils. John Wiley and Sons, Inc. New York, ISBN 0470215984.

Alloway B.J., 1995: Heavy metals in soils. 2nd ed., Blackie Acad, London.

Alloway B.J., 1997: Chemical Principles of Environmental Pollution (2nd Edition), Blackie Academic and Professional, London.

APHA-AWWA-WEF., 2005: (Eaton A.D., American Public Health Association., American Water Works Association., Water Environment Federation), Standard methods for the examination of water and wastewater, 21st ed. American Public Health Association, Washington, D.C.

Appelo C.A.J., Postma D., 1996: Geochemistry, groundwater and pollution, Balkema, Rotterdam. P. 670.

Appelo C., Postma D., 2005: Geochemistry, groundwater and pollution. 2nd Ed. A.A. Balkema Publishers, The Netherlands, p. 649.

ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry)., 1990: Toxicological profile for copper. U.S. Public Health Service. Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Atlanta, G A.

Aubert H and Pinta M., 1997: Elements in soils. Developments in soil Science 7. Elsevier Sci. Publ. Co., Amsterdam.

Ayers R.S and Westcot D.W., 1976: Water quality for agriculture. Irrigation and Drainage Paper 29, FAO, Rome.

Ayers R.S and Westcot D.W., 1985: Water quality for agriculture. Irrigation and Drainage Paper, FAO, Rome.

Baligar V.C., Beaver W.V., and Ahlrichs J.L., 1998: Nature and distribution of acid soils in the world. In 'Proceedings of a Workshop and Dissemination of Technology in Sustainable Crop Productions in Acid Savannas and other problem Soil of the World. Schaffert R.E. (Ed.). Purdue University pp. 1 – 12.

Ball J.W. and Izbicki J.A., 2004: Occurrence of hexavalent chromium in groundwater in the western Mojave Desert, California. *Applied Geochemistry*, 19:1123-1135.

Barati, A.H., Maleki A., Alasvand M., 2010: Multi-trace elements level in drinking water and the prevalence of multi-chronic arsenical poisoning in residents in the west area of Iran, *Science of the Total Environment*, 408: 1523-1529.

Bartlett R.J., 1999: Characterizing soil redox behavior. In: Sparks DL (ed) *Soil physical chemistry*, 2nd ed., CRC Press, Boca Raton, FL, pp 371–397.

Bartram J. and Ballance R., 2001: *Water Quality Monitoring (A practical guide to the design and implementation of freshwater quality studies and monitoring programmes)*. Book. Spon Press.

Becquer T., Quantin C., Sicot M., Boudot J.-P., 2003: Chromium availability in ultramafic soils from New Caledonia. *Sci Total Environ* 3001:367–373.

Bouksila F., Bahri A., Berndtsson R., Persson M., Rozema J., Van der Zee EATM., 2012: Assessment of soil salinisation risks under irrigation with brackish water in semiarid Tunisia. *Environmental and Experimental Botany*. Doi:10.1016/j.envexplot.2012.06.002.

Bouyoukos G.J., 1962: Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils. *Agron. J.* 54, 464-465.

Brandi K., Möller A.S., Pallauf M.W.J., 2004: Influence of manganese deficiency on manganese enzyme activity and gene expression in growing rats. 22 Workshop, Macro and Trace Elements, Jena, 2, pp 1296–1302.

Brantley S., Kubicki J., White A., 2008: « Kinetics of Water – Rock Interaction », Springer Science + Business Media, LLC, New York.

Briz-Kishore B.H. and Murali G., 1989: Factor analysis for Revealing Hydrochemical Characteristics of a Watershed. *Envir. Geology and Water Sciences*, 19, 3 – 9.

Bromfield S.M., 1958: The properties of biological formed manganese oxide its availability to oats and its solution by root washing. *Plant Soil* 9: 325 – 333.

Bull W., 1977: Progress in physical geography. The alluvial fan environment, volum 1. Number 2, p. 222.

Bulut V. N., Bayram A., Gundogdu A., Soylak M., Tufekci M., 2010: Assessment of water quality parameters in the stream Galyan, Trabzon, Turkey. *Environ Monit Assess* (2010) 165:1–13.

Burdon D. and Papakis.N., 1963: Handbook of karst Hydrogeology with special Reference on Carbonate Aquifers of the Mediterranean Region. I.G.S.R., p. 276, Athens.

Canadian Environmental Protection Act., 2003: Canadian Soil Quality Guidelines for the Protection of Environmental and Human Health (December 2003).

Canter L.W., 1997: «Nitrates in groundwater», Lewis Publishes.

Cantor K.P., 1997: Drinking Water and Cancer. *Cancer Causes and Control*, 8 (3): 292-308.

Chachadi A.G., 2005: Seawater intrusion mapping using modified Galdit indicator model- Case Study in Goa. *Jalvigyan Sameeshka*, vol. 20, 2005.

Chanakya, H.N., & Sharatchandra, H.C., 2008: Nitrogen pool, flows, impact and sustainability issues of human waste management in the city of Bangalore. *Current Science*, 94 (11), 1447 – 1454.

Cheng-Shin Jang., 2010: Applying scores of multivariate statistical analyses to characterize relationships between hydrochemical properties and geological origins of springs in Taiwan. *Journal of Geochemical Exploration* 105, 11–18.

Christensen T.H., Haung P.M., 1999: Solid phase cadmium and the reaction of aqueous cadmium with soil surfaces. In: McLaughlin MJ, Singh BR (eds) *Cadmium in soils and plants*. Kluwer Acad Publ, London, pp 65–96.

Clayton, R.N, Goldsmith, J.R, Karel, K.J, Mayeda, T.K, Robert C., N., 1975: Limits on the effect of pressure on isotopic fractionation. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 39 (8) 1197-1201.

Connor J.J., Shacklette H.T., 1975: Background geochemistry of some soils, plants and vegetables in the conterminous United States, United States Geological Survey and Research Professional Papers 574-F, 164.

Coppenet M and Juste C., 1982: Trace elements effects to the growth of plants and toxicity phenomena. In ‘Constituents and Properties of Soils’ p. 458 – 465. Bonneau M., and Souchier B. (Eds). Academic Press. London.

CORINE program (Bossard et al., 2000): Bossard, M., Feranec, J., Otahel, J., 2000. CORINE land cover technical guide – Addendum 2000. European Environment Agency, Copenhagen, p 104.

Cox P.A., 1997: The Elements on Earth. Inorganic Chemistry in the Environment. Book. Oxford University Press Inc., New York.

Dahn R., Schneidegger A.M., Manceau A., Bayens B., Bradbury M.H., 2003: Uptake mechanisms of Ni(II) on montmorillonite as determined by Xray absorption spectroscopy. Goldschmidt, Copenhagen, A164 p.

Dai S., Ren D., Ma S., 2004: The cause of endemic fluorosis in western Guizhou Province, Southwest China. Fuel 83: 2095–2098.

Dai, S., Ren, D., Zhou, Y., Chou, C.-L., Wang, X., Zhao, L., Zhu, X., 2008: Mineralogy and geochemistry of a superhigh-organic-sulfur coal, Yanshan Coalfield, Yunnan, China: evidence for a volcanic ash component and influence by submarine exhalation. Chemical Geology 255: 182–194.

Davis J.C., 1973: Statistics and Data Analysis in Geology. Wiley, New York, N.Y., 550 pp.

Davis S.N., R.J.M. DeWiest., 1996: Hydrogeology. John Wiley & Sons, New York, 453 pp.

Dazy J., Drogue C., Charmanidis Ph., Darlet Ch., 1997: The influence of marine inflows on the chemical composition of groundwater in small islands : the example of the Cyclades (Creece). Environmental Geology 31 (3/4) June 1997, 133-141.

Dutch List., 2000: Circular on target values and intervention values for soil remediation (February 2000).

EC., 1980: European Union 80/778/EC. Council directive of 15 July 1980 relating to the quality of water intended for human consumption. Official Journal of the European Communities 1980: L229/11-L229/29.

EC., 1998: Council Directive 98/83/EC of 3 November 1998 on the quality of water intended for human consumption. Official Journal of the European Communities L330/32-330/54.

Eisler R., 1998: Copper hazards to fish, wildlife, and invertebrates: A synoptic review. Biological Science Report USGS/BRD/BSR-1997-0002, pp 5–146.

Emsley J., 1998: The elements. Third edition, Oxford University Press.

EPA., 2001: National primary drinking water regulations. EPA 816-F-01-007, Office of Water. US EPA Washington DC.

EPA., 2006: Edition of the drinking water standards and health advisories. EPA 822-R-06-013. Office of Water. US EPA Washington DC.

European Commission., 2006: Communication from the commission to the council of the European social committee and the committee of the regions, thematic strategy for soil protection COM (2006) 231 final. Brussels.

Fairbridge R.W., 1972: The encyclopedia of geochemistry and environmental sciences. Van Nostrand Reinhold Company, New York.

Fantoni D., Brozzo G., Canepa M., Cipolli F., Marini L., Ottonello G., Zuccolini M., 2002: Natural hexavalent chromium in groundwaters interacting with ophiolitic rocks. *Environ Geology*, 42:871-882.

Farmer J.G., Thomas R.P., Graham M.C., Geelhoed J.S., Lumsdon D.G., Paterson E., 2002: Chromium speciation and fractionation in ground and surface waters in the vicinity of chromite ore processing residue disposal sites. *J Environ Monit* 4:235–243.

Feng J. L., Wang G. L., Sun J. H., Sun S. P., Liu X.F., 2010: Metals in water and surface sediments from Henan reaches of the Yellow River, China. *Science China Chemistry* Vol.53 No.5: 1217–1224.

Fernandes P.G., Carreira P., Silva M.O., 2008: Anthropogenic sources of contamination recognition — Sines coastal aquifer (SW Portugal) *Journal of Geochemical Exploration* 98, 1–14.

Fernandez - Pazos M.T., Garrido - Rodriguez B., Novoa - Munoz J.C., Arias - Estevez M., Fernandez - Sanjurjo M.J., Nunez - Delgado A., Alvarez E., 2013: Cr (VI) adsorption and desorption on soils and biosorbents. *Water Air Soil Pollut* 224:1366.

Finkelman R., Orema W., Castranova V., Tatu C., Belkin H., Zheng B., Lerch H., Maharaj S., Bates A., 2002: Health impacts of coal and coal use: possible solutions. *International Journal of Coal Geology* 50: 425– 443.

Foscolos, A.E., Goodarzi, F., Koukouzas, C.N., Hatziyiannis, G., 1989: Reconnaissance study of mineral matter and trace elements in Greek lignites. *Chemical Geology* 76: 107–130.

Freeze R.A and Cherry J.A., 1979: *Groundwater*. Englewood Cliffs, New jersey: Prentice Hall.

Freeze R.A., Cherry J.A., 1997: *Groundwater*. Ed. Englewood Cliffs, N.J. Prentice Hall, pp.604.

Gamvroula D., Alexakis D., Stamatis G., 2011: Assessment of groundwater quality in the Megara basin, Attica, Greece. *Adv Res Aquatic Environ* 2:393–400. doi:10.1007/978-3-642-24076-8, Springer Berlin Heidelberg.

Gamvroula D., Alexakis D., Stamatis G., 2013: Diagnosis of groundwater quality and assessment of contamination sources in the Megara basin (Attica, Greece). *Arabian Journal of Geosciences* 6:2367-2381.

Garrett R., 1996: Natural sources of cadmium. In: OECD Proceedings – Sources of cadmium in the environment. OECD, Paris, pp 149–161.

Geelhoed J.S., Meeussen C.L., Roe M.J., Hiller S., Thomas R.P., Farmer J.G., Paterson E., 2003: Chromium remediation or release? Effect of iron (II) sulfate addition on chromium (VI) leaching from columns of chromite ore processing residue. *Environ Sci Technol* 32:3206–3213.

Gonzalez A.R., Ndung K., and Flegal A.R., 2005: Natural occurrence of hexavalent chromium in the Aromas Red Sands aquifer, California. *Environmental Science and Technology*, 39, pp 5505-5511.

Greta E., Dai S., Li X., 2013: Fluorine in Bulgarian coals. *International Journal of Coal Geology* 105:16–23.

Hall, G.E.M., Gauthier G., Pelchat J.C., Pelchat P., Vaive J.E., 1996b: Application of a sequential extraction scheme to ten geological certified reference materials for the determination of 20 elements. *J. Anal. At. Spectrom* 11: 787-796.

Hall, G.E.M., Vaive J.E., Beer R., Hoashi M., 1996a: Selective extraction revisited, with emphasis on the amorphous Fe oxyhydroxide phase extraction. *J. Geochem. Explor.* 56: 59-78.

Hamdan A.M.A and Rady A.R.A., 2011: Vulnerability of the groundwater in the quaternary aquifer at El Shalal-Kema area, Aswan, Egypt. *Arab J Geosci*, DOI 10.1007/s12517-011-0363-y.

Hartmann L., Sponholz B., 2011: Spatial distribution of calcium in food, water and soil and its possible influence on rickets disease in Northern Nigeria *Environ Geochem Health*, DOI 10.1007/s10653-011-9440-0.

Helios-Rybicka E., Strzebotska M., Protasowicki M., Poprawski L., 1998: Distribution and fate of heavy metals in the flood 1997. Sediments of upper Odra River in Poland. *Intern Odra Res Conf, Krakow*, 1, pp 62–63.

Hem J.D., 2005: Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water, Reprinted from the 1970 edition, U.S. Geological Survey, United States, 363 p.

Herrero T.C., Martin L.F.L., 1993: Evaluation of cadmium levels in fertilized soils. *Bull Environ Contam Toxicol* 50:61–68.

Hilgard E.W., 1914: Soils. The Macmillan Company, New York.

Homer F.A., Reeves R.D., Brooks R.R., and Baker A.J.M., 1991: Characterization of the nickel rich extract from the nickel hyper accumulation *Dichapetalum gelonioides*. *Phytochemistry* 30: 2141-2145.

Hounslaw A.W., 1995: Water quality Data - Analysis and interpretation. Book. Lewis Publishers.

- Hounslow A.W., 2000: Water Quality Data Analysis and Interpretation, Lewis Publishers. A CRC Press Company, Florida, pp.397.
- Hutton L.G., 1983: Field Testing of water in Developing Countries. Water Research Centre, Medmenham.
- Iavazzo P., Ducci D., Adamo P., Trifuoggi M., Migliozi A., Boni M., 2012: Impact of past mining activity on the quality of water and soil in the high Moulouya valley (Morocco). *Water Air Soil Pollut* 223:573-589.
- Imbrie J and Purdy E., 1962: Classification of modern Bahamian Carbonate sediments. In: Classification of carbonate Rocks – Asymposium, Mem.I, Amer. Assoc. Petroleum geol.pp.253-272.
- Imbrie J and van Andel T.H., 1964: Vector analysis of heavy mineral data. *Bull. Geol. Soc. Amer.* 75, pp. 1131-56.
- Imbrie J., 1963: Factor and vector analysis programs for analyzing geologic data. Office of naval Research Geographic Branch technical Report 6: pp 1-83.
- Jains C.K., Bandyopadhyay A., Bhadra A., 2010: Assessment of ground water quality for drinking purpose, District Nainital, Uttarakhand, India. *Environmental Monitoring and Assessment* 166:663-676, DOI 10.1007/s10661-009-1031-5.
- James B.R., Peture J.C., Vitale R.J., Mussoline G.R., 1997: Oxidationreduction chemistry of chromium: relevance to the regulation and remediation of chromate-contaminated soils. *J Soil Contam, Spec Issue* 6:569–580.
- Jayakumar R and Siraz L., 1997: Factor analysis in hydrogeochemistry of coastal aquifers: a preliminary study. *Environmental Geology*, 31 (3/4).
- Jenny H., 1980: The soil resource. Origin and Behavior. Springer – Verlag.
- Joffe J.S., 1936: Petrology, Rutgers University Press, New Bruswick, N.J.
- Kabata - Pendias A. and Mukherjee B., 2007: Trace Elements from Soil to Human, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.
- Kabata Pendias A and Pendias H., 1992: Trace elements in Soils and Plants, 2nd Editions. CRC Press, Boca Raton.
- Kabata-Pendias A., Krakowiak A., 1995: Soil parameters as a base for the calculation of background heavy metal status. In: Wilkens R-D, Forstner U, Knochel A (eds) Heavy metal in the environment. CEP, Edinburgh, 1, pp 398– 401.
- Kabata-Pendias A., Pendias H., 1999: Biogeochemistry of trace elements, 2nd ed., Wyd Nauk PWN, Warszawa.
- Kabata-Pendias A., Pendias H., 2001: Trace elements in soils and plants, 3rd ed., CRC Press, Boca Raton, FL.

- Kabata-Pendias A., Sadurski W., 2004: Trace elements and compounds in soil. In: Merian E, Anke M, Ihnat M, Stoeppler M (eds) Elements and their compounds in the environment, Wiley-VCH, Weinheim, 2nd ed.
- Kaiser., 1958: The Varimax criteria for analytical rotation in factor analysis: *Psychometrika*, Vol.23, 187-200.
- Karczewska A., 2004: Function of iron and manganese oxides in sorption of heavy metals in polluted soils as related to the sequential extraction. *Ann Nat Inst. Hygiene Suppl* 55: 133-141.
- Keith L.H., 1988: Principles of environmental sampling. Washington, D.C., American Chemical Society. Book.
- Kennish M.J., 1998: Trace metal-sediment dynamics in estuaries: Pollution assessment. *Res Environ Contam Toxicol* 155:69–110.
- Kersten M. and Forstner U., 1986: *Water Sci. Technol.* 18: 121.
- Kim N.D and Fergusson I.E., 1991: *Sci total Environ.* 105:191.
- Kloval J.E., 1968: Selection of target areas by factor analysis in determining depositional environments from grain – size distributions *J.Sediment. Petrol.*, 36: 115-25.
- Kotas J., Stasicka Z., 2000: Chromium occurrence in the environment and methods of its speciation. *Environ Pollut* 107:263–283.
- Kotlinski R., 1999: Metallogenesis of the World's Ocean against background of oceanic crust evolution. *Polish Geol Inst, Special Papers* 4:5–59.
- Kumru M.N., Bakac M., 2003: R-mode factor analysis applied to the distribution of elements in soils from the Aydin basin, Turkey. *Journal of Geochemical Exploration* 77, 81–89.
- La Grange County Health Department Indiana., 1996: Spontaneous abortions possibly related to ingestion of nitrate contaminated well water. LaGrange County, Indiana 1991-1994. *MMWR Morb Mortal Wkly Rep* 45:569-572.
- Lambrakis N., Tiniakos L., Voudouris K., Kallergis G., 2000: Hydrogeologische Untersuchungen auf der insel Serifos zur Beschaffenheit der granodioritischen Wasser. *Beitrage zur Hydrogeologie* 51, Graz 2000, 95-100.
- Laxen D.P.H., Harrison R.M., 1983: The physio-chemical speciation of selected metals in the treated effluent of a lead-acid battery manufacturer and its effect on metal speciation in the receiving water. *Water Res* 17:71–80.
- Leeder, M.R., Seger, M.J., Stark, C.P., 1991: Sedimentation and tectonic geomorphology adjacent to major active and inactive normal faults, southern Greece. *Journal of the Geological Society.* 148 (2):331-343.

- Liddell and Scott., 1902: Μέγα Λεξικόν της Ελληνικής Γλώσσης. Ανέστη Κωνσταντινίδου. Εν Αθήναις. Εκδόσεις Επικαιρότητα.
- Lindsay W.L., 1979: Chemical Equilibrium in Soils. John Wiley and Sons. New York, p. 449.
- Liu C.W., Lin K.H., Kuo Y.M., 2003: Application of factor analysis in the assessment of groundwater quality in a Blackfoot disease area in Taiwan. Science of the Total Environment, vol. 313, p.77-89.
- Liu H., Probst A., Liao B., 2005: Metal contamination of soils and crops affected by the Chenzhou lead/ zinc mine spill (Hunan, China). Science of the Total Environment, vol. 339, p. 153-166.
- Lloyd, J.W and Heathcote., 1985: Natural and organic hydrogeology in relation to groundwater. Clarendon Press – Oxford : p.294.
- Loganathan, P., Vigneswaran, S. , Kandasamy, J., Naidu, R., 2012: Cadmium sorption and desorption in soils: A review. Critical Reviews in Environmental Science and Technology 42 (5):489-533.
- Mahmoudlu M.G. and Naseri H.R., 2008: Investigation of salt water intrusion into Sari aquifer 2008. Jour. of Environment. Studies 34 (47), pp. 21- 30.
- Mahmoudlu M.G., Raghimi M., Tahmasbi A.A.F., 2008: Salt water intrusion in water wells by using of hydrogeochemistry study (Case Study: Sari City), Journal Of Agricultural Sciences And Natural Resources October-November 2008, 15(4):281-293.
- Mariolakos I., Papanikolaou D., 1982: The Neogene basins of the Aegean arc from paleographic and geodynamic point of view. Int. Symp. Hellen. Arc and Trench (HEAT), April 1981, Proceedings 383-399, Athens.
- Matthess G., 1973: Die Beschaffenheit des Grundwassers, Gebruder Borntraeger. Be2rlin. Stuttgart, 319p.
- Mc Cammon R.B., 1969: Multivariate methods in geology, in models of geological processes (Fenner, P., ed.):Wshington, D.C., Am.Geol.Inst.
- McBride M.B., 1994: Environmental chemistry of soils. Oxford University Press, New York.
- McBride M.B., Sauvi S., Hendershot W., 1997: Heavy metal uptake and chemical changes in the rhizosphere of *Thlaspi caerulescens* and *Thlaspi ochroleucum* grown in contaminated soils. Plant Soil 188:153–159.
- Mico C., Recatala L., Peris M., Sanchez J., 2006: Assessing heavy metal sources in agricultural soils of an European Mediterranean area by multivariate analysis. Chemosphere 65, 863-872.

- Mielke H.W., Gonzales C.R., Powell E., Shah A., Mielke P.W., 2002: Natural and anthropogenic processes that concentrate Mn in rural and urban environments of the Lower Mississippi River Delta. *Environ Res Sec A* 90:157–168.
- Momcilovic B., 2004: The copper group. In: Merian E, Anke A, Inhat M, Stoeppler M (eds) *Elements and their compounds in the environment*. 2nd ed., VCH, Weinheim, pp 731–750.
- Mora, F , Agnati, L.F., Fuxe, K., 2009: Journal of Neural Transmission: Preface (Editorial). *Journal of Neural Transmission*. 116 (8) 921-922.
- Morewood N. and Roberts G., 1999: ‘Lateral propagation of the surface trace of the South Alkyonides normal. Fault Segment, central Greece: its impact on models of fault growth and displacement-length relationships’, *Journal of Structural Geology*, 21, 635-652.
- Morewood N. and Roberts G., 2001: ‘Comparison of surface slip and focal. Mechanism slip data along normal faults: an example from the eastern Gulf of Corinth, Greece’, *Journal of Structural Geology*, 23, 473-487.
- Morewood N. and Roberts G., 2002: ‘Surface observations of active normal fault propagation: implications for growth’, *Journal of Geological Society of London*, 159, 263-272.
- Munno De G., Geday MA., Medaglia M., Anastassopoulou J., Theophanides T., 1996: Manganese and cobalt cytosine (Cyt) and 1-methylcytosine (1- Mecyt) complexes. In: Collery Ph, Corbella J, Dominnngo JL, Etienne J-C, Llobet JM (eds) *Metal ions in biology and medicine* 4, Libbey Eurotext, Paris, pp 3–5.
- Nahar SM., Zhang J., 2012: Assessment of potable water quality including organic, inorganic, and trace metal concentrations. *Environ Geochem Health* 34:141–150, DOI 10.1007/s10653-011-9397-z.
- Nriagu J.O., 1988 : Production and uses of chromium. In: Nriagu, J.O., Nieboer E. (Eds.), *Chromium in the Natural and Human Environments*, vol.20, pp.81-103.
- Ondrasek G., Rengel Z., Romić D., Poljak M., Romić M., 2009: Accumulation of non/essential elements in radish plants grown in salt-affected and cadmium-contaminated environment. *Cereal Research Communications*, 37(S5): 9–12.
- Oze C., Fendorf S., Bird K.D., Coleman G.R., 2004: Chromium Geochemistry of Serpentine Soils. *International Geology Review*, 46, pp97-126.
- Özlem Selçuk Zorer., Hasan Ceylan., Mahmut Dođru., 2008: Assessment of some trace heavy metals and radioactivity concentration in water of Bendimahi River Basin (Van, Turkey). *Environ. Monit. Assess.* (2008) 147:183–190.
- Pacha J., Galimska-Stypa R., 1988: Mutagenic properties of selected tri- and hexavalent chromium compounds. *Acta Biol Sil, Katowice* 9:30–36.

- Palmer D. and Puls W., 1994: Natural Attenuation of Hexavalent Chromium in Groundwater and Soils, EPA Ground Water Issue, EPA/540/5-94/505.
- Panda U.C., Sundaray S.K., Rath P., Nayak B.B., Bhatta D., 2006: Application of factor and cluster analysis for characterization of river nad estuarine water systems – A case study: Mahanadi River (India). *Journal of Hydrology*, vol. 331, p.434-445.
- Papazoglou E., Serelis K., Bouranis D., 2007: Impact of high cadmium and nickel soil concentration on selected physiological parameters of *Arundo donax* L., *European Journal of Soil Biology* 43: 207-215.
- Peganova S., Edler K., 2004: Zinc. In: Merian E, Anke M, Ihnat M, Stoeppler M (eds) *Elements and their compounds in the environment*. 2nd ed., Wiley-VCH, Weinheim, pp 1203–1239.
- Pentari D., Foscolos A., Perdikatsis V., 2004: Trace element contents in the Domeniko lignite deposit, Ellassona basin, Central Greece. *Int J Coal Geol* 58:261–268.
- Petalas C., Lambrakis N., Zaggana E., 2006: Hydrochemistry of waters of volcanic rocks: the case of the volcanosedimentary rocks of Thrace, Greece *Water, Air, and Soil Pollution*, 169: 375–394.
- Percival S.S., 1995: Neutropenia caused by copper deficiency: possible mechanisms of action. *Nutrition Reviews* 53:59–66.
- Piper A.M., 1944: A graphical procedure in the geochemical interpretation of water – analyses. *Transactions, American Geophysical Union*, vol. 25, pp. 914-923.
- Plumlee G.S., Ziegler T.L., 2003: The medical geochemistry of dusts, soils, and other earth materials. *Treatise on geochemistry* 9:263–310.
- Pujari P.R. and Soni A.K., 2009: Sea water intrusion studies near Kovaya limestone mine, Saurashtra coast, India. *Environ Monit Assess* (2009) 154:93– 109.
- Qiang An., Yanqing Wu., Jinhui Wang., Zhien Li., 2010: Assessment of dissolved heavy metal in the Yangtze River estuary and its adjacent sea, China. *Environ. Monit. Assess.* (2010) 164:173–187.
- Quevauviller Ph., 1998: Operationally defined extraction procedures for soil and sediment analysis. I Standardization. *Trends Anal. Chem.* 17: 289-298.
- Quevauviller Ph., Rauret G., Muntau H., Ure A.M., Rubio R., Lopez-Sanchez J.F., Fiedler H.P., Griepink B., 1994: Evaluation of a sequential extraction procedure for the determination of extractable trace metal contents in Sediments *Fresenius Anal Chem* (1994) 349: 808-814.
- Rajankar P.N., Tambekar D.H., Wate S.R., 2010: Groundwater quality and water quality index at Bhandara District. *Environmental Monitoring Assessment*, DOI 10.1007/s10661-010-1767-y.

Raksasataya A., Langdon A.G., Kim N.B., 1996: Assessment of the extent of lead redistribution during sequential extraction by two different methods. *Anal. Chim. Acta* 332: 1- 14.

Rauret G., Lopez-Sunchez J.F., Sahuquillo A., Rubio R., Davidson C., Ure A., Quevauviller Ph., 1999: Improvement of the BCR three-step sequential extraction procedure prior to the certification of new sediment and soil reference materials *J. Environ. Monit.* 1:57-61.

Revelle R., 1941: Criteria for recognition of seawater. *Trans.Amer.Geophysical Union.* 22,593-541.

Richards I.A., 1954: Diagnosis and improvement of saline and alkali soils, *Agric. Handbook* 60, U.S.Dept.Agric., Washington, D.C. 160p.

Romic D., Romic M., Zovko M., Bakic H., G. Ondrasek., 2012: Trace metals in the coastal soils developed from estuarine floodplain sediments in the Croatian Mediterranean region. *Environ Geochem Health*, DOI 10.1007/s10653-012-9449-z.

Ross, A. C., Manson, J. E., Abrams, S. A., Aloia, J. F., Brannon, P. M., Clinton, S. K., Durazo-Arvizu, R. A., Gallagher, J. C., Gallo, R. L., Jones, G., Kovacs, C. S., Mayne, S. T., Rosen, C. J., & Shapses, S. A., 2011: The 2011 dietary reference intakes for calcium and vitamin D: What dietetics practitioners need to know. *Journal of the American Dietetic Association.* doi:10.1016/j.jada.2011.01.004.

Ruiz.F., Gomis.V., Blasco.P., 1990: Application of factor analysis to the hydrogeochemical study of a coastal aquifer. *Journal of Hydrology*, 119, 169 – 177.

Saager R and Essellaar P.A., 1969: Factor analysis of Geochemical Data from the Basal Reef, Orange Free State Goldfield, S. Africa. *Econ. Geology.* Vol. 64, 445-451.

Saager R., Sinclair A.J., 1974: Factor analysis of stream sediment geochemical data from the Mount Nansen area, Yukon Territory, Canada-Mineral. *Deposita*, 9 : 243 – 252.

Sahuquillo A., Lopez-Sunchez J.F., Rubio R., Rauret G., Thomas R.P., Davidson C.M., Ure A.M., 1999: Use of a certified reference materials for extractable trace metals to assess sources of uncertainty in the BCR three – stage sequential extraction procedure. *Anal. Chim. Acta* 382:317-327.

Sakorafa V., Michailidis K., Burrigato F., 1996: Mineralogy, geochemistry and physical properties of fly ash from the Megalopolis lignite fields, Peloponnese, Southern Greece. *Fuel* 75:419–423.

Salbu, B., Krekling T., Oughton D.H., 1998: Characterization of radioactive particles in the environment. *Analyst*, 123: 843-849.

Salomons W and Forstner U., 1984: *Metals in the hydrocycle* Springer – Verlag, New York.

- Sarris A., Kokinou E., Aidona E., Kallithrakas-Kontos N., Koulouridakis P., Kakoulaki G., Droulia K., Damianovits O., 2009: Environmental study for pollution in the area of Megalopolis power plant (Peloponnesos, Greece). *Environ. Geol.* (2009) 58:1769–1783.
- Sawyer C.N., McCarty P.L., Parkin G.F., 1994: *Chemistry for Environmental Engineering*. 4th ed., McGraw-Hill, New York, 658 pp.
- Schmoll O., Howard G., Chilton J., Chorus I., 2006: *Protecting groundwater for health: Managing the quality of drinking water sources*. London: WHO/IWA.
- Shtangeeva I., Kehelin H., Laiho H., 2005: Effects of soil fertilization on uptake of macro- and trace elements. Intern Workshop Fate and Impact of Persistent Pollutants in Agroecosystems. IUNG, Pulawy, pp 154–155.
- Siebielec G., Chaney R.L., 2006: Manganese fertilizer requirement to prevent manganese deficiency when liming to remediate Ni-phytotoxic soils. *Comm Soil Sci Plant Anal* 37:1–17.
- Siegel F.R., 1974: *Applied Geochemistry*. Book. J. Willey and Sons, New York.
- Soil Survey Staff., 1975: *Soil taxonomy – a basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys*. Agr. Handb. No 436, U.S. Dep. Of Agr., Washington, D.C.
- Sopher C.D and Baird J.V., 1978: *Soils and Soil Management*. Reston, Prentice Hall.
- Stamatis G., Alexakis D., Gamvroula D., Migiros G., 2011: Groundwater quality assessment in Oropos-Kalamos basin, Attica, Greece. *Environ Earth Sci* 64 (4): 973-988.
- Stamatis G. and Gartzos E., 1999: The silica supersaturated waters of northern Evia and eastern central Greece. *Hydrological Processes*, 13 (17):2833-2845.
- Stamatis G., Lambrakis N., Alexakis D., Zagana E., 2006: Groundwater quality in Mesogeia basin in eastern Attica (Greece), *Hydrological Processes*, 20, 2803-2818.
- Stamatis G., Voudouris K., 2003: Marine and human activity influences on the groundwater quality of southern Korinthos area (Greece). *Hydrological Processes* 17, 2327–2345.
- Stamatis G., Voudouris K., Karefilakis Th., 2001: Groundwater Pollution by heavy metals in historical and mineral area of Lavrio (Attica, Greece). *Water, Air and Soil pollution* 128, 61 – 83.
- Stumm W. and Morgan J., 1996: *Aquatic Chemistry. Chemistry Equilibria and Rates in Natural Waters*. 3rd Edition. Environmental Science and Technology. A Wiley-Interscience Series of Texts and Monographs.

- Sujatha D., Reddy B.R., 2003: Quality characterization of groundwater in the south-eastern part of Ranga Reddy district, Andhra Pradesh, India. *Environmental Geology* 44:579-586.
- Sunderman Jr. F.W., 2004: Nickel. In: Merian E, Anke M, Ihnat M, Stoeppler M (eds) *Elements and their compounds in the environment*. 2nd ed., Wiley-VCH, Weinheim, pp 841–865.
- Tack F.M.G and Verloo M.G., 1995: Chemical speciation and fractionation in soil and sediment heavy metal analysis: *Int. J. Environ. Anal. Chem.* 59: 225-238.
- Tani Y., Miyata N., Ohashi M., Iwahori K., Soma M., Seyma H., 2003: Interaction of Co(II), Zn(II) and As(III/V) with manganese oxides formed by Mn-oxidizing fungus. 16th Intern Symp Environ Biogeochem, Oirase, 113 p.
- Taiwo, A.M., 2012: Source identification and apportionment of pollution sources to groundwater quality in major cities in Southwest, Nigeria. *Geofizika* 29 (2) 157-174.
- Tessier A., Campell P.G.C., Bisson M., 1979: Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals *Anal.Chem.* 51:844-851.
- Theodoropoulos D., 1968: *Stratigraphie and tektonik des Isthmus von Megara*. Erlagen Geologisch Abhandlungen Heft 73.
- Thornes J.B., 1988: "Erosional equilibria under grazing". In: Bintliff, J., Davidson, D., Grant, E. (Eds.), *Conceptual Issues in Environmental Archaeology*, Edinburgh University Press.
- Tripathi V.S., 1979: Factor analysis in geochemical exploration. *Journal of Geochemical Exploration* 11, 263-275.
- Turekian K.K. and Wedepohl K.H., 1961: Distribution of the elements in some major units of the Earth's Crust. *Geological Society of America Bulletin*, v. 72, p. 175-192. February 1961.
- Ure, A.M., Quevauviller, Ph., Muntau, H., Griepink, B., 1992: B. EUR report. CEC Brussels, 14763, 1992:85.
- Ure, A.M., Quevauviller, Ph., Muntau, H., Griepink, B., 1993: Speciation of heavy metal in soils and sediments. An account of the improvement and harmonisation of extraction techniques undertaken under the auspices of the BCR of the Commission of the European Communities. *Int. J. Environ. Anal. Chem.* 51, 135-151.
- U.S. E.P.A., 1980: Ambient water quality criteria for silver. EPA-440/5-80-071. Office of water regulations and standards. Criteria and Standard Division. Washington, DC.
- U.S.G.S., 2002: TWRI Book9, Chapter A6. Field measurements, by F.D. Wilde and D.B. Radtke, editors: USGS.

US Salinity Laboratory Staff., 1954: Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Department Agriculture Handbook, Vol.60, pp.1-60, Washington, D.C.

Vasanthavigar M., Srinivasamoorthy K., Prasanna M.V., 2013: Identification of groundwater contamination zones and its sources by using multivariate statistical approach in Thirumanimuthar sub-basin, Tamil Nadu, India. *Environmental Earth Sciences* 68 (6), 1783-1795.

Vijay, R., Khobragade, P., Mohapatra, P.K., 2011: Assessment of groundwater quality in Puri City, India: An impact of anthropogenic activities. *Environmental Monitoring and Assessment*. 177 (1-4) 409-418.

Voudouris K. and Myriounis C., 2009: Classification of Groundwater Quality Data using Hydrochemical Parameters. *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 11, EGU 2009-3293, 2009.

Voudouris K., Lambrakis N., Papatheodorou G., Daskalaki P., 1997: an application of factor analysis for the study of the Hydrogeological conditions in Plio – Pleistocene aquifers of NW Achaia (NW Peloponnesus, Greece). *Mathematical Geology*, Vol. 29, No. 1.

Wakida F.T., Lerner D.N., 2005: Non-agricultural sources of groundwater nitrate: A review and case study. *Water Research*, 39 (1), 3 – 16.

Walkley A. and Black. I.A., 1934: An examination of the Degtjareff method for determining organic carbon in soils: Effect of variations in digestion conditions and of inorganic soil constituents. *Soil Sci.* 63:251-263.

Wasserman G., Liu X., Parvez F., Ahsan H., Levy D., Factor-Litvak P., 2006: Water manganese exposure and children's intellectual function in Araihaazar, Bangladesh. *Environ Health Perspect* 114:124–129.

Whitehead D.C., 1974: The influence of organic matter, chalk and sesquioxides on the solubility of iodine, elemental iodine and iodate incubated with soil. *J.Soil Sci.*, 25, 4, 461 -470,5.

WHO., 1996: Guidelines for drinking-water quality. Vol. 2: Health criteria and other supporting information, 2nd ed.

WHO., 1998a: Guidelines for drinking-water quality. Addendum to vol. 1. Recommendations, 2nd., Geneva: World Health Organisation.

WHO., 1998b: Guidelines for drinking-water quality. Addendum to vol. 2. 2nd ed., Geneva: World Health Organization.

WHO., 2003: Zinc in drinking-water. Background document for preparation of WHO Guidelines for drinking-water quality. Geneva, World Health Organization (WHO/SDE/WSH/03.04/17).

WHO., 2006: Guidelines for drinking-water quality. First Addendum to 3rd ed. Vol. 1, Geneva: World Health Organization.

Wilcke W., Lilienfein J., Lima S.D.C., Zech W., 1999: Contamination of highly eroded urban soil in Uberndia, Brazil. *Plant. Nutr. Soil Sci.* 162: 539-548.

Wilcox L.V., 1955: Classification and use of irrigation waters, U.S. Dept. Agric. Circ. 969, Washington, D.C., 19p.

Witczak S., Adamczyk A., 1995: Catalog of selected physical and chemical indices for ground water contamination, and analytical methods. *Bibl Monitor Hrodowiska*, Warszawa.

Yaylalı-Abanuz G., Tüysüz N., Akaryalı E., 2012: Soil geochemical prospection for gold deposit in the Arzular area (NE Turkey). *Journal of Geochemical Exploration* 112, 107–117.

Yassoglou N.J., 1987: “The production potential of soils. Part II: Sensitivity of the soil systems in Southern Europe to degrading influxes”, In: H. Barth and D. L’ Hermite (Eds.), *Scientific basis for soil protection in the European Community*. Elsevier, N. Y.

Yushu Shan., Mats Tysklind., Fanghua Hao., Wei Ouyang., Siyang Chen., Chunye Lin., 2013: Identification of sources of heavy metals in agricultural soils using multivariate analysis and GIS. *Journal of Soils and Sediments*, 13 (4): 720-729.

Zamanis A and Livaditis G., 1981: Geomorphologic observations on the coastal region of Alepokhori (Eastern coast of the Gulf of Corinth). Meeting of center for Quaternary Stratigraphy on the Quaternary Geology of Greece and neighbouring countries, Brussel.

Zhou L.X., Wong J.W.C., 2003: Behavior of heavy metals in soils: effect of dissolved organic matter. In: Selim HM, Kingery WL (eds) *Geochemical and hydrological reactivity of heavy metals in soils*. Lewis Publ, Chelse, MI, pp 245–269.

B. ΕΛΛΗΝΙΚΗ

Αλεξάκης Δ., 2002: Η επίδραση γεωλογικών και ανθρωπογενών δραστηριοτήτων στην ποιότητα και τη χημική σύσταση των υπόγειων νερών περιοχών της Ανατολικής Αττικής. Διδακτορική Διατριβή. Τμήμα Γεωλογίας, ΕΚΠΑ.

Αλιφραγκής Δ., 2008: Το έδαφος. Γένεση – Ιδιότητες – Ταξινόμηση. Τόμος I. Εκδόσεις Αίβαζή, Θεσσαλονίκη.

Αντωνόπουλος., 2001: Ποιότητα και Ρύπανση Υπόγειων Νερών. Εκδόσεις Ζήτη. Θεσσαλονίκη.

Αρώνης Γ.ΑΘ., 1954: Οι βωξίτες της περιοχής Ελευσίνος-Μάνδρας. Μελέτη γεωλογική και Κοιτασματολογική. Ινστιτούτο Γεωλογίας και Ερευνών Υπεδάφους. Αθήνα.

Βουδούρης Κ., 2009: Υδρογεωλογία Περιβάλλοντος (Υπόγεια νερά και Περιβάλλον). Εκδόσεις Τζιόλα. Θεσσαλονίκη.

Γαμβρουλά Δ., 2009: Υδρογεωλογική και γεωχημική έρευνα στη λιγνιτοφόρο τριτογενή λεκάνη Μαλακάσας – Ωρωπού. Διερεύνηση προέλευσης των τοξικών μετάλλων στα υπόγεια νερά και στα εδάφη της περιοχής. Μεταπτυχιακή μελέτη. Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών. Φεβρουάριος 2009.

Γαϊτανάκης Π, Μέττος Α, Κουτσουβέλη Α, Ροντογιάννη Θ, Τσαΐλας - Μονόπωλης Σ, Τσαπράλης Β, Χωριανοπούλου Π., 1984: Γεωλογικός Χάρτης της Ελλάδος, κλίμακας 1:50.000, Φύλλο Μέγαρο. Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, Αθήνα.

Γαϊτανάκης Π, Μέττος Α, Φυτίκας Μ, Τσαΐλας - Μονόπωλης Σ, Τσαπράλης Β, Ιωακείμ Χρ., 1985: Γεωλογικός Χάρτης της Ελλάδος, κλίμακας 1:50.000, Φύλλο Σοφικόν. Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, Αθήνα.

Γεωργαλάς Λ., 1996: Υδρογεωλογικές συνθήκες καρστικού συστήματος Υμηττού. Διδακτορική διατριβή. Πανεπιστήμιο Πάτρας.

Γιαννουλόπουλος Π., Λάμπας Ι., 2010: Υδρογεωλογική μελέτη του Υδατικού Διαμερίσματος Αττικής στο πλαίσιο του έργου “Καταγραφή και αποτίμηση των υδρογεωλογικών χαρακτήρων των υπόγειων νερών και των υδροφόρων συστημάτων της χώρας. Έκθεση ΙΓΜΕ 2010.

Γναρδέλλης Χ., 2003: Εφαρμοσμένη Στατιστική. Βιβλίο. Εκδόσεις Παπαζήση. Αθήνα.

Δασκαλάκη Π., 2002: Συμβολή στη γνώση του χημισμού και της ποιότητας των υπόγειων υδάτων στον Ελλαδικό χώρο. Διδακτορική διατριβή. Τόμος Ι. Πανεπιστήμιο Πατρών.

Δούνας Α. Γ., 1971: Η Γεωλογία της μεταξύ των Μεγάρων και Ερυθρών περιοχής. Διατριβή επί διδακτορία, Πανεπιστήμιο Αθηνών.

Δούνας Α, Χριστοδούλου Γ, Τσαΐλας - Μονόπωλης Σ., 1971: Γεωλογικός Χάρτης της Ελλάδος, κλίμακας 1:50.000, Φύλλο Ερυθραί. Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, Αθήνα.

Δρίτσα Χ. και Μυτσικίδου Ε., 1993: Υδροχημική μελέτη στη λεκάνη των Μεγάρων (Διπλωματική εργασία), Γεωλογικό Τμήμα, Πανεπιστήμιο Αθηνών.

Δρίτσα Χ., Λέκκας Σ., Μυτσικίδου Ε., 1994: Οι υπεραντλήσεις στη λεκάνη των Μεγάρων και οι συνέπειες τους. Δελτίο Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας. Τομ. XXX/4, 183-190, 1994.

ΕΚ., 2003: Ευρωπαϊκή οδηγία 2003/40/ΕΚ. Οδηγία της επιτροπής της 16^{ης} Μαΐου 2003 για τον καθορισμό του καταλόγου, των οριακών τιμών συγκεντρώσεων και των ενδείξεων για την επισήμανση των συστατικών των φυσικών μεταλλικών νερών, καθώς και των ορίων χρήσης του εμπλουτισμένου με όζον αέρα στην κατεργασία ορισμένων φυσικών μεταλλικών νερών και νερών πηγής. L 126.

Θεοδωρίκας Σ.Σ., 2005: Γεωχημεία. 3^η έκδοση. Θεσσαλονίκη. Εκδόσεις Γραφικές τέχνες "Μέλισσα" Α.Ε.

Θεοδωρόπουλος Δ., 1971: Συγκριτικές παλαιογεωγραφικές παρατηρήσεις μεταξύ των ιζημάτων της λεκάνης Μεγάρων και των της περιοχής Κορίνθου – Αγ. Θεοδώρων. Ann. Géol. Pays Hell., T. XXII, p.265 – 273, Athenes.

Καλλέργης Γ.Α., 1986: Εφαρμοσμένη υδρογεωλογία. Τόμος Α΄. Έκδοση Τ.Ε.Ε.

Καλλέργης Γ.Α., 2000: Εφαρμοσμένη-Περιβαλλοντική Υδρογεωλογία. Τόμος Β΄ (2^η έκδοση). Τεχνικό επιμελητήριο Ελλάδας. Αθήνα.

Καλλέργης Γ.Α., 2001: Εφαρμοσμένη-Περιβαλλοντική Υδρογεωλογία. Τόμος Γ΄ (2^η έκδοση). Τεχνικό επιμελητήριο Ελλάδας. Αθήνα.

Καλογήρου Ε.Ν., 1994: «Το πόσιμο νερό και η ανθρώπινη υγεία», Εκδόσεις Παπασωτηρίου.

Καλύβας Δ., 2003: Εδαφολογία. Αξιολόγηση εδαφών. Τοποκλιματικές συνθήκες και κρασί. Εκδόσεις Ίων. Αθήνα.

Καρλής Δ., 2001: Στοιχεία Πολυμεταβλητής Ανάλυσης Δεδομένων. Πανεπιστήμιο Αιγαίου.

Καρύμπαλης Ε., 2005: Σημειώσεις παράκτιας γεωμορφολογίας, Πανεπιστημιακές Σημειώσεις, Τμήμα Γεωγραφίας, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Αθήνα.

Κελεπερτζής Α., 2000: Εφαρμοσμένη Γεωχημεία. Βιβλίο. Μακεδονικές Εκδόσεις.

Κελεπερτζής Α., 2007: Γεωχημεία. Εκδόσεις Συμμετρία. Αθήνα.

Κουϊμτζής Θ., Φυτιανού Κ., Σαμαρα Κ., Κωνσταντίνου., 1998: Χημεία περιβάλλοντος. University Studio Press. Θεσσαλονίκη.

Κούνης Δ.Γ., 1976: Επί των υδρογεωλογικών συνθηκών και των δυνατοτήτων υδρεύσεως του δήμου Μεγάρων – Αττικής, ΙΓΜΕ.

Κούκης Γ., Σαμπατακάκης Ν., 2007: Γεωλογία τεχνικών έργων. Εκδόσεις Παπασωτηρίου.

Λαμπράκης Ν., 2005: Εισαγωγή στην Υδροχημεία. Βιβλίο. Ακαδημαϊκή Έκδοση. Πανεπιστήμιο Πατρών.

Λαμπράκης Ν., 1991: Εισαγωγή στην Υδροχημεία. Βιβλίο. Ακαδημαϊκή Έκδοση. Πανεπιστήμιο Πατρών.

Λαμπράκης Ν., Σταμάτης Γ., Γιαννουλόπουλος Π., Βοϊβοντά Α., 2001: Ποιότητα των υπόγειων νερών και εκτίμηση του χρόνου απορρύπανσης των υδροφόρων οριζόντων του Αργολικού πεδίου κάτω από συνθήκες τεχνητού εμπλουτισμού. Πρακτικά 9ου Διεθνούς Συνεδρίου της Ε.Γ.Ε, Τόμος 5, σελ. 1819-1826.

- Λέκκας Σ., Αλεξόπουλος Α., 1984: Μαθήματα Υδρογεωλογίας. ΕΚΠΑ.
- Μαρίνος Γ., 1951: Λιγνιτοφόρος λεκάνη Μεγάρων. Υπουργείο συντονισμού, Υπηρεσία Ερευνών Υπεδάφους (ΥΕΥΠ), Αθήνα.
- Μαριολάκος Η., Θεοχάρης Δ., 2002: Η γέννηση της Αίγινας και της Σαλαμίνας και η γεωμυθολογική τους ερμηνεία. Πρακτικά του 6ου Πανελληνίου Γεωγραφικού Συνεδρίου της Ελληνικής Γεωγραφικής Εταιρείας, Θεσσαλονίκη 3-6 Οκτωβρίου 2002. Τόμος Ι. Φυσική Γεωγραφία Ανθρωπογεωγραφία, Γεωγραφική εκπαίδευση.
- Μπαμπινιώτης Γ.Δ., 1998: Λεξικό της Νέας Ελληνικής Γλώσσας. Κέντρο Λεξικολογίας ΕΠΕ Αθήνα.
- Μπορνόβας Ι, Ελευθερίου Α, Γαϊτανάκης Π, Ροντογιάννη Θ, Σημαιάκη Κ, Τσαΐλας - Μονόπωλης Σ., 1984: Γεωλογικός Χάρτης της Ελλάδος, κλίμακας 1:50.000, Φύλλο Καπαρέλλι. Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, Αθήνα.
- Νικολαΐδης Ν., 2005 : Υδατική Χημεία-Θεωρία, μοντέλα και περιβαλλοντικές εφαρμογές, Εκδόσεις ΖΗΤΗ, Θεσσαλονίκη.
- Παπαδήμας Ο., Κοΐλιας Χ., 2002: Εφαρμοσμένη Στατιστική. Βιβλίο. Εκδόσεις Νέων Τεχνολογιών. Αθήνα.
- Παπανικολάου Δ., 1986: Γεωλογία της Ελλάδος. Αθήνα.
- Παρασχούδης Β., 2002: Υδρογεωλογική μελέτη Δυτικής Αττικής (Πεδιάδας Μεγάρων – Θριάσιου Πεδίου) Κ.Α. 9681727. Τεύχος 1^ο (Υδρογεωλογική Έκθεση). Αθήνα.
- Πασχαλίδης Χ., 2005: Εδαφολογία. Εργαστηριακές Ασκήσεις. Εκδόσεις Έμβρυο
- Περδικάτσης Β., 2005: Σημειώσεις μαθήματος ‘Αναλυτική Περιβαλλοντική Γεωχημεία’ Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
- Σαφιγέ Α.Α., 1982: Γεωμορφολογική μελέτη της πεδιάδας των Μεγάρων, διατριβή επί διδακτορία, Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα.
- SEC., 2006: Θεματική Στρατηγική για την Προστασία του Εδάφους-Σύνοψη της Μελέτης Επιπτώσεων, SEC(2006)1165, Βρυξέλες 22.09.2006.
- Σούλιος Γ., 1985: Συμβολή στην υδρογεωλογική μελέτη των καρστικών υδροφόρων συστημάτων του Ελληνικού χώρου. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Επιστ. Επετ. Σχολής Θετικών Επιστημών, τομ. 23^ο παραρτ. Αρ. 27. Θεσσαλονίκη 1985.
- Σούλιος Γ., 1996: Γενική Υδρογεωλογία. Τόμος Πρώτος (Α. Επιφανειακή υδρολογία, Β. Αποθήκευση και κατανομή του υπόγειου νερού, Γ. Οι ροές του υπόγειου νερού), University Studio Press. Θεσσαλονίκη.

Σπηλιάδης Θ., 1960: Συμβολή εις την γνώσιν της γεωλογίας της περιοχής Μεγαρίδος, Πρακτικά Ακαδημίας Αθηνών, Τ. 35, σελ. 265 – 272.

Σπηλιάδης Θ., 1961: Περί της ανευρέσεως παλαιοζωϊκών στρωμάτων εις την οροσειράν του Πατέρα Αττικής, Πρακ. Ακαδ. Αθηνών 36, σελ. 254 – 261.

Σπηλιάδης Θ., 1963: Η ανάπτυξη του Μεσοζωϊκού και η τεκτονική εξέλιξις της περιοχής Μεγαρίδος – Δυτικής Αττικής, Δελτίο Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας, Τ. V, Τεύχος 1, σελ. 89 – 102, Αθήνα.

Σπηλιάδης Θ., 1964: Περί της ανευρέσεως στοιχείων της ζώνης Ωλονού – Πίνδου εις την χερσόνησον Περαχώρας. Η γεωλογική ενότης της περιοχής Αττικής – Μεγαρίδος – Γερανείων. Δελτίο Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας, Τ. VI, τεύχος 1, σελ. 199, Αθήνα.

Στουρνάρας Γ.Κ., 2007: Νερό - Περιβαλλοντική διάσταση και διαδρομή. Θεσσαλονίκη. Εκδόσεις Τζιόλα.

Τερζόπουλος Ε. και Ματζαράκης Χ., 1993: Γεωμορφολογική εξέλιξη της περιοχής Μεγάρων με έμφαση στην περιοχή Αλεποχώρι – Σχίνος (Διπλωματική εργασία), Γεωλογικό Τμήμα, Πανεπιστήμιο Αθηνών.

Τσακίρης Γ. και Αλεξάκης Δ., 2010: Ποιότητα νερού για ανθρώπινη κατανάλωση. (Υπευθ. Έκδοσης Τσακίρης Γ.), Υδραυλικά έργα, σχεδιασμός και διαχείριση. Τόμος Ι: Αστικά Υδραυλικά έργα. Εκδόσεις Συμμετρία. Αθήνα.

ΥΠΑΝ., ΕΜΠ., ΙΓΜΕ., ΚΕΠΕ., 2003: Σχέδιο προγράμματος διαχείρισης των υδατικών πόρων της χώρας. Υπουργείο Ανάπτυξης, Διεύθυνση υδατικού δυναμικού και Φυσικών Πόρων. Αθήνα 2003.

ΥΠΕΚΑ., 2012a: Σχέδιο Διαχείρισης των Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Αττικής GR06. Α' φάση – Παραδοτέο 2. Μητρώο προστατευόμενων περιοχών.

ΥΠΕΚΑ., 2012b: Σχέδιο Διαχείρισης των Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Αττικής GR06. Α' φάση – Παραδοτέο 5. Χαρακτηρισμός και τυπολογία επιφανειακών υδατικών συστημάτων και αρχικός και περαιτέρω χαρακτηρισμός των υπόγειων υδατικών συστημάτων.

Χαραλάμπους Α., 2007: Υδατικό περιβάλλον. Αθήνα.

Γ.ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ

www.statistics.gr

<http://www.ypeka.gr>

www.geo.auth.gr