

**ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ**  
**ΤΜΗΜΑ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ**  
**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ - ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ**

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
ΦΥΣΙΚΟΙ ΠΟΡΟΙ, ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ  
ΚΑΙ ΓΕΩΡΓΙΚΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗ

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ**

Υδρογεωλογική – Περιβαλλοντική έρευνα στην καρστική λεκάνη  
Άσκρης – Δομβραΐνας / Βοιωτία

**Αναστασία Δ. Κιούση**

Επιβλέπων Καθηγητής:

Ιωάννης Παπανικολάου, Αναπληρωτής Καθηγητής ΓΠΑ

Αθήνα

2020

**ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ**  
**ΤΜΗΜΑ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ**  
**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ - ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ**

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ**

Υδρογεωλογική – Περιβαλλοντική έρευνα στην καρστική λεκάνη  
Άσκρης – Δομβραΐνας / Βοιωτία

“Hydrogeological - Environmental research in the karst basin of  
Askri - Domvrena / Viotia”

**Αναστασία Δ. Κιούση**

Εξεταστική Επιτροπή:

Παπανικολάου Ιωάννης, Αναπληρωτής Καθηγητής, ΓΠΑ. (Επιβλέπων)

Ψυχογιού Μαρία, Επίκουρη Καθηγήτρια ΓΠΑ.

Μπαζιώτης Ιωάννης, Επίκουρος Καθηγητής ΓΠΑ

## Υδρογεωλογική – Περιβαλλοντική έρευνα στην καρστική λεκάνη Άσκρης-Δομβραΐνας/Βοιωτία

*Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων & Γεωργικής Μηχανικής  
Εργαστήριο Ορυκτολογίας - Γεωλογίας*

### ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία διερευνά τις περιβαλλοντικές και υδρογεωλογικές συνθήκες που επικρατούν στην καρστική λεκάνη Άσκρης-Δομβραΐνας, του νομού Βοιωτίας. Ειδικότερα, αναλύει τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των υπόγειων νερών της λεκάνης και του επιφανειακού νερού του ποταμού Άσκρης Βοιωτίας, ερμηνεύει του διάφορους παράγοντες, ανθρωπογενείς και γεωγενείς, που επιδρούν στην ποιότητα των νερών, την προέλευση των χημικών στοιχείων τους και με βάση την παρουσία τους εκτιμάται η καταλληλότητά τους για διάφορες χρήσεις.

Σκοπός της εργασίας είναι η συμβολή των ερευνητικών αποτελεσμάτων στην ορθή διαχείριση των υπόγειων νερών της λεκάνης, με κύριο στόχο την προστασία του περιβάλλοντος και την ανάπτυξη της αγροτικής οικονομίας.

Η καρστική λεκάνη βρίσκεται στο νοτιοδυτικό τμήμα του νομού Βοιωτίας. Η συνολική της έκταση είναι 224,94 Km<sup>2</sup> και καταλαμβάνει μεγάλη έκταση του Δήμου Θηβαίων, εμβαδού 182,37 Km<sup>2</sup> και μικρότερη των Δήμων Λεβαδέων εμβαδού 6,37 Km<sup>2</sup> και Αλιάρτου εμβαδού 36,19 Km<sup>2</sup>. Η λεκάνη η οποία περιβάλλεται βόρεια από τις κορυφές του όρους Ελικώνα, νότια από μικρούς λοφίσκους, βόρεια του κορινθιακού κόλπου, νοτιοανατολικά από τις κορυφές του όρους Κορομπίλι (840μ.), με μοναδικά ανοίγματα ανατολικά της λεκάνης στα όρια με τη λεκάνη του Ασωπού ποταμού και τη λεκάνη του Καλαμίτη-Κανάβαρη. Το βόρειο ορεινό τμήμα της εμφανίζει έντονο ανάγλυφο, απότομες πλαγιές με βαθιές ρωγματώσεις, κλίσεις μέτριες έως ισχυρές και κορυφές οξύληκτες έως αποστρογγυλωμένες, ενώ το νότιο ορεινό τμήμα της εμφανίζει ομαλό ανάγλυφο, με μέτριες κλίσεις και αποστρογγυλωμένες κορυφές.

Η περιοχή της λεκάνης αποστραγγίζεται στον ποταμό Άσκρης, ο οποίος πηγάζει από τις ανατολικές κλιτύες του όρους Ελικώνα και συγκεκριμένα απ' τον αυχένα του όρους Ζαγαρά, μήκους 37,9 χλμ. Η πορεία του ποταμού έχει στην αρχή κατεύθυνση νοτιοανατολική (ΝΑ) έως το νοτιοανατολικό άκρο της λεκάνης και στη συνέχεια κατεύθυνση νοτιοδυτική έως δυτική (ΝΔ-Δ) έως το οροπέδιο Λικέρι, από όπου με κατεύθυνση νότια (Ν) εκβάλλει στον κορινθιακό κόλπο (παράκτια περιοχή Αγίου Ιωάννη).

Οι αλπικοί σχηματισμοί που απαντώνται στη λεκάνη ανήκουν στην Ενότητα Παρνασσού-Γκιώνας (δυτικό τμήμα) και στη Βοιωτική Ενότητα (ανατολικό τμήμα). Τα κύρια γεωλογικά χαρακτηριστικά της λεκάνης είναι τα τεκτονικά λείπια της Βοιωτικής Ενότητας που είναι επωθημένα πάνω στη Ενότητα Παρνασσού-Γκιώνας, η παρουσία του Βοιωτικού Φλύσχη πάνω στους ανθρακικούς σχηματισμούς τριαδικο-ιουρασικής ηλικίας καθώς και η παρουσία καρστικών μορφών, όπως δολίνες και πόλγες στις κορυφές του Ελικώνα και στους πρόποδες αυτού αντίστοιχα.

Το ορεινό τμήμα της λεκάνης δομείται κυρίως από τριαδικο-ιουρασικούς ασβεστόλιθους (ασβεστόλιθους, δολομιτικούς ασβεστόλιθους και δολομίτες), σε μικρότερες εκτάσεις από ανωκρητιδικούς ασβεστόλιθους (περιοχές των κοινοτήτων Προδρόμου και Άσκρης), σχηματισμούς του βοιωτικού φλύσχη και της σχιστοψαμμιτοκερατολιθικής διάπλασης

(περιοχή Ι.Μ. Μακαριώτισσας), οφιόλιθους και ιζήματα του φλύσχη ηλικίας Παλαιόκαινου. Το πεδινό τμήμα της λεκάνης δομείται κυρίως από αλλουβιακές αποθέσεις, πλευρικά κορήματα και κώνους κορημάτων του Τεταρτογενούς, από κροκαλοπαγή και συνεκτικά λατυποπαγή πλειστοκαινικής ηλικίας.

Η νεοτεκτονική δομή της λεκάνης του ποταμού Άσκρης χαρακτηρίζεται από την παρουσία του τεκτονικού βυθίσματος στην κοιλάδα Δομβραίνα – Ξηρονομή, το οποίο οριοθετείται βόρεια από τις ρηξιγενείς ζώνες Προδρόμου-Δομβραίνας (δυτικό τμήμα) και Νεοχωρίου (ανατολικό τμήμα) και νότια από μικρά αντιθετικά ρήγματα με σημαντικότερο το ρήγμα Ταράτσα.

Το κλίμα της περιοχής μελέτης είναι ξηρό μεσογειακό, τύπου Csa, το οποίο χαρακτηρίζεται από μέτριες βροχές και μεγάλη ξηρή περίοδο. Εξαιτίας του χαμηλού ύψους βροχοπτώσεων αλλά και των ιδιαίτερων υδρογεωλογικών συνθηκών που επικρατούν στη λεκάνη, κυρίως στο δυτικό τμήμα της, η τροφοδοσία των υπόγειων υδροφορέων από τα κατακρημνίσματα είναι αρκετά περιορισμένη, με αποτέλεσμα ο αγροτικός πληθυσμός της περιοχής να αδυνατεί να ανταπεξέλθει στην άρδευση των καλλιεργειών του.

Το υδρογραφικό δίκτυο της λεκάνης είναι μερικώς ανεπτυγμένο, λόγω της υψηλής υδροπερατότητας των ανθρακικών σχηματισμών τα οποία έχουν καρστικοποιηθεί (δολίνες και καταβόθρες) και της τεκτονικής παραμόρφωσης που υποβοηθούν την κατείσδυση του νερού και τη διαφυγή του προς τη θάλασσα (υποθαλάσσιες πηγές στις παραλίες Σαράντη, Αλυκή, Λιβαδόστρα).

Στη λεκάνη αναπτύσσονται τρεις τύποι γεωλογικών σχηματισμών με έντονες διαφοροποιήσεις μεταξύ τους ως προς την κίνηση του κατεισδύοντος νερού και οι οποίοι διακρίνονται σε υδροπερατούς, ημιπερατούς και υδατοστεγείς.

Στους υδροπερατούς σχηματισμούς ανήκουν οι αλλουβιακές αποθέσεις των πεδινών τμημάτων, τα πλευρικά κορήματα και κώνοι κορημάτων των ορεινών πρानών και κυρίως οι ανθρακικοί σχηματισμοί, οι οποίοι εμφανίζουν φαινόμενα έντονης καρστικοποίησης.

Στους ημιπερατούς σχηματισμούς ανήκουν τα κροκαλοπαγή, τα λατυποπαγή, οι ψαμμιτικοί ορίζοντες του σχηματισμού του φλύσχη και τα ρωγμώδη υπερβασικά πετρώματα της οφιολιθικής σειράς.

Στους υδατοστεγείς σχηματισμούς ανήκουν οι αργιλικόι σχιστόλιθοι της σχιστοψαμμιτοκερατολιθικής διάπλασης, οι αργιλομαργαίκοι ορίζοντες του φλύσχη καθώς επίσης οι μάργες, οι άργιλοι και πηλοί που παρεμβάλλονται εντός της σειράς των κροκαλοπαγών του Πλειστοκαινού.

Για τον ποιοτικό έλεγχο των υπόγειων νερών της λεκάνης και του επιφανειακού νερού του π. Άσκρης συλλέχθηκαν τριάντα τρία (33) δείγματα νερού από επιλεγμένα υδροσημεία όπως πηγές, φρέατα και γεωτρήσεις που εντοπίζονται κυρίως εντός των ορίων της υδρολογικής λεκάνης. Ένας μικρός αριθμός δειγμάτων προέρχεται από υδροσημεία που βρίσκονται εκτός αλλά πλησίον των ορίων της λεκάνης, από ίδιους γεωλογικούς σχηματισμούς με αυτούς της μελετώμενης λεκάνης, με σκοπό τη σύγκριση των ποιοτικών χαρακτηριστικών τους.

Βάσει των αποτελεσμάτων των μετρήσεων των φυσικοχημικών παραμέτρων και των χημικών αναλύσεων διαπιστώνεται ότι πρόκειται για νερά τα οποία στην πλειονότητά τους εμφανίζουν υψηλή σκληρότητα (Μ.Τ. 23,2<sup>ο</sup> dH), μέτρια αλατότητα (<1000 μS/cm) και T.D.S. (Μ.Τ. 730,13 mg/l) γεωγενούς κυρίως προέλευσης. Τα επικρατούντα ιόντα στα υπόγεια νερά των υδροφόρων συστημάτων της περιοχής είναι τα Ca<sup>2+</sup> και Mg<sup>2+</sup> από την πλευρά των

κατιόντων και τα  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  και  $\text{NO}_3^-$  από την πλευρά των ανιόντων, ενώ από τα βαρέα μέταλλα τα ιόντα Fe, Cd, Pb και Ni. Τα αναφερόμενα στοιχεία είναι γεωγενούς κυρίως προέλευσης, εκτός των νιτρικών ιόντων που η παρουσία τους συνδέεται με τη χρήση λιπασμάτων.

Από τις γραφικές μεθόδους των Piper και Durov διαπιστώνεται ότι η πλειονότητα των υπόγειων νερών της περιοχής είναι φρέσκα νερά που εμπλουτίζονται με στοιχεία κυρίως από τα ανθρακικά πετρώματα και τα οποία εμφανίζουν τους υδροχημικούς τύπους Ca-HCO<sub>3</sub> και Ca-Mg-HCO<sub>3</sub>.

Βάσει της γεωχημικής προσομοίωσης των υπόγειων υδάτων διαπιστώθηκε ότι τα κύρια ορυκτά των πετρωμάτων της περιοχής μελέτης που διαλύονται στα υπόγεια νερά και τα εμπλουτίζουν με χημικά στοιχεία είναι: α) τα εβαποριτικής προελεύσεως άλατα: αλίτης (NaCl), σιλβίτης (KCl) και ανυδρίτης (CaSO<sub>4</sub>), β) τα ανθρακικά ορυκτά: ασβεστίτης (CaCO<sub>3</sub>) και δολομίτης (CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>), γ) ο χαλαζίας (SiO<sub>2</sub>) των πυριτικών ορυκτών και δ) οι πλαγιόκλαστοι άστριοι (NaAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>).

Σύμφωνα με τους δείκτες κορεσμού SI τα υπόγεια νερά της περιοχής είναι ακόρεστα στα ορυκτά γύψο (CaSO<sub>4</sub>•2H<sub>2</sub>O), αλίτη (NaCl) και ανυδρίτη (CaSO<sub>4</sub>), ενώ εμφανίζουν ενδείξεις κορεσμού στα ορυκτά ασβεστίτη (96%), αραγονίτη (CaCO<sub>3</sub>) (88%) και δολομίτη CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> (78%) και υπερκορεσμού στα ορυκτά αιματίτη (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) και γκαιτίτη (FeOOH).

Η παραγοντική ανάλυση αποδεικνύει τη ρύπανση των υδροφόρων συστημάτων της περιοχής μελέτης, λόγω της έντονης παρουσίας των στοιχείων εκείνων που είναι προϊόν της έκπλυσης από γεωργικά λιπάσματα, ζωικά απόβλητα και από μη στεγανούς βόθρους. Επίσης, η ύπαρξη νιτρικών και φωσφορικών ιόντων που αναδεικνύουν αυτήν την ανθρωπογενή ρύπανση συνυπάρχουν στην 1<sup>η</sup>, 2<sup>η</sup> και 3<sup>η</sup> ομάδα παραγόντων με στοιχεία γεωγενούς προέλευσης.

Βάσει των συστημάτων ταξινόμησης των Richards και Wilcox αποδείχτηκε ότι τα υπόγεια νερά της περιοχής μελέτης έχουν μικρό κίνδυνο αλκαλίωσης και μέτριο έως υψηλό κίνδυνο αλατότητας, ενώ 50% των δειγμάτων νερού εμφανίζει καλή έως μέτρια ποιότητα και 46,9% εμφανίζει μέτρια έως αποδεκτή ποιότητα για αρδευτικούς σκοπούς.

## **Επιστημονική Περιοχή: Ποιότητα Νερών**

**Λέξεις Κλειδιά:** Καρστικό Σύστημα, Γεωμορφολογία, Υδρογεωλογία, Υδρολογία, Υδροχημεία, Υδρολογική λεκάνη, Ποιότητα Υπόγειων νερών.

## **Hydrogeological - Environmental research in the karst basin of Askri - Domvrena / Viotia**

*Department of Natural Resources Development and Agricultural Engineering  
Laboratory Mineralogy and Geology*

### **ABSTRACT**

This present thesis explores the environmental and hydrological conditions in the Karstic basin of Askris-Domvrena, in the prefecture of Viotia. This study analyzes the quality characteristics of its groundwater as well as the surface water of the river Askris Viotia, emphasizing on the anthropogenic and geogenic effects on the quality of the waters, their suitability for various uses and the investigation of the origin of their elements.

The purpose of this thesis is the contribution of research results to the proper management of groundwater in the basin, with the main goal of protecting the environment and developing the agricultural economy

The karst basin is located in the southwest part of the prefecture of Viotia. Its total area is 224.94 Km<sup>2</sup> and occupies a large area of the Municipality of Thebes.

The Askris river sources flows from E to W, draining the basin up to the shorelines of the Corinth Gulf. The basin is elongated, because it is tectonically controlled by E-W trending active normal faults.

The area of the basin is drained into the river Askris. The drainage network is rather sparse due to the high permeability of the carbonate rocks, which have been karstified (dolines) and which favor the underground substantiation of water towards the sea (underwater springs on the beaches of Saranti, Aliki, Livadostra).

Three types of geological formations are developed in the basin, with marked differences in the movement of the in-water supply and which are distinguished into water-permeable, semi-permeable and watertight. The permeable formations include the alluvium of the lowlands, modern rips and scree slopes and carbon formations which exhibit phenomena of intense karstification. The semi-permeable formations include conglomerates and cohesive breccias, the formations of the flysch and the ophiolites, while the watertight formations include rocks of the shale-sandstone-chert complex.

For the quality control of the groundwater of the basin and the surface water of P. Askris, thirty-three (33) water samples were collected from selected water points such as springs, wells and boreholes of the basin as well as the wider area for comparison with the groundwater of the basin.

Based on the results of laboratory chemical analyses, the majority of the samples exhibit high hardness (M.T. 23.2odH), moderate salinity (<1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) and T.D.S. (M.T.730.13 mg/l) of mainly geogenic origin. The prevailing ions in the groundwater of the aquifers of the region are  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{Mg}^{2+}$  and  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  and  $\text{NO}_3^-$ , whereas the following heavy metals Fe, Cd, Pb and Ni have also been traced. The data mentioned are mainly of geogenic origin, except for nitrates whose presence is attributed to the use of fertilisers.

The Piper and Durov diagrams show that the majority of the groundwater in the area concerns fresh water enriched with elements mainly from the carbonic rocks and display the hydrochemical types Ca- $\text{HCO}_3$  and Ca-Mg- $\text{HCO}_3$ .

The geochemical simulation of groundwater has shown that the main minerals of the rocks in the study area that dissolve in groundwater and enrich them are the evaporite salts: halite (NaCl), Sylvite (KCl) και anhydrite (CaSO<sub>4</sub>), carbonate minerals: calcite (CaCO<sub>3</sub>) and dolomite (CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>), quartz (SiO<sub>2</sub>) and Plagioclase Feldspars (NaAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>).

According to SI saturation indicators, the water samples of the area show no signs of saturation in the halite (NaCl), gypsum (CaSO<sub>4</sub>•2H<sub>2</sub>O) και anhydrite (CaSO<sub>4</sub>), while they show oversaturation points in iron minerals hematite (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) and goethite (FeOOH) and show saturation points in the calcite (CaCO<sub>3</sub>) and dolomite (CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>).

Richards and Wilcox's classification systems show that groundwater in the study area has a low risk of alkalization and a moderate to high risk of salinity, while 50% of water samples show good to moderate quality and 46.97% show moderate to acceptable quality for irrigation purposes.

**Scientific area:** Water Quality

**Key words:** Karst System, Geomorphology, Hydrogeology, Hydrology, Hydrochemistry, Hydrological basin, Groundwater quality.

### III. ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή εκπονήθηκε στο πλαίσιο του κύκλου των μεταπτυχιακών σπουδών της κατεύθυνσης «Γεωπεριβάλλον και Εφαρμογές νέων Τεχνολογιών για τα έργα Υποδομής» του μεταπτυχιακού προγράμματος σπουδών «Φυσικοί Πόροι, Γεωπεριβάλλον και Γεωργική Μηχανική» του Τμήματος Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών.

Αντικείμενο της μεταπτυχιακής διατριβής είναι η μελέτη των περιβαλλοντικών και ειδικότερα των υδρογεωλογικών συνθηκών που επικρατούν στην καρστική λεκάνη Άσκρης – Δομβραΐνας του Νομού Βοιωτίας, με ιδιαίτερη έμφαση στην ποιοτική σύσταση των υπόγειων υδάτων που χρησιμοποιούνται κυρίως για αρδευτικούς σκοπούς και η επιβάρυνσή τους από φυσικούς και ανθρωπογενείς παράγοντες. Σκοπός της εργασίας είναι η συμβολή των ερευνητικών αποτελεσμάτων στην ορθή διαχείριση των υπόγειων νερών της λεκάνης, με κύριο στόχο την προστασία του περιβάλλοντος και την ανάπτυξη της αγροτικής οικονομίας.

Αισθάνομαι την ανάγκη να ευχαριστήσω θερμά όσους με βοήθησαν τόσο στο στάδιο της εκπόνησης όσο και στο στάδιο της δόμησης και ολοκλήρωσης της παρούσας εργασίας.

Τον πρώτο επιβλέποντα Καθηγητή μου κ. Γεώργιο Σταμάτη, Καθηγητή Υδρογεωλογίας και πρώην Δ/ντή του Εργαστηρίου Ορυκτολογίας–Γεωλογίας για την ανάθεση της παρούσας εργασίας, την αμέριστη συμπαράστασή του, την άριστη καθοδήγησή του, την πολύτιμη βοήθειά του κατά τη διάρκεια των δειγματοληψιών και των εργαστηριακών αναλύσεων, αλλά και για τις χρήσιμες παρατηρήσεις του σχετικά με τη δομή της εργασίας και τη χρήση των στατιστικών μεθόδων ανάλυσης των αποτελεσμάτων της εργασίας.

Το δεύτερο επιβλέποντα Καθηγητή, κ. Ιωάννη Παπανικολάου, Αναπληρωτή Καθηγητή Τεκτονικής Γεωλογίας, Γεωπεριβάλλοντος και Φυσικών Καταστροφών και Διευθυντή του Εργαστηρίου Ορυκτολογίας-Γεωλογίας, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε κατά τη διάρκεια των σπουδών μου, για τη διεύρυνση των επιστημονικών μου γνώσεων αναφορικά με τη γεωλογία, τη σεισμική επικινδυνότητα και τη τεκτονική, καθώς και για τις εύστοχες επισημάνσεις του στο τελικό κείμενο της εργασίας.

Τον Επίκ. Καθηγητή κ. Ιωάννη Μπαζιώτη για τις γνώσεις που απέκτησα σχετικά με την αναγνώριση των ορυκτών και της κρυσταλλικής τους δομής με διάφορες μεθόδους. Την Επίκ. Καθηγήτρια κα Μαρία Ψυχογιού για τη βοήθειά της κατά τη διάρκεια των εργαστηριακών αναλύσεων. Τους Καθηγητές του μεταπτυχιακού προγράμματος σπουδών του Γ.Π.Α., Αναπλ. Καθηγητή κ. Αλεξανδρή Σταύρο, και Αναπλ. Καθηγητή κ. Καραβίτη Χρίστο για τις πολύτιμες γνώσεις που απέκτησα σχετικά με το ατμοσφαιρικό περιβάλλον και το γεωπεριβάλλον.

Ευχαριστώ ιδιαίτερα τον Δρ. Μανώλη Ψωμιάδη ΕΕΔΠ του Εργαστηρίου Ορυκτολογίας-Γεωλογίας του Γ.Π.Α. για τη πολύτιμη βοήθειά του σχετικά με την Τηλεπισκόπηση και τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (G.I.S.) και την παροχή υλικού για την εκπόνηση της εργασίας, καθώς και τον Δρ. Δημήτριο Ερμίδα, Υδρογεωλόγο, για την πολύτιμη βοήθειά του κατά τη διάρκεια των εργαστηριακών αναλύσεων.

Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ στο σύζυγό μου για την κατανόησή του και την απεριόριστη ηθική υποστήριξη που μου παρείχε καθ' όλη την διάρκεια των σπουδών μου.

Αθήνα, Δεκέμβριος 2020



*«Μουσάων Ἐλικωνιάδων ἀρχώμεθ' αἰεΐδειν, αἳ θ' Ἐλικῶνος ἔχουσιν ὄρος μέγα τε ζάθεόν τε καί τε περὶ κρήνην  
ἰοιδέα πόσσ' ἀπαλοῖσιν ὀρχεῦνται καὶ βωμόν ἐρισθενέος Κρονίωνος·καί τε λοεσσάμεναι τέρενα χροά Περμησσοῦ ἢ  
Ἴππου κρήνης ἢ Ὀλμειοῦ ζαθέοιο ἀκροτάτῳ Ἐλικῶνι χορούς ἐνεποιήσαντο καλοῦς ἡμερόντας, ἐπερρώσαντο δὲ  
ποσσίν».*

**Προοίμιο ἀπὸ τοῦ ἔργου τοῦ Ησίοδου «Θεογονία» (στ. 1-2 καὶ 22-24)**

*«Με τις Ἐλικωνιάδες Μούσες ας ἀρχίσει το τραγούδι μας· κατοικούν τον Ἐλικῶνα, ὄρος μέγα κι ἱερό, και χορεύουν  
γύρω στη μαβιά πηγή με τα πόδια ἀνάλαφρα, στον βωμό του παντοδύναμου Κρονίδη. Λούζουν πρώτα το κορμί τους  
τροφερό στα νερά του Περμησσοῦ και της Ἴπποκρήνης ἢ του θεϊκοῦ Ὀλμειοῦ· ὕστερα ψηλά ανεβαίνουν στου  
Ἐλικῶνα τις ἀπάτητες κορφές, και χορούς συστήνουν, ὄμορφους, χαριτωμένους, τον ρυθμό κρατώντας με τα πόδια  
τους»*

(Μετάφραση Δ. Ν. Μαρωνίτης, Πηγή: <http://www.greek-language.gr>)

#### IV. ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

I	ΠΕΡΙΛΗΨΗ	i
II	ABSTRACT	iv
III	ΠΡΟΛΟΓΟΣ	vi
IV	ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	viii
V	ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	xii
VI	ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	xix
1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1	Σκοπός και Αντικείμενο της έρευνας	1
1.2	Μεθοδολογία προσέγγισης του θέματος	2
2	ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ	4
2.1	Κατανομή του νερού στον πλανήτη	4
2.2	Επιφανειακά νερά	6
2.3	Υπόγεια νερά	7
2.4	Υδρογεωλογική συμπεριφορά των γεωλογικών σχηματισμών	7
2.5	Ακόρεστη-Κορεσμένη ζώνη εδάφους	11
2.6	Τύποι Υδροφορέων	12
2.7	Υδατική μεταφορά στην Ακόρεστη εδαφική ζώνη	14
3	ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΡΕΥΝΑΣ	16
3.1	Οριοθέτηση-Γεωγραφικά στοιχεία	16
3.2	Ιστορικό και πολιτιστικό περιβάλλον	18
3.3	Διατηρητέα Νεώτερα Μνημεία	21
3.4	Φυσικό περιβάλλον	22
3.5	Χρήσεις Γης	24
3.6	Προστατευόμενες περιοχές	27
3.7	Ανθρωπογενές περιβάλλον	29
3.7.1	Πληθυσμιακή Εξέλιξη	29
3.7.2	Ηλικιακή διάρθρωση πληθυσμού	31
3.7.3	Οικονομικά χαρακτηριστικά του πληθυσμού	31
3.7.4	Απασχόληση του πληθυσμού στους παραγωγικούς τομείς	33
3.8	Έργα υποδομής και ανάπτυξης	34
4	ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ	38
4.1	Γενικά στοιχεία	38
4.2	Μορφολογικό ανάγλυφο της λεκάνης	38
4.3	Ανάπτυξη του υδρογραφικού δικτύου	43
4.3.1	Ποιοτική και ποσοτική ανάλυση του υδρογραφικού δικτύου	44
4.3.2	Μορφομετρικές παράμετροι του υδρογραφικού συστήματος	44
4.3.3	Υψομετρική καμπύλη	47
4.3.4	Αρίθμηση του υδρογραφικού δικτύου	49
4.3.4.1	Εφαρμογή 1ου Νόμου Horton (Νόμος αριθμού κλάδων)	52
4.3.4.2	Εφαρμογή 2ου Νόμου Horton (Νόμος του μήκους των κλάδων)	54
4.4	Καρστική Γεωμορφολογία	56
4.4.1	Εξωκαρστικές μορφές	59

4.4.2	Ενδοκαρστικές μορφές	63
5	ΓΕΩΛΟΓΙΑ	64
5.1	Γεωτεκτονική θέση περιοχής μελέτης	64
5.2	Αλπικοί σχηματισμοί	65
5.2.1	Ενότητα Παρνασσού-Γκιώνας	65
5.2.2	Ενότητα Δυτικής Θεσσαλίας -Βοιωτίας	68
5.2.3	Μεταλλικοί σχηματισμοί	71
5.3	Τεκτοορογενετική εξέλιξη της περιοχής	71
5.4	Νεοτεκτονική δομή	74
5.5	Σεισμική επικινδυνότητα	76
6	ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΑ-ΥΔΡΟΛΟΓΙΑ	79
6.1	Γενικά	79
6.2	Βροχόπτωση	79
6.3	Θερμοκρασία	84
6.4	Σχετική υγρασία	86
6.5	Στοιχεία ανέμου	87
6.6	Κατάταξη του κλίματος	88
6.7	Εκτίμηση υδρολογικού ισοζυγίου	88
6.7.1	Γενικά	88
6.7.2	Εκτίμηση των Υδρολογικών Παραμέτρων	89
6.7.2.1.	Όγκος νερού από Βροχόπτωση	89
6.7.2.2.	Πραγματική Εξατμισοδιαπνοή	90
6.7.2.3.	Κατείσδυση	92
6.7.2.4.	Ολική Απορροή	94
6.8.	Εκτίμηση του Υδρολογικού Ισοζυγίου μέσω συντελεστών κατείσδυσης	94
7	ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ	99
7.1	Γενικά	99
7.2	Υδρολιθολογική κατάταξη των γεωλογικών σχηματισμών	99
7.2.1	Υδροπερατοί σχηματισμοί	99
7.2.2	Ημιπερατοί σχηματισμοί	102
7.2.3	Υδατοστεγείς σχηματισμοί	102
7.3	Υδροφόρα συστήματα	103
7.3.1	Υδροφορία των προσχωσιγενών αποθέσεων (κοκκώδες σύστημα)	103
7.3.2	Καρστικό υδροφόρο σύστημα	104
7.3.3	Ρωγματικό υδροφόρο σύστημα	105
8	ΥΔΡΟΧΗΜΕΙΑ	108
8.1	Ποιότητα υπόγειων νερών	108
8.1.1	Κριτήρια ποιότητας του νερού	108
8.1.2	Παράγοντες που ελέγχουν την ποιότητα του υπόγειου νερού	111
8.2	Ρύπανση των επιφανειακών και υπογείων υδάτων	113
8.3	Πηγές ρύπανσης στη λεκάνη Ασκρης-Δομβραΐνας	116
8.4	Δειγματοληψία και υδροχημικές αναλύσεις	116
8.5	Επιτόπιες μετρήσεις - Εργαστηριακές αναλύσεις	120
8.6	Επεξεργασία των μετρήσεων	121

8.7	Φυσικοχημικές παράμετροι	126
8.7.1	Θερμοκρασία	126
8.7.2	pH	128
8.7.3	Ηλεκτρική αγωγιμότητα	131
8.7.4	Ολικά Διαλυμένα στερεά	133
8.7.5.	Δυναμικό οξειδοαναγωγής	137
8.7.6.	Σκληρότητα (dH)	139
8.7.6.1	Ολική Σκληρότητα	140
8.7.6.2	Ανθρακική ή Παροδική σκληρότητα	141
8.7.6.3	Μόνιμη σκληρότητα	142
8.8	Κύρια Ιόντα	143
8.8.1	Κατιόντα	143
8.8.1.1	Ασβέστιο ( $\text{Ca}^{2+}$ )	143
8.8.1.2	Μαγνήσιο ( $\text{Mg}^{2+}$ )	146
8.8.1.3	Νάτριο ( $\text{Na}^+$ )	148
8.8.1.4	Κάλιο ( $\text{K}^+$ )	151
8.8.2	Ανιόντα	153
8.8.2.1	Όξινα ανθρακικά ( $\text{HCO}_3^-$ )	153
8.8.2.2	Χλώριο ( $\text{Cl}^-$ )	156
8.8.2.3	Θειικά ( $\text{SO}_4^{2-}$ )	159
8.8.2.4	Νιτρικά ( $\text{NO}_3^-$ )	162
8.8.2.5	Φωσφορικά ( $\text{PO}_4^{3-}$ )	165
8.9	Ενώσεις	168
8.9.1	Διοξείδιο Πυριτίου ( $\text{SiO}_2$ )	168
9	ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ	172
9.1	Γενικά	172
9.2	Μεθοδολογία ανάλυσης	173
9.3	Ανάλυση βαρέων μετάλλων	175
9.3.1	Ολικός Σίδηρος ( $\text{Fe}_{\text{tot}}$ )	175
9.3.2	Μαγγάνιο (Mn)	178
9.3.3	Χαλκός (Cu)	178
9.3.4	Νικέλιο (Ni)	184
9.3.5	Ολικό Χρώμιο ( $\text{Cr}_{\text{tot}}$ )	186
9.3.6	Κάδμιο (Cd)	191
9.3.7	Κοβάλτιο (Co)	193
9.3.8	Μόλυβδος (Pb)	196
10	ΥΔΡΟΧΗΜΙΚΗ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ	201
10.1	Ταξινόμηση κατά PIPER	201
10.2	Ταξινόμηση κατά DUROV	204
11	ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΤΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ	207
11.1	Γενικά	207
11.2	Γεωχημική προσομοίωση	207
11.3	Ιοντικοί λόγοι	209
11.3.1	Ιοντικός λόγος $\text{Mg}^{2+} : \text{Ca}^{2+}$	211
11.3.2	Ιοντικός λόγος $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} : \text{Na}^+ + \text{K}^+$	212

11.3.3	Ιοντικός λόγος $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} : \text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-}$	213
11.3.4	Ιοντικός λόγος $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} : \text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}$	214
11.3.5	Ιοντικός λόγος $\text{Ca}^{2+} : \text{SO}_4^{2-}$	215
11.3.6	Ιοντικός λόγος $\text{Ca}/\text{Ca} + \text{SO}_4 : \text{Na}/\text{Na} + \text{Cl}$	216
11.4	Δείκτες κορεσμού	217
12	ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΥΔΡΟΧΗΜΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	221
12.1	Πολυμεταβλητή στατιστική ανάλυση	221
12.2	Έλεγχος καταλληλότητας των δεδομένων	222
12.3	Ανάλυση συσχέτισης	223
12.4	Ανάλυση παραγόντων R-τύπου	225
12.5	Συμπεράσματα στατιστικής ανάλυσης	227
13	ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑ ΧΡΗΣΗΣ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ	228
13.1	Καταλληλότητα των υπόγειων και επιφανειακών νερών	228
13.2	Καταλληλότητα για ανθρώπινη χρήση	228
13.3	Καταλληλότητα των υπόγειων νερών για άρδευση	230
13.4	Ταξινόμηση κατά RICHARDS (SAR)	230
13.5	Ταξινόμηση κατά WILCOX	233
14	ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	236
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	242

#### IV. ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

α/α	Τίτλος	Σελίδα
Σχήμα 2.1	Παγκόσμια κατανομή του νερού ( <a href="https://www.academia.edu">https://www.academia.edu</a> ).	5
Σχήμα 2.2	Υδρολογικός κύκλος	5
Σχήμα 2.3	Τύποι «διακένων» των πετρωμάτων και η σχέση τους με το πορώδες (Meinzer 1923).	9
Σχήμα 2.4	Σύστημα ταξινόμησης των υφών του U.S. Department Agriculture (Θεοχάρης Μ. πηγή: <a href="https://eclass.teiep.gr">https://eclass.teiep.gr</a> )	10
Σχήμα 2.5	Απεικόνιση της ακόρεστης και κορεσμένης ζώνης του υπεδάφους (Domenico and Schwartz 1990, επεξεργασία από Κανελλοπούλου Γεωργία)	11
Σχήμα 2.6	Η κατανομή του υπόγειου νερού (Λατινόπουλος 1986).	12
Σχήμα 2.7	Τύποι υπόγειων υδροφορέων (Λατινόπουλος 1986).	13
Σχήμα 3.1	Χάρτης της Ελλάδας στον οποίο απεικονίζεται η υδρολογική λεκάνη απορροής του ποταμού Άσκρης.	16
Σχήμα 3.2	Απεικόνιση της υδρολογικής λεκάνης (κόκκινο πλαίσιο) σε δορυφορική εικόνα Sentinel 2 (3,2,1 RGB) Πηγή Copernicus Open Access Hub, No: S2A_MSIL2A_20190827T092031_N0213_R093_T34SFH_20190827T122932)	17
Σχήμα 3.3	Φωτογραφία με τους Μυκηναϊκούς λαξευμένους θολωτούς τάφους.	18
Σχήμα 3.4	Φωτογραφία με τμήμα του αναχώματος στη κοιλάδα της Θίσβης (Πηγή: <a href="http://ligeas.blogspot.com">http://ligeas.blogspot.com</a> )	21
Σχήμα 3.5	Ζώνες Δασικής Βλάστησης στην Ελλάδα (Μαυρομάτης Γ.) (Πηγή Ινστιτούτο Δασικών Ερευνών).	23
Σχήμα 3.6	Χάρτης χρήσης/κάλυψης γης έτους 2012 στην υδρολογική λεκάνη Άσκρης-Δομβραΐνας.	25
Σχήμα 3.7	Ποσοστό χρήσης γης το έτος 2012 στη λεκάνη Άσκρης-Δομβραΐνας.	26
Σχήμα 3.8	Ποσοστό χρήσης γης το έτος 2018 στη λεκάνη Άσκρης-Δομβραΐνας.	26
Σχήμα 3.9	Χάρτης Χρήσης/κάλυψης γης έτους 2018 στη Λεκάνη Άσκρης-Δομβραΐνας.	27
Σχήμα 3.10	Χάρτης προστατευόμενων περιοχών.	29
Σχήμα 3.11	Μεταβολή (%) του πληθυσμού των οικισμών στην λεκάνη Άσκρη-Δομβραΐνας μεταξύ των απογραφών 1889-1941, 1941-1961, 1961-1981, 1981-2001 και 2001-2011	31
Σχήμα 3.12	Εξέλιξη ποσοστού ανεργίας τη χρονική περίοδο 2001-2011	33
Σχήμα 3.13	Χάρτης οδικού δικτύου στην περιοχή μελέτης.	34
Σχήμα 3.14	Φωτογραφία της κατολίσθησης τμήματος του καναλιού Μόρνου στην περιοχή της Τοπικής Κοινότητας Προδρόμου Βοιωτίας.	35
Σχήμα 3.15	Φωτογραφία με τη βιομηχανική περιοχή Δ.Ε. Θίσβης Ν. Βοιωτίας.	36
Σχήμα 4.1	Χάρτης μορφολογικού ανάγλυφου περιοχής μελέτης.	39
Σχήμα 4.2	Ψηφιακό μοντέλο ανάγλυφου της υδρολογικής λεκάνης, με τις κυριότερες κορυφές των ορέων Ελικώνα και Κορομπίλι και τα τοπωνύμια της περιοχής.	40

Σχήμα 4.3	Ψηφιοποιημένος χάρτης κλίσεων (%).	42
Σχήμα 4.4	Ψηφιοποιημένος χάρτης προσανατολισμού των πρηνών (σε μοίρες)	42
Σχήμα 4.5	Υψομετρική καμπύλη της λεκάνης Άσκλης-Δομβραΐνας.	48
Σχήμα 4.6	Διάγραμμα γραφικής παράστασης των αποκλίσεων του αριθμού των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου του π. Άσκλη από τις ιδανικές τιμές ανά τάξη.	53
Σχήμα 4.7	Γραφική παράσταση των αποκλίσεων του μέσου μήκους των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου της λεκάνης από τις ιδανικές τιμές ανά τάξη.	55
Σχήμα 4.8	Υδρογραφικού δικτύου της λεκάνης απορροής π. Άσκλη	55
Σχήμα 4.9	Παγκόσμια κατανομή των περιοχών με καρστικοποιημένα πετρώματα (Chen et al, 2017)	57
Σχήμα 4.10	Σχηματική παράσταση καρστικών μορφών (Πηγή: <a href="https://el.wikipedia.org">https://el.wikipedia.org</a> )	59
Σχήμα 4.11	Γλυφές στη Δαλματία της Κροατίας ( <a href="https://www.semanticscholar.org">https://www.semanticscholar.org</a> )	59
Σχήμα 4.12	Καρστικές μορφές ( <a href="https://www.brainkarst.com">https://www.brainkarst.com</a> ).	60
Σχήμα 4.13	Δολίνη στα Βασιλικά Βοιωτίας (Πηγή <a href="https://www.cnn.gr">https://www.cnn.gr</a> ).	61
Σχήμα 4.14	Δολίνες στο όρος Ελικώνα (Πηγή: google earth pro).	61
Σχήμα 4.15	Τεκτογενείς πόλγες (Jennings, 1971 από Δελιγιάννη, 2011).	62
Σχήμα 4.16.	Πόλγη στο οροπέδιο Λικέρι ( <a href="http://www.topoguide.gr">http://www.topoguide.gr</a> )	63
Σχήμα 5.1	Οι γεωτεκτονικές ενότητες των Ελληνίδων (Papanikolaou 1989).	64
Σχήμα 5.2	Στρωματογραφική στήλη Ενότητας Παρνασσού (Πηγή Καρακίτσιος και Ζαμπετάκη –Λέκκα 2011, Ε.Κ.Π.Α.).	67
Σχήμα 5.3	Στρωματογραφική Στήλη Ενότητας Βοιωτίας, Φύλλο Γεωλογικού Χάρτη Περαχώρα, κλίμακας 1:50.000 (Μπορνόβας κ.α. 1984, ΙΓΜΕ).	70
Σχήμα 5.4	Διαμόρφωση της παλαιογεωγραφικής αύλακας όπου αναπτύχθηκε η Ενότητα Βοιωτίας στα τέλη του Τιθωνίου – Βερριάσιου. (1. Οφειόλιθοι, 2. Ασβεστόλιθοι νηριτικοί, 3. Ασβεστολιθικά λατυποπαγή, 4. Ασβεστόλιθοι πελαγικοί, 5. Ασβεστόλιθοι & ψαμμίτες, 6. Ραδιολαρίτες,, τα βέλη δείχνουν την κίνηση που έχουν τα υλικά προερχόμενα από το χώρο της αναδυομένης Υποπελαγονικής (Flery 1980, από Κατσικάτσο 1992, Προγκάκη 2007).	72
Σχήμα 5.5	Γεωλογικός χάρτης περιοχής μελέτης (από τη σύνθεση των γεωλογικών φύλλων Λιβαδειά (Τάταρης κ.α.1971), Βάγια (Τάταρης κ.α.1970), Περαχώρα (Μπορνόβας κ.α.1984) και Καπαρέλλι (Μπορνόβας κ.α.1984), Εκδόσεις Ι.Γ.Μ.Ε. (επεξεργασία μέσω του προγράμματος ArcMap).	73
Σχήμα 5.6	Σκιαγραφημένος τεκτονικός χάρτης της υδρολογικής λεκάνης Άσκλης και της ευρύτερης περιοχής (Τσόδουλο 2009 και Βαλκανιώτη 2009).	75
Σχήμα 5.7	Επώθηση των ασβεστόλιθων Άνω Τριαδικού – Ιουρασικού πάνω στο φλύσχη στην περιοχή «Στρούγκα Δρόση» (Προγκάκη 2007).	76
Σχήμα 5.8	Επίκεντρα των σεισμών στην ευρύτερη περιοχή σύμφωνα με τον κατάλογο των Papazachos et al. (2000) με μέγεθος 4,5 έως 6,7	78

	βαθμούς της κλίμακας Richter από το 1877 έως το 2010. (κίτρινος χρωματισμός, σεισμοί με μέγεθος $4,5 < ML < 4,9$ , θαλασσί χρωματισμός, σεισμοί με μέγεθος $5,0 < ML < 5,5$ και κόκκινος χρωματισμός, σεισμοί με μέγεθος $ML \geq 5,5$ (Permanent Regional Seismological Network, Aristotle University of Thessaloniki, doi10.7914/SN/HT).	
Σχήμα 5.9	Χάρτης ζωνών σεισμικής επικινδυνότητας της Ελλάδας 2003 ( <a href="http://www.oasp.gr">http://www.oasp.gr</a> ).	78
Σχήμα 6.1	Χάρτης με τα όρια της υδρολογικής λεκάνης Άσκρης-Δομβραΐνας και τις θέσεις των μετεωρολογικών σταθμών Καπαρελλίου (ΜΣ1) και Θίσβης (ΜΣ2) ( <a href="http://meteo.gr">meteo.gr</a> )	80
Σχήμα 6.2	Μέση μηνιαία μεταβολή βροχόπτωσης Μ.Σ. Καπαρελλίου και Θίσβης	80
Σχήμα 6.3	Βροχομετρικός χάρτης (χάρτης ισοϋετών καμπυλών) της Ελλάδας ( <a href="http://www.geo.auth.gr">http://www.geo.auth.gr</a> ).	83
Σχήμα 6.4	Ετήσια μεταβολή της βροχόπτωσης περιόδου αναφοράς 2009-2018	84
Σχήμα 6.5	Μέσες μηνιαίες τιμές θερμοκρασίας και μέσες μηνιαίες τιμές μέγιστης και ελάχιστης θερμοκρασίας (δεδομένα χρονικής περιόδου 2007-2013).	85
Σχήμα 6.6	Μέσες μηνιαίες τιμές και απόλυτα μέγιστες και ελάχιστες τιμές θερμοκρασίας (δεδομένα χρονικής περιόδου 2007-2013).	85
Σχήμα 6.7	Ομβροθερμικό διάγραμμα περιόδου 2007-2019( Μ.Σ. Καπαρελλίου)	86
Σχήμα 6.8	Μέση μηνιαία μεταβολή της σχετικής υγρασίας, Μ.Σ. Αλιάρτου.	87
Σχήμα 6.9	Μηνιαία μεταβολή της έντασης του ανέμου	87
Σχήμα 6.10	Ταξινόμηση του ύψους βροχόπτωσης στην περιοχή μελέτης κατά υψόμετρο.	90
Σχήμα 6.11	Ποσοστιαία κατανομή για κάθε παράμετρο του υδρολογικού ισοζυγίου επί του συνόλου των κατακρημνισμάτων που δέχεται η υδρολογική λεκάνη Άσκρης-Δομβραΐνας.	95
Σχήμα 7.1	Υδρολιθολογικός χάρτης της καρστικής λεκάνης Άσκρης - Δομβραΐνας.	103
Σχήμα 7.2	Ανάπτυξη της καρστικής και κοκκώδους υδροφορίας στη περιοχή μελέτης (1. μπλε πιεζομετρικές καμπύλες καρστική υδροφορία, 2. πορτοκαλί πιεζομετρικές καμπύλες κοκκώδη υδροφορία και 3. κόκκινα βέλη που φανερώνουν την διεύθυνση των υπόγειων ροών) (Πηγή: Παγούνης κ.α. 1989, ίδια επεξεργασία).	106
Σχήμα 7.3	Ανάπτυξη της καρστικής και κοκκώδους υδροφορίας στη περιοχή της Άσκρης (Παλαιοπαναγιά) και σε προέκταση προς τα ανατολικά προς την περιοχή του κάμπου των Βαγίων και στη συνέχεια προς την λίμνη Υλίκη όπου και εκτονώνεται η καρστική υδροφορία (πηγή Παγούνης κάλ. 1989).	107
Σχήμα 8.1	Σημεία δειγματοληψίας των υπόγειων νερών και του επιφανειακού νερού ποταμού Άσκρης από την περιοχή ενδιαφέροντος.	118
Σχήμα 8.2	Διάγραμμα διακύμανσης των θερμοκρασιακών τιμών των δειγμάτων νερού της ευρύτερης περιοχής της υδρολογικής	126



	λεκάνης Άσκρης.	
Σχήμα 8.3	Διάγραμμα του εύρους των θερμοκρασιακών τιμών των υπόγειων νερών της περιοχής μελέτης.	127
Σχήμα 8.4	Χωρική κατανομή των θερμοκρασιακών τιμών των δειγμάτων νερού της ευρύτερης περιοχής της περιοχής μελέτης	127
Σχήμα 8.5	Διάγραμμα διακύμανσης των τιμών pH των δειγμάτων νερού της ευρύτερης περιοχής της υδρολογικής λεκάνης Άσκρης.	129
Σχήμα 8.6	Μέση τιμή pH στα πηγάδια, γεωτρήσεις και πηγές	130
Σχήμα 8.7	Χωρική κατανομή των τιμών του pH των δειγμάτων νερού της ευρύτερης περιοχής της περιοχής μελέτης.	130
Σχήμα 8.8	Διάγραμμα διακύμανσης των τιμών της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (Ec $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) των δειγμάτων νερού της περιοχής ενδιαφέροντος.	131
Σχήμα 8.9	Χωρική κατανομή των τιμών της ηλεκτρικής αγωγιμότητας των δειγμάτων νερού της ευρύτερης περιοχής της περιοχής μελέτης.	132
Σχήμα 8.10	Διάγραμμα διακύμανσης των συγκεντρώσεων ολικών αλάτων (mg/l TDS) των δειγμάτων νερού της υδρολογικής λεκάνης Άσκρης.	134
Σχήμα 8.12	Στατιστικά χαρακτηριστικά των τιμών TDS ανάλογα με τους γεωλογικούς σχηματισμούς στην περιοχή μελέτης.	135
Σχήμα 8.11	Χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων ολικών αλάτων (TDS mg/l) των δειγμάτων νερού της περιοχής μελέτης.	135
Σχήμα 8.13	Διάγραμμα συσχέτισης EC και TDS για το σύνολο των δειγμάτων.	136
Σχήμα 8.14	Διάγραμμα διακύμανσης των τιμών του δυναμικού οξειδοαναγωγής των δειγμάτων νερού της υδρολογικής λεκάνης Άσκρης.	138
Σχήμα 8.15	Χωρική κατανομή των τιμών του δυναμικού οξειδοαναγωγής (Eh mV) των δειγμάτων νερού της περιοχής μελέτης.	138
Σχήμα 8.16	Διάγραμμα διακύμανσης των τιμών Σκληρότητας ( $^{\circ}\text{dH}$ ) των δειγμάτων νερού της υδρολογικής λεκάνης Άσκρης.	140
Σχήμα 8.17	Χωρική κατανομή των τιμών της ολικής, παροδικής και μόνιμης σκληρότητας των δειγμάτων νερού της υδρολογικής λεκάνης Άσκρης. Το μέγεθος της πίτας αυξομειώνεται βάσει των τιμών της ολικής σκληρότητας.	142
Σχήμα 8.18	Διάγραμμα διακύμανσης της συγκέντρωσης ασβεστίου $\text{Ca}^{2+}$ (mg/l) των δειγμάτων νερού της υδρολογικής λεκάνης Άσκρης.	144
Σχήμα 8.19	Χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων των κατιόντων ( $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{Mg}^{2+}$ , $\text{Na}^{+}$ και $\text{K}^{+}$ ) των δειγμάτων νερού της υδρολογικής λεκάνης Άσκρης.	145
Σχήμα 8.20	Διάγραμμα διακύμανσης της συγκέντρωσης $\text{Mg}^{2+}$ (mg/l) των δειγμάτων νερού της υδρολογικής λεκάνης Άσκρης.	147
Σχήμα 8.21	Χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων $\text{Mg}^{2+}$ των δειγμάτων νερού της περιοχής ενδιαφέροντος.	148

Σχήμα 8.22	Διάγραμμα Διακύμανσης της συγκέντρωσης $\text{Na}^+$ (mg/l) των δειγμάτων νερού της υδρολογικής λεκάνης Άσκρης.	150
Σχήμα 8.23	Χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων $\text{Na}^+$ των δειγμάτων νερού της ευρύτερης περιοχής της υδρολογικής λεκάνης Άσκρης.	150
Σχήμα 8.24	Διάγραμμα διακύμανσης της συγκέντρωσης $\text{K}^+$ (mg/l) των δειγμάτων νερού της υδρολογικής λεκάνης Άσκρης.	152
Σχήμα 8.25	Χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων $\text{K}^+$ των δειγμάτων νερού της υδρολογικής λεκάνης Άσκρης	153
Σχήμα 8.26	Ποσοστό $\text{HCO}_3^-$ του ολικού διαλυμένου ανθρακικού άλατος ως συνάρτηση του pH (Appelo & Postma 2005).	154
Σχήμα 8.27	Διάγραμμα διακύμανσης της συγκέντρωσης $\text{HCO}_3^-$ (mg/l) των δειγμάτων νερού της υδρολογικής λεκάνης Άσκρης.	155
Σχήμα 8.28	Χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων των ανιόντων των δειγμάτων νερού της περιοχής μελέτης, βάσει κυκλικών διαγραμμάτων (Πίτες). Το μέγεθος της πίτας αυξομειώνεται με το σύνολο των συγκεντρώσεων των ανιόντων.	156
Σχήμα 8.29	Διάγραμμα διακύμανσης της συγκέντρωσης $\text{Cl}^-$ (mg/l) των δειγμάτων νερού της υδρολογικής λεκάνης Άσκρης.	158
Σχήμα 8.30	Χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων ιόντων $\text{Cl}^-$ στα δείγματα νερού της περιοχής μελέτης.	159
Σχήμα 8.31	Διάγραμμα διακύμανσης της συγκέντρωσης $\text{SO}_4^{2-}$ (mg/l) των δειγμάτων νερού της υδρολογικής λεκάνης Άσκρης.	160
Σχήμα 8.32	Χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων $\text{SO}_4^{2-}$ των δειγμάτων νερού της περιοχής μελέτης.	161
Σχήμα 8.33	Διάγραμμα διακύμανσης της συγκέντρωσης $\text{NO}_3^-$ (mg/l) των δειγμάτων νερού της υδρολογικής λεκάνης Άσκρης.	164
Σχήμα 8.34	Χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων $\text{NO}_3^-$ των δειγμάτων νερού της υδρολογικής λεκάνης Άσκρης	164
Σχήμα 8.35	Διάγραμμα διακύμανσης της συγκέντρωσης $\text{PO}_4^{3-}$ (mg/l) των δειγμάτων νερού της υδρολογικής λεκάνης Άσκρης.	166
Σχήμα 8.36	Χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων $\text{PO}_4^{3-}$ των δειγμάτων νερού της υδρολογικής λεκάνης Άσκρης.	167
Σχήμα 8.37	Η διαλυτότητα του άμορφου διοξειδίου του πυριτίου σε σχέση με το pH για θερμοκρασία 25°C (από Mason and Moore 1982, ίδια επεξεργασία) ( <a href="http://www.geo.auth.gr">http://www.geo.auth.gr</a> )	169
Σχήμα 8.38	Διάγραμμα διακύμανσης της συγκέντρωσης $\text{SiO}_2$ (mg/l) των δειγμάτων νερού.	170
Σχήμα 8.39	Χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων $\text{SiO}_2$ των δειγμάτων νερού της ευρύτερης περιοχής της υδρολογικής λεκάνης Άσκρης.	171
Σχήμα 9.1	Διακύμανση των τιμών της συγκέντρωσης ολικού σιδήρου των δειγμάτων νερού της περιοχής μελέτης.	176
Σχήμα 9.2	Χωρική κατανομή των τιμών συγκέντρωσης του ολικού σιδήρου και άλλων μετάλλων των δειγμάτων της ευρύτερης περιοχής της υδρολογικής λεκάνης Άσκρης, βάσει των κυκλικών	177

	διαγραμμάτων (πίτες). Το μέγεθος της πίτας αυξομειώνεται βάσει το άθροισμα των τιμών των μετάλλων (Fe, Mn, Cu, Ni και Cd).	
Σχήμα 9.3	Διακύμανση των τιμών της συγκέντρωσης μαγγανίου των δειγμάτων νερού της περιοχής μελέτης.	179
Σχήμα 9.4	Χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων Mn των δειγμάτων νερού της περιοχής μελέτης.	180
Σχήμα 9.5	Διακύμανση των τιμών της συγκέντρωσης χαλκού των δειγμάτων νερού της περιοχής μελέτης.	182
Σχήμα 9.6	Χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων Cu των δειγμάτων νερού της περιοχής μελέτης.	183
Σχήμα 9.7	Διακύμανση των τιμών της συγκέντρωσης Ni των δειγμάτων νερού της περιοχής μελέτης.	185
Σχήμα 9.8	Χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων Ni των δειγμάτων νερού της περιοχής μελέτης.	186
Σχήμα 9.9	Διάγραμμα Eh-pH (Pourbaix) με τις μορφές Cr, κάτω από συνθήκες 25 °C και 1bar πίεσης, σε ένα υδατικό σύστημα με οξυγόνο παρουσία χρωμίου (Hem 1989, επεξεργασία από Πανούση 2018). Κόκκινος χρωματισμός είναι η περιοχή προβολής των δειγμάτων νερού της περιοχής.	188
Σχήμα 9.10	Διακύμανση των τιμών της συγκέντρωσης Ni των δειγμάτων νερού της περιοχής μελέτης.	189
Σχήμα 9.11	Χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων Cr των δειγμάτων νερού της περιοχής μελέτης.	190
Σχήμα 9.12	Διακύμανση των τιμών της συγκέντρωσης Cd των δειγμάτων νερού της περιοχής μελέτης.	192
Σχήμα 9.13	Χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων Cd των δειγμάτων νερού της περιοχής μελέτης.	193
Σχήμα 9.14	Διακύμανση των τιμών της συγκέντρωσης Co των δειγμάτων νερού της περιοχής μελέτης.	195
Σχήμα 9.15	Χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων Co των δειγμάτων νερού της περιοχής μελέτης.	196
Σχήμα 9.16.	Διακύμανση των τιμών της συγκέντρωσης Pb των δειγμάτων νερού της περιοχής μελέτης.	199
Σχήμα 9.18	Χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων Pb των δειγμάτων νερού της περιοχής μελέτης.	200
Σχήμα 10.1	Διάγραμμα Piper ταξινόμησης των νερών.	201
Σχήμα 10.2	Ταξινόμηση των υπόγειων νερών και του επιφανειακού νερού της περιοχής μελέτης βάσει του διαγράμματος Piper.	202
Σχήμα 10.3	Διάγραμμα DUROV (Βουδούρης 2009).	205
Σχήμα 10.4	Ταξινόμηση των υπόγειων νερών και του επιφανειακού νερού του π. Άσκρης της περιοχής μελέτης βάσει του διαγράμματος Durov.	206

Σχήμα 11.1	Βασικά ορυκτά που συμβάλουν μέσω της διάλυσής τους στην διαμόρφωση του χημισμού των υπόγειων νερών των πηγών, των πηγαδιών και των γεωτρήσεων της περιοχής μελέτης.	209
Σχήμα 11.2	Ταξινόμηση των υπόγειων νερών πηγών, πηγαδιών και γεωτρήσεων βάσει του λόγου Mg:Ca (meq/l).	211
Σχήμα 11.3	Διάγραμμα διασποράς των τιμών του λόγου Mg:Ca (meq/l) των υπόγειων νερών των πηγών, των πηγαδιών, των γεωτρήσεων και του επιφανειακού νερού του ρέματος Άσκηρη.	212
Σχήμα 11.4	Διάγραμμα διασποράς των τιμών του λόγου Ca+Mg:Na+K (meq/l) των υπόγειων νερών των πηγών, των πηγαδιών, των γεωτρήσεων της περιοχής έρευνας και του επιφανειακού νερού του ρέματος Άσκηρη.	213
Σχήμα 11.5	Διάγραμμα διασποράς των τιμών του λόγου Ca+Mg HCO <sub>3</sub> +SO <sub>4</sub> (meq/l) των υπόγειων νερών των πηγών, των πηγαδιών, των γεωτρήσεων και του επιφανειακού νερού του ρέματος Άσκηρη.	214
Σχήμα 11.6	Διάγραμμα διασποράς των τιμών του λόγου Ca+Mg: Cl+SO <sub>4</sub> (meq/l) των υπόγειων νερών των πηγών, των πηγαδιών, των γεωτρήσεων και του επιφανειακού νερού του ρέματος Άσκηρη.	215
Σχήμα 11.7	Διάγραμμα διασποράς των τιμών του λόγου Ca: SO <sub>4</sub> (meq/l) των υπόγειων νερών των πηγών, των πηγαδιών, των γεωτρήσεων και του επιφανειακού νερού του ρέματος Άσκηρη.	216
Σχήμα 11.8	Κατανομή των ιοντικών λόγων μεταξύ Ca/Ca+SO <sub>4</sub> και Na/Na+Cl (mmol/l) στο διάγραμμα Hounslow των δειγμάτων νερού της περιοχής μελέτης.	217
Σχήμα 11.9	Δείκτες Κορεσμού Si των δειγμάτων νερού της περιοχής μελέτης στα συγκεκριμένα ορυκτά.	220
Σχήμα 12.1	Γράφημα (έλεγχος κρημνού) για τον προσδιορισμό του αριθμού των παραγόντων.	225
Σχήμα 13.1	Διάγραμμα ταξινόμησης των αρδευτικών νερών ( Richards 1954).	231
Σχήμα 13.2	Ταξινόμηση της καταλληλότητας των υπόγειων νερών και του επιφανειακού νερού της περιοχής μελέτης για αρδευτικούς σκοπούς κατά Richards.	233
Σχήμα 13.3	Διάγραμμα ταξινόμησης των δειγμάτων νερού της περιοχής με βάση το βαθμό αλκαλίωσης Νατρίου και την ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα (διάγραμμα Wilcox).	235

## V. ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

α/α	Τίτλος	Σελίδα
2.1	Παγκόσμια κατανομή του νερού (Shiklomanov 1993)	4
2.2	Τιμές ολικού πορώδους (Καλλέργης, 2000)	9
2.3	Εδαφικοί τύποι (Αλιφραγκής, 2008)	10
3.1	Οι κατηγορίες των χρήσεων/ κάλυψης γης, το εμβαδόν ανά κατηγορία και το ποσοστό τους στη λεκάνη Άσκηης-Δομβραΐνας.	28
3.2	Η έκταση που καταλαμβάνουν οι οικισμοί που βρίσκονται στην λεκάνη Άσκηης - Δομβραΐνας, σύμφωνα με την απογραφή 2011	30
3.3	Διαχρονική εξέλιξη του πληθυσμού των Τοπικών Κοινοτήτων που βρίσκονται στη λεκάνη Άσκηης-Δομβραΐνας από το 1989 έως 2011 (Πηγή: ΕΣΥΕ).	30
3.4	Ηλικιακή διάρθρωση του πληθυσμού (Απογραφή 2011)	32
3.5	Εξέλιξη οικονομικά ενεργού πληθυσμού 2001-2011	32
3.6	Εξέλιξη Ανέργων 2001-2011	32
3.7	Απασχολούμενοι των τοπικών κοινοτήτων ανά παραγωγικό τομέα (ΕΣΥΕ 2001).	33
4.1	Υψομετρική ανάλυση της λεκάνης Άσκηης-Δομβραΐνας	41
4.2	Ανάλυση των κλίσεων στη λεκάνη Άσκηης-Δομβραΐνας	41
4.3	Ανάλυση των εκθέσεων της λεκάνης Άσκηης-Δομβραΐνας	41
4.4	Οι μετρούμενες μορφομετρικές παράμετροι της λεκάνης απορροής.	45
4.5	Οι υπολογιζόμενες μορφομετρικές παράμετροι της λεκάνης απορροής	46
4.6	Σχετικά εμβαδά και σχετικά υψόμετρα για τη Λεκάνη του π. Άσκηης.	48
4.7	Αρίθμηση των κλάδων κατά Strahler	49
4.8	Μορφομετρικές παράμετροι υδρογραφικού δικτύου του ποταμού Άσκηης	51
4.9	Σχέση μεταξύ του αριθμού κλάδων του υδρογραφικού δικτύου της λεκάνης του π. Άσκηης και των ιδανικών τιμών ανά τάξη, σύμφωνα με τον 1 <sup>ο</sup> νόμο του Horton.	53
4.10	Σχέση μεταξύ του μέσου μήκους των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου της λεκάνης Άσκηης, των ιδανικών τιμών ανά τάξη, και την απόκλιση από τις ιδανικές τιμές (%), σύμφωνα με τον 2 <sup>ο</sup> νόμο του Horton.	54
6.1	Πληροφορίες Μ.Σ. Καπαρελλίου και Θίσβης	79
6.2	Μέσο ετήσιο ύψος βροχόπτωσης για το Μ.Σ. Καπαρελλίου	81
6.3	Μέση Μηνιαία και Ετήσια Τιμή βροχόπτωσης (mm) για τους Μ.Σ. Καπαρελλίου και Θίσβης.	82
6.4	Συνολική Ετήσια βροχόπτωση για το Μ.Σ. Καπαρελλίου	82
6.5	Μηνιαία μεταβολή της θερμοκρασίας (Μ.Σ. Καπαρελλίου).	82
6.6	Μέσες Μηνιαίες Σχετικές Υγρασίες Αέρα (%)	86
6.7	Τιμές διορθωτικού συντελεστή Ld για γεωγραφικό πλάτος 38.00 (Thornthwaite, 1948).	92
6.8	Συντελεστές κατεΐσδυσης των επιμέρους γεωλογικών σχηματισμών	94
6.9	Οι επιφάνειες ανάπτυξης των διαφόρων λιθολογικών σχηματισμών που συμμετέχουν στην δομή της υδρολογικής λεκάνης Άσκηης κατά ζώνη.	96
6.10	Η επιφανειακή ανάπτυξη των γεωλογικών σχηματισμών που συμμετέχουν στη δομή της λεκάνης Άσκηης και ο αντίστοιχος όγκος νερού που δέχεται η επιφάνειά τους.	97
6.11	Συγκεντρωτικός πίνακας εκτίμησης του υδρολογικού ισοζυγίου της υδρολογικής λεκάνης Άσκηης.	98

8.1	Ενδεικτικές παράμετροι του πόσιμου νερού (Οδηγία 98/83/ΕΚ της Ε.Ε.).	112
8.2	Κυριότερες πηγές ρύπανσης επιφανειακών και υπόγειων νερών.	115
8.3	Χαρακτηριστικά στοιχεία των σημείων δειγματοληψίας	119
8.4	Μήκος κύματος και εύρος λειτουργίας και το βέλτιστο εύρος μετρήσεων του οργάνου ατομικής απορρόφησης τύπου GBS 908 AA.	120
8.5	Μέθοδοι αναλύσεων των φυσικοχημικών και χημικών παραμέτρων των δειγμάτων νερού της περιοχής μελέτης.	121
8.6	Αποτελέσματα υδροχημικών αναλύσεων σε δείγματα πηγών, φρεάτων, γεωτρήσεων και επιφανειακού νερού της περιοχής μελέτης.	123
8.7	Αξιολόγηση των υδάτων βάσει της σκληρότητας σε °dH	140
8.8	Ενδεικτικές Συγκεντρώσεις του $Ca^{2+}$ στα διάφορα πετρώματα	143
8.9	Φυσιολογικό εύρος των συγκεντρώσεων των στοιχείων σε φυσικά μη ρυπασμένα νερά.	143
8.10	Ενδεικτικές Συγκεντρώσεις του $Mg^{2+}$ στα διάφορα πετρώματα	146
8.11	Ενδεικτικές Συγκεντρώσεις του $Na^{+}$ στα διάφορα πετρώματα.	149
8.12	Ενδεικτικές Συγκεντρώσεις του $K^{+}$ στα διάφορα πετρώματα	151
8.13	Ενδεικτικές Συγκεντρώσεις του $Cl^{-}$ στα διάφορα πετρώματα.	157
8.14	Ενδεικτικές Συγκεντρώσεις του $SO_4^{2-}$ στα διάφορα πετρώματα.	160
8.15	Ενδεικτικές Συγκεντρώσεις του $PO_4^{3-}$ στα διάφορα πετρώματα.	166
8.16	Ενδεικτικές Συγκεντρώσεις του $Si$ στα διάφορα πετρώματα.	168
9.1	Εύρος λειτουργίας κι ευαισθησία φασματομέτρου ατομικής απορρόφησης τύπου GBS 908 AA.	173
9.2	Αποτελέσματα υδροχημικών αναλύσεων σε δείγματα πηγών, φρεάτων και γεωτρήσεων της περιοχής μελέτης	174
9.3	Συγκεντρώσεις μολύβδου στα μαγματικά και ιζηματογενή πετρώματα	197
10.1	Υδροχημικοί τύποι υπόγειων νερών της περιοχής μελέτης (Γ:Γεωτρήσεις, Φ: Πηγάδια, Π:Πηγές και Ε: επιφανειακό Νερό Ρ. Άσκρης).	203
11.1	Τιμές συγκέντρωσης (mg/l) των ορυκτών που έχουν διαλυθεί και έχουν συμβάλει στην διαμόρφωση του χημισμού των υπόγειων νερών της περιοχής μελέτης.	208
11.2	Ιοντικοί λόγοι υπόγειων νερών των πηγών, των πηγαδιών και των γεωτρήσεων της περιοχής έρευνας.	210
11.3	Δείκτες κορεσμού των υπόγειων νερών των πηγών, των πηγαδιών, των γεωτρήσεων και του επιφανειακού νερού του ρέματος Άσκη.	219
12.1	Χαρακτηρισμός των τιμών του συντελεστή γραμμικής συσχέτισης (r)	221
12.2	Ο δείκτης Kaiser-Meyer-Olkin και ο έλεγχος σφαιρικότητας Bartlett's για τα υπόγεια νερά και το επιφανειακό νερό της περιοχής μελέτης.	222
12.3	Συντελεστές συσχέτισης των υδροχημικών δεδομένων για τα δείγματα νερού της περιοχής μελέτης.	224
12.4	Παραγοντικά φορτία της παραγοντικής ανάλυσης των πέντε κύριων συνιστωσών των υδροχημικών παραμέτρων και η κοινή παραγοντική διακύμανση τους.	226
13.1	Πρότυπα Πόσιμου νερού σύμφωνα με την οδηγία 98/83/ΕΚ της Ε.Ε.	229
13.2	Κατηγορίες αρδευτικών υδάτων κατά Richards	232
13.3	Ποιοτική Ταξινόμηση των αρδευτικών νερών (Wilcox, 1955)	234

# 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

## 1.1. Σκοπός και Αντικείμενο της έρευνας

Όπως είναι γνωστό, η ολοένα αυξανόμενη οικιστική ανάπτυξη, η βιομηχανική ανάπτυξη και η εντατικοποίηση της γεωργίας έχουν οδηγήσει τις τελευταίες δεκαετίες στη μείωση και υποβάθμιση της ποιότητας των υπόγειων και επιφανειακών υδάτων, με σημαντικές αρνητικές συνέπειες για την υγεία, το περιβάλλον, αλλά και την οικονομία.

Ωστόσο, οι απαιτήσεις κυρίως του ευαισθητοποιημένου κοινού για καλύτερη ποιότητα νερού και γενικότερα για καλύτερες συνθήκες διαβίωσης, αλλά και η ανάγκη διατήρησης των διαθέσιμων υδατικών πόρων σε επαρκείς ποσότητες, οδήγησαν την Ευρωπαϊκή Ένωση και τη χώρα μας, στη θέσπιση οδηγιών (π.χ. οδηγία 2000/60/EK) και την εφαρμογή μέτρων για την προστασία και ορθολογική διαχείριση των υδατικών πόρων.

Αν και έχουν ληφθεί τα απαραίτητα μέτρα για την προστασία των υδατικών πόρων, πρόσφατες εκθέσεις δείχνουν ότι σε ορισμένες περιοχές σημαντικές εγχώριες, γεωργικές και βιομηχανικές πηγές, είτε μέσω άμεσων δραστηριοτήτων, όπως η απόρριψη απορριμμάτων και λυμάτων, είτε έμμεσα μέσω της εφαρμογής λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων, καθώς και άλλων πηγών, όπως το πλύσιμο παλιών μολυσμένων βιομηχανικών χώρων και οι χώροι παλιών εναποθέσεων (π.χ. χώροι υγειονομικής ταφής, ορυχεία, βαριές βιομηχανίες) εξακολουθούν να αποτελούν σημαντική πηγή ρύπανσης των υδατικών πόρων.

Κατά συνέπεια κρίνεται αναγκαία, για την προστασία και σωστή διαχείριση των υδατικών πόρων ανά περιοχή, η καταγραφή της υφιστάμενης κατάστασης σε επίπεδο λεκάνης και ο προσδιορισμός των παραμέτρων εκείνων που επιδρούν στην ποιότητα των υδάτων.

Η παρούσα εργασία αποσκοπεί στην περιγραφή της υφιστάμενης κατάστασης και τη διερεύνηση των γεωλογικών, γεωμορφολογικών και υδρογεωλογικών συνθηκών που επικρατούν στη λεκάνη Άσκρης – Δομβραΐνας, αλλά και στον προσδιορισμό των παραγόντων που ελέγχουν την ποιότητα των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων της.

Στην περιοχή μελέτης δεν υπάρχουν δεδομένα από παλαιότερες μελέτες που αφορούν στην ποιοτική σύσταση και τη διερεύνηση της επιβάρυνσης από γεωγενείς και ανθρωπογενείς παράγοντες των υδατικών πόρων της λεκάνης, ως εκ τούτου είναι σημαντικό να εξεταστεί σχετικά η περιοχή για να εκτιμηθεί η καταλληλότητα των υπόγειων και επιφανειακών νερών για διάφορες χρήσεις.

Σκοπός της μελέτης είναι η εκτίμηση της ποσοτικής επάρκειας και ποιοτικής καταλληλότητας των υπόγειων και επιφανειακών νερών της λεκάνης για διάφορες χρήσεις.

Αντικείμενο της μελέτης είναι :

1. Η περιγραφή των γεωλογικών, γεωμορφολογικών, υδρολογικών και υδρογεωλογικών συνθηκών που αναπτύσσονται στην λεκάνη Άσκρης-Δομβραΐνας,
2. Η εκτίμηση του υδατικού δυναμικού της λεκάνης,
3. Η ανάλυση των υδροχημικών παραμέτρων των υπόγειων και επιφανειακών νερών της, και η αξιολόγησή τους σε σχέση με τα πρότυπα ποιότητας για ανθρώπινη κατανάλωση,
4. Η υδροχημική ταξινόμηση των υπόγειων νερών,
5. Η διερεύνηση για τυχόν επιβάρυνση των υπόγειων και επιφανειακών νερών από γεωγενείς και ανθρωπογενείς παράγοντες,

6. Ο προσδιορισμός των υδροχημικών διεργασιών που λαμβάνουν χώρα κατά τη διέλευση ή φιλοξενία των υπόγειων υδάτων στην ακόρεστη και κορεσμένη ζώνη του εδάφους
7. Ο προσδιορισμός της προέλευσης των χημικών στοιχείων των νερών της λεκάνης και
8. Η εκτίμηση της καταλληλότητας των νερών για διάφορες χρήσεις.

## 1.2. Μεθοδολογία προσέγγισης του θέματος

A. Για την εξέταση της υφιστάμενης κατάστασης της λεκάνης Άσκρης–Δομβραΐνας καθώς και των συνθηκών που επικρατούν σε αυτή (γεωλογικών-υδρογεωλογικών, κ.λπ.) πραγματοποιήθηκαν οι ακόλουθες εργασίες:

1. Η δημιουργία θεματικών χαρτών που αφορούν τη λεκάνη, όπως τοπογραφικού, γεωλογικού, υδρογεωλογικού, υδρογραφικού δικτύου κ.λπ. μέσω του λογισμικού προγράμματος ARCGIS 10.2.1. της εταιρείας ESRI και χρησιμοποιώντας τους γεωλογικούς χάρτες του ΙΓΜΕ, δορυφορικές εικόνες, καθώς και το ψηφιακό αρχείο DEM του Κτηματολογίου.
2. Η συλλογή και επεξεργασία των μετεωρολογικών δεδομένων από το Μετεωρολογικό Σταθμό Καπαρελλίου του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών και η δημιουργία των αντίστοιχων διαγραμμάτων.
3. Η συλλογή και επεξεργασία των στατιστικών δεδομένων που αφορούν τον πληθυσμό των οικισμών της λεκάνης καθώς και την απασχόλησή τους από την Ελληνική Στατιστική Αρχή και η δημιουργία των αντίστοιχων θεματικών χαρτών και διαγραμμάτων.

B. Για την εκτίμηση της ποιότητας των υπόγειων και επιφανειακών νερών πραγματοποιήθηκαν οι ακόλουθες εργασίες:

1. Εργασίες υπαίθρου οι οποίες περιελάμβαναν:
  - Τη συλλογή 33 δειγμάτων νερού από επιλεγμένα σημεία υδροληψίας (γεωτρήσεις, πηγάδια και πηγές), την καταγραφή των συντεταγμένων τους (σε ΕΓΣΑ 87). Η συλλογή των δειγμάτων πραγματοποιήθηκε τις καλοκαιρινές περιόδους των ετών 2018 και 2019.
  - Την επιτόπια μέτρηση των φυσικοχημικών παραμέτρων της θερμοκρασίας ( $T^{\circ}\text{C}$ ), της ηλεκτρικής αγωγιμότητας ( $\text{EC } \mu\text{S/cm}$ ), της τιμής του pH και του οξειδοαναγωγικού δυναμικού ( $\text{Eh mV}$ ) με την βοήθεια φορητών οργάνων.
2. Εργαστηριακές αναλύσεις στο Εργαστήριο Ορυκτολογίας και Γεωλογίας του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, οι οποίες περιλαμβάνουν:
  - Φιλτράρισμα και συντήρηση των δειγμάτων.
  - Χημικές αναλύσεις των δειγμάτων νερού με εφαρμογή μεθόδων τιτλοδότησης, φασματοφωτομετρίας, φλογοφωτομετρίας και ατομικής απορρόφησης βάσει των οποίων προσδιορίστηκαν οι συγκεντρώσεις των κύριων και δευτερευόντων στοιχείων και των βαρέων μετάλλων.
3. Η δημιουργία υδροχημικών χαρτών και διαγραμμάτων, με βάση τα αποτελέσματα των υδροχημικών αναλύσεων.



4. Η επεξεργασία των δεδομένων μέσω του προγράμματος AquaChem για τον προσδιορισμό των υδροχημικών τύπων των δειγμάτων νερού, αλλά και για την αποτύπωση αυτών σε διαγράμματα με τις γραφικές μεθόδους των Piper και Durov.
  5. Η παραγοντική ανάλυση των δειγμάτων νερού της λεκάνης με τη βοήθεια του προγράμματος SPSS.
  6. Η ταξινόμηση των νερών με βάση τους ιοντικούς λόγους  $Mg:Ca$ ,  $Ca+Mg : Na+K$ ,  $Ca+Mg : HCO_3+SO_4$ ,  $Ca+Mg : Cl+SO_4$ ,  $Ca : SO_4$  και  $Ca / Ca+SO_4 : Na / Na+ Cl$ .
  7. Η εκτίμηση της προέλευσης των στοιχείων και οι δείκτες κορεσμού των νερών μέσω του προγράμματος PHREEQC.
- Γ. Για τη σύνταξη των χαρτών χρησιμοποιήθηκαν τα παρακάτω στοιχεία:
1. Οι τοπογραφικοί χάρτες Βάγια, Καπαρέλλι, Λιβαδειά και Περαχώρα της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού με κλίμακα 1:50.000.
  2. Ο γεωλογικός χάρτης της Ελλάδας, κλίμακας 1:50.000. Φύλλα Χάρτη Καπαρέλλι (Μπορνόβα Ι., Ελευθερίου Α. και Γαϊτανάκη Π., 1984), Περαχώρα (Μπορνόβα Ι., Γαϊτανάκη Π. και Σπυριδόπουλο Π., 1984), Λειβαδειά (Τατάρη Α. Κούνη Γ. κ.α., 1971) και Βάγια (Τατάρη Α., Κούνη Γ. κ.α., 1970). Εκδόσεις Ι.Γ.Μ.Ε.
  3. Ο υδρογεωλογικός χάρτης της Ελλάδας κλίμακας 1:50 000, Φύλλο Χάρτη Βάγια (Παγούνης Μ., Γκατζογιάννης Α., Γκέρτσος Θ., 1989). Εκδόσεις Ι.Γ.Μ.Ε.
  4. Ο νεοτεκτονικός χάρτης της Ελλάδας κλίμακας 1:100.000, Φύλλο Χάρτη Λιβαδειά (Καροτσιέρης Ζ., 1995). Εκδόσεις Ε.Κ.Π.Α.
  5. Ο σεισμοτεκτονικός χάρτης της Ελλάδας, 1:500.000, Ι.Γ.Μ.Ε., Αθήνα 1989.
  6. Ψηφιακά μοντέλα εδάφους (DEM) του Εθνικού Κτηματολογίου, ανάλυσης 5 μέτρων.
  7. Όρια των καλλικρατικών δήμων από τον ιστότοπο Δημόσια, Ανοικτά Δεδομένα (<http://geodata.gov.gr>).
  8. Οδικό δίκτυο και οικισμοί για την περιοχή μελέτης από τον ιστότοπο (<http://www.openstreetmap.gr>).
  9. Δορυφορικά δεδομένα των δορυφόρων Sentinel 2, μέσω της ανοικτής πλατφόρμας της ESA, Copernicus Open Access Hub (<https://scihub.copernicus.eu/>).
  10. Γεωχωρικά δεδομένα του προγράμματος Corine Land Cover 2018, μέσω της ανοικτής πλατφόρμας <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover> από το site του Προγράμματος Copernicus,
  11. Γεωχωρικά δεδομένα του προγράμματος Corine Land Cover για το έτος 2012, μέσα από την ιστοσελίδα της ΕΚΧΑ Α.Ε. και μέσω του συνδέσμου <http://gis.ktimanet.gr/cachenascommon/corine.zip>

## 2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

### 2.1. Κατανομή του νερού στον πλανήτη

Το νερό είναι ένας από τους σημαντικότερους ανανεώσιμους φυσικούς πόρους του πλανήτη μας, ζωτικής σημασίας για τους περισσότερους οργανισμούς και τα οικοσυστήματα του πλανήτη. Απαντάται σε τρεις μορφές στη γη: στερεή (πάγος, χιόνι), υγρή (νερό πηγών, ποταμών, θαλασσών) και αέρια (υδρατμοί στην ατμόσφαιρα).

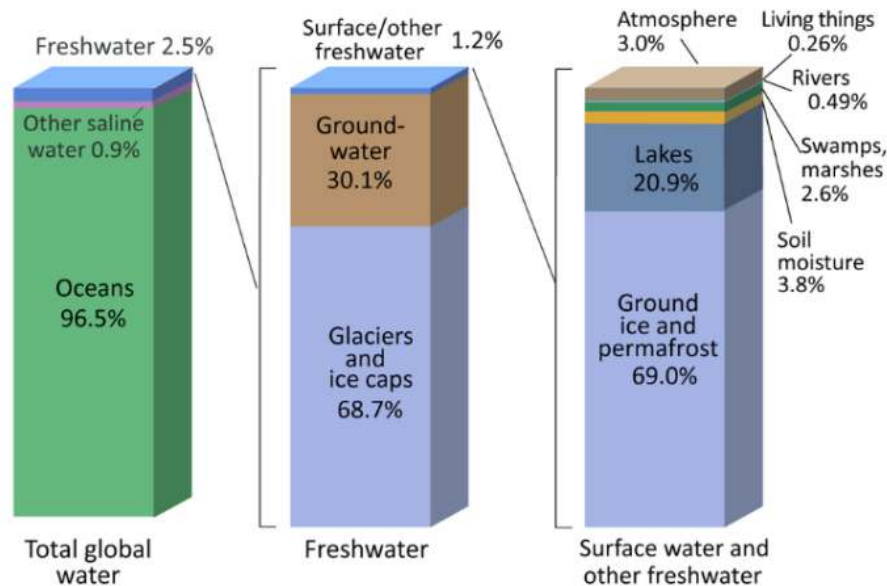
Παρόλο που τα δύο τρίτα περίπου της επιφάνειας της γης καλύπτεται με νερό ( $1,34 \times 10^9 \text{ Km}^3$ ), το μεγαλύτερο μέρος της (97,5% επί του συνολικού νερού της γης) καλύπτεται από αλμυρό θαλασσίνο νερό και μόνο ένα μικρό ποσοστό (2,5% επί του συνόλου) καλύπτεται από γλυκό νερό, από το οποίο μόνο ένα μικρό ποσοστό είναι διαθέσιμο για ανθρώπινη χρήση (Σχήμα 2.1). Ο Πίνακας 2.1 δείχνει τις εκτιμήσεις των όγκων διαφόρων ειδών ύδατος πάνω και κάτω από την επιφάνεια της γης, όπως αναφέρθηκε από τον Shiklomanov Igor στο κεφάλαιο «World fresh water resources» του βιβλίου του Gleick Peter H. «Water in Crisis», 1993, Oxford University Press, Νέα Υόρκη.

**Πίνακας 2.1:** Παγκόσμια κατανομή του νερού (Shiklomanov 1993).

Μορφή νερού	Επιφάνεια νερού $10^3 \text{ Km}^2$	Όγκος του νερού $10^3 \text{ Km}^3$	Ποσοστό συνολικού νερού %	Ποσοστό γλυκού νερού %
Θάλασσες-ωκεανοί	361.300,00	1.338.000	96,5	
Υπόγεια ύδατα	134.800,00	23.400	1,7	30,1
Γλυκό νερό		10.530	0,76	
Εδαφική υγρασία		16,50	0,001	0,05
Πολικοί πάγοι	16.227,00	24.064,00	1,74	68,7
Άλλος πάγος και χιόνι	21.000,00	300,00	0,022	0,86
Λίμνες	2.058,70	176,40	0,013	
Γλυκό νερό	1.236,40	91,00	0,007	0,26
Αλμυρό νερό	822,30	85,40	0,006	
Έλη	2.682,60	11,47	0,0008	0,03
Ποτάμια	148.800,00	2,12	0,0002	0,006
Βιολογικό νερό	510.000,00	1,12	0,0001	0,003
Ατμοσφαιρικό νερό	510.000,00	12,90	0,001	0,04

Από τα παραπάνω στοιχεία προκύπτει ότι, ο άνθρωπος χρησιμοποιεί για την επιβίωσή του ελάχιστη ποσότητα γλυκού νερού, που αντιπροσωπεύει το 0,6 % της συνολικής ποσότητας νερού στη γη, συμπεριλαμβανομένων των υπογείων υδάτων. Συνεπώς, τα αποθέματα του νερού στη γη θα είχαν εξαντληθεί αν δεν υπήρχε μια συνεχής ανανέωση του νερού με τον υδρολογικό κύκλο (Σχήμα 2.2). Ο υδρολογικός κύκλος περιγράφει τη συνεχή κίνηση του νερού επάνω και κάτω από την επιφάνεια της Γης, καθώς αυτό μεταπηδά από τη μια κατάσταση στην άλλη (στερεά, υγρή και αέρια φάση). Κινητήρια δύναμη για τη δημιουργία του υδρολογικού κύκλου είναι η ηλιακή ενέργεια και η βαρύτητα.

Ωστόσο, για να προσδιοριστεί το υδρολογικό ισοζύγιο μιας περιοχής, ορίστηκε ως χωρική ενότητα η λεκάνη απορροής η οποία αποτελεί το τμήμα της επιφάνειας του εδάφους που έχει αυτόνομη επιφανειακή υδροοικονομία, δηλαδή αυτονομία στο υδρολογικό ισοζύγιο.



Σχήμα 2.1: Παγκόσμια κατανομή του νερού (<https://www.academia.edu>).



Σχήμα 2.2: Υδρολογικός κύκλος

Συνήθως οι λεκάνες απορροής έχουν ίδιο ανεξάρτητο επιφανειακό και υπόγειο ισοζύγιο, ωστόσο σε περιοχές με καρστικούς σχηματισμούς ή διαπερατούς σχηματισμούς με μεγάλο πάχος αυτό δεν ισχύει (Καλλέργης, 2000).

Το υδρολογικό ισοζύγιο μιας λεκάνης απορροής εξαρτάται από τους εξής παράγοντες:

1. Τις κλιματολογικές συνθήκες (κατακρημνίσματα κ.λπ.)
2. Τη λιθολογική σύσταση των πετρωμάτων
3. Το γεωμορφολογικό ανάγλυφο της λεκάνης (κλίσεις, κ.λπ.)
4. Το υδρογραφικό δίκτυο
5. Τη βλάστηση
6. Τις ανθρώπινες επεμβάσεις (δασικές πυρκαγιές, απορρίψεις σκουπιδιών, καταπατήσεις, εκχερσώσεις).

Οι παραπάνω παράγοντες επιδρούν στο υδρολογικό ισοζύγιο της λεκάνης, δίνοντας σε αυτή διαφορετικό υδρολογικό ισοζύγιο από τις γειτονικές λεκάνες. Είναι σημαντικό σε μια λεκάνη απορροής να υπολογιστεί το υδρολογικό της ισοζύγιο, γιατί με αυτό τον τρόπο ρυθμίζεται το υπάρχον υδάτινο δυναμικό της, η τροφοδοσία του υπογείου υδροφορέα και γενικότερα τα εκμεταλλεύσιμα αποθέματα (Καλλέργης 2000).

## **2.2. Επιφανειακά νερά**

Επιφανειακό είναι το νερό των λιμνών και των ποταμών, οι οποίοι είναι σημαντικά ωφέλιμοι φυσικοί πόροι τόσο για τον άνθρωπο όσο και για το περιβάλλον. Όμως παρά το ωφέλιμο λειτουργικό τους ρόλο, δημιουργούνται πολλά προβλήματα και κίνδυνοι από τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες και από φυσικά αίτια τα οποία μπορούν να έχουν σημαντικές επιπτώσεις στις λειτουργίες και στις αξίες τους.

Οι ανθρωπογενείς επεμβάσεις στα επιφανειακά νερά μπορεί να είναι άμεσες ή έμμεσες. Στις άμεσες επεμβάσεις ανήκουν οι απορρίψεις υγρών και στερεών απορριμμάτων και λυμάτων, οι αλλαγές στις όχθες τους και στις κοίτες, οι εκτροπές, οι εγκιβωτισμοί καναλιών, οι αποξηράνσεις λιμνών, η διευθέτηση και εκμετάλλευση αυτών για ιχθυοκαλλιέργεια, η επέκταση των καλλιεργειών και η δημιουργία γεωργο-κτηνοτροφικών εγκαταστάσεων και βιομηχανιών.

Στις έμμεσες επεμβάσεις ανήκουν οι δραστηριότητες εκείνες οι οποίες αλλοιώνουν ή και ανατρέπουν την ισορροπία του φυσικού περιβάλλοντος, όπως: οι κατασκευές φραγμάτων και τεχνητών λιμνών στις κοίτες των ποταμών που διακόπτουν την ελεύθερη ροή του νερού και των υλικών, οι αποψιλώσεις των δασών, τα αντιπλημμυρικά έργα και τα έργα προστασίας από τη διάβρωση και η ανεξέλεγκτη εγκατάσταση ανθρωπογενών δραστηριοτήτων κοντά στους υδάτινους πόρους που επιδρούν δραστικά στο φυσικό περιβάλλον.

Φυσικά αίτια που προκαλούν αλλοιώσεις στα επιφανειακά νερά είναι η φυσική γήρανση των οικοσυστημάτων, οι υδροδυναμικές συνθήκες μεταφοράς και ανάμιξης του νερού και οι εισροές ή εκροές υδάτων που μπορεί να προκαλέσουν σημαντικά προβλήματα στον υγροβίοτοπο (π.χ. ευτροφισμός).

Ωστόσο, με τη σωστή διαχείριση οι αλλοιώσεις που προέρχονται από φυσικά αίτια μπορούν να αντιμετωπιστούν, όπως με την κατασκευή τεχνικών έργων που θα επιβραδύνει την εξέλιξή τους, ενώ οι αλλοιώσεις που προέρχονται από ανθρωπογενείς δραστηριότητες θα πρέπει να αντιμετωπίζονται στην πηγή τους μετά από ορθολογικό προγραμματισμό των χρήσεων και λειτουργιών των επιφανειακών νερών (Κουσουρή 2007).

### 2.3. Υπόγεια νερά

Τα υπόγεια νερά αποτελούν ένα από τα βασικά αποθέματα του υδατικού ισοζυγίου και επομένως η χρήση και η προστασία τους είναι υψίστης σημασίας. Αντιστοιχούν σε 0,61% του συνολικού νερού στη γη. Αποτελούν τα νερά που βρίσκονται μέσα στους εδαφικούς πόρους και διακινούνται υπογείως (Hölting B. & Coldewey W., G. 2009), ανεξαρτήτως κατάστασης, βάθους και προέλευσης (Καλλέργης 2000).

Τα νερά που εισέρχονται στους γεωλογικούς σχηματισμούς προέρχονται είτε από τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα, τα οποία εισέρχονται σε αυτά άμεσα από την επιφάνεια του εδάφους (κατεισδυση), είτε έμμεσα από τις λίμνες και τα ποτάμια (διήθηση) (Καλλέργης 2000). Το νερό διανύει ποικίλες αποστάσεις στο υπέδαφος και στη συνέχεια επιστρέφει στην επιφάνεια του εδάφους είτε με φυσική εκφόρτιση (πηγές), είτε μέσω ανθρωπίνων παρεμβάσεων (πηγάδια, γεωτρήσεις), είτε με τη διαπνοή των φυτών.

Ο χρόνος παραμονής του υπόγειου νερού στο υπέδαφος αποτελεί την ηλικία του, η οποία προσδιορίζεται με φυσικά ραδιοϊσότοπα, κυρίως το τρίτιο ( $H^3$ ) και τον άνθρακα  $14 (C^{14})$ .

Τα υπόγεια ύδατα έχουν πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με τα επιφανειακά νερά των λιμνών και των ποταμών ως πηγή νερού, όπως:

1. Κάθε χρόνο, η θερμοκρασία των υπόγειων υδάτων κυμαίνεται μόνο κατά  $2^{\circ}C$  περίπου σε βάθος 10m και σε λιγότερο από  $1^{\circ}C$  σε βάθος 25 m ή μεγαλύτερο (Heath 1983). Η μικρή αυτή διακύμανση της θερμοκρασίας καθιστά τα υπόγεια ύδατα χρήσιμα για βιομηχανικές και οικιακές εφαρμογές ψύξης και θέρμανσης. Για παράδειγμα, στις γεωθερμικές αντλίες θερμότητας κυκλοφορούν υπόγεια ύδατα μέσω σωλήνων για θέρμανση κατά τη διάρκεια του χειμώνα και ψύξης κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού. Επίσης, η εσωτερική θερμότητα της γης προκαλεί αύξηση της θερμοκρασίας των υπόγειων υδάτων κατά 1,8 έως  $3,6^{\circ}C$  ανά 100 μέτρα βάθους κάτω από το επίπεδο εδάφους (Heath 1983).
2. Σε σύγκριση με τα επιφανειακά ύδατα τα υπόγεια ύδατα εξατμίζονται σε μικρότερο βαθμό. Στις περισσότερες περιοχές η ετήσια εξάτμιση της λίμνης υπερβαίνει τα 2 m.
3. Τα υπόγεια ύδατα είναι γενικά λιγότερο ευάλωτα από τα επιφανειακά ύδατα ως προς τη βιολογική ή χημική ρύπανση. Συχνά οι ρυπογόνες ουσίες που εισάγονται στην επιφάνεια της γης μπορούν γρήγορα να μετακινηθούν σε λίμνες και ποτάμια, αλλά και να διηθηθούν μέσω της ακόρεστης ζώνης πριν φθάσουν στα υπόγεια ύδατα. Αυτή η διαδικασία φιλτραρίσματος μειώνει το φορτίο ρύπων που εισέρχεται στα υπόγεια ύδατα.

Ωστόσο, υπάρχουν σημαντικά μειονεκτήματα της χρήσης των υπογείων υδάτων σε σχέση με τα επιφανειακά ύδατα. Αυτά περιλαμβάνουν: α) το κόστος που προκύπτει από τη διάνοιξη των φρεατίων και την άντληση των υπογείων υδάτων και β) την τάση για υψηλότερη περιεκτικότητα σε διαλυμένα ορυκτά, η οποία μπορεί να καταστήσει το νερό ακατάλληλο σε ορισμένες περιπτώσεις, περιορισμένη ροή και λιγότερες δυνατότητες για πολλαπλές χρήσεις. Τα πλεονεκτήματα των επιφανειακών υδάτων είναι οι πολλαπλές χρήσεις τους όπως, η παροχή νερού για άρδευση και ύδρευση, η αναψυχή, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας κ.λπ.

### 2.4. Υδρογεωλογική συμπεριφορά των γεωλογικών σχηματισμών

Τα υπόγεια νερά εμφανίζονται μέσα στους γεωλογικούς σχηματισμούς στους λεγόμενους υδροφόρους ορίζοντες ή υδροφόροι. Αυτοί είναι διαπερατά πετρώματα με κοιλότητες, που

είναι κατάλληλοι για την αποθήκευση αλλά και τη μεταβίβαση του νερού. Οι κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν την υδρογεωλογική συμπεριφορά τους είναι:

α) Το πορώδες (Porosity): Η κίνηση του υπόγειου νερού εξαρτάται άμεσα από τα μέρη του πετρώματος που δεν κατέχεται από στερεά ύλη, δηλαδή από τα εδαφικά κενά τους (voids or interstigejf). Τα εδαφικά κενά είτε δημιουργούνται μεταξύ των εδαφικών κόκκων κατά το στάδιο σχηματισμού των γεωλογικών σχηματισμών (πρωτογενές πορώδες) και τα οποία απαντώνται στα ιζηματογενή πετρώματα (κοκκώδεις σχηματισμοί), είτε αναπτύσσονται με τη μορφή ρωγμών, διακλάσεων κ.λπ. (δευτερογενές πορώδες) μετά το σχηματισμό των πετρωμάτων, λόγω τεκτονισμού, αποσάθρωσης, διάλυσης, δράσης των φυτών, ανθρώπινων παρεμβάσεων κ.ά.

Στα περισσότερα πετρώματα, τα διάκενα συνδέονται μεταξύ τους, έτσι ώστε το νερό να μπορεί να κινηθεί μέσα από αυτά, διεισδύοντας από το ένα διάκενο στο άλλο. Όμως σε πολλά πετρώματα τα διάκενα είναι σε μεγάλο βαθμό απομονωμένα και υπάρχουν λίγες ευκαιρίες για να διαπεράσει το νερό σε αυτά. Οι διαφορές που υπάρχουν στα πετρώματα σε σχέση με τα διάκενά τους οφείλονται στα διαφορετικά ορυκτά που συνθέτουν τα πετρώματα και στη μεγάλη ποικιλία των γεωλογικών διεργασιών με τις οποίες παρήχθησαν ή αργότερα τροποποιήθηκαν.

Ποσοτικά το πορώδες ( $n$ ) εκφράζεται ως το ποσοστό του συνολικού όγκου των διακένων ( $v$ ) σε σχέση με τον συνολικό όγκο της μάζας του εδάφους ( $V$ ), δηλαδή  $n = v / V$ .

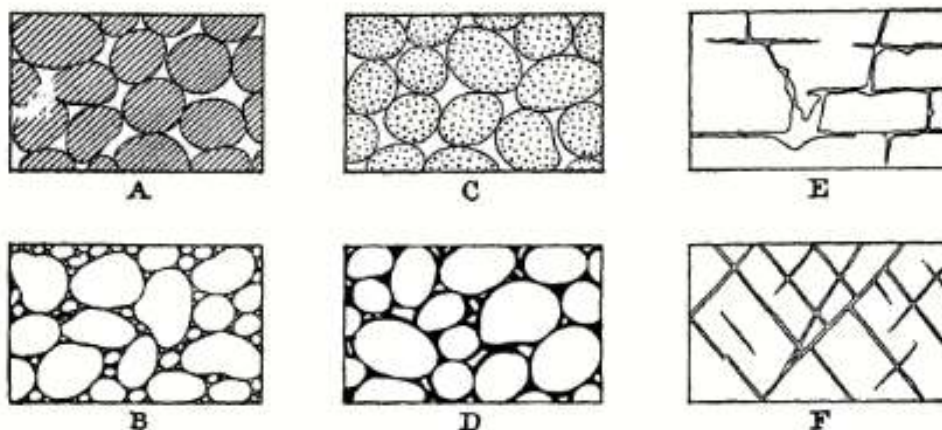
Το πορώδες ενός ιζηματογενούς πετρώματος εξαρτάται:

1. από το σχήμα και τη διάταξη των συστατικών του σωματιδίων,
2. την κοκκομετρική κατανομή,
3. τη συγκόλληση ή συμπύκνωση στην οποία έχει υποβληθεί κατά την εναπόθεσή του,
4. την απομάκρυνση της ορυκτής ύλης διαμέσου διαλύματος με τη διήθηση των υδάτων,
5. τη θραύση του πετρώματος, με αποτέλεσμα τη δημιουργία αρμών και άλλων ανοιγμάτων.

Στο Σχήμα 2.3 παρουσιάζονται οι διάφοροι τύποι «διακένων» των πετρωμάτων και η σχέση της «υφής» του πετρώματος με το πορώδες (Meinzer 1923).

Οι καλά διατεταγμένες αποθέσεις χαλικιών, άμμου ή λάσπης έχουν υψηλό πορώδες, ανεξάρτητα από το αν αποτελούνται από μεγάλους ή μικρούς κόκκους (Σχ. 2.3A). Αν, ωστόσο, το υλικό είναι κακώς ταξινομημένο, μικρά σωματίδια καταλαμβάνουν τους χώρους μεταξύ των μεγαλύτερων, τα μικρότερα στη συνέχεια καταλαμβάνουν τα διαστήματα μεταξύ αυτών των μικρών τεμαχιδίων κ.λπ., με αποτέλεσμα να μειώνεται σημαντικά το πορώδες (Σχ. 2.3B).

Επίσης, το χαλίκι και η άμμος, που προέρχονται από την ίδια πηγή, αλλά αναμειγνύονται με τρεχούμενο νερό, μπορεί να έχουν υψηλό πορώδες. Το καλά ταξινομημένο χαλίκι μπορεί να αποτελείται από βότσαλα που έχουν το ίδιο πορώδες, έτσι ώστε το σύνολο αποθέματος να έχει πολύ υψηλό πορώδες (Σχ. 2.3C) ή μπορεί σταδιακά να έχει τα διάκενά του γεμάτα με ορυκτή ύλη που αποτίθεται από τα διηθητικά νερά και το οποίο κάτω από ακραίες συνθήκες μπορεί να γίνει ένα πρακτικά αδιαπέραστο σώμα ή χαλαζίτης με πολύ χαμηλό πορώδες (Σχ. 2.3D).



**Σχήμα 2.3:** Τύποι «διακένων» των πετρωμάτων και η σχέση τους με το πορώδες (Meinzer 1923).

Από την άλλη πλευρά, το σχετικά διαλυτό πέτρωμα, όπως ο ασβεστόλιθος, αν και είναι αρχικά συμπαγής, μπορεί να γίνει σπηλαιώδης, ως αποτέλεσμα της απομάκρυνσης ενός μέρους της ουσίας του μέσω της δράσης του νερού διήθησης ως διαλύτη (Σχ. 2.3E). Επιπλέον, ο σκληρός, εύθραυστος βράχος, όπως ο ασβεστόλιθος, σκληρός ψαμμίτης ή οι περισσότεροι πυριγενείς και μεταμορφωμένοι γεωλογικοί σχηματισμοί, μπορεί να αποκτήσει μεγάλα διάκενα, μέσω θραύσης που προκύπτει από τη συρρίκνωση ή την παραμόρφωση των πετρωμάτων ή από άλλες διαδικασίες (Σχ. 2.3F).

Στην υδρογεωλογία ιδιαίτερο ενδιαφέρον έχει το ενεργό πορώδες ( $n_e$ ) που εκφράζει το ποσοστό των κενών που επικοινωνούν μεταξύ τους και διαμέσου αυτών μπορεί να κινηθεί το υπόγειο νερό προς το σύνολο του όγκου του εδάφους. Γενικά, το ενεργό πορώδες των χονδρόκοκκων εδαφικών υλικών (άμμων, χαλικιών κλπ.) είναι ίσο με το συνολικό πορώδες. Αντίθετα, το ενεργό πορώδες των πολύ λεπτοκόκκων εδαφικών υλικών (π.χ. των αργίλων) μπορεί να είναι αρκετά μικρότερο από το συνολικό πορώδες.

**Πίνακας 2.2:** Τιμές ολικού πορώδους (Καλλέργης, 2000).

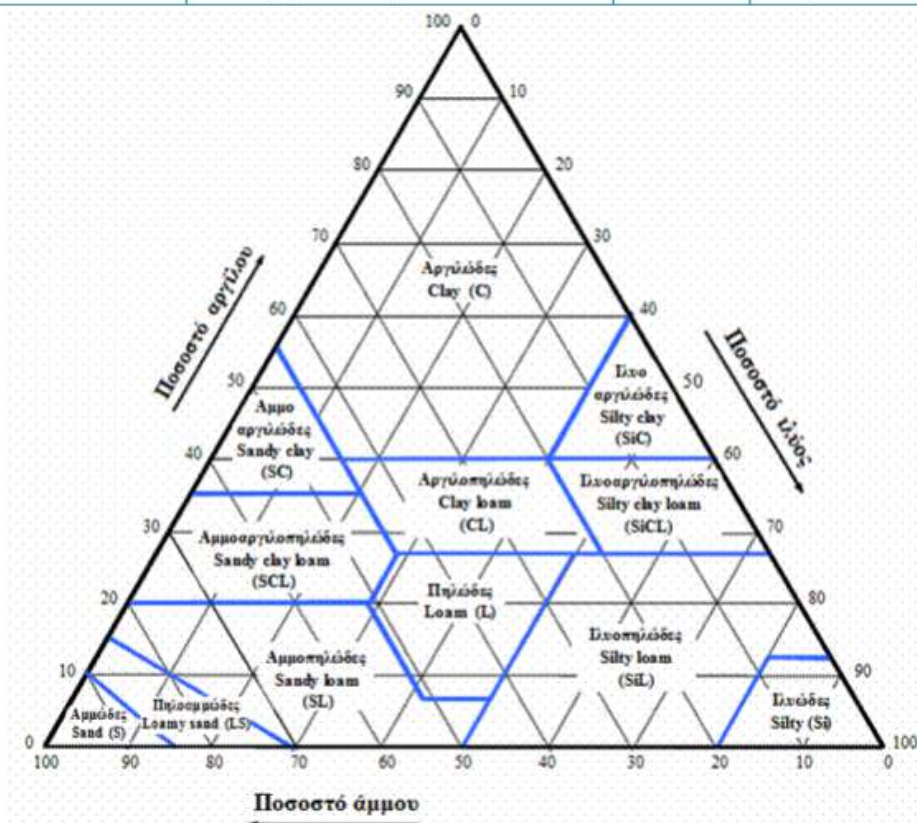
Προσχώσεις	Πορώδες (%)	Ιζηματογενή πετρώματα	Πορώδες (%)	Κρυσταλλικά πετρώματα	Πορώδες (%)
Μικρά χαλίκια	24-36	Ψαμμίτες	5-30	Ρωγματομένα	0-10
Μεγάλα χαλίκια	25-38	Ιλύολιθοι	21-41	Μη ρωγματομένα	0-5
Χονδρόκοκκη άμμος	31-48	Ασβεστόλιθοι	0-40	Βασάλτες	3-35
Λεπτόκοκκη άμμος	26-53	Καρστοποιημένοι ασβεστόλιθοι	0-40	Αποσαθρωμένοι γρανίτες	34-57
Ιλύς	34-61	Σχιστόλιθοι	0-10	Αποσαθρωμένοι γάβροι	42-45
Αργίλος	34-60				

β) Υφή του εδάφους: Εκτός από το πορώδες και την κοκκομετρική σύσταση του εδάφους, σημαντικός παράγοντας είναι και η υφή του εδάφους, η οποία εκφράζει την ποσοστιαία

αναλογία του εδάφους σε άμμο, ιλύ και άργιλο. Η ταξινόμησή τους γίνεται σε 12 κατηγορίες, σύμφωνα με το Πίνακα 2.3, μετά την εφαρμογή του διαγράμματος (Σχ. 2.4).

**Πίνακας 2.3:** Εδαφικοί τύποι (Αλιφραγκής, 2008)

Αμμώδη εδάφη ή ελαφράς σύστασης	1. Αμμώδη	S	Sand
	2. Πηλοαμμώδη	LS	Loamy sand
Πηλώδη εδάφη ή μέσης σύστασης	3. Αμμοπηλώδη	SL	Sandy loam
	4. Πηλώδη	L	Loam
	5. Ιλυοπηλώδη	SiL	Silty loam
	6. Ιλυώδη	Si	Silt
	7. Αμμοαργιλοπηλώδη	SCL	Sandy clay loam
	8. Αργιλοπηλώδη	CL	Clay loam
	9. Ιλυοαργιλοπηλώδη	SiCL	Silty clay loam
Αργιλώδη εδάφη ή βαριάς σύστασης	10. Αμμοαργιλώδη	SC	Sandy clay
	11. Ιλυοαργιλώδη	SiC	Silty Clay
	12. Αργιλώδη	C	Clay



**Σχήμα 2.4 :** Σύστημα ταξινόμησης των υφών του U.S. Department Agriculture (Θεοχάρης Μ. πηγή: <https://eclass.teiep.gr>)



## 2.5. Ακόρεστη-κορεσμένη ζώνη εδάφους

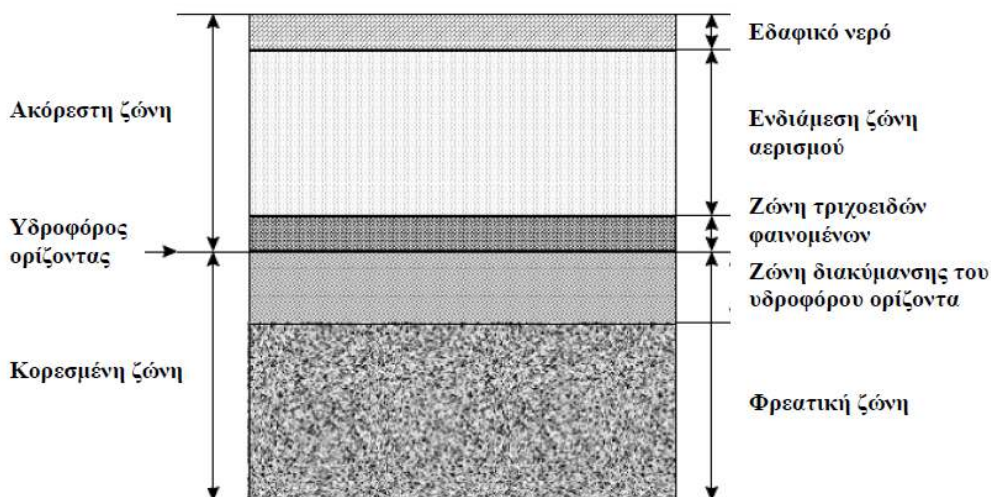
Η κατακόρυφη κατανομή του νερού και του αέρα στο έδαφος περιγράφεται συνήθως σαν κατανομή νερού και είναι σημαντική στην κατανόηση της μετακίνησης υγρών ρύπων και ατμών. Η συνύπαρξη νερού και αέρα ορίζει την ακόρεστη ζώνη (unsaturated ή vadose zone), ενώ η απουσία του αέρα ορίζει την κορεσμένη ζώνη (saturated ή phreatic zone).

Το όριο μεταξύ αυτών των δύο ζωνών είναι ο υπόγειος υδροφόρος ορίζοντας, ο οποίος ορίζεται ως η επιφάνεια νερού στο υπέδαφος στην οποία η πίεση είναι ακριβώς ίση με την ατμοσφαιρική πίεση. Η ανύψωση της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα έχει φυσικές διακυμάνσεις κατά τη διάρκεια του χρόνου με αλλαγές στα πρότυπα φόρτισης/αποφόρτισης λόγω βροχοπτώσεων/προσρόφησης νερού.

Η ακόρεστη ζώνη ορίζεται ως η ζώνη πάνω από τον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα, όπου η πίεση του νερού στους πόρους του εδάφους είναι μικρότερη από την ατμοσφαιρική πίεση λόγω των επιφανειακών τάσεων των μηνίσκων του νερού των πόρων που σχηματίζονται στα εδαφικά κενά με τη βοήθεια των τριχοειδών δυνάμεων. Στις τριχοειδείς δυνάμεις οφείλεται και η ζώνη πλήρους κορεσμού που παρατηρείται πάνω από τη στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα και στην οποία αναπτύσσονται αρνητικές υδραυλικές πιέσεις (Hölting and Coldewey 2009).

Στο μεγαλύτερο τμήμα της ακόρεστης ζώνης, οι πόροι δεν είναι πλήρως γεμάτοι με νερό αλλά περιέχουν και αέρα. Το νερό μετακινείται προς τα κάτω λόγω βαρύτητας (gravity flow) και προς τα επάνω λόγω τριχοειδούς εισρόφησης (capillary imbibition). Αντίθετα, τα εδαφικά αέρια μπορούν να μετακινηθούν προς όλες τις κατευθύνσεις. Η ακόρεστη ζώνη είναι σπάνια απολύτως ξηρά, επειδή το νερό βρίσκεται σχεδόν πάντα υπό μορφή σταγονιδίων υγρασίας και υδάτινων φιλμ στα κενά (πόρους) που βρίσκονται στο έδαφος και τους βράχους.

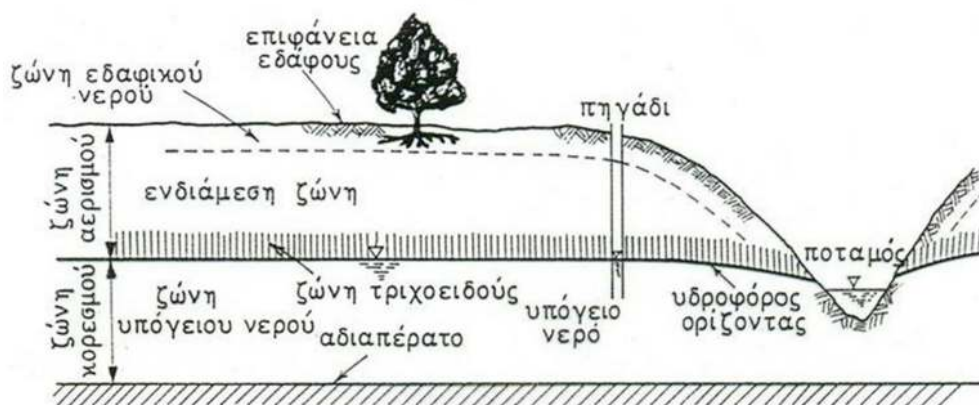
Η ακόρεστη ζώνη χωρίζεται σε τρεις ζώνες, ανάλογα με την ποσότητα νερού που υπάρχει στους εδαφικούς πόρους:



**Σχήμα 2.5:** Απεικόνιση της ακόρεστης και κορεσμένης ζώνης του υπεδάφους (Domenico and Schwartz 1990, επεξεργασία από Κανελλοπούλου Γεωργία)

1. Στη ζώνη εδαφικού νερού (soil water zone), η οποία εκτείνεται από την επιφάνεια μέχρι το επίπεδο που φτάνουν οι ρίζες των φυτών. Η ποσότητα νερού στη ζώνη αυτή εξαρτάται από τη βροχόπτωση και τη διήθηση.
2. Στην ενδιάμεση ζώνη αερισμού (intermediate vadose zone), η οποία εκτείνεται από την παραπάνω ζώνη ως τη ζώνη τριχοειδών φαινομένων. Περιέχει νερό με τη μορφή λεπτής μεμβράνης προσκολλημένη στους εδαφικούς πόρους.
3. Στη ζώνη τριχοειδών φαινομένων (capillary zone), της οποίας το μέγεθος ποικίλει αντιστρόφως ανάλογα με το μέγεθος των πόρων και ανάλογα με την επιφανειακή τάση (Domenico and Schwartz, 1990). Είναι μια λεπτή ζώνη όπου τα κενά είναι διαποτισμένα με το νερό που παγιδεύεται από τις τριχοειδείς δυνάμεις. Το πάχος αυτής της ζώνης εξαρτάται από την κατανομή του μεγέθους των πόρων και κόκκων του εδάφους στο δίκτυο των υδροφόρων στρωμάτων. Το αμμοχάλικο και ο ρωγματώδης βράχος έχουν γενικά μικρές έως ανύπαρκτες ζώνες τριχοειδών, η άμμος έχει ζώνη τριχοειδών πάχους αρκετών εκατοστών, ενώ οι άργιλοι έχουν πολύ παχύτερη ζώνη τριχοειδών.

Κάτω από τον υδροφόρο ορίζοντα βρίσκεται η κορεσμένη ζώνη του εδάφους όπου οι πόροι είναι πλήρως κορεσμένοι με νερό και η πίεση του νερού στους πόρους είναι μεγαλύτερη από την ατμοσφαιρική. Η ταχύτητα με την οποία μετακινείται το νερό στην κορεσμένη ζώνη του εδάφους εξαρτάται από τις ιδιότητες του γεωλογικού υλικού, όπως την υδραυλική αγωγιμότητα, το πορώδες, και την υδραυλική βαθμίδα (πτώση πίεσης). Οι εδαφικές στρώσεις που παρεμβάλλονται μεταξύ ακόρεστης και κορεσμένης ζώνης μπορεί να είναι αδιαπέρατες (aquiclude), αδιαπέρατες στεγανές (aquifluge), υδροφορείς (aquifer) ή ημιδιαπερατές στρώσεις (aquitard). Στη στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα, η υδραυλική πίεση είναι ίση με την ατμοσφαιρική πίεση, δηλαδή μηδέν.



Σχήμα 2.6: Η κατανομή του υπόγειου νερού (Λατινόπουλος 1986).

## 2.6. Τύποι υδροφορέων

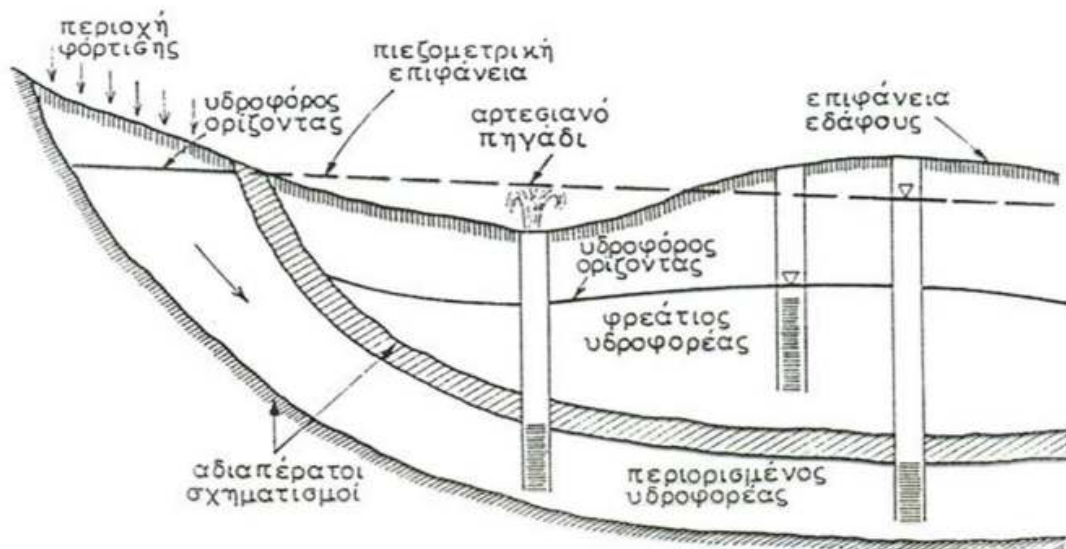
Ανάλογα με το είδος των στρώσεων διακρίνουμε τρεις τύπους υδροφορέων:

1. **Ελεύθεροι υδροφορείς (φρεάτιοι υδροφορείς):** Είναι οι υδροφόροι που έχουν ως δάπεδο στεγανό στρώμα και στην οροφή τους δεν παρεμβάλλεται αδιαπέρατο γεωλογικό στρώμα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα στην ελεύθερη επιφάνεια (φρεάτια) των υπόγειων νερών η υδροστατική πίεση να είναι ίση με την ατμοσφαιρική. Οι μεταβολές

της στάθμης του νερού αντιστοιχούν σε μεταβολές του όγκου του αποθηκευμένου νερού στον υδροφόρο. Ειδική περίπτωση ελεύθερων υδροφόρων είναι οι κρεμαστοί ή επικρεμάμενοι υδροφόροι (perched).

2. **Υπό πίεση υδροφόροι ή εγκλωβισμένοι ή αρτεσιανοί:** Στα υδροφόρα αυτά στρώματα το νερό είναι εγκλωβισμένο ανάμεσα στα αδιαπέρατα στρώματα του δαπέδου και της οροφής. Είναι κορεσμένοι σε όλο το πάχος τους και η πίεση του νερού είναι μεγαλύτερη της ατμοσφαιρικής. Για τον λόγο αυτό η πιεζομετρική επιφάνεια, η οποία είναι μια εικονική επιφάνεια και συμπίπτει με το επίπεδο της υδροστατικής επιφάνειας στον υδροφόρο, βρίσκεται ψηλότερα από τη βάση της αδιαπέρατης οροφής. Όταν η πιεζομετρική επιφάνεια βρίσκεται πάνω από την επιφάνεια του εδάφους, τότε παρατηρείται αυτόματη ροή με τη μορφή πίδακα (αρτεσιανισμός).
3. **Ημιαρτεσιανοί (υπό μερική πίεση) υδροφορείς:** Πρόκειται για υπόγειους υδροφορείς ανάλογους με τους υπό πίεση, με τη διαφορά ότι το υπερκείμενο στρώμα είναι ημιπερατό, παρουσιάζει δηλ. μικρή υδροπερατότητα.

Οι κύριες πηγές υπόγειου νερού σε μια περιοχή είναι η τοπική βροχόπτωση και η διήθηση, ή η υπόγεια ροή από μια φορτισμένη περιοχή. Η φορτισμένη περιοχή μπορεί να είναι μια υψηλού ρυθμού βροχόπτωση ή μέρος από σύστημα ποταμού που αυτοτροφοδοτείται με νερό από μια απομακρυσμένη περιοχή βροχοπτώσεων.



**Σχήμα 2.7:** Τύποι υπόγειων υδροφορέων (Λατινόπουλος 1986).

Από πετρογραφικής άποψης διακρίνονται δύο μεγάλες κατηγορίες υδροφορέων:

- α) καρστικοί υδροφορείς (karst aquifers), που αναπτύσσονται στα ανθρακικά πετρώματα (ασβεστόλιθοι, δολομίτες και μάρμαρα) και
- β) πορώδεις υδροφορείς (porous aquifers), που αναπτύσσονται σε κοκκώδεις σχηματισμούς (τεταρτογενείς και αδρομερείς νεογενείς αποθέσεις).

## 2.7. Υδατική μεταφορά στην ακόρεστη εδαφική ζώνη

Η ακόρεστη εδαφική ζώνη αντιπροσωπεύει ένα περίπλοκο σύστημα, λόγω της ποικιλίας των οργανικών και ανόργανων συστατικών που εμπλέκονται στην κατασκευή της. Επειδή η μεταφορά των ρύπων διέρχεται μέσα από την ακόρεστη εδαφική ζώνη είναι σημαντικό να γνωρίζουμε τις μεταβολές στις ιδιότητες του εδάφους οι οποίες έχουν άμεση επίπτωση στη μετακίνηση των ρύπων από μια πηγή στην ακόρεστη περιοχή. Συνεπώς, είναι απαραίτητη μια ακριβής αναγνώριση των παραμέτρων που εμπλέκονται στη διαδικασία μεταφοράς των ρύπων.

Οι παράγοντες που συμβάλλουν σημαντικά στη μεταφορά των ρύπων στο υδάτινο περιβάλλον της ακόρεστης ζώνης είναι το έδαφος (δομή, λιθολογική σύσταση), η φάση του υγρού διαρροής, ο αέρας του εδάφους και τα στερεά σωματίδια που κινούνται μέσα στο νερό. Η κινητικότητα των στερεών σωματιδίων εξαρτάται άμεσα από την αλληλεπίδραση με τις άλλες παραμέτρους του εδάφους.

Η διείσδυση του νερού από την επιφάνεια του εδάφους στην ακόρεστη ζώνη, εξαρτάται από την αλληλεπίδραση των ιδιοτήτων της δομής του εδάφους και την ήδη υπάρχουσα περιεκτικότητα σε νερό. Οι παράγοντες αυτοί επιτρέπουν στο νερό να κινηθεί ελεύθερα μέσα στους χώρους των πόρων του εδάφους ή να απορροφηθεί από αυτό.

Η συγκράτηση του νερού από το έδαφος γίνεται με τους δεσμούς υδρογόνου. Αυτοί ενώνουν τα θετικά φορτισμένα υδρογόνα του μορίου του νερού με άλλα αρνητικά φορτισμένα ιόντα. Οι δεσμοί υδρογόνου μαζί με την διπολικότητα, έχουν ως αποτέλεσμα την εμφάνιση των δυνάμεων συνοχής, που συγκρατούν το ένα μόριο του νερού με το άλλο και των δυνάμεων προσρόφησης με τις οποίες τα μόρια νερού συγκρατούνται από τις επιφάνειες των ανόργανων και οργανικών συστατικών του εδάφους. Αυτό οδηγεί αρχικά στην προσρόφηση των μορίων νερού από τις επιφάνειες των στερεών εδαφικών συστατικών και στη συνέχεια, λόγω της συνοχής, στη δημιουργία μεμβράνης από νερό, η οποία περιβάλλει τους εδαφικούς κόκκους (Καλύβας 2003).

Με την αύξηση της περιεκτικότητας σε νερό το πάχος των μεμβρανών αυξάνεται και στη συνέχεια αυτό μετακινείται λόγω βαρύτητας ή δημιουργείται το φαινόμενο της τριχοειδούς ανύψωσης, ανάλογα με το μέγεθος των πόρων, που δικαιολογούν την προς τα πάνω κίνηση. Εκτός από τις δυνάμεις συνοχής, προσρόφησης και βαρύτητας είναι και οι ωσμωτικές δυνάμεις, οι οποίες οφείλονται στην περιεκτικότητα του νερού σε διάφορα ιόντα και διαλυτές ενώσεις, που έλκουν τα μόρια του νερού.

Οι κινήσεις του εδαφικού ύδατος συνεχίζονται μέχρις ότου επιτευχθεί μια δυναμική ισορροπία πάνω και κάτω από την επιφάνεια των υπογείων υδάτων, η οποία χρησιμεύει ως επίπεδο αναφοράς. Στο επίπεδο αναφοράς, το συνολικό δυναμικό είναι μηδέν.

Η κίνηση του νερού στους υδροφορείς εξαρτάται τόσο από τα υδροδυναμικά χαρακτηριστικά τους όσο και τις τοπικές συνθήκες ροής. Για αυτό το λόγο για την περιγραφή της μετακίνησης του νερού στη ζώνη των ακόρεστων εδαφών, χρησιμοποιείται η εξίσωση κίνησης του Darcy, η οποία στη γενική της μορφή γράφεται ως εξής:

$$Q = K \times A \times J \text{ (m}^3\text{/sec)}$$

Όπου:

Q : η παροχή οποιασδήποτε υπόγειας ροής,

K: η υδραυλική αγωγιμότητα,

A : το εμβαδόν της διατομής του υδροφορέα μέσα από την οποία γίνεται η ροή και  
J : η υδραυλική κλίση της ελεύθερης ή πιεζομετρικής επιφάνειας.

Η υδραυλική αγωγιμότητα έχει μονάδες ταχύτητας και η τιμή της εξαρτάται τόσο από το ρευστό όσο και από το πορώδες μέσο.

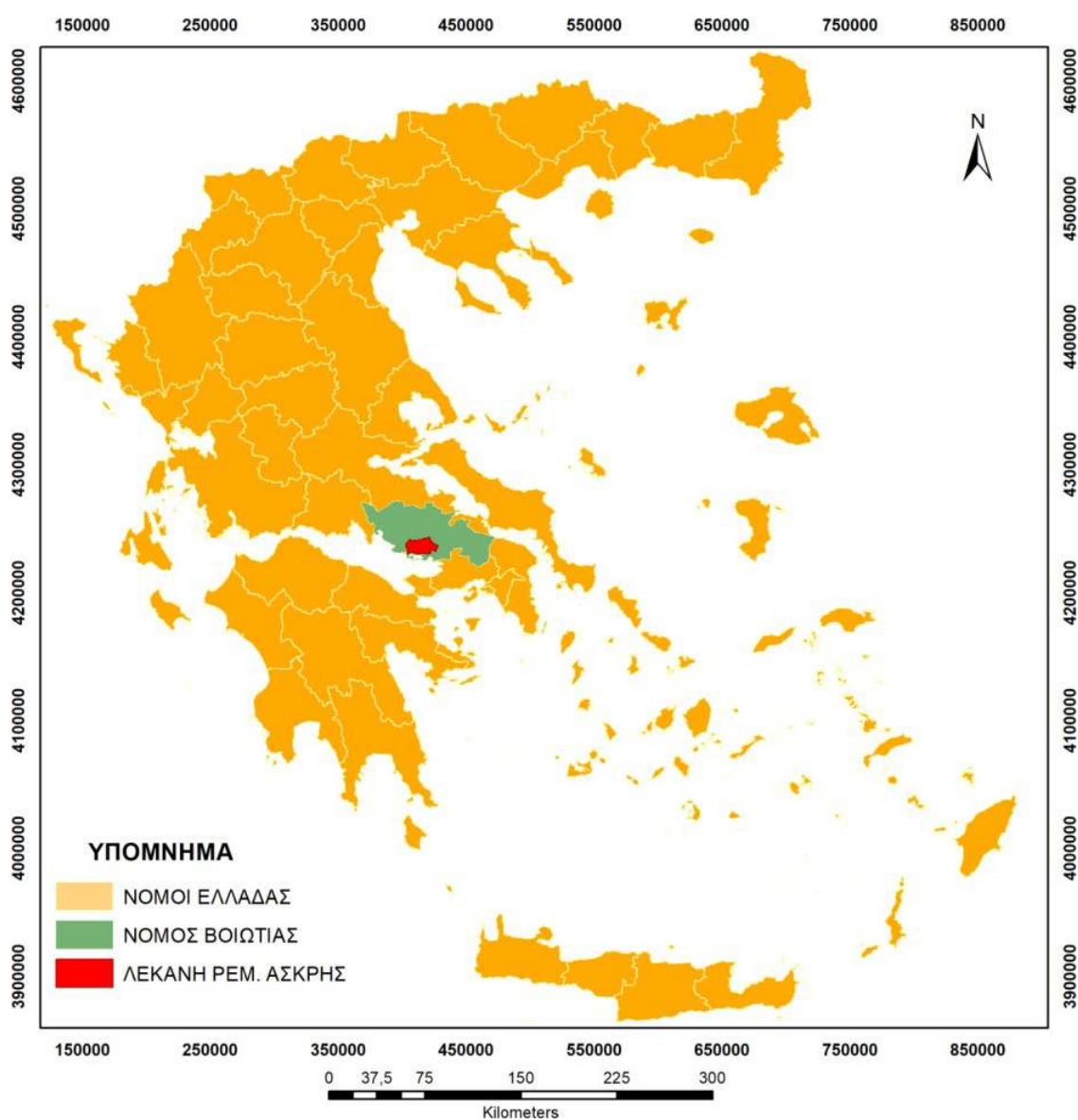
Κατά τη διάρκεια διήθησης του νερού στο έδαφος σχηματίζονται ζώνες εδάφους με διαφορετική περιεκτικότητα σε νερό. Το ανώτερο έδαφος αρχικά γεμίζει εντελώς με νερό όταν η ποσότητα της βροχόπτωσης υπερβαίνει την ικανότητα διήθησης. Το μέτωπο υγρασίας στην αρχή προχωρά γρήγορα και στη συνέχεια πιο αργά. Η ζώνη μεταφοράς, η οποία έχει σταθερή περιεκτικότητα σε νερό σε όλες τις περιοχές, γίνεται όλο και μεγαλύτερη, ενώ η κατακόρυφη μετατόπιση της κίνησης του νερού προς τα κάτω περιορίζεται από την υδατοκορεσμένη αγωγιμότητα του εδάφους.

Σε αντίθεση με τη ζώνη μεταφοράς, η ζώνη κορεσμού στην περιοχή του υπεδάφους δεν μετατοπίζεται ή είναι πολύ αργή. Μόνο όταν μειωθεί η ποσότητα της βροχόπτωσης παρατηρείται μια βαθιά μετατόπιση της ώθησης καθίζησης, με την οποία αρχικά ένα ελαφρύ στρώμα παραμένει κορεσμένο με νερό. Η προς τα κάτω κίνηση της διήθησης ελέγχεται κατόπιν από την ακόρεστη αγωγιμότητα νερού του συστήματος. Εάν η ποσότητα της βροχόπτωσης φθάσει στην επιφάνεια του υπόγειου νερού, αυτό οδηγεί σε αύξηση της στάθμης των υπογείων υδάτων.

### 3. ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΡΕΥΝΑΣ

#### 3.1 Οριοθέτηση-Γεωγραφικά στοιχεία

Η περιοχή έρευνας αφορά την υδρολογική λεκάνη απορροής του ποταμού Άσκρης, η οποία γεωγραφικά ανήκει στην Ανατολική Στερεά Ελλάδα και συγκεκριμένα στο νότιο τμήμα του Νομού Βοιωτίας (Σχήμα 3.1). Επίσης, σύμφωνα με το Ν. 1739/87, ανήκει στο υδατικό διαμέρισμα της Στερεάς Ελλάδας (07). Εντός της λεκάνης βρίσκονται οι οικισμοί Άσκη και Νεοχώρι που ανήκουν στο Δήμο Αλιάρτου-Θεσπιέων και οι οικισμοί Ελλοπία, Ξηρονομή, Δομβραΐνα, Θίσβη και Πρόδρομος που ανήκουν στο Δήμο Θηβαίων, με συνολικό μόνιμο πληθυσμό που ανέρχεται στα 3.490 άτομα, σύμφωνα με τα στοιχεία που προέκυψαν από την απογραφή του 2011.



**Σχήμα 3.1:** Χάρτης της Ελλάδας στον οποίο απεικονίζεται η υδρολογική λεκάνη απορροής του ποταμού Άσκρης.

Η περιοχή μελέτης καλύπτει έκταση εμβαδού 224,94 Km<sup>2</sup> και καταλαμβάνει μεγάλη έκταση του Δήμου Θηβαίων, εμβαδού 182,37 Km<sup>2</sup> και μικρότερη των δήμων Λεβαδέων εμβαδού 6,37 Km<sup>2</sup> και Αλιάρτου εμβαδού 36,19 Km<sup>2</sup>. Αποτελεί δε μια λεκάνη η οποία περιβάλλεται βορειοδυτικά από τις κορυφές του όρους Ελικώνα και νοτιοανατολικά από τις κορυφές του όρους Κορομπίλι (840μ.), με μοναδικά ανοίγματα ανατολικά της λεκάνης στα όρια με τη λεκάνη απορροής του Ασωπού ποταμού και τη λεκάνη απορροής του Καλαμίτη-Κανάβαρη.

Τα όρια της λεκάνης διέρχονται από τις κορυφογραμμές: Πυργάκι (664 μ.), Κουρσάρα (904μ.), Ζαχαράς (1.526 μ.), Κορομηλιά (1.200 μ.), Καψάλα (1.559 μ.), Άσπρο Κούτσουρο (925 μ.), Αναθεμάτισμα (748μ.), Παλιοβούνα (1.546μ.), Ροδιά (400μ.), Μαυροβούνι (400μ.) και νοτιοανατολικά από Ταράτσα, Κάστρο, Μαυροβούνι, Μαρίστι, Σπασμένο Πιθάρι και Καραμιάνη με υψόμετρο μικρότερο των 600 μ.

Στη λεκάνη απορροής του ποταμού Άσκλης αποστραγγίζονται τα όμβρια ύδατα από το ορεινό τμήμα των νοτιοανατολικών κλιτύων του όρους Ελικώνα και των βόρειων κλιτύων του όρους Κορομπίλι, τα οποία μέσω του ρέματος Άσκλης και καταβοθρών που εντοπίζονται στα ριζά των ανθρακικών μαζών διοχετεύονται στον Κορινθιακό κόλπο. Στο Σχήμα 3.2 παρουσιάζεται η λεκάνη απορροής του ποταμού Άσκλης.



**Σχήμα 3.2:** Απεικόνιση της υδρολογικής λεκάνης (κόκκινο πλαίσιο) σε δορυφορική εικόνα Sentinel 2 (3,2,1 RGB)

Πηγή: Copernicus Open Access Hub:

No: S2A\_MSIL2A\_20190827T092031\_N0213\_R093\_T34SFH\_20190827T122932)

### 3.2 Ιστορικό και πολιτιστικό περιβάλλον

Η κατοίκηση της περιοχής ξεκινά από το 2.000 π.χ. την Πρωτοελλαδική εποχή I και II, τη Μεσοελλαδική και τη Μυκηναϊκή εποχή, όπως διαπιστώθηκε από τα λείψανα, τα ίχνη κεραμικής και τις επιγραφές που βρέθηκαν στην περιοχή. Στην αρχαιότητα δύο ήταν οι πόλεις που παρουσίασαν μεγάλη οικονομική και πνευματική άνθηση, η Θίσβη που βρίσκονταν στις νότιες παρυφές του όρους Ελικώνα και η Άσκη ή Άσκρα όπως λεγόταν στην αρχαιότητα, που κείτονταν στους ανατολικούς πρόποδες του Ελικώνα.

Η ύπαρξη του μυκηναϊκού νεκροταφείου με τους θαλαμοειδείς λαξευμένους τάφους, κοντά στο σημερινό οικισμό της Θίσβης, οι οποίοι χρονολογούνται το 13ο-14ο αι. π.Χ και τα λείψανα μυκηναϊκής εποχής που βρέθηκαν στον οχυρωματικό περίβολο της ακρόπολης Άσκης και στην Ιπποκρήνη πηγή της Άσκης, μας μαρτυρούν την κατοίκηση των οικισμών Θίσβης και Άσκης κατά τη Μυκηναϊκή περίοδο (Σχήμα 3.3).



**Σχήμα 3.3:** Φωτογραφία με τους Μυκηναϊκούς λαξευμένους θολωτούς τάφους

Η πρώτη ιστορική καταγραφή για τις αρχαίες πόλεις της περιοχής δίνεται από τον Όμηρο στην Ιλιάδα, στην οποία αναφέρεται ότι μεταξύ των πόλεων που συμμετείχαν στον Τρωικό πόλεμο ήταν και η Άσκη (Ιλιάδα 2.507), την οποία ονομάζει «Άρνη πολυστάφυλλος» επειδή είχε πολλά αμπέλια στην περιοχή της και η Θίσβη (Ιλιάδα 502) την οποία ονομάζει «πολυτρήρωνα Θίσβη» επειδή στα βράχια της υπήρχαν πολλά περιστέρια

Στη συνέχεια, η δεύτερη αναφορά γίνεται από τον επικό ποιητή Ησίοδο στο ποίημά του «Θεογονία», που χρονολογείται τον 7<sup>ο</sup> π.χ. αι.. Στο προίμιο της Θεογονίας αναφέρεται στις εννέα Ελικωνιάδες Μούσες που κατοικούσαν στην ανατολική πλευρά του όρους Ελικώνα, στην κοιλάδα του Περμησσού, πάνω από το χωριό Άσκη (Ησίοδος, «Θεογονία», Μετάφραση Τσακνάκης Α., Θεολόγος-Φιλολόγος, Θεσσαλονίκη, 2006).

Οι Μούσες σύμφωνα με τον Ησίοδο γεννήθηκαν στον Όλυμπο της Πιερίας και από εκεί ήρθαν και κατοίκησαν στον Ελικώνα, φέρνοντας μαζί τους θρησκευτικούς ύμνους της πατρίδας τους. Από τις κορυφές του βουνού Ελικώνα ο Ησίοδος άκουγε τις γλυκές φωνές των Μουσών, οι οποίες κατά τη διάρκεια της νύχτας όταν υπήρχε πυκνή ομίχλη, κατέβαιναν



τις πλαγιές του βουνού, τραγουδώντας τους θεούς και χορεύοντας γύρω από την κρήνη και το βωμό του Δία.

Σύμφωνα με το μύθο που μας μεταφέρει ο περιηγητής Πausανίας (Βοιωτική Περιήγησης) η Άσκη ή Άσκρα ιδρύθηκε από τους Αλωάδες Εφιάλτη και Ωτο μαζί με τον Οίοκλο, γιο του Ποσειδώνα και της νύμφης Άσκηρς, από την οποία πήρε και το όνομα.

Η Άσκη λάτρευε τις αρμονικές φωνές των Μουσών και ήταν πιστή στη λατρεία τους από τον 6<sup>ο</sup> αι. π.Χ., όμως την πνευματική της άνθηση τη γνώρισε από τον 3ο αι. π.Χ. και μετά, με την ίδρυση της γιορτής των Μουσείων από τους Θεσπιείς, η οποία διοργανώνονταν κάθε πέντε χρόνια στο Άλσος των Μουσών, αφιερωμένη στις εννέα Μούσες. Πολλοί μουσικοί και ποιητές από όλη την Ελλάδα συγκεντρώνονταν στο χώρο και λάμβαναν μέρος στους φιλολογικούς και μουσικούς αγώνες, και διαγωνίζονταν στην επική ποίηση, ραψωδία, σατυρική ποίηση και υποκριτική (τραγωδίας και κωμωδίας), κ.α.

Κατά τη ρωμαϊκή περίοδο (2ο και τον 1ο αι. π. Χ.) η διοργάνωση της γιορτής γίνονταν προς τιμήν πρώτα του Ρωμαίου Αυτοκράτορα που χρηματοδοτούσε τη γιορτή και ύστερα των Μουσών και έτσι ονομάστηκε Μεγάλα Καισαρεία.

Όπως περιγράφει ο Πausανίας (Βοιωτικά IX, 30, 1-2) στο άλσος των Μουσών είχαν τοποθετηθεί πολλά έξοχα έργα τέχνης, όπως αγάλματα του Ερμή, Διονύσου, Απόλλωνα και εικόνες διαφόρων μουσικών και ποιητών κ.α. Χαρακτηριστικό είναι το άγαλμα του Διονύσου, το οποίο αφιέρωσε ο Ρωμαίος κατακτητής Σύλλας, όταν επισκέφτηκε το άλσος των Μουσών, κατά τη διάρκεια της ρωμαϊκής περιόδου. Επειδή το πήρε από τους Ορχομενίους Μινύες (Ορχομενοί), βγήκε η φράση «Έκανε θυσία με ξένα θυμιάματα».

Σήμερα δεν σώζεται κανένα από αυτά τα αγάλματα που ήταν τοποθετημένα στο άλσος των Μουσών. Το 1882 ο Π. Σταματάκης ανακάλυψε τα θεμέλια του βωμού των Μουσών κάτω από την εκκλησία της Αγίας Τριάδας.

Την κλασική περίοδο στην Άσκη, όπως αναφέρει ο Πausανίας, έγινε η μάχη του Κερησσού (520 π.χ.). Οι Θεσσαλοί έχοντας κατακτήσει τις γύρω περιοχές (Φωκίδα κ.λπ.) θέλησαν να εισβάλλουν και στη Βοιωτία. Πριν τη μάχη, οι Θεσσαλοί επειδή συνάντησαν μεγάλη αντίσταση από τους Βοιωτούς ζήτησαν από το μαντείο των Δελφών τη συμβουλή του. Το Μαντείο των Δελφών, τους έδωσε το χρησμό: *«Νοιάζομαι για τα σκιερά Λεύκτρα και το Αλήσιο έδαφος, νοιάζομαι και για τις δύο αξιολύπητες κόρες του Σκεδάσου, εκεί πολύδακρυς μάχη θα γίνει, χωρίς κανέναν να τη συλλογιστεί, προτού οι Δωριείς χάσουν τους λαμπρούς τους έφηβους, όταν η μοιραία ημέρα φθάσει, τότε θα είναι δυνατόν να κυριευθεί ο Κερησσός, άλλοτε όχι»*, όμως δεν του έδωσαν σημασία και συνέχισαν τις επιθέσεις τους κατά των Βοιωτών. Ενωμένοι οι Βοιωτοί αντιστάθηκαν στους εισβολείς και κατάφεραν στην τελική μάχη που δόθηκε στη Κοιλάδα των Μουσών να διώξουν τους Θεσσαλούς από την Βοιωτία. Έτσι η συγκεκριμένη μάχη είναι γνωστή γιατί είναι η πρώτη μεγάλη μάχη των Ελλήνων που κράτησε την Ελλάδα ελεύθερη.

Τη Χριστιανική περίοδο η Άσκη φιλοξένησε την Ορθόδοξη Επισκοπή και έγινε η έδρα της επαρχίας των Θεσπιών με την ονομασία Παναγία. Την περίοδο αυτή χτίστηκαν πολλές εκκλησίες στην περιοχή, πολλές από τις οποίες χτίστηκαν στα λείψανα αρχαίων ναών. Την περίοδο της Φραγκοκρατίας η Άσκη αποτέλεσε έδρα του καθολικού επισκόπου, ο οποίος κατοικούσε στον Πύργο (κοντά στη σημερινή Άσκη).

Την περίοδο της Τουρκοκρατίας η Άσκη δεν δέχθηκε ξένες επιμειξίες και διατηρήθηκε το ελληνικό της φρόνημα. Πολλοί Έλληνες κυνηγημένοι από τους Τούρκους βρήκαν καταφύγιο σε αυτήν (<http://www.hsiodos.gr>)

Στα τέλη του 17ου αιώνα ο πληθυσμός της πόλης μειώθηκε σημαντικά και οι κάτοικοί της μετακινήθηκαν στην περιοχή που είναι σήμερα το χωριό.

Η Άσκη μετά την απελευθέρωση από τους Τούρκους έγινε έδρα του Δήμου, ο οποίος περιλάμβανε τα χωριά Άσκη, Νεοχώρι, Ελλοπία και Ξηρονομή.

Από τις ανασκαφές που έγιναν στην περιοχή της Άσκης αποκαλύφθηκαν το θέατρο, ο ναΐσκος ή βωμός των Μουσών, τα βάθρα των αγαλμάτων, η μακρά ιωνική στοά και μία μικρότερη.

Η Θίσβη η δεύτερη μεγάλη αρχαία πόλη που βρίσκεται μέσα στη λεκάνη, πήρε το όνομά της σύμφωνα με τη μυθική παράδοση από την ομώνυμη νύμφη που ήταν κόρη του Ασωπού ποταμού. Η κατοίκησή της ξεκίνησε σύμφωνα με τα αρχαιολογικά ευρήματα από το 2.000 π.Χ. Συνέχισε να κατοικείται την Αρχαϊκή, Κλασική, Ελληνιστική και Ρωμαϊκή περίοδο και στη διάρκεια της Βυζαντινής περιόδου.

Στην κλασική εποχή, από τα τέλη του 6ου αι. π.Χ. η αρχαία Θίσβη (<https://permissos.gr>) ανήκε στην Θεσπιακή επικράτεια, λόγω της κοντινής της απόστασης με τα λιμάνια Κρεύσις (λιμάνι στους πρόποδες του όρους Κορομπίλι) και Σίφαι ή Τίφα (σημερινός οικισμός Αλυκή) του κορινθιακού κόλπου και Κορσιαί (σημερινός οικισμός Πρόδρομος). Παρέμεινε κάτω από τον έλεγχο των Θεσπιέων μέχρι το 338 π.Χ. (μάχη της Χαιρώνειας) και στη συνέχεια έγινε αυτόνομη πόλη και υπήρξε μέλος του Βοιωτικού Κοινού (525-520 π.Χ.).

Την Ελληνιστική περίοδο η πόλη ανέπτυξε οικονομικές σχέσεις με άλλες γειτονικές πόλεις όπως με την Ναύπακτο, Άμφισσα και Χαλκίδα. Το 172 π.Χ. συμμετείχε στο Γ' Μακεδονικό πόλεμο (172-168 π.Χ.), και τάχθηκε υπέρ του βασιλιά Περσέα, μαζί με την Αλίαρτο και την Κορώνεια, αλλά στην πορεία το 170 π.Χ. πολιορκήθηκε και υποτάχθηκε στη ρωμαϊκή κυριαρχία, σύμφωνα με τις μαρμάρινες επιγραφές, στις οποίες γράφτηκαν τα ψηφίσματα της Συγκλήτου της Ρώμης και οι οποίες ανακαλύφθηκαν στις αρχές της δεκαετίας του 1880 ([http://permisospress.blogspot.com/2015/10/blog-post\\_74.html](http://permisospress.blogspot.com/2015/10/blog-post_74.html)).

Ο Πausανίας (Πausανίας IX, 32, 2-4) στη Βοιωτική περιήγησή του αναφέρει ότι στη Θίσβη υπήρχε ναός αφιερωμένος στον Ηρακλή, με όρθιο μαρμάρινο άγαλμά του και γιορτή που διοργανώνονταν προς τιμή του, τα Ηράκλεια. Αναφέρει επίσης για το ανάχωμα που ήταν κατασκευασμένο στη μέση της κοιλάδας νότια του οικισμού της Θίσβης: *«Η κοιλάδα ανάμεσα στα δυο βουνά θα ήταν λίμνη εξαιτίας της ποσότητας των υδάτων, αν δεν είχαν κατασκευάσει ένα ισχυρό πρόχωμα στο μέσον. Κάθε δεύτερο χρόνο εκτρέπουν τα νερά στην άλλη πλευρά του προχώματος και καλλιεργούν την εδώ πλευρά»*. Σήμερα σώζονται ορισμένα τμήματα του αναχώματος, όπως εμφανίζονται στο Σχήμα 3.4.

Την βυζαντινή περίοδο η πόλη εγκαταλείφθηκε και οι κάτοικοί της εγκαταστάθηκαν στις γύρω περιοχές δημιουργώντας μικρούς οικισμούς. Κατά τον 11ο με 12ο αιώνα ποιμένες σλαβικής καταγωγής εγκαταστάθηκαν στην περιοχή κοντά στην αρχαία Θίσβη, λόγω της γεωγραφικής της θέσης και του ήπιου κλίματός της και ονόμασαν τον οικισμό Δομβραΐνα που στα σλάβικα σημαίνει ήρεμο και ήπιο χειμαδιό.

Την περίοδο της τουρκοκρατίας οι κάτοικοι της περιοχής συμμετείχαν ενεργά στον απελευθερωτικό αγώνα κατά των Τούρκων. Στη κορυφή του υψώματος, βορειοανατολικά

του χωριού Δομβραίνα δεσπόζει ο πύργος του Καραϊσκάκη, από το οποίο συντόνιζε τις επιχειρήσεις του ένοπλου αγώνα του κατά των Τούρκων.

Την περίοδο της Γερμανικής Κατοχής και συγκεκριμένα 29 Αυγούστου 1943, τα χωριά Δομβραίνα, Θίσβη και Πρόδρομος πυρπολήθηκαν από τους Γερμανούς, ως αντίποινα για την αντιστασιακή δράση των κατοίκων τους.



**Σχήμα 3.4:** Φωτογραφία με τμήμα του αναχώματος στη κοιλάδα της Θίσβης  
(πηγή: <http://ligeas.blogspot.com> )

Την Μεταπολεμική περίοδο, πολλοί από τους κατοίκους των τριών χωριών αναγκάστηκαν να μετακομίσουν στα γειτονικά χωριά ή να μεταναστεύσουν στην Αμερική.

Σήμερα σώζονται αρκετά λείψανα από τις οχυρώσεις των αρχαίων πόλεων, όπως η Ακρόπολη της Άσκρης (Αρχαία Κερησσός) και οι δύο ακροπόλεις της Θίσβης. Η αρχαιότερη, από τις δύο ακροπόλεις της Θίσβης, καλείται Άνω Ακρόπολη και βρίσκεται στην κορυφή του λόφου Παλαιόκαστρο, βορειοδυτικά του οικισμού Θίσβης. Η οικοδόμησή της έγινε στη θέση της Αρχαίας Θίσβης και χρονολογείται ότι έγινε σε τέσσερις φάσεις, από την Αρχαϊκή περίοδο έως και τους Υστερορωμαϊκούς-Παλαιοχριστιανικούς χρόνους. Η νεώτερη, καλείται Κάτω Ακρόπολη και βρίσκεται στο λόφο Νεόκαστρο, νοτιοανατολικά του οικισμού της Θίσβης. Η οικοδόμησή της χρονολογείται στην ελληνιστική περίοδο.

### **3.3 Διατηρητέα νεότερα μνημεία**

Την αίσθηση μιας άλλης εποχής προσδίδουν στην περιοχή της Βοιωτίας τα παλιά πέτρινα κτίρια και οι παλαιές κατασκευές, τα οποία χαρακτηρίστηκαν από το Υπουργείο Πολιτισμού ως μνημεία. Δύο από αυτά τα μνημεία βρίσκονται στο νότιο τμήμα της λεκάνης, όπως :

- Τα Επτά (7) πέτρινα γεφύρια της Θίσβης, στην περιοχή της Δ.Ε. Θίσβης, τα οποία χαρακτηρίστηκαν ως μνημεία με την υπ' αριθ. ΥΠΠΟ/ΔΝΣΑΚ/89460/2246/09 (ΦΕΚ

621 ΑΑΠ) απόφαση του υπουργού Πολιτισμού και Τουρισμού. Πρόκειται για τμήματα του παλαιού οδικού δικτύου της Βοιωτίας, τα οποία μας μαρτυρούν τις κοινωνικοοικονομικές και οικονομικές δραστηριότητες εκείνης της εποχής και την οργάνωση της κοινωνικής ζωής των κατοίκων της.

- Το Υδραγωγείο και ο Νερόμυλος - Ελαιοτριβείο στον Πρόδρομο της Δ.Ε. Θίσβης, το οποίο χαρακτηρίστηκε ως μνημείο με την υπ' αριθ. ΥΠΠΟ/ΔΝΣΑΚ/Γ/1496/38/05 (ΦΕΚ 86 Β') απόφαση του Υφυπουργού Πολιτισμού. Το Συγκρότημα του Υδραγωγείου και Νερόμυλου – Ελαιοτριβείου αποτελεί ένα σημαντικό προβιομηχανικό συγκρότημα που η τελευταία χρονολογική φάση του φτάνει στα μέσα του 20ου αιώνα. Χαρακτηρίστηκε ως μνημείο, διότι αποτελεί σημαντικό ιστορικό τεκμήριο και πηγή πληροφοριών για τη χρήση του νερού στη διαδικασία άλεσης των σιτηρών, τη χρήση νέων πηγών ενέργειας στην παραγωγή του λαδιού και της αλεύρου και γενικότερα στη συμβολή του στην ανάπτυξη της οικονομίας και του πολιτισμού στην περιοχή.

### 3.4 Φυσικό περιβάλλον

**Χλωρίδα:** Η περιοχή μελέτης ανήκει σε τρεις βιοκλιματικές ζώνες βλάστησης, τη μεσογειακή (θερμομεσογειακή – ευμεσογειακή), την ανωμεσογειακή – υποηπειρωτική και τη ζώνη των μεσογειακών ορεινών κωνοφόρων. Οι ποικίλοι τύποι βλάστησης που εμφανίζονται στην περιοχή είναι αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης πολλών παραγόντων, όπως οι κλιματικές συνθήκες, το ανάγλυφο (έκθεση, κλίσεις και υψομετρική διαβάθμιση), η εμφάνιση διαφόρων γεωλογικών σχηματισμών και πετρωμάτων στην περιοχή (ασβεστόλιθοι, φλύσχη), οι βιοτικοί παράγοντες (αλληλεπιδράσεις των φυτικών ειδών με άλλα φυτικά και ζωικά είδη) και η έντονη ανθρωπογενής επέμβαση (πυρκαγιές, υλοτομίες κ.λπ.), η οποία ασκήθηκε ανεξέλεγκτα από την αρχαιότητα μέχρι σήμερα.

Στα μεγάλα υψόμετρα (βόρειο τμήμα της λεκάνης) συναντάμε τη ζώνη των μεσογειακών ορεινών κωνοφόρων, στην οποία εκτείνονται δάση κεφαλληνιακής ελάτης (*Abies cephalonica*), που διακόπτονται από μικρά ή μεγάλα διάκενα με χορτολιβαδική βλάστηση. Τα δάση της ελάτης στην περιοχή της λεκάνης εμφανίζουν μέτρια ανάπτυξη με ελάχιστη φυσική αναγέννηση λόγω της ανεξέλεγκτης βόσκησης και των πυρκαγιών, ενώ στο εσωτερικό του Ελικώνα εμφανίζουν άριστη ανάπτυξη, με μέτρια φυσική αναγέννηση.

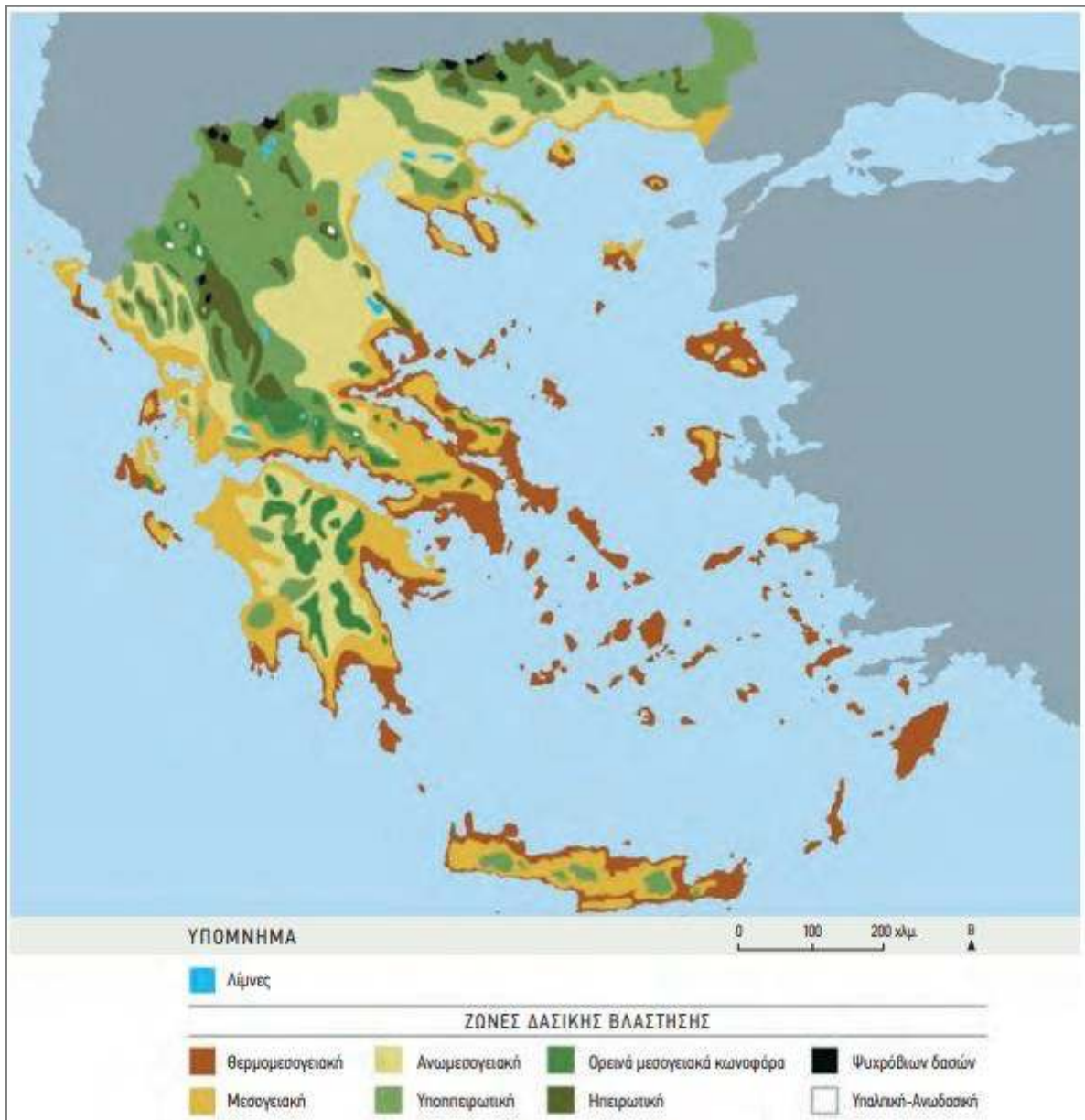
Επίσης στις περιοχές όπου η βλάστηση είναι αρκετά υποβαθμισμένη και αραιή, κυριαρχεί το μητρικό πέτρωμα και οι βραχώδεις εξάρσεις (ασβεστολιθικοί σχηματισμοί).

Πάνω από τα όρια όπου φύεται η κεφαλληνιακή ελάτη και σε ορισμένες κορυφές κυρίως στις πιο υψηλές εμφανίζονται ασβεστόφιλοι στεπτόμορφοι σχηματισμοί, όπου επικρατεί η χαμηλή θαμνώδης, φρυγανώδης και ποώδης βλάστηση.

Στην ανατολική πλευρά του Ελικώνα και συγκεκριμένα στις βορειοανατολικές εκθέσεις του όρους Ζαχαρά, πάνω στους γεωλογικούς σχηματισμούς του φλύσχη και κάτω από τα δασοόρια της κεφαλληνιακής ελάτης, απαντάται η ανωμεσογειακή – υποηπειρωτική ζώνη στην οποία εξαπλώνονται δάση φυλλοβόλων δρυών. Τα δάση φυλλοβόλου δρυός καλύπτουν κυρίως τις χαμηλές και ημιορεινές πλαγιές και τις κοιλάδες της περιοχής.

Στις νότιες και νοτιοανατολικές κλιτύες του Ελικώνα απαντάται η μεσογειακή (θερμομεσογειακή – ευμεσογειακή) ζώνη βλάστησης, όπου αναπτύσσονται θαμνώδεις εκτάσεις από αείφυλλα πλατύφυλλα (*Quercus coccifera* κ.α.). Παρόμοιοι σχηματισμοί

αναπτύσσονται και στο νότιο τμήμα της λεκάνης, όπου εκτός από τους θαμνώνες των αείφυλλων πλατύφυλλων (*Quercus coccifera*), απαντώνται και χαμηλοί αραιοί θαμνώνες των σκληρόφυλλων αείφυλλων (*Juniperus phoenicea* κ.α.).



**Σχήμα 3.5:** Ζώνες Δασικής Βλάστησης στην Ελλάδα (Μαυρομάτης Γ.) Πηγή: Ινστιτούτο Δασικών Ερευνών).

Οι θαμνώδεις εκτάσεις είναι αρκετά υποβαθμισμένες εξαιτίας της βόσκησης και των πυρκαγιών (1998 και 2009 κ.λπ.). Αποτελούνται κυρίως από αγριελιές (*Olea europaea* subsp. *Oleaster*), φυλλίκια (*Phillyrea latifolia*), κοκκορεβυθιές (*Pistacia terebinthus*) και σχίνα (*Pistacia lentiscus* L.),

Μεταξύ των φυτικών ειδών θαμνώδους μορφής φύονται και φρυγανικά είδη, όπως η Ευφορβία ή ακανθόθαμνος (*Euphorbia acanthothamnus*), η ασφάκα (*Phlomis fruticosa*), τα

οποία απαντώνται σε βραχώδη εδάφη και το θυμάρι (*Coridothymus capitatus*) το οποίο φύεται σε πετρώδη εδάφη καθώς και είδη ποώδους μορφής, όπως *Piptatherum coerulescens*, *Teucrium divaricatum*, *Brachypodium distachyon*, *Silene colorata*, *Scaligeria napiformis*, *Hypochoeris achyrophorus*, *Crupina crupinastrum*, *Allium subhirsutum*, *Micromeria juliana* κλπ. (Κομκοτός 2008).

Σε πολύ μικρές εκτάσεις εμφανίζονται και πευκοδάση (*Pinus Halepensis*), όπως στην περιοχή «Πευκιάς», με υψόμετρο από τα 300- 550μ , βόρεια των οικισμών Θίσβης και Δομβραΐνας, το οποίο καταστράφηκε ολοσχερώς μετά από πυρκαγιά που εκδηλώθηκε το έτος 1998. Σήμερα το συγκεκριμένο δάσος έχει ελάχιστη φυσική αναγέννηση και καλύπτεται κυρίως από θαμνώνες των αείφυλλων πλατύφυλλων.

Στα χαμηλότερα υψόμετρα της λεκάνης και στις πεδινές περιοχές συναντάμε τεράστιες εκτάσεις με ελαιώνες (κοιλάδα της Ξηρονομής κ.α.) και αμπελώνες κοντά στους οικισμούς Νεοχώρι και Άσκη. Σε γενικές γραμμές ολόκληρη η λεκάνη απορροής εμφανίζει σημάδια ανθρωπογενούς επέμβασης από πυρκαγιά, έντονη βόσκηση και εξορυκτική δραστηριότητα (περιοχή Ι.Μ. Μακαριώτισσας).

**Πανίδα:** Η λεκάνη απορροής του ποταμού Άσκηρς φιλοξενεί πολλά θηλαστικά, ερπετά, έντομα και πουλιά. Από τα θηλαστικά είδη που απαντώνται στην περιοχή, τα πιο σημαντικά είναι: λαγός (*Lepus europeaus*), ασβός (*Meles meles*), τυφλοπόντικας (*Talpa europaea*), αλεπού (*Vulpes vulpes*), αγριογούρουνο (*Sus scrofa*), λύκος (*Canis lupus*), πετροκούναβο (*Martes foina*), νυφίτσα (*Mustela nivalis*), σκαντζόχοιρος (*Erinaceus concolor*), νανονυχτερίδα (*Pipistrellus pipistrellus*) και βουνονυχτερίδα (*ipistrellus savii*).

Από τα είδη της ορνιθοπανίδας που απαντώνται στην περιοχή, τα πιο σημαντικά είναι: φιδαιτός (*Circaetus gallicus*), χρυσαετός (*Aquila chrysaetos*), σπιζαιτός (*Hieraaetus fasciatus*), χρυσογέρακο (*Falco biarmicus*), πετρίτης (*Falco peregrinus*), τρυγόνι (*Streptopelia turtur*), σπίνος (*Fringilla coelebs*), φλώρος (*Carduelis chloris*), καρδερίνα (*Carduelis carduelis*), κουκουβάγια (*Athene noctua*), κικινέζι (*Falco naumanni*), τσίγλα (*Turdus philomelos*), κότσυφας (*Cinclus cinclus*), δενδρότσιγλα (*Turdus Viscivorus*), πετροπέδικα (*Alectoris graeca*), βραχοκικινέζο (*Falco tinnunculus*), αλκυόνη (*Alcedo atthis*), χελιδόνι (*Hirundo rustica*), σπιτοχελιδόνο (*Delichon urbica*), σταχτάρα (*Apus apus*) και αγριοπερίστερο (*Columba livia*).

Από τα αμφίβια και ερπετά τα σημαντικότερα είναι: Μεσογειακή Χελώνα (*Testudohermanni*), Νεροβάτραχος (*Rana ridibunda*), Πράσινη Σάυρα (*Lacerta trilineata*), Δεντρογαλιά (*Coluber gemonensis*), Νερόφιδο (*Natrix natrix*) και Οχιά (*Vipera ammodytes*).

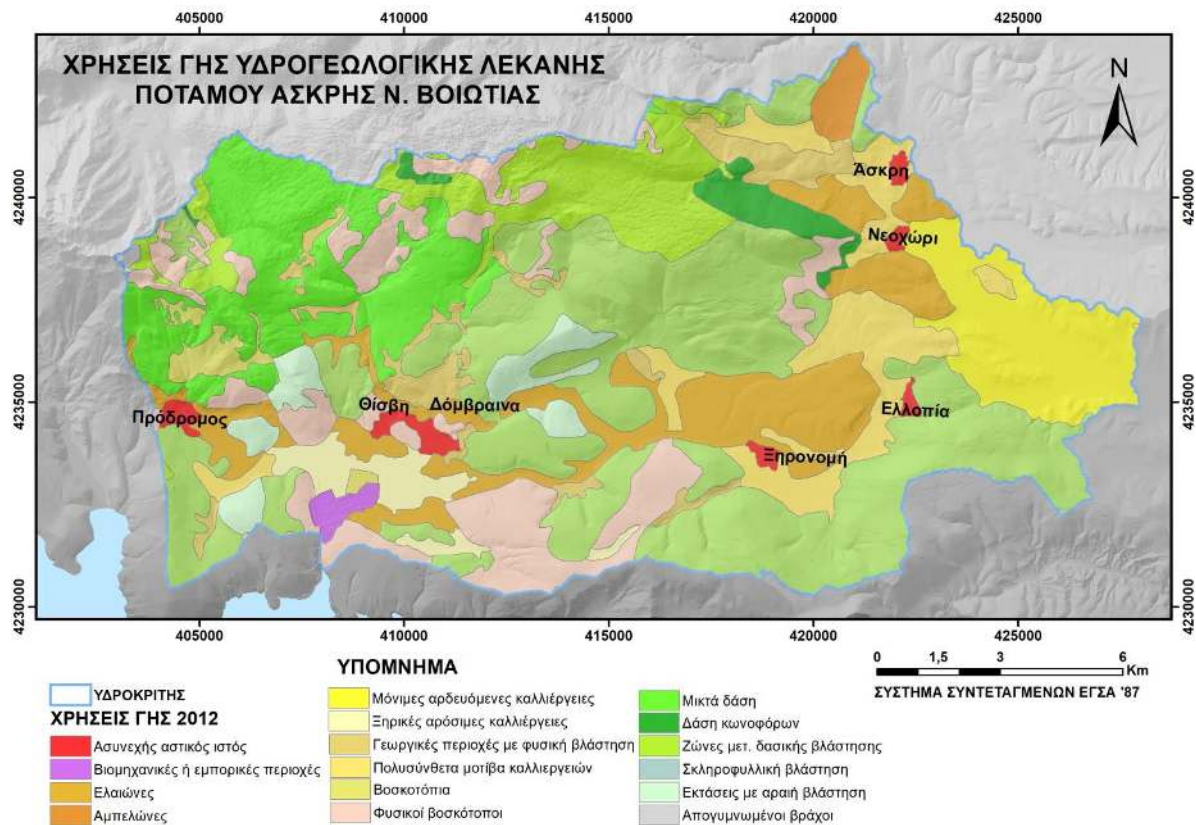
### 3.5 Χρήσεις Γης

Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκαν γεωχωρικά δεδομένα του προγράμματος Corine Land Cover έτους 2012, από την ιστοσελίδα της ΕΚΧΑ Α.Ε. και μέσω του συνδέσμου: <http://gis.ktimanet.gr/cachenascommon/corine.zip> και του προγράμματος Corine Land Cover 2018, μέσω της ανοικτής πλατφόρμας <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover>, με σκοπό, εκτός από την καταγραφή και τη χαρτογραφική απεικόνιση των χρήσεων γης, τη διαπίστωση τυχόν μεταβολών στις χρήσεις γης από το έτος 2012 έως το 2018.

Η έκδοση του 2012 προέκυψε από την υλοποίηση του εθνικού προγράμματος «GMS/ Copernicus Initial Operations (GIO) Land Monitoring 2011-2013» ή GIO LAND, με χρηματοδότηση από την Ευρωπαϊκή Ένωση και αφορά την καταγραφή των μορφών κάλυψης/χρήσεων γης, όπως δάση, λιβάδια, υγράτοποι, δόμηση και ύδατα ενώ η έκδοση του 2018 προέκυψε από το Copernicus υποστηρίζοντας διάφορες κοινοτικές πολιτικές στους τομείς του περιβάλλοντος, της γεωργίας, των μεταφορών, του χωροταξικού σχεδιασμού κ.λπ.

Από την επεξεργασία των δεδομένων στο περιβάλλον ArcMap, διαπιστώθηκε ότι στη λεκάνη απορροής του ποταμού Άσκλης εμφανίζονται δεκαέξι (16) κατηγορίες, από τις 44 συνολικά κατηγορίες των χρήσεων/κάλυψης γης του προγράμματος CORINE.

Η χωρική απεικόνιση των χρήσεων/κάλυψης γης στη λεκάνη απορροής για τα έτη 2012 και 2018 εμφανίζεται στους χάρτες των Σχημάτων 3.6 και 3.9, ενώ το ποσοστό χρήσης γης εμφανίζεται στα Σχήματα 3.7 και 3.8 μετά την επεξεργασία των στοιχείων του Πίνακα 3.1, στον οποίο παρουσιάζονται οι κατηγορίες της χρήσης /κάλυψης γης, η έκτασή τους και το ποσοστό τους στο σύνολο της λεκάνης για τα έτη 2012 και 2018.

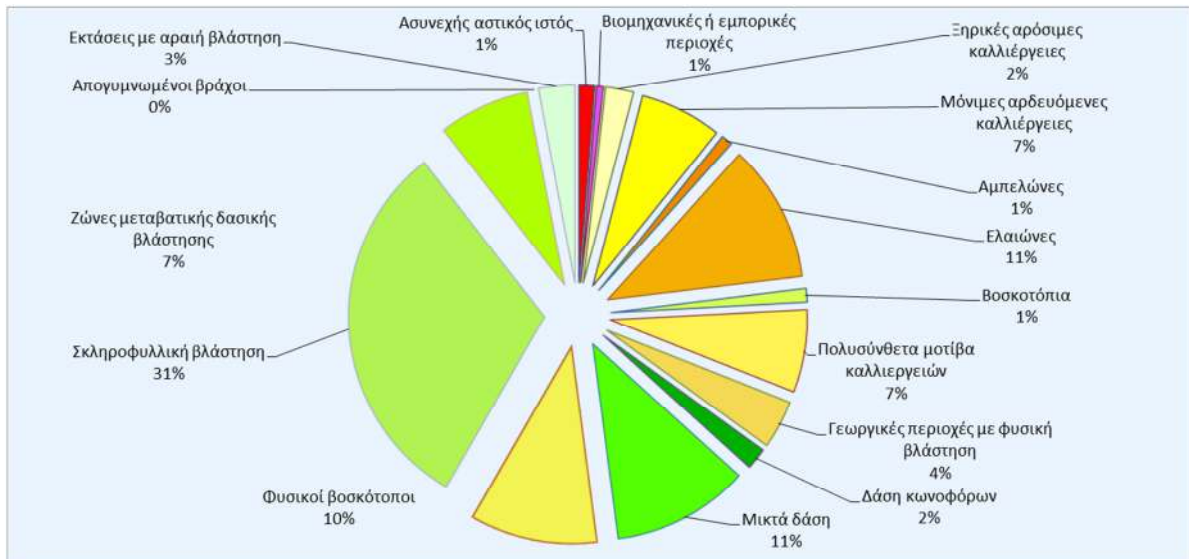


**Σχήμα 3.6:** Χάρτης χρήσης/κάλυψης γης έτους 2012 στην υδρολογική λεκάνη Άσκλης-Δομβραίνας.

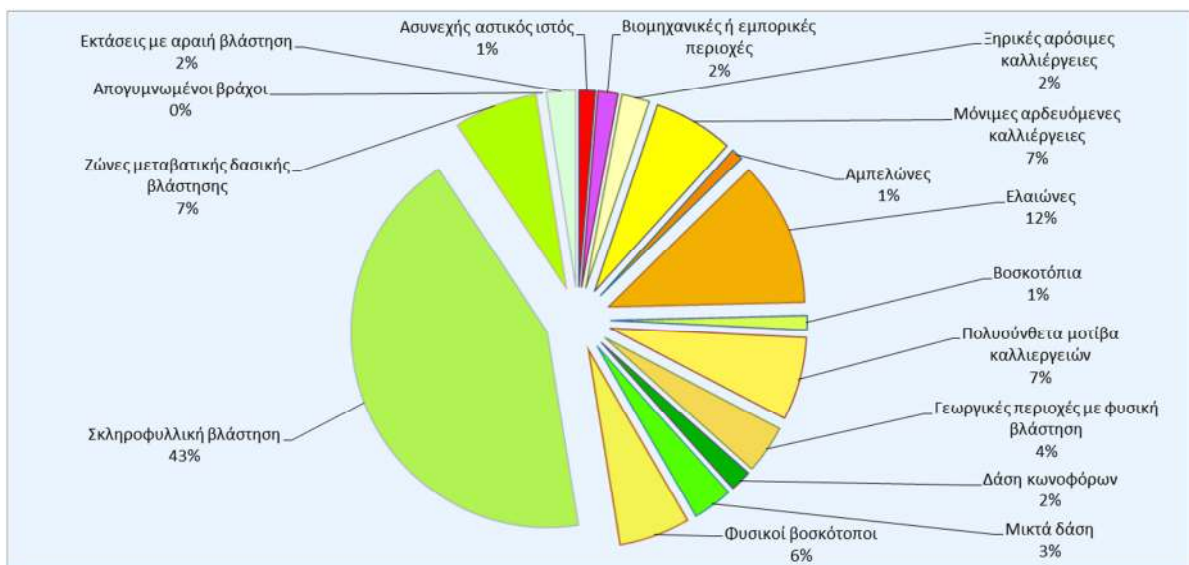
Από τα ανωτέρω δεδομένα προκύπτει ότι :

α) Το έτος 2012 η κυρίαρχη χρήση/κάλυψη στη λεκάνη είναι οι θαμνώδεις εκτάσεις σκληροφυλλικής βλάστησης με ποσοστό 31,10% επί του συνόλου της έκτασης, ακολουθούν οι ελαιώνες με ποσοστό κάλυψης 11,36%, τα μικτά δάση με ποσοστό 11,26% και οι φυσικοί βοσκότοποι με ποσοστό 10,44% επί του συνόλου.

Οι καλλιεργούμενες εκτάσεις, στις οποίες περιλαμβάνονται οι ξηρικές, αρδευόμενες, ελαιώνες, αμπελώνες και τα πολυσύνθετα μοτίβα καλλιεργειών, καλύπτουν έκταση με ποσοστό 28,06% επί του συνόλου της λεκάνης. Οι λοιπές χρήσεις καταλαμβάνουν εκτάσεις με μικρότερο ποσοστό.



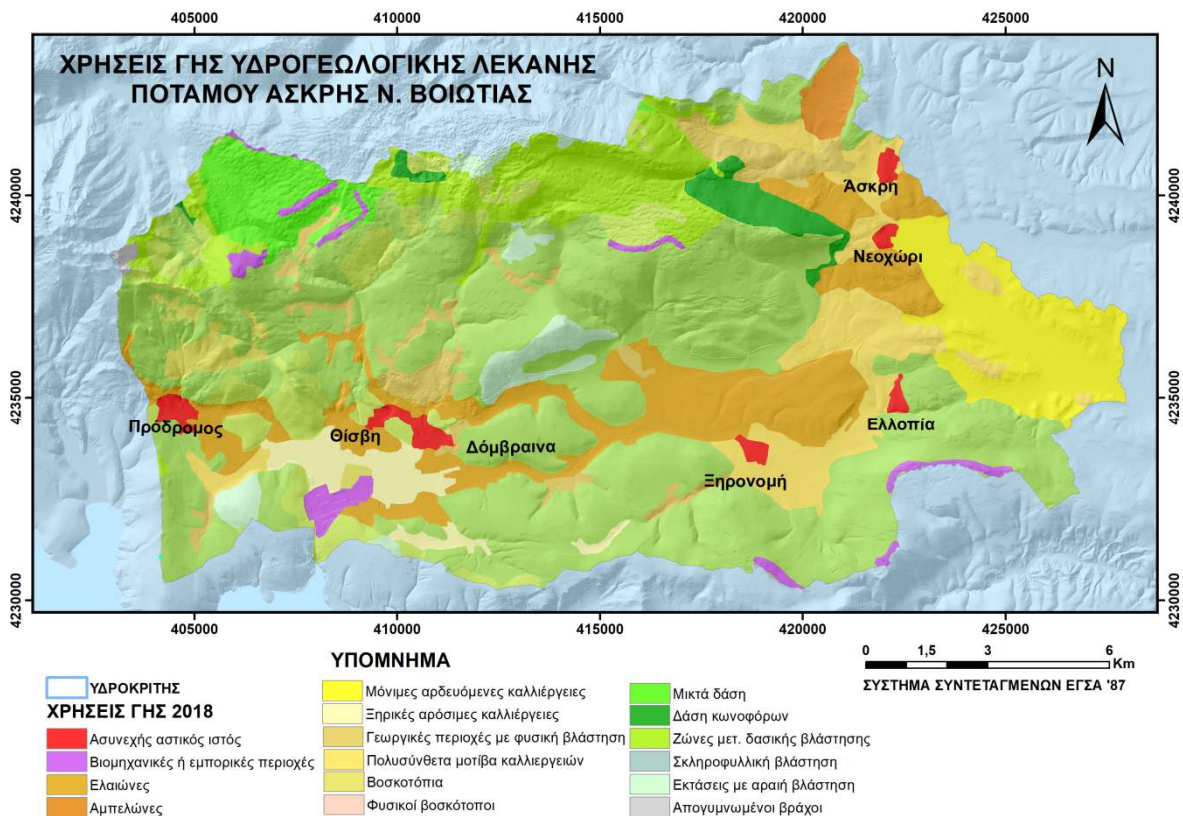
**Σχήμα 3.7:** Ποσοστό χρήσης γης το έτος 2012 στη λεκάνη Άσκλης-Δομβραΐνας.



**Σχήμα 3.8:** Ποσοστό χρήσης γης το έτος 2018 στη λεκάνη Άσκλης-Δομβραΐνας.

β) Το έτος 2018 παρατηρούμε ότι, λόγω των μεγάλων πυρκαγιών της προηγούμενης δεκαετίας η κυρίαρχη χρήση της σκληροφυλλικής βλάστησης καταλαμβάνει έκταση με ποσοστό 43,21%, δηλαδή παρουσιάζει αύξηση κατά 12,11%, έναντι του ποσοστού των δασών που εμφανίζει σημαντική μείωση κατά 7,98%, καλύπτοντας μόλις το 5% επί του συνόλου της έκτασης και των φυσικών βοσκοτόπων κατά 4,64%, καλύπτοντας έκταση με ποσοστό 5,80%.





**Σχήμα 3.9:** Χάρτης Χρήσης/κάλυψης γης έτους 2018 στη Λεκάνη Άσκρι-Δομβραϊνας.

Επίσης, σύμφωνα με τα δεδομένα του Πίνακα 3.1, παρατηρείται μια σημαντική αύξηση το έτος 2018 στο ποσοστό χρήσης γης των βιομηχανικών περιοχών κατά 1,07% σε σχέση με το ποσοστό του έτους 2012, αυτό οφείλεται στην εγκατάσταση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ανεμογεννήτριες και φωτοβολταϊκά συστήματα). Οι καλλιεργούμενες εκτάσεις και οι λοιπές χρήσεις γης διατηρούν περίπου το ποσοστό τους.

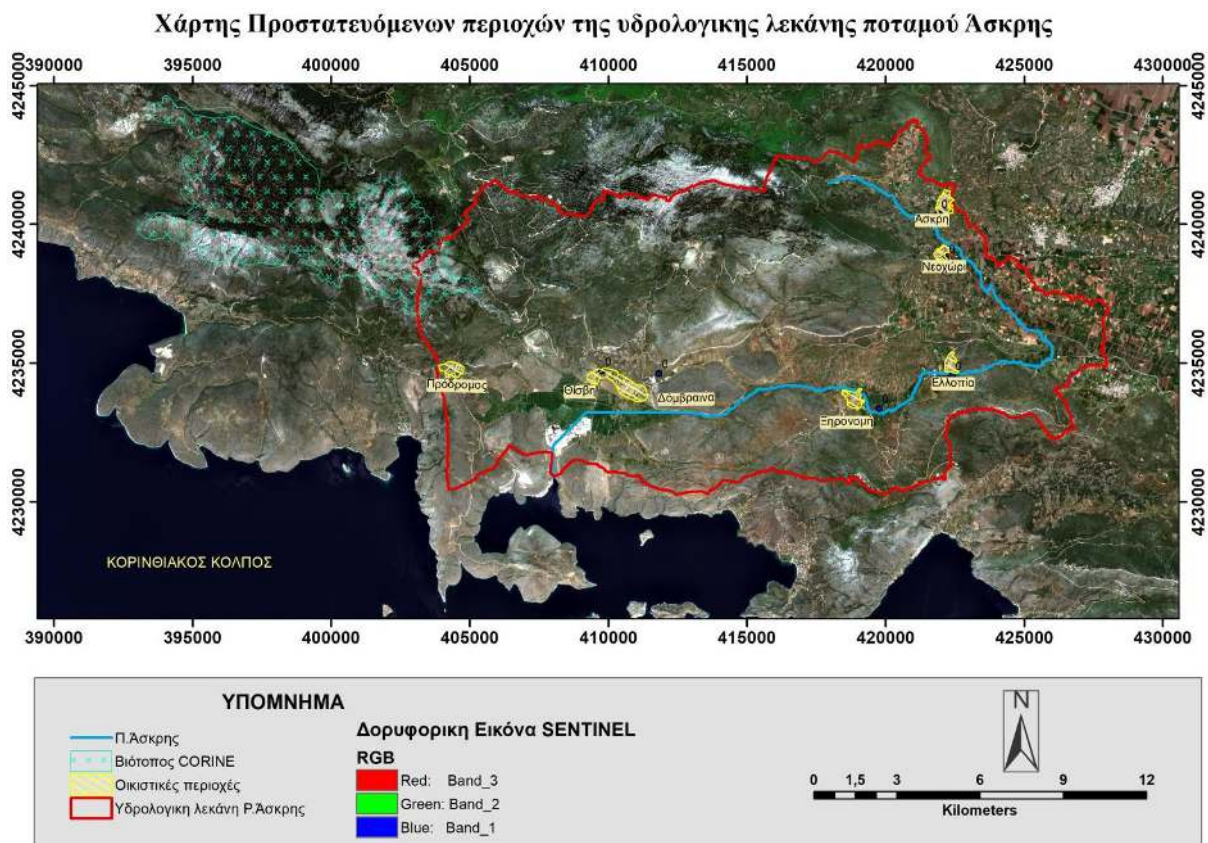
### 3.6 Προστατευόμενες περιοχές

Στη χώρα μας έχουν αναγνωρισθεί σημαντικές φυσικές περιοχές ως προστατευόμενες, είτε μέσω του χαρακτηρισμού τους βάση της ισχύουσας εθνικής νομοθεσίας (ν. 3937/11, ν.δ. 86/69, ν. 1650/1986 κ.λπ.) είτε με την ένταξή τους σε καθεστώς προστασίας σε εφαρμογή των οδηγιών 92/43/ΕΟΚ "περί διατήρησης των φυσικών οικοτόπων καθώς και της άγριας πανίδας και χλωρίδας" και 79/409 ΕΟΚ "περί διατήρησης των αγρίων πτηνών" .

Στη περιοχή μελέτης δεν υπάρχουν περιοχές που να έχουν χαρακτηριστεί ως προστατευόμενες ή να προστατεύονται από διεθνείς συμβάσεις (NATURA, RAMSAR). Μόνο ένα μικρό τμήμα της έκτασης του Ελικώνα, όπως εμφανίζεται στο Σχήμα 3.10, συνολικού εμβαδού 4.000 Ha έχει ενταχθεί στο πρόγραμμα CORINE με τον κωδικό A00060052 και έχει χαρακτηριστεί ως σημαντικός βιότοπος, λόγω της πλούσιας και σπάνιας χλωρίδας της (δάση από Κεφαλληνιακή ελάτη, κ.α.) και της μορφής του τοπίου της που καλύπτεται από γυμνές κορυφές, απότομες πλαγιές και γκρεμούς (<http://filotis.itia.ntua.gr/biotopes/c/A00010046>, <http://geodata.gov.gr/geodata> και <http://www.ypeka.gr>).

**Πίνακας 3.1:** Οι κατηγορίες των χρήσεων/ κάλυψης γης, το εμβαδόν ανά κατηγορία και το ποσοστό τους στη λεκάνη Άσκρης-Δομβραΐνας.

Α/Α	Κωδικός	Κατηγορίες χρήσης γης	Land Cover 2012		Land Cover 2018		Διαφορά ποσοστού χρήσης γης 2012 -2018
			Εμβαδόν (ha)	Ποσοστό (%)	Εμβαδόν (ha)	Ποσοστό (%)	
1	112	Ασυνεχής αστικός ιστός	280,6	1,25	291,49	1,30	0,05
2	121	Βιομηχανικές ή εμπορικές περιοχές	119,1	0,53	360,88	1,60	1,07
3	211	Ξηρικές αρόσιμες καλλιέργειες	512,8	2,28	509,73	2,27	-0,01
4	212	Μόνιμες αρδευόμενες καλλιέργειες	1513	6,73	1470,98	6,54	-0,19
5	221	Αμπελώνες	208,6	0,93	221,5	0,98	0,05
6	223	Ελαιώνες	2555,7	11,36	2683,89	11,93	0,57
7	231	Βοσκοτόπια	248,5	1,10	258,71	1,15	0,05
8	242	Πολυσύνθετα μοτίβα καλλιεργειών	1519,6	6,76	1537,48	6,83	0,07
9	243	Γεωργικές περιοχές με φυσική βλάστηση	888,7	3,95	894,22	3,97	0,02
10	312	Δάση κωνοφόρων	400,5	1,78	401,05	1,78	0,00
11	313	Μικτά δάση	2533,2	11,26	736,98	3,28	-7,98
12	321	Φυσικοί βοσκότοποι	2347,4	10,44	1305,57	5,80	-4,64
13	323	Σκληροφυλλική βλάστηση	6996,3	31,10	9721,08	43,21	12,11
14	324	Ζώνες μεταβατικής δασικής βλάστησης	1680,6	7,47	1549,49	6,89	-0,58
15	332	Απογυμνωμένοι βράχοι	23,5	0,10	28,64	0,13	0,03
16	333	Εκτάσεις με αραιή βλάστηση	666	2,96	524,45	2,33	-0,63
		<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>22.496,14</b>	<b>100%</b>	<b>22.496,14</b>	<b>100%</b>	



**Σχήμα 3.10:** Χάρτης προστατευόμενων περιοχών.

### 3.7 Ανθρωπογενές περιβάλλον

#### 3.7.1 Πληθυσμιακή εξέλιξη

Εντός των ορίων της λεκάνης του ποταμού Άσκρης βρίσκονται επτά οικισμοί, από τους οποίους οι πέντε οικισμοί Πρόδρομος, Δομβραϊνά, Θίσβη, Ξηρονομή και Ελλοπία ανήκουν Διοικητικά στο Δήμο Θηβαίων, όπως αυτός συστάθηκε με το Πρόγραμμα Καλλικράτης το 2011, ενώ οι υπόλοιποι δύο οικισμοί Άσκη και Νεοχώρι ανήκουν διοικητικά στο Δήμο Αλιάρτου-Θεσπείων (Πίνακας 3.2).

Η πληθυσμιακή εξέλιξη των επτά οικισμών της λεκάνης από το έτος 1879 έως και την απογραφή του 2011 απεικονίζεται στον Πίνακα 3.3 (ΕΣΥΕ έτη 1889, 1961, 2001 και 2011) (<http://www.edemography.gr>) .

Από τα στοιχεία του Πίνακα 3.3 προκύπτει ότι:

Την περίοδο 1889-1941 ο πληθυσμός στην περιοχή μελέτης αυξήθηκε κατά 57,52%, ενώ στη συνέχεια τις περιόδους 1941-1961 και 1961-1981 μειώθηκε σημαντικά κατά -16,62% και -31,27% αντίστοιχα. Η μείωση αυτή του πληθυσμού οφείλεται στη μετακίνησή του προς τα αστικά κέντρα της Βοιωτίας (Θήβα και Λιβαδειά), καθώς και στα μεγάλα αστικά κέντρα και στις ΗΠΑ. Η μεγαλύτερη μετακίνηση του πληθυσμού παρατηρείται κατά την μεταπολεμική περίοδο στους οικισμούς Δομβραϊνά, Θίσβη και Πρόδρομος, μετά το κάψιμο των χωριών από τις κατοχικές Γερμανικές δυνάμεις.

**Πίνακας 3.2:** Η έκταση που καταλαμβάνουν οι οικισμοί που βρίσκονται στην λεκάνη Άσκλης - Δομβραΐνας, σύμφωνα με την απογραφή 2011

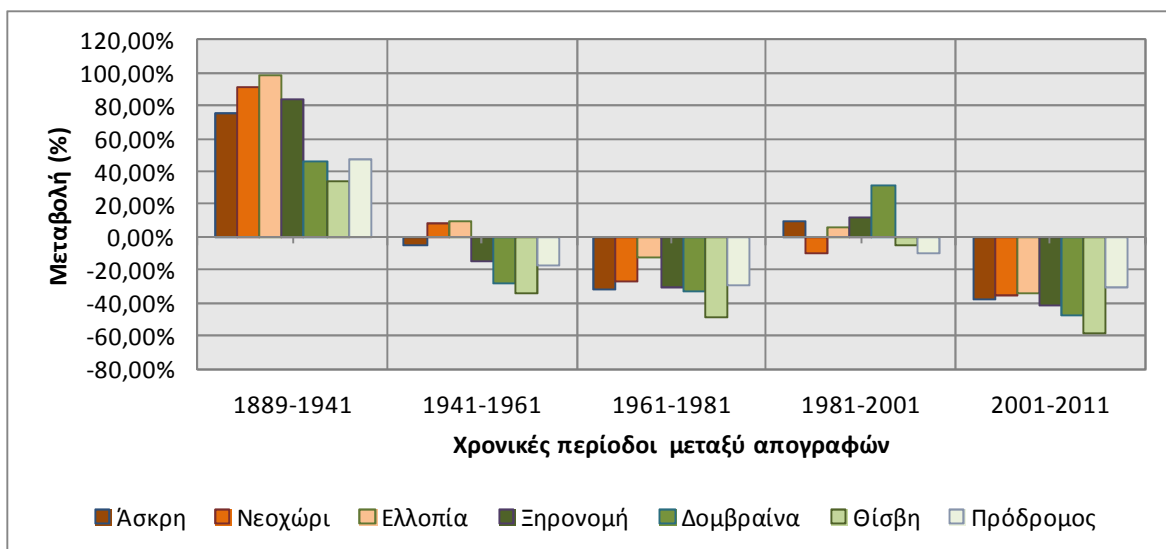
Τοπικές Κοινότητες	Ορεινές- Ημιορεινές- Πεδινές	Εμβαδόν (Κμ <sup>2</sup> )	Μέσος σταθμικός υψομέτρου (m)
Άσκλης	Ημιορεινές	27,622	380
Νεοχωρίου	Ημιορεινές	7,023	350
Δομβραΐνης	Ημιορεινές	91,872	150
Ελλοπίας	Ημιορεινές	22,877	250
Θίσβης	Ημιορεινές	39,415	158
Ξηρονομής	Ημιορεινές	38,907	121
Προδρόμου	Ημιορεινές	52,225	187

**Πίνακας 3.3:** Διαχρονική εξέλιξη του πληθυσμού των Τοπικών Κοινοτήτων που βρίσκονται στη λεκάνη Άσκλης-Δομβραΐνας από το 1889 έως 2011 (Πηγή: ΕΣΥΕ).

Οικισμοί	Πληθυσμός						Ποσοστιαίες Πληθυσμιακές Μεταβολές				
	1889	1941	1961	1981	2001	2011	1889-41	41-61	61-81	81-01	01-11
Άσκλης	792	1392	1323	903	994	622	75,76	-4,96	-31,75	10,08	-37,42
Νεοχώρι	320	612	663	483	436	281	91,25	8,33	-27,15	-9,73	-35,55
Ελλοπία	296	587	645	567	601	398	98,31	9,88	-12,09	6,00	-33,78
Ξηρονομή	496	909	772	540	608	356	83,27	-15,07	-30,05	12,59	-41,45
Δομβραΐνα	1360	1993	1443	974	1283	675	46,54	-27,6	-32,50	31,72	-47,39
Θίσβη	1068	1434	939	484	460	190	34,27	-34,52	-48,46	-4,96	-58,70
Πρόδρομος	1063	1571	1301	919	830	578	47,79	-17,19	-29,36	-9,68	-30,36
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	5395	8498	7086	4870	5212	3100	57,52	-16,62	-31,27	7,02	-40,52

Ωστόσο, λόγω της βιομηχανικής ανάπτυξης στις περιοχές Οινοφύτων-Σχηματαρίου και Θηβών και της δημιουργίας Βιομηχανικής περιοχής στην περιοχή της Θίσβης τη χρονική περίοδο 1981-2001 παρατηρείται ξανά αύξηση του πληθυσμού στους οικισμούς Άσκλης, Ξηρονομή, Ελλοπία και Δομβραΐνα, η οποία όμως δεν διατηρήθηκε και την επόμενη χρονική περίοδο 2001-2011, όπου η μείωση του πληθυσμού σε όλους τους οικισμούς άγγιξε το 40,52% και οδήγησε ορισμένους οικισμούς όπως το Νεοχώρι, Θίσβη και Δομβραΐνα στην ερήμωση.

Στο διάγραμμα (Σχήμα 3.11) που ακολουθεί παρουσιάζονται οι μεταβολές του πληθυσμού της λεκάνης του ποταμού Άσκλης, για τα χρονικά διαστήματα 1889-1941, 1941-1961, 1961-1981, 1981-2001 και 2001-2011, όπως προκύπτει μετά την επεξεργασία των δεδομένων του Πίνακα 3.3.



**Σχήμα 3.11:** Μεταβολή (%) του πληθυσμού των οικισμών στην λεκάνη Άσκηρη-Δομβραίνας μεταξύ των απογραφών 1889-1941, 1941-1961, 1961-1981, 1981-2001 και 2001-2011

### 3.7.2 Ηλικιακή διάρθρωση πληθυσμού

Σύμφωνα με τα στοιχεία της Ε.Σ.Υ.Ε (Απογραφή 2011) στην περιοχή μελέτης το ποσοστό των νέων από 0-34 ετών είναι κατά μέσο όρο 27,01% επί του συνολικού πληθυσμού, με το υψηλότερο ποσοστό να παρατηρείται στην τ.κ.. Νεοχωρίου (33,45 %), ενώ στην ηλικιακή ομάδα 35-54 ετών το ποσοστό είναι 22,90% επί του συνόλου, με το υψηλότερο ποσοστό στην τ.κ. Άσκηρης 27,65 %, όπως εμφανίζεται στον Πίνακα 3.4. Το ποσοστό των ατόμων στη περιοχή μελέτης από 55 ετών και άνω, είναι κατά μέσο όρο 50,09% επί του συνόλου, με τις υψηλότερες τιμές αυτής της ηλικιακής ομάδας, να παρατηρούνται στις περιοχές των τ.κ.. Προδρόμου, Θίσβης και Ξηρονομής (60,38%, 57,89% και 53,54%) αντίστοιχα. Αυτό μας δείχνει την υπεροχή του γηραιού πληθυσμού στην περιοχή μελέτης έναντι του νέου πληθυσμού και την τάση γήρανσης του πληθυσμού.

Η σχέση μόνιμου πληθυσμού <35 ετών προς το αντίστοιχο >55 ετών, μας δείχνει τις δυνατότητες σε παραγωγικό ανθρώπινο δυναμικό της περιοχής που είναι κατά μέσο όρο 55,57 %, με τις υψηλότερες να παρατηρούνται στις τ.κ. Νεοχωρίου και Δομβραίνας.

### 3.7.3 Οικονομικά χαρακτηριστικά του πληθυσμού

Σύμφωνα με τα στοιχεία της απογραφής της Ε.Σ.Υ.Ε ο οικονομικά ενεργός πληθυσμός στη περιοχή μελέτης το έτος 2011 ανέρχεται σε 1.150 άτομα, σημειώνοντας σημαντική μείωση (ποσοστό 30%) έναντι του οικονομικά ενεργού πληθυσμού το 2001 που ανέρχονταν σε 1.699 άτομα. Τη μεγαλύτερη μείωση την περίοδο 2001-2011 εμφανίζει η τ.κ. Ελλοπίας με ποσοστό 44% και στη συνέχεια η τ.κ. Δομβραίνας με ποσοστό 41% (Πίνακας 3.5).

Αντίστοιχα, ο αριθμός των ανέργων στην περιοχή το έτος 2011 ανέρχεται σε 182 άτομα, με ποσοστό ανεργίας 15,86 % του ενεργού πληθυσμού (Πίνακας 3.6), παρουσιάζοντας μέση αύξηση 2,71%, σε σχέση με το 2001.

**Πίνακας 3.4:** Ηλικιακή διάρθρωση του πληθυσμού (Απογραφή 2011)

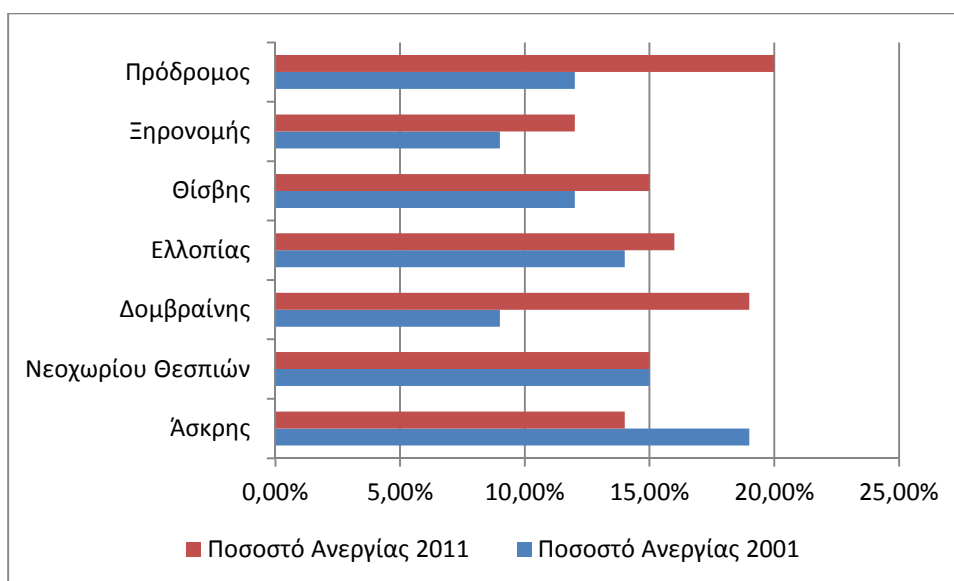
Τοπικές Κοινότητες	Ηλικίες				(Ποσοστό επί Συνόλου)			
	0-34	35-54	55+	Σύνολο	0-34	35-54	55+	(<35/>55)%
Άσκηρς	165	172	285	622	26,53	27,65	45,82	58
Νεοχωρίου-Θεσπιών	94	67	120	281	33,45	23,84	42,7	78
Δομβραίνης	216	160	299	675	32	23,7	44,3	72
Ελλοπίας	110	105	183	398	27,64	26,38	45,98	60
Θίσβης	42	38	110	190	22,11	20	57,89	38
Ξηρονομής	161	134	340	635	25,35	21,1	53,54	47
Προδρόμου	127	102	349	578	21,97	17,65	60,38	36
<b>Σύνολο/Μέση τιμή ποσοστού</b>	<b>915</b>	<b>778</b>	<b>1686</b>	<b>3379</b>	<b>27,01</b>	<b>22,90</b>	<b>50,09</b>	<b>55,57</b>

**Πίνακας 3.5:** Εξέλιξη οικονομικά ενεργού πληθυσμού 2001-2011.

Τοπικές Κοινότητες	Οικονομικά ενεργοί 2001	Οικονομικά ενεργοί 2011	Εξέλιξη 2001-2011
Άσκηρς	339	242	-29%
Νεοχωρίου Θεσπιών	151	120	-21%
Δομβραίνης	404	240	-41%
Ελλοπίας	274	154	-44%
Θίσβης	82	53	-35%
Ξηρονομής	200	185	-8%
Πρόδρομος	249	156	-37%
<b>Σύνολο</b>	<b>1.699</b>	<b>1.150</b>	

**Πίνακας 3.6:** Εξέλιξη Ανέργων 2001-2011

Τοπικές Κοινότητες	2001			2011			Μεταβολή Ποσοστού Ανεργίας 2001-11
	Οικονομικά ενεργοί	Ανεργοί	Ποσοστό Ανεργίας 2001	Οικονομικά ενεργοί	Ανεργοί	Ποσοστό Ανεργίας 2011	
Άσκηρς	339	66	19%	242	33	14%	-6%
Νεοχωρίου	151	22	15%	120	18	15%	0%
Δομβραίνης	404	36	9%	240	45	19%	10%
Ελλοπίας	274	38	14%	154	25	16%	2%
Θίσβης	82	10	12%	53	8	15%	3%
Ξηρονομής	200	18	9%	185	22	12%	3%
Πρόδρομος	249	31	12%	156	31	20%	8%
<b>Σύνολο</b>	<b>1699</b>	<b>221</b>		<b>1150</b>	<b>182</b>		



**Σχήμα 3.12:** Εξέλιξη ποσοστού ανεργίας τη χρονική περίοδο 2001-2011

Σύμφωνα με τον Πίνακα 3.6 την περίοδο 2001-2011 παρατηρείται μεγάλη αύξηση του ποσοστού ανεργίας στις τ.κ. Δομβραίνης (10%) και Προδρόμου (8%), ενώ σημαντική μείωση σημειώνεται στην τ.κ. Άσκλης (6%), όπως απεικονίζεται και στο διάγραμμα του Σχήματος 3.12.

### 3.7.4 Απασχόληση του πληθυσμού στους παραγωγικούς τομείς

Από τα στοιχεία της Ε.Σ.Υ.Ε. (απογραφή 2001) προκύπτει ότι από το σύνολο του οικονομικά ενεργού πληθυσμού το 39% απασχολείται στον πρωτογενή τομέα, το 30% στο τριτογενή και το 25% στο δευτερογενή τομέα, ενώ το 6% δε δήλωσε κλάδο οικονομικής δραστηριότητας.

**Πίνακας 3.7:** Απασχολούμενοι τοπικών κοινοτήτων ανά παραγωγικό τομέα (ΕΣΥΕ 2001).

Τοπικές Κοινότητες	Απασχολούμενοι				Σύνολο
	Πρωτογενής Τομέας	Δευτερογενής Τομέας	Τριτογενής Τομέας	Δε δήλωσαν κλάδο οικονομικής δραστηριότητας	
Άσκλης	122	57	74	20	273
Νεοχωρίου	56	34	30	9	129
Δομβραίνης	140	91	119	18	368
Ελλοπίας	89	78	61	8	236
Θίσβης	34	11	22	5	72
Ξηρονομής	70	34	65	13	182
Προδρόμου	61	63	75	19	218
<b>Σύνολο</b>	<b>572</b>	<b>368</b>	<b>446</b>	<b>92</b>	<b>1.478</b>

Ο πρωτογενής τομέας στηρίζεται κυρίως στις μικρές οικογενειακού τύπου επιχειρήσεις, οι οποίες απασχολούν κυρίως οικονομικούς μετανάστες στις αγροτικές και κτηνοτροφικές εκμεταλλεύσεις τους.

### 3.8 Έργα υποδομής και ανάπτυξης

**α) Οδικό δίκτυο:** Η περιοχή μελέτης βρίσκεται νοτιοδυτικά της Εθνικής Οδού Αθηνών Λαμίας και απέχει από αυτήν 30 περίπου χιλιόμετρα. Για τον υπολογισμό και τη χωρική ανάλυση του οδικού δικτύου της λεκάνης χρησιμοποιήθηκαν διανυσματικά δεδομένα από τη διαδικτυακή χαρτογραφική υπηρεσία Open Street Map, μέσω του προγράμματος QGIS και τα οποία στη συνέχεια επεξεργάστηκαν με τη βοήθεια των προγραμμάτων ArcMap και Excel. Από την επεξεργασία των δεδομένων προέκυψε ότι το συνολικό μήκος του οδικού δικτύου της λεκάνης ανέρχεται σε 526,118Κm και αποτελείται κυρίως από το επαρχιακό οδικό δίκτυο, με συνολικό μήκος 54,699Κm, το οποίο συνδέει τους οικισμούς που βρίσκονται εντός της λεκάνης, καθώς και με τους γειτονικούς οικισμούς που βρίσκονται εκτός της λεκάνης, το αστικό οδικό δίκτυο εντός των κατοικημένων περιοχών, με συνολικό μήκος 41,576Κm, το ασφαλτοστρωμένο οδικό δίκτυο με συνολικό μήκος 52,788Κm και τους δύσβατους δρόμους (χωματόδρομους) με συνολικό μήκος 336,672Κm (Σχήμα 3.13).



Σχήμα 3.13: Χάρτης οδικού δικτύου στην περιοχή μελέτης.

Εκτός από το οδικό δίκτυο λήφθηκαν και άλλα γεωχωρικά δεδομένα από το Open Street Map τα οποία αφορούσαν το ανοιχτό κανάλι του Μόρνου, τις κατοικημένες περιοχές (οικισμοί)



καθώς και τη βιομηχανική περιοχή στην οποία είναι εγκατεστημένη η εταιρεία Σωληνουργία Θίσβης.

**β) Κανάλι Μόρνου:** Από το κεντρικό τμήμα της λεκάνης διέρχεται, με κατεύθυνση ΔΑ, ο υδαταγωγός του Μόρνου μήκους 24,89Κm, ο οποίος υδροδοτεί την Αθήνα και άλλους οικισμούς του νομού Βοιωτίας και Αττικής, όπως των Ερυθρών, Πλαταιών, Βιλίων, Οινόης, Λεύκτρων, Διστόμου, Στείρων, Ελλοπίας, Ξηρονομής, Προφήτη Ηλία, Κυριακίου, Θίσβης και Δομβραίνας. Πρόκειται για ένα έργο αρκετά σημαντικό που άρχισε να κατασκευάζεται το έτος 1969, ολοκληρώθηκε το 1979 και λειτούργησε το έτος 1981 (Κουτσογιάννης Δ., 1999). Το συνολικό του μήκος είναι 188km και έχει αφετηρία τον ταμειυτήρα του Μόρνου και τέρμα τα διυλιστήρια Μάνδρας-Μενιδίου.



**Σχήμα 3.14:** Φωτογραφία της κατολίσθησης τμήματος του καναλιού Μόρνου στην περιοχή της Τοπικής Κοινότητας Προδρόμου Βοιωτίας.

Τη περίοδο λειτουργίας του εμφάνισε σημαντικά προβλήματα, όπως η αποκόλληση τμήματος του καναλιού στις 30-03-2011, μήκους 30 περίπου μέτρων, η οποία προκλήθηκε από κατολίσθηση του εδάφους, πιθανόν λόγω των μεγάλων βροχοπτώσεων που εκδηλώθηκαν στην περιοχή (Σχήμα 3.14). Από την διαρροή του νερού πλημμύρισαν δεκάδες σπίτια στον παραλιακό οικισμό Σαράντη Βοιωτίας ( Εφημερίδα Βήμα, 30-3-2011).

**γ) Βιομηχανική Περιοχή Θίσβης:** Στο νότιο τμήμα της λεκάνης υπάρχει η Βιομηχανική Περιοχή Θίσβης (ΒΙ.ΠΕ. Θίσβης) η οποία βρίσκεται εντός των διοικητικών ορίων της Δημοτικής Ενότητας Θίσβης του Δήμου Θηβαίων με έδρα τη Θίσβη (Σχήμα 3.15). Ως βιομηχανική περιοχή θεσμοθετήθηκε τη δεκαετία του 1980 σύμφωνα με τις διατάξεις του ν. 4458/65, όπως αυτός τροποποιήθηκε και συμπληρώθηκε με τις διατάξεις του ν. 742/77, με αρχικό φορέα ίδρυσης την ΕΤΒΑ ΑΕ.

Σήμερα, Φορέας διοίκησης και διαχείρισης της Βι.Πε. Θίσβης είναι η Ανώνυμη Εταιρεία Διαχείρισης και Διοίκησης Βιομηχανικής Περιοχής Θίσβης Βοιωτίας (Δια.Βι.Πε.Θι.Β. Α.Ε.), η οποία διαδέχθηκε την ΕΤΒΑ ΑΕ. και η οποία αποτελεί διεθνώς μια από τις πλέον σύγχρονες μονάδες παραγωγής χαλυβδοσωλήνων. Απασχολεί 600 περίπου εργαζόμενους εκ των οποίων πολλοί είναι από περιοχές του Νομού Βοιωτίας.

Η Βι.Πε. Θίσβης έχει συνολική έκταση 497 στρ. και διαθέτει εγκεκριμένο Ρυμοτομικό Σχέδιο και ειδικό Πολεοδομικό Κανονισμό. Εφαρμόζει Σύστημα Περιβαλλοντικής Διαχείρισης πιστοποιημένο κατά ISO 14001 και στο εσωτερικό της λειτουργεί σύγχρονη εγκατάσταση επεξεργασίας αστικών λυμάτων και βιομηχανικών υδάτων (Πηγή: <http://www.cenergyholdings.com> ).



**Σχήμα 3.15:** Φωτογραφία με τη βιομηχανική περιοχή Δ.Ε. Θίσβης Ν. Βοιωτίας.

**δ) Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και φυσικό αέριο:** Την τελευταία δεκαετία στην περιοχή μελέτης εγκαταστάθηκαν αρκετά αιολικά πάρκα (ανεμογεννήτριες), τα οποία βρίσκονται στις κορυφογραμμές του Ελικώνα (περιοχές Πευκιάς, Ι.Μ. Μακαρριώτισσας, Μελλίσι, κ.α.) και του όρους Κορομίλι.

Οι λόγοι που συνέβαλλαν σημαντικά στην εγκατάσταση των ανεμογεννητριών στην περιοχή είναι κυρίως το υψηλό αιολικό δυναμικό της (με μέση ετήσια ταχύτητα του ανέμου από 5 έως 9 m/sec), το ανάγλυφό της με τις χαμηλές κλίσεις και τις αποστρογγλωμένες κορυφές, το πλούσιο υφιστάμενο οδικό δίκτυο και η ύπαρξη των γραμμών διανομής ηλεκτρικής ενέργειας υψηλής τάσης 150KV και υπερυψηλής τάσης 400KV, οι οποίες διέρχονται από το κεντρικό τμήμα της Βοιωτίας και καταλήγουν στην βιομηχανική περιοχή της Ελευσίνας και στο λεκανοπέδιο της Αττικής. (<http://www.desmie.gr>).

Εκτός από τις ανεμογεννήτριες στην περιοχή μελέτης έχουν τοποθετηθεί πολλοί φωτοβολταϊκοί σταθμοί κυρίως στο νότιο τμήμα της και στις ανατολικές κυρίως εκθέσεις των λόφων, λόγω της μεγάλης ηλιοφάνειας σε σχέση με την υπόλοιπη λεκάνη.

Τέλος, από την περιοχή μελέτης διέρχεται, με κατεύθυνση βορειοδυτική, ο αγωγός μεταφοράς φυσικού αερίου (Βάγια Βοιωτίας- Θίσβη Βοιωτίας), ισχύος 400 MW, ο οποίος αποτελεί κλάδο του Κεντρικού Αγωγού Μεταφοράς Φυσικού Αερίου, μήκους 28,13Km, που ξεκινά από την περιοχή της Δ.Ε. Βαγίων Βοιωτίας και καταλήγει στη Βιομηχανική Περιοχή της Δ.Ε. Θίσβης, με σκοπό τη λειτουργία του Σταθμού Ηλεκτροπαραγωγής Συνδυασμένου Κύκλου που είναι εγκατεστημένος στη ΒΙ.ΠΕ. Θίσβης ([www.desfa.gr](http://www.desfa.gr)).

## **4. ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ**

### **4.1. Γενικά στοιχεία**

Οι παράγοντες που επηρεάζουν το ανάγλυφο μιας περιοχής διακρίνονται σε ενδογενείς και εξωγενείς. Οι ενδογενείς παράγοντες προέρχονται από τις τεκτονικές δυνάμεις που δρουν στο εσωτερικό της γης, η δράση των οποίων εκδηλώνεται στην επιφάνεια της γης δημιουργώντας το ανάγλυφο της περιοχής. Από τη δράση των ενδογενών δυνάμεων προκαλούνται οι ηπειρογενέσεις, οι ορογενέσεις, η ηφαιστειακή δραστηριότητα και οι σεισμοί. Εξωγενείς παράγοντες είναι τα τρεχούμενα και στάσιμα νερά, τα θαλάσσια ρεύματα, τα θαλάσσια κύματα, οι παγετώνες, ο άνεμος, ο έμβιος κόσμος και η ηλιακή ενέργεια, τα οποία λαμβάνουν ενέργεια από τον ήλιο και τη βαρύτητα.

Η επίδραση των εξωγενών παραγόντων έχει ως αποτέλεσμα την αποσάθρωση των πετρωμάτων, τη δημιουργία και μεταφορά του χαλαρού υλικού και την απόθεση αυτού στα χαμηλότερα υψόμετρα του ανάγλυφου. Από τη δράση των ενδογενών παραγόντων έχουμε τη δημιουργία του ανάγλυφου μιας περιοχής, ενώ από τη δράση των εξωγενών παραγόντων έχουμε την εξομάλυνση των υψομετρικών διαφορών και την καταστροφή του ανάγλυφου. Τελικό αποτέλεσμα της δράσης των εξωγενών παραγόντων είναι η δημιουργία των εδαφών.

Η τελική μορφή που εμφανίζει το ανάγλυφο μιας περιοχής εξαρτάται από την ένταση και τη χρονική διάρκεια της δράσης των παραγόντων και από τα πετρώματα της περιοχής τα οποία αντιδρούν στις μεταβολές που δημιουργούνται από τη δράση των παραγόντων (Προδρόμου 2011).

### **4.2. Μορφολογικό ανάγλυφο της λεκάνης**

Στο βόρειο και βορειοδυτικό τμήμα της λεκάνης εκτείνεται η οροσειρά του Ελικώνα, η οποία αποτελείται από μικρούς ορεινούς όγκους και η οποία φτάνει μέχρι τις ακτές του Κορινθιακού κόλπου. Ανατολικά του Ελικώνα, πάνω από τα ιστορικά χωριά Άσκη και Νεοχώρι υψώνεται το όρος Ζαγαρά ή Μοτσάρα με μέγιστο υψόμετρο 1.525 μ.. Εμφανίζει έντονο ανάγλυφο, απότομες πλαγιές με βαθιές ρωγματώσεις, κλίσεις μέτριες έως ισχυρές (30-45%) ενώ η κορυφή του είναι ιδιαίτερα οξύληκτη. Νοτιότερα της περιοχής του Ζαγαρά και συγκεκριμένα στην περιοχή Δραμπάλα, με μέσο υψόμετρο 1.000 μ. περίπου, συναντάμε ένα σχεδόν επίπεδο πλάτωμα με πολλές διάσπαρτες δολίνες, οι οποίες είναι κατά το πλείστον στενές και βαθιές.

Στη δυτική πλευρά της λεκάνης, πάνω από το χωριό Πρόδρομος, εκτείνεται το όρος Παλιοβούνα (υψηλότερη κορυφή του Ελικώνα), με μέγιστο υψόμετρο 1.748μ., το οποίο έχει έντονο ανάγλυφο, μέτριες έως ισχυρές κλίσεις και αποστρογγυλωμένες κορυφές. Στην κορυφή του όρους συναντάμε επίσης αρκετές δολίνες οι οποίες είναι πλατιές και ρηχές. Ανάλογοι σχηματισμοί παρατηρούνται και στις περιοχές Ψήλωμα και Άσπρο Κούτσουρο που βρίσκονται μεταξύ του όρους Ζαγαρά και Παλιοβούνα.

Η οροσειρά του Ελικώνα αποτελείται κυρίως από ασβεστολιθικά πετρώματα, ενώ στις περιοχές που καλύπτεται από πυκνή βλάστηση αποτελείται από φλύσχη. Στις περιοχές που απαντάται ο φλύσχη παρουσιάζεται μέτρια χαραδρωτική διάβρωση, ενώ στις περιοχές που





Στον Πίνακα 4.2 παρουσιάζεται η έκταση που καλύπτει κάθε κλάση κλίσεων στην περιοχή μελέτης. Από τον πίνακα προκύπτει ότι οι κυρίαρχες κλάσεις με ποσοστό 38,27% και 30,47% είναι οι μέτρια απότομες κλίσεις (12-30%) και οι μέτριες κλίσεις 5-12% αντίστοιχα.

**Πίνακας 4.1:** Υψομετρική ανάλυση της λεκάνης Άσκλης-Δομβραΐνας

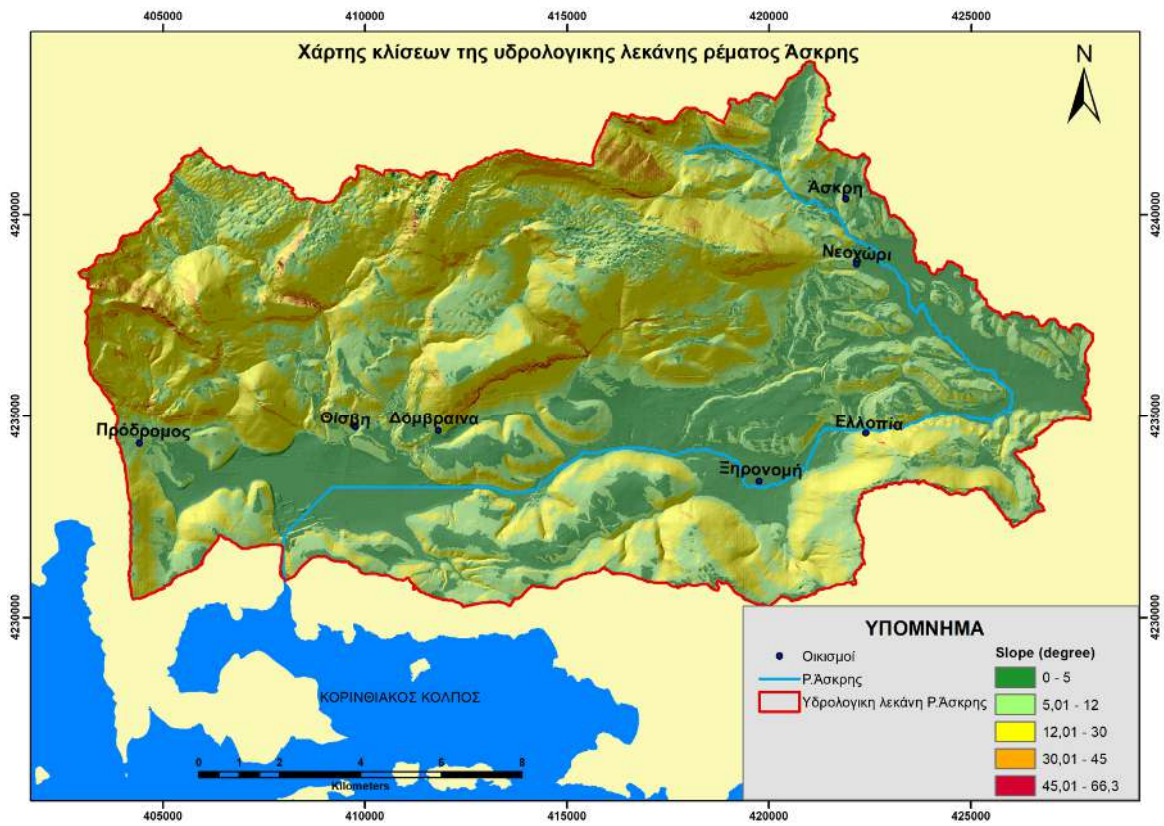
α/α	Κλάσεις Υψομέτρου (m)	Έκταση (Ha)	Ποσοστό (%)
1	0-20	0,71	0,00
2	20-100	7,33	0,03
3	100-200	3119,56	13,87
4	200-300	4541,42	20,19
5	300-400	4418,82	19,64
6	400-500	2426,64	10,79
7	500-800	4192,95	18,64
8	800-1000	2290,188	10,18
9	1000-1300	1298,033	5,77
10	1300-1560	198,9275	0,88

**Πίνακας 4.2:** Ανάλυση των κλίσεων στη λεκάνη Άσκλης-Δομβραΐνας

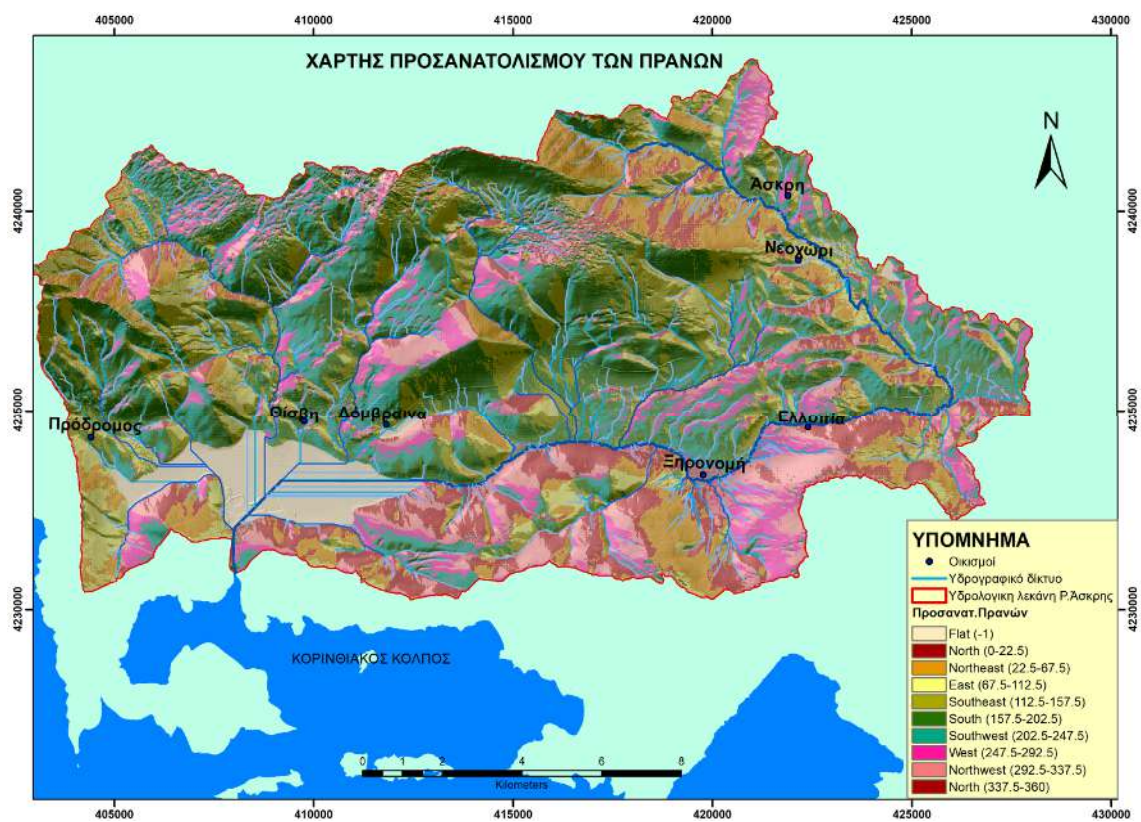
α/α	Κλάσεις κλίσεων (%)	Έκταση (Ha)	Ποσοστό (%)
1	0-5	6.143	27,31
2	5-12	6.853	30,47
3	12-30	8.609	38,27
4	30-45	853	3,79
5	>45	36	0,16
Σύνολο		22.494	100

**Πίνακας 4.3:** Ανάλυση των εκθέσεων της λεκάνης Άσκλης-Δομβραΐνας

α/α	Έκθεση	Έκταση (Ha)	Ποσοστό (%)
1	Επίπεδες	1.011,645	4,50
2	B	2.160,6075	9,60
3	BA	2.517,6375	11,19
4	A	1.956,825	8,70
5	NA	3.038,085	13,51
6	N	4.997,565	22,22
7	NA	2.953,26	13,11
8	Δ	2.037,33	9,06
9	BΔ	1.821,8025	8,10



Σχήμα 4.3: Ψηφιοποιημένος χάρτης κλίσεων (%).



Σχήμα 4.4: Ψηφιοποιημένος χάρτης προσανατολισμού των πρानών (σε μοίρες)



Από την περαιτέρω ανάλυση του μορφολογικού ανάγλυφου της περιοχής προκύπτει ότι το βόρειο ορεινό τμήμα της λεκάνης εμφανίζει μέτρια απότομες έως απότομες κλίσεις και υψομετρική διαφορά 1300 μ. περίπου, ενώ το νότιο τμήμα της εμφανίζει μέτρια απότομες κλίσεις και υψομετρική διαφορά 450 μέτρα. Η γεωμορφολογική αυτή έκφραση σε συνδυασμό με τη λιθολογία της περιοχής, που καλύπτεται κυρίως από ανθρακικά πετρώματα ηλικίας Τριαδικού - Ιουρασικού τα οποία διατηρούν τα μορφολογικά χαρακτηριστικά τους, αποδίδεται κυρίως στην τεκτονική ανύψωση των ανερχόμενων τεμάχων των ρηξιγενών ζωνών της λεκάνης, με κατεύθυνση Α-Δ και στην ύπαρξη έντονων ανενεργών τεκτονικών δομών (πτυχώσεις, επωθήσεις, επιπτεύσεις) στις πλαγιές του Ελικώνα. Αποτέλεσμα αυτών των τεκτονικών διεργασιών είναι η ανύψωση των ορέων Ελικώνα και Κορομπίλι και η δημιουργία έντονου μορφολογικού ανάγλυφου.

Αντίθετα το κεντρικό τμήμα της λεκάνης που εφάπτεται των ρηξιγενών ζωνών εμφανίζει μικρές κλίσεις και αποτελεί τεκτονικό βύθισμα στο οποίο καταλήγει η ροή του ποταμού Άσκηρ. Στο Σχήμα 4.4 διακρίνονται οι εκθέσεις του ανάγλυφου της λεκάνης καθώς και οι επίπεδες περιοχές. Από τον Πίνακα 4.3 προκύπτει ότι οι Ν, ΝΑ και ΝΔ εκθέσεις του ανάγλυφου έχουν ποσοστό 48,8%, ενώ οι Β, ΒΑ και ΒΔ εκθέσεις έχουν ποσοστό 28,90%.

#### 4.3. Ανάπτυξη του υδρογραφικού δικτύου

Ο **ποταμός Άσκηρ** : Ο ποταμός Άσκηρς πηγάζει από τις ανατολικές κλιτύες του όρους Ελικώνα και συγκεκριμένα από τον αυχένα του Ζαγαρά με την Κουρσάρα, στη θέση Πολιάνα. Έχει μήκος 37,9 Km.

Η πρώτη αναφορά στον ποταμό Άσκηρ γίνεται από τον Ησίοδο στο προοίμιο της “Θεογονίας”, στο οποίο αναφέρεται η ύπαρξη δύο ποταμών που ρέουν στον Ελικώνα, ο Περμησσός και ο Ολμειός ποταμός και η δεύτερη αναφορά γίνεται από τον περιηγητή Πausανία, στο έργο του “Ελλάδος Περιήγησις /Τόμος 8-Βοιωτικά” στο οποίο ο ποταμός Άσκηρς αναφέρεται ως Τερμησσός ποταμός.

Η πορεία του ποταμού έχει στην αρχή κατεύθυνση νοτιοανατολική (ΝΑ) έως το νοτιοανατολικό άκρο της λεκάνης (περιοχές Παλαιοκαρναντάς “Σημερινή Ελλοπία” και Στράτι) και στη συνέχεια με κατεύθυνση Δυτική (Δ) διασχίζει την κοιλάδα της Ξηρονομής και το οροπέδιο Λικέρι, νότια των οικισμών Δομβραΐνας και Θίσβης, (παλιά πόλη η οποία στα μέσα του περασμένου αιώνα αποστραγγίστηκε). Από το οροπέδιο Λικέρι με κατεύθυνση νότια (Ν) εκβάλλει στον Κορινθιακό κόλπο (παράκτια περιοχή Αγίου Ιωάννη), κοντά στο εργοστάσιο Σωληνουργεία Κορίνθου-Θίσβης. Πρόκειται για το μοναδικό ποτάμι της Βοιωτίας που δεν εκβάλλει στον Ευβοϊκό κόλπο, αλλά στον Κορινθιακό κόλπο.

Η αλλαγή της πορείας του ποταμού Άσκηρς οφείλεται στην παρουσία ρηγμάτων (Νεοχωρίου, Δομβραΐνας και Ταράτσας) αντίστοιχης διεύθυνσης τα οποία βυθίζουν την περιοχή και δημιουργούν τη τεκτονική λεκάνη που ακολουθεί ο ποταμός.

Στον ποταμό Άσκηρ συμβάλλουν τα ρέματα από τις περιοχές Πεζούλα, Μιγδαλάκι, Άγιο Νικόλαο, Επισκοπή, Προφήτη Ηλία και Βυρόρι. Τα ρέματα της Επισκοπής και του Βυρορίου καθώς και ο Ποταμός Άσκηρς έχουν μόνιμη ροή σχεδόν όλο το έτος.

**Πηγές:** Η λεκάνη απορροής δεν έχει πολλές πηγές, με εξαίρεση το βορειοανατολικό τμήμα της λεκάνης, όπου υπάρχουν οι πηγές Αγαννίπη, που βρίσκεται στη κοιλάδα των Μουσών και η πηγή Ιπποκρήνη ή Κρύο Πηγάδι, που βρίσκεται στις βορειοδυτικές πλαγιές του όρους

Μοτσάρας ή Ζαγαράς. Παρόλο που ολόκληρη σχεδόν η περιοχή του Ελικώνα αποτελείται από ασβεστολιθικά πετρώματα, τα οποία είναι υδατοδιαπερατοί σχηματισμοί, ωστόσο λόγω του θερμού και ξηρού κλίματος και της χαμηλής ποσότητας βροχοπτώσεων στην λεκάνη απορροής δεν υπάρχουν σημαντικά με μόνιμη ροή υδατορέματα. Εξάιρεση αποτελούν οι περιοχές στη κοιλάδα των Μουσών όπου κυριαρχεί ο φλύσχης και επικρατεί η υψηλή πυκνή βλάστηση με έλατα και δρυς.

Ολόκληρη η περιοχή της λεκάνης αποστραγγίζεται στον ποταμό Άσκη, όπου συγκεντρώνεται το σύνολο των διακλαδώσεων του υδρογραφικού δικτύου της ορεινής και ημιορεινής περιοχής. Ο σχηματισμός και η εξέλιξη του υδρογραφικού δικτύου επηρεάζεται από τη λιθολογική σύσταση των πετρωμάτων και την τεκτονική καταπόνηση τους, τη μορφολογία του ανάγλυφου, τη βλάστηση και τις κλιματολογικές συνθήκες (ύψος βροχόπτωσης και εποχική κατανομή του ύψους των βροχοπτώσεων).

Το υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής είναι μερικώς ανεπτυγμένο, λόγω υψηλής υδροπερατότητας των ανθρακικών σχηματισμών, οι οποίοι έχουν έντονα καρστικοποιηθεί (δολίνες και καταβόθρες) και της τεκτονικής παραμόρφωσης που διευκολύνουν την κατείδυση του νερού και τη διαφυγή του προς τη θάλασσα (παράκτιες και υποθαλάσσιες πηγές στις παράκτιες περιοχές Σαράντη, Άγιο Νικόλαο και Αλυκή).

Οι περισσότεροι ρευματικοί κλάδοι της λεκάνης έχουν μικρή και παροδική ροή μόνο κατά τη διάρκεια των έντονων βροχοπτώσεων της υγρής περιόδου.

#### **4.3.1. Ποιοτική και ποσοτική ανάλυση του υδρογραφικού δικτύου**

Η ανάλυση του υδρογραφικού δικτύου περιλαμβάνει την ποσοτική και ποιοτική ανάλυσή του που αναπτύσσεται στη λεκάνη απορροής. Η ανάλυσή του δεν χρησιμοποιείται μόνο για να εκφράσει τα χαρακτηριστικά της δομής του, αλλά χρησιμοποιείται και σαν βάση για την πρόβλεψη της εξέλιξής του, τον προσδιορισμό των περιβαλλοντικών του επιπτώσεων, καθώς και για τον προσδιορισμό της υδρολογικής συμπεριφοράς της λεκάνης απορροής (Βουβαλίδης 2006).

Από την ποιοτική ανάλυση καθορίζεται η μορφή του υδρογραφικού δικτύου, ενώ από την ποσοτική ανάλυση υπολογίζονται ορισμένες μορφομετρικές παράμετροι του υδρογραφικού δικτύου, από τις οποίες λαμβάνονται σημαντικές πληροφορίες για την υδρολογική συμπεριφορά του.

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε το Ψηφιακό Υψομετρικό Μοντέλο υψηλής χωρικής ανάλυσης (Digital Elevation Model, DEM), ανάλυσης πέντε (5) μέτρων, από το οποίο προέκυψαν, μέσω του προγράμματος ArcMap και της εντολής *toolboxes\system toolboxes\spatial analyst tools.tbx\hydrology*, η λεκάνη απορροής του ποταμού Άσκη, οι ισοϋψείς καμπύλες ισοδιάστασης 20 μέτρων και το υδρογραφικό δίκτυο της λεκάνης.

Στη συνέχεια υπολογίστηκαν οι μορφομετρικές παράμετροι της λεκάνης απορροής και του υδρογραφικού δικτύου.

#### **4.3.2. Μορφομετρικές παράμετροι του υδρογραφικού συστήματος**

Οι μορφομετρικές παράμετροι του υδρογραφικού συστήματος διακρίνονται στις μετρούμενες και στις υπολογιζόμενες μορφομετρικές παραμέτρους της λεκάνης απορροής και του υδρογραφικού δικτύου. Από τις μορφομετρικές παραμέτρους έχουμε σαφείς αποδείξεις για

την εξέλιξη της λεκάνης, συμπεριλαμβανομένης της αποδυνάμωσης, της επιφανειακής απορροής και της υπόγειας διήθησης, καθώς και των επιπτώσεων των γεωλογικών σχηματισμών και δομών στην εξέλιξη της λεκάνης.

Οι μετρούμενες παράμετροι της λεκάνης απορροής είναι: το εμβαδόν (A) km<sup>2</sup>, η περίμετρος (P) km, το μήκος (Lb) km, το μέγιστο υψόμετρο (m), ελάχιστο υψόμετρο (m) και μέσο υψόμετρο (m).

Οι παράμετροι υπολογίστηκαν με το πρόγραμμα ArcMap. Συγκεκριμένα, οι δύο πρώτες παράμετροι (εμβαδόν και περίμετρος) υπολογίστηκαν με το Attribute Table του shapefile (πολύγωνο) της λεκάνης απορροής, ενώ οι παράμετροι του υψομέτρου υπολογίστηκαν από το ψηφιακό μοντέλο εδάφους της λεκάνης, επιλέγοντας την ομάδα Statistics από την εντολή Properties/Source/ Property, στην οποία καταγράφονται το ελάχιστο, μέγιστο και μέσο υψόμετρο (Min, Max, Mean) (Τσακίρης 1995), ενώ το μήκος της λεκάνης υπολογίστηκε από το μήκος του κύριου κλάδου της υδρολογικής λεκάνης συν το μήκος μέχρι το βορειότερο άκρο της λεκάνης (Apolon 1963).

**Πίνακας 4.4:** Οι μετρούμενες μορφομετρικές παράμετροι της λεκάνης απορροής.

Παράμετροι	Συμβολισμός	Υπολογισμός
Εμβαδόν της λεκάνης	$A (km^2)$	224,94 Km <sup>2</sup>
Περίμετρος της λεκάνης	$P (km)$	87,151 Km
Μέγιστο μήκος της λεκάνης	$Lb max(km)$	22,00 Km
Μέγιστο υψόμετρο της λεκάνης	$hmax (m)$	1564,05 m
Ελάχιστο υψόμετρο της λεκάνης	$hmin (m)$	0 m
Μέσο υψόμετρο της λεκάνης	$hmean(m)$	475,59 m

Οι υπολογιζόμενες παράμετροι της υδρολογικής λεκάνης είναι:

- α) η μέγιστη υψομετρική διαφορά ή ολικό ανάγλυφο της λεκάνης (Bh),
- β) ο βαθμός ανάγλυφου (Relief ratio) (Rh),
- γ) το πλάτος της λεκάνης (Br),
- δ) η σχετική υψομετρική διαφορά (Rhp),
- ε) ο παράγοντας Σχήματος λεκάνης (RF),
- στ) το υψομετρικό ολοκλήρωμα (Hypsometric Integral) (Hi),
- ζ) η μέση κλίση της λεκάνης (BS),
- η) ο δείκτης κυκλικότητας (Circularity ratio) (Rc) και
- θ) ο δείκτης Επιμήκυνσης (Elongation ratio) (Er).

Οι παράμετροι αυτοί υπολογίζονται χρησιμοποιώντας τις ανωτέρω μετρούμενες παραμέτρους και συγκεκριμένες μαθηματικές εξισώσεις.

α) **Μέγιστη υψομετρική διαφορά ή ολικό ανάγλυφο (Basin relief) (H):** προκύπτει από την διαφορά μεταξύ του χαμηλότερου σημείου λεκάνης απορροής και του υψηλότερου σημείου της (Strahler 1952). Η μέγιστη υψομετρική διαφορά ή ολικό ανάγλυφο της λεκάνης απορροής είναι 1.564 m, ενώ το μέσο υψόμετρο 475,59 m. Σύμφωνα με το σύστημα ταξινόμησης του Dikau (1989) η λεκάνη απορροής χαρακτηρίζεται ως μια λοφώδης έκταση.

β) **Συντελεστής ανάγλυφου (Relief ratio) (Rh):** Είναι ο λόγος του ολικού ανάγλυφου (H) της λεκάνης προς το μέγιστο μήκος της λεκάνης (Lbmax), παράλληλα προς την κύρια

υδρογραφική κοίτη (Schumm 1956). Ο βαθμός αυτός μετράει το συνολικό βαθμό κλίσης της λεκάνης και αποτελεί ένα δείκτη της έντασης των διαβρωτικών διεργασιών που συντελούνται στις κλιτύες της λεκάνης απορροής.

Ο συντελεστής ανάγλυφου για τη λεκάνη είναι 7%, η τιμή αυτή είναι ενδεικτική και δείχνει το συνολικό βαθμό κλίσης της λεκάνης. Από τη τιμή αυτή προκύπτει ότι η ένταση των διαβρωτικών διεργασιών που αναπτύσσονται στις κλιτύες της λεκάνης είναι αρκετά μικρή και οφείλεται στην ανθεκτικότητα των ανθρακικών πετρωμάτων στη διάβρωση.

γ) **Πλάτος της λεκάνης (Br)**: Είναι ο λόγος του εμβαδού της λεκάνης προς το μήκος της λεκάνης. Το πλάτος της λεκάνης είναι 10,22 Km, γεγονός που δείχνει ότι η λεκάνη είναι επιμήκης λόγω των ενεργών ρηγμάτων με κατεύθυνση Α-Δ.

δ) **Σχετική υψομετρική διαφορά (Rhp)**: Είναι ο λόγος του ολικού ανάγλυφου της λεκάνης προς τη περίμετρο της λεκάνης.

ε) **Παράγοντας σχήματος της λεκάνης (RF)**: Είναι ο λόγος του εμβαδού της λεκάνης προς το τετράγωνο του μήκους της λεκάνης.

**Πίνακας 4.5:** Οι υπολογιζόμενες μορφομετρικές παράμετροι της λεκάνης απορροής.

A/A	Παράμετροι	Μαθηματικός τύπος	Υπολογισμός	Μονάδες
1	Μέγιστη υψομετρική διαφορά λεκάνης ή Ολικό ανάγλυφο	$Bh = h_{max} - h_{min} (Km)$	1.564	Km
2	Βαθμός ανάγλυφου	$Rh = Bh(m) / Lb (km)$	7	%
3	Πλάτος της λεκάνης	$Br = A(km^2) / Lb(Km)$	10,22	Km
4	Σχετική υψομετρική διαφορά	$Rhp = Bh(km) / P (km)$	0,02	Km
5	Παράγοντας Σχήματος της λεκάνης	$RF = A(km^2) / Lb^2(km^2)$	0,46	-
6	Υψομετρικό ολοκλήρωμα	$Hi = (h_{mean} - h_{min}) / (h_{max} - h_{min})$	46%	%
7	Μέση κλίση της λεκάνης απορροής	$BS = \Sigma Li * d / A$	11,89	%
8	Δείκτης κυκλικότητας (Circularity ratio)	$Rc = 4\pi A / P^2$	0,37	-
9	Δείκτης Επιμήκυνσης (Elongation ratio)	$Re = 2(A/\pi)^{0,5} / Lb$	0,76	-

στ) **Υψομετρικό ολοκλήρωμα (Hi)**: Το υψομετρικό ολοκλήρωμα εκφράζει με μια τιμή το στάδιο απογύμνωσης της λεκάνης απορροής (Βουβαλίδης 2006). Ορίζεται ως ο λόγος της διαφοράς του ελαχίστου υψομέτρου από το μέσο υψόμετρο προς το ολικό ανάγλυφο (Keller & Pinter 2002) και αντιπροσωπεύει το εμβαδόν της περιοχής κάτω από την υψομετρική καμπύλη. Σύμφωνα με τον Strahler (1952, 1957, 1964) στην περίπτωση που το υψομετρικό ολοκλήρωμα είναι περίπου ίσο με 60% απεικονίζει τη μετάβαση από το στάδιο νεότητας στο στάδιο ωριμότητας της λεκάνης, ενώ στην περίπτωση που είναι ίσο με 35% απεικονίζει τη μετάβαση από το στάδιο ωριμότητας στο στάδιο γήρατος (Αστάρας 1980). Από την τιμή του υψομετρικού ολοκληρώματος προσδιορίζεται η διάβρωση που έχει υποστεί ή που θα υποστεί η λεκάνη απορροής. Η τιμή του υψομετρικού ολοκληρώματος (*hypsometric integral*) είναι

46% και δείχνει ότι η λεκάνη είναι μεταξύ των δυο σταδίων, νεότητας γιατί υπάρχουν ενεργά ρήγματα που εξακολουθούν να δημιουργούν ανάγλυφο, αλλά και ωριμότητας γιατί σε σημαντικό τμήμα της λεκάνης δεν υπάρχουν ενεργές δομές.

ζ) **Μέση κλίση της λεκάνης απορροής (BS)**: Ο λόγος του συνολικού μήκους των ισοϋψών καμπυλών, επί την ισοδιάσταση προς το εμβαδό της λεκάνης (Gregory & Walling 1973). Ο υπολογισμός της μέσης κλίσης έγινε με την επιλογή του αρχείου κλίσεων (slope) της λεκάνης και στη συνέχεια με την επιλογή μέσα από την εργαλειοθήκη ArcToolbox της εντολής Spatial Analyst Tools/ Zonal/ Zonal Statistics table, σε περιβάλλον ArcMap.

Από την παραπάνω επεξεργασία προέκυψε ότι η μέση κλίση της λεκάνης είναι 11,89%. Η τιμή της χαρακτηρίζεται μεγάλη και αντιπροσωπεύει σύμφωνα με την ταξινόμηση των κλίσεων της λεκάνης του Demek (1972) μια περιοχή που χαρακτηρίζεται ότι έχει απότομο κεκλιμένο ανάγλυφο, με κινήσεις μαζών, ισχυρή διάβρωση τύπου καλύμματος και αυλακωτή, με έντονες διαβρωτικές διεργασίες.

η) **Δείκτης κυκλικότητας (Rc)** (Circularity ratio): Είναι ο λόγος του εμβαδού της λεκάνης προς το λόγο του εμβαδού του κύκλου που έχει περίμετρο ίση με την περίμετρο της λεκάνης. Οι τιμές του συντελεστή κυμαίνονται από 0 έως 1, με την τιμή 1 να αντιστοιχεί σε λεκάνη με μορφή τέλειου κύκλου (Miller 1953). Ο δείκτης κυκλικότητας της λεκάνης είναι 0,37 και δείχνει ότι η λεκάνη απορροής είναι επιμήκης και έχει προσανατολισμένη διεύθυνση ροής (Reddy et al. 2004, Χαριζόπουλος 2013). Η τιμή της κυκλικότητας μας επιβεβαιώνει ότι η διαμόρφωση της κεντρικής κοίτης του ποταμού Άσκρης έχει βοηθηθεί από την παρουσία ενεργών ρηγμάτων με κατεύθυνση Α-Δ.

θ) **Δείκτης επιμήκυνσης (Re)** (Elongation ratio): Ο λόγος επιμήκυνσης είναι μία από τις κύριες ιδιότητες της λεκάνης. Ο λόγος επιμήκυνσης (Re) ορίζεται από τον Schumm (1956) ως ο λόγος της διαμέτρου ενός κύκλου που έχει εμβαδόν ίσο με το εμβαδό της λεκάνης προς το μέγιστο μήκος λεκάνης απορροής:

$$Re = Dc/Lb \text{ ή } Re = 2(A/\pi)^{0,5} / Lb$$

Από το λόγο επιμήκυνσης παρέχονται πληροφορίες σχετικά με το σχήμα και τη μορφή της λεκάνης καθώς και στοιχεία σχετικά με την ύπαρξη ή μη τεκτονικών κινήσεων στην περιοχή μελέτης. Ο λόγος επιμήκυνσης κυμαίνεται από 0 έως 1,57. Η τιμή 1,57 αντιπροσωπεύει λεκάνη με ιδανικό σχήμα κύκλου, ενώ η τιμή 0 την επιμήκης λεκάνη. Ο δείκτης επιμήκυνσης του λεκάνης είναι 0,76 και δείχνει ότι το σχήμα της λεκάνης είναι επίμηκες.

Η επιμήκης δομή της λεκάνης σχετίζεται άμεσα με την ρηξιγενή τεκτονική που έχει επιδράσει στην διαμόρφωση της περιοχής. Η ύπαρξη των ενεργών ρηγμάτων που εντοπίζονται στις περιοχές Δομβραΐνας, Νεοχωρίου, Ταράτσας κ.λπ., με επικρατούσα διεύθυνση Α-Δ αποτελούν τον κύριο παράγοντα στην διαμόρφωση του γενικού άξονα ανάπτυξης της λεκάνης που χαρακτηρίζεται από αντίστοιχη ΑΔ-διεύθυνση.

Στον Πίνακα 4.5 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά οι μορφομετρικές παράμετροι της λεκάνης, οι μαθηματικοί τύποι, οι μονάδες μέτρησης που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό των μορφομετρικών παραμέτρων, καθώς και οι τιμές τους για τη λεκάνη Άσκρης-Δομβραΐνας.

#### 4.3.3. Υψομετρική καμπύλη

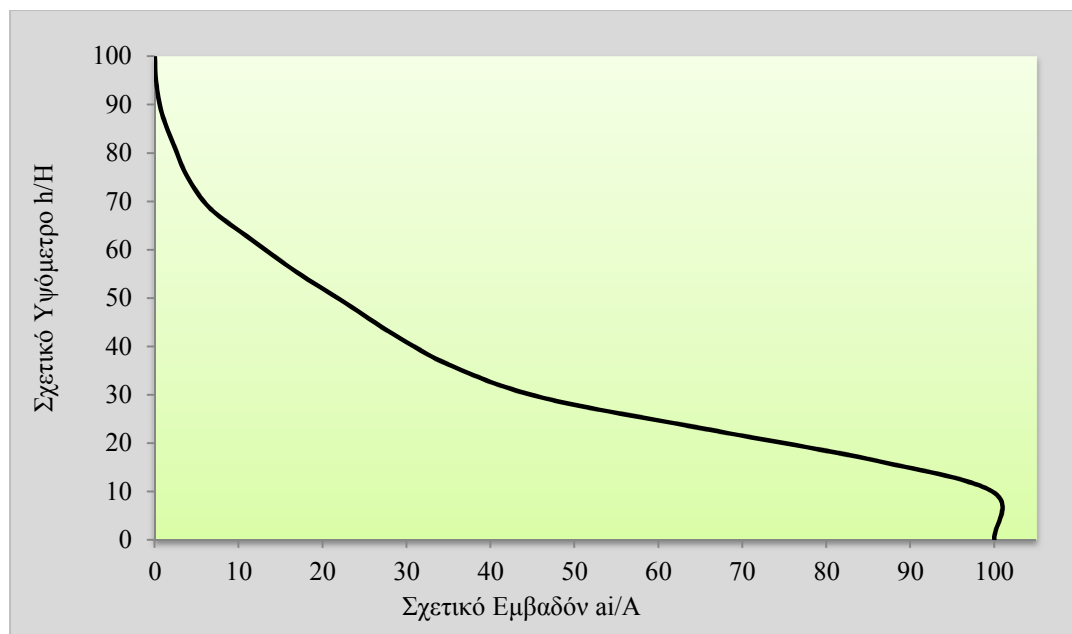
Για την ανάλυση του ανάγλυφου της λεκάνης απορροής υπολογίστηκε το σχήμα της υψομετρικής καμπύλης της. Η υψομετρική καμπύλη δείχνει την κατανομή της μάζας του

ανάγλυφου μέσα στη λεκάνη, η οποία ορίζεται από τον επιφανειακό υδροκρίτη και δύο επίπεδα, το επίπεδο που διέρχεται από το στόμιο εξόδου της λεκάνης και το επίπεδο που διέρχεται από το υψηλότερο σημείο του υδροκρίτη (Strahler 1952, Keller & Pinter 2000, Βουβαλίδης, 2006).

Γενικά η υψομετρική καμπύλη περιγράφει τη λεκάνη απορροής σε μία κατά μήκος τομή (Αστάρας 1980). Για να κατασκευάσουμε την υψομετρική καμπύλη, τοποθετήθηκαν στον άξονα  $x$  οι τιμές  $a_i/A$ , όπου  $a_i$  είναι το επιμέρους κάθε φορά αθροιζόμενο εμβαδό της επιφάνειας και  $A$  το ολικό εμβαδό της λεκάνης, ενώ στον άξονα  $y$  οι τιμές  $h/H$ , όπου  $h$  η υψομετρική διαφορά μεταξύ της μετρούμενης επιφάνειας και του στομίου της λεκάνης και  $H$  η υψομετρική διαφορά μεταξύ του υψηλότερου σημείου της λεκάνης και του χαμηλότερου αυτής ( $H_{max}-H_{min}$ ). Η τιμή  $a/A$  κυμαίνεται από 100 στο χαμηλότερο σημείο της λεκάνης ( $h/H=0$ ) έως 0 στο υψηλότερο σημείο της λεκάνης όπου ( $h/H=100$ ) (Πίνακας 4.6).

**Πίνακας 4.6:** Σχετικά εμβαδά και σχετικά υψόμετρα για τη Λεκάνη του π. Άσκηης.

$a_i/A$	$h/H$	$a_i/A$	$h/H$
100,00	0,00	16,83	55,48
99,96	9,79	11,60	62,01
86,09	16,32	6,64	68,54
65,90	22,85	3,90	75,07
46,26	29,37	2,31	81,59
35,47	35,90	0,88	88,12
28,54	42,43	0,20	94,65
22,76	48,96	0,03	100,00



**Σχήμα 4.5:** Υψομετρική καμπύλη της λεκάνης Άσκηης-Δομβραΐνας.

Από τη μορφή της υψομετρικής καμπύλης (Σχήμα 4.5) προκύπτει ότι στα μεγαλύτερα υψόμετρα επικρατούν μεγάλες κλίσεις και απότομη μεταβολή του ανάγλυφου, στα μεσαία υψόμετρα επικρατούν ηπιότερες κλίσεις και στα χαμηλότερα υψόμετρα, στους πρόποδες των ορεινών όγκων και λόφων επικρατεί ξανά το απότομο ανάγλυφο.

#### 4.3.4. Αρίθμηση του υδρογραφικού δικτύου

Για την αρίθμηση του υδρογραφικού δικτύου έχουν προταθεί διάφοροι τρόποι μέτρησης από τους επιστήμονες (Horton 1945, Strahler 1952, Scheidegger 1965, Shreve 1967). Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκε η αρίθμηση κατά Strahler (1952). Σύμφωνα με την αρίθμηση αυτή, τα ρέματα που δεν δέχονται νερό από κανένα άλλο κλάδο χαρακτηρίζονται ως 1<sup>ης</sup> τάξεως. Η σύνδεση δύο κλάδων 1<sup>ης</sup> τάξης δημιουργεί ένα νέο κλάδο 2<sup>ης</sup> τάξης κ.ο.κ. Στην περίπτωση που συνδεθούν δύο κλάδοι διαφορετικής τάξης, ο νέος κλάδος που θα προκύψει κατάντη αυτών, θα ακολουθεί πάντα την αρίθμηση του μεγαλύτερου κλάδου.

Η ανάλυση του υδρογραφικού δικτύου της υδρολογικής λεκάνης Άσκλης-Δομβραΐνας έδειξε ότι αποτελείται συνολικά από 320 κλάδους (Πίνακας 4.7). Επίσης, έδειξε ότι το υδρογραφικό δίκτυο της λεκάνης είναι 5<sup>ης</sup> τάξεως και ανήκει στο σύνθετο τύπο υδρογραφικών δικτύων, αποτελούμενο από μορφές δενδριτικού τύπου στους κοκκώδεις σχηματισμούς, στους σχιστόλιθους και στον φλύσχη, παράλληλου και κλιμακωτού-καρστικού τύπου στα ανθρακικά πετρώματα. Ο κύριος κλάδος της λεκάνης (ποταμός Άσκλης) έχει διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ και στη συνέχεια Α-Δ, παράλληλα στις ρηξιγενείς ζώνες, ενώ οι δευτερεύοντες κλάδοι έχουν κυρίως κατεύθυνση Β-Ν και ΒΔ-ΝΑ.

Κύρια χαρακτηριστικά της λεκάνης είναι οι παράλληλες μορφές των δευτερευόντων κλάδων στις περιοχές όπου επικρατούν μεγάλες κλίσεις, κάθετα προς τις νότιες κλιτύες του όρους Ελικώνα και τις ρηξιγενείς ζώνες, καθώς και το μήκος των κλάδων που βρίσκονται βόρεια της κεντρικής κοίτης, το οποίο είναι αρκετά μεγαλύτερο σε σχέση με το μήκος των κλάδων που βρίσκονται νότια της κοίτης.

**Πίνακας 4.7:** Αρίθμηση των κλάδων κατά Strahler

<b>Τάξη κλάδων (u)</b>	<b>Αριθμός κλάδων (Nu)</b>	<b>Μήκος κλάδων (Lu) Km</b>
1ης	242	180,79
2ης	60	68,22
3ης	13	53,07
4ης	4	17,4
5ης	1	10,82
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>		<b>330,31</b>

Ο κύριος κορμός του δικτύου είναι η κοίτη του ποταμού Άσκλης, η οποία αποτελεί το μεγαλύτερο κλάδο (4<sup>η</sup> και 5<sup>η</sup> τάξη) του υδρογραφικού δικτύου της λεκάνης, στην οποία συγκεντρώνονται τα απορρέοντα ύδατα της λεκάνης και τα ιζήματα μεταφοράς. Στη συνέχεια μετά την αρίθμηση του υδρογραφικού δικτύου υπολογίστηκαν οι μορφομετρικές παράμετροι αυτού, όπως: Α) η υδρογραφική συχνότητα, Β) η υδρογραφική πυκνότητα κ.α.:

**Α) Υδρογραφική υφή:** Η υδρογραφική υφή σε ένα υδρογραφικό δίκτυο καθορίζεται από την ανάπτυξη των κλάδων της υδρογραφικής λεκάνης και εξαρτάται από δύο παράγοντες: α) την υδρογραφική πυκνότητα (Du) και β) την υδρογραφική συχνότητα (Fu):

**α) Υδρογραφική πυκνότητα (Du):** Η υδρογραφική πυκνότητα (Drainage density) εντός υδρογραφικού δικτύου τάξης u, σύμφωνα με τον Horton (1932,1945), ορίζεται ως «ο λόγος του συνολικού μήκους όλων των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου μιας λεκάνης απορροής

τάξης  $u$  προς το εμβαδόν της λεκάνης αυτής». Ο υπολογισμός της υδρογραφικής πυκνότητας εκφράζεται με τη μαθηματική σχέση:

$$Dd = \frac{(\Sigma L)u}{A}$$

$(\Sigma L)u$  = το άθροισμα όλων των κλάδων της λεκάνης τάξης  $u$  σε Km

$A$  = το εμβαδόν της λεκάνης τάξης  $u$  σε Km<sup>2</sup>

Η υδρογραφική πυκνότητα περιγράφει το βαθμό ανάπτυξης του δικτύου αποστράγγισης και αποτελεί ένα ποιοτικό μέτρο έκφρασης όλων εκείνων των παραγόντων από τους οποίους εξαρτάται, όπως το γεωλογικό υπόβαθρο, το κλίμα, τη βλάστηση, το γεωμορφολογικό ανάγλυφο μιας περιοχής κ.λπ. (Melton 1958, Sotiriadis & Astaras 1977, Kelson & Wells 1989, Παυλόπουλος & Καρύμπαλης 2003, από Ψωμιάδη 2010).

Η τιμή της υδρογραφικής πυκνότητας είναι αρκετά υψηλή σε ξηρές περιοχές με αραιή βλάστηση, σε περιοχές όπου επικρατούν ισχυρές καταιγίδες (Gregory 1973, Woodyer and Brookfield 1966), καθώς και σε λεκάνες απορροής με πυκνό υδρογραφικό δίκτυο και με σχετικά γρήγορη υδρολογική απόκριση (Melton 1957).

Από μετρήσεις που έχουν γίνει από επιστήμονες της υδρογραφικής πυκνότητας σε ένα ευρύ φάσμα γεωλογικών και κλιματολογικών τύπων, διαπιστώθηκε ότι η υδρογραφική πυκνότητα σχετίζεται άμεσα με το κίνδυνο πλημμύρας σε μια λεκάνη, επειδή αυτή έχει άμεση επίδραση στο χρόνο συγκέντρωσης του νερού και στη ταχύτητα ροής του στον κύριο κλάδο της λεκάνης.

Στην περίπτωση που η τιμή της υδρογραφικής πυκνότητας είναι μικρή, ο χρόνος συγκέντρωσης του νερού στο κύριο κλάδο είναι μεγάλος, επομένως υπάρχουν πολλές ευκαιρίες διείσδυσης του νερού στο έδαφος, ενώ όταν η τιμή της είναι μεγάλη ο χρόνος συγκέντρωσης του νερού είναι μικρός και η ταχύτητα ροής του νερού είναι αρκετά μεγάλη.

Επίσης, σημαντικός είναι ο ρόλος της ως δείκτης της γεωλογίας μιας περιοχής. Οι διαπερατοί γεωλογικοί σχηματισμοί καθώς και τα καρστικά πετρώματα έχουν χαμηλή τιμή στην υδρογραφική πυκνότητα, ενώ οι αδιαπέρατοι γεωλογικοί σχηματισμοί έχουν υψηλή τιμή στην υδρογραφική πυκνότητα.

Τέλος, σημαντική είναι η επίδραση όσον αφορά τη βλάστηση. Τα άγονα εδάφη με χαμηλό ποσοστό δασοκάλυψης είναι πολύ επιρρεπή στη διάβρωση του εδάφους και ως εκ τούτου χαρακτηρίζονται από υψηλή υδρογραφική πυκνότητα και υψηλή απορροή, ενώ τα εδάφη που καλύπτονται με υψηλή βλάστηση χαρακτηρίζονται από χαμηλή υδρογραφική πυκνότητα. (Nag and Chakraborty, 2003).

Η υδρογραφική πυκνότητα στη λεκάνη είναι ίση με:

$$Dd = 330,31 \text{ Km} / 224,94 \text{ Km}^2 = 1,47 \text{ Km}^{-1}.$$

Η τιμή της δεν είναι υψηλή και αυτό οφείλεται στο ανάγλυφο της λεκάνης, στην διαπερατότητα των ανθρακικών πετρωμάτων που καταλαμβάνουν το μεγαλύτερο τμήμα της λεκάνης καθώς και στην πυκνή σκληροφυλική βλάστηση που εμφανίζεται σε ένα μεγάλο τμήμα της λεκάνης.

**β) Υδρογραφική συχνότητα (Stream frequency) :** Η υδρογραφική συχνότητα σύμφωνα με τον Horton (1932, 1945) εκφράζει τον αριθμό των ρεμάτων ανά μονάδα επιφάνειας:

$$F_s = \Sigma N(u) / A \text{ (Km}^{-2}\text{)} = 1,42 \text{ (Km}^{-2}\text{)}$$



Αποτελεί μια συμπληρωματική μέτρηση της υδρογραφικής υφής του ανάγλυφου, η οποία όμως είναι ανεξάρτητη από την υδρογραφική πυκνότητα, επειδή εξαρτάται από τον αριθμό των ρεμάτων και όχι από το μήκος τους. Ωστόσο, αποτελεί μια σημαντική παράμετρο, η οποία μας δίνει πληροφορίες για τις διαδικασίες απορροής στη λεκάνη και η οποία έχει άμεση σχέση με την διαπερατότητα των πετρωμάτων, το ανάγλυφο της περιοχής και το κατακερματισμό των πετρωμάτων της (Ψωμιάδης 2010).

Στην περιοχή της λεκάνης η τιμή της υδρογραφικής συχνότητας είναι αρκετά μικρή ( $1,42\text{Km}^{-2}$ ), γεγονός που υποδηλώνει ότι στην περιοχή εμφανίζονται μέτριου μήκους κλάδοι και μέτρια επιφανειακή απορροή, λόγω της διαπερατότητας των ανθρακικών πετρωμάτων και της καρστικοποίησής τους. Στον Πίνακα 4.8 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά οι τιμές των μορφομετρικών παραμέτρων του υδρογραφικού δικτύου.

**Πίνακας 4.8:** Μορφομετρικές παράμετροι υδρογραφικού δικτύου του ποταμού Άσκηης

Παράμετροι	Συμβολισμός	Μονάδες μέτρησης	Υπολογισμός
Αριθμός κλάδων ρεμάτων	$\Sigma(\text{Nu})$		320
Συνολικό μήκος ρεμάτων	$\Sigma(\text{Lu})$	km	330,31
Μήκος κύριου ρέματος	Lm	km	22
Υδρογραφική πυκνότητα	$D= \Sigma L(u)/A_u$	$\text{Km}^{-1}$	1,47
Υδρογραφική συχνότητα	$F= \Sigma N(u)/A_u$	$\text{Km}^{-2}$	1,42

Για την εφαρμογή του 1<sup>ου</sup> και του 2<sup>ου</sup> νόμου του Horton στη λεκάνη απορροής π. Άσκηης υπολογίστηκαν: α) ο συντελεστής διακλάδωσης (Rb) και β) ο λόγος μήκους κλάδων (RL).

**α) Ο συντελεστής διακλάδωσης (bifurcation ratio) (Rb):** «Είναι ο λόγος μεταξύ του αριθμού των κλάδων μιας δεδομένης τάξης δια του αριθμού των κλάδων της επόμενης τάξης» (Λαμπράκης Ν., Νικολακόπουλος Κ, Κατσάνου Κ. 2014).

$$R_b = N_u / N_{(u+1)}$$

όπου :

Rb :ο συντελεστής διακλάδωσης του υδρογραφικού δικτύου.

$N(u)$ : είναι το πλήθος των κλάδων τάξης u,

$N(u+1)$ : το πλήθος των κλάδων της αμέσως ανώτερης τάξης

Οι τιμές του συντελεστή διακλάδωσης σε φυσικά αναπτυσσόμενα δίκτυα κυμαίνεται από 3 έως 5 (Chorley 1957, Abrahams 1984, Rodriguez-Iturbe and Rinaldo 1997). Όταν οι τιμές του συντελεστή διακλάδωσης είναι μεγαλύτερες από πέντε (5) προκύπτει ότι η λεκάνη απορροής έχει έντονη τεκτονική δραστηριότητα, ενώ όταν οι τιμές του συντελεστή διακλάδωσης είναι μικρότερες από τρία (3) προκύπτει ότι στη λεκάνη υφίσταται ανομοιογενή ανάπτυξη του υδρογραφικού δικτύου. Οι τιμές του συντελεστή διακλάδωσης παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.9.

**β) Ο λόγος μήκους κλάδων (RL):** «είναι ο λόγος του μέσου μήκους των κλάδων μιας δεδομένης τάξης ρεύματος δια του μέσου μήκους των κοιτών της αμέσως προηγούμενης τάξης» (Λαμπράκης Ν., Νικολακόπουλος Κ, Κατσάνου Κ. 2014).

$$RL = \bar{L}_u / \bar{L}_{u-1}$$

όπου :

$\bar{L}_u$ : Το μέσο μήκος των κλάδων μιας τάξης

$\bar{L}_{u-1}$  : Το μέσο μήκος της προηγούμενης τάξης

RL: Ο μέσος λόγος του μήκους των κλάδων

Οι τιμές του λόγου του μήκους κλάδων ανά τάξη παρουσιάζονται στο Πίνακα 4.10. Οι δύο μορφομετρικές παράμετροι χρησιμοποιούνται για την εφαρμογή των δύο πρώτων νόμων του Horton.

#### 4.3.4.1. Εφαρμογή 1ου Νόμου Horton (νόμος αριθμού κλάδων)

Σύμφωνα με το 1<sup>ο</sup> νόμο του Horton «Ο αριθμός των διαδοχικών μικρότερης τάξης κλάδων ενός υδρογραφικού δικτύου τείνει να σχηματίζει μία αύξουσα γεωμετρική ακολουθία με πρώτο όρο τη μονάδα. Η ακολουθία αυτή έχει για λόγο τον συντελεστή διακλάδωσης (Rb), που ισούται με τον λόγο του αριθμού των κλάδων μιας τάξης προς τον αριθμό των κλάδων της αμέσως μεγαλύτερης τάξης» (Λαμπράκης Ν., Νικολακόπουλος Κ, Κατσάνου Κ. 2014) και εκφράζεται από τη σχέση:

$$Nu = Rb^{K-u}$$

Όπου:

Nu: η ιδανική τιμή του αριθμού των κλάδων τάξεως u,

Rb: ο μέσος λόγος διακλάδωσης

K: η μέγιστη τάξη των κλάδων, u: η ζητούμενη τάξη των κλάδων

Για την εφαρμογή του πρώτου νόμου μετρήθηκε ο αριθμός των κλάδων κάθε τάξης u, στη συνέχεια υπολογίστηκε ο λόγος διακλάδωσης μεταξύ των διαφορετικών τάξεων κλάδων και ο μέσος λόγος διακλάδωσης  $\bar{Rb}$  για το υδρογραφικό δίκτυο και ακολούθως με τη χρήση του μέσου λόγου διακλάδωσης και του πρώτου νόμου του Horton υπολογίστηκε ο ιδανικός αριθμός κλάδων ανά τάξη καθώς και οι αποκλίσεις των πραγματικών αριθμών των κλάδων από τις αντίστοιχες ιδανικές τιμές (Πίνακας 4.9).

Από τις τιμές του Πίνακα 4.9 προκύπτει ότι οι αριθμοί των κλάδων των τεσσάρων τάξεων (1<sup>η</sup>, 2<sup>η</sup>, 4<sup>η</sup> και 5<sup>η</sup>) δεν έχουν σημαντικές αποκλίσεις από τις ιδανικές τιμές. Το γεγονός αυτό δείχνει ότι το υδρογραφικό δίκτυο της λεκάνης δεν απέχει πολύ από την ιδανική ανάπτυξη που θα επέτρεπε τη βέλτιστη αποστράγγισή του (Κατσέλης 2008, Χαριζόπουλος 2013).

Η τιμή του συντελεστή διακλάδωσης (3,97) είναι υψηλή και σχετίζεται με την τεκτονική καταπόνηση των πετρωμάτων και την αύξηση της επιφανειακής ροής στη λεκάνη απορροής.

Η εξίσωση που εκφράζει το 1<sup>ο</sup> Νόμο του **Horton** για το υδρογραφικό δίκτυο της λεκάνης απορροής είναι εκθετική και έχει τη μορφή :

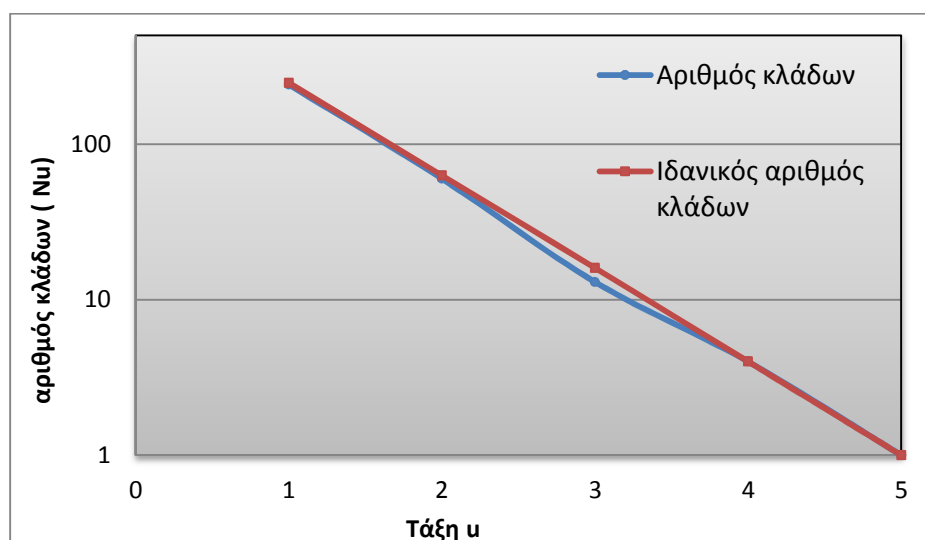
$$Y = a e^{dx}$$

Όπου ο κατακόρυφος άξονας είναι λογαριθμικός και εκφράζει το λογάριθμο του αριθμού των κλάδων (Nu) και του ιδανικού αριθμού κλάδων, ενώ ο οριζόντιος άξονας είναι αριθμητικός και εκφράζει την τάξη των κλάδων (u).

Από την προβολή των τιμών των αριθμών των κλάδων κάθε τάξης του δικτύου στο ημιλογαριθμικό διάγραμμα προκύπτει η γραφική παράσταση, όπως αυτή απεικονίζεται στο Σχήμα 4.6.

**Πίνακας 4.9:** Σχέση μεταξύ του αριθμού κλάδων του υδρογραφικού δικτύου της λεκάνης του π. Άσκηρ και των ιδανικών τιμών ανά τάξη, σύμφωνα με τον 1<sup>ο</sup> νόμο του Horton.

Τάξη	Αριθμός κλάδων	Λόγος διακλάδωσης	Μέσος λόγος διακλάδωσης	Ιδανική τιμή	Απόκλιση από την ιδανική τιμή
(u)	(Nu)	(Rb)	$\overline{Rb}$	$Nu = \frac{Rb}{k^u}$	(%)
1	242	4,03	3,97	248	-2,58
2	60	4,62		63	-4,11
3	13	3,25		16	-17,52
4	4	4,00		4	0,00
5	1			1	0,00



**Σχήμα 4.6:** Διάγραμμα γραφικής παράστασης των αποκλίσεων του αριθμού των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου του π. Άσκηρ από τις ιδανικές τιμές ανά τάξη.

#### 4.3.4.2. Εφαρμογή 2ου Νόμου Horton (Νόμος του μήκους των κλάδων)

Σύμφωνα με το 2<sup>ο</sup> νόμο του Horton: «Τα αθροιστικά μέσα μήκη των διαδοχικά μεγαλύτερης τάξης κλάδων ενός υδρογραφικού δικτύου τείνουν να σχηματίζουν μία αύξουσα γεωμετρική ακολουθία με πρώτο όρο το μέσο μήκος των κλάδων πρώτης τάξης και λόγο, το λόγο του μήκους των κλάδων (RL) (Λαμπράκης Ν., Νικολακόπουλος Κ, Κατσάνου Κ.,2014).

Η μαθηματική έκφραση του 2<sup>ου</sup> νόμου είναι:  $\overline{\Sigma Lu} = \overline{L1} \overline{RL}^{u-1}$

Όπου:

$\overline{\Sigma Lu}$  : η ιδανική τιμή του μήκους των κλάδων τάξεως u

$\overline{RL}$  : ο μέσος λόγος του μήκους όπου ( $RL = \overline{L_u} / \overline{L_{u-1}}$ )

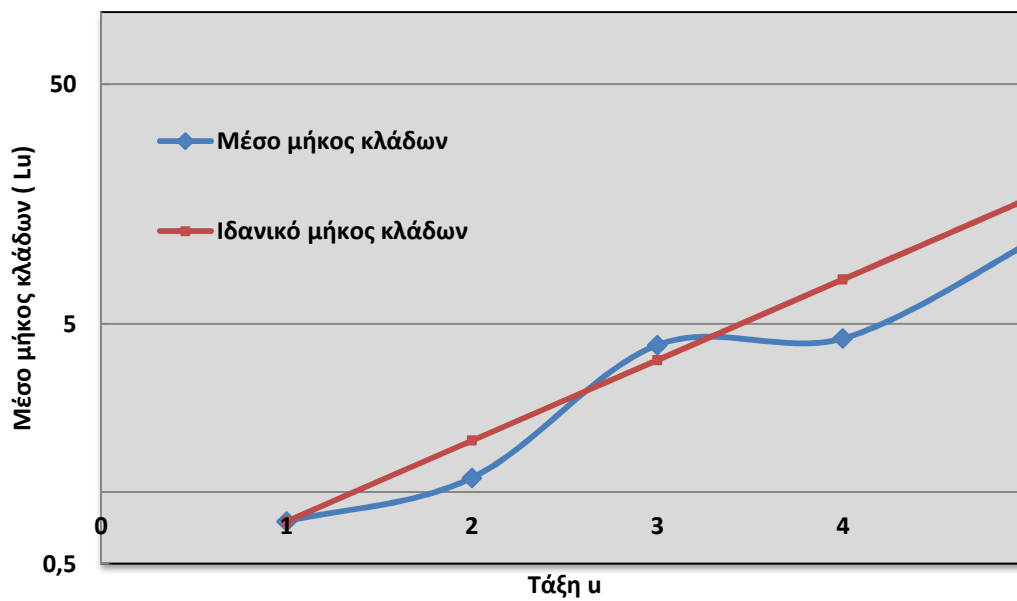
$\overline{L1}$  : το μέσο μήκος του κλάδου 1<sup>ης</sup> τάξης

**u** : η ζητούμενη τάξη

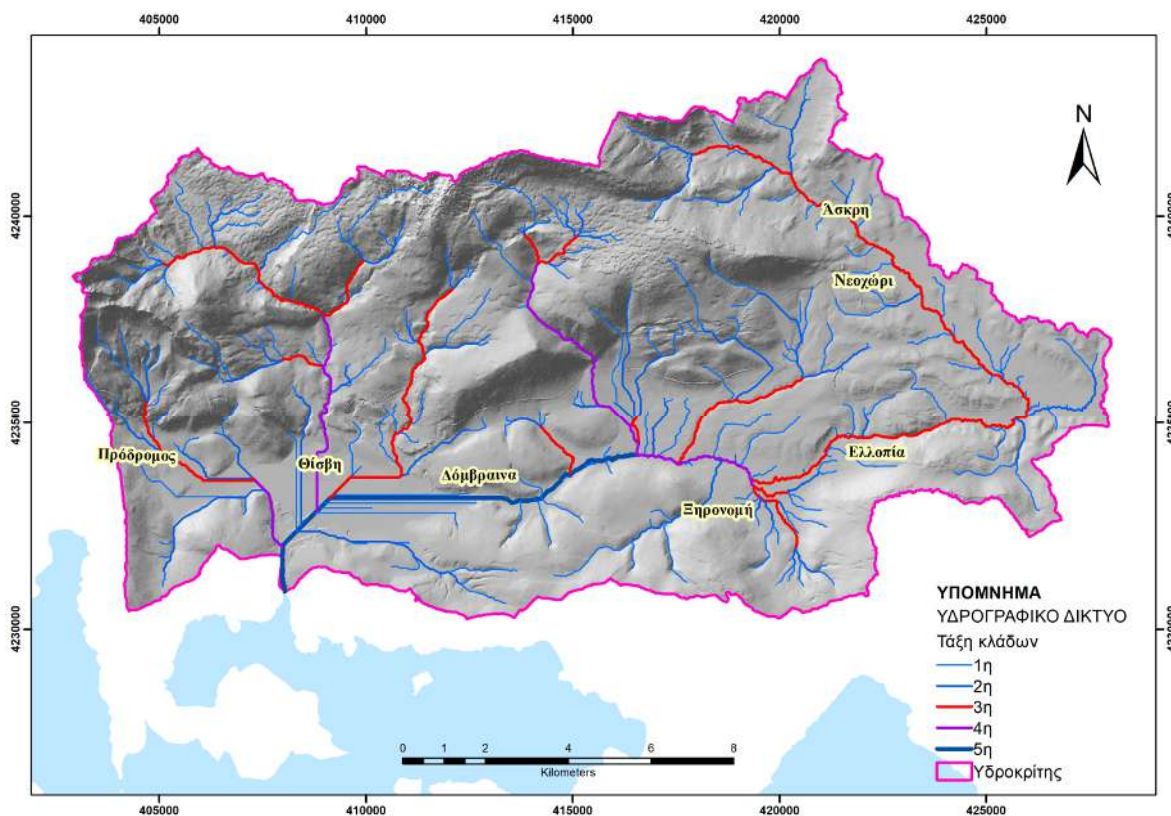
Για την εφαρμογή του δεύτερου νόμου του Horton στο υδρογραφικό δίκτυο, μετρήθηκε το μήκος των κλάδων κάθε τάξης και υπολογίστηκε το μέσο πραγματικό μήκος των κλάδων κατά τάξη, ο λόγος μήκους μεταξύ των διαδοχικών τάξεων και ο μέσος λόγος διακλάδωσης του υδρογραφικού δικτύου. Στη συνέχεια, εφαρμόζοντας το νόμο του Horton, υπολογίστηκαν οι ιδανικές τιμές των μηκών των κλάδων κατά τάξη και η απόκλιση των ιδανικών τιμών από τις πραγματικές τιμές των μηκών των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου κατά τάξη.

**Πίνακας 4.10.:** Σχέση μεταξύ του μέσου μήκους των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου της λεκάνης Άσκηης, των ιδανικών τιμών ανά τάξη, και την απόκλιση από τις ιδανικές τιμές (%), σύμφωνα με τον 2<sup>ο</sup> νόμο του Horton.

Τάξη	Μήκος κλάδων (Km)	Λόγος μήκους	Μέσος λόγος μήκους	Ιδανικό μήκος κλάδων (Km)	Απόκλιση από την ιδανική τιμή (%)
(u)	(Lu)	$RL = \overline{L_u} / \overline{L_{u-1}}$	$\overline{RL}$	$\overline{Lu} = \overline{L1} \overline{RL}^{u-1}$	
1	0,75	1,52	2,17	0,75	0,00
2	1,14			1,63	-30,14
3	4,08	3,59		3,53	+15,59
		1,07		7,66	-43,24
4	4,35	2,49		16,63	-34,94
5	10,82				



**Σχήμα 4.7:** Γραφική παράσταση των αποκλίσεων του μέσου μήκους των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου της λεκάνης από τις ιδανικές τιμές ανά τάξη.



**Σχήμα 4.8:** Υδρογραφικού δικτύου της λεκάνης απορροής π. Άσκη

Ο μέσος συντελεστής μήκους (RL) για το υδρογραφικό δίκτυο του ποταμού Άσκηρς είναι 2,17 (Πίνακας 4.10). Από τον Πίνακα 4.10 προκύπτουν αρνητικές τιμές των αποκλίσεων μεταξύ των πραγματικών τιμών και των ιδανικών τιμών των μηκών των κλάδων στις τάξεις

2ης, 4ης και 5<sup>ης</sup>, γεγονός που δείχνει την έλλειψη μήκους σε αυτές τις τάξεις, η οποία θα οδηγούσε στην ομαλή αποστράγγιση της λεκάνης. Οι αρνητικές τιμές οφείλονται κυρίως στους καρστικούς ασβεστολιθικούς σχηματισμούς οι οποίοι ευνοούν την κατείσδυση έναντι της επιφανειακής απορροής, η οποία δεν βοηθά στην ανάπτυξη μεγάλων μηκών στους κλάδους, ενώ η θετική απόκλιση στους κλάδους της 3ης τάξης υποδηλώνει την νεοτεκτονική δράση στην περιοχή μελέτης.

#### **4.4. Καρστική γεωμορφολογία**

Στα μέσα του 19ου αιώνα, οι γεωλόγοι της Αυστρίας μελετώντας την υδρολογία στην περιοχή του Καρστ (περιοχή της Σλοβενίας) διαπίστωσαν ότι οι επιφανειακές ροές εξαφανίζονταν σε σπηλιές ή τρύπες καθώς και ότι οι ευρύχωρες πεδιάδες πλημμύριζαν συχνά κατά τους ανοιξιάτικους μήνες, γεγονός που δεν ήταν ευνοϊκό για τις καλλιέργειες. Ο Von Mojsisovics (1880) ήταν ίσως ο πρώτος από αυτούς που θεωρούσε την περιοχή του Καρστ ως μια περιοχή με ιδιαίτερα φυσιογραφικά χαρακτηριστικά και με μια συγκεκριμένη κυρίως υπόγεια υδρολογία.

Μετά από αυτόν, πολλοί γερμανοί συγγραφείς αξιοποίησαν τις βασικές έννοιες που ορίστηκαν στην περιοχή του Καρστ σε μεγάλες εκτάσεις της Κροατίας και της Ερζεγοβίνης (Cvijic 1893) και της Ρωσίας (Kruber 1900) που καλύπτονταν από ανθρακικά πετρώματα. Στη συνέχεια ο όρος «Καρστ» έγινε η κοινή βασική έκφραση, ώστε να προσδιοριστούν όλες οι περιοχές που εμφανίζουν ιδιαίτερα γεωμορφολογικά και υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά και κυρίως οι περιοχές που καλύπτονται με ανθρακικά πετρώματα.

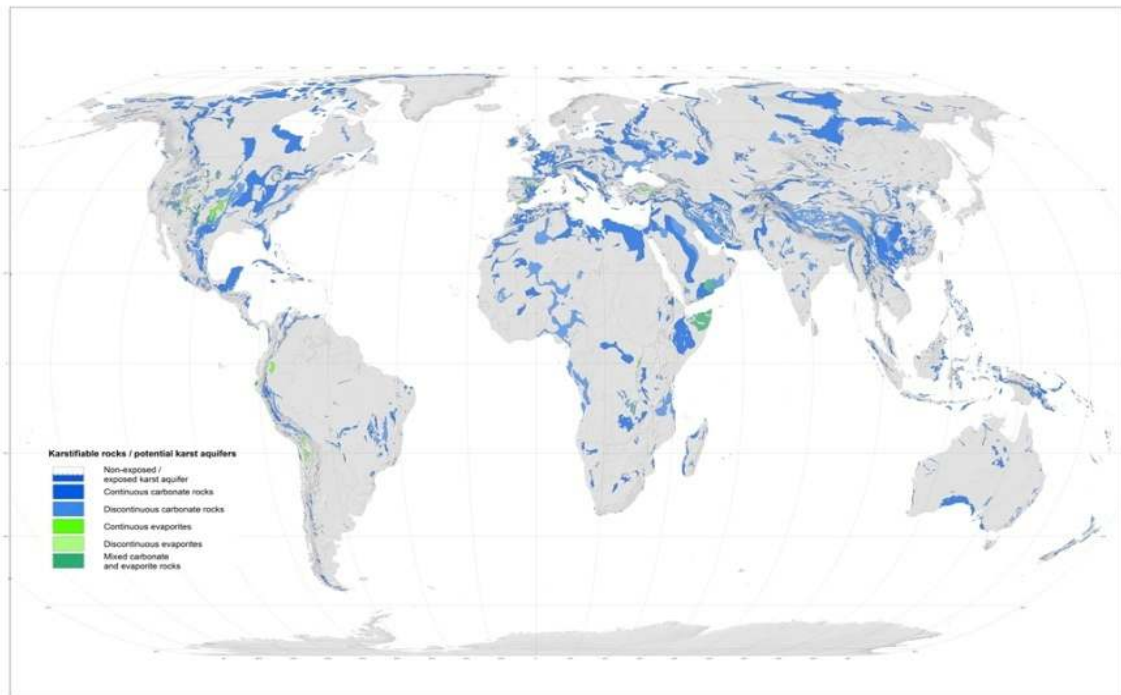
Το καρστικό ανάγλυφο δημιουργείται σε ανθρακικά κυρίως πετρώματα (ασβεστόλιθοι, δολομίτες, μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι, ασβεστολιθικά κροκαλολατυποπαγή) και στους εβαπορίτες (γύψοι, ανυδρίτες και ορυκτά άλατα). Το “καρστ” είναι το αποτέλεσμα της διαδικασίας διάλυσης των ανθρακικών πετρωμάτων, που ονομάζεται “καρστικοποίηση”. Τα περισσότερα ανθρακικά πετρώματα καρστικοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια του γεωλογικού χρόνου, συνεπώς αυτά μπορούν να θεωρηθούν ως δυνητικοί καρστικοί υδροφόροι (Bakalowicz 2005)

Σύμφωνα με τους Ford και Williams (1989) τα καρστικά τοπία εκτιμάται ότι καταλαμβάνουν το 7-10% της επιφάνειας της γης. Εξάλλου, κάτω από τις αλλουβιακές αποθέσεις, σε μεγάλο βάθος, όπου επικρατούν ανθρακικά πετρώματα, ενδεχομένως και αυτά να είναι καρστικοποιημένα.

Περίπου το 25% του παγκόσμιου πληθυσμού ζει σε περιοχές καρστικοποιημένες και η παροχή νερού σε αυτούς εξαρτάται από τους καρστικούς υδροφορείς. Σε ορισμένες μάλιστα περιοχές, όπως η περιοχή των Δινάριων στην Ευρώπη και η νοτιοδυτική Κίνα, το καρστικό νερό τροφοδοτεί την υδροδότηση των οικιστικών τους περιοχών σε ποσοστό μεγαλύτερο του 50%, ενώ στη Δαμασκό της Συρίας με πληθυσμό άνω των 7 εκατομμυρίων, η υδροδότησή τους γίνεται σχεδόν εξ ολοκλήρου από καρστικούς υδροφόρους ορίζοντες.

Ως εκ τούτου, οι καρστικοί σχηματισμοί αποτελούν έναν από τους σημαντικότερους σχηματισμούς υδροφορίας στον κόσμο, μαζί με τις αλλουβιακές αποθέσεις. Στις περισσότερες περιπτώσεις οι καρστικοί σχηματισμοί συμπεριφέρονται ως υδροφόροι ορίζοντες, επειδή στο εσωτερικό τους αποθηκεύονται τα υπόγεια ύδατα, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για παροχή νερού. Ωστόσο, εξαιτίας της προέλευσης των καρστικών

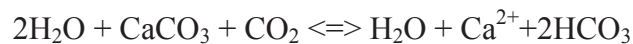
χαρακτηριστικών τους και των συνθηκών ανάπτυξής τους, δεν είναι πάντα εκμεταλλεύσιμοι υδροφορείς και μπορεί το νερό είτε να εκφορτίζεται στη θάλασσα, είτε να αποθηκεύεται σε χώρους που δεν μπορεί να απελευθερωθεί.



**Σχήμα 4.9:** Παγκόσμια κατανομή των περιοχών με καρστικοποιημένα πετρώματα (Chen et al, 2017)

Τα καρστικά υδροφόρα συστήματα έχουν πολύπλοκα και πρωτότυπα χαρακτηριστικά τα οποία τους καθιστούν πολύ διαφορετικούς από άλλους υδροφορείς, όπως η υψηλή ετερογένεια που δημιουργείται και οργανώνεται από τη ροή των υπόγειων υδάτων, μεγάλα κενά, υψηλές ταχύτητες ροής και υψηλές ροές των υδάτων.

Η διάλυση των ανθρακικών πετρωμάτων, που εμπεριέχουν ανθρακικό ασβέστιο, επιτυγχάνεται όταν το νερό είναι όξινο (εμπλουτισμένο με CO<sub>2</sub>) και σύμφωνα με την αμφίδρομη χημική αντίδραση:



Σύμφωνα με τη χημική αντίδραση το ανθρακικό ασβέστιο μετατρέπεται σε όξινο ανθρακικό ασβέστιο, το οποίο είναι ευδιάλυτο στο νερό. Ωστόσο, όταν οι συνθήκες αλλάξουν η χημική αντίδραση μετατοπίζεται αριστερά και έχουμε απόθεση CaCO<sub>3</sub>.

Πηγές του CO<sub>2</sub> είναι η ατμόσφαιρα και τα εδάφη με πλούσια βιολογική δραστηριότητα (αποσύνθεση των οργανικών ουσιών). Η ικανότητα του H<sub>2</sub>O να εμπλουτίζεται με CO<sub>2</sub> εξαρτάται από τις χαμηλές θερμοκρασίες, την αύξηση της μερικής πίεσης του CO<sub>2</sub> στο νερό και την παρουσία ορισμένων ιόντων όπως Mg<sup>2+</sup> και Na<sup>+</sup> στο νερό (Καλλέργης 2000).

Σημαντικός παράγοντας ο οποίος καθορίζει την καρστική δομή των ανθρακικών πετρωμάτων είναι η ροή των υπόγειων υδάτων, επειδή με αυτήν επιτυγχάνεται η διάλυση των ανθρακικών πετρωμάτων, τα οποία εξάγουν τα προϊόντα διάλυσης δημιουργώντας υπόγεια κενά (Bakalowicz 2005).

Για τη δημιουργία του καρστ θα πρέπει να ισχύουν οι ακόλουθες συνθήκες:

- ✓ η δυνατότητα διάλυσης των ανθρακικών πετρωμάτων, δηλαδή η ύπαρξη διαλύτη,
- ✓ η ροή των υπογείων υδάτων, που καθορίζεται από την υδραυλική κλίση.

Η καρστική διαδικασία είναι πολύ πιο γρήγορη σε σχέση με τους γεωλογικούς χρόνους.

Σύμφωνα με τους Bakalowicz (1975), Atkinson et al. (1978) και Dreybrodt (1988) για την ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου καρστικού δικτύου χρειάζονται μερικές χιλιάδες χρόνια και αυτό εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως:

- ✓ τη δημιουργία τεκτονικών ασυνεχειών (ρήγματα, διακλάσεις, κ.λπ.),
- ✓ το είδος του καρστικού πετρώματος (ασβεστόλιθος, δολομίτης, κ.λπ.)
- ✓ το βάθος ενταφιασμού του καρστ,
- ✓ την έκταση της ανάπτυξης του καρστ στην επιφάνεια της γης,
- ✓ την αποσάθρωση του καρστ, λόγω καρστικοποίησης.
- ✓ τη μεταβολή του επιπέδου βάσης του καρστ. Η υδροφορία του καρστ ελέγχεται από το επίπεδο βάσης το οποίο αποτελεί το κατώτερο όριο ενός καρστικού υδροφορέα. Στην περίπτωση που αλλάξουν οι περιβαλλοντικές συνθήκες, οι οποίες προκαλούν τη μεταβολή του επιπέδου βάσης του καρστ, αλλάζει σημαντικά και η δομή του λόγω της συσσώρευσης υπόγειων υδάτων σε αυτό.

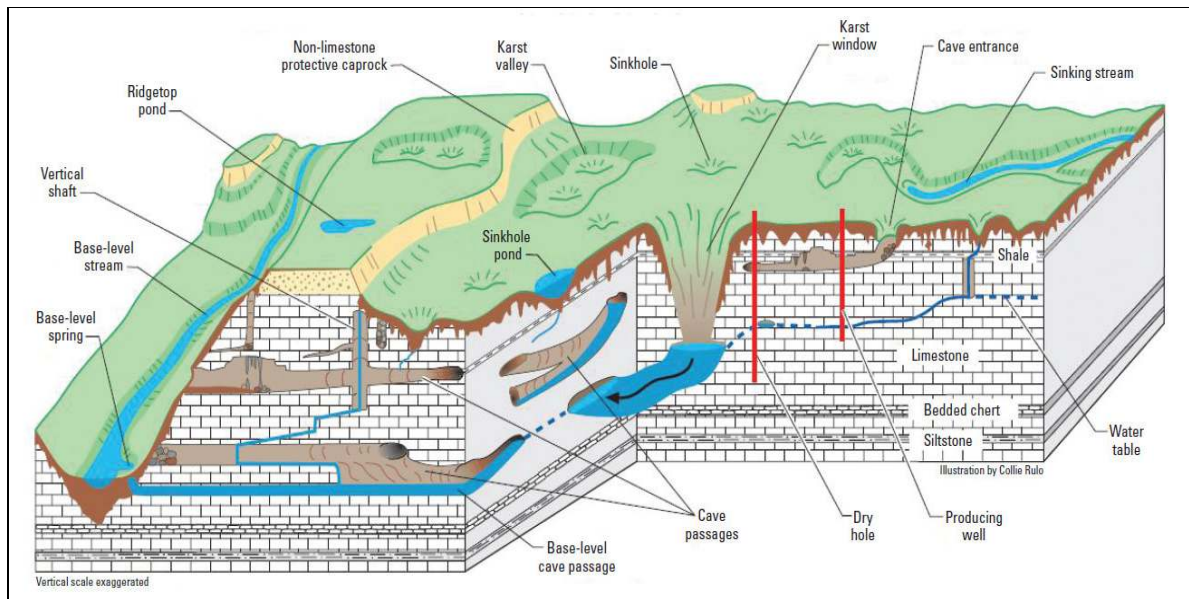
Η μείωση του βασικού επιπέδου που σχετίζεται, είτε με την τεκτονική ανύψωση, είτε με την υποχώρηση της θάλασσας, προκαλεί την ανάπτυξη προς τα κάτω ενός νέου καρστικού δικτύου. Στην περίπτωση αυτή η περιοχή επαναφόρτισης παραμένει λειτουργική, όπως πριν από την αλλαγή, όμως στην περιοχή εκροής το καρστικό δίκτυο εγκαταλείπεται προοδευτικά και λειτουργεί ως εποχιακή ή υπερπλύρωσης καρστική πηγή.

Χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι τα πολυώροφα σπήλαια που αναπτύσσονται σε περιοχές που υποβάλλονται σε συχνή μείωση του βασικού επιπέδου: όπως το σύστημα σπηλαίων Mammoth-Flint Ridge, το Kentucky (Palmer 1981) και το σύστημα Coume Ouarn de cave, τα Πυρηναία και η Γαλλία (Bakalowicz 1994,2005).

Αντίθετα, όταν το βασικό επίπεδο του κάρστ αυξάνεται εξαιτίας της καθίζησης της γης, ή της διεύδυσης της θάλασσας, τότε οι έξοδοί του είναι βυθισμένες με ιζήματα ή μπλοκαρισμένες από νερό, με αποτέλεσμα το κατώτερο τμήμα της καρστικής δομής να πλημμυρίζει και να καθίσταται μη λειτουργικό. Το γεγονός αυτό οδηγεί στη δημιουργία ενός νέου επιπέδου βάσης μετά την υπερχειλίση με διάχυτο τρόπο των υπογείων υδάτων. Έτσι, το πλημμυρισμένο καρστικό δίκτυο δίνει στον υδροφόρο ορίζοντα υψηλή χωρητικότητα αποθήκευσης, ευνοώντας τις καρστικές διεργασίες στο πλημμυρισμένο τμήμα (Gascoyne et al. 1979).

Ο χρόνος παραμονής των υπόγειων υδάτων μέσα στα καρστικά δίκτυα μπορεί να γίνει αρκετά μεγάλος, δηλαδή αρκετές χιλιάδες χρόνια, λόγω αλλαγής των συνθηκών, ενώ συνήθως ο χρόνος παραμονής είναι μικρότερος από ένα χρόνο σε καλά αναπτυγμένους καρστικούς υδροφόρους ορίζοντες (Bakalowicz 2003).



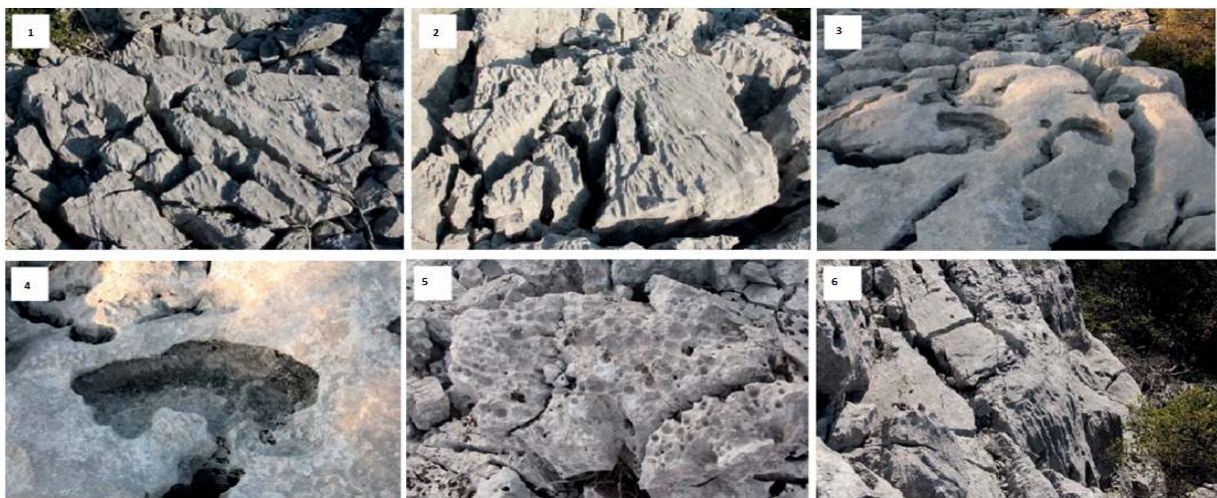


Σχήμα 4.10: Σχηματική παράσταση καρστικών μορφών (Πηγή: <https://el.wikipedia.org>)

#### 4.4.1. Εξωκαρστικές μορφές

Το σύνολο των καρστικών μορφών που βρίσκονται στην επιφάνεια των ανθρακικών πετρωμάτων αποτελούν το εξωκάρστ. Σημαντικότερες εξωκασαρστικές μορφές είναι οι ακόλουθες, όπως αυτές αποτυπώνονται στο Σχήμα 4.11.

**1) Γλυφές (Karrens):** Οι γλυφές είναι οι μικρότερες εξωκαρστικές μορφές, οι οποίες σχηματίζονται κυρίως σε ασβεστολιθικά πετρώματα και στο γύψο. Το σχήμα τους είναι στρογγυλεμένο ή οξύληκτο και το βάθος τους φτάνει τα 4m, ενώ το εύρος τους είναι 0,1m. Δίνουν στρογγυλεμένα ή οξύληκτα σχήματα. Ο σχηματισμός τους οφείλεται στη χρόνια διάλυση των γυμνών επιφανειών των ασβεστόλιθων ή των γύψων. Ορισμένες από αυτές είναι αρχαίες, πριν από τις τελευταίες εποχές του πάγου και μερικές από αυτές μπορεί να είναι και εκατομμύρια χρόνια.



Σχήμα 4.11: Γλυφές στη Δαλματία της Κροατίας (<https://www.semanticscholar.org>)

Υπάρχουν διάφοροι τύποι γλυφών, ανάλογα με τη γεωμετρία τους, όπως:

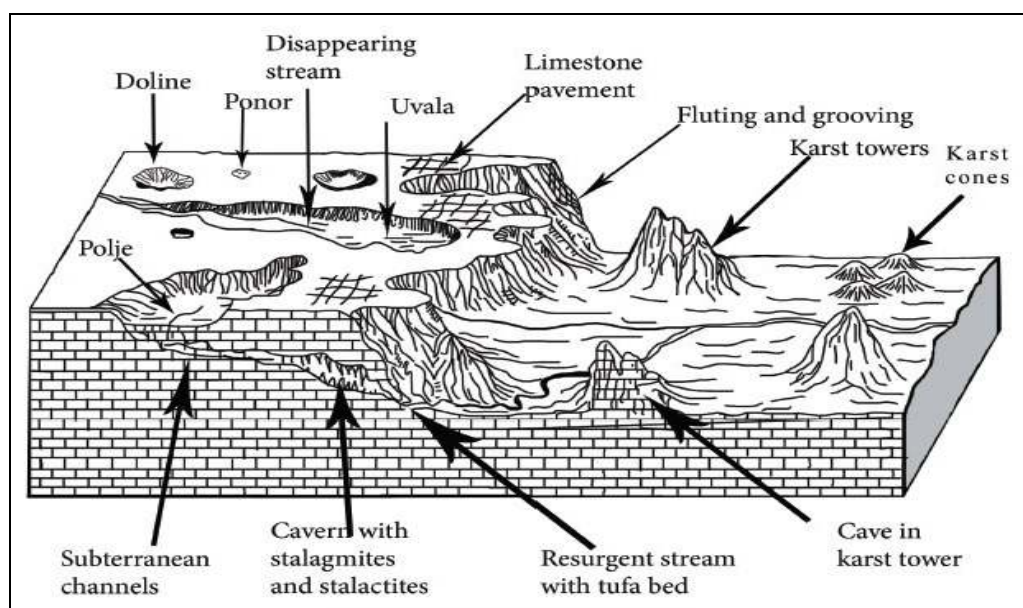
- ✓ ημικυκλικές κλιμακωτές γλυφές (Trittkarren): Οι γλυφές τύπου Trittkarren είναι αρκετά μικρές και το σχήμα τους είναι ημικυκλικό - κλιμακωτό.
- ✓ κυκλικές γλυφές (rundkarren): μεγαλύτερες και βαθύτερες με στρογγυλεμένες κορυφές.
- ✓ αυλακοειδείς γλυφές (Rinnenkarren): μικρά στρογγυλεμένα κανάλια με αιχμηρές κορυφές μεταξύ τους.
- ✓ κοίλες γλυφές (kamenitzas): Κυκλικές ή επιμήκειες κοίλες ή λεκάνες σε επίπεδες επιφάνειες.

**2) Δολίνες (Dolines):** Αποτελούν κλειστά επιφανειακά κοιλώματα, τα οποία έχουν υποστεί καρστική διάβρωση στην επιφάνειά τους. Έχουν διάφορα σχήματα (ελλειπτικό, κυκλικό, χοανοειδές, κ.λπ.), το βάθος τους κυμαίνεται από 2m έως 100m, ενώ η διάμετρός τους κυμαίνεται μεταξύ μερικών μέτρων έως 1.000m. Τα τοιχώματα των κλιτύων τους έχουν άλλοτε ήπιες κλίσεις και άλλοτε απότομες κλίσεις, ανάλογα με το τρόπο που δημιουργήθηκαν.

Ο σχηματισμός τους μπορεί να είναι αποτέλεσμα της κατάρρευσης της οροφής καρστικών αγωγών ή της οροφής σπηλαίου, ή λόγω της τεκτονικής παραμόρφωσης των πετρωμάτων (στα σημεία τομής των ρηγμάτων ή κοντά σε ρηξιγενείς ζώνες).

Η ταξινόμηση των δολινών γίνεται βάσει της λιθολογίας τους (δολίνες ασβεστόλιθου, δολίνες γύψου, δολίνες δολομίτη κ.λπ.), των γεωλογικών στρωμάτων τους (διεύθυνση, κλίση, πάχος), του είδους τεκτονικής καταπόνησης του εδάφους στο σημείο που δημιουργείται η δολίνη και του σχήματός τους (Δεληγιάννη 2011).

Οι δολίνες εμφανίζονται άλλοτε μεμονωμένες και άλλοτε δημιουργούν αποικίες. Οι περισσότερες από αυτές συνδέονται με το υπόγειο καρστικό δίκτυο και λειτουργούν ως σημεία εισόδου του νερού στη ζώνη κατεΐσδυσης.



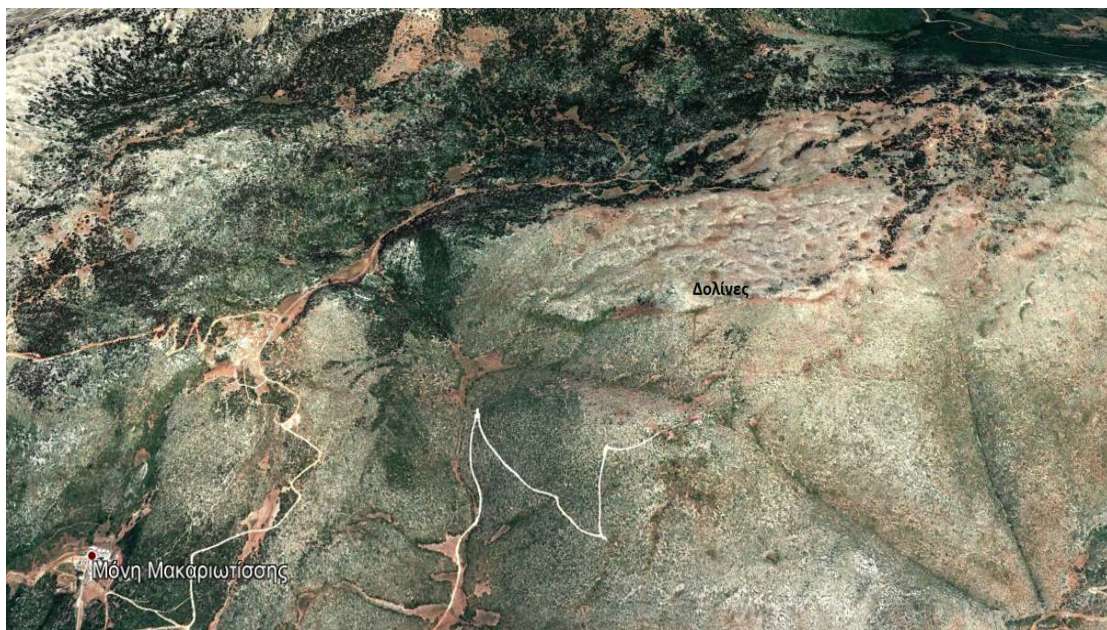
Σχήμα 4.12: Καρστικές μορφές (<https://www.brainkarst.com>).

Στο Σχήμα 4.13 που ακολουθεί αποτυπώνεται χαρακτηριστική δολίνη στην περιοχή Βασιλικά Βοιωτίας, η οποία προφανώς έχει προκύψει από την κατακρήμνιση της οροφής προϋπάρχοντος καρστικού σπηλαίου.



**Σχήμα 4.13:** Δολίνη στα Βασιλικά Βοιωτίας (Πηγή: <https://www.cnn.gr> ).

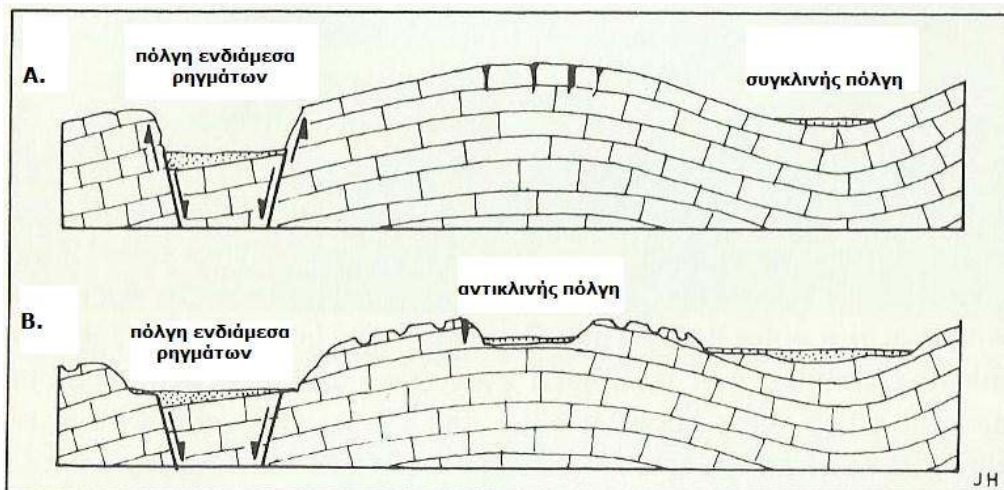
Στην περιοχή μελέτης εντοπίζεται μεγάλος αριθμός δολίνων στα υψηλά τοπογραφικά σημεία του Ελικώνα. Η έντονη καρστοποίηση της ανθρακικής μάζας έχει δημιουργήσει χαρακτηριστικά φυσικά πλατώματα στις κορυφές του Ελικώνα και κοιλότητες που έχουν πληρωθεί με ερυθρογή όπως εμφανίζονται στο Σχήμα 4.14.



**Σχήμα 4.14:** Δολίνες στο όρος Ελικώνα (Πηγή: google earth pro).

**3) Ουβάλες (Uvalas):** Οι ουβάλες είναι επίσης κλειστά κοιλάματα με ανώμαλο πυθμένα, οι οποίες δημιουργήθηκαν από τη συνένωση δύο ή περισσότερων δολίνων, λόγω της συνεχιζόμενης διάβρωσης και διάλυσης των πετρωμάτων τους. Αποτελούν το μεταβατικό στάδιο μεταξύ των δολίνων και των πολγών. Η έκτασή τους κυμαίνεται από μερικές εκατοντάδες τετραγωνικά μέτρα έως και μερικά τετραγωνικά χιλιόμετρα, ενώ το βάθος τους κυμαίνεται από μερικές δεκάδες μέτρα μέχρι εκατό μετρά. Οι Ουβάλες δημιουργούνται συνήθως στους πυθμένες των ξηρών κοιλάδων των ποταμών του καρστ και στις τυφλές ποτάμιες κοιλάδες του καρστ (Σχήμα 4.12).

**4) Πόλγες (Poljes):** Οι πόλγες αποτελούν μεγάλες κλειστές κοιλάτητες του κάρστ, οι οποίες έχουν επίπεδο πυθμένα, σχήμα ελλειπτικό, απότομες κλίσεις στις πλαγιές τους και με καλή αποστράγγιση των επιφανειακών νερών (Gams 1974, 1978, από Δεληγιάννη 2011). Η έκτασή τους συνήθως είναι μεγαλύτερη από 1Km<sup>2</sup>. Η δημιουργία τους οφείλεται στη συνδυασμένη δράση των τεκτονικών δυνάμεων και των εξωγενών παραγόντων, όπως η διάλυση των ανθρακικών πετρωμάτων (Καλλέργης 2000).



**Σχήμα 4.15:** Τεκτογενείς πόλγες (Jennings, 1971 από Δεληγιάννη, 2011).

Ο πυθμένας τους είναι συνήθως ομαλός, και καλύπτεται από κλαστικό υλικό (αλλουβιακά υλικά που μεταφέρθηκαν με την ποτάμια δράση), ενώ το πάχος του ποικίλει από μηδέν μέχρι εκατοντάδες μέτρα. Τη χειμερινή περίοδο οι πόλγες γεμίζουν με επιφανειακό και υπόγειο νερό από τις καταβόθρες που βρίσκονται κυρίως περιμετρικά της και οι οποίες λειτουργούν ως πηγές.

Μεγάλη σε έκταση και χαρακτηριστική πόλγη στο νομό Βοιωτίας είναι η Κωπαΐδα. Στην περιοχή μελέτης χαρακτηριστική εξωκαρστική μορφή είναι και το οροπέδιο Λικέρι (Σχήμα 4.16). Είναι μια πόλγη η οποία παλαιότερα ήταν πάντοτε πλημμυρισμένη και αποτελούσε μια αβαθή λίμνη. Τον προηγούμενο αιώνα αποξηράνθηκε και το έδαφός της καλλιεργείται. Σε περιόδους έντονων βροχοπτώσεων πλημμυρίζει και σήμερα λόγω ανθρώπινων παρεμβάσεων στον τεχνητό αγωγό εκροής του επιφανειακού νερού.



Σχήμα 4.16.: Πόλγη στο οροπέδιο Λικέρι (<http://www.topoguide.gr>)

#### 4.4.2. Ενδοκαρστικές μορφές

Οι ενδοκαρστικές μορφές σχηματίζονται υπόγεια. Δεν αποτελούν ένα πρωτογενές φαινόμενο, επειδή η καθίζηση λαμβάνει χώρα χωρίς να σχηματίζονται συγγενετικές κοιλάτητες. Ταυτόχρονα δημιουργούνται οι στρώσεις και τα διάκενα των στρώσεων (Böglí 1980). Η καρστικοποίηση των υπόγειων στρωμάτων γίνεται με την κατείδυση του νερού, μέσω των διακλάσεων, κ.λπ. των πετρωμάτων, το οποίο διαβρώνει και διαλύει τα πετρώματα και στη συνέχεια διευρύνει τις διαστάσεις των ρωγμών και των ρηγμάτων όσο προχωράει η καρστική διάλυση.

Στις υπόγειες καρστικές μορφές εκτός από τη χημική διάλυση και τη μηχανική διάβρωση, επικρατεί η εμφάνιση του κολλούβιου, κατολίσθηση και κατάρρευση του υπογείου εδάφους. Ενδοκαρστικές ή υπόγειες μορφές είναι οι καρστικοί αγωγοί που αποτελούν υπόγειους αγωγούς, από τους οποίους διοχετεύεται το νερό στο εσωτερικό των πετρωμάτων και το οποίο συγκεντρώνεται στα σπήλαια ή στα φρέατα. Καρστικοί αγωγοί αποτελούν οι καταβόθρες, οι οποίες έχουν μεγάλη κλίση, σχεδόν κατακόρυφη και φτάνουν μέχρι την επιφάνεια του εδάφους. Συνήθως βρίσκονται στο περιθώριο ή τον πυθμένα άλλων επιφανειακών καρστικών βυθισμάτων, όπως στις πόλγες ή δολίνες.

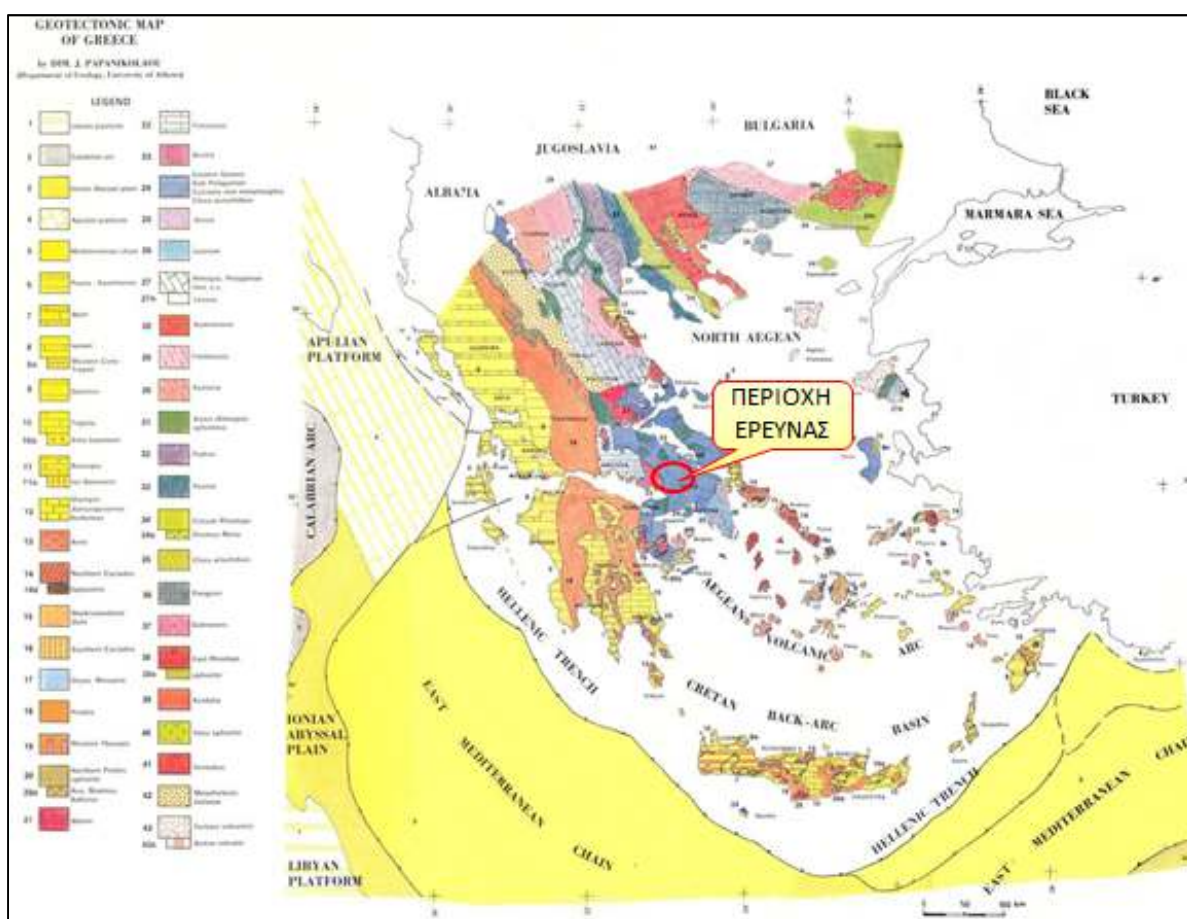
Ενδοκαρστικές μορφές είναι επίσης τα σπήλαια, τα οποία είναι υπόγεια έγκοιλα μεγάλων διαστάσεων, που απαντώνται σε ανθρακικά πετρώματα. Είναι προσιτά στην προσπέλαση του ανθρώπου, καθώς επικοινωνούν επιφανειακά με μικρά στόμια. Μια ακόμη μορφή είναι τα καρστικά φρέατα – βάραθρα, τα οποία αποτελούν υποκατηγορία των σπηλαίων.

## 5. ΓΕΩΛΟΓΙΑ

### 5.1. Γεωτεκτονική θέση περιοχής μελέτης

Για την γεωλογική ανάλυση της περιοχής χρησιμοποιήθηκε ο γεωλογικός χάρτης της Ελλάδας, κλίμακας 1:50.000, εκδόσεις Ι.Γ.Μ.Ε και συγκεκριμένα τα φύλλα γεωλογικών χαρτών Καπαρέλλι (Μπορνόβας Ι., Ελευθερίου Α. και Γαϊτανάκης Π., 1984), Περαχώρα (Μπορνόβας Ι., Γαϊτανάκης Π. και Σπυριδόπουλος Π. 1984), Λειβαδειά (Τατάρης Α., Κούνης Γ. κ.α. 1971) και Βάγια (Τατάρης Α., Κούνης Γ. κ.α. 1970).

Σύμφωνα με τους παραπάνω χάρτες στην περιοχή μελέτης απαντώνται αλπικοί γεωλογικοί σχηματισμοί και μεταλικά ιζήματα. Οι αλπικοί σχηματισμοί της λεκάνης εντάσσονται στην Ενότητα Παρνασσού-Γκιώνας και Ενότητα Δυτικής Θεσσαλίας - Βοιωτίας. Η Βοιωτική Ενότητα καταλαμβάνει το ανατολικό τμήμα της λεκάνης, ενώ η Ενότητα Παρνασσού-Γκιώνα καταλαμβάνει μικρή έκταση στο δυτικό τμήμα της λεκάνης, στην οποία είναι τεκτονικά επωθημένοι οι γεωλογικοί σχηματισμοί της Βοιωτικής Ενότητας. Στο Σχήμα 5.1 απεικονίζονται οι τεκτονικές ενότητες της Ελλάδας.



Σχήμα 5.1: Οι γεωτεκτονικές ενότητες των Ελληνίδων (Papanikolaou 1989).

Οι αλπικοί σχηματισμοί απαντώνται κυρίως στα ημιορεινά και ορεινά περιθώρια της υδρολογικής λεκάνης Άσκρης-Δομβραΐνας και αποτελούνται από τριαδικο-ιουρασικούς ασβεστόλιθους (ασβεστόλιθοι, δολομιτικοί ασβεστόλιθοι και δολομίτες), ανωκρητιδικούς

ασβεστολιθους, πετρώματα της σχιστοψαμμικοκερατολιθικής διάπλασης και ιζήματα του φλύσχη πάνω στους ανωκρητιδικούς ασβεστολιθικούς σχηματισμούς.

Κύριο χαρακτηριστικό της περιοχής είναι η παρουσία του βοιωτικού φλύσχη, σύμφωνα με το νεοτεκτονικό χάρτη της Ελλάδας, κλίμακας 1:100.000, Φ.Χ. Λιβαδειά (Καροτσιέρης Ζ., 1995, Εκδόσεις Ε.Κ.Π.Α.) στις νοτιοανατολικές πλαγιές του Ελικώνα, περιοχή «Στρούγκα Δρόση», ο οποίος αποτελείται από πλακώδεις ασβεστόλιθους, ψαμμίτες, πηλίτες, και ραδιολαρίτες, ηλικίας Αν. Ιουρασικού – Κατώτερου Κρητιδικού.

Τα μεταλλικά ιζήματα καταλαμβάνουν κυρίως τις λοφώδεις και πεδινές περιοχές και τα κράσπεδα των πεδινών εκτάσεων. Αποτελούνται από τεταρτογενή αλλουβιακές αποθέσεις, σύγχρονα πλευρικά κορήματα και κώνους κορημάτων υπό μορφή ασύνδεδτων και αδρομερών αποθέσεων, καθώς και από κροκαλοπαγή και λατυποπαγή ιζήματα πλειστοκαινικής ηλικίας και ασβεστολιθικής προέλευσης.

## 5.2. Αλπικοί σχηματισμοί

### 5.2.1. Ενότητα Παρνασσού-Γκιώνας

Η Ενότητα Παρνασσού- Γκιώνας καταλαμβάνει μικρή έκταση στο δυτικό τμήμα της υδρογεωλογικής λεκάνης Άσκρης- Δομβραΐνας και συγκεκριμένα τις περιοχές Καβουράς, Τσούμα Μουρίτσα, Λάκκα, Μπατάκα, Αγ.Ιωάννης Θεολόγος και το χωριό Πρόδρομος.

Σύμφωνα με το Μουντράκη (1985) η Ενότητα Παρνασσού αποτελεί ένα παλαιογεωγραφικό ύβωμα της Νέο-Τηθύος μεταξύ της αύλακας της Πίνδου και της κατωφέρειας της Υποπελαγονικής Ενότητας. Κύριο χαρακτηριστικό της Ενότητας είναι η νηριτικού και υφαλογενή χαρακτήρα ανθρακική ιζηματογένεση, καθ' όλη τη διάρκεια του Μεσοζωικού αιώνα μέχρι το Μαιστρίχτιο, με μικρής διάρκειας διακοπές, κατά τις οποίες έχουμε τη δημιουργία τριών διαφορετικών βωξιτικών οριζόντων.

Η συγκεκριμένη Ενότητα συναντάται μόνο σε μια μικρή περιοχή της Ανατολικής Στερεάς Ελλάδας σαν «μια αμυγδαλοειδής νησίδα» η οποία οριοθετείται από δύο μεγάλα ρήγματα νότια του Κορινθιακού Κόλπου και βόρεια του Σπερχειού (Παπανικολάου 2015).

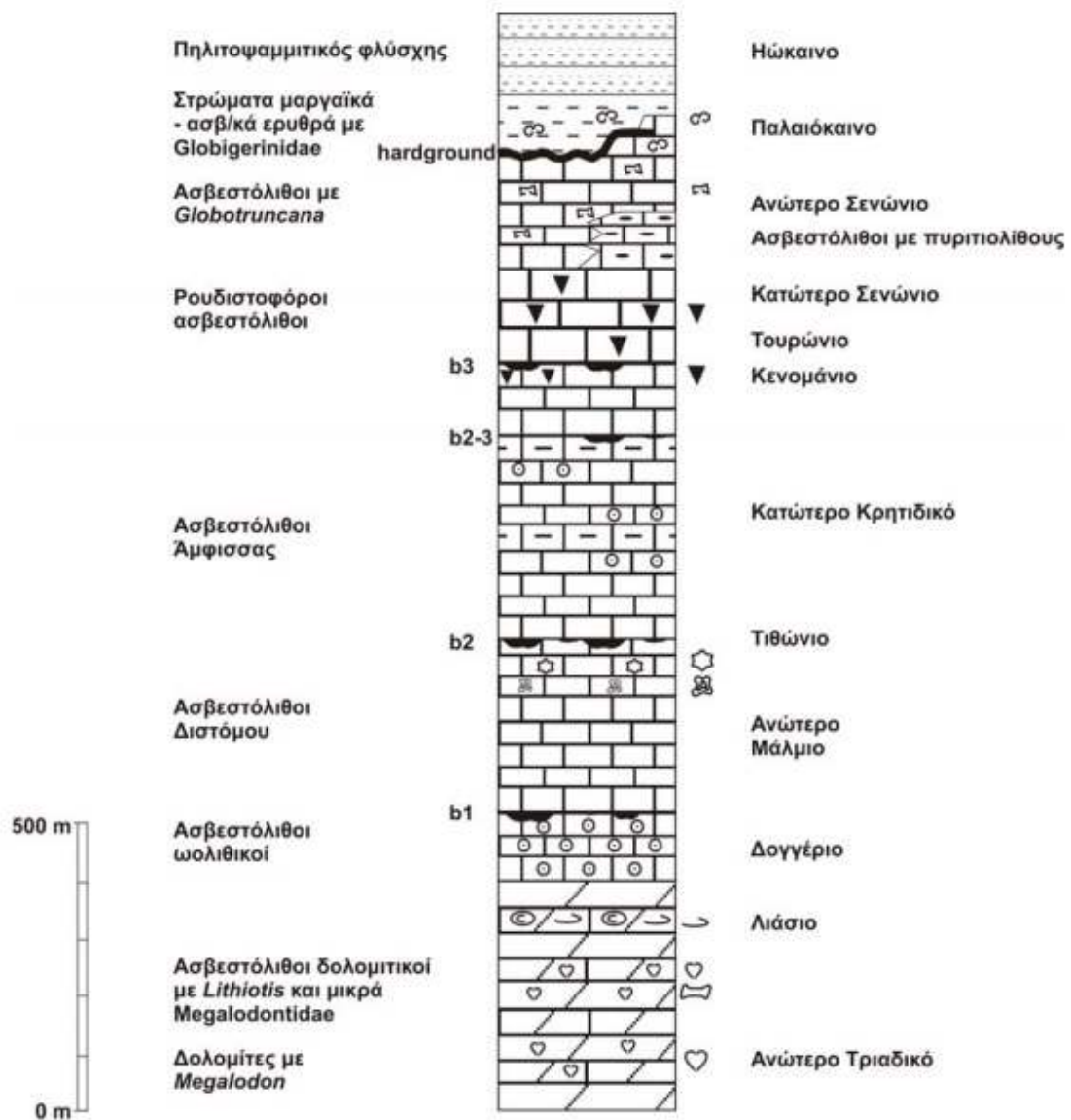
Η ολοκλήρωση της ανθρακικής ιζηματογένεσης έγινε με την απόθεση του κλαστικού υλικού και τη φλυσχική ιζηματογένεση στο όριο Μαιστριχτίου/Δανίου. Το γεγονός ότι, παρεμβάλλονται βωξιτικοί ορίζοντες ανάμεσα στους ασβεστολιθικούς σχηματισμούς, σύμφωνα με τη στρωματογραφική στήλη, δηλώνει ότι έγιναν τρεις διακοπές ιζηματογένεσης κατά τις οποίες έχουμε τη χέρσειση και διάβρωση της περιοχής. Ο πρώτος βωξιτικός ορίζοντας (b1) σχηματίστηκε μεταξύ Δογγέριου και Μαλμίου, ο δεύτερος (b2) στο τέλος του Ιουρασικού και ο τρίτος βωξιτικός ορίζοντας (b3) μεταξύ του Κατώτερου και Ανώτερου Κρητιδικού (Κενομάνιο).

Η στρωματογραφική στήλη της Ενότητας Παρνασσού (Σχήμα 5.2) σύμφωνα με τους Καρακίτσιο και Ζαμπετάκη – Λέκκα (2011) περιλαμβάνει από τους κατώτερους προς τους ανώτερους ορίζοντες τους ακόλουθους σχηματισμούς:

- ✓ **Τριαδικό – Κατώτερο Λιάσιο:** Περιλαμβάνει μία ανθρακική σειρά ταινωτών λευκών δολομιτών και δολομιτικών ασβεστόλιθων χωρίς απολιθώματα και από πάνω γκριζούς παχυστρωματώδεις ασβεστόλιθους με φύκη και τρηματοφόρα Involutinidae (πάχους 300 μέτρων περίπου).

- ✓ **Μέσο Ανώτερο Λιασίο:** Η ανθρακική σειρά αποτελείται από εναλλαγές γκρι και μαύρων ασβεστόλιθων και δολομιτών με *Paleodasycladus*, *mediterraneus* και *Orbitopsella praecursor*, ηλικίας Μέσου Λιασίου (πάχους 150 μέτρων περίπου) και μία φάση αποτελούμενη από ογκοειδή, άφθονα γαστερόποδα και *Lithiotis* ηλικίας Ανωτέρου Λιασίου.
- ✓ **Δογγέριο:** Περιλαμβάνει ωολιθικούς ασβεστόλιθους, με φύκη και τρηματοφόρα, ηλικίας Δογγερίου.
- ✓ **Δογγέριο και Μάλμιο:** 1<sup>ος</sup> βωξιτικός ορίζοντας, πισσολιθικής υφής και διασπορικού (αδιάλυτου) τύπου. Η χρονική διάρκεια του στρωματογραφικού κενού είναι από το Ανώτερο Βαθώνιο ή Κατώτερο Καλλόβιο μέχρι το Ανώτερο Οξφόρδιο.
- ✓ **Ανώτερο Μάλμιο:** Ανθρακική σειρά που βρίσκεται μεταξύ του πρώτου και δεύτερου βωξιτικού ορίζοντα. Αποτελείται από ασβεστόλιθους Διστόμου και η οποία χαρακτηρίζεται από άφθονα απολιθώματα: *Ellipsactinia*, *Sphaeractinia*, *Cladocoropsis mirabilis*, *Clypeina jurassica*, *Pseudocyclammina lituus*, *Kurnubia palastiniesnsis* κ.α.
- ✓ **Τιθώνιο:** 2<sup>ος</sup> βωξιτικός ορίζοντας, βαιμιτικού (διαλυτού) τύπου.
- ✓ **Κατώτερο Κρητιδικό:** Περιλαμβάνει τους ασβεστόλιθους Άμφισσας που βρίσκονται μεταξύ του δεύτερου βωξιτικού ορίζοντα (b2) και του τρίτου βωξιτικού ορίζοντα (b3). Πρόκειται για λεπτοστρωματώδεις ασβεστόλιθους, οι λεγόμενοι ενδιάμεσοι ασβεστόλιθοι (παλαιότερη ονομασία), με κοράλλια στα πρώτα στρώματα και γαστερόποδα στα επόμενα και με ενδιάμεσες στρώσεις από ωολιθικούς ασβεστόλιθους.
- ✓ **Κενομάνιο:** 3ος βωξιτικός ορίζοντας αδιάλυτος και διασπορικού τύπου και πισσολιθικής υφής.
- ✓ **Ανώτερο Τουρώνιο Κατώτερο Σενώνιο:** Περιλαμβάνει ρουδιστοφόρους ασβεστόλιθους που βρίσκονται πάνω από το τρίτο βωξιτικό ορίζοντα. Είναι σκουρόχρωμοι και παχυπλακώδεις, πάχους 200 μέτρων περίπου και οι οποίοι περιλαμβάνουν πλούσια βενθονική μικροπανίδα.
- ✓ **Ανώτερο Σενώνιο:** Περιλαμβάνει πελαγικούς ασβεστόλιθους με πυριτιολίθους, πάχους 715μ. Η μετάβαση από τους ρουδιστοφόρους νηρητικούς στους πελαγικούς ασβεστόλιθους με *Globotruncanidae* γίνεται βαθμιαία μέσω μεταβατικών στρωμάτων που περιέχουν θραύσματα ρουδιστών.
- ✓ **Hardground.** Σε ορισμένες περιοχές της Ενότητας πάνω από τους πελαγικούς ασβεστόλιθους με *Globotruncanidae* έχουμε απόθεση hardground κατά το Ανώτατο Μαιστρίχτιο στο όριο δηλαδή του Παλαιοκαίνου, μέχρι και το ανώτερο τμήμα του Κατώτερου Παλαιοκαίνου. Αντίθετα, σε άλλες περιοχές η μετάβαση από τους πελαγικούς ασβεστόλιθους στη κλαστική ιζηματογένεση του φλύσχη γίνεται ομαλά χωρίς την παρεμβολή hardground.
- ✓ **Παλαιόκαινο:** Περιλαμβάνει τους πελαγικούς ασβεστόλιθους οι οποίοι περιέχουν πλούσια πλαγκτονικά τρηματοφόρα. Η μετάβαση προς το σχηματισμό του φλύσχη περιλαμβάνει στρώματα αποτελούμενα από πρασινοκίτρινες ή ερυθρές μάργες. Συνήθως πάνω από τα μαργαϊκά στρώματα (ερυθρές μάργες) επικάθεται ο σχηματισμός του φλύσχη πάχους 80-140 μέτρων. Ο σχηματισμός του φλύσχη σπάνια υπέρκειται των πελαγικών ασβεστόλιθων με *Globigerinidae*.





**Σχήμα 5.2:** Στρωματογραφική στήλη Ενότητας Παρναςσού (Πηγή: Καρακίτσιος και Ζαμπετάκη –Λέκκα 2011, Ε.Κ.Π.Α.).

Σύμφωνα με το γεωλογικό χάρτη της Ελλάδας Φύλλο Λιβαδειά (Τάταρης κ.α. 1971) η Ενότητα Παρναςσού στην περιοχή μελέτης περιλαμβάνει τους ακόλουθους γεωλογικούς σχηματισμούς:

- ✓ **Ανώτερο Ιουρασικό (Κιμμερίδιο):** Παχυστρωματώδεις, στιφροί και σκοτεινόχρωμοι ασβεστόλιθοι (J1-2) με *Cladocoropsis mirabilis* FELIX, *Clypeina* cf. *jurassica* FAVRE και λευκές κηλίδες. Κατά θέσεις είναι λεπτοστρωματώδεις ή παχυπλακώδεις, σκοτεινόχρωμοι βιτουμενούχοι με ενστρώσεις ή κονδύλους από μαύρους πυριτόλιθους. Το πάχος της σειράς είναι 150 μέτρα και αποτελεί τη βάση του 2<sup>ου</sup> βωξιτικού ορίζοντα (b2).

- ✓ **Τιθώνιο-Κενομάνιο:** Μεσαίοι έως λεπτοστρωματώδεις ασβεστόλιθοι (J13-K6), γνωστοί ως «ενδιάμεσοι ασβεστόλιθοι», καθώς βρίσκονται μεταξύ των δύο βωξιτικών οριζόντων b2 και b3. Στα κατώτερα στρώματα είναι ερυθρωποί και μαργαϊκοί με γαστερόποδα, κοράλλια, *Nerinea* και *Ellipsactinia* (ηλικίας Τιθωνίου), στα μεσαία στρώματα είναι συνήθως τεφροί και ωολιθικοί με *Orbitolina* του Κενομανίου και στα ανώτερα στρώματα λευκοί με *Caprinidae* και *Orbitolina* του Κενομάνιου. Το πάχος της σειράς φτάνει τα 400 μ.
- ✓ **Ανω Κρητιδικό :** Ασβεστόλιθοι (K7 - e), Ασβεστόλιθοι K8 – e και K7-8 ενοποιημένοι στρωματογραφικά στο χάρτη της εργασίας.
- ✓ **Τουρώνιο–Σενώνιο:** Ρουδιστοφόροι Ασβεστόλιθοι (K7-8) κυρίως μικροκρυσταλλικοί, τεφροί έως σκοτεινόχρωοι με βιτουμενιούχα οσμή κατά τη θραύση. Στα ανώτερα στρώματα μεταπίπτουν σε λευκούς κρυσταλλικούς ασβεστόλιθους με θραύσματα ρουδιστών. Το πάχος της σειράς είναι περίπου 80 μέτρα.
- ✓ **Σενώνιο-Παλαιόκαινο:** Λεπτοστρωματώδεις λευκόφαιοι πελαγικοί ασβεστόλιθοι (K8-E) του Μαιστριχτίου (Ανώτατο Κρητιδικό) που φτάνουν μέχρι το Παλαιόκαινο, οι οποίοι στα ανώτερα στρώματα εξελίσσονται σε κονδυλώδεις. Κατά θέσεις είναι υπέρυθροι ή υποπράσινοι με κονδύλους κερατολίθων. Απολιθώματα: *Globotruncana* group *lapparenti*, *Globorotalia* sp., *Globigerina* sp., *Pseudotextularia* sp., *Guembelina* sp., *Orbitoides medius*, *Siderolites vidali*, *Rotalia* sp. Το πάχος της σειράς είναι περίπου 150-200 μέτρα.
- ✓ **Παλαιόκαινο:** Σχηματισμός του αδιαίρετου Φλύσχη (Fr). Στα νεώτερα στρώματα περιλαμβάνει κροκαλοπαγή, ψαμμίτες και αργιλικά υλικά, με κατά θέσεις φακοειδείς ενστρώσεις από ασβεστόλιθους, ενώ στα κατώτερα στρώματα περιλαμβάνει ερυθροβυσσινόχρωμους, ασβεστιτικούς και αργιλικούς σχιστόλιθους. Στο σχηματισμό του φλύσχη περιλαμβάνονται και ολισθόλιθοι ασβεστόλιθοι του Κενομάνιου. Απολιθώματα: *Globigerina* sp., *Globorotalia* sp., *Bolivina* sp.

### 5.2.2. Ενότητα Δυτικής Θεσσαλίας - Βοιωτίας

Το χαρακτηριστικό της ενότητας Δυτικής Θεσσαλίας-Βοιωτίας είναι ότι πρόκειται για διάφορους παλαιογεωγραφικούς χώρους, στους οποίους υπάρχει ένα κοινό τεκτονοϊζηματογενές φαινόμενο, η ύπαρξη ενός «φλύσχη» ηλικίας Ανώτατου Ιουρασικού-Κατώτερου Κρητιδικού. Δηλαδή στις στρωματογραφικές κολόνες του Κόζιακα (και νοτιότερα, μέχρι στη Δυτική Όρθρυ), της Βόρειας Οίτης (σε τεκτονικά ράκη), της Βοιωτίας (από Λιβαδειά μέχρι Γεράνεια) και εν μέρει στην Αργολίδα υπάρχουν ακολουθίες άλλοτε νηριτικές και άλλοτε πελαγικές, στις οποίες έχουμε την άφιξη χερσογενούς κλαστικού υλικού, ένα είδος «φλύσχη», το οποίο ονομάστηκε «Βοιωτικός φλύσχη».

Ο Βοιωτικός φλύσχη αποτελείται από τουρβιδίτες, ψαμμίτες, πηλίτες, κλαστικούς ασβεστόλιθους και με χαρακτηριστικό απολιθώμα τις *Calpionelles* και από πάνω ξαναρχίζει η ανθρακική ιζηματογένεση με πελαγικούς ασβεστόλιθους με *Globotruncanes*, κυρίως όμως με κλαστικούς λατυποπαγείς ασβεστόλιθους, με λατύπες οφιολίθων και κερατολίθων, γνωστούς σαν «φάση Θυμιάματος», οπότε αρχίζει ο τυπικός τριτογενής φλύσχη. Το πέρασμα από πελαγικούς ασβεστόλιθους στο φλύσχη είναι ιδιόμορφο, με παρουσία ερυθρών παλαιοκαινικών πηλιτών, όπως στον Παρνασσό, χωρίς κρούστες *hard ground* και συν-

ιζηματογενή τεκτονισμό, διότι η φάση είναι ήδη πελαγική πριν από την έναρξη της φλυσικής ιζηματογένεσης.

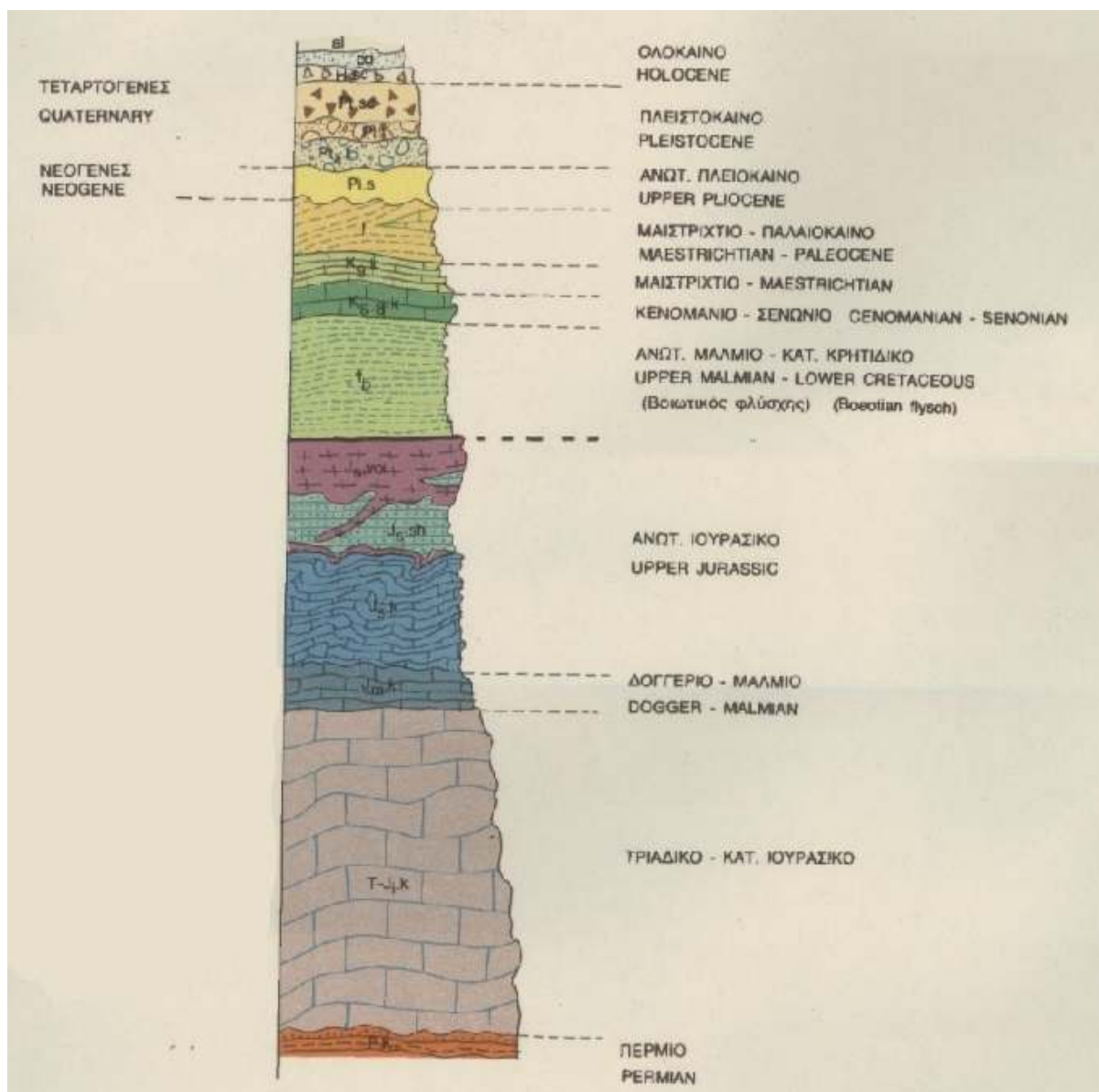
Η ύπαρξη του Τιθόνιου - Κάτω-κρητιδικού «φλύσχη» είναι το ενοποιητικό στοιχείο όλων αυτών των παλαιογεωγραφικών χώρων, οι οποίοι συναπαρτίζουν τις ενότητες Δυτικής Θεσσαλίας-Βοιωτίας, οι οποίες είναι θαμμένες τεκτονικά κάτω από τις εσωτερικές ενότητες (Παπανικολάου 1986, 2015)

Στην περίπτωση της Βοιωτίας ο βοιωτικός φλύσχη εγκαθίσταται πάνω σε τριαδικοιουρασικά ιζήματα ανθρακικής πλατφόρμας, τα οποία σε ορισμένες περιοχές εμπεριέχουν και βωξίτες, ενώ στην περίπτωση της Θεσσαλίας (περιοχή Κόζιακα) ο βοιωτικός φλύσχη (ίδιας ηλικίας) εγκαθίσταται πάνω σε πελαγικά ιζήματα και σε φάσεις μεταβατικές του τριαδικού-ιουρασικού. Το κύριο χαρακτηριστικό της Βοιωτικής Ενότητας είναι ότι πάνω από το σχηματισμό του βοιωτικού φλύσχη, υπάρχει συνεχόμενη στήλη χωρίς ασυμφωνία μέχρι το Ηώκαινο, ενώ στη Ενότητα Ανατολικής Ελλάδας πάνω από το φλύσχη, υπάρχει ασυμφωνία με άνω κρητιδικούς ασβεστόλιθους (ανωκρητιδική επίκληση).

Η Στρωματογραφική κολόνα της Βοιωτικής Ενότητας περιλαμβάνει από τους κατώτερους ορίζοντες τους ακόλουθους γεωλογικούς σχηματισμούς:

- ✓ **Μέσο και Ανώτερο Τριαδικό:** Δολομιτικοί ασβεστόλιθοι, πάχους 200 – 300 μ., οι οποίοι στους ανώτερους ορίζοντες περικλείουν *Megalodon*.
- ✓ **Ιουρασικό (Λιάσιο-Δογγέριο):** Νηριτικοί ασβεστόλιθοι, υπόλευκοι ως τεφροί, πάχους 300m.
- ✓ **Ανώτερο Ιουρασικό (Μάλμιο):** Ερυθροί κονδυλώδεις ασβεστόλιθοι με Αμμωνίτες (περιοχή Δοβραίνας) πάχους 20 μ. και μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι με *Madrepora*, πάχους 40 μ. περίπου και ασβεστόλιθοι με φύκη.
- ✓ **Ανώτερο Μάλμιο:** Απόθεση ραδιολαριτών.
- ✓ **Κατώτερο Κρητιδικό:** Βοιωτικός Φλύσχη ο οποίος αποτελείται από εναλλαγές πηλιτών –μαργαϊκών ασβεστόλιθων, πηλίτες, ψαμμίτες, λατυποπαγή, λατυποπαγείς ασβεστόλιθους και με χαρακτηριστικό απολίθωμα *Calpionellopsis oblonga*, *Tintinopsella longa* κ.α., ηλικίας Βερριασίου.
- ✓ **Ανώτερο Κρητιδικό (Κενομάνιο):** Λατυποπαγείς πλακώδεις πελαγικοί ασβεστόλιθοι, με λατύπες οφιολιθικού συμπλέγματος (γάβροι, βασάλτες, διαβάσες, περιδοτίτες, σερπεντινίτες κ.α.) και λατύπες με θραύσματα από ραδιολαρίτες και κερατόλιθους, γνωστούς σαν «φάση Θυμιάματος», οι οποίοι εμπεριέχουν *Globotruncanes*, μέχρι το Μαιστρίχτιο.
- ✓ **Παλαιόκαινο-Ηώκαινο:** Τριτογενής φλύσχη, ο οποίος εμπεριέχει σε εναλλαγές ψαμμίτες, πηλίτες με παρεμβολές λατυποπαγών και κροκαλοπαγών ιζημάτων, πάχους 180 μ. περίπου.

Η Βοιωτική Ενότητα στην περιοχή μελέτης καταλαμβάνει τις νοτιοανατολικές κλιτύες του όρους Ελικώνα και περιλαμβάνει τα χωριά Πρόδρομος, Δομβραίνα, έως το χωριό Νεοχώρι. Είναι επωθημένη πάνω στο Φλύσχη της Ενότητας Παρνασσού-Γκιώνας, κατά μήκος της γραμμής Κορώνειας - Αγίας Τριάδας - Αγίας Άννας – Προδρόμου - όρμου Ζάλτσας. Κύριο χαρακτηριστικό στην περιοχή μελέτης και συγκεκριμένα πάνω από τους οικισμούς Δομβραίνα και Θίσβη, είναι οι ασβεστόλιθοι τριαδικής-ιουρασικής ηλικίας οι οποίοι επιπλέον την σχιστοψαμμιτοκερατολιθική διάπλαση με οφιόλιθους.



**Σχήμα 5.3:** Στρωματογραφική Στήλη Ενότητας Βοιωτίας, Φύλλο Γεωλογικού Χάρτη Περαχώρα, κλίμακας 1:50.000 (Μπορνόβας κ.α. 1984, ΙΓΜΕ).

Η λιθοστρωματογραφία της Βοιωτικής Ενότητας (Σχήμα 5.3) στη περιοχή μελέτης περιλαμβάνει σύμφωνα με τα προαναφερόμενα φύλλα του γεωλογικού χάρτη της Ελλάδας από τους παλαιότερους προς τους νεώτερους ορίζοντες τους ακόλουθους γεωλογικούς σχηματισμούς:

- ✓ **Τριαδικό-Κατ. Ιουρασικό:** Ασβεστόλιθοι δολομίτες (T-Ji.K) ή (T-jik): Τεφροί, λευκότεφροι, παχυστρωματώδεις έως άστρωτοι, βιομικρίτες, δολοσπαρίτες. Στα ανώτερα στρώματα είναι τεφροί, τεφρομέλανες, παχυπλακώδεις, έως στρωματώδεις ωβιομικρίτες. Απολιθώματα: Ammodiscidae, Duostominidae, Thaumatoropella, parnovesiculifera, Codiaceae, Meglodon sp., Gastropods and Corals. Πάχους 500 m.
- ✓ **Ιουρασικό:** Σχιστοψαμμιτοκερατολιθική διάπλαση (Sh) η οποία περιλαμβάνει αργιλομαργαϊκές αποθέσεις, ψαμμίτες, κροκαλοπαγή, πηλίτες, ραδιολαρίτες, κερατόλιθους, ασβεστολιθικές ενστρώσεις και οφιόλιθους.

- ✓ **Ανώτερο Ιουρασικό-Κατώτερο Κρητιδικό:** Βοιωτικός φλύσχης (Fb) ο οποίος περιλαμβάνει ραδιολαρίτες, πλακώδεις ασβεστόλιθους, ψαμμίτες, πηλίτες και ραδιολαρίτες.
- ✓ **Ανώτερο Κρητιδικό –Παλαιόκαινο:** Ασβεστόλιθοι ρουδιστοφόροι (K7-e): Συνήθως μικροκρυσταλλικοί, τεφροί έως λευκότεφροι που μεταπίπτουν στα ανώτερα στρώματα σε λευκούς κρυσταλλικούς με θραύσματα ρουδιστών και κονδύλους πυριτολίθων. Οι ανώτεροι ορίζοντες περιλαμβάνουν πελαγικούς, στιφρούς, λευκόφαιους, λεπτοστρωματώδεις έως πλακώδεις ασβεστόλιθους, με κονδύλους και ενστρώσεις πυριτολίθων. Απολιθώματα: Τρηματοφόρα *Globotruncana Rotallidae*
- ✓ **Παλαιόκαινο- Ηώκαινο:** Φλύσχης (F): αποτελείται από μια σειρά από εναλλαγές στρωμάτων ψαμιτών, πηλιτών, μαργών, ασβεστολίθων και κροκαλοπαγών . και παρεμβολές από κροκαλοπαγή και λατυποπαγή, πάχους 180 μ. περίπου.

### 5.3. Μεταλλικοί σχηματισμοί

Στους μεταλλικούς σχηματισμούς, οι οποίοι δημιουργήθηκαν με το τέλος της αλπικής ορογένεσης κατά το Μειόκαινο (10 Ma), διακρίνουμε αλλουβιακές αποθέσεις και πλευρικά κορήματα ολοκαινικής ηλικίας, συνεκτικά κροκαλοπαγή και λατυποπαγή πλειστοκαινικής ηλικίας.

- ✓ **Πλειστόκαινο:** α) Συνεκτικά λατυποπαγή (Pt.br): Αποτελούν τη βάση ποταμοχερσαίων αποθέσεων και είναι κυρίως ασβεστολιθικά, διατεταγμένα σε παχιές τράπεζες, με παρεμβολές από λεπτές ασβεστομαργαϊκές ενστρώσεις. Το πάχος τους φθάνει τα 80 μέτρα. β) Κροκαλοπαγή, ψαμμίτες, άμμοι, ερυθροί πηλοί κ.λπ.: Αποτελούν ποτάμιες και χειμαρώδεις αποθέσεις οι οποίοι σε ορισμένες θέσεις είναι συνεκτικοί και σε άλλες χαλαρά συνδεδεμένοι σχηματισμοί. Τροφοδοτούνται από τη σχιστοψαμμιτοκερατολιθική διάπλαση, ασβεστολιθικά πετρώματα και άλλους γεωλογικούς σχηματισμούς.
- ✓ **Ολόκαινο:** α) Αλλουβιακές αποθέσεις: Αποτελούνται από ασύνδετα υλικά και κροκαλολατύπες, προσχώσεις χαλαρών αργιλοαμμωδών σχηματισμών, υλικά χειμαρρωδών αναβαθμίδων μικρού πάχους και υλικά ελουβιακού μανδύα. Πρόκειται για υλικά που έχουν αποθεθεί στην πεδινή περιοχή με ήπιο ανάγλυφο και στις παρυφές των βουνών. β) Πλευρικά κορήματα και κώνοι κορημάτων: Ασύνδετοι σχηματισμοί οι οποίοι αναπτύσσονται στις πλαγιές αλλά και κοντά σε ρήγματα, όπως στο ρήγμα Προδρόμου, ρήγμα Δομβραΐνας-Θίσβης και ρήγμα Νεοχωρίου και κοντά στους σχηματισμούς της σχιστοψαμμιτοκερατολιθικής διάπλασης, κοντά στους οικισμούς Δομβραΐνας και Θίσβης.

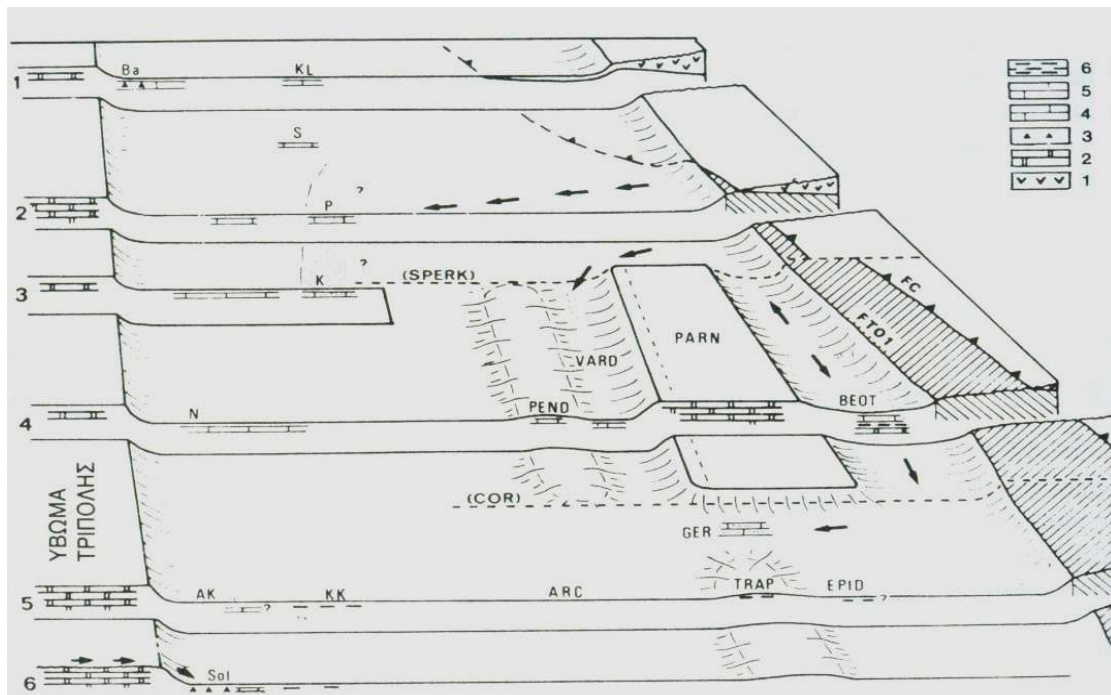
### 5.4. Τεκτοορογενετική εξέλιξη της περιοχής

Η τεκτονική δομή της υδρογεωλογικής λεκάνης είναι αρκετά πολύπλοκη, διότι βρίσκεται στο όριο μεταξύ της Ενότητας Δυτικής Θεσσαλίας - Βοιωτίας και της Ενότητας Παρνασσού – Γκιώνας.

Η Ενότητα Παρνασσού-Γκιώνα (Μουντάκης 1985) λόγω της παλαιογεωγραφικής της θέσης αλλά και της γειτονίας της με τις άλλες ενότητες, δέχτηκε την επίδραση των πρώιμων (παλαιοαλπικών) ορογενετικών κινήσεων που πραγματοποιήθηκαν σε αυτές.

Αποτέλεσμα αυτών των φαινομένων είναι οι ανοδικές κινήσεις που δημιούργησαν παραλιακό περιβάλλον, κατάλληλο για τη δημιουργία των βωξιτικών οριζόντων, κατά τη διάρκεια των τριών φάσεων της Αγκασιζικής φάσης του Άνω Ιουρασικού, της Νεοκιμερικής φάσης του Ανώτερου Ιουρασικού και της Υποερκυνικής φάσης στο Μέσω Κρητιδικό.

Η δημιουργία των βωξιτικών οριζόντων προκάλεσαν μικρές ασυμφωνίες μεταξύ των υποκείμενων και υπερκείμενων ασβεστόλιθων, χωρίς ωστόσο να διακοπεί η ιζηματογένεση. Η οριστική ανάδυση της Ενότητας έγινε στο Ανώτερο Ηώκαινο, όπως αποδεικνύεται από την ηλικία του φλύσχη. Πάνω στα στρώματα της Ενότητας βρίσκονται επωθημένα στρώματα της Υποπελαγονικής και ιδιαίτερα της Βοιωτικής Ενότητας.

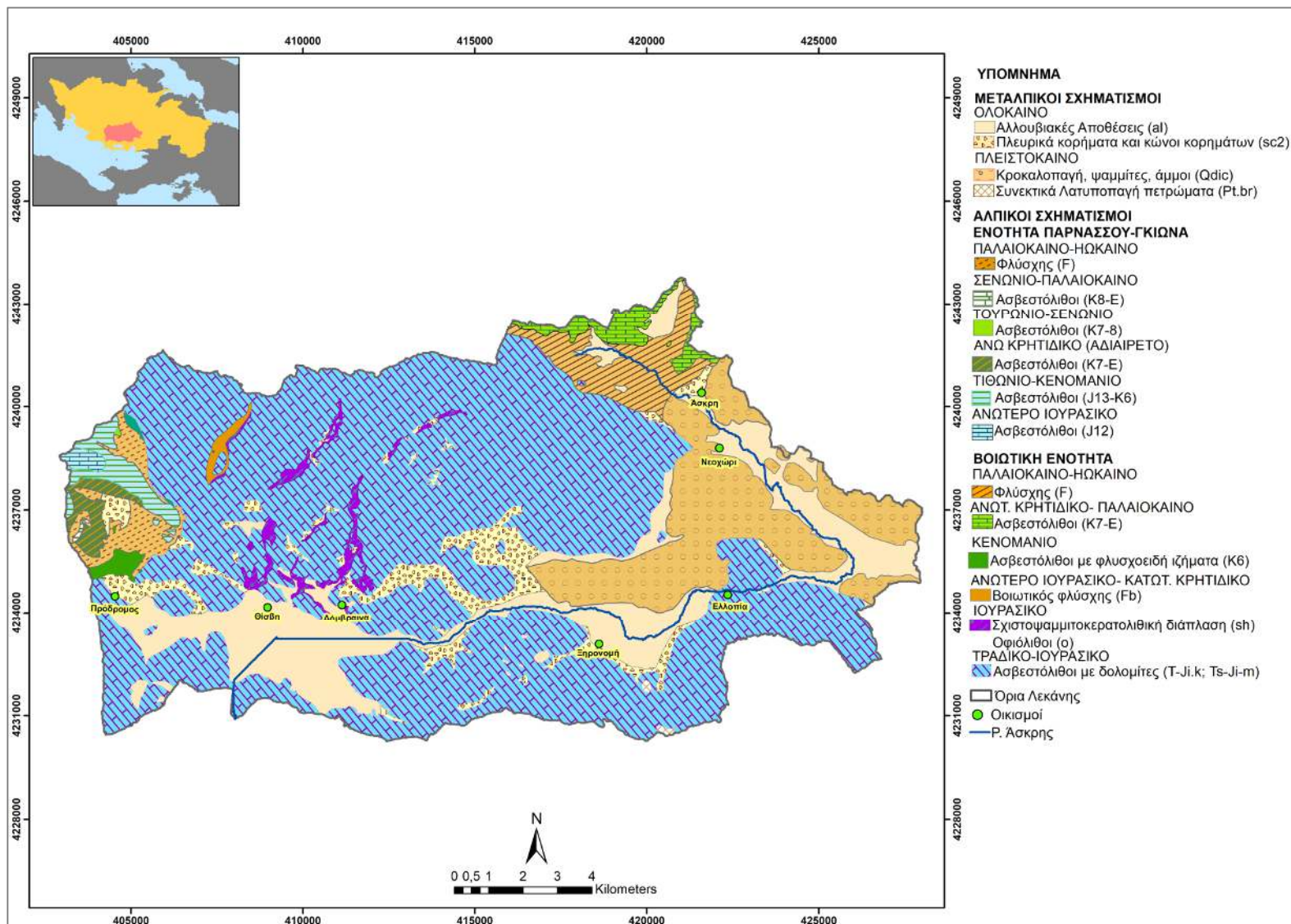


**Σχήμα 5.4:** Διαμόρφωση της παλαιογεωγραφικής αύλακας όπου αναπτύχθηκε η Ενότητα Βοιωτίας στα τέλη του Τιθωνίου – Βερριάσιου. (1. Οφειόλιθοι, 2. Ασβεστόλιθοι νηριτικοί, 3. Ασβεστολιθικά λατυποπαγή, 4. Ασβεστόλιθοι πελαγικοί, 5. Ασβεστόλιθοι & ψαμμίτες, 6. Ραδιολαρίτες,, τα βέλη δείχνουν την κίνηση που έχουν τα υλικά προερχόμενα από το χώρο της αναδυομένης Υποπελαγονικής (Fleury 1980, από Κατσικάτσο 1992, Προγκάκη 2007).

Αντίθετα η Βοιωτική ενότητα, σύμφωνα με τη στρωματογραφική στήλη, δεν φαίνεται να έχει δεχτεί τη δράση των πρώιμων τεκτονικών φάσεων των εσωτερικών ζωνών.

Χαρακτηριστικό της Βοιωτικής Ενότητας είναι τα τεκτονικά λείπια που επιπτεύουν τη Ενότητα Παρνασσού-Γκιώνας και τα οποία δημιουργήθηκαν κατά τη διάρκεια των τεκτονικών φάσεων του Τριτογενούς.

Η περιοχή όπου αναπτύχθηκε η Ενότητα Βοιωτίας λόγω της παλαιογεωγραφικής της θέσης αποτελούσε μια βαθιά αύλακα την περίοδο Ανώτερου Ιουρασικού - Κατώτερου Κρητιδικού και η οποία δέχτηκε προϊόντα διάβρωσης από την Υποπελαγονική Ενότητα (Σχήμα 5.4).



**Σχήμα 5.5:** Γεωλογικός χάρτης περιοχής μελέτης (από τη σύνθεση των γεωλογικών φύλλων: Λιβαδειά (Τάταρης κ.α.1971), Βάγια (Τάταρης κ.α.1970), Περαχώρα (Μπορνόβας κ.α.1984) και Καπαρέλλι (Μπορνόβας κ.α.1984), Εκδόσεις Ι.Γ.Μ.Ε. (επεξεργασία μέσω του προγράμματος ArcMap).

## 5.5. Νεοτεκτονική δομή

Η νεοτεκτονική δομή της υδρολογικής λεκάνης Άσκηης-Δομβραΐνας χαρακτηρίζεται από την παρουσία του τεκτονικού βυθίσματος στην κοιλάδα Δομβραΐνας – Ξηρονομής (Βαλκανιώτης 2009), το οποίο οριοθετείται βόρεια από τις ρηξιγενείς ζώνες Προδρόμου-Δομβραΐνας (δυτικό τμήμα) και Νεοχωρίου (ανατολικό τμήμα) και νότια από μικρά αντιθετικά ρήγματα με σημαντικότερο το ρήγμα Ταράτσα (Σχήμα 5.6).

Τα ρήγματα Προδρόμου και Θίσβης (Βαλκανιώτης 2009), εντοπίζονται στις νότιες παρυφές του όρους Ελικώνα, δυτικά των οικισμών Δομβραΐνας – Θίσβης. Πρόκειται για κανονικά ρήγματα τα οποία έχουν κλίση προς νότο, διεύθυνση Δ – Α έως ΒΔ - ΝΑ και μήκος 4km.

Ανατολικά των ρηγμάτων αυτών βρίσκεται η ρηξιγενής Ενότητα Νεοχωρίου (Τσόδουλος 2009 και Βαλκανιώτης 2009), η οποία διέρχεται κατά μήκος της νοτιοανατολικής πλευράς του όρους Ελικώνα. Αποτελείται από κανονικά ρήγματα, με κλίση προς νότο, διεύθυνση ΔΝΔ-ΑΒΑ και συνολικό μήκος 12km. Αναπτύσσεται κυρίως σε ασβεστολιθικά πετρώματα και πλειστοκαινικά - ολοκαινικά ιζήματα, με κύρια χαρακτηριστικά το απότομο ρηξιγενές πρηνές, κλίσεις 50° έως 60° και μέγιστο υψόμετρο που φτάνει τα 1.040μ. Στα δύο άκρα του ρήγματος Νεοχωρίου εντοπίζονται μικρά κανονικά ρήγματα κλιμακωτής διάταξης, τα οποία δημιουργούν μεταξύ τους ζώνες επικάλυψης (Σχήμα 5.6).

Στο νότιο περιθώριο του τεκτονικού βυθίσματος εντοπίζονται μικρά αντιθετικά ρήγματα, με σημαντικότερο το ρήγμα Ταράτσα (Βαλκανιώτης 2009), το οποίο έχει διεύθυνση Δ – Α, κλίση προς βορρά και μήκος 5km.

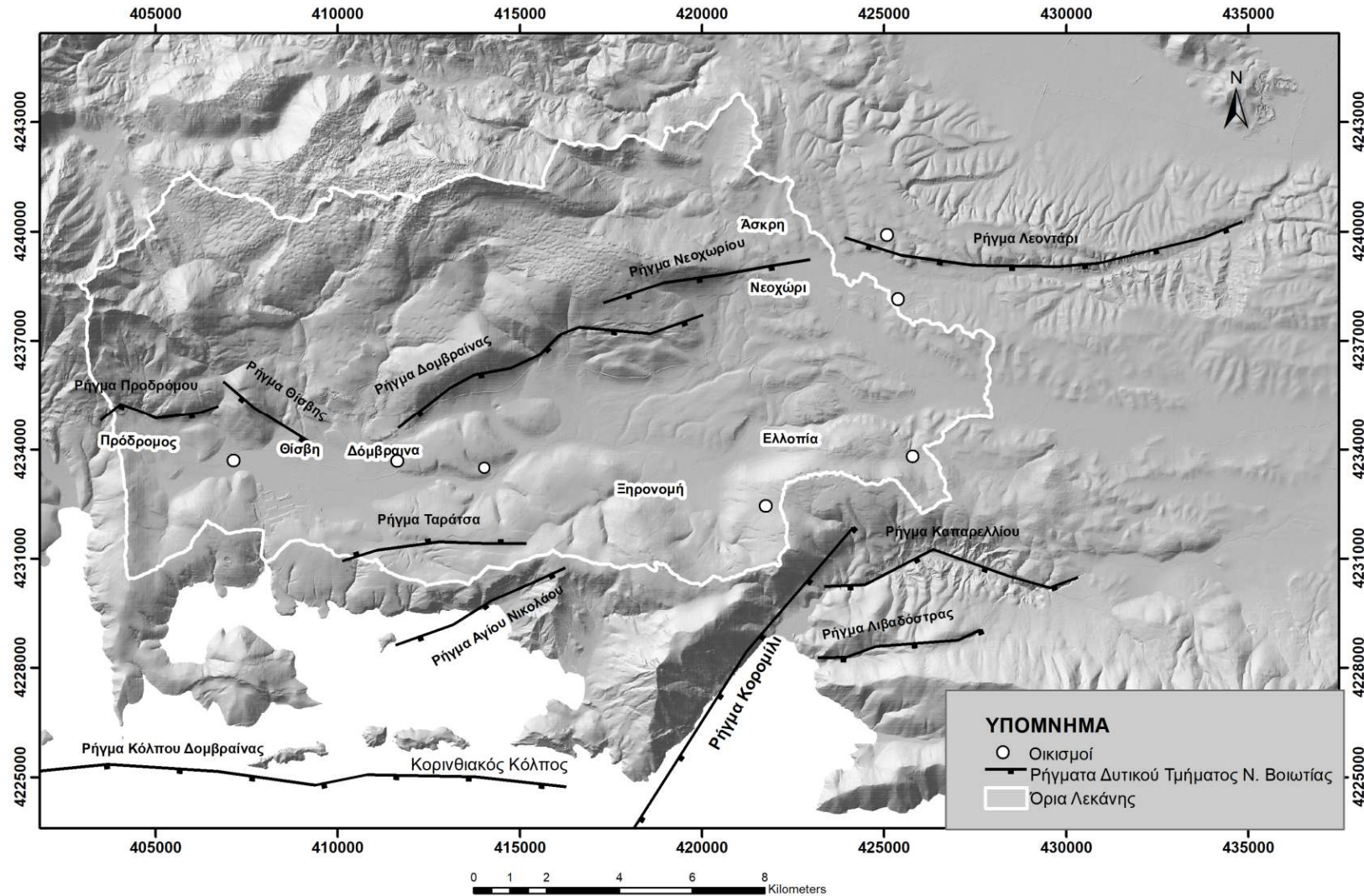
Σοβαρές ενδείξεις για την πρόσφατη τεκτονική δραστηριότητα εφελκυστικού χαρακτήρα στην περιοχή αποτελεί η συσσώρευση σύγχρονων πλευρικών κορημάτων ολοκαινικής ηλικίας κατά μήκος των κανονικών αυτών ρηγμάτων. Η συσσώρευση των κορημάτων μας δηλώνει τη συνεχή ενεργοποίηση των ρηγμάτων κατά την πρόσφατη γεωλογική περίοδο, γεγονός που πιστοποιείται και από την έντονη σεισμική δραστηριότητα στην περιοχή τόσο κατά τους ιστορικούς χρόνους όσο και σήμερα. Η ευρύτερη περιοχή του νοτιοανατολικού τμήματος του Ν. Βοιωτίας χαρακτηρίζεται από την παρουσία ρηγμάτων τα οποία υφίστανται έναν εφελκυσμό γενικής διεύθυνσης Β-Ν (Τσόδουλος 2009 και Βαλκανιώτης 2009).

Σημαντική επίδραση στην τεκτονική και γεωμορφολογική δομή της περιοχής ασκεί το παράλληλο τεκτονικό βύθισμα του ανατολικού τμήματος του Κορινθιακού Κόλπου, το οποίο βρίσκεται νότια της περιοχής μελέτης (Βαλκανιώτης 2009) και το οποίο οριοθετείται βόρεια από τη ρηξιγενή Ενότητα του κόλπου Δομβραΐνας. Η συγκεκριμένη ρηξιγενής Ενότητα ξεκινά νοτιοδυτικά του κόλπου Δομβραΐνας, διέρχεται από τα νησιά Φονιάς, Γρομπολούρα και Μακρόνησος και καταλήγει ανατολικά στον όρμο της Λιβαδόστρας, όπως αποτυπώνεται στο Σχήμα 5.6.

Στην ευρύτερη περιοχή υπάρχουν σημαντικές ρηξιγενείς ζώνες, εφελκυστικού χαρακτήρα, όπως η ρηξιγενής Ενότητα στην περιοχή της Ζάλτσας (δυτικά της περιοχής έρευνας) και οι ρηξιγενείς ζώνες στις περιοχές Κορομίλι – Λιβαδόστρα, παραλία του Αγίου Νικολάου και Καπαρέλλι (νοτιοανατολικά της περιοχής έρευνας), με κύριο χαρακτηριστικό τους τα απότομα μορφολογικά πρηνή προς τη πλευρά του Κορινθιακού κόλπου και τις έντονες κατά βάθος διαβρώσεις εντός των ρεμάτων.



ΤΕΚΤΟΝΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΗΣ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ  
ΑΣΚΡΗΣ -ΔΟΜΒΡΑΙΝΑΣ Ν. ΒΟΙΩΤΙΑΣ



Σχήμα 5.6: Σκιαγραφημένος τεκτονικός χάρτης της υδρολογικής λεκάνης Άσκης και της ευρύτερης περιοχής (Τσόδουλο 2009 και Βαλκανιώτη 2009).

Επίσης, στο δυτικό τμήμα της περιοχής εντοπίζονται επωθημένα καλύμματα της Βοιωτικής Ενότητας πάνω στο φλύσχη της Ενότητας Παρνασσού-Γκιώνας και διαδοχικές επιπτεύσεις της σχιστοψαμμιτοκερατολιθικής διάπλασης στην περιοχή βόρεια των οικισμών Προδρόμου, Δομβραΐνας και Θίσβης.

Τέλος, στην περιοχή «Στρούγκα – Δρόση» στην πλαγιά Άσπρο Κούτσουρο εντοπίστηκε τεκτονικό παράθυρο του φλύσχη, στο οποίο είναι τεκτονικά επωθημένοι οι ασβεστόλιθοι του Άνω Τριαδικού – Ιουρασικού (Σχήμα 5.7).



**Σχήμα 5.7:** Επώθηση των ασβεστόλιθων Άνω Τριαδικού – Ιουρασικού πάνω στο φλύσχη στην περιοχή «Στρούγκα Δρόση» ( Προγκάκη 2007).

### **5.6. Σεισμική επικινδυνότητα**

Η περιοχή μελέτης καθώς και η ευρύτερη περιοχή του νοτιοανατολικού τμήματος του Νομού Βοιωτίας παρουσιάζει, λόγω της γεωτεκτονικής της θέσης, έντονη σεισμική δραστηριότητα. Τοποθετείται εσωτερικά του ελληνικού τόξου, όπου επικρατούν εφελκυστικές δυνάμεις με προσανατολισμό Β – Ν, οι οποίες έχουν ως αποτέλεσμα το σχηματισμό κανονικών ρηγμάτων με μέση κατεύθυνση ΔΝΔ-ΑΒΑ (Τσόδουλος 2009).

Σύμφωνα με ιστορικές μαρτυρίες τα τελευταία 170 χρόνια στην ευρύτερη περιοχή έχουν σημειωθεί αρκετοί ισχυροί σεισμοί με μέγεθος μεγαλύτερο από Ms= 6.0 βαθμούς της κλίμακας Richter, οι οποίοι προκάλεσαν μεγάλες καταστροφές στους οικισμούς της περιοχής καθώς και στην πόλη των Θηβών.

Οι σημαντικότεροι καταγεγραμμένοι σεισμοί (<http://www.oasp.gr>) που επηρέασαν την περιοχή ήταν:

(1) *Οι σεισμοί του έτους 1853*: Σημειώθηκαν δυο σεισμικά γεγονότα τον Αύγουστο και Σεπτέμβριο με μέγεθος (Ms) 6,3 και 6,5 βαθμών της κλίμακας Richter αντίστοιχα, από τα οποία προκλήθηκαν εκτεταμένες ζημιές σε εκκλησίες της περιοχής και σε σπίτια στην πόλη των Θηβών. Αν και δεν υπάρχουν καταγραφές για τα επίκεντρα των σεισμών, ωστόσο πολλοί ερευνητές τοποθετούν γεωγραφικά το επίκεντρο των σεισμών κοντά στην περιοχή που βρίσκεται το ρήγμα Λεονταρίου (Ambraseys and Jackson 1997 και 1998, Τσόδουλος 2009).

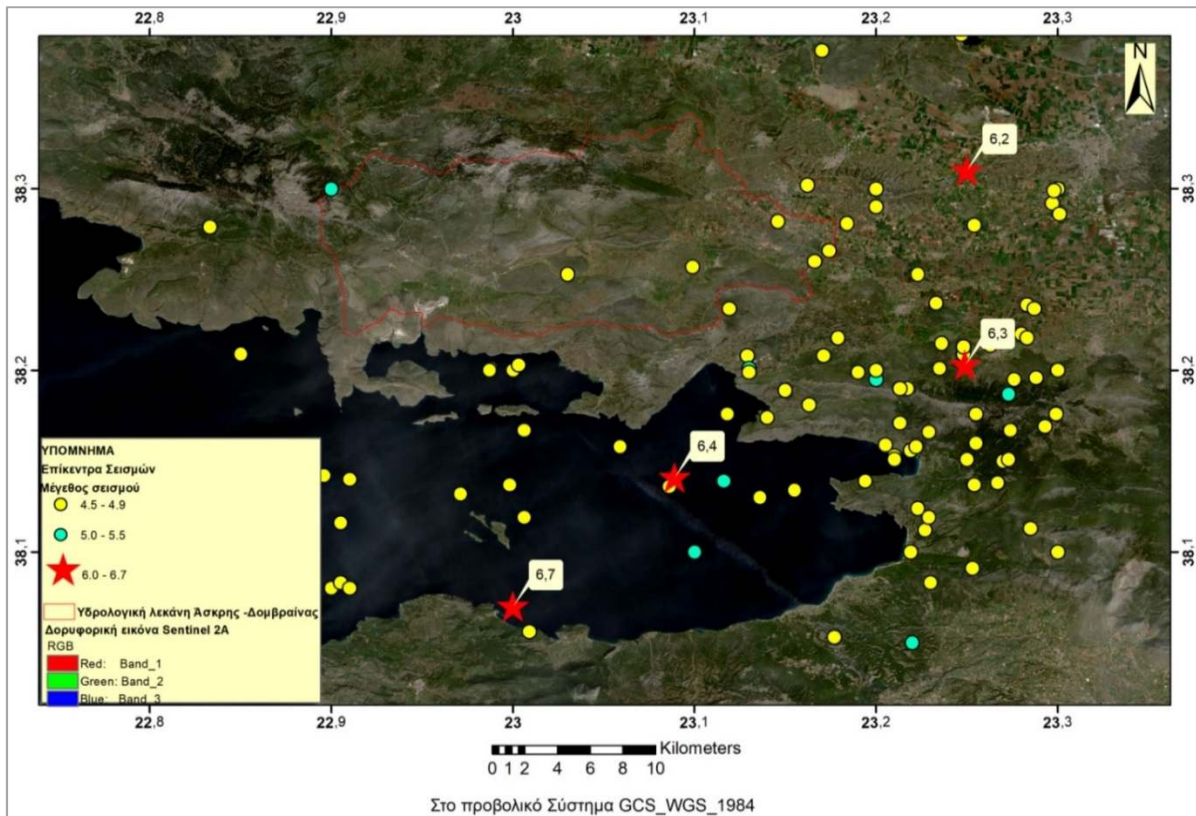
(2) *Ο σεισμός του έτους 1893*: Ο συγκεκριμένος σεισμός έδρασε στις 23 Μαΐου του 1893, είχε μέγεθος (Ms) 6.0 βαθμών της κλίμακας Richter και προκάλεσε σημαντικές ζημιές στην ευρύτερη περιοχή του Νομού Βοιωτίας. Αν και δεν υπάρχουν καταγεγραμμένες σημαντικές επιφανειακές εδαφικές διαρρήξεις στην περιοχή, εντούτοις και αυτός ο σεισμός συνδέεται με το ρήγμα του Λεονταρίου (Ambraseys and Jackson 1990 και 1997, Goldsworthy and Jackson 2000, Τσόδουλος 2009).

(3) *Ο σεισμός του έτους 1981*: Ο ισχυρός σεισμός που έλαβε χώρα στις 4 Μαρτίου 1981 είχε μέγεθος  $M=6,3$  βαθμούς της κλίμακας Richter. Από το σεισμό που εκδηλώθηκε στις 4 Μαρτίου 1981 ενεργοποιήθηκε το ρήγμα του Καπαρελλίου (Σχήμα 5.6) ανατολικά της λεκάνης, συνολικού μήκους 13 περίπου χιλιομέτρων (Τσόδουλος 2009). Ο απολογισμός από αυτόν τον σεισμό ήταν δεκαέξι νεκροί, δεκάδες τραυματίες και χιλιάδες σπίτια που καταστράφηκαν ή υπέστησαν σοβαρές ζημιές.

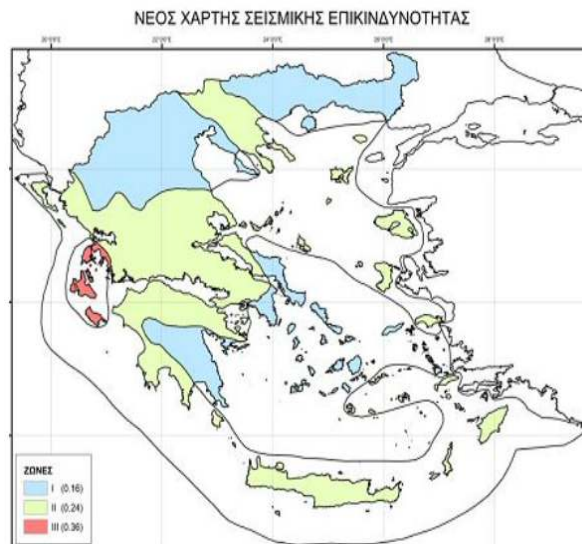
Για τη χαρτογράφηση των επίκεντρων των σεισμών χρησιμοποιήθηκε ο κατάλογος των Papazachos et al. (2000) για την περιοχή μελέτης καθώς και για την ευρύτερη περιοχή. Μετά την επεξεργασία των δεδομένων και τη χαρτογράφησή τους στο προβολικό σύστημα WGS\_1984 προκύπτει ότι στην ευρύτερη περιοχή έχουν καταγραφεί 128 επίκεντρα σεισμών με μέγεθος από 4,5 έως 6,7 βαθμούς της κλίμακας Richter, ενώ στην περιοχή μελέτης πέντε επίκεντρα σεισμών με μέγεθος μέχρι 4,9 βαθμούς της κλίμακας Richter.

Στο σχήμα 5.8 εμφανίζονται σε δορυφορική εικόνα τα επίκεντρα των σεισμών στην ευρύτερη περιοχή από το 1877 έως το 2010. Για την αποτύπωση χρησιμοποιήθηκε η δορυφορική εικόνα Sentinel 2A (S2A\_MSIL2A\_20200314T092031\_N0214\_R093\_T34SFH\_20200314T122003) από τον ιστότοπο Copernicus Open Access Hub με προβολικό σύστημα WGS\_1984.

Η περιοχή μελέτης σύμφωνα με τον τροποποιημένο Ελληνικό Αντισεισμικό Κανονισμό του 2003 που εγκρίθηκε με την υπ' αριθ. Δ17α/141/ΦΝ275/15-12-1999, ΦΕΚ 2184/Β/20-12-1999) απόφαση του Υπουργού Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων κατατάσσεται στη Ενότητα Σεισμικής Επικινδυνότητας II του Χάρτη Ζωνών Σεισμικής Επικινδυνότητας (Σχήμα 5.9).



**Σχήμα 5.8:** Επίκεντρα των σεισμών στην ευρύτερη περιοχή σύμφωνα με τον κατάλογο των Parazachos et al. (2000) με μέγεθος 4,5 έως 6,7 βαθμούς της κλίμακας Richter από το 1877 έως το 2010. (κίτρινος χρωματισμός, σεισμοί με μέγεθος  $4,5 < ML < 4,9$ , θαλασσί χρωματισμός, σεισμοί με μέγεθος  $5,0 < ML < 5,5$  και κόκκινος χρωματισμός, σεισμοί με μέγεθος  $ML \geq 5,5$  (Permanent Regional Seismological Network, Aristotle University of Thessaloniki, doi:10.7914/SN/HT).



**Σχήμα 5.9:** Χάρτης ζωνών σεισμικής επικινδυνότητας της Ελλάδας 2003 (<http://www.oasp.gr>).

## 6. ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΑ-ΥΔΡΟΛΟΓΙΑ

### 6.1. Γενικά

Για την εκτίμηση του υδρολογικού ισοζυγίου μιας περιοχής είναι απαραίτητη η συγκέντρωση και επεξεργασία μετεωρολογικών δεδομένων που αφορούν τη βροχόπτωση, τη θερμοκρασία, τη σχετική υγρασία και τον άνεμο για μεγάλη χρονική περίοδο. Ο υπολογισμός των ανωτέρω παραμέτρων είναι αρκετά σημαντικός για τη μελέτη των υδρογεωλογικών συνθηκών μιας περιοχής, γιατί βοηθά στην εκτίμηση της ποσοτικής μεταβολής των υπόγειων και επιφανειακών νερών της λεκάνης και την εποχιακή διακύμανση της στάθμης των υπόγειων υδάτων.

### 6.2. Βροχόπτωση

Ο όρος «ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα» χρησιμοποιείται για να περιγράψει τις μετρήσιμες ποσότητες νερού που πέφτουν στην επιφάνεια του εδάφους σε υγρή (βροχή) ή σε στερεή (χιόνι, χαλάζι) μορφή.

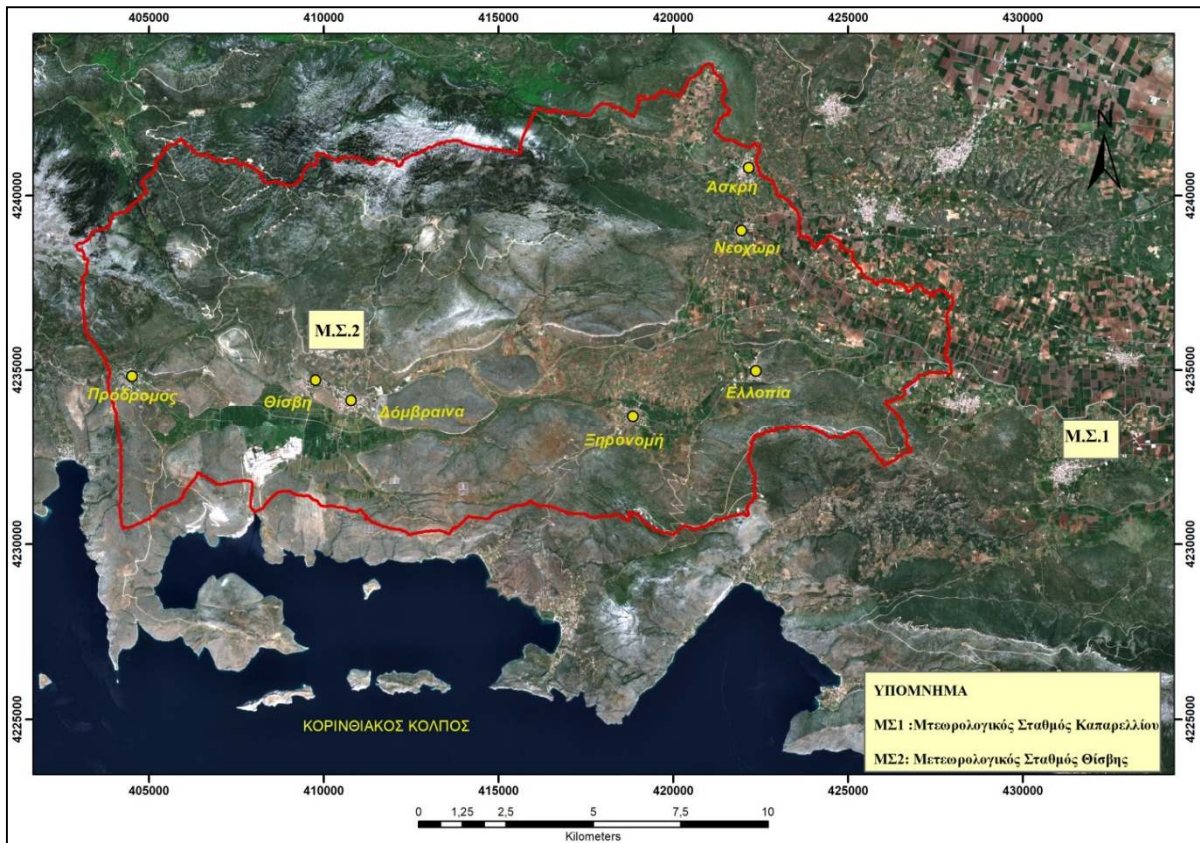
Στην περιοχή μελέτης η μορφή με το μεγαλύτερο ενδιαφέρον είναι η βροχή, η οποία υπερέχει ποσοτικά έναντι των άλλων κατακρημνισμάτων (Κουτσογιάννης και Ξανθόπουλος 1999) και η δεύτερη σε σπουδαιότητα μορφή είναι το χιόνι που πέφτει στους ορεινούς όγκους του Ελικώνα και το οποίο όταν λιώνει σχηματίζει την απορροή, η οποία καταλήγει στην πεδινή περιοχή της λεκάνης και στη συνέχεια στον Κορινθιακό Κόλπο.

Πίνακας 6.1: Πληροφορίες Μ.Σ. Καπαρελλίου και Θίσβης

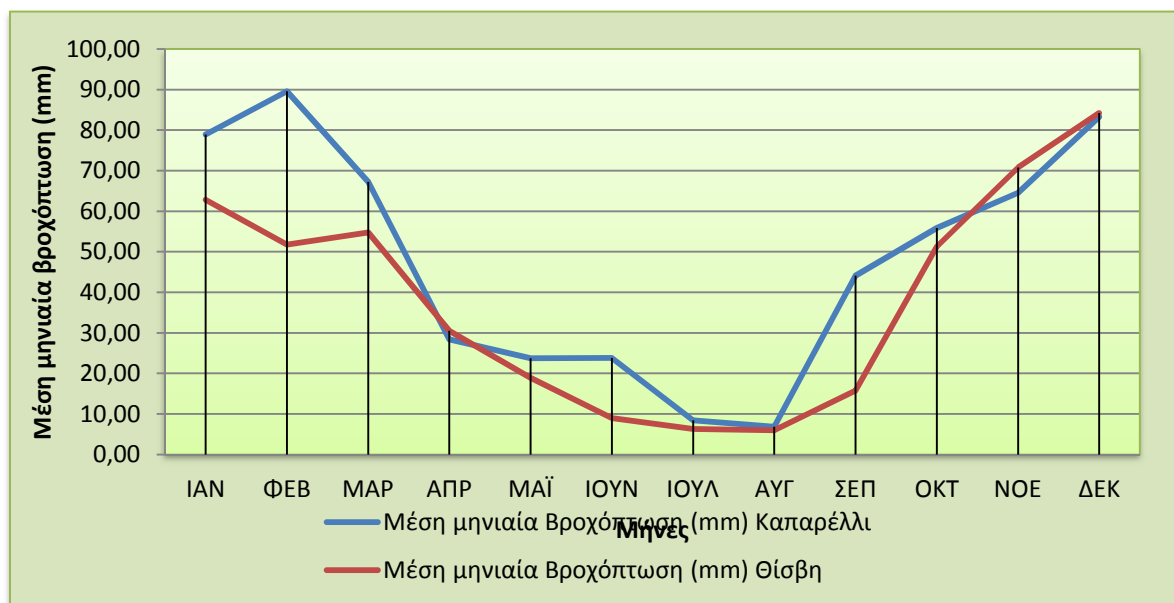
ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ	Καπαρελλίου	Θίσβης
ΚΩΔΙΚΟΣ	LGJ7	100200022
ΘΕΣΗ	Καπαρέλλι	Θίσβη
ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΠΛΑΤΟΣ	38° 23' 00"N	38° 15' 25.85"N
ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΜΗΚΟΣ	23° 12' 00" E	22° 58' 32.45" E
ΥΨΟΜΕΤΡΟ	345 m	166.80 m
ΥΨΟΣ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ ΘΕΡΜ/ΥΓΡ	2m	
ΥΨΟΣ ΑΝΕΜΟΜΕΤΡΟΥ	2.5 m	
ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	Φεβρουάριος του 2007	Ιανουάριος του 1955
ΕΠΙΠΛΕΟΝ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	Βρίσκεται σε οροφή κτηρίου	

Για τον υπολογισμό, την ανάλυση και τη χωρική κατανομή της βροχόπτωσης, της θερμοκρασίας και του ανέμου χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από το Μετεωρολογικό Σταθμό Καπαρελλίου του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών – Ινστιτούτου Ερευνών Περιβάλλοντος (meteo.gr), που βρίσκεται εκτός της λεκάνης, αλλά σε κοντινή απόσταση από αυτή, για την περίοδο αναφοράς 2007-2019.

Επίσης για τον υπολογισμό της βροχόπτωσης συγκεντρώθηκαν δεδομένα από το Μ.Σ. Θίσβης για τη χρονική περίοδο 1955 έως 2013. Στο Σχήμα 6.1 που ακολουθεί παρουσιάζεται χάρτης με τα όρια της περιοχής έρευνας και τα σημεία των μετεωρολογικών σταθμών τα στοιχεία των οποίων χρησιμοποιήθηκαν για την κάλυψη των αναγκών της εν λόγω εργασίας.



**Σχήμα 6.1:** Χάρτης με τα όρια της υδρολογικής λεκάνης Άσκη-Δομβραίνας και τις θέσεις των μετεωρολογικών σταθμών Καπαρέλλιο (ΜΣ1) και Θίσβης (ΜΣ2) (meteo.gr)



**Σχήμα 6.2:** Μέση μηνιαία μεταβολή βροχόπτωσης Μ.Σ. Καπαρέλλιο και Θίσβης

**Πίνακας 6.2:** Μέσο ετήσιο ύψος βροχόπτωσης για το Μ.Σ. Καπαρελλίου

ΕΤΗ/ ΜΗΝΕΣ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΣΥΝΟ ΛΟ	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	MAX	MIN
<b>2007</b>	...	68,6	40,4	11,2	38,4	25,4	0	8,4	6,6	48,5	<b>89,1</b>	47,8	384,4	34,95	89,1	0
<b>2008</b>	24,4	80	28,4	33	5,8	0,6	0	22	36,6	2,4	46,8	<b>127,4</b>	407,4	37,04	127,4	0
<b>2009</b>	106,8	47	48,2	20	2,2	0,2	0	0,6	77,7	111,8	53,8	<b>144,4</b>	612,7	55,70	144,4	0
<b>2010</b>	90,6	79,5	92,2	0,6	14,2	33,2	8	0	44,2	<b>103,2</b>	18	37	520,7	47,34	103,2	0
<b>2011</b>	122,2	<b>196,8</b>	128,8	79,8	47	59,4	0	1,4	20,8	107,8	24	88,4	876,4	79,67	196,8	0
<b>2012</b>	27,4	133,8	26,4	43,6	13,6	0	0	2,8	22,4	34,2	84,2	<b>137,4</b>	525,8	47,80	137,4	0
<b>2013</b>	55,2	93,4	26,2	11	25,6	17,6	1,8	0	0,4	35,4	<b>132,4</b>	123	522	47,45	132,4	0
<b>2014</b>	102,4	23,5	120,6	46,6	13,6	41,6	15	12,8	52,6	65,4	105	<b>167,8</b>	766,9	69,72	167,8	13
<b>2015</b>	34,4	<b>166,2</b>	135,2	15	36,6	19	1,2	17,8	67	124,6	32,2	41,4	690,6	62,78	166,2	1,2
<b>2016</b>	57	27,6	<b>69,6</b>	1	16,8	3,6	0	0,4	13,8	39,4	55,8	27,4	312,4	28,40	69,6	0
<b>2017</b>	58,6	26,4	<b>67,2</b>	4,6	52,4	63,6	42,8	0,2	32,6	18	91	28,8	486,2	44,20	67,2	0,2
<b>2018</b>	67,6	64,2	18,8	6	30,2	40,6	25,4	22,2	150	17,8	107,2	<b>111,8</b>	661,4	60,13	111,8	6
<b>2019</b>	<b>200,6</b>	157,2	72,4	96,2	11,8	5	15,4	0	49,2	17,8			625,6	56,87	200,6	0
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	947,2	1164,2	874,4	368,6	308,2	310	110	88,6	574	726,3	839,5	1082,6	7392,5			
<b>ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ</b>	78,93	89,55	67,26	28,35	23,71	23,8	8,43	6,82	44,1	55,87	64,58	83,28	568,6			
<b>MAX</b>	200,6	196,8	135,2	96,2	52,4	63,6	42,8	22,2	150	124,6	132,4	167,8				
<b>MIN</b>	24,4	23,5	18,8	1	2,2	0	0	0	0,4	2,4	18	27,4				

**Πίνακας 6.3:** Μέση Μηνιαία και Ετήσια Τιμή βροχόπτωσης (mm) για τους Μ.Σ. Καπαρελλίου και Θίσβης.

ΜΗΝΕΣ	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ	ΣΥΝΟΛΟ
<b>Καπαρέλλι</b>	78,93	89,55	67,26	28,35	23,71	23,83	8,43	6,82	44,12	55,87	64,58	83,28	574,73
<b>Θίσβη</b>	62,85	51,79	54,78	30,5	18,92	8,93	6,3	5,93	15,78	51,29	70,81	84,21	462,09

**Πίνακας 6.4:** Συνολική Ετήσια βροχόπτωση για το Μ.Σ. Καπαρελλίου

Έτη	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Μέση Τιμή
<b>Ετήσια βροχόπτωση (mm)</b>	384,4	407,4	612,7	520,7	876,4	525,8	522	766,9	690,6	312,4	486,2	661,4	563

**Πίνακας 6.5:** Μηνιαία μεταβολή της θερμοκρασίας (Μ.Σ. Καπαρελλίου).

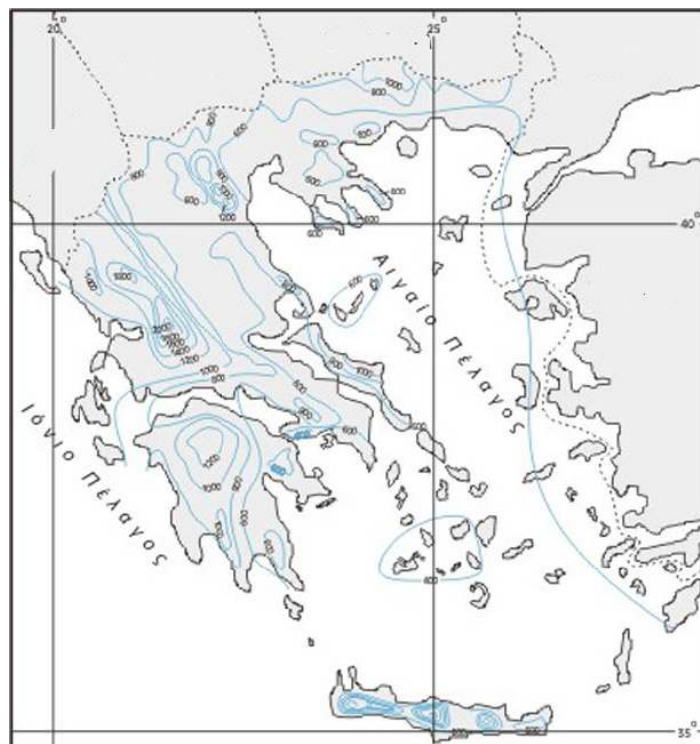
ΜΗΝΕΣ	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ
<b>Απόλυτη Μέγιστη Θερμοκρασία (°C)</b>	20,6	24,3	24,2	30,3	33,1	40,4	42,5	33,9	36,2	30,7	25,6	24,7
<b>Απόλυτη Ελάχιστη θερμοκρασία 9 °C)</b>	-3,7	-6,3	-3,9	3,2	7,9	12,8	15,2	15,9	10,6	5	-10,2	-2,4
<b>Μέση Μηνιαία θερμοκρασία (°C)</b>	8,02	8,85	11,18	14,95	19,24	24,05	24,70	26,35	22,19	17,32	13,35	9,04



Από τον Πίνακα 6.2 και το Σχήμα 6.2 παρατηρούμε ότι οι μέγιστες τιμές βροχόπτωσης στους σταθμούς Καπαρελλίου και Θίσβης εμφανίζονται το ίδιο χρονικό διάστημα από Οκτώβριο μέχρι Μάρτιο, ενώ οι ελάχιστες από Μάιο μέχρι Σεπτέμβριο. Στην περιοχή του Καπαρελλίου η μέγιστη μηνιαία βροχόπτωση εμφανίζεται το μήνα Φεβρουάριο (89,55 mm) και η ελάχιστη μηνιαία βροχόπτωση το μήνα Αύγουστο (6,82 mm), αντίστοιχα στην περιοχή της Θίσβης η μέγιστη μηνιαία βροχόπτωση εμφανίζεται το μήνα Δεκέμβριο (84,21 mm) και η ελάχιστη μηνιαία βροχόπτωση το μήνα Αύγουστο (5,93 mm).

Επίσης, όπως προκύπτει από το Πίνακα 6.3 η περιοχή της Θίσβης δέχεται ετησίως λιγότερα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα σε σχέση με την περιοχή του Καπαρελλίου. Συγκεκριμένα η περιοχή της Θίσβης δέχεται 462,09 mm, ενώ η περιοχή του Καπαρελλίου δέχεται 574,73 mm. Οι λόγοι που η περιοχή της Θίσβης δέχεται μικρότερη βροχόπτωση οφείλονται προφανώς στο χαμηλότερο υψόμετρο του εγκαταστημένου σταθμού, στο μικροανάγλυφο της περιοχής και στη γεωμορφολογική θέση του Μ.Σ. που βρίσκεται στις νότιες κλιτύες του Ελικώνα.

Επίσης, σύμφωνα με το Μαριολόπουλο (1965), η διακοπή των οροσειρών που διασχίζουν τη χώρα από Β-ΒΔ προς Ν-ΝΑ, εξαιτίας της θάλασσας του Κορινθιακού Κόλπου, έχει ως αποτέλεσμα τη μη συμπύκνωση των υδρατμών ή την υγροποίηση μικρού μέρους των βροχοφόρων ανέμων που προέρχονται από τα δυτικά του Κορινθιακού Κόλπου, καθώς αυτά κινούνται χωρίς ορογραφικά εμπόδια. Συνεπώς, τα ύψη βροχής στην δυτική περιοχή της λεκάνης είναι αρκετά χαμηλότερα, σε σχέση με τα ύψη βροχής στο ανατολικό τμήμα της λεκάνης, όπως εμφανίζονται και στο βροχομετρικό χάρτη της Ελλάδας (Σχήμα 6.3).

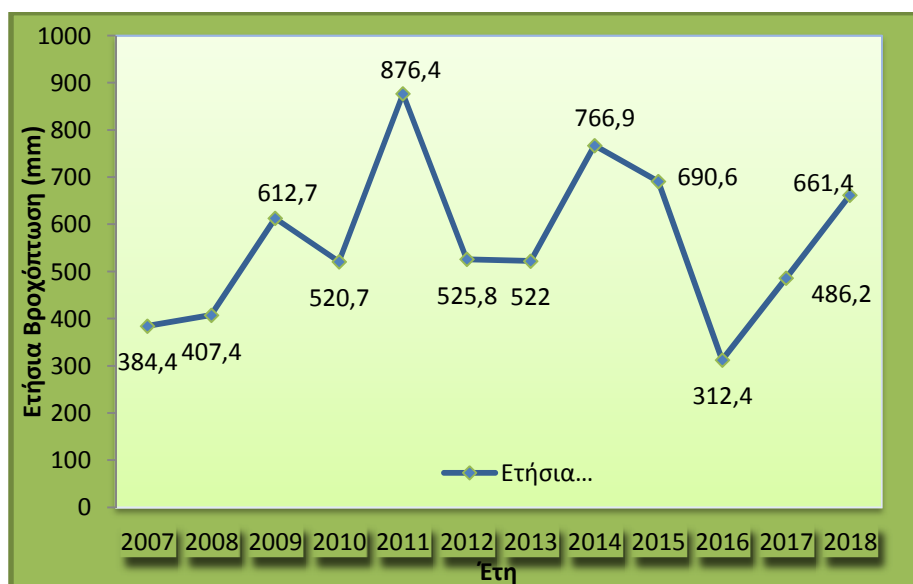


**Σχήμα 6.3:** Βροχομετρικός χάρτης (χάρτης ισοϋετών καμπυλών) της Ελλάδας (<http://www.geo.auth.gr>).

Από το Σχήμα 6.2 προκύπτει επίσης ότι η περιοχή του Καπαρελλίου τους μήνες Ιανουάριο, Φεβρουάριο, Μάρτιο, Ιούνιο και Σεπτέμβριο δέχεται περισσότερα χιλιοστά βροχής, σε σχέση με τη περιοχή της Θίσβης.

Στο Πίνακα 6.3 δίνονται οι τιμές των μέσων ετήσιων κατακρημισμάτων για την περίοδο αναφοράς 2007-2019 από το Μ.Σ. Καπαρελλίου (<http://meteosearch.meteo.gr>) και 1955-2012 από το Μ.Σ. Θίσβης (<http://main.hydroscope.gr>). Όπως προκύπτει από την ανάλυση των στοιχείων το ποσοστό των μέσων ετήσιων ατμοσφαιρικών κατακρημισμάτων την υγρή περίοδο (Νοέμβριο - Μάρτιο) είναι κατά μέσο όρο 72%, ενώ την ξηρή περίοδο (Απρίλιο μέχρι Οκτώβριο) είναι 28%.

Από την εξέταση των δεδομένων του Πίνακα 6.4 προκύπτει ότι η συνολική ετήσια βροχόπτωση το έτος 2011 είναι 876,4 mm, το έτος 2014 είναι 766,9 mm και το 2018 είναι 661,4mm, το γεγονός αυτό αποδεικνύει ότι οι τιμές της ετήσιας βροχόπτωσης είναι κάθε τέσσερα χρόνια περίπου αρκετά μεγαλύτερες, όπως απεικονίζεται και στο Σχήμα 6.4.



Σχήμα 6.4: Ετήσια μεταβολή της βροχόπτωσης περιόδου αναφοράς 2009-2018.

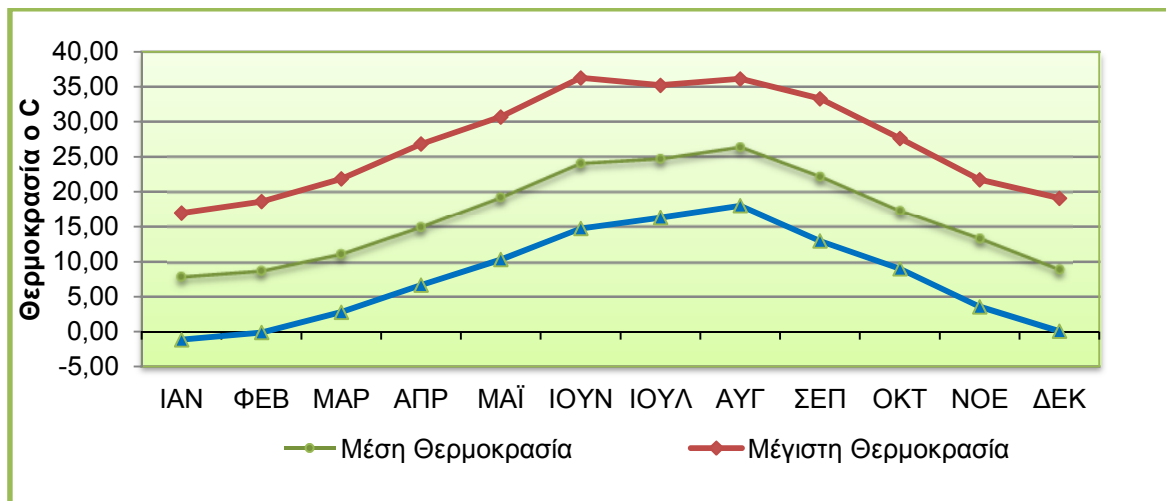
### 6.3. Θερμοκρασία

Η θερμοκρασία αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα κλιματολογικά στοιχεία που είναι απαραίτητα για την εκτίμηση της εξατμισοδιαπνοής και του υδρολογικού ισοζυγίου, σε μια περιοχή. Για τον υπολογισμό της θερμοκρασίας χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από το Μ.Σ. Καπαρελλίου της χρονικής περιόδου 2007-2019.

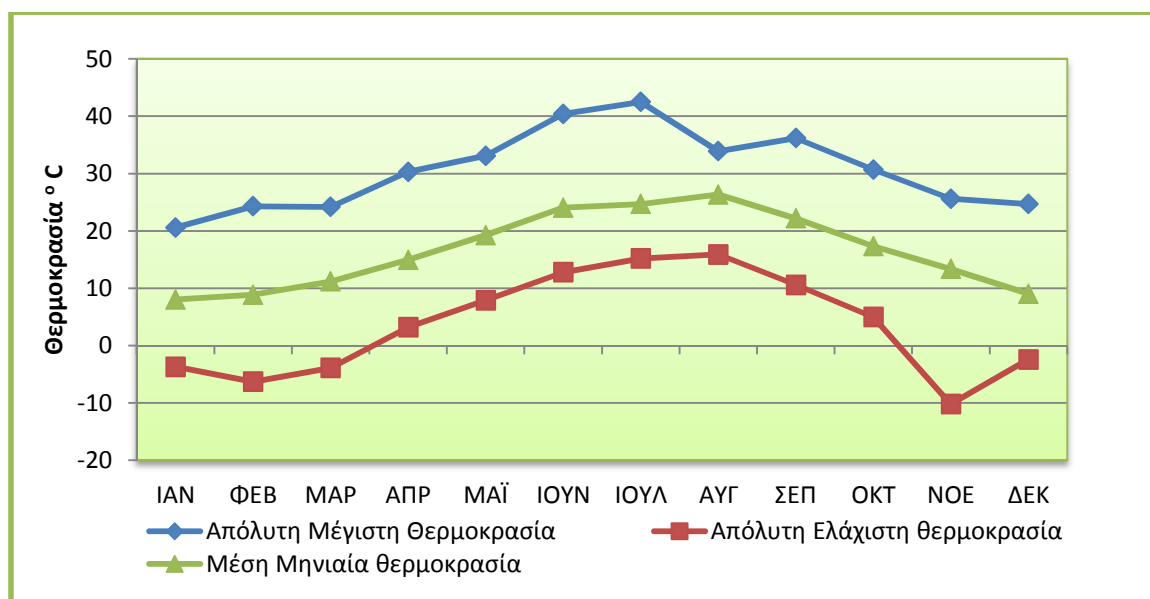
Από την επεξεργασία των δεδομένων που αφορούν τη θερμοκρασία (Πίνακας 6.5) προκύπτει ότι ο θερμότερος μήνας είναι ο Αύγουστος με μέση τιμή 26,35 °C, ενώ οι ψυχρότεροι μήνες είναι οι Ιανουάριος, Φεβρουάριος και Δεκέμβριος με μέσες τιμές 8,02°C, 8,85 °C και 9,04 °C αντίστοιχα, όπως παρουσιάζεται στο σχήμα 6.5.

Επίσης, όσον αφορά τις ακραίες τιμές της θερμοκρασίας για την περιοχή (Πίνακας 6.5), διαπιστώθηκε ότι η απόλυτη μέγιστη θερμοκρασία εμφανίζεται το μήνα Ιούλιο (42,5 °C), ενώ η απόλυτη ελάχιστη θερμοκρασία το μήνα Νοέμβριο (-10,2 °C) .

Σε εποχική κλίμακα, από τα παραπάνω διαγράμματα (Σχήματα 6.5 και 6.6) προκύπτει ότι το καλοκαίρι και στη συνέχεια το φθινόπωρο είναι οι πιο θερμές εποχές του έτους, ενώ η μετάβαση από το χειμώνα προς την άνοιξη είναι αρκετά πιο ομαλή σε σχέση με τη μετάβαση από το φθινόπωρο προς το χειμώνα.

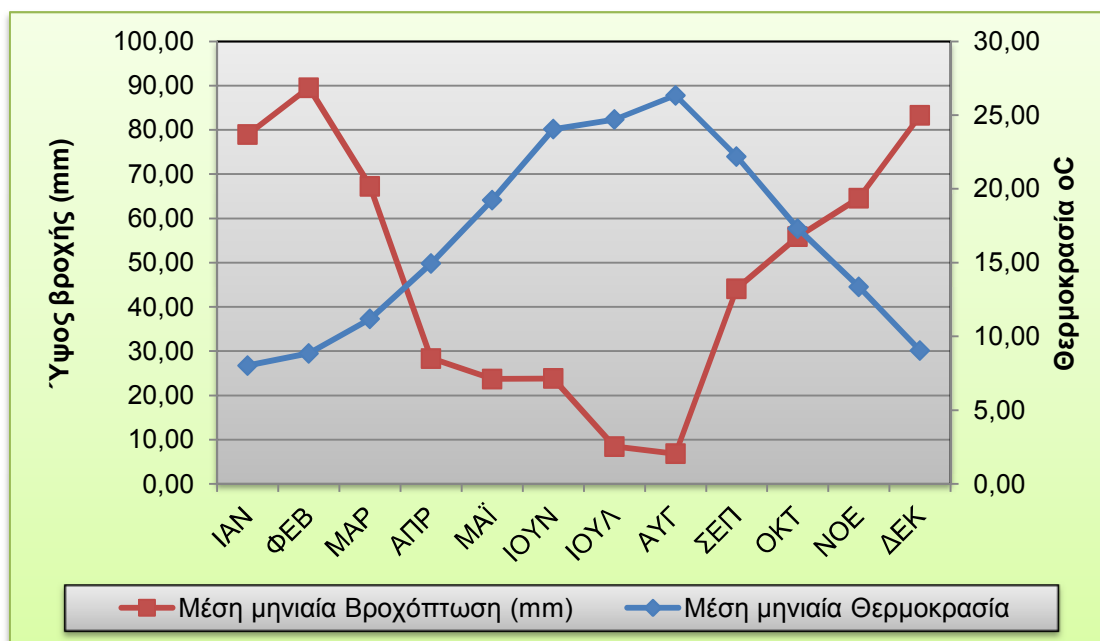


**Σχήμα 6.5:** Μέσες μηνιαίες τιμές θερμοκρασίας και μέσες μηνιαίες τιμές μέγιστης και ελάχιστης θερμοκρασίας (δεδομένα χρονικής περιόδου 2007-2013).



**Σχήμα 6.6:** Μέσες μηνιαίες τιμές και απόλυτα μέγιστες και ελάχιστες τιμές θερμοκρασίας (δεδομένα χρονικής περιόδου 2007-2013).

Από το ομβροθερμικό διάγραμμα (Σχήμα 6.7) κατά Bagnouls – Gaussen (1957) διαπιστώνεται ότι η χρονική διάρκεια της ξηρής περιόδου της περιοχής φτάνει τις 180 ημέρες ανά έτος, η οποία ξεκινά το πρώτο δεκαήμερο του Απριλίου και τελειώνει στα μέσα Οκτωβρίου.



Σχήμα 6.7: Ομβροθερμικό διάγραμμα περιόδου 2007-2019( Μ.Σ. Καπαρελλίου)

#### 6.4. Σχετική υγρασία

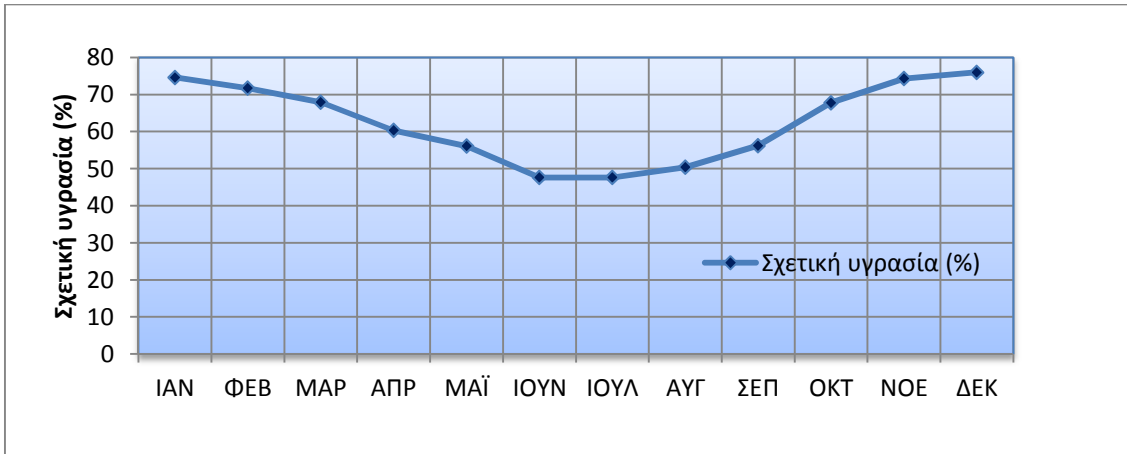
Σχετική υγρασία είναι η επί της % αναλογία της ποσότητας των υδρατμών που υπάρχουν σε συγκεκριμένο όγκο ατμοσφαιρικού αέρα προς τη μέγιστη δυνατή περιεκτικότητα του αέρα σε υδρατμούς, σε μια ορισμένη θερμοκρασία. Η σχετική υγρασία συμβάλλει σημαντικά στην πορεία του υδρολογικού κύκλου, καθώς επιδρά άμεσα στην διαδικασία της εξάτμισης.

Για την ανάλυση της κατανομής της σχετικής υγρασίας χρησιμοποιήθηκαν μετρήσεις της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας (ΕΜΥ) οι οποίες παραχωρήθηκαν στο Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος (Τ.Ε.Ε.) του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής (Υ.Π.Ε.Κ.Α.) (<http://portal.tee.gr>)

Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα του Μετεωρολογικού Σταθμού Αλιάρτου (Γ.Μήκος (Lon): 23.101 Γ.Πλάτος (Lat): 38.37), που βρίσκεται εκτός της λεκάνης, αλλά σε πολύ κοντινή απόσταση από αυτή (Πίνακας 6.6). Από τα στοιχεία του Πίνακα 6.6 φαίνεται ότι η μέγιστη μηνιαία τιμή εμφανίζεται το Δεκέμβριο (76%), ενώ η ελάχιστη τιμή εμφανίζεται τους μήνες Ιούνιο και Ιούλιο (47,6%), όπως απεικονίζονται στο Σχήμα 6.8.

Πίνακας 6.6: Μέσες Μηνιαίες Σχετικές Υγρασίες Ατμόσφαιρας (%)

ΜΗΝΕΣ	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ
Σχετική υγρασία (%)	74,6	71,7	67,9	60,3	56,1	47,6	47,6	50,4	56,2	67,8	74,3	76

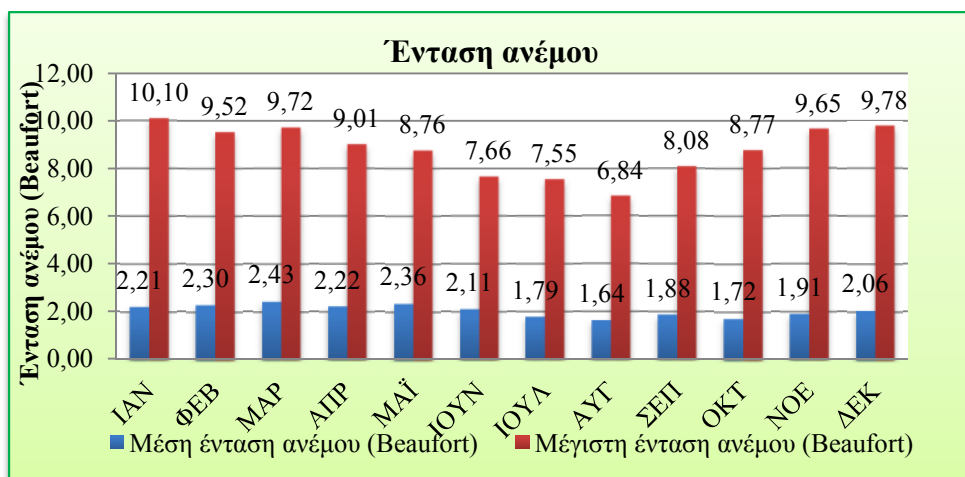


Σχήμα 6.8: Μέση μηνιαία μεταβολή της σχετικής υγρασίας, Μ.Σ. Αλιάρτου.

### 6.5. Στοιχεία ανέμου

Ο άνεμος είναι ένα από τα σημαντικότερα κλιματολογικά στοιχεία που επηρεάζει άμεσα την εξατμισοδιαπνοή και διαμορφώνει το κλίμα μιας περιοχής. Για τη διεύθυνση και την ένταση του ανέμου χρησιμοποιήθηκαν τα στοιχεία από το Μ.Σ. Καπαρελλίου της χρονικής περιόδου 2007-2019. Από το Σχήμα 6.9 φαίνεται ότι στην περιοχή του Μ.Σ. Καπαρελλίου κυριαρχούν οι ασθενείς άνεμοι, με τη μέση μηνιαία ένταση των ανέμων να κυμαίνεται μεταξύ 1,64 Beaufort και 2,36 Beaufort, ενώ η μέγιστη ένταση των ανέμων παρατηρείται τους μήνες Ιανουάριο και Δεκέμβριο με μέσες τιμές 10,10 Beaufort και 9,78 Beaufort αντίστοιχα.

Όσον αφορά τη κατεύθυνση των ανέμων σε ετήσια κλίμακα επικρατούν οι νότιοι και νοτιοδυτικοί άνεμοι σε ποσοστό 50% περίπου και σε μικρότερη συχνότητα οι βόρειοι και βορειοανατολικοί άνεμοι σε ποσοστό 30%. Επίσης σε εποχική κλίμακα, το χειμώνα και την άνοιξη επικρατούν οι νότιοι-νοτιοδυτικοί και δυτικοί άνεμοι, ενώ την άνοιξη και το φθινόπωρο επικρατούν οι βόρειοι-βορειοανατολικοί άνεμοι και σε μικρότερη συχνότητα οι νοτιοδυτικοί άνεμοι.



Σχήμα 6.9: Μηνιαία μεταβολή της έντασης του ανέμου.

Η επικράτηση των νοτιοδυτικών ανέμων το χειμώνα οφείλεται στη γειτνίαση της περιοχής με τον κορινθιακό κόλπο που βρίσκεται νοτιοδυτικά του Μ.Σ. Καπαρελλίου και στο χαμηλό μορφολογικό ανάγλυφο στο νότιο τμήμα της λεκάνης, σε σχέση με το υψηλό ανάγλυφο στο βόρειο τμήμα της, που επιτρέπουν τη διέλευση των δυτικών και νοτιοδυτικών ανέμων στη λεκάνη της Ασκληπείας- Δομβραίνιας.

## 6.6. Κατάταξη του κλίματος

Για το χαρακτηρισμό του κλίματος στην περιοχή χρησιμοποιήθηκε η κλιματική κατάταξη του Γερμανού Κλιματολόγου Wladimir Köppen. Η μεθοδολογία του στηρίζεται στο ύψος της βροχής, την εποχική κατανομή του και στις ετήσιες και μηνιαίες θερμοκρασίες του αέρα (Στάθης Δ. 2015).

Από τα στοιχεία των Πινάκων 6.5 και 6.2 προκύπτει ότι στην περιοχή του Μ.Σ. Καπαρελλίου:

- 1) η μέση θερμοκρασία του θερμότερου μήνα είναι 26,35 °C ( $>10$  °C),
- 2) η μέση θερμοκρασία του ψυχρότερου μήνα είναι 8,02 °C ( $-3$  °C  $<T_{\theta} < 18$  °C ),
- 3) το ύψος βροχής του ξηρότερου μήνα είναι 6,82 mm ( $< 30$ mm) .

Σύμφωνα με τα παραπάνω στοιχεία το κλίμα της περιοχής είναι ξηρό μεσογειακό, τύπου Csa, το οποίο σε γενικές γραμμές χαρακτηρίζεται από μέτριες βροχοπτώσεις κατά την περίοδο των μηνών Οκτωβρίου, Νοεμβρίου και Μαρτίου, μεγάλη ξηρή περίοδο την άνοιξη και το καλοκαίρι, θερμό καλοκαίρι και ήπιο χειμώνα.

## 6.7. Εκτίμηση του Υδρολογικού ισοζυγίου

### 6.7.1. Γενικά

Για τον εκτίμηση του υδρολογικού ισοζυγίου απαιτείται η αξιολόγηση των πόρων του γλυκού νερού, η οποία επιτυγχάνεται μέσω της ποσοτικοποίησης των συστατικών του υδρολογικού κύκλου.

Η γενική μορφή του υδρολογικού ισοζυγίου βασίζεται στις αρχές διατήρησης της μάζας σε κλειστό σύστημα όπου *«κάθε αλλαγή στην περιεκτικότητα σε νερό ενός δεδομένου όγκου εδάφους κατά τη διάρκεια μιας καθορισμένης περιόδου πρέπει να ισούται με τη διαφορά μεταξύ της ποσότητας νερού που προστίθεται στον όγκο του εδάφους και της ποσότητας νερού που αποσύρεται από αυτό»* (Dingman 1994).

Σχηματικά στο υδρολογικό ισοζύγιο λαμβάνουν μέρος τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα, η εξατμισοδιαπνοή, η απορροή και η κατείσδυση. Γνωρίζοντας τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα σε ένα συγκεκριμένο χώρο και υπολογίζοντας την εξατμισοδιαπνοή μπορούμε να εκτιμήσουμε το σύνολο της απορροής και κατείσδυσης.

Σε γενικές γραμμές η κατανομή του νερού μέσα στα φυσικά συστήματα περιγράφεται από την εξίσωση (Dingman 1994, Shiklomanov & Sokolov 1983):

$$P = R + E + I + \Delta W + \Delta q + Q \quad (\text{Εξ. 1})$$

Όπου: P = τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα, R = η επιφανειακή απορροή, E = η πραγματική εξατμισοδιαπνοή, I = η κατείσδυση,  $\Delta W$  = η διαφορική αποθήκευση νερού στη γη,  $\Delta q$  = προσφορές και απολείψεις νερού από ανθρωπογενείς παρεμβάσεις και Q = η εξωτερική τροφοδοσία του υδρολογικού συστήματος

Η επιφανειακή απορροή (R) αποτελεί το συνολικό όγκο νερού που αντιστοιχεί στο μέρος των κατακρημνισμάτων που πέφτουν απευθείας επάνω στα υδρορέματα, σε αυτό που πέφτει στην ευρύτερη περιοχή και χωρίς να κατεισδύει απορρέει, στην υποδερμική ροή και στο κλάσμα του νερού που αφού κατεισδύσει εξέρχεται στην επιφάνεια του εδάφους υπό μορφή πηγών ή σε κάποιο υδρόρεμμα στην επαφή της επιφάνειας του υπόγειου νερού με αυτήν του υδρορέματος. Η επιφανειακή απορροή είναι συνάρτηση της έντασης των βροχοπτώσεων, της κατανομής και διάρκειας της βροχής, της υδροπερατότητας των γεωλογικών σχηματισμών της λεκάνης, της γεωμετρίας του υδρογραφικού δικτύου, του βάθους του φρεάτιου υδροφόρου στρώματος, του είδους της χλωρίδας και των φυσιογραφικών παραμέτρων της λεκάνης απορροής (Σταμάτης 2016).

Με την προϋπόθεση ότι οι υδρολογικές λεκάνες αποτελούν αυτοτελή συστήματα και ότι οι ανθρώπινες παρεμβάσεις και οι μεταβολές στα υπόγεια αποθέματα είναι αμελητέες, οι παράγοντες  $\Delta W$ ,  $\Delta q$  και  $Q$  της παραπάνω εξίσωσης παραλείπονται και η εξίσωση του υδρολογικού ισοζυγίου παίρνει τη μορφή :

$$P = R + E + I \text{ (mm)} \quad (\text{Εξ. 2})$$

Τα παραπάνω μεγέθη μπορούν να εκφραστούν είτε σε ύψος νερού (mm) είτε σε όγκο νερού ( $m^3$ ) ή σε συντελεστή επί τοις εκατό (%).

Οι παράμετροι της εξίσωσης του υδρολογικού ισοζυγίου μεταβάλλονται ανάλογα με τις κλιματικές, υδρολιθολογικές, υδρογραφικές, γεωμορφολογικές και γεωλογικές συνθήκες που επικρατούν στην ευρύτερη περιοχή μελέτης καθώς επίσης από τη φυτοκάλυψή της.

## **6.7.2. Εκτίμηση των υδρολογικών παραμέτρων**

### **6.7.2.1. Όγκος νερού από βροχόπτωση**

Για την καλύτερη εκτίμηση του όγκου νερού που δέχεται η λεκάνη απορροής χρησιμοποιήθηκε απόσπασμα του βροχομετρικού χάρτη της Ελλάδας της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας (<http://climatlas.hnms.gr/sdi>) με το μέσο ετήσιο ύψος βροχής και τη γεωγραφική του κατανομή ανά τον Ελλαδικό χώρο. Η σύνταξη του βροχομετρικού χάρτη βασίστηκε σε βροχομετρικά δεδομένα από Κοντινούς Μετεωρολογικούς σταθμούς για τη χρονική περίοδο 1971-2000.

Με βάση τα γεωμορφολογικά δεδομένα, η περιοχή ταξινομήθηκε σε τρεις ζώνες:

Ζώνη Α: χαμηλή και λοφώδη περιοχή με υψόμετρο 0-300m.

Ζώνη Β: ημιορεινή περιοχή με υψόμετρο 301-600m.

Ζώνη Γ: ορεινή περιοχή με υψόμετρο 601-1.560m.

Με τη χρήση του λογισμικού προγράμματος GIS έγινε ταξινόμηση της λεκάνης απορροής κατά υψομετρικές ζώνες και αντίστοιχη κατανομή του ύψους των κατακρημνισμάτων σε κάθε ζώνη. Σύμφωνα με τη ταξινόμηση το μέσο ετήσιο ύψος των κατακρημνισμάτων στην χαμηλή ζώνη ανέρχεται στα 537mm, στην ημιορεινή ζώνη στα 610mm και στην ορεινή ζώνη στα 780mm.

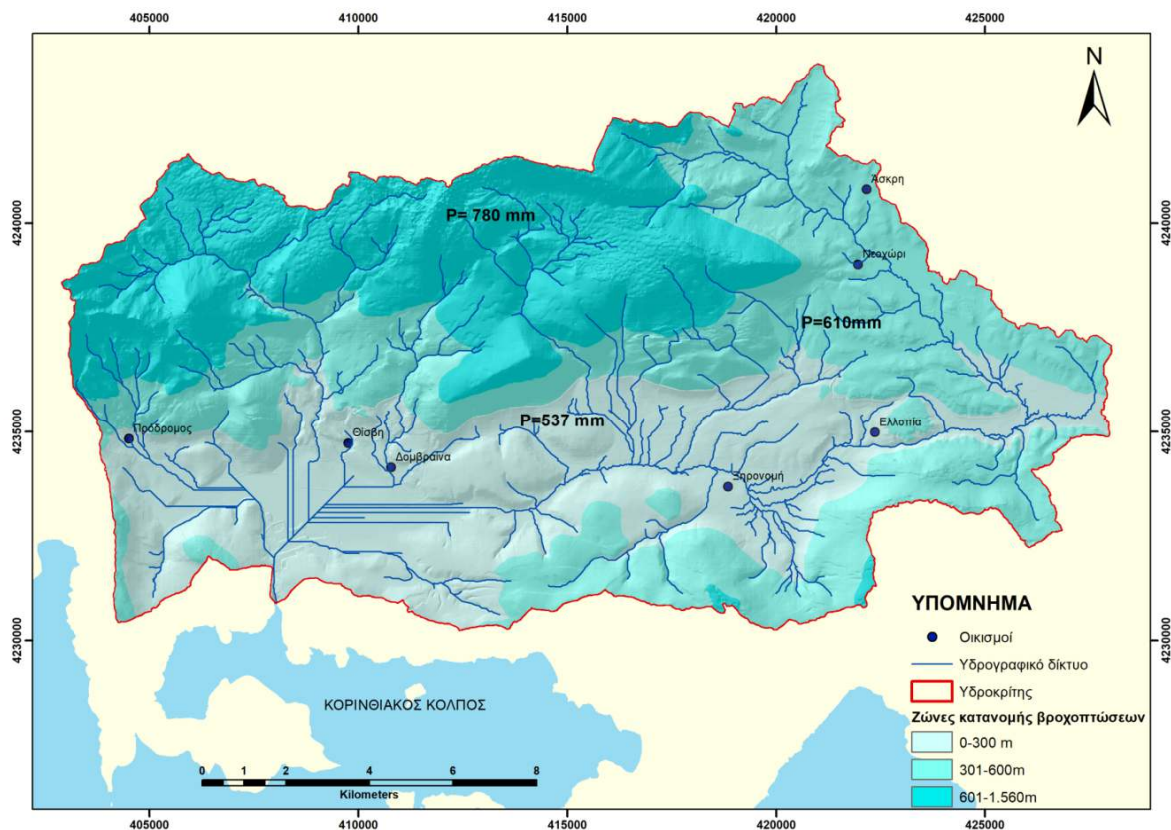
Στο Σχήμα 6.10 παρουσιάζεται ο χάρτης της περιοχής με τις ανωτέρω υψομετρικές ζώνες και τα αντίστοιχα μεγέθη της βροχόπτωσης που προκύπτουν για κάθε προαναφερόμενη ζώνη.

### 6.7.2.2. Πραγματική Εξατμισοδιαπνοή

είναι ο προσδιορισμός της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής (E<sub>r</sub>).

Η Πραγματική Εξατμισοδιαπνοή αποτελεί την ποσότητα νερού η οποία πραγματικά μεταφέρεται από το έδαφος στην ατμόσφαιρα και ρυθμίζεται από την περιεχόμενη στο έδαφος υγρασία. Η μέση ετήσια πραγματική εξατμισοδιαπνοή σε μια περιοχή εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως:

- ατμοσφαιρικοί παράγοντες: η υγρομετρική κατάσταση της ατμόσφαιρας, η θερμοκρασία, η ταχύτητα του ανέμου, η βροχομετρική πίεση.
- υδρογεωλογικοί παράγοντες: η κοκκομετρία, το πορώδες, η λιθολογία και η υγρασία του εδάφους.
- γεωγραφικοί παράγοντες: το υψόμετρο, οι κλιματικές ζώνες κλπ.
- φυσιογραφικοί παράγοντες που επιδρούν κυρίως επί της διαπνοής: το είδος της χλωρίδας, η ανάπτυξη του φυλλώματος, το βάθος των ριζών κλπ.



**Σχήμα 6.10:** Ταξινόμηση του ύψους βροχόπτωσης στην περιοχή μελέτης κατά υψόμετρο.

Α) Εφαρμογή του εμπειρικού τύπου κατά TURC (1951):

$$ET_r = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}} \quad (\text{Εξ. 3})$$

Όπου: E<sub>T</sub><sub>r</sub>=Πραγματική ετήσια εξατμισοδιαπνοή σε mm, P=μέσο ετήσιο ύψος βροχόπτωσης σε mm, L= 300+25T+0,05T<sup>3</sup> και T= μέση ετήσια θερμοκρασία του αέρα σε °C.



Εφαρμόζοντας την εξίσωση 3 προκύπτει ότι η πραγματική εξατμισοδιαπνοή με βάση τα δεδομένα του βροχομετρικού σταθμού Καπαρέλλι ανέρχεται σε:

$$ETr = 509,0 \text{ mm ή } 88,6\%$$

επί του συνόλου των ετήσιων κατακρημνισμάτων των 574,73 mm.

Διαπιστώνεται ότι η τιμή αυτή είναι αρκετά υψηλή και δεν προσεγγίζει την πραγματικότητα. Αυτό σχετίζεται με την υψηλή τιμή της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας που συμβάλλει στην αύξηση της εξατμισοδιαπνοής.

#### Β) Εφαρμογή της εμπειρικής μεθόδου κατά BURDON & PAPAKIS (1963):

Η εν λόγω μέθοδος εφαρμόζεται κυρίως σε περιοχές όπου επικρατούν ανθρακικοί σχηματισμοί, καθώς η μέθοδος εφαρμόστηκε από τους ερευνητές στις καρστικοποιημένες ανθρακικές μάζες του Παρνασσού και της Γκιώνας. Το μεγαλύτερο ποσοστό, σχεδόν τα  $\frac{3}{4}$ , της επιφάνειας της λεκάνης Άσκρης καλύπτεται από ανθρακικά πετρώματα, συνεπώς είναι εφικτό να εφαρμοσθεί η μέθοδος των Burdon & Papakis.

$$ETr = \frac{P(\text{Οκτ-Μαρτ.})}{2} + P(\text{Απριλ-Σεπτ.}) \quad (\text{Εξ. 4})$$

Όπου: P = μέση μηνιαία βροχόπτωση mm.

Χρησιμοποιώντας τις μέσες μηνιαίες τιμές των βροχοπτώσεων του Μ.Σ. Καπαρελλίου (Πίν. 6.3) προκύπτει ότι η πραγματική εξατμισοδιαπνοή στη λεκάνη Άσκρης ανέρχεται σε:

$$ETr = 355,0 \text{ mm ή } 61,8\%$$

Το αποτέλεσμα αυτό φανερώνει μια περισσότερο λογική τιμή εξατμισοδιαπνοής που προσεγγίζει την πραγματικότητα, σε σύγκριση με το αποτέλεσμα που προκύπτει από την εφαρμογή της μεθόδου κατά Turc.

#### Γ) Εφαρμογή της εμπειρικής μεθόδου κατά THORNWAITE & MATHER (1963):

Εκτός των δυο προαναφερόμενων μεθόδων έγινε προσπάθεια και εφαρμόστηκε μια τρίτη μέθοδος εκτίμησης της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής, αυτή των Thornthwaite & Mather's (Thornwaite 1948, Thornwaite & Mather 1957). Η εν λόγω μέθοδος βασίζεται αποκλειστικά στη θερμοκρασία του αέρα. Οι εκτιμήσεις της ET βασίζονται σε μια 12ωρη ημέρα (ποσότητα φωτός της ημέρας) και έναν μήνα 30 ημερών.

$$ET = 16 Ld * \left(\frac{10T_i}{I}\right)^a \quad (\text{Εξ. 5})$$

Όπου: ET: η πραγματική μηνιαία εξατμισοδιαπνοή σε mm,  $T_i$ : η μέση μηνιαία θερμοκρασία αέρα σε °C, I: ο δείκτης θερμότητας, Ld: Διορθωτικός δείκτης συνάρτηση του μήνα και του γεωγραφικού πλάτους και

$$a = 6,75 * 10^{-7} * I^3 - 7,71 * 10^{-5} * I^2 + 0,01792 * I + 0,49239 \quad (\text{Εξ. 6})$$

$$I = \sum_{i=1}^{12} \left(\frac{T_i}{5}\right)^{1,514} \quad (\text{Εξ. 7})$$

Χρησιμοποιώντας τις μέσες μηνιαίες τιμές της θερμοκρασίας από τον Πίνακα 6.5 και εφαρμόζοντας την εξίσωση 7, προκύπτει ότι ο δείκτης θερμότητας είναι  $I = 78,12$ , και από την εφαρμογή της εξίσωσης 6 προκύπτει ότι ο εκθέτης  $a = 1,74$ .

Για το διορθωτικό δείκτη  $L_d$  ισχύει η σχέση:

$$L_d = \frac{N \cdot m}{360} \quad (\text{Εξ. 8})$$

Όπου:  $N$ : μέση μηνιαία θεωρητική ηλιοφάνεια (ώρες/ ημέρα) και  $m$ : αριθμός ημερών του μήνα.

Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκε ο παρακάτω πίνακας (Πίνακας 6.7) που εμφανίζει το δείκτη  $L_d$  ανά μήνα και γεωγραφικό πλάτος 38.00 της περιοχής μελέτης.

**Πίνακας 6.7:** Τιμές διορθωτικού συντελεστή  $L_d$  για γεωγραφικό πλάτος 38.00 (Thornthwaite, 1948).

Γεωγραφικό πλάτος	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ
38,00	0,85	0,84	1,03	1,10	1,23	1,23	1,25	1,17	1,03	0,96	0,84	0,83

Εφαρμόζοντας την εξίσωση 5 προκύπτει ότι η πραγματική εξατμισοδιαπνοή που λαμβάνει χώρα στη λεκάνη Ασκρης ανέρχεται σε:

$$ET_r = 867,26 \text{ mm}$$

Με βάση τα παραπάνω προκύπτει ότι η εκτιμώμενη ετήσια πραγματική εξατμισοδιαπνοή με την μέθοδο Thornthwaite & Mather, δίνει υπερβολικά υψηλή τιμή πραγματικής εξατμισοδιαπνοής, η οποία είναι πολύ υψηλότερη αυτής κατά Turc, αλλά και της τιμής της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης. Συνεπώς, τόσο η τιμή κατά Thornthwaite & Mather, όσο και η τιμή κατά Turc δεν μπορούν να θεωρηθούν αξιόπιστες. Εάν οι τιμές αυτές ήταν πραγματικές τότε δεν θα ήταν εφικτό η παρουσία του ανώτερου υδροφόρου ορίζοντα τον οποίο συναντάμε κατά τόπους στα 3 έως 4 μέτρα κάτω από την επιφάνεια του εδάφους. Δηλαδή θα υπήρξε παντελής έλλειψη υπόγειου νερού. Αυτό όμως δεν συμβαίνει.

Θεωρούμε ότι για το σύνολο της λεκάνης η μέση ετήσια εξατμισοδιαπνοή (ET) προσεγγιστικά προσδιορίζεται στο 65% των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων βάσει της εφαρμογής κατά Burdon & Parakis, καθώς η περιοχή έρευνας δομείται κυρίως από ανθρακικούς σχηματισμούς και μόνο ένα μικρό ποσοστό της επιφανείας καλύπτεται από χαλαρά ιζήματα.

### 6.7.2.3. Κατείδυση

Η κατείδυση είναι η διαδικασία κατά την οποία το νερό εισέρχεται στα επιφανειακά στρώματα του εδάφους και κατόπιν κινείται προς τα βαθύτερα στρώματα. Το ποσό αυτό του νερού κατά πρώτο λόγο συμπληρώνει το έλλειμμα υγρασίας του εδάφους, ενώ αυτό που πλεονάζει κινείται βαθύτερα και τροφοδοτεί τους υπόγειους υδροφόρους ορίζοντες. Οι παράγοντες που επηρεάζουν την κατείδυση είναι η υγρασία του εδάφους, η ένταση και κατανομή της βροχόπτωσης, η λιθολογία και η βλάστηση.

Μέτρο της ικανότητας για κατείδυση αποτελεί ο συντελεστής κατείδυσης ( $i$ ) που εκφράζεται από τη σχέση:

$$i = \frac{I}{P \cdot 100\%} \quad (\text{Εξ. 8})$$

Όπου: I: η συνολική ποσότητα του νερού σε mm που κατείδυει σε δοσμένο χρόνο και τόπο και P: το μέσο ετήσιο ύψος βροχόπτωσης σε mm.

Στην περιοχή έρευνας δε λειτουργούν λυσιμέτρα και συνεπώς ο υπολογισμός του συντελεστή κατείδυσης βασίστηκε στα βιβλιογραφικά δεδομένα που αναφέρονται αναλυτικά πιο κάτω:

- ✓ Στην ασβεστολιθική περιοχή Ν. Γκιώνας η κατείδυση εκτιμήθηκε με εφαρμογή της μεθόδου Kessler, ίση με 60% των βροχοπτώσεων (Μάστορης 1967).
- ✓ Στους τριαδικο-ιουρασικούς ασβεστόλιθους της Υποπελαγονικής η κατείδυση εκτιμήθηκε, με άμεσες μετρήσεις παροχών των επιφανειακών παροχών, σε 53,6%, ενώ στους ανωκρητιδικούς ασβεστόλιθους της ζώνης Ανατολικής Ελλάδος εκτιμήθηκε σε 50,4% και επίσης στους ανωκρητιδικούς ασβεστόλιθους της ζώνης Παρνασσού-Γκιώνας εκτιμήθηκε σε 49,9% (Κακαβάς 1995).
- ✓ Στους ασβεστόλιθους της ζώνης Πίνδου από την περιοχή Μιτσικέλι Ιωαννίνων, με βάση τα στοιχεία παροχής της πηγής Κρύας, συντελεστής κατείδυσης εκτιμήθηκε σε 55% (Μαρίνος 1975).
- ✓ Στους ανωκρητιδικούς ασβεστόλιθους της ζώνης Ωλονού – Πίνδου, ο συντελεστής κατείδυσης εκτιμήθηκε, με βάση την δίαιτα καρστικής πηγής, στον άνω ρου του Βουραϊκού σε 47% (Γιαννάτος 1999).
- ✓ Στις αλλουβιακές αποθέσεις της περιοχής Καλαμπάκας ο συντελεστής κατείδυσης εκτιμήθηκε με τη χρήση λυσιμέτρου 6-21% (Καλλέργης & Χριστοδούλου 1972).
- ✓ Στα αλλούβια της περιοχής Ιεράπετρας Κρήτης η κατείδυση εκτιμάται ίση με 13.35% (Λαμπράκης 1989).
- ✓ Στα κροκαλοπαγή της Δυτικής Τριφυλίας η κατείδυση εκτιμάται σε 21% (Κάντας & Τηνιακός 1988).
- ✓ Για τις μάργες του Νεογενούς και για τα Πλειο-Πλειστοκαινικά ιζήματα της Βορειοδυτικής Αχαΐας κατά τον Βουδούρη (1995), υιοθετούνται βάση βιβλιογραφικών δεδομένων, συντελεστές κατείδυσης 7 % και 15 % αντίστοιχα.

Ο Σούλιος (1996), εκτιμά το συντελεστή κατείδυσης για καρστικοποιημένες ασβεστολιθικές περιοχές 25-60%, για προσχωσιγενείς περιοχές 10-20%, για περιοχές με φλύσχη, μάργες, σχιστόλιθους, φυλλίτες και παρόμοιους λιθολογικούς τύπους 3-7%, για περιοχές μολασσικών, ψαμμιτικών και παρεμφερών σχηματισμών 15-25%.

Στον Πίνακα 6.8 που ακολουθεί παρουσιάζονται οι κατά εκτίμηση μέσες τιμές των συντελεστών κατείδυσης που χρησιμοποιήθηκαν για τους γεωλογικούς σχηματισμούς που αναπτύσσονται στην περιοχή μελέτης.

Σύμφωνα με το πίνακα θεωρούμε ότι οι κρητιδικοί ασβεστόλιθοι έχουν μεγαλύτερο συντελεστή κατείδυσης (40%) σε σύγκριση με τους τριαδικο-ιουρασικούς ασβεστόλιθους (30%), διότι οι κρητιδικοί ασβεστόλιθοι στην περιοχή μελέτης εμφανίζονται κατακερματισμένοι και έντονα καρστικοποιημένοι. Αντίθετα οι τριαδικοί ασβεστόλιθοι εμφανίζονται περισσότερο πλακώδεις και κρυσταλλικοί και με μεγαλύτερο βαθμό πλήρωσης των ασυνεχειών με δευτερογενή υλικά, γεγονός που οδηγεί σε περιορισμένο βαθμό καρστικοποίησης και συνεπώς μείωση της υδροπερατότητάς τους.

**Πίνακας 6.8:** Συντελεστές κατείδυσης των επιμέρους γεωλογικών σχηματισμών

Γεωλογικοί σχηματισμοί	Συντελεστής κατείδυσης
Τεταρτογενείς σχηματισμοί	18 %
Πλειστοκαινικά ιζήματα	13 %
Φλύσχης	6 %
Ανθρακικοί σχηματισμοί Κρητιδικού	40 %
Ανθρακικοί σχηματισμοί Τριαδικού-Ιουρασικού	30 %
Σχιστοψαμμιτοκερατολιθική	5 %

#### 6.7.2.4. Ολική απορροή

Σύμφωνα με τον τύπο υπολογισμού του υδρολογικού ισοζυγίου  $P = ET + A$  μπορούμε να υπολογίσουμε την τιμή της ολικής απορροής ( $A$  mm), εφόσον γνωρίζουμε την τιμή ύψους κατακρημνισμάτων και πραγματικής εξατμισιοδιαπνοής.

Σύμφωνα με την εξίσωση λοιπόν έχουμε:

$$A = P - ET_r \text{ (mm)}$$

Η ολική απορροή σε μια υδρολογική λεκάνη αντιστοιχεί στις ποσότητες νερού, τις οποίες συλλέγει το υδρογραφικό δίκτυο της κάθε υδρολογικής λεκάνης από την επιφάνεια της λεκάνης απορροής του και οι οποίες εμφανίζονται με τη μορφή του κύριου ρέματος στην έξοδο της λεκάνης. Οι κυριότεροι παράγοντες που επηρεάζουν την επιφανειακή απορροή, κατατάσσονται σε τρεις μεγάλες κατηγορίες:

- ✓ τους κλιματικούς, που περιλαμβάνουν την εξατμισιοδιαπνοή, την εποχιακή κατανομή των βροχοπτώσεων, την έντασή τους κλπ.,
- ✓ τους φυσιογραφικούς, που περιλαμβάνουν τους μορφολογικούς χαρακτήρες της λεκάνης απορροής και εκείνους του υδρογραφικού δικτύου και
- ✓ τους γεωλογικούς, που έχουν συνδέονται με την υδατοπερατότητα των σχηματισμών, έτσι ώστε όσο μειώνεται η υδατοπερατότητα να αυξάνεται η επιφανειακή απορροή.

Στην υπό μελέτη περιοχή δεν λειτουργούν σταθμογράφοι οι οποίοι να καταγράφουν συνεχώς την απορροή του ποταμού Άσκηρ. Ως εκ τούτου ο υπολογισμός της επιφανειακής απορροής έγινε έμμεσα από την κατάρτιση του υδρολογικού ισοζυγίου.

#### 6.8. Εκτίμηση του υδρολογικού ισοζυγίου μέσω συντελεστών κατείδυσης

Η υδρολογική λεκάνη Άσκηρ αναπτύσσεται στο νότιο τμήμα του νομού Βοιωτίας και καταλαμβάνει επιφάνεια εμβαδού 224,94 km<sup>2</sup>. Περιλαμβάνει τα υδρορέματα Παπαδόπουλου, Κόκκινο ρέμα, Κάβουρα, Κακόρεμα, Χώνη, Κρύο πηγάδι και Άσπρο Κουτσούρι (Σχήμα 6.10).

Η πεδινή 0-300m ζώνη της λεκάνης έχει εμβαδόν 76,69 km<sup>2</sup> και αποτελείται από Πλειστοκαινικά ιζήματα (κροκαλοπαγή) (8,73km<sup>2</sup>), Τεταρτογενείς σχηματισμούς (33,74km<sup>2</sup>), Σχιστοψαμμιτοκερατολιθική διάπλαση (1,28km<sup>2</sup>) καθώς και ανθρακικούς σχηματισμούς του Τριαδικού-Ιουρασικού (32,94km<sup>2</sup>).

Η ημιορεινή 300-600m ζώνη καταλαμβάνει περί τα 84,03 km<sup>2</sup> και δομείται από Πλειστοκαινικά ιζήματα (16,61km<sup>2</sup>), Τεταρτογενείς σχηματισμούς (8,98 km<sup>2</sup>), σχηματισμούς

του φλύσχη (8,49 km<sup>2</sup>), ανθρακικούς σχηματισμούς του Τριαδικού-Ιουρασικού (46,17 km<sup>2</sup>) και Ανθρακικά πετρώματα Κρητιδικού (2,85 km<sup>2</sup>). Μικρότερες επιφάνειες καλύπτονται από τη σχιστοψαμμικοκερατολιθική διάπλαση και υπερβασικά πετρώματα (0,93 km<sup>2</sup>).

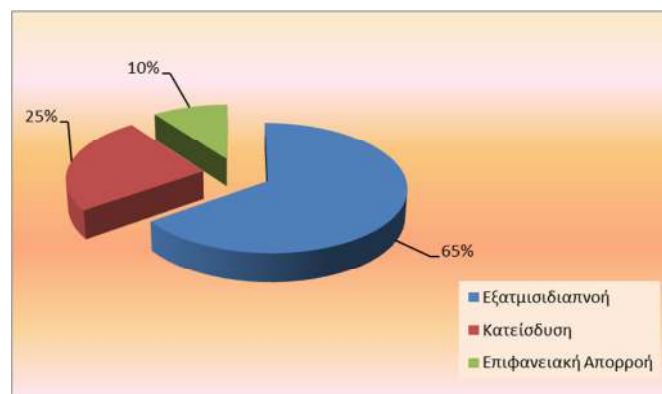
Τέλος, το τμήμα της λεκάνης με υψόμετρο >600m χαρακτηρίζεται ως ορεινό και καταλαμβάνει έκταση εμβαδού 64,22km<sup>2</sup>. Τα ανώτερα τμήματα της λεκάνης καλύπτονται από ανθρακικούς σχηματισμούς Κρητιδικής ηλικίας (4,80km<sup>2</sup>) και Τριαδικού-Ιουρασικού (53,34km<sup>2</sup>) και από σχηματισμούς του Φλύσχη (4,09km<sup>2</sup>), ενώ σε περιορισμένη εξάπλωση εμφανίζονται οι τεταρτογενείς σχηματισμοί (πλευρικά κορήματα) (1,2km<sup>2</sup>) και η σχιστοψαμμικοκερατολιθική διάπλαση (0,79km<sup>2</sup>). Συμπερασματικά, οι σχηματισμοί που εμφανίζονται στη λεκάνη της Άσκρης καταλαμβάνουν τις ακόλουθες επιφάνειες:

- ✓ Πλειστοκαινικά ιζήματα : 25,34 km<sup>2</sup>,
- ✓ Τεταρτογενείς σχηματισμοί: 43,92 km<sup>2</sup>,
- ✓ Φλύσχη: 12,58 km<sup>2</sup>,
- ✓ Ανθρακικοί σχηματισμοί Κρητιδικού: 7,65 km<sup>2</sup>,
- ✓ Ανθρακικοί σχηματισμοί Τριαδικού-Ιουρασικού: 132,45 km<sup>2</sup> και
- ✓ Σχιστοψαμμικοκερατολιθική διάπλαση και υπερβασικά: 3,0 km<sup>2</sup>

Στον Πίνακα 6.9 που ακολουθεί υπολογίζονται οι επιφάνειες των διαφόρων λιθολογικών σχηματισμών κατά ζώνη ταξινόμησης. Για κάθε υψομετρική ζώνη της λεκάνης υπολογίστηκε το αντίστοιχο ύψος βροχής το οποίο αυτή δέχεται με βάση τα βροχομετρικά δεδομένα (<http://climatlas.hnms.gr/sdi>).

Έτσι, για τη ζώνη Α το ύψος βροχής ανέρχεται στα 537mm, για τη ζώνη Β στα 610mm και τέλος, η ζώνη Γ δέχεται 780mm βροχής ετησίως. Κατά συνέπεια, κάθε γεωλογικός σχηματισμός, ανάλογα με το ποσοστό εμφάνισής του, δέχεται έναν όγκο νερού, ο οποίος υπολογίστηκε και παρουσιάζεται στους Πίνακες 6.10 και 6.11 που ακολουθούν.

Η εκτίμηση του υδρολογικού ισοζυγίου της λεκάνης αφορά μια κατά προσέγγιση εκτίμηση λαμβάνοντας υπόψη τις παραπάνω παραδοχές.



**Σχήμα 6.11:** Ποσοστιαία κατανομή για κάθε παράμετρο του υδρολογικού ισοζυγίου επί του συνόλου των κατακρημνισμάτων που δέχεται η υδρολογική λεκάνη Άσκρης-Δομβραίνας.

Συμπερασματικά προκύπτει ότι η υδρολογική λεκάνη Άσκρης δέχεται ετησίως όγκο νερού της τάξεως των  $142.508,76 \times 10^3 \text{ m}^3$ . Από αυτόν τον όγκο νερού τα  $35.309,47 \times 10^3 \text{ m}^3$  κατεισδύουν (υπόγεια απορροή), ενώ τα  $14.280,23 \times 10^3 \text{ m}^3$  απορρέουν επιφανειακά.

Στο Σχήμα 6.11 παρουσιάζεται γραφικά το ποσοστό του όγκου του νερού που κατανέμεται για την εξατμισοδιαπνοή **ET=65%**, την επιφανειακή απορροή **R=10%** και την κατείσδυση **I=25%**, από το συνολικό όγκο νερού που δέχεται η λεκάνη Ασκρης.

**Πίνακας 6.9:** Οι επιφάνειες ανάπτυξης των διαφόρων λιθολογικών σχηματισμών που συμμετέχουν στην δομή της υδρολογικής λεκάνης Ασκρης κατά ζώνη.

Λιθολογικοί σχηματισμοί	Εμβαδόν επιφάνειας λιθολογικών σχηματισμών	Ποσοστό του λιθολογικού σχηματισμού στη ζώνη	Ποσοστό επί του συνόλου της λεκάνης
<b>Ζώνη Α: (0-300)m</b>			
<b>Σύνολο επιφάνειας</b>	<b>FA = 76,69 km<sup>2</sup></b>	<b>100%</b>	<b>34,09%</b>
Τεταρτογενείς σχηματισμοί	F <sub>1</sub> = 33,74 km <sup>2</sup>	44%	15,00%
Πλειστοκαινικά ιζήματα	F <sub>2</sub> = 8,73 km <sup>2</sup>	11,38%	3,88%
Ανθρακικά Τριαδικού-Ιουρασικού	F <sub>3</sub> = 32,93 km <sup>2</sup>	42,95%	14,64%
Σχιστοψαμμιτοκερατολιθική	F <sub>4</sub> = 1,28 km <sup>2</sup>	1,67%	0,57%
<b>Ζώνη Β: (300-600)m</b>			
<b>Σύνολο επιφάνειας</b>	<b>FB = 84,03 km<sup>2</sup></b>	<b>100%</b>	<b>37,00%</b>
Τεταρτογενείς σχηματισμοί	F <sub>1</sub> = 8,98 km <sup>2</sup>	10,69%	4,75%
Πλειστοκαινικά ιζήματα	F <sub>2</sub> = 16,61 km <sup>2</sup>	19,77%	8,79%
Φλύσχης	F <sub>3</sub> = 8,49 km <sup>2</sup>	10,10%	4,49%
Ανθρακικά Κρητιδικού	F <sub>4</sub> = 2,82 km <sup>2</sup>	3,39%	1,51%
Ανθρακικά Τριαδικού-Ιουρασικού	F <sub>5</sub> = 46,17 km <sup>2</sup>	54,94%	24,42%
Σχιστοψαμμιτοκερατολιθική	F <sub>6</sub> = 0,93 km <sup>2</sup>	1,11%	0,49%
<b>Ζώνη Γ: (&gt;600)m</b>			
<b>Σύνολο επιφάνειας</b>	<b>FG = 64,22 km<sup>2</sup></b>	<b>100,00%</b>	<b>28,55%</b>
Τεταρτογενείς	F <sub>1</sub> = 1,20 km <sup>2</sup>	1,87%	0,53%
Φλύσχης	F <sub>2</sub> = 4,09 km <sup>2</sup>	6,37%	1,82%
Ανθρακικά Κρητιδικού	F <sub>3</sub> = 4,80 km <sup>2</sup>	7,47%	2,13%
Ανθρακικά Τριαδικού-Ιουρασικού	F <sub>4</sub> = 53,34 km <sup>2</sup>	83,06%	23,71%
Σχιστοψαμμιτοκερατολιθική	F <sub>5</sub> = 0,79 km <sup>2</sup>	1,23%	0,35%

**Πίνακας 6.10:** Η επιφανειακή ανάπτυξη των γεωλογικών σχηματισμών που συμμετέχουν στη δομή της λεκάνης Άσκρης και ο αντίστοιχος όγκος νερού που δέχεται η επιφάνειά τους.

**Ζώνη Α**

Τεταρτογενείς σχηματισμοί	$F_1 = 33,74 \text{ km}^2 * 537\text{mm} = 18.118,38 * 10^3 \text{ m}^3$
Πλειστοκαινικά ιζήματα	$F_2 = 8,73 \text{ km}^2 * 537\text{mm} = 4.688,00 * 10^3 \text{ m}^3$
Ανθρακικοί σχηματισμοί Τριαδικού	$F_3 = 32,93\text{km}^2 * 537\text{mm} = 17.683,41 * 10^3 \text{ m}^3$
Σχιστοψαμμιτοκερατολιθική	$F_4 = 1,28 \text{ km}^2 * 537\text{mm} = 687,36 * 10^3 \text{ m}^3$

**Ζώνη Β**

Τεταρτογενείς σχηματισμοί	$F_1 = 8,98 \text{ km}^2 * 610\text{mm} = 5.477,80 * 10^3 \text{ m}^3$
Πλειστοκαινικά ιζήματα	$F_2 = 16,61 \text{ km}^2 * 610\text{mm} = 10.132,10 * 10^3 \text{ m}^3$
Φλύσχης	$F_3 = 8,49 \text{ km}^2 * 610\text{mm} = 5.178,90 * 10^3 \text{ m}^3$
Ανθρακικοί σχηματισμοί Κρητιδικού	$F_4 = 2,82 \text{ km}^2 * 610\text{mm} = 1.720,20 * 10^3 \text{ m}^3$
Ανθρακικοί σχηματισμοί Τριαδικού	$F_5 = 46,17\text{km}^2 * 610\text{mm} = 28.163,70 * 10^3 \text{ m}^3$
Σχιστοψαμμιτοκερατολιθική	$F_6 = 0,93 \text{ km}^2 * 610\text{mm} = 567,30 * 10^3 \text{ m}^3$

**Ζώνη Γ**

Τεταρτογενείς σχηματισμοί	$F_2 = 1,20 \text{ km}^2 * 780\text{mm} = 936 * 10^3 \text{ m}^3$
Φλύσχης	$F_4 = 4,09 \text{ km}^2 * 780\text{mm} = 3.190,2 * 10^3 \text{ m}^3$
Ανθρακικοί σχηματισμοί Κρητιδικού	$F_5 = 4,80 \text{ km}^2 * 780\text{mm} = 3.744,00 * 10^3 \text{ m}^3$
Ανθρακικοί σχηματισμοί Τριαδικού	$F_6 = 53,34\text{km}^2 * 780\text{mm} = 41.605,2 * 10^3 \text{ m}^3$
Σχιστοψαμμιτοκερατολιθική	$F_7 = 0,79 \text{ km}^2 * 780\text{mm} = 616,2 * 10^3 \text{ m}^3$

**Πίνακας 6.11:** Συγκεντρωτικός πίνακας εκτίμησης του υδρολογικού ισοζυγίου της υδρολογικής λεκάνης Άσκλης.

<b>Μέσος ετήσιος όγκος βροχής:</b>	<b>142.508,76* 10<sup>3</sup> m<sup>3</sup></b>	
Κατανομή όγκου κατακρημνισμάτων ανά υδρολιθολογικό σχηματισμό:	Τεταρτογενείς σχηματισμοί	24.532,18 * 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>
	Πλειστοκαινικά ιζήματα	14.820,11* 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>
	Φλύσχης	8.369,10 * 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>
	Ανθρακικοί σχηματισμοί Κρητιδικού	5.464,20 * 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>
	Ανθρακικοί σχηματισμοί Τριαδικού	87.452,31* 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>
	Σχιστοψαμμιτοκερατολιθική	1.870,86 * 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>
Μέσο ετήσιο ύψος Εξατμισοδιαπνοής:	355 mm στους καρστικούς σχηματισμούς και 509 mm στους λοιπούς γεωλογικούς σχηματισμούς	
Μέσος ετήσιος όγκος Εξατμισοδιαπνοής της λεκάνης:	$V_E = F_{ολ} \times E = 509 * 84,84 + 355 * 140,10 = \mathbf{92.919,06 \times 10^3 \text{ m}^3}$ <b>65%</b>	
Μέσος ετήσιος όγκος ολικής απορροής:	$V_A = V_P - V_E = \mathbf{49.589,7 \times 10^3 \text{ m}^3}$	
Όγκος του νερού που κατεισδύει μέσω κάθε λιθολογικού σχηματισμού ανάλογα με τον συντελεστή κατεισδυσης που έχει οριστεί για καθέναν από αυτούς.	Τεταρτ. σχη/σμοί:	24.532,18 * 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> x 18% = 4.415,79 * 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>
	Πλειστοκαινικά ιζήματα :	14.820,11* 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> x 13%= 1.926.61* 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>
	Φλύσχης:	8.369,10 * 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> x 6%= 502,14* 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>
	Ανθρ/κά Κρητιδικού:	5.464,20 * 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> x 40%=2.185.69 * 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>
	Ανθρ/κά Τριαδικού-Ιουρ:	87.452,31 * 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> x 30%=26.235,69* 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>
	Σχιστοψαμμιτοκερατολιθική:	870,86 * 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> x 5%= 43.54* 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>
Μέσος ετήσιος όγκος επιφανειακής απορροής	<b><math>V_R = 14.280,23 \times 10^3 \text{ m}^3</math></b>	
Μέσος ετήσιος όγκος υπόγειας απορροής	<b><math>V_I = 35.309,47 \times 10^3 \text{ m}^3</math></b>	



## **7. ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ**

### **7.1. Γενικά**

Οι υδρογεωλογικές συνθήκες μιας περιοχής εξαρτώνται από την υδρολιθολογική συμπεριφορά των γεωλογικών σχηματισμών της και τη γεωμετρία των επαφών μεταξύ διαπερατών και αδιαπέρατων στρωμάτων. Η υδρολιθολογική συμπεριφορά των γεωλογικών σχηματισμών είναι συνάρτηση της λιθολογικής τους σύστασης, της κοκκομετρικής τους σύνθεσης, του βαθμού διαγένεσης και του τεκτονισμού, που έχουν υποστεί στις διάφορες φάσεις του σχηματισμού τους (Σούλιος 1996). Στους συνεκτικούς σχηματισμούς η υδρολογική συμπεριφορά τους εξαρτάται από τη λιθολογική τους σύσταση αλλά και από τη τεκτονική καταπόνηση την οποία έχουν υποστεί σε διάφορες γεωλογικές περιόδους, ενώ στους πρόσφατους χαλαρούς και κοκκώδεις σχηματισμούς εξαρτάται από την κοκκομετρική τους σύσταση και το βαθμό διαγένεσής τους και στα ανθρακικά ιζήματα από το βαθμό διάβρωσης και ρηγμάτωσής τους (Λάμπας 2018).

Ωστόσο, οι υδρογεωλογικές συνθήκες μιας λεκάνης εξαρτώνται σε σημαντικό βαθμό και από την ποσότητα των κατακρημνισμάτων που δέχεται η λεκάνη, τα οποία τροφοδοτούν τους επιφανειακούς αποδέκτες, ανανεώνουν τα αποθέματα της εδαφικής υγρασίας και εμπλουτίζουν τους υπόγειους υδροφορείς (Μάρης 2015).

Για την υδρολιθολογική ταξινόμηση των γεωλογικών σχηματισμών, χρησιμοποιήθηκε ως κριτήριο διαχωρισμού η εκτιμώμενη διαπερατότητά τους που περιγράφεται μέσω των βιβλιογραφικών αναφορών. Γενικά, με βάση το κριτήριο αυτό οι γεωλογικοί σχηματισμοί διακρίνονται σε υδροπερατούς, ημιπερατούς και υδατοστεγείς σχηματισμούς.

Για την υδρολιθολογική ταξινόμηση των γεωλογικών σχηματισμών στην περιοχή μελέτης χρησιμοποιήθηκαν οι γεωλογικοί χάρτες (κλίμακας 1:50.000) και δεδομένα των Υδρογεωλογικών Χαρτών του ΙΓΜΕ όσον αφορά την ταξινόμηση, την υδροπερατότητα και το συντελεστή κατείσδυσης (Παγούνης κ.α. 1989, Δάνδολος κ.άλ. 2010, Ειδική Γραμματεία Υδάτων 2017). Από την επεξεργασία των ανωτέρω δεδομένων προέκυψε μέσω του προγράμματος ArcGIS, ο υδρογεωλογικός χάρτης (Σχήμα 7.2) της καρστικής λεκάνης Άσκρης-Δομβραΐνας.

### **7.2. Υδρολιθολογική κατάταξη των γεωλογικών σχηματισμών**

#### **7.2.1. Υδροπερατοί σχηματισμοί**

Στους υδροπερατούς σχηματισμούς ανήκουν οι γεωλογικοί σχηματισμοί που εμφανίζουν υψηλό ολικό και ενεργό πορώδες (πρωτογενές και δευτερογενές) και στους οποίους αναπτύσσονται σημαντικοί υδροφόροι ορίζοντες. Παρουσιάζουν υψηλές τιμές υδραυλικής αγωγιμότητας ( $K \text{ m/s}$ ) και μεταβιβαστικότητας ( $T \text{ m}^2/\text{s}$ ), οι οποίες σχετίζονται, αφενός με τη τεκτονική καταπόνηση των πετρωμάτων, και αφετέρου με τη μεσο- έως αδροκοκκώδη σύστασή τους.

Στην κατηγορία αυτή ταξινομούνται οι ανθρακικοί σχηματισμοί (ασβεστόλιθοι, δολομίτες και δολομιτικοί ασβεστόλιθοι) που αναπτύσσονται στο μεγαλύτερο τμήμα της λεκάνης (ποσοστό 62% της εδαφικής επιφάνειας της λεκάνης) και κυρίως στους ορεινούς όγκους της, οι αλλουβιακές αποθέσεις που καταλαμβάνουν το πεδινό τμήμα της περιοχής (ποσοστό

14,25% της έκτασης) και τα πλευρικά κορήματα και κώνοι κορημάτων που εμφανίζονται κυρίως στα περιθώρια των πεδινών περιοχών καθώς και στις περιοχές που αναπτύσσονται οι ασυνέχειες των πετρωμάτων.

Ωστόσο, η υδροπερατότητα των γεωλογικών σχηματισμών καθορίζεται τόσο από τη λιθολογική τους σύσταση, όσο και από τις δευτερογενείς επιδράσεις (καρστικοποίηση, ασυνέχειες, διακλάσεις κ.ά.), οι οποίες μεταβάλλουν τις αρχικές συνθήκες και τα γεωυδραυλικά χαρακτηριστικά του πετρώματος (Λάμπας 2018). Πιο συγκεκριμένα:

α) Ανθρακικοί σχηματισμοί: οι ανθρακικοί σχηματισμοί έχουν υψηλή υδροπερατότητα, η οποία επιδρά σημαντικά στην τροφοδοσία και τον εμπλουτισμό των υπόγειων υδροφορέων, εξαιτίας της δημιουργίας δευτερογενούς πορώδους στη μάζα τους, το οποίο δημιουργεί εκτεταμένους συνήθως ανισότροπους καρστικούς υδροφόρους σχηματισμούς (Καλλέργης 2000). Ο σχηματισμός του δευτερογενούς πορώδους οφείλεται στην τεκτονική καταπόνηση (εφελκυστικές τάσεις) των ανθρακικών πετρωμάτων, η οποία συμβάλλει στο σχηματισμό ασυνεχειών (ρήγματα, διακλάσεις, κατατμήσεις, ρωγμές) και στη δημιουργία καρστικών δομών στη μάζα τους. Η κίνηση του υπόγειου νερού στη μάζα τους είναι κυρίως τυρβώδης και γίνεται μέσω των ρηγμάτων, διακλάσεων κ.λπ.

Την υψηλότερη υδροπερατότητα μεταξύ των διαφόρων ασβεστολιθικών σχηματισμών που αναπτύσσονται στην περιοχή μελέτης εμφανίζουν οι κρητιδικοί ασβεστόλιθοι. Οι εν λόγω σχηματισμοί είναι έντονα κατακερματισμένοι, λόγω της τεκτονικής καταπόνησής τους και χαρακτηρίζονται από υψηλό βαθμό καρστοποίησης. Στα πρανή των ορεινών μαζών εντοπίζονται ανεπτυγμένες σπηλαιώδεις καρστικές μορφές, ενώ στην επιφάνεια οι δολίνες και οι καταβόθρες αντικατοπτρίζουν τον βαθμό εξέλιξης του καρστικού φαινομένου.

Αντίθετα οι κυρίως παχυστρωματώδεις τριαδικο-ιουρασικοί ανθρακικοί σχηματισμοί παρουσιάζουν μειωμένο βαθμό αποκάρσωσης σε σχέση με τους κρητιδικούς ασβεστόλιθους που αποδίδεται κυρίως στην αύξηση της κρυσταλλικότητάς τους, του βαθμού δολομιτίωσης και στην κατά τόπους αύξηση του μαργαϊκού υλικού εντός του ανθρακικού πετρώματος. Οι παράγοντες αυτοί επηρεάζουν την συμπεριφορά του πετρώματος απέναντι στην κίνηση του υπόγειου νερού και συνεπώς στην μεταβολή της υδροπερατότητάς τους (Λάμπας 2018).

Γενικά, βάσει βιβλιογραφικών αναφορών, η εκτιμώμενη τιμή της υδραυλικής αγωγιμότητας των ανθρακικών σχηματισμών (κρητιδικής και τριαδικής-ιουρασικής ηλικίας) της ευρύτερης περιοχής κυμαίνεται σε ένα εύρος τιμών μεταξύ  $K=10^{-1}$  m/s έως  $K=10^{-3}$  m/s και του συντελεστή κατείσδυσης μεταξύ  $I \geq 30\%$  έως  $50\%$  (Ειδική Γραμματεία Υδάτων 2017, Δάνδολος κ.ά. 2010, Σούλιος 1996, Καλλέργης 2000).

Αν και τα ανθρακικά πετρώματα έχουν υψηλή υδροπερατότητα, το σύνολο του νερού που διακινείται στη μάζα τους είναι πρακτικά μη αξιοποιήσιμο, εξαιτίας των μεγάλων υπόγειων εκροών που συντελούνται από τις παράκτιες υφάλμυρες πηγές προς το Κορινθιακό κόλπο (παράκτια περιοχή Σαράντη, Άγιος Νικόλαος, Λιβαδόστρα, Άγιος Ιωάννης κ.λπ.).

β) Κοκκώδεις σχηματισμοί: Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται και οι κοκκώδεις σχηματισμοί όπως οι αλλουβιακές αποθέσεις που καταλαμβάνουν το πεδινό τμήμα της λεκάνης καθώς και τα πλευρικά κορήματα και κώνοι κορημάτων που βρίσκονται κυρίως στα περιθώρια των πεδινών περιοχών και στις ρηξιγενείς ζώνες. Πρόκειται για κοκκώδεις σχηματισμούς πρόσφατης γεωλογικής περιόδου, οι οποίοι προήλθαν κυρίως από τη διάβρωση και αποσάθρωση των ασβεστολιθικών πετρωμάτων και των κροκαλοπαγών και οι οποίοι μετακινήθηκαν προς τις χαμηλότερες ζώνες, όπου και αποτέθηκαν δημιουργώντας τις

αλλουβιακές αποθέσεις της πεδινής περιοχής της λεκάνης Άσκλης-Δομβραΐνας. Η υδροπερατότητά τους οφείλεται στο πρωτογενές πορώδες τους και στη κοκκομετρική σύσταση των υλικών απόθεσης, τα οποία συνίστανται από αδρόκοκκα μη συνεκτικά υλικά. Ωστόσο, η υδροπερατότητα των παραπάνω σχηματισμών ελέγχεται σημαντικά από το ποσοστό συμμετοχής της αργίλου στη σύστασή τους, η οποία είναι αδιαπέρατη ως υλικό. Η κοκκομετρική σύσταση των υλικών απόθεσης εξαρτάται: α) από την διανυθείσα απόσταση μεταξύ της πηγής τροφοδοσίας τους και του χώρου απόθεσης του κλαστικού υλικού, β) από την ανθεκτικότητα των μητρικών πετρωμάτων στη διάβρωση και αποσάθρωση και γ) από την ένταση των ρευμάτων μεταφοράς τους. Όσο αυξάνεται η απόσταση από την πηγή τροφοδοσίας των αποθέσεων και όσο πιο ανθεκτικά είναι τα ορυκτολογικά συστατικά του μητρικού πετρώματος στη διάβρωση και αποσάθρωση, τόσο περισσότερο μειώνεται η κοκκομετρία τους (Καλλέργης 2000).

Αλλουβιακές αποθέσεις απαντώνται στην κοιλάδα Δομβραΐνας – Θίσβης, η οποία αποτελεί μια παλιά πόλγη που αποστραγγίστηκε τον περασμένο αιώνα. Ο αρχικός σχηματισμός της είναι αποτέλεσμα της τεκτονικής δραστηριότητας που υπήρξε στις δύο ρηξιγενείς ζώνες οι οποίες βρίσκονται στα βόρεια και νότια περιθώριά της. Κατά τις ορογενετικές διαδικασίες προκλήθηκε η ανύψωση των ανερχόμενων τεμάχων στις δύο ρηξιγενείς ζώνες. Στη συνέχεια η διάβρωση των συμπαγών πετρωμάτων συνέβαλλε στην πλήρωση της κοιλάδας με κλαστικό υλικό. Πρόκειται για μια εκτεταμένη καρστική μορφή, η οποία είναι κλειστή από όλες τις πλευρές. Η επιφάνειά της είναι σχεδόν επίπεδη, με μικρές κλίσεις στα περιθώριά της και η οποία καλύπτεται από χαλαρά αλλουβιακά ιζήματα.

Η εκφόρτωση των επιφανειακών νερών που πλημμυρίζουν την κοιλάδα κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου από το ποταμό Άσκλης γίνεται αφενός μέσω των καταβοθρών που βρίσκονται στα δυτικά περιθώρια της κοιλάδας εντός των ανθρακικών μαζών και αφετέρου μέσω του τεχνητού συστήματος αποστράγγισης προς τον Κορινθιακό Κόλπο. Πολλές φορές όμως η αποστράγγιση της κοιλάδας, λόγω της μεγάλης ποσότητας νερού που διοχετεύεται σε αυτή, δεν είναι ικανοποιητική με αποτέλεσμα για μεγάλο χρονικό διάστημα η επιφάνεια του εδάφους στο δυτικό τμήμα της κοιλάδας να παραμένει κάτω από το νερό.

Επίσης, το σύνολο σχεδόν του διακινούμενου νερού εντός των χαλαρών σχηματισμών στο δυτικό τμήμα της κοιλάδας είναι πρακτικά μη αξιοποιήσιμο, εξαιτίας των σημαντικών υπόγειων εκροών που συντελούνται προς τον Κορινθιακό Κόλπο μέσα από τις παράκτιες και υποθαλάσσιες υφάλμυρες πηγές. Η εν λόγω περιοχή δείχνει την εικόνα μιας ξηρής, άγονης και εγκαταλειμμένης περιοχής. Χαρακτηρίζεται από την έλλειψη πηγαδιών και γεωτρήσεων που θεωρούνται μάρτυρες εκμετάλλευσης του φρεάτιου ή και του βαθύτερου καρστικού υδροφόρου ορίζοντα.

Μικρός αριθμός πηγαδιών εντοπίζεται εντός των οικισμών Δομβραΐνας, Θίσβης και Προδρόμου που παλαιότερα χρησίμευαν για την κάλυψη των υδρευτικών ίσως και των αρδευτικών τους αναγκών. Γεωτρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στις περιοχές των προαναφερόμενων οικισμών εντόπισαν υφάλμυρα νερά και συνεπώς η λειτουργία τους εγκαταλείφθηκε. Βάσει προσωπικών πληροφοριών που συγκεντρώθηκαν από τους εντόπιους κατοίκους τα υφάλμυρα νερά έχουν εντοπισθεί μέχρι και την περιοχή της Δομβραΐνας, δηλαδή το μέτωπο της θαλάσσιας διείσδυσης ξεπερνά τα τέσσερα (4) χιλιόμετρα από την παράκτια ζώνη μέχρι τους πρόποδες της ορεινής μάζας του Ελικώνα, όπου βρίσκονται οι οικισμοί.

Αντίθετα, στο ανατολικό πεδινό τμήμα της περιοχής των οικισμών Άσκηρς και Νεοχωρίου που καλύπτεται από σημαντικό πάχος υδροπερατά χαλαρά ιζήματα τεταρτογενούς ηλικίας, αναπτύσσονται πλούσιοι υδροφόροι ορίζοντες. Πρόκειται για υδροπερατές αποθέσεις στις οποίες εμφανίζεται η κύρια υδροφορία της λεκάνης, την οποία εκμεταλλεύονται μεγάλος αριθμός πηγαδιών και γεωτρήσεων.

Η τροφοδοσία των κλαστικών ιζημάτων συντελείται κατά κύριο λόγο από την απευθείας κατείσδυση του μετεωρικού νερού, τις επιφανειακές απορροές, καθώς και από τις υπόγειες πλευρικές μεταγίσεις υδάτων από τα περιβάλλοντα πετρώματα που αναπτύσσονται στα περιθώρια της λεκάνης.

Η τιμή της υδραυλικής αγωγιμότητας  $K$  επηρεάζεται από το μέγεθος των σωματιδίων, την κατανομή του κοκκομετρικού μεγέθους και την κοκκομετρική διαβάθμισή τους και κυμαίνεται από  $K=10^{-4}$  έως  $10^{-6}$  m/s (Δάνδολος κ.άλ. 2010, Καλλέργης 2000).

### 7.2.2. Ημιπερατοί σχηματισμοί

Στην ομάδα αυτή ανήκουν τα κροκαλοπαγή και ψαμμίτες με μαργαϊκές παρεμβολές, πλειστοκαινικής ηλικίας, που καταλαμβάνουν το ανατολικό τμήμα της λεκάνης (ποσοστό 11,2% της έκτασης), τα λατυποπαγή που καλύπτουν μικρή έκταση στο νότιο τμήμα της λεκάνης και βρίσκονται εντός των τριαδικο-ιουρασικών ασβεστόλιθων, ο φλύσχης και τα υπερβασικά πετρώματα.

Τα κροκαλοπαγή αποτελούν γεωλογικούς σχηματισμούς που απαντώνται στους πρόποδες των ορεινών και ημιορεινών περιοχών. Έχουν ποικίλη λιθολογική σύσταση η οποία είναι συνάρτηση της λιθολογικής σύνθεσης των ορεινών πετρωμάτων από τα οποία προέρχονται τα υλικά (ανθρακικά κυρίως υλικά), με εναλλαγή αδρομερών και λεπτομερών υλικών. Η τιμή της υδραυλικής τους αγωγιμότητας κυμαίνεται από  $K = 10^{-5}$  έως  $10^{-7}$  m/s (Δάνδολος κ.άλ. 2010).

Στους ημιπερατούς σχηματισμούς κατατάσσονται επίσης οι σχηματισμοί του φλύσχης που απαντώνται κυρίως πάνω από τους ανωκρητιδικούς ασβεστόλιθους στο βορειοανατολικό και δυτικό τμήμα της λεκάνης. Οι σχηματισμοί αυτοί αποτελούνται από εναλλαγές πηλιτών και ψαμμιτών με παρεμβολές από λατυποπαγή και κροκαλοπαγή. Είναι έντονα τεκτονισμένοι και αποσαθρωμένοι, με σχετικά υψηλό ποσοστό ιλύος. Η κίνηση του νερού στη μάζα τους είναι περιορισμένη και επιλεκτική. Τοπικά δημιουργούν μερικώς υπό πίεση υδροφόρους ορίζοντες μέτριας έως μικρής δυναμικότητας. Η τιμή της υδραυλικής αγωγιμότητας κυμαίνεται από  $K = 10^{-5}$  έως  $10^{-7}$  m/s (Δάνδολος κ.άλ. 2010).

Επίσης, στην ίδια κατηγορία περιλαμβάνονται και τα υπερβασικά πετρώματα τα οποία βρίσκονται σε θέσεις με έντονη τεκτονική καταπόνηση.

### 7.2.3. Υδατοστεγείς σχηματισμοί

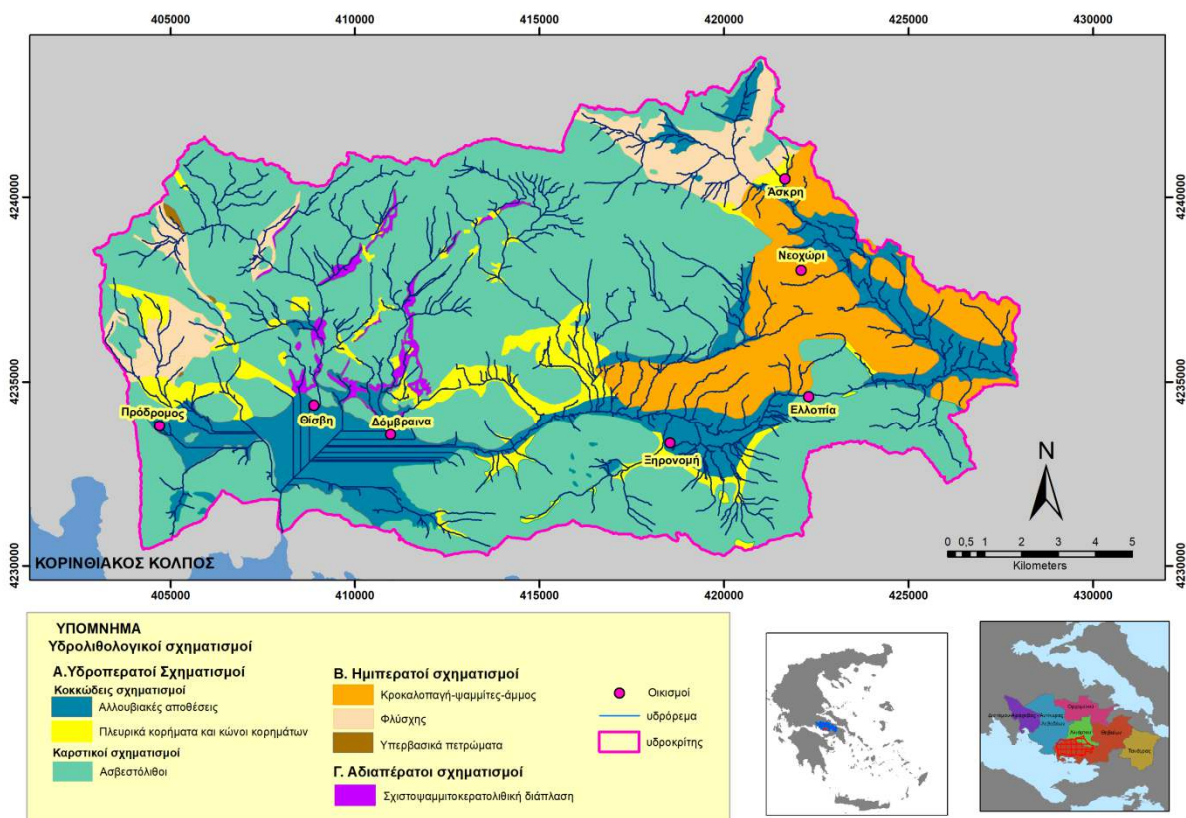
Στην ομάδα αυτή ταξινομούνται οι σχηματισμοί της σχιστοψαμμιτοκερατολιθικής διάπλασης, η οποία αποτελείται κυρίως από αργιλικούς σχιστόλιθους, μάργες ραδιολαριτικούς κερατολίθους, ψαμμίτες, πηλίτες, αργιλοπηλιτικούς κερατολίθους, με παρεμβολές από λεπτόκοκκους ασβεστόλιθους. Επίσης, στην κατηγορία αυτή ανήκουν και οι οφιόλιθοι, οι οποίοι αποτελούν μικρά σώματα, τα οποία παρεμβάλλονται μεταξύ του φλύσχης της ζώνης Παρνασσού- Γκιώνας και των ασβεστόλιθων της Βοιωτικής Ενότητας.

Χαρακτηρίζονται στο σύνολό τους ως υδατοστεγανά πετρώματα, ωστόσο λόγω της τεκτονικής τους καταπόνησης μπορεί να εμφανίζουν μικρή υδροπερατότητα και υδροφορία κυρίως οι ψαμμιτικές ενδιάστρώσεις και οι κατακερματισμένοι κερατολιθικοί ορίζοντες. Οι εν λόγω σχηματισμοί κατατάσσονται στους αδιαπέρατους σχηματισμούς, με συντελεστή περατότητας  $K=10^{-6} - 10^{-8}$  m/s (Δάνδολος κ.ά. 2010).

### 7.3. Υδροφόρα συστήματα

Στην περιοχή μελέτης αναπτύσσονται τρία είδη υδροφόρων συστημάτων:

- Το πρώτο και κύριο υδροφόρο σύστημα αναπτύσσεται στις τεταρτογενείς αποθέσεις (κοκκώδες σύστημα).
- Το δεύτερο αναπτύσσεται μέσα στους ανθρακικούς σχηματισμούς (καρστικό σύστημα).
- Το τρίτο αναπτύσσεται σε γεωλογικούς σχηματισμούς οι οποίοι είναι τεκτονισμένοι και έντονα ρωγματομένοι (ρωγματικό σύστημα).



Σχήμα 7.1: Υδρολιθολογικός χάρτης της καρστικής λεκάνης Άσκρης - Δομβραΐνας.

#### 7.3.1. Υδροφορία των προσχωσιγενών αποθέσεων (κοκκώδες σύστημα)

Οι υδροφόροι ορίζοντες που αναπτύσσονται στις προσχωσιγενείς αποθέσεις είναι κυρίως ελεύθεροι ή τοπικά μερικώς υπό πίεση, λόγω της διαφορετικής υδροπερατότητας των λιθολογικών φάσεων αλλά και της παρουσίας ενστρώσεων ή παρεμβολών υδροστεγανών πετρωμάτων όπως άργιλοι και πηλοί.

Στο ανατολικό πεδινό τμήμα της λεκάνης, αναπτύσσεται ενιαίος φρεάτιος υδροφόρος ορίζοντας στις αλλουβιακές προσχώσεις από τον οποίο διέρχεται ο κύριος κλάδος της λεκάνης (ποταμός Άσκηρς).

Η τροφοδοσία των τεταρτογενών αποθέσεων πραγματοποιείται, είτε από την απ' ευθείας κατείσδυση του μετεωρικού νερού, είτε από πλευρικές υπόγειες μεταγίσεις νερού, μέσω της υδροφορίας των περιβαλλόντων πετρωμάτων. Οι υδροφόροι ορίζοντες οι οποίοι αναπτύσσονται στα κροκαλοπαγή είναι μέτριας δυναμικότητας, λόγω των εναλλαγών των λιθολογικών φάσεων με μαργαϊκούς ορίζοντες.

Στο Σχήμα 7.2 παρουσιάζεται τμήμα του Υδρογεωλογικού Χάρτη Ελλάδος (Παγούνης κ.α. 1989) όπου αποτυπώνεται η πιεζομετρία (πορτοκαλί χρώμα πιεζομετρικών καμπυλών) της κοκκώδους υδροφορίας στην περιοχή της Άσκηρς (Παλαιοπαναγιά). Διαπιστώνεται ότι η πιεζομετρία εντός των χαλαρών ιζημάτων αναπτύσσεται σε απόλυτα υψόμετρα μεταξύ 280 μέτρα στο νότιο τμήμα (περιοχή Λεύκτρων) και 320 μέτρα στο βόρειο τμήμα (περιοχή Νεοχωρίου και Θεσπιών). Οι υπόγειες ροές έχουν μια κύρια διεύθυνση προς τα νότια έως νοτιοανατολικά. Η εν λόγω φρεάτια υδροφορία εκμεταλλεύεται από μεγάλο αριθμό πηγαδιών αποκλειστικά για αρδευτικούς σκοπούς.

Στους κοκκώδεις σχηματισμούς ανήκουν οι κώνοι κορημάτων και τα πλευρικά κορήματα. Πρόκειται για σχηματισμούς που είναι αποτέλεσμα της ενεργοποίησης των ρηξιγενών ζωνών ή υλικά αποσάθρωσης των ανωτέρω γεωλογικών σχηματισμών. Αποτελούνται κυρίως από αδρομερείς, κλαστικές αποθέσεις κλιτύων οι οποίες προέρχονται κυρίως από ανθρακικά υλικά. Λόγω της σύστασής τους αποτελούν υδροπερατές αποθέσεις, με περιορισμένο πάχος, μικρή υδροδυναμικότητα και φρεάτια υδροφορία με τοπικό μόνο ενδιαφέρον. Ωστόσο, λόγω της θέσης τους έχουν μεγάλη σημασία για την τροφοδοσία της πεδινής περιοχής, αφού μέσω αυτών μεταφέρεται το υπόγειο νερό στην πεδινή περιοχή.

Επίσης, στην ίδια κατηγορία ανήκουν και τα κροκαλοπαγή, τα οποία βρίσκονται στο ανατολικό τμήμα της λεκάνης. Λόγω της σύστασής τους εμφανίζουν μέτρια υδροπερατότητα. Ο ρόλος των αποθέσεων αυτών είναι ιδιαίτερα σημαντικός στη λειτουργία και εξέλιξη του υδροφόρου συστήματος της πεδινής περιοχής, αφού μέσω αυτών διακινούνται σημαντικές ποσότητες νερού.

### **7.3.2. Καρστικό υδροφόρο σύστημα**

Καρστικοί υδροφόροι ορίζοντες αναπτύσσονται στα ανθρακικά πετρώματα (ασβεστόλιθοι, δολομίτες και μάρμαρα) που απαντώνται στις ορεινές και ημιορεινές περιοχές της λεκάνης και των οποίων η δυναμικότητα καθορίζεται κυρίως από την τεκτονική καταπόνηση και το βαθμό καρστικοποίησής τους.

Εντός της καρστικής λεκάνης Άσκηρς δεν εντοπίζονται καρστικές πηγές, παρά την ευρεία ανάπτυξη των ανθρακικών πετρωμάτων. Ένα μεγάλο ποσοστό του επιφανειακού και μετεωρικού νερού που κατεισδύει μέσα στους ανθρακικούς σχηματισμούς, διέρχεται υπογείως μέσα στους καρστικούς αγωγούς, το οποίο στη συνέχεια, είτε εκφορτώνεται στον Κορινθιακό κόλπο μέσω των καρστικών παράκτιων και υποθαλάσσιων πηγών, είτε τροφοδοτεί τις αλλουβιακές προσχώσεις, τα κροκαλοπαγή και τους κώνους κορημάτων και πλευρικά κορήματα, της λεκάνης. Επιπλέον οι περιοχές που καλύπτονται από δολομίτες και

κρυσταλλικούς ασβεστόλιθους (κυρίως το νότιο τμήμα της λεκάνης) παρουσιάζουν μικρότερη περατότητα, λόγω του μικρότερου βαθμού καρστικοποίησης.

Στο Σχήμα 7.2 που ακολουθεί παρουσιάζεται η ανάπτυξη της καρστικής υδροφορίας στην ευρύτερη περιοχή (Παγούνης κ.α. 1989). Η πιεζομετρία αναπτύσσεται μεταξύ των απόλυτων υψομέτρων +15μ. στην περιοχή ανατολικά της Δομβραΐνας και +100μ. στην περιοχή της Άσκρης (Παλαιοπαναγιά). Η ροή της καρστικής υδροφορίας εντός των ορίων της υδρολογικής λεκάνης έχει διεύθυνση από τα βόρεια προς τα νότια τμήματα της λεκάνης.

Σε γενικές γραμμές η ροή των υπογείων νερών εντός των καρστικών σχηματισμών έχει κατεύθυνση από βορειοδυτικά προς νοτιοανατολικά, δηλαδή προς την λίμνη της Υλίκης όπου και εκτονώνεται. Στο Σχήμα 7.3 αποτυπώνεται η κύρια διεύθυνση της υπόγειας ροής στην υδρογεωλογική τομή που συνδέει την περιοχή της Άσκρης (Παλαιοπαναγιά) με την περιοχή της λίμνης Υλίκης όπου και η εκτόνωση του καρστικού υδροφόρου συστήματος (Παγούνης κ.α. 1989).

Ο καρστικός υδροφόρος ορίζοντας είναι υποκείμενος των προσχωματικών υδροφόρων οριζόντων και αποτελεί το τελικό αποδέκτη των ρυπαντικών φορτίων που προέρχονται από τους ανώτερους υδροφόρους των χαλαρών σχηματισμών. Ωστόσο, λόγω της πλούσιας καρστικής υδροφορίας το εισερχόμενο ρυπαντικό φορτίο υφίσταται σε μεγάλο βαθμό αραίωση και συνεπώς η εμφάνισή του δεν είναι έντονη, όπως αυτό συμβαίνει στην περίπτωση του φρεάτιου υδροφόρου ορίζοντα.

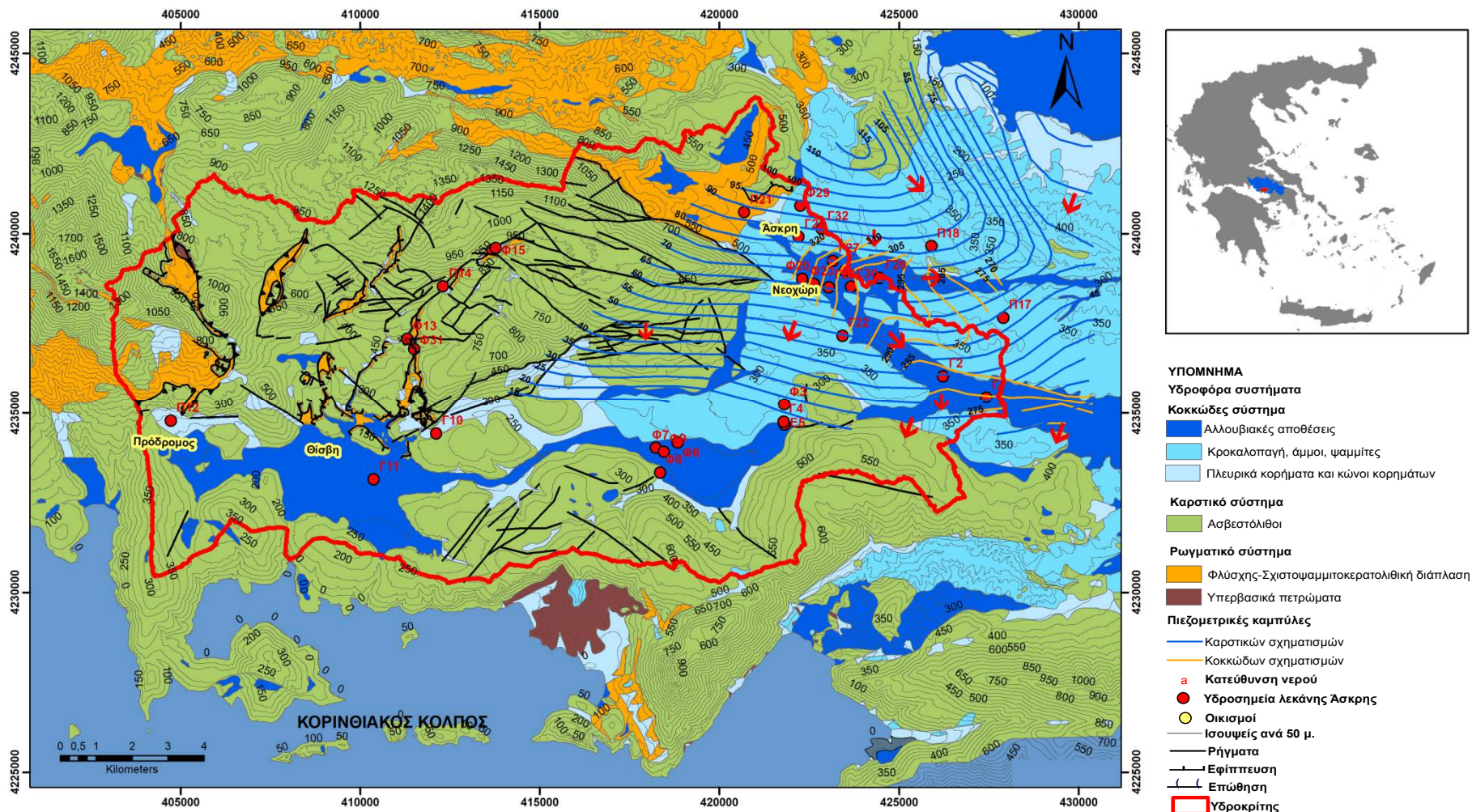
Ο καρστικός υδροφόρος παρουσιάζει πλούσια υδροφορία. Οι Βαθιές γεωτρήσεις που εκμεταλλεύονται αυτόν έχουν παροχές που ξεπερνούν τα 150m<sup>3</sup>/h. Αντίθετα οι παροχές των πηγαδιών που εκμεταλλεύονται τον φρεάτιο υδροφόρο δεν ξεπερνούν τα 30m<sup>3</sup>/h (Παγούνης κ.α. 1989).

### 7.3.3. Ρωγματικό υδροφόρο σύστημα

Η ρωγματική υδροφορία αναπτύσσεται κυρίως στους σχηματισμούς του φλύσχη (ενδιαστρώσεις από ψαμμίτες, ασβεστόλιθοι), στους αργιλικούς και μαρμαρυγιακούς σχιστόλιθους, στους ψαμμιτικούς και κερατολιθικούς ορίζοντες που αναπτύσσονται εντός της σχιστοψαμμιτοκερατολιθικής διάπλασης και στα σερπεντινωμένα υπερβασικά πετρώματα. Η δυναμικότητα της υδροφορίας είναι αρκετά μικρή και τοπικής κυρίως σημασίας που είναι ανάλογη του βαθμού τεκτονισμού της μάζα τους.

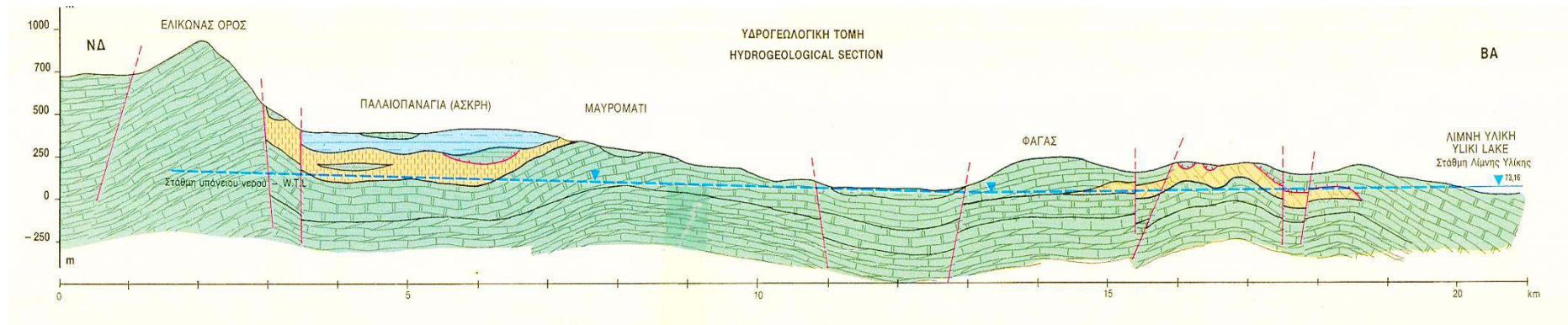
Ο φλύσχος θεωρείται πρακτικά ένας υδροστεγανός σχηματισμός, ωστόσο λόγω των ψαμμιτικών οριζόντων του ή των ρωγματωμένων ζωνών του συμβάλλει τοπικά στην κατείσδυση του μετεωρικού νερού και στην υδροφορία της περιοχής.

Αντίστοιχα και οι άλλοι γεωλογικοί σχηματισμοί όπως η σχιστοψαμμιτοκερατολιθική διάπλαση και τα υπερβασικά πετρώματα δεν αναπτύσσουν σημαντική υδροφορία. Ωστόσο λόγω της εκτεταμένης αποσάθρωσης και του έντονου τεκτονισμού τους, αναπτύσσουν δευτερογενές πορώδες που έχει ως αποτέλεσμα την διέλευση του μετεωρικού νερού από τη μάζα τους και τη βελτίωση της υδροφορίας.



**Σχήμα 7.2:** Ανάπτυξη της καρστικής και κοκκώδους υδροφορίας στη περιοχή μελέτης (1. μπλε πιεζομετρικές καμπύλες: καρστική υδροφορία, 2. πορτοκαλί πιεζομετρικές καμπύλες: κοκκώδη υδροφορία και 3. κόκκινα βέλη που φανερώνουν την διεύθυνση των υπόγειων ροών) (Πηγή :Παγούνης κ.α. 1989, ίδια επεξεργασία).





**Σχήμα 7.3:** Ανάπτυξη της καρστικής και κοκκώδους υδροφορίας στη περιοχή της Άσκρις (Παλαιοπαναγιά) και σε προέκταση προς τα ανατολικά προς την περιοχή του κάμπου των Βαγίων και στη συνέχεια προς την λίμνη Υλίκη όπου και εκτονώνεται η καρστική υδροφορία (πηγή: Παγούνης κάλ. 1989).

## 8. ΥΔΡΟΧΗΜΕΙΑ

Σκοπός της υδροχημικής έρευνας είναι η διερεύνηση της ποιότητας των νερών, η εκτίμηση των παραγόντων (γεωγενείς ή ανθρωπογενείς) που διαμορφώνουν την ποιότητα των νερών καθώς και ο εντοπισμός των πιθανών πηγών ρύπανσης των υπόγειων υδροφόρων οριζόντων και των επιφανειακών νερών.

### 8.1. Ποιότητα υπόγειων νερών

Τα υπόγεια ύδατα πολλές φορές, λόγω διαφόρων παραγόντων, ενδέχεται να περιέχουν επικίνδυνες ουσίες οι οποίες επηρεάζουν την υγεία των ανθρώπων κατά την κατανάλωσή τους ή που επιδεινώνουν το περιβάλλον όταν το νερό διαχέεται αναπάντεχα στην επιφάνεια. Η ποιότητά τους μπορεί να αλλάξει κατά τη διάρκεια της εκμετάλλευσης ή μπορεί να επηρεαστεί από τις ανθρώπινες δραστηριότητες των οποίων ο αντίκτυπος δεν είναι πάντα άμεσα εμφανής.

Το ενδιαφέρον της κοινωνίας για τη γεωχημεία των υπογείων υδάτων είναι κυρίως να εξασφαλίσει πόσιμο νερό καλής ποιότητας. Αν και το πόσιμο νερό μπορεί να παραχθεί, για παράδειγμα μέσω αφαλάτωσης, ωστόσο αυτό εξακολουθεί να είναι μια δαπανηρή υπόθεση και η παράδοση σε αυτήν την επιλογή έρχεται σε σύγκρουση με την επιθυμία μας να αξιοποιήσουμε τα υπόγεια ύδατα ως βιώσιμο πόρο. Επομένως, η διατήρηση των καλών υπόγειων υδάτων έχει υψηλή προτεραιότητα και είναι αυτή που θα απασχολήσει τις αρμόδιες υπηρεσίες στο μέλλον.

Μεγάλο μέρος του πόσιμου νερού προέρχεται από επιφανειακά ύδατα, ωστόσο, ιδιαίτερα στις αναπτυσσόμενες χώρες, προτιμούνται συχνά τα υπόγεια ύδατα, επειδή χρειάζονται λιγότερη επεξεργασία και έχουν καλύτερη ποιότητα (λιγότερα βακτήρια) που συμβάλλει στην ελαχιστοποίηση της εξάπλωσης ασθενειών που προκαλούνται από το νερό, όπως η χολέρα.

#### 8.1.1. Κριτήρια ποιότητας του νερού

Τα κριτήρια ποιότητας του νερού (Καλλέργης 2000) καθορίζονται, ανάλογα με τη χρήση για την οποία αυτό προορίζεται.

A) Φυσικά χαρακτηριστικά : Τα κυριότερα φυσικά χαρακτηριστικά του νερού είναι:

- *Το Χρώμα*: Το νερό είναι συνήθως άχρωμο, ωστόσο διάφορες διαλυμένες ή αιωρούμενες ουσίες σε αυτό μπορούν να του προσδώσουν χρώμα.
- *Η Θολότητα*: Είναι μια καθοριστική παράμετρος η οποία μπορεί να περιορίσει τη χρήση του νερού. Το νερό είναι συνήθως διαυγές, ωστόσο, λόγω της παρουσίας πολλών αιωρούμενων σωματιδίων ζωικής ή φυτικής προέλευσης ή της παρουσίας οργανικών ή ανόργανων ενώσεων, όπως σωματίδια ιλύος, υδροξείδια σιδήρου και αργιλίου και πλαγκτόν μπορούν να προσδώσουν σε αυτό μια θολότητα.
- *Η οσμή*: Το νερό είναι άοσμο, ωστόσο η περιεκτικότητά του σε διάφορα χημικά ή βιολογικά στοιχεία μπορούν να του προσδώσουν οσμή.
- *Η Θερμοκρασία*: Η μέτρηση της θερμοκρασίας του νερού είναι μια σημαντική παράμετρος για την αξιολόγηση της ποιότητας του νερού και της προέλευσής του. Η θερμοκρασία των υπόγειων νερών είναι συνήθως 14-15°C με ελάχιστες διακυμάνσεις,

ενώ των επιφανειακών νερών είναι αρκετά μεγαλύτερη με μεγάλες διακυμάνσεις, γεγονός που περιορίζει τη χρήση τους σε διάφορες δραστηριότητες που προϋποθέτουν μια σταθερά και αμετάβλητη θερμοκρασία.

- *Η Ηλεκτρική αγωγιμότητα (E.C):* Η τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας σχετίζεται με το σύνολο των διαλυμένων ουσιών στο νερό (TDS). Η συνήθης τιμή της στα υπόγεια νερά είναι από 140  $\mu\text{S}/\text{cm}$  έως 1100  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Οι διαφορετικές τιμές της E.C. που εμφανίζονται στα υπόγεια νερά έχουν άμεση σχέση με την ορυκτολογική σύσταση των πετρωμάτων του εκάστοτε υδροφορέα. Η μεταβολή της χημικής σύστασης του υπόγειου νερού από διάφορους επιφανειακούς παράγοντες επιδρά άμεσα στη μεταβολή της τιμής της ηλεκτρικής αγωγιμότητας.
- *Η Ραδιενέργεια:* Όταν τα υπόγεια νερά διέρχονται μέσα από πετρώματα που περιέχουν ραδιενεργά στοιχεία, τότε το νερό αποσπώντας κάποιο από αυτά αποκτά ραδιενέργεια. Τα πιο συνηθισμένα στοιχεία που συναντάμε στο νερό είναι  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{222}\text{Rn}$ ,  $^{227}\text{Th}$ . Όταν η τιμή της ραδιενέργειας ξεπερνά τις οριακές τιμές όπως αυτές έχουν οριστεί από την Ε.Ε. τότε το νερό είναι ακατάλληλο για χρήση.

**Β) Χημικά χαρακτηριστικά:** Στα φυσικά νερά συναντάμε συνήθως υπό μορφή ιόντων και ενώσεων τα ακόλουθα στοιχεία:

- *Ανόργανα συστατικά:*
  1. *Κύρια ιόντα:*  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ , των οποίων η περιεκτικότητα στο υπόγειο νερό από 1mg/l έως 1000 mg/l.
  2. *Δευτερεύοντα ιόντα:*  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{F}^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{Al}^{3+}$  κ.ά., των οποίων η περιεκτικότητα στο υπόγειο νερό κυμαίνεται από 0,1 mg/l έως 1,0 mg/l.
  3. *Ανόργανα σε μη ιοντική μορφή:*  $\text{SiO}_2$
  4. *Ανόργανα στοιχεία γεωγενούς ή και ανθρωπογενούς προελεύσεως, βαρέα μέταλλα:*  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Cr}^{6+}$ ,  $\text{Hg}^{2+}$ ,  $\text{As}^{3+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Ba}^{2+}$ ,  $\text{Se}$ ,  $\text{Ag}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$  κλπ.
- *Θρεπτικές ενώσεις* του αζώτου και φωσφόρου προερχόμενες κυρίως από τον άνθρωπο.
- *Φυσικές οργανικές ενώσεις* (πρωτεΐνες, υδρογονάνθρακες, λιπίδια)
- *Συνθετικές οργανικές ενώσεις* (επιφανειοδραστικά, φυτοφάρμακα κ.ά.)
- *Αέρια* ( $\text{O}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{CH}_4$ )
- *Ραδιενεργά στοιχεία*
- *Βιολογικά χαρακτηριστικά* (Βακτήρια, ιοί, μύκητες, πρωτόζωα, σκώληκες, καρκινοειδή κ.ά.).

Από τη χημική σύσταση των νερών μπορούμε να εκτιμήσουμε τη σύσταση των πετρωμάτων από τα οποία έχει διέλθει το νερό, τη φύση και τον τρόπο δημιουργίας των υδροφόρων οριζώντων καθώς και τη ταχύτητα και διεύθυνση της ροής του νερού σε αυτούς.

**Γ) Δείκτες ποιοτικής σύστασης:**

- *Ενεργός οξύτητα (pH):* Το νερό έχει  $\text{pH}=7$  ωστόσο ανάλογα με την λιθολογική σύσταση των πετρωμάτων από τα οποία διέρχεται το νερό, το pH μεταβάλλεται και γίνεται αλκαλικό ή όξινο. Στην περίπτωση που διέρχεται μέσα από οφιολίθους η τιμή του pH αυξάνει και το νερό γίνεται αλκαλικό, λόγω του φαινομένου της υδρόλυσης των μαγνησιούχων ορυκτών, ενώ στα ασβεστολιθικά πετρώματα η τιμή του pH μειώνεται και το νερό γίνεται όξινο, λόγω της αύξησης του  $\text{CO}_2$ . Η μεταβολή του pH

εξαρτάται από το βάθος στο οποίο βρίσκεται το νερό, τις συνθήκες ροής, την ορυκτολογική σύσταση των πετρωμάτων και την επίδραση του ανθρώπου.

- **Δυναμικό οξειδοαναγωγής (Eh):** Καθορίζεται από τον αριθμό των ηλεκτρονίων του  $H^+$ . Στην περίπτωση που η τιμή του είναι αρνητική (0 έως -300mV) το διάλυμα είναι αναγωγικό, ενώ αν είναι θετική (0 έως +300mV) το διάλυμα είναι οξειδωτικό.
- **Σύνολο διαλυμένων στερεών (T.D.S.):** Η τιμή του εξαρτάται από τη διαλυτότητα των ορυκτών των πετρωμάτων των γεωλογικών σχηματισμών. Στα γρανιτικά πετρώματα η τιμή του T.D.S είναι αρκετά χαμηλή, μεταξύ 100-200 mg/l, ενώ στους ιζηματογενείς σχηματισμούς και στα ηφαιστειακά πετρώματα κυμαίνεται μεταξύ 200-1200 mg/l.

Σύμφωνα με την κατάταξη του DAVIS, S.N & DE WIEST, R.J. (1996) βάσει των τιμών του T.D.S. τα νερά χαρακτηρίζονται:

- Γλυκά νερά : <1000 mg/l
- Υφάλμυρα νερά: 1.000 έως 10.000 mg/l
- Αλμυρά νερά: 10.000 έως 35.000 mg/l
- Υπεραλμυρά νερά: >35.000 mg/l

Ο δείκτης T.D.S αποτελεί ένα δείκτη αλατότητας και συνδέεται με την ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) με τις σχέσεις :  $T.D.S (ppm) \sim 0.65 (EC) (\mu S/cm)$  και  $T.D.S (meq/L) \sim 0.01 (EC) (\mu S/cm)$ .

- **Αλκαλικότητα:** Αλκαλικότητα είναι η ικανότητα του νερού να εξουδετερώνει ορισμένη ποσότητα υδρογονοκατιόντων. Η αλκαλικότητα είναι ένα ποσοτικό μέτρο της ικανότητας ενός διαλύματος να αντιδρά με ένα οξύ, χωρίς να προκαλείται μεταβολή του pH πέρα από προκαθορισμένη τιμή. Η αλκαλικότητα του νερού οφείλεται κυρίως στη παρουσία των ιόντων  $(OH^-)$ ,  $CO_3^{2-}$  και  $HCO_3^-$  και σε πολύ μικρό βαθμό στην παρουσία φωσφορικών και πυριτικών.
- **Δείκτης κορεσμού και δείκτης σταθερότητας (SI):** χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό των παραμέτρων που συμβάλλουν στη διάβρωση ή την απόθεση ιζημάτων από το νερό στους αγωγούς μεταφοράς. Η γενική μορφή του δείκτη κορεσμού είναι :  $SI = pH - pH_s$  όπου:  $pH =$  το μετρούμενο pH του νερού και  $pH_s =$  το pH κορεσμού.

Στον ασβεστίτη ο δείκτης κορεσμού είναι:  $SI = \log([Ca^{2+}][CO_3^{2-}]/K)$ , όπου  $[Ca^{2+}][CO_3^{2-}]$  είναι το γινόμενο ενεργότητας και K η σταθερά ισορροπίας. Όταν οι τιμές είναι θετικές τότε η τάση του νερού είναι να αποθέσει  $CaCO_3$ , ενώ όταν είναι αρνητικές η τάση του νερού είναι να διαλύει το  $CaCO_3$ .

- **Σκληρότητα του νερού:** Η σκληρότητα του νερού οφείλεται στην περιεκτικότητα του νερού σε δυσθενή μεταλλικά ιόντα όπως  $Ca^{2+}$  και  $Mg^{2+}$ . Ο προσδιορισμός της σκληρότητας αποτελεί κριτήριο καταλληλότητας για πολλές χρήσεις των νερών γιατί δείχνει την τάση για σχηματισμό ανθρακικών επικαθήσεων στους λέβητες και τις ψυκτικές δεξαμενές, την ικανότητα δέσμευσης σαπουνιών και χρωμάτων κ.ά (Μήτρακας 2001).

Η σκληρότητα διακρίνεται σε:

α) **Παροδική ή ανθρακική σκληρότητα:** προέρχεται από τη διάλυση των  $MgCO_3$  και  $CaCO_3$  που υπάρχουν στα διάφορα πετρώματα ή στο έδαφος από το νερό κατά την ροή του μέσα

από αυτά. Από τη διάλυση αυτή δημιουργούνται το όξινο ανθρακικό ασβέστιο ( $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ) και το όξινο ανθρακικό μαγνήσιο ( $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ ).

β) **Μόνιμη σκληρότητα ή μη ανθρακική:** προέρχεται από την παρουσία αλκαλικών γαιών, ενωμένων με το θειικό ιόν, το ιόν χλωρίου, το νιτρικό ιόν και των φωσφορικών.

γ) **Ολική σκληρότητα:** αποτελεί το άθροισμα της παροδικής και της μόνιμης σκληρότητας. Εκφράζεται σε ισοδύναμο  $\text{CaCO}_3$  (mg/l), αλλά και σε βαθμούς σκληρότητας.

Ο Γαλλικός βαθμός αντιστοιχεί σε 10 mg/l  $\text{CaCO}_3$

Ο Γερμανικός βαθμός αντιστοιχεί σε 17,86 mg/l  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ .

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

Στην περίπτωση που η αλκαλικότητα είναι μεγαλύτερη από την ολική σκληρότητα, τότε η μόνιμη σκληρότητα είναι μηδέν και η ολική σκληρότητα ισούται με την παροδική σκληρότητα, ενώ αν η αλκαλικότητα είναι μικρότερη από την ολική σκληρότητα, τότε η παροδική σκληρότητα είναι ίση με την αλκαλικότητα και η μόνιμη σκληρότητα είναι ίση με τη διαφορά της αλκαλικότητας από την ολική σκληρότητα.

• *Συντελεστής προσρόφησης Νατρίου ή κίνδυνος Νατρίου (SAR):*

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

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

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

Από τη τιμή του συντελεστή SAR προκύπτει αν το νερό είναι κατάλληλο για άρδευση. Η ποσότητα του Na στο έδαφος προκαλεί μείωση του αερισμού και της περατότητας του εδάφους.

Η περιεκτικότητα σε νάτριο (βαθμός αλκαλίωσης) εκφράζεται ως ποσοστό επί τοις εκατό του Na από τη σχέση:

$$Na \% = \frac{(Na + K) * 100}{Ca + Mg + Na + K}$$

οι συγκεντρώσεις είναι εκφρασμένες σε meq/l.

Στον Πίνακα 8.1 που ακολουθεί καθορίζονται οι κυριότερες παράμετροι του πόσιμου νερού, όπως αυτές ορίζονται με βάση τη νομοθεσία της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

### 8.1.2. Παράγοντες που ελέγχουν την ποιότητα του υπόγειου νερού

Η χημική σύσταση των υπόγειων και επιφανειακών υδάτων επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες (Καλλέργης 2000) όπως:

1. Φυσικοχημικές διεργασίες :

- Η Εξάτμιση-Εξατμισοδιαπνοή: Λόγω της εξατμισοδιαπνοής, αυξάνεται σημαντικά η συγκέντρωση αλάτων στο εδαφικό νερό, τα οποία με τη διήθηση του νερού καταλήγουν στους υδροφόρους ορίζοντες,
- Η αποσύνθεση της οργανικής ύλης, η οποία μπορεί να προκαλέσει σημαντικές αντιδράσεις, όπως αναγωγή των οξειδίων του Fe των νιτρικών και θεικών.
- Η αποσάθρωση-διάλυση ανθρακικών πυριτικών και εβαποριτών, που εμπλουτίζει το νερό με διάφορα στοιχεία, όπως ασβέστιο, μαγνήσιο, πυρίτιο, θειικά, σίδηρο κ.λπ.,

- Η απόθεση ορυκτών. Η αποσάθρωση των πυριτικών ορυκτών οδηγεί στη δημιουργία δευτερογενών αργιλικών ορυκτών, τα οποία καθώς προχωρά η αποσάθρωση χάνουν τα κατιόντα τους και παραμένουν τα αδιάλυτα υδροξείδια του Al.
- Οι αντιδράσεις ιοντικής ανταλλαγής, με τη διεύδυση της θάλασσας, την επέκταση θυσάνου ρύπανσης ή την κατείσδυση όξινης βροχής,
- Ανάμιξη διαφορετικών νερών στις ζώνες διήθησης: Η διασπορά του ρυπασμένου νερού μπορεί να οδηγήσει στην ανάμιξή του με καθαρό νερό.
- Τα όξινα νερά απορροής των μεταλλείων.
- Ο εμπλουτισμός των υδάτων με μεταλλικά στοιχεία.

**Πίνακας 8.1:** Ενδεικτικές παράμετροι του πόσιμου νερού (Οδηγία 98/83/EK της Ε.Ε.).

α/α	Παράμετρος	Μονάδα μέτρησης	Παραμετρική τιμή*
1	Ιόντα υδρογόνου	μονάδα pH	6.5≤pH≤9.5
2	Αγωγιμότητα	μS/cm	2500
3	Χλωριούχα άλατα	mg/l	250
4	Θειικά άλατα	mg/l	250
5	Νάτριο	mg/l	200
6	Αργίλιο	μg/l	200
7	Νιτρικά άλατα	mg/l	50
8	Νιτρώδη άλατα	mg/l	0,5
9	Βρωμικά άλατα	μg/l	10
10	Κυανούχα άλατα	μg/l	50
11	Αμμώνιο	mg/l	0,5
12	Φθοριούχα άλατα	mg/l	1,5
13	Σίδηρος	μg/l	200
14	Μαγγάνιο	μg/l	50
15	Χαλκός	μg/l	2
16	Αρσενικό	μg/l	10
17	Χρώμιο	μg/l	50
18	Υδράργυρος	μg/l	1
19	Μόλυβδος	μg/l	10
20	Νικέλιο	μg/l	20
21	Κάδμιο	μg/l	5

\*Η παραμετρική τιμή, με βάση την Οδηγία 98/83/EK, αναφέρεται στη συγκέντρωση καταλοίπων μονομερούς στο νερό, όπως υπολογίζεται σύμφωνα με τις προδιαγραφές περί μέγιστης μετανάστευσης εκ του αντιστοίχου πολυμερούς, όταν βρίσκεται σε επαφή με το νερό (Βουδούρης 2009).

2. Γεωλογικές διεργασίες:

- Σεισμικότητα, ηφαιστειότητα, κατολισθήσεις κ.α. που επηρεάζουν σημαντικά τις υδρογεωλογικές συνθήκες στη λεκάνη απορροής.

3. Ανθρωπογενείς δραστηριότητες:

- Η χρήση απορρυπαντικών, λιπασμάτων, φυτοφαρμάκων, κ.ά.

- Η χημική σύσταση του νερού κατείσδυσης καθώς και των επιφανειακών νερών που διηθείται στα υπόγεια νερά.
- Η διεύθυνση της θάλασσας στους παράκτιους υδροφορείς.

## 8.2. Ρύπανση των επιφανειακών και υπογείων υδάτων

Ρύπανση των υδάτων εννοείται η οποιαδήποτε ανεπιθύμητη μεταβολή στα φυσικά, χημικά και βιολογικά χαρακτηριστικά των επιφανειακών και υπογείων υδάτων, η οποία μπορεί να είναι επιζήμια για την υγεία του ανθρώπου ή για την ποιότητα των υδατικών ή των χερσαίων οικοσυστημάτων που εξαρτώνται άμεσα από υδατικά οικοσυστήματα.

Η μόλυνση των υδάτων περιορίζεται στην ρύπανση εκείνη που είναι η υπέρβαση των μέγιστων τιμών συγκεκριμένων συστατικών και παραμέτρων του νερού, όπως η παρουσία μικροβιακών παθογόνων μικροοργανισμών σε αυτό, οι οποίες αποτελούν απειλή για την υγεία του ανθρώπου.

Στην περίπτωση του πόσιμου νερού έχει θεσπιστεί ο ομοσπονδιακός νόμος «περί ασφαλούς πόσιμου νερού» (SDWA), με τον οποίο η *US Environmental Protection Agency*, καθορίζει πρότυπα της ποιότητας των νερών, βασιζόμενη σε υγειονομικά κυρίως κριτήρια (<http://water.epa.gov>).

Τα υπόγεια ύδατα είναι ο μόνος πόρος για την παροχή πόσιμου νερού, ο οποίος είναι ιδανικός σε πολλές χώρες λόγω της προστασίας του υπόγειου περιβάλλοντος. Ωστόσο, τα τελευταία χρόνια τα υπόγεια ύδατα απειλούνται όλο και περισσότερο από τα βιομηχανικά απόβλητα, γεωργικά φυτοφάρμακα, αστικά λύματα κ.ά και δεν είναι πλέον διαθέσιμα σε επαρκείς ποσότητες και ποιότητα σε πολλές περιοχές του κόσμου.

Το γεγονός ότι τις προηγούμενες δεκαετίες δεν υπήρχε σημαντική ευαισθητοποίηση του κοινού αλλά και της πολιτείας για την προστασία των υπογείων υδάτων, οφείλεται κυρίως στο ότι ο χρόνος παραμονής του νερού στο υδροφόρο στρώμα μπορεί να είναι από μερικές δεκαετίες έως και χιλιάδες χρόνια. Επομένως, χρειάζεται συχνά πολύς χρόνος πριν παρατηρηθεί η ρύπανση και διαπιστωθεί η αιτία της ρύπανσης των υδάτων. Επίσης τα μέτρα που λαμβάνονται για τον καθαρισμό των ρύπων από τα υπόγεια ύδατα είναι αρκετά χρονοβόρα και πολυδάπανα και σε πολλές περιπτώσεις είναι αδύνατο να αφαιρεθούν εντελώς οι μολυσματικοί παράγοντες ή ακόμη και αν αφαιρεθούν μερικώς οι ρύποι. Οι πηγές ρύπανσης συνεχίζουν να απελευθερώνουν ρύπους για μεγάλο χρονικό διάστημα.

Επομένως, είναι προτιμότερο να λαμβάνονται μέτρα πρόληψης ή περιορισμού του κινδύνου από ρύπους, παρά μέτρα αντιμετώπισης των συνεπειών από τους ρύπους. Ωστόσο, επειδή τα υπόγεια ύδατα αποτελούν «κρυφούς πόρους» είναι πολύ δύσκολο να εντοπιστεί το μέγεθος της ρύπανσης και να ληφθούν αποτελεσματικά μέτρα πρόληψης της ρύπανσης.

Μέχρι πριν λίγες δεκαετίες οι πηγές της ρύπανσης που επηρέαζαν τα υπόγεια ύδατα ήταν κυρίως σημειακές, ωστόσο τα τελευταία χρόνια υπάρχουν ενδείξεις ότι οι μη σημειακές (διάχυτες) πηγές επηρεάζουν ολοένα και περισσότερο τα υπόγεια ύδατα. Για παράδειγμα, σύμφωνα με τα τελευταία στοιχεία, οι συγκεντρώσεις των νιτρικών ιόντων υπερβαίνουν τις ενδεδειγμένες τιμές, περίπου στο ένα τρίτο των υπογείων υδατικών συστημάτων της Ευρώπης (πηγή: <https://ec.europa.eu>).

Οι πηγές ρύπανσης κατανέμονται σε τρεις κατηγορίες: τις σημειακές, τις γραμμικές και τις μη σημειακές.

Σημειακές πηγές ρύπανσης είναι οι σκουπιδότοποι, τα οικιακά λύματα, βιομηχανικά απόβλητα, αστικά απορρίμματα, τα απόβλητα μεταλλευτικής δραστηριότητας, τα πηγάδια διάθεσης αποβλήτων, οι διαρροές σωλήνων κ.λπ., ενώ μη σημειακές είναι οι γεωργικές-κτηνοτροφικές δραστηριότητες.

Επίσης, οι πηγές ρύπανσης των υπόγειων και επιφανειακών νερών διακρίνονται στις ακόλουθες κατηγορίες:

**α) Αστικές πηγές:** Είναι οι κυριότερες πηγές ρύπανσης που επιβαρύνουν σημαντικά τον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα καθώς και τα επιφανειακά νερά και οι οποίες μπορούν να μολύνουν τα νερά και να γίνουν ιδιαίτερα επιβλαβείς για την υγεία του ανθρώπου και για το περιβάλλον. Συνήθως είναι τα οικιακά λύματα και τα νερά της βροχής τα οποία μεταφέρουν τα απορρίμματα και τους ατμοσφαιρικούς ρύπους στο νερό.

Ωστόσο, η μεγαλύτερη επιβάρυνση προέρχεται από τα υγρά απόβλητα τα οποία χαρακτηρίζονται από υψηλές συγκεντρώσεις οργανικών ουσιών, μεγάλη περιεκτικότητα σε οργανικά και ανόργανα υλικά, καθώς και από μεγάλες συγκεντρώσεις παθογόνων μικροοργανισμών, βακτηρίων και παράσιτων. Τα απορρίμματα αυτά καταλήγουν στους υδροφόρους ορίζοντες μέσα από τους υπονόμους ή με την επιφανειακή απορροή. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι τα πηγάδια στους οικισμούς της περιοχής μελέτης τα οποία μετατράπηκαν σε σηπτικούς βόθρους, χωρίς την απαιτούμενη υποδομή, με αποτέλεσμα αυτοί να αποτελούν μόνιμη πηγή μόλυνσης των υπόγειων υδροφόρων οριζόντων της περιοχής.

Επίσης, σημαντική πηγή ρύπανσης είναι οι σκουπιδότοποι στους οποίους μεταφέρονται τα στερεά απορρίμματα, καθώς και οι παράνομοι σκουπιδότοποι στους οποίους αποθέτονται τα μη διαθέσιμα αγροτικά προϊόντα κ.α.

**β) Βιομηχανικές πηγές:** Στην κατηγορία αυτή υπάγονται οι βιομηχανικές υγρές απορροές που έχουν άμεση σχέση με την παραγωγική διαδικασία της βιομηχανίας.

Η σύσταση των αποβλήτων ποικίλει ανάλογα με το είδος της βιομηχανίας, την εφαρμοζόμενη μέθοδο παραγωγής και τη χρήση επικίνδυνων ουσιών για την επεξεργασία διαφόρων πρώτων υλών. Τα λύματα αυτά προέρχονται κυρίως από τις βιομηχανίες λιπασμάτων, τροφίμων, χημικών ενώσεων κ.λπ.

Ένα ποσοστό αυτών των αποβλήτων έχουν χαρακτηριστεί ως επικίνδυνα (hazardous) και κατατάσσονται στις ακόλουθες κατηγορίες (Καββαδάς 1996):

1. *Ανόργανα απόβλητα* τα οποία περιέχουν βαρέα μέταλλα και μεταλλοειδή όπως μόλυβδος, υδράργυρος, αρσενικό, κάδμιο και κυανίδια κ.άλ..
2. *Οργανικά υδατοδιαλυτά απόβλητα* (Aqueous Phase Liquids-APLs) των φαρμακευτικών βιομηχανιών ή των βιομηχανιών παραγωγής γεωργικών φαρμάκων, χρωμάτων κ.λπ.
3. *Οργανικά μη υδατοδιαλυτά απόβλητα* (Non-Aqueous Phase Liquids-NAPLs), όπως τα προϊόντα πετρελαίου, λιπαντικά, ελαιώδεις διαλύτες, ελαιοχρώματα κ.λπ.
4. *Απόβλητα με μορφή παχύρρευστων υγρών, ιλύος και στερεών.* Πρόκειται για τα απόβλητα καθαρισμού των δεξαμενών των πλοίων μεταφοράς πετρελαιοειδών προϊόντων και των διυλιστηρίων.

**γ) Γεωργικές πηγές:** Στην κατηγορία αυτή εντάσσονται τα χημικά λιπάσματα, φυτοφάρμακα, τα απόβλητα των ζώων, κ.λπ. τα οποία αποτελούν σημαντική πηγή ρύπανσης για τα επιφανειακά και υπόγεια νερά. Η μεταφορά των ρύπων από τα λιπάσματα γίνεται κυρίως με



το νερό της άρδευσης, το οποίο μέσω της διήθησης επιστρέφει στον υδροφόρο ορίζοντα εμπλουτισμένο από διάφορα άλατα. Τα επικρατούντα ιόντα στην περίπτωση αυτή είναι τα ιόντα  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Na^+$ ,  $NO_3^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $Cl^-$ ,  $HCO_3^-$ .

Τα απόβλητα από τις κτηνοτροφικές δραστηριότητες είναι πλούσια σε οργανικά άλατα, υψηλές συγκεντρώσεις σε θρεπτικά στοιχεία όπως άζωτο, φωσφόρο, κάλιο, και αυξημένη συγκέντρωση βορίου που αποτελούν σημαντική πηγή ρύπανσης, διότι αυτά διατίθενται στους φυσικούς αποδέκτες χωρίς τη σχετική επεξεργασία.

**δ) Φυσικές πηγές:** Φυσικές πηγές των ρύπων είναι τα ηφαίστεια, οι σεισμοί, η διείσδυση της θάλασσας στα υπόγεια ύδατα. Ωστόσο, σημαντικοί παράγοντες που καθορίζουν την ποιότητα των νερών είναι η ορυκτολογική σύσταση των πετρωμάτων, από τα οποία διέρχεται το νερό και ο χρόνος παραμονής του νερού σε αυτά.

Επίσης, στις περιοχές όπου υπάρχουν ευδιάλυτα πετρώματα όπως γύψος, μικτά θειικά άλατα, πετρώματα με υψηλές συγκεντρώσεις σε βαρέα μέταλλα (Cu, Zn, Pb, As) τα νερά επιβαρύνονται σημαντικά από αυτά, γεγονός που καθιστά αυτά ακατάλληλα για χρήση (Σταμάτης 2017).

**Πίνακας 8.2:** Κυριότερες πηγές ρύπανσης επιφανειακών και υπόγειων νερών (<http://www.geo.auth.gr>).

Πηγή	Είδος ρύπου	Επίδραση
Χημικές βιομηχανίες Μεταλλουργεία	Cu, Pb, Zn, Cd, Hg Co, Cr, Ag, As, CN	Συσσώρευση στις τροφικές αλυσίδες
Χημικές βιομηχανίες Βιομηχανίες τροφίμων Φαρμακευτικές βιομηχανίες Χαρτοποιεία	Φαινόλες, Αμμωνία Απορρυπαντικά, Ίνες χαρτιού	Ελαττώνουν το οξυγόνο Φαινόμενα ευτροφισμού Τοξικά προϊόντα (αμμωνία, φαινόλες) Ελάττωση της οικολογικής ποικιλότητας
Χώροι Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων (ΧΥΤΑ)	Βαρέα μέταλλα, Αέρια Οργανικές ενώσεις, Ανόργανες ενώσεις	Ρύπανση υπόγειων υδροφόρων
Αγροτικές δραστηριότητες	Λιπάσματα, Εντομοκτόνα Παρασιτοκτόνα	Αύξηση νιτρικών ιόντων Καρκινογενέσεις
Κτηνοτροφικές δραστηριότητες Σφαγεία	Άζωτο, Φωσφόρος Βακτήρια, Μύκητες	Ρύπανση και μόλυνση υπόγειων και επιφανειακών νερών
Όξινη βροχή	Όξειδια S και N	Καταστροφή καλλιεργιών, δασών κ.λπ.
Πυρηνικοί σταθμοί	Ραδιενέργεια στο νερό	Γενετικές αλλοιώσεις Συσσώρευση στις τροφικές αλυσίδες
Διυλιστήρια Διαρροές υδρογονανθράκων	Υδρογονάνθρακες Πετρέλαιο, Ασφαλτός	Καταστροφή πανίδας και χλωρίδας Εμποδίζουν την οξυγόνωση του νερού
Μεταλλευτικές Δραστηριότητες	Αιωρούμενα στερεά, Ορυκτές ενώσεις Όξινα απόβλητα	Ρύπανση αέρα και υπόγειων νερών Καθιζήσεις εδάφους
Ενεργειακοί σταθμοί Βιομηχανίες	Θερμό νερό	Θανάτωση των αυγών των ψαριών Ελάττωση του $O_2$ , αύξηση του ρυθμού μεταβολισμού των οργανισμών
Διείσδυση της θάλασσας	Άλατα	Καταστροφή παράκτιων υδροφόρων οριζόντων

Ο βαθμός ρύπανσης των υπόγειων υδάτων εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως:

- Ο αριθμός και η ένταση των δραστηριοτήτων που προκαλούν τις μη σημειακές πηγές ρύπανσης (non-point source, NPS). Ένας μεγάλος αριθμός πηγών ρύπανσης χαμηλών επιπέδων NPS μπορεί να έχει σωρευτικό αποτέλεσμα παρόμοιο με αυτό των μερικών πιο έντονων πηγών ρύπανσης NPS.

- Το ποσοστό διήθησης. Ο ρυθμός διήθησης του νερού από την επιφάνεια της γης στα υπόγεια ύδατα συμβάλλει σημαντικά στη διάδοση των ρυπογόνων ουσιών.
- Η ρύπανση των υπόγειων υδάτων πραγματοποιείται σε διαφορετική κλίμακα από τα επιφανειακά ύδατα και εξαρτάται κυρίως από τις φυσικές και χημικές ιδιότητες του εδάφους.
- Φυσική εξασθένηση. Η ικανότητα του εδάφους ή του υδροφορέα να συγκρατεί ή να υποβαθμίζει τη χημική ουσία προτού φτάσει στα πηγάδια, πηγές, λίμνες, ποτάμια. Όσο περισσότερο μια χημική ουσία υποβαθμίζεται ή διατηρείται στην υπόγεια επιφάνεια, τόσο λιγότερο πιθανό είναι να φτάσει σε ένα κοντινό πηγάδι ή ρέμα.

### **8.3. Πηγές ρύπανσης στη λεκάνη Άσκληρης-Δομβραΐνας**

Στην περιοχή μελέτης υπάρχουν οι ακόλουθες πηγές ρύπανσης:

*α) Σημειακές πηγές ρύπανσης:* Αυτές οφείλονται κυρίως στην ανεξέλεγκτη διάθεση αποβλήτων (αστικών λυμάτων και απούλητων αγροτικών προϊόντων) σε χώρους που δεν έχουν οριστεί ΧΥΤΑ ή σκουπιδότοποι.

Όλοι οι οικισμοί στην περιοχή μελέτης δεν διαθέτουν μονάδες βιολογικού καθαρισμού και η διαχείριση των αποβλήτων τους γίνεται με σηπτικούς βόθρους. Επίσης, στην περιοχή μελέτης πολλά από τα πηγάδια μέσα στους οικισμούς χρησιμοποιούνται ως σηπτικοί βόθροι, με αποτέλεσμα να ρυπαίνεται άμεσα ο υδροφόρος ορίζοντας της περιοχής από αυτά.

*β) Διάχυτες πηγές ρύπανσης-Επιφανειακές απορροές:* Στην περιοχή μελέτης υπάρχει έντονη αγροτική δραστηριότητα η οποία περιλαμβάνει καλλιέργειες δημητριακών, κηπευτικών, βαμβακιού, αμπελιών και ελιών. Συγκεκριμένα, στο ανατολικό τμήμα της μελέτης, όπου υπάρχουν τα περισσότερα πηγάδια και οι γεωτρήσεις, υπάρχει έντονη αγροτική δραστηριότητα, με αρδευόμενες κυρίως καλλιέργειες, ενώ στο υπόλοιπο πεδινό τμήμα της περιοχής, όπου υπάρχουν ελάχιστες γεωτρήσεις και πηγάδια, επικρατούν κυρίως οι μη αρδευόμενες καλλιέργειες (ελαιώνων, αμπελώνων και δημητριακών). Στις αρδευόμενες κυρίως καλλιέργειες λόγω της έντονης χρήσης φυτοφαρμάκων και λιπασμάτων οι υδροφόροι ορίζοντες επιβαρύνονται σημαντικά από νιτρικές ενώσεις μέσω του νερού άρδευσης.

Σημαντική επίσης πηγή ρύπανσης είναι οι κτηνοτροφικές μονάδες που υπάρχουν στην ημιορεινή κυρίως ζώνη της περιοχής, όπου τα κτηνοτροφικά απόβλητα δεν απομακρύνονται, αλλά παραμένουν στο περιβάλλοντα χώρο και όχι σε ειδικά διαμορφωμένους χώρους σύμφωνα με τις οδηγίες της Ε.Ε., με αποτέλεσμα αυτά να αναμιγνύονται με το νερό της βροχής και μέσω της επιφανειακής απορροής να διοχετεύονται στα επιφανειακά και υπόγεια νερά.

Στο δυτικό πεδινό τμήμα της περιοχής, λόγω των υφάλμυρων νερών που επικρατούν στην περιοχή (θαλάσσια διείσδυση στον υδροφόρο ορίζοντα), το αρδευόμενο νερό έχει υψηλή συγκέντρωση αλάτων, με αποτέλεσμα η συνεχιζόμενη χρήση του οδηγεί σταδιακά σε αλκαλίωση των εδαφών και σημαντική υποβάθμιση των φυσικών ιδιοτήτων τους.

### **8.4. Δειγματοληψία υπόγειων και επιφανειακών νερών**

Στα πλαίσια της εργασίας συγκεντρώθηκαν συνολικά τριάντα τρία (33) δείγματα νερού, εκ των οποίων τα δεκατρία (13) αφορούν γεωτρήσεις κυμαινόμενου βάθους από 115 μέτρα έως 350 μέτρα, δώδεκα (12) πηγάδια με βάθος μέχρι 25 μέτρα περίπου, έξι (6) πηγές, ένα δείγμα

(1) από παράκτια υφάλμυρη πηγή και ένα (1) δείγμα επιφανειακού νερού του π. Άσκηης, όπως αυτά περιγράφονται στον Πίνακα 8.3.

Από τον υδρολιθολογικό χάρτη της περιοχής (Σχήμα 8.1) προκύπτει ότι τα σημεία δειγματοληψίας βρίσκονται κυρίως σε αλλουβιακές αποθέσεις.

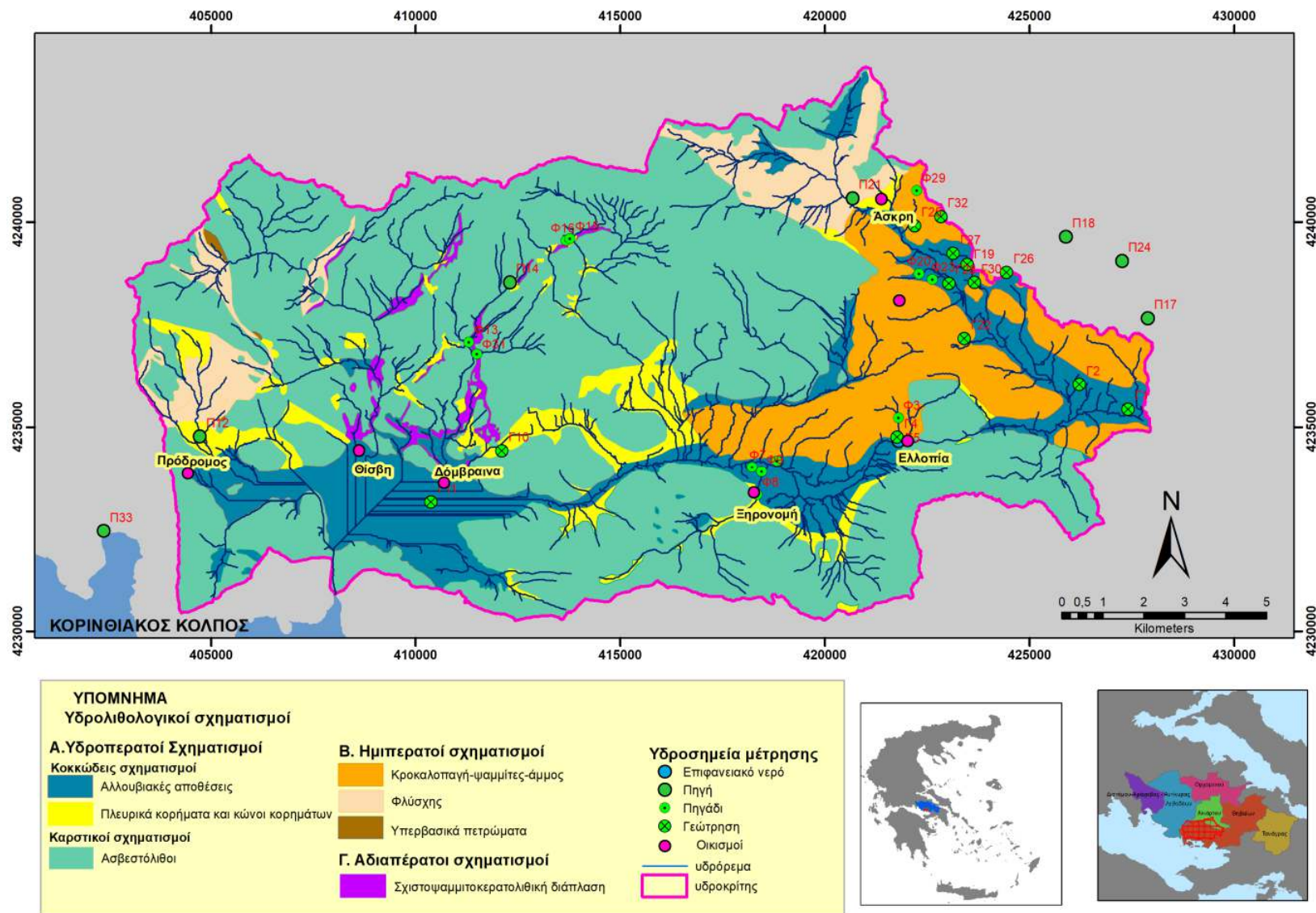
Η επιλογή των θέσεων δειγματοληψίας έγινε με τέτοιο τρόπο, ώστε να είναι όσο το δυνατόν πιο αντιπροσωπευτικές και σε αρκετή απόσταση μεταξύ τους. Επίσης, έγινε μια προσπάθεια να συλλεχθούν δείγματα από όλη τη λεκάνη απορροής, ωστόσο όπως διαπιστώνεται και από την κατανομή των υδροσημείων στο χάρτη (Σχήμα 8.1) τα περισσότερα δείγματα προέρχονται από το ανατολικό τμήμα της λεκάνης, αφενός επειδή εκεί υπάρχουν τα περισσότερα σημεία υδροληψίας και αφετέρου η ανάπτυξη των υδροφόρων κροκαλοπαγών σχηματισμών χαρακτηρίζουν το συγκεκριμένο ανατολικό τμήμα παρά το δυτικό τμήμα της λεκάνης Άσκηης-Δομβραΐνας. Οι περισσότερες καλλιέργειες σε αυτήν την περιοχή είναι αρδευόμενες πάνω σε αλλουβιακές προσχώσεις ολοκαινικής ηλικίας και κροκαλοπαγή πετρώματα πλειστοκαινικής ηλικίας.

Αντίθετα, στην υπόλοιπη περιοχή υπάρχουν πολύ μικρός αριθμός πηγαδιών και μία πηγή πάνω στα πλευρικά κορήματα, στο όριο με τις σχιστοψαμμιτοκεραλιθικές διαπλάσεις (περιοχή I.M. Μακαριώτισσας), λίγες γεωτρήσεις στο οροπέδιο Λικέρι (με υφάλμυρο νερό) πάνω σε αλλουβιακές αποθέσεις που εκμεταλλεύονται όμως τον καρστικό υδροφόρο, μία πηγή πάνω σε φλυσχικά ιζήματα και λίγα πηγάδια στην κοιλάδα της Ξηρονομής που εκμεταλλεύονται τον φρεάτιο ορίζοντα των προσχώσεων.

Ο λόγος που δεν υπάρχουν πολλά πηγάδια ή γεωτρήσεις στο δυτικό τμήμα της λεκάνης οφείλεται στην παρουσία των τριαδικό-ιουρασικών ασβεστολιθικών σχηματισμών οι οποίοι είναι αρκετά συμπαγείς σχηματισμοί και καρστικοποιημένοι, συνεπώς τα νερά των σχηματισμών αυτών, καταλήγουν στη θάλασσα. Οι λίγες γεωτρήσεις που έχουν γίνει στην συγκεκριμένη περιοχή εντός των ανθρακικών σχηματισμών έδειξαν υφάλμυρα νερά και συνεπώς η εκμετάλλευσή τους εγκαταλήφθηκε.

Η δειγματοληψία των νερών έγινε με βάση τα διεθνή πρότυπα, κάτω από αίθριες συνθήκες. Τα νερά συλλέχθηκαν σε πλαστικές φιάλες πολυαιθυλενίου χωρητικότητας 1,0 λίτρου, τα οποία είχαν προηγουμένως ξεπλυθεί, πριν τη λήψη του δείγματος, με το ίδιο προς ανάλυση νερό της δειγματοληψίας και τα οποία έφεραν κωδικό, ώστε να εξασφαλιστεί η ταύτιση του σημείου δειγματοληψίας με το δείγμα. Επίσης, σε φιαλίδια των 100 ml πάρθηκε από το ίδιο δείγμα νερού για τον προσδιορισμό των βαρέων μεταλλικών ιχνοστοιχείων. Αρχικά έγινε διήθηση του δείγματος αυτού για να απομακρυνθούν τα αιωρούμενα συστατικά και στη συνέχεια οξίνιση με την προσθήκη 1ml HCl (0.5 N) στα 100ml H<sub>2</sub>O για να κρατηθούν τα μέταλλα σε διάλυση.

Μετά από κάθε δειγματοληψία και μεταφορά των δειγμάτων στο Εργαστήριο Ορυκτολογίας-Γεωλογίας του Γ.Π.Α., τα δείγματα τοποθετήθηκαν και διατηρήθηκαν σε ψυγείο στους 4°C μέχρι την ανάλυσή τους.



Σχήμα 8.1: Σημεία δειγματοληψίας των υπόγειων νερών και του επιφανειακού νερού ποταμού Άσκρης από την περιοχή ενδιαφέροντος.

**Πίνακας 8.3:** Χαρακτηριστικά στοιχεία των σημείων δειγματοληψίας

Α/Α	ΚΩΔΙΚΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ΕΓΣΑ 87		ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ
		Χ	Ψ		
<b>ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ</b>					
17	Γ1	427423	4235430	Αλλουβιακές αποθέσεις	Ιούλιος 2019
18	Γ2	426225	4236032	Αλλουβιακές αποθέσεις	Ιούλιος 2019
21	Γ4	421777	4234747	Αλλουβιακές αποθέσεις	Ιούλιος 2019
26	Γ10	412109	4234416	Πλευρικά κορήματα	Ιούλιος 2019
27	Γ11	410370	4233144	Αλλουβιακές αποθέσεις	Ιούλιος 2019
10	Γ19	423484	4238960	Αλλουβιακές αποθέσεις	Αύγουστος 2018
14	Γ22	423414	4237155	Κροκαλοπαγή	Αύγουστος 2018
0	Γ25	422199	4239906	Κροκαλοπαγή	Αύγουστος 2018
16	Γ26	424452	4238769	Αλλουβιακές αποθέσεις	Αύγουστος 2018
15	Γ27	423147	4239230	Αλλουβιακές αποθέσεις	Αύγουστος 2018
13	Γ28	423040	4238499	Αλλουβιακές αποθέσεις	Αύγουστος 2018
12	Γ30	423664	4238521	Αλλουβιακές αποθέσεις	Αύγουστος 2018
8	Γ32	422840	4240130	Κροκαλοπαγή	Αύγουστος 2018
<b>ΠΗΓΑΔΙΑ</b>					
19	Φ3	421797	4235228	Κροκαλοπαγή	Ιούλιος 2019
22	Φ6	418829	4234167	Αλλουβιακές αποθέσεις	Ιούλιος 2019
23	Φ7	418224	4234013	Αλλουβιακές αποθέσεις	Ιούλιος 2019
24	Φ8	418344	4233331	Αλλουβιακές αποθέσεις	Ιούλιος 2019
25	Φ9	418451	4233904	Αλλουβιακές αποθέσεις	Ιούλιος 2019
32	Φ13	411301	4237067	Ασβεστόλιθος	Μάρτιος 2019
31	Φ15	413769	4239597	Πλευρικά κορήματα	Μάρτιος 2019
30	Φ16	413672	4239551	Πλευρικά κορήματα	Μάρτιος 2019
1	Φ20	422300	4238738	Αλλουβιακές αποθέσεις	Αύγουστος 2018
11	Φ23	422627	4238595	Αλλουβιακές αποθέσεις	Αύγουστος 2018
6	Φ29	422244	4240766	Κροκαλοπαγή	Αύγουστος 2018
9	Φ31	411495	4236783	Κροκαλοπαγή	Αύγουστος 2018
<b>ΠΗΓΕΣ</b>					
28	Π12	404578	4236510	Πλευρικά κορήματα	Ιούλιος 2019
29	Π14	412299	4238534	Ασβεστόλιθοι	Μάρτιος 2019
4	Π17	427900	4237656	Κροκαλοπαγή	Αύγουστος 2018
5	Π18	425895	4239645	Κροκαλοπαγή	Αύγουστος 2018
7	Π21	420683	4240586	Φλύσσης	Αύγουστος 2018
3	Π24	427267	4239065	Κροκαλοπαγή	Αύγουστος 2018
<b>ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΠΗΓΗ</b>					
2	Π33	402386	4232357	Αλλουβιακές αποθέσεις	Αύγουστος 2018
<b>ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΟ ΝΕΡΟ</b>					
20	Ε5	421804	4234669	Αλλουβιακές αποθέσεις	Ιούλιος 2019

### 8.5. Υπαίθριες μετρήσεις - Εργαστηριακές αναλύσεις

Κατά τη συλλογή των δειγμάτων μετρήθηκαν με τη χρήση φορητών οργάνων οι ακόλουθες φυσικοχημικές παράμετροι:

1. Θερμοκρασία σε °C,
2. Ηλεκτρική αγωγιμότητα σε  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ,
3. Ενεργός οξύτητα ή pH,

Οι χημικές αναλύσεις των δειγμάτων έγιναν στο Εργαστήριο Ορυκτολογίας – Γεωλογίας του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, όπου με τη χρήση διαφόρων μεθόδων προσδιορίστηκαν οι παρακάτω παράμετροι:

1. Ποσοτικός προσδιορισμός της ολικής και παροδικής σκληρότητας και των ιόντων  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  με τιτλοδότηση,
2. Προσδιορισμός των θεικών ιόντων ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), νιτρικών ιόντων ( $\text{NO}_3^-$ ), φωσφορικών ιόντων ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) καθώς και των οξειδίων του πυριτίου  $\text{SiO}_2$  με τη βοήθεια φασματοφωτόμετρου εκπομπής Hach DR-3000.
3. Προσδιορισμός των στοιχείων καλίου  $\text{K}^+$  και νατρίου  $\text{Na}^+$  με τη βοήθεια του φλογοφωτόμετρου.
4. Τα βαρέα μεταλλικά ιχνοστοιχεία, Fe, Mn, Cu, Ni, Cr, Cd, Co και Pb ανιχνεύτηκαν, με τη βοήθεια του οργάνου της ατομικής απορρόφησης AAS GBS 908. Το εύρος ευαισθησίας του οργάνου και τα μήκη κύματος ανάλογα με το μετρούμενο στοιχείο, παρατίθενται στο Πίνακα 8.4.

**Πίνακας 8.4:** Μήκος κύματος και εύρος λειτουργίας και το βέλτιστο εύρος μετρήσεων του οργάνου ατομικής απορρόφησης τύπου GBS 908 AA.

Στοιχεία	Μήκος Κύματος	Βέλτιστο εύρος μετρήσεων	Ευαισθησία
	(nm)	(ppm)	(ppm)
Σίδηρος Fe	248,3	2 - 9	0.05
Μαγγάνιο Mn	279,5	1 - 3,6	0.02
Χαλκός Cu	324,7	1 - 5	0.025
Νικέλιο Ni	232,0	1,8 - 8	0.04
Χρώμιο Cr	357,9	1,5 – 2,0	0.05
Κάδμιο Cd	228,8	0,2 - 1,8	0.009
Κοβάλτιο Co	240,7	2,5 - 9	0.05
Μόλυβδος Pb	217,0	2,5 - 2,0	0.06

**Πίνακας 8.5:** Μέθοδοι αναλύσεων των φυσικοχημικών και χημικών παραμέτρων των δειγμάτων νερού της περιοχής μελέτης.

Παράμετρος	Εφαρμοζόμενη μέθοδος μέτρησης
<b>ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ</b>	
Θερμοκρασία νερού	Φορητό θερμομέτρο
Ηλεκτρική αγωγιμότητα	Φορητό αγωγιμόμετρο, Mod. LF330/SET, WTW
pH	Φορητό pH-μετρο, Mod. pH 330i/SET, WTW
Eh	Φορητό pH-μετρο, Mod. pH 330i/SET, WTW
<b>ΧΗΜΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ</b>	
<b>ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ</b>	
Ολική σκληρότητα (Ο.Σ.)	50 ml δείγματος, προσθήκη δεικτών Hardness1 (1ml) + Hardness2 (2 σταγόνες)-τιτλοδότηση με EDTA 0,02 N
Ανθρακική σκληρότητα (Α.Σ.)	100 ml δείγμα, προσθήκη δεικτών μεθυλενίου (2-3 σταγόνες), τιτλοδότηση με HCl 0,01 N
Μόνιμη σκληρότητα (Μ.Σ.)	(Μ.Σ.) = (Ο.Σ.) - (Α.Σ.)
<b>ΚΑΤΙΟΝΤΑ</b>	
Ca <sup>+2</sup>	50ml δείγμα, προσθήκη 1 δισκίο Calver + 1ml Potassium Hydroxide Solution, Τιτλοδότηση με EDTA 0,02 N
Mg <sup>+2</sup>	Υπολογιστικά
Na <sup>+</sup>	AES
K <sup>+</sup>	AES
<b>ΑΝΙΟΝΤΑ</b>	
HCO <sub>3</sub>	Τιτλοδότηση με 0,01 N HCl παρουσία δείκτη Ηλιανθίνης
Cl <sup>-</sup>	100 ml δείγμα, προσθήκη δείκτη K <sub>2</sub> CrO <sub>4</sub> και τιτλοδότηση με 0,01 N AgNO <sub>3</sub>
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	Φασματοφωτομετρικά sulfaver 4 Method 8051 HACK
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Φασματοφωτομετρικά Calcium Reduction Method 8039 HACK
PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup>	Φασματοφωτομετρικά Phosver 3 Method 8048 HACK
<b>ΕΝΩΣΕΙΣ</b>	
SiO <sub>2</sub>	Φασματοφωτομετρικά Silicomolybdate Method 8185 HACK

### 8.6. Επεξεργασία των μετρήσεων

Για την επεξεργασία των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Microsoft Excel 2007.

Επίσης, για τον έλεγχο των χημικών αναλύσεων των δειγμάτων νερού χρησιμοποιήθηκε το σφάλμα ισοζυγίου ιόντων, όπου οι συγκεντρώσεις των ιόντων είναι σε meq/L:

$$\text{Σφάλμα Ισοζυγίου ιόντων (\%)} = \frac{\text{άθροισμα κατιόντων (meq/l)} - \text{άθροισμα ανιόντων (meq/l)}}{\text{άθροισμα κατιόντων (meq/l)} + \text{άθροισμα ανιόντων (meq/l)}} * 100$$

Από τον έλεγχο των χημικών αναλύσεων των δειγμάτων νερού διαπιστώθηκε ότι στην πλειοψηφία τους το σφάλμα Ισοζυγίου ιόντων ήταν μικρότερο του 5% και συνεπώς αυτά θεωρούνται αποδεκτά. Τα αποτελέσματα όλων των μετρήσεων και αναλύσεων εμφανίζονται στον Πίνακα 8.6.

Η ταξινόμηση των υπόγειων νερών με βάση τα διαγράμματα Durov και Piper προέκυψε από το πρόγραμμα Aquachem (v. 3.7.42) (Calmbach 1997), λαμβάνοντας υπόψη τις τιμές των ανιόντων  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  και κατιόντων  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  σε meq/l.



**Πίνακας 8.6:** Αποτελέσματα υδροχημικών αναλύσεων σε δείγματα πηγών, φρεάτων, γεωτρήσεων και επιφανειακού νερού της περιοχής μελέτης

No	Υψόμ.	Θερμ/σία	pH	Eh	EC	ΣΚΑΛΗΡΟΤΗΤΑ (°dH)			ΚΑΤΙΟΝΤΑ (mg/l)				ΑΝΙΟΝΤΑ (mg/l)				SiO <sub>2</sub> mg/l	TDS mg/l	
	(m)	(°C)				Ολική	Παροδ.	Μόνιμη	Ca	Mg	Na	K	HCO <sub>3</sub>	Cl	SO <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>			PO <sub>4</sub>
<b>A) ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ</b>																			
Γ1	300	17,6	7,50	284	816	21,5	12,9	8,6	112,0	25,4	53,3	1,0	280,5	92,2	50,4	65,1	0,50	2,0	683,1
Γ2	300	18,0	7,37	280	850	25,5	14,6	10,9	119,3	38,3	35,6	0,8	317,1	70,9	95,8	50,6	8,85	26,7	764,8
Γ4	220	18,0	7,52	300	591	16,0	10,6	5,3	105,6	5,1	19,3	1,0	231,7	49,6	69,7	27,3	8,75	0,8	519,3
Γ10	200	17,5	7,60	262	693	19,1	14,0	5,1	120,0	10,0	27,3	3,0	304,9	56,7	63,8	66,0	1,62	0,7	654,3
Γ11	120	18,5	7,70	230	2400	33,7	11,2	22,5	168,0	44,3	298,2	1,0	243,9	709,2	52,8	25,3	2,10	1,3	1546,4
Γ19	300	18,4	7,30	237	1081	32,4	16,8	15,6	160,0	43,3	32,5	0,6	365,9	99,3	96,0	121,0	0,90	0,6	920,4
Γ22	320	18,0	7,14	248	684	20,0	15,7	4,3	115,2	16,8	24,6	0,6	341,5	35,5	32,3	64,9	1,12	0,0	633,3
Γ25	360	19,8	7,23	274	495	19,6	17,4	2,2	102,4	22,7	6,1	10,4	378,0	28,4	1,7	19,8	0,44	0,4	570,9
Γ26	320	16,9	7,22	259	943	26,7	16,2	10,5	144,0	28,6	31,0	0,6	353,7	46,1	102,3	99,0	0,50	0,0	806,5
Γ27	320	17,3	7,23	279	828	24,9	17,4	7,6	131,2	28,6	29,0	1,3	378,0	42,6	96,5	74,8	1,13	0,1	783,3
Γ28	320	18,3	7,73	242	578	18,0	16,8	1,2	48,0	48,9	30,9	0,7	365,9	42,6	11,9	44,0	0,94	0,0	594,0
Γ30	320	17,6	7,38	274	922	27,6	16,8	10,8	120,0	47,1	28,9	0,8	365,9	53,2	119,1	77,0	0,24	0,1	813,0
Γ32	360	17,3	7,16	260	685	20,9	14,6	6,3	128,0	13,0	15,4	0,6	317,1	39,0	61,3	52,8	0,52	0,3	628,4
	<b>MO</b>	<b>17,9</b>	<b>7,4</b>	<b>263,7</b>	<b>889,7</b>	<b>23,5</b>	<b>15,0</b>	<b>8,5</b>	<b>121,1</b>	<b>28,6</b>	<b>48,6</b>	<b>1,7</b>	<b>326,5</b>	<b>105,0</b>	<b>65,6</b>	<b>60,6</b>	<b>2,12</b>	<b>2,5</b>	<b>762,9</b>
	<b>min</b>	<b>16,9</b>	<b>7,1</b>	<b>230,0</b>	<b>495,0</b>	<b>16,0</b>	<b>10,6</b>	<b>1,2</b>	<b>48,0</b>	<b>5,1</b>	<b>6,1</b>	<b>0,6</b>	<b>231,7</b>	<b>28,4</b>	<b>1,7</b>	<b>19,8</b>	<b>0,24</b>	<b>0,0</b>	<b>519,3</b>
	<b>max</b>	<b>19,8</b>	<b>7,7</b>	<b>300,0</b>	<b>2400,0</b>	<b>33,7</b>	<b>17,4</b>	<b>22,5</b>	<b>168,0</b>	<b>48,9</b>	<b>298,2</b>	<b>10,4</b>	<b>378,0</b>	<b>709,2</b>	<b>119,1</b>	<b>121,0</b>	<b>8,85</b>	<b>26,7</b>	<b>1546,4</b>

**B) ΠΗΓΑΔΙΑ**

No	Υψόμ. (m)	Θερμ/σία (°C)	pH	Eh mV	EC μS/cm	ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ (°dH)			ΚΑΤΙΟΝΤΑ (mg/l)				ΑΝΙΟΝΤΑ (mg/l)				SiO <sub>2</sub> mg/l	TDS mg/l	
						Ολική	Παροδ.	Μόνιμη	Ca	Mg	Na	K	HCO <sub>3</sub>	Cl	SO <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>			PO <sub>4</sub>
Φ3	240	18,0	7,72	273	700	39,3	12,6	7,4	128,0	9,0	29,9	1,5	274,4	56,7	39,9	50,6	8,90	1,1	600,6
Φ6	180	16,7	7,42	285	1450	37,9	14,0	23,9	248,0	13,7	53,6	5,3	304,9	120,6	112,0	229,9	2,18	1,4	1092,0
Φ7	180	18,0	7,70	282	678	18,2	12,3	5,9	96,0	20,7	37,7	3,2	268,3	70,9	58,3	61,6	2,50	1,3	620,8
Φ8	200	18,0	7,27	252	1212	31,7	23,2	8,4	192,0	20,9	61,4	13,5	506,1	106,4	97,2	38,3	2,55	1,0	1039,3
Φ9	180	24,0	7,30	257	1321	33,5	17,4	16,1	151,9	53,1	73,9	11,5	378,0	99,3	116,5	163,9	1,99	0,8	1051,3
Φ13	440		7,57	261	704	21,3	21,3	0,1	108,8	26,6	30,1	0,9	463,4	35,5	7,4	13,2	1,45	3,6	691,7
Φ15	900		7,60	260	369	11,2	10,4	0,9	76,8	2,1	10,1	1,1	225,6	28,4	0,9	27,5	1,45	1,3	375,8
Φ16	900		7,28	265	633	20,9	19,6	1,3	144,0	3,2	7,9	0,9	426,8	42,6	0,1	28,6	1,33	1,8	657,8
Φ20	330	19,6	7,00	258	936	24,7	19,0	5,7	160,0	10,1	47,4	1,7	414,6	78,0	63,8	70,0	1,16	0,6	848,1
Φ23	320	18,2	7,34	233	757	21,2	15,7	5,5	134,4	10,0	26,6	0,9	341,5	35,5	60,3	91,3	1,01	0,0	702,0
Φ31	420	18,1	7,26	259	685	23,9	17,9	6,0	65,6	39,8	25,1	1,1	390,2	28,4	12,5	22,0	0,64	0,0	586,1
Φ29	380	18,3	6,88	260	885	25,1	16,8	8,3	131,8	28,7	45,9	0,6	365,9	60,3	96,8	67,1	0,86	0,3	799,1
<b>MO</b>		<b>18,8</b>	<b>7,4</b>	<b>262,2</b>	<b>860,8</b>	<b>25,7</b>	<b>16,7</b>	<b>7,5</b>	<b>136,4</b>	<b>19,8</b>	<b>37,5</b>	<b>3,5</b>	<b>363,3</b>	<b>63,5</b>	<b>55,5</b>	<b>72,0</b>	<b>2,17</b>	<b>1,1</b>	<b>755,4</b>
<b>min</b>		<b>16,7</b>	<b>6,9</b>	<b>233,2</b>	<b>369,0</b>	<b>11,2</b>	<b>10,4</b>	<b>0,1</b>	<b>65,6</b>	<b>2,1</b>	<b>7,9</b>	<b>0,6</b>	<b>225,6</b>	<b>28,4</b>	<b>0,1</b>	<b>13,2</b>	<b>0,64</b>	<b>0,0</b>	<b>375,8</b>
<b>max</b>		<b>24,0</b>	<b>7,7</b>	<b>285,0</b>	<b>1450,0</b>	<b>39,3</b>	<b>23,2</b>	<b>23,9</b>	<b>248,0</b>	<b>53,1</b>	<b>73,9</b>	<b>13,5</b>	<b>506,1</b>	<b>120,6</b>	<b>116,5</b>	<b>229,9</b>	<b>8,90</b>	<b>3,6</b>	<b>1092,0</b>

**Γ) ΠΗΓΕΣ**

No	Υψόμ.	Θερμ/σία	pH	Eh	EC	ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ (°dH)			ΚΑΤΙΟΝΤΑ (mg/l)				ΑΝΙΟΝΤΑ (mg/l)					SiO <sub>2</sub>	TDS
	(m)	(°C)		mV	μS/cm	Ολική	Παροδ.	Μόνιμη	Ca	Mg	Na	K	HCO <sub>3</sub>	Cl	SO <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	PO <sub>4</sub>	mg/l	mg/l
Π12	240	17,4	7,75	255	529	15,7	13,3	2,4	97,6	9,0	21,1	1,39	289,6	56,7	28,3	17,6	1,65	1,3	524,9
Π14	680		7,47	256	814	24,7	19,6	5,1	121,6	33,5	14,1	0,8	426,8	63,8	4,9	57,2	0,98	0,3	724,6
Π17	360	18,9	7,30	221	708	19,3	11,2	8,1	128,0	5,9	24,5	0,4	243,9	42,6	89,5	110,0	0,65	0,8	646,6
Π18	360	18,3	7,06	251	883	26,3	16,2	10,1	132,8	33,5	27,5	0,47	353,7	78,0	34,0	115,5	0,75	0,2	776,8
Π21	360	18	7,34	250	494	16,9	15,4	1,5	83,2	22,6	8,2	0,67	335,4	21,3	1,3	30,8	0,88	0,1	504,8
Π24	340	18,4	7,12	235	967	30,6	16,8	13,8	152,0	40,4	28,1	0,29	365,9	53,2	88,0	125,4	0,38	0,9	854,8
	<b>MO</b>	<b>18,2</b>	<b>7,3</b>	<b>244,7</b>	<b>732,5</b>	<b>22,2</b>	<b>15,4</b>	<b>6,8</b>	<b>119,2</b>	<b>24,1</b>	<b>20,6</b>	<b>0,7</b>	<b>335,9</b>	<b>52,6</b>	<b>41,0</b>	<b>76,1</b>	<b>0,88</b>	<b>0,6</b>	<b>672,1</b>
	<b>min</b>	<b>17,4</b>	<b>7,1</b>	<b>221,0</b>	<b>494,0</b>	<b>15,7</b>	<b>11,2</b>	<b>1,5</b>	<b>83,2</b>	<b>5,9</b>	<b>8,2</b>	<b>0,3</b>	<b>243,9</b>	<b>21,3</b>	<b>1,3</b>	<b>17,6</b>	<b>0,4</b>	<b>0,1</b>	<b>504,8</b>
	<b>max</b>	<b>18,9</b>	<b>7,8</b>	<b>256,0</b>	<b>967,0</b>	<b>30,6</b>	<b>19,6</b>	<b>13,8</b>	<b>152,0</b>	<b>40,4</b>	<b>28,1</b>	<b>1,4</b>	<b>426,8</b>	<b>78,0</b>	<b>89,5</b>	<b>125,4</b>	<b>1,7</b>	<b>1,3</b>	<b>854,8</b>

**Δ) ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΥΦΑΛΜΥΡΗ ΠΗΓΗ**

No	Υψόμ.	Θερμ/σία	pH	Eh	EC	ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ (°dH)			ΚΑΤΙΟΝΤΑ (mg/l)				ΑΝΙΟΝΤΑ (mg/l)					SiO <sub>2</sub>	TDS
	(m)	(°C)		mV	μS/cm	Ολική	Παροδ.	Μόνιμη	Ca	Mg	Na	K	HCO <sub>3</sub>	Cl	SO <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	PO <sub>4</sub>	mg/l	mg/l
Π33	1	18,6	7,4	182,0	18720	139,3	16,8	122,5	280,0	435,3	556,8	3,4	365,8	2411,3	243,0	16,5	0,22	0,2	4309,5

**Ε) ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΟ ΝΕΡΟ ΡΕΜΑ ΑΣΚΡΗΣ**

No	Υψόμ.	Θερμ/σία	pH	Eh	EC	ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ (°dH)			ΚΑΤΙΟΝΤΑ (mg/l)				ΑΝΙΟΝΤΑ (mg/l)					SiO <sub>2</sub>	TDS
	(m)	(°C)		mV	μS/cm	Ολική	Παροδ.	Μόνιμη	Ca	Mg	Na	K	HCO <sub>3</sub>	Cl	SO <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	PO <sub>4</sub>	mg/l	mg/l
E5	216	18,8	8,0	295	642	20,4	12,9	7,6	115,2	18,8	24,2	2,1	280,5	56,7	79,3	30,8	2,06	1,3	611,1

## 8.7. Φυσικοχημικές παράμετροι

### 8.7.1. Θερμοκρασία

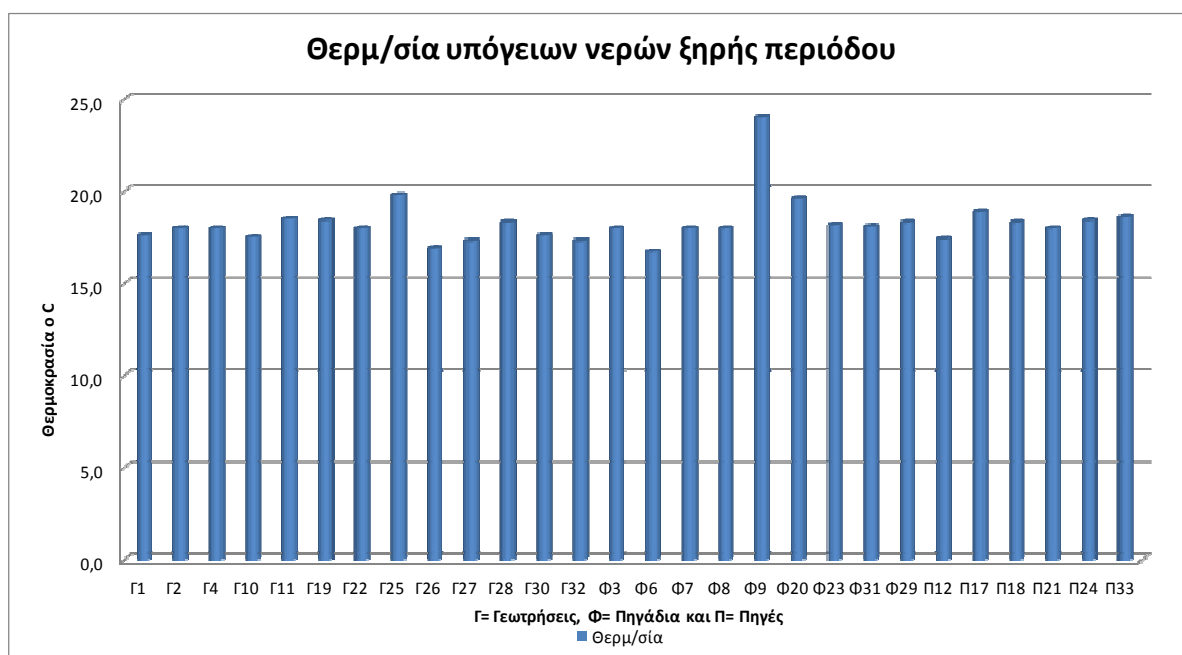
Η θερμοκρασία του νερού αποτελεί μια σημαντική παράμετρο που συμβάλλει καθοριστικά στην ποιότητα του νερού και γενικότερα στη λειτουργία των υδατικών οικοσυστημάτων.

Με την άνοδο της θερμοκρασίας του νερού, μειώνεται η περιεκτικότητα του νερού σε οξυγόνο και σε άλλα διαλυμένα αέρια, ενώ αντίθετα αυξάνεται η διαλυτότητα των στερεών υλικών και η μεταβολική δραστηριότητα των μικροοργανισμών που υπάρχουν στο νερό, τα οποία ευνοούν την αποικοδόμηση των οργανικών ενώσεων.

Επίσης, η θερμοκρασία του νερού επηρεάζει τη γεύση και την οσμή του, διότι με την αύξησή της εκδιώκονται τα διαλυμένα σε αυτό αέρια, με αποτέλεσμα το νερό να γίνεται λιγότερο εύγεστο και αντίστοιχα ευνοείται η ανάπτυξη αλγών σε αυτό, με συνέπεια την έκλυση δυσάρεστων οσμών.

Σύμφωνα με το υφιστάμενο νομοθετικό πλαίσιο (οδηγία 98/83/ ΕΚ του Συμβουλίου της Ε.Ε., όπως αυτή αναδιατυπώθηκε και ισχύει) η θερμοκρασία του πόσιμου νερού δεν πρέπει να υπερβαίνει τους 25°C.

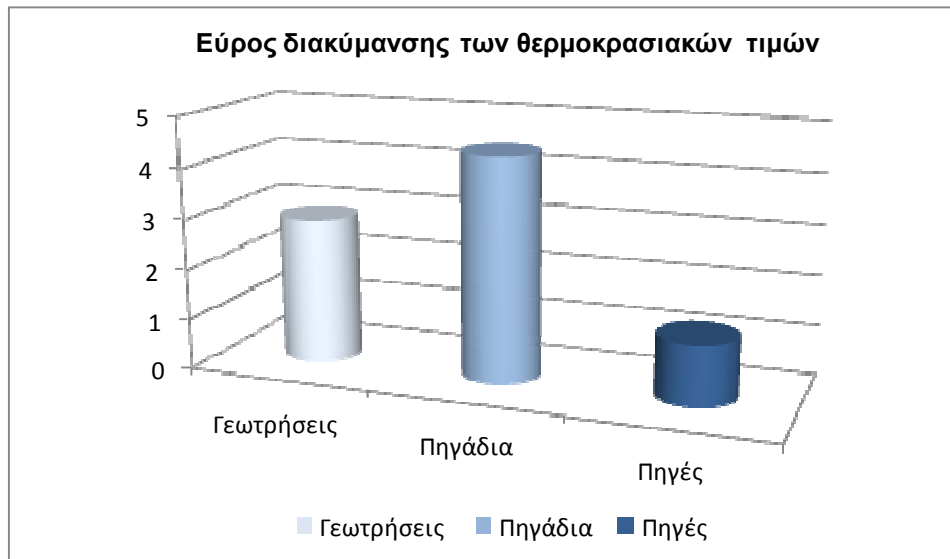
Η θερμοκρασία των υπόγειων νερών είναι συνήθως σταθερή όλο το χρόνο, εφόσον αυτά βρίσκονται στη ζώνη της ομοιοθερμίας ή μεταβάλλεται ελάχιστα εάν αυτά βρίσκονται σε μικρό βάθος, λόγω των μεταβολών της ηλιακής ενέργειας πάνω στην επιφάνεια της γης.



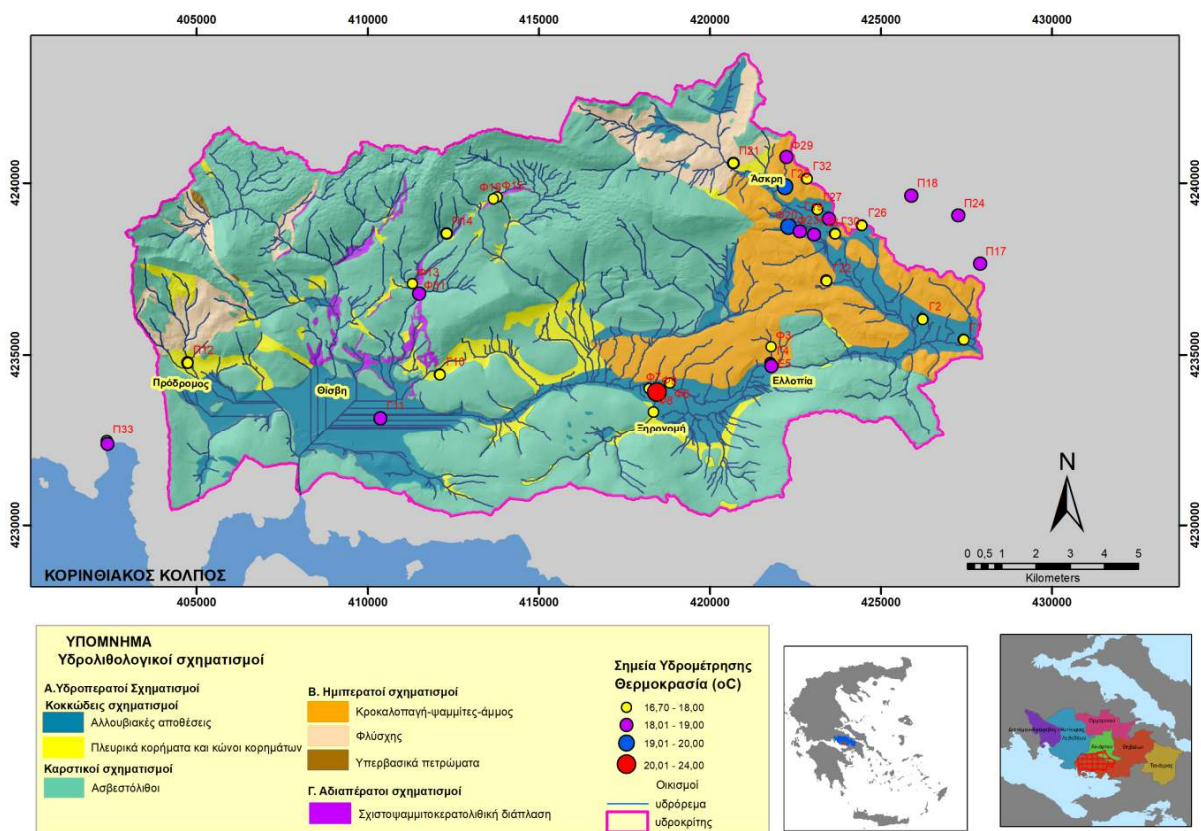
**Σχήμα 8.2:** Διάγραμμα διακύμανσης των θερμοκρασιακών τιμών των δειγμάτων νερού της ευρύτερης περιοχής της υδρολογικής λεκάνης Άσκλης.

Σύμφωνα με το διάγραμμα (Σχήμα 8.2) το εύρος των θερμοκρασιακών τιμών των υπόγειων νερών στην περιοχή μελέτης κυμαίνεται από 16,7°C έως 24°C, όπου οι δύο ακραίες τιμές παρατηρούνται στα πηγάδια Φ9 και Φ6. Επίσης, σύμφωνα με το διάγραμμα (Σχήμα 8.3) το

εύρος διακύμανσης των θερμοκρασιακών τιμών στα πηγάδια είναι 4,4 °C, στις γεωτρήσεις είναι 2,9 °C, ενώ στις πηγές είναι αρκετά μικρότερο 1,2 °C.



Σχήμα 8.3: Διάγραμμα του εύρους των θερμοκρασιακών τιμών των υπόγειων νερών της περιοχής μελέτης.



Σχήμα 8.4: Χωρική κατανομή των θερμοκρασιακών τιμών των δειγμάτων νερού της ευρύτερης περιοχής της περιοχής μελέτης

Αναλυτικά οι θερμοκρασιακές τιμές των δειγμάτων νερού κυμαίνονται ως εξής (Πίνακας 8.6):

- Στις γεωτρήσεις η ελάχιστη θερμοκρασία που καταγράφηκε είναι  $16,9^{\circ}\text{C}$ , ενώ η μέγιστη θερμοκρασία  $19,8^{\circ}\text{C}$  και η μέση τιμή  $17,9^{\circ}\text{C}$ .
- Στα πηγάδια η ελάχιστη θερμοκρασία που καταγράφηκε είναι  $16,7^{\circ}\text{C}$ , ενώ η μέγιστη θερμοκρασία  $24,0^{\circ}\text{C}$  και η μέση τιμή  $18,8^{\circ}\text{C}$ .
- Στις πηγές η ελάχιστη θερμοκρασία που καταγράφηκε είναι  $17,4^{\circ}\text{C}$ , ενώ η μέγιστη θερμοκρασία  $18,9^{\circ}\text{C}$  και η μέση τιμή  $18,2^{\circ}\text{C}$ .

Από τον έλεγχο των θερμοκρασιών των υπόγειων νερών σε συνάρτηση με τους γεωλογικούς σχηματισμούς, προκύπτει ότι :

- Στις αλλουβιακές αποθέσεις η θερμοκρασία κυμαίνεται μεταξύ  $16,9^{\circ}\text{C}$  και  $24,0^{\circ}\text{C}$  και με μέση τιμή  $18,3^{\circ}\text{C}$ .
- Στα πλειστοκαινικά κροκαλοπαγή πετρώματα η θερμοκρασία κυμαίνεται μεταξύ  $17,3^{\circ}\text{C}$  έως  $19,8^{\circ}\text{C}$  και με μέση τιμή  $18,3^{\circ}\text{C}$ .
- Στο φλύσχη η θερμοκρασία κυμαίνεται μεταξύ  $18,6^{\circ}\text{C}$  έως  $18,9^{\circ}\text{C}$  και με μέση τιμή  $18,7^{\circ}\text{C}$ .

**Χωρική κατανομή θερμοκρασιακών τιμών:** Παρατηρώντας τη διακύμανση των τιμών θερμοκρασίας των δειγμάτων νερού στο χάρτη (Σχήμα 8.4) διαπιστώνουμε ότι η θερμοκρασία των υπόγειων νερών τόσο στο ανατολικό όσο και στο δυτικό τμήμα της περιοχής μελέτης δεν παρουσιάζει σημαντικές διαφοροποιήσεις. Οι τιμές στις γεωτρήσεις είναι χαμηλότερες σε σχέση με τις τιμές των πηγαδιών, καθώς ο φρεάτιος ορίζοντας είναι αβαθής και συνεπώς δέχεται τις θερμοκρασιακές μεταβολές της ατμόσφαιρας. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το πηγάδι Φ9 στο οποίο μετρήθηκε η υψηλότερη θερμοκρασία των  $24^{\circ}\text{C}$  (Πίνακας 8.6).

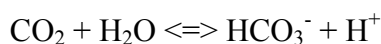
### 8.7.2. pH

Το pH αναφέρεται και ως ενεργός οξύτητα και αποτελεί το μέτρο οξύτητας ή αλκαλικότητας ενός διαλύματος. Αναφέρεται στην συγκέντρωση των  $\text{H}^+$  (πρωτόνια) που περιέχεται σε ένα υδατικό διάλυμα, ενώ ορίζεται ως ο αρνητικός δεκαδικός λογάριθμος της συγκέντρωσης των ιόντων υδρογόνου, ( $\text{pH} = -\log [\text{H}]$ ), με τιμές από 0 έως 14.

Η τιμή του pH στα υπόγεια νερά καθορίζεται από τις διάφορες χημικές αντιδράσεις και ισορροπίες μεταξύ των διαλυμένων ιόντων μέσα σε αυτό. Όταν η τιμή του pH στα νερά είναι μικρότερη από 7 (όξινο περιβάλλον), αποτελεί ένα σημαντικό παράγοντα αποσάθρωσης, καθώς εννοείται η αφαίρεση Fe και Al από τα μητρικά ορυκτά και αυξάνεται η συγκέντρωση του  $\text{SiO}_2$  (Βουδούρης 2009).

Επίσης, στην περίπτωση των βαρέων μετάλλων, ο βαθμός στον οποίο αυτά είναι διαλυτά καθορίζει την τοξικότητά τους. Τα μέταλλα τείνουν να είναι πιο τοξικά σε χαμηλές τιμές του pH, επειδή είναι πιο διαλυτά.

Το καθαρό νερό είναι συνήθως ουδέτερο, ωστόσο όταν το καθαρό νερό εκτίθεται στον αέρα γίνεται ελαφρώς όξινο. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το νερό απορροφά διοξείδιο του άνθρακα από τον αέρα, το οποίο μετά μετατρέπεται σε όξινα ανθρακικά και ιόντα υδρογόνου (δημιουργώντας ουσιαστικά ανθρακικό οξύ).

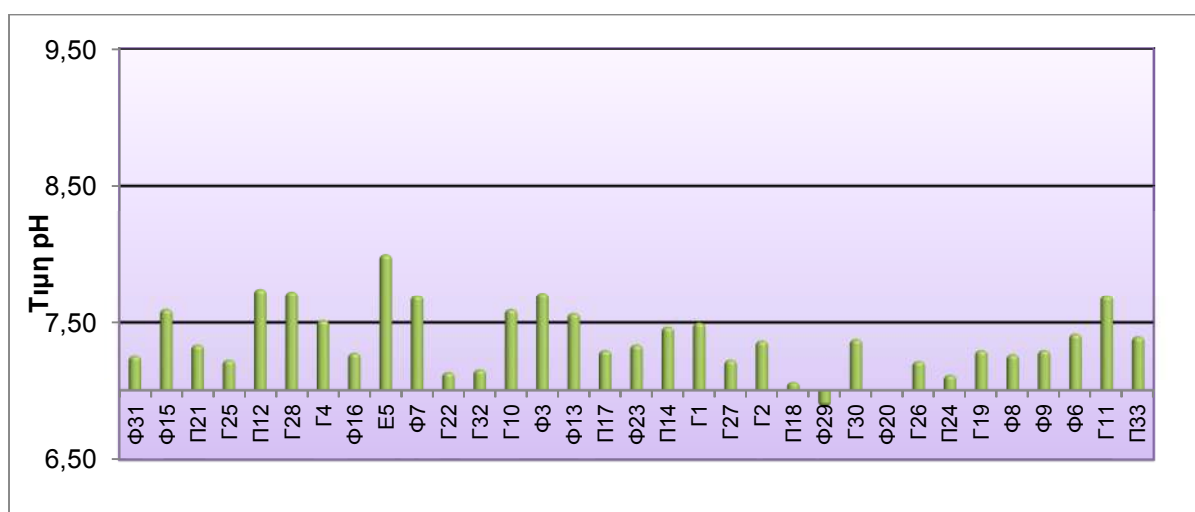


Σύμφωνα με την οδηγία της Ε.Ε. τα επιτρεπόμενα όρια στις τιμές του pH για τα πόσιμα νερά είναι 6,5 - 9,5.

Αναλυτικά οι τιμές του pH των δειγμάτων νερών έχουν ως εξής:

- Αλλουβιακές αποθέσεις: Οι τιμές του pH κυμαίνονται από 7 έως 8, με μέση τιμή 7,43, συνεπώς τα νερά είναι ελαφρώς αλκαλικά, λόγω της υψηλής τους περιεκτικότητας σε ανθρακικό κλαστικό υλικό και σε Na (όπως στη Γεώτρηση Γ11 όπου τα νερά είναι υφάλμυρα).
- Πλευρικά κορήματα: Οι τιμές του pH κυμαίνονται από 7,28 έως 7,75, με μέση τιμή 7,5, λόγω της υψηλής περιεκτικότητάς τους σε ανθρακικό κλαστικό υλικό.
- Κροκαλοπαγή πετρώματα: Οι τιμές του pH κυμαίνονται μεταξύ 6,88 και 7,72, με μέση τιμή 7,2.
- Ανθρακικοί σχηματισμοί: Οι τιμές του pH είναι 7,47 και 7,57.
- Στο φλύσχη και στη σχιστοψαμμιτοκερατολιθική διάπλαση είναι 7,34 και 7,26 αντίστοιχα.

Στο Σχήμα 8.5 παρουσιάζονται οι τιμές του pH των υπόγειων και του επιφανειακού νερού του ποταμού Άσκρης. Διαπιστώνεται ότι τα νερά της περιοχής βρίσκονται μέσα στα επιτρεπόμενα όρια που θέτει η Ε.Ε. που αφορούν τα πόσιμα νερά.



**Σχήμα 8.5:** Διάγραμμα διακύμανσης των τιμών pH των δειγμάτων νερού της ευρύτερης περιοχής της υδρολογικής λεκάνης Άσκρης.

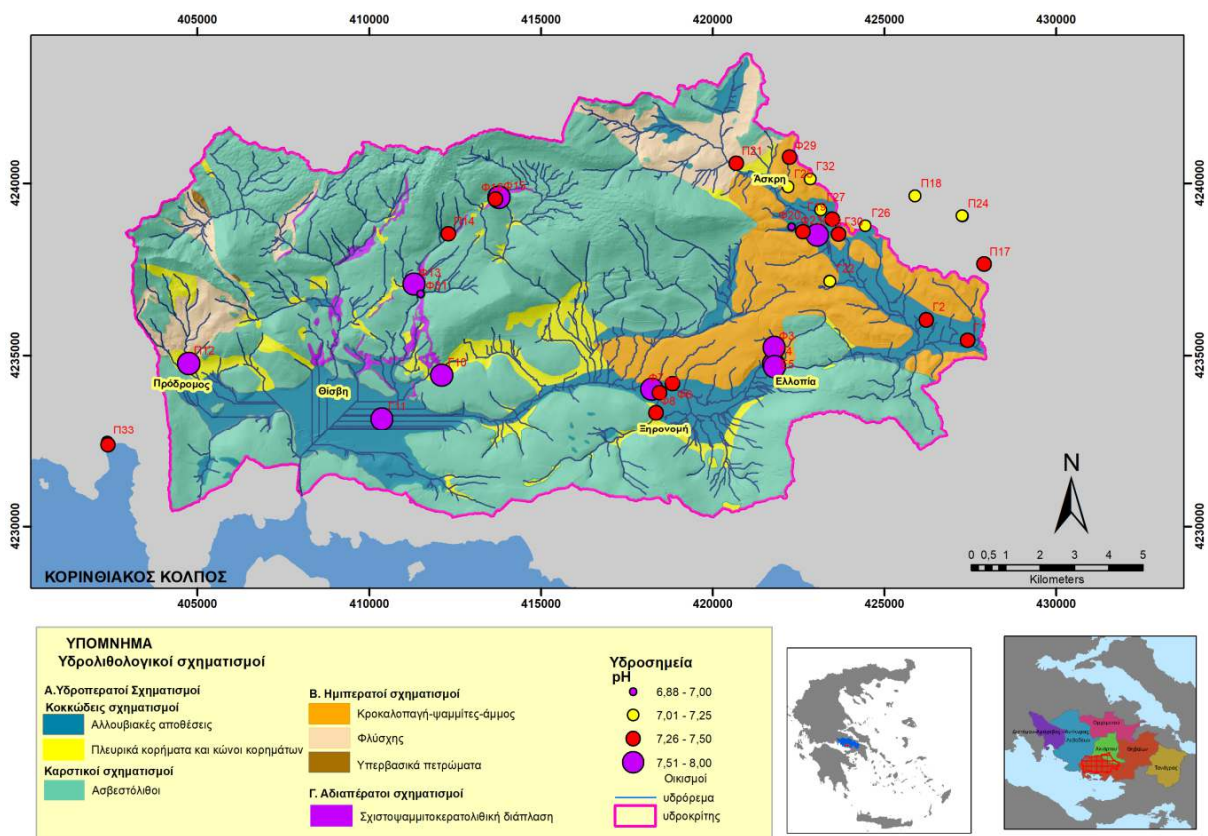
Από τα διαγράμματα (Πίνακας 8.6 και Σχήματα 8.5 και 8.6) προκύπτει ότι το εύρος τιμών του pH στις γεωτρήσεις κυμαίνεται μεταξύ 7,1 και 7,7, με μέση τιμή 7,4, στα πηγάδια κυμαίνεται μεταξύ 6,9 έως 7,7 με μέση τιμή 7,4, ενώ στις πηγές κυμαίνεται μεταξύ 7,1 και 7,8 με μέση τιμή 7,3. Η υψηλότερη τιμή pH μετρήθηκε στο επιφανειακό νερό του ποταμού Άσκρης η οποία ανέρχεται σε 8,0, γεγονός που συνδυάζεται με επιφανειακές επιδράσεις.

Γενικά, τα υπόγεια νερά της περιοχής δεν παρουσιάζουν έντονες διαφοροποιήσεις στις τιμές του pH, οι μέσες τιμές κυμαίνονται μεταξύ 7,0 και 7,5 και συνεπώς φανερώνουν έναν ουδέτερο έως ελαφρώς αλκαλικό χαρακτήρα.

**Χωρική κατανομή των τιμών pH:** Στα νερά της περιοχής προσδιορίζεται ένα εύρος τιμών του pH μεταξύ 6,88 έως 8,0 (Πίνακας 8.6). Στο Σχήμα 8.7 παρουσιάζεται η χωρική κατανομή των τιμών του pH. Διαπιστώνεται ότι στο ανατολικό τμήμα της περιοχής, όπου η γεωργική δραστηριότητα είναι εντονότερη, οι τιμές κυμαίνονται σε χαμηλά επίπεδα κυρίως μεταξύ 6,88 και 7,50, ενώ αντίθετα στο κεντρικό και δυτικό τμήμα επικρατούν τιμές του pH που είναι υψηλότερες από 7,5.



**Σχήμα 8.6:** Μέση τιμή pH στα πηγάδια, γεωτρήσεις και πηγές



**Σχήμα 8.7:** Χωρική κατανομή των τιμών του pH των δειγμάτων νερού της ευρύτερης περιοχής της περιοχής μελέτης.



Προφανώς η διαφοροποίηση αυτή συνδυάζεται με την λιθολογία των υδροφόρων σχηματισμών μεταξύ των δυο περιοχών της λεκάνης. Στο ανατολικό τμήμα οι πηγές και τα πηγάδια τροφοδοτούνται με νερά που φιλοξενούνται εντός των αλουβιακών και κροκαλοπαγών ιζημάτων, ενώ στο κεντρικό και δυτικό τμήμα της λεκάνης γίνεται άμεσα αντιληπτή η επίδραση των ασβεστολιθικών σχηματισμών, καθώς οι περισσότερες γεωτρήσεις εκμεταλλεύονται και τον καρστικό υδροφορέα της περιοχής.

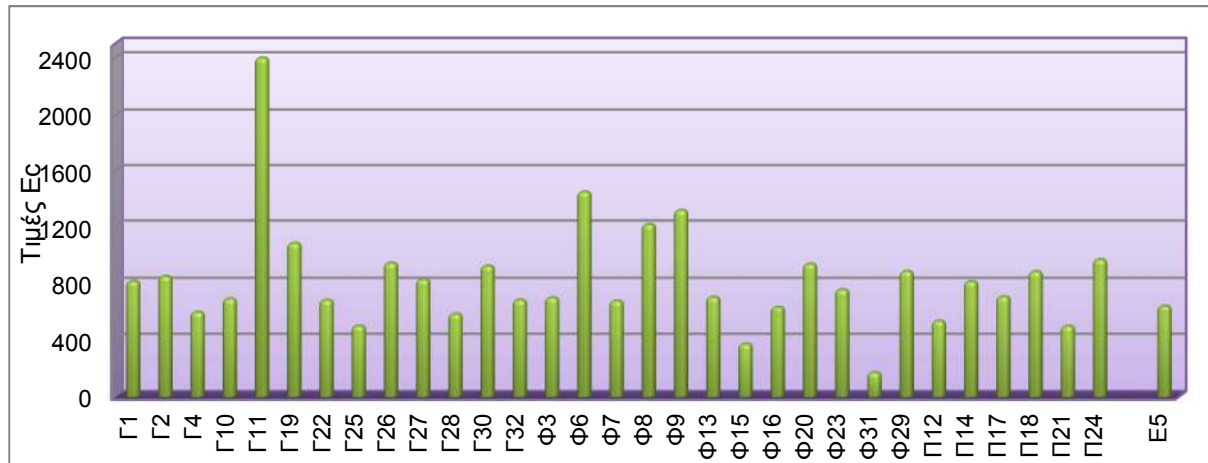
### 8.7.3. Ηλεκτρική αγωγιμότητα ( $E_c$ , $\mu\text{S}/\text{cm}$ )

Ηλεκτρική αγωγιμότητα είναι η ικανότητα ενός υδατικού διαλύματος να επιτρέπει τη διέλευση του ηλεκτρικού ρεύματος. Αυτή η ικανότητα εξαρτάται από την παρουσία ιόντων, το σθένος τους, τη κινητικότητα τους, την ολική τους συγκέντρωση και τη θερμοκρασία.

Το καθαρό νερό δεν είναι καλός αγωγός του ηλεκτρικού ρεύματος. Έτσι η αυξημένη τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας υποδηλώνει αυξημένες ποσότητες αλάτων, που ανάλογα με τη φύση τους και τη συγκέντρωσή τους μπορεί να δημιουργήσουν προβλήματα υγείας. Το ενδεικτικό επίπεδο της αγωγιμότητας σύμφωνα με την οδηγία της Ε.Ε. στο πόσιμο νερό είναι  $400 \mu\text{S}/\text{cm}$  (Βουδούρης 2009).

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα μετράται σε  $\mu\text{S}/\text{cm}$  με ειδικά όργανα (αγωγιμόμετρα) και ορίζεται ως το αντίστροφο της ηλεκτρικής αντίστασης που μετράται μεταξύ δύο ηλεκτροδίων λευκόχρυσου, συνδεδεμένα με μια πηγή ηλεκτρικού ρεύματος.

Στο Σχήμα 8.8 που ακολουθεί παρουσιάζονται οι τιμές της  $E_c$  ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) των δειγμάτων νερού της περιοχής μελέτης που προέκυψαν από τις επιτόπιες μετρήσεις.



**Σχήμα 8.8:** Διάγραμμα διακύμανσης των τιμών της ηλεκτρικής αγωγιμότητας ( $E_c$   $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) των δειγμάτων νερού της περιοχής ενδιαφέροντος.

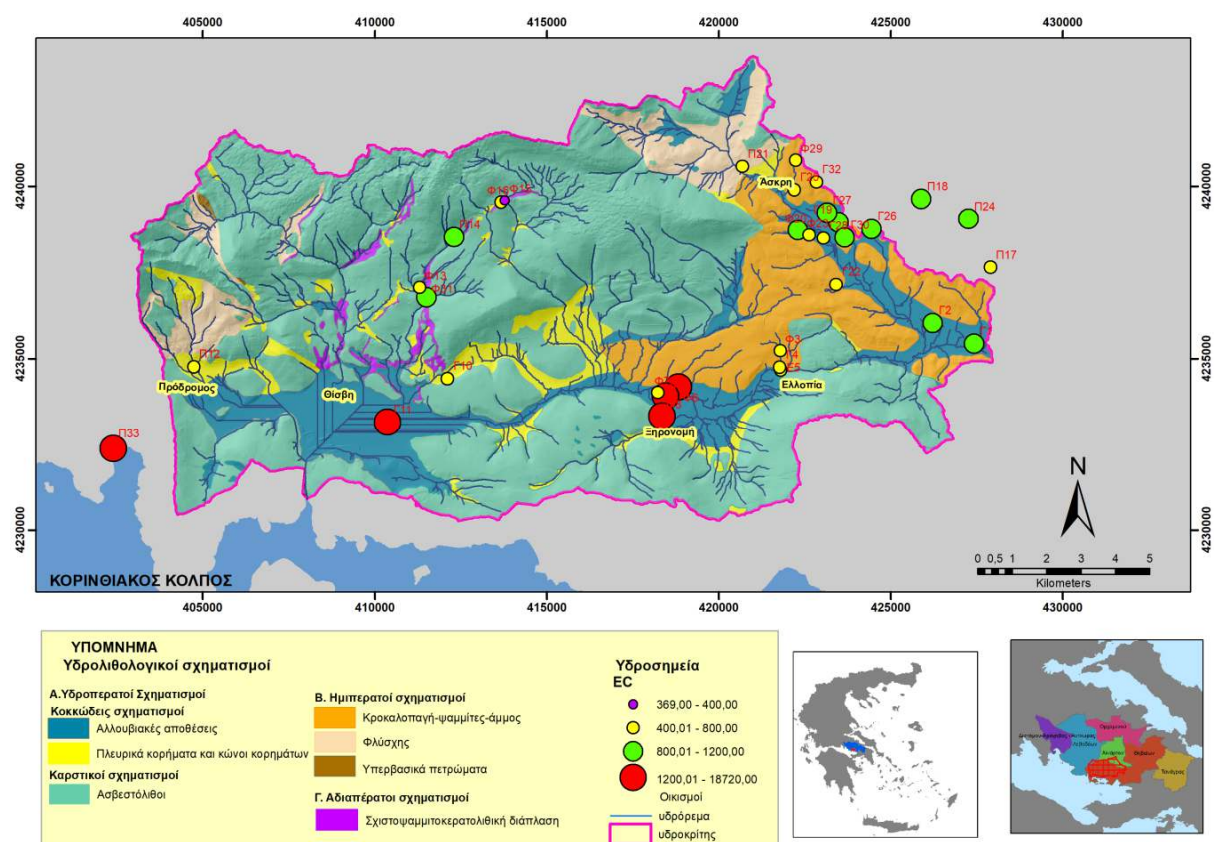
Οι τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας στο σύνολο των δειγμάτων των υπόγειων νερών και του επιφανειακού νερού του ποταμού Άσκρης κυμαίνονται μεταξύ 169 και  $2400 \mu\text{S}/\text{cm}$ . Οι χαμηλές τιμές της  $E_c$  ( $<400 \mu\text{S}/\text{cm}$ ) παρατηρούνται στα νερά των πηγαδιών Φ15 και Φ31 που βρίσκονται σε υψόμετρο 420m και 900m αντίστοιχα, εντός χαράδρας του Ελικώνα (Σχήμα 8.9), και είναι μικρού βάθους (10-20m). Τα δυο πηγάδια δεν εμφανίζουν επιβαρυντικό φορτίο (Πίνακας 8.6) και το γεωλογικό τους υπόβαθρο στο οποίο φιλοξενούνται τα νερά είναι τεταρτογενή πλευρικά κορήματα, στο όριο με τη

σχιστοψαμμιτοκερατολιθική διάπλαση. Επίσης, στη συγκεκριμένη περιοχή δεν υπάρχουν αγροτικές καλλιέργειες και το νερό χρησιμοποιείται για πότισμα των ζώων.

Οι χαμηλές τιμές της EC στη συγκεκριμένη περιοχή ενδεχομένως να οφείλονται στο γεγονός ότι η συλλογή των δειγμάτων έγινε το μήνα Νοέμβριο, που υπήρξε ένας αρκετά βροχερός μήνας για την περιοχή, με αποτέλεσμα την τροφοδότηση του υδροφόρου ορίζοντα με μετεωρικό νερό.

Οι τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας κυμαίνονται μεταξύ 400  $\mu\text{S}/\text{cm}$  και 800  $\mu\text{S}/\text{cm}$  στα νερά των πηγών της περιοχής, σε ορισμένα πηγάδια και γεωτρήσεις μικρού βάθους, όπου το γεωλογικό υπόβαθρο στο οποίο φιλοξενούνται τα νερά είναι κυρίως κροκαλοπαγή πετρώματα.

Οι τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας κυμαίνονται μεταξύ 801-1200  $\mu\text{S}/\text{cm}$  στα νερά των γεωτρήσεων με μεγάλο βάθος (άνω των 150m) και των πηγαδιών με μεγάλη συγκέντρωση αλάτων  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ .



**Σχήμα 8.9:** Χωρική κατανομή των τιμών της ηλεκτρικής αγωγιμότητας των δειγμάτων νερού της ευρύτερης περιοχής της περιοχής μελέτης.

**Χωρική κατανομή της Ec:** Στο Σχήμα 8.9 απεικονίζεται η προβολή των ταξινομημένων τιμών της ηλεκτρικής αγωγιμότητας επάνω στον υδρολιθολογικό χάρτη. Στο ανατολικό τμήμα της περιοχής μελέτης εντοπίζονται τα νερά με σχετικά χαμηλές τιμές αγωγιμότητας, οι οποίες κυμαίνονται μεταξύ 400-800  $\mu\text{S}/\text{cm}$  και 800-1200  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Αντίθετα, στο κεντρικό και δυτικό τμήμα παρατηρούνται νερά με υψηλές τιμές αγωγιμότητας πάνω από 1200  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τα νερά των τριών πηγαδιών της Κοινότητας Ξηρονομής, των οποίων οι υψηλές τιμές συνδυάζονται με τις υψηλές συγκεντρώσεις σε ρυπογόνες ουσίες που

προέρχονται κυρίως από ανθρωπογενείς επιδράσεις, όπως οι σηπτικοί βόθροι του οικισμού και απόβλητα οικόσιτων ζώων.

Επίσης, υψηλές τιμές αγωγιμότητας παρουσιάζει η γεώτρηση Γ11 στο οροπέδιο Λικέρι της Κοινότητας Δομβραΐνας, λόγω της διείσδυσης του θαλασσινού νερού στην ενδοχώρα και της ανάμιξής του με το γλυκό νερό των χαλαρών ιζημάτων και των ανθρακικών σχηματισμών. Σε κοντινή απόσταση από το υδροσημείο Γ11(2400  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) βρίσκεται η γεώτρηση Γ10 η οποία έχει αρκετά χαμηλότερη τιμή (693  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) (Πίνακας 8.6). Η έντονη διαφοροποίηση μεταξύ των δυο γεωτρήσεων αποδίδεται σε διαφορετικά βάθη των γεωτρήσεων που εκμεταλλεύονται διαφορετικούς υδροφόρους. Η Γ11 αντλεί υφάλμυρο νερό από μεγαλύτερο βάθος, ενώ η Γ10 αντλεί νερό από ανώτερο υδροφόρο που δεν έχει επηρεασθεί από την διείσδυση της θάλασσας. Προφανώς, η γεώτρηση Γ11 έχει διατρήσει, τόσο τα χαλαρά ιζήματα που πληρούν την λεκάνη, όσο και τον υποκείμενο καρστοποιημένο ασβεστόλιθο. Συνεπώς, η Γ11 αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα υφαλμύρωσης, λόγω θαλάσσιας διείσδυσης, που αποδίδεται κυρίως στην υπεράντληση.

#### **8.7.4. Ολικά διαλυμένα στερεά ( TDS, mg/l)**

Το σύνολο των διαλυμένων στερεών (TDS mg/l) είναι μια παράμετρος που συνδέεται με την ηλεκτρική αγωγιμότητα και εκφράζεται σε mg/l. Εξαρτάται κυρίως από τη διαλυτότητα των σχηματισμών μέσα από τους οποίους διέρχεται το νερό καθώς και από τους σχηματισμούς στους οποίους αυτό είναι αποθηκευμένο (Σούλιος 2006). Η ύπαρξη αλάτων στα υπόγεια νερά οφείλεται στη φύση των πετρωμάτων, την ταχύτητα ροής του νερού και το χρόνο παραμονής του στους διάφορους γεωλογικούς σχηματισμούς (Καλλέργης 2000).

Σύμφωνα με διάφορες μετρήσεις που έχουν γίνει σε ιζηματογενείς σχηματισμούς διαπιστώθηκε ότι οι τιμές των TDS φτάνουν μέχρι 1200mg/l, με εξαίρεση τις περιπτώσεις υφάλμυρων υδροφορέων (π.χ. Γεώτρηση Γ11, TDS =1564,4 mg/l).

Τα «ολικά διαλυμένα στερεά» (TDS) αποτελούνται κυρίως από τα ανόργανα άλατα (όξινα ανθρακικά, θειικά, φωσφορικά, νιτρικά, χλώρια, ασβέστιο, μαγνήσιο, νάτριο, διοξείδιο του πυριτίου, κάλιο), μερικές μικρές ποσότητες από μέταλλα (σίδηρο, μαγγάνιο κάλ.) και οργανική ύλη, που διαλύονται στο νερό.

Τα TDS στο πόσιμο νερό προέρχονται από φυσικές πηγές, απόβλητα, αστικές απορροές, βιομηχανικά απόβλητα και χημικά που χρησιμοποιούνται στη διαδικασία επεξεργασίας του νερού, καθώς και από τη φύση των σωληνώσεων ή του υλικού που χρησιμοποιείται για τη μεταφορά του νερού, δηλαδή των υδραυλικών εγκαταστάσεων.

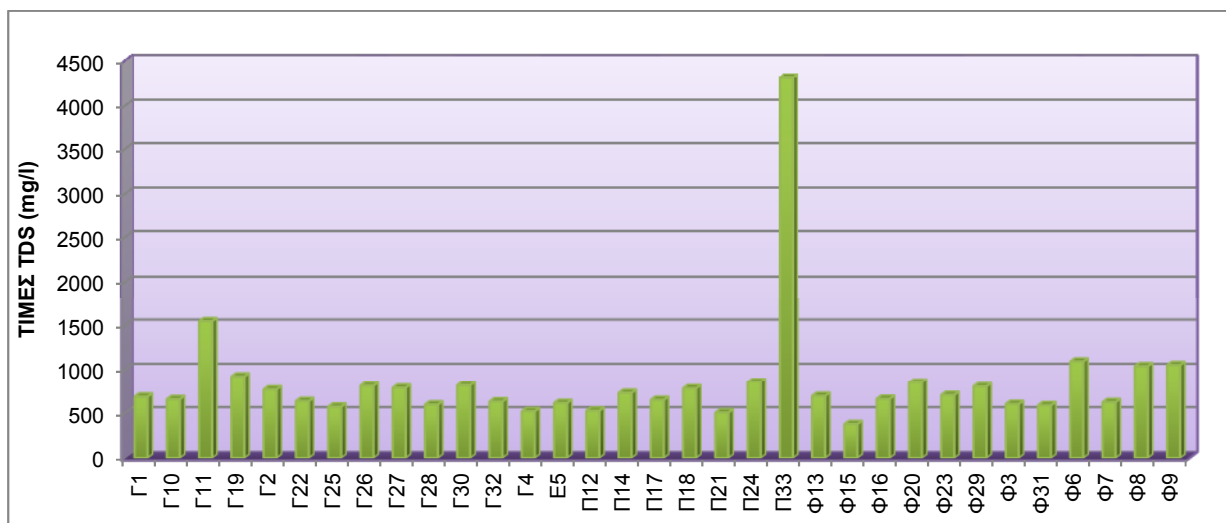
Τα διαλυμένα στερεά στα φυσικά νερά κυμαίνονται λιγότερο από 10 mg/l για το νερό της βροχής έως περισσότερα από 100.000 mg/l για τις άλμες. Τα υπόγεια νερά έχουν υψηλότερη τιμή TDS σε σχέση με τα επιφανειακά νερά, διότι αυτά βρίσκονται περισσότερο χρόνο σε επαφή με τα ευδιάλυτα υλικά των γεωλογικών σχηματισμών από ότι τα επιφανειακά νερά (Καλλέργης 2000).

Το νερό ανάλογα με τη περιεκτικότητα σε διαλυμένα άλατα (mg/l TDS) μπορεί να ταξινομηθεί κατά Davis - De Wiest (1966), ως εξής:

- Μαλακό νερό: 0-1.000 mg/L
- Υφάλμυρο νερό: 1.000 μέχρι 10.000 mg/L
- Αλμυρό νερό: 10.000 μέχρι 100.000 mg/L και

- Υπεραλμυρό νερό: μεγαλύτερο από 100.000 mg/L

Στο Σχήμα 8.10 παρουσιάζονται σε διάγραμμα οι συγκεντρώσεις των ολικών διαλυμένων αλάτων (TDS mg/l) που προσδιορίζονται στα δείγματα νερού της περιοχής μελέτης.



**Σχήμα 8.10:** Διάγραμμα διακύμανσης των συγκεντρώσεων ολικών αλάτων (mg/l TDS) των δειγμάτων νερού της υδρολογικής λεκάνης Άσκρις.

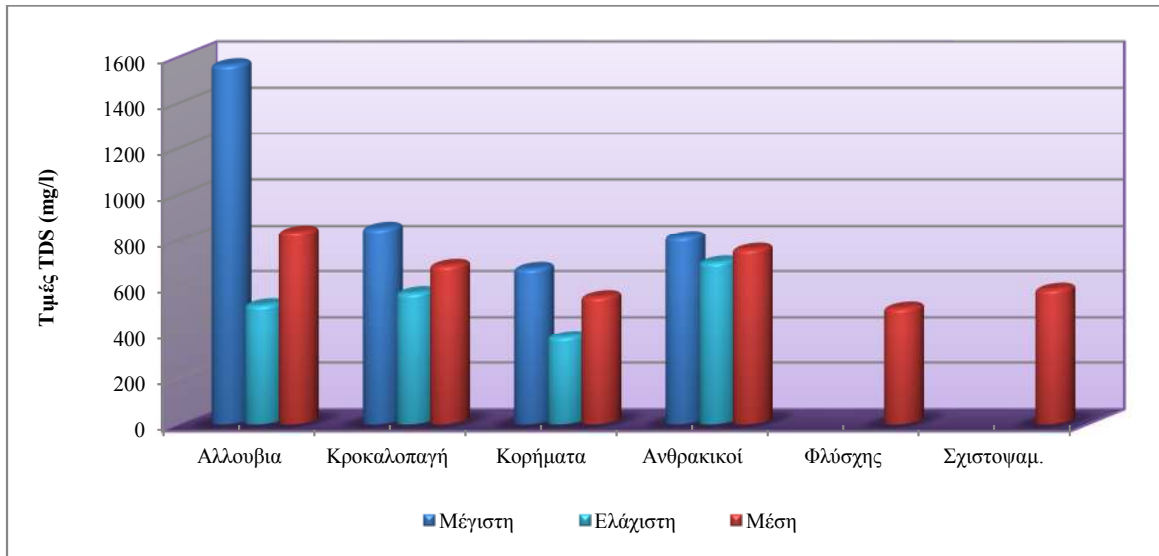
Από τα αποτελέσματα των μετρήσεων προέκυψε ότι τα υπόγεια νερά εμφανίζουν ένα ευρύ φάσμα τιμών στις συγκεντρώσεις των ολικών αλάτων (TDS) που κυμαίνεται μεταξύ 375,8 mg/l και 1564,4 mg/l. Στο μεγαλύτερο ποσοστό των δειγμάτων οι τιμές κυμαίνονται μεταξύ 500 και 1.000 mg/l. Αναλυτικότερα, οι τιμές των TDS κυμαίνονται ανάλογα με το γεωλογικό υπόβαθρο της περιοχής (Σχήμα 8.11) ως εξής:

- Στις τεταρτογενείς αλλουβιακές αποθέσεις μεταξύ 519,3mg/l και 1564,4mg/l, με μέση τιμή 838,34mg/l.
- Στα κροκαλοπαγή πετρώματα μεταξύ 570,9mg/l και 854,8mg/l, με μέση τιμή 688,8mg/l.
- Στα πλευρικά κορήματα μεταξύ 375,8mg/l και 675,8mg/l, με μέση τιμή 553,2mg/l.
- Στους ανθρακικούς σχηματισμούς μεταξύ 704mg/l και 814mg/l, με μέση τιμή 759mg/l.
- Στο φλύσχη η τιμή είναι 504,8mg/l και
- Στη σχιστοψαμμιτοκερατολιθική διάπλαση η τιμή είναι 586,1mg/l.

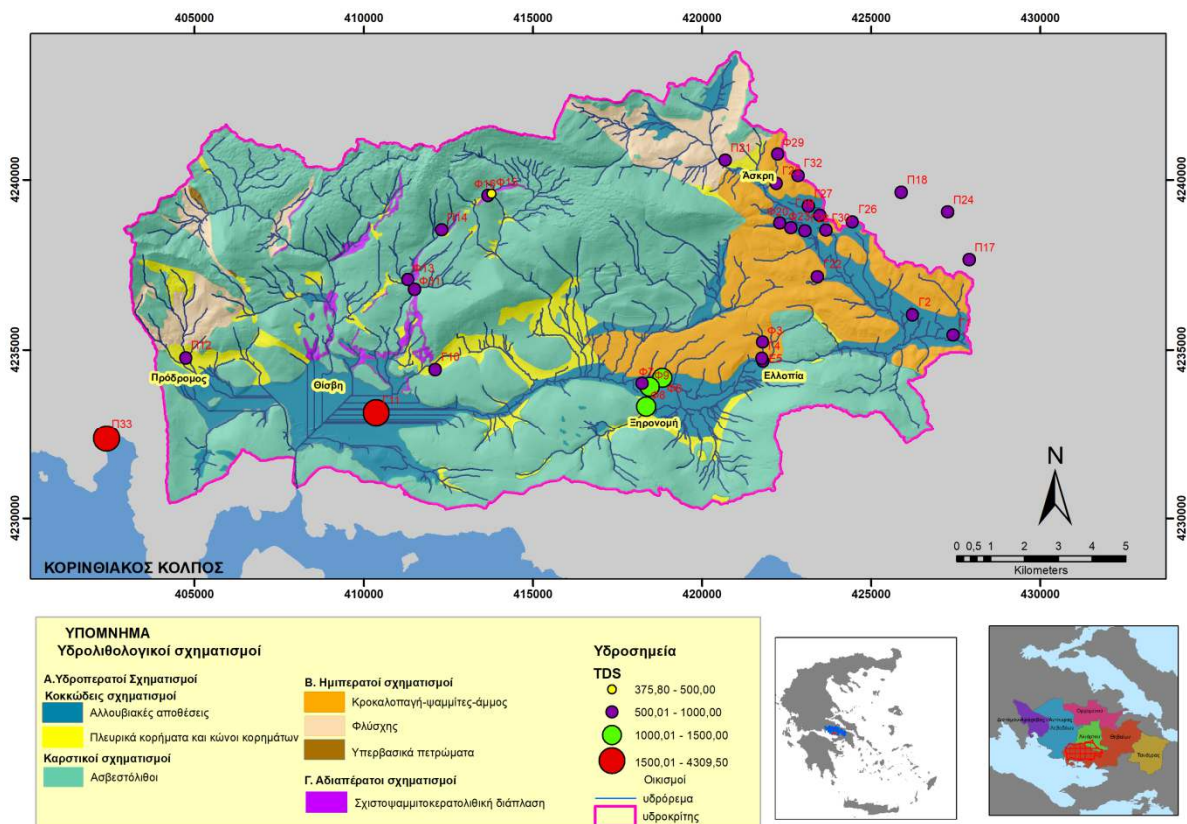
**Χωρική κατανομή των TDS:** Στο Σχήμα 8.12 απεικονίζεται στον υδρολιθολογικό χάρτη της υδρολογικής λεκάνης η χωρική κατανομή των τιμών των TDS των δειγμάτων νερού. Από το χάρτη προκύπτει ότι έχουν υψηλές τιμές τα δείγματα νερού που προέρχονται: α) από την υφάλμυρη παράκτια πηγή Π33 με συγκέντρωση 4.309,5mg/l, β) από τη γεώτρηση στο οροπέδιο Λικέρι (Γ11) με συγκέντρωση 1.564,4 mg/l και γ) τα δείγματα νερού των πηγαδιών Φ6, Φ8 και Φ9 που βρίσκονται κοντά στην Κοινότητα Ξηρονομή, με συγκεντρώσεις άνω των 1000mg/l.

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω η συγκέντρωση των διαλυμένων αλάτων σε ένα υγρό διάλυμα είναι ανάλογη με την ηλεκτρική αγωγιμότητα. Επομένως όσο αυξάνεται η ηλεκτρική αγωγιμότητα αυξάνεται και η συγκέντρωση των αλάτων. Τα διαλύματα των

περισσότερων ανόργανων οξέων και βάσεων και όλων των αλάτων είναι σχετικά καλοί αγωγοί του ρεύματος. Αντίθετα, τα μόρια των οργανικών ενώσεων που δεν δίστανται όταν διαλυθούν στο νερό, άγουν ελάχιστα ή καθόλου το ηλεκτρικό ρεύμα.



Σχήμα 8.12: Στατιστικά χαρακτηριστικά των τιμών TDS ανάλογα με τους γεωλογικούς σχηματισμούς στην περιοχή μελέτης.



Σχήμα 8.11: Χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων ολικών αλάτων (TDS mg/l) των δειγμάτων νερού της περιοχής μελέτης.

Η σχέση μεταξύ της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και των ολικών διαλυμένων αλάτων μπορεί να εκφραστεί με την παρακάτω σχέση (Matthes 1984, Λαμπράκης 1991):

$$\text{TDS} = k * \text{EC}$$

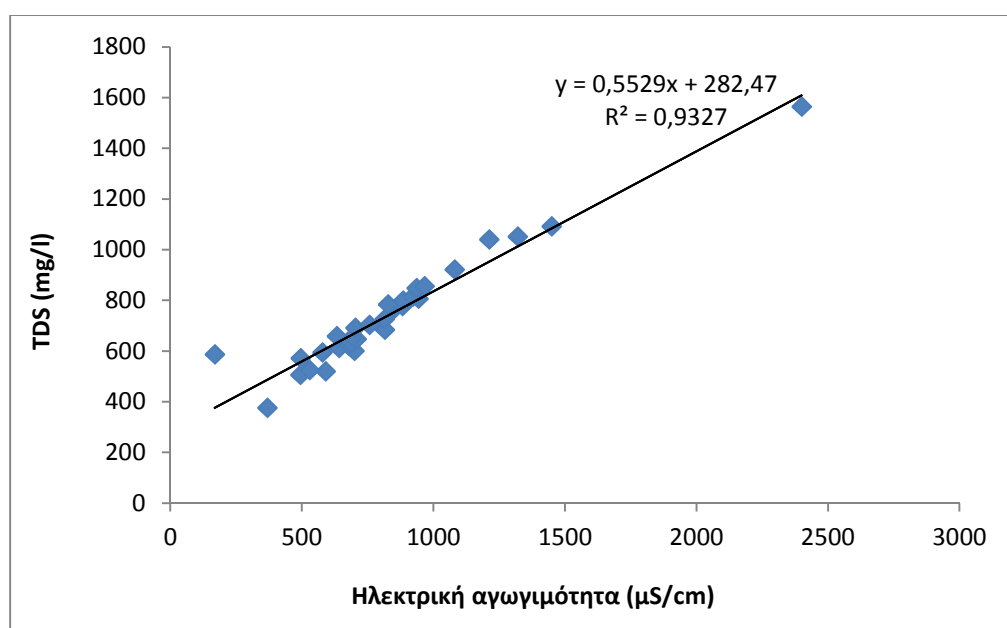
Όπου:

TDS = τα συνολικά διαλυμένα στερεά εκφρασμένα σε mg/l

EC = η ηλεκτρική αγωγιμότητα σε  $\mu\text{S}/\text{cm}$  στους  $25^\circ\text{C}$ .

k = ο συντελεστής διόρθωσης ο οποίος κυμαίνεται μεταξύ 0,55 και 0,80 με μέση τιμή 0,65.

Σύμφωνα με τα παραπάνω έγινε η συσχέτιση των τιμών της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και των τιμών TDS για το σύνολο των δειγμάτων που συλλέχθηκαν στην περιοχή μελέτης και προέκυψε το παρακάτω διάγραμμα (Σχήμα 8.13).



**Σχήμα 8.13:** Διάγραμμα συσχέτισης EC και TDS για το σύνολο των δειγμάτων.

Από το διάγραμμα στο Σχήμα 8.13 προκύπτει ότι η σχέση μεταξύ των δύο παραμέτρων συνδέεται με το συντελεστή διόρθωσης  $k = 0,5529$ , που είναι εντός των επιτρεπόμενων ορίων σύμφωνα με τη βιβλιογραφία και ότι υπάρχει υψηλός βαθμός συσχέτισης στις τιμές των δύο παραμέτρων ( $R^2 = 0,9327$ ).

Επίσης, η εξίσωση που συνδέει το σύνολο των διαλυμένων αλάτων (TDS) με την ηλεκτρική αγωγιμότητα είναι :

$$\text{TDS (mg/l)} = 0,5529 * \text{EC}(\mu\text{S}/\text{cm}) + 282,47$$

Από τη σχέση αυτή επιβεβαιώνεται η υψηλή συσχέτιση που υπάρχει μεταξύ των δύο παραμέτρων (TDS και EC). Τέλος, οι λόγοι που οι συγκεντρώσεις των TDS, είναι αρκετά υψηλές στις περιπτώσεις που αναφέρθηκαν παραπάνω οφείλεται στα εξής:

- Στη διάλυση των ιζηματογενών πετρωμάτων κυρίως στις αλλουβιακές αποθέσεις σε σύγκριση με τους άλλους γεωλογικούς σχηματισμούς της περιοχής.

- Στο μεγάλο χρόνο παραμονής του νερού στο υδροφόρο σύστημα, στη μειωμένη κυκλοφορία του νερού στις γεωτρήσεις με μεγάλο βάθος καθώς και στην αυξανόμενη αλληλεπίδραση νερού-εδάφους (Καλλέργης 2000, Βουδούρης 2009).
- Στην υψηλή συγκέντρωση αλάτων  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  και  $\text{NO}_3^-$  που προέρχονται μέσω διάλυσης των ευδιάλυτων ορυκτών των πετρωμάτων, των λιπασμάτων καθώς επίσης μέσω φαινομένων ιοντικής ανταλλαγής.

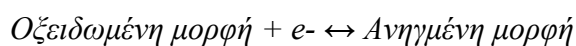
### 8.7.5. Δυναμικό οξειδοαναγωγής (Eh)

Η τάση ενός μέσου να προσλαμβάνει ή να δίνει ηλεκτρόνια δείχνει το δυναμικό οξειδοαναγωγής του. Όταν ένα στοιχείο προσλαμβάνει ένα ηλεκτρόνιο τότε προκαλείται μείωση ενός θετικού του σθένους, με αποτέλεσμα την αναγωγή του στοιχείου, ενώ όταν χάσει ένα ηλεκτρόνιο, αυξάνει κατά μια μονάδα το θετικό του σθένος, με αποτέλεσμα την οξείδωση του στοιχείου (Καλλέργης 2000).

Οι χημικές αντιδράσεις στις οποίες λαμβάνει χώρα η μεταφορά ηλεκτρονίων μεταξύ χημικών ειδών με διαφορετικό σθένος ονομάζονται οξειδοαναγωγικές.

Το πιο ισχυρό οξειδωτικό στοιχείο στη φύση είναι το οξυγόνο, ενώ το πιο ισχυρό αναγωγικό είναι το υδρογόνο. Η κατανομή των στοιχείων  $\text{Fe}^{+2}$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{O}_2$  και άλλων συστατικών στο υπόγειο νερό εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το δυναμικό οξειδοαναγωγής.

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



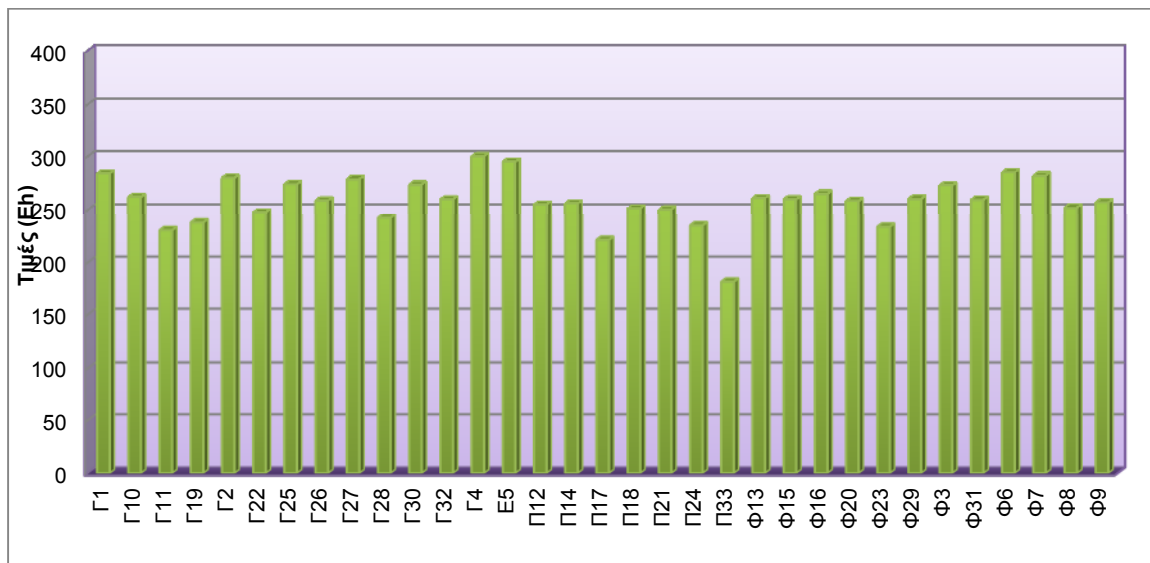
*Η θέση της ισορροπίας εξαρτάται από τις συγκεντρώσεις του οξειδωτικού και του αναγωγικού σώματος. Η μεταβολή του pH στο περιβάλλον προκαλεί σημαντική μεταβολή της τιμής του δυναμικού οξειδοαναγωγής, λόγω της συμμετοχής των ιόντων  $\text{OH}^-$  στις αντιδράσεις οξειδοαναγωγής. Γνωρίζοντας τις τιμές του δυναμικού οξειδοαναγωγής σε συνάρτηση με το pH, μπορούμε να προσδιορίσουμε τις μορφές με τις οποίες βρίσκεται ένα χημικό στοιχείο σε ένα συγκεκριμένο φυσικό περιβάλλον (Βουδούρης 2009).*

*Στις οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις ως «καταλύτες» που διευκολύνουν δηλαδή τις αντιδράσεις, αλλά δεν συμμετέχουν σε αυτές, συχνά συμπεριφέρονται οι μικροοργανισμοί και τα βακτήρια της ακόρεστης ζώνης, τα οποία προσλαμβάνουν ενέργεια με την οξείδωση οργανικών ενώσεων ή υδρογόνου ή με την αναγωγή των ανόργανων μορφών του Fe, N και S (Καλλέργης 2000).*

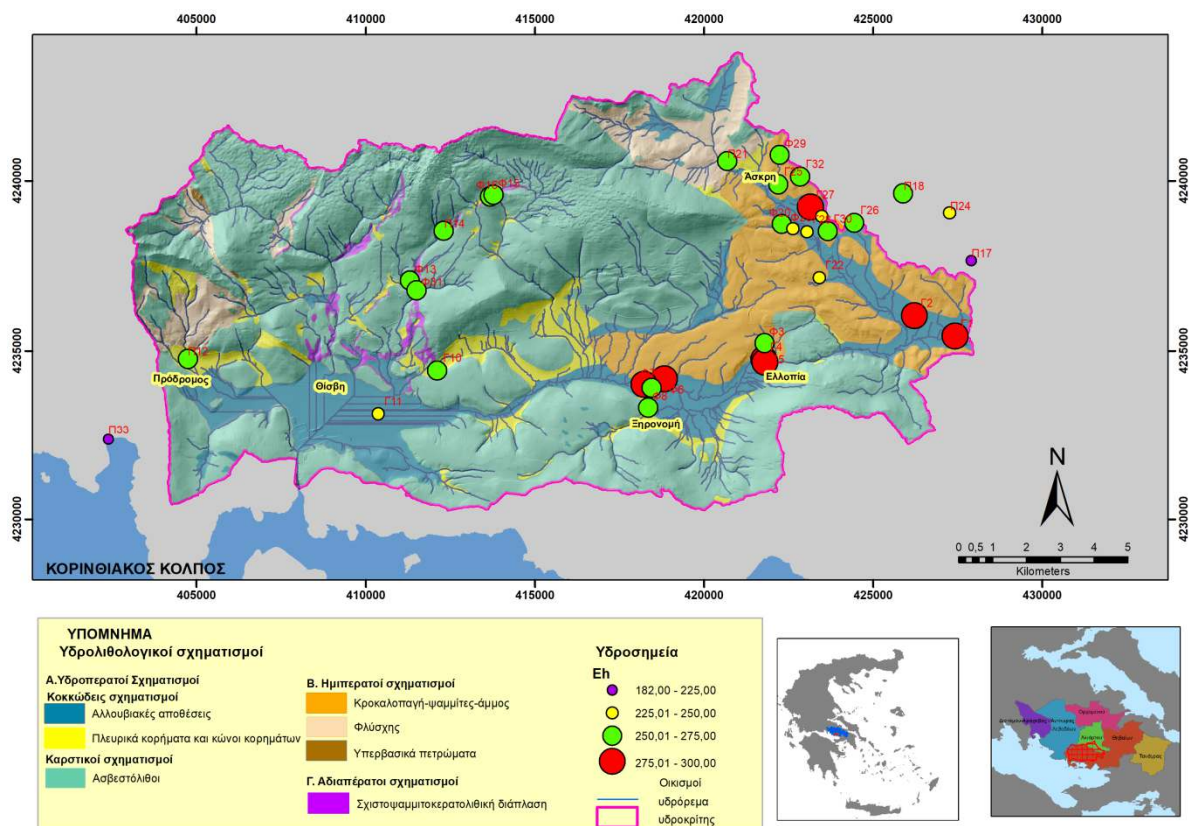
Από τις τιμές του Eh mV των υπόγειων νερών της περιοχής μελέτης (Σχήμα 8.14) προκύπτει ότι υπερτερούν οι οξειδωτικές συνθήκες. Αυτό φανερώνει ότι τα υπόγεια νερά της περιοχής είναι εμπλουτισμένα σε διαλυμένο οξυγόνο μέσω της ατμόσφαιρας. Στα δείγματα των υπόγειων νερών της περιοχής μελέτης το δυναμικό οξειδοαναγωγής (Eh mV), κυμαίνεται :

- Στις αλλουβιακές αποθέσεις από 230 mV έως 300 mV, με μέση τιμή 250 mV.
- Στα κροκαλοπαγή πετρώματα από 221 mV έως 274 mV, με μέση τιμή 252,7 mV.
- Στα πλευρικά κορήματα από 255 mV έως 265 mV με μέση τιμή 260,5 mV.
- Στους ανθρακικούς σχηματισμούς από 256 mV έως 261 mV με μέση τιμή 258.8 mV.
- Στο φλύσχη η τιμή είναι 250,3 mV και
- Στη σχιστοψαμμιτοκερατολιθική διάπλαση 259,4mV.

Στο Σχήμα 8.14 απεικονίζονται σε διάγραμμα οι τιμές του δυναμικού οξειδοαναγωγής των δειγμάτων νερού της περιοχής. Στο Σχήμα 8.15 ταξινομούνται κατά κλάσεις οι τιμές του δυναμικού οξειδοαναγωγής των δειγμάτων νερού της περιοχής.



**Σχήμα 8.14:** Διάγραμμα διακύμανσης των τιμών του δυναμικού οξειδοαναγωγής των δειγμάτων νερού της υδρολογικής λεκάνης Άσκρης.



**Σχήμα 8.15:** Χωρική κατανομή των τιμών του δυναμικού οξειδοαναγωγής (Eh mV) των δειγμάτων νερού της περιοχής μελέτης.



**Χωρική κατανομή Δυναμικού οξειδοαναγωγής:** Σύμφωνα με τα παραπάνω δεδομένα (Σχήμα 8.14) και παρατηρώντας την κλίμακα τιμών του δυναμικού οξειδοαναγωγής (Eh) στο χάρτη (Σχήμα 8.15) προκύπτει ότι υπάρχει μια σχετικά μικρή διακύμανση μεταξύ των ελαχίστων και μεγίστων τιμών του Eh. Εξάιρεση αποτελεί το δείγμα νερού της παράκτιας πηγής, το οποίο εμφανίζει τη μικρότερη τιμή Eh=182mV. Εξάλλου η παρουσία στα υπόγεια νερά των νιτρικών και θειικών ιόντων, τα οποία λειτουργούν ως αποδέκτες ηλεκτρονίων, δημιουργεί οξειδωτικές συνθήκες (Massmann et al. 2004, από Χαριζόπουλο 2013). Ενδεχομένως οι χαμηλές τιμές του δυναμικού οξειδοαναγωγής σε ορισμένα νερά να οφείλεται στην παρουσία οργανικής ύλης σε αυτά.

#### 8.7.6. Σκληρότητα (dH)

Η σκληρότητα των νερών οφείλεται στην ύπαρξη των διαλυμένων σε αυτά δισθενών μεταλλικών κατιόντων, κυρίως του  $\text{Ca}^{2+}$  και  $\text{Mg}^{2+}$ . Τα ιόντα αυτά αντιδρούν με το σαπούνι και σχηματίζουν ίζημα και μαζί με ορισμένα ανιόντα, που βρίσκονται στο νερό δημιουργούν κρούστα (Καλλέργης 2000, Μανδηλαράς 2005, Βουδούρης 2009).

Η σκληρότητα διακρίνεται:

α) Στην **Παροδική ή ανθρακική σκληρότητα** η οποία οφείλεται στην παρουσία όξινων ανθρακικών αλάτων του  $\text{Ca}^{2+}$  και του  $\text{Mg}^{2+}$ , όπως  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  και  $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ .

β) Στην **Μόνιμη σκληρότητα ή μη ανθρακική** η οποία οφείλεται στην παρουσία αλκαλικών γαιών, ενωμένων με τα θειικά και νιτρικά ιόντα καθώς και με ιόντα χλωρίου και φωσφορικών.

γ) Στην **Ολική σκληρότητα (Total Hardness)**: Είναι το σύνολο της ανθρακικής και της μόνιμης σκληρότητας. Εκφράζεται σε ισοδύναμο  $\text{CaCO}_3$  (mg/l), αλλά και σε βαθμούς σκληρότητας.

Η ολική σκληρότητα (Total Hardness) εκφράζεται από τη σχέση:

$$\text{TH}=2,5*(\text{Ca}^{2+})+4,1*(\text{Mg}^{2+})$$

όταν οι περιεκτικότητες των ιόντων είναι εκφρασμένες σε mg/l, και επίσης από τη σχέση:

$$\text{TH}=50*(\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+})$$

όταν οι περιεκτικότητες των ιόντων είναι εκφρασμένες σε meq/L (Λαμπράκης 1999, Βουδούρης 2009).

Η σκληρότητα του νερού εκφράζεται σε βαθμούς σκληρότητας με τις ακόλουθες μονάδες μέτρησης:

Γερμανικοί βαθμοί °dH), όπου  $1^\circ\text{dH} = 1 \text{ mg CaO} / 100 \text{ ml νερού}$

Γαλλικοί βαθμοί (°F), όπου  $1^\circ\text{F} = 1 \text{ mg CaCO}_3 / 100 \text{ ml νερού}$

Αμερικάνικοι βαθμοί ppm,  $1 \text{ mg CaCO}_3 / 1 \text{ νερού (ppm)}$

$$1^\circ\text{dH} = 10 \text{ ppm CaO} = 17,9 \text{ ppm CaCO}_3$$

$$1^\circ\text{F} = 10 \text{ ppm CaCO}_3 = 5,6 \text{ ppm CaO}$$

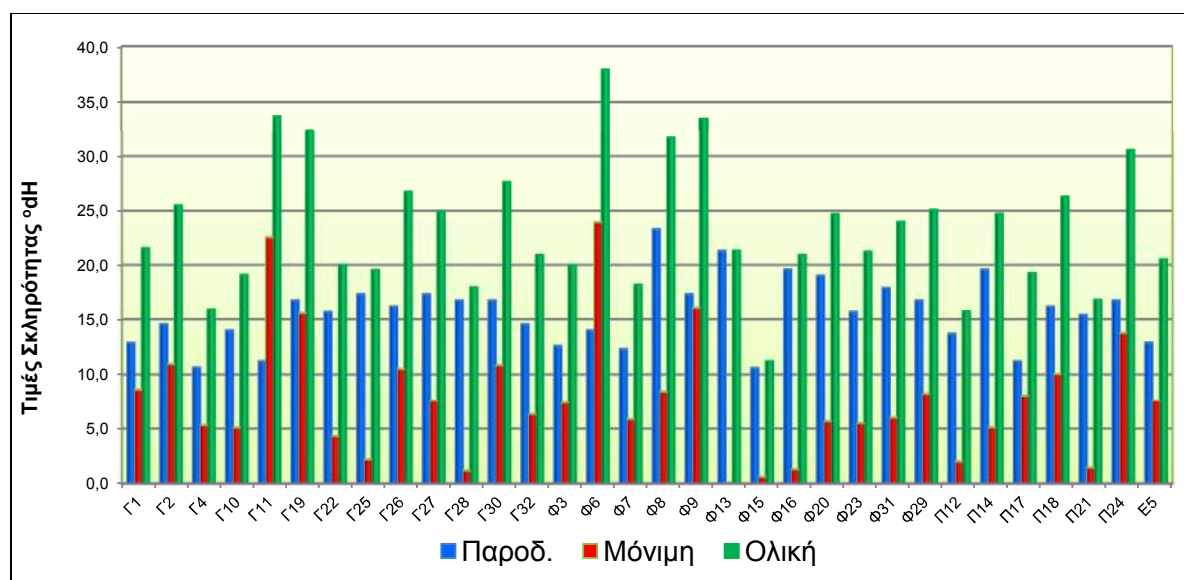
$$1^\circ\text{dH} = 1,79^\circ\text{F}$$

Η ταξινόμηση της σκληρότητας των νερών κατά Holting (1980), σύμφωνα με τις Γερμανικές προδιαγραφές, κατά τις οποίες ο Γερμανικός βαθμός ισοδυναμεί με 17,86 mg/l  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ , δίνεται στον Πίνακα 8.6 (Σούλιος 2006).

Για το πόσιμο νερό η ενδεικτική τιμή της ολικής σκληρότητας κυμαίνεται μεταξύ 80 – 150 mg/l CaCO<sub>3</sub>, (4,5-8,5 °dH), ωστόσο ως πόσιμα νερά μπορούν να χρησιμοποιηθούν και νερά με σκληρότητα μέχρι 500 mg/l CaCO<sub>3</sub>, δηλ. 28°dH, (Παππά 2001, Καλλέργης 1980).

**Πίνακας 8.7:** Αξιολόγηση των υδάτων βάσει της σκληρότητας σε °dH.

Ολική σκληρότητα (Γερμ. βαθμοί °dH)	Χαρακτηρισμός
0-4	Πολύ μαλακό
4-8	Μαλακό
8-18	Μέτρια σκληρό
18-30	Σκληρό
>30	Πολύ σκληρό



**Σχήμα 8.16:** Διάγραμμα διακύμανσης των τιμών Σκληρότητας (°dH) των δειγμάτων νερού της υδρολογικής λεκάνης Άσκρης.

Στο παραπάνω διάγραμμα (Σχήμα 8.16) παρουσιάζονται οι τιμές της ολικής, παροδικής και μόνιμης σκληρότητας που εμφανίζουν τα υπόγεια νερά καθώς και το επιφανειακό νερό του ποταμού Άσκρης. Σύμφωνα με το διάγραμμα παρατηρείται μια σημαντική διακύμανση τόσο στις τιμές της ολικής σκληρότητας, όσο και στις τιμές της ανθρακικής και μόνιμης σκληρότητας. Επίσης, σε πολλά δείγματα νερού παρατηρείται ότι οι τιμές της μόνιμης σκληρότητας είναι αρκετά μικρές έως μηδενικές. Αυτό οφείλεται κυρίως στο λιθολογικό περιβάλλον της περιοχής καθώς και στις γεωχημικές διεργασίες, όπως της κατιοανταλλαγής που επικρατούν στην περιοχή.

#### 8.7.6.1. Ολική Σκληρότητα

**Α) Σκληρότητα:** Η διακύμανση της ολικής σκληρότητας στην περιοχή μελέτης ανάλογα με το γεωλογικό περιβάλλον έχει ως εξής:

- Στις αλλουβιακές αποθέσεις κυμαίνεται μεταξύ 16,0<sup>o</sup>dH και 37,9 <sup>o</sup>dH, με μέση τιμή 25.87<sup>o</sup>dH, με αποτέλεσμα τα νερά να χαρακτηρίζονται σκληρά έως πολύ σκληρά,
- Στα κροκαλοπαγή πετρώματα κυμαίνεται μεταξύ 19,0<sup>o</sup>dH και 30.6 <sup>o</sup>dH, με μέση τιμή 22,72<sup>o</sup>dH, χαρακτηρίζονται ως σκληρά,
- Στα πλευρικά κορήματα κυμαίνεται μεταξύ 11,2<sup>o</sup>dH και 20,9 <sup>o</sup>dH, με μέση τιμή 16,72<sup>o</sup>dH, χαρακτηρίζονται ως σκληρά,
- Στους ανθρακικούς σχηματισμούς κυμαίνεται μεταξύ 21,3<sup>o</sup>dH και 24,7<sup>o</sup>dH, με μέση τιμή 23,0<sup>o</sup>dH, χαρακτηρίζονται ως σκληρά,
- Στο φλύσχη η τιμή είναι 16,9<sup>o</sup>dH χαρακτηρίζονται σχεδόν σκληρά και
- Στη σχιστοψαμμιτοκερατολιθική διάπλαση η τιμή είναι 23,9<sup>o</sup>dH, χαρακτηρίζονται σκληρά.

Επίσης, σύμφωνα με τον Πίνακα 8.6. όπου παρουσιάζονται οι τιμές της ολικής σκληρότητας ανά γεώτρηση, πηγάδι και πηγή προκύπτει ότι:

- Στις γεωτρήσεις η ελάχιστη τιμή είναι 16,0odH, η μέγιστη 33,7odH και η μέση τιμή 23,53odH,
- Στα πηγάδια η ελάχιστη τιμή είναι 11,2odH, η μέγιστη 37,9odH και η μέση τιμή 24,1odH,
- Στις πηγές η ελάχιστη τιμή είναι 15,7odH, η μέγιστη 30,6odH και η μέση τιμή 22,2odH.

Από τα παραπάνω δεδομένα συμπεραίνεται ότι:

(1) στα αλλουβιακά και πλειστοκαινικά ιζήματα ασβεστολιθικής κυρίως προέλευσης και στους ανθρακικούς σχηματισμούς οι τιμές της ολικής σκληρότητας είναι αρκετά υψηλές, που σχετίζονται με την παρουσία ευδιάλυτων ανθρακικών ορυκτών (κυρίως ασβεστίτη και γύψου) και των επικρατουσών υδρογεωχημικών συνθηκών.

(2) στις γεωτρήσεις μεγάλου βάθους οι τιμές της ολικής σκληρότητας είναι αρκετά υψηλότερες σε σχέση με τις γεωτρήσεις μικρότερου βάθους. Αυτό σχετίζεται προφανώς αφενός με τον χρόνο παραμονής του υπόγειου νερού στους βαθύτερου υδροφόρους ορίζοντες και αφετέρου ενδεχόμενης παρουσίας οργανικού υλικού που κατά την οξείδωσή του απελευθερώνεται CO<sub>2</sub> που συμβάλει στην διάλυση των ανθρακικών ορυκτών.

#### **8.7.6.2. Ανθρακική ή Παροδική σκληρότητα**

Η παροδική σκληρότητα των υπόγειων νερών της περιοχής παρουσιάζει τις ακόλουθες τιμές (Πίνακα 8.6):

- Στα νερά των γεωτρήσεων οι τιμές κυμαίνονται μεταξύ 10,6<sup>o</sup>dH και 17,4<sup>o</sup>dH, με μέση τιμή 15<sup>o</sup>dH.
- Στα νερά των πηγαδιών οι τιμές κυμαίνονται μεταξύ 10,4<sup>o</sup>dH και 23,2<sup>o</sup>dH, με μέση τιμή 16,7<sup>o</sup>dH.
- Στα νερά των πηγών οι τιμές κυμαίνονται μεταξύ 11,2<sup>o</sup>dH και 19,6<sup>o</sup>dH, με μέση τιμή 15,4<sup>o</sup>dH. Βρίσκονται στις ίδια περίπου επίπεδα με τα νερά των γεωτρήσεων και των πηγαδιών.

Από τα παραπάνω δεδομένα προκύπτει ότι στο μεγαλύτερο ποσοστό των δειγμάτων επικρατούν τιμές της ανθρακικής σκληρότητας που είναι μικρότερες της ολικής σκληρότητας, εκτός από ελάχιστες εξαιρέσεις όπου η μόνιμη σκληρότητα είναι σχεδόν

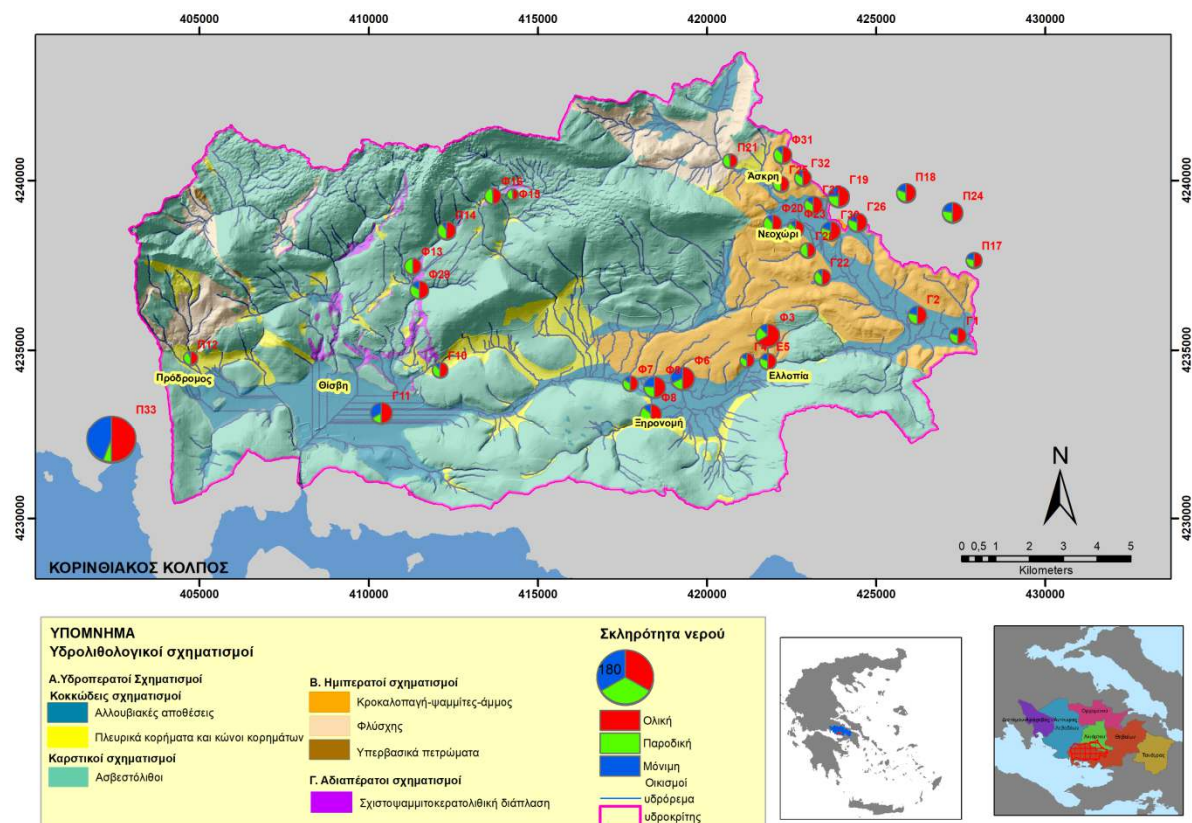
μηδενική ή πολύ μικρή, με αποτέλεσμα η ολική σκληρότητα να είναι ίση με την ανθρακική (πηγάδια Φ13, Φ15 και Φ16).

### 8.7.6.3. Μόνιμη σκληρότητα

Η μόνιμη σκληρότητα των υπόγειων νερών της περιοχής παρουσιάζει τις ακόλουθες τιμές (Πίνακας 8.6):

- Στα νερά των γεωτρήσεων οι τιμές κυμαίνονται μεταξύ 1,2 °dH και 23,3°dH, με μέση τιμή 8,6°dH.
- Στα νερά των πηγαδιών οι τιμές κυμαίνονται μεταξύ 0,1°dH και 23,9°dH, με μέση τιμή 7,4°dH.
- Στα νερά των πηγών οι τιμές κυμαίνονται μεταξύ 1,5°dH και 113,8°dH, με μέση τιμή 6,7°dH.

Από τα παραπάνω δεδομένα προκύπτει ότι οι υψηλές τιμές της μόνιμης σκληρότητας στα νερά σχετίζονται με τις αυξημένες συγκεντρώσεις νιτρικών και θειικών ιόντων καθώς και ιόντων χλωρίου.



**Σχήμα 8.17:** Χωρική κατανομή των τιμών της ολικής, παροδικής και μόνιμης σκληρότητας των δειγμάτων νερού της υδρολογικής λεκάνης Άσκηρης. Το μέγεθος της πίτας αυξομειώνεται βάσει των τιμών της ολικής σκληρότητας.

**Χωρική κατανομή της σκληρότητας:** Από το παραπάνω χάρτη (Σχήμα 8.17) προκύπτει ότι τις υψηλότερες τιμές της παροδικής σκληρότητας έχουν τα πηγάδια και οι πηγές που

βρίσκονται στην περιοχή της Ι.Μ. Μακαριώτισσας, ενώ τις χαμηλότερες τιμές έχουν η γεώτρηση Γ11 και τα πηγάδια Φ6 και Φ9.

## 8.8 Κύρια ιόντα

### 8.8.1 Κατιόντα

#### 8.8.1.1 Ασβέστιο ( $\text{Ca}^{2+}$ )

Η κύρια προέλευση του ασβεστίου (Ca) στα υπόγεια νερά προέρχεται από τη διάλυση ορυκτών πλούσιων σε Ca, όπως τα ανθρακικά ιζηματογενή πετρώματα και τα μάρμαρα. Επίσης προέρχεται από τους ασβεστονατριούχους άστριους, τη γύψο ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), τους πυρόξενους, τους αμφιβόλους, καθώς και από ορυκτά της ομάδας του επίδοτου. Οι ενδεικτικές συγκεντρώσεις του  $\text{Ca}^{2+}$  στα διάφορα πετρώματα σύμφωνα με το Matthes (1982) εμφανίζονται στο Πίνακα 8.8.

Οι κανονικές συγκεντρώσεις του  $\text{Ca}^{2+}$  σε φυσικά μη ρυπασμένα νερά είναι 0,05-5 mmol/l (2,0-200 mg/l) σύμφωνα με το Πίνακα 8.9 (Appelo and Postma 2005).

**Πίνακας 8.8:** Ενδεικτικές Συγκεντρώσεις του  $\text{Ca}^{2+}$  στα διάφορα πετρώματα (Matthes 1982)

Πετρώματα	Συγκεντρώσεις $\text{Ca}^{2+}$ (mg/kg)
Μαγματικά πετρώματα	36.200
Αργίλοι	22.400
Ανθρακικά πετρώματα	22.500
Εβαπορίτες	11.100

**Πίνακας 8.9:** Φυσιολογικό εύρος των συγκεντρώσεων των στοιχείων σε φυσικά μη ρυπασμένα νερά (Appelo and Postma 2005)

Element	Concentrations (mmol/L)	Source
$\text{Na}^+$	0.1–2	Feldspar, Rock-salt, Zeolite, Atmosphere, Cation exchange
$\text{K}^+$	0.01–0.2	Feldspar, Mica
$\text{Mg}^{2+}$	0.05–2	Dolomite, Serpentine, Pyroxene, Amfibole, Olivine, Mica
$\text{Ca}^{2+}$	0.05–5	Carbonate, Gypsum, Feldspar, Pyroxene, Amfibole
$\text{Cl}^-$	0.05–2	Rock-salt, Atmosphere
$\text{HCO}_3^-$	0–5	Carbonates, Organic matter
$\text{SO}_4^{2-}$	0.01–5	Atmosphere, Gypsum, Sulfides
$\text{NO}_3^-$	0.001–0.2	Atmosphere, Organic matter
Si	0.02–1	Silicates
$\text{Fe}^{2+}$	0–0.5	Silicates, Siderite, Hydroxides, Sulfides
$\text{PO}_4$	0–0.02	Organic matter, Phosphates

Δεν υπάρχει ενδεικτικό επίπεδο της συγκέντρωσης  $\text{Ca}^{2+}$  στα πόσιμα νερά σύμφωνα με την αριθμ. Γ1(δ)/ΓΠ/οικ.67322/17 (ΦΕΚ 3282 Β/19-09-2017) ΚΥΑ «Ποιότητα νερού ανθρώπινης κατανάλωσης σε συμμόρφωση προς τις διατάξεις της Οδηγίας 98/83/ΕΚ του Συμβουλίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης, της 3ης Νοεμβρίου 1998, όπως τροποποιήθηκε με την Οδηγία (ΕΕ) 2015/1787 (L260, 7.10.2015), επειδή οι υψηλές συγκεντρώσεις του Ca δεν έχουν αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία.

Το ασβέστιο αποτελεί βασικό στοιχείο του οργανισμού και υπάρχει σε αφθονία στο ανθρώπινο σώμα, στηρίζει το σκελετό και συμμετέχει σε διάφορες λειτουργίες του. Η

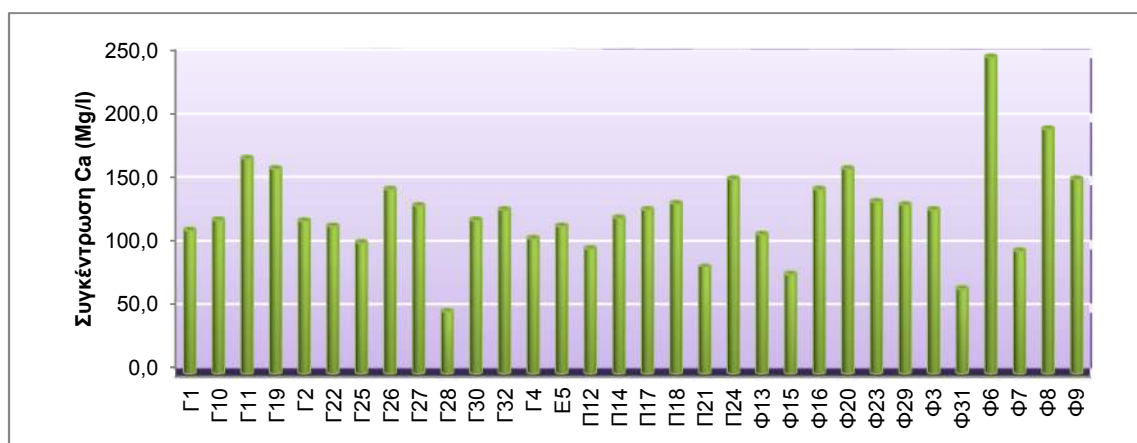
ποσότητα ασβεστίου στον οργανισμό (1,5% του σωματικού βάρους) κατανέμεται κατά 99% στα οστά και δόντια και το υπόλοιπο 1% στα κύτταρα, στο αίμα και σε άλλους ιστούς. Ο σκελετός είναι ουσιαστικά η αποθήκη ασβεστίου, επομένως σε περίπτωση μη ικανοποιητικής πρόσληψης, το ασβέστιο εξαντλείται από τα οστά. Η Συνιστώμενη Ημερήσια Δόση είναι 800mg (ΣΗΔ: Recommended Daily Allowance-RDA). Ωστόσο το Ανώτατο Ασφαλές όριο ανέρχεται σε 1200-1500mg ανάλογα με τις ιδιαίτερες ατομικές ανάγκες και την ηλικία του ατόμου (<https://laneshealth.gr>).

Οι τιμές συγκέντρωσης του  $Ca^{2+}$  στα υπόγεια νερά της περιοχής μελέτης, ανάλογα με το γεωλογικό τους υπόβαθρο, κυμαίνονται (Πίνακας 8.6):

- Στις αλλουβιακές αποθέσεις από 48 έως 248mg/l, με μέση τιμή 137,9mg/l.
- Στα κροκαλοπαγή πετρώματα από 102 έως 152mg/l, με μέση τιμή 127,3mg/l.
- Στους ανθρακικούς σχηματισμούς από 108,8 έως 121,6mg/l, με μέση τιμή 115,2mg/l.
- Στα πλευρικά κορήματα και κώνους κορημάτων από 76,8 έως 144mg/l, με μέση τιμή 109,6mg/l.
- Στο φλύσχη η τιμή συγκέντρωσης του  $Ca^{2+}$  είναι 83,2mg/l.
- Στην σχιστοψαμμιτοκερατολιθική διάπλαση η τιμή του  $Ca^{2+}$  είναι 65,6mg/l.

Επίσης, ανάλογα με το είδος του υδροσημείου (γεώτρηση, πηγάδι, πηγή και επιφανειακό νερό) οι τιμές του ασβεστίου κυμαίνονται ως εξής (Πίνακας 8.6):

- Στα νερά των γεωτρήσεων οι τιμές συγκέντρωσης κυμαίνονται από 48 έως 168mg/l, με μέση τιμή 121,1mg/l.
- Στα νερά των πηγαδιών οι τιμές κυμαίνονται μεταξύ από 65,6 έως 248mg/l, με μέση τιμή 136,4mg/l.
- Στα νερά των πηγών οι τιμές κυμαίνονται μεταξύ από 83,2 έως 152mg/l, με μέση τιμή 119,2mg/l.
- Στο επιφανειακό νερό του ποταμού Άσκη η τιμή του  $Ca^{2+}$  είναι 115,2mg/l.
- Στην παράκτια υφάλμυρη πηγή τιμή του  $Ca^{2+}$  είναι 280mg/l.

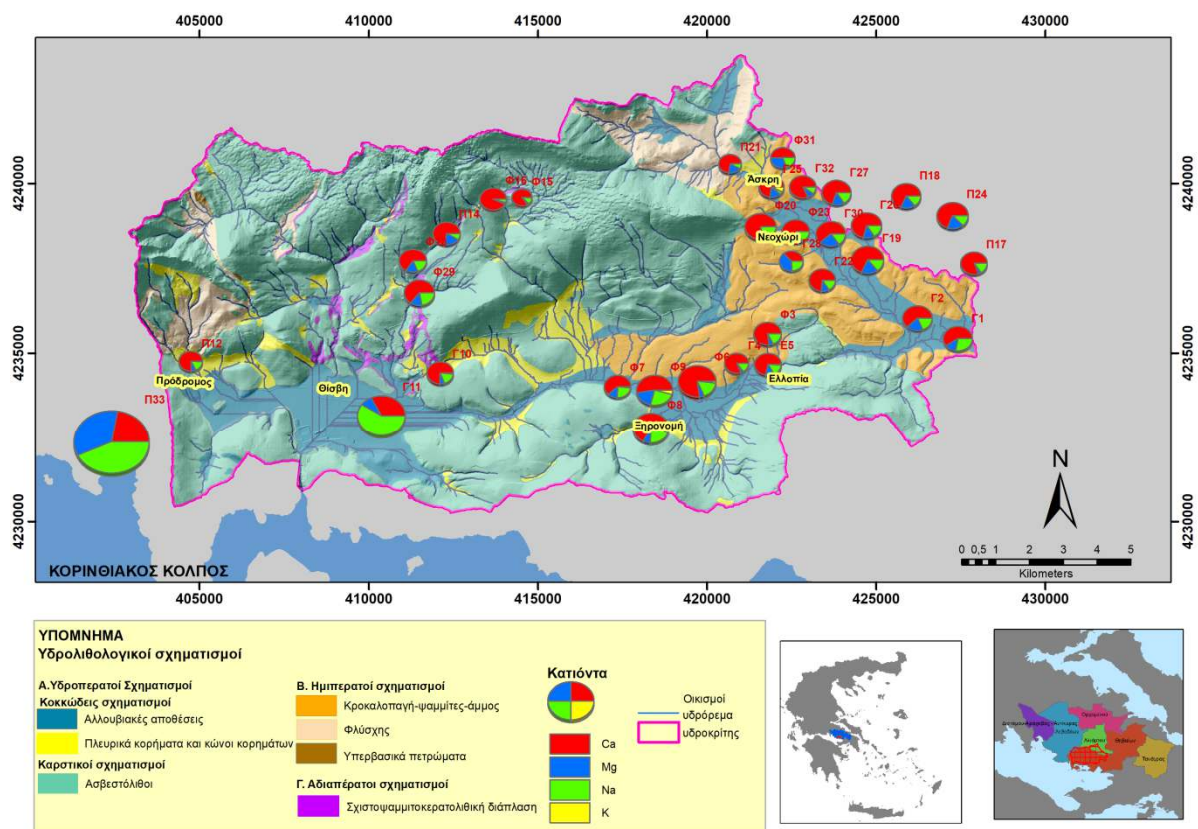


**Σχήμα 8.18:** Διάγραμμα διακύμανσης της συγκέντρωσης ασβεστίου  $Ca^{2+}$  (mg/l) των δειγμάτων νερού της υδρολογικής λεκάνης Άσκη.

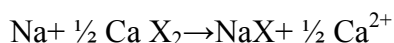
Σύμφωνα με τα δείγματα νερού στην περιοχή μελέτης (Σχήμα 8.18 και Πίνακας 8.6) οι τιμές του  $Ca^{2+}$  κυμαίνονται από 48 έως 248 mg/l, με μέση τιμή 126,29 mg/l. Από τα δείγματα αυτά μόνο έξι δείγματα έχουν τιμή μικρότερη των 100 mg/l.

Οι υψηλότερες τιμές παρατηρούνται στα δείγματα νερού των αλλουβιακών αποθέσεων και των κροκαλοπαγών, ενώ οι χαμηλότερες τιμές παρατηρούνται κυρίως σε μεγαλύτερα υψόμετρα στα οποία δεν υφίστανται ανθρωπογενείς επιδράσεις. Ωστόσο, όσον αφορά τα νερά των γεωτρήσεων εντός των αλλουβιακών αποθέσεων τα οποία εμφανίζουν υψηλές τιμές σε  $\text{Ca}^{2+}$ , ενδεχομένως τα νερά αυτά να τροφοδοτούνται μέσα από τα ασβεστολιθικά πετρώματα που υπόκεινται των αλλουβιακών αποθέσεων, εξαιτίας του μεγάλου βάθους των γεωτρήσεων (180-250m).

Η προέλευση του  $\text{Ca}^{2+}$  είναι κυρίως γεωγενής και σχετίζεται με τη διάλυση ορυκτών πλούσιων σε ασβέστιο κατά τη διέλευση του νερού από αυτά. Δεν αποκλείεται ένα ποσοστό αυτού να προέρχεται άμεσα από τη χρήση λιπασμάτων. Είναι χαρακτηριστικό ότι οι γεωτρήσεις με τις υψηλές συγκεντρώσεις σε ασβέστιο έχουν επίσης υψηλές συγκεντρώσεις σε ιόντα νατρίου, χλωρίου και νιτρικών.



**Χωρική κατανομή των ιόντων ασβεστίου:** Οι μεγαλύτερες τιμές εμφανίζονται στη γεώτρηση Γ11 (168 mg/l) στο οροπέδιο Λικέρι, λόγω εισχώρησης της θάλασσας στον καρστικό υδροφόρο ορίζοντα της περιοχής. Με τη διείσδυση του θαλασσινού νερού (όπου επικρατεί το χλωριούχο νάτριο) στο γλυκό νερό των παράκτιων υδροφόρων, όπου κυριαρχούν τα ιόντα του ασβεστίου και τα όξινα ανθρακικά (ασβεστούχο-οξινοανθρακικό), λαμβάνει χώρα αντίστροφη κατιοανταλλαγή, η οποία οδηγεί σε δέσμευση του νατρίου και απελευθέρωση του ασβεστίου.



Όπου X ο «ανταλλάκτης». Με αποτέλεσμα το νερό να μετατρέπεται από τον τύπο NaCl σε CaCl<sub>2</sub> (Καλλέργης 2000).

Επίσης, υψηλές συγκεντρώσεις παρουσιάζουν και τα πηγάδια Φ6 και Φ9 στην κοιλάδα της Ξηρονομής, όπου η έντονη παρουσία του ασβεστίου συνδυάζεται αφενός με την παρουσία του ασβεστιτικού υλικού εντός των χαλαρών ιζημάτων και αφετέρου με ανθρωπογενείς επιβαρύνσεις.

### 8.8.1.2 Μαγνήσιο (Mg<sup>2+</sup>)

Κύριες πηγές προέλευσης του μαγνησίου στα υπόγεια νερά είναι τα μαγνησιούχα ορυκτά όπως ο δολομίτης (CaCO<sub>3</sub>·MgCO<sub>3</sub>), μαγνησίτης (MgCO<sub>3</sub>), ολιβίνης (Mg,Fe)<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>, καρναλίτης (KCl·MgCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O), πολυαλίτης [K<sub>2</sub>Ca<sub>2</sub>Mg(SO<sub>4</sub>)<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O], αμφίβολοι, πυρόξενοι, σερπεντίνες, μαρμαρυγίες και τα αργιλικά ορυκτά στα οποία βρίσκεται προσροφημένο στο πλέγμα τους. Τα πετρώματα με τις υψηλότερες συγκεντρώσεις σε μαγνήσιο είναι τα ανθρακικά πετρώματα όταν αυτά περιέχουν τα ορυκτά μαγνησίτη και δολομίτη, οι δολομιτικοί ψαμμίτες, καθώς και οι δολομιτικές και μαγνησιούχες μάργες (Καλλέργης 2000, Appelo & Postma 1996).

Στον Πίνακα 8.10 που ακολουθεί παρουσιάζονται οι ενδεικτικές συγκεντρώσεις του Mg<sup>2+</sup> στα διάφορα πετρώματα σύμφωνα με τον Matthess (1982).

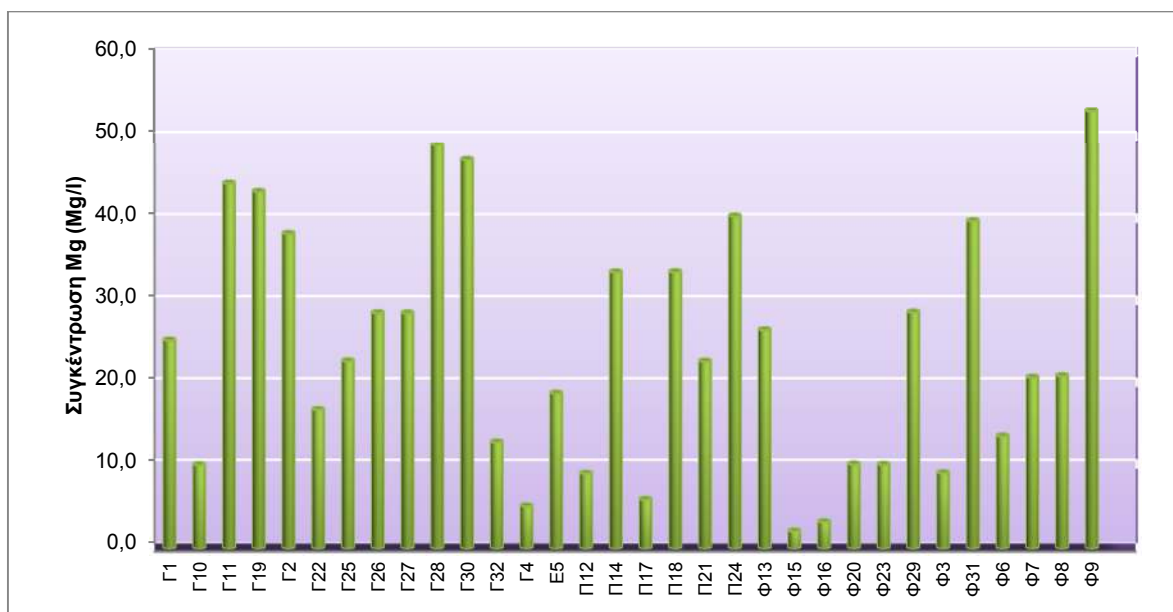
**Πίνακας 8.10:** Ενδεικτικές Συγκεντρώσεις του Mg<sup>2+</sup> στα διάφορα πετρώματα

Πετρώματα	Συγκεντρώσεις Mg <sup>2+</sup> (mg/kg)
Ανθρακικά πετρώματα	45.300
Μαγματικά πετρώματα	17.600
Άργιλοι	16.400
Ψαμμίτες	8.100
Εβαπορίτες	3.070

Όπως το Ca<sup>2+</sup> έτσι και το Mg<sup>2+</sup> είναι απαραίτητο για τη λειτουργία του ανθρώπινου οργανισμού, καθώς διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στη ρύθμιση της ενέργειας του σώματος, στη λειτουργία του νευρικού και μυϊκού συστήματος καθώς και στην υγεία των οστών. Το μαγνήσιο ενεργοποιεί περισσότερες από 300 βιοχημικές αντιδράσεις, όπως η σύνθεση ορμονών, πρωτεϊνών, νουκλεϊκών οξέων, ο μεταβολισμός των υδατανθράκων και των λιπών, η μυϊκή σύσπαση, η δραστηριότητα των νευρώνων, ο αγγειοκινητικός τόνος, η σύνδεση του ασβεστίου στους διαύλους του. Σε σχέση με το Ca<sup>2+</sup> δρα ανταγωνιστικά, καθώς αντιδρά με στοιχεία όπως το κάλιο, η βιταμίνη Β6 και το βόριο (<https://winmedica.gr>).

Το εύρος διακύμανσης των τιμών συγκέντρωσης Mg<sup>2+</sup> στα υπόγεια νερά και το επιφανειακό νερό του ποταμού Άσκη της περιοχής μελέτης είναι μεταξύ 2,1 και 53,11 mg/l, με μέση τιμή 24,17 mg/l. Τιμές Mg<sup>2+</sup> μεγαλύτερες από 40mg/l παρουσιάζουν τα νερά των γεωτρήσεων Γ28, Γ30, Γ11 και Γ19, του πηγαδιού Φ9 και της πηγής Π24. Στο Σχήμα 8.20 εμφανίζεται το εύρος διακύμανσης των τιμών μαγνησίου στα νερά της περιοχής.





**Σχήμα 8.20:** Διάγραμμα διακύμανσης της συγκέντρωσης  $Mg^{2+}$  (mg/l) των δειγμάτων νερού της υδρολογικής λεκάνης Άσκηρς.

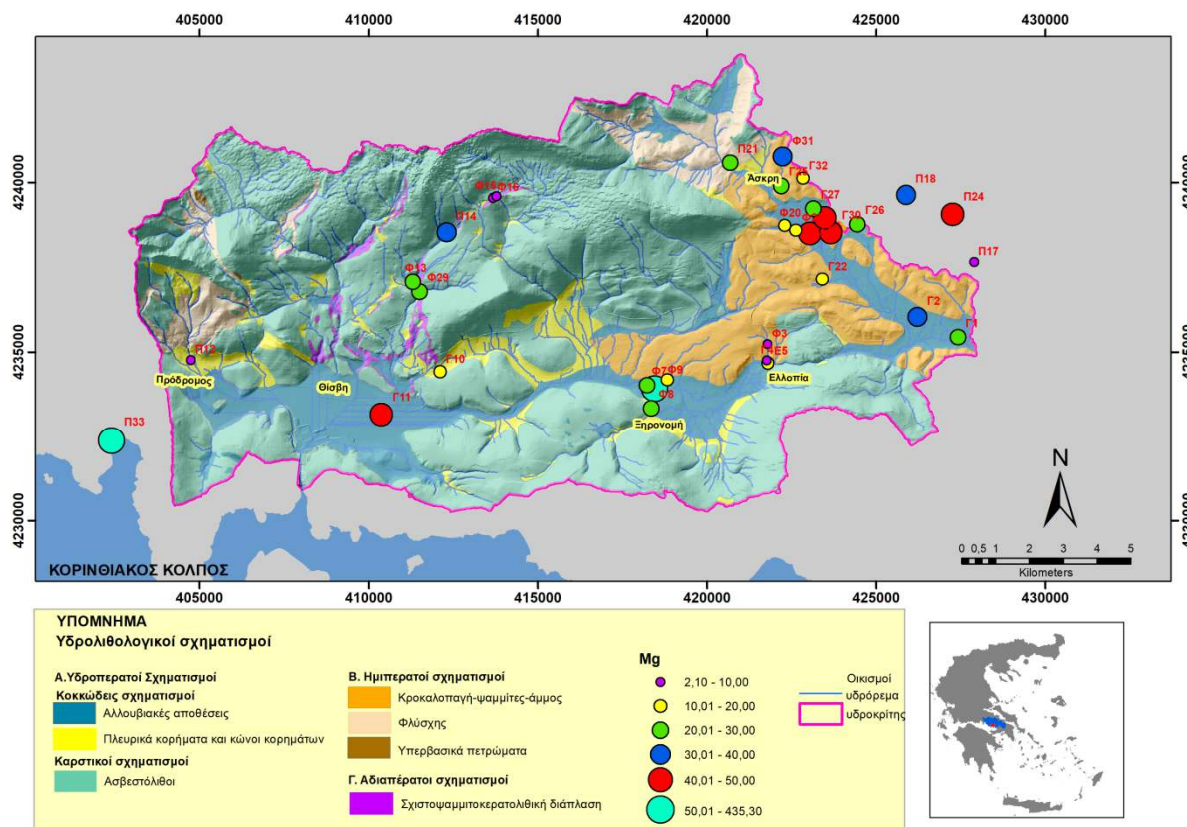
Γενικά η παρουσία ιόντων  $Mg^{2+}$  στα νερά της περιοχής είναι κυρίως γεωγενούς προελεύσεως και οφείλεται στη διάλυση των ορυκτών με υψηλή περιεκτικότητα σε  $Mg^{2+}$ , όπως του δολομίτη, δολομιτικού ασβεστόλιθου, καθώς και των οφιολιθικών συμπλεγμάτων που είναι επωθημένοι πάνω στους τριαδικο-ιουρασικούς ασβεστόλιθους της περιοχής.

Οι τιμές του  $Mg^{2+}$  στα υπόγεια νερά και το επιφανειακό νερό του ποταμού Άσκηρς στην περιοχή μελέτης, ανάλογα με το γεωλογικό τους υπόβαθρο, κυμαίνονται (Πίνακας 8.6):

- Στις αλλουβιακές αποθέσεις από 5 έως 53,1 mg/l με μέση τιμή 28,6 mg/l.
- Στα κροκαλοπαγή πετρώματα από 5,9 έως 40,4 mg/l, με μέση τιμή 21,2 mg/l.
- Στους ανθρακικούς σχηματισμούς από 26,6 έως 33,5 mg/l, με μέση τιμή 30 mg/l.
- Στα πλευρικά κορήματα και κώνους κορημάτων από 2,1 έως 10 mg/l, με μέση τιμή 6 mg/l.
- Στο φλύσχη η τιμή του  $Mg^{2+}$  είναι 22,6 mg/l.
- Στην σχιστοψαμμιτοκερατολιθική διάπλαση η τιμή του  $Mg^{2+}$  είναι 39,8 mg/l.

Επίσης, ανάλογα με το είδος του υδροσημείου (γεώτρηση, πηγάδι, πηγή και επιφανειακό νερό) οι τιμές του μαγνησίου κυμαίνονται ως εξής (Πίνακας 8.6):

- Στα νερά των γεωτρήσεων οι τιμές κυμαίνονται από 5,1 έως 48,9 mg/l, με μέση τιμή 28,6 mg/l.
- Στα νερά των πηγαδιών οι τιμές κυμαίνονται μεταξύ από 2,1 έως 53,1 mg/l, με μέση τιμή 19,8 mg/l.
- Στα νερά των πηγών οι τιμές κυμαίνονται μεταξύ από 5,9 έως 40,4 mg/l, με μέση τιμή 24,1 mg/l.
- Στο επιφανειακό νερό του ποταμού Άσκηρς η τιμή του  $Mg^{2+}$  είναι 18,8 mg/l.
- Στην παράκτια υφάλμυρη πηγή η τιμή του  $Mg^{2+}$  είναι 435,3 mg/l.



**Σχήμα 8.21:** Χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων  $Mg^{2+}$  των δειγμάτων νερού της περιοχής ενδιαφέροντος.

**Χωρική κατανομή των ιόντων μαγνησίου:** Από το χάρτη της χωρικής κατανομής του μαγνησίου (Σχήμα 8.21) διαπιστώνουμε ότι οι υψηλότερες τιμές  $Mg^{2+}$  εντοπίζονται στα υπόγεια νερά των περιοχών όπου το γεωλογικό τους υπόβαθρο αποτελείται από σχηματισμούς της σχιστοψαμμικοκερατολιθικής διάπλασης και οφιόλιθους εντός των οποίων υπάρχουν ορυκτά πλούσια σε  $Mg^{2+}$ . Επίσης εντοπίζονται στις περιοχές όπου έχει εισχωρήσει η θάλασσα στον υδροφόρο ορίζοντα και τα νερά είναι υφάλμυρα, όπως αυτό συμβαίνει στο δυτικό τμήμα της λεκάνης. Υψηλές τιμές συγκέντρωσης παρατηρούνται επίσης και στις γεωτρήσεις με μεγάλο βάθος που βρίσκονται στο ανατολικό τμήμα της λεκάνης. Προφανώς, τα πλειοπλειστοκαινικά ιζήματα στην εν λόγω περιοχή είναι πλούσια σε μαγνησιούχα ορυκτά όπως αυτό διαπιστώνεται και στο νερό της πηγής Π24 (Σχήμα 8.21). Αντίθετα τις χαμηλότερες τιμές του  $Mg^{2+}$  τις έχουν τα νερά που βρίσκονται κυρίως στα κροκαλοπαγή πετρώματα και πλειστοκαινικά πλευρικά κορήματα.

### 8.8.1.3 Νάτριο ( $Na^+$ )

Το νάτριο είναι το 6<sup>ο</sup> πιο άφθονο χημικό στοιχείο στη γη, το οποίο απαντάται σε πολλά ορυκτά όπως οι άστριοι, κυρίως ο αλβίτης ( $NaAlSi_3O_8$ ), το ολιγόκλαστο με περιεκτικότητα σε αλβίτη 70-90%, ο μιραβιλίτης ( $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$ ), οι νατριούχοι αμφίβολοι (γλαυκοφανή), οι ζεόλιθοι και ο αλίτης ( $NaCl$ ). Στα υπόγεια νερά το  $Na^+$  προέρχεται κυρίως από την αποσάθρωση των αστρίων (αλβίτης) ή οποιουδήποτε μέλους της σειράς των πλαγιόκλαστων ανάμεσα στον αλβίτη και στον ανορθίτη (Καλλέργης 2000).

Επίσης, σημαντικές πηγές προέλευσης των ιόντων  $\text{Na}^+$  στα υπόγεια νερά είναι το θαλασσινό νερό (με συγκέντρωση έως 10.000mg/l) το οποίο διεισδύει στην ενδοχώρα και αναμιγνύεται με το γλυκό νερό. Επίσης, προέρχεται από τα βιομηχανικά απόβλητα που περιέχουν υψηλές συγκεντρώσεις ιόντων  $\text{Na}^+$ .

Η παρουσία του  $\text{Na}^+$  στα υπόγεια νερά σε συνδυασμό και με άλλα ιόντα αποτελεί έναν σημαντικό δείκτη επιφανειακής επιβάρυνσης. Οι υψηλές συγκεντρώσεις ιόντων  $\text{Na}^+$  μπορεί να αποδοθούν είτε σε γεωγενείς παράγοντες, όπως είναι η παρουσία εντός των σχηματισμών τα εβαποριτικής προελεύσεως υπολειμματικά άλατα, είτε σε ανθρωπογενείς επιδράσεις λόγω χρήσης αλάτων όπως για παράδειγμα για αποπαγοποιητικούς σκοπούς κατά την χειμερινή περίοδο ή από εκροές σημειακών πηγών επιβαρυσμένων βιομηχανικών αποβλήτων.

Στον Πίνακα 8.11 που ακολουθεί παρουσιάζονται οι ενδεικτικές συγκεντρώσεις του  $\text{Na}^+$  στα διάφορα πετρώματα σύμφωνα με τον Matthess (1982).

**Πίνακας 8.11:** Ενδεικτικές συγκεντρώσεις του  $\text{Na}^+$  στα διάφορα πετρώματα.

Πετρώματα	Συγκεντρώσεις $\text{Na}^+$ (mg/kg)
Ανθρακικά πετρώματα	393
Μαγματικά πετρώματα	28.100
Άργιλοι	4.850
Ψαμμίτες	3.870
Εβαπορίτες	310.000

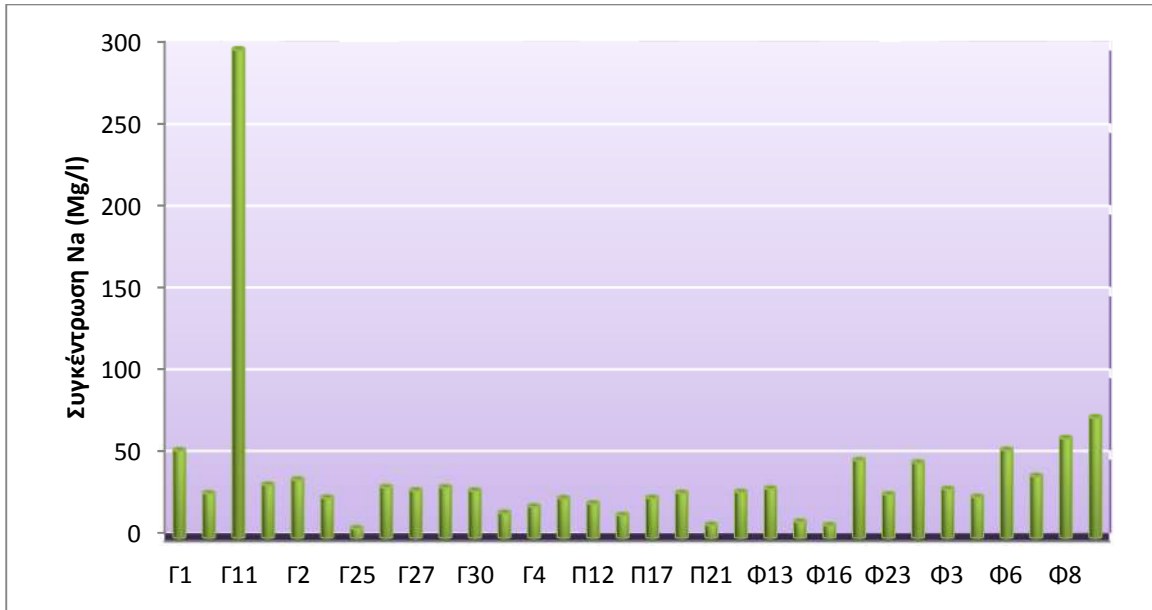
Στα φυσικά νερά χωρίς ρυπαντικό φορτίο οι τιμές των φυσιολογικών συγκεντρώσεων  $\text{Na}^+$  κυμαίνονται μεταξύ 0,1-2 mmol/l (2,3-46 mg/l) (Appelo and Postma 2005). Η παραμετρική τιμή των ιόντων  $\text{Na}^+$  στο πόσιμο νερό είναι 200 mg/l, όπως αυτή καθορίζεται με την Οδηγία 98/83/Ε.Ε. και την υπ' αριθ. Γ1(δ)/ΓΠ/οικ.67322/17 ΚΥΑ (ΦΕΚ 3282 Β/19-09-2017), ([www.ypeka.gr](http://www.ypeka.gr)).

Το νάτριο βοηθά στην ομαλή λειτουργία του ανθρώπινου οργανισμού, επειδή μαζί με το κάλιο συμμετέχει στη διατήρηση της ωσμωτικής ισορροπίας του κυττάρου (συμμετέχοντας έτσι στη διατήρηση της οξεο-βασικής ισορροπίας και τη μεταφορά θρεπτικών στοιχείων στα κύτταρα), καθορίζουν το ισοζύγιο νερού / υγρών στο σώμα, καθιστούν δυνατές τις μυϊκές συσπάσεις και τις νευρικές αντιδράσεις, ενώ τέλος επηρεάζουν την ισορροπία των ιόντων του αίματος (<https://www.mednutrition.gr>).

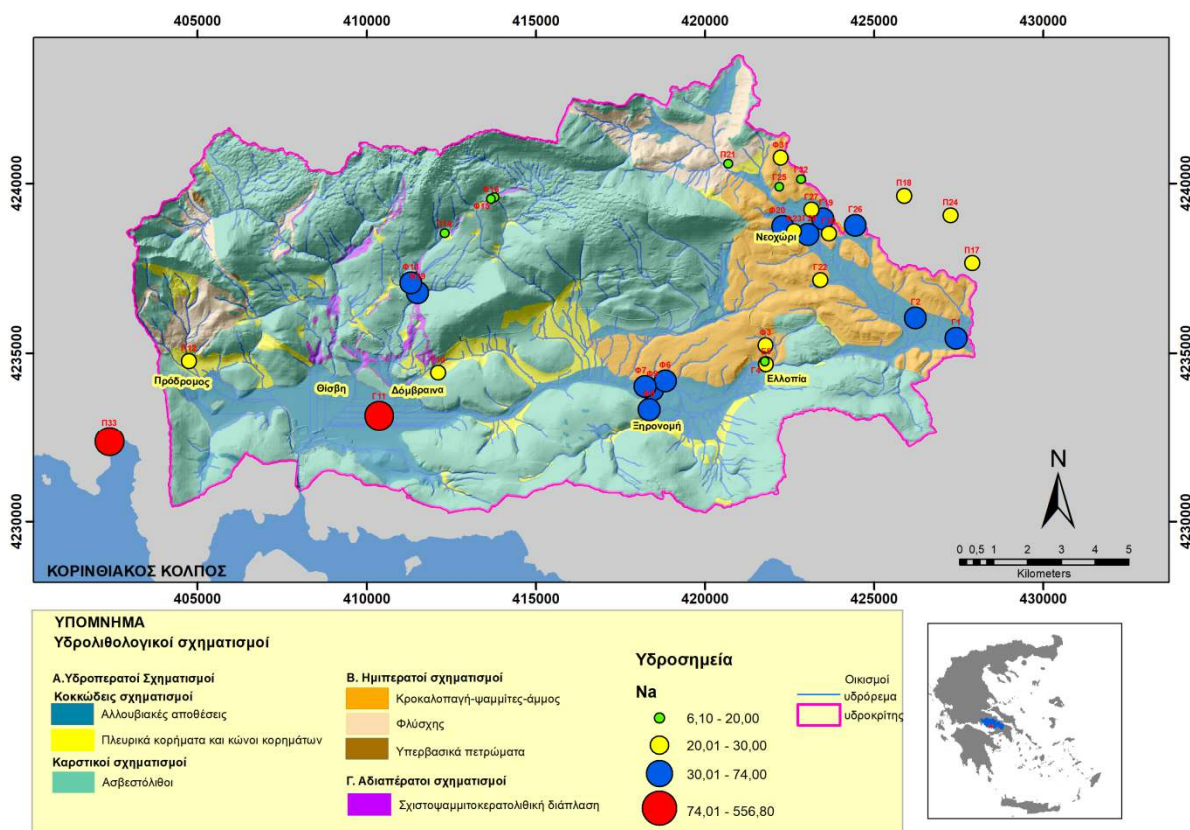
Η συνιστώμενη ημερήσια πρόσληψη Νατρίου για έναν ενήλικα, σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας, είναι λιγότερο από 5g αλατιού ημερησίως (ισοδυναμεί με ένα κουταλάκι του γλυκού).

Οι τιμές του  $\text{Na}^+$  στα υπόγεια νερά και το επιφανειακό νερό του ποταμού Άσκηρ στην περιοχή μελέτης, ανάλογα με το γεωλογικό τους υπόβαθρο, κυμαίνονται Πίνακας 8.6):

- Στις αλλουβιακές αποθέσεις από 19,3 έως 298,2mg/l, με μέση τιμή 55,2 mg/l.
- Στα κροκαλοπαγή πετρώματα από 6,1 έως 45,9 mg/l, με μέση τιμή 25,25 mg/l.
- Στους ανθρακικούς σχηματισμούς από 14,1 έως 30,1mg/l, με μέση τιμή 22,1mg/l.
- Στα πλευρικά κορήματα και κώνους κορημάτων από 7,9 έως 27,3mg/l, με μέση τιμή 16,6mg/l.
- Στο φλύσχη η τιμή του  $\text{Na}^+$  είναι 8,2 mg/l.
- Στην σχιστοψαμμιτοκερατολιθική διάπλαση η τιμή του  $\text{Na}^+$  είναι 25,1 mg/l.



**Σχήμα 8.22:** Διάγραμμα Διακύμανσης της συγκέντρωσης  $\text{Na}^+$  (mg/l) των δειγμάτων νερού της υδρολογικής λεκάνης Άσκηρς.



**Σχήμα 8.23:** Χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων  $\text{Na}$  των δειγμάτων νερού της ευρύτερης περιοχής της υδρολογικής λεκάνης Άσκηρς.

Επίσης, ανάλογα με το είδος του υδροσημείου (γεώτρηση, πηγάδι, πηγή και επιφανειακό νερό) οι τιμές του νατρίου κυμαίνονται ως εξής (Πίνακας 8.6):

- Στα νερά των γεωτρήσεων οι τιμές κυμαίνονται από 6,1 έως 298,2 mg/l, με μέση τιμή 48,6mg/l.
- Στα νερά των πηγαδιών οι τιμές κυμαίνονται μεταξύ από 7,9 έως 73,9 mg/l, με μέση τιμή 37,5mg/l.
- Στα νερά των πηγών οι τιμές κυμαίνονται μεταξύ από 8,2 έως 28,1mg/l, με μέση τιμή 20,6mg/l.
- Στο επιφανειακό νερό του ποταμού Άσκη η τιμή του Na<sup>+</sup> είναι 24,2 mg/l.
- Στην παράκτια υφάλμυρη πηγή η τιμή του Na<sup>+</sup> είναι 556,8 mg/l.

**Χωρική κατανομή των ιόντων νατρίου:** Από τα παραπάνω δεδομένα γενικά προκύπτει ότι τα υπόγεια νερά της λεκάνης Άσκη δεν χαρακτηρίζονται από υψηλές τιμές συγκέντρωσης ιόντων νατρίου, όπως αυτό παρουσιάζεται και στον χάρτη χωρικής κατανομής των ιόντων νατρίου (Σχήμα 8.23). Επικρατούν κυρίως συγκεντρώσεις χαμηλότερες των 75 mg/l. Οι υπέρμετρα υψηλές συγκεντρώσεις (298,2mg/l) διαπιστώνονται στο δυτικό τμήμα της λεκάνης που αποδίδεται σε θαλάσσια διείσδυση, όπως επίσης και στην παράκτια περιοχή του Σαράντη όπου η εκεί υφάλμυρη πηγή εμφανίζει την τιμή των 556,8 mg/l. Επίσης, σχετικά υψηλές τιμές εμφανίζουν ορισμένα πηγάδια που βρίσκονται εντός των οικισμών και οι οποίες αποδίδονται σε ανθρωπογενείς παράγοντες.

#### 8.8.1.4 Κάλιο (K<sup>+</sup>)

Το κάλιο απαντάται σε πολλά ορυκτά όπως ο μοσχοβίτης (KAl<sub>2</sub>(AlSi<sub>3</sub>)O<sub>10</sub>(OH)<sub>2</sub>), ο καρναλίτης (KCl·MgCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O), ο μικροκλινης (KAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>), το ορθόκλαστο (KAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>), ο πολυαλίτης [K<sub>2</sub>Ca<sub>2</sub>Mg(SO<sub>4</sub>)<sub>4</sub>·2(H<sub>2</sub>O)] και ο συλβίνης (KCl) (Βουδούρης 2009, Χαριζόπουλος 2014).

Στον Πίνακα 8.12 που ακολουθεί παρουσιάζονται οι ενδεικτικές συγκεντρώσεις του K<sup>+</sup> στα διάφορα πετρώματα σύμφωνα με το Matthess (1982).

**Πίνακας 8.12:** Ενδεικτικές Συγκεντρώσεις του K<sup>+</sup> στα διάφορα πετρώματα.

Πετρώματα	Συγκεντρώσεις K <sup>+</sup> (mg/kg)
Ανθρακικά πετρώματα	2.390
Μαγματικά πετρώματα	25.700
Άργιλοι	24.900
Ψαμμίτες	13.200
Εβαπορίτες	4.280

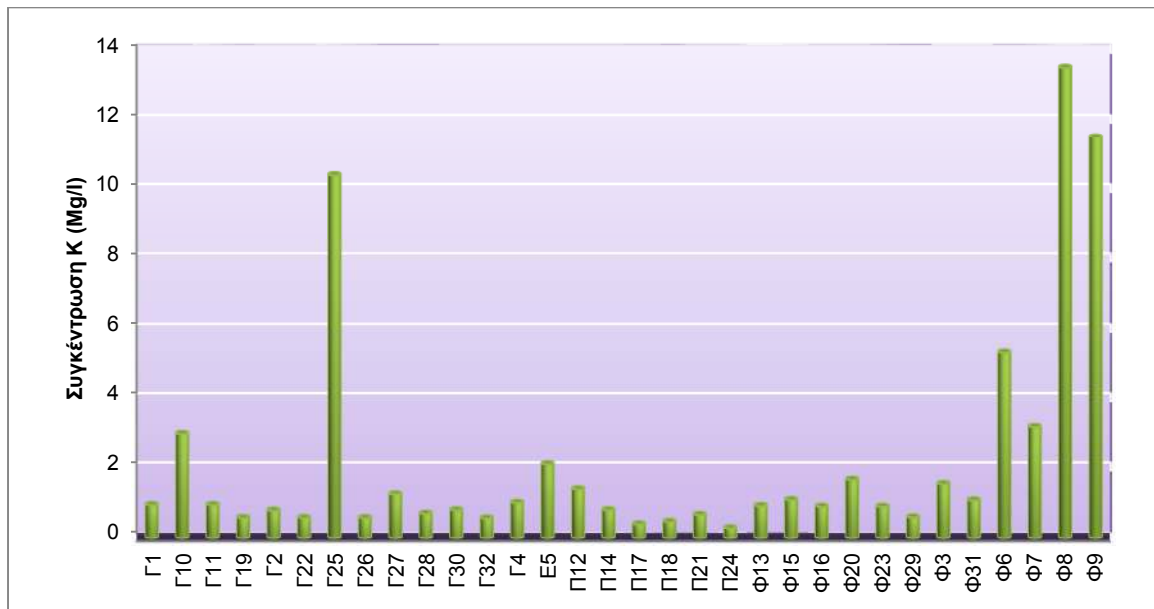
Οι φυσιολογικές συγκεντρώσεις του καλίου σε φυσικά νερά χωρίς ρυπαντικό φορτίο είναι 0,01-0,2 mmol/l (0,4-7,8mg/l) (Appelo and Postma 2005).

Σύμφωνα με την οδηγία της 98/83/EK της Ε.Ε και την Αριθ. Γ1(δ)/ΓΠ/οικ.67322/17 (ΦΕΚ 3282/Β) ΚΥΑ «Ποιότητα νερού ανθρώπινης κατανάλωσης σε συμμόρφωση προς τις διατάξεις της Οδηγίας 98/83/EK του Συμβουλίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης, της 3ης Νοεμβρίου 1998 όπως τροποποιήθηκε με την Οδηγία (ΕΕ) 2015/1787 (L260, 7.10.2015)» δεν υπάρχει παραμετρική τιμή ή ενδεικτικό επίπεδο της συγκέντρωσης των ιόντων K<sup>+</sup> στο πόσιμο νερό. Αυτό δικαιολογείται σύμφωνα με νεώτερες μελέτες από το γεγονός ότι οι συγκεντρώσεις καλίου στο πόσιμο νερό είναι πολύ χαμηλές και σπάνια παρατηρείται το φαινόμενο να υπάρχουν υψηλές συγκεντρώσεις σε αυτό.

Το κάλιο αποτελεί ένα από τα κύρια στοιχεία που συμβάλλει στη διατήρηση της κανονικής λειτουργίας του εγκεφάλου, της καρδιάς, των νεφρών, του μυϊκού ιστού και άλλων σημαντικών οργάνων του ανθρώπινου σώματος. Σύμφωνα με συστάσεις του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (ΠΟΥ) για να διατηρηθούν στα φυσιολογικά επίπεδα οι τιμές καλίου του οργανισμού θα πρέπει η συνιστώμενη ημερήσια πρόσληψη για τους ενήλικες να είναι τουλάχιστον 3.510 χιλιοστόγραμμα (mg) καλίου (<https://www.healthyliving.gr>).

Οι τιμές του  $K^+$  στα υπόγεια νερά και το επιφανειακό νερό του ποταμού Άσκη στην περιοχή μελέτης, ανάλογα με το γεωλογικό τους υπόβαθρο, κυμαίνονται (Πίνακας 8.6):

- Στις αλλουβιακές αποθέσεις από 0,58 έως 13,5mg/l με μέση τιμή 2,86mg/l.
- Στα κροκαλοπαγή πετρώματα από 0,29 έως 10,4 mg/l, με μέση τιμή 1,86mg/l.
- Στους ανθρακικούς σχηματισμούς από 0,8 έως 0,92 mg/l, με μέση τιμή 0,86mg/l.
- Στα πλευρικά κορήματα και κώνους κορημάτων από 0,9 έως 3mg/l, με μέση τιμή 1,6mg/l.
- Στο φλύσχη η τιμή του K είναι 0,67 mg/l.
- Στην σχιστοψαμμιτοκερατολιθική διάπλαση η τιμή του K είναι 1,08 mg/l.

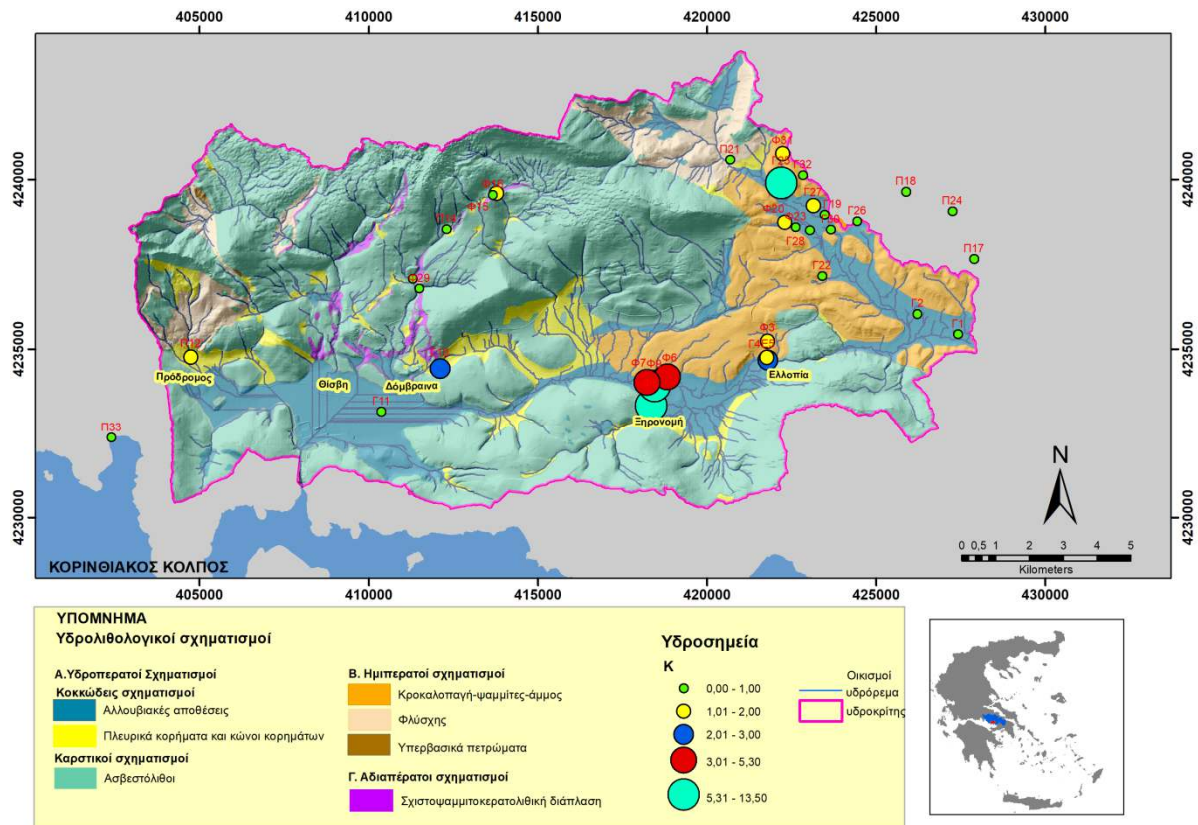


**Σχήμα 8.24:** Διάγραμμα διακύμανσης της συγκέντρωσης  $K^+$  (mg/l) των δειγμάτων νερού της υδρολογικής λεκάνης Άσκη.

Επίσης, ανάλογα με το είδος του υδροσημείου (γεώτρηση, πηγάδι, πηγή και επιφανειακό νερό) οι τιμές του καλίου κυμαίνονται ως εξής (Πίνακας 8.6):

- Στα νερά των γεωτρήσεων οι τιμές κυμαίνονται από 0,6 έως 10,4mg/l, με μέση τιμή 1,7mg/l.
- Στα νερά των πηγαδιών οι τιμές κυμαίνονται μεταξύ από 0,6 έως 13,5mg/l, με μέση τιμή 3,5mg/l.
- Στα νερά των πηγών οι τιμές κυμαίνονται μεταξύ από 0,3 έως 1,4mg/l, με μέση τιμή 0,7mg/l.
- Στο επιφανειακό νερό του ποταμού Άσκη η τιμή του K είναι 2,1mg/l.
- Στην παράκτια υφάλμυρη πηγή η τιμή του K είναι 3,4mg/l.

Στο Σχήμα 8.24 παρουσιάζεται η διακύμανση των τιμών καλίου των υπόγειων νερών καθώς και του επιφανειακού νερού της λεκάνης.



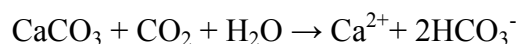
**Σχήμα 8.25:** Χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων  $K^+$  των δειγμάτων νερού της υδρολογικής λεκάνης Άσκλης

**Χωρική κατανομή των ιόντων καλίου:** Από τα ανωτέρω δεδομένα προκύπτει ότι στο σύνολο των δειγμάτων οι τιμές του Καλίου κυμαίνονται μεταξύ 0,2 και 13,5 mg/l, ωστόσο στην πλειοψηφία των δειγμάτων (ποσοστό 88%) οι τιμές του Καλίου κυμαίνονται κάτω των 3,2 mg/l. Οι υψηλότερες τιμές του Καλίου εμφανίζονται στη Γεώτρηση Γ25 (10 mg/l) ενδεχομένως λόγω προσθήκης στο νερό λιπάσματος με υψηλή περιεκτικότητα σε Κάλιο, καθώς και στα νερά των πηγαδιών Φ8 και Φ9, στην περιοχή της κοινότητας Ξηρονομής, με τιμές 13,5 και 11,5mg/l αντίστοιχα, λόγω της επιβάρυνσής τους με υψηλό ρυπαντικό φορτίο (σηπτικοί βόθροι, ζωικά απόβλητα κλπ.).

## 8.8.2 Ανιόντα

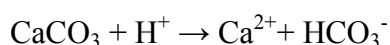
### 8.8.2.1 Όξινα Ανθρακικά ( $HCO_3^-$ )

Το όξινο ανθρακικό ιόν είναι η κυρίαρχη μορφή διαλυμένου ανόργανου άνθρακα στο θαλασσίνο νερό και στα περισσότερα γλυκά νερά. Δημιουργείται από τη χημική αντίδραση  $CaCO_3$  με το  $CO_2$  που προέρχεται από την αναπνοή ή κατά την αποσύνθεση της οργανικής ύλης, σύμφωνα με την αντίδραση:

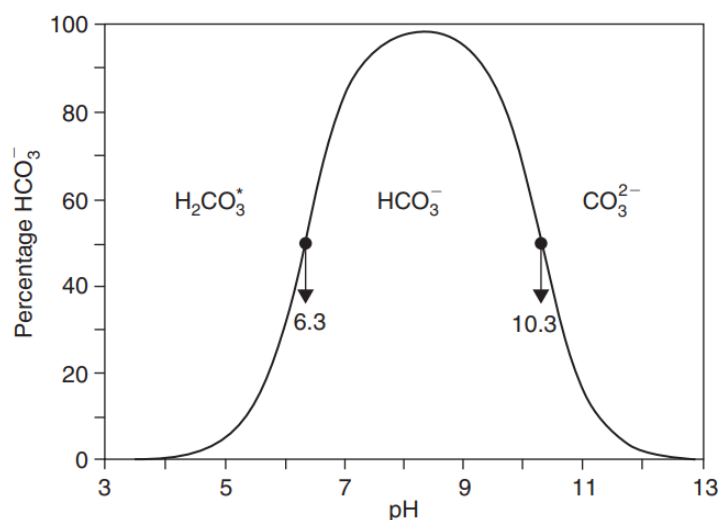


Αυτή η αντίδραση είναι θεμελιώδης για την κατανόηση της συμπεριφοράς της διάλυσης και της καθίζησης του  $\text{CaCO}_3$  στη φύση. Η αύξηση του  $\text{CO}_2$  οδηγεί στη διάλυση του  $\text{CaCO}_3$ , ενώ αντίθετα η απομάκρυνση του  $\text{CO}_2$  προκαλεί την καθίζηση του  $\text{CaCO}_3$ . Η αντίδραση αυτή καταδεικνύει επίσης την άμεση σύζευξη μεταξύ του βιολογικού κύκλου και των ανθρακικών ανόργανων αντιδράσεων.

Η αποικοδόμηση της οργανικής ύλης ή η αναπνοή παράγει  $\text{CO}_2$  και ενισχύει τη διάλυση ανθρακικών αλάτων στα εδάφη, ενώ η φωτοσύνθεση καταναλώνει  $\text{CO}_2$  και έχει ως αποτέλεσμα την καθίζηση του  $\text{CaCO}_3$  (Appelo & Postma 2005). Επίσης, το  $\text{HCO}_3^-$  προέρχεται με τη διάλυση των ανθρακικών πετρωμάτων από το νερό σύμφωνα με την αντίδραση:



Ανάλογα με το pH του διαλύματος οι συγκεντρώσεις του  $\text{H}_2\text{CO}_3^*$ , του  $\text{HCO}_3^-$  και του  $\text{CO}_3^{2-}$  αλλάζουν. Όταν το pH είναι 6,3 οι συγκεντρώσεις του  $\text{HCO}_3^-$  και του  $\text{H}_2\text{CO}_3^*$  είναι ίσες, ενώ όταν το  $\text{pH} > 6.3$  τότε η συγκέντρωση του  $\text{HCO}_3^-$  είναι μεγαλύτερη. Αντίστοιχα σε σχέση με το  $\text{CO}_3^{2-}$  όταν το  $\text{pH} = 10,3$  υπάρχει ίση δραστηριότητα του  $\text{HCO}_3^-$  με το  $\text{CO}_3^{2-}$  ενώ όταν αυξάνει το pH υπερσχύει το  $\text{CO}_3^{2-}$ .



**Σχήμα 8.26:** Ποσοστό  $\text{HCO}_3^-$  του ολικού διαλυμένου ανθρακικού άλατος ως συνάρτηση του pH (Appelo & Postma 2005).

Οι φυσιολογικές συγκεντρώσεις του  $\text{HCO}_3^-$  σε φυσικά νερά χωρίς ρυπαντικό φορτίο είναι 0-5 mmol/l (0,0-305 mg/l) (Appelo and Postma 2005). Η Οδηγία της ΕΕ δεν καθορίζει ανώτερα επιτρεπτά όρια που αφορά την συγκέντρωση της όξινης ανθρακικής ρίζας στα πόσιμα νερά.

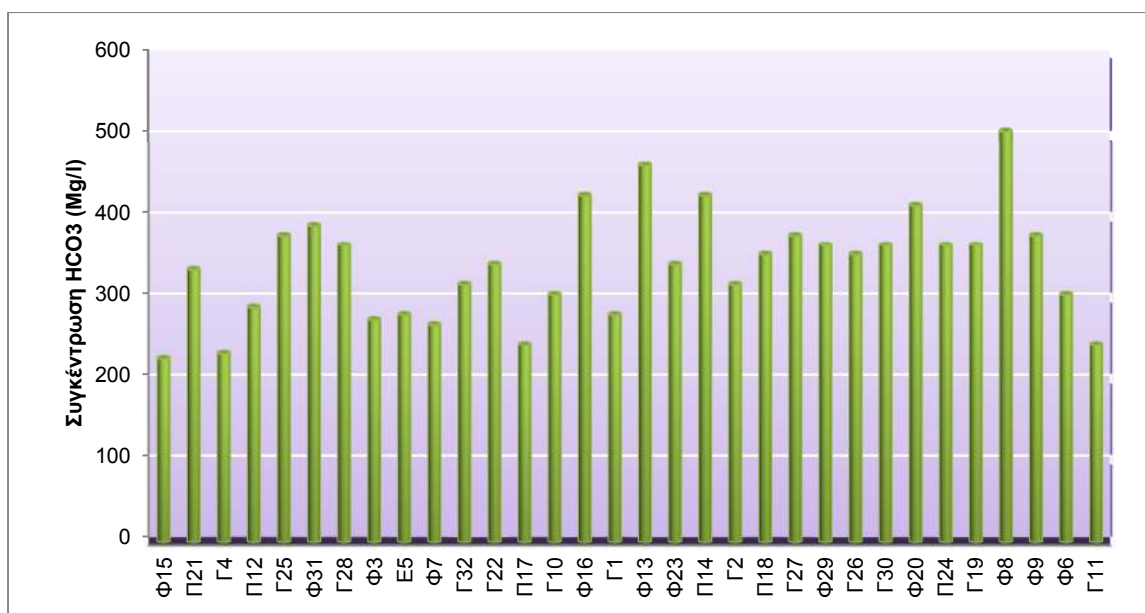
Τα υπόγεια και επιφανειακά νερά της περιοχής μελέτης παρουσιάζουν ένα ευρύ φάσμα τιμών συγκέντρωσης  $\text{HCO}_3^-$  που κυμαίνονται μεταξύ 225,6 και 506,1 mg/l (Σχήμα 8.27).

Οι τιμές του  $\text{HCO}_3^-$  στα υπόγεια νερά και το επιφανειακό νερό του ποταμού Άσκηρη στην περιοχή μελέτης, ανάλογα με το γεωλογικό τους υπόβαθρο, κυμαίνονται (Πίνακας 8.6):

- Στις αλλουβιακές αποθέσεις από 231,7 έως 506,1 mg/l με μέση τιμή 337,3 mg/l.
- Στα κροκαλοπαγή πετρώματα από 243,9 έως 378,0 mg/l, με μέση τιμή 330,0 mg/l.
- Στους ανθρακικούς σχηματισμούς από 426,8 έως 463,4 mg/l, με μέση τιμή 445,1 mg/l.

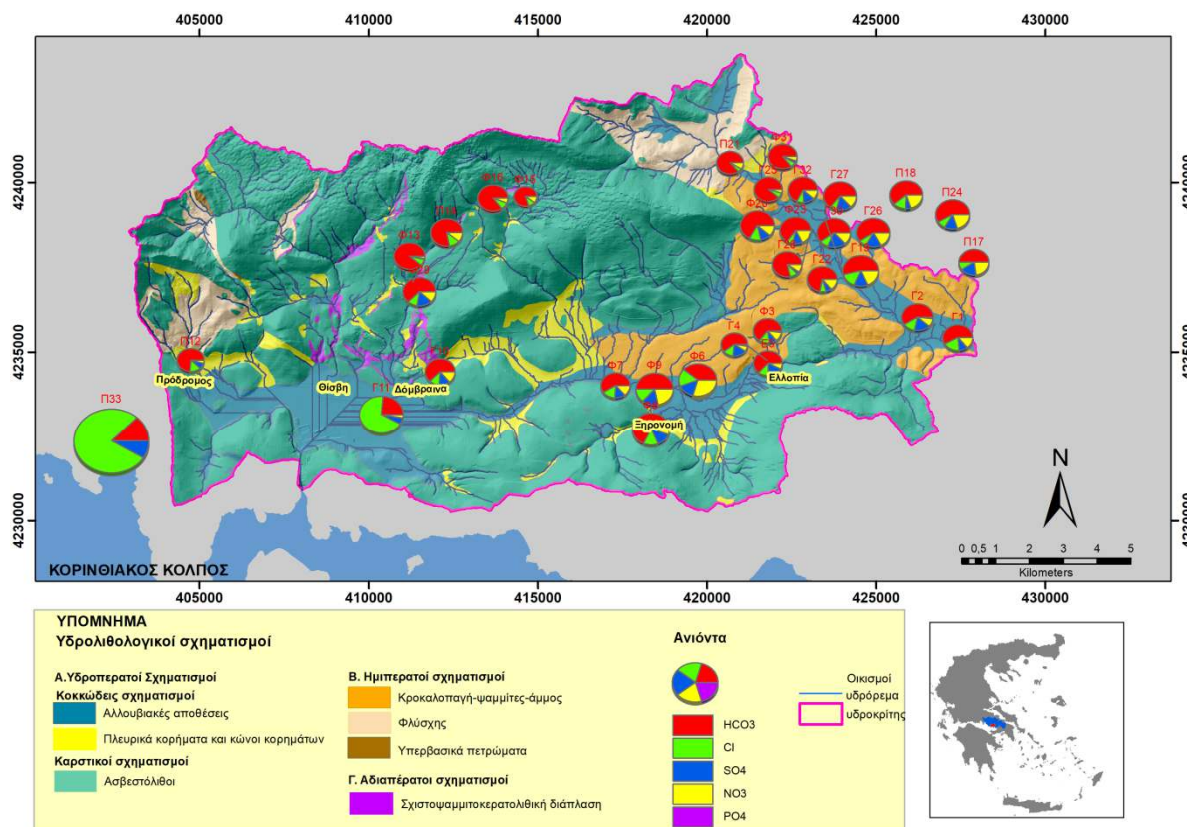


- Στα πλευρικά κορήματα και κώνους κορημάτων από 225,6 έως 426,8 mg/l, με μέση τιμή 311,7mg/l.
  - Στο φλύσχη η τιμή του  $\text{HCO}_3^-$  είναι 335,3mg/l.
  - Στην σχιστοψαμμιτοκερατολιθική διάπλαση η τιμή του  $\text{HCO}_3^-$  είναι 390,2mg/l.
- Επίσης, ανάλογα με το είδος του υδροσημείου (γεώτρηση, πηγάδι, πηγή και επιφανειακό νερό) οι τιμές του  $\text{HCO}_3^-$  κυμαίνονται ως εξής (Πίνακας 8.6) :
- Στα νερά των γεωτρήσεων οι τιμές κυμαίνονται από 231,7 έως 378,0 mg/l, με μέση τιμή 326,5mg/l.
  - Στα νερά των πηγαδιών οι τιμές κυμαίνονται μεταξύ από 225,6 έως 506,1mg/l, με μέση τιμή 363,3mg/l.
  - Στα νερά των πηγών οι τιμές κυμαίνονται μεταξύ από 243,9 έως 426,8mg/l, με μέση τιμή 335,9mg/l.
  - Στο επιφανειακό νερό του ποταμού Άσκη η τιμή του  $\text{HCO}_3^-$  είναι 280,5mg/l.
  - Στην παράκτια υφάλμυρη πηγή η τιμή του  $\text{HCO}_3^-$  είναι 365,8mg/l.



**Σχήμα 8.27:** Διάγραμμα διακύμανσης της συγκέντρωσης  $\text{HCO}_3^-$  (mg/l) των δειγμάτων νερού της υδρολογικής λεκάνης Άσκη.

Από το Σχήμα 8.28 στο οποίο έχουν αποτυπωθεί σε διάγραμμα πίτας όλα τα ανιόντα, παρατηρείται μία αύξηση της τιμής συγκέντρωσης των όξινων ανθρακικών ιόντων ( $\text{HCO}_3^-$ ) προς το ανατολικό τμήμα της λεκάνης. Συγκεκριμένα οι χαμηλότερες συγκεντρώσεις εντοπίζονται στο νοτιοδυτικό τμήμα της λεκάνης, στη γεώτρηση Γ11 του οροπεδίου Λικέρι καθώς και στις πηγές Π12 (περιοχή Προδρόμου) και Π17, ενώ οι υψηλότερες συγκεντρώσεις εντοπίζονται στα πηγάδια (βάθους έως 10m) στις νότιες πλαγιές του Ελικώνα, στη πηγή της Ι.Μ. Μακαριώτισσας και στο πηγάδι Φ8 που βρίσκεται στη κοιλάδα της Ξηρονομής.



**Σχήμα 8.28:** Χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων των ανιόντων των δειγμάτων νερού της περιοχής μελέτης, βάσει κυκλικών διαγραμμμάτων (Πίτες). Το μέγεθος της πίτας αυξομειώνεται με το σύνολο των συγκεντρώσεων των ανιόντων.

**Χωρική κατανομή των ιόντων  $\text{HCO}_3^-$ :** Από τα ανωτέρω δεδομένα προκύπτει ότι στα υπόγεια νερά και στο επιφανειακό νερό της λεκάνης Άσκλης το επικρατέστερο ανιόν είναι το  $\text{HCO}_3^-$ , με εξαίρεση τη Γεώτρηση Γ11(οροπέδιο Λικέρι) όπου το επικρατέστερο ανιόν είναι το Cl λόγω της θαλασσιας διείσδυσης. Η παρουσία του οξυανθρακικού ιόντος ( $\text{HCO}_3^-$ ) στα νερά οφείλεται στη διάλυση του ασβεστίτη και δολομίτη των ανθρακικών πετρωμάτων, με τη βοήθεια του  $\text{CO}_2$  που προέρχεται είτε από τη βροχή είτε από την αποσύνθεση του οργανικού υλικού. Σχετικά με τις υψηλές συγκεντρώσεις που παρατηρούνται σε ορισμένα δείγματα νερού πιθανόν αυτό να οφείλεται στη μακρόχρονη παραμονή του νερού αλλά και στην ύπαρξη οργανικής ύλης μέσα στους υδροφόρους ορίζοντες της περιοχής.

### 8.8.2.2 Χλώριο (Cl)

Το χλώριο είναι ένα από τα πιο κοινά ανιόντα που βρίσκονται στο πόσιμο νερό. Συνήθως συνδυάζεται με ασβέστιο, μαγνήσιο ή νάτριο για να σχηματίσει διάφορα άλατα, όπως για παράδειγμα το χλωριούχο νάτριο ( $\text{NaCl}$ ). Το χλώριο απαντάται στα φυσικά υπόγεια ύδατα συνήθως σε χαμηλές συγκεντρώσεις. Υψηλές συγκεντρώσεις απαντώνται στις περιπτώσεις εκείνες όπου το θαλασσίνο νερό έχει διεισδύσει στους παράκτιους υδροφορείς ή στις περιπτώσεις όπου τα υπόγεια νερά φιλοξενούνται εντός γεωλογικών σχηματισμών όπου συνυπάρχουν αποθέσεις εβαποριτικών αλάτων.

Τα χλωριόντα βρίσκονται στη φύση κυρίως σαν άλατα νατρίου, καλίου και ασβεστίου. Η γεωγενή προέλευσή τους συνδυάζεται με αργιλικά ιζήματα θαλάσσιου περιβάλλοντος και κυρίως με εβαπορίτες. Άλλες πηγές αποτελούν η διείσδυση της θάλασσας στους παράκτιους υδροφόρους, τα λύματα και βιομηχανικά απόβλητα καθώς και τα λιπάσματα. Σε βιομηχανικές περιοχές η αύξηση του Cl<sup>-</sup> προέρχεται από την καύση των πλαστικών και τα θερμοηλεκτρικά εργοστάσια (Βουδούρης 2009).

Η απότομη αύξηση των χλωριούχων στο νερό, αν δεν οφείλεται στην είσοδο θαλασσινού νερού, δείχνει πιθανή ρύπανση από λύματα. Επίσης, στις παραθαλάσσιες και ιδιαίτερα στις νησιωτικές περιοχές οι συγκεντρώσεις των χλωριόντων στα υπόγεια νερά είναι αρκετά υψηλότερες από τις συγκεντρώσεις που εμφανίζουν τα υπόγεια νερά στην ενδοχώρα. Αυτό αποδίδεται στην μεταφορά των θαλάσσιων σταγονιδίων (αεροσόλ) που εναποτίθενται στην επιφάνεια του εδάφους και στη συνέχεια μέσω της κατείσδυσης του βρόχινου νερού εμπλουτίζουν τον υδροφόρο ορίζοντα.

Οι ενδεικτικές συγκεντρώσεις του Cl<sup>-</sup> στα διάφορα πετρώματα παρουσιάζονται στο Πίνακα 8.13 (Matthess 1982).

**Πίνακας 8.13:** Ενδεικτικές Συγκεντρώσεις του Cl<sup>-</sup> στα διάφορα πετρώματα.

Πετρώματα	Συγκέντρωση Cl <sup>-</sup> (mg/kg)
Ανθρακικά πετρώματα	305
Μαγματικά πετρώματα	305
Άργιλοι	170
Ψαμμίτες	15
Εβαπορίτες	525.000

Οι συγκεντρώσεις του Cl<sup>-</sup> σε φυσικά νερά χωρίς ρυπαντικό φορτίο κυμαίνονται μεταξύ 0,05 και 2,0 mmol/l (1,8-71 mg/l) (Appelo and Postma 2005).

Σε χαμηλά επίπεδα το χλώριο είναι αβλαβές, ενώ τιμές υψηλότερες των 600mg/l θεωρούνται τοξικές για την ανθρώπινη υγεία. Σύμφωνα με την οδηγία 98/83/EK της Ε.Ε. το ανώτατο επιτρεπόμενο όριο στο πόσιμο νερό των χλωριούχων είναι 250 mg/l, ενώ επιθυμητό όριο είναι τα 25 mg/l (Βουδούρης 2009).

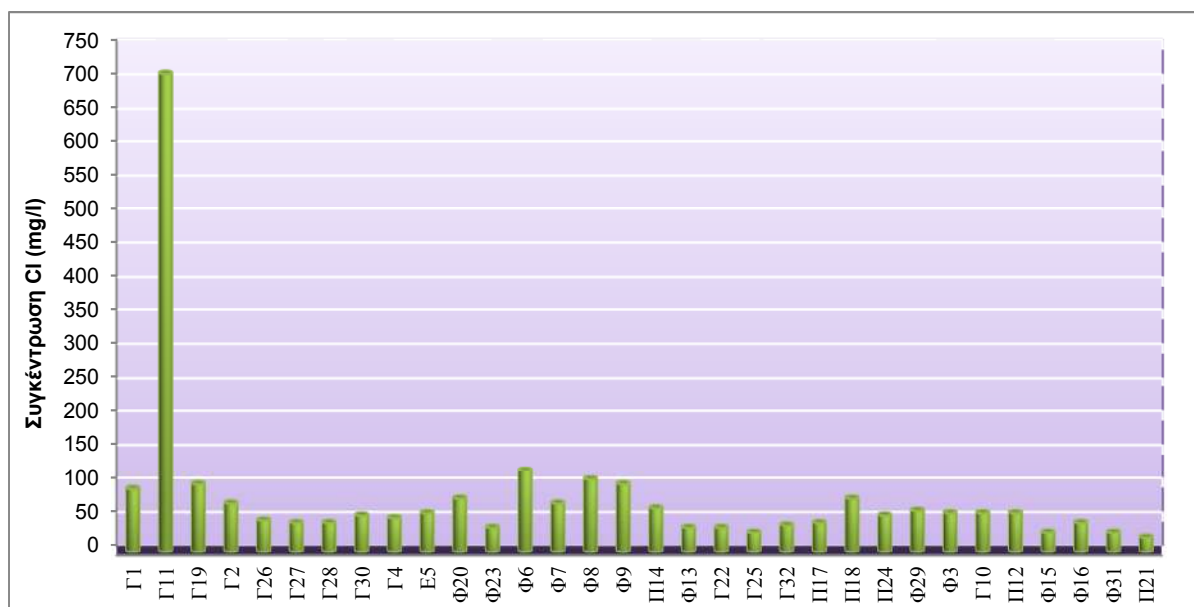
Γενικά οι συγκεντρώσεις του Cl<sup>-</sup> στα υπόγεια και επιφανειακά νερά της περιοχής μελέτης κυμαίνονται σε ένα ευρύ φάσμα τιμών μεταξύ 21,3 mg/l και 709,2 mg/l. Στο Σχήμα 8.29 παρουσιάζεται η διακύμανση των τιμών του χλωρίου στα δείγματα νερού της περιοχής.

Οι τιμές του Cl<sup>-</sup> στα υπόγεια νερά και το επιφανειακό νερό του ποταμού Άσκη της περιοχής μελέτης, ανάλογα με το γεωλογικό τους υπόβαθρο, κυμαίνονται (Πίνακας 8.6) :

- Στις αλλουβιακές αποθέσεις από 35,5 έως 709,2 mg/l με μέση τιμή 110,8 mg/l.
- Στα κροκαλοπαγή πετρώματα από 28,4 έως 78,1 mg/l, με μέση τιμή 49,2 mg/l.
- Στους ανθρακικούς σχηματισμούς από 35,46 έως 63,82 mg/l, με μέση τιμή 49,6 mg/l.
- Στα πλευρικά κορήματα και κώνους κορημάτων από 28,4 έως 56,7 mg/l, με μέση τιμή 46,1 mg/l.
- Στο φλύσχη η τιμή του Cl<sup>-</sup> είναι 21,2 mg/l.
- Στην σχιστοψαμμιτοκερατολιθική διάπλαση η τιμή του Cl<sup>-</sup> είναι 28,3 mg/l.

Επίσης, ανάλογα με το είδος του υδροσημείου (γεώτρηση, πηγάδι, πηγή και επιφανειακό νερό) οι τιμές του Cl<sup>-</sup> κυμαίνονται ως εξής (Πίνακας 8.6) :

- Στα νερά των γεωτρήσεων οι τιμές κυμαίνονται από 28,4 έως 709,2 mg/l, με μέση τιμή 105 mg/l.
- Στα νερά των πηγαδιών οι τιμές κυμαίνονται μεταξύ από 28,4 έως 120,6mg/l, με μέση τιμή 63,5 mg/l.
- Στα νερά των πηγών οι τιμές κυμαίνονται μεταξύ από 21,3 έως 78 mg/l, με μέση τιμή 52,6 mg/l.
- Στο επιφανειακό νερό του ποταμού Άσκη η τιμή του Cl<sup>-</sup>είναι 56,7 mg/l.
- Στην παράκτια υφάλμυρη πηγή η τιμή του Cl<sup>-</sup> είναι 2411,3 mg/l.

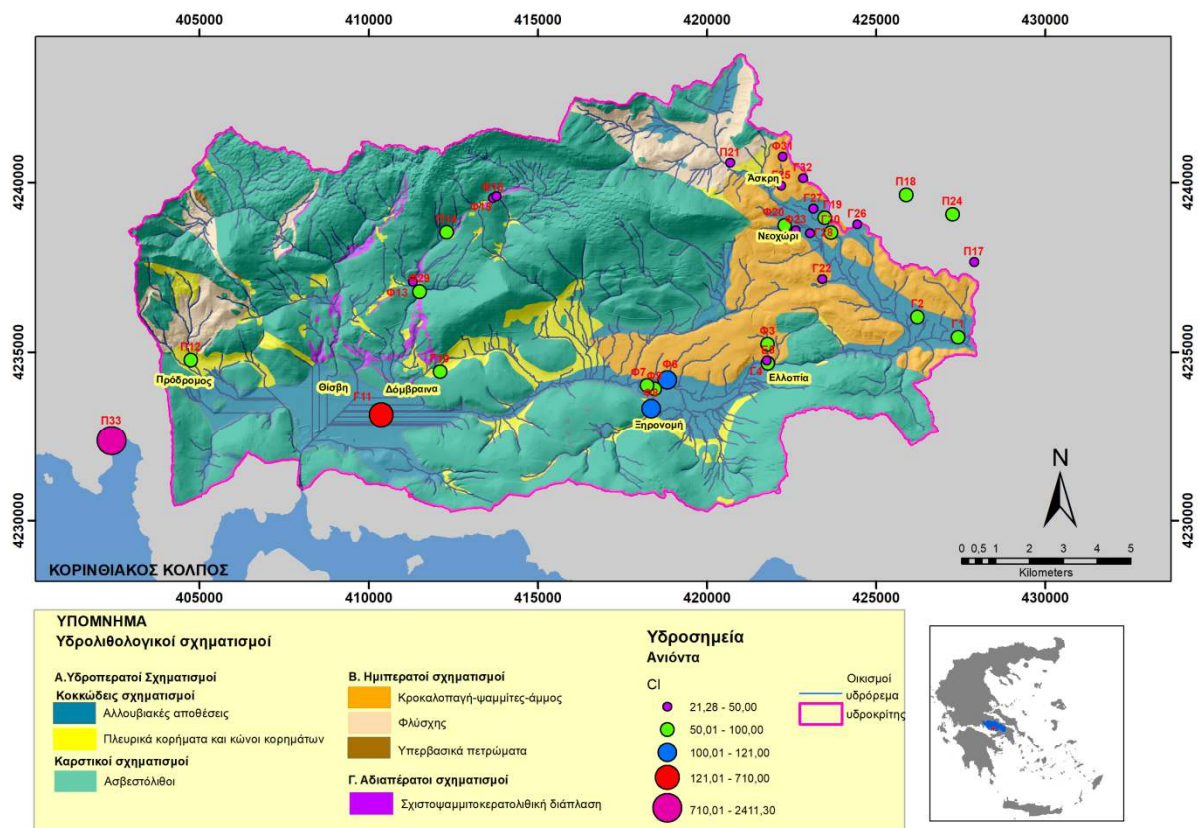


**Σχήμα 8.29:** Διάγραμμα διακύμανσης της συγκέντρωσης Cl<sup>-</sup> (mg/l) των δειγμάτων νερού της υδρολογικής λεκάνης Άσκηης.

**Χωρική κατανομή των ιόντων χλωρίου:** Από τα σύνολο των δειγμάτων νερού τα 14 δείγματα (42,4%) παρουσιάζουν συγκεντρώσεις χλωρίου μέχρι 50mg/l, τα 15 δείγματα νερού εμφανίζουν συγκεντρώσεις χλωρίου μέχρι 100 mg/l (45%), ενώ τα υπόλοιπα τρία δείγματα νερού έχουν συγκεντρώσεις μεγαλύτερες από 100 mg/l, όπως είναι τα νερά από τα πηγάδια Φ8 και Φ6 με 106,4 mg/l και 120,6 mg/l αντίστοιχα, καθώς και η γεώτρηση Γ11 στο Οροπέδιο Λικέρι με 709,2mg/l. Εξαιρέση αποτελεί εκτός από την γεώτρηση Γ11 και το νερό της παράκτιας πηγής Π33 με συγκέντρωση 2.411,3 mg/l.

Επίσης, διαπιστώνεται ότι στα υπόγεια νερά των πλειο-πλειστοκαινικών ιζημάτων οι τιμές του Cl<sup>-</sup> είναι αρκετά υψηλές, ενώ στα δείγματα νερού που προέρχονται από τους σχηματισμούς του φλύσχη και της σχιστοψαμμιτοκερατολιθικής διάπλασης οι τιμές του Cl<sup>-</sup> είναι αρκετά χαμηλές, όπως εμφανίζεται και στο χάρτη (Σχήμα 8.30).

Τις υψηλότερες συγκεντρώσεις σύμφωνα με το Σχήμα 8.29 τις έχουν τα δείγματα νερού των γεωτρήσεων, ενώ τα δείγματα των πηγαδιών και των πηγών έχουν χαμηλότερες τιμές. Χαρακτηριστικό είναι οι υψηλές συγκεντρώσεις που παρουσιάζουν τα υπόγεια νερά των πηγαδιών της κοινότητας Ξηρονομής, σε σύγκριση με τα υπόλοιπα πηγάδια της περιοχής μελέτης. Γίνεται εμφανές ο βαθμός επίδρασης που υφίστανται τοπικά τα υπόγεια νερά από ανθρωπογενείς παράγοντες.

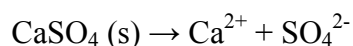
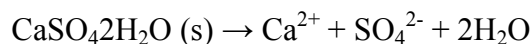


**Σχήμα 8.30:** Χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων ιόντων Cl<sup>-</sup> στα δείγματα νερού της περιοχής μελέτης.

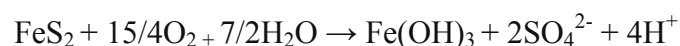
Γενικά διαπιστώνεται ότι η παρουσία των ιόντων Cl<sup>-</sup> στα υπόγεια νερά της περιοχής μελέτης αποδίδεται αφενός σε γεωγενείς παράγοντες και στη διείσδυση του θαλασσινού νερού που έχει επηρεάσει τους παράκτιους υδροφορείς (Γεώτρηση Γ11 οροπέδιο Λικέρι), αλλά και σε ανθρωπογενείς επιδράσεις που έχουν επηρεάσει τα πηγάδια που βρίσκονται εντός ή και πλησίον των οικισμών.

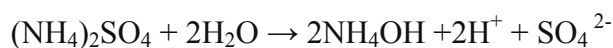
### 8.8.2.3 Θεϊκά (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)

Τα θεϊκά ιόντα προέρχονται φυσικά από τη διάλυση της γύψου (CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O) και του ανυδρίτη (CaSO<sub>4</sub>) σύμφωνα με τις παρακάτω εξισώσεις (Βουδούρης 2009):



Άλλες πηγές προέλευσης των θεϊκών ιόντων στα υπόγεια ύδατα είναι η χρήση λιπασμάτων, που περιέχουν για παράδειγμα το θεϊκό αμμώνιο, τα οποία συγκεντρώνονται στους υδροφόρους ορίζοντες με την ανακύκλωση των υπογείων υδάτων που χρησιμοποιούνται για άρδευση. Επίσης, τα θεϊκά ιόντα προέρχονται και από την οξείδωση των σουλφιδίων (σιδηροπυρίτη), σύμφωνα με τις παρακάτω αντιδράσεις (Βουδούρης 2009):





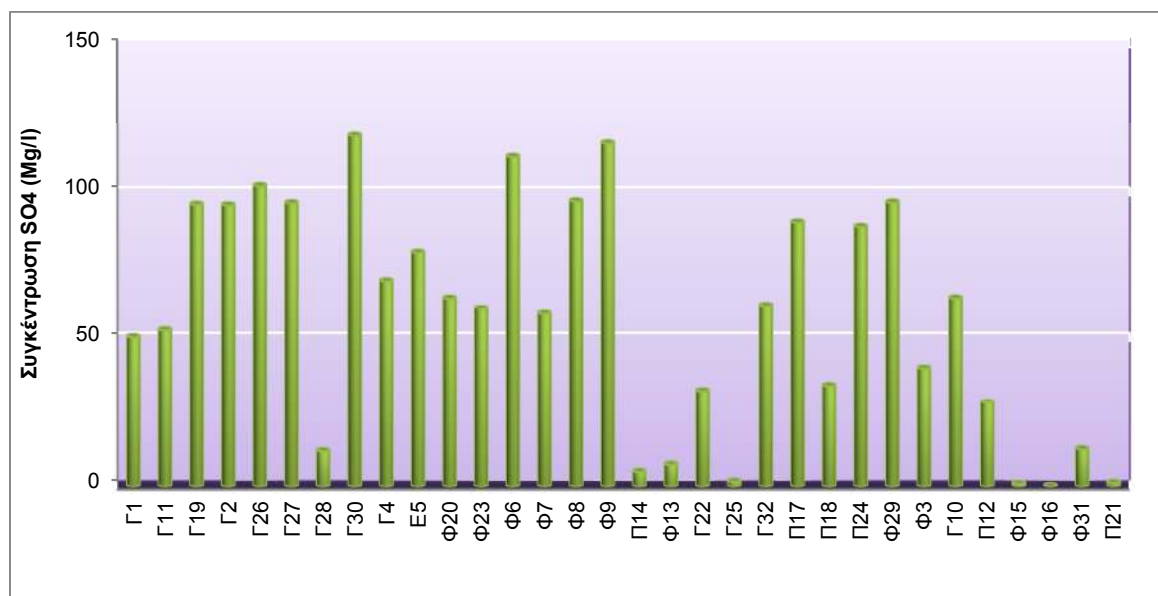
Στον Πίνακα 8.14 που ακολουθεί παρουσιάζονται οι ενδεικτικές συγκεντρώσεις των θειικών ιόντων που απαντώνται στα διάφορα πετρώματα, σύμφωνα με το Matthes (1982).

**Πίνακας 8.14:** Ενδεικτικές Συγκεντρώσεις του  $SO_4^{2-}$  στα διάφορα πετρώματα.

Πετρώματα	Συγκεντρώσεις $SO_4^{2-}$ (mg/kg)
Μαγματικά πετρώματα	410
Ψαμμίτες	945
Άργιλοι	1.850
Ανθρακικά πετρώματα	4.550
Εβαπορίτες	26.800

Τα προϊόντα των θειικών ιόντων χρησιμοποιούνται στην παραγωγή λιπασμάτων, βαφών, γυαλιού, χαρτιού, σαπουνιών, κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων, μυκητοκτόνων, εντομοκτόνων και πολλών άλλων προϊόντων. Επίσης, χρησιμοποιούνται στις βιομηχανίες εξόρυξης, χαρτοπολυτού, μεταλλουργίας και επιμετάλλωσης, στην επεξεργασία σκουπιδιών και στην επεξεργασία δέρματος (Greenwood & Earnshaw 1984, από ΠΟΥ 2004), τα οποία μέσω των λυμάτων ή των όμβριων υδάτων διοχετεύονται στα υπόγεια ύδατα, συμβάλλοντας στην αύξηση των συγκεντρώσεων των θειικών ιόντων ( $SO_4^{2-}$ ).

Οι συγκεντρώσεις των  $SO_4^{2-}$  σε φυσικά νερά χωρίς ρυπαντικό φορτίο είναι 0,01-5 mmol/l (1,0-480 mg/l) (Appelo and Postma 2005). Η μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή της συγκέντρωσης θειικών ιόντων στο πόσιμο νερό είναι τα 250 mg/l (οδηγία 98/83 της Ε.Ε.).

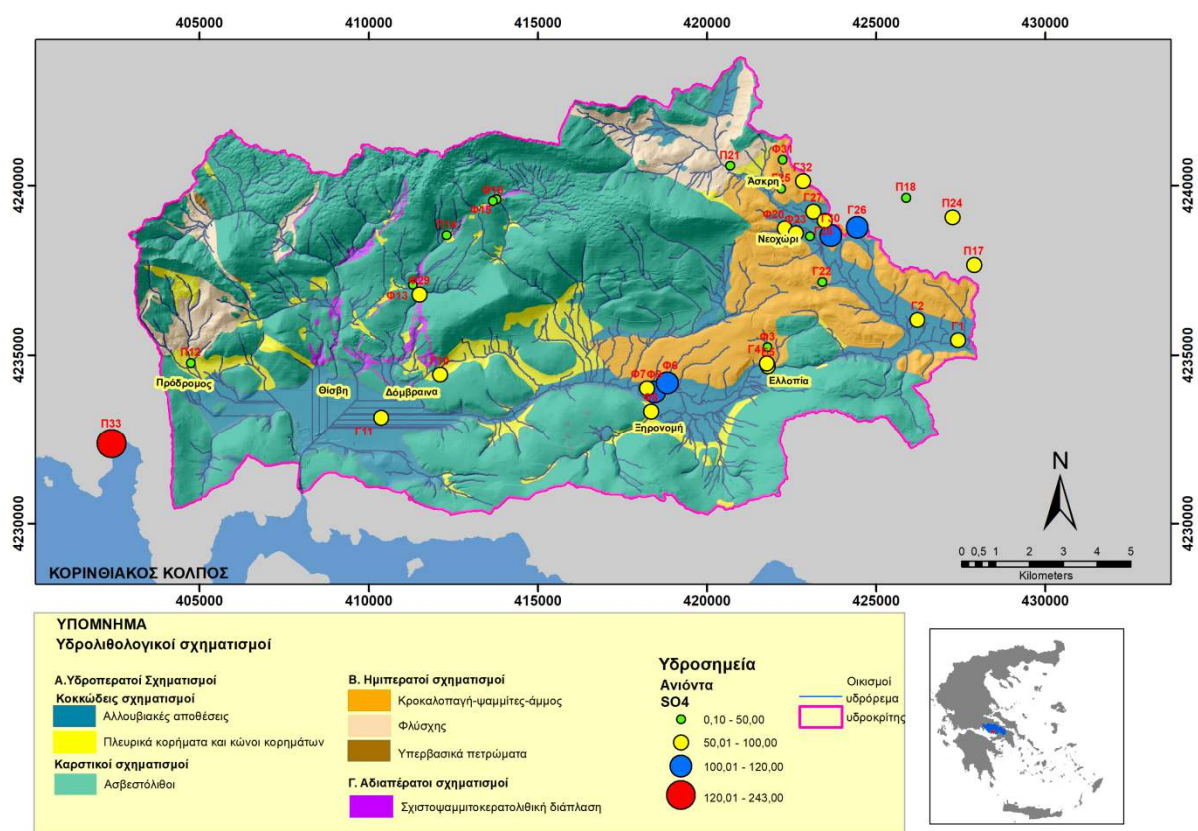


**Σχήμα 8.31:** Διάγραμμα διακύμανσης της συγκέντρωσης  $SO_4^{2-}$  (mg/l) των δειγμάτων νερού της υδρολογικής λεκάνης Άσκρις.

Συγκεντρώσεις θειικών ιόντων στο πόσιμο νερό άνω των 250 mg/l προσδίδουν στο νερό μια δυσάρεστη γεύση, ενώ συγκεντρώσεις άνω των 1000 mg/l προσδίδουν καθαρικές ιδιότητες. Επιπλέον, η αύξηση των θειικών ιόντων στα νερά συμβάλλει στη διάβρωση των συστημάτων διανομής του νερού.

Γενικά, οι τιμές των  $\text{SO}_4^{2-}$  στα υπόγεια νερά της περιοχής ενδιαφέροντος κυμάνθηκαν σε σχετικά χαμηλά επίπεδα, κάτω από το μέγιστο επιτρεπτό όριο. Διαπιστώνεται ένα εύρος τιμών με μεγάλη διακύμανση μεταξύ 0,1 mg/l και 119,05 mg/l (Σχήμα 8.31 και Πίνακας 8.6). Οι τιμές των  $\text{SO}_4^{2-}$  στα υπόγεια νερά και το επιφανειακό νερό του ποταμού Άσκηρ στην περιοχή μελέτης, ανάλογα με το γεωλογικό τους υπόβαθρο, κυμαίνονται (Πίνακας 8.6):

- Στις αλλουβιακές αποθέσεις από 11,8 έως 119,0mg/l, με μέση τιμή 80,1 mg/l.
- Στα κροκαλοπαγή πετρώματα από 1,7 έως 96,7 mg/l, με μέση τιμή 55,4 mg/l.
- Στους ανθρακικούς σχηματισμούς από 4,9 έως 7,3 mg/l, με μέση τιμή 6,1mg/l.
- Στα πλευρικά κορήματα και κώνους κορημάτων από 0,1 έως 63,8mg/l, με μέση τιμή 23,3mg/l.
- Στο φλύσχη η τιμή των  $\text{SO}_4^{2-}$  είναι 1,2mg/l.
- Στην σχιστοψαμμιοκερατολιθική διάπλαση η τιμή των  $\text{SO}_4^{2-}$  είναι 12,5 mg/l.



**Σχήμα 8.32:** Χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων  $\text{SO}_4^{2-}$  των δειγμάτων νερού της περιοχής μελέτης.

Επίσης, ανάλογα με το είδος του υδροσημείου (γεώτρηση, πηγάδι, πηγή και επιφανειακό νερό) οι τιμές των  $\text{SO}_4^{2-}$  κυμαίνονται ως εξής (Πίνακας 8.6):

- Στα νερά των γεωτρήσεων οι τιμές κυμαίνονται από 1,7 έως 119,1 mg/l, με μέση τιμή 65,6mg/l.
- Στα νερά των πηγαδιών οι τιμές κυμαίνονται μεταξύ 28,4 και 120,6mg/l, με μέση τιμή 55,5mg/l.

- Στα νερά των πηγών οι τιμές κυμαίνονται μεταξύ από 1,3 έως 89,5mg/l, με μέση τιμή 41mg/l.
- Στο επιφανειακό νερό του ποταμού Άσκη η τιμή των  $\text{SO}_4^{2-}$  είναι 79,3 mg/l.
- Στην παράκτια υφάλμυρη πηγή η τιμή των  $\text{SO}_4^{2-}$  είναι 243 mg/l.

**Χωρική κατανομή των θεικών ιόντων:** Στο Σχήμα 8.32 παρουσιάζεται η χωρική κατανομή των θεικών ιόντων στα υπόγεια νερά της περιοχής ενδιαφέροντος. Από τα σύνολο των δειγμάτων νερού τα 12 δείγματα (ποσοστό 36%) παρουσιάζουν συγκεντρώσεις  $\text{SO}_4^{2-}$  μέχρι 50mg/l, τα 16 δείγματα νερού έχουν συγκεντρώσεις χλωρίου μέχρι 100 mg/l (48,5%), ενώ τα υπόλοιπα τέσσερα δείγματα νερού παρουσιάζουν συγκεντρώσεις μέχρι 120 mg/l. Εξαιρέση αποτελεί το νερό της παράκτιας πηγής Π33 που έχει συγκέντρωση θεικών ιόντων 243 mg/l. Από τη κατανομή των θεικών ιόντων (Σχήμα 8.32) προκύπτει ότι τα δείγματα νερού των πηγών (Μ.Ο. 41,0 mg/l) και των πηγαδιών (Μ.Ο. 55,5 mg/l) παρουσιάζουν χαμηλότερες συγκεντρώσεις  $\text{SO}_4^{2-}$  από τις γεωτρήσεις (Μ.Ο. 65,6mg/l).

Στο κεντρικό τμήμα της περιοχής, στα πηγάδια Φ6, Φ8 και Φ9 παρατηρούνται υψηλές συγκεντρώσεις των θεικών ιόντων που αποδίδονται τόσο σε ανθρωπογενείς επιδράσεις όσο και σε διάλυση γύψου, δεδομένου ότι εμφανίζουν ταυτόχρονα υψηλές συγκεντρώσεις σε Ca. Στο ανατολικό τμήμα της περιοχής οι γεωτρήσεις Γ26 και Γ30 εμφανίζουν υψηλές συγκεντρώσεις που σχετίζονται επίσης με γεωγενείς αλλά και με ανθρωπογενείς επιδράσεις, καθώς αυτό τεκμηριώνεται από την έντονη παρουσία των δεικτών επιφανειακής επιβάρυνσης όπως των ιόντων νατρίου, χλωρίου και νιτρικών.

#### 8.8.2.4 Νιτρικά ( $\text{NO}_3^-$ )

Τα νιτρικά ιόντα ( $\text{NO}_3^-$ ) είναι οι ευρύτερα χρησιμοποιούμενοι δείκτες, ειδικά σε περιοχές με αυξημένη γεωργική δραστηριότητα, για τη ρύπανση των υπόγειων και επιφανειακών νερών από τα αζωτούχα λιπάσματα.

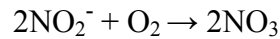
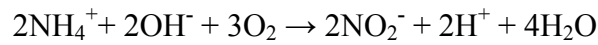
Τα επίπεδα των νιτρικών αλάτων στα φυσικά υπόγεια ύδατα (χωρίς ρυπαντικό φορτίο) είναι γενικά πολύ χαμηλά (λιγότερο από 10 mg/l  $\text{NO}_3^-$ ) (Appelo and Postma 2005), ωστόσο οι συγκεντρώσεις των νιτρικών στα υπόγεια ύδατα είναι αρκετά πιο υψηλές, λόγω των ανθρώπινων δραστηριοτήτων, όπως η γεωργία, η βιομηχανία, τα οικιακά λύματα και οι εκπομπές από κινητήρες καύσης.

Τα νιτρικά άλατα κινούνται αργά μέσα στην ακόρεστη ζώνη και στα υπόγεια ύδατα, δηλαδή υπάρχει χρονική υστέρηση 20 περίπου ετών μεταξύ της ρύπανσης και της ανίχνευσης του ρύπου στα υπόγεια ύδατα. Για το λόγο αυτό, προβλέπεται ότι οι τρέχουσες ρυπογόνες δραστηριότητες θα συνεχίσουν να επηρεάζουν τις συγκεντρώσεις νιτρικών ενώσεων για αρκετές δεκαετίες. Ωστόσο, αν η πίεση στον υδροφορέα είναι υψηλή η μεταφορά τους στον υδροφόρο ορίζοντα είναι πολύ πιο γρήγορη.

Η περιεκτικότητα σε νιτρικά άλατα των υπογείων υδάτων προέρχεται από διάφορες σημειακές και μη σημειακές πηγές, όπως τα υπολείμματα χλωρίδας, τα αζωτούχα λιπάσματα, τα περιττώματα (Καλλέργης 2000), τα οικιακά λύματα, η αποστράγγιση αστικών βόθρων και η διαφυγή στραγγισμάτων από τους ΧΥΤΑ. Το νιτρικό ιόν είναι το τελικό προϊόν της φυσικής αποσύνθεσης οργανικών αζωτούχων ενώσεων, όπως φυτικής και ζωικής πρωτεΐνης. Ως κύρια διαδικασία παραγωγής των νιτρικών ιόντων είναι με την οξείδωση του αμμωνιακού ιόντος ( $\text{NH}_4^+$ ) που προκύπτει από την αποσύνθεση των οργανικών ενώσεων. Η διαδικασία



αυτή ονομάζεται νιτροποίηση και πραγματοποιείται σε δύο στάδια με τη βοήθεια αερόβιων αυτότροφων βακτηρίων όπως τα *Nitrosomonas*, *Nitrosospira*, *Nitrosogloea*, *Nitrosocystis* (Βουδούρης 2009, Αλιφραγκής 2008). Σχηματικά, η οξειδωση του αμμωνιακού ιόντος γίνεται σύμφωνα με τις παρακάτω αντιδράσεις:



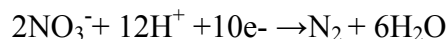
Στο πρώτο στάδιο παράγονται τα νιτρώδη ιόντα ( $\text{NO}_2^-$ ) και στο δεύτερο στάδιο παράγονται τα νιτρικά ιόντα ( $\text{NO}_3^-$ ).

Στην περίπτωση που η περιεκτικότητα των υπόγειων νερών σε νιτρικά ιόντα είναι αρκετά υψηλή αυτό υποδηλώνει την ύπαρξη βιολογικών ρύπων ή τη νιτρορύπανση αυτών από γεωργικές δραστηριότητες. Η οδηγία 91/676 / ΕΟΚ της ΕΕ, η οποία προστατεύει τα ύδατα από τη ρύπανση από νιτρικά ιόντα γεωργικής προέλευσης, θέτει ως αποδεκτό όριο συγκέντρωσης νιτρικών ιόντων στα υπόγεια ύδατα τα 50 mg/l.

Η νιτροποίηση είναι μια βιοχημική διεργασία η οποία για να γίνει χρειάζεται οξυγόνο. Για αυτό το λόγο σημαντικοί παράγοντες για τη νιτροποίηση των υπόγειων νερών είναι ο καλός αερισμός του εδάφους, το είδος του εδαφικού σχηματισμού της ακόρεστης ζώνης (π.χ. αμμώδη εδάφη, χαμηλή συνεκτικότητα των κόκκων του εδάφους) και η καλή διαπερατότητα των πετρωμάτων, με λίγα λόγια η ανάπτυξη οξειδωτικού περιβάλλοντος, που βοηθά στη δραστηριοποίηση των βακτηρίων και στη παραγωγή των νιτρικών ιόντων.

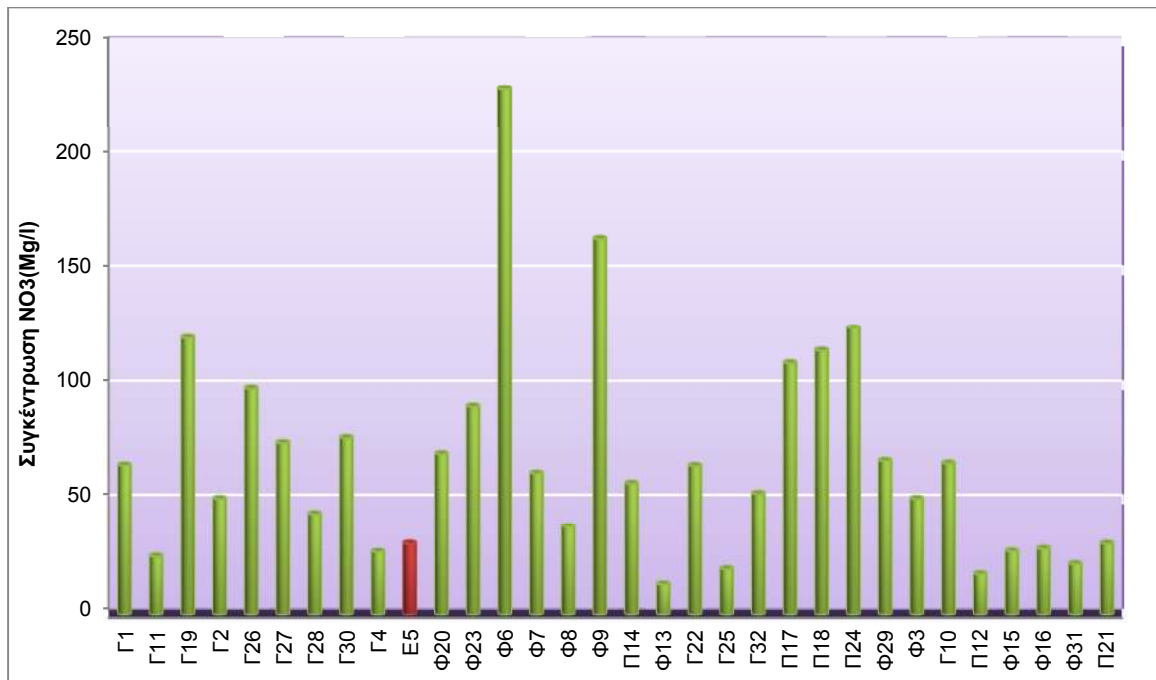
Οι ενδεικτικές συγκεντρώσεις του Ν στα μαγματικά πετρώματα ανέρχεται στα 46 mg/kg και στους αργίλους στα 600 mg/kg (Matthess 1982). Στα φυσικά νερά χωρίς ρυπαντικό φορτίο οι φυσιολογικές συγκεντρώσεις των  $\text{NO}_3^-$  είναι 0,001-0,2 mmol/l (0,1-12,4 mg/l) (Appelo and Postma 2005).

Η διαδικασία απομάκρυνσης των νιτρικών ιόντων από τα νερά ονομάζεται απονιτροποίηση. Πρόκειται για μια διαδικασία βιοχημικής φύσεως κατά την οποία ανάγονται τα νιτρικά ιόντα και τα οποία τελικώς μετατρέπονται σε οξείδια του αζώτου ( $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}$ ) και σε μοριακό άζωτο ( $\text{N}_2$ ), με τη βοήθεια αναερόβιων ετερότροφων μικροοργανισμών, σύμφωνα με την παρακάτω αντίδραση.

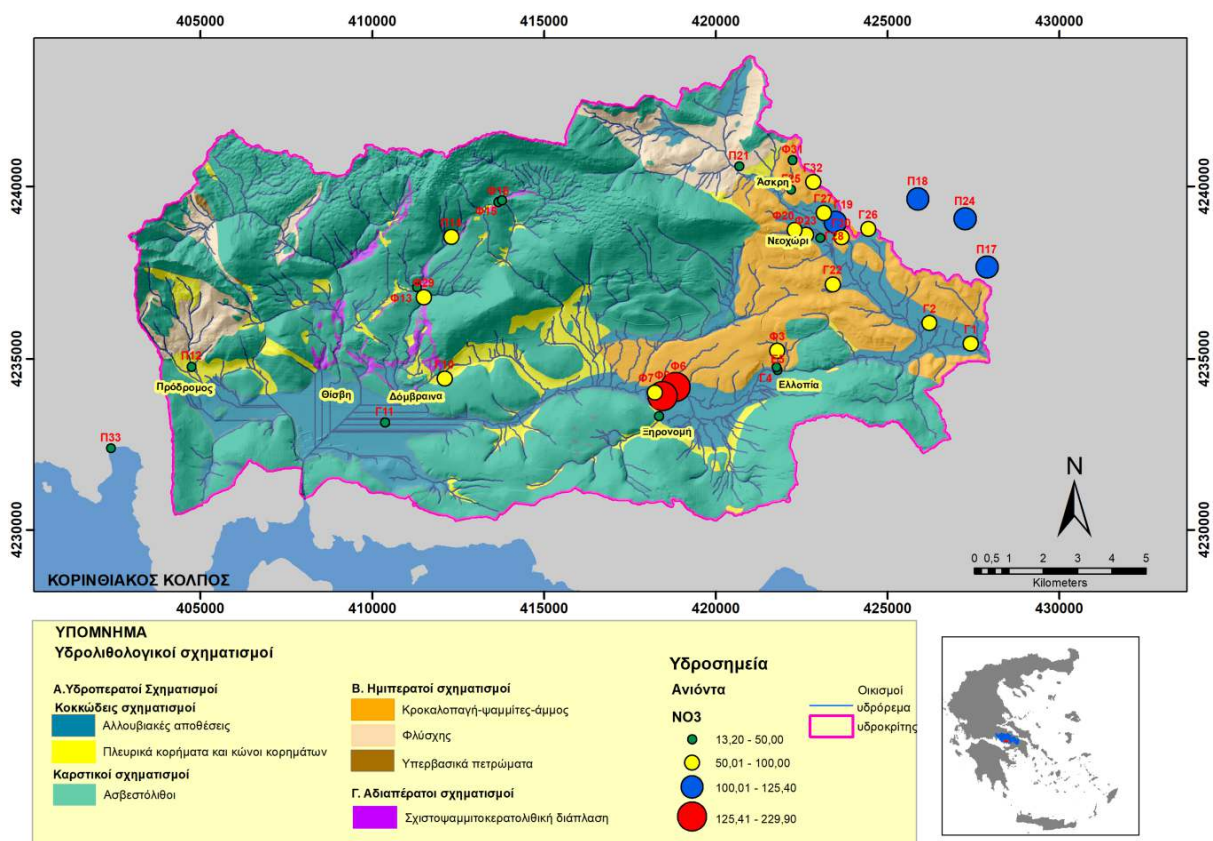


Οι τιμές συγκέντρωσης των νιτρικών ιόντων ( $\text{NO}_3^-$ ) στα δείγματα νερού της περιοχής μελέτης κυμαίνονται μεταξύ 13,2mg/l και 229,9mg/l. Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις παρατηρούνται στα δείγματα των πηγαδιών, ενώ οι χαμηλότερες συγκεντρώσεις είναι στις γεωτρήσεις και στις πηγές, καθώς και στην παράκτια υφάλμυρη πηγή και στο επιφανειακό νερό του ποταμού Άσκηρ. Ανάλογα με το γεωλογικό υπόβαθρο οι συγκεντρώσεις των νιτρικών ιόντων στα δείγματα νερού κυμαίνονται ως εξής (Πίνακας 8.6):

- Στις αλλουβιακές αποθέσεις από 25,3 έως 229,9 mg/l με μέση τιμή 79,3 mg/l.
- Στα κροκαλοπαγή πετρώματα από 19,8 έως 125,4 mg/l, με μέση τιμή 75,76 mg/l.
- Στους ανθρακικούς σχηματισμούς από 13,2 έως 57,2 mg/l, με μέση τιμή 35,2 mg/l.
- Στα πλευρικά κορήματα και κώνους κορημάτων από 17,6 έως 66 mg/l, με μέση τιμή 39,92 mg/l.
- Στο φλύσχη η τιμή του ( $\text{NO}_3^-$ ) είναι 30,8 mg/l.
- Στην σχιστοψαμμιτοκερατολιθική διάπλαση η τιμή του ( $\text{NO}_3^-$ ) είναι 22 mg/l.



Σχήμα 8.33: Διάγραμμα διακύμανσης της συγκέντρωσης  $\text{NO}_3^-$  (mg/l) των δειγμάτων νερού της υδρολογικής λεκάνης Άσκλης.



Σχήμα 8.34: Χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων  $\text{NO}_3^-$  των δειγμάτων νερού της υδρολογικής λεκάνης Άσκλης

Επίσης, ανάλογα με το είδος του υδροσημείου (γεώτρηση, πηγάδι, πηγή και επιφανειακό νερό) οι τιμές του ( $\text{NO}_3^-$ ) κυμαίνονται ως εξής (Πίνακας 8.6):

- Στα νερά των γεωτρήσεων οι τιμές κυμαίνονται από 19,8 έως 121,0mg/l, με μέση τιμή 60,6 mg/l.
- Στα νερά των πηγαδιών οι τιμές κυμαίνονται μεταξύ από 13,2 έως 229,9 mg/l, με μέση τιμή 72 mg/l.
- Στα νερά των πηγών οι τιμές κυμαίνονται μεταξύ από 17,6 έως 125,6 mg/l, με μέση τιμή 76,1 mg/l.
- Στο επιφανειακό νερό του ποταμού Άσκη η τιμή του ( $\text{NO}_3^-$ ) είναι 30,8 mg/l.
- Στην παράκτια υφάλμυρη πηγή η τιμή του ( $\text{NO}_3^-$ ) είναι 16,5 mg/l.

Γενικά οι συγκεντρώσεις των νιτρικών ιόντων στην περιοχή μελέτης είναι αρκετά υψηλές. Ποσοστό 55% από το σύνολο των δειγμάτων νερού παρουσιάζουν τιμές πάνω από το επιτρεπτό όριο των 50 mg/l που θέτει η Ε.Ε.

**Χωρική κατανομή των νιτρικών ιόντων:** Στο Σχήμα 8.34 παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις των νιτρικών ιόντων των δειγμάτων νερού. Οι υψηλότερες τιμές των νιτρικών ιόντων όπως φαίνεται και στο σχήμα 8.33 παρουσιάζονται στα νερά των τριών πηγών που βρίσκονται στο ανατολικό τμήμα της περιοχής εκτός αλλά πλησίον των ορίων της λεκάνης Άσκη. Η παρουσία τους αποδίδεται στη χρήση αζωτούχων λιπασμάτων καθώς η εν λόγω περιοχή καλλιεργείται έντονα. Εντός της λεκάνης οι υψηλότερες τιμές εμφανίζονται στα νερά των πηγαδιών Φ6 και Φ9 στην κοιλάδα της Ξηρονομής όπου, όπως έχει προαναφερθεί, ο φρεάτιος υδροφόρος ορίζοντας έχουν μολυνθεί από τους σηπτικούς βόθρους και ζωικά απόβλητα.

#### 8.8.2.5 Φωσφορικά ( $\text{PO}_4^{3-}$ )

Τα φωσφορικά ιόντα ανάλογα με την τιμή του pH βρίσκονται στο υπόγειο νερό σε διάφορες μορφές, όπως  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$  και  $\text{PO}_4^{3-}$ . Η παρουσία των φωσφορικών ιόντων στα υπόγεια νερά οφείλεται σε διάφορες ανθρωπογενείς δραστηριότητες, όπως η χρήση φωσφορικών λιπασμάτων σε γεωργικές καλλιέργειες, η χρήση απορρυπαντικών πλούσιων σε φωσφορικά άλατα (π.χ. τριπολυφωσφορικό νάτριο) τα οποία απορρίπτονται κυρίως στο υδάτινο περιβάλλον μέσω της επεξεργασίας των λυμάτων, οι διαρροές από υπονόμους και βόθρους και τα απόβλητα από κτηνοτροφικές μονάδες (Καλλέργης 2000, Βουδούρης 2009).

Ο φώσφορος είναι ένα από τα βασικά στοιχεία για την ανάπτυξη του ανθρώπινου οργανισμού, των ζώων και των ψαριών. Μαζί με το ασβέστιο είναι το δεύτερο πιο άφθονο μέταλλο στο ανθρώπινο σώμα. Περίπου το 85% της συνολικής του ποσότητας βρίσκεται στα οστά και το υπόλοιπο σε μικρότερες ποσότητες στους μαλακούς ιστούς και τα εξωκυτταρικά υγρά ([www.tjclarkinc.com/minerals](http://www.tjclarkinc.com/minerals)). Επίσης, διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην παραγωγή ορισμένων πρωτεϊνών και σακχάρων, των γενετικών δομικών μονάδων νουκλεϊνικών οξέων (DNA και RNA), καθώς και για την ισορροπία και τη χρήση ορισμένων βιταμινών (βιταμίνης Β) και των μετάλλων (<https://www.humanitas.net>). Η συνήθης ημερήσια πρόσληψη Φωσφόρου είναι 1200-1500μg, ενώ η απαιτούμενη ημερήσια δόση για τους ενήλικες είναι 800 μg.

Η υπερβολική του χρήση και η αποβολή στο περιβάλλον έχει οδηγήσει σε περίσσεια θρεπτικών ουσιών ιδιαίτερα στο υδάτινο περιβάλλον, γεγονός που σε πολλές περιοχές έχει

προκαλέσει ευτροφισμό των επιφανειακών νερών, με ότι αυτό συνεπάγεται για τον έμβιο πληθυσμό των υδάτινων συστημάτων.

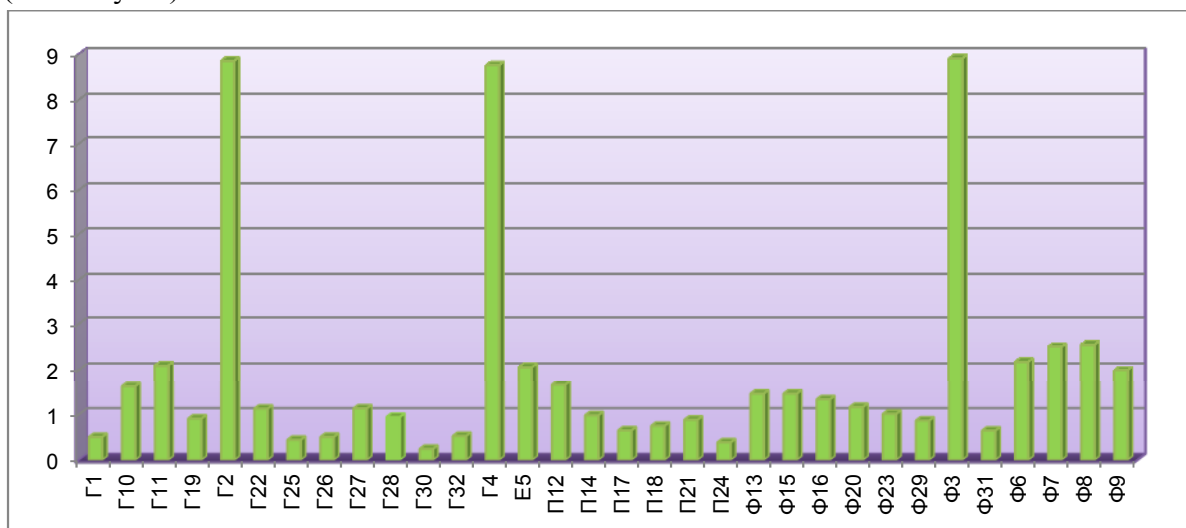
Οι φυσιολογικές συγκεντρώσεις των  $\text{PO}_4^{3-}$  στα υπόγεια νερά, χωρίς ρυπαντικό φορτίο, είναι 0 - 0,02 mmol/l (0,0-1,9 mg/l) (Appelo and Postma 2005), οι οποίες προέρχονται κυρίως από φωσφορικά πετρώματα και οργανική ύλη. Στον Πίνακα 8.15 που ακολουθεί παρουσιάζονται οι ενδεικτικές συγκεντρώσεις των φωσφορικών ιόντων που βρίσκονται στα διάφορα πετρώματα (Matthess 1982).

**Πίνακας 8.15:** Ενδεικτικές Συγκεντρώσεις του  $\text{PO}_4^{3-}$  στα διάφορα πετρώματα.

Πετρώματα	Συγκεντρώσεις $\text{PO}_4^{3-}$ (mg/kg)
Μαγματικά πετρώματα	1.100
Ψαμμίτες	539
Άργιλοι	600
Ανθρακικά πετρώματα	281

Σύμφωνα με την Οδηγία 98/83/ΕΚ της Ε.Ε. ο φώσφορος δεν κατατάσσεται σε κανέναν από τους καταλόγους των προς έλεγχο παραμέτρων, ωστόσο η οδηγία 80/778/ΕΟΚ προσδιόρισε ως ενδεικτική τιμή τα 0,4 mg/l (περίπου 0,5 mg/l  $\text{PO}_4^{3-}$ ) και ως μέγιστο επιτρεπόμενο όριο τα 5mg/l για το  $\text{P}_2\text{O}_5$  (δηλαδή 6,69 περίπου mg/l  $\text{PO}_4^{3-}$ ).

Από το σύνολο των δειγμάτων νερού που λήφθηκαν από την περιοχή μελέτης, σε 29 από αυτά οι συγκεντρώσεις των φωσφορικών ιόντων ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) κυμάνθηκαν σε αρκετά χαμηλά επίπεδα μεταξύ 0,24 mg/l και 2,55 mg/l (ποσοστό 88%) εντός των επιτρεπτών ορίων που αναφέρονται στην οδηγία της Ε.Ε. (80/778/ΕΟΚ). Σε τρία δείγματα νερού (των γεωτρήσεων Γ2 και Γ4 και του πηγαδιού Φ3) οι συγκεντρώσεις κυμάνθηκαν μεταξύ 8,75 και 8,9 mg/l (Πίνακας 8.6).

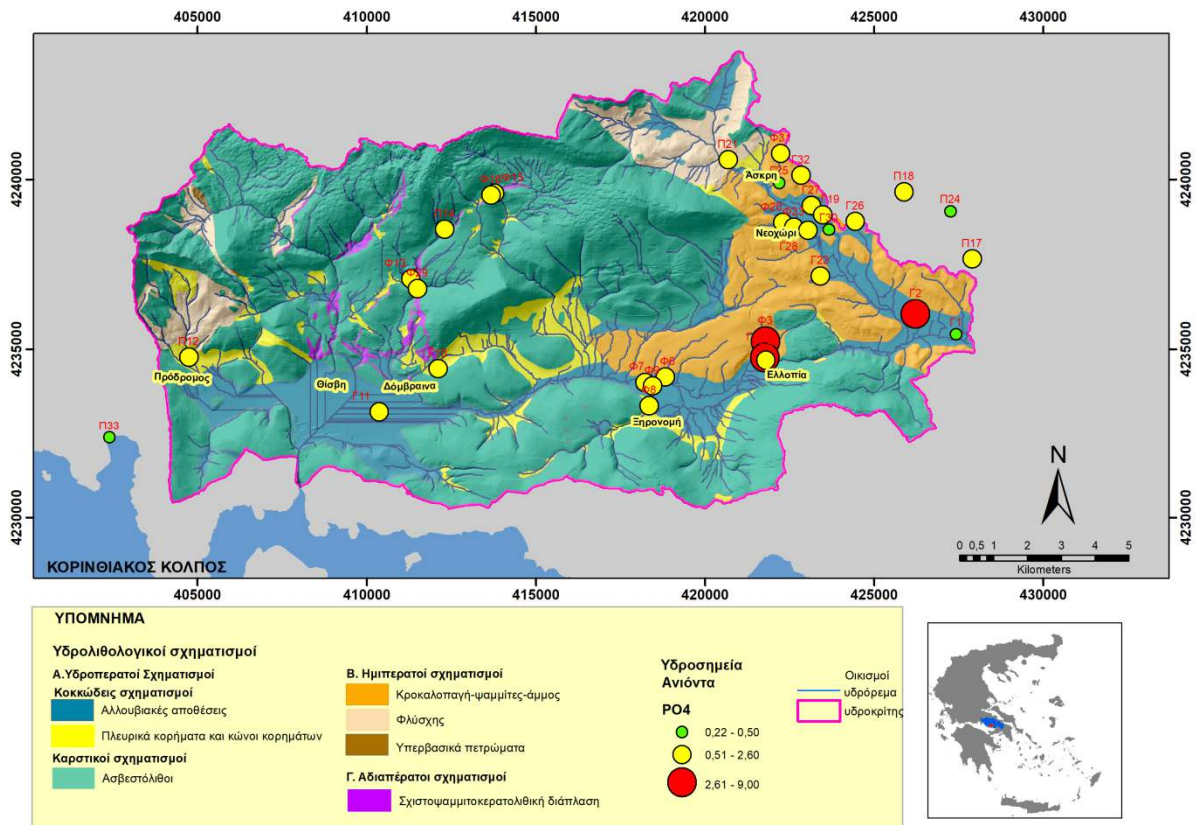


**Σχήμα 8.35:** Διάγραμμα διακύμανσης της συγκέντρωσης  $\text{PO}_4^{3-}$  (mg/l) των δειγμάτων νερού της υδρολογικής λεκάνης Άσκηρης.

Στο σχήμα 8.35 παρουσιάζεται η διακύμανση των τιμών των  $\text{PO}_4^{3-}$  στα υπόγεια νερά και το επιφανειακό νερό της υδρολογικής λεκάνης Άσκηρης.

Ανάλογα με το γεωλογικό υπόβαθρο οι συγκεντρώσεις των φωσφορικών ιόντων στα δείγματα νερού κυμαίνονται ως εξής (Πίνακας 8.6):

- Στις αλλουβιακές αποθέσεις από 0,24 έως 8,85 mg/l με μέση τιμή 2,33 mg/l.
- Στα κροκαλοπαγή πετρώματα από 0,44 έως 8,9 mg/l, με μέση τιμή 1,7 mg/l.
- Στους ανθρακικούς σχηματισμούς από 0,97 έως 1,45 mg/l, με μέση τιμή 1,21 mg/l.
- Στα πλευρικά κορήματα και κώνους κορημάτων από 1,45 έως 1,65 mg/l, με μέση τιμή 1,51 mg/l.
- Στο φλύσχη η τιμή των  $PO_4^{3-}$  είναι 0,88 mg/l.
- Στην σχιστοψαμμιτοκερατολιθική διάπλαση η τιμή των  $PO_4^{3-}$  είναι 0,64 mg/l.



**Σχήμα 8.36:** Χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων  $PO_4^{3-}$  των δειγμάτων νερού της υδρολογικής λεκάνης Άσκηρης.

Επίσης, ανάλογα με το είδος του υδροσημείου (γεώτρηση, πηγάδι, πηγή και επιφανειακό νερό) οι τιμές των  $PO_4^{3-}$  κυμαίνονται ως εξής (Πίνακας 8.6) :

- Στα νερά των γεωτρήσεων οι τιμές κυμαίνονται από 0,24 έως 8,85 mg/l, με μέση τιμή 2,12 mg/l.
- Στα νερά των πηγαδιών οι τιμές κυμαίνονται μεταξύ από 0,64 έως 8,90 mg/l, με μέση τιμή 2,17 mg/l.
- Στα νερά των πηγών οι τιμές κυμαίνονται μεταξύ από 0,4 έως 1,7 mg/l, με μέση τιμή 0,88 mg/l.
- Στο επιφανειακό νερό του ποταμού Άσκηρη η τιμή των  $PO_4^{3-}$  είναι 2,06 mg/l.
- Στην παράκτια υφάλμυρη πηγή η τιμή των  $PO_4^{3-}$  είναι 0,22 mg/l.

**Χωρική κατανομή των φωσφορικών ιόντων:** Η χωρική κατανομή των φωσφορικών ιόντων παρουσιάζεται στο Σχήμα 8.36. Από τη χωρική κατανομή προκύπτει ότι οι υψηλότερες συγκεντρώσεις των φωσφορικών ιόντων βρίσκονται κυρίως στο νοτιοανατολικό τμήμα της

περιοχής μελέτης. Αντίθετα στα υπόλοιπα τμήματα της περιοχής οι συγκεντρώσεις των φωσφορικών δεν χαρακτηρίζονται από έντονες διαφοροποιήσεις.

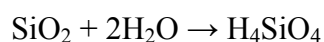
Η παρουσία των φωσφορικών ιόντων συνδέεται κυρίως με τα αστικά λύματα, με τη χρήση φωσφορικών λιπασμάτων και την χρήση των ζωικών αποβλήτων ως εδαφοβελτιωτικά υλικά. Διαπιστώνεται ότι οι τιμές των φωσφορικών ιόντων στα υπόγεια νερά της λεκάνης Άσκλης κυμαίνονται σε υψηλότερα επίπεδα, σε σχέση με τις τιμές της γειτονικής λεκάνης του Άνω Ρου του Ασωπού ποταμού (Τσαραμπάρης 2010). Προφανώς η διαφοροποίηση αυτή συνδέεται με το γεωλογικό υπόβαθρο και τις διάφορες ανθρώπινες δραστηριότητες που συντελούνται στις δυο λεκάνες.

## 8.9 Ενώσεις

### 8.9.1 Διοξείδιο του πυριτίου (SiO<sub>2</sub>)

Το διοξείδιο του πυριτίου εμφανίζεται στη φύση σε κρυσταλλική και σε άμορφη μορφή. Η πιο κοινή κρυσταλλική μορφή είναι ο χαλαζίας. Αποτελεί το κύριο συστατικό της χαλαζιακής άμμου και αποτελεί μέρος πολλών κρυσταλλικών και ιζηματογενών πετρωμάτων. Οι μη κρυσταλλικές μορφές, οι αποκαλούμενες άμορφες μορφές, είναι επίσης ευρέως διαδεδομένες στη φύση. Δημιουργούνται όταν τα ορυκτά εκτίθενται σε υψηλές θερμοκρασίες (ηφαίστειο, κ.λπ.), αλλά μπορούν επίσης να έχουν και βιολογική προέλευση. Τεράστιες ποσότητες του διοξειδίου του πυριτίου εμφανίζονται στους ωκεανούς και σε όλα τα άλλα υδάτινα συστήματα (<https://www.lenntech.de>).

Το οξείδιο του πυριτίου σε σύγκριση με τα άλλα μέταλλα είναι λιγότερο διαλυτό στο νερό και όταν διαλύεται σχηματίζει την ακόλουθη ισορροπία:



Κύριες πηγές προέλευσης του πυριτίου στα νερά είναι τα πυριτικά ορυκτά, όπως το επίδοτο [Ca<sub>2</sub>(Fe,Al)Al<sub>2</sub>(SiO<sub>4</sub>)(SiO<sub>7</sub>)O(OH)], ο μοσχοβίτης [KAl<sub>2</sub>(AlSi<sub>3</sub>)O<sub>10</sub>(OH)<sub>2</sub>], ο ανορθίτης (CaAl<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>8</sub>), ο αλβίτης (NaAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>), το ορθόκλαστο (KAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>), το ολιγόκλαστο, ο χαλαζίας SiO<sub>2</sub> και ο ολιβίνης (Mg,Fe<sup>2+</sup>)<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>.

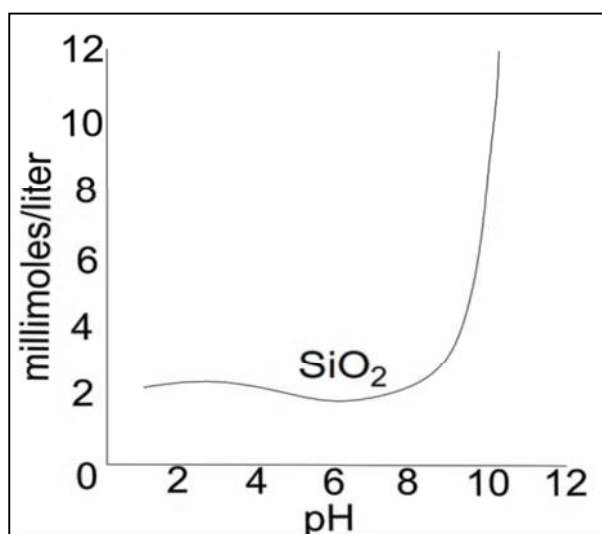
Το πυρίτιο σπάνια εμφανίζεται στη φύση σε ελεύθερη στοιχειακή κατάσταση. Επιπλέον, είναι σχετικά αδρανές στην κρυσταλλική μορφή, όταν δεν εκτίθεται σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες.

Στον Πίνακα 8.16 παρουσιάζονται οι ενδεικτικές συγκεντρώσεις του Si στα διάφορα πετρώματα (Matthess 1982).

**Πίνακας 8.16:** Ενδεικτικές Συγκεντρώσεις του Si στα διάφορα πετρώματα.

Πετρώματα	Συγκεντρώσεις Si (mg/kg)
Μαγματικά πετρώματα	285.000
Ψαμμίτες	359.000
Αργίλοι	260.000
Ανθρακικά πετρώματα	33.900
Εβαπορίτες	386

Η διαλυτότητα του  $\text{SiO}_2$  εξαρτάται από το pH. Σε  $\text{pH} < 4$  το  $\text{SiO}_2$  είναι ελαφρά διαλυτό, με αποτέλεσμα αυτό να παραμένει στο διάλυμα, σε  $\text{pH} 5-8$  είναι λιγότερο διαλυτό, ενώ σε  $\text{pH} > 8,5$  η διαλυτότητά του αυξάνεται σημαντικά (Σχήμα 8.37).



**Σχήμα 8.37:** Η διαλυτότητα του άμορφου διοξειδίου του πυριτίου σε σχέση με το pH για θερμοκρασία  $25^\circ\text{C}$  (από Mason and Moore 1982, ίδια επεξεργασία) (<http://www.geo.auth.gr>)

Το πυρίτιο είναι απαραίτητο στοιχείο για τον ανθρώπινο οργανισμό γιατί συμβάλει στην ανάπτυξη των οστών, τη διατήρηση της φυσιολογικής οστικής δομής, στη γρήγορη επούλωση καταγμάτων, θλάσεων και τραυματισμένων τενόντων και συνδέσμων και στο δέρμα (<https://www.pharmacyway.gr/>).

Σήμερα, το πυρίτιο και οι ενώσεις του χρησιμοποιούνται με διάφορους τρόπους για την κατασκευή γυαλιών, παρασκευή φαρμάκων, τεχνολογία ραδιοσυχνοτήτων και υπερήχων και παραγωγή τσιμέντου.

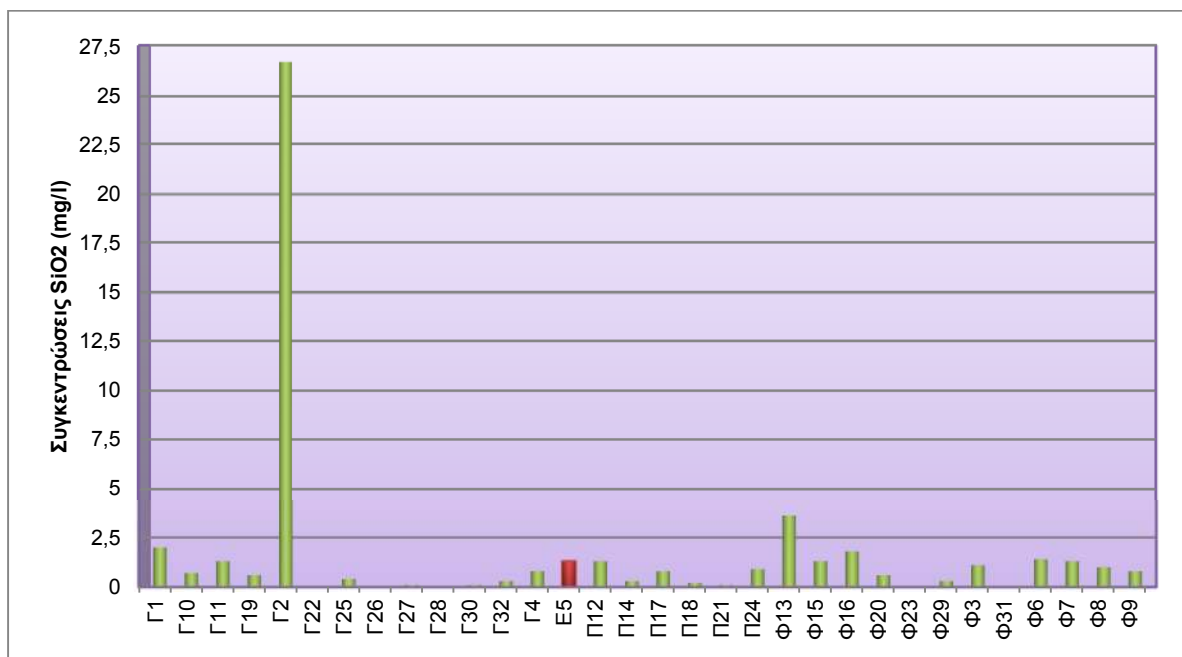
Σε φυσικά υπόγεια νερά χωρίς ρυπαντικό φορτίο οι συγκεντρώσεις του πυριτίου είναι μικρότερες των  $30\text{mg/l}$ , ενώ σπάνια φτάνουν μέχρι τα  $100\text{mg/l}$  (Καλλέργης 2000). Σε φυσικά νερά χωρίς ρυπαντικό φορτίο οι φυσιολογικές συγκεντρώσεις του είναι  $0,02-1,0\text{mmol/l}$  ( $4,48-56\text{mg/l}$ ) (Appelo and Postma 2005). Σύμφωνα με τις οδηγίες της Ε.Ε. σχετικά με την ποιότητα του πόσιμου νερού το πυρίτιο δεν κατατάσσεται σε κανέναν από τους καταλόγους των προς έλεγχο παραμέτρων.

Οι τιμές συγκέντρωσης του  $\text{SiO}_2$  στα υπόγεια νερά της περιοχής μελέτης κυμαίνονται μεταξύ  $0\text{mg/l}$  και  $26,7\text{mg/l}$ . Σε ποσοστό  $66,7\%$  των δειγμάτων οι συγκεντρώσεις του  $\text{SiO}_2$  ήταν μικρότερες από  $1,0\text{mg/l}$  και σε ποσοστό  $30,3\%$  των δειγμάτων οι τιμές κυμαίνονται μεταξύ  $1,0$  και  $3,6\text{mg/l}$ . Εξαιρέση αποτελεί η γεώτρηση Γ2 που εμφανίζει τιμή συγκέντρωσης  $26,7\text{mg/l SiO}_2$ .

Στο σχήμα 8.38 παρουσιάζεται η διακύμανση των τιμών του  $\text{SiO}_2$  στα υπόγεια νερά και το επιφανειακό νερό της υδρολογικής λεκάνης Άσκρης. Ανάλογα με το γεωλογικό υπόβαθρο οι συγκεντρώσεις του  $\text{SiO}_2$  στα δείγματα νερού κυμαίνονται ως εξής (Πίνακας 8.6):

- Στις αλλουβιακές αποθέσεις από  $0$  έως  $26,7\text{mg/l}$  με μέση τιμή  $2,375\text{mg/l}$ .
- Στα κροκαλοπαγή πετρώματα από  $0$  έως  $1,1\text{mg/l}$ , με μέση τιμή  $0,5\text{mg/l}$ .
- Στους ανθρακικούς σχηματισμούς από  $0,3$  έως  $3,6\text{mg/l}$ , με μέση τιμή  $1,95\text{mg/l}$ .

- Στα πλευρικά κορήματα και κόνους κορημάτων από 0,7-1,8 mg/l, μέση τιμή 1,23 mg/l.
- Στο φλύσχη η τιμή του SiO<sub>2</sub> είναι 0,1 mg/l.
- Στην σχιστοψαμμιτοκερατολιθική διάπλαση η τιμή του SiO<sub>2</sub> είναι 0 mg/l.

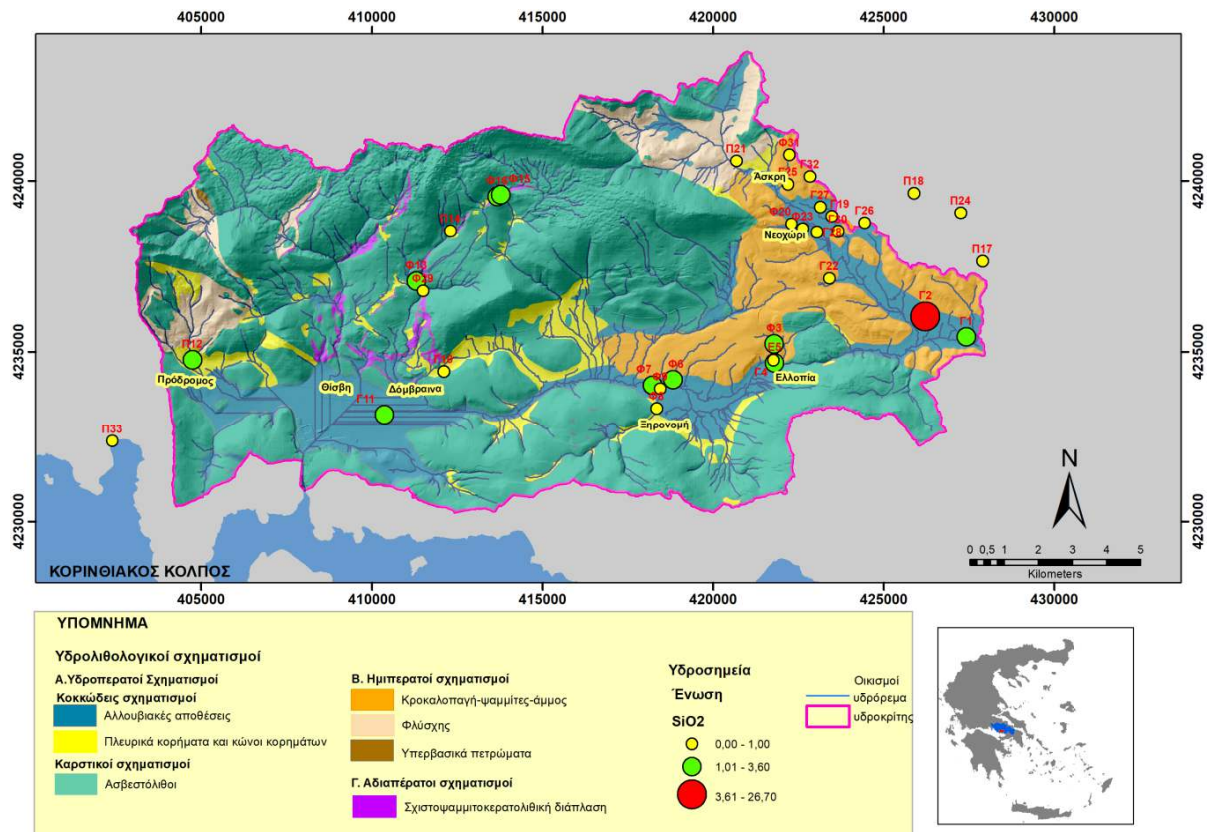


**Σχήμα 8.38:** Διάγραμμα διακύμανσης της συγκέντρωσης SiO<sub>2</sub> (mg/l) των δειγμάτων νερού.

Επίσης, ανάλογα με το είδος του υδροσημείου (γεώτρηση, πηγάδι, πηγή και επιφανειακό νερό) οι τιμές του SiO<sub>2</sub> κυμαίνονται ως εξής (Πίνακας 8.6):

- Στα νερά των γεωτρήσεων οι τιμές κυμαίνονται από 0 έως 26,7 mg/l, με μέση τιμή 2,5 mg/l.
- Στα νερά των πηγαδιών οι τιμές κυμαίνονται μεταξύ από 0 έως 3,6 mg/l, με μέση τιμή 1,1 mg/l.
- Στα νερά των πηγών οι τιμές κυμαίνονται μεταξύ από 0,1 έως 1,3 mg/l, με μέση τιμή 0,6 mg/l.
- Στο επιφανειακό νερό του ποταμού Άσκη η τιμή του SiO<sub>2</sub> είναι 1,3 mg/l.
- Στην παράκτια υφάλμυρη πηγή η τιμή του SiO<sub>2</sub> είναι 0,2 mg/l.





**Σχήμα 8.39:** Χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων SiO<sub>2</sub> των δειγμάτων νερού της ευρύτερης περιοχής της υδρολογικής λεκάνης Άσκρις.

**Χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων SiO<sub>2</sub>:** Η παρουσία του SiO<sub>2</sub> στα υπόγεια και επιφανειακά νερά είναι κυρίως γεωγενούς προέλευσης και οφείλεται στη διάλυση των πυριτικών ορυκτών που βρίσκονται στα οφιολιθικά πετρώματα, τους αργιλικούς σχιστόλιθους και στους πυριτικούς ασβεστόλιθους.

Γενικά οι συγκεντρώσεις του SiO<sub>2</sub> στην περιοχή μελέτης συγκρινόμενες με τις τιμές της όμορης στα ανατολικά λεκάνης του Άνω Ρου Ασωπού ποταμού (10,7-33,00 mg/l) (Τσαραμπάρης 2010) εμφανίζονται σε πολύ χαμηλότερα επίπεδα.

Σύμφωνα με το χάρτη (Σχήμα 8.39) στο βορειοανατολικό τμήμα της λεκάνης οι συγκεντρώσεις του SiO<sub>2</sub> είναι αρκετά χαμηλές έως μηδενικές, πιθανόν λόγω της χαμηλής διαλυτότητας των πυριτικών ορυκτών. Εξαιρέση αποτελεί η υψηλή συγκέντρωση της γεώτρησης Γ2: 26,7 mg/l που εντοπίζεται στο νοτιοανατολικό τμήμα της περιοχής. Εκτιμάται, ότι η παρουσία του SiO<sub>2</sub> σχετίζεται πολύ περισσότερο με ανθρωπογενείς παρά με γεωγενείς παράγοντες, καθώς η γεώτρηση βρίσκεται πλησίον κατοικούμενης αγροικίας, χωρίς να έχουν ληφθεί απόλυτα μέτρα προστασίας.

## 9. ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ

### 9.1. Γενικά

Τα βαρέα μέταλλα, όπως ο μόλυβδος (Pb), το κάδμιο (Cd), το νικέλιο (Ni), καθώς και το αρσενικό (As), αποτελούν ιδιαίτερα τοξικές ουσίες και ως εκ τούτου η μέγιστη αποδεκτή συγκέντρωσή τους στο περιβάλλον είναι πολύ χαμηλή. Στα φυσικά υπόγεια νερά τα βαρέα μέταλλα, λόγω της γεωχημικής τους κατανομής και της μικρής διαλυτότητάς τους, βρίσκονται σε πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις. Ωστόσο, οι συγκεντρώσεις τους σε αυτά πάνω από το μέγιστο επιτρεπτό όριο αποτελούν σοβαρό πρόβλημα για την ποιότητα του νερού σε όλο τον κόσμο.

Στα φυσικά νερά (επιφανειακά και υπόγεια) τα βαρέα μέταλλα μπορεί να προέρχονται είτε από διάφορες φυσικές διεργασίες, είτε να είναι αποτέλεσμα διαφόρων ανθρωπογενών δραστηριοτήτων. Οι βασικές φυσικές διεργασίες που συμβάλλουν στην παρουσία των μετάλλων στα νερά είναι η χημική διάβρωση των πετρωμάτων και η έκπλυση των εδαφών, οι οποίες όμως ελέγχονται σε μεγάλο βαθμό από βιολογικούς και μικροβιολογικούς παράγοντες.

Οι ανθρωπογενείς πηγές μετάλλων στα ύδατα συνδέονται κυρίως με την εξόρυξη των μεταλλευμάτων και με τα βιομηχανικά και αστικά λύματα.

Στα νερά τα βαρέα μέταλλα, δεν υπάρχουν σε διαλυτές μορφές για μεγάλο χρονικό διάστημα, αλλά εμφανίζονται κυρίως ως αιωρούμενα κolloειδή ή ως διαλυτά άλατα. Με την απελευθέρωση τους στο υδάτινο περιβάλλον, συλλαμβάνονται γρήγορα από αργίλους ή από οργανικές ενώσεις και εναποτίθενται στα ιζήματα του πυθμένα για μεγάλο χρονικό διάστημα είτε με μορφή προσροφημένης ύλης, είτε με τη μορφή οξειδίων και υδροξειδίων.

Τα ιζήματα αυτά μπορούν να θεωρηθούν ως ο απόλυτος συλλέκτης των βαρέων μετάλλων που απορρίπτονται στο υδάτινο περιβάλλον (Dossis and Warren 1980), κυρίως όσων βιοσυσσωρεύονται σε βάθος χρόνου, επειδή δεν υπόκεινται σε διαδικασίες διάσπασης ή αποικοδόμησης.

Η κινητικότητα των μετάλλων ελέγχεται σε μεγάλο βαθμό από διεργασίες προσρόφησης ή ανταλλαγής ιόντων. Ωστόσο, η περισσότερη ρόφηση συνδέεται με την ειδική δέσμευση των βαρέων μετάλλων στις επιφάνειες των οξειδίων και των υδροξειδίων. Το επιφανειακό φορτίο των οξειδίων και των υδροξειδίων μπορεί να είναι θετικό ή αρνητικό ανάλογα με το pH και τη σύνθεση του διαλύματος, δημιουργώντας έτσι μια διαφορά δυναμικού μεταξύ του διαλύματος και της επιφάνειας. Η μεταβλητότητα του φορτίου των οξειδίων και των υδροξειδίων είναι σημαντική για τη ρύθμιση της κινητικότητας των θετικά φορτισμένων βαρέων μετάλλων, όπως του  $Pb^{2+}$  και  $Cd^{2+}$  και των οξυανιόντων, όπως το  $HAsO_4^{2-}$  και  $H_2PO_4^{-}$  (Appelo-Postma 2005).

Από την εργαστηριακή ανάλυση των μεταλλικών ιχνοστοιχείων στην περιοχή μελέτης προκύπτει ότι σε πολλά ιχνοστοιχεία οι συγκεντρώσεις τους είναι αρκετά μεγαλύτερες από τις παραμετρικές τιμές της Ε.Ε. όπως αυτές καθορίστηκαν με την Κοινοτική Οδηγία 98/83/ΕΚ του Συμβουλίου της 3ης Νοεμβρίου 1998 σχετικά με την ποιότητα του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης.

Τα μέταλλα που αναλύθηκαν στην παρούσα μελέτη είναι ο σίδηρος (Fe), το μαγγάνιο (Mn), ο χαλκός (Cu), το νικέλιο (Ni), το ολικό χρώμιο (Cr), το Κάδμιο (Cd), το Κοβάλτιο (Co) και ο Μόλυβδος (Pb). Από τα στοιχεία αυτά, τις υψηλότερες συγκεντρώσεις πάνω από τα

μέγιστα επιτρεπόμενα όρια σε όλα σχεδόν τα δείγματα νερού έχουν το νικέλιο, το κάδμιο και ο μόλυβδος. Οι υψηλές τους συγκεντρώσεις, δεδομένου ότι είναι ιδιαίτερα τοξικά σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας, αποτελούν ένα σοβαρό πρόβλημα για την περιοχή. Η προέλευση των στοιχείων στα νερά της περιοχής οφείλεται αφενός σε γεωγενείς παράγοντες, όπως στα οφιολιθικά πετρώματα που απαντώνται στην περιοχή και αφετέρου σε ανθρωπογενείς παράγοντες, όπως η χρήση των φωσφορικών και αζωτούχων λιπασμάτων, τα ζωικής προελεύσεως οργανικά απόβλητα που χρησιμοποιούνται ως βελτιωτικά του εδάφους, τα διάφορα στερεά οικιακά απορρίμματα που βρίσκονται σκορπισμένα στην περιοχή.

## 9.2. Μεθοδολογία ανάλυσης

Ο προσδιορισμός των μετάλλων στην περιοχή μελέτης πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας τη βοήθεια του οργάνου της ατομικής απορρόφησης (AAS GBC 908AA) στο εργαστήριο Ορυκτολογίας Γεωλογίας του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών. Το εύρος λειτουργίας του οργάνου και η ευαισθησία του ανάλογα με το μετρούμενο στοιχείο, παρατίθενται στο Πίνακα 9.1. Στον Πίνακα 9.2 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των αναλύσεων των βαρέων μετάλλων.

**Πίνακας 9.1:** Εύρος λειτουργίας κι ευαισθησία φασματομέτρου ατομικής απορρόφησης τύπου GBS 908 AA.

Στοιχείο	Μέθοδος	Όργανο Μέτρησης	Μήκος κύματος	Ιδανική περιοχή Εργασίας	Ευαισθησία
			(nm)	(ppm)	(ppm)
Fe (ολικός)	AAS	GBC 908 AA	248,3	2-9	0,05
Mn	AAS	GBC 908 AA	279,5	1-3,6	0,02
Cu	AAS	GBC 908 AA	324,7	1-5	0,025
Ni	AAS	GBC 908 AA	232	1,8-8	0,04
Cr (ολικό)	AAS	GBC 908 AA	357,9	2-15	0,05
Cd	AAS	GBC 908 AA	228,8	0,2-1,8	0,009
Co	AAS	GBC 908 AA	240,7	2,5-9	0,05
Pb	AAS	GBC 908 AA	217	2,5-20	0,06

Στη συνέχεια, περιγράφονται συνοπτικά τα χαρακτηριστικά του κάθε στοιχείου που αναλύθηκε με την παρούσα μελέτη, αναφέρονται τα επιτρεπόμενα όρια σύμφωνα με την Κοινοτική Οδηγία 98/83/Ε.Κ. της Ε.Ε. όπως αυτή τροποποιήθηκε και ισχύει σήμερα και αφορά την ποιότητα του πόσιμου νερού, περιγράφονται συνοπτικά οι επιπτώσεις του στοιχείου στην ανθρώπινη υγεία και προσδιορίζεται η πιθανή προέλευση του στοιχείου (γεωγενής ή ανθρωπογενής) που ανιχνεύτηκε στα υπόγεια νερά της μελέτης καθώς και στο επιφανειακό νερό του ποταμού Άσκληρης.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 9.2:** Αποτελέσματα υδροχημικών αναλύσεων σε δείγματα πηγών, φρεάτων και γεωτρήσεων της περιοχής μελέτης

No	Υψόμε. (m)	ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΙΚΑ ΙΧΝΟΣΤΟΙΧΕΙΑ (ppm)							
		Fe	Mn	Cu	Ni	Cr	Cd	Co	Pb
<b>Α) ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ</b>									
Γ1	300	0,365	0,046	0,070	0,031	0,017	0,078	0,147	<0,001
Γ2	300	0,046	0,020	0,080	0,183	<0,001	0,039	0,118	0,426
Γ4	220	0,091	0,026	0,015	0,114	<0,001	0,025	<0,001	0,198
Γ10	200	0,105	0,010	0,024	0,030	<0,001	0,033	<0,001	<0,001
Γ11	120	0,098	0,028	0,014	0,204	<0,001	0,026	<0,001	<0,001
Γ19	300	0,102	0,023	0,010	0,054	<0,001	0,023	<0,001	0,132
Γ22	320	0,125	0,001	0,014	0,126	<0,001	0,029	<0,001	0,626
Γ25	360	0,305	0,024	0,020	0,027	<0,001	0,016	<0,001	0,201
Γ26	320	0,113	0,054	0,020	0,072	<0,001	0,016	<0,001	0,544
Γ27	320	0,031	0,051	0,024	0,001	<0,001	0,020	<0,001	0,055
Γ28	320	0,083	0,004	0,022	0,026	0,005	0,031	<0,001	0,110
Γ30	320	0,135	0,019	0,022	0,014	0,001	0,006	<0,001	0,491
Γ32	360	0,124	0,021	0,026	0,212	0,014	<0,001	<0,001	0,126
MO		<b>0,133</b>	<b>0,025</b>	<b>0,028</b>	<b>0,084</b>	<b>0,009</b>	<b>0,028</b>	<b>0,133</b>	<b>0,291</b>
min		<b>0,031</b>	<b>0,001</b>	<b>0,010</b>	<b>0,001</b>	<b>0,001</b>	<b>0,006</b>	<b>0,118</b>	<b>0,055</b>
max		<b>0,365</b>	<b>0,054</b>	<b>0,080</b>	<b>0,212</b>	<b>0,017</b>	<b>0,078</b>	<b>0,147</b>	<b>0,626</b>

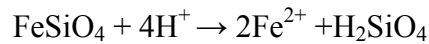
**Β) ΠΗΓΑΔΙΑ**

No	Υψόμε. (m)	ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΙΚΑ ΙΧΝΟΣΤΟΙΧΕΙΑ (ppm)							
		Fe	Mn	Cu	Ni	Cr	Cd	Co	Pb
Φ3	240	0,105	0,001	0,013	0,064	<0,001	0,032	0,058	0,244
Φ6	180	0,063	0,041	0,013	0,027	<0,001	0,018	<0,001	0,369
Φ7	180	0,133	0,025	0,008	0,06	<0,001	0,033	<0,001	0,035
Φ8	200	0,024	0,004	0,009	0,001	<0,001	0,021	0,008	0,027
Φ9	180	0,100	0,023	0,049	0,031	<0,001	0,018	<0,001	0,168
Φ13	440	0,097	0,035	0,013	0,089	<0,001	0,029	<0,001	0,492
Φ15	900	0,119	0,002	0,016	0,017	<0,001	0,024	<0,001	0,335
Φ16	900	0,123	0,017	0,016	0,071	<0,001	0,018	<0,001	0,305
Φ20	330	0,071	0,011	0,046	0,051	<0,001	0,020	<0,001	0,602
Φ23	320	0,059	0,045	0,013	0,208	<0,001	0,028	<0,001	0,274
Φ31	420	0,157	0,012	0,019	0,161	0,034	0,025	<0,001	0,336
Φ29	380	0,164	0,069	0,013	0,277	0,001	0,023	<0,001	0,347
MO		<b>0,101</b>	<b>0,024</b>	<b>0,019</b>	<b>0,088</b>	<b>0,018</b>	<b>0,024</b>	<b>0,033</b>	<b>0,295</b>
min		<b>0,024</b>	<b>0,001</b>	<b>0,008</b>	<b>0,001</b>	<b>0,001</b>	<b>0,018</b>	<b>0,008</b>	<b>0,027</b>
max		<b>0,164</b>	<b>0,069</b>	<b>0,049</b>	<b>0,277</b>	<b>0,034</b>	<b>0,033</b>	<b>0,058</b>	<b>0,602</b>

### 9.3. Ανάλυση βαρέων μετάλλων

#### 9.3.1 Ολικός Σίδηρος ( $Fe_{tot}$ )

Ο σίδηρος είναι το τέταρτο ( $4^o$ ) πιο άφθονο στοιχείο στο φλοιό της Γης, μετά από το οξυγόνο (O), το πυρίτιο (Si) και το αργίλιο (Al) και το έκτο ( $6^o$ ) αφθονότερο στοιχείο στο σύμπαν ([www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)). Ο σίδηρος του εδάφους προέρχεται από την οξειδωτική αποσάθρωση των πρωτογενών ορυκτών κατά τη διαδικασία της εδαφογένεσης όπως για παράδειγμα με τον φαυαλύτη:



Στη συνέχεια ο δισθενής σίδηρος που απελευθερώνεται από την παραπάνω αντίδραση οξειδώνεται μέσω των χημιοαυτότροφων βακτηρίων ή ακόμη και ορισμένων ετερότροφων βακτηρίων (Αλιφραγκής 2008).

Κύρια ορυκτά από τα οποία παράγεται ο σίδηρος είναι ο αιματίτης ( $Fe_2O_3$ ), ο μαγνητίτης ( $Fe_3O_4$ ), ο λειμωνίτης (καστανά κοιτάσματα) ( $Fe_2O_3 \cdot 3H_2O$ ), ενώ άλλα επίσης πολύ κοινά ορυκτά του σιδήρου είναι ο σιδηρίτης ( $FeCO_3$ ), ο σιδηροπυρίτης ( $FeS_2$ ) και ο μαγνητοπυρίτης ( $Fe_{1-x}S$ ) (<http://www.geo.auth.gr>). Ελεύθερος σίδηρος ή σε κράμα με νικέλιο και άλλα μέταλλα βρίσκεται μόνο σε μετεωρίτες.

Η περιεκτικότητα του σιδήρου στα διάφορα πετρώματα, σύμφωνα με τον Matthes (1982), ανέρχεται: στα μαγματικά πετρώματα τα 42.200mg/kg, στους αργίλους 38.800mg/kg, στους ψαμίτες 18.600mg/kg, στα ανθρακικά 8.190mg/kg, στους εβαπορίτες 265mg/kg και στο θαλασσίνο νερό 0,0034 mg/l.

Ο σίδηρος απαντάται σε δύο μορφές, τη μορφή του δισθενούς σιδήρου ( $Fe^{2+}$ ) και του τρισθενούς σιδήρου ( $Fe^{3+}$ ), η οποία καθορίζεται από το pH του διαλύματος και το δυναμικό οξειδοαναγωγής του (Kabata & Pendias et al 1992).

Σε αναγωγικές συνθήκες, όπου υπάρχει μεγάλη κατανάλωση του οξυγόνου και αποσύνθεση της οργανικής ύλης (η περίπτωση του ευτροφισμού) ο σίδηρος ( $Fe^{2+}$ ) έχει μεγάλη διαλυτότητα και σχηματίζει θειούχες ενώσεις. Αντίθετα σε οξειδωτικές συνθήκες ο σίδηρος ( $Fe^{3+}$ ) δεν διαλύεται εύκολα και καθιζάνει με τη μορφή του οξειδίου του σιδήρου ( $Fe_2O_3$ ). Στις ουδέτερες συνθήκες ο σίδηρος στη δισθενή του μορφή καθιζάνει και σχηματίζεται ανθρακικό ασβέστιο ( $FeCO_3$ ) (Μπεάζη 2015).

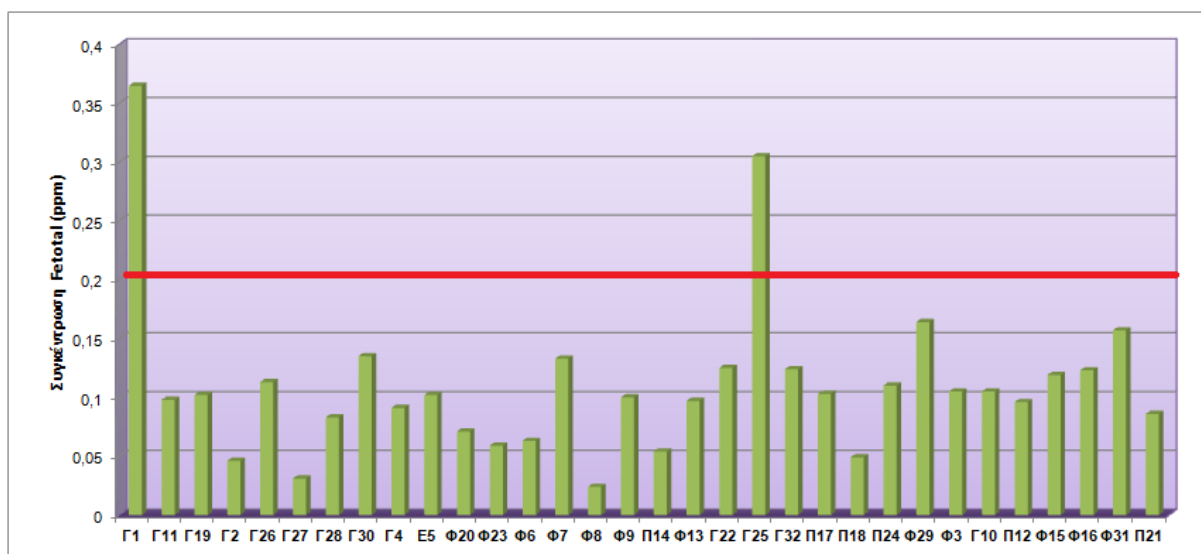
Στα πόσιμα νερά η ενδεικτική τιμή του Fe, σύμφωνα με την οδηγία 98/83/EK της Ε.Ε. είναι 0,05mg/l, ενώ το ανώτατο επιτρεπτό όριο είναι 0,2mg/l. Στην περίπτωση που η συγκέντρωση του σιδήρου περάσει το ανώτατο επιτρεπτό όριο το νερό της ύδρευσης είναι ακατάλληλο για πόση αλλά και για πολλές βιομηχανικές χρήσεις (Καλλέργης 2000). Οι συγκεντρώσεις σιδήρου πάνω από τα επιτρεπτά όρια μπορεί να φράξουν τα συστήματα διανομής νερού και να λεκιάσουν τα ρούχα και τις εγκαταστάσεις υγιεινής.

Οι φυσιολογικές συγκεντρώσεις του Fe στα φυσικά νερά χωρίς ρυπαντικό φορτίο είναι 0-0,5mmol/l (Appelo-Postma 2005).

Ο σίδηρος αποτελεί ένα ουσιαστικό στοιχείο για όλους σχεδόν τους ζώντες οργανισμούς καθώς συμμετέχει σε μια ευρεία ποικιλία μεταβολικών διεργασιών, όπως η μεταφορά οξυγόνου, η σύνθεση (DNA) και η μεταφορά ηλεκτρονίων. Στον ανθρώπινο οργανισμό το 70% περίπου του σιδήρου βρίσκεται στα ερυθρά αιμοσφαίρια του αίματος που ονομάζονται αιμοσφαιρίνη, η οποία είναι απαραίτητη για τη μεταφορά οξυγόνου από τους πνεύμονες

στους ιστούς και στα μυϊκά κύτταρα που ονομάζονται μυοσφαιρίνη, η οποία δέχεται, αποθηκεύει, μεταφέρει και απελευθερώνει οξυγόνο. Ωστόσο, η συγκέντρωσή του στους ιστούς του σώματος πρέπει να ρυθμίζεται αυστηρά, επειδή σε υπερβολικές ποσότητες μπορεί να προκαλέσει βλάβη στους ιστούς. Επίσης, η έλλειψη σιδήρου οδηγεί σε σιδηροπενική αναιμία.

Στο Σχήμα 9.1 παρουσιάζεται η διακύμανση των τιμών συγκέντρωσης του Ολικού Σιδήρου στα δείγματα νερού της περιοχής μελέτης. Οι συγκεντρώσεις του Ολικού Σιδήρου στα δείγματα νερού της περιοχής κυμαίνονται από 0,024ppm έως 0,365ppm. Όπως παρατηρείται και από το διάγραμμα (σχήμα 9.1) στη πλειονότητα των δειγμάτων νερού οι συγκεντρώσεις σιδήρου έχουν τιμές κάτω των επιτρεπόμενων ορίων (<0,2 ppm), εκτός από τις γεωτρήσεις Γ1 και Γ25 που έχουν τιμές 0,305 ppm και 0,365 ppm αντίστοιχα.



**Σχήμα 9.1:** Διακύμανση των τιμών της συγκέντρωσης ολικού σιδήρου των δειγμάτων νερού της περιοχής μελέτης.

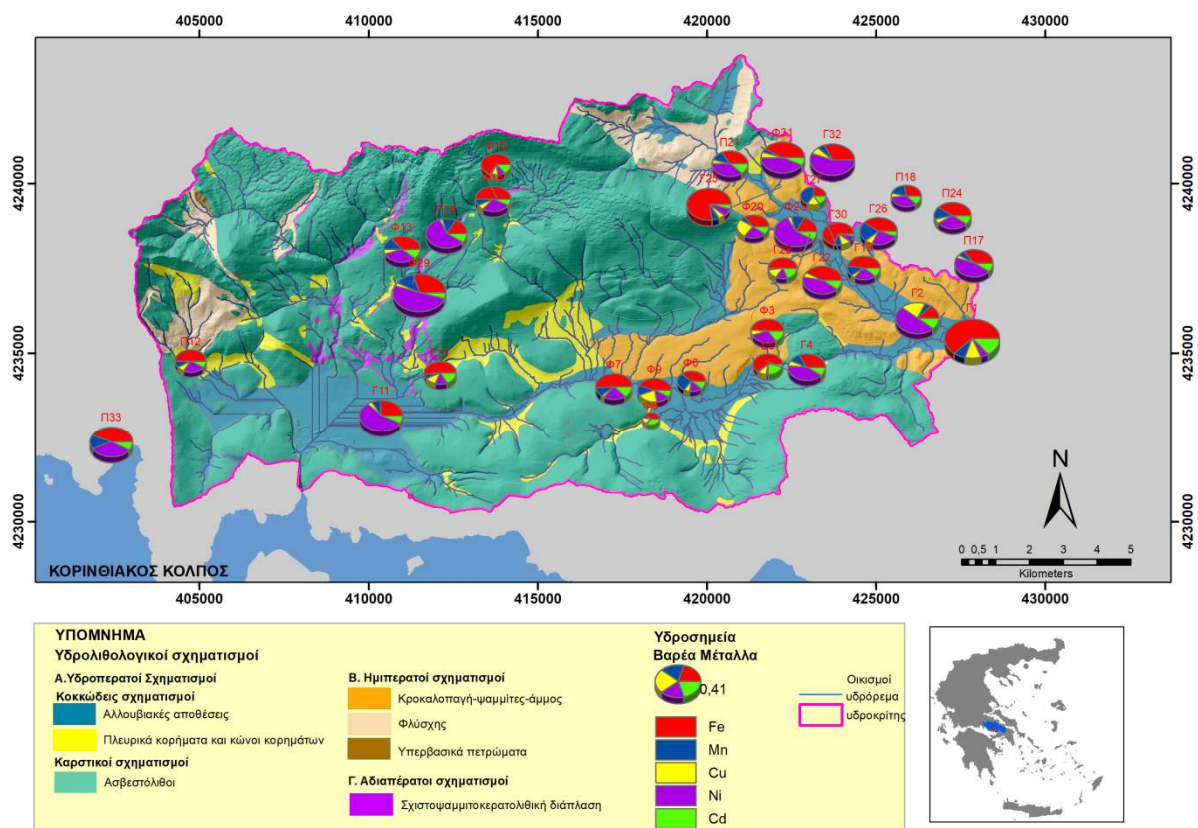
Η αυξημένη συγκέντρωση του σιδήρου στη γεώτρηση Γ1 εκτιμάται ότι οφείλεται στην παρουσία σιδερίτη ( $\text{FeCO}_3$ ) στα ασβεστολιθικά και δολομιτικά πετρώματα της περιοχής ή είναι αποτέλεσμα της εκρόφησης οξειδίων του μαγγανίου ( $\text{MnO}_2$ ), δεδομένου ότι στο δείγμα νερού υπάρχουν υψηλές συγκεντρώσεις σε Mn. Ενώ οι αυξημένες συγκεντρώσεις στη γεώτρηση Γ25 εκτιμάται ότι οφείλεται στη διάλυση πετρωμάτων ή και οξειδίων του εδάφους πλούσιων σε σίδηρο (π.χ. ψαμμιτικών πετρωμάτων).

Ανάλογα με το γεωλογικό υπόβαθρο οι συγκεντρώσεις του ολικού σιδήρου στα δείγματα νερού κυμαίνονται ως εξής (Πίνακας 9.2):

- Στις αλλουβιακές αποθέσεις από 0,024 έως 0,365 ppm με μέση τιμή 0,101 ppm.
- Στα κροκαλοπαγή πετρώματα από 0,049 έως 0,305 ppm, με μέση τιμή 0,1356 ppm.
- Στους ανθρακικούς σχηματισμούς από 0,054 έως 0,097 ppm, με μέση τιμή 0,076 ppm.
- Στα πλευρικά κορήματα και κώνους κορημάτων από 0,096 έως 0,123 ppm, με μέση τιμή 0,1096 ppm.
- Στο φλύσχη η τιμή του ολικού Fe είναι 0,086 ppm.
- Στη σχιστοψαμμιτοκερατολιθική διάπλαση η τιμή του ολικού Fe είναι 0,157 ppm.

Επίσης, ανάλογα με το είδος του υδροσημείου (γεώτρηση, πηγάδι, πηγή και επιφανειακό νερό) οι τιμές του ολικού Fe κυμαίνονται ως εξής (Πίνακας 9.2):

- Στα νερά των γεωτρήσεων οι τιμές κυμαίνονται από 0,031 έως 0,365 ppm, με μέση τιμή 0,133 ppm.
- Στα νερά των πηγαδιών οι τιμές κυμαίνονται από 0,024 έως 0,164 ppm, με μέση τιμή 0,101 ppm.
- Στα νερά των πηγών οι τιμές κυμαίνονται από 0,049 έως 0,110 ppm, με μέση τιμή 0,083ppm.
- Στο επιφανειακό νερό του ποταμού Άσκη η τιμή του ολικού Fe είναι 0,102 ppm.
- Στην παράκτια υφάλμυρη πηγή η τιμή του ολικού Fe είναι 0,156 ppm.



**Σχήμα 9.2:** Χωρική κατανομή των τιμών συγκέντρωσης του ολικού σιδήρου και άλλων μετάλλων των δειγμάτων της ευρύτερης περιοχής της υδρολογικής λεκάνης Άσκηρς, βάσει των κυκλικών διαγραμμάτων (πίτες). Το μέγεθος της πίτας αυξομειώνεται βάσει το άθροισμα των τιμών των μετάλλων (Fe, Mn, Cu, Ni και Cd).

Γενικά, οι τιμές του ολικού σιδήρου της περιοχής μελέτης κινούνται σε υψηλότερα επίπεδα (0,024 - 0,365 ppm), σε σύγκριση με τις τιμές της όμορης λεκάνης του Άνω Ρου Ασωπού (Τσαραμπάρης 2010), οι οποίες κυμαίνονται μεταξύ 0,07 - 0,133 ppm.

**Χωρική κατανομή των ιόντων ολικού σιδήρου:** Στο Σχήμα 9.2 παρουσιάζεται σε διάγραμμα πίτας η χωρική κατανομή της συγκέντρωσης ολικού σιδήρου καθώς και των άλλων βαρέων μεταλλικών στοιχείων των δειγμάτων νερού της περιοχής μελέτης. Διαπιστώνεται ότι οι υψηλότερες τιμές κατανέμονται στο ανατολικό τμήμα της περιοχής

καθώς και στην περιοχή όπου απαντάται η σχιστοψαμμιτοκερατολιθική διάπλαση, ενώ οι χαμηλότερες τιμές κατανέμονται κυρίως στο κεντρικό τμήμα της λεκάνης.

Η παρουσία του ολικού σιδήρου στα δείγματα νερού της περιοχής μελέτης εκτιμάται ότι οφείλεται στη διάβρωση των αργιλικών ιζημάτων που περιέχουν οξειδία του σιδήρου και στη διάλυση ορυκτών, όπως κλαστικού υλικού οφιολιθικής προέλευσης, που είναι πλούσια σε σίδηρο. Ένα σημαντικό ποσοστό προέρχεται από τα υπολειμματικά οξειδία που έχουν προκύψει από την διάβρωση των ανθρακικών σχηματισμών και τα οποία βρίσκονται ευρέως στην επιφάνεια των ανθρακικών μαζών.

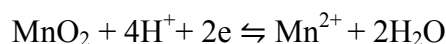
### 9.3.2 Μαγγάνιο (Mn)

Το μαγγάνιο είναι το 12<sup>ο</sup> πιο συνηθισμένο στοιχείο στην επιφάνεια της γης και αποτελεί το 0,1% περίπου της επιφάνειάς της. Η περιεκτικότητα του εδάφους σε μαγγάνιο ποικίλει από 20 έως 3000ppm με μέσο όρο 600ppm (Lindsay 1979, Αλιφραγκής 2005), ενώ το θαλασσινό νερό περιέχει μόνο 10ppm μαγγανίου και η ατμόσφαιρα 0,01μg/m<sup>3</sup> (<http://el.wikipedia.org>).

Το μαγγάνιο του εδάφους προέρχεται από την αποσάθρωση των ορυκτών, τα οποία περιέχουν το στοιχείο αυτό, όπως ο ροδοχρωσίτης (MnCO<sub>3</sub>), ο ψιλομέλανας [(Mn,Ba)O·2MnO<sub>2</sub>], ο πυρολουσίτης (MnO<sub>2</sub>), ο μαγγανίτης (MnO(OH)), ο αουσμανίτης (Mn<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) κ.α.

Η περιεκτικότητα του μαγγανίου στα διάφορα πετρώματα, σύμφωνα με τον Matthess (1982), ανέρχεται: στα μαγματικά πετρώματα τα 937mg/kg, στους αργίλους 575mg/kg, στους ψαμμίτες 392mg/kg, στα ανθρακικά 842 mg/kg και στους εβαπορίτες 4,4 mg/kg.

Στο έδαφος το μαγγάνιο απαντάται σε τρεις βαθμούς οξειδωσης, ως Mn<sup>2+</sup>, Mn<sup>3+</sup> και Mn<sup>4+</sup>, ωστόσο η μορφή Mn<sup>3+</sup> είναι αρκετά σπάνια. Σε αλκαλικές συνθήκες, κατά τη διαδικασία της αποσάθρωσης, τα ιόντα μαγγανίου απελευθερώνονται και γρήγορα οξειδώνονται, με αποτέλεσμα το σχηματισμό του κρυσταλλικού MnO<sub>2</sub>. Ενώ κάτω από αναερόβιες συνθήκες παρατηρείται αναγωγή του μαγγανίου από τη μορφή Mn<sup>4+</sup> στη μορφή Mn<sup>2+</sup>, σύμφωνα με την αντίδραση (Αλιφραγκής 2008):



Τα οξειδία και υδροοξειδία του μαγγανίου παρουσιάζουν μεγάλη προσροφητική ικανότητα, λόγω του αρνητικού τους φορτίου, σε ορισμένα βαρέα μέταλλα (κοβάλτιο, μόλυβδος, νικέλιο και κάδμιο), η οποία επηρεάζεται από το pH και το δυναμικό οξειδοαναγωγής. Η ικανότητα αυτή αποδίδεται στο υψηλότερο αρνητικό επιφανειακό φορτίο που φέρουν, ιδιαίτερα όταν βρεθούν σε όξινο περιβάλλον. Αν και το Mn<sup>2+</sup> συμπεριφέρεται παρόμοια με τον Fe<sup>2+</sup>, εντούτοις έχει ευρύτερα πεδία σταθερότητας στο pH και το Eh σε σύγκριση με το σίδηρο.

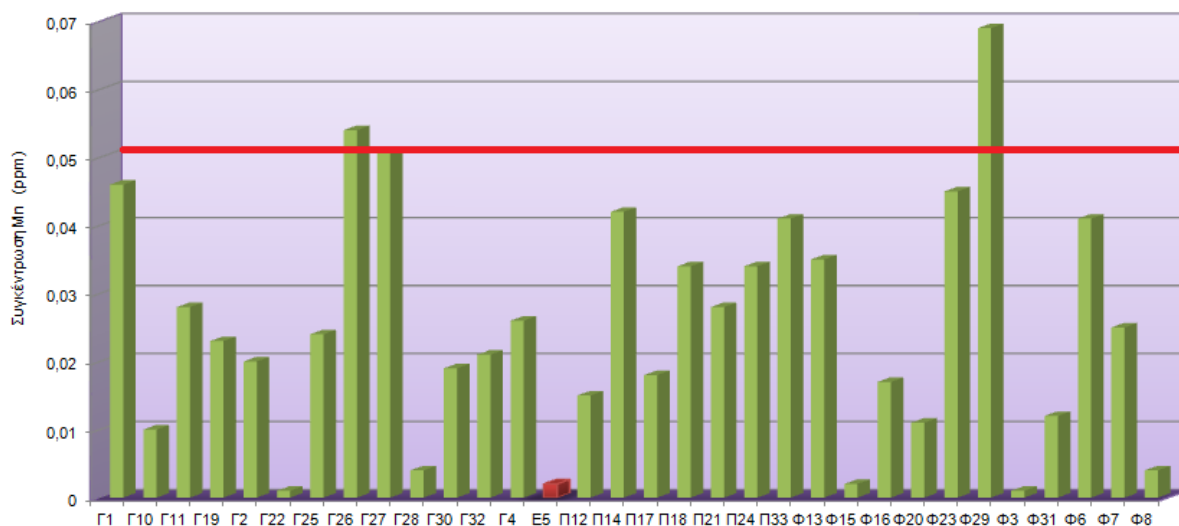
Στα υπόγεια νερά οι συγκεντρώσεις του μαγγανίου είναι συνήθως αρκετά χαμηλές μικρότερες από 0,05mg/l. Ωστόσο, στα θερμομεταλλικά νερά οι συγκεντρώσεις του Mn είναι αρκετά υψηλές και φτάνουν μέχρι 42 mg/l και στα νερά κοιτασμάτων υδρογονανθράκων φτάνουν μέχρι 30mg/l (Matthess 1982).

Σύμφωνα με την οδηγία 98/83/EK της Ε.Ε. το ανώτατο επιτρεπόμενο όριο της συγκέντρωσης του Mn στο πόσιμο νερό είναι 50μg/l ή 0,05mg/l.

Το μαγγάνιο είναι ένα απαραίτητο ιχνοστοιχείο για τον ανθρώπινο οργανισμό, το οποίο συγκεντρώνεται κυρίως στα οστά, στο ήπαρ, στο πάγκρεας και στα νεφρά. Αποτελεί σημαντικό συστατικό των ενζύμων και παίζει σημαντικό ρόλο στην κατασκευή του



συνδετικού ιστού, στη σύνθεση των λιπών και πρωτεϊνών και σε πολλές άλλες φυσιολογικές διεργασίες του ανθρώπινου οργανισμού. Η έλλειψη του μαγγανίου συνδέεται με τις δυσπλασίες των οστών, την αθηροσκλήρωση, την οστεοπόρωση, προβλήματα ακοής, υψηλά επίπεδα χοληστερόλης, καρδιακές διαταραχές, ταχυκαρδία, υπέρταση κ.λπ. ([www.medinova.gr](http://www.medinova.gr)). Τοξικότητα από το μαγγάνιο έχει παρατηρηθεί μόνο σε ανθρακωρύχους οι οποίοι εισέπνευσαν τη σκόνη μαγγανίου και από τη λήψη μολυσμένου πόσιμου νερού. Τα συμπτώματα τοξικότητας είναι κυρίως η ανάπτυξη μιας σχιζοφρένειας με νευρικές διαταραχές που μοιάζουν με τη νόσο του Parkinson ([www.tjclarkinc.com/minerals](http://www.tjclarkinc.com/minerals)).



**Σχήμα 9.3:** Διακύμανση των τιμών της συγκέντρωσης μαγγανίου των δειγμάτων νερού της περιοχής μελέτης.

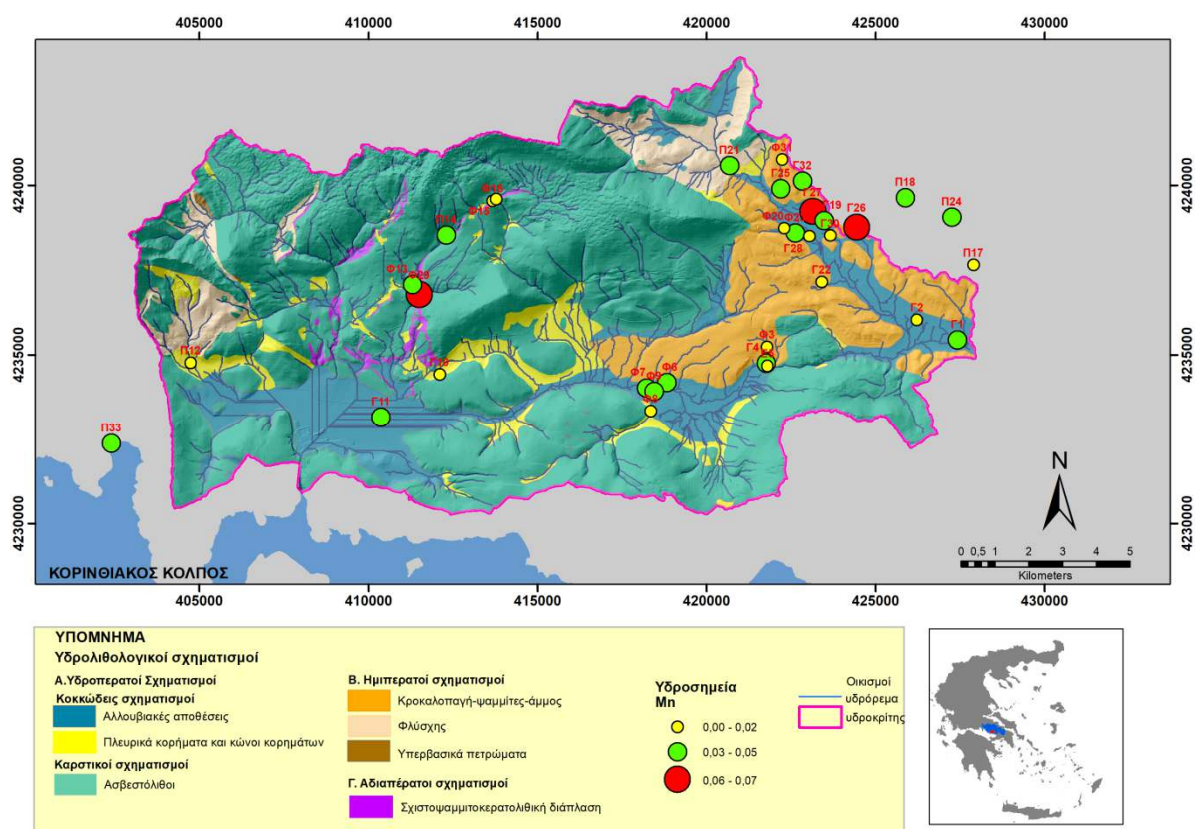
Στο Σχήμα 9.3 παρουσιάζεται η διακύμανση των τιμών συγκέντρωσης του μαγγανίου στα δείγματα νερού της περιοχής μελέτης. Οι συγκεντρώσεις του μαγγανίου στα δείγματα νερού της περιοχής κυμαίνονται από 0,001ppm έως 0,069ppm. Όπως παρατηρείται και από το διάγραμμα (Σχήμα 9.3) στη πλειονότητα των δειγμάτων νερού οι συγκεντρώσεις του μαγγανίου έχουν τιμές κάτω των επιτρεπόμενων ορίων (<0,05 ppm), εκτός από τα δείγματα νερού Γ26 και Φ29 που έχουν τιμές 0,054 ppm και 0,069 ppm αντίστοιχα πάνω από τα επιτρεπόμενα όρια της Ε.Ε.

Γενικά, οι τιμές του Μαγγανίου στην περιοχή μελέτης κινούνται σε χαμηλότερα επίπεδα (0,001 - 0,069 ppm), σε σύγκριση με τις τιμές της όμορης λεκάνης του Άνω ρου Ασωπού (Τσαραμπάρης 2010), οι οποίες κυμαίνονται αρκετά υψηλότερα μεταξύ 0,055 ppm και 0,118 ppm (πάνω από τα επιτρεπόμενα όρια της οδηγίας της Ε.Ε ).

Ανάλογα με το γεωλογικό υπόβαθρο οι συγκεντρώσεις του Μαγγανίου στα δείγματα νερού κυμαίνονται ως εξής (Πίνακας 9.2):

- Στις αλλουβιακές αποθέσεις από 0,002 έως 0,054 ppm, με μέση τιμή 0,101 ppm.
- Στα κροκαλοπαγή πετρώματα από 0,001 έως 0,069 ppm, με μέση τιμή 0,025 ppm.
- Στους ανθρακικούς σχηματισμούς από 0,035 έως 0,042 ppm, με μέση τιμή 0,039 ppm.
- Στα πλευρικά κορήματα και κώνους κορημάτων από 0,002 έως 0,017 ppm, με μέση τιμή 0,011 ppm.

- Στο φλύσχη η τιμή του Μαγγανίου είναι 0,028 ppm.
  - Στη σχιστοψαμμιτοκερατολιθική διάπλαση η τιμή του Μαγγανίου είναι 0,012 ppm.
- Επίσης, ανάλογα με το είδος του υδροσημείου (γεώτρηση, πηγάδι, πηγή και επιφανειακό νερό) οι τιμές του Μαγγανίου κυμαίνονται ως εξής (Πίνακας 9.2):
- Στα νερά των γεωτρήσεων οι τιμές κυμαίνονται από 0,001 έως 0,054 ppm, με μέση τιμή 0,025 ppm.
  - Στα νερά των πηγαδιών οι τιμές κυμαίνονται από 0,001 έως 0,069 ppm, με μέση τιμή 0,024 ppm.
  - Στα νερά των πηγών οι τιμές κυμαίνονται από 0,015 έως 0,042 ppm, με μέση τιμή 0,029 mg/l.
  - Στο επιφανειακό νερό του ποταμού Άσκη η τιμή του Mn είναι 0,002 ppm.
  - Στην παράκτια υφάλμυρη πηγή η τιμή του Mn είναι 0,041 ppm.



**Σχήμα 9.4:** Χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων Mn των δειγμάτων νερού της περιοχής μελέτης.

**Χωρική κατανομή των ιόντων μαγγανίου:** Στο Σχήμα 9.4 παρουσιάζεται η χωρική κατανομή της συγκέντρωσης του μαγγανίου των υπόγειων νερών καθώς και του επιφανειακού νερού (E5) στην περιοχή μελέτης. Διαπιστώνεται ότι οι υψηλότερες τιμές εντοπίζονται στο βορειοανατολικό τμήμα της περιοχής, ενώ στην υπόλοιπη περιοχή οι τιμές είναι κάτω από τα επιτρεπόμενα όρια.

Επίσης, από την επεξεργασία των δεδομένων προκύπτει ότι τα δείγματα νερού με υψηλές συγκεντρώσεις μαγγανίου έχουν επίσης υψηλές συγκεντρώσεις σε θειικά ιόντα. Εκτιμάται λοιπόν ότι η παρουσία του μαγγανίου στα υπόγεια νερά της περιοχής είναι γεωγενούς

προέλευσης ως αποτέλεσμα οξειδοαναγωγικών συνθηκών και η οποία αποδίδεται στη διαλυτοποίηση ορυκτών, όπως οξειδίων και θειούχων καθώς επίσης και των ανθρακικών. Είναι γνωστό ότι στις επιφάνειες των ασβεστολιθικών πλακών, τόσο στους τριαδικούς-ιουρασικούς όσο και στους κρητιδικούς ασβεστόλιθους, έχουν αποτυπωθεί οξείδια μαγγανίου (πυρολουσίτης  $MnO_2$ ) που φέρουν την ονομασία "δενδρίτες μαγγανίου" (<https://www.orykta.gr>). Προφανώς, η παρουσία του μαγγανίου στα υπόγεια νερά σχετίζεται σε μεγάλο βαθμό με την παρουσία των οξειδίων του στις επιφάνειες των ασβεστολιθικών πλακών.

### 9.3.3 Χαλκός (Cu)

Ο χαλκός είναι ένα μέταλλο το οποίο προέρχεται από την αποσάθρωση ορυκτών που περιέχουν το στοιχείο αυτό, όπως ο χαλκοπυρίτης ( $CuFeS_2$ ), ο χαλκοσίνης ( $Cu_2S$ ), ο κυπρίτης ( $Cu_2O$ ), ο μαλαχίτης ( $CuCO_3$ ) $Cu(OH)_2$ , ο αζουρίτης ( $2CuCO_3 \cdot Cu(OH)_2$ ) και ο κοβελίνης ( $CuS$ ). Στη φύση απαντάται στην αυτοφυή μορφή, ωστόσο τα κοιτάσματα του αυτοφυούς χαλκού είναι αρκετά περιορισμένα και μη οικονομικά εκμεταλλεύσιμα (<https://el.wikipedia.org>). Η περιεκτικότητα του εδάφους σε χαλκό κυμαίνεται από ελάχιστη (αμμώδη εδάφη) έως 200-500 ppm (vertisols) (Αλιφραγκής 2008).

Συνήθως οι μεγαλύτερες ποσότητες του χαλκού στο έδαφος βρίσκονται υπό μορφή ιόντων, τα οποία είναι προσροφημένα είτε από τα κολλοειδή είτε με την μορφή των οργανομεταλλικών συμπλόκων. Απαντάται σε δύο μορφές τη δισθενή μορφή ( $Cu^{2+}$ ) και τη μονοσθενή μορφή ( $Cu^+$ ). Η μονοσθενής μορφή απαντάται συνήθως σε αναγωγικές συνθήκες (Αλιφραγκής 2008).

Η περιεκτικότητα του χαλκού στα διάφορα πετρώματα, σύμφωνα με τον Matthes (1982), ανέρχεται: στα μαγματικά πετρώματα 97,4mg/kg, στους αργίλους 44,7mg/kg, στους ψαμίτες 15,4mg/kg, στα ανθρακικά 4,5mg/kg, στους εβαπορίτες 2,0mg/kg και στο θαλασσίνο νερό τα 0,0009 mg/l.

Στο πόσιμο νερό οι συγκεντρώσεις του χαλκού κυμαίνονται μεταξύ 0,1 και 0,5 mg/l, ενώ η παραμετρική τιμή σύμφωνα με την οδηγία 98/83/EK της Ε.Ε έχει καθοριστεί στα 2 mg/L.

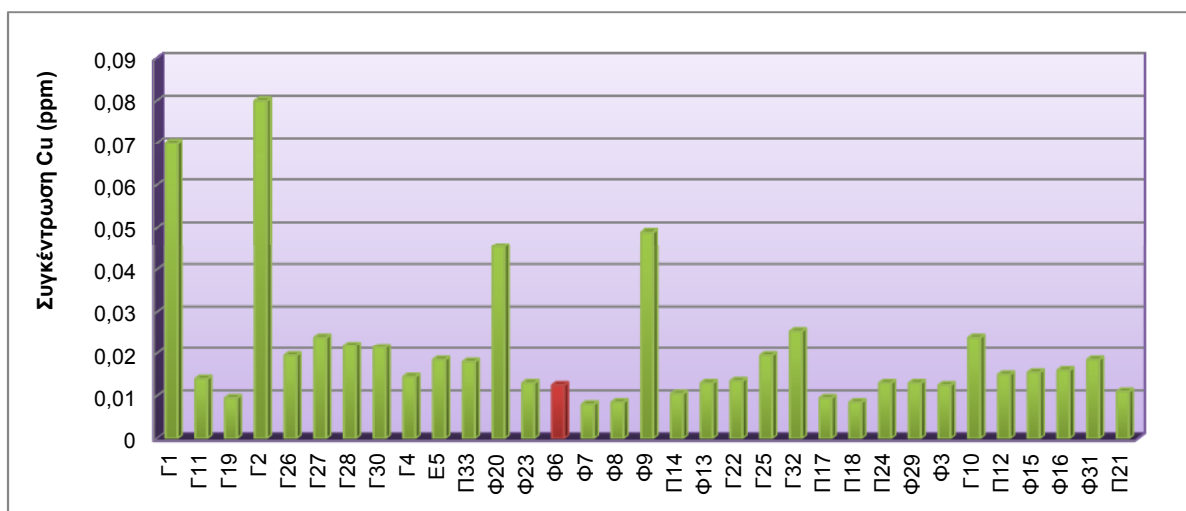
Όπως και με τα προαναφερθέντα μέταλλα η κατανομή του χαλκού στο νερό εξαρτάται κυρίως από το pH και το Eh. Συνήθως ο χαλκός βρίσκεται υπό μορφή μη ανταλλάξιμη, επειδή εμφανίζει τη τάση της επιλεκτικής δέσμευσης με τα υδροξείδια του Fe, Mn, ανθρακικά, φωσφορικά, πυριτικά άλατα και την οργανική ουσία. Η δέσμευση αυτή γίνεται αρκετά μεγαλύτερη όταν αυξάνεται το pH και η οργανική ουσία του εδάφους, καθώς τα οργανομεταλλικά του σύμπλοκα χαρακτηρίζονται από μεγάλη σταθερότητα. Ωστόσο, κλάσμα αυτού είναι υπό ανταλλάξιμη μορφή, το οποίο προσροφάται από την άργιλο, οξείδια του σιδήρου, μαγγανίου και αργιλίου ή βρίσκεται σε υδατοδιαλυτή μορφή συνδεδεμένο με οργανικούς και ανόργανους υποκαταστάτες. Σε συνθήκες υψηλού pH επικρατούν τα ευδιάλυτα σύμπλοκα κυρίως υδροξυλικά, ανθρακικά και οργανικά τα οποία αυξάνουν την κινητικότητα του χαλκού (Bride 1994).

Ο χαλκός (Cu) είναι ένα ιχνοστοιχείο που είναι απαραίτητο για τα περισσότερα ζώα και τους ανθρώπους. Βρίσκεται σε όλο το μυοσκελετικό σύστημα, αν και η μεγαλύτερη ποσότητα βρίσκεται στον εγκέφαλο και το ήπαρ. Είναι απαραίτητο βασικό συστατικό των ενζύμων που εμπλέκονται στην απελευθέρωση ενέργειας μέσα στο κύτταρο, συμβάλλει στη λειτουργία

πολλών αντιοξειδωτικών και στο σχηματισμό και ρύθμιση των ορμονών (μελετονίνη). Επιπλέον, συμμετέχει στην παραγωγή κολλαγόνου, στο σχηματισμό ερυθρών αιμοσφαιρίων και στην οξείδωση λιπαρών οξέων. Ο χαλκός απαιτείται επίσης για τη σωστή λειτουργία της βιταμίνης C και την απορρόφηση του σιδήρου. Η ανεπάρκεια χαλκού καθεαυτή είναι σπάνια. Ωστόσο, λόγω της αλληλεπίδρασης με τον ψευδάργυρο, τα υψηλά επίπεδα ψευδαργύρου μπορούν να αποτρέψουν τη σωστή απορρόφηση χαλκού.

Η ανεπάρκεια του χαλκού συνδέεται με την ανεπάρκεια του κολλαγόνου η οποία οδηγεί σε κακή λειτουργία των οστών και των αρθρώσεων καθώς και των αγγειακών παθήσεων (Aliasgharour Farzami 2013). Επίσης, η έλλειψή του μπορεί να οδηγήσει σε εγκεφαλική δυσλειτουργία, μείωση των ερυθρών αιμοσφαιρίων καθώς και στο μεταβολισμό της χοληστερόλης. Επιπλέον, ο χαλκός είναι άρρηκτα συνδεδεμένος με την απορρόφηση, αποθήκευση και μεταβολισμό του σιδήρου, με αποτέλεσμα η ανεπάρκειά του να οδηγεί σε δευτερογενή ανεπάρκεια του σιδήρου (Araya et al 2007).

Η διακύμανση των τιμών του χαλκού στα δείγματα νερού της περιοχής μελέτης παρουσιάζονται στο Σχήμα 9.5. Σύμφωνα με το διάγραμμα τα δείγματα νερού της περιοχής μελέτης παρουσιάζουν τιμές κάτω από το μέγιστο επιτρεπόμενο όριο (2mg/l) που έχει οριστεί από την Ε.Ε.



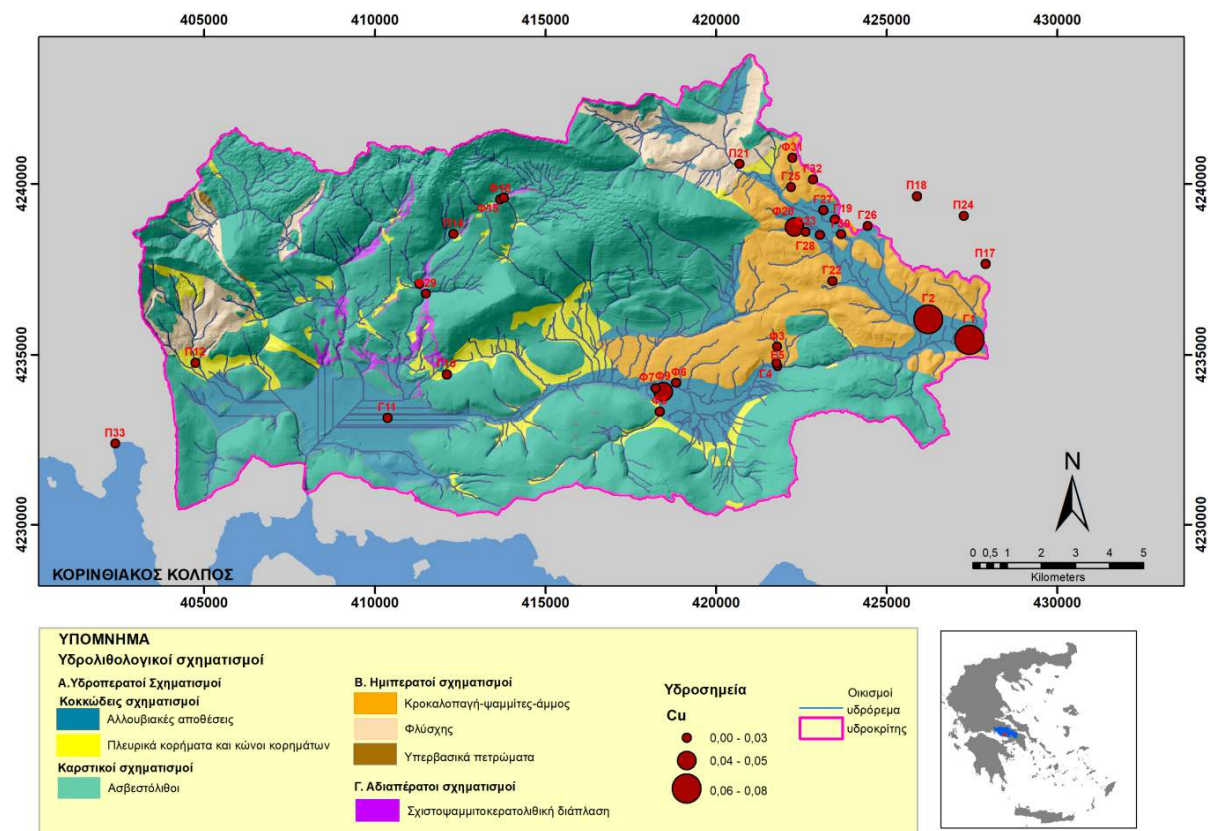
**Σχήμα 9.5:** Διακύμανση των τιμών της συγκέντρωσης χαλκού των δειγμάτων νερού της περιοχής μελέτης.

Ανάλογα με το γεωλογικό υπόβαθρο οι συγκεντρώσεις του Χαλκού στα δείγματα νερού κυμαίνονται ως εξής (Πίνακας 9.2):

- Στις αλλουβιακές αποθέσεις από 0,008 έως 0,08 ppm με μέση τιμή 0,027 ppm.
- Στα κροκαλοπαγή πετρώματα από 0,0085 έως 0,0255 ppm, με μέση τιμή 0,015 ppm.
- Στους ανθρακικούς σχηματισμούς από 0,01 έως 0,013 ppm, με μέση τιμή 0,012 ppm.
- Στα πλευρικά κορήματα και κώνους κορημάτων από 0,015 έως 0,024 ppm, με μέση τιμή 0,017 ppm.
- Στο φλύσχη η τιμή του Χαλκού είναι 0,011 ppm.
- Στη σχιστοψαμμιτοκερατολιθική διάπλαση η τιμή του Χαλκού είναι 0,0185ppm.

Επίσης, ανάλογα με το είδος του υδροσημείου (γεώτρηση, πηγάδι, πηγή και επιφανειακό νερό) οι τιμές του Χαλκού κυμαίνονται ως εξής (Πίνακας 9.2):

- Στα νερά των γεωτρήσεων οι τιμές κυμαίνονται από 0,01 έως 0,080 ppm, με μέση τιμή 0,028 ppm.
- Στα νερά των πηγαδιών οι τιμές κυμαίνονται από 0,008 έως 0,049 ppm, με μέση τιμή 0,019 ppm.
- Στα νερά των πηγών οι τιμές κυμαίνονται από 0,009 έως 0,015 ppm, με μέση τιμή 0,011 mg/l.
- Στο επιφανειακό νερό του ποταμού Άσκη η τιμή του Χαλκού είναι 0,019 ppm.
- Στην παράκτια υφάλμυρη πηγή η τιμή του Χαλκού είναι 0,018 ppm.



**Σχήμα 9.6:** Χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων Cu των δειγμάτων νερού της περιοχής μελέτης.

**Χωρική κατανομή των ιόντων χαλκού:** Η χωρική κατανομή της συγκέντρωσης χαλκού από τα δείγματα νερού της μελέτης παρουσιάζεται στο Σχήμα 9.6. Σύμφωνα με το σχήμα οι υψηλότερες συγκεντρώσεις προσδιορίζονται στο ανατολικό τμήμα της λεκάνης. Η παρουσία του χαλκού στα νερά της περιοχής είναι κυρίως γεωγενούς προέλευσης και οφείλεται στη διάλυση αργιλικών ιζημάτων και ψαμμιτικών πετρωμάτων. Προφανώς ένα ποσοστό του χαλκού προέρχεται από τη χρήση των φωσφορικών λιπασμάτων που αφειδώς εφαρμόζονται στις καλλιεργούμενες εκτάσεις. Επίσης, δεν αποκλείεται και το ενδεχόμενο να προέρχεται και από την διάβρωση των σωληνώσεων των γεωτρήσεων.

### 9.3.3 Νικέλιο (Ni)

Το νικέλιο είναι ένα από τα σημαντικότερα στοιχειώδη συστατικά της γης, αποτελώντας περίπου 2% κατά βάρος. Ωστόσο, είναι ένα μικρό ποσοστό (0,01%) που απαντάται στο φλοιό της γης (Snodgrass 1980). Στο έδαφος το νικέλιο συναντάται σε τρεις μορφές την τρισθενή ( $\text{Ni}^{3+}$ ), δισθενή ( $\text{Ni}^{2+}$ ) και τη μονοσθενή ( $\text{Ni}^+$ ). Περιέχεται σε πολλά ορυκτά, όπως ο νικελίτης ( $\text{NiAs}$ ), ο νικελιοπυρίτης ( $\text{NiS}$ ), ο πετλανδίτης ( $(\text{Ni,Fe})\text{S}$ ). Ελεύθερο σαν στοιχείο εμφανίζεται μαζί με το σίδηρο σε μετεωρίτες ως κράμα (<http://www.chem.uoa.gr>).

Το νικέλιο παράγεται από τα νικελιούχα μεταλλεύματα, τα οποία απαντώνται σε τρεις μορφές: α) τα θειούχα, β) τα λατερικά και γ) τα ιζηματογενή που δημιουργήθηκαν από προϊόντα αποσάθρωσης και μεταφοράς των λατερικών κοιτασμάτων. Το 60% της παραγωγής του νικελίου παγκοσμίως προέρχεται από τα θειούχα. Στη χώρα μας το νικέλιο παράγεται από σιδηρονικελιούχα λατερικού τύπου μεταλλεύματα, από την εταιρεία ΛΑΡΚΟ Α.Ε., στις περιοχές της Βοιωτίας, της Λοκρίδας και της Καστοριάς (<http://www.larco.gr>).

Η περιεκτικότητά του στα διάφορα πετρώματα ανέρχεται: στα μαγματικά πετρώματα τα 93,8mg/kg, στους αργίλους 29,4mg/kg, στους ψαμμίτες 2,6mg/kg, στα ανθρακικά 12,8mg/kg, στους εβαπορίτες 1,4mg/kg και στο θαλασσινό νερό τα 0,0009mg/l (Matthess 1982). Αντίστοιχα, η περιεκτικότητα του διαλυτού νικελίου στα φρέσκα νερά κυμαίνεται μεταξύ 1 και 3μg/l (Snodgrass 1980), ενώ σε περιοχές με πετρώματα πλούσια σε νικέλιο οι συγκεντρώσεις του νικελίου φτάνουν τα 200μg/l στα υπερκείμενα ύδατα (Agrawal et al 1978).

Συνήθως όταν η υψηλή συγκέντρωση του νικελίου στα νερά συνοδεύεται από υψηλή συγκέντρωση θειικού άλατος, αυτό υποδηλώνει ότι λαμβάνει χώρα οξείδωση του πυρίτη (Appelo and Postma 2005).

Στο υδάτινο περιβάλλον το νικέλιο εμφανίζεται στη δισθενή του μορφή ( $\text{Ni}^{2+}$ ). Το νικέλιο στο νερό προσροφάται από τα οξείδια του σιδήρου και του μαγγανίου σχηματίζοντας σταθερές ενώσεις καθώς και από οργανικές ουσίες σχηματίζοντας κυρίως οργανομεταλλικές ενώσεις.

Η διαλυτότητα του νικελίου εξαρτάται από τις συνθήκες οξύτητας του διαλύματος (pH). Σε τιμές  $\text{pH} < 6$  έχει μέτρια διαλυτότητα έναντι των άλλων βαρέων μετάλλων, ενώ σε μεγαλύτερες τιμές του pH η διαλυτότητά του μειώνεται αρκετά καθώς προσροφάται από τα αργιλικά ορυκτά (Appelo and Postma 2005).

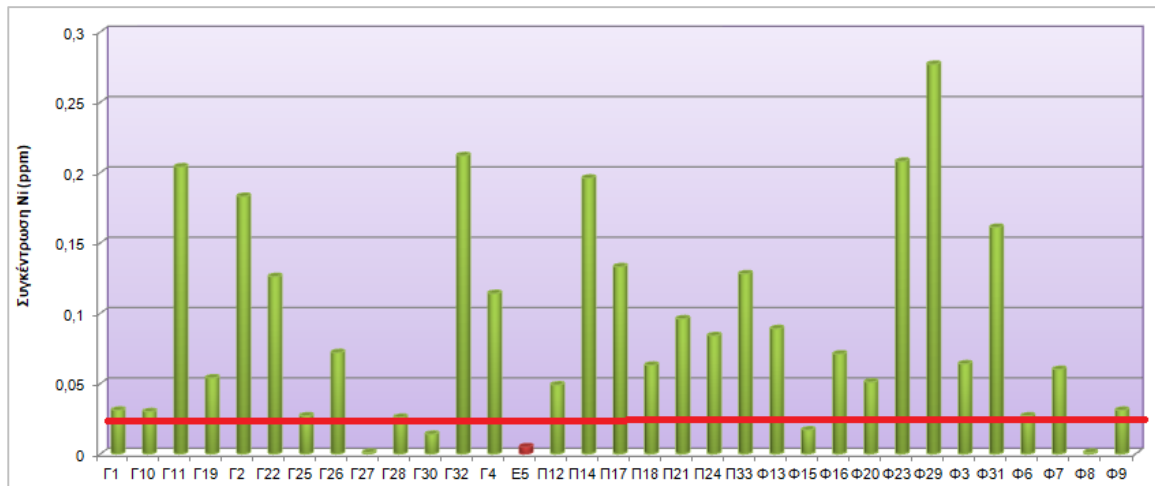
Το νικέλιο είναι ένα απαραίτητο ιχνοστοιχείο για τον άνθρωπο και τα ζώα και βρίσκεται στους πνεύμονες, στα νεφρά και σε ορισμένους ιστούς που παράγουν ορμόνες. Η επίδρασή του στην ανθρώπινη υγεία οφείλεται στο γεγονός ότι συμμετέχει στη δραστηριότητα των ενζύμων και στην απορροφητικότητα του σιδήρου και κατά συνέπεια στο σχηματισμό του αίματος (Moore and Ramamoorthy 1984).

Η έλλειψή του δεν δημιουργεί σημαντικά προβλήματα στον ανθρώπινο οργανισμό, ενώ έχει παρατηρηθεί τοξικότητα σε ανθρώπους που εκτίθενται σε περιβάλλοντα υψηλής ρύπανσης από νικέλιο, όπως εκείνα που σχετίζονται με τη διύλιση του νικελίου, την ηλεκτρολυτική επίστρωση και τη συγκόλληση, η οποία έχει τη δυνατότητα να παράγει μια ποικιλία παθολογικών επιδράσεων, όπως αλλεργίες του δέρματος, η ίνωση των πνευμόνων και ο καρκίνος της αναπνευστικής οδού. Επίσης, πολλές παθογόνες επιδράσεις του νικελίου

οφείλονται στην παρέμβασή του να μεταβάλλει τα βασικά μέταλλα όπως  $Fe^{2+}$ ,  $Mn^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$  ή  $Mg^{2+}$  (Kasprzak et al 2003).

Οι συγκεντρώσεις του νικελίου στα δείγματα νερού της περιοχής κυμαίνονται από 0,001ppm έως 0,277ppm. Η διακύμανση των τιμών του νικελίου παρουσιάζεται στο Σχήμα 9.7 που ακολουθεί.

Όπως παρατηρείται και από το διάγραμμα (Σχήμα 9.7) τα 28 δείγματα νερού (ποσοστό 85%) εμφανίζουν τιμές πάνω από το επιτρεπόμενο όριο που έχει καθοριστεί στα 20  $\mu\text{g/l}$  σύμφωνα με την οδηγία 98/83/EK της Ε.Ε.



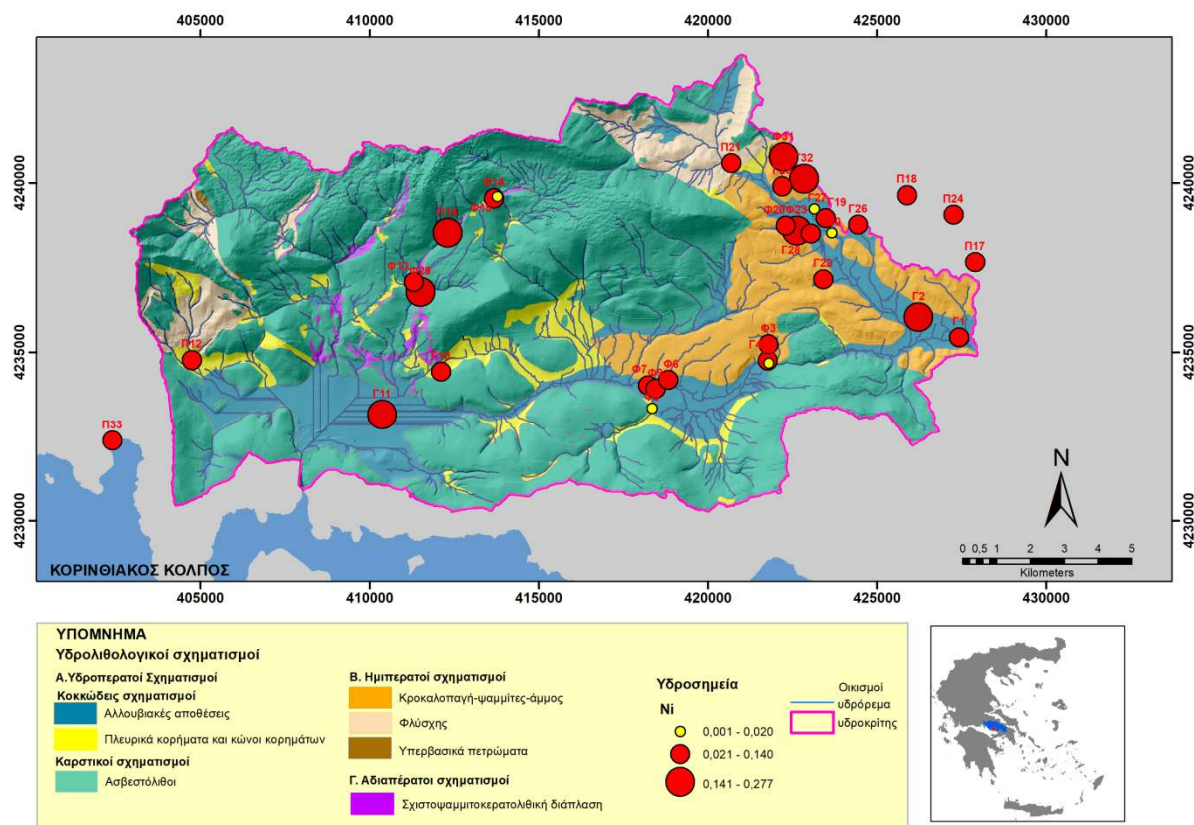
**Σχήμα 9.7:** Διακύμανση των τιμών της συγκέντρωσης Ni των δειγμάτων νερού της περιοχής μελέτης.

Ανάλογα με το γεωλογικό υπόβαθρο οι συγκεντρώσεις του νικελίου στα δείγματα νερού κυμαίνονται ως εξής (Πίνακας 9.2):

- Στις τεταρτογενείς αλλουβιακές αποθέσεις από 0,006 έως 0,21 ppm με μέση τιμή 0,07 ppm.
- Στα κροκαλοπαγή πετρώματα από 0,027 έως 0,277 ppm, με μέση τιμή 0,12 ppm.
- Στους ανθρακικούς σχηματισμούς από 0,09 έως 0,2 ppm, με μέση τιμή 0,14ppm.
- Στα πλευρικά κορήματα και κώνους κορημάτων από 0,017 έως 0,05 ppm, με μέση τιμή 0,04 ppm.
- Στο φλύσχη η τιμή του νικελίου είναι 0,096 ppm.
- Στη σχιστοψαμμιτοκερατολιθική διάπλαση η τιμή του νικελίου είναι 0,161ppm.

Επίσης, ανάλογα με το είδος του υδροσημείου (γεώτρηση, πηγάδι, πηγή και επιφανειακό νερό) οι τιμές του νικελίου κυμαίνονται ως εξής (Πίνακας 9.2):

- Στα νερά των γεωτρήσεων οι τιμές κυμαίνονται από 0,001 έως 0,212 ppm, με μέση τιμή 0,084 ppm.
- Στα νερά των πηγαδιών οι τιμές κυμαίνονται από 0,001 έως 0,277 ppm, με μέση τιμή 0,088 ppm.
- Στα νερά των πηγών οι τιμές κυμαίνονται από 0,049 έως 0,196 ppm, με μέση τιμή 0,104 mg/l.
- Στο επιφανειακό νερό του ποταμού Άσκη η τιμή του νικελίου είναι 0,005 ppm.
- Στην παράκτια υφάλμυρη πηγή η τιμή του νικελίου είναι 0,128 ppm.



**Σχήμα 9.8:** Χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων Ni των δειγμάτων νερού της περιοχής μελέτης.

**Χωρική κατανομή των ιόντων νικελίου:** Η χωρική κατανομή της συγκέντρωσης του Νικελίου στα νερά της περιοχής μελέτης παρουσιάζεται στο σχήμα 9.8. Σύμφωνα με το σχήμα οι υψηλότερες τιμές του νικελίου βρίσκονται στο βορειοανατολικό τμήμα της λεκάνης κοντά στους οικισμούς Άσκηρς και Νεοχωρίου, καθώς και στην περιοχή της Ι.Μ. Μακαριώτισσας, που βρίσκεται επάνω στην ορεινή μάζα του Ελικώνα, όπου σε κοντινή απόσταση απαντώνται οι σχηματισμοί του φλύσχη και της σχιστοψαμμιτοκερατολιθικής διάπλασης.

Η πηγή προέλευσης των συγκεντρώσεων του νικελίου στην περιοχή αποδίδεται σε γεωγενείς παράγοντες και συνδέεται αφενός με τα υπολείμματα των σιδηρονικελιούχων μεταλλευμάτων και αφετέρου με τα οξείδια που έχουν προκύψει από την διάλυση των ασβεστόλιθων και τα οποία έχουν μεταφερθεί στην λεκάνη. Ένας σημαντικός τροφοδότης σε νικέλιο είναι τα οφιολιθικά πετρώματα και οι σχιστόλιθοι που είναι πλούσια σε αυτό το στοιχείο.

### 9.3.4 Ολικό Χρώμιο (Crtot)

Το χρώμιο αποτελεί το 21<sup>ο</sup> πιο συνηθισμένο στοιχείο στο φλοιό της γης με μέση συγκέντρωση 100 ppm (Emsley 2001) (<http://el.wikipedia.org>). Στη φύση δεν απαντάται ως ελεύθερο στοιχείο, αλλά βρίσκεται σε πολλά ορυκτά, όπως ο χρωμίτης (FeCr<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) και ο κροκοϊτης (PbCrO<sub>4</sub>).

Η περιεκτικότητα των φυσικών υδάτων σε Cr είναι γενικά χαμηλή (<10μg/L), ενώ τα πετρώματα παρουσιάζουν ένα μεγάλο εύρος συγκεντρώσεων χρωμίου. Στα μαγματικά



πετρώματα οι συγκεντρώσεις του χρωμίου είναι 198 mg/kg, στους αργίλους 423 mg/kg, στους ψαμμίτες 120 mg/kg, στους εβαπορίτες 10,6 mg/kg και στα ανθρακικά 7,08 mg/kg (Matthess 1982).

Στα υπόγεια ύδατα, που δεν έχουν ρυπανθεί από ανθρώπινες δραστηριότητες, η παρουσία του χρωμίου οφείλεται στη λιθολογική σύσταση των πετρωμάτων που τα φιλοξενούν καθώς και στις γεωχημικές συνθήκες. Σύγχρονες μελέτες έχουν αποδείξει ότι τα υπόγεια ύδατα που φιλοξενούνται σε οφιολιθικά πετρώματα καθώς και σε αλλουβιακά ιζήματα που προήλθαν από τη διάβρωση και την αποσάθρωση γειτονικών οφιολιθικών πετρωμάτων έχουν υψηλές συγκεντρώσεις σε Cr(VI) (Καπράρα 2016).

Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις του χρωμίου απαντώνται στα υπερβασικά πετρώματα (περιδοτίτες, σχιστόλιθους, δουνίτες, γάββρους, πυρόξενους) καθώς και σε πετρώματα που αποτελούν προϊόντα εξαλλοίωσής τους. Επίσης, υψηλές συγκεντρώσεις σε χρώμιο έχουν τα ορυκτά αμφίβολος, πυρόξενος και οι μαρμαρυγίες, ενώ φτωχότερος είναι ο ολιβίνης, ο χλωρίτης και ο σερπεντίνης που αποτελεί προϊόν υδροθερμικής αλλοίωσης υπερβασικών πετρωμάτων (Deer et al. 1975, Oze et al. 2004).

Το χρώμιο εμφανίζει διαφορετικά σθένη από -2 έως +6, ωστόσο στο φυσικό περιβάλλον απαντώνται η τρισθενής μορφή Cr(III), η εξασθενής μορφή Cr(VI) και σπάνια το Cr(0). Οι ενώσεις του Cr(III) έχουν ελάχιστη διαλυτότητα στο νερό, ενώ οι περισσότερες ενώσεις του Cr(VI) είναι ευδιάλυτες και ευκίνητες στο νερό. Οι κύριες διαλυμένες μορφές του Cr(III) στα φυσικά νερά είναι τα  $\text{CrOH}^{2+}$  και  $\text{Cr}(\text{OH})_3^0$ , καθώς και διάφορα οργανικά και μερικά ανόργανα σύμπλοκα, ενώ οι κύριες μορφές του Cr(VI) είναι το  $\text{HCrO}_4^-$  και το  $\text{CrO}_4^{2-}$  (Françoise 1991). Συνήθως στη φύση απαντάται το τρισθενές χρώμιο.

Ο αριθμός οξείδωσης του Cr στα υπόγεια ύδατα εξαρτάται από το pH και το Eh. Σε αναγωγικές συνθήκες το χρώμιο βρίσκεται συνήθως με τη μορφή του τρισθενούς χρωμίου, ενώ σε οξειδωτικές συνθήκες βρίσκεται με τη μορφή του εξασθενούς χρωμίου.

Λόγω της μικρής διαλυτότητας του Cr(III) στη συνηθισμένη περιοχή pH 6,5 – 8,5 για τα υπόγεια νερά οι υψηλότερες συγκεντρώσεις του χρωμίου σχετίζονται με τις ευδιάλυτες μορφές του Cr(VI) που προέρχονται από τη φυσική οξείδωση του Cr(III) σε υπερβασικό εδαφικό περιβάλλον (σερπεντινίτες, δουνίτες, οφιολίθοι), πλούσιο σε διαλυμένο οξυγόνο, παρουσία  $\text{MnO}_2$ . Το  $\text{MnO}_2$  με ή χωρίς τη βοήθεια μικροοργανισμών, είναι πιθανόν το κύριο οξειδωτικό μέσο για την οξείδωση του Cr(III) προς Cr(VI) στα υδατικά συστήματα.

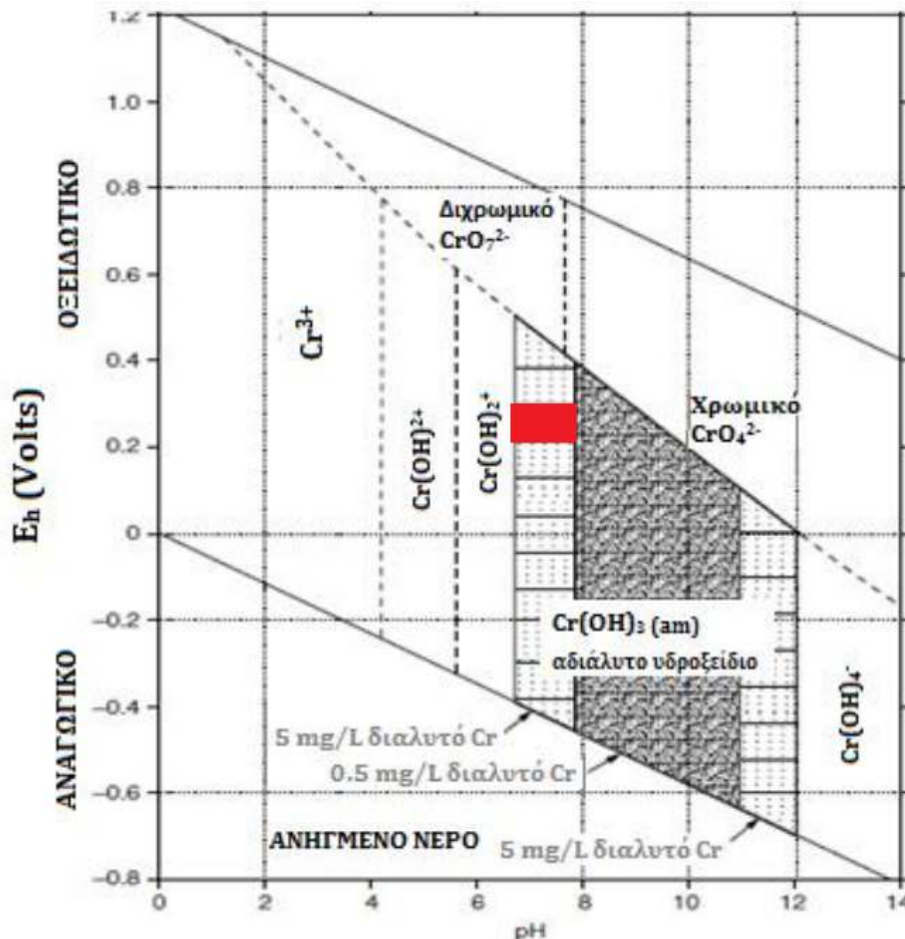
Η αντίδραση οξείδωσης πραγματοποιείται συνήθως σε τρία στάδια:

1. Προσρόφηση του Cr(III) πάνω στην επιφάνεια του  $\text{MnO}_2$ .
2. Οξείδωση του Cr(III) προς Cr(VI) στην επιφάνεια του  $\text{MnO}_2$ , και
3. Εκρόφιση των προϊόντων της αντίδρασης, Cr(VI) [ $\text{HCrO}_4^-$ ] και Mn(II), στο νερό (Eary et al. 1987, Καπράρα 2016).

Σύμφωνα με το διάγραμμα του Hem η ζώνη σταθερότητας του τρισθενούς χρωμίου εμφανίζεται σε ένα ευρύ πεδίο τιμών Eh και pH (Σχήμα 9.9). Σε pH από 4 έως και 7,5 εμφανίζεται με τη μορφή διαλυτών κατιόντων υδροξειδίου  $\text{CrOH}^{2+}$  και  $\text{Cr}(\text{OH})_3^{2+}$  και σε pH από 0 έως 8 και Eh από -0,4 V έως -1,2 V το τρισθενές χρώμιο είναι διαλυτό στο περιβάλλον. Ενώ, σε αλκαλικό περιβάλλον με pH 8 το τρισθενές χρώμιο είναι δυσδιάλυτο και εμφανίζεται με τη μορφή του υδροξειδίου του χρωμίου ( $\text{Cr}(\text{OH})_3$ ) και σε συνθήκες με pH 12 και Eh <0 εμφανίζεται με τη μορφή των ανιόντων  $\text{Cr}(\text{OH})_4^-$  (Hem, 1977).

Από την εφαρμογή των μετρήσεων του Eh και pH των δειγμάτων νερού στο διάγραμμα προκύπτει ότι στα υπόγεια νερά της περιοχής μελέτης επικρατεί η τρισθενής μορφή το υδροξειδίου του χρωμίου  $[\text{Cr}(\text{OH})_3]$ .

Οι κυριότερες χρήσεις του χρωμίου είναι στην παραγωγή του ανοξειδωτού χάλυβα και κραμάτων, στη μεταλλουργική βιομηχανία, στην επικάλυψη δομικών υλικών, σε επιμεταλλώσεις, στη βυρσοδεξιά, στην υφαντουργία, την παραγωγή τσιμέντου, παρασκευή χρωμάτων και χρωστικών ουσιών, καθώς και στη χρήση φωσφορικών λιπασμάτων που περιέχουν χρώμιο (Guertin et al, 2005).



**Σχήμα 9.9:** Διάγραμμα Eh-pH (Pourbaix) με τις μορφές Cr, κάτω από συνθήκες 25 °C και 1bar πίεσης, σε ένα υδατικό σύστημα με οξυγόνο παρουσία χρωμίου (Hem 1989, επεξεργασία από Πανούση 2018). Κόκκινος χρωματισμός είναι η περιοχή προβολής των δειγμάτων νερού της περιοχής.

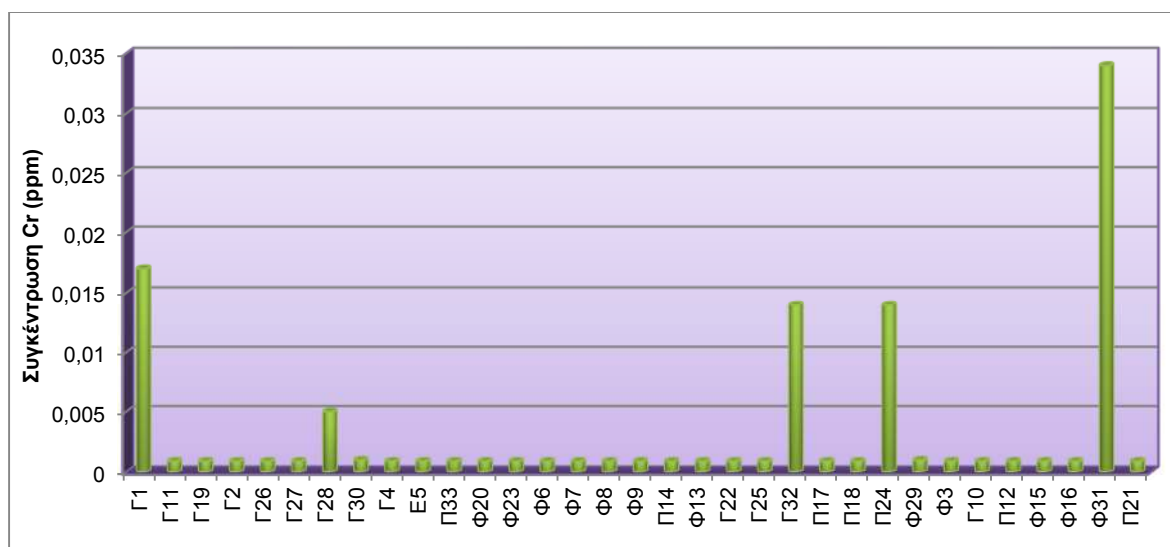
Από τις δυο παραπάνω μορφές του χρωμίου, μόνο το εξασθενές χρώμιο είναι τοξικό για τον ανθρώπινο οργανισμό, ενώ για το τρισθενές χρώμιο δεν υπάρχουν ιδιαίτερες ενδείξεις για την τοξικότητά του. Στο πόσιμο νερό σύμφωνα με την οδηγία 98/83/EK της Ε.Ε. έχει θεσπιστεί ως ανώτερο επιτρεπτό όριο ολικού χρωμίου τα 50  $\mu\text{g}/\text{l}$ . Ωστόσο, δεν έχει θεσπιστεί ανώτατο όριο για το εξασθενές χρώμιο. Στις ΗΠΑ, η EPA έχει θεσπίσει ως ανώτατο επιτρεπτό όριο ολικού χρωμίου στο πόσιμο και υπόγειο νερό τα 100  $\mu\text{g}/\text{L}$ , θεωρώντας το επίπεδο αυτό ασφαλές για την υγεία του ανθρώπου. Η απαραίτητη ημερήσια πρόσληψη σε χρώμιο στον ανθρώπινο οργανισμό είναι 30-120  $\mu\text{g}$ .

Το χρώμιο (III) θεωρείται απαραίτητο ιχνοστοιχείο για την υγεία του ανθρώπου. Αποτελεί το πιο σημαντικό μέταλλο για τα υπέρβαρα άτομα. Επιπλέον είναι ένα από τα βασικά μέταλλα για τον έλεγχο τόσο των επιπέδων σακχάρου στο αίμα όσο και των λιπών. Ως το κύριο συστατικό του παράγοντα ανοχής γλυκόζης (GFT), το χρώμιο βοηθά την ινσουλίνη στη μείωση της γλυκόζης στο αίμα, διεγείροντας την πρόσληψη γλυκόζης από τους μυς και άλλους ιστούς. Όταν τα επίπεδα χρωμίου είναι χαμηλά, το επίπεδο κυκλοφορίας του (GFT) είναι χαμηλό και η ινσουλίνη γίνεται λιγότερο αποτελεσματική στη μείωση του σακχάρου στο αίμα.

Βραχυπρόθεσμα συμπτώματα ανεπάρκειας χρωμίου είναι η υπογλυκαιμία και οι ταχείες και μεγάλες μεταβολές στα επίπεδα γλυκόζης στο αίμα, ειδικά μετά από γεύματα πλούσια σε υδατάνθρακες. Τα μακροπρόθεσμα συμπτώματα είναι αυτά που σχετίζονται με διαβητικούς, όπως υψηλή αρτηριακή πίεση, καρδιακές παθήσεις, εγκεφαλικό επεισόδιο και παχυσαρκία (Aliasgharour, Farzami, 2013).

Αντίθετα, το εξασθενές χρώμιο είναι ιδιαίτερα τοξικό όταν εισέρχεται στον ανθρώπινο οργανισμό, επειδή μπορεί να προκαλέσει βλάβη στο ήπαρ και στα νεφρά, εσωτερική αιμορραγία, δερματίτιδα, βλάβη του αναπνευστικού συστήματος και καρκίνο των πνευμόνων (<https://eclass.uoa.gr/modules>).

Η διακύμανση των τιμών του χρωμίου στα δείγματα νερού της περιοχής μελέτης παρουσιάζεται στο Σχήμα 9.10. Σύμφωνα λοιπόν με το διάγραμμα οι συγκεντρώσεις του χρωμίου στα δείγματα νερού της περιοχής κυμαίνονται από <math><0,001\text{ppm}</math> έως <math>0,034\text{ ppm}</math>. Επίσης, όπως παρατηρείται και από το διάγραμμα όλα τα δείγματα νερού εμφανίζουν τιμές κάτω από το επιτρεπόμενο όριο (<math>0,05\text{ mg/l}</math>) που έχει καθοριστεί για το πόσιμο νερό, σύμφωνα με την οδηγία 98/83/EK της Ε.Ε.

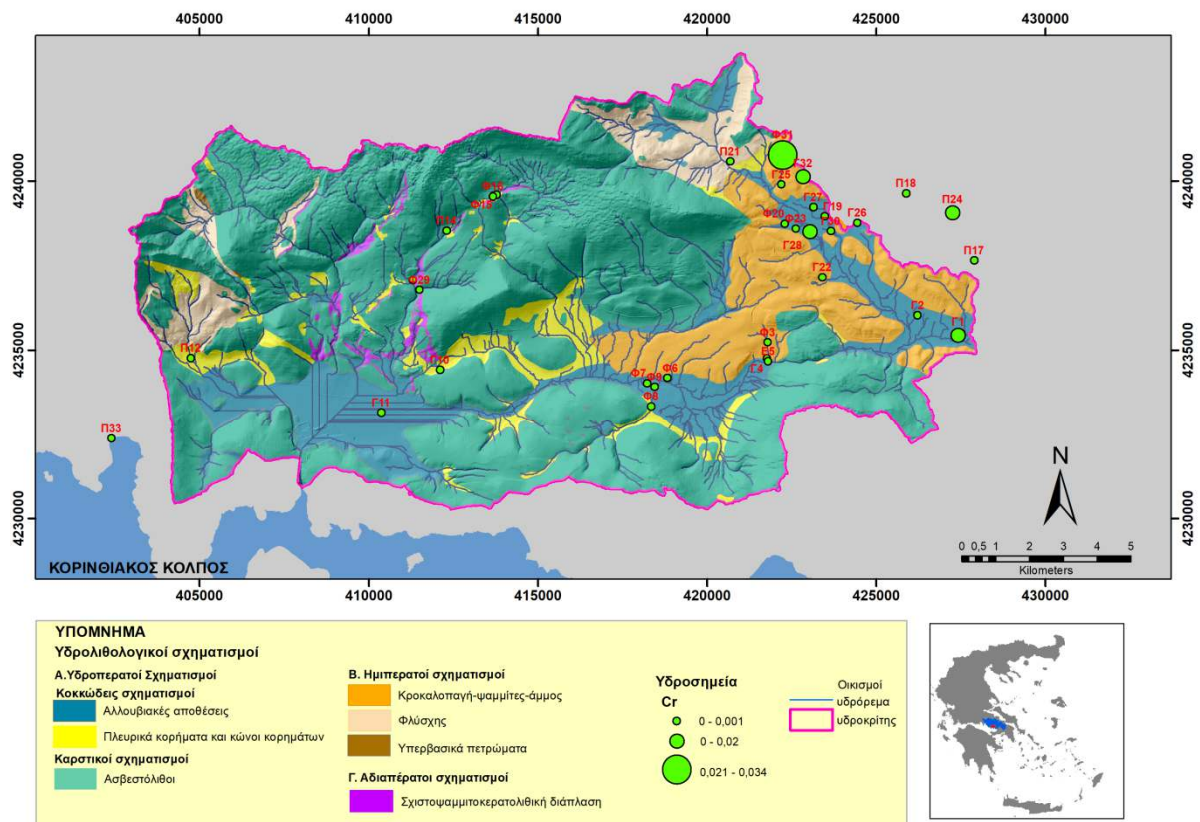


**Σχήμα 9.10:** Διακύμανση των τιμών της συγκέντρωσης Ni των δειγμάτων νερού της περιοχής μελέτης.

Ανάλογα με το γεωλογικό υπόβαθρο οι συγκεντρώσεις χρωμίου των δειγμάτων νερού της περιοχής κυμαίνονται ως εξής (Πίνακας 9.2):

- Στις αλλουβιακές αποθέσεις από <math><0,001</math> έως <math>0,017\text{ ppm}</math> με μέση τιμή <math>0,002\text{ ppm}</math>.

- Στα κροκαλοπαγή πετρώματα από <math><0,001</math> έως <math>0,014</math> ppm, μέση τιμή <math>0,004</math> ppm.
  - Στους ανθρακικούς σχηματισμούς, στα πλευρικά κορήματα και κώνους κορημάτων και στο φλύσχη η τιμή του Cr είναι <math><0,001</math>.
  - Στη σχιστοψαμμιτοκερατολιθική διάπλαση η τιμή του Cr είναι <math>0,034</math>ppm.
- Επίσης, ανάλογα με το είδος του υδροσημείου (γεώτρηση, πηγάδι, πηγή και επιφανειακό νερό) οι τιμές του χρωμίου κυμαίνονται ως εξής (Πίνακας 9.2):
- Στα νερά των γεωτρήσεων οι τιμές κυμαίνονται από <math><0,001</math> έως <math>0,017</math> ppm, με μέση τιμή <math>0,009</math> ppm.
  - Στα νερά των πηγαδιών οι τιμές κυμαίνονται από <math><0,001</math> έως <math>0,034</math> ppm, με μέση τιμή <math>0,018</math> ppm.
  - Στα νερά των πηγών οι τιμές κυμαίνονται από <math><0,001</math> έως <math>0,014</math> ppm, με μέση τιμή <math>0,007</math> mg/l.
  - Στο επιφανειακό νερό του ποταμού Άσκηρ και στην παράκτια υφάλμυρη πηγή η τιμή του χρωμίου είναι <math><0,001</math> ppm.



**Σχήμα 9.11 :** Χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων Cr των δειγμάτων νερού της περιοχής μελέτης.

**Χωρική κατανομή των ιόντων χρωμίου:** Η χωρική κατανομή της συγκέντρωσης του χρωμίου στα νερά της περιοχής μελέτης παρουσιάζεται στο σχήμα 9.11 σύμφωνα με το οποίο η υψηλότερη τιμή από τα δείγματα νερού της περιοχής βρίσκεται στο πηγάδι Φ31 κοντά στην Κοιλάδα των Μουσών (<math>0,034</math>ppm) επάνω στην ορεινή μάζα του Ελικώνα. Η προέλευση του χρωμίου στην περιοχή εκτιμάται ότι είναι κυρίως γεωγενής και συνδέεται με την παρουσία των οφιολιθικών πετρωμάτων της περιοχής. Επίσης, ένα ποσοστό αυτού

προέρχεται και από την χρήση φωσφορούχων λιπασμάτων καθώς η συμμετοχή του σε αυτά είναι τεκμηριωμένη όπου σε πολλές περιπτώσεις οι συγκεντρώσεις κυμαίνονται μεταξύ 0,5 και 1,5mg/Kg (Alloway 1971, McLaughlin et al. 1996, Molina et al. 2009).

### 9.3.5 Κάδμιο (Cd)

Το κάδμιο είναι ένα μέταλλο το οποίο σπάνια απαντάται μόνο του στη φύση. Περιέχεται σε μικρή ποσότητα στο φλοιό της Γής περίπου 0,1-0,2mg/kg και η κατάσταση οξειδωσής του είναι +2 ( $Cd^{2+}$ ). Είναι χημικά παρόμοιο με τον ψευδάργυρο, ενώ εντοπίζεται ως πρόσμιξη σε μεταλλεύματα σουλφιδίων μαζί με το ψευδάργυρο και το μόλυβδο.

Οι κύριες πηγές καδμίου είναι τα μικτά θειούχα ορυκτά του ψευδαργύρου και του σιδήρου (σφαλερίτης και ο βουρτσίτης ( $Zn,FeS$ )), καθώς και άλλα δευτερεύοντα ορυκτά.

Ως μέταλλο το κάδμιο χρησιμοποιείται κυρίως ως αντιδιαβρωτικό και στο γαλβανισμό μετάλλων. Το θειούχο κάδμιο χρησιμοποιείται ως χρωστική ουσία στα πλαστικά και οι ενώσεις καδμίου χρησιμοποιούνται στις μπαταρίες, τα ηλεκτρονικά εξαρτήματα και τους πυρηνικούς αντιδραστήρες (Friberg et al. 1986, Ros & Slooff 1987, WHO 2011).

Οι κυριότερες πηγές ρύπανσης του περιβάλλοντος με κάδμιο είναι τα αερολύματα από την καύση των απορριμμάτων, τα απόβλητα από τα εργοστάσια επιμετάλλωσης, τα εργοστάσια παραγωγής φωσφορικών λιπασμάτων και η χρήση αυτών στην γεωργία (WHO 2011).

Η διαλυτότητα του καδμίου στο νερό επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από το pH και το δυναμικό οξειδοαναγωγής Eh (Ros & Slooff 1987, WHO 2011). Στα φυσικά νερά, το κάδμιο βρίσκεται κυρίως στα ιζήματα του πυθμένα και ως αιωρούμενα σωματίδια. Στον αέρα το κάδμιο υπάρχει με τη μορφή σωματιδίων (οξειδίο του καδμίου). Οι συγκεντρώσεις του καδμίου σε φυσικά νερά χωρίς ρυπαντικό φορτίο είναι συνήθως κάτω από 1  $\mu g/l$  (Friberg et al. 1986). Σε εδάφη που προέρχονται από πυριγενή πετρώματα οι συγκεντρώσεις του Cd κυμαίνονται μεταξύ 0,1-0,3mg/kg, από μεταμορφωμένα μεταξύ 0,1-11mg/kg και από ιζηματογενή μεταξύ 0,3-11 mg/kg (Page and Bingham 1973).

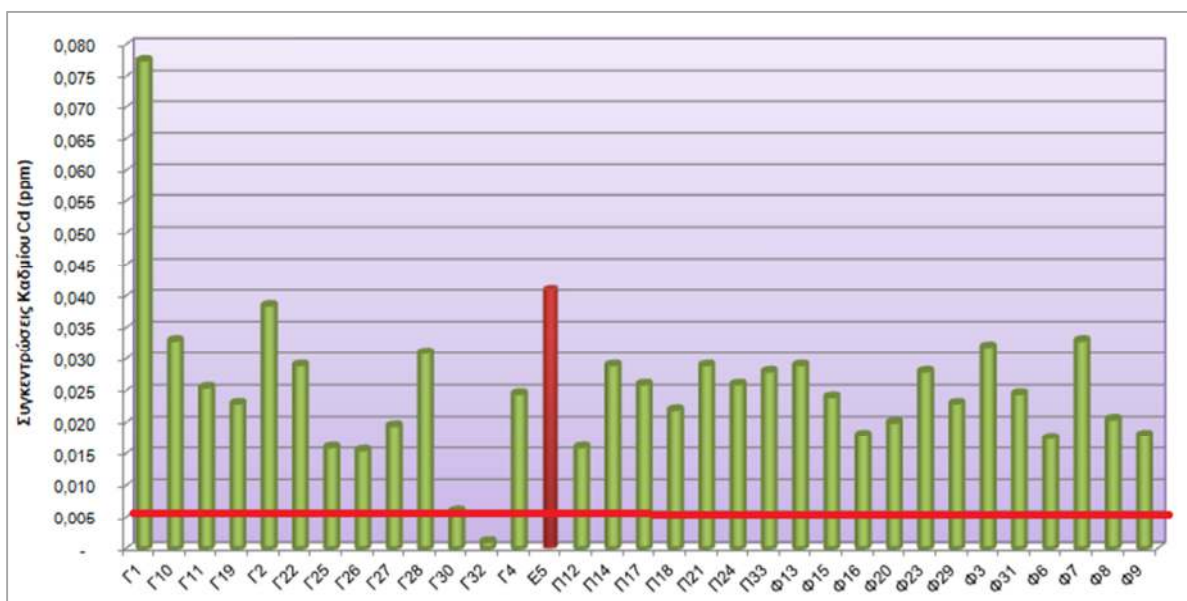
Η διατροφική καθημερινή πρόσληψη του καδμίου έχει εκτιμηθεί ότι κυμαίνεται μεταξύ 10-35  $\mu g$  (Galal-Gorchev 1991, WHO 2011). Το κάδμιο εισέρχεται στο ανθρώπινο σώμα είτε απευθείας μέσω του αέρα είτε μέσω των τροφών, του πόσιμου νερού και του καπνίσματος. Το κάδμιο συσσωρεύεται κυρίως στα νεφρά και στο ήπαρ και έχει μακρά βιολογική ημιπερίοδο ζωής στους ανθρώπους 10-35 χρόνια. Η απορρόφηση των ενώσεων του καδμίου από τον ανθρώπινο οργανισμό εξαρτάται από τη διαλυτότητα των ενώσεων.

Θεωρείται ιδιαίτερα τοξικό και η πρόληψή του έχει πολλαπλές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία καθώς προσβάλλει πολλά από τα συστήματα του ανθρώπινου οργανισμού. Συνήθως η πρόσληψή του μέσω της τροφής δημιουργεί ναυτία, πονοκεφάλους, πόνους στην κοιλιά και στους μύες. Επίσης, η πρόληψή του συνδέεται με την απασβέστωση, οστεομαλακία και τα κατάγματα των οστών.

Επιπλέον, υπάρχουν ενδείξεις ότι το κάδμιο είναι καρκινογόνο κυρίως για την ανάπτυξη του καρκίνου του πνεύμονα και του προστάτη, έτσι ο Διεθνής Οργανισμός για την Έρευνα του Καρκίνου (IARC) ταξινόμησε τις ενώσεις καδμίου στην Ομάδα 2A (πιθανώς καρκινογόνο για τον άνθρωπο). Ωστόσο, δεν υπάρχουν ενδείξεις καρκινογένεσης μέσω της στοματικής οδού και καμία σαφής ένδειξη για τη γονοτοξικότητα του καδμίου (WHO 2011).

Οι συγκεντρώσεις του καδμίου στα δείγματα νερού της περιοχής κυμαίνονται μεταξύ 0,001ppm έως 0,078ppm. Η διακύμανση των τιμών του χρωμίου στα δείγματα νερού της περιοχής μελέτης παρουσιάζεται στο Σχήμα 9.12 που ακολουθεί.

Όπως παρατηρείται και από το διάγραμμα (Σχήμα 9.12) σχεδόν όλα τα δείγματα νερού εμφάνισαν τιμές πάνω από το επιτρεπόμενο όριο(0,005 mg/l), που έχει καθοριστεί για το πόσιμο νερό σύμφωνα με την οδηγία 98/83/EK της Ε.Ε, με εξαίρεση το δείγμα νερού από τη γεώτρηση Γ32 που η τιμή της συγκέντρωσης του καδμίου είναι μικρότερη από 0,001.



**Σχήμα 9.12:** Διακύμανση των τιμών της συγκέντρωσης Cd των δειγμάτων νερού της περιοχής μελέτης.

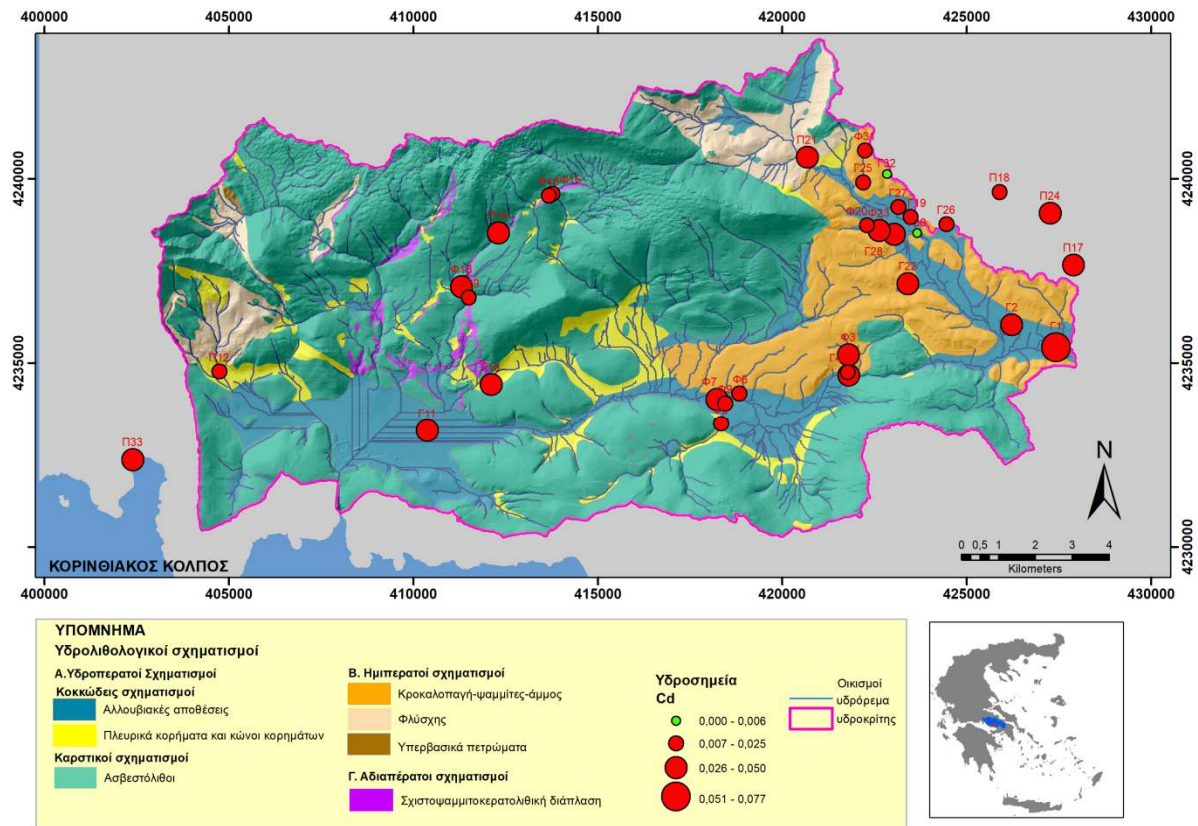
Ανάλογα με το γεωλογικό υπόβαθρο οι συγκεντρώσεις του Cd στα δείγματα νερού κυμαίνονται ως εξής (Πίνακας 9.2):

- Στις αλλουβιακές αποθέσεις από 0,006 έως 0,078 ppm με μέση τιμή 0,027 ppm.
- Στα κροκαλοπαγή πετρώματα από <0,001 έως 0,032 ppm, μέση τιμή 0,022 ppm.
- Στους ανθρακικούς σχηματισμούς η τιμή του Cd είναι 0,029 ppm
- Στα πλευρικά κορήματα και κώνους κορημάτων η τιμή του Cd είναι από 0,016 μέχρι 0,033 ppm με μέση τιμή 0,023 ppm.
- Στο φλύσχη και στη σχιστοψαμμιτοκερατολιθική διάπλαση η τιμή του Cd είναι 0,029ppm.

Επίσης, ανάλογα με το είδος του υδροσημείου (γεώτρηση, πηγάδι, πηγή και επιφανειακό νερό) οι τιμές του Cd κυμαίνονται ως εξής (Πίνακας 9.2) :

- Στα νερά των γεωτρήσεων οι τιμές κυμαίνονται από <0,001 έως 0,078 ppm, με μέση τιμή 0,028 ppm.
- Στα νερά των πηγαδιών οι τιμές κυμαίνονται από 0,018 έως 0,033 ppm, με μέση τιμή 0,024 ppm.
- Στα νερά των πηγών οι τιμές κυμαίνονται από 0,016 έως 0,029 ppm, με μέση τιμή 0,025 mg/l.

- Στο επιφανειακό νερό του ποταμού Άσκη η τιμή του Cd είναι 0,041 ppm και στην παράκτια υφάλμυρη πηγή η τιμή του Cd είναι 0,028 ppm.



**Σχήμα 9.13:** Χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων Cd των δειγμάτων νερού της περιοχής μελέτης.

**Χωρική κατανομή των ιόντων καδμίου:** Η χωρική κατανομή της συγκέντρωσης του καδμίου στα νερά της περιοχής μελέτης παρουσιάζεται στο σχήμα 9.13. Όπως προκύπτει οι υψηλές συγκεντρώσεις του καδμίου βρίσκονται διάσπαρτες σε όλη σχεδόν την λεκάνη, ενώ η υψηλότερη συγκέντρωση προσδιορίζεται στο νοτιοανατολικό τμήμα της λεκάνης και συγκεκριμένα στη γεώτρηση Γ1(0,078ppm).

Η προέλευση του καδμίου στα υπόγεια νερά και το επιφανειακό νερό της Άσκης αποδίδεται αφενός σε ανθρωπογενείς παράγοντες, όπως η χρήση των φωσφορικών λιπασμάτων, οι γαλβανισμένες σωλήνες των γεωτρήσεων και τα απόβλητα (κυρίως στις πηγές και το επιφανειακό νερό), και αφετέρου σε γεωγενείς παράγοντες, όπως τα οφιολιθικά πετρώματα, οι σχιστόλιθοι και τα ιζηματογενή πετρώματα τα οποία έχουν προκύψει από την διάβρωση των συμπαγών σχηματισμών και έχουν πληρώσει την λεκάνη.

### 9.3.6 Κοβάλτιο (Co)

Το κοβάλτιο είναι το 33<sup>ο</sup> πιο άφθονο στοιχείο στη γη, το οποίο περιλαμβάνει το 0,0025% του βάρους του φλοιού της γης (20–25 mg/Kg) (Smith & Carson 1981, WHO 2006). Απαντάται σε τρεις οξειδωτικές καταστάσεις 0, +2 και +3. Δεν εμφανίζεται μόνο του στη φύση, αλλά ως συστατικό μαζί με το χαλκό ή το νικέλιο. σε περισσότερα από 70 φυσικά ορυκτά, όπως ο

κοβαλτίτης (CoAsS), ο σκουττερουδίτης (CoAs<sub>2-3</sub>) και ο ερυθρίτης (Co<sub>3</sub>(AsO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>·8H<sub>2</sub>O) και ο λινναίτης (Co<sub>3</sub>S<sub>4</sub>) (IARC 1991).

Οι συγκεντρώσεις του κοβαλτίου στην ατμόσφαιρα είναι περίπου 1 ng/m<sup>3</sup> ή λιγότερο σε περιοχές εκτός πηγής, ενώ σε περιοχές κοντά στην πηγή είναι μικρότερες από 10 ng/m<sup>3</sup>. Αντίστοιχα, οι συγκεντρώσεις του κοβαλτίου στα επιφανειακά και υπόγεια νερά είναι κάτω από 1μg/l σε μη ρυπασμένες περιοχές και 1-10 μg/l σε κατοικημένες περιοχές. Σύμφωνα με μελέτες σε ορισμένες ανθρωπογενείς πηγές (περιοχές εξόρυξης και γεωργικές περιοχές) οι συγκεντρώσεις του κοβαλτίου στα επιφανειακά και υπόγεια ύδατα μπορεί να είναι αρκετά υψηλότερες έως και αρκετές εκατοντάδες χιλιοστόγραμμα ανά λίτρο. Στο θαλασσινό νερό οι μέσες συγκεντρώσεις κοβαλτίου έχει αναφερθεί ότι είναι μικρότερες από 1 μg/l, στο πόσιμο νερό είναι <1-2 μg/l και στο νερό της βροχής, είναι 0,3-1,7 μg/l (Smith & Carson 1981, WHO 2006).

Οι κύριες πηγές έκθεσης σε κοβάλτιο είναι φυσικές αλλά και ανθρωπογενείς. Στις φυσικές πηγές περιλαμβάνονται τα ηφαίστεια, οι δασικές πυρκαγιές και οι ηπειρωτικές και θαλάσσιες βιογενείς εκπομπές. Στις ανθρωπογενείς πηγές περιλαμβάνονται η καύση ορυκτών καυσίμων, η λάσπη λυμάτων, τα φωσφορικά λιπάσματα, η εξόρυξη και τήξη μεταλλευμάτων κοβαλτίου, η επεξεργασία κραμάτων κοβαλτίου και οι βιομηχανίες που χρησιμοποιούν ή επεξεργάζονται ενώσεις κοβαλτίου (Smith & Carson 1981).

Οι ενώσεις του κοβαλτίου είναι μη πτητικές και απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα σε σωματιδιακή μορφή. Το κοβάλτιο που απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα εναποτίθεται στο έδαφος, ενώ το κοβάλτιο που απελευθερώνεται στο νερό μπορεί να απορροφηθεί ως σωματίδιο και να κατακαθίσει ως ίζημα ή να απορροφηθεί απευθείας από το ίζημα. Το διαλυμένο κοβάλτιο μπορεί να σχηματίσει σύμπλοκα με φουλβικό οξύ, χουμικό οξύ ή άλλες οργανικές ενώσεις ή μπορεί να απορροφηθεί από μηχανισμούς ανταλλαγής ιόντων.

Η περιεκτικότητα του νερού σε κοβάλτιο εξαρτάται από το pH, το δυναμικό οξειδοαναγωγής και από τις διαλυμένες οργανικές ουσίες στο νερό. Σε όξινες συνθήκες αυξάνεται η διαλυτότητα του κοβαλτίου και η κινητικότητά του.

Το κοβάλτιο χρησιμοποιείται πολύ στην παραγωγή υπερκραμάτων (κράματα που διατηρούν την αντοχή τους σε υψηλές θερμοκρασίες που πλησιάζουν τα σημεία τήξης τους), στην παραγωγή χρωστικών ουσιών, στην κατασκευή μαγνητών, σε εργαλεία λείανσης και κοπής, σε τεχνητές αρθρώσεις ισχίου και γόνατου, στην κεραμοποιία και υαλουργία.

Το κοβάλτιο είναι απαραίτητο στοιχείο για τον άνθρωπο, ως συστατικό της βιταμίνης B12. Ωστόσο, η οξεία (βραχυπρόθεσμη) έκθεση σε υψηλά επίπεδα κοβαλτίου μπορεί να δημιουργήσει στον άνθρωπο πνευμονολογικά και καρδιακά νοσήματα και δερματίτιδα. Επίσης, η μακροχρόνια έκθεση σε κοβάλτιο με την εισπνοή, έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία: α) πολλών αναπνευστικών νοσημάτων, όπως αναπνευστικό ερεθισμό, άσθμα και πνευμονία, β) καρδιακών νοσημάτων, όπως συμφόρηση του ήπατος και των νεφρών και γ) ανοσολογικών νοσημάτων (<https://www.epa.gov>).

Αν και ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας αναφέρει για τη τοξική δράση του κοβαλτίου και τις επιπτώσεις του στην ανθρώπινη υγεία, ωστόσο η Ε.Ε. δεν έχει καθορίσει μέγιστο επιτρεπόμενο όριο της συγκέντρωσης του κοβαλτίου στο πόσιμο νερό με την Οδηγία 98/83/Ε.Κ.

Όπως παρατηρείται και από το διάγραμμα (Σχήμα 9.14) σχεδόν όλα τα δείγματα νερού εμφάνισαν μη ανιχνεύσιμες τιμές, με εξαίρεση τα δείγματα νερού από τις γεωτρήσεις Γ1με



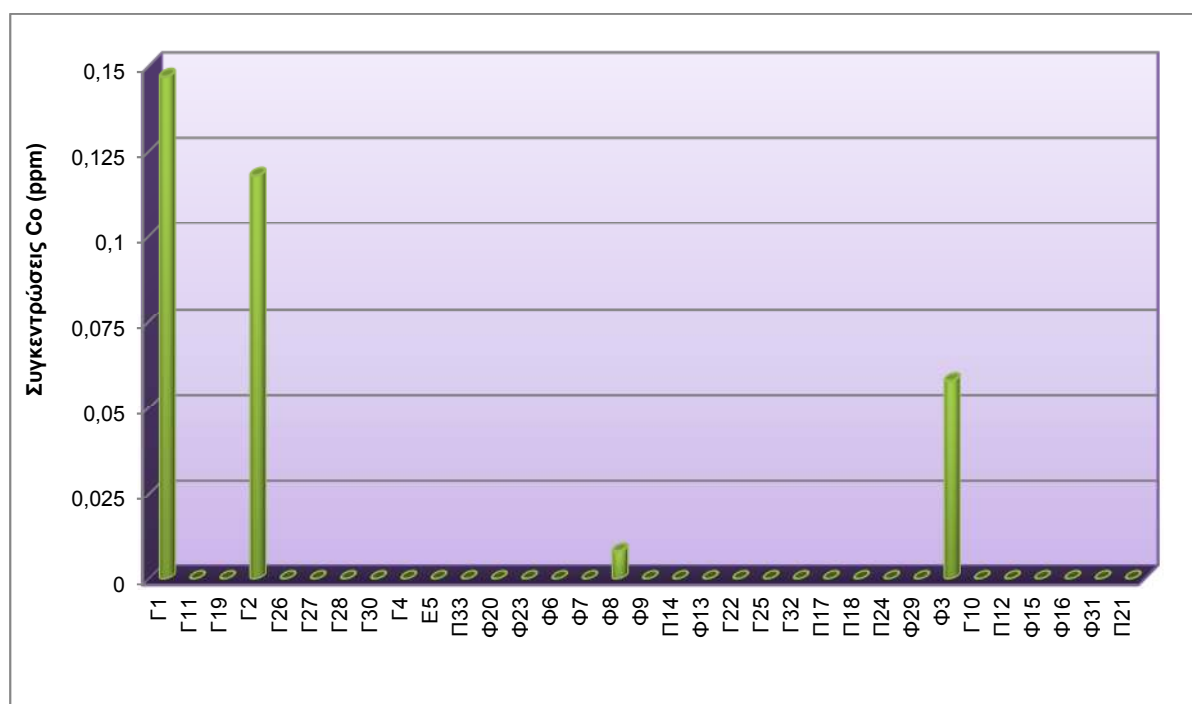
συγκέντρωση 0,147ppm και Γ2 με 0,118 ppm, καθώς και από τα πηγάδια Φ3 με 0,058 ppm και Φ8 με 0,008 ppm.

Ανάλογα με το γεωλογικό υπόβαθρο οι συγκεντρώσεις του Co στα δείγματα νερού κυμαίνονται ως εξής (Πίνακας 9.2):

- Στις αλλουβιακές αποθέσεις κυμαίνεται από >0,001 έως 0,147ppm, μέση τιμή 0,016ppm.
- Στα κροκαλοπαγή πετρώματα από <0,001 έως 0,058 ppm, μέση τιμή 0,007 ppm.
- Στους υπόλοιπους γεωλογικούς σχηματισμούς οι τιμές είναι μη ανιχνεύσιμες.

Επίσης, ανάλογα με το είδος του υδροσημείου (γεώτρηση, πηγάδι, πηγή και επιφανειακό νερό) οι τιμές του Co κυμαίνονται ως εξής (Πίνακας 9.2) :

- Στα νερά των γεωτρήσεων οι τιμές κυμαίνονται από <0,001 έως 0,147 ppm, με μέση τιμή 0,02 ppm.
- Στα νερά των πηγαδιών οι τιμές κυμαίνονται από <0,001 έως 0,058 ppm, με μέση τιμή 0,006 ppm.
- Στα νερά των πηγών καθώς και στο επιφανειακό νερό του ποταμού Άσκη και στην παράκτια υφάλμυρη πηγή η τιμή του Co είναι <0,001 ppm.



**Σχήμα 9.14:** Διακύμανση των τιμών της συγκέντρωσης Co των δειγμάτων νερού της περιοχής μελέτης.



στα ασβεστολιθικά ιζήματα οι συγκεντρώσεις του είναι αρκετά χαμηλότερες και κυμαίνονται από 0,1 έως 10 ppm (Πίνακας 9.2).

Επίσης, η μέση συγκέντρωση του Pb στον φλοιό της Γης ανέρχεται περίπου στα 15 ppm. (Kabata-Pendias and Pendias 2001).

Η συγκέντρωση του μολύβδου στο θαλασσίνο νερό είναι αρκετά χαμηλή και κυμαίνεται από 0,002 έως 0,02 mg/l και στο γλυκό νερό χωρίς ρυπαντικό φορτίο από 1 έως 10 µg/l, ενώ στο ρυπασμένο νερό οι συγκεντρώσεις του είναι αρκετά αυξημένες και κυμαίνονται από 20 έως 200 µg/l (Δασενάκης 2015) (<https://opencourses.uoa.gr>).

Στο πόσιμο νερό, τα επίπεδα μολύβδου είναι αρκετά χαμηλότερα, λόγω της επεξεργασίας του, με αποτέλεσμα η έκθεση του ανθρώπου στο μόλυβδο μέσω του νερού να είναι αρκετά χαμηλότερη σε σύγκριση με την έκθεση μέσω της τροφής. Ωστόσο, σε παλαιότερα κτίρια που τα υλικά των υδραυλικών τους εγκαταστάσεων περιέχουν μόλυβδο ή σε περιοχές που το δίκτυο ύδρευσης δεν έχει αλλαχτεί και περιέχει μόλυβδο οι συγκεντρώσεις του μολύβδου στο πόσιμο νερό είναι αρκετά αυξημένες.

Συνήθως στα υδατικά διαλύματα η οξειδωτική κατάσταση του μολύβδου είναι 2 ( $Pb^{2+}$ ), αν και η οξειδωτική του κατάσταση είναι 4 ( $Pb^{4+}$ ) με την οποία σχηματίζει πολλά ορυκτά τα οποία είναι αρκετά αδιάλυτα στα φυσικά νερά. Τυπικές ενώσεις του  $Pb^{4+}$  είναι το  $PbO_2$  και ο  $Pb(CH_3COO)_4$ , που μπορεί να διαλυθεί σε άνυδρο  $CH_3COOH$  χωρίς να διασπαστεί. και χρησιμοποιείται ως ισχυρό οξειδωτικό στην οργανική σύνθεση.

**Πίνακας 9.3:** Συγκεντρώσεις μολύβδου στα μαγματικά και ιζηματογενή πετρώματα (Kabata-Pendias and Pendias 2001).

Είδος πετρώματος	Pb (ppm)
<b>Μαγματικά πετρώματα (magmatic rocks)</b>	
<i>Υπερβασικά πετρώματα (Ultramafic rocks)</i>	0.1–1.0
Περιδοτίτης (peridotites), δουνίτης (Dunites) Πυροξενίτης (pyroxenites)	
<i>Βασικά πετρώματα (Mafic rocks)</i>	3–8
Βασάλτης (Basalts), γάβρος (gabbros)	
<i>Ενδιάμεσα πετρώματα (Intermediate rocks)</i>	12–15
Διορίτης (Diorites), Συηνίτης (syenites)	
<i>Όξινα πετρώματα (πλουτώνια) (Acid rocks)</i>	15–24
Γρανίτης (Granites), γνεύσιος (gneisses)	
<i>Όξινα πετρώματα (ηφαιστειακά) (Acid rocks (volcanic))</i>	10–20
Ρυόλιθος (Rhyolites), τραχείτης (trachytes), δακίτης (dacites)	
<b>Ιζηματογενή πετρώματα (Sedimentary rocks)</b>	
Αργιλικά Ιζήματα (Argillaceous sediments)	20–40
Σχιστόλιθοι (Shales)	18–25
Ψαμμίτες (Sandstones)	5–10
Ασβεστόλιθοι (Limestones), δολομίτες (dolomites)	3–10

Ο μόλυβδος, εξαιτίας των ιδιοτήτων του, δηλαδή η μικρή σκληρότητα, το χαμηλό σημείο τήξης, η αντίσταση στη διάβρωση και η αποτελεσματική ασπίδα κατά της ακτινοβολίας, χρησιμοποιείται από τον άνθρωπο σε πολλές εφαρμογές, όπως στις μπαταρίες, μονώσεις,

χρωστικές ουσίες, χρώματα, συγκολλήσεις, βιτρό, γυάλινα σκεύη από μόλυβδο, πυρομαχικά, κεραμικά τζάμια, κοσμήματα, παιχνίδια και σε ορισμένα καλλυντικά και παραδοσιακά φάρμακα. Ωστόσο, η ευρεία χρησιμοποίηση του μέχρι το 2003 ως πρόσθετο υλικό στη βενζίνη με σκοπό τη βελτίωση της απόδοσης του κινητήρα, αποτέλεσε τη σημαντικότερη πηγή ρύπανσης του περιβάλλοντος. Με την κατάργηση της μολυβδούχου βενζίνης σημειώθηκε σημαντική μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης μολύβδου στα επιφανειακά και θαλάσσια ύδατα. Παρ' όλα αυτά, οι συγκεντρώσεις μολύβδου εξακολουθούν να είναι αρκετά υψηλότερες από τα φυσικά επίπεδα, επειδή ο μόλυβδος έχει μικρή διαλυτότητα και δεν αποικοδομείται με μικροβιακή δράση, αλλά βιοσυσσωρεύεται στο έδαφος και στα επιφανειακά ύδατα.

Στο περιβάλλον οι κύριοι ρύποι Pb που εκπέμπονται κυρίως από τα χυτήρια εμφανίζονται σε ανόργανες μορφές (π.χ. PbS, PbO, PbSO<sub>4</sub> και PbSO<sub>4</sub>), ενώ οι ρύποι Pb που εκπέμπονται από τα αυτοκίνητα έχουν κυρίως τη μορφή αλάτων αλογόνων (π.χ. PbBr, PbBrCl, Pb(OH)Br και (PbO)<sub>2</sub>PbBr<sub>2</sub>), τα οποία είναι ασταθή και μετατρέπονται εύκολα σε οξείδια, ανθρακικά και θειικά (Kabata-Pendias and Pendias 2001).

Ο μόλυβδος είναι ένα ιδιαίτερα τοξικό μέταλλο που επηρεάζει πολλαπλά συστήματα του ανθρώπινου οργανισμού και είναι ιδιαίτερα επιβλαβές για τα μικρά παιδιά και τις εγκύους. Συσσωρεύεται κυρίως στους μαλακούς ιστούς αλλά σταδιακά φτάνει και στα κόκκαλα (<https://www.lenntech.com>). Η Οδηγία 98/83/ΕΕ περιλαμβάνει τον μόλυβδο στον κατάλογο των χημικών παραμέτρων που επηρεάζουν την υγεία και ορίζει σαν παραμετρική τιμή τα 10 μg/l. Η τοξικότητα του μολύβδου είναι μεγαλύτερη στο μαλακό νερό και λιγότερη στο σκληρό νερό. Γενικά τα νερά με χαμηλή σκληρότητα και με χαμηλό pH εμπεριέχουν περισσότερους κινδύνους για τον ανθρώπινο οργανισμό (Κουιμτζής κάλ. 1998, Καλογήρου 1999).

Οι άνθρωποι μπορούν να εκτεθούν στο μόλυβδο είτε με την εισπνοή σωματιδίων μολύβδου που παράγονται από την καύση υλικών που περιέχουν μόλυβδο, είτε με την κατάποση σκόνης μολυσμένης με μόλυβδο, κατανάλωση μολυσμένων τροφών και νερού. Η έκθεση του ανθρώπινου οργανισμού στο μόλυβδο μπορεί να προκαλέσει πολλές ανεπιθύμητες ενέργειες, όπως διακοπή της βιοσύνθεσης της αιμοσφαιρίνης, αναιμία, αύξηση της αρτηριακής πίεσης, νεφρική δυσλειτουργία, επιπλοκή στο νευρικό σύστημα και βλάβη στον εγκέφαλο, μειωμένη ικανότητα αναπαραγωγής.

Ωστόσο περισσότερο ευάλωτα στη τοξική επίδραση του μολύβδου είναι τα παιδιά. Σε υψηλά επίπεδα έκθεσης, ο μόλυβδος προσβάλλει τον εγκέφαλο και το κεντρικό νευρικό σύστημα προκαλώντας κόμα, σπασμούς και ακόμη και θάνατο. Τα παιδιά που επιβιώνουν από σοβαρή δηλητηρίαση από μόλυβδο μπορεί να έχουν ψυχική καθυστέρηση και διαταραχές συμπεριφοράς. Σε χαμηλότερα επίπεδα έκθεσης, ο μόλυβδος μπορεί να επηρεάσει την ανάπτυξη του εγκεφάλου των παιδιών, να επιφέρει αλλαγές στη συμπεριφορά τους, όπως μειωμένο εύρος προσοχής και αυξημένη αντικοινωνική συμπεριφορά και μειωμένο εκπαιδευτικό επίπεδο (WHO 2019).

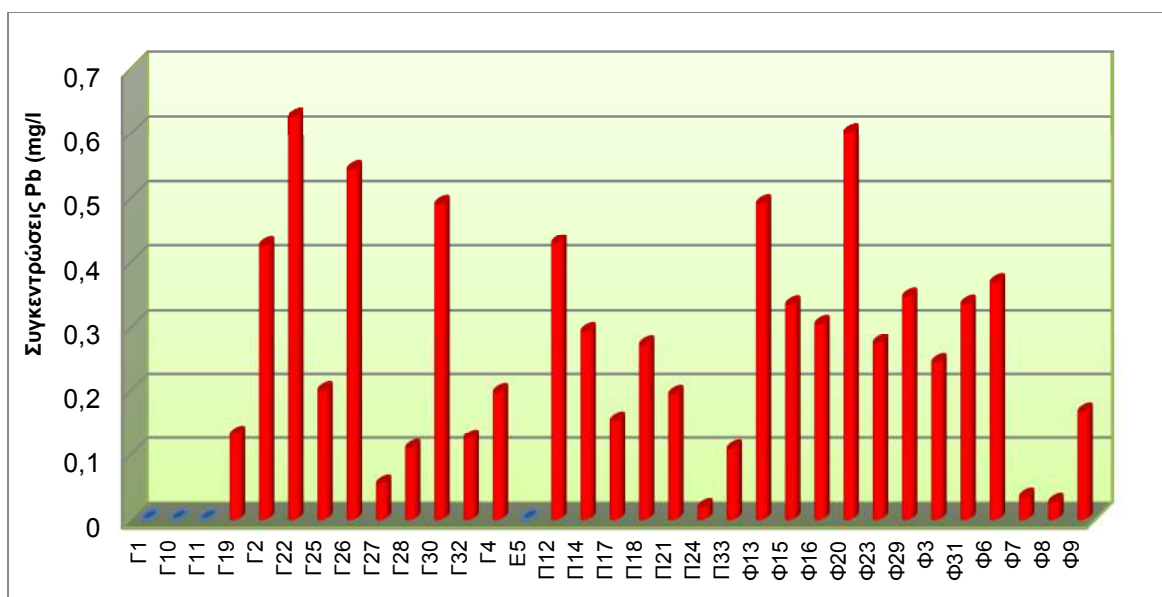
Οι συγκεντρώσεις του μολύβδου στα δείγματα νερού της περιοχής κυμαίνονται μεταξύ 0,001ppm έως 0,626ppm. Η διακύμανση των τιμών παρουσιάζεται στο Σχήμα 9.16 που ακολουθεί.

Όπως παρατηρείται και από το διάγραμμα (Σχήμα 9.16) σχεδόν όλα τα δείγματα νερού εμφάνισαν τιμές πάνω από το επιτρεπόμενο όριο για πόσιμο νερό σύμφωνα με την οδηγία

της 98/83/ΕΚ της Ε.Ε, με εξαίρεση τα δείγματα νερού από τις γεωτρήσεις Γ1, Γ10, Γ11 και το επιφανειακό νερό Ε5 τα οποία είχαν μη ανιχνεύσιμες τιμές.

Ανάλογα με το γεωλογικό υπόβαθρο οι συγκεντρώσεις του Pb στα δείγματα νερού κυμαίνονται ως εξής (Πίνακας 9.2):

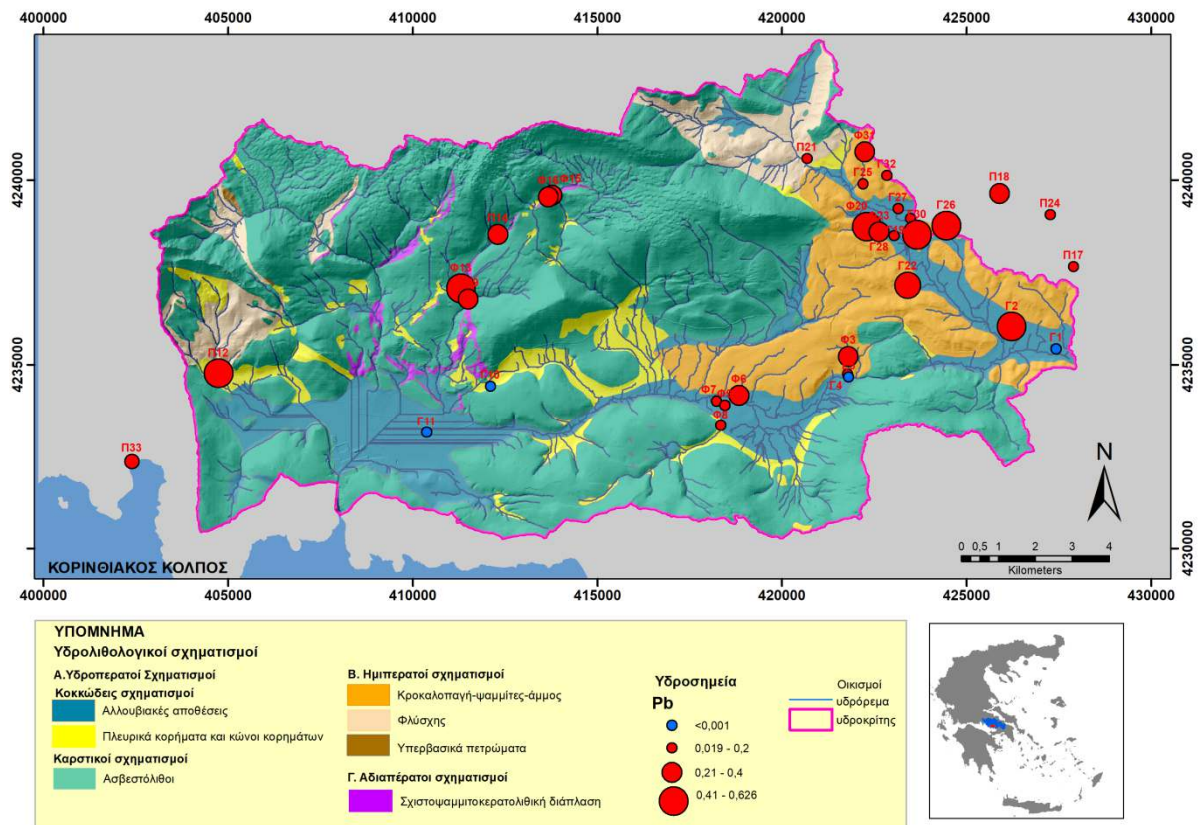
- Στις αλλουβιακές αποθέσεις από <0,001 έως 0,602 ppm, μέση τιμή 0,21 ppm.
- Στα κροκαλοπαγή πετρώματα από 0,019 έως 0,626 ppm, μέση τιμή 0,24 ppm.
- Στους ανθρακικούς σχηματισμούς από 0,294 έως 0,492 ppm, μέση τιμή 0,393ppm
- Στα πλευρικά κορήματα και κώνους κορημάτων από <0,001 μέχρι 0,43ppm, μέση τιμή 0,26ppm.
- Στο φλύσχη η τιμή του Pb είναι 0,195ppm και στη σχιστοψαμμιτοκερατολιθική διάπλαση η τιμή του Pb είναι 0,336 ppm.



**Σχήμα 9.16.:** Διακύμανση των τιμών της συγκέντρωσης Pb των δειγμάτων νερού της περιοχής μελέτης.

Επίσης, ανάλογα με το είδος του υδροσημείου (γεώτρηση, πηγάδι, πηγή και επιφανειακό νερό) οι τιμές του Pb κυμαίνονται ως εξής (Πίνακας 9.2) :

- Στα νερά των γεωτρήσεων οι τιμές κυμαίνονται από <0,001 έως 0,626 ppm, με μέση τιμή 0,022 ppm.
- Στα νερά των πηγαδιών οι τιμές κυμαίνονται από 0,027 έως 0,602 ppm, με μέση τιμή 0,295 ppm.
- Στα νερά των πηγών οι τιμές κυμαίνονται από 0,019 έως 0,430ppm, μέση τιμή 0,227mg/l.
- Στο επιφανειακό νερό του ποταμού Άσκη η τιμή του Pb είναι <0,001 ppm και στην παράκτια υφάλμυρη πηγή η τιμή του Pb είναι 0,11 ppm.



**Σχήμα 9.18:** Χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων Pb των δειγμάτων νερού της περιοχής μελέτης.

**Χωρική κατανομή των ιόντων μόλυβδου:** Η χωρική κατανομή της συγκέντρωσης του μολύβδου στα νερά της περιοχής μελέτης παρουσιάζεται στο Σχήμα 9.18. Όπως προκύπτει οι υψηλές συγκεντρώσεις του Pb εντοπίζονται στο ανατολικό τμήμα της λεκάνης απορροής, καθώς και στην περιοχή όπου επικρατεί η σχιστοψαμμιτοκερατολιθική διάπλαση. Σχετικά με τις μη ανιχνεύσιμες τιμές του μολύβδου στα τέσσερα δείγματα νερού αυτές συνδέονται με την μικρή κινητικότητα και διαλυτότητα του μολύβδου, καθώς και με την δέσμευσή του από τις οργανικές ενώσεις.

Οι πηγές προέλευσης του μολύβδου στα υπόγεια νερά εκτιμάται ότι προέρχονται κυρίως από ανθρωπογενείς δραστηριότητες και συγκεκριμένα τη χρήση λιπασμάτων, καθώς και τη χρήση σωλήνων που περιέχουν μόλυβδο, αλλά και από γεωγενείς παράγοντες, όπως η παρουσία λεπτόκοκκου αργιλικού κλάσματος στις αλλουβιακές αποθέσεις και στα άλλα ιζήματα (Kabata-Pendias and Pendias 2001).

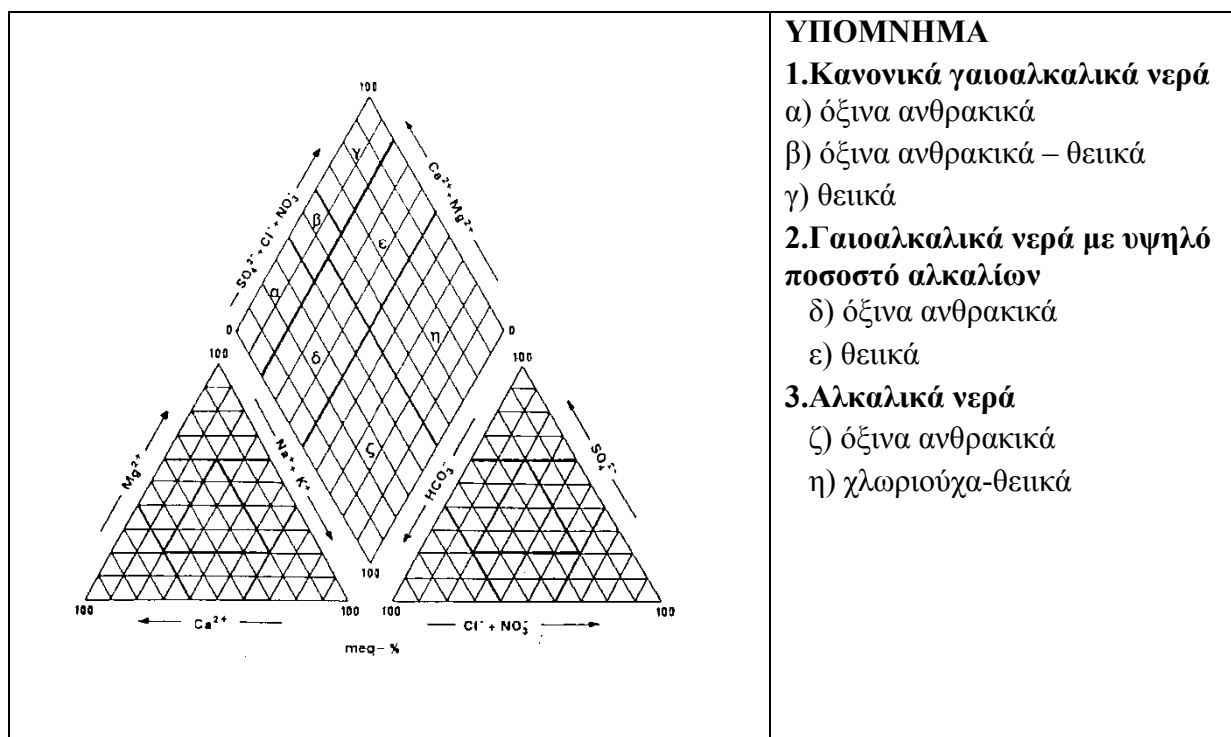
## 10. ΥΔΡΟΧΗΜΙΚΗ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ

Στα πλαίσια της παρούσας μελέτης, σχεδιάσθηκαν τα διαγράμματα Piper και Durov, μέσω του λογισμικού προγράμματος Aquachem 2011.1, με σκοπό την απεικόνιση των σχέσεων μεταξύ των κατιόντων και μεταξύ των ανιόντων, την παροχή πληροφοριών αναφορικά με τη σύνθεση του νερού και την κατανοήση της γεωχημικής εξέλιξης των υπόγειων νερών της περιοχής και του επιφανειακού νερού του ρέματος Άσκλης.

### 10.1. Ταξινόμηση κατά PIPER

Το διάγραμμα Piper (1944) είναι ένα τριγωνικό διάγραμμα, όπου οι συγκεντρώσεις (meq/l) των κατιόντων ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  και  $\text{K}^+$ ), εκφρασμένες επί τοις εκατό (%) του συνόλου των κατιόντων, προβάλλονται στο αριστερό τριγωνικό πεδίο και αντίστοιχα οι συγκεντρώσεις (meq/L) των ανιόντων ( $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$  και  $\text{NO}_3^-$ ) εκφρασμένες επί τοις εκατό (%) του συνόλου των ανιόντων, προβάλλονται στο δεξιό τριγωνικό πεδίο. Στη συνέχεια τα δύο αυτά σημεία προβάλλονται περαιτέρω στο κεντρικό ρομβικό πεδίο (Καλλέργης 2000, Λαμπράκης 2018).

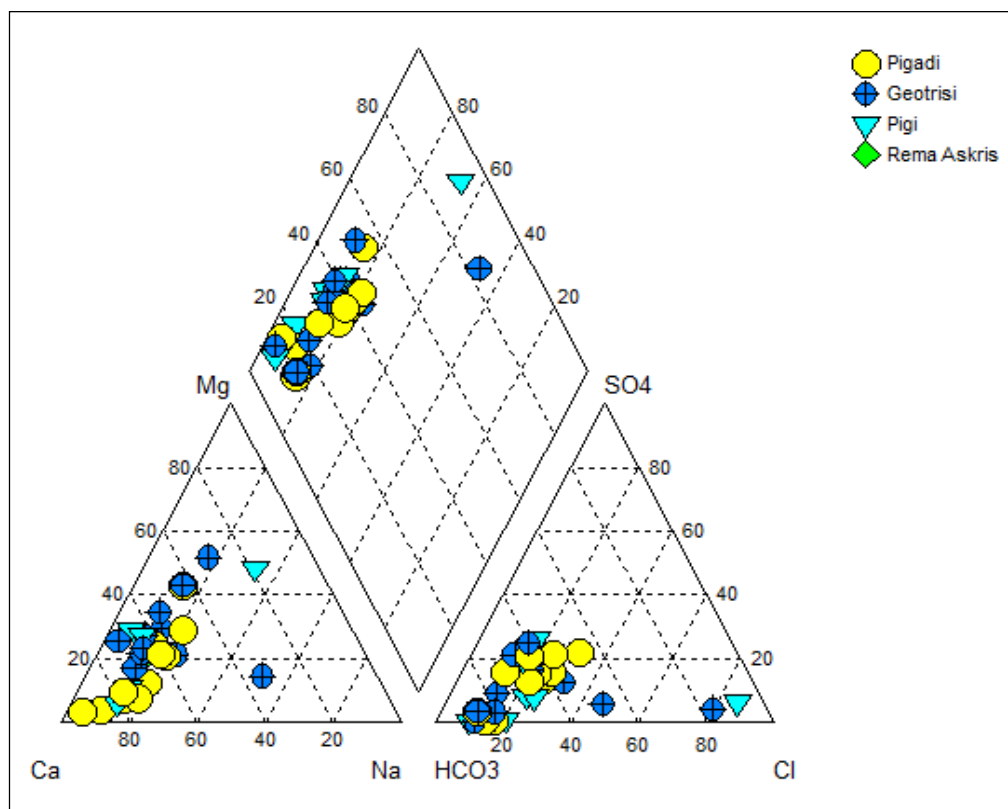
Μέσω της απεικόνισης των σημείων (ανιόντων και κατιόντων) στο ρομβικό πεδίο του διαγράμματος ομαδοποιούνται οι πληροφορίες από τις χημικές αναλύσεις των δειγμάτων νερού, αναγνωρίζονται οι ομοιότητες και διαφορές που παρουσιάζουν τα δείγματα νερού καθώς και η ανάμιξη διαφορετικών νερών και προσδιορίζεται ο υδροχημικός τύπος των δειγμάτων νερού της περιοχής μελέτης (Σχήμα 10.1).



Σχήμα 10.1: Διάγραμμα Piper ταξινόμησης των νερών

Στο Σχήμα 10.2 παρουσιάζεται η υδροχημική ταξινόμηση των υπόγειων νερών της περιοχής μελέτης με βάση τα διαγράμματα Piper, ενώ στον Πίνακα 10.1 παρουσιάζεται η

κατηγοριοποίηση των δειγμάτων νερού της περιοχής μελέτης, σύμφωνα με τον υδροχημικό τύπο και την ταξινόμηση κατά PIPER.



**Σχήμα 10.2:** Ταξινόμηση των υπόγειων νερών και του επιφανειακού νερού της περιοχής μελέτης βάσει του διαγράμματος Piper.

Σύμφωνα με το διάγραμμα Piper τα νερά της περιοχής μελέτης ταξινομούνται σε τρεις κύριες ομάδες τύπων νερών:

1. Στην **1<sup>η</sup> ομάδα** ανήκουν τα νερά που χαρακτηρίζονται γαιοαλκαλικά-οξυανθρακικά και οξυανθρακικά-θειικά. Στην ομάδα των γαιοαλκαλικών-οξυανθρακικών περιλαμβάνονται είκοσι έξι (26) δείγματα νερού, εκ των οποίων τα έντεκα (11) δείγματα αφορούν νερά πηγαδιών, τα οκτώ (8) γεωτρήσεων, τα έξι (6) πηγών και ένα (1) του επιφανειακού νερού του ρέματος Άσκρις, ενώ στην υποομάδα των γαιοαλκαλικών-θεικών περιλαμβάνονται τρία (3) δείγματα νερού εκ των οποίων τα δύο (2) αφορούν νερά γεωτρήσεων και το ένα (1) νερό πηγής. Στην ομάδα των γαιοαλκαλικών-οξυανθρακικών βρίσκονται τα περισσότερα δείγματα της μελέτης, σε ποσοστό 78%. Τα ιόντα που κυριαρχούν είναι τα κατιόντα του ασβεστίου σε μεγαλύτερο βαθμό και του μαγνησίου σε μικρότερο βαθμό, καθώς και τα όξινα ανθρακικά ανιόντα και εν μέρει τα ιόντα χλωρίου.

α) Τα γαιοαλκαλικά-οξυανθρακικά νερά παρουσιάζουν τους ακόλουθους υδροχημικούς τύπους: Ca-HCO<sub>3</sub>, Ca-HCO<sub>3</sub>-Cl, Ca-Mg-HCO<sub>3</sub> και Mg-Ca-HCO<sub>3</sub>. Πρόκειται για φρέσκα ρηγά νερά που φιλοξενούνται σε ασβεστολιθικά και δολομιτικά πετρώματα (Ca-HCO<sub>3</sub>), μολασσικά ιζήματα με υψηλές διακυμάνσεις μεταλλικότητας (Ca-Mg-HCO<sub>3</sub>) και σχηματισμούς του φλύσχη (Ca,Mg-HCO<sub>3</sub>). Τα νερά αυτά εντοπίζονται κυρίως στις



αλλουβιακές προσχώσεις, στα περιθώρια των αλλουβιακών προσχώσεων με τα πλειστοκαινικά κροκαλοπαγή πετρώματα και τους ανθρακικούς σχηματισμούς καθώς και στα πλευρικά κορήματα και τους κώνους κορημάτων που βρίσκονται κοντά στους σχηματισμούς του φλύσχη.

β) Τα γαιοαλκαλικά-οξυανθρακικά-θειικά νερά παρουσιάζουν τους ακόλουθους υδροχημικούς τύπους: Ca-HCO<sub>3</sub>-SO<sub>4</sub>-Cl, Ca-HCO<sub>3</sub>-SO<sub>4</sub> και Ca-Mg-HCO<sub>3</sub>-SO<sub>4</sub>. Πρόκειται για νερά που προέρχονται από ασβεστολιθικά πετρώματα που περιέχουν γυψούχα ορυκτά (Βουδούρης 2009). Τα νερά αυτά εντοπίζονται κυρίως στα κροκαλοπαγή πετρώματα.

**Πίνακας 10.1:** Υδροχημικοί τύποι υπόγειων νερών της περιοχής μελέτης  
(Γ: Γεωτρήσεις, Φ: Πηγάδια, Π: Πηγές και Ε: επιφανειακό Νερό Ρ. Ασκρης).

ΔΕΙΓΜΑΤΑ ΝΕΡΟΥ	ΥΔΡΟΧΗΜΙΚΟΣ ΤΥΠΟΣ	ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ PIPER
Φ(3), Φ(15), Φ(16), Φ(20), Φ(23) + Γ(10), Γ(22), Γ(32) + Ε5	Ca-HCO <sub>3</sub>	Γαιοαλκαλικά νερά, οξυανθρακικά
Π(12) + Φ(8), Φ(6)	Ca-HCO <sub>3</sub> -Cl	Γαιοαλκαλικά νερά, οξυανθρακικά
Γ(4)	Ca-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub> -Cl	Γαιοαλκαλικά νερά, οξυανθρακικά- θειικά
Π(17)	Ca-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>	Γαιοαλκαλικά νερά, οξυανθρακικά- θειικά
Φ(13), Φ(29) + Π(14), Π(21), Π(24) + Γ(2), Γ(25), Γ(26), Γ(27)	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>	Γαιοαλκαλικά νερά, οξυανθρακικά
Π(18) + Γ(19) + Φ(7)	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub> -Cl	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων, οξυανθρακικά
Γ(30)	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>	Γαιοαλκαλικά νερά, οξυανθρακικά-θειικά
Φ(9)	Ca-Mg-Na-HCO <sub>3</sub>	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων, οξυανθρακικά
Γ(1)	Ca-Na-Mg-HCO <sub>3</sub> -Cl	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων, οξυανθρακικά
Γ(28)+Φ(31)	Mg-Ca-HCO <sub>3</sub>	Γαιοαλκαλικά νερά, οξυανθρακικά
Π(33)	Mg-Na-Cl	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων, θειικά
Γ(11)	Na-Ca-Cl	Αλκαλικά νερά: χλωροθειικά

2. Στη **2<sup>η</sup> Ομάδα** ανήκουν τα νερά που χαρακτηρίζονται γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων, οξυανθρακικά και θειικά. Στην υποομάδα των γαιοαλκαλικών-με υψηλό ποσοστό αλκαλίων-οξυανθρακικών περιλαμβάνονται δύο (2) δείγματα νερού, εκ των οποίων το ένα δείγμα αφορά νερό πηγαδιού και το άλλο γεώτρησης, ενώ στην υποομάδα των γαιοαλκαλικών με υψηλό ποσοστό αλκαλίων-θειικών περιλαμβάνεται

ένα (1) δείγμα νερού προερχόμενο από την υφάλμυρη παράκτια πηγή. Τα ιόντα που κυριαρχούν είναι τα κατιόντα του ασβεστίου σε μεγαλύτερο βαθμό και του μαγνησίου σε μικρότερο βαθμό, καθώς και τα ιόντα νατρίου και τα όξινα ανθρακικά ανιόντα και εν μέρει τα ιόντα χλωρίου. Τα νερά στην ομάδα αυτή παρουσιάζουν τους ακόλουθους υδροχημικούς τύπους: Ca-Mg-Na-HCO<sub>3</sub>, Ca-Na-Mg-HCO<sub>3</sub>-Cl και Mg-Na-Cl. Πρόκειται για μεικτά νερά ακαθορίστου τύπου στα οποία εκτιμάται ότι λαμβάνουν χώρα διαδικασίες κατιοανταλλαγής, οι οποίες βρίσκονται σε στάδιο εξέλιξης. Επίσης ο τρίτος υδροχημικός τύπος δείχνει υφάλμυρο νερό.

3. Στην **3<sup>η</sup> ομάδα** περιλαμβάνονται τα νερά που χαρακτηρίζονται αλκαλικά-χλωροθειικά. Στην ομάδα αυτή περιλαμβάνεται η γεώτρηση Γ11 που βρίσκεται στο οροπέδιο Λικέρι. Πρόκειται για υφάλμυρα νερά, με υδροχημικό τύπο Na-Ca-Cl, στα οποία λόγω της θαλάσσιας διείσδυσης το κυρίαρχο ανιόν είναι το χλώριο (Cl<sup>-</sup>).

## 10.2. Ταξινόμηση κατά DUROV

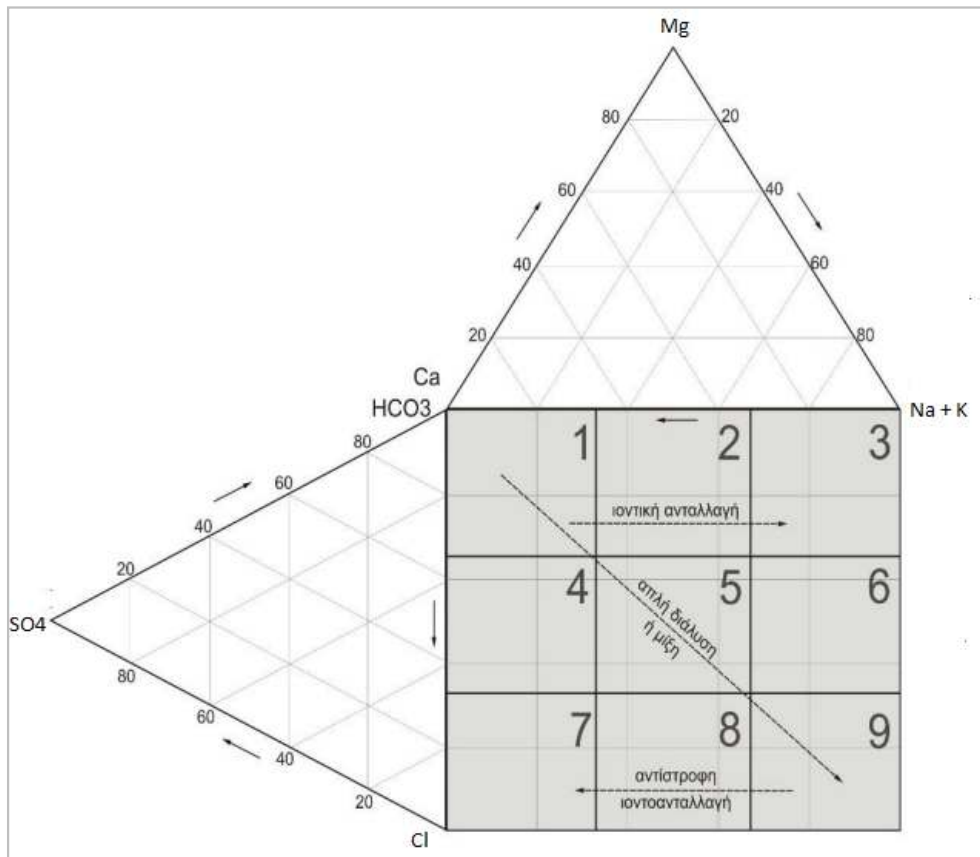
Το διάγραμμα DUROV (1948) σε σχέση με το διάγραμμα PIPER είναι ένα διευρυμένο διάγραμμα που χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της γεωχημικής εξέλιξης των υπόγειων υδάτων, όπου τα υπόγεια νερά αρχικά επαναφορτίζονται από το νερό της βροχής, υφίστανται αλληλεπιδράσεις μεταξύ νερού-πετρωμάτων (διάλυση) και ανάμιξη με προϋπάρχοντα υπόγεια ύδατα. Το διάγραμμα Durov βασίζεται στο ποσοστό των κύριων ισοδύναμων ιόντων. Οι τιμές των κατιόντων και ανιόντων απεικονίζονται σε δύο ξεχωριστά τριγωνικά διαγράμματα σε μεq % και τα σημεία των δεδομένων προβάλλονται σε ένα τετράγωνο πλέγμα στη βάση κάθε τριγώνου. Τα σημεία τομής στο τετράγωνο πλέγμα παριστάνουν την κύρια ιοντική σχέση % στο νερό (Καλλέργης 2000).

Το διάγραμμα Durov, όπως εμφανίζεται στο Σχήμα 10.3, αποτελείται από δύο τριγωνικά διαγράμματα και από ένα τετράγωνο το οποίο διαχωρίζεται σε εννέα επιμέρους μικρότερα τετράγωνα, με το καθένα από αυτά να αντιστοιχεί σε ένα συγκεκριμένο υδροχημικό τύπου νερό. Τα τρία πρώτα τετράγωνα (1-3) αντιστοιχούν σε νερά που βρίσκονται σε διαδικασία κατιοανταλλαγής, τα επόμενα τρία (4-6) αντιστοιχούν σε μικτού τύπου νερά και τα τελευταία τρία (7-9) αντιστοιχούν σε νερά που βρίσκονται σε διαδικασίες αντίστροφης κατιοανταλλαγής.

Σύμφωνα με το διάγραμμα (Σχήμα 10.3) τα δείγματα νερού της περιοχής μελέτης ταξινομούνται στους παρακάτω υδροχημικούς τύπους:

1. **Ομάδα 1η με χημικό τύπο Ca-HCO<sub>3</sub> (πεδίο No1):** Στην ομάδα αυτή περιλαμβάνονται 24 δείγματα (ποσοστό 73%), από τα οποία τα εννέα (9) δείγματα νερού αφορούν γεωτρήσεις, τα οκτώ (8) πηγάδια, τα έξι (6) πηγές και ένα (1) το επιφανειακό νερό Άσκλης. Πρόκειται για φρέσκα νερά τα οποία κατά την κατείσδυσή τους στην ακόρεστη και κορεσμένη ζώνη εμπλουτίζονται με στοιχεία των ανθρακικών πετρωμάτων.
2. **Ομάδα 2η με χημικό τύπο Mg-HCO<sub>3</sub> (πεδίο No2):** Στην ομάδα αυτή περιλαμβάνονται δύο δείγματα νερού, εκ των οποίων το ένα (1) είναι γεώτρηση και το άλλο πηγάδι. Πρόκειται για νερά εμπλουτισμένα με Mg<sup>2+</sup>, όπου επικρατεί η ανταλλαγή κατιόντων και κυριαρχούν τα HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> και Mg<sup>2+</sup>.

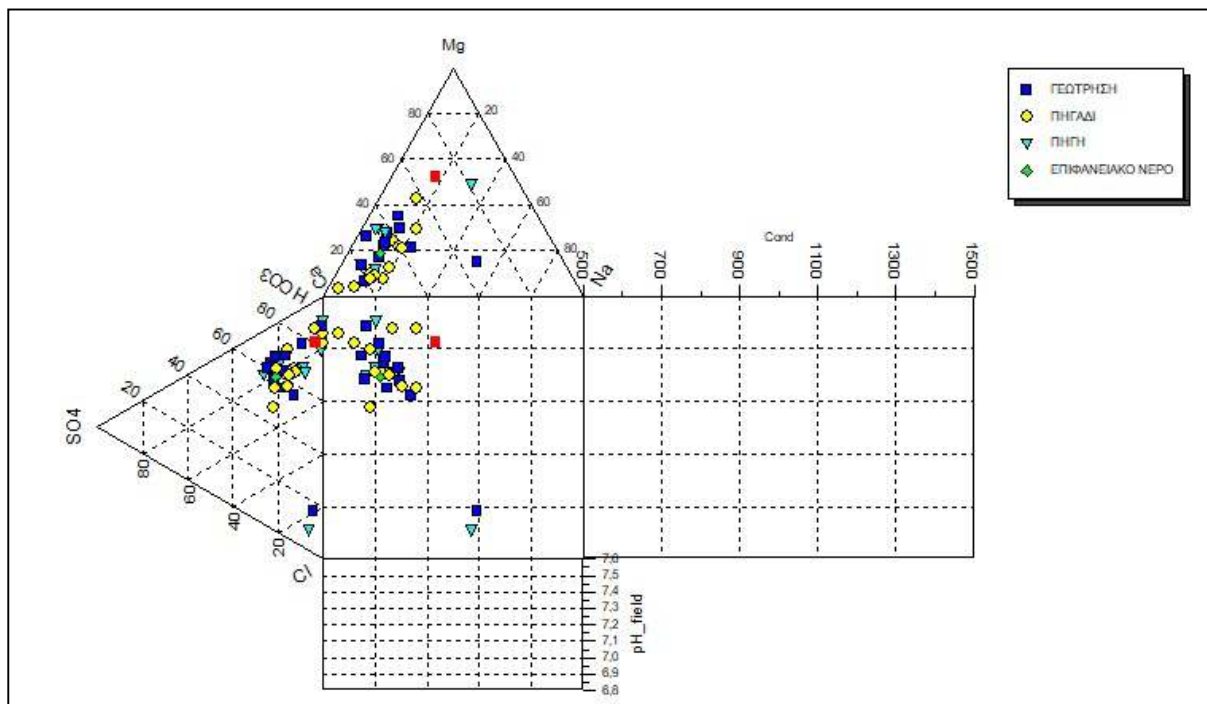
3. **Ομάδα 3η μικτά νερά (πεδίο Νο4):** Κυριαρχεί το  $\text{Ca}^{2+}$  και κανένα ανιόν. Πρόκειται για νερά τα οποία είναι μικτού τύπου και βρίσκονται στο στάδιο της ανάμιξης ή της διάλυσης. Στην ομάδα αυτή περιλαμβάνονται τρία δείγματα νερού, εκ των οποίων το ένα (1) είναι γεώτρηση και τα άλλα δύο (2) πηγάδια. Πρόκειται για νερά που προέρχονται από ασβεστούχα πετρώματα στα οποία παρεμβάλλονται γυψούχα στρώματα (κυρίως στα νεογενή πετρώματα) και έχουμε διαλυτοποίηση του γύψου.



Σχήμα 10.3: Διάγραμμα DUROV (Βουδούρης 2009)

4. **Ομάδα 4η μικτά νερά (πεδίο Νο5):** Δεν κυριαρχεί κανένα ιόν. Πρόκειται για νερά τα οποία είναι μικτού τύπου και βρίσκονται στο στάδιο της ανάμιξης ή της διάλυσης. Στην ομάδα αυτή περιλαμβάνονται δύο δείγματα νερού, εκ των οποίων το ένα (1) είναι γεώτρηση και τα άλλο (1) πηγάδι. Πρόκειται για νερά που προέρχονται από ασβεστολιθικά πετρώματα στα οποία παρεμβάλλονται γυψούχα στρώματα (κυρίως στα νεογενή πετρώματα) και έχουμε διαλυτοποίηση του γύψου, καθώς και από εδάφη στα οποία γίνεται μεγάλη χρήση θεικών λιπασμάτων και υπεράντληση των υπόγειων νερών.

5. **Ομάδα 5η με χημικό τύπο Mg-Cl (πεδίο Νο8).** Κυριαρχούν το  $\text{Cl}^-$  και το  $\text{Mg}^{2+}$ . Στο πεδίο αυτό ανήκουν δύο (2) δείγματα. Από αυτά το ένα (1) δείγμα είναι η υφάλμυρη πηγή στην παραλία Σαράντη και το άλλο (1) είναι η γεώτρηση στο οροπέδιο Λικέρι-Δομβραίνας. Πρόκειται για υφάλμυρα νερά, στα οποία το φαινόμενο της αντίστροφης κατιοανταλλαγής βρίσκεται σε πλήρη εξέλιξη.



**Σχήμα 10.4 :** Ταξινόμηση των υπόγειων νερών και του επιφανειακού νερού του π. Άσκρης της περιοχής μελέτης βάσει του διαγράμματος Durov.

Από τα ανωτέρω εκτεθέντα προκύπτει ότι από το σύνολο των νερών της περιοχής μελέτης ποσοστό 73% είναι φρέσκα νερά εμπλουτισμού του φρεάτιου ορίζοντα, πλούσια σε Ca και  $\text{HCO}_3$  τα οποία εμπλουτίζονται σε Ca μέσω των διαδικασιών της διάλυσης των ορυκτών του ασβεστίου, ποσοστό 6% είναι νερά πλούσια σε Mg και  $\text{HCO}_3$  που εμπλουτίζονται σε Mg μέσω των διαδικασιών της κατιοανταλλαγής.

Επίσης σε ποσοστό 15% είναι νερά μίξης, τα οποία βρίσκονται στο στάδιο της ανάμιξης ή διάλυσης και σε ποσοστό 6% είναι υφάλμυρα νερά, πλούσια σε Cl, λόγω της θαλάσσιας διείσδυσης, τα οποία έχουν προκύψει μέσω του φαινομένου της αντίστροφης κατιοαταλλαγής.

## 11. ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΤΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

### 11.1. Γενικά

Οι συγκεντρώσεις των διαλυμένων ιόντων στα υπόγεια ύδατα καθώς και οι σχέσεις μεταξύ τους δίνουν σημαντικές πληροφορίες για τον προσδιορισμό των υδρογεωχημικών διεργασιών που λαμβάνουν χώρα κατά την κίνηση του νερού στον υδροφόρο ορίζοντα, τη λιθολογική σύσταση των πετρωμάτων από τα οποία αυτά διέρχονται ή φιλοξενούνται καθώς και για την ταχύτητα και διεύθυνση της ροής τους.

Κατά τη διάρκεια της αλληλεπίδρασης των πετρωμάτων με τα υπόγεια ύδατα συντελούνται διάφορες γεωχημικές διεργασίες στον υδροφόρο ορίζοντα, όπως διάλυση, ανταλλαγή ιόντων, οξειδωση και αναγωγή, οι οποίες μεταβάλλουν τη χημική σύσταση των νερών. Ωστόσο, ποια διαδικασία θα επικρατήσει εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως από την ορυκτολογική-πετρολογική σύσταση των διαφόρων γεωλογικών σχηματισμών από τους οποίους διέρχεται ή φιλοξενείται το υπόγειο νερό, από το ιστορικό της κίνησής του υπόγειου νερού, το χρόνο παραμονής του στα πετρώματα, τη θερμοκρασία του, τη διαλυτότητα των ορυκτών καθώς και από την προέλευσή του.

Εκτός από τους παραπάνω παράγοντες που επιδρούν στις φυσικές διαδικασίες με τις οποίες το νερό φορτίζεται με διάφορα ιόντα κατά τη ροή του και το ρόλο της γεωλογικής σύστασης των υδροφορέων, σημαντικός παράγοντας είναι και οι ανθρωπογενείς παρεμβάσεις (άμεσα ή έμμεσα) οι οποίες επιδρούν στις φυσικές αυτές διαδικασίες και οι οποίες μεταβάλλουν τα ποιοτικά χαρακτηριστικά (φυσικά, χημικά, βιολογικά) του υπόγειου και επιφανειακού νερού (Σούλιος 2006).

Οι ιοντικοί λόγοι σε συνδυασμό με τα αντίστοιχα διαγράμματα μας παρέχουν τη δυνατότητα να συγκρίνουμε μεταξύ τους τα στοιχεία και να παίρνουμε σημαντικές πληροφορίες σχετικά με την προέλευση των στοιχείων του νερού που αναλύθηκε, την υπόγεια διαδρομή του, τις τυχόν ανθρωπογενείς επιδράσεις στην ποιότητά του καθώς και την ανάμιξη του με το θαλασινό νερό.

Μια ακόμη σημαντική παράμετρος η οποία μας παρέχει πληροφορίες σχετικά με το αν υπάρχει ιοντική ισορροπία μεταξύ του νερού που συμπεριφέρεται ως διάλυμα και του ορυκτού είναι ο δείκτης κορεσμού. Όταν το νερό είναι ακόρεστο τότε διαβρώνει το ορυκτό και η χημική του σύσταση συνεχίζει να μεταβάλλεται από τα στοιχεία του ορυκτού, ενώ αντίθετα όταν είναι κορεσμένο, τότε εναποθέτει τα ιζήματά του.

### 11.2. Γεωχημική προσομοίωση

Η γεωχημική προσομοίωση των υπόγειων υδάτων που προκύπτει με την βοήθεια του προγράμματος Aquachem δείχνει, ότι τα κύρια ορυκτά των πετρωμάτων της περιοχής μελέτης που διαλύονται στα υπόγεια νερά και εμπλουτίζουν αυτά είναι τα ακόλουθα: τα εβαποριτικά άλατα αλίτης (NaCl), σιλβίτης (KCl) και ανυδρίτης (CaSO<sub>4</sub>), τα ανθρακικά ορυκτά ασβεστίτης (CaCO<sub>3</sub>) και δολομίτης (CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>), ο χαλαζίας (SiO<sub>2</sub>) και οι άστριοι (NaAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>).

Τα εβαποριτικής προελεύσεως ορυκτά είναι πρακτικά υπολειμματικά άλατα που συνδέονται με τα πλειστοκαινικά ιζήματα, τα οποία προέκυψαν προφανώς μέσα σε ένα λιμναίο περιβάλλον και βρίσκονται κυρίως σε μάργες και αργιλομάργες. Τα ανθρακικά ορυκτά όπως

το ανθρακικό ασβέστιο και ο δολομίτης αποτελούν βασικά στοιχεία των ανθρακικών σχηματισμών, ενώ οι χαλαζιακές ενώσεις βρίσκονται κυρίως εντός των σχιστόλιθων αλλά και σε μικρότερες συγκεντρώσεις εντός των ανθρακικών σχηματισμών.

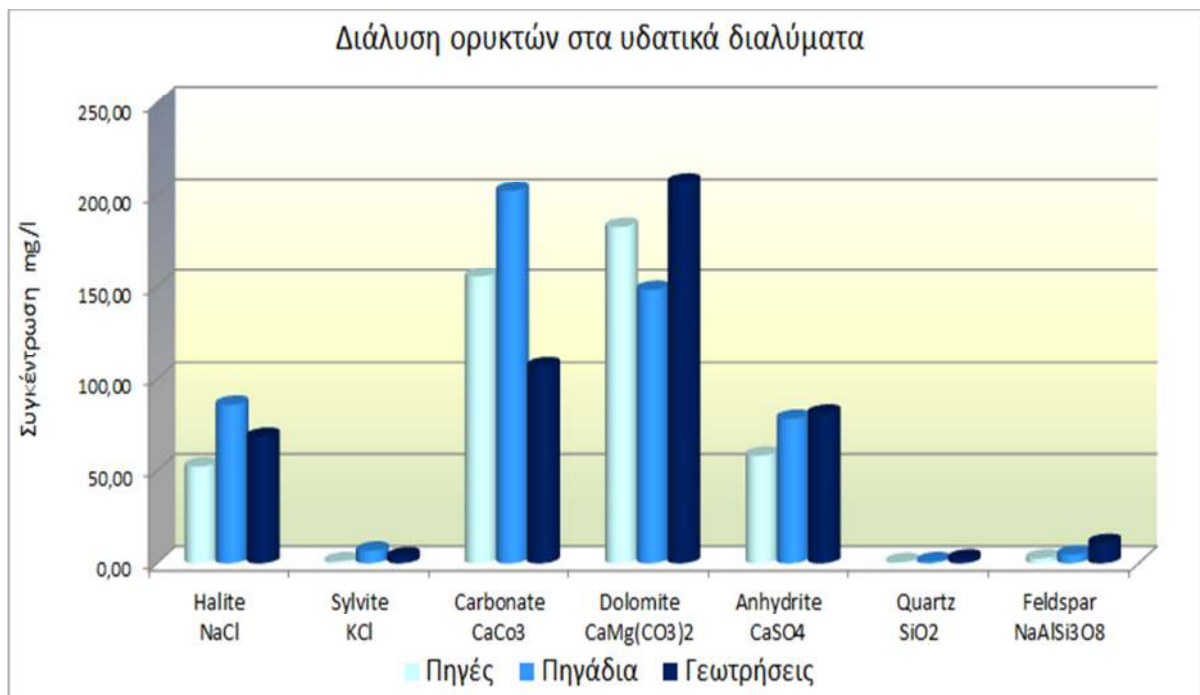
Οι πλειστοκαινικοί και οι αλλουβιακοί σχηματισμοί που αναπτύσσονται στο μεγαλύτερο τμήμα της λεκάνης είναι προϊόντα αποσάθρωσης και διάλυσης των προαναφερόμενων συμπαγών σχηματισμών. Συνεπώς, τα υλικά αυτά αποτελούν τους κύριους τροφοδότες των υπόγειων νερών σε χημικά στοιχεία που διαμορφώνουν σε συνδυασμό με τους ανθρωπογενείς ρύπους την ποιοτική σύστασή τους.

**Πίνακας 11.1:** Τιμές συγκέντρωσης (mg/l) των ορυκτών που έχουν διαλυθεί και έχουν συμβάλει στην διαμόρφωση του χημισμού των υπόγειων νερών της περιοχής μελέτης.

	Halite (NaCl)	Sylvite (KCl)	Carbonate (CaCo3)	Dolomite (CaMg(CO3)2)	Anhydrite (CaSO4)	SiO2 as Quartz	SiO2 as Feldspar (NaAlSi3O8)	Σύνολο διαλυμένων ορυκτών mg/l	Υδροχημικός τύπος
<b>Α) ΠΗΓΕΣ</b>									
<b>Π12</b>	53,69	2,67	177,21	68,16	40,13	0,99	4,36	347,21	Ca-HCO3-Cl
<b>Π14</b>	35,88	0,19	160,62	253,69	6,99	0,23	1,01	458,61	Ca-Mg-HCO3
<b>Π17</b>	62,34	0,76	202,12	44,68	126,91	0,62	2,68	440,11	Ca-HCO3-SO4-NO3
<b>Π18</b>	69,98	0,95	158,29	253,69	48,21	0,15	0,67	531,94	Ca-Mg-HCO3-Cl
<b>Π21</b>	20,87	1,33	113,48	171,15	1,71	0,77	3,35	312,66	Ca-Mg-HCO3
<b>Π24</b>	71,51	0,57	121,56	305,95	124,78	0,77	3,35	628,49	Ca-Mg-HCO3
<b>Μ. τιμή</b>	<b>52,38</b>	<b>1,08</b>	<b>155,55</b>	<b>182,89</b>	<b>58,12</b>	<b>0,59</b>	<b>2,57</b>	<b>453,17</b>	
<b>Β) ΠΗΓΑΔΙΑ</b>									
<b>Φ3</b>	76,08	2,86	241,04	68,16	56,57	0,85	3,69	449,25	Ca-HCO3-Cl
<b>Φ6</b>	136,4	10,11	446,25	103,75	158,81	1,08	4,69	861,08	Ca-HCO3-NO3-Cl
<b>Φ7</b>	95,93	6,11	93,36	157,52	82,66	0,99	4,36	440,93	Ca-Mg-HCO3-Cl
<b>Φ8</b>	155,4	25,74	292,58	157,52	137,82	0,77	3,35	773,15	Ca-HCO3-Cl
<b>Φ9</b>	146,7	21,93	37,26	405,91	165,19	0,77	3,35	781,06	Ca-Mg-Na-HCO3
<b>Φ13</b>	57,23	1,72	154,49	201,44	10,49	2,77	12,08	440,22	Ca-Mg-HCO3
<b>Φ15</b>	25,7	2,1	182,22	15,91	1,28	0,99	4,36	232,56	Ca-HCO3
<b>Φ16</b>	20,11	1,72	345,42	24,23	1,42	1,38	6,04	400,32	Ca-HCO3
<b>Φ20</b>	120,6	3,24	292,04	75,73	90,32	0,77	3,35	586,06	Ca-HCO3
<b>Φ23</b>	57,07	1,72	231,75	75,73	85,36	0,77	3,35	455,75	Ca-HCO3
<b>Φ29</b>	98,44	1,14	110,64	216,59	137,11	0,77	3,35	568,04	Ca-Mg-HCO3
<b>Φ31</b>	45,05	2,09	0	277,36	17,72	0,77	3,35	346,34	Mg-Ca-HCO3
<b>Μ. τιμή</b>	<b>86,22</b>	<b>6,71</b>	<b>202,25</b>	<b>148,32</b>	<b>78,73</b>	<b>1,06</b>	<b>4,61</b>	<b>527,90</b>	
<b>Γ) ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ</b>									
<b>Γ1</b>	135,6	1,9	119,7	197,6	71,5	1,5	6,7	534,5	Ca-Na-Mg-HCO3-Cl
<b>Γ2</b>	60,59	1,53	40,41	290,05	135,84	20,52	89,57	638,51	Ca-Mg-HCO3
<b>Γ4</b>	76,08	2,86	153,74	68,91	98,67	0,77	3,35	404,38	Ca-HCO3-SO4
<b>Γ10</b>	69,47	5,72	192,04	75,73	90,46	0,77	3,35	437,54	Ca-HCO3
<b>Γ19</b>	82,69	1,14	187,11	325,64	48,21	0,77	3,35	648,91	Ca-Mg-HCO3-Cl
<b>Γ22</b>	57,52	1,14	184,57	127,98	45,66	0,77	3,35	420,99	Ca-HCO3
<b>Γ25</b>	15,52	19,83	160,51	171,91	2,41	0,77	3,35	374,3	Ca-Mg-HCO3
<b>Γ26</b>	75,17	1,14	135,37	216,59	144,91	0,77	3,35	577,3	Ca-Mg-HCO3
<b>Γ27</b>	68,18	2,48	109,34	216,59	136,83	0,77	3,35	537,54	Ca-Mg-HCO3
<b>Γ28</b>	69,08	1,34	0	197,86	16,73	0,77	3,35	289,13	Mg-Ca-HCO3
<b>Γ30</b>	73,54	1,53	0	323,12	168,73	0,77	3,35	571,04	Ca-Mg-HCO3-SO4
<b>Γ32</b>	45,05	2,09	0	277,36	17,72	0,77	3,35	346,34	Mg-Ca-HCO3
<b>Μ. τιμή</b>	<b>69,04</b>	<b>3,56</b>	<b>106,90</b>	<b>207,45</b>	<b>81,47</b>	<b>2,48</b>	<b>10,81</b>	<b>481,71</b>	

Στον Πίνακα 11.1 παρουσιάζονται αναλυτικά οι τιμές συγκέντρωσης (mg/l) των ορυκτών που έχουν διαλυθεί και έχουν συμβάλει στην διαμόρφωση του χημισμού των υπόγειων νερών της περιοχής μελέτης, έτσι όπως αυτές προκύπτουν από την εφαρμογή της γεωχημικής προσομοίωσης βάσει του προγράμματος AquaChem 3.7.

Στο Σχήμα 11.1 παρουσιάζονται σε διάγραμμα οι μέσες τιμές συγκέντρωσης των διαφόρων διαλυμένων ορυκτών. Διαπιστώνεται ότι μεταξύ των βασικών ορυκτών που διαλύονται και συμβάλουν στην διαμόρφωση του χημισμού των υπόγειων νερών της περιοχής έρευνας είναι τα ανθρακικά ορυκτά, δηλαδή ο ασβεστίτης και ο δολομίτης, στην δεύτερη θέση ταξινομούνται τα ορυκτά ανυδρίτης και αλίτης, ενώ η συμμετοχή του συλβίτη και των πυριτικών ορυκτών είναι πολύ περιορισμένη.



**Σχήμα 11.1:** Βασικά ορυκτά που συμβάλουν μέσω της διάλυσής τους στην διαμόρφωση του χημισμού των υπόγειων νερών των πηγών, των πηγαδιών και των γεωτρήσεων της περιοχής μελέτης.

### 11.3. Ιοντικοί λόγοι

Οι ιοντικοί λόγοι είναι ένα σημαντικό εργαλείο γιατί μας δίνουν πληροφορίες για την προέλευση των στοιχείων στα υπόγεια νερά, την υπόγεια διαδρομή τους, το χρόνο παραμονής τους στα πετρώματα που τα φιλοξενούν και την ανάμιξή τους με θαλασσίνο νερό (Σούλιος 2006). Για τον υπολογισμό των ιοντικών λόγων οι τιμές των συγκεντρώσεων των ιόντων είναι εκφρασμένες σε meq/l.

Για την διερεύνηση της προέλευσης των στοιχείων των υπόγειων νερών της περιοχής μελέτης χρησιμοποιήθηκαν οι λόγοι Mg:Ca, Ca+Mg : Na+K, Ca+Mg : HCO<sub>3</sub>+SO<sub>4</sub>, Ca : SO<sub>4</sub> και Ca / Ca+SO<sub>4</sub> : Na / Na+ Cl. Στον Πίνακα 11.2 που ακολουθεί παρουσιάζονται οι συντελεστές των προαναφερόμενων ιοντικών λόγων των υπόγειων νερών και του επιφανειακού νερού του ρέματος Άσκρης της περιοχής μελέτης.

**Πίνακας 11.2:** Ιοντικοί λόγοι υπόγειων νερών των πηγών, των πηγαδιών και των γεωτρήσεων της περιοχής έρευνας.

Δείγμα	Mg : Ca	Ca+Mg : Na+K	Ca+Mg : HCO <sub>3</sub> +SO <sub>4</sub>	(Ca+Mg): (Cl+SO <sub>4</sub> )	Ca:SO <sub>4</sub>	Ca/Ca+SO <sub>4</sub> : Na/Na+Cl
<b>Α) ΠΗΓΕΣ</b>						
Π12	0,15	5,89	1,05	2,56	8,28	2,45
Π14	0,46	13,94	1,24	4,64	59,18	3,87
Π17	0,08	6,39	1,17	2,24	3,43	1,65
Π18	0,42	7,77	1,44	3,23	9,36	2,57
Π21	0,45	16,11	1,09	9,62	159,53	2,67
Π24	0,44	8,88	1,39	3,28	4,14	1,80
<b>Β) ΠΗΓΑΔΙΑ</b>						
Φ3	0,12	5,32	1,34	2,94	7,70	1,97
Φ6	0,08	5,47	1,84	2,36	5,31	2,07
Φ7	0,36	3,78	1,16	2,02	3,95	1,77
Φ8	0,18	3,75	1,10	2,25	4,74	1,75
Φ9	0,58	3,41	1,39	2,29	3,13	1,42
Φ13	0,40	5,72	0,98	6,61	35,36	1,72
Φ15	0,05	8,57	1,08	4,89	198,99	2,81
Φ16	0,04	20,32	1,06	6,20	3451,30	4,49
Φ20	0,10	4,19	1,09	2,50	6,02	1,77
Φ23	0,12	6,39	1,10	3,34	5,35	1,57
Φ29	0,36	4,45	1,12	2,41	3,27	1,42
Φ31	1,01	5,86	0,99	6,19	12,58	1,61
<b>Γ) ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ</b>						
Γ1	0,38	3,28	1,36	2,11	5,33	1,79
Γ2	0,53	5,81	1,27	2,28	2,99	1,72
Γ4	0,08	6,58	1,08	2,00	3,63	2,09
Γ10	0,14	5,39	1,08	2,33	4,51	1,92
Γ11	0,44	0,93	2,36	0,57	7,63	2,25
Γ19	0,45	8,09	1,45	2,41	3,99	2,39
Γ22	0,24	6,58	1,14	4,27	8,56	1,73
Γ25	0,37	13,15	1,12	8,36	146,52	3,99
Γ26	0,33	7,01	1,21	2,79	3,38	1,52
Γ27	0,36	6,89	1,09	2,78	3,26	1,49
Γ28	1,69	4,73	1,03	4,45	9,69	1,72
Γ30	0,65	7,74	1,17	2,48	2,42	1,55
Γ32	0,17	10,90	1,15	3,14	5,01	2,20
<b>Δ) ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΟ ΝΕΡΟ ΔΕΣΚΡΗΣ</b>						
Ε5	0,27	6,60	1,17	2,25	3,48	1,96

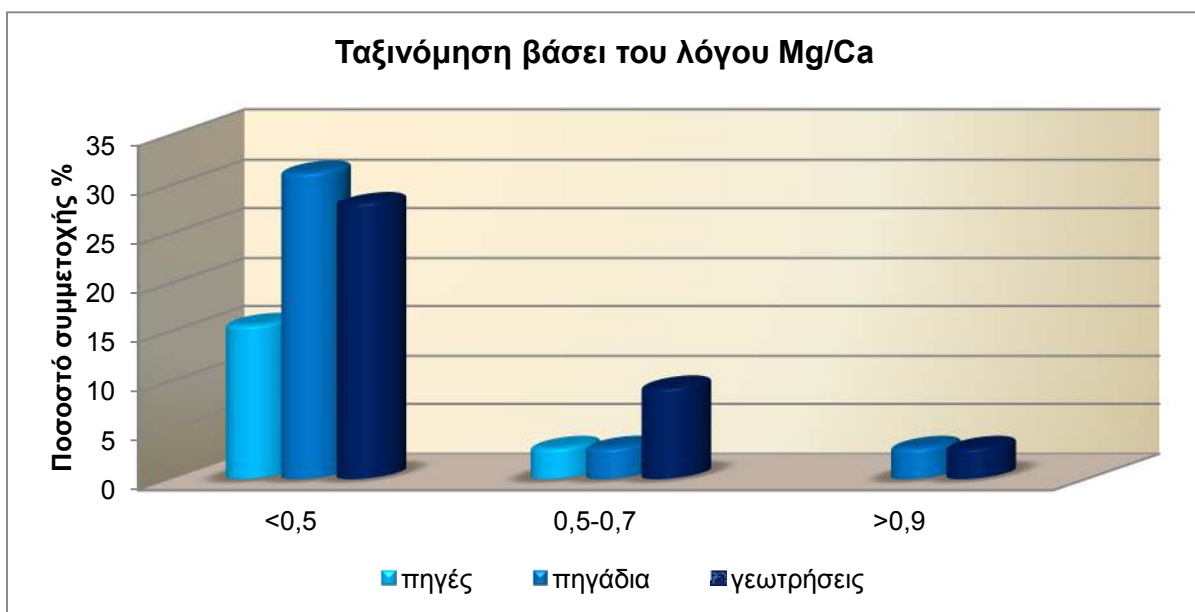


### 11.3.1 Ιοντικός λόγος $Mg^{2+}:Ca^{2+}$

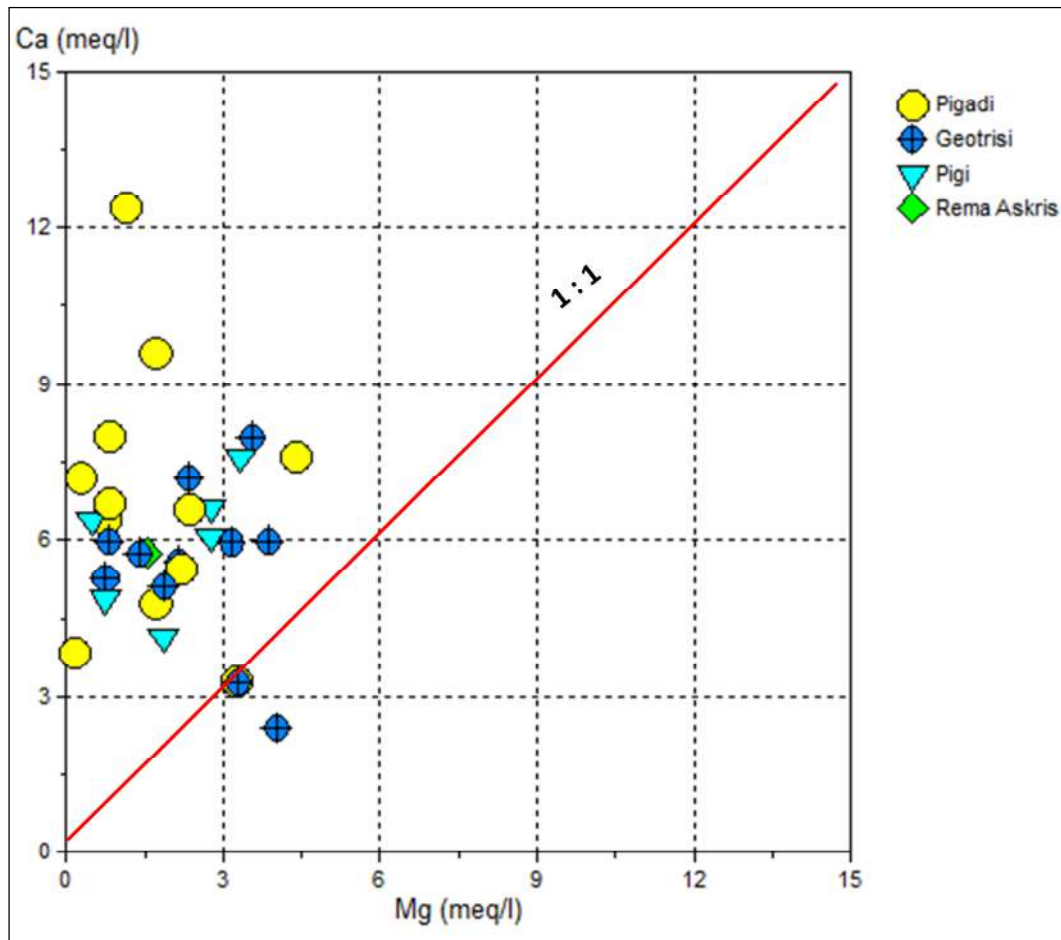
Ο λόγος Mg:Ca (meq/l) δείχνει αν το νερό προέρχεται από ασβεστολιθικά ή μαγνησιούχα πετρώματα. Στο θαλασινό νερό ο λόγος είναι περίπου 5, ενώ στο γλυκό νερό ο λόγος κυμαίνεται μεταξύ 0,2-1,5. Τιμές του λόγου 0,5-0,7 αντιστοιχούν σε υδροφορείς ασβεστολιθικών (ή αντίστοιχα μεταμορφωμένων) πετρωμάτων, ενώ τιμές 0,7-0,9 αντιστοιχούν σε υδροφορείς δολομιτικών πετρωμάτων. Τιμές >0,9 αντιστοιχούν σε υδροφορείς οφιολιθικών σχηματισμών και πυριτικών πετρωμάτων, με υψηλή περιεκτικότητα σε μαγνήσιο (Καλλέργης 2000, Σούλιος 2006).

Οι τιμές του ιοντικού λόγου Mg:Ca (meq/l) στα δείγματα νερού της περιοχής μελέτης σύμφωνα με το διάγραμμα διασποράς (Σχήμα 11.3) κυμαίνονται μεταξύ 0,04 και 1,69. Στις πηγές οι τιμές κυμαίνονται μεταξύ 0,08 και 0,46, στα πηγάδια μεταξύ 0,04 και 1,01, στις γεωτρήσεις μεταξύ 0,08 και 1,69 και στο επιφανειακό νερό Άσκλης η τιμή του λόγου είναι 0,27.

Σύμφωνα με το διάγραμμα (Σχήμα 11.2) ποσοστό 75% των δειγμάτων εμφανίζουν τιμές <0,5, γεγονός που δηλώνει ότι οι πηγές τροφοδοσίας των υδροφόρων στρωμάτων προέρχονται από ασβεστολιθικά (ή αντίστοιχα μεταμορφωμένα) πετρώματα, ποσοστό 16,7% των δειγμάτων έχει τιμές μεταξύ 0,5 και 0,7, που δίνουν σαφή εικόνα για την πηγή προέλευσης των νερών, τα οποία προέρχονται από ασβεστολιθικά πετρώματα, ενώ τιμές >0,9 εμφανίζουν τα δείγματα νερού από το πηγάδι Φ31 (1,01) που απαντάται στη σχιστοψαμμιτο-κερατολιθική διάπλαση και από τη γεώτρηση Γ28 (1,69) που απαντάται στις αλλουβιακές αποθέσεις. Από τις τιμές τους προκύπτει ότι οι πηγές τροφοδοσίας τους είναι πλούσιες σε μαγνησιούχα ορυκτά και προέρχονται από περιοχές που αναπτύσσονται οι οφιολιθικοί σχηματισμοί και η σχιστοψαμμιτοκερατολιθική διάπλαση. Στο Σχήμα 11.3 παρουσιάζεται το διάγραμμα της διασποράς των τιμών του ιοντικού λόγου Mg:Ca (meq/l).



Σχήμα 11.2: Ταξινόμηση των υπόγειων νερών πηγών, πηγαδιών και γεωτρήσεων βάσει του λόγου Mg:Ca (meq/l).



**Σχήμα 11.3:** Διάγραμμα διασποράς των τιμών του λόγου Mg:Ca (meq/l) των υπόγειων νερών των πηγών, των πηγαδιών, των γεωτρήσεων και του επιφανειακού νερού του ρέματος Άσκηρ.

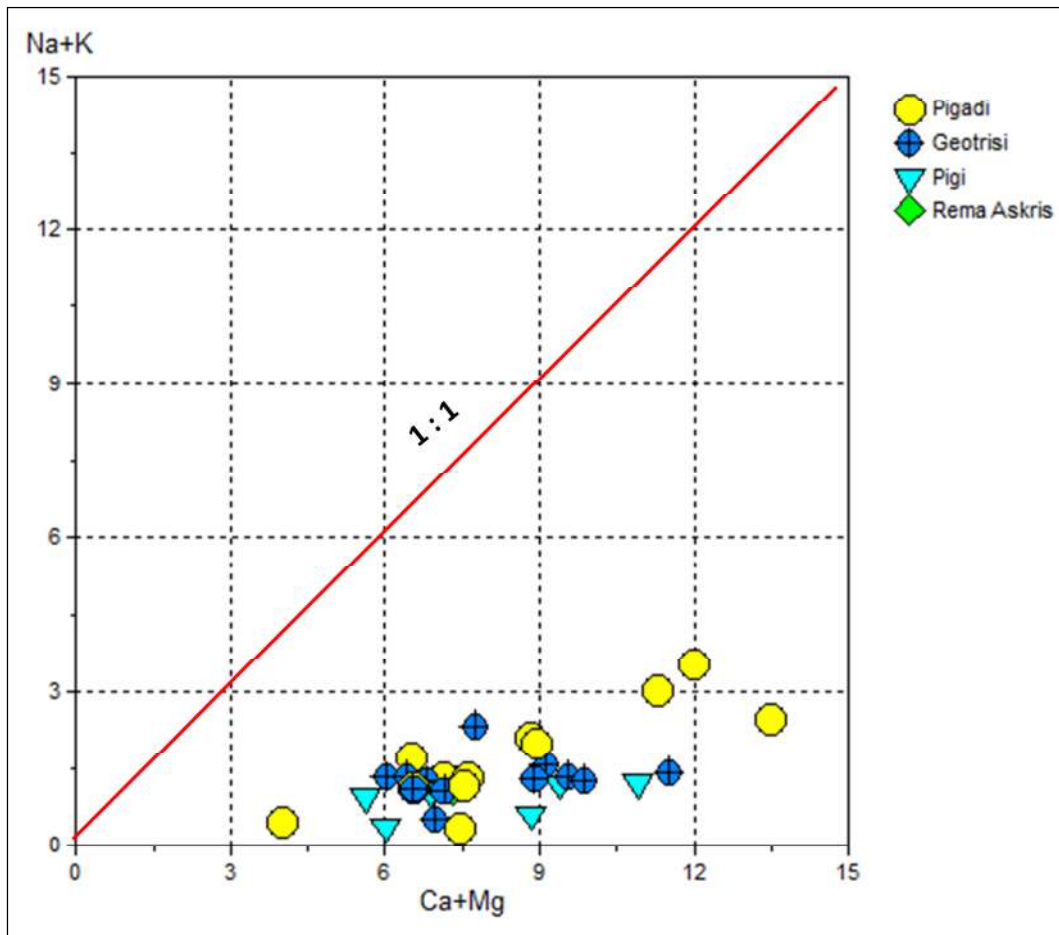
### 11.3.2 Ιοντικός λόγος $Ca^{2+} + Mg^{2+} / Na^{+} + K^{+}$

Ο λόγος σχετίζεται με την τροφοδοσία του υπόγειου νερού. Ο ιοντικός λόγος  $(Ca+Mg)/(Na+K)$  σχετίζεται με την τροφοδοσία του υπόγειου νερού και δηλώνει εάν το νερό είναι φρέσκο (συνεχής τροφοδοσία) ή παλιό. Όταν οι τιμές του λόγου είναι  $(Ca+Mg)/(Na+K) > 1$  τότε το υδροφόρο στρώμα βρίσκεται σε συνεχή τροφοδοσία με φρέσκα νερά εμπλουτισμού, ενώ όταν είναι  $< 1$  τα νερά είναι παλαιά (Σούλιος 2006).

Στο Σχήμα 11.4 παρουσιάζεται το διάγραμμα διασποράς των τιμών του ιοντικού λόγου  $Ca+Mg : Na+K$  (meq/l).

Οι τιμές του ιοντικού λόγου  $Ca+Mg : Na+K$  (meq/l) στα δείγματα νερού της περιοχής μελέτης κυμαίνονται μεταξύ 3,28 έως 20,32 (τιμές  $> 1$ ), αυτό δείχνει ότι οι υδροφόροι ορίζοντες βρίσκονται σε συνεχή τροφοδοσία με φρέσκα νερά. Εξαίρεση αποτελεί το νερό της γεώτρησης Γ11 (0,93) που έχει τιμή κοντά στην 1 (Πίνακας 11.2).

Επίσης, από τις τιμές του λόγου προκύπτει ότι η πλειοψηφία των δειγμάτων νερού χαρακτηρίζονται από υψηλή συμμετοχή γαιοαλκαλίων ( $Ca+Mg$ ) έναντι των αλκαλίων ( $Na+K$ ) που προέρχεται από τη διάλυση ασβεστούχων ορυκτών ή ενδεχομένως από αντιδράσεις ανταλλαγής κατιόντων  $Ca + Mg$  στο διάλυμα και επακόλουθη προσρόφηση του  $Na^{+}$  στις ορυκτές επιφάνειες.



**Σχήμα 11.4:** Διάγραμμα διασποράς των τιμών του λόγου Ca+Mg:Na+K (meq/l) των υπόγειων νερών των πηγών, των πηγαδιών, των γεωτρήσεων της περιοχής έρευνας και του επιφανειακού νερού του ρέματος Άσκηρη.

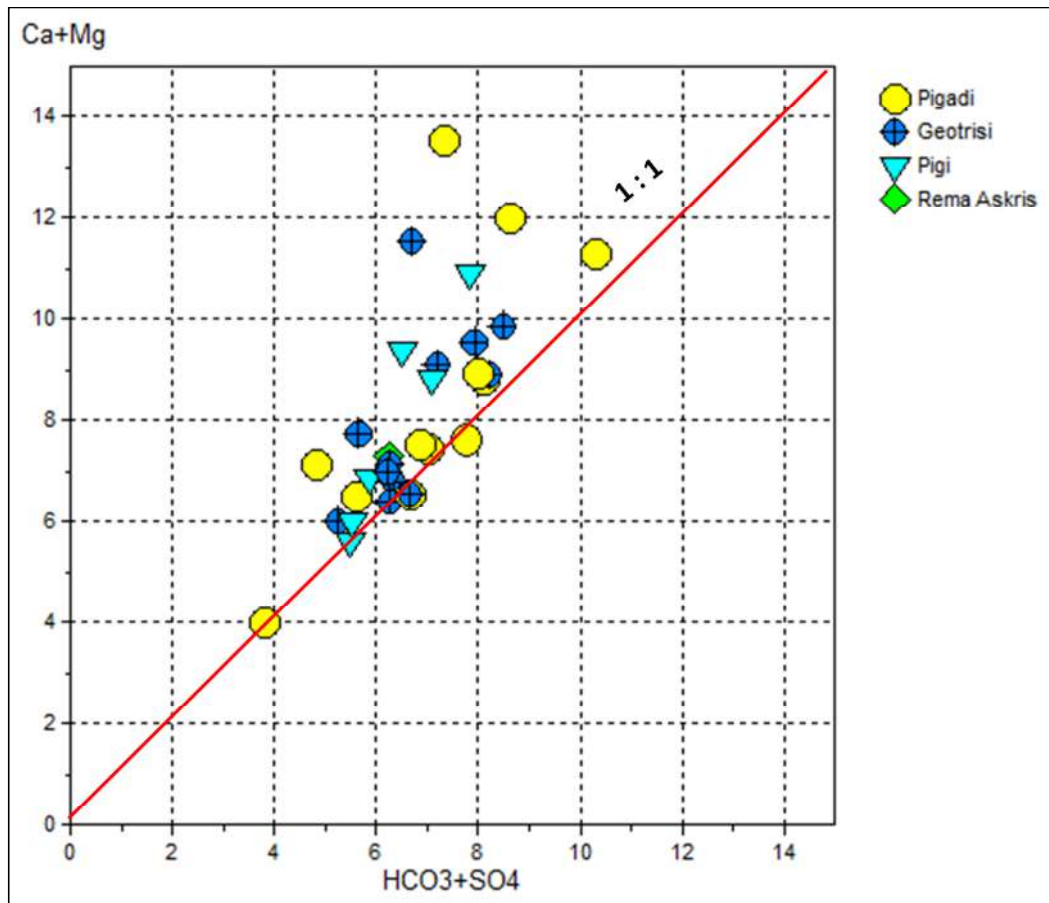
### 11.3.3 Ιοντικός λόγος $Ca^{2+}+Mg^{2+} : HCO_3^-+SO_4^{2-}$

Από τον ιοντικό λόγο  $Ca+Mg / HCO_3+SO_4$  προσδιορίζεται η ισορροπία των φορτίων μεταξύ των ιόντων (ανιόντων και κατιόντων), που έχουν προκύψει από τη διάλυση των ανθρακικών ορυκτών (ασβεστίτη και δολομίτη) και των θεικών ορυκτών (γύψου, ανυδρίτη). Όταν τα ιόντα Ca, Mg,  $HCO_3$  και  $SO_4$  βρίσκονται σε ισορροπία μεταξύ τους, τότε έχουν προκύψει από τη διάλυση των ανθρακικών ορυκτών και της γύψου, ενώ όταν δεν βρίσκονται σε ισορροπία θα πρέπει να αναζητηθεί άλλη πηγή προέλευσής τους (Elango et al. 2007).

Οι τιμές του ιοντικού λόγου  $Ca+Mg:HCO_3+SO_4$  (meq/l) στα δείγματα νερού της περιοχής μελέτης κυμαίνονται μεταξύ 0,98 – 2,36 (Πίνακας 11.2). Όπως διαπιστώνεται από τον πίνακα όλα σχεδόν τα δείγματα νερού εμφανίζουν τιμές μεγαλύτερες της μονάδας, εκτός από δύο δείγματα νερού των πηγαδιών Φ13(0,98) και Φ31(0,99) τα οποία εμφανίζουν τιμές <1.

Ωστόσο, όπως διαπιστώνεται από το διάγραμμα (Σχήμα 11.5) ποσοστό 51,2% επί του συνόλου των δειγμάτων έχει τιμές του λόγου μεταξύ 0,9 και 1,1 γεγονός που φανερώνει ότι τα νερά αυτά βρίσκονται σε ιοντική ισορροπία. Από το διάγραμμα της διασποράς των τιμών του ιοντικού λόγου (Σχήμα 11.5) αναδεικνύεται το ποσοστό των δειγμάτων που τα νερά τους δεν βρίσκονται σε ιοντική ισορροπία. Προφανώς σε αυτές τις περιπτώσεις εκτός από τις

φυσικές επιδράσεις (διάλυση ανθρακικών κ.λπ. πετρωμάτων) υφίστανται και ανθρωπογενείς επιδράσεις που σχετίζονται με τη χρήση θειούχων λιπασμάτων ή και άλλων παραγόντων.



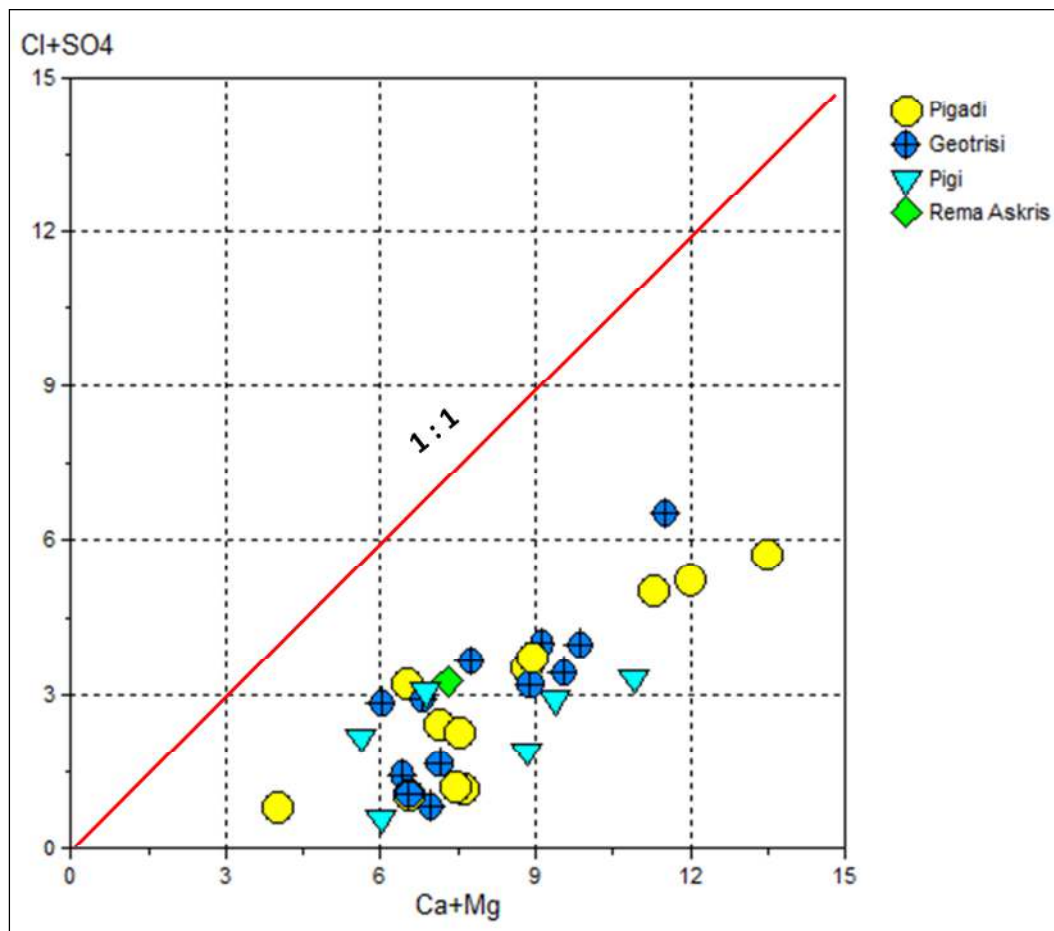
**Σχήμα 11.5:** Διάγραμμα διασποράς των τιμών του λόγου  $\text{Ca+Mg:HCO}_3\text{+SO}_4$  (meq/l) των υπόγειων νερών των πηγών, των πηγαδιών, των γεωτρήσεων και του επιφανειακού νερού του ρέματος Άσκη.

### 11.3.4 Ιοντικός λόγος $\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+} : \text{Cl}+\text{SO}_4^{2-}$

Από τον ιοντικό λόγο  $\text{Ca+Mg/Cl+SO}_4$  προσδιορίζεται η ισορροπία των φορτίων μεταξύ των ιόντων (ανιόντων και κατιόντων), που έχουν προκύψει από τη διάλυση των ανθρακικών ορυκτών (ασβεστίτη και δολομίτη) και των θεικών ορυκτών (γύψου, ανυδρίτη) ή τη διείσδυση του θαλασσινού νερού. Όταν τα ιόντα Ca, Mg, Cl και SO<sub>4</sub> βρίσκονται σε ισορροπία μεταξύ τους, τότε αυτά έχουν προκύψει από τη διάλυση των ανθρακικών ορυκτών και της γύψου, ενώ όταν δεν βρίσκονται σε ισορροπία θα πρέπει να αναζητηθεί άλλη πηγή προέλευσής τους (Elango et al. 2007).

Οι τιμές του ιοντικού λόγου  $\text{Ca+Mg/Cl+SO}_4$  (meq/l) στα δείγματα νερού της περιοχής μελέτης κυμαίνονται μεταξύ 0,6 – 9,6. Όπως διαπιστώνεται από τον Πίνακα 11.2 σχεδόν όλα τα δείγματα νερού εμφανίζουν τιμές μεγαλύτερες της μονάδας, εκτός από το δείγμα νερού της γεώτρησης Γ11 (0,57) που εμφανίζει τιμή μικρότερης της μονάδας. Αυτό αποδεικνύει ότι πρόκειται για γλυκά νερά στα οποία δεν έχει διεισδύσει το θαλασινό νερό, αντιθέτως στη γεώτρηση Γ11 που απαντάται σε αλλουβιακές αποθέσεις αποδεικνύεται ότι έχει διεισδύσει το

θαλασσινό νερό. Στο Σχήμα 11.6 παρουσιάζεται το διάγραμμα διασποράς του ιοντικού λόγου  $Ca+Mg / Cl+SO_4$ .



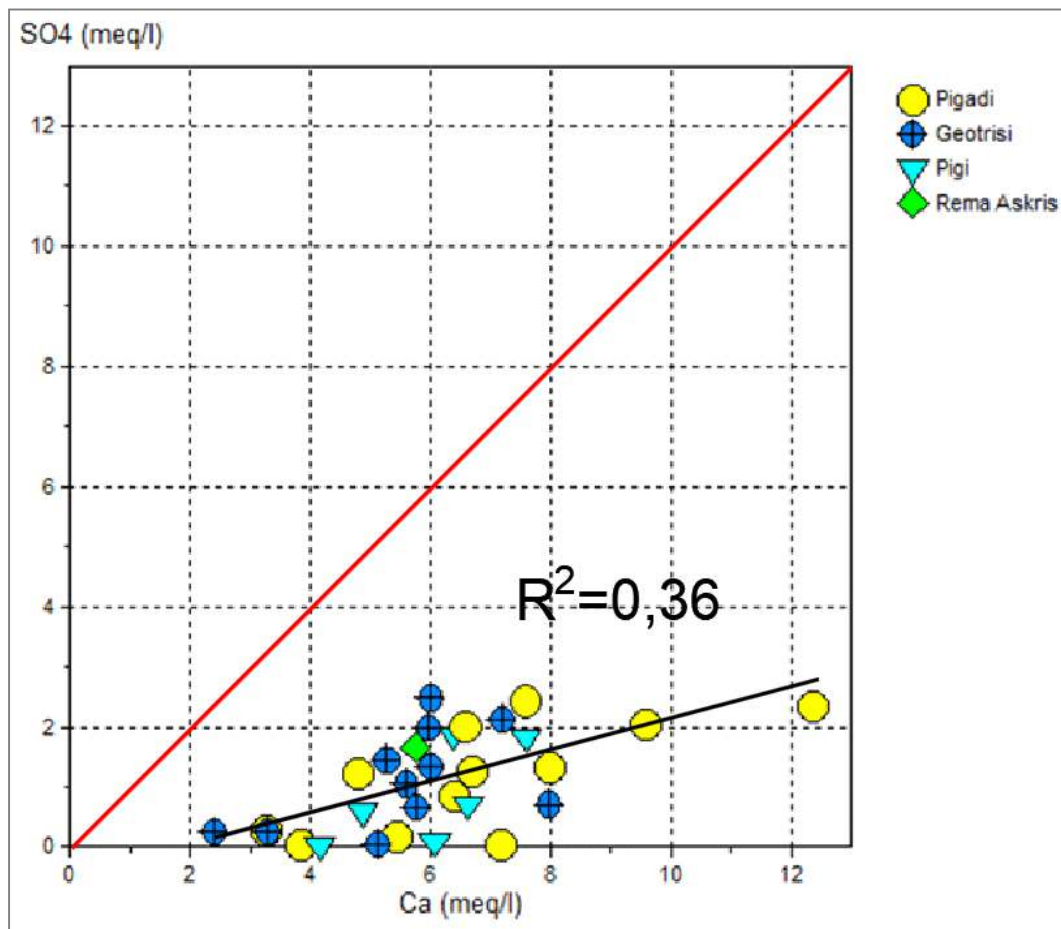
**Σχήμα 11.6:** Διάγραμμα διασποράς των τιμών του λόγου  $Ca+Mg:Cl+SO_4$  (meq/l) των υπόγειων νερών των πηγών, των πηγαδιών, των γεωτρήσεων και του επιφανειακού νερού του ρέματος Άσκη.

### 11.3.5 Ιοντικός λόγος $Ca^{2+} : SO_4^{2-}$

Ο λόγος  $Ca:SO_4$  μας δίνει πληροφορίες σχετικά με την προέλευση των ιόντων ασβεστίου και θεικών, αν προέρχονται από τη διάλυση του ανυδρίτη ( $CaSO_4$ ). Τιμές του λόγου κοντά στη μονάδα δείχνουν την προέλευση αυτών των στοιχείων από τον ανυδρίτη ή την γύψο.

Από τις τιμές των ιοντικών λόγων  $Ca:SO_4$  (Πίνακας 11.2) των δειγμάτων νερού της περιοχής προκύπτει ότι αυτές κυμαίνονται αρκετά υψηλότερα της μονάδας, συγκεκριμένα από 2,4 έως 3.451,3.

Επίσης, από το διάγραμμα διασποράς (Σχήμα 11.7) της ιοντικής σχέσης  $Ca:SO_4$  προκύπτει ότι ο συντελεστής προσαρμογής της ευθείας διασποράς των τιμών  $R^2$  είναι αρκετά χαμηλός 0,36 και ότι τα σημεία των δειγμάτων προβάλλονται κάτω από την γραμμή της σχέσης 1:1, γεγονός που δηλώνει ότι τα ιόντα  $Ca$  και  $SO_4$  δεν προέρχονται από την διάλυση του ορυκτού ανυδρίτη. Ωστόσο, η προέλευση των εν λόγω στοιχείων των υπόγειων νερών από τη διάλυση ανυδρίτη αποδεικνύεται και με τους δείκτες κορεσμού που περιγράφονται πιο κάτω.



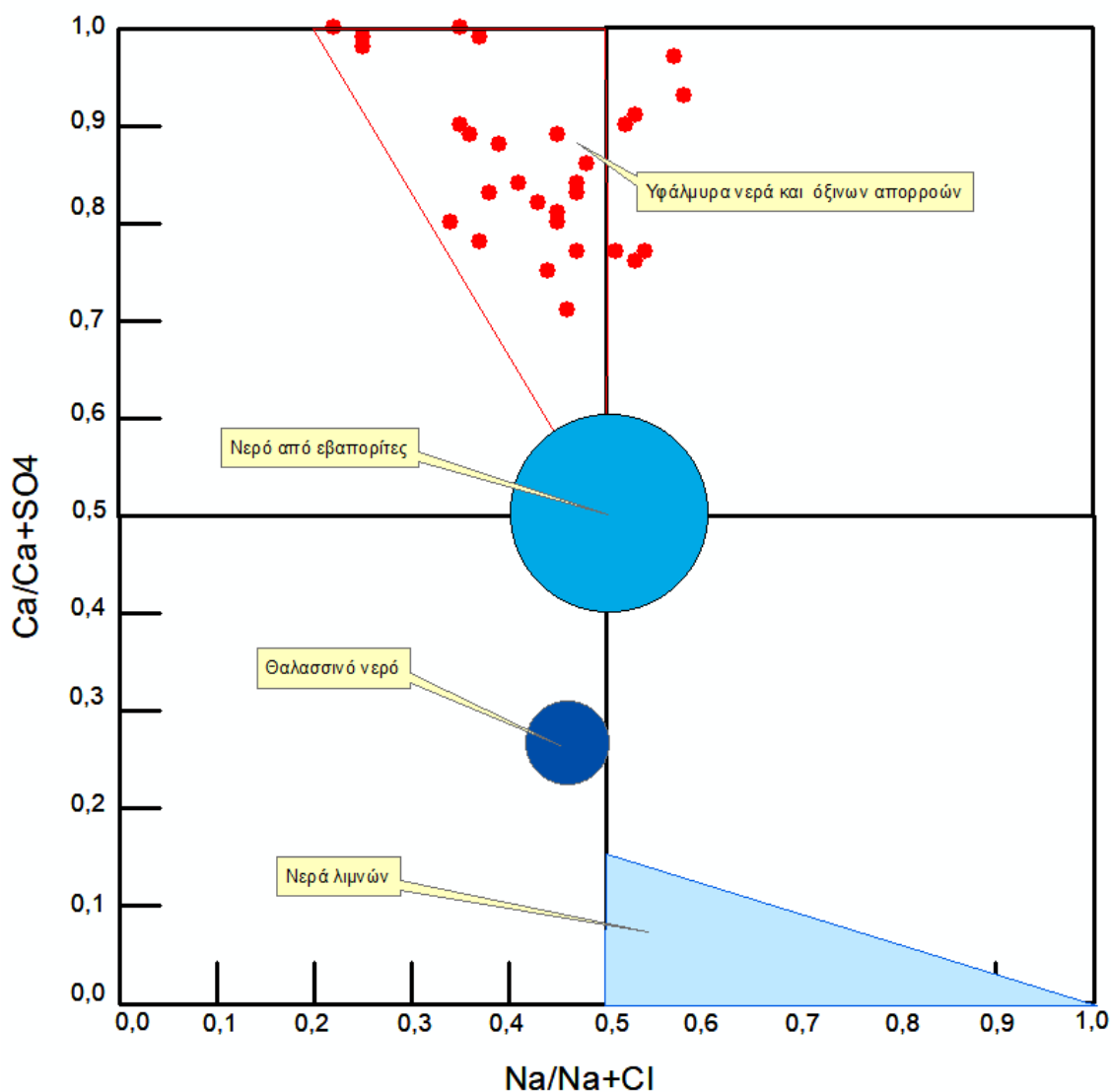
**Σχήμα 11.7:** Διάγραμμα διασποράς των τιμών του λόγου Ca:SO<sub>4</sub> (meq/l) των υπόγειων νερών των πηγών, των πηγαδιών, των γεωτρήσεων και του επιφανειακού νερού του ρέματος Άσκη.

### 11.3.6 Ιοντικός λόγος Ca / Ca+SO<sub>4</sub> : Na / Na+Cl

Ο ιοντικός λόγος Ca / Ca+SO<sub>4</sub> : Na / Na+Cl χρησιμοποιείται για να προσδιοριστεί αν τα δείγματα νερού της περιοχής έχουν υψηλή αλατότητα, και αν έχουν επηρεαστεί από θαλάσσια διείσδυση, ή από διάλυση εβαποριτικών αλάτων ή από όξινες απορροές. Για να εξακριβωθεί ποια από τις εναλλακτικές πηγές αλατούχου νερού επικρατεί στα δείγματα νερού της περιοχής χρησιμοποιήθηκε το διάγραμμα Hounslow. Στο διάγραμμα Hounslow οι συγκεντρώσεις των ιόντων είναι εκφρασμένες σε mmol/l.

Οι τιμές των δειγμάτων νερού της περιοχής μελέτης που προκύπτουν από τη σχέση Ca/Ca+SO<sub>4</sub> : Na/Na+Cl προβάλλονται στο διάγραμμα Hounslow (1995) (Σχήμα 11.6). Από την προβολή των δειγμάτων στο διάγραμμα πρόεκυψε η ποιοτική διαφοροποίηση του νερού άντλησης η οποία επηρεάζεται από επιφανειακούς παράγοντες καθώς τα σημεία τους προβάλλονται στο πεδίο της ανάμειξης νερού, καθώς και ότι το νερό πολλών πηγαδιών εκμεταλλεύεται τους υδροφορείς που βρίσκονται σε πλειοπλειστοκαινικά ιζήματα.

Επίσης, από το διάγραμμα διαπιστώνεται ότι η χημική σύσταση των περισσοτέρων δειγμάτων νερού της περιοχής σχετίζεται περισσότερο με τη διάλυση ανθρακικών ορυκτών (ασβεστίτη και δολομίτη).



**Σχήμα 11.8:** Κατανομή των ιοντικών λόγων μεταξύ  $\text{Ca}/\text{Ca}+\text{SO}_4$  και  $\text{Na}/\text{Na}+\text{Cl}$  (mmol/l) στο διάγραμμα Hounsflow των δειγμάτων νερού της περιοχής μελέτης.

#### 11.4 Δείκτες κορεσμού

Το υπόγειο νερό κατά την κίνησή του εντός των διαφόρων πετρωμάτων αρχίζει να διαλύει τα ορυκτά αυτών. Ο όγκος των διαλυμένων ορυκτών εντός του υδατικού διαλύματος σχετίζεται άμεσα με την διαλυτότητα των ορυκτών αλλά και με τον χρόνο επαφής του νερού με το πέτρωμα. Η διαδικασία της διάλυσης διαρκεί μέχρι όπου κορεσθεί το νερό στο συγκεκριμένο ορυκτό. Η γνώση του βαθμού κορεσμού του νερού στα διάφορα ορυκτά είναι πολύ χρήσιμη γιατί εκτός του ότι είναι ένας δείκτης του χρόνου επαφής του νερού με τα ορυκτά αυτά, έχει επίσης μεγάλη σημασία για την ποσοτική εκτίμηση της ικανότητάς του να διαβρώνει ή να αποθέτει άλατα.

Ο δείκτης κορεσμού (SI) εκφράζεται συνήθως με το λόγο:

$$SI = \log(IAP/K),$$

όπου IAP είναι το γινόμενο της ιοντικής δραστηριότητας στο δείγμα νερού και K το γινόμενο της διαλυτότητας του ορυκτού σε ισορροπία (Appelo and Postma 1996).

Στην περίπτωση του ανυδρίτη ( $\text{CaSO}_4$ ) τα γινόμενα αυτά είναι:

$$K=[\text{Ca}^{2+}][\text{SO}_4^{2-}] \text{ σε ισορροπία και}$$

$$IAP=[\text{Ca}^{2+}][\text{SO}_4^{2-}] \text{ στο δείγμα νερού.}$$

Όταν ο λόγος είναι μηδενικός ( $SI=0$ ) υπάρχει ισορροπία του νερού με το ορυκτό, όταν είναι μεγαλύτερος του μηδέν ( $SI>0$ ) υπάρχει κορεσμός, δηλαδή το νερό εναποθέτει στο πέτρωμα και όταν είναι μικρότερος του μηδέν ( $SI<0$ ) το νερό είναι ακόρεστο κι έχει την τάση να διαλύει το ορυκτό, οπότε και συνεχίζει να επηρεάζεται η σύστασή του στα στοιχεία αυτού. Στην φύση σπάνια επιτυγχάνεται ισορροπία (Appelo and Postma 1996).

Οι δείκτες κορεσμού στα διάφορα ορυκτά που βρίσκονται στα πετρώματα της περιοχής έρευνας προέκυψαν με το πρόγραμμα «PHREEQC». Τα ορυκτά που εξετάστηκαν, όπως ο ανυδρίτης, ο αραγονίτης ο ασβεστίτης, ο δολομίτης, ο γύψος και ο αλίτης επιλέγηκαν με βάση την λιθολογική σύσταση της περιοχής μελέτης.

Στον Πίνακα 11.2 παρουσιάζονται οι δείκτες κορεσμού των δειγμάτων νερού, όπως υπολογίστηκαν για τα ορυκτά, ανυδρίτη ( $\text{CaSO}_4$ ), ασβεστίτη και αραγονίτη ( $\text{CaCO}_3$ ), δολομίτη  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ , γύψο ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) και αλίτη ( $\text{NaCl}$ ), ενώ στο σχήμα 11.9 εμφανίζεται η διαλυτική τους ικανότητα.

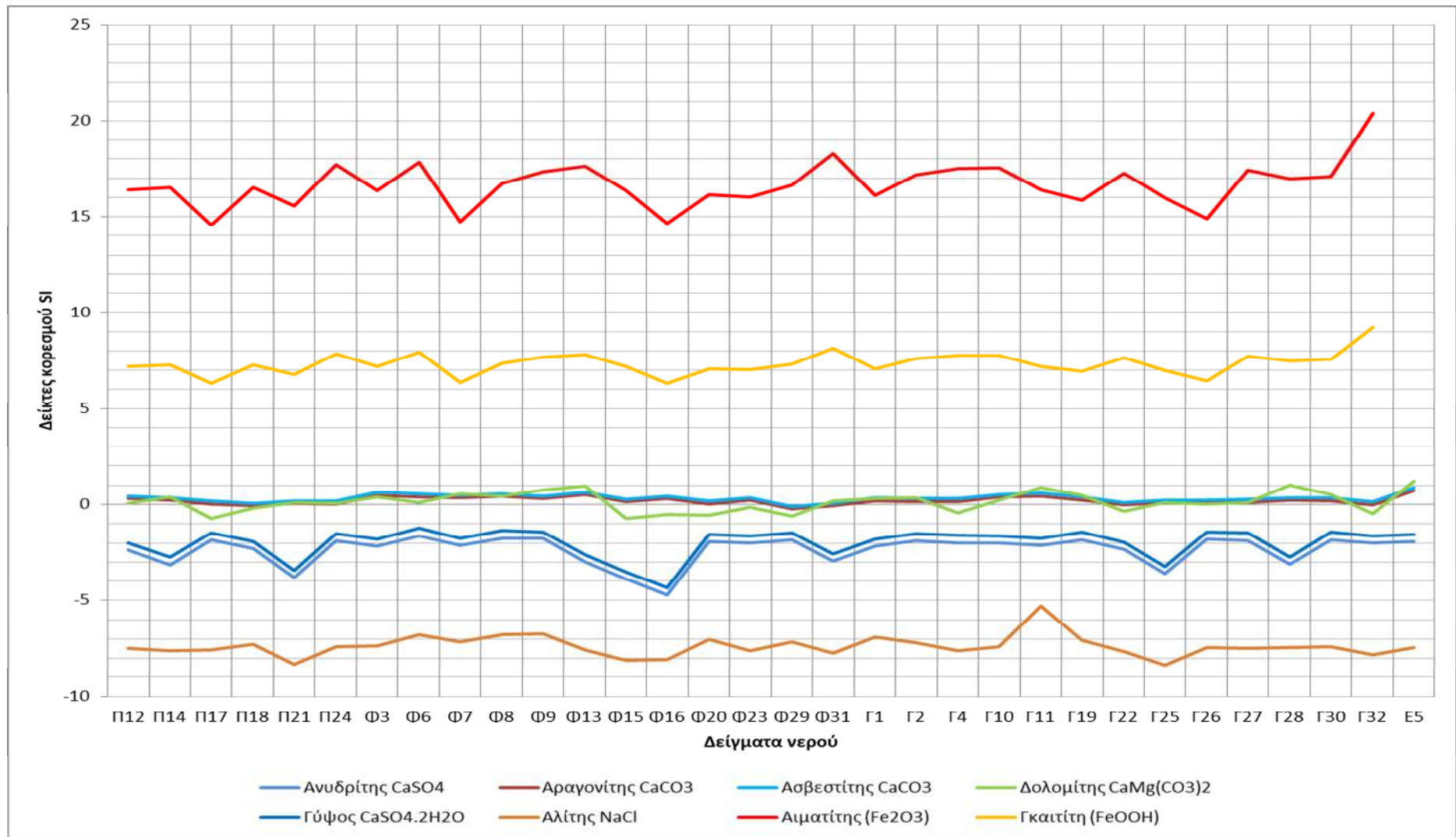
Από το σχήμα 11.9 προκύπτει αφενός ότι όλα τα δείγματα νερού είναι ακόρεστα στα ορυκτά γύψο ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), αλίτη ( $\text{NaCl}$ ) και ανυδρίτη ( $\text{CaSO}_4$ ), γεγονός που δηλώνει ότι επικρατούν οι συνθήκες διαλυτοποίησης σε αυτά τα ορυκτά και αφετέρου ότι στην πλειοψηφία τους τα δείγματα των υπόγειων νερών και του επιφανειακού νερού είναι κορεσμένα κατά σειρά στον ασβεστίτη (96%), αραγονίτη ( $\text{CaCO}_3$ )(88%) και δολομίτη  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$  (78%). Το γεγονός αυτό φανερώνει ότι τα υπόγεια νερά της περιοχής προέρχονται από ανθρακικά περιβάλλοντα πλούσια σε ιόντα  $\text{Ca}^{2+}$  και  $\text{Mg}^{2+}$  και η σύσταση του υπόγειου νερού ελέγχεται από τη διάλυση των συγκεκριμένων ορυκτών..

Από την εξέταση και υπολοίπων ορυκτών βάσει του προγράμματος PHREEQC προκύπτει ότι τα δείγματα νερού της περιοχής είναι υπερκορεσμένα στα ορυκτά του σιδήρου όπως, του ορυκτού Αιματίτη ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) μεταξύ 6,31 - 9,20 και του ορυκτού γκαιτίτη ( $\text{FeOOH}$ ) μεταξύ 16,39-20,38. Η παρουσία τους στα υπόγεια νερά συνδυάζεται με την παρουσία των σιδηρομαγνητιούχων οξειδίων και των σιδηρονικελιούχων μεταλλευμάτων στο γεωλογικό περιβάλλον της περιοχής.



**Πίνακας 11.3:** Δείκτες κορεσμού των υπόγειων νερών των πηγών, των πηγαδιών, των γεωτρήσεων και του επιφανειακού νερού του π. Άσκηρη.

Δείγματα	Ανυδρίτης	Αραγονίτης	Ασβεστίτης	Δολομίτης	Γύψος	Αλίτης	Αιματίτης	Γκαιίτη
	CaSO <sub>4</sub>	CaCO <sub>3</sub>	CaCO <sub>3</sub>	CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O	NaCl	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeOOH
<b>Α) ΠΗΓΕΣ</b>								
Π12	-2.39	0.29	0.44	0.08	-2.00	-7.48		
Π14	-3.14	0.21	0.36	0.40	-2.75	-7.62	16,39	7,21
Π17	-1.84	0.02	0.17	-0.74	-1.47	-7.56	16,52	7,27
Π18	-2.30	-0.07	0.08	-0.17	-1.92	-7.26	14,59	6,31
Π21	-3.82	0.05	0.20	0.09	-3.44	-8.32	16,53	7,28
Π24	-1.87	0.04	0.19	0.07	-1.49	-7.42	15,58	6,8
<b>Β) ΠΗΓΑΔΙΑ</b>								
Φ3	-2.18	0.49	0.64	0.39	-1.80	-7.35	17,7	7,86
Φ6	-1.63	0.41	0.56	0.10	-1.23	-6.80	16,33	7,18
Φ7	-2.14	0.33	0.48	0.56	-1.76	-7.15	17,82	7,92
Φ8	-1.74	0.42	0.57	0.43	-1.35	-6.78	14,75	6,39
Φ9	-1.74	0.29	0.43	0.75	-1.43	-6.75	16,73	7,37
Φ13	-2.99	0.50	0.65	0.95	-2.61	-7.55	17,32	7,67
Φ15	-3.91	0.14	0.28	-0.74	-3.53	-8.10	17,62	7,82
Φ16	-4.73	0.29	0.44	-0.52	-4.34	-8.05	16,36	7,2
Φ20	-1.93	0.04	0.19	-0.55	-1.56	-7.02	14,66	6,34
Φ23	-2.01	0.22	0.36	-0.14	-1.63	-7.61	16,15	7,09
Φ29	-1.85	-0.24	-0.09	-0.59	-1.47	-7.15	16,02	7,02
Φ31	-2.95	-0.08	0.07	0.17	-2.57	-7.72	16,64	7,33
<b>Γ) ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ</b>								
Γ1	-2.17	0.20	0.35	0.31	-1.78	-6.89	18,3	8,16
Γ2	-1.89	0.14	0.29	0.35	-1.51	-7.18	16,1	7,06
Γ4	-1.98	0.16	0.30	-0.45	-1.60	-7.59	17,17	7,6
Γ10	-2.01	0.38	0.53	0.24	-1.63	-7.39	17,5	7,76
Γ11	-2.12	0.44	0.59	0.87	-1.75	-5.29	17,56	7,79
Γ19	-1.82	0.24	0.39	0.47	-1.44	-7.09	16,39	7,21
Γ22	-2.32	-0.04	0.11	-0.35	-1.94	-7.64	15,86	6,94
Γ25	-3.61	0.10	0.24	0.12	-3.25	-8.33	17,24	7,63
Γ26	-1.81	0.09	0.24	0.03	-1.42	-7.44	15,97	7
Γ27	-1.86	0.11	0.26	0.09	-1.47	-7.50	14,92	6,47
Γ28	-3.12	0.22	0.36	1.00	-2.74	-7.45	17,42	7,72
Γ30	-1.83	0.19	0.34	0.53	-1.44	-7.40	16,98	7,5
Γ32	-2.01	-0.02	0.13	-0.49	-1.62	-7.80	17,1	7,56
<b>Δ) ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΟ ΝΕΡΟ</b>								
E5	-1.93	0.73	0.88	1.23	-1.56	-7.44	20,38	9,2



Σχήμα 11.9: Δείκτες Κορεσμού Si των δειγμάτων νερού της περιοχής μελέτης στα συγκεκριμένα ορυκτά.

## 12. ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΥΔΡΟΧΗΜΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

### 12.1. Πολυμεταβλητή στατιστική ανάλυση

Για τη στατιστική επεξεργασία των υδροχημικών δεδομένων εφαρμόστηκε η μέθοδος της πολυμεταβλητής στατιστικής ανάλυσης (multicomponent statistical analysis), με την βοήθεια του στατιστικού πακέτου IBM SPSS (2020).

Από τις μεθόδους της πολυμεταβλητής στατιστικής ανάλυσης για την παρούσα εργασία επιλέχθηκε η μέθοδος της παραγοντικής ανάλυσης (Factor analysis), καθώς αποτελεί μια τεχνική μείωσης των διαστάσεων του συνόλου των δεδομένων, διατηρώντας όσο γίνεται τις πληροφορίες που έχουν οι αρχικές μεταβλητές (Αγγελίδης 2010). Η συγκεκριμένη μέθοδος έχει χρησιμοποιηθεί με μεγάλη επιτυχία τόσο στην υδρογεωλογική έρευνα (Voudouris et al. 1997) όσο και στην περιβαλλοντική έρευνα (Παπαθεοδώρου και Φερεντίνος 1994).

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε ο συντελεστής γραμμικής συσχέτισης Pearson ( $r$ ). Οι τιμές που μπορεί να πάρει ο συντελεστής συσχέτισης  $r$  είναι από  $-1$  έως και  $+1$ . Όταν ο συντελεστής συσχέτισης λαμβάνει την τιμή  $0$  σημαίνει ότι δεν υπάρχει γραμμική σχέση μεταξύ των δύο μεταβλητών, αλλά δεν αποκλείεται η ύπαρξη μιας άλλης μη γραμμικής σχέσης.

Για την αξιολόγηση του μεγέθους του δείκτη οι τιμές από  $0,51$  έως  $0,75$  θεωρούνται ισχυρή σχέση και  $>0,75$  εξαιρετικά ισχυρή σχέση (Πίνακας 12.1). Οι θετικές τιμές του  $r$  δεν υποδηλώνουν μεγαλύτερο βαθμό γραμμικής συσχέτισης από τις αρνητικές τιμές του  $r$ .

Ο βαθμός συσχέτισης καθορίζεται από την απόλυτη τιμή του συντελεστή και όχι από το πρόσημό του (<http://www.aua.gr/gpapadopoulos/files/sisxetisi091.pdf>).

**Πίνακας 12.1:** Χαρακτηρισμός των τιμών του συντελεστή γραμμικής συσχέτισης ( $r$ )

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

Σκοπός της παραγοντικής ανάλυσης είναι να βρει την ύπαρξη των κοινών παραγόντων ανάμεσα σε μια ομάδα μεταβλητών, ώστε να ερμηνευτεί καλύτερα η δομή τους και οι σχέσεις που υπάρχουν μεταξύ τους (Αγγελίδης, 2010). Αυτό επιτυγχάνεται με την αντικατάσταση ενός μεγάλου αριθμού μεταβλητών (variances) από ένα μικρότερο αριθμό ανεξάρτητων μεταβλητών τους παράγοντες (factors) που δεν περιλαμβάνονται στις αρχικές μεταβλητές και που συνιστούν το σύνολο των δεδομένων (Πετρίδης 2015).

## 12.2. Έλεγχος καταλληλότητας των δεδομένων

Για την εφαρμογή της παραγοντικής ανάλυσης και τον έλεγχο της αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων, ακολουθήθηκε συγκεκριμένη διαδικασία και εξετάστηκαν οι δείκτες που αφορούν τον έλεγχο καταλληλότητας των δεδομένων και των μεταβλητών.

Συγκεκριμένα:

1. Για τον έλεγχο της συνολικής καταλληλότητας των μεταβλητών χρησιμοποιήθηκε ο δείκτης K.M.O. (Kaiser- Mayer- Olkin), οι τιμές του οποίου κυμαίνονται μεταξύ 0 και 1. Τιμές του δείκτη μικρότερες από 0.5 δείχνουν ότι υπάρχει μικρότερη ομοιογένεια μεταξύ των μεταβλητών, από την οποία όμως μπορούν να εξαχθούν σημαντικά συμπεράσματα για ορισμένα στοιχεία (μεταβλητές).
2. Για τον έλεγχο της καταλληλότητας των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε ο δείκτης σφαιρικότητας του Bartlett (Bartlett's Test of Sphericity) με τον οποίο ελέγχεται αν ο πίνακας των συντελεστών συσχέτισης δεν είναι μοναδιαίος. Τιμές του δείκτη  $\text{sig} < 0,005$  δείχνουν ότι υπάρχουν σημαντικές συσχετίσεις μεταξύ των μεταβλητών.
3. Για την εκτίμηση των παραγόντων επιλέχθηκε η μέθοδος Ανάλυσης Κύριων Συνιστωσών (Principal component analysis, PCA) και η ορθογώνια περιστροφή των αξόνων τους με τη τεχνική της μέγιστης διακύμανσης (Varimax Rotation) με την οποία ελαχιστοποιείται ο αριθμός των μεταβλητών που έχουν μεγάλες επιβαρύνσεις σε κάθε παράγοντα.
4. Για τον υπολογισμό του αριθμού των παραγόντων συνεκτιμήθηκαν δύο κριτήρια το κριτήριο έλεγχος κρημού (Scree plot) και ο κανόνας του Kaiser (ποσοστό διακύμανσης). Με το πρώτο κριτήριο ο αριθμός των παραγόντων προσδιορίζεται από το γράφημα των ιδιοτιμών (eigenvalues) του πίνακα συσχέτισης προς τον αριθμό των παραγόντων (Component number). Η επιλογή του αριθμού των παραγόντων είναι μέχρι το σημείο όπου η καμπύλη αλλάζει πορεία και μικραίνει η κλίση της (Πετρίδης 2015). Με το δεύτερο κριτήριο του Kaiser ο αριθμός των παραγόντων είναι ίσος με τις ιδιοτιμές του πίνακα συσχέτισης μεγαλύτερες της μονάδας.
5. Για τον προσδιορισμό του βαθμού συμμετοχής των μεταβλητών στο σχηματισμό των παραγόντων υπολογίστηκαν οι παραγοντικές φορτίσεις (loadings) των μεταβλητών στους παράγοντες.

**Πίνακας 12.2:** Ο δείκτης Kaiser-Meyer-Olkin και ο έλεγχος σφαιρικότητας Bartlett's για τα υπόγεια νερά και το επιφανειακό νερό της περιοχής μελέτης.

KMO and Bartlett's Test		
Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy.		.360
Bartlett's Test of Sphericity	Approx. Chi-Square	346.208
	df	153
	Sig.	.000

Για την καλύτερη επεξεργασία των δεδομένων απομακρύνθηκαν ορισμένα δεδομένα τα οποία παρουσίαζαν μεγάλη ανομοιογένεια σε σχέση με τα υπόλοιπα δεδομένα. Συγκεκριμένα

αποκλείστηκαν τα δεδομένα από τα δείγματα νερού της γεώτρησης Γ11 και της παράκτιας υφάλμυρης πηγής Π33, εξαιτίας των υψηλών συγκεντρώσεων σε Cl και της ανομοιογένειας των δεδομένων τους σε σύγκριση με τα δεδομένα των υπολοίπων δειγμάτων νερού.

Εξετάστηκαν όλες οι μεταβλητές (υδροχημικοί παράμετροι) και αποδείχτηκε ο δείκτης των Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) είναι 0.360 (<0.5), επομένως ορισμένες συσχετίσεις μεταξύ των δεδομένων είναι μέτρια καλές και άλλες αρκετά καλές (Πίνακας 12.2).

### 12.3. Ανάλυση συσχέτισης

Από τον Πίνακα 12.3 (Correlation matrix) διαπιστώνεται ότι οι συντελεστές συσχέτισης πολλών μεταβλητών καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα συσχετίσεων των μεταβλητών που περιγράφονται πιο κάτω όπως:

- Το ασβέστιο  $\text{Ca}^{2+}$  έχει ισχυρή θετική συσχέτιση με τα νιτρικά  $\text{NO}_3^-$  ( $r=0.711$ ) και με το χλώριο  $\text{Cl}^-$  ( $r=0.706$ ), που αποδίδεται σε επιφανειακές επιδράσεις, κυρίως με την χρήση αζωτούχων λιπασμάτων,
- Το ασβέστιο  $\text{Ca}^{2+}$  έχει καλή θετική συσχέτιση με το νάτριο  $\text{Na}^+$  ( $r=0.522$ ) και με τα θειικά  $\text{SO}_4^{3-}$  ( $r=0.616$ ) που αποδίδεται προφανώς στην διάλυση αλάτων που συνυπάρχουν εντός των ποταμοχερσαίων, πλειστοκαινικών ιζημάτων κυρίως στις μάργες, στις αργίλους και στους πηλούς,
- Το ασβέστιο  $\text{Ca}^{2+}$  έχει μέτρια θετική συσχέτιση με το κάλιο  $\text{K}^+$  ( $r=0.362$ ) που σχετίζεται με την χρήση καλιούχων λιπασμάτων στην καλλιεργούμενη περιοχή,
- Το μαγνήσιο  $\text{Mg}^{2+}$  έχει μέτρια έως καλή θετική συσχέτιση με τα όξυνα ανθρακικά ιόντα  $\text{HCO}_3^-$  ( $r=0.404$ ) που φανερώνει αφενός την διάλυση των μαγνησιούχων ορυκτών αλλά και την αλκαλικότητα του υδατικού διαλύματος ως προϊόν της διαδικασίας της κατιοανταλλαγής, εμφανίζει επίσης μέτρια θετική συσχέτιση με το νάτριο  $\text{Na}^+$  ( $r=0.341$ ) που συνδυάζεται με την παρουσία των αργιλικών ορυκτών και προφανώς συνδέονται με φαινόμενα κατιοανταλλαγής,
- Το νάτριο  $\text{Na}^+$  εμφανίζει υψηλή θετική συσχέτιση με το χλώριο  $\text{Cl}^-$  ( $r=0.789$ ) που συνδέεται με την διάλυση αλάτων χλωριούχου νατρίου
- Το νάτριο  $\text{Na}^+$  εμφανίζει καλή θετική συσχέτιση με τα θειικά  $\text{SO}_4^{2-}$  ( $r=0.632$ ) και τα νιτρικά  $\text{NO}_3^-$  ( $r=0.532$ ) που σχετίζονται κυρίως με γεωργικές δραστηριότητες, δηλαδή χρήση αζωτούχων λιπασμάτων και θειούχων σκευασμάτων στην καλλιέργεια της αμπέλου,
- Το χλώριο  $\text{Cl}^-$  εμφανίζει καλή θετική συσχέτιση με τα θειικά  $\text{SO}_4^{3-}$  ( $r=0.560$ ) και τα νιτρικά  $\text{NO}_3^-$  ( $r=0.608$ ) που συνδυάζονται με τις γεωργικές πρακτικές,
- Ο σίδηρος Fe εμφανίζει μέτρια καλή θετική συσχέτιση με το κάδμιο Cd ( $r=0.407$ ), με το κοβάλτιο Co ( $r=0.404$ ) και το χρώμιο Cr ( $r=0.387$ ) που σχετίζονται με την δέσμευσή τους στα οξειδία σιδήρου και μαγγανίου των εδαφών, καθώς επίσης με την παρουσία τους στους σχιστολιθικούς σχηματισμούς, καθώς επίσης με την εφαρμογή των φωσφορούχων λιπασμάτων στις καλλιέργειες όπου η παρουσία τους χαρακτηρίζεται από υψηλές συγκεντρώσεις,
- Ο χαλκός Cu εμφανίζει ισχυρή θετική συσχέτιση με το κοβάλτιο Co ( $r=0.765$ ), πολύ καλή θετική συσχέτιση με το διοξείδιο του πυριτίου  $\text{SiO}_2$  ( $r=0.642$ ) και μέτρια καλή θετική συσχέτιση με το κάδμιο Cd ( $r=0.436$ ) που συνδυάζονται αφενός με την παρουσία υλικών διάβρωσης εντός

**Πίνακας 12.3:** Συντελεστές συσχέτισης των υδροχημικών δεδομένων για τα δείγματα νερού της περιοχής μελέτης.

	Ca	Mg	Na	K	HCO3	Cl	SO4	NO3	PO4	Fe	Mn	Cu	Ni	Cr	Cd	Co	Pb	SiO2
Ca	1.000																	
Mg	-.089	1.000																
Na	<b>.522</b>	<b>.341</b>	1.000															
K	<b>.362</b>	.097	<b>.478</b>	1.000														
HCO3	.254	<b>.404</b>	.209	<b>.334</b>	1.000													
Cl	<b>.706</b>	.217	<b>.789</b>	<b>.428</b>	.121	1.000												
SO4	<b>.616</b>	.255	<b>.632</b>	.200	-.063	<b>.560</b>	1.000											
NO3	<b>.711</b>	.248	<b>.532</b>	.145	-.062	<b>.608</b>	<b>.626</b>	1.000										
PO4	.012	-.197	.069	.021	<b>-.335</b>	.134	.118	-.155	1.000									
Fe	-.279	.009	-.055	.062	-.194	-.114	-.218	-.193	-.238	1.000								
Mn	.256	.199	.158	-.173	.130	.104	.266	<b>.343</b>	-.237	.123	1.000							
Cu	-.028	.241	<b>.391</b>	.051	-.066	.260	.216	.023	.247	.278	.025	1.000						
Ni	-.110	-.033	-.183	<b>-.390</b>	.009	-.277	-.066	-.088	.079	-.058	<b>.375</b>	-.015	1.000					
Cr	-.262	.244	.002	-.157	.040	-.144	-.159	-.110	-.208	<b>.387</b>	-.014	.179	.209	1.000				
Cd	-.234	.004	.193	-.163	-.266	.156	-.151	-.136	.170	<b>.407</b>	.041	<b>.436</b>	-.068	.191	1.000			
Co	-.050	.078	.265	-.093	-.225	.266	.065	-.077	<b>.415</b>	<b>.404</b>	.065	<b>.765</b>	.033	.210	<b>.721</b>	1.000		
Pb	.046	-.062	-.078	-.253	.180	-.167	-.111	-.024	.018	-.134	.034	.044	.246	-.163	<b>-.328</b>	-.097	1.000	
SiO2	-.008	.143	.089	-.067	-.073	.127	.150	-.090	<b>.558</b>	-.144	-.055	<b>.642</b>	.212	-.079	.241	<b>.613</b>	.165	1.000

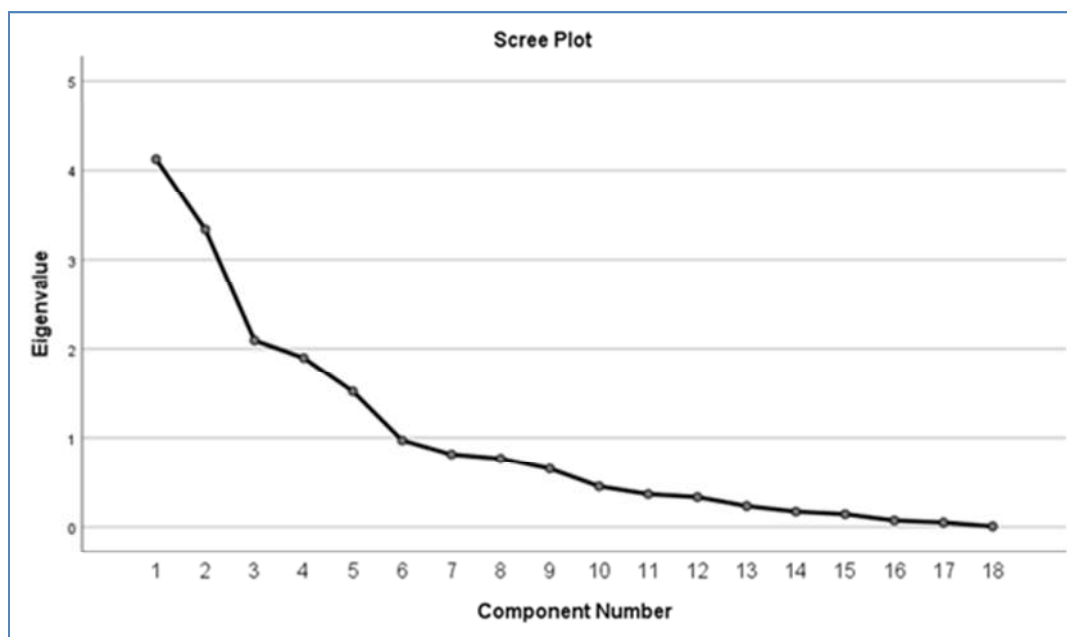
των πλειστοκαινικών ιζημάτων που προέρχονται από τους σχιστόλιθους και αφετέρου με τα φωσφορούχα λιπάσματα,

- το κάδμιο Cd εμφανίζει ισχυρή θετική συσχέτιση με το κοβάλτιο Co ( $r=0.721$ ) και μέτρια αρνητική συσχέτιση με το μόλυβδο Pb ( $r= - 0.328$ ),
- το κοβάλτιο Co εμφανίζει καλή θετική συσχέτιση με το διοξείδιο του πυριτίου SiO<sub>2</sub> ( $r=0.613$ ) που συνδέεται με τα πυριτικά ορυκτά των σχιστόλιθων.

Γενικά, διαπιστώνεται ότι μέσω της εφαρμογής της συσχέτισης των μεταβλητών αναδεικνύονται οι άμεσες σχέσεις μεταξύ των διαφόρων μεταβλητών που η παρουσία τους στα υπόγεια νερά συνδυάζεται τόσο με γεωγενείς όσο και με ανθρωπογενείς παράγοντες.

#### 12.4. Ανάλυση παραγόντων R-τύπου

Η εφαρμογή των κριτηρίων Cattell' Scree test και έλεγχος κρημονού (Scree plot) οδήγησαν στην επιλογή ενός πενταπλού παραγοντικού μοντέλου, το οποίο ερμηνεύει το 72,02% της συνολικής διακύμανσης. Στο Σχήμα 12.1 που ακολουθεί παρουσιάζεται γραφικά η καμπύλη ελέγχου κρημονού για τον προσδιορισμό του πλήθους των παραγόντων.



**Σχήμα 12.1:** Γράφημα (έλεγχος κρημονού) για τον προσδιορισμό του αριθμού των παραγόντων.

Όλες οι μεταβλητές που αναλύθηκαν παρουσιάζουν υψηλές τιμές στις κοινές παραγοντικές διακυμάνσεις (communalities) ( $>0.6$ ), εκτός από την τιμή του Cr που παρουσιάζει τιμή 0.513 και του μόλυβδου με τιμή 0,486, γεγονός που αποδεικνύει ότι το μοντέλο των πέντε παραγόντων δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα (Πίνακας 12.4).

- **Ο πρώτος παράγοντας** εκφράζει το 22,91% της συνολικής διακύμανσης και χαρακτηρίζεται από υψηλές παραγοντικές φορτίσεις (loadings) στις παραμέτρους Cl (0,891), Na (871), SO<sub>4</sub> (784), Ca (0,775), NO<sub>3</sub> (0,735) και το K (0,482). Η σύνδεση αυτών των παραμέτρων υποδηλώνει αφενός φορτία γεωγενούς προελεύσεως και αφετέρου το ρυπογενές φορτίο ανθρωπογενούς προελεύσεως στα νερά της περιοχής το

οποίο προέρχεται κυρίως από τα αστικά λύματα (απορροφητικοί βόθροι) και τη χρήση λιπασμάτων, καθώς και τη διάλυση των αλάτων γύψου ( $\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) που βρίσκεται στα πλειστοκαινικά ιζημάτα, λόγω της υψηλής συσχέτισης μεταξύ του  $\text{SO}_4^{2-}$  και του  $\text{Ca}^{2+}$ . Επίσης η παρουσία των  $\text{NO}_3^-$  ιόντων καθώς και η υψηλή συσχέτισή τους με το  $\text{Cl}^-$  (μεγαλύτερη από την οριακή τιμή 0,35) (Χαριζόπουλος 2013) υποδηλώνει ως πιθανή πηγή προέλευσης τα λύματα ή τα απόβλητα.

**Πίνακας 12.4:** Παραγοντικά φορτία της παραγοντικής ανάλυσης των πέντε κύριων συνιστωσών των υδροχημικών παραμέτρων και η κοινή παραγοντική διακύμανση τους.

Μεταβλητή	1ος παράγοντας	2ος παράγοντας	3ος παράγοντας	4ος παράγοντας	5ος παράγοντας	Κοινή παραγοντική διακύμανση
Cl	.891	.037	.018	-.159	-.042	0,823
Na	.871	.097	.158	-.033	.094	0,802
SO4	.784	-.090	-.131	.136	-.210	0,702
Ca	.775	-.356	-.169	.041	-.163	0,783
NO3	.735	-.280	.044	.188	-.372	0,794
Co	.246	.917	-.002	.031	-.023	0,903
Cd	.048	.765	.236	-.159	-.222	0,718
Cu	.362	.764	.012	.121	.231	0,782
SiO2	.209	.633	-.500	.218	.321	0,846
PO4	.116	.449	-.697	-.187	.042	0,798
Fe	-.168	.446	.612	-.087	-.188	0,645
Cr	-.170	.306	.583	.219	.048	0,513
Ni	-.229	.099	-.171	.741	-.105	0,652
Mn	.249	-.060	.228	.654	-.360	0,674
K	.482	-.196	.169	-.508	.370	0,695
Pb	-.122	-.134	-.378	.478	.286	0,486
HCO3	.185	-.362	.274	.234	.706	0,793
Mg	.339	.063	.430	.341	.440	0,613
Λιακύμανση	22.91%	18.52%	11.63%	10.53%	8.42%	72.02%

- Ο δεύτερος παράγοντας εκφράζει το 18,52% της συνολικής διακύμανσης και χαρακτηρίζεται από υψηλές παραγοντικές φορτίσεις (loadings) στις παραμέτρους Co (0,917), Cd (0,765), Cu (0,764),  $\text{SiO}_2$  (0,633) και με μέτριες φορτίσεις στις παραμέτρους Fe (0,446) και  $\text{PO}_4^{3-}$  (0,449). Η σύνδεση των παραμέτρων αυτών υποδηλώνει τόσο τον γεωγενή όσο και τον ανθρωπογενή παράγοντα. Τα μεταλλικά στοιχεία σε σχέση με το πυρίτιο φανερώνουν τον γεωγενή παράγοντα προέλευσής τους καθώς βρίσκονται στους σχιστόλιθους και στο κλαστικό υλικό των ιζημάτων που έχουν προκύψει από την διάβρωση των μητρικών πετρωμάτων της περιοχής. Η παρουσία των φωσφορικών ιόντων  $\text{PO}_4^{3-}$  συνδέεται κυρίως με ανθρωπογενείς παράγοντες, όπως είναι η χρήση των φωσφορούχων λιπασμάτων, εντός των οποίων εμπεριέχονται τα αναφερόμενα μεταλλικά στοιχεία.



- **Ο τρίτος παράγοντας** εκφράζει το 11,63% της συνολικής διακύμανσης και παρουσιάζει αρνητικές φορτίσεις στις παραμέτρους SiO<sub>2</sub> (-0,500), PO<sub>4</sub> (-0,697), και θετικές παραγοντικές φορτίσεις στις παραμέτρους Fe (0,612), Cr (0,583) και Mg (0,430). Η σύνδεση των παραμέτρων αυτών υποδηλώνει αφενός την πιθανή προέλευση των στοιχείων SiO<sub>2</sub>, Fe και Cr μέσω της διάβρωσης μαγνησιούχων πυριτικών ορυκτών, χωρίς να αποκλείεται και ο ανθρωπογενής παράγοντας καθώς αναδεικνύεται και η παρουσία των φωσφορικών αλάτων.
- **Ο τέταρτος παράγοντας** εκφράζει το 10,53% της συνολικής διακύμανσης και χαρακτηρίζεται από υψηλές παραγοντικές φορτίσεις (loadings) στις παραμέτρους Ni (0,741), Mn (0,654) και με μέτριες φορτίσεις στις παραμέτρους K (-0,508) και Pb (0,478). Ο παράγοντας αυτός συνδέει παραμέτρους κυρίως γεωγενούς προελεύσεως που απαντώνται συνδεδεμένα στην μορφή των οξειδίων των εδαφών. Η παρουσία του K συνδέεται άμεσα με την παρουσία των αργιλικών ορυκτών.
- **Ο πέμπτος παράγοντας** εκφράζει το 8,42% της συνολικής διακύμανσης και χαρακτηρίζεται από υψηλή και μέτρια παραγοντική φόρτιση στις παραμέτρους HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> (0,706) και Mg<sup>2+</sup> (0,440) αντίστοιχα. Αναδεικνύεται ο γεωγενής παράγοντας που συνδυάζει αφενός την διάλυση των μαγνησιούχων ορυκτών αλλά και την αλκαλικότητα του υδατικού διαλύματος ως προϊόν της διαδικασίας της κατιοανταλλαγής.

## 12.5. Συμπεράσματα στατιστικής ανάλυσης

Η στατιστική ανάλυση έδειξε ότι στα υπόγεια ύδατα της περιοχής μελέτης είναι έντονη η συνεισφορά των χαλαρών τεταρτογενών ιζημάτων, και των συμπαγών πετρωμάτων του υποβάθρου όπου κυριαρχούν οι ασβεστόλιθοι και οι μικρής έκτασης εμφανίσεις των σχιστόλιθων. Οι σχηματισμοί αυτοί αποτελούν κύριους παράγοντες που συμβάλουν στον εμπλουτισμό των εδαφών και των υπόγειων νερών με χημικά στοιχεία.

Βάσει των στατιστικών αποτελεσμάτων, αλλά και από βιβλιογραφικά δεδομένα, εκτιμάται ότι ένα ποσοστό από τα διαλυμένα στοιχεία στα υπόγεια νερά προέρχονται κυρίως από ανθρωπογενείς παράγοντες, ιδιαίτερα σε μια τέτοια περιοχή που η γεωργική χρήση είναι αρκετά έντονη. Το γεγονός αυτό εκδηλώνεται από την έντονη παρουσία των στοιχείων εκείνων που είναι προϊόν της έκπλυσης από γεωργικά λιπάσματα, από ζωικά απόβλητα και από μη στεγανούς βόθρους. Η ύπαρξη νιτρικών και φωσφορικών ιόντων που αναδεικνύουν αυτήν την ανθρωπογενή ρύπανση συνυπάρχουν στην 1<sup>η</sup>, 2<sup>η</sup> και 3<sup>η</sup> ομάδα παραγόντων με στοιχεία γεωγενούς προέλευσης, αποδεικνύοντας την κατ' εξακολούθηση ρύπανση των υδροφόρων συστημάτων της περιοχής μελέτης.

## 13. ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΧΡΗΣΕΙΣ

### 13.1. Καταλληλότητα των υπόγειων και επιφανειακών νερών

Η εκτίμηση της καταλληλότητας των υπόγειων υδάτων μιας περιοχής βασίζεται στον προσδιορισμό των φυσικών, χημικών και βιολογικών παραμέτρων τους, σύμφωνα με τα κριτήρια και τα πρότυπα ποιότητας του νερού (standards) που καθορίστηκαν από την Ευρωπαϊκή Ένωση και υιοθετήθηκαν από την χώρα μας για τη συγκεκριμένη χρήση (π.χ. ύδρευση, άρδευση, βιομηχανική χρήση), με κύριο σκοπό τη διαφύλαξη της δημόσιας υγείας και την προστασία του υδάτινου περιβάλλοντος.

### 13.2. Καταλληλότητα για ανθρώπινη χρήση

Για τον έλεγχο της καταλληλότητας των υπόγειων νερών της περιοχής μελέτης, σχετικά με την ποιότητά τους για ανθρώπινη κατανάλωση χρησιμοποιήθηκαν οι παραμετρικές τιμές που καθορίστηκαν με την υπ' αριθ. Γ1(δ)/ ΓΠ οικ.67322/6.9.2017 Κοινή Υπουργική Απόφαση των Υπουργών Εσωτερικών, Οικονομίας και Ανάπτυξης, Υγείας, Περιβάλλοντος και Ενέργειας, (ΦΕΚ 3282/Β/2017) «Ποιότητα νερού ανθρώπινης κατανάλωσης σε συμμόρφωση προς τις διατάξεις της Οδηγίας 98/83/ΕΚ του Συμβουλίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης, της 3ης Νοεμβρίου 1998 όπως τροποποιήθηκε με την Οδηγία (ΕΕ) 2015/1787 (L260, 7.10.2015» (Πίνακας 13.1).

Οι αναφερόμενες παραμετρικές τιμές αποτελούν τα μέγιστα αποδεκτά όρια των φυσικών και χημικών παραμέτρων, όπως έχουν οριστεί από την Ε.Ε., τα οποία χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία για την εκτίμηση της καταλληλότητας των δειγμάτων νερού για ανθρώπινη κατανάλωση.

Συγκρίνοντας λοιπόν τις τιμές των δειγμάτων νερού με τις αντίστοιχες παραμετρικές τιμές προέκυψε ότι το σύνολο των δειγμάτων νερού χαρακτηρίζονται ως μη πόσιμα, δεδομένου ότι οι τιμές των περισσότερων παραμέτρων τους ήταν πάνω από τα επιτρεπτά όρια.

Συγκεκριμένα:

- Οι συγκεντρώσεις χλωρίου ( $\text{Cl}^-$ ) κυμαίνονται από 21,3 – 2411,3 mg/l, ενώ τιμές μεγαλύτερες από το μέγιστο αποδεκτό όριο των 250 mg/l εμφανίζουν η γεώτρηση Γ11 (709,2mg/l) και η υφάλμυρη πηγή (2.411,3 mg/l).
- Οι συγκεντρώσεις νατρίου ( $\text{Na}^+$ ) κυμαίνονται από 6,1 - 556,8 mg/l, ενώ τιμές μεγαλύτερες από 200 mg/l εμφανίζουν τα δείγματα από την παράκτια υφάλμυρη πηγή Π33 (556,8 mg/l) και η γεώτρηση Γ11 (298,2 mg/l).
- Οι συγκεντρώσεις καλίου ( $\text{K}^+$ ) κυμαίνονται από 0,29 - 13,5 mg/l, ενώ τιμές μεγαλύτερες από το ανώτατο επιτρεπόμενο όριο των 12 mg/l, παρουσιάζει το δείγμα νερού του πηγαδιού Φ8 (13,5mg/l).
- Οι συγκεντρώσεις ασβεστίου ( $\text{Ca}^{2+}$ ) κυμαίνονται από 48,00 - 280,0 mg/l, ωστόσο για το Ca δεν υφίστανται ανώτατα αποδεκτά όρια.
- Οι συγκεντρώσεις μαγνησίου ( $\text{Mg}^{2+}$ ) κυμαίνονται από 2,1 - 435,3 mg/l, ωστόσο για το  $\text{Mg}^{2+}$  δεν υφίστανται ανώτατα αποδεκτά όρια.
- Οι συγκεντρώσεις θεικών ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) κυμαίνονται από 0,1 - 243,0 mg/l, ενώ δεν παρατηρήθηκαν τιμές άνω του μέγιστου αποδεκτού ορίου των 250 mg/l.

- Οι συγκεντρώσεις νιτρικών ( $\text{NO}_3^-$ ) κυμαίνονται από 13,2 - 229,9 mg/l, ενώ τιμές μεγαλύτερες από το ανώτατο επιτρεπόμενο όριο των 50 mg/l, παρουσίασε το 61,6% των δειγμάτων νερού της περιοχής.
- Οι συγκεντρώσεις φωσφορικών ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) κυμαίνονται από 0,22 - 8,90 mg/l, ενώ τιμές μεγαλύτερες από το ανώτατο επιτρεπόμενο όριο των 5 mg/l παρουσίασαν οι Γεωτρήσεις Γ4 (8,75 mg/l) και Γ2 (8,85mg/l) και το πηγάδι Φ3 (8,90mg/l).

**Πίνακας 13.1:** Πρότυπα Πόσιμου νερού σύμφωνα με την οδηγία 98/83/EK της Ε.Ε.

Παράμετρος	Χημικός Τύπος	Παραμετρική Τιμή	Μονάδα
Θερμοκρασία		25°C	°C
Συγκέντρωση ιόντων υδρογόνου		6,5 ≤ pH ≤ 9,5	
Αγωγιμότητα		2500	μS/cm στους 20 °C
Χλωριούχα	Cl	250	mg/l
Ασβέστιο	Ca	Δεν έχει ανώτατο όριο	mg/l
Μαγνήσιο	Mg	Δεν έχει ανώτατο όριο	mg/l
Φωσφορικά	PO <sub>4</sub>	5 mg/l P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	mg/l
Θεικά	SO <sub>4</sub>	250	mg/l
Νιτρικά	NO <sub>3</sub>	50	mg/l
Νάτριο	Na	200	mg/l
Κάλιο	K	12	mg/l
Κάδμιο	Cd	5,0	μg/l
Ολικό Χρώμιο	Cr	50	μg/l
Χαλκός	Cu	2,0	mg/l
Σίδηρος	Fe	200	μg/l
Μαγγάνιο	Mn	50	μg/l
Νικέλιο	Ni	20	μg/l
Μόλυβδος	Pb	10	μg/l
Κοβάλτιο	Co	Δεν έχει ανώτατο όριο	mg/l

- Οι συγκεντρώσεις του μαγγανίου (Mn) κυμαίνονται από 0,001 – 0,069 ppm, ενώ τιμές μεγαλύτερες από το ανώτατο επιτρεπόμενο όριο των 0,05 ppm παρουσίασαν οι Γεωτρήσεις Γ27 (0,051ppm), η Γ26 (0,054ppm) και το πηγάδι Φ29 (0,069ppm).
- Οι συγκεντρώσεις του χαλκού (Cu) κυμαίνονται από 0,008 – 0,08 ppm, ενώ δεν εμφάνισαν τιμές πάνω από το μέγιστο επιτρεπτό όριο των 2mg/l.
- Οι συγκεντρώσεις του νικελίου (Ni) κυμαίνονται από <0,001 – 0,277 ppm, ενώ τιμές μεγαλύτερες από το ανώτατο επιτρεπόμενο όριο των 0,02 mg/l, παρουσίασε το 84,8% των δειγμάτων νερού της περιοχής.
- Οι συγκεντρώσεις του χρωμίου (Cr) κυμαίνονται από <0,001ppm έως 0,034 ppm, ενώ δεν εμφάνισαν τιμές πάνω από το μέγιστο επιτρεπτό όριο των 0,05mg/l).
- Οι συγκεντρώσεις του καδμίου (Cd) κυμαίνονται μεταξύ 0,001ppm έως 0,078ppm, ενώ τιμές άνω του επιτρεπόμενου ορίου των 0,005 mg/l εμφανίζει το σύνολο σχεδόν των δειγμάτων νερού, με εξαίρεση τη γεώτρηση Γ32 (<0,001mg/l).

- Οι συγκεντρώσεις του μολύβδου (Pb) κυμαίνονται από <0,001ppm έως 0,626 ppm, ενώ τιμές μεγαλύτερες από το ανώτατο επιτρεπόμενο όριο των 0,01 mg/l, παρουσίασε το 89% των δειγμάτων νερού της περιοχής.

### 13.3. Καταλληλότητα των υπόγειων νερών για άρδευση

Η καταλληλότητα του νερού για άρδευση εξαρτάται κυρίως από το τύπο και τη ποσότητα των αλάτων που υπάρχουν σε αυτό. Τα κύρια διαλυτά συστατικά είναι το ασβέστιο, το μαγνήσιο, το νάτριο από τα κατιόντα και το χλώριο, το θειικό και το όξινο ανθρακικό από τα ανιόντα, ενώ υπάρχουν σε ελάχιστες ποσότητες και άλλα ιόντα όπως το βόριο, το σελήνιο και το φθόριο τα οποία είναι αρκετά τοξικά για τα φυτά.

Η αξιολόγηση της ποιότητας του νερού για άρδευση βασίζεται στον υπολογισμό τριών παραμέτρων (Καλλέργης 2000), όπως:

1. Στη μέτρηση της ειδικής ηλεκτρικής αγωγιμότητάς του νερού (EC) με την οποία εκτιμάται η ολική συγκέντρωση των διαλυτών αλάτων στο νερό, τα οποία μειώνουν τη ικανότητα πρόσληψης του νερού από τα φυτά, λόγω αύξησης της ωσμωτικής πίεσης του εδαφικού διαλύματος, τα οποία επιδρούν στην ανάπτυξη και απόδοση των καλλιεργειών και στις φυσικές συνθήκες των εδαφών.
2. Στη μέτρηση του συντελεστή προσρόφησης νατρίου (SAR), με το οποίο εκτιμάται η συγκέντρωση του νατρίου σε σύγκριση με το άθροισμα των συγκεντρώσεων των ιόντων του ασβεστίου (Ca) και του μαγνησίου (Mg), που μπορεί να προκαλέσει υποβάθμιση της δομής του εδάφους και μείωση της διαπερατότητας και του αερισμού του εδάφους. Η κατάσταση αυτή εμποδίζει τη διείσδυση του νερού στο έδαφος, με αποτέλεσμα οι ενεργά αναπτυσσόμενες ρίζες να μην μπορούν να πάρουν επαρκές νερό, παρά τη συγκέντρωση νερού στην επιφάνεια του εδάφους μετά την άρδευση.
3. Η μέτρηση της συγκέντρωσης ορισμένων ιόντων όπως του βορίου και άλλων στοιχείων τα οποία μπορεί να είναι τοξικά για τα φυτά.

Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται στην παρούσα εργασία για την εκτίμηση της καταλληλότητας των αρδευόμενων νερών είναι η μέθοδος Richards και η μέθοδος Wilcox (Καλλέργης 2000).

#### 13.3.1. Ταξινόμηση κατά RICHARDS (SAR)

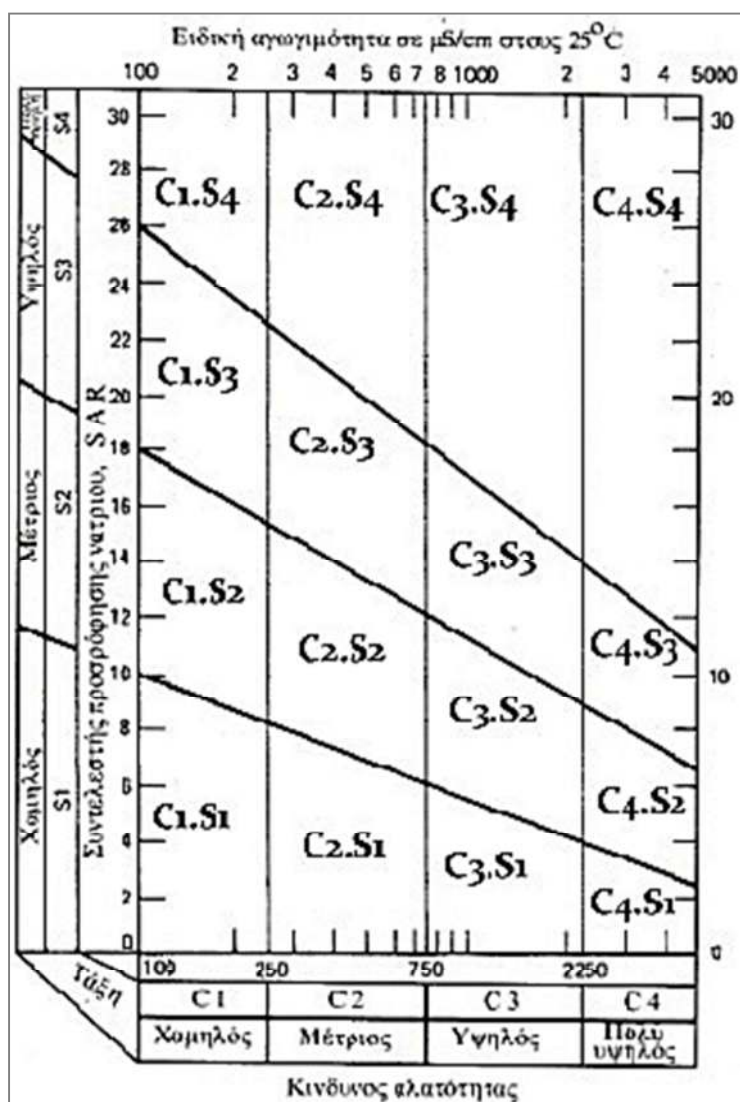
Σύμφωνα με τον Ayger (1975) βασικό κριτήριο της καταλληλότητας του νερού για άρδευση, εκτός από το TDS, αποτελεί ο Συντελεστής Προσρόφησης Νατρίου (S.A.R.: Sodium Absorption Ratio), ο οποίος εκφράζεται από τη σχέση(13.1) (Καλλέργης, 2000):

$$SAR = \frac{[Na]}{\sqrt{([Ca]+[Mg])/2}} \quad (13.1)$$

Όπου οι συγκεντρώσεις του  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  και  $Na^{+}$  εκφράζονται σε meq/l.

Ο δείκτης SAR εκφράζει τη σχετική δραστηριότητα του Νατρίου στις αντιδράσεις ανταλλαγής με το έδαφος και βοηθά στην εκτίμηση της κροκίδωσης ή της διασποράς της αργίλου στο έδαφος. Η συσσώρευση του νατρίου στο έδαφος μειώνει τη διαπερατότητα του εδάφους και τη διήθηση του νερού. Αυτό συμβαίνει επειδή το νάτριο όταν συσσωρεύεται στο έδαφος σε ανταλλάξιμη μορφή αντικαθιστά τα δισθενή κατιόντα του ασβεστίου και μαγνησίου στο έδαφος και προκαλεί τη διασπορά του αργιλικού κλάσματος του εδάφους.

Αντίθετα όταν τα ιόντα ασβεστίου και μαγνησίου παίρνουν τη θέση του νατρίου στο έδαφος τότε προκαλείται κροκίδωση και απόπλυση των αλάτων του εδάφους, η οποία οδηγεί σε βελτίωση της δομής του εδάφους και αύξηση της διαπερατότητάς του.



**Σχήμα 13.1:** Διάγραμμα ταξινόμησης των αρδευτικών νερών ( Richards 1954).

Για τον προσδιορισμό της ποιότητας του αρδευτικού νερού χρησιμοποιείται το διάγραμμα Richards (1954), που προτάθηκε από το U.S. Salinity Laboratory και το οποίο βασίζεται στο δείκτη SAR και την ηλεκτρική αγωγιμότητα (Καλλέργης 2000).

Με βάση το ημιλογαριθμικό διάγραμμα του Richards (Σχήμα 13.1) τα νερά κατατάσσονται σε 16 διαφορετικές ποιοτικές κατηγορίες, όπως αυτές περιγράφονται στο Πίνακα 13.2, που δείχνουν αν υπάρχει κίνδυνος αλάτωσης ή νατρίωσης του εδάφους και αν τα νερά είναι κατάλληλα για την άρδευση των καλλιεργειών.

**Πίνακας 13.2: Κατηγορίες αρδευτικών υδάτων κατά Richards**

Κατηγορία νερού	Καταλληλότητα για άρδευση
C1-S1	Νερό πολύ καλής ποιότητας με χαμηλή περιεκτικότητα σε άλατα. Κατάλληλο για άρδευση
C1-S2, C2-S1	Νερό καλής ποιότητας. Κατάλληλο για άρδευση καλλιεργειών με εξαίρεση φυτά εξαιρετικά ευαίσθητα στα άλατα ή εδάφη με κακή στράγγιση
C2-S2, C1-S3, C3-S1	Νερό μέσης ποιότητας που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για άρδευση με περιορισμούς
C1-S4, C2-S3, C3-S2, C4-S1	Νερό μέσης προς κακής ποιότητας. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για άρδευση ανθεκτικών σε άλατα φυτών και σε καλά στραγγιζόμενα εδάφη
C2-S4	Νερό κακής ποιότητας. Δεν συνίσταται η χρήση του για αρδευτικούς σκοπούς. Παρόλα αυτά μπορεί να χρησιμοποιηθεί για άρδευση με αυστηρούς περιορισμούς σε καλά στραγγιζόμενα εδάφη και φυτά ανθεκτικά στα άλατα.
C4-S2 C3-S3	Κίνδυνος αύξησης της αλατότητας του εδάφους γι' αυτό συνίσταται η περιοδική έκπλυση των αλάτων.
C3-S4 C4-S3	Νερό κακής ποιότητας που δεν συνίσταται η χρήση του. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για άρδευση σε εξαιρετικές περιπτώσεις κάτω από πολλούς περιορισμούς
C4-S4	Νερό πολύ κακής ποιότητας. Η εφαρμογή του για άρδευση καθίσταται απαγορευτική.

Βάσει του διαγράμματος τα υπόγεια νερά και το επιφανειακό νερό Άσκλης, εκτός του νερού της υφάλμυρης πηγής κατατάσσονται στις ακόλουθες τρεις κατηγορίες (Σχήμα 13.2):

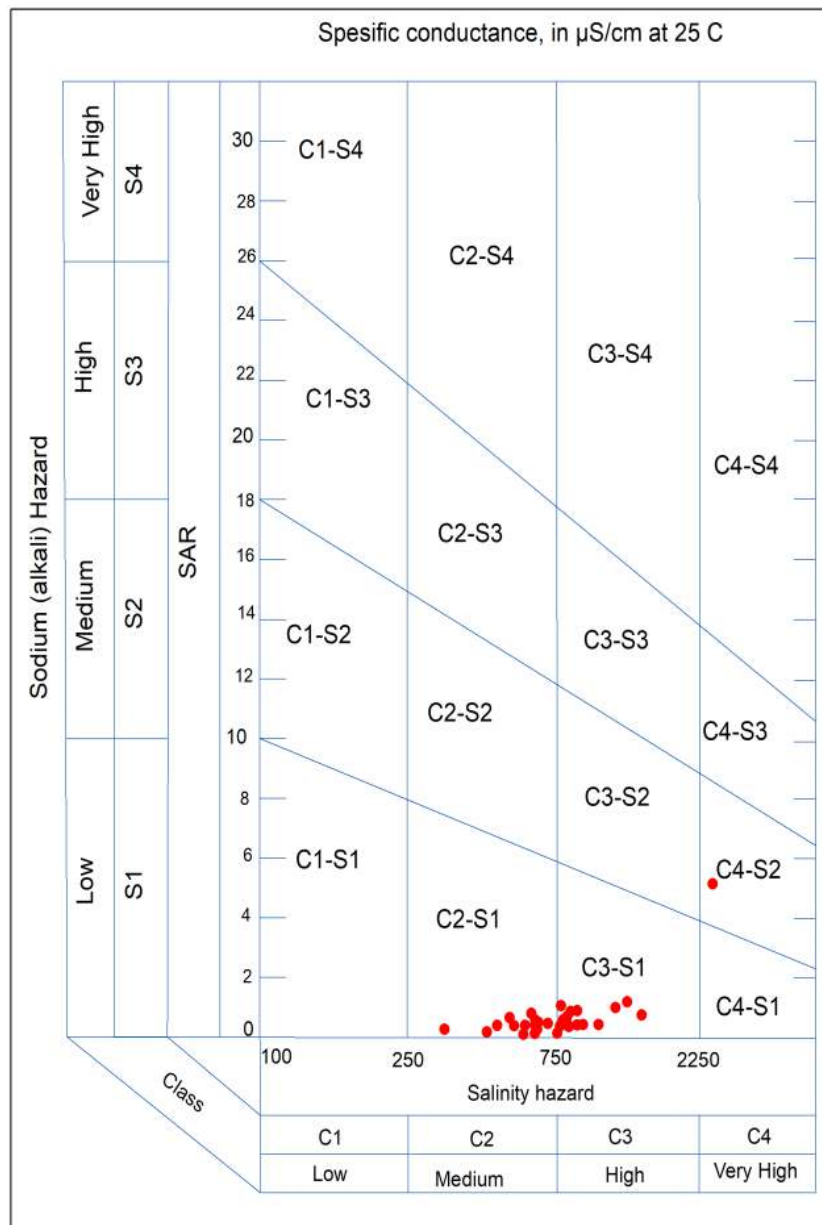
1. **Κατηγορία C2-S1:** Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τα νερά που εμφανίζουν μικρό κίνδυνο αλκαλίωσης και μέτριο κίνδυνο αλατότητας. Τα νερά αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε εδάφη με μέτρια απόπλυση και καλή στράγγιση και σε φυτά με μέτρια ανθεκτικότητα σε άλατα. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν 16 δείγματα νερού ποσοστό 50%, από τα οποία 6 δείγματα ανήκουν σε νερά πηγαδιών (Φ3,Φ6,Φ13,Φ15,Φ16, Φ31), τρία σε νερά πηγών (Π12, Π17, Π21) και έξι σε νερά γεωτρήσεων (Γ4, Γ10, Γ22, Γ25,Γ28, Γ32) καθώς και το επιφανειακό νερό Ε5 από το ρέμα Άσκλης.

2. **Κατηγορία C3-S1:** Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τα νερά που εμφανίζουν μικρό κίνδυνο αλκαλίωσης και υψηλό κίνδυνο αλατότητας. Πρόκειται για νερά που είναι ακατάλληλα για εδάφη με κακή στράγγιση καθώς και για καλλιέργεια φυτών που είναι ευαίσθητα στα άλατα. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν 15 δείγματα νερού, ποσοστό 46,87%, από τα οποία 6 δείγματα ανήκουν σε νερά πηγαδιών (Φ6,Φ8,Φ9,Φ20,Φ23,Φ29), τρία σε νερά πηγών (Π14, Π18, Π24) και έξι σε νερά γεωτρήσεων (Γ1, Γ2, Γ19, Γ26,Γ27,Γ30).

3. **Κατηγορία C4-S2:** Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τα νερά που εμφανίζουν μέτριο κίνδυνο αλκαλίωσης και πολύ υψηλό κίνδυνο αλατότητας. Το νερό υψηλής αλατότητας δεν είναι κατάλληλο για άρδευση κάτω από κανονικές συνθήκες, αλλά μπορεί να χρησιμοποιηθεί περιστασιακά υπό πολύ ειδικές συνθήκες. Για να χρησιμοποιηθεί πρέπει τα εδάφη να είναι

διαπερατά, με καλή στράγγιση, το νερό άρδευσης να παρέχεται σε πλεόνασμα για να επιτυγχάνεται σημαντική έκπλυση και να επιλέγονται φυτά που είναι πολύ ανθεκτικά στα άλατα.

Στην κατηγορία αυτή ανήκει το νερό από τη Γεώτρηση Γ11 που βρίσκεται στο οροπέδιο Λικέρι Δομβραΐνας.



**Σχήμα 13.2:** Ταξινόμηση της καταλληλότητας των υπόγειων νερών και του επιφανειακού νερού της περιοχής μελέτης για αρδευτικούς σκοπούς κατά Richards.

### 13.3.2. Ταξινόμηση κατά WILCOX

Αυτή η ταξινόμηση βασίζεται στη σχέση μεταξύ ποσοστού νατρίου (Na%) και συνολικής ποσότητας διαλυμένων αλάτων, την οποία πρότεινε ο Wilcox (1955) για να δείξει την

καταλληλότητα του νερού για αρδευτικές χρήσεις. Η περιεκτικότητα του νατρίου εκφράζεται ως ποσοστό (βαθμός αλκαλίωσης) από τη σχέση:

$$\%Na = \frac{(Na+K) \cdot 100}{Ca+Mg+Na+K} \quad (13.2)$$

Όπου όλες οι συγκεντρώσεις των ιόντων εκφράζονται σε χιλιοστοϊσοδύναμα ανά λίτρο (meq/l).

Σύμφωνα με το σύστημα ταξινόμησης του Wilcox τα αρδευτικά νερά ταξινομούνται σε πέντε κατηγορίες ανάλογα με την καταλληλότητά τους για άρδευση, όπως παρουσιάζονται στον Πίνακα 13.3. (Καλλέργης, 2000):

**Πίνακας 13.3:** Ποιοτική Ταξινόμηση των αρδευτικών νερών (Wilcox, 1955)

Κατηγορία	Ποιότητα νερού
1	Εξαιρετική μέχρι καλή
2	Καλή μέχρι αποδεκτή
3	Αποδεκτή μέχρι αμφίβολη
4	Αμφίβολη μέχρι ακατάλληλη
5	Ακατάλληλη

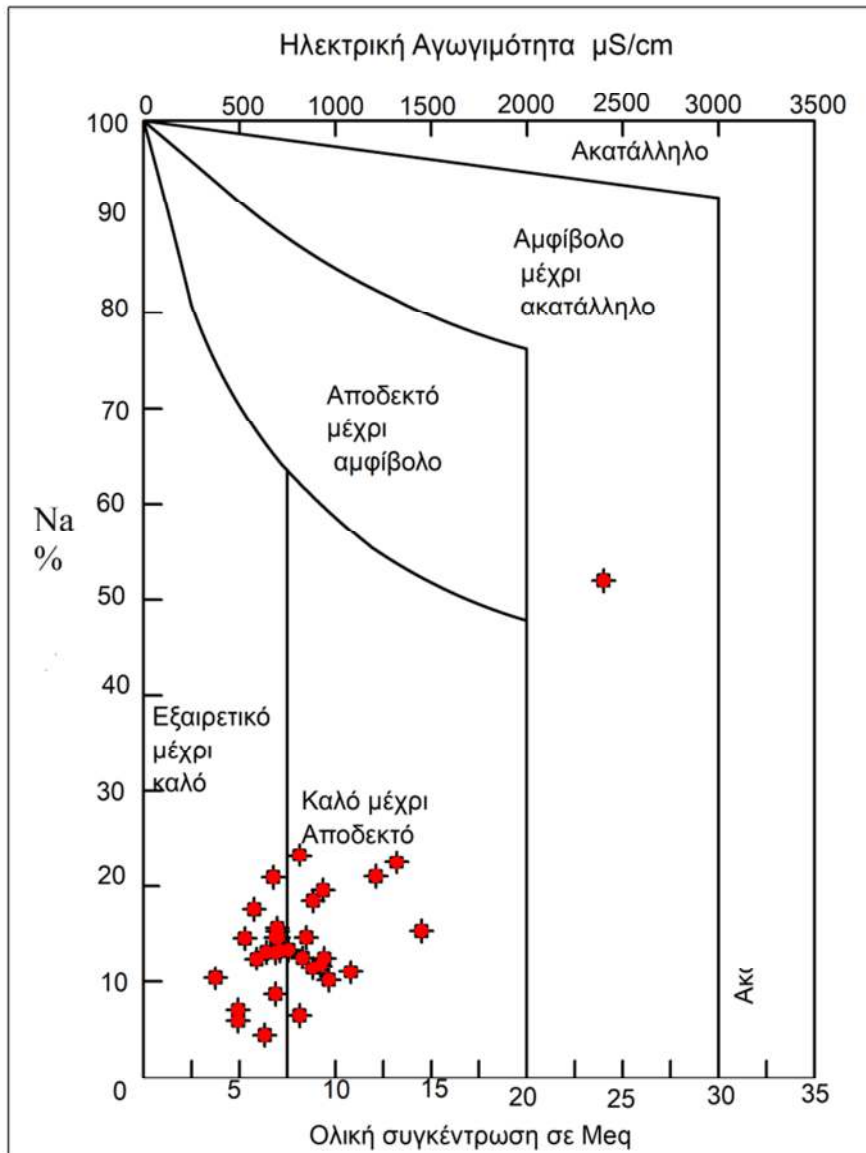
Για την ταξινόμηση στο διάγραμμα οι τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας εκφράζονται σε  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

Στο Σχήμα 13.3 απεικονίζονται τα δεδομένα των δειγμάτων νερού της περιοχής μελέτης στο διάγραμμα ταξινόμησης Wilcox, από το οποίο προκύπτουν τα εξής:

Από τα 32 δείγματα νερού, τα 16 δείγματα νερού (ποσοστό 50%) των δειγμάτων νερού ανήκουν στην κατηγορία *εξαιρετικό μέχρι καλό*, τα 15 δείγματα νερού (ποσοστό 46,87%) ανήκουν στην κατηγορία *καλό μέχρι αποδεκτό* και ένα δείγμα νερού (ποσοστό 3,13%) ανήκει στην κατηγορία *αμφίβολο μέχρι ακατάλληλο* για αρδευτική χρήση.

Συγκρίνοντας τις δύο μεθόδους προκύπτει ότι και οι δύο εμφανίζουν το ίδιο αποτέλεσμα όσον αφορά την καταλληλότητα του νερού για άρδευση, δεδομένου ότι τα νερά της περιοχής έχουν χαμηλό κίνδυνο αλκαλίωσης. Από τα τριάντα δύο δείγματα νερού (εκτός του δείγματος νερού της υφάλμυρης πηγής) ποσοστό 50% εμφανίζει καλή έως μέτρια ποιότητα για αρδευτικούς σκοπούς, ποσοστό 46,87% εμφανίζει μέτρια έως αποδεκτή και ένα δείγμα νερού, λόγω της υψηλής αλατότητας, είναι ακατάλληλο για αρδευτική χρήση.





**Σχήμα 13.3:** Διάγραμμα ταξινόμησης των δειγμάτων νερού της περιοχής με βάση το βαθμό αλκαλίωσης Νατρίου και την ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα (διάγραμμα Wilcox).

#### **14. ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

Με την παρούσα μελέτη πραγματοποιήθηκε η γεωμορφολογική ανάλυση της καρστικής λεκάνης Άσκρης-Δομβραΐνας, η ανάλυση των ποσοτικών μορφομετρικών παραμέτρων του υδρογραφικού δικτύου της, ερευνήθηκε η ποιότητα των υπόγειων και επιφανειακών νερών της καθώς και η επίδραση των γεωγενών και ανθρωπογενών παραγόντων στην ποιότητά τους και η καταλληλότητά τους για ύδρευση και άρδευση σε σύγκριση με τα ευρωπαϊκά πρότυπα ποιότητας νερού.

Η υδρολογική λεκάνη συγκροτείται από μορφολογικές δομές επίπεδες έως λοφώδεις που αναπτύσσονται στο κεντρικό τμήμα, ενώ ημιορεινές έως ορεινές δομές αναπτύσσονται στα περιθώριά της. Από τη γεωμορφολογική ανάλυση της λεκάνης με εμβαδόν 224,94 Km<sup>2</sup> προκύπτει ότι τα πεδινά και λοφώδη τμήματα, με τα χαμηλά υψόμετρα (0-500m) καταλαμβάνουν τη μεγαλύτερη έκταση (65%) της εδαφικής επιφάνειας της λεκάνης, ενώ τα ημιορεινά τμήματα με μεσαία υψόμετρα (500-1.000m) το 28,4% και τα υψηλότερα ορεινά τμήματα (>1.000m) καταλαμβάνουν το 6,6% της επιφάνεια της λεκάνης.

Οι επίπεδες περιοχές και οι κλιτύες με πολύ ήπιες κλίσεις (0-5%) καταλαμβάνουν το 27,31% επί της συνολικής επιφάνειας της λεκάνης, οι ήπιες έως μέτριες κλίσεις των κλιτύων (5-12%) το 30,47%, οι μέτριες απότομες κλίσεις (12%-30%) το 38,27%, οι απότομες κλίσεις (30-45%) το 3,79% και οι πολύ απότομες (>45%) ποσοστό 0,16%, γεγονός που αναδεικνύει το έντονο ανάγλυφο της λεκάνης. Αυτό σχετίζεται κυρίως με τεκτονικούς παράγοντες, αλλά και με τη λιθολογία της περιοχής που καλύπτεται κυρίως από ανθρακικά πετρώματα (ασβεστόλιθους, δολμίτες κ.λπ) τα οποία είναι ανθεκτικά στη διάβρωση.

Βάσει του προσανατολισμού των κλίσεων προκύπτει ότι οι νότιοι προσανατολισμοί του ανάγλυφου της λεκάνης καλύπτουν τη μισή περίπου έκταση (48,8%), ενώ οι βόρειοι προσανατολισμοί μικρότερο τμήμα της έκτασης (28,90%).

Κύριο χαρακτηριστικό της λεκάνης είναι ο ποταμός Άσκρης ή Περμησσός, μήκους 37,9Km, ο οποίος πηγάζει από τις ανατολικές κλιτύες του όρους Ελικώνα και καταλήγει στον Κορινθιακό κόλπο, αφού πρώτα διασχίσει το ανατολικό και κεντρικό τμήμα της λεκάνης. Η αλλαγή πορείας του ποταμού Άσκρης οφείλεται στην παρουσία ρηγμάτων (Νεοχωρίου, Δομβραΐνας και Ταράτσας) αντίστοιχης διεύθυνσης τα οποία βυθίζουν την περιοχή και δημιουργούν τη λεκάνη που ακολουθεί ο ποταμός.

Σημαντικές εξωκαρστικές μορφές στην περιοχή μελέτης είναι οι δολίνες οι οποίες αναπτύσσονται στα πλατώματα των κορυφών του Ελικώνα και η τεκτογενής πόλγη στο οροπέδιο Λικέρι με τις καταβόθρες που βρίσκονται στα δυτικά περιθώριά της.

Από την ανάλυση του υδρογραφικού δικτύου της καρστικής λεκάνης Άσκρη-Δομβραΐνας προέκυψε ότι το δίκτυο είναι 5ης τάξης, αποτελούμενο από 320 κλάδους, ενώ η μορφή του χαρακτηρίζεται ως σύνθετου τύπου, με μορφές δενδριτικού, παράλληλου και κλιμακωτού - καρστικού τύπου στα ανθρακικά πετρώματα. Το υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής είναι μερικώς ανεπτυγμένο, λόγω της υψηλής υδροπερατότητας των ανθρακικών σχηματισμών και της τεκτονικής παραμόρφωσης που υποβοηθούν την κατεΐσδυση.

Από την εφαρμογή του 1<sup>ου</sup> νόμου του Horton προκύπτει ότι οι αριθμοί των κλάδων των τεσσάρων τάξεων (1<sup>η</sup>, 2<sup>η</sup>, 4<sup>η</sup> και 5<sup>η</sup>) δεν έχουν σημαντικές αποκλίσεις από τις ιδανικές τιμές, γεγονός που υποδηλώνει ότι το υδρογραφικό δίκτυο της λεκάνης δεν απέχει πολύ από την ιδανική ανάπτυξη που θα επέτρεπε τη βέλτιστη αποστράγγισή του, ενώ από την εφαρμογή

του 2<sup>ου</sup> νόμου του Horton οι αρνητικές αποκλίσεις των πραγματικών τιμών των μηκών από τις ιδανικές τιμές τους στους κλάδους 2<sup>ης</sup>, 4<sup>ης</sup> και 5<sup>ης</sup> τάξης δείχνουν ότι υπάρχει έλλειψη μήκους σε αυτές τις τάξεις, η οποία οφείλεται κυρίως στους καρστικούς ασβεστολιθικούς σχηματισμούς οι οποίοι ευνοούν την κατεισδύση έναντι της επιφανειακής απορροής.

Από τον υπολογισμό των μορφομετρικών παραμέτρων του υδρογραφικού δικτύου και της λεκάνης απορροής προέκυψαν τα εξής:

- Η μέση κλίση της λεκάνης (11,89°) σύμφωνα με την ταξινόμηση των κλίσεων κατά Demek (1972), δείχνει ότι η λεκάνη απορροής στο σύνολό της έχει απότομο κεκλιμένο ανάγλυφο, με διάβρωση τύπου καλύμματος και αυλακωτή διάβρωση, με έντονες διαβρωτικές διεργασίες,
- Ο συντελεστής ανάγλυφου (7%) δείχνει ότι η ένταση των διαβρωτικών διεργασιών που αναπτύσσονται στις κλιτύες της λεκάνης είναι αρκετά μικρή και οφείλεται στην ανθεκτικότητα των ανθρακικών πετρωμάτων στη διάβρωση.
- Ο δείκτης κυκλικότητας (0,37) και ο δείκτης επιμήκυνσης (0,76) δείχνουν ότι η λεκάνη είναι επιμήκης και ότι η διαμόρφωση της κεντρικής κοίτης του ποταμού Άσκληρης έχει βοηθηθεί από την παρουσία ενεργών ρηγμάτων με διεύθυνση Α-Δ.
- Η τιμή του υψομετρικού ολοκληρώματος ( $H_i = 0,46$ ) δείχνει ότι η λεκάνη είναι μεταξύ δυο σταδίων, νεότητας γιατί υπάρχουν ενεργά ρήγματα που εξακολουθούν να δημιουργούν ανάγλυφο, αλλά και ωριμότητας γιατί σε σημαντικό τμήμα της λεκάνης δεν υπάρχουν ενεργές δομές,
- Η μορφή της υψομετρικής καμπύλης δείχνει ότι στα μεγαλύτερα υψόμετρα επικρατούν μεγάλες κλίσεις και απότομη μεταβολή του ανάγλυφου, στα μεσαία υψόμετρα επικρατούν ηπιότερες κλίσεις και στα χαμηλότερα υψόμετρα (πρόποδες των ορεινών όγκων και λόφων) επικρατεί ξανά το απότομο ανάγλυφο.

Οι κλιματικές συνθήκες στην περιοχή μελέτης έχουν ως κύρια χαρακτηριστικά: α) τη μεγάλη διάρκεια της ξηρής περιόδου, η οποία ξεκινά από το πρώτο δεκαήμερο του Απριλίου και τελειώνει στα μέσα Οκτωβρίου, β) τη μικρή μέση ετήσια βροχόπτωση η οποία ανέρχεται σε 563mm βροχής περίπου, γ) τις υψηλές τιμές της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας τους ξηρούς μήνες Ιούνιο (24,05°C), Ιούλιο (24,70°C) και Αύγουστο (26,35°C) και δ) τις χαμηλές τιμές τους υγρούς μήνες Δεκέμβριο (9,04) και Ιανουάριο (8,02°C). Από τα μετεωρολογικά δεδομένα προκύπτει επίσης ότι το χειμώνα στην λεκάνη καταγράφονται θερμοκρασίες κάτω από μηδέν (έως -10°C), ενώ το καλοκαίρι ξεπερνούν τους 40°C.

Από την εκτίμηση του υδατικού ισοζυγίου της λεκάνης απορροής προέκυψε ότι από το σύνολο των ετήσιων κατακρημνισμάτων που ανέρχονται σε 518mm περίπου, τα 336,7 mm που αντιστοιχούν στο 65% χάνονται μέσω της εξατμισοδιαπνοής, τα 5,2mm ήτοι το 10% αποτελούν την επιφανειακή απορροή και τα υπόλοιπα 129,5mm ήτοι το 25% κατεισδύουν προς τους γεωλογικούς σχηματισμούς και συμβάλλουν στον εμπλουτισμό των υδροφόρων συστημάτων της περιοχής.

Από την ανάπτυξη των γεωλογικών σχηματισμών στην περιοχή προκύπτει ότι το 62,70% της επιφάνειάς της καλύπτεται από ασβεστόλιθους (τριαδικό-ιουρασικούς και κρητιδικούς), το 14,25% από αλλουβιακές αποθέσεις, το 11,20% από κροκαλοπαγή πετρώματα πλειστοκαινικής ηλικίας, το 5,39% από σχηματισμούς του φλύσχη και το 5,12% από σύγχρονα και παλαιά κορήματα και κώνοι κορημάτων του τεταρτογενούς. Με πολύ μικρό

ποσοστό απαντώνται τα λατυποπαγή (0,08%), οι οφιόλιθοι (0,08%) και η σχιστοψαμμιτοκερατολιθική διάπλαση(1,19%).

Οι Υδρογεωολογικοί σχηματισμοί της περιοχής μελέτης ταξινομούνται σε υδροπερατούς, ημιπερατούς και υδατοστεγείς σχηματισμούς. Στους υδροπερατούς ταξινομούνται όλοι οι ανθρακικοί σχηματισμοί με έντονα φαινόμενα καρστικοποίησης, οι αλλουβιακές αποθέσεις των πεδινών τμημάτων, τα πλευρικά κορήματα και οι κώνοι κορημάτων. Στους ημιπερατούς σχηματισμούς εντάσσονται τα κροκαλοπαγή, λατυποπαγή, οι ψαμμιτικοί και ανθρακικοί ορίζοντες του φλύσχη και οι οφιόλιθοι, ενώ στους υδατοστεγείς εντάσσονται τα πετρώματα της σχιστοψαμμιτο-κερατολιθικής διάπλασης, δηλαδή οι αργιλικοί σχιστόλιθοι, καθώς επίσης οι μάργες και οι πηλοί των πλειστοκαινικών ζιγημάτων.

Στην περιοχή της λεκάνης, από υδρογεωολογικής άποψης, ιδιαίτερο ενδιαφέρον εμφανίζουν αφενός η κοκκώδης υδροφορία που αναπτύσσεται στις αλλουβιακές προσχώσεις, στις διαστρώσεις των κροκαλοπαγών ασβεστολιθικής σύστασης και στα πλευρικά κορήματα και κώνους κορημάτων και αφετέρου η καρστική υδροφορία που αναπτύσσεται στους ανθρακικούς σχηματισμούς. Η ροή του φρεάτιου ορίζοντα που αναπτύσσεται εντός των τεταρτογενών χαλαρών ζιγημάτων στο ανατολικό τμήμα της λεκάνης έχει γενική διεύθυνση νότια έως νοτιοανατολική και αναπτύσσεται σε απόλυτα υψόμετρα από 275 έως 320 μέτρα. Η ροή του καρστικού νερού έχει διεύθυνση από τα βόρεια προς τα νότια τμήματα της λεκάνης και αναπτύσσεται σε απόλυτα υψόμετρα από 15 έως 100 μέτρα. Ο καρστικός υδροφόρος, ο οποίος αποτελεί τμήμα του μεγάλου καρστικού υδροφόρου συστήματος Παρνασού-Ελικώνα-Σφίγγας-Υλίκης εκτονώνεται ανατολικά προς το επιφανειακό σύστημα της Υλίκης.

Στα πλαίσια της εργασίας συγκεντρώθηκαν συνολικά τριάντα τρία (33) δείγματα νερού, εκ των οποίων τα δεκατρία (13) αφορούν γεωτρήσεις κυμαινόμενου βάθους από 115 μέτρα έως 350 μέτρα, δώδεκα (12) πηγάδια με βάθος μέχρι 25 μέτρα περίπου, έξι (6) πηγές, ένα (1) υφάλμυρη πηγή και ένα (1) επιφανειακό νερό του π. Άσκρης,

Οι επιτόπιες μετρήσεις και τα αποτελέσματα των εργαστηριακών χημικών αναλύσεων έδειξαν ότι τα νερά της περιοχής εμφανίζουν ουδέτερο έως ελαφρώς αλκαλικό χαρακτήρα (pH:7,0-8,0), έχουν στην πλειονότητά τους υψηλή σκληρότητα (μ.τ. TH:23,2<sup>o</sup>dH), μέτρια αλατότητα (<1000 EC μS/cm) και μέτρια συνολική συγκέντρωση διαλυμένων αλάτων (μ.τ. TDS:730,1 mg/l).

Τα επικρατούντα ιόντα στα υπόγεια νερά των υδροφόρων συστημάτων της περιοχής, τόσο στα κοκκώδη μέσα και όσο και στα καρστοποιημένους ανθρακικούς σχηματισμούς, είναι τα κατιόντα  $Ca^{2+}$  και  $Mg^{2+}$  και από τα ανιόντα  $HCO_3^-$ ,  $SO_4^{2-}$  που είναι γεωγενούς κυρίως προέλευσης, επίσης τα  $NO_3^-$ , τα  $Na^+$  και  $Cl^-$ , που αποδίδονται κυρίως σε ανθρωπογενείς επιδράσεις (σηπτικοί βόθροι, χρήση λιπασμάτων, ζωικά απόβλητα κλπ.).

Τα δείγματα νερού της περιοχής εμφανίζουν τιμές συγκέντρωσης, πάνω από το ανώτατο επιτρεπτό όριο που θέτει η Ε.Ε. για τα πόσιμα νερά, στα βαρέα μέταλλα Ni, Cd και Pb. Η παρουσία τους αποδίδεται κυρίως σε γεωγενείς παράγοντες και κατά ένα ποσοστό σε ανθρωπογενείς παράγοντες, όπως η χρήση των λιπασμάτων πλούσιων σε αυτά τα μεταλλικά στοιχεία, των φυτοφαρμάκων και των ζωικών αποβλήτων.

Βασικό τροφοδότη των υπόγειων νερών της περιοχής με βαρέα μεταλλικά ιχνοστοιχεία αποτελούν τα πετρώματα του υποβάθρου, όπως οι ασβεστόλιθοι με τα υπολειμματικά τους προϊόντα διάλυσης τους που είναι κυρίως σιδηρομαγγανιούχα οξείδια, οι οφιόλιθοι και τα

προϊόντα διάβρωσής τους όπως είναι τα σιδηρονικελιούχα μεταλλεύματα, οι αργιλικό σχιστόλιθοι και οι σχηματισμοί του φλύσχη με τα αντίστοιχα προϊόντα αποσάθρωσής τους. Τα προϊόντα διάβρωσης, αποσάθρωσης και διάλυσης των συμπαγών πετρωμάτων του υποβάθρου μεταφέρθηκαν σταδιακά από τις ορεινές μάζες προς την τεκτονικά βυθιζόμενη λεκάνη Άσκλης-Δομβραΐνας, πληρώνοντας αυτή με ποικίλης συστάσεως κλαστικά υλικά και υπολειμματικά οξείδια. Αυτό συνεπάγεται τον εμπλουτισμό των υπόγειων νερών τόσο των υδροφόρων συμπαγών όσο και των χαλαρών σχηματισμών της περιοχής, με βαρέα μεταλλικά στοιχεία.

Με βάση την κατά Piper υδροχημική ταξινόμηση, τα υπόγεια νερά της λεκάνης και το επιφανειακό νερό του ποταμού Άσκλης κατατάσσονται στις ακόλουθες ομάδες:

- Ομάδα (1α) γαιοαλκαλικά οξυανθρακικά νερά με υδροχημικούς τύπους: Ca-HCO<sub>3</sub>, Ca-HCO<sub>3</sub>-Cl, Ca-Mg-HCO<sub>3</sub> και Mg-Ca-HCO<sub>3</sub>,
- Ομάδα (1β) γαιοαλκαλικά-οξυανθρακικά-θειικά νερά με υδροχημικούς τύπους: Ca-HCO<sub>3</sub>-SO<sub>4</sub>-Cl, Ca-HCO<sub>3</sub>-SO<sub>4</sub> και Ca-Mg-HCO<sub>3</sub>-SO<sub>4</sub>,
- Ομάδα (2) γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων, οξυανθρακικά και θειικά με υδροχημικούς τύπους: Ca-Mg-Na-HCO<sub>3</sub>, Ca-Na-Mg-HCO<sub>3</sub>-Cl και Mg-Na-Cl και
- Ομάδα (3) αλκαλικά-χλωροθειικά με υδροχημικό τύπο: Na-Ca-Cl.

Τα περισσότερα δείγματα (ποσοστό 78% περίπου) χαρακτηρίζονται ως φυσικά γαιοαλκαλικά όξινα-ανθρακικά νερά. Πρόκειται για φρέσκα νερά εμπλουτισμού που φιλοξενούνται σε ασβεστολιθικά και δολομιτικά πετρώματα (Ca-HCO<sub>3</sub>), σε μολασσικά ιζήματα (Ca-Mg-HCO<sub>3</sub>) και σχηματισμούς του φλύσχη (Ca,Mg-HCO<sub>3</sub>), με υψηλές διακυμάνσεις της μεταλλικότητάς τους.

Με βάση την κατά Duron υδροχημική ταξινόμηση τα δείγματα νερού κατατάσσονται σε τέσσερις ομάδες:

- στη 1<sup>η</sup> ομάδα με χημικό τύπο Ca-HCO<sub>3</sub> περιλαμβάνεται η πλειοψηφία των δειγμάτων νερού (73%) τα οποία αποτελούν φρέσκα νερά πλούσια σε Ca<sup>2+</sup> και HCO<sub>3</sub>, εμπλουτισμένα με Ca<sup>2+</sup> μέσω των διαδικασιών της διάλυσης των ορυκτών ασβεστίου,
- στη 2<sup>η</sup> ομάδα (6%) ανήκουν τα νερά με χημικό τύπο Mg-HCO<sub>3</sub> στα οποία επικρατούντα ιόντα Mg<sup>2+</sup> και HCO<sub>3</sub>, μέσω των διαδικασιών της κατιοανταλλαγής,
- στη 3<sup>η</sup> ομάδα (15%) είναι τα μεικτά νερά τα οποία έχουν κυρίως ακαθόριστο υδροχημικό τύπο και τα οποία βρίσκονται στο στάδιο της εξέλιξης (ανάμιξης ή διάλυσης) και
- στη 4<sup>η</sup> ομάδα (6%) ανήκουν τα υφάλμυρα νερά πλούσια σε Cl<sup>-</sup> και Na<sup>+</sup>, λόγω της θαλάσσιας διείσδυσης.

Για την διερεύνηση της προέλευσης των χημικών στοιχείων στα νερά της περιοχής εφαρμόστηκε η μέθοδος των ιοντικών λόγων: α) Mg/Ca, β) (Ca+Mg) / (Na+K), γ) (Ca+Mg)/(HCO<sub>3</sub>+SO<sub>4</sub>), δ) Ca / SO<sub>4</sub> και ε) Ca/(Ca+SO<sub>4</sub>) : Na/(Na+Cl), βάσει των οποίων προέκυψαν τα ακόλουθα: α) οι κύριες πηγές τροφοδοσίας των υδροφόρων στρωμάτων προέρχονται από ασβεστολιθικά πετρώματα, β) τα νερά των υδροφόρων οριζόντων εμπλουτίζονται συνεχώς με φρέσκα νερά, γ) σε μεγάλο ποσοστό των νερών υφίστανται εκτός από τις φυσικές επιδράσεις (διάλυση ανθρακικών πετρωμάτων κ.λπ.) και ανθρωπογενείς επιδράσεις που σχετίζονται με τη χρήση ποικίλης συστάσεως λιπασμάτων ή και άλλων παραγόντων και δ)

πρόκειται κυρίως για γλυκά νερά και μόνο στο δυτικό τμήμα της λεκάνης εντοπίζονται νερά επιβαρυνμένα μέσω της θαλάσσιας διείσδυσης.

Η γεωχημική προσομοίωση των υπόγειων υδάτων έδειξε ότι τα κύρια ορυκτά των πετρωμάτων της περιοχής που διαλύονται στα υπόγεια νερά και εμπλουτίζουν αυτά είναι τα ακόλουθα: τα εβαποριτικά άλατα αλίτης (NaCl), σιλβίτης (KCl) και ανυδρίτης (CaSO<sub>4</sub>), τα ανθρακικά ορυκτά ασβεστίτης (CaCO<sub>3</sub>) και δολομίτης (CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>), ο χαλαζίας (SiO<sub>2</sub>) και οι άστριοι (NaAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>).

Από τους δείκτες κορεσμού (SI) προέκυψε ότι τα νερά της περιοχής μελέτης εμφανίζουν συνθήκες κορεσμού στα ορυκτά ασβεστίτη, αραγονίτη (CaCO<sub>3</sub>) και δολομίτη CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> γεγονός που δηλώνει ότι τα υπόγεια νερά της περιοχής φιλοξενούνται σε ανθρακικά περιβάλλοντα και είναι πλούσια σε ιόντα Ca<sup>2+</sup> και Mg<sup>2+</sup>. Επίσης είναι κορεσμένα στα ορυκτά αιματίτη (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) και γκαιτίτη (FeOOH), προφανώς λόγω της έντονης παρουσίας των σιδηρομαγνητιούχων οξειδίων και σιδηρονικελιούχων μεταλλευμάτων στο υπέδαφος της περιοχής. Γενικά τα νερά δεν εμφανίζουν συνθήκες κορεσμού με τη γύψο (CaSO<sub>4</sub>•2H<sub>2</sub>O), ανυδρίτη (CaSO<sub>4</sub>) και αλίτη (NaCl), γεγονός που δηλώνει ότι επικρατούν οι συνθήκες διαλυτοποίησης σε αυτά τα ορυκτά.

Η παραγοντική ανάλυση υποδεικνύει την έντονη συνεισφορά των χαλαρών τεταρτογενών ιζημάτων και των συμπαγών πετρωμάτων του υποβάθρου, όπου κυριαρχούν οι ασβεστόλιθοι και οι μικρής έκτασης εμφανίσεις των σχιστόλιθων, οφιόλιθων και σχηματισμοί του φλύσχη στα υπόγεια ύδατα της περιοχής. Οι σχηματισμοί αυτοί αποτελούν τους κύριους παράγοντες που συμβάλουν στον εμπλουτισμό των εδαφών και των υπόγειων νερών με χημικά στοιχεία. Βάσει των στατιστικών αποτελεσμάτων, εκτιμάται ότι ένα ποσοστό από τα διαλυμένα στοιχεία στα υπόγεια νερά προέρχεται από ανθρωπογενείς παράγοντες. Το γεγονός αυτό εκδηλώνεται από την έντονη παρουσία των στοιχείων εκείνων που είναι προϊόν της έκπλυσης από γεωργικά λιπάσματα, από ζωικά απόβλητα και από μη στεγανούς βόθρους. Η ύπαρξη νιτρικών και φωσφορικών ιόντων που αναδεικνύουν αυτήν την ανθρωπογενή ρύπανση συνυπάρχουν στην 1<sup>η</sup>, 2<sup>η</sup> και 3<sup>η</sup> ομάδα παραγόντων με στοιχεία γεωγενούς προέλευσης, αποδεικνύοντας την κατ' εξακολούθηση ρύπανση των υδροφόρων συστημάτων της περιοχής μελέτης.

Γενικά η στατιστική και παραγοντική ανάλυση έδειξε την συνύπαρξη των παραγόντων εκείνων που συμβάλλουν στην διαμόρφωση της ποιοτικής σύστασης των υπόγειων νερών της περιοχής όπως είναι οι παράγοντες γεωγενούς προέλευσης των στοιχείων (Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>), τα στοιχεία ανθρωπογενούς προέλευσης (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>-</sup>, K<sup>+</sup>) και τα στοιχεία της θαλάσσιας διείσδυσης (SO<sub>4</sub><sup>-</sup>, Na<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>).

Σύμφωνα με το διάγραμμα Richards, αναφορικά με την καταλληλότητα των νερών για άρδευση, προκύπτει ότι από το σύνολο των δειγμάτων νερού το 50% ανήκει στην κατηγορία C2.S1 και εμφανίζουν μικρό κίνδυνο αλκαλίωσης και μέτριο κίνδυνο αλατότητας, ενώ το 46,87% στην κατηγορία C3.S1 και παρουσιάζουν μικρό κίνδυνο αλκαλίωσης και υψηλό κίνδυνο αλατότητας. Εξαιρέση αποτελούν τα υπόγεια νερά του καρστικού υδροφόρου που εντοπίζονται στην περιοχή του οροπεδίου Λικέρι Δομβραίνας, τα οποία ανήκουν στην κατηγορία C4-S2 και εμφανίζουν μέτριο κίνδυνο αλκαλίωσης και πολύ υψηλό κίνδυνο αλατότητας. Στην εν λόγω περιοχή επικρατούν υφάλμυρα υπόγεια νερά λόγω εισχώρησης της θάλασσας σε αυτά. Παρόμοια αποτελέσματα της ταξινόμησης καταλληλότητας των νερών προκύπτουν από την εφαρμογή της μεθόδου Wilcox.

Η παρούσα Μεταπτυχιακή Διατριβή αποτελεί την πρώτη εμπειριστατωμένη υδρογεωχημική-περιβαλλοντική έρευνα που πραγματοποιήθηκε στη λεκάνη Ασκρης-Δομβραΐνας. Τα αποτελέσματα των υπαίθριων μετρήσεων και εργαστηριακών αναλύσεων, οι εκτιμήσεις και οι υποθέσεις που παρουσιάζονται στην γενική αξιολόγηση της επικρατούσας περιβαλλοντικής κατάστασης αναδεικνύουν αφενός την έλλειψη των μέτρων ορθολογικής διαχείρισης των υδατικών πόρων και αφετέρου την από επιστημονικής άποψης αναγκαιότητα εμβάθυνσης της έρευνας της εν λόγω περιοχής.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

### **Α. Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία**

- Agrawal Y. K., Raj K. and Patel, M., 1978. Metal Contents in the drinking Water of Cambay. Water, Air and Soil Pollution. p:429-431.
- Aliasgharpour M., Marjan Farzami, 2013. Trace Elements in Human Nutrition, Ministry of Health & Medical Education-Tehran-Iran, 115-128.
- Alloway B.J., Davies B.E. 1971. Heavy metal contents of plants growing on soils contaminated by lead mining. J. Agr. Sci. Cambridge, 76, 321-323.
- Ambraseys N.N., Jackson J.A., 1997. Seismicity and strain in the Gulf of Corinth (Greece) since 1694. Journal of Earthquake Engineering 1 (3), 433-474.
- Ambraseys N.N., Jackson J.A., 1990. Seismicity and associated strain of central Greece between 1890 and 1988. Geophysical Journal International 101, 663-708.
- Ambraseys N.N., Jackson J.A., 1998. Faulting associated with historical and recent earthquakes in the Eastern Mediterranean region. Geophysical Journal International 133, 390-406.
- Apollov B.A., 1963. A study of rivers, Izdat. Moscow University, Moscow.
- Appelo & D. Postma, 2005, Geochemistry, Groundwater and Pollution, Amsterdam, the Netherlands. Σελίδες 71 και 195-198.
- Araya, M., Olivares M. and Pizarro F., 2007, Copper in human health', Int. J. Environment and Health, Vol. 1, No. 4, pp.608-620.
- Atkinson TC, Smith DI, Lavis JJ, Whitaker RJ (1973) Experiments in tracing underground waters in limestones. J Hydrol 19:323-349
- Bakalowicz M (1975) Géochimie des eaux karstiques et karstification. (Karst groundwater geochemistry and karstification). Annales de Spéléologie 30(4):581-589
- Bakalowicz M (1994) Water geochemistry: water quality and dynamics. In: Stanford J, Gibert J, Danielopol D (eds) Groundwater ecology. Academic Press, pp 97-127
- Bakalowicz M (2003) Epikarst, the skin of karst. Conference on Epikarst, The Karst Water Institute, Shepherdstown, West Virginia (in press)
- Bakalowicz M., 2005, Karst groundwater: a challenge for new resources.
- Bernward Hölting και Wilhelm Georg Coldewey, 2009 Hölting B., Coldewey WG (2013) Allgemeine Hydrogeologie, Spectrum Academic Publishing House, Χαϊδελβέργη
- Bingham FT., Page AL., Mitchell GA., Strong JE., 1979. Effects of Liming an Acid Soil Amended with Sewage. Sludge Enriched with Cd, Cu, Ni, and Zn on Yield and Cd Content of Wheat Grain. Journal of Environmental Cluality, Vol 8(2):202-207.
- Bogli A., 1980, Karst Hydrology and Physical Speleology, Springer- Verlag, Berlin Heidelberg New York.



- Bride M., 1994. *Environmental Chemistry of Soils*. Oxford University Press, New York, pp.406.
- Brummer, G.W., Gerth, J., Tiller, K.G., 1988. Reaction kinetics of the adsorption and desorption of nickel, zinc and cadmium by goethite. I. Adsorption and diffusion of metals. *J. Soil Sci.* 39, 37–51.
- Burdon, D. and N. Papakis. 1963. *Handbook of karst Hydrogeology with special Reference on Carbonate Aquifers of the Mediterranean Region*. I.G.S.R., p. 276, Athens.
- Chen Z., Auler A., Bakalowicz M., Drew D., Griger F., Hartmann J., Jiang G., Moosdorf N., Richts A., Stevanovic Z., Veni O. & Goldscheider N. 2017., Το έργο χαρτογράφησης του υδροφόρου ορίζοντα του Παγκόσμιου Καρστ - Έννοια, Χαρτογράφηση και Χάρτης της Ευρώπης, *Hydrogeology Journal*, 25, 771-785.
- Chorley, R.J., 1957. Illustrating the laws of morphometry. *Geological Magazine*, 94, 140-150.
- Cobalt Compounds.: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-09/documents/cobalt-compounds.pdf>.
- Deer W. and Howie R. and Zussman J., *An introduction to the rock-forming minerals*, London: Longman, 1975.
- Demek J., 1972. *Manual of detailed geomorphological mapping*. International Geographic Union.
- Dhal B., Thatoi H.N. Das, N.N. and Pandey B.D. 2013. Chemical and microbial remediation of hexavalent chromium from contaminated soil and mining/metallurgical solid waste. Δημοσίευση στο ELSEVIER, 15 April 2013.
- Dingman S. L., 1994. *Physical Hydrology, Part 1, Hydrology: Basic Concepts and Challenges*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- Domenico P. A., and F. W. Schwartz (1990), *Physical and Chemical Hydrogeology*, John Wiley, New York.
- Dossis, P. and Warren, L. J., 1980, Distribution of heavy metals between the minerals and organic debris in a contaminated marine sediment, in *Contaminants and Sediments*, Ann Arbor Science Publishers, 119-39.
- Dreybrodt W (1998) Limestone dissolution rates in karst environments. *Bulletin d'Hydrogéologie, Centre d'Hydrogéologie, Université de Neuchâtel*, 16:167–183.
- Ford D, Williams DW. 1989. Καρστ γεωμορφολογία και υδρολογία. Hyman, Βοστώνη
- Françoise, R. and Alain, B. 1991. Aqueous geochemistry of chromium. Δημοσίευση στο ELSEVIER. July 1991, Pages 807-816.
- Friberg L, Nordberg GF, Vouk VB, 1986, *Handbook of the toxicology of metals*. Vol. II. Amsterdam, Elsevier, pp. 123,185-188, 445-450.
- Galal-Gorchev H ,1991, Dietary intake of pesticide residues, cadmium, mercury and lead. *Food Additives and Contaminants*, 8:793–806.

- Gascoyne M, Benjamin GJ, Schwarcz HP, Ford DC (1979) Sea-level lowering during the Illinoian glaciation: evidence from a Bahama “blue hole”. *Science* 205:806–808
- Goldsworthy, M., Jackson, J.A., 2000. Active normal fault evolution in Greece revealed by geomorphology and drainage patterns. *Journal of Geological Society of London* 157, 967-981.
- Gregory K.J., Walling D.E., 1973. Drainage basin form and process. A Geomorphological Approach. New York, John Wiley & Sons Co., p. 456
- Guertin, J., Jacobs, J. and Avakian, C. Chromium (VI) Handbook, CRC Press, 2005, 784.
- Heath, R. C, 1983, Basic groundwater hydrology, US Geol. Surv. Water Supply Pap. 2220, σελίδες 14 -70.
- Hem, J.D., 1977, Reactions of metal ions at surfaces of hydrous iron oxide, *Journal of Geochem.Cosmochem. Acta*, 41, pp 527–538.
- Horton R.E., 1932. Drainage-basin characteristics. *Trans. Amer. Geophys. Union*, 13, 350-361.
- Horton R.E., 1945. Erosional development of streams and their drainage basin: a hydrophysical approach to quantitative morphology. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 56, 275370.
- Kabata-Pendias A., Pendias H., 2001, Trace elements in soils and Plants, 3rd Edition, CRC Press, Boca Raton, London, pages.222-230.
- Kabata□Pendias A.,Pendias H., 1992. Trace Elements in Soils and Plants. CRC Press LLC, Edition, p: 251, 271□277.
- Kasprzak K.S, Sunderman F.Wand Salmikow Jr. K, 2003, Nickel carcinogenesis. Δημοσίευση στο Elsevier. *Mutat. Res.* 533.p:67–97.
- Keller E.A., Pinter N., 2002. Active Tectonics: Earthquakes, Uplift, and Landscape. 2nd edition Prentice Hall: Upper Saddle River, NJ, pp.362.
- Kelson K.I., Wells S.G., 1989. Geological influences on fluvial hydrology and bedload transport in small mountainous watersheds, northern New Mexico, USA. *Earth Surf. Processes Landforms*, 14, pp. 671-690.
- Langguth H.- Voigt R. 2004, Kontamination des Grundwassers- Hydrogeologische Methoden, Springer.
- Lege T., Kolditz O., Zielke W. 2013. Handbuch zur Erkundung des Untergrundes von Deponien und Altlasten: Band 2: Strömungs-und Transport model lie rung.
- Matthess G. 1982. The Properties of Groundwater. New York, Chichester, Brisbane, Toronto, Singapore (John Wiley & Sons) (σελίδες 212-213).
- Mc Laughlin, F.A., Carmack, E.C., Macdonald, R.W., Bishop, J.K.B. 1996. Physical and geochemical properties across the Atlantic/Pacific water mass front in the southern Canadian Basin. *Journal of Geophysical Research*, 101, 1183-1197.

- Meinzer O.E., 1923, The occurrence of ground water in the United States with a discussion of principles, σελίδες 1-10 (books.google.com)
- Melton M.A., 1958. Geometric properties of nature drainage systems and their representation in an E-4 phase space, *J. of Geology*, 66, pp. 35-54.
- Melton M.A., 1958. Geometric properties of nature drainage systems and their representation in an E-4 phase space, *J. of Geology*, 66, pp. 35-54.
- Miller V.C., 1953. A quantitative geomorphic study of the drainage basin characteristics in the Clinch Mountain Area Virginia and Tennessee. Tech. Rep. No3, Dept. of Geology, Columbia University, New York, p. 45.
- Molina M., Aburto F., Calderón R., Cazanga M., Escudey M. 2009. Trace Element Composition of Selected Fertilizers Used in Chile: Phosphorus Fertilizers as a Source of Long-Term Soil Contamination. *Soil and Sediment Contamination: An International Journal*, 18, 497-511.
- Moore J. and Ramamoorthy S. 1984. Heavy Metals in Natural Waters: Applied Monitoring and Impact Assessment. Springer-Verlag New York. Inc. p: 62-65, 82-85, 167-170.
- Nag SK, Chakraborty S (2003) Influence of rock types and structures in the development of drainage network in hard rock area. *J Indian Soc Remote Sens* 31(1):25-35
- Nriagu J.O. & Pacyna, J.M. Quantitative assessment of worldwide contamination of air, water and soils by trace metals. *Nature*, 333: 134-139 (1988).
- Page A.L., Bingham F.T., 1973, Cadmium residues in the environment. *Residue Rev* 48(0):144.
- Pallard B., Castellarin A. and Montanari . 2009. A look at the links between drainage density and flood statistics. *Δημοσίευση στο Hydrology and Earth System Sciences*. 7 July 2009, 1019-1029.
- Palmer AN ,1981, A geological guide to Mammoth Cave National Park. Teaneck, N.J. : Zephyrus Press.
- Papazachos B.C., Comninakis P.E., Karakaisis G.F., Karakostas B.G., Papaioannou, Ch.A., Papazachos C.B. and E.M. Scordilis (2000). A catalogue of earthquakes in Greece and surrounding area for the period 550BC-1999, Publ. Geophys. Laboratory, University of Thessaloniki, 1, 333pp.
- Papazachos B.C., Comninakis P.E., Scordilis E.M., Karakaisis G.F. and C.B. Papazachos (2010). A catalogue of earthquakes in the Mediterranean and surrounding area for the period 1901 - 2010, Publ. Geophys. Laboratory, University of Thessaloniki.
- Reddy G.P.O., Maji A.K., Gajbhiye K.S., 2004. Drainage morphometry and its influence on landform characteristics in a basaltic terrain, Central India - a remote sensing and GIS approach. *International Journal of Applied Earth Observations and Geoinformation*, Vol. 6, pp.1-16

- Rodriguez-Iturbe, I., Rinaldo, A., 1997. *Fractal River Basins*. Cambridge University Press, New York.
- Samynathan M., 2018, Mmorphometric analysis of drainage basin using gis techniques a case study of Mmaravathi river basin, Tamilnadu, Department of Industries and Earth Sciences, Tamil University , Article (PDF Available) · June 2018
- Schumm S.A., 1956. Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 67, pp.597-646.
- Shiklomanov, I.A.and Sokolov, A.A., 1983.Methodological Basis of World Water Balance Investigation and Computation, proceedings of the Hamburg Workshop, August 1981, IARS Publ. n. 148, pp. 77–91.
- Smith I.C. and Carson B.L., 1981, *Trace metals in the environment*. Volume 6-Cobalt, Ann Arbor: Ann Arbor Science Publishers, 1202 pp.
- Snodgrass W.J.,1980. Distribution and behavior of nickel in the aquatic environment, in *Nickel in the environment*. Nriagu, J.O., Ed. , John Wiley & Sons, New York. p:203-274.
- Sotiriadis L., Astaras T., 1977. A comparison of drainage densities as computed from topographic maps, aerial photographs and field survey. *Annales Geologiques des Pays Helleniques*, 28, pp. 145-159.
- Strahler N.A., 1952. Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. *Geol.Soc. Amer. Bull.*, 63, 913-920.
- Strahler N.A., 1954. Statistical analysis in geomorphic research. *Jour. Geol.*, 62, 1-25.
- Strahler N.A., 1957. Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Amer. Geophys. Union, Trans.*, 38 (6), 1117-1142.
- Strahler N.A., 1958. Dimensional analysis applied to fluvially eroded landforms. *Bull. Geol. Soc. Amer.*, 69, pp. 279-300.
- Strahler N.A., 1964. Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks. *Handbook of applied Hydrology*. V.T. Chow (ed.), New York, Mac Graw-Hill.Section 4-II.
- Thornthwaite C.W., and Mather, J.R., 1957. *Instructions and Tables for Computing Potential Evapotranspiration and the Water Balance*. Drexel Institute of Technology, Laboratory of Climatology, Publications in Climatology 10(3), 311 pp.
- Thornwaite C.W., 1948. An approach toward a rational classification of climate. *The Geographical Review*, 38, I, p. 55-94, New York.
- Turc L., 1951. Nouvelle formule pour le calcul du bilan de l' eau en fonction des valeurs moyennes annuelles des precipitations et de la temperature. *C.R. Ac. Sc. Vol 233*.
- Voudouris K.S., Lambrakis N.J., Papatheodorou G., Daskalaki P., 1997. An Application of Factor Analysis for the Study of the Hydrogeological Conditions in Plio-Pleistocene Aquifers of NW Achaia (NW Peloponnesus, Greece). *Mathem. Geol.* 29 (1), 43-59.

- WHO, 2011, Cadmium in drinking-water. Background document for preparation of WHO Guidelines for drinking-water quality. Geneva, World Health Organization (WHO/SDE/ WSH/03.04/80/Rev/1).
- Woodyer K. D. and Brookfield, M.,1966. The land system and its stream net, CSIRO Div. Of Land resources Tech. Mem., 66/5.
- World Health Organization, 2004. Sulfate in Drinking-water. Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality.
- World Health Organization, 2006. Cobalt and inorganic cobalt compounds, by James H. Kim, Herman J. Gibb, Paul Howe.
- World Health Organization, 2018. Lead poisoning and health, Retrieved 17 February 2019.
- Younger, P.L., 2007. Groundwater in the environment: an introduction Blackwell: London, Natural Groundwater Quality, pg 97-98.

## **B. Ελληνική Βιβλιογραφία**

- Αγγελίδης Β, 2010. Ανάλυση Δεδομένων ,Παραγοντική Ανάλυση, Πανεπιστημιακές Σημειώσεις, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης.
- Αλιφραγκής Δ., 2008, Το έδαφος, τόμος Ι, Γένεση - Ιδιότητες – Ταξινόμηση, Πρώτη Έκδοση, Εκδόσεις Αιβαζή, σελ. 154 – 175, 231 – 247, 405 – 487.
- Αντωνόπουλος Β., 2008. Ποιότητα και Ρύπανση Υπόγειων Νερών, Θεσσαλονίκη, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Γεωπονίας, Τομέας Εγγείων Βελτιώσεων, Εδαφολογίας και Γεωργικής Μηχανικής. Πηγή: Ελληνική Επιτροπή για τη διαχείριση Υδατικών Πόρων, [http://www.waterinfo.gr/eedyp/Paros\\_papers/antonopoulos\\_b.pdf](http://www.waterinfo.gr/eedyp/Paros_papers/antonopoulos_b.pdf). Ανακτήθηκε στις 25/7/2008.
- Αστάρης Θ., 1980, Ποσοτική Γεωμορφολογική Μελέτη τμήματος των Δ. Πλευρών του όρους Βέρτισκον (Κ. Μακεδονία), Διδακτορική Διατριβή, Θεσσαλονίκη.
- Βαλκανιώτης Σ. ,2009. Συσχέτιση Νεοτεκτονικών Δομών και Σεισμικότητας στην Ευρύτερη Περιοχή του Κορινθιακού Κόλπου (Κεντρική Ελλάδα). Διδακτορική Διατριβή Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Γεωλογίας και Παλαιοντολογίας, σελ. 149-154, Θεσσαλονίκη.
- Βουδούρης Κ., 1995. Υδρογεωλογικές συνθήκες του ΒΔ τμήματος του νομού Αχαΐας. Πάτρα.
- Βουδούρης 2009, Υδρολογία υφάλμυρων πηγών, Καθηγητής Α.Π.Θ. Τμήμα Γεωλογίας (<https://docplayer.gr> ).
- Βουδούρης Κ., (2009). Υδρογεωλογία Περιβάλλοντος, υπόγεια νερά & περιβάλλον. Εκδόσεις Τζιόλα.
- Γιαννάτος Γ., (1999): Υδροδυναμική ανάλυση υδροφορίας ανθρακικών σχηματισμών με επικράτηση ασυνεχειών. Η λεκάνη του Άνω Βουραϊκού. Διδακτορική Διατριβή Πανεπιστήμιο Αθηνών. Σελίδες 141.

- Golubovic-Δεληγιάννη, Miljana Radomir, 2011, Καρστική γεωμορφολογική εξέλιξη στη Δυτική Ελλάδα. Η περίπτωση της περιοχής του Ξηρόμερου. Διαδακτορική Διατριβή, Χαροκόπειο Παν/μιο, Αθήνα.
- Δάνδολος Η. και Β. Ζόροπας Β. 2010: Καταγραφή και αποτίμηση των υδρογεωλογικών χαρακτήρων των υπόγειων νερών και υδροφόρων συστημάτων της Χώρας. Γ'ΚΠΣ Επιχειρησιακό Πρόγραμμα Ανταγωνιστικότητας, Τελική Έκθεση, Υδατικό Διαμέρισμα Α. Στερεάς Ελλάδος (07), Αθήνα, ΙΓΜΕ.
- Ειδική Γραμματεία Υδάτων. Σχέδιο Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας των Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Ανατολικής Στερεάς Ελλάδας έτους 2017. Ανάλυση Χαρακτηριστικών Περιοχής και Μηχανισμών Πλημμύρας του Υδατικού Διαμερίσματος Ανατολικής Στερεάς Ελλάδας (GR07) (Πηγή: <https://floods.ypeka.gr>)
- Ελικώνας Παρνασσός Αναπτυξιακή Ανώνυμη Εταιρεία Ο.Τ.Α., 2016, Στήριξη για τοπική ανάπτυξη μέσω του LEADER (ΤΑΠΤοΚ – ΤΟΠΙΚΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΕ ΠΡΩΤΟΒΟΥΛΙΑ ΤΟΠΙΚΩΝ ΚΟΙΝΟΤΗΤΩΝ)» ΤΟΥ ΠΑΑ 2014-2020.
- ΕΣΥΕ (Εθνική Στατιστική Υπηρεσία Ελλάδος) 2001 και 2011. Απογραφή πληθυσμού 2001 και 2011, Αθήνα
- Θεός Ν. 2010. Περιβαλλοντικές επιβαρύνσεις σε έδαφος και νερό περιοχής Μεγάρων. Μεταπτυχιακή Εργασία Γ.Π.Α.
- Θεοχάρης Μ., 2015, Αρδεύσεις (Θεωρία). ΤΕΙ Ηπείρου. Διαθέσιμο από: <http://eclass.teiep.gr/courses/TEXG108>.
- Μπορνόβας Ι., Ελευθερίου Α. και Γαϊτανάκης Π, 1984, Εκπόνηση του Γεωλογικού Χάρτη της Ελλάδας κλίμακας 1:50.000, Αθήνα και συγκεκριμένα το Φύλλο Καπαρελίου. Εκδόσεις Ι.Γ.Μ.Ε.
- Μπορνόβας Ι., Γαϊτανάκης Π. και Σπυριδόπουλο Π., 1984, Εκπόνηση του Γεωλογικού Χάρτη της Ελλάδας κλίμακας 1:50.000, Αθήνα και συγκεκριμένα το Φύλλο Περαχώρα. Εκδόσεις Ι.Γ.Μ.Ε.
- Τατάρης Α., Κούνης Γ. κ.α., 1971, Εκπόνηση του Γεωλογικού Χάρτη της Ελλάδας, κλίμακας 1:50.000, Αθήνα και συγκεκριμένα το Φύλλο Λιβαδειά. Εκδόσεις Ι.Γ.Μ.Ε.
- Τατάρης Α., Κούνης Γ. κ.α., 1970, Εκπόνηση του Γεωλογικού Χάρτη της Ελλάδας, κλίμακας 1:50.000, Αθήνα και συγκεκριμένα το Φ.Βάγια. Εκδόσεις Ι.Γ.Μ.Ε.
- Κακαβάς Ν., 1995. Υδρολογικό ισοζύγιο σε καρστικές περιοχές της Κεντρικής Ελλάδος. Annales geologiques des pays Helleniques τ. XXXVI Αθήνα.
- Καλλέργης Γ., Χριστοδούλου Θ., .1972. Σχέσεις ενεργού κατεισδύσεως και βροχοπτώσεως εις τις αλλουβιακές αποθέσεις περιοχής Καλαμπάκας. Δελτίο Ελλ. Γεωλ. Εταιρ. ΙΧ/1, σελ. 119-128
- Καλλέργης Γ., 2000: Εφαρμοσμένη Περιβαλλοντική Υδρογεωλογία. 2η έκδοση, τόμος Β, Τ.Ε.Ε. Αθήνα.

- Καλογήρου Ε. (1999): Το πόσιμο νερό και η ανθρώπινη υγεία. -Β' έκδ., 282 σελ., Διεθνές Τεχνικό Βιβλιοπωλείο Παπασωτηρίου, Αθήνα.
- Καλύβας Δ., 2003, Εδαφολογία και κρασί. Αξιολόγηση εδαφών - Τοποκλιματικές συνθήκες, Καθηγητή Εδαφολογίας του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, Αθήνα
- Κανελλοπούλου Γεωργία, 2004 Προσδιορισμός και αξιολόγηση ρύπανσης υπεδάφους σε διυλιστήριο πετρελαίου με χρήση τεχνικών fingerprinting και πολυπαραμετρικής ανάλυσης, Μεταπτυχιακή διατριβή Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος.
- Κάντας Γ. και Τηνιακός Λ.,1988. Ενεργός κατείδυση και γενική υδρογεωλογική συμπεριφορά των κροκαλοπαγών Μεσσηνίας στο δυτικό τμήμα των βουνών της Κυπαρισσίας. Δελτίο Ελλ. Γεωλ. Εταιρ. X/3, 57-77.
- Καπράρα, Ε. 2016. Μελέτη απομάκρυνσης εξασθενούς χρωμίου από το πόσιμο νερό. Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Χημικών Μηχανικών ΑΠΘ.
- Καρακίτσιος Β. και Ζαμπετάκη-Λέκκα Α., 2011, Σημειώσεις Εργαστηρίου Στρωματογραφίας, Τμήμα Γεωλογίας ΕΚΠΑ.
- Καρκάνας, Α. 2006, Ολοκαινικά περιβάλλοντα απόθεσης και η σύγχρονη ιζηματολογία του Βοιωτικού Κηφισού ποταμού. Διδακτορική Διατριβή στο Πανεπιστήμιο Πατρών. Σχολή Θετικών Επιστημών. Τμήμα Γεωλογίας.
- Καροτσιέρης Ζ.1995, Νεοτεκτονικός χάρτης της Ελλάδας , “Φύλλο Λιβαδειά”, Κλίμακα 1: 100.000, Ε.Κ.Π.Α. / ΤΟΜ.ΔΥΝ.ΤΕΚΤ.ΕΦ.ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ.
- Κασάπη Κ.Α., Αγγελάκη Γ., Κανλη Λ., κ.α., 2009, Καθορισμός τύπων επιφανειακών υδάτων σύμφωνα με την Οδηγία 2000/60 ΕΚ – Εφαρμογή με τη χρήση Γ.Σ.Π. στο Ελληνικό τμήμα της λεκάνης απορροής του Νέστου ποταμού, Δελτίο Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας τομ. XXXXII, 2009.
- Κατσέλης Σ., 2008. Ποσοτική γεωμορφολογική ανάλυση του υδρογραφικού δικτύου του Βολιναίου ποταμού. Πτυχιακή εργασία, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Τμήμα Γεωγραφίας, Αθήνα, σελ. 141.
- Κατσιακίου Χ. 1992. Γεωλογία της Ελλάδας . Οργανισμός Εκδόσεως Διδακτικών Βιβλίων Αθήνα.
- Κομκοτός Ε., 2008, Χλωριδική και φυτοκοινωνιολογική μελέτη Ελικώνας Ξεροβούνι Νεραϊδολάκκωμα Βοιωτία Στερεά Ελλάδα. Διδακτορική Διατριβή Πανεπιστήμιο Πατρών. Σχολή Θετικών Επιστημών. Τμήμα Βιολογίας. Τομέας Βιολογίας Φυτών.
- Κουϊμτζής Θ., Φυτιάνου Κ. & Σαμαρά-Κωνσταντίνου Κ. (1998): Χημεία περιβάλλοντος. - Α' έκδ., 376 σελ. University Studio Press, Θεσσαλονίκη.
- Κουσουρήs Θ. Υδατικοί πόροι (Προέλευση, Ταξινόμηση, Κατανομή, Αποθέματα, Υγρότοποι, Αξιοποίηση, Διαχείριση) (πηγή <https://docplayer.gr>).
- Κουτσογιάννης Δ., 1999, Το υδροδοτικό σύστημα της Αθήνας, Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

- Κουτσογιάννης, Δ., Ξανθόπουλος, Θ, 1999, Τεχνική Υδρολογία, Έκδοση 4, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.( <http://www.itia.ntua.gr>).
- Κουτσογιάννης Δ. και Ξανθόπουλος,Θ.1999, Τεχνική Υδρολογία, Έκδοση 3, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 418 pages.
- Λαμπράκης Ν., 1987.Υδρογεωλογικές συνθήκες ευρείας περιοχής Ιεράπετρας. Διδακτορική Διατριβή στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (ΕΜΠ). Τμήμα Μηχανικών Μεταλλείων Μεταλλουργών.
- Λαμπράκης Ν., Νικολακόπουλος, Κ., Κατσάνου, Κ., 2014, Υδρολογία με χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS) και Δεδομένων Τηλεπισκόπησης.
- Λαμπράκης Ν. (2018): Μαθήματα Εφαρμοσμένης και Περιβαλλοντικής Υδρογεωλογίας. Εκδόσεις Liberal Books, σελ. 624.
- Λάμπας Ι. 2018. Εφαρμοσμένη υδρογεωλογική έρευνα παράκτιων υδατικών συστημάτων: η περίπτωση του παράκτιου τμήματος Αταλάντης Ν. Φθιώτιδας. Διδακτορική διατριβή Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (ΕΜΠ). Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων - Μεταλλουργών. Τομέας Γεωλογικών Επιστημών
- Λατινόπουλος Π. Δ., 1986, Υδραυλική των Υπόγειων Ροών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη
- Μαριολόπουλος Η.Γ. 1965: Η επίδραση του Κορινθιακού κόλπου επί την μετεωρολογικών στοιχείων της περιοχής του. Αθήναι.
- Μάρης Φ., Π. 2015. Τεχνική Υδρολογία, Κεφάλαιο 2ο : Κατακρημνίσματα. Τμήμα Δασολογίας & Διαχείρισης Περιβάλλοντος & Φυσικών Πόρων. Εργαστήριο Διευθέτησης Ορεινών Υδάτων και Διαχείρισης Κινδύνου. Προπτυχιακές Σημειώσεις στην ιστοσελίδα (<https://docplayer.gr/34870322-Tehniki-ydrologia-kefalaio-2o-katakrimnismata-fotios-p-maris.html>)
- Μαρίνος Π., 1975. Ενεργός κατεΐσδυσις εντός ασβεστόλιθων. Σφάλματα κατά τον υπολογισμό εκ διαφοράς μέσω του υδρολογικού ισοζυγίου. Ισχύς των συνήθως εξισώσεων πραγματικής εξατμισοδιαπνοής εις την Ελλάδα. Ann. Geol. Pays Hell., v. 27.
- Μάστορης Κ., 1967. Υδρογεωλογική έρευνα στην ασβεστολιθική περιοχή Νοτίου Γκιώνας, Αθήνα. Διατριβή Ε.Μ.Π.
- Μουντράκης Δ., 1985, Γεωλογία της Ελλάδας, Θεσσαλονίκη, σελ. 141-156
- Μπεάζη Μ. , 2015, Δομή της γης, πηγή: [www.kallipos.gr](http://www.kallipos.gr)
- Μπέλος Θ, 2000.Γεωμορφολογική μελέτη της περιοχής Δ. Ελικώνα, Ν. Παρνασσού, ΝΑ. Γκιώνας Διδακτορική διατριβή Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών (ΕΚΠΑ). Σχολή Θετικών Επιστημών. Τμήμα Γεωλογίας. Τομέας Γεωγραφίας – Κλιματολογίας.



- Νικολακόπουλος. Κ., 2015. Υδρολογία με χρήση γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών και δεδομένων τηλεπισκόπησης, κεφ.10 Χωρική παρεμβολή. Τμήμα Γεωλογίας Πανεπιστήμιο Πετρών (<http://hdl.handle.net> 27).
- Παγούνης Μ., Γκατζογιάννης Α., Γκέρτσος Θ., 1989. Υδρογεωλογικός Χάρτης Ελλάδος, Φύλλο Βάγια, 1:50 000. Εκδόσεις Ι.Γ.Μ.Ε.
- Πανούση Γ. Ε., 2018. Διερεύνηση βιολογικών μεθόδων απομάκρυνσης ολικού και εξασθενούς χρωμίου από τα υπόγεια ύδατα. Διδακτορική διατριβή, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Παπαθεοδώρου Γ. και Φερεντίνος Γ., 1994. Εφαρμογή μεθόδων στατιστικής πολυμεταβλητής ανάλυσης σε προβλήματα μόλυνσης του θαλάσσιου περιβάλλοντος από βαρέα μέταλλα. Πρακτικά 3ου Πανελληνίου Γεωγραφικού Συνεδρίου, 442-469.
- Παπανικολάου Δ., 1986. Γεωλογία της Ελλάδας. Πανεπιστήμιο Αθηνών, σελ. 247-260
- Παράσχου Θ. και Βουβαλίδης Κ., 2006. Ποσοτική ανάλυση των υδρογραφικών και μορφοτεκτονικών στοιχείων της λεκάνης απορροής του Ίναχου ποταμού της Φθιώτιδας, παραποτάμου του Σπερχειού ποταμού. Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας, Πρακτικά 10ου Συνεδρίου, Τομ. XXXIX, σελ.49-60.
- Παυλόπουλος Κ. και Καρύμπαλης Ε., 2003. Σημειώσεις Εργαστηριακών Ασκήσεων Γεωμορφολογίας. Πανεπιστημιακές σημειώσεις, Τμήμα Γεωγραφίας του Χαροκόπειου Πανεπιστημίου.
- Πετρίδης Δ., 2015. Ανάλυση κύριων συνιστωσών - Παραγοντική Ανάλυση. Κεφάλαιο 4 Ανάλυση πολυμεταβλητών τεχνικών. [ηλεκτρ. βιβλ.] Αθήνα: Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών. κεφ. Διαθέσιμο στο: <http://hdl.handle.net/11419/2129>
- Προγκάκη Β., 2007. Κινηματική της παραμόρφωσης της Ζώνης Βοιωτίας στο Όρος Ελικώνα (Στερεά Ελλάδα). Μεταπτυχιακή Διατριβή Ειδίκευσης στο Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών: "Τεκτονικής – Στρωματογραφίας". Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Σχολή Θετικών Επιστημών, Τμήμα Γεωλογίας.
- Προδρόμου Κ., 2011. Εφαρμοσμένη Εδαφολογία, Γένεση των Εδαφών, Εκδόσεις Ζήτη, Τρίτη έκδοση, Διαθέσιμο από (<http://media.public.gr/Books-PDF/9789604563012-1066947.pdf>)
- Ρεϊζοπούλου Α., 2013. Καρστική γεωμορφολογία της Ανατολικής Όθρυς, η περιοχή Μέγα-Λάκκου, Νεροσπηλιάς, Γεωλόγος, Διδακτορική Διατριβή, ΑΠΘ.
- Σακκάς Ι., 1993. Τεχνική Υδρολογία – Υδρολογία επιφανειακών υδάτων. Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης.
- Σούλιος Γ., 1996. Γενική Υδρογεωλογία. Τόμος Πρώτος (Α. Επιφανειακή υδρολογία, Β. Αποθήκευση και κατανομή του υπόγειου νερού, Γ. Οι ροές του υπόγειου νερού), University Studio Press, σελ. 296, Θεσσαλονίκη.
- Σούλιος Γ., 2006. Γενική Υδρογεωλογία. Τόμος Τέταρτος (Ζ. Ποιότητα υπόγειου νερού, Η. Ρύπανση-Μόλυνση υπόγειου νερού), σελ. 233, Θεσσαλονίκη.

- Στάθης Δ., 2015. Κατάταξη και περιγραφή των κλιμάτων της γης. Τμήμα Δασολογίας Φυσικού Περιβάλλοντος Α.Π.Θ.: Εκδόσεις Κάλλιπος.
- Σταμάτης, Γ., 2009. Εισαγωγή στην Υδρογεωλογία, Πανεπιστημιακές Σημειώσεις, Γεωπονικό Παν/μιο Αθηνών.
- Στεφανίδης, Π., 2010. Μαθήματα και Ασκήσεις Υδρολογίας και Υδραυλικής. Πρώτο μέρος. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
- Τζεφέρης Π., 1991. Βιοεκχύλιση οξειδωμένων μεταλλευμάτων νικελίου με τη χρήση ετερότροφων μικροοργανισμών. Διδακτορική διατριβή, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (ΕΜΠ). Τμήμα Μηχανικών Μεταλλείων Μεταλλουργών. σελίδα 1-2
- Τζοβολου Δ., 2011. Συγκριτική αξιολόγηση μεθόδων απορρύπανσης της ακόρεστης ζώνης εδάφους μολυσμένου με κηροζίνη. Διδακτορική διατριβή στο Πανεπιστήμιο Πατρών, Σχολή Θετικών Επιστημών, Τμήμα Χημείας.
- Τζαραμπάρης Χ. 2010: Υδρογεωλογικό καθεστώς στο άνω ρου του Ασωπού ποταμού Βοιωτίας – Διερεύνηση παραγόντων ποιοτικής υποβάθμισης των υπόγειων υδάτων. Μεταπτυχιακή Διατριβή, Γενικό Τμήμα Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, σελ. 160.
- Τσόδουλος Ι., 2009. Ενεργός Τεκτονική της ΝΑ Στερεάς Ελλάδας. Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Πατρών Τμήμα Γεωλογίας, Τομέας Γενικής Θαλάσσιας Γεωλογίας και Γεωδυναμικής Εργαστήριο Τεκτονικής Γεωλογίας, σελ. 89-92 και 117-122.
- Τσούλος, Α., Σκοπελίτη, Α. & Στάμου, Α. (2015). Εκπαιδευτικό υλικό του μαθήματος «Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών στους Υδατικούς Πόρους» ΣΠΜ ΕΜΠ.
- Χαριζόπουλος Ν., 2013. Διερεύνηση των μηχανισμών της ποσοτικής και ποιοτικής υποβάθμισης των υδατικών και εδαφικών πόρων στη λεκάνη Δομοκού από φυσικές και ανθρωπογενείς επιδράσεις. Διδακτορική Διατριβή ειδίκευσης. Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- Ψωμιάδης Ε., 2010. Έρευνα Γεωμορφολογικών και Περιβαλλοντικών Μεταβολών στην Υδρολογική Λεκάνη του Σπερχειού Ποταμού με Χρήση Νέων Τεχνολογιών. Διδακτορική διατριβή, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, σελ. 160-180 και 394.

#### **Γ. Ηλεκτρονικές διευθύνσεις:**

<http://climatlas.hnms.gr/sdi>

<http://main.hydroscope.gr>

<http://meteosearch.meteo.gr>

<http://meteosearch.meteo.gr/stationInfo.asp>

<http://www.aua.gr/gpapadopoulos/files/sisxetisi091.pdf>

<http://www.e-demography.gr>

<http://www.geo.auth.gr>

<http://www.larco.gr>

<https://eclass.uoa.gr/modules>

<https://eclass.uoa.gr/modules/document/file.php/DIAT101/THOMAIDIS>

<https://laneshealth.gr>  
<https://opencourses.uoa.gr>  
<https://winmedica.gr>  
<https://www.mednutrition.gr>  
<https://www.bgs.ac.uk/discoveringGeology/geologyOfBritain/limestoneLandscapes/>  
<https://www.epa.gov>  
<https://www.gsi.ie/en-ie/data-and-maps/Pages/Groundwater.aspx>  
<https://www.healthyliving.gr>  
<https://www.humanitas.net>  
<https://www.lenntech.com>  
<https://www.lenntech.de>  
<https://www.medinova.gr>  
<https://www.pharmacyway.gr/>  
<https://www.tovima.gr/2011/03/30/society/boiwtia-dekades-spitia-plimmyrise-o-mornos/>  
[www.tjclarkinc.com/minerals](http://www.tjclarkinc.com/minerals)  
[www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)  
[www.ypeka.gr](http://www.ypeka.gr)