

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

**ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ, ΥΠΟΔΟΜΩΝ ΚΑΙ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΤΜΗΜΑ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ
&
ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ - ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ**

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

**«ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΘΡΙΑΣΙΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΜΕ
ΕΜΦΑΣΗ ΣΤΑ ΓΕΩΥΔΡΑΥΛΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ
ΥΔΡΟΦΟΡΩΝ ΟΡΙΖΟΝΤΩΝ ΚΑΙ ΣΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ
ΥΔΑΤΩΝ»**

**ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ Ι. ΕΡΜΙΔΗΣ
MSc Γεωλόγος**

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: Γεώργιος Σταμάτης Καθηγητής Γ.Π.Α.

ΑΘΗΝΑ 2018

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

**ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ, ΥΠΟΔΟΜΩΝ ΚΑΙ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΤΜΗΜΑ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ
&
ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ - ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ**

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

**«ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΘΡΙΑΣΙΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΜΕ
ΕΜΦΑΣΗ ΣΤΑ ΓΕΩΥΔΡΑΥΛΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ
ΥΔΡΟΦΟΡΩΝ ΟΡΙΖΟΝΤΩΝ ΚΑΙ ΣΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ
ΥΔΑΤΩΝ»**

**ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ Ι. ΕΡΜΙΔΗΣ
MSc Γεωλόγος**

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: Γεώργιος Σταμάτης Καθηγητής Γ.Π.Α.

ΑΘΗΝΑ 2018

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

**ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ, ΥΠΟΔΟΜΩΝ ΚΑΙ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΤΜΗΜΑ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ
&
ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ - ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ**

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

**«ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΘΡΙΑΣΙΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΜΕ ΕΜΦΑΣΗ
ΣΤΑ ΓΕΩΥΔΡΑΥΛΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΥΔΡΟΦΟΡΩΝ ΟΡΙΖΟΝΤΩΝ ΚΑΙ
ΣΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΥΔΑΤΩΝ»**

ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ Ι. ΕΡΜΙΔΗΣ
MSc Γεωλόγος

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων & Γεωργικής Μηχανικής.

Υποστηρίχθηκε στις 2018 ενώπιον της Επταμελούς Εξεταστικής Επιτροπής, η οποία ορίστηκε με απόφαση της Γ.Σ.Ε.Σ. του Τμήματος Α.Φ.Π.& Γ.Μ. (αρ. πρωτ. 2018), αποτελούμενη από:

1. Γεώργιος Σταμάτης, Καθηγητής, Γ.Π.Α. (Επιβλέπων Καθηγητής).
2. Ιωάννης Παπανικολάου, Αναπλ. Καθηγητής, Γ.Π.Α.
3. Κωνσταντίνος Βουδούρης, Αναπλ. Καθηγητής, Α.Π.Θ.
4. Μαρία Ψυχογιού, Επίκ. Καθηγήτρια, Γ.Π.Α.
5. Νικόλαος Δέρκας, Αναπλ. Καθηγητής, Γ.Π.Α.
6. Ελένη Ζαγγανά, Επίκ. Καθηγήτρια, Πανεπιστήμιο Πατρών.
7. Χρίστος Καραβίτης, Αναπλ. Καθηγητής, Γ.Π.Α.

ΑΘΗΝΑ 2018

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

**«ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΘΡΙΑΣΙΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΜΕ ΕΜΦΑΣΗ
ΣΤΑ ΓΕΩΥΔΡΑΥΛΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΥΔΡΟΦΟΡΩΝ ΟΡΙΖΟΝΤΩΝ ΚΑΙ
ΣΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΥΔΑΤΩΝ»**

ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ Ι. ΕΡΜΙΔΗΣ
MSc Γεωλόγος

«Η έγκριση της Διδακτορικής Διατριβής από το Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων & Γεωργικής Μηχανικής της Σχολής Αγροτικής Παραγωγής, Υποδομών και Περιβάλλοντος του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών δεν υποδηλώνει την αποδοχή των γνώμων του συγγραφέως» (Ν. 5343/1932, άρθρο 202, παρ. 2)

Στην οικογένειά μου

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Με την υλοποίηση του πονήματος αυτού κλείνει ένας κύκλος έρευνας και εκπαίδευσης συνάμα. Μία έρευνα που οδηγεί στην ολοκλήρωση της διδακτορικής μου διατριβής και μία εκπαίδευση η οποία υπακούει στην ρήση γειράσκω αεί διδασκόμενος. Υπηρέτης της επιστήμης μου την οποία τόσο αγαπώ ενασχολήθηκα με ένα πολύ ενδιαφέρον θέμα της υδρογεωλογίας. Αντικείμενό της οι υδρογεωλογικές συνθήκες του πάλαι ποτέ ενδόξου Θριασίου Πεδίου. Ένας ιερός χώρος που κρύβει καλά τα μυστικά του και χρειάζεται να στα φανερώσει εκείνο, για να τα φέρεις στο φως. Έχω την κρυφή ελπίδα η παρούσα διατριβή να συμβάλλει στην αποκατάσταση και την βελτίωση της ποιότητας του υπόγειου νερού και εν γένει του περιβάλλοντός του.

Η παρούσα έρευνα πραγματοποιήθηκε κάτω από την στέγη του Τμήματος Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων & Γεωργικής Μηχανικής του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών με τίτλο: «ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΘΡΙΑΣΙΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΜΕ ΕΜΦΑΣΗ ΣΤΑ ΓΕΩΥΔΡΑΥΛΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΥΔΡΟΦΟΡΩΝ ΟΡΙΖΟΝΤΩΝ ΚΑΙ ΣΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΥΔΑΤΩΝ». Η υπόδειξη του θέματος και η καθοδήγηση της αρχικής φάσης της έρευνας έγινε από τον εκλιπόντα Καθ. Θεολόγο Μιμίδη και εν συνεχεία από τον Καθ. κ. Γεώργιο Σταμάτη.

Θα ήθελα λοιπόν, να τους ευχαριστήσω θερμά για την σημαντική τους συμβολή πρωτίστως τον αείμνηστο Καθ. Θεολόγο Μιμίδη με την βαθιά επιστημονική γνώση που τον κατείχε, ο οποίος μου έδειξε εμπιστοσύνη και μου ανάθεσε αυτήν την έρευνα και κυρίως τον επιβλέποντα Καθ. κ. Γεώργιο Σταμάτη, Εργαστήριο Ορυκτολογίας-Γεωλογίας του Τμήματος ΑΦΠ&ΓΜ, με την επιστημονική διεισδυτικότητα που τον διέπει μικρό μέρος της οποίας μου χάρισε, το αμέριστο ενδιαφέρον που έδειξε κατά την διάρκεια εκπόνησης της διατριβής καθώς και τα εποικοδομητικά σχόλια, τις συμβουλές και τις υποδείξεις κατά την συγγραφή αυτής αλλά και την ευγένεια με την οποία περιέλαβε το δύσκολο αυτό έργο.

Ευχαριστώ θερμά τα δυο μέλη της Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής τον Ομότ. Καθ. κ. Δ. Καραμούζη του Αριστοτελείου Παν/μίου Θεσσαλονίκης και τον Αναπλ. Καθ. κ. Κ. Βουδούρη του Παν/μίου Θεσσαλονίκης για τη συνεργασία μας και τις συμβουλές τους.

Ευχαριστώ θερμά τα μέλη της Επταμελούς Εξεταστικής Επιτροπής.

Ευχαριστώ τον Αναπλ. Καθηγητή Χρήστο Παππά του Εργαστηρίου Γενικής Χημείας του Τμήματος Επιστήμης Τροφίμων και Διατροφής του Ανθρώπου του ΓΠΑ για τον χρόνο που μου διέθεσε και την βοήθειά του πάνω σε θέματα αναλυτικής χημείας.

Ευχαριστώ τον υποψ. Διδάκτορα Δημήτρη Κοιλάκο για την παροχή πολύτιμης βοήθειας στην διεξαγωγή των χημικών αναλύσεων στο Εργαστήριο Γεωργικής Υδραυλικής του ΓΠΑ.

Ευχαριστώ τους συναδέλφους από τις διάφορες Υπηρεσίες που με βοήθησαν με την παροχή στοιχείων για την ολοκλήρωση της έρευνας αυτής, την Δνση Γεωλογίας του Υπ. Γεωργίας, την ΔΕΒ Πειραιά, το ΕΚΘΕ, τον Δ. Ελευσίνας, τον Δ. Ασπροπύργου, την ΔΕΗ Ελευσίνας και το ΙΓΜΕ.

Ευχαριστώ όλους αυτούς που συνέβαλλαν ο καθένας με το λιθαράκι του αλλά πολύ σημαντικό για μένα την Γαλάτεια, τον Φάνη, τον Μιχάλη, τον Μανώλη και αυτούς που ίσως ξεχνώ αυτήν την στιγμή.

Ευχαριστώ την οικογένειά μου που με υπομονή και κατανόηση δέχονταν την απομόνωσή μου όλα τούτα τα χρόνια αλλά και την βοήθειά τους στις εργασίες πεδίου, εργαστηρίου και γραφείου όποτε χρειάστηκα.

Αθήνα 2018

Δημήτριος Ερμίδης

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η περιοχή μελέτης της παρούσας διδακτορικής διατριβής είναι το Θριάσιο Πεδίο. Ο σκοπός της παρούσας διατριβής είναι η διασαφήνιση των υδρογεωλογικών συνθηκών που επικρατούν στην περιοχή μέσα από την διερεύνηση της υδραυλικής σχέσης των υδροφορέων με την θάλασσα, την διερεύνηση των ποιοτικών χαρακτηριστικών του υπόγειου νερού με απώτερο σκοπό την περιβαλλοντική αποκατάσταση και εν τέλει την ολοκληρωμένη διαχείριση του υδατικού δυναμικού της περιοχής. Η έρευνα ανέδειξε τον σημαντικό ρόλο της στρωματογραφίας η οποία μαζί με την τεκτονική και τις μεταβολές της στάθμης της θάλασσας λόγω ευστατισμού καθόρισαν ουσιαστικά το υδρογεωλογικό καθεστώς της περιοχής με την ανάπτυξη μίας «ακολουθίας υδροφόρων οριζόντων» η οποία τελεί υπό πίεση. Καθορίστηκαν τρεις υδροστρωματογραφικές ενότητες (ΥΣΕ) με κριτήρια γεωλογικά (γεωλογικοί σχηματισμοί, καρστικοποίηση και τεκτονισμός, στρωματογραφία), υδρογεωλογικά (περιοχές τροφοδοσίας και εκφόρτισης, τύπος υδροφορέα, το είδος του συστήματος υπόγειας ροής, επικοινωνία υδροφορέων τόσο μεταξύ τους όσο και με την θάλασσα), υδροχημικά (περιβαλλοντικοί ιχνηθέτες) και υδραυλικά (υδραυλικά φορτία, υδραυλική κλίση, υδραυλικά χαρακτηριστικά). Η πρώτη υδροστρωματογραφική ενότητα αποτελείται από τους υδροφορείς των Νεογενών-Τεταρτογενών ιζημάτων. Διακρίνεται στην υποενότητα των ιζημάτων του Ολοκαίνου-Αν. Πλειστοκαίνου με κατεύθυνση του υπόγειου νερού γενικά προς τα Ν-ΝΔ και στην υποενότητα των ιζημάτων του Πλειο-Πλειστοκαίνου η οποία βρίσκεται βαθύτερα της πρώτης με κατεύθυνση του νερού προς τα ΝΑ όπου εν μέρει εκφορτίζεται ως προς τα πάνω διαρροή (upwards leakage) στην παραλιακή ζώνη, ενώ ο κύριος όγκος νερών κινείται με πολύ μικρή ταχύτητα ή πολύ πιθανόν αποσφηνώνεται λόγω της παρουσίας της νήσου Σαλαμίνας. Η δεύτερη ΥΣΕ περιλαμβάνει τον υδροφόρο των Κρητιδικών ασβεστολίθων στους οποίους αναπτύσσεται ένα ενδιάμεσο και κατά θέσεις τοπικό σύστημα υπόγειας ροής προς τα ΝΔ. Η τρίτη ΥΣΕ αναπτύσσεται στο σύμπλεγμα των Τριαδικών ιζημάτων όπου αναπτύσσεται ένα εκτεταμένο σύστημα υπόγειας ροής που επικρατεί σε όλη την ευρύτερη περιοχή με πολλές ιδιαιτερότητες. Διενεργήθηκαν δοκιμαστικές αντλήσεις στα πηγάδια των Πλειο-Πλειστοκαινικών ιζημάτων και βρέθηκαν οι τιμές μεταβιβαστικότητας T να κυμαίνονται από 10 έως 200 m^2/d (ή 10^{-4} έως 10^{-3} m^2/s), οι τιμές αποθηκευτικότητας S από 10^{-2} έως 10^{-4} και οι τιμές υδραυλικής αγωγιμότητας από 10^{-7} έως 10^{-3} m/d (ή 10^{-7} έως 10^{-3} ή m/s). Διερευνήθηκε για πρώτη φορά η ανισοτροπία των υδροφορέων με την βοήθεια επίσης των δοκιμαστικών αντλήσεων και κατορθώθηκε να ανιχνευθεί μόνο σε μία περιοχή πλησίον του πηγαδιού Ν^ο 54. Σχεδιάσθηκε το ελλειψοειδές της ανισοτροπίας με διεύθυνση μεγάλου άξονα Β7Α. Η διενέργεια μετρήσεων παροχής στα ρ. Σαρανταπόταμου και ρ. Γιαννούλας ανέδειξε την γραμμικότητα των λεκανών τους κατά 97-99% και κατασκευάσθηκαν οι καμπύλες στάθμης-παροχής του ρ. Σαρανταπόταμου $Q=14,856h^{2,5582}$ και του ρ. Γιαννούλας $Q=15,477h^{3,5366}$. Προσδιορίσθηκε επίσης η σχέση ύψους βροχής-απορροής για την λεκάνη του ρ. Σαρανταπόταμου σχεδόν αμέσως μετά τις πρώτες βροχές, $y=7073,8x-26494$.

Μελετήθηκε η χημική σύσταση των υπόγειων νερών η οποία επικεντρώθηκε στην παρουσία των αλογόνων F^- , Cl^- , Br^- και την χρήση τους για πρώτη φορά ως περιβαλλοντικούς ιχνηθέτες. Τα αποτελέσματα έδειξαν μία σύνθετη κατανομή της αλατότητας η οποία προέρχεται από ανθρωπογενή δραστηριότητα και φυσικές διαδικασίες όπως η εξάτμιση του

νερού της άρδευσης και η διάχυση υφάλμυρου νερού μέσω των πηγαδιών και διαμέσου των αργίλων της παραλιακής ζώνης. Στα δείγματα του Οκτωβρίου, διαφοροποιήθηκαν τα χλωριόντα τα οποία προέρχονται από την θάλασσα από εκείνα που προέρχονται από άλλες πηγές με την χρήση του λόγου μάζας Cl^-/Br^- . Τιμές γύρω και πάνω από το 1000 αποδίδονται στην παρουσία υπολειμματικών εβαποριτικών αλάτων και κυρίως αλίτη στην περιοχή, τιμές του λόγου μεταξύ 400 και 600 υποδηλώνουν ρύπανση από αστικά και κτηνοτροφικά λύματα, ενώ τιμές μικρότερες του 50 υποδηλώνουν την παρουσία υπολειμμάτων υπεράλμυρων νερών (brines). Επομένως, σύγχρονη πλευρική διείσδυση της θάλασσας στους Πλειο-Πλειστοκαινικούς υδροφόρους δεν υφίσταται και η αλατότητα είναι πολύ πιθανόν να προέρχεται από διείσδυση θαλασσινού νερού, παλαιότερης γεωλογικά περιόδου, το οποίο εγκλωβίστηκε από τις μεταβολές της στάθμης της θάλασσας κατά το Πλειστόκαινο. Επιπρόσθετα, τιμές του λόγου F^-/Cl^- 200 έως 500 φορές μεγαλύτερες από αυτήν του θαλασσινού νερού και δεδομένου ότι η διάλυση ορυκτών που περιέχουν φθόριο απαιτεί εκατοντάδες έως και χιλιάδες χρόνια για να πραγματοποιηθεί, ενισχύεται η άποψη ότι το νερό αυτό δεν προέρχεται από σύγχρονη πλευρική διείσδυση της θάλασσας. Είναι πολύ πιθανή η παρουσία ενός γεωθερμικού πεδίου χαμηλής ενθαλπίας το οποίο τροφοδοτεί με νερό τους υπόγειους υδροφορείς της περιοχής και προέρχεται από τα μεταπυροκλαστικά/μεταφαιστειακά του Παλαιοζωικού-Κατ. Τριαδικού.

Τέλος από την έρευνα προκύπτει ότι οι υδροφορείς είναι πολύ πιθανόν να εκτείνονται κάτω από τον πυθμένα της θάλασσας δημιουργώντας έτσι στρώματα γλυκού νερού τα οποία απομονώνονται από την παρουσία μεγάλου πάχους στρωμάτων αργίλου από την επίδραση της θάλασσας. Το τελευταίο είναι πολύ σημαντικό για την διαχείριση των υδατικών πόρων σε παράκτιους υδροφόρους με παρόμοιες υδρογεωλογικές συνθήκες. Αυτό είναι ένα σημαντικό θέμα που θα μπορούσε να διερευνηθεί με περισσότερη λεπτομέρεια. Νέοι τρόποι επέκτασης της έρευνας για υπόγεια νερά θα μπορούσαν να αναζητηθούν κάτω από τον πυθμένα του Κόλπου της Ελευσίνας, γεγονός που είναι εφικτό λόγω του μικρού βάθους του Κόλπου Ελευσίνας ο οποίος έχει μέγιστο βάθος 34 m. (Μέσο βάθος 18 m.). Με αυτόν τον τρόπο θα μπορούσε να προκύψει μια νέα προοπτική για τη διαχείριση των υδατικών πόρων.

Επιστημονική περιοχή: Υδρογεωλογία, Υδροχημεία,, Υδρολογία, Υπόγεια Υδραυλική

Λέξεις κλειδιά: Θριάσιο Πεδίο, υπόγειοι υδροφορείς, υφαλμύρωση, αλογόνα

ABSTRACT

In the present doctoral thesis the Thriassion Plain, Attica, Greece has been studied. The aim of the study was to clarify the hydrogeological conditions prevailing in the area through the investigation of the hydraulic relationship of aquifers with the sea and the groundwater quality. The ultimate goal is the environmental remediation and the integrated water resource management of the aforementioned area. Thriassion Plain is a coastal area cultivated since ancient times about 120 km² in extent which is underlain at shallow depth by alluvial and colluvial sediments. It is part of three hydrological basins of 475 km² in total extent draining into Eleusis Gulf. The plain is very close to Athens. It is located at the border of a very complicated geological setting between non-metamorphic and metamorphic rocks of eastern Greece and Attica geotectonic units and near the volcanic arc of the eastern Mediterranean Sea and specifically the South Aegean Sea. In the middle of the twentieth century, there was uncontrolled agricultural and industrial development in the region. As a result of this unregulated development, the Thriassion Plain was experienced an environmental degradation. This also caused extensive deterioration of the groundwater quality. The geological structure of the narrow area of the Thriassion Plain is very complex, due to different sedimentary environments and facies alternations of torrential, lacustrine and lagoon sediments deposited during Neogene–Quaternary period. Thriassion Plain is dominated by alpine and post-alpine sediments and volcanic rocks of Palaeozoic to Caenozoic age. Hydrogeological conditions of the Thriassion Plain have been influenced significantly by stratigraphic and tectonic factors as well as the sea level changes during the Pleistocene. The main aquifers are the Plio–Pleistocene sediments as well as the Triassic limestone/dolomite and the Cretaceous limestone. Plio–Pleistocene sediments form a multi-layered aquifer system. This system has clay and marls as a local basement whereas the carbonate has the Palaeozoic sediments as a basement. Potentiometric surface and water table generally fluctuate between the highest level in April and the lowest in October. Seasonal water level fluctuations in the unconfined aquifer which develop in the Holocene sediments are between 0.4 and 0.5 m and between 1.5 and 2.1 m in the confined aquifers which develop in the Plio–Pleistocene ones. The upper aquifer is comprised of sediments of Upper Pleistocene to Holocene age that include clays, sands, gravels and pebbles, often forming breccia–conglomerate banks with low groundwater yields. The upper aquifer is generally unconfined and locally confined. Holocene clays occur in the coastal area and provide confined conditions. The aquifer is 2–10 m thick. Hydraulic head is up to 4–5 m while the hydraulic conductivity ranges between 0.4 and 4 m/d. Groundwater generally flows southwards under a hydraulic gradient of 1 to 3%. Holocene clays locally form barriers to groundwater flow causing an upwards leakage, which leads to the formation of marshes and swamps. The second aquifer is made up of Lower Pleistocene sediments comprised of clays, sands, gravels and conglomerates. It is a multi-layered confined aquifer. Three to six aquifers exist in these sediments. The thickness of the aquifers is typically 1–3 m and may be up to 12–15 m in thickness. The third aquifer is made up of Plio–Pleistocene sediments comprised of marls with lignite layers in places, sands and marly limestones. It is difficult to distinguish these two aquifers because the third one is deep in the plain. Recharge is achieved from Pleistocene sediments leakage and preferential lateral flow from carbonate. The hydraulic conductivity of this aquifer ranges from 2 to 25 m/d and hydraulic head is up to 13 m amsl. Groundwater

flows towards the coast under a hydraulic gradient of 1–5%. The Cretaceous limestone is fractured and an unconfined aquifer of high productivity develops. It is in hydraulic contact with the sea. Transmissivity is up to 5000 m²/d. The hydraulic gradient is between 0.5–1% and the head is up to 7–8 m amsl. The Triassic aquifer is either confined or unconfined depending on its location and the extent to which the aquifer has been affected by karstification and tectonism. It is comprised of limestone, dolomitic limestone and dolomite. Transmissivity is highly variable but is commonly about 8 m²/d. Groundwater flows to the south under a hydraulic gradient between 0.5–1% and discharges partly through coastal springs near Eleusis city and partly into Koumoundourou Lake. The head is up to +13.50 m amsl.

Water samples from 36 wells and 14 boreholes were collected in 2012 during three seasons; 12 in January; 50 in May; and 38 in October. Chemical analyses of 100 water samples for major ions, minor ions, selected heavy metals and selected trace elements carried out during January, May and October 2012 were performed in the laboratory of Mineralogy and Geology in the Agricultural University of Athens. Temperature, pH, redox and EC were measured in situ on the head of the pumping column. The average analytical precision was better than 5%. Ion chromatography (IC) was used in determination of chloride, fluoride and bromide concentration as well as Li⁺, Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, NH₄⁺, Sr²⁺, Mn²⁺, SO₄²⁻, NO₃⁻, NO₂⁻, PO₄³⁻. HCO₃⁻ was determined with the method of titration. CrVI was determined with polarography Fe²⁺, Ni⁺, Co⁺ were determined with the method of spectrophotometry. LOD and LOQ values were calculated based on calibration curve of peak area vs concentration of the standards using the following equations: LOD=3:3*σ/m and LOQ=10*σ/m where σ is the standard error of y-intercepts of the regression line and m is the slope of the regression line. LOD and LOQ were calculated 0.1 and 0.4 mg/l for fluoride, 0.8 and 2.3 mg/l for chloride and 0.02 and 0.06 for bromide, respectively. The chemical analyses indicated that the TDS values of groundwater ranges between 423 and 5486 mg/ l. The lower values have been mainly observed in the confined aquifers ranging between 520–2041 mg/l with median 1021 and 505–1824 mg/l in May–June and October, respectively. The higher values have been observed in unconfined aquifers ranging between 1310–5420 mg/l with median 2376 and 2627 mg/l and 1439–5486 mg/l in May–June and October, respectively. TDS at 423 mg/l was observed in Triassic marbles in the well 161' located NE of Aspropyrgos city. The processes that control halide concentrations in the Thriassion Plain aquifers include both natural and anthropogenic factors as follows: evaporation, dissolution of evaporites, domestic sewage as well as dissolution of minerals containing fluorine. The distribution of Cl/Br mass ratio and of fluoride concentrations has been used as environmental tracers, in order to investigate the origin and evolution of brackish groundwater. The proportion of chloride in groundwater that has been derived from sea water can be differentiated from the proportion derived from anthropogenic and other natural sources by comparing the mass ratio of dissolved chloride to dissolved bromide. The Cl/Br mass ratio varies from 43 to 1510. Values of the ratio ranging 100–200 indicate fresh water and around 292 indicate sea water influence. Similarly, values of the ratio between 400 and 600 indicate the effects of anthropogenic factors, such as domestic sewage and livestock farming. Ratio values ranging between 939 and 1510 are attributed to dissolution of halite. The evaporation of the irrigation water is also likely to have

a significant impact on groundwater quality. Fluoride concentrations ranging from 0.1 up to 9.94 mg/l possibly originate from Holocene as well as Plio–Pleistocene sediments which contain organic material. It is also likely that fluoride originates from fluorite dissolution or comes from Palaeozoic-Middle Triassic volcano-sedimentary rocks which occur around the wider area and constitute the basement of the study area. In those rocks, the alteration of biotite to chlorite takes place under the influence of hydrothermal fluids, as the Thriassion Plain is close to South Aegean volcanic arc where volcanic activity exists.

All the aforementioned evidence led to the development of a completely revised hydrogeological conceptual model of aquifer functioning in the Thriassion Plain. Last but not least, there is evidence that the multi-layered aquifer system extends far from shore below the sea floor of Eleusis Gulf containing fresh groundwater which is protected from sea water influence by thick clay layers. The results of this study may motivate the expansion of research in groundwater resources below the sea floor and consequently a new perspective on water resource management could emerge.

Scientific area: Hydrogeology, Hydrochemistry, Hydrology, Groundwater Hydraulics

Keywords: Aquifers, seawater intrusion, halogens, offshore groundwater

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	i
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	iii
ABSTRACT.....	v
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	xii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	xiv
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1. Ο σκοπός της διατριβής	1
1.2. Μεθοδολογία.....	1
1.3. Υπάρχοντα στοιχεία	2
1.4. Ρύπανση του νερού	3
1.5. Δομή της διατριβής	5
2. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	6
3. ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ	8
3.1. Γενικά.....	8
3.2. Ανασκόπηση βιβλιογραφίας - Γεωλογική ιστορία της περιοχής	8
3.3. Γεωλογική δομή	11
3.3.1. Αλπικοί σχηματισμοί.....	11
3.3.1.1. Άνω Παλαιοζωικό.....	11
3.3.1.2. Μεσοζωικό.....	12
Φυλλίτες και Ψαμμίτες με παρεμβολές ασβεστολίθων Κατ-Μέσου Τριαδικού	12
Ασβεστόλιθοι και Δολομίτες Μέσου-Αν. Τριαδικού	12
Ασβεστόλιθοι – δολομίτες Αν. Τριαδικού.....	12
Ασβεστόλιθοι Αν. Κρητιδικού.....	14
3.3.2. Μεταλλικά	15
3.3.2.1. Νεογενές	16
Κατώτερο Σύστημα Νεογενών	17
Ανώτερο Σύστημα Νεογενών	17
3.3.2.2. Τεταρτογενή.....	20
Πλειστοκαινικές ποταμοχερσαίες αποθέσεις και πλευρικά κορήματα.....	20
Πρόσφατα πλευρικά κορήματα και κώνοι κορημάτων	21
Σύγχρονες αποθέσεις χειμάρρων	21
Αλλουβιακές αποθέσεις πεδινών περιοχών ανοικτών προς την θάλασσα.....	24

3.3.3.	Κοιτασματολογία.....	27
3.3.3.1.	Βωξίτες	27
3.3.3.2.	Λατερίτες	27
3.3.3.3.	Λιγνίτες	28
3.3.3.4.	Σχέση κοιτασμάτων με την υδρογεωλογία	28
4.	ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ.....	29
4.1.	Ανασκόπηση βιβλιογραφίας	29
4.2.	Πτυχές (αντίκλινα-σύγκλινα)	36
4.3.	Εφιππεύσεις ή ανάστροφα ρήγματα	37
5.	ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ – ΕΔΑΦΟΛΟΓΙΑ	41
5.1.	Γεωμορφολογία.....	41
5.1.1.	Γενικά	41
5.1.2.	Η μορφολογία της περιοχής	41
5.2.	Εδαφολογία	44
5.3.	Χρήση γης	45
6.	ΥΔΡΟΛΟΓΙΑ.....	51
6.1.	Γενικά.....	51
6.2.	Υδρολογικές Λεκάνες-Υδρογραφικό Δίκτυο.....	51
6.2.1.	Λεκάνη ρέματος Γιαννούλας.....	53
6.2.2.	Λεκάνη ρέματος Σαρανταπόταμου.....	54
6.2.3.	Λεκάνη Μάνδρας.....	55
6.3.	Κλιματολογικά χαρακτηριστικά	55
6.3.1.	Βροχομετρικά δεδομένα	56
6.3.2.	Κατάρτιση ημιμεταβλητογράμματος.....	56
6.3.3.	Έλεγχος ομοιογένειας-Διπλή αθροιστική καμπύλη	58
6.3.4.	Βροχοβαθμίδα.....	61
6.3.5.	Επιφανειακή ολοκλήρωση της βροχής.....	61
6.4.	Απορροή-Υδρομετρήσεις ποταμών	63
6.4.1.	Γενικά	63
6.4.2.	Έλεγχος γραμμικότητας λεκάνης Σαρανταπόταμου και Γιαννούλας	64
6.4.3.	Καμπύλες στάθμης- παροχής	66
6.4.4.	Καμπύλη στάθμης –παροχής ρ. Σαρανταπόταμου	66
6.4.5.	Καμπύλη στάθμης –παροχής ρ. Γιαννούλας	70

6.5.	Εξατμισοδιαπνοή.....	73
6.5.1.	Μέθοδος Hargreaves	74
6.5.2.	Μέθοδος Thornthwaite	75
6.5.3.	Μέθοδος υδατικού ισοζυγίου Thornthwaite.....	75
6.6.	Διήθηση- Κατείσδυση.....	76
6.7.	Υδρολογικό ισοζύγιο.....	77
6.7.1.	Βάσει βιβλιογραφικών στοιχείων.....	77
6.7.2.	Βάσει των μετρήσεων.....	77
7.	ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ	79
7.1.	Γενικά.....	79
7.2.	Τύποι υδροφόρων και πιεζομετρία Θριασίου Πεδίου.....	80
7.2.1.	Γενικά	80
7.2.2.	Υπάρχοντα στοιχεία	80
7.3.	Πιεζομετρία.....	82
7.4.	Υδρολιθολογικά χαρακτηριστικά.....	87
7.4.1.	Περατοί λιθολογικοί σχηματισμοί.....	88
7.4.2.	Ημιπερατοί λιθολογικοί σχηματισμοί	89
7.4.3.	Αδιαπέρατοι λιθολογικοί σχηματισμοί.....	90
7.5.	Υδραυλική Επικοινωνία των υδροφόρων οριζόντων με την θάλασσα και υπαλμύρωση αυτών.....	92
7.5.1.	Υδραυλική επικοινωνία.....	94
7.6.	Δοκιμαστικές αντλήσεις.....	99
7.6.1.	Μέθοδοι ανάλυσης και επεξεργασίας δοκιμαστικών αντλήσεων	101
7.6.2.	Αξιολόγηση δοκιμαστικών αντλήσεων	106
7.7.	Έλεγχος Ανισοτροπίας.....	137
8.	ΥΔΡΟΓΕΩΧΗΜΕΙΑ.....	143
8.1.	Γενικά.....	143
8.2.	Δειγματοληψία-Δίκτυο ελέγχου και μετρήσεων.....	145
8.2.1.	Δίκτυο ελέγχου και μετρήσεων	145
8.2.2.	Δειγματοληψία.....	146
8.3.	Μεθοδολογία αναλύσεων.....	146
8.3.1.	Ιοντική χρωματογραφία.....	147
8.3.2.	Έλεγχος των αποτελεσμάτων	148
8.4.	Παρουσίαση αποτελεσμάτων.....	149

8.4.1.	Φυσικοχημικοί παράμετροι	155
8.4.2.	Κύρια στοιχεία.....	160
8.4.3.	Δευτερεύοντα συστατικά και ιχνοστοιχεία	170
8.4.4.	Ιχνοενώσεις.....	172
8.4.5.	Βαρέα μέταλλα	174
8.5.	Υδροχημική ταξινόμηση	177
8.5.1.	Διαγράμματα Durov	177
8.5.2.	Διαγράμματα Piper	182
8.5.3.	Διάγραμμα Chadha	187
8.5.4.	Υδροχημικές τομές.....	188
8.6.	Γεωχημικές διεργασίες-Προέλευση των στοιχείων	194
8.6.1.	Δείκτες κορεσμού	194
8.6.2.	Το φαινόμενο της δολομιτίωσης-αποδολομιτίωσης.....	198
8.6.3.	Ιοντικοί Λόγοι.....	200
8.6.4.	Διαγράμματα Gibbs	209
8.6.5.	Διαγράμματα συσχέτισης (X-Y)	210
8.6.6.	Η παρουσία του Sr^{2+} στα υπόγεια νερά του Θριασίου	217
8.7.	Περιβαλλοντικοί ιχνηθέτες-αλογόνα	218
8.7.1.	Χλώριο, βρώμιο και ο λόγος Cl^-/Br^-	219
8.7.2.	Φθόριο και λόγος F^-/Cl^-	223
8.8.	Ο βαθμός υφαλμύρινσης των υδροφόρων οριζόντων του Θριασίου Πεδίου	226
8.8.1.	Το φαινόμενο της υφαλμύρινσης	226
8.8.2.	Αντιστρεψιμότητα του φαινομένου της υφαλμύρινσης	229
8.9.	Γεωχημική εξέλιξη των υπόγειων νερών του Θριασίου Πεδίου.....	230
9.	ΕΝΝΟΙΟΛΟΓΙΚΟ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΟ ΟΜΟΙΩΜΑ.....	235
9.1.	Γενικά.....	235
9.2.	Υδρογεωλογικό καθεστώς των υπόγειων νερών του Θριασίου Πεδίου	235
9.3.	Ερμηνεία της αλατότητας υπόγειων νερών Θριασίου Πεδίου	240
10.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	246
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	250

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 5.1: Χρήση γης στην περιοχή του Θριασίου Πεδίου.....	45
Πίνακας 5.2: Πίνακας Ταξινόμησης-Ονοματολογίας Κάλυψης Εδάφους (CORINE2000)...	50
Πίνακας 6.1: Ταξινόμηση σταθμών με βάση τον σταθμό της Ελευσίνας. Σταθμός βάσης αποτελεί ο σταθμός της Ελευσίνας.....	57
Πίνακας 6.2: Οι βροχομετρικοί σταθμοί που χρησιμοποιήθηκαν	58
Πίνακας 6.3: Σταθμισμένο υψόμετρο σταθμών	62
Πίνακας 6.4: Υδρομετρήσεις στο ρ. Σαρανταπόταμου	67
Πίνακας 6.5 Υδρομετρήσεις στο ρ. Γιαννούλας.....	71
Πίνακας 6.6: Συντελεστής απορροής του βόρειου τμήματος της λεκάνης του ρ. Σαρανταπόταμου.....	72
Πίνακας 6.7: Συντελεστής απορροής του βόρειου τμήματος της λεκάνης του ρ. Γιαννούλας	73
Πίνακας 6.8 Υδρολογικό ισοζύγιο βάσει βιβλιογραφικών δεδομένων	77
Πίνακας 6.9: Υδρολογικό ισοζύγιο βάσει μετρήσεων απορροής.....	78
Πίνακας 7.1: Στοιχεία στάθμης από ανορυχθείσες γεωτρήσεις στο πλαίσιο μελέτης για την λίμνη Κουμουνδούρου.....	81
Πίνακας 7.2: Μέση τιμή υδραυλικών χαρακτηριστικών πηγαδιού N54.....	113
Πίνακας 7.3: Μέση τιμή υδραυλικών χαρακτηριστικών πηγαδιού N86	118
Πίνακας 7.4: Μέση τιμή υδραυλικών χαρακτηριστικών πηγαδιού N128.....	122
Πίνακας 7.5 : Μέση τιμή υδραυλικών χαρακτηριστικών πηγαδιού N129	124
Πίνακας 7.6 Μέση τιμή υδραυλικών χαρακτηριστικών πηγαδιού N154	129
Πίνακας 7.7 Μέση τιμή υδραυλικών χαρακτηριστικών πηγαδιού N154-Π ₂	133
Πίνακας 7.8 Μέσες τιμές υδραυλικών χαρακτηριστικών πηγαδιού N176.....	136
Πίνακας 7.9: Συγκεντρωτικός πίνακας μέσων τιμών υδραυλικών χαρακτηριστικών πηγαδιών Θριασίου Πεδίου.....	137
Πίνακας 7.10: Υδραυλικά χαρακτηριστικά υδροφορέων Θριασίου Πεδίου από προηγούμενες εργασίες διαφόρων ερευνητών	137
Πίνακας 7.11: Πίνακας που δείχνει την πτώση στάθμης σε οποιοδήποτε χρόνο και απόσταση σε κάθε διεύθυνση πιεζομέτρων	140
Πίνακας 8.1: Στατιστική ανάλυση χημικών παραμέτρων Ιανουάριος – Οκτώβριος 2012....	149
Πίνακας 8.2: Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων και φυσικοχημικών παραμέτρων σε δείγματα Ιανουαρίου 2012.....	150
Πίνακας 8.3: Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων και φυσικοχημικών παραμέτρων σε δείγματα Μαΐου 2012	150
Πίνακας 8.4: Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων και φυσικοχημικών παραμέτρων σε δείγματα Οκτωβρίου 2012.....	152
Πίνακας 8.5: Τιμές θερμοκρασίας (°C)	155
Πίνακας 8.6: Τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας EC (μS/cm).....	155
Πίνακας 8.7: Τιμές TDS	158
Πίνακας 8.8: Τιμές pH.....	158
Πίνακας 8.9: Τιμές δυναμικού οξειδοαναγωγής Eh (mV)	158
Πίνακας 8.10: Συγκέντρωση Ca ²⁺ (mg/l)	160
Πίνακας 8.11: Συγκέντρωση Mg ²⁺ (mg/l)	163

Πίνακας 8.12: Συγκέντρωση Na ⁺ (mg/l)	163
Πίνακας 8.13: Συγκέντρωση K ⁺ (mg/l)	165
Πίνακας 8.14: Συγκέντρωση Cl ⁻ (mg/l)	165
Πίνακας 8.15: Συγκέντρωση SO ₄ ²⁻ (mg/l)	165
Πίνακας 8.16: Συγκέντρωση HCO ₃ ⁻ (mg/l)	169
Πίνακας 8.17: Συγκέντρωση NO ₃ ⁻ (mg/l)	169
Πίνακας 8.18: Συγκέντρωση Br ⁻ (mg/l)	169
Πίνακας 8.19: Συγκέντρωση F ⁻ (mg/l)	172
Πίνακας 8.20: Συγκέντρωση NO ₂ ⁻ (mg/l)	173
Πίνακας 8.21: Συγκέντρωση Ni ⁺ (mg/l)	175
Πίνακας 8.22: Συγκέντρωση CrVI μg/l	175
Πίνακας 8.23: Υπολογισμένες αναλύσεις των διαφόρων ομάδων νερών, όπως εξήχθησαν από το διάγραμμα Piper του Σχήματος 44, όπου φαίνεται το ποσοστό ανάμιξης του υπόγειου νερού με το θαλασσίνο νερό, οι συγκεντρώσεις κατά την ανάμιξη αυτή και το μέγεθος των διαφόρων διεργασιών οι οποίες έχουν λάβει χώρα (sample είναι οι συγκεντρώσεις από τις αναλύσεις των δειγμάτων του Οκτωβρίου, mix είναι η υπολογισμένη ανάλυση βασισμένη στην ανάμιξη, react είναι η διαφορά των δύο προηγούμενων όπου φανερώνεται η έκταση της γεωχημικής διεργασίας που έχει λάβει χώρα). Οι συγκεντρώσεις είναι σε mmol/l	186
Πίνακας 8.24: Δείκτες κορεσμού αλίτη, ανυδρίτη, αραγωνίτη, ασβεστίτη, δολομίτη, φθορίτη, γύψου (Μάιος 2012) με την βοήθεια του λογισμικού PHREEQC (Parkhurst, Appelo 2015)	195
Πίνακας 8.25: P _{CO2} και δείκτες κορεσμού, αλίτη, ανυδρίτη, αραγωνίτη, ασβεστίτη, δολομίτη, φθορίτη, γύψου, στροντιανίτη (Οκτώβριος 2012)	196
Πίνακας 8.26: Στατιστική ανάλυση και επίπεδα εμπιστοσύνης των ανιόντων φθορίου, χλωρίου και βρωμίου (mg/l) κατά την δειγματοληψία του Οκτωβρίου 2012 στο Θριάσιο ταξινομημένα ανά τύπο υδροφόρου (Hermides and Stamatis 2017)	218
Πίνακας 8.27: Στατιστικά στοιχεία του λόγου μαζών Cl ⁻ /Br ⁻ ταξινομημένος κατά τύπο και ηλικία υδροφόρου.	220
Πίνακας 8.28: Ποιοτικά χαρακτηριστικά των υπόγειων νερών του Θριασίου Πεδίου από διάφορους μελετητές από το 1959 έως το 2012	228

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1.1: Έντονο μωβ χρώμα στο ρ. Γιαννούλας από την απόρριψη αποβλήτων (28/11/2000).....	3
Εικόνα 1.2: Απόρριψη πετρελαιοειδών στο ρ. Γιαννούλας κοντά στην θέση του πηγαδιού Ν 72 και διάφορα απορρίμματα.....	4
Εικόνα 1.3: Απόρριψη πετρελαιοειδών στο έδαφος στην θέση του πηγαδιού με τον αριθμό 27 (1-5-2009).	4
Εικόνα 1.4: Απόρριψη ογκωδών αντικειμένων (1-3-2014) και κτηνοτροφικών λυμάτων (9-1-2014) στην κοίτη του Σαρανταπόταμου.	4
Εικόνα 1.5: Δυσοσμία στο νερό από κτηνοτροφικά λύματα άνω ρους Σαρανταπόταμου (27-2-2014) και Μεγάλο Κατερίνι (24-11-2013).	5
Εικόνα 2.1: Περιοχή μελέτης (google map 2017).....	6
Εικόνα 3.1: Σχηματική συνθετική τομή της γεωλογικής δομής του ευρύτερου χώρου της Αν. Ελλάδος.....	11
Εικόνα 3.2: Γεωλογικός χάρτης ευρύτερης περιοχής Θριασίου (Κατσικάτσος et al 1986, τροποποιημένος βάσει Γκούμας 2006).	13
Εικόνα 3.3: Τριαδικός εν μέρει δολομιτικός ασβεστόλιθος (υδρολογική λεκάνη ρ. Σαρανταπόταμου).	14
Εικόνα 3.4: Ανθρακικά πετρώματα του Τριαδικού και Κρητιδικού με εμφανίσεις βωξίτη και στην βάση τους φυλλίτες και ψαμμίτες.	15
Εικόνα 3.5: Στρωματογραφική κολώνα των νεογενών, τεταρτογενών στην περιοχή του Θριασίου Πεδίου, βασισμένη σε τομές γεωτρήσεων (Υπ. Γεωργίας 1956, Λιονής 1992) και τον γεωλογικό χάρτη (Κατσικάτσος et al 1985).....	16
Εικόνα 3.6: Λιθολογικές τομές γεωτρήσεων στον Ασπρόπυργο α) όπου φαίνεται η ύπαρξη μαργών, ψαμμιτικών και λιγνιτικών ενστρώσεων (Λιονής 1992) β) όπου φαίνεται η ύπαρξη μεγάλου πάχους μαργών (Υπ Γεωργίας 1956).	17
Εικόνα 3.7: α) Τομή γεωτρήσεως όπου φαίνεται η στρωματογραφία του ανώτερου συστήματος νεογενών και β) παρουσία αργιλικών σχιστολίθων στην περιοχή του παλαιού Γομωτηρίου Ελευσίνας στο 23 km Παλαιάς Εθνικής Οδού ενώ φαίνεται αυτόματη ροή στην επιφάνεια του εδάφους (Υπ. Γεωργίας).	18
Εικόνα 3.8: Απόθεση κροκαλοπαγούς απ' ευθείας πάνω σε ασβεστόλιθους, στην θέση Πάτημα Ασπροπύργου.....	19
Εικόνα 3.9: Τομή γεωτρήσεως όπου φαίνεται η απόθεση ασύνδετου και κατά θέσεις πιο συνεκτικού κροκαλοπαγούς κάτω από το Πλειστοκαινικό κροκαλοπαγές (Υπ. Γεωργίας 1953).	21
Εικόνα 3.10: Αποθέσεις Πλειστοκαινίου, από τομή του πηγαδιού Νο 54.....	22
Εικόνα 3.11: Πλειστοκαινικοί κώνοι κορημάτων και αποθέσεις κλιτύων στο ρ. Γιαννούλας.	22
Εικόνα 3.12: Σύγχρονες αναβαθμίδες ρ. Γιαννούλας.	23
Εικόνα 3.13: Σύγχρονες ποταμοχειμάρρεις αποθέσεις πηλοί και αμμοχάλικα α) κοίτη ρ. Γιαννούλας β) και γ) κοίτη ρ. Σαρανταπόταμου.....	23
Εικόνα 3.14: Πηλοί και χάλικες στην περιοχή του διυλιστηρίου και εμφάνιση υπό πίεση υδροφορίας (Κούνης και Σιέμος 1990).....	24
Εικόνα 3.15: Συνθετική στρωματογραφική κολώνα Θριασίου Πεδίου.....	25

Εικόνα 3.16: Στρωματογραφικές στήλες των μεταλλικών ιζημάτων στην περιοχή του Θριασίου Πεδίου: 1 ερυθρές άργιλοι, 2 κροκαλοπαγή, 3 λατυποπαγή, 4 άμμοι-χάλικες-κροκάλες, 5 μαργαϊκός ασβεστόλιθος, 6 αμμόμαργες, 7 ασβεστόλιθοι, 8 σχιστόλιθοι (γεωτρητικά στοιχεία ΥΕΒ Υπ. Γεωργίας 1952-1985)	26
Εικόνα 4.1: Τεκτονικές ανυψώσεις και βυθίσματα στο Θριάσιο Πεδίο (Γκούμας 2006).	29
Εικόνα 4.2: Η παρουσία πιθανών ρηγμάτων εντός των νεογενών (γεωηλεκτρική- γεωλογική τομή, Γκούμας 2006).	31
Εικόνα 4.3: Πιθανά ρήγματα εντός των νεογενών (χάρτης Θριασίου, Γκούμας 2006)	32
Εικόνα 4.4: Τεκτονικός Χάρτης Δ. Πάρνηθας (Μαριολάκος κ.α. 2001).	32
Εικόνα 4.5: Παλαιογεωγραφική εξέλιξη της περιοχής της Αττικής στο Κατώτερο Πλειόκαινο (Μπόσκος 2008).	33
Εικόνα 4.6: Τεκτονικός χάρτης ανατολικού Θριασίου (Ζαχαρίας et al 2003).	34
Εικόνα 4.7: Τεκτονικός-νεοτεκτονικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής του Θριασίου Πεδίου (Lekkas 2001).	34
Εικόνα 4.8: Τεκτονικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής Θριασίου Πεδίου (Papanikolaou et al 1999).	35
Εικόνα 4.9: Τομή στην περιοχή του Θριασίου όπου εμφανίζεται το σεισμογόνο ρήγμα της 7/9/1999 (Papanikolaou et al 1999).	35
Εικόνα 4.10: Τεκτονικός χάρτης υδρολογικών λεκανών Θριασίου Πεδίου (Κατσιακάτσος κ.α. 1985, τροποποιημένος βάσει Γκούμας 2006).	38
Εικόνα 4.11: Λιθολογική τομή γεωτρήσεως στην Ελευσίνα όπου φαίνονται εναλλαγές ασβεστολίθων διαφορετικών χρωμάτων αλλά και η ύπαρξη κρυσταλλικών ασβεστολίθων.	39
Εικόνα 4.12: Λιθολογική τομή γεωτρήσεως στην Ελευσίνα όπου φαίνονται εναλλαγές ασβεστολίθων διαφορετικών χρωμάτων.	40
Εικόνα 5.1: Το ορεινό τμήμα της λεκάνης του ρ. Γιαννούλας.	42
Εικόνα 5.2: Κατά βάθος διάβρωση στο ρ. Σαρανταπόταμου.	44
Εικόνα 5.3: Ρέμα Αγ. Ιωάννου πάνω από τον δρόμο του ΝΑΤΟ, βάθος εδάφους σε φυσική τομή ύψους 45 cm. Επίσης διακρίνεται στην βάση το Πλειστοκαινικό λατυποκροκαλοπαγές.	44
Εικόνα 5.4: Εδαφολογικός χάρτης γαιών από Μαυρουδή κ.ά, Δνση Δασών Β&Δ (Υπουργείο Γεωργίας 1985).	46
Εικόνα 5.5: Χάρτης κάλυψη εδάφους Θριασίου Πεδίου (Corine 2000).	49
Εικόνα 6.1: Υδρογραφικό δίκτυο των τριών υδρολογικών λεκανών του Θριασίου Πεδίου. ..	52
Εικόνα 6.2: Υδρολογική λεκάνη Γιαννούλας, Ορεινό τμ. Γιαννούλας, Σημεία υδρομέτρησης.	53
Εικόνα 6.3: Υδρολογική λεκάνη και υπολεκάνες του Σαρανταπόταμου.	54
Εικόνα 6.4: Υδρολογική λεκάνη Μάνδρας.	55
Εικόνα 6.5: Ημιμεταβλητόγραμμα με βάση τον σταθμό της Ελευσίνας.	57
Εικόνα 6.6: Γεωγραφική θέση μετεωρολογικών σταθμών.	58
Εικόνα 6.7: Ετήσιες βροχοπτώσεις σταθμών α) Ελευσίνας (1951-2014) β) Μάνδρας (2004-2014).	59
Εικόνα 6.8: Διπλή αθροιστική καμπύλη Ελευσίνας & Τατοΐου-Μεγάρων-Πειραιά-Φιλαδελφείας-Ελληνικού-Μάνδρας-Α.Λιοσίων-Μενιδίου.	60

Εικόνα 6.9: Διπλή αθροιστική καμπύλη Μενιδίου & Α. Λιοσίων-Ελευσίνας-Φιλαδελφείας-Ελληνικού-Μάνδρας.....	60
Εικόνα 6.10: Διπλή αθροιστική καμπύλη Μάνδρας & Α. Λιοσίων-Ελευσίνας-Φιλαδελφείας-Ελληνικού-Μενιδίου.....	60
Εικόνα 6.11: Βροχοβαθμίδα Υδρολογικής Λεκάνης Θριασίου Πεδίου.....	61
Εικόνα 6.12: Πολύγωνα Thiessen.....	62
Εικόνα 6.13: Διευθέτηση της κοίτης της Γιαννούλας για την πραγματοποίηση υδρομετρήσεων.....	64
Εικόνα 6.14: Έλεγχος γραμμικότητας λεκάνης α) ρ. Σαρανταπόταμου β) ρ. Γιαννούλας.....	65
Εικόνα 6.15: Κατασκευή απλού σταθμήμετρου για την μέτρηση στάθμης στο ρ. Σαρανταπόταμου.....	66
Εικόνα 6.16: Καμπύλη στάθμης-παροχής ρ. Σαρανταπόταμου.....	68
Εικόνα 6.17: Σχέση ύψους βροχής-απορροής για το ρ. Σαρανταπόταμου.....	68
Εικόνα 6.18: Μέτρηση διατομής και παροχής α) και β) ρ. Σαρανταπόταμου και γ) ρ. Γιαννούλας (27/11/2013).....	69
Εικόνα 6.19: Απορροή του ρ. Σαρανταπόταμου μετά από την βροχή της 28-2-2015.....	69
Εικόνα 6.20: Πλημμυρογράφημα ρ. Σαρανταπόταμου για ύψος βροχής 145 mm (Μιμίδης et al 2009).....	70
Εικόνα 6.21: Καμπύλη στάθμης-παροχής ρ. Γιαννούλας.....	71
Εικόνα 6.22: Διήθηση στην λεκάνη του ρ. Σαρανταπόταμου α) σε βάθος 0,1 m στις 6-11-2013 και β) 0,25 m στις 2-12-2013.....	76
Εικόνα 7.1: Λιθολογική τομή γεωτρήσεως όπου συναντήθηκαν αργιλικές αποθέσεις μεγάλου πάχους στον Ασπρόπυργο (Υπ. Γεωργίας, 1985).....	79
Εικόνα 7.2: Ανάπτυξη πιεζομετρικής επιφάνειας, Μάρτιος 2000. Το υπόβαθρο είναι ο γεωλογικός χάρτης της Εικόνας 3.1 στο κεφ. 3 ^ο «Γεωλογία της ευρύτερης περιοχής»..	82
Εικόνα 7.3: Ανάπτυξη πιεζομετρικής επιφάνειας, Ιούνιος και Νοέμβριος 2005.....	83
Εικόνα 7.4: Ανάπτυξη πιεζομετρικής επιφάνειας, Μάιος 2008 και Μάιος 2009.....	84
Εικόνα 7.5: Ανάπτυξη πιεζομετρικής επιφάνειας, Απρίλιος και Οκτώβριος 2012.....	85
Εικόνα 7.6: Ανάπτυξη πιεζομετρικής επιφάνειας α) της υπό πίεσης και β) της ελεύθερης υδροφορίας (Απρίλιος 2014).....	86
Εικόνα 7.7: Αυτόματη ροή νερού στην επιφάνεια του εδάφους στην περιοχή του παλαιού Γομωτηρίου Ελευσίνας (Υπ. Γεωργίας, 1954).....	91
Εικόνα 7.8: Τομή γεωτρήσεως όπου φαίνεται το πάχος των αργίλων 50 m στις εγκαταστάσεις του ναυστάθμου. (Υπ. Γεωργίας 1953).....	92
Εικόνα 7.9: Υδρολιθολογικός χάρτης υδρολογικών λεκανών Θριασίου Πεδίου.....	93
Εικόνα 7.10: Χάρτης του Kaupert όπως έχει επεξεργασθεί από τους Δασακλή κ.ά. (2009) δείχνει την εκφόρτιση με μορφή διαρροής προς τα πάνω του υπόγειου υδροφορέα διαμέσου των αλλουβίων με γαλάζιο χρώμα και με πράσινο τον βαλτότοπο.....	96
Εικόνα 7.11: Θέσεις σταθμηγράφων με κόκκινο χρώμα, πηγαδιών δειγματοληψίας και παράκτιων και μη παράκτιων πηγών με μπλε χρώμα (Δούνας και Παναγιωτίδης 1964).....	97
Εικόνα 7.12: Η Κυχρεία λίμνη κατά την άποψη των Μαριολάκου Θεοχάρη (2001).....	97
Εικόνα 7.13: Θέσεις δοκιμαστικών αντλήσεων.....	106
Εικόνα 7.14: Ανάλυση άντλησης πηγαδιού N54 με την μέθοδο Cooper-Jacob.....	108

Εικόνα 7.15: Ανάλυση δεδομένων πηγαδιών παρατήρησης Π ₁ , Π ₂ με την μέθοδο Cooper-Jacob (29/05/2012) και εμφάνιση της transient steady-state ροής του υπόγειου νερού στην περιοχή του πηγαδιού N54.....	109
Εικόνα 7.16: Ανάλυση δεδομένων άντλησης πηγαδιού N ^ο 54 με την μέθοδο Παπαδόπουλου.	109
Εικόνα 7.17: Ανάλυση άντλησης πηγαδιού N54 με την μέθοδο Theis (29/05/2012).	110
Εικόνα 7.18: Ανάλυση δεδομένων πηγαδιού παρατήρησης Π ₂ με την μέθοδο Theis και εμφάνιση του φαινομένου της ψευδομεταβιβαστικότητας (pseudo-transmissivity).	111
Εικόνα 7.19: Ανάλυση δεδομένων άντλησης πηγαδιού N ^ο 54 με την μέθοδο Neuman.....	112
Εικόνα 7.20: Ανάλυση δεδομένων επαναφοράς της στάθμης στο πηγάδι N54.	113
Εικόνα 7.21: Η θέση των πηγαδιών N86 και των δορυφορικών πηγαδιών παρατήρησης Π1 και Π2.	114
Εικόνα 7.22: Ανάλυση δεδομένων άντλησης πηγαδιού N86 με την μέθοδο Cooper-Jacob και ανίχνευση της επίδρασης της μεγάλης διαμέτρου κατά την διεξαγωγή της δοκιμαστικής αντλήσεως.	115
Εικόνα 7.23: Ανάλυση δεδομένων άντλησης πηγαδιού N86 με την μέθοδο Theis.....	116
Εικόνα 7.24: Ανάλυση δεδομένων άντλησης πηγαδιού N ^ο 86 με την μέθοδο Παπαδόπουλου.	116
Εικόνα 7.25: Ανάλυση δεδομένων άντλησης πηγαδιού N86 με την μέθοδο Neuman.	117
Εικόνα 7.26: Μέθοδος επαναφοράς της στάθμης στο πηγάδι N86.	118
Εικόνα 7.27: Ανάλυση δεδομένων άντλησης του πηγαδιού N ^ο 128 με την μέθοδο Παπαδόπουλου.....	119
Εικόνα 7.28: Ανάλυση δεδομένων άντλησης του πηγαδιού N128 με την μέθοδο Theis.	120
Εικόνα 7.29: Ανάλυση δεδομένων άντλησης του πηγαδιού N ^ο 128 με την μέθοδο Cooper-Jacob.	121
Εικόνα 7.30: Ανάλυση δεδομένων άντλησης του πηγαδιού N ^ο 128 με την μέθοδο Neuman.	121
Εικόνα 7.31: Μέθοδος επαναφοράς της στάθμης στο πηγάδι N128.	122
Εικόνα 7.32: Ανάλυση δεδομένων άντλησης πηγαδιού N129 με την μέθοδο Theis.....	123
Εικόνα 7.33: Ανάλυση δεδομένων άντλησης πηγαδιού N129 με την μέθοδο Cooper-Jacob.	124
Εικόνα 7.34: Ανάλυση δεδομένων επαναφοράς της στάθμης στο πηγάδι N ^ο 131.	125
Εικόνα 7.35: Η θέση του πηγαδιού N ^ο 154 και των πηγαδιών παρατήρησης Π1 και Π2.	126
Εικόνα 7.36: Ανάλυση δεδομένων άντλησης πηγαδιού N154 με την μέθοδο Cooper-Jacob.	126
Εικόνα 7.37: Ανάλυση δεδομένων επαναφοράς της στάθμης στο πηγάδι N154	127
Εικόνα 7.38: Ανάλυση δεδομένων άντλησης του πηγαδιού N154 με την μέθοδο Παπαδόπουλου.....	127
Εικόνα 7.39: Ανάλυση δεδομένων άντλησης πηγαδιού N154 με την μέθοδο Theis.....	128
Εικόνα 7.40: Ανάλυση δεδομένων άντλησης του πηγαδιού N154 με την μέθοδο Neuman.	129
Εικόνα 7.41: Ανάλυση δεδομένων άντλησης πηγαδιού N154-Π ₂ με την μέθοδο Cooper-Jacob.	130
Εικόνα 7.42: Ανάλυση δεδομένων άντλησης πηγαδιού N ^ο 154-Π ₂ με την μέθοδο Theis.....	131

Εικόνα 7.43: Ανάλυση δεδομένων άντλησης πηγαδιού N154-Π ₂ με την μέθοδο Παπαδόπουλου (5/4/2009).....	131
Εικόνα 7.44: Ανάλυση δεδομένων άντλησης του πηγαδιού N154-Π ₂ με την μέθοδο Neuman.	132
Εικόνα 7.45: Ανάλυση δεδομένων επαναφοράς της στάθμης στο πηγάδι N154-Π ₂	133
Εικόνα 7.46: Ανάλυση δεδομένων άντλησης πηγαδιού N ^ο 176 με την μέθοδο Cooper-Jacob	134
Εικόνα 7.47: Ανάλυση δεδομένων επαναφοράς της στάθμης από την άντληση στο πηγάδι N176.....	135
Εικόνα 7.48: Ανάλυση δεδομένων άντλησης πηγαδιού N176 με την μέθοδο Theis.....	135
Εικόνα 7.49: Ανάλυση δεδομένων άντλησης πηγαδιού N ^ο 176 με την μέθοδο Παπαδόπουλου.	136
Εικόνα 7.50: Οι παράμετροι της μεθόδου Hantush-Thomas.....	138
Εικόνα 7.51: Ελλειψοειδές ανισοτροπίας στην περιοχή του πηγαδιού N54.	140
Εικόνα 7.52: Υδρογεωλογικός χάρτης του Θριασίου Πεδίου.	141
Εικόνα 7.53: Σχηματική υδρογεωλογική τομή Θριασίου Πεδίου διευθύνσεως B-N (Hermides and Stamatis 2017).....	142
Εικόνα 8.1: Σημεία δειγματοληψίας νερού. Το γεωλογικό υπόβαθρο είναι το ίδιο με αυτόν του γεωλογικό χάρτη της Εικόνας 3.1 στο κεφάλαιο «Γεωλογία της ευρύτερης περιοχής».	145
Εικόνα 8.2: Τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας EC (μS/cm) α) Μάιος 2012 β) Οκτώβριος 2012.	156
Εικόνα 8.3: Χάρτης κατανομής TDS α) Μαΐου 2012 β) Οκτωβρίου 2012.	157
Εικόνα 8.4: Ισοτιμικές καμπύλες pH α) Μάιος 2012 β) Οκτώβριος 2012.	159
Εικόνα 8.5: Ισοτιμικές καμπύλες Ca ²⁺ α) Μάιος και β) Οκτώβριος 2012.....	161
Εικόνα 8.6: Ισοτιμικές καμπύλες Mg ²⁺ α) Μάιος και β) Οκτώβριος 2012.	162
Εικόνα 8.7: Τιμές κατιόντων νατρίου α) Μάιος 2012 και β) Οκτώβριος 2012.....	164
Εικόνα 8.8: Ισοτιμικές καμπύλες χλωριόντων α) Μάιος 2012 β) Οκτώβριος 2012.....	166
Εικόνα 8.9: Ισοτιμικές καμπύλες SO ₄ ²⁻ (mg/l) α) Μάιος 2012 β) Οκτώβριος 2012.	167
Εικόνα 8.10: Ισοτιμικές καμπύλες HCO ₃ ⁻ (mg/l) α) Μάιος και β) Οκτώβριος 2012.	168
Εικόνα 8.11: Σύγκριση ισοτιμικών καμπυλών NO ₃ ⁻ (mg/l) α) Νοέμβριος 2000 β) Οκτώβριος 2012.....	170
Εικόνα 8.12: Χάρτης ισοτιμικών καμπυλών ανιόντων βρωμίου α) Μάιος και β) Οκτώβριος του 2102.....	171
Εικόνα 8.13: Κατανομή φθοριόντων Οκτώβριος 2012 (Hermides and Stamatis 2017).....	172
Εικόνα 8.14: Ισοτιμικές καμπύλες NO ₂ ⁻ (mg/l) Οκτώβριος 2012.	173
Εικόνα 8.15: Κατανομή του Ni ⁺ (Μάιος 2012).	174
Εικόνα 8.16: Κατανομή του CrVI(μg/l) α) Μάιος και β) Οκτώβριος 2012.	176
Εικόνα 8.17: Διάγραμμα expanded Durov (Ιανουαρίου 2012).....	178
Εικόνα 8.18: Διάγραμμα expanded Durov (Μάιος 2012).....	179
Εικόνα 8.19: Διάγραμμα expanded Durov (Οκτώβριος 2012).	180
Εικόνα 8.20: Διαγράμματα expanded Durov στα υπόγεια νερά του Θριασίου Νοέμβριος 1999 και Μάιος 2000	181

Εικόνα 8.21: Διαγράμματα expanded Durov στα υπόγεια νερά του Θριασίου Νοέμβριος 2000 και Μάιος 2001.	181
Εικόνα 8.22: Διάγραμμα Piper όπου τα νερά ταξινομούνται αναλόγως της λιθολογίας του υδροφόρου (Οκτώβριος 2012).	183
Εικόνα 8.23: Διάγραμμα Piper στο οποίο ταξινομούνται τα υπόγεια νερά σε διάφορες κατηγορίες και ομάδες (Οκτώβριος 2012).	184
Εικόνα 8.24: Διάγραμμα Piper περιόδου Οκτωβρίου 2012 στο οποίο φαίνεται η εξέλιξη του χημισμού του υπόγειου νερού.	185
Εικόνα 8.25: Διάγραμμα Chadha για την ανίχνευση των υδρογεωχημικών διεργασιών που λαμβάνουν χώρα στους υδροφορείς του Θριάσιου Πεδίου.	187
Εικόνα 8.26: Θέσεις υδροχημικών τομών κάθετα στην ακτή του κόλπου της Ελευσίνας. ..	188
Εικόνα 8.27: Υδροχημική τομή 1 (βλέπε την θέση της στον χάρτη της Εικόνας 7.26).	190
Εικόνα 8.28: Υδροχημική τομή 3	191
Εικόνα 8.29: Υδροχημική τομή 4.	192
Εικόνα 8.30: Υδροχημική τομή 6.	193
Εικόνα 8.31: Υδροχημική τομή 7.	194
Εικόνα 8.32: Δείκτες κορεσμού α) του ασβεστίτη, β) δολομίτη, γ) γύψου συναρτήσει της συγκέντρωσης των θεικών.	197
Εικόνα 8.33: Διάγραμμα HCO_3^- (meq/l) συναρτήσει των Ca^{2+} , Mg^{2+} (mmol/kg H_2O).	199
Εικόνα 8.34: Χάρτης ισοτιμικών καμπυλών του λόγου $\text{Mg}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$ α) Μάιος 2012, β) Οκτώβριος 2012.	201
Εικόνα 8.35: Χάρτης καμπυλών του λόγου Na/Cl (meq/l) α) Μάιος 2012 β) Οκτώβριος 2012.	202
Εικόνα 8.36: Κατανομή του λόγου Na^+/K^+ (meq/l) α) Μάιος 2012 β) Οκτώβριος 2012.	203
Εικόνα 8.37: Λόγος (meq/l) $(\text{Ca}+\text{Mg})/\text{Na}$ α) Μάιος 2012 β) Οκτώβριος 2012.	204
Εικόνα 8.38: Λόγος μαζών Cl/Br Οκτώβριος 2012 (Hermides and Stamatis 2017).	205
Εικόνα 8.39: Λόγος μαζών HCO_3^-/Cl στα υπόγεια νερά του Θριασίου α) Μάιος 2012, β) Οκτώβριος 2012.	206
Εικόνα 8.40: Λόγος μαζών $\text{Cl}-\text{Na}/\text{Cl}$ στα υπόγεια νερά του Θριασίου α) Μάιος 2012, β) Οκτώβριος 2012.	207
Εικόνα 8.41: Λόγος $(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})/(\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-})$ α) Μάιος β) Οκτώβριος 2012.	208
Εικόνα 8.42: Διαγράμματα Gibbs. Μηχανισμοί που ελέγχουν την ποιότητα και την σύσταση του υπόγειου νερού, ιοντικοί (meq/l) λόγοι α) $\text{Na}/\text{Na}+\text{Ca}$ και β) $\text{Cl}/\text{Cl}+\text{HCO}_3^-$	209
Εικόνα 8.43: Διάγραμμα μεταβολής του TDS συναρτήσει της EC στα υπόγεια νερά του Θριασίου πεδίου (Μάιος-Οκτώβριος 2012).	210
Εικόνα 8.44: Διάγραμμα μεταβολής των χλωριόντων συναρτήσει της EC στα υπόγεια νερά του Θριασίου πεδίου (Ιανουάριος-Μάιος-Οκτώβριος 2012).	211
Εικόνα 8.45: Διαγράμματα (EC- NaCl) α) Μαΐου και β) Οκτωβρίου 2012.	212
Εικόνα 8.46: Διαγράμματα α) $\text{Cl}^- - \text{NO}_3^-$, β) $\text{Cl}^- - \text{NO}_2^-$, γ) $\text{NO}_3^- - \text{NO}_2^-$ και δ) διαφορές $\Delta\text{NO}_3^- - \Delta\text{NO}_2^-$ μεταξύ Μαΐου και Οκτωβρίου 2012.	213
Εικόνα 8.47: Διαγράμματα α) $(\text{Cl}^- - \text{Na}^+)$, β) $(\text{EC} - \text{Na}^+/\text{Cl}^-)$	214
Εικόνα 8.48: Διαγράμματα συσχέτισης α) $(\text{Ca}+\text{Mg})/\text{HCO}_3^-$, β) $(\text{Ca}+\text{Mg})/(\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-})$	215
Εικόνα 8.49: Συσχέτιση Cl^- και SO_4^{2-} , Na^+ και SO_4^{2-}	216

Εικόνα 8.50: Ορυκτολογική ανάλυση των ιζημάτων του κόλπου της Ελευσίνας (Κανελλοπούλου κ. ά. 2004).	217
Εικόνα 8.51: Διάγραμμα συσχέτισης Br^- συναρτήσει Cl^- (Οκτώβριος 2012).	220
Εικόνα 8.52: Συσχέτιση του λόγου μαζών Cl^-/Br^- συναρτήσει των χλωριόντων ταξινομημένος ανά τύπο και ηλικία υδροφόρου (Μάιος και Οκτωβρίου 2012).	221
Εικόνα 8.53: Συσχέτιση του λόγου μαζών Cl^-/Br^- συναρτήσει των χλωριόντων στις τρεις δειγματοληψίες του 2012.	222
Εικόνα 8.54: Η εξέλιξη του λόγου μαζών Cl^-/Br^- από τον Μάιο στον Οκτώβριο (2012). Η κόκκινη γραμμή είναι η τιμή 292 του θαλασσινού νερού, οι δύο κίτρινες είναι τα όρια 350-600 που υποδηλώνουν ανθρωπογενή ρύπανση.	222
Εικόνα 8.55: Οι δείκτες κορεσμού του φθορίτη και ασβεστίτη συναρτήσει των φθοριόντων στα υπόγεια νερά του Θριασίου (2012).	224
Εικόνα 8.56: Ο λόγος F^-/Cl^- συναρτήσει της χλωριότητας %. Ο λόγος είναι $\times 10^{-5}$ για να μπορεί εύκολα να συγκριθεί με τον αντίστοιχο της θάλασσας ο οποίος είναι περίπου 7×10^{-5}	224
Εικόνα 8.57: Συγκέντρωση F^- συναρτήσει των Cl^- , NO_3^- , pH και Eh (Hermides and Stamatis 2017)	225
Εικόνα 8.58: Ο βαθμός υφαλμύρισης των υδροφορέων του Θριασίου Πεδίου, γενική άποψη. Ο τιμές αντιστοιχούν σε %, δηλαδή η τιμή π.χ. 0.02 αντιστοιχεί σε 2%.	229
Εικόνα 8.59: Χάρτης ισοτιμικών καμπυλών NaCl α) Μαΐου-Ιουνίου και β) Οκτωβρίου 2012.	232
Εικόνα 8.60: Χάρτης κατανομής του τύπου νερού και της εξέλιξης των υπόγειων νερών στο Θριάσιο Πεδίο.	234
Εικόνα 9.1: Υδροστρωματογραφικές ενότητες.	238
Εικόνα 9.2: Εννοιολογικό υδρογεωλογικό ομοίωμα (μοντέλο) των υπόγειων νερών του Θριασίου Πεδίου.	239
Εικόνα 9.3: Γεωλογικές τομές BA-NΔ και Δ-A διεύθυνσης.	240
Εικόνα 9.4: Απλοποιημένη υδρογεωλογική τομή Θριασίου Πεδίου διεύθυνσης B-N, η οποία δείχνει πως η απόθεση των αργίλων του Ολοκαίνου ταυτόχρονα με την άνοδο της στάθμης της θάλασσας εγκλώβισαν το θαλασσινό νερό το οποίο έχει εισβάλλει στους ανώτερους υδροφορείς.	245

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. Ο σκοπός της διατριβής

Θριάσιον, ο τόπος της ποιητικής εκστάσεως, της παραφοράς και της μανίας. Προφητικής παραφοράς, ενθουσιασμού και αποκαλύψεως των μελλούμενων, στα ιερά των εν Ελευσίνη ρείθρων, των Ρειτών, όπως αι Θριαί νύμφαι τροφοί του Απόλλωνος εθρίαζον μαντεύματα.

Αυτός, ο ιερός των αρχαίων τόπος, που τόσα γνωρίζουμε ιστορικά, αποτελεί το πεδίο της παρούσης διδακτορικής διατριβής, η οποία σκοπό έχει την διασαφήνιση των υδρογεωλογικών συνθηκών που επικρατούν στην περιοχή, την διερεύνηση της υδραυλικής σχέσης των υδροφορέων με την θάλασσα, την διερεύνηση των ποιοτικών χαρακτηριστικών του υπόγειου νερού, την γεωχημική του εξέλιξη και τις φυσικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα με απώτερο σκοπό την περιβαλλοντική αποκατάσταση και εν τέλει την ολοκληρωμένη διαχείριση του υπόγειου υδατικού δυναμικού της περιοχής. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της ανάδειξης νέων στοιχείων αλλά και της διευρύνσεως παλαιότερων. Στρωματογραφικά, υδρογεωλογικά, υδραυλικά αλλά και στοιχεία της γεωχημείας του υπόγειου νερού και των αντίστοιχων γεωχημικών διεργασιών που λαμβάνουν χώρα συνταιριάστηκαν μεταξύ τους για τον σκοπό αυτό. Κρυφή ελπίδα, η εργασία αυτή να συμβάλλει, στο μέλλον, στην εξυγίανση του υποβαθμισμένου σε ποιότητα υπόγειου νερού και την αποκατάσταση του παλαιού κλέους.

1.2. Μεθοδολογία

Η μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα διατριβή περιλαμβάνει τα παρακάτω στοιχεία:

- Συγκέντρωση βιβλιογραφικών δεδομένων από συγγράμματα, βιβλία και αναφορές σε περιοδικά και συνέδρια.
- Συλλογή στοιχείων της περιοχής από διδακτορικές διατριβές, μελέτες και εκθέσεις διαφόρων ερευνητών.
- Συλλογή τομών γεωτρήσεων και κατασκευή συνθετικών στρωματογραφικών στηλών.
- Συλλογή χαρτών και ψηφιοποίηση των γεωλογικών χαρτών του ΓΓΜΕ.
- Επιλογή δικτύου 60 πηγαδιών και γεωτρήσεων συνολικά παρακολούθησης στάθμης του υπόγειου νερού και δειγματοληψίας νερού.
- Μετρήσεις στάθμης υπόγειου νερού σε προεπιλεγμένα αντιπροσωπευτικά πηγάδια της περιοχής μελέτης για την περίοδο 1999-2014 και κατασκευή ισοπιεζομετρικών χαρτών για την μελέτη της εξέλιξης της πιεζομετρίας.
- Διεξαγωγή δοκιμαστικών αντλήσεων σε 9 πηγάδια των Πλειο-Πλειστοκαινικών ιζημάτων, ανάλυση και επεξεργασία των στοιχείων αυτών.
- Συλλογή και αξιολόγηση στοιχείων δοκιμαστικών αντλήσεων από παλαιότερες μελέτες και συσχέτιση με τις νέες μετρήσεις.
- Υδρομετρήσεις ρεμάτων κατά την διάρκεια της πλημμυρικής απορροής αυτών (κυρίως Σαρανταπόταμου και Γιαννούλας αλλά και των μικρότερων ρεμάτων) και την εξαγωγή χρήσιμων φυσικών παραμέτρων όπως γραμμικότητας των ποταμών, καμπύλες στάθμης- παροχής και σχέση βροχής απορροής.

- Καταγραφή φυσικοχημικών παραμέτρων του υπόγειου νερού in situ και δειγματοληψίες νερού και αντίστοιχες χημικές αναλύσεις συνολικού αριθμού 100 για την παρακολούθηση της ποιότητας των υπόγειων νερών. Οι δειγματοληψίες πραγματοποιήθηκαν σε τρεις περιόδους: Ιανουάριο 2012 (12), Μάιο-Ιούνιο 2012 (45) και Οκτώβριο 2012 (38) και κατά την διάρκεια δύο δοκιμαστικών αντλήσεων (5). Επίσης, καταγραφή φυσικοχημικών παραμέτρων σε 2 δείγματα των ρεμάτων Σαρανταπόταμου και Γιαννούλας.
- Χρήση των ανιόντων αλογόνων φθορίου, χλωρίου και βρωμίου ως περιβαλλοντικούς ιχνηθέτες για την ερμηνεία της προέλευσης της αλατότητας και ρύπανσης του υπόγειου νερού.
- Κατασκευή ισοπαραμετρικών χαρτών διαφόρων χημικών παραμέτρων.
- Συλλογή και αξιολόγηση στοιχείων γεωφυσικών ερευνών (Γκούμας 2006, Σκιάνης 2008).

1.3. Υπάρχοντα στοιχεία

Σε ιστορικά κείμενα από εφημερίδες στις αρχές του προηγούμενου αιώνα περιγράφονται αρκετά κατατοπιστικά γεωλογικά, υδρογεωλογικά και υδραυλικά στοιχεία καθώς και στοιχεία για την ποιότητα του νερού της περιοχής του Θριασίου Πεδίου (Καλλιέρης Δ. 2010). Στην ημερήσια εφημερίδα «ΕΜΠΡΟΣ» την 5η και την 6η Ιουνίου 1900 δημοσιεύτηκαν εκτεταμένες πληροφορίες για το υπό κατασκευή έργο:

«Εν Αθήναις Δευτέρα 5 Ιουνίου 1900

ΕΙΣ ΤΟ ΘΡΙΑΣΙΟΝ ΠΕΔΙΟΝ

ΤΟ ΥΔΩΡ ΤΟΥ ΕΙΣ ΤΑΣ ΑΘΗΝΑΣ

«Η Χθεσινή Εκδρομή: Κατόπιν προσκλήσεως του κ. Σούτσου εξέδραμον χθες την 6ην πρωινήν εις το Θριάσιον πεδίον...». «Αι υδραυλικοί λοιπόν επί του πεδίου του εργασίαι γίνονται μεταξύ του 18ου και 19ου χιλιομέτρου, ήτοι από της ακτής της θαλάσσης μέχρι της θέσεως Γκοριτσές εν Αγριαχλαδιές...». «Πρόκειται λοιπόν να κατασκευασθή τώρα μία στοά μήκους 1.650 μέτρων και ήτις να συνεχίζεται δια χάνδακος μήκους 850 μέτρων. Τα ύδατα θα αντλούνται εις απόστασιν 2.500 μέτρων από της ακτής, εις βάθος 22 μέτρων...».

«Στο Θριάσιον πεδίον έγιναν τότε δοκιμαστικά έργα, δια τα οποία εδαπανήθηκαν παρά του Κράτους περί το εν εκατομμύριον δραχμών. Όλες όμως οι ελπίδες, που είχαν βασισθή στην ανεύρεσιν νερού, διεψεύσθησαν, διότι εκείνο που ανέβλυσεν **ήταν κακής ποιότητος και υφάλμυρον**». «Από της ακτής μέχρι της θέσεως Γκοριτσές έχει ανοιχθή μία σήραγξ πλάτους 1,60μ. από δε της σιδηροδρομικής γραμμής μέχρι της ίδιας θέσεως έχουν ανοιχθή περί τα 80 φρέατα εκ των οποίων το μεν πρώτον κέκμηται βάθος 5,20μ. το δε τελευταίον 21,97μ. Τα φρέατα αυτά θα εκβαθυνθώσιν ακόμη. Εις την ανόρυξιν παρουσιάζονται δυσκολία τινές ένεκα της **αναπηδήσεως και συσσωρεύσεως εν αυτοίς των υδάτων** και της δυσκόλου αντλήσεως αυτών. Αι δυσκολίαι αυτάί θα λείψουν όταν συντελεσθή η αποπεράτωσις του χάνδακος και ούτω δοθή διέξοδος εις τα ύδατα. Όταν αποπερατωθή ο χάνδαξ θ' αρχίσει η κατασκευή της στοάς, ήτις θα έχη ύψος 1,60, πάχος θόλου 0,40 πάχος μετόν και πλακοστρώσεως 0,20. Πλάτος 0,80 πάχος τοίχων 0,40».

«Το ύδωρ δεν είνε υφάλμυρον ως εγράφη. **Μόνο από της ακτής μέχρι της σιδηροδρομικής γραμμής, δηλαδή εις το παραθαλάσιον υδροφόρον στρώμα το ύδωρ είναι υφάλμυρον**, από της σιδηροδρομικής γραμμής μέχρι της θέσεως Γκοριτσές όπου το τελευταίον φρέαρ, το πεδίον μας δίδει γλυκύτερον και ευγλυστότατον (;) ύδωρ. Άλλως τε η άντλησις δια τας Αθήνας θα γίνεται από του τελευταίου φρέατος, όπερ κείται εις απόστασιν 3.800 μέτρων από της ακτής. Του ύδατος τούτου εγεύθημεν, το εύρομεν δε θαυμάσιον».

1.4. Ρύπανση του νερού

Από τις αρχές του περασμένου αιώνα άρχισε η εκμετάλλευση των υπόγειων νερών. Στην παραλιακή ζώνη, ως προαναφέρθηκε το νερό ήταν ήδη υφάλμυρο. Σε περιοχές μεγαλύτερου υψομέτρου η ποιότητα ήταν καλή. Κατ' αυτόν τον τρόπο η περιοχή άρχισε να αρδεύεται. Με τον καιρό η ανάπτυξη πήρε διαστάσεις και οδήγησε την περιοχή σε σοβαρά περιβαλλοντικά προβλήματα. Έτσι, το Θριάσιο Πεδίο από αγροτική γη πριν από 3-4 δεκαετίες μεταβλήθηκε πρακτικά σε εκτεταμένη αστική και βιομηχανική περιοχή, αναπτυγμένη άναρχα και γι' αυτό υποβαθμισμένη, ενώ οι αγροτικές εκτάσεις και κυρίως οι αγροτικές δραστηριότητες μειώθηκαν και μειώνονται σημαντικά. Οι βιομηχανικές και βιοτεχνικές δραστηριότητες δεν ελέγχονται επαρκώς από τις αρμόδιες υπηρεσίες, κυρίως σ' ότι αφορά τα απόβλητά τους (υγρά και στερεά), με αποτέλεσμα τη ρύπανση και μόλυνση σχεδόν όλων των υδάτινων αποδεκτών (Karavitis et al 2001). Συμμετοχή στα ρυπαντικά υγρά έχουν και τα στραγγίσματα (leachate) των διαφόρων χωματερών (Christides et al 2011, Παρασκούδης 2002).



Εικόνα 1.1: Έντονο μωβ χρώμα στο ρ. Γιαννούλας από την απόρριψη αποβλήτων (28/11/2000).

Έτσι, σ' ότι αφορά τα υπόγεια νερά, εκτός από την σε ορισμένες θέσεις διείσδυση της θάλασσας που προκαλεί υφαλμύριση, το νερό επιβαρύνεται από την εξάτμιση του νερού άρδευσης το οποίο είναι ήδη βεβαρυσμένο με άλατα. Επίσης, μεγάλη ρύπανση προκαλείται από τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες, αγροτικές, βιομηχανικές και αστικές όπως με την χρήση φυτοφαρμάκων, λιπασμάτων, απόβλητων βυρσοδεψίας, αποθέσεων ορυκτελαίων, με το πλύσιμο των σταθμευμένων καινούργιων αυτοκινήτων στους χώρους στάθμευσης των αντιπροσωπειών τους (Εικόνα 1.1 έως και 1.5) γεγονός που επιβεβαιώνεται και από τις πολύ υψηλές τιμές διαφόρων χημικών παραμέτρων όπως π.χ. η υψηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα έως

8000-9000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ η οποία εμφανίζεται στο πηγάδι Νο 56, η υψηλή συγκέντρωση ανιόντων Cl^- έως 3000 mg/l, οι υψηλές συγκεντρώσεις NO_3^- έως 465 mg/l στο πηγάδι Νο 154, καθώς και η υψηλή συγκέντρωση ανιόντων NO_2^- στο πηγάδι Νο 169 και CrVI στο πηγάδι Νο 72.



Εικόνα 1.2: Απόρριψη πετρελαιοειδών στο ρ. Γιαννούλας κοντά στην θέση του πηγαδιού Ν 72 και διάφορα απορρίμματα.



Εικόνα 1.3: Απόρριψη πετρελαιοειδών στο έδαφος στην θέση του πηγαδιού με τον αριθμό 27 (1-5-2009).



Εικόνα 1.4: Απόρριψη ογκωδών αντικειμένων (1-3-2014) και κτηνοτροφικών λυμάτων (9-1-2014) στην κοίτη του Σαρανταπόταμου.



Εικόνα 1.5: Δυσοσμία στο νερό από κτηνοτροφικά λύματα άνω ρους Σαρανταπόταμου (27-2-2014) και Μεγάλο Κατερίνι (24-11-2013).

1.5. Δομή της διατριβής

Η παρούσα περιλαμβάνει 9 κεφάλαια. Το 1^ο κεφ. είναι η εισαγωγή η οποία περιγράφει τον σκοπό της διατριβής, γενικά στοιχεία της περιοχής και την δομή της εργασίας.

Το 2^ο κεφ. με τίτλο «Γεωλογία της ευρύτερης περιοχής» περιλαμβάνει την γεωλογία και την γεωλογική ιστορία της περιοχής του Θριασίου αλλά και της ευρύτερης αυτής και παρουσιάζει τις απόψεις διαφόρων συγγραφέων-ερευνητών πάνω σε αυτό το θέμα.

Στο 3^ο κεφ. με τίτλο «Τεκτονική» περιγράφεται η τεκτονική και νεοτεκτονική εξέλιξη του Θριασίου.

Στο 4^ο κεφ. με τίτλο «Γεωμορφολογία - Εδαφολογία» αναφέρονται τα γεωμορφολογικά και εδαφολογικά χαρακτηριστικά.

Στο 5^ο κεφ. με τίτλο «Υδρολογία» προσεγγίζεται το υδρολογικό καθεστώς μέσα από την μελέτη των υδρομετεωρολογικών παραμέτρων, τις υδρομετρήσεις ποταμών, τον προσδιορισμό και την εκτίμηση των παρόντων που μετέχουν στο υδρολογικό ισοζύγιο όπως της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής και της κατείδυσης.

Στο 6^ο κεφ. με τίτλο «Υδρογεωλογία» αναλύεται η υδρολιθολογία της περιοχής και το υδρογεωλογικό καθεστώς καθώς επίσης, μελετάται η υπόγεια υδραυλική μέσα από την ανάλυση των δοκιμαστικών αντλήσεων.

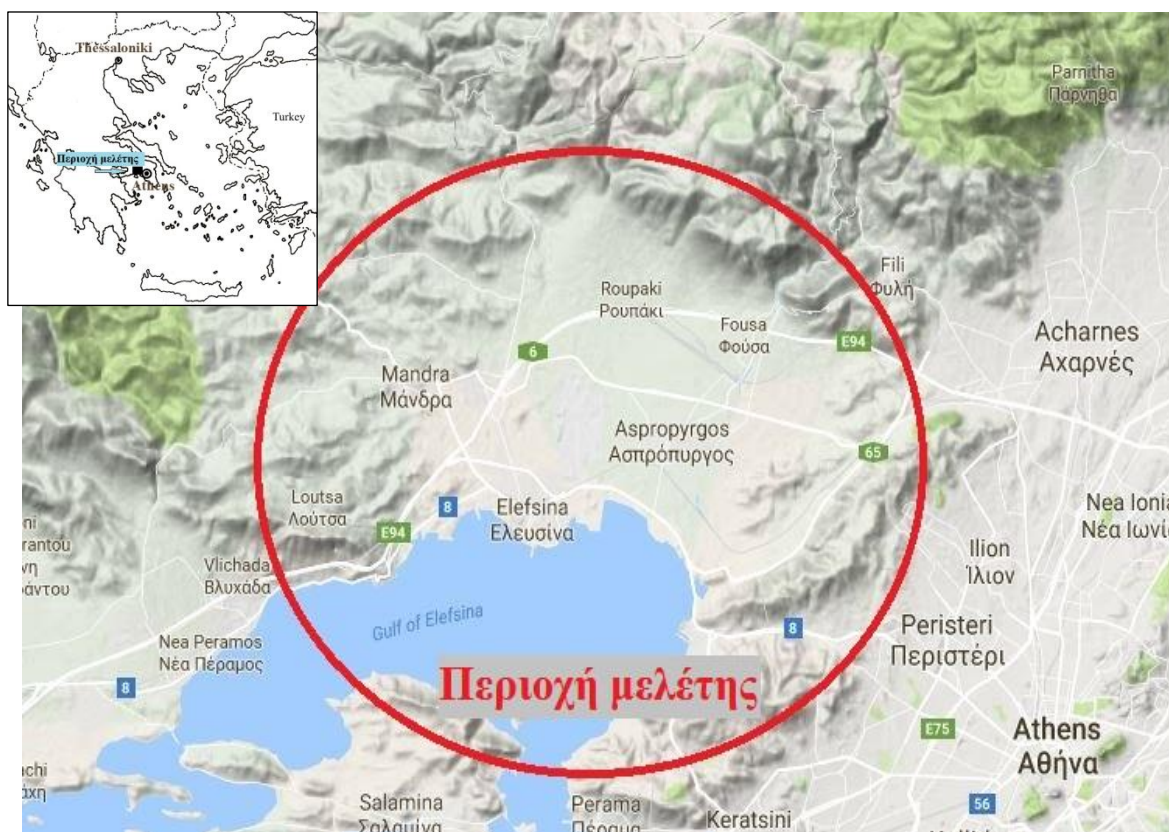
Στο 7^ο κεφ. με τίτλο «Υδρογεωχημεία» μελετώνται οι γεωχημικές διεργασίες οι οποίες επιτελούνται στα υπόγεια νερά του Θριασίου Πεδίου και επιχειρείται η ερμηνεία της προέλευσης και της εξέλιξης του υπόγειου νερού με την μελέτη των ανιόντων αλογόνων.

Το 8^ο κεφ. με τίτλο «Υδρογεωλογικό εννοιολογικό ομοίωμα» αναπτύσσεται μία εντελώς νέα πρόταση της λειτουργίας των υδροφόρων συστημάτων και των υδρογεωλογικών συνθηκών.

Η διατριβή κλείνει με το 9^ο κεφ. με τίτλο «Συμπεράσματα».

2. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

Το Θριάσιο Πεδίο αποτελεί κυρίως το πεδινό τμήμα της υδρολογικής λεκάνης του ρέματος Σαρανταπόταμου και του ρέματος Γιαννούλας, η έκταση του οποίου ανέρχεται σε 120 περίπου km². Βρίσκεται 10 περίπου km δυτικά της Αθήνας (Εικόνα 2.1). Οριοθετείται ανατολικά από το όρος Αιγάλεω, δυτικά από τους πρόποδες του όρους Πατέρα, βόρεια-βορειοδυτικά από τα όρη Πάρνηθα και Πάστρα και νότια από τον κόλπο της Ελευσίνας και περιλαμβάνει τους δήμους Ελευσίνας-Μαγούλας, Ασπροπύργου και Μάνδρας.



Εικόνα 2.1: Περιοχή μελέτης (google map 2017)

Η περιοχή και οι χρήσεις γης εξελίσσονται με ταχύτατους ρυθμούς με αποτέλεσμα να επικρατεί μία μεταβαλλόμενη δυναμική της οποίας η αναρχία είναι κύριο χαρακτηριστικό. Αποτέλεσμα αυτής της δυναμικής είναι η αυξανόμενη περιβαλλοντική φόρτιση και υποβάθμισή της. Αυτός είναι και ο λόγος όπου με την περιοχή αυτή έχουν ασχοληθεί πολλοί ερευνητές για πολλά χρόνια.

Από την συνολική έκταση της περιοχής μελέτης το 30% περίπου, δηλαδή 35 km², αποτελούν αστική περιοχή, ημιαστική, βιοτεχνική, βιομηχανική, εταιρείες logistics κλπ, περίπου το 8% ή 10 km² αποτελεί το αεροδρόμιο της Ελευσίνας και ένα άλλο 8% περίπου ή 10 km² αποτελούν το οδικό και το σιδηροδρομικό δίκτυο και τον εμπορευματικό σταθμό του ΟΣΕ. Έτσι η ακάλυπτη γη ανέρχεται περίπου σε 50-55% ή περίπου 65-70 km², από τα οποία

αρδεύεται περίπου το 20-30% δηλαδή τα 15-20 km² με νερό που αντλείται από πηγάδια και γεωτρήσεις.

Η περιοχή μελέτης περιλαμβάνει την παραλιακή ζώνη που βρίσκεται στον κόλπο της Ελευσίνας μέχρι τους πρόποδες του όρους Πάρνηθα. Αποτελεί τεκτονικό βύθισμα στο οποίο έχουν αποτεθεί χερσαία, λιμναία και λιμνοθαλάσσια ιζήματα. Η νεοτεκτονική δράση έχει επαναδραστηριοποιήσει παλαιότερες τεκτονικές δομές και έχει δημιουργήσει νέες με αποτέλεσμα μία σύνθετη δομή κεράτων και βυθισμάτων (Γκούμας 2006). Η στρωματογραφία του Νεογενούς-Τεταρτογενούς έχει επηρεασθεί από τις τεκτονικές και ευστατικές κινήσεις. Αποτέλεσμα των προηγούμενων είναι η σύνθετη και περίπλοκη κίνηση των υπόγειων νερών. Στην περιοχή αναπτύσσονται ελεύθεροι και κυρίως υπό πίεση και με διαρροή υδροφόροι ορίζοντες.

Υδροφορία αναπτύσσεται τόσο στα ανθρακικά του Μεσοζωικού σχηματίζοντας ένα ευρύτερο υπόγειο σύστημα ροής όσο και στα Πλειο-Πλειστοκαινικά ιζήματα όμως ενδιάμεσου και τοπικού χαρακτήρα.

Η γεινίαση των υδροφόρων με την θάλασσα έχει δημιουργήσει ένα σύνθετο σύστημα δύσκολο στον προσδιορισμό του όπου για αρκετές χιλιάδες χρόνια δέχεται την επίδρασή της είτε με άμεσες είτε με έμμεσες διεργασίες με αποτέλεσμα το υπόγειο νερό να επιβαρύνεται με άλατα και να περιορίζεται η χρήση του.

3. ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

3.1. Γενικά

Η γεωλογική δομή της ευρύτερης περιοχής του Θριασίου Πεδίου είναι σε γενικές γραμμές πολύπλοκη και έχει επηρεασθεί κατά την διάρκεια διαφόρων γεωλογικών περιόδων από σύνθετες τεκτονικές δράσεις, η τελευταία από τις οποίες αυτή του Πλειστοκαίνου. Η νεοτεκτονική δράση δημιούργησε την λεκάνη όπως υπάρχει στην σημερινή της μορφή.

Στην γεωλογική δομή συμμετέχουν κλαστικά, εκρηξιγενή-ηφαιστειακά (υποθαλάσσιες εκχύσεις οφιόλιθοι, περιδοτίτες) και ανθρακικά πετρώματα του Νεοπαλαιοζωικού, ανθρακικά πετρώματα του Μεσοζωικού (ασβεστόλιθοι, δολομιτικοί ασβεστόλιθοι, δολομίτες και κατά θέσεις μάρμαρα), ασβεστόλιθοι του Κρητιδικού, κλαστικά χερσαία και λιμναία ιζήματα (μάργες, άργιλοι, αμμοψαμίτες, κροκαλοπαγή) του Νεογενούς και τέλος, χαλαρές και συνεκτικές αποθέσεις του Τεταρτογενούς.

3.2. Ανασκόπηση βιβλιογραφίας - Γεωλογική ιστορία της περιοχής

Η ευρύτερη περιοχή του Θριασίου Πεδίου, κατά το Νεοπαλαιοζωικό (Λιθανθρακοφόρο – Πέρμιο) αποτελούσε αβαθή θάλασσα στην οποία αποτέθηκαν κυρίως αργιλικόι σχιστόλιθοι, ψαμίτες, γραουβάκες και κροκαλοπαγή. Στα πετρώματα αυτά παρεμβάλλονται και βασικά εκρηξιγενή-ηφαιστειογενή πετρώματα, όπως κερατοφύρες, μελανοφύρες (υποθαλάσσιες εκχύσεις). Στο σύμπλεγμα αυτό των πετρωμάτων συμμετέχουν και φακοειδείς παρεμβολές ασβεστολίθων μικρού πάχους κατά την άποψη των Renz (1908, 1910a, 1912), Renz & Trikkalinos (1948), ή ως ολισθόλιθοι κατά Papanikolaou & Baud (1982) με ηλικίες Περμίου ή Κατ. Λιθανθρακοφόρου σύμφωνα με Clément et al. (1976), Clément (1976).

Χαρακτηριστικά γένη απολιθωμάτων τα οποία έχουν βρεθεί ηλικίας Αν. Λιθανθρακοφόρου-Μέσου Πέρμιου είναι: Schwagerina, Quasifusulina, Pseudofusulina, Fusulinella, Paraschwagerina κ.α. Επίσης κατά τόπους εκπροσωπείται από βραγχιονόποδα με Productus και οστρακώδη (Renz & Reichel 1946, Ρουμπάνης 1961). Η ύπαρξη του νεοπαλαιοζωικού έχει διαπιστωθεί και στο Αιγάλεω από Βορεάδη (1927), Τάταρη (1967a) και Παρασκευαΐδη και Χωριανοπούλου (1978).

Η επαφή των στρωμάτων μεταξύ Λιθανθρακοφόρου - Πέρμιου και Βερφένιου (Κατ. Τριαδικού) είναι αλλού σύμφωνη και αλλού ασύμφωνη. Στις πλαγιές της Πάρνηθας φαίνεται ότι λόγω σύνθετου τεκτονισμού τα ιζήματα διαφορετικών εποχών εμφανίζονται με μορφή λεπιώσεων (Renz 1912) ενώ στη νήσο Σαλαμίνα η απόθεση είναι αδιατάρακτη (Βορεάδης 1939).

Τα στρώματα του Κατ Τριαδικού αποτελούνται από λεπτοπλακώδεις ασβεστόλιθους της φάσης Hallstatt μεταξύ των οποίων παρεμβάλλονται στρώματα κερατολίθων, ψαμμιτών, φυλλωδών και μαργαϊκών ασβεστολίθων, αργιλικών σχιστολίθων και ηφαιστειακών τόφφων. Ο Renz στην Πάρνηθα διέκρινε απόθεση ωολιθικών ασβεστολίθων με ελασματοβράγχια και μικρά γαστερόποδα όπως Holopella, Myorhogia κλπ και ακολούθως ερυθροί μαρμαρυγιακοί ψαμίτες με Lingula tenuissima, Pecten cf. discites κ.α. (Renz 1955).

Η κύρια ανάπτυξη του Τριαδικού γίνεται με την παρουσία λευκών, εν μέρει δολομιτικών ή κρυσταλλικών ασβεστολίθων με Gyroporella, Megalodon, Diplopora. (Σπηλιάδης 1962,

Τάταρης & Κούνης 1969). Στο τέλος αυτής της σειράς εμφανίζονται σύμφωνα τεφροί λεπτοπλακώδεις μελανότεφροι ασβεστόλιθοι με μικρούς κονδύλους κερατολίθων έως το Αν. Τριαδικό με αμμωνίτες, γαστερόποδα, φύκη, κωνόδοντα στις θέσεις Άγιος Σωτήρας Μάνδρας, Παλαιοκούνδουρα, Μαλιαλέζα, ύψωμα Καντήλι, υψώματα Ασπροπύργου, Ράχη Σωτήρος, Μεγάλο Κατερίνι, Μπάρδι -Ασπρόπυργου και Σκάρπα κλπ (Σπηλιάδης 1960, 1963). Βορειοανατολικά της περιοχής μελέτης, στο Αιγάλεω (θέση Πηγάδια Καματερού) εντός των ψαμμιτικών σχιστολίθων σημειώθηκαν από τους Marinós et al (1971) *Orbitolina*, *Milliolidae*, οστρακώδη, τεμάχια εχίνων και μικρά γαστερόποδα. Κανένας σχηματισμός του Ιουρασικού δεν εντοπίστηκε στην ευρύτερη περιοχή μελέτης, δηλαδή από το Θριάσιο Πεδίο έως τα Μέγαρα και τις Ερυθρές. Η διακοπή της αποθέσεως κατά τη διάρκεια του Ιουρασικού οφείλεται σύμφωνα με τον Σπηλιάδη (1962) σε διακοπή της ιζηματογένεσης λόγω χέρσευσης, ενώ οι Κισκύρας (1960), Τάταρης (1967), Τάταρης & Κούνης (1969), και άλλοι αποδέχονται ως αιτία τις τεκτονικές κινήσεις αντίστοιχες χρονικά με την παλαιοκιμμερική πτύχωση. Η διακοπή της ιζηματογένεσης συνεχίζεται καθ' όλη την διάρκεια του Ιουρασικού έως το Αν. Κρητιδικό (Κενομάνιο). Αυτή δε συνοδεύεται από δημιουργία λατεριτών (λόφος Τσουκλιδέικα) σύμφωνα με τους Παρασκευαΐδη και Χωριανοπούλου (1978).

Μεταξύ του Αν. Πέρμιου και του Μέσου Τριαδικού υπάρχει στρωματογραφικό κενό ιζημάτων, προφανώς λόγω της «βαριστικής ορογένεσης», η οποία, σύμφωνα με την άποψη πολλών ερευνητών προκάλεσε την «ασυμφωνία εξ επικλύσεως» των ασβεστόλιθων του Μέσου Τριαδικού πάνω στα προαναφερθέντα ιζήματα του Νεοπαλαιοζωικού.

Μετά τη «βαριστική ορογένεση» στο Αν. Πέρμιο – Κατ. Τριαδικό άρχισε να δημιουργείται το αλπικό βύθισμα, στο οποίο κατά το Κατ.-Μέσο Τριαδικό αποτέθηκαν πολύχρωμα ιζήματα πάχους περίπου 60 m αποτελούμενα από κερατόλιθους, ψαμμίτες, σχιστόλιθους, ηφαιστειακούς τόφφους και στρωματοειδείς ασβεστόλιθους (ιζήματα της φάσης Hallstatt).

Με την εκβάθυνση της περιοχής, άρχισε κατά το Μέσο Τριαδικό η απόθεση ανθρακικών πετρωμάτων, όπως ασβεστόλιθων και δολομιτών πάχους περίπου 350m, η οποία διατηρήθηκε μέχρι και το Αν. Τριαδικό. Μεταξύ Αν. Τριαδικού και Κατ. Ιουρασικού εκδηλώθηκαν οι πρώτες παλαιοαλπικές πτυχωσιγενείς κινήσεις (Παλαιοκιμμερική πτύχωση) δημιουργώντας σύγκλινα και αντίκλινα, οι οποίες τοπικά υπήρξαν ιδιαίτερα έντονες προκαλώντας ακόμη και εφιππεύσεις.

Λόγω της Παλαιοκιμμερικής πτύχωσης η περιοχή αναδύθηκε από την τότε θάλασσα και αποτέλεσε ξηρά σχεδόν καθ' όλη την περίοδο του Ιουρασικού και του Κατ. Κρητιδικού. Αυτή είναι πολύ πιθανόν και η αιτία του γεγονότος ότι το Ιουρασικό δεν αντιπροσωπεύεται με ιζήματα στην περιοχή. Η ανάδυση είχε σαν αποτέλεσμα τη διάβρωση μεγάλου μέρους των Μέσου-Αν. Τριαδικών ασβεστόλιθων-δολομιτών, οι οποίοι για το λόγο αυτόν τοπικά έχουν μικρό πάχος ή ακόμη και απουσιάζουν από την επιφανειακή γεωλογία.

Στην περίοδο της ανάδυσης λόγω της χημικής αποσάθρωσης (λατεριτίωση) των ασβεστόλιθων και δολομιτών σχηματίστηκαν κοιτάσματα βωξιτών πάχους 0-20 m. Τα κοιτάσματα αυτά βρίσκονται πάντοτε στην επαφή μεταξύ των υποκείμενων Τριαδικών και των υπερκείμενων Κρητιδικών ασβεστόλιθων.

Κατά το Αν. Κρητιδικό άρχισε μια νέα βύθιση της περιοχής με αποτέλεσμα την επίκλυση της θάλασσας, γνωστή ως «Κενομάνια Επίκλυση» κατά την οποία αποτέθηκαν ασβεστόλιθοι

ηλικίας από το Κενομάνιο έως το Σενώνιο πάχους 200-300μ με ρουδιστές και ιππουρίτες. Η σειρά αυτή αποτέθηκε ασύμφωνα πάνω στους Τριαδικούς ασβεστολίθους και ξεκινά με λεπτοπλακώδεις κιτρινόλευκους συχνά μαργαϊκούς ασβεστόλιθους που εναλλάσσονται με μάργες. Ακολουθούν τεφροί έως ανοιχτοκάστανοι ασβεστόλιθοι με οσμή βιτουμενίων κατά τη θραύση. Μεταβαίνουν σε μαργαϊκούς ασβεστόλιθους και ψαμμίτες. Η επίκλυση της θάλασσας έγινε σταδιακά και είχε περιορισμένη έκταση αρχικά. Αυτό μαρτυρούν τα απολιθώματα μικρού βάθους όπως *Praealveolina*, *Orbitolina* (χαρακτηριστικό του Κενομάνιου), οστράκων και εχινοειδών στη Μάνδρα και τη θέση Σωτηρόζα. Στην Ελευσίνα και Βλύχα την ίδια εποχή σχηματίζονταν υφάλμυρες και λιμναίες αποθέσεις με χαρόφυτα. Χαρόφυτα ίδιας ηλικίας βρέθηκαν και στη Σαλαμίνα, ενώ πλειστοκαινικά χαρόφυτα έχουν αντίστοιχα μελετήσει στον Ισθμό της Κορίνθου οι Krstic & Dermitzakis (1981). Με την επέκταση της θάλασσας οι αποθέσεις βάθυναν και αυτό τεκμηριώνεται από την ύπαρξη *Globotruncana* σε μεγάλο τμήμα της Ελευσίνας (Κισκύρας 1960). Εκτός των αναφερόμενων απολιθωμάτων, οι Παρασκευαΐδης και Χωριανοπούλου (1978), Δούνας (1971β) αναφέρουν μέσα στα ανωκρητιδικά στρώματα *Textularidae*, *Miliolidae*, *Cuneolina*, *Nezzazata* sp., *Pithonella* sp., *Mayncina* sp., *Globotruncana*.

Στο Μαιστρίχτιο άρχισε η απόθεση των ιζημάτων του φλύσχη από υλικά διάβρωσης και μεταφοράς της Πελαγονικής μάζας, η οποία εν τω μεταξύ είχε χερσεύσει. Αποτελείται από σερικιτιωμένους ψαμμίτες, αργιλικούς σχιστόλιθους και ψαμμούχους ημικρυσταλλικούς ασβεστόλιθους οι οποίοι περιέχουν μικροπανίδα από *Globotruncana*, *Globigerina* κ.α. (Δούνας & Γαϊτανάκης 1981).

Στο τέλος του Ηώκαινου έλαβε χώρα η κυρίως αλπική ορογενετική πτύχωση η οποία προκάλεσε την πτύχωση και την τελική ανάδυση της ευρύτερης περιοχής.

Μετά την ανάδυση ο φλύσχη στο σύνολό του, με εξαίρεση την περιοχή της ανατολικής Πάρνηθας στην υδρολογική λεκάνη του ρέματος της Γιαννούλας, διαβρώθηκε πλήρως, με αποτέλεσμα σήμερα να εμφανίζονται στην επιφάνεια μόνο οι ασβεστόλιθοι, δολομίτες του Τριαδικού και οι ασβεστόλιθοι του Κρητιδικού.

Την ίδια περίοδο και συγκεκριμένα αμέσως μετά την ολοκλήρωση της αλπικής πτύχωσης ακολούθησε ρηξιγενής τεκτονική που έδωσε μεγάλα ρήγματα, τα οποία διαχώρισαν την περιοχή σε τεκτονικές τάφρους και τεκτονικά κέρατα. Στις τεκτονικές τάφρους αποτέθηκαν μετα-αλπικά ιζήματα όπως μαργαϊκά, αργιλικά και ψαμμιτικά υλικά του Νεογενούς, πάχους μέχρι και 320-450m (Σκιάνης και Νούτσης 2008, Γκούμας 2006).

Στο Πλειόκαινο-Πλειστόκαινο έλαβε χώρα νέα ρηξιγενής τεκτονική η οποία επηρέασε και τα ιζήματα του Νεογενούς δημιουργώντας τεκτονικές τάφρους και μία δομή με βυθίσματα και ανυψώσεις. Τμήμα της περιοχής κατά διάφορες περιόδους αποτέλεσε λίμνη ή λιμνοθάλασσα (Μαριολάκος και Θεοχάρης 2001). Η φάση αυτή δημιούργησε τις βασικές μορφές του σημερινού ανάγλυφου της περιοχής.

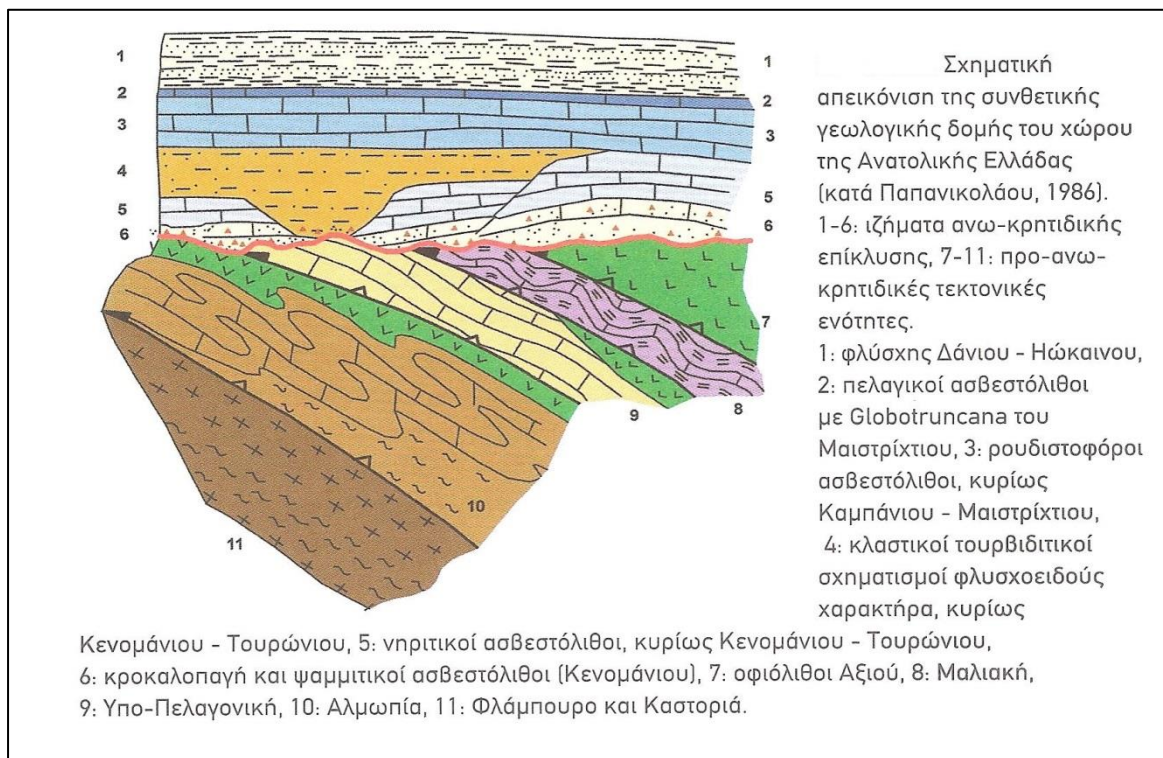
Τέλος, στη διάρκεια του Τεταρτογενούς (Πλειστόκαινο και Ολόκαινο) δημιουργήθηκε ουσιαστικά το σημερινό γεωμορφολογικό ανάγλυφο (κοιλάδες, αναβαθμίδες, ορεινοί όγκοι, κλπ) και αποτέθηκαν υλικά χειμάρρων, κώνων κορημάτων, παράκτιων αποθέσεων, κλπ, ως αποτέλεσμα κυρίως της διάβρωσης και απόθεσης, αλλά και γενικότερα των ηπειρογενετικών και ευστατικών κινήσεων.

3.3. Γεωλογική δομή

Η γεωλογική δομή του Θριασίου Πεδίου είναι πολύπλοκη και βρίσκεται δυτικά του ορίου μεταξύ των μεταμορφωμένων της γεωτεκτονικής ενότητας της Αττικής και των μη μεταμορφωμένων της Ανατολικής Ελλάδος. Αποτελείται από αλπικά και μετα-αλπικά ιζήματα. Τα τελευταία είναι μεγάλου σχετικά πάχους και καταλαμβάνουν το μεγαλύτερο τμήμα του πεδίου από την θάλασσα έως το βορειότερο τμήμα του. Αποτέθηκαν ασύμφωνα πάνω στους αλπικούς σχηματισμούς του υποβάθρου οι οποίοι βρίσκονται στα κράσπεδα του πεδίου. Παρακάτω περιγράφονται από κάτω προς τα πάνω οι σχηματισμοί που δομούν την περιοχή.

3.3.1. Αλπικοί σχηματισμοί

Η περιοχή εντάσσεται στην ενότητα της Υπο-Πελαγονικής- Αν. Ελλάδος (τεκτονο-στρωματογραφικό πεδίο H3). Στην Εικόνα φαίνεται η συνθετική γεωλογική δομή του χώρου της Αν. Ελλάδος (Παπανικολάου 2015).



Εικόνα 3.1: Σχηματική συνθετική τομή της γεωλογικής δομής του ευρύτερου χώρου της Αν. Ελλάδος.

Οι σχηματισμοί που παίρνουν μέρος στην γεωλογική δομή της ευρύτερης περιοχής του Θριασίου (Εικόνα 3.2) περιγράφονται ευθύς αμέσως .

3.3.1.1. Άνω Παλαιοζωικό

Ο σχηματισμός του Άνω Παλαιοζωικού είναι ένα ηφαιστειοϊζηματογενές σύμπλεγμα το οποίο αποτελείται: α) από κλαστικά υλικά όπως αργιλικούς σχιστόλιθους και ψαμμίτες, οι οποίοι εναλλάσσονται με γραουβάκες και κροκαλοπαγή β) βασικά εκρηξιγενή-

ηφαιστειογενή πετρώματα, όπως κερατοφύρες, μελανοφύρες, τοφφίτες και τόφφους και γ) τοπικά ασβεστόλιθους στρωσιγενείς ή τεκτονικά εγκλωβισμένους.

Όλος ο σχηματισμός, λόγω των αλλεπάλληλων πτυχώσεων που υπέστησαν (βαρισκική και αλπική ορογένεση) είναι ασθενώς μεταμορφωμένος και εμφανίζει σχιστότητα. Το πάχος του σχηματισμού κυμαίνεται μεταξύ 300 και 400 m.

3.3.1.2. Μεσοζωικό

Το Μεσοζωικό της περιοχής αντιπροσωπεύεται από το Τριαδικό και το Αν. Κρητιδικό. Το Ιουρασικό και το Κατ. Κρητιδικό δεν εμφανίζεται επειδή η περιοχή την περίοδο αυτή είχε αναδυθεί και ήταν ξηρά. Στα βαθύτερα τμήματα της Πελαγονικής ζώνης της περιόδου αυτής εκχύθηκαν σε υποθαλάσσιο περιβάλλον μεγάλες ποσότητες βασικού μάγματος, το οποίο έδωσε οφιολιθικά πετρώματα και κυρίως περιδοτίτες. Οι περιδοτίτες αυτοί παρατηρούνται σε σχετικά μικρές εμφανίσεις στη βορειοδυτική πλευρά της Πάρνηθας (εκτός υδρολογικής λεκάνης) και σε πολύ μεγάλη έκταση στα Γεράνεια Όρη, όπου αποτελούν μεταανωκρητιδικό τεκτονικό κάλυμμα, το οποίο είναι επωθημένο πάνω σε ασβεστόλιθους-δολομίτες του Μεσοζωικού (Τριαδικό – Κρητιδικό).

Στο Γεωλογικό Χάρτη ο οποίος απεικονίζεται στην Εικόνα 3.2 διακρίνονται οι παρακάτω σχηματισμοί του Μεσοζωικού:

Φυλλίτες και Ψαμμίτες με παρεμβολές ασβεστόλιθων Κατ-Μέσου Τριαδικού

Είναι ποικιλόχρωμος σχηματισμός ο οποίος λιθολογικά αποτελείται κυρίως από ελαφρώς μεταμορφωμένους σχιστόλιθους (φυλλίτες) και ψαμμίτες, στους οποίους συχνά παρεμβάλλονται και λεπτοστρωματώδεις ασβεστόλιθοι-δολομίτες, χρώματος ερυθρού έως και ερυθρομέλανου (Φάση Hallstatt), καθώς και κερατόλιθοι και ηφαιστειακοί τόφφοι.

Ο σχηματισμός αυτός εμφανίζεται μόνο τοπικά και το πάχος του κυμαίνεται μεταξύ 50 m (Όρη «Πατέρας» και «Πάστρα») και 300 m (Όρος «Δ. Πάρνηθα» - «Δερβενοχώρια»).

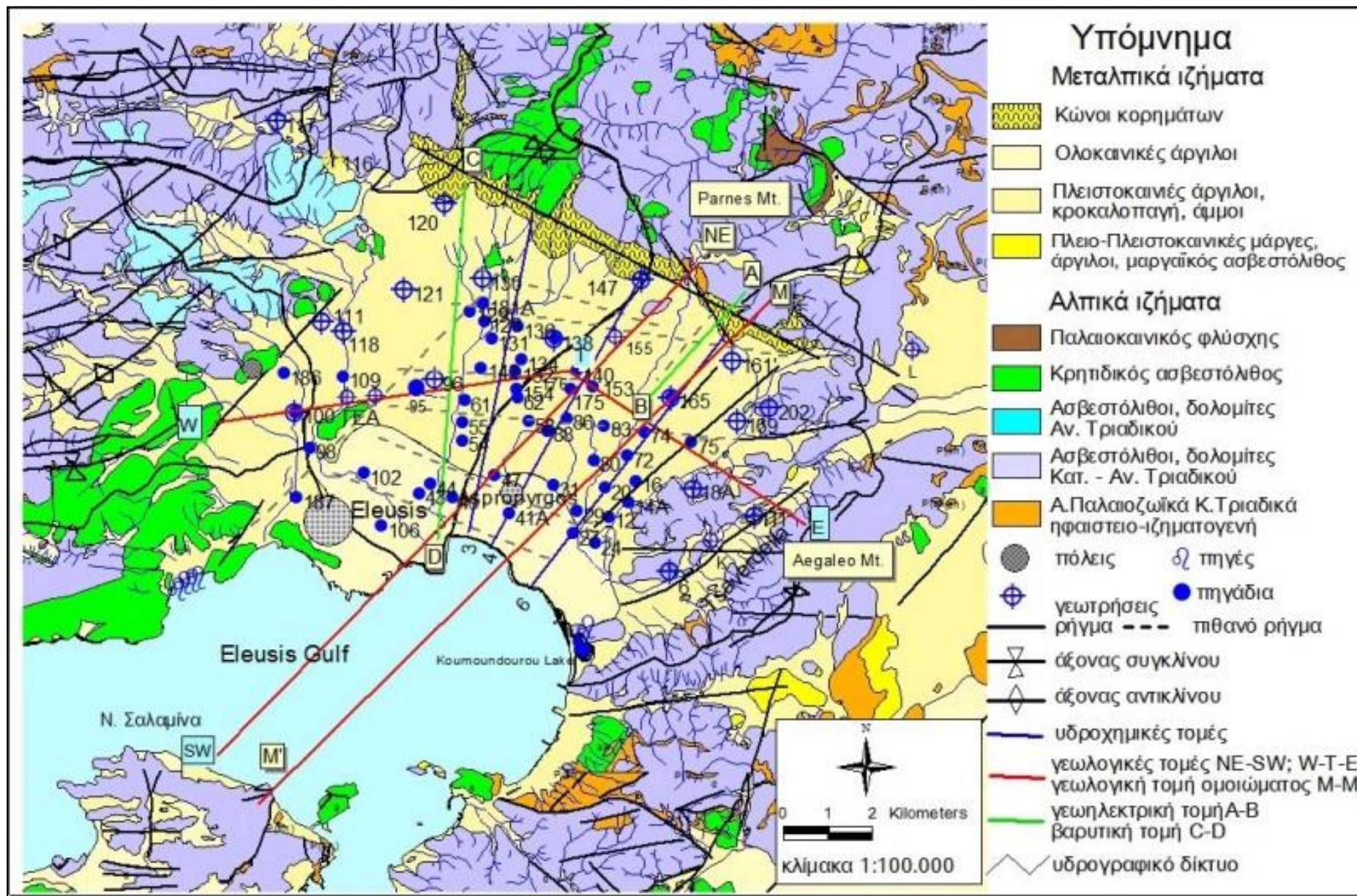
Ασβεστόλιθοι και Δολομίτες Μέσου-Αν. Τριαδικού

Ο σχηματισμός αυτός κατέχει την μεγαλύτερη επιφανειακή ανάπτυξη στην περιοχή. Ολόκληρο το όρος «Πατέρας» συγκροτείται πρακτικά από το σχηματισμό αυτόν. Αποτελείται από παχυστρωματώδεις έως και άστρωτους συχνά δολομιτωμένους, ασβεστόλιθους, χρώματος λευκού έως λευκότεφρου (Εικόνα 3.3).

Οι ασβεστόλιθοι-δολομίτες είναι πτυχωμένοι και δημιουργούν ανοιχτά σύγκλινα και αντίκλινα. Επιφανειακά είναι κερματισμένοι, διαρρηγμένοι και έντονα καρστικοποιημένοι ενώ στο βάθος δεν είναι. Το πάχος τους είναι της τάξης των 300-700 m.

Ασβεστόλιθοι – δολομίτες Αν. Τριαδικού

Ο σχηματισμός αυτός εμφανίζεται κυρίως στο όρος “Κιθαιρώνας” και στη δυτική πλευρά του όρους “Πάστρα” και δευτερευόντως σε αρκετές θέσεις του όρους “Πατέρας”, Λάκκα Λάζαρη (βορείως Μάνδρας), Μικρό Κατερίνι (ΒΑ Μάνδρας), Κορυφή Αγ. Βλάσση (ΒΑ Μάνδρας) και αλλού.



Εικόνα 3.2: Γεωλογικός χάρτης ευρύτερης περιοχής Θριασίου (Κατσικάτσος et al 1986, τροποποιημένος βάσει Γκούμας 2006).

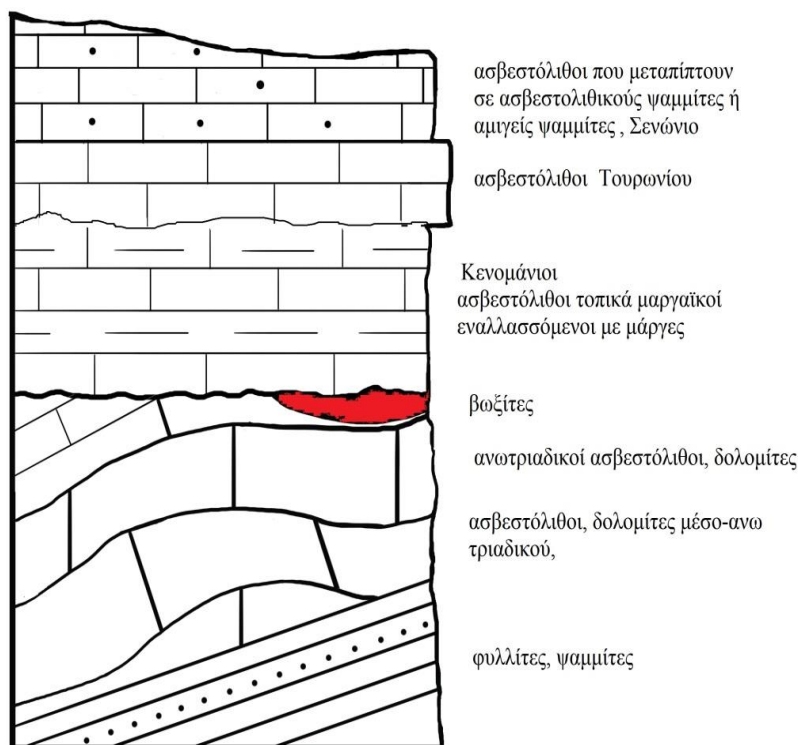
Αποτελείται από σκουρότεφρους έως μελανότεφρους λεπτοστρωματώδεις ασβεστόλιθους και δολομίτες, έντονα πτυχωμένους, με ενστρώσεις και κονδύλους κερατολίθων. Το πάχος τους αρχικά ήταν 200-250 m (περιοχή Κιθαιρώνα-Πάστρα). Σε άλλες θέσεις το πάχος τους είναι πολύ μικρό (περίπου 40 έως 50 m) λόγω της διάβρωσης την οποία υπέστησαν. Στην περιοχή “Κιθαιρώνας- Πάστρα” διατήρησαν σχεδόν ολόκληρο το πάχος τους, ίσως επειδή για μεγάλη χρονική περίοδο υπήρξαν καλυμμένοι από τους κρητιδικούς ασβεστολίθους και τον παλαιοκαινικό φλύσχη.



Εικόνα 3.3: Τριαδικός εν μέρει δολομιτικός ασβεστόλιθος (υδρολογική λεκάνη ρ. Σαρανταπόταμου).

Ασβεστόλιθοι Αν. Κρητιδικού

Κατά το Αν. Κρητιδικό και συγκεκριμένα το Κενομάνιο έλαβε χώρα σταδιακή βύθιση της περιοχής και επίκλυση της θάλασσας, γνωστή ως “Κενομάνιος Επίκλυσις” η οποία είχε περιορισμένη έκταση και βάθος, αρχικά. Σε αυτήν την περίοδο αποτέθηκαν λεπτοπλακώδεις, στιφροί, ανοικτόφαιοι ασβεστόλιθοι εναλλασσόμενοι με φυλλώδεις μάργες Αυτό μαρτυρούν τα απολιθώματα μικρού βάθους όπως *Praealveolina*, *Orbitolina* (χαρακτηριστικό του Κενομάνιου), οστράκων και εχινοειδών στη Μάνδρα και τη θέση Σωτηρόζα. Στην Ελευσίνα και ιδίως τον Ασπρόπυργο, την ίδια εποχή σχηματίζονταν υφάλμυρες και λιμναίες αποθέσεις με χαρόφυτα. Χαρόφυτα ίδιας ηλικίας βρέθηκαν και στη Σαλαμίνα, ενώ πλειστοκαινικά χαρόφυτα έχουν αντίστοιχα μελετήσει στον Ισθμό της Κορίνθου οι Krstic & Dermitzakis (1981). Με την πάροδο του χρόνου η περιοχή αποκτά μεγαλύτερο βάθος και αποτίθενται παχυπλακώδεις ανοικτόφαιοι έως τεφροί ασβεστόλιθοι με ρουδιστές και κατά το Σενώνιο εμφανίζονται πελαγικής φάσης τρηματοφόρα του γένους *Globotruncana* στην Ελευσίνα και αλλού (Κισκύρας 1960).



Εικόνα 3.4: Ανθρακικά πετρώματα του Τριαδικού και Κρητιδικού με εμφανίσεις βωξίτη και στην βάση τους φυλλίτες και ψαμμίτες.

Εξ αιτίας, λοιπόν, της επίκλυσης αυτής αποτέθηκαν ασύμφωνα πάνω στους τριαδικούς σχηματισμούς, από τα παλιότερα προς τα νεότερα οι παρακάτω οριζόντες ασβεστολιθικών πετρωμάτων (Εικόνα 3.4):

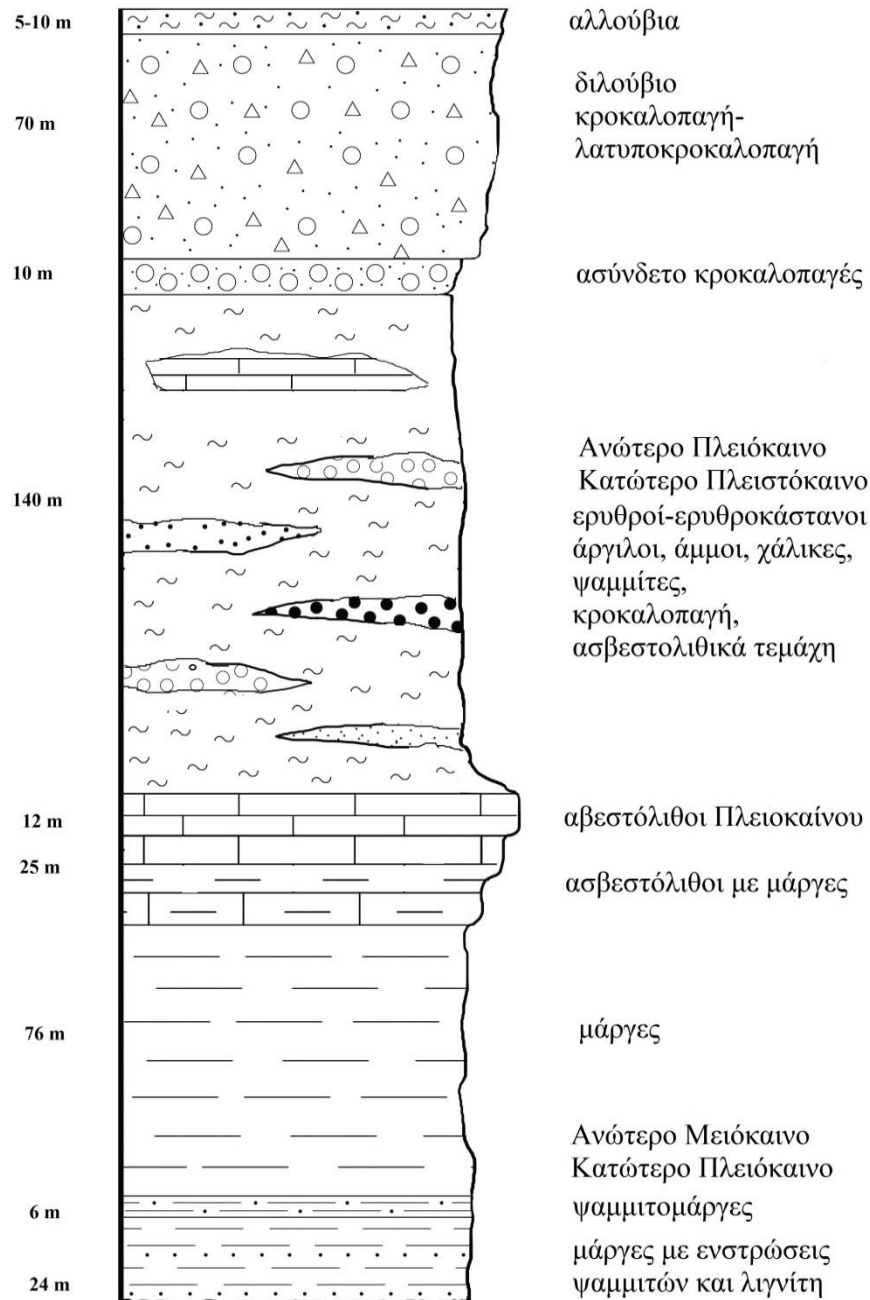
- **Λεπτοστρωματώδεις, ανοικτόφαιοι, στιφροί ασβεστόλιθοι, τοπικά μαργαϊκοί, εναλλασσόμενοι με φυλλώδεις μάργες**, οι οποίοι περικλείουν τα απολιθώματα *Pecten*, *Praealveolina*, *Orbitolina*, ρουδιστές και άλλα και στα κατώτερα στρώματα χαρόφυτα. Το πάχος τους υπολογίζεται περίπου 100 m και η ηλικία τους τοποθετείται στο Κενομάνιο.
- **Παχυστρωματώδεις ανοικτόφαιοι έως τεφροί ασβεστόλιθοι** με έντονη οσμή βιτουμενίων κατά την θραύση, οι οποίοι περικλείουν πλήθος απολιθωμάτων ρουδιστών, οστράκων, κλπ, η ηλικία των οποίων τοποθετείται στο Τουρώνιο και επικάθονται ασύμφωνα επί των κενομανίων ασβεστολίθων και σε κάποιες περιοχές ασύμφωνα επί τριαδικών ασβεστολίθων. Το πάχος των ασβεστολίθων του Τουρώνιου είναι της τάξης των 80 m.
- **Λεπτοστρωματώδεις ασβεστόλιθοι πρασινότεφροι έως κεραμόχρωμοι**, περικλείοντας πλήθος απολιθωμάτων κυρίως τρηματοφόρων *Globigerina*, *Globotruncana*, *Milliolidae*, *Cuneolina* και άλλα, οι οποίοι σταδιακά μεταπίπτουν σε ασβεστολιθικούς ψαμμίτες και αμιγείς ψαμμίτες, δηλαδή μεταπίπτουν σε φλύσχη. Το πάχος τους είναι περίπου 40 m και η ηλικία τους τοποθετείται στο Σενόνιο.

3.3.2. Μεταλλικά

Τα μεταλλικά διακρίνονται σε ιζήματα του Νεογενούς και Τεταρτογενούς.

3.3.2.1. Νεογενές

Το Νεογενές αποτελείται από λιμναίας, λιμνοθαλάσσιας και θαλάσσιας φάσης μάργες, αργίλους και ψαμμίτες με παρεμβολές κροκαλοπαγών και στρώσεις λιγνιτών που εξελίσσονται σε χερσαίες αποθέσεις ερυθροπηλών, αργίλων και κροκαλοπαγών. Στρωματογραφικά μπορεί να διαιρεθεί σε δύο συστήματα στο Κατώτερο και στο Ανώτερο Σύστημα, με τον ίδιο περίπου τρόπο όπως στην λεκάνη Μεγάρων, γεγονός που δείχνει την παρόμοια σχεδόν εξέλιξη, με τα εξής χαρακτηριστικά (Εικόνα 3.5):

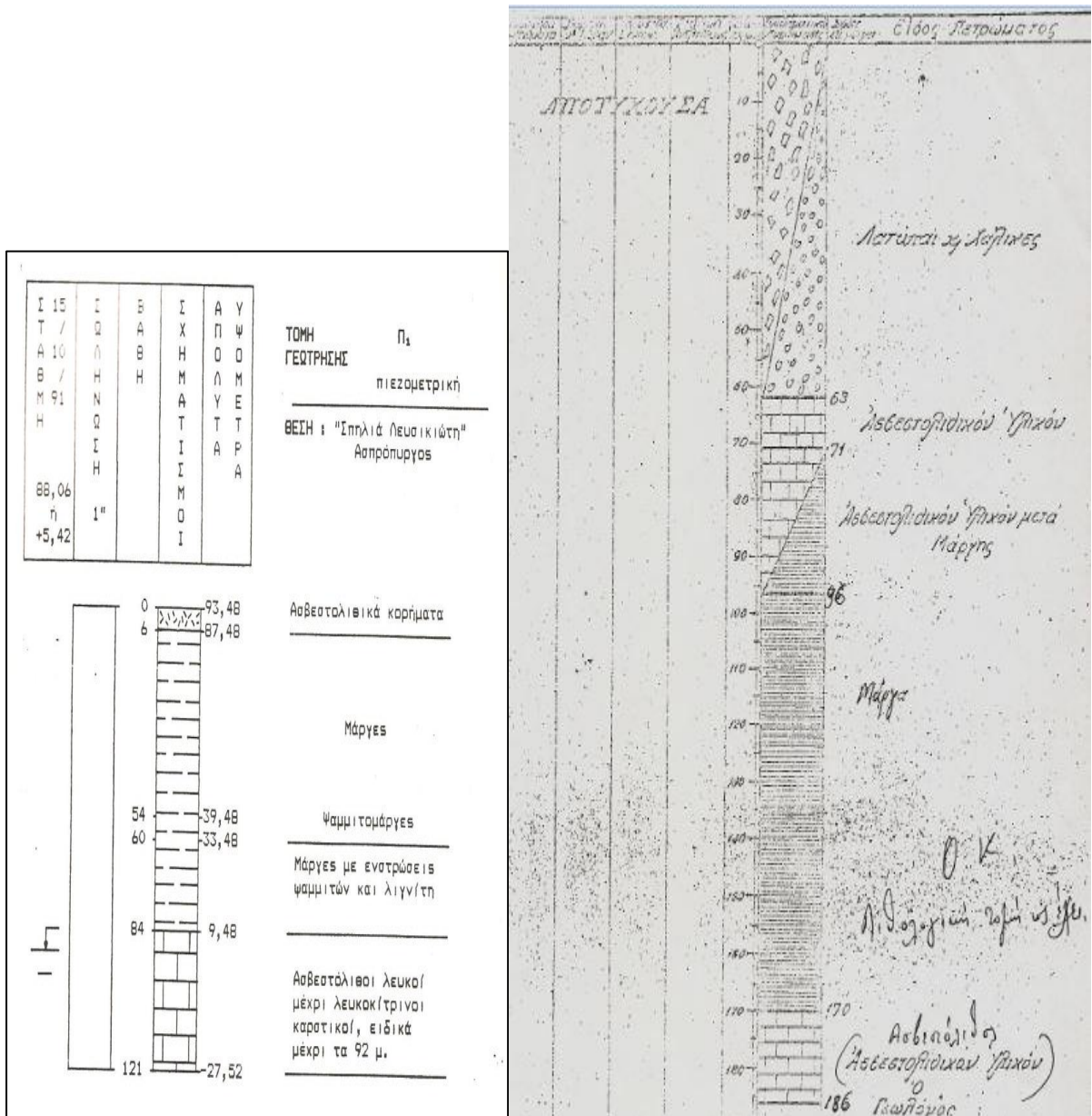


Εικόνα 3.5: Στρωματογραφική κολώνα των νεογενών, τεταρτογενών στην περιοχή του Θριασίου Πεδίου, βασισμένη σε τομές γεωτρήσεων (Υπ. Γεωργίας 1956, Λιονής 1992) και τον γεωλογικό χάρτη (Κατσικάτσος et al 1985).

Κατώτερο Σύστημα Νεογενών

Το **Κατώτερο Σύστημα**, η ηλικία του οποίου τοποθετείται στο Μειόκαινο, αποτελείται από θαλάσσια και λιμναία ιζήματα (Εικόνες 3.5 και 3.6) αποτελούμενα κυρίως από:

- λευκοκίτρινες μάργες (άλλοτε περισσότερο ασβεστολιθικές και άλλοτε περισσότερο ψαμμιτικές), εντός των οποίων, τοπικά, παρατηρούνται και στρώματα λιγνίτη.
- μαργαϊκούς ασβεστόλιθους και τοπικά από αμμοψαμμίτες και κροκαλοπαγή.

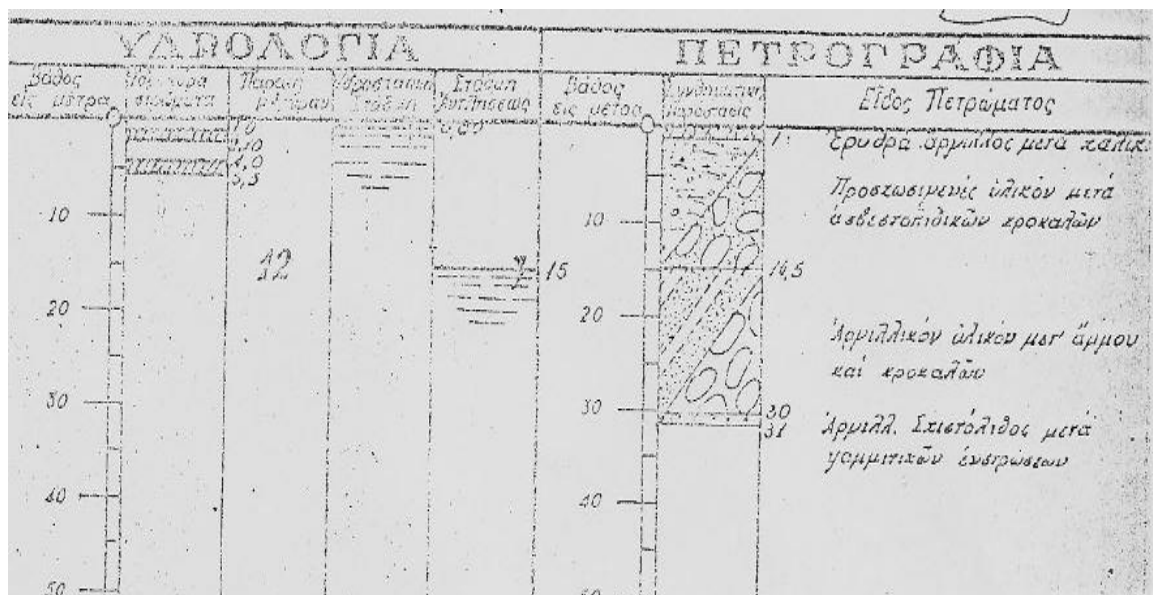
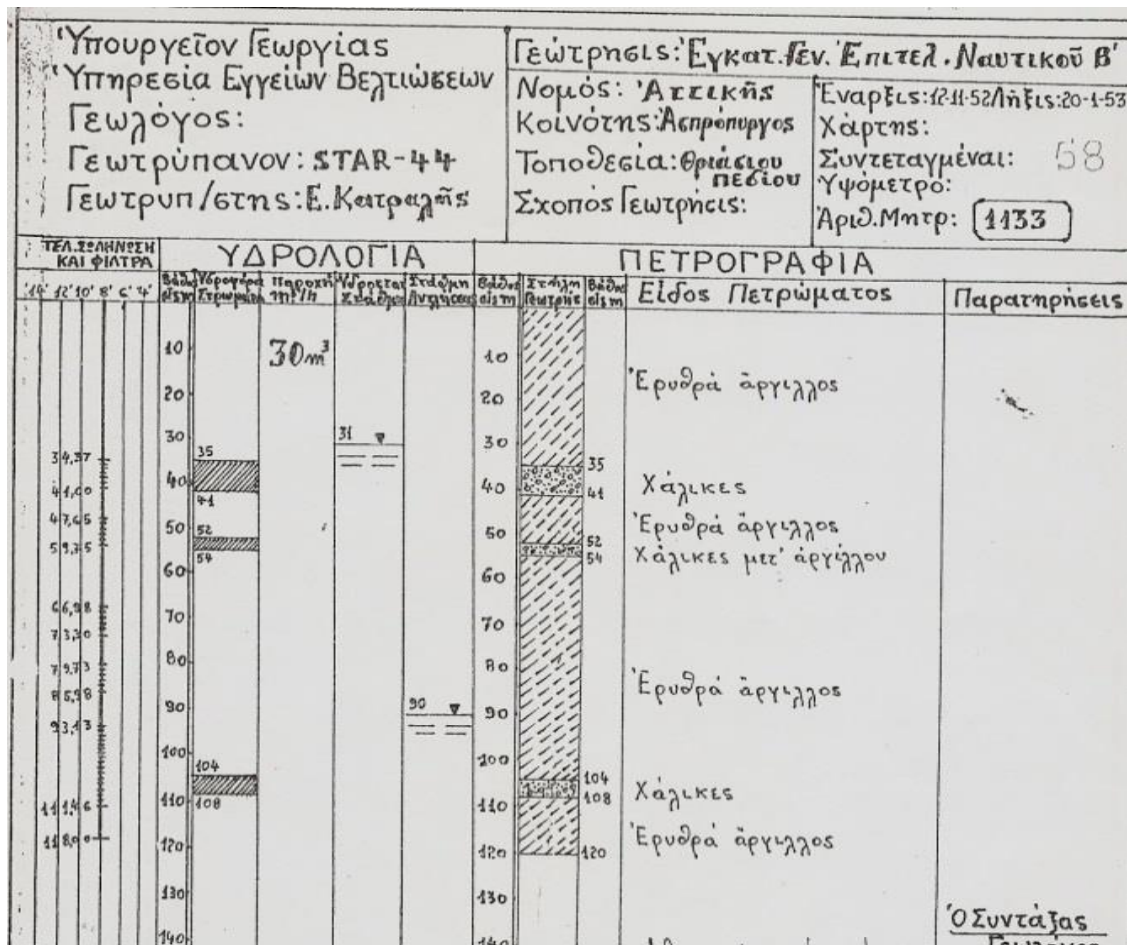


Εικόνα 3.6: Λιθολογικές τομές γεωτρήσεων στον Ασπρόπυργο α) όπου φαίνεται η ύπαρξη μαργών, ψαμμιτικών και λιγνιτικών ενστρώσεων (Λιονής 1992) β) όπου φαίνεται η ύπαρξη μεγάλου πάχους μαργών (Υπ Γεωργίας 1956).

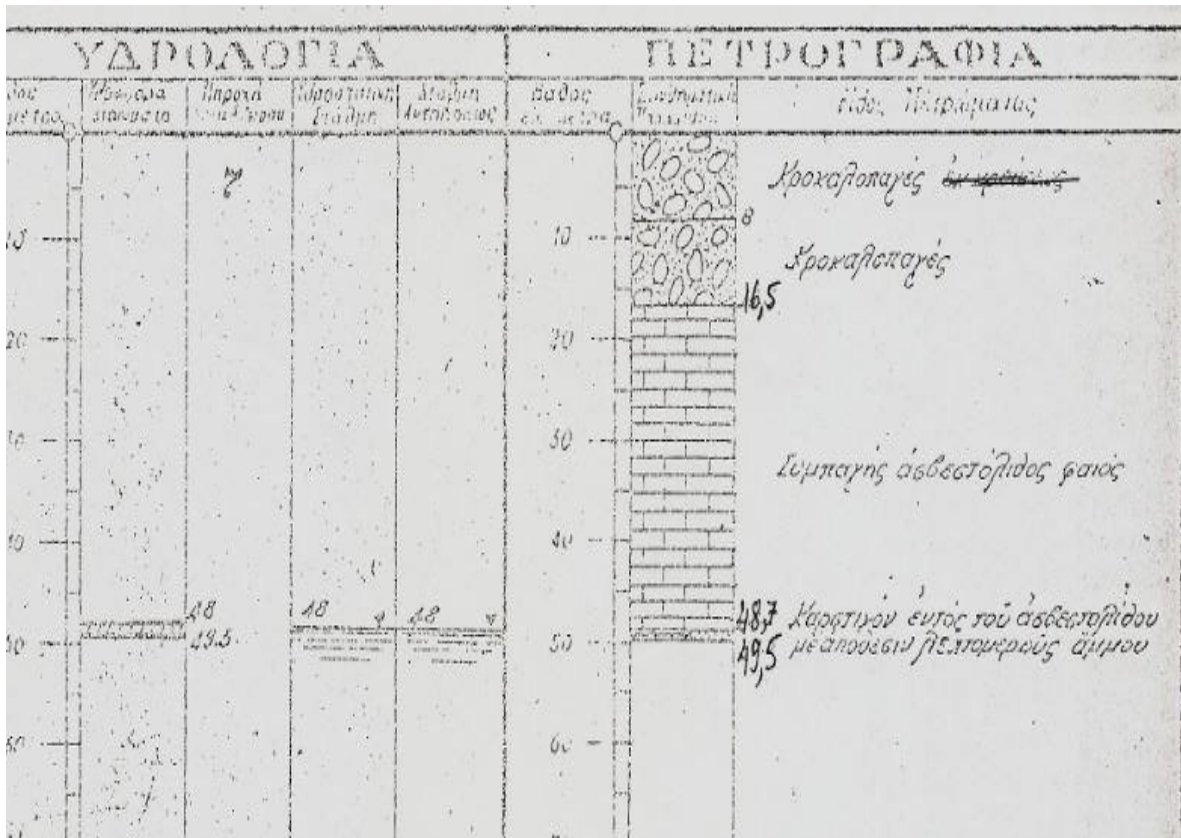
Ανώτερο Σύστημα Νεογενών

Το **Ανώτερο Σύστημα** γενικά αποτελείται από σχετικά χαλαρές αποθέσεις, χερσαίας προέλευσης κυρίως ερυθρών αργίλων, πηλών, άμμων, χαλίκων, κροκαλών όπου

παρεμβάλλονται, με μορφή φακών, κροκαλοπαγή συνδεδεμένα συνήθως με αμμοαργιλιού. Η όλη σειρά τερματίζει με στρώματα ασύνδετου και κατά θέσεις πιο συνεκτικού κροκαλοπαγούς, πάχους 5-15 m. (Εικόνες 3.8 και 3.9).



Εικόνα 3.7: α) Τομή γεωτρήσεως όπου φαίνεται η στρωματογραφία του ανώτερου συστήματος νεογενών και β) παρουσία αργιλικών σχιστολίθων στην περιοχή του παλαιού Γομωτηρίου Ελευσίνας στο 23 km Παλαιάς Εθνικής Οδού ενώ φαίνεται αυτόματη ροή στην επιφάνεια του εδάφους (Υπ. Γεωργίας).



Εικόνα 3.8: Απόθεση κροκαλοπαγούς απ' ευθείας πάνω σε ασβεστόλιθους, στην θέση Πάτημα Ασπροτύργου.

Το όλο σύστημα έχει σαν υπόβαθρό του το Κατώτερο Σύστημα, αλλά επεκτείνεται και πέραν αυτού, καλύπτοντας τους ασβεστόλιθους του Μεσοζωικού από τα ανατολικά προς τα δυτικά και πιθανόν το νεοπαλαιοζωικό υπόβαθρο των αργιλικών σχιστολίθων ή λιγότερο πιθανόν του παλαιοκαινικού φλύσχη (Εικόνα 3.7 και 3.8). Το πάχος του Ανώτερου Συστήματος εκτιμάται περίπου σε 150 έως 200 m (Εικόνες 3.6 και 3.7) ενώ η ηλικία του τοποθετείται στο Πλειόκαινο - Κατώτερο Πλειστόκαινο.

Παρακάτω δίνεται και η στρωματογραφική στήλη της Λεκάνης των Μεγάρων όπου έχει μελετηθεί διεξοδικότερα, για συγκριτική θεώρηση με την λεκάνη του Θριασίου. Η στήλη από τα νεότερα προς τα παλαιότερα έχει ως εξής:

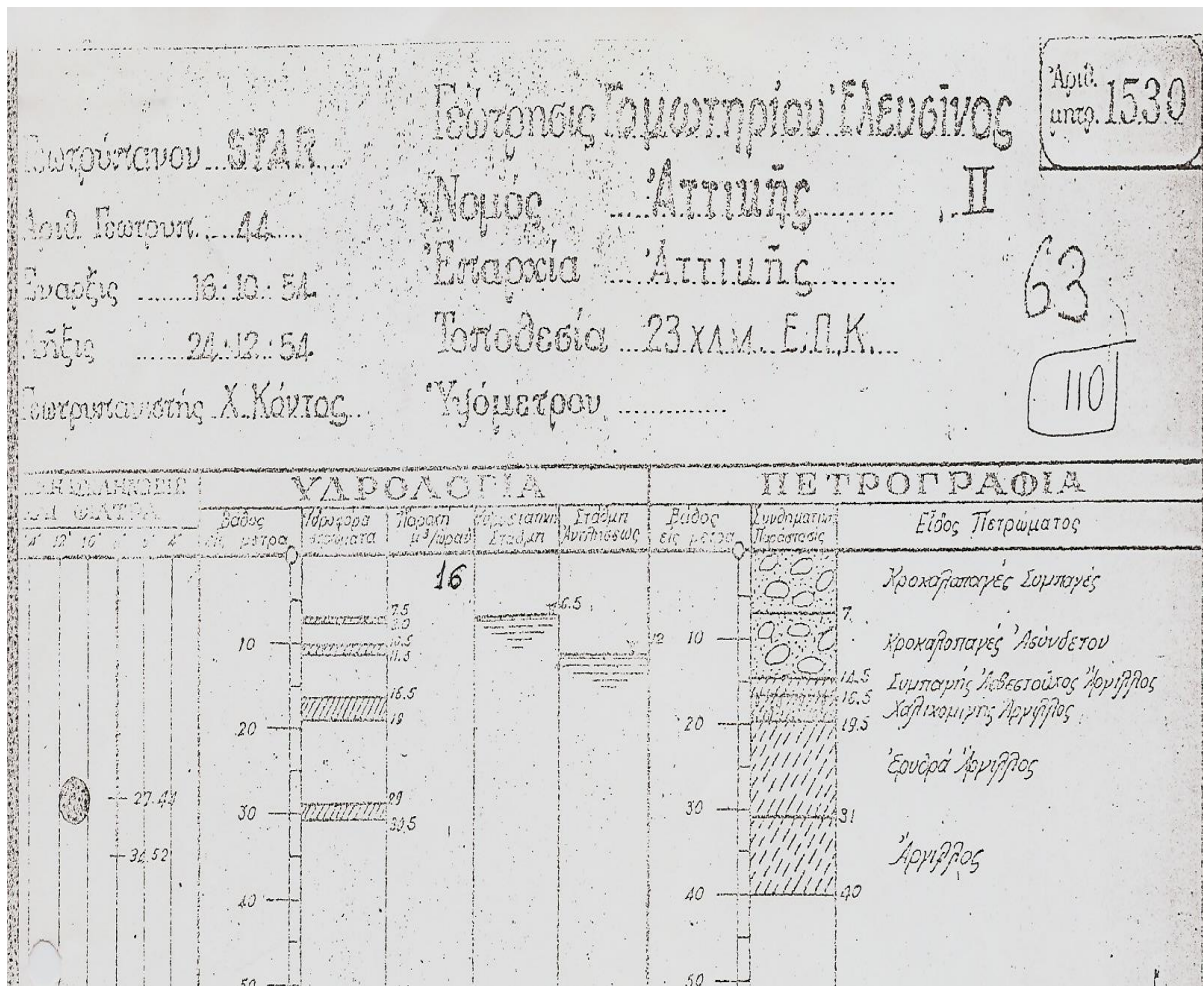
- Κροκαλοπαγή παχυστρωματώδη, χερσαίας προέλευσης, σε πρόσμειξη με άργιλο, πάχους γενικά 10 - 15μ (τοπικά δίδεται και πάχος 80 m).
- Ερυθροί άργιλοι και πηλοί με φακοειδείς παρεμβολές ψαμμιτών και κροκαλοπαγών, συνδεδεμένων με αμμοαργιλοϊλύ, πάχους ~ 80 m.
- Μάργες αργιλικές-αργιλούχες με μαργαϊκούς ασβεστόλιθους και λεπτά στρώματα τραβερτίνη (πωρόλιθος) και λιγνίτη, πάχους ~30m
- Μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι και ασβεστολιθικές μάργες με παρεμβολές αργιλικών μαργών, ψαμμιτών και λεπτών στρωμάτων λιγνίτη (0.10 – 0.50 m), πάχους ~50 m
- Μάργες φυλλώδεις έως λεπτοστρωματώδεις, εναλλασσόμενες με αργιλικές μάργες, πάχους περίπου 80 m.
- Βασικό κροκαλοπαγές, πάχους περίπου 2-5 m

3.3.2.2. Τεταρτογενή

Οι αποθέσεις του Τεταρτογενούς βάσει της ηλικίας και σύστασή τους διακρίνονται ως εξής :

Πλειστοκαινικές ποταμοχερσαίες αποθέσεις και πλευρικά κορήματα

Αποτελούνται από κροκάλες και χάλικες, κυρίως ασβεστολιθικής προέλευσης, με πρόσμειξη μικρών ποσοτήτων ερυθράς αμμούχου αργιλοϊλύος, οι οποίες λόγω διαγένεσης και δευτερογενούς συγκόλλησης έχουν μετατραπεί σε κροκαλοπαγή και κατά θέσεις λατυποκροκαλοπαγή, η συνοχή των οποίων ποικίλει από θέση σε θέση. Το συνδεδετικό υλικό είναι ασβεστοαργιλοψαμμιτικό (Εικόνες 3.10 και 3.11). Τοπικά, είναι περισσότερο αργιλούχα σχηματίζοντας ακανόνιστους φακούς αμμοαργιλοϊλύος ή κερατολιθικής σχιστολιθικής σύστασης. Οι αποθέσεις αυτές συμπλέκονται στα κράσπεδα της λεκάνης με τους κώνους κορημάτων. Το πάχος του σχηματισμού αυτού είναι σχετικά μεγάλο και φθάνει ή ακόμη και υπερβαίνει τα πενήντα (50) μέτρα.



Εικόνα 3.9: Τομή γεωτρήσεως όπου φαίνεται η απόθεση ασύνδετου και κατά θέσεις πιο συνεκτικού κροκαλοπαγούς κάτω από το Πλειστοκαινικό κροκαλοπαγές (Υπ. Γεωργίας 1953).

Πρόσφατα πλευρικά κορήματα και κώνοι κορημάτων

Πρόκειται για ασύνδετα, κυρίως ασβεστολιθικά, κορήματα, άμμοι, χάλικες, κροκάλες, λατύπες με συνοχή λιγότερη ή περισσότερη, ελεύθερα από άργιλο, πάχους της τάξης των 2 έως 5m και σπανιότερα των 15 m.

Σύγχρονες αποθέσεις χειμάρρων

Στις περιοχές των χειμάρρων του Θριασίου Πεδίου, κυρίως του ρ. Γιαννούλας και ρ. Σαρανταπόταμου, οι προσχώσεις αυτές αποτέθηκαν πρόσφατα και πρόκειται για λεπτομερείς έως αδρομερείς αποθέσεις, αποτελούμενες από αργίλους, ιλύ, άμμο, χάλικες, κροκάλες. Στις ευρύτερες κοίτες των χειμάρρων παρατηρούνται στενές αναβαθμίδες πλάτους μερικών μέτρων και σε ύψος 1 έως 3m πάνω από τη σημερινή κοίτη. Αυτές οι αναβαθμίδες αποτελούνται από αμμοχάλικα, χάλικες, κροκάλες μικρού πάχους 1 έως 3 m που κλείνουν με αργιλοπηλώδη υλικά (Εικόνα 3.12). Στις κοίτες των χειμάρρων επικρατούν αδρομερή αμμοχάλικα, χάλικες, κροκάλες και λατύπες πάχους μερικών μέτρων και πρόκειται για πολύ σύγχρονες αποθέσεις (Εικόνα 3.13).



Εικόνα 3.10: Αποθέσεις Πλειστοκαίνου, από τομή του πηγαδιού Νο 54.



Εικόνα 3.11: Πλειστοκαινικοί κώνοι κορημάτων και αποθέσεις κλιτύων στο ρ. Γιαννούλας.



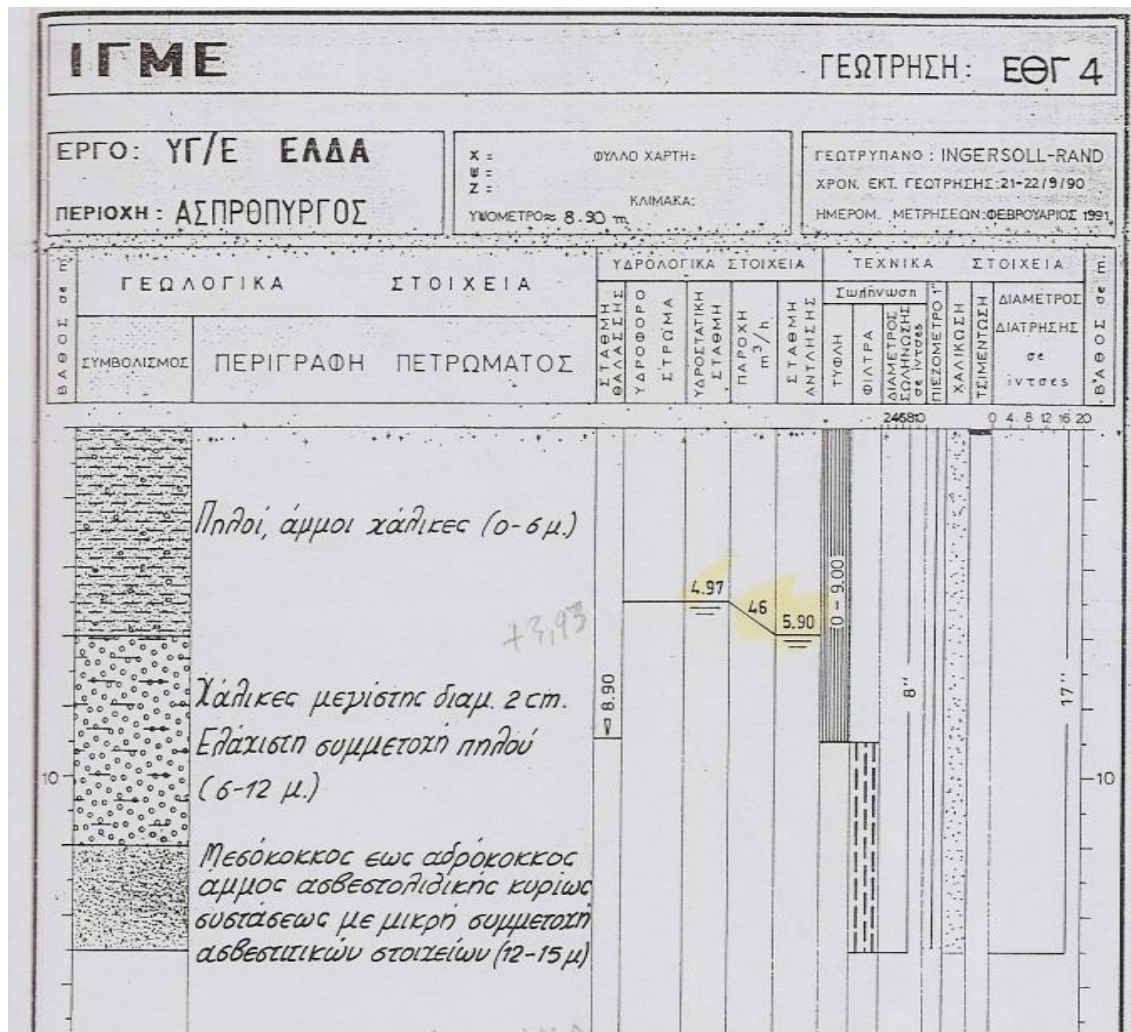
Εικόνα 3.12: Σύγχρονες αναβαθμίδες ρ. Γιαννούλας.



Εικόνα 3.13: Σύγχρονες ποταμοχειμάρρειες αποθέσεις πηλοί και αμμοχάλικα α) κούτη ρ. Γιαννούλας β) και γ) κούτη ρ. Σαρανταπόταμου.

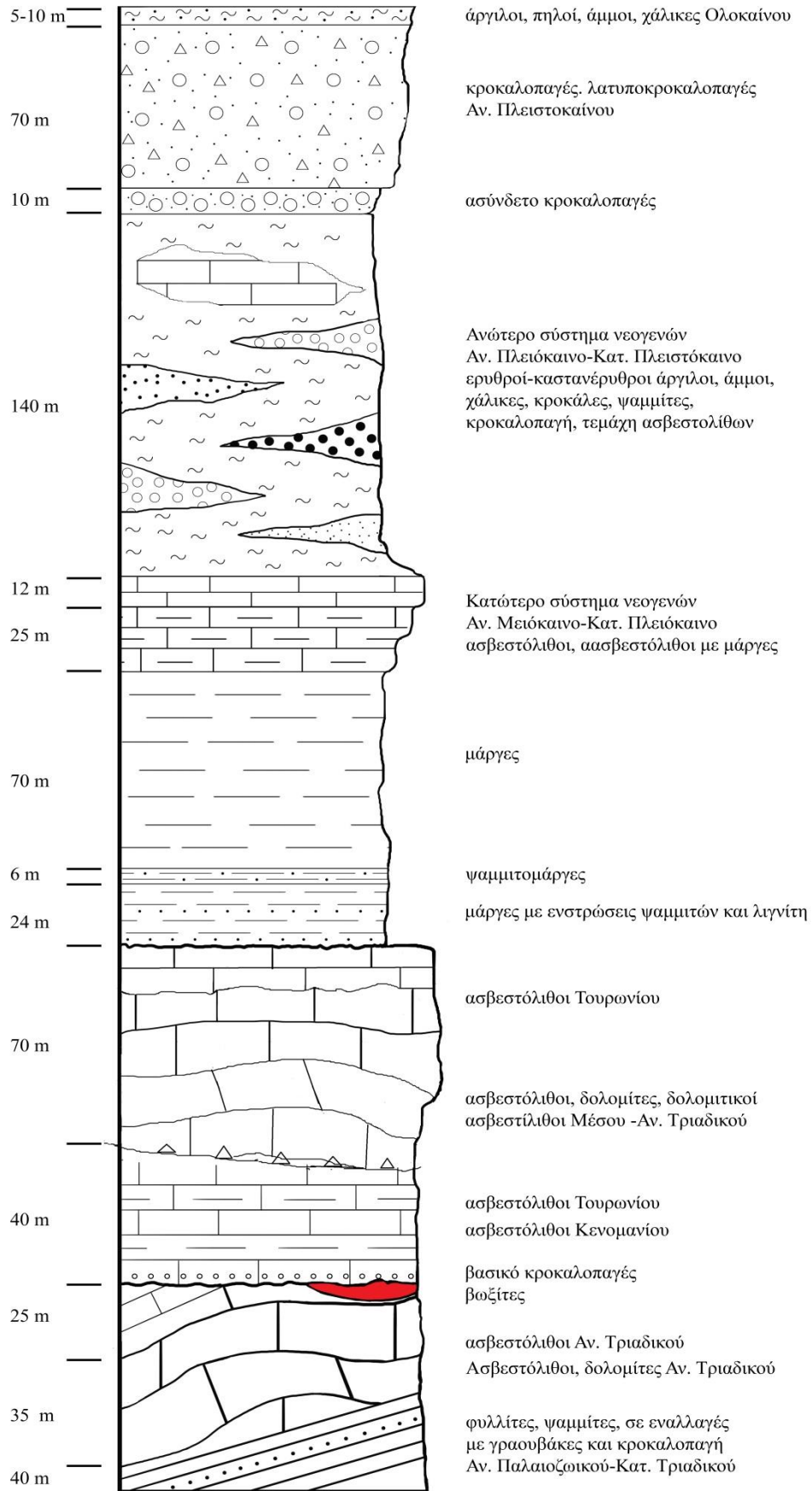
Αλλουβιακές αποθέσεις πεδινών περιοχών ανοικτών προς την θάλασσα

Οι αποθέσεις αυτές καταλαμβάνουν ζώνη πλάτους 2-3 km από την ακτή. Αποτελούνται από λεπτομερή υλικά, αργίλους, αμμούχους αργίλους, πηλούς, άμμους με πολύ μικρή υδραυλική αγωγιμότητα και δημιουργία περιορισμένης (υπό πίεση) υδροφορίας ή αυτόματης ροής μόνο στις θέσεις όπου κάτω από τις αργίλους και τους πηλούς βρίσκονται άμμοι, χάλικες και αδρομερέστερα υλικά (Εικόνα 3.14).

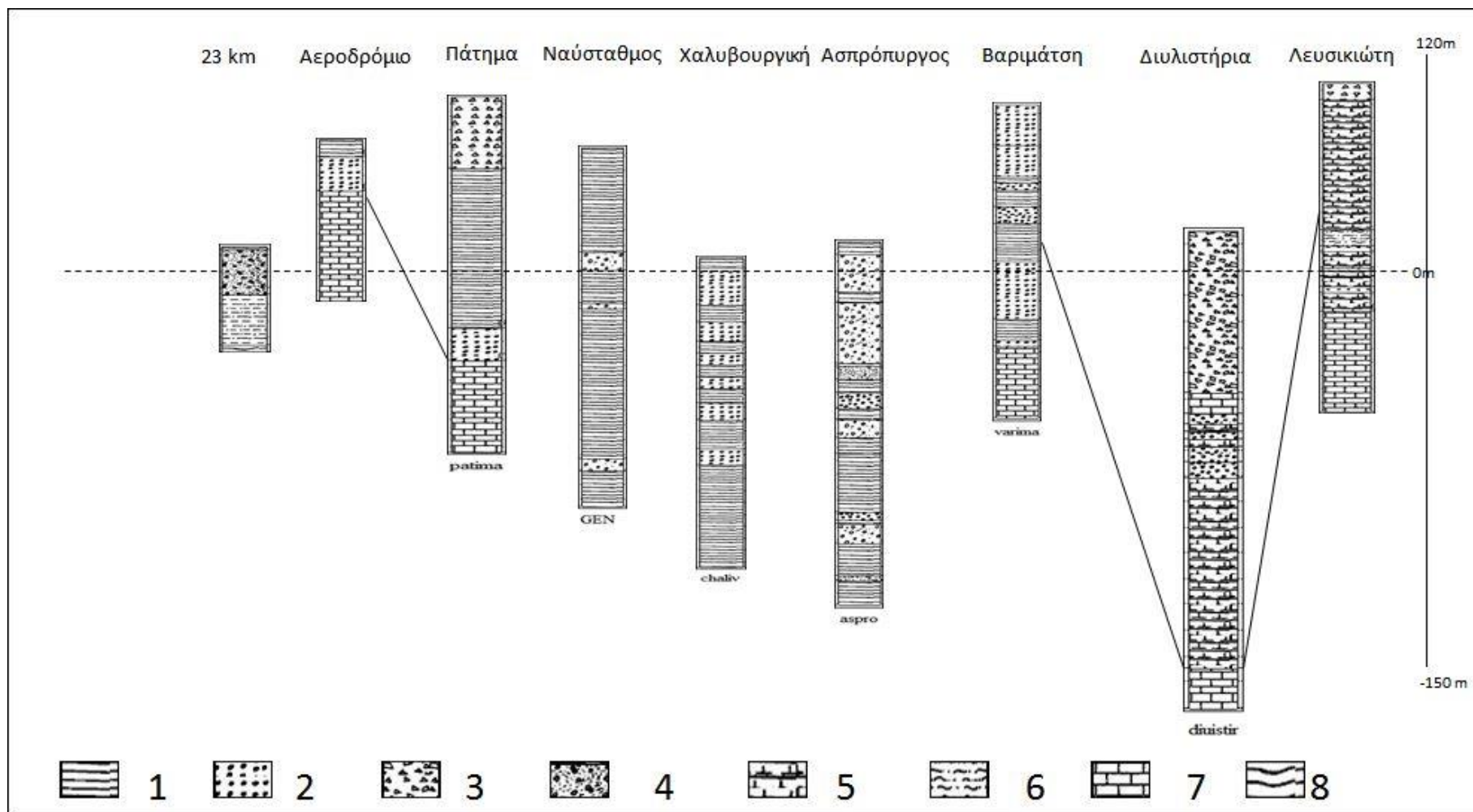


Εικόνα 3.14: Πηλοί και χάλικες στην περιοχή του διυλιστηρίου και εμφάνιση υπό πίεση υδροφορίας (Κούνης και Σιέμος 1990).

Στην Εικόνα 3.15 παρουσιάζεται μία συνθετική στρωματογραφική κολώνα του Θριασίου Πεδίου ενώ στην Εικόνα 3.16 επιχειρείται μία στρωματογραφική συσχέτιση από διάφορες θέσεις με στόχο τον προσδιορισμό της ηλικιακής σχέσης και της εξέλιξης της περιοχής.



Εικόνα 3.15: Συνθετική στρωματογραφική κολώνα Θριασίου Πεδίου



Εικόνα 3.16: Στρωματογραφικές στήλες των μεταλλικών ιζημάτων στην περιοχή του Θρασιού Πεδίου: 1 ερυθρές άργιλοι, 2 κροκαλοπαγή, 3 λατυποπαγή, 4 άμμοι-χάλικες-κροκάλες, 5 μαργαϊκός ασβεστόλιθος, 6 αμμόμαργες, 7 ασβεστόλιθοι, 8 σχιστόλιθοι (γεωτρητικά στοιχεία ΥΕΒ Υπ. Γεωργίας 1952-1985)

3.3.3. Κοιτασματολογία

3.3.3.1. Βωξίτες

Οι βωξίτες είναι πετρώματα που περιέχουν κυρίως ενώσεις του αργιλίου αλλά και σιδήρου ως ακολούθως:

- Υδροξείδια του αργιλίου γκιμπσίτη $Al(OH)_3$, διάσπορο α - $AlOOH$, βαιμίτη γ - $AlOOH$
- Υδροξείδια και οξείδια του σιδήρου α) γκαιτίτη α - $FeOOH$ β) αιματίτη Fe_2O_3
- Οξείδιο του τιτανίου ανατάση TiO_2 .

Τα κοιτάσματα των βωξιτών στην ευρύτερη περιοχή μελέτης εμφανίζονται μεταξύ των παχυστρωματωδών λευκών μέσο-ανωτριάδικών ασβεστολίθων και των λεπτοπλακωδών μαργαϊκών ανωκρητιδικών ασβεστολίθων. Οι κύριες εμφανίσεις στην περιοχή μελέτης εντοπίζονται στην περιοχή της Ελευσίνας (Αρώνης 1954). Στους βωξίτες της ευρύτερης περιοχής έχουν αναφερθεί οι Martini, Petraschek and Marinos (1953), Αρώνης (1955) και ο Κισκύρας (1960). Εμφανίζονται με την μορφή στρωμάτων το δε πάχος τους κυμαίνεται μεταξύ 0-20 m. Το χρώμα τους είναι σοκολατί έως βαθύ κόκκινο και ο ιστός πηλολιθικός. Είναι κερματισμένοι με πυκνό δίκτυο διακλάσεων. Σε μεγάλο ποσοστό κατατάσσονται στον βαιμιτικό τύπο δηλαδή σε βωξίτες διαλυτούς στα αλκάλια. Τα κοιτάσματα του βωξίτη φέρουν συχνά στην ανώτερη επιφάνειά τους στρώμα ερυθρής αργίλου. Μερικές φορές μεταξύ βωξιτών και ασβεστολίθων παρεμβάλλεται ασβεστολιθικό λατυποκροκαλοπαγές. Από αναλύσεις δειγμάτων στην περιοχή της Μάνδρας (Αρώνης 1954) η περιεκτικότητα στα διάφορα συστατικά έχει ως ακολούθως: SiO_2 3,32%, Al_2O_3 45,10%, Fe_2O_3 31,00%, TiO_2 2,50%, Απώλεια πύρωσης 8,65%, CaO απουσία, MgO απουσία, Mn 0,91% και Ni απουσία.

3.3.3.2. Λατερίτες

Προϊόν εξαλλοίωσης (λατεριτική αποσάθρωση) ιζηματογενών και μεταμορφωμένων πετρωμάτων και ορυκτών υπερβασικών πετρωμάτων κυρίως ολιβίνη και σερπεντίνη σε ζεστό και υγρό περιβάλλον. Η διεργασία διαρκεί μεγάλο χρονικό διάστημα και το αποτέλεσμα ποικίλει σε σχέση με το πάχος, το χημισμό και την ορυκτολογική σύσταση. Ο ολιβίνης με χημικό τύπο $(Mg,Fe)_2SiO_4$ είναι ένα στερεό διάλυμα μεταξύ του φορστερίτη Mg_2SiO_4 και φαυαλίτη Fe_2SiO_4 . Ο ολιβίνης είναι κύριο συστατικό των περιδοτιτών τα οποία βρίσκονται στα οφιολιθικά συμπλέγματα. Εξαλλοίωση του ολιβίνης οδηγεί στον σχηματισμό του σερπεντίνης $Mg_3Si_2O_5(OH)_4$. Στη σύσταση του ολιβίνης εμπεριέχεται Ni το οποίο αντικαθιστά το Mg . Η κινητικότητα του Ni είναι μεγαλύτερη από άλλα στοιχεία όπως π.χ. ο Fe . Αυτό σημαίνει ότι με την κίνηση του υπόγειου νερού το Ni διαλύεται ευκολότερα και η περιεκτικότητα του νερού σε Ni αυξάνεται.

Στην ευρύτερη περιοχή μελέτης περιδοτίτες και οφιόλιθοι εμφανίζονται στο όρος Αιγάλεω (Λιονής 1992) αλλά και στα Γεράνεια Όρη. Το σιδηρονικελιούχο μέταλλευμα που εμφανίζεται στην ευρύτερη περιοχή είναι φακοειδούς-στρωματοειδούς μορφής και βρίσκεται μεταξύ τριαδικών ασβεστολίθων και ανωκρητιδικών ασβεστολίθων. Είναι πηλολιθικό ή συμπαγές με μεγάλο ποσοστό αιματίτη-λειμωνίτη, με πολλές πυριτικές λατύπες και χαμηλή περιεκτικότητα σε Ni .

3.3.3.3. Λιγνίτες

Ο λιγνίτης είναι πέτρωμα χρώματος καφέ-μαύρου με ποσοστό σε άνθρακα από 50-70%. Προέρχεται από την ενανθράκωση κυρίως φυτικών οργανισμών. Ο σχηματισμός των λιγνιτών στον Ελληνικό χώρο έλαβε χώρα κατά το Παλαιογενές (Ηώκαινο) μέχρι και το Τεταρτογενές (Κατώτερο Πλειστόκαινο).

Τα περισσότερα από τα λιγνιτικά κοιτάσματα σχηματίστηκαν κατά το Πλειόκαινο-Πλειστόκαινο όπου εμφανίζεται έντονη ρηξιγενής τεκτονική με την δημιουργία τάφρων. Δημιουργούνται αρκετές λεκάνες είτε ηπειρωτικές αποκομμένες από την θάλασσα είτε λιμνοθαλάσσιες με παροδική επικοινωνία με την θάλασσα. Στην Αττική υπάρχουν εμφανίσεις ανατολικά και δυτικά του Αιγάλεω όρους. Στην περιοχή μελέτης συναντήθηκαν στρώματα μαργών με ενστρώσεις ψαμμιτών και λιγνίτη σε βάθος από 60 -84 m (Λιονής 1992). Μάργα βρέθηκε και σε πηγάδια ΒΑ του Ασπροπύργου. Είναι πολύ πιθανόν σε μεγαλύτερα βάθη να υπάρχουν ανάλογες ενστρώσεις ψαμμιτών (Γκούμας 2006) και λιγνιτών.

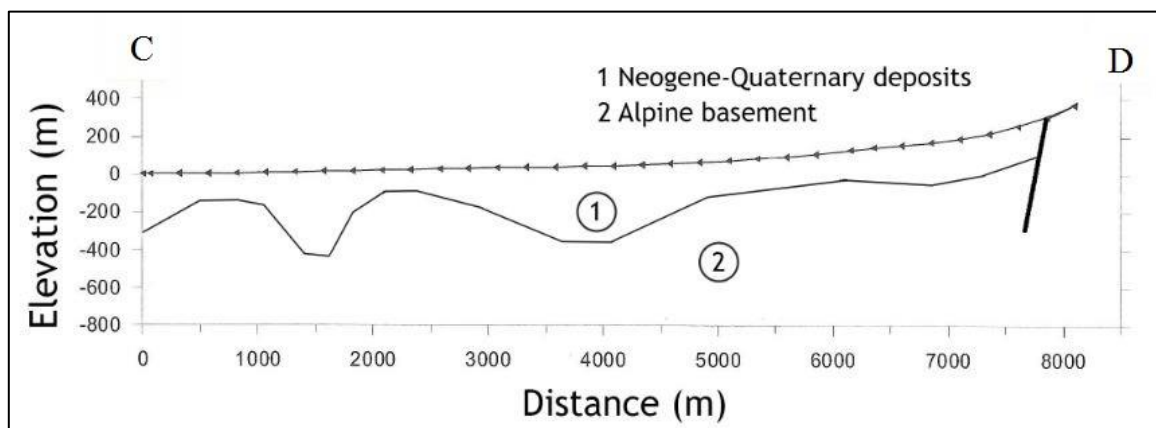
3.3.3.4. Σχέση κοιτασμάτων με την υδρογεωλογία

Το υπόγειο νερό καθώς κινείται ανάμεσα από τις ρωγμές των κοιτασμάτων βωξιτών και σιδηρονικελιούχων με την πάροδο του χρόνου τα διαλύει και μεταφέρει τα συστατικά τους σε άλλες θέσεις. Ο μηχανισμός της διάλυσης του μητρικού πετρώματος περιλαμβάνει την επίδραση οξέος που ακολουθείται από το φαινόμενο της υδρόλυσης και την απόθεση και διάλυση δυσδιάλυτων και ευδιάλυτων αντιστοίχως ορυκτών. Τα ιόντα κυρίως Ni και Mg που ελευθερώνονται εισέρχονται στο υπόγειο νερό. Επίσης, η αντικατάσταση του Mg από το Ni οδηγεί στην εξαλλοίωση, όπως προαναφέρθηκε, του ολιβίνη προς σερπεντίνη. Η ύπαρξη λοιπόν Mg^{2+} και Ni^{+} σε ικανοποιητικές συγκεντρώσεις στα υπόγεια νερά στην περιοχή Ελευσίνας μαρτυράει την προέλευσή τους από περιδοτίτες.

4. ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ

4.1. Ανασκόπηση βιβλιογραφίας

Η περιοχή του Θριασίου Πεδίου χαρακτηρίζεται από μία εκτεταμένη, σύνθετη και ενεργή τεκτονική. Τέμνεται από πολλά ρήγματα, τα οποία ακολούθησαν τις διάφορες ορογενετικές φάσεις επομένως είναι κατακερματισμένη σε πολλά ρηξιτεμάχη, η δε γεωμετρία αυτών είναι σύνθετη με επικρατούσες διευθύνσεις ΔΒΔ-ΑΝΑ και ΒΑ-ΝΔ (Μαριολάκος κ.α. 2001), με αποτέλεσμα να έχουν σχηματίσει ποικίλες δομές τεκτονικών ανυψώσεων και βυθισμάτων (Γκούμας 2006). Η διεύθυνση της τομής στην Εικόνα 4.1 φαίνεται στον γεωλογικό χάρτη της Εικόνας 3.1 στο προηγούμενο κεφάλαιο.



Εικόνα 4.1: Τεκτονικές ανυψώσεις και βυθίσματα στο Θριάσιο Πεδίο (Γκούμας 2006).

Η ευρύτερη περιοχή μελέτης πτυχώθηκε κατά την αλπική ορογένεση και πιο συγκεκριμένα στην αρχή κατά την παλαιοκιμμερική φάση και στη συνέχεια κατά την πυρηναϊκή φάση. Οι πτυχωσιγενείς αυτές φάσεις, εκτός από τα αλπικά ιζήματα συμπεριέλαβαν και τα παλιότερα προαλπικά, τα οποία είχαν ήδη πτυχωθεί κατά την ερκύνια (βαρίσκια) ορογένεση του Περμίου – Κ. Τριαδικού.

Ο Δούνας (1971β) δέχεται την ύπαρξη και μιας άλλης πτυχωσιγενούς φάσης της αλπικής ορογένεσης, την οποία, όμως, αδυνατεί να προσδιορίσει χρονικά την οποία αναγνωρίζει στην περιοχή εκδήλωσης της εφίπλευσης των παλαιοζωικών στρωμάτων επί των ανωτριαδικών, όπου η τεκτονική επιφάνεια επαφής των δύο αυτών σχηματισμών παρουσιάζει πτυχές με άξονα γενικής διεύθυνσης ΒΔ-ΝΑ.

Η προαλπική ερκύνια πτύχωση έχει «σβηστεί» από τα παλαιοζωικά-νεοπαλαιοζωικά ιζήματα εξ αιτίας των νεότερων αλπικών πτυχωσεων και οι οποίες καθορίζουν τη σημερινή τεκτονική δομή της περιοχής.

Υπάρχουν δύο κύριες διευθύνσεις αξόνων των πτυχωσεων που επέδρασαν στην περιοχή. Η πρώτη έχει γενικά διεύθυνση ΑΒΑ-ΔΝΔ έως και Α-Δ και η δεύτερη έχει διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ.

Τέλος, οι άξονες των πτυχών της «πιθανολογούμενης» από τον Δούνα (1971) τρίτης (3ης) φάσης έχουν διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ. Η ισχυρότερη και επικρατέστερη στην περιοχή μελέτης πτύχωση είναι αυτή με διεύθυνση ΑΒΑ-ΔΝΔ έως Α-Δ, ενώ οι άλλες υπήρξαν πολύ

ασθενέστερες και είναι μόνο τοπικής σημασίας. Οι σημερινές δομές (αντίκλινα, σύγκλινα κλπ) αντικατοπτρίζουν την συνολική επίδραση όλων των πτυχωσιγενών κινήσεων που σε διάφορες φάσεις δέχτηκε η περιοχή, με κυρίαρχη, όπως αναφέρθηκε αυτήν της ΑΒΑ-ΔΝΔ έως Α-Δ. Οι άξονες των πτυχών της περιοχής κατά κανόνα δεν είναι οριζόντιες ευθείες γραμμές, αλλά κυματοειδείς, πράγμα που σημαίνει ότι κατά μήκος των αξονικών επιπέδων των πτυχών οι άξονες αυτοί ή ακριβέστερα οι κορυφογραμμές τους, αλλού βυθίζονται και αλλού ανυψώνονται.

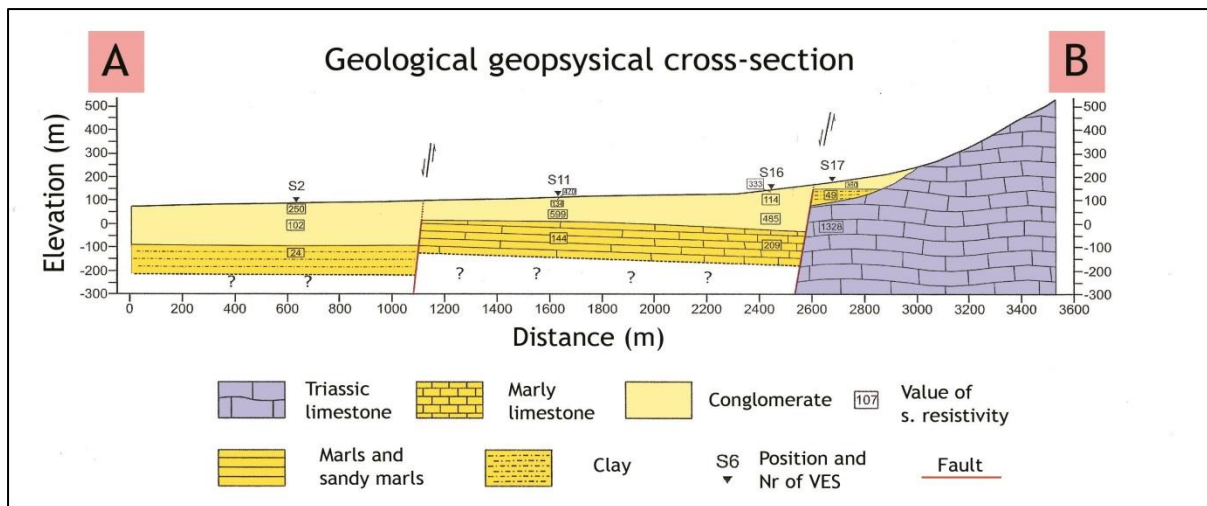
Σύμφωνα με τον Δούνα (1971α), τις εν λόγω εμφανίσεις του νεοπαλαιοζωικού, εκτός από τις αντικλινικές πτυχές, τις συνδέει και με μεγάλες επιπτεύσεις, ακόμη και με επωθήσεις έως και λεπιώσεις. Έτσι π.χ. στο όρος «Πιάστρα» την εμφάνιση Παλαιοζωικού σε διάφορα υψόμετρα την ερμηνεύει, κυρίως, ως αποτέλεσμα αλληπάλληλων επιπτεύσεων-επωθήσεων, δηλαδή βλέπει την ύπαρξη τεκτονικών καλυμμάτων και λεπών. Στα γεωλογικά φύλλα «Ελευσίνα» και «Καπαρέλλι», που εκδόθηκαν περίπου μετά από 15 χρόνια από την εργασία του Δούνα, οι επιπτεύσεις-επωθήσεις στα όρη «Πιάστρα» και «Πατέρας» περιορίζονται έως και καταργούνται και οι διάφορες εμφανίσεις του Παλαιοζωικού ερμηνεύονται, κυρίως, μόνο με πτυχωσιγενή φαινόμενα (ανάδυση-κατάδυση πτυχών, συνακόλουθες μικρότερες πτυχές μιας μεγαλύτερης πτυχής, πτυχές με διαφοροποιημένη διεύθυνση, πτυχώσεις παλιότερων πτυχών, κλπ).

Οι εμφανίσεις του αδιαπέρατου Παλαιοζωικού - Νεοπαλαιοζωικού υποβάθρου σχετίζονται κυρίως με την ανάδυση και την κατάδυση των αξόνων των αντικλινικών δομών, την τοπικά εντονότερη πτύχωση (δέσμη πτυχών), καθώς και με την επίδραση περισσότερων της μιας πτυχωσιγενών φάσεων. Αυτό, από υδρογεωλογική άποψη, σημαίνει ότι κάτω από τις εμφανίσεις του αδιαπέρατου Παλαιοζωικού-Νεοπαλαιοζωικού δεν αναμένονται μεσοζωικοί ασβεστόλιθοι-δολομίτες με καρστική υδροφορία, πράγμα που θα συνέβαινε εάν δεχόμασταν την επικράτηση των μεγάλων επιπτεύσεων-επωθήσεων (Παρασχούδης 2002).

Το κυρίαρχο σύστημα ρηγμάτων έχει διεύθυνση ΑΒΑ-ΔΝΔ, δηλαδή είναι παράλληλο προς τους άξονες των πτυχών (επιμήκη ρήγματα). Πρόκειται πάντοτε για μεταπτώσεις με βύθιση προς Βορρά όταν αυτά τέμνουν το βόρειο σκέλος των πτυχών (αντίκλινα – σύγκλινα) και με βύθιση προς Νότο όταν αυτά τέμνουν το αντίστοιχο σκέλος των πτυχών. Σπανιότερα πρόκειται και για ανάστροφα ρήγματα. Ασθενέστερο είναι ένα σύστημα ρηγμάτων με διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ το οποίο βρίσκεται στην περιοχή «Τζαβερδέλλα» και κατά μήκος του ρέματος «Ρεματάκι» δηλαδή διαγώνιο προς το προηγούμενο κυρίαρχο σύστημα και ακόμη σπανιότερα ένα σύστημα ρηγμάτων με διεύθυνση ΒΒΔ-ΝΝΑ. Τα δύο αυτά συστήματα βασικά ανήκουν στην ίδια οικογένεια ρηγμάτων και πιο συγκεκριμένα πρόκειται για εγκάρσια έως διαγώνια προς τις πτυχές ρήγματα.

Ακολουθούν τα ρήγματα ενός τρίτου συστήματος με διεύθυνση σχεδόν ΔΒΔ-ΑΝΑ όπως είναι τα κανονικά ρήγματα της Φυλής με διεύθυνση ΔΒΔ -ΑΝΑ και κλίση προς ΝΔ και του Θριασίου Πεδίου με την ίδια διεύθυνση ΔΒΔ- ΑΝΑ και κλίση προς ΝΔ.. Τα ρήγματα αυτά, αν και ασθενώς διαμορφωμένα, στους μεσοζωικούς ασβεστόλιθους-δολομίτες υπήρξαν μετά την αλπική πτύχωση πολύ βαθειά και προκάλεσαν μεγάλα τεκτονικά βυθίσματα με μεταπτώσεις της τάξης των 450 m (Γκούμας 2006).

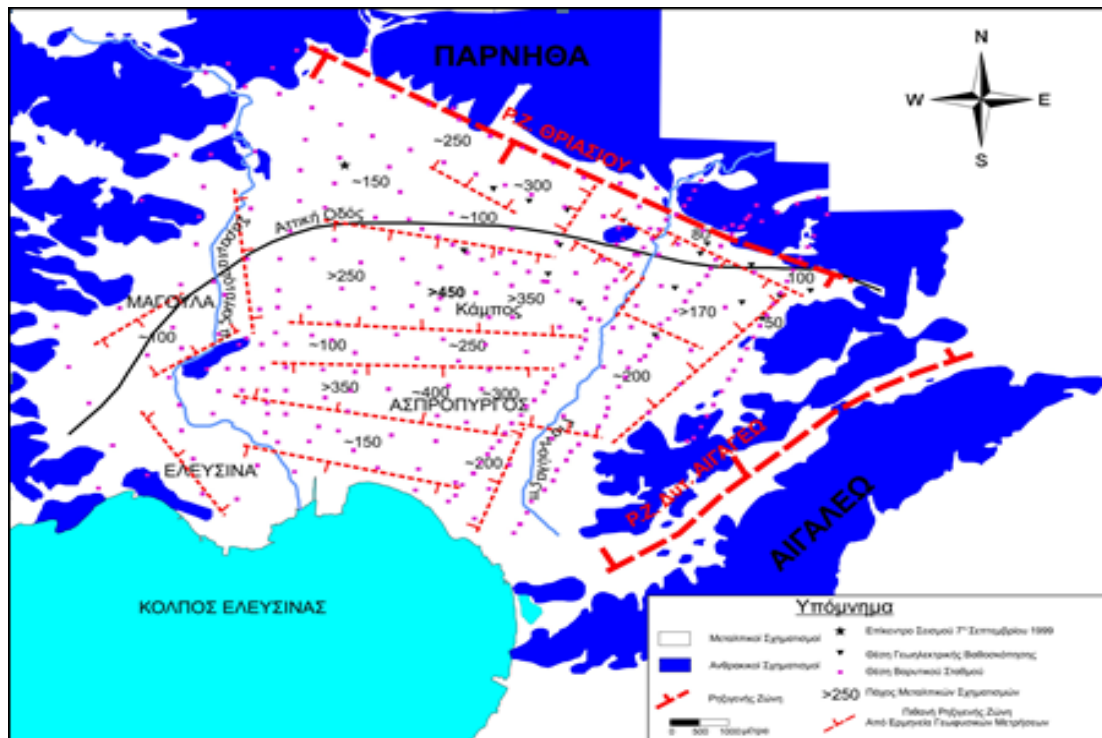
Μετά την πλήρωση των τεκτονικών βυθισμάτων με ιζήματα του Νεογενούς ενεργοποιήθηκαν τα παλιότερα ρήγματα, τα οποία σε συνδυασμό και προς τις μεγάλες ανοδικές κινήσεις του Πλειόκαινου προκάλεσαν την ανύψωση των ιζημάτων αυτών πάνω από τη στάθμη της θάλασσας. Μετά την ανύψωση αυτή σημειώθηκαν ρήγματα και μέσα στις αποθέσεις του Νεογενούς (Εικόνες 4.2 και 4.3), τα οποία έχουν διεύθυνση κυρίως Α- Δ και δευτερευόντως ΒΑ-ΝΔ και ΒΔ-ΝΑ (Παρασχούδης 2002, Γκούμας 2006). Η διεύθυνση της τομής στην Εικόνα 4.2 φαίνεται στον γεωλογικό χάρτη της Εικόνας 3.1 στο προηγούμενο κεφάλαιο.



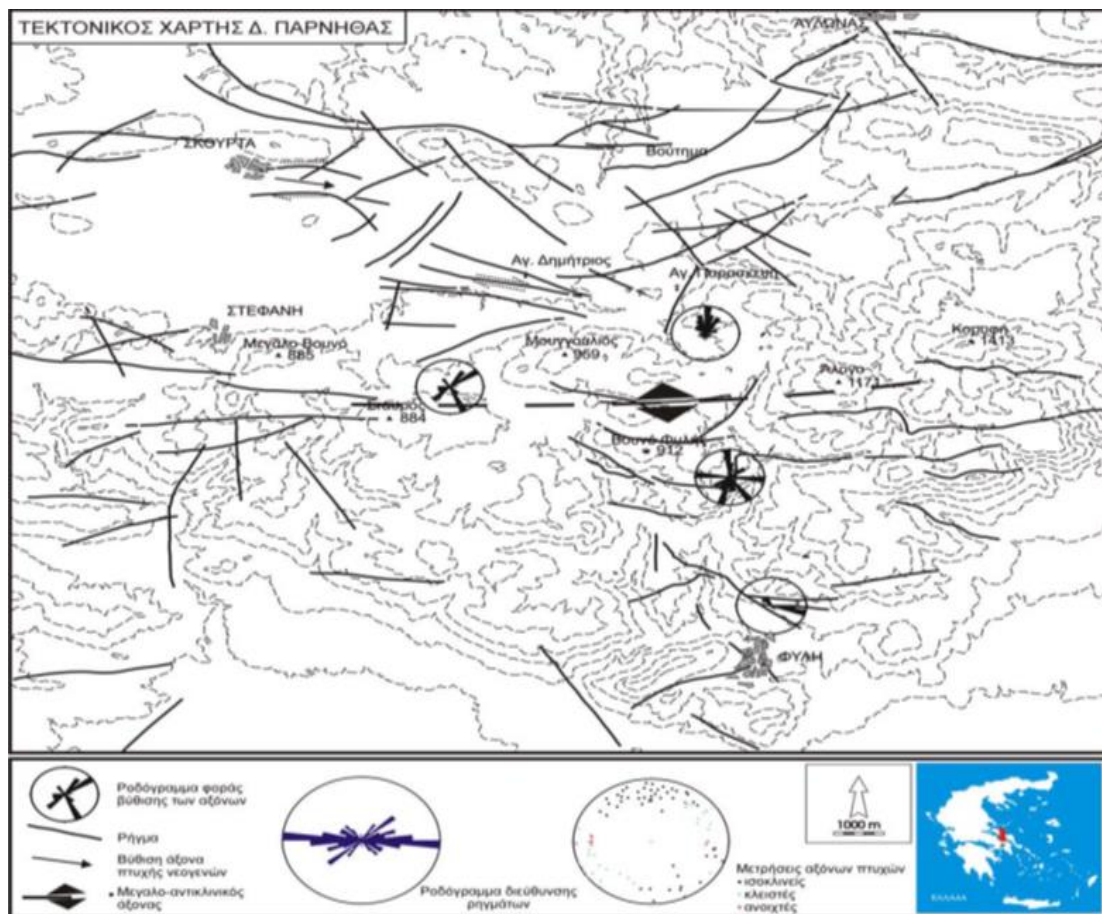
Εικόνα 4.2: Η παρουσία πιθανών ρηγμάτων εντός των νεογενών (γεωηλεκτρική- γεωλογική τομή, Γκούμας 2006).

Τα τεκτονικά ρηξιτεμάχη που εμφανίζονται στην περιοχή, μέσης διεύθυνσης ΔΒΔ-ΑΝΑ, καθορίζουν και τη μορφή του υδρογραφικού δικτύου, τις θέσεις της κατά βάθος διάβρωσης και των κύριων καρστικών δομών, αλλά και τα απόλυτα υψόμετρα των επιφανειών επιπέδωσης των ανθρακικών μετά την ανωκρητιδική επίκλυση, δηλώνοντας μια σαφή επίδραση της νεοτεκτονικής παραμόρφωσης στις μορφογενετικές διαδικασίες (Μαριολλάκος κ.α. 2001) (Εικόνα 4.4).

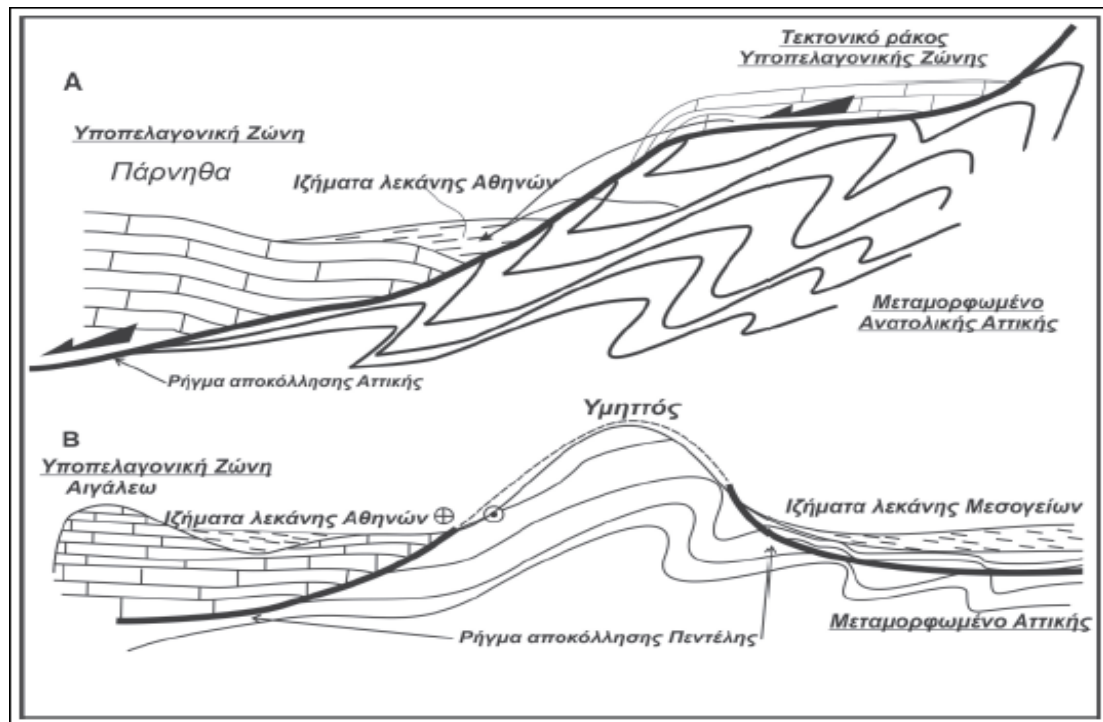
Ο Μπόσκοκς (2008) δέχεται ότι η περιοχή της Πάρνηθας κατά το Ανώτερο Μειόκαινο – Κατώτερο Πλειόκαινο είναι χώρος απόθεσης ιζημάτων τα οποία προέρχονται από το μεταμορφωμένο της ανατολικής Αττικής (Εικόνα 4.5). Κατά το Ανώτερο Πλειόκαινο – Πλειστόκαινο η Πάρνηθα απέκτησε υψηλό ανάγλυφο και τροφοδοτεί τις γύρω περιοχές με υλικά από την αποσάθρωση των πετρωμάτων του υποβάθρου και των υπερκείμενων νεογενών. Επίσης, το Αιγάλεω κατά το Κατώτερο Πλειόκαινο είχε χαμηλό ανάγλυφο και δεχόταν ιζήματα από το μεταμορφωμένο της ανατολικής Αττικής ενώ ανυψώνεται κατά το Πλειστόκαινο. Οι κινήσεις επομένως που προκλήθηκαν συνέβησαν στο Πλειόκαινο-Πλειστόκαινο.



Εικόνα 4.3: Πιθανά ρήγματα εντός των νεογενών (χάρτης Θριασίου, Γκούμας 2006)



Εικόνα 4.4: Τεκτονικός Χάρτης Δ. Πάρνηθας (Μαριολάκος κ.α. 2001).



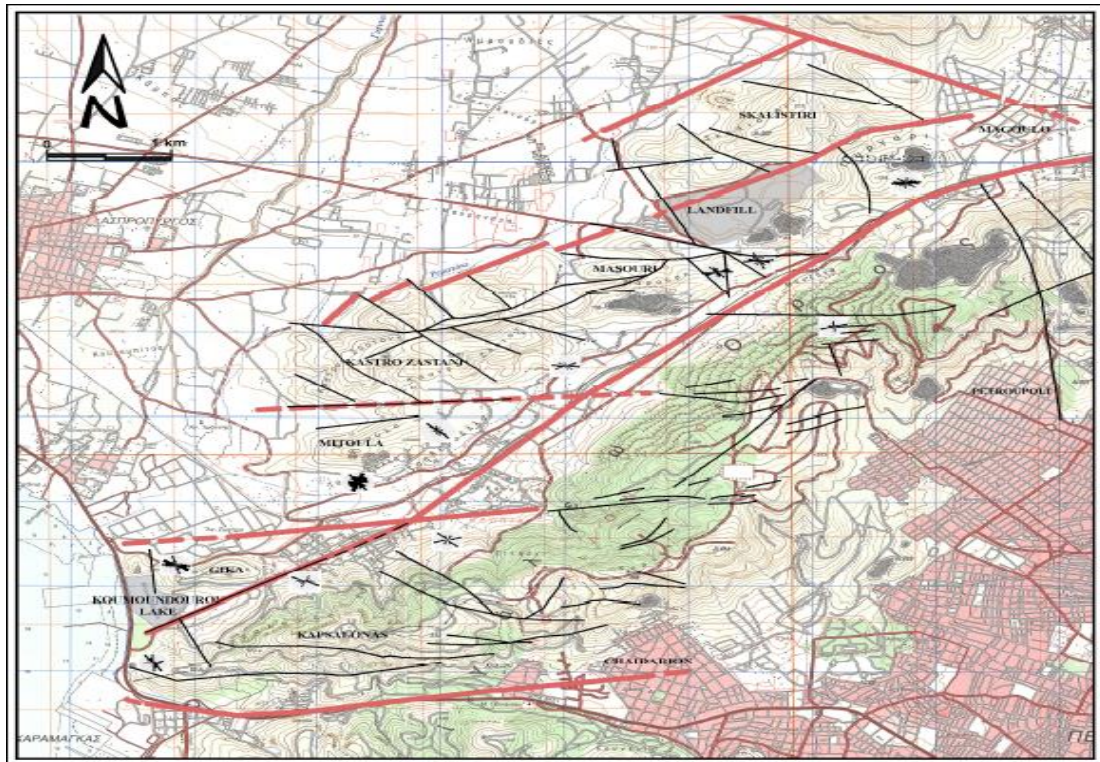
Εικόνα 4.5: Παλαιογεωγραφική εξέλιξη της περιοχής της Αττικής στο Κατώτερο Πλειόκαινο (Μπόσκος 2008).

Από την τεκτονική ανάλυση την οποία διεξήγαγαν ερευνητές του ΕΛΚΕΘΕ (Ζαχαρίας et al 2003) διαπιστώθηκαν στο ανατολικό τμήμα του Θριάσιου τα παρακάτω συστήματα (Εικόνα 4.6)

- B120-130, αντίστοιχα στις δύο κύριες ζώνες ρήγματος του Θριασίου και του ρήγματος Φυλής
- B45 και στις δύο πλευρές της ράχης Αιγάλεω
- B70-80 τέμνοντας το ενδιάμεσο και το νότιο τμήμα της ράχης Αιγάλεω
- B-N ορίζοντας το ανατολικό άκρο του τέλους του ρήγματος Θριασίου επιμηκύνοντας κατά μήκος της ανατολικής πλευράς της ράχης Αιγάλεω.

Η ευρύτερη περιοχή μελέτης από τεκτονικής άποψης είναι ακόμα ενεργή, όπως μεταξύ άλλων προκύπτει και από τους πολύ πρόσφατους σεισμούς και συγκεκριμένα από τους πολύ μεγάλους σεισμούς των Αλκυονίδων - Καπαρελλίου στις 24/02/1981 και της Πάρνηθας στις 07/09/1999 (Mariolakos & Fountoulis 2000, Mariolakos et al. 2000). Ο πρώτος σεισμός (Αλκυονίδες – Καπαρέλλι) προκάλεσε ρήγματα διεύθυνσης Α-Δ, ενώ ο δεύτερος (Πάρνηθα) δεν προκάλεσε μεν ορατό ρήγμα αλλά σχετίζεται με ρήγμα ΒΔ-ΝΑ διεύθυνσης.

Στα ίδια συμπεράσματα καταλήγουν για τις μεγάλες τεκτονικές δομές της ευρύτερης περιοχής του Θριασίου Πεδίου και οι Lekkas (2001) και Papanikolaou et al (1999) (Εικόνες 4.7, 4.8 και 4.9). Επίσης, οι Παπανικολάου κ.α. (2004) δέχονται ότι από το Ανώτερο Μειόκαινο μέχρι σήμερα το δυτικό περιθώριο της Λεκάνης των Αθηνών το οποίο οριοθετείται από τις ρηξιγενείς ζώνες, διευθύνσεως ΒΒΑ-ΝΝΔ, της Πάρνηθα, του Αιγάλεω και του Ποικίλου όρους, υπόκειται σε σύνθετη τεκτονική δραστηριότητα η οποία δρούσε κατά την παραπάνω διεύθυνση αλλά και από ρήγματα διεύθυνσης Α-Δ.



Εικόνα 4.6: Τεκτονικός χάρτης ανατολικού Θριασίου (Ζαχαρίας et al 2003).

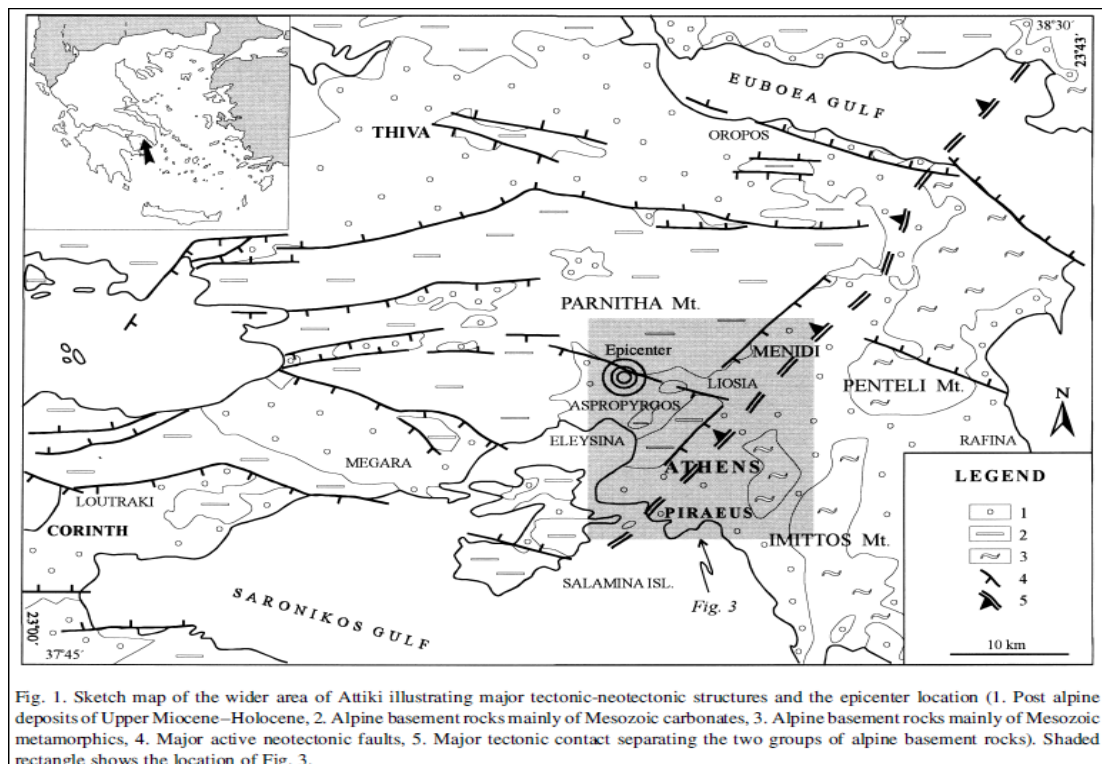
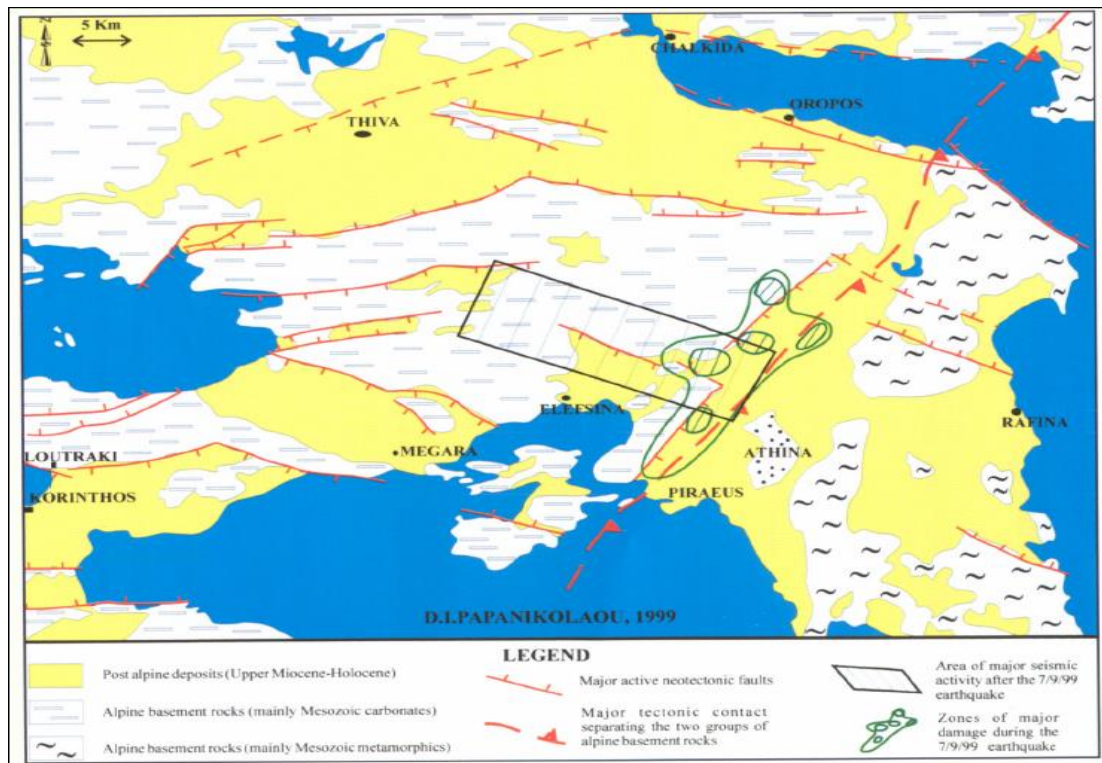
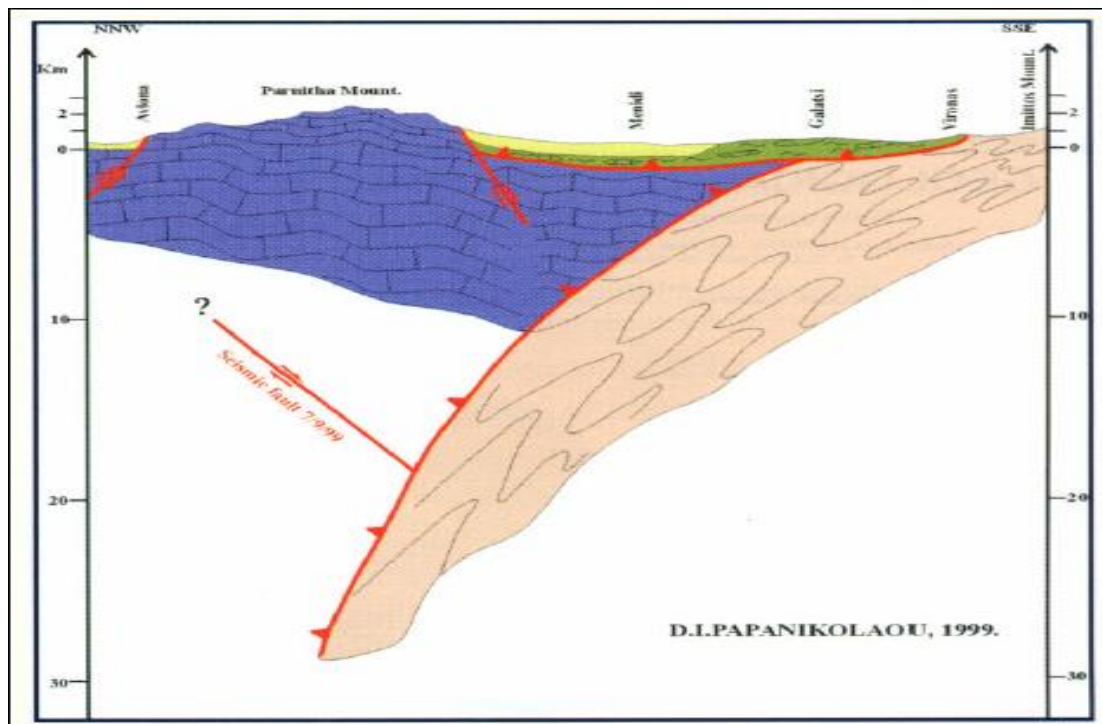


Fig. 1. Sketch map of the wider area of Attiki illustrating major tectonic-neotectonic structures and the epicenter location (1. Post alpine deposits of Upper Miocene-Holocene, 2. Alpine basement rocks mainly of Mesozoic carbonates, 3. Alpine basement rocks mainly of Mesozoic metamorphics, 4. Major active neotectonic faults, 5. Major tectonic contact separating the two groups of alpine basement rocks). Shaded rectangle shows the location of Fig. 3.

Εικόνα 4.7: Τεκτονικός-νεοτεκτονικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής του Θριασίου Πεδίου (Lekkas 2001).



Εικόνα 4.8: Τεκτονικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής Θρασιού Πεδίου (Papanikolaou et al 1999).



Εικόνα 4.9: Τομή στην περιοχή του Θρασιού όπου εμφανίζεται το σεισμογόνο ρήγμα της 7/9/1999 (Papanikolaou et al 1999).

Στον χάρτη της Εικόνας 4.10 φαίνεται η τεκτονική – νεοτεκτονική δομή της περιοχής του Θριασίου Πεδίου με την συμπλήρωση των στοιχείων για τις θέσεις πιθανών ρηγματών εντός των νεογενών με βάση τα στοιχεία από Μαριολάκο κ.α. (2001), Γκούμα (2006) και τα συμπεράσματα του συγγραφέα από την μελέτη των λιθολογικών τομών γεωτρήσεων του Υπ. Γεωργίας (1952-1985).

4.2. Πτυχές (αντίκλινα-σύγκλινα)

Η τεκτονική δομή της μελετώμενης περιοχής (Εικόνα 4.10), κατά τους περισσότερους ερευνητές, αντιπροσωπεύεται από πτυχές οι οποίες δημιουργούν ανοικτά σύγκλινα και αντίκλινα αλλά και κλειστές πτυχές έως και επιπεύσεις σε κάποιες θέσεις (Παρασχούδης 2002).

Έτσι οι παχυπλακώδεις μέσο-ανωτριάδικοί ασβεστόλιθοι λόγω της ακαμψίας τους δεν παρουσιάζουν έντονη πτύχωση και δίνουν ανοικτές πτυχές αλλά και μικρή ή μεγαλύτερη κρυστάλλωση λόγω των τεκτονικών πιέσεων που τους ανάγκασε να βρεθούν σε συνθήκες ασθενούς μεταμόρφωσης. Κατά θέσεις λοιπόν παρουσιάζονται κρυσταλλικοί όπως αποτυπώνονται σε γεωτρήσεις του Υπ. Γεωργίας αλλά και από προσωπική επικοινωνία του συγγραφέα με τον ιδιοκτήτη της γεώτρησης 161' στα ΒΑκά του Ασπροπύργου.

Αντιθέτως οι λεπτοπλακώδεις ασβεστόλιθοι με κερατόλιθους και οι μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι δίνουν πιο κλειστές πτυχές. Οι λεπτοπλακώδεις ασβεστόλιθοι, οι φυλλίτες του νεοπαλαιοζωικού, πιο εύκαμπτοι και πιο πλαστικοί, αντέδρασαν στις τεκτονικές πιέσεις με κλειστές πτυχές, αλλά και επιπεύσεις και λεπιώσεις κατά τόπους (Δούνας, 1971β).

Αντίκλινο κατά μήκος της κορυφογραμμής του «Μακρόν Όρος»

Είναι ένα ανοιχτό αντίκλινο πολύ μεγάλου μήκους, που υπερβαίνει τα 25 km και το οποίο αναθολώνεται στο ανατολικό του τμήμα. Λόγω των αναθολώσεων αυτών εμφανίζεται τοπικά το στεγανό Παλαιοζωικό στην επιφάνεια και συγκεκριμένα στην κοιλάδα του Αγ. Γεωργίου μεταξύ των υψωμάτων «Κορυφή» και «Πυραμίδα ή Βελατούρι» στο ρέμα «Βίλιζα» και στο «Κοκκίни» στην ανατολική πλευρά του Σαρανταπόταμου. Στην περιοχή «Βίλιζα» – «Κοκκίни» το αντίκλινο πλησιάζει πολύ το ΝΑ άκρο του αντικλινόριου της νότιας πλευράς του όρους «Πάστρα» υποχρεώνοντας τα υπόγεια νερά να κινούνται κυρίως προς τα δυτικά.

Σύγκλινο ρέματος Αγ. Γεωργίου

Το σύγκλινο αυτό διέρχεται νοτίως του Παλαιοχωρίου και καταλήγει στα ανατολικά στον Αγ. Βλάσιο κοντά στην τσιμεντοβιομηχανία «ΤΙΤΑΝ». Το μήκος του είναι περίπου 15 km . Πρόκειται για ανοιχτό σύγκλινο με διεύθυνση Α-Δ έως ΑΒΑ – ΔΝΔ.

Σύγκλινο «Αρτυκίες– ρ. Κατσιμίδι –Λάκκα Λαζάρου – ρ. Μ. Κατερίνη»

Είναι κι αυτό ένα ανοιχτό σύγκλινο μεγάλου μήκους, που φθάνει περίπου τα 20 km . Η γενική διεύθυνσή του είναι ΑΒΑ-ΔΝΔ, τοπικά, όμως, κάμπτεται περισσότερο ΒΑ-ΝΔ, προφανώς λόγω ισχυρότερης επίδρασης της πυρηναϊκής πτύχωσης. Στα ΝΔκα διακόπτεται από το τεκτονικό βύθισμα των Μεγάρων με τα νεογενή ιζήματα.

Αντίκλινο «Κανδήλι– Αγ. Μελέτιος –Μάνδρα –Μικρό Κατερίνι»

Πρόκειται για ανοιχτό αντίκλινο μικρότερου μήκους σε σχέση με τα προηγούμενα και με διεύθυνση ΑΒΑ-ΔΝΔ. Επεκτείνεται γενικά μεταξύ Αγ. Μελετίου στα ΝΔ και Ν. Ζωής Μάνδρας – Ρέματος «Μικρό Κατερίνι» στο ΒΑ άκρο και το μήκος του είναι περίπου 10 km .

Σύγκλινο «Τρικέρατο – Μικρό Βουνό – Μάνδρα» και Σύγκλινο «Ράχη Ντόσκουρη»

Πρόκειται για ανοιχτό σύγκλινο, ο πυρήνας του οποίου αποτελείται από Κρητιδικούς ασβεστόλιθους. Στην επαφή των ασβεστολίθων αυτών με τους υποκείμενους τριαδικούς υπάρχουν συχνά κοιτάσματα βωξίτη. Το σύγκλινο αυτό έχει μήκος περίπου 10 km και η διεύθυνσή του είναι ΑΒΑ-ΔΝΔ. Κατά τον Παρασχούδη (2002) συνέχεια του σύγκλινου αυτού αποτελεί και το δυτικότερο μικρότερο σύγκλινο «Ράχη Ντόσκουρη» με επίσης Κρητιδικούς ασβεστόλιθους στον πυρήνα του. Η ασάφεια της ενιαίας συνέχειας των δύο σύγκλινων οφείλεται στην ανάδυση του άξονα της πτυχής στην ευρύτερη περιοχή του οικισμού «Κανδήλι».

Αντίκλινο «Καμινάκια Ν. Περάμου – Τρικέρατο – Αυλές» μεταξύ Ελευσίνας και Μάνδρας

Πρόκειται για τη νοτιότερη πτυχή (αντίκλινο), η οποία αναπτύσσεται βορείως του Λουτρόπυργου και μεταξύ της Ν. Περάμου και της Ελευσίνας. Έχει διεύθυνση επίσης ΑΒΑ-ΔΝΔ και το μήκος του είναι περίπου 7 km . Στη ΒΑκή πλευρά του βυθίζεται, ενώ στη ΝΔ/κή του αναδύεται. Αυτό προκύπτει από το γεγονός ότι στη ΒΑκή πλευρά επικρατούν οι κρητιδικοί ασβεστόλιθοι, ενώ στην επαφή των δύο ασβεστολιθικών σχηματισμών παρατηρούνται συχνά και κοιτάσματα βωξίτη.

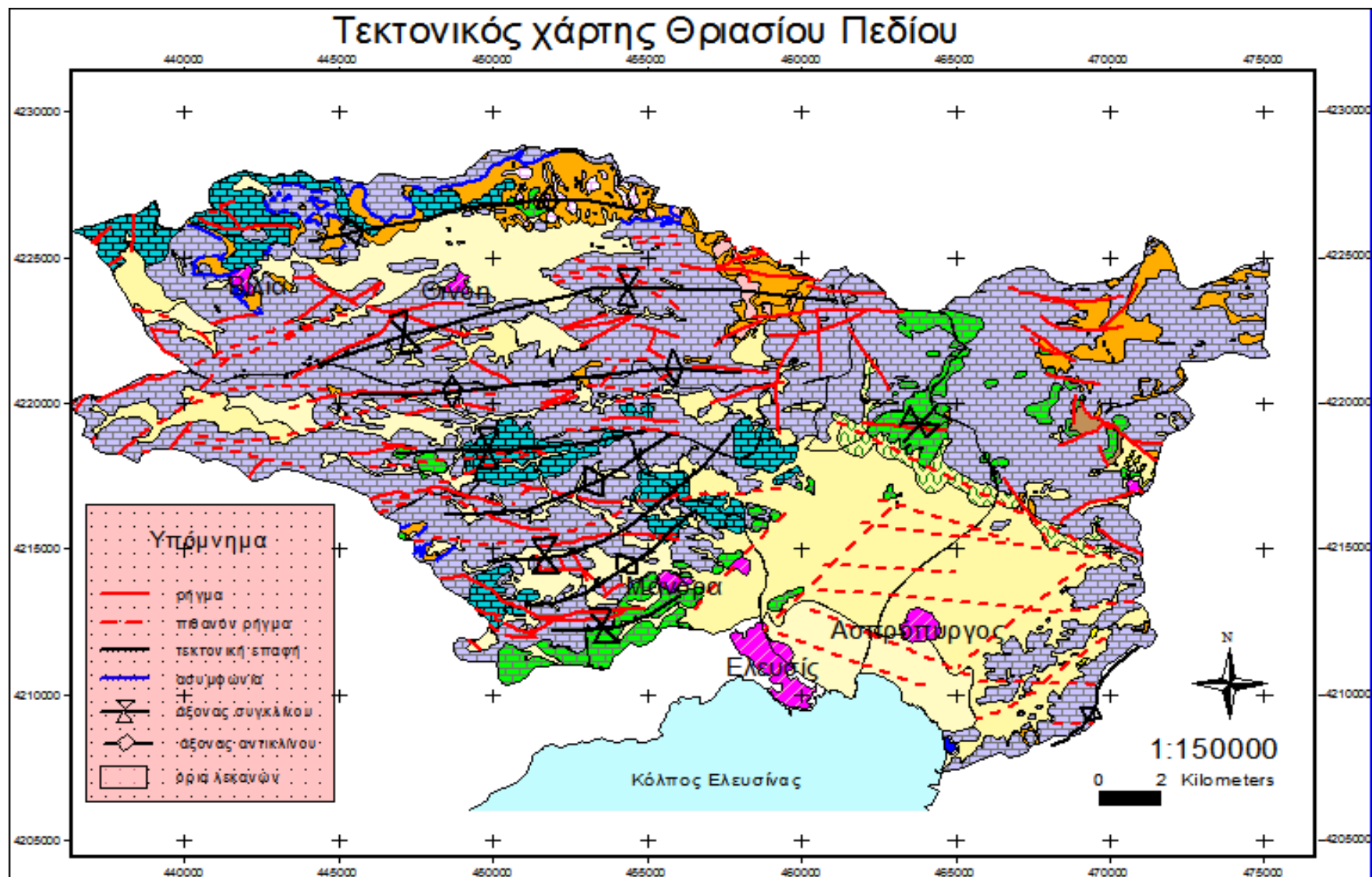
4.3. Εφιππεύσεις ή ανάστροφα ρήγματα

Κατά την μελέτη των λιθολογικών τομών γεωτρήσεων του Υπ. Γεωργίας διαπιστώθηκε ότι περιγράφονται εναλλαγές ασβεστολίθων διαφορετικών χρωμάτων γεγονός το οποίο υποδηλώνει εφιππεύσεις ή ανάστροφα ρήγματα στην περιοχή Ελευσίνας – Ασπροπύργου. Πιο συγκεκριμένα στην τομή της Εικόνας 4.11 φαίνεται η εξής ακολουθία:

- φαιός ασβεστόλιθος
- υπόλευκος κρυσταλλικός ασβεστόλιθος
- υπόφαιος ασβεστόλιθος
- υπόλευκος κρυσταλλικός ασβεστόλιθος

ενώ στην Εικόνα 4.12 φαίνεται η εξής ακολουθία

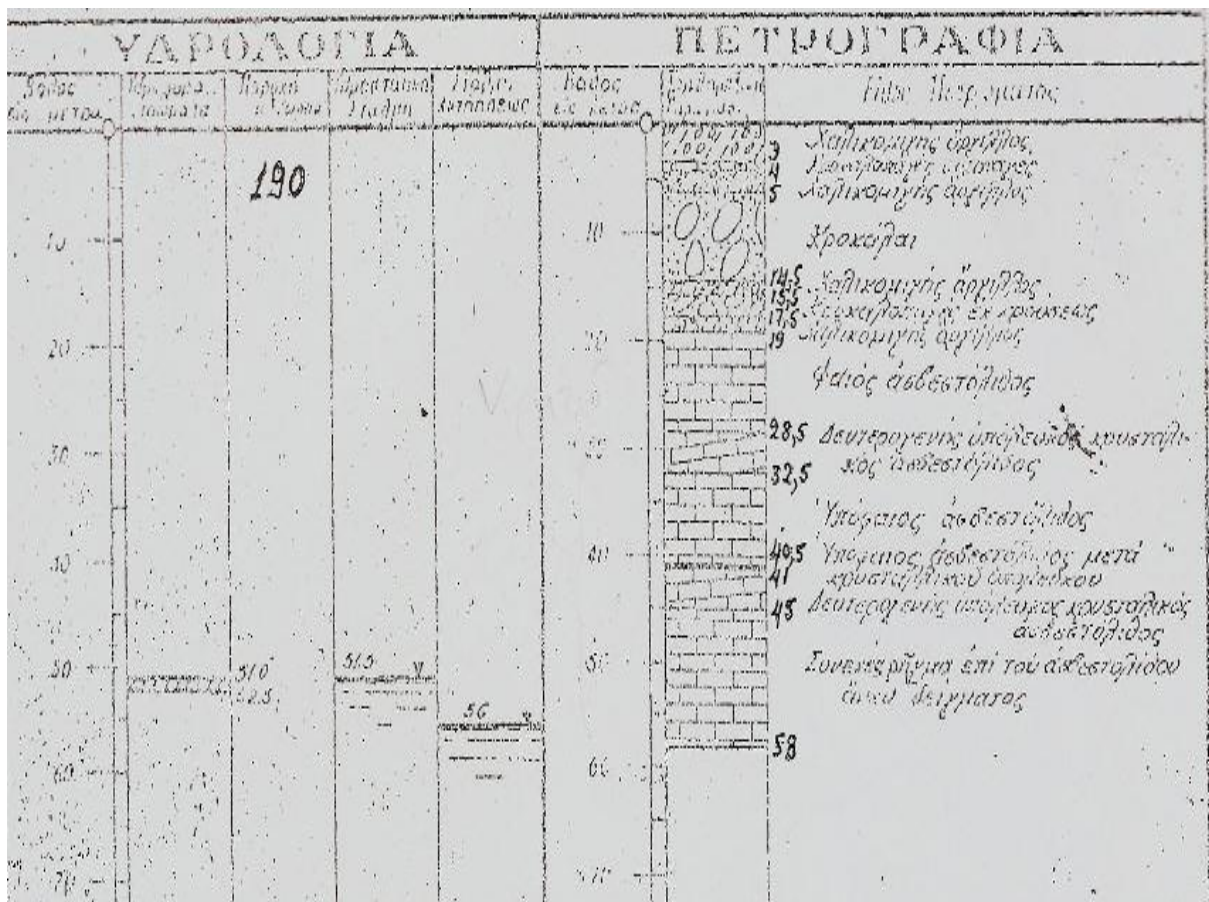
- τεφρόχροος ασβεστόλιθος
- υπόφαιος ασβεστόλιθος
- λευκός ασβεστόλιθος
- υπόλευκος κρυσταλλικός ασβεστόλιθος
- ερυθρίζων ασβεστόλιθος
- υπόφαιος ασβεστόλιθος



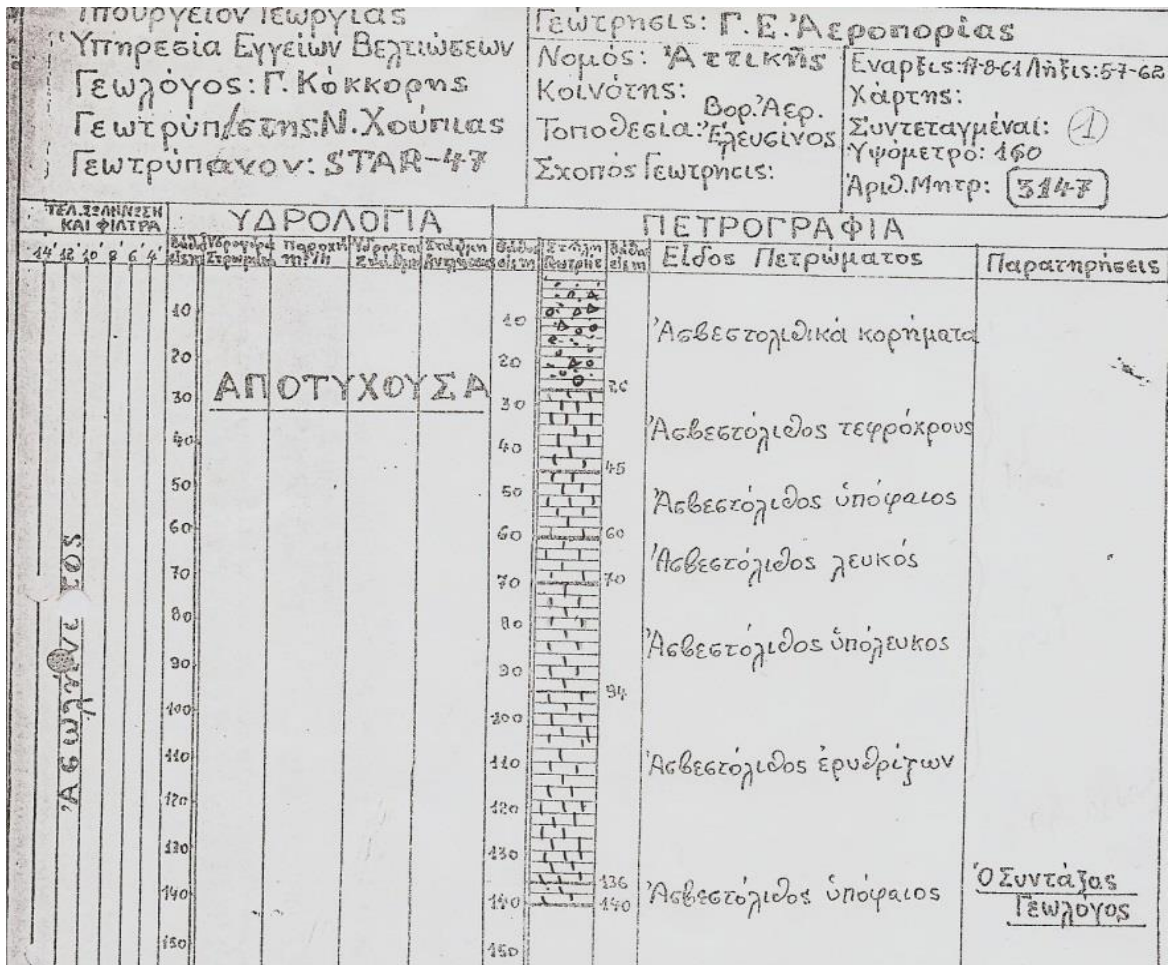
Εικόνα 4.10: Τεκτονικός χάρτης υδρολογικών λεκανών Θριασίου Πεδίου (Κατσικάτσος κ.α. 1985, τροποποιημένος βάσει Γκούμας 2006).

Στην βιβλιογραφία οι ασβεστόλιθοι του Κενομάνιου περιγράφονται ως ανοικτόφαιοι έως φαιοπράσινοι και του Τουρωνίου ως ανοικτόφαιοι έως τεφροί ενώ οι ανωτριάδικοί ως βαθύτεφροι έως μελανότεφροι, οι ασβεστόλιθοι του Μέσου-Άνω Τριαδικού ως λευκοί λευκότεφροι κατά τόπους ροδίζοντες ελαφρώς μεταμορφωμένους και κατά θέσεις αρκετά μεταμορφωμένους που μετατρέπονται σε μάρμαρα (Δούνας 1971β).

Το πιθανό συμπέρασμα που εξάγεται από τα παραπάνω είναι ότι πρόκειται για εφίπλευση ή ανάστροφο ρήγμα, από τις ελάχιστες φορές που περιγράφεται για το Θριάσιο και την ευρύτερη περιοχή, με το σύστημα ασβεστόλιθοι του Κρητιδικού και Μέσου-Άνω Τριαδικού να βρίσκονται πάνω από τους Κρητιδικούς ασβεστολίθους (Εικόνα 4.11 και 4.12).



Εικόνα 4.11: Λιθολογική τομή γεωτρήσεως στην Ελευσίνα όπου φαίνονται εναλλαγές ασβεστολίθων διαφορετικών χρωμάτων αλλά και η ύπαρξη κρυσταλλικών ασβεστολίθων.



Εικόνα 4.12: Λιθολογική τομή γεωτρήσεως στην Ελευσίνα όπου φαίνονται εναλλαγές ασβεστολίθων διαφορετικών χρωμάτων.

5. ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ – ΕΛΔΦΟΛΟΓΙΑ

5.1. Γεωμορφολογία

5.1.1. Γενικά

Η μορφολογία της επιφάνειας της γης διαμορφώνεται τόσο από τα αποτελέσματα της δράσης των ενδογενών όσο και των εξωγενών παραγόντων. Αποσάθρωση και διάβρωση του υλικού της επιφάνειας προηγείται και έπεται η απόθεσή του στα χαμηλότερα. Μορφές διάβρωσης είναι το υδρογραφικό δίκτυο, οι αναβαθμίδες, οι καρστικές μορφές και οι επιφάνειες ισοπέδωσης. Μορφές απόθεσης είναι οι κώνοι κορημάτων, τα αλλουβιακά ριπίδια, τα πλευρικά κορήματα, οι αποθέσεις κοίτης και λεκανών και οι προσχώσεις πεδινών περιοχών.

Το Θριάσιο πεδίο αποτελεί το πεδινό τμήμα τριών υδρολογικών λεκανών. Η δημιουργία του οφείλεται κατά κύριο λόγο στην νεοτεκτονική δράση και την τροφοδοσία του με τεράστιες ποσότητες αποσαθρωμένου υλικού. Αξίζει, πάντως, να σημειωθεί ότι στην νότια πλευρά προς την θάλασσα η ανθρώπινη επέμβαση ήταν σημαντική. Από το 1967 έως σήμερα έχουν επιχωματωθεί περίπου 1000 στρ. θάλασσας, με αποτέλεσμα να αλλάξει η μορφολογία των ακτών και πολύ πιθανόν του υδρογραφικού δικτύου στην έξοδό τους στην θάλασσα.

5.1.2. Η μορφολογία της περιοχής

Το Θριάσιο Πεδίο αναπτύσσεται από το υψόμετρο 0 m έως 160 m περίπου λαμβάνοντας υπ' όψιν την ύπαρξη γεωτρήσεων σε αυτό το υψόμετρο. Είναι τεκτονικό βύθισμα το οποίο σχηματίστηκε σε διάφορα στάδια. Ένα από τα τελευταία προκαλείται ταυτόχρονα με την γοργή ανύψωση της Πάρνηθας κατά το Πλειστόκαινο και η οποία προκάλεσε ταχύτατη διάβρωση του όγκου της με την δημιουργία μεγάλων ποσοτήτων αποσαθρωμένου υλικού. Ποταμοχειμάρρεις, λιμναίες και λιμνοθαλάσσιες αποθέσεις συνολικού πάχους έως 300-350 (?) μέτρων πλήρωσαν το βύθισμα.

Περίπου το 75% της περιοχής που καταλαμβάνουν οι 3 υδρολογικές λεκάνες που τροφοδοτούν το πεδίο είναι έντονα ορεινό (Εικόνα 5.1). Υψηλές κορυφές με απότομες κλιτύς εναλλάσσονται με βαθιές κοιλάδες και μεμονωμένα υψίπεδα στην οποία δεσπόζουν οι ορεινοί όγκοι οι οποίοι έχουν διεύθυνση σχεδόν Α- Δ έως ΒΑ- ΝΔ:

- Όρος Πάρνηθα υψομέτρου 1.413 m στο Β και στα ΒΑ
- Όρος Πάστρα υψομέτρου 1.025 m στα Β
- Όρος Κιθαιρώνας υψομέτρου 1.359 m στο Β και ΒΔ
- Όρος Πατέρας υψομέτρου 1.132 m στα Δ

Τοπικά προβάλλουν και χαρακτηριστικοί χαμηλοί ασβεστολιθικοί λόφοι. Σχετικά ήπιες έως και πεδινές εκτάσεις αναπτύσσονται, σε υψόμετρα από 0 έως 100-120 m Μικρότερες πεδινές εκτάσεις στην ευρύτερη περιοχή τοπικής σημασίας αναπτύσσονται πχ περιοχή Βιλλίων-Οινόης. Πρόκειται για έκταση μήκους 8 έως 9km, πλάτους 2 έως 2,5km και εμβαδού περίπου 20 km². Είναι αποτέλεσμα κυρίως της καρστικής διάβρωσης των ασβεστολίθων. Έτσι και η περιοχή αυτή αποτελεί μια μεγάλη «πόλγη» με «υπολειμματικούς λόφους», η οποία κατά το πρόσφατο γεωλογικό παρελθόν πληρώθηκε με ποταμοχειμάρρεις αποθέσεις, με μεγάλη πιθανότητα να αποτελούσε κατά περιόδους και παροδική λίμνη (κλειστή λεκάνη) προτού

εκβαθυνθεί η κοίτη του Σαρανταπόταμου στην ανατολική πλευρά της «πόλγης» και την αποστραγγίσει προς τον κόλπο της Ελευσίνας (Παρασχούδης 2002). Η πεδιάδα της Οινόης αναπτύσσεται σε υψόμετρο περίπου 300 m. Σε ορισμένα σημεία της Πάρνηθας (θέσεις Βουναλάκι, Φυλή) παρατηρούνται υπολείμματα επιφανειών επιπέδωσης λόγω της νεοτεκτονικής δράσης σε υψόμετρο 500-700 m ηλικίας Ανώτερου Πλειόκαινου- Κατώτερου Πλειστόκαινου και στα 800-1.000 m Μειοκαινικής ηλικίας (Μαριολάκος κ.α. 2001).



Εικόνα 5.1: Το ορεινό τμήμα της λεκάνης του ρ. Γιαννούλας.

Σύμφωνα με τη γεωλογική-τεκτονική εξέλιξη της περιοχής, αυτή παράμεινε χέρσα από το Κ. Ιουρασικό (?) έως το M-A Κρητιδικό και από το Α. Κρητιδικό έως και σήμερα σε αρκετές θέσεις, γεγονός που σημαίνει ότι ήταν εκτεθειμένη στην καρστική διάβρωση για μεγάλο διάστημα, τόσο κατά τον Μεσοζωικό αιώνα όσο και κατά τον Καινοζωικό. Η καρστική διάβρωση των διαφόρων περιόδων είχε σαν «επίπεδα βάσης» τους υποκείμενους αδιαπέρατους σχηματισμούς του Νεοπαλαιοζωικού και την εκάστοτε στάθμη της θάλασσας. Τα «επίπεδα βάσης» της καρστικής διάβρωσης παρουσίαζαν σημαντικές μεταβολές κυρίως λόγω:

- α. της αλπικής πτυχωσιγενούς τεκτονικής (αντίκλινα - σύγκλινα),
- β. της μεταλπικής ρηξιγενούς τεκτονικής (ανύψωση ή βύθιση περιοχών) και
- γ. των αυξομειώσεων της στάθμης της θάλασσας ως αποτέλεσμα των “παγετωδών” και “μεσοπαγετωδών” περιόδων του Τεταρτογενούς (δημιουργία παράκτιων και ποτάμιων αναβαθμίδων).

Αυτές λοιπόν, οι τεκτονικές και ηπειρογενετικές-ευστατικές κινήσεις δραστηριοποιούσαν κάθε φορά την καρστική διάβρωση προσαρμόζοντάς την κάθε φορά στις καινούργιες συνθήκες αναφορικά με τα επίπεδα βάσης. Στις παράκτιες, λοιπόν, περιοχές, λόγω των

σημαντικών αυξομειώσεων της στάθμης της θάλασσας κατά το Τεταρτογενές, η καρστική διάβρωση εισχωρεί πολύ βαθύτερα από τη σημερινή στάθμη, γεγονός που αποδεικνύεται από την εκδήλωση υφάλμυρων παράκτιων και χερσαίων πηγών στη λίμνη Κουμουνδούρου και γύρω από αυτήν. Αυτό είναι πολύ σημαντικό στοιχείο το οποίο πρέπει να χρησιμοποιηθεί αν προσπαθήσει κάποιος να ερμηνεύσει τον μηχανισμό λειτουργίας των πηγών του Αιγάλεω όρους.

Λόγω των παραπάνω παραγόντων, η καρστική διάβρωση βρίσκεται σήμερα σε πολύ προχωρημένο στάδιο σε πολλές θέσεις, γεγονός που αποδεικνύεται γεωμορφολογικά από τις προαναφερθείσες πόλγες της Οινόης κλπ. Κατά θέσεις, βέβαια, όπως αποδεικνύεται από την ανάλυση δοκιμαστικών αντλήσεων σε Τριαδικούς ασβεστολίθους αλλά και από στοιχεία γεωτρήσεων ο Τριαδικός ασβεστόλιθος δεν είναι παντού το ίδιο καρστικοποιημένος και σε πολλές θέσεις παρουσιάζεται συμπαγής.

Η προχωρημένη σε έκταση και βάθος καρστική διάβρωση και η επικοινωνία της, σε αυτές τις θέσεις, με τη θάλασσα διευκολύνουν την εισχώρηση θαλασσινού νερού προς την ξηρά, ακόμη και σε συνθήκες όπου δεν υπάρχουν αντλήσεις. Αυτό σημαίνει ότι υπήρχαν υφάλμυρα υπόγεια νερά προτού ακόμη αρχίσει η εκμετάλλευση των υπόγειων νερών στην περιοχή από τις αρχές του περασμένου αιώνα.

Τα μεγάλα καρστικά φαινόμενα (πόλγες, δολίνες) γενικά έχουν διεύθυνση Α – Δ, η οποία αντιστοιχεί προς τις μεγάλες τεκτονικές δομές (πτυχές και ρήγματα) της περιοχής. Η μεγάλη καρστικότητα της περιοχής προκύπτει εμμέσως και από το γεγονός ότι τα υδατορέματα της περιοχής εμφανίζουν μικρή ροή καθώς το μεγαλύτερο τμήμα τους βρίσκεται σε ασβεστόλιθους. Η περιοχή μελέτης διαρρέεται από τα ρέματα του Σαρανταπόταμου, του Αγίου Γεωργίου, το Ξηρόρεμα, το Μικρό και Μεγάλο Κατερίνι και το ρέμα Σούρες τα οποία πέφτουν στην κοίτη του Σαρανταπόταμου, το ρέμα Γιαννούλας, το ρέμα του Αγ. Ιωάννου και το Ρεματάκι.

Λόγω της γεωλογίας της περιοχής το υδρογραφικό δίκτυο αναπτύσσεται με λιγοστούς κλάδους και μία κύρια κοίτη με σχετικά μεγάλο βάθος, ιδίως στον Σαρανταπόταμο που φθάνει και τα 20 m και μεγάλου πλάτους. Από την αλλαγή στην διεύθυνση του ρ. Σαρανταπόταμου προς τα νότια και την εξαφάνιση της κοίτης της Γιαννούλας στα χαμηλότερα συμπεραίνεται σύνθετη κίνηση συνδυασμού τεκτονικής και ευστατικής δράσης. Ανύψωση του βόρειου τμήματος του Θριασίου και βύθιση του νότιου τμήματός της από δυτικά προς τα ανατολικά και άνοδος της στάθμης της θάλασσας κατά το Ολόκαινο. Στην μορφή αυτής της κίνησης συνηγορούν και τα εξής στοιχεία:

- Το βάθος των ιζημάτων της λεκάνης του Θριασίου μεγαλώνει από τα δυτικά στα ανατολικά και από τα βόρεια προς τα κεντρικά.
- Στα ρέματα του Θριασίου διακρίνεται κατά βάθος διάβρωση (Εικόνα 5.2) μόνο στα βόρεια τμήματά τους ενώ, επίσης, διακρίνονται και ποτάμιες αναβαθμίδες.



Εικόνα 5.2: Κατά βάθος διάβρωση στο ρ. Σαρανταπόταμου.



Εικόνα 5.3: Ρέμα Αγ. Ιωάννου πάνω από τον δρόμο του NATO, βάθος εδάφους σε φυσική τομή ύψους 45 cm. Επίσης διακρίνεται στην βάση το Πλειστοκαινικό λατυποκροκαλοπαγές.

5.2. Εδαφολογία

Ο εδαφολογικός χάρτης Θριασίου (Εικόνα 5.4) εκπονήθηκε από τον Μαυρουδή (1985) της Δνσης Δασών του Υπουργείου Γεωργίας και ταξινομήθηκε σε 23 κατηγορίες.

Όπως βλέπουμε το μεγαλύτερο τμήμα του Θριασίου Πεδίου καταλαμβάνεται από αποθέσεις τριτογενούς με τον κωδικό T3T7-111-1-G9EB (σ.σ. αλλά και τεταρτογενούς και σύγχρονες

αποθέσεις στις κοίτες και στις αναβαθμίδες των ποταμών) με μεγάλο βάθος εδάφους, με μικρές κλίσεις, βόρειες εκθέσεις στους ανέμους, ζώνη αείφυλλων πλατύφυλλων, καλλιεργημένη με κηπευτικά.

Επίσης, στα νότια του Πεδίου αναπτύσσονται αλλουβιακές αποθέσεις με τον κωδικό Α8-111-1-G9EE μεγάλο βάθος εδάφους, με μικρές κλίσεις, ζώνη αείφυλλων πλατύφυλλων, καλλιεργημένη με κηπευτικά.

5.3. Χρήση γης

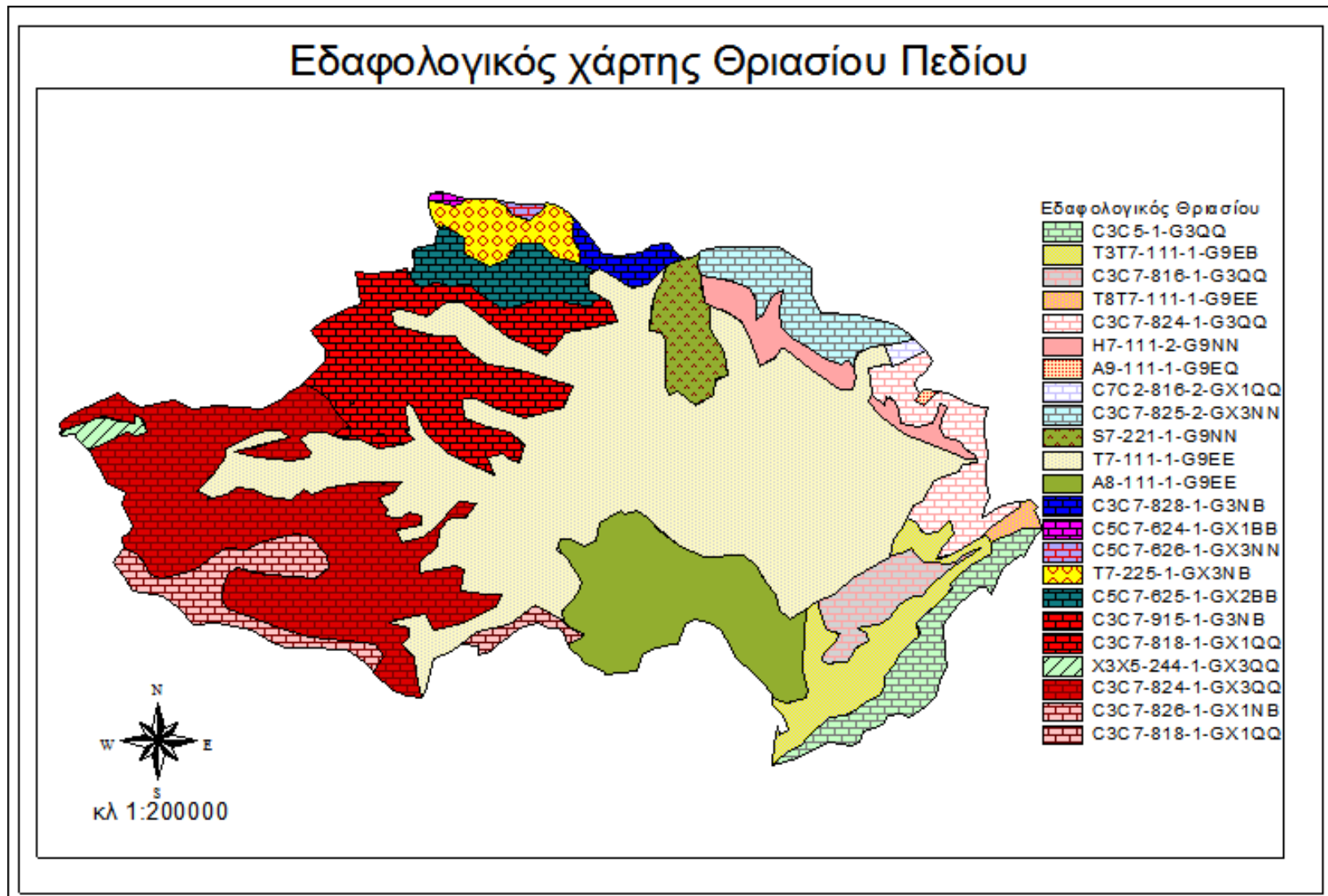
Από τα μέσα του 20^{ου} αιώνα η ανάπτυξη των πόλεων και κοινοτήτων της περιοχής και η δημιουργία βιομηχανικών μονάδων άλλαξε την οικονομική οργάνωση και τη χρήση γης της περιοχής. Στις αρχές της δεκαετίας 1960 η Ελευσίνα κι ο Ασπρόπυργος ήταν ημιαστικά κέντρα. Συγχρόνως ολοκληρώθηκε έως το 1975 η εγκατάσταση των Ελληνικών διυλιστηρίων, των διυλιστηρίων ΠΕΤΡΟΛΑ, της εταιρείας ΠΕΤΡΟΓΚΑΖ, της Ελληνικής Χαλυβουργίας και των Ναυπηγείων Ελευσίνας. Το εργοστάσιο ΤΙΤΑΝ και το οιογενεματοποιείο ΒΟΤΡΥΣ επεκτάθηκαν και γύρω από τον αρχαιολογικό χώρο της Ελευσίνας με την δημιουργία του εκεί λατομείου. Με τη δημιουργία άλλων βιομηχανικών μονάδων κατά μήκος της ακτογραμμής άλλαξε και η παράκτια μορφολογία λόγω των σημαντικών επεμβάσεων επιχωμάτωσης. Η ίδρυση περισσότερων βιομηχανιών και διαφόρων βιοτεχνιών και η ανεξέλεγκτη απόθεση των αποβλήτων τους οδήγησε στην υποβάθμιση των επιφανειακών και υπόγειων νερών. Η ποιότητα του υπόγειου νερού υποβαθμίσθηκε και από την αλόγιστη χρήση φυτοφαρμάκων και λιπασμάτων.

Η συνολική έκταση των υδρολογικών λεκανών τμήμα των οποίων είναι το Θριάσιο είναι 475 km². Η χρήση γης φαίνεται στον παρακάτω Πίνακα 5.1 ενώ στην εικόνα φαίνεται ο χάρτης κάλυψης εδάφους (Corine 2000).

Πίνακας 5.1: Χρήση γης στην περιοχή του Θριασίου Πεδίου.

Χρήσεις γης	Έκταση (στρέμματα)
Οικιστικές εκτάσεις	20.000
Βιομηχανίες, εμπόριο, βιοτεχνίες	23.000
Γεωργικές εκτάσεις, καλλιέργειες	70.000
Ειδικές χρήσεις	12.000
Δασικές εκτάσεις,βοσκοτόπια	350.000
Σύνολο	475.000

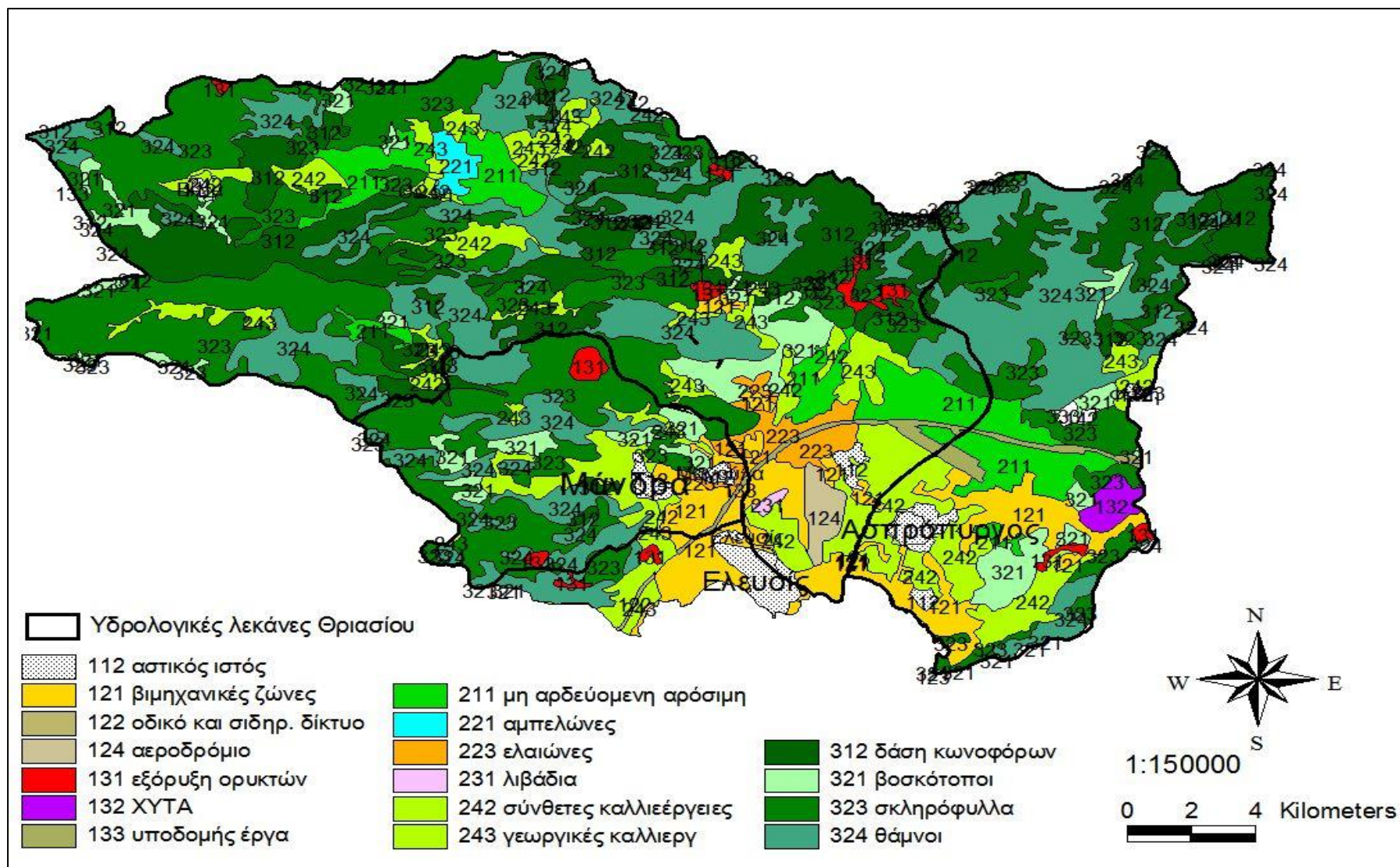
Εδαφολογικός χάρτης Θριασίου Πεδίου



Εικόνα 5.4: Εδαφολογικός χάρτης γαιών από Μαυρουδή κ.ά., Δνση Δασών Β&Δ (Υπουργείο Γεωργίας 1985).

1. **C3C7 - 816 - 1 - G3QQ** : Ασβεστόλιθοι στο κάτω μέρος κλιτύων και σε αποστρωγγυλεμένες κορυφές. Μικρό βάθος εδάφους, καθόλου χαραδρωτική διάβρωση, μέτριες έως απότομες κλίσεις. Ζώνη αιφυύλλων πλατύφυλλων, με έντονο βαθμό ανθρωπογενούς επίδρασης στη βλάστηση. Ποίκιλλες εκθέσεις στους ανέμους.
2. **T8T7 - 111 - 1 -G9EE** : Τριτογενείς αποθέσεις στο κάτω μέρος κλιτύων και σε κοιλάδα. Μεγάλο βάθος εδάφους, καθόλου χαραδρωτική διάβρωση, ελαφρές κλίσεις. Ζώνη αιφυύλλων πλατύφυλλων, καλλιεργημένη.
3. **C3C7 - 824 - 1 - G3QQ** : Ασβεστόλιθοι στο κάτω μέρος κλιτύων και σε αποστρωγγυλεμένες κορυφές. Μικρό βάθος εδάφους, καθόλου έως μέτρια χαραδρωτική διάβρωση, ελαφρές έως μέτριες κλίσεις. Ζώνη αιφυύλλων πλατύφυλλων, με έντονο βαθμό ανθρωπογενούς επίδρασης στη βλάστηση. Ποίκιλλες εκθέσεις στους ανέμους.
4. **H7 - 111 - 2 - G9NN** : στο κάτω μέρος κλιτύων. Μεγάλο βάθος εδάφους, καθόλου χαραδρωτική διάβρωση, ελαφρές κλίσεις. Ζώνη αιφυύλλων πλατύφυλλων, καλλιεργημένη, νότιες εκθέσεις στους ανέμους.
5. **A9 - 111 - 1 - G9EQ** : Αλλουβιακές αποθέσεις σε κλειστή κοιλάδα. Μεγάλο βάθος εδάφους, καθόλου χαραδρωτική διάβρωση, ελαφρές κλίσεις. Ζώνη αιφυύλλων πλατύφυλλων, καλλιεργημένη και ποικίλες εκθέσεις στους ανέμους.
6. **C7 C2 - 816 - 2 - GX1QQ** : Ασβεστόλιθοι στο κάτω μέρος κλιτύων και στις απότομες πλαγιές. Μικρό βάθος εδάφους, καθόλου χαραδρωτική διάβρωση, μέτριες έως απότομες κλίσεις. Ζώνη αιφυύλλων πλατύφυλλων με ασθενή βαθμό ανθρωπογενούς επίδρασης στη βλάστηση. Ποίκιλλες εκθέσεις στους ανέμους.
7. **C5C7 - 825 - 2 - GX3NN** : Ασβεστόλιθοι στο μέσο και κάτω μέρος κλιτύων. Μικρό βάθος εδάφους, καθόλου έως μέτρια χαραδρωτική διάβρωση, μέτριες κλίσεις. Ζώνη αιφυύλλων πλατύφυλλων, με έντονο βαθμό ανθρωπογενούς επίδρασης στη βλάστηση και νότιες εκθέσεις στους ανέμους.
8. **S7 - 221 - 1 - G9NN** : Κώνοι αποθέσεων στο κάτω μέρος κλιτύων. Μέτριο έως μεγάλο βάθος εδάφους, καθόλου έως μέτρια χαραδρωτική διάβρωση, ελαφρές κλίσεις. Ζώνη αιφυύλλων πλατύφυλλων, καλλιεργημένη και νότιες εκθέσεις στους ανέμους.
9. **T 7 - 111 - 1 - G9EE** : Τριτογενείς αποθέσεις στο κάτω μέρος κλιτύων. Μεγάλο βάθος εδάφους, καθόλου χαραδρωτική διάβρωση, ελαφρές κλίσεις. Ζώνη αιφυύλλων πλατύφυλλων, καλλιεργημένη.
10. **A8 - 111 - 1 - G9EE** : Αλλουβιακές αποθέσεις σε ανοικτή κοιλάδα. Μεγάλο βάθος εδάφους, καθόλου χαραδρωτική διάβρωση, ελαφρές κλίσεις. Ζώνη αιφυύλλων πλατύφυλλων, καλλιεργημένη.
11. **C3C7 - 828 - 1 - G3NB** : Ασβεστόλιθοι στο κάτω μέρος κλιτύων και στις αποστρωγγυλεμένες κορυφές. Μικρό βάθος εδάφους, καθόλου έως μέτρια χαραδρωτική διάβρωση, μέτριες έως απότομες κλίσεις. Ζώνη αιφυύλλων πλατύφυλλων, με έντονο βαθμό ανθρωπογενούς επίδρασης στη βλάστηση, νότιες και βόρειες εκθέσεις στους ανέμους.
12. **C5C7 - 624 -1 - GX1BB** : Ασβεστόλιθοι στο μέσο και κάτω μέρος κλιτύων. Μικρό βάθος εδάφους, καθόλου έως μέτρια χαραδρωτική διάβρωση, ελαφρές έως μέτριες κλίσεις. Ζώνη αιφυύλλων πλατύφυλλων, με ασθενή βαθμό ανθρωπογενούς επίδρασης στη βλάστηση και βόρειες εκθέσεις στους ανέμους.

13. **C5C7 - 626 -1 - GX3NN** : Ασβεστόλιθοι στο μέσο και κάτω μέρος κλιτύων. Μικρό βάθος εδάφους, καθόλου έως μέτρια χαραδρωτική διάβρωση, μέτριες έως απότομες κλίσεις. Ζώνη αειφύλλων πλατύφυλλων, με έντονο βαθμό ανθρωπογενούς επίδρασης στη βλάστηση και νότιες εκθέσεις στους ανέμους.
14. **T7 - 225 - 1 - GX3NB** : Τριτογενείς αποθέσεις στο κάτω μέρος κλιτύων. Μέτριο έως μεγάλο βάθος εδάφους, καθόλου έως μέτρια χαραδρωτική διάβρωση, μέτριες κλίσεις. Ζώνη αειφύλλων πλατύφυλλων, με έντονο βαθμό ανθρωπογενούς επίδρασης στη βλάστηση. Νότιες και βόρειες εκθέσεις στους ανέμους.
15. **C5C7 - 625 -1 - GX2BB** : Ασβεστόλιθοι στο μέσο και κάτω μέρος κλιτύων. Μικρό βάθος εδάφους, καθόλου έως μέτρια χαραδρωτική διάβρωση, μέτριες κλίσεις. Ζώνη αειφύλλων πλατύφυλλων, με μέτριο βαθμό ανθρωπογενούς επίδρασης στη βλάστηση και βόρειες εκθέσεις στους ανέμους.
16. **C3C7 - 915 - 1 - G3NB** : Ασβεστόλιθοι στο κάτω μέρος κλιτύων και σε αποστρογγυλεμένες κορυφές. Βράχος, καθόλου χαραδρωτική διάβρωση, μέτριες κλίσεις. Ζώνη αειφύλλων πλατύφυλλων, με έντονο βαθμό ανθρωπογενούς επίδρασης στη βλάστηση. Νότιες και βόρειες εκθέσεις στους ανέμους.
17. **C3C7 - 623 - 1 - GX3QQ** : Ασβεστόλιθοι στο κάτω μέρος κλιτύων και σε αποστρογγυλεμένες κορυφές. Μικρό βάθος εδάφους, καθόλου έως μέτρια χαραδρωτική διάβρωση, ελαφρές έως απότομες κλίσεις. Ζώνη αειφύλλων πλατύφυλλων, με έντονο βαθμό ανθρωπογενούς επίδρασης στη βλάστηση και ποίκιλες εκθέσεις στους ανέμους.
18. **X3X5 - 244 - 1 - GX2QQ** : Σχιστόλιθοι στο μέσο μέρος κλιτύων και σε αποστρογγυλεμένες κορυφές. Μέτριο έως μεγάλο βάθος εδάφους, καθόλου έως μέτρια χαραδρωτική διάβρωση, ελαφρές έως μέτριες κλίσεις. Ζώνη αειφύλλων πλατύφυλλων, με μέτριο βαθμό ανθρωπογενούς επίδρασης στη βλάστηση και ποίκιλες εκθέσεις στους ανέμους.
19. **C3C7 - 824 - 1 - GX3QQ** : Ασβεστόλιθοι στο κάτω μέρος κλιτύων και σε αποστρογγυλεμένες κορυφές. Μικρό βάθος εδάφους, καθόλου έως μέτρια χαραδρωτική διάβρωση, ελαφρές έως μέτριες κλίσεις. Ζώνη αειφύλλων πλατύφυλλων, με έντονο βαθμό ανθρωπογενούς επίδρασης στη βλάστηση και ποίκιλες εκθέσεις στους ανέμους.
20. **C3C7 - 826 - 1 - GX1NB** : Ασβεστόλιθοι στο κάτω μέρος κλιτύων και σε αποστρογγυλεμένες κορυφές. Μικρό βάθος εδάφους, καθόλου έως μέτρια χαραδρωτική διάβρωση, μέτριες έως απότομες κλίσεις. Ζώνη αειφύλλων πλατύφυλλων, με ασθενή βαθμό ανθρωπογενούς επίδρασης στη βλάστηση. Νότιες και βόρειες εκθέσεις στους ανέμους.
21. **C3C7 - 818 - 1 - GX1QQ** : Ασβεστόλιθοι στο κάτω μέρος κλιτύων και σε αποστρογγυλεμένες κορυφές. Μικρό βάθος εδάφους, καθόλου χαραδρωτική διάβρωση, μέτριες έως απότομες κλίσεις. Ζώνη αειφύλλων πλατύφυλλων, με έντονο βαθμό ανθρωπογενούς επίδρασης στη βλάστηση και ποίκιλες εκθέσεις στους ανέμους.



Εικόνα 5.5: Χάρτης κάλυψη εδάφους Θριασίου Πεδίου (Corine 2000).

Πίνακας 5.2: Πίνακας Ταξινόμησης-Ονοματολογίας Κάλυψης Εδάφους (CORINE2000).

1ο επίπεδο	2ο επίπεδο	3ο επίπεδο
1.ΤΕΧΝΗΤΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ	ΑΣΤΙΚΟΣ ΙΣΤΟΣ	Συνεχής αστικός ιστός Ασυνεχής αστικός ιστός
	ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΕΣ-ΕΜΠΟΡΙΚΕΣ ΖΩΝΕΣ ΚΑΙ ΔΙΚΤΥΑ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ	Βιομηχανικές και εμπορικές ζώνες Οδικά και σιδηροδρομικά δίκτυα Ζώνες λιμένων Αεροδρόμια
	ΟΡΥΧΕΙΑ, ΧΥΤΑ ΚΑΙ ΧΩΡΟΙ ΟΙΚΟΔΟΜΗΣΗΣ	Χώροι εξορύξεως ορυκτών Χώροι απορρίψεως απορριμμάτων Χώροι οικοδόμησης
	ΤΕΧΝΗΤΕΣ ΖΩΝΕΣ ΠΡΑΣΙΝΟΥ	Περιοχές αστικού πρασίνου Εγκαταστάσεις αθλητισμού/αναψυχής
2.ΓΕΩΡΓΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ	ΑΡΟΣΙΜΗ ΓΗ	Μη αρδευόμενη αρόσιμη γη Μόνιμα αρδευόμενη γη Ορυζώνες
	ΜΟΝΙΜΕΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ	Αμπελώνες Οπωροφόρα δένδρα Ελαιώνες
	ΛΙΒΑΔΙΑ	Λιβάδια
	ΕΤΕΡΟΓΕΝΕΙΣ ΓΕΩΡΓΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ	Ετήσιες καλλιέργειες που σχετίζονται με μόνιμες καλλιέργειες Σύνθετες καλλιέργειες Γη γεωργική μαζί με σημαντικά τμήματα φυσικής βλάστησης Γεωργο-δασικές περιοχές
3. ΔΑΣΗ ΚΑΙ ΗΜΙΦΥΣΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ	ΔΑΣΗ	Δάσος πλατύφυλλων Δάσος κωνοφόρων Μικτό δάσος
	ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΙ ΘΑΜΝΩΔΟΥΣ Η/ΚΑΙ ΠΟΩΔΟΥΣ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ	Φυσικοί βοσκότοποι Θάμνοι και χερσότοποι Σκληροφυλλική βλάστηση Μεταβατικές δασώδεις και θαμνώδεις εκτάσεις
	ΑΝΟΙΧΤΟΙ ΧΩΡΟΙ ΜΕ ΛΙΓΗ Ή ΚΑΘΟΛΟΥ ΒΛΑΣΤΗΣΗ	Παραλίες, αμμόλοφοι, αμμονδιές Απογυμνωμένοι βράχοι Εκτάσεις με αραιή βλάστηση Αποτεφρωμένες εκτάσεις Παγετώνες και αέναο χιόνι
4. ΥΓΡΟΤΟΠΟΙ	ΥΓΡΟΤΟΠΟΙ ΕΝΔΟΧΩΡΑΣ	Βάλτοι στην ενδοχώρα Τυρφώνες
	ΠΑΡΑΘΑΛΑΣΣΙΟΙ ΥΓΡΟΤΟΠΟΙ	Παραθαλάσσιοι βάλτοι Αλυκές Ζώνες που καλύπτονται από παλιρροιακά ύδατα
5. ΥΔΑΤΙΝΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ	ΧΕΡΣΑΙΑ ΥΔΑΤΑ	Υδατορεύματα Επιφάνειες στάσιμου ύδατος
	ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΥΔΑΤΑ	Παράκτιες λιμνοθάλασσες Εκβολές ποταμών Θάλασσες και ωκεανοί

6. ΥΔΡΟΛΟΓΙΑ

6.1. Γενικά

Σκοπός αυτού του κεφαλαίου είναι η προσέγγιση του υδρολογικού ισοζυγίου της περιοχής του Θριασίου Πεδίου με τον υπολογισμό, κατά το μέτρο του δυνατού, των μεταβλητών που μετέχουν σε αυτό, όπως περιγράφονται στην παρακάτω Εξίσωση 6.1, η οποία αποτελεί ουσιαστικά την εξίσωση διατήρησης της μάζας:

$$P=R+ET+I$$

Εξίσωση 6.1

Όπου,

P= Ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα, R=Επιφανειακή απορροή, ET= Εξατμισοδιαπνοή, I=Κατείσδυση

Συλλέχθηκαν μετεωρολογικά στοιχεία από διάφορους σταθμούς όπως ΕΜΥ, ΕΜΠ, ΕΑΑ. Τα στοιχεία αυτά αναλύθηκαν και επεξεργάστηκαν, ελέγχθησαν για την ακρίβειά τους και για τυχόν ελλείψεις με σκοπό την καλύτερη προσέγγιση του υδρολογικού ισοζυγίου της περιοχής. Μετρήθηκαν, επίσης, παροχές ποταμών και στάθμες πηγαδιών.

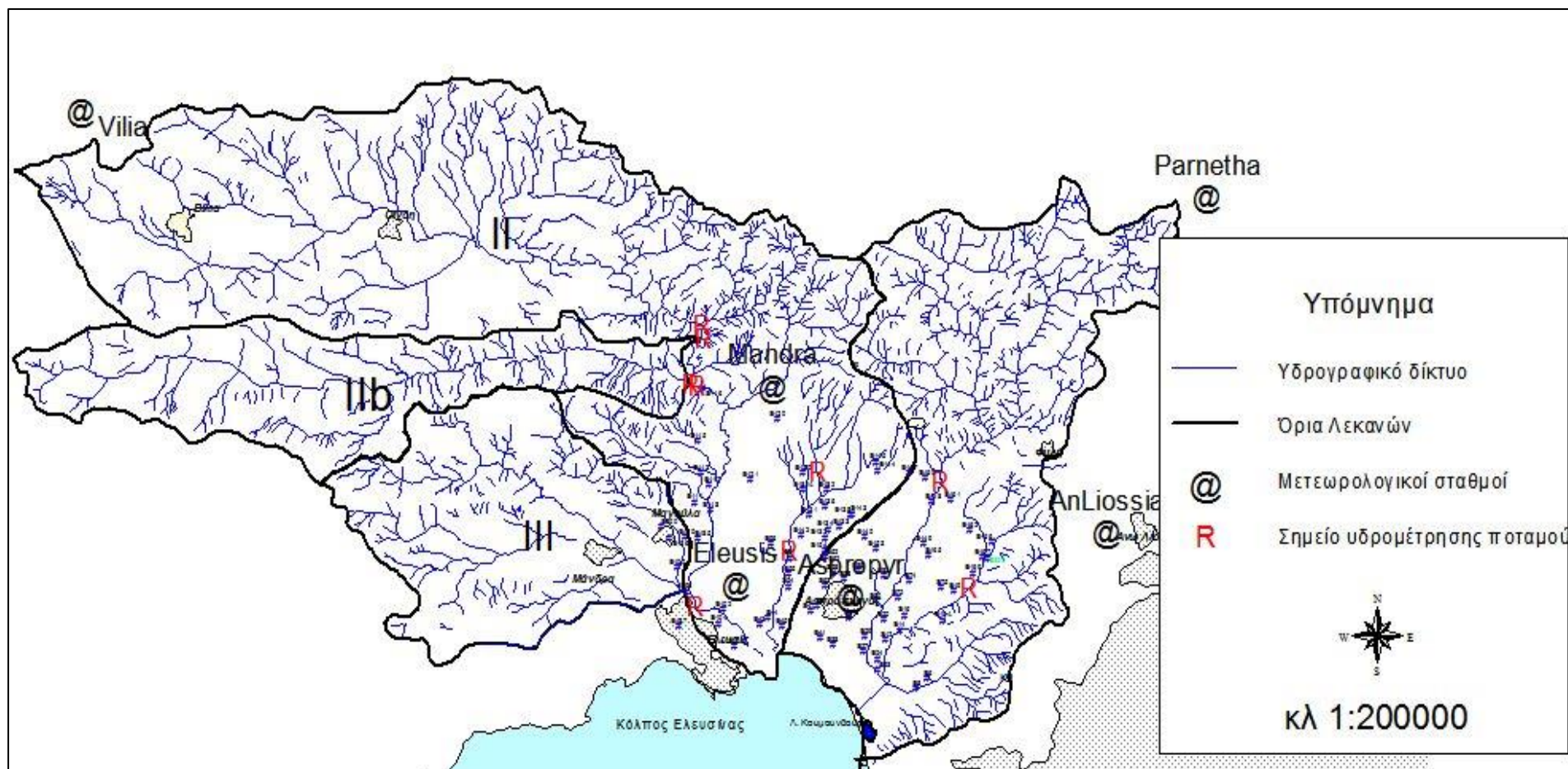
Θεωρητικά, οι πραγματικές τιμές των υδρολογικών στοιχείων δεν μπορούν να προσδιορίζονται με μετρήσεις, επειδή τα σφάλματα μέτρησης δεν μπορούν να εξαλειφθούν εντελώς. Υπάρχει αβεβαιότητα στη μέτρηση η οποία προσεγγίζεται πιθανολογικά και μπορεί να ορίζεται το διάστημα στο οποίο αναμένεται η πραγματική τιμή να βρίσκεται με μια ορισμένη πιθανότητα ή ένα επίπεδο εμπιστοσύνης. Από την άλλη πρέπει να τονισθεί ότι καμία στατιστική ανάλυση δεν μπορεί να αντικαταστήσει τις μετρήσεις πεδίου, εξ αιτίας λαθών του παρατηρητή ή δυσλειτουργίας των οργάνων τα οποία δεν μπορούν να εξαλειφθούν από τέτοιες αναλύσεις (WMO 2006).

6.2. Υδρολογικές Λεκάνες-Υδρογραφικό Δίκτυο

Τα όρια του Θριασίου Πεδίου καθορίζονται από τρεις βασικούς υδροκρίτες, έναν προς τον Βορρά (όρη Πάρνηθα – Πάστρα – Κιθαιρώνας) με διεύθυνση Α-Δ, έναν στην Δύση (όρος Πατέρας) με διεύθυνση ΒΔ – ΝΑ και έναν στην Ανατολή (όρος Αιγάλεω) με διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ. Στον Νότο η περιοχή καταλήγει στον κόλπο της Ελευσίνας.

Υπάρχουν, επίσης, και δευτερεύοντες υδροκρίτες, μικρότερων λεκανών, με διεύθυνση κυρίως ΑΒΑ-ΔΝΔ που ακολουθούν συνήθως τη διεύθυνση των αξόνων των τεκτονικών πτυχών, με εξαίρεση την Πάρνηθα όπου οι δευτερεύοντες υδροκρίτες έχουν διεύθυνση περίπου Β - Ν.

Τρεις είναι οι υδρολογικές λεκάνες οι οποίες τροφοδοτούν το Θριάσιο Πεδίο, η λεκάνη του ρ. Σαρανταπόταμου έκτασης 292 km², η λεκάνη της περιοχής Μάνδρας έκτασης 65 km², η λεκάνη του ρ. Γιαννούλας έκτασης 119 km². Οι δύο πρώτες αποστραγγίζονται από το ίδιο ρέμα τον Σαρανταπόταμο τα τελευταία χρόνια μέσω τεχνικών έργων τα οποία έχουν κατασκευασθεί στην περιοχή, για την ανακούφιση περιοχών της Ελευσίνας από πλημμύρες, οι οποίες έπλητταν κατά καιρούς την περιοχή.

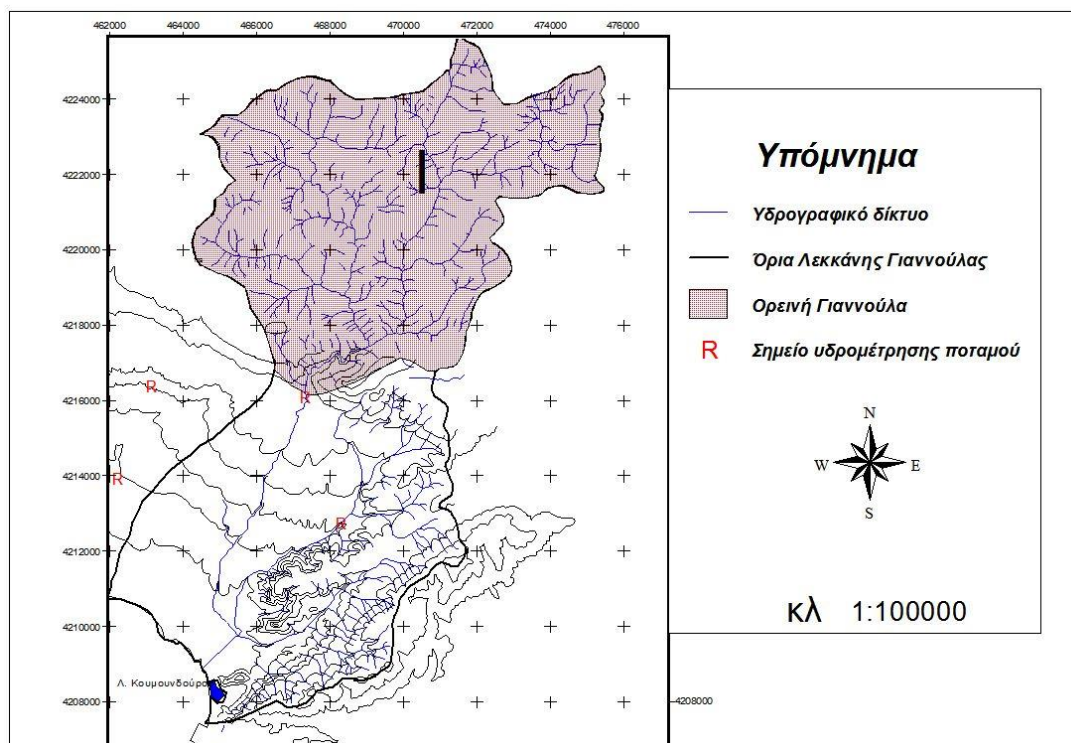


Εικόνα 6.1: Υδρογραφικό δίκτυο των τριών υδρολογικών λεκανών του Θριασίου Πεδίου.

Η ευρύτερη περιοχή του Θριασίου Πεδίου όπως η λεκάνη του Σαρανταπόταμου και η λεκάνη της Μάνδρας διασχίζονται από ρέματα και χειμάρρους σχηματίζοντας υδρογραφικό δίκτυο δενδροειδούς μορφής με διεύθυνση ΑΒΑ-ΔΝΔ και Β-Ν. Η μορφή αυτή του υδρογραφικού δικτύου του Σαρανταπόταμου δείχνει την επίδρασή του από την νεοτεκτονική εξέλιξη της περιοχής, με γεωμετρία παράλληλη και εγκάρσια προς τα ρήγματα της περιοχής, σε αντίθεση με την λεκάνη του ρ. Γιαννούλας όπου έχουμε δίκτυο δενδριτικού τύπου με διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ. (Εικόνα 6.1). Έτσι λοιπόν στο Θριάσιο Πεδίο έχουν διαμορφωθεί οι παρακάτω λεκάνες:

6.2.1. Λεκάνη ρέματος Γιαννούλας

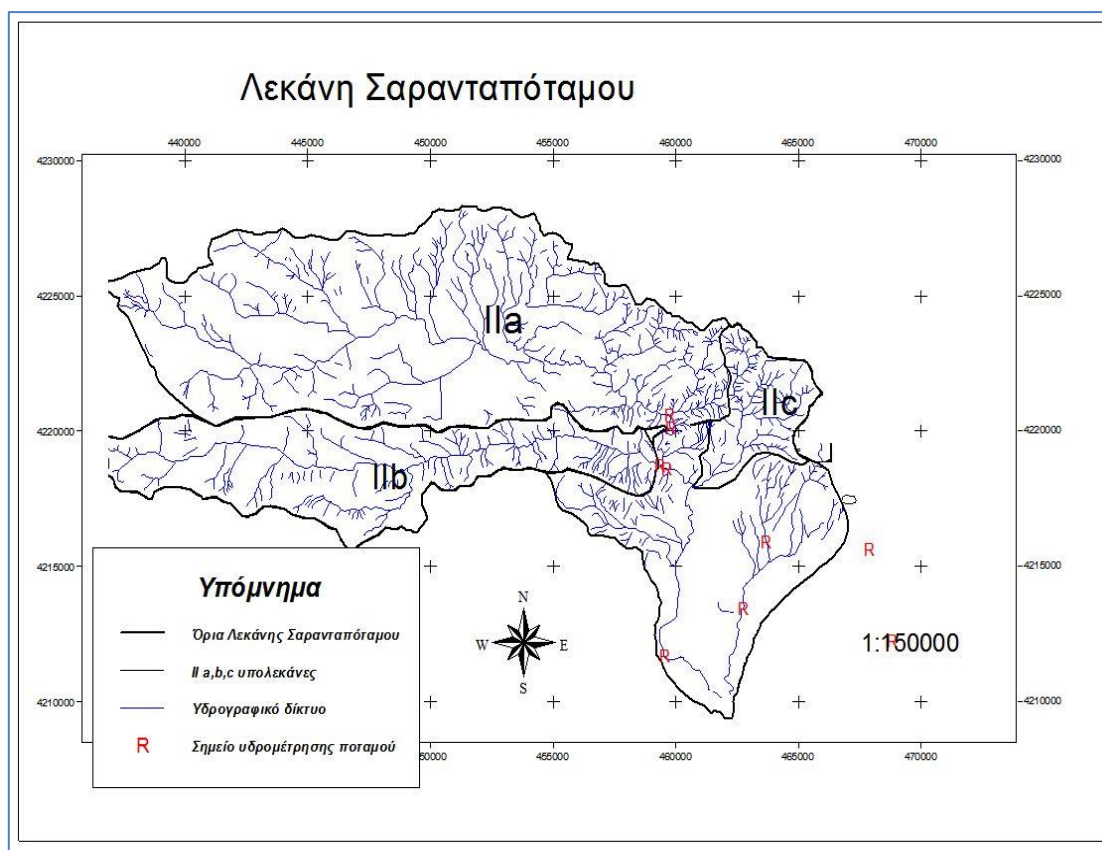
Η υδρολογική λεκάνη του ρ. Γιαννούλας στο ορεινό της τμήμα καταλαμβάνει έκταση 61 km² ενώ στο πεδινό της τμήμα 58 km² και η συνολική της έκταση είναι 119 km² (Εικόνα 6.2). Το υδρογραφικό δίκτυο του υψηλού τμήματος της λεκάνης είναι μέτριο έως σχετικά πυκνό εξ' αιτίας της εμφάνισης των σχιστολίθων του Παλαιοζωικού, ενώ του κεντρικού τμήματος είναι ιδιαίτερα αραιό λόγω της παρουσίας των ασβεστολίθων. Αυτό σημαίνει ότι στο ορεινό τμήμα η διήθηση είναι μικρή, ενώ στο κεντρικό τμήμα η διήθηση είναι αρκετά μεγάλη ενώ στο χαμηλό τμήμα μέτρια λόγω των ημιπερατών αποθέσεων των Πλειστοκαινικών ιζημάτων. Το μέγιστο υψόμετρο είναι 1.413 m, το ελάχιστο 152 m για το ορεινό τμήμα της λεκάνης και 152 και 0 m αντίστοιχα για το πεδινό και το μέσο υψόμετρο 730 m για το ορεινό τμήμα, 100 m για το πεδινό και 434 m για όλη την λεκάνη. Το συνολικό μήκος της κύριας ροής είναι 22 km και η μέση κλίση 25% για το ορεινό τμήμα και 3% για το πεδινό.



Εικόνα 6.2: Υδρολογική λεκάνη Γιαννούλας, Ορεινό τμ. Γιαννούλας, Σημεία υδρομέτρησης.

6.2.2. Λεκάνη ρέματος Σαρανταπόταμου

Η υδρολογική λεκάνη του ρέματος του Σαρανταπόταμου καταλαμβάνει μία συνολική έκταση 292 km² (Εικόνα 6.3). Το ορεινό του τμήμα αποτελείται από τους κλάδους Πέλκες (Οινόης) και Αγ. Γεωργίου, εμβαδού 152 km² και 65 km² αντίστοιχα. Επίσης, σε αυτήν περιλαμβάνεται και το ρέμα Ξηρόρεμα 18 km². Το πεδινό του τμήμα καταλαμβάνει έκταση 57 km² στο οποίο συμπεριλαμβάνεται και το ρ. Μεγάλο Κατερίνι και του ρ. Αγ. Ιωάννου.



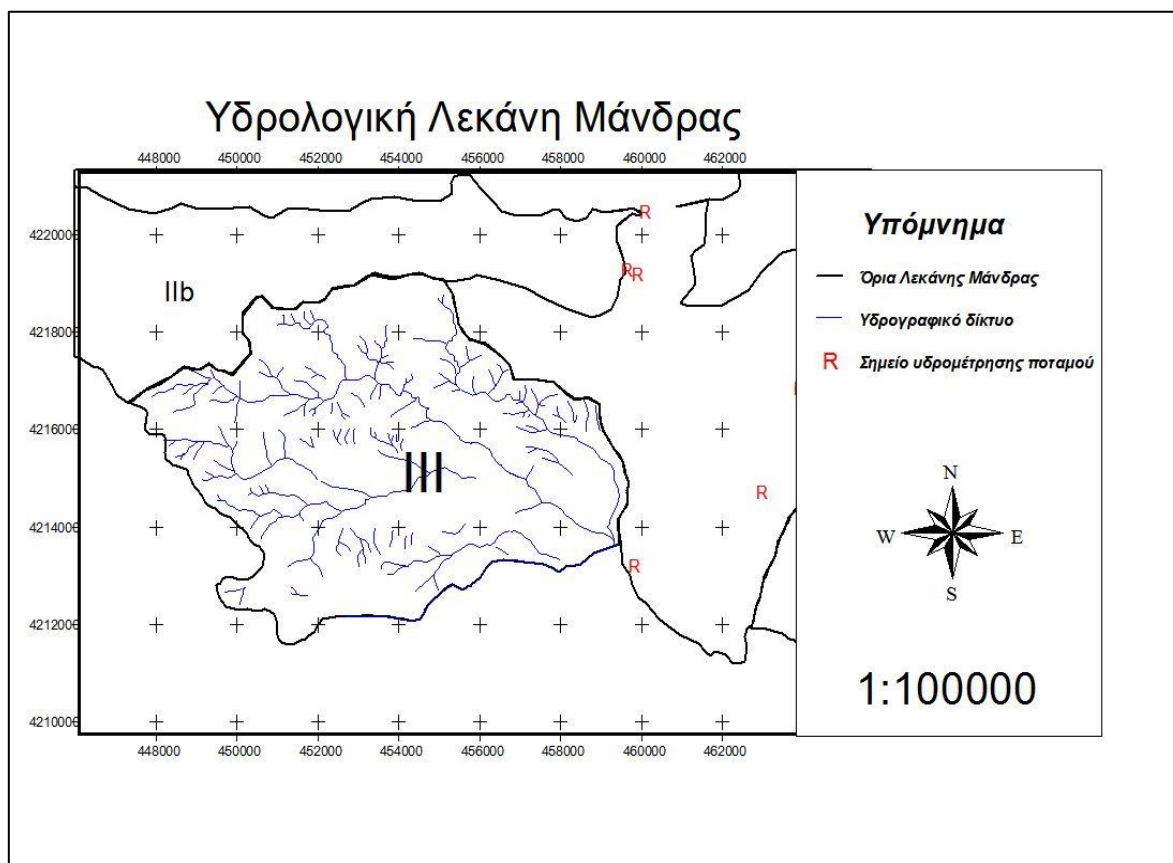
Εικόνα 6.3: Υδρολογική λεκάνη και υπολεκάνες του Σαρανταπόταμου.

Στην υδρολογική λεκάνη του Σαρανταπόταμου έχει υπολογισθεί και αυτή του ρ. του Αγίου Ιωάννου γιατί θεωρήθηκε ότι αποτελεί τμήμα της, ερμηνεύοντας την μορφολογία και το υδρογραφικό δίκτυο προς την έξοδό τους στην θάλασσα. Η γενική εικόνα των ρεμάτων δείχνει ότι αυτά ήταν ενωμένα πριν γίνουν ανθρωπογενείς επεμβάσεις στις ακτές της Ελευσίνας. Επίσης, λόγω τεκτονικών δράσεων άλλαξε τελικά την πορεία της κύριας ροής του Σαρανταπόταμου.

Γενικά ο Σαρανταπόταμος αποστραγγίζει το 75% του ορεινού όγκου «Πατέρας» και μικρά τμήματα των ορεινών όγκων «Πάστρα» και «Πάρνηθα». Το υδρογραφικό δίκτυο είναι αραιό και απλό με μικρούς συντελεστές διακλάδωσης, πυκνότητας και συχνότητας, λόγω της ύπαρξης των ασβεστολίθων, οι οποίοι προκαλούν μεγάλη διήθηση και μικρή επιφανειακή απορροή. Το μέγιστο υψόμετρο είναι 1.132 m, το ελάχιστο 170 m και το μέσο 620 m για το ορεινό τμήμα, ενώ για το πεδινό τμήμα το μέσο υψόμετρο είναι 55 m.

6.2.3. Λεκάνη Μάνδρας

Η υδρολογική λεκάνη της Μάνδρας καταλαμβάνει έκταση 65 km² (Εικόνα 6.4). Το υδρογραφικό δίκτυο είναι πολύ αραιό με μικρούς συντελεστές διακλάδωσης, πυκνότητας και συχνότητας λόγω της παρουσίας των ασβεστολίθων. Μέγιστο και μέσο υψόμετρο 550 m και 400 m, αντίστοιχα. Διαρρέεται από τα ρέματα Μικρό Κατερίνι και Σούρες. Τα τελευταία χρόνια υπάρχει μεγάλη επέμβαση στην περιοχή με αποτέλεσμα να πλημμυρίζει η περιοχή. Επίσης, τα νερά του ρέματος Σούρες διοχετεύονται πλέον στην κοίτη του Σαρανταπόταμου.



Εικόνα 6.4: Υδρολογική λεκάνη Μάνδρας.

6.3. Κλιματολογικά χαρακτηριστικά

Το κλίμα προσδιορίζεται κατά πολύ από τη γεωγραφική θέση κάθε περιοχής. Σημαντικός επίσης παράγοντας είναι η γειτνίαση με την θάλασσα και οι γύρω ορεινοί όγκοι. Έτσι το κλίμα της ευρύτερης περιοχής είναι μεσογειακό (ημίξηρο) και χαρακτηρίζεται από θερμό και ξηρό καλοκαίρι και από σχετικά ήπιο με μέτριες βροχοπτώσεις και σπάνιες χιονοπτώσεις.

Σύμφωνα με την κλιματική ταξινόμηση κατά Thornthwaite η περιοχή κατατάσσεται στον τύπο D,d,B₃,b₄ που σημαίνει ημίξηρο κλίμα και γενικά μέση-υψηλή θερμοκρασιακή δραστηριότητα (B₃) και κατ' επέκτασιν μεγάλο ποσοστό δυνητικής εξατμισοδιαπνοής (Καρράς 1973).

Από τα στοιχεία του μετεωρολογικού σταθμού των ΕΛΔΑ προκύπτει ότι ο θερμότερος μήνας είναι ο Αύγουστος με μέση μηνιαία θερμοκρασία 29,16 °C και ψυχρότερος ο Ιανουάριος, με

μέση μηνιαία θερμοκρασία 9.4 °C, ενώ η μέση θερμοκρασία του έτους ανέρχεται στους 18.98°C.

Η μέση σχετική υγρασία είναι 70.34%, με μέγιστη κατά το μήνα Δεκέμβριο (79.34%) κι ελάχιστη κατά το μήνα Αύγουστο (56.84%). Όσον αφορά στις χιονοπτώσεις είναι ελάχιστες και περιορίζονται στους χειμερινούς μήνες με μέσο αριθμό ημερών χιονιού 4,5.

Οι επικρατούντες άνεμοι είναι οι νοτιοδυτικοί και οι βορειοανατολικοί. Ακολουθούν οι δυτικοί, οι ανατολικοί και οι βόρειοι. Το ποσοστό νηνεμίας ανέρχεται σε 0,12%. Το γεωργικό της κλίμα ανήκει στη κατηγορία (G8Yh1a).

6.3.1. Βροχομετρικά δεδομένα

Βροχομετρικά δεδομένα συλλέχθηκαν από τους σταθμούς EMY, EMΠ, EAA. Οι σταθμοί της EMY είναι σε ημερήσιο βήμα ενώ των άλλων σε 10λεπτη βάση. Κατασκευάστηκε το ημιμεταβλητόγραμμα σύμφωνα με το οποίο επιλέγηκαν οι σταθμοί που επηρεάζουν την περιοχή με κριτήριο την απόστασή τους από τον σταθμό βάσης που αποτέλεσε ο σταθμός της Ελευσίνας, ακολούθησε ο έλεγχος της ομοιογένειας με την μέθοδο της διπλής αθροιστικής καμπύλης, κατασκευάστηκε η βροχοβαθμίδα της περιοχής μελέτης καθώς επίσης κατασκευάστηκαν πολύγωνα Thiessen για την επιφανειακή ολοκλήρωση της βροχής σε επίπεδο και των τριών λεκανών.

6.3.2. Κατάρτιση ημιμεταβλητογράμματος

Η κατάρτιση του ημιμεταβλητογράμματος σκοπό έχει την παροχή βοήθειας στην απόφαση ποιοι σταθμοί θα χρησιμοποιηθούν στην επεξεργασία των μετεωρολογικών δεδομένων. Είναι στατιστική μέθοδος και ως αποτέλεσμα έχει την εύρεση της απόστασης των σταθμών που επηρεάζουν την υπό μελέτη περιοχή.

Για την κατάρτιση του ημιμεταβλητογράμματος ακολουθήθηκε η εξής διαδικασία:

- Με βάση τον σταθμό της Ελευσίνας υπολογίστηκαν οι αποστάσεις των υπολοίπων σταθμών από αυτόν.
- Ταξινομήθηκαν οι σταθμοί σε ομάδες σύμφωνα με την απόστασή τους από τον σταθμό-βάση (Πίνακας 6.1).
- Από την βροχόπτωση του κάθε σταθμού υπολογίστηκε το τετράγωνο των διαφορών από τον σταθμό-βάση και για κάθε ομάδα αθροίστηκαν αυτά τα τετράγωνα και
- Τελικά κατασκευάστηκε το διάγραμμα της Εικόνας 6.5 χρησιμοποιώντας ως τετμημένη την απόσταση του κάθε σταθμού και τεταγμένη την παρακάτω Εξίσωση 6.2

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N_k} \sum (P - P_i)^2$$

Εξίσωση 6.2

Όπου, P= βροχόπτωση σταθμού-βάση,

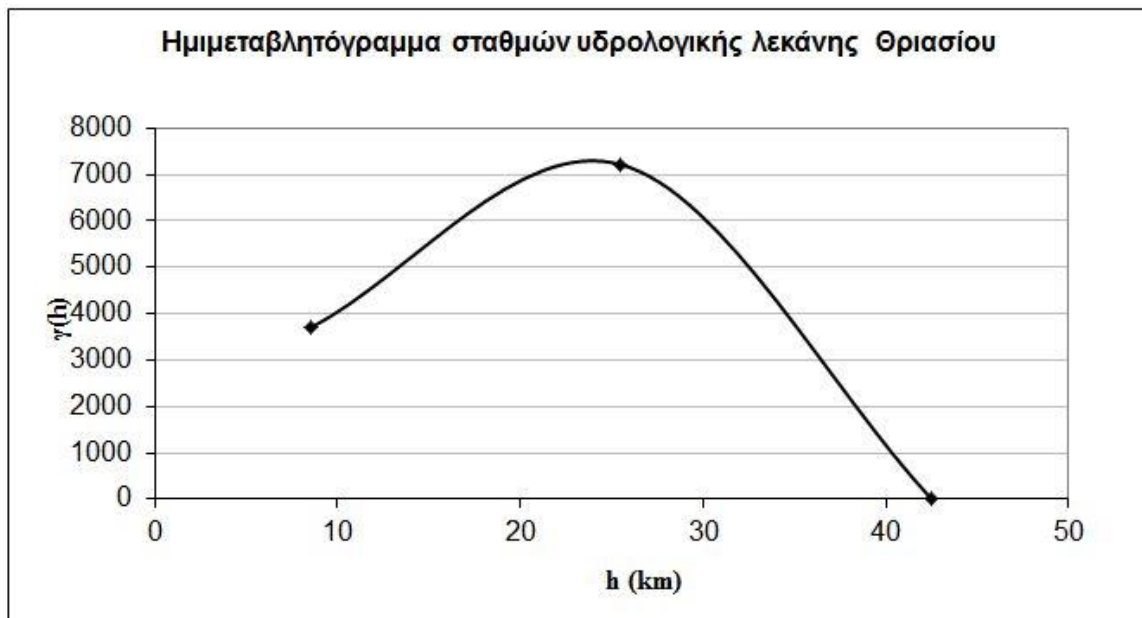
P_i= βροχόπτωση i σταθμού,

$N_k = n(n-1)/2$, $n =$ ο αριθμός των σταθμών σε κάθε ομάδα,

$\gamma(h) =$ παράμετρος της απόστασης (km)

Πίνακας 6.1: Ταξινόμηση σταθμών με βάση τον σταθμό της Ελευσίνας. Σταθμός βάσης αποτελεί ο σταθμός της Ελευσίνας.

A/A	Σταθμός	Z (m)	Απόσταση κατ' αύξουσα σειρά (km)	P (mm)	(Pi-P) ²
1	Ελευσίνα	31.0	0	380	0
2	Ασπρόπυργος	38.0	4.0	403	529
3	Μάνδρα	258	6.4	549	28561
4	Άνω Λιόσια	192	12.4	498	13924
5	Μενίδι	248	16.4	549	28561
6	Πειραιάς	5.0	16.8	332	2304
7	Φιλαδέλφεια	138.0	18.0	410	900
8	Μέγαρα	1.0	19.2	340	1600
9	Πάρνηθα	1230.0	20.0	840	211600
10	Τατόι	238.0	20.7	432	2704
11	Αστεροσκοπείο	104.0	23.7	365	225
12	Ελληνικό	15.0	25.8	370	100
13	Βίλια	580	26,4	673	85849
14	Τανάγρα	140	35,3	460	7056
15	Βέλος	19.0	69.9	446	4356

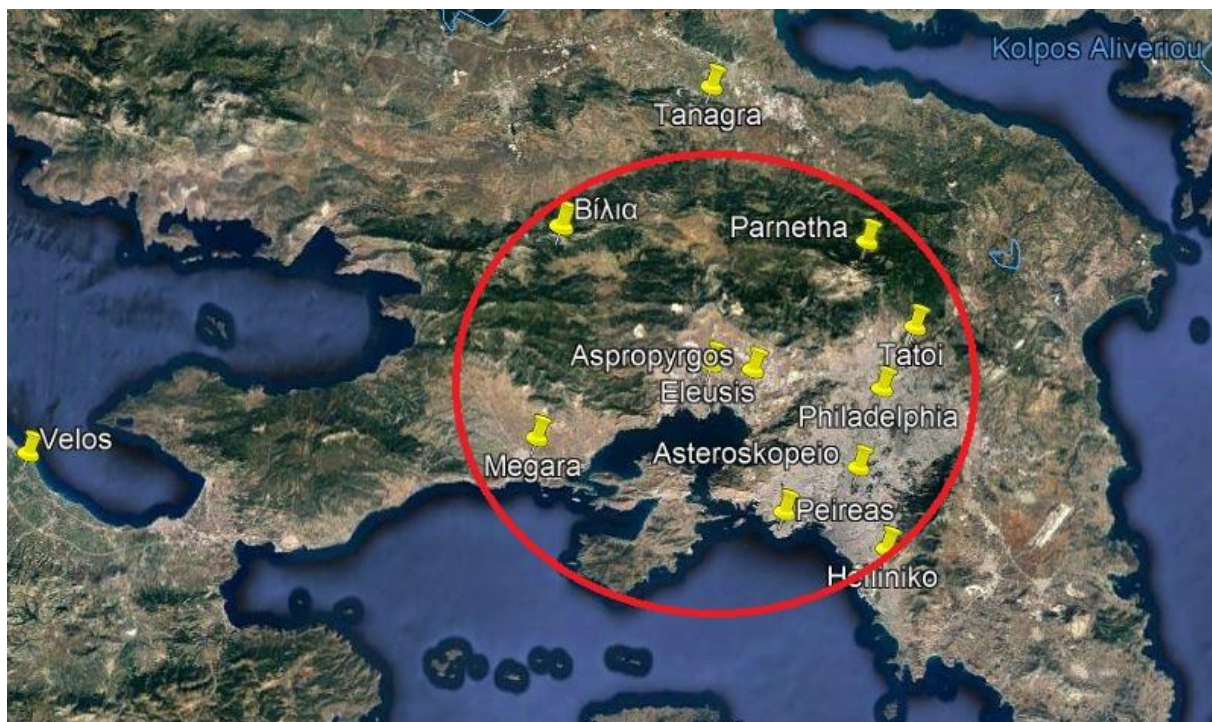


Εικόνα 6.5: Ημιμεταβλητόγραμμα με βάση τον σταθμό της Ελευσίνας.

Από το διάγραμμα της Εικόνας 6.5 φαίνεται η μικρή επίδραση που έχουν οι σταθμοί που βρίσκονται σε απόσταση μεγαλύτερη των 26 km. Έτσι οι σταθμοί που θα χρησιμοποιηθούν είναι αυτοί που βρίσκονται σε απόσταση μέχρι 26 km και είναι οι σταθμοί της α) Ελευσίνας, β) Μάνδρας, γ) Άνω Λιοσίων, δ) Μενιδίου, ε) Μεγάρων, στ) Πάρνηθας, ζ) Ελληνικό και η) Βιλίων (Πίνακας 6.2). Ο σταθμός των Βιλίων χρησιμοποιήθηκε γιατί είναι πολύ κοντά στην υδρολογική λεκάνη του Σαρανταπόταμου.

Πίνακας 6.2: Οι βροχομετρικοί σταθμοί που χρησιμοποιήθηκαν

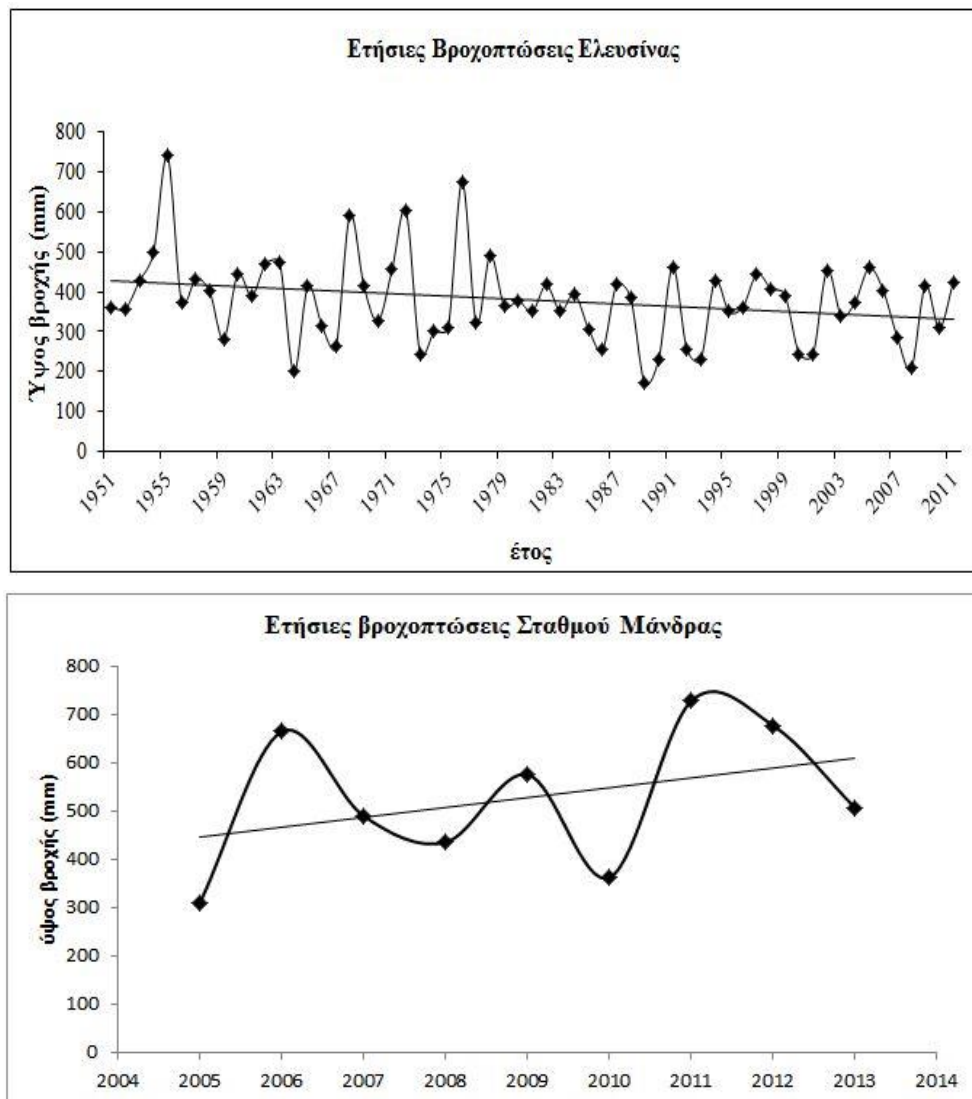
A/A	Όνομα σταθμού	Απόσταση (km)	A/A	Όνομα σταθμού	Απόσταση (km)
1	Ελευσίνα	0	6	Μέγαρα	19,2
2	Μάνδρα	6,4	7	Πάρνηθα	20
3	Άνω Λιόσια	12,4	8	Ελληνικό	25,8
4	Μενίδι	16,4	9	Βίλια	26,4
5	Ν. Φιλαδέλφειας	18,0			



Εικόνα 6.6: Γεωγραφική θέση μετεωρολογικών σταθμών.

6.3.3. Έλεγχος ομοιογένειας-Διπλή αθροιστική καμπύλη

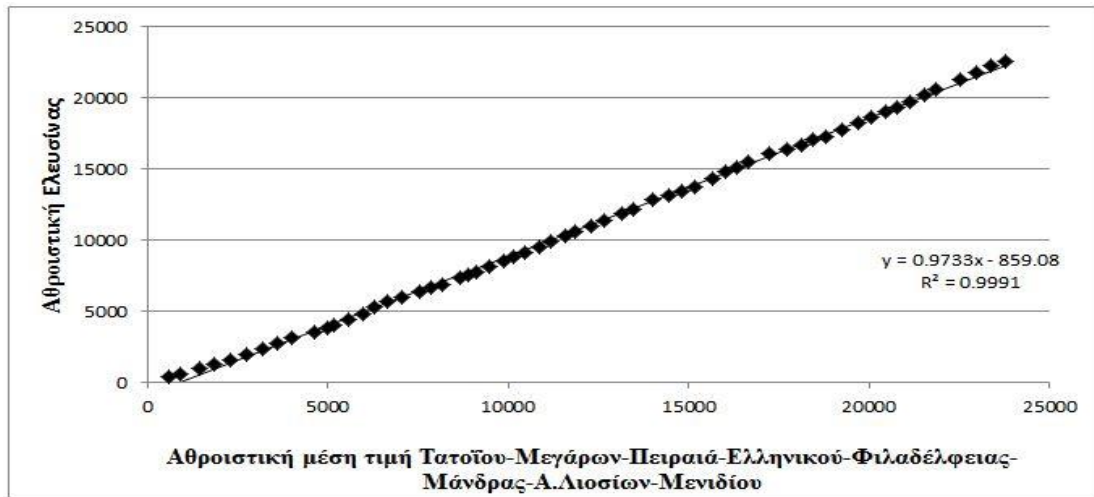
Ο έλεγχος ομοιογένειας των βροχομετρικών δεδομένων μιας περιοχής είναι έλεγχος της ποιότητας των παρατηρήσεων και επιβάλλεται πριν την ανάλυση και την χρησιμοποίησή τους. Ο έλεγχος εστιάζεται στο κατά πόσον οι καταγραφές του μετεωρολογικού σταθμού πραγματοποιήθηκαν κάτω από τις ίδιες συνθήκες μετρήσεων. Ο πιο συνηθισμένος τρόπος αυτού του ελέγχου είναι η διπλή αθροιστική καμπύλη.



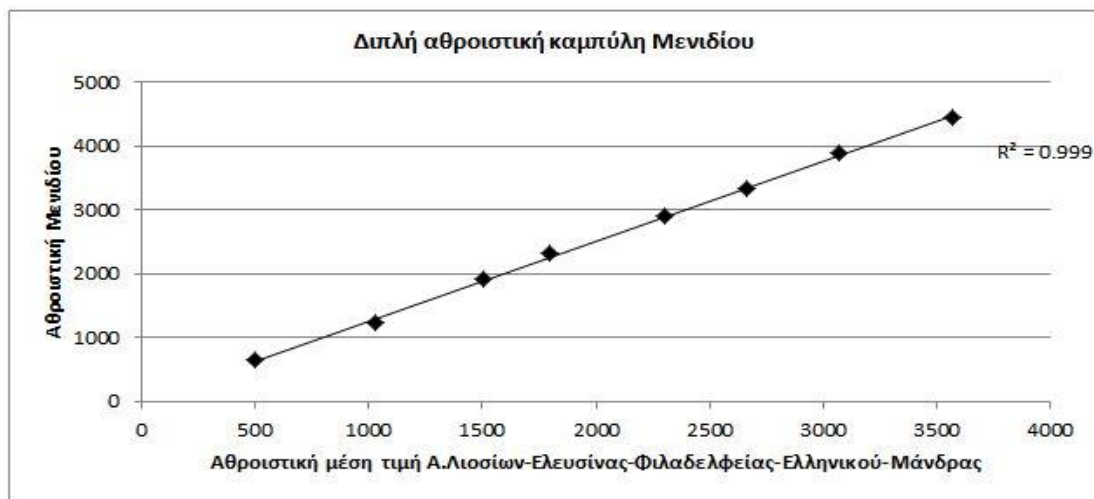
Εικόνα 6.7: Ετήσιες βροχοπτώσεις σταθμών α) Ελευσίνας (1951-2014) β) Μάνδρας (2004-2014).

Στην περιοχή του Θριασίου Πεδίου κατασκευάστηκε η διπλή αθροιστική καμπύλη για τον έλεγχο του σταθμού της Ελευσίνας σε σχέση με 8 συνολικά γειτονικούς σταθμούς 5 της EMY (Τατοΐου, Μεγάρων, Πειραιά, Ν. Φιλαδελφείας και Ελληνικού) και 3 του Hydrological Observatory of Athens του ΕΜΠ (Μάνδρας, Α. Λιοσίων και Μενιδίου). Επίσης, χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία από τους σταθμούς Βιλίων και Πάρνηθας του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών. Από τον παραπάνω έλεγχο προέκυψε ότι οι μετρήσεις των παραπάνω σταθμών για τα έτη 1952-2012 είναι πολύ αξιόπιστες και με μεγάλο βαθμό ομοιογένειας 99,9%. (Εικόνα 6.8).

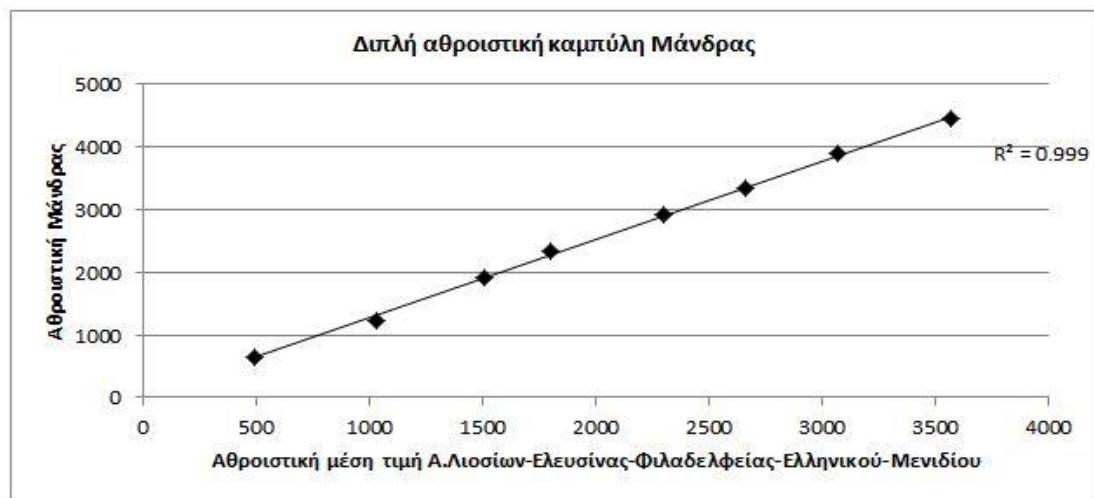
Επίσης, κατασκευάστηκε η διπλή αθροιστική καμπύλη και για τους υπόλοιπους σταθμούς όπως π.χ. του Μενιδίου και Μάνδρας για τα έτη λειτουργίας των σταθμών από 2005-2012 (Εικόνες 6.9, 6.10) και βλέπουμε ότι υπάρχει μεγάλος βαθμός ομοιογένειας για τους παραπάνω σταθμούς της τάξης του 99,9 %.



Εικόνα 6.8: Διπλή αθροιστική καμπύλη Ελευσίνας & Τατοΐου-Μεγάρων-Πειραιά-Φιλαδέλφειας-Ελληνικού-Μάνδρας-Α.Λιοσίων-Μενιδίου.



Εικόνα 6.9: Διπλή αθροιστική καμπύλη Μενιδίου & Α. Λιοσίων-Ελευσίνας-Φιλαδέλφειας-Ελληνικού-Μάνδρας.



Εικόνα 6.10: Διπλή αθροιστική καμπύλη Μάνδρας & Α. Λιοσίων-Ελευσίνας-Φιλαδέλφειας-Ελληνικού-Μενιδίου.

6.3.4. Βροχοβαθμίδα

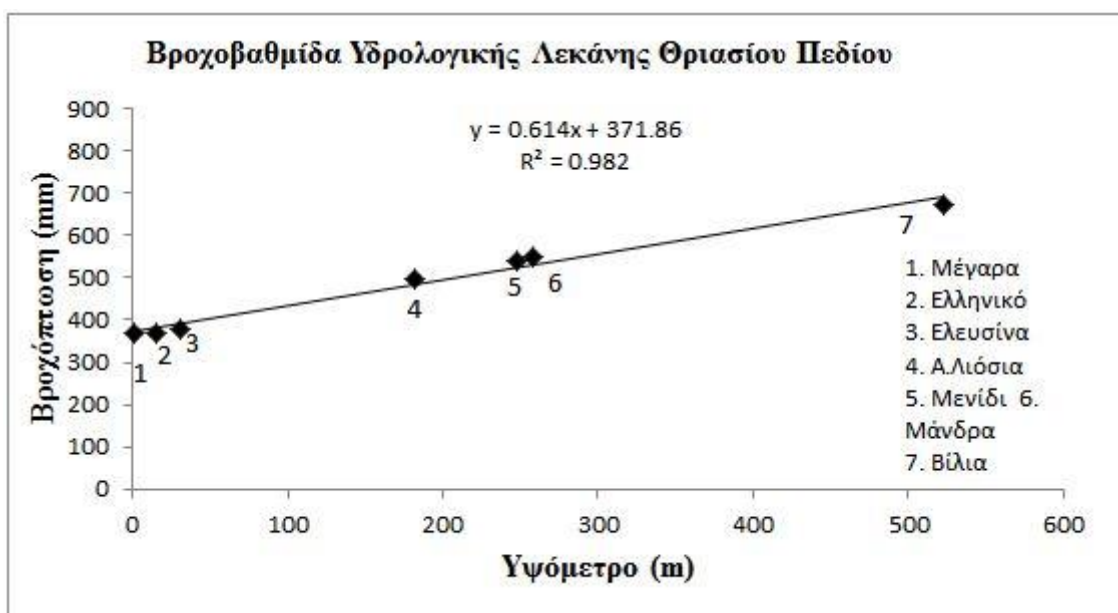
Το ύψος και η κατανομή των βροχοπτώσεων σε μια περιοχή επηρεάζονται άμεσα από το τοπογραφικό ανάγλυφο, τη γειτνίαση με τη θάλασσα, την υγρασία, τη διεύθυνση των ανέμων, τη φυτοκάλυψη κ.ά. Από τη γεωγραφική διασπορά των βροχομετρικών σταθμών που αξιολογήθηκαν δεν προκύπτει κάποια αισθητή διαφορά σύμφωνα με την σχέση «θέση-προσανατολισμός» της περιοχής, συγκεκριμένα δεν διαπιστώθηκε ότι π.χ. η δυτική ή η βόρεια πλευρά των ορεινών όγκων είναι πλουσιότερη σε βροχές σε σχέση με την ανατολική ή νότια εκτός του σταθμού της Πάρνηθας γι' αυτόν τον λόγο αφαιρέθηκε αυτός ο σταθμός από τον προσδιορισμό της βροχοβαθμίδας.

Από τη συσχέτιση των παραπάνω σταθμών προκύπτει με πολύ μεγάλο συντελεστή $r^2=98.2\%$ η βροχοβαθμίδα της ευρύτερης περιοχής Θριασίου, η οποία είναι χρήσιμη για την αναγωγή δεδομένων βροχής σε υψόμετρα διαφορετικά όπου δεν υπάρχουν στοιχεία. Έτσι για την περιοχή του Θριασίου Πεδίου η Εξίσωση 6.3 δείχνει την σχέση βροχής με το υψόμετρο

$$y=0,614x+371,86$$

Εξίσωση 6.3

σύμφωνα με την οποία παρατηρείται μέση αύξηση ετήσιου ύψους βροχής 61,4 χιλιοστά κάθε 100 m υψομέτρου (Εικόνα 6.11).



Εικόνα 6.11: Βροχοβαθμίδα Υδρολογικής Λεκάνης Θριασίου Πεδίου.

6.3.5. Επιφανειακή ολοκλήρωση της βροχής

Η επιφανειακή ολοκλήρωση της βροχής, σε επίπεδο υδρολογικής λεκάνης που χρησιμοποιήθηκε είναι η μέθοδος Thiessen. Είναι μία μέθοδος η οποία υπολογίζει άμεσα την επιφανειακή ολοκλήρωση, απ' ευθείας και κατά μοναδικό τρόπο, από τις τιμές του σταθμού μέτρησης. Επειδή το ύψος βροχής σε αυτήν την μέθοδο δεν λαμβάνει υπ' όψιν το πραγματικό μέσο υψόμετρο της λεκάνης αλλά των σταθμών, απαιτείται διόρθωση του ύψους

βροχής με βάση το πραγματικό μέσο υψόμετρο της λεκάνης. Η διόρθωση χρησιμοποιεί τον συντελεστή υψομετρικής αναγωγής ο οποίος είναι:

$$\lambda = 1 + \alpha \frac{H_{κβ} - H_{στ}}{P}$$

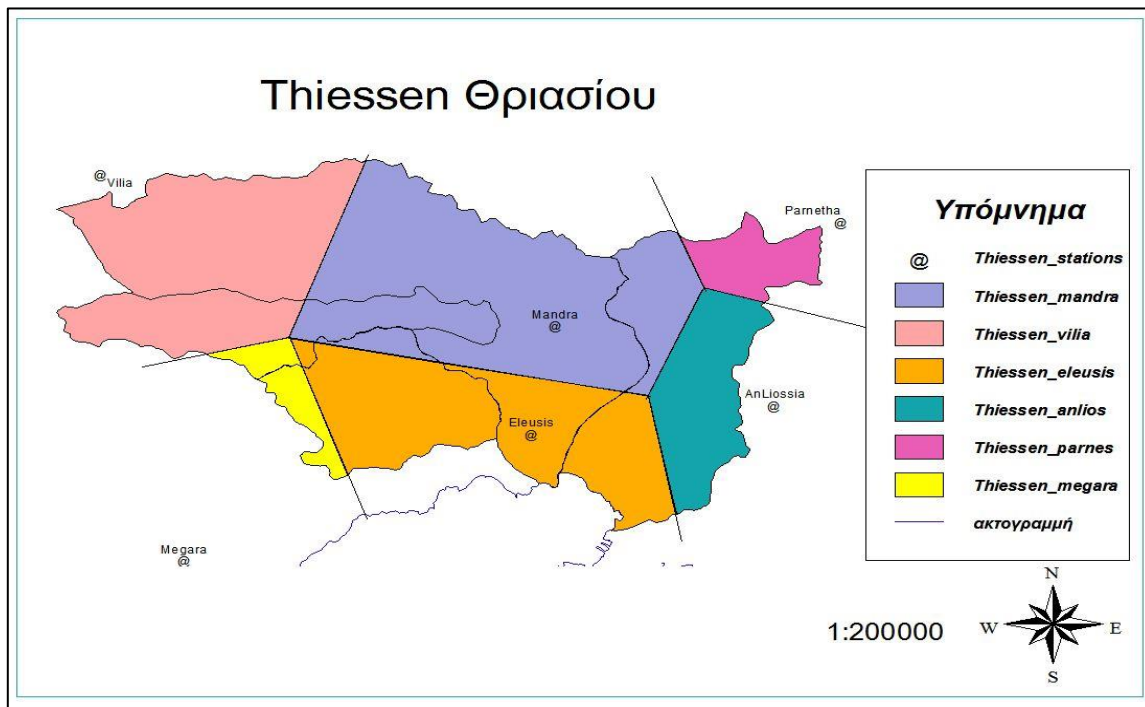
Εξίσωση 6.4

Όπου α = κλίση της ευθείας της βροχοβαθμίδας, $H_{κβ}$ το πραγματικό μέσο υψόμετρο της λεκάνης και $H_{στ}$ το σταθμισμένο υψόμετρο των σταθμών.

Έτσι το ανηγμένο επιφανειακό ύψος βροχής στο υψομετρικό κέντρο δίνεται από:

$$\bar{P} = P + \lambda \Delta h$$

Εξίσωση 6.5



Εικόνα 6.12: Πολύγωνα Thiessen.

Πίνακας 6.3: Σταθμισμένο υψόμετρο σταθμών

Σταθμοί	Επιφάνεια (Km ²)	Ποσοστό p	Βροχόπτωση Pj (mm)	p x Pj (mm)	Υψόμετρο σταθμού h (m)	h x p (m)
Βιλίων	114.93	0.22	673.00	147.48	523.00	114.61
Ελευσίνας	103.77	0.20	380.00	75.19	31.00	6.13
Μεγάρων	29.24	0.06	372.00	20.74	1.00	0.06
Αν.Λιοσίων	45.47	0.09	498.00	43.18	182.00	15.78
Πάρνηθας	21.14	0.04	822.00	33.13	1220.00	49.18
Μάνδρας	209.90	0.40	549.00	219.73	258.00	103.26
Σύνολο	524.45	1.00		539.45		289.02

Το μέσο υψόμετρο του συνόλου των λεκανών είναι 513 m. Έτσι το ανηγμένο ύψος βροχής είναι:

$$\bar{P} = 539,45 + 0,614(513 - 289,02) = 677 \text{ mm}$$

Εξίσωση 6.6

6.4. Απορροή-Υδρομετρήσεις ποταμών

6.4.1. Γενικά

Υδρομετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στους βασικούς χείμαρρους της περιοχής στο ρ. Σαρανταπόταμου, το ρ. Γιαννούλας και Μαύρης Ώρας (Ρεματάκι), όπου και οριοθετούν την πεδινή περιοχή του Θριασίου Πεδίου, ο πρώτος εκ δυσμών και ο τρίτος εξ ανατολών. Επίσης, πραγματοποιήθηκαν υδρομετρήσεις και σε δευτερεύοντες χείμαρρους όπως του Αγ. Ιωάννου.

Οι υδρομετρήσεις στον Σαρανταπόταμο ήταν 29 συνολικά έλαβαν χώρα κατά την διάρκεια των ετών 1999 έως 2015 σε δύο κύριες περιόδους, η πρώτη από το 1999 έως 2002 και η δεύτερη από το 2012-2014 καταγράφοντας και παρακολουθώντας κάθε συμβάν απορροής στο μέτρο του δυνατού. Επίσης, μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν και στην ενδιάμεση περίοδο κατά καιρούς από το 2008-2012 και το έτος 2015, όχι όμως με την ίδια λεπτομέρεια όπως οι προηγούμενες.

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν με την χρήση μιλίσκου, αλλά τις περισσότερες φορές με την μέθοδο του πλωτήρα. Η μέτρηση με πλωτήρα ήταν αναγκαία λόγω των παρακάτω:

- Η χειμαρρώδης ροή παρέσυρε διάφορα αντικείμενα, φύλλα και κλαριά αλλά και άμμο όπου η λειτουργία του μιλίσκου ήταν δυσχερής.
- Η μέτρηση έπρεπε να πραγματοποιηθεί σε σύντομο χρονικό διάστημα.
- Σε μικρές ταχύτητες κάτω από 0,15 m/s.
- Σε βάθος ροής κάτω από 0,30 m.
- Ορμητικότητας του ποταμού για ύψος πάνω από 0,5 m.

Όσον αφορά τις μετρήσεις με πλωτήρα ακολουθήθηκαν οι παρακάτω κανόνες

- Διενεργήθηκαν 3-5 επαναλήψεις κατά περίπτωση.
- Ο πλωτήρας ήταν βυθισμένος κατά ένα μέρος στο νερό περίπου το 10-15% του βάθους ροής.
- Η απόσταση μεταξύ αρχικού και τελικού σημείου μέτρησης ήταν 5-10 m.
- Οι μετρήσεις λαμβάνονταν κάθε 1m πλάτους του ποταμού δηλαδή 5-6 μετρήσεις σε όλο το πλάτος του.
- Η μέση επιφανειακή ταχύτητα ροής πολλαπλασιάστηκε επί 0,85-0,80.

Η πρώτη τιμή 0,85 χρησιμοποιήθηκε σε διατομές ορθογωνικές, επενδυμένες με τσιμέντο ή σε καλά διαμορφωμένες κοίτες και όταν οι ταχύτητες ήταν μικρές και η δεύτερη τιμή 0,80 όταν οι ταχύτητες ήταν μεγαλύτερες από 1,0 m/s.



Εικόνα 6.13: Διευθέτηση της κοίτης της Γιαννούλας για την πραγματοποίηση υδρομετρήσεων.

Η ακρίβεια των μετρήσεων, γενικά, αναφέρεται στο κατά πόσο υπάρχει συμφωνία μεταξύ της μέτρησης της παροχής και της πραγματικής τιμής της παροχής κατά το χρόνο μέτρησης. Επειδή δεν μπορούμε ποτέ να ξέρουμε το πραγματική τιμή της παροχής του ποταμού, δεν μπορούμε ποτέ να ξέρουμε το ακριβές λάθος κατά την εκτέλεση μέτρησης. Η αβεβαιότητα ορίζεται, ως εκ τούτου, ως παράμετρος η οποία συνδέεται με το αποτέλεσμα μιας μέτρησης που χαρακτηρίζει τη διασπορά των τιμών που θα μπορούσαν λογικά να αποδοθούν στη μέτρηση. Τυπικά εκφράζεται ως ένα εύρος τιμών στο οποίο η τιμή μέτρησης εκτιμάται ότι βρίσκεται, εντός δεδομένων στατιστικά ορίων, τα όρια εμπιστοσύνης. Δεν προσπαθούν να καθορίζουν ή να βασίζονται σε μια μοναδική πραγματική τιμή. Εν ολίγοις, η χρήση της λέξης ακρίβεια για την ποσοτική περιγραφή των χαρακτηριστικών μιας μέτρησης παροχής ποταμού είναι ασύμβατη με το πραγματικό της νόημα. Ο καταλληλότερος όρος για να εκφραστεί η διασπορά και τα στατιστικά όρια εμπιστοσύνης των πιθανών τιμών για μέτρηση παροχής είναι η αβεβαιότητα της μέτρησης. Παρ' όλα αυτά στην παρούσα επιχειρείται μια ντετερμινιστική προσέγγιση.

6.4.2. Έλεγχος γραμμικότητας λεκάνης Σαρανταπόταμου και Γιαννούλας

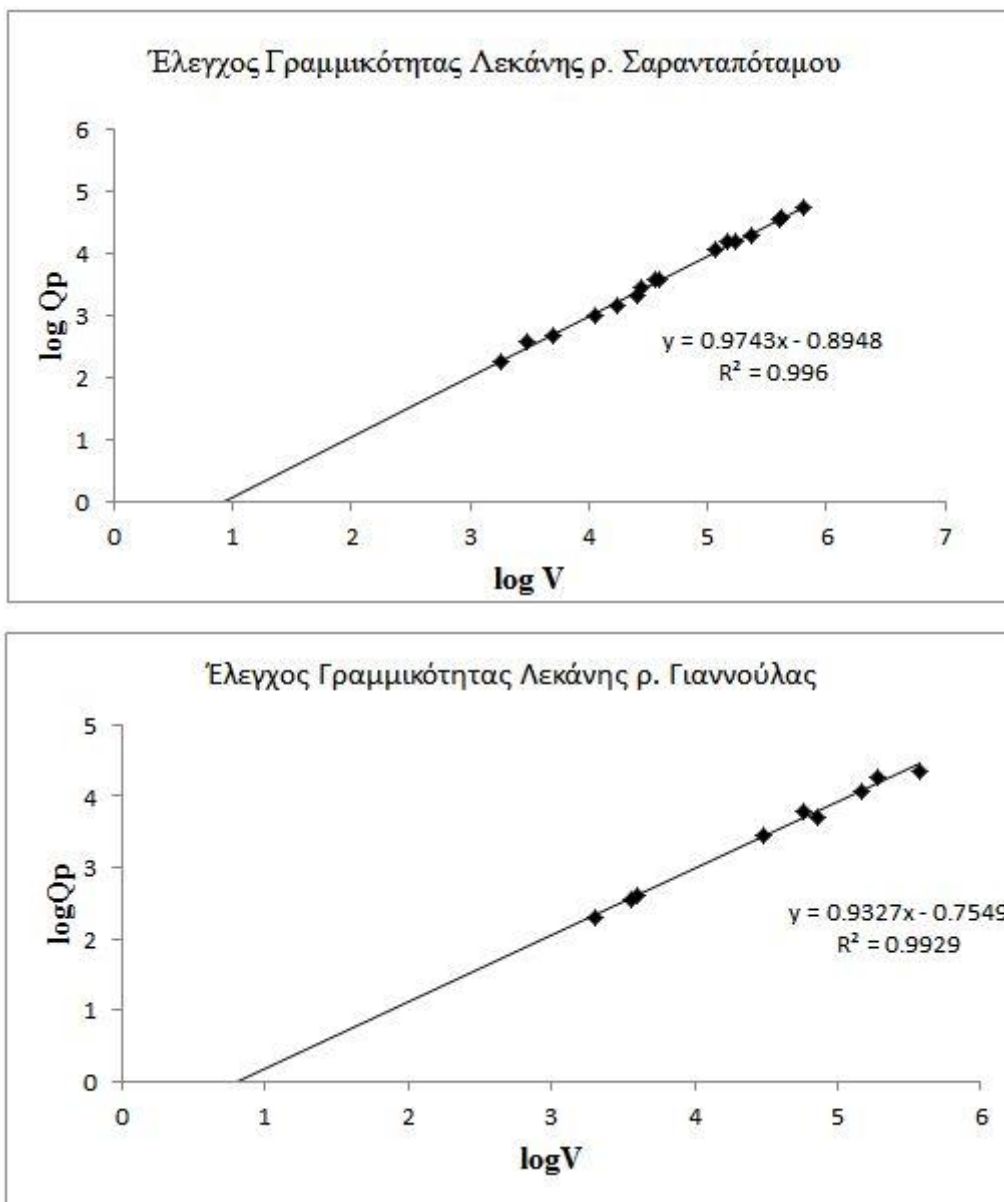
Μία υδρολογική λεκάνη καλείται γραμμική όταν οι όγκοι των νερών της βροχής είναι άμεσα ανάλογοι των όγκων των απορροών. Σχετικές έρευνες (Μιμίκου 1994) απέδειξαν ότι κριτήριο διάκρισης γραμμικότητας μιας λεκάνης αποτελεί η κλίση μιας οικογένειας καμπυλών κατανομής τυποποιημένων πλημμυρικών αιχμών, οι οποίες προκύπτουν από την διπλά λογαριθμική συσχέτιση των πλημμυρικών αιχμών Q_p και των αντίστοιχων όγκων απορροής V . Δηλαδή η κλίση m της καμπύλης είναι ικανό και αναγκαίο κριτήριο ελέγχου γραμμικότητας μιας υδρολογικής λεκάνης.

$$\text{Log}Q_p = b + m \text{log}V$$

Εξίσωση 6.7

Όταν η τιμή $m=1.0$ η λεκάνη είναι γραμμική ενώ για μικρότερες τιμές του 1.0 η λεκάνη είναι μη γραμμική. Όσο πιο κοντά η τιμή της m βρίσκεται στο 1.0 τόσο λιγότερο μη γραμμική είναι η λεκάνη.

Αυτό ενδιαφέρει στην κατασκευή του μοναδιαίου υδρογραφήματος (ΜΥ) και τούτο γιατί η χρήση γραμμικών μεθόδων, όπως το ΜΥ, σε μη γραμμικές λεκάνες οδηγεί σε σημαντικά σφάλματα εκτίμησης των πλημμυρών και κατ' επέκτασιν του όγκου απορροής. Επίσης, με αυτόν τον τρόπο καταδεικνύεται ότι η λεκάνη του ρ. Σαρανταπόταμου και του ρ. Γιαννούλας έχουν την ικανότητα να παρέχουν σχετικά ομαλά υδρογραφήματα ασχέτως της μορφής των βροχών.



Εικόνα 6.14: Έλεγχος γραμμικότητας λεκάνης α) ρ. Σαρανταπόταμου β) ρ. Γιαννούλας

Έτσι, στην σημαντικότερη υδρολογική λεκάνη της περιοχής, του ρ. Σαρανταπόταμου αλλά και του ρ. Γιαννούλας, ο έλεγχος έδειξε μια σχεδόν γραμμική λεκάνη με τιμή της κλίσης $m=0,97$ και $m=0,93$ αντίστοιχα (Εικόνα 6.14) από μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν όπως αναφέρθηκε και στην προηγούμενη παράγραφο, κατά το χρονικό διάστημα 1999-2014, σε δύο περιόδους 2 ετών κάθε μία.

6.4.3. Καμπύλες στάθμης- παροχής

Καταρτίστηκε η καμπύλη στάθμης – παροχής για τα δύο σημαντικότερα ποτάμια του Θριασίου, του ρ. Σαρανταπόταμου και του ρ. Γιαννούλας, σε συνθήκες, βέβαια, μη μόνιμης ροής, έχοντας όμως σταθερή την διατομή του ποταμού.

Οι μετρήσεις των δύο διετιών 1999-2001 και 2012-2015 ομαδοποιήθηκαν σε μία καμπύλη έχοντας έναν πολύ υψηλό βαθμό συσχέτισης $r^2=0,9795$.

Επίσης, καταβλήθηκε προσπάθεια, όσο το δυνατόν, οι μετρήσεις να πραγματοποιούνται σε φάση ανόδου της στάθμης, ώστε να αποφευχθεί το φαινόμενο κατά το οποίο στην ίδια στάθμη, η παροχή είναι μεγαλύτερη κατά την φάση ανόδου σε σχέση με την φάση καθόδου της στάθμης του νερού του ποταμού, αφού τα χαρακτηριστικά της ροής διαφέρουν κατά την διάρκεια της πλημμύρας.

6.4.4. Καμπύλη στάθμης –παροχής ρ. Σαρανταπόταμου

Στην περίπτωση του Σαρανταπόταμου οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε τσιμέντινη τετραγωνική διατομή όπου σχεδιάστηκε απλό σταθμήμετρο (Εικόνα 6.15) για την εύκολη ανάγνωση της στάθμης. Πραγματοποιήθηκαν 29 υδρομετρήσεις στον ποταμό από το 2000 έως το 2015 (Πίνακας 6.4).



Εικόνα 6.15: Κατασκευή απλού σταθμήμετρου για την μέτρηση στάθμης στο ρ. Σαρανταπόταμου.

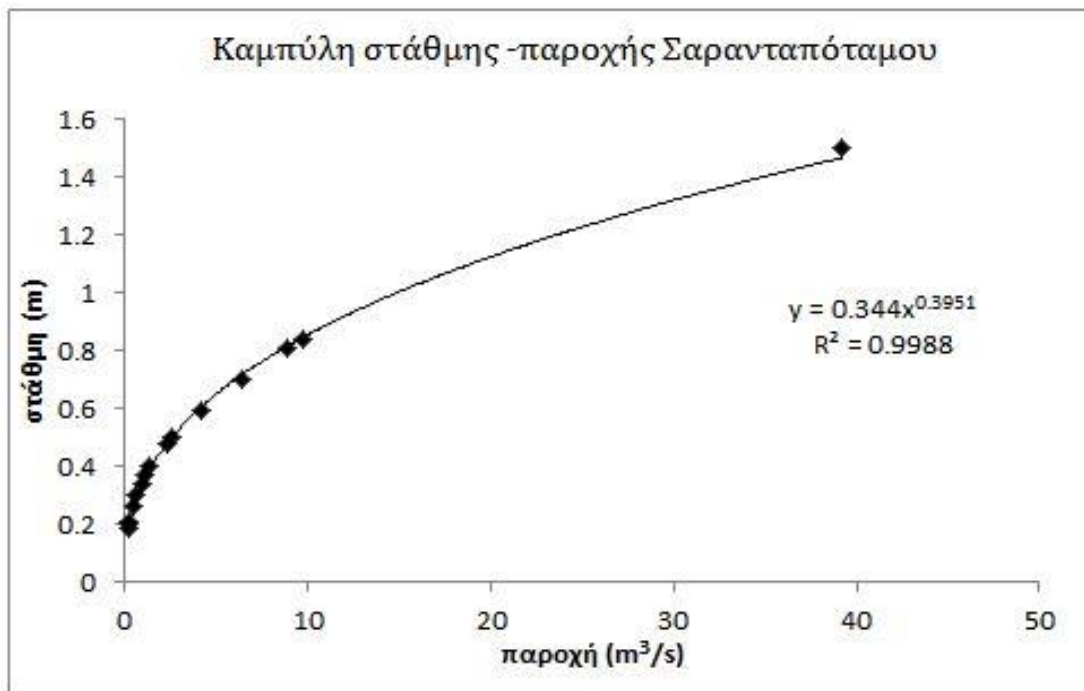
Πίνακας 6.4: Υδρομετρήσεις στο ρ. Σαρανταπόταμου

A/A	Ημερ/νία	A(m ²)	d (m)	v(m/s)	h (m)	Q (m ³ /s)	lnh	lnQ	logh	logQ
1	14/01/2001	0.92	5.24	0.19	0.15	0.17	-1.90	-1.75	-0.82	-0.76
2	28/01/14	0.87	5.23	0.11	0.17	0.10	-1.77	-2.31	-0.77	-1.00
3	27/01/2014	1.13	5.31	0.21	0.19	0.24	-1.66	-1.44	-0.72	-0.63
4		1.18	5.32	0.22	0.20	0.26	-1.61	-1.35	-0.70	-0.58
5	16/01/2014	1.24	5.34	0.23	0.21	0.28	-1.56	-1.26	-0.68	-0.55
6	11/03/2014	1.29	5.35	0.24	0.22	0.31	-1.51	-1.17	-0.66	-0.51
7	05/03/2014	1.40	5.39	0.22	0.24	0.31	-1.43	-1.18	-0.62	-0.51
8	26/11/2000	1.50	6.00	0.25	0.25	0.37	-1.39	-0.99	-0.60	-0.43
9	25/01/2014	1.56	5.44	0.28	0.27	0.43	-1.31	-0.84	-0.57	-0.36
10	29/01/2014	1.50	5.42	0.34	0.26	0.51	-1.35	-0.67	-0.59	-0.29
11	28/12/2013	1.72	5.48	0.36	0.30	0.62	-1.20	-0.48	-0.52	-0.21
12	28/12/2014	1.72	5.48	0.38	0.30	0.66	-1.20	-0.42	-0.52	-0.18
13	04/03/2014	1.83	5.52	0.37	0.32	0.68	-1.14	-0.39	-0.49	-0.17
14	02/03/2014	1.89	5.53	0.37	0.33	0.70	-1.11	-0.36	-0.48	-0.16
15	26/11/2000	1.83	5.52	0.26	0.32	0.47	-1.14	-0.76	-0.49	-0.33
16	20/11/13	1.72	5.48	0.48	0.30	0.83	-1.20	-0.19	-0.52	-0.08
17	03/12/01	1.72	5.48	0.55	0.30	0.95	-1.20	-0.05	-0.52	-0.02
18	21/12/01	2.00	5.56	0.55	0.35	1.10	-1.05	0.09	-0.46	0.04
19	26/01/2014	2.11	5.60	0.53	0.37	1.12	-0.99	0.11	-0.43	0.05
20	13/12/2008	2.28	5.65	0.60	0.40	1.37	-0.92	0.31	-0.40	0.14
21	13/12/2008	3.30	5.81	0.68	0.50	2.24	-0.69	0.81	-0.30	0.35
22	26/01/2014	2.74	5.77	0.85	0.48	2.33	-0.73	0.84	-0.32	0.37
23	27/12/13	2.85	5.81	0.92	0.50	2.62	-0.69	0.96	-0.30	0.42
24	2/12/01	3.74	6.05	1.10	0.65	4.11	-0.43	1.41	-0.19	0.61
25	03/03/2014	3.38	5.95	1.24	0.59	4.21	-0.53	1.44	-0.23	0.62
26	03/03/2014	4.04	6.00	1.60	0.70	6.46	-0.36	1.87	-0.15	0.81
27	03/03/2014	4.70	6.00	1.89	0.81	8.87	-0.21	2.18	-0.09	0.95
28	03/03/2014	4.77	6.00	2.06	0.84	9.83	-0.17	2.29	-0.08	0.99
29	27/02/2015	8.84	6.00	4.44	1.50	39.25	0.41	3.67	0.18	1.59

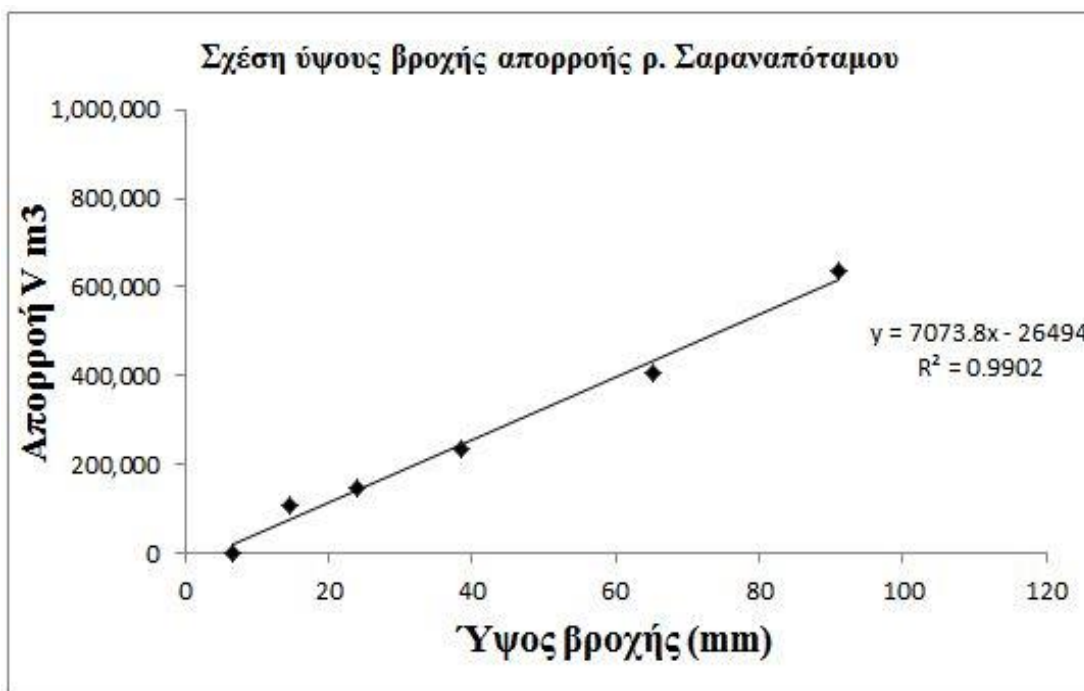
Κατασκευάστηκαν οι καμπύλες στάθμης-παροχής με την βοήθεια των οποίων μετατρέπεται η μετρούμενη στάθμη σε παροχή η οποία δίνεται από την Εξίσωση 6.8

$$Q=14,856h^{2,5282}$$

Εξίσωση 6.8



Εικόνα 6.16: Καμπύλη στάθμης-παροχής ρ. Σαρανταπόταμου.



Εικόνα 6.17: Σχέση ύψους βροχής-απορροής για το ρ. Σαρανταπόταμου.

Στην Εικόνα 6.17 φαίνεται η σχέση απορροής- ύψους βροχής για το ρ. Σαρανταπόταμου. Η σχέση αυτή, η οποία έχει πολύ μεγάλο βαθμό συσχέτισης 99%, ισχύει μετά την συγκράτηση του νερού της βροχής από το έδαφος, από την αναπλήρωση δηλαδή της εδαφικής υγρασίας, μετά τις αρχικές βροχές που πέφτουν στην λεκάνη του ποταμού μέχρι 1-3 μέρες περίπου από την εμφάνιση απορροής κατά τους χειμερινούς μήνες.



α)



β)



γ)

Εικόνα 6.18: Μέτρηση διατομής και παροχής α) και β) ρ. Σαρανταπόταμου και γ) ρ. Γιαννούλας (27/11/2013)

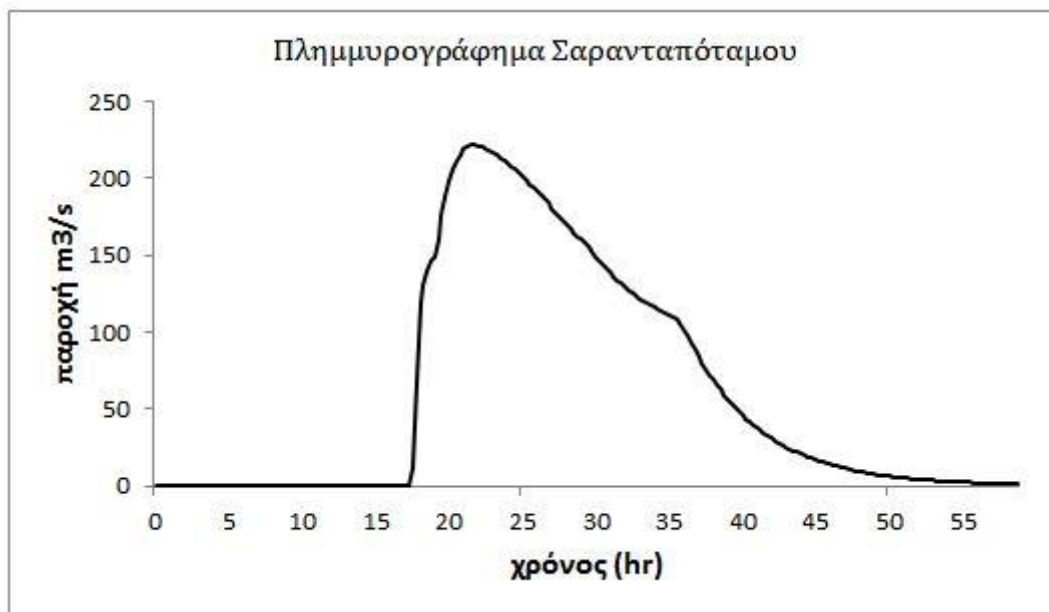


Εικόνα 6.19: Απορροή του ρ. Σαρανταπόταμου μετά από την βροχή της 28-2-2015

Στην Εικόνα 6.18 μέτρηση παροχής στο ρ. Σαρανταπόταμου ενώ στην Εικόνα 6.20 φαίνεται η παροχή του ρ. Σαρανταπόταμου κατά την βροχή της 28-2-2015.

Κατά την βροχή της 27/12/2013 με ύψος βροχής 38,2 mm στον σταθμό της Μάνδρας καταγράφηκε ένα συμβάν πλημμύρας στο ρ. Σαρανταπόταμου, σε απόσταση 2516 m μεταξύ δύο μετρήσεων απορροής. Το πρώτο σημείο ήταν σε κοντινή απόσταση από μία παλιά γέφυρα ανάντι του εργοστασίου ΤΙΤΑΝ και το δεύτερο η συμβολή των κλάδων Αγ. Γεωργίου και Πέλκες, κατάντι του εργοστασίου ΤΙΤΑΝ. Η πλημμύρα ξεκίνησε στις 16:45 και έφθασε στο δεύτερο σημείο μέτρησης στις 17:17 δηλαδή σε 62 min. Η πλημμύρα ταξίδευε στην φυσική κοίτη του ποταμού με μέση ταχύτητα 0,6763 m/s.

Στην Εικόνα 6.20 (Μιμίδης κ.ά. 2009) παρουσιάζεται η απόκριση της λεκάνης του ρ. Σαρανταπόταμου για βροχή περιόδου επαναφοράς 100 ετών ύψους 145 mm (Φλόκας και Μπλούτσος 1980). Το πλημμυρογράφημα εξήχθη με το μοντέλο Smada εφαρμόζοντας την μέθοδο CSC (Wanielista et al 1997).



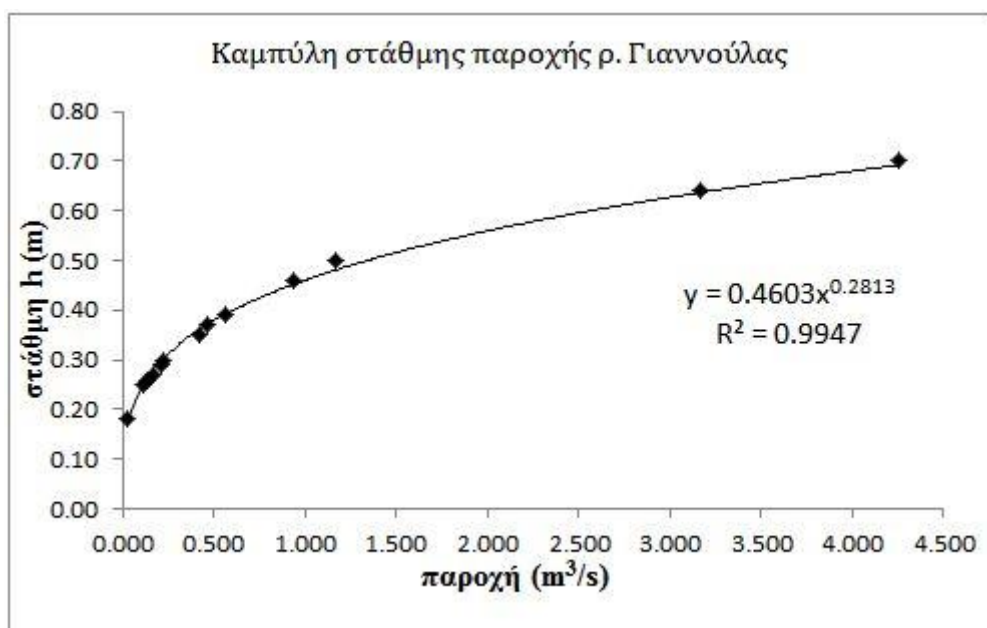
Εικόνα 6.20: Πλημμυρογράφημα ρ. Σαρανταπόταμου για ύψος βροχής 145 mm (Μιμίδης et al 2009).

6.4.5. Καμπύλη στάθμης –παροχής ρ. Γιαννούλας

Στην περίπτωση του ρ. Γιαννούλας οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε φυσική τετραγωνική διατομή η οποία διευθετήθηκε κατά τέτοιο τρόπο ώστε να επηρεάζεται όσο το δυνατόν λιγότερο η τιμή της παροχής του ποταμού από τα φερτά υλικά. Σε αυτήν τοποθετήθηκε απλό σταθμήμετρο (Εικόνα 6.17) για την εύκολη ανάγνωση της στάθμης, Πραγματοποιήθηκαν 13 υδρομετρήσεις στον ποταμό την τριετία 2012-2014 (Πίνακας 6.5). Από τις μετρήσεις κατασκευάστηκε η καμπύλη στάθμης –παροχής του ποταμού (Εικόνα 6.20) και εξήχθη η παρακάτω Εξίσωση 6.9

$$Q=15,477h^{3,5366}$$

Εξίσωση 6.9



Εικόνα 6.21: Καμπύλη στάθμης-παροχής ρ. Γιαννούλας.

Στον Πίνακα 6.5 παρουσιάζονται οι υδρομετρήσεις του ρ. Γιαννούλας ταξινομημένες κατ' αύξουσα ταχύτητα ροής του νερού ενώ στην Εικόνα 6.21 φαίνεται η ροή του ποταμού κατά την έξοδό του από το ορεινό τμήμα της λεκάνης.

Πίνακας 6.5 Υδρομετρήσεις στο ρ. Γιαννούλας

A/A	Ημερ/νία	A (m ²)	v (m/s)	h (m)	Q (m ³ /s)	logh	logQ
1	12/03/2014	0.68	0.041	0.18	0.028	-0.745	-1.548
2	09/03/2014	0.95	0.121	0.25	0.115	-0.602	-0.939
3	10/03/2014	0.99	0.142	0.26	0.140	-0.585	-0.854
4	28/01/2014	1.03	0.166	0.27	0.170	-0.569	-0.769
5	26/01/2014	1.10	0.196	0.29	0.216	-0.538	-0.666
6		1.14	0.200	0.30	0.228	-0.523	-0.642
7	04/03/2012	1.33	0.318	0.35	0.423	-0.456	-0.373
8	16/01/2014	1.41	0.330	0.37	0.464	-0.432	-0.334
9	05/03/2014	1.48	0.379	0.39	0.561	-0.409	-0.251
10	03/03/2014	1.75	0.538	0.46	0.940	-0.337	-0.027
11	26/01/2014	1.90	0.617	0.50	1.173	-0.301	0.069
12	03/03/2014	2.43	1.302	0.64	3.167	-0.194	0.501
13	27/12/2013	2.66	1.600	0.70	4.256	-0.155	0.629

Από τον παρακάτω Πίνακα 6.6 υπολογίστηκε ο συντελεστής απορροής από μετρήσεις του 1999-2002 και 2012-2014 για το βόρειο τμήμα της λεκάνης του ρ. Σαρανταπόταμου έκτασης 142 km² στο 3,63% της αντίστοιχης βροχής. Το 90% της παραπάνω έκτασης

καταλαμβάνεται από ασβεστολίθους. Επομένως μπορεί να θεωρηθεί χωρίς μεγάλο σφάλμα ότι η απορροή στους ασβεστολίθους είναι το 4% της βροχόπτωσης.

Πίνακας 6.6: Συντελεστής απορροής του βόρειου τμήματος της λεκάνης του ρ. Σαρανταπόταμου

Ημερ/νία	Ύψος βροχής (mm)	Βροχή (m ³)	Απορροή (m ³)	Συντελ. Απορροής
27/11/2000	36.1	5,126,200	28,000	0.0055
30/12/2000	52.4	7,440,800	17,100	0.0023
14/01/2001	26	3,692,000	25,000	0.0068
03/12/2001	42.6	6,049,200	421,152	0.0696
21/12/2001	30.7	4,359,400	36,810	0.0084
25/12/2001	3.1	440,200	5,000	0.0114
20/10/2007	40	5,680,000	39,053	0.0069
13/12/2008	53.6	7,611,200	117,688	0.0051
18/04/2012	23.1	3,280,200	3,000	0.0009
11/11/2013	91.2	16,983,200	636,941	0.0375
20/11/2013	24	3,408,000	100,000	0.0293
24/11/2013	6	937,000	1,120	0.0012
27/12/2013	38.2	5,424,400	236,547	0.0436
16/01/2014	16	2,272,000	11,044	0.0049
25/01/2014	24.3	3,450,600	172,418	0.0500
03/03/2014	75	10,650,000	408,301	0.0383
Μ.Τ. διετίας	1999-2002	4,517,967	88,844	0.0197
Μ.Τ. διετίας	2012-2014	6,160,743	223,870	0.0363

Από τον παρακάτω Πίνακα 6.7 υπολογίσθηκε συντελεστής απορροής από μετρήσεις του 1999-2002 και 2012-2014 για το βόρειο τμήμα της λεκάνης του ρ. Γιαννούλας έκτασης 55 km² 4,33% της αντίστοιχης βροχής. Το 80% της παραπάνω έκτασης καταλαμβάνεται από ασβεστολίθους. Επομένως μπορεί να θεωρηθεί χωρίς μεγάλο σφάλμα ότι η απορροή στους ασβεστολίθους είναι το 4% της βροχόπτωσης. Αξίζει να σημειωθεί ότι η απορροή μετά το 2007 έχει αυξηθεί σχεδόν στο διπλάσιο.

Πίνακας 6.7: Συντελεστής απορροής του βόρειου τμήματος της λεκάνης του ρ. Γιαννούλας

Ημερ/νία	Βροχή (m ³)	Απορροή (m ³)	Συντελ. Απορροής
27/11/00	1,545,500	0	
30/12/00	2,629,000	0	
14/01/01	2,282,500	0	
03/12/01	2,343,000	146,510	0.0625
21/12/01	1,688,500	57,980	0.0343
25/12/01	170,500	2,000	0.0117
20/10/07			
13/12/08	2,948,000	4,026	0.0014
18/04/12			
11/11/13	2,332,000	0	0.0000
20/11/13			
24/11/13	1,644,500	0	0.0000
27/12/13	1,243,000	192,723	0.1550
16/01/14	836,000	71,828	0.0806
25/01/14	1,463,000	30,800	0.0211
03/03/14	2,310,000	364,521	0.1578
M.T.1999-2002	1,776,500	34,415	0.0194
M.T. 2012-2014	1,647,250	71,375	0.0433

6.5. Εξατμισοδιαπνοή

Η εξατμισοδιαπνοή έχει μεγάλη σημασία στον υδρολογικό κύκλο, επειδή μία μεγάλη ποσότητα της βροχής επανέρχεται στην ατμόσφαιρα, αν μελετηθεί σε ετήσια ή μηνιαία βάση. Η ποσότητα αυτή είναι μικρή κατά την διάρκεια ενός επεισοδίου βροχής και της απορροής και θεωρείται αμελητέα, οπότε μπορεί να μην υπολογισθεί στο υδρολογικό ισοζύγιο (WMO 2006). Ο προσδιορισμός της εξάτμισης και της διαπνοής, ως ανεξάρτητοι παράγοντες, σε μία υδρολογική λεκάνη είναι μη αξιόπιστος. Αποδεκτά αποτελέσματα δίνουν διάφορες έμμεσες μέθοδοι (υδατικού ισοζυγίου, Penman, Thornthwaite κλπ) ή άμεσες (pan, λυσίμετρα κ.ά.) τόσο της δυνητικής όσο και της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής. Οι παράγοντες που λαμβάνουν χώρα στις παραπάνω μεθόδους είναι η ηλιακή ακτινοβολία και η μεγάλου μήκους ακτινοβολία, η θερμοκρασία του αέρα και του νερού, η ατμοσφαιρική υγρασία, η πίεση των ατμών του νερού και ο άνεμος. Ένας μεγάλος αριθμός εμπειρικών μεθόδων έχουν αναπτυχθεί από πολλούς για την εκτίμηση της εξατμισοδιαπνοής με την χρήση διαφόρων

κλιματικών μεταβλητών. Η εφαρμογή τους σε διάφορες περιοχές υπόκεινται σε αυστηρές τροποποιήσεις και αποδείχθηκε να έχουν περιορισμένη ισχύ. Η American Society of Civil Engineer (ASCE) μελέτησε την απόδοση 20 μεθόδων εκτίμησης της εξατμισοδιαπνοής όπως επίσης και η Ευρωπαϊκή Κοινότητα και η μελέτη έδειξε ότι οι μέθοδοι διαφέρουν κατά πολύ σε διαφορετικές κλιματικές συνθήκες. Οι συγκριτικές μελέτες συνοψίζονται στα παρακάτω:

Οι μέθοδοι Penman μπορεί να απαιτούν τροποποίηση της μεταβλητής του ανέμου για την επίτευξη ικανοποιητικών αποτελεσμάτων. Οι μέθοδοι ακτινοβολίας δείχνουν καλά αποτελέσματα σε υγρά κλίματα όπου η αεροδυναμική είναι σχετικά μικρή, αλλά η απόδοση σε ξηρές συνθήκες, είναι ασταθής και τείνει να υποεκτιμά την εξατμισοδιαπνοή. Οι μέθοδοι θερμοκρασίας παραμένουν εμπειρικές και απαιτούν τροποποίηση προκειμένου να επιτευχθεί ικανοποιητικό αποτέλεσμα. Μια πιθανή εξαίρεση είναι η μέθοδος Hargreaves, η οποία έχει δείξει λογικά αποτελέσματα ETo με παγκόσμια ισχύ. Οι pan μέθοδοι εξατμισοδιαπνοής είναι ανεπαρκείς στην πρόβλεψη της εξατμισοδιαπνοής των καλλιεργειών από την εξάτμιση του νερού από ελεύθερη επιφάνεια. Οι μέθοδοι είναι ευαίσθητες στις μικροκλιματικές συνθήκες στις οποίες οι λεκάνες λειτουργούν και στην αυστηρή συντήρηση του σταθμού. Η σχετικά ακριβής και συνεπής απόδοση της προσέγγισης Penman-Monteith τόσο σε άνυδρα και όσο και σε υγρά κλίματα έχει αναφερθεί τόσο στην μελέτη της ASCE όσο και της Ευρωπαϊκής Κοινότητας. Η FAO Penman-Monteith μέθοδος συνιστάται ως η μόνη που μπορεί να αποτελέσει πρότυπο. Προβλέπει σωστά με μεγάλη πιθανότητα την ETo σε πολλές περιοχές και σε διαφορετικά κλίματα και μπορεί να εφαρμοσθεί σε περιπτώσεις με λίγα στοιχεία.

Αξίζει να τονισθεί ότι τα διάφορα μοντέλα τα οποία έχουν την βροχή και την δυνητική εξατμισοδιαπνοή ως εισόδους και ως εξόδους την απορροή και την πραγματική εξατμισοδιαπνοή δεν λαμβάνουν υπ' όψιν την κατεΐσδυση στα βαθύτερα στρώματα την οποία θεωρούν πολύ μικρή. Τα μοντέλα αυτά έχουν ως στόχο την εκτίμηση της απορροής και το έλλειμμα αυτής (πχ μέθοδος Turc, Coutagne, Thornthwaite κ.α.). Στην πραγματικότητα η κατεΐσδυση είναι έμμεσα υπολογίσιμη και ενσωματωμένη στον παράγοντα πραγματική εξατμισοδιαπνοή.

6.5.1. Μέθοδος Hargreaves

Είναι εμπειρική μέθοδος εκτίμησης της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας αναφοράς (Hargreaves and Samani 1985) που απαιτεί μόνο θερμοκρασιακά δεδομένα εισόδου και βασίζεται στην απλή εξίσωση:

$$E_{rc} = 0.0023(S_o / \lambda)(T_a + 17.8)(T_{max} - T_{min})^{0.5}$$

Εξίσωση 6.10

όπου: E_{rc} : η εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας αναφοράς σε mm/d, S_o : η εξωγήινη ακτινοβολία σε $Kj/(m^2d)$, λ : η λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης σε Kj/Kg , T_a : η μέση ημερήσια θερμοκρασία του αέρα σε $^{\circ}C$, $T_{max} - T_{min}$: η διαφορά της μέγιστης και της ελάχιστης ημερήσιας θερμοκρασίας σε $^{\circ}C$.

Η εφαρμογή της μεθόδου Hargreaves για την χρονική περίοδο 1/1/2012 31/12/2012 και για τον σταθμό της Μάνδρας έδωσε **ETo=1137,18 mm**. Επομένως η πραγματική ET για τον σταθμό της Μάνδρας υπολογίστηκε σε **51% ή 345 mm** με ετήσια βροχόπτωση για το ίδιο έτος 677 mm. Αντίθετα για τον σταθμό της Ελευσίνας για την ίδια περίοδο η μέθοδος έδωσε

ET₀=1247,63 mm και πραγματική εξατμισοδιαπνοή **61% ή 267 mm** με ετήσια βροχόπτωση 441,4 mm.

6.5.2. Μέθοδος Thornthwaite

Από την εφαρμογή της παραπάνω μεθόδου για τον σταθμό της Ελευσίνας η πραγματική εξατμισοδιαπνοή υπολογίσθηκε ως ακολούθως:

ET=62% ή 238 mm

Εξίσωση 6.11

με μέση υπερετήσια βροχόπτωση 380 mm θεωρώντας ότι δεν υπάρχει αποθήκευση εδαφικής υγρασίας κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, ενώ για τον σταθμό της Μάνδρας υπολογίσθηκε ως ακολούθως:

ET=51% ή 287 mm

Εξίσωση 6.12

με μέση βροχόπτωση 567 mm για την 10ετία 2005-2014.

6.5.3. Μέθοδος υδατικού ισοζυγίου Thornthwaite

Η μέθοδος αυτή (Thornthwaite 1948) εφαρμόστηκε για το πεδινό τμήμα των υδρολογικών λεκανών του Θριασίου Πεδίου χρησιμοποιώντας την εξίσωση 6.13 για τον υπολογισμό της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής.

$E_n = (S_{n-1} - S_n) + P_n - Q_n$

Εξίσωση 6.13

Όπου P_n = η βροχή στην n χρονική περίοδο, S_n = η αποθήκευση, S_{n-1} = η αποθήκευση στο τέλος της προηγούμενης περιόδου, E_{pn} = η δυνητική εξατμισοδιαπνοή, E_n = η πραγματική εξατμισοδιαπνοή και Q_n = η επιφανειακή απορροή

Κατ' αυτόν τον τρόπο υπολογίσθηκε επιφανειακή απορροή 13% ή 59 mm με μέση βροχόπτωση τα τελευταία 5 έτη (2009-2013) από τον σταθμό της Ελευσίνας 433 mm λαμβάνοντας ως μέση εδαφική χωρητικότητα $K=100$ mm και $ET=83%$ ή 362 mm. Η τιμή του K βαθμονομήθηκε με δεδομένα μετρήσεων παροχής των ποταμών της περιοχής κατά τις περιόδους 1999-2002 και 2012-2014 (Κουτσογιάννης και Ξανθόπουλος 2016). Διαχωρίζοντας την τιμή του 83% σε κατείδυση 12% (Karavitis and Kerkides 2002) και επομένως πραγματική εξατμισοδιαπνοή 71% το αποτέλεσμα από την εφαρμογή της μεθόδου διαμορφώνεται ως ακολούθως:

ET=71 % και I= 12%

Εξίσωση 6.14

Η ίδια μέθοδος εφαρμόστηκε και για τα ορεινά τμήματα των λεκανών με βάση τα στοιχεία του σταθμού της Μάνδρας (υψόμετρο 259 m και ύψος βροχής 567 mm) θεωρώντας την αποθήκευση K ως διευρυμένη έννοια περιλαμβάνοντας και την κατείδυση στους ασβεστολίθους. Έτσι ως βάση την επιφανειακή απορροή της τάξης του 4% η οποία μετρήθηκε στις εξόδους των ορεινών τμημάτων προς την πεδιάδα (βλέπε αντίστοιχη παράγραφο απορροή-υδρομετρήσεις) βαθμονομήθηκε η τιμή του $K=290$ mm και θεωρώντας μέση εδαφική χωρητικότητα 40-45 mm υπολογίσθηκε η κατείδυση στα ορεινά τμήματα στο 45%. Η τιμή είναι λογική λόγω της παρουσίας των ασβεστολίθων σε ποσοστό 80-85% στις περιοχές αυτές των λεκανών του Θριασίου Πεδίου. Έτσι για τα ορεινά τμήματα είναι:

ET=51% και I=45%

Εξίσωση 6.15

6.6. Διήθηση- Κατείσδυση

Η διήθηση-κατείσδυση είναι η σημαντικότερη συνιστώσα του υδρολογικού ισοζυγίου για τον προσδιορισμό των αποθεμάτων των υπόγειων νερών. Τμήμα της ποσότητας του νερού που πέφτει στο έδαφος συγκρατείται από αυτό ενώ το υπόλοιπο κατεισδύει και ενσωματώνεται στους υπόγειους υδροφορείς.

Από μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στην έξοδο του ρ. Γιαννούλας προς την πεδιάδα κατά την έναρξη των βροχών στις 6/11/2013 και 11/11/13 δεν παρατηρήθηκε καμία απορροή. Επομένως σχεδόν όλο το νερό της βροχής με ύψος 30 mm στον σταθμό Πάρνηθας και 41 mm στον σταθμό Μάνδρας είτε συγκρατήθηκε από το έδαφος είτε οδηγήθηκε στην εξατμισοδιαπνοή. Επειδή ο καιρός ήταν βροχερός και η μέση θερμοκρασία ήταν 16 °C στον σταθμό της Μάνδρας, η εξατμισοδιαπνοή εκείνη την ημέρα θεωρείται μικρή. Επομένως συμπεραίνεται ότι μία τιμή γύρω στα 40-45 mm να είναι η υγρασία που μπορεί να συγκρατείται από το έδαφος δηλαδή η αποθηκευτική ικανότητα του εδάφους.



Εικόνα 6.22: Διήθηση στην λεκάνη του ρ. Σαρανταπόταμου α) σε βάθος 0,1 m στις 6-11-2013 και β) 0,25 m στις 2-12-2013.

Στο ρ. Σαρανταπόταμου ομοίως δεν παρατηρήθηκε απορροή κατά την βροχή της 6/11/2013 με ύψος 22 mm στον σταθμό Βιλίων παρά μόνο από τα νερά του αστικού ιστού στα χαμηλά του ποταμού. Αντιθέτως, στις 11-12/11/2013 το ύψος βροχής ήταν 98,6 mm και παρατηρήθηκε μεγάλη απορροή που υπολογίστηκε σε 4,5% ή 4,4 mm. Στην Εικόνα 6.22 φαίνεται η υγρασία η οποία φωτογραφήθηκε τις παραπάνω ημερομηνίες. Επομένως δεν θα ήταν σφάλμα μεγάλο να υιοθετήσουμε μία τιμή για την αποθηκευτική ικανότητα του εδάφους γύρω στα 40-45 mm. Η τιμή αυτή χρησιμοποιήθηκε στο μοντέλο Thornthwaite στην προηγούμενη παράγραφο ως τμήμα της διευρυμένης εδαφικής χωρητικότητας K.

Από την τιμή των 98,6 mm ύψους βροχής της 11-12/11/2013 το 3% ή 3 mm από αυτήν την βροχή οδηγείται στην Εξατμισοδιαπνοή ET και το 4,5 % ή 4,5 mm στην Απορροή R. Η Διήθηση-Κατείσδυση υπολογίζεται σε 92,5% ή 91,5 mm. Αν αφαιρέσουμε τα 45 mm στην Διήθηση τότε η Κατείσδυση ανέρχεται στο 43% ή 42,4 mm. Οι τιμές αυτές συμφωνούν πολύ καλά με τις τιμές από την εφαρμογή του μοντέλου Thornthwaite.

6.7. Υδρολογικό ισοζύγιο

Το υδρολογικό ισοζύγιο των λεκανών του Θριασίου Πεδίου καταρτίστηκε βάσει μετρήσεων απορροής, του υπολογισμού της εξατμισοδιαπνοής και με έμμεσο τρόπο της κατείδυσης καθώς επίσης και βάσει βιβλιογραφικών στοιχείων.

6.7.1. Βάσει βιβλιογραφικών στοιχείων

Μετρήθηκε η έκταση των λεκανών και των επιφανειακών εμφανίσεων των σχηματισμών με την βοήθεια GIS. Η λεκάνη του ρ. Σαρανταπόταμου καταλαμβάνει έκταση 285 km² από την οποία το 78% ή 225 km² είναι ανθρακικά πετρώματα, το 10 % ή 29 km² είναι στεγανά φυλλίτες και σχιστόλιθοι και φλύσχης κ.ά. και το υπόλοιπο 12 % ή 35km² είναι ημιπερατοί σχηματισμοί. Η λεκάνη του ρ. Γιαννούλας καταλαμβάνει έκταση 119 km² από την οποία το 58% ή 70 km² είναι ανθρακικά πετρώματα, το 17 % ή 20 km² είναι φλύσχης και φυλλίτες και το υπόλοιπο 25 % ή 30 km² είναι ημιπερατοί σχηματισμοί. Η λεκάνη της Μάνδρας καταλαμβάνει έκταση 65 km² από την οποία το 80 % ή 52 km² είναι ανθρακικά και το 7 % ή 5 km² φυλλίτες και σχιστόλιθοι και το υπόλοιπο 13 % ή 9 km² ημιπερατοί σχηματισμοί.

Πίνακας 6.8 Υδρολογικό ισοζύγιο βάσει βιβλιογραφικών δεδομένων

	Έκταση (Km ²)	Συντελεστής βάρους	Συντελεστής κατείδυσης	Κατείδυση I	Εξατ/διαπνοή ET	Απορροή R
Ανθρακικά	347	0,730	0,5	247 mm ή 36%	223 mm ή 33%	25 mm ή 4%
Ημιπερατοί	54	0,115	0,15	4 mm ή 0,6%	46 mm ή 7%	27 mm ή 4%
Αδιαπέρατοι	74	0,155	0,05	16 mm ή 2%	63 mm ή 9%	26 mm ή 4%
Σύνολο	475	1,000		267 mm ή 39%	332 mm ή 49%	78 mm ή 12%

Έτσι συνολικά (Πίνακας 6.8) τα ανθρακικά καταλαμβάνουν έκταση περίπου 347 km² οι αδιαπέρατοι περίπου 54 km² και οι ημιπερατοί 74 km². Βιβλιογραφικά οι αδιαπέρατοι σχηματισμοί στο σύνολό τους παρουσιάζουν κατείδυση της τάξης του 5 %, οι ημιπερατοί 15 % και τα ανθρακικά 45-50 %. Το ύψος της βροχής βρέθηκε με αναγωγή στο μέσο υψόμετρο όλων των λεκανών (Εξίσωση 6.6).

6.7.2. Βάσει των μετρήσεων

Από τις μετρήσεις της επιφανειακής απορροής και τον προσδιορισμό της εξατμισοδιαπνοής και έμμεσα της κατείδυσης καταρτίστηκε το υδρολογικό ισοζύγιο ως εξής:

Η συνολική έκταση των ασβεστολίθων της περιοχής είναι 347 Km², βρίσκονται σε υψόμετρο μεγαλύτερο από 100 m και χρησιμοποιήθηκε ο σταθμός της Μάνδρας, ενώ το σύνολο των αδιαπέρατων και ημιπερατών σχηματισμών καταλαμβάνει έκταση 128 Km² το οποίο στην πλειονότητά του βρίσκεται σε υψόμετρο μικρότερο από 100 m και χρησιμοποιήθηκε ο

σταθμός της Ελευσίνας. Στους ασβεστολίθους απορρέει το 4% της βροχής που πέφτει σε αυτούς ενώ στους υπολοίπους σχηματισμούς το 13% και κατεισδύει 45% στους ασβεστολίθους και 12% στους υπολοίπους σχηματισμούς (Πίνακας 6.9).

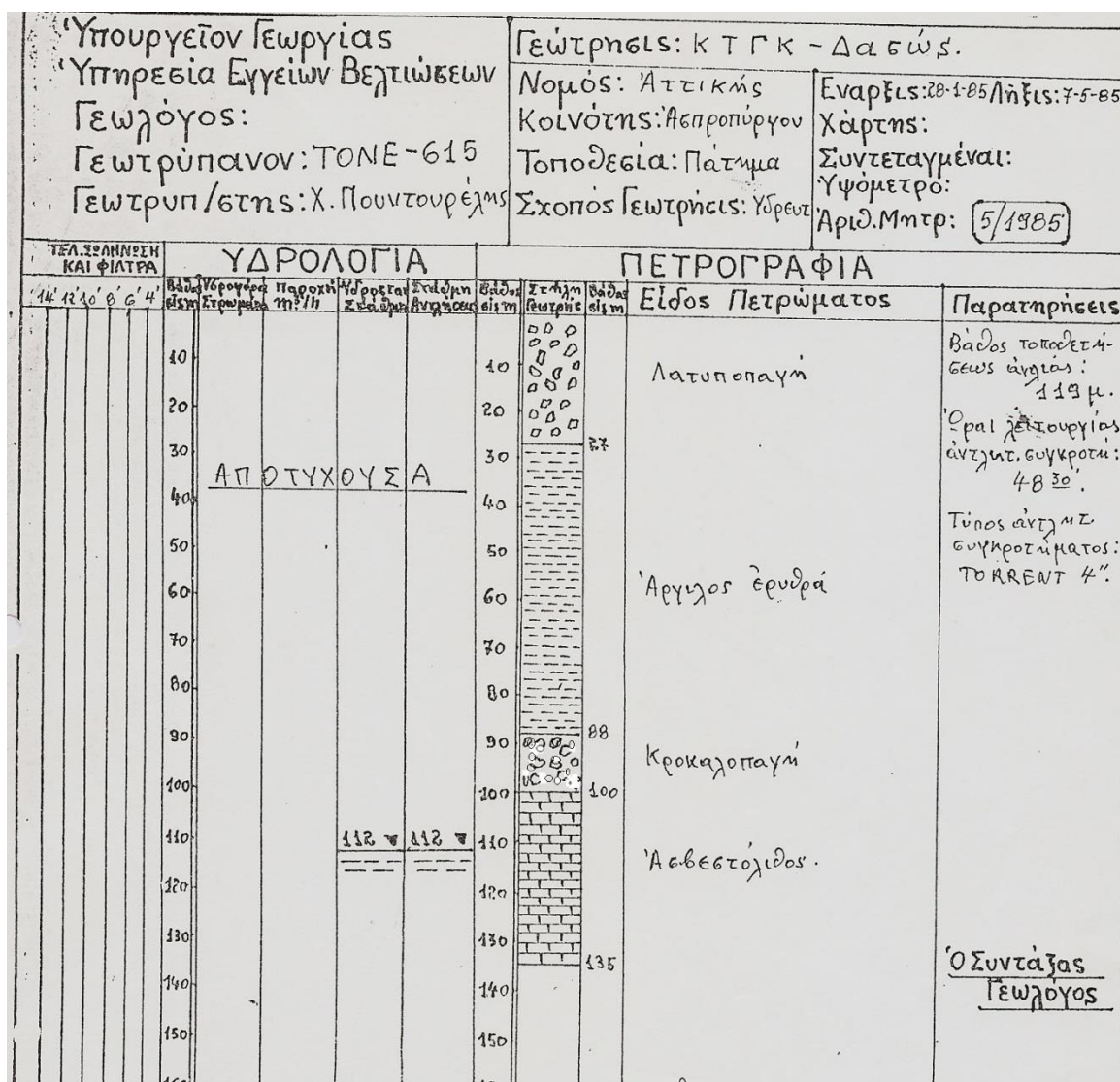
Πίνακας 6.9: Υδρολογικό ισοζύγιο βάσει μετρήσεων απορροής.

	Έκταση (Km²)	Συντελεστής βάρους	Κατείσδυση I	Απορροή R	ΕΤ
Ασβεστόλιθοι	347	0,73	45%	4%	51%
Ημιπερατοί/αδιαπέρατοι σχηματισμοί	128	0,27	12%	13%	71%
Σύνολο	475	100	36%	7%	57%

7. ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ

7.1. Γενικά

Τα γεωλογικά, τεκτονικά και γεωφυσικά δεδομένα της περιοχής μελέτης, δείχνουν μία πολύπλοκη μορφοτεκτονική εξέλιξη. Η νεοτεκτονική δομή του Θριασίου Πεδίου έχει κατά κύριο λόγο καθορίσει τις υδρογεωλογικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή. Η απόθεση αργίλων, μη διερρηγμένων και συνεκτικών κροκαλοπαγών, οι παχυστρωματώδεις και συμπαγείς ασβεστόλιθοι και οι δολομίτες ελέγχουν την κυκλοφορία του υπόγειου νερού, καθορίζουν την πορεία του και ταυτόχρονα όμως, σε κάποιες περιπτώσεις, διαφυλάσσουν την ποιότητά του σε επίπεδα εντός ορίων άρδευσης ακόμα και σε επίπεδα ποσιμότητας από χημικής απόψεως.



Εικόνα 7.1: Λιθολογική τομή γεωτρήσεως όπου συναντήθηκαν αργιλικές αποθέσεις μεγάλου πάχους στον Ασπρόπυργο (Υπ. Γεωργίας, 1985).

Μία σημαντική παράμετρος η οποία παίζει ουσιαστικό ρόλο στις υδρογεωλογικές συνθήκες της περιοχής είναι η ύπαρξη μαργαϊκών στρωμάτων, μεγάλου σχετικά πάχους, όπου

εμφανίζεται σε γεωτρήσεις στην περιοχή ΝΑ του Ασπροπύργου (Εικόνα 3,6), αλλά και αργίλικών αποθέσεων μεγάλου πάχους και πολύ χαμηλής περατότητας, οι οποίοι αποκόπτονται, κατά ένα τμήμα της παραλιακής ζώνης την διεύθυνση της θάλασσας προς το κεντρικό τμήμα του Θριασίου Πεδίου (Εικόνα 7.1 και 3.7). Η διεύθυνση της θάλασσας πραγματοποιείται στα ανατολικά και δυτικά κράσπεδα της λεκάνης, όπου υπάρχουν οι ασβεστόλιθοι και/ή αδρομερείς αποθέσεις θαμμένων ποτάμιων κοιτών.

7.2. Τύποι υδροφόρων και πιεζομετρία Θριασίου Πεδίου

7.2.1. Γενικά

Ο τύπος των υδροφόρων σχετίζεται με την πίεση που επικρατεί σε αυτούς. Υπάρχουν τρεις βασικοί τύποι υδροφόρων: (1) ελεύθεροι οι οποίοι περιορίζονται στο υπόβαθρο (από κάτω) από στεγανό (αδιαπέρατο) στρώμα και στους οποίους η πίεση ισούται με την ατμοσφαιρική, (2) υπό πίεση (περιορισμένοι) οι οποίοι περιορίζονται στο υπόβαθρο και στην οροφή (πάνω και κάτω) από στεγανά στρώματα στους οποίους η πίεση είναι μεγαλύτερη από την ατμοσφαιρική και (3) υδροφόροι με διαρροή (μερικώς υπό πίεση) οι οποίοι περιορίζονται στο υπόβαθρο και στην οροφή (πάνω και κάτω) από ημιστεγανά (ημιπερατά) ή συνδυασμό στεγανού και ημιστεγανού στρώματος, στους οποίους η πίεση είναι μεγαλύτερη της ατμοσφαιρικής και παρατηρείται ροή νερού (διαρροή) διαμέσου του ημιστεγανού. Στον τελευταίο τύπο υπάγεται και η περίπτωση στην οποία υπάρχουν πολλά υδροφόρα υπό πίεση ή με διαρροή, τα οποία διαχωρίζονται μεταξύ τους από στεγανά/ημιστεγανά στρώματα δημιουργώντας έτσι μία αλληλουχία υδροφόρων τα οποία στην αγγλική ορολογία ονομάζονται «multi-layered aquifer system» και στα ελληνικά θα μπορούσε να ονομάζονται «πολυστρωματογενές υδροφόρο σύστημα» ή «πολυστρωματογενής υδροφορέας». ή πιο απλά «ακολουθία υδροφόρων». Στο εξής όπου χρειασθεί θα αναφέρεται ο τελευταίος όρος «ακολουθία υδροφόρων».

Ο τύπος των υδροφόρων ο οποίος αναπτύσσεται σε μια περιοχή επηρεάζει σημαντικά το υδρογεωλογικό καθεστώς αυτής. Η παρουσία, σε μεγάλο ποσοστό περιορισμένων υδροφόρων οριζόντων (υπό πίεση, μερικώς υπό πίεση) στην περιοχή του Θριασίου, διαδραματίζει σημαντικό ρόλο τόσο στην κίνηση του υπόγειου νερού, στην εύρεση των πηγών τροφοδοσίας και στις πλευρικές τροφοδοσίες μεταξύ των διαφόρων σχηματισμών, όσο και στην ποιότητά του.

7.2.2. Υπάρχοντα στοιχεία

Στο Θριάσιο Πεδίο εμφανίζονται ελεύθεροι υδροφόροι ορίζοντες στα επιφανειακά στρώματα των πλειστοκαινικών αποθέσεων και κυρίως περιορισμένοι (υπό πίεση, αρτεσιανοί), μερικώς υπό πίεση υδροφόροι ορίζοντες και συνδυασμοί τους λόγω της φύσης και του τρόπου απόθεσης των Πλειο-Πλειστοκαινικών αποθέσεων των μαργών, ψαμμιτών, αργίλων, άμμων, χαλίκων, κροκαλοπαγών, μαργαϊκών ασβεστολίθων κλπ. Στοιχεία αρκετά, τα οποία καταδεικνύουν τον υπό πίεση χαρακτήρα αρκετών υδροφόρων οριζόντων που μετέχουν στην υδρογεωλογική δομή του Θριασίου Πεδίου, παρατίθενται ευθύς αμέσως:

- Ιστορικές αναφορές για την περιοχή του Ασπροπύργου (Καλλιέρης 2010) περιγράφουν αρκετά κατατοπιστικά γεωλογικά, υδρογεωλογικά και υδραυλικά στοιχεία, καθώς και στοιχεία για την ποιότητα του υπόγειου νερού της περιοχής του

Θριασίου Πεδίου. Στην ημερήσια εφημερίδα «ΕΜΠΡΟΣ» την 5η και την 6η Ιουνίου 1900 δημοσιεύτηκαν εκτεταμένες πληροφορίες (βλέπε Εισαγωγή σελ. 11).

- Οι γεωτρήσεις, οι οποίες ανορύχθηκαν από την ΥΕΒ του Υπ. Γεωργίας την περίοδο από το 1952 έως το 1986 στην Ελευσίνα και τον Ασπρόπυργο, οι περισσότερες τελούσαν υπό πίεση με την στάθμη να βρίσκεται 1-4 m πάνω από την οροφή του υδροφόρου.
- Οι γεωτρήσεις που ανορύχθηκαν στο πλαίσιο της μελέτης «ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗ ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ ΚΟΥΜΟΥΝΔΟΥΡΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΟΥ ΟΡΙΖΟΝΤΑ ΤΗΣ ΓΥΡΩ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΩΝ ΕΛΛΑ ΚΑΙ ΤΟΥ 871 ΑΒΕΚ ΣΕ ΑΚΤΙΝΑ 500m – ΠΟΣΟΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ» (Μιμίδης 2002), παρουσιάζουν χαρακτηριστικά στάθμης όπως φαίνονται παρακάτω στον Πίνακα 7.1:

Πίνακας 7.1: Στοιχεία στάθμης από ανορυχθείσες γεωτρήσεις στο πλαίσιο μελέτης για την λίμνη Κουμουندούρου

	Εύρεση υδροφορίας (βάθος στάθμης από την επιφάνεια σε m)	Στάθμη γεώτρησης μετά το πέρας των εργασιών
Γεώτρηση Γ7	20	9.52
Γεώτρηση Γ8	31	25.89
Γεώτρηση Γ9	25	20.94
Γεώτρηση Γ10	-	18.38

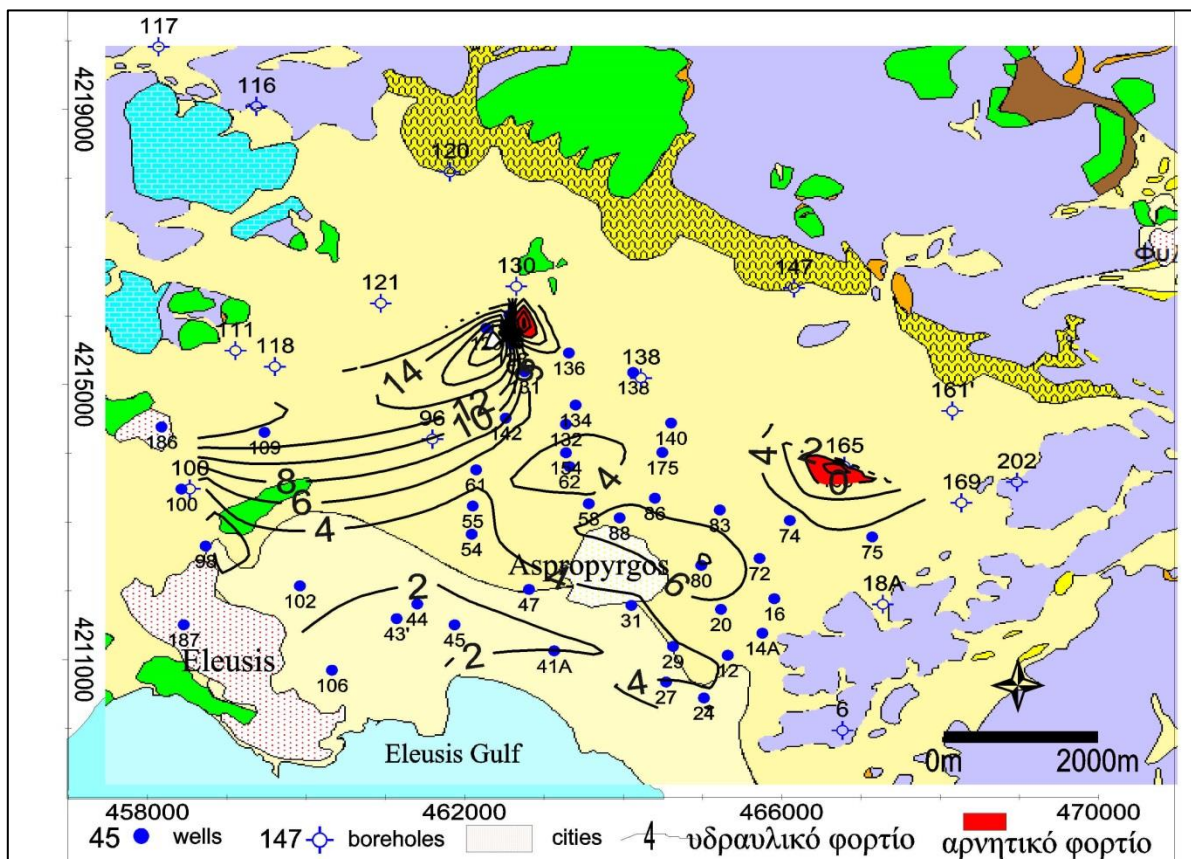
- Οι 2 γεωτρήσεις οι οποίες ανορύχθηκαν στο πλαίσιο της μελέτης «ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΛΕΚΑΝΩΝ ΔΙΗΘΗΣΗΣ ΜΕ ΑΝΑΣΧΕΤΙΚΑ ΦΡΑΓΜΑΤΑ ΣΤΑ ΡΕΜΑΤΑ ΣΑΡΑΝΤΑΠΟΤΑΜΟ ΣΤΟ ΘΡΙΑΣΙΟ ΚΑΙ ΚΟΥΛΟΥΡΙΩΤΙΚΟ ΣΤΗΝ ΠΕΔΙΑΔΑ ΜΕΓΑΡΩΝ» από την ΔΕΒ της Νομαρχίας Δυτικής Αττικής στην θέση Καμάρι, ενώ συνάντησαν ασβεστόλιθο και την υδροφορία στα 222 m και 228 m από την επιφάνεια του εδάφους, η στάθμη ανήλθε 130 m και παρουσιάζουν υδραυλικό φορτίο +92 m.
- Οι γεωτρήσεις 117 και 116 που βρίσκονται σε απόλυτο υψόμετρο +175 m και +115 m αντίστοιχα, βόρεια της Ελευσίνας 8-9 km από την ακτή, συνάντησαν ασβεστόλιθο και την υδροφορία στα +196 m και +138 m αντίστοιχα και η στατική στάθμη βρέθηκε 30 m υψηλότερα δηλαδή σε βάθος +165 και +105 m από την επιφάνεια με φορτίο +10m.
- Οι γεωτρήσεις 147, 161 και 161' που βρίσκονται 4 και 5 km ΒΑ του Ασπροπύργου συνάντησαν την υδροφορία σε ασβεστόλιθο οι δύο πρώτες και σε μάρμαρα η τρίτη σε βάθος +134, +137 και +134 m αντίστοιχα και μετά το πέρας της ανόρυξης η στάθμη ανήλθε σε μεγαλύτερο υψόμετρο 3-5 m. Επίσης στην γεώτρηση 149 με υψόμετρο 86 m η στάθμη βρέθηκε να είναι +75 m από την επιφάνεια, δηλαδή φορτίο στο +11 m.
- Οι γεωτρήσεις οι οποίες ανορύχθηκαν στο πλαίσιο της μελέτης «ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ, ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ ΚΟΥΜΟΥΝΔΟΥΡΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΠΑΡΑΚΕΙΜΕΝΟΥ ΘΑΛΑΣΣΙΟΥ ΧΩΡΟΥ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟΝ Χ.Υ.Τ.Α ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ» από το ΕΛΚΕΘΕ

(Ζαχαρίας et al 2003) παρουσιάζουν άνοδο της στάθμης μετά το πέρας των εργασιών ανόρυξης για τις γεωτρήσεις Γ9, Γ5 ενώ δεν υπάρχουν στοιχεία για το που συναντήθηκε η υδροφορία για τις υπόλοιπες γεωτρήσεις που ανορύχθηκαν.

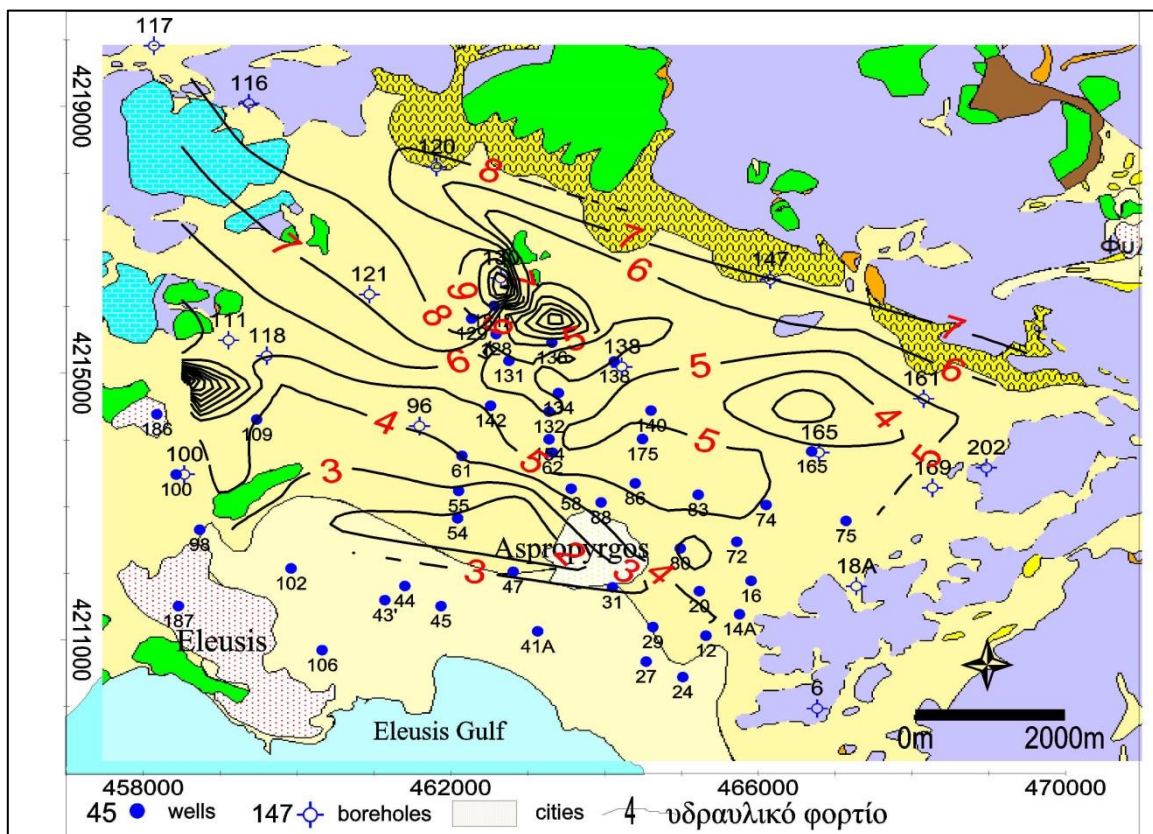
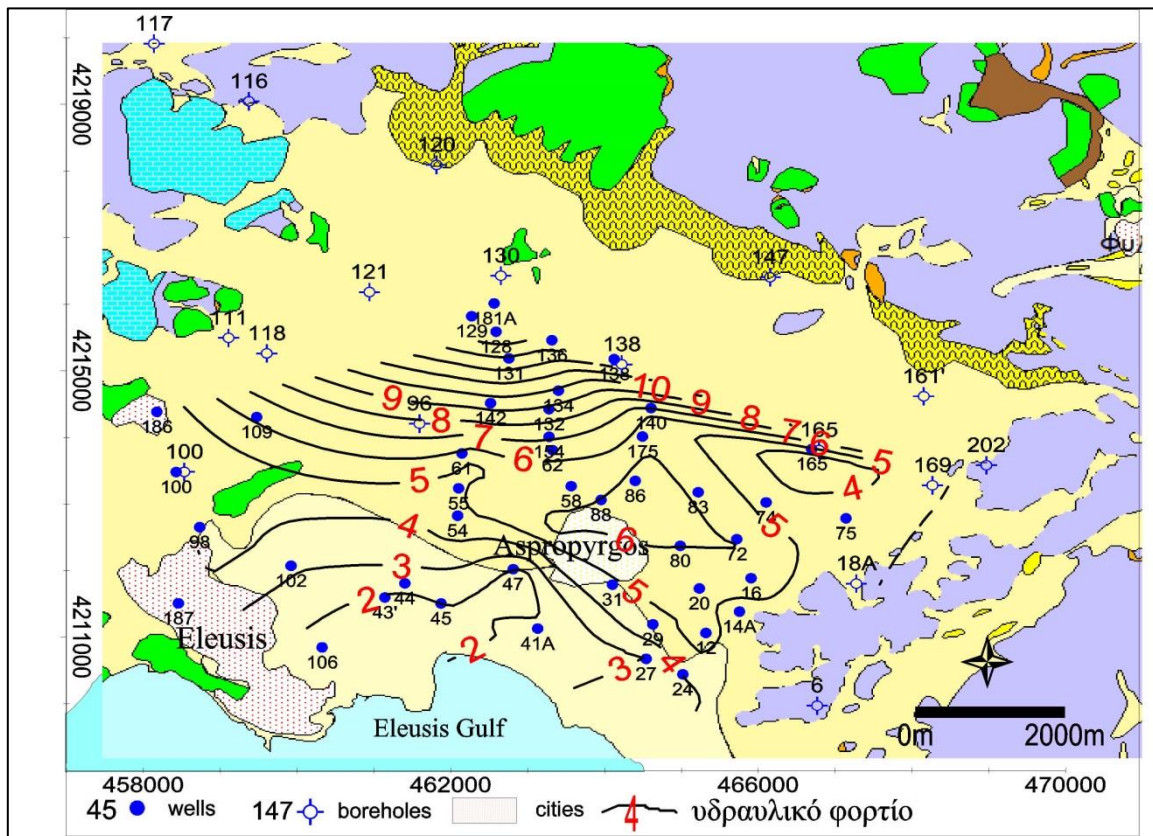
Από τα παραπάνω, το **αδιαμφισβήτητο** συμπέρασμα που εξάγεται είναι ότι πολλά υδροφόρα στρώματα στην περιοχή του Θριασίου Πεδίου τελούν υπό πίεση. Και τα υδροφόρα αυτά βρίσκονται τόσο στα ασβεστολιθικά πετρώματα όσο και στα Πλειο-Πλειστοκαινικά ιζήματα.

7.3. Πιεζομετρία

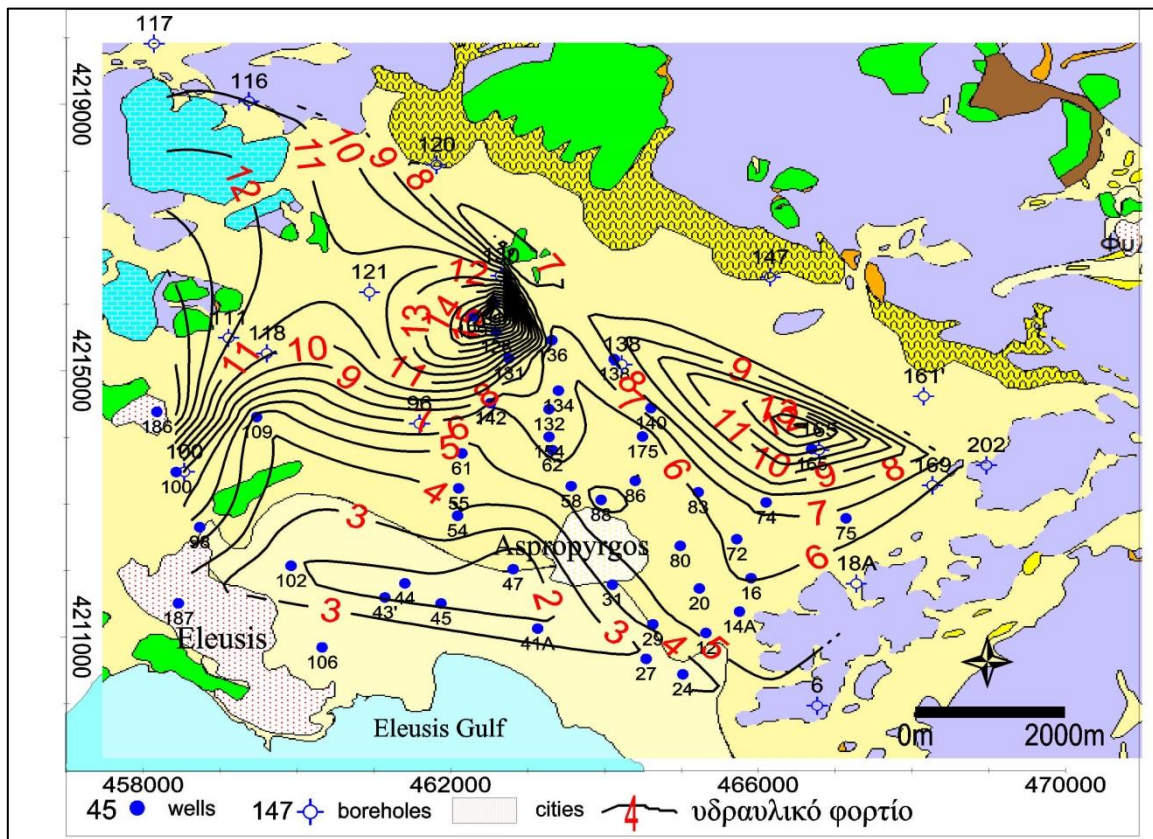
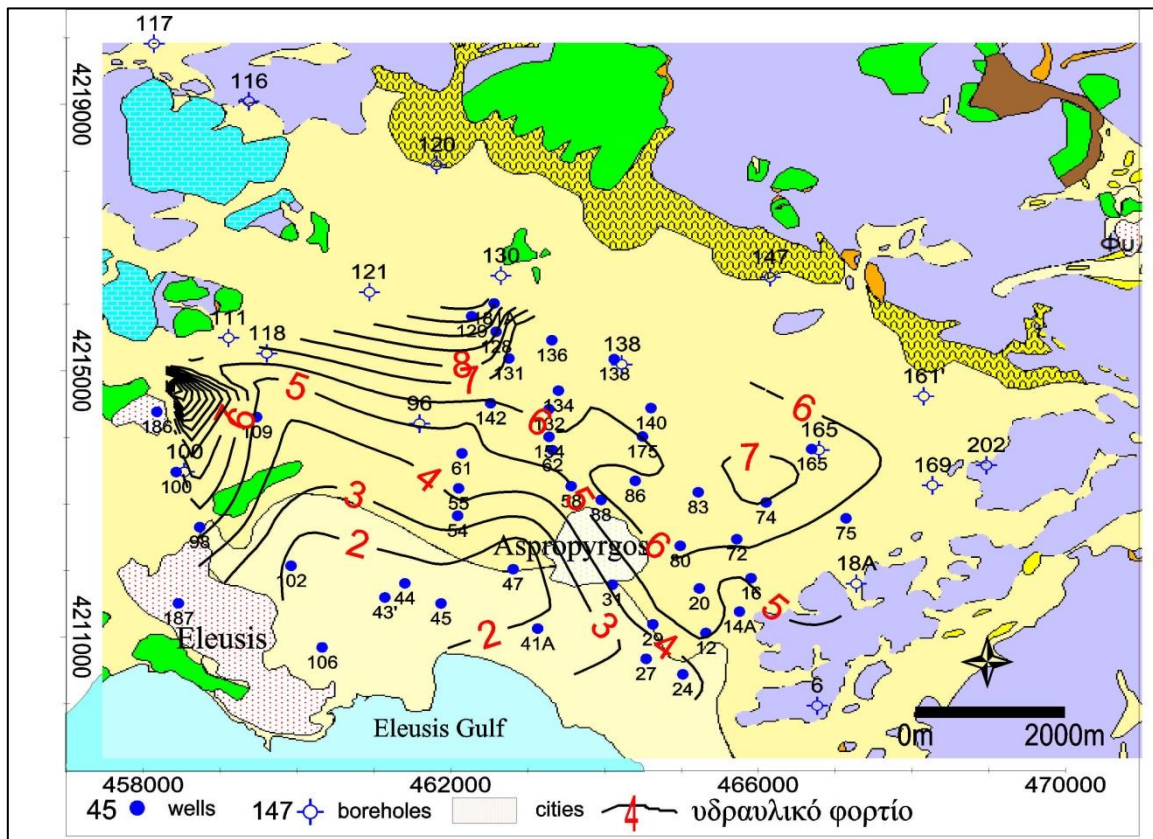
Η στάθμη του υπόγειου νερού μετρήθηκε από τον Νοέμβριο του 1999 έως τον Μάρτιο του 2014 σε δύο βασικές περιόδους, την περίοδο υψηλής στάθμης τον Απρίλιο και την περίοδο χαμηλής στάθμης τον Οκτώβριο. Εκτός από τις δύο προαναφερόμενες περιόδους η στάθμη σε πολλά πηγάδια μετρήθηκε και σε ενδιάμεσες φάσεις για την καλύτερη κατανόηση του τρόπου μεταβολής αυτής και της εξέλιξής της. Επίσης, χρησιμοποιήθηκαν μετρήσεις στάθμης από τις μελέτες των Παρασκούδη (2002) και Μακρή (2008). Όλες οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στα ίδια σημεία, στα ίδια πηγάδια με τον ίδιο τρόπο, με το ίδιο σταθμήμετρο. Η αποτύπωση του υψομέτρου των πηγαδιών παρατήρησης πραγματοποιήθηκε με DGPS μέθοδο μεγάλης ακρίβειας 1mm (Παρασκούδης 2002). Στην Εικόνα 7.2 παρουσιάζονται οι πιεζομετρικοί χάρτες όπου αποτυπώνεται η στάθμη σε διάφορες περιόδους.



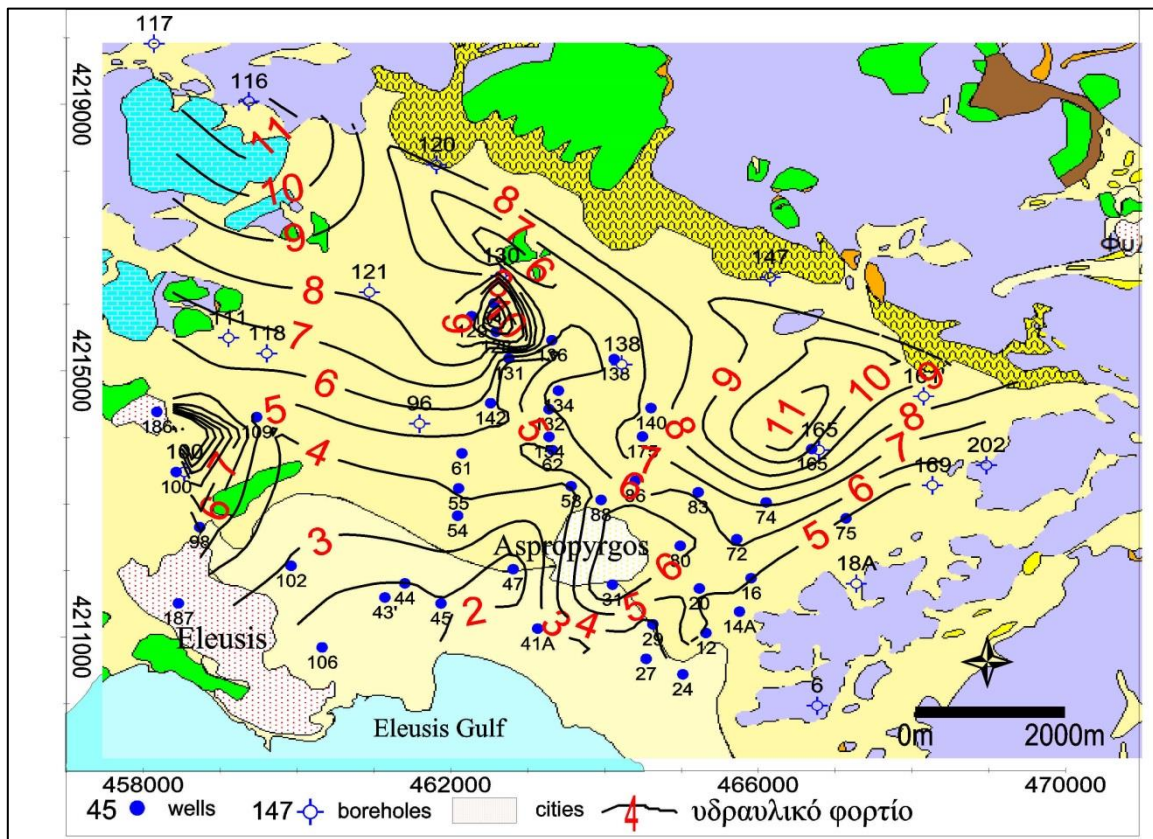
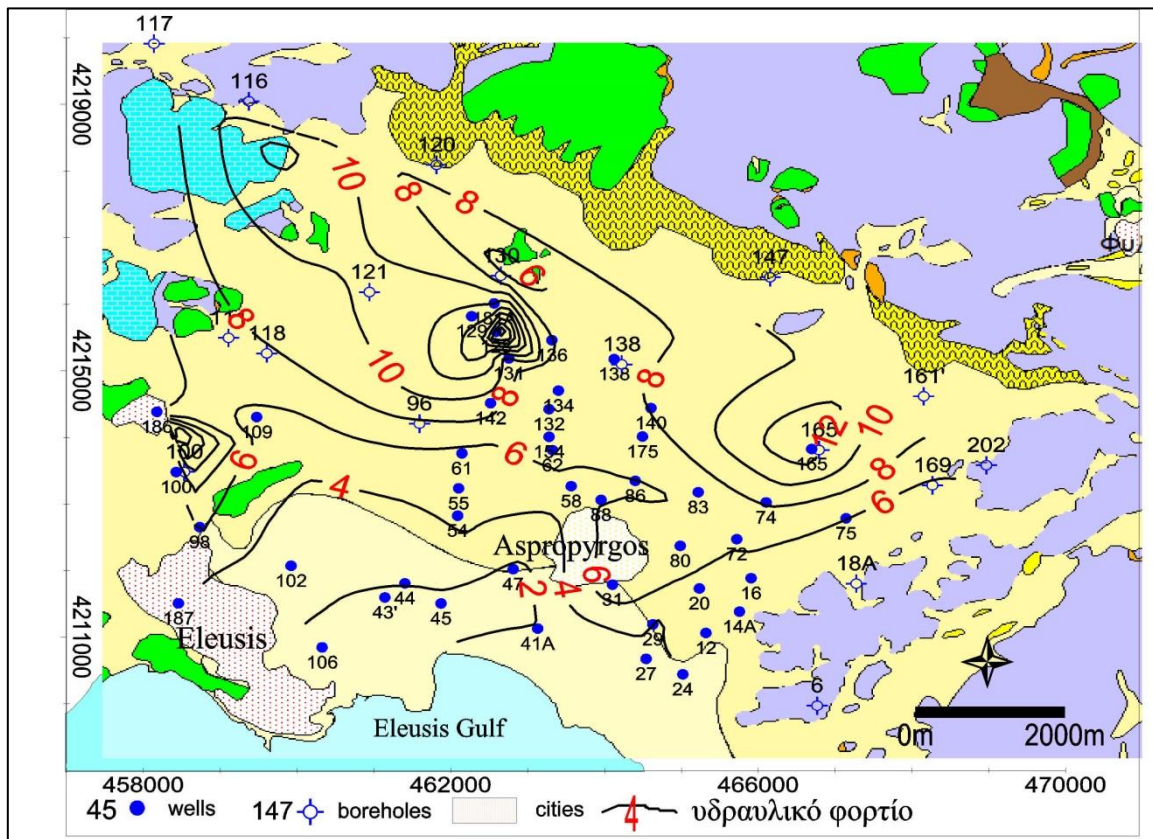
Εικόνα 7.2: Ανάπτυξη πιεζομετρικής επιφάνειας, Μάρτιος 2000. Το υπόβαθρο είναι ο γεωλογικός χάρτης της Εικόνας 3.1 στο κεφ. 3º «Γεωλογία της ευρύτερης περιοχής».



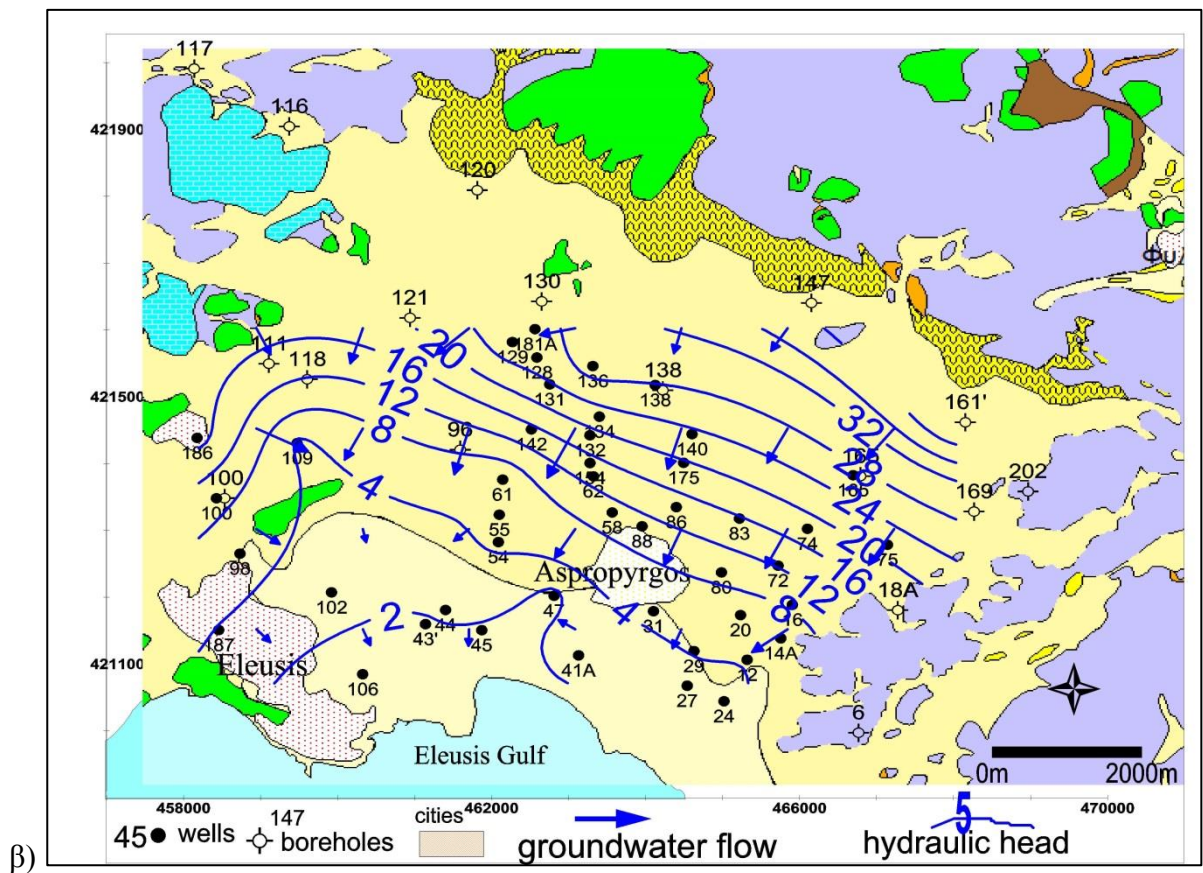
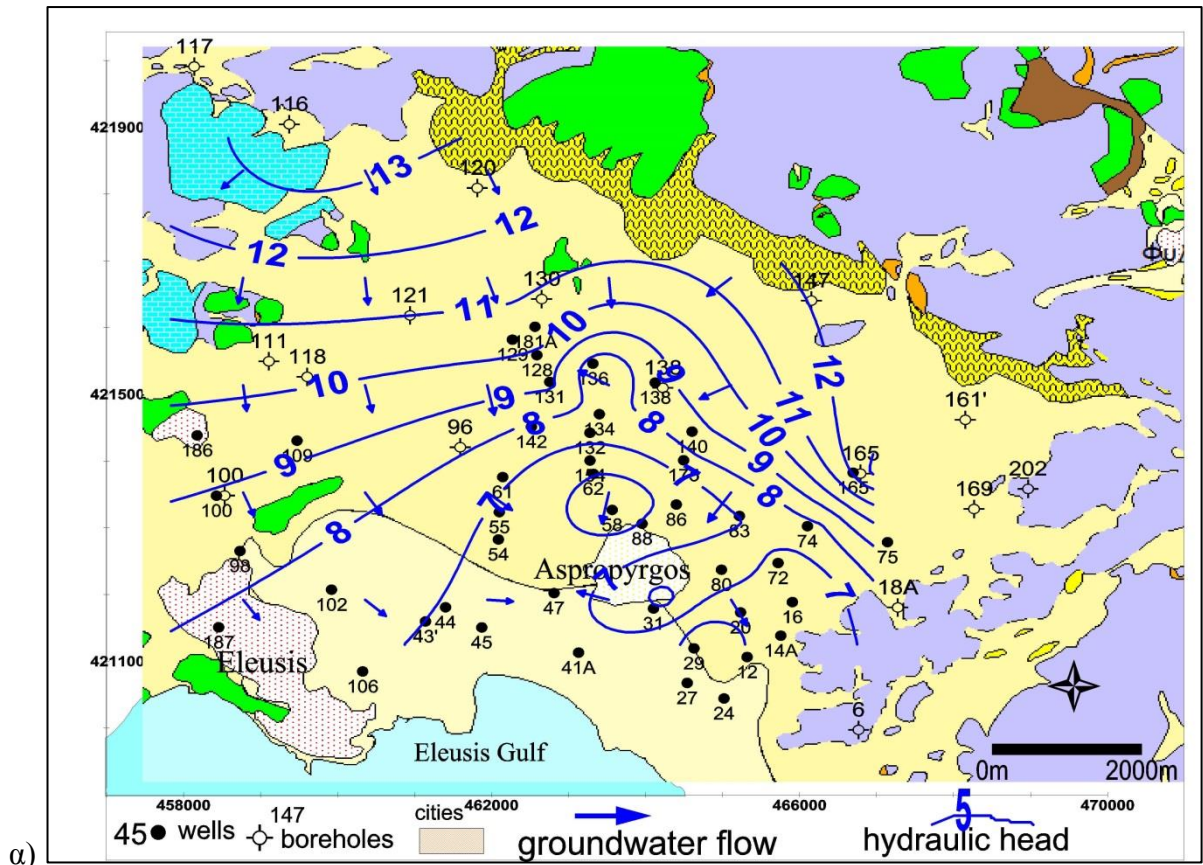
Εικόνα 7.3: Ανάπτυξη πιεζομετρικής επιφάνειας, Ιούνιος και Νοέμβριος 2005



Εικόνα 7.4: Ανάπτυξη πιεζομετρικής επιφάνειας, Μάιος 2008 και Μάιος 2009.



Εικόνα 7.5: Ανάπτυξη πιεζομετρικής επιφάνειας, Απρίλιος και Οκτώβριος 2012.



Εικόνα 7.6: Ανάπτυξη πιεζομετρικής επιφάνειας α) της υπό πίεσης και β) της ελεύθερης υδροφορίας (Απρίλιος 2014).

Από την μελέτη της υπερετήσιας μεταβολής και εξέλιξης της στάθμης των υπόγειων νερών στο Θριάσιο κατά τα έτη 1999-2014 και τα διαθέσιμα υδραυλικά στοιχεία από την κατασκευή των γεωτρήσεων και πηγαδιών διαπιστώθηκε ότι:

- Οι Μέσο-Ανω Τριαδικοί ασβεστόλιθοι παρουσιάζουν διαφορετικό υδρογεωλογικό χαρακτήρα αναλόγως της γεωγραφικής τους θέσης. Στα βόρεια όρια της πεδιάδας οι Τριαδικοί ασβεστόλιθοι παρουσιάζουν υπό πίεση υδροφορία στις γεωτρήσεις 116, 117, 147, 161 και 161', με ετήσια διακύμανση της στάθμης περίπου 1 m, όπως επίσης και στα νοτιοανατολικά όρια στις γεωτρήσεις που ανορύχθηκαν από το ΕΛΚΕΘΕ το 2003 και το Γεωπονικό Πανεπιστήμιο (Μιμίδης 2002), με μικρότερο ετήσιο εύρος από 0,10 έως 0,60 m. Οι γεωτρήσεις 18Α, 169, 202 και 300 παρουσιάζουν ελεύθερη υδροφορία. Τα στοιχεία για αυτές τις γεωτρήσεις είναι λίγα και μετρήθηκαν σε διαφορετικό έτος. Με αυτά τα στοιχεία η ετήσια διακύμανση της στάθμης είναι περίπου 0,20 m το 2007 και 0,60 m το 2009-2014.
- Η ετήσια διακύμανση της στάθμης των υπό πίεση υδροφόρων εντός των Πλειο-Πλειστοκαινικών ιζημάτων είναι 1,65-2,10 m. Τα πηγάδια αυτά είναι τα: **12, 16, 20, 24, 29, 31, 58, 61, 62, 74, 75, 80, 83, 86, 88, 100, 109, 116, 117, 128, 129, 131, 132, 134, 136, 138, 140, 142, 145, 161', 165, 175, 176, 181, 186.**
- Η ετήσια διακύμανση της στάθμης των ελεύθερων υδροφόρων εντός των Πλειο-Πλειστοκαινικών ιζημάτων είναι 0,22-0,58 m. Τα πηγάδια αυτά είναι τα: **14, 18, 27, 38, 41, 43, 44, 45, 47, 54, 55, 98, 102, 106, 130, 154, 169, 187.**
- Η στάθμη των υδροφόρων στους ασβεστολίθους παρουσιάζει ελάχιστη άνοδο κατά τα τελευταία έτη της μελέτης (2014).
- Η στάθμη των υδροφόρων στα Πλειο-Πλειστοκαινικά ιζήματα παρουσιάζει μεγάλη άνοδο της τάξης των 4-5 m και κατά θέσεις έως και 15 m στο πηγάδι 165 κατά τα τελευταία έτη των μετρήσεων (2014).

Αξίζει να σημειωθεί ότι η στάθμη στα πηγάδια 165 και 181Α, στο κεντρικό τμήμα της πεδιάδας ήταν σε αρνητικό υψόμετρο για αρκετό διάστημα, τουλάχιστον 3-4 έτη από το 1999- 2002.

Η στάθμη άντλησης στην ίδια περίπου περίοδο κυμαινόταν από 1-5 m περίπου αντλώντας σχεδόν όλες τις φορές έχοντας αρνητικό υδραυλικό φορτίο. Σε αρνητικό υψόμετρο επίσης, είχε τοποθετηθεί η αναρρόφηση όλων των αντλιών όλων των πηγαδιών. Από την μελέτη της εξέλιξης της στάθμης των πηγαδιών του Θριασίου από το 1999-2000 όπου εμφανίζονταν τα μικρότερα υδραυλικά φορτία δεν παρατηρήθηκε καμία σημαντική υστέρηση της στάθμης, παρά την μεγάλη ποσότητα νερού που αντλήθηκε. Από το 2004-2014 το υδραυλικό φορτίο συνεχώς αυξάνεται.

7.4. Υδρολιθολογικά χαρακτηριστικά

Στην παράγραφο αυτή περιγράφεται η υδρολιθολογική συμπεριφορά των διαφόρων γεωλογικών σχηματισμών που συναντήθηκαν στις λιθολογικές τομές των γεωτρήσεων, και εκείνων που απεικονίζονται στον γεωλογικό χάρτη της περιοχής. Η συμπεριφορά αυτή εξαρτάται κατά κύριο λόγο από την υδροπερατότητα των σχηματισμών. Στους χαλαρούς σχηματισμούς η υδροπερατότητα εξαρτάται άμεσα από το ενεργό πορώδες (πρωτογενές

πορώδες) και στους συνεκτικούς σχηματισμούς από το πρωτογενές πορώδες και κυρίως από το δευτερογενές πορώδες (διακλάσεις, διαρρήξεις κλπ) καθώς και από διάφορες μορφές καρστικοποίησης.

Οι λιθολογικοί σχηματισμοί που συμμετέχουν στην γεωλογική δομή της περιοχής είναι οι σχιστόλιθοι, ψαμμίτες, γραουβάκες κλπ του Παλαιοζωικού, οι ασβεστόλιθοι, δολομιτικοί ασβεστόλιθοι και δολομίτες του Παλαιοζωικού και Μεσοζωικού, οι μάργες, άργιλοι, ψαμμίτες, μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι, κροκαλοπαγή του Νεογενούς και οι κροκάλες, άργιλοι, κροκαλοπαγή, λατυποπαγή, άμμοι, του Τεταρτογενούς.

Στους πίνακες 7.8 και 7.9 δίνονται τα υδραυλικά χαρακτηριστικά πηγαδιών του Θριασίου Πεδίου, τα οποία προήλθαν από την ανάλυση και επεξεργασία των δοκιμαστικών αντλήσεων που πραγματοποιήθηκαν στο πλαίσιο της παρούσης διατριβής (από τον συγγραφέα) σε 9 πηγάδια στα Πλειο-Πλειστοκαινικά ιζήματα (Hermides et al 2016) και τα αποτελέσματα δοκιμαστικών αντλήσεων οι οποίες πραγματοποιήθηκαν από διάφορους ερευνητές από το 1990 έως το 2012 σε διάφορους υδροφόρους σχηματισμούς στο Θριάσιο Πεδίο.

Οι παραπάνω λιθολογικοί σχηματισμοί διακρίθηκαν αναλόγως της περατότητά τους σε περατούς, ημιπερατούς και αδιαπέρατους λιθολογικούς σχηματισμούς.

7.4.1. Περατοί λιθολογικοί σχηματισμοί

- **Πολύ περατοί:** Στην κατηγορία αυτήν κατατάσσονται οι Κρητιδικοί ασβεστόλιθοι οι οποίοι λόγω έντονου κερματισμού έχουν αναπτύξει μεγάλο δευτερογενές πορώδες. Οι ασβεστόλιθοι αυτοί χρώματος γκρι (ανοικτόφαιοι έως τεφροί) είναι ηλικίας Τουρώνιου του Α. Κρητιδικού. Τα στοιχεία προέρχονται από την ερευνητική γεώτρηση του ΙΓΜΕ ΙΓ2 (Κούνης και Σιέμος 1990) η οποία ανορύχθηκε το 1990 στην θέση Μαγούλα 6 km ΒΑ της Ελευσίνας και σε υψόμετρο 99,4 m.
 - Η παροχή άντλησης κυμαίνεται γύρω στα $Q=2640 \text{ m}^3/\text{d}$ ή $110 \text{ m}^3/\text{h}$ με μικρή πτώση στάθμης 0,04 m και η ειδική ικανότητα $Q/s=66.000 \text{ m}^3/\text{d.m}$ ή $Q/s=2750 \text{ m}^3/\text{h.m}$.
 - Η μεταβιβαστικότητα των ασβεστολίθων υπολογίσθηκε σε $T=5184 \text{ m}^2/\text{d}$ ή $6 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$.
- **Περατοί:** Στην κατηγορία αυτήν κατατάσσονται: (1) οι αδρομερείς χαλαρές αποθέσεις κροκαλών, χαλίκων και άμμων και αποθέσεις κοίτης των ρεμάτων που εντοπίζονται κυρίως στα ΝΑ του Ασπροπύργου κάτω από τις αποθέσεις των αργίλων της παραλιακής ζώνης (πηγάδι ΕΓ3), (2) τα Πλειστοκαινικά ιζήματα (πηγάδια 54, 86, 154, 154Π2, 134) και οι ασβεστόλιθοι/δολομίτες του Μέσο-Άνω Τριαδικού που εντοπίζονται στις γεωτρήσεις 117, 113, 116, 120 σε απόσταση 7-12 km από την ακτή βόρεια της Ελευσίνας και σε γεωτρήσεις που ανορύχθηκαν στα πλαίσια διαφόρων μελετών (Μιμίδη 2002, Λιονής 1992), οι οποίοι είναι λιγότερο κερματισμένοι από τους προηγούμενους Άνω-Κρητιδικούς ασβεστόλιθους και καρστικοποιημένοι κατά θέσεις.
 - Οι παροχές άντλησης κυμαίνονται γενικά σε όλους τους σχηματισμούς από περίπου $960 \text{ m}^3/\text{d}$ ή $40 \text{ m}^3/\text{h}$ έως $2400 \text{ m}^3/\text{d}$ ή $80 \text{ m}^3/\text{h}$ και η ειδική ικανότητα $Q/s=137-1187 \text{ m}^3/\text{d.m}$ ή $Q/s=5-49.46 \text{ m}^3/\text{h.m}$.

- Η μεταβιβαστικότητα T στους Τριαδικούς ασβεστολίθους υπολογίσθηκε σε $T=132-316 \text{ m}^2/\text{d}$ ή $1,53 \cdot 10^{-3} - 3,66 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ και η ειδική ικανότητα $Q/s=5 \text{ m}^3/\text{d.m}$ ή $Q/s=0.2 \text{ m}^3/\text{h.m}$.
- Η μεταβιβαστικότητα στους αδρομερείς σχηματισμούς υπολογίσθηκε σε $T=194-5184 \text{ m}^2/\text{d}$ ή $2,2 \cdot 10^{-3} - 6 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ (πηγάδια 154, 154Π2, 86, 54, Hermides et al 2016, πηγάδι ΕΘΓ4 Κούνης και Σιέμος 1990).
- Η υδραυλική αγωγιμότητα K στους τριαδικούς ασβεστολίθους υπολογίσθηκε σε $K=0,56 - 14,2 \text{ m/d}$ ή $6,5 \cdot 10^{-6} - 1,6 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$ (Μιμίδης 2002)
- Η υδραυλική αγωγιμότητα K στους αδρομερείς σχηματισμούς υπολογίσθηκε σε $K=12 - 28 \cdot 10^2 \text{ m/d}$ ή $1,4 \cdot 10^{-4} - 3,2 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$.

7.4.2. Ημιπερατοί λιθολογικοί σχηματισμοί

- **Μέτριας περατότητας:** Στην κατηγορία αυτήν κατατάσσονται οι ασβεστόλιθοι του Παλαιοζωικού (λεπτοστρωματώδεις, κονδυλώδεις, μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι), οι ασβεστόλιθοι του Α. Τριαδικού λόγω της λεπτοστρωματώδους υφής, των παρεμβαλλόμενων κερατολιθικών ενστρώσεων και κονδύλων και του μικρότερου βαθμού κερματισμού και οι οποίοι είναι λιγότερο υδροπερατοί σε σχέση με τους προηγούμενους ασβεστόλιθους του Μ.-Α. Τριαδικού, το κατώτερο τμήμα των ασβεστολίθων του Κρητιδικού Κενομάνιου ηλικίας, με εναλλαγή μαργαϊκών ασβεστολίθων και φυλλωδών ασβεστολιθικών μαργών, ορισμένα από τα Πλειστοκαινικά λατυποκροκαλοπαγή, οι κώνοι κορημάτων, που συχνά περιέχουν και λίγη άργιλο και οι αποθέσεις των κλειστών λεκανών.
 - Οι παροχές άντλησης στα Πλειστοκαινικά ιζήματα κυμαίνονται από περίπου **120 m³/d ή 5 m³/h ή έως 360 m³/d ή 15 m³/h** και η ειδική ικανότητα $Q/s= 37-116 \text{ m}^3/\text{d.m}$ ή $Q/s=1,54-4,83 \text{ m}^3/\text{h.m}$.
 - Η μεταβιβαστικότητα στους παραπάνω σχηματισμούς υπολογίσθηκε σε $T=3,89 - 35,5 \text{ m}^2/\text{d}$ ή $4,5 \cdot 10^{-5} - 4,1 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ (πηγάδια 176, 131, 128, 129 Hermides et al 2016)
 - Η υδραυλική αγωγιμότητα K στις αποθέσεις αυτές εκτιμάται σε $K=0,2 - 5,2 \text{ m/d}$ ή $2,3 \cdot 10^{-6} - 6 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$, αναλόγως πάντοτε με τη συμμετοχή της αργίλου.
- **Χαμηλής περατότητας:** Στους σχηματισμούς αυτούς κατατάσσονται τα τμήματα του Νεογενές της παραπάνω λεκάνης όπως οι ασβεστολιθικές μάργες, στις οποίες παρεμβάλλονται ασβεστοψαμμίτες και κροκαλοπαγή και τοπικά τραβερτινοειδείς ασβεστοψαμμίτες.
 - Ο συντελεστής περατότητας K στους σχηματισμούς αυτούς εκτιμάται ότι είναι της τάξης του $K=2 \cdot 10^{-2} \text{ m/d}$ ή $2,3 \cdot 10^{-7} \text{ m/s}$.

7.4.3. Αδιαπέρατοι λιθολογικοί σχηματισμοί

Σ' αυτήν την κατηγορία κατατάσσονται:

- οι σχηματισμοί του Άνω Παλαιοζωικού- Κάτω Τριαδικού: αργιλικόι σχιστόλιθοι, σχιστοψαμμίτες, γραουβάκες και φυλλίτες.
- τα συνεκτικά και αδιάρρηκτα κροκαλοπαγή χωρίς δευτερογενές πορώδες.
- οι συμπαγείς και αδιάρρηκτοι ασβεστόλιθοι οι οποίοι συναντώνται στην περιοχή και δημιουργούν συνθήκες υπό πίεση (περιορισμένης) υδροφορίας όταν συναντηθεί το νερό.
- ο ανωκρητιδικός - παλαιοκαινικός φλύσχης ο οποίος εμφανίζεται λίγο βορειότερα του Θριασίου Πεδίου.
- οι στρώσεις των ερυθρών, καστανέρυθρων αργίλων.
- οι στρώσεις των μαργών.

Υδρογεωλογικά οι σχηματισμοί αυτοί είναι σχεδόν αδιαπέρατοι έως αδιαπέρατοι και κάποιοι από αυτούς αποτελούν το υπόβαθρο του συστήματος των μεσοζωικών ασβεστολίθων-δολομιτών και των νεότερων σχηματισμών της περιοχής.

- Η υδραυλική αγωγιμότητα K της κατηγορίας αυτής των σχηματισμών εκτιμάται ότι είναι της τάξης του $K=10^{-3}$ έως 10^{-4} m/d ή 10^{-8} - 10^{-9} m/s.

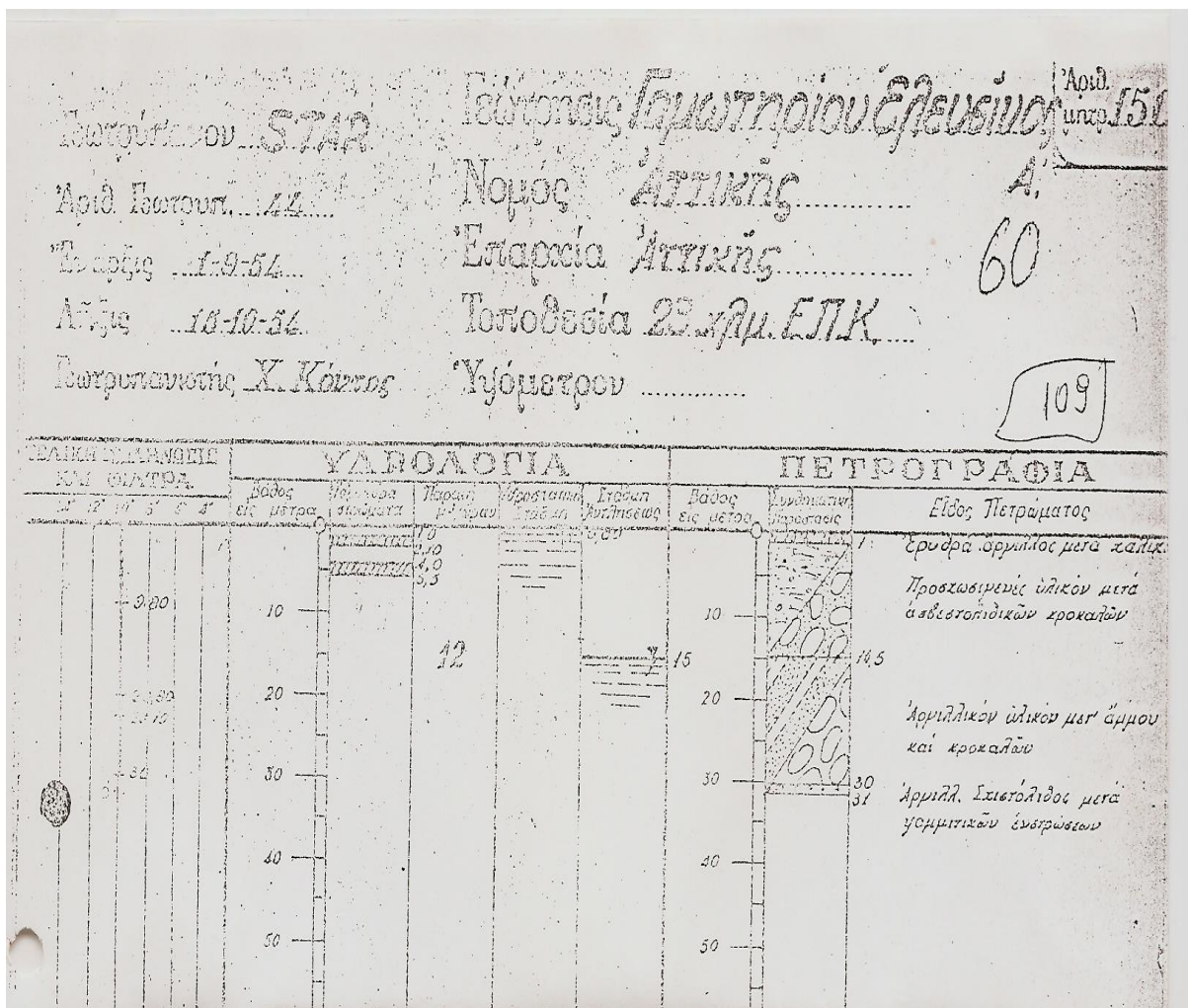
Πρακτικά, οι σχηματισμοί του Άνω Παλαιοζωικού-Κάτω Τριαδικού υδρογεωλογικά αποτελούν έναν ενιαίο σχηματισμό, σχεδόν αδιαπέρατο. Αυτό σημαίνει ότι παίζουν καθοριστικό ρόλο στην κίνηση των υπόγειων νερών, στον έλεγχο της εισόδου της θάλασσας στο εσωτερικό αλλά και στην ποιότητά του. Παρ' όλα αυτά, μεμονωμένα, κάποια στρώματα του Άνω Παλαιοζωικού-Κάτω Τριαδικού συμπλέγματος αποτελούν ασθενείς υδροφορείς, οι οποίοι μπορούν να τροφοδοτούν με κάποιες ποσότητες νερού άλλους υδροφορείς μέσω πλευρικών μεταγίσεων.

Επίσης, σε αυτήν την κατηγορία κατατάσσεται και ένα μεγάλο τμήμα των αλλουβίων της παραλιακής ζώνης του Ασπροπύργου – Ελευσίνας, όπου εμφανίζονται (τουλάχιστον κατά το παρελθόν) έλη ή το μέτωπο της προς τα πάνω εκφόρτισης του υπόγειου υδροφόρου συστήματος (βλέπε χάρτες Kaupert Εικόνα 7.10 και Δούνα –Παναγιωτίδη Εικόνα 7.11). Έγραφαν οι Δούνας και Παναγιωτίδης (1964): «Η παράκτια αυτή αργιλική ζώνη των αλλουβίων παίζει ανασχετικό ρόλο στην ταχύτητα του υπεδαφικού νερού και προκαλεί ανύψωση του υδροφόρου ορίζοντα με την δημιουργία ελωδών εκτάσεων. Ο φραγμός αυτός της παράκτιας αργιλικής ζώνης αλλάζει την πορεία του υπεδαφικού νερού και το στρέφει προς την κατεύθυνση των ασβεστολιθικών περιοχών της περιμέτρου του Πεδίου».

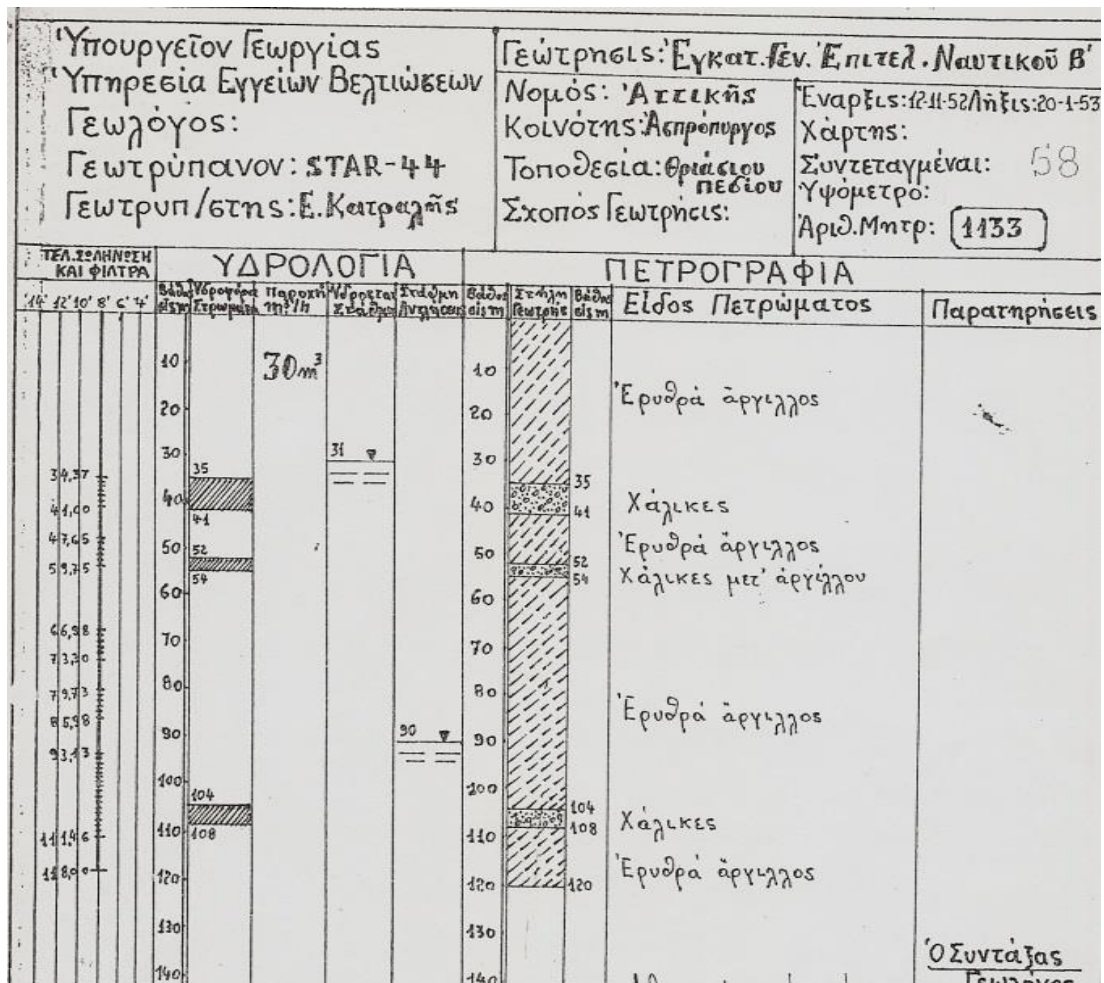
Οι αποθέσεις του Νεογενούς και Τεταρτογενούς και οι συμπαγείς ασβεστόλιθοι ελέγχουν τη κατείσδυση του νερού και δημιουργούν υδροφορείς περιορισμένους (υπό πίεση). Επίσης, εμφανίζουν μεγάλο ενδιαφέρον γιατί επηρεάζουν την κίνηση του υπόγειου νερού και καθορίζουν την εισχώρηση ή όχι της θάλασσας στο εσωτερικό της περιοχής.

Απόδειξη, επίσης, της πολύ μικρής περατότητας των αργίλων των αλλουβίων της παραλιακής ζώνης αλλά και των αποθέσεων του Πλειστοκαίνου, αποτελεί και το γεγονός ότι

πολλοί υδροφόροι ορίζοντες που αναπτύσσονται κυρίως κάτω από τα αλλούβια τελούν υπό πίεση, όπως φαίνεται καθαρά τόσο σε τομές γεωτρήσεων (Εικόνες 7.7, 7.8) στην περιοχή των εγκαταστάσεων της Χαλυβουργικής και του παλαιού χώρου των εγκαταστάσεων του ναυστάθμου, όσο και στο παρακάτω ιστορικό κείμενο «...Αι υδραυλικοί λοιπόν επί του πεδίου εργασίας γίνονται μεταξύ του 18ου και 19ου χιλιομέτρου, ήτοι από της ακτής της θαλάσσης μέχρι της θέσεως Γκοριτσές εν Αγριαχλαδιές... έχει ανοιχθή μία σήραγγή πλάτους 1,60μ. από δε της σιδηροδρομικής γραμμής μέχρι της ίδιας θέσεως έχουν ανοιχθή περί τα 80 φρέατα εκ των οποίων το μεν πρώτον κέκτηται βάθος 5,20μ. το δε τελευταίον 21,97μ. Τα φρέατα αυτά θα εκβαθυνθώσιν ακόμη. Εις την ανόρυξιν παρουσιάζονται δυσκολία τινές ένεκα της αναπηδήσεως και συσσωρεύσεως εν αυτοίς των υδάτων...» (Καλλιέρης 2010).



Εικόνα 7.7: Αυτόματη ροή νερού στην επιφάνεια του εδάφους στην περιοχή του παλαιού Γομητηρίου Ελευσίνας (Υπ. Γεωργίας, 1954).



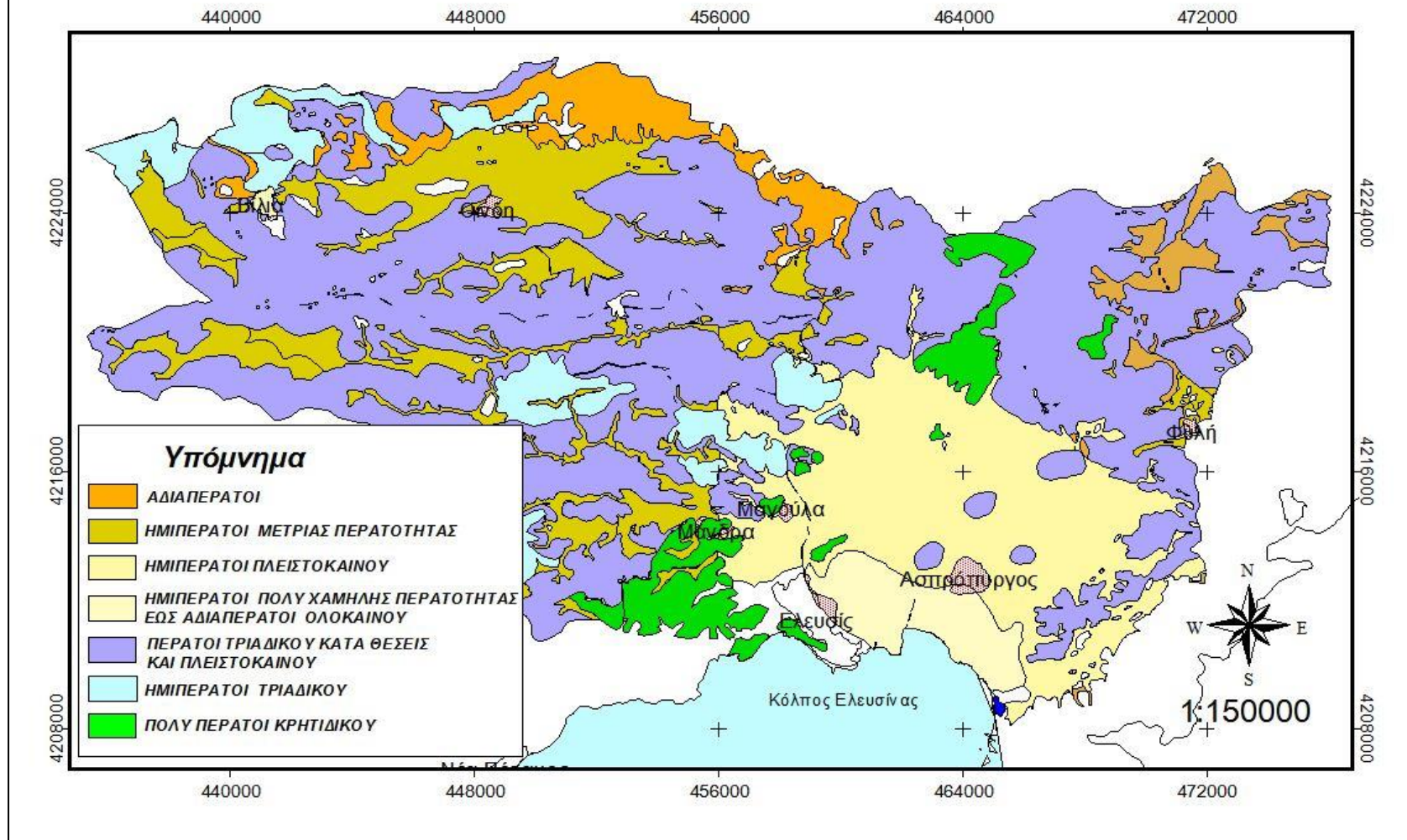
Εικόνα 7.8.: Τομή γεωτρήσεως όπου φαίνεται το πάχος των αργίλων 50 m στις εγκαταστάσεις του ναυστάθμου. (Υπ. Γεωργίας 1953).

7.5. Υδραυλική Επικοινωνία των υδροφόρων οριζόντων με την θάλασσα και υφαλμύρωση αυτών

Βασικά ερωτήματα στα οποία πρέπει να δοθούν απαντήσεις σχετικά με την υδραυλική επικοινωνία των υδροφόρων οριζόντων που αναπτύσσονται στο Θριάσιο Πεδίο με την θάλασσα περιγράφονται παρακάτω και είναι τα εξής:

1. Υπάρχει υδραυλική επικοινωνία των υδροφόρων οριζόντων με την θάλασσα; Είναι πολύ σημαντικό λοιπόν, να εξετασθεί ποιοι υδροφόροι είναι αυτοί, κατά πόσο επηρεάζονται και να προσδιορισθεί ο βαθμός υφαλμύρωσης εξ' αιτίας της εισόδου της θάλασσας καθώς επίσης, να αναγνωρισθεί ποιος είναι ο μηχανισμός αυτής της διεργασίας.
2. Η επίδραση της θάλασσας πάνω στους υδροφόρους ορίζοντες της περιοχής του Θριασίου Πεδίου είναι ένα σύγχρονο φαινόμενο που εξελίσσεται στο σήμερα ή είναι ένα φαινόμενο το οποίο επέδρασε στο παρελθόν μία ή και περισσότερες φορές και σήμερα δεν επιδρά, ή συμβαίνουν και τα δύο κατά θέσεις και αναλόγως της γεωλογικής δομής;
3. Είναι αντιστρέψιμο το φαινόμενο της εισόδου της θάλασσας στους υδροφόρους ορίζοντες του Θριασίου Πεδίου; κατά πόσο είναι αντιστρέψιμο και με ποιον τρόπο μπορεί να πραγματοποιηθεί;

Υδρολιθολογικός χάρτης υδρολογικών λεκανών Θριασίου Πεδίου



Εικόνα 7.9: Υδρολιθολογικός χάρτης υδρολογικών λεκανών Θριασίου Πεδίου.

7.5.1. Υδραυλική επικοινωνία

Εργασίες, πάνω σε αυτήν την κατεύθυνση ξεκίνησε το ΓΜΕ (τότε ΓΓΕΥ), με την τοποθέτηση και παρακολούθηση αυτογραφικών οργάνων (Δούνας και Παναγιωτίδης 1960 & 1964, Δούνας 1971β). Τοποθετήθηκαν πέντε (5) σταθμηγράφοι στην περιοχή Ελευσίνας – Ασπροπύργου. Ένας (1) τοποθετήθηκε στην παραλία Ελευσίνας με τα διακριτικά ΣΘ για την παρακολούθηση της μεταβολής της στάθμης της θάλασσας και τέσσερεις (4) εσωτερικά στην πεδιάδα. Ένας από αυτούς τοποθετήθηκε σε γεώτρηση της κοινότητας Μαγούλας ΝΔ αυτής σε απόσταση 4 περίπου km από την ακτή (ΓΣ1), ένας σε πηγάδι στα αλλούβια 1 km από την ακτή (ΦΣ1) και δύο στις Πλειστοκαινικά αποθέσεις σε απόσταση 1 και 3 km αντίστοιχα από την ακτή (ΦΣ2, ΦΣ3). Στην γεώτρηση της κοινότητας Μαγούλας ο λιθολογικός σχηματισμός που συναντήθηκε ήταν το Πλειστοκαινικό λατυποκροκαλοπαγές και οι Μεσοζωικοί ασβεστόλιθοι. Στην Εικόνα 7.11 απεικονίζονται οι θέσεις όπου τοποθετήθηκαν σταθμηγράφοι σε 3 πηγάδια ΦΣ1, ΦΣ2, ΦΣ3 και μία γεώτρηση ΓΣ1 και στην παραλία ΣΘ για την καταγραφή της διακύμανσης της στάθμης της θάλασσας αλλά και οι παράκτιες και υποθαλάσσιες πηγές. Από την καταγραφή της διακύμανσης της στάθμης της θάλασσας και τις παρατηρήσεις των σταθμηγράφων σε όλα τα σημεία συνοψίζονται τα ακόλουθα:

- Η στάθμη της θάλασσας παρουσιάζει μια σύνθετη περιοδική κίνηση ανά 3ωρο, 12ωρο, 24ωρο και ανά 28ήμερο. Η μεταβολή που παρουσιάζεται ανά 3ωρο και 24ωρο κυμαίνεται από λίγα mm έως 16 cm.
- Επίδραση της διακύμανσης της θάλασσας επί των υδροφόρων οριζόντων του Θριασίου Πεδίου κατεγράφη μόνον στην γεώτρηση με τους ασβεστολίθους (ΓΣ1) με περίοδο 12 ώρες και μέγιστο εύρος 2 cm. Ο χρόνος που χρειάστηκε για να μεταφερθεί αυτή η επίδραση, από την παραλία στην γεώτρηση, ήταν 36 ώρες.
- Στα πηγάδια ΦΣ1, ΦΣ2 και ΦΣ3 τα οποία βρίσκονται αρκετά πιο κοντά στην ακτή δεν παρατηρήθηκε καμία μεταβολή στην στάθμη.
- Η ετήσια διακύμανση της στάθμης σε πηγάδια που βρίσκονται σε περιοχές που εκτείνεται το διλούβιο είναι 20-30 cm όταν δεν υπάρχει εντατική άντληση, ενώ στην αντίθετη περίπτωση φθάνει το 1.5 m στην περιοχή του Ασπροπύργου.
- Η ετήσια διακύμανση της στάθμης στη γεώτρηση (ΓΣ1) στους ασβεστολίθους δεν ξεπέρασε τα 40 cm.

Συγκρίνοντας τις τιμές που δίνουν οι Δούνας και Παναγιωτίδης (1964) για την ετήσια μεταβολή της στάθμης στην Ελευσίνα και τον Ασπρόπυργο παρατηρούμε ότι βρίσκονται σχεδόν στα ίδια όρια ελαφρώς αυξημένα λόγω της ανόδου της στάθμης από την μείωση των αντλήσεων ή/και την αύξηση των βροχοπτώσεων κατά τα τελευταία έτη των μετρήσεων. Η παρατηρούμενη πτώση του υδραυλικού φορτίου κατά την διάρκεια των περασμένων δεκαετιών έχει ανακάμψει. Έτσι, καταλήγουμε στο συμπέρασμα, ότι στην περιοχή δεν έχουν επιδράσει σοβαρά γεωλογικά-υδρογεωλογικά-περιβαλλοντικά γεγονότα που θα μπορούσαν να αλλοιώσουν τις επικρατούσες υδρογεωλογικές συνθήκες. Επομένως μπορούμε να υιοθετήσουμε τον ενιαίο υδρογεωλογικό χαρακτήρα της περιοχής από τότε μέχρι σήμερα.

Επιπρόσθετα, όσον αφορά την γεωλογική δομή του υποβάθρου του κόλπου της Ελευσίνας είναι πολύ πιθανόν ότι οι άργιλοι, οι οποίοι έχουν μεγάλο πάχος 10-30 m μέχρι και 80 m να

εκτείνονται κάτω από τον πυθμένα του κόλπου της Ελευσίνας (βλέπε σχήμα μοντέλου). Όμως και το υπό πίεση υδροφόρο σύστημα, το οποίο βρίσκεται κάτω από τα μεγάλα πάχους στρώματα αργίλων, βρίσκεται πολύ χαμηλότερα από τον πυθμένα της θάλασσας. Επομένως δεν υπάρχει κατακόρυφο ή άλλης γεωμετρίας όριο (μέτωπο) του υδροφόρου με την θάλασσα με αποτέλεσμα το υπό πίεση υδροφόρο σύστημα να μην εκφορτίζεται κατά κύριο λόγο στον αιγιαλό αλλά ούτε και εντός της θάλασσας.

Ένα ακόμη στοιχείο που υπάρχει διαθέσιμο είναι, ότι ο πυθμένας της λίμνης Κουμουνδούρου και η γύρω περιοχή δεν έχουν άμεση υδραυλική επικοινωνία με την θάλασσα. Απόδειξη αυτού του ισχυρισμού είναι: α) ο πυθμένας της λίμνης είναι στεγανός και οι γύρω ασβεστόλιθοι, στους οποίους υπ' όψιν σχηματίζεται υπό πίεση υδροφόρος ορίζοντας (Μιμίδης 1998 και 2002, Ζαχαρίας et al 2003), εκφορτίζονται στην λίμνη από πηγές που βρίσκονται μέχρι και 1.5 μέτρα κάτω από την στάθμη της λίμνης μέσω συγκεκριμένων διαδρομών που ακολουθεί το υπόγειο νερό. Σε αντίθετη περίπτωση όλη η λίμνη έπρεπε να ήταν τμήμα ενός ενιαίου υδροφόρου ορίζοντα που αναπτύσσεται στους ασβεστόλιθους, κατά παρόμοιο τρόπο όπως είναι η λίμνη Υλίκη Βοιωτίας και β) ο χημισμός του νερού της λίμνης είναι παρόμοιος με αυτού των ασβεστόλιθων και όχι με αυτόν της ακριβώς παρακείμενης θάλασσας. Η EC της λίμνης και των ασβεστόλιθων κυμαίνονται κατά μέσον όρο από 14000-23000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ενώ της θάλασσας γύρω στις 63000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Λιονής 1992). Δηλαδή το νερό της λίμνης προέρχεται από την παρακείμενη ασβεστολιθική μάζα κι όχι την παρακείμενη θάλασσα.

Στην Εικόνα 7.10 στον χάρτη του Kaupert που παρουσίασε οι Δασακλής et al (2009) φαίνονται με πράσινο και θαλασσί χρώμα οι περιοχές όπου έχουν δημιουργηθεί έλη και ένα μεγάλο τμήμα της παραλιακής περιοχής όπου εκφορτίζεται με αυτόματη ροή ο υπό πίεση υπόγειος υδροφόρος ορίζοντας αντίστοιχα σε θετικό υψόμετρο. Τα στοιχεία αυτά παραπέμπουν σε κατακόρυφη προς τα πάνω διαρροή του υδροφόρου καθώς το νερό ακολουθεί κάποια εκλεκτική διαδρομή διαμέσου του αδιαπέρατου των αργιλικών αποθέσεων.

Επίσης, η άποψη περί της ύπαρξης της Κυχρείας λίμνης (Μαριολάκος και Θεοχάρης 2001) (Εικόνα 7.12) στο σημερινό κόλπο της Ελευσίνας πριν από 18-12 ka, όταν η στάθμη της θάλασσας ήταν 120-70 m χαμηλότερα από την σημερινή υποδεικνύει το αδιαπέρατο του κόλπου της Ελευσίνας.

Στην προσπάθεια, λοιπόν, να δοθεί απάντηση στο α) ερώτημα που τέθηκε στην αρχή της παραγράφου πρέπει να ληφθούν υπ' όψιν εν συντομία τα παρακάτω αδιαμφισβήτητα στοιχεία:

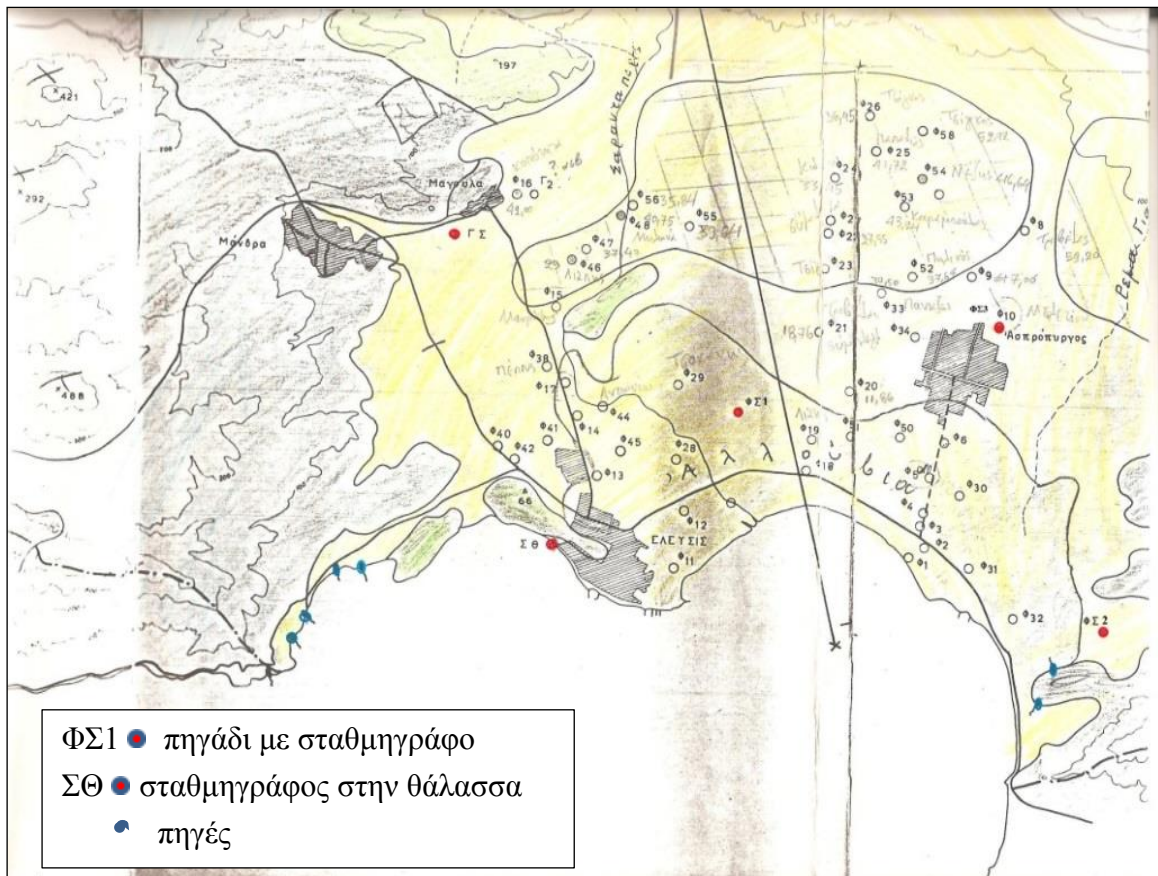
1. Από την παράθεση της παραπάνω παραγράφου για τον τύπο των υδροφόρων καταφαίνεται το γεγονός ότι οι υδροφόροι ορίζοντες στην περιοχή Ασπροπύργου και Ελευσίνας τελούν υπό πίεση (περιορισμένοι).
2. Η στάθμη του υδροφόρου συστήματος που αναπτύσσεται στις Πλειστοκαινικές αποθέσεις, τόσο στον Ασπρόπυργο όσο και την Ελευσίνα, δεν ακολουθεί την μεταβολή της στάθμης της θάλασσας. Μόνον οι μεσοζωικοί ασβεστόλιθοι ακολουθούν αυτήν την μεταβολή.
3. Το υπό πίεση υδροφόρο σύστημα δεν έχει μέτωπο προς την θάλασσα.

4. Η εκφόρτιση του υδροφόρου ορίζοντα, που αναπτύσσεται εντός των ασβεστολιθικών πετρωμάτων, λαμβάνει χώρα:
 - μέσω πηγών στην επαφή των ασβεστολίθων και πλειστοκαινικών αποθέσεων στην περιοχή των Διυλιστηρίων Ασπροπύργου
 - μέσω πηγών στην περιοχή γύρω και μέσα στην λίμνη Κουμουνδούρου σε θετικό και αρνητικό υψόμετρο αντίστοιχα.
 - μέσω πηγών στην περιοχή δυτικά της Ελευσίνας όπου οι ασβεστόλιθοι εκφορτίζονται στο επίπεδο της θάλασσας.
5. Η παράκτια ζώνη, στην οποία υπάρχουν οι αργιλικές αποθέσεις πολύ χαμηλής υδραυλικής αγωγιμότητας και θεωρούνται στεγανές και αδιαπέρατες, προκαλεί φραγμό της κίνησης του υπόγειου νερού προς την θάλασσα (Δούνας και Παναγιωτίδης 1964) με αποτέλεσμα να εκφορτίζεται ο υδροφόρος ορίζοντας με διαρροές κατακόρυφα προς τα πάνω (upwards leakage) σε θετικό υψόμετρο ή να δημιουργούνται έλη (Hermides and Stamatis 2017, Hermides and Stamatis 2016).
6. Ο πυθμένας της λίμνης Κουμουνδούρου είναι στεγανός και η γύρω περιοχή δεν έχουν άμεση υδραυλική επικοινωνία με την θάλασσα.

Από τα παραπάνω στοιχεία είναι δύσκολο να κατανοηθεί πλήρως το φαινόμενο της υφαλμύρωσης έτσι απλά ως απ' ευθείας (άμεση) εισχώρηση της θάλασσας λόγω της γειτνίασής της με παράκτιους υδροφορείς. Το συμπέρασμα το οποίο εξάγεται, ασφαλώς, από όλα τα παραπάνω είναι, ότι δεν υπάρχει άμεση υδραυλική επικοινωνία των υδροφόρων οριζόντων, οι οποίοι αναπτύσσονται στις Πλειστοκαινικές αποθέσεις, με την θάλασσα κατά το μεγαλύτερο τμήμα της ακτής ή τουλάχιστον αυτή η επικοινωνία είναι σχεδόν μηδενική.



Εικόνα 7.10: Χάρτης του Kaupert όπως έχει επεξεργασθεί από τους Δασακλή κ.ά. (2009) δείχνει την εκφόρτιση με μορφή διαρροής προς τα πάνω του υπόγειου υδροφορέα διαμέσου των αλλουβίων με γαλάζιο χρώμα και με πράσινο τον βαλτότοπο.



Εικόνα 7.11: Θέσεις σταθμηγράφων με κόκκινο χρώμα, πηγαδιών δειγματοληψίας και παράκτιων και μη παράκτιων πηγών με μπλε χρώμα (Δούνας και Παναγιωτίδης 1964).



Εικόνα 7.12: Η Κυχερία λίμνη κατά την άποψη των Μαριολάκου Θεοχάρη (2001).

Από την άλλη, είναι σίγουρο ότι η θάλασσα έχει όντως εισχωρήσει στο εσωτερικό της ευρύτερης περιοχής μέσω των ασβεστολιθικών σχηματισμών τόσο στα ανατολικά στην κοιλάδα του ρ. Τζαβερδέλλα, όσο και τα δυτικά κράσπεδα της λεκάνης. Η διαφορά που διαφαίνεται να υφίσταται είναι στο γεγονός ότι από την πλευρά της Ελευσίνας η εισχώρηση της θάλασσας έχει συντελεσθεί από καθαρά ανθρωπογενή παρέμβαση λόγω των εντατικών αντλήσεων, ενώ στο κεντρικό τμήμα, δηλαδή από την γεώτρηση με το νούμερο 120 στην θέση «Πάτημα» έως την ανατολική πλευρά της πεδιάδας η εισχώρηση έχει συντελεσθεί από φυσικούς μηχανισμούς εξ' αιτίας των γεωλογικών συνθηκών αλλά και των πολλαπλών τεκτονικών διεργασιών οι οποίες έχουν επιδράσει στην περιοχή.

Απόδειξη των παραπάνω είναι το γεγονός ότι όλες οι γεωτρήσεις οι οποίες έχουν ανορυχθεί σε ασβεστολίθους ανατολικά και βόρεια της πεδιάδας συνάντησαν υφάλμυρο νερό, από την στιγμή της διάνοιξής τους, όπως π.χ. οι γεωτρήσεις ΙΘΓ2, ΙΘΓ3, ΙΘΓ5 (Κούνης και Σιέμος 1990). Εξαιρέση αποτελεί η γεώτρηση Νο 161' στα ΒΑ του Ασπροπύργου.

Επίσης, όσον αφορά το δυτικό τμήμα της πεδιάδας αυτό υπέστη αλλοίωση από την επίδραση του ανθρώπου αφού γεωτρήσεις στην περιοχή της Ελευσίνας και της Μάνδρας ξεκίνησαν την λειτουργία τους αντλώντας νερό καλής ποιότητας και εν συνεχεία υποβαθμίστηκε από την επίδραση της θάλασσας. Ωστόσο, υπάρχουν γεωτρήσεις όπου ακόμα και σήμερα παρέχουν νερό καλής ποιότητας όπως η γεώτρηση με Νο 100 βόρεια της Ελευσίνας.

Η εξήγηση αυτού του φαινομένου είναι απλή και στηρίζεται στην γεωλογική δομή των ασβεστολίθων του Άνω Τριαδικού, όπου εμφανίζονται σε πολλές θέσεις συμπαγείς, ενίοτε δολομιτωμένοι και μη τεκτονισμένοι, με αποτέλεσμα να αποτρέπουν την εύκολη και άμεση είσοδο της θάλασσας στο εσωτερικό. Αντιθέτως, στους ασβεστολίθους του Άνω Κρητιδικού και Μέσο-Άνω Τριαδικού, όπου τα φαινόμενα των διαρρήξεων και του karst αντίστοιχα είναι αρκετά, η είσοδος της θάλασσας επιτυγχάνεται αυτόματα και πολύ πιθανόν αυτή η διεργασία να έχει ξεκινήσει χιλιάδες χρόνια πριν είτε με την ανάδυσή τους, κυρίως λόγω τεκτονικών και δευτερευόντως ευστατικών κινήσεων, και τις αλλαγές στο επίπεδο του εκάστοτε κάρστ που δημιουργείτο αναλόγως της εποχής.

Στο ίδιο συμπέρασμα καταλήγει κάποιος και από το γεγονός ότι η λίμνη Κουμουνδούρου, ενώ βρίσκεται δίπλα στην ακτή, έχει νερό υφάλμυρο το οποίο όμως προέρχεται και από την εκφόρτιση του υπόγειου υφάλμυρου νερού του όρους Αιγάλεω και του ΝΑ τμήματος της Πάρνηθας. Επίσης γεωτρήσεις στον ασβεστόλιθο κοντά στην λίμνη Κουμουνδούρου παρουσιάζουν όπως προαναφέρθηκε υπό πίεση υδροφορία. Δηλαδή, η υφαλμύριση προέρχεται από διαφορετική περιοχή και όχι από τον κόλπο της Ελευσίνας και πιθανόν να έχει ξεκινήσει σε παλαιότερη γεωλογική περίοδο και με τον μηχανισμό του σιφωνισμού εκφορτίζεται υφάλμυρο νερό στην περιοχή της λίμνης.

Ο François Rouquerville, όπως περιγράφεται στον Καλλιέρη (2010) επισκέφτηκε την περιοχή κατά το πρώτο ήμισυ της δεκαετίας του 1810 και γράφει: «Αφού πήρα μερικά δείγματα του εδάφους (μετά το στενό πέρασμα μεταξύ Ποικίλου και Αιγάλεω), επέστρεψα στην Ιερά οδό και την ακολούθησα ως τους Ρειτούς ή αλμυρές πηγές αφιερωμένες στη Δήμητρα και την Περσεφόνη...».

Δηλαδή, η ποιότητα του νερού για χιλιάδες χρόνια είναι η αυτή, επηρεασμένη από την θάλασσα, ενώ ο μηχανισμός υφαλμύρωσης δεν είναι ο απλός μηχανισμός της εισόδου της

θάλασσας πλευρικά από την ακτή ούτε έχει ανέλθει η διεπιφάνεια γλυκού – αλμυρού λόγω υπεράντλησης (δεδομένου και του γεγονότος ότι η υδροφορία των ασβεστολίθων εκεί είναι υπό πίεση).

Το φαινόμενο της υφαλμύρινσης περιγράφεται στο 8^ο κεφάλαιο της Υδρογεωχημείας.

7.6. Δοκιμαστικές αντλήσεις

Ο καθορισμός του υπόγειου υδατικού δυναμικού μιας περιοχής επιτυγχάνεται με τον προσδιορισμό του υδρογεωλογικού καθεστώτος της περιοχής καθώς και τον καθορισμό των υδραυλικών χαρακτηριστικών των υδροφόρων στρωμάτων της. Στα υδραυλικά χαρακτηριστικά εντάσσεται η **μεταβιβαστικότητα T** (μεταφορικότητα), η **υδραυλική αγωγιμότητα K** (υδροπερατότητα), η **αποθηκευτικότητα S** (συντελεστής εναποθήκευσης) καθώς και ένα σημαντικό στοιχείο το οποίο είναι η **ειδική ικανότητα Q/s**.

Ο πιο αξιόπιστος τρόπος για τον καθορισμό των υδραυλικών χαρακτηριστικών είναι οι δοκιμαστικές αντλήσεις, σε γεωτρήσεις και πηγάδια, γιατί παρέχει μία μέση τιμή αυτών καθώς επίσης, θεωρείται ότι η κίνηση του υπόγειου νερού πραγματοποιείται διαμέσου όλου του πορώδους μέσου, πρωτογενούς και δευτερογενούς, στο οποίο φιλοξενείται, παρουσιάζεται ουσιαστικά μία πραγματική εικόνα της υπόγειας ροής. Η τεχνική αυτή είναι πολύ πιο ακριβής από αυτήν που στηρίζεται στην εκτίμηση αυτών, έχοντας ως βάση τις δοκιμές δειγμάτων που πραγματοποιούνται στο εργαστήριο αλλά και με κάθε άλλη τεχνική που έχει τοπικό χαρακτήρα. Τα δείγματα αυτά σπάνια είναι αδιατάρακτα (Driscoll 1986). Παρατίθενται παρακάτω οι ορισμοί των υδραυλικών χαρακτηριστικών T, S, K και της ειδικής ικανότητας Q/s:

- **Μεταβιβαστικότητα T** είναι το γινόμενο της μέσης υδραυλικής αγωγιμότητας K επί το κορεσμένο πάχος του υδροφόρου στρώματος και εκφράζει τον ρυθμό μεταβίβασης του νερού δια μέσου μοναδιαίας διατομής του υδροφόρου, καθ' όλο το κορεσμένο πάχος του, κάτω από μοναδιαία υδραυλική κλίση. Έχει διαστάσεις L^2/T , συνήθως m^2/d ($m^3/day.m$) ή m^2/s .
- **Αποθηκευτικότητα S** είναι συντελεστής που εκφράζει την ποσότητα του νερού που ελευθερώνεται ανά μονάδα επιφάνειας ενός υδροφόρου πάχους D, ανά μονάδα μεταβολής της συνιστώσας του υδραυλικού φορτίου η οποία είναι κάθετη στην επιφάνεια αυτή. Είναι **αδιάστατο μέγεθος**.
- **Υδραυλική αγωγιμότητα K** είναι η σταθερά αναλογίας του νόμου του Darcy και εκφράζει την ποσότητα του νερού που μεταβιβάζεται, από ένα πορώδες μέσο, στην μονάδα του χρόνου κάτω από μοναδιαία υδραυλική κλίση, δια μέσου μοναδιαίας επιφάνειας, κάθετα προς την διεύθυνση ροής. Έχει διαστάσεις L/T συνήθως m/day ($m^3/d.m^2$) ή m/s .
- **Ειδική ικανότητα Q/s** είναι το πηλίκο της παροχής άντλησης μιας γεώτρησης προς την αντίστοιχη πτώση στάθμης και φανερώνει την δυναμικότητα της γεώτρησης. Έχει μονάδα $m^3/day.m$ ή $m^3/h.m$.

Αρκετές μέθοδοι υπάρχουν για την επεξεργασία και αξιολόγηση των δεδομένων των δοκιμών άντλησης μιας γεώτρησης ή πηγαδιού. Ο προσδιορισμός των υδραυλικών παραμέτρων με την βοήθεια των δοκιμών αυτών, πέραν του τρόπου κατασκευής του έργου

και την διεξαγωγή των δοκιμών, στηρίζεται τόσο στην γνώση και χρησιμοποίηση των μαθηματικών και των λύσεων που προτείνουν οι διάφορες μέθοδοι αλλά κυρίως, στην καλή γνώση της γεωλογικής δομής και της υδρογεωλογίας της περιοχής. Πρέπει να καταλάβει κάποιος, πως η εσωτερική δομή και η φύση του υδροφόρου καθώς και η υδρογεωλογία επηρεάζουν τον τρόπο με τον οποίο πέφτει (ή ανεβαίνει) η στάθμη κατά την διάρκεια των δοκιμών.

Στην διατριβή αυτή χρησιμοποιούνται μέθοδοι μη μόνιμης ροής (unsteady-state flow) τόσο για περιορισμένους όσο και ελεύθερους υδροφόρους ορίζοντες αλλά και για πηγάδια μεγάλων διαστάσεων. Αυτές είναι οι μέθοδοι **Theis (1935)**, **Cooper-Jacob (1946)**, **Neuman (1975)**, **Παπαδόπουλου (1967)** και η μέθοδος της **επαναφοράς** της στάθμης.

Για τις παραπάνω μεθόδους πρέπει να ικανοποιούνται οι παραδοχές οι οποίες τις διέπουν και είναι οι 9 παρακάτω:

1. Ο υδροφόρος ορίζοντας τελεί υπό πίεση και έχει απεριόριστη έκταση.
2. Ο υδροφόρος ορίζοντας είναι ομογενής και ισότροπος και με ομοιόμορφο πάχος μέσα στην ακτίνα επίδρασης κατά την διεξαγωγή της δοκιμής άντλησης.
3. Πριν το τεστ η πιεζομετρική επιφάνεια είναι οριζόντια ή σχεδόν οριζόντια στην περιοχή που επηρεάζεται από αυτό.
4. Η παροχή άντλησης είναι σταθερή κατά την διάρκεια της δοκιμής.
5. Το υδροληπτικό έργο είναι τέλει, δηλαδή έχει διαπεράσει όλο το πάχος του υδροφόρου στρώματος.
6. Το νερό που αντλείται αφαιρείται ακαριαία από τον υδροφόρο ορίζοντα.
7. Ο υδροφόρος ορίζοντας δεν τροφοδοτείται από οποιαδήποτε πηγή.
8. Η ροή προς το πηγάδι είναι οριζόντια και γραμμική.
9. Η διάμετρος του πηγαδιού είναι μικρή έτσι ώστε η αποθήκευση του νερού να είναι αμελητέα (εκτός της μεθόδου Παπαδόπουλου)

Το βασικό πρόβλημα στην περιοχή του Θριασίου Πεδίου εστιάζεται στο γεγονός ότι η γεωλογική δομή είναι έτσι κατασκευασμένη, ώστε δεν μπορεί να καθοριστεί επακριβώς το πραγματικό πάχος των διαφόρων υδροφόρων οριζόντων γιατί:

1. Δεν υπάρχουν αρκετές λιθοστρωματογραφικές τομές των πηγαδιών και γεωτρήσεων στην περιοχή.
2. Ποτέ κανένα τέτοιο υδροληπτικό έργο δεν έχει διαπεράσει όλο το υδροφόρο σύστημα και συνήθως, γύρω στα 10-20 m μετά την ανεύρεση της υδροφορίας το έργο σταματάει.
3. Λόγω της πολυπλοκότητας της τεκτονικής-νεοτεκτονικής δομής της περιοχής, αυτό αλλάζει από θέση σε θέση.
4. Η στρωματογραφία της περιοχής υπαγορεύει ένα σύνθετο σύστημα από διάφορους υδροφόρους ορίζοντες σε διάφορα πάχη και βάθη (multiaquifer), άλλοτε ελεύθερους άλλοτε με μικρή ή και μεγάλη πίεση και άλλοτε ημιπεριορισμένους (semi-confined) ή περιορισμένους όπου έχουν καταστεί ελεύθεροι λόγω υπερεντατικής άντλησης.

Έτσι, λοιπόν, στην παρούσα θεωρείται ότι:

1. Τα πηγάδια είναι τέλεια υδροληπτικά έργα, χωρίς αυτό να είναι μακριά από την πραγματικότητα και αυτό γιατί τα πάχη είναι σχετικά μικρά (βλέπε τις διάφορες τομές που παρατίθενται στην παρούσα) κι έτσι αντλούν έναν, δύο έως και εξι στρώματα από όλο σχεδόν το πάχος τους.
2. Ως πάχος υδροφόρου για τις νεογενείς και τεταρτογενείς αποθέσεις θεωρείται εκείνο το οποίο έχει συναντήσει αθροιστικά για τα διάφορα υδροφόρα η διάνοιξη του πηγαδιού και αν δεν είναι γνωστό κρίνεται αναλόγως των αποστάσεων του πηγαδιού από άλλα πηγάδια με γνωστές τομές που έχουν βρεθεί από διάφορες μελέτες ή από προφορική συζήτηση με τους κατασκευαστές ή ιδιοκτήτες.

Στην περιοχή του Θριασίου Πεδίου έχουν εκτελεσθεί δοκιμαστικές αντλήσεις σε πηγάδια και γεωτρήσεις από το Υπουργείο Γεωργίας κατά την διάρκεια ανόρυξής τους (ΥΕΒ 1956-1985), από τους ερευνητές μελετητές σε διάφορες περιόδους όπως Λιονής (1992), Παρασχούδης, (2002), το ΙΓΜΕ με τους Κούνη και Σιέμο (1990), το ΕΛΚΕΘΕ με τους Ζαχαρίας Ι., Σαραντάκος Κ., Andre C., (2003) οι αντλήσεις οι οποίες πραγματοποιήθηκαν στον χώρο του ΧΥΤΑ και από τον συγγραφέα κατά την περίοδο 2000-2012.

7.6.1. Μέθοδοι ανάλυσης και επεξεργασίας δοκιμαστικών αντλήσεων

Μέθοδος Theis: Ο βασικός νόμος που διέπει την ροή του υπόγειου νερού στην κατάσταση ισορροπίας είναι η εξίσωση Laplace:

$$\frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial z^2} = 0$$

Εξίσωση 7.1

Ο τύπος του Dupuit

$$Q = 2\pi kb \frac{H - h}{\ln \frac{R}{r}}$$

Εξίσωση 7.2

και η εξίσωση του Thiem

$$s = \frac{Q}{2\pi T} \ln \frac{r_2}{r_1}$$

Εξίσωση 7.3

είναι αναλυτικές λύσεις της Εξίσωσης 6.1 για συγκεκριμένες οριακές συνθήκες. Στην πράξη, όμως, η ροή προς τα υδροληπτικά έργα δεν φθάνει σε κατάσταση ισορροπίας (steady state) και χαρακτηρίζεται ως μη μόνιμη (unsteady state). Αυτή λοιπόν, διέπεται από μία άλλη εξίσωση :

$$\frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial z^2} = \frac{S}{T} \frac{\partial \Phi}{\partial t}$$

Εξίσωση 7.4

όπου όλα τα στοιχεία της ροής μεταβάλλονται με τον χρόνο και δεν αρκούν μόνο οι οριακές συνθήκες για να επιλυθεί αλλά και οι αρχικές συνθήκες. Επειδή, όμως, η επίλυση της

Εξίσωσης 6.4 είναι αρκετά δύσκολη, θεωρούμε την ροή δισδιάστατη και αν μεταφερθεί σε πολικές συντεταγμένες απλοποιείται στην εξίσωση:

$$\frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} + \frac{1}{x} \frac{\partial \Phi}{\partial x} = \frac{S}{T} \frac{\partial \Phi}{\partial t}$$

Εξίσωση 7.5

Λύση της Εξίσωσης 6.5 αποτελεί η :

$$s = \frac{Q}{4\pi\pi} \int_0^\infty \frac{e^{-z}}{r^2 S} dz$$

Εξίσωση 7.6

Η Εξίσωση 6.6 είναι γνωστή ως εξίσωση Theis, το δε ολοκλήρωμα που περιλαμβάνει, ως εκθετικό ολοκλήρωμα και συμβολίζεται $W(u)$, με $u=r^2S/4Tt$ και η τιμή του δίνεται από την σειρά

$$W(u) = -5772 - \ln u + u - \frac{u^2}{2 \cdot 2!} + \frac{u^3}{3 \cdot 3!} - \frac{u^4}{4 \cdot 4!} + \dots$$

Εξίσωση 7.7

Έτσι λοιπόν η εξίσωση Theis γίνεται

$$s = \frac{Q}{4\pi T} W(u)$$

Εξίσωση 7.8

$$\text{ή } T = \frac{Q}{4\pi s} W(u)$$

Εξίσωση 7.9

$$\text{με } u = \frac{r^2 S}{4Tt}$$

Εξίσωση 7.10

$$\text{και } S = \frac{4Tt}{r^2} u$$

Εξίσωση 7.11

όπου T = μεταβιβαστικότητα, S = αποθηκευτικότητα, t = χρόνος άντλησης, r = ακτίνα γεώτρησης, $W(u)$ = συνάρτηση πηγαδιού και s = στάθμη άντλησης

Κατά την εφαρμογή της μεθόδου Theis θα πρέπει, σε γενικές γραμμές και όχι πάντα, να δίνεται μικρότερη βαρύτητα στις πρώτες μετρήσεις, επειδή δεν προσεγγίζουν αρκετά την θεωρητική πτώση στάθμης πάνω στην οποία βασίζεται. Μεταξύ άλλων, οι θεωρητικές εξισώσεις πρέπει να πληρούν τις παραδοχές ότι η παροχή άντλησης παραμένει σταθερή και ότι η απελευθέρωση του νερού, το οποίο είναι αποθηκευμένο στον υδροφόρο ορίζοντα, είναι ακαριαία και ευθέως ανάλογη με το ρυθμό μείωσης του υδραυλικού φορτίου.

Στην πραγματικότητα, μπορεί να υπάρχει μια χρονική υστέρηση μεταξύ της μείωσης του φορτίου και της απελευθέρωσης του αποθηκευμένου νερού, καθώς επίσης, η παροχή άντλησης μπορεί να μεταβάλλεται ανάλογα με την προσαρμογή της αντλίας στην αλλαγή του φορτίου. Αυτό προκαλεί στην αρχή, κάποια διαφορά μεταξύ της θεωρητικής και της πραγματικής ροής του νερού, ενώ, καθώς συνεχίζεται η άντληση οι επιπτώσεις αυτές ελαχιστοποιούνται και μπορεί να επιτευχθεί συμφωνία μεταξύ της θεωρητικής και πραγματικής ροής.

Στην διδακτορική αυτή διατριβή, χρησιμοποιήθηκαν τόσο οι αρχικές όσο και οι τελικές μετρήσεις των αντλήσεων για καλύτερη ανάλυση και ερμηνεία των δεδομένων της άντλησης δεδομένου ότι οι μετρήσεις στην έναρξη της άντλησης είναι πάντα σημαντικές και θα πρέπει να συνεκτιμώνται (Driscoll 1986).

Μέθοδος Cooper-Jacob: Οι Cooper και Jacob (1946) στηριζόμενοι στο πρότυπο του Theis, διαπίστωσαν ότι για τιμές του u μικρότερες από 0.01, το άθροισμα των όρων της σειράς στην Εξίσωση 6.7 μετά το ln u είναι αμελητέο και η διαφορά είναι της τάξης του 2,5%. Έτσι η Εξίσωση 6.7 γίνεται:

$$s = \frac{Q}{4\pi\pi} \left(-0,5772 - \ln \frac{r^2 S}{4Tt}\right) \quad \text{ή} \quad s = \frac{Q}{4\pi\pi} \left(\ln \frac{4Tt}{r^2 S} - 0,5772\right)$$

και επειδή $\ln(1.78)=0.5272$

$$s = \frac{Q}{4\pi\pi} \ln \frac{2,25Tt}{r^2 S} \quad \text{ή} \quad s = \frac{2,3Q}{4\pi\pi} \log \frac{2,25Tt}{r^2 S}$$

$$s = \frac{0,183Q}{T} \log \frac{2,25Tt}{r^2 S}$$

και τελικά

Εξίσωση 7.12

Η Εξίσωση 6.12 καλείται τροποποιημένη εξίσωση και η μέθοδος επεξεργασίας των στοιχείων μέθοδος Cooper-Jacob ή μέθοδος λογαριθμικής προσέγγισης και χρησιμοποιείται στα διαγράμματα s-logt, και επαναφοράς στάθμης.

Η διαφορά της πτώσης στάθμης Δs σε ένα λογαριθμικό κύκλο δίνεται από τον τύπο:

$$\Delta s = \frac{0.183Q}{T}$$

Εξίσωση 7.13

από τον οποίο υπολογίζεται η μεταβιβαστικότητα T

$$T = \frac{0,183Q}{\Delta s}$$

Εξίσωση 7.14

Από την Εξίσωση 6.12 για μηδενική πτώση στάθμη προκύπτει η Εξίσωση 6.15

$$S = 2,25 \frac{T t_0}{r^2}$$

Εξίσωση 7.15

από όπου υπολογίζουμε την αποθηκευτικότητα S.

Οι τιμές T ,S που υπολογίζονται με αυτόν τον τρόπο πρέπει να εισάγονται στην Εξίσωση 6.10 και να επαληθεύεται το κριτήριο $u \leq 0.01$.

Η προϋπόθεση ότι η παράμετρος u της συνάρτησης του πηγαδιού $W(u)$, πρέπει να είναι μικρή, σε περιορισμένους υδροφορείς, συνήθως μέτρια ικανοποιείται για αποστάσεις μέσα σε μια ώρα ή λιγότερο. Η συνθήκη $u < 0.01$ είναι μάλλον αυστηρή. Για πέντε ή και δέκα φορές υψηλότερη τιμή ($u < 0.05$ και $u < 0.10$), το σφάλμα στο αποτέλεσμα είναι λιγότερο από 2% και 5%, αντίστοιχα (Kruseman, de Ridder, 1990).

Μέθοδος Παπαδόπουλου-Cooper: Στις παραδοχές που διέπουν τις εξισώσεις για την ανάλυση των δεδομένων των αντλήσεων, η αποθήκευση της γεώτρησης είναι αμελητέα. Αυτό δεν ισχύει στα πηγάδια όπου η διάμετρος είναι μεγάλη. Οι Παπαδόπουλος-Cooper (1967), λαμβάνουν υπ' όψιν του το στοιχείο αυτό και χρησιμοποιούν την παρακάτω Εξίσωση 7.16 για να περιγράψουν την πτώση στάθμης σε υπό πίεση υδροφορείς με μεγάλη διάμετρο.

$$s = \frac{Q}{4\pi T} F(u, \alpha, \frac{r}{r_{ew}})$$

Εξίσωση 7.16

και

$$T = \frac{Q}{4\pi s} F(u, \alpha, \frac{r}{r_{ew}})$$

Εξίσωση 7.17

Όπου

$$u = \frac{r^2 S}{4Tt} \quad \text{και} \quad \alpha = \frac{r_{ew}^2 S}{r_c^2}$$

r_{ew} = ενεργός ακτίνα του πηγαδιού, δηλαδή η απόσταση στην οποία η θεωρητική πτώση στάθμης και η πτώση στάθμης έξω από το φίλτρο συμπίπτουν.

r = πραγματική ακτίνα του (ανεπένδυτου) πηγαδιού

Οι τιμές της συνάρτησης $F(u, \alpha, \frac{r}{r_{ew}})$ δίνονται σε πίνακα με τις οποίες κατασκευάζονται ομάδες καμπυλών. Από την Εξίσωση 7.17 υπολογίζεται η μεταβιβαστικότητα T και από τις Εξισώσεις 7.18 ή 7.19 η αποθηκευτικότητα

$$S = \frac{4Ttu}{r^2}$$

Εξίσωση 7.18

$$S = \alpha \frac{r_c^2}{r_{ew}^2}$$

Εξίσωση 7.19

Για μεγάλους χρόνους άντλησης η αποθήκευση στο πηγάδι δεν επηρεάζει την πτώση στάθμης. Ο απαιτούμενος χρόνος που προτείνει ο Schafer δίνεται από τον τύπο

$$t_c = \frac{0.017(d_c^2 - d_p^2)}{Q/s}$$

Εξίσωση 7.20

Όπου t_c = χρόνος σε min, όπου η αποθήκευση είναι αμελητέα

d_c = διάμετρος του πηγαδιού σε mm

d_p = εξωτερική διάμετρος του σωλήνα της αντλίας σε mm

Q/s = ειδική ικανότητα σε m³/d.m στον χρόνο t_c

οπότε εφαρμόζεται η εξίσωση Theis καθώς επίσης, για χρόνο $t > DS/2K$ η επίδραση της ατέλειας του πηγαδιού παραμένει σταθερή οπότε δεν χρειάζεται επιπρόσθετη μετατροπή της εξίσωσης Παπαδόπουλου.

Μέθοδος Neuman: Ο Neuman (1972, 1975) παρουσίασε την θεωρία της υστέρησης του ελεύθερου υδροφόρου ορίζοντα κατά την οποία η μορφή τύπου S στις καμπύλες logs-logt οφείλεται στον τρόπο που μεταβιβάζεται το νερό κατά την φάση της άντλησης και τις φυσικές ιδιότητες του υδροφόρου. Η εξίσωση που χρησιμοποιεί είναι η ακόλουθη 6.22:

$$s = \frac{Q}{4\pi T} W(u_A, u_B, \beta) \quad \text{Εξίσωση 7.21}$$

Στο αρχικό στάδιο της άντλησης ισχύει

$$s = \frac{Q}{4\pi T} W(u_A, \beta) \quad \text{Εξίσωση 7.22}$$

$$u_A = \frac{r^2 S_A}{4Tt} \quad \text{Εξίσωση 7.23}$$

Στο τελευταίο στάδιο της άντλησης ισχύει

$$s = \frac{Q}{4\pi T} W(u_B, \beta) \quad \text{Εξίσωση 7.24}$$

$$u_B = \frac{r^2 S_Y}{4Tt} \quad \text{Εξίσωση 7.25}$$

$$\beta = \left(\frac{r}{D}\right)^2 \frac{K_V}{K_h} \quad \text{Εξίσωση 7.26}$$

S_A = αποθηκευτικότητα, S_Y = ειδική απόδοση, K_V = κατακόρυφη υδραυλική αγωγιμότητα, K_h = οριζόντια υδραυλική αγωγιμότητα, D = πάχος του υδροφόρου

Επί πλέον παραδοχές για την εφαρμογή της μεθόδου είναι:

- Το υδροφόρο να είναι ισότροπο ή ανισότροπο
- Η επίδραση της ακόρεστης ζώνης πάνω στην πτώση στάθμης να είναι αμελητέα
- $S_Y/S_A > 10$
- Το πιεζόμετρο να είναι όλο φίλτρο και να διαπερνά όλο το πάχος του υδροφόρου
- Η απόσταση του πιεζομέτρου και της γεώτρησης να είναι μικρή

Μέθοδος Επαναφοράς της στάθμης: Με την παύση της άντλησης το νερό μέσα στο πηγάδι αρχίζει να ανεβαίνει. Μετρώντας αυτήν στάθμη και αφαιρώντας την από την αρχική στάθμη, πριν την έναρξη της άντλησης, αποκτάται μία τιμή η οποία ονομάζεται **υπολειπόμενη στάθμη s'** (residual drawdown) η οποία χρησιμοποιείται σε διαγράμματα s' -logt. Με τον τρόπο αυτό υπολογίζεται η μεταβιβατικότητα T . Με την μέθοδο αυτή λαμβάνεται μία

ανεξάρτητη τιμή για την μεταβιβαστικότητα για να μπορούν να ελέγχονται καλύτερα τα αποτελέσματα της άντλησης.

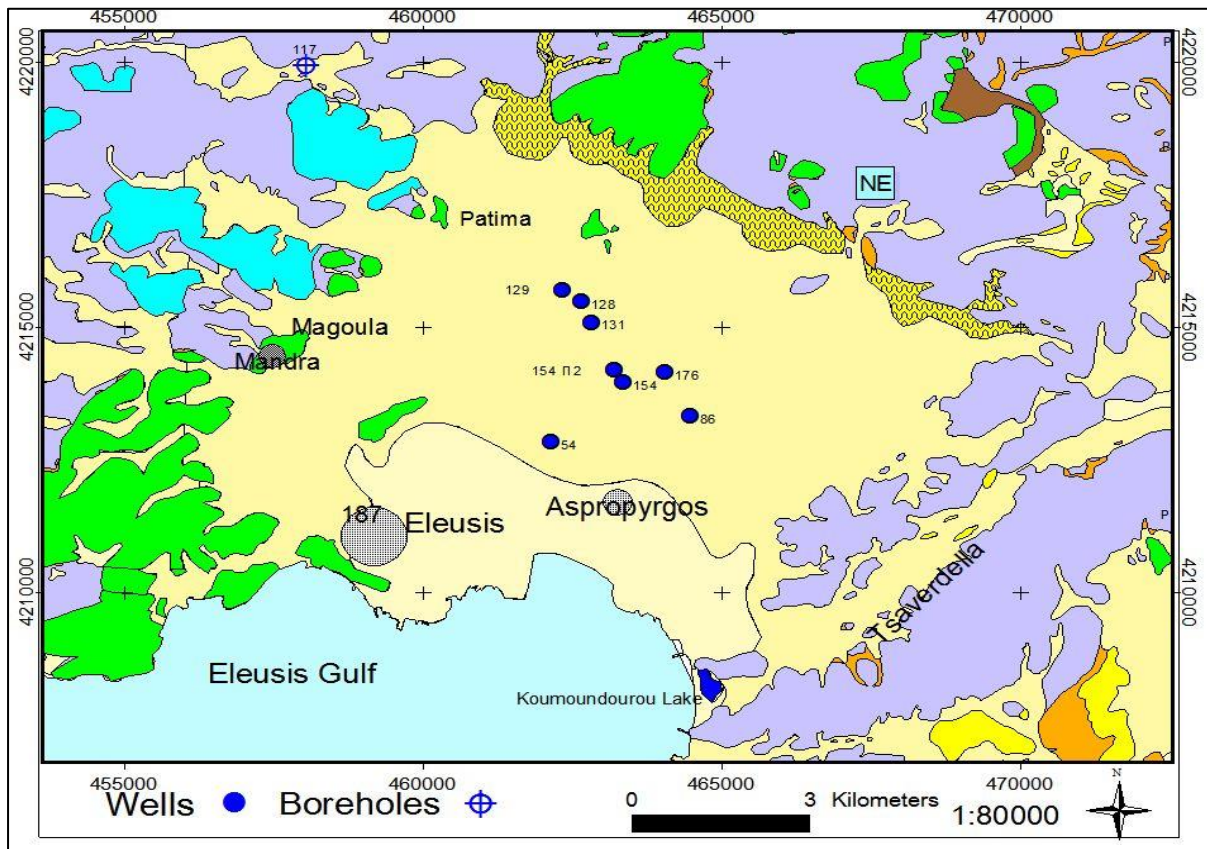
Η τιμή της μεταβιβαστικότητας, με την μέθοδο της επαναφοράς, θεωρείται πιο αξιόπιστη από τις μεθόδους Theis και Cooper-Jacob, επειδή η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα επανέρχεται μόνη της χωρίς άλλη παρέμβαση και με σταθερή παροχή.

Ο υπολογισμός της μεταβιβαστικότητας T , με την μέθοδο της επαναφοράς, δίνει υψηλότερες τιμές του T στους ελεύθερους, ενώ δίνει ακριβή αποτελέσματα στους υπό πίεση (περιορισμένους) υδροφόρους.

7.6.2. Αξιολόγηση δοκιμαστικών αντλήσεων

Δοκιμές άντλησης πραγματοποιήθηκαν στα πηγάδια N54, N86, N128, N129, N131, N154, N154 Π-2, N176, N117 από τον συγγραφέα, στις γεωτρήσεις I3, I2 και τα πηγάδια της ομάδας E3 (τέσσερα συνολικά) από τους Κούνη και Σιέμο (Κούνης και Σιέμος 1992), στις γεωτρήσεις της ομάδας Z από το ΕΛΚΕΘΕ και σε διάφορες θέσεις από το Υπ. Γεωργίας (ΥΕΒ) κατά καιρούς από το 1956 έως το 1992 συμπεριλαμβανομένης και της υδρογεωλογικής μελέτης του Αιγάλεω (Λιονής, 1992).

Στην ανάλυση και επεξεργασία των στοιχείων των αντλήσεων χρησιμοποιήθηκαν οι μέθοδοι Cooper-Jacob, Παπαδόπουλου, Theis, Neuman και η Μέθοδος της Επαναφοράς και εξήχθησαν οι μέσες τιμές αυτών για τις υδραυλικές παραμέτρους, της μεταβιβαστικότητας T και της αποθηκευτικότητας S .



Εικόνα 7.13: Θέσεις δοκιμαστικών αντλήσεων.

❖ Πηγάδι N54

Η δοκιμή άντλησης στο πηγάδι N54 πραγματοποιήθηκε στις 29/05/2012 με τα παρακάτω δεδομένα:

Υψόμετρο πηγαδιού	19,77m	Στάθμη ηρεμίας	16,92 m
Reper	1,40 m	Πιεζομετρικό φορτίο	+4,25 m
Πάχος υδροφόρου	D = 5 m	Ακτίνα πηγαδιού	r = 0,85 m
Διάρκεια άντλησης	12 hours	Παροχή άντλησης	Q = 300 m ³ /d
Στάθμη άντλησης	17,78 m	Πτώση στάθμης	s= 0,86 m

Τα δεδομένα της άντλησης παρατίθενται στο Παράρτημα (I). Το πηγάδι αντλεί μερικώς υπό πίεση υδροφόρο, γεγονός το οποίο υποδεικνύει η ανάλυση των δοκιμών άντλησης.

Κατά την διάρκεια της δοκιμής συλλέχθηκαν τρία δείγματα νερού το 1^ο δείγμα στο 7^ο λεπτό, το 2^ο στο 480^ο και το 3^ο στο 720^ο λεπτό. Από τις αναλύσεις δεν διαπιστώθηκε κάποια μεταβολή στην ποιότητα του νερού αλλά και των χλωριόντων που κυμάνθηκαν για τα μεν χλωριόντα μεταξύ 194 mg/l στην έναρξη και 193 mg/l στην λήξη της άντλησης και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας μεταξύ 1795 μS/cm και 1799 μS/cm αντίστοιχα.

Στην ανάλυση και επεξεργασία των στοιχείων της άντλησης χρησιμοποιήθηκαν οι μέθοδοι Cooper-Jacob, Παπαδόπουλου, Theis, Neuman και η Μέθοδος της Επαναφοράς.

Μέθοδος Cooper-Jacob: Τα αποτελέσματα από την εφαρμογή της μεθόδου Cooper-Jacob (Εικόνα 6.14) μετά τον έλεγχο της παραμέτρου u αλλά και μετά τον έλεγχο της αποθήκευσης σύμφωνα με τον Schafer (Εξίσωση 6.23) έχουν ως εξής:

- Μεταβιβαστικότητα **T= 82 m²/d**
- Υδραυλική αγωγιμότητα **K= T/D=82/4= 20,5 m/d**
- Ειδική ικανότητα $Q/s=12.5/0.86=15.53 \text{ m}^3/\text{h.m}$ 348.83m³/d.m

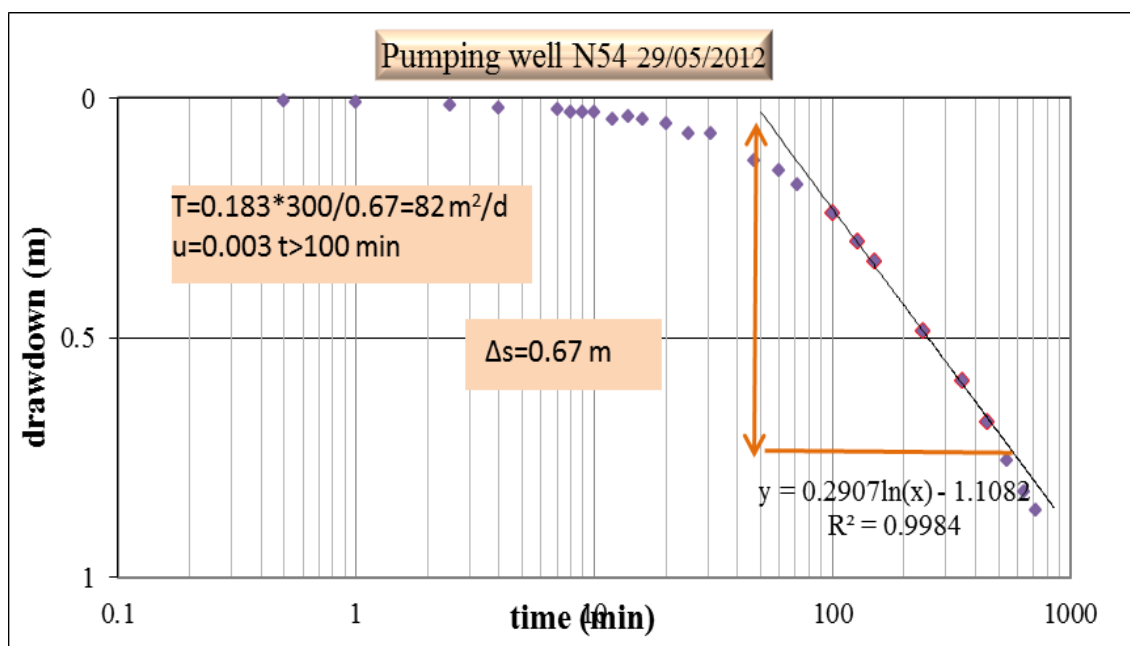
Η αποθηκευτικότητα S δεν μπορεί να εξαχθεί από το παραπάνω διάγραμμα γιατί οι μετρήσεις έχουν πραγματοποιηθεί στο πηγάδι άντλησης και δεν είναι αντιπροσωπευτικές και αξιόπιστες. Μετρήσεις επίσης, έχουν γίνει και σε δύο πηγάδια τα οποία απέχουν αποστάσεις Π₂=65 m και Π₁=125 m.

Για το πηγάδι Π₁ τα αποτελέσματα έχουν:

- Μεταβιβαστικότητα **T= 1198 m²/d** και
- Αποθηκευτικότητα **S= 2,8·10⁻³**
- Υδραυλική αγωγιμότητα **K=T/D=1198/5=239,6 m/d**

Ενώ για το πηγάδι Π₂ τα αποτελέσματα έχουν:

- Μεταβιβαστικότητα **T= 1069 m²/d** και
- Αποθηκευτικότητα **S= 9,8·10⁻³**
- Υδραυλική αγωγιμότητα **K=T/D=1069/5=213,8 m/d**



Εικόνα 7.14: Ανάλυση άντλησης πηγαδιού N54 με την μέθοδο Cooper-Jacob.

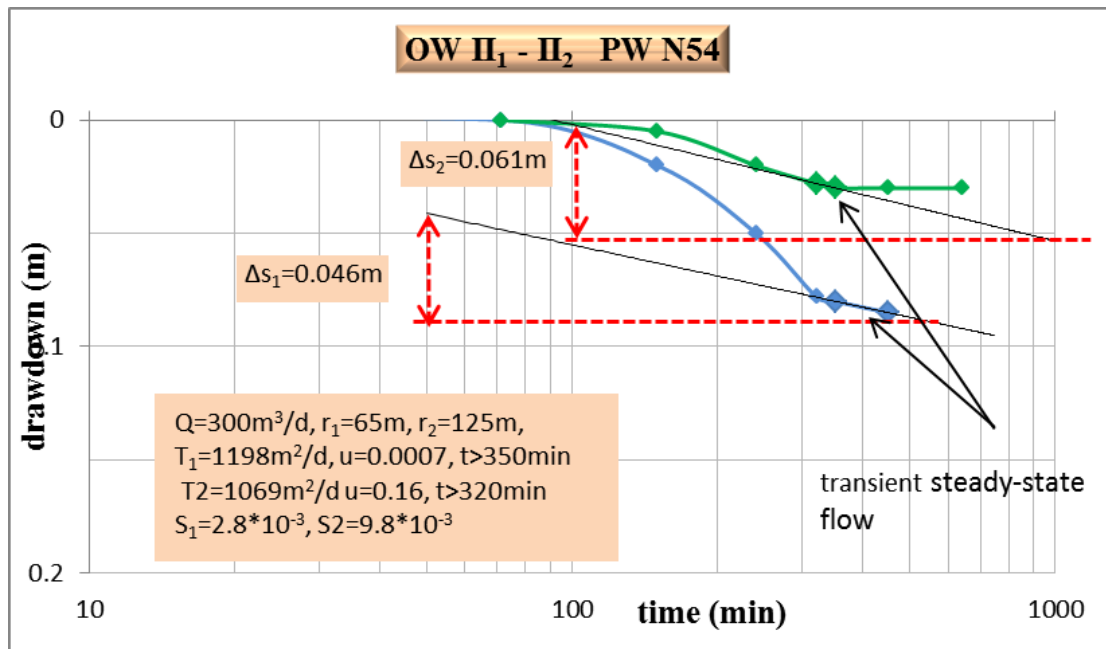
Στην Εικόνα 7.15 αν παρατηρήσει κάποιος από τα 320 περίπου λεπτά και μετά, βλέπει για λίγο, μία χαρακτηριστική **transient steady-state** ροή (ενδιάμεση ροή μεταξύ μόνιμης και μη μόνιμης ροής), όπου η στάθμη στα δύο πιεζόμετρα παρατήρησης Π1 και Π2 πέφτει με τον ίδιο ρυθμό ακολουθώντας παράλληλη πορεία χωρίς όμως να έχει σταθεροποιηθεί η στάθμη και στα δύο πιεζόμετρα.

Αν εφαρμοσθεί η λύση του **Thiem** (1856) για την συγκεκριμένη κατάσταση, η μεταβιβαστικότητα ισούται περίπου με **$T=1000 \text{ m}^2/\text{d}$** , η οποία είναι πολύ κοντά στις τιμές που δίνει η λύση Cooper-Jacob, για τα ίδια πηγάδια Π₁, Π₂.

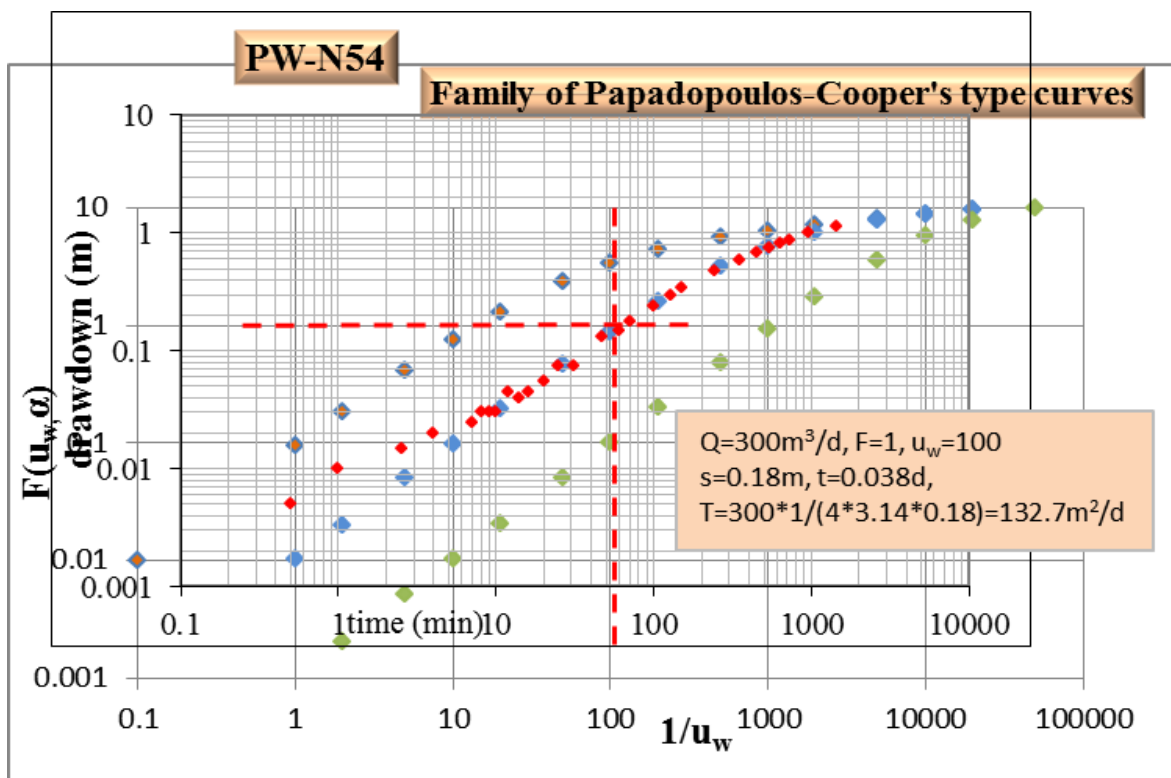
Μέθοδος Παπαδόπουλου: Τα αποτελέσματα από την εφαρμογή της μεθόδου Παπαδόπουλου (Εικόνα 6.16) έχουν ως εξής:

- Μεταβιβαστικότητα **$T= 132,7 \text{ m}^2/\text{d}$** και
- Υδραυλική αγωγιμότητα **$K= T/D=132,7/5=26,5 \text{ m/d}$**

Αν παρατηρήσει κάποιος τις αρχικές μετρήσεις μπορεί να διαπιστώσει ότι αυτές πέφτουν έξω από την θεωρητική καμπύλη κατά τρόπο ιδιαίτερο. Η εξήγηση πιθανόν, να αποδίδεται στο γεγονός της κατασκευής εσωτερικού έργου συλλογής του νερού, εντός του πηγαδιού, κατά την φάση διάνοιξής του (φαινόμενο συχνό για την περιοχή) με αποτέλεσμα να δημιουργείται μία ιδιαίτερη ροή προς το πηγάδι που θα μπορούσε κάποιος να θεωρήσει ως πηγάδι **διευρυμένης διαμέτρου** (Extended well).



Εικόνα 7.15: Ανάλυση δεδομένων πηγαδιών παρατήρησης Π_1 , Π_2 με την μέθοδο Cooper-Jacob (29/05/2012) και εμφάνιση της transient steady-state ροής του υπόγειου νερού στην περιοχή του πηγαδιού N54.



Εικόνα 7.16: Ανάλυση δεδομένων άντλησης πηγαδιού N^ο 54 με την μέθοδο Παπαδόπουλου.

Σε αυτό συνηγορεί και η διερεύνηση της επίδρασης της διαμέτρου του πηγαδιού κατά Schafer όπου δεν δικαιολογούνται τα αποτελέσματα της άντλησης παρά μόνο αν

θεωρήσουμε την ισοδύναμη διάμετρο (πηγάδι ελλειψοειδούς διατομής διαστάσεων ίσων με πηγάδι κυκλικής διατομής) του πηγαδιού κοντά στα 4 m, γεγονός πάρα πολύ πιθανόν από την προσωπική συνομιλία του συγγραφέα με τον ιδιοκτήτη του πηγαδιού.

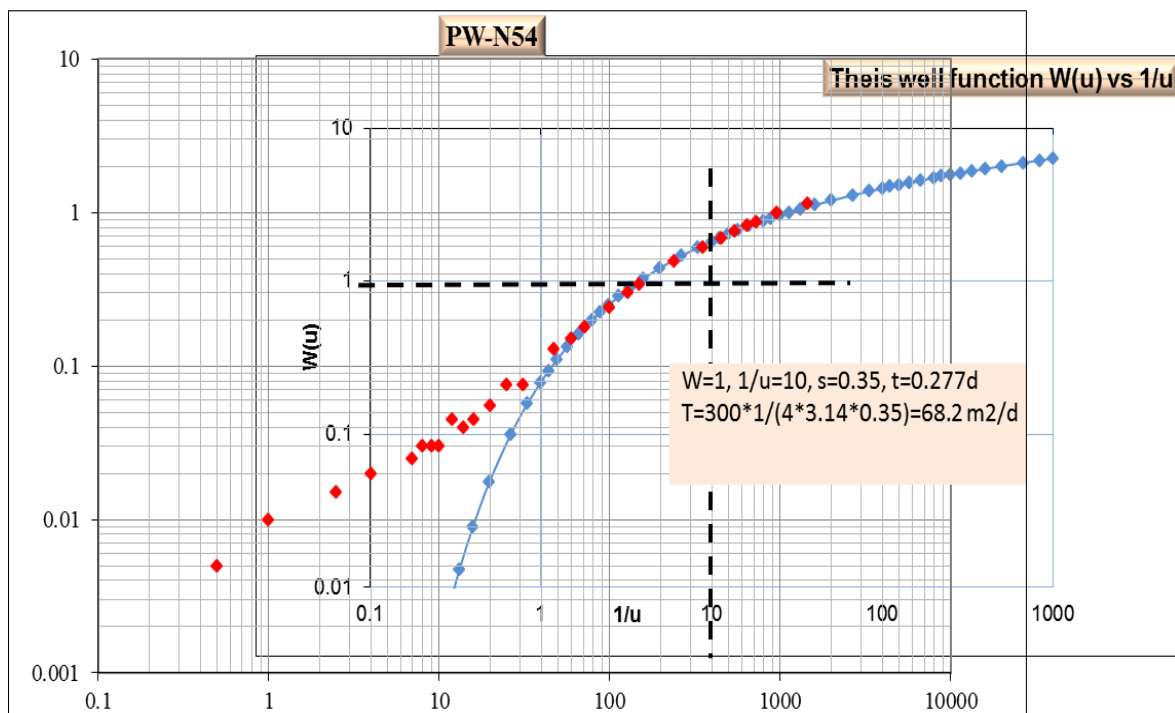
Μέθοδος Theis: Τα αποτελέσματα από την εφαρμογή της μεθόδου Theis, χρησιμοποιώντας τα διαγράμματα $W(u), 1/u$ και s, t (Driscoll 1986) (Εικόνα 7.17) έχουν ως εξής:

- Μεταβιβαστικότητα $T= 68,2 \text{ m}^2/\text{d}$ και
- Υδραυλική αγωγιμότητα $K= T/D=68,2/5=13,64 \text{ m/d}$

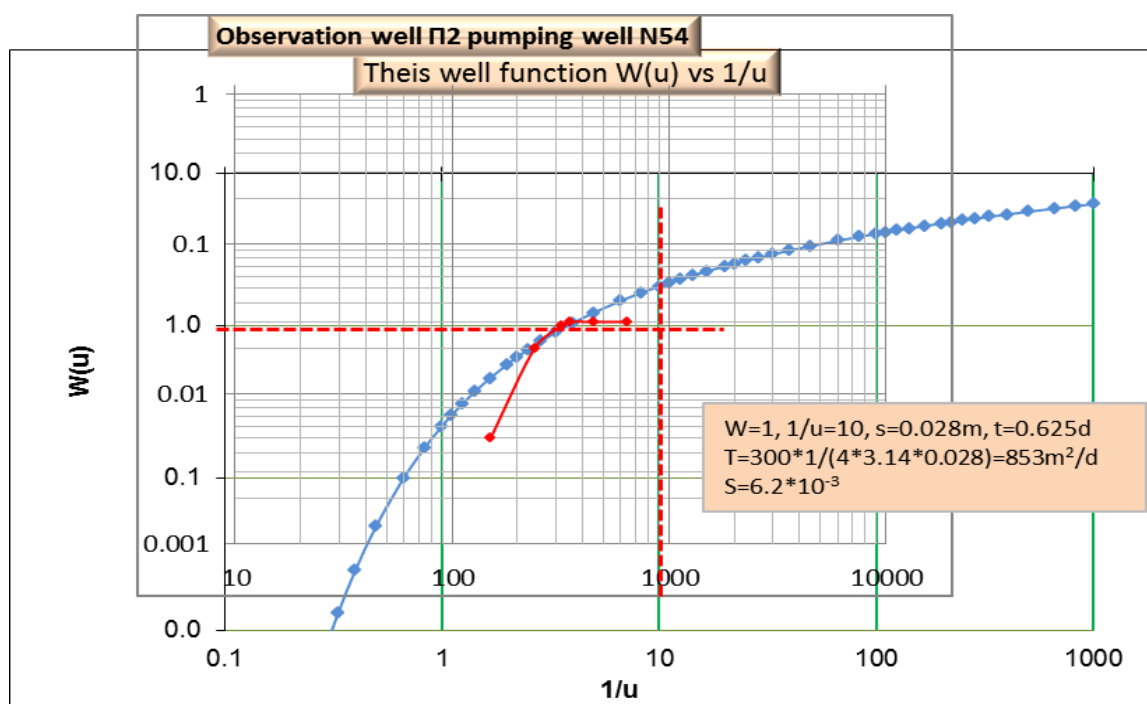
Η μέθοδος επισημαίνει και αναδεικνύει την ατέλεια του πηγαδιού και την μεγάλη διάμετρό του αλλά και το γεγονός ότι οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στο ίδιο το πηγάδι άντλησης γι' αυτό και η χαμηλή τιμή της μεταβιβαστικότητας. Από τα διαγράμματα των Εικόνων 7.17 και 7.18 παρατηρώντας τις αρχικές μετρήσεις καταλαβαίνει κάποιος ότι η πτώση στάθμης δεν εξελίσσεται σύμφωνα με τα πρότυπα των αντλήσεων και αποκλίνουν αρκετά από αυτά. Όπως και στην προηγούμενη μέθοδο Παπαδόπουλου διαφαίνεται το γεγονός, ότι η συμπεριφορά του υδροφόρου είναι ιδιαίτερη, καθώς οι αρχικές μετρήσεις πέφτουν αρκετά έξω από τις πρότυπες καμπύλες.

Η ανάλυση των δεδομένων άντλησης για το πηγάδι παρατήρησης Π₂, με την ίδια μέθοδο Theis δίνει:

- Μεταβιβαστικότητα $T= 853 \text{ m}^2/\text{d}$ και
- Αποθηκευτικότητα $S= 6,2 \cdot 10^{-3}$
- Υδραυλική αγωγιμότητα $K=T/D=853/5=170,6 \text{ m/d}$



Εικόνα 7.17: Ανάλυση άντλησης πηγαδιού N54 με την μέθοδο Theis (29/05/2012).



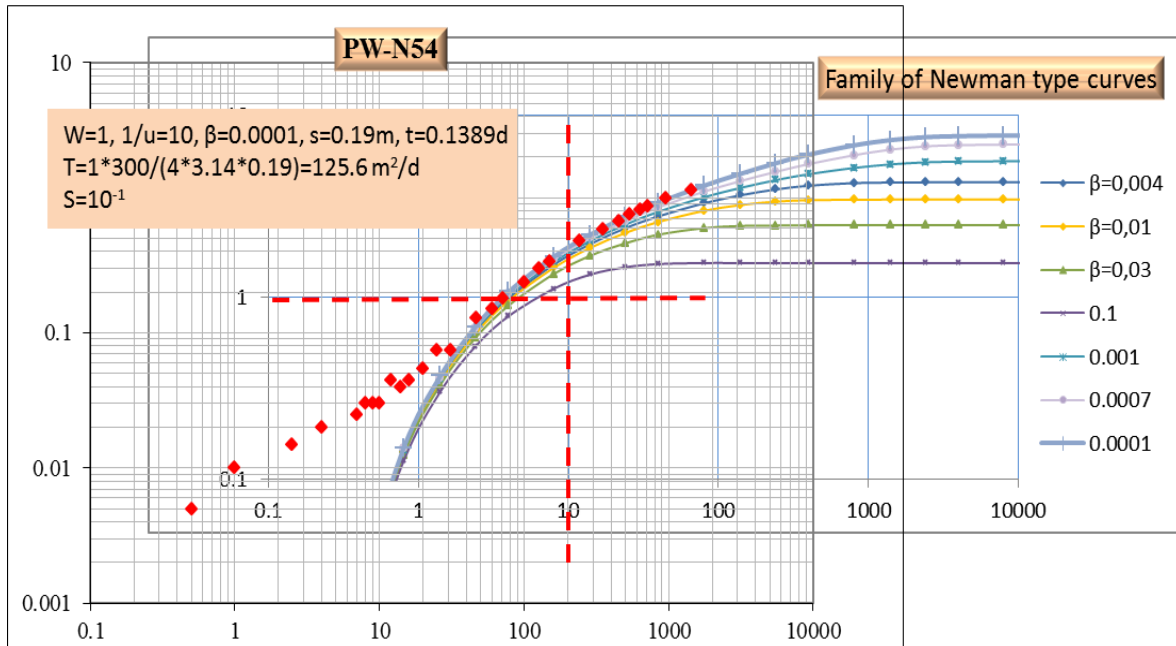
Εικόνα 7.18: Ανάλυση δεδομένων πηγαδιού παρατήρησης Π₂ με την μέθοδο Theis και εμφάνιση του φαινομένου της ψευδομεταβιβαστικότητας (pseudo-transmissivity).

Στην Εικόνα 7.18 μπορεί να διαπιστωθεί ότι μόνο 3 μετρήσεις ελήφθησαν υπ' όψιν γιατί αυτές φανερώνουν τα πραγματικά υδραυλικά χαρακτηριστικά του πηγαδιού. Οι υπόλοιπες μετρήσεις υπολογίζουν αυτό που αναφέρεται ως **ψευδομεταβιβαστικότητα (pseudo-transmissivity)** από τον Worthington (1981), όπως αναφέρουν και περιγράφουν πολύ κατατοπιστικά οι Kruseman και de Ridder (1990) καθώς οι μετρήσεις αυτές επηρεάζονται από την αποθήκευση του πηγαδιού και την αμέσως ακολουθούμενη τροφοδοσία του από κάποιο σώμα νερού.

Είναι πολύ μεγάλης σπουδαιότητας ο προσδιορισμός της πραγματικής μεταβιβαστικότητας όταν υπάρχουν τέτοιες συνθήκες, όπου μπορούν να οδηγήσουν σε εντελώς λανθασμένη αντίληψη για την μεταβιβαστικότητα του υδροληπτικού έργου και κατ' επέκταση της γύρω περιοχής.

Μέθοδος Neuman: Τα αποτελέσματα από την εφαρμογή της μεθόδου Neuman (Εικόνα 7.19) έχουν ως εξής:

- Μεταβιβαστικότητα $T = 125,6 \text{ m}^2/\text{d}$ και
- Αποθηκευτικότητα $S = 1,1 \cdot 10^{-1}$
- Υδραυλική αγωγιμότητα $K = T/D = 125,6/5 = 25,12 \text{ m/d}$



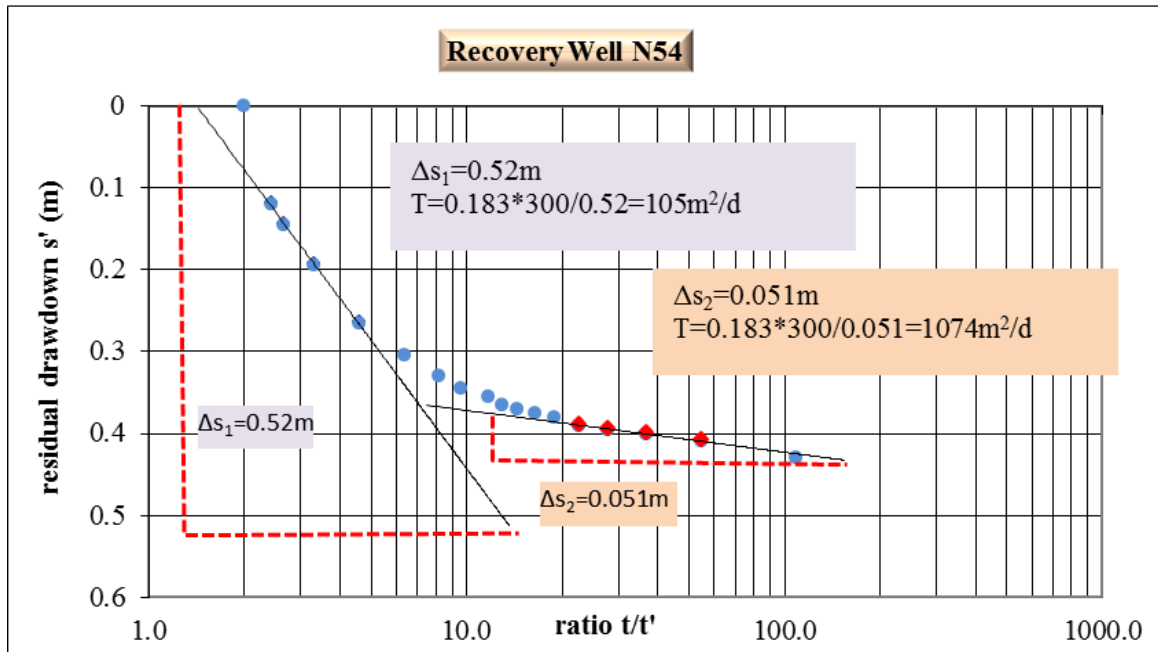
Εικόνα 7.19: Ανάλυση δεδομένων άντλησης πηγαδιού N^ο 54 με την μέθοδο Neuman.

Μέθοδος Επαναφοράς: Τα αποτελέσματα από την ανάλυση και εφαρμογή της μεθόδου επαναφοράς (Εικόνα 7.20) παρουσιάζουν ένα διπλό χαρακτήρα του υδροφόρου με δύο ευδιάκριτα σκέλη στην καμπύλη επαναφοράς, όπου στο πρώτο σκέλος η μεταβιβαστικότητα υπολογίστηκε σε $1074 \text{ m}^2/\text{d}$ και δείχνει να προέρχεται από ανοιχτούς αγωγούς και ανοιχτές διακλάσεις και στην συνέχεια από μικρότερες έτσι ώστε πάντα να θεωρείται πορώδες μέσον.

Έτσι λοιπόν τα αποτελέσματα έχουν ως εξής:

- Μεταβιβαστικότητα $T_1=105 \text{ m}^2/\text{d}$ και $T_2=1074 \text{ m}^2/\text{d}$
- Υδραυλική αγωγιμότητα $K_1=T/D=105/5=21 \text{ m/d}$ και $K_2=1074/5=214,8 \text{ m/d}$

Εδώ θα πρέπει να σημειωθεί ότι η πρώτη τιμή επηρεάζεται από την αποθήκευση του πηγαδιού ενώ η δεύτερη τιμή δείχνει να είναι πιο κοντά στην πραγματικότητα μιας και προέρχεται από τις τελευταίες μετρήσεις όπου εμφανίζεται ο πραγματικός υδραυλικός χαρακτήρας του πηγαδιού. Αν, στην μελέτη ληφθεί υπ' όψιν ο «αγωγός» ο οποίος έχει κατασκευασθεί στο πηγάδι, από τα δεδομένα της άντλησης εξάγεται το συμπέρασμα ότι η ροή του νερού προς το πηγάδι έχει επηρεασθεί αρκετά ενώ ο μεγάλος χρόνος άντλησης φανερώνει τα πραγματικά υδραυλικά χαρακτηριστικά. Έτσι, μπορεί να θεωρηθεί ότι η μεταβιβαστικότητα του σχηματισμού είναι της τάξης των $1000 \text{ m}^2/\text{d}$ (Πίνακας 7.2). Σαν πιο αντιπροσωπευτική τιμή αποθηκευτικότητας επιλέγεται η τιμή $S=6,2 \cdot 10^{-3}$ η οποία εξήχθη από το πηγάδι παρατήρησης Π₂.



Εικόνα 7.20: Ανάλυση δεδομένων επαναφοράς της στάθμης στο πηγάδι N54.

Στον Πίνακα 7.2 παρουσιάζονται τα υδραυλικά χαρακτηριστικά του πηγαδιού N^ο 54.

Πίνακας 7.2: Μέση τιμή υδραυλικών χαρακτηριστικών πηγαδιού N54

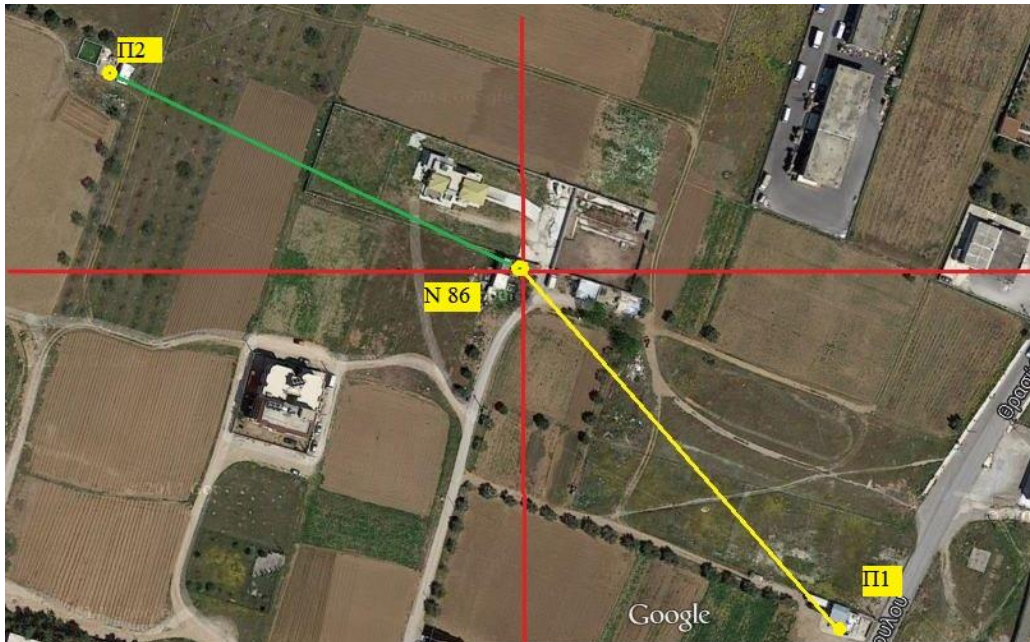
Μέθοδος	T (m ² /d)	S	K (m/d)	Q/s
Cooper-Jacob	82/1132	$6,2 \cdot 10^{-3}$	20,5/226,7	348,83 m ³ /d.m ή 15,53 m ³ /h.m
Theis	68.2/853		12,2/170,6	
Παπαδόπουλου	132.7		26,5	
Neuman	125.6		25,12	
Επαναφοράς	1074		214,8	
Μέση τιμή	102/1001	$6,2 \cdot 10^{-3}$	21/204	

❖ Πηγάδι N86

Η δοκιμή άντλησης στο πηγάδι N86 πραγματοποιήθηκε στις 19/10/2011 και περατώθηκε την ίδια ημέρα με τα παρακάτω δεδομένα:

Υψόμετρο πηγαδιού	50,72 m	Στάθμη ηρεμίας	47,635 m
Reper	0,70 m	Πιεζομετρικό φορτίο	+3,785 m
Πάχος υδροφόρου	D = 12 m	Ακτίνα πηγαδιού	r = 0,85 m
Διάρκεια άντλησης	245 min	Παροχή άντλησης	Q = 408 m ³ /d
Στάθμη άντλησης	48,79 m	Πτώση στάθμης	\bar{s} = 1,155 m

Το πηγάδι αντλεί υπό πίεση (περιορισμένο, confined) υδροφόρο, γεγονός το οποίο υποδεικνύει η ανάλυση των δοκιμών άντλησης, η μεταβολή της ετήσιας στάθμης η οποία κυμαίνεται κατά περίπου 1m.



Εικόνα 7.21: Η θέση των πηγαδιών N86 και των δορυφορικών πηγαδιών παρατήρησης Π1 και Π2.

Η θερμοκρασία του αέρα στις 12⁰⁰, κατά την έναρξη, ήταν 17 °C και της λήξης 16 °C. Τα χαρακτηριστικά του νερού άντλησης ήταν τα εξής:

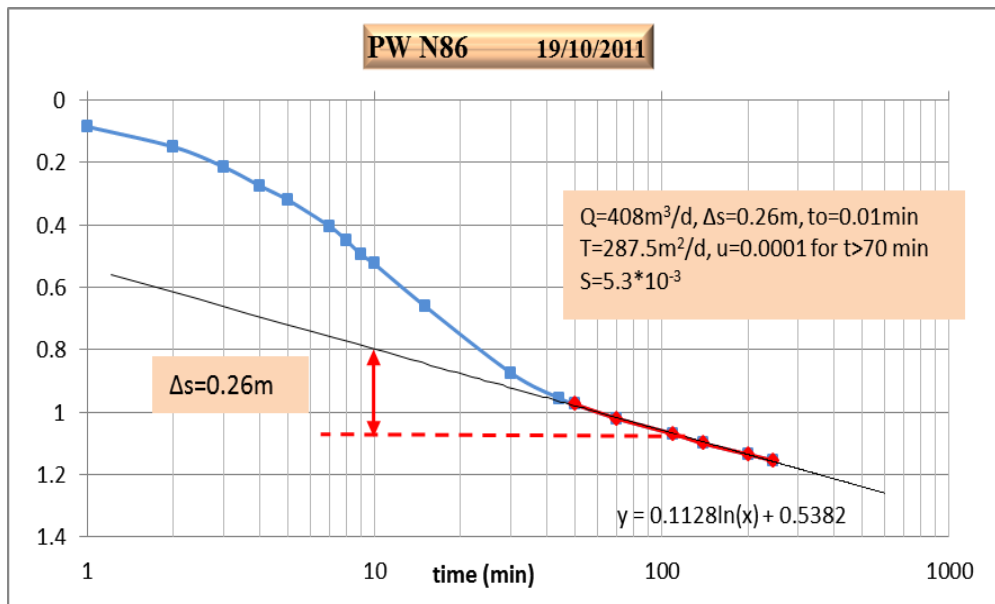
στο 5^ο λεπτό της άντλησης η θερμοκρασία ήταν $\Theta=19^{\circ}\text{C}$ και η $\text{EC}=1400 \mu\text{S}/\text{cm}$

στο 44^ο λεπτό της άντλησης η θερμοκρασία ήταν $\Theta=19,2^{\circ}\text{C}$ και η $\text{EC}=1200 \mu\text{S}/\text{cm}$

Σε όλη την διάρκεια της άντλησης η στάθμη στα πηγάδια παρατήρησης έμεινε αμετάβλητη και για το πηγάδι Π1 ήταν 47,70 m ενώ για το πηγάδι Π2 ήταν 45,83 m.

Το γεγονός της μείωσης της αγωγιμότητας με την εξέλιξη της άντλησης, φανερώνει την άφιξη νερού από πλευρική τροφοδοσία, η οποία και παρατηρείται κατά την χρονική στιγμή της αλλαγής της κλίσης της καμπύλης στην Εικόνα 7.22, όπου και αρχίζει να εξασθενεί η επίδραση της μεγάλης διαμέτρου του πηγαδιού.

Στην ανάλυση και επεξεργασία των στοιχείων της άντλησης χρησιμοποιήθηκαν οι μέθοδοι Cooper-Jacob Παπαδόπουλου, Theis, Neuman και η μέθοδος επαναφοράς.



Εικόνα 7.22: Ανάλυση δεδομένων άντλησης πηγαδιού N86 με την μέθοδο Cooper-Jacob και ανίχνευση της επίδρασης της μεγάλης διαμέτρου κατά την διεξαγωγή της δοκιμαστικής αντλήσεως.

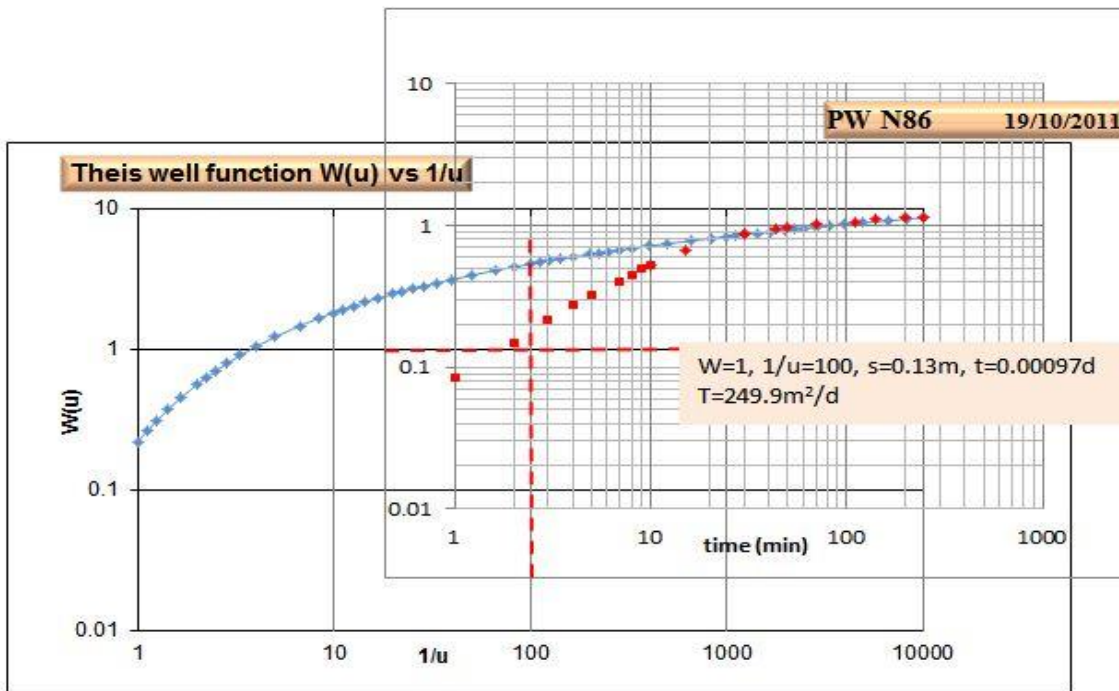
Μέθοδος Cooper-Jacob: Τα αποτελέσματα από την εφαρμογή της μεθόδου Cooper-Jacob (Εικόνα 6.28) έχουν ως εξής:

- Μεταβιβαστικότητα $T = 299,7 \text{ m}^2/\text{d}$
- Υδραυλική αγωγιμότητα $K = T/D = 299,7/20 = 14,99 \text{ m/d}$
- Αποθηκευτικότητα $S = 2,6 \cdot 10^{-3}$
- Ειδική ικανότητα $Q/s = 17/1,155 = 14,72 \text{ m}^3/\text{h.m}$ $353,25 \text{ m}^3/\text{d.m}$

Στην ίδια Εικόνα 6.22 δίνεται ένα **χαρακτηριστικότατο** παράδειγμα της άντλησης του νερού από την αποθήκευση του πηγαδιού, λόγω της μεγάλης διαμέτρου του. Οι μετρήσεις μετά το 8^ο λεπτό, οι οποίες δείχνουν να βρίσκονται σε ευθεία γραμμή οδηγούν σε λανθασμένο υπολογισμό για την τιμή μεταβιβαστικότητας. Ο απαιτούμενος χρόνος άντλησης ώστε η αποθήκευση του πηγαδιού να μην συμβάλλει στην παροχή άντλησης είναι 130 min σύμφωνα με τον έλεγχο που απαιτείται σε πηγάδια μεγάλης διαμέτρου χρησιμοποιώντας τον τύπο του Schafer (Εξίσωση 7.20). Από το διάγραμμα βγαίνει αβίαστα το συμπέρασμα ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο χρόνος $t > 70 \text{ min}$ για τον υπολογισμό του T .

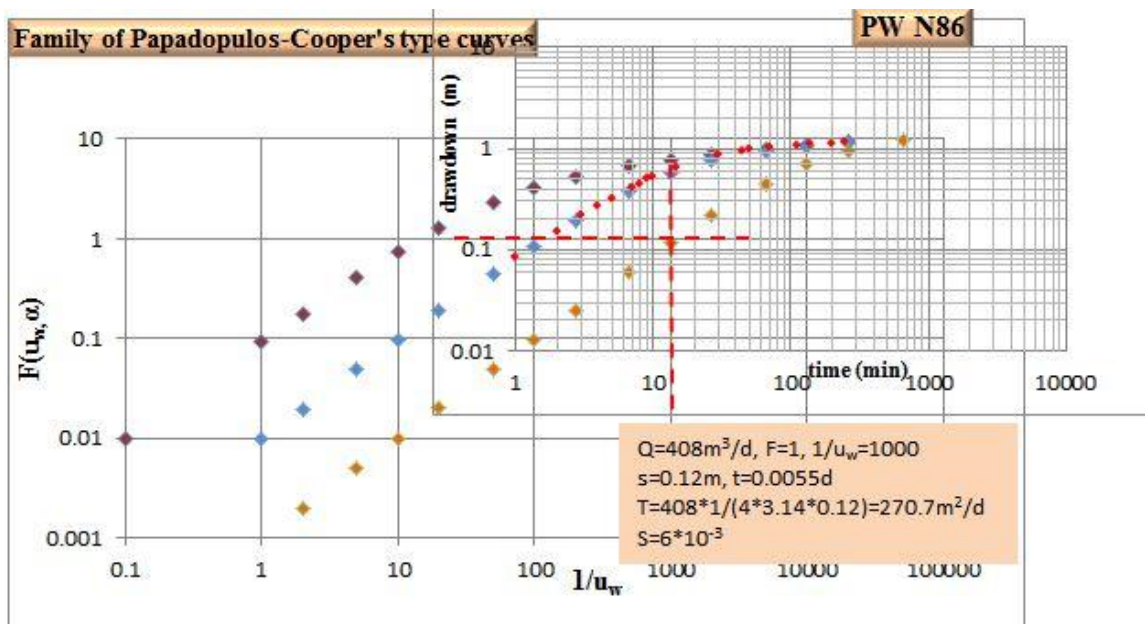
Μέθοδος Theis: Τα αποτελέσματα από την εφαρμογή της μεθόδου έχουν ως εξής:

- Μεταβιβαστικότητα $T = 249,9 \text{ m}^2/\text{d}$ και
- Υδραυλική αγωγιμότητα $K = T/D = 249,9/20 = 12,5 \text{ m/d}$



Εικόνα 7.23: Ανάλυση δεδομένων άντλησης πηγαδιού N86 με την μέθοδο Theis.

Η μέθοδος επισημαίνει και αναδεικνύει την μεγάλη διάμετρο του πηγαδιού. Στην παραπάνω Εικόνα 7.23 παρατηρώντας τις αρχικές μετρήσεις καταλαβαίνει κάποιος ότι η πτώση στάθμης δεν εξελίσσεται σύμφωνα με το πρότυπο Theis και αποκλίνουν αρκετά από αυτό γι' αυτό τον λόγο δεν ελήφθησαν υπ' όψιν. Αξίζει να σημειωθεί ότι αν ληφθούν υπ' όψιν οι πρώτες μετρήσεις στον υπολογισμό της μεταβιβαστικότητας T τότε η υπολογισθείσα τιμή θα είναι κατά πολύ διαφορετική από την πραγματική.



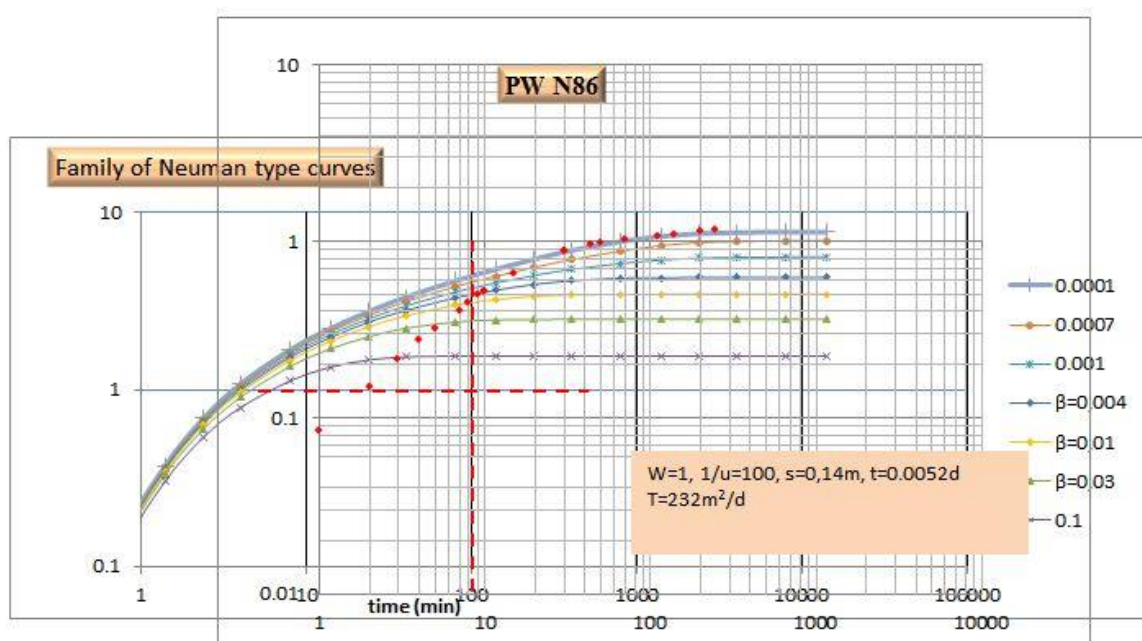
Εικόνα 7.24: Ανάλυση δεδομένων άντλησης πηγαδιού N^ο 86 με την μέθοδο Παπαδόπουλου.

Μέθοδος Παπαδόπουλου: Τα αποτελέσματα από την εφαρμογή της μεθόδου Παπαδόπουλου (Εικόνα 7.24) έχουν ως εξής:

- Μεταβιβαστικότητα $T= 270,7 \text{ m}^2/\text{d}$
- Αποθηκευτικότητα $S= 6 \cdot 10^{-3}$ και
- Υδραυλική αγωγιμότητα $K=270,7/20=13,54 \text{ m/d}$

Μέθοδος Neuman: Τα αποτελέσματα από την εφαρμογή της μεθόδου Neuman (Εικόνα 7.25) έχουν ως εξής:

- Μεταβιβαστικότητα $T= 232 \text{ m}^2/\text{d}$ και
- Υδραυλική αγωγιμότητα $K=232/20=11,6 \text{ m/d}$



Εικόνα 7.25: Ανάλυση δεδομένων άντλησης πηγαδιού N86 με την μέθοδο Neuman.

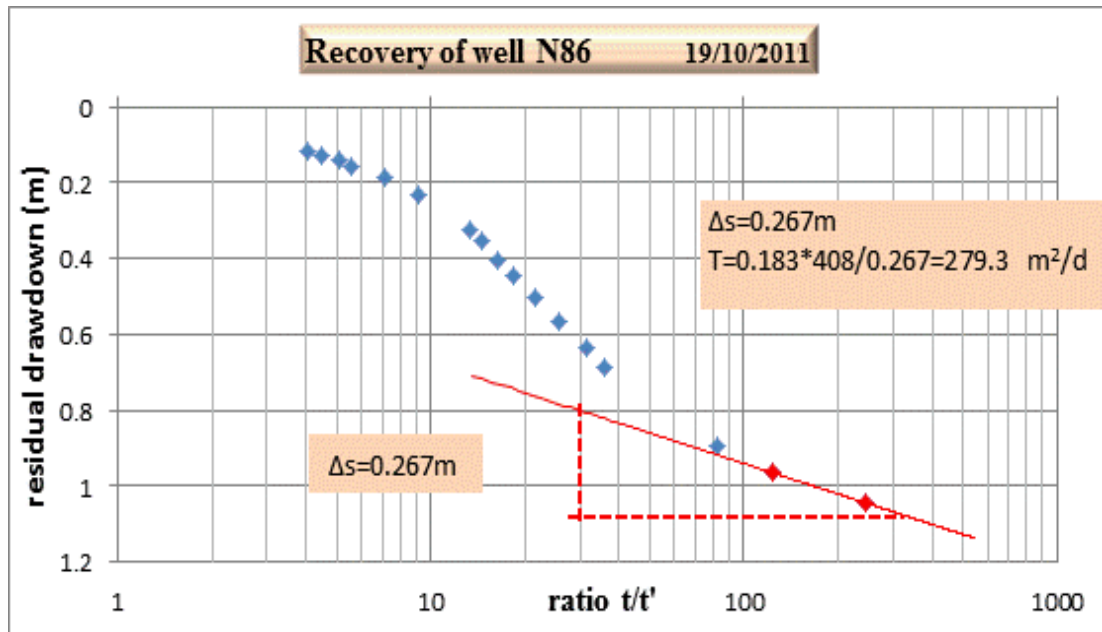
Θα πρέπει να τονισθεί ότι χρησιμοποιήθηκε η γραμμική παρεμβολή για να κατασκευασθεί η καμπύλη με τιμή $\beta=0.0001$ (συντελεστής συσχέτισης 0.9946 με την τιμή $\beta=0.001$).

Μέθοδος Επαναφοράς: Με την μέθοδο της επαναφοράς της στάθμης (Εικόνα 7.26) τα αποτελέσματα έχουν ως εξής:

- Μεταβιβαστικότητα $T= 279,3 \text{ m}^2/\text{d}$.
- Υδραυλική αγωγιμότητα $K=279,3/20=13,97 \text{ m/d}$

Η επαναφορά της στάθμης δεν κατέστη δυνατόν να καταγραφεί πέραν της 1.5 ώρας. Όμως, από το διάγραμμα γίνεται κατανοητό ότι η στάθμη πιθανόν να επανερχόταν στην αρχική της θέση σε διάρκεια 4 ωρών, όσες ήταν και η άντληση. Στην Εικόνα 7.26 χρησιμοποιήθηκαν οι δύο τελευταίες μετρήσεις μόνο, έχοντας σαν δεδομένο, ότι αυτές είναι που δείχνουν την

πραγματική παροχή άντλησης χωρίς να επηρεάζεται από την αποθήκευση του πηγαδιού, λόγω της μεγάλης διαμέτρου του.



Εικόνα 7.26: Μέθοδος επαναφοράς της στάθμης στο πηγάδι N86.

Παρακάτω παρατίθεται ο Πίνακας 7.3 στον οποίο παρουσιάζονται τα υδραυλικά χαρακτηριστικά του πηγαδιού N^ο 86.

Πίνακας 7.3: Μέση τιμή υδραυλικών χαρακτηριστικών πηγαδιού N86

Μέθοδος	T (m ² /d)	S	K (m/d)	Q/s
Cooper-Jacob	299,7	2,6·10 ⁻³	14,99	
Theis	249,9		12,5	353,3 m ³ /d.m
Παπαδόπουλου	270,7	6·10 ⁻³	13,54	ή
Neuman	232		11,6	14,7 m ³ /h.m
Επαναφοράς	279,3		13,97	
Μέση τιμή	266	4,3·10⁻³	13,3	

❖ Πηγάδι N128

Η δοκιμή άντλησης πραγματοποιήθηκε στις 28/10/2008 με τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

Υψόμετρο πηγαδιού	51,34 m	Στάθμη ηρεμίας	46,45 m
Reper	0,0 m	Πιεζομετρικό φορτίο	+4,89 m
Πάχος υδροφόρου	D = 30 m	Ακτίνα πηγαδιού	r = 0,7 m
Διάρκεια άντλησης	6 hours	Παροχή άντλησης	Q = 480 m ³ /d
Στάθμη άντλησης	53,22 m	Πτώση στάθμης	s = 6,77 m

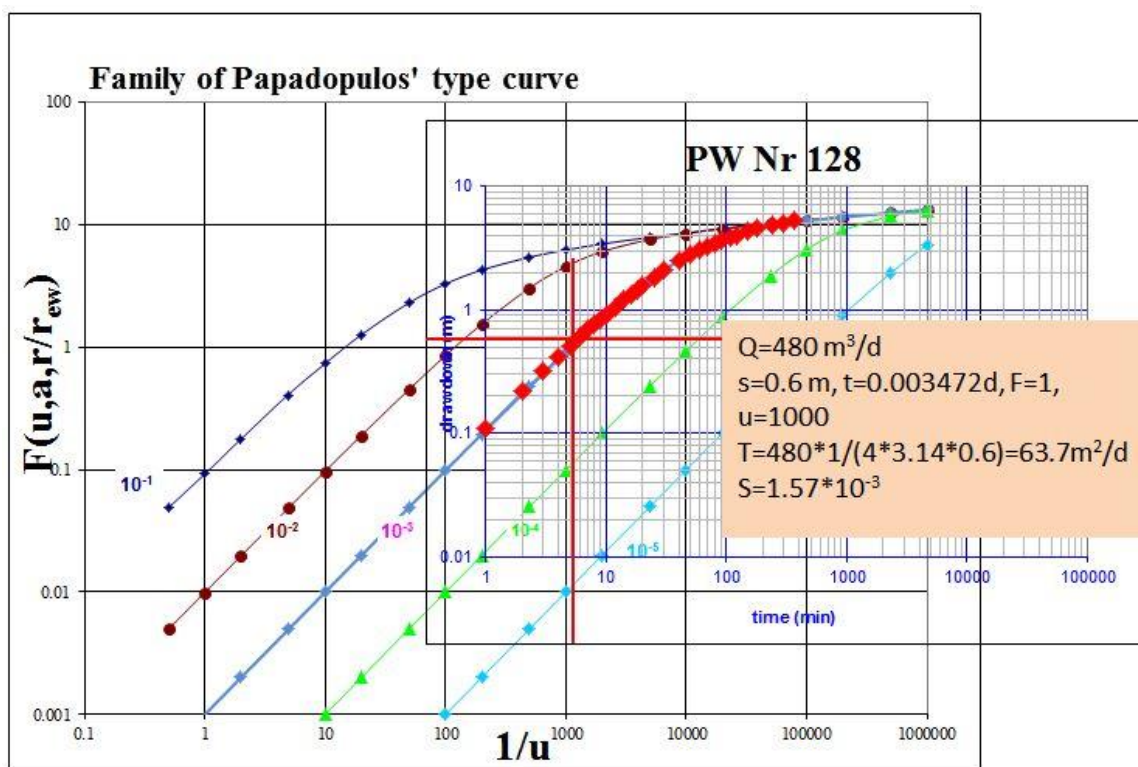
Το πηγάδι τελεί υπό αρτεσιανισμό, γεγονός το οποίο υποδεικνύει το μεγάλο πιεζομετρικό φορτίο +9,5 m κατά τα τελευταία έτη των μετρήσεων, η σχετικά μεγάλη πτώση στάθμης άντλησης 6,77 m αλλά και οι ετήσιες μεταβολές της στάθμης, οι οποίες κυμαίνονται γύρω στα 5 m.

Στην ανάλυση και επεξεργασία των στοιχείων της άντλησης χρησιμοποιήθηκαν οι μέθοδοι Παπαδόπουλου, Theis, Cooper-Jacob, Neuman και η μέθοδος επαναφοράς.

Μέθοδος Παπαδόπουλου: Τα αποτελέσματα της εφαρμογής της μεθόδου Παπαδόπουλου (Εικόνα 7.27) έχουν ως εξής:

- Μεταβιβαστικότητα $T = 63,7 \text{ m}^2/\text{d}$
- Αποθηκευτικότητα $S = 1,57 \cdot 10^{-3}$
- Υδραυλική αγωγιμότητα $K = 63,7/30 = 2,1 \text{ m/d}$

Τα πηγάδια επειδή είναι συνήθως ατελή, δηλαδή δεν έχουν διαπεράσει όλο το κορεσμένο πάχος, υπάρχει χρόνος t_p πέραν του οποίου η επίδραση του φαινομένου παραμένει σταθερή. Ο χρόνος άντλησης t_p , που απαιτείται από την μέθοδο για το πηγάδι N 128 είναι $t_p = 288 \text{ min}$, γεγονός που ισχύει.



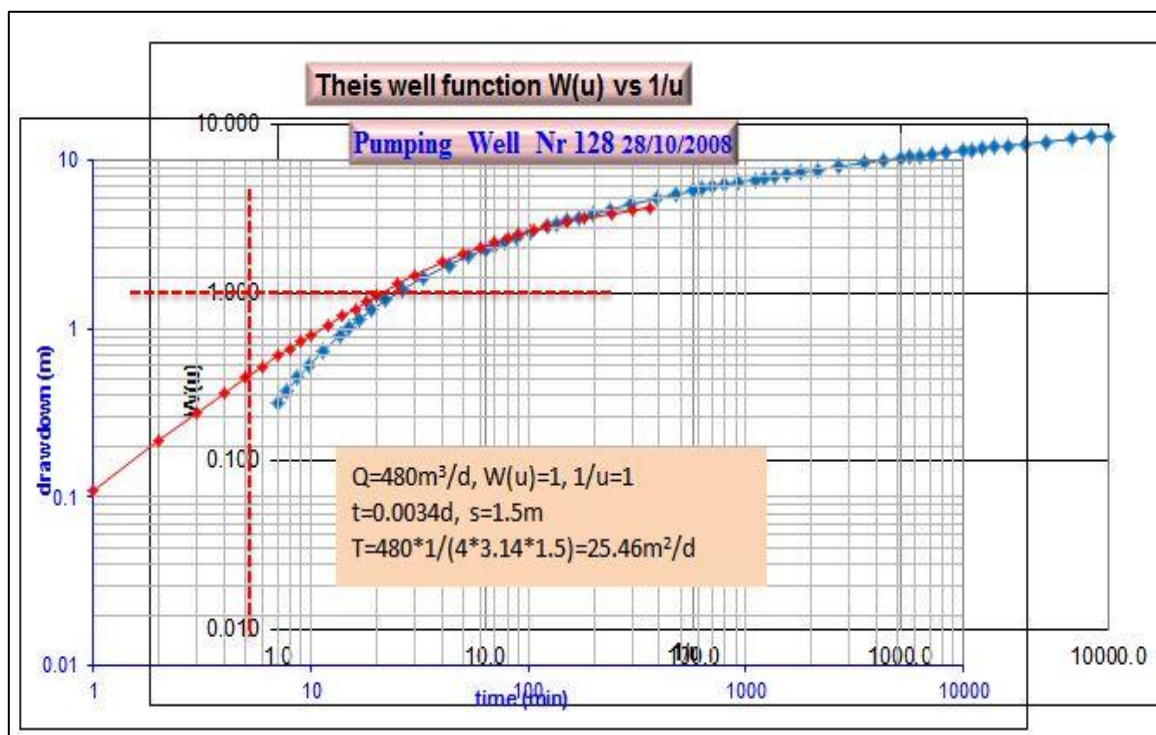
Εικόνα 7.27: Ανάλυση δεδομένων άντλησης του πηγαδιού N^o 128 με την μέθοδο Παπαδόπουλου.

Μέθοδος Theis: Κατά την εφαρμογή της μεθόδου Theis χρησιμοποιήθηκε η στάθμη άντλησης σαν συνάρτηση του χρόνου και όχι του t/r^2 , επειδή το πηγάδι είναι και πιεζόμετρο (Driscoll. 1986).

Τα αποτελέσματα της εφαρμογής της μεθόδου Theis (Εικόνα 7.28) έχουν ως εξής:

- Μεταβιβαστικότητα $T= 25,46 \text{ m}^2/\text{d}$.
- Υδραυλική αγωγιμότητα $K= 25,46/30= 0,85 \text{ m/d}$

Η μέθοδος δεν δίνει καλά αποτελέσματα για την αποθηκευτικότητα S , γιατί οι μετρήσεις δεν πάρθηκαν σε πιεζόμετρο έξω από το πηγάδι αλλά μέσα στο ίδιο το πηγάδι. Επίσης, μπορεί κάποιος να διακρίνει ότι οι αρχικές μετρήσεις πέφτουν εκτός καμπύλης γεγονός που υποδεικνύει την μεγάλη διάμετρο του πηγαδιού.

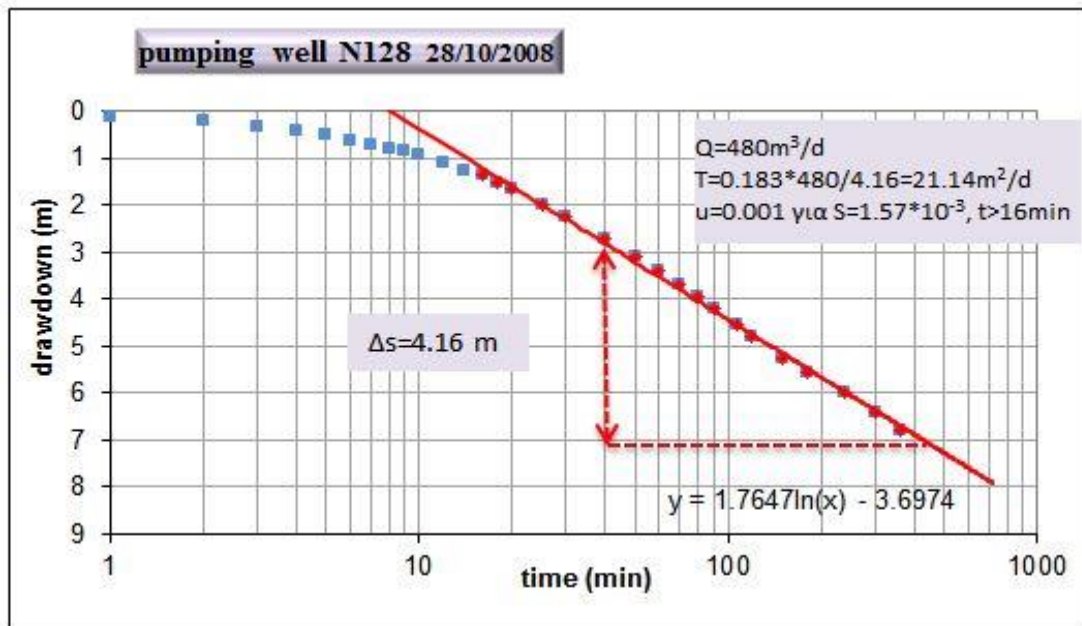


Εικόνα 7.28: Ανάλυση δεδομένων άντλησης του πηγαδιού N128 με την μέθοδο Theis.

Μέθοδος Cooper-Jacob: Τα αποτελέσματα της μεθόδου Cooper-Jacob (Εικόνα 7.29), έχουν ως ακολούθως:

- Μεταβιβαστικότητα $T= 21,14 \text{ m}^2/\text{d}$ ($u=0.01$ για χρόνο $t > 16 \text{ min}$, με τιμή αποθηκευτικότητας $S= 1,57 \cdot 10^{-3}$ από την μέθοδο Παπαδόπουλου).
- Υδραυλική αγωγιμότητα $K= T/D=21,14/30$ ή $K=0,7 \text{ m/d}$.

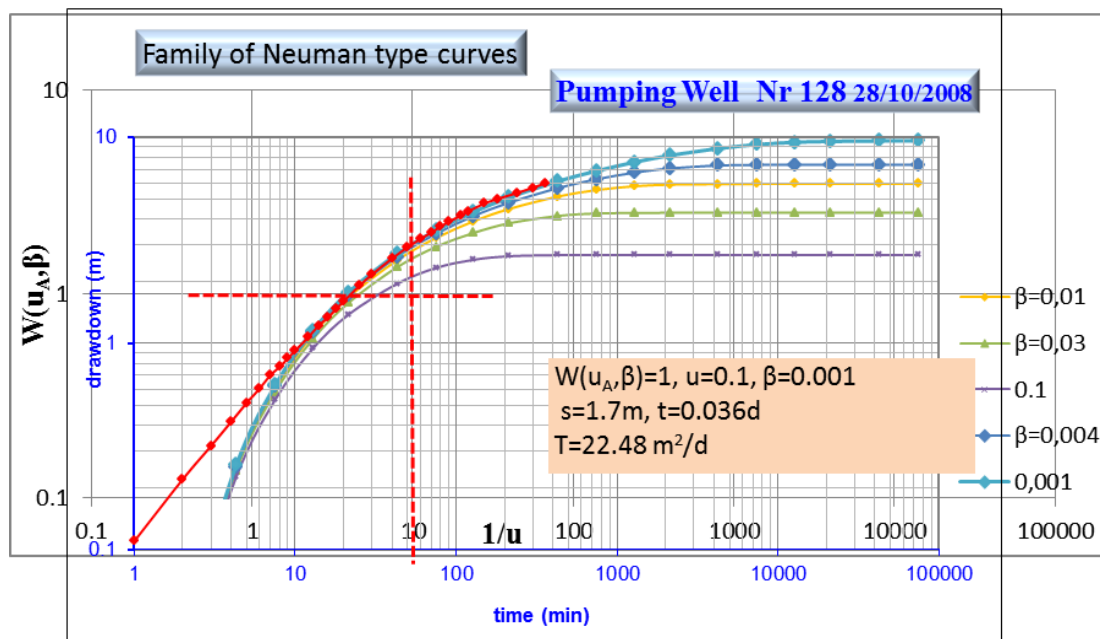
Η μέθοδος δεν δίνει ρεαλιστικές και κυρίως αξιόπιστες τιμές για την αποθηκευτικότητα γιατί οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν μέσα στο ίδιο πηγάδι άντλησης.



Εικόνα 7.29: Ανάλυση δεδομένων άντλησης του πηγαδιού N^ο 128 με την μέθοδο Cooper-Jacob.

Μέθοδος Neuman: Εφαρμόζοντας την μέθοδο Neuman (Εικόνα 7.30) για ελεύθερα υδροφόρα υπολογίσθηκε:

- Μεταβιβαστικότητα $T = 22,48 \text{ m}^2/\text{d}$ με την παράμετρο $\beta = 0,001$ και
- Υδραυλική αγωγιμότητα $K = 22,48/30 = 0,75 \text{ m/d}$

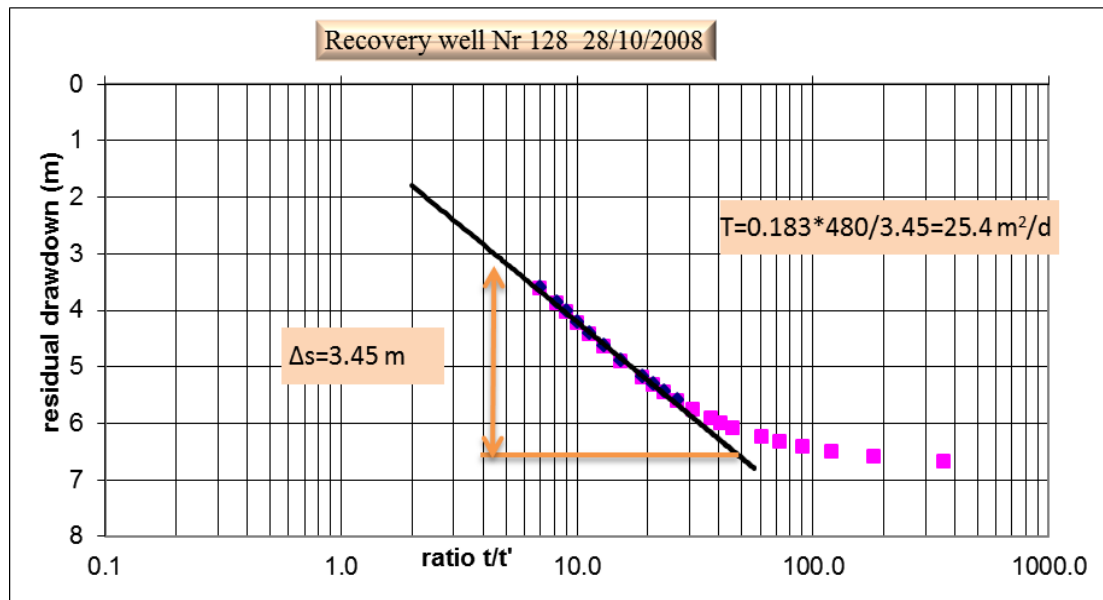


Εικόνα 7.30: Ανάλυση δεδομένων άντλησης του πηγαδιού N^ο 128 με την μέθοδο Neuman.

Οι καμπύλες τύπου Β δεν φαίνονται στο παραπάνω σχήμα γιατί η άντληση δεν διήρκησε αρκετό χρόνο, για να εμφανισθεί το 2^ο τμήμα της πειραματικής καμπύλης.

Μέθοδος Επαναφοράς: Με την μέθοδο της επαναφοράς της στάθμης (Εικόνα 7.31) τα αποτελέσματα της δοκιμαστικής άντλησης του πηγαδιού N128 είναι:

- Μεταβιβαστικότητα $T= 25 \text{ m}^2/\text{d}$
- Υδραυλική αγωγιμότητα $K=25/30=0,83\text{m/d}$
- Ειδική ικανότητα $Q/s= 480/6.77= 70.9 \text{ m}^3/\text{d.m.d.m}$



Εικόνα 7.31: Μέθοδος επαναφοράς της στάθμης στο πηγάδι N128.

Η επαναφορά της στάθμης δεν κατέστη δυνατόν να καταγραφεί πέραν της μίας ώρας. Όμως, από το διάγραμμα γίνεται κατανοητό ότι η στάθμη πιθανόν να μην επανερχόταν στην αρχική της θέση σε διάρκεια 6 ωρών, όσες ήταν και η άντληση. Αυτό σημαίνει πιθανή υστέρηση στην τροφοδοσία του πηγαδιού η οποία διαπιστώνεται από το γεγονός ότι η μεταβολή της αποθηκευτικότητας $S_{αρχ}/S_{τελ}$ τείνει να είναι μικρότερη της μονάδας. Παρακάτω παρατίθεται ο Πίνακας 7.4 στον οποίο παρουσιάζονται οι μέσες τιμές των υδραυλικών χαρακτηριστικών, από τις μεθόδους οι οποίες εφαρμόστηκαν, του πηγαδιού N128.

Πίνακας 7.4: Μέση τιμή υδραυλικών χαρακτηριστικών πηγαδιού N128

Μέθοδος	T (m ² /d)	S	K (m/d)	Q/s
Cooper-Jacob	21,14		0,7	
Theis	25,46		0,85	70,9 m ³ /d.m
Παπαδόπουλου	54,57	1,57*10 ⁻³	2,1	ή
Neuman	22,48		0,75	2,95 m ³ /h.m
Επαναφοράς	25		0,83	
Μέση τιμή	35,5	1,57*10⁻³	1,05	

❖ Πηγάδι N129

Η άντληση του πηγαδιού πραγματοποιήθηκε στις 28/10/2008 με τα παρακάτω στοιχεία:

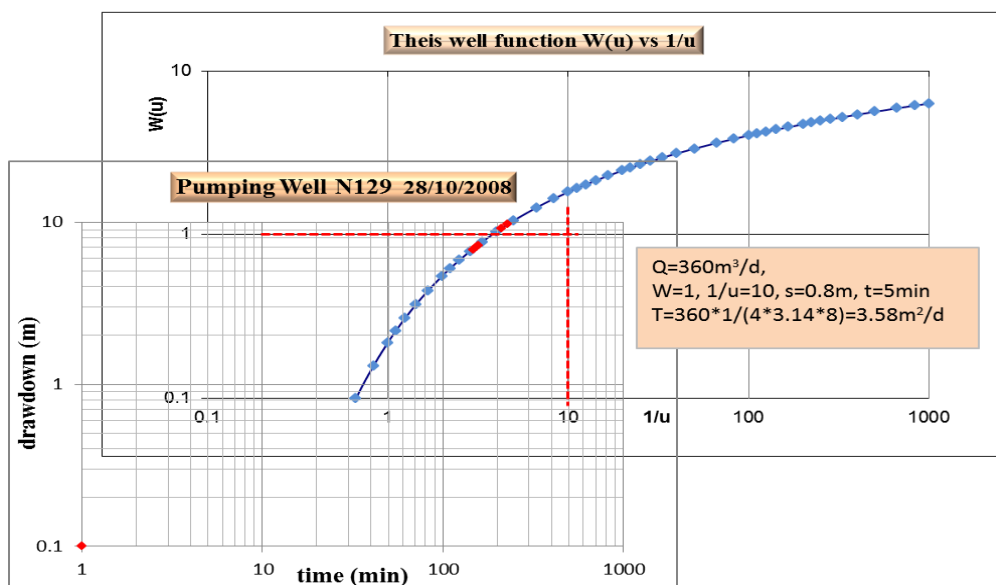
Υψόμετρο πηγαδιού	58,70 m	Στάθμη ηρεμίας	50,31 m
Reper	1,80	Υδραυλικό φορτίο	+10,19
Πάχος υδροφόρου	20 m	Ακτίνα πηγαδιού	r = 0,8 m
Διάρκεια άντλησης	4 hours	Παροχή άντλησης	Q = 15 m ³ /h
Στάθμη άντλησης	60,05 m	Πτώση στάθμης	s = 9,74 m

Τα δεδομένα της άντλησης δεν ήταν αρκετά για να επεξεργασθούν με διάφορες μεθόδους παρά μόνο με την μέθοδο Theis και εν μέρει με την μέθοδο Cooper-Jacob. Από την μελέτη της πιεζομετρίας καταφαίνεται το γεγονός ότι το πηγάδι τελεί υπό πίεση λόγω της μεγάλης ετήσιας διακύμανσης της στάθμης αλλά και του μεγάλου υδραυλικού φορτίου το οποίο συναντάται στο πηγάδι.

Μέθοδος Theis

Κατά την εφαρμογή της μεθόδου Theis τα αποτελέσματα (Εικόνα 7.32) έχουν ως εξής:

- Μεταβιβαστικότητα **T = 3,58 m²/d**
- Υδραυλική αγωγιμότητα **K = T/D = 3,58/20 = 0,18 m/d**

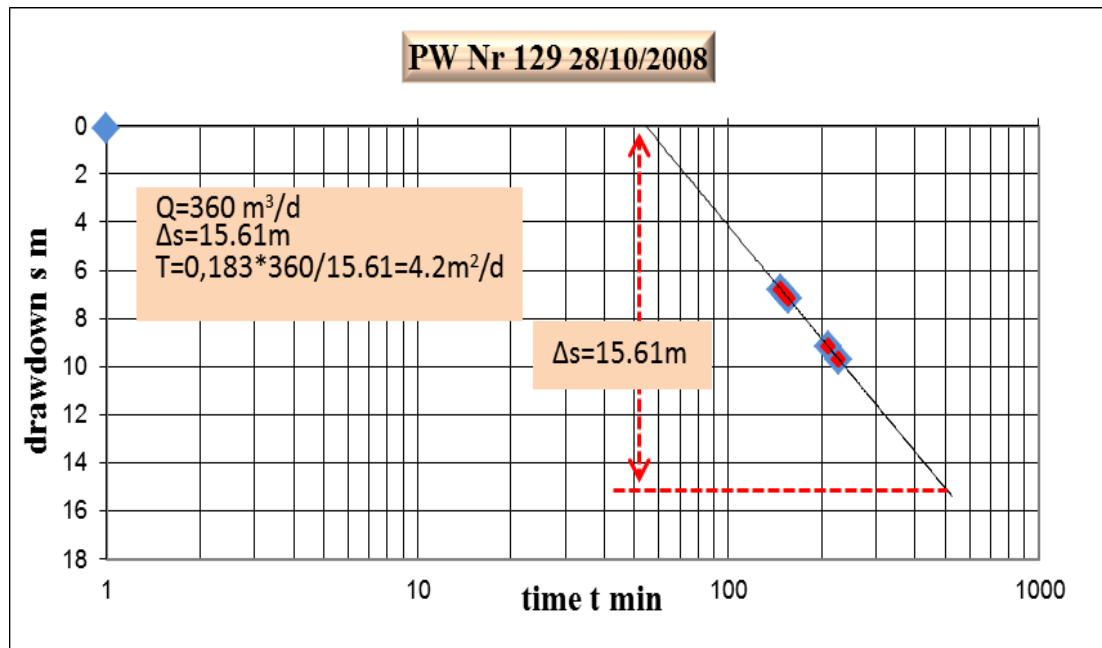


Εικόνα 7.32: Ανάλυση δεδομένων άντλησης πηγαδιού N129 με την μέθοδο Theis.

Από τις τιμές των υδραυλικών χαρακτηριστικών οι οποίες είναι πολύ μικρές σχετικά με άλλες στην περιοχή του Θριασίου και από την μεγάλη πτώση στάθμης καταλαβαίνει κάποιος ότι η τροφοδοσία του πηγαδιού είναι περιορισμένη και αν συνυπολογίσουμε την γεωγραφική θέση του πηγαδιού τότε εξάγεται το συμπέρασμα ότι το πηγάδι βρίσκεται κοντά σε υδρογεωλογικό όριο και μάλιστα τοπικό υδραυλικό όριο του υδροφορέα των λατυποκροκαλοπαγών – κροκαλοπαγών.

Μέθοδος Cooper-Jacob: Κατά την εφαρμογή της μεθόδου Cooper-Jacob τα αποτελέσματα (Εικόνα 7.33) έχουν ως εξής:

- Μεταβιβαστικότητα $T = 4,2 \text{ m}^2/\text{d}$
- Υδραυλική αγωγιμότητα $K = T/D = 4,2/20 = 0,21 \text{ m/d}$
- Ειδική ικανότητα $Q/s = 360/9,74 = 36,96 \text{ m}^3/\text{d.m}$ ή $1,54 \text{ m}^3/\text{h.m}$



Εικόνα 7.33: Ανάλυση δεδομένων άντλησης πηγαδιού N129 με την μέθοδο Cooper-Jacob.

Στον Πίνακα 7.5 παρουσιάζονται τα υδραυλικά χαρακτηριστικά του πηγαδιού N129.

Πίνακας 7.5 : Μέση τιμή υδραυλικών χαρακτηριστικών πηγαδιού N129

Μέθοδος	T (m ² /d)	S	K (m/d)	Q/s
Cooper-Jacob	4,2		0,21	
Theis	3,58		0,18	36,96 m ³ /d.m
Μέση τιμή	3,89		0,195	ή 1,54 m ³ /h.m

❖ Πηγάδι N131

Ο υπολογισμός των υδραυλικών παραμέτρων του πηγαδιού πραγματοποιήθηκε στην άντληση της 28^{ης}/10/2008 με τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

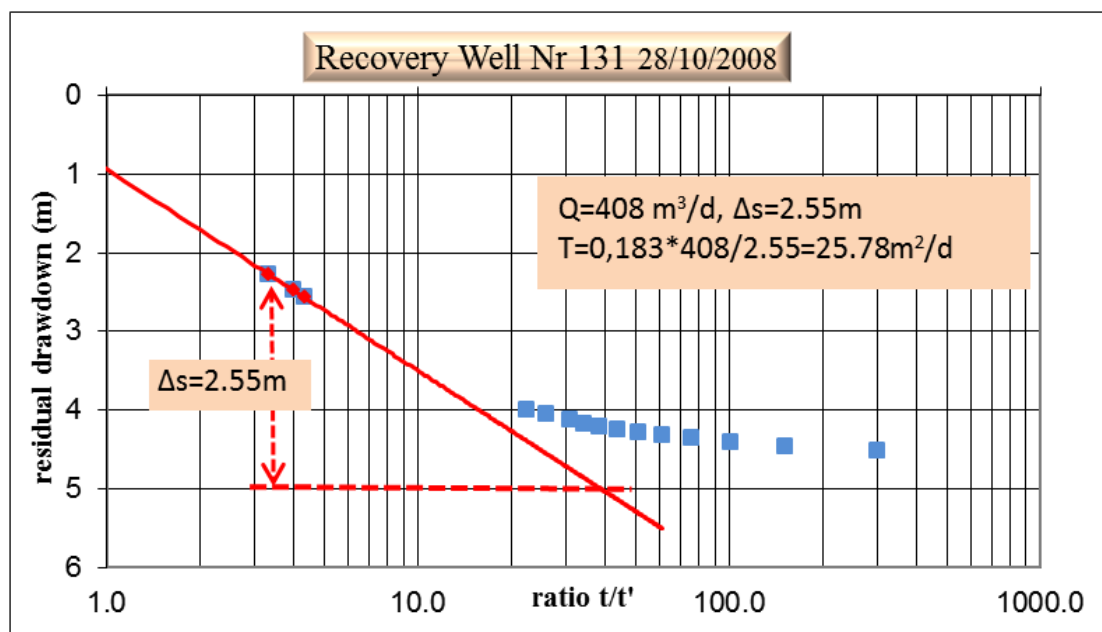
Υψόμετρο πηγαδιού	47,84 m	Στάθμη ηρεμίας	43,0 m
Reper	0,60	Υδραυλικό φορτίο	4,84 m
Πάχος υδροφόρου	20 m	Ακτίνα πηγαδιού	r = 0,7 m
Διάρκεια άντλησης	4 hours	Παροχή άντλησης	Q = 17 m ³ /h
Στάθμη άντλησης	47,60 m	Πτώση στάθμης	s = 4,60 m

Τα δεδομένα της άντλησης παρατίθενται στο παράρτημα. Το πηγάδι τελεί υπό αρτεσιανισμό, γεγονός το οποίο υποδεικνύει η σχετικά μεγάλη πτώση στάθμης άντλησης αλλά και οι ετήσιες μεταβολές της στάθμης, οι οποίες κυμαίνονται γύρω στα 5 m. Τα στοιχεία τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για το πηγάδι N131 ήταν δεδομένα από την επαναφορά της στάθμης. Από παρατηρήσεις του συγγραφέα, πάνω στην ποιότητα του νερού του πηγαδιού, για περίοδο δεκαετιών ετών, η ηλεκτρική αγωγιμότητα κυμαίνεται μεταξύ 1100-1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$

Η ανάλυση λοιπόν, των δεδομένων επαναφοράς της στάθμης (Εικόνα 7.34) έδωσε:

- Μεταβιβαστικότητα $T= 25,78 \text{ m}^2/\text{d}$
- Υδραυλική αγωγιμότητα $K=25,78/20=1,29 \text{ m/d}$
- Ειδική ικανότητα $Q/s= 408/4,60= 88,70 \text{ m}^3/\text{d.m}$ ή $3,70 \text{ m}^3/\text{h.m}$

Η επαναφορά της στάθμης δεν κατέστη δυνατόν να καταγραφεί πέραν των 2.5 ωρών. Όμως, από το διάγραμμα καταλαβαίνει κάποιος ότι η στάθμη, πολύ πιθανόν, να μην επανερχόταν στην αρχική της θέση σε διάρκεια 4 ωρών, όσες ήταν και η άντληση. Αυτό σημαίνει πιθανή υστέρηση στην τροφοδοσία του πηγαδιού η οποία διαπιστώνεται από το γεγονός ότι η μεταβολή της αποθηκευτικότητας $S_{αρχ}/S_{τελ}$ τείνει να είναι μικρότερη της μονάδας.



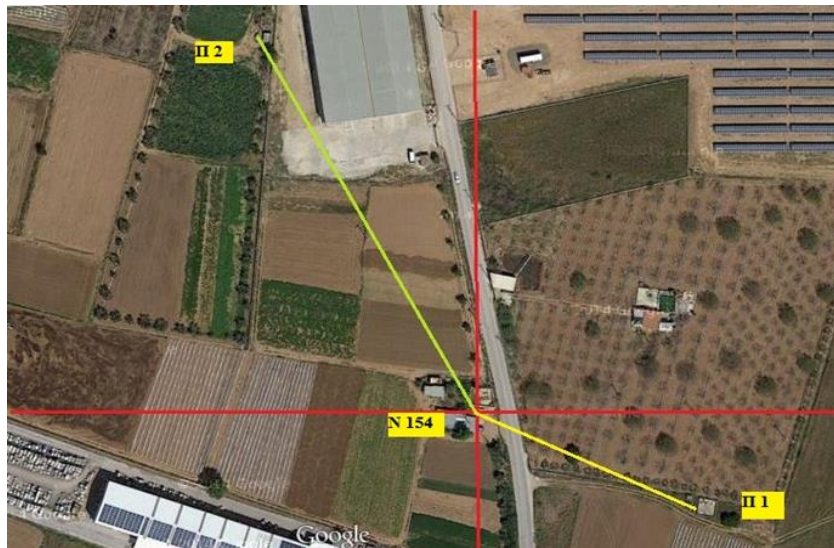
Εικόνα 7.34: Ανάλυση δεδομένων επαναφοράς της στάθμης στο πηγάδι N^ο 131.

❖ Πηγάδι N154

Η άντληση του πηγαδιού N^ο154 πραγματοποιήθηκε στις 5/4/2009 με τα χαρακτηριστικά:

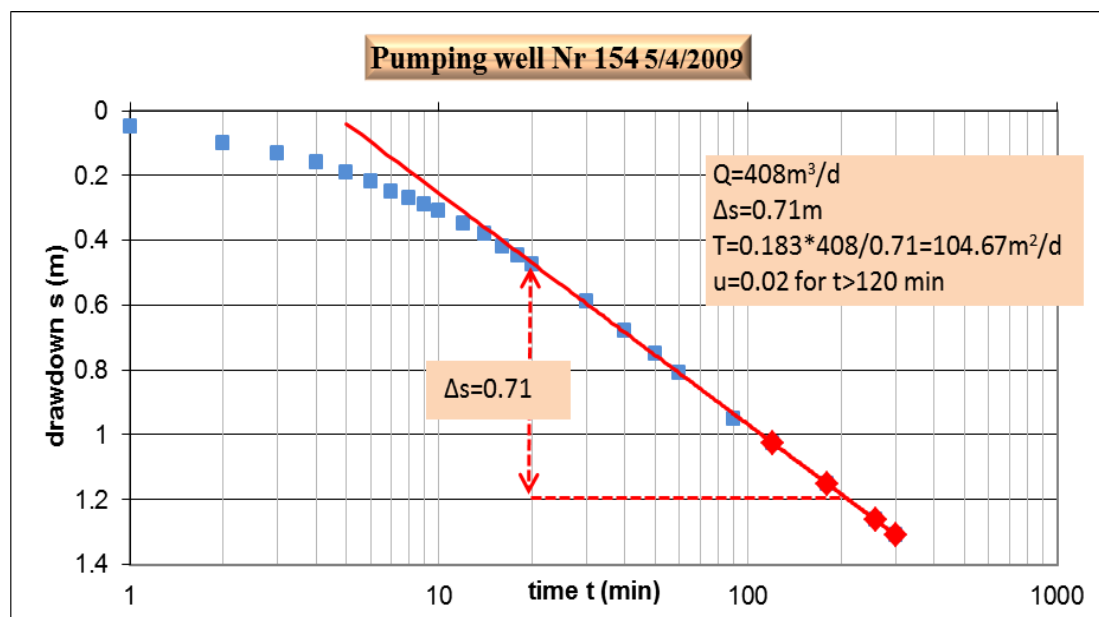
Υψόμετρο πηγαδιού	46,62 m	Στάθμη ηρεμίας	42,46 m
Reper	0,70	Πιεζομετρικό φορτίο	4,86
Πάχος υδροφόρου	20 m	Ακτίνα πηγαδιού	$r = 0,7 \text{ m}$
Διάρκεια άντλησης	5 hours	Παροχή άντλησης	$Q = 17 \text{ m}^3/\text{h}$
Στάθμη άντλησης	43,77 m	Πτώση στάθμης	$s = 1,31 \text{ m}$

Το πηγάδι αντλεί ελεύθερο υδροφόρο, γεγονός το οποίο υποδεικνύει η μικρή πτώση στάθμης άντλησης, η μικρή ακτίνα επίδρασης αλλά και οι ετήσιες μεταβολές της στάθμης, οι οποίες κυμαίνονται γύρω στα 0,5 m. Μετρήσεις στάθμης πραγματοποιήθηκαν και σε 2 γειτονικά πηγάδια τα οποία απέχουν απόσταση Π1=98 m και Π2= 183 m (Εικόνα 7.35). Η στάθμη στο πηγάδι Π1 μεταβλήθηκε κατά 3 cm μετά από 300 min άντλησης ενώ στο πηγάδι Π2 κατά 0,5 cm μετά από άντληση 192 min. Βέβαια οι διαφορές είναι μικρές και πιθανόν μόνο του πηγαδιού Π1 να είναι πραγματική επίδραση ενώ για το πηγάδι Π2 να μην είναι επίδραση λόγω της άντλησης του πηγαδιού N154 αλλά λόγω της φυσιολογικής ημερήσιας μεταβολής της στάθμης εξ' αιτίας της ηλιοσεληνιακής έλξης.



Εικόνα 7.35: Η θέση του πηγαδιού N^ο154 και των πηγαδιών παρατήρησης Π1 και Π2.

Μέθοδος Cooper-Jacob: Εφαρμόστηκε η μέθοδος Cooper-Jacob (Εικόνα 7.36)



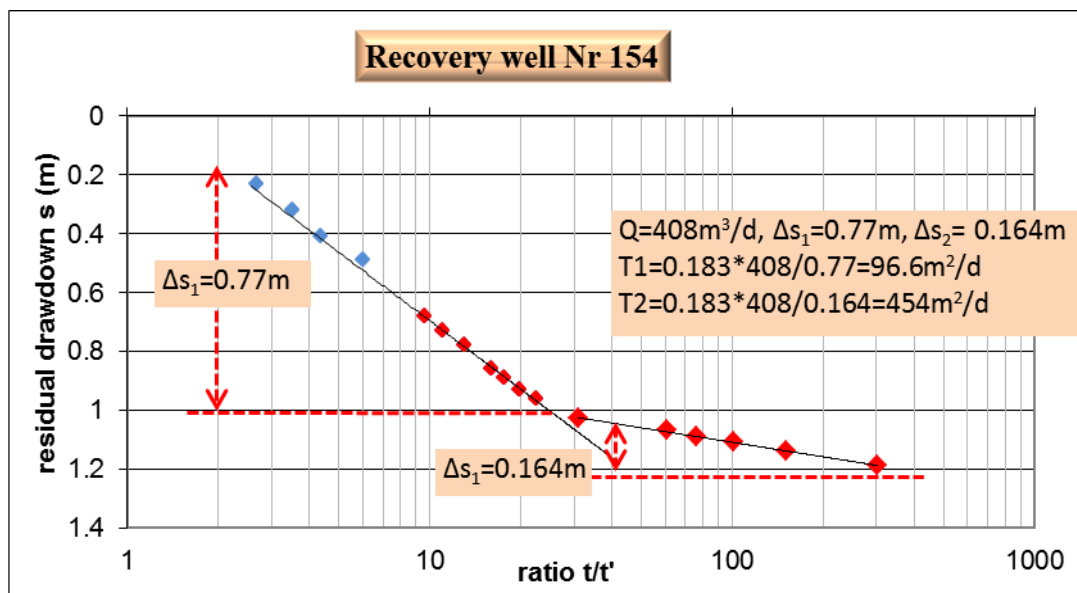
Εικόνα 7.36: Ανάλυση δεδομένων άντλησης πηγαδιού N154 με την μέθοδο Cooper-Jacob.

Τα αποτελέσματα από την εφαρμογή της μεθόδου έχουν ως εξής:

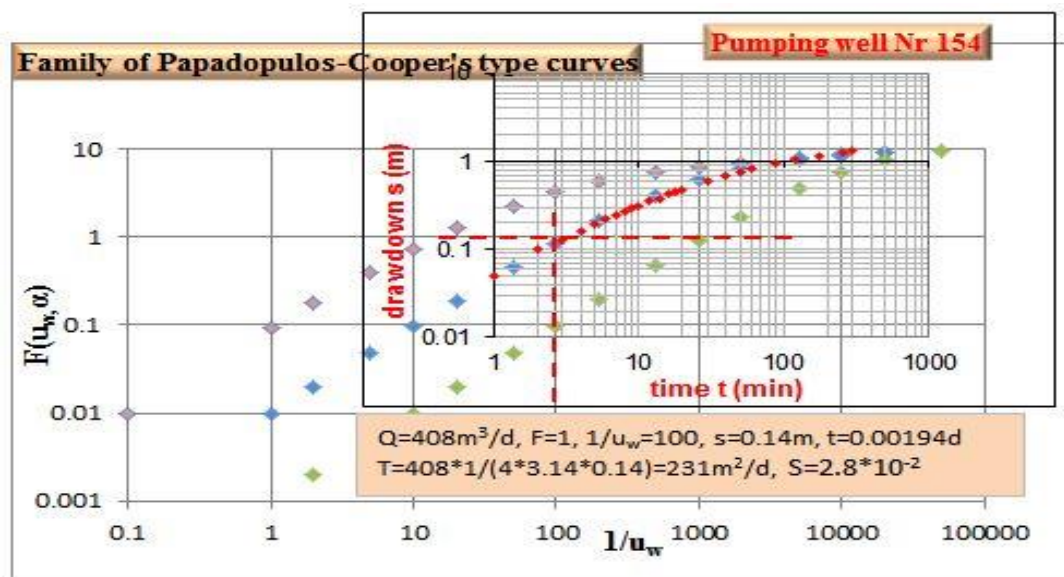
- Μεταβιβαστικότητα $T= 104,67 \text{ m}^2/\text{d}$
- Υδραυλική αγωγιμότητα $K= T/D=104,67/20=5,23 \text{ m/d}$
- Ειδική ικανότητα $Q/s= 408/1,31=311,45\text{m}^3/\text{d.m}$ ή $12,97\text{m}^3/\text{h.m}$

Μέθοδος επαναφοράς: Τα αποτελέσματα από την εφαρμογή της μεθόδου επαναφοράς (Εικόνα 6.37) αποκαλύπτουν διπλό χαρακτήρα για τον υδροφόρο κι έχουν ως εξής:

- Μεταβιβαστικότητα $T_1= 96,6 \text{ m}^2/\text{d}$ και $T_2=454 \text{ m}^2/\text{d}$
- Υδραυλική αγωγιμότητα $K_1=T/D=96,6/20=4,83 \text{ m/d}$ και $K_2=454/20=22,7 \text{ m/d}$



Εικόνα 7.37: Ανάλυση δεδομένων επαναφοράς της στάθμης στο πηγάδι N154



Εικόνα 7.38: Ανάλυση δεδομένων άντλησης του πηγαδιού N154 με την μέθοδο Παπαδόπουλου.

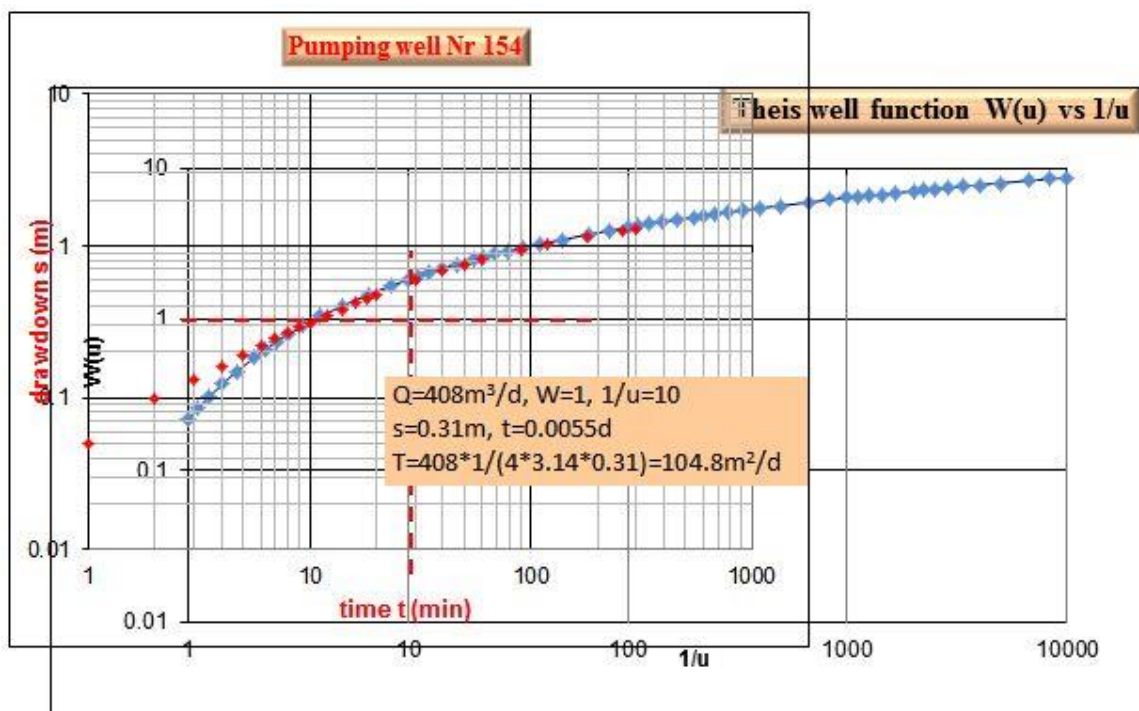
Μέθοδος Παπαδόπουλου: Εφαρμόστηκε η μέθοδος Παπαδόπουλου (Εικόνα 7.38). Τα αποτελέσματα από την εφαρμογή της μεθόδου έχουν ως εξής:

- Μεταβιβαστικότητα $T= 231 \text{ m}^2/\text{d}$
- Αποθηκευτικότητα $S=2,8 \cdot 10^{-2}$
- Υδραυλική αγωγιμότητα $K= T/D=231/20=11,55 \text{ m/d}$

Μέθοδος Theis: Τα αποτελέσματα από την εφαρμογή της μεθόδου Theis (Εικόνα 7.39) έχουν:

- Μεταβιβαστικότητα $T= 104,8 \text{ m}^2/\text{d}$
- Υδραυλική αγωγιμότητα $K= T/D=104,8/20=5,24 \text{ m/d}$

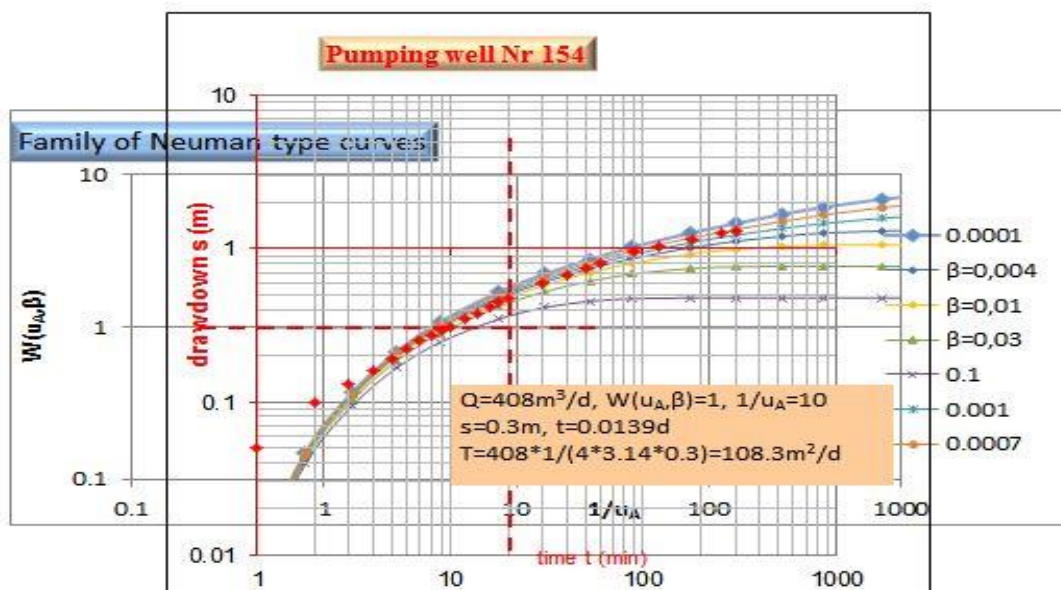
Κατά την εφαρμογή της μεθόδου χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα της άντλησης μετά τα 120 min λόγω της μεγάλης διαμέτρου του πηγαδιού αφού αυτά είναι που προσεγγίζουν την πραγματική παροχή του πηγαδιού.



Εικόνα 7.39: Ανάλυση δεδομένων άντλησης πηγαδιού N154 με την μέθοδο Theis.

Μέθοδος Neuman: Τα αποτελέσματα από την εφαρμογή της μεθόδου Neuman (Εικόνα 7.40) έχουν ως εξής:

- Μεταβιβαστικότητα $T= 108,3 \text{ m}^2/\text{d}$
- Υδραυλική αγωγιμότητα $K= T/D=108,3/20=5,42 \text{ m/d}$



Εικόνα 7.40: Ανάλυση δεδομένων άντλησης του πηγαδιού N154 με την μέθοδο Neuman.

Παρακάτω παρατίθεται ο Πίνακας 7.6 στον οποίο παρουσιάζονται τα υδραυλικά χαρακτηριστικά του πηγαδιού N154.

Πίνακας 7.6 Μέση τιμή υδραυλικών χαρακτηριστικών πηγαδιού N154

Μέθοδος	T (m ² /d)	S	K (m/d)	Q/s
Cooper-Jacob	104,7		5,23	311,45 m ³ /d.m ή 12,97 m ³ /h.m
Theis	104,8		5,24	
Παπαδόπουλου	231	2,8*10 ⁻²	11,55	
Neuman	108,3		5,42	
Επαναφοράς	96,6/454		4,83/22,7	
Μέση τιμή	129,1	2,8*10⁻²	6,54	

❖ Πηγάδι N154-Π₂

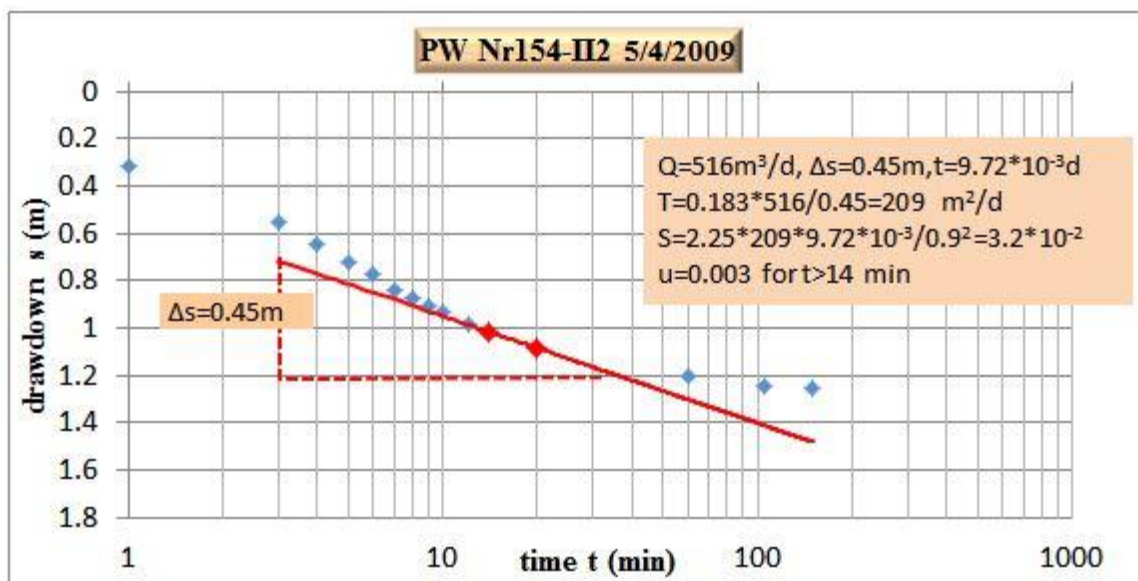
Η άντληση του πηγαδιού N154-Π₂ πραγματοποιήθηκε στις 5/4/2009 με τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

Υψόμετρο πηγαδιού	46,8 m	Στάθμη ηρεμίας	42.53 m
Reper	0,6	Πιεζομετρικό φορτίο	+4,88 m
Πάχος υδροφόρου	15 m	Ακτίνα πηγαδιού	r = 0,85 m
Διάρκεια άντλησης	3 hours	Παροχή άντλησης	Q = 516 m ³ /d
Στάθμη άντλησης	43,79 m	Πτώση στάθμης	s= 1,255 m

Το πηγάδι αντλεί ελεύθερο υδροφόρο, γεγονός το οποίο υποδεικνύει η μικρή πτώση στάθμης άντλησης και η τιμή της αποθηκευτικότητας.

Μέθοδος Cooper-Jacob: Τα αποτελέσματα της εφαρμογής της μεθόδου Cooper-Jacob (Εικόνα 7.41) έχουν ως εξής:

- Μεταβιβαστικότητα $T=209 \text{ m}^2/\text{d}$
- Αποθηκευτικότητα $S=3,2 \cdot 10^{-2}$
- Υδραυλική αγωγιμότητα $K= T/D=209/15=13,3 \text{ m/d}$
- Ειδική ικανότητα $Q/s=516/1.255=411 \text{ m}^3/\text{d.m}$ ή $17 \text{ m}^3/\text{h.m}$



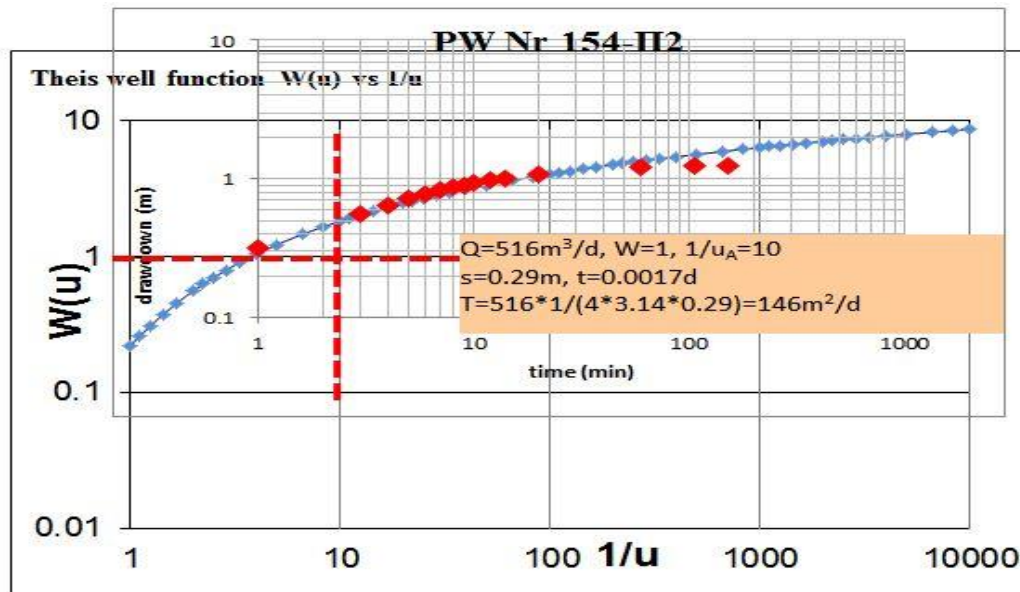
Εικόνα 7.41: Ανάλυση δεδομένων άντλησης πηγαδιού N154-Π₂ με την μέθοδο Cooper-Jacob.

Η μείωση της κλίσης της πειραματικής καμπύλης στις τελευταίες μετρήσεις φανερώνει τροφοδοσία του πηγαδιού κατά την περίοδο της άντλησης.

Μέθοδος Theis: Τα αποτελέσματα της εφαρμογής της μεθόδου Theis (Εικόνα 7.42) έχουν ως εξής:

- Μεταβιβαστικότητα $T=146 \text{ m}^2/\text{d}$
- Υδραυλική αγωγιμότητα $K= T/D=146/15=9,7 \text{ m/d}$

Η απόκλιση των πρώτων μετρήσεων της πειραματικής καμπύλης από την πρότυπη φανερώνει την αποθήκευση του πηγαδιού και η τελευταία την τροφοδοσία του πηγαδιού κατά την περίοδο άντλησης.

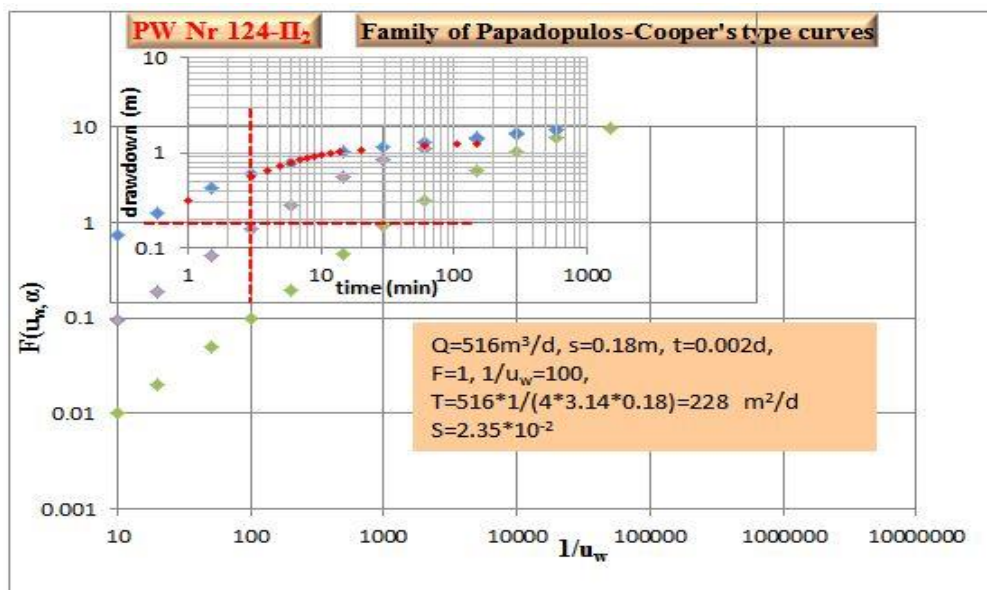


Εικόνα 7.42: Ανάλυση δεδομένων άντλησης πηγαδιού N^o154-Π₂ με την μέθοδο Theis.

Μέθοδος Παπαδόπουλου: Τα αποτελέσματα της εφαρμογής της μεθόδου Παπαδόπουλου (Εικόνα 7.43) έχουν ως εξής:

- Μεταβιβαστικότητα $T=228 \text{ m}^2/\text{d}$
- Αποθηκευτικότητα $S=2,35 \cdot 10^{-2}$
- Υδραυλική αγωγιμότητα $K= T/D=228/15=11,4 \text{ m/d}$

Από το διάγραμμα, βλέποντας κάποιος την απόκλιση των τελευταίων μετρήσεων της πειραματικής καμπύλης από την πρότυπη, εξάγει το συμπέρασμα όπως και από την προηγούμενη μέθοδο, ότι το πηγάδι τροφοδοτείται ελαφρώς, από κάποια πηγή είτε κατά την κατακόρυφη είτε κατά την οριζόντια έννοια.



Εικόνα 7.43: Ανάλυση δεδομένων άντλησης πηγαδιού N154-Π₂ με την μέθοδο Παπαδόπουλου (5/4/2009).

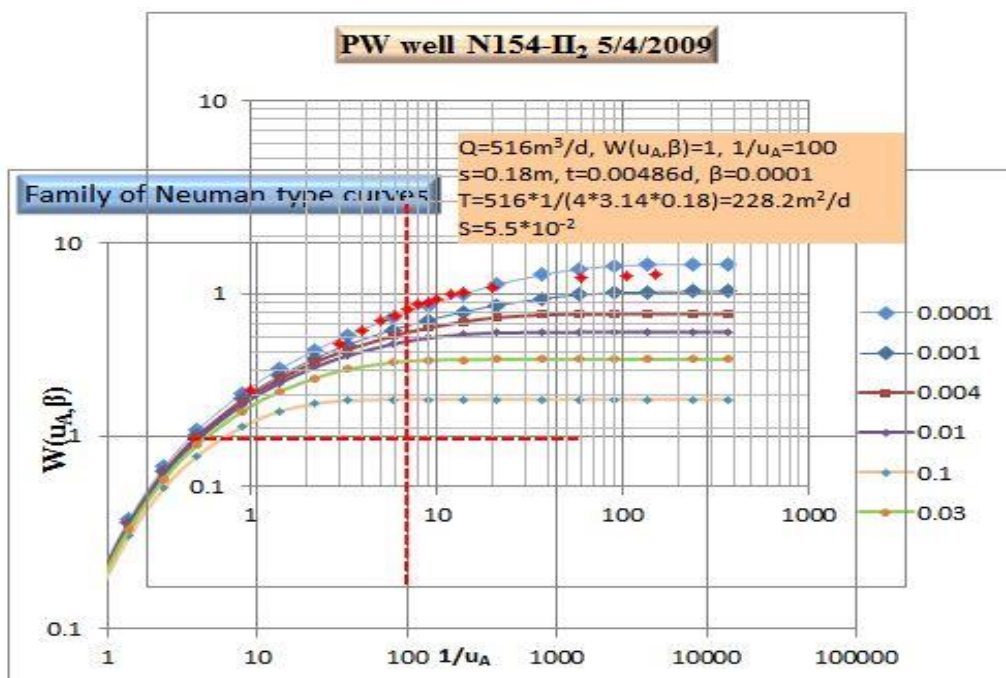
Μέθοδος Neuman: Τα αποτελέσματα από την εφαρμογή της μεθόδου Neuman (Εικόνα 7.44) έχουν ως εξής:

- Μεταβιβαστικότητα $T= 228 \text{ m}^2/\text{d}$
- Αποθηκευτικότητα $S=5,5*10^{-2}$
- Υδραυλική αγωγιμότητα οριζόντια $Kh=T/D=228/15=15,2 \text{ m/d}$

και κατακόρυφη $Kv=\beta(D^2/r^2)Kh=0.0001*(15^2/0.9^2)*15,2=0.42 \text{ m/d}$

Η μέθοδος δίνει την δυνατότητα να ανιχνευθεί ανισοτροπία κατά την κατακόρυφη έννοια. Έτσι λοιπόν, από την τιμή της οριζόντιας και κατακόρυφης υδραυλικής αγωγιμότητας βγαίνει το συμπέρασμα ότι ο υδροφόρος είναι ανισότροπος κατά την κατακόρυφο έννοια.

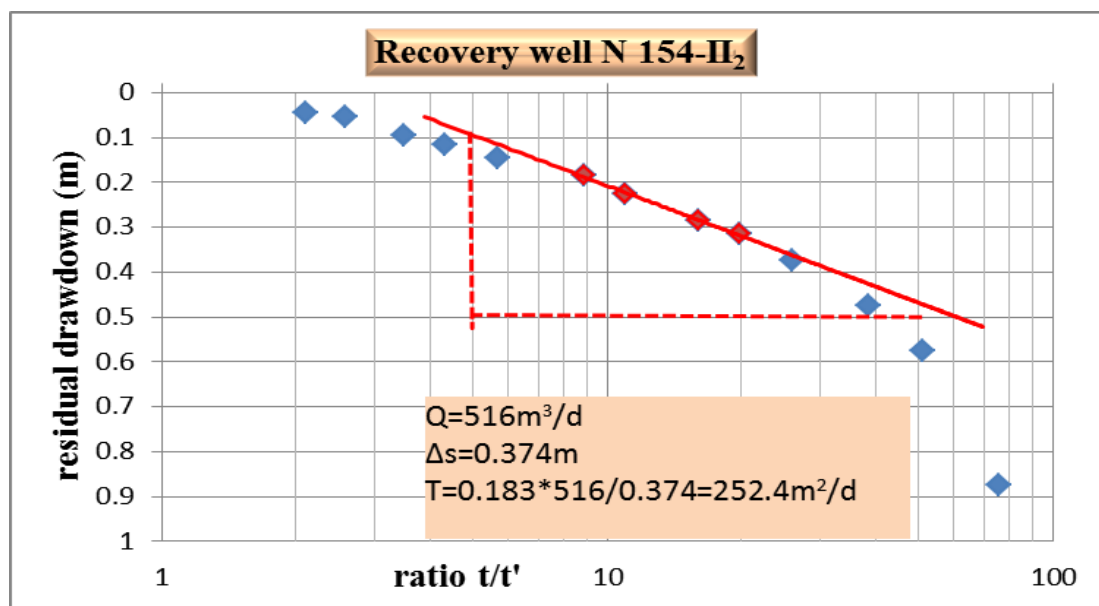
Θα πρέπει ακόμη να τονισθεί, ότι χρησιμοποιήθηκε η γραμμική παρεμβολή για να κατασκευασθεί η καμπύλη με τιμή $\beta=0.0001$ μιας και ο Neuman δεν την δίνει στους πίνακες (συντελεστής συσχέτισης 0.995 με την τιμή $\beta=0.001$).



Εικόνα 7.44: Ανάλυση δεδομένων άντλησης του πηγαδιού N154-Π₂ με την μέθοδο Neuman.

Μέθοδος επαναφοράς της στάθμης: Τα αποτελέσματα από την εφαρμογή της επαναφοράς της στάθμης για το πηγάδι N154-Π₂ (Εικόνα 7.45) έχουν ως εξής:

- Μεταβιβαστικότητα $T= 252.4 \text{ m}^2/\text{d}$
- Υδραυλική αγωγιμότητα $K= T/D=252.4/15=16,8 \text{ m/d}$



Εικόνα 7.45: Ανάλυση δεδομένων επαναφοράς της στάθμης στο πηγάδι N154-Π₂

Από το διάγραμμα της επαναφοράς υπάρχει η διαπίστωση ότι ο υδροφόρος τροφοδοτήθηκε κατά την διάρκεια της άντλησης αφού η μεταβολή της αποθηκευτικότητας $S_{\text{τελ}}/S_{\text{αρχ}}$ τείνει σε τιμή του t/t' μεγαλύτερη του 2 (Driscoll, 1986). Στον παρακάτω Πίνακα 7.7 παρουσιάζονται τα υδραυλικά χαρακτηριστικά του πηγαδιού N154-Π₂.

Πίνακας 7.7 Μέση τιμή υδραυλικών χαρακτηριστικών πηγαδιού N154-Π₂

Μέθοδος	T (m ² /d)	S	K (m/d)	Q/s
Cooper-Jacob	209	$3,2 \cdot 10^{-2}$	13,3	411m ³ /d.m ή 17m ³ /h.m
Theis	146		9,7	
Παπαδόπουλου	228	$2,35 \cdot 10^{-2}$	15,2	
Neuman	228	$5,5 \cdot 10^{-2}$	15,2	
Επαναφοράς	252,4		16,8	
Μέση τιμή	212	$3,68 \cdot 10^{-2}$	14,1	

❖ Πηγάδι N176

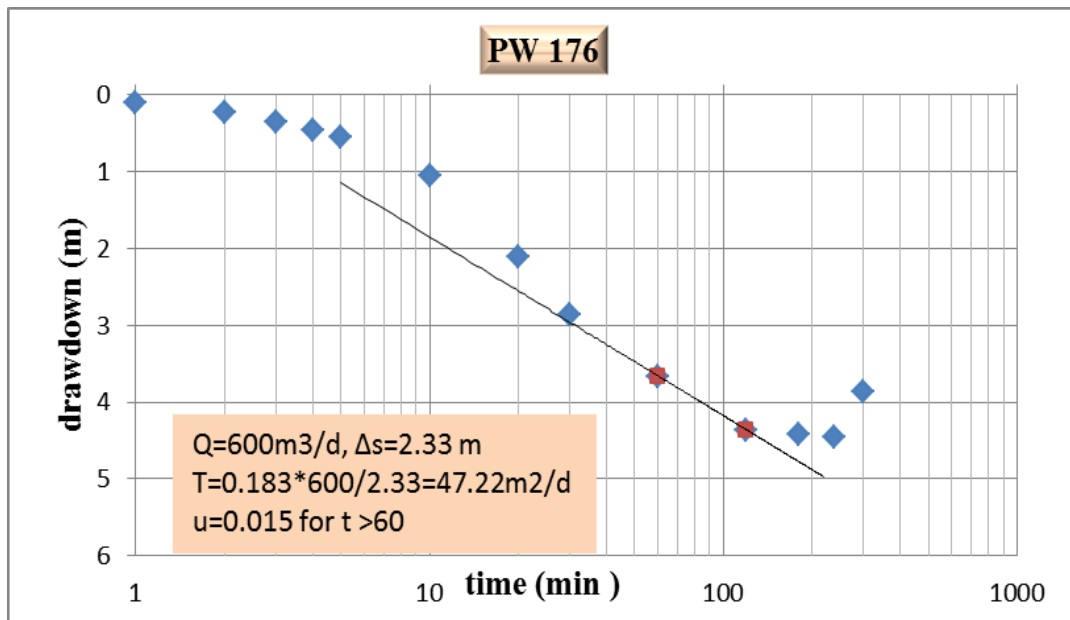
Η άντληση του πηγαδιού N176 πραγματοποιήθηκε στις 26/9/2000 με τα χαρακτηριστικά:

Υψόμετρο πηγαδιού	59,03 m	Στάθμη ηρεμίας	59,56 m
Reper	0,43	Πιεζομετρικό φορτίο	-0.10 m
Πάχος υδροφόρου	10 m	Ακτίνα πηγαδιού	r = 0,8 m
Διάρκεια άντλησης	6 hours	Παροχή άντλησης	Q = 30 m ³ /h
Στάθμη άντλησης	63,42 m	Πτώση στάθμης	s = 3,86 m

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα μετρήθηκε κατά τη διάρκεια της άντλησης στις δύο πρώτες ώρες 1.100 $\mu\text{S}/\text{m}$ και στη συνέχεια μειώθηκε στα 900 $\mu\text{S}/\text{m}$. Όσον αφορά το επίπεδο των χλωριόντων αυτό έμεινε σταθερό σ' όλη την άντληση στο εύρος των 80-100 ppm, αν και αντλούσε από αρνητικό πιεζομετρικό φορτίο περίπου 4 m κάτω από το επίπεδο της θάλασσας. Το κύριο και της ουσιαστικής σημασίας συμπέρασμα που εξάγεται από την ερμηνεία των υδροχημικών χαρακτηριστικών κατά την διεξαγωγή της άντλησης είναι το γεγονός ότι τουλάχιστον, στην ακτίνα επίδρασης του πηγαδιού δεν παρατηρείται εισβολή ή επίδραση της θάλασσας.

Μέθοδος Cooper-Jacob: Τα αποτελέσματα της εφαρμογής της μεθόδου Cooper-Jacob (Εικόνα 7.46) κατά την δοκιμαστική άντληση του πηγαδιού N176 έχουν ως εξής:

- Μεταβιβαστικότητα $T = 47,22 \text{ m}^2/\text{d}$
- Υδραυλική αγωγιμότητα $K = T/D = 47,22/10 = 4,722 \text{ m}/\text{d}$
- Ειδική ικανότητα $Q/s = 720/4,45 = 171,80 \text{ m}^3/\text{d}\cdot\text{m}$ ή $4,83 \text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{m}$



Εικόνα 7.46: Ανάλυση δεδομένων άντλησης πηγαδιού N^ο176 με την μέθοδο Cooper-Jacob

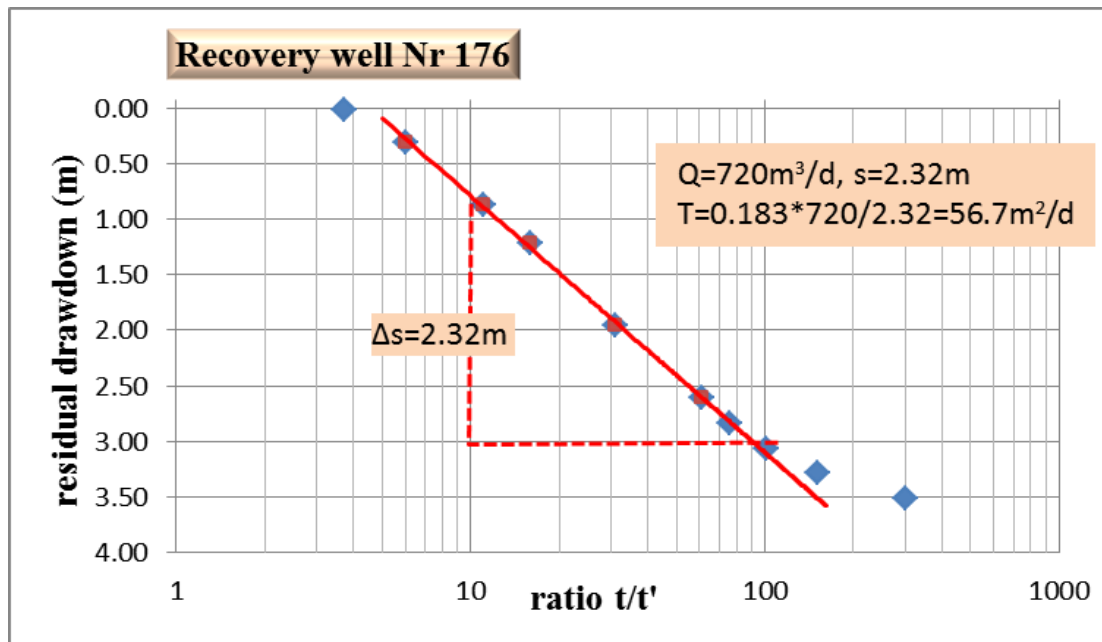
Τα συμπεράσματα από την ερμηνεία του διαγράμματος είναι τα εξής:

1. Το πηγάδι τροφοδοτείται πλευρικά κατά την διάρκεια της άντλησης κι όχι από διαρροή από τα πάνω στρώματα γιατί η κλίση της καμπύλης μετά τα 180 min γίνεται οριζόντια. Σε αυτό συνηγορεί και η βελτίωση της ποιότητας του νερού.
2. Οι υδρογεωλογικές συνθήκες που επικρατούν κοντά στο πηγάδι δεν επιτρέπουν στην άντληση να φανερώσει τα πραγματικά υδραυλικά χαρακτηριστικά του πηγαδιού αφού ο χρόνος άντλησης είναι μικρότερος από αυτόν που απαιτείται από τον τύπο του Schaffer, έτσι ώστε να εξαλειφθεί η επίδραση της μεγάλης διαμέτρου του πηγαδιού στην παροχή άντλησης αφού η στάθμη του πηγαδιού αρχίζει να ανεβαίνει μετά τα 250 min.

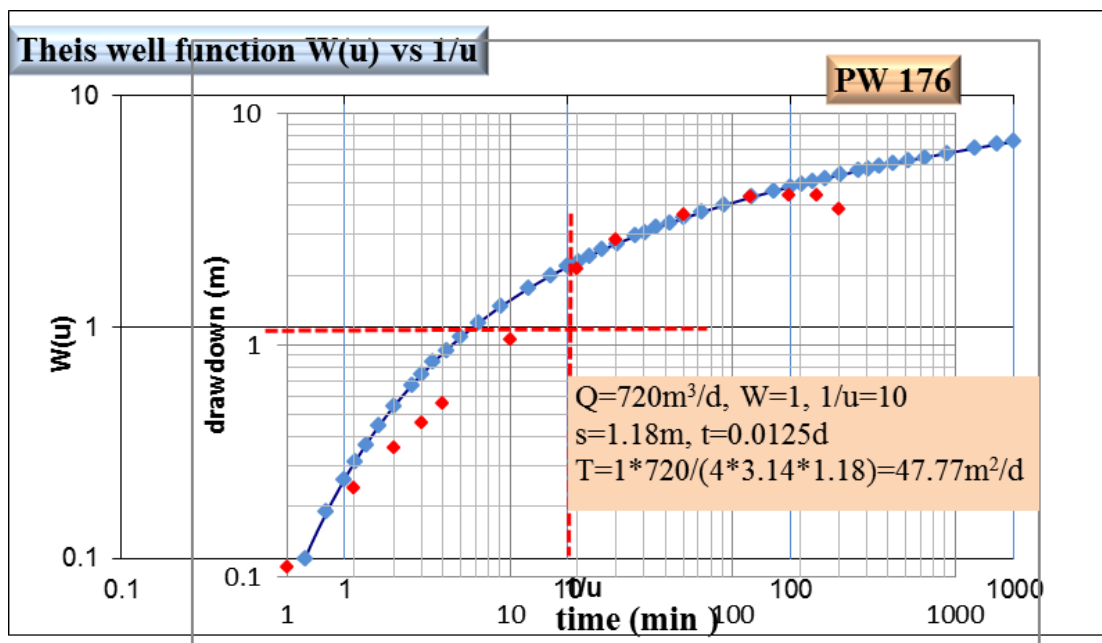
3. Πολύ πιθανόν, λοιπόν, η τιμή της μεταβιβαστικότητας να είναι αρκετά μεγαλύτερη από την υπολογισθείσα.

Μέθοδος επαναφοράς: Τα αποτελέσματα από την εφαρμογή της επαναφοράς της στάθμης (Εικόνα 7.47) έχουν ως εξής:

- Μεταβιβαστικότητα $T= 56,7 \text{ m}^2/\text{d}$
- Υδραυλική αγωγιμότητα $K= T/D=56,7/10=5,67 \text{ m/d}$



Εικόνα 7.47: Ανάλυση δεδομένων επαναφοράς της στάθμης από την άντληση στο πηγάδι N176.



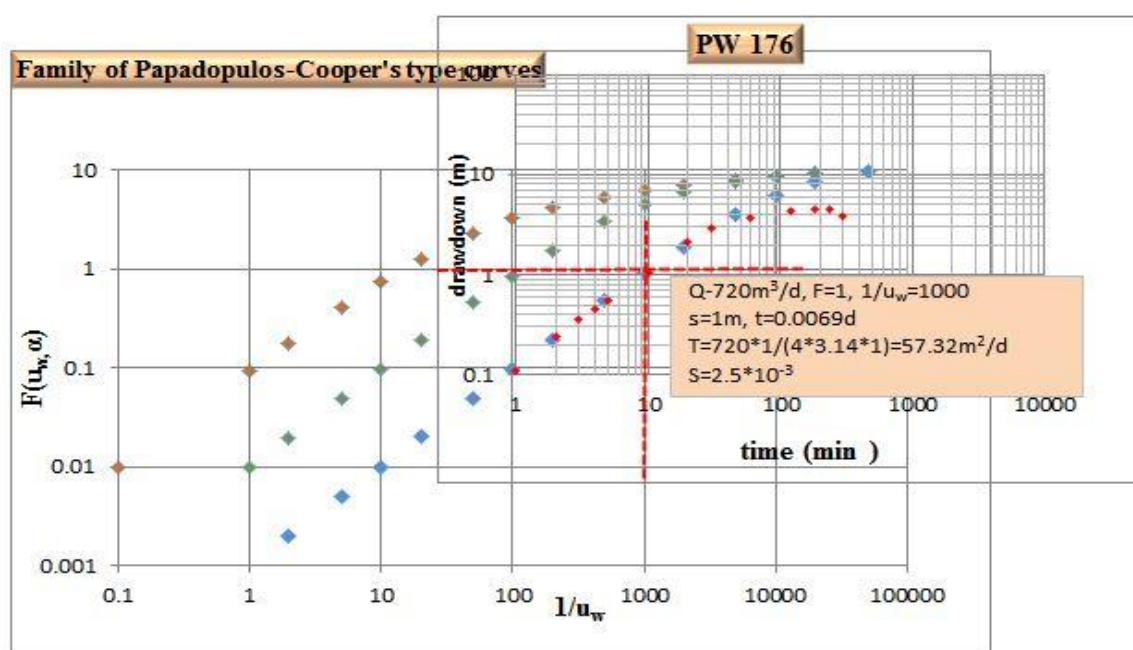
Εικόνα 7.48: Ανάλυση δεδομένων άντλησης πηγαδιού N176 με την μέθοδο Theis.

Μέθοδος Theis: Τα αποτελέσματα από την εφαρμογή της μεθόδου Theis (Εικόνα 7.48) έχουν ως εξής:

- Μεταβιβαστικότητα $T= 47.7 \text{ m}^2/\text{d}$
- Υδραυλική αγωγιμότητα $K= T/D=47,77/10=4,777 \text{ m/d}$

Μέθοδος Παπαδόπουλου: Τα αποτελέσματα από την εφαρμογή της μεθόδου Παπαδόπουλου (Εικόνα 6.49) έχουν ως εξής:

- Μεταβιβαστικότητα $T= 57,32 \text{ m}^2/\text{d}$
- Αποθηκευτικότητα $S=2,5*10^{-3}$
- Υδραυλική αγωγιμότητα $K= T/D=57,32/10=5,732 \text{ m/d}$



Εικόνα 7.49: Ανάλυση δεδομένων άντλησης πηγαδιού N^ο176 με την μέθοδο Παπαδόπουλου.

Στον παρακάτω Πίνακα 7.8 παρουσιάζονται τα υδραυλικά χαρακτηριστικά του πηγαδιού N176.

Πίνακας 7.8 Μέσες τιμές υδραυλικών χαρακτηριστικών πηγαδιού N176

Μέθοδος	T (m ² /d)	S	K (m/d)	Q/s
Cooper-Jacob	47,22		4,722	171,8m ³ /d.m ή 4,83m ³ /h.m
Theis	47,7		4,777	
Παπαδόπουλου	57,32	2,5*10 ⁻³	5,732	
Neuman				
Επαναφοράς	56,7		5,67	
Μέση τιμή	52,24	2,5*10⁻³	5,225	

Παρακάτω παρατίθενται σε μορφή πίνακα (Πίνακας 7.9) τα υδραυλικά χαρακτηριστικά όλων των πηγαδιών του Θριασίου Πεδίου στα οποία πραγματοποιήθηκε δοκιμαστική άντληση.

Πίνακας 7.9: Συγκεντρωτικός πίνακας μέσω των τιμών υδραυλικών χαρακτηριστικών πηγαδιών Θριασίου Πεδίου

Well Nr	T (m ² /d)	S	K (m/d)	Q/s (m ³ /h.m)
N54	102	6,2*10 ⁻³	21	15,5
N86	266	4,3*10 ⁻³	13,3	14,7
N128	35,5	1,57*10 ⁻³	1,05	2,95
N129	3,89		0.195	1.5
N131	25,78		1,29	3,7
N154	129,1	2,8*10 ⁻²	6,54	12,97
N154-Π2	212	3,68*10 ⁻²	14,1	17
N176	52,24	2,5*10 ⁻³	5,225	4,83
N117	150		6	3,2

Πίνακας 7.10: Υδραυλικά χαρακτηριστικά υδροφορέων Θριασίου Πεδίου από προηγούμενες εργασίες διαφόρων ερευνητών

Συγγραφείς	Τριαδικοί ασβεστόλιθοι	Κρητιδικοί ασβεστόλιθοι	Πλειστοκαινικά ιζήματα	Ολοκαινικά ιζήματα
Κούνης και Σιέμος (1990)	0,2-0,5 l/sm ή T=17,28-43,2 m ² /d	60 l/sm ή T=5184 m ² /d	0,2-3,5 l/sm ή T=17,28 m ² /d – T=86,4 m ² /d	36-60 l/sm ή T=3110 m ² /d T=5184 m ² /d
Λιονής (1992)	T=7,93 m ² /d, T=68,63 m ² /d T=316,6 m ² /d			
Λουκίδης (2001)	T=183,6m ² /d, K=14,2 m/d T=132,2m ² /d, K=13,08 m/d T=72,2m ² /d, K=10,29 m/d T=181,42m ² /d K=0,556m/d			
Ερμίδης (2000-12)	T=150m ² /d, K=6 m/d		T=25-300 m ² /d	

7.7. Έλεγχος Ανισοτροπίας

Από την διεξαγωγή των δοκιμαστικών αντλήσεων κατορθώθηκε να πραγματοποιηθεί έλεγχος ανισοτροπίας μόνο στο πηγάδι 54 και η οποία αναλύθηκε με την μέθοδο Hantush-Thomas (1966). Σύμφωνα με αυτήν, σε έναν ανισότροπο κατά το οριζόντιο επίπεδο υδροφόρο, οι γραμμές ίσης πτώσης στάθμης, γύρω από το πηγάδι άντλησης, σχηματίζουν έλλειψη (Εικόνα 7.50) η οποία ικανοποιεί την ακόλουθη Εξίσωση 7.27

$$\frac{x^2}{a_s^2} + \frac{y^2}{b_s^2} = 1$$

Εξίσωση 7.27

Όπου a_s και b_s τα μήκη των κύριων αξόνων της έλλειψης και X, Y οι κύριοι άξονες της ανισοτροπίας στον χρόνο t_s . Αποδεικνύεται ότι:

$$T_n = (r^2/a_s b_s) T_e$$

Εξίσωση 7.28

$$T_x = (a_s/b_s) T_e$$

Εξίσωση 7.29

$$T_y = (b_s/a_s) T_e$$

Εξίσωση 7.30

όπου T_n = η μεταβιβαστικότητα σε συγκεκριμένη διεύθυνση, T_e = η γεωμετρική μέση μεταβιβαστικότητα, T_x και T_y = η μεταβιβαστικότητα στον άξονα X και στον άξονα Y αντίστοιχα της ανισοτροπίας.

ενώ
$$s = \frac{q}{4\pi T_e} W(u_{xy})$$

ή
$$W(u_{xy}) = 4\pi s T_e / Q$$

Εξίσωση 7.31

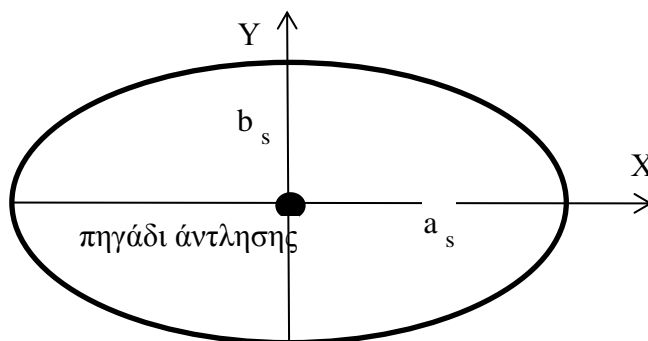
και
$$u_{xy} = r^2 S / 4t T_n$$

ή
$$u_{xy} = a_s b_s S / 4T_e t_s$$

Εξίσωση 7.32

Οι παραδοχές της μεθόδου οι οποίες πρέπει να ικανοποιούνται για την εφαρμογή της είναι οι εξής:

- Όλες οι παραδοχές που αναφέρθηκαν στην αρχή της προηγούμενης παραγράφου § 6.6 με την διαφορά ότι ο υδροφόρος είναι ανισότροπος.
- Η ροή είναι μη μόνιμη.



Εικόνα 7.50: Οι παράμετροι της μεθόδου Hantush-Thomas.

Η εφαρμογή της μεθόδου ακολουθεί τα παρακάτω βήματα

1. Για κάθε διεύθυνση πιεζόμετρων εφαρμόζουμε τα γνωστά για τον υπολογισμό των T και S . Με αυτόν τον τρόπο υπολογίζονται διάφορες τιμές για την T_e και τιμές S/T_n . Η παράμετρος S/T_n , όπου n οι διευθύνσεις των πιεζομέτρων, παραμένει σταθερή σε

συγκεκριμένη διεύθυνση πιεζομέτρων και η T_e για όλο το σύστημα της υπόγειας ροής.

2. Αντικατάσταση των τιμών T_e και S/T_n στις Εξισώσεις 7.34 και 7.35 και υπολογισμός της πτώσης στάθμης σε οποιοδήποτε επιθυμητό χρόνο και απόσταση σε κάθε πιεζόμετρο, αφού βρεθεί πρώτα το $W(xy)$ και το u_{xy} .
3. Κατασκευή του ελλειψοειδούς ίσης πτώσης στάθμης λύνοντας την Εξίσωση της έλλειψης 7.30.
4. Υπολογισμός των T_n , T_x και T_y από τις εξισώσεις (7.31), (7.32) και (7.33)
5. Υπολογισμός του $W(x,y)$ από την (7.34) και από τους πίνακες Theis εύρεση του αντίστοιχου u_{xy} .
6. Υπολογισμός του S από την εξίσωση (7.35)
7. Επανάληψη της διαδικασίας για διάφορες τιμές της πτώσης στάθμης s

Ανισοτροπία στην περιοχή του πηγαδιού N54: Κατά την άντληση του πηγαδιού N54 πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις στο αντλούμενο πηγάδι και σε 2 γειτονικά πηγάδια παρατήρησης που απέχουν απόσταση $\Pi_1 = 65$ m και $\Pi_2 = 185$ m. Η θέση τους στον χώρο βρίσκεται για το Π_1 στην διεύθυνση B180, για το Π_2 στην διεύθυνση B72A.

Η μέθοδος μπορεί να υπολογίσει το μήκος των αξόνων a_s , b_s με δύο μόνο πιεζόμετρα αρκεί να είναι γνωστή η διεύθυνση του ελλειψοειδούς της ανισοτροπίας. Επειδή, τα πηγάδια αντλούν από τα νεογενή ιζήματα τα οποία έχουν υποστεί την επίδραση της νεοτεκτονικής ρηξιγενούς παραμόρφωσης διεύθυνσης Α-Δ και ΒΒΑ-ΝΝΔ (Δούνας, 1971α, Μαριολάκος κ.ά. 2001, Παρασχούδης 2002) εξετάστηκαν διάφορες διευθύνσεις σε αυτό το εύρος διευθύνσεων, οι οποίες ελέγχθηκαν για το κατά πόσο το ελλειψοειδές που εξάγεται ταυτίζεται με τις αποστάσεις που υπολογίστηκαν από την μέθοδο (Πίνακας 7.12). Με αυτόν τον τρόπο βρέθηκε ότι το ελλειψοειδές έχει διεύθυνση Β7Α δηλαδή ΒΒΑ-ΝΝΔ και η οποία συμφωνεί και με τους παραπάνω μελετητές, ακολουθώντας την παραπάνω ρηξιγενή παραμόρφωση.

Σύμφωνα λοιπόν με την παραπάνω μέθοδο, από τις μετρήσεις των πηγαδιών παρατήρησης Π_1 , Π_2 υπολογίστηκαν οι παράμετροι S/T_1 , S/T_2 και η T_e η οποία ορίζεται ως η μέση μεταβιβασιμότητα όλου του συστήματος υπόγειας ροής $T_e = \sqrt{(T_x * T_y)}$. Σε αυτήν την άντληση θεωρήθηκε $T_e = \sqrt{T_1 * T_2} = 1131.8 \text{ m}^2/d$.

Σύμφωνα με τα παραπάνω επιλύοντας την εξίσωση $\frac{x^2}{a_s^2} + \frac{y^2}{b_s^2} = 1$ και παίρνοντας τις συντεταγμένες των Π_1 , Π_2

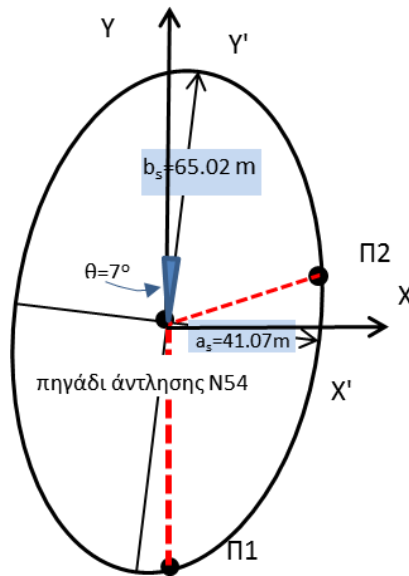
για το πηγάδι Π_1 ισχύει: $x_1 = x * \cos 277^\circ$ δηλαδή $x_1 = 65 * 0.1219 = 5.3 \text{ m}$
 και $y_1 = x * \sin 277^\circ$ δηλαδή $y_1 = 65 * 0.9926 = 64.52 \text{ m}$

για το πηγάδι Π₂ ισχύει: $x_2 = x \cdot \cos 25^\circ$ δηλαδή $x_2 = 43.5 \cdot 0.9063 = 39.42$
 m και $y_2 = x \cdot \sin 25^\circ$ δηλαδή $y_2 = 43.5 \cdot 0.4226 = 18.38$
 m

Έτσι διαμορφώνονται οι εξισώσεις $\frac{5.3^2}{a_s^2} + \frac{64.52^2}{b_s^2} = 1$ και $\frac{39.42^2}{a_s^2} + \frac{18.38^2}{b_s^2} = 1$

Όπου ως λύσεις έχουν : $a_s = 41.07$ m και $b_s = 65.02$ m

Με αυτόν τον τρόπο κατασκευάζουμε την έλλειψη ίσης πτώσης στάθμης η οποία φαίνεται στην Εικόνα 7.51. Η μέθοδος λοιπόν, απαιτεί οι θέσεις των πηγαδιών να βρίσκονται σε έλλειψη όπου ο μεγάλος άξονας της ανισοτροπίας θα έχει διεύθυνση B7A.

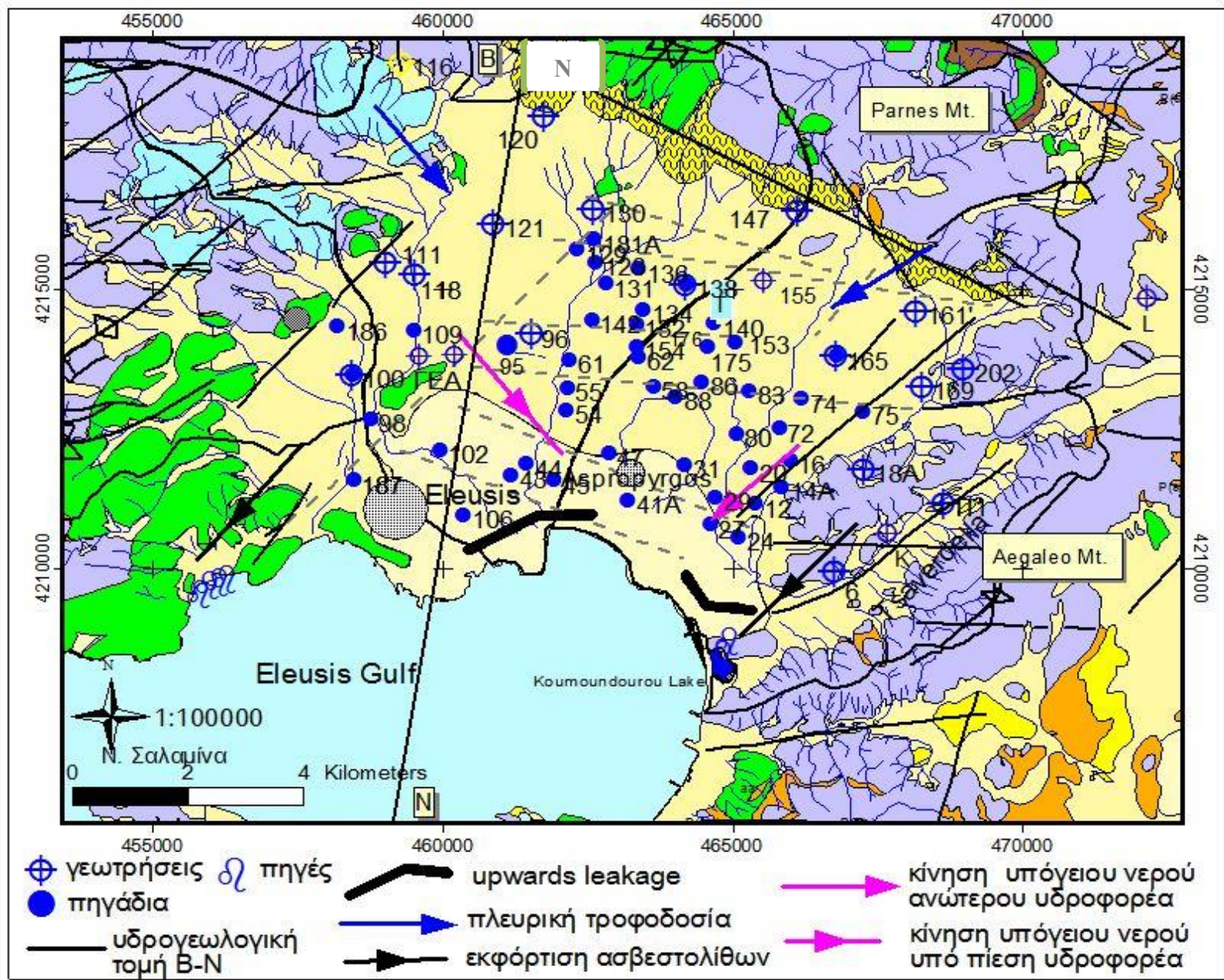


Εικόνα 7.51: Ελλειψοειδές ανισοτροπίας στην περιοχή του πηγαδιού N54.

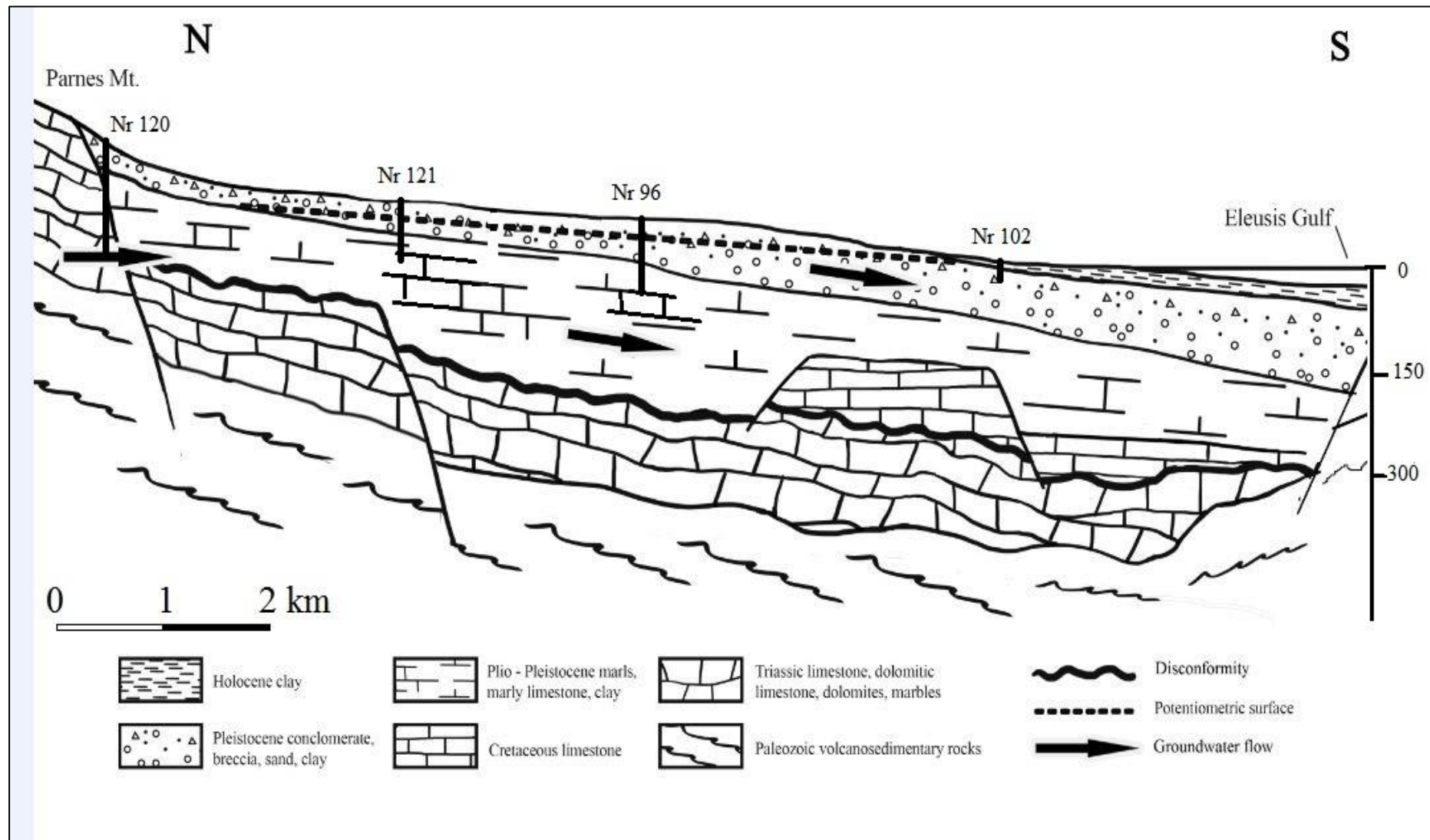
Πίνακας 7.11: Πίνακας που δείχνει την πτώση στάθμης σε οποιοδήποτε χρόνο και απόσταση σε κάθε διεύθυνση πιεζομέτρων

		t=min	150	200	300	400	500	600	720
		t=days	0.104	0.139	0.208	0.278	0.347	0.417	0.500
		u=	0.023	0.018	0.012	0.009	0.007	0.006	0.005
		W=	3.175	3.462	3.868	4.155	4.379	4.561	4.743
Te=	1131.8								
S/T1=	2.3E-06	65 s=Q/4πi()*W(x,y)	0.067	0.073	0.082	0.088	0.092	0.096	0.100
		t=min	150	200	300	400	500	600	720
		t=days	0.104	0.139	0.208	0.278	0.347	0.417	0.500
		u=	0.023	0.018	0.012	0.009	0.007	0.006	0.005
		W=	3.176	3.463	3.869	4.157	4.380	4.562	4.744
Te=	1131.8								
S/T2=	5.2E-06	43.5 s=Q/4πi()*W(x,y)	0.067	0.073	0.082	0.088	0.092	0.096	0.100

Στις παρακάτω Εικόνες 7.52 και 7.53 παρουσιάζονται ο υδρογεωλογικός χάρτης του Θριασίου Πεδίου και υδρογεωλογική τομή διεύθυνσης B-N.



Εικόνα 7.52: Υδρογεωλογικός χάρτης του Θριάσιου Πεδίου.



Εικόνα 7.53: Σχηματική υδρογεωλογική τομή Θριασίου Πεδίου διεύθυνσης Β-Ν (Hermides and Stamatis 2017).

8. ΥΔΡΟΓΕΩΧΗΜΕΙΑ

8.1. Γενικά

Η μελέτη της χημείας των υπόγειων νερών αποσκοπεί στον προσδιορισμό των ποιοτικών χαρακτηριστικών, της φυσικοχημικής και βιολογικής σύστασης των υδατικών πόρων (Νόμος 1739/1987) και αποτελεί ένα από τα βασικά στοιχεία της διαχείρισης των υδατικών πόρων. Επιπρόσθετα, ο καθορισμός της χημείας των υπόγειων νερών συμβάλλει στην οικοδόμηση της γνώσης και σε θέματα επιστημονικού ενδιαφέροντος και εφαρμοσμένης υδρογεωλογίας όπως η ανάπτυξη των υδατικών πόρων γενικότερα (Fetter 2001), η ηλικία και η εξέλιξη του υπόγειου νερού (Freeze and Cherry 1979), η προσομοίωση της λειτουργίας των υδροφορέων και η ανεύρεση γεωθερμικών υγρών (Edmunds and Smedley 2013, Nordstrom and Jenne 1977).

Διάφορες γεωχημικές διεργασίες οι οποίες λαμβάνουν χώρα στην ακόρεστη ζώνη και τους υπόγειους υδροφορείς επηρεάζουν την σύσταση του υπόγειου νερού. Μία απλή χημική αντίδραση ή ένα σύνολο αλληλεπιδράσεων μπορεί να περιγράψει την εξέλιξη της σύστασης του υπόγειου νερού, την προέλευση και την ιστορία του (Appelo and Postma 1993).

Πολλές φορές, στον καθορισμό των υδρογεωλογικών συνθηκών μιας περιοχής, η μελέτη της υδρογεωχημείας είναι απαραίτητη και χρήσιμη στην προσέγγιση της συμπεριφοράς πολύπλοκων συνθηκών, όπως αυτών της ύπαρξης ακολουθίας υδροφορέων (multi-layered aquifers), όπως συμβαίνει στο Θριασίο Πεδίο, ενώ επίσης παρέχει και έναν ανεξάρτητο έλεγχο της πιεζομετρίας, ο οποίος μπορεί να αποκαλύψει υδρογεωλογικές συνθήκες οι οποίες δεν είναι τόσο εμφανείς από την μελέτη της πιεζομετρίας (Lloyd and Heathcote 1985).

Στην παρούσα διατριβή, η ενασχόληση με την υδρογεωχημεία έχει ως στόχο αφ' ενός μεν τον προσδιορισμό της ποιοτικής κατάστασης των υπόγειων νερών του Θριασίου Πεδίου, την ταξινόμησή τους και αφ' ετέρου δε την προσπάθεια προστασίας και αναβάθμισης της ποιότητάς τους και κυρίως στην προσέγγιση και κατανόηση των υδρογεωλογικών συνθηκών της περιοχής μελέτης, μέσω της συσχέτισής της χημικής σύστασης των νερών με την λιθοστρωματογραφία, την εξέλιξή τους στον χώρο και τον χρόνο, την ανεύρεση περιοχών τροφοδοσίας και φυσικής αναπλήρωσης και εκφόρτισης αλλά και της επικοινωνίας των υδροφορέων τόσο μεταξύ τους όσο και με την θάλασσα. Οι διάφορες υδρογεωχημικές διεργασίες όπως κατιοντοανταλλαγή, προσρόφηση, απορρόφηση, οξειδοαναγωγή, διάλυση, ανάμιξη κλπ ρυθμίζονται από την ορυκτολογική σύσταση των υδροφόρων οριζόντων και το υδρογεωλογικό καθεστώς της περιοχής κι επομένως αντιστρόφως ο υδροχημικός τύπος των νερών παρέχει την δυνατότητα περιγραφής των υδρογεωλογικών συνθηκών της περιοχής.

Για τον σκοπό αυτό πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία νερού σε τρεις περιόδους, και ακολούθησαν χημικές αναλύσεις για τον προσδιορισμό των διαφόρων χημικών παραμέτρων. Στην περιοχή του Θριασίου έχουν πραγματοποιηθεί κατά καιρούς, χημικές αναλύσεις υπογείων νερών οι οποίες έχουν ληφθεί υπ' όψιν παρά το γεγονός ότι αυτές έχουν πραγματοποιηθεί με διαφορετικές μεθόδους, σε διαφορετικά ίσως πηγάδια και σε διαφορετικές περιόδους. Ο λόγος είναι ότι αποτελούν ένα υλικό που βοηθά σε γενικές γραμμές την κατανόηση του προβλήματος και μπορεί να σκιαγραφηθεί ένα πλαίσιο ποιότητας των υπόγειων νερών. Εξάλλου, αφ' ενός μεν δεν υπάρχουν τέτοιες αποκλίσεις στις

τιμές των παραμέτρων που θα καθιστούσαν το υλικό αυτό μη αξιοποιήσιμο, αφ' ετέρου οι μεταβολές των χημικών παραμέτρων των υπόγειων νερών είναι, γενικά, αρκετά ευμετάβλητες λόγω της φύσης των υδροφορέων. Επομένως μπορούν να εξαχθούν ενδεικτικά συμπεράσματα για την ποιότητα των υπόγειων νερών του Θριασίου Πεδίου και την εξέλιξή τους στον χώρο και στον χρόνο. Εξάλλου είναι πολύ δύσκολο να συλλεχθεί δείγμα υπόγειου νερού το οποίο θα είναι πλήρως αντιπροσωπευτικό του χημισμού του όπως ακριβώς βρίσκεται εκείνη την στιγμή στον υπόγειο υδροφορέα γιατί αλλάζει η πίεση του νερού καθώς αυτό εξάγεται από την φυσική του θέση αλλά και από το γεγονός ότι έρχεται σε επαφή με το οξυγόνο της ατμόσφαιρας με αποτέλεσμα την αλλαγή του pH, Eh και των συνθηκών ισορροπίας του νερού (Fetter 2001). Παρ' όλα αυτά ως κύρια βάση της εξέλιξης της ποιότητας και του υδραυλικού φορτίου του υπόγειου νερού στο Θριάσιο αποτελεί η μελέτη του Παρασχούδη (2002). Στην μελέτη αυτή ο συγγραφέας της παρούσης συμμετείχε και συνέλεξε την περίοδο 1999-2001 400 δείγματα υπόγειου νερού από τα ίδια πηγάδια, με την ίδια διαδικασία, κάτω από τις ίδιες συνθήκες άντλησης με τα 100 δείγματα τα οποία συνέλεξε ο ίδιος κατά την παρούσα φάση (2012).

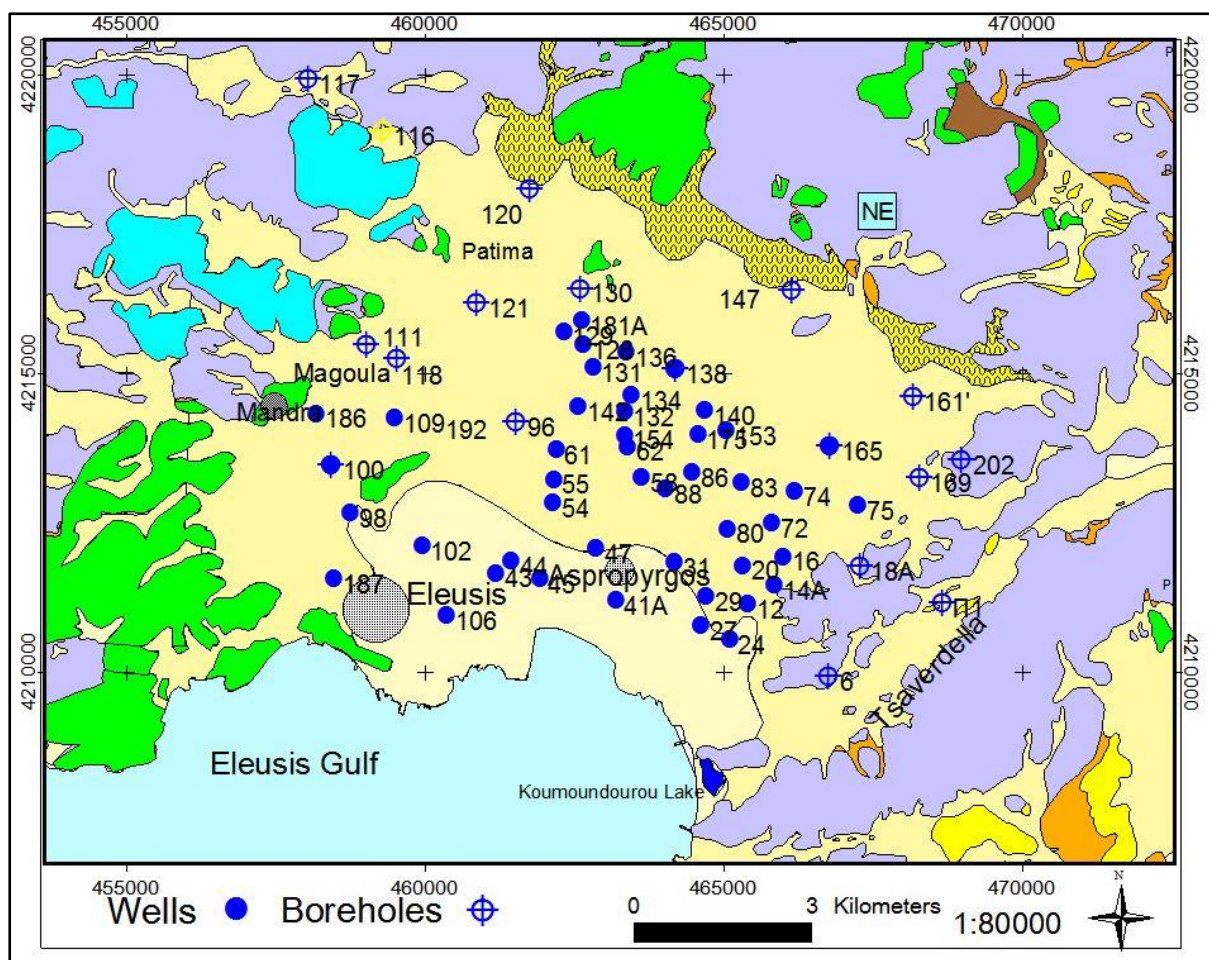
Επιπρόσθετα, ελήφθησαν υπ' όψιν στοιχεία από τις παρακάτω μελέτες: Δούνας και Παναγιωτίδης (1964), Κούνης και Σιέμος (1992), Λιονής (1992), Μιμίδης κ.ά. (1998), Μιμίδης κ.ά. (2002), Μακρή (2008), Λιονή κ.ά. (2008), Stathopoulou et al (2005), Ηλιόπουλος κ.ά. (2010), Christides et al (2011), Δημητρίου κ.ά. (2011), Kyriazis et al (2013) και στοιχεία μεμονωμένα από ιδιώτες, που ευγενικά παραχώρησαν τα στοιχεία για την ολοκλήρωση της παρούσης διατριβής. Για την καλύτερη αξιοποίηση των χημικών αναλύσεων χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Aquachem για την εκτίμηση των σφαλμάτων ισοζυγίου ιόντων (charge balance), των ιοντικών λόγων, των διαγραμμάτων Stiff και την παρουσία των πιθανών διαλυμένων αλάτων στα δείγματα. Επίσης, χρησιμοποιήθηκε το γεωχημικό μοντέλο PHREEQC (Parkhurst-Appelo 2015) για την μελέτη των ιοντικών ενεργοτήτων και των δεικτών κορεσμού των διαφόρων ορυκτών. Κατασκευάστηκαν υδροχημικοί χάρτες οι οποίοι αποτελούν βοηθητικό εργαλείο για την αποτύπωση της ποιοτικής κατάστασης των υπόγειων νερών, την διερεύνηση της πορείας τους μέσω των πετρωμάτων, τον καθορισμό των μετώπων τροφοδοσίας και φυσικής αναπλήρωσης αλλά και την ανάμιξη τους με θαλασινό νερό ή νερά άλλου χημισμού. Τέτοιοι χάρτες είναι της ηλεκτρικής αγωγιμότητας EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$), των ολικών διαλυμένων στερεών TDS (mg/l), του Redox Eh (mV) και pH, της συγκέντρωσης F^- , Cl^- , Br^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , NO_2^- , Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Sr^{2+} , Ni^+ , Cr(VI) και NaCl και των ιοντικών λόγων $r\text{Na}/r\text{Cl}$, $r(\text{Cl-Na})/r\text{Cl}$, $r\text{Cl}/r\text{Br}$, $r\text{Mg}/r\text{Ca}$, $r\text{Na}/r\text{K}$, $r\text{HCO}_3/r\text{Cl}$, $r(\text{Ca+Mg})/r\text{Na}$, $r\text{Ca}/r\text{SO}_4$, $r(\text{Ca+Mg})/r\text{HCO}_3$, $r(\text{Ca+Mg})/r(\text{HCO}_3+\text{SO}_4)$. Κατασκευάστηκαν υδροχημικά διαγράμματα συσχέτισης (X-Y) EC-TDS, EC-Na, EC-Cl, EC-NaCl, $\text{NO}_3\text{-Cl}$, $\text{NO}_2\text{-Cl}$, $\text{NO}_3\text{-NO}_2$, Na-Cl, Na-SO₄, (Ca+Mg)/HCO₃, (Ca+Mg)/(HCO₃+SO₄) και ταξινομήθηκαν τα νερά σύμφωνα με διεθνή πρότυπα και διάφορες μεθόδους όπως διαστελλόμενα διαγράμματα Durov (Lambrakis 1991), Piper (Winston 2000) και Chadha (1999). Ιδιαίτερα, μελετήθηκε η παρουσία των αλογόνων, ως περιβαλλοντικοί ιχνηθέτες (Davis et al. 1998, Vengosh and Pankratov 1998, Andreasen and Fleck 1997, Whittemore 1995, Fabryka-Martin et al. 1991, Behl 1990, McCaffrey et al. 1987, Rittenhouse 1967, Bloch and Schnerb 1954) για τον καθορισμό της προέλευσης της

ρύπανσης των υπόγειων νερών του Θριάσιου αλλά και της πιθανής ύπαρξης γεωθερμικών υγρών.

8.2. Δειγματοληψία-Δίκτυο ελέγχου και μετρήσεων

8.2.1. Δίκτυο ελέγχου και μετρήσεων

Η επιλογή των θέσεων δειγματοληψίας έγινε με γεωλογικά και υδρογεωλογικά κριτήρια αλλά και γεωγραφικά ώστε να είναι αντιπροσωπευτικότερη η προσέγγιση της ποιότητας των υπόγειων νερών. Στο πλαίσιο της παρούσης διατριβής πραγματοποιήθηκαν 102 δειγματοληψίες και αντίστοιχες χημικές αναλύσεις, σε 46 σημεία της περιοχής από τα οποία 32 σε πηγάδια και 14 σε γεωτρήσεις. Τα σημεία δειγματοληψίας (Εικόνα 8.1) κατανέμονται σε όλο το Θριάσιο και έχουν αποτυπωθεί σε ψηφιοποιημένο χάρτη μέσω ΓΠΣ χρησιμοποιώντας συντεταγμένες ΕΓΣΑ '87. Το υψόμετρο των πηγαδιών μετρήθηκε μέσω DGPS μεθόδου ακρίβειας 5-10 mm (Παρασχούδης 2002). Από το σύνολο των πηγαδιών 36 αντλούσαν υδροφόρους των μεταλλικών σχηματισμών (αλλούβια, πλειστοκαινικά, νεογενή) και 10 ανθρακικούς υδροφορείς.



Εικόνα 8.1: Σημεία δειγματοληψίας νερού. Το γεωλογικό υπόβαθρο είναι το ίδιο με αυτόν του γεωλογικό χάρτη της Εικόνας 3.1 στο κεφάλαιο «Γεωλογία της ευρύτερης περιοχής».

Οι δειγματοληψίες πραγματοποιήθηκαν σε τρεις περιόδους τον Ιανουάριο του 2012 (δείγματα 12), τον Μάιο του 2012 (δείγματα 45) και τον Οκτώβριο του 2012 (δείγματα 38) ενώ πάρθηκαν 5 δείγματα κατά την διάρκεια 2 δοκιμαστικών αντλήσεων και 2 δείγματα επιφανειακού νερού από το ρέματα Σαρανταπόταμο και Γιαννούλας.

Τα πηγάδια με τον αριθμό 24, 27, 41, 43, 44, 45 φαίνεται ότι ήταν μη χρησιμοποιούμενα τουλάχιστον κατά το τελευταίο έτος και η δειγματοληψία έγινε με την βύθιση του δοχείου δειγματοληψίας 3-4 m κάτω από την ανώτερη επιφάνεια του νερού.

Σε αρκετές ιδιοκτησίες όπως σε αυτές με αριθμό 95, 96, 100, 138, 160, 165, 186, υπάρχουν πηγάδι και γεώτρηση σε κοντινή απόσταση μεταξύ τους. Σε αυτές τις θέσεις η πιεζομετρία ήταν διαφορετική, γεγονός το οποίο μαρτυρεί ότι αντλείται υδροφόρος ορίζοντας διαφορετικού βάθους και πίεσης και επομένως διαφορετικού υδραυλικού φορτίου αλλά και διαφορετικού χημισμού. Επίσης, στις θέσεις των πηγαδιών 129, 136, 181 παρατηρήθηκε το φαινόμενο αναλόγως της εποχής να έχουν μεγάλη διαφορά στάθμης, γεγονός που μαρτυρεί την ύπαρξη ελεύθερου ή επικρεμάμενου στα ανώτερα στρώματα αλλά και την ύπαρξη υπό πίεση υδροφόρου στα χαμηλότερα στρώματα όπου καθίσταται ελεύθερος με την εντατική άντληση.

Σε ορισμένες θέσεις όπως στα πηγάδια με τους αριθμούς 8, 22, 27, 40, 46 αλλά και αλλού τα πηγάδια ή ο γύρω χώρος έχουν χρησιμοποιηθεί για την αποχέτευση - απόρριψη ρυπαντικών ουσιών, όπως αμμωνίας, πετρελαιοειδών, απορρυπαντικών, βιοτεχνικών λυμάτων, χρωμάτων κλπ απορριμμάτων καθώς επίσης απόρριψη ρύπων στα ρέματα της περιοχής και κυρίως στο ρέμα της Γιαννούλας (κεφ. 1^ο Εικόνες 1.1 έως και 1.5).

8.2.2. Δειγματοληψία

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε ήταν σύμφωνη με τις οδηγίες της APHA-AWWA-WEF (2005). Τα δοχεία δειγματοληψίας ήταν πολυαιθυλενίου 1 λίτρου τα οποία είχαν ξεπλυθεί στο εργαστήριο με νιτρικό οξύ. Κατά την δειγματοληψία το δοχείο ξεπλενόταν με το νερό του πηγαδιού, το δε πηγάδι ήταν σε λειτουργία τουλάχιστον μία ώρα νωρίτερα. Το δείγμα μεταφερόταν στο εργαστήριο και φυλάσσονταν σε ψυγείο σε θερμοκρασία 4°C. Στην ύπαιθρο, επί τόπου, μετρήθηκαν φυσικοχημικοί παράμετροι όπως το pH, η ηλεκτρική αγωγιμότητα EC, το δυναμικό οξειδοαναγωγής Eh και η θερμοκρασία T με όργανα της εταιρείας HACH ενώ στο εργαστήριο Γεωργικής Υδραυλικής του τμήματος Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής του Γεωπονικού Παν/μίου Αθηνών ολοκληρώθηκε ο προσδιορισμός των κύριων και δευτερευόντων συστατικών και διαφόρων ολιγοστοιχείων.

8.3. Μεθοδολογία αναλύσεων

Οι εργαστηριακές αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν στο Εργαστήριο Γεωργικής Υδραυλικής, του τομέα Διαχείρισης Υδατικών Πόρων, του τμήματος Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής, του Γεωπονικού Παν/μίου Αθηνών.

Οι χημικές παράμετροι που προσδιορίστηκαν στην παρούσα ήταν:

1. Τα κύρια συστατικά: Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- .
2. Τα δευτερεύοντα: Fe^{2+} , Sr^{2+} , NH_4^+ , NO_2^- , F^- , PO_4^{3-} .
3. Ιχνοστοιχεία: Li^+ , Br^- , Mn^{2+} , Cr^{6+} , Ni^+ , Co^+ .

Οι μετρήσεις μάζας, εκεί όπου χρειάστηκαν, πραγματοποιήθηκαν με ζυγό μεγάλης ακρίβειας στο τέταρτο δεκαδικό ψηφίο και οι αραιώσεις με συσκευή υπερκάθαρου νερού

Ο Fe^{2+} προσδιορίστηκε με φασματοφωτόμετρο της εταιρείας HANNA instruments, σύμφωνα με τα πρότυπα της EPA, με την μέθοδο Phenantroline 315B.

Τα Ni, Co προσδιορίστηκαν με φασματοφωτόμετρο, σύμφωνα με την μέθοδο 8150 της εταιρείας Hach.

Τα όξινα ανθρακικά προσδιορίστηκαν με τη μέθοδο της Τιτλοδότησης, σε δείγμα νερού 100ml με τιτλοδότη $\text{HCl}_{(aq)}$, με ηλεκτρονική συσκευή της εταιρείας HIRSCHMANN LABORGERATE.

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε για τον προσδιορισμό των HCO_3^- ήταν η εξής:

- Αρχικά, παρασκευάστηκε το διάλυμα δείκτη «πράσινο της βρωμοκρεσόλης» (3', 3'', 5', 5'', tetrabromo-m-cresol-sulfonephthalein), με περιοχή pH αλλαγής χρώματος, σε κίτρινο μετά την προσθήκη του οξέος, 3.8-5.4. Έτσι, 0.1g του δείκτη διαλύονται σε 14.3 ml NaOH 0.01 M και στην συνέχεια αραιώνονται με υπερκάθαρο νερό μέχρι όγκου 250 ml).
- Στην συνέχεια παρασκευάστηκε 1 lit πρότυπου διαλύματος $\text{HCl}_{(aq)}$ 0.1 M και τοποθετήθηκε στην φιάλη της συσκευής.
- Τοποθετήθηκαν 100 ml δείγματος σε ποτήρι ζέσεως και προστέθηκαν 3-4 σταγόνες από τον δείκτη. Το ποτήρι ζέσεως τοποθετήθηκε σε stirrer για συνεχή και ομοιόμορφη ανάδευση.
- Ακολούθησε έκχυση μικρών ποσοτήτων υδροχλωρικού οξέος, με ηλεκτρονική προκαθορισμένη δοσολογία, από την συσκευή, akku-drive 50 ml, της HIRSCHMANN LABORGERATE.
- Κατεγράφη η ποσότητα του υδροχλωρικού οξέος που απαιτήθηκε για την αλλαγή του χρώματος από πράσινο σε κίτρινο.
- Υπολογίστηκε η συγκέντρωση των ανιόντων HCO_3^- σε mg/l.

Το CrVI προσδιορίστηκε με πολαρογράφο της εταιρείας Metrohm ακολουθώντας την μέθοδο AB116_3_Det of CrVI (HMDE Hanging mercury drop electrode) χρησιμοποιώντας 10ml δείγματος + 2.5ml buffer για pH 6.2 ± 0.1 διόρθωση με NaOH και πρότυπο CrVI 200 ppb καθώς και με φασματοφωτόμετρο σύμφωνα με τα πρότυπα της ASTM, με την μέθοδο D1687-92 Diphenyl-carbohydrazide της εταιρείας HANNA instruments.

8.3.1. Ιοντική χρωματογραφία

Η ιοντική χρωματογραφία είναι μέθοδος για ταυτόχρονο προσδιορισμό διαφόρων ανιόντων/κατιόντων σε δείγματα νερού. Είναι βασικά μία μέθοδος διαχωρισμού των συστατικών του διαλύματος. Ο διαχωρισμός βασίζεται στη διαφορετική κατανομή των συστατικών του δείγματος μεταξύ μιας κινητής και μίας στατικής φάσης. Η στατική φάση είναι εναλλάκτης ιόντων και η κινητή (διάλυμα έκλουσης) υδατικά διαλύματα αλάτων ασθενών μονοβασικών και διβασικών οξέων (Na_2CO_3 , NaHCO_3). Τα ιόντα του δείγματος εναλλάσσονται με τα ιόντα της στατικής φάσης, η δε ανίχνευση πραγματοποιείται με τον αγωγιμομετρικό ανιχνευτή σε συνδυασμό με καταστολή της αγωγιμότητας με θειικό οξύ.

Οι αναλύσεις των ανιόντων/κατιόντων πραγματοποιήθηκαν με τον ιοντικό χρωματογράφο της εταιρείας Metrohm 732 IC. Για την προετοιμασία των standard διαλυμάτων χρησιμοποιήθηκαν διαλύματα καθαρών συστατικών (stock solution) αραιωμένα σε υπερκάθαρο νερό. Πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις προτύπων με πέντε διαφορετικές συγκεντρώσεις και 3-4 από αυτές ελήφθησαν υπ' όψιν για την βαθμονόμηση και την κατασκευή της γραμμής παλινδρόμησης μεταξύ των αποκρίσεων και των συγκεντρώσεων. Τα όρια ανίχνευσης LOD (Limit of Detection) δηλαδή η μικρότερη συγκέντρωση του αναλύτη (της παραμέτρου) η οποία μπορεί να ανιχνευθεί αξιόπιστα χωρίς κατ' ανάγκη να ποσοτικοποιηθεί και τα όρια ποσοτικοποίησης LOQ (Limit of quantitation) δηλαδή η ελάχιστη συγκέντρωση του αναλύτη η οποία μπορεί να προσδιορισθεί με αποδεκτή ακρίβεια και επαναληψιμότητα για τα διάφορα συστατικά του νερού υπολογίσθηκαν από την παρακάτω εξίσωση 8.1:

$$\text{LOD}=3.3*\sigma/m \text{ and } \text{LOQ}=10*\sigma/m$$

Εξίσωση 8.1

Όπου σ το τυπικό σφάλμα της τομής y των τεταγμένων και m η κλίση της γραμμής παλινδρόμησης.

Τα LOD (mg/l) and LOQ (mg/l) υπολογίσθηκαν σε 0,1 και 0,4 αντίστοιχα για το F^- , 0,8 and 2,3 για το Cl^- , 0,02 and 0,06 για το Br^- , 1 και 3 για τα NO_3^- , 0,7 και 2 για τα PO_4^{3-} , 0,8 και 2,5 για τα SO_4^{2-} , 0,5 και 1,4 για το Li^+ , 1,5 και 4,5 για το Na^+ , 1,1 και 3,4 για το Mn^{2+} , 2,9 και 8,9 για το K^+ , 0,18 και 0,55 για το Ca^{2+} , 0,6 και 1,9 για το Mg^{2+} , 2,2 και 6,8 για το Sr^{2+} .

Για τον προσδιορισμό των ανιόντων χρησιμοποιήθηκε η standard μέθοδος No 261/1 e και η στήλη "Metrosep Anion Dual 2 IC column". Η μέθοδος χρησιμοποιεί 1,3 mmol/l ανθρακικό νάτριο και 2,0 mmol/l όξινο ανθρακικό νάτριο ως eluent με χημική καταστολή 50 mmol/l θειικό οξύ. Για τον προσδιορισμό των κατιόντων χρησιμοποιήθηκε η standard μέθοδος No 257/1 e και στήλη "Metrosep Cation Dual 1-2 IC column". Η μέθοδος χρησιμοποιεί ανάμιξη 4 mmol/l tartaric οξέος και 1 mmol/l dipicolinic οξέος με θέρμανση και ανάδευση.

8.3.2. Έλεγχος των αποτελεσμάτων

Για τον έλεγχο της ακρίβειας των χημικών αναλύσεων ως προς τις συγκεντρώσεις των κύριων συστατικών Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , NO_3^- και Na^+ , K^+ , Ca^{2+} και Mg^{2+} χρησιμοποιήθηκε το % σφάλμα ισοζυγίου ιόντων όπως φαίνεται στην παρακάτω Εξίσωση 8.2

$$\text{Σφάλμα ισοζυγίου ιόντων } \% = \frac{\Sigma_{\text{κατιόντων}} - \Sigma_{\text{ανιόντων}}}{\Sigma_{\text{κατιόντων}} + \Sigma_{\text{ανιόντων}}} \times 100$$

Εξίσωση 8.2

όπου οι συγκεντρώσεις των διαφόρων ιόντων εκφράζονται σε meq/l. Προσοχή δόθηκε έτσι ώστε το σφάλμα της μέτρησης να ήταν μικρότερο από 5%. Σε αντίθετη περίπτωση η ανάλυση επαναλαμβάνονταν. Το 98% του συνόλου των αναλύσεων κυμάνθηκε από 0,2-5 % με ενδιάμεση τιμή 2,2%.

8.4. Παρουσίαση αποτελεσμάτων

Ο Πίνακας 8.1 παρουσιάζει την στατιστική ανάλυση όλων των χημικών παραμέτρων οι οποίες μετρήθηκαν στα υπόγεια νερά του Θριασίου Πεδίου τον Ιανουάριο - Οκτώβριο 2012.

Πίνακας 8.1: Στατιστική ανάλυση χημικών παραμέτρων Ιανουάριος – Οκτώβριος 2012

Χημική παράμετρος	Ιανουάριος 2012				Μάιος 2012				Οκτώβριος 2012			
	M.T.	max	min	SD	M.T.	max	min	SD	M.T.	max	min	SD
F ⁻ (mg/l)	0.6	1.3	0.2	0.3	1.1	3.7	0.1	0.7	1.7	4.7	0.4	1.1
Cl ⁻ (mg/l)	566	2247	83	615	584	2861	35	576	623	2920	40	654
Br ⁻ (mg/l)	1.94	149	0.62	42.51	1.71	9.24	0.15	1.75	1.66	7.58	0.08	1.91
NO ₃ ⁻ (mg/l)	184	393	17	121	130	414	11	107	148	465	13	111
NO ₂ ⁻ (mg/l)	1.2	5.8	0.0	1.8	9.5	229	0.00	33.7	4.5	25.1	1.2	4.0
PO ₄ ³⁻ (mg/l)					0.8	0.9	0.6	0.1	0.4	0.7	0.1	0.3
SO ₄ ²⁻ (mg/l)	99	325	21	86	100	317	9	73	115	391	9	87
HCO ₃ ⁻ (mg/l)	279	360	215	40	347	604	199	103	345	709	183	121
Li ⁺ (mg/l)	0.2	0.5	0.0	0.2	0.6	1.0	0.2	0.4	0.1	1.1	0.0	0.2
K ⁺ (mg/l)	11.6	54.6	0.4	16.2	9.9	28.6	1.2	7.6	11.8	47.3	1.0	10.5
Na ⁺ (mg/l)	237	1289	20	374	284	1112	22	260	303	1400	25	306
Ca ²⁺ (mg/l)	131	243	29	64	145	497	53	73	160	548	61	80
Mg ²⁺ (mg/l)	79	182	19	45	79	326	26	48	85	354	12	55
NH ₄ ⁺ (mg/l)	0.3	3.7	0.0	1.0	1.2	3.0	0.2	1.3	0.1	3.8	0.0	0.6
Mn ²⁺ (mg/l)	0.1	1.5	0.0	0.4	7.8	10.6	4.8	2.3	0.8	14.0	0.0	2.9
Sr ²⁺ (mg/l)	0.3	4.3	0.0	1.2	9.5	10.2	8.7	0.7	2.9	46	0.0	8.9
Ni ⁺ (mg/l)	0.01	0.10	0.00	0.03	0.03	0.21	0.00	0.06	-	-	-	-
Co ⁺ (mg/l)	0.01	0.01	0.00	0.00	0.03	0.15	0.00	0.05	-	-	-	-
Fe ²⁺ (mg/l)					0.07	0.11	0.05	0.02	-	-	-	-
Cr VI μg/l	10.58	35.00	1.00	8.94	7	54	0	11	12.6	110.0	0.0	21.1
Eh mV	103	128	23	27	195	241	143	22	108	198	-23	47
pH	7.74	8.48	7.22	0.33	7.52	8.05	7.09	0.24	7.23	7.58	7.55	7.47
E.C .μS/cm	2579	7600	832	1812	2597	8710	589	1685	2519	8090	570	1737
T °C									20.6	22.8	17.5	1.2

Στους παρακάτω πίνακες 8.2, 8.3 και 8.4 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα χημικών αναλύσεων και φυσικοχημικών παραμέτρων την περίοδο Ιανουάριος-Μάιος-Οκτώβριος 2012.

Πίνακας 8.2: Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων και φυσικοχημικών παραμέτρων σε δείγματα Ιανουαρίου 2012

well Nr	F ⁻ mg/l	Cl ⁻ mg/l	NO ₂ ⁻ mg/l	Br ⁻ mg/l	NO ₃ ⁻ mg/l	SO ₄ ²⁻ mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	Li ⁺ mg/l	Na ⁺ mg/l	NH ₄ ⁺ mg/l	Mn ²⁺ mg/l	K ⁺ mg/l	Ca ²⁺ mg/l	Mg ²⁺ mg/l	Sr ²⁺ mg/l	Ni ⁺ mg/l	Co ⁺ mg/l	Cr VI μg/l	pH	Redox mV	E.C. μS/cm
43'	1.3	1035	1.9	4.46	30	131	305	0.0	603			34.2	91.6	75.4			0.003	7	7.83	106.3	3780
45	19.6	2247	5.8	9.15	103	325	269	0.5	1289			54.6	243.0	181.9			0.010	9	8.48	23.1	7600
58	0.2	321		1.66	377	105	320	0.0	67			5.1	195.3	133.3			0.011	9	7.84	111.8	2290
72	1.0	262	3.0	1.01	142	45	281	0.0	20			0.7	28.5	18.9			0.004	35	7.22	101.3	1558
80	0.6	959		3.48	171	183	238	0.0	49			0.4	41.8	21.4			0.004	12	7.29	100.7	3650
86	31.5	270		150	220	52	247	0.3	61	4		3.7	181.4	90.5			0.004	2	7.66	110.5	1753
128	0.4	153	0.6	0.62	393	22	260	0.4	33			4.5	148.5	90.6			0.001	15	7.65	115.3	1633
130	0.7	646	2.1	2.95	144	131	262	0.3	316			10.4	175.5	73.9	4.3	0.009	0.014	2	7.86	102.3	2780
134	0.5	88	0.6	1.36	302	62	360	0.6	45			3.1	134.7	83.8			0.006	11	8.00	109.0	1414
136	0.5	309		1.47	147	47	276	0.3	73		2	9.0	147.3	87.6			0.000	12	7.58	127.8	1732
140	0.1	83		1.91	159	23	215	0.0	23			3.8	82.7	50.0			0.004	12	7.81	110.9	832
147	0.5	418		1.97	17	69	317	0.5	261			10.5	98.8	49.4		0.102	0.000	1	7.68	121.2	1923

Πίνακας 8.3: Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων και φυσικοχημικών παραμέτρων σε δείγματα Μαΐου 2012

well Nr	F ⁻ mg/l	Cl ⁻ mg/l	NO ₂ ⁻ mg/l	Br ⁻ mg/l	NO ₃ ⁻ mg/l	SO ₄ ²⁻ mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	Li ⁺ mg/l	Na ⁺ mg/l	NH ₄ ⁺ mg/l	Mn ²⁺ mg/l	K ⁺ mg/l	Ca ²⁺ mg/l	Mg ²⁺ mg/l	Sr ²⁺ mg/l	Ni ⁺ mg/l	Co ⁺ mg/l	Fe ²⁺ mg/l	Cr VI μg/l	pH	Redox mV	E.C. μS/cm
6	1.6	770	17.9	2.1	47	131	423		479			20.5	153.5	75.2		0.009		0.080		7.67	187.7	3530
12	2.2	532	3.7	1.7	196	147	402	1.0	279		11	9.9	167.7	95.6		0.214	0.004	0.090		7.88	189.2	2810
14A	3.7	1491	8.2	4.8	165	247	324		632		8	11.7	305.1	124.9		0.170		0.080		7.92	206.4	5260
18A	2.3	1059	3.6	3.3	24	122	478		548			21.0	148.8	79.9	10.3	0.110	0.005	0.110	19	8.05	207.6	3900
20	1.0	666	5.7	2.1	115	233	358		268			3.3	174.1	121.6	8.8	0.014	0.136		8	7.96	201.4	2930
24	0.7	1205	0.0		134	174	517		681			28.6	154.0	108.3		0.017	0.023	0.060		7.82	230.9	4460
27		1037	5.4	4.2	48	194	439		636			14.9	186.4	91.6		0.021	0.009	0.060		7.39	224.3	3840

Πίνακας 8.3 (συνέχεια): Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων και φυσικοχημικών παραμέτρων σε δείγματα Μαΐου 2012.

well Nr	F ⁻ mg/l	Cl ⁻ mg/l	NO ₂ ⁻ mg/l	Br ⁻ mg/l	NO ₃ ⁻ mg/l	SO ₄ ²⁻ mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	Li ⁺ mg/l	Na ⁺ mg/l	NH ₄ ⁺ mg/l	Mn ²⁺ mg/l	K ⁺ mg/l	Ca ²⁺ mg/l	Mg ²⁺ mg/l	Sr ²⁺ mg/l	Ni ⁺ mg/l	Co ⁺ mg/l	Fe ²⁺ mg/l	Cr VI μg/l	pH	Redox	E.C. μS/cm
38	1.9	935	6.2	2.3	74	188	448		416			11.6	223.1	104.8		0.017	0.004			7.76	197.3	3680
41'	1.0	369	3.2	1.0	178	137	604		386			3.3	117.1	61.9					0	7.50	215.0	2580
43'	1.5	984	0.0		157	123	311		577			23.2	93.6	72.1			0.004	0.050		7.42	212.8	3750
44	0.8	433	3.6	1.4	11	68	372		296			15.3	63.6	44.5		0.004			0	7.57	205.9	2070
45	0.9	2109			414	317	383		1112			26.7	217.9	150.3				0.050		7.37	215.5	7440
47	3.0	2861	17.5	9.2	218	220	275		795			22.8	496.9	325.7		0.005	0.118			7.20	227.9	8710
54	0.6	204	2.1	0.7	115	105	470		281			10.1	63.6	39.3		0.011	0.005		0	7.67	212.7	1796
55	0.7	63	2.3	0.2	108	37	394		72			5.5	93.7	47.5					8	7.43	220.1	1098
58	1.6	315	2.2	1.0	396	111	305		66			2.8	192.5	130.3		0.013	0.005		16	7.41	216.5	2310
62	0.9	193	2.0	0.7	223	28	237		35			2.3	133.1	74.5		0.008	0.026		11	7.58	219.2	1483
72	0.7	249	3.2	0.7	132	42	305		84			7.7	124.3	72.9		0.032	0.011		54	7.09	159.9	1581
75	1.1	137	1.6	0.4	268	47	328		39			6.7	150.1	70.9		0.024	0.005		7	7.31	149.4	1448
80	1.1	868	5.8	2.5	155	166	281		292			4.2	246.2	118.5		0.013	0.003		1	7.12	180.6	3490
83	1.6	263	2.4	0.8	70	42	271		162			3.0	80.5	35.8		0.019				7.30	182.7	1443
86	0.6	239	2.8	0.8	215	64	250		51			2.6	161.9	76.5		0.011	0.002		10	7.27	180.5	1657
96	0.6	749	7.5	1.9	61	88	506		377			14.5	122.5	113.5					3	7.87	164.0	3250
98	1.7	245	4.5	0.8	36	66	454		148	3		10.2	124.9	49.4						7.29	196.8	1673
100	1.5	71	3.4	0.2	72	21	447		40	0		3.4	127.9	36.6						7.39	186.5	1025
102	1.4	923	5.8	3.1	152	146	519		527			14.9	151.4	103.7		0.004				7.30	190.2	3830
106	1.7	1446	7.7	4.4	94	230	448		748			20.6	221.5	115.2						7.17	240.7	5300
111	1.1	582	6.0	1.8	37	67	336		275			9.7	131.7	52.9					9	7.63	182.1	2450
116	1.4	256	3.4	0.8	35	41	303		134			6.8	117.6	36.0					4	7.68	175.0	1419
118	1.0	1294	10.0	4.7	26	149	340		645			19.7	143.4	88.5						7.68	184.4	4290
120	2.2	962	6.0	3.6	11	100	303		480			14.9	106.2	65.7		0.002	0.001		1	7.74	168.5	3350
121	1.0	40	2.4	0.4	40	9	245		24			1.6	53.1	35.8					9	7.69	185.0	610
128	0.7	162	1.5	0.4	393	24	239		34			6.5	144.6	85.5					4	7.32	194.7	1627
130	0.2	585	3.4	2.0	142	129	225	0.2	271		5	2.7	163.5	65.0					4	7.40	215.7	2266

Πίνακας 8.3 (συνέχεια): Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων και φυσικοχημικών παραμέτρων σε δείγματα Μαΐου 2012.

well Nr	F ⁻ mg/l	Cl ⁻ mg/l	NO ₂ ⁻ mg/l	Br ⁻ mg/l	NO ₃ ⁻ mg/l	SO ₄ ²⁻ mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	Li ⁺ mg/l	Na ⁺ mg/l	NH ₄ ⁺ mg/l	Mn ²⁺ mg/l	K ⁺ mg/l	Ca ²⁺ mg/l	Mg ²⁺ mg/l	Sr ²⁺ mg/l	Ni ⁺ mg/l	Co ⁺ mg/l	Fe ²⁺ mg/l	Cr VI μg/l	pH	Redox	E.C. μS/cm
131	0.4	161	2.5	0.6	233	41	287		42			3.2	136.8	76.0						7.78	191.9	1499
134	0.8	93	1.5	0.3	292	66	281		44			4.0	125.9	73.3			0.005			7.49	215.0	1397
136	0.1	314	4.0	1.2	137	35	250		70			2.2	136.2	78.7		0.006	0.148		0	7.39	142.6	1705
138	0.2	246	4.8	0.8	36	10	201		42			3.7	107.4	54.1					3	7.60	211.0	1178
140	0.7	67	1.5	0.3	124	20	199		24	0		4.0	86.3	37.6					0	7.60	207.3	849
147	0.5	437	5.9	1.6	14	110	302		246			21.4	90.9	44.0			0.010			7.40	183.5	2000
154	1.0	94	1.4	0.4	346	49	245		40			8.0	131.6	75.8					0	7.36	175.0	1443
162	0.1	35	1.4	0.2	69	14	200		22			1.4	54.3	25.5						7.80	166.7	589
169	0.8	414	229.2	0.7	29	56	561		248			9.9	151.2	60.3						7.22	206.0	2280
175A	0.6	49	1.4	0.2	107	23	201		22			1.2	65.7	34.1		0.001	0.054			7.72	166.1	730
187	1.2	554	4.2	1.8	25	65	330		286			14.5	93.9	55.0					0	7.45	172.1	2320

Πίνακας 8.4: Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων και φυσικοχημικών παραμέτρων σε δείγματα Οκτωβρίου 2012.

well Nr	F ⁻ mg/l	Cl ⁻ mg/l	NO ₂ ⁻ mg/l	Br ⁻ mg/l	NO ₃ ⁻ mg/l	SO ₄ ²⁻ mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	Li ⁺ mg/l	Na ⁺ mg/l	NH ₄ ⁺ mg/l	Mn ²⁺ mg/l	K ⁺ mg/l	Ca ²⁺ mg/l	Mg ²⁺ mg/l	Sr ²⁺ mg/l	Cr VI μg/l	T °C	pH	Redox μS/cm	EC μS/cm
14A	2.5	1740	6.8	4.6	245	314	296	0	702	0	1	1.0	335.6	145	2.9		21.2	7.09	132.0	5250
16	0.4	280	3.6	0.5	102	54	300	0	150	0	4	3.7	111.2	54.2	1.0	12	20.8	7.55	197.7	1430
18A	0.5	1450	4.7	3.3	28	151	445	0.1	585	0	0	26.6	168.3	85.7	1.1	28	20.5	7.23	90.6	3980
20	1.5	773	4.1	1.7	136	218	331	0	313	0	0	9.6	197.7	132	0.0	8	21.7	7.58	89.7	2920
24	1.6	1338	6.1	3.9	68	225	488	0.3	798	0	0	29.1	188.9	118	4.0		22.7	6.95	121.6	4380
27	0.7	1134	5.8	3.2	82	209	404	0.1	611	0	0	13.0	177.9	82.4	1.1		21.5	7.3	144.4	3620
41'	1.4	379	25.2	0.8	136	156	617	0	429	0	0	9.4	182.1	69.1	0.0		21.5	7.59	127.7	2450
43'	0.5	1252	5.5	3.9	49	156	285	0.1	658	0	0	28.0	102	84.3	1.8	15	22.8	7.62	120.9	3810
44	1.5	484	3.4	1.4	26	88	357	0.2	322	0	0	20.7	80.05	54.1	0.0	9	22.5	8.04	119.3	1849

Πίνακας 8.4 (συνέχεια): Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων και φυσικοχημικών παραμέτρων σε δείγματα Οκτωβρίου 2012.

well Nr	F ⁻ mg/l	Cl ⁻ mg/l	NO ₂ ⁻ mg/l	Br ⁻ mg/l	NO ₃ ⁻ mg/l	SO ₄ ²⁻ mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	Li ⁺ mg/l	Na ⁺ mg/l	NH ₄ ⁺ mg/l	Mn ²⁺ mg/l	K ⁺ mg/l	Ca ²⁺ mg/l	Mg ²⁺ mg/l	Sr ²⁺ mg/l	Cr VI μg/l	T °C	pH	Redox μS/cm	EC μS/cm
45	2.9	2547	8.9	7.6	152	391	360	0	1400	0	0	40.2	247	178	6.2	14	22.5	7.46	131.4	7660
47	9.9	2920	11.1	7.2	275	255	253	0	806	0	0	47.4	547.9	354	0.0		21.1	7.42	147.9	8090
54	1.6	328	1.2	0.5	180	124	433	0	345	0	0	15.6	78.37	49.5	0.0		20.4	7.52	130.2	1883
55	1.9	103	1.8	0.1	188	76	374	0	103	0	0	8.2	109.4	55.9	0.0		20.6	7.46	111.0	1131
62	4.8	227	2.7	0.5	334	46	231		42	0	0	4.5	147.4	84.4		2	20.5	7.55	119.1	1435
72	1.6	291	2.0	0.4	170	54	296		93	0	0	6.3	135.4	81.5		110	21.4	7.47	131.2	1578
75	1.2	159	2.2	0.3	320	86	314		48	0	0	8.5	174.2	82		0	21.5	7.3	96.6	1501
83	4.2	366	3.5	0.9	89	63	237		213	0	0	6.8	97.42	45.1		2	21.5	7.54	135.0	1538
86	4.3	304	3.2	0.5	281	60	261		58	0	0	4.6	178.9	88		3	20.8	7.51	195.5	1667
96	0.9	461	5.9	0.3	94	64	709		174	0	0	4.0	154.8	156		0	21.2	7.11	27.5	2270
98	1.5	357	3.9	0.8	42	84	487		188	4	0	13.8	158.9	62.6			20.3	7.25	118.6	1812
100	1.4	189	3.5	0.2	173	42	415		66	0	0	3.0	191	61.5		0	21	7.4	124.9	1411
102	0.9	927	4.0	2.1	180	156	517		588	0	0	14.3	173	116			20.2	6.93	135.9	3630
106	2.9	1639	7.0	4.4	122	294	444		857	0	0	30.3	247	131			21.1	7.19	125.9	5010
111	0.8	658	4.3	1.3	87	86	318		249	0	0	11.3	199.5	61.1	0.0	9	20.1	7.33	39.2	2320
116	1.3	300	2.8	0.7	45	62	360		157	0	0	9.2	135	40.8	0.0	9	21.1	7.69	121.8	1378
118	1.6	1520	7.1	4.4	28	164	294		728	0	0	21.9	166.1	98.5	0.0		18.6	7.47	56.4	4500
121	2.1	46	1.5	0.4	60	11	293		28	0	0	3.7	61.1	40.8	5.9	3.0	18.6	7.9	63.3	595
130	0.7	489	1.4	1.2	175	121	226		235	0	0	8.2	158	54.8	0.0	0	17.5	7.64	78.3	2086
131	4.1	193	2.7	0.3	359	63	292		49	0	0	12.5	157.7	90.6			20	7.44	106.1	1431
134	1.0	110	2.8	0.1	377	73	275	0.4	50	0	0	2.2	150.4	88.3	0.0	14	20	7.47	97.1	1388
136	1.1	348	4.5	0.9	157	41	239		82	0	0	3.3	152.5	88.7	0.0	14	19.5	7.55	92.1	1586
138	0.9	245	4.0	0.7	74	11	274	1.2	44	1	12	2.0	129.8	53	2.3	7	19.3	7.83	43.9	1104

Πίνακας 8.4 (συνέχεια): Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων και φυσικοχημικών παραμέτρων σε δείγματα Οκτωβρίου 2012.

well Nr	F ⁻ mg/l	Cl ⁻ mg/l	NO ₂ ⁻ mg/l	Br ⁻ mg/l	NO ₃ ⁻ mg/l	SO ₄ ²⁻ mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	Li ⁺ mg/l	Na ⁺ mg/l	NH ₄ ⁺ mg/l	Mn ²⁺ mg/l	K ⁺ mg/l	Ca ²⁺ mg/l	Mg ²⁺ mg/l	Sr ²⁺ mg/l	Cr VI μg/l	T °C	pH °C	Redox μS/cm	EC μS/cm
140	1.0	77.2	2.3	0.2	165	54	183		27			4.6	91.31	44.5	0.0	13	20	7.95	95.2	810
147	0.8	586	3.9	1.8	13	79	306		317			12.2	77.38	56.2		17	18.1	7.68	-23.0	2115
154	1.0	117	1.5	0.1	465	63	270		46			2.5	155.7	84.6		17	20.3	7.48	115.4	1438
162	2.6	36.2	1.6	0.1	77	17	119		26			2.3	72.88	32.1	0.0	8	20	8.01	194.5	570
169	0.8	439	4.9	1.2	35	60	575		291			12.3	178.2	12	2.7		20.2	7.28	6.5	2270
187	1.4	440	2.9	1.1	44	72	301		233			13.9	97.3	54.2			20.3	7.31	157.5	1762

8.4.1. Φυσικοχημικοί παράμετροι

- **Θερμοκρασία (T °C)**

Η θερμοκρασία του αέρα κατά τις ημέρες της δειγματοληψίας 16-18/10/2012 κυμάνθηκε από 24-28°C. Τα στατιστικά στοιχεία της θερμοκρασίας των υπόγειων νερών τις ημέρες αυτές καταγράφονται στον παρακάτω Πίνακα 8.5 ως εξής:

Πίνακας 8.5: Τιμές θερμοκρασίας (°C)

Υδροφορείς	Ελάχιστη	Μέγιστη	Μέση τιμή	Τυπική απόκλιση
Ελεύθερος	20,2	22,8	21,8	1
Υπό πίεση	19,3	21,5	20,5	0,7
Κρητιδικοί	17,5	20,1	18,6	1,3
Τριαδικοί	18,1	21,2	19,7	1,1

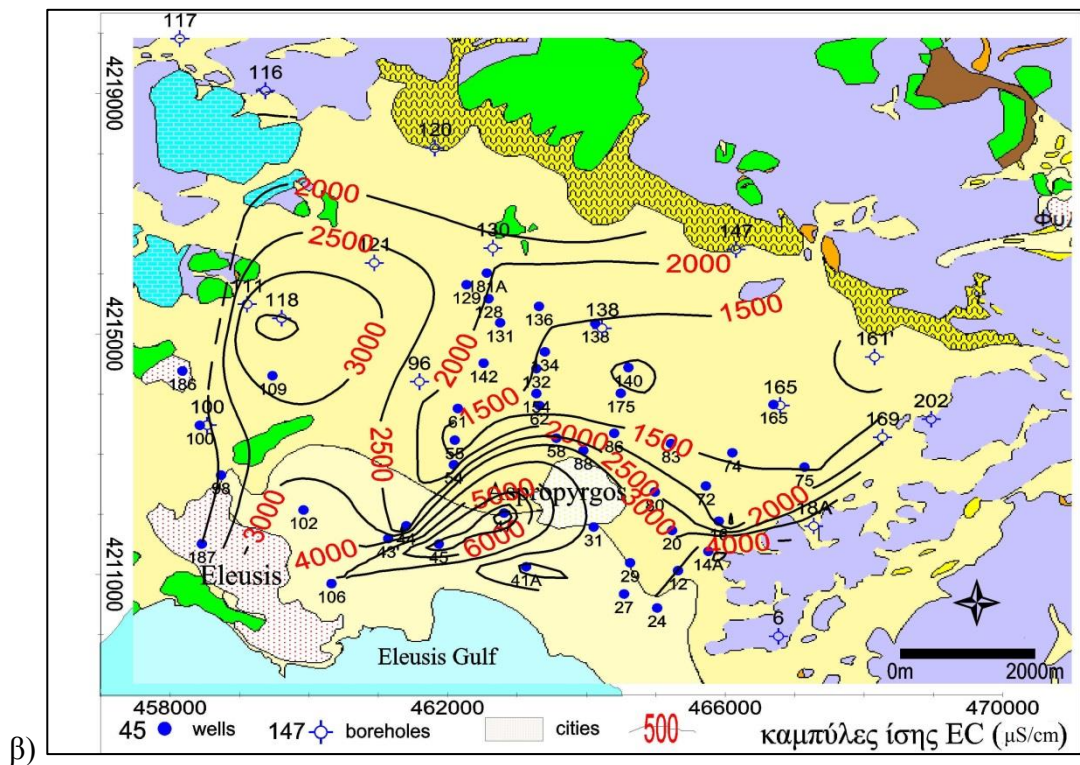
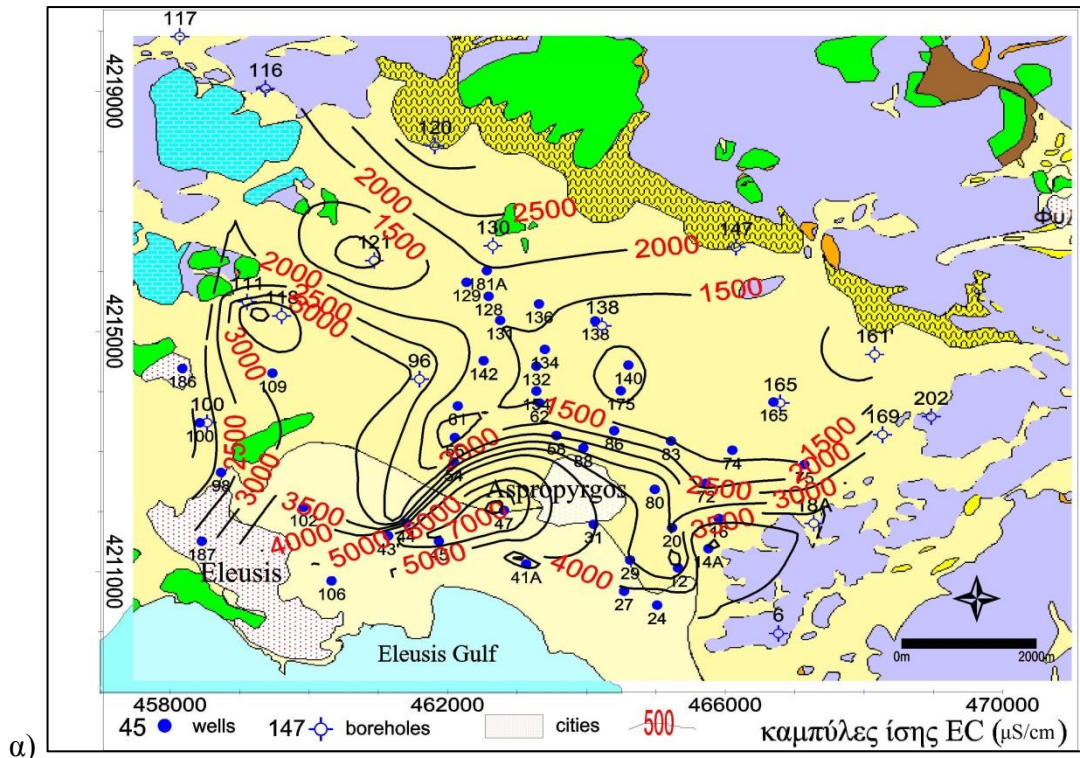
Όπως φαίνεται από τον παραπάνω πίνακα η θερμοκρασία του νερού που φιλοξενείται στους Τριαδικούς ασβεστολίθους είναι αισθητά υψηλότερη από αυτήν στους Κρητιδικούς ασβεστολίθους. Αυτό δείχνει ότι τα νερά των δύο σχηματισμών δεν έχουν κοινή προέλευση και πορεία. Το γεγονός ότι το νερό στους Τριαδικούς υδροφόρους βρίσκεται σε θερμοκρασία 20-21°C και προέρχεται από βάθη 50–140m αλλά και αυτό των Πλειο/Πλειστοκαινικών θερμοκρασίας 20,5 °C και βάθους 17-106 m οδηγεί στο ενδεχόμενο να επηρεάζονται από νερά που έρχονται σε επαφή με υδροθερμικά υγρά. Σε αυτό συνεπικουρεί και ο προσδιορισμός F⁻ σε συγκεντρώσεις γύρω από την μέση τιμή 1,5 mg/l στους Τριαδικούς ασβεστολίθους και 2,1 mg/l στα Πλειο/Πλειστοκαινικά.

- **Ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC)**

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα μετρήθηκε επί τόπου κατά την ημέρα της δειγματοληψίας (16-18/10/2012) και καταγράφεται ως εξής:

Πίνακας 8.6: Τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας EC (μS/cm)

Υδροφορείς	Ελάχιστη	Μέγιστη	Μέση τιμή	Τυπική απόκλιση
Ελεύθερος	1131	7760	3272	1810
Υπό πίεση	810	2270	1481	335
Κρητιδικοί	2086	4500	2969	1331
Τριαδικοί	570	3980	1826	1285

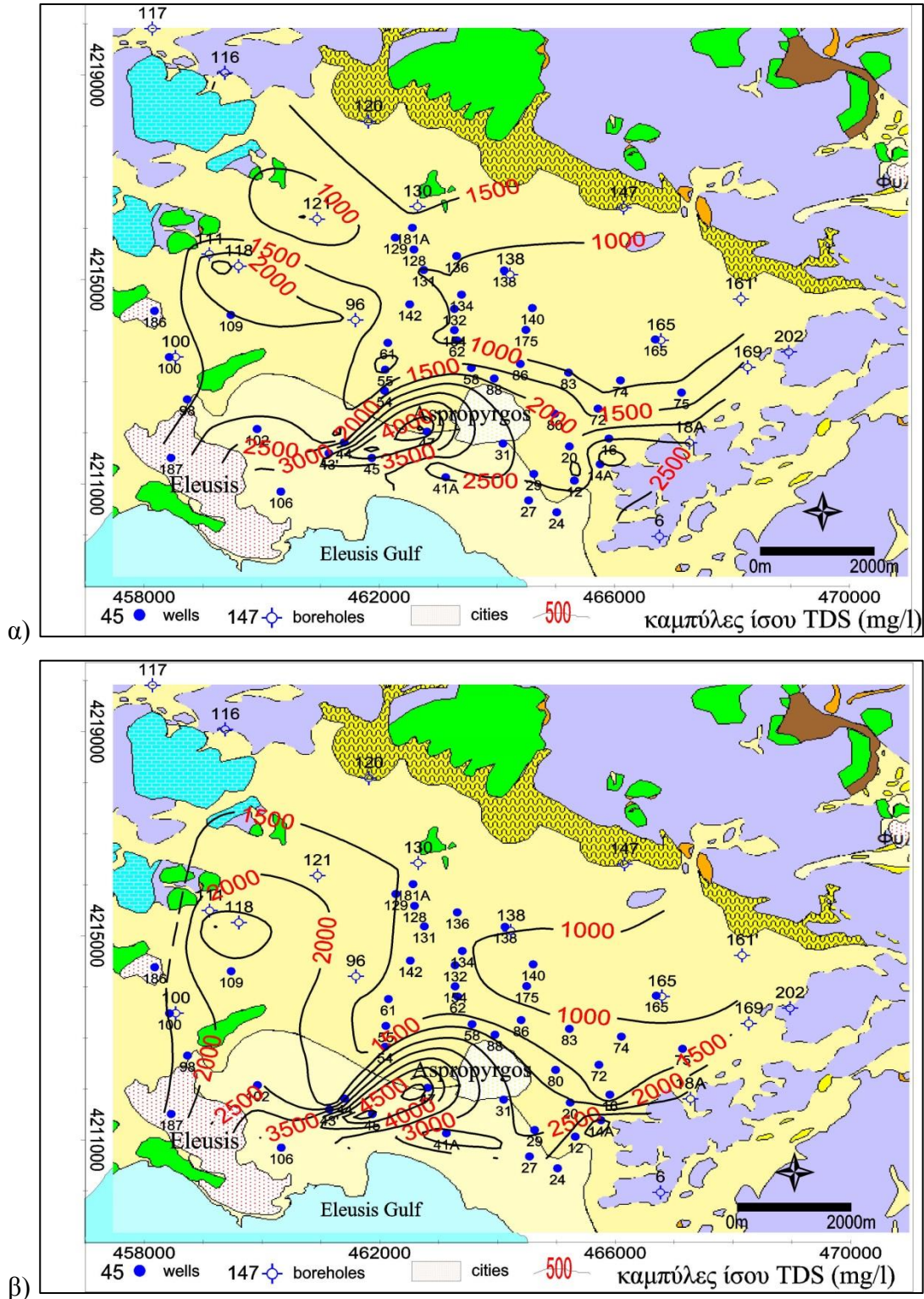


Εικόνα 8.2: Τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας EC (μS/cm) α) Μάιος 2012 β) Οκτώβριος 2012.

Στους χάρτες κατανομής της ηλεκτρικής αγωγιμότητας στην Εικόνα 8.2 φαίνεται η ομοιότητα στην κατανομή και την εξέλιξη της παραμέτρου από τον Μάιο 2012 έως τον Οκτώβριο του 2012. Παρατηρείται το γεγονός ότι στην κεντρική περιοχή του Θριασίου Πεδίου δεν υπάρχει ουσιαστική μεταβολή.

- **Ολικά Διαλυμένα Στερεά (TDS)**

Το σύνολο των διαλυμένων αλάτων στο υπόγειο νερό του Θριασίου υπολογίστηκε από το άθροισμα των συγκεντρώσεων όλων των ιόντων (Fetter 2001) όπως προσδιορίστηκαν από την διεξαγωγή των χημικών αναλύσεων. Στον Πίνακα 8.7 παρακάτω παρουσιάζονται τα στατιστικά στοιχεία για Μάιο και Οκτώβριο 2012.



Εικόνα 8.3: Χάρτης κατανομής TDS α) Μαΐου 2012 β) Οκτωβρίου 2012.

Πίνακας 8.7: Τιμές TDS

Υδροφορείς	Μάιος 2012				Οκτώβριος 2012			
	Min	Max	Mean	Stdev	Min	Max	Mean	Stdev
Ελεύθερος	825	4732	2211	1182	1022	5341	2440	1239
Υπό πίεση	505	2140	1123	464	650	1824	1151	269
Κρητιδικοί	1499	2721	1967	558	1470	3033	2060	849
Τριαδικοί	423	2500	1502	773	533	3110	1407	954

Πίνακας 8.8: Τιμές pH

Υδροφορείς	Ελάχιστη	Μέγιστη	Μέση τιμή	Τυπική απόκλιση
Ελεύθερος	6,95	8,04	7,40	0,27
Υπό πίεση	7,11	7,95	7,51	0,19
Κρητιδικοί	7,33	7,64	7,48	0,16
Τριαδικοί	7,23	8,01	7,64	0,31

Πίνακας 8.9: Τιμές δυναμικού οξειδοαναγωγής Eh (mV)

Υδροφορείς	Ελάχιστη	Μέγιστη	Μέση τιμή	Τυπική απόκλιση
Ελεύθερος	7	158	116	35
Υπό πίεση	28	198	114	39
Κρητιδικοί	39	78	58	20
Τριαδικοί	-23	195	81	74

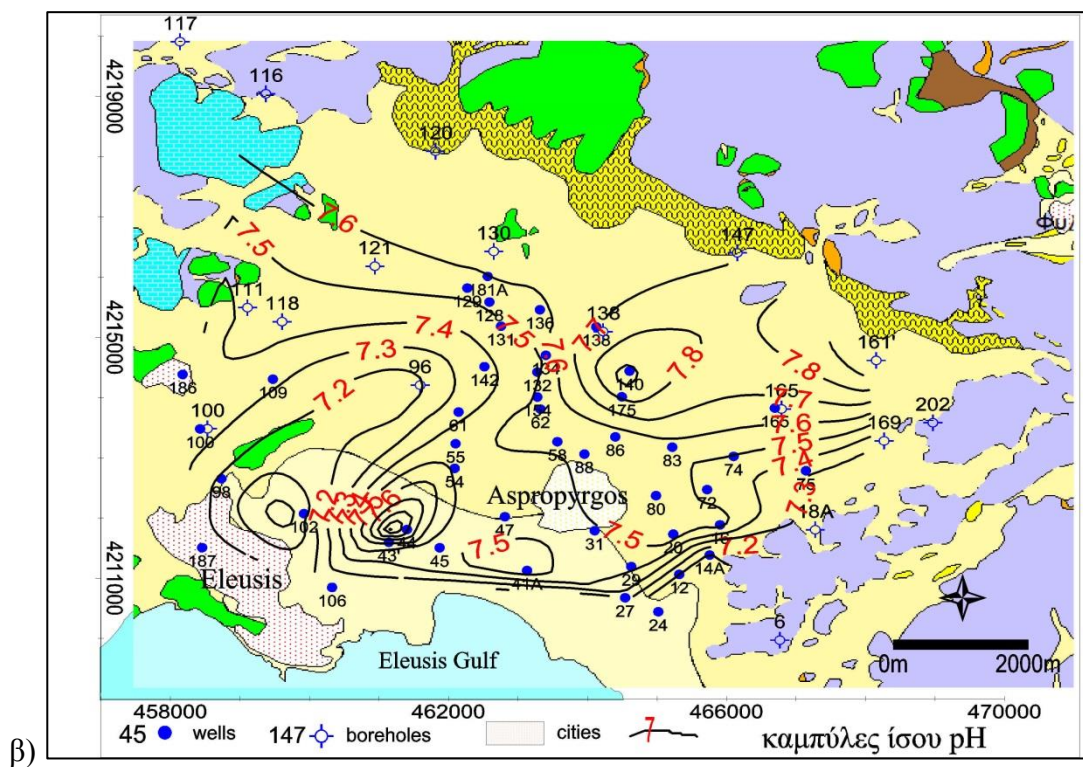
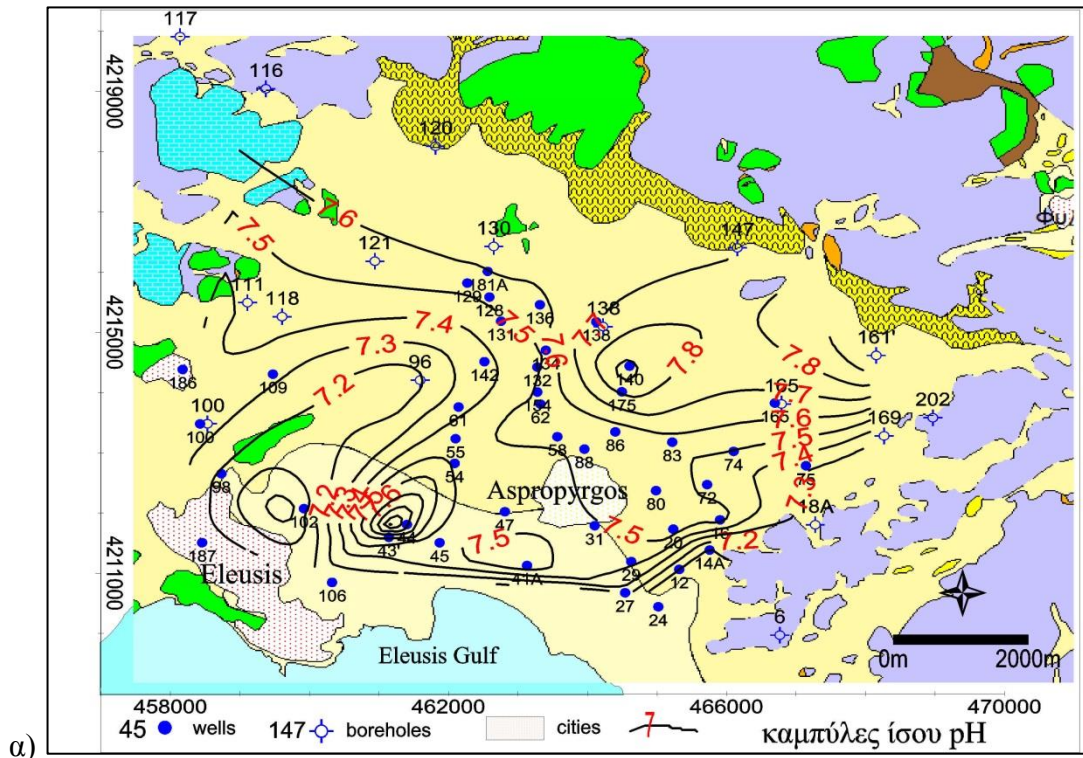
- **Ενεργότητα υδρογόνου (pH)**

Η μέγιστη τιμή του pH στα υπόγεια νερά του Θριασίου είναι 8,1 και εμφανίζεται στους Τριαδικούς ασβεστολίθους ενώ η μικρότερη είναι 6,95 και εμφανίζεται στα πλειστοκαινικά ιζήματα, η δε μέση τιμή όλων των δειγμάτων είναι 7,47. Η μεγαλύτερη διασπορά τιμών εμφανίζεται στους Τριαδικούς ασβεστολίθους ενώ η μικρότερη στους Κρητιδικούς. Από τις τιμές του pH διαπιστώνεται ο αλκαλικός χαρακτήρας των υπόγειων νερών του Θριασίου Πεδίου καθώς επίσης ότι η αλκαλικότητα κατά μέγιστο βαθμό οφείλεται στα HCO_3^- ανιόντα. Στο Σχήμα 8.4 φαίνεται η εξέλιξη των τιμών του pH από τον Μάιο 2012 στον Οκτώβριο του 2012. Οι μεταβολές είναι ελάχιστες στα όρια του σφάλματος των μετρήσεων.

- **Δυναμικό οξειδοαναγωγής (Eh)**

Η μέτρηση του δυναμικού οξειδοαναγωγής Eh παρουσιάζει ενδιαφέρον. Η γενική εικόνα των υπόγειων νερών του Θριασίου Πεδίου υποδηλώνει περιβάλλον στο οποίο επικρατούν οξειδωτικές συνθήκες με μέγιστη τιμή Eh=198 mV τον Οκτώβριο του 2012. Ταυτόχρονα όμως διαφαίνεται μία τάση μετάβασης από οξειδωτικές συνθήκες σε αναγωγικές συνθήκες

με αρκετές τιμές κάτω των 80 mV και σε μερικές περιπτώσεις εμφάνιση αρνητικών τιμών. Στις τελευταίες περιπτώσεις παρουσιάζονται σημαντικές διαβρώσεις στις σωληνώσεις των γεωτρήσεων όπως πχ στις γεωτρήσεις 96, 130, 147 και 169.



Εικόνα 8.4: Ισοτιμικές καμπύλες pH α) Μάιος 2012 β) Οκτώβριος 2012.

- **Σκληρότητα**

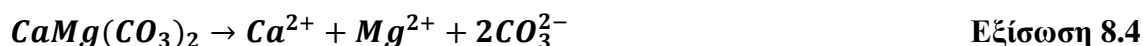
Η ολική σκληρότητα κυμαίνεται μεταξύ 298-2824 με μέση τιμή 752 mg/l CaCO₃ ενώ η παροδική μεταξύ 150-581 με μέση τιμή 282 mg/l CaCO₃. Η αυξημένη συγκέντρωση ασβεστίου και μαγνησίου οδηγεί στην αύξηση της σκληρότητας του υπόγειου νερού. Η σκληρότητα προέρχεται από διάφορες πηγές όπως θαλασσίνο νερό, διάλυση ασβεστολίθου, μάργας, γύψου, φθορίτη (βλέπε σχετική παράγραφο), αντίστροφη κατιοντοανταλλαγή με νάτριο από Cl-Na τύπου νερά, διάλυση δολομίτη και περιδοτιτών.

8.4.2. Κύρια στοιχεία

Παρουσιάζονται παρακάτω οι χάρτες κατανομής και τα στατιστικά στοιχεία των κύριων συστατικών των υπόγειων νερών του Θριασίου Πεδίου ταξινομημένα αναλόγως της ηλικίας και της γεωλογίας του υδροφόρου από το οποίο προέρχεται το δείγμα.

- **Κατιόντα ασβεστίου (Ca²⁺)**

Η κύρια διεργασία με την οποία εμπλουτίζονται τα υπόγεια νερά με ασβέστιο είναι η διάλυση ορυκτών όπως του ασβεστίτη, αραγωνίτη, δολομίτη, ανυδρίτη/γύψου σύμφωνα με τις Εξισώσεις 8.3, 8.4 και 8.5 και λιγότερο από ανορθίτη, φθορίτη, επίδοτο κ.ά. Επίσης, διάλυση πετρωμάτων όπως ασβεστόλιθος, ασβεστολιθικοί δολομίτες, ασβεστολιθικοί ψαμμίτες και μάργες.



Η συγκέντρωσή του στα υπόγεια νερά του Θριασίου κυμαίνεται από 54-336 mg/l (1,35-8,38 mmol/l) (Πίνακας 8.10). Εξαίρεση αποτελεί το πηγάδι 47 η τιμή του οποίου φθάνει 548 mg/l (13,67 mmol/l) τον Οκτώβριο.

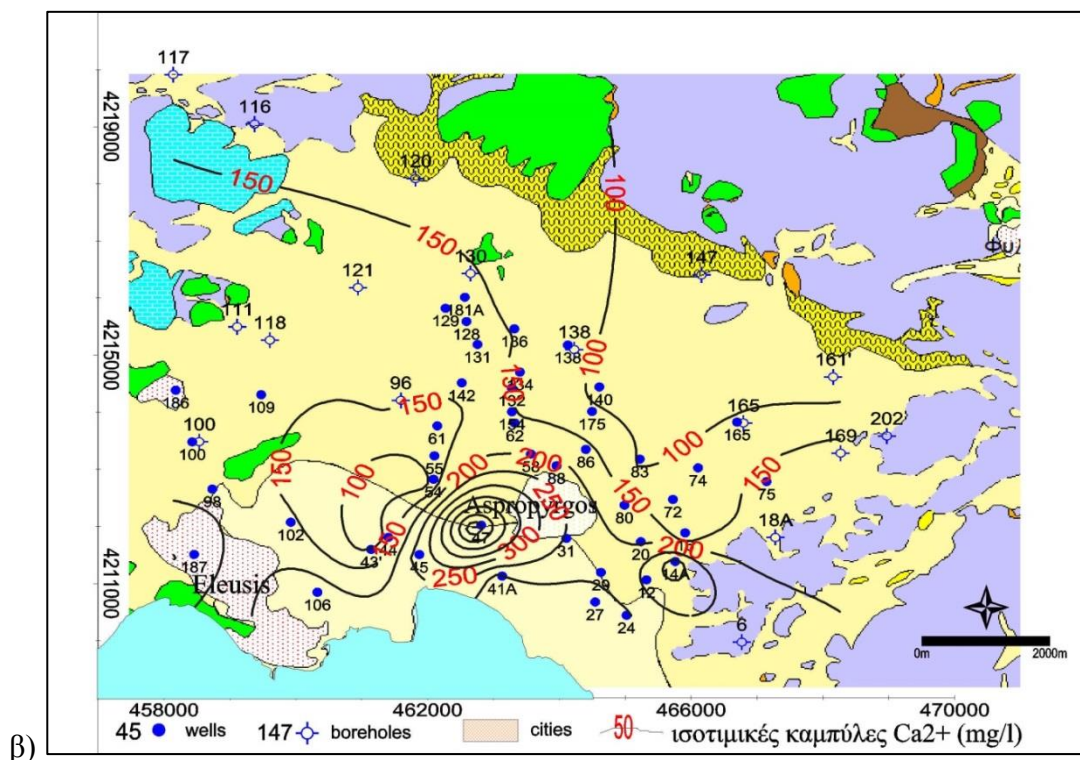
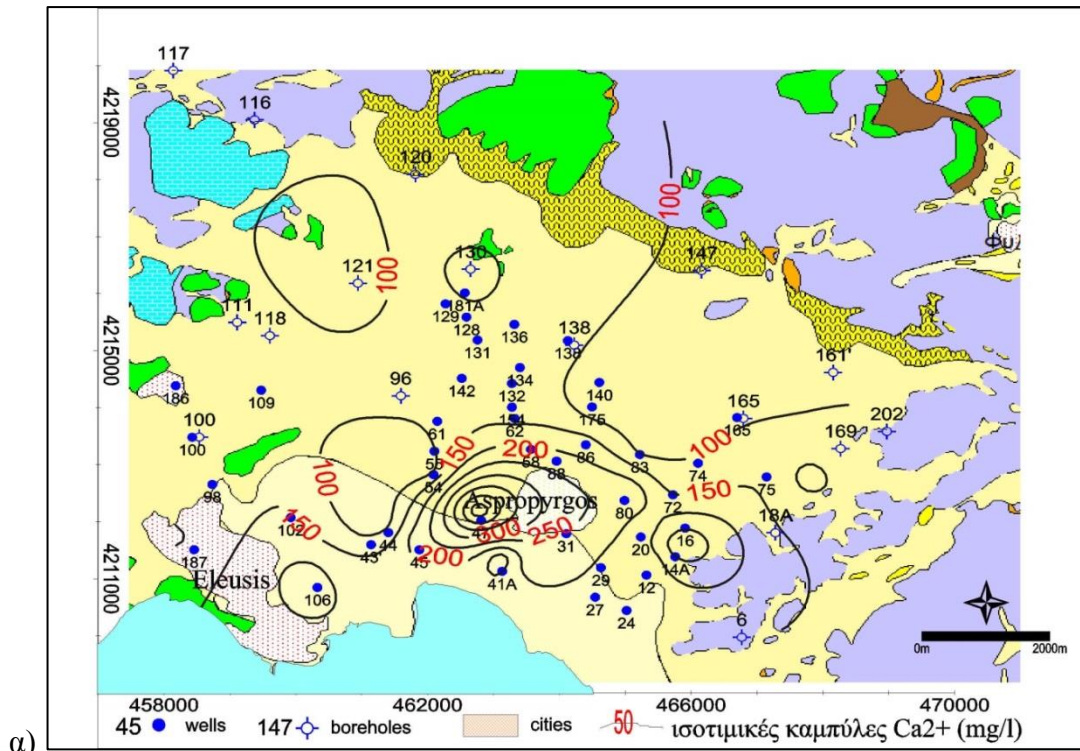
Πίνακας 8.10: Συγκέντρωση Ca²⁺ (mg/l)

Υδροφορείς	Μάιος 2012				Οκτώβριος 2012			
	Min	Max	Mean	Stdev	Min	Max	Mean	Stdev
Ελεύθερος	64	305	159	71	78	336	170	74
Υπό πίεση	64	246	130	45	78	191	141	34
Κρητιδικοί	106	164	136	24	158	200	175	22
Τριαδικοί	54	154	119	40	61	178	110	47

Η παρουσία του Ca²⁺ στα υπόγεια νερά του Θριασίου Πεδίου είναι το αποτέλεσμα πολλών διεργασιών όπως μίξης μεταξύ των διαφορετικών υδροφόρων μέσω του ίδιου του πηγαδιού,

διάλυσης των ασβεστίτη, αραγωνίτη, δολομίτη, ανυδρίτη/γύψου και φθορίτη όπως επίσης και μίξης με θαλασσινό νερό (βλέπε σχετική παράγραφο παρακάτω σελ

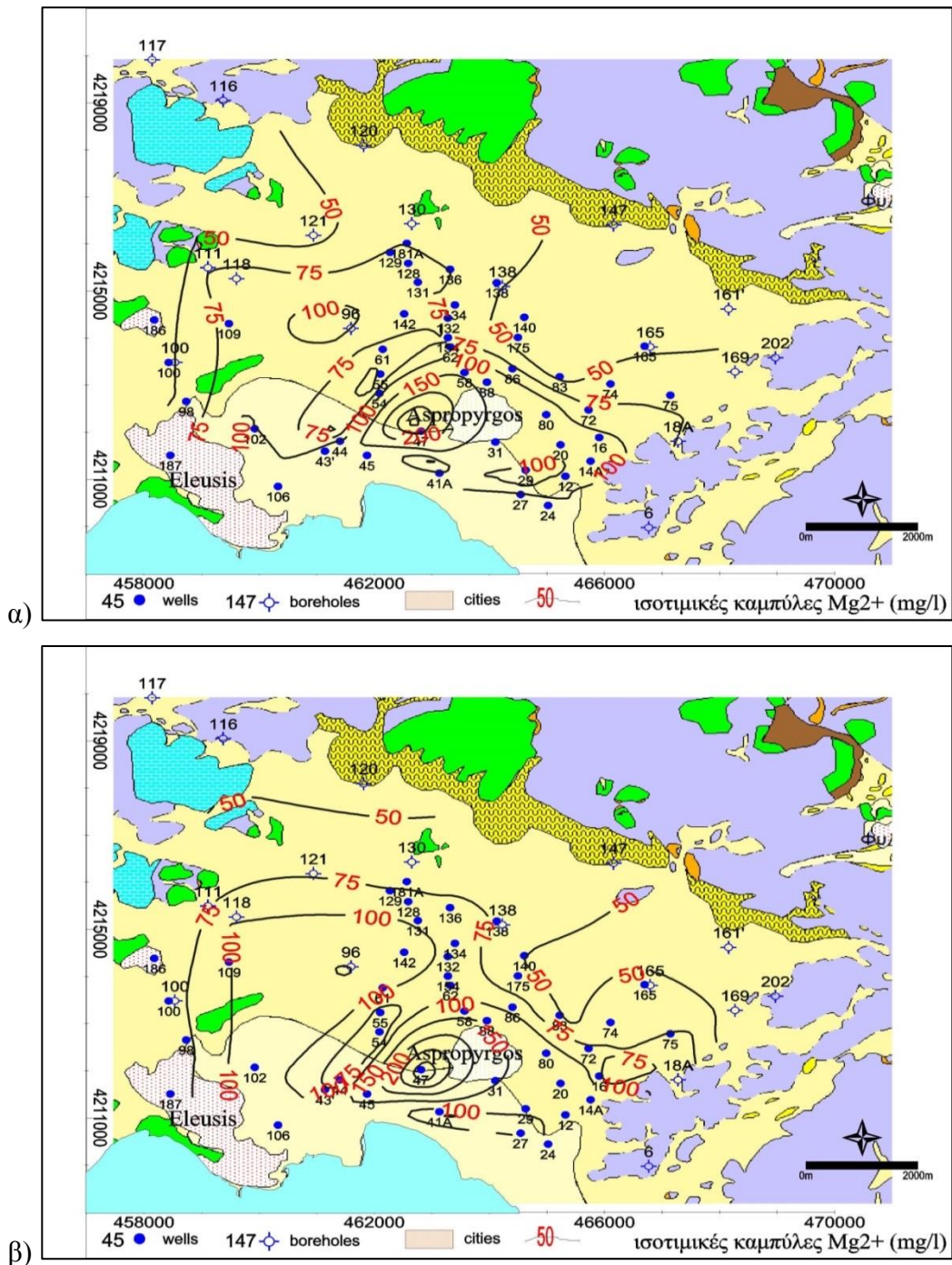
Η εικόνα στους χάρτες δεν παρουσιάζει μεγάλες διαφορές στις περιοχές τροφοδοσίας κυμαίνεται γύρω στα 50-150 mg/l ενώ οι περιοχές με αυξημένες συγκεντρώσεις ασβεστίου υποδηλώνουν εξέλιξη του φαινομένου της αντίστροφης κατιοντοανταλλαγής και πρόσθετης διάλυσης ανυδρίτη/γύψου.



Εικόνα 8.5: Ισοτιμικές καμπύλες Ca²⁺ α) Μάιος και β) Οκτώβριος 2012.

- Κατιόντα Μαγνησίου (Mg^{2+})

Η κύρια διεργασία με την οποία εμπλουτίζονται τα υπόγεια νερά με Mg^{2+} είναι η διάλυση πυριτικών και αργιλοπυριτικών ορυκτών όπως ολιβίνη, σερπεντίνη, βιοτίτη, χλωρίτη, κεροσίλβης, αυγίτη και δευτερογενή όπως δολομίτη κ.ά. Επίσης, διάλυση πετρωμάτων όπως ασβεστόλιθος, ασβεστολιθικοί δολομίτες, δολομιτικοί ασβεστόλιθοι και περιδοτίτες. Η συγκέντρωσή του στα υπόγεια νερά συνήθως κυμαίνεται από 3-56 mg/l (0,1-2,3 mmol/l) (Appelo and Postma 1994) ενώ στο θαλασσινό νερό κυμαίνεται από 1226-1328mg/l (50-54 mmol/l). Η συγκέντρωσή του κυμαίνεται από 12-178 mg/l (Πίνακας 8.11). Εξάιρεση αποτελεί το πηγάδι 47 η τιμή του οποίου φθάνει 354 mg/l τον Οκτώβριο.



Εικόνα 8.6: Ισοτιμικές καμπύλες Mg^{2+} α) Μάιος και β) Οκτώβριος 2012.

Πίνακας 8.11: Συγκέντρωση Mg^{2+} (mg/l)

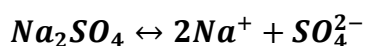
Υδροφορείς	Μάιος 2012				Οκτώβριος 2012			
	Min	Max	Mean	Stdev	Min	Max	Mean	Stdev
Ελεύθερος	39	150	83	39	12	178	88	46
Υπό πίεση	34	130	73	30	45	156	77	28
Κρητιδικοί	53	89	68	15	55	99	71	24
Τριαδικοί	26	80	53	22	12	105	48	32

- **Κατιόντα Νατρίου (Na^+)**

Η κύρια προέλευση του Na^+ είναι από ορυκτά όπως οι άστριοι, ο αλβίτης, αργιλοπυριτικά ορυκτά και οι εβαπορίτες (ενδεικτικά Εξισώσεις 8.6, 8.7). Η συγκέντρωσή του στα υπόγεια νερά συνήθως κυμαίνεται από 2-46 mg/l (0,1-2 mmol/l) (Appelo and Postma 1994) ενώ στο θαλασσινό νερό κυμαίνεται από 10925-11270 mg/l (475-490 mmol/l). Η συγκέντρωσή του στα υπόγεια νερά του Θριάσιου κυμαίνεται από 22-1400 mg/l και εκτός των προαναφερόμενων προέρχεται και από την παρουσία θαλασσινού νερού (Πίνακας 8.12).



Εξίσωση 8.6

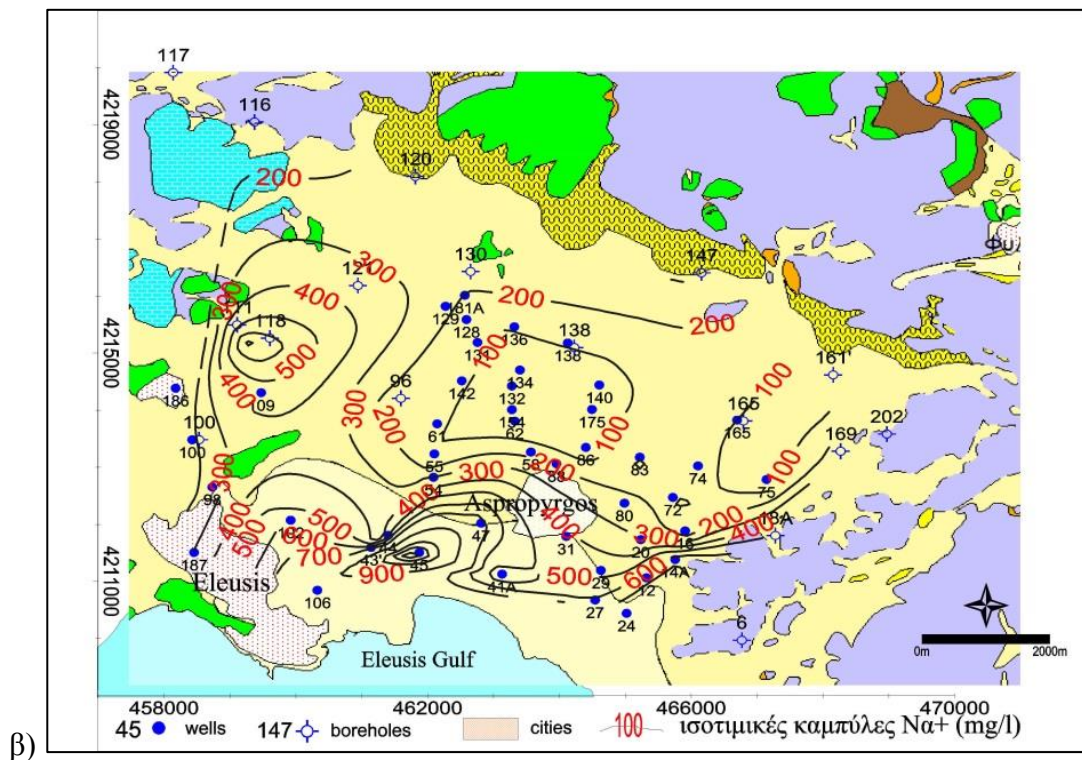
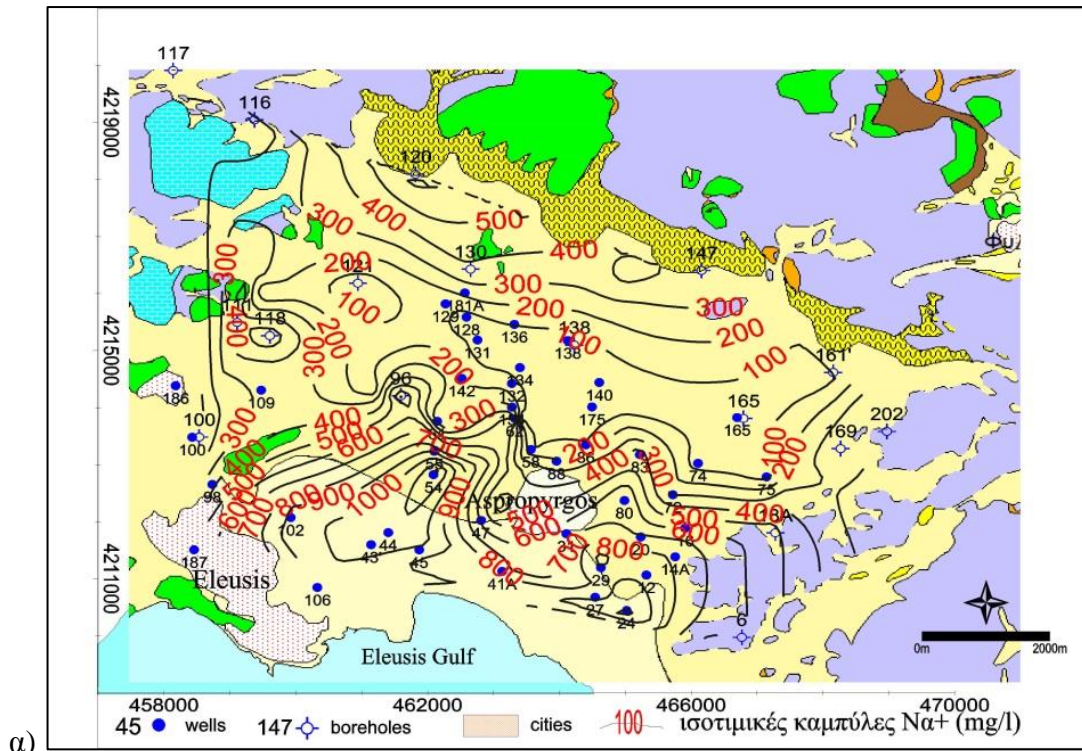


Εξίσωση 8.7

Πίνακας 8.12: Συγκέντρωση Na^+ (mg/l)

Υδροφορείς	Μάιος 2012				Οκτώβριος 2012			
	Min	Max	Mean	Stdev	Min	Max	Mean	Stdev
Ελεύθερος	72	1112	438	310	103	1400	518	347
Υπό πίεση	22	377	104	111	27	345	96	83
Κρητιδικοί	271	645	418	180	235	728	404	281
Τριαδικοί	22	548	279	201	26	709	255	255

Από την κατανομή του Na^+ στους τρεις χάρτες της Εικόνας 8.7 διαπιστώνουμε το σχεδόν αμετάβλητο της κατάστασης των υπόγειων στο Θριάσιο κατά την διάρκεια των 14 ετών 1999-2012. Μικρή βελτίωση έχει επιτελεσθεί κατά το 2012 στην παραλιακή περιοχή και στις θέσεις των γεωτρήσεων 120 και 147 στα βόρεια του πεδίου.



Εικόνα 8.7: Τιμές κατιόντων νατρίου α) Μάιος 2012 και β) Οκτώβριος 2012.

- Κατιόντα Καλίου (K⁺)

Η προέλευση του K⁺ είναι από τα ορυκτά των αστρίων και συλβίτη. Η συγκέντρωσή του στο υπόγειο νερό είναι μικρή 0,3-3 mg/l (0,01-0,1 mmol/l) ενώ στο θαλασσινό νερό είναι περίπου

391mg/l (10 mmol/l). Η συγκέντρωσή του στα υπόγεια νερά του Θριασίου κυμαίνεται από 1-40 mg/l (Πίνακας 8.13).

Πίνακας 8.13: Συγκέντρωση K^+ (mg/l)

Υδροφορείς	Μάιος 2012				Οκτώβριος 2012			
	Min	Max	Mean	Stdev	Min	Max	Mean	Stdev
Ελεύθερος	3	27	12	7	1	40	18	11
Υπό πίεση	1	14	5	3	2	13	5	3
Κρητιδικοί	3	20	12	7	8	22	14	7
Τριαδικοί	1	21	13	9	2	16	9	5

Πίνακας 8.14: Συγκέντρωση Cl^- (mg/l)

Υδροφορείς	Μάιος 2012				Οκτώβριος 2012			
	Min	Max	Mean	Stdev	Min	Max	Mean	Stdev
Ελεύθερος	63	2861	782	654	103	2920	929	702
Υπό πίεση	49	868	260	235	77	461	231	110
Κρητιδικοί	582	1294	856	342	489	1520	889	553
Τριαδικοί	35	1059	495	367	40	1450	477	523

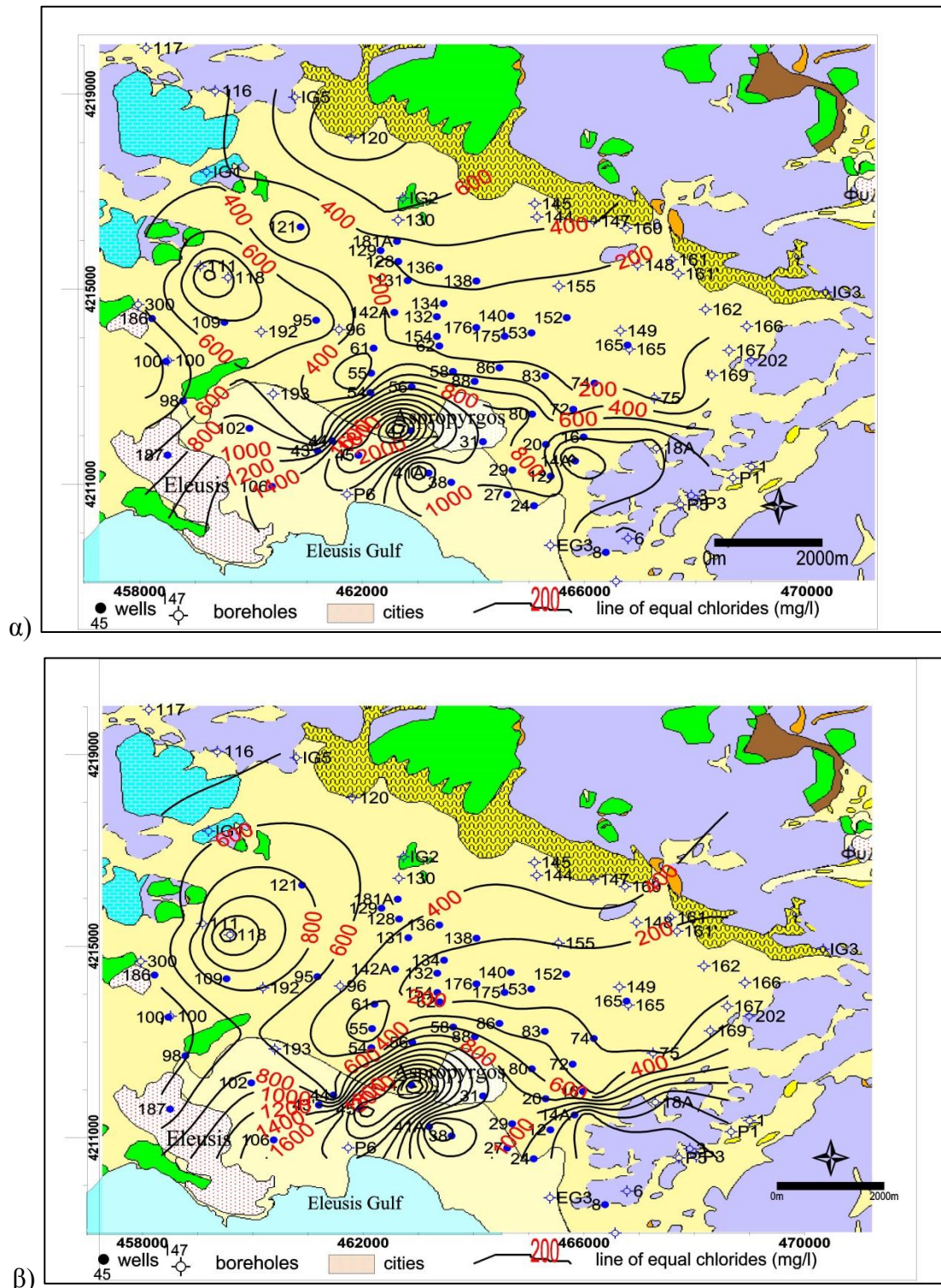
Πίνακας 8.15: Συγκέντρωση SO_4^{2-} (mg/l)

Υδροφορείς	Μάιος 2012				Οκτώβριος 2012			
	Min	Max	Mean	Stdev	Min	Max	Mean	Stdev
Ελεύθερος	37	317	153	95	60	391	179	103
Υπό πίεση	10	233	63	56	11	124	63	25
Κρητιδικοί	67	149	111	36	86	164	124	39
Τριαδικοί	9	131	79	48	11	151	64	50

- **Χλωριόντα (Cl^-)**

Τα Cl^- προέρχονται από διάφορα γηγενή ή θαλάσσια χλωριούχα άλατα και ανθρώπινες δραστηριότητες. Η συγκέντρωσή τους στο υπόγειο νερό είναι γενικά μικρή 10-30 mg/l (0,28-0,8 mmol/l) ενώ στο θαλασσινό νερό κυμαίνεται από 18500 έως 20000 mg/l (522-564 mmol/l). Η συγκέντρωσή τους στα υπόγεια νερά του Θριασίου κυμαίνεται από 35-2920 mg/l (Πίνακας 8.14). Σημαντικό ποσοστό από την παρουσία τους στα υπόγεια νερά της περιοχής όπως φαίνεται παρακάτω, προέρχεται από την διάλυση υπολειμματικών εβαποριτικών αλάτων, από αστικά και λοιπά λύματα και το φαινόμενο της εξατμισοδιαπνοής. Στην Εικόνα

8.8 φαίνεται η εξέλιξη των ισοχλωρίων καμπυλών από τον Μάιο του 2012 έως τον Οκτώβριο 2012. Οι μεταβολές είναι μικρές ενώ παραμένει σταθερή και η μέγιστη συγκέντρωσή τους.

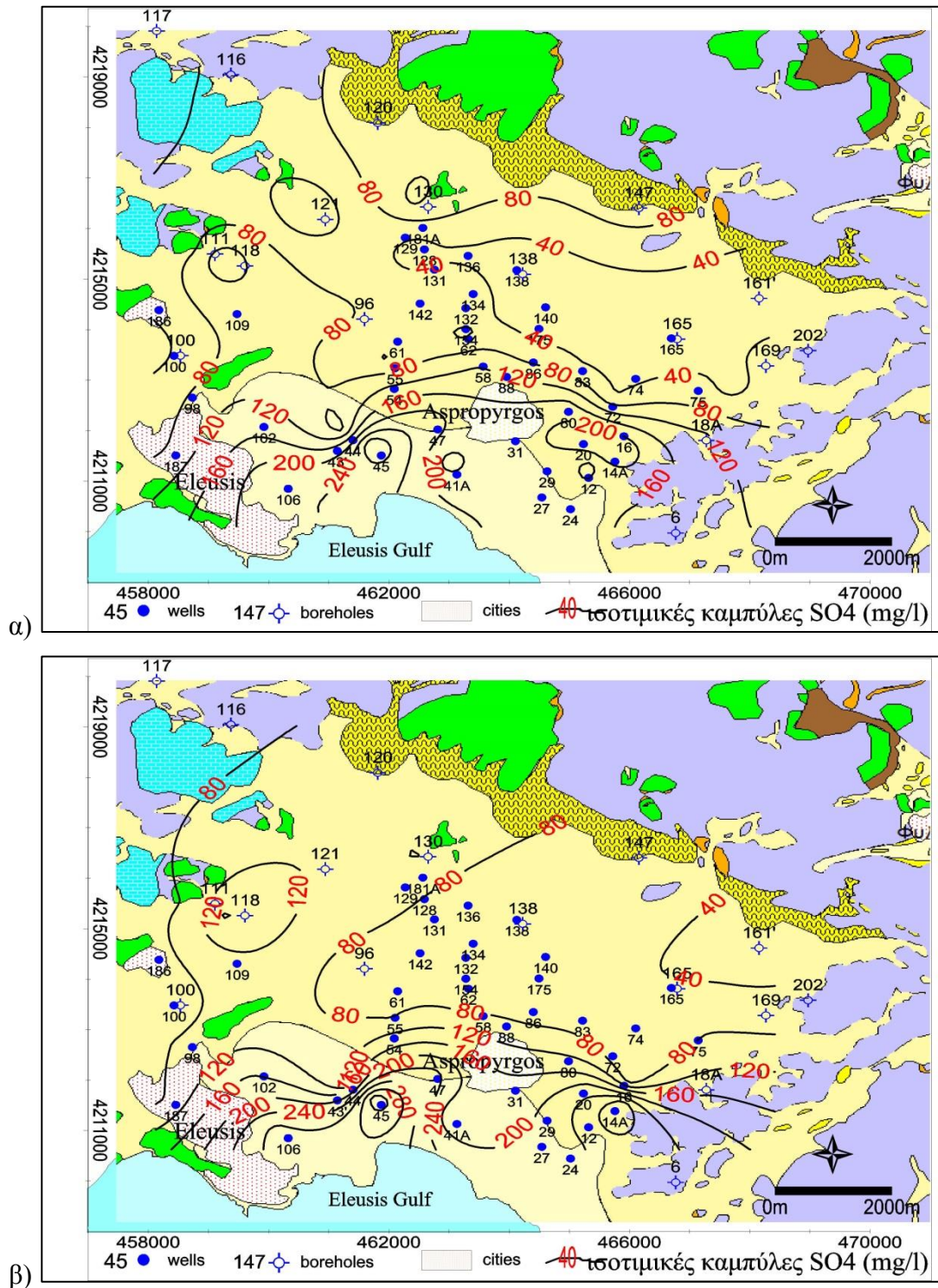


Εικόνα 8.8: Ισοτιμικές καμπύλες χλωριόντων α) Μάιος 2012 β) Οκτώβριος 2012.

- **Θειικά ανιόντα (SO_4^{2-})**

Τα SO_4^{2-} προέρχονται από την οξείδωση θειούχων ορυκτών και την διάλυση της γύψου/ανυδρίτη καθώς επίσης και την διείδυση θαλασσινού νερού σε παράκτιους

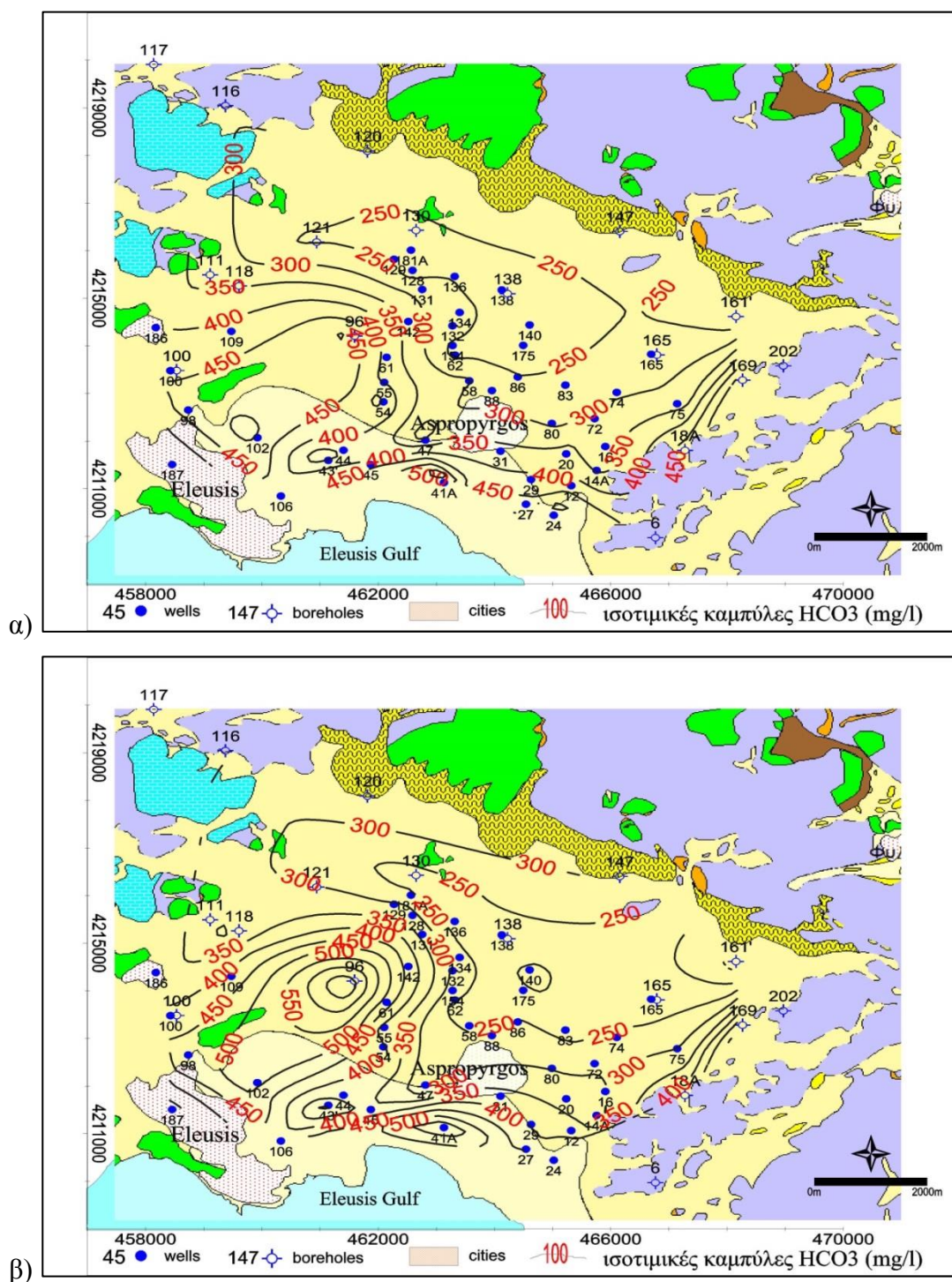
υδροφορείς καθώς επίσης και από ανθρώπινες δραστηριότητες. Η συγκέντρωσή τους στο υπόγειο νερό είναι γενικά μικρή γύρω στα 30 mg/l (0,31 mmol/l) (Πίνακας 8.15) ενώ στο θαλασσινό νερό είναι περίπου 2700 mg/l (28 mmol/l). Η συγκέντρωσή τους στα υπόγεια νερά του Θριασίου κυμαίνεται από 9-391 mg/l.



Εικόνα 8.9: Ισοτιμικές καμπύλες SO₄²⁻ (mg/l) α) Μάιος 2012 β) Οκτώβριος 2012.

- Όξινα ανθρακικά (HCO_3^-)

Τα όξινα ανθρακικά ανιόντα προέρχονται από τα ανθρακικά πετρώματα και από την βιοαποικοδόμηση της οργανικής ύλης. Είναι η κύρια πηγή της αλκαλικότητας του υπόγειου νερού για pH μέχρι πρακτικά 8,2 ενώ συμμετέχουν και τα ανθρακικά σε πολύ μικρή συγκέντρωση. Η συγκέντρωσή του στα υπόγεια νερά του Θριασίου κυμαίνεται από 183-709 mg/l (Εικόνα 8.10). Στον Πίνακα 8.16 παρουσιάζεται τα στατιστικά στοιχεία των HCO_3^- (mg/l).



Εικόνα 8.10: Ισοτιμικές καμπύλες HCO_3^- (mg/l) α) Μάιος και β) Οκτώβριος 2012.

Πίνακας 8.16: Συγκέντρωση HCO_3^- (mg/l)

Υδροφορείς	Μάιος 2012				Οκτώβριος 2012			
	Min	Max	Mean	Stdev	Min	Max	Mean	Stdev
Ελεύθερος	324	604	433	89	285	680	415	113
Υπό πίεση	199	506	303	85	183	709	318	120
Κρητιδικοί	225	340	301	53	226	318	279	48
Τριαδικοί	200	561	378	133	232	575	369	124

Πίνακας 8.17: Συγκέντρωση NO_3^- (mg/l)

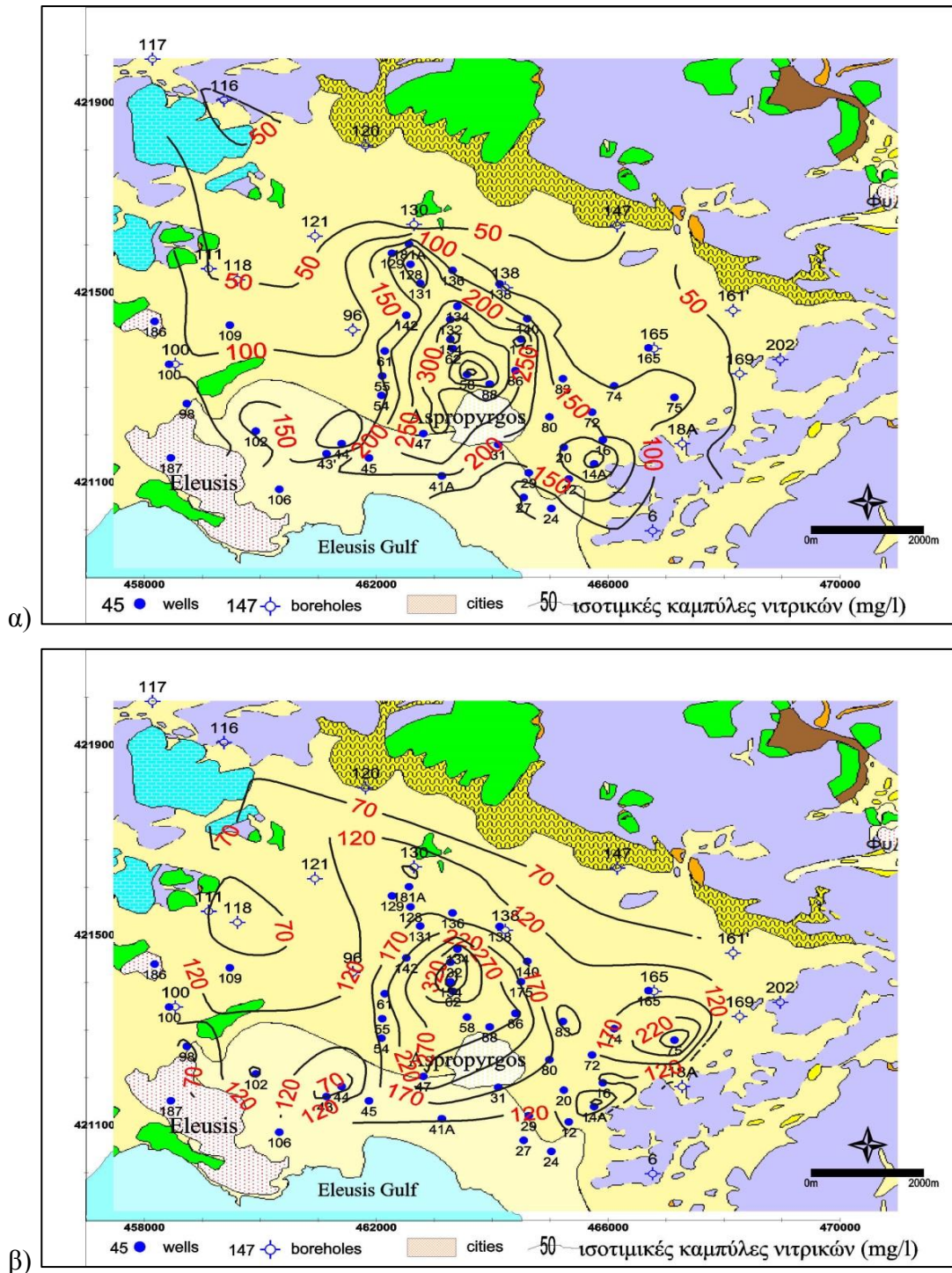
Υδροφορείς	Μάιος				Οκτώβριος			
	Min	Max	Mean	Stdev	Min	Max	Mean	Stdev
Ελεύθερος	25	414	121	111	26	245	111	71
Υπό πίεση	36	396	180	110	74	465	221	119
Κρητιδικοί	11	142	54	60	28	175	97	74
Τριαδικοί	14	69	36	19	13	103	47	31

Πίνακας 8.18: Συγκέντρωση Br^- (mg/l)

Υδροφορείς	Μάιος 2012				Οκτώβριος 2012			
	Min	Max	Mean	Stdev	Min	Max	Mean	Stdev
Ελεύθερος	0,15	4,77	2,05	1,76	0,81	7,58	2,96	2,04
Υπό πίεση	0,15	2,45	0,80	0,65	0,08	0,92	0,39	0,26
Κρητιδικοί	1,8	4,7	3,0	1,4	1,19	4,39	2,29	1,81
Τριαδικοί	0,24	3,33	1,46	1,13	0,11	3,34	1,25	1,18

- **Νιτρικά ανιόντα (NO_3^-)**

Κύρια πηγή των νιτρικών είναι οι ανθρώπινες δραστηριότητες και φυσικές διεργασίες οξειδωσης. Τα λιπάσματα παίζουν πρωτεύοντα ρόλο στην περιοχή Θριασίου καθώς η συγκέντρωσή τους δείχνει να μην σχετίζονται με άλλους ρύπους. Η διακύμανση των τιμών είναι 11-465 mg/l με Μ.Τ 130 mg/l (βλέπε παραπάνω Πίνακας 8.17). Στην Εικόνα 8.11 παρουσιάζεται η χωρική κατανομή των νιτρικών.



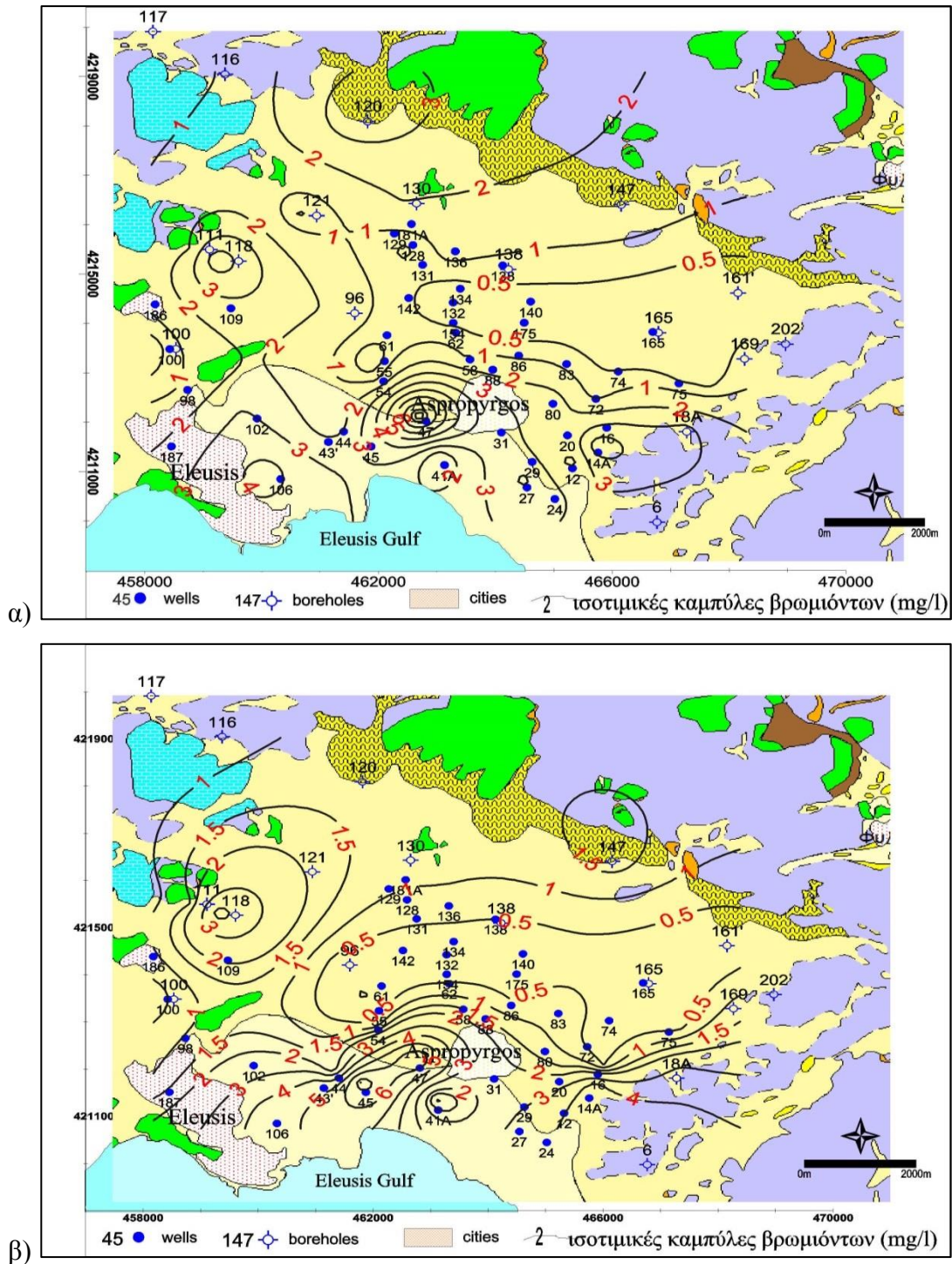
Εικόνα 8.11: Σύγκριση ισοτιμικών καμπυλών NO_3^- (mg/l) α) Νοέμβριος 2000 β) Οκτώβριος 2012.

8.4.3. Δευτερεύοντα συστατικά και ιχνοστοιχεία

- Ανιόντα βρωμίου (Br^-)

Τα ανιόντα Br^- προέρχονται κυρίως από το θαλασσίνο νερό και τους εβαπορίτες και έχουν σχεδόν κοινή προέλευση με τα χλωρίοντα παρουσιάζοντας τα ίδια σχεδόν γεωχημικά χαρακτηριστικά.

Στην Εικόνα 8.12 παρουσιάζεται η χωρική κατανομή των ανιόντων βρωμίου στα υπόγεια νερά του Θριασίου τον Μάιο και τον Οκτώβριο του 2012 και στον Πίνακα 8.15 παρουσιάζεται η στατιστική ανάλυση αυτών με τιμές οι οποίες κυμαίνονται από 0 έως 229 mg/l και διάμεση τιμή 3,5 mg/l για τον Μάιο 2012 και από 1,2 έως 25,2 mg/l και διάμεση τιμή 3,73 mg/l για τον Οκτώβριο 2012 (βλέπε παραπάνω Πίνακα 8.18).



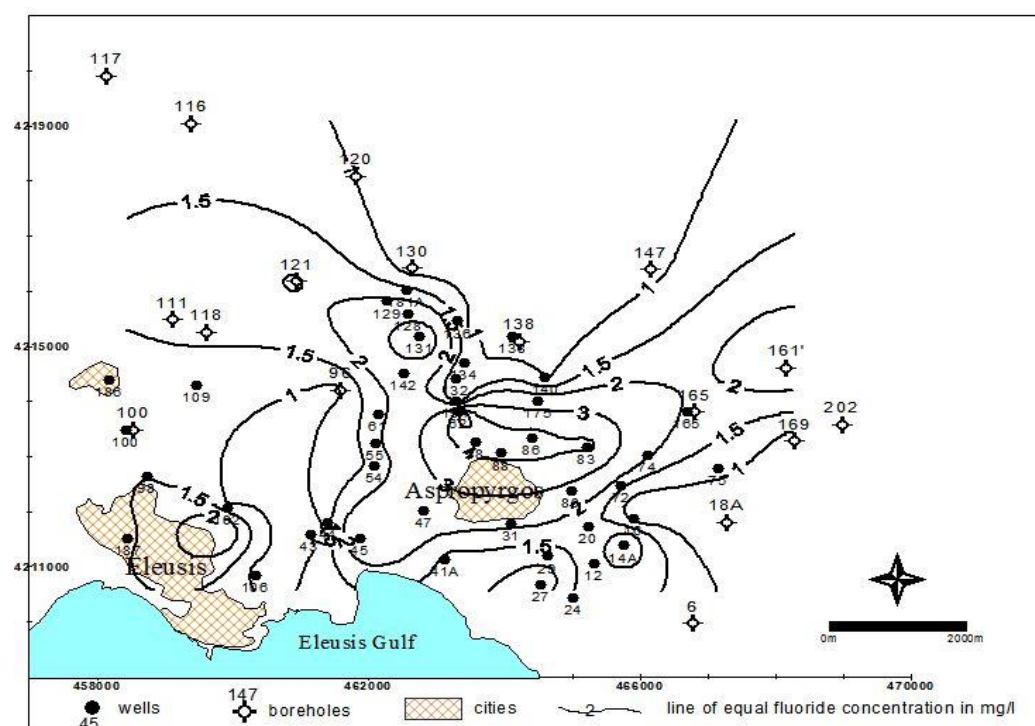
Εικόνα 8.12: Χάρτης ισοτιμικών καμπυλών ανιόντων βρωμίου α) Μάιος και β) Οκτώβριος του 2102.

- **Ανιόντα φθορίου (F⁻)**

Τα ανιόντα F⁻ προέρχονται από διάλυση φθορίτη ή φθοροαπατίτη και άλλων ορυκτών που περιέχουν φθόριο. Περιέχονται στο θαλασσινό νερό, σε υδροθερμικά διαλύματα και σε μικρά ποσοστά στην βροχή (βλέπε αναλυτικότερα στην παράγραφο 8.7 περιβαλλοντικοί ιχνηθέτες-αλογόνα). Προέρχονται επίσης από την αποδόμηση οργανικών υλικών. Η συγκέντρωσή του στα υπόγεια νερά του Θριασίου κυμαίνεται από 0,1-9,9 mg/l (Πίνακας 8.19).

Πίνακας 8.19: Συγκέντρωση F⁻ (mg/l)

Υδροφοραείς	Μάιος 2012				Οκτώβριος 2012			
	Min	Max	Mean	Stdev	Min	Max	Mean	Stdev
Ελεύθερος	0,6	3,7	1,5	0,9	0,5	9,9	2,2	2,3
Υπό πίεση	0,1	2,2	0,9	0,5	0,4	4,8	2,0	1,5
Κρητιδικοί	0,2	2,2	1,1	0,8	0,7	1,6	1,1	0,5
Τριαδικοί	0,1	2,3	1,1	0,8	0,5	2,6	1,3	0,8



Εικόνα 8.13: Κατανομή φθοριόντων Οκτώβριος 2012 (Hermides and Stamatis 2017).

8.4.4. Ιχνοενώσεις

- **Νιτρώδη ανιόντα (NO₂⁻)**

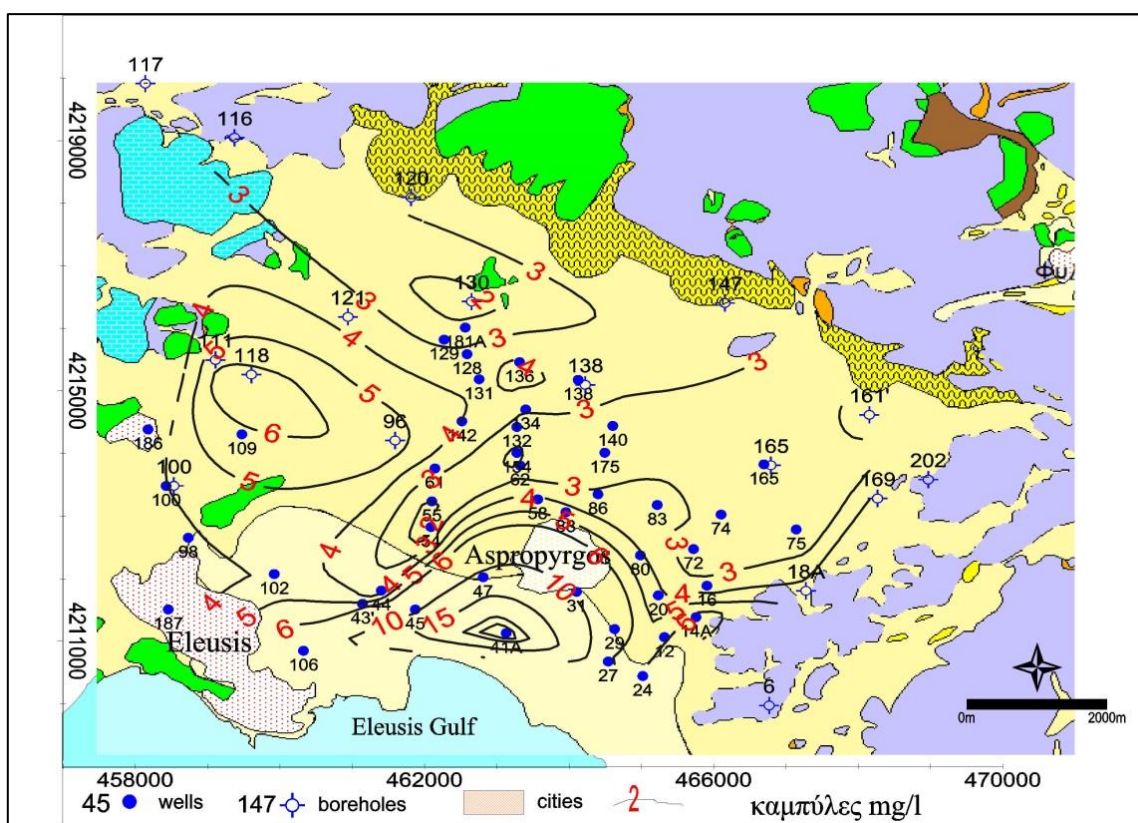
Τα νιτρώδη προέρχονται από ανθρωπογενείς δραστηριότητες και φυσικές διεργασίες. Αστικά και κτηνοτροφικά λύματα είναι η κύρια ανθρωπογενής προέλευση τους ενώ αναγωγή των

νιτρικών και οξείδωση της αμμωνίας είναι οι κύριες φυσικές διεργασίες. Αποτελεί ένδειξη παρουσίας παθογόνων μικροοργανισμών στα υπόγεια νερά.

Στην Εικόνα 8.14 παρουσιάζεται η κατανομή των νιτροδών ανιόντων NO_2^- με τιμές οι οποίες κυμαίνονται από 0 έως 229 mg/l και διάμεση τιμή 3.5 mg/l για τον Μάιο 2012 και από 1.2 έως 25.2 mg/l και διάμεση τιμή 3.73 mg/l για τον Οκτώβριο 2012 (Πίνακας 8.20)

Πίνακας 8.20: Συγκέντρωση NO_2^- (mg/l)

Υδροφορείς	Μάιος 2012				Οκτώβριος 2012			
	Min	Max	Mean	Stdev	Min	Max	Mean	Stdev
Ελεύθερος	0,0	17,5	5,1	4,4	1,2	25,2	6,7	6
Υπό πίεση	1,4	5,8	3,1	1,4	1,2	5,9	3	1,1
Κρητιδικοί	3	10	6	3	1,4	7,1	4,3	2,8
Τριαδικοί	1	229	44	91	1,5	4,9	3,2	1,5



Εικόνα 8.14: Ισοτιμικές καμπύλες NO_2^- (mg/l) Οκτώβριος 2012.

- **Αμμώνιο (NH_4^+)**

Οφείλεται σε αστικά και βιομηχανικά λύματα και την αποδόμηση οργανικών αζωτούχων ενώσεων. Είναι γενικά δείκτης αναγωγικού περιβάλλοντος. Μετρήθηκε τον Ιανουάριο στα πηγάδια 72 (0,12 mg/l), 86 (3,71 mg/l) και 140 (0,11 mg/l), τον Μάιο στα πηγάδια 98 (3

mg/l), 100 (0,4 mg/l) και 140 (0,2 mg/l) και τον Οκτώβριο στα πηγάδια 98 (3,88 mg/l) και 138 (1,04 mg/l)

- **Φωσφορικά (PO_4^{3-})**

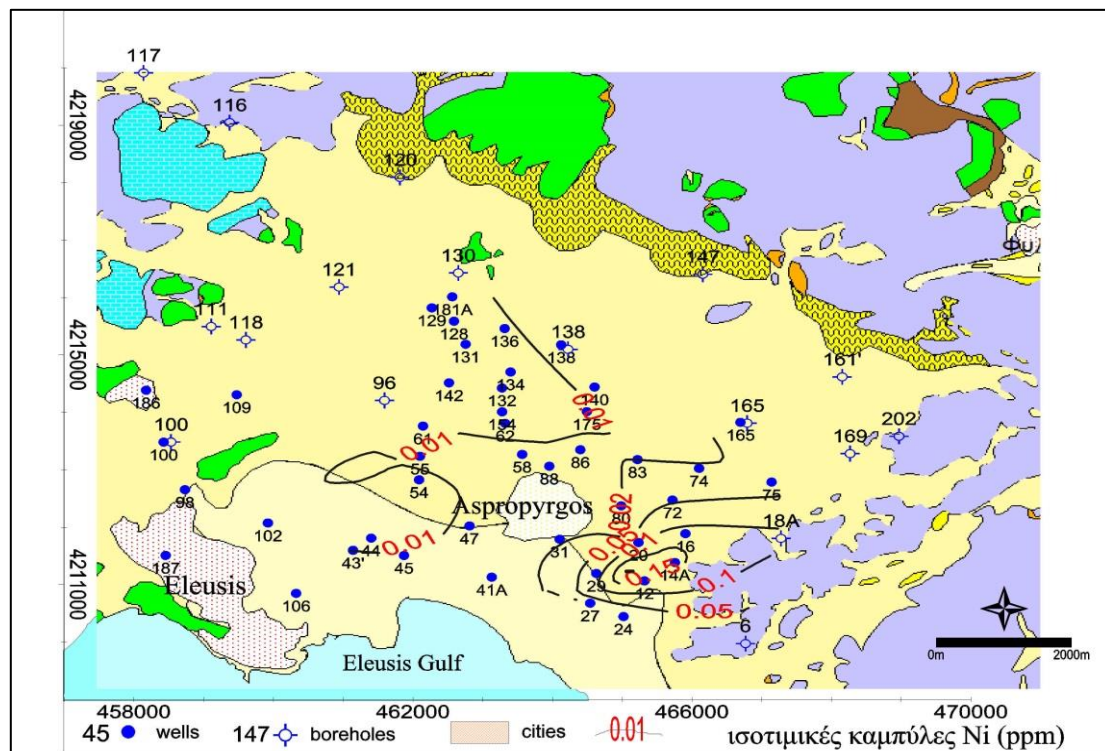
Τα φωσφορικά ανιόντα προέρχονται κυρίως από απορρυπαντικά, λιπάσματα, κτηνοτροφικά λύματα. Η παρουσία τους στα υπόγεια νερά του Θριασίου ήταν ελάχιστη ενώ βρέθηκαν σε πολύ λίγες θέσεις. Συγκεκριμένα μετρήθηκαν τον Μάιο στα πηγάδια 14A (0,7 mg/l) και 44 (0,9 mg/l) ενώ τον Οκτώβριο στα πηγάδια 44 (0,8 mg/l) και 131 (0,08 mg/l).

8.4.5. Βαρέα μέταλλα

Τον Ιανουάριο και Μάιο του 2012 μετρήθηκαν τα Sr^{2+} , Ni^+ , Co^+ , Fe^{2+} , CrVI , Li^+ , Mn^{2+} .

- **Νικέλιο (Ni^+)**

Το νικέλιο προέρχεται από υπερβασικά πετρώματα. Τον Ιανουάριο μετρήθηκε στα πηγάδια 130 (0,009 mg/l ή 9 $\mu\text{g/l}$) και 147 (0,1 mg/l ή 102 $\mu\text{g/l}$), τον Μάιο μετρήθηκε σε 22 από τα 45 πηγάδια (Πίνακας 8.21). Η μεγαλύτερη συγκέντρωση 214 $\mu\text{g/l}$ εμφανίστηκε στα Πλειστοκαινικά ιζήματα νοτιοανατολικά του Ασπροπύργου (Εικόνα 8.15).



Εικόνα 8.15: Κατανομή του Ni^+ (Μάιος 2012).

Πίνακας 8.21: Συγκέντρωση Ni+ (mg/l)

Υδροφορείς	Μάιος 2012			
	Min	Max	Mean	Stdev
Ελεύθερος	0,004	0,170	0,031	0,057
Υπό πίεση	0,001	0,214	0,032	0,061
Κρητιδικοί			0,002	
Τριαδικοί	0,009	0,110	0,060	0,071

- **Κοβάλτιο (Co⁺)**

Σχετίζεται με το Ni και χρησιμοποιείται στην βιομηχανία. Βρίσκεται σε ορυκτά του χαλκού και του νικελίου και συνδυάζεται με το θείο και το αρσενικό στον κοβαλτίτη (CoAsS) και σε άλλα ορυκτά. Χρησιμοποιείται σε κράματα και σε ηλεκτρόδια μπαταριών. Βρέθηκε σε συγκεντρώσεις από 0,001 έως 0,148 mg/l. Η μέγιστη συγκέντρωση βρέθηκε στα πηγάδια 20 (0,113 mg/l), 47 (0,118 mg/l), 136 (0,148 mg/l) και 175 (0,054 mg/l) τον Μάιο.

- **Σίδηρος (Fe²⁺)**

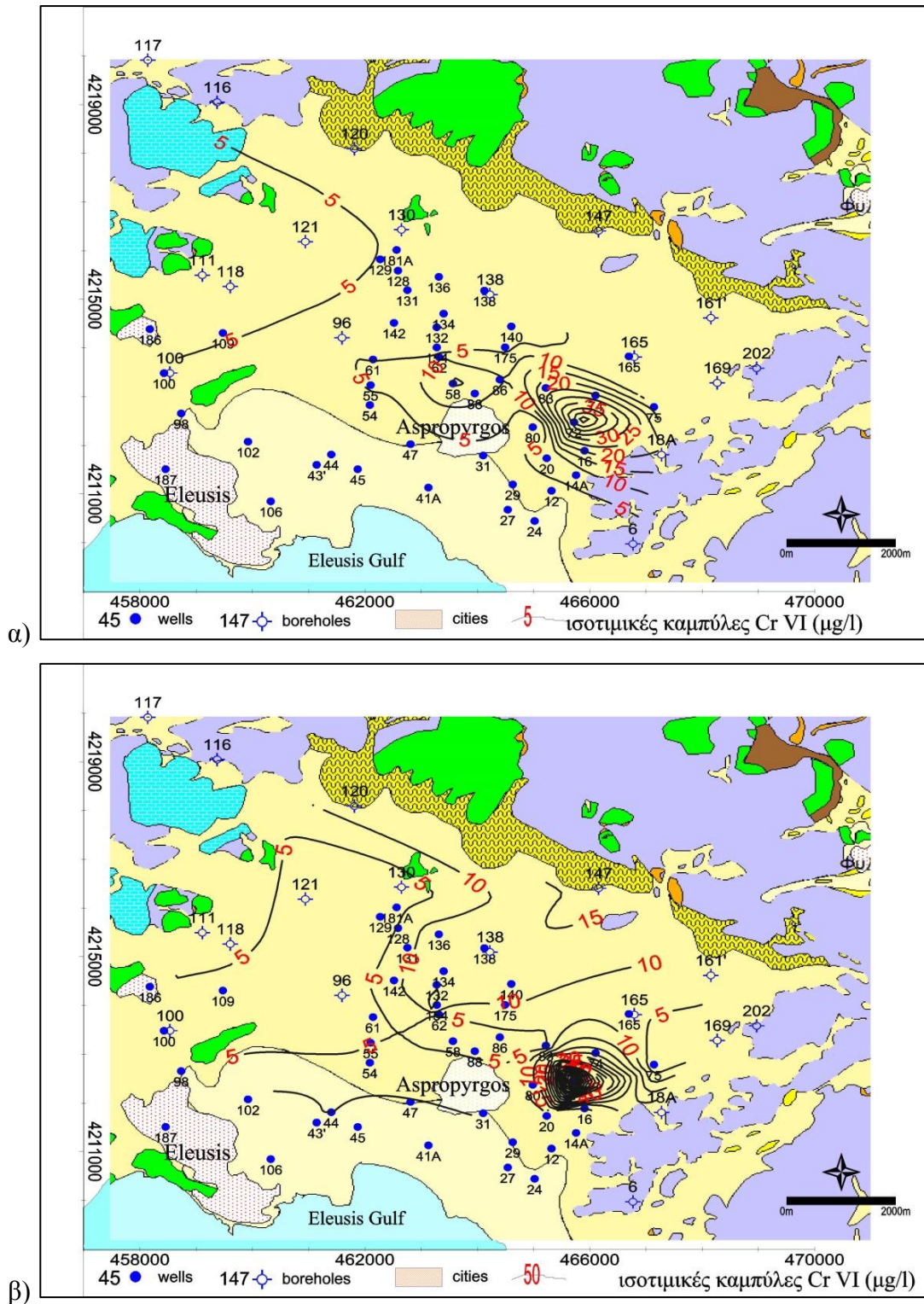
Συναντάται στους αμφιβόλους, μαρμαρυγίες, σουλφίδια, μαγνητίτη, σε ανθρακικά πετρώματα και σε αργίλους. Χρησιμοποιείται στην βιομηχανία και σε πολλές άλλες εφαρμογές. Βρέθηκε στα δείγματα του Μαΐου να κυμαίνεται από 0,050 έως 0,110 mg/l. Η μεγαλύτερη συγκέντρωση βρέθηκε στα πηγάδια 6 (0,080 mg/l), 12 (0,090 mg/l), 14A (0,080 mg/l) και 18A (0,110 mg/l).

- **Χρώμιο εξασθενές (Cr VI)**

Προέρχεται από βασικά και υπερβασικά πετρώματα και από βιομηχανικά υγρά και στερεά απόβλητα. Μετρήθηκε σε 20 πηγάδια από τα 45 πηγάδια (Πίνακας 8.22). Η μεγαλύτερη συγκέντρωση βρέθηκε ανατολικά του Ασπροπύργου στο πηγάδι No 72 (Εικόνα 8.16).

Πίνακας 8.22: Συγκέντρωση CrVI µg/l

Υδροφορείς	Ιανουάριος 2012				Μάιος 2012				Οκτώβριος 2012			
	Min	Max	Mean	Stdev	Min	Max	Mean	Stdev	Min	Max	Mean	Stdev
Ελεύθερος	7	9	8	1,4			8		8	15	12	4
Υπό πίεση	2	35	14	10	1	54	12	16	2	110	20	34
Κρητιδικοί			2		1	9	5	4			9	
Τριαδικοί			1		4	19	12	11	3	28	12	9



Εικόνα 8.16: Κατανομή του CrVI(μg/l) α) Μάιος και β) Οκτώβριος 2012.

- **Μαγγάνιο (Mn²⁺)**

Το μαγγάνιο βρίσκεται σε αφθονία στα βασικά και υπερβασικά πετρώματα. Λαμβάνει μέρος σε αντιδράσεις οξειδοαναγωγής. Βρέθηκε γενικά σε 8 πηγάδια από τα 45. Τον Ιανουάριο στα πηγάδια 136 (1,31 mg/l) και 140 (0,35 mg/l), τον Μάιο στα πηγάδια 12 (10,6 mg/l) 14 (8,1

mg/l) 130 (4,9 mg/l) και τον Οκτώβριο στα πηγάδια 14 (1,13 mg/l), 16 (3,7 mg/l), 18A (14 mg/l) και 138 (11,5 mg/l).

- **Στρόντιο (Sr^{2+})**

Βρέθηκε γενικά σε 11 πηγάδια από τα 45. Τον Ιανουάριο βρέθηκε στο πηγάδι 130 (4,3 mg/l), τον Μάιο στα πηγάδια 18A (10,3 mg/l) 20 (8,8 mg/l) ενώ τον Οκτώβριο σε 10 από τα 38 πηγάδια κυμαίνεται από 1 έως 46 mg/l με μέση τιμή 7,4 mg/l και διάμεση τιμή 2,8 mg/l. Οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις βρέθηκαν διάσπαρτες σε όλη την περιοχή.

8.5. Υδροχημική ταξινόμηση

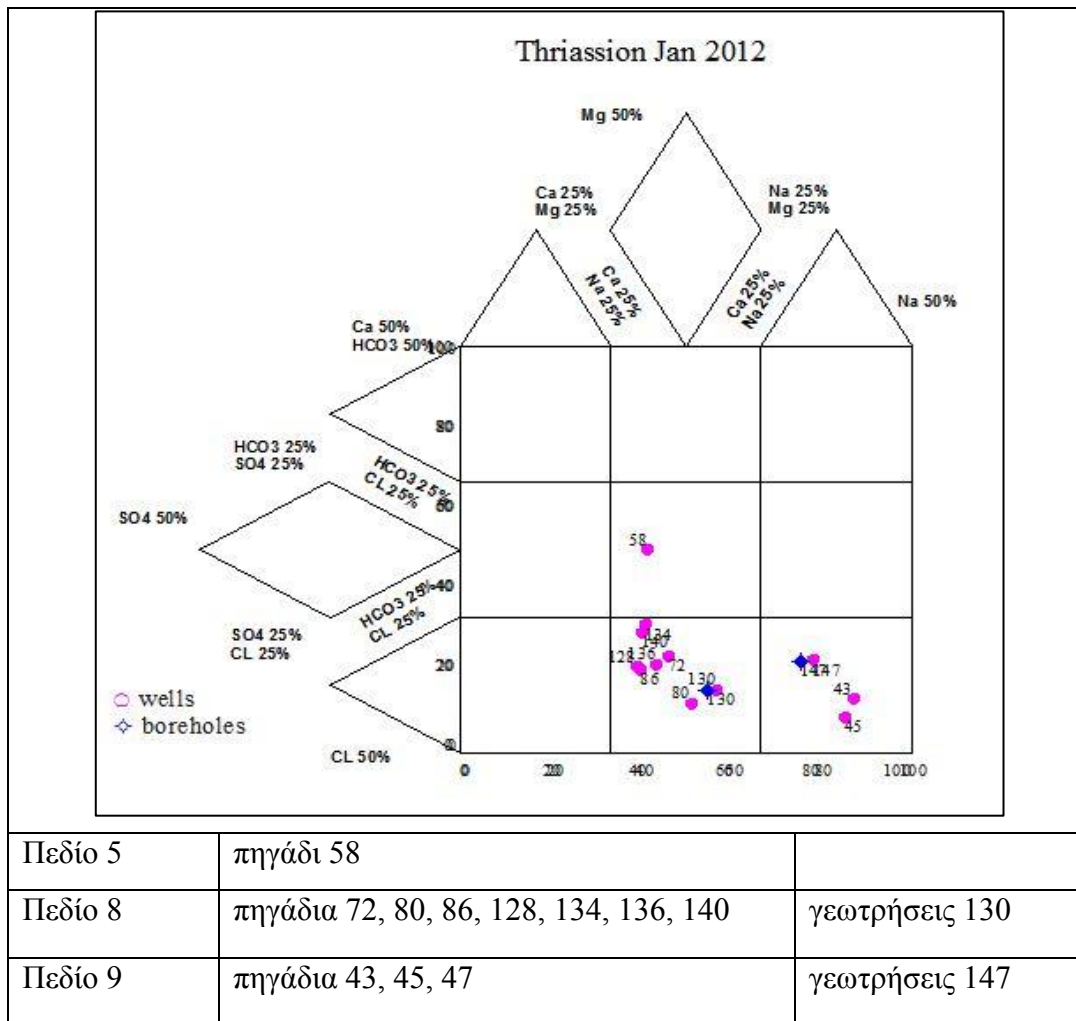
Η ταξινόμηση των υπόγειων νερών έχει στόχο την ομαδοποίησή τους ή τον διαχωρισμό σε διαφόρους τύπους με σκοπό την παρουσίαση της υδροχημείας και των γεωχημικών διαδικασιών που έχουν λάβει χώρα στην υπό μελέτη περιοχή. Το μειονέκτημα αυτής της διαδικασίας είναι η διάκριση σε διαφόρους τύπους με την χρησιμοποίηση αυθαίρετων ορίων ενώ υπάρχει η εξέλιξη ενός συνεχούς φαινομένου. Αν δεν υπάρχει ένα σαφές όριο μεταξύ των τύπων είναι καλό να χρησιμοποιούνται περιορισμοί ώστε να παραχθούν τύποι όπου θα έχουν γεωλογική και γεωγραφική συνοχή (Lloyd and Heathcote 1985).

Με την παραπάνω σκέψη αλλά και το γεγονός ότι η ταξινόμηση είναι εργαλείο για την μελέτη υδρογεωχημικών και υδρογεωλογικών διεργασιών, η ταξινόμηση βασίστηκε στον χημισμό των νερών αλλά και την αλλαγή αυτού του χημισμού, με γεωλογικά και γεωγραφικά στοιχεία ελέγχου όπως π.χ. παρεμβολές αργίλων ή μαργών, η γεωγραφική τους θέση τους στην πεδιάδα και η γειτονία τους με τα κράσπεδα όπου υπάρχουν οι ασβεστόλιθοι, η πιεζομετρία ή και ακόμη η λιθολογία και η στρωματογραφία.

Επεξεργάστηκαν στοιχεία από 250 περίπου αναλύσεις της περιόδου 1999-2001 (Παρασχούδης 2002) και 102 αναλύσεις της περιόδου Ιαν 2012- Οκτ 2012. Ελήφθησαν υπ' όψιν χημικές αναλύσεις και από παλαιότερες μελέτες ακόμα και από στοιχεία που δόθηκαν από ιδιώτες. Χρησιμοποιήθηκαν τα διαστελλόμενα διαγράμματα Durov, τα διαγράμματα Piper και επίσης το υδροχημικό διάγραμμα Chadha.

8.5.1. Διαγράμματα Durov

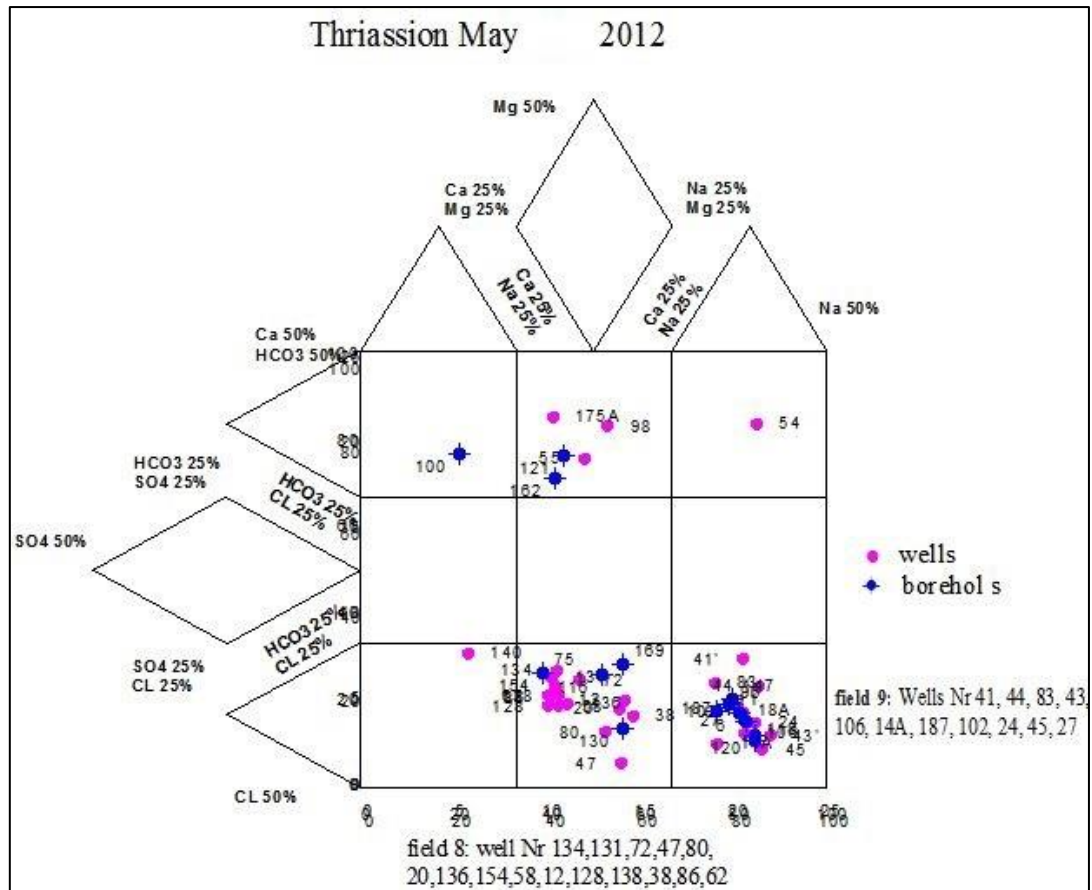
Κατασκευάστηκαν expanded Durov διαγράμματα από τις αναλύσεις των ετών 1999 έως 2001 αλλά και από τις αναλύσεις του 2012. Η κατάσταση που παρουσιάζεται στα διαγράμματα Durov (Εικόνα 8.17) είναι περίπου η ίδια και τα νερά των πηγαδιών ταξινομούνται σε τρεις γενικούς διαφορετικούς τύπους, έναν Ca-Mg-HCO₃ που εμφανίζεται κυρίως στο πεδίο 2, έναν Ca-Mg-Cl που εμφανίζεται στο πεδίο 8 και έναν Na-Cl στο πεδίο 9.



Εικόνα 8.17: Διάγραμμα expanded Durov (Ιανουαρίου 2012).

Τα νερά του πεδίου 9 σύμφωνα με τον Lloyd (Lloyd 1965) με αυτά τα χαρακτηριστικά θεωρούνται συχνά ως τελευταία σε μια σειρά τα οποία έχουν την μεγαλύτερη ηλικία. Τα νερά λοιπόν στα πεδία 8 και 9 τα οποία αντλούν από το Πλειο-Πλειστοκαινικά κροκαλοπαγή και όχι από τους ασβεστολίθους μπορούν να ταξινομηθούν σε μία ενιαία κατηγορία «παλαιά υφάλμυρα νερά» τα οποία δεν έχουν επαφή με νερά από άλλα στρώματα παρά μόνο μέσω της μίξης από τις αντλήσεις, την διάχυση εντός των πηγαδιών και την τροφοδοσία από ανώτερα σημεία εντός του ίδιου πηγαδιού. Είναι απομονωμένα όπως υπαγορεύεται από το διαστελλόμενο διάγραμμα Durov (Heathcote and Lloyd 1984, Lloyd and Heathcote 1985, Alam 2010).

Στην Εικόνα 8.17 παρουσιάζονται τα νερά της δειγματοληψίας του Ιανουαρίου 2012 τα οποία ταξινομούνται σε δύο κατηγορίες Na-Cl ούχα και Mg-Cl ούχα, ενώ ένα μόνο δείγμα το πηγάδι 58 βρίσκεται στο πεδίο 5 δηλαδή νερά μικτά ή διαλυτοποίησης. Η γεωχημική διαδικασία που λαμβάνει χώρα σε αυτήν την ενδιάμεση περίοδο τους έτους είναι η **αντίστροφη κατιοανταλλαγή** και αντικατάσταση του Na από Ca (πεδίο 8) ενώ εξελίσσεται και το φαινόμενο της **αποδολομίτωσης/διάλυσης δολομίτη**.



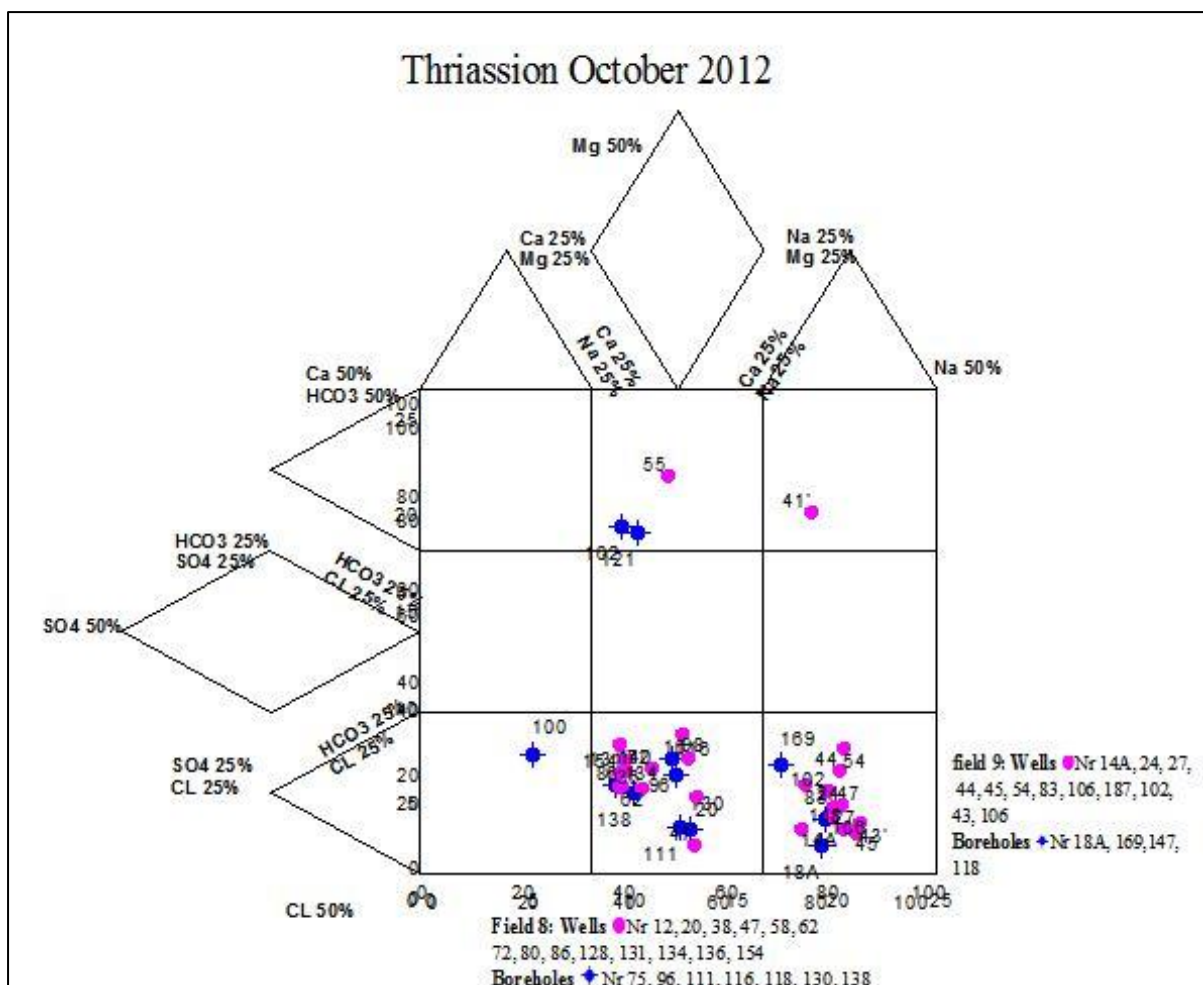
Εικόνα 8.18: Διάγραμμα expanded Durov (Μάιος 2012).

Στις αναλύσεις του Μαΐου 2012 (Εικόνα 8.18) τα νερά ταξινομούνται σε τρεις κατηγορίες Cl-Na ούχα και Cl-Mg-Ca ούχα και Mg-HCO₃ ενώ τα νερά των πηγαδιών 100, 54 και 140 βρίσκονται στα πεδία 1, 3, 7 αντίστοιχα. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα ίδια αυτά πηγάδια τον Οκτώβριο πέφτουν στα πεδία 7, 9, 8 αντίστοιχα.

Στις αναλύσεις του Οκτωβρίου 2012 (Εικόνα 8.19) τα νερά ταξινομούνται στις τρεις ίδιες κατηγορίες Na-Cl ούχα και Mg-Cl ούχα και Mg-HCO₃ ενώ τα νερά των πηγαδιών 41, 100 πέφτουν στα πεδία 3 και 7 αντίστοιχα.

Η μελέτη της εξέλιξης του χημισμού του νερού του πηγαδιού και της γεώτρησης με το Νο 138 από το 1999 έως το 2012 βάσει των χημικών αναλύσεων περιγράφεται ως εξής:

Η γεώτρηση με το νούμερο 138 αντλεί από βάθος περίπου 170 m και η ποιότητα του νερού είναι καλή και δείχνει να μην έχει άμεση επαφή με την θάλασσα. Είναι πολύ πιθανόν ο υδροφόρος να είναι απομονωμένος από την θάλασσα λόγω της ύπαρξης μεγάλου πάχους αργίλων οι οποίες μεσολαβούν και τον απομονώνουν από το υπόβαθρό το οποίο αποτελούν οι ασβεστόλιθοι (?). Η ποιότητα του νερού είναι κατά 20% πιο βεβαρυμμένη, αν ληφθεί υπ' όψιν η μεταβολή της αγωγιμότητας από 915 μS/cm τον Νοέμβριο του 2001 σε 1104 μS/cm τον Οκτώβριο του 2012.



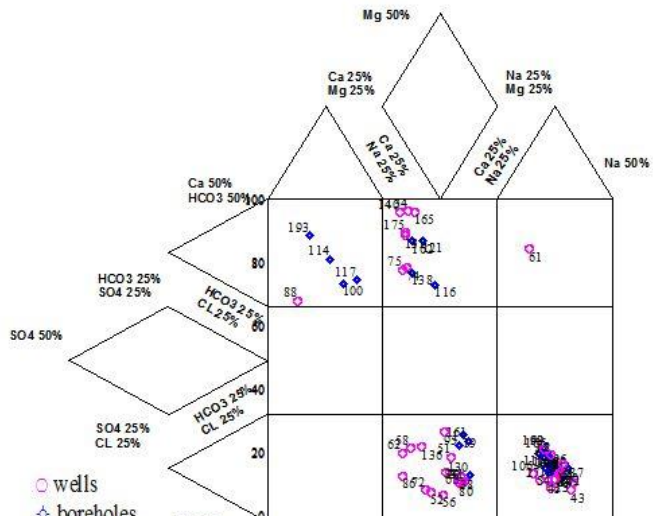
Εικόνα 8.19: Διάγραμμα expanded Durov (Οκτώβριος 2012).

Με διεξοδικότερη μελέτη των παραμέτρων, οι μέσες συγκεντρώσεις μεταβάλλονται ως εξής:

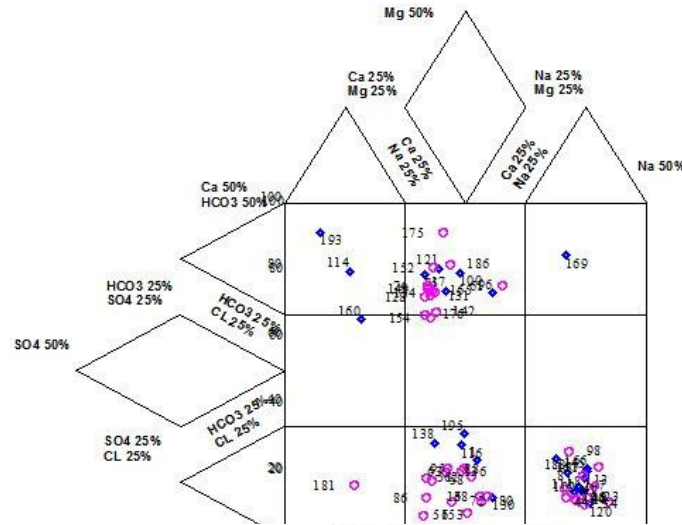
- του Mg^{2+} αυξάνεται κατά 36% από 3,2 meq/l σε 4,36 meq/l
- του Ca^{2+} αυξάνεται κατά 24% από 5,2 meq/l σε 6,47 meq/l
- των NO_3^- μειώνονται κατά 57% από 111 mg/l σε 74 mg/l
- του Cl^- αυξάνεται κατά περίπου 330% από 1,6 meq/l σε 6.9 meq/l
- του Na^+ αυξάνεται κατά 130% από 0,8 σε 1,9 meq/l
- των SO_4^{2-} μειώνονται θεαματικά 88% από 2 meq/l σε 0.23 meq/l
- των HCO_3^- μειώνονται κατά 20% από 341 mg/l σε 274 mg/l

Αξίζει να σημειωθεί ότι η συγκέντρωση του Cl^- διατηρείται σταθερή την περίοδο του Μαΐου και του Οκτωβρίου του 2012 σε 245 mg/l και το δυναμικό οξειδοαναγωγής σαφώς κινείται προς τα όρια αναγωγικών συνθηκών 43 mV, συμφωνώντας με την μείωση των θεικών, των όξινων ανθρακικών και των νιτρικών. Ο λόγος μαζών Cl^-/Br^- από 304 τον Μάιο που υποδηλώνει επίδραση θαλασσινού νερού αυξάνεται σε 373 τον Οκτώβριο γεγονός που έρχεται σε αντίθεση με το γεγονός ότι ο υδροφόρος επηρεάζεται από την θάλασσα και αυτό διότι ο Οκτώβριος είναι ο μήνας με τις χαμηλότερες στάθμες.

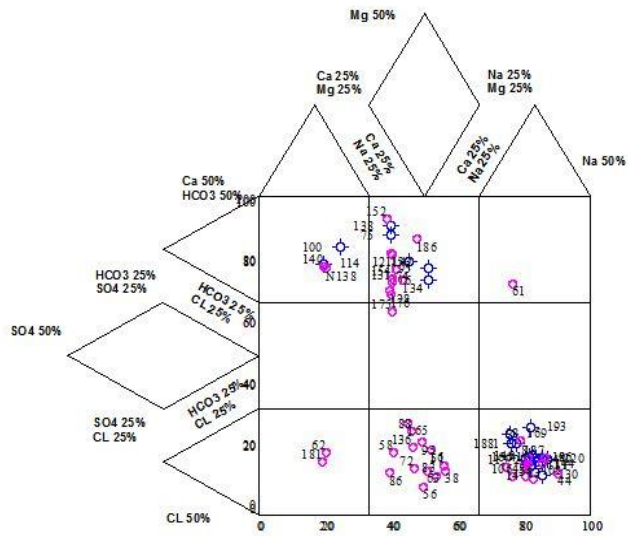
Thriassion November 1999



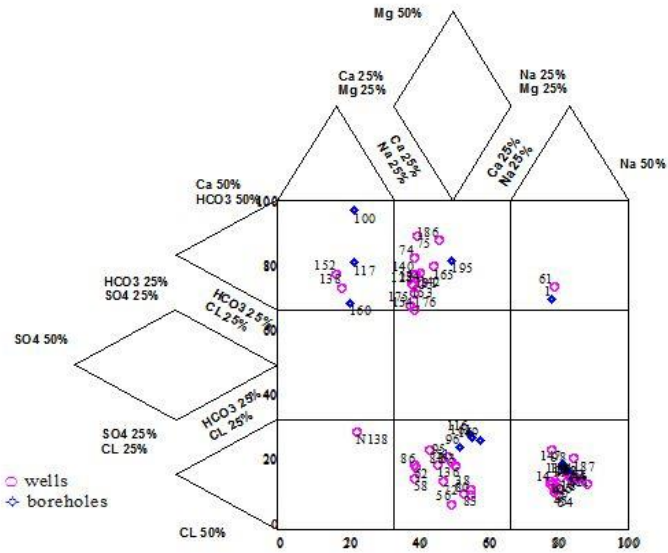
Thriassion May-June 2000



Thriassion November 2000



Thriassion May-June 2001



Εικόνα 8.20: Διαγράμματα expanded Durov στα υπόγεια νερά του Θριασίου Νοέμβριος 1999 και Μάιος 2000

Εικόνα 8.21: Διαγράμματα expanded Durov στα υπόγεια νερά του Θριασίου Νοέμβριος 2000 και Μάιος 2001.

Επομένως, η κατάταξή της στην θέση του πεδίου 8 στο διάγραμμα Durov δεν σχετίζεται με σύγχρονη άμεση διείσδυση ή επίδραση θάλασσας αφού η παρουσία του F^- υποδηλώνει νερά που έχουν υποστεί εξάτμιση ή νερά τα οποία είναι μεγάλης ηλικίας (Edmunds and Smedley 2013). Συμπερασματικά, η αύξηση των Cl^- από το 1999 έως το 2012 σχετίζεται με ανθρωπογενή ρύπανση και εξάτμιση παλαιών νερών τα οποία έχουν επηρεασθεί από παλαιό θαλασσινό νερό, πολύ πιθανόν κατά τις μεταβολές της στάθμης της θάλασσας μέσα στο Πλειστόκαινο λόγω ευστατισμού και τεκτονισμού.

Τα ίδια, σε γενικές γραμμές, ισχύουν και για τα πηγάδια 62, 72, 80, 86, 128, 131, 134, 136, 140, 154 των οποίων η θέση βρίσκεται στο πεδίο 8. Η γεωχημική διαδικασία που λαμβάνει χώρα σε αυτά τα νερά είναι η απόθεση ασβεστίτη, δολομίτη, αραγωνίτη καθώς αυτό υπογορεύει ο δείκτης κορεσμού των παραπάνω ορυκτών ο οποίος βρίσκεται πάνω από την τιμή 0 και είναι $SI_{cal}=0,8$ $SI_{dol}=2$ και $SI_{arag}=0,4$. Το ίδιο συμπέρασμα εξάγεται και από την διερεύνηση των ιοντικών λόγων Mg^{2+}/Ca^{2+} οι οποίοι κυμαίνονται μεταξύ 0,7-1. Αυτά τα πηγάδια βρίσκονται στο κεντρικό τμήμα της πεδιάδας και τροφοδοτούνται εν μέρει από την βροχή αλλά κυρίως πλευρικά από περιοχές με μεγαλύτερο υψόμετρο από τα ΒΑ και ΒΔ όπως υποδεικνύουν και οι ισοτιμικοί χάρτες κατανομής των EC, TDS, Cl^- , HCO_3^- (Εικόνες 8.2, 8.3, 8.8 και 8.10).

Όσον αφορά τις γεωτρήσεις 6, 18, 96, 118, 120, 147, 169, που ταξινομούνται στα Cl-Nαούχα νερά του πεδίου 9 αυτές αντλούν από τους ασβεστολίθους/δολομίτες του Τριαδικού καθώς αυτό υποδεικνύει ο λόγος Mg^{2+}/Ca^{2+} ο οποίος κυμαίνεται πάνω από 0,8 ενώ η γεώτρηση 111 από τους Κρητιδικούς ασβεστολίθους και τους Τριαδικούς ασβεστολίθους αφού ο ίδιος λόγος κυμαίνεται μεταξύ 0,5 και 0,7. Κατά περιόδους στις γεωτρήσεις 96, 111, 169 λαμβάνει χώρα **αντίστροφη κατιοντοανταλλαγή**.

Οι γεωτρήσεις 116, 75, 130 αντλούν από διαφορετικά στρώματα και ταξινομούνται στο πεδίο 8. Η γεώτρηση 75 αντλεί από τα νεογενή και στην οποία λαμβάνει χώρα **αντίστροφη κατιοντοανταλλαγή** με δέσμευση του Na^+ και ελευθέρωση Ca^{2+} .

Η γεώτρηση 116 αντλεί εξ ολοκλήρου από τον Τριαδικό ασβεστόλιθο. Το επίπεδο ποιότητας είναι καλό αλλά η θάλασσα είναι επί θύραις. Ταυτόχρονα λαμβάνει χώρα **αντίστροφη κατιοντοανταλλαγή**.

Η γεώτρηση 130 επηρεάζεται περισσότερο από την θάλασσα, αντλεί από τα νεογενή και επηρεάζεται από τα νερά των ασβεστολίθων του Κρητιδικού μιας και ο λόγος Mg^{2+}/Ca^{2+} κυμαίνεται μεταξύ 0,57 και 0,7 και βρίσκεται πολύ κοντά στην επιφανειακή εμφάνιση των ασβεστολίθων στη θέση «Μαγούλα».

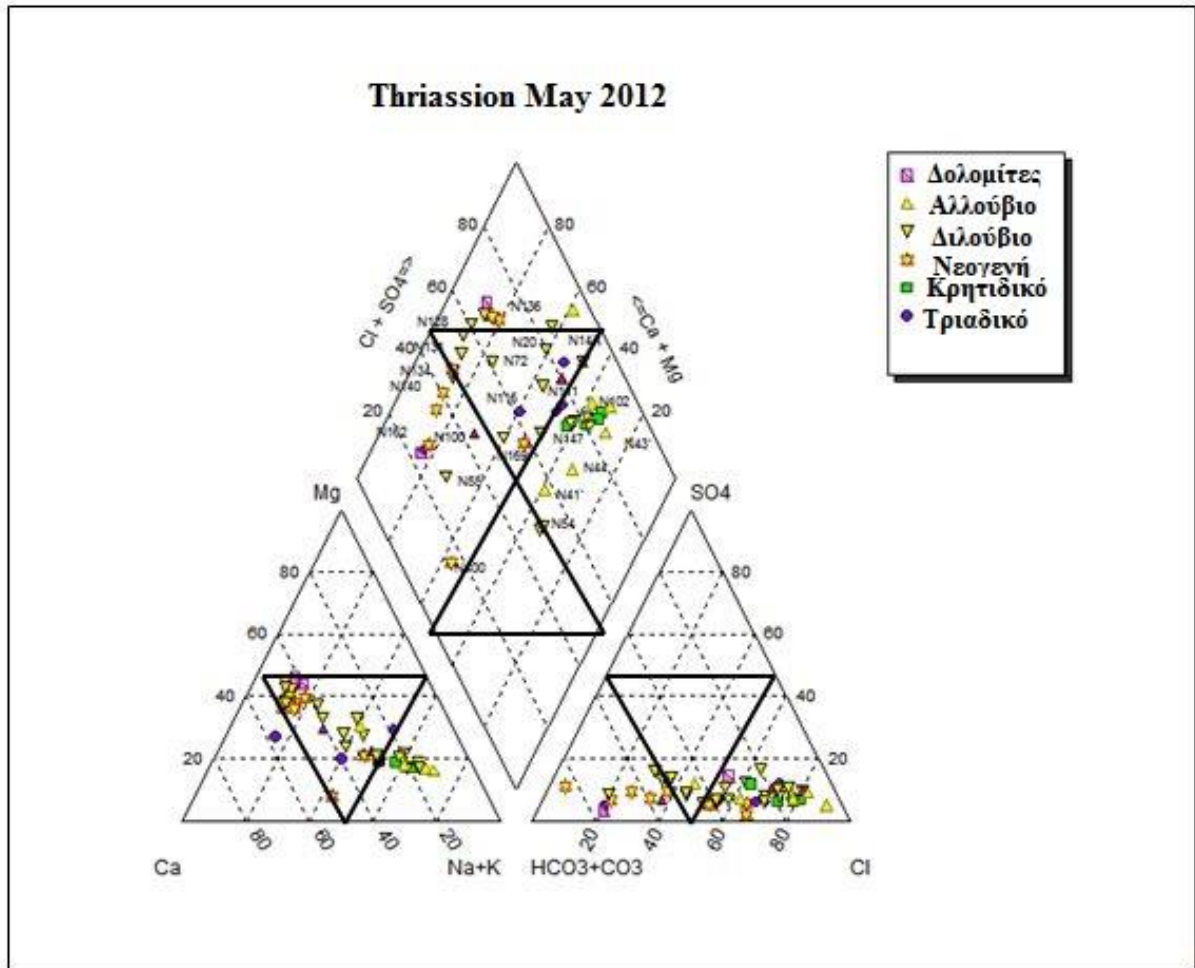
Οι γεωτρήσεις 100 και 121, 162 πέφτουν στο πεδίο 1 και 2 αντίστοιχα. Βρίσκονται σε περιοχές τροφοδοσίες φρέσκου νερού. Παρατηρώντας την πορεία της γεώτρησης 121 από τις αναλύσεις του 2001 βλέπει κάποιος ότι σε κατάσταση υπεράντλησης μπορεί να επηρεασθεί από την θάλασσα αφού η συγκέντρωση του Cl^- αυξάνεται από την τιμή 35 mg/l (1 meq/l) στην τιμή 600 mg/l (17 meq/l).

8.5.2. Διαγράμματα Piper

Ένα άλλο σημαντικό εργαλείο ανάλυσης και ταξινόμησης και προσδιορισμού των τύπων των νερών είναι το διάγραμμα Piper. Σε αυτά τα διαγράμματα μπορούν, επίσης, να

απεικονισθούν και διάφορες γεωχημικές διεργασίες όπως της κατιοντοανταλλαγής, της διάλυσης, σχηματισμού-απόθεσης ή και οξειδοαναγωγής οι οποίες λαμβάνουν χώρα στο υπόγειο νερό (Appelo and Postma 1993). Η ανάλυση και σχεδίαση αυτών περιγράφεται παρακάτω.

Στην Εικόνα 8.22 η ταξινόμηση των νερών βασίστηκε αναλόγως της λιθολογίας-ηλικίας του υδροφόρου που αντλεί το πηγάδι.

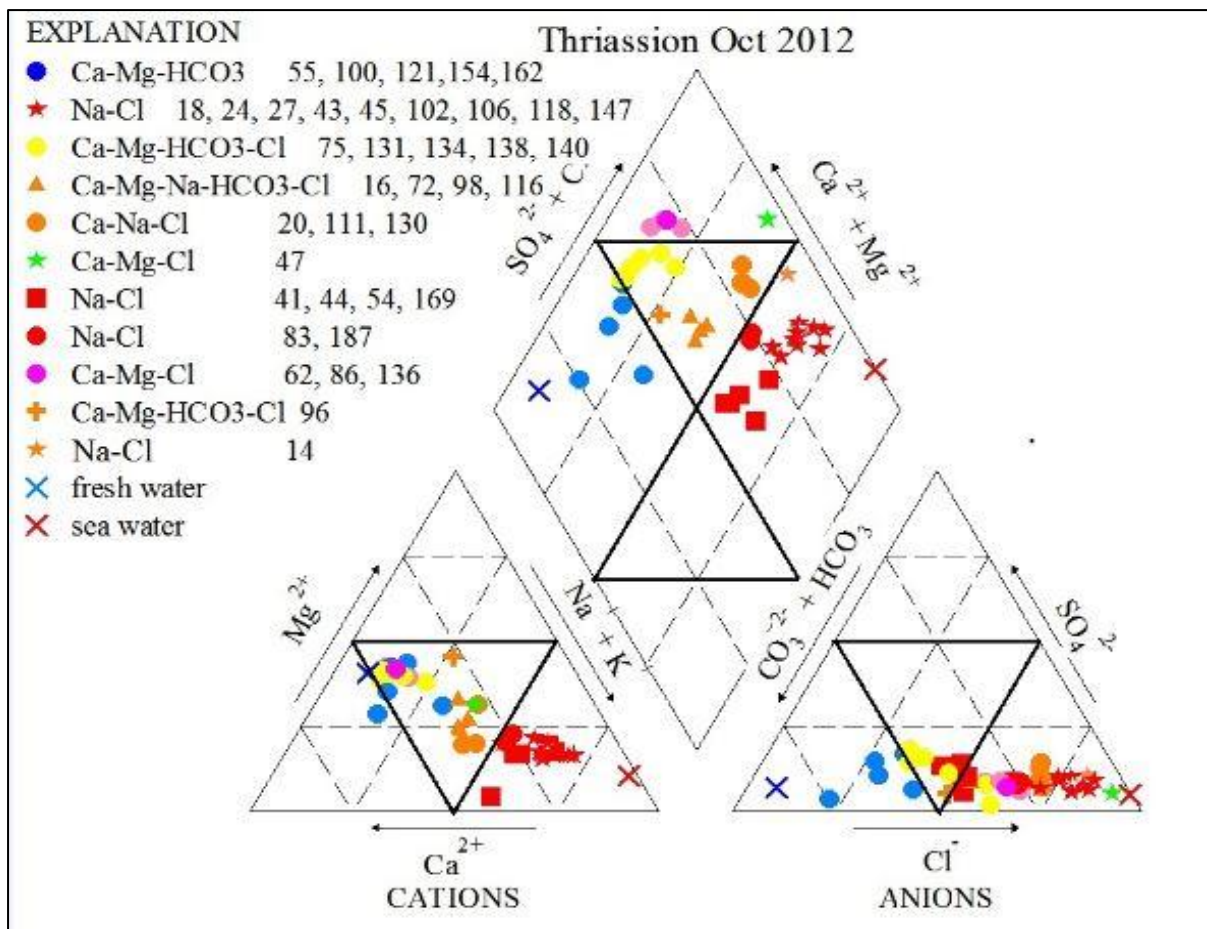


Εικόνα 8.22: Διάγραμμα Piper όπου τα νερά ταξινομούνται αναλόγως της λιθολογίας του υδροφόρου (Οκτώβριος 2012).

Στην Εικόνα 8.23 φαίνεται ότι τα νερά ταξινομούνται σε τρεις κύριες ομάδες:

- Ομάδα I, Ca-Mg- HCO_3 .
- Ομάδα II, Na-Cl με δύο υποομάδες II a και II b και
- Ομάδα III, μικτά νερά με τέσσερεις υποομάδες IIIa, IIIb, IIIc, IIId. Η ταξινόμηση αυτή δείχνει την ποιότητα του νερού στην σημερινή τους κατάσταση και πορεία ενώ στο Σχήμα 8.24 φαίνεται η εξελικτική πορεία του νερού από πού ξεκίνησε και πως έχει φθάσει μέχρι το σήμερα θεωρώντας ότι τα νερά έχουν επηρεασθεί από θαλάσσιο νερό.

Το διάγραμμα της Εικόνας 8.24 έχει προέλθει ως εξής (Appelo and Postma 1993):

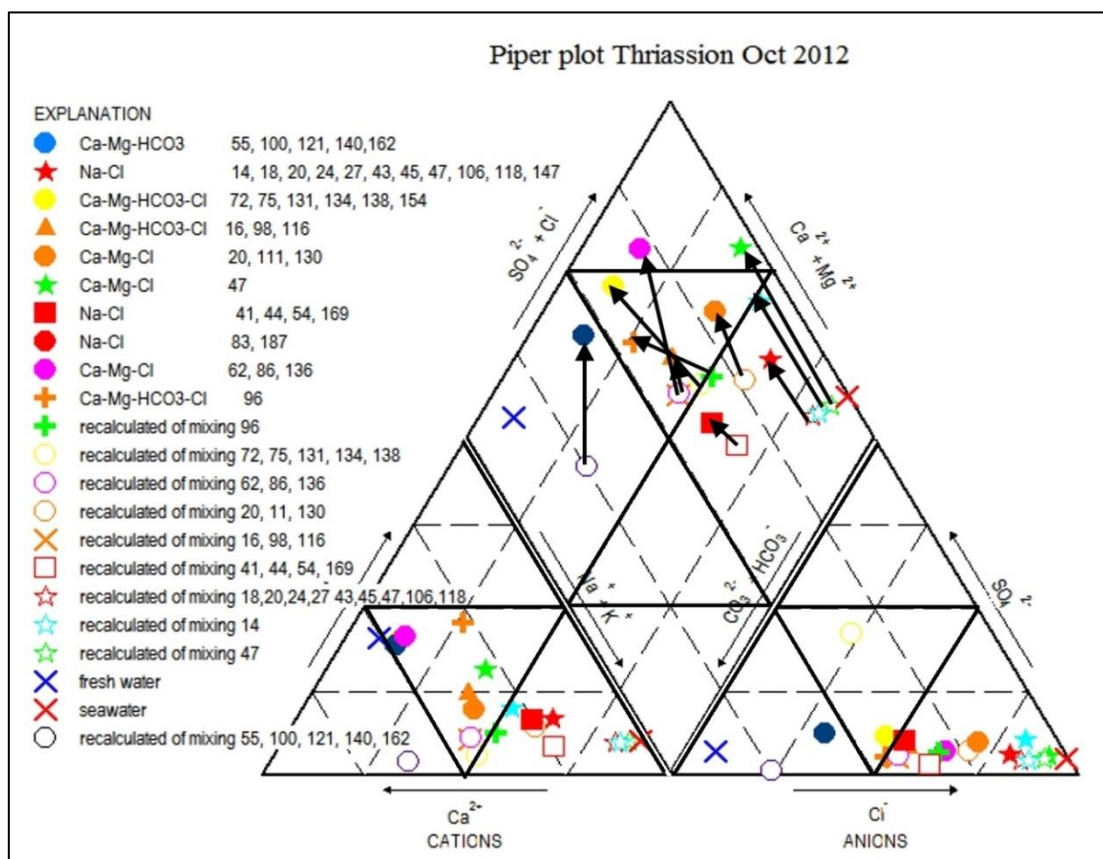


Εικόνα 8.23: Διάγραμμα Piper στο οποίο ταξινομούνται τα υπόγεια νερά σε διάφορες κατηγορίες και ομάδες (Οκτώβριος 2012).

- i. Έχει θεωρηθεί ότι τα νερά έχουν προέλθει από την ανάμιξη με θαλάσσιο νερό.
- ii. Υπολογίστηκε το ποσοστό της μίξης με βάση την συγκέντρωση των ανιόντων Cl⁻ ως του πλέον συντηρητικού ρύπου και έχει βρεθεί η σύστασή των νερών στην αρχική τους εξελικτική πορεία.
- iii. Έχουν τοποθετηθεί στο διάγραμμα οι θέσεις των υποομάδων (έχουν χρησιμοποιηθεί οι διάμεσες τιμές) σύμφωνα με την ποιότητα του νερού όπως είναι σήμερα και σύμφωνα με την ποιότητα του νερού όπως ήταν πριν την επίδραση του θαλάσσιου νερού.
- iv. Τα βέλη του εν λόγω σχήματος φανερώνουν την εξέλιξη του νερού της κάθε συγκεκριμένης ομάδας. Έτσι όταν το βέλος είναι παράλληλο με την εξωτερική πλευρά του ρόμβου όπου απεικονίζονται τα κατιόντα Ca²⁺ + Mg²⁺ η διεργασία που λαμβάνει χώρα είναι κατιοντοανταλλαγή ενώ όταν παρεκκλίνει της παραλληλίας και κλίνει προς τα HCO₃⁻ λαμβάνει χώρα αναγωγή των θεικών ανιόντων SO₄²⁻ ενώ όταν κλίνει προς τα κατιόντα Na⁺ λαμβάνει χώρα διάλυση ασβεστίτη. Αντίθετα όταν κλίνει προς την εξωτερική πλευρά λαμβάνει χώρα απόθεση ασβεστίτη (Η γραμμή στα διάφορα σημεία του διαγράμματος, όπως την αναφέρουν οι Appelo and Postma (1993), έχει αντικατασταθεί από βέλος το οποίο δείχνει την εξελικτική πορεία των νερών).

Οι συγκεντρώσεις του θαλασσινού νερού και του φρέσκου νερού που αναφέρονται στον Πίνακα 8.23 προέρχονται από τους Lloyd and Heathcote (1985). Από την μελέτη λοιπόν, του διαγράμματος της Εικόνας 8.24 διαπιστώνουμε τις παρακάτω γεωχημικές διεργασίες οι οποίες έχουν λάβει χώρα κατά την εξελικτική πορεία του υπόγειου νερού και οι οποίες είναι:

1. **Υποομάδα Πα:** αντίστροφη κατιοντοανταλλαγή αφού το βέλος από την αρχική προς την τελική θέση είναι παράλληλο προς την εξωτερική πλευρά του ρόμβου του διαγράμματος, όπου απεικονίζονται τα κατιόντα $Ca^{2+} + Mg^{2+}$.
2. **Υποομάδα Πβ:** αντίστροφη κατιοντοανταλλαγή αλλά και μία ταυτόχρονη απόθεση $CaCO_3$ μικρής έκτασης μιας και το βέλος εκτρέπεται από την παράλληλη πορεία προς την εξωτερική πλευρά του ρόμβου.
3. **Υποομάδες Πβ και Πδ:** Η πορεία του βέλους μας φανερώνει αναγωγή των SO_4^{2-} με μικρή αύξηση των HCO_3^- .
4. **Υποομάδες Πα και Πε:** Η πορεία του βέλους μας φανερώνει την μικρής έκτασης απόθεση $CaCO_3$ και την κύρια διεργασία της αντίστροφης κατιοντοανταλλαγής.
5. **Ομάδα Ι:** σε αυτήν την ομάδα βρίσκονται τα φρέσκα νερά και επίσης φανερώνεται απόθεση $CaCO_3$.



Εικόνα 8.24: Διάγραμμα Piper περιόδου Οκτωβρίου 2012 στο οποίο φαίνεται η εξέλιξη του χημισμού του υπόγειου νερού.

Πίνακας 8.23: Υπολογισμένες αναλύσεις των διαφόρων ομάδων νερών, όπως εξήχθησαν από το διάγραμμα Piper του Σχήματος 44, όπου φαίνεται το ποσοστό ανάμιξης του υπόγειου νερού με το θαλασσινό νερό, οι συγκεντρώσεις κατά την ανάμιξη αυτή και το μέγεθος των διαφόρων διεργασιών οι οποίες έχουν λάβει χώρα (sample είναι οι συγκεντρώσεις από τις αναλύσεις των δειγμάτων του Οκτωβρίου, mix είναι η υπολογισμένη ανάλυση βασισμένη στην ανάμιξη, react είναι η διαφορά των δύο προηγούμενων όπου φανερώνεται η έκταση της γεωχημικής διεργασίας που έχει λάβει χώρα). Οι συγκεντρώσεις είναι σε mmol/l

	Sea water	Na-Cl			Ca-Mg-HCO ₃			Ca-Mg-Cl			Ca-Mg-HCO ₃ -Cl			fresh water
		sample	mix	react	sample	mix	react	sample	mix	react	sample	mix	react	
Ca ²⁺	9.98	8.88	7.04	1.84	4.56	6.03	-1.47	9.87	6.46	3.41	6.74	6.19	0.54	3
Na ⁺	456.55	30.84	34.06	-3.22	1.20	1.01	0.20	10.83	14.99	-4.16	6.82	6.37	0.44	0
Mg ²⁺	55.53	9.58	8.28	1.30	3.66	0.24	3.42	5.03	3.65	1.38	4.46	1.55	2.91	0
K ⁺	9.72	0.56	0.72	-0.16	0.10	0.02	0.07	0.25	0.32	-0.07	0.24	0.14	0.10	0
HCO ₃ ⁻	2.33	6.63	5.73	0.90	3.88	5.99	-2.11	5.21	5.88	-0.67	5.90	5.95	-0.05	6
SO ₄ ²⁻	28.105	4.36	4.19	0.16	0.86	0.12	0.74	2.52	1.85	0.68	1.30	0.78	0.51	0
Cl ⁻	536	40.90			2.18			18.56			8.47			
%seawater	100	7.46%			0.22%			3.28%			1.40%			0

	Sea water	Ca-Mg-HCO ₃ -Cl			Ca-Mg-Cl			Na-Cl			fresh water
		sample	mix	react	sample	mix	react	sample	mix	react	
Ca ²⁺	9.98	7.77	6.12	1.65	7.61	6.20	1.41	6.44	3.15	3.29	3
Na ⁺	456.55	2.08	3.80	-1.73	2.50	6.46	-3.96	14.52	9.70	4.82	0
Mg ²⁺	55.53	6.75	0.93	5.82	7.24	1.57	5.67	4.26	1.18	3.08	0
K ⁺	9.72	0.16	0.08	0.08	0.11	0.14	-0.02	0.36	0.21	0.15	0
HCO ₃ ⁻	2.33	4.78	5.97	-1.19	3.92	5.95	-2.03	8.27	5.92	2.34	6
SO ₄ ²⁻	28.105	1.31	0.47	0.84	0.95	0.80	0.16	2.21	0.60	1.61	0
Cl ⁻	536	5.46			8.57			12.36			
%seawater	100	0.83%			1.41%			2.12%			0

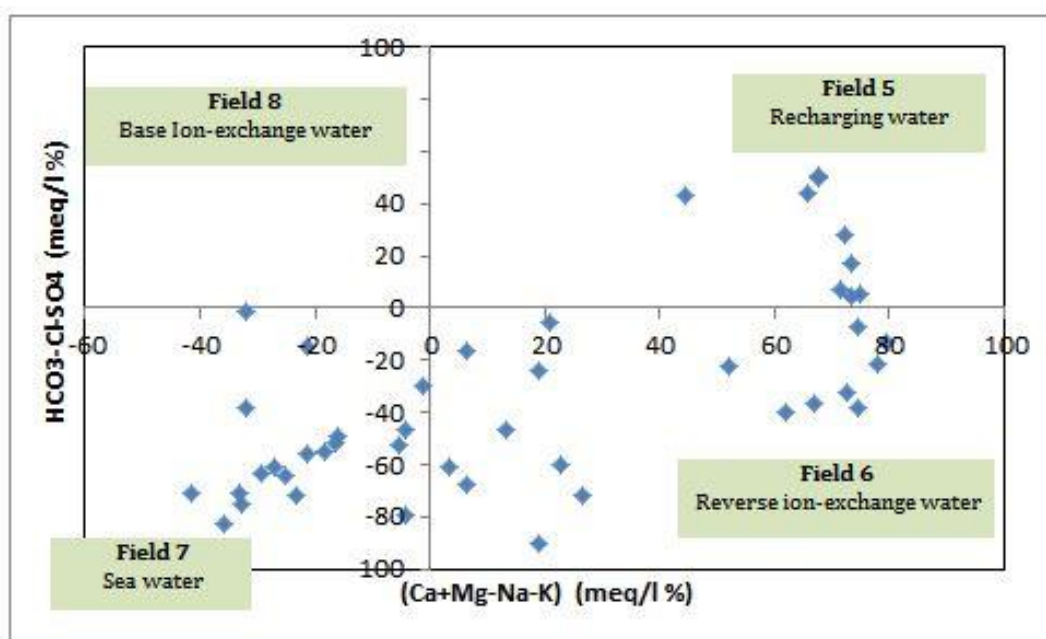
8.5.3. Διάγραμμα Chadha

Το υδροχημικό διάγραμμα που πρότεινε ο Chadha (1999) εφαρμόστηκε στην παρούσα μελέτη (Εικόνα 8.25) για τον προσδιορισμό των υδρογεωχημικών διεργασιών που λαμβάνουν μέρος στην περιοχή του Θριασίου Πεδίου. Το διάγραμμα λαμβάνει υπ' όψιν τις συγκεντρώσεις $(Ca+Mg)-(Na+K)$ (meq/l %) στον άξονα των τετμημένων και $HCO_3-(Cl+SO_4)$ (meq/l %) στον άξονα των τεταγμένων. Κατ' αυτόν τον τρόπο το διάγραμμα χωρίζεται σε τέσσερα πεδία (τεταρτημόρια) και ταξινομούνται νερά των παρακάτω υδρογεωχημικών διεργασιών:

- Το πεδίο 5 όπου εμφανίζονται θετικές τιμές και για τα δύο ζεύγη τιμών και εμφανίζεται φρέσκο νερό από πηγές τροφοδοσίας.
- Το πεδίο 6 όπου εμφανίζονται θετικές τιμές για τα $(Ca+Mg)-(Na+K)$ και αρνητικές τιμές για τα $(HCO_3-(Cl+SO_4))$ και λαμβάνει χώρα αντίστροφη ιοντοανταλλαγή.
- Το πεδίο 7 όπου εμφανίζονται αρνητικές τιμές και για τα δύο ζεύγη τιμών και εμφανίζεται διείσδυση θαλάσσιου νερού.
- Το πεδίο 8 όπου εμφανίζονται αρνητικές τιμές για τα $(Ca+Mg)-(Na+K)$ και θετικές τιμές για τα $(HCO_3-(Cl+SO_4))$ και λαμβάνει χώρα ιοντοανταλλαγή.

Τα πηγάδια λοιπόν, προβάλλονται στα παρακάτω πεδία του διαγράμματος Chadha:

- Πεδίο 5 πηγάδια: 55, 134, 140, 154, 175
γεωτρήσεις 75, 100, 121, 162
- Πεδίο 6 πηγάδια: 12, 20, 38, 47, 58, 62, 72, 80, 86, 98, 128, 131, 136, 138
γεωτρήσεις 116, 130, 138, 169
- Πεδίο 7 πηγάδια: 14, 24, 27, 41, 43, 44, 45, 54, 83, 102, 106, 187
γεωτρήσεις 6, 18, 96, 111, 118, 120, 147



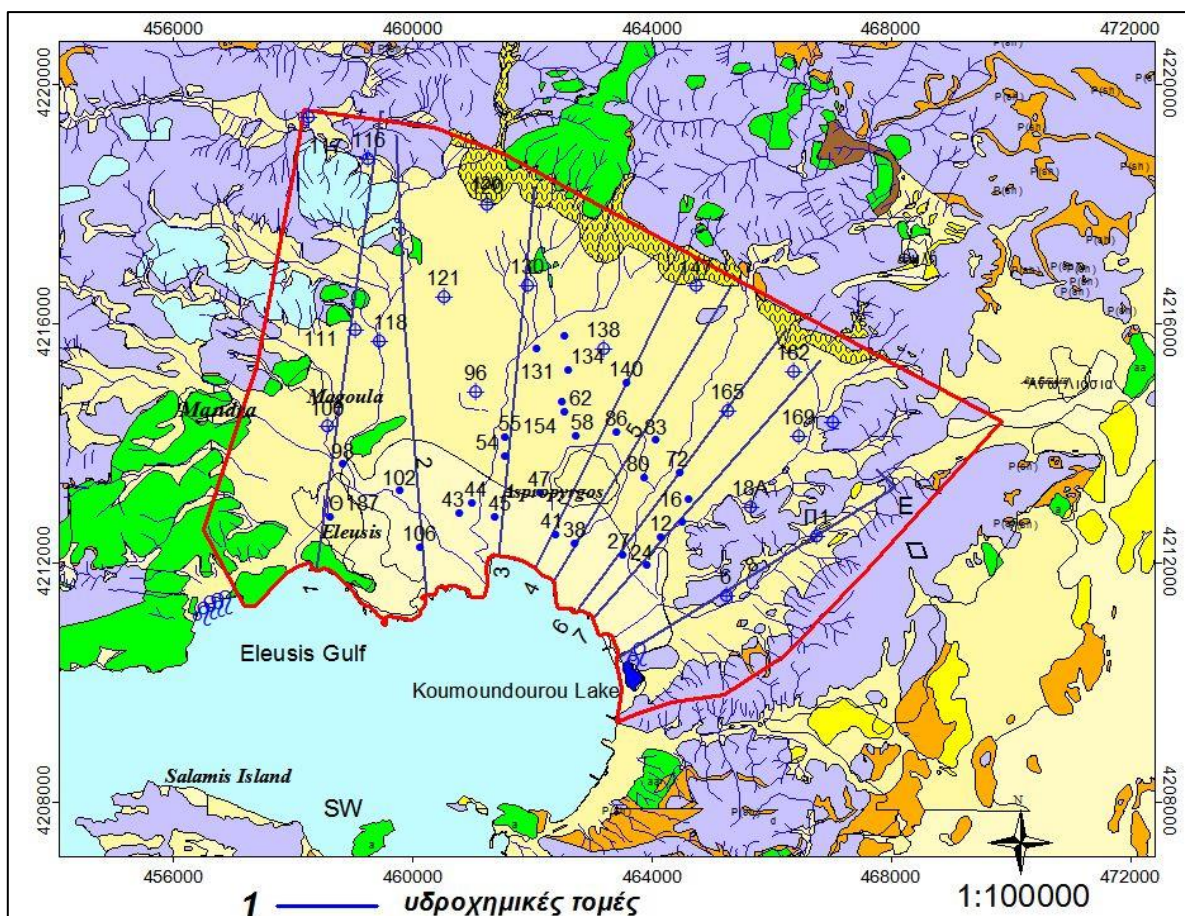
Εικόνα 8.25: Διάγραμμα Chadha για την ανίχνευση των υδρογεωχημικών διεργασιών που λαμβάνουν χώρα στους υδροφορείς του Θριασίου Πεδίου.

Το διάγραμμα Chadha δείχνει ότι, σε γενικές γραμμές, έρχεται σε συμφωνία με τα διαστελλόμενα διαγράμματα Duroν αλλά και τα διαγράμματα Piper. Θα πρέπει επίσης, να ληφθεί υπ' όψιν το γεγονός ότι τμήμα της συγκέντρωσης Cl προέρχεται από ανθρωπογενή και γηγενή αίτια γεγονός που επηρεάζει την κατάταξη.

8.5.4. Υδροχημικές τομές

Οι υδροχημικές τομές είναι ισχυρό εργαλείο το οποίο βοηθά στο να παρουσιασθούν οι γενικότερες αλλαγές του χημισμού και του καθεστώτος ροής του υπόγειου νερού που συμβαίνουν σε μία περιοχή. Σε αυτές μπορούν να απεικονισθούν όλες οι χημικές παράμετροι που έχουν καταγραφεί σε σχέση με την απόστασή τους από τις πηγές τροφοδοσίας ή από την ακτή. Κατασκευάζονται κατά μήκος συγκεκριμένων υπόγειων γραμμών ροών ή κατά την μείωση του υδραυλικού φορτίου ξεκινώντας από τις περιοχές τροφοδοσίας. Κατ' αυτόν τον τρόπο εντοπίζονται απότομες αλλαγές στον χημισμό του νερού, οι οποίες υπαγορεύουν αλλαγή καθεστώτος υπόγειας ροής, αλλαγή υδροφόρου συστήματος.

Σε αυτήν την μελέτη χρησιμοποιήθηκαν 5 τέτοιες τομές (1, 3, 4, 6, 7) με κύριο χαρακτηριστικό το γεγονός ότι ήταν γενικά κάθετες προς την ακτή (Εικόνα 8.26) ανεξαρτήτως υδροστρωματογραφίας.



Εικόνα 8.26: Θέσεις υδροχημικών τομών κάθετα στην ακτή του κόλπου της Ελευσίνας.

- **Υδροχημική τομή 1**

Βρίσκεται στην δυτική πλευρά του Θριασίου, στην Ελευσίνα και ακολουθεί περίπου την κύρια διεύθυνση ροής του Σαρανταπόταμου. Η λιθostrωματογραφία που συναντάται είναι τα Πλειστοκαινικά λατυποκροκαλοπαγή, οι Κρητιδικοί και Τριαδικοί ασβεστόλιθοι. Τα πηγάδια που χρησιμοποιήθηκαν είναι αυτά με τα νούμερα 187, 98, 100, 111, 116. Στην Εικόνα 8.27 φαίνονται οι μεταβολές στις συγκεντρώσεις των διαφόρων παραμέτρων (των κύριων ιόντων και του TDS) του νερού των πηγαδιών. Οι καμπύλες που εμφανίζονται χωρίστηκαν αναλόγως του τύπου νερού (βλέπε ταξινόμηση νερών στο προηγούμενο υποκεφάλαιο). Το κριτήριο αυτού του διαχωρισμού ήταν οι αλλαγές στις κλίσεις των καμπυλών των παραμέτρων.

Έτσι, από το πηγάδι 187 έως το πηγάδι 98 η κλίση διατηρείται σταθερή και εκεί που εμφανίζεται σημαντική μεταβολή, κυρίως μείωση, για τις περισσότερες καμπύλες, υπάρχει αλλαγή τύπου νερού και επομένως αλλαγή καθεστώτος χημισμού και κίνησης του υπόγειου νερού. Αυτό ερμηνεύεται ως αλλαγή στην υδρογεωλογική συμπεριφορά, διαφορετικός υδροφόρος ορίζοντας, διαφορετική υδροστρωματογραφία.

Από το πηγάδι 100 και προς τα ανάντη η κλίση μεταβάλλεται πάλι και στην περιοχή του πηγαδιού 111 η συγκέντρωση π.χ. των ανιόντων Cl^- αυξάνεται αρκετά και ακολουθεί πτώση μέχρι το πηγάδι 116.

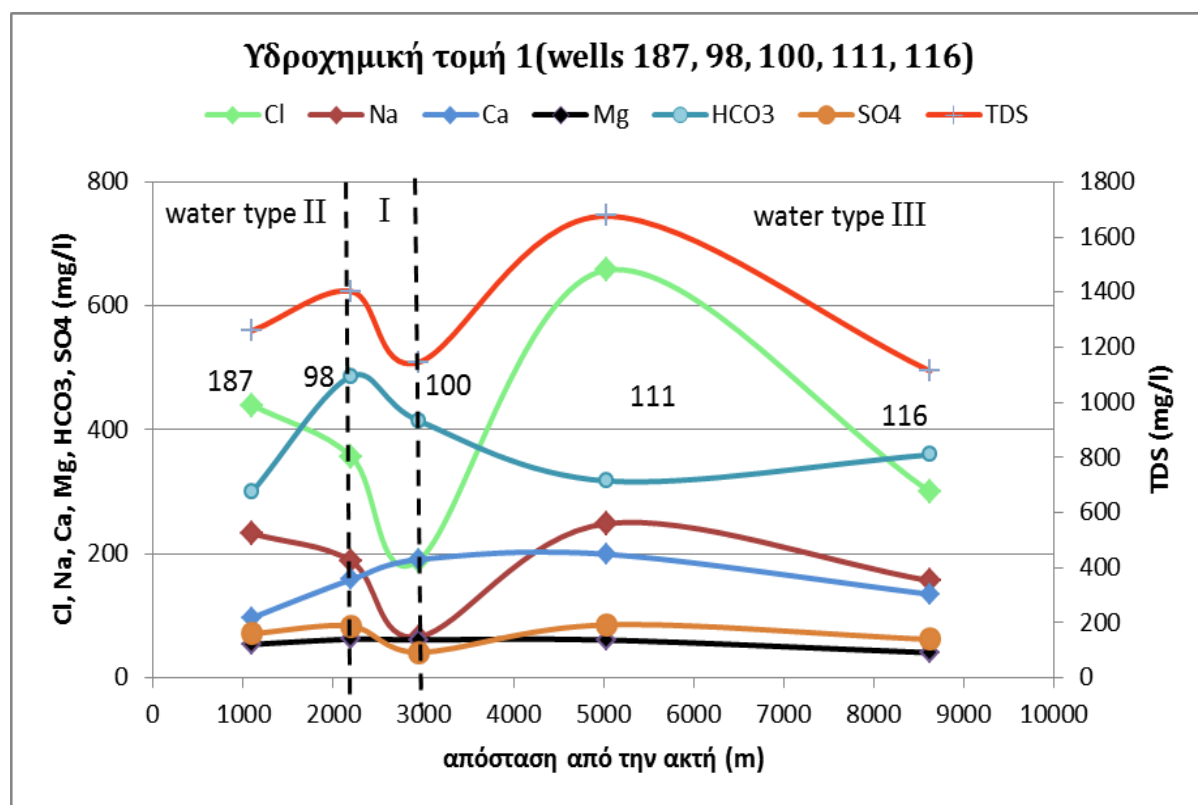
Αν ληφθεί υπ' όψιν η γεωλογία της περιοχής και το γεγονός ότι το πηγάδι 116 αντλεί από τους Τριαδικούς ασβεστολίθους, το πηγάδι 111 από Κρητιδικούς ασβεστολίθους και πολύ πιθανόν από Τριαδικούς ασβεστολίθους-δολομίτες (αυτό φανερώνεται από τον λόγο Mg^{2+}/Ca^{2+} ο οποίος μεταβάλλεται από 0,5 σε μικρή άντληση σε 0,9 σε παρατεταμένη άντληση), ενώ για το πηγάδι 100 δεν είναι γνωστή η λιθολογία, είναι όμως γνωστός ο λόγος Mg^{2+}/Ca^{2+} ο οποίος κυμαίνεται κοντά στο 0,5 και ο χημισμός του νερού μπορεί να προσεγγισθεί μία ερμηνεία η οποία είναι η εξής:

Το πηγάδι 100 αντλεί από σχηματισμό ο οποίος δεν επηρεάζεται από την θάλασσα και μάλιστα τροφοδοτείται με φρέσκο νερό τύπου I $Ca-HCO_3$ από κοντινή ή πιο μακρινή πηγή τροφοδοσίας. Η περιοχή στην οποία βρίσκεται το πηγάδι είναι μικρής έκτασης και από τον χάρτη συμπεραίνεται ότι βρίσκεται κοντά στο δυτικό όριο της υδρογεωλογικής ενότητας στην οποία εντάσσεται. Αυτή πιθανόν να είναι τα βαθύτερα στρώματα του λατυποκροκαλοπαγούς, τα οποία είναι απομονωμένα από αργιλικά στρώματα και τα οποία παρέχουν νερό καλής ποιότητας ή τμήματα ασβεστόλιθου τα οποία είναι αποκομμένα εντός των αργίλων ή/και μαργών.

Το πηγάδι 111 επηρεάζεται από την θάλασσα, κατά ένα ποσοστό της τάξης του 3,5%, το νερό ανήκει στον τύπο IIIc, μικτά νερά $Ca-Mg-Cl$. Η περιοχή στην οποία βρίσκεται το πηγάδι είναι μεγάλης σχετικά έκτασης και από τον χάρτη συμπεραίνεται ότι βρίσκεται κοντά στο ανατολικό όριο της υδρογεωλογικής ενότητας στην οποία εντάσσεται και είναι οι ασβεστόλιθοι/δολομίτες του Τριαδικού οι οποίοι βρίσκονται στα δυτικά του Θριασίου Πεδίου, οι οποίοι παρέχουν νερό αγωγιμότητας γύρω στις 3000 $\mu S/cm$.

Το πηγάδι 116 επηρεάζεται ελαφρώς από την θάλασσα, κατά ένα ποσοστό της τάξης του 1,5%, το νερό ανήκει στον τύπο IIId, μικτά νερά $Ca-Na-Cl-HCO_3$. Δεν έχει διαφοροποιηθεί σχεδόν καθόλου από τις αναλύσεις του 2000 παρουσιάζοντας σταθερή ποιότητα ενώ από το

διάγραμμα Piper φαίνεται μία μικρής τάξης απόθεση ασβεστίτη και από τους δείκτες κορεσμού συνάγεται και η απόθεση δολομίτη.



Εικόνα 8.27: Υδροχημική τομή 1 (βλέπε την θέση της στον χάρτη της Εικόνας 7.26).

Επίσης, από την Εικόνα 8.27 συνάγεται το συμπέρασμα ότι τα νερά τύπου II και III προέρχονται από ασβεστόλιθο και όχι δολομίτη και ότι στα νερά τύπου III λαμβάνει χώρα αντίστροφη κατιοντοανταλλαγή $\text{Na}^+ / \text{Ca}^{2+}$ αφού τα κατιόντα Ca^{2+} αυξάνονται ενώ τα κατιόντα Na^+ ενώ δείχνουν ότι αυξάνονται δεν ακολουθούν τον ρυθμό των ανιόντων Cl^- που σημαίνει ότι υπάρχει έλλειμμα Na^+ το οποίο αποδεικνύεται από τον λόγο $\text{meq/l Na}^+ / \text{Cl}^-$ ο οποίος λαμβάνει την τιμή 0,58.

Από τα παραπάνω συνάγεται το συμπέρασμα ότι υπάρχει μία πολυπλοκότητα, γενικά, στο υδρογεωλογικό καθεστώς της περιοχής του Θριασίου που όμως μπορεί να προσεγγισθεί με την βοήθεια της υδρογεωχημείας.

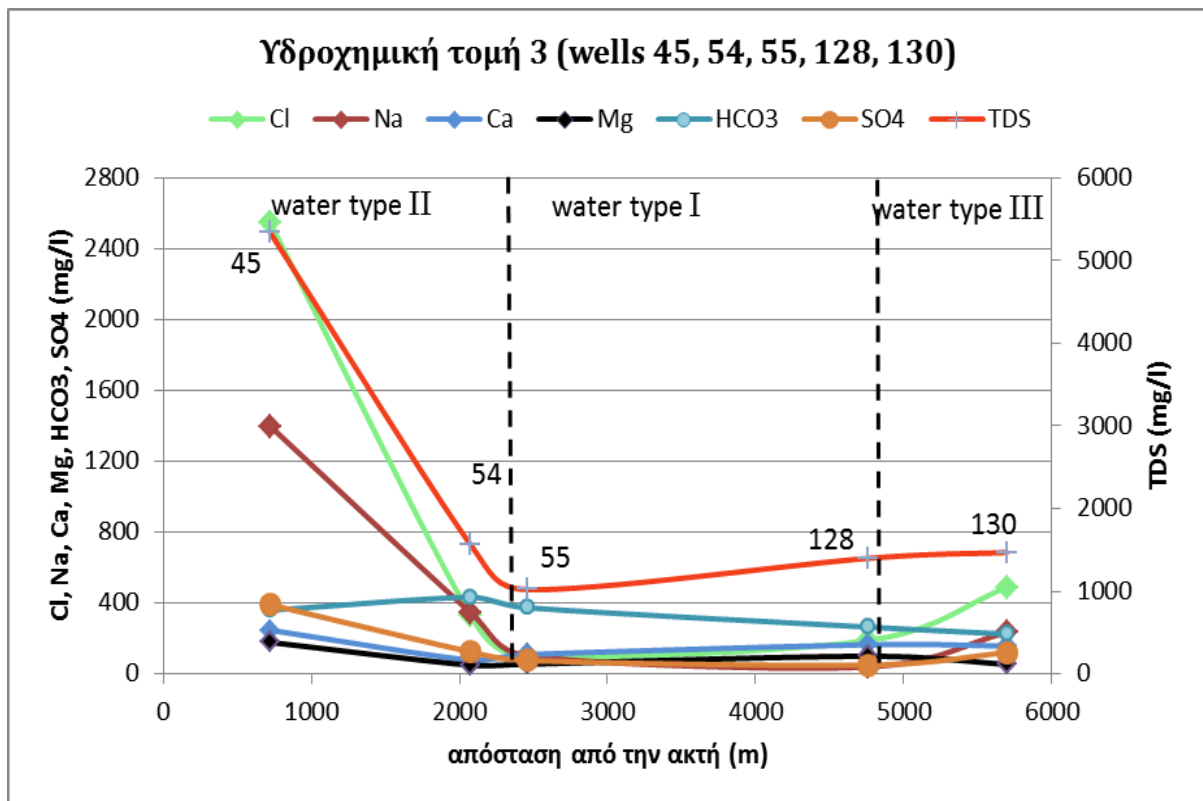
- **Υδροχημική τομή 3**

Βρίσκεται στην δυτική πλευρά του Ασπροπύργου και η λιθοστρωματογραφία που συναντάται είναι τα αλλούβια, τα λατυποκροκαλοπαγή του Πλειστοκαίνου και οι Κρητιδικοί ασβεστόλιθοι. Τα πηγάδια που χρησιμοποιήθηκαν είναι αυτά με τα νούμερα 45, 54, 55, 128, 130. Στην τομή (Εικόνα 8.28) παρατηρείται μία σημαντική μεταβολή από την θέση του πηγαδιού 55 έως την θέση του πηγαδιού 128 όπου τα χλωριόντα μειώνονται δραστικά και εμφανίζεται το νερό τύπου I. Από το πηγάδι 128 και πέρα μεταβάλλονται πάλι οι καμπύλες,

τα ανιόντα Cl^- και κατιόντα Na^+ αρχίζουν να αυξάνονται με τον ίδιο ρυθμό, ένδειξη ότι το νερό επηρεάζεται από την θάλασσα.

Ας σημειωθεί ότι το έτος 2000 το πηγάδι 54 αντλούσε νερό αγωγιμότητας 8000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ με συγκέντρωση Cl^- 2410 mg/l (68 meq/l), ενώ τον Οκτώβριο του 2012 δεν ξεπέρασε τα 355 mg/l (10 meq/l).

Από την μελέτη της ανάλυσης διαπιστώνεται ότι ο λόγος Na^+/Cl^- είναι κατά πολύ μεγαλύτερος του 1 και φθάνει την τιμή 1,62 υποδηλώνοντας πλεόνασμα κατιόντων Na^+ . Στο διάγραμμα Duroν (Εικόνα 8.17) το πηγάδι προβάλλεται στο πεδίο 3 που φανερώνει κατιοντοανταλλαγή $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$ ενώ στο διάγραμμα Piper (Εικόνα 8.24) το πηγάδι μετατοπίζεται κατά τέτοιον τρόπο που υποδηλώνει διάλυση ασβεστίτη και έκπλυση με φρέσκο νερό. Συμπεραίνουμε λοιπόν, ότι υπάρχει μία γρήγορη σχετικά επανάκαμψη του υδροφόρου η οποία οδηγεί στην σκέψη ότι η πρότερη κατάσταση δεν οφειλόταν στην είσοδο της θάλασσας ή ότι τουλάχιστον η είσοδος της θάλασσας δεν είναι σύγχρονη αλλά συνέβη παλαιότερα.

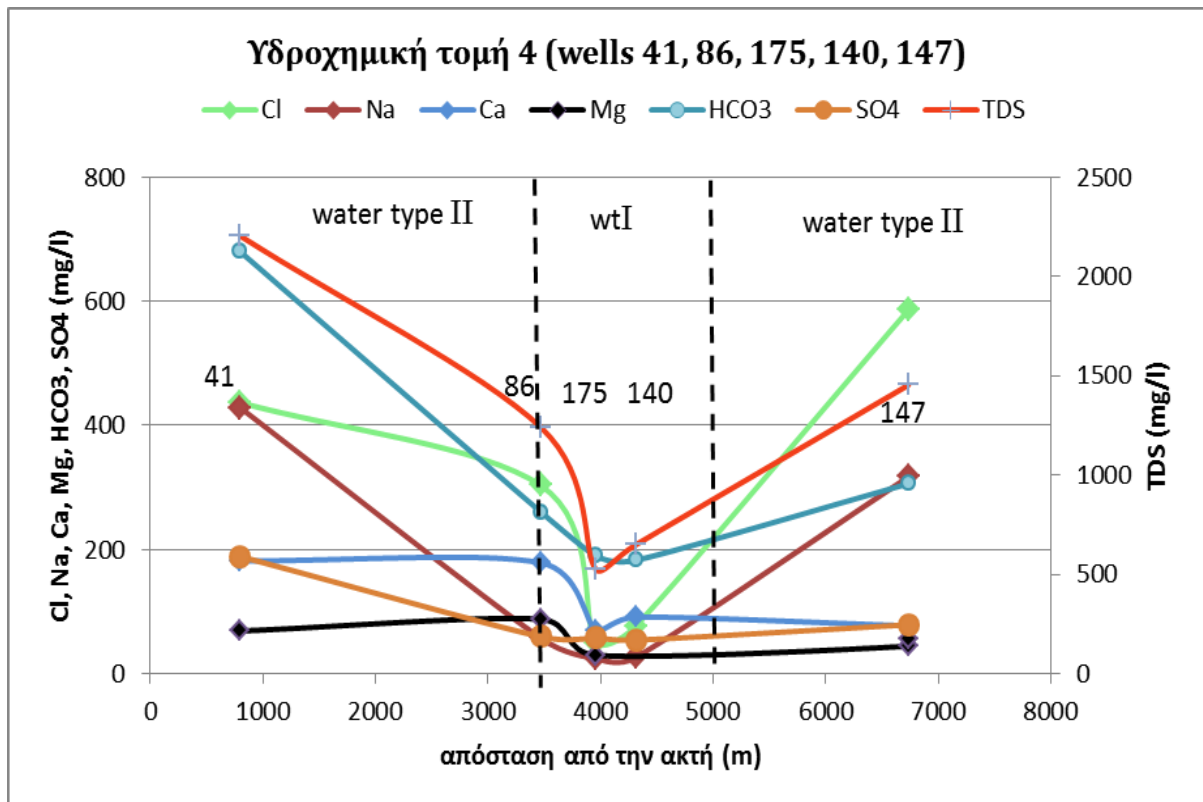


Εικόνα 8.28: Υδροχημική τομή 3

- Υδροχημική τομή 4

Βρίσκεται στον Ασπρόπυργο και φθάνει μέχρι βορειότερα του λόφου Κυρίλλου και η λιθostrωματογραφία που συναντάται είναι τα αλλούβια, τα λατυποκροκαλοπαγή του Πλειστοκαίνου και οι Τριαδικοί ασβεστόλιθοι. Τα πηγάδια που χρησιμοποιήθηκαν είναι αυτά με τα νούμερα 41, 86, 175, 140, 147. Στην τομή (Εικόνα 8.29) παρατηρείται μία σημαντική

μεταβολή στην περιοχή των πηγαδιών 175 και 140 όπου τα χλωριόντα μειώνονται δραστικά και εμφανίζεται το νερό τύπου I. Μετά το πηγάδι 140 και έως το πηγάδι 147 τα χλωριόντα αρχίζουν να αυξάνονται, ένδειξη ότι επηρεάζεται από την θάλασσα. Ένα (1) km βορειότερα του πηγαδιού 140 το πηγάδι 155 παρουσιάζει καλή ποιότητα νερού σύμφωνα με τις αναλύσεις του 2000, με τα χλωριόντα να κυμαίνονται από 43 έως 113 mg/l (Παρασχούδης 2002). Η περιοχή αυτή κοντά στα πηγάδια 175, 140, 155 παρέχει καλής ποιότητας νερό το οποίο δεν επηρεάζεται από την θάλασσα.

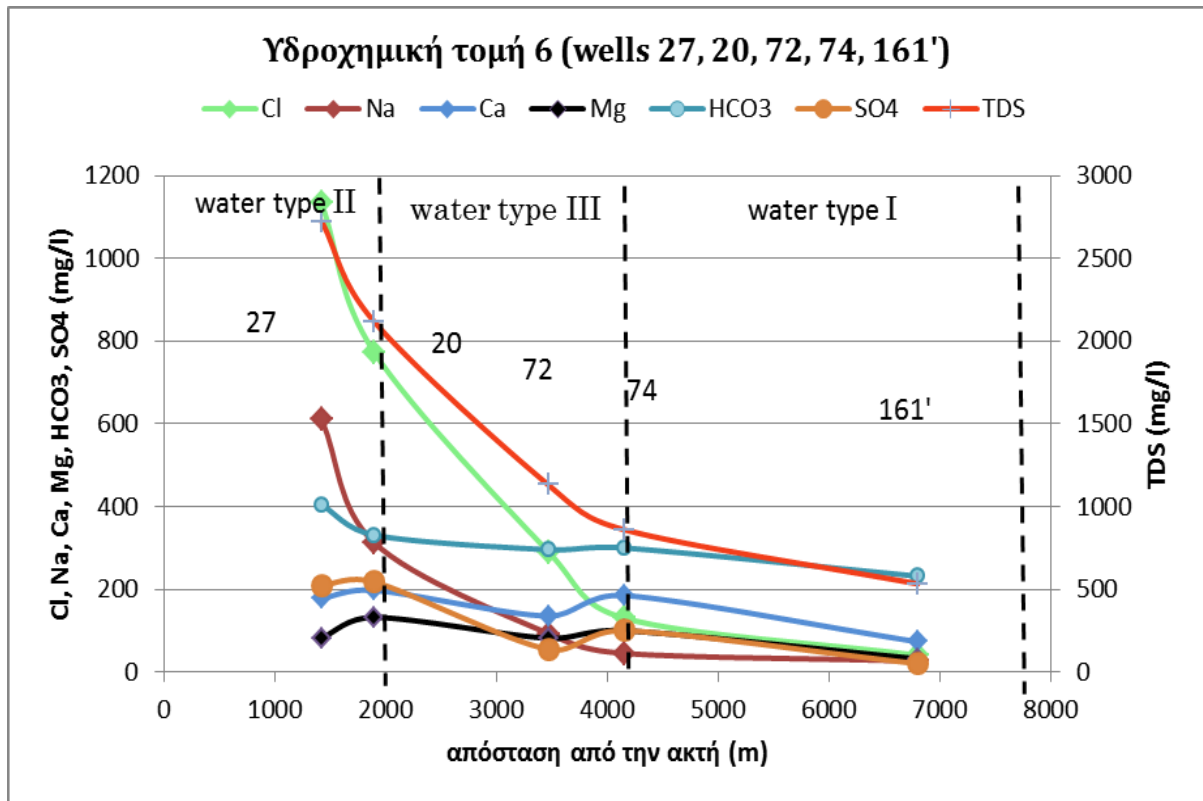


Εικόνα 8.29: Υδροχημική τομή 4.

- **Υδροχημική τομή 6**

Βρίσκεται ανατολικά του Ασπρόπυργου και φθάνει μέχρι βορειότερα του λόφου Κυρίλλου και η λιθοστρωματογραφία που συναντάται είναι τα αλλούβια, τα λατυποκροκαλοπαγή του Πλειστοκαίνου και οι Τριαδικοί ασβεστόλιθοι. Τα πηγάδια που χρησιμοποιήθηκαν είναι αυτά με τα νούμερα 27, 20, 72, 74, 161'. Στην τομή παρατηρείται μία μεταβολή στην περιοχή του πηγαδιού 20 και μία μεταβολή κοντά στο πηγάδι 74. Από αυτό το πηγάδι και μέχρι το πηγάδι 161' το νερό είναι καλής ποιότητας και δείχνει να μην επηρεάζεται από την θάλασσα. Φαίνεται επίσης ότι η περιοχή γύρω από το πηγάδι 161' τροφοδοτεί τις χαμηλότερες περιοχές με νερό καλής ποιότητας. Ο υδροφόρος ορίζοντας στην περιοχή γύρω από το πηγάδι 161' τελεί υπό πίεση. Επομένως το νερό του δεν προέρχεται άμεσα και απ' ευθείας από την βροχή λόγω των αδιαπέρατων υπερκείμενων σχηματισμών. Η τροφοδοσία του πραγματοποιείται, από τον βορειότερα ευρισκόμενο Τριαδικό ασβεστόλιθο-δολομίτη. Απόδειξη αυτού είναι η τιμή του λόγου Mg^{2+}/Ca^{2+} ο οποίος μετρήθηκε 0,73 και 0,77 για τον

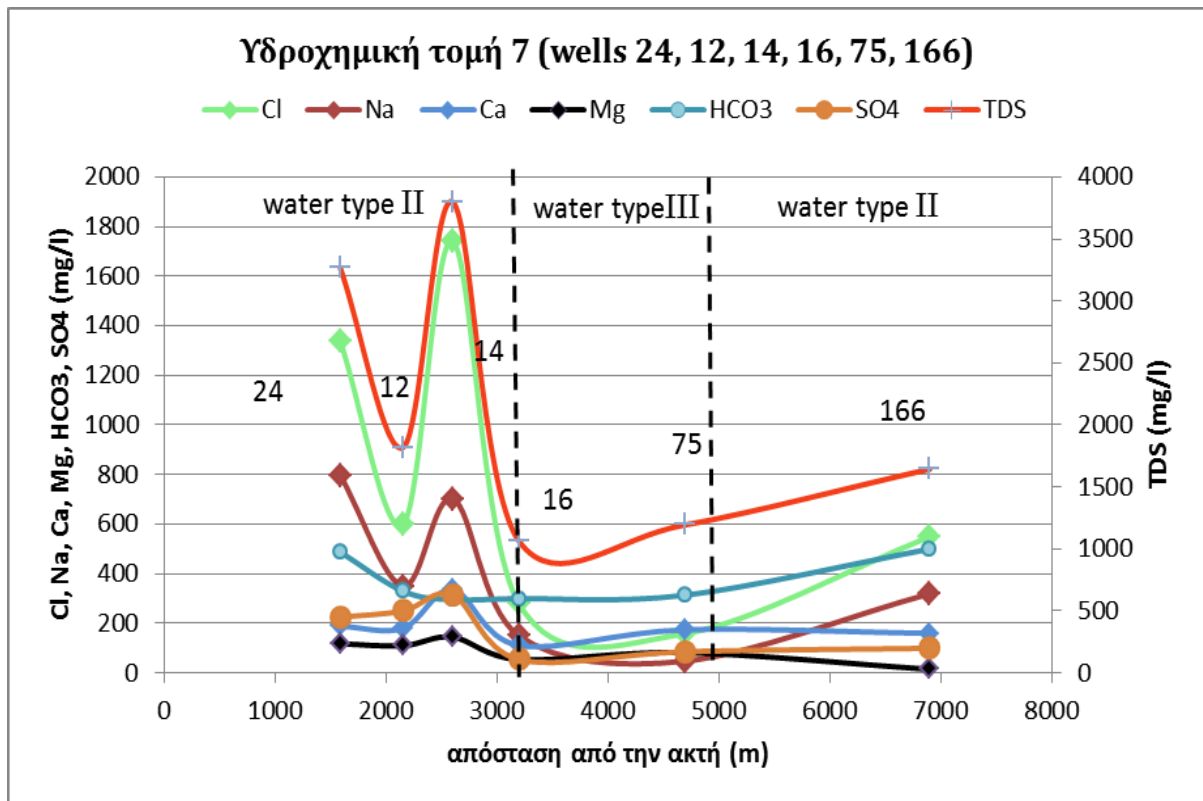
Μάιο και Οκτώβριο 2012 αντίστοιχα, τιμή που φανερώνει επίδραση δολομιτικών νερών (Εικόνα 8.30). Η καλής ποιότητας νερού της γεώτρησης 161', μετά από 30 χρόνων λειτουργίας φανερώνει την έλλειψη επικοινωνίας του υδροφόρου με υφάλμυρα νερά, γεγονός που μπορεί να ερμηνευθεί γεωλογικά με την αναθόλωση του υποβάθρου των αδιαπέρατων Άνω-Παλαιozoικών ιζημάτων και την αποκοπή της εισόδου της θάλασσας στην συγκεκριμένη περιοχή.



Εικόνα 8.30: Υδροχημική τομή 6.

- **Υδροχημική τομή 7**

Βρίσκεται στο ανατολικό όριο του Θριασίου Πεδίου και η λιθοστρωματογραφία που συναντάται είναι τα αλλούβια, τα λατυποκροκαλοπαγή του Πλειστοκαίνου και οι Τριαδικοί ασβεστόλιθοι. Τα πηγάδια που χρησιμοποιήθηκαν είναι αυτά με τα νούμερα 24, 12, 14, 16, 75 και 166. Στην τομή (Εικόνα 8.31) παρατηρείται μία σημαντική μεταβολή στην συγκέντρωση των χλωριόντων γύρω από το πηγάδι 75 με πολύ χαμηλά ποσοστά NaCl, το νερό κατατάσσεται στον τύπο III, δεν επηρεάζεται από τη θάλασσα, προέρχεται από δολομίτες και βρίσκεται στο ανατολικότερο όριο της λεκάνης με σχετικά χαμηλές τιμές TDS. Όλες οι χημικές παράμετροι βρίσκονται σε πολύ καλά επίπεδα με εξαίρεση την αυξημένη συγκέντρωση των νιτρικών ανιόντων.



Εικόνα 8.31: Υδροχημική τομή 7.

8.6. Γεωχημικές διεργασίες-Προέλευση των στοιχείων

8.6.1. Δείκτες κορεσμού

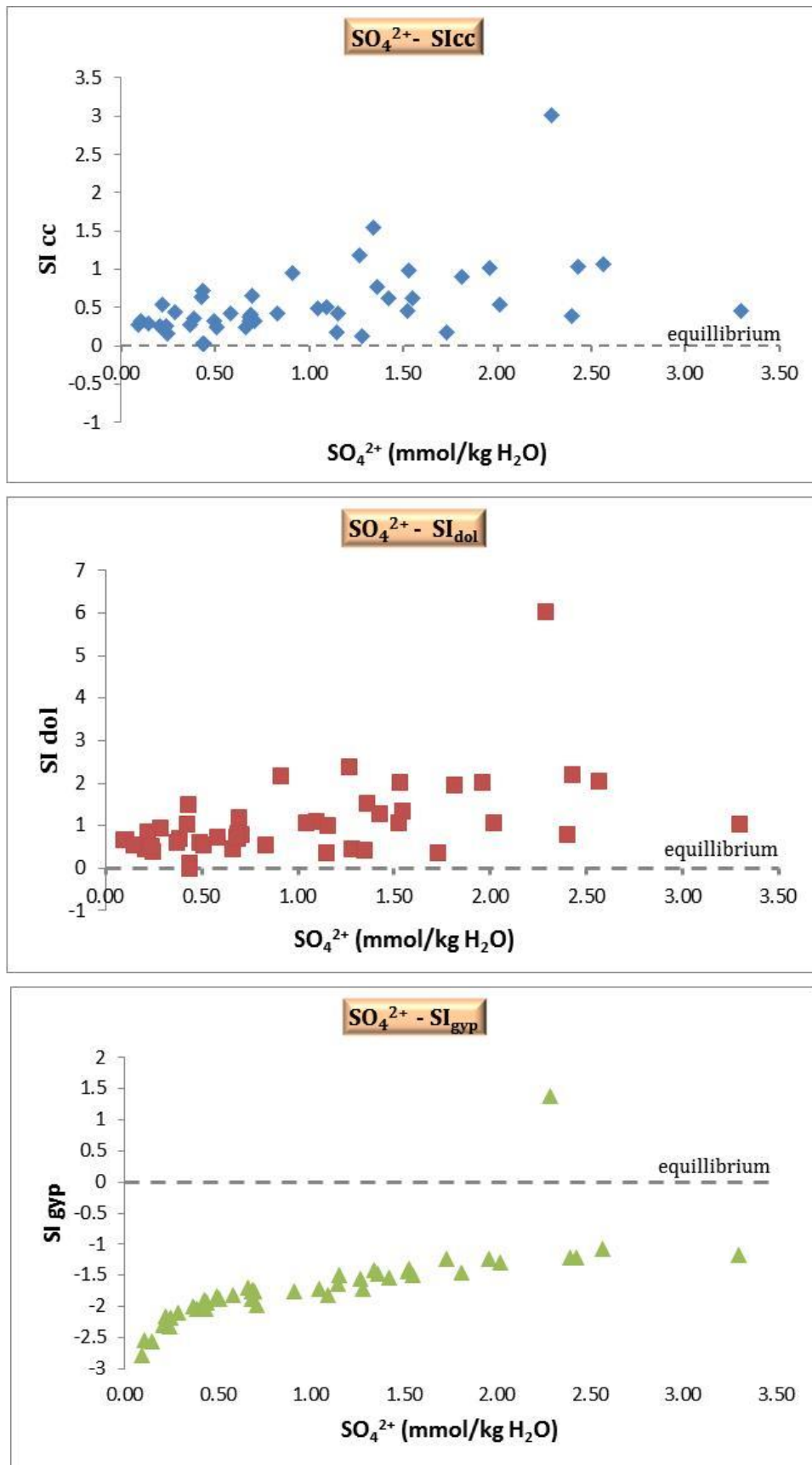
Αναφέρθηκε παραπάνω ότι και οι δύο δείκτες κορεσμού των ασβεστίτη και δολομίτη είναι θετικοί. Μία εξήγηση θα μπορούσε να ήταν το γεγονός ότι οι μετρήσεις του pH ήταν εσφαλμένες με αποτέλεσμα να εμφανίζονται λανθασμένα αποτελέσματα και αντί για απόθεση του ασβεστίτη να λαμβάνει χώρα διάλυσή του. Μία άλλη εξήγηση πολύ πιθανή είναι η εξής: Καθώς το φρέσκο νερό κυκλοφορεί εντός των κροκαλοπαγών του Πλειο-Πλειστοκαίνου, τα οποία αποτελούνται στην πλειονότητά τους από τεμάχια δολομιτικών ασβεστολίθων, διαλύεται ο δολομίτης και ο δείκτης κορεσμού του υπερβαίνει το μηδέν, με αποτέλεσμα να λαμβάνει χώρα απόθεση δολομίτη (dolomitization). Την ίδια στιγμή στους βαθύτερους ορίζοντες των κροκαλοπαγών όπου το νερό βρίσκεται για αρκετά χρόνια εγκλωβισμένο λαμβάνει χώρα το φαινόμενο της διάλυσης του δολομίτη και του μετασχηματισμού του σε ασβεστίτη, λαμβάνει χώρα, δηλαδή, το φαινόμενο της αποδολομιτίωσης (dedolomitization), όπως το παρουσιάζουν οι παραπάνω συγγραφείς. Λόγω της άντλησης νερού και από τους δύο διαφορετικούς ορίζοντες το τελικό αποτέλεσμα είναι να παράγονται νερά πλούσια σε Mg^{2+} , Ca^{2+} , SO_4^{2-} και να εμφανίζονται και οι δύο δείκτες $SI_{cal} > 0$ και $SI_{dol} > 0$. Στην συγκεκριμένη περίπτωση λόγω και της απόθεσης του αραγωνίτη ($SI_{aragon} > 0$) ελευθερώνεται το κατιόν στροντίου Sr^{2+} στα υπόγεια νερά του Θριασίου Πεδίου.

Πίνακας 8.24: Δείκτες κορεσμού αλίτη, ανυδρίτης, αραγωνίτη, ασβεστίτη, δολομίτη, φθορίτη, γύψου (Μάιος 2012) με την βοήθεια του λογισμικού PHREEQC (Parkhurst, Appelo 2015)

Well Nr	Αλίτης	Ανυδρίτης	Αραγωνίτης	Ασβεστίτης	Δολομίτης	Φθορίτης	Γύψος
6	-5.07	-1.83	0.63	0.77	1.54	-0.5	-1.48
12	-5.47	-1.75	0.83	0.98	2.02	-0.2	-1.4
14	-4.7	-1.41	0.91	1.06	2.04	0.39	-1.07
18	-4.88	-1.9	1.03	1.18	2.39	-0.23	-1.56
20	-5.39	-1.56	0.88	1.03	2.2	-0.91	-1.22
24	-4.75	-1.79	0.76	0.9	1.96	-1.31	-1.45
27	-4.83	-1.64	0.39	0.54	1.08		-1.29
38	-5.06	-1.57	0.88	1.02	2.02	-0.25	-1.23
41	-5.48	-1.89	0.48	0.62	1.27	-1.01	-1.54
43	-4.89	-2.07	-0.02	0.13	0.44	-0.78	-1.72
44	-5.05	-2.33	0.18	0.32	0.79	-1.37	-1.99
45	-4.32	-1.52	0.31	0.45	1.05	-1.06	-1.17
47	-1.47	1.11	2.87	3.02	6.02	2.46	1.38
54	-5.85	-2.16	0.36	0.51	1.11	-1.63	-1.81
55	-6.93	-2.39	0.2	0.35	0.7	-1.28	-2.05
58	-6.32	-1.83	0.29	0.43	1	-0.45	-1.49
62	-6.78	-2.45	0.3	0.44	0.94	-0.97	-2.11
72	-6.29	-2.29	-0.12	0.03	0.13	-1.22	-1.95
75	-6.88	-2.19	0.18	0.32	0.62	-0.76	-1.84
80	-5.25	-1.59	0.04	0.18	0.35	-0.68	-1.24
83	-5.97	-2.4	-0.12	0.02	0	-0.61	-2.05
86	-6.53	-2.04	0.09	0.24	0.45	-1.26	-1.69
96	-5.19	-2.11	0.8	0.95	2.17	-1.48	-1.76
98	-6.04	-2.07	0.26	0.41	0.71	-0.42	-1.73
100	-7.14	-2.5	0.4	0.54	0.84	-0.46	-2.16
102	-6.49	-1.78	0.32	0.46	1.06	-0.64	-1.44
106	-4.63	-1.55	0.24	0.39	0.8	-0.4	-1.21
111	-5.42	-2.1	0.5	0.65	1.2	-0.82	-1.75
116	-6.06	-2.26	0.48	0.63	1.04	-0.57	-1.91
118	-4.73	-1.85	0.47	0.62	1.34	-0.99	-1.5
120	-4.97	-2.06	0.34	0.49	1.07	-0.36	-1.72
121	-7.59	-3.13	0.12	0.27	0.66	-1.12	-2.79
128	-6.89	-2.53	0.01	0.16	0.39	-1.2	-2.18
130	-5.43	-1.76	0.11	1.55	0.42	-2.24	-1.42
131	-6.78	-2.28	0.58	0.72	1.5	-1.68	-1.93
134	-7	-2.11	0.23	0.38	0.83	-1.11	-1.76
136	-6.27	-2.34	0.13	0.28	0.62	-2.88	-2
138	-6.58	-2.88	0.19	0.33	0.67	-2.29	-2.54
140	-7.38	-2.65	0.1	0.25	0.44	-1.27	-2.3
147	-5.58	-1.98	0.04	0.18	0.35	-1.62	-1.64
154	-7.04	-2.23	0.09	0.24	0.54	-0.91	-1.89
162	-7.68	-2.91	0.14	0.29	0.55	-3.1	-2.56
169	-5.62	-2.16	0.27	0.42	0.74	-1.07	-1.82
175	-7.55	-2.67	0.1	0.25	0.52	-1.5	-2.32
187	-5.42	-2.22	0.18	0.32	0.72	-0.87	-1.88
117		-1.95	0.28	0.43	0.54	-1.58	

Πίνακας 8.25: P_{CO2} και δείκτες κορεσμού, αλίτη, ανυδρίτη, αραγωνίτη, ασβεστίτη, δολομίτη, φθορίτη, γύψου, στροντιανίτη (Οκτώβριος 2012).

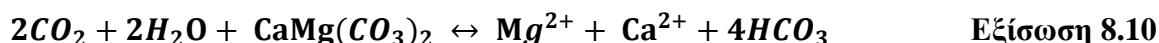
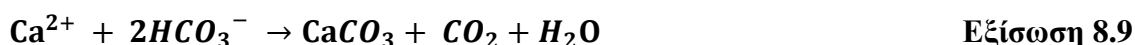
Well Nr	P _{CO2}	Αλίτης	Ανυδρίτης	Αραγωνίτης	Ασβεστίτης	Δολομίτης	Φθορίτης	Γύψος	Στροντιανίτης
14	1.74	-4.6	-1.31	0.1	0.25	0.44	0.06	-0.96	-1.34
16	-2.25	-5.96	-3.1	-0.68	-0.53	-0.07	-2.66	-2.76	-1.09
18	-1.69	-4.65	-1.9	0.08	0.23	0.64	-1.69	-1.55	0.23
20	-2.16	-5.26	-1.55	0.5	0.64	1.42	-0.53	-1.22	
24	-1.36	-4.64	-1.61	-0.01	0.14	0.39	-0.56	-1.28	-1.07
27	-1.79	-4.81	-1.62	0.25	0.39	0.76	-1.24	-1.28	-1.37
41	-1.9	-5.43	-1.69	0.75	0.9	1.68	-0.53	-1.35	
43	-2.25	-4.74	-1.94	0.21	0.35	0.95	-1.75	-1.61	-0.93
44	-2.57	-5.42	-2.15	0.69	0.83	1.81	-0.8	-1.82	
45	-2.03	-4.15	-1.4	0.39	0.54	1.26	-0.05	-1.07	-0.59
47	-2.18	-4.34	-1.35	0.49	0.64	1.4	1.26	-1.01	
54	-1.97	-5.57	-2.05	0.2	0.35	0.79	-0.73	-1.7	
55	-1.97	-6.58	-2.08	0.26	0.41	0.82	-0.38	-1.73	
62	-2.28	-6.64	-2.24	0.24	0.39	0.83	0.49	-1.89	
72	-2.08	-6.19	-2.17	0.26	0.41	0.9	-0.51	-1.83	
75	-1.89	-6.75	-1.9	0.2	0.35	0.68	-0.67	-1.56	
83	-2.24	-5.72	-2.19	0.12	0.26	0.49	0.25	-1.85	
86	-2.19	-6.38	-2.06	0.33	0.48	0.95	0.46	-1.71	
96	-1.36	-5.73	-2.16	0.28	0.42	1.15	-1.07	-1.82	
98	-1.65	-5.79	-1.93	0.3	0.45	0.78	-0.46	-1.58	
100	-1.87	-6.52	-2.15	0.48	0.63	1.06	-0.47	-1.8	
102	-1.32	-4.92	-1.79	-0.05	0.1	0.31	-1.01	-1.43	
106	-1.66	-4.53	-1.44	0.25	0.4	0.83	0.06	-1.1	
111	-1.92	-5.41	-1.87	0.27	0.42	0.61	-0.89	-1.51	
116	-2.21	-5.93	-2.06	0.58	0.73	1.23	-0.62	-1.71	
118	-2.12	-4.61	-1.8	0.19	0.34	0.72	-0.51	-1.42	
121	-2.62	-7.52	-3.09	0.33	0.48	1.06	-0.42	-2.72	-0.04
130	-2.4	-5.56	-1.81	0.29	0.44	0.68	-1.06	-1.43	
131	-2.07	-6.55	-2.1	0.25	0.39	0.83	0.38	-1.74	
134	-2.13	-6.88	-2.05	0.22	0.37	0.79	-0.84	-1.69	
136	-2.27	-6.16	-2.26	0.28	0.43	0.9	-0.76	-1.91	
138	-2.59	-6.6	-2.88	0.49	0.63	1.16	-0.87	-2.51	-0.62
140	-2.77	-7.28	-2.23	0.39	0.54	1.05	-0.95	-1.88	
147	-2.29	-5.34	-2.25	0.2	0.34	0.81	-1.24	-1.87	
154	-2.15	-6.9	-2.1	0.24	0.39	0.81	-0.83	-1.75	
162	-2.72	-7.55	-2.7	0.49	0.64	1.21	-0.18	-2.34	
169	-1.6	-5.51	-2.01	0.45	0.6	0.32	-0.94	-1.65	-0.75
187	-1.91	-5.6	-2.16	-0.04	0.11	0.26	-0.7	-1.81	
Avera	-2.06	-4.97	-2.03	0.27	0.42	0.86	-0.60	-1.68	
Max	-2.77	-6.58	-3.1	-0.68	-0.53	-0.07	-2.66	-2.76	
min	-1.32	-4.15	-1.31	0.75	0.90	1.81	1.26	-0.96	
Stdev	0.36	0.92	0.42	0.24	0.24	0.39	0.69	0.41	



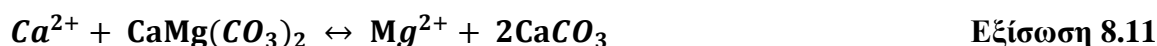
Εικόνα 8.32: Δείκτες κορεσμού α) του ασβεστίτη, β) δολομίτη, γ) γύψου συναρτήσει της συγκέντρωσης των θεικών.

8.6.2. Το φαινόμενο της δολομιτίωσης-αποδολομιτίωσης

Η μεγάλη συγκέντρωση του Mg^{2+} στα υπόγεια νερά της περιοχής μπορεί να εξηγηθεί σύμφωνα με το φαινόμενο το οποίο καλείται «αποδολομιτίωση» των δολομιτικών ασβεστολίθων/δολομιτών. Στις παρακάτω Εξισώσεις 8.8-8.10 περιγράφεται το φαινόμενο της αποδολομιτίωσης σε συνδυασμό με γυψούχα στρώματα όπως αναφέρουν οι Appelo-Postma (1993). Οι αντιδράσεις οι οποίες λαμβάνουν χώρα κατά το φαινόμενο της αποδολομιτίωσης είναι:



Στους υδροφόρους οι οποίοι αποτελούνται από δολομίτη και ασβεστίτη πρέπει να περιμένουμε ότι το υπόγειο νερό βρίσκεται κοντά σε ισορροπία και για τα δύο ορυκτά έτσι στην γενική της μορφή η αντίδραση αυτή περιγράφεται από την παρακάτω Εξίσωση 8.11:



Ενώ στην ολοκληρωμένη της μορφή περιγράφεται από την Εξίσωση 7.12



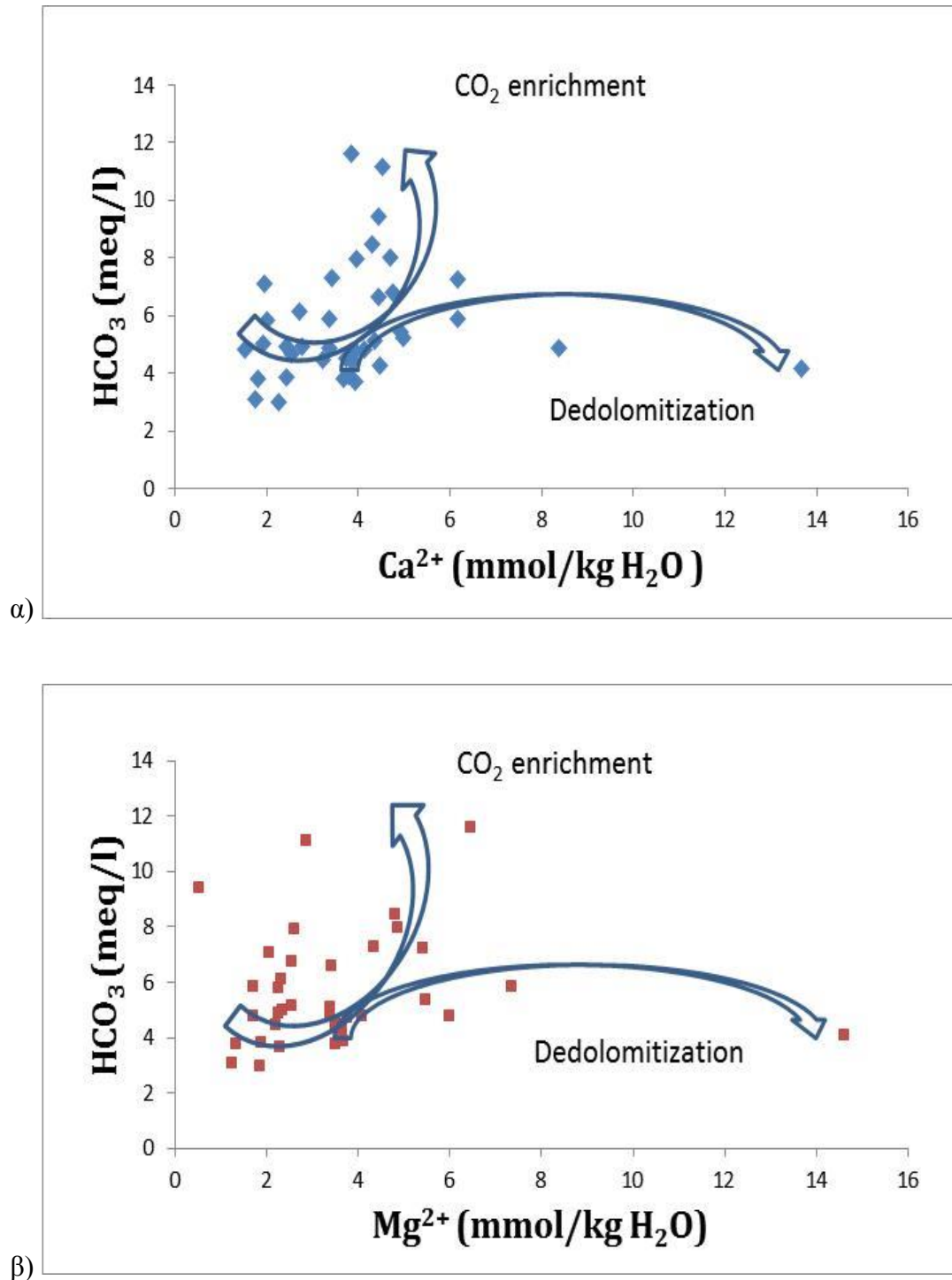
Και επομένως ο λόγος $[Mg^{2+}]/[Ca^{2+}]$ παραμένει σταθερός και ίσος με 0,8 όπως περιγράφεται στην Εξίσωση 22

$$K = \frac{[Mg^{2+}]}{[Ca^{2+}]} = \frac{K_{dol}}{K_{cc}^2} = \frac{10^{-17.09}}{(10^{-8.48})^2} = 0.8 \quad \text{Εξίσωση 8.13}$$

Η αυξημένη συγκέντρωση του Ca^{2+} η οποία προέρχεται από την διάλυση της γύψου/ανυδρίτη προκαλεί σχηματισμό και απόθεση ασβεστίτη. Η συγκέντρωση των HCO_3^- μειώνεται καθώς καθιζάνει ο ασβεστίτης και αυτό οδηγεί στην διάλυση του δολομίτη και αύξηση της συγκέντρωσης του Mg^{2+} . Στην συνέχεια αυξάνεται το Ca^{2+} για να διατηρηθεί ο λόγος $[Mg^{2+}]/[Ca^{2+}]$ σταθερός, σύμφωνα με την Εξίσωση 8.13. Το τελικό αποτέλεσμα είναι ότι εξ' αιτίας της διάλυσης της γύψου μετασχηματίζεται ο δολομίτης σε ασβεστίτη και παράγονται νερά πλούσια σε Mg^{2+} , Ca^{2+} , SO_4^{2-} και μειωμένη σχετικά αλκαλικότητα.

Εξετάζοντας τους δείκτες κορεσμού του δολομίτη, ασβεστίτη, αραγωνίτη, γύψου (Πίνακες 8.24 και 8.25), όπως εξήχθησαν από την χρησιμοποίηση του λογισμικού PHREEQC (Parkhurst, Appelo 2015), διαπιστώνουμε ότι αυτοί είναι μεγαλύτεροι του μηδενός. Στην Εικόνα 8.32 παρουσιάζονται οι δείκτες κορεσμού του ασβεστίτη, δολομίτη και γύψου

συναρτήσει των θεικών ανιόντων. Όπως φαίνεται τα υπόγεια νερά του Θριασίου είναι υπερκορεσμένα σε σχέση με τον ασβεστίτη και δολομίτη και ως εκ τούτου αναμένεται αντίστοιχη απόθεση των ορυκτών αυτών ενώ αντίθετα ισχυρά υποκορεσμένα σε σχέση με την γύψο και ως εκ τούτου αναμένεται η διάλυσή της.



Εικόνα 8.33: Διάγραμμα HCO_3^- (meq/l) συναρτήσει των Ca^{2+} , Mg^{2+} (mmol/kg H_2O).

Στην περίπτωση του φαινομένου της αποδολομιτίωσης, όπως περιγράφεται από τους προαναφερόμενους συγγραφείς ή θα έχουμε διάλυση ασβεστίτη και σχηματισμό δολομίτη (dolomitization) ή το αντίστροφο (dedolomitization). Επίσης, το κείμενο των συγγραφέων οι οποίοι περιγράφουν το φαινόμενο αυτό παραδέχονται μία καλύτερη προσαρμογή της προτεινόμενης γραμμής τάσης για το Ca^{2+} και μία λιγότερο καλή για το Mg^{2+} . Στην συνέχεια προτείνουν έναν δείκτη κορεσμού για το Ca^{2+} $\text{SI}_{\text{cal}}=0.2$ και για το Mg^{2+} $\text{SI}_{\text{dol}}=0$ για να παρακολουθήσουν την πορεία της αντίδρασης. Στην συγκεκριμένη περίπτωση των υπόγειων νερών του Θριασίου Πεδίου έχουμε και τους δύο δείκτες κορεσμού ασβεστίτη και δολομίτη θετικούς $\text{SI}_{\text{cal}} > 0$ και $\text{SI}_{\text{dol}} > 0$ δηλαδή έχουμε ταυτόχρονα απόθεση ασβεστίτη και δολομίτη. Αν με το σκεπτικό των παραπάνω συγγραφέων ο δείκτης κορεσμού του δολομίτη κυμαίνεται $0 < \text{SI}_{\text{dol}} < 1$, όπως εμφανίζεται άλλωστε ο δείκτης στο Θριάσιο, τότε ο λόγος $[\text{Mg}^{2+}] / [\text{Ca}^{2+}]$ παίρνει την τιμή κοντά στο 1, δηλαδή έχουμε την συγκέντρωση του Mg^{2+} να αυξάνεται αρκετά με την διαδικασία του φαινομένου της αποδολομιτίωσης.

Στα διαγράμματα της Εικόνας 8.33 όπου παρουσιάζεται η αλκαλικότητα (HCO_3^- σε meq/l) συναρτήσει των κατιόντων Ca^{2+} , Mg^{2+} (mmol/kg H_2O) φαίνονται δύο περιοχές στις οποίες εξελίσσεται το φαινόμενο της αποδολομιτίωσης και της αύξησης του CO_2 . Η σχεδόν σταθερή πορεία των HCO_3^- με την αύξηση των κατιόντων Ca^{2+} και Mg^{2+} δεν δικαιολογείται από την διάλυση γύψου/ανυδρίτη. Μπορεί να εξηγηθεί από το φαινόμενο της αποδολομιτίωσης με την βοήθεια της αύξησης του CO_2 το οποίο προέρχεται από την αποδόμηση οργανικού υλικού το οποίο υπάρχει πολύ πιθανόν στα Πλειο-Πλειστοκαινικά ιζήματα ή την τροφοδοσία από γεωθερμικά υγρά (Cardenal et al 1994).

8.6.3. Ιοντικοί Λόγοι

Η χημική σύσταση του υπόγειου νερού καθορίζεται από τους γεωλογικούς σχηματισμούς από τους οποίους διέρχεται με αποτέλεσμα η ορυκτολογική τους σύσταση να αποτυπώνεται στον χημισμό του υπόγειου νερού. Η χημική σύσταση του νερού επηρεάζεται και από τις συνθήκες που επικρατούν στην ατμόσφαιρα καθώς επίσης και από τις δραστηριότητες του ανθρώπου.

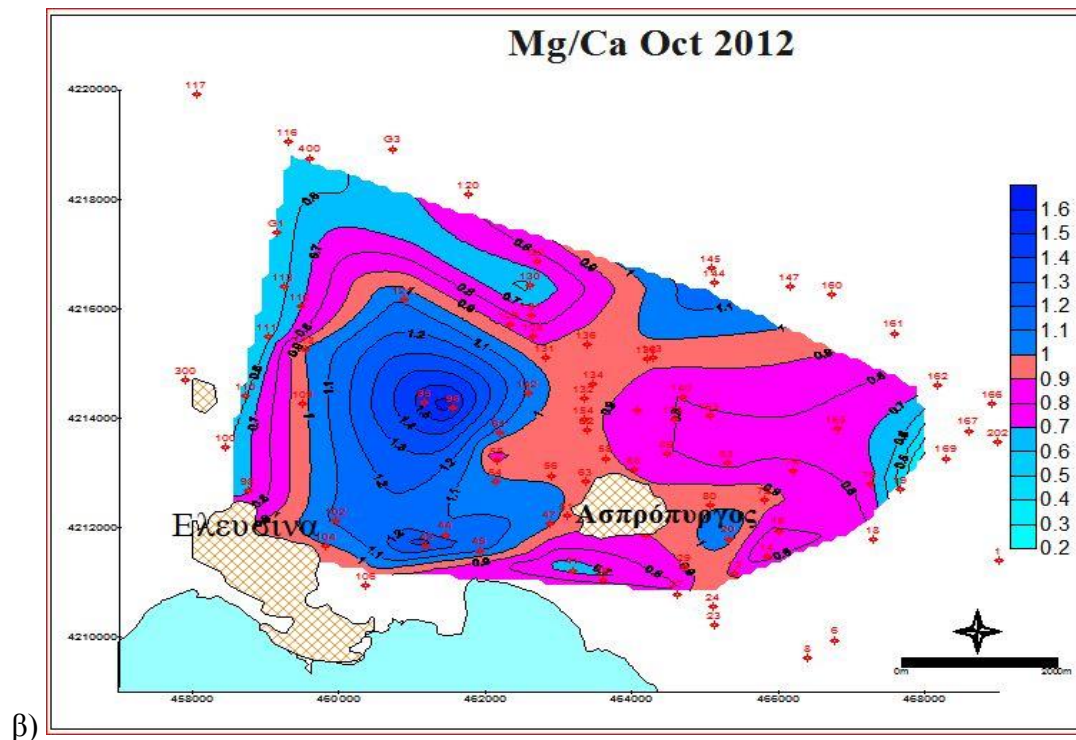
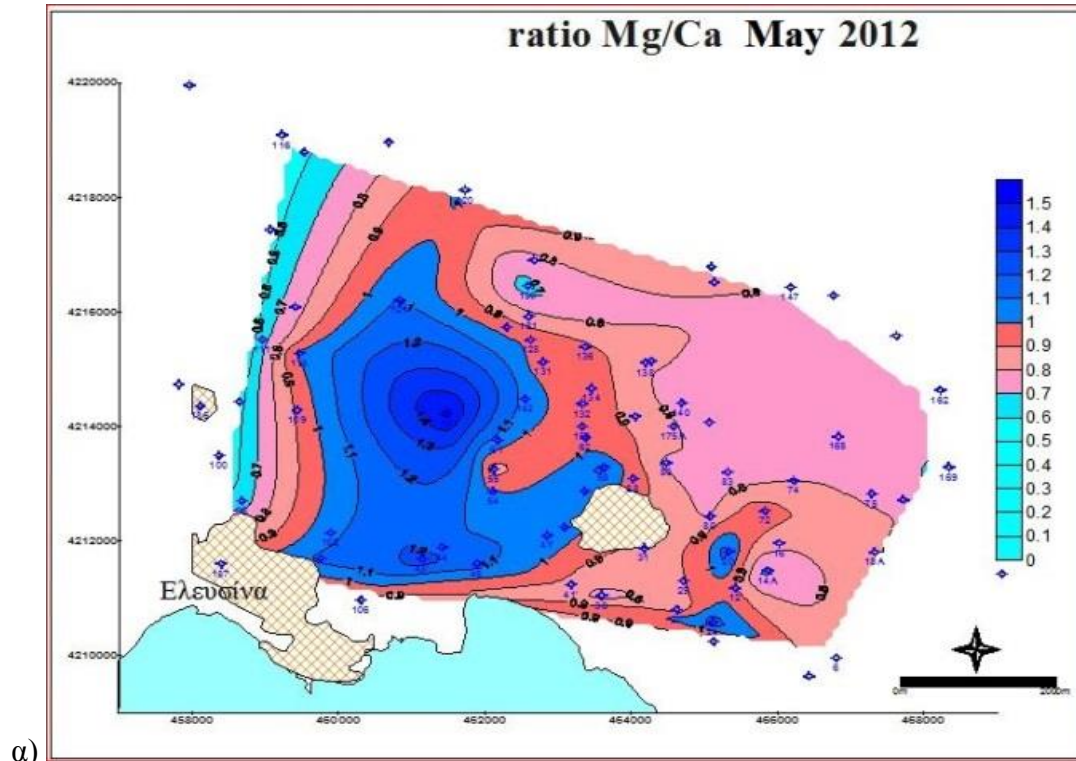
Οι σχέσεις των παραμέτρων μεταξύ τους παίζουν σημαντικό ρόλο στην αναγνώριση της ιστορίας και της διαδρομής του υπόγειου νερού. Έτσι, οι ιοντικοί λόγοι σε μία χημική ανάλυση δίνουν την δυνατότητα εξαγωγής συμπερασμάτων για την προέλευση και την εξέλιξη του υπόγειου νερού. Δηλαδή, να προσδιορισθούν οι περιοχές τροφοδοσίας και φυσικής αναπλήρωσης, η πορεία του υπόγειου νερού και οι σχηματισμοί στους οποίους κινήθηκε καθώς επίσης, κι αν έχει δεχθεί την επίδραση της θάλασσας ή άλλης ρύπανσης. Παρακάτω παρουσιάζονται οι χάρτες κατανομής των διαφόρων ιοντικών λόγων κατά τις αναλύσεις της περιόδου Μαΐου και Οκτωβρίου 2012.

- **Λόγος $\text{Mg}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$ (meq/l)**

Στα ασβεστολιθικά νερά η τιμή κυμαίνεται από 0,5 έως 0,7, ενώ στα δολομιτικά νερά από 0,7 έως 0,9. Λόγοι $> 0,9$ δηλώνουν ανάμιξη με θαλασσινό νερό ή με Mg-ούχα νερά άλμεων που έχουν σχέση με εβαπορίτες ή με Mg-ούχα νερά που κινούνται μέσω πυριτικών πετρωμάτων. Νερά βασαλτών έχουν να επιδείξουν υψηλές τιμές του λόγου εξαιτίας διαλυτοποιήσεων του ολιβίνη που είναι πλούσιος σε μαγνήσιο. Τιμές του λόγου $< 0,5$ ή

γενικά μια πτωτική τάση φανερώνει νερά πλούσια σε Ca^{2+} . Αυξομειώσεις του λόγου μπορεί να επέλθουν και από μεταβολές στη διαλυτότητα του ασβεστίτη CaCO_3 ή η ανυδρίτη CaSO_4 λόγω κατιοντοανταλλαγής με Na^+ και K^+ .

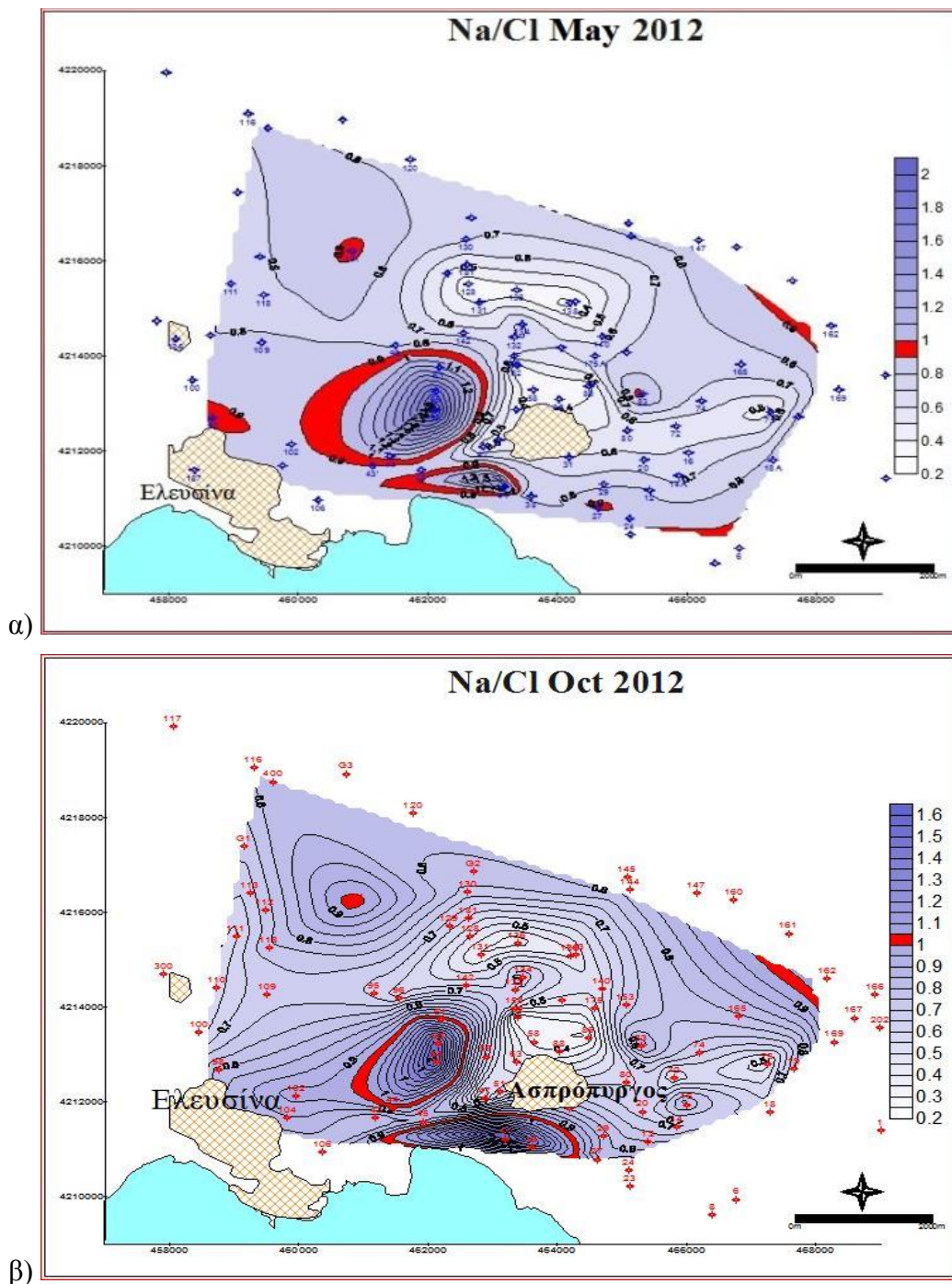
Ο λόγος $\text{meq/l Mg}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$ στα υπόγεια νερά του Θριασίου κυμαίνεται από 0,5-1,5 με μέση τιμή 0,9 τον Μάιο και από 0,1-1,7 με μέση τιμή 0,9 τον Οκτώβριο του 2012.



Εικόνα 8.34: Χάρτης ισοτιμικών καμπυλών του λόγου $\text{Mg}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$ α) Μάιος 2012, β) Οκτώβριος 2012.

- Λόγος Na^+/Cl^- (meq/l)

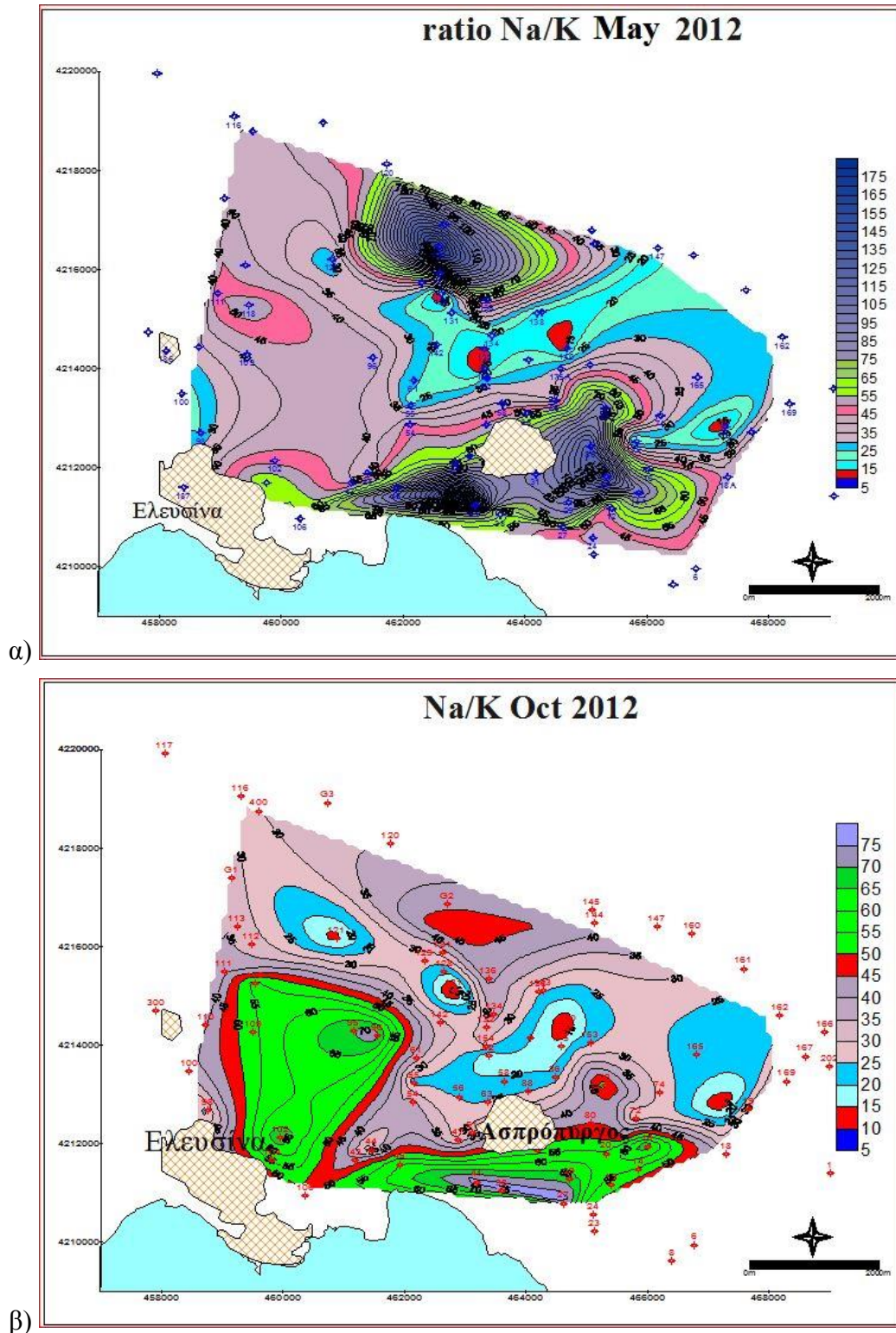
Νερά φρέσκα χαρακτηρίζονται από τιμές που κυμαίνονται από 0,876 έως 1,0. Ίδια τιμή παρουσιάζει και το θαλασσινό νερό. Ανεπάρκεια Na^+ σε σχέση με το Cl^- μπορεί να συμβεί λόγω κατιοντοανταλλαγής του Na^+ από αλκαλικές γαίες. Λόγοι με τιμές $> 1,0$ χαρακτηρίζουν νερά που κινούνται μέσω κρυσταλλικών ή ηφαιστειακών πετρωμάτων. Λόγοι $< 0,7$ υποδεικνύουν απώλεια Na^+ από καθίζηση αλάτων εβαποριτών ή φαινόμενα κατιοντοανταλλαγής. Ο λόγος Na^+/Cl^- στα υπόγεια νερά του Θριασίου κυμαίνεται από 0,26-2,13 με μέση τιμή 0,78 τον Μάιο και 0,28-1,62 με μέση τιμή 0,75 τον Οκτώβριο του 2012.



Εικόνα 8.35: Χάρτης καμπυλών του λόγου Na/Cl (meq/l) α) Μάιος 2012 β) Οκτώβριος 2012.

- Λόγος Na^+/K^+ (meq/l)

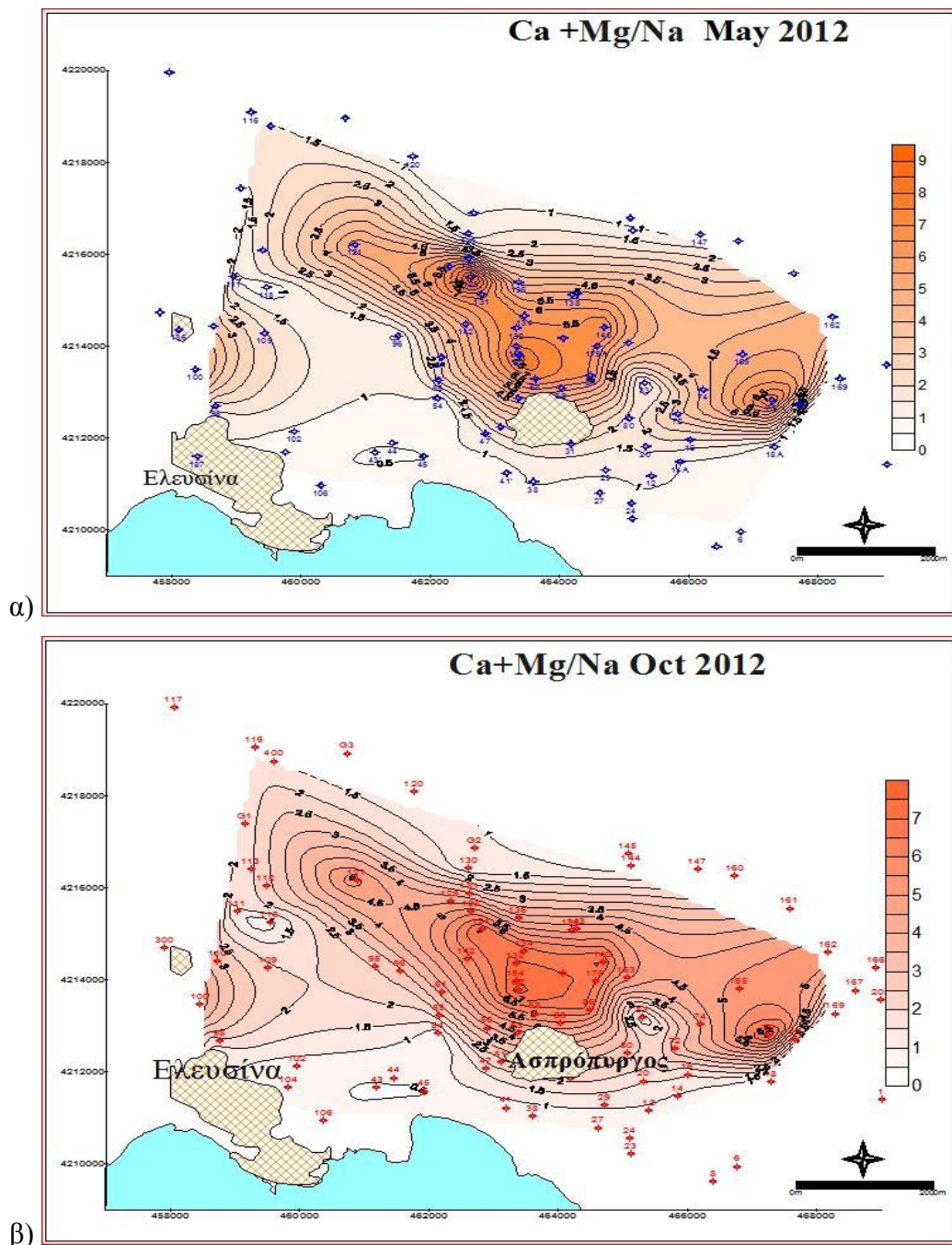
Κοντά σε περιοχές αναπλήρωσης και πλευρικής τροφοδοσίας με φρέσκα νερά η μέση τιμή του λόγου κυμαίνεται μεταξύ 15 και 25, επειδή το K^+ στις ζώνες αυτές παρουσιάζει μικρές συγκεντρώσεις λόγω προσρόφησης του σε αργίλους ή και σε προϊόντα αποσάθρωσης των υδρολιθολογικών σχηματισμών.



Εικόνα 8.36: Κατανομή του λόγου Na^+/K^+ (meq/l) α) Μάιος 2012 β) Οκτώβριος 2012.

Σε συγκεκριμένες άλμες ο λόγος είναι < 15 , σε βρόχινο νερό ο λόγος είναι < 10 , σε θαλασσινό νερό ο λόγος είναι $\cong 47$, σε κατάντη ζώνες των υδροφόρων στρωμάτων ο λόγος κυμαίνεται μεταξύ 50 και 70 (ανταλλαγές Ca^{2+} από Na^+). Σε ηφαιστειακά ή εκρηξιγενή πετρώματα ο λόγος εξαρτάται από τη συγκέντρωση των δύο αυτών στοιχείων στο πέτρωμα καθώς και από συγκεκριμένες ιδιότητες των προϊόντων αποσάθρωσής τους.

Ο λόγος Na^+/K^+ (meq/l) στο Θριάσιο κυμαίνεται από 8,6 - 200 με μέση τιμή 50 τον Μάιο και από 6,7-1161 με μέση τιμή 68 τον Οκτώβριο του 2012. Στην Εικόνα 8.36 ο λόγος υποδεικνύει τροφοδοσία με φρέσκο νερό ΒΑ προέλευσης τον Οκτώβριο ενώ αντίθετα στο δυτικό και νότιο τμήμα του πεδίου υποδεικνύει διεργασίες κατιοντοανταλλαγής.



Εικόνα 8.37: Λόγος (meq/l) (Ca+Mg)/Na α) Μάιος 2012 β) Οκτώβριος 2012.

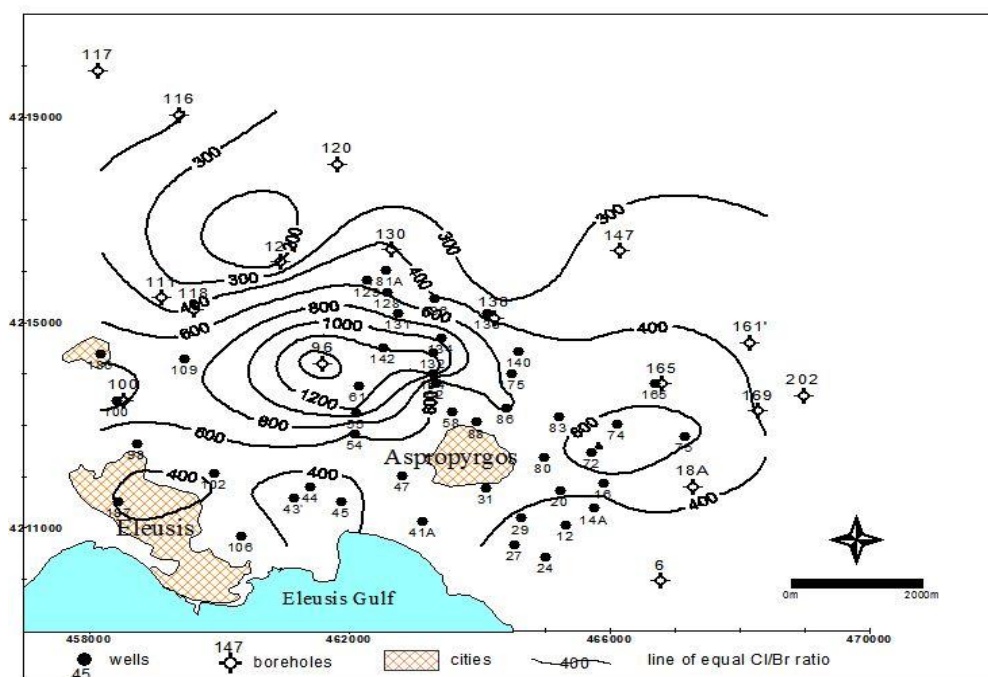
- **Λόγος (Ca+Mg)/Na (meq/l)**

Στις περιοχές όπου λαμβάνει χώρα φυσική τροφοδοσία του υδροφόρου ορίζοντα ή και πλευρική τροφοδοσία με φρέσκο νερό ο λόγος παρουσιάζεται > 1 . Σε όλες τις κατάντη ζώνες ο λόγος είναι < 1 . Στα υπεραλμυρά νερά με ταυτόχρονη αποβολή του NaCl σαν ίζημα, ο λόγος παρουσιάζει υψηλές τιμές.

Ο λόγος στα υπόγεια νερά του Θριασίου κυμαίνεται από 0,4-9,7 με μέση τιμή 2,9 τον Μάιο και από 0,4-9,5 με μέση τιμή 3 τον Οκτώβριο του 2012 (Εικόνα 8.37). Από τους χάρτες κατανομής του λόγου φαίνεται ότι υπάρχει τροφοδοσία από τα ΒΑ του πεδίου και από τα ΒΑ ενώ στην κεντρική περιοχή ο λόγος είναι αυξημένος υποδεικνύοντας αντίστροφη κατιοντοανταλλαγή Na^+ από Ca^{2+} και Mg^{2+} .

- **Λόγος Cl^-/Br^-**

Ο λόγος αυτός είναι πολύ χρήσιμος σε περιοχές διείσδυσης της θάλασσας σε παράκτιες περιοχές καθώς και στην προσδιορισμό άλλων πηγών αλατότητας είτε φυσικών όπως διάλυση εβαποριτών, εξάτμισης, μίξης κ.α. είτε ανθρωπογενούς προέλευσης αστικών, κτηνοτροφικών λυμάτων ή άλλων γεωργικών εφαρμογών (βλέπε αναλυτικότερα στην παράγραφο 8.7).

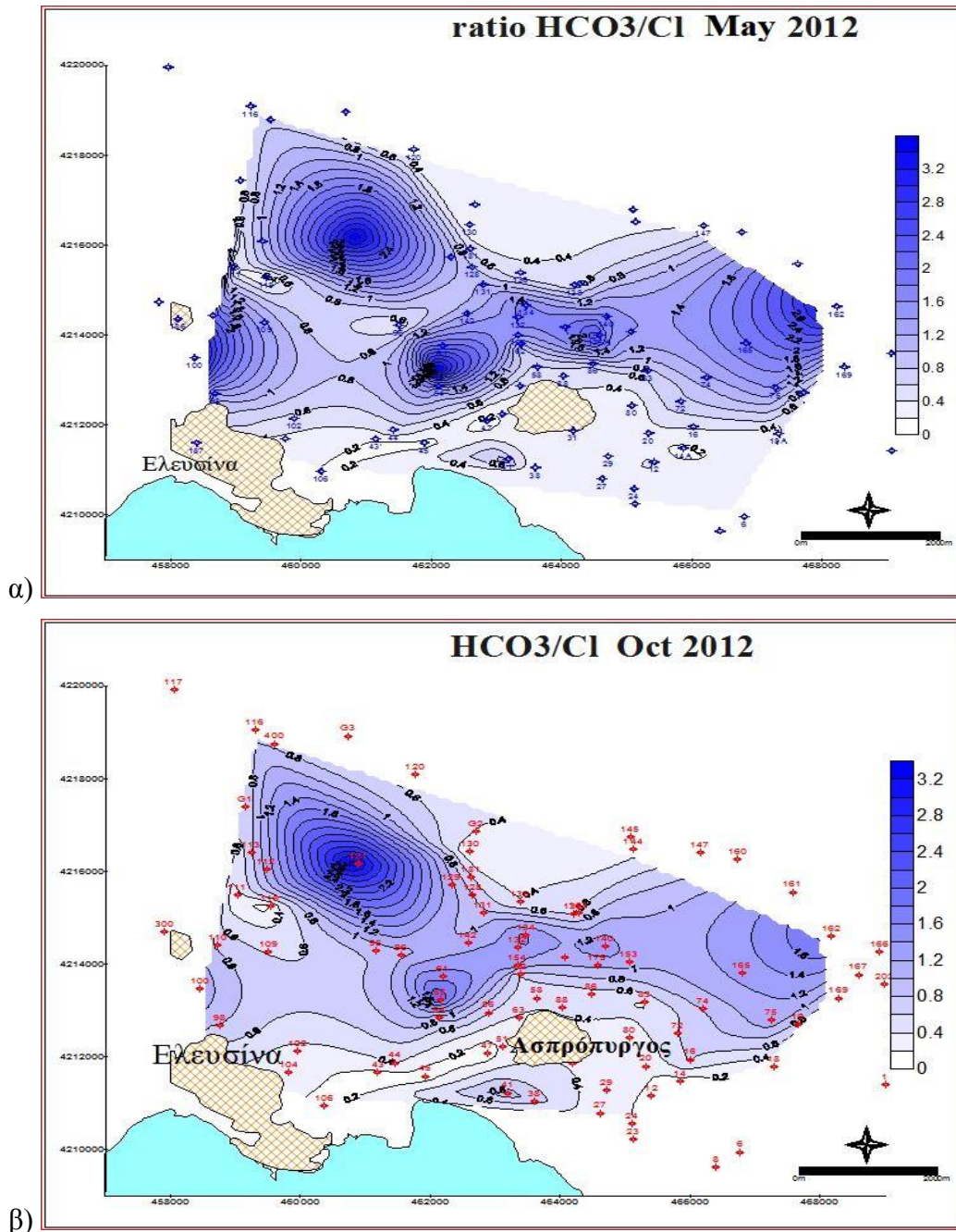


Εικόνα 8.38: Λόγος μαζών Cl^-/Br^- Οκτώβριος 2012 (Hermides and Stamatis 2017)

Ο λόγος μαζών Cl^-/Br^- κυμαίνεται από 106-612 (239-1380 mmol/l) με μέση τιμή 312 (703 mmol/l) τον Μάιο και από 114-1510 (256-3403 mmol/l) με μέση τιμή 461 (1226 mmol/l) τον Οκτώβριο του 2012. Ο λόγος υποδεικνύει διάλυση υπολειμματικών εβαποριτικών αλάτων αλλά και επίδραση αστικών και λοιπών λυμάτων (Davis et al. 1998, Andreasen and Fleck 1997, Fabryka-Martin et al. 1991). Εβαπορίτες δεν έχουν αναγνωρισθεί στην περιοχή, αλλά είναι πιθανή η παρουσία τους στην περιοχή λόγω της επανειλημμένης αυξομείωσης της στάθμης της θάλασσας εξ' αιτίας κλιματικών και ευστατικών αιτιών (Lambeck 1996).

- Λόγος HCO_3/Cl (meq/l)

Στις περιοχές όπου λαμβάνει χώρα φυσική τροφοδοσία επικρατούν τα οξυανθρακικά, η συγκέντρωση των οποίων αυξάνει συνεχώς μέχρι ενός ορίου που καθορίζεται από το γινόμενο διαλυτότητας του CaCO_3 . Επίσης, οι συγκεντρώσεις των θεικών και των χλωριόντων αυξάνουν κατάντι. Οι συγκεντρώσεις των χλωριόντων αυξάνουν με ταχύτερο ρυθμό, μέχρι αυτά να επικρατήσουν, παρά το γεγονός ότι και η συγκέντρωση των θεικών αυξάνει παράλληλα αλλά δεν φτάνει στο γινόμενο διαλυτότητας του CaSO_4 .



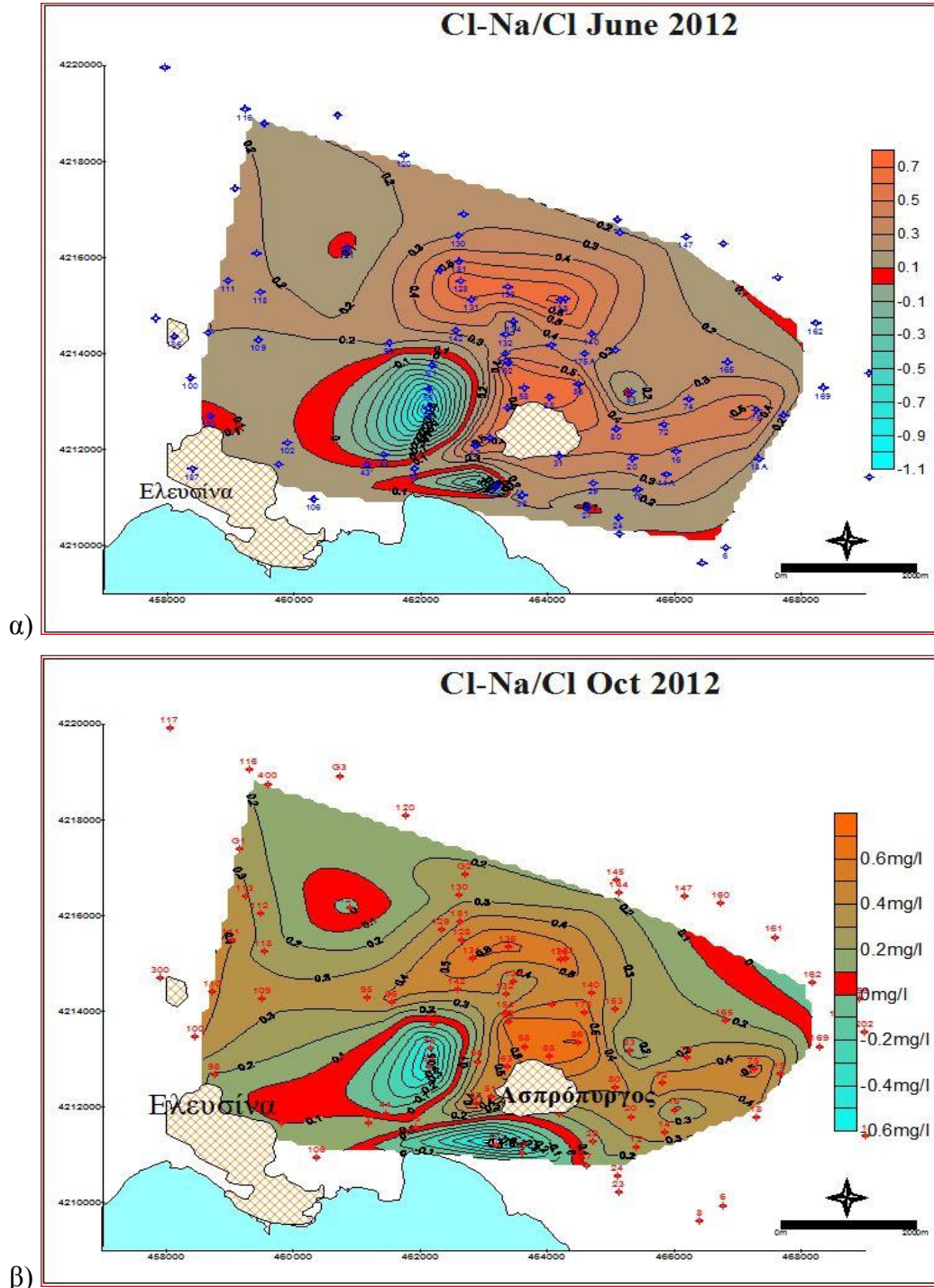
Εικόνα 8.39: Λόγος μαζών HCO_3/Cl στα υπόγεια νερά του Θριασίου α) Μάιος 2012, β) Οκτώβριος 2012.

Ο λόγος κυμαίνεται από 0,1-3,7 με μέση τιμή 0,9 τον Μάιο και από 0,1-3,7 με μέση τιμή 0,8 τον Οκτώβριο του 2012. Στους παραπάνω χάρτες φαίνονται δύο περιοχές τροφοδοσίες, από

τα ΒΑ και ΒΔ της περιοχής συμφωνώντας απόλυτα με την κατανομή του λόγου $Ca^{2+}+Mg^{2+}/Na^{+}$ στην προηγούμενη παράγραφο.

- Λόγος (Cl-Na)/Cl (meq/l)

Ο λόγος περιγράφει την ανεπάρκεια ή το πλεόνασμα του Na^{+} στα υπόγεια νερά.

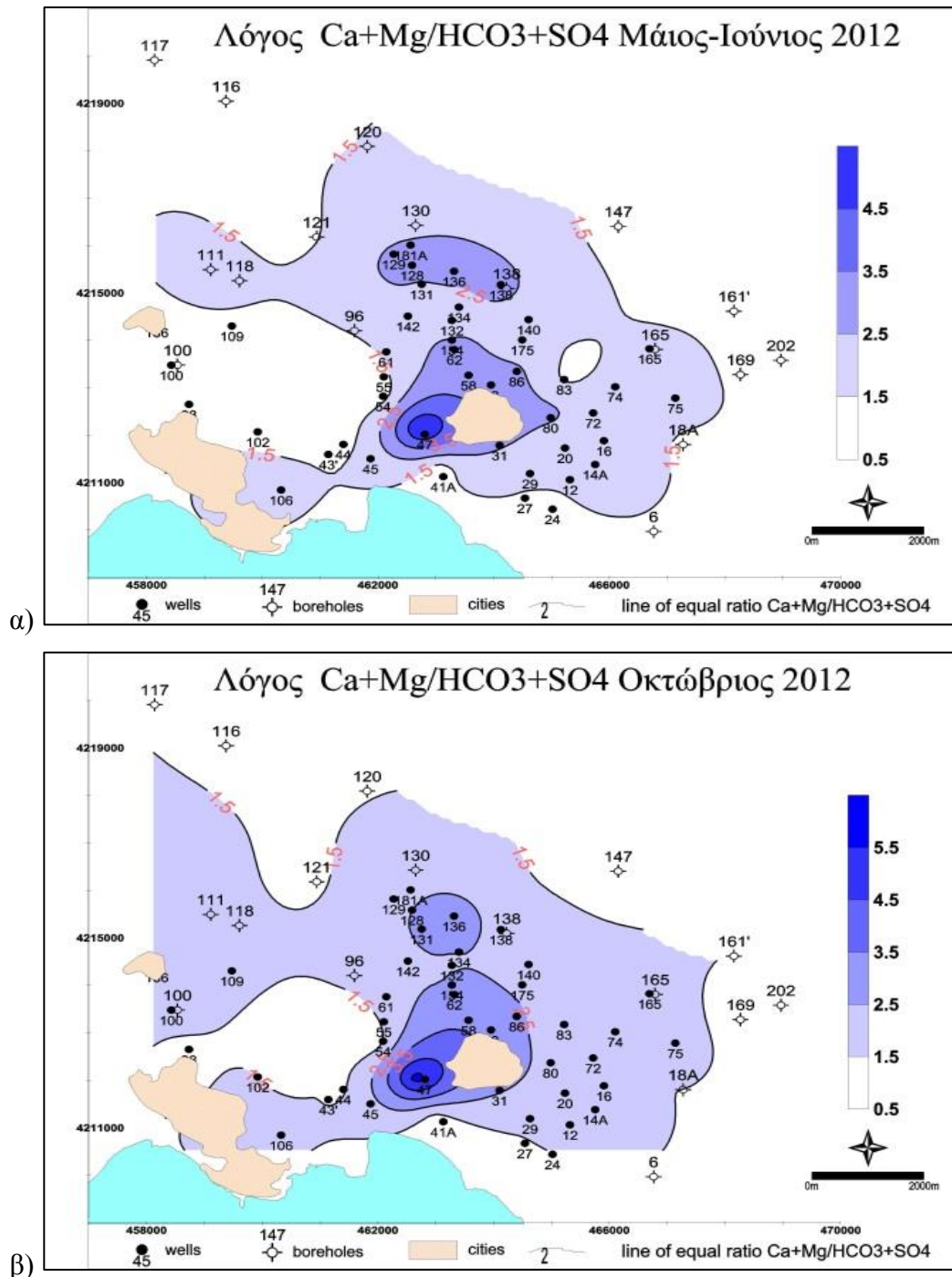


Εικόνα 8.40: Λόγος μαζών Cl-Na/Cl στα υπόγεια νερά του Θριασίου α) Μάιος 2012, β) Οκτώβριος 2012.

Ανεπάρκεια Na^{+} σε σχέση με το Cl^{-} μπορεί να υπάρξει όταν το υπόγειο νερό το οποίο περιέχει Na^{+} περάσει από πετρώματα πλούσια σε αλκαλικές γαίες και λάβει χώρα

κατιοντοανταλλαγή του Na^+ από Ca^{2+} ή K^+ . Σε ζώνες διείσδυσης θαλασσινού νερού η τιμή του λόγου τείνει προς το μηδέν ενώ πλεόνασμα Na^+ υποδεικνύει κατιοντοανταλλαγή ή είσοδο φρέσκου νερού σε υφαλμυρισμένο υδροφόρο (Appelo and Postma 1993).

Ο λόγος κυμαίνεται από -1,1 έως 0,7 με μέση τιμή 0,2 τον Μάιο και από -0,6 έως 0,7 με μέση τιμή 0,3 τον Οκτώβριο του 2012.

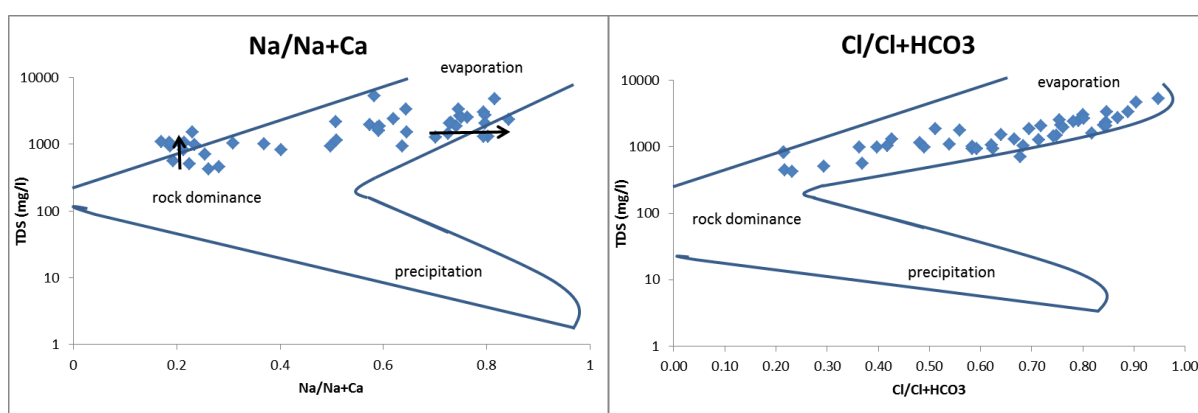


Εικόνα 8.41: Λόγος $(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})/(\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-})$ α) Μάιος β) Οκτώβριος 2012.

- Λόγος $(Ca^{2+} + Mg^{2+}) / (HCO_3^- + SO_4^{2-})$ (meq/l)

Ο λόγος υποδεικνύει γεωχημικές διεργασίες κατιοντοανταλλαγής και αντίστροφης κατιοντοανταλλαγής και αναγωγής θεικών. Ισούται με την μονάδα σε περιπτώσεις διάλυσης ασβεστίτη, δολομίτη και γύψου. Τιμές λόγου < 1 υποδεικνύει φαινόμενα κατιοντοανταλλαγής ενώ τιμές > 1 σε αντίστροφης κατιοντοανταλλαγής (Cerling et al 1989, Lloyd and Heathcote 1985). Πλεόνασμα $Ca^{2+} + Mg^{2+}$ παραπέμπει σε ανταλλαγή Na^+ από Ca^{2+} ή/και Mg^{2+} σε αργιλικά υλικά.

Ο λόγος κυμαίνεται από 0,6 έως 5,7 με μέση τιμή 1,9 τον Μάιο και από 0,8 έως 6 με μέση τιμή 1,9 τον Οκτώβριο του 2012. Στην Εικόνα 8.41 φαίνεται η έκταση η οποία λαμβάνει το φαινόμενο της αντίστροφης κατιοντοανταλλαγής στα υπόγεια νερά του Θριασίου. Το Na^+ ανταλλάσσεται από Ca^{2+} και Mg^{2+} στα αργιλικά υλικά των Πλειστοκαινικών ιζημάτων.



Εικόνα 8.42: Διαγράμματα Gibbs. Μηχανισμοί που ελέγχουν την ποιότητα και την σύσταση του υπόγειου νερού, ιοντικοί (meq/l) λόγοι α) $Na/Na+Ca$ και β) $Cl/Cl+HCO_3$.

8.6.4. Διαγράμματα Gibbs

Η υψηλή μέση τιμή της εξατμισοδιαπνοής περίπου 68% (Παρασχούδης 2002) και κατά την περίοδο των αρδεύσεων ακόμη μεγαλύτερη, προκαλεί μία μεγάλη αύξηση στην συγκέντρωση των αλάτων των νερών των αρδεύσεων και κατ' επέκταση στα νερά τα οποία επιστρέφουν στον υδροφόρο ορίζοντα. Στην Εικόνα 8.42 παρουσιάζεται το διάγραμμα Gibbs (1970), όπου απεικονίζεται με τις δύο του μορφές η σχέση μεταξύ της σύστασης του υπόγειου νερού και του λιθολογικού χαρακτήρα του υδροφορέα. Το διάγραμμα συσχετίζει το TDS (mg/l) με το λόγο (meq/l) $Na/Na+Ca$ και τον λόγο (meq/l) $Cl/Cl+HCO_3$. Το διάγραμμα ξεχωρίζει τρεις περιοχές, μία όπου επικρατεί το φαινόμενο της εξάτμισης με αποτέλεσμα την αύξηση του TDS, μία όπου επικρατεί το φαινόμενο της διάλυσης και αλληλοεπίδρασης με το υλικό του υδροφορέα και μία όπου επικρατεί η απόθεση υλικού. Τα βέλη δείχνουν εξελικτική πορεία του νερού. Αποτέλεσμα επίσης, της υψηλής εξατμισοδιαπνοής είναι και το γεγονός ότι το Ca αυξάνεται και υπερτερεί έναντι των HCO_3 (Appelo and Postma 1993).

Αξίζει δε, να αναφερθεί ότι στις γεωτρήσεις όπου επηρεάζονται από την θάλασσα όπως στους ασβεστολίθους οι οποίοι έχουν άμεση υδραυλική επαφή με την θάλασσα, η αγωγιμότητα κυμαίνεται έως την τιμή των 4400 $\mu S/cm$. Επομένως τιμές αγωγιμότητας της

τάξης των 5000-9000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ παραπέμπουν σε ανθρωπογενή παρέμβαση ή άλλα φυσική διεργασία.

8.6.5. Διαγράμματα συσχέτισης (X-Y)

Η ολική συγκέντρωση διαλυμένων αλάτων αποτελεί βασικό ποιοτικό χαρακτηριστικό στοιχείο των υπογείων νερών. Διερευνήθηκε η συσχέτισης διαφόρων παραμέτρων μεταξύ τους όπως των παρακάτω: EC-TDS, EC-Na, EC-Cl, EC-NaCl, $\text{NO}_3\text{-Cl}$, $\text{NO}_2\text{-Cl}$, $\text{NO}_3\text{-NO}_2$, Na-Cl, Na- SO_4 , (Ca+Mg)/ HCO_3 , (Ca+Mg)/ ($\text{HCO}_3\text{+SO}_4$). Η συσχέτιση βοηθά στην πληρέστερη γνώση και αποτύπωση της ποιότητας των υπόγειων νερών του Θριασίου Πεδίου αλλά και κατανόησης των υδρογεωλογικών συνθηκών που επικρατούν στην περιοχή καθώς επίσης και της επικοινωνίας ή όχι των υδροφόρων με την θάλασσα.

- Διαγράμματα TDS-EC, EC-Cl και EC-NaCl

Στο διάγραμμα της Εικόνας 8.43 παρουσιάζεται η σχέση TDS και EC για τις δύο κύριες περιόδους δειγματοληψίας με πολύ μεγάλο βαθμό συσχέτισης $r^2=0.993$. Τον Ιανουάριο οι μετρήσεις είναι λίγες και υπάρχει μεγαλύτερη διασπορά τιμών οπότε και δεν λαμβάνεται υπ' όψιν παρά μονάχα ως ενδεικτική τιμή $\text{TDS}=0,62*\text{EC}-110$.

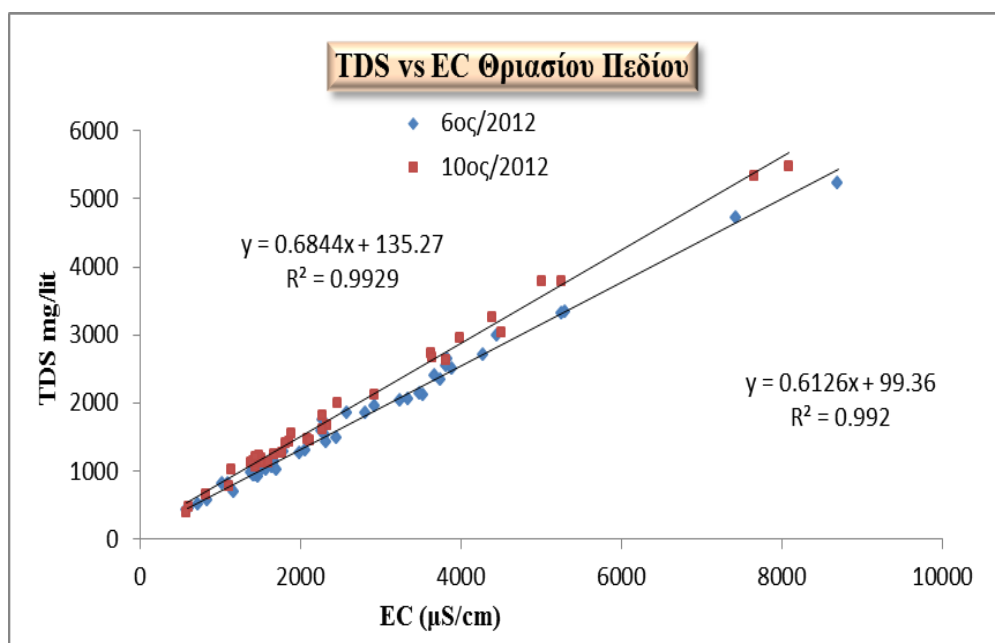
Παρακάτω η Εξίσωση 8.14 παρουσιάζει την σχέση για τις υψηλές στάθμες του Μαΐου 2012, ενώ η Εξίσωση 8.15 για τις χαμηλές στάθμες του Οκτωβρίου 2012

$$\text{TDS}=0,6126 \text{ EC}+99$$

Εξίσωση 8.14

$$\text{TDS}=0,6844 \text{ EC}+135$$

Εξίσωση 8.15



Εικόνα 8.43: Διάγραμμα μεταβολής του TDS συναρτήσει της EC στα υπόγεια νερά του Θριασίου πεδίου (Μάιος-Οκτώβριος 2012).

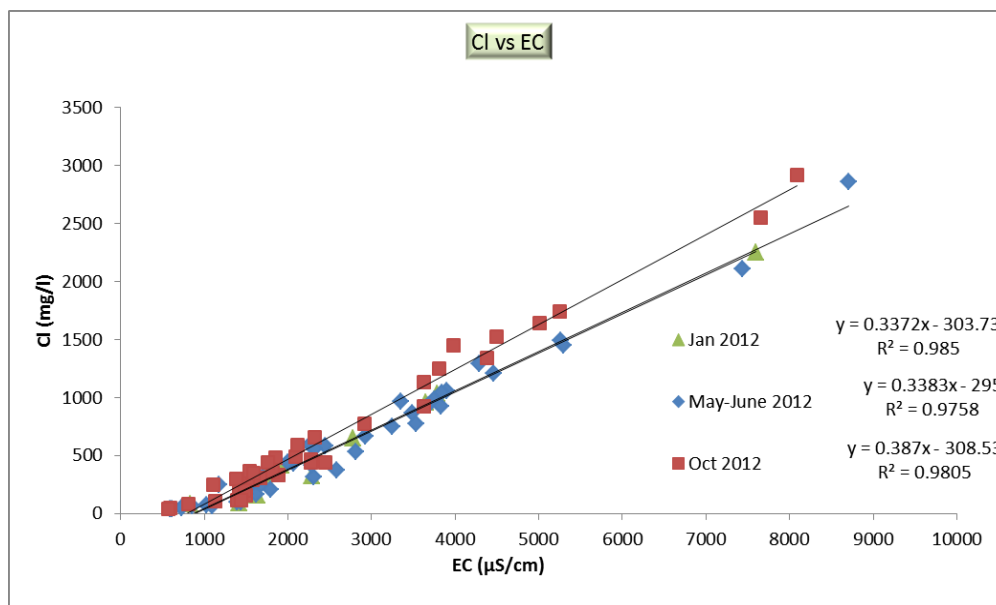
Στο διάγραμμα της Εικόνας 8.44 παρουσιάζεται η συγκέντρωση των χλωριόντων συναρτήσει της αγωγιμότητας. Οι δύο παράμετροι συσχετίζονται κατά 98% ενώ παρακάτω η Εξίσωση 8.16 παρουσιάζει την σχέση για τις υψηλές στάθμες του Μαΐου 2012 και η Εξίσωση 8.17 για τις χαμηλές στάθμες του Οκτωβρίου 2012

$$Cl=0,338*EC-295$$

Εξίσωση 8.16

$$Cl=0,387*EC-308$$

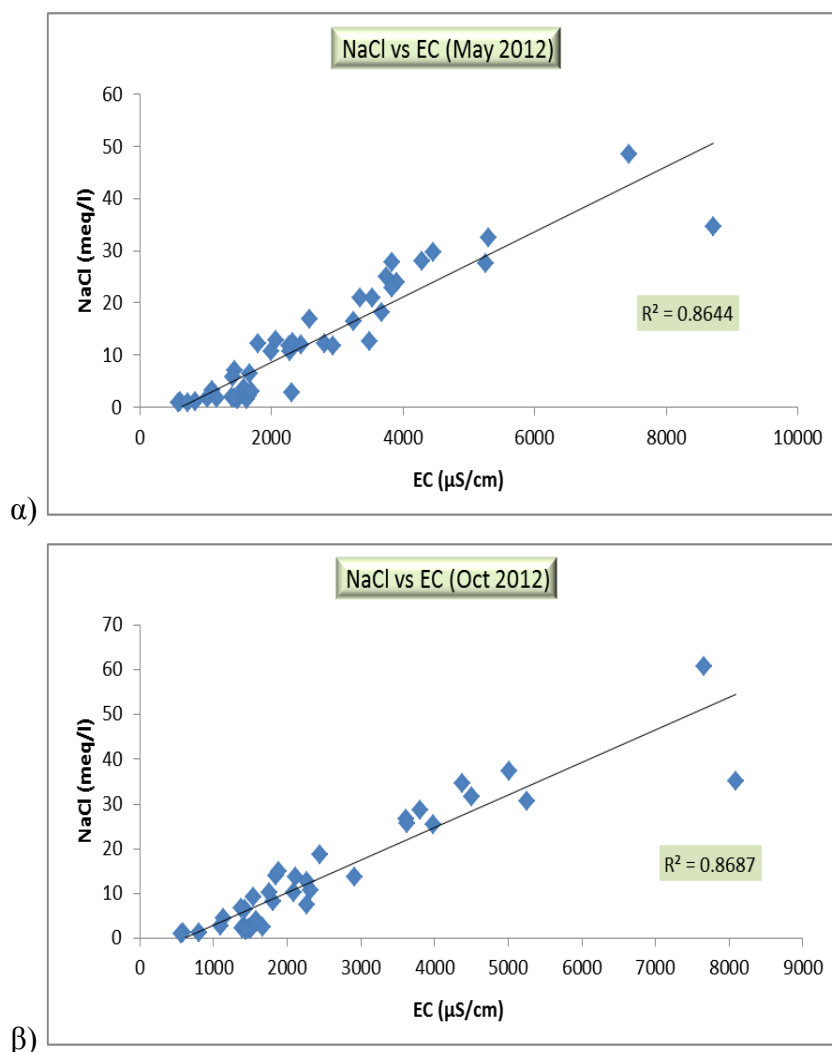
Εξίσωση 8.17



Εικόνα 8.44: Διάγραμμα μεταβολής των χλωριόντων συναρτήσει της EC στα υπόγεια νερά του Θριασίου πεδίου (Ιανουάριος-Μάιος-Οκτώβριος 2012).

Στα διαγράμματα της Εικόνας 8.45 παρουσιάζεται η συγκέντρωση του NaCl συναρτήσει της αγωγιμότητας α) για τον Μάιο και β) για τον Οκτώβριο. Οι δύο παράμετροι συσχετίζονται κατά 86% και 87% αντίστοιχα.

Από την μελέτη των διαγραμμάτων Cl συναρτήσει EC και NaCl συναρτήσει EC βγαίνει το εξής συμπέρασμα: Το Cl⁻ συσχετίζεται κατά 98% με την αγωγιμότητα ενώ το NaCl συσχετίζεται κατά 86% γεγονός που υποδηλώνει ότι το μέρος της συγκέντρωσης του Cl⁻ δεν προέρχεται από το NaCl αλλά πολύ πιθανόν από ανθρωπογενή δραστηριότητα αλλά και επίσης τμήμα της συγκέντρωσης Na έχει πολύ πιθανόν ανταλλαχθεί με Ca μέσω του φαινομένου της κατιοντοανταλλαγής.



Εικόνα 8.45: Διαγράμματα (EC-NaCl) α) Μαΐου και β) Οκτωβρίου 2012.

- **Διαγράμματα χλωριόντων – νιτρικών - νιτρωδών**

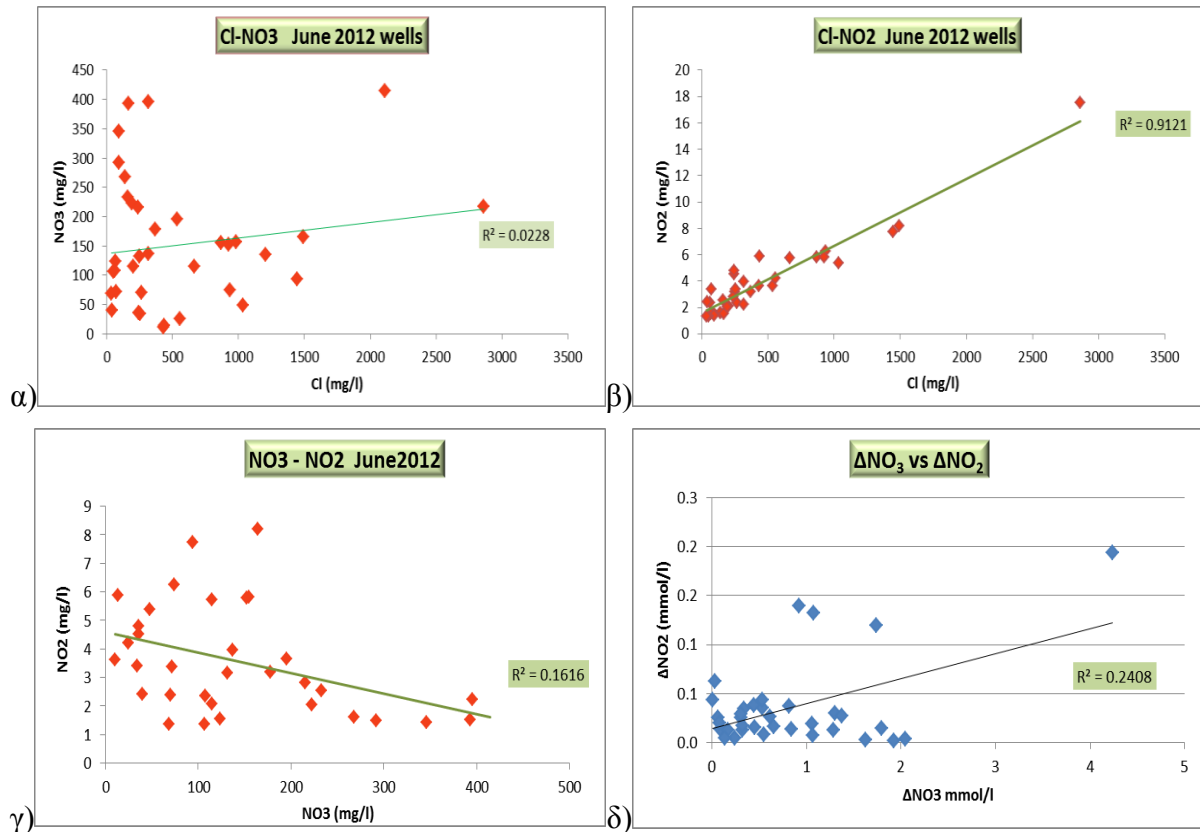
Στην Εικόνα 8.46 παρουσιάζεται η συγκέντρωση των νιτρικών και νιτρωδών συναρτήσει της συγκέντρωσης των χλωριόντων καθώς επίσης τα νιτρώδη συναρτήσει των νιτρικών. Στην ίδια Εικόνα 8.46δ) συσχετίζεται η διαφορά της συγκέντρωσης νιτρικών μεταξύ Μαΐου και Οκτωβρίου και η διαφορά νιτρωδών μεταξύ Μαΐου και Οκτωβρίου. Το σχήμα κατασκευάστηκε ως εξής:

Η οξείδωση των νιτρωδών προς νιτρικά ακολουθεί την παρακάτω αντίδραση (Εξίσωση 8.18).



Δηλαδή 1 mol NO_2^- οξειδώνεται και σχηματίζει 1 mol NO_3^- . Αν τα νιτρικά προέρχονταν μόνο από την οξείδωση των νιτρωδών θα έπρεπε η συσχέτιση της διαφοράς νιτρικών και της διαφοράς νιτρωδών μεταξύ Μαΐου και Οκτωβρίου να πλησίαζε το $r^2=1$. Στην συγκεκριμένη περίπτωση η συσχέτισή τους είναι $r^2=0.24$. Αυτό στην πραγματικότητα μεταφράζεται στο

γεγονός ότι όλα τα νιτρικά δεν προέρχονται αποκλειστικά από την οξείδωση των νιτρωδών. Επομένως συνάγεται το συμπέρασμα ότι τα νιτρικά προέρχονται κατά ένα μέρος από την οξείδωση των νιτρωδών και τα υπόλοιπα νιτρικά προέρχονται από ανθρωπογενείς παράγοντες. Η οξείδωση των νιτρωδών έχει, επίσης, ως αποτέλεσμα την αύξηση των HCO_3^- και του pH η οποία όντως παρατηρείται στα αντίστοιχα νερά από τον Μάιο στον Οκτώβριο.



Εικόνα 8.46: Διαγράμματα α) Cl^- - NO_3^- , β) Cl^- - NO_2^- , γ) NO_3^- - NO_2^- και δ) διαφορές ΔNO_3^- - ΔNO_2^- μεταξύ Μαΐου και Οκτωβρίου 2012.

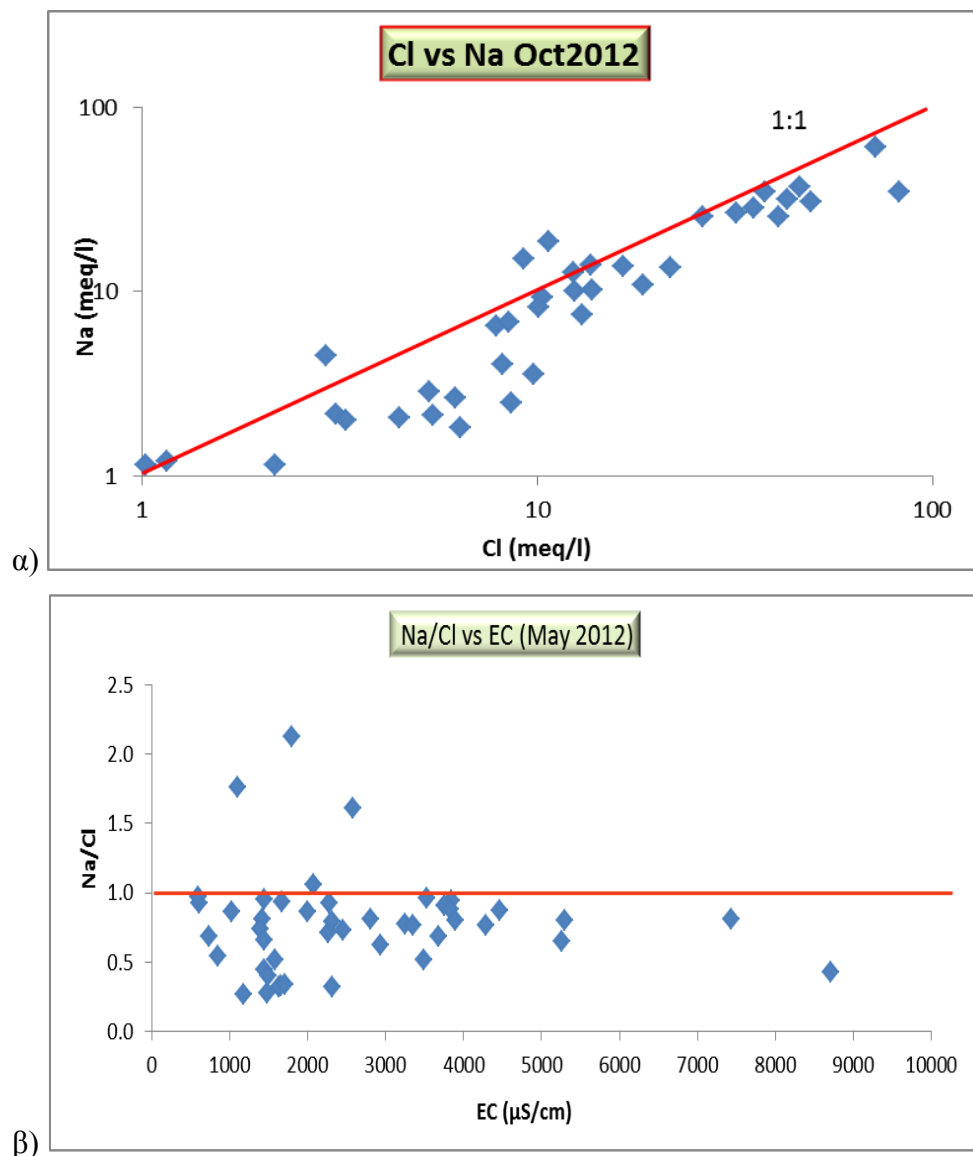
Από τα παραπάνω διαγράμματα της Εικόνας 8.46 βγαίνουν τα εξής συμπεράσματα:

- α. Η μεγάλη διασπορά των σημείων υποδεικνύει την πολύ μικρή συσχέτιση των NO_3^- με το Cl^- ($r^2=0.07$), επομένως βγαίνει το συμπέρασμα ότι τα NO_3^- προέρχονται κυρίως από λιπάσματα και λιγότερο από αστικά και κτηνοτροφικά λύματα. Επίσης συμπεραίνεται ότι το Cl^- δεν προέρχεται τόσο από λιπάσματα αλλά από άλλη δραστηριότητα όπως πιθανόν αστικά λύματα και κατά θέσεις όπως έχει διαπιστωθεί από τον συγγραφέα από απορρυπαντικά είτε των επιχειρήσεων στάθμευσης εισαγωγής αυτοκινήτων, είτε των επιχειρήσεων καθαρισμού χαλιών, είτε των βυρσοδεψείων κλπ. δραστηριοτήτων.
- β. Το Cl^- συσχετίζεται πολύ καλά με τα NO_2^- ($r^2=0.92$) γεγονός που σημαίνει ότι μέρος της συγκέντρωσης του Cl^- προέρχεται από αστικά και κτηνοτροφικά λύματα.

γ. Τα NO_3^- και τα NO_2^- συσχετίζονται αρνητικά μεταξύ τους κατά ένα μικρό ποσοστό και τα πρώτα αυξάνονται με την μείωση των δεύτερων και επίσης ότι ποσοστό των νιτρικών προέρχεται από οξείδωση των νιτρωδών.

- **Διαγράμματα α) (Cl^- - Na^+), β) (EC - Na^+/Cl^-)**

Στο διάγραμμα συσχέτισης Na^+ (meq/l) συναρτήσει του Cl^- (meq/l) της Εικόνας 8.47α φαίνεται ότι τα περισσότερα σημεία βρίσκονται κάτω από την γραμμή 1:1 υποδηλώνοντας έλλειμμα νατρίου. Αυτό ερμηνεύεται ως μείωση των κατιόντων νατρίου από φαινόμενα κατιοντοανταλλαγής, ενώ τιμές αρκετά χαμηλές υποδηλώνουν ισχυρή αντίστροφη κατιοντοανταλλαγής παλαιών Cl - Na νερών ή διάλυση εβαποριτών.

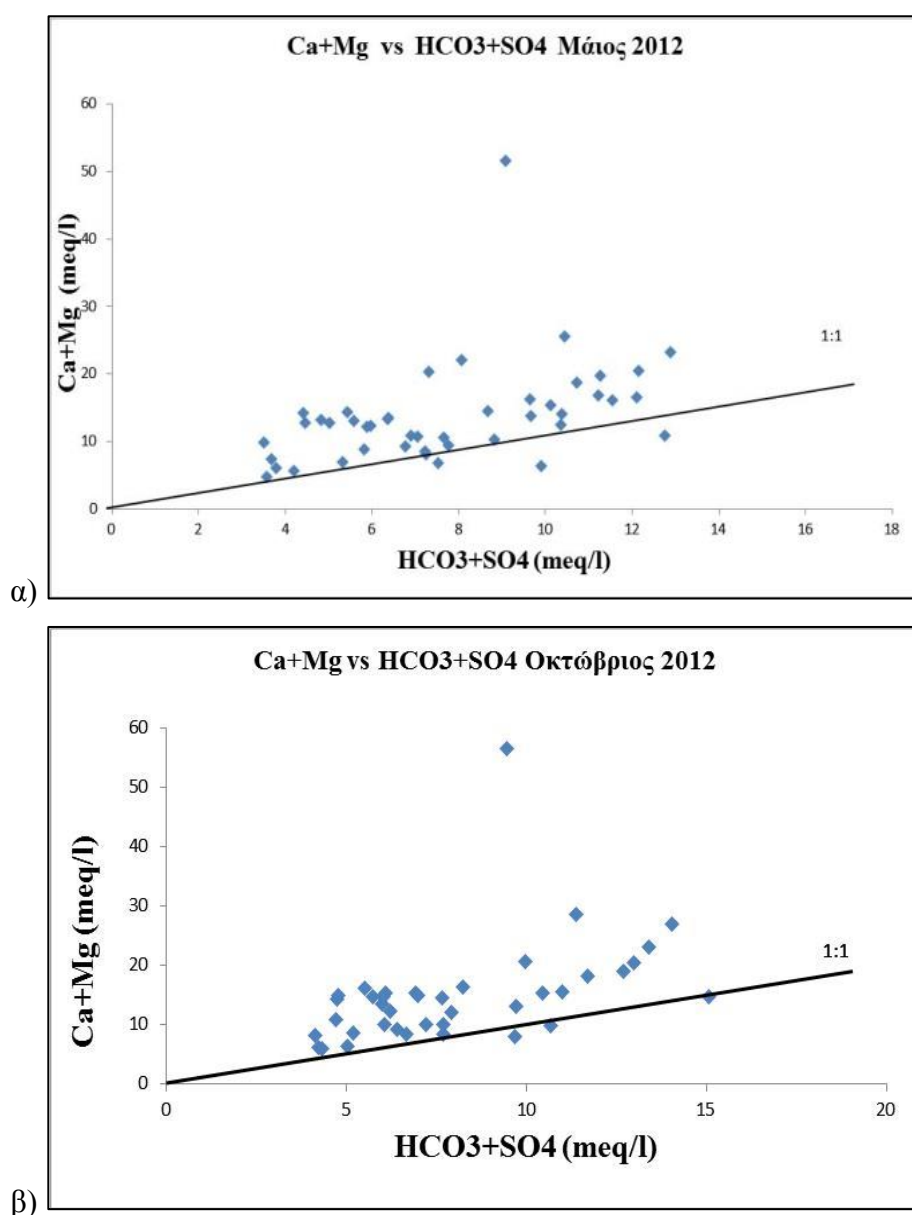


Εικόνα 8.47: Διαγράμματα α) (Cl^- - Na^+), β) (EC - Na^+/Cl^-).

Το διάγραμμα της Εικόνας 8.47β απεικονίζει τον λόγο Na^+/Cl^- συναρτήσει της EC. Η υψηλή συγκέντρωση του Na^+ σε ορισμένα πηγάδια όπως το 41, 44, 54, 55 μπορεί να οφείλεται σε διεργασίες εξάτμισης ή/και σε διάβρωση ή απελευθέρωση του Na αργίλων πλούσιων σε Na κατά την αναπλήρωση με φρέσκα νερά (Stigter et al. 1998) Τα περισσότερα σημεία προβάλλονται κάτω από την τιμή 1:1. Στα πηγάδια 47, 58, 62, 72, 75, 80, 86, 128, 131, 134, 136, 138, 140, ο λόγος είναι χαμηλός $<0,5$ υποδηλώνοντας κατιοντοανταλλαγή του Na^+ από Ca^{2+} .

- Διαγράμματα $(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})/\text{HCO}_3^-$ και $(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})/(\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-})$

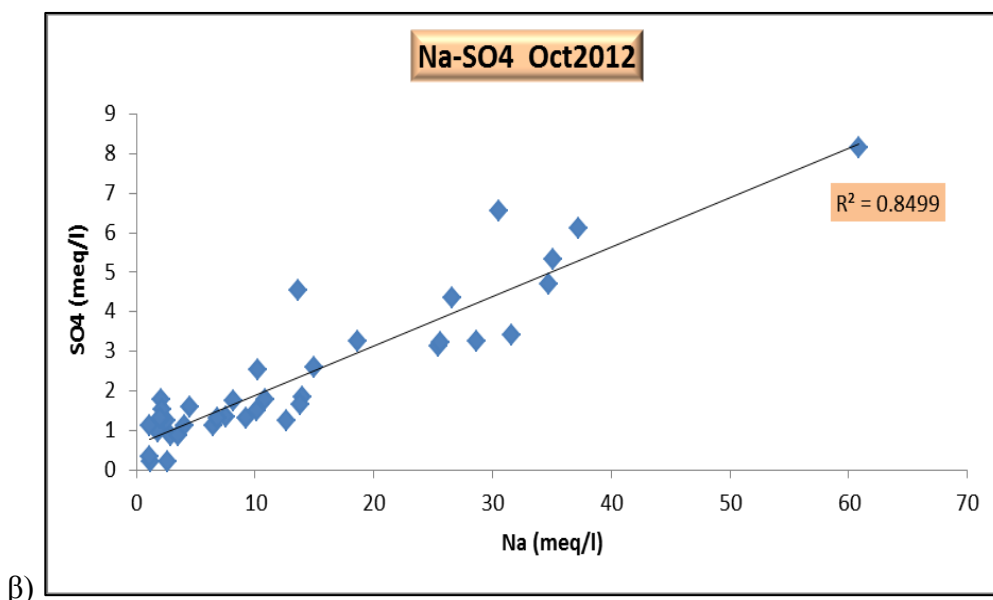
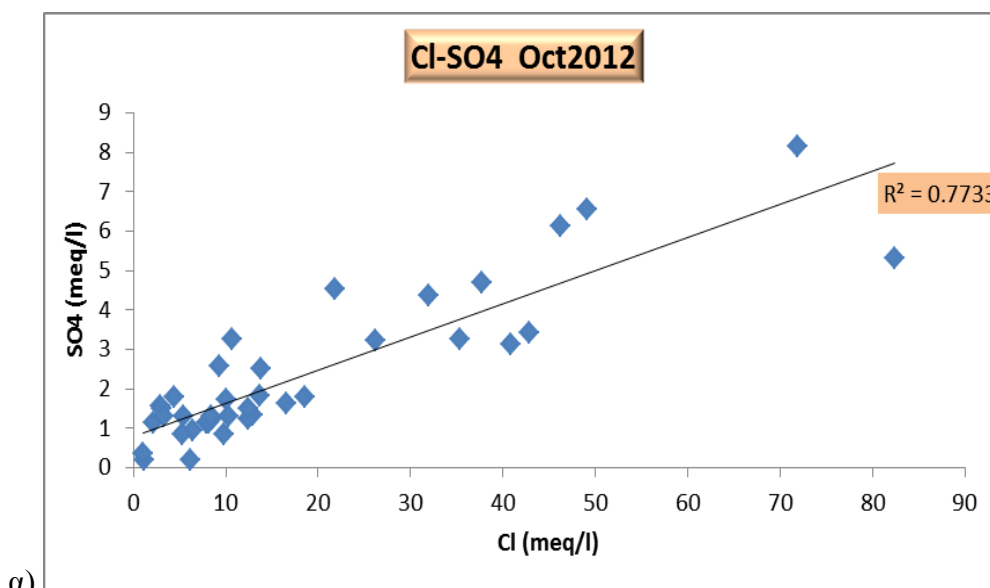
Στα διαγράμματα συσχέτισης $(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})/\text{HCO}_3^-$ και $(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})/(\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-})$ (Εικόνα 8.48) τα περισσότερα σημεία πέφτουν πάνω από την γραμμή 1:1 γεγονός που φανερώνει διάλυση των ανθρακικών ορυκτών (ασβεστίτη, δολομίτη, αραγωνίτη και γύψου/ανυδρίτη) και φαινόμενα κατιοντοανταλλαγής (McLean et al 2000, Cerling et al 1989).



Εικόνα 8.48: Διαγράμματα συσχέτισης α) $(\text{Ca} + \text{Mg})/\text{HCO}_3$, β) $(\text{Ca} + \text{Mg})/(\text{HCO}_3 + \text{SO}_4)$.

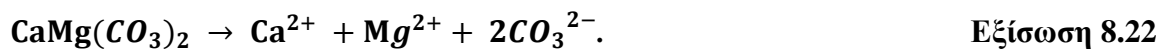
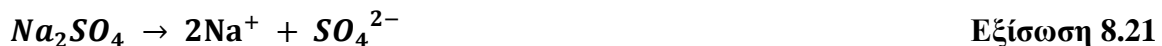
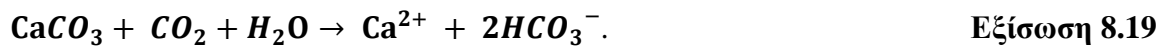
- Διαγράμματα (Cl^- - SO_4^{2-}) και (Na^+ - SO_4^{2-})

Πολύ καλή συσχέτιση δείχνουν τα χλωρίοντα και τα θειικά μεταξύ τους με $r^2=0,76$ υποδηλώνοντας διεργασίες διάλυσης και σχεδόν κοινή προέλευση των δύο ιόντων, προερχόμενα πιθανόν από μίξη με θαλασσίνο νερό και από διάλυση εβαποριτών. Διάλυση, επίσης, ανυδρίτη αλλά και Na_2SO_4 (ανθρωπογενούς ?) όπως υποδεικνύει ο συντελεστής συσχέτισης SO_4^{2-} συναρτήσει Na^+ των με $r^2=0,85$ (Εικόνα 8.49). Το Na_2SO_4 χρησιμοποιείται ως πρώτη ύλη στην υαλουργία, υφαντουργία, σαπωνοποιία και βιομηχανία απορρυπαντικών, βιομηχανία τροφίμων, βιομηχανία πετρελαιοειδών, φαρμακευτική βιομηχανία, βυρσοδεψία κ.α., και τέτοιες δραστηριότητες για πολλά χρόνια αναπτύσσονταν στο Θριάσιο.



Εικόνα 8.49: Συσχέτιση Cl^- και SO_4^{2-} , Na^+ και SO_4^{2-} .

Οι εξισώσεις διάλυσης των ασβεστίτη, ανυδρίτη και δολομίτη παρουσιάζονται στις παρακάτω εξισώσεις:

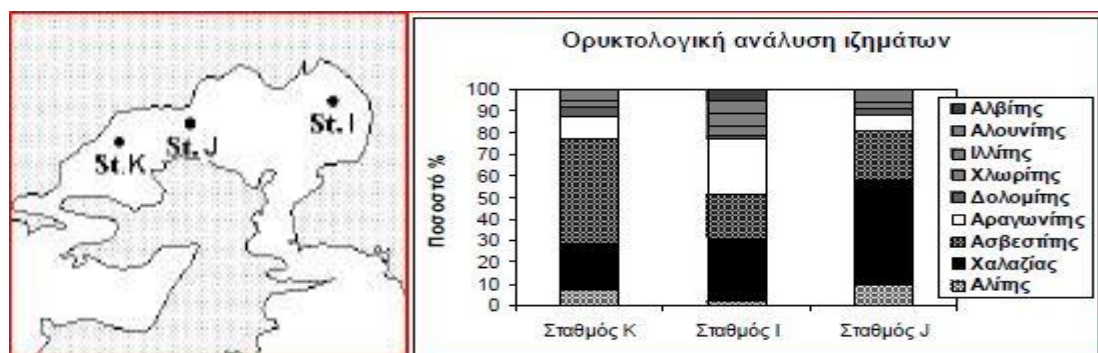


8.6.6. Η παρουσία του Sr^{2+} στα υπόγεια νερά του Θριασίου

Κατά την εκτέλεση των χημικών αναλύσεων των δειγμάτων νερού από την περιοχή του Θριασίου Πεδίου προσδιορίστηκε το κατιόν Sr^{2+} σε πολλές περιπτώσεις. Μελετήθηκε εκτενέστερα και καταβλήθηκε προσπάθεια ερμηνείας της παρουσίας του στα υπόγεια νερά της περιοχής.

Ο Curl (1962) στην εργασία του αναφέρει ότι το Sr^{2+} ενσωματώνεται στα ανθρακικά πετρώματα και μάλιστα στον αραγωνίτη και όχι στον ασβεστίτη. Για τον σχηματισμό και την ανάπτυξη του αραγωνίτη χρειάζεται το διάλυμα να είναι υπερκορεσμένο σε σχέση και με τον αραγωνίτη και με τον ασβεστίτη. Ο υπερκορεσμός επηρεάζεται από την θερμοκρασία, την εξάτμιση και την απώλεια διοξειδίου του άνθρακα, το διάλυμα, τις αρχικές συγκεντρώσεις των αντιδραστηρίων και τον ρυθμό απόθεσης. Το κατιόν Sr^{2+} σχηματίζει το ανθρακικό άλας ως πυρήνα πάνω στον οποίο αναπτύσσεται ο αραγωνίτης επιλεκτικά αν βρίσκεται σε μεγάλη ποσότητα ώστε να αποτεθεί. Επίσης, αναφέρει ότι το Mg^{2+} είναι αιτία η οποία οδηγεί στον σχηματισμό του αραγωνίτη κάτω από διάφορες συνθήκες απόθεσης. Καθώς λοιπόν, ο αραγωνίτης επανακρυσταλλώνεται σε ασβεστίτη ελευθερώνεται Sr^{2+} στο υπόγειο νερό.

Από το γεγονός λοιπόν αυτό, ότι το Sr^{2+} προέρχεται από αραγωνιτικό ασβεστόλιθο και την μελέτη των ισοτιμικών καμπυλών του Sr^{2+} και ειδικότερα του Οκτωβρίου όπου υπάρχουν περισσότερα δεδομένα, βγαίνει το ακόλουθο συμπέρασμα: Στις περιοχές ανατολικά και δυτικά του Ασπροπύργου, τα υποκείμενα των αλλουβίων **Τριαδικά αραγωνιτικά δολομιτικά ασβεστολιθικά κροκαλοπαγή**, βρίσκονται υπό πίεση και τροφοδοτούν αφ' ενός μεν τα πηγάδια κατά την άντλησή τους και αφ' ετέρου δε τροφοδοτούν προς τα πάνω κάποια από τα αδρομερέστερα ιζήματα των αλλουβίων (Hermides and Stamatias 2017).



Εικόνα 8.50: Ορυκτολογική ανάλυση των ιζημάτων του κόλπου της Ελευσίνας (Κανελλοπούλου κ. ά. 2004).

Η επαλήθευση της ύπαρξης αραγωνίτη στην περιοχή αποδεικνύεται και από την ορυκτολογική ανάλυση των ιζημάτων του κόλπου της Ελευσίνας (Κανελλοπούλου κ.ά.,

2004). Η ορυκτολογική ανάλυση των ιζημάτων του κόλπου λοιπόν, είναι: χαλαζίας, ασβεστίτης, δολομίτης, αραγωνίτης, χλωρίτης, ιλλίτης, αλβίτης και αλουνίτης (Εικόνα 8.50).

8.7. Περιβαλλοντικοί ιζηθότες-αλογόνα

Στην παρούσα διατριβή ερευνήθηκε για πρώτη φορά η παρουσία των αλογόνων καθώς και η προέλευση και η κατανομή των ανιόντων φθορίου, χλωρίου και βρωμίου στα υπόγεια νερά του Θριασίου Πεδίου.

Πίνακας 8.26: Στατιστική ανάλυση και επίπεδα εμπιστοσύνης των ανιόντων φθορίου, χλωρίου και βρωμίου (mg/l) κατά την δειγματοληψία του Οκτωβρίου 2012 στο Θριάσιο ταξινομημένα ανά τύπο υδροφόρου (Hermides and Stamatis 2017)

Ελεύθερος υδροφόρας						
	average	max	min	SD	Lower 99%	Upper 99%
F ⁻	2,2	9,9	0,5	2,3	0,3	4,1
Cl ⁻	1117	2920	103	860	426	1809
Br ⁻	3,0	7,6	0,1	2,0	1,0	4,9

Υπό πίεση υδροφόρας						
	average	max	min	SD	Lower 99%	Upper 99%
F ⁻	2.0	4.8	0.4	1.5	0.8	3.2
Cl ⁻	254	773	77	171	118	390
Br ⁻	0.5	1,74	0.08	0,4	0,2	0,8

Τριαδικός ασβεστόλιθοι/δολομίτες						
	average	max	min	SD	Lower 95%	Upper 95%
F ⁻	1,3	2,6	0,5	0,8	0,5	2,2
Cl ⁻	477	1450	40	523	0	1026
Br ⁻	1,3	3,3	0,1	122	0,0	2,5

Κρητιδικός ασβεστόλιθος						
	average	max	min	SD	Lower 95%	Upper 95%
F ⁻	1,1	1,6	0,7	0,5	0,0	2,2
Cl ⁻	889	1520	489	553	0,0	2260
Br ⁻	2,3	4,4	1,2	1,8	0,0	6,8

Αυτά τα στοιχεία μπορούν να προσδιορίσουν την προέλευση και την εξέλιξη του υφάλμυρου υπόγειου νερού (Cloutier et al. 2010, Phillips et al. 2001, Davis et al. 1998; Vengosh and Pankratov 1998, Andreasen and Fleck 1997) και να καθορίσουν πηγές ρύπανσης από αστικά

και κτηνοτροφικά λύματα, την διείσδυση της θάλασσας σε παράκτιους υδροφορείς καθώς επίσης να ανιχνεύσουν την επίδραση υδροθερμικών υγρών στα υπόγεια νερά.

Επιπρόσθετα, η μελέτη των ανιόντων αλογόνων στα υπόγεια νερά ως περιβαλλοντικοί δείκτες, αποτελούν ένα ισχυρό εργαλείο στην μελέτη των υδρογεωλογικών συνθηκών ενός παράκτιου και όχι μόνο, υδροφορέα. Στον Πίνακα 8.26 παρουσιάζονται τα στατιστικά στοιχεία των ανιόντων φθορίου, χλωρίου και βρωμίου όπως επίσης και τα διαστήματα εμπιστοσύνης κατά την δειγματοληψία του Οκτωβρίου όπου επικρατούν οι χαμηλότερες στάθμες στην περιοχή ταξινομημένα κατά τύπο υδροφορίας.

8.7.1. Χλώριο, βρώμιο και ο λόγος Cl^-/Br^-

Τα γεωχημικά χαρακτηριστικά των ανιόντων χλωρίου και βρωμίου είναι παρόμοια. Η κίνησή τους στο υπόγειο νερό χαρακτηρίζεται από συντηρητικές διεργασίες χωρίς βιολογικές και χημικές αλληλεπιδράσεις με το περιβάλλον τους (Fetter 2004, Davis et al. 1998, Fuge 1967). Κανένα από τα δύο δεν περιέχεται σε μεγάλες ποσότητες σε ορυκτά που συνθέτουν διάφορα πετρώματα εκτός των εβαποριτών. Σημαντική διαφορά τους είναι ότι η συγκέντρωση χλωρίου είναι 40-8000 φορές μεγαλύτερη του βρωμίου. Επίσης, τα άλατα βρωμίου είναι πιο διαλυτά από τα άλατα του χλωρίου, με αποτέλεσμα όταν εξατμίζεται το νερό τα άλατα του δευτέρου αποτίθενται πρώτα και το διάλυμα να καθίσταται πλουσιότερο σε Br^- . Απορρόφηση ή συσσώρευση των παραπάνω ανιόντων έχει αναφερθεί (Wang et al. 2002; Boggs and Adams 1992; Wilson and Cabot 1991) αλλά επί της ουσίας δεν είναι ξεκάθαρη ακόμα η επίδραση των εδαφών πάνω στα βρωμιόντα που δείχνουν ότι σε ουδέτερο pH δεν υπάρχει προσρόφηση (Boggs and Adams 1992).

Είναι γενικά αποδεκτό ότι το χλώριο και βρώμιο βρίσκονται στα υπόγεια νερά ως μονοσθενή ανιόντα (Hem 1985; Luong et al. 1983). Περιέχονται σε άλμες, εβαπορίτες και στο θαλασσινό νερό. Προέρχονται από θαλάσσια διείσδυση, διάλυση εβαποριτών και ανθρώπινες δραστηριότητες και διάφορα προϊόντα όπως εντομοκτόνα, πρόσθετα βενζίνης κ.ά (Price et al. 1988). Ανιόντα χλωρίου και βρωμίου περιέχονται επίσης και στα κατακρημνίσματα προερχόμενα από σταγονίδια της θάλασσας. Η μελέτη του λόγου των δύο ανιόντων είναι σημαντική στον καθορισμό της προέλευσης του νερού.

- **Λόγος Cl^-/Br^-**

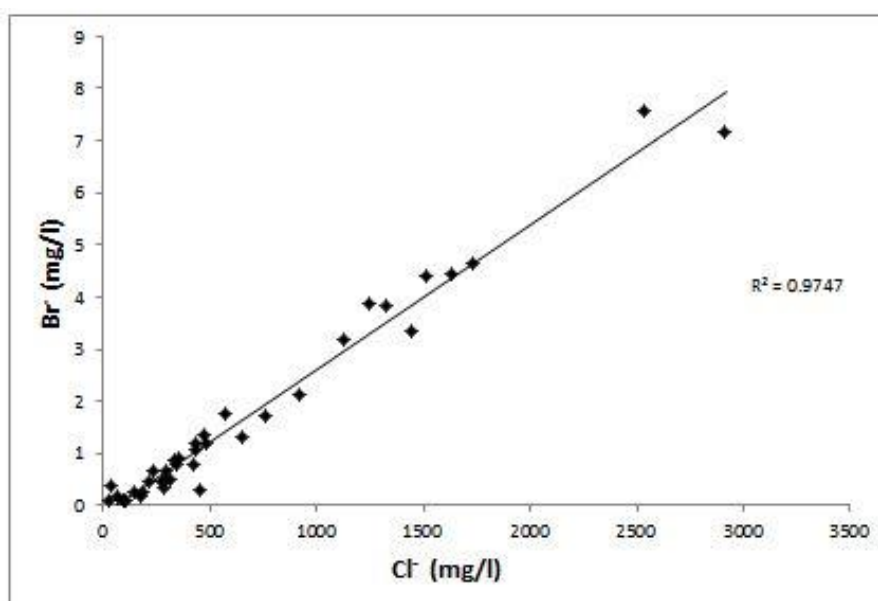
Πολλοί ερευνητές έχουν μελετήσει τον λόγο μαζών Cl^-/Br^- (Davis et al. 1998, Vengosh and Pankratov 1998, Andreasen and Fleck 1997, Whittemore 1995, Fabryka-Martin et al. 1991, Behl 1990, McCaffrey et al. 1987, Rittenhouse 1967, Bloch and Schnerb 1954). Στην βροχή των παράκτιων περιοχών κυμαίνεται από 130 (293 mmol/l) έως 180 (405 mmol/l) και στην ενδοχώρα από 75 (169 mmol/l) έως 120 (270 mmol/l) (Duce et al. 1965, Bloch et al. 1966; Behl 1990). Στο θαλασσινό νερό ο λόγος είναι γύρω στο 292 (658 mmol/l) (Lloyd and Heathcote 1985). Σε αβαθείς υδροφόρους κυμαίνεται από 100-200 (225-450 mmol/l), σε αστικά λύματα από 300-600 (676-1350 mmol/l), ενώ σε νερά που επηρεάζονται από διάλυση εβαποριτών και κυρίως αλίτη από 1000-10000 (2250-22500 mmol/l) και σε άλμες κάτω από 50 (112 mmol/l) (Davis et al 1998, Vengosh and Pankratov 1998, Andreasen and Fleck 1997, Whittemore 1995, Fabryka-Martin et al 1991).

Στην Ελλάδα ο λόγος στο νερό της βροχής έχει μετρηθεί στην περιοχή της Αθήνας και του Θριασίου μεταξύ 55 και 97 (112-225 mmol/l) και στην Κρήτη μεταξύ 58 και 167 (130-375 mmol/l) (Μακαρόνα 2012). Στην παρούσα ο λόγος μετρήθηκε στα υπόγεια νερά του Θριασίου να κυμαίνεται από 43 τον Ιανουάριο 2012 έως 1510 τον Οκτώβριο 2012. Στον Πίνακα 20 παρακάτω παρουσιάζονται τα στατιστικά στοιχεία του λόγου μαζών Cl^-/Br^- στις τρεις προαναφερόμενες περιόδους ταξινομημένα κατά τύπο και ηλικία υδροφόρου. Οι υδροφόροι παρουσιάζονται ως: α) ελεύθερος β) υπό πίεση, γ) Κρητιδικός και γ) Τριαδικός. Οι μεγάλες τιμές της τυπικής απόκλισης οφείλονται στην ανθρωπογενή ρύπανση η οποία αποδεικνύεται και από τις υψηλές τιμές των νιτρικών και νιτροδών ανιόντων (Andreasen and Fleck 1997).

Πίνακας 8.27: Στατιστικά στοιχεία του λόγου μαζών Cl^-/Br^- ταξινομημένος κατά τύπο και ηλικία υδροφόρου.

Υδροφορείς	Ιανουάριος 2012				Μάιος 2012				Οκτώβριος 2012			
	Min	Max	Mean	Stdev	Min	Max	Mean	Stdev	Min	Max	Mean	Stdev
Ελεύθερος	239	245	239	10	248	411	326	48	321	1246	470	239
Υπό πίεση	43	275	162	79	203	422	310	60	373	1510	775	366
Κρητιδικοί			219		268	317	290	22	347	504	421	79
Τριαδικοί			212		147	612	339	153	114	442	342	120

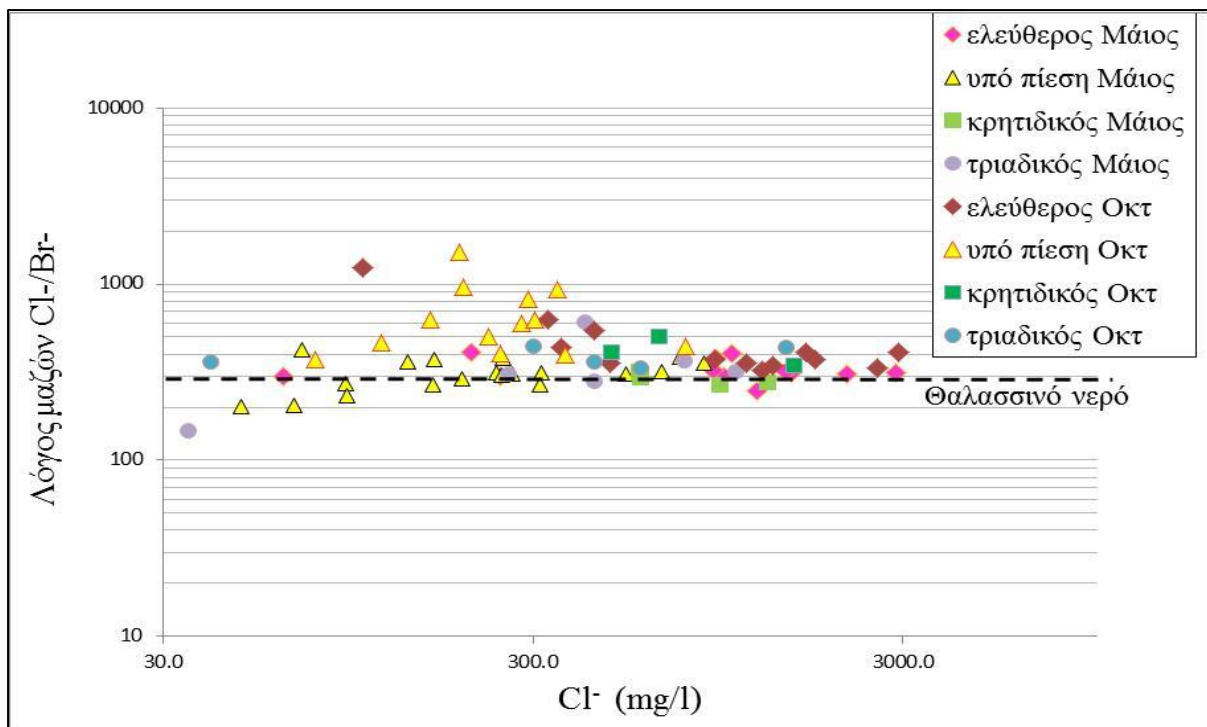
Στην εργασία αυτή τα χλωριόντα που προέρχονται από θαλασσινό νερό διαφοροποιήθηκαν από εκείνα που προέρχονται από ανθρωπογενείς ή άλλες φυσικές διεργασίες συγκρίνοντας τον λόγο μαζών Cl^-/Br^- . Στο διάγραμμα συσχέτισης των βρωμιόντων συναρτήσει των χλωριόντων της Εικόνας 8.51 ο συντελεστής συσχέτισης είναι 98%. Αυτό σημαίνει ότι τα δύο ανιόντα έχουν σχεδόν κοινή προέλευση.



Εικόνα 8.51: Διάγραμμα συσχέτισης Br^- συναρτήσει Cl^- (Οκτώβριος 2012).

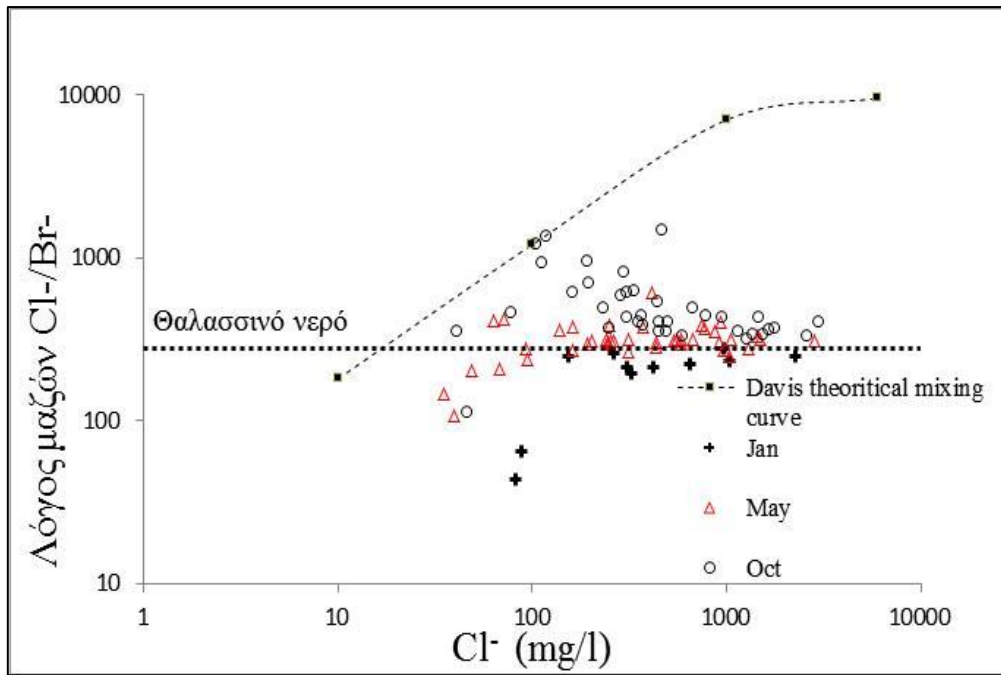
Στην Εικόνα 8.52 παρουσιάζεται ο λόγος μαζών Cl^-/Br^- συναρτήσεως των χλωριόντων ταξινομημένος ανά τύπο και ηλικία του υδροφόρου, ενώ στη επόμενη Εικόνα 8.53 παρουσιάζεται ο λόγος μαζών Cl^-/Br^- συναρτήσεως των χλωριόντων ταξινομημένος συνολικά ανά περίοδο δειγματοληψίας δηλαδή Ιανουαρίου, Μαΐου και Οκτωβρίου. Στην ίδια Εικόνα 8.53 φαίνεται και η θεωρητική (υποθετική) καμπύλη του Davis (διακεκομμένη) που περιγράφει την πορεία ενός δείγματος νερού που επηρεάζεται από την ανάμιξη διαφόρων ποσοτήτων άλμης.

Σε 14 από τα 35 δείγματα του Μαΐου που προέρχονται κυρίως από τον ελεύθερο υδροφόρο και αυτών που βρίσκονται στα ανώτερα στρώματα των υπό πίεση υδροφόρων ο λόγος φαίνεται ότι υποδεικνύει ανάμιξη με θαλασσινό νερό και κυμαίνεται από 277-317. Σε τρία από τα τέσσερα δείγματα από τους Κρητιδικούς ασβεστολίθους ο λόγος κυμαίνεται από 277-317. Στους Τριαδικούς υδροφορείς σε 3 από τα 6 δείγματα ο λόγος κυμαίνεται από 280-318. Στο 51% των δειγμάτων ο λόγος φανερώνει εξατμισοδιαπνοή και ανάμιξη με αστικά λύματα ως κύριες διεργασίες.

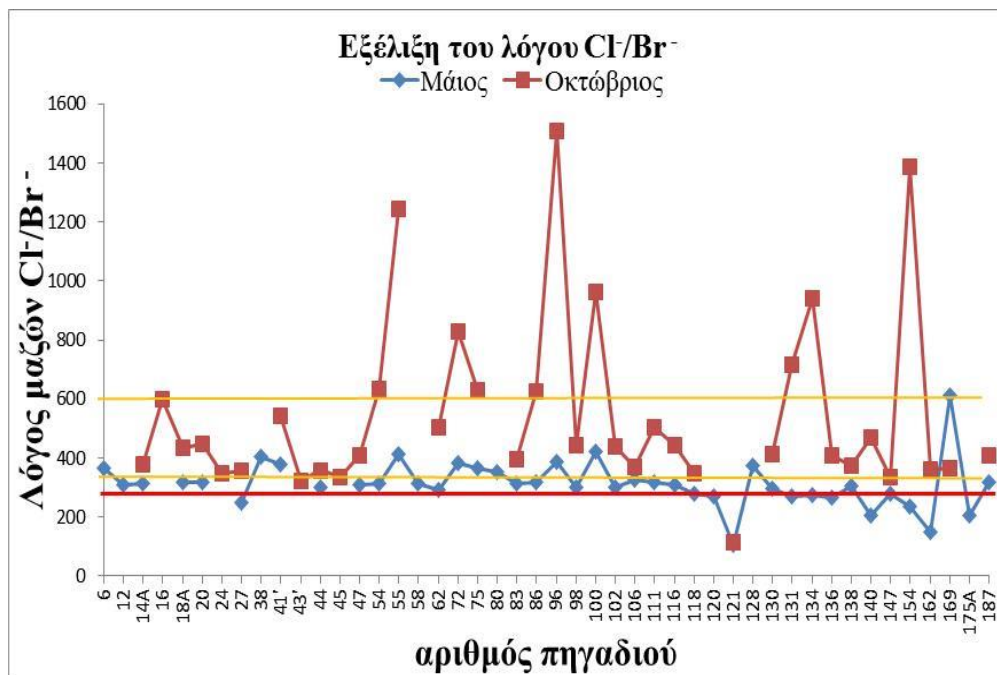


Εικόνα 8.52: Συσχέτιση του λόγου μαζών Cl^-/Br^- συναρτήσεως των χλωριόντων ταξινομημένος ανά τύπο και ηλικία υδροφόρου (Μάιος και Οκτωβρίου 2012).

Στα δείγματα του Οκτωβρίου, όπου οι στάθμες βρίσκονται χαμηλά και η επίδραση της θάλασσας έπρεπε να είναι εντονότερη, ο λόγος μετατοπίζεται προς μεγαλύτερες τιμές γεγονός αντίθετο με τον ισχυρισμό ότι τα υπόγεια νερά επηρεάζονται από θαλασσινό νερό. Η μικρότερη τιμή του λόγου είναι 321 στον ελεύθερο ορίζοντα ενώ σε 10 από τα 38 δείγματα η τιμή του λόγου είναι πάνω από 600 και επίσης σε 5 δείγματα είναι πάνω από 939. Οι τιμές αυτές παραπέμπουν σε διάλυση εβαποριτών και μάλιστα αλίτη (Davis et al 1998, Whittemore 1995, Fabryka-Martin et al. 1991).



Εικόνα 8.53: Συσχέτιση του λόγου μαζών Cl^-/Br^- συναρτήσει των χλωριόντων στις τρεις δειγματοληψίες του 2012.



Εικόνα 8.54: Η εξέλιξη του λόγου μαζών Cl^-/Br^- από τον Μάιο στον Οκτώβριο (2012). Η κόκκινη γραμμή είναι η τιμή 292 του θαλασσινού νερού, οι δύο κίτρινες είναι τα όρια 350-600 που υποδηλώνουν ανθρωπογενή ρύπανση.

Στην Εικόνα 8.54 φαίνεται η εξέλιξη του λόγου μαζών Cl^-/Br^- στα υπόγεια νερά του Θριασίου μέσα στο ίδιο πηγάδι από τον Μάιο στον Οκτώβριο. Είναι σαφείς οι αυξημένες τιμές του λόγου κατά την περίοδο του Οκτωβρίου. Η εξέλιξη αυτή του λόγου υπαγορεύει την

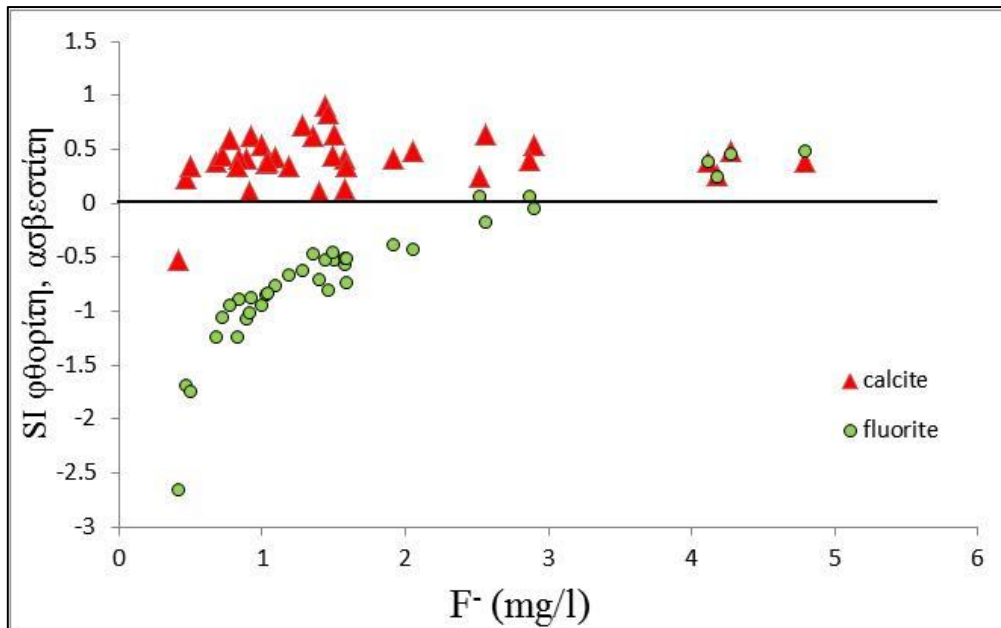
άποψη ότι το θαλασσινό νερό που φαίνεται ότι επηρεάζει τα υπόγεια νερά του ελεύθερου ορίζοντα και των ανώτερων υπό πίεση οριζόντων δηλαδή μέχρι κάποιο βάθος παύει να επηρεάζει την ποιότητά του σε μεγαλύτερα βάθη. Επομένως, είναι πολύ πιθανόν ότι το θαλασσινό νερό είναι εγκλωβισμένο σε αυτά τα ανώτερα στρώματα και δεν υπάρχει σύγχρονη άμεση διείσδυση της θάλασσας στους υπόγειους υδροφορείς του Θριασίου Πεδίου. Στο ίδιο συμπέρασμα οδηγεί και η προσπάθεια ερμηνείας της υψηλής συγκέντρωσης φθοριόντων στα ίδια δείγματα υπόγειων νερών όπως παρουσιάζονται στην αμέσως επόμενη παράγραφο.

8.7.2. Φθόριο και λόγος F⁻/Cl⁻

Η παρουσία των ανιόντων φθορίου στα υπόγεια νερά οφείλεται σε διάφορους λόγους, όπως παρουσιάζονται αμέσως παρακάτω. Υψηλές συγκεντρώσεις ανιόντων φθορίου υποδηλώνουν επίδραση υδροθερμικών διαλυμάτων στις γεωχημικές διεργασίες των υπόγειων νερών (Edmunds and Smedley 2013). Η περιεκτικότητά του στα υπόγεια νερά ελέγχεται από την διαλυτότητα ορυκτών που το περιέχουν και προέρχονται από ηφαιστειακά πετρώματα και ηφαιστειακή δραστηριότητα (WHO 2006). Το κύριο από αυτά τα πετρώματα είναι ο φθορίτης ο οποίος υπάρχει σε δευτερογενείς υδροθερμικές αποθέσεις. Υψηλή συγκέντρωση φθοριόντων απαιτεί εκατοντάδες ή και χιλιάδες χρόνια παραμονής του υπόγειου νερού στον υδροφόρο ορίζοντα (Edmunds and Smedley 2013). Η εξάτμιση επίσης είναι αιτία μεγάλης συγκέντρωσης των παραπάνω ανιόντων στο υπόγειο νερό (Appelo and Postma 1993; Nanyaro et al. 1984; Kilham and Hecky 1973). Προέρχεται επίσης και από αποθέσεις θαλασσιών ιζημάτων και σταγονίδια της θάλασσας, από την αποδόμηση οργανικών υλικών και φυτών τα οποία βρίσκονται σε ιζήματα λιμνών (Windom 1971), βιομηχανικά απόβλητα στα οποία περιλαμβάνονται και αυτών του αλουμινίου (Haidouti 1991), λιπάσματα, εντομοκτόνα κ.ά. Η μεταφορά του και οι αντιδράσεις στο νερό εξαρτώνται από το pH, την σκληρότητα του νερού και την παρουσία αργίλων. Γενικά τα φθοριόντα δεν απελευθερώνονται ούτε προσκολλώνται εύκολα στα τα εδάφη (Bower and Hatcher 1967). Στα επιφανειακά νερά η συγκέντρωσή του κυμαίνεται από 0,01 - 0,3 mg/l ενώ στο θαλασσινό νερό από 1,2 - 1,5 mg/l.

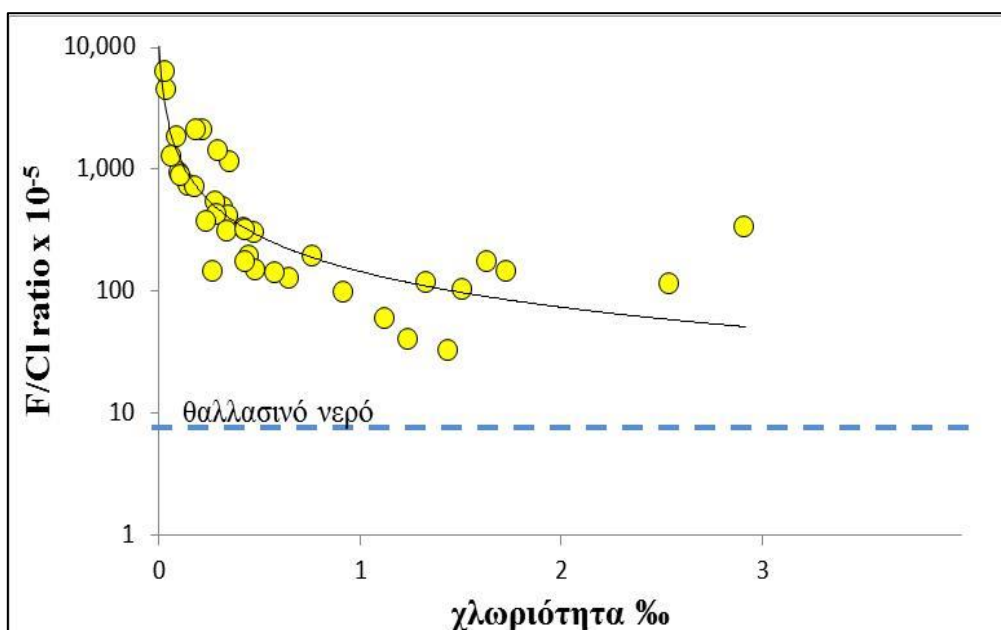
Ανιόντα φθορίου καταμετρήθηκαν στο 99% των δειγμάτων των υπόγειων νερών του Θριασίου Πεδίου. Η συγκέντρωσή του κυμάνθηκε από 0,1 στα πηγάδια 136 και 161' τον Ιούνιο έως 9,9 mg/l στο πηγάδι 47 τον Οκτώβριο. Στον Πίνακα 7.22 παρουσιάζονται τα στατιστικά στοιχεία των φθοριόντων.

Οι δείκτες κορεσμού χρησιμοποιώντας το λογισμικό PHREEQC (Parkhurst and Appelo 2015) για τον φθορίτη κυμάνθηκε από -2.66 έως 0.49 και για τον ασβεστίτη από -0,53 έως 0,90. Το 98% του συνόλου των δειγμάτων έδειξε υπερκορεσμό για τον ασβεστίτη και υποκορεσμό για τον φθορίτη στο 82% των δειγμάτων (Εικόνα 8.55). Οι δείκτες κορεσμού για τον φθορίτη αυξάνουν με την αύξηση των φθοριόντων φθάνοντας σε κατάσταση κορεσμού όταν η συγκέντρωση των φθοριόντων είναι μεγαλύτερη από 2,5 mg/l.



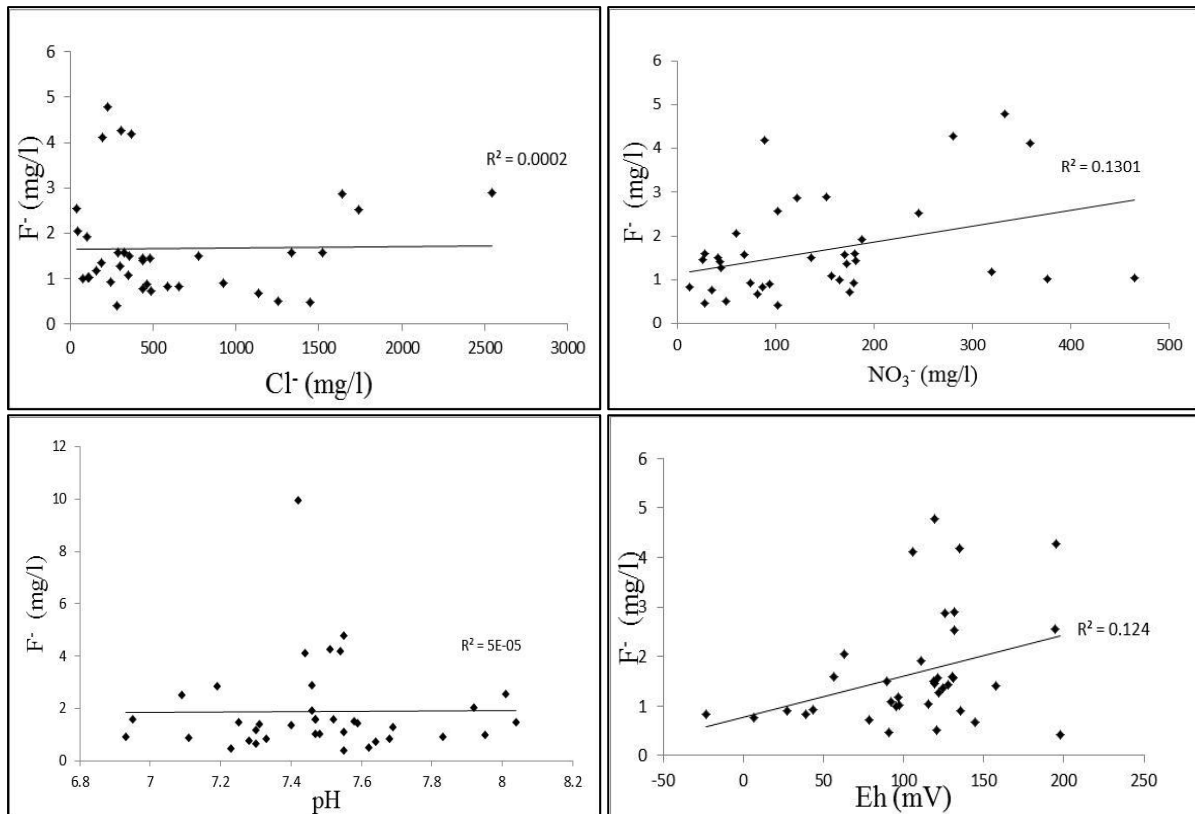
Εικόνα 8.55: Οι δείκτες κορεσμού του φθορίτη και ασβεστίτη συναρτήσει των φθοριόντων στα υπόγεια νερά του Θριασίου (2012).

Στην Εικόνα 8.56 περιγράφεται ο λόγος F/Cl συναρτήσει της χλωριότητας ‰. Ο λόγος παραμένει σε υψηλά επίπεδα ακόμα και στην τιμή του 3‰ αρκετά υψηλότερα από την τιμή που επικρατεί στο θαλασινό νερό. Αυτό σημαίνει ότι δεν υπάρχει σύγχρονη άμεση διείσδυση της θάλασσας στους υπόγειους υδροφορείς του Θριασίου Πεδίου γιατί η παρουσία των φθοριόντων υποδηλώνει νερό μεγάλης ηλικίας όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενη παράγραφο.



Εικόνα 8.56: Ο λόγος F/Cl συναρτήσει της χλωριότητας ‰. Ο λόγος είναι $\times 10^{-5}$ για να μπορεί εύκολα να συγκριθεί με τον αντίστοιχο της θάλασσας ο οποίος είναι περίπου 7×10^{-5} .

Στην Εικόνα 8.57 φαίνεται η συσχέτιση των φθοριόντων με το pH, NO₃⁻, Eh και Cl⁻. Τα φθοριόντα έδειξαν πολύ χαμηλό βαθμό συσχέτισης με το pH. Από την άλλη τα φθοριόντα έδειξαν υπολογίσιμη συσχέτιση με τα νιτρικά και το Eh. Στο διάγραμμα φθοριόντων συναρτήσε των χλωρίου και βρωμίου ο συντελεστής συσχέτισης είναι πολύ μικρός υποδηλώνοντας ότι δεν έχουν κοινή προέλευση με τα άλλα ανιόντα.



Εικόνα 8.57: Συγκέντρωση F⁻ συναρτήσε των Cl⁻, NO₃⁻, pH και Eh (Hermides and Stamatis 2017)

Επομένως εξάγεται το συμπέρασμα ότι τα φθοριόντα δεν προέρχονται από θαλασσίνο νερό ή ανθρωπογενή ρύπανση. Πιθανή προέλευση των φθοριόντων είναι η αποδόμηση οργανικού υλικού (Mondal and Gurta 2014; Liu et al. 2015), το οποίο υπάρχει στα ιζήματα του πεδίου, μέσω βιογεωχημικών διεργασιών. Ωστόσο, φθοριόντα υψηλής συγκεντρώσεως υπάρχουν σε όλο το Θριάσιο ανεξαρτήτου βάθους του πηγαδιού και απόστασής του από την ακτή λόγω της ευκίνητης φύσεως των (Chidambaram et al. 2012).

Ένας δεύτερος μηχανισμός δημιουργίας των φθοριόντων είναι τα φθοριόντα να προέρχονται από την διάλυση φθοριτίτη ή την αποσάθρωση αργιλοπυριτικών ορυκτών που περιέχουν φθόριο (Saxena and Ahmed 2003; Chidambaram et al. 2012).

Ένας τρίτος μηχανισμός είναι ο εξής: στα ηφαιστειοϊζηματογενή του Παλαιοζωικού-Κατωτέρου Τριαδικού της περιοχής μελέτης τα οποία περιλαμβάνουν μεταπυροκλαστικά και μεταηφαιστειακά υπάρχουν χλωρίτης και μικρές ποσότητες βιοτίτη (Magganas and Kyriakopoulos 2005). Η παρουσία του χλωρίτη είναι πιθανόν να προέρχεται από την εξαλλοίωση του βιοτίτη με ταυτόχρονη απελευθέρωση φθοριόντων κάτω από την επίδραση

υδροθερμικών διαλυμάτων. Ένδειξη αυτών των διαλυμάτων τα οποία προέρχονται από βάθος μεγαλύτερο των 100-150 m είναι και η αυξημένη θερμοκρασία των 20,0-21,0 °C του υπόγειου νερού. Η μέση θερμοκρασία των Κρητιδικών υδροφόρων είναι 16 °C ενώ των Τριαδικών είναι 18 °C. Έτσι καθώς το θερμότερο υπόγειο νερό που έρχεται από το βάθος αναμιγνύεται με το νερό των ανώτερων στρωμάτων αποκτά την τελική του θερμοκρασία των 21 °C. Είναι πολύ πιθανόν ένα γεωθερμικό πεδίο χαμηλής ενθαλπίας να υπάρχει στο Θριάσιο Πεδίο μιας και η περιοχή βρίσκεται κοντά στο ηφαιστειακό τόξο του νοτίου Αιγαίου.

Από τους τρεις παραπάνω μηχανισμούς ερμηνείας των φθοριόντων στα υπόγεια νερά του Θριασίου είναι πολύ πιθανόν να λαμβάνουν χώρα και οι τρεις.

8.8. Ο βαθμός υφαλμύρισης των υδροφόρων οριζόντων του Θριασίου Πεδίου

8.8.1. Το φαινόμενο της υφαλμύρισης

Πρέπει να γίνει κατανοητό ότι για τους υδροφόρους του Θριασίου δεν υφίσταται η έννοια του μετώπου υφαλμύρισης αφού δεν το επιτρέπει αυτό η πολύπλοκη γεωλογική-στρωματογραφική δομή και το ιδιαίτερο υδρογεωλογικό καθεστώς που επικρατεί στο Θριάσιο. Είναι όμως δυνατή η προσέγγιση του βαθμού υφαλμύρισης με συγκεκριμένη διαδικασία. Ο βαθμός υφαλμύρισης σημαίνει το ποσοστό του θαλασσινού νερού που έχει αναμιχθεί με το γλυκό νερό και στηρίζεται στην συγκέντρωση των χλωριόντων του δείγματος. Η διαδικασία λοιπόν στηρίζεται στον λόγο της συγκέντρωσης των χλωριόντων του δείγματος προς την συγκέντρωση των χλωριόντων του θαλασσινού νερού σύμφωνα με την παρακάτω Εξίσωση 8.23 (Appelo and Postma 1993):

$$f_{sea} = \frac{m_{Cl} \text{ δείγματος} - m_{Cl} \text{ γλυκού νερού}}{m_{Cl} \text{ θαλασσινού νερού} - m_{Cl} \text{ γλυκού νερού}} \quad \text{Εξίσωση 8.23}$$

Το Cl⁻ θεωρείται συντηρητικός ρύπος επειδή μετέχει ελάχιστα σε χημικές αντιδράσεις γι' αυτό είναι πολύ καλός δείκτης υφαλμύρισης. Επειδή η συγκέντρωση χλωρίου στο γλυκό νερό είναι πολύ μικρή της τάξης των 2-4 περίπου mg/l η Εξίσωση 23 μπορεί να πάρει την μορφή:

$$f_{sea} = \frac{m_{Cl} \text{ δείγματος}}{m_{Cl} \text{ θαλασσινού νερού}} \quad \text{Εξίσωση 8.24}$$

Η παραπάνω Εξίσωση 8.24 ισχύει υπό την προϋπόθεση ότι το χλώριο προέρχεται αποκλειστικά και μόνο από το θαλασσινό νερό (Appelo and Postma 1994). Σε δείγμα θαλασσινού νερού κοντά στον Σκαρμαμαγκά η συγκέντρωση των χλωριόντων υπολογίστηκε περίπου 18500-19000 mg/l (522-536 mmol/l) από τιμές αλατότητας που δόθηκαν στον συγγραφέα μετά από προσωπική επικοινωνία με την υπηρεσία του ΕΚΘΕ.

Από ιστορικά στοιχεία της περιοχής στην εργασία τους οι Δούνας και Παναγιωτίδης (Δούνας και Παναγιωτίδης 1960, 1964) αναφέρουν ποιοτικά χαρακτηριστικά όπως συγκεντρώσεις Cl⁻, Ca²⁺, SO₄²⁻, σκληρότητα, βαθμό υφαλμύρισης (βαθμός «μολύνσεως» όπως αναφερόταν)

από διάφορα πηγάδια τα οποία αντλούν διάφορους σχηματισμούς, κατά το έτος 1959 για την περιοχή της Ελευσίνας και του Ασπροπύργου. Οι Κούνης και Σιέμος (Κούνης Γ., Σιέμος Ν., 1987) παρουσιάζουν αναλύσεις που πραγματοποίησαν το 1986 και αναφέρουν μεγάλη επιβάρυνση. Ο Παρασκούδης (2002) παρουσιάζει μία μικρή βελτίωση σε όλες τις χημικές παραμέτρους για τα νερά των νεογενών –τεταρτογενών. Τέλος από τις αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν το 2012 (Hermides and Stamatis 2017) διαφαίνεται βελτίωση της ποιότητας των νερών στα νεογενή-τεταρτογενή και επιδείνωση της κατάστασης στα ανθρακικά σύμφωνα με στοιχεία που αναφέρουν οι Christides et al(2011).

Ο παρακάτω πίνακας 8.28 παρουσιάζει τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των υπόγειων υδροφορέων στο Θριάσιο. Ο αριθμός του πηγαδιού είναι ο κωδικός ο οποίος είχε τεθεί από τους Δούνα και Παναγιωτίδη (1964) και αποτελεί όσο γίνεται εφικτό την βάση για την σύγκριση με αποτελέσματα αναλύσεων άλλων μελετητών σε μεταγενέστερες αυτών μελέτες-έρευνες. Στα αποτελέσματα των Παρασκούδη και Ερμίδη υπάρχει η αντιστοιχία των πηγαδιών των συγκεκριμένων μελετητών με αυτά των Δούνα-Παναγιωτίδη.

Έτσι διαχρονικά:

- **για την περιοχή του Ασπροπύργου**

Ο βαθμός υφαλμύρινσης το 1964 ήταν 7.7% σε απόσταση 70 m από την ακτή έως 0.2 % σε απόσταση 4300 m ενώ το 2012 σε απόσταση 1000 m ήταν 7.8 % και σε απόσταση 3400 m ήταν 0.4 %. Τοπικά στα πηγάδια 45 και 47 το 2012 η τιμή ήταν 15 % ενώ η επόμενη μέγιστη τιμή ήταν 8.8 % στο πηγάδι 14Α.

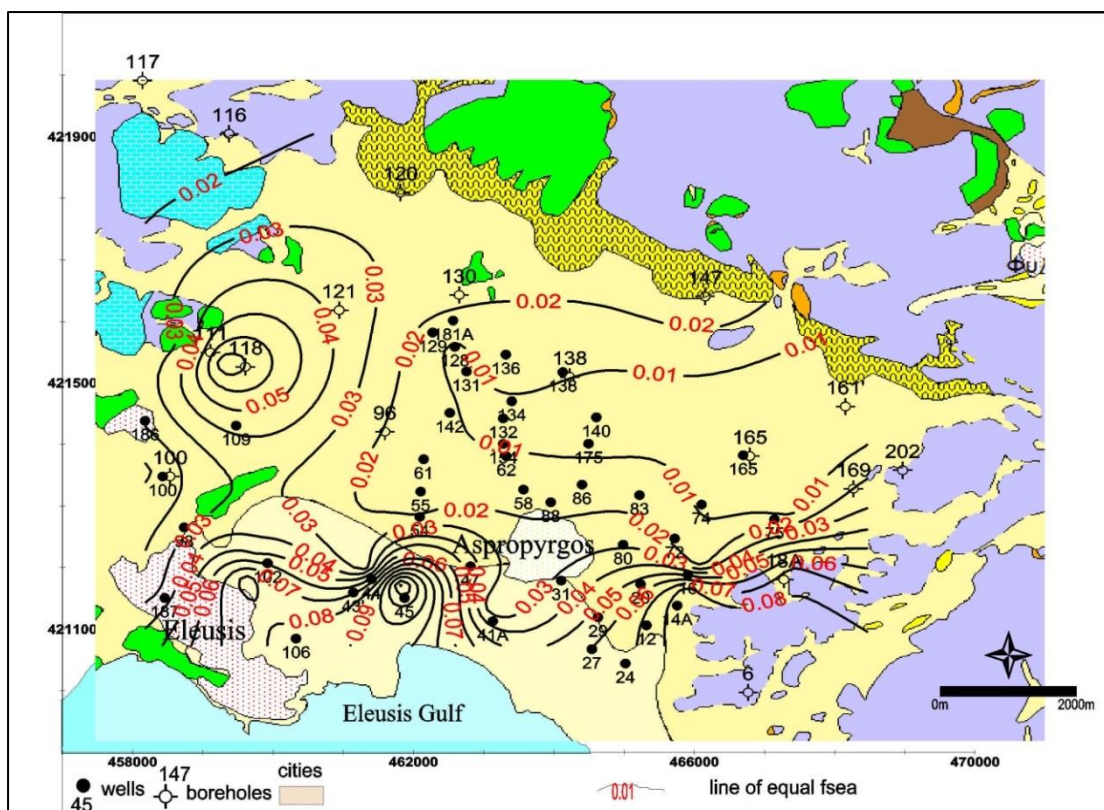
- **για την περιοχή της Ελευσίνας**

Ο βαθμός υφαλμύρινσης το 1964 ήταν 14.5% σε απόσταση 100 m από την ακτή έως 0.42 % σε απόσταση 3800 m από την ακτή ενώ το 2012 σε απόσταση 1000 m ήταν 8.5 % και σε απόσταση 2200 m ήταν 1.7 %.

Από τα προηγούμενα φαίνεται ότι οι διαφορές είναι σχεδόν ελάχιστες για το χρονικό διάστημα των 50-60 ετών που μεσολαβεί μεταξύ των διαφόρων αναλύσεων. Ουσιαστικά μετά από τόσα χρόνια δεν έχει αλλάξει η κατάσταση της ποιότητας των υπόγειων νερών. Στην Εικόνα 8.58 απεικονίζεται ο βαθμός υφαλμύρινσης (αν υποθεθεί ότι όλα τα χλωριόντα προέρχονται από την επίδραση θαλασσινού νερού, το οποίο δεν είναι αληθές) στην περιοχή μελέτης.

Πίνακας 8.28: Ποιοτικά χαρακτηριστικά των υπόγειων νερών του Θριασίου Πεδίου από διάφορους μελετητές από το 1959 έως το 2012

Περιοχή	Έτος	Μελετητής	Αριθμός πηγαδιού	Απόσταση από ακτή (m)	Βαθμός υφαλμύρισης %	Σκληρότητα ολική mg/l	Σκληρότητα παροδική mg/l	Cl ⁻ mg/l	SO ₄ ²⁻ mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	Na ⁺ mg/l	Ca ²⁺ mg/l
Ασπρόπυργος	1959	Δούνας κ.ά.	1	70	7.7	1300		1750	319.8	330		252
Ασπρόπυργος	1959	Δούνας κ.ά.	5	1100	3.8	980		835	144.6	236		220
Ασπρόπυργος	1959	Δούνας κ.ά.	9	4300	0.2	298		27	0.2	170		56
Ελευσίνα	1959	Δούνας κ.ά.	11	100	14.5	2483	362.7	3290				160
Ελευσίνα	1959	Δούνας κ.ά.	17	1750	1.75	639	164.9	371				22.4
Ελευσίνα	1959	Δούνας κ.ά.	15	2600	1.3	621	113.4	294				19.2
Ελευσίνα	1959	Δούνας κ.ά.	16	3800	0.42	601	292.9	91				25.6
Ασπρόπυργος	1986	Κούνης κ.ά.	5	1100	8.53			1711				
Ελευσίνα	1986	Κούνης κ.ά.	17	1750	3.44			691				
Ελευσίνα	1986	Κούνης κ.ά.	15	2600	1.6			325				
Λ. Κουμουندούρου	1992	Λιονής			37	2700	260	7834	1997	317	4437	625
Ασπρόπυργος	2000	Παρασχούδης	5/38	1100	7.8	1590	300	1560	883		630	689
Ελευσίνα	2000	Παρασχούδης	16/186	3800	0.84	460	350	105	345		101	224
Ασπρόπυργος	2012	Ερμίδης κ.ά.	5/38	1100	4.5	988		935	188	448	416	223
Ασπρόπυργος	2012	Ερμίδης κ.ά.	52/154	3400	0.4	719		94	49	245	40	132
Ελευσίνα	2012	Ερμίδης κ.ά.	-/98	2200	1.7	654		357	84	487	188	159
Ελευσίνα	2012	Ερμίδης κ.ά.	-/106	1000	8.5	1155	364	1639	294	444	856	247



Εικόνα 8.58: Ο βαθμός υφαλμύρισης των υδροφορέων του Θριασίου Πεδίου, γενική άποψη. Ο τιμές αντιστοιχούν σε %, δηλαδή η τιμή π.χ. 0.02 αντιστοιχεί σε 2%.

8.8.2. Αντιστρεψιμότητα του φαινομένου της υφαλμύρισης

Η διερεύνηση του φαινομένου της αντιστρεψιμότητας της υφαλμύρισης, προσεγγίζεται με την απλή σκέψη ότι το αυτό είναι κατά βάση δύσκολα αντιστρέψιμο έως μη αντιστρεπτό φαινόμενο.

Στις περιοχές όπου επικρατούν φαινόμενα σιφονισμού όπως συμβαίνει στην περιοχή του όρους Αιγάλεω, η ποιότητα δεν βελτιώνεται και δεν πρόκειται ποτέ να βελτιωθεί με τις επικρατούσες υδρογεωλογικές συνθήκες. Στις περιοχές της Μάνδρας και Ελευσίνας όπου ενώ υπάρχει υφαλμύριση το υδραυλικό φορτίο και η υδραυλική κλίση εξακολουθούν και βρίσκονται σε θετικά υψόμετρα, η ποιότητα δυνητικά μπορεί να καλυτερεύσει εφ' όσον οι παροχές άντλησης ελέγχονται από τις παροχές ασφαλείας (άντληση από θετικό υψόμετρο και μικρές πτώσεις στάθμης για αρκετό διάστημα).

Στους υδροφορείς των Πλειστοκαινικών ιζημάτων φαίνεται μία θεαματική βελτίωση από την μείωση των αντλήσεων και την αύξηση των βροχοπτώσεων κατά την περίοδο 2009-2014. Η βελτίωση αυτή μπορεί να παραμείνει με τον έλεγχο των αντλήσεων και την ορθολογική χρήση του νερού αλλά και την μείωση των ανθρωπογενών επιβαρύνσεων.

Από όλα τα παραπάνω αναφερόμενα στο παρών κεφάλαιο, η απάντηση του ερωτήματος της αντιστρεψιμότητας του φαινομένου της υφαλμύρισης και το τελικό συμπέρασμα συνοψίζονται στα εξής:

- Η υφαλμύριση των υδροφόρων οριζόντων, οι οποίοι αναπτύσσονται στα Πλειο-Πλειστοκαινικά ιζήματα, έχει επιτελεσθεί σε παλαιότερο γεωλογικό, ενώ αντίθετα συνεχίζεται ακόμα και σήμερα στους ασβεστολίθους.
- Ο μηχανισμός υφαλμύρισης των ασβεστολίθων είναι ο σιφωνισμός για την περιοχή του όρους του Αιγάλεω, ενώ για τις υπόλοιπες περιοχές στο δυτικό τμήμα της πεδιάδας ο μηχανισμός είναι η πλευρική εισχώρηση της θάλασσας διατηρούμενης της στάθμης σε θετικά υψόμετρα (positive encroachment, Fetter 1994) και η άνοδος της διεπιφάνειας γλυκού-αλμυρού νερού λόγω εντατικών αντλήσεων.
- Μερική αντιστρεψιμότητα του φαινομένου της υφαλμύρισης υπάρχει μόνο στους υδροφορείς των Πλειο-Πλειστοκαινικών ιζημάτων και μάλιστα θεαματική και όχι στους ασβεστολίθους στους οποίους συνεχίζεται η υποβάθμιση της ποιότητας του νερού.

8.9. Γεωχημική εξέλιξη των υπόγειων νερών του Θριασίου Πεδίου

Από τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων της περιόδου Ιανουαρίου –Οκτωβρίου 2012 προκύπτουν στοιχεία για τον καθορισμό της εξελικτικής πορείας των υπόγειων νερών στην περιοχή μελέτης. Στην προσπάθεια αυτή χρησιμοποιήθηκαν και οι χημικές αναλύσεις της περιόδου 1999-2001 οι οποίες πραγματοποιήθηκαν από το Εργαστήριο Εδαφοϋδρολογίας της Δνσης Γεωλογίας του Υπουργείου Γεωργίας (Παρασχούδης 2002). Όπως έχει αναφερθεί και σε προηγούμενη παράγραφο η θέση των πηγαδιών δειγματοληψίας, το βάθος του δείγματος ο τρόπος λήψης του δείγματος και γενικότερα όλη η διαδικασία δειγματοληψίας είναι η ίδια για τις δύο περιόδους. Η διαφορά βρίσκεται στο γεγονός ότι την περίοδο του 2012 χρησιμοποιήθηκε η ιοντική χρωματογραφία για τον προσδιορισμό των ιόντων στο υπόγειο νερό.

Από την μελέτη κατανομής λοιπόν των ιοντικών λόγων Mg^{2+}/Ca^{2+} (meq/l) (Εικόνα 8.34) κατά την περίοδο του 2012 διαφαίνεται τροφοδοσία των υδροφόρων με ασβεστολιθικά νερά με λόγο Mg^{2+}/Ca^{2+} 0,5 από τα ΒΔ της περιοχής μελέτης κοντά στην γεώτρηση 116, ενώ από τα ανατολικά επικρατεί τροφοδοσία με δολομιτικά νερά με λόγο Mg^{2+}/Ca^{2+} 0,96. Επίσης επίδραση μαγνησιούχων νερών με τον λόγο Mg^{2+}/Ca^{2+} να κυμαίνεται από 1,6-1,8 επικρατεί και στην γεώτρηση 96 ΒΑ της Ελευσίνας.

Στην περιοχή της γεώτρησης 147 στα ΒΑ του πεδίου ο λόγος Mg^{2+}/Ca^{2+} εξελίσσεται από 0,82 τον Ιανουάριο σε 0,8 τον Μάιο και 1,2 τον Οκτώβριο. Σε αυτήν περιοχή η χημική σύσταση του νερού υποδηλώνει ανάμιξη με κάποιες ποσότητες θαλασσινού νερού με τον λόγο Cl/Br^- να βρίσκεται στο 220 (495 meq/l) τον Ιανουάριο, 280 (630 meq/l) τον Μάιο και 335 (755 meq/l) τον Οκτώβριο και τον λόγο Na^+/Cl^- να εξελίσσεται από 0,96 τον Ιανουάριο σε 0,87 τον Μάιο και 0,83 τον Οκτώβριο. Την περίοδο του 1999-2000 οι αντίστοιχες τιμές του λόγου Mg^{2+}/Ca^{2+} ήταν 0,85-1,2 και του λόγου Na^+/Cl^- ήταν 0,96. Δηλαδή η κατάσταση εκεί παρουσιάζεται σταθερή για τα 13 χρόνια που μεσολαβούν από το 1999 έως το 2012. Τον Οκτώβριο λοιπόν όπου επικρατούν οι χαμηλές στάθμες και η επίδραση του θαλασσινού νερού έπρεπε να είναι μεγαλύτερη, όπως άλλωστε είναι φυσιολογικό, συμβαίνει ακριβώς το

αντίθετο. Πιθανή ερμηνεία είναι ότι τα νερά εκεί επηρεάζονται από την θάλασσα την περίοδο πριν τον Μάιο ενώ τις άλλες εποχές ποσότητες φρέσκου νερού εισέρχονται στον υδροφόρο. Ουσιαστικά οι στάθμες στο καρστικό σύστημα δεν ακολουθούν την συνηθισμένη πορεία με υψηλές στάθμες τον Απρίλιο και χαμηλές τον Οκτώβριο αλλά μία σύνθετη πορεία με υψηλές τον Δεκέμβριο και τον Μάρτιο και χαμηλές τον Ιούνιο και τον Σεπτέμβριο. Πολύ πιθανή ερμηνεία είναι ότι το καρστικό σύστημα μεταβιβάζει νερό μέσω δύο μηχανισμών ο ένας από τους οποίους είναι ταχύς διαμέσου καρστικών αγωγών και ο άλλος είναι βραδύτερος μέσω διακλάσεων ή του πρωτογενούς πορώδους των ασβεστολίθων. Ο λόγος Mg^{2+}/Ca^{2+} ωστόσο αποτελεί και ποιοτικό δείκτη της μεγάλης παραμονής των νερών στον υδροφόρο όταν παίρνει τιμές μεταξύ 1-2 (Edmunds and Smedley 2000, Cardenal et al 1994). Σε αυτό συνηγορεί και το αρνητικό Eh που συναντάται στο νερό της γεώτρησης. Επομένως αντλείται νερό μεγάλης σχετικά ηλικίας από βαθύτερα στρώματα ή/και στρώματα μικρής μεταβιβασιμότητας.

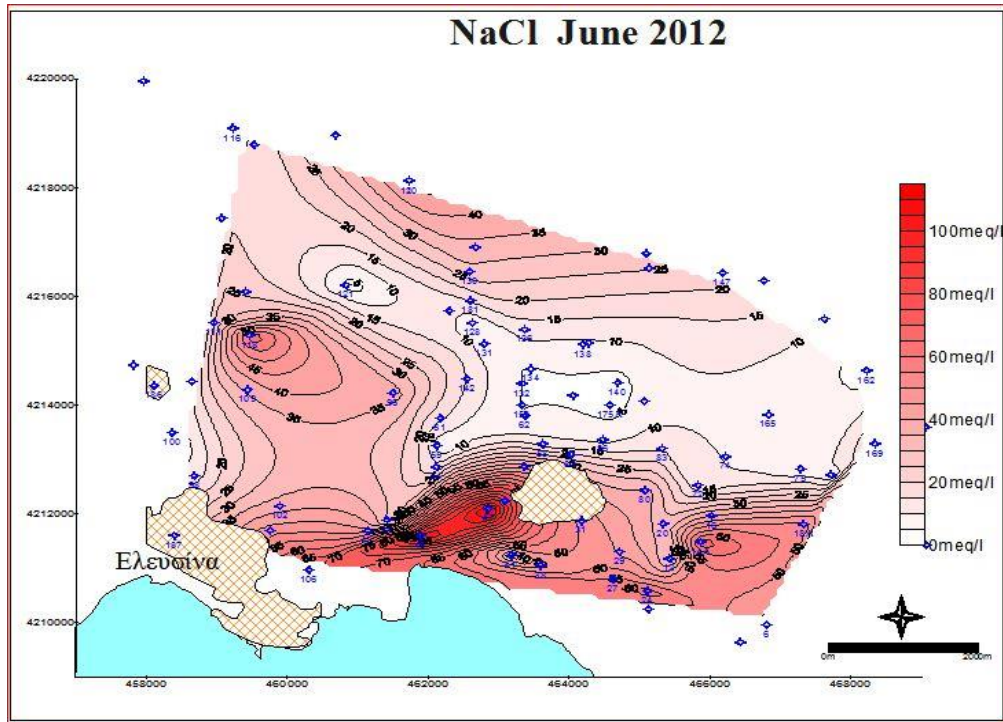
Στην περιοχή της γεώτρησης 96 οι λόγοι Mg^{2+}/Ca^{2+} και Na^+/Cl^- κινούνται γύρω στο 1,66 και 1,1 αντίστοιχα και παραμένουν δε και αυτοί σταθεροί κατά την διάρκεια των ετών 1999-2012. Αυτό που αξίζει να αναφερθεί είναι ότι ο λόγος Cl^-/Br^- τον Οκτώβριο του 2012 δείχνει ότι το νερό επηρεάζεται από την διάλυση αλίτη φθάνοντας στην τιμή 1510 (3403 meq/l). Και σε αυτήν την γεώτρηση το Eh τείνει στο μηδέν επικρατώντας αναγωγικές συνθήκες.

Καθώς αυτά τα νερά εισέρχονται στα κροκαλο-λατυποκροκαλοπαγή εμπλουτίζονται με μαγνήσιο αυξάνοντας την περιεκτικότητά τους σε Mg^{2+} . Αντίθετα, τα νερά στα ασβεστολιθικά πετρώματα των κρασπέδων του πεδίου είναι περισσότερο επιρρεπή στην είσοδο του θαλασσινού νερού και γι' αυτόν τον λόγο την περίοδο του Οκτωβρίου τα πηγάδια που δέχονται τέτοια νερά έχουν αυξημένη συγκέντρωση χλωριόντων.

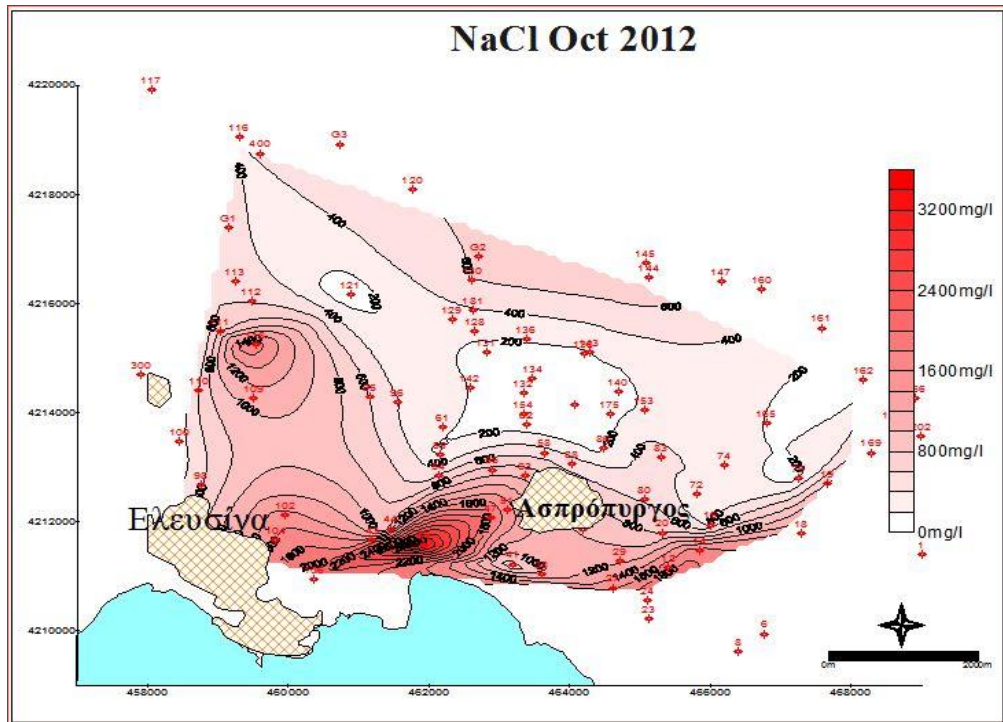
Στην κεντρική περιοχή του Θριασίου Πεδίου ο λόγος Na^+/Cl^- είναι κάτω της τιμής 0,7 γεγονός που υποδηλώνει την ύπαρξη ανθρωπογενούς παρέμβασης αφού η συγκέντρωση του Cl^- είναι μεγαλύτερη του Na^+ σε σχέση με την τιμή 0,867 του θαλασσινού νερού. Το γεγονός αποδεικνύει ότι το κεντρικό τμήμα του πεδίου είναι, αν όχι ανεπηρέαστο από την θάλασσα, τουλάχιστον πολύ μικρής επίδρασης. Τα πηγάδια με τα νούμερα 41, 44, 54, 55 στα οποία ο λόγος παρουσιάζεται μεγαλύτερος της μονάδας ενδέχεται να λαμβάνει χώρα εξαλλοίωση αστρίων προς σχηματισμό Na-ούχων αστρίων πχ αλβίτη ή/και να λαμβάνει χώρα κατιοντοανταλλαγή και απελευθέρωση κατιόντων Na^+ .

Τα ίδια περίπου εξάγονται και από τον χάρτη κατανομής του λόγου Cl^-Na^+/Cl^- (Εικόνα 8.40) ο οποίος στα προαναφερόμενα πηγάδια 41, 44, 54, 55 παρουσιάζεται αρνητικός με πλεόνασμα κατιόντων Na^+ . Τα ίδια περίπου αποτυπώνονται και στους χάρτες κατανομής του NaCl στην Εικόνα 8.59.

Στην Εικόνα 8.37 ο χάρτης απεικονίζει τον λόγο $(Ca^{2+}+Mg^{2+})/Na^+$. Είναι χαρακτηριστική η μορφή των καμπυλών όπου φαίνεται η τροφοδοσία της περιοχής από τα ΒΔ και ΒΑ αλλά και την απ' ευθείας κατείσδυση από τα νερά της βροχής.



α)



β)

Εικόνα 8.59: Χάρτης ισοτιμικών καμπυλών NaCl α) Μαΐου-Ιουνίου και β) Οκτωβρίου 2012.

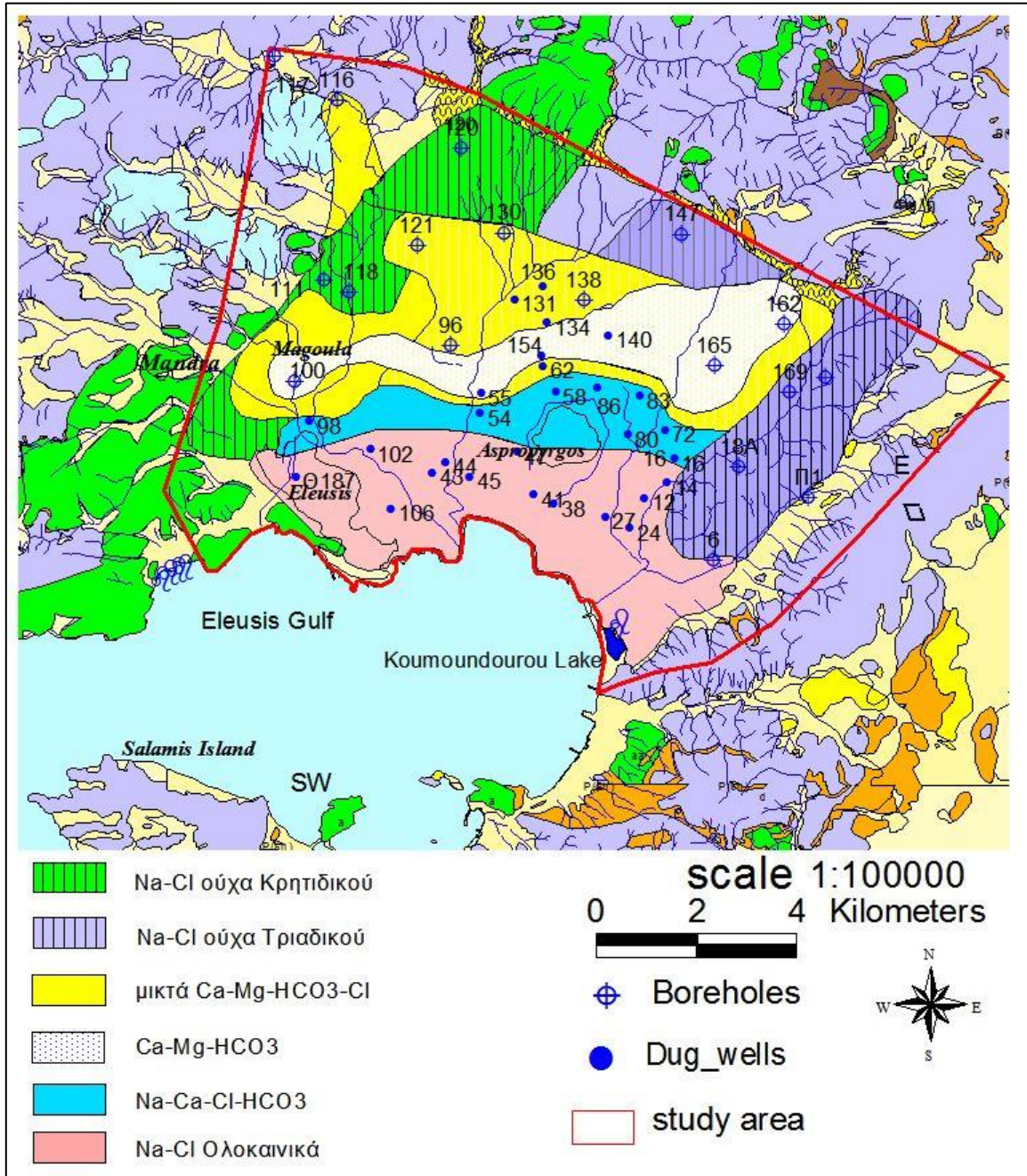
Στα ίδια συμπεράσματα καταλήγει και η μελέτη της κατανομής του λόγου των ανιόντων $\text{HCO}_3^-/\text{Cl}^-$ όπου καταφαίνεται η πλευρική τροφοδοσία με φρέσκο νερό από δυτικά και βορειοανατολικά του Ασπρόπυργου και η απ' ευθείας τροφοδοσία του Θριασίου Πεδίου, από την βροχή, σε περιορισμένα, βέβαια, σημεία.

Οι περισσότερες τιμές του $p\text{CO}_2$ βρίσκονται στο $2,5\pm 0,3$ για τους υπό πίεση ορίζοντες και $1,6\pm 0,3$ για τους ελεύθερους, οι οποίες αναφέρονται σε κλειστό και ανοικτό σύστημα διάλυσης ασβεστίτη και δολομίτη αντίστοιχα.

Από την μελέτη και την ανάλυση των παραπάνω γεωχημικών διεργασιών οι οποίες παρουσιάστηκαν στις προηγούμενες παραγράφους, διαφαίνεται και καταγράφεται η πορεία και η εξέλιξη της ροής του υπόγειου νερού (Εικόνα 8.60) και της ποιότητάς του στο Θριάσιο Πεδίο σύμφωνα με τα εξής στάδια:

- Το 1ο στάδιο περιλαμβάνει νερό της βροχής το οποίο κατεισδύει μέσω των Πλειστοκαινικών κροκαλοπαγών του ελεύθερου υδροφόρου ορίζοντα και του υπό πίεση/μερικώς υπό πίεση υδροφόρου σε τμήματα που βρίσκονται σε υψηλότερα τοπογραφικά σημεία. Σε αυτά λαμβάνει χώρα διάλυση ασβεστίτη και δολομίτη δημιουργώντας Ca-Mg-HCO_3 τύπου νερά. Χαρακτηριστικό τους είναι η πίεση του CO_2 όπου $p\text{CO}_2=10^{-1,6}$. Αυτά αντιπροσωπεύουν και τα φρέσκα νερά στην γεωχημική εξέλιξη.
- Το 2ο στάδιο περιλαμβάνει τα νερά τύπου Na-HCO_3 και στο οποίο εξελίσσεται το φαινόμενο της κατιοντοανταλλαγής στον ελεύθερο ή στον μερικώς υπό πίεση υδροφόρο. Το κατιόν Na^+ ανταλλάσσεται από τα κατιόντα Ca^{2+} και Mg^{2+} με αποτέλεσμα τα νερά να είναι πλούσια σε Na^+ .
- Το 3ο είναι ενδιάμεσο στάδιο και περιλαμβάνει την επιστροφή του νερού των αρδεύσεων προς τους υδροφορείς κατά το οποίο το νερό επιβαρύνεται με άλατα λόγω της μεγάλης εξατμισοδιαπνοής που προκαλείται λόγω των κλιματικών συνθηκών με αποτέλεσμα την αύξηση της περιεκτικότητά τους σε Ca^{2+} , Mg^{2+} κατά κύριο λόγο και λιγότερο σε Cl^- και SO_4^{2-} .
- Το 4ο στάδιο περιλαμβάνει παλαιά Na-Cl τύπου νερά τα οποία προέρχονται από μίξη με θαλασσινού νερού ή υπολείμματα αυτού ή/και διάλυση αλίτη καθώς επίσης σε ορισμένες θέσεις σύγχρονη επίδραση θαλασσινού νερού. Τα νερά της παραλιακής ζώνης βρίσκονται σε σχεδόν στάσιμη κατάσταση και είναι μεγάλης ηλικίας. Η επιβάρυνση του χημισμού του νερού με πολύ υψηλές τιμές TDS, EC, Cl^- , κοντά στην ακτή οφείλεται στην μακροχρόνια επίδραση του φαινομένου της διάχυσης. Στους Κρητιδικούς ασβεστολίθους αναπτύσσεται ενδιάμεσο σύστημα υπόγειας ροής το οποίο υπόκειται αυτό των Πλειο-Πλειστοκαινικών ιζημάτων.
- Το 5ο στάδιο περιλαμβάνει νερά $\text{Ca-Mg-HCO}_3\text{-Cl}$ χωρίς ιδιαίτερο τύπο που προέρχονται από μίξη νερών τύπου Ca-Mg-HCO_3 και Na-Cl . Εμφανίζεται στα Πλειο-Πλειστοκαινικά ιζήματα στα οποία η πίεση του CO_2 βρίσκεται γύρω στην τιμή $p\text{CO}_2=10^{-2,7}$ ενώ εξελίσσεται απόθεση ασβεστίτη και δολομίτη και εμφανίζεται στα πηγάδια 16, 20, 55, 98, 100, 111, 116, 121, 130, 162 καθώς και ελαφριάς μορφής αναγωγή των SO_4^{2-} η οποία λαμβάνει χώρα στα βαθύτερα στρώματα στην κεντρική περιοχή του Πεδίου και στα πηγάδια με τα νούμερα 62, 86, 72, 75, 131, 134, 136, 138, 140, 154. Ο τύπος αυτός νερών εμφανίζεται και στους Τριαδικούς ασβεστόλιθους στα κράσπεδα του πεδίου. Στους τελευταίους αναπτύσσεται εκτεταμένο υπόγειο σύστημα ροής το οποίο σε άλλες θέσεις επικοινωνεί με την θάλασσα και σε άλλες όχι.

- Το 6ο και τελικό στάδιο περιλαμβάνει μεγάλης σχετικά ηλικίας νερά Ca-Mg-Cl τύπου στα οποία επικρατεί αντίστροφη κατιοντοανταλλαγή και προέρχονται από νερά του προηγούμενου σταδίου ή από παλαιά νερά Na-Cl τύπου. Χαρακτηριστικό τους είναι η πίεση του CO₂ όπου κυμαίνεται από P_{CO2}=10^{-1.32} έως P_{CO2}=10^{-1.9}. Τα νερά αυτά βρίσκονται εντός των Ολοκαινικών-Πλειστοκαινικών ιζημάτων όπου βρίσκονται σε ισορροπία με την ατμόσφαιρα ή τελούν υπό μερική πίεση. Σε αυτά εξελίσσεται το φαινόμενο της αποδολομιτίωσης και η απόθεση ασβεστίτη.



Εικόνα 8.60: Χάρτης κατανομής του τύπου νερού και της εξέλιξης των υπόγειων νερών στο Θριάσιο Πεδίο.

9. ΕΝΝΟΙΟΛΟΓΙΚΟ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΟ ΟΜΟΙΩΜΑ

9.1. Γενικά

Ο πρωταρχικός σκοπός ενός υδρογεωλογικού ομοιώματος (μοντέλου) είναι η ολοκλήρωση της γνώσης μας σε ό,τι αφορά το υδρογεωλογικό καθεστώς των υπόγειων νερών μιας περιοχής. Δηλαδή όλες τις αλλαγές που λαμβάνουν χώρα όσον αφορά στάθμες και κίνηση του υπόγειου νερού, παροχές του υδροφορέα, αντλήσεις, φορτίσεις (εισροές κατακόρυφες-πλευρικές) και εκφορτίσεις (κατακόρυφες-πλευρικές, πηγές, θάλασσα κλπ), υδραυλικά όρια, χημισμός του νερού και την δυνατότητα να προβλέπει και να εκτιμά την αντίδραση του υδροφορέα σε κάθε μελλοντική αλλαγή.

Η κατασκευή του παραπάνω μοντέλου προϋποθέτει όμως την βασική κατανόηση των γεωλογικών και υδρογεωλογικών χαρακτηριστικών της περιοχής, δηλαδή την στρωματογραφία της περιοχής, το πως λειτουργεί ο υδροφόρος ορίζοντας ή το σύνολο των υδροφόρων που μετέχουν σε αυτή την δομή, τις περιοχές και τον τρόπο τροφοδοσίας των υδροφόρων, υδραυλικά τυχόν όρια και γενικότερα όρια των σχηματισμών ή των αποθέσεων.

Στην περίπτωση του Θριασίου Πεδίου αυτά είναι αρκετά δύσκολο να προσδιορισθούν με ακρίβεια λόγω έλλειψης στοιχείων, παρά το γεγονός ότι στην περιοχή έχουν ασχοληθεί πολλοί ερευνητές και έχουν πραγματοποιηθεί πολλές εργασίες και μελέτες. Δεν είναι πλήρως κατανοητό ποια η παλαιογεωγραφική της εξέλιξη, η γεωμετρία, τα πάχη και οι διαστάσεις των στρωμάτων, ο μηχανισμός υφαλμύρινσης των υδροφόρων, η περιοχή και ο τρόπος τροφοδοσία των υδροφόρων οριζόντων.

Στην διατριβή αυτή είναι η πρώτη φορά που επιχειρείται να προσεγγισθεί το εννοιολογικό υδρογεωλογικό μοντέλο του Θριασίου Πεδίου με μία εκ βάθρων αναθεωρημένη πρόταση, θεμελιωμένη στην στρωματογραφία και τον υδραυλικό χαρακτήρα των υδροφορέων καθώς επίσης την ποιότητα του υπόγειου νερού και τις υδρογεωχημικές διεργασίες που επιτελούνται σε αυτόν.

Στα δύο προηγούμενα κεφάλαια έγινε προσπάθεια προσέγγισης όλων των παραπάνω παραμέτρων ξεκινώντας ουσιαστικά από την πρώτη και βασική πληροφορία, την γεωλογική δομή των σχηματισμών που μετέχουν στο Θριάσιο Πεδίο.

9.2. Υδρογεωλογικό καθεστώς των υπόγειων νερών του Θριασίου Πεδίου

Βάσει των υδρογεωλογικών, στρωματογραφικών, τεκτονικών, γεωφυσικών και υδροδυναμικών στοιχείων τα οποία εκτέθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια οι υδρογεωλογικές συνθήκες του Θριασίου αναθεωρούνται και τα υδροφόρα στρώματα που αναπτύσσονται εκεί κατατάσσονται γενικά σε τρεις υδροστρωματογραφικές ενότητες με κοινά γεωλογικά, υδρογεωλογικά και υδροδυναμικά χαρακτηριστικά. Οι ενότητες αυτές διακρίνονται με κριτήρια γεωλογικά (γεωλογικοί σχηματισμοί, καρστικοποίηση και τεκτονισμός, στρωματογραφία), υδρογεωλογικά (περιοχές τροφοδοσίας και εκφόρτισης, τύπος υδροφορέα, το είδος του συστήματος υπόγειας ροής που αναπτύσσεται, επικοινωνία υδροφορέων τόσο μεταξύ τους όσο και με την θάλασσα), υδροχημικά (περιβαλλοντικοί ιχνηθέτες) και αναλόγως του υδραυλικού τους χαρακτήρα (υδραυλικά φορτία, υδραυλική κλίση, υδραυλικά χαρακτηριστικά). Αυτές οι ενότητες έχουν ως ακολούθως (Εικόνα 9.1):

- **Η πρώτη υδροστρωματογραφική ενότητα** αποτελείται από τους υδροφορείς που φιλοξενούνται στα τα ιζήματα του Νεογενούς-Τεταρτογενούς. Διακρίνεται σε δύο υποενότητες. Η πρώτη υποενότητα αποτελείται από τα ιζήματα του Ολοκαίνου-Ανώτερου Πλειστοκαίνου και η δεύτερη υποενότητα, η οποία βρίσκεται βαθύτερα της πρώτης, αποτελείται από τα ιζήματα του Πλειο-Πλειστοκαίνου. Στην υδροστρωματογραφική αυτή ενότητα αναπτύσσεται ένα τοπικό σύστημα υπόγειας ροής στην ανώτερη υποενότητα το οποίο κινείται γενικά με μικρή υδραυλική κλίση ΝΔ έως Ν προς την θάλασσα και ένα ενδιάμεσο σύστημα υπόγειας ροής στην κατώτερη υποενότητα, το οποίο κινείται αρχικά προς ΝΔ και καταλήγοντας προς $135^{\circ}\pm 20^{\circ}$ ΝΑ. Στα ιζήματα της πρώτης υποενότητας (ανώτερης) αναπτύσσεται ελεύθερη υδροφορία και κατά θέσεις μερικώς υπό πίεση (semi-confined), ενώ στα ιζήματα της δεύτερης (κατώτερης) υποενότητας σχηματίζεται μία ακολουθία υδροφόρων υπό πίεση/μερικώς υπό πίεση (multi-layered confined/leaky system), η οποία αναλόγως της γεωγραφικής της θέσης υπέρκειται των ανθρακικών ιζημάτων του Τριαδικού ή του Κρητιδικού.
- **Η δεύτερη υδροστρωματογραφική ενότητα** περιλαμβάνει τον υδροφορέα των Κρητιδικών ασβεστολίθων στους οποίους αναπτύσσεται ένα ενδιάμεσο και κατά θέσεις τοπικό σύστημα υπόγειας ροής χαμηλότερης θερμοκρασίας κατά 1-2 °C και υψηλότερης ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC) κατά έως 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ από αυτήν των Τριαδικών ανθρακικών. Οι ασβεστόλιθοι αυτοί βρίσκονται στο δυτικό τμήμα του Θριασίου αναπτυσσόμενοι σε ΒΑ-ΝΔ διεύθυνση. Εμφανίζονται στην επιφάνεια σε ορισμένες θέσεις και κυρίως κάτω από τα Τεταρτογενή. Δεν αποκλείεται το ενδεχόμενο να βρίσκονται και κάτω από ιζήματα του Πλειο-Πλειστοκαίνου, σε κάποιες θέσεις. Το υπόγειο νερό κινείται προς $130^{\circ}\pm 10^{\circ}$ ΝΔ ακολουθώντας την γενική διεύθυνση ανάπτυξης των Κρητιδικών ασβεστολίθων και εκφορτίζεται μέσω παράκτιων πηγών στην θάλασσα.
- **Η τρίτη υδροστρωματογραφική ενότητα** αναπτύσσεται στο σύμπλεγμα των Τριαδικών ιζημάτων, το οποίο αποτελείται από ασβεστολίθους, δολομιτικούς ασβεστολίθους, δολομίτες, παχυστρωματώδεις ή όχι, άλλοτε συμπαγείς και άλλοτε διερρηγμένους, καρστικοποιημένους ή όχι, με λεπτά στρώματα σχιστολίθων στους ανώτερους σχηματισμούς και φυλλίτες-ψαμμίτες στα κατώτερα μέλη και τα οποία φέρουν εκρηξιγενή σώματα. Υπόβαθρο αυτής της ενότητας αποτελούν τα ιζήματα των σχιστολίθων του Ανώτερου Παλαιοζωικού και τα αδιαπέρατα στρώματα των φυλλιτών του Τριαδικού. Σε αυτήν την υδροστρωματογραφική ενότητα αναπτύσσεται ένα εκτεταμένο σύστημα υπόγειας ροής που επικρατεί σε όλη την ευρύτερη περιοχή με πολλές ιδιαιτερότητες. Η ενότητα αυτή υπόκειται των προηγούμενων αναφερομένων ενοτήτων. Το υπόγειο νερό στην στενή περιοχή του Θριασίου Πεδίου κινείται ΝΔ προς την θάλασσα ενώ στα βορειοδυτικά όρια του Πεδίου κινείται προς ΒΔ και στα βορειοανατολικά όρια κινείται προς ΒΑ.

Ειδικότερα, στο Θριάσιο αναπτύσσεται υδροφορία στα παρακάτω ιζήματα (Εικόνες 9.1, 9.2):

Ιζήματα του Ανώτερου Πλειστοκαίνου-Ολοκαίνου. Ανήκουν στην ανώτερη υποενότητα της πρώτης υδροστρωματογραφικής ενότητας. Σχηματίζουν ελεύθερο υδροφόρο μικρής παροχής όπου κατά θέσεις αποκτά μερικώς υπό πίεση χαρακτήρα. Αποτελείται από αργίλους, άμμους,

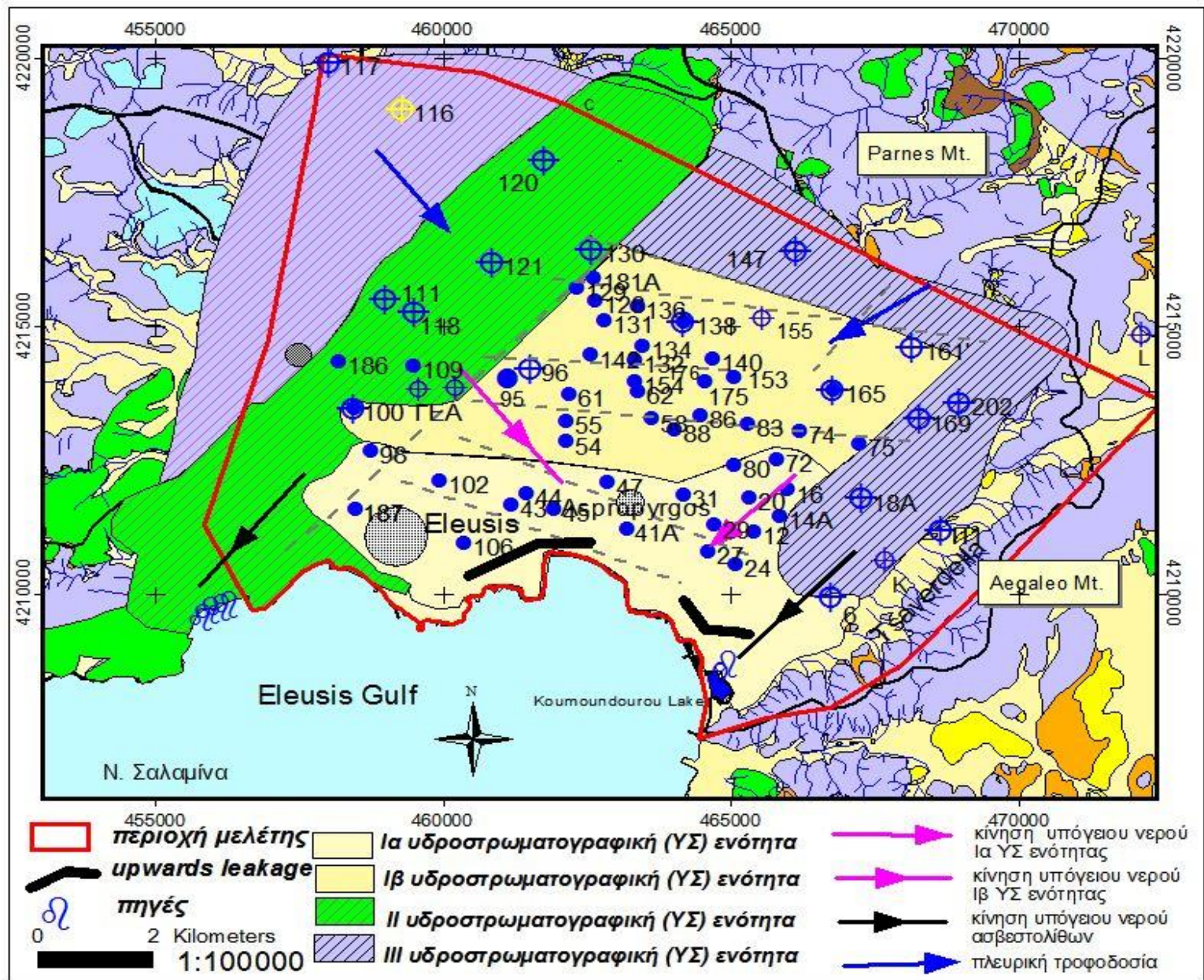
χάλικες, κροκάλες και λατύπες σχηματίζοντας συχνά λατυποκροκαλοπαγείς τράπεζες ενίοτε πολύ συμπαγείς. Το πάχος του υδροφόρου κυμαίνεται από 2-10 m και στα υψηλά τοπογραφικά σημεία έως και 30m. Τροφοδοτείται: (1) απ' ευθείας από τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα και τα ρέματα της περιοχής, (2) από τα επιστρεφόμενα νερά των αρδεύσεων, (3) από λίγες εισροές προερχόμενες από τους κώνους κορημάτων και (4) από κατακόρυφες προς τα πάνω εισροές (upwards leakage) των χαμηλότερων ευρισκομένων μερικώς υπό πίεση (leaky) υδροφόρων. Το υδραυλικό φορτίο κυμαίνεται από +0,5 έως +4m στα χαμηλότερα τοπογραφικά σημεία και μέχρι και +30m στα υψηλότερα. Η υδραυλική κλίση παίρνει τιμές από 1-3‰ προς την θάλασσα.

Ιζήματα του Κατώτερου Πλειστοκαίνου. Ανήκουν στην κατώτερη υποενότητα της πρώτης υδροστρωματογραφικής ενότητας. Αποτελείται από αργίλους, άμμους, χάλικες και κροκαλοπαγή. Σχηματίζουν μία ακολουθία υδροφόρων από υπό πίεση και μερικώς υπό πίεση υδροφόρους οι οποίοι διαχωρίζονται από στεγανά ή ημιστεγανά στρώματα. Σε αυτήν την ακολουθία υπάρχουν μέχρι και 6 διαφορετικοί οριζόντες οι οποίοι έχουν πάχος από 1-3m και σε ορισμένες περιπτώσεις μέχρι και 12 m. Τροφοδοτούνται: (1) από τα ρέματα της περιοχής στα υψηλά τοπογραφικά σημεία, (2) από διαρροές από τα ανώτερα στρώματα σε ορισμένες θέσεις και (3) από πλευρικές εισροές προερχόμενες από τα ανθρακικά από τα ΒΔ και ΒΑ του Πεδίου. Το υδραυλικό φορτίο κυμαίνεται από +7 έως +13 και η υδραυλική κλίση από 1-5‰.

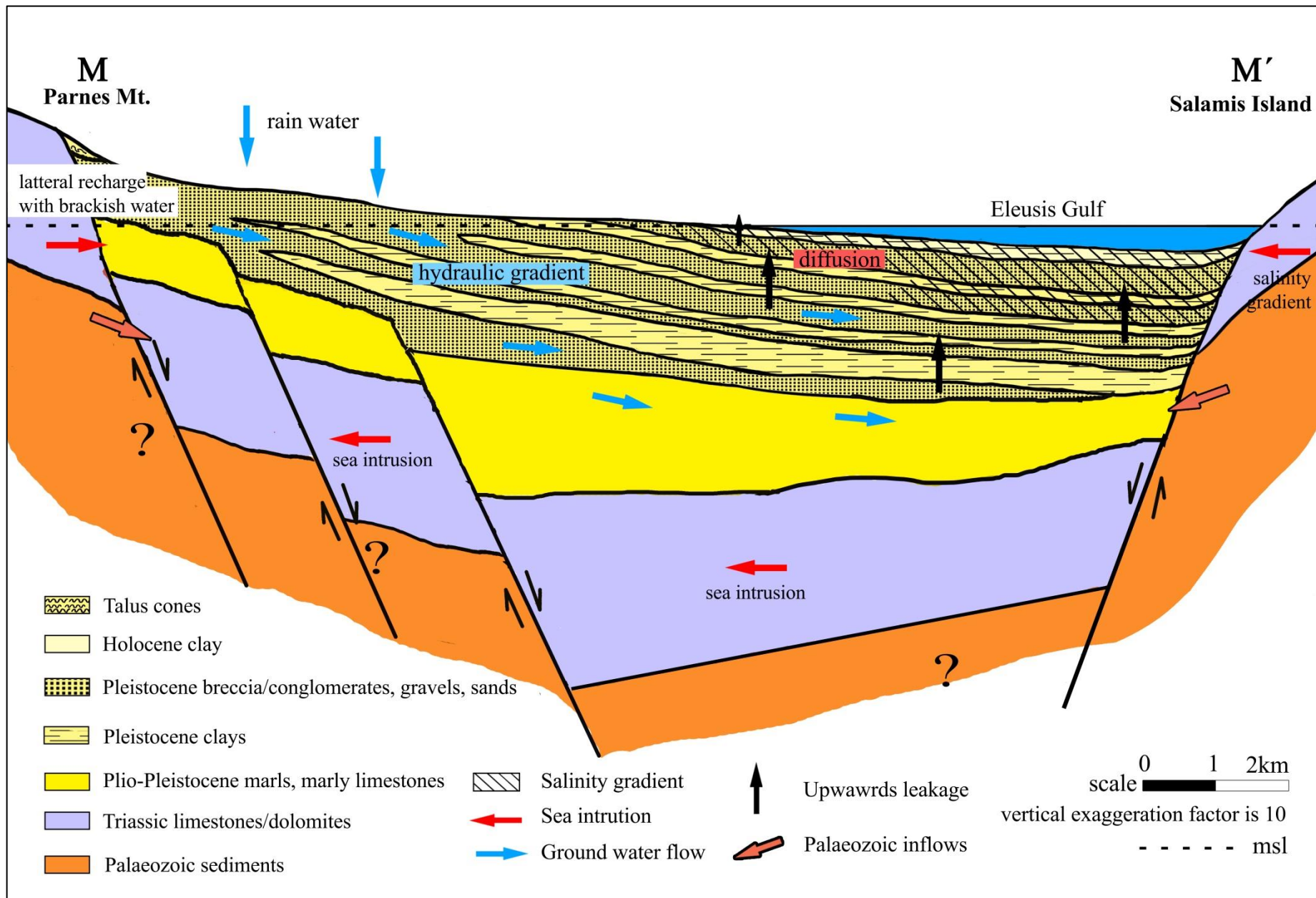
Ιζήματα του Πλειο-Πλειστοκαίνου. Ανήκουν και αυτά στην κατώτερη υποενότητα της πρώτης υδροστρωματογραφικής ενότητας. Αποτελούνται από μάργες, μάργες με στρώσεις λιγνίτη, ψαμμίτες, κροκαλοπαγή και μαργαϊκούς ασβεστολίθους. Το πάχος τους είναι γύρω στα 100-150 m. Αναπτύσσεται υπό πίεση υδροφορία. Δύσκολα διακρίνεται από τα προηγούμενα διότι βρίσκονται σε μεγάλο βάθος και δεν υπάρχουν αρκετά στοιχεία. Τροφοδοτούνται: (1) από τα νερά της βροχής και τις διαρροές των ανώτερων στρωμάτων στα υψηλά τοπογραφικά σημεία και (2) πλευρικά από τα μικρής παροχής υδροφόρα στρώματα του Παλαιοζωικού υποβάθρου, όπως τα κροκαλοπαγή και τα ασβεστολιθικά στρώματα. Το υδραυλικό φορτίο μπορεί να κυμαίνεται από +1 έως +10m και η υδραυλική κλίση μπορεί να είναι από 1-5‰.

Κρητιδικό ασβεστόλιθοι. Ανήκουν στην δεύτερη υδροστρωματογραφική ενότητα. Είναι έντονα κερματισμένοι και σχηματίζουν ελεύθερο υδροφόρο ορίζοντα. Τροφοδοτούνται: (1) από την βροχή, (2) πλευρικά από περιοχές με μεγαλύτερο υψόμετρο, (3) από διαρροές από τα ανώτερα ευρισκόμενα Πλειστοκαινικά στρώματα και (4) από την διείσδυση θαλασσινού νερού γιατί βρίσκεται σε υδραυλική επικοινωνία με την θάλασσα. Το πάχος της υδροφορίας δεν είναι γνωστό, δεν πρέπει όμως να ξεπερνά τα 60-80m. Η παροχή άντλησης είναι μεγαλύτερη από 100 m³/h και η μεταβιβαστικότητα $T=5000\text{m}^2/\text{d}$ ($6 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$). Η υδραυλική κλίση κυμαίνεται από 0,5-1‰.

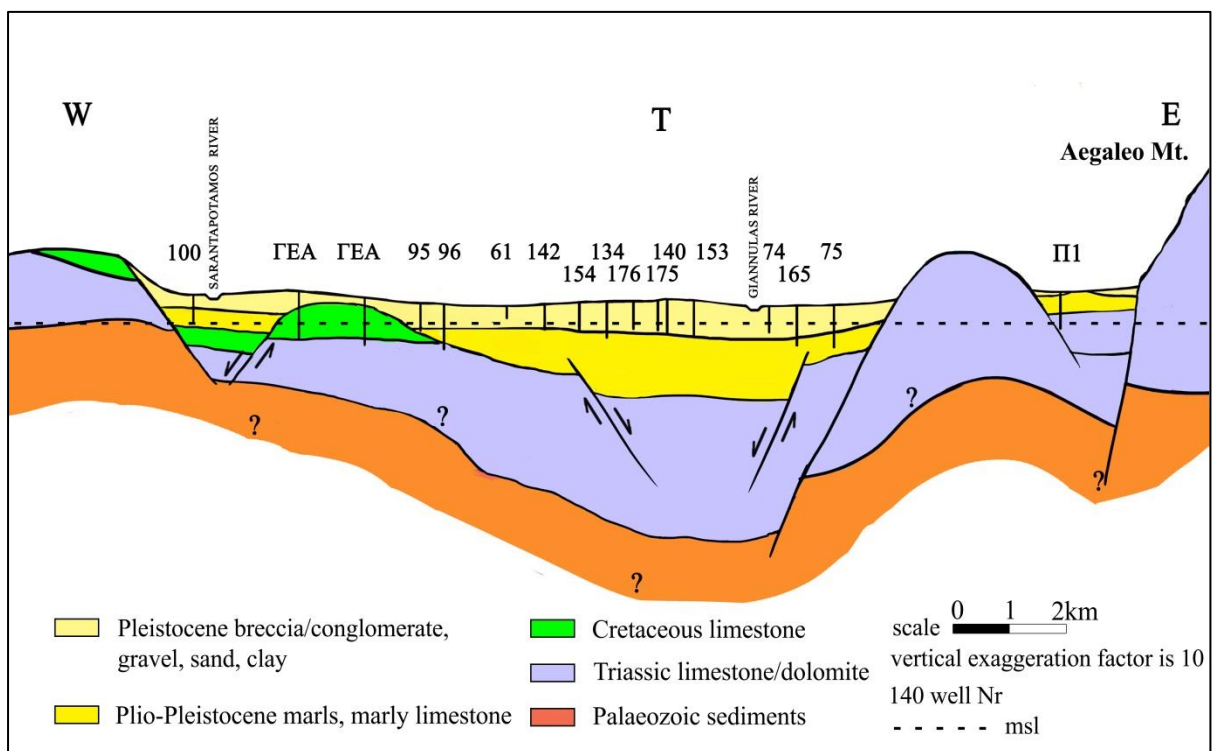
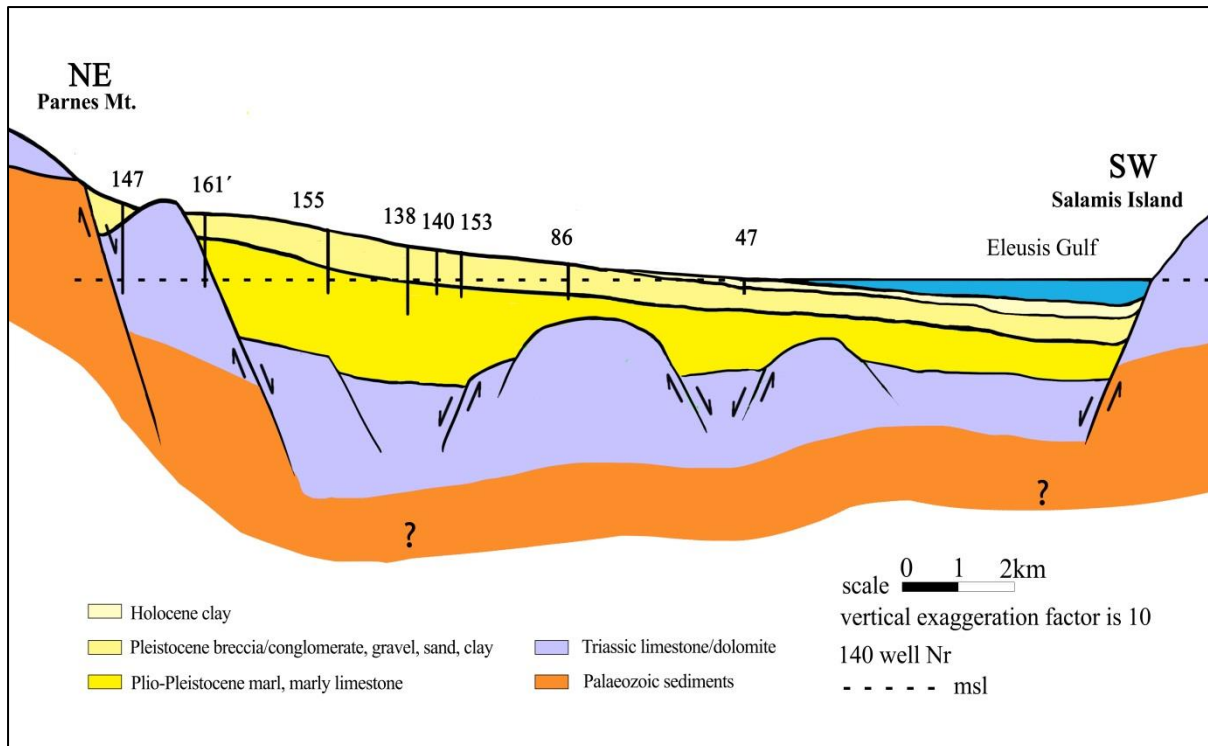
Τριαδικό σύμπλεγμα. Ανήκουν στην τρίτη υδροστρωματογραφική ενότητα Αποτελείται από τα προαναφερόμενα ιζήματα και σχηματίζουν άλλοτε ελεύθερο υδροφόρο ορίζοντα και στις περισσότερες θέσεις υπό πίεση. Ο τύπος της υδροφορίας εξαρτάται από τον βαθμό καρστικοποίησης και τεκτονισμού. Η ποιότητα του νερού και η μεταβιβαστικότητα T διαφέρουν αρκετά από θέση σε θέση. Η παροχή άντλησης κυμαίνεται από 5-10 m³/h μέχρι και 40-80 m³/h και το υδραυλικό φορτίο κυμαίνεται από +6 έως +13 m. Η υδραυλική κλίση κυμαίνεται από 0,5-1‰.



Εικόνα 9.1: Υδροστρωματογραφικές ενότητες.



Εικόνα 9.2: Εννοιολογικό υδρογεωλογικό ομοίωμα (μοντέλο) των υπόγειων νερών του Θριασίου Πεδίου.



Εικόνα 9.3: Γεωλογικές τομές ΒΑ-ΝΔ και Δ-Α διεύθυνσης.

9.3. Ερμηνεία της αλατότητας υπόγειων νερών Θριασίου Πεδίου

Η στρωματογραφία και η τεκτονική καθώς και οι διακυμάνσεις της στάθμης της θάλασσας κατά το Πλειστόκαινο είναι παράγοντες οι οποίοι επηρέασαν σε μεγάλο βαθμό τις υδρογεωλογικές συνθήκες των υπόγειων νερών του Θριασίου Πεδίου. Οι μάργες και τα

αργιλικά στρώματα κυριαρχούν στην διαμόρφωση του υδρογεωλογικού καθεστώτος της περιοχής. Αποτελούν το τοπικό υπόβαθρο του συστήματος υπόγειας ροής της πρώτης υδροστρωματογραφικής ενότητας, το οποίο προστατεύει το φρέσκο νερό από το θαλασσινό νερό που εισέρχεται στην ενδοχώρα κάτω από τις Πλειο-Πλειστοκαινικές αποθέσεις μέσω του Τριαδικού συμπλέγματος κυρίως και του Κρητιδικού ασβεστόλιθου δευτερευόντως. Από την άλλη πλευρά τοπικά, τα μικρής καρστικοποίησης μέλη του Τριαδικού συμπλέγματος παρέχουν νερό χαμηλής αλατότητας, ενώ τα αντίστοιχα μεγάλης καρστικοποίησης μέλη, καθώς και ο κερματισμένος Κρητιδικός ασβεστόλιθος δίνουν νερά υψηλής αλατότητας. Το υπόβαθρο της ευρύτερης περιοχής που αποτελεί το ηφαιστειοϊζηματογενές σύμπλεγμα του Ανώτερου Παλαιοζωικού περιέχει μικρής ικανότητας υδροφορείς, όπως τα κροκαλοπαγή ή οι ασβεστόλιθοι και οι οποίοι τροφοδοτούν πλευρικά τις Πλειο-Πλειστοκαινικές αποθέσεις των μαργαϊκών ασβεστολίθων, ψαμμιτών και κροκαλοπαγών (Εικόνα 9.2).

Η γεωλογική/υδρογεωλογική τομή της Εικόνας 9.2 είναι βασισμένη στον γεωλογικό χάρτη του ΙΓΜΕ (Κατσικάτσος et al 1985), σε προηγούμενες γεωφυσικές έρευνες στην περιοχή μελέτης (Σκιάνης και Νούτσης 2008, Γκούμας 2006), σε γεωτρητικά στοιχεία από γεωτρήσεις του Υπ. Γεωργίας και του ΕΛΚΕΘΕ, από στοιχεία που δόθηκαν στον συγγραφέα από ιδιοκτήτες των γεωτρήσεων και από τα αποτελέσματα και την ερμηνεία των χημικών αναλύσεων που πραγματοποιήθηκαν το 2012 στο πλαίσιο της παρούσης διατριβής.

- **Ανθρακικά Μεσοζωικού**

Στο δυτικό περιθώριο του Θριασίου, στην περιοχή της Μάνδρας και βορειότερα κυριαρχούν οι ασβεστόλιθοι του Τριαδικού ενώ νοτιότερα σημαντικό ρόλο παίζουν οι Κρητιδικοί ασβεστόλιθοι. Το θαλάσσιο νερό έχει εισέλθει στον Κρητιδικό ασβεστόλιθο με μεγάλη άνεση λόγω των πολλαπλών διαρρήξεων και εντός των Τριαδικών ασβεστολίθων με σχετική δυσκολία λόγω της ιδιαιτερότητας τους, όπως προαναφέρθηκε στην προηγούμενη παράγραφο. Παρά το γεγονός αυτό το θετικό υδραυλικό φορτίο και η θετική υδραυλική κλίση διατηρούνται προς την θάλασσα, προς το όριο δηλαδή του θαλασσινού νερού-γλυκού νερού (passive saline water encroachment) (Fetter 1994).

Στο ανατολικό περιθώριο του Θριασίου Πεδίου, η ανύψωση του Αιγάλεω όρους κατά το Πλειστόκαινο, επηρέασε σημαντικά τις υδρογεωλογικές συνθήκες της περιοχής σχηματίζοντας εκεί ένα υδρογεωλογικό όριο ΒΑ-ΝΔ διεύθυνσης. Με αυτόν τον τρόπο οριοθετείται το ανατολικό τμήμα της υδρογεωλογικής λεκάνης του Θριασίου Πεδίου. Οι χημικές αναλύσεις δειγμάτων υπογείων υδάτων των Τριαδικών ασβεστολίθων βόρεια της περιοχής Τσαβερδέλα (βλ. Ενότητα υδρογεωλογίας) μπορεί να υποδεικνύουν την ύπαρξη απολιθωμένου υπόγειου νερού (Λιονής 1992). Ως εκ τούτου, σύγχρονη διείσδυση θαλασσινού νερού δεν μπορεί να είναι η πηγή της υψηλής αλατότητας των υπογείων υδάτων που βρέθηκαν 11 χιλιόμετρα μακριά από την ακτή. Πρέπει λοιπόν να θεωρηθεί ότι η περιοχή μελέτης έχει επηρεαστεί από περισσότερα από ένα επεισόδια διείσδυσης της θάλασσας κατά τη διάρκεια του Πλειστοκαινίου (?). Συνεπώς, οι Τριαδικοί ασβεστόλιθοι έχουν επηρεασθεί τόσο από σύγχρονη, όσο και από παλαιότερη διείσδυση θαλασσινού νερού. Εξάιρεση αποτελεί η περιοχή κοντά στο πηγάδι 161' όπου το νερό παρουσιάζει πολύ καλή ποιότητα με την αγωγιμότητα να κυμαίνεται γύρω από την τιμή $EC=500 \mu S/cm$. Η αυξημένη συγκέντρωση των φθοριόντων $2,6 \text{ mg/l}$ ($0,135 \text{ mmol/l}$) στο ίδιο δείγμα θα μπορούσε να

πιστοποιήσει την ύπαρξη πλευρικών εισροών από τα Άνω-Παλαιοζωικά-Κάτω Τριαδικά ιζήματα, καθώς αυτά περιέχουν μεταπυροκλαστικά και μεταφαιστειακά πετρώματα, στα οποία βρέθηκε βιοτίτης και χλωρίτης (Magganas and Kyriakopoulos 2005). Πολύ πιθανόν πηγή του φθορίου να είναι ο βιοτίτης, ο οποίος υφίσταται εξαλλοίωση προς χλωρίτη με απελευθέρωση φθορίου κάτω από την επίδραση υδροθερμικών διαλυμάτων (Hermides and Stamatis 2017).

- **Μάργες και άργιλοι**

Οι μάργες και τα αργιλικά στρώματα διαφόρου πάχους ελέγχουν τη ροή υπόγειων νερών. Τα ιζήματα αυτά τα οποία βρίσκονται κάτω από την πεδιάδα σχηματίστηκαν πολύ κοντά ή μέσα σε ρηχά θαλάσσια νερά ως χερσαίες, λιμναίες ή λιμνοθαλάσσιες αποθέσεις. Οι διακυμάνσεις της στάθμης της θάλασσας και η νεοτεκτονική δράση κατά το Πλειστόκαινο (Μαριολάκος και Θεοχάρης 2000) είχαν ως αποτέλεσμα τα ιζήματα να εναλλάσσονται από χερσαία σε λιμνοθαλάσσια και το αντίστροφο. Οι μάργες, οι μάργες με παρεμβολές λιγνίτη, οι ψαμμίτες, τα κροκαλοπαγή και ο μαργαϊκός ασβεστόλιθος αποτέθηκαν στο κεντρικό τμήμα και το ανατολικό περιθώριο της περιοχής μελέτης. Στρώματα ερυθρών πηλών αποτέθηκαν σε όλη την πεδιάδα κατά τη διάρκεια του Πλειστοκαίνου.

Φρέσκο υπόγεια νερό υπήρχε στους Πλειστοκαινικούς υδροφορείς 18 Ka BP και τα παρακείμενα θαλάσσια στρώματα είχαν κατακλυσθεί από φρέσκο νερό μέχρι το βάθος των 100-120 μ. Η γρήγορη αύξηση της στάθμης της θάλασσας κατά τη διάρκεια του Ολόκαινου (Roulos et al 2009, Lambeck 1996, Καμπούρογλου 1989, Kraft et al 1980) οδήγησε στην εισβολή θαλασσινού νερού μέσω των χαμηλών υψομετρικά περιοχών των πεδιάδων και των θαμμένων ποτάμιων κοιλάδων καθώς και μέσω των ανθρακικών σχηματισμών. Με αυτό τον τρόπο, το υφάλμυρο νερό συναντάται σε απόσταση 7-8 χιλιόμετρα από την σημερινή ακτογραμμή (Kyriazis et al 2013, Christides 2011, Παρασχούδης 2002, Μιμίδης 2002, Λιονής 1992). Η εναπόθεση μεγάλου πάχους στρωμάτων κόκκινης/κοκκινωπής/καφέ-κόκκινης αργίλου κατά τη διάρκεια του Πλειστόκαινου-Ολοκαινού ήταν καθοριστικής σημασίας. Κάτω από αυτές τις συνθήκες δημιουργήθηκε μία ακολουθία υδροφόρων όπου ο ανώτερος υδροφόρος ορίζοντας εκτέθηκε στην εισβολή θαλασσινού νερού, ενώ αντίθετα οι χαμηλότερα ευρισκόμενοι υδροφορείς προστατεύθηκαν από αυτό την διείσδυση. Μετά την εναπόθεση των Ολοκαινικών αργίλων το θαλασσινό νερό εγκλωβίστηκε και σταμάτησε η άμεση διείσδυση του θαλασσινού νερού. Επιπρόσθετα, η παρουσία των μαργών στο βάθος της πεδιάδας προστατεύουν τους υπερκείμενους υδροφόρους ορίζοντες από το θαλασσινό νερό που εισέρχεται κάτω από αυτές μέσω των ανθρακικών σχηματισμών. Φρέσκο υπόγειο νερό με καλή ποιότητα και τιμές EC μεταξύ 524 και 1481 $\mu\text{S}/\text{cm}$, βρίσκονται σε βάθη μεταξύ 5 και 80 m κάτω από την μέση ετήσια στάθμη της θάλασσας στα ακόλουθα πηγάδια 61, 74, 75, 100, 138, 140, 142, 154, 155, 161, 165, 175 και 176 (Εικόνα 9.3). Επίσης, ο λόγος μαζών Cl^-/Br^- και $\text{meq Na}^+/\text{Cl}^-$ που μετρήθηκαν στα υπόγεια νερά της παράκτιας ζώνης, οι οποίοι κυμαίνονται γύρω στα 318 και 0,85 αντίστοιχα στα δείγματα του Μαΐου 2012 υποδεικνύουν την επίδραση της θάλασσας. Αντίθετα, οι ίδιοι λόγοι μετρήθηκαν περίπου στο 400 και 0,64 αντίστοιχα τον Οκτώβριο του 2012, οι οποίοι δείχνουν ότι κάποιες ποσότητες νερού διαφορετικές από σύγχρονο θαλασσινό νερό επηρέασαν την ποιότητα του υπόγειου νερού. Αν ήταν σύγχρονο θαλασσινό νερό θα έπρεπε οι λόγοι μαζών Cl^-/Br^- και $\text{meq Na}^+/\text{Cl}^-$ να

πλησιάζουν τις τιμές 292 και 0,867 αντίστοιχα ή να διατηρηθούν στις ίδιες τιμές του Μαΐου. Αυτό το νερό προέρχεται από τις κατακόρυφες προς τα πάνω διαρροές των υποκείμενων στρωμάτων που τελούν μερικώς υπό πίεση όπου αντίστροφη κατιοντοανταλλαγή Na-Cl τύπου νερών βρίσκεται σε εξέλιξη (Hermides et al 2017). Ένας δεύτερος μηχανισμός ο οποίος πιθανόν εξηγεί την υψηλή αλατότητα στους παράκτιους υδροφορείς των ιζημάτων του Ολοκαίνου-Ανώτερου Πλειστοκαίνου είναι η μεταφορά διαλυμένων αλάτων μέσω των αργίλων. Αυτό είναι ένα φαινόμενο το οποίο εξελίσσεται με πολύ αργό ρυθμό πρωτίστως μέσω του φαινομένου της μοριακής διάχυσης (Petré et al 2016, Cloutier et al 2010, Post 2004). Αυτό το φαινόμενο μπορεί να εξελίσσεται για τουλάχιστον 6000 χρόνια, δηλαδή από την απόθεση των Ολοκαινικών αργίλων. Ο ρυθμός εξέλιξης της αλατότητας αναμένεται να είναι μεγαλύτερος εκεί όπου τα ιζήματα έχουν μεγαλύτερη διαπερατότητα ή/και δια μέσου θαμμένων ποτάμιων κοιτών της πεδιάδας. Το αποτέλεσμα τελικά είναι η ανάπτυξη μιας πολύπλοκης κατανομής της αλατότητας στις Τεταρτογενείς αποθέσεις.

Επιπρόσθετα, οι τέσσερις αυτόματοι καταγραφείς στάθμης νερού που τοποθετήθηκαν στα πηγάδια της πεδιάδας (βλ. παράγραφο υδρογεωλογίας) έδειξαν ότι τα υπόγεια νερά δεν επηρεάστηκαν από τις διακυμάνσεις της στάθμης της θάλασσας (Κόλπος Ελευσίνας). Είναι πολύ πιθανό και λογικό τα μεγάλα πάχους στρώματα των αργίλων να εκτείνονται κάτω από τον πυθμένα της θάλασσα, όπως άλλωστε και η ακολουθία των υδροφόρων υπό πίεση (multi-layered confined aquifer). Επομένως, αφού αυτοί οι υδροφορείς βρίσκονται πολύ κάτω από τον πυθμένα του κόλπου δεν έχουν κανένα κατακόρυφο ή άλλο όριο (επαφή) με το θαλασσινό νερό. Αυτό ακριβώς το φαινόμενο αντανάκλα η μη ανταπόκριση των αυτόματων καταγραφέντων στάθμης στα πηγάδια των Τεταρτογενών, στις μεταβολές της στάθμης της θάλασσας. Συνεπώς, οι υδροφόροι ορίζοντες του Θριασίου δεν έρχονται σε άμεση επαφή με τη θάλασσα. Παρά την υπεράντληση των υδροφόρων κατά τα τελευταία 50 χρόνια, οι στατικές στάθμες διατηρούνται ακόμα σε θετικό υψόμετρο. Σε συνδυασμό με την καλή ποιότητα των νερών που υπάρχει στο κεντρικό τμήμα της πεδιάδας καθώς και την περιορισμένη σε ένα πλάτος 2-3 χιλιομέτρων από την ακτή αλατότητα για τουλάχιστον 50-60 έτη, συνάγεται ότι το θαλασσινό νερό δεν μπορεί να εισχωρήσει στην ενδοχώρα.

Τα τελευταία χρόνια, δείγματα νερού από αρκετά πηγάδια, όπως τα 54, 41, 83, 86, 16, 98 και 27 που βρίσκονται στις Πλειστοκαινικές αποθέσεις δείχνουν ότι οι τιμές της EC και η συγκέντρωση των χλωριόντων μειώθηκαν θεαματικά. Αντίθετα, στους υδροφόρους ορίζοντες των ανθρακικών του κρασπέδου της πεδιάδας οι τιμές της EC παραμένουν σε υψηλά επίπεδα και παρατηρείται αύξηση της συγκεντρώσεως των χλωριόντων, σχεδόν σε όλα τα πηγάδια όπως τα 120, 118, 18A, 6 κλπ. τα οποία αντλούν από τους Τριαδικούς και Κρητιδικούς ασβεστολίθους (Hermides and Stamatis 2017, Kyriazis et al 2013, Christides et al 2011).

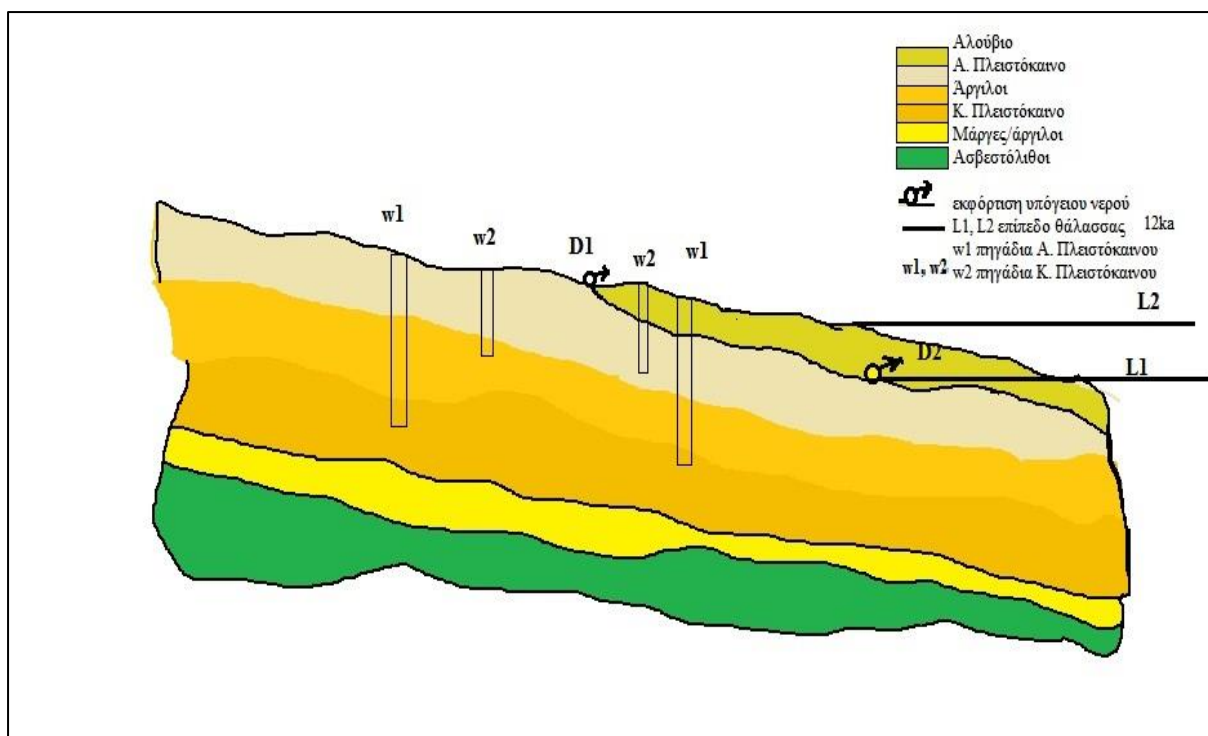
Όλα τα στοιχεία που αναφέρθηκαν παραπάνω παρέχουν την πληροφορία ότι η εισβολή της θάλασσας συμβαίνει σήμερα μόνο στους ανθρακικούς υδροφόρους ορίζοντες γύρω από την πεδιάδα και όχι στις Νεογενείς-Τεταρτογενείς αποθέσεις. Από πού προέρχεται η μεγάλη συγκέντρωση χλωριόντων των υδροφόρων οριζόντων εντός των Νεογενών-Τεταρτογενών ιζημάτων αν η σύγχρονη άμεση εισβολή της θάλασσας δεν είναι η αιτία; Είναι παλιά εισβολή; Επίσης, οι αυξημένες τιμές λόγω Cl^-/Br^- 1510 mg/l (3400 mmol/l) καθώς και η υψηλή συγκέντρωση φθορίου έως 9,54 mg/l (0,52 mmol/l) δικαιολογούν σύγχρονη άμεση

διείσδυση θαλασσινού νερού; Η μεγάλη συγκέντρωση του φθορίου στα υπόγεια νερά υποδηλώνει τη διάλυση πετρωμάτων, η οποία απαιτεί εκατοντάδες ή χιλιάδες χρόνια για να επιτευχθεί (Edmunds and Smedley 2013). Εκτός αυτού, ο λόγος μαζών $F/Cl=3*10^{-2}$ ο οποίος είναι έως και 500 φορές μεγαλύτερος από αυτόν του σύγχρονου θαλασσινού νερού υποδηλώνει ότι δεν υπάρχει επίδραση σύγχρονου θαλασσινού νερού. Είναι πολύ πιθανό η ύπαρξη παλαιού θαλασσινού νερού στην οποία επικρατεί ισχυρή αντίστροφη κατιοντοανταλλαγή, όπως αναφέρεται παραπάνω, θα μπορούσε να εξηγήσει αυτές τις τιμές.

Εξήγηση του φαινομένου που επικρατεί στους παράκτιους υδροφορείς του Θριασίου Πεδίου μπορεί να δώσει η μελέτη κατά την διάρκεια και πριν την απόθεση των αργίλων του Ολοκαίνου και κατά την διάρκεια απόθεσης των ιζημάτων του Ανώτερου Πλειστοκαίνου.

Κατά τα προηγούμενα 10000-15000 περίπου χρόνια η στάθμη της θάλασσας αρχίζει να ανυψώνεται (Εικόνα 9.4) και κατακλύζει τα λατυπο/κροκαλοπαγή του Ανώτερου Πλειστοκαίνου. Η υδροφορία που αναπτύσσεται εκεί εκφορτίζεται στην θάλασσα η οποία βρίσκεται στο επίπεδο L1. Ο υδροφόρος είναι σε άμεση υδραυλική επαφή με την θάλασσα η οποία έχει διεισδύσει εσωτερικά στην ξηρά. Με την συνέχιση της ανόδου της στάθμης αρχίζει η απόθεση των αργίλων, πάχους περίπου 4,5-5m. Η θάλασσα αρχίζει να αποκόπτεται από την άμεση υδραυλική επαφή με το λατυπο/κροκαλοπαγές. Αποτέλεσμα αυτού είναι ότι το υφάλμυρο νερό του λατυπο/κροκαλοπαγούς εγκλωβίζεται μεταξύ των στεγανών υλικών του Ανώτερου Πλειστοκαίνου αλλά και των αργίλων. Στο σημερινό επίπεδο της θάλασσας L2 ο υδροφόρος των λατυπο/κροκαλοπαγών εκφορτίζεται σε θετικά υψόμετρα λόγω της πάρα πολύ μικρής υδραυλικής αγωγιμότητας των αργίλων μέσω κατακόρυφων προς τα πάνω διαρροών που ακολουθούν διαμέσου των αργίλων. Απόδειξη δε, αυτού του ισχυρισμού, είναι η παρουσία ελών κοντά στην ακτή και η εκφόρτιση του υπόγειου νερού μέσα στις αργίλους σε θετικό υψόμετρο, όπως αυτό αποτυπώνεται σε πολύ παλαιούς χάρτες του Kaupert (Εικόνα 7.10) αλλά και στον χάρτη που αποτυπώνουν οι Παναγιωτίδης-Δούνας (1964) (Εικόνα 7.11) οι οποίοι παρουσιάζουν την εκφόρτιση του υδροφόρου ορίζοντα που αναπτύσσεται εντός των ασβεστολίθων βέβαια, αλλά αυτό δεν έχει σημασία, ο μηχανισμός είναι ο ίδιος, λόγω της πολύ μικρής υδραυλικής αγωγιμότητας ή της στεγανότητας των αργίλων.

Άλλη μία απόδειξη της στεγανότητας των αργίλων των αλλουβίων είναι το γεγονός ότι τα πηγάδια που έχουν ανοιχθεί εντός των αργίλων στην παράκτια ζώνη συναντούν υδροφόρα στρώματα τα οποία τελούν υπό πίεση. Βλέπε και στην εισαγωγή τα ιστορικά στοιχεία που παρατίθενται και αποδεικνύουν ότι τα υδροφόρα στρώματα που συναντήθηκαν, με τις εργασίες κατασκευής πηγαδιών, το έτος 1879, ήταν υπό πίεση και επίσης ότι το νερό ήταν υφάλμυρο και μόνο σε μεγαλύτερα υψόμετρα η ποιότητα ήταν καλή.



Εικόνα 9.4: Απλοποιημένη υδρογεωλογική τομή Θριασίου Πεδίου διεύθυνσης Β-Ν, η οποία δείχνει πως η απόθεση των αργίλων του Ολοκαίνου ταυτόχρονα με την άνοδο της στάθμης της θάλασσας εγκλώβισαν το θαλασσινό νερό το οποίο έχε εισβάλλει στους ανώτερους υδροφορείς.

Κατ' αυτόν τον τρόπο, τα πηγάδια που αντλούν από το λατυποκροκαλοπαγές (w2) έχουν υψηλή αγωγιμότητα και παρουσιάζουν διείσδυση της θάλασσας, όχι σύγχρονη αλλά παλαιότερη, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, με επικράτηση της υδρογεωχημικής διαδικασίας της αντίστροφης κατιοντοανταλλαγής, η οποία αποδείχθηκε κατά τα προηγούμενα υδροχημικά διαγράμματα των Durov, Chadha και Piper. Τα πηγάδια τα οποία έχουν μεγαλύτερο βάθος (w1) και αντλούν και από το βαθύτερα ευρισκόμενο κροκαλοπαγές, έχουν καλύτερο νερό το οποίο δεν επηρεάζεται άμεσα από την θάλασσα αφ' ενός μεν γιατί προστατεύονται από πάνω από τις αργίλους αφ' ετέρου δε από κάτω από τις μάργες/αργίλους. Πολλά τέτοια πηγάδια υπάρχουν στην περιοχή και όσο απομακρύνονται από την ζώνη διάχυσης/άντλησης του παλαιού υφάλμυρου νερού και βρίσκονται στο κεντρικό τμήμα του Θριασίου Πεδίου, η ποιότητα είναι σε πολύ καλό επίπεδο. Αυτά τα πηγάδια δέχονται εν μέρει το νερό της βροχής και κυρίως φαίνεται ότι τροφοδοτούνται πλευρικά τόσο από ΒΑ όσο και από ΒΔ με νερό καλής ποιότητας. Η αυξημένη αλατότητα τους βρίσκεται στο γεγονός ότι στα πηγάδια αυτά δεν έχουν απομονωθεί οι υφαλμυρισμένοι υδροφόροι που βρίσκονται από πάνω τους με αποτέλεσμα να επιβαρύνεται η ποιότητα τους με την άντληση ή/και την διάχυση που επιτελείται μέσω του ίδιου του πηγαδιού.

10. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Στην παρούσα διατριβή ερευνήθηκαν οι υδρογεωλογικές συνθήκες που επικρατούν στο Θριασίο Πεδίο. Η έρευνα στηρίχθηκε στα υδραυλικά χαρακτηριστικά των υδροφορέων και την ποιοτική σύσταση των υπόγειων νερών. Η έρευνα επίσης ανάδειξε τον σημαντικό ρόλο της στρωματογραφίας της περιοχής, η οποία μαζί με την τεκτονική καθόρισαν ουσιαστικά το υδρογεωλογικό καθεστώς αυτής. Η ανάδειξη της παρουσίας μαργών και αργίλων είναι από τους σημαντικότερους παράγοντες των υδρογεωλογικών συνθηκών της περιοχής. Τα Πλειστοκαινικά ιζήματα αποτελούνται από εναλλαγές αργίλων και αδρομερέστερων υλικών δημιουργώντας μία ακολουθία υδροφόρων οριζόντων. Ο όρος χρησιμοποιείται για πρώτη φορά για να αποδώσει την έννοια του όρου «multi-layered aquifer system».

Η χρησιμοποίηση και αξιολόγηση όλων των στοιχείων από παλαιότερες μελέτες, αλλά και νέων στοιχείων από την παρούσα, οδήγησαν στην καλύτερη κατανόηση της λειτουργίας των υδροφορέων του Θριασίου Πεδίου και εν τέλει στην κατασκευή του εννοιολογικού υδρογεωλογικού ομοιώματος.

Τα κυριότερα σημεία και τα συμπεράσματα της διατριβής συνοψίζονται ως ακολούθως:

- Αναθεωρήθηκε το εννοιολογικό υδρογεωλογικό ομοίωμα των υδροφορέων του Θριασίου Πεδίου. Προσεγγίστηκε με έναν διαφορετικό τρόπο η λειτουργία των υδροφόρων συστημάτων της περιοχής. Καθορίστηκαν τρεις υδροστρωματογραφικές ενότητες με κοινά γεωλογικά, υδρογεωλογικά και υδροδυναμικά χαρακτηριστικά η κάθε μία και οι οποίες διακρίνονται από το είδος του συστήματος υπόγειας ροής που αναπτύσσεται στην περιοχή.

Η πρώτη υδροστρωματογραφική ενότητα αποτελείται από τους υδροφορείς των Νεογενών-Τεταρτογενών ιζημάτων. Διακρίνεται σε δύο υποενότητες. Η πρώτη υποενότητα αποτελείται από τα ιζήματα του Ολοκαίνου-Ανώτερου Πλειστοκαίνου και η δεύτερη υποενότητα, η οποία βρίσκεται βαθύτερα της πρώτης, αποτελείται από τα ιζήματα του Πλειο-Πλειστοκαίνου. Στην υδροστρωματογραφική αυτή ενότητα αναπτύσσεται ένα τοπικό σύστημα υπόγειας ροής στην ανώτερη υποενότητα το οποίο κινείται γενικά με μικρή υδραυλική κλίση προς την θάλασσα και ένα ενδιάμεσο σύστημα υπόγειας ροής στην κατώτερη υποενότητα, το οποίο κινείται προς ΝΑ. Στα ιζήματα της ανώτερης υποενότητας αναπτύσσεται ελεύθερη υδροφορία και κατά θέσεις μερικώς υπό πίεση (semi-confined), ενώ στα ιζήματα της κατώτερης υποενότητας σχηματίζεται μία ακολουθία υδροφόρων (multi-layered aquifer system) υπό πίεση (confined) και μερικώς υπό πίεση (leaky aquifer).

Η δεύτερη υδροστρωματογραφική ενότητα περιλαμβάνει τον υδροφορέα των Κρητιδικών ασβεστολίθων στους οποίους αναπτύσσεται ένα ενδιάμεσο και κατά θέσεις τοπικό σύστημα υπόγειας ροής. Το υπόγειο νερό κινείται ΝΔ προς την θάλασσα.

Η τρίτη υδροστρωματογραφική ενότητα αναπτύσσεται στο σύμπλεγμα των Τριαδικών ιζημάτων. Η ενότητα αυτή υπόκειται των προαναφερομένων ενοτήτων. Το υπόγειο νερό στην στενή περιοχή του Θριασίου Πεδίου κινείται ΝΔ προς την θάλασσα ενώ στα βορειοδυτικά όρια του Πεδίου κινείται προς ΒΔ και στα

βορειοανατολικά όρια κινείται προς ΒΑ. Υπόβαθρο αυτής της ενότητας αποτελούν τα ιζήματα των σχιστολίθων του Ανώτερου Παλαιοζωικού και τα αδιαπέρατα στρώματα των φυλλιτών του Τριαδικού. Σε αυτήν την υδροστρωματογραφική ενότητα αναπτύσσεται ένα εκτεταμένο σύστημα υπόγειας ροής που επικρατεί σε όλη την ευρύτερη περιοχή με πολλές ιδιαιτερότητες.

- ο Μελετήθηκε η επιφανειακή απορροή των ποταμών της περιοχής με την διενέργεια μετρήσεων της παροχής τους κατά την περίοδο των βροχών. Έγινε για πρώτη φορά ο έλεγχος της γραμμικότητας των ποταμών Σαρανταπόταμου και Γιαννούλας και βρέθηκε ότι οι λεκάνες των δύο ποταμών είναι κατά πολύ υψηλό ποσοστό 98 και 93% αντίστοιχα γραμμικές. Κατασκευάστηκαν οι καμπύλες στάθμης-παροχής τους.

Για το ρ. Σαρανταπόταμου βρέθηκε $Q=14,856h^{2,5582}$

και για το ρ. Γιαννούλας βρέθηκε $Q=15,477h^{3,5366}$.

Προσδιορίστηκε η σχέση απορροής-ύψους βροχής για την λεκάνη του Σαρανταπόταμου σχεδόν αμέσως μετά τις πρώτες βροχές σε $y=7073,8x-26494$.

Υπολογίστηκε η μέση ταχύτητα κίνησης της πλημμύρας στην φυσική κοίτη του ρ. Σαρανταπόταμου σε 0,6763 m/s ή 2435 m/h.

- ο Εκτιμήθηκε το υδρολογικό ισοζύγιο σε επίπεδο λεκανών χρησιμοποιώντας τους σταθμούς της Ελευσίνας της ΕΜΥ και της Μάνδρας του ΕΜΠ. Εφαρμόστηκαν οι μέθοδοι Hargreaves και Thornthwaite για την εκτίμηση της εξατμισοδιαπνοής οι οποίες έδωσαν παραπλήσιες τιμές 61% και 62% αντίστοιχα για την πεδιάδα και 51% και οι δύο για το ορεινό τμήμα. Ο συντελεστής απορροής μετρήθηκε στο 4 % για τις ασβεστολιθικές περιοχές και εκτιμήθηκε στο 17 % (υδατικό ισοζύγιο Thornthwaite) για την πεδινή περιοχή.

Το υδρολογικό ισοζύγιο για τους ανθρακικούς σχηματισμούς είναι

ET=52%, R=4% I=44%

Ενώ για την πεδιάδα είναι (υδατικό ισοζύγιο Thornthwaite)

ET=72%, R=17% I=11%

Έτσι το τελικό υδρολογικό ισοζύγιο για όλες τις λεκάνες είναι

ET=55%, R=7% I=36%.

- ο Διερευνήθηκαν και προσδιορίστηκαν τα υδραυλικά χαρακτηριστικά των υδροφορέων με την βοήθεια δοκιμαστικών αντλήσεων που διεξήχθησαν σε 9 πηγάδια των Πλειο-Πλειστοκαινικών ιζημάτων της περιοχής και την αξιολόγηση όλων των διαθέσιμων σχετικών στοιχείων από προηγούμενες μελέτες. Στην ανάλυση και επεξεργασία των αντλήσεων εφαρμόστηκαν μέθοδοι μη μόνιμης ροής (unsteady-state flow) όπως οι μέθοδοι Theis, Cooper-Jacob, Neuman και κυρίως οι μέθοδοι Παπαδόπουλου και επαναφοράς της στάθμης. Όλες οι μέθοδοι έδωσαν παραπλήσια αποτελέσματα με τιμές μεταβιβαστικότητας T οι οποίες κυμαίνονται από 10 έως 200 m^2/d (ή 10^{-4} έως $10^{-3} m^2/s$), τιμές αποθηκευτικότητας S οι οποίες κυμαίνονται από 10^{-2} έως 10^{-4} και τιμές υδραυλικής αγωγιμότητας από 10^{-7} έως $10^{-3} m/d$ (ή 10^{-7} έως 10^{-3} ή m/s).
- ο Η επί δεκαπενταετία παρακολούθηση της στάθμης επέτρεψε τον διαχωρισμό των υδροφοριών τόσο μεταξύ των Ολοκαινικών και Πλειο-Πλειστοκαινικών ιζημάτων, όσο και μεταξύ των Πλειο-Πλειστοκαινικών και Μεσοζωικών σχηματισμών.

Το υδραυλικό φορτίο των Τριαδικών υδροφορέων μετρήθηκε μεταξύ +6 και +13 m πάνω από το επίπεδο της στάθμης της θάλασσας με υδραυλική κλίση η οποία κυμαίνεται από 0,5 έως 1 ‰.

Το φορτίο των Πλειο-Πλειστοκαινικών μετρήθηκε μεταξύ +1 και +10 m με υδραυλική κλίση η οποία κυμαίνεται από 1 έως 5 ‰.

Το φορτίο στα Πλειστοκαινικά μετρήθηκε μεταξύ +7 και +13 m με υδραυλική κλίση η οποία κυμαίνεται από 1 έως 5 ‰.

Το φορτίο των Ολοκαινικών μετρήθηκε μεταξύ +0,5 και +4 m με υδραυλική κλίση η οποία κυμαίνεται από 1 έως 3 ‰.

- Διαπιστώθηκαν δύο πλευρικές περιοχές τροφοδοσίας των υδροφόρων στα βόρεια όρια της πεδιάδας, η πρώτη περιοχή από τα ΒΑ και η δεύτερη από τα ΒΔ. Η κατεύθυνση των υπόγειων νερών των υπό πίεση οριζόντων είναι προς τα ΝΑ όπου εν μέρει εκφορτίζεται ως προς τα πάνω διαρροή (upwards leakage) στην παραλιακή ζώνη, ενώ ο κύριος όγκος νερών κινείται με πολύ μικρή ταχύτητα ή πολύ πιθανόν αποσφηνώνεται λόγω της παρουσίας της νήσου Σαλαμίνας.
- Διερευνήθηκε για πρώτη φορά η ανισοτροπία των υδροφορέων με την βοήθεια επίσης των δοκιμαστικών αντλήσεων και κατορθώθηκε να ανιχνευθεί μόνο σε μία περιοχή πλησίον του πηγαδιού N^ο 54. Σχεδιάστηκε το ελλειψοειδές της ανισοτροπίας με διεύθυνση μεγάλου άξονα Β7Α.
- Η μελέτη της χημικής σύστασης των υπόγειων νερών επέτρεψε τον προσδιορισμό των παραμέτρων που καθορίζουν τις γεωχημικές διεργασίες που επιτελούνται, καθώς επίσης την κίνηση και την εξέλιξη της πορείας του υπόγειου νερού. Η έρευνα επικεντρώθηκε στην ερμηνεία της αλατότητας των υπόγειων υδροφορέων που αναπτύσσονται στα Πλειστοκαινικά ιζήματα μελετώντας την παρουσία των αλογόνων F⁻, Cl⁻, Br⁻ και την χρήση τους για πρώτη φορά ως περιβαλλοντικούς ιχνηθέτες. Τα αποτελέσματα έδειξαν μία σύνθετη κατανομή της αλατότητας τόσο κατά την κατακόρυφη, όσο και κατά την οριζόντια έννοια, η οποία προέρχεται από ανθρωπογενή δραστηριότητα και φυσικές διαδικασίες.
Στις φυσικές διεργασίες σημαντικό ρόλο παίζει το φαινόμενο της εξάτμισης κατά την διάρκεια των αρδεύσεων και του φαινομένου της διάχυσης υφάλμυρου νερού μέσω της στήλης νερού των υδροληπτικών έργων και διαμέσου των αργίλων της παραλιακής ζώνης.
- Για περισσότερο από 50-60 χρόνια η συγκέντρωση χλωριόντων στους υδροφορείς που αναπτύσσονται στα Τεταρτογενή ιζήματα κοντά στην ακτή σε μια ζώνη πλάτους 2-3 χιλιομέτρων παραμένει σχεδόν η ίδια έως 3200 mg/l (90 mmol/l) στην περιοχή Ασπροπύργου και Ελευσίνας. Τα χλωριόντα τα οποία προέρχονται από την θάλασσα διαφοροποιήθηκαν από εκείνα που προέρχονται από άλλες πηγές με την χρήση του λόγου μάζας Cl⁻/Br⁻. Ένα σημαντικό στοιχείο το οποίο προέκυψε από την μελέτη του λόγου Cl⁻/Br⁻ με τιμές γύρω και πάνω από το 1000 είναι η παρουσία υπολειμματικών εβαποριτικών αλάτων και κυρίως αλίτη στην περιοχή, αν και δεν έχουν επιβεβαιωθεί προς το παρόν. Επίσης τιμές του λόγου μεταξύ 400 και 600 υποδηλώνουν ρύπανση από αστικά και κτηνοτροφικά λύματα, ενώ τιμές μικρότερες του 50 υποδηλώνουν την παρουσία υπολειμμάτων υπεράλυμων νερών (brines).

- Σύγχρονη πλευρική διείσδυση της θάλασσας στους Πλειο-Πλειστοκαινικούς υδροφόρους δεν συμβαίνει και είναι πολύ πιθανόν η αλατότητα να προέρχεται από διείσδυση θαλασσινού νερού, παλαιότερης γεωλογικά περιόδου, το οποίο εγκλωβίστηκε από τις μεταβολές της στάθμης της θάλασσας κατά το Πλειστόκαινο. Ο λόγος μάζας Cl^-/Br^- , ο οποίος απομακρύνεται από την τιμή 292 κατά την περίοδο του Οκτωβρίου, όπου οι στάθμες βρίσκονται στα χαμηλά τους επίπεδα, τεκμηριώνει την παραπάνω άποψη.
- Η μελέτη του λόγου F/Cl^- ενισχύει την παραπάνω άποψη καθώς μετρήθηκαν τιμές του λόγου 200 έως 500 φορές μεγαλύτερες από αυτήν που εμφανίζει το θαλασσινό νερό. Επειδή η διάλυση ορυκτών που περιέχουν φθόριο απαιτεί εκατοντάδες αλλά και χιλιάδες χρόνια για να πραγματοποιηθεί συμπεραίνεται ότι το νερό αυτό δεν προέρχεται σύγχρονη πλευρική διείσδυση της θάλασσας.
- Η παρουσία των φθοριόντων σε υψηλές συγκεντρώσεις έως 4,8 και 9 mg/l υποδηλώνει την διάλυση ορυκτών που περιέχουν φθόριο όπως φθορίτη ή την αποσάθρωση αργιλοπυριτικών ορυκτών.
Άλλη πιθανή προέλευση των φθοριόντων είναι η αποδόμηση οργανικού υλικού το οποίο υπάρχει στα ιζήματα του πεδίου, μέσω βιογεωχημικών διεργασιών. Ωστόσο, φθοριόντα υψηλής συγκεντρώσεως υπάρχουν σε όλο το Θριάσιο ανεξαρτήτου βάθους του πηγαδιού, της γεωλογίας που επικρατεί και της απόστασής του από την ακτή.
Τρίτη πιθανή προέλευση των φθοριόντων είναι η πλευρική τροφοδοσία των υδροφόρων με νερά που προέρχονται από τα ηφαιστειοϊζηματογενή του Παλαιοζωικού-Κατωτέρου Τριαδικού τα οποία περιλαμβάνουν μεταπυροκλαστικά και μεταηφαιστειακά στα οποία υπάρχουν χλωρίτης και μικρές ποσότητες βιοτίτη. Η παρουσία του χλωρίτη είναι πιθανόν να προέρχεται από την εξαλλοίωση του βιοτίτη με ταυτόχρονη απελευθέρωση φθοριόντων κάτω από την επίδραση υδροθερμικών διαλυμάτων.
- Είναι πολύ πιθανόν ένα γεωθερμικό πεδίο χαμηλής ενθαλπίας να τροφοδοτεί τους υδροφόρους ορίζοντες που αναπτύσσονται στο Θριάσιο Πεδίο μιας και η περιοχή βρίσκεται κοντά στο ηφαιστειακό τόξο του νοτίου Αιγαίου.
- Από την έρευνα προκύπτει ότι οι υδροφόροι ορίζοντες εκτείνονται κάτω από την στάθμη της θάλασσας και πολύ πιθανόν να ενυπάρχουν και κάτω από τον πυθμένα του κόλπου της Ελευσίνας δημιουργώντας αποθέματα γλυκού νερού τα οποία προστατεύονται από την επίδραση της θάλασσας.
Το τελευταίο είναι πολύ σημαντικό για την διαχείριση των υδατικών πόρων σε παράκτιους υδροφόρους με παρόμοιες υδρογεωλογικές συνθήκες. Αυτό είναι ένα σημαντικό θέμα που θα μπορούσε να διερευνηθεί με περισσότερη λεπτομέρεια. Νέοι τρόποι επέκτασης της έρευνας για υπόγεια νερά θα μπορούσαν να αναζητηθούν κάτω από τον πυθμένα του Κόλπου της Ελευσίνας, γεγονός που είναι εφικτό λόγω του μικρού βάθους του Κόλπου Ελευσίνας ο οποίος έχει μέγιστο βάθος 34 μ. (Μέσο βάθος 18 μ.). Με αυτόν τον τρόπο θα μπορούσε να προκύψει μια νέα προοπτική για τη διαχείριση των υδατικών πόρων.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Alam S.M.M (2010).** Hydrogeochemical evolution of groundwater of part of Ganges-Meghna Deltaic Plain AQUA mundi Am03029: 071 – 082.
- Andreasen D and Fleck W (1997).** Use of bromide: chloride ratios to differentiate potential sources of chloride in a shallow unconfined aquifer affected by brackish-water intrusion. *Hydrogeol J* 5(2):17–26
- Appelo C.A.J., Postma D. (1993):** Geochemistry, groundwater and pollution. Balkema, Rotterdam, p 536.
- Αρώνης Γ (1955):** Προσωρινή έκθεση περί των υδρογεωλογικών συνθηκών της περιοχής του διυλιστηρίου Ασπροπύργου. Ε 560 Ινστιτούτο Γεωλογίας και Ερευνών Υπεδάφους, Αθήνα.
- Αρώνης Γ (1954):** Οι βωξίται της περιοχής Ελευσίνος-Μάνδρας. Μελέτη γεωλογική και κοιτασματολογική. Έκδοση Ι.Γ.Ε.Υ. Έρευναι επί του ορυκτού πλούτου της Ελλάδος, 3, Αθήνα.
- Behl E (1990):** Chloride/bromide ratios as a natural tracer of urban runoff in the Tucson basin, Arizona. M.S. thesis, Department of Hydrology and Water Resources, University of Arizona, Tucson, Arizona
- Bloch MR, Schnerb J (1954):** On the Cl-/Br- ratio and the distribution of Br- ions in liquids and solids during evaporation of bromide containing chloride solutions. *Bull Res Council Isr* 3:151–158
- Boggs M, Adams EE (1992):** Field study of dispersion in a heterogeneous aquifer4: investigation of adsorption and sampling bias. *Water Resour Res* 28(12):3325–3328
- Βορέαδης Γ (1939):** Νεοκιμμερική πτύχωση εις την Αν. Ελλάδα και οι φάσεις της Αλπικής εν Ελλάδι ορογενέσεως. Διατριβή επί υφηγεσία.
- Βορέαδης Γ (1927):** Η Γεωλογία της Σαλαμίνας- Α': Η ανάπτυξις του Παλαιοκρητιδικού. Πρακτικά Ακαδημίας Αθηνών, τομ.2, 337-342.
- Bower CA, Hatcher JT (1967):** Adsorption of fluoride by soils and minerals. *Soil Sci* 103(3):151–154.
- Cardenal J., Benavente J. and Cruz-Sanjulia'n J.J., (1994):** Chemical evolution of groundwater in Triassic gypsum-bearing carbonates aquifers (Las Alpujarras, southern Spain). *J. Hydrol.* 161, 3–30.
- Cerling T. E., Pederson B. L., & Damn K. L. V. (1989):** Sodium–calcium ion exchange in the weathering of shales implication for global weathering budgets. *Geology*, 17, 552–554.
- Chadha DKA (1999):** Proposed new diagram for geochemical classification of natural waters and interpretation of chemical data. *Hydrogeological J* 7(5):431–439.
- Chidambaram S, Bala Krishna Prasad M, Manivannan R et al (2012):** Environmental hydrogeochemistry and genesis of fluoride in groundwaters of Dindigul district, Tamilnadu (India). *Environ Earth Sci* 68:333–342.

- Christides A, Mavrakis A, Mitilineou A (2011):** A case of intense seawater intrusion to aquifer of the Thriasio Plain. Greece, *Proceedings of the 12th International Conference on Environmental Science and Technology* 661 (12th ICESS). Vol B: 152-159.
- Clément, B., (1976):** Essai d'interprétation structurale d'un secteur des zones internes helléniques: l'Attique –Béotie. *Bulletin de la Société Géologique de France*, XVIII/2 : 309-316.
- Clément, B., Guernet, C. & Lys, M., (1976):** Données nouvelles sur le Carbonifère et le Permien du Mont Beletsi en Attique. *Bulletin de la Société Géologique de France*, XII/1: 88-91.
- Cloutier V, Lefebvre R, Savard MM et al (2010):** Desalination of a sedimentary rock aquifer system invaded by Pleistocene Champlain sea water and processes controlling groundwater geochemistry. *Environ Earth Sci* 59:977. doi:10.1007/s12665-009-0091-8
- Cooper H.H., Jr., Jacob C. (1946):** A generalized graphical method for evaluating formations constants and summarizing well-field history. *Trans. Amer. Geophysical Union*, v. 27, pp. 526-534.
- Curl R.L. (1962):** The aragonite-calcite problem, National Speleological Society, Bull., vol. 24, pp 57-73, Yellow Springs.
- Curtius, Ernst, Kaupert, Johann August (1878):** Atlas von Athen, Berlin
- Γκούμας Γ. (2006):** Διερεύνηση της δομής του Θριασίου Πεδίου με γεωφυσικές μεθόδους. Μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία Ε.Κ.Π.Α.
- Davis S, Whittemore DO, Fabryka-Martin J (1998):** Uses of chloride/bromide ratios in studies of potable water *Ground Water* 36:338–350.
- Δημητρίου Η., Μεντζαφού Α., Ζόγκαρης Σ., Γκρίτζαλης Κ., Καραούζας Ι., Σκουλικίδης Ν., Κολόμπαρη Ε., Μπαρμπιέρι Ρ., Σταθοπούλου Ε., Δασενάκης Μ., Κατσιάπη Σ. και Μ. Μουστάκα (2011):** 'Παρακολούθηση της οικολογικής ποιότητας της Λίμνης Κουμουνδούρου και σχεδιασμός δράσεων διαχείρισης, αποκατάστασης και ανάδειξης'. 1η Τεχνική Έκθεση, ΙΕΥ-ΕΛΚΕΘΕ.
- Δασακλής Σ., Σιγαλός Γ., Λουκαΐδη Β., Οικονόμου Κ., Μαυράκης Α., Φωτόπουλος Ν. (2009):** Αξιοποίηση των χαρτών Kaupert στην αποτύπωση περιβαλλοντικής πληροφορίας του Νομού Αττικής, 7th National Conference Hellas GIS, Volume: # 09
- Δούνας Α και Γαϊτανάκης Π (1981):** Στρωματογραφικές και τεκτονικές παρατηρήσεις στη βουνοσειρά του Αιγάλεω και στο δυτικό τμήμα του λεκανοπεδίου της Αθήνας.
- Δούνας Α (1971α):** Γεωλογικός χάρτης «Ερυθραί», κλίμακας 1:50.000, Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών.
- Δούνας Α. (1971β):** Η γεωλογία της μεταξύ Μεγάρων και Ερυθρών περιοχής. Διατριβή επί διδακτορία, Γεωλογικές κα Γεωφυσικές Έρευνες, 15/2, σελ.129-263.
- Δούνας Α και Παναγιωτίδης Γ. (1964):** Έκθεση, πρόδρομος επί των υδρογεωλογικών συνθηκών του Θριασίου Πεδίου. Ινστιτούτο Γεωλογίας και Ερευνών Υπεδάφους, Αθήνα.

- Δούνας Α και Παναγιωτίδης Γ. (1960):** Έκθεση υδρογεωλογικής αναγνωρίσεως δια την ύδρευση του Δήμου Ασπροπύργου Αττικής. Ινστιτούτο Γεωλογίας και Ερευνών Υπεδάφους, Αθήνα.
- Driscoll F. (1986):** Groundwater and wells 2nd edition p. 1089 Johnson Div. publication.
- Edmunds, W.M.; Smedley, P.L. (2000):** Residence time indicators in groundwater: the East Midlands Triassic sandstone aquifer. *Applied Geochemistry*, 15 (6). 737-752.
[https://doi.org/10.1016/S0883-2927\(99\)00079-7](https://doi.org/10.1016/S0883-2927(99)00079-7)
- Edmunds WM, Smedley PL (2013):** Fluoride in natural waters. In: Selinus O (ed) Essentials of medical geology, Springer, Netherlands, pp 311–336 Fabryka-Martin JT, Whittemore DO, Davis SN, Kubic PW, Sarma P (1991) Geochemistry of halogens in the Milk River aquifer, Alberta, Canada. *Appl Geochem* 6(4):447–464
- Ζαχαρίας Ι., Σαραντάκος Κ., Andre C. (2003):** Έκθεση πεπραγμένων από τη διάνοιξη δειγματοληπτικών γεωτρήσεων και μορφοτεκτονική μελέτη της περιοχής', 2η Τεχνική Έκθεση, ΕΛΚΕΘΕ/ΙΕΥ.
- Fabryka-Martin JT, Whittemore DO, Davis SN, Kubic PW, Sarma P (1991):** Geochemistry of halogens in the Milk River aquifer, Alberta, Canada. *Appl Geochem* 6(4):447–464
- Fetter, C.W., (2001):** Contaminant Hydrogeology. Prentice Hall, 500 pp.
- Fetter, C.W., 1994:** Applied Hydrogeology. Third edition, Prentice-Hall Inc., New Jersey.
- Freeze R.A., Cherry J.A. (1979):** Groundwater, Prentice-Hall Inc., New Jersey.
- Freyberg B. V., (1951):** Das Neogen-Gebiet nordwestlich Athen. *Ann. Geol. Pays Hellen.* III. 65-86, Athens.
- Fuge R (1969):** Bromine In Handbook of geochemistry, vol. 2, ed. K.H. Wedepohl, 35-B1 to 35-16. Berlin: Springer-Verlag.
- Haidouti C (1991):** Fluoride distribution in soils in the vicinity of a point emission source in Greece. *Geoderma* 49(1):129–138
- Hantush M.S., Thomas R.G. (1966):** A method for analyzing a drawdown test in anisotropic aquifers. *Water Resources Research*, v. 2, pp. 95-100.
- Hargreaves G.H. and Z.A. Samani (1985):** Reference crop evapotranspiration from temperature. *Transaction of ASAE* 1(2):96-99.
- Heathcote J.A, Lloyd J.W (1984):** Groundwater chemistry in Southeast Suffolk (U.K) and its relation to quaternary geology. *J. Hydrology* 75 pp 143-165.
- Hem JD (1985):** Study and interpretation of the chemical characteristics of natural waters, 3rd edn. U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 2254.
- Hermides D, Stamatis G (2017):** Origin of halogens and their use as environmental tracers in aquifers of Thriassion Plain, Attica, Greece. *Environ Earth Sci* 76:306. doi 10.1007/s12665-017-6611-z.
- Hermides D, Mimides Th, Stamatis G (2016):** Contribution to hydraulic characteristics of Plio–Pleistocene deposits of Thriassion Plain of Attica. In: Bulletin of the geological society of Greece, vol L, 2016, 14th International conference, Thessaloniki, May 2016.

- Gibbs RJ (1970)** Mechanisms controlling world water chemistry. *Sci J* 170:795–840.
- Goumas G (2006)**: Investigation of the structure of Thriassion Plain based on geophysics. MSc thesis, University of Athens.
- Καλλέργης Γ (2001)**: Εφαρμοσμένη, Περιβαλλοντική Υδρογεωλογία. Τόμ. Β', Έκδοση του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας.
- Καλλιέρης Δ. (2010)**: Το χωριό μας, Τόμος 2^{ος}, Πνευματικό Κέντρο Δ. Ασπροπύργου, σελ 586.
- Κανελλοπούλου Γ, Παρδικάτσης Β, Φώσκολος Α (2004)**: Γεωχημική και ορυκτολογική ανάλυση των ιζημάτων του κόλπου της Ελευσίνας-μελέτη ανθρωπογενούς επίδρασης Πρακτικά 10ου Διεθνούς Συνεδρίου Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας τόμος. XXXVI, Θεσ/νίκη.
- Karavitis CA, Bosdogianni A, Vlachos EC, (2001)**: Environmental management approaches and Water resources in the stressed region of Thriassion, Greece. *Global Nest: the Int. J.* Vol 3, No 2, pp 131-144, 2001.
- Καρράς Γ. (1973)**: Κλιματική ταξινόμηση της Ελλάδας κατά Thornwaite. Διατριβή επί διδακτορία, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- Κατσικάτσος Γ., Μέττος Α., Βιδάκη Μ., Δούνας Α (1986α)**: Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδος, Φύλλο Αθήνα-Ελευσίς, κλίμακα 1:50.000. Ι.Γ.Μ.Ε.
- Kilham P, Hecky RE (1973)**: Fluoride: geochemical and ecological significance in East African waters and sediments. *Limnol Oceanogr* 18:932–945
- Κισκύρας Δ (1960)**: Τεκτονική των βωξιτικών κοιτασμάτων της περιοχής Ελευσίνας-Μάνδρας. Πρακτικά της Ακαδημίας Αθηνών, Τόμος. 35, σ.232-239, Αθήνα
- Κούνης Γ., Σιέμος Ν (1990)**: Σημειακή υδρογεωλογική έρευνα των υδροφορέων του Θριασίου Πεδίου για την υδροδότηση των ΕΛΔΑ. Ι.Γ.Μ.Ε, Αθήνα.
- Κούνης Γ., Σιέμος Ν (1987)**: Επί της ρυπάνσεως από πετρελαιοειδή του εδάφους των Ελληνικών δυλιστηρίων Ασπροπύργου. Ι.Γ.Μ.Ε, Αθήνα.
- Κουτσογιάννης Δ, Ξανθόπουλος Θ (2016)**: Τεχνική Υδρολογία, 4^η έκδοση ΕΜΠ, Αθήνα.
- Kraft J, Kayan I, Erol O (1980)**: Geomorphic reconstructions in the environs of ancient troy. *Science* 209(4458):776–782.
- Krstic N and Dermitzakis, MD (1981)**: Pleistocene fauna from a section in the channel of Corinth (Greece). *Annales Geologiques des Pays Helleniques* , 30: 473-499.
- Kruseman G., N. de Ridder (1990)**: Analysis and Evaluation of Pumping test Data, 2nd edition, 377 p.
- Kyriazis D, Zagana E, Stamatis G, Fillippidis F, Psomiadis E (2013)**: Assessment of groundwater pollution in relation to heavy metals of the alluvial aquifer of Thriassion Plain (NW Attica). *Bulletin of the Geological Society of Greece*, 47, 731-739.
- Lambeck, K. (1996)**: Sea Level change and shore-line evolution in Aegean Greece since Upper Palaeolithic time, *Antiquity*, 70/269, p 588-611.
- Lambrakis N (1991)**: Elaboration of the hydrochemical data by PC, *Mineral Wealth* 74, 53-60 (In Greek)

- Lekkas E. (2001):** The Athens earthquake (7 September 1999): Intensity distribution and controlling factors. *Engineering Geology*, Publ. Elsevier Science Ltd., Vol.59, 297-311.
- Lekkas, E., (2000):** New data for seismic hazard analysis. *Risk Analysis II* (ed. C. A. Brebbia): 245-255, WIT Press.
- Lloyd J. W. (1965):** The hydrochemistry of the aquifers of north-eastern Jordan. *J. Hydrology* 3, 319-30.
- Lloyd J. W., Heathcote J. A. (1985):** Natural inorganic hydrochemistry in relation to groundwater. Clarendon press Oxford, p 296.
- Lioni A, Stournaras G, Stamatis G (2008):** Degradation of Groundwater quality of Thriassion Plain through 721 Natural Factors and human activity, *Proceedings of the 8th Hydrogeological Congress of Greece*, 2 577-586.
- Λιονής Μ (1992):** Υδρογεωλογική μελέτη Ποικίλου Όρους, ΑΣΔΑ Αθήνα.
- Luong TV, Peters CJ, Perry R (1983):** Occurrence of bromide in source and treated waters. *Effluent Water Treat J* 23(5):192–197.
- McCaffrey MA, Lazar B, Holland HD (1987):** The evaporation path of seawater and the coprecipitation of Br- and K+ with halite. *J Sediment Petrol* 57(5):928–937
- Magganas A, Kyriakopoulos K (2005):** Meta-pyroclastic and metavolcanic rocks of Mid-Triassic Age in western Attica. In: 2nd Congress of commission of Economic Geology, Mineralogy and Geochemistry, Thessaloniki 2005, pp 189–198
- Makarona A (2012):** Complexation of copper in atmospheric precipitation in coastal areas, MSc thesis, University of Athens
- Μακρή Π (2008):** Διερεύνηση της ρύπανσης από υδρογονάνθρακες στα υπόγεια νερά των νεοτεταρτογενών στρωμάτων του Θριασίου Πεδίου, Διδακτορική Διατριβή, ΕΚΠΑ.
- Marinos, G, Katsikatsos G, Georgiades- Dikaioulis E, Mirkou M.R (1971):** The system of Athenian schist: Stratigraphy and tectonics, *Ann. Géol. Pays Hellén*, XXIII: 183-216.
- Μαρίνος, Γ., (1955):** Η ηλικία των μεταμορφωμένων στρωμάτων της Αττικής. *Δελτίο Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας*, 2: 1-13.
- Μαριολάκος, Η., Θεοχάρης, Α. (2001):** Μετατοπίσεις των ακτογραμμών στο Σαρωνικό κατά τα τελευταία 18.000 χρόνια και η Κυχρεία παλαιολίμνη. Πρακτικά 9^{ου} Διεθνούς Συνεδρίου, Αθήνα, *Δελτίο Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας*, XXXVI/1: 405-413.
- Μαριολάκος Η., Φουντούλης Ι., Σίδηρης Χ., Χατούπης Θ. (2001):** Μορφοτεκτονική δομή του όρους Πάρνηθα Αττικής. Πρακτικά 9^{ου} Διεθνούς Συνεδρίου, *Δελτίο Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας*, XXXIV/1:183-190.
- Mariolakos I., Fountoulis I. (2000):** The Athens earthquake September 7, 1999: The neotectonic regime of the affected area, *Ann. Geol. d. Pays Hell.*, 38,Fasc. B, pp. 165-174, ISSN: 1105-0004.
- Mariolakos I., Fountoulis I., Mariolakos D., Andreadakis Em., Georgakopoulos A. (2000):** Geodynamic Phenomena Observed during the Athens earthquake (Ms=5.9) 7-9-1999, *Ann. Geol. d. Pays Hell.* 38, Fasc. B, pp. 175-186, ISSN: 1105-0004.

- Μαυρουδής, Σχοινάς κ.α. (1985):** Εδαφολογικός χάρτης γαιών. Υπουργείο Γεωργίας. Δ/νσεις Δασών Β & Δ.
- McLean W., Jankowski J., Lavitt N. (2000):** Groundwater quality and sustainability in an alluvial aquifer. Australia, A Balkema Rotterdam pp. 567-573.
- Μιμίδης Θ, Ερμίδης Δ, Πυλαρινού Κ (2009):** Η ανάσχεση των πλημμυρικών απορροών του Θριασίου Πεδίου και ο ρόλος των μικρών φραγμάτων στον τεχνητό εμπλουτισμό του υδροφόρου ορίζοντα. *Πρακτικά Κοινού Συνεδρίου EYE & ΕΕΔΥΠ Βόλος, 27-30 Μαΐου 2009, σελ. 437-444.*
- Μιμίδης Θ., (2002):** Πηγή ρύπανσης και προτάσεις περιβαλλοντικής αναβάθμισης της Λίμνης Κουμουνδούρου. Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο για τη Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση Δυτικής Αττικής.
- Μιμίδης Θ., (1998):** Υδρογεωλογία της λίμνης Κουμουνδούρου. Μελέτη ρύπανσης και προστασίας της. Τεχνική Έκθεση. Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, για τη Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση Δυτικής Αττικής.
- Μιμίδης Θ., Καρακατσούλης Π., Αγγελίδης Σ., Ρίζος Σ., Σγουμποπούλου Α., Κουτσομήτρος Σ. (1999):** Πηγές Ρύπανσης και Προτάσεις για Περιβαλλοντική Αναβάθμιση Λίμνης Κουμουνδούρου, ΓΠΑ, Αθήνα.
- Μιμίκου Μ (1994):** Τεχνολογία υδατικών πόρων, σελ 565, εκδ. Παπασωτηρίου, Αθήνα.
- Μπόσκος Ε (2008):** Νεογενή και τεταρτογενή ιζήματα του βορείου Τμήματος της λεκάνης των Αθηνών και της ευρύτερης περιοχής Καπανδριτίου. Συμβολή στην Παλαιογεωγραφική εξέλιξη του λεκανοπεδίου Αθηνών από το άνω Μειόκαινο έως σήμερα. Ορυκτός Πλούτος 149 σελ 1-18
- Nanyaro JT, Aswathanarayana U, Mungure JS (1984):** A geochemical model for the abnormal fluoride concentrations in waters in parts of northern Tanzania. *J Afr Earth Sci* 2:129–140.
- Neuman S.P., (1972):** Theory of flow in unconfined aquifers considering delayed response of the water table, *Water Resources Research*, v. 8, pp. 1031-1045.
- Neuman S.P., (1975):** Analysis of pumping test data from anisotropic unconfined aquifers considering delayed gravity response of the water table, *Water Resources Research*, v. 11, pp. 329-342.
- Nordstrom DK, Jenne E (1977):** Fluorite solubility equilibria in selected geothermal waters *Geochimica et Cosmochimica Acta* Vol. 41 pp 175-188
- Οι Ρειτοί (λίμνη Κουμουνδούρου)** Ημερομηνία ανάκτησης 20/1/2017
<http://www.haidari.gr/Default.aspx?tabid=164&language=en-US>
- Parkhurst DL, Appelo CAJ (2015):** Description of input and examples for PHREEQC version 3—a computer program for speciation, batch-reaction, one-dimensional transport, and inverse geochemical calculations, techniques and methods 6-A43. U.S. Geological survey, Denver, Colorado
- Papadopulos I.S., Cooper, H. Jr. (1967):** Drawdown in a well of large diameter, *Water Resources Research*, v. 3, pp. 241-244.

- Παπανικολάου Δ. (2015):** Γεωλογία Ελλάδας, εκδόσεις Πατάκη, Αθήνα, 443 σ.
- Παπανικολάου Δ., Μπάση Ε.-Κ., Κράνης Χ., Δαναμός Γ, (2004):** Παλαιογεωγραφική εξέλιξη του Λεκανοπεδίου Αθηνών από το Άνω Μειόκαινο έως σήμερα. *Bull. Geol. Soc. Greece*, XXXVI: 816-825.
- Παρανικολαου D. in collaboration with Lekkas E., Sideris Ch., Fountoulis I., Danamos G., Kranis CH., Lozios L. (1999) :** Geology and tectonics of Western Attica in relation to the 7-9-99 earthquake. Newsletter of E.C.P.F.E., Council of Europe, 3: 30-34.
- Παρανικολαου, D., Baud, A., (1982):** Complexes à blocks et séries à caractère flysch au passage Permien- Trias en Attique. 9eme R.A.S.T. Paris 482 pp.
- Παρασκευαΐδης Η., Χωριανοπούλου Π (1978):** Μία τομή από το βουνό Αιγάλεω, ο αθηναϊκός σχιστόλιθος, οι λόφοι της Αθήνας. *Δελτίο Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας*, XIII: 2, 116-136.
- Παρασχούδης, Β., (2002):** Υδρογεωλογική μελέτη Δυτικής Αττικής. Υπουργείο Γεωργίας, Δ/ση Γεωλογίας και Υδρολογίας, Αθήνα.
- Petraschek, W.E., & Marinos, G (1953):** Zur Geologie von Attika. *Kober Festchr.*, 52-59, Wien.
- Pétre MA, Rivera A, Lefebvre R, Hendry MJ, Fohnagy A (2016):** A unified hydrogeological conceptual model of the Milk River transboundary aquifer, traversing Alberta (Canada) and Montana (USA) *Hydrogeol J* 24(7):1847–1871, doi 10.1007/s10040-016-1433-8.
- Phillips FM, Hogan J, Mills S, Hendricks MH (2001):** Environmental tracers applied to quantifying causes of salinity in arid-region rivers: preliminary results from the Rio Grande, southwestern USA. In: Alsharhan AS, Wood WW (eds) *Water resources perspectives: evaluation, management, and policy: developments in water science*, vol 50. Elsevier Science, Amsterdam, pp 327–334
- Piper AM (1953)** A graphic procedure in the geo-chemical interpretation of water analysis. USGS Groundwater Note No. 12.
- Poulos S, Ghionis G, Maroukian H (2009):** Sea-level rise trends in the Attico–Cycladic region (Aegean Sea) during the last 5000 years *Geomorphology* 107: 10–17.
- Post VEA (2004):** Groundwater salinization processes in the coastal area of the Netherlands due to transgressions during the Holocene. PhD thesis, Vrije Universiteit Amsterdam, 138 pp.
- Price D, Iddon B, Wakefield BJ (1988):** Bromine Compounds: Chemistry and Applications. Elsevier, Amsterdam.
- Renz C (1955):** Die vorneogene Stratigraphie der normalen sedimentären Formationen Griechenlands. *IGME*, Αθήνα: 400-428, 459-461, 494-497, 524-554.
- Renz C. & Reichel M., (1946):** Beitrage zur Stratigraphie und Palaontologie des ostmediterranean Jungpalaozoikums und dessen Einordnung im griechinschen Gebirgssystem. *Eclogae Geologicae Helvetiae*, 38/2: 221-313
- Renz C (1912):** Neue Carbonaufschlüsse in Attika. *Centralbl. für Min., Geol. & Pal.*, 6: 169-173.

- Renz C (1910a):** Sur des nouveaux affleurements du Carbonifère en Attique. *Bul. Soc. Géol. France*, 4/X, 782-783.
- Renz C (1908):** Sur les preuves de l'existence du Carbonifère et du Trias dans l'Attique *Bull. Soc. Géol. France*, 4/8: 519-523.
- Rittenhouse G (1967):** Bromine in oil-field waters and its use in determining possibilities of origin of these waters. *Am Assoc Pet Geol Bull* 51(12):2430–2440
- Ρουμπάνης Β. (1961):** Γεωμορφολογικά έρευναι επί της οροσειράς της Πάρνηθος. *Ann. Géol. Pays Hellen. 1^{ere} série, XII*: 18-104.
- Saxena VK, Ahmed S (2003):** Inferring the chemical parameters for the dissolution of fluoride in groundwater. *Environ Geol* 43:731–736
- Schafer D.C., (1978):** Casing Storage can affect Pumping Test Data. *Johnson Drillers' Journal*, Jan/Feb. Johnson Division, UOP Inc, St. Paul, Minnesota (1978).
- Σκιάνης Γ και Νούτσης Β (2008):** Γεωφυσική μελέτη Θριάσιου Πεδίου, ΙΓΜΕ, Αθήνα.
- Σπηλιάδης, Θ., (1960):** Συμβολή εις την γνώσιν της γεωλογίας της περιοχής Μεγαρίδος. *Ακαδημία Αθηνών*, 35.
- Σπηλιάδης, Θ., (1962):** Η ανάπτυξη του Μεσοζωικού και η τεκτονική εξέλιξη της περιοχής Μεγαρίδος-Δ. Αττικής. *Δελτίο Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας*, V/1: 89-107.
- Σπηλιάδης, Θ., (1963):** Περί της ανευρέσεως στοιχείων της ζώνης Ωλονού-Πίνδου εις την χερσόνησο Περαχώρας. Η γεωλογική ενότης της περιοχής Αττικής-Μεγαρίδος-Γερανείων. *Δελτίο Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας*, VI/1, Αθήνα.
- Stathopoulou, E., Dasenakis, M., Scoullou, M., (2005):** Total and methyl-mercury in water samples from Elefsis Gulf, Greece. *Conference Proceedings of 13th International Symposium on Environmental Pollution and its impact on life in the Mediterranean Region (MESAEP)*, Thessaloniki, Greece: 119-127.
- Stigter T.Y., et al. (1998):** A hydrogeological and hydrochemical explanation of the groundwater composition under irrigated land in a Mediterranean environment, Algarve, Portugal, *Journal of Hydrology* 208 pp. 262–279.
- Τάταρης Α (1972):** Νεότερα πορίσματα επί της Γεωλογίας της Νήσου Σαλαμίνας και της περιοχής της Αττικής. *Δελτίο Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας*, IX/2: 482-514.
- Τάταρης Α και Κούνης Γ, (1969):** Η γεωλογική ενότης των προνεογενών-μεσοζωικών σχηματισμών Αττικής-Βοιωτίας-Λοκρίδος και τμήματος της ΒΑ Πελοποννήσου. *Δελτίο Ελλ. Γεωλ. Εταιρείας*, VII/2: 137-154.
- Τάταρης Α (1967):** Επί της δομής της περιοχής Σκαρμαγκά- όρους Αιγάλεω- Πειραιώς- Αθηνών (Αττική). *Δελτίο Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας*, VII/2: 52-58.
- Theis C.V. (1935):** The relation between the lowering of the piezometric surface and the rate and duration of discharge of a well using ground water storage, *Trans. Amer. Geophysical Union*, v. 16, pp.519-524.
- Thiem G. (1906):** *Hydrologische Methoden*, Gebhardt, Leipzig, 56 pp.
- Thorntwaite CW (1948):** An approach towards a rational classification of climate, *Geographical Rev.*, 38, 55-94

- Vengosh A, Pankratov I (1998):** Chloride/bromide and chloride/fluoride ratios of domestic sewage effluents and associated contaminated ground water. *Ground Water* 36:815–824.
- Wang W, Li R, Tan JA, Luo K, Yang L, Li H, Li Y (2002):** Adsorption and leaching of fluoride in soils of China. *Fluoride* 35(2):122–129.
- Wanielista MP, Kersten R, Eaglin R (1997):** *Hydrology: Water Quantity and Quality Control* 2nd Edition, John Wiley and Sons, N. York.
- Whittemore DO (1995):** Geochemical differentiation of oil and gas brine from other saltwater sources contaminating water resources; case studies from Kansas and Oklahoma. *Environ Geosci* 2(1):15–31
- Wilson TP, Cabot RM (1991):** Bromide uptake by soils and shales EOS. *Am Geophys Union Trans* 72(44):177
- Windom HL (1971):** Fluoride concentration in coastal and estuarine waters of Georgia. *Limnol Oceanogr* 16:806–810
- Winston RB (2000):** Graphical User Interface for MODFLOW, Version 4: U.S. Geological Survey Open-File 782 Report 00-315, 27 p https://water.usgs.gov/nrp/gwsoftware/GWChart/GW_Chart.html.
- World Health Organization (2008):** Guidelines for drinking quality. Third edition Incorporating the first and second Addenda Volume 1, WHO-Geneva.
- World Health Organization (2002):** Fluorides. World Health Organization. Geneva (Environmental Health Criteria 227).
- World Meteorological Organization, (2006):** Technical Regulations, Volume III, WMO-No. 49, Geneva.
- Worthington P.F (1981):** Estimation of the transmissivity of thin leaky-confined aquifers from single-well pumping tests. *Journal of Hydrology*, Vol 49, pp19-30.
- Φλόκας Α, και Μπλούτσος Α (1980):** Υπολογισμός της μέγιστης ημερήσιας βροχοπτώσεως στην Ελλάδα για διάφορες περιόδους επαναλήψεως II ΠΑΝΕΛΛΗΝΙΟ ΣΕΜΙΝΑΡΙΟ ΥΔΡΟΛΟΓΙΑΣ, Αθήνα, τομ I σελ 211-227.