



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑΣ



ΜΑΚΑΡΑΤΖΗ ΧΡΙΣΤΙΝΑ

«ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΚΑΙ ΥΔΡΟΧΗΜΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΤΟΥ ΠΑΡΑΚΤΙΟΥ
ΥΔΡΟΦΟΡΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΟΡΜΥΛΙΑΣ (ΧΑΛΚΙΔΙΚΗ, ΒΟΡΕΙΑ
ΕΛΛΑΔΑ)»

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας στο πλαίσιο του
Προπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών
Τομέας Γεωλογία

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2017

Επιβλέπων

Κωνσταντίνος Βουδούρης, Αναπληρωτής Καθηγητής



©Χριστίνα Μακαρατζή, Εργ. Εφαρμοσμένης Γεωλογίας, 2017
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All right reserved.

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 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.

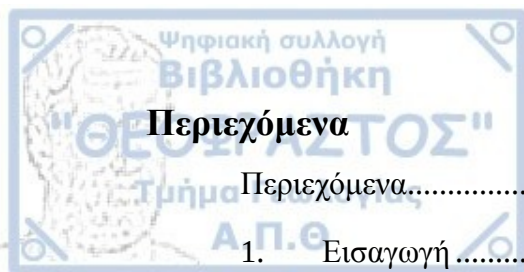
Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν την συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι εκφράζουν τις επίσημες θέσεις του Α.Π.Θ.



Η παρούσα πτυχιακή εργασία πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο του Προπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών του Τμήματος Γεωλογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, στην κατεύθυνση της Εφαρμοσμένης Γεωλογίας και ειδίκευση στο αντικείμενο της Υδρογεωλογίας. Επιβλέπων της διπλωματικής εργασίας ήταν ο Αναπληρωτής Καθηγητής, κ. Κωνσταντίνος Βουδούρης.

Σημαντική παράμετρος για την ολοκλήρωση της εργασίας αποτελεί η άριστη συνεργασία και υποστήριξη από τον επιβλέποντα, τον οποίο ευχαριστώ θερμά. Παράλληλα, θα ήθελα, ιδιαίτερα να ευχαριστήσω την κ. Παναγιώτα Βενετσάνου για την αμέριστη βοήθεια, στήριξη και καθοδήγηση που μου προσέφερε καθ' όλη την διάρκεια της συγγραφής της πτυχιακής μου εργασίας.

Επιπλέον, ευχαριστώ ιδιαίτερα την μητέρα μου για την στήριξή της και τον αγώνα της όλα αυτά τα χρόνια. Ευγνωμονώ, ακόμα τους ανθρώπους που ήταν δίπλα μου. Τέλος, οφείλω ένα ευχαριστώ στη συνάδελφο και φίλη Φλώρου Λυδία για την συμπαράσταση και τις πολύτιμες συμβουλές της.



Περιεχόμενα

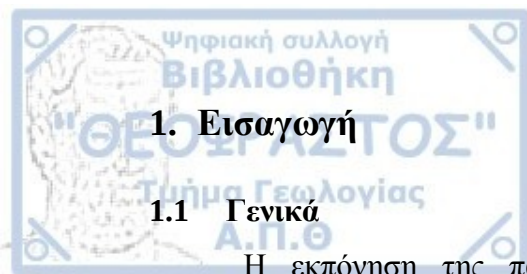
Περιεχόμενα.....	4
1. Εισαγωγή.....	6
1.1 Γενικά	6
1.2 Αντικείμενο και σκοπός.....	6
1.3 Εργασίες που υλοποιήθηκαν.....	6
2 Ανάλυση της περιοχής έρευνας.....	7
2.1 Γεωγραφική θέση.....	7
2.2 Πληθυσμιακά στοιχεία.....	7
2.3 Μορφολογία.....	9
2.4 Κλίμα	12
2.5 Υδρολογικό Ισοζύγιο	16
2.6 Χρήσεις Γης	17
2.7 Παλαιογεωγραφική και Γεωτεκτονική θέση	18
2.7.1 Γεωλογία ευρύτερης περιοχής.....	18
2.7.2 Γεωλογία της περιοχής έρευνας.....	20
2.7.3 Τεκτονική.....	21
3 Υδρογεωλογία	23
4 Ποιότητα υπόγειου νερού	29
4.1 Μεθοδολογία χημικών αναλύσεων.....	30
4.2 Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων.....	33
4.2.1 Υδροχημικά διαγράμματα	39
5 Συμπεράσματα	41
6 Βιβλιογραφία.....	42
7 Παράρτημα.....	43

Περίληψη

Αντικείμενο της εργασίας είναι η εκτίμηση της διακύμανσης της στάθμης και της ποιότητας του παράκτιου υδροφόρου συστήματος της Ορμύλιας Χαλκιδικής. Κύρια ενασχόληση των κατοίκων της περιοχής έρευνας είναι η γεωργία και ο τουρισμός. Η περιοχή έρευνας καλύπτεται, κυρίως, από σύνθετα συστήματα καλλιεργειών και από ελαιώνες. Στην περιοχή εντοπίζεται ένας ελεύθερος ρηχός αλλουβιακός υδροφορέας, ο οποίος κατά θέσεις μεταβαίνει σε υπό πίεση. Η πτώση στάθμης που παρατηρείται οφείλεται στην υπεράντληση του υπόγειου νερού για την κάλυψη των υδατικών αναγκών. Οι αυξημένες συγκεντρώσεις χλωρίου στο παράκτιο τμήμα της περιοχής υποδηλώνουν θαλάσσια διείσδυση. Λόγω της εντατικής χρήσης λιπασμάτων, παρατηρούνται αυξημένες περιεκτικότητες νιτρικών.

Abstract

The objective of this study is to estimate the fluctuation of groundwater level and the quality of a coastal aquifer. The research area is extended in Ormylia (northern Greece) and mainly covered by complex crop systems and olive trees. The main economic activities in the area is agriculture and tourism. The main unconfined aquifer is developed inside alluvial deposits. The water demands for domestic and irrigation purposes are covered by groundwater abstracted from aquifer system. As a result, a total groundwater level decline has been recorded. The overexploitation of the aquifer has led to seawater intrusion in the coastal part of the area, whereas the irrational use of fertilizers has resulted in high groundwater nitrate value.



1. Εισαγωγή

1.1 Γενικά

Η εκπόνηση της παρούσας πτυχιακής εργασίας έγινε στο πλαίσιο του Προπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών του Τμήματος Γεωλογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης και συγκεκριμένα στο Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας.

1.2 Αντικείμενο και σκοπός

Το υπόγειο νερό καλύπτει το μεγαλύτερο μέρος των υδατικών αναγκών του Ελληνικού χώρου. Εξαιτίας της υπερεκμετάλλευσης των αποθεμάτων του υπόγειου νερού σε πολλές περιοχές, παρατηρείται ποσοτική και ποιοτική υποβάθμιση των υπόγειων υδατικών αποθεμάτων (Βουδούρης, 2014).

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η υδρογεωλογική και υδροχημική έρευνα του παράκτιου υδροφόρου συστήματος της Ορμύλιας Χαλκιδικής. Η έντονη γεωργική δραστηριότητα στην περιοχή, σε συνδυασμό με τις αυξημένες υδατικές ανάγκες, ιδιαίτερα κατά την καλοκαιρινή περίοδο, οδηγούν σε ποιοτική και ποσοτική υποβάθμιση του υπόγειου υδροφορέα.

1.3 Εργασίες που υλοποιήθηκαν

Κατά την εκπόνηση της παρούσας εργασίας πραγματοποιήθηκαν οι εξής εργασίες:

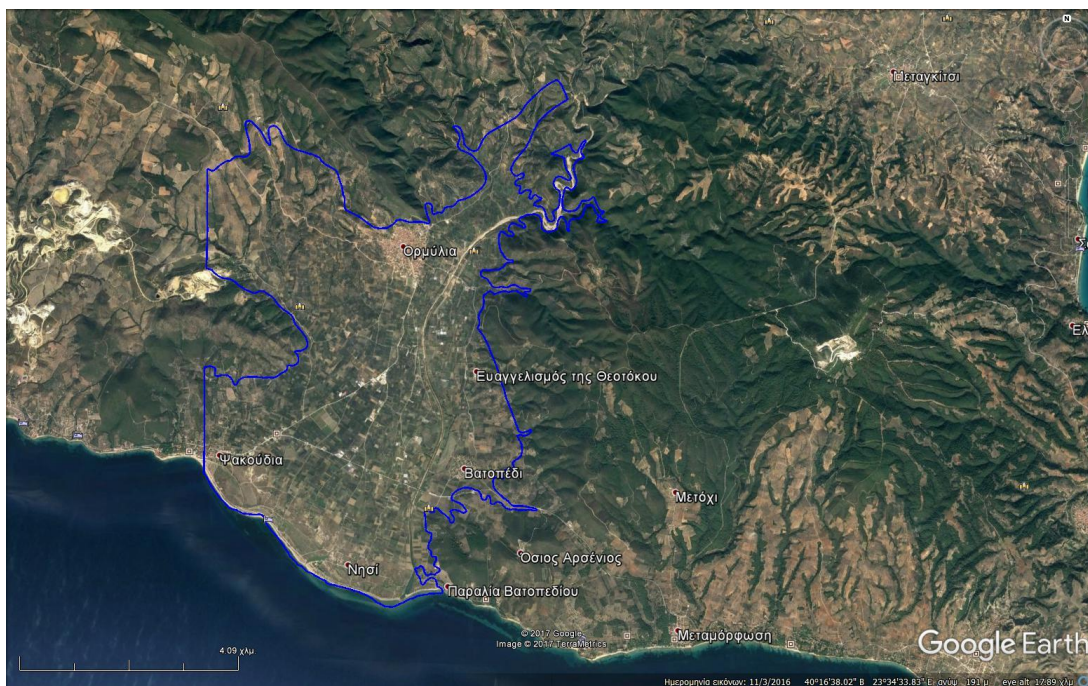
- Βιβλιογραφική ανασκόπηση
- Επεξεργασία μετεωρολογικών δεδομένων
- Ψηφιοποίηση χαρτών σε περιβάλλον ArcMap (GIS)
- Απογραφή υδρογεωτρήσεων και πηγαδιών
- Μετρήσεις στάθμης υπόγειου νερού σε δύο περιόδους (Μάιος και Οκτώβριος του 2016)
- Επί τόπου μετρήσεις των φυσικοχημικών παραμέτρων (pH, ηλεκτρικής αγωγιμότητας) του υπόγειου νερού από γεωτρήσεις
- Δειγματοληψία υπόγειου νερού και χημικές αναλύσεις
- Δημιουργία θεματικών χαρτών (Πιεζομετρικοί και ισοχημικοί χάρτες)

Τα δεδομένα που παρουσιάζονται στην παρούσα εργασία διατίθενται από τη διδακτορική διατριβή της κ. Παναγιώτα Βενετσάνου με τίτλο «Εκτίμηση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής σε λεκάνες απορροής του Ελληνικού χώρου», η οποία βρίσκεται σε εξέλιξη.

2 Ανάλυση της περιοχής έρευνας

2.1 Γεωγραφική θέση

Η περιοχή έρευνας εντοπίζεται στη βόρεια Ελλάδα, στην Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας, στο δήμο Πολυγύρου Χαλκιδικής, στη δημοτική ενότητα Ορμύλιας. Συγκεκριμένα, επικεντρώνεται στο παράκτιο υδροφόρο σύστημα που αναπτύσσεται στην περιοχή μεταξύ των χωριών Ορμύλιας, Ψακουδιών και Βατοπεδίου. Η περιοχή οριοθετείται μεταξύ των βουνών του Χολομώντα και του κόλπου της Κασσάνδρας (Σχήμα 1) και διασχίζεται από τον κάτω ρου του ποταμού Χαβρία.



Σχήμα 1: Εικόνα Google Earth με τα όρια της περιοχής έρευνας

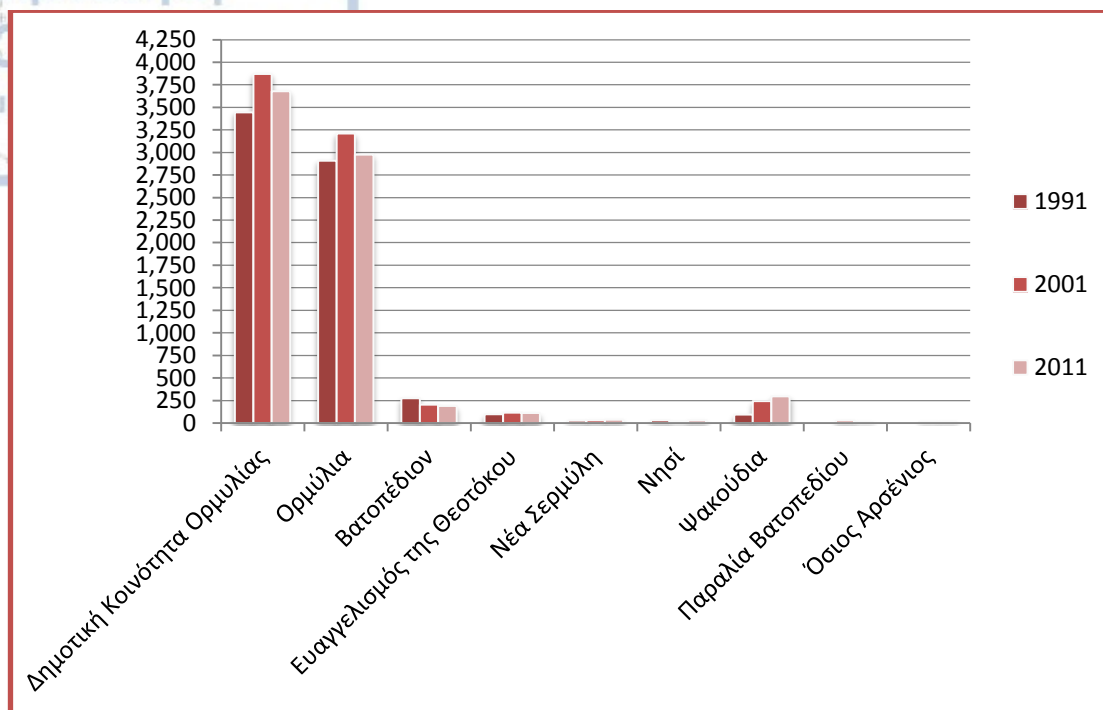
2.2 Πληθυσμιακά στοιχεία

Η δημοτική ενότητα της Ορμύλιας ανήκει στο δήμο Πολυγύρου, όπως προέκυψε από το πρόγραμμα «Καλλικράτης» και έχει 3682 μόνιμους κατοίκους, σύμφωνα με την απογραφή του 2011 (Ελληνική Στατιστική Υπηρεσία). Οι κοινότητες από τις οποίες αποτελείται είναι η Ορμύλια, το Βατοπέδι, ο Ευαγγελισμός της Θεοτόκου, η Νέα Σερμύλη, το Νησί, τα Ψακούδια, η παραλία Βατοπεδίου και ο Όσιος Αρσένιος.

Πίνακας 1: Πληθυσμιακά στοιχεία ανά κοινότητα

	1991	2001	2011
Δημοτική Κοινότητα Ορμυλίας	3.445	3.873	3.682
Ορμύλια	2.909	3.212	2.979
Βατοπέδιον	278	206	191
Ευαγγελισμός της Θεοτόκου	100	117	114
Νέα Σερμύλη	29	32	38
Νησί	32	18	32
Ψακούδια	97	245	299
Παραλία Βατοπεδίου		29	12
Όσιος Αρσένιος		14	17

Από τη σύγκριση των πληθυσμιακών μεταβολών (Πίνακας 1) παρατηρείται μια σημαντική αύξηση του πληθυσμού την περίοδο 1991-2001, τόσο συνολικά στην ενότητα όσο και σε κάθε χωριό ξεχωριστά, με εξαίρεση το Βατοπέδι και το Νησί, όπου παρουσίασαν μείωση των κατοίκων τους. Την περίοδο 2001-2011, σημειώθηκε μικρή μείωση του πληθυσμού σε επίπεδο δημοτικής ενότητας Ωστόσο, σε χωριά όπως τα Ψακούδια, το Νησί, και η Νέα Σερμύλη παρατηρείται αύξηση των κατοίκων τους (Σχήμα 2).

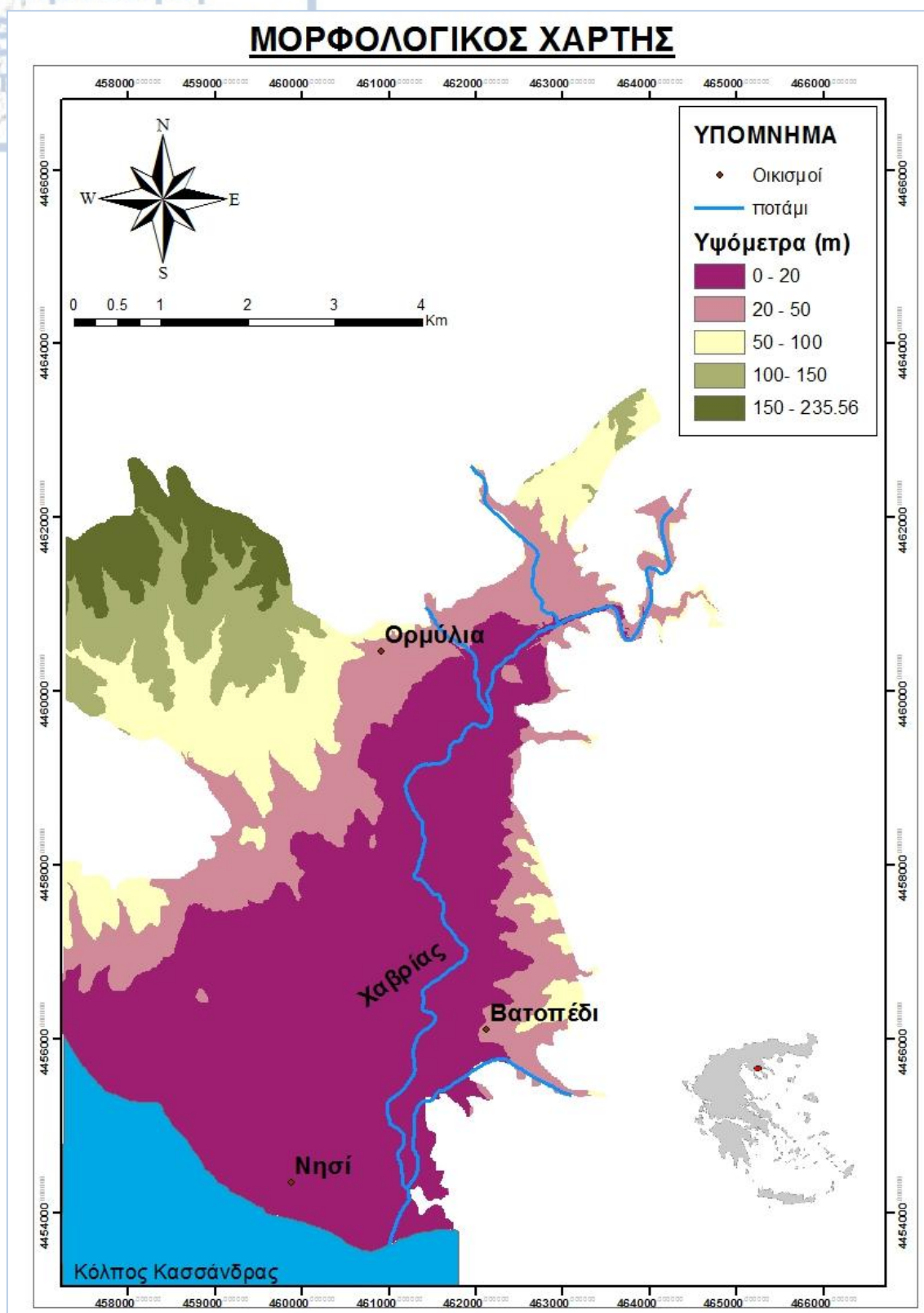


Σχήμα 2: Διάγραμμα με τα πληθυσμιακά στοιχεία της ενότητας της Ορμυλίας

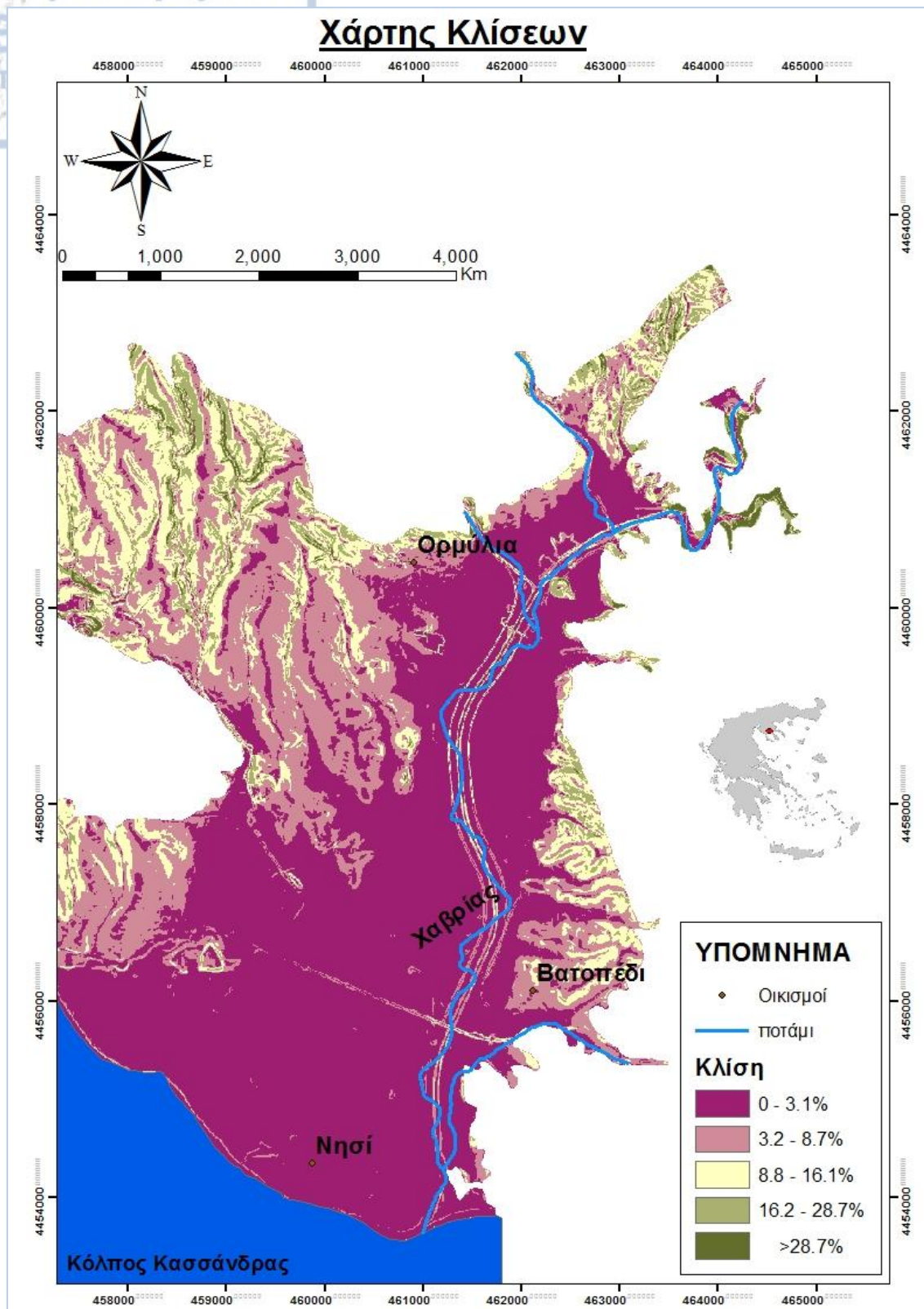
2.3 Μορφολογία

Τα μορφολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής έρευνας υπολογίστηκαν στο ArcMap σε περιβάλλον GIS. Η περιοχή έρευνας καλύπτει επιφάνεια 38 km² και η περίμετρος υπολογίστηκε 58 Km. Η διεύθυνση της λεκάνης είναι BBA-NNΔ. Η απόσταση από το ανώτερο σημείο της λεκάνης έως τις εκβολές του ποταμού, στον κόλπο της Κασσάνδρας, είναι 9,45 km. Το μέσο υψόμετρο της λεκάνης είναι περίπου 40 m, ενώ το μεγαλύτερο υψόμετρο είναι 235 m. Συγκεκριμένα, από το 0 έως 20 m αντιστοιχεί το 8,5 % της συνολικής επιφάνειας, από 20-50 m το 12,7 %, από 50-100 m το 21,2 %, από 100-150 m καλύπτεται το 21,2 % και τέλος, σε υψόμετρο μεγαλύτερο των 150 m εντοπίζεται το 36,3% της περιοχής (Σχήμα 3).

Η μέση κλίση της περιοχής είναι 8 %. Στο νότιο τμήμα της περιοχής και εκατέρωθεν του ποταμού, η κλίση κυμαίνεται από 0-3 %. Από Νότο προς Βορρά, η κλίση αυξάνεται και κατά τόπους γίνεται απότομη, υπερβαίνοντας το 29 % (Σχήμα 4).



Σχήμα 3: Μορφολογικός χάρτης στη περιοχή έρευνας



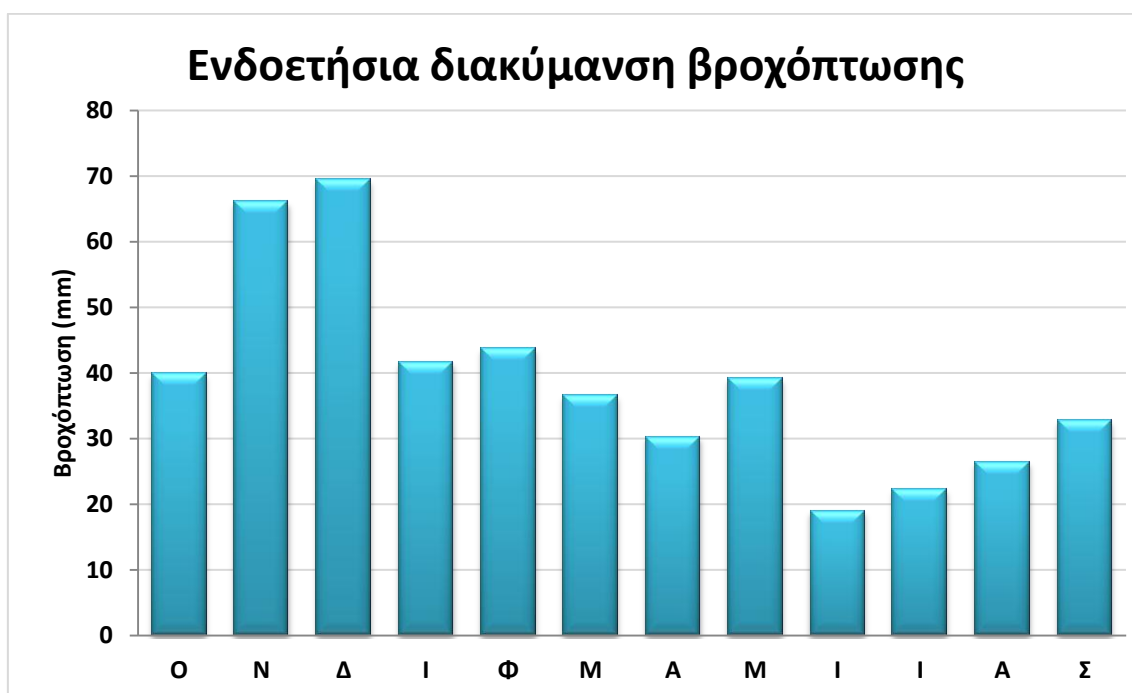
Σχήμα 4: Χάρτης κλίσεων στην περιοχή έρευνας

2.4 Κλίμα

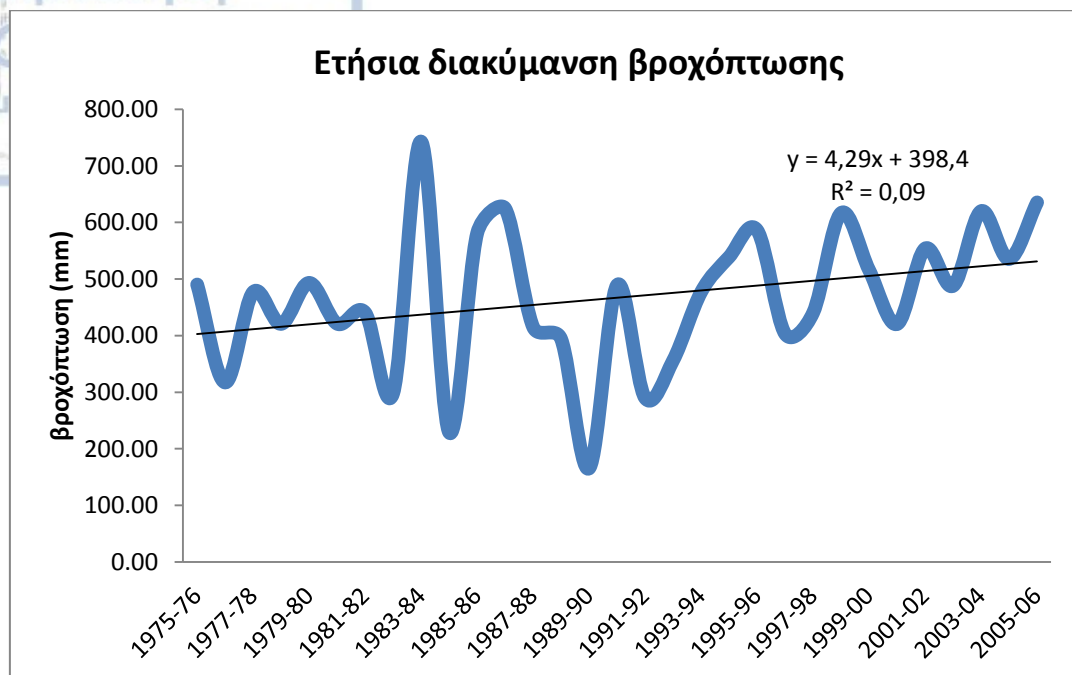
Για τον προσδιορισμό των κλιματικών συνθηκών στην ευρύτερη περιοχή της έρευνας χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από τους πλησιέστερους μετεωρολογικούς σταθμούς. Ο πιο κοντινός σταθμός στην περιοχή, είναι αυτός της Ορμύλιας, ο οποίος βρίσκεται σε υψόμετρο 40 m. Η μέση ετήσια βροχόπτωση είναι περίπου 450 mm για την περίοδο 1975- 2006 (Πίνακας 2). Το μέγιστο ύψος βροχόπτωσης σημειώνεται το μήνα Δεκέμβριο με 69,38 mm, ενώ το ελάχιστο τον Ιούνιο με 18,98 mm (Σχήμα 5). Το έτος κατά το οποίο σημειώθηκε το μέγιστο ύψος βροχόπτωσης ήταν το 1983, ενώ το ελάχιστο ύψος βροχόπτωσης, το 1990 (Σχήμα 6). Η ετήσια βροχόπτωση εμφανίζει αυξητική τάση (Σχήμα 6), η οποία δεν είναι στατιστικά σημαντική, αφού $R^2=0,09$.

Πίνακας 2: μέση μηνιαία βροχόπτωση για την περίοδο 1975- 2006 για το μετεωρολογικό σταθμό της Ορμύλιας

	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ	Ετήσιο
Μέση μηνιαία βροχόπτωση (mm)	41.67	43.71	36.58	30.22	39.12	18.98	22.30	26.48	32.64	39.82	66.10	69.38	440.36



Σχήμα 5: Ενδοετήσια διακύμανση της βροχόπτωσης για το σταθμό της Ορμύλιας για την περίοδο 1975- 2006

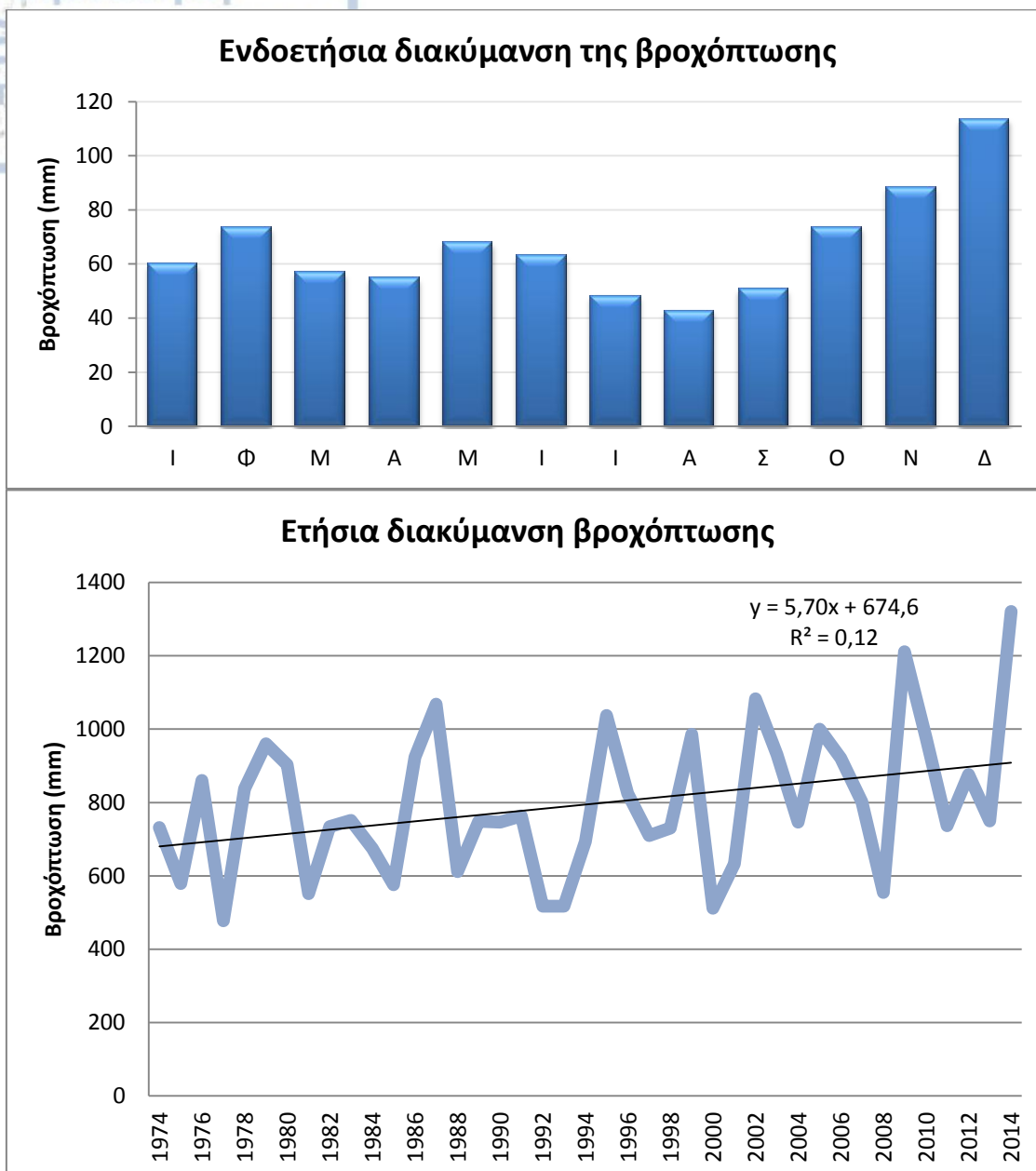


Σχήμα 6: Ετήσια διακύμανση της βροχόπτωσης για το σταθμό της Ορμούλιας για την περίοδο 1975- 2006

Ωστόσο, στο μετεωρολογικό σταθμό Ορμούλιας εκλείπουν τα θερμοκρασιακά δεδομένα. Ο πλησιέστερος μετεωρολογικός σταθμός στην περιοχή έρευνας με μεγάλη χρονοσειρά δεδομένων βροχόπτωσης και θερμοκρασίας είναι ο Ταξιάρχης, όπου βρίσκεται σε υψόμετρο 862m. Για την χρονική περίοδο 1974- 2014 η μέση ετήσια βροχόπτωση είναι περίπου 800 mm (Πίνακας 3). Ο μήνας με το μεγαλύτερο ύψος βροχόπτωσης είναι ο Δεκέμβριος με 113,8 mm, ενώ ο πιο ξηρός μήνας είναι ο Αύγουστος με 42,7 mm. Κατά την περίοδο 1974-2014, το πιο βροχερό έτος ήταν το 2014 με 1321 mm, αντίθετα το ξηρότερο έτος ήταν το 1977, με 478 mm ύψους βροχόπτωσης (Σχήμα 7). Η ανοδική τάση που παρουσιάζεται στην ετήσια βροχόπτωση (Σχήμα 7) δεν είναι στατιστικά σημαντική, καθώς $R^2=0,12$.

Πίνακας 3: Μέση ετήσια βροχόπτωση και θερμοκρασία από το μετεωρολογικό σταθμό Ταξιάρχη για την περίοδο 1974- 2014

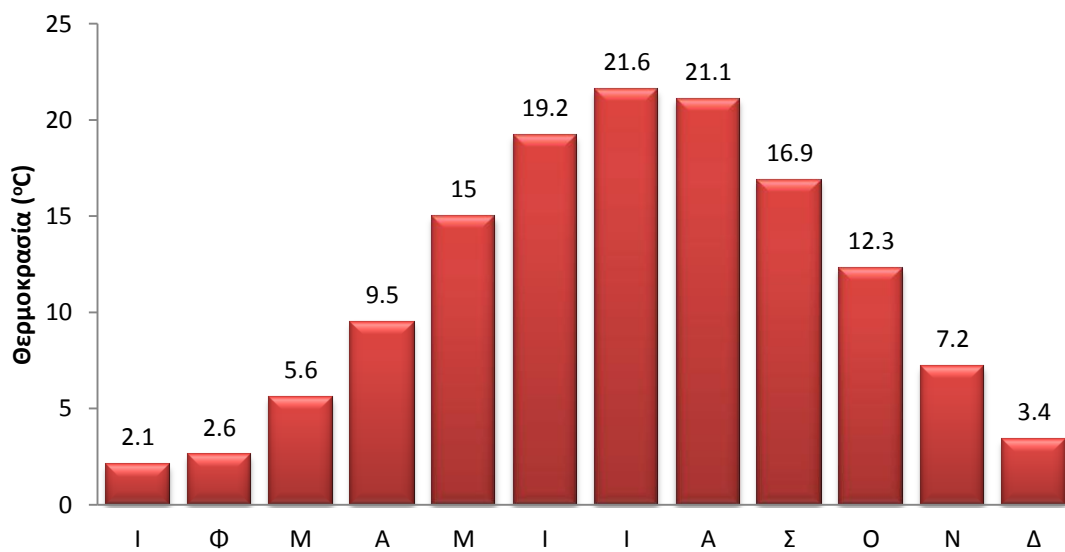
	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ	ετήσιο
Μέση μηνιαία βροχόπτωση (mm)	60	73.6	57	55	67.9	63	48.3	42.7	50.8	73.8	88.5	113.8	794.4
Μέση μηνιαία θερμοκρασία (C°)	2.1	2.6	5.6	9.5	15	19.2	21.6	21.1	16.9	12.3	7.2	3.4	11.4



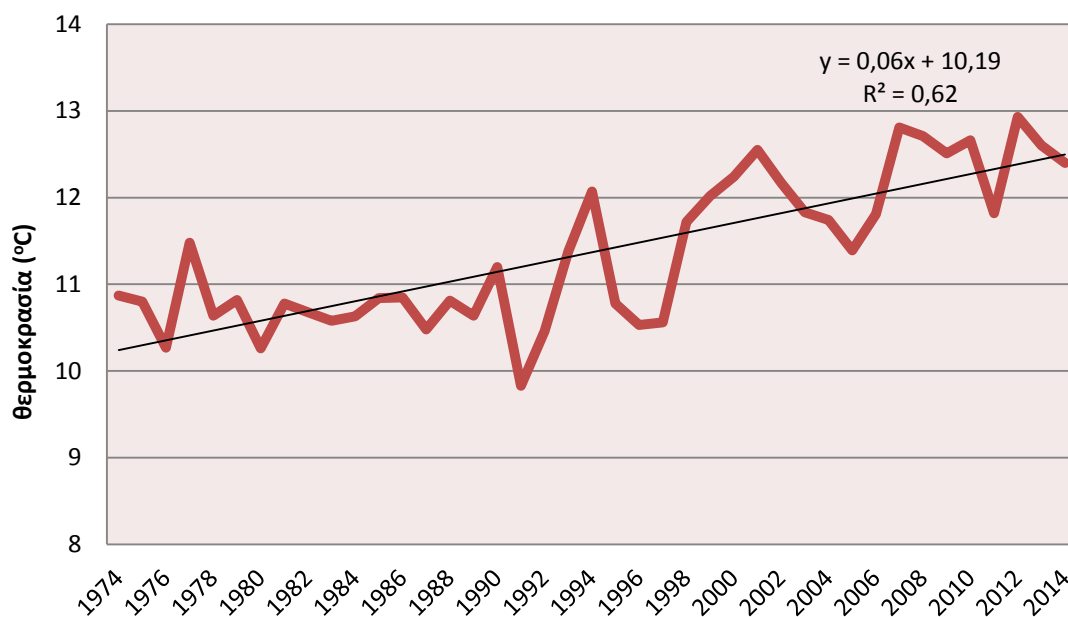
Σχήμα 7: Ενδοετήσια και ετήσια διακύμανση της βροχόπτωσης του Ταξιάρχη για την περίοδο 1974- 2014

Η μέση ετήσια θερμοκρασία για την περίοδο 1974- 2014 είναι 11,4 °C (Πίνακας 3). Το έτος κατά το οποίο σημειώθηκε κατά μέσο όρο η υψηλότερη θερμοκρασία ήταν το 2012 με 12,93 °C, ενώ το ψυχρότερο έτος ήταν το 1991, όπου η μέση ετήσια θερμοκρασία ήταν 9.83 °C. Ο μήνας κατά τον οποίο σημειώνεται η μέση ελάχιστη θερμοκρασία είναι ο Ιανουάριος. Αντίθετα, ο θερμότερος μήνας είναι ο Ιούλιος, με τη θερμοκρασία να σημειώνεται στους 21,6 °C (Σχήμα 8).

Ενδοετήσια διακύμανση θερμοκρασίας



Ετήσια διακύμανση θερμοκρασίας



Σχήμα 8: Ενδοετήσια και ετήσια διακύμανση της θερμοκρασίας του Ταξιάρχη για την περίοδο 1974- 2014

2.5 Υδρολογικό Ισοζύγιο

Χρησιμοποιώντας τα δεδομένα από το σταθμό του Ταξιάρχη, καθώς εκεί υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα βροχόπτωσης και θερμοκρασίας, παρουσιάζεται ένα προσεγγιστικό επιφανειακό υδρολογικό ισοζύγιο κατά Thornthwaite – Mather (1955) για την χρονική περίοδο 1974- 2014:

$$Q=P-E_r$$

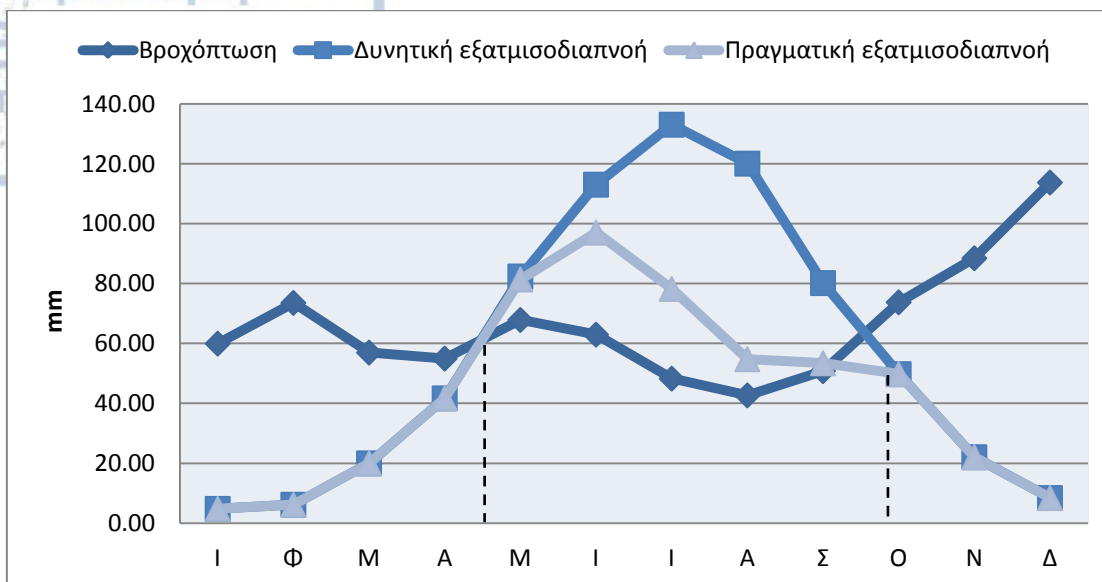
Q: ολική απορροή, δηλαδή το άθροισμα της επιφανειακής απορροής και κατείσδυσης

P: η βροχόπτωση

Er: η πραγματική εξατμισοδιαπνοή

Πίνακας 4: Υδρολογικό ισοζύγιο κατά Thornthwaite στο σταθμό Ταξιάρχη Χαλκιδικής.

Συντ. Πρ. εξατμης. κατά Thornthwaite													65.2%
	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ	Ετήσιο
P (mm)	40.54	52.89	39.78	39.40	46.18	37.13	38.38	29.81	32.88	49.17	63.84	77.59	547.58
T (°C)	2.35	3.00	5.95	10.15	15.45	19.95	22.20	21.65	17.45	12.80	7.35	4.00	11.86
Er (mm)	4.79	6.18	20.01	41.71	81.42	97.08	78.26	54.79	53.44	49.81	22.06	8.44	518.00
Q (mm)	55.21	67.42	36.99	13.29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	103.50	276.40

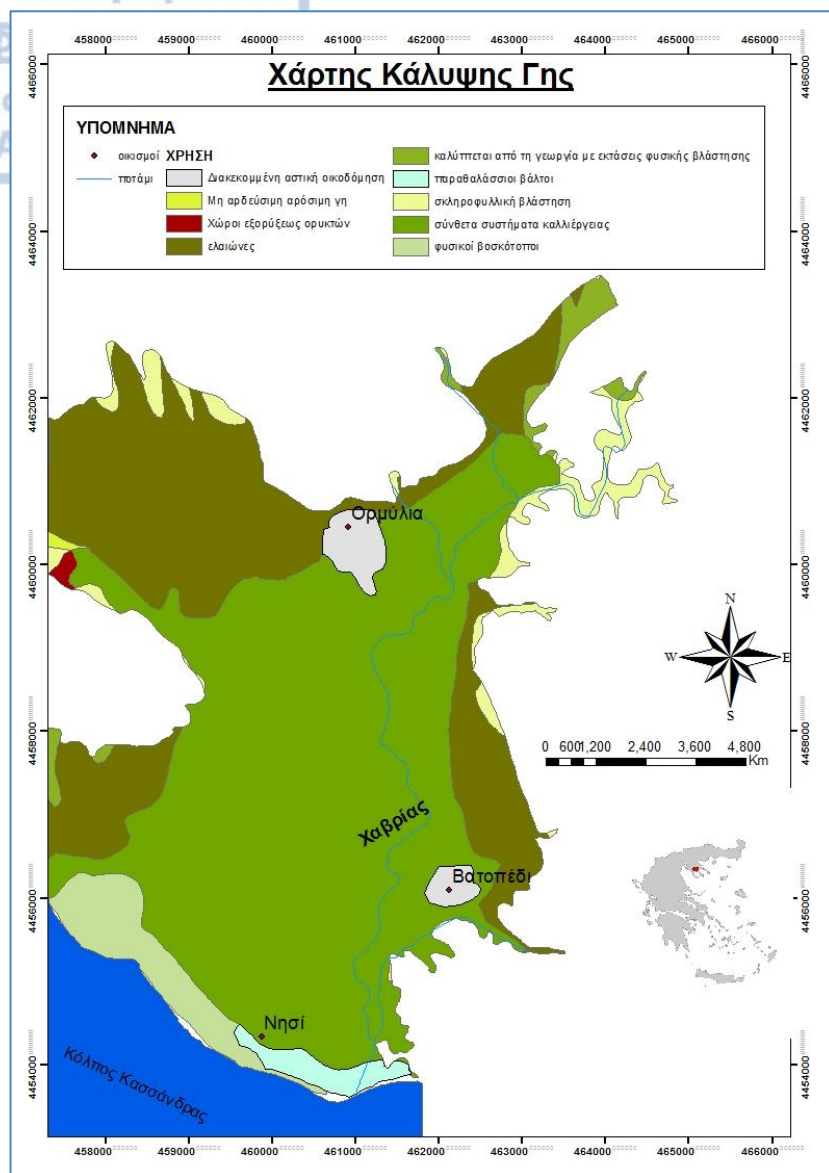


Σχήμα 9: Ενδοετήσια πορεία υδατικού ισοζυγίου για το σταθμό Ταξιάρχη Χαλκιδικής

Στον Πίνακα 4 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του προσεγγιστικού υδατικού ισοζυγίου. Θεωρώντας, ως μέγιστη ικανότητα κατακράτησης του εδάφους τα 100 mm, ο συντελεστής πραγματικής εξατμισοδιαπνοής υπολογίζεται σε 65,2% του ετήσιου ύψους βροχόπτωσης του μετεωρολογικού σταθμού του Ταξιάρχη. Από την ενδοετήσια εικόνα του ισοζυγίου (Σχήμα 9), προκύπτει ότι η αναπλήρωση της εδαφικής υγρασίας αρχίζει το Σεπτέμβριο. Από τον Μάιο έως τον Σεπτέμβριο παρουσιάζεται έλλειμμα της εδαφικής υγρασίας. Αντίθετα, κατά τους μήνες Ιανουάριο έως Απρίλιο παρατηρείται πλεόνασμα νερού.

2.6 Χρήσεις Γης

Οι χρήσεις γης είναι ιδιαίτερα σημαντικές, καθώς παρέχουν πληροφορίες σχετικά με τις δραστηριότητες που λαμβάνουν χώρα σε μια περιοχή, το χώρο που καταλαμβάνουν, καθώς και το ενδεχόμενο ενός επεισοδίου ρύπανσης από τις χρήσεις αυτές. Στην περιοχή έρευνας, σύμφωνα με το Corine Land Cover 2000 (www.geodata.gov.gr), τα σύνθετα συστήματα καλλιέργειας και οι ελαιώνες καταλαμβάνουν τη μεγαλύτερη έκταση της περιοχής, ενώ τη μικρότερη έκταση καλύπτουν οι παραθαλάσσιοι βάλτοι (Σχήμα 10). Οι κύριες δραστηριότητες ενασχόλησης των κατοίκων της περιοχής είναι η γεωργία και ο τουρισμός.

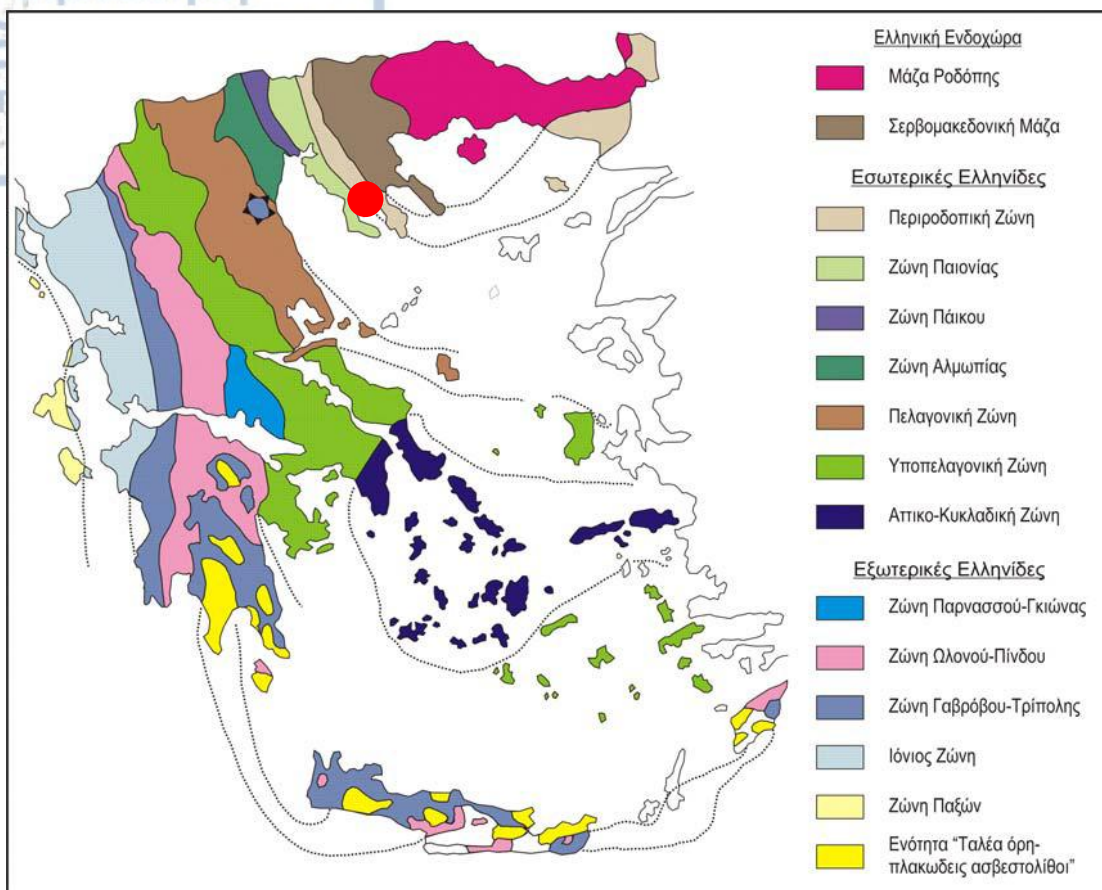


Σχήμα 10: Χάρτης χρήσεων Γης στην περιοχή έρευνας, (CORINE 2000)

2.7 Παλαιογεωγραφική και Γεωτεκτονική θέση

2.7.1 Γεωλογία ευρύτερης περιοχής

Η ευρύτερη περιοχή έρευνας εντάσσεται στις Εσωτερικές Ελληνίδες (Σχήμα 11). Ειδικότερα, εντοπίζονται γεωλογικοί σχηματισμοί της Περιοδοπικής και της Σερβομακεδονικής (Μουντράκης, 2010), καθώς και ιζηματογενείς σχηματισμοί του Νεογενούς και Τεταρτογενούς. Συγκεκριμένα, συναντάται η σειρά Βερτίσκου της Σερβομακεδονικής και οι ενότητες Άσπρης Βρύσης- Χορτιάτη και Μελισσοχωρίου-Χολομώντα της Περιοδοπικής.



Σχήμα 11: Γεωτεκτονικές ζώνες της Ελλάδος με επισήμανση στη περιοχή έρευνας, (Μουντράκης 2010)

Η Σερβομακεδονική μάζα αποτελείται από δύο ενότητες, την ενότητα των Κερδυλλίων και την ενότητα Βερτίσκου. Τα Κερδύλλια, που αποτελούν την αρχαιότερη ενότητα και βρίσκονται κάτω από την ενότητα του Βερτίσκου, αποτελούνται λιθολογικά από μιγματικούς βιοτιτικούς γνευσίους, γρανατούχους διμαρμαρυγιακούς γνευσίους, αμφιβολίτες, αμφιβολιτιωμένους εκλογίτες και μάρμαρα. Η ενότητα του Βερτίσκου είναι τοποθετημένη πάνω στην ενότητα Κερδυλλίων και αποτελείται λιθολογικά από σειρά μιγματιτών, οφθαλμοειδών ορθογνευσίων, μαρμαρυγιακών σχιστολίθων και λεπτών στρωμάτων μαρμάρων. Στα ανώτερα στρώματα βρίσκονται επίσης, μετα-γάββροι, μετα-διαβάσες, ορθοαμφιβολίτες, καθώς και τεκτονικά τοποθετημένα στρώματα σερπεντινωμένου υλικού (Μουντράκης, 2010).

Η Περιοδοπική ζώνη συγκροτείται από τρεις βασικές ενότητες, την ενότητα Ντεβέ-Κοράν, την ενότητα Μελισσοχωρίου- Χολομώντα, και την ενότητα Άσπρης Βρύσης- Χορτιάτη. Η στρωματογραφία της ενότητας Ντεβέ Κοράν-Δουμπιά ξεκινάει από τους τους βαθύτερους ορίζοντες με το σχηματισμό «εξαμιλίου», ο οποίος αποτελείται από μεταψαμμίτες, χαλαζίτες, χαλαζιακούς σχιστολίθους και μετα-κροκαλοπαγή. Πάνω από αυτό το σχηματισμό συναντώνται χαλαζιακά πορφυροειδή,

χαλαζιακοί σχιστόλιθοι, χαλαζίτες, ασβεστιτικοί σχιστόλιθοι, πυροκλαστικά υλικά, και σχιστοποιημένοι ανθρακίτες, ρυόλιθοι, βασάλτες και δολερίτες. Ο ανώτερος ορίζοντας αυτής της ενότητας είναι ανακρυσταλλωμένοι ψαμμιτικοί και μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι νηριτικού περιβάλλοντος με αργλικές και μαργαϊκές ενστρώσεις πελαγικής προέλευσης. Η ενότητα Μελισσοχωρίου- Χολομώντα αποτελείται λιθολογικά από τα κατώτερα προς τα ανώτερα στρώματα από ανακρυσταλλωμένους ασβεστόλιθους με ενστρώσεις γραφιτικών και σερικιτικών σχιστολίθων, φυλλίτες κοινούς, γραφιτικούς και ψαμμιτικούς και ένα σχηματισμό φλύσχη με τουρβιδιτικές ενστρώσεις. Τέλος η ενότητα Άσπρης Βρύσης- Χορτιάτη αποτελείται από ανάλογα ιζήματα της ενότητας Ντεβέ Κοράν, ιζήματα βαθιάς θάλασσας όπως μαύροι κερατόλιθοι, κόκκινοι αργιλικόι σχιστόλιθοι, μαύροι γραφιτικοί φυλλίτες, μάργες και χαλαζιακοί σχιστόλιθοι. Επίσης εντοπίζονται πετρώματα μαγματικής προέλευσης τα οποία μετατράπηκαν σε πράσινους επιγνευσίους (Μουντράκης, 2010).

2.7.2 Γεωλογία της περιοχής έρευνας

Στην περιοχή έρευνας συναντώνται οι ακόλουθοι σχηματισμοί, από τους νεότερους στους παλαιότερους, όπως παρουσιάζονται στο γεωλογικό χάρτη (Φύλλο Αρναία, Κλίμακα 1:50000, ΙΓΜΕ) στο Σχήμα 12:

ΟΛΟΚΑΙΝΟ

- Αλλουβιακές αποθέσεις: εντοπίζονται στην παράκτια περιοχή και αποτελούνται από άμμους, ψηφίδες, αργίλους κα.
- Παράκτιες αποθέσεις: άμμοι και θίνες
- Λιμνοθαλάσσια ιζήματα: άμμοι και αμμούχοι άργιλοι
- Λιμναία ιζήματα: άμμος, ιλύς και άργιλος

ΠΛΕΙΣΤΟΚΑΙΝΟ

- Ανώτερο σύστημα αναβαθμίδων: κροκάλες από σχιστολιθικά πετρώματα, άμμοι και ψηφίδες
- Ριπίδια προσχώσεων: νέοι αλλά και παλαιοί κώνοι κορημάτων μέσα στις αλλουβιακές αποθέσεις

ΝΕΟΓΕΝΕΣ

- Σειρά ερυθρών αργίλων: ερυθρές έως κεραμόχρωμες άργιλοι και κατά θέσεις αμμούχες



- Βασική σειρά κροκαλοπαγών: κροκαλοπαγή χερσαίου περιβάλλοντος που εναλλάσσονται με ψαμμίτες

- Φυλλίτες: γρανατούχοι, γραφιτικοί με χαλαζιακές ενστρώσεις

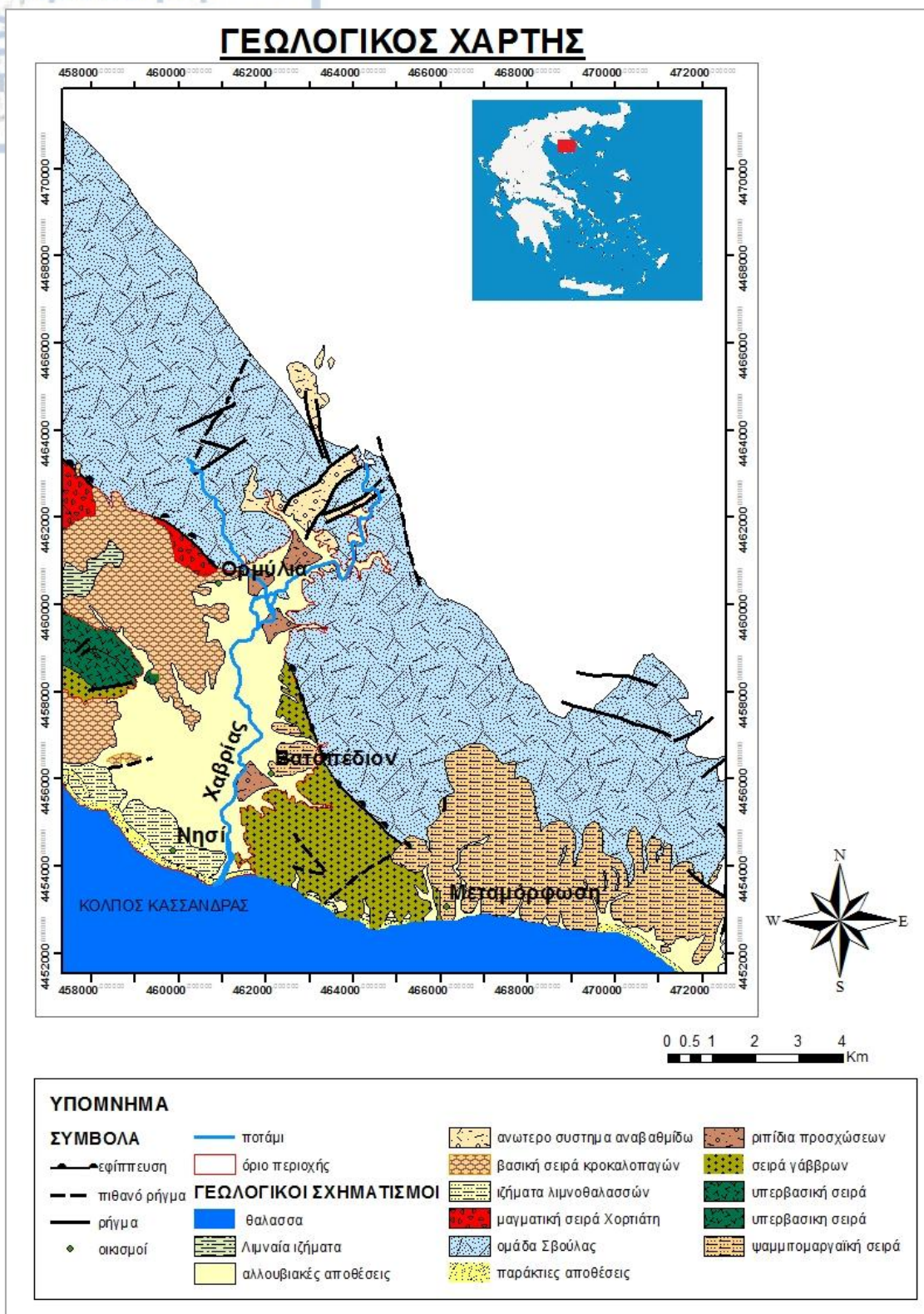
ΜΕΣΟΖΩΙΚΟ

- Δουνίτες και περιδοτίτες
- Γάββροι

2.7.3 Τεκτονική

Η περιοχή επηρεάστηκε από δύο τεκτονικές ορογενέσεις (Μουντράκης, 2010). Η πρώτη ορογενετική διαδικασία συνδέεται με την δημιουργία ισοκλινών πτυχών, οι οποίες έχουν διεύθυνση προς βορρά. Η δεύτερη ορογενετική διαδικασία που εξελίσσεται ταυτόχρονα με την πρώτη και την επηρεάζει συνδέεται με την δημιουργία πτυχών, που έχουν διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ. Τέλος, κατά το Τριτογενές έλαβε χώρα μεγάλου βαθμού συμπιεστική τεκτονική που προκάλεσε επωθήσεις, αναστροφή των στρωμάτων και πτυχών τύπου Knick.

Στην περιοχή έρευνας τα στρώματα στο όριο της Περιοδοπικής και Σερβομακεδονικής ζώνης φαίνεται να είναι ανεστραμμένα. Η ρηξιγενής τεκτονική της περιοχής περιλαμβάνει τόσο κανονικά ρήγματα όσο και επιπτεύσεις κατακόρυφης ανάπτυξης. Τα ρήγματα αυτά εκτείνονται σε δύο ομάδες διευθύνσεων. Η μία ομάδα έχει διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ και η άλλη ΒΑ-ΝΔ (Μουντράκης, 2010)

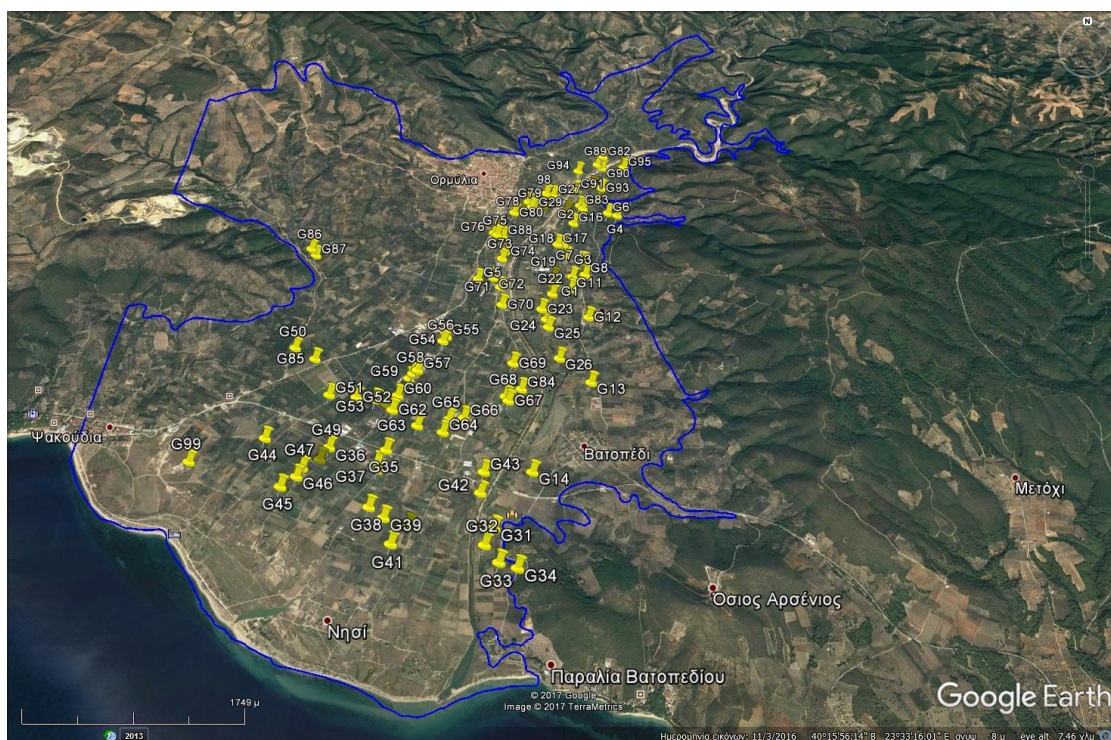


Σχήμα 12: Γεωλογικός χάρτης της περιοχής έρευνας, Φύλλο Αρναίας, Κλίμακα 1:50.000 (ΙΓΜΕ, 1978)

3 Υδρογεωλογία

Οι υδρογεωλογικές συνθήκες σε μία περιοχή καθορίζονται από τις επικρατούσες γεωλογικές και λιθολογικές συνθήκες. Στην περιοχή έρευνας, το υδροφόρο σύστημα αναπτύσσεται εντός των Ολοκαινικών αλλουβιακών αποθέσεων και χρησιμοποιείται για την κάλυψη των υδρευτικών και αρδευτικών αναγκών.

Για τον προσδιορισμό της πιεζομετρίας και της διεύθυνσης ροής του υπόγειου νερού, πραγματοποιήθηκε μέτρηση της στάθμης. Συνολικά απογράφηκαν 120 γεωτρήσεις και πηγάδια που εντοπίστηκαν στην περιοχή έρευνας (Σχήμα 14). Οι μετρήσεις στάθμης του υπόγειου νερού αφορούν την «υγρή» και «ξηρή» περίοδο του 2016 και πραγματοποιήθηκαν σε 70 γεωτρήσεις που επιλέχθηκαν με κριτήριο την καλή χωρική κατανομή τους (Σχήμα 13).



Σχήμα 13: Εικόνα Google Earth με τις γεωτρήσεις στην περιοχή έρευνας



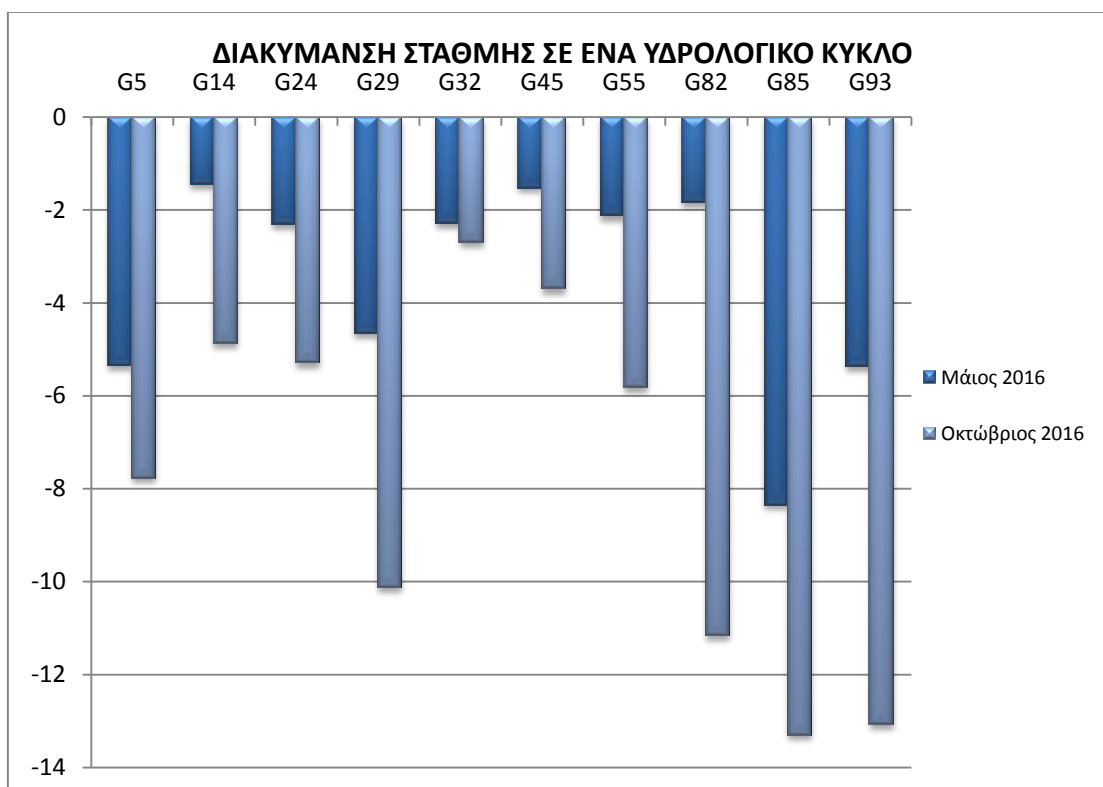
Σχήμα 14: Μέτρηση στάθμης υπόγειου νερού με τη χρήση σταθμημέτρου

Κατά την υγρή περίοδο του 2016, το βάθος της επιφάνειας του υπόγειου νερού κυμαίνεται από 0,5-4,5 m στο νότιο τμήμα και από 2 έως 8 m ανατολικά και δυτικά του ποταμού Χαβρία. Στο δυτικό τμήμα της περιοχής έρευνας, η στάθμη του υπόγειου νερού εντοπίστηκε περίπου στα 12 m, από την επιφάνεια του εδάφους. Κατά τη ξηρή περίοδο του 2016, η στάθμη κυμαίνεται από 1,5-6 m στο παράκτιο τμήμα της περιοχής και από 8-12 m εκατέρωθεν του ποταμού Χαβρία. Στο δυτικό τμήμα της περιοχής έρευνας, η στάθμη του υπόγειου νερού εντοπίστηκε περίπου στα 27 m. Στον Πίνακα 5 και στο Σχήμα 15 παρατίθενται, ενδεικτικά, οι τιμές του βάθους της στάθμης και η πτώση της στάθμης μεταξύ υγρής και ξηρής περιόδου, για 10 γεωτρήσεις.

Διαπιστώνεται, πτώση στάθμης η οποία κυμαίνεται σε βάθος από 0.4- 4 m στο παράκτιο και από 2-4 m, σε περιοχές ανατολικά και δυτικά του ποταμού Χαβρία. Στο βόρειο τμήμα της περιοχής έρευνας, η πτώση στάθμης ανέρχεται στα 15 m.

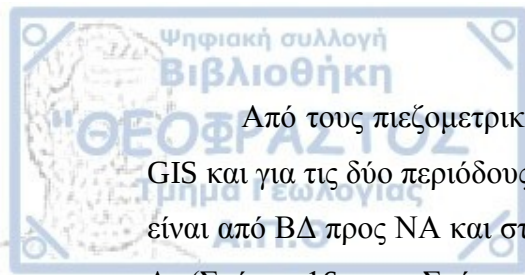
Πίνακας 5: Τιμές στάθμης και πτώσης στάθμης σε δέκα γεωτρήσεις κατά την υγρή και ξηρή περίοδο του 2016

Γεωτρήσεις	Μάιος 2016 (m)	Οκτώβριος 2016 (m)	Πτώση στάθμης (m)
G5	5.36	7.77	2.41
G14	1.45	4.88	3.43
G24	2.32	5.3	2.98
G29	4.66	10.13	5.47
G32	2.3	2.7	0.4
G45	1.53	3.71	2.18
G55	2.14	5.84	3.7
G82	1.85	11.16	9.31
G85	8.35	13.31	4.96
G93	5.38	13.08	7.68



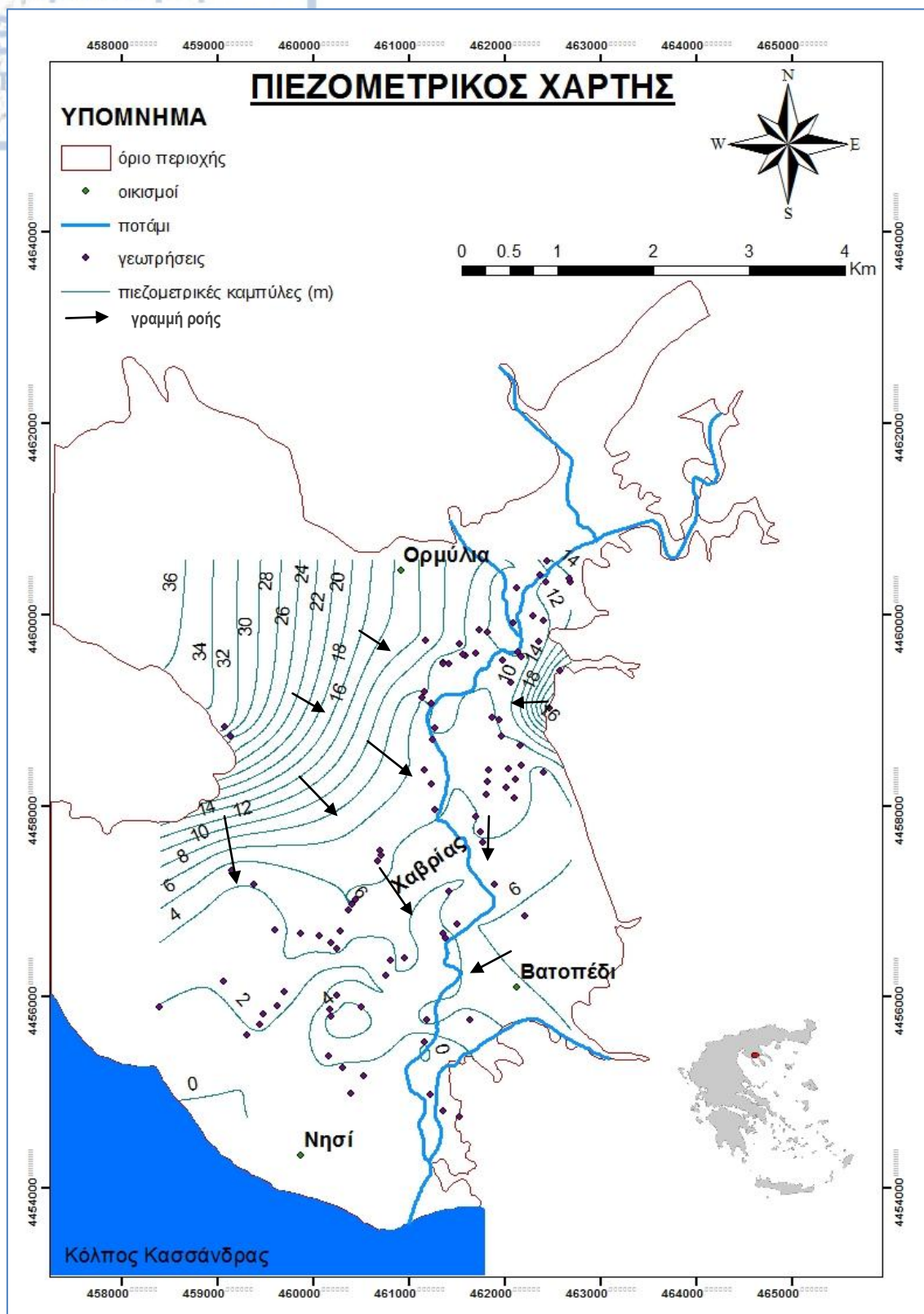
Σχήμα 15: Διακύμανση στάθμης σε δέκα γεωτρήσεις στην περιοχή έρευνας

Οι μεγάλες τιμές πτώσης στάθμης που παρατηρούνται, σε όλη την περιοχή έρευνας, οφείλονται στην υπεράντληση των αποθεμάτων του υπόγειου νερού, λόγω της αύξησης της ζήτησης τόσο των αρδευτικών, όσο και των υδρευτικών αναγκών, ιδιαίτερα κατά τους καλοκαιρινούς μήνες.

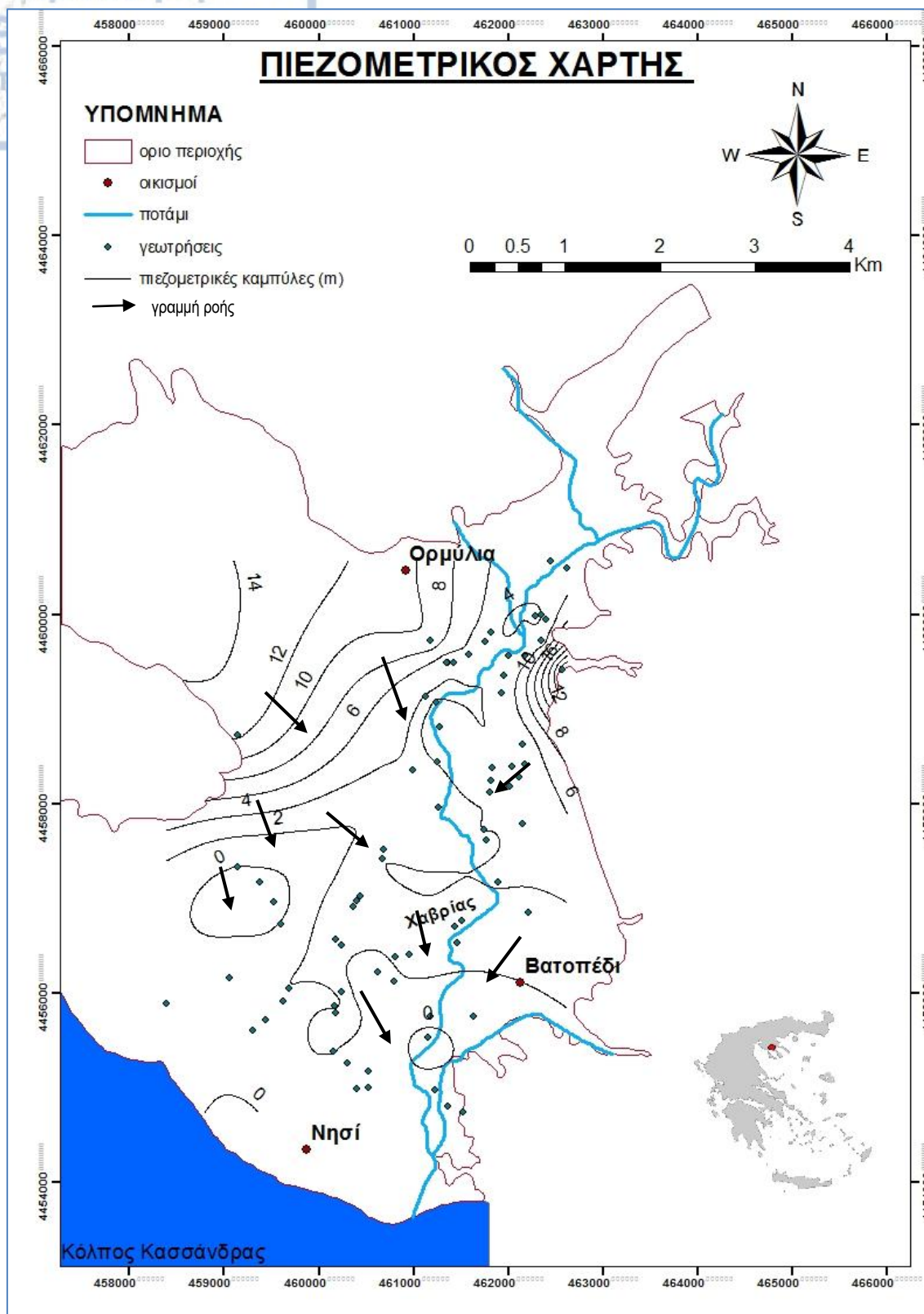


Από τους πιεζομετρικούς χάρτες, που συντάχθηκαν στο ArcMap σε περιβάλλον GIS και για τις δύο περιόδους, προκύπτει ότι η διεύθυνση ροής στο βορειοδυτικό τμήμα είναι από ΒΔ προς ΝΑ και στην περιοχή του Βατοπεδίου η διεύθυνση είναι από Α προς Δ (Σχήμα 16 και Σχήμα 17). Πρέπει να αναφερθεί, ότι στο παράκτιο τμήμα παρατηρούνται αρνητικές τιμές πιεζομετρίας και στις δυο περιόδους, υποδηλώνοντας τη διείσδυση της θάλασσας.

Συμπερασματικά, συνδυάζοντας τις γεωλογικές και υδρογεωλογικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή έρευνας, καθώς και τα λιθολογικά προφίλ των δημοτικών γεωτρήσεων, τα οποία παρατίθενται στο Παράρτημα, διαπιστώνεται ότι στην περιοχή έρευνας αναπτύσσεται ένας ελεύθερος αβαθής υδροφορέας, που απαντάται εντός των Ολοκαινικών αλλουβιακών αποθέσεων. Ο υδροφορέας αυτός, μεταβαίνει κατά τόπους, σε υπό πίεση.



Σχήμα 16: Πιεζομετρικός χάρτης Μαΐου 2016 στην περιοχή έρευνας



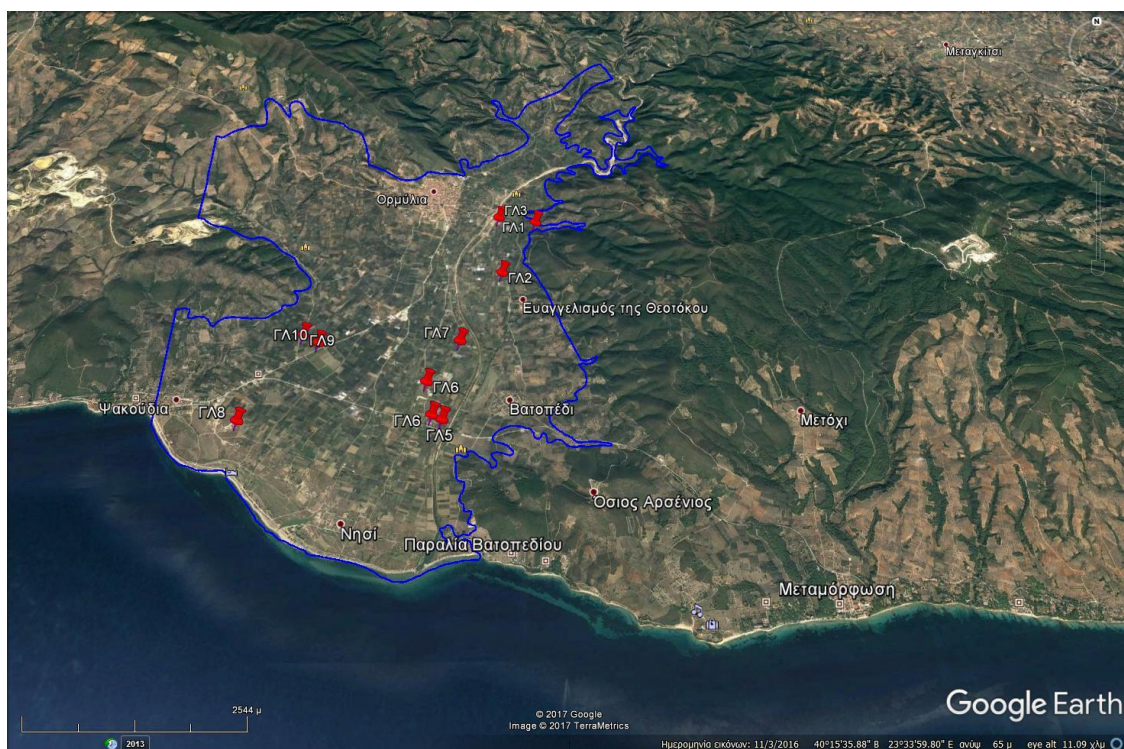
Σχήμα 17: Πιεζομετρικός χάρτης Οκτωβρίου 2016 στην περιοχή έρευνας

4 Ποιότητα υπόγειου νερού

Για τον προσδιορισμό των ποιοτικών χαρακτηριστικών του υπόγειου νερού και την πληρέστερη κατανόηση των υδρογεωλογικών συνθηκών της περιοχής έρευνας, πραγματοποιείται και η υδροχημική έρευνα.

Το υπόγειο νερό παρουσιάζει φυσικές και χημικές ιδιότητες, από τις οποίες καθορίζεται η ποιότητά του. Φυσικές ιδιότητες θεωρούνται η θερμοκρασία, η οσμή, η θολότητα, η ραδιενέργεια και το χρώμα. Χημικές ιδιότητες θεωρούνται το pH, η συγκέντρωση των ιόντων, το δυναμικό οξειδοαναγωγής, η αλκαλικότητα, η σκληρότητα και η αγωγιμότητα (Βουδούρης, 2014).

Για την ποιοτική εκτίμηση του υπόγειου νερού, πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις, καθώς και επιτόπου μετρήσεις των φυσικοχημικών παραμέτρων (pH, θερμοκρασία, ηλεκτρική αγωγιμότητα). Η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε το Μάιο του 2016, κατά την οποία συλλέχθηκαν 10 δείγματα υπόγειου νερού (Σχήμα 18 και Σχήμα 19), με κατάλληλη χωρική κατανομή. Οι αναλύσεις έγιναν στο εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης και στο χημικό εργαστήριο του Ελληνικού Γεωργικού Οργανισμού ΔΗΜΗΤΡΑ.



Σχήμα 18: Εικόνα Google Earth, με την περιοχή έρευνας και τα σημεία δειγματοληψίας νερού.



Σχήμα 19: Απογραφή και δειγματοληψία υπόγειου νερού

4.1 Μεθοδολογία χημικών αναλύσεων

Τα ιόντα που προσδιορίστηκαν με τις ακόλουθες εργαστηριακές αναλύσεις, που περιγράφονται στη συνέχεια, είναι K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- , Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} :

- K^+ , Na^+

Για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης του καλίου και του νατρίου χρησιμοποιείται το φλογοφωτόμετρο (Σχήμα 20). Μέρος του δείγματος νερού τοποθετείται σε δοκιμαστικό σωλήνα με την κατάλληλη αραίωση, εφόσον χρειάζεται. Το φλογοφωτόμετρο κατά την έναρξή του ρυθμίζεται ώστε να έχει την κατάλληλη φλόγα και ρυθμίζεται από πρότυπα διαλύματα. Έπειτα, μέσα στο δοκιμαστικό σωλήνα τοποθετείται σωληνάριο του μηχανήματος ώστε να πραγματοποιηθεί η ανάλυση. Από τις τιμές που λαμβάνονται εξάγεται η καμπύλη αναφοράς νατρίου ή καλίου αντίστοιχα η οποία ταυτίζεται με το γραμμικό τμήμα των πρότυπων καμπυλών και λαμβάνεται τιμή " $C(mg/L)$ ". Για τα αρδευτικά νερά ισχύουν οι σχέσεις: $K(meq/L)=C/39$ και $Na(meq/L)=C/23$.



Σχήμα 20: Φλογοφωτόμετρο χημικού εργαστηρίου ΕΘΙΑΓΕ

- Ca^{2+} , Mg^{2+}

Ο προσδιορισμός των κατιόντων ασβεστίου και μαγνησίου επιτυγχάνεται με τη μέθοδο της τιτλοδότησης. Ο υπολογισμός της περιεκτικότητας σε ασβέστιο και μαγνήσιο στηρίζεται σε δύο ογκομετρήσεις. Η πρώτη ογκομέτρηση (α) πραγματοποιείται με αμπούλα τύπου EDTA, ο δείκτης που χρησιμοποιείται είναι ο δείκτης MANVER και το υγρό είναι Bufer solution, από το οποίο προστίθεται 1 ml. Στη δεύτερη ογκομέτρηση (β) αντίστοιχα χρησιμοποιείται αμπούλα τύπου EDTA, ο δείκτης είναι τύπου Calver και το υγρό Potassium hydroxide από το οποίο προστίθενται 2 ml. Η διαδικασία παρασκευής είναι ίδια και για τις δύο ογκομετρήσεις, δηλαδή, σε 100ml δείγματος προστίθενται ο δείκτης και το υγρό και αναδεύονται μέχρι τη διάλυσή τους. Στη συνέχεια, προστίθεται η αμπούλα έως να επιτευχθεί η αλλαγή του κόκκινου χρώματος σε μπλε. Από την πρώτη ογκομέτρηση προκύπτει η

ολική συγκέντρωση σε mg/L CaCO_3 που οφείλεται στα Ca και Mg. Από τη δεύτερη ογκομέτρηση προκύπτει η σκληρότητα του Ca σε mg/L CaCO_3 που οφείλεται στο Ca.

Επομένως, ισχύει $[\text{Ca}] = \beta * 0,4$ και $[\text{Mg}] = (\alpha - \beta) * 0,29 * 0,842$.

Η ολική συγκέντρωση θα πρέπει πάντα να είναι μεγαλύτερη από την σκληρότητα του Ca.

- Cl^-

Η μέθοδος υπολογισμού της περιεκτικότητας του Cl^- απαιτεί τη χρήση αμπούλας τύπου Mercuric Nitrate και το δείκτη Diphenylcarbazone. Σε 100 ml δείγματος διαλύεται ο δείκτης. Τέλος, προστίθεται η αμπούλα έως ότου επιτευχθεί η αλλαγή χρώματος του διαλύματος.

- NO_3^- , SO_4^{2-}

Για τον προσδιορισμό της περιεκτικότητας των νιτρικών και των θεικών χρησιμοποιείται το φασματοφωτόμετρο. Κάθε φορά ρυθμίζεται με διαφορετικό κωδικό και χρησιμοποιείται το αντίστοιχο αντιδραστήριο. Αρχικά, τοποθετείται καθαρό δείγμα σε ένα μπουκαλάκι και στο άλλο το αντιδραστήριο. Το αντιδραστήριο για το NO_3 είναι το Nitraver 5 και για το SO_4 είναι το Sulfaver 4. Για τον προσδιορισμό των νιτρικών, πληκτρολογείται ο κωδικός «355». Προκειμένου να προσδιοριστούν τα θειικά ακολουθείται η ίδια διαδικασία με τη διαφορά ότι, σε αυτή την περίπτωση, πληκτρολογείται ο κωδικός «680» και δεν χρειάζεται ανακίνηση το δείγμα παρά μόνο ελαφριά ανακίνηση κατά τη διάρκεια των πέντε λεπτών. Τα νιτρικά υπολογίζονται σύμφωνα με του τύπο:

$$[\text{NO}_3] = \text{τιμή} * 4,4$$

Για τα θειικά ισχύει

$$[\text{SO}_4] = \text{τιμή}$$

- HCO_3^-

Για τον προσδιορισμό των όξινων ανθρακικών απαιτείται η χρήση αμπούλας Sulfuric acid και δύο διαφορετικών δεικτών,

phenolphthalein και bromcresol greenmethylred και πραγματοποιείται με τη μέθοδο της τιτλοδότησης. Το υδατικό δείγμα τοποθετείται σε κωνικό δοχείο και αναδεύεται με τη φαινολοφθαλείνη. Αν το διάλυμα αποκτήσει ρόδινο χρώμα τότε περιέχει CO_3 . Στη συνέχεια, προστίθεται η αμπούλα έως ότου γίνει άχρωμο το διάλυμα. Έπειτα, προστίθεται ο δεύτερος δείκτης, χωρίς να έχει μηδενιστεί η ένδειξη του μηχανήματος, και προστίθεται μέχρι το δείγμα μεταβληθεί από πράσινο σε κόκκινο χρώμα. Τέλος, αφού έχει καταγραφεί η ποσότητα από την αμπούλα που χρησιμοποιήθηκε για τον αποχρωματισμό του διαλύματος (P), καθώς και η συνολική ποσότητα που προστέθηκε στο δείγμα της αμπούλας και του δείκτη (tot), προσδιορίζονται οι τιμές των ιόντων από τον αντίστοιχο πίνακα.

Προκειμένου να είναι αποδεκτές οι τιμές που υπολογίστηκαν, θα πρέπει το σφάλμα να είναι μικρότερο από 5%. Ο τύπος από το οποίο υπολογίζεται το σφάλμα είναι:

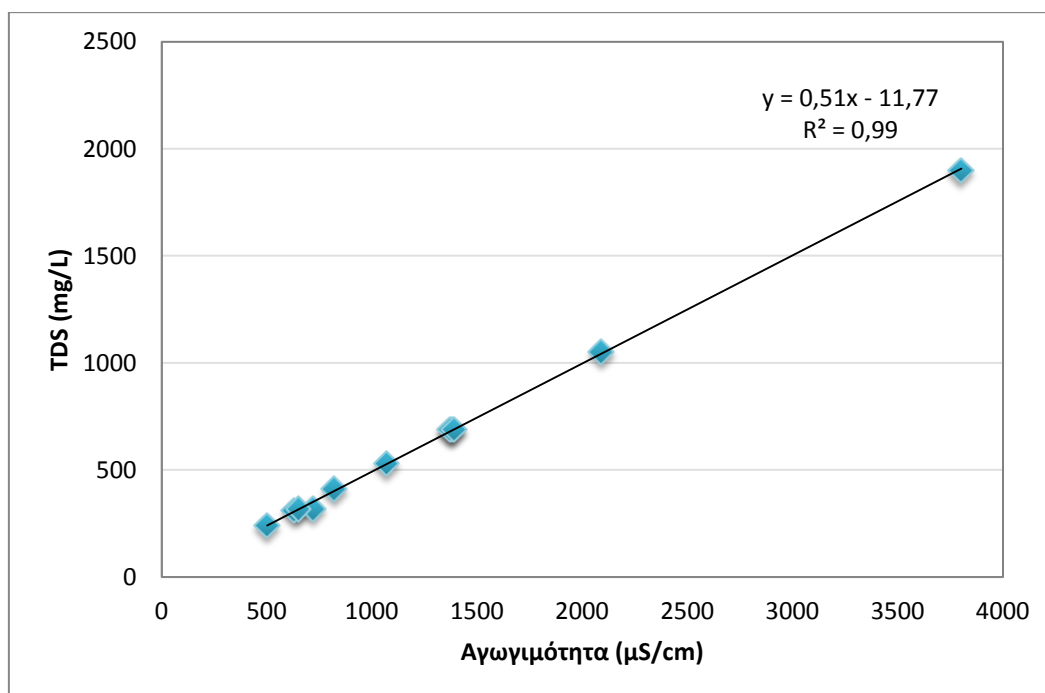
$$\text{Σφάλμα ισοζυγίου ιόντων (\%)} = \frac{\sum \text{κατιόντων} - \sum \text{ανιόντων}}{\sum \text{κατιόντων} + \sum \text{ανιόντων}} * 100$$

4.2 Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων

Το pH είναι ένα χαρακτηριστικό το οποίο καθορίζεται από τον τρόπο που αντιδρούν τα διαλυμένα ιόντα (Βουδούρης, 2014) . Στο σύνολο των δειγμάτων το pH προκύπτει ότι είναι ελαφρά αλκαλικό (Πίνακας 6), καθώς η τιμή του είναι ελαφρώς μεγαλύτερη του 7. Η αγωγιμότητα και το σύνολο των διαλυμένων στερεών εκφράζουν την ποσότητα των αλάτων που περιέχονται στα υδατικά δείγματα (Βουδούρης, 2013). Συγκεκριμένα, σύμφωνα με τις μετρήσεις του TDS, διαπιστώνεται η παρουσία υφάλμυρου νερού στο νότιο τμήμα της περιοχής έρευνας , καθώς το TDS, στην περιοχή αυτή υπερβαίνει τα 1000 mg/L. Αξίζει να σημειωθεί ότι παρατηρείται ισχυρή συσχέτιση μεταξύ της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και TDS (Σχήμα 21).

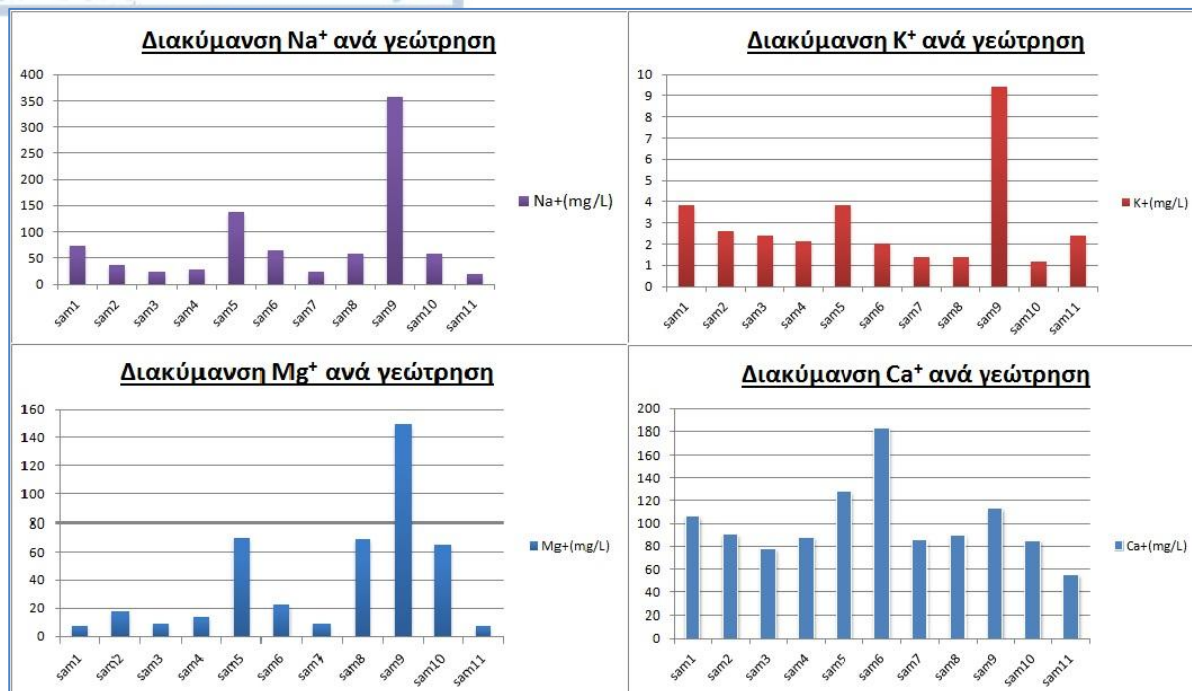
Πίνακας 6: Αποτελέσματα φυσικοχημικών αναλύσεων

Δείγμα	pH	Αγωγιμότητα (μS/cm)	TDS (mg/L)	T (°C)
1	7.03	1070	530	20.5
2	7.36	820	410	22
3	7.52	630	310	19.4
4	7.41	720	320	22.4
5	7.48	2090	1050	22.8
6	7.24	1380	690	23
7	7.57	650	320	24
8	7.69	1370	690	23.4
9	7.44	3800	1900	23.2
10	7.6	1390	690	24.2
11	8.83	500	240	24.6



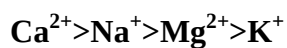
Σχήμα 21: Γραφική παράσταση TDS (mg/L) σε συνάρτηση με την αγωγιμότητα (μS/cm)

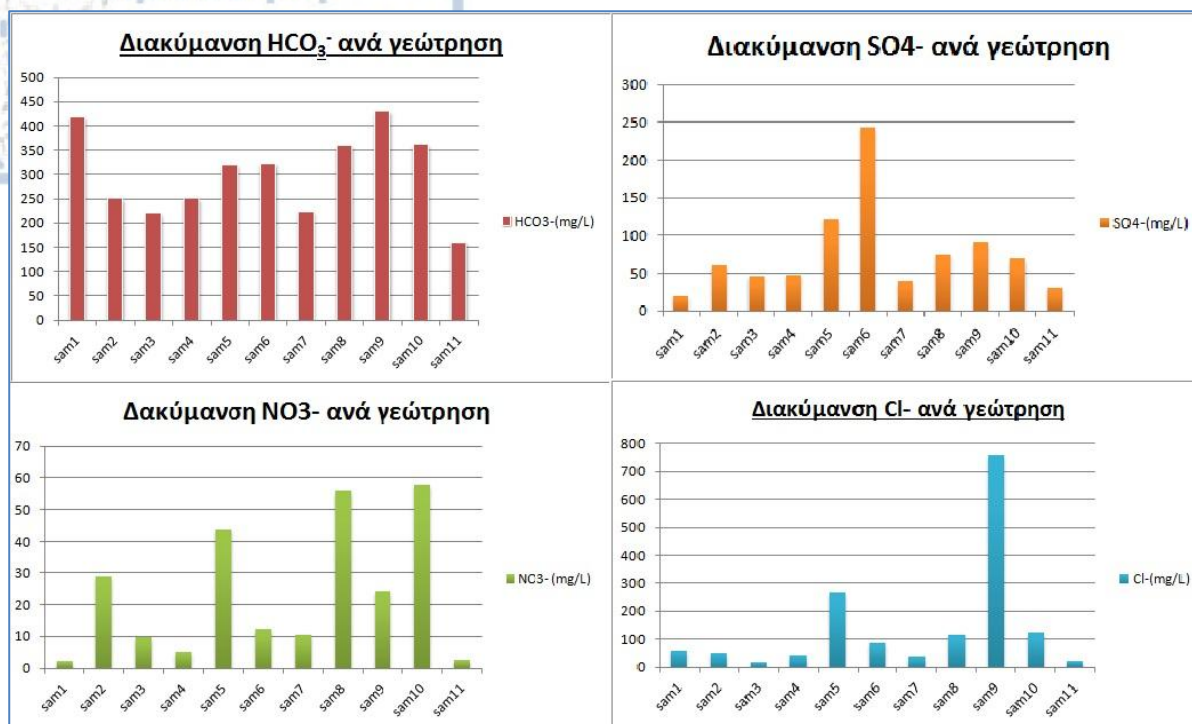
Το σφάλμα ισοζυγίου είναι μικρότερο από 5% σε όλα τα δείγματα. Στο Σχήμα 22 και Σχήμα 23 απεικονίζονται οι περιεκτικότητες των κύριων ιόντων.



Σχήμα 22: Ιστογράμματα συγκέντρωσης κατιόντων ανά γεώτρηση

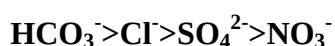
Τα κατιόντα στο σύνολο των γεωτρήσεων (Σχήμα 22) ακολουθούν τη σειρά:





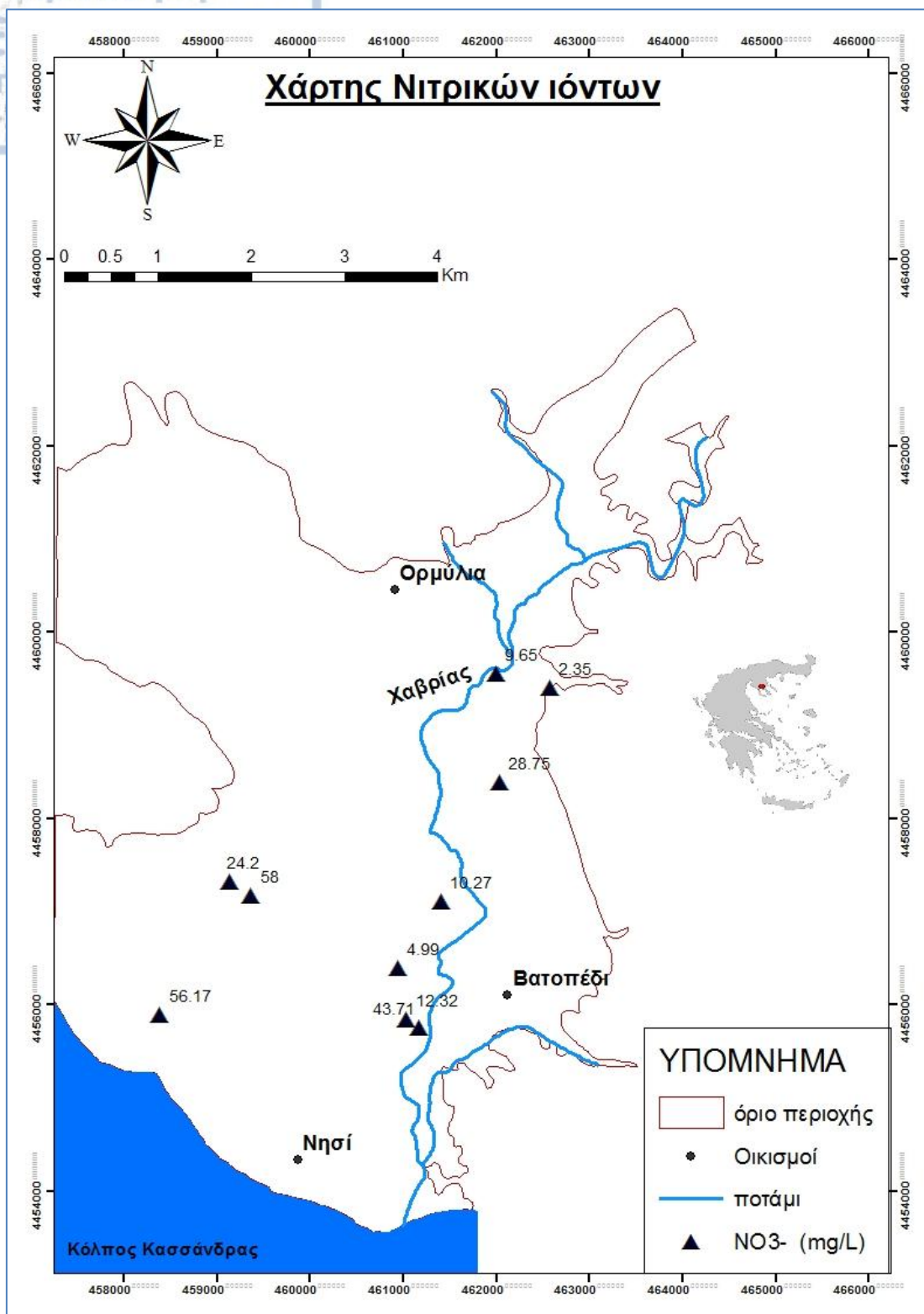
Σχήμα 23: Ιστογράμματα συγκέντρωσης ανιόντων ανά γεώτρηση

Από την ανάλυση των ανιόντων προκύπτει, ότι ακολουθούν την εξής σειρά (Σχήμα 23):

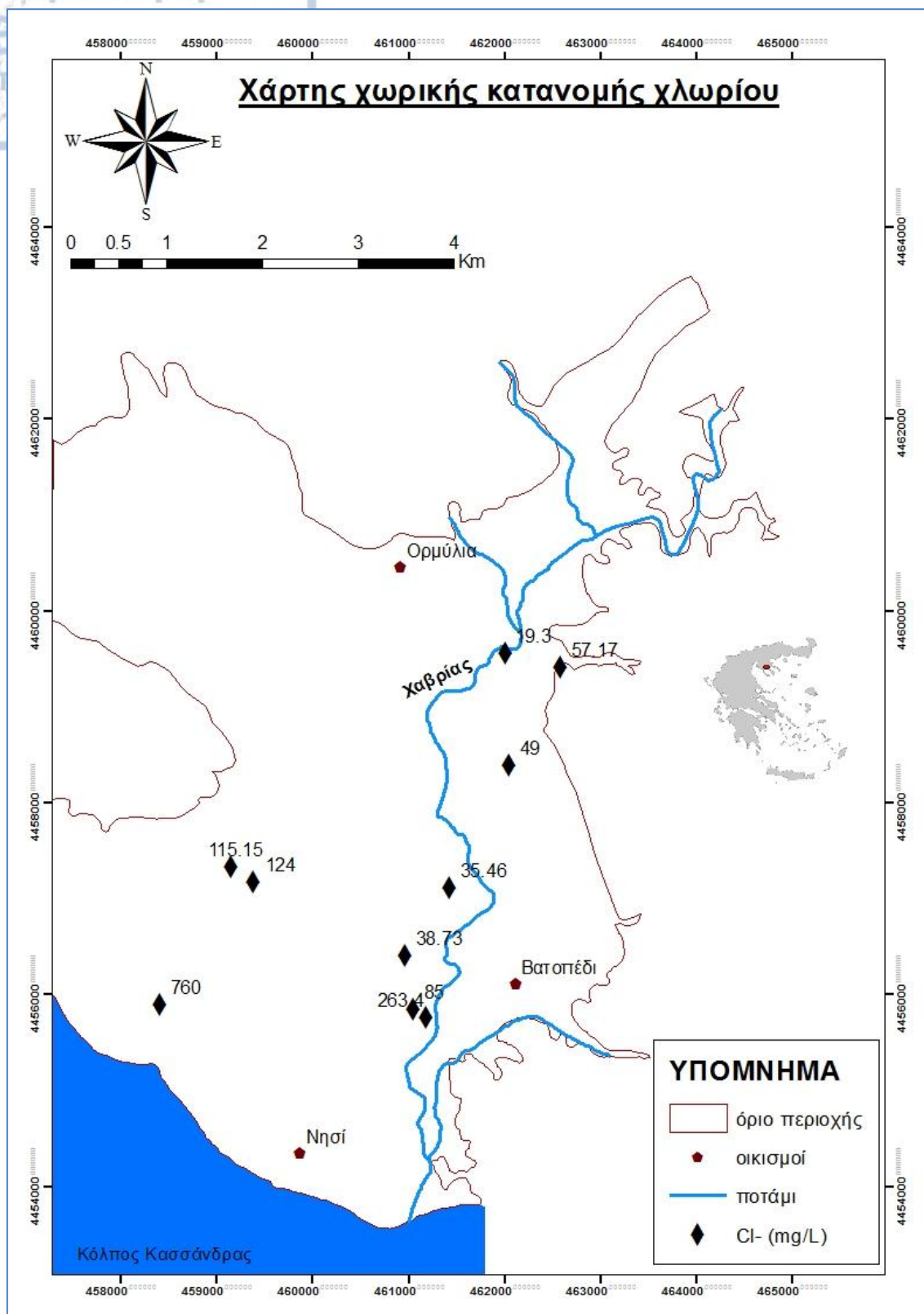


Για την πληρέστερη κατανόηση των υδροχημικών συνθηκών της περιοχής έρευνας, δημιουργήθηκαν θεματικοί χάρτες με τη χωρική κατανομή των ανιόντων των νιτρικών (Σχήμα 24) και του χλωρίου (Σχήμα 25).

Αυξημένες συγκεντρώσεις των τιμών των ανιόντων του χλωρίου εντοπίζονται στο παράκτιο τμήμα της περιοχής, που σε συνδυασμό με τις αρνητικές τιμές της πιεζομετρίας στη συγκεκριμένη περιοχή, υποδηλώνουν θαλάσσια διείσδυση. Παράλληλα, παρατηρούνται υψηλές τιμές νιτρικών ανιόντων, που κατά θέσεις υπερβαίνουν το ανώτατο επιτρεπόμενο όριο των 50 mg/L, το οποίο προβλέπεται από την Ευρωπαϊκή Κοινοτική Οδηγία (2000/60). Οι αυξημένες συγκεντρώσεις των νιτρικών είναι απόρροια της χρήσης αζωτούχων λιπασμάτων, εξαιτίας της εντατικής γεωργικής δραστηριότητας, που λαμβάνει χώρα στην περιοχή έρευνας.



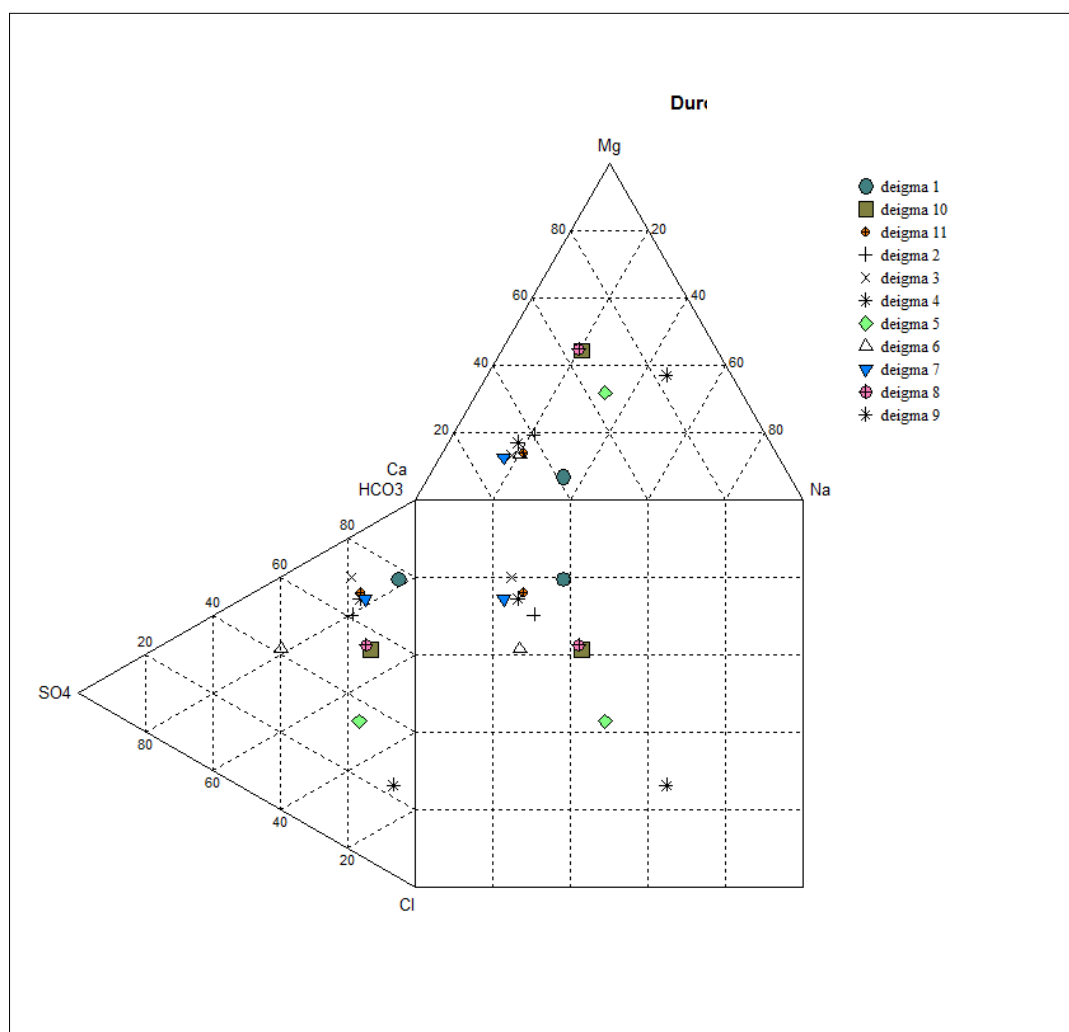
Σχήμα 24: Χάρτης χωρικής κατανομής νιτρικών ιόντων για την περιοχή έρευνας



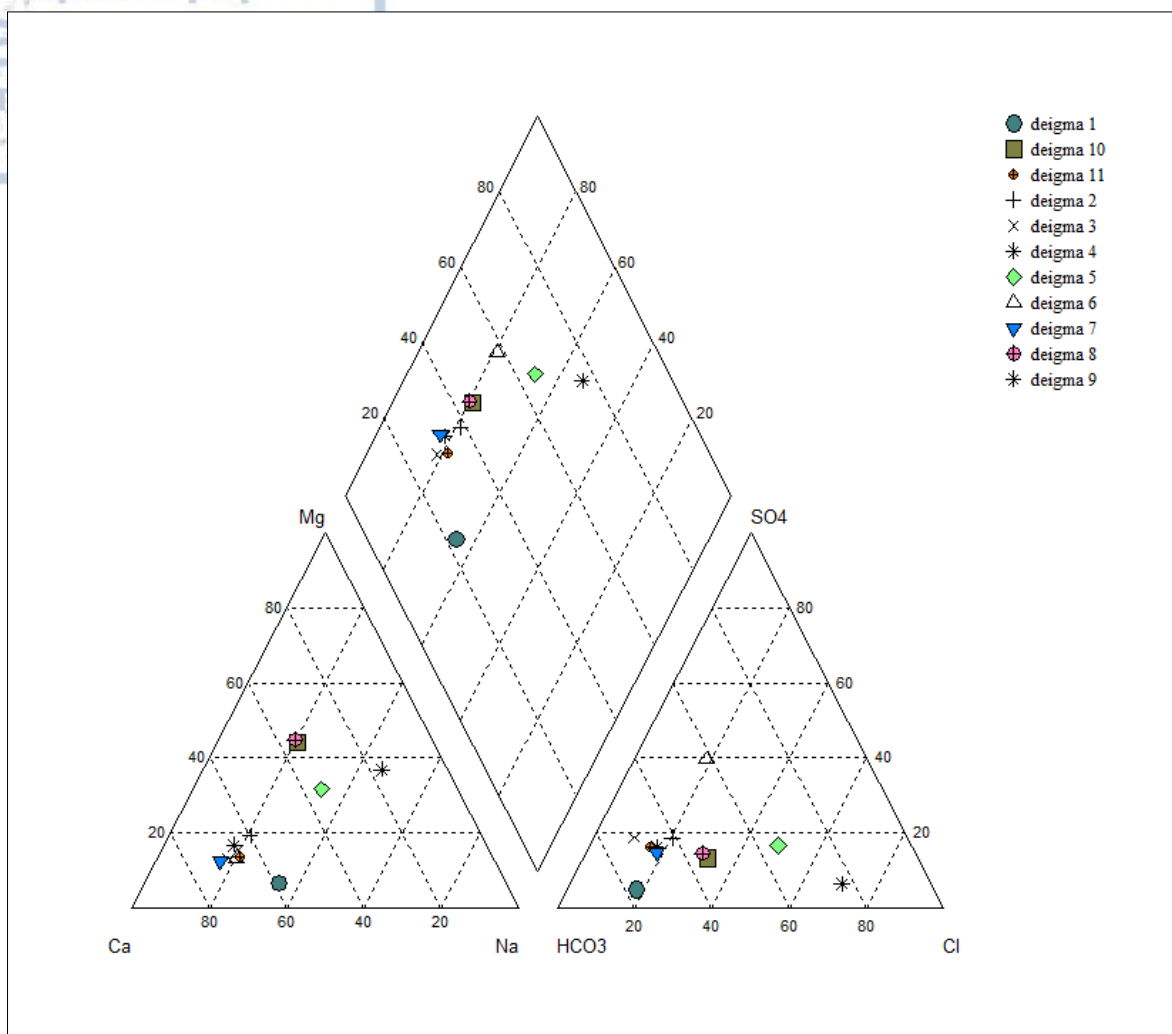
Σχήμα 25: Χάρτης χωρικής κατανομής ιόντων χλωρίου στη περιοχή έρευνας

4.2.1 Υδροχημικά διαγράμματα

Τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων παρουσιάζονται με τη βοήθεια υδροχημικών διαγραμμάτων. Στην εργασία αυτή, χρησιμοποιήθηκαν τα διαγράμματα DUROV (Σχήμα 26) και PIPER (Σχήμα 27), τα οποία διευκολύνουν την ταξινόμηση των δειγμάτων και προσδιορίζουν τον τύπο του νερού για το κάθε δείγμα (Πίνακας 7). Ο επικρατέστερος υδροχημικός τύπος στην περιοχή έρευνας είναι ο ασβεστούχος οξύ-ανθρακικός (Ca-HCO_3), ενώ εμφανίζονται και μεικτοί υδροχημικοί τύποι.



Σχήμα 26: Διάγραμμα DUROV



Σχήμα 27: Διάγραμμα PIPER

Πίνακας 7: Χημικός τύπος υπόγειου

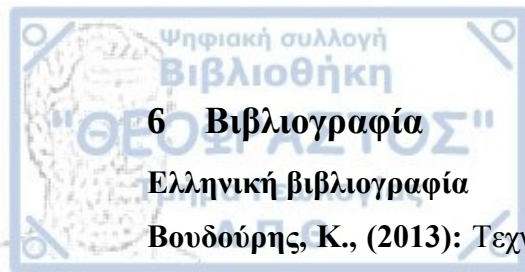
	Τύπος Νερού
Δείγμα 1	Ca-Na-HCO ₃
Δείγμα 2	Ca -Na-HCO ₃
Δείγμα 3	Ca-HCO ₃
Δείγμα 4	Ca-HCO ₃
Δείγμα 5	Ca-Na-Mg-Cl-HCO ₃
Δείγμα 6	Ca-Na-HCO ₃ -SO ₄
Δείγμα 7	Ca-HCO ₃
Δείγμα 8	Mg-Ca-Na-HCO ₃ -Cl
Δείγμα 9	Na -Mg-Cl-HCO ₃
Δείγμα 10	Mg-Ca-Na-HCO ₃ -Cl
Δείγμα 11	Ca-Na-HCO ₃

5 Συμπεράσματα

Από τα δεδομένα τα οποία εξετάστηκαν συμπεραίνονται τα εξής:

- Η περιοχή έρευνας περιλαμβάνει το παράκτιο υδροφόρο σύστημα της Ορμύλιας, Χαλκιδικής.
- Το μέσο υψόμετρο είναι 40m και το μέγιστο ύψος είναι 235m. Η μέση κλίση είναι 8%, σύμφωνα με την ανάλυση σε περιβάλλον GIS.
- Τη μεγαλύτερη έκταση της περιοχής έρευνας καταλαμβάνουν τα σύνθετα συστήματα καλλιεργειών και οι ελαιώνες.
- Η περιοχή έρευνας βρίσκεται εντός Νεογενών και Τεταρτογενών αποθέσεων.
- Στην περιοχή έρευνας αναπτύσσεται ένας ρηχός ελεύθερος αλλουβιακός υδροφορέας, που κατά θέσεις μεταπίπτει σε υπό πίεση.
- Η πτώση στάθμης που παρατηρείται, σε όλη την έκταση του υδροφορέα είναι αποτέλεσμα της υπερεκμετάλλευσης των αποθεμάτων του υπόγειου νερού για την κάλυψη των υδατικών αναγκών.
- Οι αυξημένες συγκεντρώσεις των τιμών των ανιόντων του χλωρίου, που εντοπίζονται στο παράκτιο τμήμα της περιοχής, υποδηλώνουν θαλάσσια διείσδυση.
- Οι υψηλές συγκεντρώσεις των νιτρικών είναι απόρροια της χρήσης λιπασμάτων, εξαιτίας της εντατικής γεωργικής δραστηριότητας, που λαμβάνει χώρα στην περιοχή έρευνας.
- Ο επικρατέστερος υδροχημικός τύπος νερού είναι ο ασβεστούχος όξυ-ανθρακικός (Ca-HCO_3) ενώ στο παράκτιο είναι νάτριο-χλωριούχος (Na-Cl).

Για να αντιμετωπισθεί το ενδεχόμενο της θαλάσσιας διείσδυσης και της νιτρορύπανσης κρίνεται απαραίτητο να ληφθούν μέτρα ορθολογικής αξιοποίησης και βιώσιμης διαχείρισης των υπόγειων υδροφορέων της περιοχής.



6 Βιβλιογραφία

Ελληνική βιβλιογραφία

Βουδούρης, Κ., (2013): Τεχνική Υδρογεωλογία- Υπόγεια Νερά, Εκδόσεις Τζιόλας, Θεσσαλονίκη.

Βουδούρης, Κ., (2014): Υδρογεωλογία Περιβάλλοντος- Υπόγεια Νερά& Περιβάλλον, Εκδόσεις Τζιόλας, Θεσσαλονίκη

Ι.Γ.Μ.Ε., (1978): Γεωλογικός Χάρτης της Ελλάδας 1:50.000 φύλλο Αρναία υπό Kockel F., Mollat H., Αντωνιάδης Π., Αθήνα

Μουντράκης, Δ., (2010): Γεωλογία και Γεωτεκτονική Εξέλιξη της Ελλάδας, University Studio Press, σελ. 49-70, Θεσσαλονίκη.

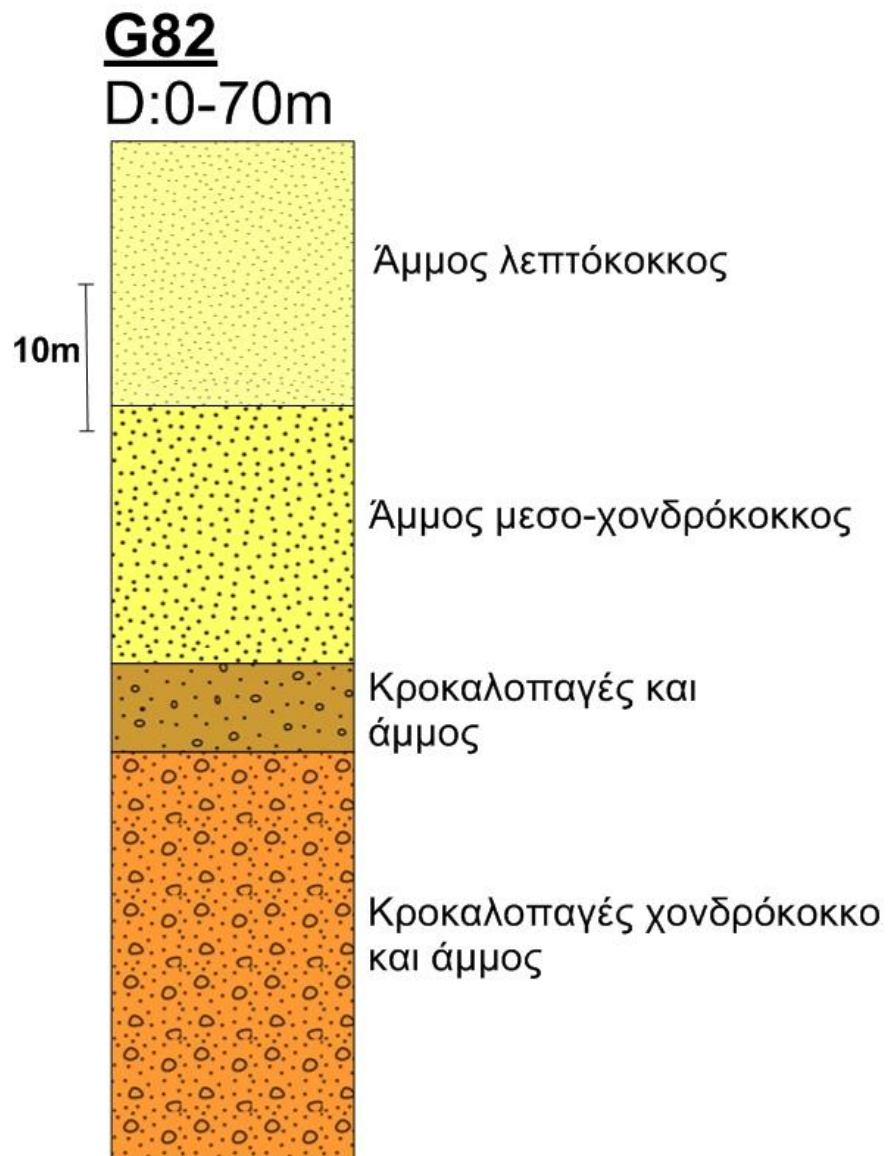
Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία

Thorntwaite, C.W., Mather J.R., (1955): The water balance, Publications in Climatology, Laboratory of Climatology, Climatologic Dresel Institute of Technology.

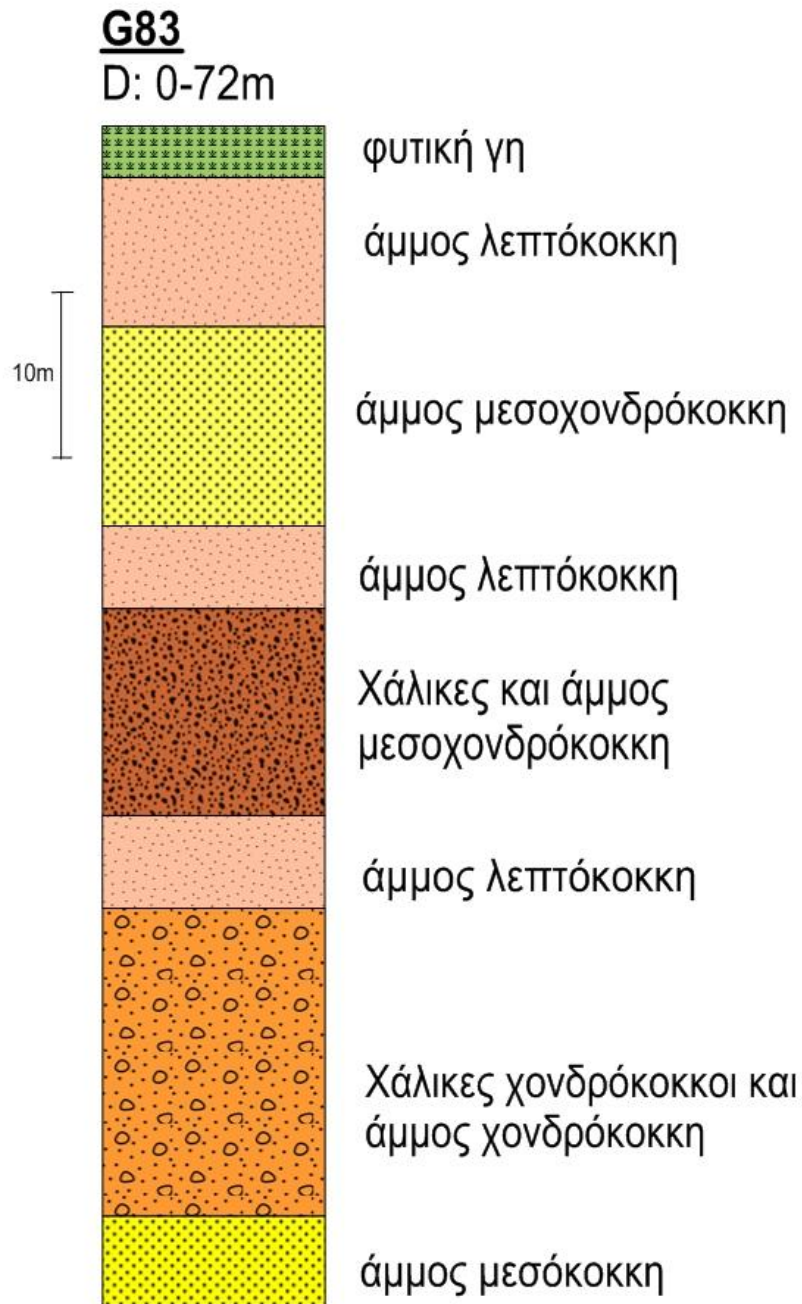
Πηγές από το Διαδίκτυο:

www.geodata.gov.gr

www.statistics.gr (Ελληνική Στατιστική Υπηρεσία)

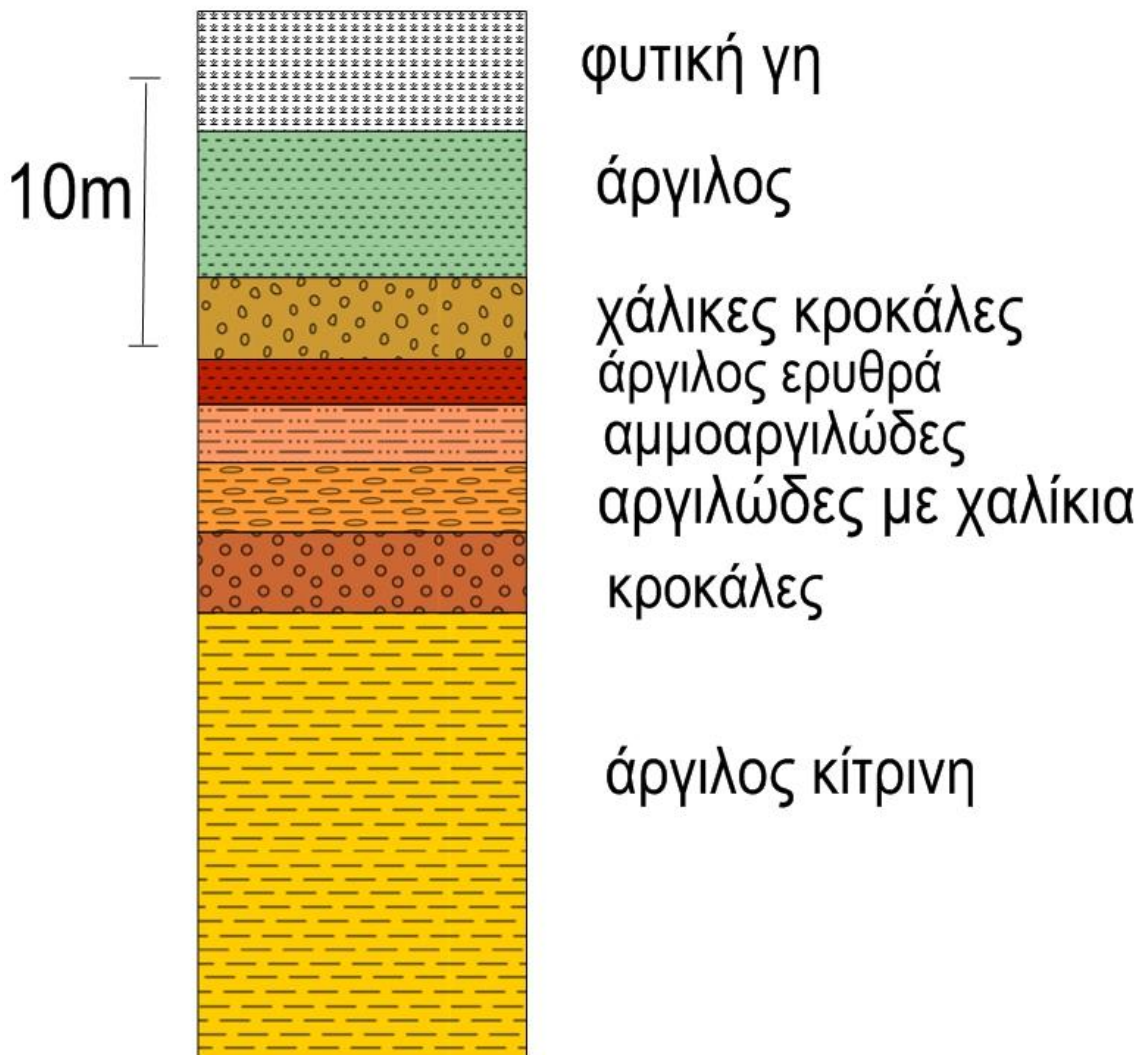


Π 1: Στρωματογραφική στήλη της γεώτρησης G82

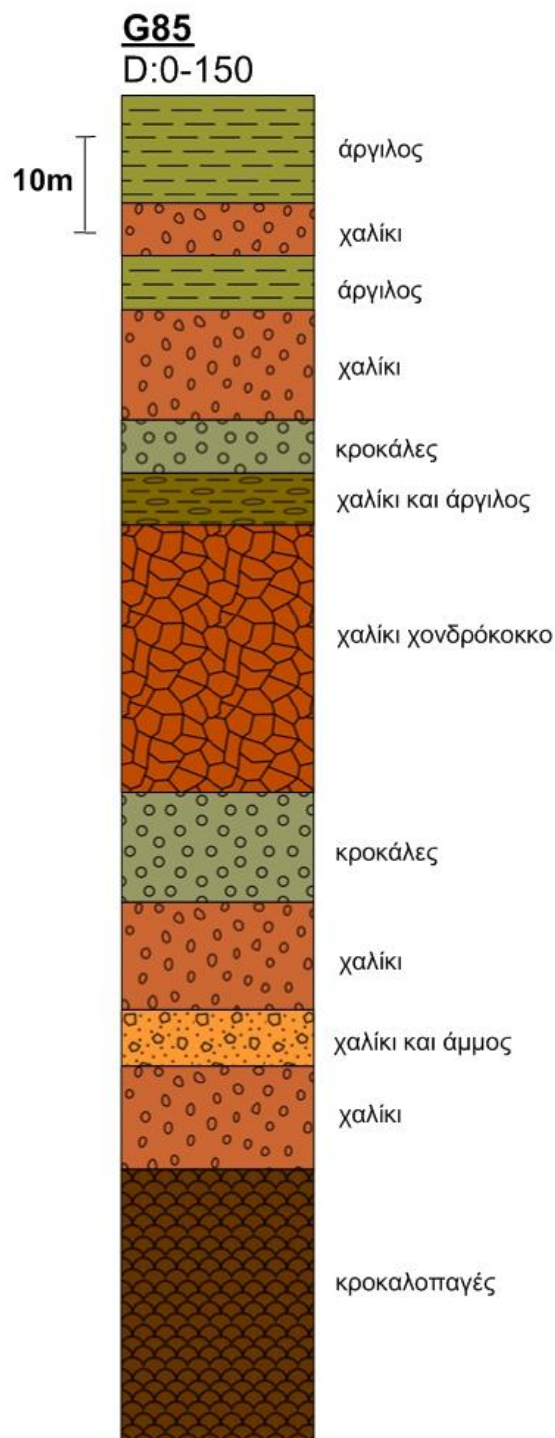


Π 2: Στρωματογραφική στήλη της γεώτρησης G83

G84 D:0-42



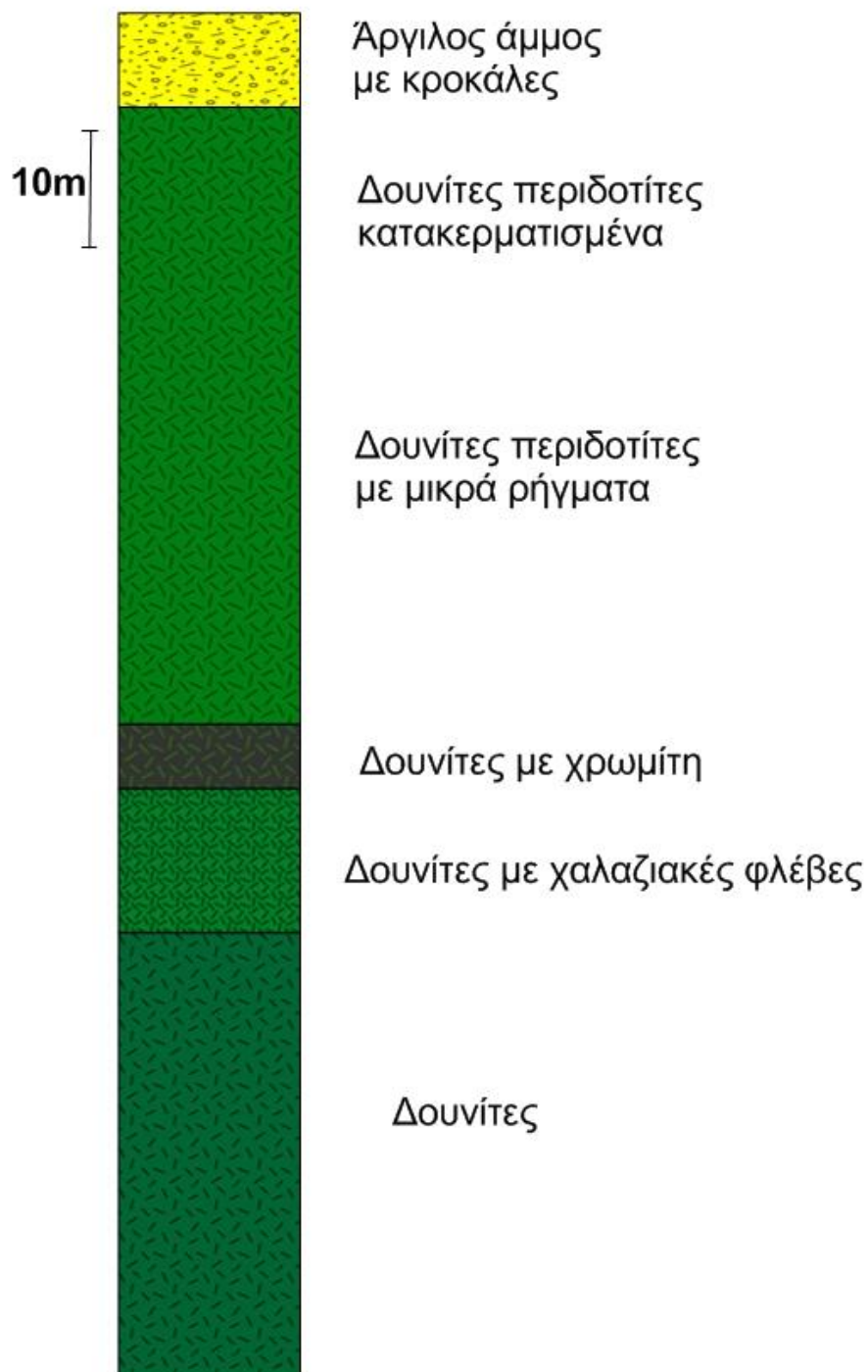
Π 3: Στρωματογραφική στήλη της γεώτρησης G84



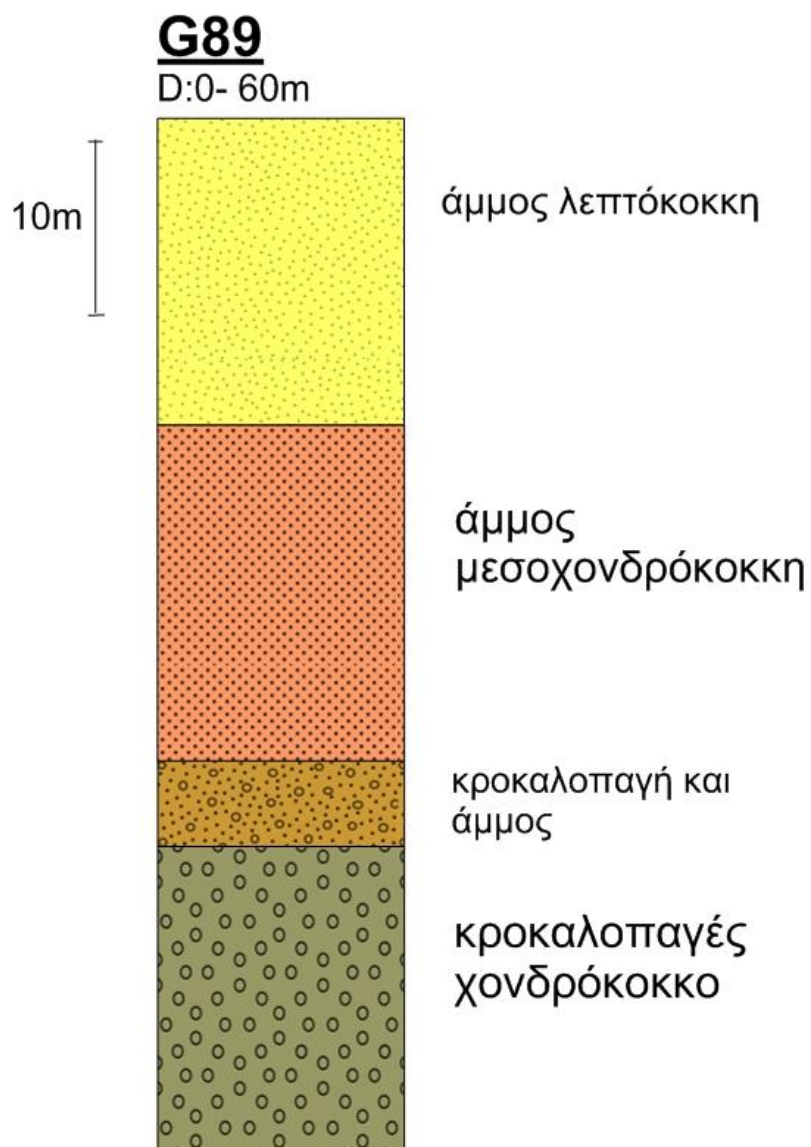
Π 4: Στρωματογραφική στήλη της γεώτρησης G85

G86

D:0-120m



Π 5: Στρωματογραφική στήλη της γεώτρησης G86



Π 6: Στρωματογραφική στήλη της γεώτρησης G89