



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ



ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΣΟΦΙΑ Λ. ΚΟΥΡΤΙΔΟΥ
ΧΗΜΙΚΟΣ M.Sc.

**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ
ΣΤΑ ΟΡΙΑ ΤΟΥ ΔΗΜΟΥ ΚΙΛΚΙΣ**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
2016

ΣΟΦΙΑ Λ. ΚΟΥΡΤΙΔΟΥ
ΧΗΜΙΚΟΣ M.Sc.

**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ
ΣΤΑ ΟΡΙΑ ΤΟΥ ΔΗΜΟΥ ΚΙΛΚΙΣ**

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας στα πλαίσια
του Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών
«Εφαρμοσμένη και Περιβαλλοντική Γεωλογία»
Τομέας Γεωλογίας

Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή:

Κ. Βουδούρης, Αναπληρωτής Καθηγητής Α.Π.Θ., Επιβλέπων

Δ. Βουτσά, Καθηγήτρια Α.Π.Θ., Μέλος Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής

Αν. Παναγόπουλος, Ερευνητής ΕΛΓΟ-ΔΗΜΗΤΡΑ (ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε.), Μέλος Τριμελούς
Συμβουλευτικής Επιτροπής

© Σοφία Λ. Κουρτίδου, 2016

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ ΣΤΑ ΟΡΙΑ ΤΟΥ ΔΗΜΟΥ ΚΙΛΚΙΣ

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι εκφράζουν τις επίσημες θέσεις του Α.Π.Θ.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	ix
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	1
ABSTRACT	3
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	5
1. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ	6
1.1. Γεωγραφική θέση και πληθυσμιακά στοιχεία	6
1.2. Κλιματολογικές συνθήκες	9
1.3. Γεωμορφολογικά στοιχεία	9
2. ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	12
2.1. Στρωματογραφία της περιοχής έρευνας	12
2.2. Τεκτονική	15
3. ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ	17
4. ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ	20
4.1. Εισαγωγή	20
4.2. Δίκτυο παρακολούθησης υπόγειων νερών	21
4.3. Δειγματοληψία-Διενέργεια εργαστηριακών αναλύσεων	23
4.4. Φυσικοχημικές παράμετροι	24
4.4.1. Ηλεκτρική αγωγιμότητα (E.C.) – Ολικά διαλυμένα στερεά (T.D.S.)	24
4.4.2. Ενεργός οξύτητα ή pH	29
4.4.3. Ολική σκληρότητα (Total Hardness TH)	32
4.5. Ποιοτικά χαρακτηριστικά υπόγειου νερού	35
4.5.1. Ιόντα ασβεστίου (Ca^{2+})	35
4.5.2. Ιόντα μαγνησίου (Mg^{2+})	38
4.5.3. Ιόντα νατρίου (Na^{+})	41
4.5.4. Ιόντα καλίου (K^{+})	45
4.5.5. Όξινα ανθρακικά ιόντα (HCO_3^{-})	48
4.5.6. Χλωριούχα ιόντα (Cl^{-})	51
4.5.7. Θειικά ιόντα (SO_4^{2-})	54
4.5.8. Αζωτούχες ενώσεις [Νιτρικά (NO_3^{-}) - Νιτρώδη (NO_2^{-}) - Αμμωνιακά ιόντα (NH_4^{+})]	57
4.5.9. Φθοριούχα ιόντα (F^{-})	62
4.5.10. Σίδηρος (Fe)	65
4.5.11. Μαγγάνιο (Mn)	68

4.5.12.	Αρσενικό (As).....	71
4.6.	Ιοντικοί λόγοι.....	75
4.6.1.	Ιοντικός λόγος Mg/Ca.....	75
4.6.2.	Ιοντικός λόγος Na/K.....	78
4.6.3.	Ιοντικός λόγος (Ca+Mg)/(Na+K)	81
4.7.	Υδροχημικά διαγράμματα.....	84
4.7.1.	Διάγραμμα Piper	84
4.7.2.	Διάγραμμα Durov	86
4.7.3.	Διάγραμμα S.A.R. και Wilcox.....	87
4.7.4.	Διάγραμμα Schoeller	89
5.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	90
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	92

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διατριβή ειδίκευσης με τίτλο «Διερεύνηση της ποιότητας των υπόγειων νερών στα όρια του Δήμου Κιλκίς», εκπονήθηκε στα πλαίσια του Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών «Εφαρμοσμένη και Περιβαλλοντική Γεωλογία», του τμήματος Γεωλογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης. Αντικείμενο της διατριβής αποτελεί η υδροχημική προσέγγιση της ποιότητας των υπόγειων υδατικών συστημάτων που αναπτύσσονται στα όρια του Δήμου Κιλκίς. Για την έρευνα αναπτύχθηκε ένα αξιολογικό δίκτυο σημείων δειγματοληψίας, το οποίο σε συνδυασμό με τη δημιουργία ισοχημικών χαρτών βάσει των φυσικοχημικών δεδομένων, οδήγησε σε χρήσιμα συμπεράσματα για τις υδροχημικές συνθήκες των υπόγειων υδάτων της περιοχής και για τις γηγενείς και ανθρωπογενείς επιδράσεις που δέχονται.

Η έρευνα αυτή, ολοκληρώθηκε με την ουσιαστική συνδρομή σημαντικών φίλων, συναδέλφων και καθηγητών τους οποίους θα ήθελα να ευχαριστήσω.

Ευχαριστώ θερμά τον επιβλέποντα Αναπληρωτή Καθηγητή Υδρογεωλογίας του Τμήματος Γεωλογίας του Α.Π.Θ., Δρ Κωνσταντίνο Βουδούρη, για την ανάθεση της παρούσας διατριβής, για τις συμβουλές και κατευθύνσεις που μου έδωσε για την ανάπτυξη της εργασίας και για την υπομονή του μέχρι την ολοκλήρωσή της.

Οι ατέλειωτες συζητήσεις για τον τόπο μας και τα νερά του, με τον φίλο και συνάδελφο Κο Αβραμίδη Ηλία, Γενικό Διευθυντή της Δ.Ε.Υ.Α. Κιλκίς, καθώς και η στήριξη και ώθηση κατά τη διάρκεια των Μεταπτυχιακών μου σπουδών, στάθηκαν πηγές έμπνευσης και αρωγής για την εκπόνηση της παρούσας μελέτης. Η άδεια χρήσης του αρχείου των αναλύσεων που πραγματοποιώ στο εργαστήριο της Δ.Ε.Υ.Α. Κιλκίς, μαζί με τα παραπάνω, συνθέτουν τους λόγους για τους οποίους τον ευχαριστώ βαθύτατα.

Στη συνέχεια, αισθάνομαι την ανάγκη να ευχαριστήσω τον Δρ. Μάττα Χρήστο για τις πολύτιμες παρατηρήσεις, τις επιστημονικές υποδείξεις και τη στήριξή του καθ' όλη τη διάρκεια των Μεταπτυχιακών μου σπουδών.

Ευχαριστώ τους Κους Ζγουρό Δημήτρη και Ευαγγελία Καλούση, Γεωλόγους του Ι.Γ.Μ.Ε., για την πολύτιμή βοήθειά με τη γνώση και εμπειρία τους σε θέματα Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών και υδρογεωλογίας αντίστοιχα.

Ευχαριστώ επίσης, του συναδέλφους μου από τη Δ.Ε.Υ.Α. Κιλκίς, οι οποίοι συνέδραμαν καθοριστικά με τη βοήθειά τους στο πεδίο της δειγματοληψίας.

Τέλος, ευχαριστώ την οικογένειά μου για την αμέριστη συμπαράσταση σε όλες μου τις προσπάθειες έως σήμερα.

**«ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ
ΣΤΑ ΟΡΙΑ ΤΟΥ ΔΗΜΟΥ ΚΙΛΚΙΣ»****ΚΟΥΡΤΙΔΟΥ Λ. ΣΟΦΙΑ**

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διατριβή εστιάζει στη διερεύνηση της ποιότητας των υπόγειων νερών και στις υδροχημικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή του Δήμου Κιλκίς.

Κριτήριο επιλογής της περιοχής αποτέλεσε το γεγονός ότι, ενώ ο Δήμος Κιλκίς, χαρακτηρίζεται φτωχός σε υδατικούς πόρους, με τα υπόγεια υδατικά συστήματα που τον απαρτίζουν να παρουσιάζουν, ως επί το πλείστον, ελλειμματικό ισοζύγιο και ποιοτική υποβάθμιση, από την άλλη, οι υδατικές του ανάγκες παρουσιάζονται μεγάλες. Συνεπώς, η συστηματική παρακολούθηση και αξιολόγηση της ποιότητας των υπόγειων υδάτων κρίνεται επιτακτική για τη βιωσιμότητα και ορθή διαχείριση των υπόγειων υδροφοριών.

Η περιοχή έρευνας καταλαμβάνει έκταση περίπου 1600 km², και το μέσο υψόμετρό της υπολογίζεται σε 303 m. Αποτελείται από οκτώ κύρια και δευτερεύοντα υπόγεια υδατικά συστήματα, τα οποία αναπτύσσονται εξ ολοκλήρου ή κατά μέρος στην επιφάνεια που οριοθετείται από τα όρια του Δήμου Κιλκίς.

Για τη διερεύνηση της ποιότητας των υπόγειων υδάτων, δημιουργήθηκε ένα δίκτυο 102 σημείων δειγματοληψίας (γεωτρήσεων, πηγαδιών και πηγών), από τα οποία ελήφθησαν δείγματα κατά δύο περιόδους, την ξηρή του έτους 2013 και την υγρή περίοδο του 2014. Στα δείγματα αυτά, αναλύθηκαν πλήθος φυσικοχημικών παραμέτρων, κατιόντα και ανιόντα καθώς και κάποια βαρέα μέταλλα.

Από τα αποτελέσματα προκύπτει ότι η ποιότητα των υπόγειων νερών στο Δήμο Κιλκίς, διαφοροποιείται από περιοχή σε περιοχή, εμφανίζοντας σχετικά παρόμοια σύσταση ανά υπόγειο υδατικό σύστημα. Γενικά, τα νερά χαρακτηρίζονται κυρίως ως ασβεστομαγνησιούχα και ασβεστομαγνησιούχα ανθρακικά. Το βόρειο τμήμα, αποτελείται από μαλακά νερά με υψηλές συγκεντρώσεις σε φθόριο, λόγω των γρανιτικών σχηματισμών που αναπτύσσονται σε αυτό.

Ανατολικά της περιοχής έρευνας, απαντούν μικρής περατότητας ρωγματικοί σχηματισμοί (γνεύσιοι, αμφιβολιτες κ.λπ), στους οποίους αναπτύσσονται περιορισμένες υδροφορίες με σκληρά κυρίως νερά και κατά τόπους έντονα προβλήματα σε συγκεντρώσεις θειικών ιόντων, σιδήρου και μαγγανίου που ξεπερνούν πολλές φορές τα ανώτατα νομοθετικά όρια για το νερό ανθρώπινης κατανάλωσης. Τα προβλήματα αυτά αποδίδονται σε υδρόλυση πετρογενετικών και οξειδωση θειούχων ορυκτών που συναντώνται διάσπαρτοι μέσα στους γνεύσιους. Σε γηγενή προέλευση αποδίδονται και οι ποσότητες αρσενικού που εμφανίζονται σε έναν άξονα Βορρά-Νότου της ίδιας

περιοχής (Σπουργίτι, Δίβουνο, Διπόταμος), χωρίς να αποκλείεται η επιβάρυνση των υδροφόρων συστημάτων με υπολείμματα φυτοφαρμάκων.

Κεντρικά και νότια της περιοχής έρευνας, παρατηρούνται πολύ υψηλές συγκεντρώσεις σε νιτρικά ιόντα, μεγαλύτερες ανώτατου νομοθετικού ορίου και σχετικά υψηλές τιμές σε νάτριο και χλωριούχα. Η ύπαρξή τους αποδίδεται καθαρά σε ανθρωπογενή ρύπανση, καθώς στην περιοχή αναπτύσσονται έντονες αγροτικές δραστηριότητες με εκτεταμένη λίπανση και αποστράγγιση οικιακών λυμάτων στα χαλαρά τεταρτογενή ιζήματα που δομούν την περιοχή αυτή.

Τα αποτελέσματα υποδεικνύουν την ανάγκη εφαρμογής ορθών γεωργικών πρακτικών και περιβαλλοντικών μέτρων που θα περιορίσουν την ανθρωπογενή ρύπανση αλλά και την ανάγκη στροφής προς εκμετάλλευση των επιφανειακών υδάτων, κυρίως σε περιοχές του Δήμου όπου το υπόγειο υδατικό δυναμικό είναι περιορισμένο και υποβαθμισμένο λόγω φυσικών διεργασιών.

“INVESTIGATION OF GROUNDWATER QUALITY IN MUNICIPALITY OF KILKIS”

KOURTIDOU L. SOFIA

ABSTRACT

The present research focuses on the quality of groundwater and the hydrochemical conditions existing in the region of the municipality of Kilkis.

Criterion in selecting the area has been the fact that while the municipality of Kilkis is considered impoverished in water resources, with groundwater bodies presenting a mainly deficient balance and qualitative degradation, on the other hand, its demands in water seem to be immense. Consequently, systematic monitoring and evaluation of the quality of the groundwater is imperative for the viability and proper management of the groundwater aquifer.

The area of research covers an expanse of approximately 1600 m² and its average altitude is estimated to be 303m. It consists of 8 main and subordinate groundwater bodies which expand throughout whole or part of the surface which is set by the boundaries of the municipality of Kilkis.

For the evaluation of the quality of the groundwater, a network of 102 spots were used, (drilling, wells and springs), from which samples were taken during 2 periods, the dry period of the year 2013 and the wet period of the year 2014. In these samples, numerous physicochemical parameters, cations and anions as well as some heavy metals were analyzed.

The output outlines that the quality of groundwater in the municipality of Kilkis differentiates from area to area presenting similar consistency per groundwater body. Generally, water is characterized mainly as Ca-Mg and Ca-Mg-HCO₃⁻ type. The northern part consists of soft water with high concentration of fluoride due to granite formation created in it.

East of the area of research low permeability of crevice formations are found, (gneiss-amphibolites etc), in which limited, hard mainly water is developed and sporadically intense problems in sulfate, iron and manganese concentrations which many times exceed the levels of drinkability set by legislation. These problems are attributed to petrogenetic hydrolysis and oxidation of sulphide minerals which can be found scattered in the gneiss. The quantities of arsenic which are found in the North – South axis of the same area, (Spourgiti, Divouno, Dipotamos), are also attributed to local origin without excluding the deterioration of the groundwater with the residue of pesticides.

Centrally and in the south of the area of research, immensely high concentrations of nitrates over the level of drinkability are found as well as high levels of sodium and chloride concentrations. Their existence is clearly attributed to human impact since intense rural activity with extended fertilizing and drainage of household waste is developed in the loose Quaternary sediments which form this area.

The results pose the need of implementing correct agricultural practices and environmental measures which will limit human interference as well as stress the need to turn towards surface water resources mainly in areas of the municipality where the groundwater body is limited or diminished due to natural processes.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τις τελευταίες δεκαετίες, η βιομηχανοποίηση, η αύξηση της γεωργικής παραγωγής και γενικά η υπέρμετρη επέμβαση στα οικοσυστήματα και το φυσικό μας περιβάλλον, έχουν οδηγήσει στην υποβάθμιση της ποιότητας των υπόγειων υδάτων. Ο βαθμός και τρόπος της υποβάθμισης αυτής εξαρτάται από τις γεωλογικές υδρογεωλογικές συνθήκες, το είδος των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων και είναι αποτέλεσμα πολύπλοκων αλληλεπιδράσεων.

Η συστηματική παρακολούθηση και αξιολόγηση της ποιότητας των υπόγειων υδάτων κρίνεται επιτακτική για τη βιωσιμότητα και ορθή διαχείριση των υπόγειων υδροφοριών.

Η διερεύνηση των υδροχημικών συνθηκών που συνθέτουν τα υπόγεια ύδατα της περιοχής του Δήμου Κιλκίς, καθώς και οι φυσικές και ανθρωπογενείς επιδράσεις που δέχονται, αποτελούν το θέμα της παρούσας διατριβής ειδίκευσης.

Κριτήριο επιλογής της περιοχής αποτελεί το γεγονός ότι, ενώ ο Δήμος Κιλκίς, χαρακτηρίζεται φτωχός σε υδατικούς πόρους, με τα υπόγεια υδατικά συστήματα που τον απαρτίζουν να παρουσιάζουν ποιοτική υποβάθμιση, είτε από γηγενή αίτια, ή από ανθρωπογενείς επιδράσεις. Από την άλλη, οι αυξημένες υδατικές ανάγκες του Δήμου, καθιστούν επιτακτική τη συστηματική παρακολούθηση της ποιότητας των υπόγειων υδάτων αλλά και τη θέσπιση μέτρων και αλλαγή πολιτικών προς μια πιο βιώσιμη διαχείριση των υδατικών πόρων.

Στα πλαίσια της έρευνας, πραγματοποιήθηκαν φυσικοχημικές αναλύσεις σε δείγματα ενός αντιπροσωπευτικού δικτύου σημείων δειγματοληψίας υπόγειου νερού από την περιοχή του Δήμου Κιλκίς. Στη συνέχεια συλλέχθηκαν γεωλογικά και υδρογεωλογικά δεδομένα, τα οποία ψηφιοποιήθηκαν με τη βοήθεια γεωγραφικού συστήματος πληροφοριών (GIS). Τα αποτελέσματα των αναλύσεων επεξεργάστηκαν με το λογισμικό Aquachem και έπειτα κατασκευάστηκαν χάρτες χωρικής κατανομής των αποτελεσμάτων με σκοπό τη λεπτομερή διερεύνηση και συσχέτιση των υδροχημικών συνθηκών με τις υδρογεωλογικές και ανθρωπογενείς επιδράσεις.

Τα θέματα που πραγματεύεται η διατριβή κατά κεφάλαιο είναι τα εξής:
Κεφάλαιο 1: Περιγραφή της περιοχής έρευνας, όσον αφορά σε πληθυσμιακά, κλιματολογικά και γεωμορφολογικά στοιχεία.

Κεφάλαιο 2: Παρουσίαση γεωλογικών και στοιχείων τεκτονικής της περιοχής.

Κεφάλαιο 3: Υδρογεωλογικά στοιχεία της περιοχής.

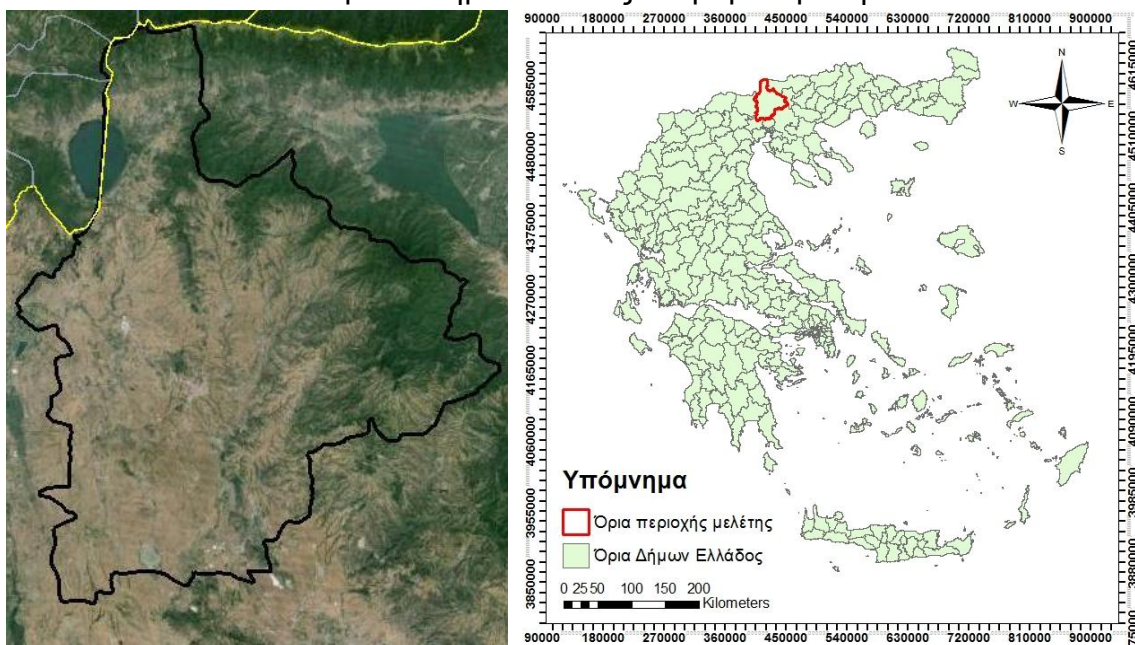
Κεφάλαιο 4: Παρουσίαση και ανάλυση του χημισμού των υπόγειων νερών.

Κεφάλαιο 5: Συνοπτική παρουσίαση των πιο βασικών συμπερασμάτων της παρούσας διατριβής ειδίκευσης.

1. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

1.1. ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΘΕΣΗ ΚΑΙ ΠΛΗΘΥΣΜΙΑΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Ο Δήμος Κιλκίς, (Εικόνα 1) αποτελεί τον τέταρτο μεγαλύτερο Δήμο της Ελλάδας, με έκταση περίπου 1600 km². Πληθυσμιακά, κατατάσσεται στην εξηκοστή δεύτερη θέση μεταξύ των Δήμων της Ελλάδας, με 51.926 κατοίκους, σύμφωνα με τα στοιχεία της Ελληνικής Στατιστικής Αρχής (ΕΛ.ΣΤΑΤ. 2011). Ανήκει στην Κεντρική Μακεδονία και συνορεύει ανατολικά και βορειοανατολικά με το Νομό Σερρών, νότια και νοτιοανατολικά με το Νομό Θεσσαλονίκης, δυτικά και νοτιοδυτικά με το Δήμο Παιονίας και βόρεια με τη FYROM.

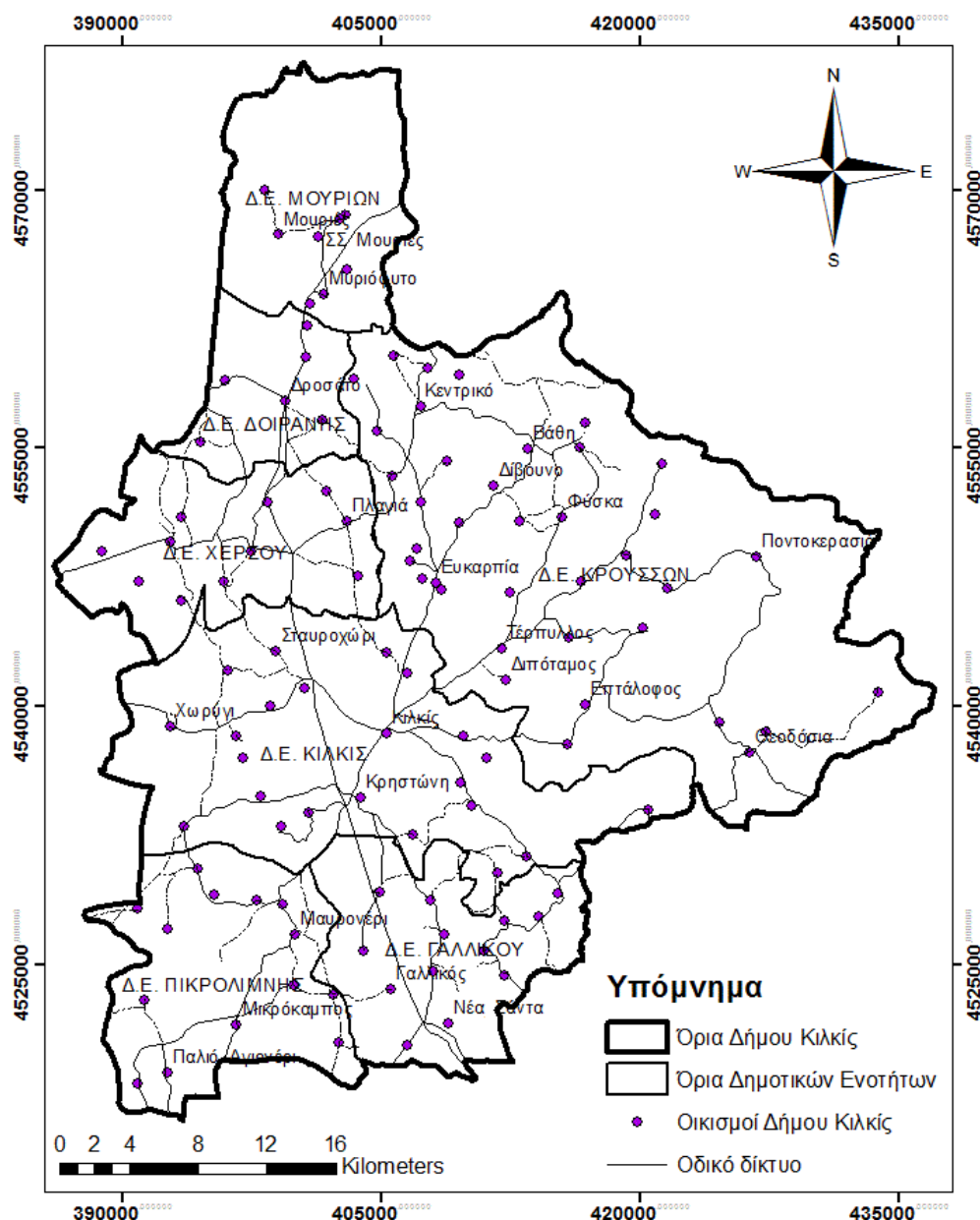


Εικόνα 1. Δορυφορική εικόνα της περιοχής μελέτης (google earth) (αριστερά) και θέση του Δήμου Κιλκίς, στο χάρτη Δήμων της Ελλάδας (δεξιά)

Ο Δήμος Κιλκίς, αποτελείται από 116 οικισμούς και απέκτησε τη σημερινή του εικόνα, με τη θέσπιση του προγράμματος «Καλλικράτης» το 2010, όταν ενοποιήθηκαν οι Καποδιστριακοί Δήμοι Κιλκίς, Μουριών, Δοϊράνης, Χέρσου, Κρουσσών, Γαλλικού και Πικρολίμνης. Η κατανομή του πληθυσμού, παρουσιάζει την παρακάτω εικόνα (ΕΛ.ΣΤΑΤ. 2011):

ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΟΙΚΙΣΜΩΝ	ΕΚΤΑΣΗ (km ²)	ΜΟΝΙΜΟΣ ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ	ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ (κάτοικοι ανά km ²)
ΚΙΛΚΙΣ	23	325	28.745	84
ΓΑΛΛΙΚΟΥ	13	150	6.343	43
ΠΙΚΡΟΛΙΜΝΗΣ	14	165	5.442	33
ΚΡΟΥΣΣΩΝ	37	589	4.638	8
ΜΟΥΡΙΩΝ	12	138	2.725	20
ΧΕΡΣΟΥ	11	153	2.629	20
ΔΟΪΡΑΝΗΣ	6	82	1.404	20
ΣΥΝΟΛΟ	116	~1600	51.926	

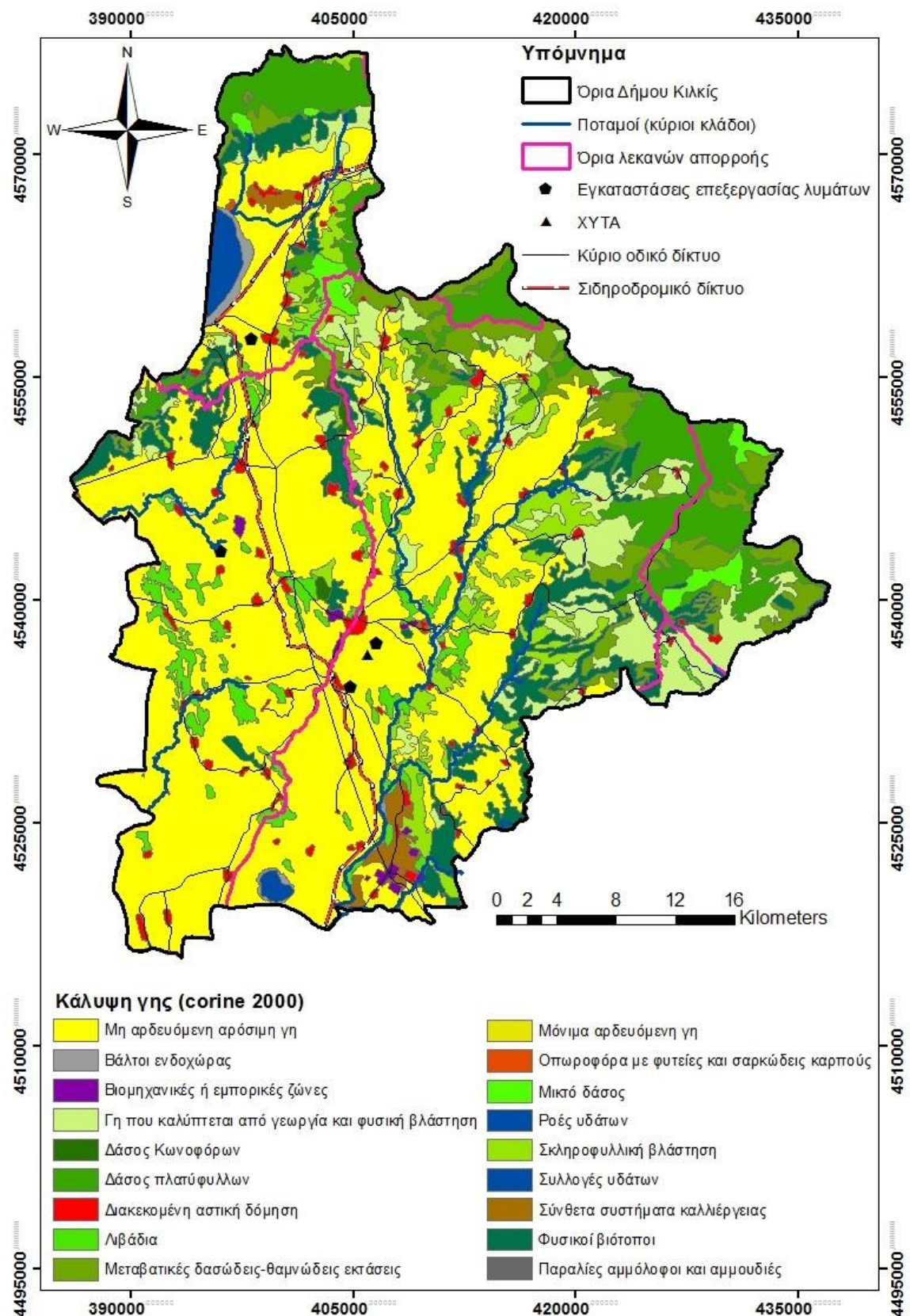
Πίνακας 1. Πληθυσμιακά στοιχεία Δημοτικών Ενοτήτων Δήμου Κιλκίς (ΕΛ.ΣΤΑΤ. 2011)



Σχήμα 1. Τοπογραφικός χάρτης Δήμου Κιλκίς

Από τον οικονομικά ενεργό πληθυσμό του Δήμου Κιλκίς, το 25% ασχολείται με τον πρωτογενή τομέα παραγωγής (γεωργία, κτηνοτροφία, δασοκομία), το 15% με το δευτερογενή τομέα (κατασκευές, μεταποίηση κ.λπ) και το 60% με τον τριτογενή τομέα (υπηρεσίες, εμπόριο) (ΕΛ.ΣΤΑΤ. 2011).

Όσον αφορά τη χρήση γης στην περιοχή και για την ευκολότερη κατανόηση των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων που λαμβάνουν χώρα, παρατίθεται χάρτης εδαφικής κάλυψης του Δήμου Κιλκίς (Σχήμα 2), όπως κατασκευάστηκε στα πλαίσια του προγράμματος CORINE, το έτος 2000. Ο χάρτης απεικονίζει, μεταξύ άλλων, τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες που αναπτύσσονται στο Δήμο Κιλκίς, οι οποίες επηρεάζουν σε σημαντικό βαθμό το χημισμό των υπόγειων νερών.



Σχήμα 2. Σχηματικός χάρτης κάλυψης γης της περιοχής έρευνας (CORINE)

1.2. ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

Το κλίμα του Δήμου χαρακτηρίζεται ως εύκρατο μεσογειακό, σύμφωνα με την κλιματική κατάταξη των περιοχών της Ελλάδας κατά Korpen (Καραπιπέρης 1954, Νάστος 1995).

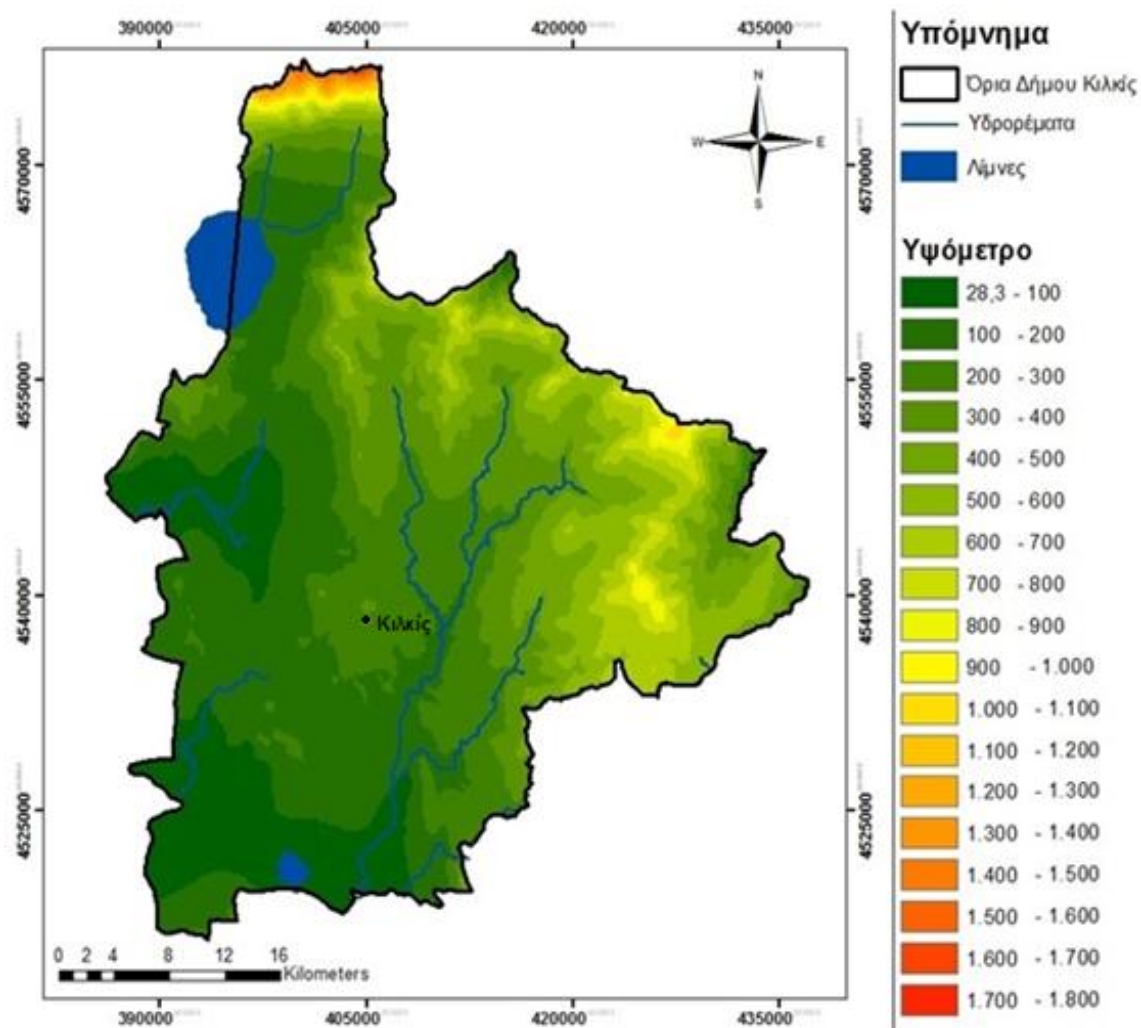
Σύμφωνα με τα στοιχεία από το μετεωρολογικό σταθμό της πόλης του Κιλκίς, ο οποίος βρίσκεται σε υψόμετρο 275 m και λειτουργεί από το 1966, το κλίμα της περιοχής όσον αφορά το καλοκαίρι χαρακτηρίζεται ως ξηρό και θερμό, με περιορισμένη ετήσια βροχόπτωση. Η μέση ετήσια θερμοκρασία είναι 15,7°C (το χειμώνα 8,8°C, την άνοιξη 14°C, το καλοκαίρι 24,9°C και το φθινόπωρο 17,1°C). Σύμφωνα με στοιχεία της Διεύθυνσης Αγροτικής Οικονομίας ΠΕ Κιλκίς, η μέση θερμοκρασία σε πιο ορεινές περιοχές της περιοχής έρευνας, μειώνεται περίπου στους 13,5°C (Άνω Θοδωράκι, Μελάνθιο).

Η καλοκαιρινή περίοδος χαρακτηρίζεται ως περίοδος «ξηρασίας» με ελάχιστο ύψος βροχής κατά τους μήνες Ιούλιο, Αύγουστο και Σεπτέμβριο. Τα ετήσια βροχομετρικά ύψη είναι μικρά. Η μεγαλύτερη βροχόπτωση παρατηρείται ως επί το πλείστον το φθινόπωρο με 133mm, την άνοιξη κυμαίνεται στα 121 mm, το χειμώνα στα 121 mm ενώ το καλοκαίρι εμφανίζει τη μικρότερη μέση τιμή των 89 mm. Το ετήσιο ύψος βροχής της περιοχής είναι περίπου 440 mm (Μουρατίδης 2009). Παραπλήσιες τιμές ετήσιου ύψους βροχής εμφανίζονται και σε άλλους μετεωρολογικούς σταθμούς της περιοχής έρευνας (Άνω Θοδωράκι, Γαλλικός, Στέρνα, Ανθόφυτο, Μελάνθιο), πλην της περιοχής του Αναβρυτού, όπου φτάνει τα 590mm (Καλούση 2002, Μάττας 2009).

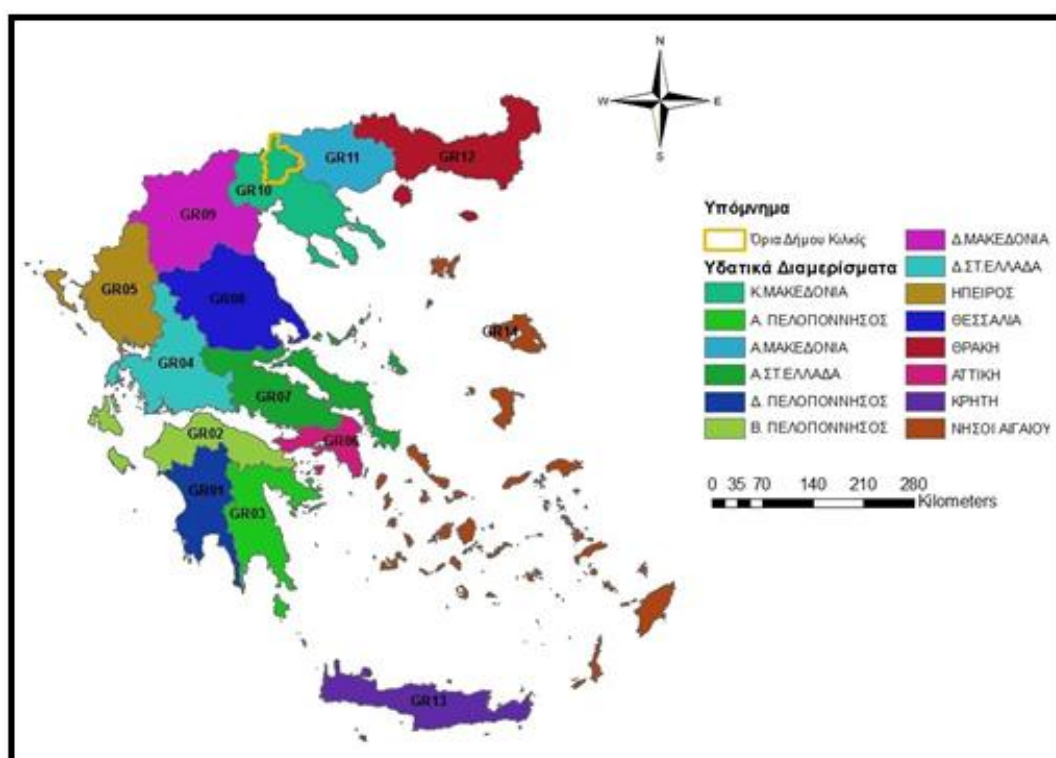
1.3. ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Η περιοχή έρευνας χαρακτηρίζεται από ήπιο ανάγλυφο, πλην των τμημάτων που γειτνιάζουν με τους ορεινούς όγκους Μπέλλες και Κρουσσών. Σύμφωνα με τα στοιχεία της ΕΛ.ΣΤΑΤ. (2011), η έκταση του Δήμου Κιλκίς είναι πεδινή σε ποσοστό 72,2%, ημιορεινή στο 23% και ορεινή σε ποσοστό 4,8%. Μετά από ψηφιοποίηση και επεξεργασία της περιοχής μελέτης με γεωγραφικό σύστημα πληροφοριών (GIS) (Σχήμα 3), προκύπτει ότι το μέγιστο υψόμετρο, ανέρχεται σε 1732m, βορειοανατολικά του όρους Μπέλλες, ενώ το ελάχιστο υψόμετρο είναι 28,3m και βρίσκεται στο δυτικότερο άκρο του Δήμου Κιλκίς. Το μέσο υψόμετρο ανέρχεται σε 303m και η μέση κλίση σε 5,9%, δηλαδή σε 3,3 μοίρες.

Η γεωγραφική έκταση της περιοχής έρευνας, ανήκει στο Υδατικό Διαμέρισμα της Κεντρικής Μακεδονίας (GR10), κατά ποσοστό 92% και στο Υδατικό Διαμέρισμα της Ανατολικής Μακεδονίας (GR11) κατά ποσοστό 8% (Εικόνα 2). Τα Υδατικά Διαμερίσματα (ΥΔ), διαμορφώθηκαν από την Ειδική Γραμματεία Υδάτων (ΕΓΥ) του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής (ΥΠΕΚΑ), κατά την εκπόνηση των σχεδίων διαχείρισης Λεκανών Απορροής Ποταμών (ΛΑΠ) της χώρας, στα πλαίσια εφαρμογής της Οδηγίας 2000/60/ΕΚ, για την «Θέσπιση πλαισίου για την προστασία των εσωτερικών επιφανειακών, των μεταβατικών, των παράκτιων και των υπόγειων υδάτων» (ΕΓΥ 2014).



Σχήμα 3. Μορφολογικός χάρτης Δήμου Κιλκίς

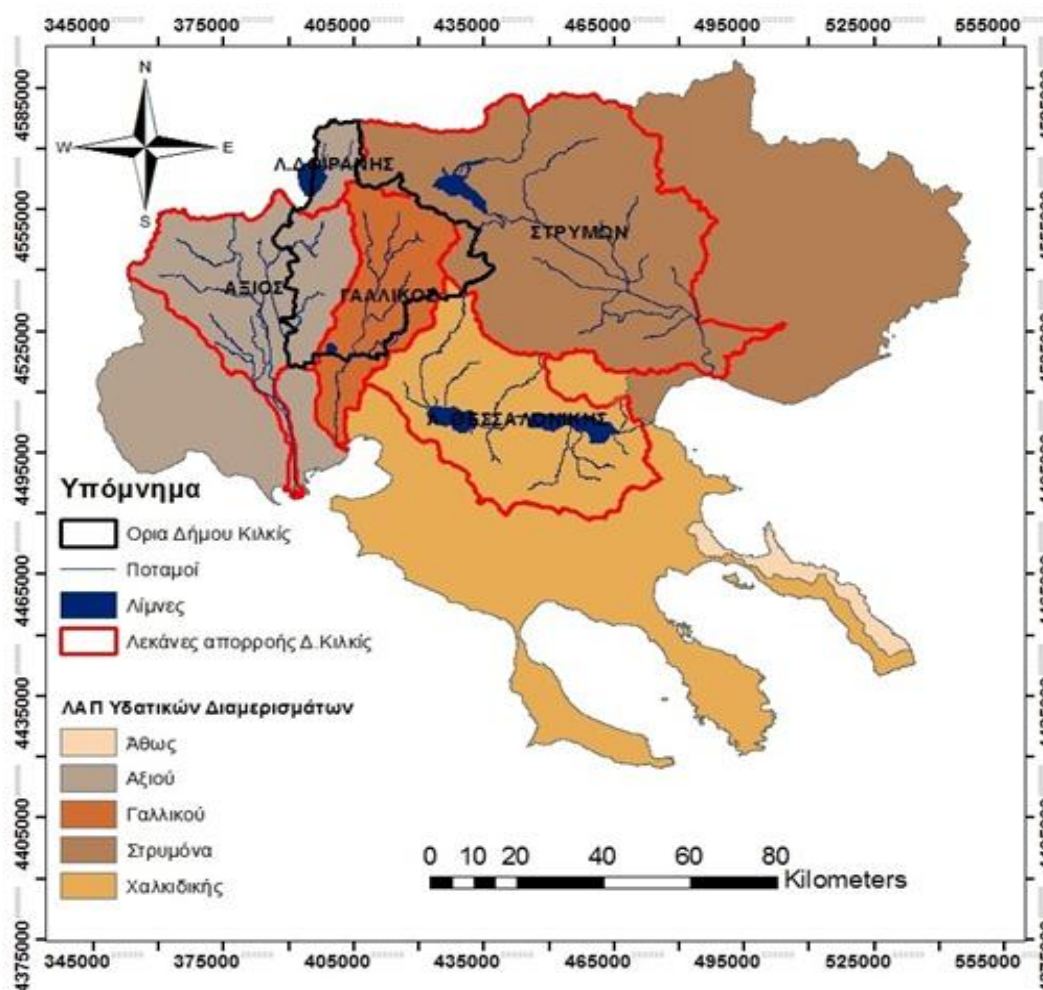


Εικόνα 2. Υδατικά Διαμερίσματα της Ελλάδας (ΕΓΥ 2014)

Σύμφωνα με τη ΕΓΥ οι κύριες ΛΑΠ των Υδατικών Διαμερισμάτων αποτελούνται από επιμέρους λεκάνες απορροής ποταμών και λιμνών, ανάλογα με τα υδρογραφικά χαρακτηριστικά τους. Έτσι οι λεκάνες απορροής που αφορούν στην περιοχή έρευνας είναι αυτές των ποταμών Αξιού, Γαλλικού και Στρυμόνα και της λίμνης Δοϊράνης. Αμελητέο κομμάτι των λεκανών απορροής των λιμνών Θεσσαλονίκης, ανήκει στο Δήμο Κιλκίς, συνεπώς δε θα αναλυθεί περαιτέρω.

Έτσι, ο Δήμος Κιλκίς κατέχει υδρολογικά (Σχήμα 4):

- ❖ Το ανατολικό κομμάτι του Ελληνικού τμήματος της διασυνοριακής λεκάνης απορροής του ποταμού Αξιού (GR10), κατά ποσοστό 41% (667 km^2 εκ των 1.636 km^2).
- ❖ Το σύνολο του Ελληνικού τμήματος της διασυνοριακής λεκάνης απορροής της λίμνης Δοϊράνης (GR10), έκτασης 190 km^2 .
- ❖ Το κεντρικό και βόρειο κομμάτι της λεκάνης απορροής του ποταμού Γαλλικού (GR10), κατά ποσοστό 74% (777 km^2 εκ των 1.051 km^2).
- ❖ Μικρό δυτικό κομμάτι του Ελληνικού τμήματος της διασυνοριακής λεκάνης απορροής του ποταμού Στρυμόνα (GR11), κατά ποσοστό 3,4% (128 km^2 εκ των 3.755 km^2).
- ❖ Ελάχιστη έκταση της λεκάνης απορροής των λιμνών Θεσσαλονίκης (GR10), κατά ποσοστό 0,9% (17 km^2 εκ των 1.902 km^2).

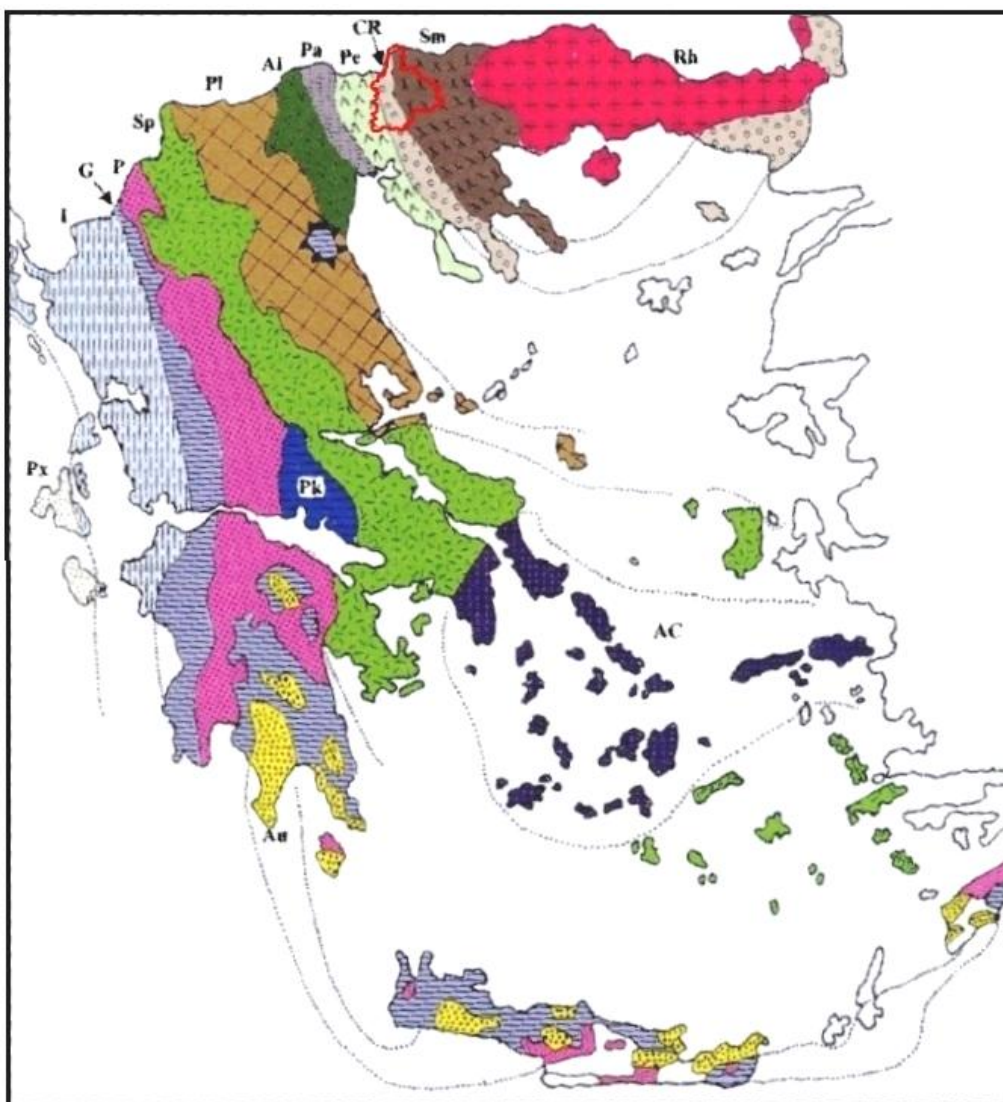


Σχήμα 4. Λεκάνες απορροής ποταμών και λιμνών Δήμου Κιλκίς (ΕΓΥ 2014)

2. ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

2.1. ΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Η περιοχή έρευνας, ανήκει γεωτεκτονικά κατά το μεγαλύτερο μέρος της στις Εσωτερικές Ελληνίδες και πιο συγκεκριμένα στις γεωτεκτονικές ζώνες της **Παιονίας** (υποζώνη της ζώνης Αξιού), της **Περιοδοπτικής** αλλά και στη **Σερβομακεδονική μάζα** της Ελληνικής Ενδοχώρας (Σχήμα 5).



Σχήμα 5. Γεωτεκτονικό σχήμα των Ελληνίδων ζωνών. Rh: Μάζα της Ροδόπης, Sm: Σερβομακεδονική μάζα, CR: Περιοδοπτική ζώνη, (Pe: Ζώνη Παιονίας, Pa: Ζώνη Πάικου, Al: Ζώνη Αλμπανίας) = Ζώνη Αξιού, PI: Πελαγονική ζώνη, Ac: Αττικό-Κυκλαδική ζώνη, Sp: Υποπελαγονική ζώνη, Pk: Ζώνη Παρνασσού - Γκιώνας, P: Ζώνη Πίνδου, G: Ζώνη Γαβρόβου - Τρίπολης, I: Ιόνιος ζώνη, Px: Ζώνη Παξών ή Προαπούλια, Au: Ενότητα "Ταλέα όρη - πλακώδεις ασβεστόλιθοι" πιθανόν της Ιονίου ζώνης. (Κατά Mountrakis et al. 1983)

Ακολουθεί η περιγραφή των γεωλογικών σχηματισμών που συγκροτούν τις παραπάνω ζώνες, στην περιοχή έρευνας.

α) Προαλπικοί σχηματισμοί

Η στρωματογραφική διαδοχή και η λιθολογική σύσταση των προαλπικών σχηματισμών που εμφανίζονται στην περιοχή του Δήμου Κιλκίς, ξεκινώντας από τα παλαιότερα προς τα νεότερα είναι:

i. Σερβομακεδονική μάζα

• Ενότητα Βερτίσκου.

Βρίσκεται δυτικά της ενότητας Κερδυλλίων, κατέχει τον κορμό της Χαλκιδικής και εκτείνεται μέχρι τα Βόρεια σύνορα. Αποτελείται κυρίως από διαμαρμαρυγιακούς γνεύσιους, μιγματιτωμένους γνεύσιους, μοσχοβιτικούς σχιστόλιθους, διαμαρμαρυγιακούς σχιστόλιθους, βιοιτιτικούς και κεροστιλβικούς γνεύσιους, αμφιβολίτες, πηγματίτες, χαλαζίτες, όξινους πλουτωνίτες, βασικά και υπερβασικά σερπεντινιωμένα πετρώματα που αναπτύσσονται στον ορεινό όγκο των Κρουσών και στον άξονα Κορυφής-Κορομηλίας (Μουντράκης 2010). Κατά τόπους συναντώνται μεταλλοφορίες ως φωλιές. Τα συνήθη μεταλλικά ορυκτά των μεταλλοφοριών αυτών είναι μαγνητίτης, σιδερίτης, χρωμίτης και τιτανίτης (Κάλφα 2008).

ii. Περιοδοτική ζώνη

• Ενότητα Ντεβέ Κοράν–Δουμπιά.

Ηφαιστειοϊζηματογενής σειρά

Πάνω από το σχηματισμό Εξαμιλίου βρίσκεται μια ηφαιστειοϊζηματογενής σειρά Περμίου-Κ.Τριαδικού, την οποία απαρτίζουν χαλαζιακά πορφυροειδή, χαλαζιακοί σχιστόλιθοι, πυροκλαστικά υλικά, σχιστοποιημένοι ρυόλιθοι, μεταψαμμίτες, μετααρκόζες και φυλλίτες (Καλούση 2002, Μουντράκης 2010). Εκτείνεται σε ΒΔ-ΝΑ διεύθυνση στις περιοχές Ακρίτα, Μεταλλικού, Κολχίδας και Πυργωτού.

• Σειρά Εξαμιλίου

Είναι γνωστή ως «σχηματισμός Εξαμιλίου». Περιλαμβάνει ένα σχηματισμό μετακλαστικών ιζημάτων, μεταψαμμίτες, χαλαζίτες, χαλαζιακούς σχιστόλιθους και μετακροκαλοπαγή ηλικίας Περμίου (Μουντράκης 2010). Εκτείνεται κατά τόπους σε έναν άξονα Β-Ν από την Αντιγόνη έως Νότια του οικισμού Λαοδικηνού.

β) Αλπικοί σχηματισμοί

i. Περιοδοτική ζώνη

Τα αλπικά πετρώματα της Περιοδοτικής ζώνης για την περιοχή έρευνας, ανήκουν στις ενότητες Ντεβέ Κοράν–Δουμπιά και Μελισσοχωρίου-Χολομώντα ή Λεβεντοχωρίου.

• Ενότητα Ντεβέ Κοράν – Δουμπιά

Η ενότητα Ντεβέ Κοράν – Δουμπιών αναπτύσσεται κατά διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ μεταξύ του Κιλκίς και του λοφώδη σχηματισμού Ντεβέ Κοράν. Μετά τον

σχηματισμό της Ηφαιστειοζηματογής σειράς της ενότητας, το Πέρμιο-Κ.Τριαδικό, η ιζηματογένεση συνεχίζεται προς τα πάνω με την απόθεση μιας ανθρακικής νηριτικής σειράς που αποτελείται από ανακρυσταλλωμένους ασβεστόλιθους, ψαμμιτικούς και μαργαϊκούς με φύκη και κοράλλια. Η ηλικία απόθεσης της σειράς είναι από το Μέσο-Άνω Τριαδικό (Κατώτερη ασβεστολιθική σειρά) μέχρι το Κάτω-Μέσο Ιουρασικό (Ανώτερος ανθρακικός ορίζοντας) (Mercier 1966, Μουντράκης 2010).

Βόρεια της Βάθης απαντάται μια περιορισμένης έκτασης όξινη πυριγενής μάζα η οποία αποτελείται από πορφυρίτες και έναν ερυθρόχρωμο διαμαρμαρυγικό γρανίτη (Kockel et al 1971).

- **Ενότητα Μελισσοχωρίου-Χολομώντα**

Η ενότητα αυτή εκτείνεται ανατολικά της ενότητας Άσπρης Βρύσης – Χορτιάτη κατά διεύθυνση ΒΒΔ-ΝΝΑ, από την περιοχή της Λίμνης Δοϊράνης προς το βουνό Χολομώντα της Χαλκιδικής και τη Σιθωνία (Μουντράκης 2010). Στην περιοχή έρευνας εμφανίζεται κυρίως βόρεια του Π.Γυναικοκάστρου μέχρι δυτικά του οικισμού Μεσιανού. Περιλαμβάνει έναν κατώτερο σχηματισμό με μάρμαρα, ανακρυσταλλωμένους ασβεστόλιθους με συχνές παρεμβολές φυλλιτών και γραφιτικών φυλλιτών που προς τα ανώτερα μέλη εξελίσσονται σε φυλλιτικό σχηματισμό και από έναν ανώτερο σχηματισμό φλύσχη που ονομάζεται φλύσχης Σβούλας (Καλούση 2002, Μουντράκης 2010).

- ii. **Ζώνη Αξιού - Υποζώνη Παιονίας**

- **Ενότητα Ωραιοκάστρου**

Στην περιοχή έρευνας εμφανίζεται με τη μορφή ενός κροκαλοπαγούς που συνίσταται από τεφρά έως κεραμόχρωμα στρώματα, που εναλλάσσονται με ερυθρωπούς ψαμμίτες και ερυθρούς αργιλικούς σχιστόλιθους. Στις κροκάλες απαντούν και κομμάτια ασβεστόλιθων (Μάττας 2009). Οι αλπικοί σχηματισμοί αυτής της ενότητας συναντώνται στις περιοχές των κοινοτήτων Μανδρών, Νέας Σάντας του Δήμου Κιλκίς ενώ επιπτεούνται από τα ανατολικά από τους σχηματισμούς των ενοτήτων Ντεβέ Κοράν-Δουμπιών και Άσπρης Βρύσης-Χορτιάτη.

γ) Τριτογενείς σχηματισμοί

Διακρίνονται σε παλαιογενείς αποθέσεις που αποτελούνται από μάργες, ψαμμίτες, κροκαλοπαγή και ασβεστόλιθους και σε νεογενείς αποθέσεις που αποτελούνται από την ψαμμιτομαργαϊκή σειρά και αδρομερή κλαστικά ιζήματα που εκτείνονται κυρίως στις περιοχές Νέου και Παλιού Αγιονερίου και ανατολικά του Βακουφίου.

δ) Τεταρτογενείς σχηματισμοί

Οι τεταρτογενείς σχηματισμοί καλύπτουν κατά κανόνα τα πεδινά τμήματα όλων των επιμέρους λεκανών απορροής της περιοχής έρευνας και είναι ιζήματα λιμναίας, χερσαίας, ποτάμιας και ποταμοχειμάρρειας φάσης που διακρίνονται ανάλογα με την ηλικία τους σε πλειστοκαινικές και ολοκαινικές αποθέσεις

Οι πλειστοκαινικές αποθέσεις αποτελούνται ερυθρές αργίλους, στρώματα άμμων, χαλικιών, αργιλοάμμους, καθώς και από λεπτούς πάγκους ψαμμιτών και κροκαλοπαγών. Οι εκτάσεις γύρω από την Πικρολίμνη, Περινθο και Ξυλοκερατιά, αντιπροσωπεύουν παλαιότερες λιμναίες αποθέσεις. Κατά μήκος της κοίτης των ποταμών, κυρίως του Γαλλικού, αναπτύσσεται σύστημα αναβαθμίδων από χαλαρά κροκαλοπαγή, αργιλώδεις άμμους και χαλαρούς ψαμμίτες, οι οποίες κατά θέσεις καλύπτονται από ελλουβιακές αποθέσεις. Στην περιοχή του Εξαμιλίου συναντάται το ανώτερο σύστημα αναβαθμίδων το οποίο αντιπροσωπεύει παλαιότερα λιμναία ιζήματα (Καλούση 2002, Μάττας 2009).

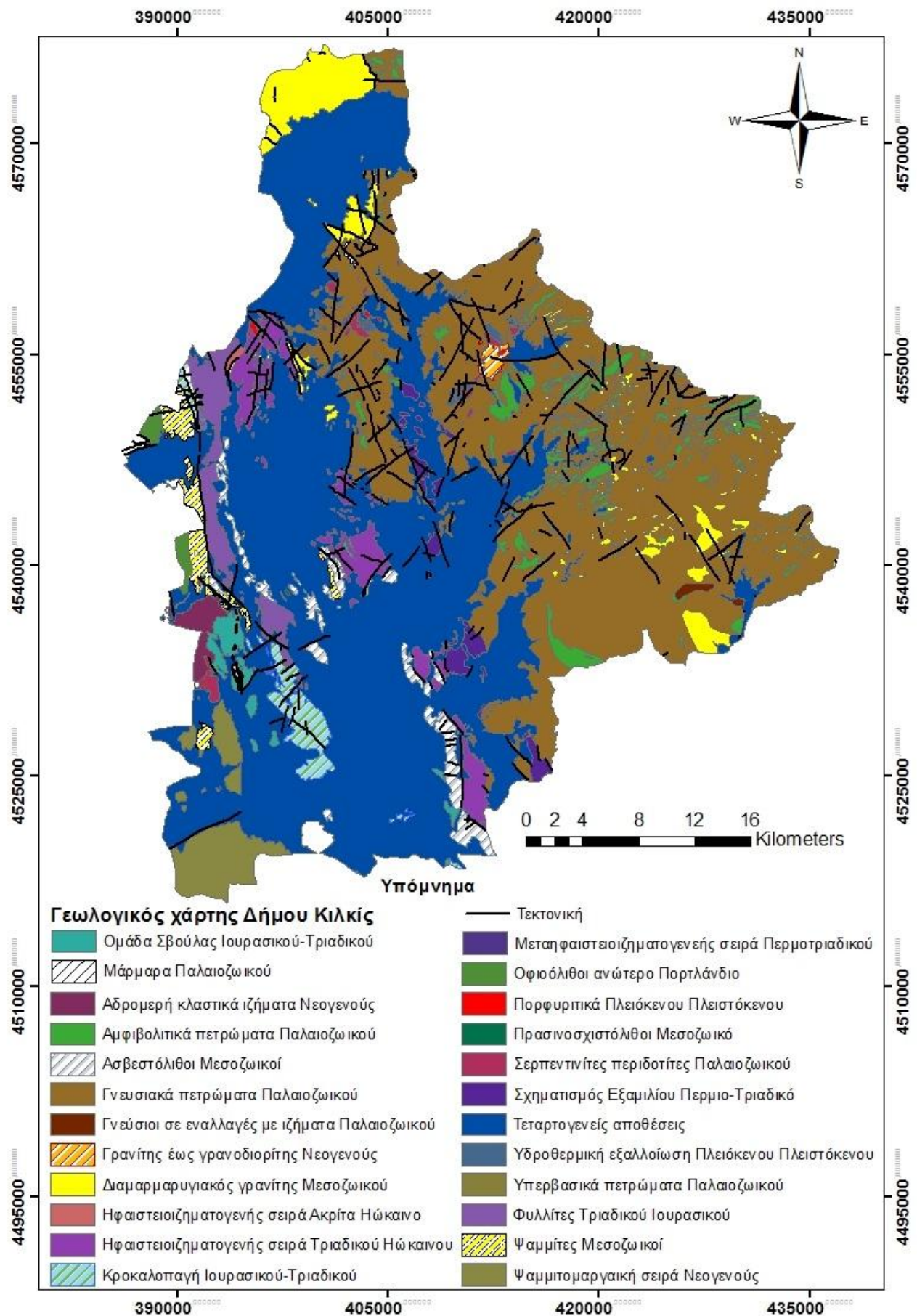
Οι ολοκαινικές αποθέσεις ταξινομούνται α) σε αποθέσεις στις κοίτες ποταμών και χειμάρρων με ασύνδετα υλικά από χονδρόκοκκους και λεπτόκοκκους άμμους, αμμοχάλικα, αμμοαργίλους και αργίλους, β) σε σύγχρονα λιμναία ιζήματα που συνίσταται από άμμους, αμμώδεις αργίλους, αργίλους και ιλύες που απαντούν στις υπάρχουσες και τις αποξηραμένες λίμνες και γ) σε κώνους κορημάτων και πλευρικά κορήματα που βρίσκονται στις παρυφές των ορεινών όγκων (Καλούση 2002, Μάττας 2009).

2.2. ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ

Στο Δήμο Κιλκίς, σημειώνονται κυρίως κανονικά ρήγματα με ΒΔ-ΝΑ, ΒΑ-ΝΔ και Α-Δ διευθύνσεις.

Κατά το Άνω Ιουρασικό-Κάτω Κρητιδικό, Άνω Κρητιδικό Ηώκαινο, υπήρξαν τεκτονικά φαινόμενα που μεταμόρφωσαν και πτύχωσαν τα πετρώματα των ζωνών, δημιουργώντας μικρο και μακρο πτυχές με διευθύνσεις αξόνων κυρίως βορειοδυτικές. Η Σερβομακεδονική μάζα δέχτηκε επίσης την επίδραση μιας τουλάχιστον ορογενετικής φάσης της Παλαιοζωικής ηλικίας.

Οι τεκτονικές φάσεις της περιόδου του Τριτογενούς προκάλεσαν λεπιώσεις, εφιππεύσεις, ανοιχτές πτυχές, επωθήσεις των μαζών καθώς και την αναστροφή του δυτικού περιθωρίου της Σερβομακεδονικής μάζας, με αποτέλεσμα την τοποθέτησή της πάνω στο σχηματισμό της Περιοδοπικής Ζώνης. Μεταξύ των ενοτήτων της Περιοδοπικής ζώνης παρατηρούνται εφιππεύσεις και απωθήσεις μικρής κλίμακας, οι ενότητες της οποίας επωθούνται επί της ζώνης Παιονίας (Καλούση 2002, Μάττας 2009).



Σχήμα 6. Γεωλογικός χάρτης Δήμου Κιλκίς

3. ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ

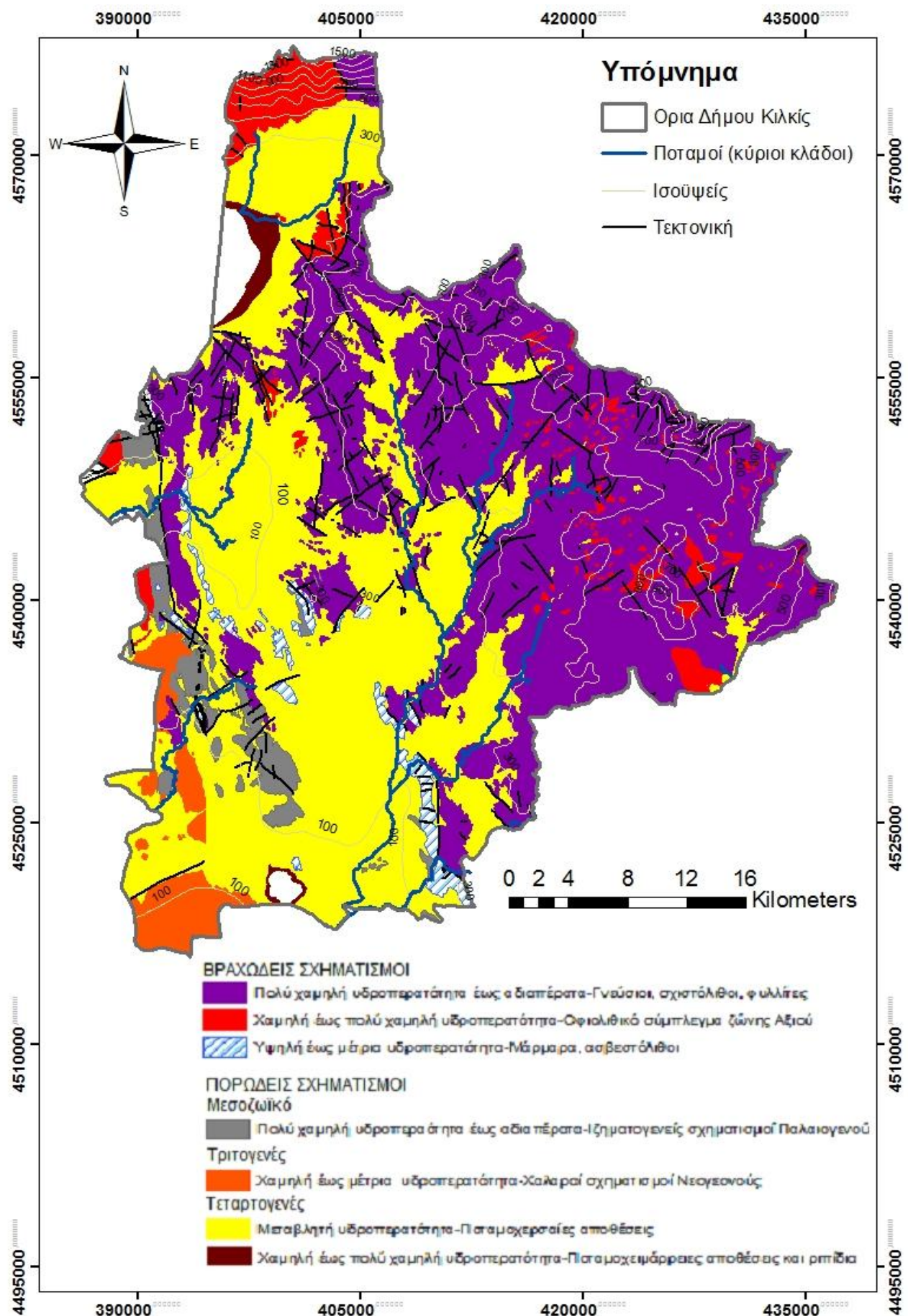
Η υδρογεωλογική συμπεριφορά των γεωλογικών σχηματισμών εξαρτάται από την πετρολογική σύσταση, την κοκκομετρική σύσταση, το βαθμό διαγένεσης, την τεκτονική καταπόνηση, καθώς και από το βαθμό διάρρηξης και αποσάθρωσης τους (Σούλιος 1986). Ανάλογα με την ικανότητα που έχουν οι γεωλογικοί σχηματισμοί στην αποθήκευση αλλά και την κίνηση του υπόγειου νερού χωρίζονται σε τρεις κύριες κατηγορίες: στους **υδροφορείς διαρρηγμένων πετρωμάτων ή ρωγματικούς**, σε αυτούς δηλαδή που σχηματίζουν δευτερογενείς ρωγμές και έγκοιλα, στους **καρστικούς** υδροφορείς που εμφανίζονται στα ανθρακικά πετρώματα και στους **κοκκώδεις ή πορώδεις**, σε αυτούς δηλαδή που παρουσιάζουν διάκενα (πόρους). Στους ρωγματικούς σχηματισμούς ανήκουν τα **μαγματικά και μεταμορφωμένα ή ημιμεταμορφωμένα** πετρώματα του υποβάθρου (γρανίτες, γνεύσιοι, φυλλίτες, σχιστόλιθοι, οφιόλιθοι, ηφαιστειοϊζηματογενή πετρώματα) και στα **ανθρακικά** πετρώματα τα μάρμαρα και οι ασβεστόλιθοι. Στους κοκκώδεις σχηματισμούς ανήκουν οι **Τριτογενείς** αποθέσεις, δηλαδή τα μολασικά ιζήματα (άργιλοι, μάργες, ψαμμίτες, πηλίτες, κροκαλοπαγή) και οι **Τεταρτογενείς** αποθέσεις. (Σούλιος 1986, Καλούση 2002).

Οι διάφοροι γεωλογικοί σχηματισμοί που απαντούν στην περιοχή έρευνας διακρίνονται σε υδροπερατούς, ημιπερατούς και υδατοστεγείς.

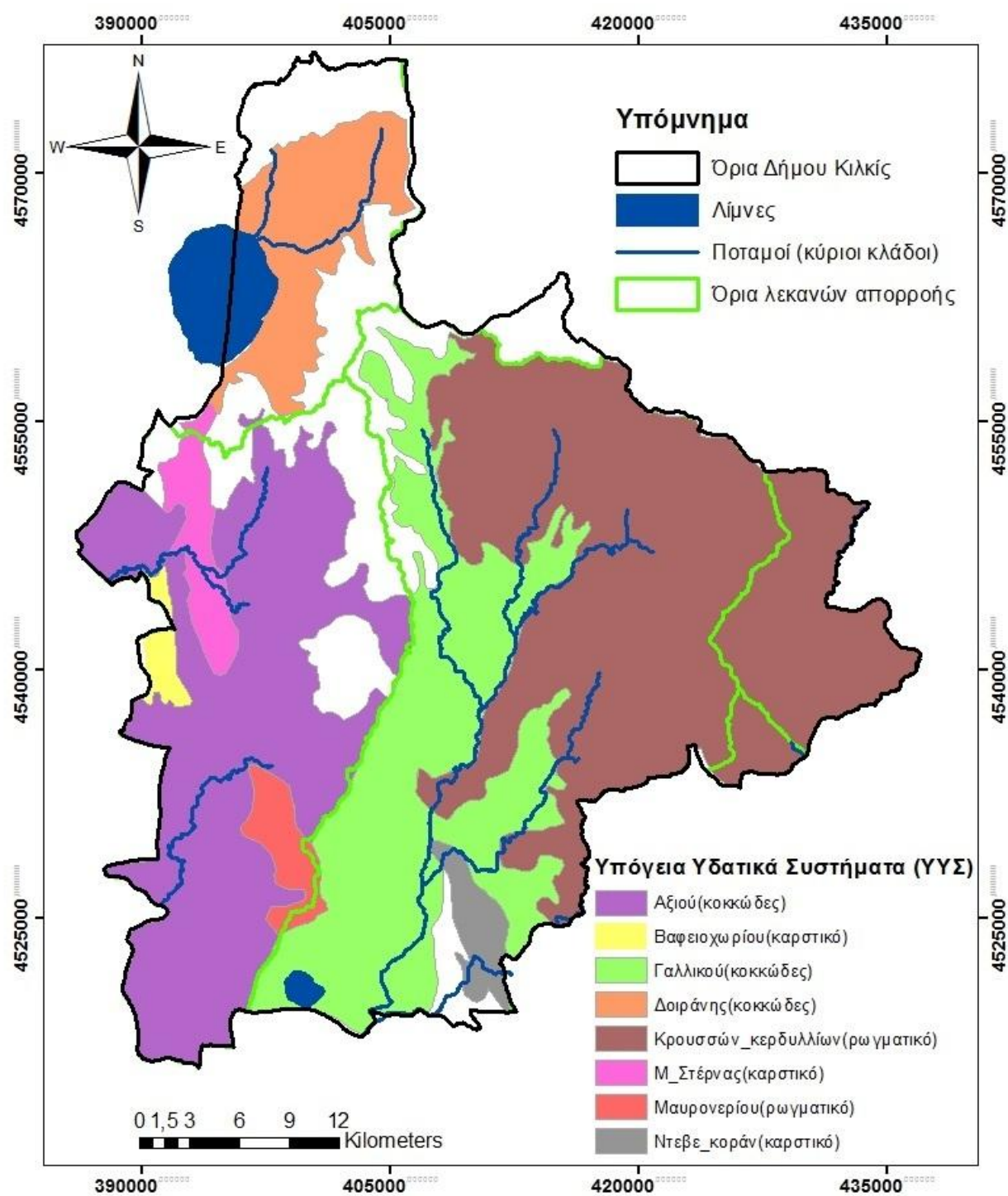
Οι υδρογεωλογικές συνθήκες στην περιοχή έρευνας, όπως και στην ευρύτερη περιοχή της Κεντρικής Μακεδονίας, έχουν μελετηθεί εκτενώς από το ΙΓΜΕ (Καλούση 2002, Βεράνης 2010). Η Ειδική Γραμματεία Υδάτων (ΕΓΥ), στα Διαχειριστικά Σχέδια Λεκανών Απορροής Ποταμών, λαμβάνοντας υπόψη τους παραπάνω, διαχωρίζει την περιοχή έρευνας σε Υπόγεια Υδατικά Συστήματα (εφεξής ΥΥΣ), ανάλογα με τα υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά των σχηματισμών της περιοχής, ως εξής:

- ΥΥΣ Κρουσσών-Κερδυλλίων (ρωγματικό)
- ΥΥΣ Μαυρονερίου (ρωγματικό)
- ΥΥΣ Μπέλλες (ρωγματικό). Λόγω της μηδαμινής υδροπερατότητας του, θεωρείται αμελητέο και δε λαμβάνεται υπόψιν.
- ΥΥΣ Ντεβέ-Κοράν (καρστικό)
- ΥΥΣ Μ.Στέρνας (καρστικό)
- ΥΥΣ Βαφειοχωρίου (καρστικό)
- ΥΥΣ Γαλλικού (κοκκώδες)
- ΥΥΣ Αξιού (κοκκώδες)
- ΥΥΣ Δοϊράνης (κοκκώδες)

Ο υδρολιθολογικός καθώς και ο χάρτης των ΥΥΣ της περιοχής μελέτης παρατίθενται στο τέλος του Κεφαλαίου (Σχήματα 7 και 8).



Σχήμα 7. Υδρολιθολογικός χάρτης περιοχής έρευνας



Σχήμα 8. Υπόγεια Υδατικά Συστήματα (ΥΥΣ) περιοχής έρευνας (ΕΓΥ 2014)

4. ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ

4.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η σύσταση των υπόγειων υδάτων, διαφέρει από τη σύσταση των νερών εμπλουτισμού και μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια κίνησής τους μέσα στους υδροφορείς. Η ποιότητα των υπόγειων υδάτων καθορίζεται από πολλούς παράγοντες (Κουϊμτζής κ.α. 1998, Βουδούρης 2009, Καλούση 2009), οι κυριότεροι εκ των οποίων είναι:

A) Φυσικοί παράγοντες:

- Το είδος, η δομή, η χημική σύσταση και οι αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα στους γεωλογικούς σχηματισμούς του υδροφορέα όπως:
 - η αποσάθρωση και διάλυση των πετρωμάτων
 - η απόθεση ορυκτών
 - η οργανική ύλη που προκαλεί έκλυση διοξειδίου του άνθρακα, αναγωγή οξειδίων σιδήρου, νιτρικών και θειϊκών ιόντων, μεθανογένεση
 - η ιοντοανταλλαγή
- Τα υδρογεωλογικά και υδραυλικά χαρακτηριστικά του υδροφορέα (ταχύτητα ροής, χαμηλή ή υψηλή υδροφορία, είδος ακόρεστης ζώνης κ.λπ.)
- Η παρουσία βλάστησης (πρόσληψη καλίου, φωσφόρου, αερίων από την ατμόσφαιρα)
- Παράμετροι του υδρολογικού κύκλου όπως για παράδειγμα η μεγάλη εξάτμιση στους αβαθείς υδροφόρους που αυξάνει τη συγκέντρωση αλάτων

B) Ανθρωπογενείς δραστηριότητες που υποβαθμίζουν την ποιότητα των υπόγειων νερών, ελευθερώνοντας ρύπους στο φυσικό περιβάλλον:

- Αστικές δραστηριότητες που εκλύουν πλήθος οργανικών και ανόργανων ρύπων και μικροοργανισμών: αστικά λύματα, οικιακά απορρίμματα, ρευστά από κοιμητήρια, εκπλύματα οδικού δικτύου κ.λπ.
- Απόβλητα γεωργοκτηνοτροφικής δραστηριότητας:
 - Λιπάσματα που περιέχουν ανόργανους ρυπαντές όπως άζωτο που προκαλεί τη νιτρορύπανση, νάτριο, κάλιο, θειϊκά και χλωριούχα ιόντα
 - ζιζανιοκτόνα και παρασιτοκτόνα που εκλύουν βαρέα μέταλλα, τοξικά στοιχεία και ενώσεις και οργανικούς ρύπους
- Απόβλητα βιομηχανικής και μεταλλευτικής δραστηριότητας: βαρέα μέταλλα, οργανικές και ραδιενεργές ενώσεις, αιωρούμενα στερεά, ορυκτές ενώσεις, όξινα απόβλητα, θερμό νερό κ.λπ.

4.2. ΔΙΚΤΥΟ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ

Στις επόμενες παραγράφους, εξετάζονται οι υδροχημικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή των διοικητικών ορίων του Δήμου Κιλκίς και προσδιορίζονται τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των υπόγειων νερών. Η συγκεκριμένη περιοχή έρευνας επιλέχθηκε με έναυσμα την ανάγκη ενδεδειγμένης έρευνας της ποιότητας των σημείων υδροληψίας του Δήμου Κιλκίς, για τις οποίες έως την έναρξη των μετρήσεων, υπήρχαν αποσπασματικά στοιχεία, από διάφορες υπηρεσίες (ΙΓΜΕ, πρώην Καποδιστριακοί Δήμοι, Δ.Ε.Υ.Α. Κιλκίς). Γι αυτό το λόγο και τα υδροχημικά χαρακτηριστικά της περιοχής έρευνας αντιμετωπίστηκαν ενιαιοποιημένα στα διοικητικά όρια του Δήμου Κιλκίς και όχι ξεχωριστά ανά υπόγειο υδατικό σύστημα.

Το δίκτυο γεωτρήσεων, πηγών και πηγαδιών που δημιουργήθηκε, καλύπτει ικανοποιητικά, ως προς τη χωρική κατανομή, τα υπόγεια υδατικά συστήματα που αναπτύσσονται στην περιοχή και θεωρείται αντιπροσωπευτικό της περιοχής έρευνας, λαμβάνοντας υπόψη τα εξής:

- Ο πληθυσμός της περιοχής έρευνας είναι άνισα κατανομημένος χωρικά, με το μεγαλύτερο μέρος των κατοίκων να διαμένουν σε οικισμούς του κεντρικού και νότιου τμήματος της έκτασής του. Το ανατολικό τμήμα είναι ορεινό (όγκος Κρουσών) και κατά βάση άγονο με αποτέλεσμα την αντίστοιχη ύπαρξη χωρικής ανισοκατανομής στις υδρευτικές ανάγκες της περιοχής και άρα στην ανάγκη ανόρυξης γεωτρήσεων.
- Γίνεται άντληση υδάτων κατά μήκος και παραπλευρώς των κεντρικών κλάδων του Γαλλικού ποταμού
- Από τη μελέτη των διαθέσιμων τομών γεωτρήσεων, φαίνεται ότι το νερό αντλείται από πολλαπλά βάθη, στα οποία ωστόσο απαντώνται σε κάθε περίπτωση κοινοί γεωλογικοί σχηματισμοί.
- Δε λαμβάνεται υπόψιν το καρστικό σύστημα Βαφειοχωρίου στο δυτικό όριο της περιοχής έρευνας καθώς είναι αμελητέας έκτασης και δεν υπάρχει σε αυτό κανένα σημείο δειγματοληψίας.

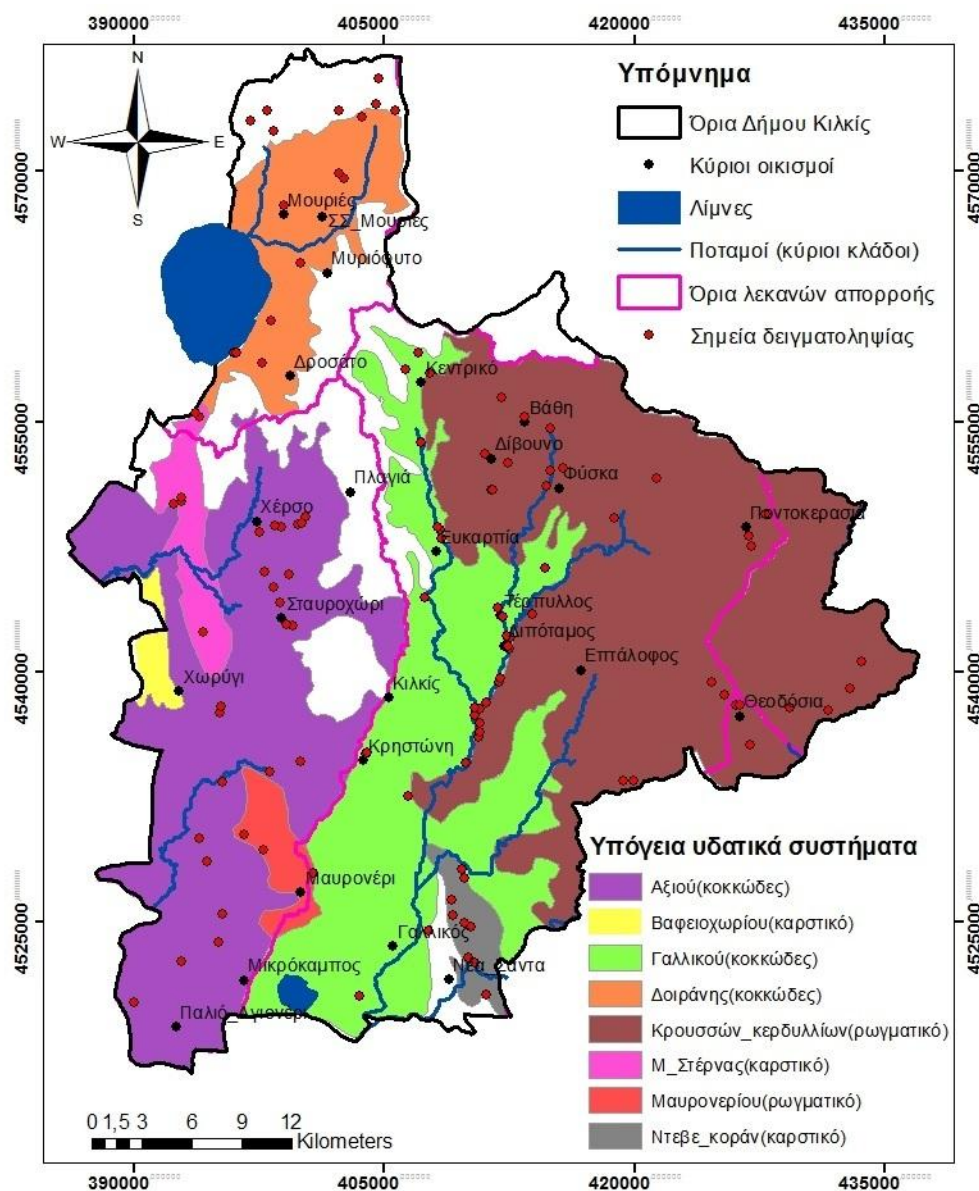
Οι δειγματοληψίες στην περιοχή έρευνας, πραγματοποιήθηκαν σε δύο περιόδους, την ξηρή (Αύγουστος-Σεπτέμβριος) του έτους 2013 και την υγρή (Απρίλιος-Μάιος) του έτους 2014. Η επιλογή των περιόδων αυτών έγινε για την απόκτηση της βέλτιστης εικόνας των διακυμάνσεων του χημισμού του υπόγειου νερού κατά τη διάρκεια του έτους. Κατά τις ξηρές περιόδους, οι υπόγειες στάθμες είναι μειωμένες καθώς έχει προηγηθεί η αρδευτική περίοδος και η ανομβρία που κατά κανόνα επικρατεί την καλοκαιρινή περίοδο, ενώ δεν έχουν αρχίσει ακόμα οι βροχοπτώσεις του φθινοπώρου. Οι υγρές περίοδοι, συνοδεύονται από εμπλουτισμό των υπόγειων υδάτων και ενδεχόμενες αλλαγές στο χημισμό τους, καθώς έχει προηγηθεί η κατείσδυση των βροχών του χειμώνα και η απουσία αρδεύσεων.

Κατά την ξηρή περίοδο του έτους 2013, πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία από 102 σημεία υδροληψίας, εκ των οποίων τα 77 είναι γεωτρήσεις, τα 16 πηγές και τα 9 είναι πηγάδια. Το σύνολο των σημείων

δειγματοληψίας προορίζεται για ύδρευση, είτε μετά από επεξεργασία, ή μόνο με την εφαρμογή απολύμανσης με υποχλωριώδες νάτριο ή υποχλωριώδες ασβέστιο.

Κατά την υγρή περίοδο του 2014, παρουσιάστηκε αδυναμία δειγματοληψίας σε κάποια από τα προηγούμενα σημεία, ενώ προστέθηκαν νέα, μεταξύ των οποίων έξι σημεία υδροληψίας από την περιοχή Δίβουνου-Φύσκας-Διπτόταμου, που δεν προορίζονται για υδρευτικούς σκοπούς, αλλά συντελούν στην προσπάθεια περαιτέρω διερεύνησης της εμφάνισης αρσενικού στα υπόγεια ύδατα της περιορισμένης αυτής περιοχής. Έτσι, ο αριθμός των δειγμάτων νερού διαμορφώθηκε σε 102, εκ των οποίων τα 75 είναι από γεωτρήσεις, τα 20 από πηγές και τα 7 από πηγάδια.

Ο χάρτης και ο πίνακας που ακολουθούν παρουσιάζουν το δίκτυο σημείων δειγματοληψίας υπόγειου νερού, μαζί με τα υπόγεια υδατικά συστήματα της περιοχής έρευνας.



Σχήμα 9. Συνολικό δίκτυο σημείων δειγματοληψίας υπόγειου νερού

Πίνακας 2. Σημεία δειγματοληψίας και υπόγεια υδατικά συστήματα περιοχής έρευνας		
Υπόγεια Υδατικά Συστήματα ΥΥΣ (ΕΓΥ)	Έκταση ΥΥΣ εντός του Δήμου Κιλκίς (km ²)	Αριθμός σημείων δειγματοληψίας
Κρουσσών Κερδυλλίων	520	30
Αξιού	340	24
Γαλλικού	298	29
Δοϊράνης	98,6	9
Μ.Στέρνας	33,4	6
Μαυρονερίου	24,4	3
Ντεβέ Κοράν	22,5	9
Μπέλλες (αμελητέο)		7

4.3. ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ-ΔΙΕΝΕΡΓΕΙΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ

Οι δειγματοληψίες, όπως και οι αναλύσεις της ξηρής και υγρής περιόδου 2013 και 2014 αντίστοιχα, πραγματοποιήθηκαν βάσει των κανόνων της διεθνούς βιβλιογραφίας (Standard Methods for the examination of water and wastewater-APHA 1998). Σε κάθε πηγή υδροληψίας πραγματοποιούνταν άντληση τουλάχιστον μίας ώρας πριν τη δειγματοληψία. Τα δείγματα συλλέχθηκαν σε φιάλες πολυαιθυλενίου υψηλής πυκνότητας, οι οποίες είχαν πρώτα πλυθεί με απιονισμένο νερό και νερό του σημείου δειγματοληψίας. Ο χρόνος μεταξύ της δειγματοληψίας και της ανάλυσης στο εργαστήριο, ήταν ο μικρότερος δυνατός και δεν ξεπερνούσε τις επτά ώρες. Τα δείγματα μεταφέρονταν με φορητό ψυγείο, στους 4°C, αφού πρώτα διηθούνταν στο πεδίο μέσω ηθμού διαμέτρου 0,45 μm. Σε αυτά που προορίζονταν για αναλύσεις μετάλλων (σίδηρος, μαγγάνιο, χαλκός, αρσενικό), πραγματοποιήθηκε προσθήκη μικρής ποσότητας πυκνού νιτρικού οξέος για να αποφευχθεί η υδρόλυση και η αναγωγή τους (Κουιμτζής κ.α. 2004).

Οι χημικές αναλύσεις των δειγμάτων πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο αναλύσεων της Δ.Ε.Υ.Α. Κιλκίς, πλην της παραμέτρου του αρσενικού που ποσοτικοποιήθηκε μετά από αποστολή των δειγμάτων στο εργαστήριο ελέγχου ρύπανσης περιβάλλοντος του τμήματος Χημείας του Α.Π.Θ. και σε δύο ιδιωτικά διαπιστευμένα κατά ISO 17025, εργαστήρια.

Το εργαστήριο ποιοτικού ελέγχου νερού της Δ.Ε.Υ.Α. Κιλκίς λειτουργεί βάσει εγκατεστημένων συστημάτων διασφάλισης ποιότητας και περιβαλλοντικής διαχείρισης, ενώ συμμετέχει, για συνεχόμενα έτη, με επιτυχία σε διεργαστηριακά προγράμματα κοινού αναλυτικού ποιοτικού ελέγχου.

Μετά το πέρας των αναλύσεων, ελέγχθηκε η εφαρμογή αρχής της ηλεκτροουδετερότητας μέσω του υπολογισμού του σφάλματος ισοζυγίου ιόντων (APHA 1998):

$$\text{Σφάλμα ισοζυγίου ιόντων (\%)} = \frac{\Sigma \text{κατιόντων} - \Sigma \text{ανιόντων}}{\Sigma \text{κατιόντων} + \Sigma \text{ανιόντων}} * 100$$

όπου το Σ δηλώνει άθροισμα και οι συγκεντρώσεις εκφράζονται σε meq/L. Τα επιμέρους σφάλματα για τις αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν,

υπολογίστηκαν κάτω του 5% στο σύνολό τους, γεγονός που διασφαλίζει την αξιοπιστία των μετρήσεων.

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται οι μέθοδοι διενέργειας των χημικών αναλύσεων:

Πίνακας 3. Μέθοδοι ανάλυσης των χημικών παραμέτρων			
Παράμετρος	Μέθοδος ανάλυσης	Όριο ανίχνευσης μεθόδου	Εύρος γραμμικότητας
pH	Ηλεκτρομετρία APHA 4500-H ⁺ (1998)	4,01 μονάδες pH	-
Αγωγιμότητα	Ηλεκτρομετρία APHA 2510-B (1998)	15 μ S/cm (25°C)	-
Ολικά διαλυμένα στερεά	Ηλεκτρομετρία APHA 2510-B (1998)	8 mg/L	-
Ολική σκληρότητα	Ογκομετρία-συμπλοκομετρία APHA 2340 C (1998)	1 °F	-
Ιόντα ασβεστίου	Ογκομετρία-συμπλοκομετρία APHA 3500-Ca B (1998)	4 mg/L	-
Ιόντα μαγνησίου	Υπολογιστικά APHA 3500-Mg B (1998),	0,01 mg/L	-
Ιόντα νατρίου	Φλογοφωτομετρία ατομικής απορρόφησης APHA 3500-Na B (1998)	1 mg/L	1-10 mg/L
Ιόντα καλίου	Φλογοφωτομετρία ατομικής απορρόφησης APHA 3500-K B (1998)	1 mg/L	1-6 mg/L
Αμμωνιακά ιόντα	Φασματοφωτομετρία απορρόφησης-Δημιουργία κυανού της ινδοφαινόλης based on DIN 38406-E5	0,02 mg/L	0,02-2,5 mg/L
Όξινα ανθρακικά ιόντα	Υπολογιστικά APHA 2320 B (1998)	12,2 mg/L	-
Ανθρακικά ιόντα	Υπολογιστικά APHA 2320 B (1998)	0 mg/L	-
Χλωριούχα ιόντα	Ογκομετρία-συμπλοκομετρία APHA 4500-Cl ⁻ B (1998)	1 mg/L	-
Θειικά ιόντα	Φασματοφωτομετρία απορρόφησης Barium sulfate method EN ISO 10304-2	2 mg/L	2-150 mg/L
Νιτρικά ιόντα	Φασματοφωτομετρία απορρόφησης APHA 4500-NO ₃ ⁻ B	1 mg/L	1-31 mg/L
Νιτρώδη ιόντα	Φασματοφωτομετρία απορρόφησης Μέθοδος διαζώτωσης	0,006 mg/L	0,006-0,98 mg/L
Φθοριούχα ιόντα	Φασματοφωτομετρία απορρόφησης zirconium fluoride complex DIN 38405-D4	0,1 mg/L	0,1-1,5 mg/L
Σίδηρος	Φασματοφωτομετρία απορρόφησης Ferrozine method EN ISO 11885	5 μ g/L	5-0,25 μ g/L
Μαγγάνιο	Φασματοφωτομετρία απορρόφησης PAN Method	5 μ g/L	5-500 μ g/L
Αρσενικό	Ατομική απορρόφηση φούρνου γραφίτη APHA 3113-3500 As (1998) ή ICP-MS	0,5 μ g/L	-

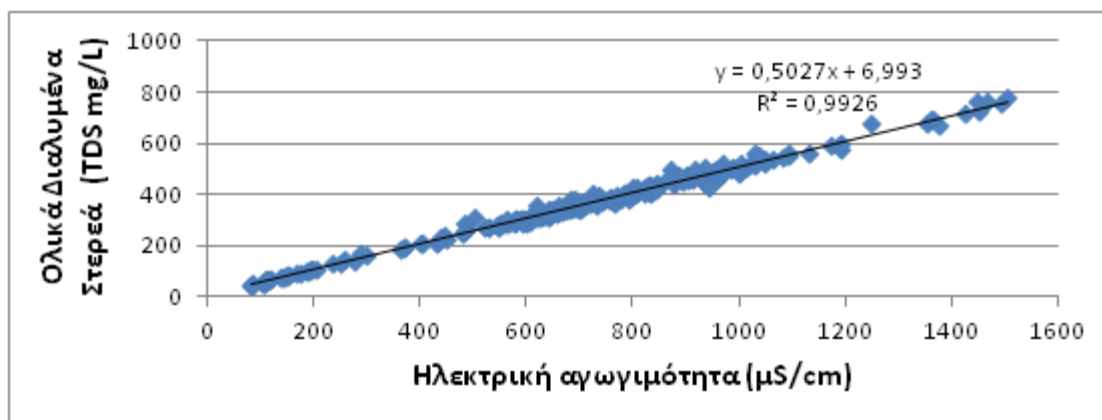
4.4. ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ

4.4.1. Ηλεκτρική αγωγιμότητα (E.C.) – Ολικά διαλυμένα στερεά (T.D.S.)

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα (Electrical Conductivity E.C.) αποτελεί σημαντικό δείκτη της ποιότητας του νερού. Η ΚΥΑ Υ2/2600/2001, όπως τροποποιήθηκε με την ΚΥΑ ΔΥΓ2/38295/2007, ορίζει τα ανώτατα επιτρεπτά όρια των παραμέτρων ποιότητας του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης και κατατάσσει την αγωγιμότητα στις ενδεικτικές παραμέτρους με ανώτατο

επιτρεπτό όριο, την τιμή 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Στην ΚΥΑ δεν περιλαμβάνονται τα ολικά διαλυμένα στερεά (Total Dissolved Solids), τα οποία ωστόσο έχουν άμεση σχέση με τις τιμές της αγωγιμότητας, καθώς εκφράζουν τη συγκέντρωση των διαλυμένων αλάτων στο νερό, χωρίς να περιλαμβάνονται τα αιωρούμενα ιζήματα, τα διαλυμένα αέρια και τα κολλοειδή (Βουδούρης 2009).

Η συσχέτιση των δύο παραμέτρων για όλα τα δείγματα που ελήφθησαν κατά τα έτη 2013-2014 για την περιοχή έρευνας είναι η ακόλουθη:



Σχήμα 10. Διάγραμμα συσχέτισης E.C. και TDS για το σύνολο των δειγμάτων

Η εξίσωση συσχέτισης είναι $\text{T.D.S.} = 0.5027 \cdot \text{E.C.} + 6,993$ και ο βαθμός προσδιορισμού είναι $R^2 = 0.9926$, ο οποίος επιβεβαιώνει την ορθότητα και αξιοπιστία των μετρήσεων λόγω της υψηλής τιμής του. Η παραπάνω σχέση αντιπροσωπεύει ικανοποιητικά τη σύνδεση αγωγιμότητας-ολικών διαλυμένων στερεών σε νερά με χαμηλή περιεκτικότητα αλάτων (Μήτρακας 2001), όπως είναι αυτά της περιοχής έρευνας.

Στους πίνακες 4 και 5 παρατίθενται τα στατιστικά στοιχεία των τιμών της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (25°C) για τα δείγματα που ελήφθησαν κατά τα έτη 2013-2014:

Πίνακας 4. Στατιστικά στοιχεία τιμών της ηλεκτρικής αγωγιμότητας ($\mu\text{S}/\text{cm}$)		
	Ξηρή περ. 2013	Υγρή περ. 2014
ΕΛΑΧΙΣΤΗ	86	83
ΜΕΓΙΣΤΗ	1492	1446
ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	716	694
ΤΥΠ. ΑΠΟΚΛΙΣΗ	289	263

Οι τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας κυμαίνονται για την ξηρή περίοδο δειγματοληψίας του 2013, από 86 έως 1492 $\mu\text{S}/\text{cm}$, με μέση τιμή τα 716 $\mu\text{S}/\text{cm}$ και για την υγρή περίοδο του 2014, από 83 έως 1446 $\mu\text{S}/\text{cm}$, με μέση τιμή τα 694 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Πίνακας 5. Στατιστικά στοιχεία τιμών T.D.S. (mg/L)		
	Ξηρή περ. 2013	Υγρή περ. 2014
ΕΛΑΧΙΣΤΗ	50	49
ΜΕΓΙΣΤΗ	759	761
ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	361	354
ΤΥΠ. ΑΠΟΚΛΙΣΗ	143	132

Οι τιμές των ολικών διαλυμένων στερεών κυμαίνονται για την ξηρή περίοδο δειγματοληψίας του 2013, από 50 έως 759 mg/L, με μέση τιμή τα 361 mg/L και για την υγρή περίοδο του 2014, από 49 έως 761 mg/L, με μέση τιμή τα 354 mg/L. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των μετρήσεων και την παρακάτω ταξινόμηση των Davis-DeWiest (1966), τα υπόγεια νερά της περιοχής έρευνας, χαρακτηρίζονται ως γλυκά.

Πίνακας 6. Ταξινόμηση του νερού με βάση την τιμή T.D.S.. κατά Davis-DeWiest	
Γλυκό	T.D.S. < 1.000 mg/L
Υφάλμυρο	1.000 mg/L < T.D.S. < 10.000 mg/L
Αλμυρό	10.000 mg/L < T.D.S. < 100.000 mg/L
Υπεράλμυρο	T.D.S. > 100.000 mg/L

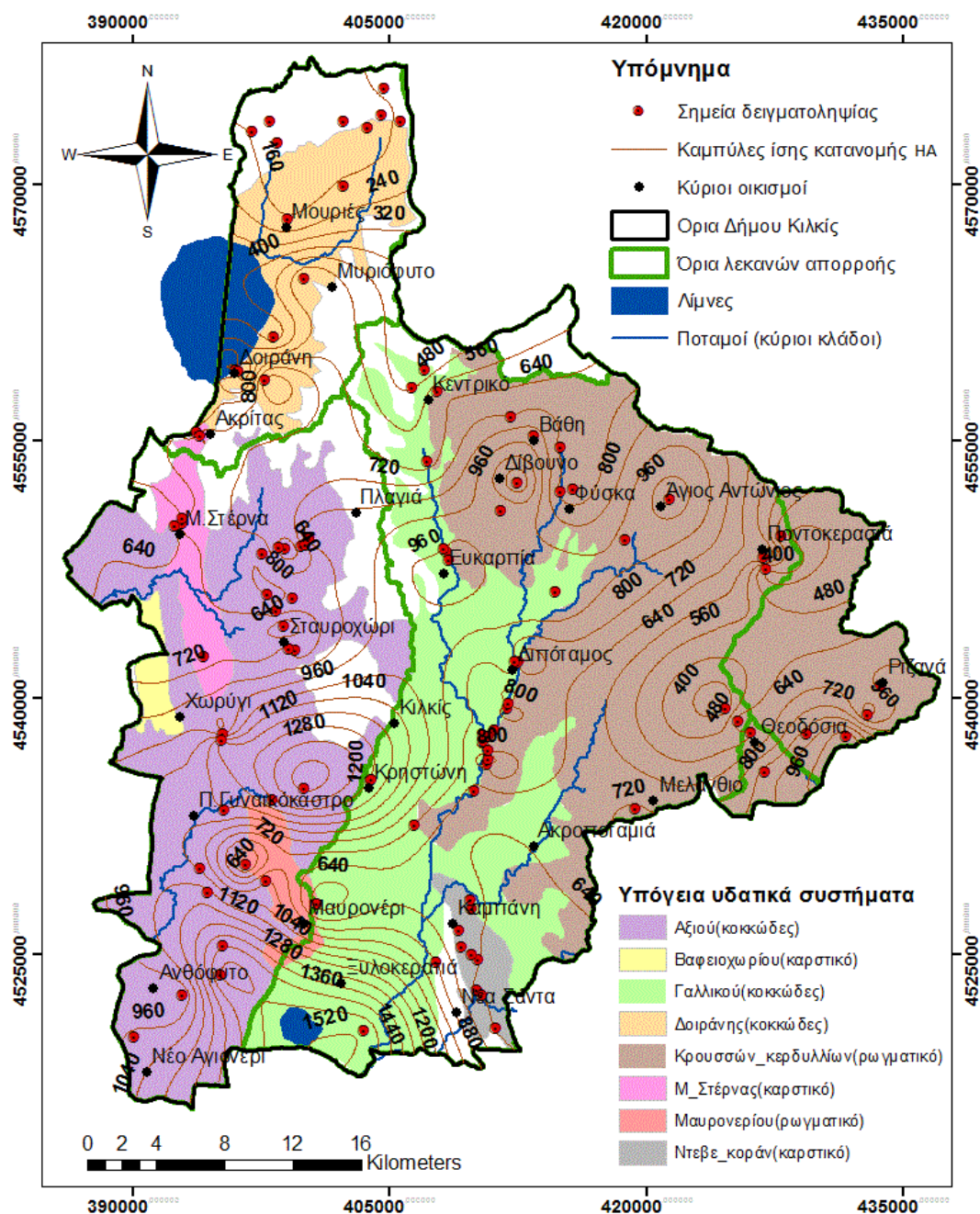
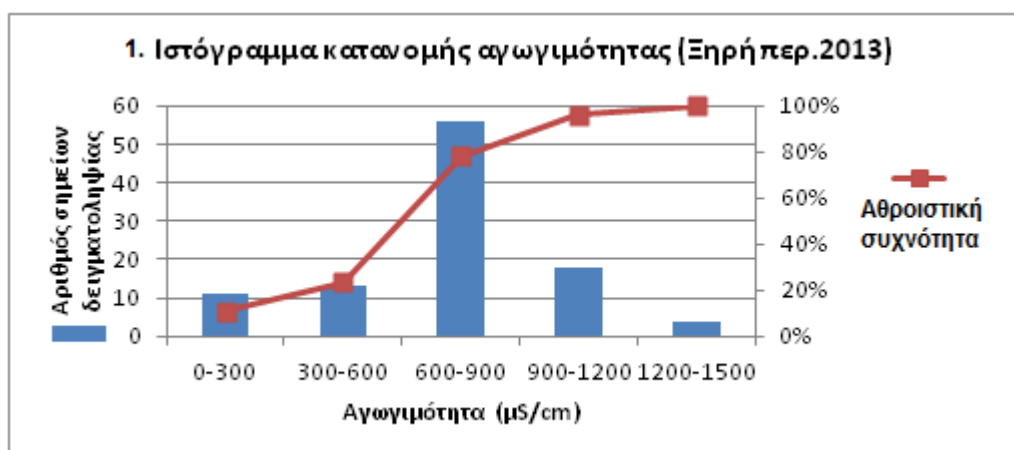
Στα σχήματα 11 και 12 παρουσιάζεται η χωρική και χρονική κατανομή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του υπόγειου νερού στην περιοχή έρευνας για τις δύο περιόδους δειγματοληψίας, μαζί με τα ιστογράμματα κατανομής της παραμέτρου για την κάθε περίοδο (Ιστ. 1 και 2).

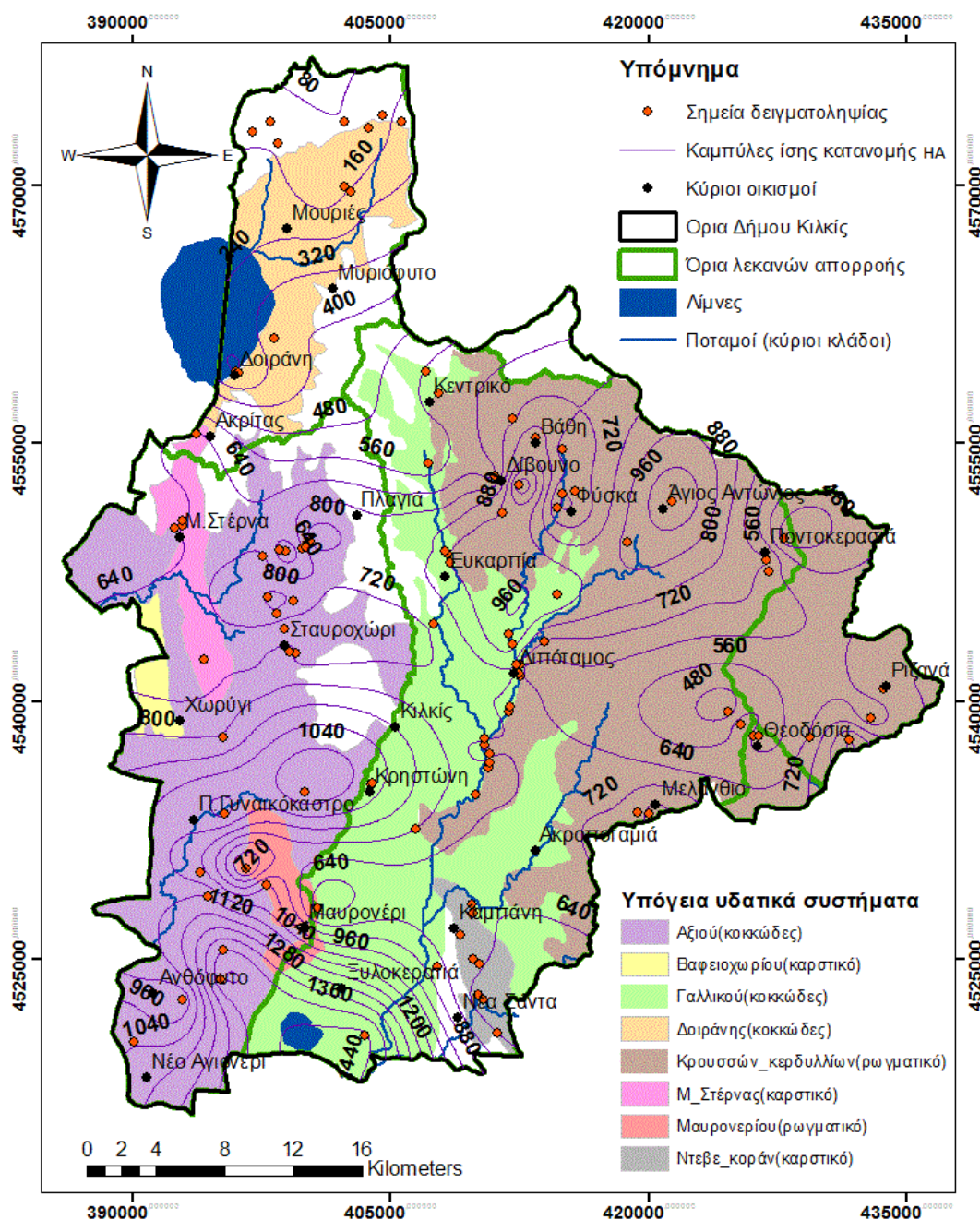
Όπως φαίνεται στα ιστογράμματα κατανομής της παραμέτρου, τα περισσότερα σημεία υδροληψίας της περιοχής έρευνας παρουσιάζουν αγωγιμότητα μεταξύ 600 και 900 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Οι χαμηλότερες τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (<300 $\mu\text{S}/\text{cm}$) παρατηρούνται, και στις δύο περιόδους δειγματοληψίας, στο βόρειο τμήμα της λεκάνης απορροής της λίμνης Δοϊράνης, στις πηγές του όρους Μπέλλες, όπου απαντούν τα κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα.

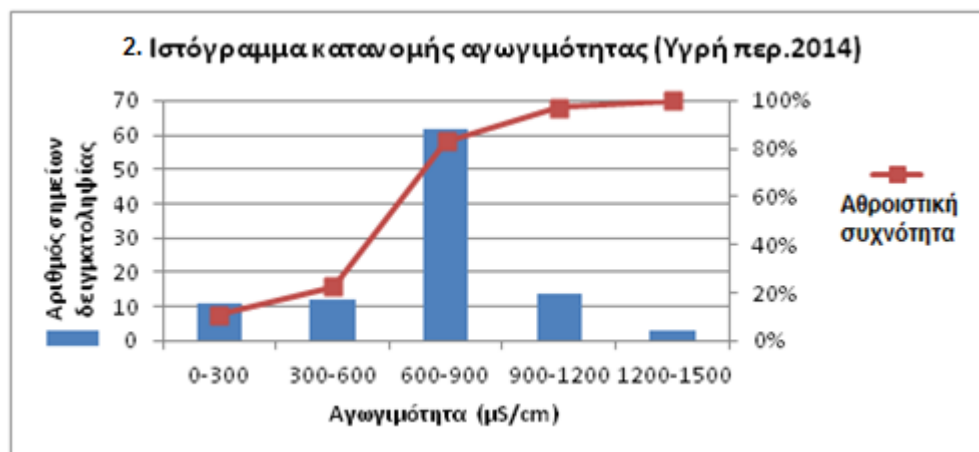
Οι τιμές της παραμέτρου, αυξάνονται με κατεύθυνση προς τα νότια της περιοχής έρευνας, στα κοκκώδη υπόγεια υδατικά συστήματα των λεκανών απορροής Αξιού και Γαλλικού, όπου είναι ευνοϊκή η διάλυση των συστατικών των ιζηματογενών πετρωμάτων. Συγκεκριμένα, τα υδροφόρα στρώματα που αναπτύσσονται στους τεταρτογενείς σχηματισμούς των περιοχών Χωρυγίου και Κρηστώνης έως και Νέου Αγιονερίου και Ξυλοκερατιάς, παρουσιάζουν υψηλές τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας, λόγω παρουσίας αυξημένων συγκεντρώσεων ιόντων, που θα εξετάσουμε στη συνέχεια. Στις πεδινές αυτές περιοχές υπάρχει έντονη αγροτική και βιομηχανική δραστηριότητα, με αποτέλεσμα την ανθρωπογενή ρύπανση των υδάτων από την εκτεταμένη γεωργική λίπανση και τη διάθεση βιομηχανικών αποβλήτων. Επίσης οι περισσότεροι οικισμοί διαθέτουν οικιακές σηπτικές δεξαμενές συγκέντρωσης λυμάτων και όχι δίκτυα αποχέτευσης που να καταλήγουν σε βιολογικούς καθαρισμούς. Ως αποτέλεσμα, μέρος των λυμάτων αποστραγγίζεται στο έδαφος ρυπαίνοντας τον υδροφόρο ορίζοντα.

Από τα αποτελέσματα των μετρήσεων και τις ισοχημικές καμπύλες, φαίνεται ότι η ενότητα Ντεβέ-Κοράν, ανατολικά της κοίτης του ποταμού Γαλλικού, καθώς και το υπόγειο υδατικό σύστημα του Μαυρονερίου, δεν επηρεάζονται από τις παραπάνω επιβαρύνσεις, γεγονός που συνάδει με προηγούμενες μελέτες για την περιοχή έρευνας (Μάττας 2009, ΕΓΥ 2014).

Σχήμα 11. Χωρική κατανομή ηλεκτρικής αγωγιμότητας σε $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Ξηρή περ.2013)



Σχήμα 12. Χωρική κατανομή ηλεκτρικής αγωγιμότητας (Υγρή περ. 2014)



4.4.2. Ενεργός οξύτητα ή pH

Η νομοθεσία για την ποιότητα νερού ανθρώπινης κατανάλωσης (ΚΥΑ Υ2/2600/2001), κατατάσσει το pH στις ενδεικτικές παραμέτρους και ορίζει ως κατώτατο όριο, την τιμή 6,5 και ως ανώτατο όριο την τιμή 9,5 μονάδες pH.

Στον πίνακα 7 παρατίθενται τα στατιστικά στοιχεία των τιμών pH για τα δείγματα που ελήφθησαν κατά τα έτη 2013-2014:

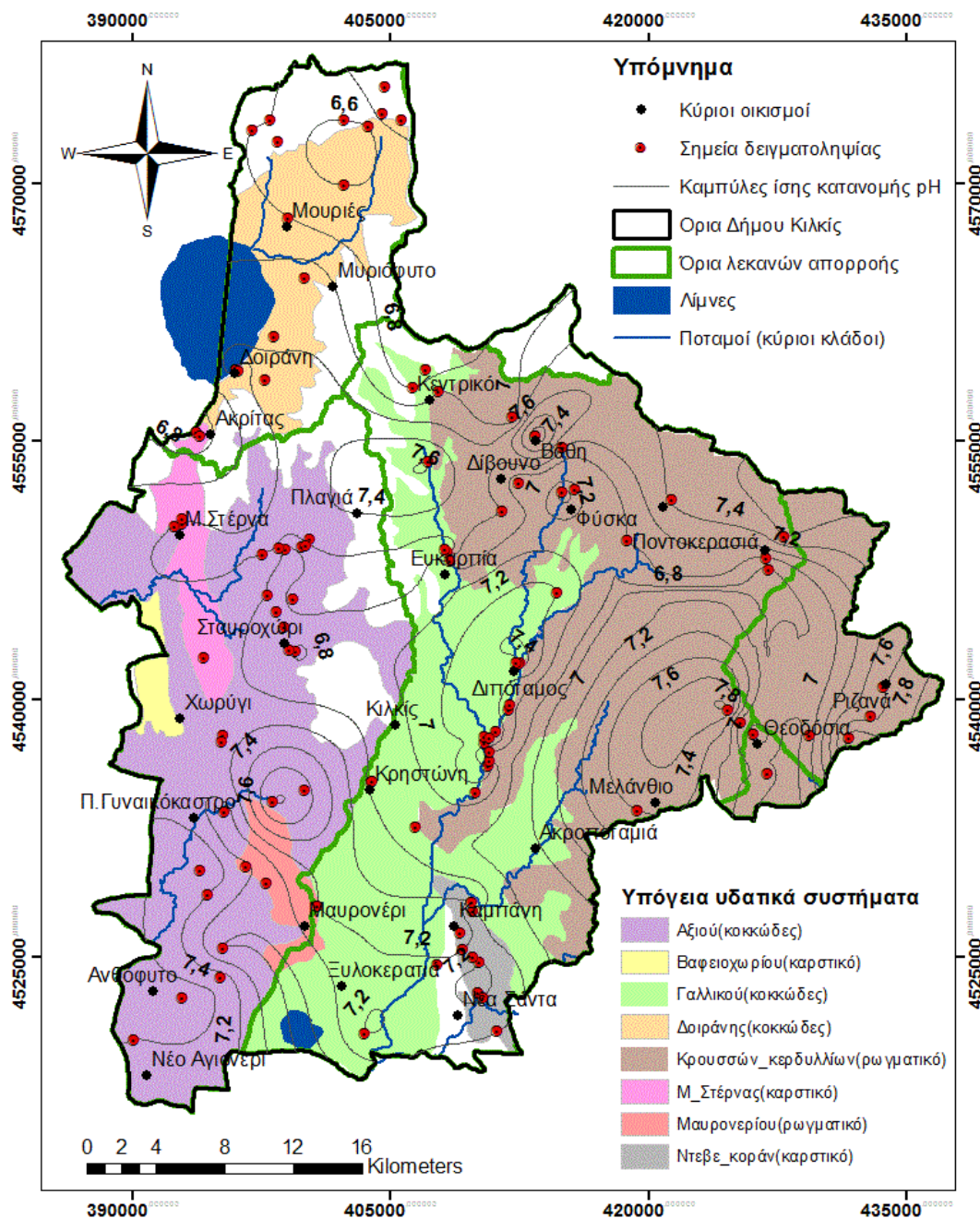
Πίνακας 7. Στατιστικά στοιχεία τιμών pH		
	Ξηρή περ. 2013	Υγρή περ. 2014
ΕΛΑΧΙΣΤΗ	6,60	6,50
ΜΕΓΙΣΤΗ	7,95	8,30
ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	7,12	7,21
ΤΥΠ. ΑΠΟΚΛΙΣΗ	0,28	0,37

Οι τιμές του pH κυμαίνονται εντός των νομοθετικών ορίων. Για την ξηρή περίοδο δειγματοληψίας του 2013, κυμαίνονται από 6,6 έως 7,95 μονάδες, με μέση τιμή τις 7,12 μονάδες και για την υγρή περίοδο του 2014, από 6,5 έως 8,3 μονάδες, με μέση τιμή τις 7,21 μονάδες.

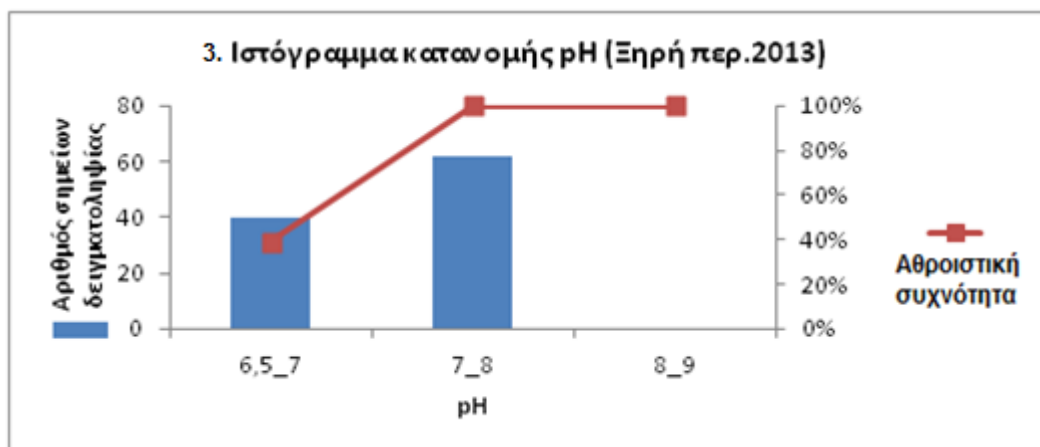
Στα σχήματα 13 και 14 παρουσιάζεται η χωρική και χρονική κατανομή του pH για τις δύο περιόδους δειγματοληψίας, μαζί με τα ιστογράμματα κατανομής της παραμέτρου για την κάθε περίοδο (Ιστ. 3 και 4).

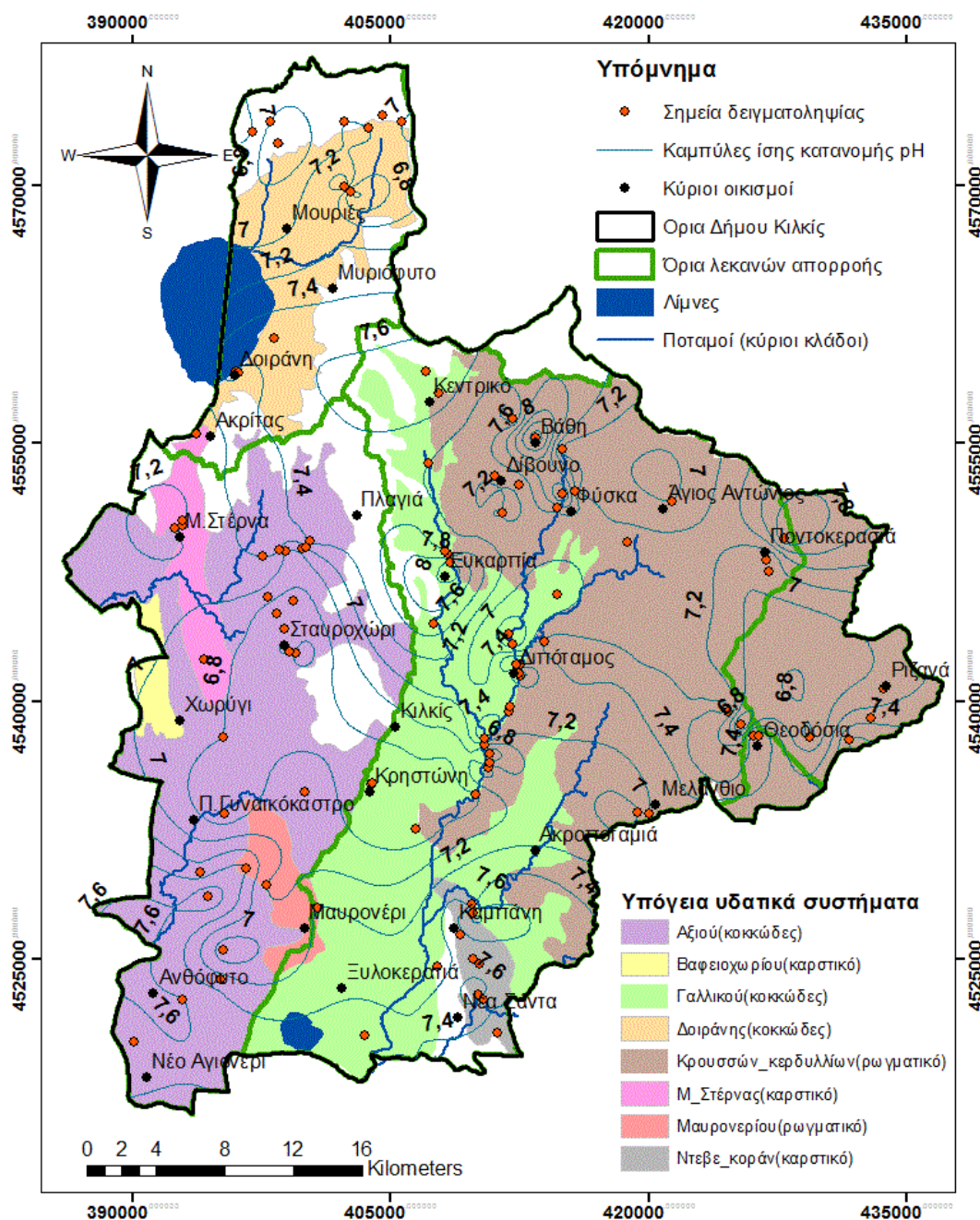
Οι χαμηλότερες τιμές pH, εμφανίζονται στο βόρειο τμήμα της περιοχής έρευνας, στις πηγές του όρους Μπέλλες. Ο συνδυασμός με τις χαμηλές αγωγιμότητες, δείχνει ότι πρόκειται για «φρέσκα» νερά εμπλουτισμού, καθώς οι τιμές του pH των υπόγειων νερών καθορίζονται από τις χημικές αντιδράσεις και ισορροπίες των διαλυμένων ιόντων που περιέχουν και εξαρτώνται από το χρόνο παραμονής του νερού στο υπέδαφος (Νικολαΐδης 2005). Τα υπόγεια ύδατα της περιοχής, διατηρούν τα χαρακτηριστικά των βρόχινων νερών και διαλυτοποιούν ελάχιστα, συστατικά από τους ρωγματοώδεις σχηματισμούς, μικρής υδροπερατότητας τους οποίους συναντούν.

Αντίθετα, τα υπόγεια ύδατα των μεταμορφωμένων πετρωμάτων (γνεύσιοι) του ανατολικού τμήματος και των ιζημάτων νοτίως της περιοχής μελέτης εμφανίζουν σχετικά αυξημένες τιμές pH. Πρόκειται και πάλι για «φρέσκα» νερά, τα οποία παρουσιάζουν ωστόσο κάποιο χρόνο παραμονής μέσα στα πετρώματα αυτά.

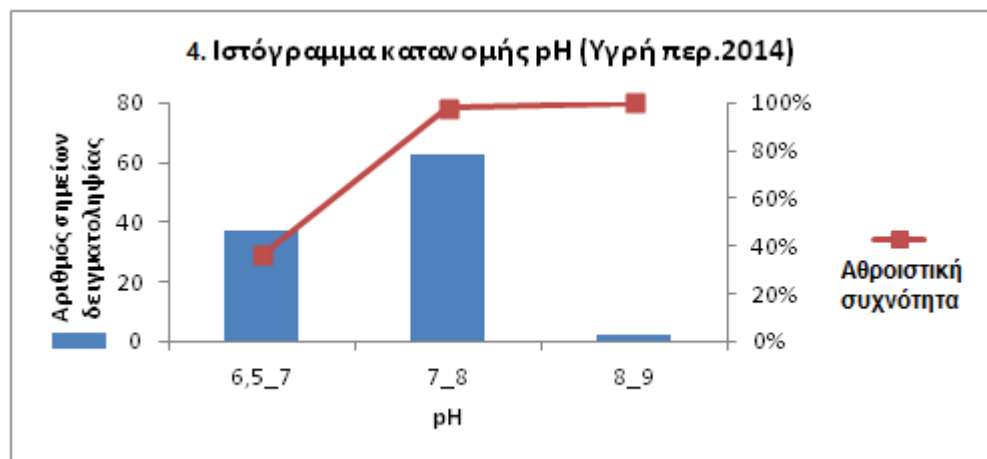


Σχήμα 13. Χωρική κατανομή pH (Ξηρή περ. 2013)





Σχήμα 14. Χωρική κατανομή pH (Υγρή περ. 2014)



4.4.3. Ολική σκληρότητα (Total Hardness TH)

Ο προσδιορισμός της σκληρότητας, δεν περιλαμβάνεται στη νομοθεσία για την ποιότητα του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης, αποτελεί ωστόσο σημαντικό δείκτη ποιότητας και κριτήριο καταλληλότητας για πολλές χρήσεις του νερού, κυρίως βιομηχανικές (Μήτρακας 2001).

Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζεται η κατάταξη των νερών σύμφωνα με την ολική σκληρότητα μετρημένη σε γαλλικούς βαθμούς ($^{\circ}\text{F}$), όπου $1^{\circ}\text{F} = 10 \text{ mg/L CaCO}_3$.

Πίνακας 8. Ταξινόμηση του νερού με βάση την ολική σκληρότητα (Μήτρακας 2001)	
Μαλακό	0-10 $^{\circ}\text{F}$
Μέσης σκληρότητας	10-20 $^{\circ}\text{F}$
Σκληρό	20-30 $^{\circ}\text{F}$
Πολύ σκληρό	30 και άνω $^{\circ}\text{F}$

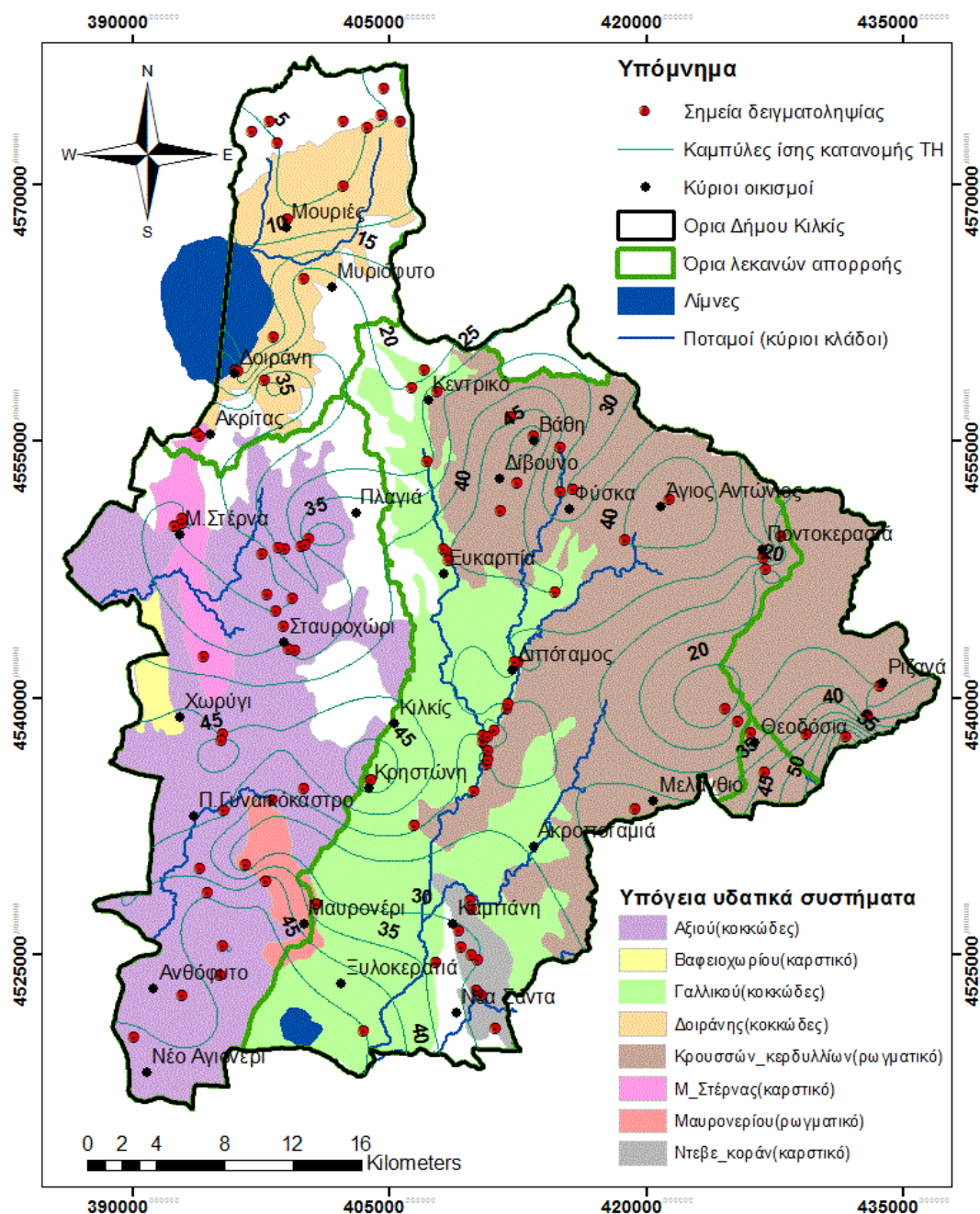
Στον πίνακα που ακολουθεί παρατίθενται τα στατιστικά στοιχεία των τιμών ολικής σκληρότητας για τα δείγματα που ελήφθησαν κατά τα έτη 2013-2014:

Πίνακας 9. Στατιστικά στοιχεία τιμών ολικής σκληρότητας		
	Ξηρή περ. 2013	Υγρή περ. 2014
ΕΛΑΧΙΣΤΗ	3	2,8
ΜΕΓΙΣΤΗ	62	54
ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	30,6	31,3
ΤΥΠ. ΑΠΟΚΛΙΣΗ	11,7	11,2

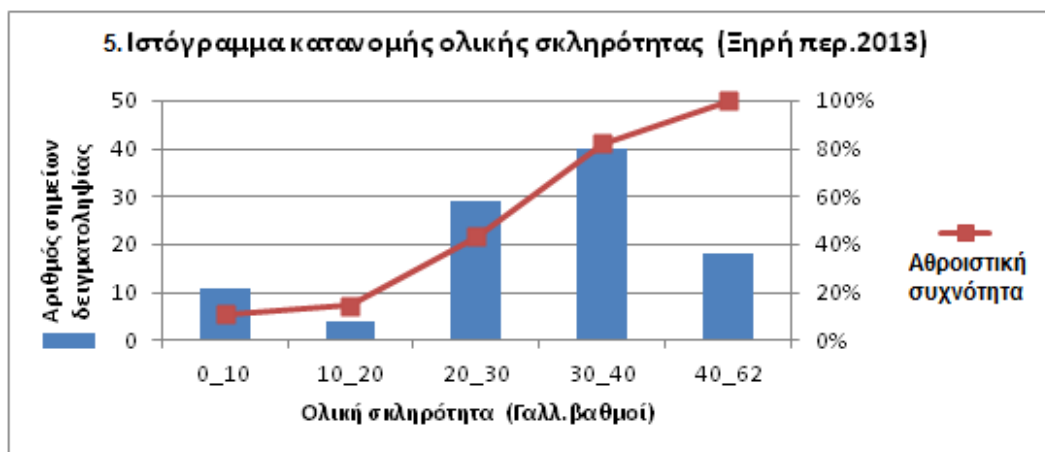
Οι τιμές της ολικής σκληρότητας αποδίδονται στην παρουσία διαλυμένων αλάτων ασβεστίου και μαγνησίου δεσμευμένων με ανθρακικά και δισανθρακικά ιόντα (Ζανάκη 1997, ΑΡΗΑ 1998) και κυμαίνονται, για την ξηρή περίοδο δειγματοληψίας του 2013, από 3 έως 62 $^{\circ}\text{F}$, με μέση τιμή τους 30,6 $^{\circ}\text{F}$ και για την υγρή περίοδο του 2014, από 2,8 έως 54 $^{\circ}\text{F}$, με μέση τιμή τους 31,3 $^{\circ}\text{F}$.

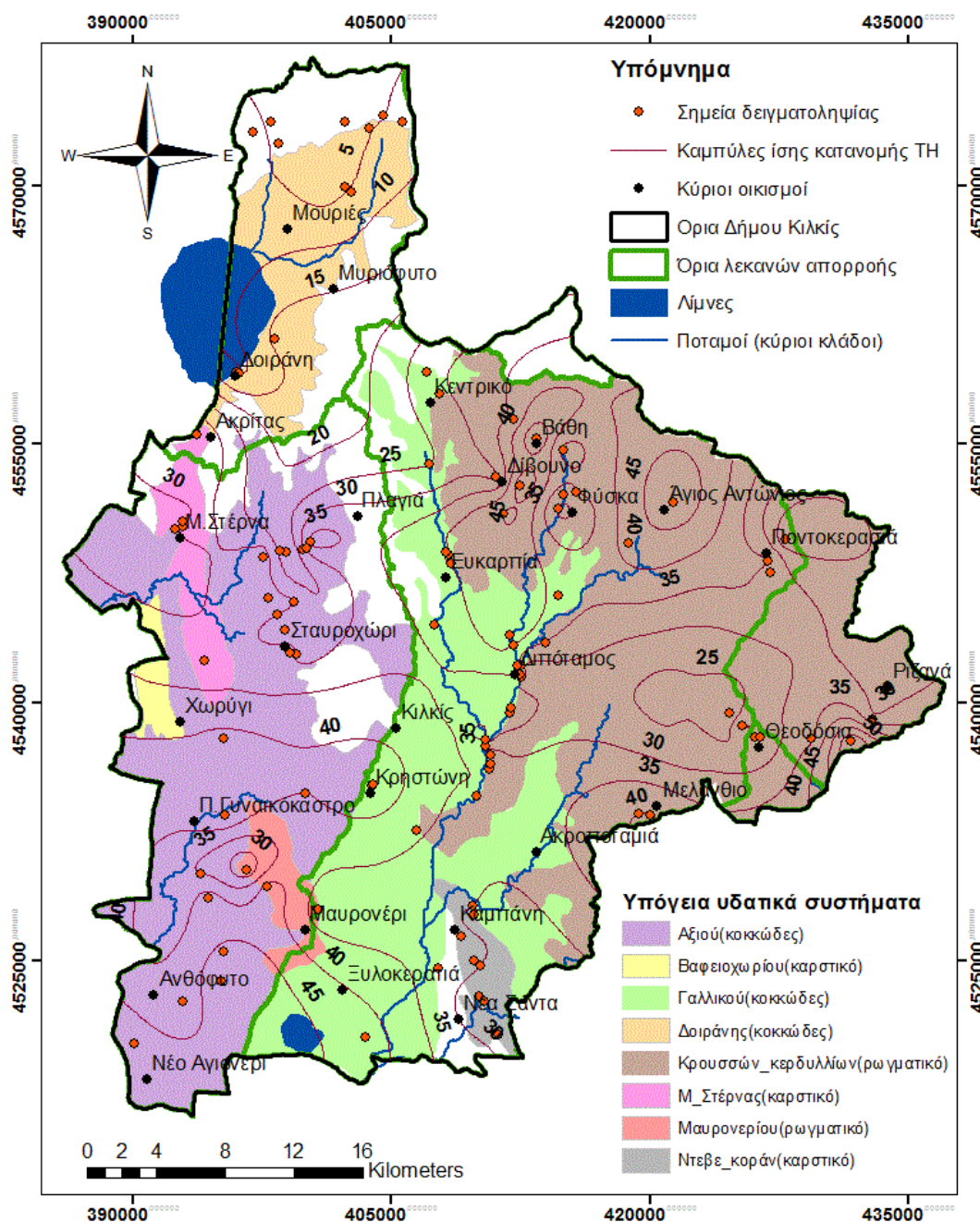
Στα σχήματα 15 και 16 παρουσιάζεται η χωρική και χρονική κατανομή της ολικής σκληρότητας του υπόγειου νερού, στην περιοχή έρευνας για τις δύο περιόδους δειγματοληψίας, μαζί με τα ιστογράμματα κατανομής της παραμέτρου για την κάθε περίοδο (Ιστ. 5 και 6).

Από τα σχήματα και τα ιστογράμματα αθροιστικής συχνότητας, προκύπτει ότι τα περισσότερα υπόγεια ύδατα ανήκουν στην κατηγορία των σκληρών έως πολύ σκληρών νερών. Μαλακά νερά απαντούν στο βόρειο τμήμα της λεκάνης Δοϊράνης, στις πηγές Μπέλλες και στις γεωτρήσεις στους πρόποδες του όρους αυτού. Οι μέγιστες σκληρότητες δε, απαντούν στα νερά των πηγών υδροληψίας των γνεύσιων ανατολικά του οικισμού Θεοδοσίων και των γρανιτών του Νεογενούς της περιοχής Βάθης.

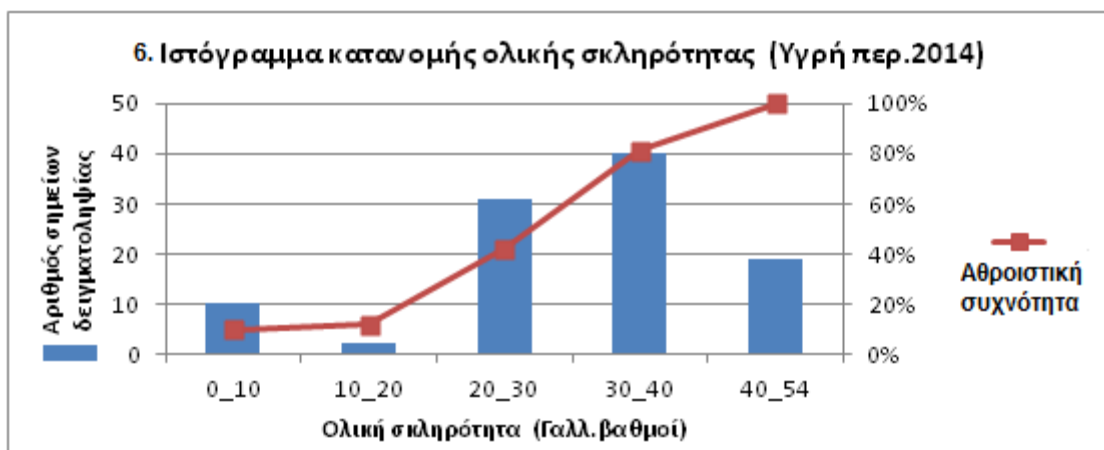


Σχήμα 15. Χωρική κατανομή ολικής σκληρότητας σε γαλλικούς βαθμούς °F (Ξηρή περ. 2013)





Σχήμα 16. Χωρική κατανομή ολικής σκληρότητας σε γαλλικούς βαθμούς °F (Υγρή περ. 2014)



4.5. ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΝΕΡΟΥ

Η χημική σύσταση των φυσικών υδάτων, οφείλεται στις αντιδράσεις του νερού με τα πετρώματα της γης, με τα οποία έρχεται σε επαφή, καθώς επίσης στην αποσάθρωση των πετρωμάτων και την έκπλυση εδαφών και ιζημάτων. Οι αντιδράσεις αυτές διακρίνονται σε αντιδράσεις διάλυσης, οξειδοαναγωγής, ιοντοεναλλαγής και συμπλοκοποίησης (Μήτρακας 2001).

Στη συνέχεια αναλύεται η χημική σύσταση των υπόγειων υδάτων της περιοχής έρευνας, βάσει των δειγμάτων που προήλθαν από πλήθος υδρευτικών γεωτρήσεων, πηγών και πηγαδιών, κατά τα έτη 2013-2014.

4.5.1. Ιόντα ασβεστίου (Ca^{2+})

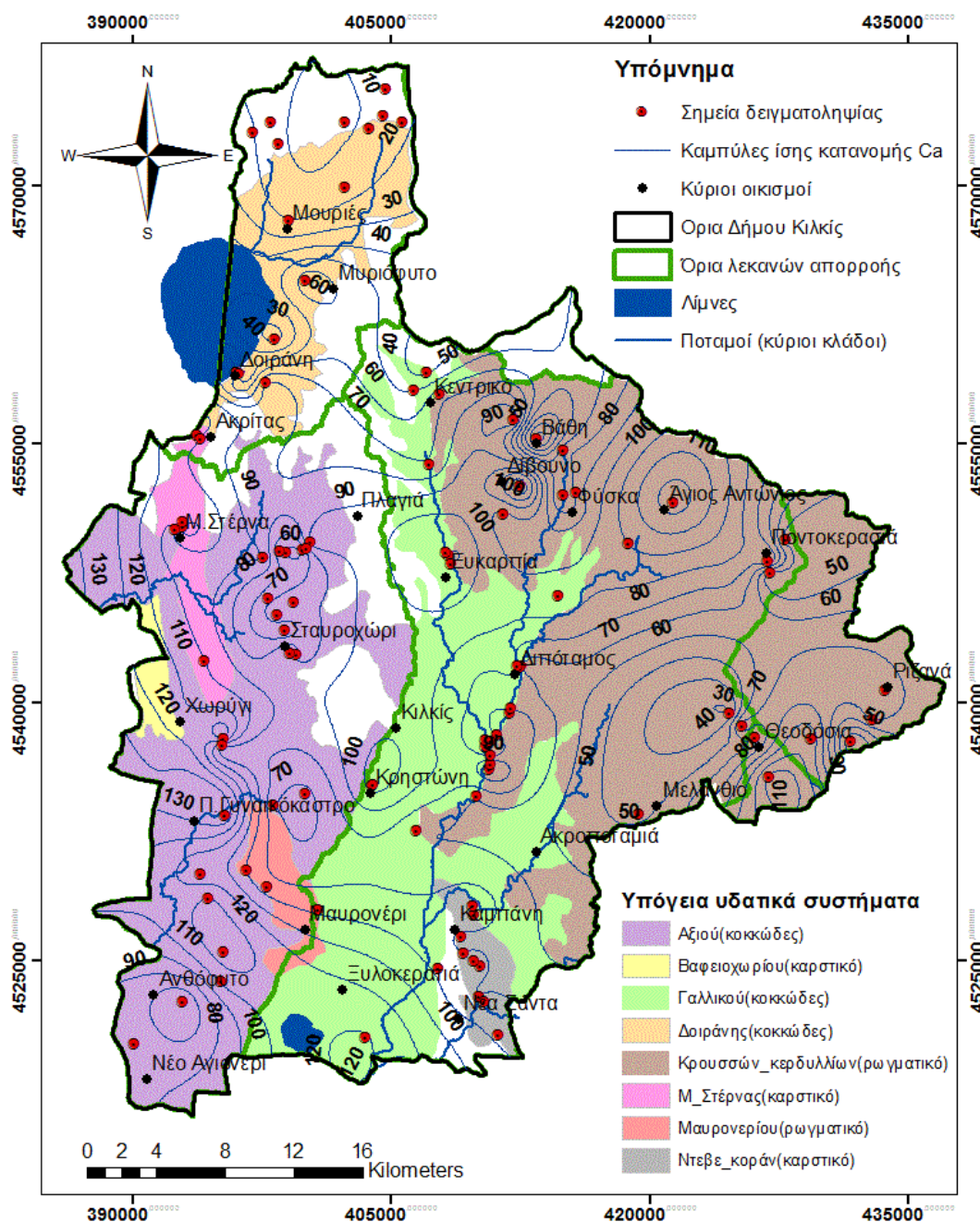
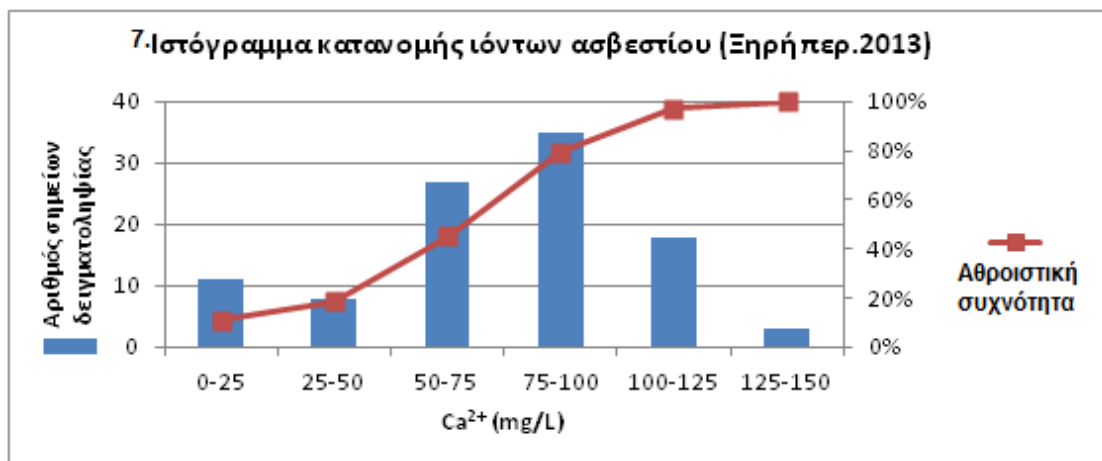
Στον πίνακα που ακολουθεί παρατίθενται τα στατιστικά στοιχεία των συγκεντρώσεων των ιόντων ασβεστίου για τα δείγματα που ελήφθησαν κατά τα έτη 2013-2014:

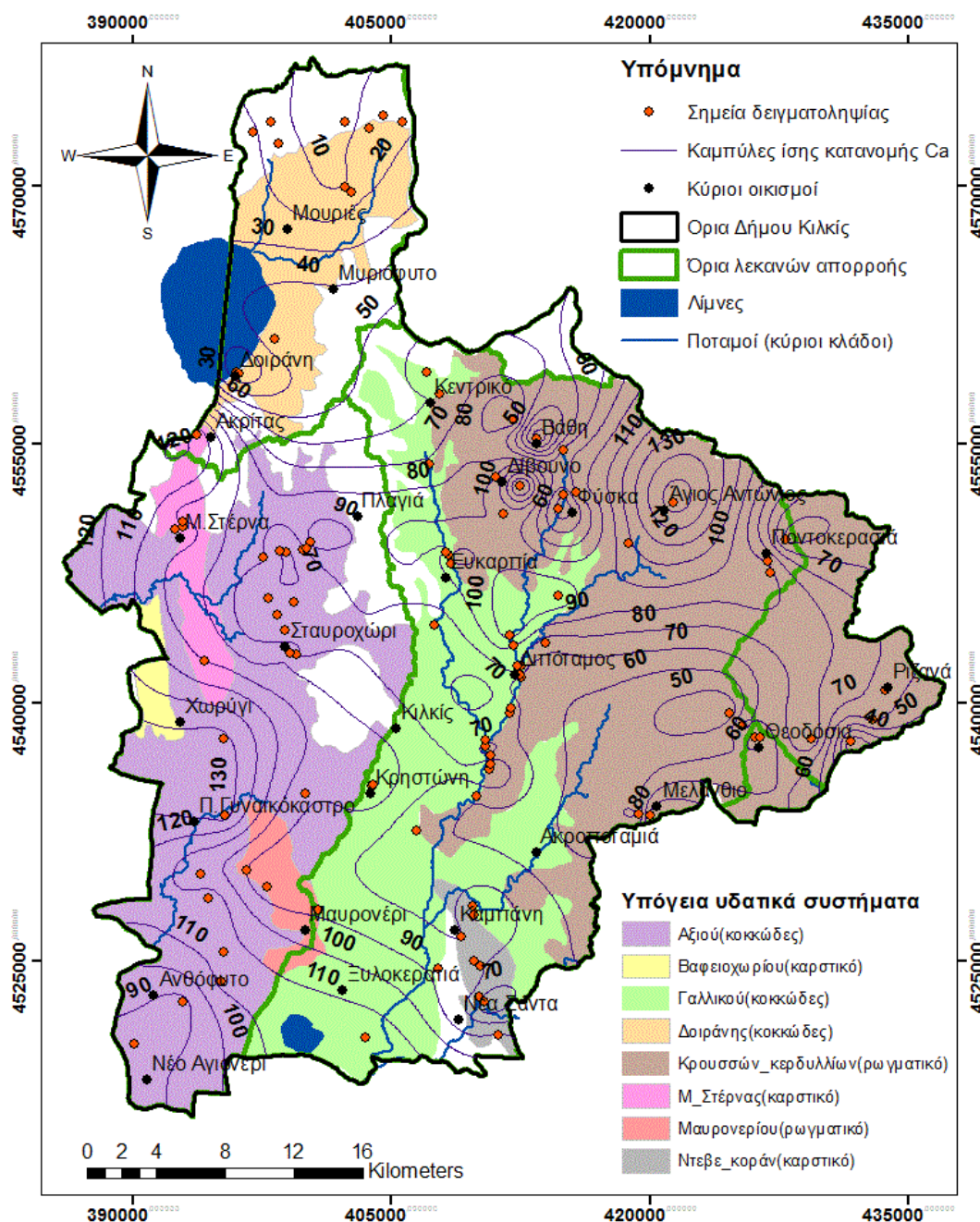
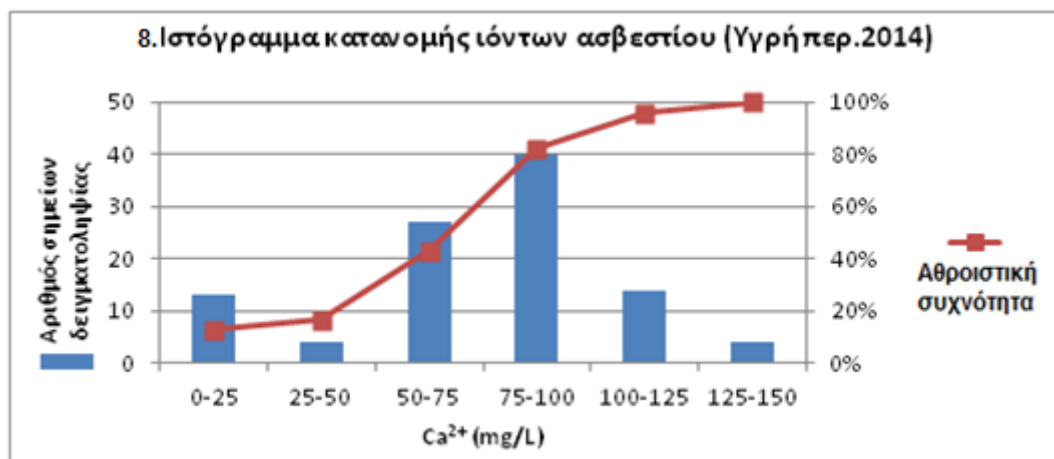
Πίνακας 10. Στατιστικά στοιχεία τιμών των ιόντων ασβεστίου (mg/L)		
	Ξηρή περ. 2013	Υγρή περ. 2014
ΕΛΑΧΙΣΤΗ	7,8	8
ΜΕΓΙΣΤΗ	136	144
ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	75	76,2
ΤΥΠ. ΑΠΟΚΛΙΣΗ	30,09	29,24

Οι τιμές των ιόντων ασβεστίου κυμαίνονται, για την ξηρή περίοδο δειγματοληψίας του 2013, από 7,8 έως 136 mg/L, με μέση τιμή τα 75 mg/L και για την υγρή περίοδο του 2014, από 8 έως 144 mg/L, με μέση τιμή τα 76,2 mg/L. Η νομοθεσία για το νερό ανθρώπινης κατανάλωσης δεν ορίζει κάποιο συγκεκριμένο όριο και δεν περιλαμβάνει το ασβέστιο σε κανένα κατάλογο παραμέτρων προς επιτήρηση.

Στα σχήματα 17 και 18 παρουσιάζεται η χωρική και χρονική κατανομή των ιόντων ασβεστίου του υπόγειου νερού, στην περιοχή έρευνας για τις δύο περιόδους δειγματοληψίας, μαζί με τα ιστογράμματα κατανομής της παραμέτρου για την κάθε περίοδο (Ιστ. 7 και 8).

Από τις ισοχημικές καμπύλες της παραμέτρου, φαίνεται ότι οι υψηλότερες στατιστικά συγκεντρώσεις παρατηρούνται στο κεντρικό και νότιο τμήμα της περιοχής έρευνας, κατά μήκος των τεταρτογενών σχηματισμών. Τα καρστικά συστήματα Μ. Στέρνας και Ντεβέ-Κοράν εμφανίζουν επίσης υψηλές συγκεντρώσεις, λόγω της ύπαρξης ασβεστόλιθων και μαρμάρων (Βουδούρης 2009). Εκτός από τα ανθρακικά πετρώματα, το ασβέστιο, στην υπόλοιπη περιοχή έρευνας, προέρχεται από πυριτικά πετρώματα όπως ο γύψος, οι πυρόξενοι, οι αμφίβολοι και οι άστριοι (Apello-Postma 1994). Δύο υδροσημεία των γνευσιακών σχηματισμών του ΥΥΣ Κρουσσών-Κερδυλλίων, παρουσιάζουν κατ' εξαίρεση με τα υπόλοιπα του συστήματος μεγάλη συγκέντρωση σε ιόντα ασβεστίου. Πρόκειται για τις γεωτρήσεις με κωδικούς ΔΚΦΥΓ23 και ΔΚΑΑΓ9, των περιοχών Δίβουνου και Αγίου Αντωνίου αντίστοιχα.

Σχήμα 17. Χωρική κατανομή συγκέντρωσης ιόντων ασβεστίου Ca^{2+} σε mg/L (Ξηρή περ. 2013)

Σχήμα 18. Χωρική κατανομή συγκέντρωσης ιόντων ασβεστίου Ca^{2+} σε mg/L (Υγρή περ. 2014)

4.5.2. Ιόντα μαγνησίου (Mg^{2+})

Η νομοθεσία για το νερό ανθρώπινης κατανάλωσης δεν ορίζει κάποιο συγκεκριμένο όριο και δεν περιλαμβάνει το μαγνήσιο σε κανένα κατάλογο παραμέτρων προς επιτήρηση.

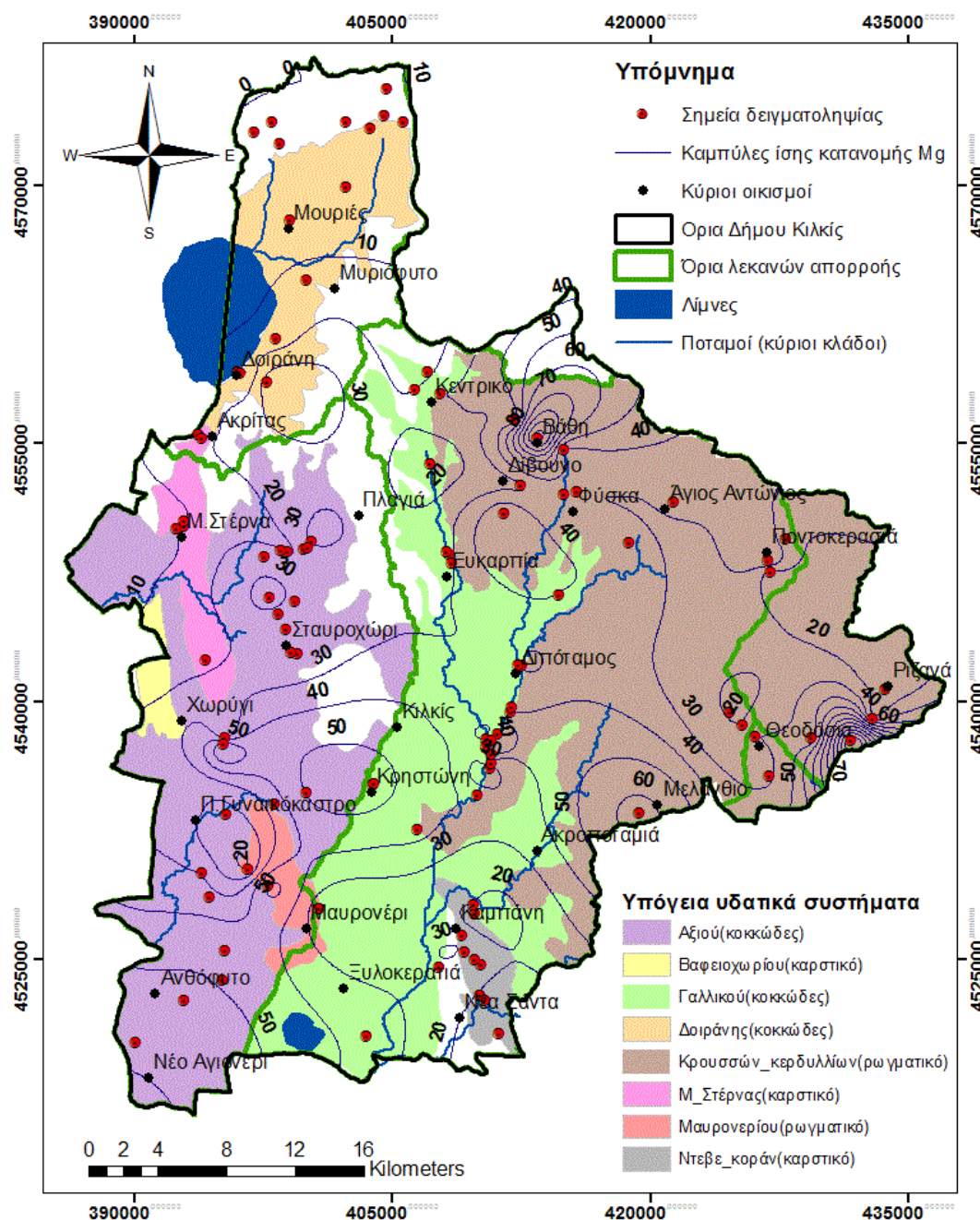
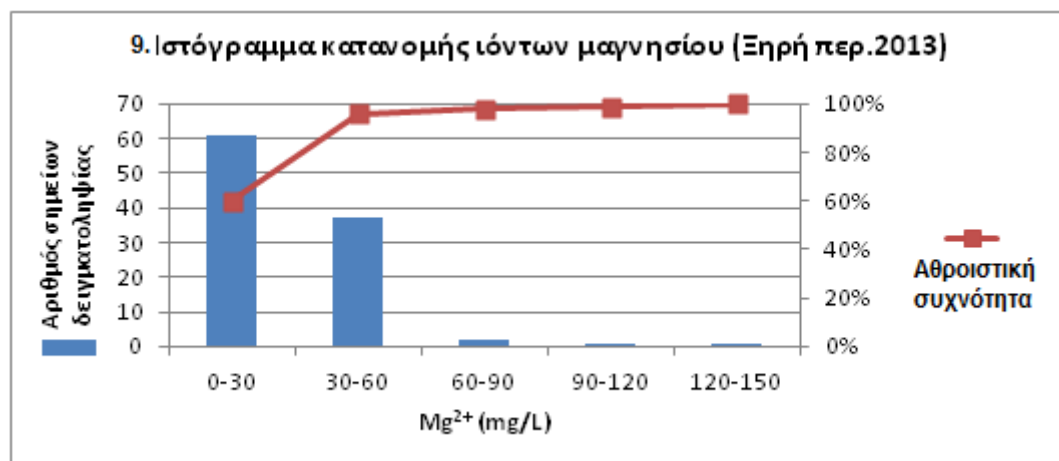
Στον πίνακα που ακολουθεί παρατίθενται τα στατιστικά στοιχεία των συγκεντρώσεων των ιόντων μαγνησίου για τα δείγματα που ελήφθησαν κατά τα έτη 2013-2014:

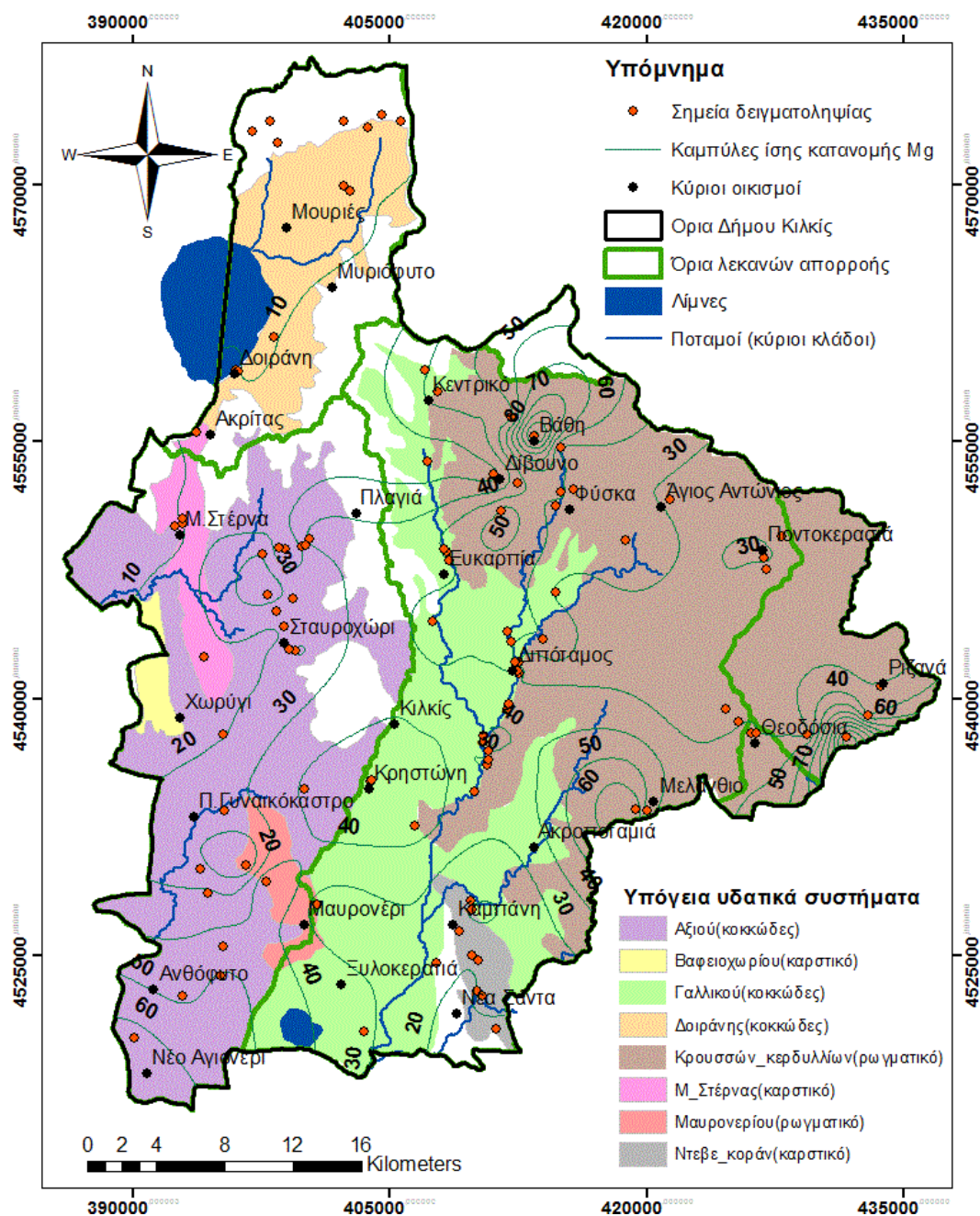
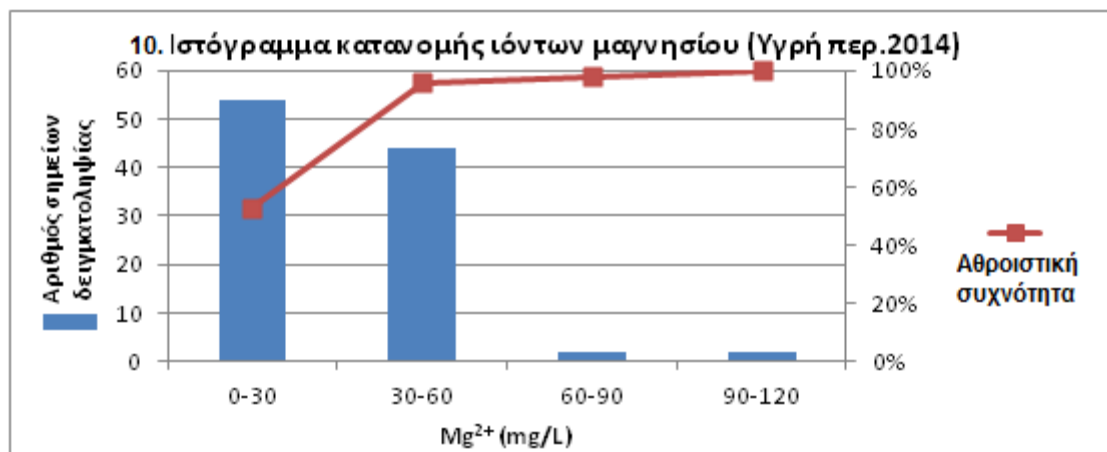
Πίνακας 11. Στατιστικά στοιχεία τιμών των ιόντων μαγνησίου (mg/L)		
	Ξηρή περ. 2013	Υγρή περ. 2014
ΕΛΑΧΙΣΤΗ	1,9	1,4
ΜΕΓΙΣΤΗ	131	117
ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	28,8	29,9
ΤΥΠ. ΑΠΟΚΛΙΣΗ	19,08	17,95

Οι τιμές των ιόντων μαγνησίου κυμαίνονται, για την ξηρή περίοδο δειγματοληψίας του 2013, από 1,9 έως 131 mg/L, με μέση τιμή τα 28,8 mg/L και για την υγρή περίοδο του 2014, από 1,4 έως 117 mg/L, με μέση τιμή τα 29,9 mg/L.

Στα σχήματα 19 και 20 παρουσιάζεται η χωρική και χρονική κατανομή των ιόντων μαγνησίου του υπόγειου νερού, στην περιοχή έρευνας για τις δύο περιόδους δειγματοληψίας, μαζί με τα ιστογράμματα κατανομής της παραμέτρου για την κάθε περίοδο (Ιστ. 9 και 10).

Από τα ιστογράμματα προκύπτει ότι περίπου το 97% των δειγμάτων και για τις δύο περιόδους, παρουσίασαν συγκεντρώσεις μαγνησίου, σε συνήθη επίπεδα για τα υπόγεια νερά, κάτω των 60 mg/L (Σούλιος 2006) και μάλιστα μικρότερες από τις αντίστοιχες συγκεντρώσεις ασβεστίου. Προέρχονται κυρίως από τα ανθρακικά πετρώματα (δολομίτης, μαγνησίτης) (Καλλέργης 2000). Οι χαμηλότερες συγκεντρώσεις σημειώνονται στα «μαλακά» νερά του βορείου τμήματος της περιοχής έρευνας, ενώ ασυνήθιστα υψηλές συγκεντρώσεις (άνω των 100 mg/L), εμφάνισαν δύο πηγές, των περιοχών Βάθης και Ριζανών, πιθανότατα οφειλόμενες στα οφιολιθικά υπερβασικά πετρώματα που υπάρχουν διάσπαρτα στο ΥΥΣ Κρουσσών-Κερδυλλίων (κωδικοί ΔΚΒΑΠΗ4 και ΔΚΘΕΠΗ7) (Καλλέργης 2000).

Σχήμα 19. Χωρική κατανομή συγκέντρωσης ιόντων μαγνησίου Mg^{2+} σε mg/L (Ξηρή περ. 2013)

Σχήμα 20. Χωρική κατανομή συγκέντρωσης ιόντων μαγνησίου Mg^{2+} σε mg/L (Υγρή περ. 2014)

4.5.3. Ιόντα νατρίου (Na^+)

Τα στατιστικά στοιχεία των συγκεντρώσεων των ιόντων νατρίου για τα δείγματα που ελήφθησαν κατά τα έτη 2013-2014, παρατίθενται ως εξής:

Πίνακας 12. Στατιστικά στοιχεία τιμών των ιόντων νατρίου (mg/L)		
	Ξηρή περ. 2013	Υγρή περ. 2014
ΕΛΑΧΙΣΤΗ	2	5,3
ΜΕΓΙΣΤΗ	160	144
ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	35,2	32,9
ΤΥΠ. ΑΠΟΚΛΙΣΗ	25,91	22,47

Οι τιμές των ιόντων νατρίου κυμαίνονται εντός των νομοθετικών ορίων (<200mg/L) για την ξηρή περίοδο δειγματοληψίας του 2013, από 2 έως 160 mg/L, με μέση τιμή τα 35,2 mg/L και για την υγρή περίοδο του 2014, από 5,3 έως 144 mg/L, με μέση τιμή τα 32,9 mg/L.

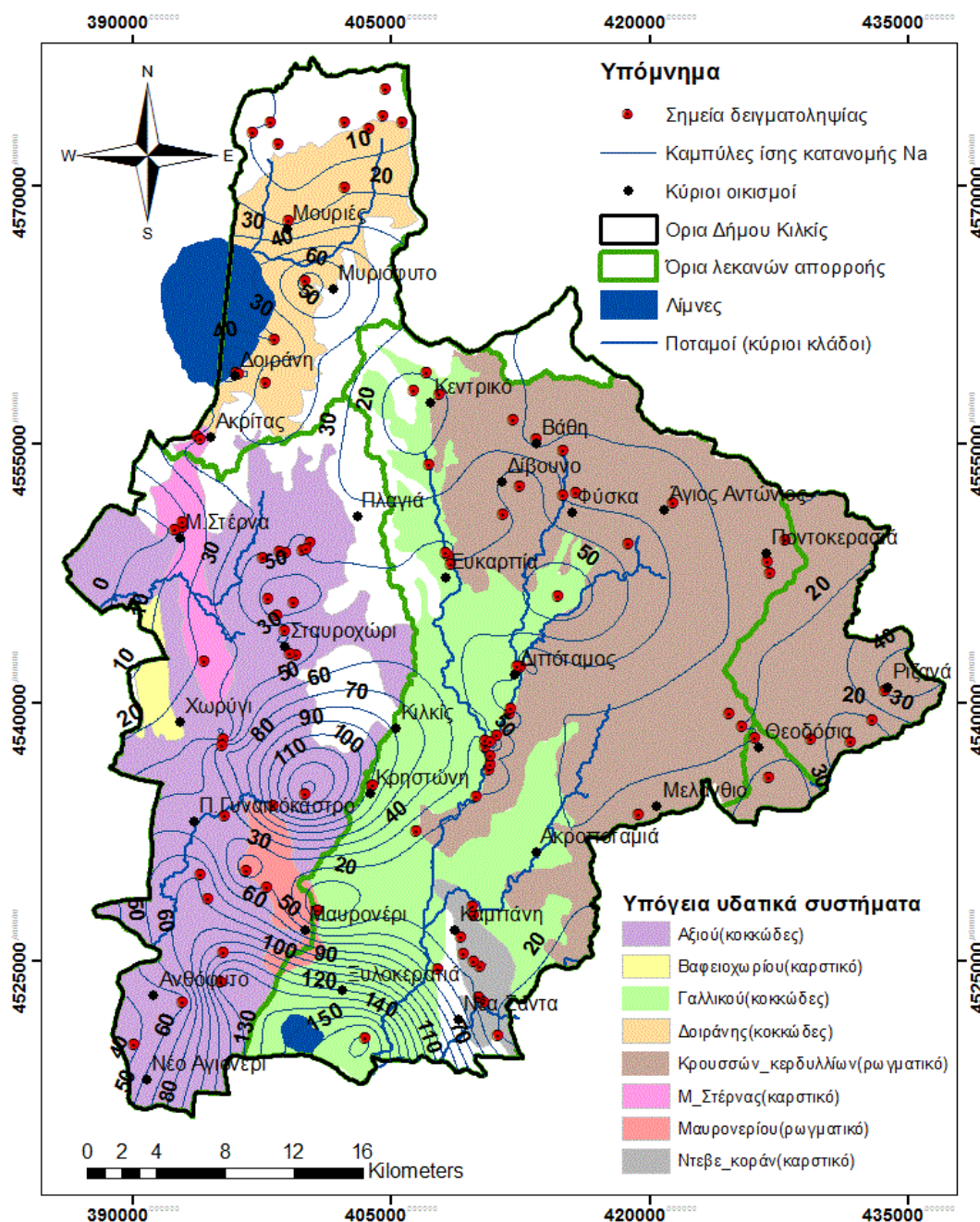
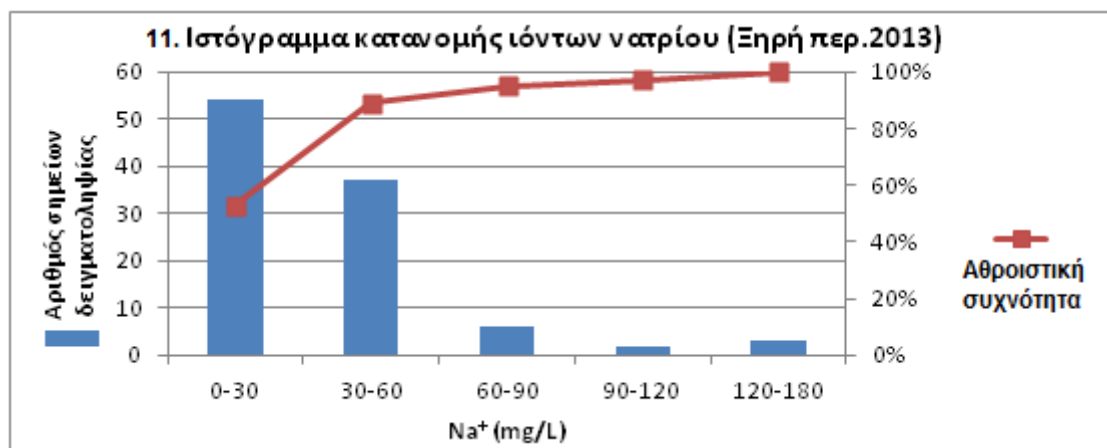
Στα σχήματα 21 και 22 παρουσιάζεται η χωρική και χρονική κατανομή των ιόντων νατρίου του υπόγειου νερού, στην περιοχή έρευνας για τις δύο περιόδους δειγματοληψίας, μαζί με τα ιστογράμματα κατανομής της παραμέτρου για την κάθε περίοδο (Ιστ. 11 και 12).

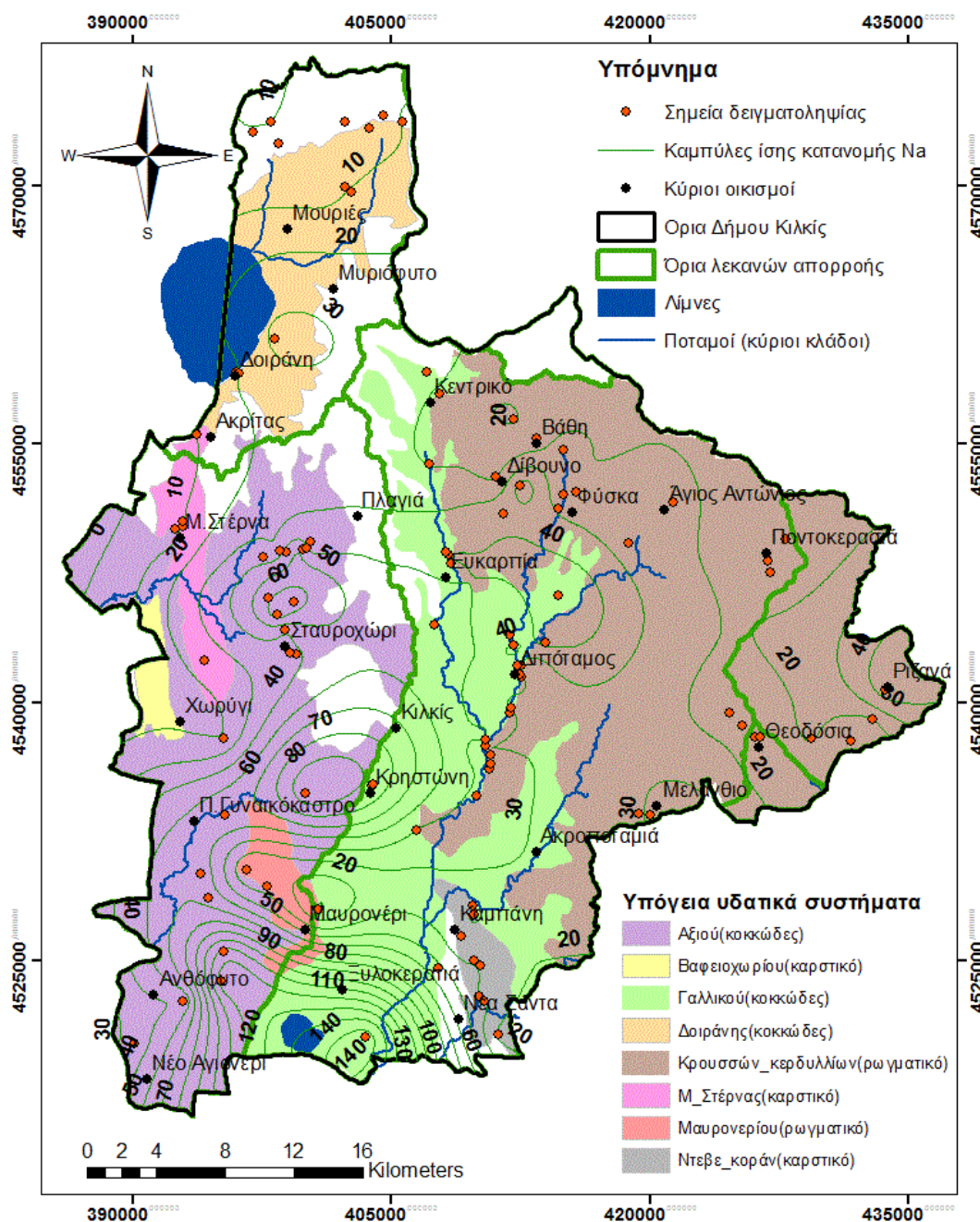
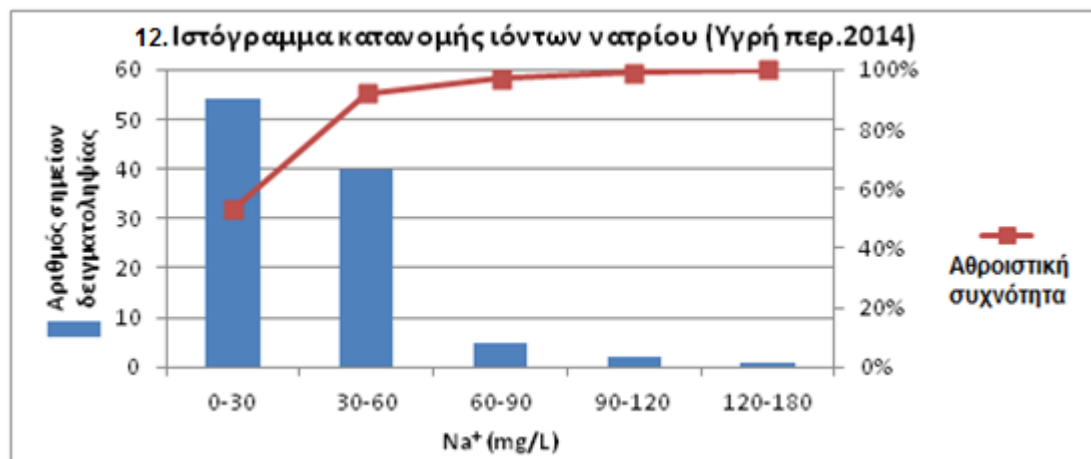
Οι συνήθεις συγκεντρώσεις του νατρίου στα υπόγεια νερά της περιοχής έρευνας (<60 mg/L) προέρχονται γηγενώς από τους αστρίους, τα αργιλικά ορυκτά και τους εβαπορίτες (αλίτης NaCl , μιραβιλίτης $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) (Καλλέργης 2000). Η πύκνωση των ισοχημικών γραμμών παρατηρείται στο κεντρικό και νότιο τμήμα της περιοχής έρευνας, στα κοκκώδη ΥΥΣ Αξιού και Γαλλικού. Οι τιμές της παραμέτρου, αυξάνονται με κατεύθυνση προς τα νότια της περιοχής έρευνας, από την περιοχή της Κρηστώνης έως το Νέο Αγιονέρι και την Ξυλοκερατιά, όπου απαντούν οι τεταρτογενείς αποθέσεις. Στις πεδινές αυτές περιοχές αναπτύσσεται έντονη αγροτική και σποραδική βιομηχανική δραστηριότητα, με αποτέλεσμα την ανθρωπογενή ρύπανση των υπόγειων υδάτων από την εκτεταμένη γεωργική λίπανση και τη διάθεση βιομηχανικών ή οικιακών λυμάτων (Richter and Kreitler 1993, Καλλέργης 2000). Ο Μάττας (2009), σημειώνει την ύπαρξη πολύ υψηλών συγκεντρώσεων νατρίου στα υπόγεια και τα επιφανειακά νερά πλησίον του κεντρικού κλάδου του ποταμού Γαλλικού, στην έξοδο της λεκάνης, προς Νέα Φιλαδέλφεια, που αποδίδεται σε βιομηχανική δραστηριότητα και διάθεση ανεπεξέργαστων βιομηχανικών λυμάτων, βεβαρυμένων με χλωριούχο νάτριο. Η συγκέντρωση των ιόντων νατρίου στα υπόγεια νερά επίσης, παίζει καθοριστικό ρόλο στην καταλληλότητά τους για αρδευτικούς σκοπούς, ενώ ο συνδυασμός της με τη συγκέντρωση των ιόντων καλίου ή χλωρίου μπορεί να δώσει πληροφορίες για την προέλευση των υπόγειων υδάτων (Breen et al 1985, Custodio 1987, Leonard and Ward 1962).

Μια πιθανή αιτία αύξησης της συγκέντρωσης των ιόντων νατρίου, όπως και χλωριούχων και νιτρικών ιόντων στην περιοχή, θα μπορούσε να αποτελεί η παρουσία της αλμυρής λίμνης Πικρολίμνης της οποίας η αλμυρότητα οφείλεται, σύμφωνα με έρευνα του Δημόπουλου, στις αποθέσεις αλάτων των περιόδων

έντονης εξάτμισης σε περιβάλλον υγρό και θερμό κατά την περίοδο του Νεογενούς, που αναφέρεται ως «κρίση αλατότητας του Μεσσηνίου» (Δημόπουλος κ.αλ. 2008). Σύμφωνα ωστόσο με την ίδια έρευνα, η δειγματοληψία από γεωτρήσεις στην εγγύτερη περιοχή δεν πιστοποιεί τη σχέση των αυξημένων αυτών ιόντων με την ύπαρξη της λίμνης.

Από το τμήμα της περιοχής μελέτης με τις αυξημένες συγκεντρώσεις νατρίου, εξαιρούνται τα υπόγεια νερά των συστημάτων Μαυρονερίου και Ντεβέ-Κοράν, τα οποία λόγω των διαφορετικών γεωλογικών σχηματισμών, της μειωμένης ανθρωπογενούς δραστηριότητας και ενδεχομένως του μεγαλύτερου υψομέτρου τους, δεν επηρεάζονται από τις ρυπογόνες πρακτικές των πεδινών εκτάσεων.

Σχήμα 21. Χωρική κατανομή συγκέντρωσης ιόντων νατρίου Na^+ σε mg/L (Ξηρή περ. 2013)

Σχήμα 22. Χωρική κατανομή συγκέντρωσης ιόντων νατρίου Na^+ σε mg/L (Υγρή περ. 2014)

4.5.4. Ιόντα καλίου (K^+)

Η νομοθεσία για την ποιότητα νερού ανθρώπινης κατανάλωσης, κατατάσσει τα ιόντα καλίου στη συμπληρωματική παρακολούθηση και ορίζει ως ανώτατο όριο τα 12 mg/L. (Σκληβανιώτης 2004).

Ακολουθώντας, παρατίθενται τα στατιστικά στοιχεία των συγκεντρώσεων των ιόντων καλίου για τα δείγματα που ελήφθησαν κατά τα έτη 2013-2014:

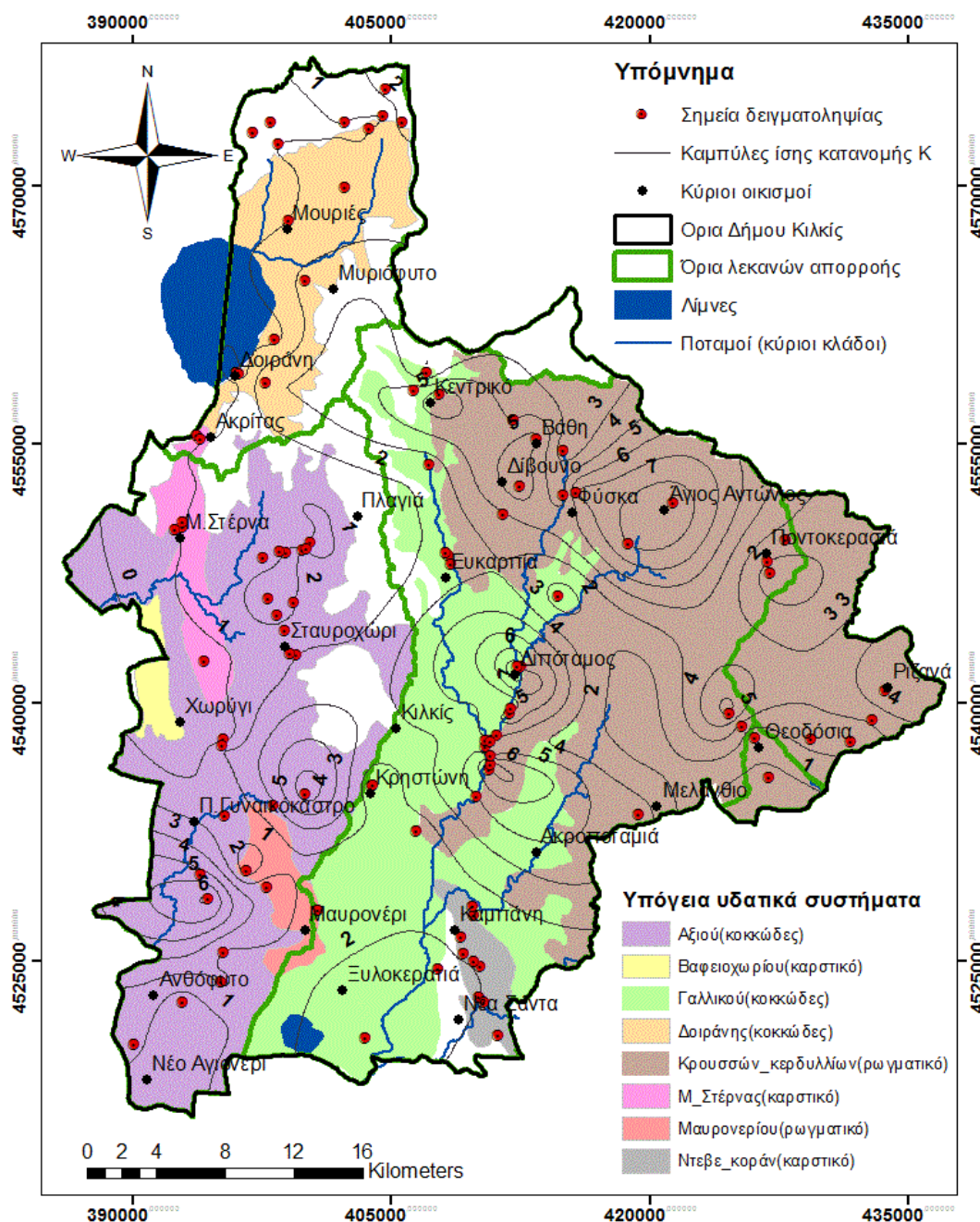
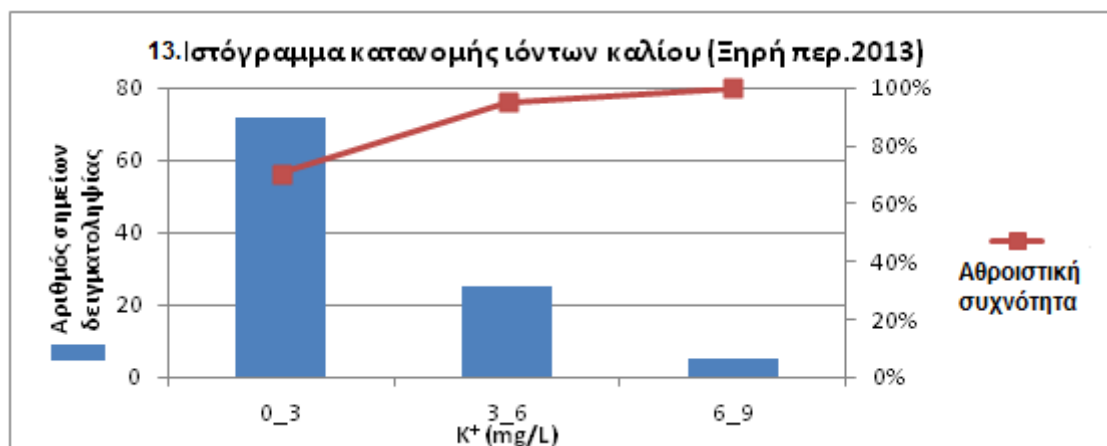
Πίνακας 13. Στατιστικά στοιχεία τιμών των ιόντων καλίου (mg/L)		
	Ξηρή περ. 2013	Υγρή περ. 2014
ΕΛΑΧΙΣΤΗ	<1	<1
ΜΕΓΙΣΤΗ	8,2	7,3
ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	2,7	3
ΤΥΠ. ΑΠΟΚΛΙΣΗ	1,78	1,74

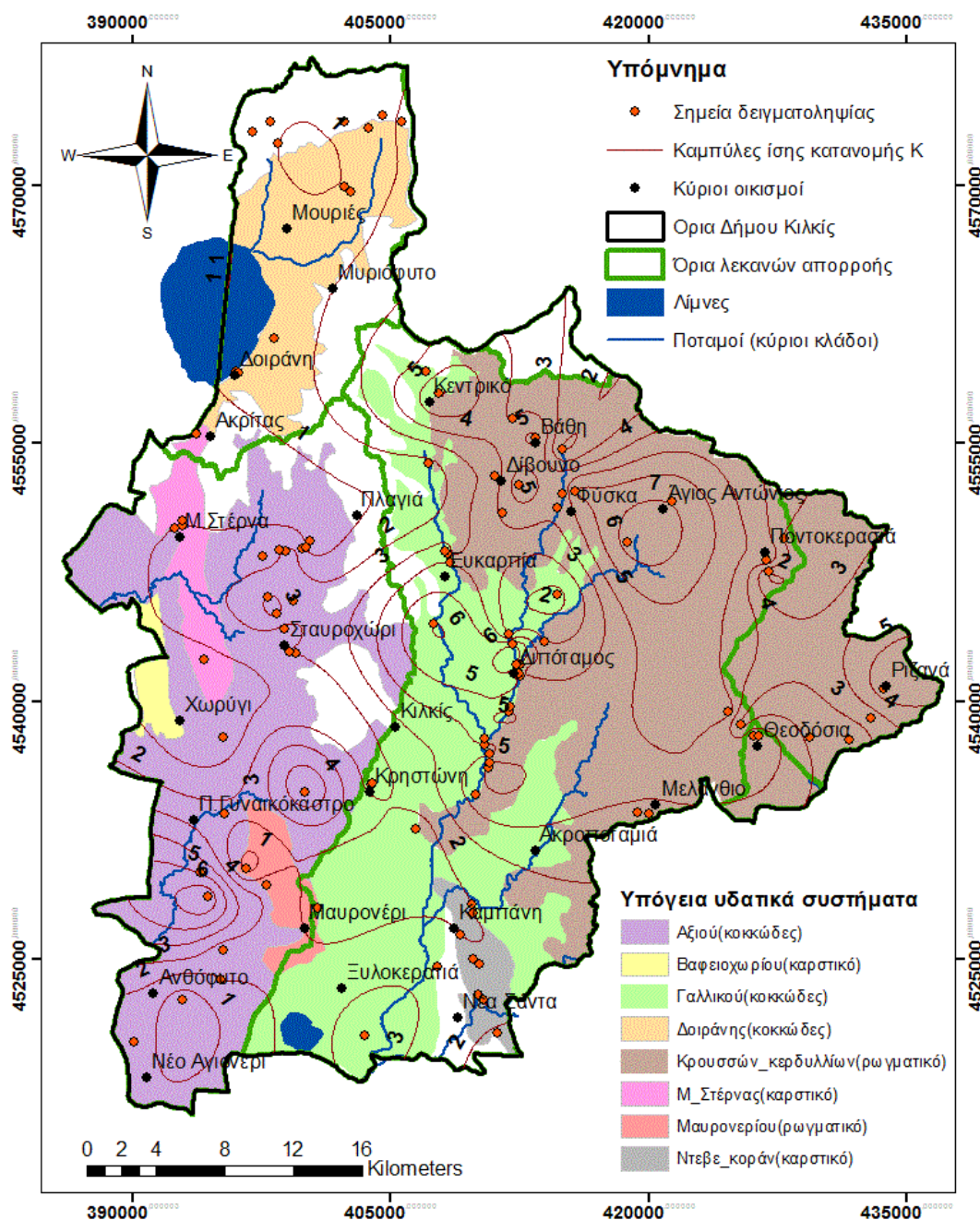
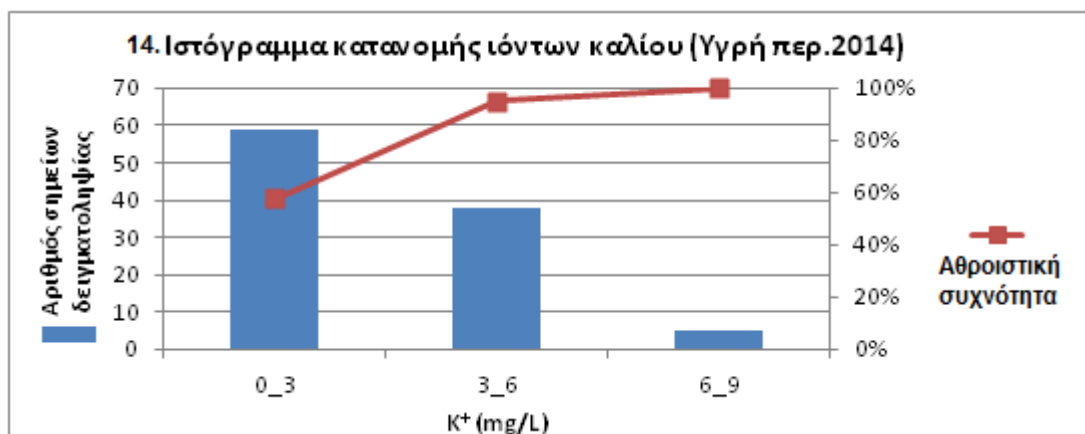
Οι τιμές των ιόντων καλίου κυμαίνονται εντός των νομοθετικών ορίων, για την ξηρή περίοδο δειγματοληψίας του 2013, από <1 έως 8,2 mg/L, με μέση τιμή τα 2,7 mg/L και για την υγρή περίοδο του 2014, από <1 έως 7,3 mg/L, με μέση τιμή τα 3 mg/L.

Στα σχήματα 23 και 24 παρουσιάζεται η χωρική και χρονική κατανομή των ιόντων καλίου του υπόγειου νερού, στην περιοχή έρευνας για τις δύο περιόδους δειγματοληψίας, μαζί με τα ιστογράμματα κατανομής της παραμέτρου για την κάθε περίοδο (Ιστ. 13 και 14).

Οι συγκεντρώσεις του καλίου στην περιοχή έρευνας δεν ξεπερνούν τη συνήθη τιμή των 10 mg/L (Σκληβανιώτης 2004). Προέρχονται γηγενώς από τους αστρίους, κυρίως από τον ορθόκλαστο και μικροκλίνη. Βρίσκονται επίσης στον συλβίνη (KCl) και τον μαρμαρυγία (Βουδούρης 2009).

Ελαφρώς υψηλότερες τιμές από το μέσο όρο της έκτασης μελέτης, σημειώνονται στις περιοχές Διποτάμου και νότια του Π.Γυναικόκαστρου, λόγω λίπανσης των εδαφών με καλιούχα λιπάσματα (Βουδούρης 2009), καθώς και στην περιοχή του Αγίου Αντωνίου, πιθανότατα γηγενούς προέλευσης καθώς δεν αναπτύσσονται αξιόλογες αγροτικές δραστηριότητες σε αυτήν.

Σχήμα 23. Χωρική κατανομή συγκέντρωσης ιόντων καλίου K^+ σε mg/L (Ξηρή περ. 2013)

Σχήμα 24. Χωρική κατανομή συγκέντρωσης ιόντων καλίου K^+ σε mg/L (Υγρή περ. 2014)

4.5.5. Όξινα ανθρακικά ιόντα (HCO_3^-)

Στην παρούσα έρευνα το σύνολο της αλκαλικότητας αντιστοιχεί στα όξινα ανθρακικά ιόντα, καθώς δε βρέθηκαν ποσότητες ανθρακικών ιόντων σε κανένα δείγμα. Το άθροισμα ανθρακικών (CO_3^{2-}) και οξυανθρακικών (HCO_3^-) ιόντων, εκφρασμένο σε ισοδύναμη συγκέντρωση CaCO_3 (mg/L), αντιπροσωπεύει την αλκαλικότητα, την ικανότητα δηλαδή του νερού να εξουδετερώνει οξέα (ΑΡΗΑ 1998). Η συνήθης συγκέντρωση των όξινων ανθρακικών στα υπόγεια νερά δεν ξεπερνά τα 500 mg/L.

Ο προσδιορισμός των όξινων ανθρακικών και ανθρακικών ιόντων καθώς και της αλκαλικότητας, δεν περιλαμβάνονται στη νομοθεσία για την ποιότητα του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης, αποτελούν ωστόσο σημαντικά στοιχεία για την έρευνα του χημισμού του νερού.

Στον πίνακα που ακολουθεί παρατίθενται τα στατιστικά στοιχεία των συγκεντρώσεων των όξινων ανθρακικών ιόντων για τα δείγματα που ελήφθησαν κατά τα έτη 2013-2014:

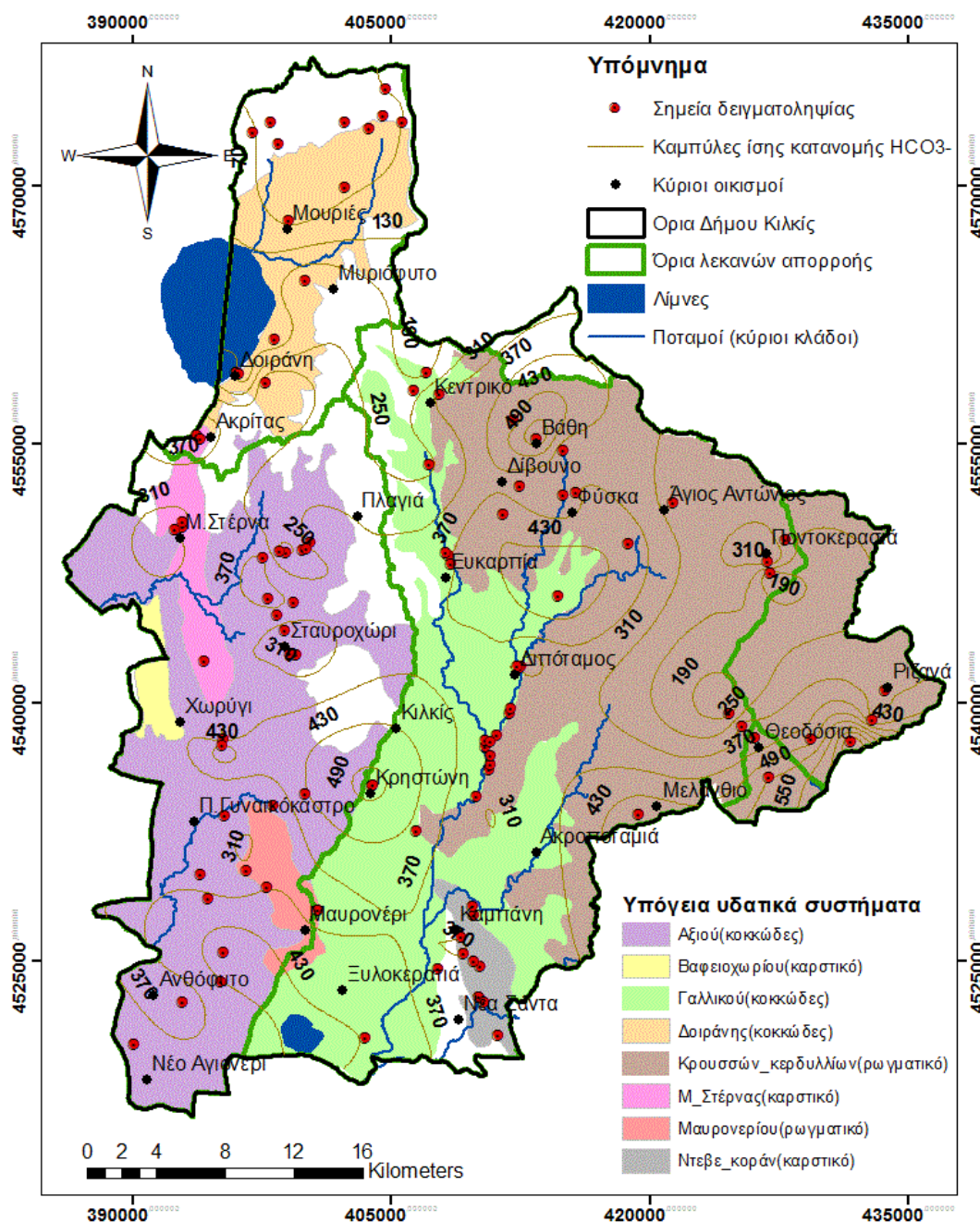
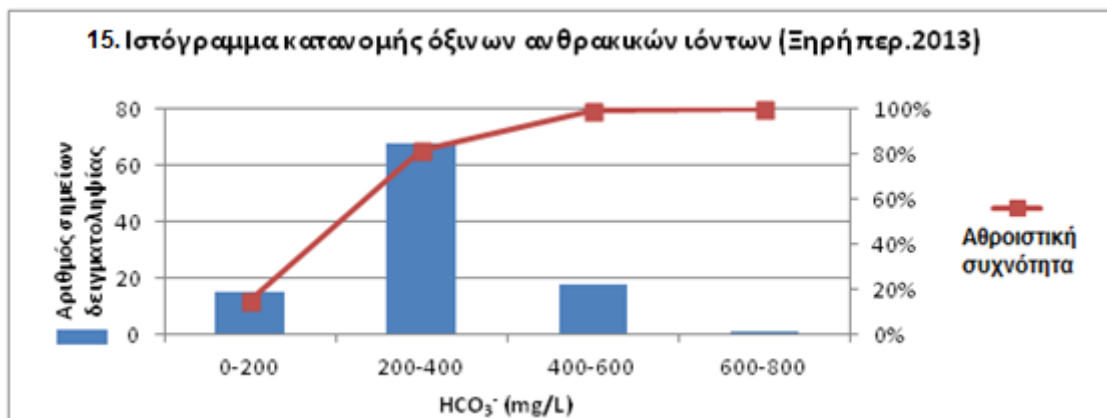
Πίνακας 14. Στατιστικά στοιχεία τιμών των όξινων ανθρακικών ιόντων (mg/L)		
	Ξηρή περ. 2013	Υγρή περ. 2014
ΕΛΑΧΙΣΤΗ	24,4	24,4
ΜΕΓΙΣΤΗ	720	622
ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	315,5	327,9
ΤΥΠ. ΑΠΟΚΛΙΣΗ	118,62	112,6

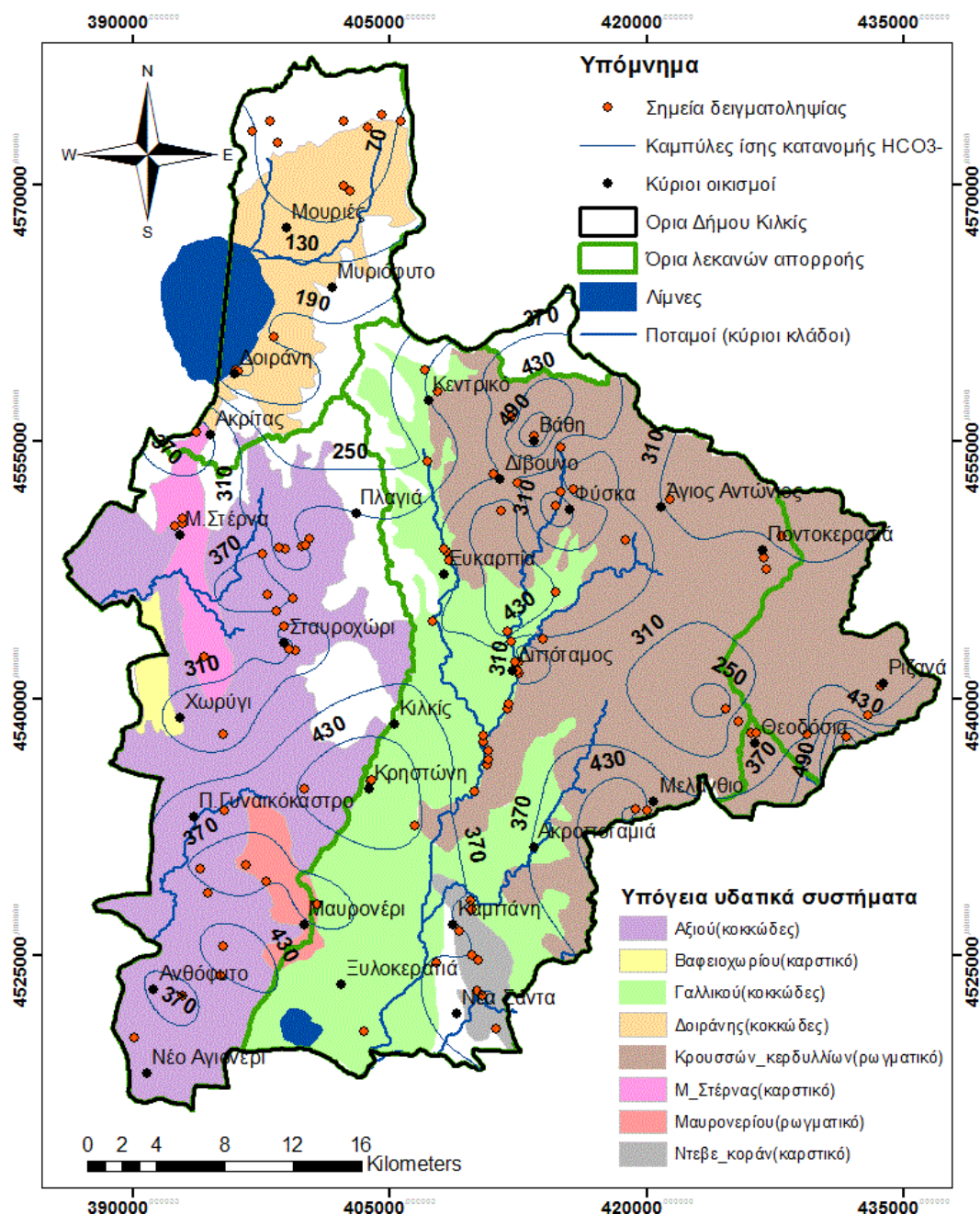
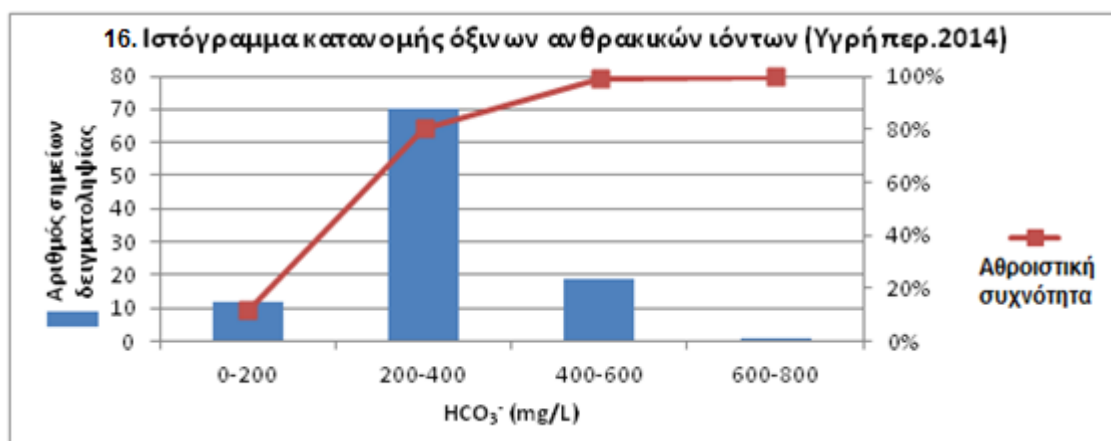
Οι τιμές των όξινων ανθρακικών ιόντων κυμαίνονται, για την ξηρή περίοδο δειγματοληψίας του 2013, από 24,4 έως 720 mg/L, με μέση τιμή τα 315,5 mg/L και για την υγρή περίοδο του 2014, από 24,4 έως 622 mg/L, με μέση τιμή τα 327,9 mg/L.

Στα σχήματα 25 και 26 παρουσιάζεται η χωρική και χρονική κατανομή των όξινων ανθρακικών ιόντων του υπόγειου νερού, στην περιοχή έρευνας για τις δύο περιόδους δειγματοληψίας, μαζί με τα ιστογράμματα κατανομής της παραμέτρου για την κάθε περίοδο (Ιστ.15 και 16).

Όπως φαίνεται από τις τιμές των συγκεντρώσεων, τα όξινα ανθρακικά αποτελούν τα κυρίαρχα ανιόντα στα υπόγεια νερά. Οι ασβεστόλιθοι, οι δολομίτες και το διοξείδιο του άνθρακα που ελευθερώνεται κατά την οργανική αποσύνθεση στο έδαφος, αποτελούν τις πηγές προέλευσης των ιόντων αυτών (Καλλέργης 2000, Βουδούρης 2009).

Υψηλές τιμές της παραμέτρου εμφανίζονται σε περιοχές όπου απαντούν ασβεστολιθικά ή δολομιτικά πετρώματα, ενώ δύο σημεία στο ΥΥΣ Κρουσσών-Κερδυλλίων εμφανίζονται με πολύ υψηλές τιμές όξινων ανθρακικών ιόντων (πηγές περιοχής Βάθης και Ριζανών) που συνοδεύουν τα ιόντα μαγνησίου πιθανότατα οφειλόμενες στα οφιολιθικά υπερβασικά πετρώματα που υπάρχουν διάσπαρτα στην περιοχή.

Σχήμα 25. Χωρική κατανομή συγκέντρωσης όξινων ανθρακικών ιόντων HCO_3^- σε mg/L (Ξηρή περ. 2013)

Σχήμα 26. Χωρική κατανομή συγκέντρωσης όξινων ανθρακικών ιόντων HCO_3^- σε mg/L (Υγρή περ. 2014)

4.5.6. Χλωριούχα ιόντα (Cl⁻)

Τα στατιστικά στοιχεία των συγκεντρώσεων των χλωριούχων ιόντων για τα δείγματα που ελήφθησαν κατά τα έτη 2013-2014, διαμορφώνονται ως εξής:

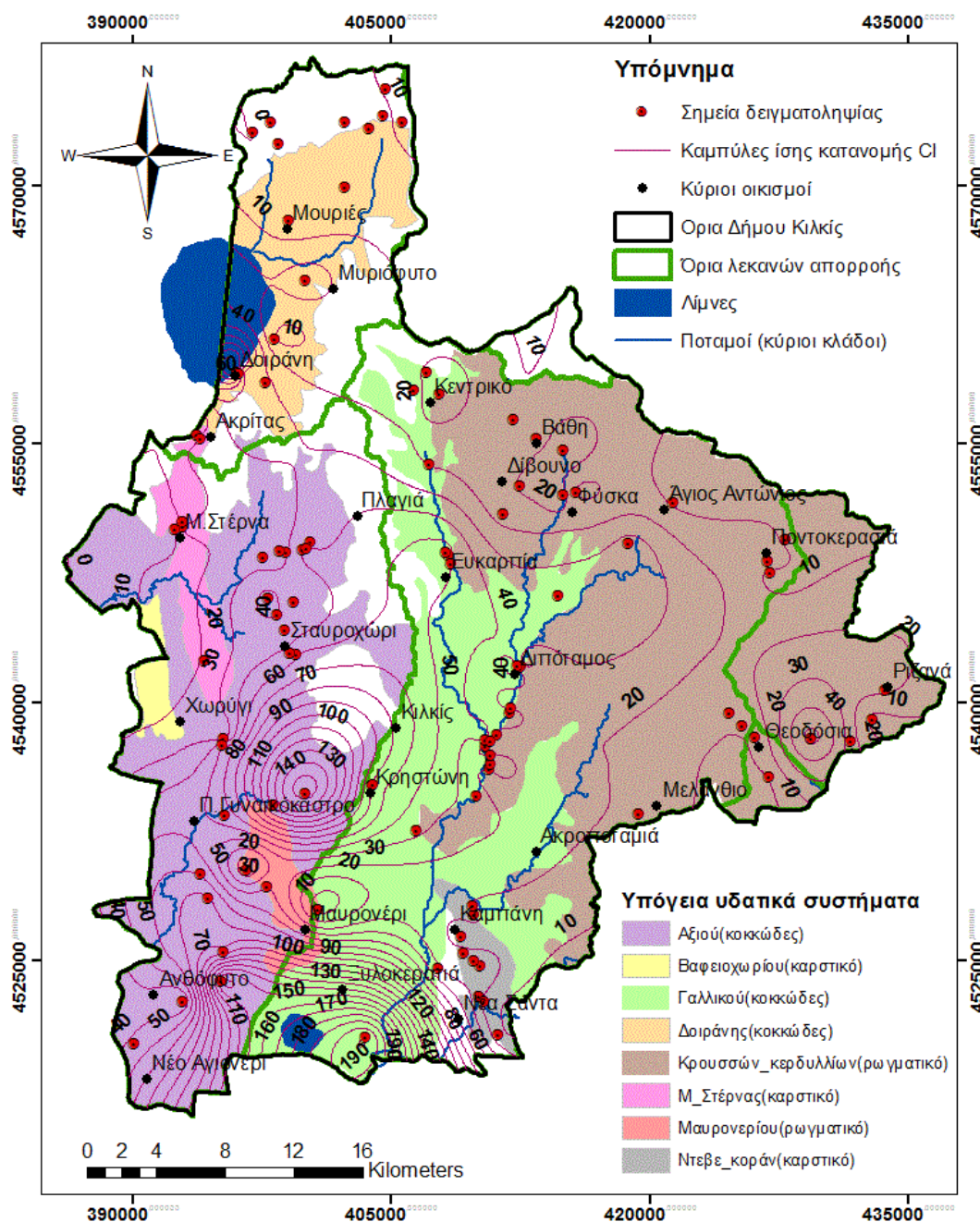
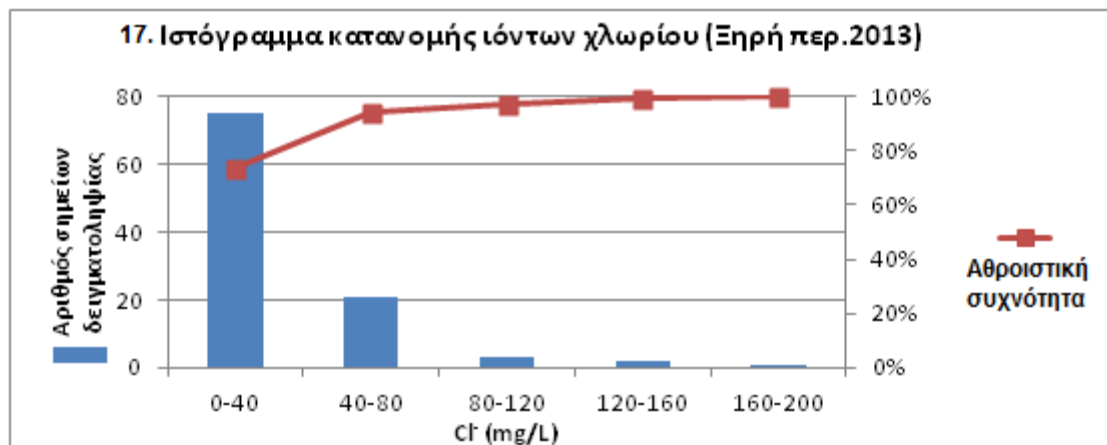
Πίνακας 15. Στατιστικά στοιχεία τιμών των χλωριούχων ιόντων (mg/L)		
	Ξηρή περ. 2013	Υγρή περ. 2014
ΕΛΑΧΙΣΤΗ	1,4	1,4
ΜΕΓΙΣΤΗ	198	191
ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	32,4	30,7
ΤΥΠ. ΑΠΟΚΛΙΣΗ	31,17	27,92

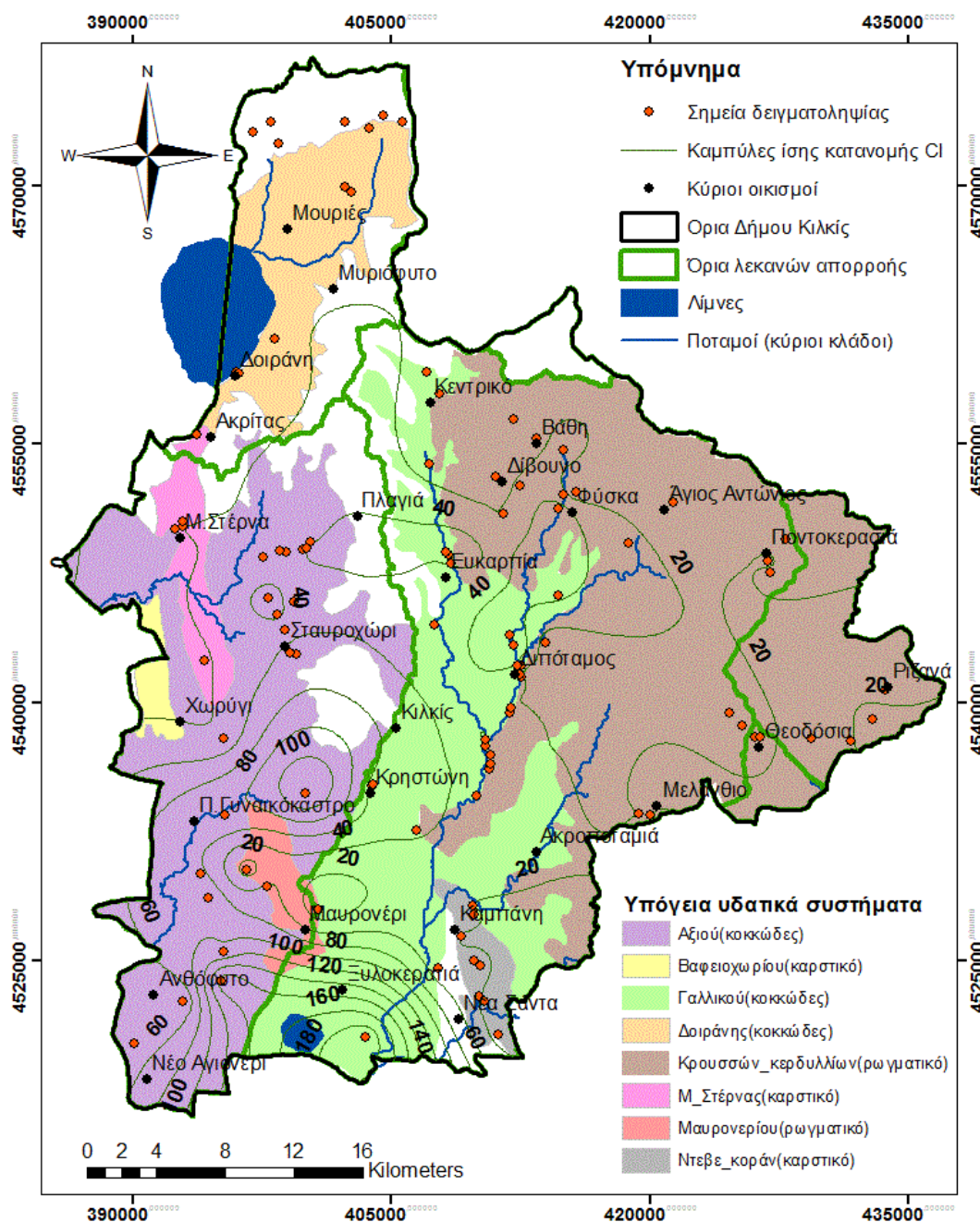
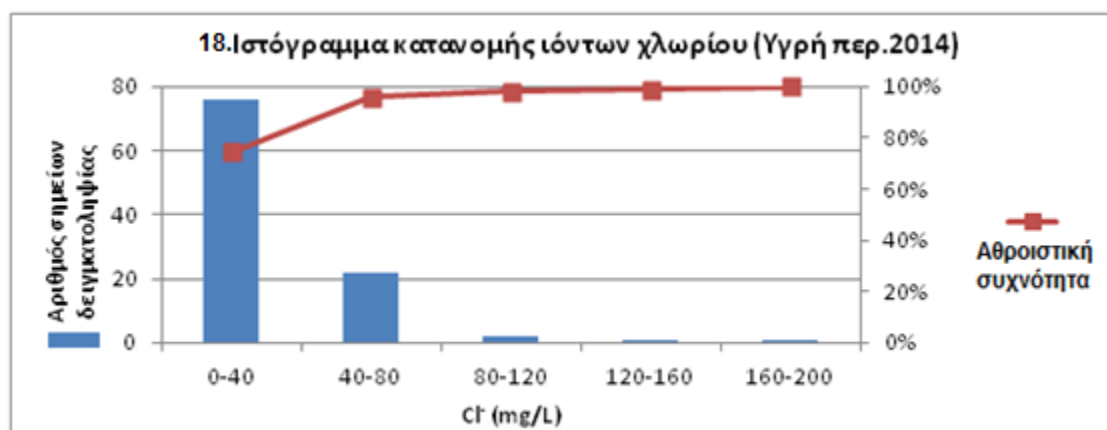
Οι τιμές των χλωριούχων ιόντων κυμαίνονται εντός των νομοθετικών ορίων (<250 mg/L), για την ξηρή περίοδο δειγματοληψίας του 2013, από 1,4 έως 198 mg/L, με μέση τιμή τα 32,4 mg/L και για την υγρή περίοδο του 2014, από 1,4 έως 191 mg/L, με μέση τιμή τα 30,7 mg/L.

Στα σχήματα 27 και 28 παρουσιάζεται η χωρική και χρονική κατανομή των χλωριούχων ιόντων του υπόγειου νερού, στην περιοχή έρευνας για τις δύο περιόδους δειγματοληψίας, μαζί με τα ιστογράμματα κατανομής της παραμέτρου για την κάθε περίοδο (Ιστ.17 και 18).

Από τα ιστογράμματα, φαίνεται ότι ο μεγαλύτερος αριθμός των σημείων υδροληψίας παρουσιάζουν μικρά και συνήθη επίπεδα χλωροϊόντων, λόγω της διάλυσης των ιζηματογενών πετρωμάτων (Καλλέργης 2000). Στο κεντρικό (Π.Γυναικόκαστρο) και νότιο (Ανθόφυτο-Ξυλοκερατιά) τμήμα της περιοχής έρευνας ωστόσο, εμφανίζονται υψηλές συγκεντρώσεις της παραμέτρου στα υπόγεια νερά. Οι τιμές αυτές, από τη στιγμή που δεν υπάρχουν εμφανίσεις εβαποριτών στην περιοχή μελέτης και ενδείξεις για παλιά εγκλωβισμένα θαλασσινά νερά, οφείλονται σε ανθρωπογενείς δραστηριότητες (απόβλητα βιομηχανιών, ανεξέλεγκτη διάθεση οικιακών λυμάτων, λίπανση του εδάφους, ρίψη φυτοφαρμάκων κ.λπ.) που εκδηλώνονται στην περιοχή (Βουδούρης 2009). Οι τεταρτογενείς αποθέσεις που κυριαρχούν άλλωστε στο κεντρικό και νότιο τμήμα της περιοχής έρευνας, με εξαίρεση τα ΥΥΣ Μαυρονερίου και Ντεβέ-Κοράν, ευνοούν την μεταφορά και διάχυση των ρύπων που περιέχουν τα χλωριούχα ιόντα τα οποία έχουν συντηρητική χημική συμπεριφορά, συνεπώς χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της προέλευσης των υπόγειων νερών και για τη διερεύνηση της ποιοτικής υποβάθμισής τους (Βουδούρης 2009).

Όπως προαναφέρθηκε, η παρουσία της αλμυρής λίμνης Πικρολίμνης θα μπορούσε επίσης να αποτελεί μια πηγή αύξησης των χλωροϊόντων στην περιοχή. Σύμφωνα ωστόσο με έρευνα του Δημόπουλου και άλλων (2008), δεν πιστοποιείται η σχέση αυτή.

Σχήμα 27. Χωρική κατανομή συγκέντρωσης χλωριούχων ιόντων Cl⁻ σε mg/L (Ξηρή περ. 2013)

Σχήμα 28. Χωρική κατανομή συγκέντρωσης χλωριούχων ιόντων Cl⁻ σε mg/L (Υγρή περ. 2014)

4.5.7. Θειϊκά ιόντα (SO_4^{2-})

Η νομοθεσία για την ποιότητα νερού ανθρώπινης κατανάλωσης, κατατάσσει τα θειϊκά ιόντα στις ενδεικτικές παραμέτρους και ορίζει ως ανώτατο όριο τα 250 mg/L. Οι υψηλές συγκεντρώσεις θειϊκών ιόντων, κυρίως σε συνδυασμό με μεγάλες συγκεντρώσεις σε μαγνήσιο, μπορεί να έχουν καθαρικές ιδιότητες στον ανθρώπινο οργανισμό. Η παράμετρος αυτή είναι ικανή να επηρεάσει την αποτελεσματικότητα της απολύμανσης αδρανοποιώντας εν μέρει το απολυμαντικό χλώριο στο δίκτυο διανομής (Σκληβανιώτης 2004).

Στον επόμενο πίνακα παρατίθενται τα στατιστικά στοιχεία των συγκεντρώσεων των θειϊκών ιόντων για τα δείγματα που ελήφθησαν κατά τα έτη 2013-2014:

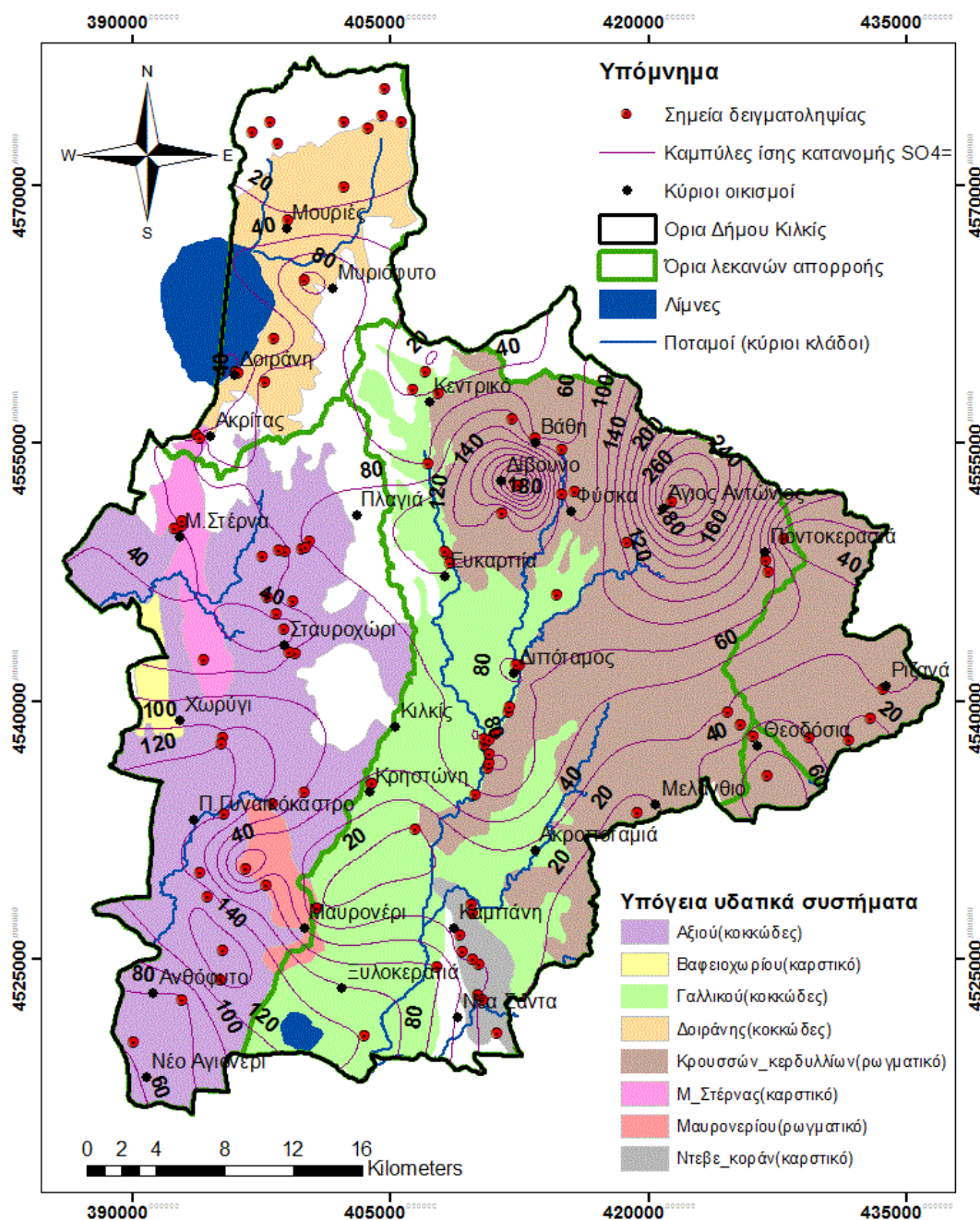
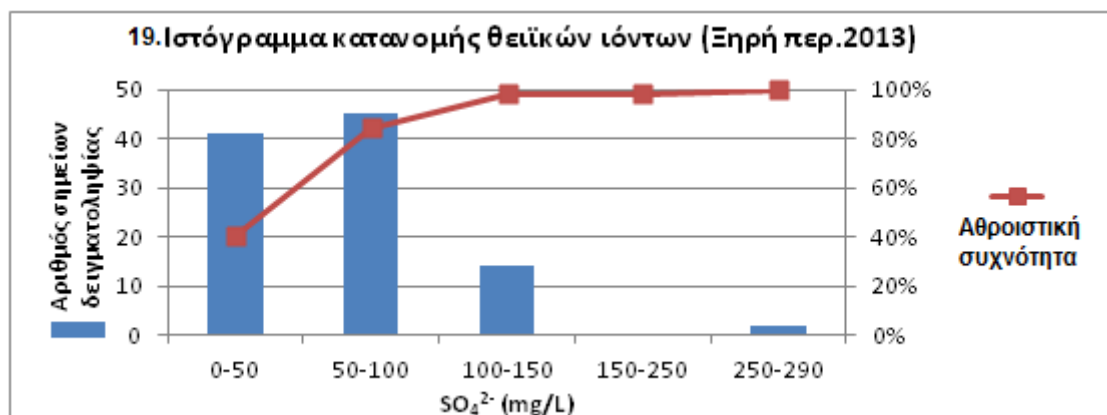
Πίνακας 16. Στατιστικά στοιχεία τιμών των θειϊκών ιόντων (mg/L)		
	Ξηρή περ. 2013	Υγρή περ. 2014
ΕΛΑΧΙΣΤΗ	10	8
ΜΕΓΙΣΤΗ	288	297
ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	65,1	66,1
ΤΥΠ. ΑΠΟΚΛΙΣΗ	46,06	46,39

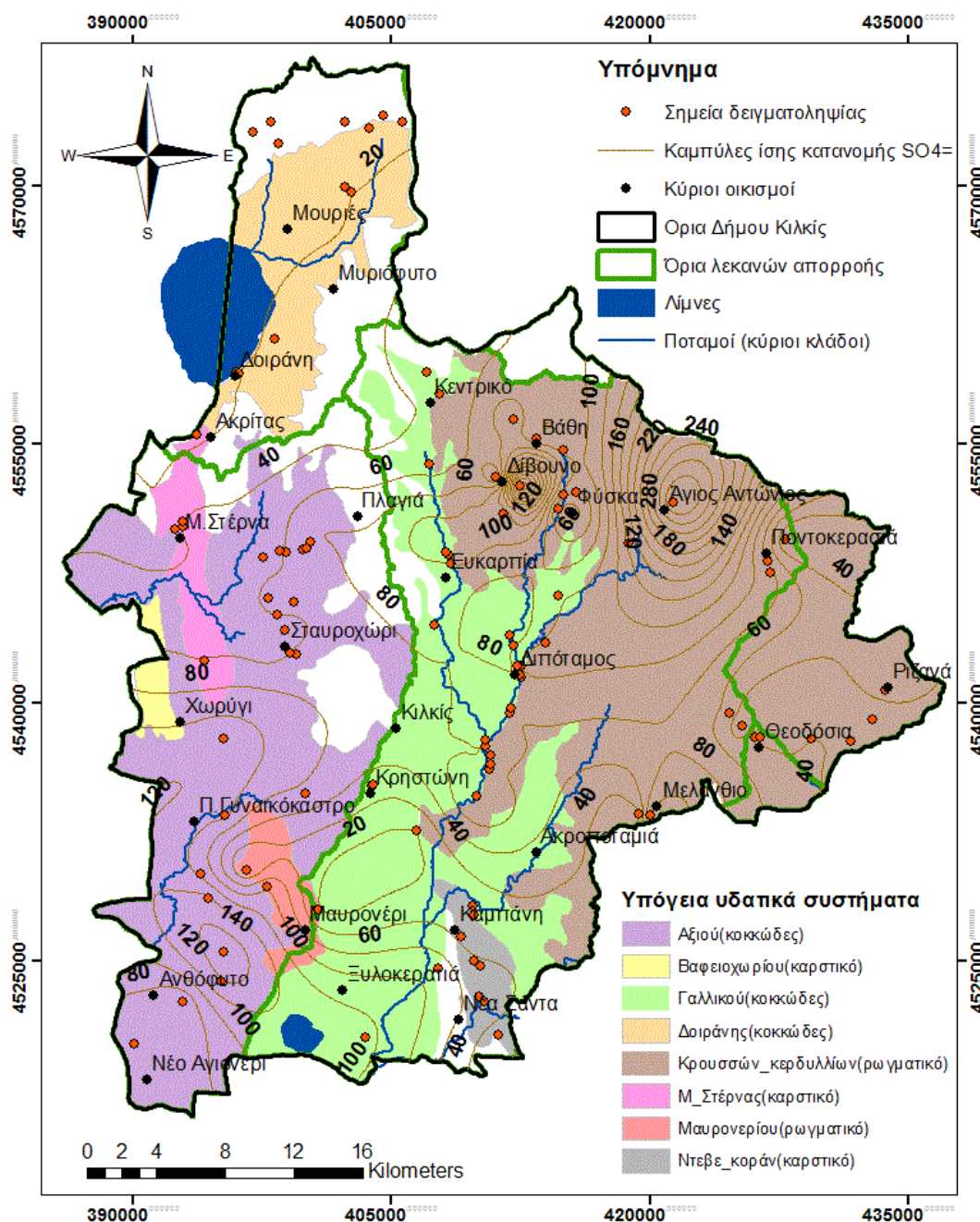
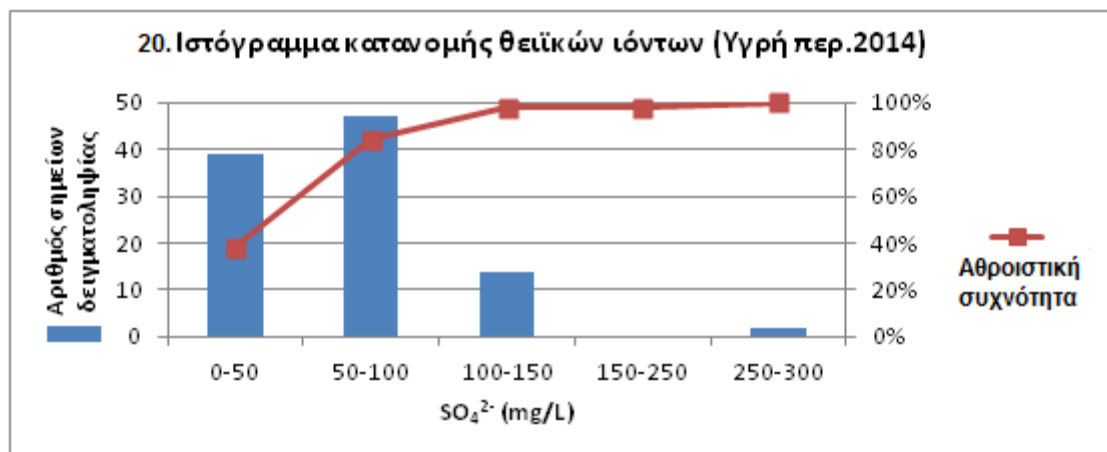
Οι τιμές των θειϊκών ιόντων κυμαίνονται, για την ξηρή περίοδο δειγματοληψίας του 2013, από 10 έως 288 mg/L, με μέση τιμή τα 65,1 mg/L και για την υγρή περίοδο του 2014, από 8 έως 297 mg/L, με μέση τιμή τα 66,1 mg/L.

Στα σχήματα 29 και 30 παρουσιάζεται η χωρική και χρονική κατανομή των θειϊκών ιόντων του υπόγειου νερού, στην περιοχή έρευνας για τις δύο περιόδους δειγματοληψίας, μαζί με τα ιστογράμματα κατανομής της παραμέτρου για την κάθε περίοδο (Ιστ. 19 και 20).

Πηγές προέλευσης των θειϊκών ιόντων στην περιοχή έρευνας, αποτελούν η διάλυση του γύψου και του ανυδρίτη και η οξείδωση των σουλφιδίων του σιδήρου (Βουδούρης 2009).

Οι υψηλές συγκεντρώσεις θειϊκών ιόντων, μάλιστα μεγαλύτερες από τα ανώτατα όρια που θέτει η νομοθεσία, εμφανίζονται βορειοανατολικά της περιοχής έρευνας, στο βόρειο κομμάτι του ΥΥΣ Κρουσσών-Κερδυλλίων όπου κυριαρχούν τα γνευσιακά πετρώματα του Παλαιοζωικού (περιοχές Αγίου Αντωνίου και Δίβουνου). Η παρουσία των ιόντων αυτών αποδίδεται σε γηγενή προέλευση, στην οξείδωση δηλαδή σιδηροπυρίτη που απαντά σε διάσπαρτους κρυστάλλους μες στους γνεύσιους. Έτσι δικαιολογούνται και οι υψηλές τιμές σε σίδηρο στα σημεία υδροληψίας της περιοχής, όπως αναφέρεται σε επόμενη παράγραφο. Η ανθρωπογενής ρύπανση θεωρείται αμελητέα καθώς στην περιοχή απουσιάζει η μεταλλευτική και βιομηχανική δραστηριότητα ενώ δεν υπάρχει αξιόλογη αγροτική λίπανση των εδαφών με θειούχα λιπάσματα (Craig 1970, Aschenbrenner et al 1972).

Σχήμα 29. Χωρική κατανομή συγκέντρωσης θειικών ιόντων SO_4^{2-} σε mg/L (Ξηρή περ. 2013)

Σχήμα 30. Χωρική κατανομή συγκέντρωσης θεϊκών ιόντων SO_4^{2-} σε mg/L (Υγρή περ. 2014)

4.5.8. Αζωτούχες ενώσεις**[Νιτρικά (NO_3^-) - Νιτρώδη (NO_2^-) - Αμμωνιακά ιόντα (NH_4^+)]**

Ο προσδιορισμός των αζωτούχων ενώσεων στο νερό ανθρώπινης κατανάλωσης, δηλαδή των αμμωνιακών, νιτρωδών και νιτρικών ιόντων, αποτελεί δείκτη για την υγειονομική ποιότητα του νερού.

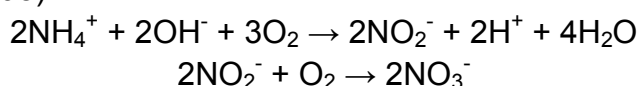
Στους πίνακες 17 και 18, παρατίθενται τα στατιστικά στοιχεία των μετρήσεων των αμμωνιακών και νιτρωδών ιόντων για τα δείγματα που ελήφθησαν κατά τα έτη 2013-2014:

Πίνακας 17. Στατιστικά στοιχεία τιμών των αμμωνιακών ιόντων (mg/L)		
	Ξηρή περ. 2013	Υγρή περ. 2014
ΕΛΑΧΙΣΤΗ	<0,02	<0,02
ΜΕΓΙΣΤΗ	0,08	0,10
ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	0,02	0,02
ΤΥΠ. ΑΠΟΚΛΙΣΗ	0,01	0,01

Πίνακας 18. Στατιστικά στοιχεία τιμών των νιτρωδών ιόντων (mg/L)		
	Ξηρή περ. 2013	Υγρή περ. 2014
ΕΛΑΧΙΣΤΗ	<0,006	<0,006
ΜΕΓΙΣΤΗ	0,48	0,16
ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	0,03	0,02
ΤΥΠ. ΑΠΟΚΛΙΣΗ	0,05	0,02

Η νομοθεσία για την ποιότητα νερού ανθρώπινης κατανάλωσης, κατατάσσει τα νιτρικά και νιτρώδη ιόντα στον κατάλογο χημικών παραμέτρων σημαντικών για την υγεία, στο παράρτημα Ι μέρος Β και ορίζει ως ανώτατα όρια τις τιμές 50 mg/L και 0,5 mg/L αντίστοιχα. Τα αμμωνιακά ιόντα κατατάσσονται στις ενδεικτικές παραμέτρους, με ανώτατο όριο τα 0,5 mg/L..

Οι τιμές των αμμωνιακών NH_4^+ και νιτρωδών NO_2^- ιόντων, βρίσκονται, για την περιοχή μελέτης, εντός των επιτρεπτών ορίων που ισχύουν για το νερό ανθρώπινης κατανάλωσης και μάλιστα σε πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις. Το γεγονός αυτό καταδεικνύει ότι οι υπόγειοι υδροφορείς δεν έχουν υποστεί πρόσφατη ρύπανση. Σε πρόσφατα ρυπασμένα νερά το άζωτο βρίσκεται υπό την μορφή οργανικού αζώτου και αμμωνιακών ιόντων. Με την πάροδο του χρόνου, το οργανικό άζωτο μετατρέπεται σταδιακά σε αμμωνιακά ιόντα. Παρουσία αερόβιων συνθηκών, τα αμμωνιακά οξειδώνονται σε νιτρώδη και εν συνεχεία σε νιτρικά ιόντα, τη σταθερή μορφή του οξειδωμένου αζώτου. Νερά όπου το άζωτο βρίσκεται υπό μορφή νιτρικών ιόντων έχουν υποστεί διαχρονική ρύπανση (Παππά 2001). Οι αντιδράσεις οξείδωσης των αζωτούχων ενώσεων παρουσία μικροοργανισμών, παρατίθενται ακολούθως: (Κουιμτζής κ.αλ. 1998):



Στον πίνακα 19 παρατίθενται τα στατιστικά στοιχεία των συγκεντρώσεων των νιτρικών ιόντων για τα δείγματα που ελήφθησαν κατά τα έτη 2013-2014:

Πίνακας 19. Στατιστικά στοιχεία τιμών των νιτρικών ιόντων (mg/L)		
	Ξηρή περ. 2013	Υγρή περ. 2014
ΕΛΑΧΙΣΤΗ	<1	<1
ΜΕΓΙΣΤΗ	116	136
ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	24,8	21,2
ΤΥΠ. ΑΠΟΚΛΙΣΗ	28,64	26,44

Οι τιμές των νιτρικών ιόντων κυμαίνονται, για την ξηρή περίοδο δειγματοληψίας του 2013, από <1 έως 116 mg/L, με μέση τιμή τα 24,8 mg/L και για την υγρή περίοδο του 2014, από <1 έως 136 mg/L, με μέση τιμή τα 21,2 mg/L.

Στα σχήματα 31 και 32 παρουσιάζεται η χωρική και χρονική κατανομή των νιτρικών ιόντων του υπόγειου νερού, στην περιοχή έρευνας για τις δύο περιόδους δειγματοληψίας, μαζί με τα ιστογράμματα κατανομής της παραμέτρου για την κάθε περίοδο (Ιστ. 21 και 22).

Όπως φαίνεται από τα στατιστικά στοιχεία, τις χωρικές κατανομές και τα ιστογράμματα, στο βόρειο και ανατολικό τμήμα της περιοχής έρευνας, παρατηρούνται χαμηλές συγκεντρώσεις σε νιτρικά ιόντα, πλην σημειακής εξαίρεσης στην περιοχή του Μυριόφυτου, όπου η γεώτρηση βρίσκεται εντός καλλιεργήσιμων εκτάσεων.

Αντίθετα, στα ΥΥΣ Αξιού και Γαλλικού της περιοχής έρευνας, κυρίως στην έκταση μεταξύ Χωρυγίου-Κρηστώνης-Ξυλοκερατιάς και Νέου Αγιονερίου, καταδεικνύεται ένα σοβαρό πρόβλημα εκτεταμένης νιτρορύπανσης, όπου υφίσταται εδώ και πολλά χρόνια, όπως μαρτυρούν και προηγούμενες αναλύσεις των φορέων ελέγχου ποιότητας υδάτων για το Δήμο Κιλκίς (πρώην Δήμος Πικρολίμνης, ΙΓΜΕ, Δ.Ε.Υ.Α. Κιλκίς). Τα νιτρικά ιόντα που αποτελούν το τελικό προϊόν της φυσικής αποσύνθεσης των φυτικών και ζωικών πρωτεϊνών και είναι οι πιο διαδεδομένοι ρυπαντές των επιφανειακών και των υπόγειων υδάτων (Βουδούρης 2009).

Τα υπόγεια και επιφανειακά νερά των λεκανών απορροής ποταμών Αξιού και Γαλλικού, εντάσσονται στην οικ. 19652/1906/1996 ΚΥΑ με θέμα: «Προσδιορισμός των νερών που υφίστανται νιτρορύπανση γεωργικής προέλευσης-κατάλογος ευπρόσβλητων ζωνών», όπως τροποποιήθηκε με την οικ. 20419/2522/2001 ΚΥΑ. Στις περιοχές αυτές που έχουν υποστεί νιτρορύπανση γεωργικής προέλευσης, υπάρχει η υποχρέωση εφαρμογής του «Κώδικα Ορθής Γεωργικής Πρακτικής», όπως εκπονήθηκε από το Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων.

Οι περισσότερες εκ των υδρογεωτρήσεων της συγκεκριμένης περιοχής, εμφανίζουν συγκεντρώσεις σε νιτρικά ιόντα, πολύ μεγαλύτερες από το ανώτατο όριο που ορίζει η νομοθεσία για το νερό ανθρώπινης κατανάλωσης. Στη Δημοτική Ενότητα Πικρολίμνης, το πρόβλημα, παρουσιάζεται και στις βρύσες των καταναλωτών, καθώς οι οικισμοί υδροδοτούνται σχεδόν

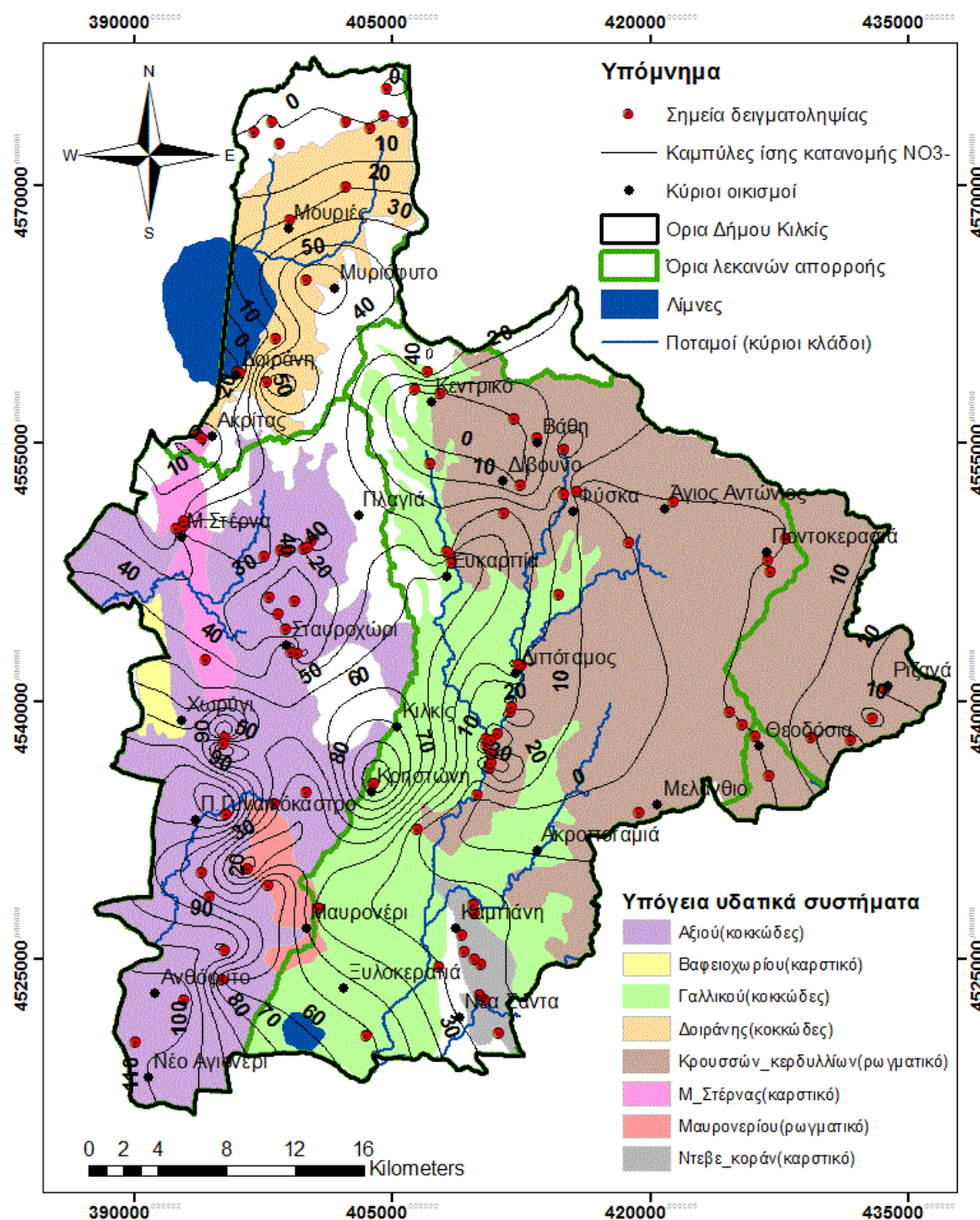
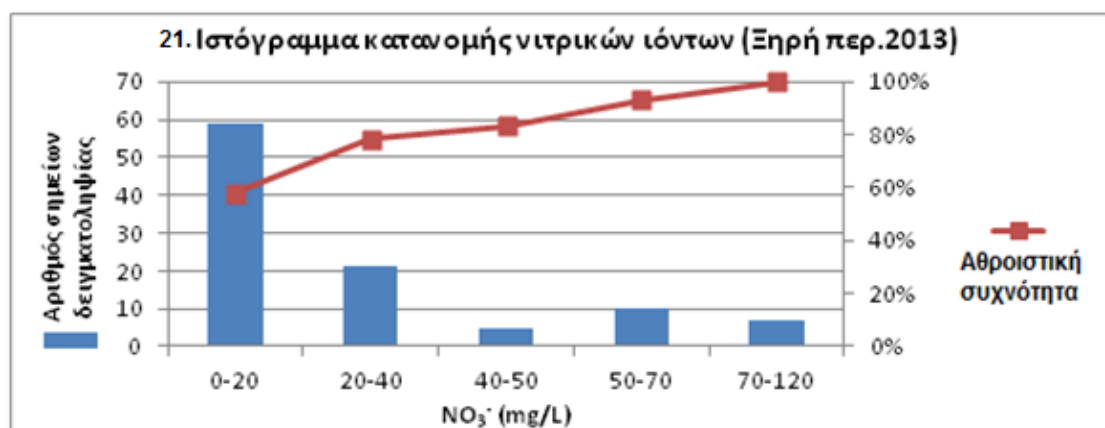
αποκλειστικά από τέτοιες γεωτρήσεις. Αξίζει να σημειωθεί ότι η Δ.Ε.Υ.Α. Κιλκίς καταβάλλει προσπάθειες, για την υδροδότηση της περιοχής από νέες πηγές υδροληψίας, που να πληρούν τις προδιαγραφές της νομοθεσίας.

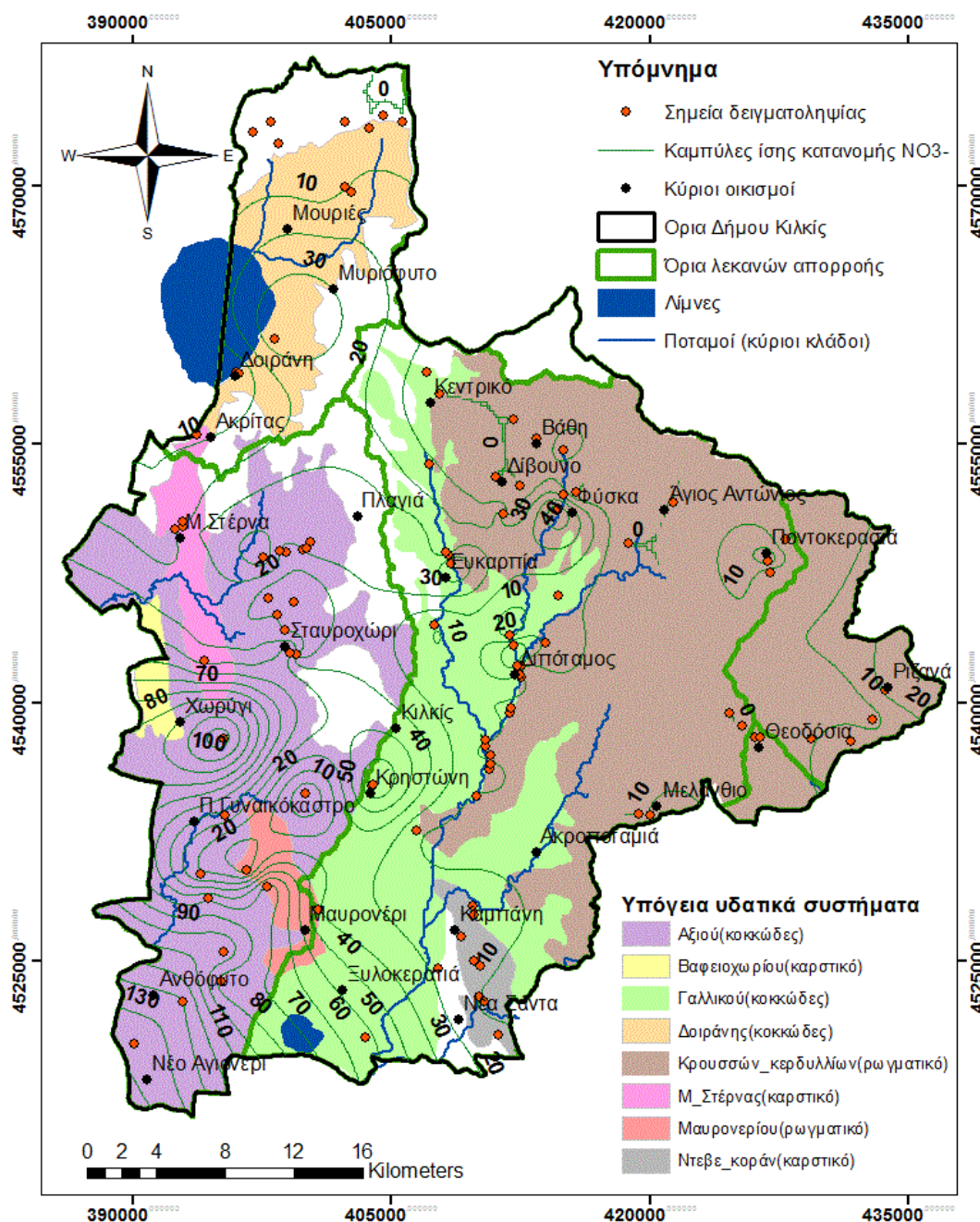
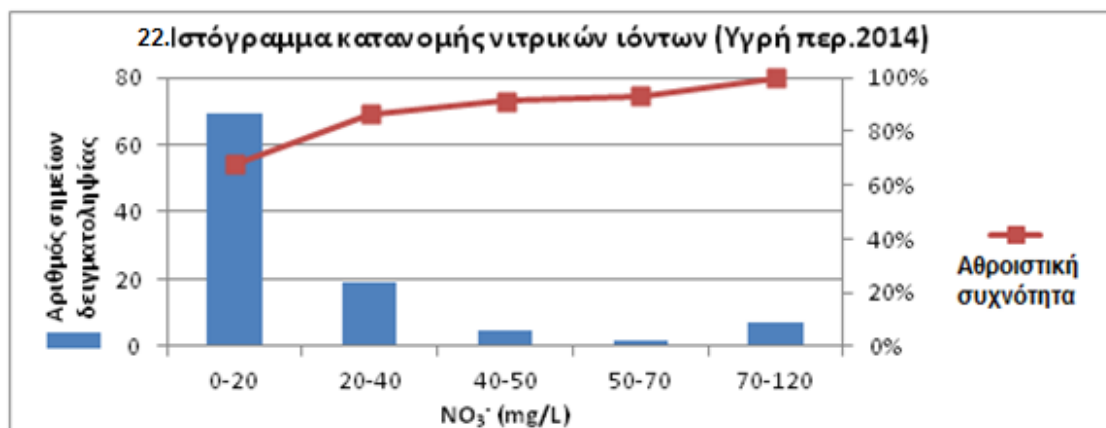
Οι αυξημένες τιμές των νιτρικών ιόντων στο τμήμα της περιοχής μελέτης, αποδίδονται κυρίως σε ανθρωπογενείς παρεμβάσεις αλλά και στην αποσύνθεση φυτικών υπολειμμάτων λόγω ιζηματογένεσης (Βουδούρης 2009). Η αλμυρή λίμνη Πικρολίμνη, λόγω των οργανικών ενώσεων που περιέχει, θα μπορούσε επίσης να αποτελεί μια πηγή αύξησης των νιτρικών ιόντων στην περιοχή. Σύμφωνα ωστόσο με έρευνα του Δημόπουλου και άλλων (2008), δεν πιστοποιείται η σχέση των αυξημένων νιτρικών με την ύπαρξη της λίμνης.

Το κεντρικό και νότιο τμήμα της περιοχής μελέτης αποτελεί στο μεγαλύτερο μέρος του γεωργική έκταση. Οι αγροτικές δραστηριότητες είναι ιδιαίτερα αυξημένες και απαιτείται η χρήση αγροχημικών (αζωτούχων λιπασμάτων, φυτοφαρμάκων) με συνέπεια τη ρύπανση των υπόγειων νερών (Ledoux et al. 2001, Oyarzun et al. 2007). Ο λόγος για τον οποίο τα αζωτούχα λιπάσματα χρησιμοποιούνται ευρέως και σε αλόγιστες πολλές φορές ποσότητες, είναι διότι αποτελούν απαραίτητα συστατικά που προσλαμβάνουν τα φυτά μέσω του ριζικού τους συστήματος για τη σύνθεση των αμινοξέων και λοιπών συστατικών που είναι αναγκαία για την επιβίωση και ανάπτυξή τους (Σάββας, 2000).

Η περιοχή δομείται γεωλογικά από χαλαρά τεταρτογενή ιζήματα, γεγονός που βοηθά στην εξάπλωση των ρύπων στα υπόγεια ύδατα. Στις κτηνοτροφικές μονάδες της περιοχής, δημιουργούνται στερεά και υγρά απόβλητα, πλούσια σε οργανικές ενώσεις, βακτηρίδια, ιόντα αζώτου και νιτρικά. Οι ρύποι μεταφέρονται με το νερό της βροχής στα επιφανειακά ύδατα και κατεισδύουν στους υπόγειους υδροφορείς, εμπλουτίζοντάς τους με νιτρικά ιόντα (Καλλέργης 2000). Επίσης οι περισσότεροι οικισμοί διαθέτουν οικιακές σηπτικές δεξαμενές συγκέντρωσης λυμάτων και όχι δίκτυα αποχέτευσης που να καταλήγουν σε βιολογικούς καθαρισμούς. Ως αποτέλεσμα, μέρος των λυμάτων αποστραγγίζεται στο έδαφος επιβαρύνοντας τον υδροφόρο ορίζοντα με νιτρικά ιόντα (Κακλής 2011, Κουρτίδου κ.αλ. 2014).

Από το τμήμα της περιοχής μελέτης με τις αυξημένες συγκεντρώσεις σε νιτρικά ιόντα, εξαιρούνται τα υπόγεια νερά του ρωγματικού ΥΥΣ Μαυρονερίου και του καρστικού συστήματος Ντεβέ-Κοράν, τα οποία λόγω της απουσίας ανθρωπογενούς δραστηριότητας και της μειωμένης υδραυλικής επικοινωνίας με τα γειτνιάζοντα ΥΥΣ, δεν επηρεάζονται από τις ρυπογόνες πρακτικές των καλλιεργούμενων εκτάσεων.

Σχήμα 31. Χωρική κατανομή συγκέντρωσης νιτρικών ιόντων NO_3^- σε mg/L (Ξηρή περ. 2013)

Σχήμα 32. Χωρική κατανομή συγκέντρωσης νιτρικών ιόντων NO_3^- σε mg/L (Υγρή περ. 2014)

4.5.9. Φθοριούχα ιόντα (F⁻)

Η νομοθεσία για την ποιότητα νερού ανθρώπινης κατανάλωσης, κατατάσσει τα φθοριούχα ιόντα στις παραμέτρους που είναι σημαντικές για την υγεία και ορίζει ως ανώτατο όριο την τιμή 1,5 mg/L.

Στον πίνακα 20 παρατίθενται τα στατιστικά στοιχεία των συγκεντρώσεων των φθοριούχων ιόντων για τα δείγματα που ελήφθησαν τα έτη 2013-2014:

Πίνακας 20. Στατιστικά στοιχεία τιμών των φθοριούχων ιόντων (mg/L)		
	Ξηρή περ. 2013	Υγρή περ. 2014
ΕΛΑΧΙΣΤΗ	<0,1	<0,1
ΜΕΓΙΣΤΗ	2,3	2,4
ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	0,6	0,58
ΤΥΠ. ΑΠΟΚΛΙΣΗ	0,42	0,42

Οι τιμές των φθοριούχων ιόντων κυμαίνονται, για την ξηρή περίοδο δειγματοληψίας του 2013, από <0,1 έως 2,3 mg/L, με μέση τιμή τα 0,6 mg/L και για την υγρή περίοδο του 2014, από <0,1 έως 2,4 mg/L, με μέση τιμή τα 0,58 mg/L.

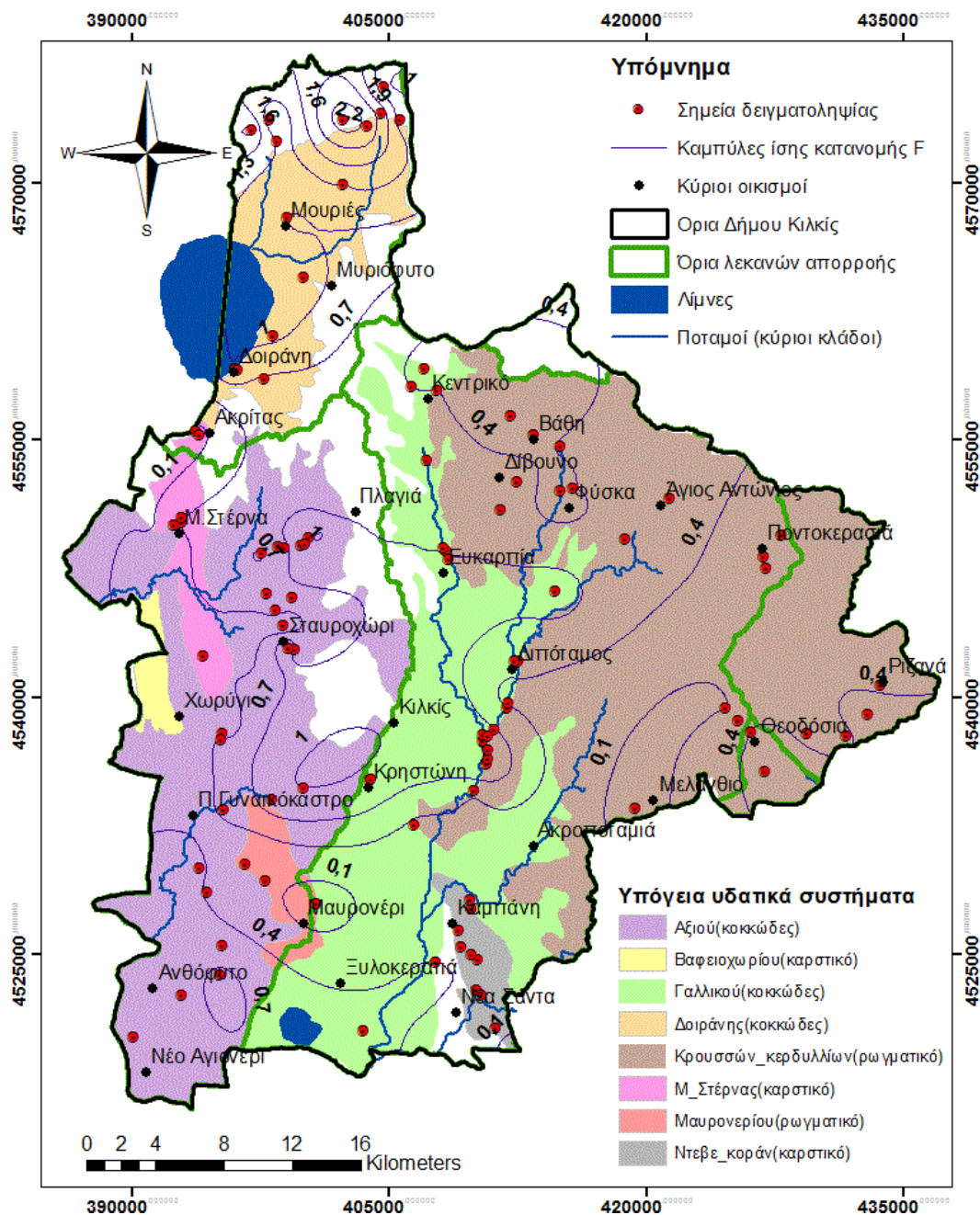
Στα σχήματα 33 και 34 παρουσιάζεται η χωρική και χρονική κατανομή των φθοριούχων ιόντων του υπόγειου νερού, στην περιοχή έρευνας για τις δύο περιόδους δειγματοληψίας, μαζί με τα ιστογράμματα κατανομής της παραμέτρου για την κάθε περίοδο (Ιστ. 23 και 24).

Ως επί το πλείστον, οι τιμές των φθοριούχων ιόντων στην περιοχή έρευνας, κυμαίνονται σε επίπεδα κάτω του 1 mg/L, με μέση τιμή και στις δύο περιόδους δειγματοληψίας, περίπου τα 0,6 mg/L. Το φθόριο προέρχεται από τη μετατροπή φθοροαπατίτη σε υδροξυαπατίτη, σύμφωνα με την αντίδραση:

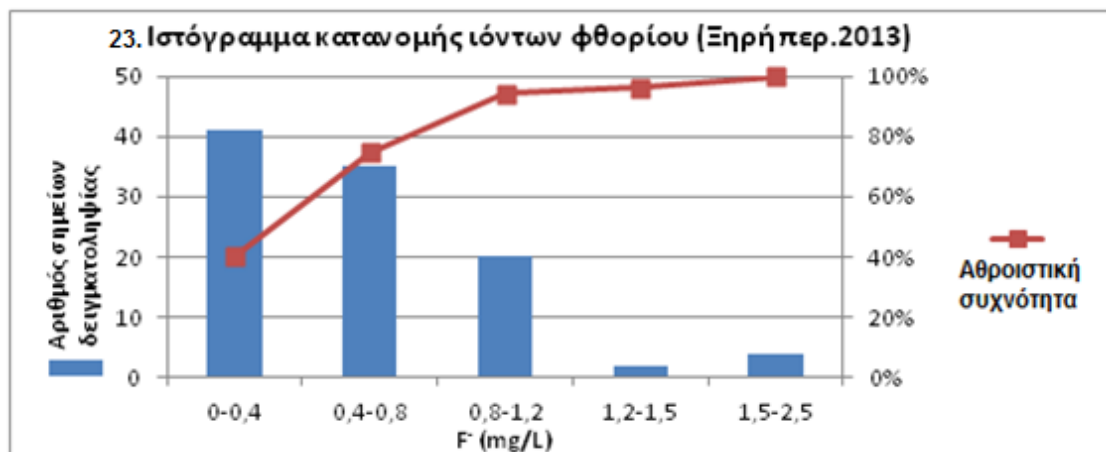


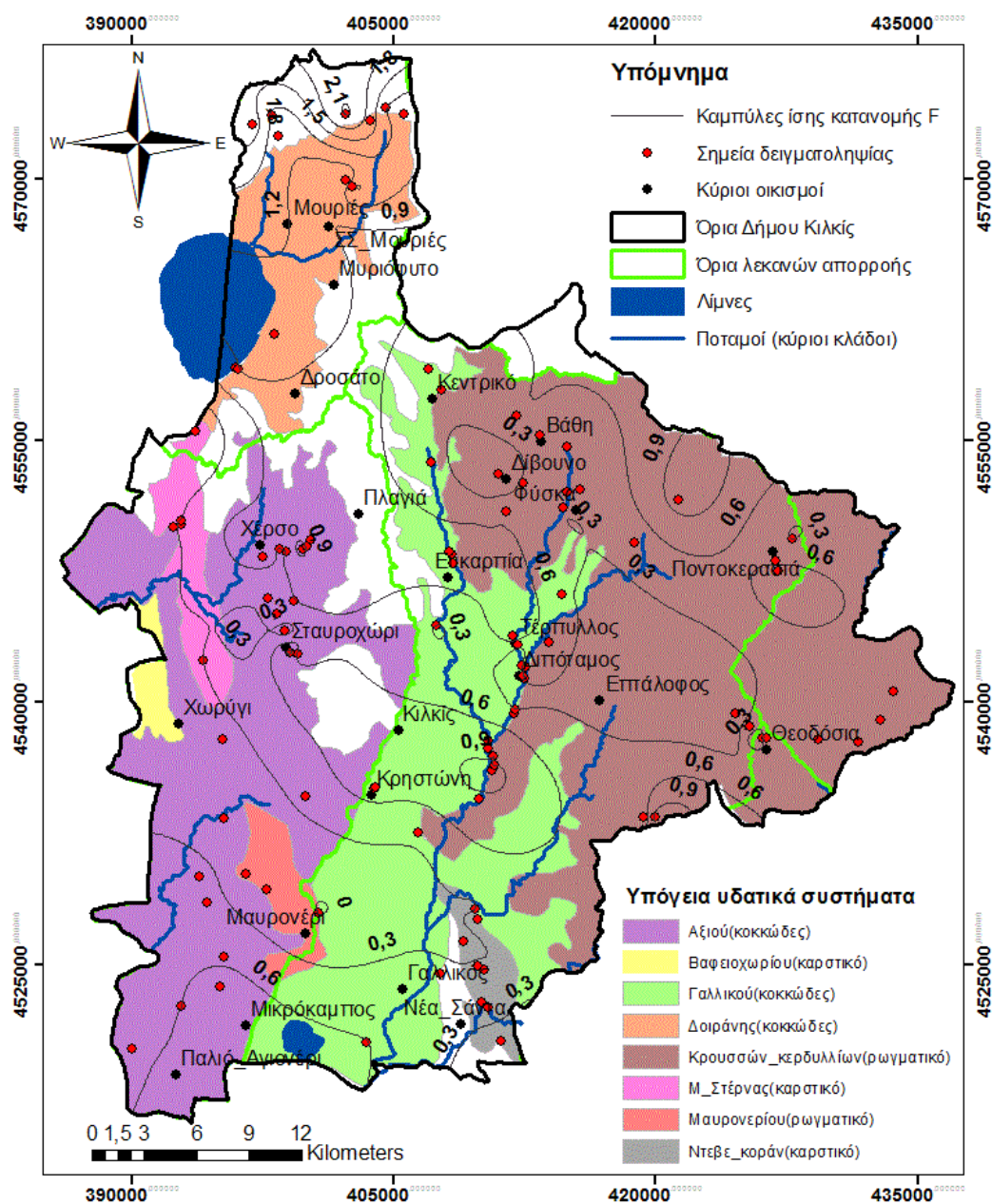
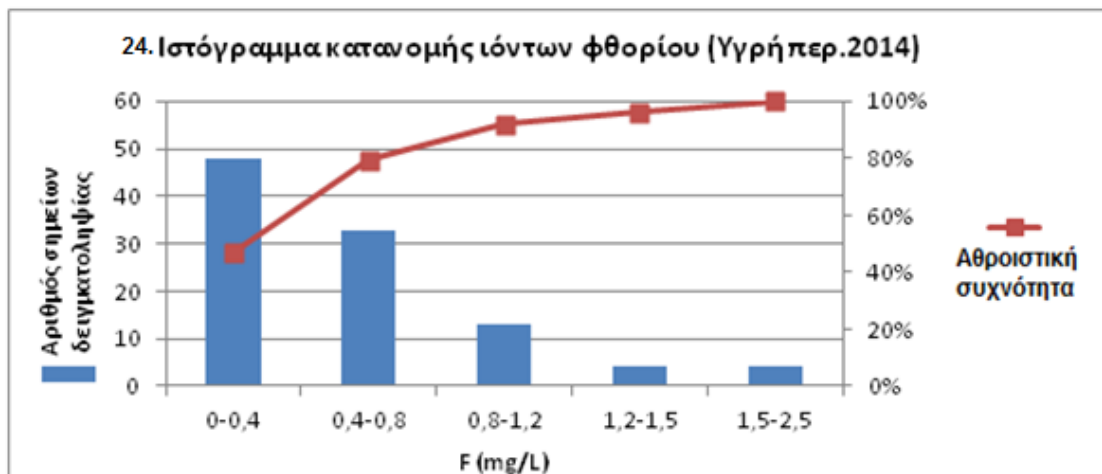
Απαντάται επίσης ως ιχνοστοιχείο στο πλέγμα των αμφιβόλων και μαρμαρυγιών και ως αυτοφυές ορυκτό με τη μορφή του φθορίτη (CaF₂) (Βουδούρης 2009).

Υψηλές συγκεντρώσεις, εμφανίζονται σε πηγές του όρους Μπέλλες, λόγω της παρουσίας γρανιτικών πετρωμάτων, στο βόρειο τμήμα της περιοχής έρευνας, όπου αναπτύσσεται ένα ρωγματώδες υδροσύστημα περιορισμένης και τοπικής σημασίας. Η μεταφορά υλικών από τα γρανιτικά πετρώματα στα ιζήματα του γειτνιάζοντος ΥΥΣ Δοϊράνης, συντελεί σε σχετικά αυξημένες τιμές φθοριούχων και σε μερικά υδροσημεία αυτού (Καλούση 2002). Σε συγκέντρωση έως 1 mg/L στο νερό ανθρώπινης κατανάλωσης, είναι ωφέλιμο καθώς προλαμβάνει την τερηδόνα των δοντιών και συντελεί στην ανάπτυξη της αδαμαντίνης. Σε υπερβολικές συγκεντρώσεις ωστόσο, προκαλεί ανεπιθύμητη οδοντική και σκελετική φθορίαση, προκαλεί κηλίδες και παραμόρφωση (Βουδούρης 2009, Σκληβανιώτης 2004).



Σχήμα 33. Χωρική κατανομή συγκέντρωσης φθοριούχων ιόντων F σε mg/L (Ξηρή περ. 2013)



Σχήμα 34. Χωρική κατανομή συγκέντρωσης φθοριούχων ιόντων F⁻ σε mg/L (Υγρή περ. 2014)

4.5.10. Σίδηρος (Fe)

Στον πίνακα 21 παρατίθενται τα στατιστικά στοιχεία των συγκεντρώσεων του σιδήρου για τα δείγματα που ελήφθησαν για την περιοχή έρευνας, κατά τα έτη 2013-2014:

Πίνακας 21. Στατιστικά στοιχεία τιμών σιδήρου (μg/L)		
	Ξηρή περ. 2013	Υγρή περ. 2014
ΕΛΑΧΙΣΤΗ	5	5
ΜΕΓΙΣΤΗ	1911	1560
ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	58,8	95,4
ΤΥΠ. ΑΠΟΚΛΙΣΗ	215,78	221,7

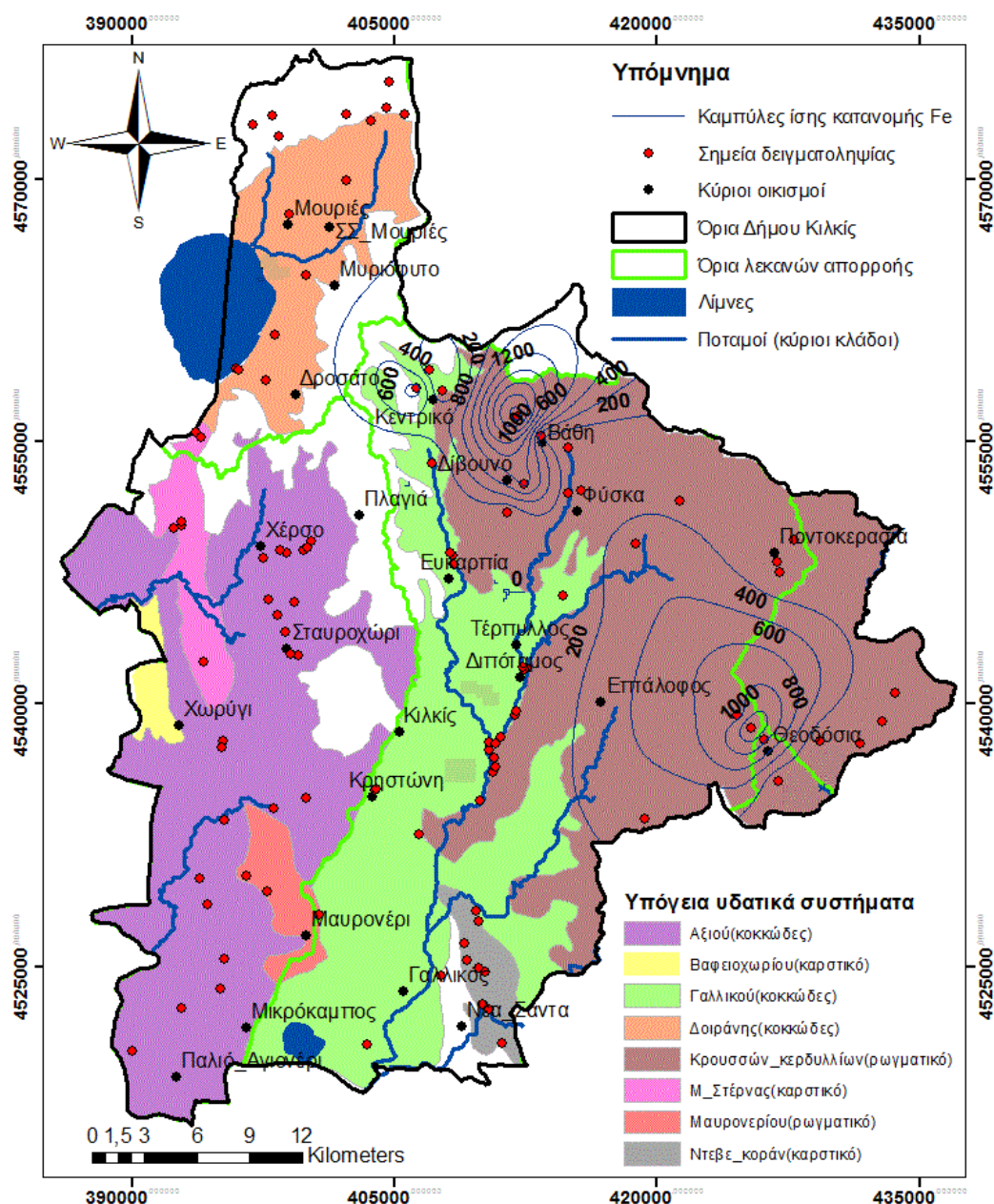
Οι τιμές των συγκεντρώσεων σιδήρου κυμαίνονται, για την ξηρή περίοδο δειγματοληψίας του 2013, από 5 έως 1911 μg/L, με μέση τιμή τα 58,8 μg/L και για την υγρή περίοδο του 2014, από 5 έως 1560 mg/L, με μέση τιμή τα 95,4 μg/L.

Στα σχήματα 35 και 36 παρουσιάζεται η χωρική και χρονική κατανομή του σιδήρου στο υπόγειο νερό, στην περιοχή έρευνας για τις δύο περιόδους δειγματοληψίας, μαζί με τα ιστογράμματα κατανομής της παραμέτρου για την κάθε περίοδο (Ιστ. 25 και 26).

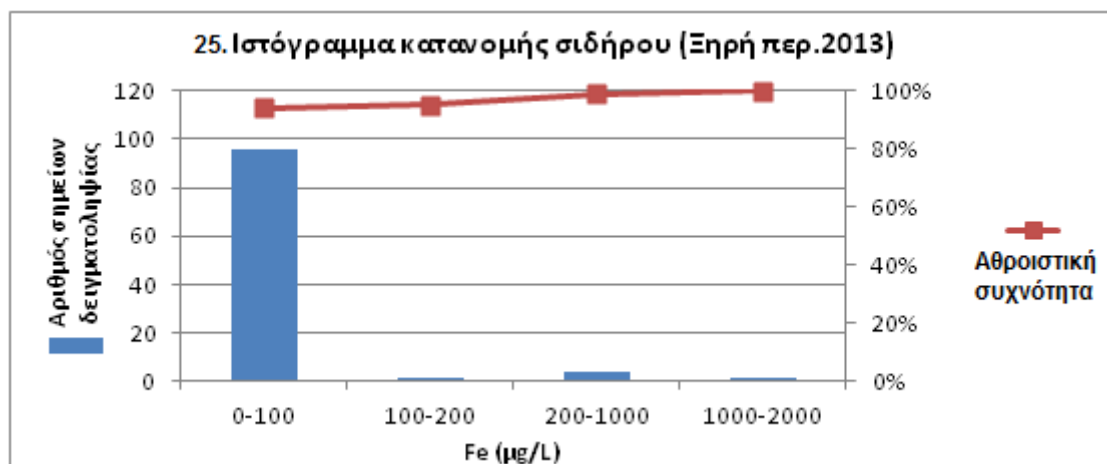
Παρατηρείται ότι ως επί το πλείστον, οι συγκεντρώσεις σιδήρου στα υπόγεια νερά της περιοχής μελέτης, εμφανίζονται χαμηλές έως μη ανιχνεύσιμες και εντός των ορίων που ορίζει η νομοθεσία (<200μg/L). Ωστόσο, στο ΥΥΣ Κρουσσών-Κερδυλλίων, παρατηρούνται πολύ υψηλές συγκεντρώσεις σε αριθμό υδροσημείων, που ξεπερνούν μάλιστα τα ανώτατα νομοθετικά όρια. Τα υδροσημεία αυτά βρίσκονται στην περιοχή Κεντρικού-Βάθης-Δίβουνου-Φύσκα-Αγίου Αντωνίου, καθώς και στην ευρύτερη περιοχή του οικισμού Θεοδοσίων. Η παρουσία αυτή του διαλυμένου σιδήρου, εκτιμάται ότι οφείλεται σε γηγενή προέλευση, όπως διάλυση πετρογενετικών ορυκτών (βιοτίτης, αμφίβολοι, κερροσίλβη), οξειδίων, ανθρακικών ορυκτών ή σε οξείδωση θειούχων ορυκτών που απαντούν σε διάσπαρτους κρυστάλλους στους γνεύσιους (Καλλέργης 2000, Βεράνης 2010). Η παράλληλη παρουσία υψηλών τιμών θειικών ιόντων σε κάποια από αυτά τα υδροσημεία, ενισχύει την άποψη της προέλευσης από τα θειούχα ορυκτά. Στην περιοχή άλλωστε, δεν εκδηλώνεται βιομηχανική ή μεταλλευτική δραστηριότητα που να δικαιολογεί την ύπαρξη σιδήρου από ανθρωπογενή αίτια.

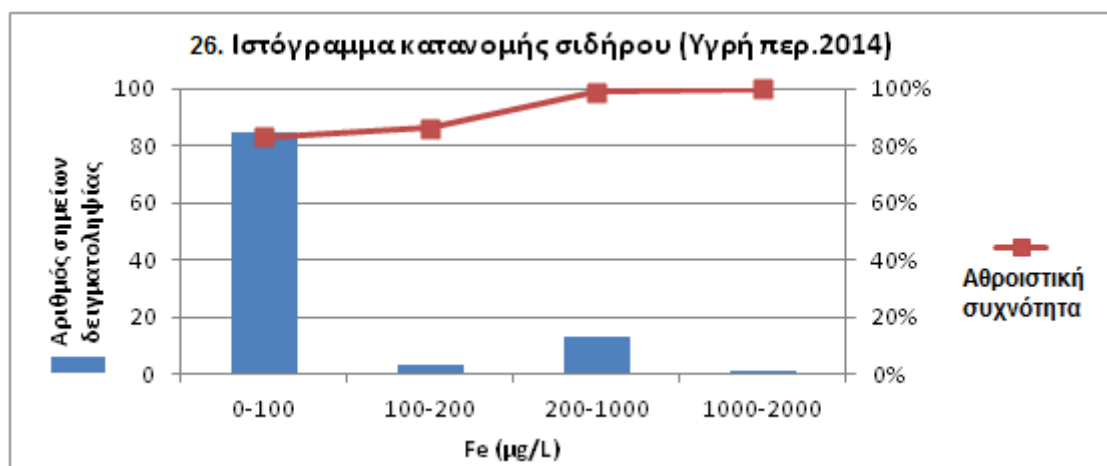
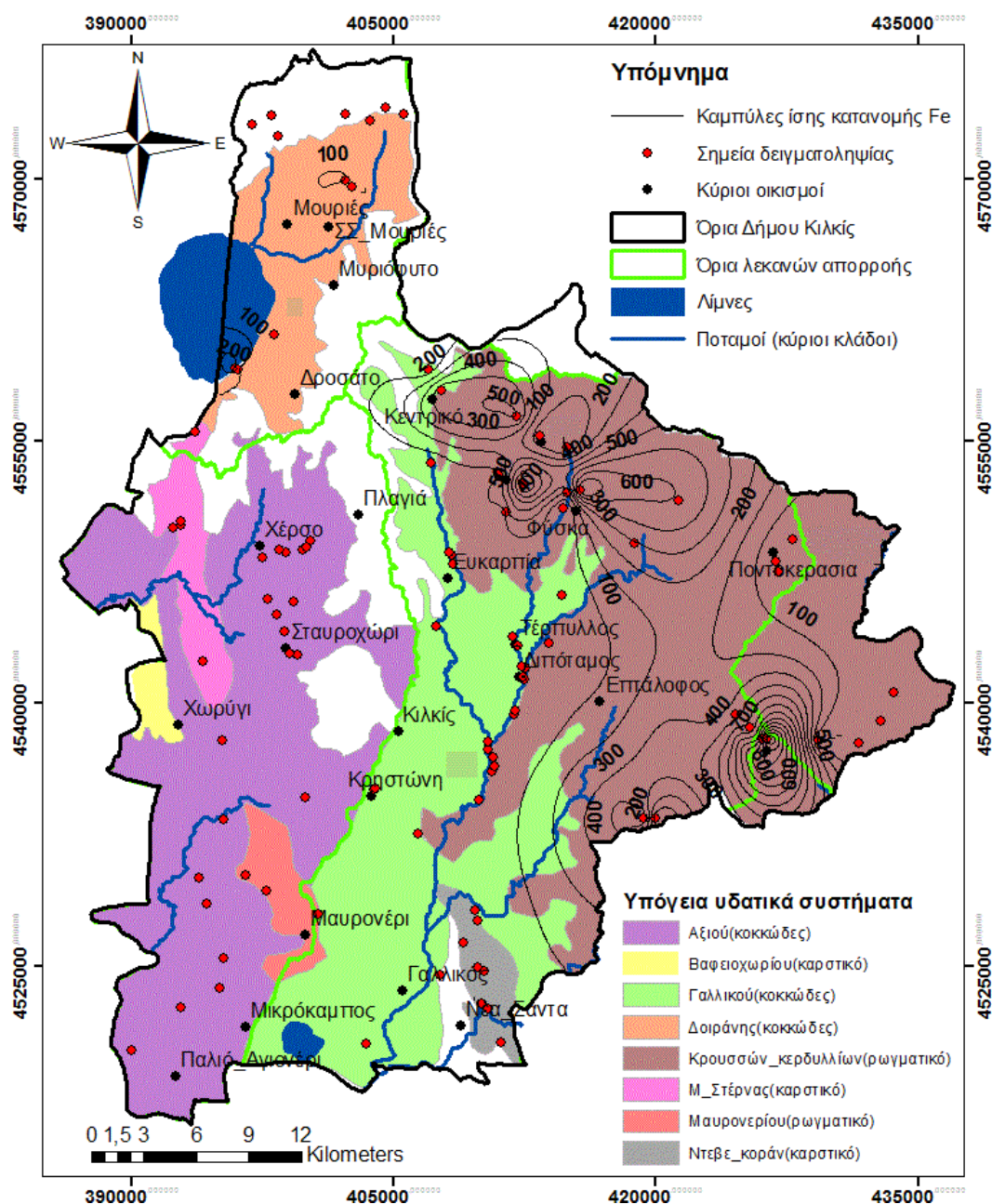
Τα ιόντα σιδήρου βρίσκονται στη δισθενή τους μορφή εντός του υπεδάφους, λόγω έλλειψης οξυγόνου. Όταν αντλούνται στην επιφάνεια, λόγω της οξυγόνωσης που υφίστανται, τα ιόντα σιδήρου που περιέχουν οξειδώνονται σε τρισθενή και κατακρημνίζονται, προσδίδοντας καφέ-κόκκινο χρώμα (Μήτρακας 2001).

Λόγω της φτωχής υδροφορίας του ΥΥΣ Κρουσσών-Κερδυλλίων, οι παραπάνω γεωτρήσεις χρησιμοποιούνται κατ' ανάγκην για να καλύψουν τις υδρευτικές ανάγκες των πληθυσμών της περιοχής, κατόπιν επεξεργασίας με φίλτρα απομάκρυνσης των δύο αυτών μετάλλων. Τέτοιες μονάδες υπάρχουν διάσπαρτες στον ορεινό όγκο των Κρουσσών, πλησίον των οικισμών.



Σχήμα 35. Χωρική κατανομή συγκέντρωσης σιδήρου Fe σε µg/L (Ξηρή περ. 2013)





4.5.11. Μαγγάνιο (Mn)

Η νομοθεσία για την ποιότητα νερού ανθρώπινης κατανάλωσης, κατατάσσει το μαγγάνιο στις ενδεικτικές παραμέτρους και ορίζει ως ανώτατο όριο τα 50 $\mu\text{g/L}$. Και τα δυο σχηματίζουν αδιάλυτα οξείδια σε ουδέτερο και αλκαλικό pH. Η παρουσία μαύρου κοκκοειδούς διοξειδίου του μαγγανίου θεωρείται μη αποδεκτό από τους καταναλωτές αλλά και από τις εταιρείες διανομής καθώς δημιουργεί επικαθίσεις στα δίκτυα διανομής (Μήτρακας 2001, Σκληβανιώτης 2004).

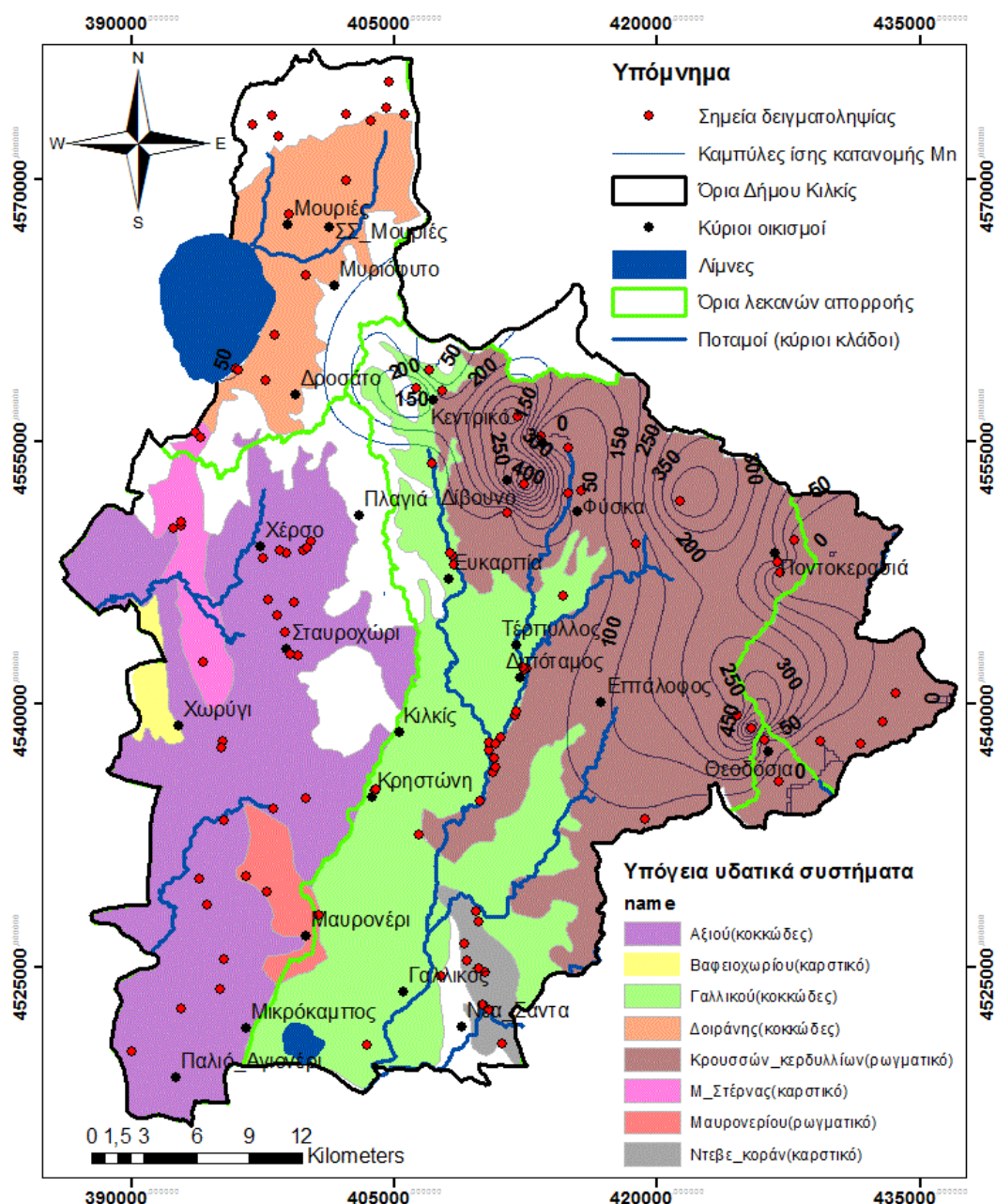
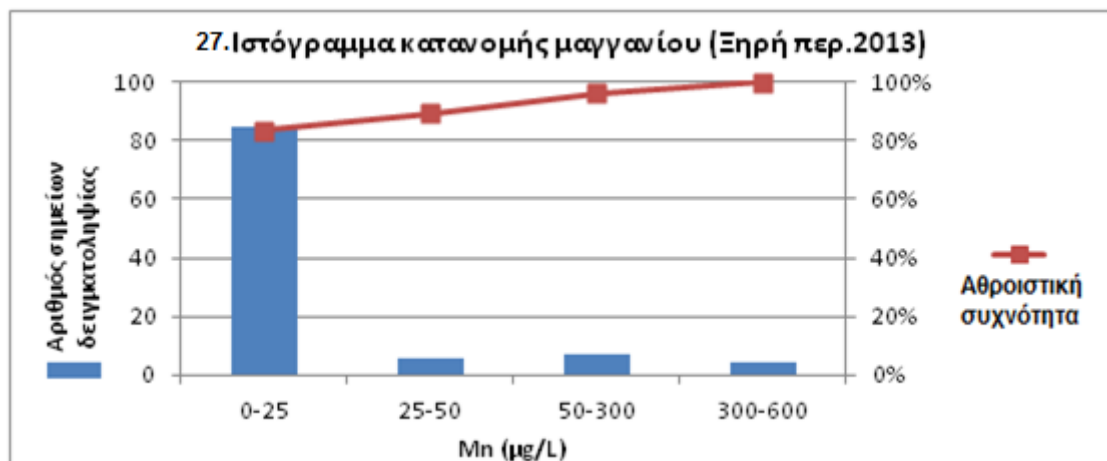
Στον πίνακα 22 παρατίθενται τα στατιστικά στοιχεία των συγκεντρώσεων του μαγγανίου για τα δείγματα που ελήφθησαν κατά τα έτη 2013-2014:

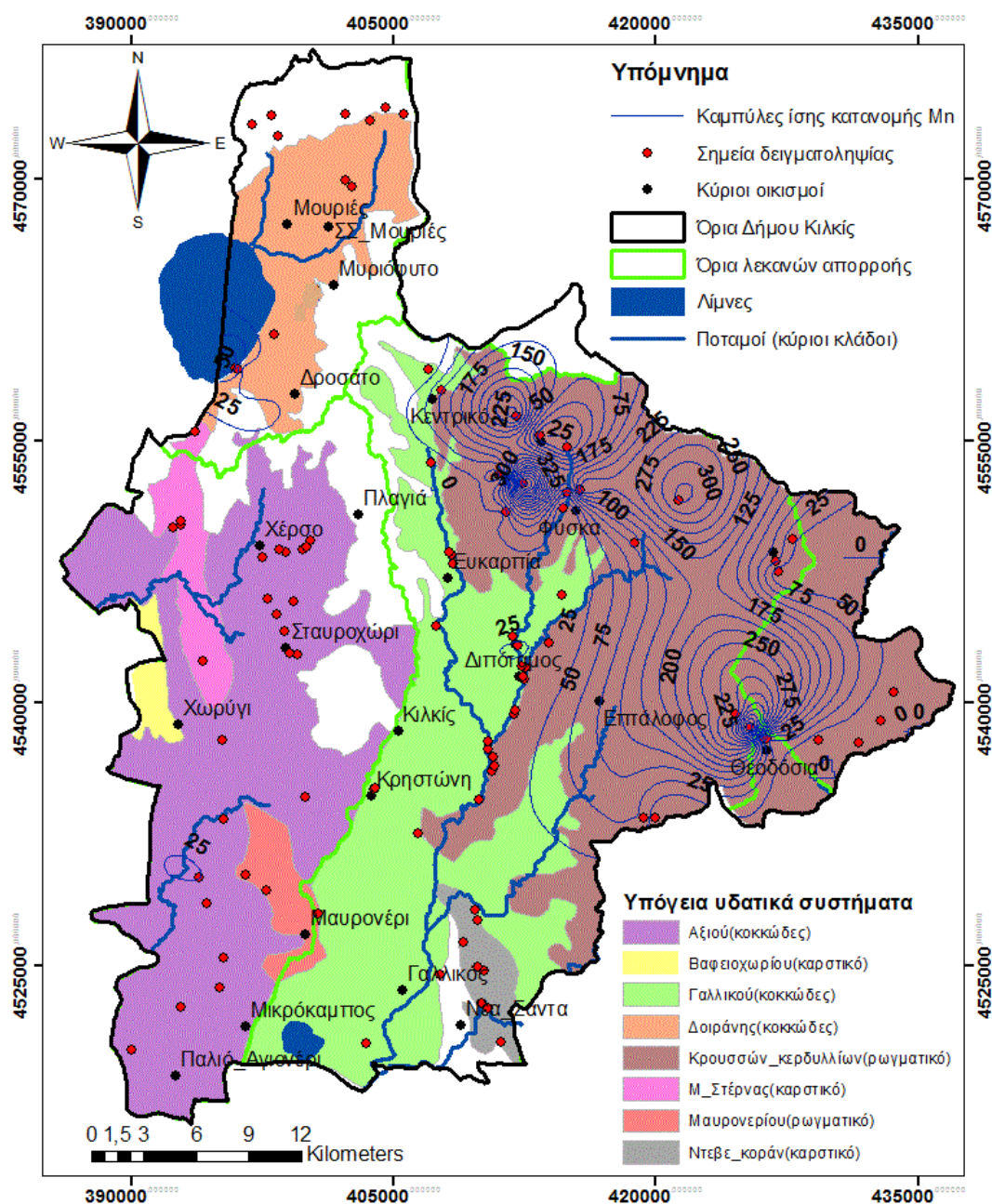
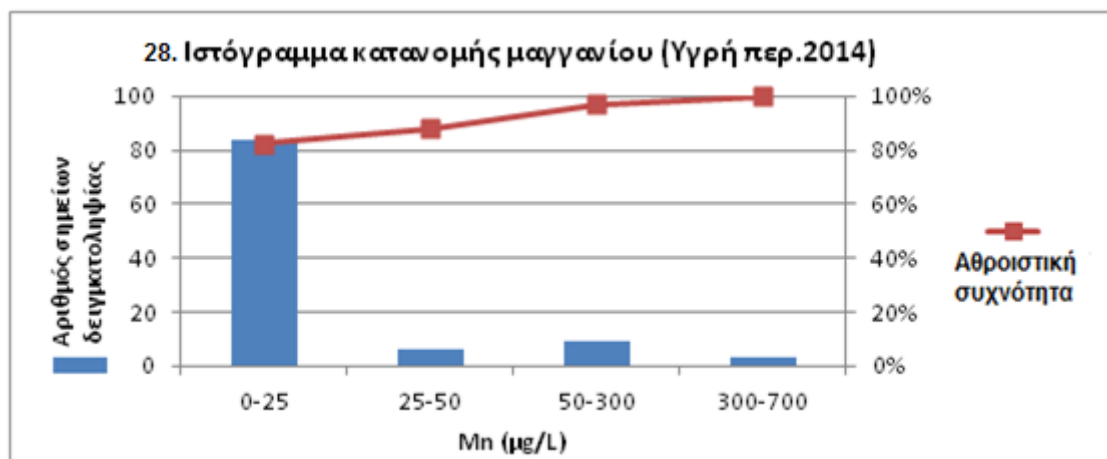
Πίνακας 22. Στατιστικά στοιχεία τιμών μαγγανίου ($\mu\text{g/L}$)		
	Ξηρή περ. 2013	Υγρή περ. 2014
ΕΛΑΧΙΣΤΗ	<5	<5
ΜΕΓΙΣΤΗ	519	456
ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	35,2	31,2
ΤΥΠ. ΑΠΟΚΛΙΣΗ	92	77,5

Οι τιμές των συγκεντρώσεων του μαγγανίου κυμαίνονται, για την ξηρή περίοδο δειγματοληψίας του 2013, από <5 έως 519 $\mu\text{g/L}$, με μέση τιμή τα 35,2 $\mu\text{g/L}$ και για την υγρή περίοδο του 2014, από <5 έως 456 $\mu\text{g/L}$, με μέση τιμή τα 31,2 $\mu\text{g/L}$.

Στα σχήματα 37 και 38 παρουσιάζεται η χωρική και χρονική κατανομή του μαγγανίου στο υπόγειο νερό, στην περιοχή έρευνας για τις δύο περιόδους δειγματοληψίας, μαζί με τα ιστογράμματα κατανομής της παραμέτρου για την κάθε περίοδο (Ιστ. 27 και 28).

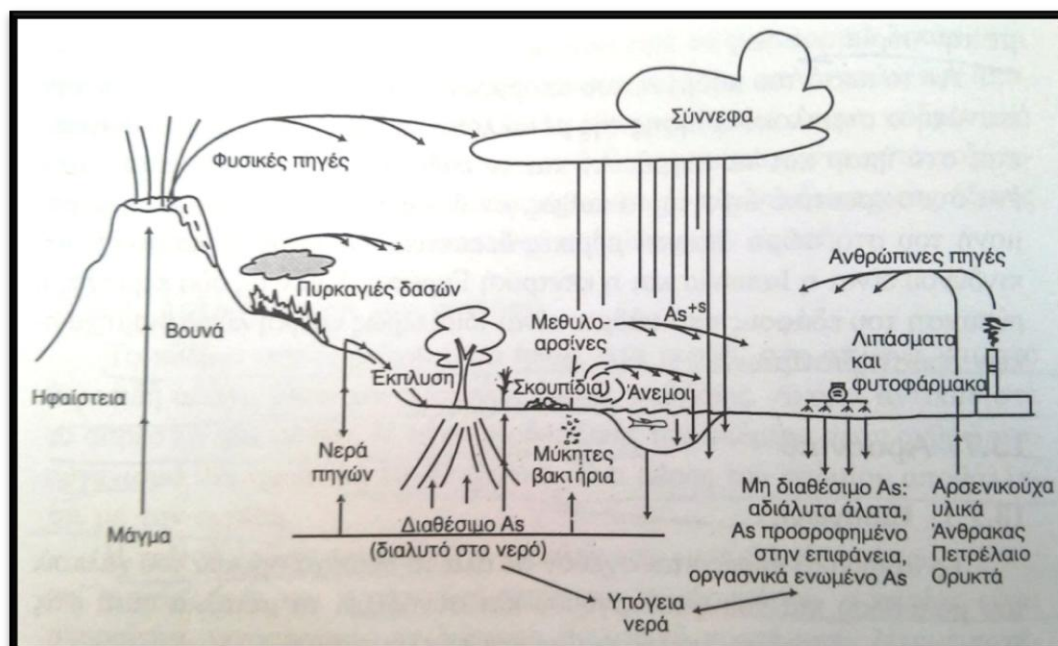
Η παρουσία του μαγγανίου, όπως και του σιδήρου, όπως είδαμε παραπάνω, οφείλεται σε γηγενή ρύπανση, δηλαδή σε υδρόλυση πετρογενετικών ορυκτών ή σε οξείδωση θειούχων ορυκτών που απαντούν στους διάσπαρτους κρυστάλλους των γνεύσιων και αμφίβολων του ΥΥΣ Κρουσσών-Κερδυλλίων (Καλλέργης 2000, Βεράνης 2010). Οι γεωτρήσεις που εμφανίζουν αυξημένες συγκεντρώσεις μαγγανίου, άνω του νομοθετικού ορίου, είναι οι ίδιες που περιέχουν σίδηρο επιβεβαιώνοντας ότι τα δύο αυτά στοιχεία παρουσιάζουν την ίδια περιβαλλοντική χημεία (Σκληβανιώτης 2004). Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, στην περιοχή λειτουργούν φίλτρα απομάκρυνσης σιδήρου και μαγγανίου για τη χρήση των γεωτρήσεων αυτών προς υδροδότηση κάποιων οικισμών του ορεινού όγκου των Κρουσσών.

Σχήμα 37. Χωρική κατανομή συγκέντρωσης μαγγανίου Mn σε $\mu\text{g/L}$ (Ξηρή περ. 2013)

Σχήμα 38. Χωρική κατανομή συγκέντρωσης μαγγανίου Mn σε $\mu\text{g/L}$ (Υγρή περ. 2014)

4.5.12. Αρσενικό (As)

Στο σχήμα που ακολουθεί δίνεται ο βιογαιοχημικός κύκλος του αρσενικού.



Σχήμα 39. Βιογαιοχημικός κύκλος του αρσενικού στη φύση

Το αρσενικό είναι ιδιαίτερα τοξικό για τα ανθρώπινα κύτταρα καθώς εμποδίζει την οξειδωτική τους ικανότητα (Κουιμτζής κ.αλ. 1998, Σκληβανιώτης 2004). Η νομοθεσία για την ποιότητα νερού ανθρώπινης κατανάλωσης, κατατάσσει το αρσενικό στις χημικές παραμέτρους που είναι σημαντικές για την υγεία και ορίζει ως ανώτατο όριο τα 10 µg/L.

Κατά την ξηρή περίοδο του 2013, οι μετρήσεις του αρσενικού πραγματοποιήθηκαν σε 102 δείγματα πηγών υδροληψίας της περιοχής έρευνας. Το 94% των αποτελεσμάτων, βρέθηκε εντός των ορίων που θεσπίζει η νομοθεσία. Το υπόλοιπο 6% των αποτελεσμάτων, κυμάνθηκαν μεταξύ 15 και 25 µg/L (Ιστ. 29) γεγονός που οδήγησε στην ανάγκη μιας πιο ενδελεχούς διερεύνησης του φαινομένου στις περιοχές εμφάνισης του αρσενικού, εκτός των ανώτατων νομοθετικών ορίων. Σε αυτό το σημείο αξίζει να σημειωθεί, ότι επειδή πρόκειται για υδρευτικές γεωτρήσεις τεσσάρων οικισμών του Δήμου Κιλκίς, οι υπερβάσεις γνωστοποιήθηκαν στους καταναλωτές από τη Δ.Ε.Υ.Α. Κιλκίς και λήφθηκαν μέτρα για την αντικατάσταση των πηγών υδροληψίας.

Την αμέσως επόμενη περίοδο δειγματοληψίας, δείγματα νερού ελήφθησαν από τις υδρευτικές γεωτρήσεις που παρουσίασαν τις υπερβάσεις, αλλά και από άλλες πηγές και γεωτρήσεις πλησίον αυτών. Η δειγματοληψία περιορίστηκε στις περιοχές με τις υπερβάσεις και ο αριθμός των δειγμάτων διαμορφώθηκε σε 21.

Στον πίνακα 23 παρατίθενται τα στατιστικά στοιχεία των συγκεντρώσεων του αρσενικού για τα δείγματα που ελήφθησαν κατά την ξηρή περίοδο του 2013 από την περιοχή έρευνας:

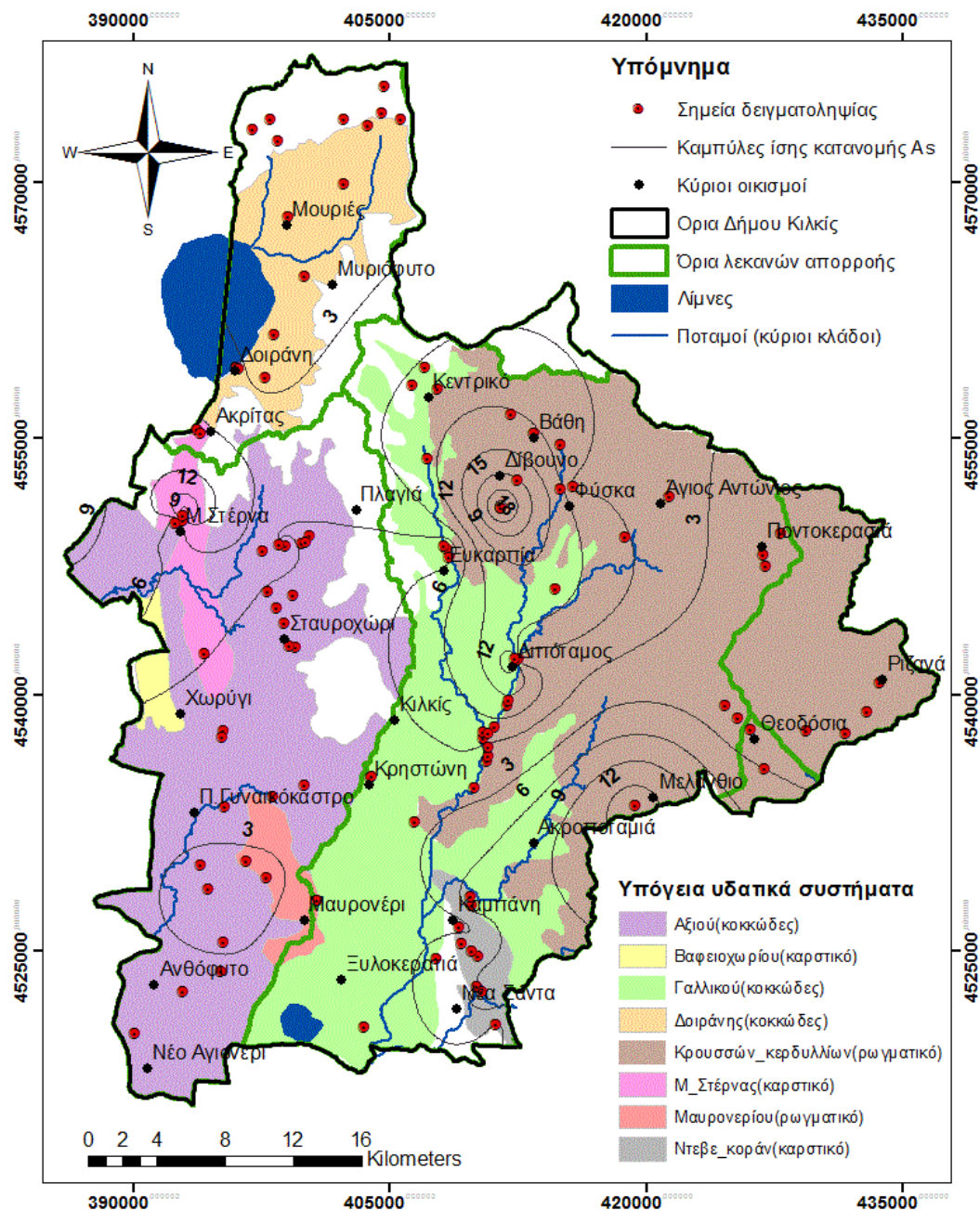
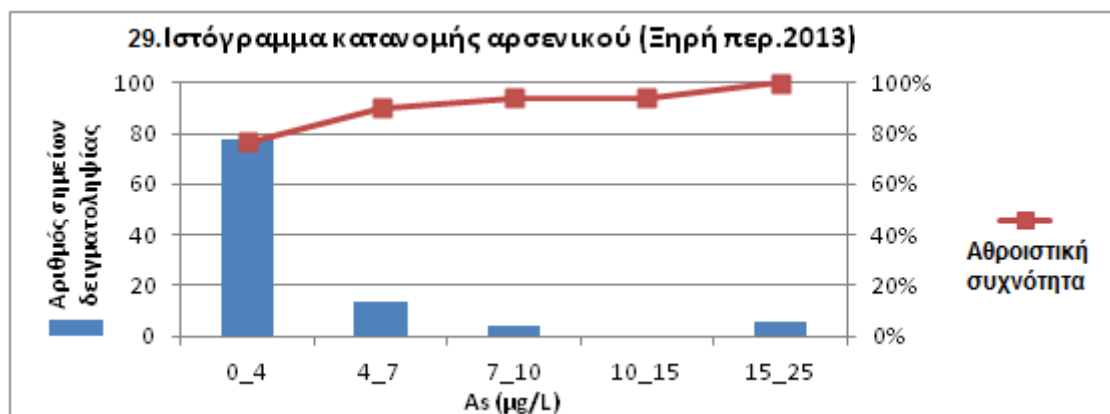
Πίνακας 23. Στατιστικά στοιχεία τιμών αρσενικού (μg/L)	
	Ξηρή περ. 2013
ΕΛΑΧΙΣΤΗ	<0,5
ΜΕΓΙΣΤΗ	23,2
ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	2,8
ΤΥΠ. ΑΠΟΚΛΙΣΗ	4,39

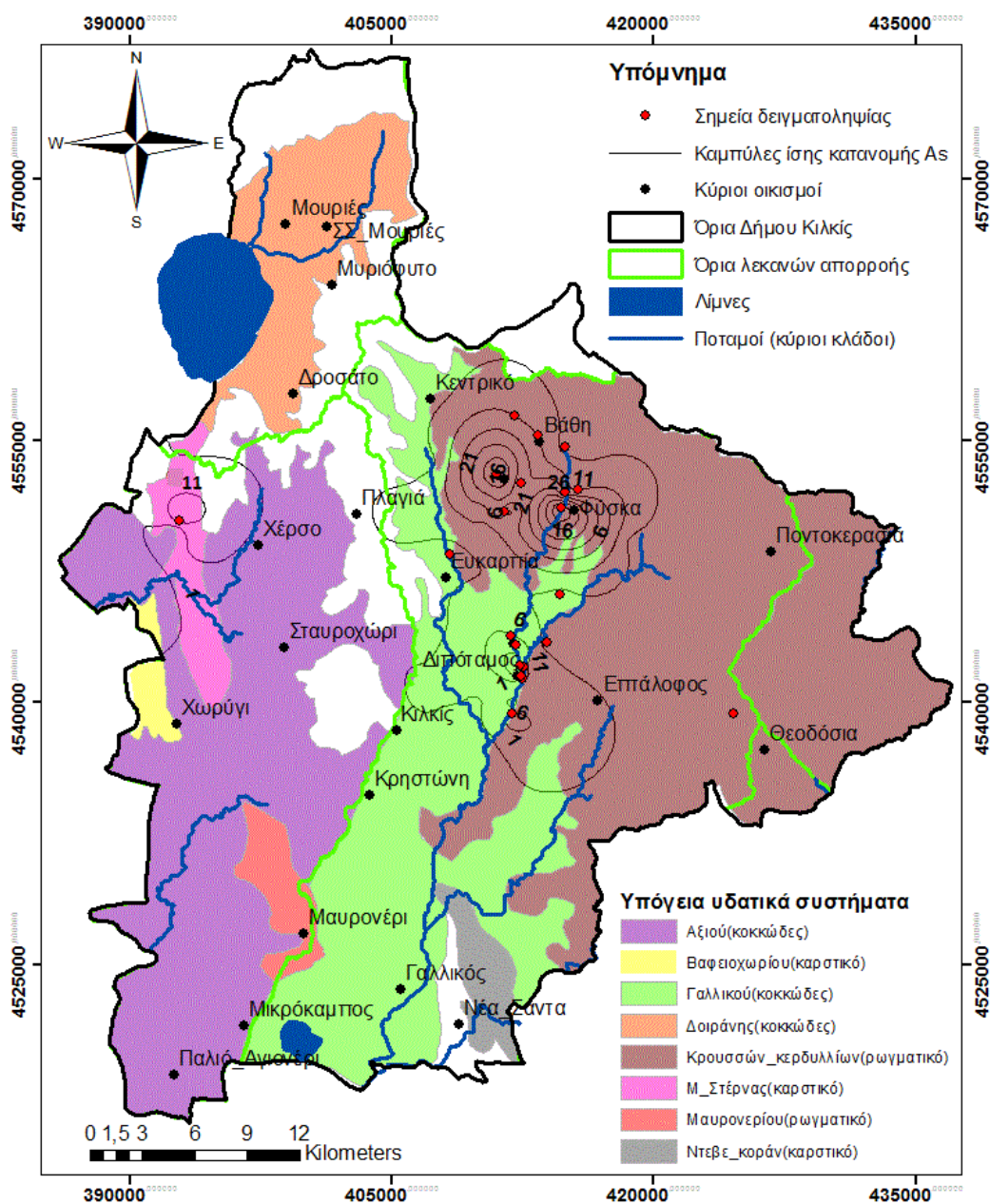
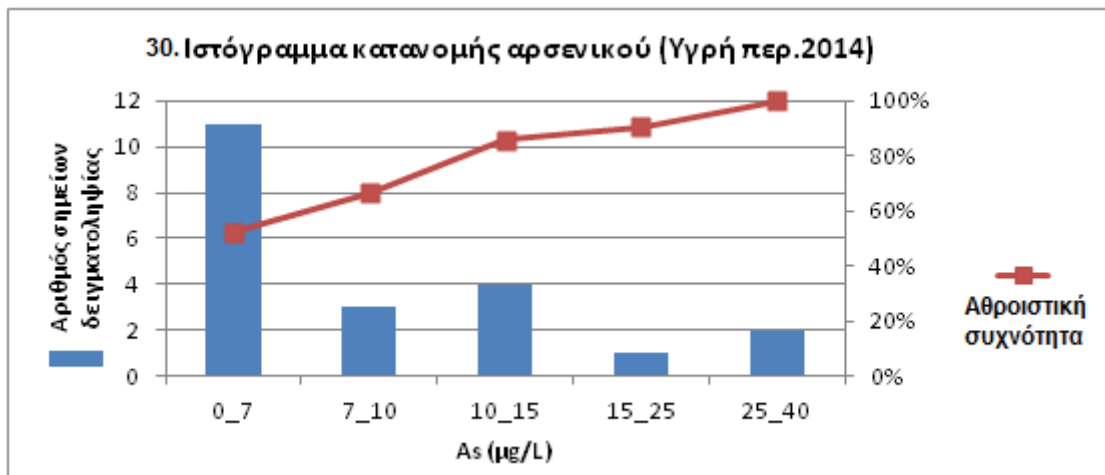
Οι τιμές των συγκεντρώσεων του αρσενικού κυμαίνονται από <0,5 έως 23,2 μg/L, με μέση τιμή τα 2,8 μg/L.

Στα σχήματα 40 και 41 παρουσιάζεται η χωρική και χρονική κατανομή του αρσενικού στο υπόγειο νερό, στην περιοχή έρευνας για τις δύο περιόδους δειγματοληψίας, μαζί με τα ιστογράμματα κατανομής της παραμέτρου για την κάθε περίοδο (Ιστ. 29 και 30).

Οι υψηλότερες τιμές εμφανίζονται στο ΥΥΣ Κρουσσών-Κερδυλλίων, σε έναν άξονα με διεύθυνση βορρά-νότου ανατολικά του Δήμου Κιλκίς. Στην περιοχή αυτή δεν καταγράφονται γεωθερμικά ρευστά που θα μπορούσαν να δικαιολογούν τις αυξημένες τιμές (Webster et al. 2003). Κουιμτζής κ.αλ. 1998). Η πιο πιθανή πηγή ανθρωπογενούς ρύπανσης, θα μπορούσε να είναι η ανεξέλεγκτη διάθεση στο περιβάλλον του τριοξειδίου του αρσενικού (As_2O_3), που αποτελεί πρώτη ύλη για την παρασκευή μυκητοκτόνων, εντομοκτόνων, συντηρητικών ξυλείας, προσθετικών τροφίμων, καθώς και φαρμάκων για τον άνθρωπο και τα ζώα (Κουιμτζής κ.αλ. 1998). Τα κρυσταλλικά πετρώματα στην περιοχή διαθέτουν πολύ μικρό πρωτογενές πορώδες, που καθιστά τα πετρώματα κατά τόπους αδιαπέρατα, συνεπώς δεν επιτρέπεται εύκολα την διείσδυση ενός επιφανειακού ρύπου στο υπόγειο νερό. Συνεπώς, φαίνεται ότι το αρσενικό είναι γηγενούς προέλευσης και συναντάται σε διάσπαρτους κρυστάλλους των γνεύσιων της περιοχής (Κουρτίδου κ.αλ. 2014). Οι φυσικές πηγές του αρσενικού είναι κυρίως η σήψη της φυτικής ύλης και η ηφαιστειακή δραστηριότητα. Περιέχεται σχεδόν σε όλα τα θειούχα ορυκτά του χαλκού, του μόλυβδου και του ψευδάργυρου και συνοδεύει τα μέταλλα αυτά σε διαδικασίες εξόρυξης, επεξεργασίας και εμπλουτισμού (Webster et al. 2003).

Μεμονωμένη περίπτωση εμφάνισης αρσενικού αποτελεί μία γεώτρηση που δε χρησιμοποιείται για υδρευτικούς σκοπούς και ανήκει στο ΥΥΣ της Μ.Στέρνας, όπου αναπτύσσονται εναλλαγές φυλλιτών και ασβεστολίθων. Η παρουσία αυτή αποδίδεται και πάλι σε φυσικά αίτια, καθώς στην περιοχή δεν αναπτύσσονται αγροτικές ή μεταλλευτικές δραστηριότητες που να δικαιολογούν ανθρωπογενή ρύπανση.

Σχήμα 40. Χωρική κατανομή συγκέντρωσης αρσενικού As σε $\mu\text{g/L}$ (Ξηρή περ. 2013)

Σχήμα 41. Χωρική κατανομή συγκέντρωσης αρσενικού As σε $\mu\text{g/L}$ (Υγρή περ. 2014)

4.6. ΙΟΝΤΙΚΟΙ ΛΟΓΟΙ

Οι ιοντικοί λόγοι αποτελούν ένα σημαντικό εργαλείο που δίνει χρήσιμες πληροφορίες για την προέλευση των υπόγειων νερών (Βουδούρης 2009). Στους ιοντικούς λόγους, οι συγκεντρώσεις των ιόντων εκφράζονται σε meq/L.

Οι ιοντικοί λόγοι που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία, είναι οι Mg/Ca, Na/K, και (Ca+Mg)/(Na+K). Για την ερμηνεία των ιοντικών λόγων και τη χωρική κατανομή των τιμών τους παρατίθενται πίνακες με τις τιμές των λόγων καθώς και θεματικοί χάρτες με τη χωρική κατανομή του κάθε λόγου, για κάθε περίοδο δειγματοληψίας.

4.6.1. Ιοντικός λόγος Mg/Ca

Ο λόγος αυτός αποσαφηνίζει εάν το υπόγειο νερό προέρχεται από ασβεστολιθικά ή μαγνησιούχα πετρώματα (Σούλιος 2006). Ανάλογα με τις τιμές του λόγου έχουμε:

Mg/Ca<0,5-0,7 → νερά από ασβεστολιθικούς υδροφόρους

Mg/Ca=0,7-0,9 → νερά από δολομιτικούς υδροφόρους

Mg/Ca>0,9 → νερά από οφιολιθικούς υδροφόρους ή γενικά πυριτικούς υδροφόρους πλούσιους σε Mg.

Στα υπόγεια νερά, συνήθως οι συγκεντρώσεις των ιόντων ασβεστίου είναι μεγαλύτερες από τις συγκεντρώσεις των ιόντων μαγνησίου (Καλλιώρας 2007).

Στους επόμενους πίνακες παρατίθενται οι τιμές του ιοντικού λόγου Mg/Ca και ακολουθούν οι αντίστοιχοι χάρτες (Σχήματα 42 και 43) όπου παρουσιάζεται η χωρική και χρονική κατανομή του λόγου στο υπόγειο νερό για τα δείγματα που ελήφθησαν κατά τα έτη 2013-2014:

Πίνακας 24. Ιοντικός λόγος Mg/Ca για την ξηρή περίοδο έτους 2013

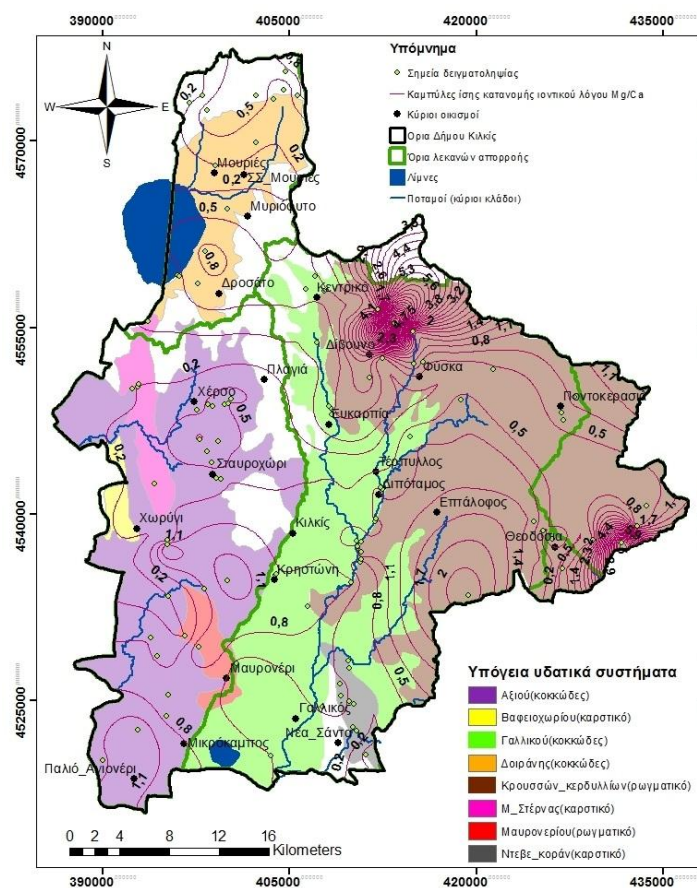
Κωδικός σημείου δειγματοληψίας	Mg/Ca	Κωδικός σημείου δειγματοληψίας	Mg/Ca	Κωδικός σημείου δειγματοληψίας	Mg/Ca	Κωδικός σημείου δειγματοληψίας	Mg/Ca
ΔΓΚΑΓ1	0,58	ΓΕ12	0,77	ΔΚΘΕΓ25	0,79	ΔΜΜΡΓ1	0,20
ΔΓΝΣΓ10	0,27	ΓΕ14	0,47	ΔΚΘΕΓ26	0,99	ΔΜΜΡΠΗ1	0,22
ΔΓΝΣΓ8	0,40	ΓΕ15	0,88	ΔΚΘΕΠΗ5	0,58	ΔΜΜΡΠΗ2	0,66
ΔΓΝΣΓ9	0,33	ΓΕ17	0,94	ΔΚΘΕΠΗ6	0,39	ΔΜΜΡΠΗ4	0,15
ΔΓΧΡΓ6	0,26	ΓΕ18	0,74	ΔΚΘΕΠΗ7	6,70	ΔΜΜΥΓ3	0,37
ΔΓΧΡΓ7	0,38	ΓΕ20	0,82	ΔΚΘΕΠΗ8	0,42	ΔΜΣΣΜΡΓ2	0,25
ΔΓΓΑΓ11	0,54	ΓΕ22	0,82	ΔΚΘΕΠΗ9	0,39	ΔΜΣΣΜΡΠΗ5	0,66
ΔΓΓΑΓ3	0,45	ΓΕ23	0,83	ΔΚΚΕΓ4	0,66	ΔΠΚΑΓ10	0,46
ΔΓΓΑΓ4	0,47	ΓΕ25	0,84	ΔΚΚΕΓ6	0,74	ΔΠΚΑΓ9	0,20
ΔΓΓΑΓ5	0,60	ΓΕ26	0,83	ΔΚΚΕΓ8	0,76	ΔΠΜΑΓ6	0,97
ΔΔΑΚΓ6	0,26	ΓΕ30	2,15	ΔΚΚΘΠ6	1,05	ΔΠΜΑΓ7	0,61
ΔΔΑΜΓ4	0,85	ΓΕ31	0,20	ΔΚΚΟΠΗ3	0,69	ΔΠΜΙΓ1	0,71
ΔΔΔΡΓ1	0,42	ΓΕ32	1,23	ΔΚΜΕΓ11	0,60	ΔΠΜΙΓ5	0,45
ΔΔΔΡΓ3	0,69	ΓΕ35	1,28	ΔΚΠΑΠΗ2	0,72	ΔΠΝΓΓ15	0,46
ΔΔΔΡΓ2	0,47	ΓΕ33	0,41	ΔΚΠΑΠΗ1	0,63	ΔΠΝΑΓ4	1,08

(Συνέχεια Πίνακα 24)

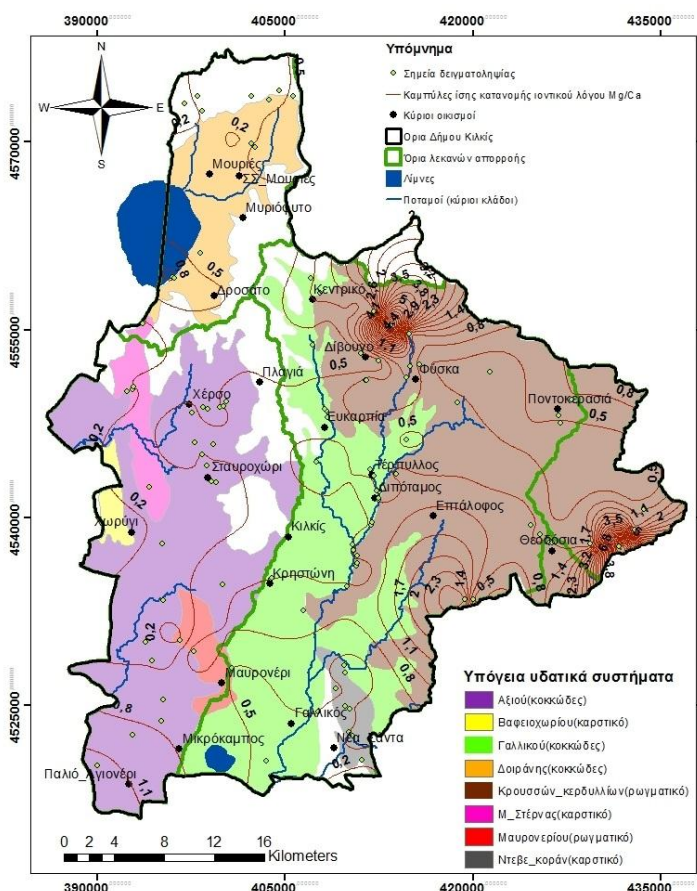
Κωδικός σημείου δειγματοληψίας	Mg/Ca	Κωδικός σημείου δειγματοληψίας	Mg/Ca	Κωδικός σημείου δειγματοληψίας	Mg/Ca	Κωδικός σημείου δειγματοληψίας	Mg/Ca
ΓΕ01	0,22	ΓΕ37	0,80	ΔΚΠΟΓ12	0,83	ΔΠΞΥΓ11	0,50
ΓΕ02	0,28	ΔΚΑΑΓ9	0,45	ΔΚΤΕΓ16	0,73	ΔΠΠΑΓ12	1,27
ΓΕ03	0,33	ΔΚΑΝΓ1	0,33	ΔΚΤΕΓ17	0,79	ΔΧΗΛΓ7	0,45
ΓΕ04	0,67	ΔΚΑΝΓ5	0,46	ΔΚΦΥΓ22	0,68	ΔΧΗΦΓ5	0,24
ΓΕ05	0,75	ΔΚΒΑΓ21	0,58	ΔΚΦΥΓ23	0,37	ΔΧΜΣΓ6	0,15
ΓΕ06	0,56	ΔΚΒΑΠΗ4	10,68	ΔΚΦΥΠ7	1,01	ΔΧΜΣΠΗ1	0,12
ΓΕ07	0,82	ΔΚΔΙΓ14	0,90	ΔΚΧΕΙΠ2	0,40	ΔΧΠΛΓ1	0,62
ΓΕ09	0,57	ΔΚΕΠΓ18	0,64	ΔΜΑΠΠΗ10	0,74	ΔΧΠΛΓ2	0,56
ΓΕ10	0,57	ΔΚΕΥΠ4	0,45	ΔΜΑΠΠΗ9	0,73	ΔΧΠΛΓ3	0,50
ΓΕ11	0,99	ΔΚΘΕΓ24	0,46	ΔΜΑΣΠΗ7	0,39	ΔΧΧΕΓ8	0,53
				ΔΜΚΑΠΗ8	0,26	ΔΧΧΕΓ9	0,53

Πίνακας 25. Ιοντικός λόγος Mg/Ca για την υγρή περίοδο έτους 2014

Κωδικός σημείου δειγματοληψίας	Mg/Ca	Κωδικός σημείου δειγματοληψίας	Mg/Ca	Κωδικός σημείου δειγματοληψίας	Mg/Ca	Κωδικός σημείου δειγματοληψίας	Mg/Ca
ΔΓΚΑΓ1	0,55	ΓΕ17	0,79	ΔΚΘΕΠΗ7	7,96	ΔΜΚΑΠΗ8	0,39
ΔΓΝΣΓ10	0,26	ΓΕ20	0,77	ΔΚΘΕΠΗ9	0,80	ΔΜΜΡΠΗ1	0,25
ΔΓΝΣΓ8	0,43	ΓΕ23	0,94	ΔΚΚΕΓ6	0,92	ΔΜΜΡΠΗ2	0,22
ΔΓΝΣΓ9	0,68	ΓΕ25	0,66	ΔΚΚΕΓ8	0,74	ΔΜΜΡΠΗ4	0,11
ΔΓΧΡΓ6	0,35	ΓΕ26	0,83	ΔΚΚΘΠ6	0,88	ΔΜΣΣΜΡΓ2	0,30
ΔΓΧΡΓ7	0,42	ΓΕ29	0,81	ΔΚΚΟΠΗ3	0,46	ΔΜΣΣΜΡΠΗ5	0,40
ΔΓΓΑΓ11	0,50	ΓΕ30	2,32	ΔΚΜΕΓ11	0,55	ΔΠΚΑΓ10	0,45
ΔΓΓΑΓ3	0,47	ΓΕ31	0,33	ΔΚΠΑΠΗ1	0,43	ΔΠΚΑΓ9	0,20
ΔΓΓΑΓ4	0,38	ΓΕ32	0,73	ΔΚΠΑΠΗ2	0,59	ΔΠΜΑΓ6	0,93
ΔΔΑΚΓ6	0,17	ΓΕ33	0,45	ΔΚΠΟΓ12	0,77	ΔΠΜΑΓ7	0,64
ΔΔΑΜΓ4	0,33	ΔΚΑΑΓ9	0,33	ΔΚΤΕΓ17	0,85	ΔΠΜΙΓ1	0,74
ΔΔΔΡΓ1	0,83	ΔΚΑΝΓ1	0,39	ΔΚΤΕΓ28	0,81	ΔΠΜΙΓ5	0,50
ΔΔΔΡΓ2	0,66	ΔΚΑΝΓ5	0,69	ΔΚΦΥΓ22	0,66	ΔΠΝΑΓ4	1,17
ΓΕ01	0,24	ΔΚΒΑΓ21	0,63	ΔΚΦΥΓ23	0,45	ΔΠΝΓΓ15	0,36
ΓΕ02	0,28	ΔΚΒΑΠΗ4	6,97	ΔΚΦΥΠ7	1,12	ΔΠΞΥΓ11	0,44
ΓΕ03	0,59	ΔΚΔΙΓ14	0,86	ΔΚΧΕΙΠ2	0,77	ΔΠΠΑΓ12	0,90
ΓΕ04	0,50	ΔΚΔΙΓ15	0,94	γε σαλονικιδη	0,88	ΔΧΗΛΓ7	0,59
ΓΕ05	0,83	ΔΚΕΠΓ18	0,54	γε αλεξογλου	0,77	ΔΧΗΦΓ5	0,17
ΓΕ06	0,50	ΔΚΕΥΠ4	0,66	πηγη αγιασμα	0,84	ΔΧΜΣΓ6	0,21
ΓΕ07	0,83	ΔΚΕΥΠ5	0,95	πηγη τσατακι	0,71	ΔΧΜΣΠΗ1	0,08
ΓΕ09	0,59	ΔΚΘΕΓ24	0,66	πηγη κοτετσι	1,09	ΔΧΠΛΓ1	0,49
ΓΕ10	0,50	ΔΚΘΕΓ25	0,94	πηγη μεταλλειο	0,32	ΔΧΠΛΓ2	0,56
ΓΕ11	0,99	ΔΚΘΕΓ29	0,79	ΔΜΑΠΠΗ9	0,59	ΔΧΠΛΓ3	0,50
ΓΕ12	0,74	ΔΚΘΕΓ26	0,91	ΔΜΑΣΓ5	0,69	ΔΧΧΕΓ8	0,26
ΓΕ14	0,40	ΔΚΘΕΠΗ5	0,54	ΔΜΑΣΠΗ7	0,41	ΔΧΧΕΓ9	0,38
ΓΕ15	0,99	ΔΚΘΕΠΗ6	0,93				



Σχήμα 42. Χωρική κατανομή ιοντικού λόγου Mg/Ca (Ξηρή περ. 2013)



Σχήμα 43. Χωρική κατανομή ιοντικού λόγου Mg/Ca (Υγρή περ. 2014)

Από τις κατανομές του ιοντικού λόγου στους θεματικούς χάρτες των δύο περιόδων δειγματοληψίας, παρατηρούνται τιμές μεγαλύτερες του 0,9, ανατολικά της περιοχής έρευνας, στο ΥΥΣ Κρουσσών-Κερδυλλίων, όπου υποδηλώνεται προέλευση των υδάτων από πυριτικούς υδροφόρους, πλούσιους σε μαγνήσιο. Στην περιοχή αυτή αναπτύσσονται μεταμορφωμένα πετρώματα όπου υπάρχουν διάσπαρτα οφιολιθικά σώματα.

Στα βόρεια, νότια και δυτικά τμήματα της λεκάνης, δηλαδή στο μεγαλύτερο τμήμα του Δήμου, τα υπόγεια ύδατα προέρχονται από δολομιτικούς ή ασβεστολιθικούς υδροφόρους. Στις εκτάσεις μάλιστα που υπάρχει επιφανειακή εμφάνιση ασβεστολίθων, δηλαδή στα ΥΥΣ Στέρνας και Ντεβέ-Κοράν, οι τιμές του λόγου κυμαίνονται μεταξύ 0,4 με 0,7.

4.6.2. Ιοντικός λόγος Na/K

Ο λόγος Na/K δηλώνει εάν το νερό είναι θαλασσινό ή βρόχινο ή αν υπάρχει περιοχή εμπλουτισμού των υδροφορέων. Οι τιμές του λόγου διαμορφώνονται ως εξής (Σούλιος 2006, Λαμπράκης 1991):

Na/K ≤ 10 → βρόχινο νερό

Na/K = 15-25 → νερά σε περιοχή εμπλουτισμού υδροφορέων

Na/K = 47 → θαλασσινό νερό

Na/K = 50-70 → νερό σε κατάντη τμήμα υδροφορέα σε σχέση με τη διεύθυνση ροής, παλαιό νερό.

Στους πίνακες 26 και 27 παρατίθενται οι τιμές του ιοντικού λόγου Na/K και ακολουθούν οι αντίστοιχοι χάρτες (Σχήματα 44 και 45) όπου παρουσιάζεται η χωρική και χρονική κατανομή του λόγου στο υπόγειο νερό για τα δείγματα που ελήφθησαν κατά τα έτη 2013-2014:

Πίνακας 26. Ιοντικός λόγος Na/K για την ξηρή περίοδο έτους 2013

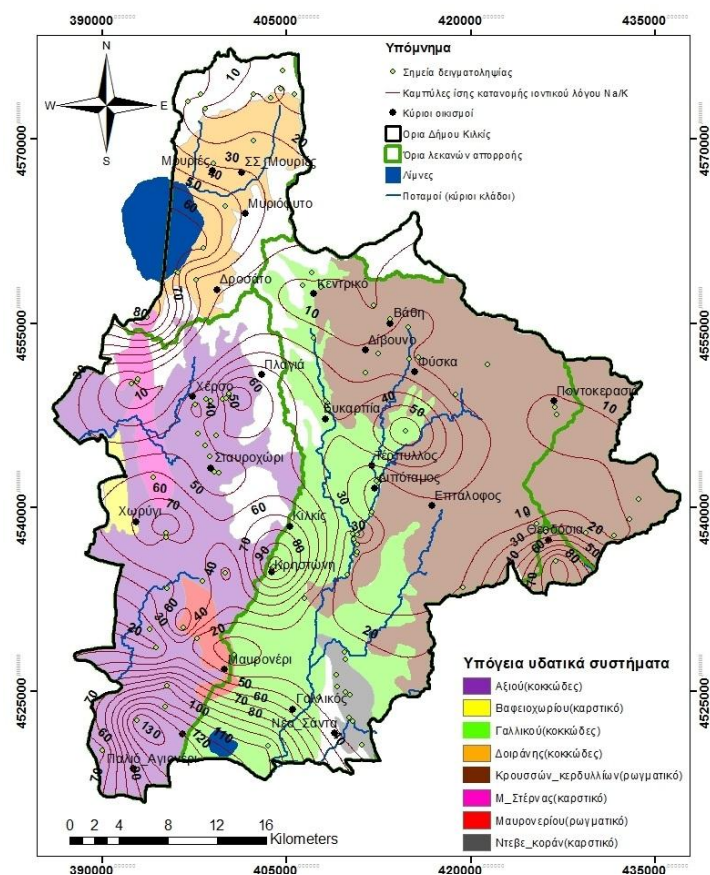
Κωδικός σημείου δειγματοληψίας	Na/K	Κωδικός σημείου δειγματοληψίας	Na/K	Κωδικός σημείου δειγματοληψίας	Na/K	Κωδικός σημείου δειγματοληψίας	Na/K
ΔΓΚΑΓ1	24,00	ΓΕ12	15,16	ΔΚΘΕΓ25	21,04	ΔΜΜΡΓ1	28,90
ΔΓΝΣΓ10	25,50	ΓΕ14	30,60	ΔΚΘΕΓ26	5,33	ΔΜΜΡΠΗ1	21,25
ΔΓΝΣΓ8	23,80	ΓΕ15	17,00	ΔΚΘΕΠΗ5	17,71	ΔΜΜΡΠΗ2	8,50
ΔΓΝΣΓ9	22,37	ΓΕ17	17,44	ΔΚΘΕΠΗ6	10,94	ΔΜΜΡΠΗ4	20,24
ΔΓΧΡΓ6	25,50	ΓΕ18	11,20	ΔΚΘΕΠΗ7	7,65	ΔΜΜΥΓ3	46,57
ΔΓΧΡΓ7	24,00	ΓΕ20	36,72	ΔΚΘΕΠΗ8	83,06	ΔΜΣΣΜΡΓ2	23,54
ΔΓΓΑΓ11	26,15	ΓΕ22	37,00	ΔΚΘΕΠΗ9	14,52	ΔΜΣΣΜΡΠΗ5	10,20
ΔΓΓΑΓ3	28,33	ΓΕ23	97,14	ΔΚΚΕΓ4	5,70	ΔΠΚΑΓ10	19,27
ΔΓΓΑΓ4	24,16	ΓΕ25	88,64	ΔΚΚΕΓ6	6,01	ΔΠΚΑΓ9	65,38
ΔΓΓΑΓ5	24,56	ΓΕ26	12,75	ΔΚΚΕΓ8	16,15	ΔΠΜΑΓ6	26,15
ΔΔΑΚΓ6	86,89	ΓΕ30	11,17	ΔΚΚΘΠ6	16,48	ΔΠΜΑΓ7	88,58
ΔΔΑΜΓ4	60,00	ΓΕ31	46,75	ΔΚΚΟΠΗ3	57,20	ΔΠΜΙΓ1	103,62
ΔΔΔΡΓ1	68,00	ΓΕ32	38,09	ΔΚΜΕΓ11	8,54	ΔΠΜΙΓ5	14,57
ΔΔΔΡΓ2	42,50	ΓΕ33	32,11	ΔΚΠΑΠΗ1	13,39	ΔΠΝΑΓ4	58,73
ΔΔΔΡΓ3	30,22	ΓΕ35	54,78	ΔΚΠΑΠΗ2	13,01	ΔΠΝΓΓ15	26,27

(Συνέχεια Πίνακα 26)

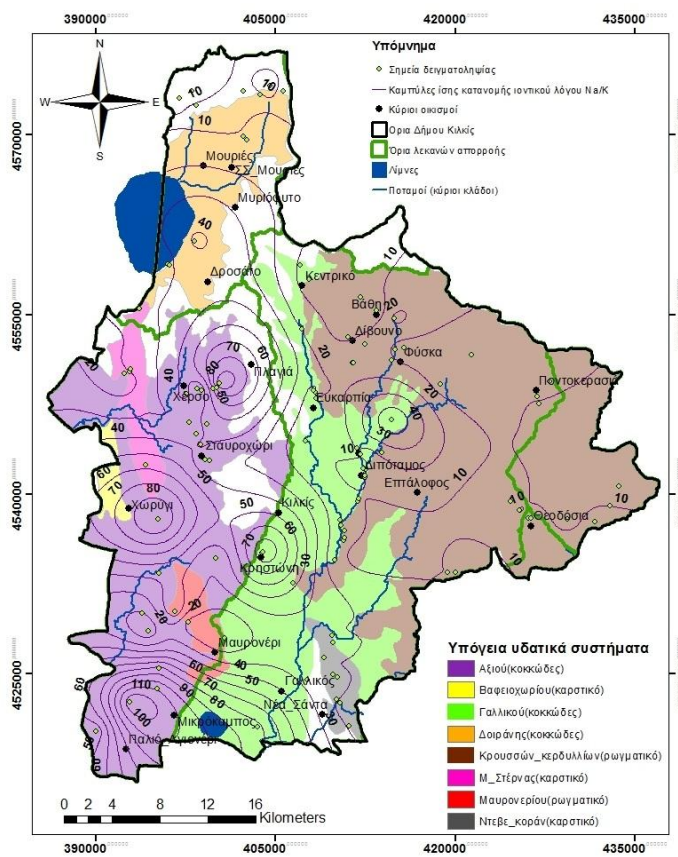
Κωδικός σημείου δειγματοληψίας	Na/K	Κωδικός σημείου δειγματοληψίας	Na/K	Κωδικός σημείου δειγματοληψίας	Na/K	Κωδικός σημείου δειγματοληψίας	Na/K
ΓΕ01	80,75	ΓΕ37	54,89	ΔΚΠΟΓ12	7,52	ΔΠΞΥΓ11	97,14
ΓΕ02	53,43	ΔΚΑΑΓ9	5,55	ΔΚΤΕΓ16	6,00	ΔΠΠΑΓ12	136,00
ΓΕ03	11,87	ΔΚΑΝΓ1	14,96	ΔΚΤΕΓ17	7,48	ΔΧΗΛΓ7	41,70
ΓΕ04	10,06	ΔΚΑΝΓ5	27,41	ΔΚΦΥΓ22	7,65	ΔΧΗΦΓ5	15,42
ΓΕ05	10,26	ΔΚΒΑΓ21	10,63	ΔΚΦΥΓ23	14,95	ΔΧΜΣΓ6	15,30
ΓΕ06	37,64	ΔΚΒΑΠΗ4	5,00	ΔΚΦΥΠ7	12,97	ΔΧΜΣΠΗ1	4,86
ΓΕ07	8,89	ΔΚΔΙΓ14	16,56	ΔΚΧΕΙΠ2	28,71	ΔΧΠΛΓ1	46,55
ΓΕ09	47,60	ΔΚΕΠΓ18	7,33	ΔΜΑΠΠΗ10	5,67	ΔΧΠΛΓ2	63,41
ΓΕ10	34,65	ΔΚΕΥΠ4	29,24	ΔΜΑΠΠΗ9	5,67	ΔΧΠΛΓ3	60,44
ΓΕ11	36,13	ΔΚΘΕΓ24	13,67	ΔΜΑΣΠΗ7	9,35	ΔΧΧΕΓ8	31,65
				ΔΜΚΑΠΗ8	10,82	ΔΧΧΕΓ9	33,40

Πίνακας 27. Ιοντικός λόγος Na/K για την υγρή περίοδο έτους 2014

Κωδικός σημείου δειγματοληψίας	Na/K	Κωδικός σημείου δειγματοληψίας	Na/K	Κωδικός σημείου δειγματοληψίας	Na/K	Κωδικός σημείου δειγματοληψίας	Na/K
ΔΓΚΑΓ1	21,34	ΓΕ17	14,52	ΔΚΘΕΠΗ7	6,93	ΔΜΚΑΠΗ8	12,61
ΔΓΝΣΓ10	19,00	ΓΕ20	32,87	ΔΚΘΕΠΗ9	13,85	ΔΜΜΡΠΗ1	15,30
ΔΓΝΣΓ8	22,17	ΓΕ23	55,05	ΔΚΚΕΓ6	5,38	ΔΜΜΡΠΗ2	9,01
ΔΓΝΣΓ9	17,57	ΓΕ25	96,33	ΔΚΚΕΓ8	8,89	ΔΜΜΡΠΗ4	13,18
ΔΓΧΡΓ6	26,35	ΓΕ26	14,68	ΔΚΚΘΠ6	21,34	ΔΜΣΣΜΡΓ2	11,13
ΔΓΧΡΓ7	21,25	ΓΕ29	16,54	ΔΚΚΟΠΗ3	46,28	ΔΜΣΣΜΡΠΗ5	9,27
ΔΓΓΑΓ11	27,07	ΓΕ30	11,18	ΔΚΜΕΓ11	5,90	ΔΠΚΑΓ10	14,42
ΔΓΓΑΓ3	23,48	ΓΕ31	43,27	ΔΚΠΑΠΗ1	13,43	ΔΠΚΑΓ9	46,75
ΔΓΓΑΓ4	23,48	ΓΕ32	31,78	ΔΚΠΑΠΗ2	6,58	ΔΠΜΑΓ6	17,13
ΔΔΑΚΓ6	27,77	ΓΕ33	33,15	ΔΚΠΟΓ12	6,40	ΔΠΜΑΓ7	73,67
ΔΔΑΜΓ4	40,80	ΔΚΑΑΓ9	5,59	ΔΚΤΕΓ17	8,62	ΔΠΜΙΓ1	98,60
ΔΔΔΡΓ1	25,93	ΔΚΑΝΓ1	20,00	ΔΚΤΕΓ28	10,20	ΔΠΜΙΓ5	11,69
ΔΔΔΡΓ2	28,77	ΔΚΑΝΓ5	23,51	ΔΚΦΥΓ22	7,08	ΔΠΝΑΓ4	44,46
ΓΕ01	89,25	ΔΚΒΑΓ21	8,93	ΔΚΦΥΓ23	13,05	ΔΠΝΓΓ15	19,43
ΓΕ02	58,29	ΔΚΒΑΠΗ4	4,53	ΔΚΦΥΠ7	8,50	ΔΠΞΥΓ11	72,00
ΓΕ03	13,00	ΔΚΔΙΓ14	14,51	ΔΚΧΕΙΠ2	18,46	ΔΠΠΑΓ12	116,17
ΓΕ04	12,59	ΔΚΔΙΓ15	15,02	γε σαλονικιδη	11,48	ΔΧΗΛΓ7	41,59
ΓΕ05	10,37	ΔΚΕΠΓ18	10,20	γε αλεξογλου	11,16	ΔΧΗΦΓ5	18,55
ΓΕ06	41,00	ΔΚΕΥΠ4	16,17	πηγη αγιασμα	23,03	ΔΧΜΣΓ6	28,33
ΓΕ07	10,27	ΔΚΕΥΠ5	12,18	πηγη τσατακι	20,92	ΔΧΜΣΠΗ1	12,24
ΓΕ09	44,63	ΔΚΘΕΓ24	10,32	πηγη κοτετσι	11,27	ΔΧΠΛΓ1	51,00
ΓΕ10	35,10	ΔΚΘΕΓ25	6,24	πηγη μεταλλειο	9,21	ΔΧΠΛΓ2	87,91
ΓΕ11	42,50	ΔΚΘΕΓ29	6,42	ΔΜΑΠΠΗ9	7,15	ΔΧΠΛΓ3	80,14
ΓΕ12	14,17	ΔΚΘΕΓ26	5,04	ΔΜΑΣΓ5	13,60	ΔΧΧΕΓ8	36,43
ΓΕ14	33,15	ΔΚΘΕΠΗ5	12,45	ΔΜΑΣΠΗ7	9,43	ΔΧΧΕΓ9	33,00
ΓΕ15	16,06	ΔΚΘΕΠΗ6	10,20				



Σχήμα 44. Χωρική κατανομή ιοντικού λόγου Na/K (Ξηρή περ. 2013)



Σχήμα 45. Χωρική κατανομή ιοντικού λόγου Na/K (Υγρή περ. 2014)

Από τους θεματικούς χάρτες για τις δύο περιόδους δειγματοληψίας, φαίνεται ότι ο ιοντικός λόγος στους γνεύσιους του ΥΥΣ Κρουσσών-Κερδυλλίων και στο βόρειο τμήμα της περιοχής μελέτης, είναι μικρότερος από 10, κατά σημεία, κάτι που υποδεικνύει βρόχινο νερό, δηλαδή μικρό χρόνο παραμονής του νερού μέσα στον υδροφορέα που αναπτύσσεται στα πετρώματα αυτά.

Οι αυξημένες τιμές του λόγου, στην υπόλοιπη περιοχή, δεν οφείλονται σε φυσικές διαδικασίες αλλά σε ανθρωπογενείς ρυπαντικές δραστηριότητες, όπως έχει ήδη προαναφερθεί.

4.6.3. Ιοντικός λόγος (Ca+Mg)/(Na+K)

Ο ιοντικός λόγος (Ca+Mg)/(Na+K) σχετίζεται με την τροφοδοσία του υπόγειου νερού και δηλώνει εάν είναι φρέσκο (συνεχής τροφοδοσία) ή παλιό (Σούλιος 2006). Ανάλογα με την τιμή του λόγου έχουμε:

$(Ca+Mg)/(Na+K) < 1 \rightarrow$ παλιό νερό στα κατάντη τμήματα του υδροφορέα ως προς τη διεύθυνση ροής

$(Ca+Mg)/(Na+K) > 1 \rightarrow$ υδροφόρο στρώμα με συνεχή τροφοδοσία

Στους πίνακες 28 και 29 παρατίθενται οι τιμές του ιοντικού λόγου (Ca+Mg)/(Na+K) και ακολουθούν οι αντίστοιχοι χάρτες (Σχήματα 46 και 47) όπου παρουσιάζεται η χωρική και χρονική κατανομή του λόγου στο υπόγειο νερό για τα δείγματα που ελήφθησαν κατά τα έτη 2013-2014:

Πίνακας 28. Ιοντικός λόγος (Ca+Mg)/(Na+K) για την ξηρή περίοδο έτους 2013

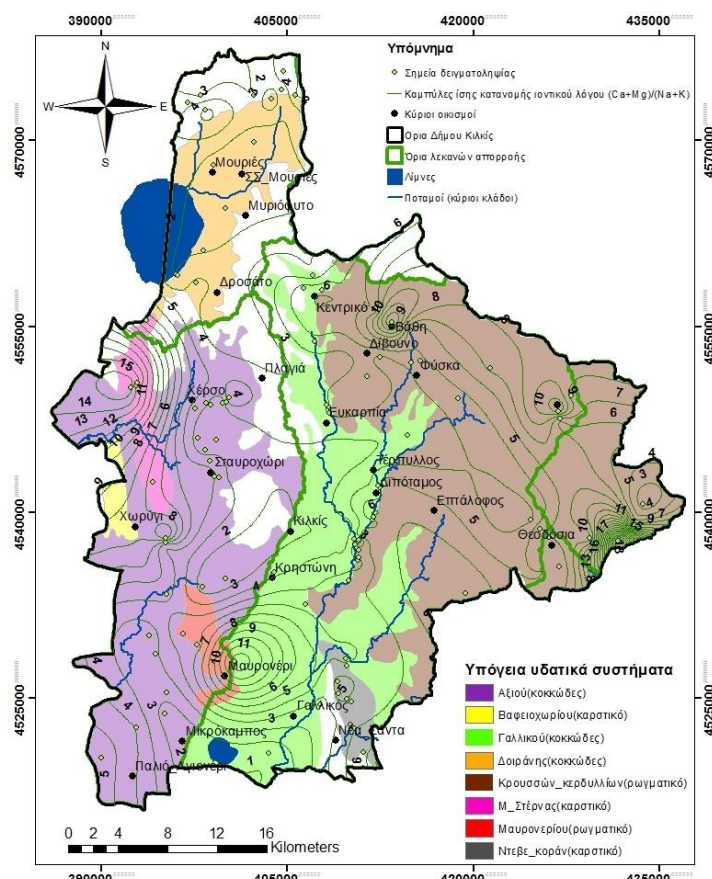
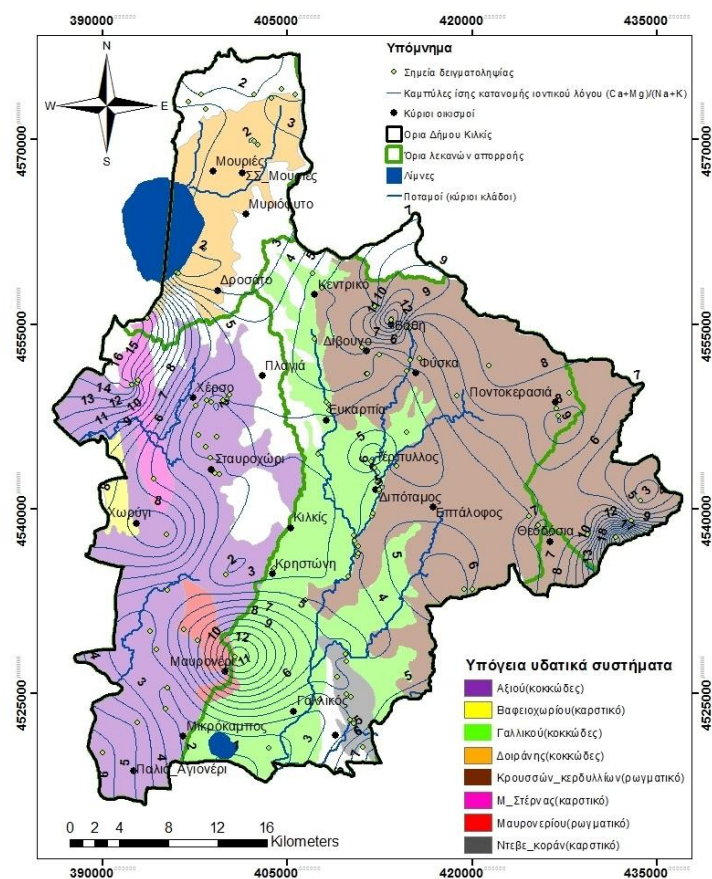
Κωδικός σημείου δειγματοληψίας	(Ca+Mg)/(Na+K)	Κωδικός σημείου δειγματοληψίας	(Ca+Mg)/(Na+K)	Κωδικός σημείου δειγματοληψίας	(Ca+Mg)/(Na+K)	Κωδικός σημείου δειγματοληψίας	(Ca+Mg)/(Na+K)
ΔΓΚΑΓ1	5,70	ΓΕ12	4,18	ΔΚΘΕΓ25	5,98	ΔΜΜΡΓ1	1,57
ΔΓΝΣΓ10	5,90	ΓΕ14	3,46	ΔΚΘΕΓ26	3,87	ΔΜΜΡΠΗ1	1,93
ΔΓΝΣΓ8	4,41	ΓΕ15	4,61	ΔΚΘΕΠΗ5	6,61	ΔΜΜΡΠΗ2	4,11
ΔΓΝΣΓ9	4,93	ΓΕ17	3,80	ΔΚΘΕΠΗ6	5,11	ΔΜΜΡΠΗ4	2,63
ΔΓΧΡΓ6	4,43	ΓΕ18	5,62	ΔΚΘΕΠΗ7	23,26	ΔΜΜΥΓ3	1,57
ΔΓΧΡΓ7	5,33	ΓΕ20	2,57	ΔΚΘΕΠΗ8	5,31	ΔΜΣΣΜΡΓ2	1,23
ΔΓΓΑΓ11	3,76	ΓΕ22	1,87	ΔΚΘΕΠΗ9	2,62	ΔΜΣΣΜΡΠΗ5	2,09
ΔΓΓΑΓ3	4,44	ΓΕ23	2,61	ΔΚΚΕΓ4	5,44	ΔΠΚΑΓ10	2,83
ΔΓΓΑΓ4	5,07	ΓΕ25	2,99	ΔΚΚΕΓ6	5,77	ΔΠΚΑΓ9	4,89
ΔΓΓΑΓ5	5,43	ΓΕ26	4,68	ΔΚΚΕΓ8	3,52	ΔΠΜΑΓ6	4,64
ΔΔΑΚΓ6	6,72	ΓΕ30	6,96	ΔΚΚΘΠ6	5,67	ΔΠΜΑΓ7	2,29
ΔΔΑΜΓ4	1,96	ΓΕ31	4,20	ΔΚΚΟΠΗ3	3,16	ΔΠΜΙΓ1	1,71
ΔΔΔΡΓ1	2,04	ΓΕ32	1,40	ΔΚΜΕΓ11	4,65	ΔΠΜΙΓ5	11,47
ΔΔΔΡΓ2	2,25	ΓΕ33	4,07	ΔΚΠΑΠΗ1	6,11	ΔΠΝΑΓ4	5,46
ΔΔΔΡΓ3	3,15	ΓΕ35	3,73	ΔΚΠΑΠΗ2	10,60	ΔΠΝΓΓ15	2,47
ΓΕ01	9,33	ΓΕ37	1,63	ΔΚΠΟΓ12	7,76	ΔΠΞΥΓ11	1,28
ΓΕ02	6,57	ΔΚΑΑΓ9	7,16	ΔΚΤΕΓ16	4,46	ΔΠΠΑΓ12	3,89
ΓΕ03	3,67	ΔΚΑΝΓ1	4,70	ΔΚΤΕΓ17	4,42	ΔΧΗΛΓ7	3,45
ΓΕ04	4,28	ΔΚΑΝΓ5	4,60	ΔΚΦΥΓ22	4,82	ΔΧΗΦΓ5	13,29

(Συνέχεια Πίνακα 28)

Κωδικός σημείου δειγματοληψίας	(Ca+Mg) / (Na+K)	Κωδικός σημείου δειγματοληψίας	(Ca+Mg) / (Na+K)	Κωδικός σημείου δειγματοληψίας	(Ca+Mg) / (Na+K)	Κωδικός σημείου δειγματοληψίας	(Ca+Mg) / (Na+K)
ΓΕ05	4,54	ΔΚΒΑΓ21	6,38	ΔΚΦΥΓ23	3,89	ΔΧΜΣΓ6	14,40
ΓΕ06	3,61	ΔΚΒΑΠΗ4	11,96	ΔΚΦΥΠ7	4,26	ΔΧΜΣΠΗ1	15,32
ΓΕ07	6,10	ΔΚΔΙΓ14	4,79	ΔΚΧΕΙΠ2	3,88	ΔΧΠΛΓ1	2,15
ΓΕ09	2,41	ΔΚΕΠΓ18	5,57	ΔΜΑΠΠΗ10	3,42	ΔΧΠΛΓ2	4,37
ΓΕ10	2,53	ΔΚΕΥΠ4	4,03	ΔΜΑΠΠΗ9	3,90	ΔΧΠΛΓ3	3,96
ΓΕ11	4,73	ΔΚΘΕΓ24	5,75	ΔΜΑΣΠΗ7	3,78	ΔΧΧΕΓ8	2,62
				ΔΜΚΑΠΗ8	2,59	ΔΧΧΕΓ9	3,21

Πίνακας 29. Ιοντικός λόγος (Ca+Mg)/(Na+K) για την υγρή περίοδο έτους 2014

Κωδικός σημείου δειγματοληψίας	(Ca+Mg) / (Na+K)	Κωδικός σημείου δειγματοληψίας	(Ca+Mg) / (Na+K)	Κωδικός σημείου δειγματοληψίας	(Ca+Mg) / (Na+K)	Κωδικός σημείου δειγματοληψίας	(Ca+Mg) / (Na+K)
ΔΓΚΑΓ1	5,42	ΓΕ17	3,77	ΔΚΘΕΠΗ7	19,65	ΔΜΚΑΠΗ8	2,39
ΔΓΝΣΓ10	6,67	ΓΕ20	2,46	ΔΚΘΕΠΗ9	2,82	ΔΜΜΡΠΗ1	1,96
ΔΓΝΣΓ8	3,96	ΓΕ23	2,32	ΔΚΚΕΓ6	5,91	ΔΜΜΡΠΗ2	3,44
ΔΓΝΣΓ9	3,79	ΓΕ25	2,67	ΔΚΚΕΓ8	5,03	ΔΜΜΡΠΗ4	2,76
ΔΓΧΡΓ6	4,14	ΓΕ26	3,73	ΔΚΚΘΠ6	5,94	ΔΜΣΣΜΡΓ2	1,99
ΔΓΧΡΓ7	5,27	ΓΕ29	4,81	ΔΚΚΟΠΗ3	3,49	ΔΜΣΣΜΡΠΗ5	1,94
ΔΓΓΑΓ11	3,40	ΓΕ30	6,74	ΔΚΜΕΓ11	6,47	ΔΠΚΑΓ10	3,22
ΔΓΓΑΓ3	4,56	ΓΕ31	3,53	ΔΚΠΑΠΗ1	8,94	ΔΠΚΑΓ9	5,53
ΔΓΓΑΓ4	4,71	ΓΕ32	2,07	ΔΚΠΑΠΗ2	7,67	ΔΠΜΑΓ6	6,79
ΔΔΑΚΓ6	15,41	ΓΕ33	3,66	ΔΚΠΟΓ12	7,74	ΔΠΜΑΓ7	2,01
ΔΔΑΜΓ4	2,30	ΔΚΑΑΓ9	8,25	ΔΚΤΕΓ17	4,46	ΔΠΜΙΓ1	1,92
ΔΔΔΡΓ1	2,66	ΔΚΑΝΓ1	5,47	ΔΚΤΕΓ28	4,13	ΔΠΜΙΓ5	12,70
ΔΔΔΡΓ2	2,02	ΔΚΑΝΓ5	4,84	ΔΚΦΥΓ22	5,64	ΔΠΝΑΓ4	6,34
ΓΕ01	8,88	ΔΚΒΑΓ21	7,08	ΔΚΦΥΓ23	4,77	ΔΠΝΓΓ15	2,73
ΓΕ02	6,03	ΔΚΒΑΠΗ4	13,25	ΔΚΦΥΠ7	5,97	ΔΠΞΥΓ11	1,32
ΓΕ03	3,83	ΔΚΔΙΓ14	5,28	ΔΚΧΕΙΠ2	4,47	ΔΠΠΑΓ12	4,66
ΓΕ04	3,51	ΔΚΔΙΓ15	5,21	γε σαλονικιδη	5,32	ΔΧΗΛΓ7	3,91
ΓΕ05	4,53	ΔΚΕΠΓ18	4,88	γε αλεξογλου	3,91	ΔΧΗΦΓ5	11,64
ΓΕ06	2,95	ΔΚΕΥΠ4	4,44	πηγη αγιασμα	3,67	ΔΧΜΣΓ6	12,89
ΓΕ07	4,76	ΔΚΕΥΠ5	3,55	πηγη τσατακι	6,03	ΔΧΜΣΠΗ1	16,55
ΓΕ09	2,14	ΔΚΘΕΓ24	7,39	πηγη κοτετσι	4,35	ΔΧΠΛΓ1	2,34
ΓΕ10	2,09	ΔΚΘΕΓ25	6,16	πηγη μεταλλειο	6,38	ΔΧΠΛΓ2	4,52
ΓΕ11	4,04	ΔΚΘΕΓ29	6,55	ΔΜΑΠΠΗ9	2,79	ΔΧΠΛΓ3	4,13
ΓΕ12	4,00	ΔΚΘΕΓ26	5,03	ΔΜΑΣΓ5	2,43	ΔΧΧΕΓ8	2,19
ΓΕ14	3,20	ΔΚΘΕΠΗ5	7,06	ΔΜΑΣΠΗ7	3,27	ΔΧΧΕΓ9	3,25
ΓΕ15	4,58	ΔΚΘΕΠΗ6	6,36				

Σχήμα 46. Χωρική κατανομή ιοντικού λόγου $(Ca+Mg)/(Na+K)$ (Ξηρή περ. 2013)Σχήμα 47. Χωρική κατανομή ιοντικού λόγου $(Ca+Mg)/(Na+K)$ (Υγρή περ. 2014)

Όπως προκύπτει από τους παραπάνω θεματικούς χάρτες, ο ιοντικός λόγος $(Ca+Mg)/(Na+K)$ σε όλη την περιοχή έρευνας είναι μεγαλύτερος από τη μονάδα και για τις δύο περιόδους δειγματοληψίας. Συνεπώς υπάρχει συνεχής τροφοδοσία στους υπόγειους υδροφορείς, με νερό που παραμένει περιορισμένο χρόνο σε αυτούς.

4.7. ΥΔΡΟΧΗΜΙΚΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ

Τα υδροχημικά διαγράμματα χρησιμοποιούνται για την παρουσίαση αποτελεσμάτων χημικών αναλύσεων δειγμάτων νερού. Τα διαγράμματα αυτά, δίνουν τη δυνατότητα συνοπτικής παρουσίασης, ομαδοποίησης, σύγκρισης και ερμηνείας των αποτελεσμάτων (Μάττας 2009).

Τα είδη των διαγραμμάτων ποικίλλουν ανάλογα με τα κριτήρια που τίθενται, κριτήρια που μπορεί να αφορούν στο χημισμό ή στην προέλευσή του νερού, είτε στη χρήση του. Επίσης, ανάλογα με τη μορφή παρουσίασης των αποτελεσμάτων, υπάρχουν ανυσματικά, πολυγωνικά, τριγραμμικά, τριγωνικά διαγράμματα κ.α.. Στην παρούσα εργασία, τα υπόγεια νερά ταξινομήθηκαν με τα διαγράμματα Piper, Durov, S.A.R., Wilcox και Schoeller.

4.7.1. Διάγραμμα Piper

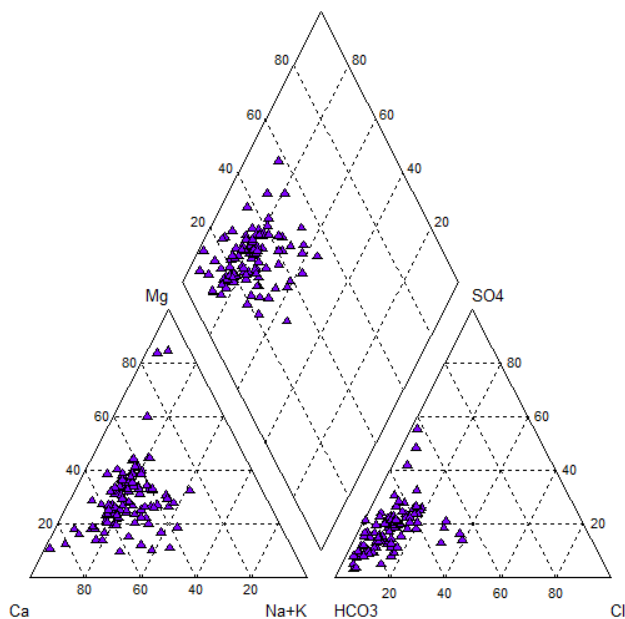
Αποτελεί το πιο διαδεδομένο και το πιο εύχρηστο διάγραμμα αφού οι ομοιότητες και οι διαφορές των δειγμάτων αναγνωρίζονται πολύ εύκολα όπως και οι αναμίξεις διαφορετικών υδάτων (Δημόπουλος 1983). Δημιουργήθηκε από τον Piper (1944) και συμπληρώθηκε από τους Back και Hanshaw (1965), Davis S.-De Wiest R. (1966) και Fetter C.W. (1994).

Η συγκέντρωση των ιόντων είναι εκφρασμένη σε meq/L.

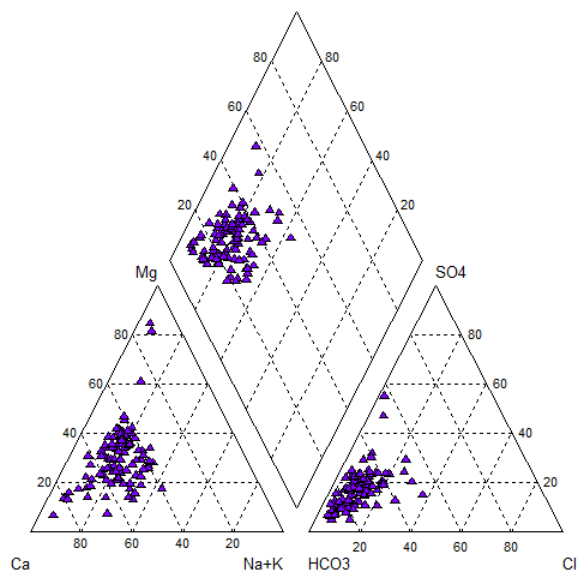
Η μέθοδος αυτή παρουσίασης χρησιμεύει στον εντοπισμό του υδροχημικού τύπου των υπόγειων νερών αλλά και στον εντοπισμό των υδροχημικών σχέσεων των υπόγειων νερών όπως α) ανάμιξη διαφορετικών τύπων νερού β) κατιονική ανταλλαγή γ) αντιδράσεις καθίζησης και διάλυσης δ) θεϊκή αναγωγή (Custodio 1987).

Ακολουθούν τα διαγράμματα Piper (Σχήματα 48 και 49) για το σύνολο των δειγμάτων νερού κάθε περιόδου δειγματοληψίας. Από την ομοιότητα των δύο διαγραμμάτων προκύπτει ότι η ταξινόμηση των δειγμάτων νερού, δε μεταβάλλεται από περίοδο σε περίοδο, συνεπώς οι υδροχημικές συνθήκες για τις δύο περιόδους δειγματοληψίας παραμένουν σταθερές. Από την άλλη, καθίσταται σαφής η διαφοροποίηση του χημισμού του υπόγειου νερού στην περιοχή έρευνας, καθώς τα δείγματα κατατάσσονται σε διαφορετικούς τύπους.

Από την ανάγνωση του τριγωνικού διαγράμματος που αφορά στα κατιόντα, παρατηρείται ότι τα περισσότερα δείγματα συσσωρεύονται στο ασβεστόχο τμήμα του τριγώνου, με εξαίρεση τρία δείγματα στα οποία κυριαρχεί το κατιόν του μαγνησίου. Στο τριγωνικό διάγραμμα των ανιόντων τα περισσότερα δείγματα συσσωρεύονται στο ανθρακικό τμήμα.



Σχήμα 48. Τριγραμμικό διάγραμμα Piper για την ξηρή περίοδο έτους 2013



Σχήμα 49. Τριγραμμικό διάγραμμα Piper για την υγρή περίοδο έτους 2014

Η παρουσία κάποιων δειγμάτων στις ζώνες ανάμιξης ανιόντων και κατιόντων είναι αναμενόμενη καθώς αυτά προέρχονται από διαφορετικούς υδροφόρους με αποτέλεσμα, λόγω της μεταξύ τους υδραυλικής επικοινωνίας να συμβαίνουν φαινόμενα μίξης, ιοντοανταλλαγών κ.λπ.

Από το ρομβικό διάγραμμα προκύπτει ότι τα υπόγεια νερά της περιοχής έρευνας, διακρίνονται κυρίως σε ασβεστομαγνησιούχα και ασβεστομαγνησιούχα ανθρακικά. Ελάχιστα δείγματα ταξινομούνται ως ασβεστομαγνησιούχα χλωροθειικά. Πρόκειται για τις περιοχές Σπουργίτι και Αγίου Αντωνίου με τα υψηλά θειικά, καθώς και για μερικά δείγματα από την περιοχή της Πικρολίμνης, πλούσια σε χλωριούχα.

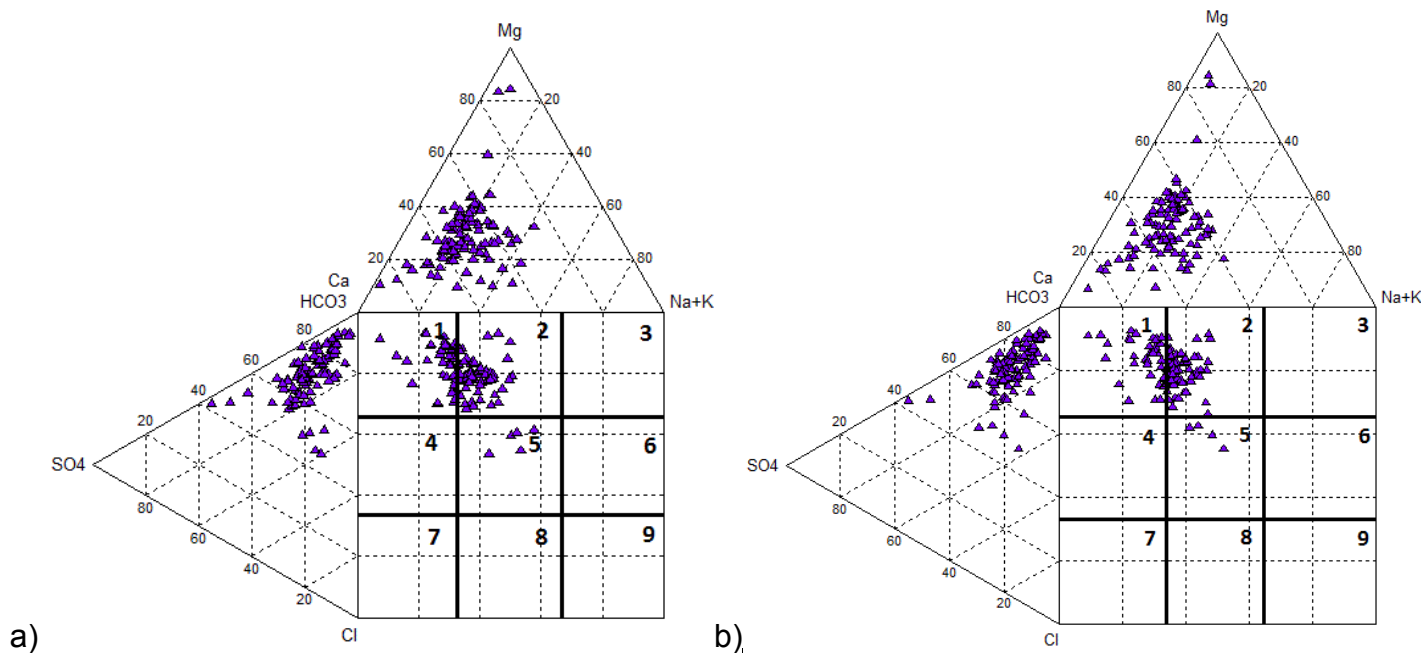
4.7.2. Διάγραμμα Durov

Το διάγραμμα Durov εισήχθη στη βιβλιογραφία από τον Durov S.A. (1948) και τροποποιήθηκε έπειτα από τους Hem J.D. (1970), Zaporozec A. (1972), και Lloyd J.-Heathcote J. (1985).

Στην απλή του μορφή, το διάγραμμα Durov, αποτελείται από δύο τριγωνικά διαγράμματα, ένα για τα ανιόντα και ένα για τα κατιόντα των οποίων οι τιμές προβάλλονται σε ένα κεντρικό ορθογώνιο διάγραμμα που είναι χωρισμένο σε εννιά περιοχές οι οποίες αντιστοιχούν σε διαφορετικούς τύπους νερού (Lloyd J.-Heathcote J. 1985). Ο ασβεστούχος-οξυανθρακικός τύπος βρίσκεται στο τετράγωνο 1 και ο νατριούχος-χλωριούχος στο τετράγωνο 9, ενώ στο τετράγωνο 5 βρίσκονται τα νερά ανάμιξης.

Το διάγραμμα Durov, υπερέχει έναντι του διαγράμματος Piper καθώς δίνει αναλυτικότερη εικόνα των υδροχημικών τύπων του νερού αλλά και των διεργασιών που λαμβάνουν χώρα (Μυριούνης 2009).

Στο σχήμα 50 παρατίθενται τα διαγράμματα Durov για το σύνολο των δειγμάτων νερού της περιοχής έρευνας, για κάθε περίοδο δειγματοληψίας.



Σχήμα 50. Διαγράμματα Durov για τις α) ξηρή περίοδο 2013 και β) υγρή περίοδο 2014

Τα συμπεράσματα από τα διαγράμματα Durov συνάδουν με αυτά των διαγραμμάτων Pipers. Τα περισσότερα δείγματα, για τις δύο περιόδους δειγματοληψίας, συσσωρεύονται στις περιοχές 1 και 2. Πρόκειται για οξυανθρακικά ασβεστούχα γλυκά νερά που ανανεώνονται εύκολα (τετράγωνο 1) και νερά που προέρχονται από δολομιτικά πετρώματα (τετράγωνο 2). Ελάχιστα νερά προέρχονται από ανάμιξη (τετράγωνο 5) όπου δεν υπάρχουν επικρατούντα ιόντα.

4.7.3. Διάγραμμα S.A.R. και Wilcox

Τα διαγράμματα S.A.R. και Wilcox χρησιμοποιούνται για την ταξινόμηση των υδάτων που προορίζονται για άρδευση.

Ο συντελεστής προσρόφησης Νατρίου ή κίνδυνος Νατρίου (SAR) ισούται με:

$$S.A.R. = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca + Mg}{2}}}$$

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

Για ηλεκτρική αγωγιμότητα 750 μ S/cm, τιμές του SAR<6 δείχνουν μικρό κίνδυνο νατρίου, 6-12 μέσο κίνδυνο νατρίου, 12-18 μεγάλο κίνδυνο νατρίου και SAR>18, πολύ μεγάλο κίνδυνο νατρίου (Βουδούρης 2009). Η ταξινόμηση των αρδευτικών νερών βασισμένη στο SAR και την ηλεκτρική αγωγιμότητα προτάθηκε από το U.S. Salinity Laboratory στο διάγραμμα Richards.

Άλλο βασικό κριτήριο της καταλληλότητας ενός νερού για άρδευση, αποτελεί ο βαθμός αλκαλίωσης νατρίου που εκφράζεται στο διάγραμμα Wilcox. Η περιεκτικότητα σε νάτριο (βαθμός αλκαλίωσης) εκφράζεται σαν ποσοστό επί τοις εκατό (Na%) από τη σχέση:

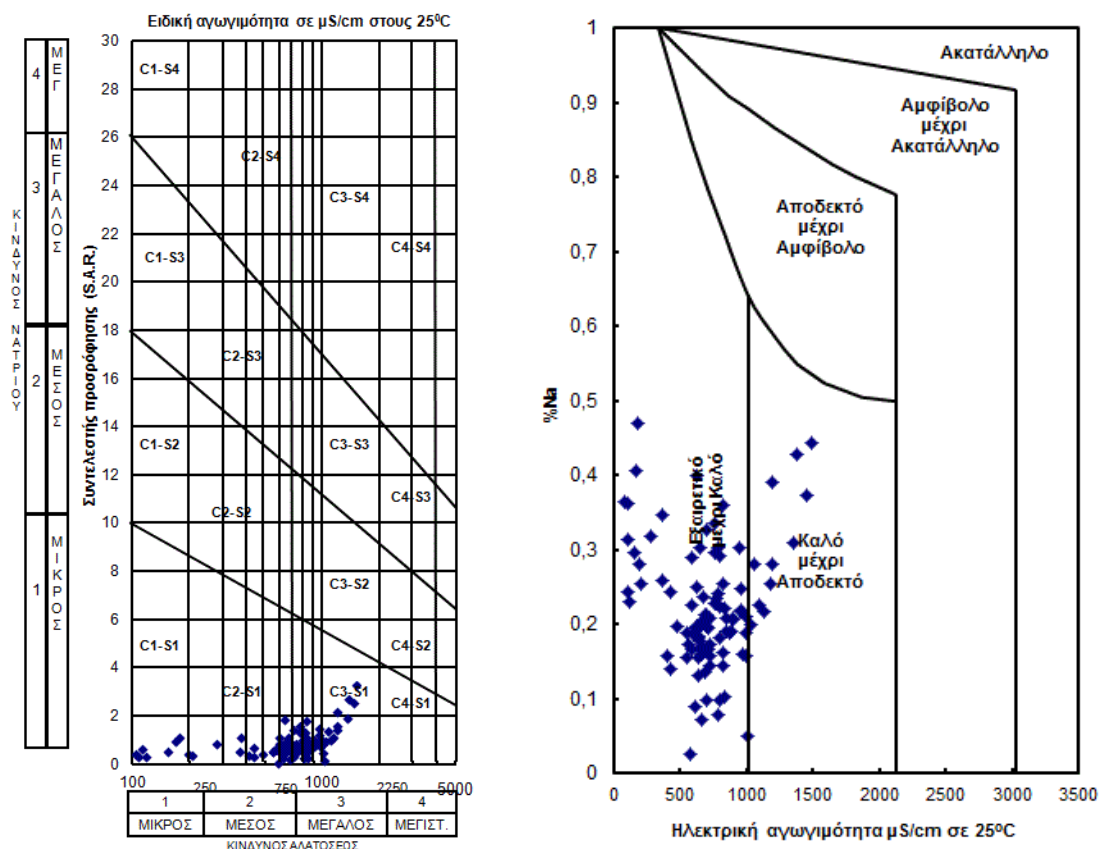
$$Na(\%) = (Na+K) * 100 / (Ca+Mg+Na+K)$$

όπου όλες οι συγκεντρώσεις είναι εκφρασμένες σε meq/L (Βουδούρης 2009).

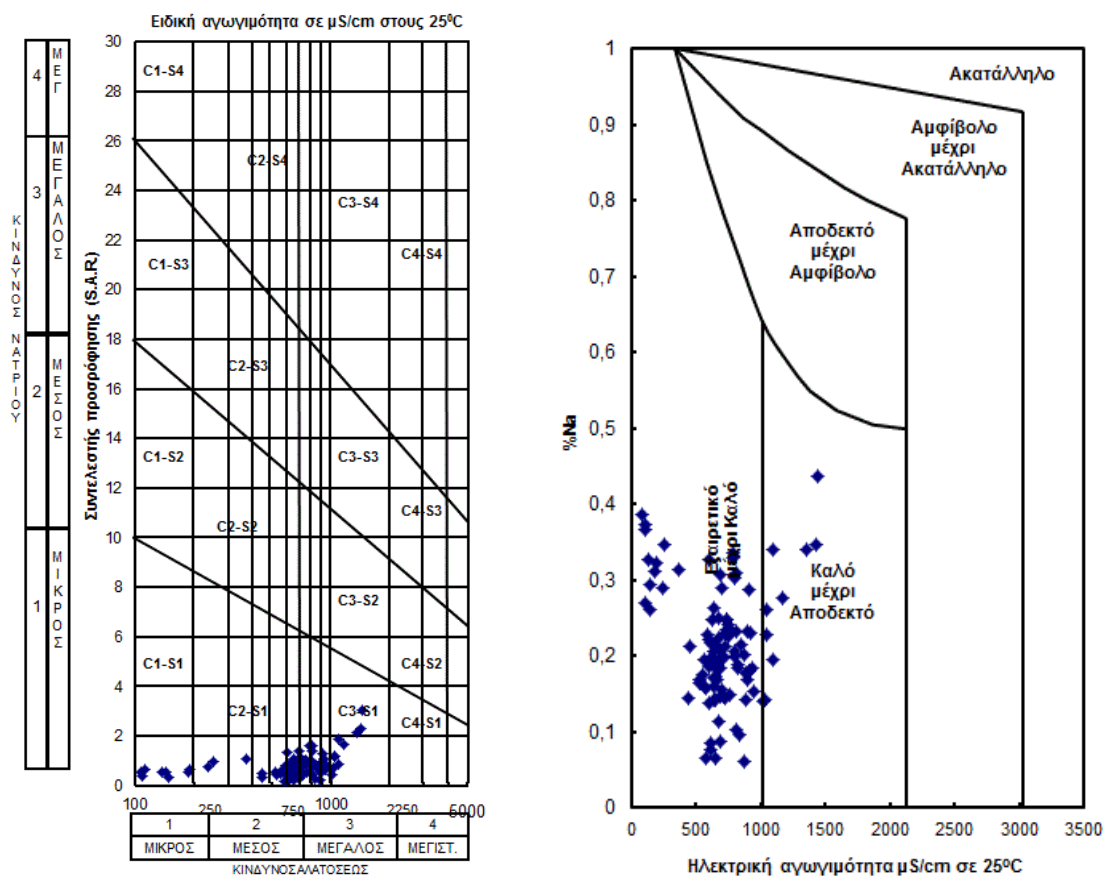
Στα σχήματα 51 και 52 παρατίθενται τα διαγράμματα Richards (δείκτης SAR) και Wilcox για τις δύο περιόδους δειγματοληψίας.

Σύμφωνα με τα διαγράμματα Richards για το δείκτη S.A.R., τα υπόγεια νερά της περιοχής έρευνας ταξινομούνται στις υποπεριοχές C1-S1, C2-S1 και C3-S1. Τα νερά της υποπεριοχής C2-S1 χρησιμοποιούνται για άρδευση σε εδάφη που δεν αποστραγγίζονται καλά, συνεπώς απαιτείται προσοχή για ευαίσθητα φυτά. Τα ύδατα της περιοχής C3-S1 χρησιμοποιούνται σε εδάφη καλής αποστράγγισης και απαιτείται η προσθήκη γύψου (Richards 1954, Wilcox 1955).

Στην υποπεριοχή C1-S1 ανήκουν τα καλής ποιότητας αρδευτικά νερά, κατά κύριο λόγο τα ολιγομεταλλικά μαλακά υπόγεια νερά στα βόρεια του Δήμου Κιλκίς. Τα περισσότερα δείγματα υπόγειων νερών της περιοχής έρευνας, ταξινομούνται στην υποπεριοχή C2-S1, στα αρδευτικά νερά με καλή έως μέτρια ποιότητα, ενώ στην περιοχή μέτριας έως πολύ μέτριας ποιότητας C3-S1 βρίσκονται ελάχιστα δείγματα των υπόγειων νερών από το κεντρικό και νότιο τμήμα της περιοχής έρευνας, στα κοκκώδη ΥΥΣ Γαλλικού και Αξιού, όπου λόγω της ανθρωπογενούς ρύπανσης, τα ύδατα παρουσιάζουν υψηλές αγωγιμότητες και συγκεντρώσεις στα βασικά μέταλλα.



Σχήμα 51. Διαγράμματα Richards (S.A.R.) και Wilcox για την ξηρή περίοδο του έτους 2013



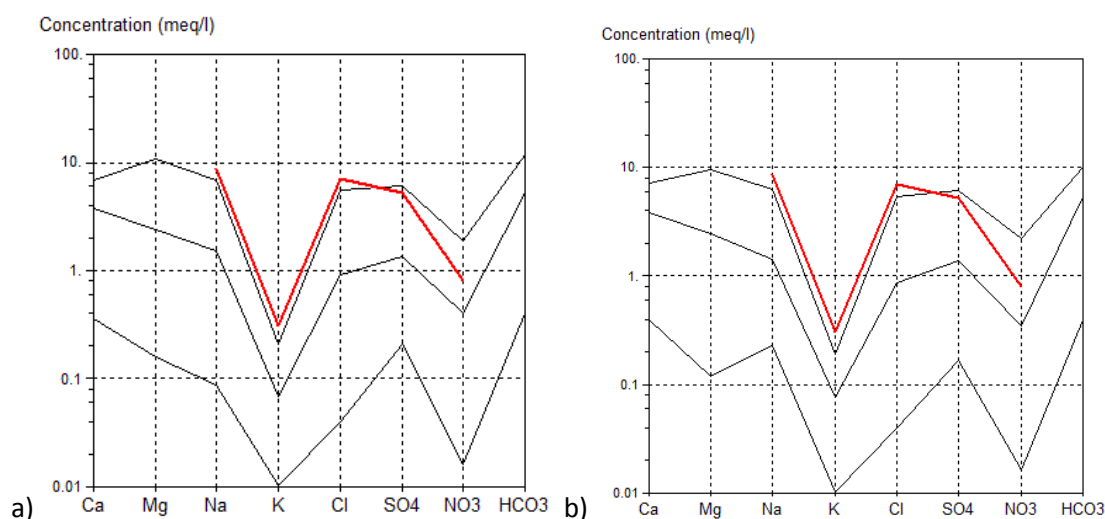
Σχήμα 52. Διαγράμματα Richards (S.A.R.) και Wilcox για την υγρή περίοδο του έτους 2014

Σε γενικές γραμμές τα υπόγεια νερά της περιοχής έρευνας εμφανίζουν καλή ποιότητα ως αρδευτικά, κάτι σχετικά αναμενόμενο καθώς τα περισσότερα εξ αυτών προορίζονται και για ύδρευση, επομένως τα κριτήρια ποιότητας είναι εκ των πραγμάτων αυστηρά, όσον αφορά στην ποιότητά τους.

4.7.4. Διάγραμμα Schoeller

Το διάγραμμα Schoeller παρουσιάζει ευρεία χρήση καθώς απεικονίζει με σαφή τρόπο τους τύπους του υπόγειου νερού και δίνει τη δυνατότητα εύκολης σύγκρισης των δειγμάτων. Οι συγκεντρώσεις των ιόντων είναι εκφρασμένες σε meq/L. Τα σημεία που προκύπτουν ενώνονται μεταξύ τους, συνεπώς ο χημισμός ενός δείγματος παρουσιάζεται σε μια συνεχή γραμμή (Σούλιος 2006).

Τα διαγράμματα Schoeller χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα έρευνα (Σχήμα 53) για να απεικονίσουν το εύρος του χημισμού των υπόγειων νερών της περιοχής καθώς και τη μέση κατάσταση του χημισμού. Χρησιμοποιήθηκαν οι ελάχιστες, οι μέγιστες και οι μέσες τιμές των συγκεντρώσεων των κύριων ιόντων των δειγμάτων. Η κόκκινη γραμμή απεικονίζει τα ανώτατα αποδεκτά όρια που ορίζει η νομοθεσία νερού ανθρώπινης κατανάλωσης για το κάθε ιόν. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στα διαγράμματα που ακολουθούν, για κάθε περίοδο δειγματοληψίας.



Σχήμα 53. Ημιλογαριθμικά διαγράμματα Schoeller για την α) ξηρή περίοδο 2013 και β) υγρή περίοδο 2014

Εάν υπήρχαν οι παραπάνω τύποι νερού, θα αντιπροσώπευαν τρεις κατηγορίες. Η ανώτατη γραμμή αντιπροσωπεύει ένα σχετικά υποβαθμισμένης ποιότητας νερό, με συγκεντρώσεις μάλιστα θειικών και νιτρικών ιόντων, άνω των ορίων ποσιμότητας, η μεσαία γραμμή (μέσος όρος) ένα καλής ποιότητας νερό, ενώ η κατώτατη γραμμή ένα ολιγομεταλλικό νερό.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από την ανάλυση δειγμάτων των υπόγειων νερών στην περιοχή έρευνας του Δήμου Κιλκίς, κατά την ξηρή περίοδο του έτους 2013 και την υγρή περίοδο του έτους 2014, πραγματοποιήθηκε χωρική κατανομή και διερεύνηση των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών καθώς και των υδροχημικών διεργασιών. Με βάση τα αποτελέσματα προκύπτουν τα παρακάτω συμπεράσματα:

- Η περιοχή έρευνας αποτελείται από οκτώ κύρια και δευτερεύοντα υπόγεια υδατικά συστήματα (ΥΥΣ), τα οποία αναπτύσσονται εξ ολοκλήρου ή κατά μέρος στην επιφάνεια που οριοθετείται από τα όρια του Δήμου Κιλκίς. Πρόκειται για τρία καρστικά ΥΥΣ μικρής έκτασης και ικανοποιητικής υδροφορίας (Ντεβέ-Κοράν, Μ.Στέρνας και Βαφειοχωρίου), δύο ρωγματικά μεγάλης έκτασης αλλά ελάχιστου υδατικού δυναμικού (Κρουσσών-Κερδυλλίων και Μαυρονερίου) και τρία κοκκώδη συστήματα μεγάλης έκτασης και αξιόλογης υδροφορίας (Αξιού, Γαλλικού και Δοϊράνης). Στα παραπάνω δε συγκαταλέγεται ένα μικρό βόρειο τμήμα αμελητέας υδροφορίας στο οποίο εκδηλώνονται κάποιες πηγές (πηγές Μπέλλες). Η ποιότητα των υπόγειων υδάτων εμφανίζει παρόμοια σύσταση ανά υπόγειο υδατικό σύστημα.
- Γενικά, τα υπόγεια νερά της περιοχής έρευνας χαρακτηρίζονται κυρίως ως ασβεστομαγνησιούχα και ασβεστομαγνησιούχα ανθρακικά, συνεχούς τροφοδοσίας.
- Πρόκειται για μαλακά νερά (ΥΥΣ Δοϊράνης και πηγές όρους Μπέλλες) έως πολύ σκληρά (κεντρικό, ανατολικό και νότιο τμήμα).
- Οι σχετικά υψηλές συγκεντρώσεις ιόντων ασβεστίου, μαγνησίου και όξινων ανθρακικών, οφείλονται κυρίως στην αποσάθρωση και διάλυση ανθρακικών και πυριτικών ορυκτών. Στη διάλυση υπερβασικών οφιολιθικών πετρωμάτων, αποδίδεται η ύπαρξη ασυνήθιστα υψηλών τιμών Mg σε δύο πηγές του δικτύου δειγματοληψίας (περιοχές Βάθης και Ριζανών).
- Οι συγκεντρώσεις νατρίου και καλίου, παρουσιάζουν ανοδικές τάσεις από το βόρειο προς το νότιο τμήμα έρευνας. Οι υψηλές τιμές του νότιου τμήματος αποδίδονται σε ανθρωπογενή ρύπανση λόγω της εκτεταμένης γεωργικής και σποραδικής βιομηχανικής δραστηριότητας που σημειώνεται στην περιοχή.
- Οι τιμές αμμωνιακών και νιτρωδών ιόντων βρίσκονται σε ίχνη έως μη ανιχνεύσιμες στα υπόγεια νερά, γεγονός που μαρτυρεί την απουσία πρόσφατης ρύπανσης στην περιοχή.
- Κεντρικά και νότια της περιοχής έρευνας, παρατηρούνται πολύ υψηλές συγκεντρώσεις σε νιτρικά ιόντα, μεγαλύτερες του ανώτατου νομοθετικού ορίου και σχετικά υψηλές τιμές σε χλωριούχα. Η ύπαρξή τους αποδίδεται καθαρά σε ανθρωπογενή ρύπανση, καθώς στην περιοχή αναπτύσσονται έντονες αγροτικές δραστηριότητες με εκτεταμένη λίπανση και

αποστράγγιση οικιακών λυμάτων στα χαλαρά τεταρτογενή ιζήματα που δομούν την περιοχή αυτή.

- Στο βόρειο τμήμα της περιοχής έρευνας, σημειώνονται υψηλές συγκεντρώσεις σε φθόριο, οι οποίες υπερβαίνουν τα όρια που ορίζει η νομοθεσία για το νερό ανθρώπινης κατανάλωσης σε περιορισμένα σημεία, βόρεια της περιοχής έρευνας. Η παρουσία τους οφείλεται στη διάλυση των γρανιτικών πετρωμάτων που αναπτύσσονται στην περιοχή.
- Ανατολικά της περιοχής έρευνας, στα γνευσιακά πετρώματα του ΥΥΣ Κρουσσών-Κερδυλλίων, υπάρχουν κατά τόπους έντονα προβλήματα με υψηλές συγκεντρώσεις σιδήρου, μαγγανίου και θειϊκών ιόντων, που ξεπερνούν τα όρια που ορίζει η νομοθεσία για το νερό ανθρώπινης κατανάλωσης. Τα προβλήματα αυτά αποδίδονται γηγενή αίτια, δηλαδή σε υδρόλυση πετρογενετικών και οξειδωση θειούχων ορυκτών που συναντώνται διάσπαρτοι μέσα στους γνεύσιους.
- Σε γηγενή προέλευση αποδίδονται οι ποσότητες αρσενικού που εμφανίζονται σε έναν άξονα Βορρά-Νότου της περιοχής του υδατικού συστήματος Κρουσσών-Κερδυλλίων (περιοχές Σπουργίτι, Δίβουνου, Διπόταμου), χωρίς να αποκλείεται η επιβάρυνση των υπόγειων υδάτων με υπολείμματα φυτοφαρμάκων.
- Τα αποτελέσματα υποδεικνύουν την ανάγκη εφαρμογής ορθών γεωργικών πρακτικών και περιβαλλοντικών μέτρων που θα περιορίσουν την ανθρωπογενή ρύπανση αλλά και την ανάγκη στροφής προς εκμετάλλευση των επιφανειακών υδάτων, κυρίως σε περιοχές του Δήμου όπου το υπόγειο υδατικό δυναμικό είναι περιορισμένο και υποβαθμισμένο λόγω φυσικών διεργασιών.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΕΛΛΗΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Βεράνης Ν., (2010): «Καταγραφή και αξιολόγηση των υδρογεωλογικών χαρακτηριστικών των υδροφόρων συστημάτων της χώρας». Υδρογεωλογική μελέτη των υδροφόρων συστημάτων της περιοχής της κεντρικής Μακεδονίας. Τόμ. 1 και 2Α. CSF Project (2003-2009) RUCM-IGME, Θεσσαλονίκη.

Βουδούρης Κ., (2009): «Υδρογεωλογία Περιβάλλοντος». Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη.

Διεύθυνση Αγροτικής Οικονομίας και Κτηνιατρικής ΠΕ Κιλκίς

Δημόπουλος Γ., (1983): “Εφαρμοσμένη Γεωλογία”. Τόμος 1ος, Υδρογεωλογία, Θεσσαλονίκη, σελ. 428.

Δημόπουλος Γ, Μυριούνης Χ., Μάττας Χ. (2008): «Συμβολή στη διερεύνηση των μηχανισμών γένεσης της αλμυρότητας των νερών της Πικρολίμνης Κεντρική Μακεδονία». Τιμητικός τόμος για τον Καθηγητή Χ. Τζιμόπουλο, Τ.Α.Τ.Μ., Θεσσαλονίκη, σελ. 14.

Ειδική Γραμματεία Υδάτων (ΕΓΥ), ΥΠΕΚΑ (2014): Σχέδιο διαχείρισης των ΛΑΠ του Υδατικού Διαμερίσματος Κεντρικής Μακεδονίας (GR10). Αθήνα.

Ειδική Γραμματεία Υδάτων (ΕΓΥ), ΥΠΕΚΑ (2013): Σχέδιο διαχείρισης των ΛΑΠ του Υδατικού Διαμερίσματος Ανατολικής Μακεδονίας (GR11). Αθήνα.

Ελληνική Στατιστική Αρχή

Ζανάκη Κ., (1996): «Έλεγχος ποιότητας νερού». ΙΩΝ, Αθήνα.

Κακλής Τ., (2011): «Υδρογεωλογική μελέτη και μελέτη διαχείρισης υδατικών πόρων Πιερίας λεκάνης Ν.Καβάλας». Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας, ΑΠΘ.

Καλλέργης Γ., (2000): «Εφαρμοσμένη-Περιβαλλοντική Υδρογεωλογία». 2^η έκδοση, τόμος Β, Τ.Ε.Ε., Αθήνα.

Καλλιώρας Α., (2007): «Διαχείριση υπόγειων υδατικών πόρων σε υδροφόρους που υπόκεινται σε καθεστώς θαλάσσιας διείσδυσης. Η περίπτωση του δυτικού παράκτιου τμήματος του νομού Ροδόπης». Διδακτορική διατριβή, Τμ. Πολ. Μηχ/κων, Ξάνθη, σελ. 290.

Καλούση Ε., (2002): «Μελέτη ορθολογικής διαχείρισης υδατικών πόρων Ν. Κιλκίς», Έκθεση ΙΓΜΕ, Θεσσαλονίκη.

Καλούση Ε., (2008), «Υδρογεωλογική αναγνώριση και αποτύπωση των συνθηκών ύδρευσης στο Δήμο Μουριών Νομού Κιλκίς». ΙΓΜΕ, Θεσσαλονίκη.

Καλούση Ε., (2009), «Υδρογεωλογική αναγνώριση και αποτύπωση των συνθηκών ύδρευσης στο Δήμο Πικρολίμνης Νομού Κιλκίς». ΙΓΜΕ, Θεσσαλονίκη.

Κάλφα Γ., (2008): «Εκπόνηση Οριστικής Γεωλογικής Μελέτης για την Βελτίωση του Διαδημοτικού Δρόμου Αντιγόνειας- Κορυφης-Κιλκίς», Τμήμα Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος, ΤΕΙ Κρήτης.

Καραπιπέρης Λ., (1954): «Η διανομή των απολύτως άκρων θερμοκρασιών εις την Ελληνικήν χερσόνησον» Πρακτικά Ακαδημίας Αθηνών.

Κουιμτζής Θ., Φυτιάνος Κ., Βουτσά Δ., Σαμαρά Κ., (2004): «Έλεγχος ρύπανσης περιβάλλοντος», Α.Π.Θ.. University Studio Press, Θεσσαλονίκη.

Κουιμτζής Θ., Φυτιάνος Κ., Σαμαρά Κ., (1998): «Χημεία περιβάλλοντος», Α.Π.Θ.. University Studio Press, Θεσσαλονίκη.

Κουρτίδου, Σ., Ματτας, Χ., Κακλής, Τ.,(2014): «Ποιοτικά στοιχεία των σημείων υδροληψίας του Δήμου Κιλκίς», 10ο Διεθνές Υδρογεωλογικό Συνέδριο Ελλάδος.

ΚΥΑ Υ2/2600/2001, όπως τροποποιήθηκε με την **ΚΥΑ ΔΥΓ2/Γ.Π./38295/2007**, «Ποιότητα νερού ανθρώπινης κατανάλωσης».

ΚΥΑ 20419/2522/18-9-2001, «Συμπλήρωση της οικ. 19652/1906/1999 ΚΥΑ με θέμα “Προσδιορισμός των νερών που υφίστανται νιτρορρύπανση γεωργικής προέλευσης-Κατάλογος ευπρόσβλητων Ζωνών»

Λαμπράκης Ν., (1991): «Εισαγωγή στην Υδροχημεία». Τμήμα Γεωλογίας, Πανεπιστήμιο Πατρών.

Μάττας Χ., (2009): «Υδρογεωλογική έρευνα στη λεκάνη του Γαλλικού ποταμού». Διδακτορική διατριβή. Τμήμα Γεωλογίας, ΑΠΘ.

Μήτρακας Μ., (2001): «Ποιοτικά χαρακτηριστικά και επεξεργασία νερού», Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη.

Μουντράκης Δ., (1985): «Γεωλογία της Ελλάδος», University Studio Press, Θεσσαλονίκη.

Μουντράκης Δ., (2010): «Γεωλογία και γεωτεκτονική εξέλιξη της Ελλάδας», University Studio Press, Θεσσαλονίκη

Μουρατίδης Θ., (2009): «Διαχείριση υδατικών πόρων Νομού Κιλκίς με τη χρήση γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών (G.I.S.)», Διπλωματική εργασία, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Α.Π.Θ.. Θεσσαλονίκη.

Νάστος Π., (1995): «Επίδραση των φυσικογεωγραφικών παραγόντων στο θερμοκρασιακό καθεστώς της Ελλάδος». Διδακτορική διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών.

Νικολαΐδης Ν., (2005): «Υδατική χημεία». Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.

Οδηγία 2000/60/ΕΚ: «Θέσπιση πλαισίου για την προστασία των εσωτερικών επιφανειακών, των μεταβατικών, των παράκτιων και των υπόγειων υδάτων».

Παππά Γ., (2001): «Υγειονομική σημασία των χημικών παραμέτρων στο πόσιμο νερό». Ε.Σ.Δ.Υ., www.waterinfo.gr

Σάββας Δ., (2000): «Θρέψη φυτών». Σημειώσεις Τ.Ε.Ι. Ηπείρου.

Σκληβανιώτης Μ., (2004): «Ποιότητα πόσιμου νερού». Δ.Ε.Υ.Α. Πάτρας, Πάτρα.

Σούλιος Γ., (2006): «Γενική Υδρογεωλογία, τόμος τέταρτος». University Studio Press, Θεσσαλονίκη.

ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

APHA, AWWA (1998): "Standard Methods for the examination of water and wastewater". 20th edition. edited by Clesceri L., Greenberg A, Eaton A. for American Water Works Association (AWWA), American Public Health Association (APHA).

Appelo C., Postma D., (1994): "Geochemistry, groundwater and pollution". 536 pp., A. Balkema.

Aschenbrenner F., Richter G.M., Richter J., (1992): "Modelling groundwater quality in an agriculturally used water catchment". Environ. Geol. Water Sci. 20, pp. 43–55.

Back W., Hanshaw BB., (1965): "Chemical geohydrology". Adv Hydrosol 2:49-109.

Breen K.J., Angelo C.J., Masters R. W., Sedam A.C., (1985): "Chemical and isotopic characteristics of brines from three oil-and gasproducing sandstones in eastern Ohio, with applications to the geochemical tracing of brine sources". U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report, 84-4314, 58 p.

Craig J.R., (1970): "Saline waters-Genesis and relationship to sediments and host rocks, in Mattox". R.B. (ed), Ground-water salinity: Symposium 46th Annual Meeting of the Southwestern Rocky Mountain Division of the American Association of the Advancement of Science, April 23-24, Las Vegas, New Mexico, p. 3-29.

Cullen, W.R., Reimer, K.J., (1989): "Arsenic speciation in the environment". Chem. Rev., 89: 713-764.

Custodio E., (1987): "Hydrogeochemistry and tracers, in Custodio E.". Groundwater problems in coastal areas: Studies and reports in hydrology no. 45, UNESCO, p.213-269.

Davis S.N., DeWiest R.J.M., (1966): "Hydrogeology". 2nd edition, Wiley, New York, pp. 463.

Durov S.A., (1948): "Natural water and graphical representation of their composition". Dokl. Akad. Nauk. U.S.S.R., V.59, p.87-90.

Fetter C.W., (1994): "Applied hydrogeology". Macmillan College Publishing Company Inc., 3rd Edition.

Gogel T., (1981): "Discharge of salt water from Permian rocks to major stream-aquifer systems in Central Kansas". Kansas Geological Survey, The University of Kansas at Lawrence, Chemical Quality Series 9, p. 60.

Helstrup T., Jorgensen N., Banoeng-Yakubo B., (2007): "Investigation of hydrochemical characteristics of groundwater from the Cretaceous-Eocene limestone aquifer in southern Ghana and southern Togo using hierarchical cluster analysis". Hydrogeology Journal 15:977-989.

Hem J.D., (1970): "Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water". 2nd edition, U.S. Geological Survey Water Supply, Paper no. 1473, Washington D.C., pp.363.

Hem D., (1989): "The study and interpretation of the chemical characteristics of natural water". 3rd edn. USGS Water-Supply Paper 2254, US Geological Survey.

Kockel F., Mollat H., Walther H., (1971): "Geologie des Serbo-Mazedonischen Massivs und seines mesozoischen Rahmens (Nordgriechenland)". Geol. J.b. (89):529-551.

Ledoux, E., Gomez, E., Monget, J.M., Viavattene, C., Viennot, P., Ducharne, A., Benoit, M., Mignolet, C., Schott, C., Mary, B., (2007): Agriculture and groundwater nitrate contamination in the Seine basin. The STICS-MODCOU modelling chain. Science of the Total Environment, in press. doi:10.1016/j.scitotenv.2006. 12.002.

Leonard A.R. and Ward P.E. (1962): "Use of Na/Cl ratios to distinguish oilfield from salt-spring brines in Western Oklahoma". U.S. Geological Survey Professional Paper 450-B,p.B126-B127.

Lloyd W.J., Heathcote A.J. (1985): "Natural inorganic hydrochemistry in relation to groundwater. An introduction". Oxford.

Mercier J. (1966): "Etude geologique des zones internes des Hellenides en Macedoine Centrale (Grece)". Ann. Geol. Des Pays Hell. (20):1-596.

Mountrakis, D., Sapountzis, E., Kiliadis, A., Eleftheriadis, G., Christofides, G., (1983): "Paleogeographic conditions in the western Pelagonian margin in Greece during the initial rifting of the continental area". Can. J. Earth Sci., 20, pp. 1673-1681.

Oyarzun, R., Arumí, J., Salgado, L., Marino, M. (2007): "Sensitivity analysis and field testing of the RISK-N model in the Central Valley of Chile". Agricultural Water Management 87: 251–260

Patni N., Masse L., (1998): "Water quality-groundwater quality under conventional and no tillage: I. Nitrate, Electrical Conductivity and pH", Journal of Enviromental Quality 27: pp.869-877.

Piper A.M., (1944): "Agraphic procedure in thegeochemical interpretation of water analyses". American Geophysical union, Transactions, v. 25, p. 914-923.

Richter B.C., Kreitler C.W. (1993): "Geochemical techniques for indentifying sources of groundwater salinazation". Library of Congress, Cataliging-in-Publication data, CRC Press, Inc., pp. 257.

Richards I.A., (1954): "Diagnosis and improvement of saline and alkali soils". Agric. Handbook 60, U.S. Dept.. Agric., Washington, D.C. 160 p.

Webster, J.,Nordstrom,K., (2003): "Geothermal Arsenic, in 'Arsenicin Groundwater-Geochemistry and Occurrence". Chapter 4. Edited by Welch A. and Stollenwerk K.–Kluwer Academic Publishers.

Wilcox L.V., (1955): "Classification and use of irrigation waters". U.S. Dept. Agric. Circ. 969, Washington, D.C., 19 p.

World Health Organization WHO (1993): "Guidelines for Drinking Water Quality", Volume 1,2,3 Second Edition

Zaporozec A., (1972): "A graphical interpretation of water quality data". Groundwater, V.10, p. 32-43.