

ΕΘΝΙΚΟ & ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ-ΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΥΦΑΛΜΥΡΩΝ ΚΑΡΣΤΙΚΩΝ ΠΗΓΩΝ
ΑΓΙΩΝ ΑΠΟΣΤΟΛΩΝ



ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ
ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΒΛΑΧΟΠΟΥΛΟΣ

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

ΟΜΟΤΙΜΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΣΤΟΥΡΝΑΡΑΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ (ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ)

ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΣΤΑΜΑΤΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΛΟΖΙΟΣ ΣΤΥΛΙΑΝΟΣ

ΙΟΥΝΙΟΣ 2016 ΑΘΗΝΑ

1.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	7
1.2	ΣΚΟΠΟΣ ΚΑΙ ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	9
1.3	ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΚΠΟΝΗΣΗΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	10
A	ΜΕΡΟΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑ	11
A.1	ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ	12
A.1.1	ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΔΟΜΗ ΑΤΤΙΚΗΣ	12
A.1.2	ΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑ	13
A.1.3	ΤΕΚΤΟΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	18
A.1.4	ΝΕΟΤΕΚΤΟΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	21
A.1.5	Ο ΡΟΛΟΣ ΤΗΣ ΛΙΘΟΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ ΣΤΗΝ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ	24
B	ΜΕΡΟΣ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ.....	26
B.1.	ΥΔΡΟΛΟΓΙΑ - ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ	27
B.1.1	ΔΙΑΤΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΩΝ ΥΔΑΤΩΝ – ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ	27
B.2	ΥΔΡΟΦΟΡΟΙ ΟΡΙΖΟΝΤΕΣ.....	27
B.2.1	Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΟΥ ΚΑΡΣΤΙΚΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΟΥ	27
B.3	ΥΔΡΟΦΟΡΟΙ ΟΡΙΖΟΝΤΕΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	30
B.3.1	ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΥΔΡΟΦΟΡΩΝ.....	30
B.3.2	ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΑΝΘΡΑΚΙΚΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ ΠΑΡΝΗΘΑΣ	33
B.3.3	ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΡΣΤΙΚΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ ΠΑΡΝΗΘΑΣ	35
B.4	ΠΗΓΕΣ.....	36
B.4.1	ΕΙΔΗ ΠΗΓΩΝ	36
B.5	ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΩΝ ΠΗΓΩΝ ΑΓΙΩΝ ΑΠΟΣΤΟΛΩΝ	39
B.6	ΥΔΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ.....	44
B.6.1	ΥΔΡΟΓΡΑΜΜΑ ΠΑΡΟΧΗΣ ΠΗΓΗΣ.....	44
B.6.2	ΥΔΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΩΝ ΠΑΡΟΧΩΝ ΠΗΓΩΝ ΑΓΙΩΝ ΑΠΟΣΤΟΛΩΝ	47
B.6.2.1	ΥΔΡΟΓΡΑΜΜΑ ΠΗΓΗΣ Α.....	56
B.6.2.2	ΥΔΡΟΓΡΑΜΜΑ ΠΗΓΗΣ Γ	58
B.6.2.3	ΥΔΡΟΓΡΑΜΜΑ ΠΗΓΗΣ Δ.....	61
B.6.2.4	ΥΔΡΟΓΡΑΜΜΑ ΠΗΓΗΣ Ε	63
B.6.2.5	ΥΔΡΟΓΡΑΜΜΑ ΠΗΓΗΣ Ζ	66

B.6.2.6	ΥΔΡΟΓΡΑΜΜΑ ΠΗΓΗΣ Η.....	68
B.6.3	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΠΗΓΩΝ ΑΓΙΩΝ ΑΠΟΣΤΟΛΩΝ	71
Γ ΜΕΡΟΣ	ΥΔΡΟΧΗΜΕΙΑ	75
Γ.1	ΥΔΡΟΧΗΜΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ.....	76
Γ.2	ΥΔΡΟΧΗΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ.....	79
Γ.3	ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ - ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ	82
Γ.4	ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ ΠΗΓΩΝ ΑΓΙΩΝ ΑΠΟΣΤΟΛΩΝ	84
Γ.5	ΥΔΡΟΧΗΜΙΚΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ	86
Γ.5.1	ΓΕΝΙΚΑ	86
Γ.5.2	ΥΔΡΟΧΗΜΙΚΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΑΓΙΩΝ ΑΠΟΣΤΟΛΩΝ	91
Γ.6	ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΝΕΡΟΥ ΑΡΔΕΥΣΗΣ - ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΚΑΤΑ WILCOX.....	95
Δ ΜΕΡΟΣ	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	98
Δ.1	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	99
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	105

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α:	ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β:	ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ:	ΧΗΜΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα Α.1: Απλοποιημένος γεωλογικός-τεκτονικός χάρτης της Αττικής

Εικόνα Α.2: Στρωματογραφική κολώνα της περιοχής μελέτης

Εικόνα Α.3: Αντιπροσωπευτική γεωλογική τομή του υπόγειου υδατικού συστήματος Βόρειο-Ανατολικής Πάρνηθας.

Εικόνα Α.4: Γεωλογικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής του υπόγειου υδατικού συστήματος Βόρειο-Ανατολικής Πάρνηθας.

Εικόνα Α.5: Τεκτονικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής μελέτης.

Εικόνα Α.6: Υπεδαφικός Χάρτης της επαφής των ανωκρητιδικών ασβεστολίθων με το υποκείμενο αλπικό υπόβαθρο της Υποπελαγονικής.

Εικόνα Α.7: Μορφολογικές ασυνέχειες που προσδιορίζουν και τις ρηξιγενείς ζώνες στην περιοχή μελέτης.

Εικόνα Α.8: Σκαρίφημα της μεγατεκτονικής δομής του νότιου Ευβοϊκού κόλπου, που δείχνει την διαδικασία διεύρυνσης κατά το Τεταρτογενές.

Εικόνα Α.9: Ρήγματα στην ευρύτερη περιοχή μελέτης.

Εικόνα Α.10: Τρισδιάστατη ψηφιακή απεικόνιση της γεωλογίας και της τεκτονικής στην Πάρνηθα και στην ανατολική λεκάνη του Β. Ασωπού.

Εικόνα Β-1: Ιδεατό μοντέλο καρστικού υδροφόρου ορίζοντα.

Εικόνα Β-2: Λεπτομέρεια του καρστικού υδροφόρου ορίζοντα.

Εικόνα Β-3: Απόσπασμα από τον Υδρολιθολογικό χάρτη του Σχεδίου Διαχείρισης των Λεκανών Απορροής Ποταμών Υδατικού Διαμερίσματος Αττικής (GR06).

Εικόνα Β-4: Σχηματική τομή πηγής επαφής.

Εικόνα Β-5: Σχηματική τομή πηγής υπερπλήρωσης.

Εικόνα Β-6: Βωκλυζιανή πηγή.

Εικόνα Β-7: Κίνηση υπόγειων καρστικών υδάτων πηγών Αγίων Αποστόλων.

Εικόνα Β-8: Καμπύλη υψομέτρου πηγής και της τιμής του $_{18}\text{O}$.

Εικόνα Β-9: Μοναδιαίο υδρόγραμμα και τα επιμέρους στοιχεία του.

Εικόνα Β-10: α) Η εξίσωση στείρευσης σε δεκαδική κλίμακα έχει μορφή φθίνουσας καμπύλης ενώ β) σε ημιλογαριθμικό χαρτί έχει μορφή ευθείας γραμμής.

Εικόνα Β-11: Υδρόγραμμα αθροιστικών παροχών πηγών Αγίων Αποστόλων κατά το χρονικό διάστημα Ιούνιος 2008 έως Μάιος 2009 (Ι.Γ.Μ.Ε., 2009).

Εικόνα Β-12: Καμπύλη υποχώρησης πηγών Αγίων Αποστόλων

Εικόνα Β-13: Η εξίσωση στείρευσης σε διάγραμμα Q/t ημιλογαριθμικής κλίμακας.

Εικόνα Β-14: Εφαρμογή της εξίσωσης Tison στις πηγές Αγίων Αποστόλων.

Εικόνα Β-15: Εφαρμογή της εξίσωσης Schoeller στις πηγές Αγίων Αποστόλων.

Εικόνα Β-16: Υετόγραμμα βροχοπτώσεων σε mm βροχής.

Εικόνα Β-17: Διάγραμμα συσχέτισης παροχής – (βροχόπτωσης x 4).

Εικόνα Β-18: Υδρόγραμμα παροχών πηγής Α.

Εικόνα Β-19: Η εξίσωση στείρευσης σε διάγραμμα Q/t ημιλογαριθμικής κλίμακας.

Εικόνα Β-20: Διάγραμματα συσχέτισης παροχής- Αγωγιμότητας & παροχής – pH.

Εικόνα Β-21: Υδρόγραμμα παροχών πηγής Γ.

Εικόνα Β-22: Η εξίσωση στείρευσης σε διάγραμμα Q/t ημιλογαριθμικής κλίμακας.

Εικόνα Β-23: Διάγραμματα συσχέτισης παροχής- Αγωγιμότητας & παροχής – pH.

Εικόνα Β-24: Υδρόγραμμα παροχών πηγής Δ.

Εικόνα Β-25: Η εξίσωση στείρευσης σε διάγραμμα Q/t ημιλογαριθμικής κλίμακας.

Εικόνα Β-26: Διάγραμματα συσχέτισης παροχής- Αγωγιμότητας & παροχής – pH.

Εικόνα Β-27: Υδρόγραμμα παροχών πηγής Ε.

Εικόνα Β-28: Η εξίσωση στείρευσης σε διάγραμμα Q/t ημιλογαριθμικής κλίμακας.

Εικόνα Β-29: Διάγραμματα συσχέτισης παροχής- Αγωγιμότητας & παροχής – pH.

Εικόνα Β-30: Υδρόγραμμα παροχών πηγής Ζ.

Εικόνα Β-31: Η εξίσωση στείρευσης σε διάγραμμα Q/t ημιλογαριθμικής κλίμακας.

Εικόνα Β-32: Διάγραμματα συσχέτισης παροχής- Αγωγιμότητας & παροχής – pH.

Εικόνα Β-33: Υδρόγραμμα παροχών πηγής Η.

Εικόνα Β-34: Η εξίσωση στείρευσης σε διάγραμμα Q/t ημιλογαριθμικής κλίμακας.

Εικόνα Β-35: Διάγραμματα συσχέτισης παροχής- Αγωγιμότητας & παροχής – pH.

Εικόνα Γ-1: Διάγραμμα Piper.

Εικόνα Γ-2: Οι υδροχημικές φάσεις των τριγωνικών διαγραμμάτων.

Εικόνα Γ-3: Διάγραμμα Durov.

Εικόνα Γ-4: Επεκταμένο διάγραμμα Durov με τα εννέα υδροχημικά πεδία και τις υποδηλούμενες υδροχημικές διαδικασίες.

Εικόνα Γ-5: Διαγράμματα Schoeller

Εικόνα Γ-6: Διαγράμματα Stiff

Εικόνα Γ-7: Διάγραμμα Piper Αγίων Αποστόλων

Εικόνα Γ-8: Διάγραμμα Durov Αγίων Αποστόλων

Εικόνα Γ-9: Διαγράμματα Schoeller Αγίων Αποστόλων

Εικόνα Γ-10: Διαγράμματα Stiff Αγίων Αποστόλων

Εικόνα Γ-11: Η γραμμική συσχέτιση μεταξύ των ιόντων Na και Cl.

Εικόνα Γ-12: Η γραμμική συσχέτιση μεταξύ των ιόντων Cl και SO₄.

Εικόνα Γ-13: Η γραμμική συσχέτιση μεταξύ των αθροισμάτων ιόντων Na+K / Mg+Ca.

Εικόνα Γ-14: Διάγραμμα ταξινόμησης του αρδευτικού νερού κατά το US SALINITY LABORATORY.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την ολοκλήρωση του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών του Τμήματος Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος «Δυναμική, Τεκτονική & Εφαρμοσμένη Γεωλογία με έμφαση στην Υδρογεωλογία», θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες, σε όλους εκείνους που συνέβαλαν στην ολοκλήρωση της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής, καθώς χωρίς την καθοριστική συμβολή τους, δεν θα ήταν δυνατή η ολοκλήρωση της.

Αρχικά, στον επιβλέποντα Ομότιμο Καθηγητή, κ. Στουρνάρα Γεώργιο, για την αμέριστη εμπιστοσύνη του, τόσο κατά την ανάθεση, όσο και κατά την διάρκεια εκπόνησης της διατριβής και την άριστη συνεργασία, καθώς και κατά τη σύνθεση των αποτελεσμάτων και για την ηθική συμπαράσταση που μου προσέφερε.

Στα μέλη της τριμελούς επιτροπής, Καθηγητή, κ. Σταμάτη Γεώργιο και τον Επίκουρο Καθηγητή, κ. Λόζιο Στυλιανό, για τους προβληματισμούς που μου έθεσαν και για τις εύστοχες παρατηρήσεις τους, κατά την συγγραφή της εργασίας.

Στους συναδέλφους, κ. Καραλέμα Νικόλαο, Σαραντάκο Παναγιώτη και Γεωργιάδου Μυρτώ, για την πολύπλευρη βοήθεια τους, σε όλους τους τομείς και για την ηθική υποστήριξη.

Στον συνάδελφο, γεωλόγο της NAMA Σύμβουλοι Μηχανικοί και Μελετητές Α.Ε., κ.Σιδέρη Νικόλαο, για την παροχή γεωλογικών, υδρολογικών και υδρογεωλογικών στοιχείων.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά και τους δικούς μου ανθρώπους, για την αμέριστη συμπαράσταση και στήριξη τους, με κάθε τρόπο.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσης Μεταπτυχιακής Εργασίας, ήταν η υδροδυναμική ανάλυση των υφάλμυρων καρστικών πηγών Αγίων Αποστόλων Καλάμου (με δεδομένα της περιόδου Ιουνίου 2008 - Μαΐου 2009), οι οποίες εκφορτίζουν σημαντικό όγκο νερού του υπόγειου υδατικού συστήματος Βόρειο-Ανατολικής Πάρνηθας.

Ιδιαίτερη έμφαση δόθηκε στην μελέτη και ανάλυση των υδρογραμμάτων των πηγών Αγίων Αποστόλων οι οποίες εκφορτίζουν το καρστικό υδροφορέα της ΒΑ Πάρνηθας και ιδιαιτέρως στο σημαντικότερο κομμάτι του υδρογράμματος που αντιστοιχεί στην καμπύλη στείρευσης. Από την μελέτη των υδρογραμμάτων πηγών Αγίων Αποστόλων με τις προσεγγίσεις και τους τύπους των **Maillet**, **Tison** και **Schoeller**, έγινε προσδιορισμός της παροχής της πηγής και υπολογισμός των εκφορτίσεων του καρστικού συστήματος, ενώ προέκυψαν πληροφορίες για τον τρόπο οργάνωσης και λειτουργίας του καρστικού συστήματος, ενώ τέλος καθορίστηκαν τα υδροχημικά χαρακτηριστικά του καρστικού υδροφορέα, με βάση τα αποτελέσματα σχετικών χημικών αναλύσεων και την σχεδίαση των αντίστοιχων υδροχημικών διαγραμμάτων Durov, Piper, Schoeller και Stiff.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ

καρστ, υδροδυναμική ανάλυση, υφάλμυρες καρστικές πηγές, υδρόγραμμα, καμπύλη στείρευσης

ABSTRACT

The main scope of the current Postgraduate Thesis is the hydrodynamic analysis of the semi- saline springs of Agion Apostolon, based on data from the period between June 2008 and May 2009. The Agion Apostolon springs discharge an important amount of water of the subsurface aquatic potential of North-eastern Mt Parnitha's system. Emphasis was given in studying and analysing the hydrographs of Agion Apostolon springs that discharge the karstic aquifer of NE Mt Parnitha. And especially the most important part of the hydrograph that corresponds to the recession period of the hydrograph.

By reviewing the hydrographs of Agion Apostolon springs, using the approximations and the formulas of **Maillet**, **Tison** and **Schoeller**, it has been assigned the spring's flow, the discharges of the karstic system were calculated, as well as information was recovered for the organisation and the function of the karstic system. Finally the hydro-chemical assets of the karstic aquifer were determined based on the relevant chemical analyzes and the Durov, Piper, Schoeller and Stiff plots that derived from them.

KEYWORDS:

karst, hydrodynamic analysis, semi- saline springs, hydrograph, recession period of the hydrograph

1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Όπως μαρτυρά και ο τίτλος της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας, ο κύριος στόχος της είναι η υδροδυναμική ανάλυση των υφάλμυρων καρστικών πηγών Αγίων Αποστόλων Καλάμου οι οποίες εκφορτίζουν σημαντικό όγκο νερού του υπόγειου υδατικού συστήματος Βόρειο-Ανατολικής Πάρνηθας (GR0600080), σύμφωνα με το Σχέδιο διαχείρισης των Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού διαμερίσματος Ανατολικής Στερεάς Ελλάδας (GR07).

Το υπόγειο υδατικό σύστημα Βόρειο-Ανατολικής Πάρνηθας αναπτύσσεται στις μάζες των ανθρακικών πετρωμάτων του κυρίως ορεινού όγκου της Πάρνηθας που αναπτύσσονται στην Αττική, νότια της νοητής γραμμής Αυλώνας-Σκούρτα-Ερυθρές, ενώ περιλαμβάνει και το όρος Αιγάλεω μέχρι τον όρμο του Κερατσινίου. Η υπόγεια υδροφορία είναι καρστικής μορφής και προχωρά σε βάθη που σχετίζονται με τα επίπεδα εμφάνισης του στεγανού παλαιοζωϊκού συνόλου. Η τροφοδοσία του συστήματος εξασφαλίζεται από την απευθείας κατέισδυση του μετεωρικού νερού, ενώ η εκφόρτιση του γίνεται προς τις πεδινές περιοχές της Αττικής, αλλά και προς την θάλασσα τόσο στο νότιο τμήμα του (όρος Αιγάλεω), όσο και στην παράκτια περιοχή Καλάμου όπου τροφοδοτεί τις υφάλμυρες καρστικές πηγές Αγίων Αποστόλων, δείχνοντας έτσι πως το καρστ είναι ανοικτό στην θάλασσα και κάτω από τη στάθμη της θάλασσας).

Το ζήτημα του καρστικού συστήματος των υφάλμυρων παράκτιων και υποθαλάσσιων πηγών των Αγίων Αποστόλων Καλάμου έχει απασχολήσει από το 1974 την υδρογεωλογική κοινότητα λόγω και των αυξημένων αναγκών ύδρευσης της Αθήνας. Συγκεκριμένα το 1974 ανατέθηκε στο ΙΓΜΕ η μελέτη της περιοχής των υφάλμυρων καρστικών πηγών Αγίων Αποστόλων, οι οποίες αναβλύζουν διαμέσου των προσχώσεων της παράκτιας περιοχής των Αγίων Αποστόλων σε επτά (7) διαφορετικά σημεία σε μέσο υψόμετρο 4m πάνω από την στάθμη της θάλασσας. Εκτός αυτών υπάρχουν και υποθαλάσσιες αναβλύσεις σε απόσταση περίπου 100m από την ακτή και σε βάθος 20m περίπου.

Είναι προφανές ότι για την εύρεση του μηχανισμού λειτουργίας των πηγών ήταν απαραίτητη η λεπτομερής γνώση των στρωματογραφικών, τεκτονικών, υδρογεωλογικών και υδρολογικών συνθηκών που επικρατούσαν στην ευρύτερη περιοχή έτσι ώστε να καθοριστεί η γεωμετρία των επαφών των γεωλογικών σχηματισμών και η έκταση της λεκάνης τροφοδοσίας της κάθε πηγής. Επίσης ήταν απαραίτητος ο διαχωρισμός των εμφανίσεων περατών σχηματισμών σε υδρογεωλογικές λεκάνες, αλλά και οι υδραυλικές επικοινωνίες μεταξύ των λεκανών αυτών.

Όπως αναφέραμε ο κύριος στόχος της εργασίας είναι η υδροδυναμική ανάλυση των υφάλμυρων καρστικών πηγών Αγίων Αποστόλων Καλάμου, λαμβάνοντας υπόψιν το σύνολο των ερευνών που έχουν γίνει για το εν λόγω μέτωπο πηγών Αγίων Αποστόλων Καλάμου.

Άλλωστε η υδροδυναμική ανάλυση των πηγαίων εκφορτίσεων υπόγειου νερού αποτελεί, μια βασική μεθοδολογία υδρογεωλογικής (ποιοτικής) και υδραυλικής (ποσοτικής) μελέτης των υδροφόρων συστημάτων, τα οποία εμφανίζουν φυσική επιφανειακή εκφόρτιση (πηγή).

Η πηγαία εκφόρτιση είναι κίνηση (ροή) υπόγειου νερού και σαν ροή προϋποθέτει την κατανάλωση κάποιου διαθέσιμου υδραυλικού δυναμικού (φορτίου), που με τη σειρά του έχει διαμορφωθεί στο εσωτερικό του υδροφόρου ορίζοντα. Παραλλήλως, η ίδια η εκφόρτιση και τα χαρακτηριστικά της (σημεία εκφορτίσεως, μεταβολή της παροχής, μεταβολή του χημισμού), εξαρτώνται αμέσως από τις γεωλογικές συνθήκες (λιθολογικές φάσεις, γεωλογική δομή) και τις υδρογεωλογικές συνθήκες (περατότητα πορώδους, ασυνεχειών ή καρστ, τροφοδοσίες, απώλειες, οριακές συνθήκες, μεταβολές υδραυλικού δυναμικού κ.λ.π.), του υδροφόρου συστήματος και, επομένως, επηρεάζουν με άμεσο και καθοριστικό τρόπο το φυσικό και υδατικό περιβάλλον.

Για την ανάλυση και αξιοποίηση των δεδομένων των πηγαίων εκφορτίσεων και, ιδιαιτέρως, των προκυπτουσών χρονοσειρών (μεταβολές παροχής ή φυσικοχημικών χαρακτήρων σε σχέση με το χρόνο) έχουν αναπτυχθεί ειδικές μέθοδοι και διαδικασίες.

Ολες αυτές είναι πολύ χρήσιμες, όχι μόνο για την επίλυση προβλημάτων και τη θεωρητική έρευνα στα πλαίσια της Υδρογεωλογίας και της Υπόγειας Υδραυλικής, αλλά και στην ανάλογη αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών θεμάτων, καθώς η εμφάνιση και λειτουργία μιας πηγής, οι μεταβολές της και οι ειδικοί χαρακτήρες της, διαμορφώνουν σε μεγάλο βαθμό, τις περιβαλλοντικές παραμέτρους, δυνατότητες και προοπτικές.

Για την εκπόνηση της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα της περιόδου Ιουνίου 2008 - Μαΐου 2009 οι οποίες πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια της Υδρογεωλογικής μελέτης παρακολούθησης των υδατικών πόρων σε περιοχές γεωτρήσεων της ΕΥΔΑΠ, οι οποίες πραγματοποιήθηκαν από το ΙΓΜΕ (Σύμβαση ΕΥΔΑΠ-ΙΓΜΕ, 2008).

Ο τρόπος εργασίας για την ανάλυση και αξιοποίηση των δεδομένων των πηγαίων εκφορτίσεων καθώς και τα επιμέρους στάδια που ακολουθήθηκαν περιγράφονται παρακάτω:

- Καταρχήν έγινε βιβλιογραφική ανασκόπηση σε εργασίες που έχουν γίνει διαχρονικά στην περιοχή ή σε άλλες περιοχές που παρουσιάζουν παρεμφερείς συνθήκες και θεωρήθηκε πως θα βοηθήσουν στην παρούσα μελέτη.
- Έγινε προσπάθεια υπολογισμού των αποθεμάτων από την ανάλυση του υδρογράμματος παροχής της πηγής με την χρησιμοποίηση μέρους του υδρογράμματος παροχής.
- Έγινε δειγματοληψία νερού από τις πηγές τον Νοέμβριο του 2012 κατά τις οποίες έγινε επιτόπια μέτρηση ορισμένων φυσικοχημικών ιδιοτήτων του νερού (θερμοκρασία, αγωγιμότητα και pH).
- Έγινε χημική ανάλυση των νερών αυτών, στα Χημικά Εργαστήρια Α.ΑΝΔΡΕΟΥ στις 20-11-2012, με σκοπό να ελεγχθεί η ποιότητα των νερών των πηγών.

Κατά την συγγραφή της Μεταπτυχιακής Εργασίας, θεωρήθηκε σκόπιμο να αφιερωθούν επιμέρους κεφάλαια που αναφέρονται στην γεωλογία, την στρωματογραφία, την τεκτονική, την υδρογεωλογία και την υδρολογία της περιοχής, ώστε να περιγραφούν οι συνθήκες που επηρεάζουν τους μηχανισμούς λειτουργίας των υφάλμυρων καρστικών πηγών.

1.2 ΣΚΟΠΟΣ ΚΑΙ ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Κύριοι στόχοι της Μεταπτυχιακής Εργασίας ήταν:

1. η καταγραφή της γεωλογικής και τεκτονικής δομής της περιοχής
2. η διερεύνηση των υδρογεωλογικών και υδροχημικών συνθηκών
3. η υδροδυναμική ανάλυση των υφάλμυρων καρστικών πηγών και
4. η μελέτη των υδροχημικών χαρακτηριστικών των υδροφόρων οριζόντων.

Η Μεταπτυχιακή Εργασία έχει χωριστεί σε τέσσερα (4) κύρια μέρη.

Το Α Μέρος περιλαμβάνει τα κεφάλαια της Γεωλογίας, Στρωματογραφίας και της Τεκτονικής. Αρχικά γίνεται προσέγγιση της γεωλογικής δομής του υδατικού συστήματος ΒΑ/κής Πάρνηθας.

Στο Β Μέρος αναλύεται η Υδρογεωλογία της περιοχής μελέτης περιλαμβάνοντας τα κεφάλαια της Υδρολογίας, των Υδροφόρων Οριζόντων και των Πηγών.

Στο κεφάλαιο των Υδροφόρων Οριζόντων και λόγω του ότι η υπόγεια υδροφορία είναι καρστικής μορφής, γίνεται αναφορά στην έννοια του καρστικού υδροφόρου, καθώς και περιγραφή των καρστικών ασβεστολιθικών υδροφορέων της ΒΑ Πάρνηθας.

Στο κεφάλαιο των Πηγών γίνεται λόγος για τις πηγές της περιοχής μελέτης και αναλύεται ο μηχανισμός λειτουργίας τους. Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα υδρογραφήματα των πηγών με βάση τις μετρήσεις παροχών της περιόδου Ιουνίου 2008 έως Μαΐου 2009, οι οποίες πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια της Υδρογεωλογικής μελέτης παρακολούθησης των υδατικών πόρων σε περιοχές γεωτρήσεων της ΕΥΔΑΠ, οι οποίες πραγματοποιήθηκαν από το ΙΓΜΕ.

Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στην μελέτη και ανάλυση των υδρογραμμάτων των πηγών Αγίων Αποστόλων με τις εξισώσεις των Maillat, Tison και Schoeller, οι οποίες εκφορτίζουν το καρστικό υδροφορέα της ΒΑ Πάρνηθας και ιδιαιτέρως στο σημαντικότερο κομμάτι του υδρογράμματος που αντιστοιχεί στην καμπύλη στέρσεως.

Από την μελέτη των υδρογραμμάτων πηγών Αγίων Αποστόλων που εκφορτίζουν το καρστικό υδροφορέα της ΒΑ Πάρνηθας έγινε προσδιορισμός της παροχής της πηγής και υπολογισμός των αποθεμάτων του καρστικού συστήματος, ενώ προέκυψαν πληροφορίες για τον τρόπο οργάνωσης και λειτουργίας του καρστικού συστήματος της ΒΑ Πάρνηθας. Γίνεται επίσης ανάλυση των χρονοσειρών της αγωγιμότητας (και άλλων φυσικοχημικών παραμέτρων, όπως pH, κλπ) με βάση τις μετρήσεις παροχών της περιόδου Ιουνίου 2008 έως Μαΐου 2009.

Το Γ Μέρος περιλαμβάνει το κεφάλαιο της Υδροχημείας. Συγκεκριμένα γίνεται λόγος για τα βιβλιογραφικά δεδομένα που αφορούν στην ποιότητα του υπόγειου νερού και στη συνέχεια παρουσιάζονται τα τριγραμμικά διαγράμματα (διαγράμματα Piper, Durov, Schoeller και Stiff), καθώς και τα υδροχημικά χαρακτηριστικά των υδροφόρων οριζόντων της περιοχής μελέτης. Γίνεται επίσης σύγκριση με βάση τα δεδομένα που προέκυψαν από την χημική ανάλυση δείγματος που λήφθηκε στα πλαίσια της παρούσης εργασίας.

Τέλος, στο Δ Μέρος παρουσιάζονται τα συμπεράσματα της Μεταπτυχιακής Εργασίας.

1.3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΚΠΟΝΗΣΗΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η μεθοδολογία που εφαρμόστηκε ήταν η ακόλουθη:

- Συλλογή βιβλιογραφικών δεδομένων που κάλυπταν ένα ευρύ φάσμα του θέματος της Μεταπτυχιακής Εργασίας. Συγκεκριμένα, συλλέχθηκαν βιβλιογραφικά δεδομένα που αφορούν στη γεωλογία, στην υδρογεωλογία και στην υδρολογία τόσο της στενής όσο και της ευρύτερης περιοχής μελέτης. Ιδιαίτερη έμφαση δόθηκε επίσης σε βιβλιογραφικά στοιχεία σχετικά με την υφιστάμενη ποσοτική και ποιοτική κατάσταση των υδατικών πόρων, τις υδρογεωλογικές και υδροχημικές συνθήκες, τις πηγές και την διάχυση των ρύπων στα επιφανειακά και υπόγεια νερά.
- Κατασκευή και μελέτη των υδρογραφημάτων των πηγών και υπολογισμός του συντελεστή στειρεύσής τους. Στο διάστημα της στειρεύσεως, θεωρείται ότι ο υδροφόρος ορίζοντας λειτουργεί χωρίς εξωτερικές τροφοδοσίες, χωρίς εξωτερικές επιδράσεις, εκφράζοντας αποκλειστικώς τα γεωλογικά, υδρογεωλογικά και υδραυλικά χαρακτηριστικά του. Έτσι ο συντελεστής στειρεύσεως "α", είναι τόσο πιο μεγάλος (επομένως και η εκκένωση του υδροφορέα πιο γρήγορη), όσο ο όγκος του υδροφορέα είναι μικρότερος, η ενεργός κατείσδυση του μικρότερη και η περατότητα του μεγαλύτερη. Είναι τόσο πιο μικρός (επομένως και η εκκένωση του υδροφορέα πιο αργή), όσο ο όγκος του υδροφορέα είναι μεγαλύτερος, η ενεργός κατείσδυση του μεγαλύτερη και η περατότητα του μικρότερη.
- Δειγματοληψία από τα σημεία ύδατος (πηγές) και χημικές αναλύσεις στα Χημικά Εργαστήρια Α.ΑΝΔΡΕΟΥ στις 20-11-2012, με σκοπό να ελεγχθεί η ποιότητα των νερών των πηγών στα εξής κατιόντα και ανιόντα: Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , CO_2 , NO_2^- , PO_4^{3-} , SiO_2 , Mn^{2+} και ολικό Fe.
- Επί τόπου μετρήσεις ορισμένων φυσικών και χημικών παραμέτρων του νερού των σημείων ύδατος (πηγές), όπως θερμοκρασία αέρα, θερμοκρασία νερού, ηλεκτρική αγωγιμότητα, pH και Eh.

Α ΜΕΡΟΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑ

A.1 ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

A.1.1 ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΔΟΜΗ ΑΤΤΙΚΗΣ

Η γεωλογική δομή της Αττικής, έχει απασχολήσει κατά καιρούς διαφόρους ερευνητές, με πρώτο τον R. Lepsius (1893). Σύμφωνα με τον Lepsius, η γενική δομή της Αττικής συνίσταται από τις παρακάτω ενότητες σχηματισμών, από τους νεότερους προς τους παλαιότερους:

- α) Τεταρτογενές (Αλλούβιο -Διλλούβιο)
- β) Τριτογενές
 - Ανώτερο Τριτογενές (Νεογενές)
 - Κατώτερο Τριτογενές
- γ) Κρητιδικό σύστημα
 - Ανώτερη ασβεστολιθική βαθμίδα (Λυκαβηττού)
 - Αθηναϊκός σχιστόλιθος
 - Κατώτερη ασβεστολιθική βαθμίδα
- δ) Μεταμορφωμένο σύστημα
 - Ανώτερο Μάρμαρο
 - Σχιστόλιθος Καισαριανής
 - Κατώτερο Μάρμαρο
 - Δολομίτες Πιρναρής
 - Σχιστόλιθος Βάρης

Η βασική ανωτέρω θεώρηση του Lepsius, και ιδιαίτερα η δομή του Μεταμορφωμένου συστήματος της Αττικής, παραμένει σαν βάση από νεότερους ερευνητές για την θεμελίωση των πρόσφατων απόψεων.

Ο Κατσικάτσος (1992), διακρίνει την αυτόχθονη σειρά Αττικής, στις σειρές της Β.Α. Αττικής και στην σειρά Υμηττού – Νότιας Αττικής, η δεύτερη από τις οποίες, δεν διαφοροποιείται σχεδόν καθόλου από το μεταμορφωμένο σύστημα του Lepsius, ενώ ο Παππαδέας (2002), δίνει μία ενιαία στρωματογραφική κολώνα της Αττικής, χωρίς όμως να στηρίζει την άποψή του σε στρωματογραφικές παρατηρήσεις στο σύνολο του χώρου της Αττικής.

Σύμφωνα με τις πρόσφατες συγκλίνουσες απόψεις (Παπανικολάου 1986, Κατσικάτσος 1992), η τεκτονική δομή της Αττικής χαρακτηρίζεται από την ύπαρξη μιας μεγάλης τεκτονικής ζώνης που χωρίζει τους ορεινούς όγκους της Πάρνηθας και Αιγάλεω προς τα βορειοδυτικά από τους αντίστοιχους ορεινούς όγκους Πεντέλης -Υμηττού προς τα νοτιοανατολικά, οι οποίοι και δομούνται από τελείως διαφορετικά πετρώματα που ανήκουν σε διαφορετικές γεωτεκτονικές ενότητες.

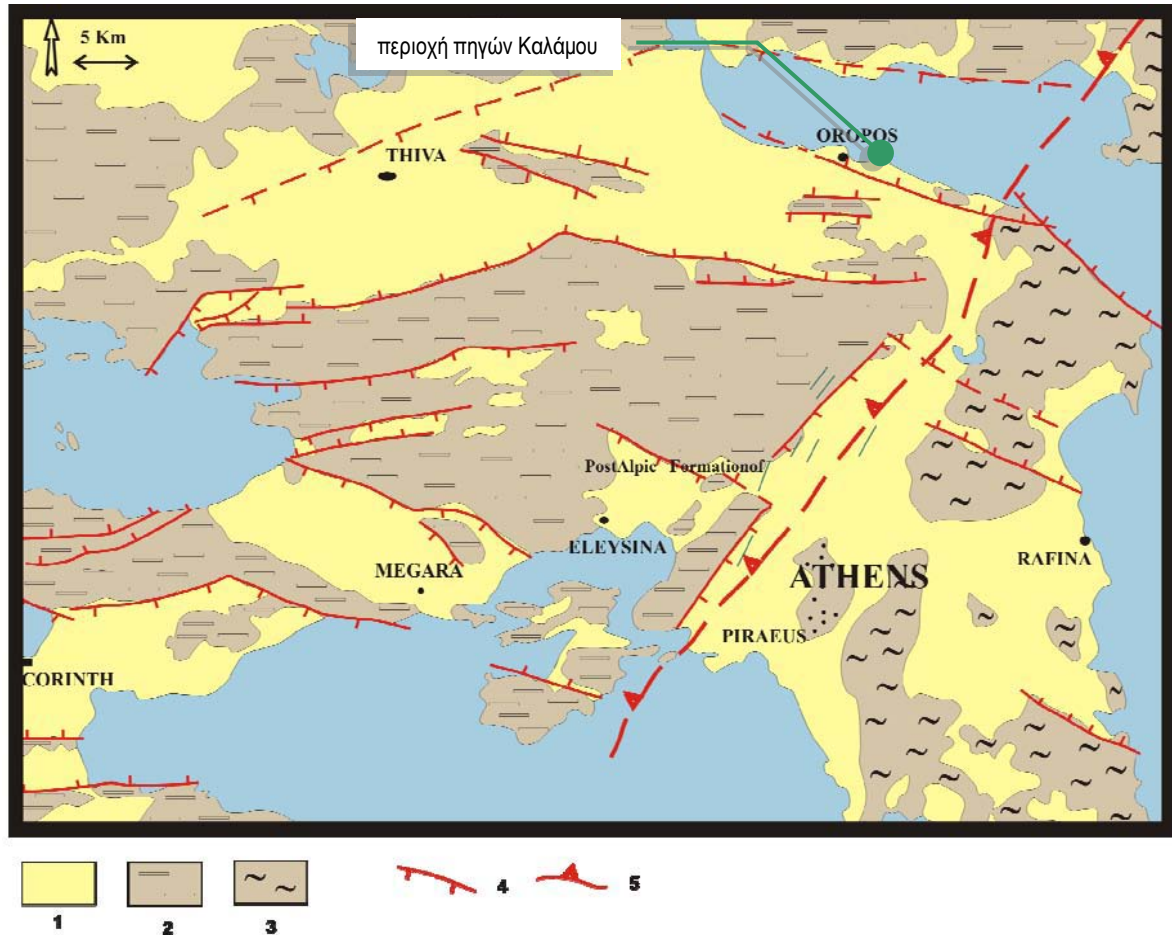
Πιο συγκεκριμένα η νοτιοανατολική Αττική περιλαμβάνει μεταμορφωμένα πετρώματα από μάρμαρα, σχιστόλιθους, κλπ. που αποτελούν μια συμπαγή μάζα, η οποία βυθίζεται προς τα βορειοδυτικά κάτω από τα μη μεταμορφωμένα ιζηματογενή πετρώματα της βόρειας και δυτικής Αττικής που αποτελούνται κυρίως από ασβεστόλιθους.

Οι μεταλπηκοί σχηματισμοί αντιπροσωπεύονται κυρίως από ποταμολιμναίες και λιμνοχερσαίες φάσεις του Νεογενούς αλλά και από τεταρτογενείς χερσαίους σχηματισμούς που χαρακτηρίζονται από μια μεγάλη ποικιλία φάσεων, με σημαντικές διαφορές στο πάχος, τη συνεκτικότητα, το είδος και το μέγεθος του κλαστικού υλικού. Ρήγματα και ρηξιγενείς ζώνες εντοπίζονται κυρίως στα περιθώρια με τους αλπικούς σχηματισμούς και σπανιότερα στις νεογενείς αποθέσεις.

Μια σειρά γεωτρήσεων που έχουν πραγματοποιηθεί στην ευρύτερη περιοχή έδωσαν πολλά στοιχεία τόσο για τις λιθολογίες που επικρατούν, όσο και για τη νεοτεκτονική

δομή της περιοχής αποκαλύπτοντας μια σειρά από ρήγματα, θαμμένα κάτω από τους τεταρτογενείς σχηματισμούς, που συμπληρώνουν την εικόνα από την ύπαιθρο και τη χαρτογράφηση και φανερώνουν την πολύπλοκη νεοτεκτονική εξέλιξη της περιοχής.

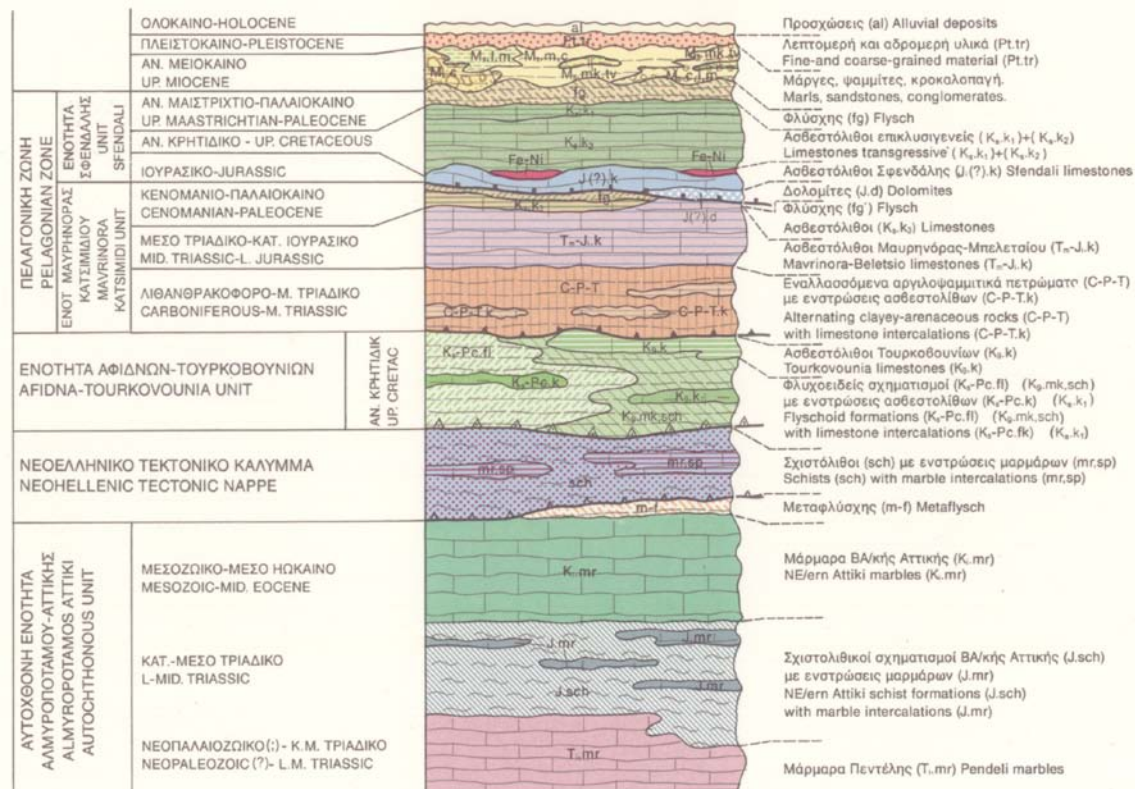
Η παραπάνω γενική δομή φαίνεται στην Εικόνα 1 που ακολουθεί.



Εικόνα Α.1 Απλοποιημένος γεωλογικός-τεκτονικός χάρτης της Αττικής: 1. Μεταλπινοί σχηματισμοί, 2. Μη μεταμορφωμένοι Αλπινοί σχηματισμοί, 3. Μεταμορφωμένοι Αλπινοί σχηματισμοί, 4. Κύρια ενεργά ρήγματα, 5. Γραμμή επώθησης (Παπανικολάου, Δ., κ.ά., 2002).

Α.1.2 ΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑ

Για την γεωλογική αναλυτική παρουσίαση των διαφόρων λιθολογικών ενοτήτων των γεωτεκτονικών ζωνών του γεωλογικού υποβάθρου του υπόγειου υδατικού συστήματος Βόρειο-Ανατολικής Πάρνηθας (στρωματογραφική στήλη παρουσιάζεται στην εικόνα 2) επιλέχθηκε για λόγους ομογενοποίησης των παρατιθέμενων στοιχείων, το γεωλογικό μοντέλο που περιγράφεται στον γεωλογικό χάρτη του Ι.Γ.Μ.Ε. (Κατσικάτσος, Γ. 2002, φύλλο ΚΗΦΙΣΙΑ, κλίμακας 1/50.000, Εκδόσεις Ι.Γ.Μ.Ε.) έχει ως ακολούθως:



Εικόνα Α.2 Στρωματογραφική κολώνα της περιοχής μελέτης (Κατσικάτσος, Γ. 2002, φύλλο ΚΗΦΙΣΙΑ, κλίμακας 1/50.000, Εκδόσεις Ι.Γ.Μ.Ε.)

ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΣ

ΟΛΟΚΑΙΝΟ

Προσχωματικές αποθέσεις (al): σε ποταμοκοιλάδες ανοικτές προς τη θάλασσα και σε μικρές εσωτερικές λεκάνες, κυρίως από χαλαρά καστανόχρωμα αργιλοαμμώδη υλικά με διάσπαρτες κροκαλολατύπες και κατά θέσεις με παρεμβολές χαλαρών κροκαλολατυπτοπαγών, ερυθρογή: από καστανέρυθρα λεπτομερή υλικά με διάσπαρτες κροκαλολατύπες, υλικά χειμάρριων αναβαθμίδων: μικρού ύψους, ασύνδετα υλικά: από άμμους και κροκαλολατύπες στις κοίτες των χειμάρρων και παράκτιοι σχηματισμοί: από άμμους, κροκάλες και συνεκτικούς ψαμμίτες)

Πλευρικά κορήματα και κώνοι κορημάτων (H.sc,cs): από ασύνδετα υλικά, κατά κανόνα αδρομερή και γωνιώδη.

ΠΛΕΙΣΤΟΚΑΙΝΟ

Λεπτομερείς προσχωματικές αποθέσεις (Pt.tr): καστανέρυθρου, συνήθως, χρώματος, με διάσπαρτες κροκαλολατύπες και, κατά θέσεις, παρεμβολές κροκαλολατυπτοπαγών και υλικά κώνων κορημάτων και χειμάρριων αναβαθμίδων, ύψους έως και 10m.

Παλαιά πλευρικά κορήματα και κώνοι κορημάτων (Pt.sc,cs): πολύ συνεκτικά, από αδρομερή γωνιώδη στοιχεία, ποικίλου μεγέθους. Μερικές φορές συνοδεύονται από ογκολίθους. Συχνά σ' αυτά υπέρκεινται, κατά θέσεις, ασύνδετα υλικά νεοτέρων κώνων και πλευρικών κορημάτων.

ΝΕΟΓΕΝΕΣ

ΑΝΩΤΕΡΟ ΜΕΙΟΚΑΙΝΟ

Αδρομερείς ποταμολιμναίοι σχηματισμοί παρυφών Πάρνηθας και Πεντελικού

($M_s.c.l.m$): κυρίως παλαιοί (Ανωμειοκαινικοί) σχηματισμοί δέλτα, ριπιδίων και κώνων κορημάτων. Είναι λατυποπαγείς και κροκαλολατυποπαγείς σχηματισμοί στις περιοχές που γεινιάζουν με τους ορεινούς όγκους της Πάρνηθας και του Πεντελικού, εναλλασσόμενοι με λεπτομερέστερους σχηματισμούς στις απομακρυσμένες από τους όγκους αυτούς περιοχές. Κατά θέσεις παρεμβάλλονται ερυθροί πηλοί και μαργαϊκά υλικά καθώς και ενστρώσεις **Μαργαϊκών -Τραβερτινοειδών Ασβεστόλιθων** ($M_s.mk.tv$), των οποίων οι μεγάλες εμφανίσεις έχουν διαχωριστεί. Πάχος: έως και 250m.

Νεογενείς σχηματισμοί Σφενδάλης: αποτελούν μικρό τμήμα της μεγάλης Ανωμειοκαινικής λιμναίας λεκάνης Θηβών -Τανάγρας - Ωρωπού, που απαντάται σε μεγάλη έκταση στο φύλλο Ερέτρια. Διακρίθηκαν: σε εναλλασσόμενα **Στρώματα κροκαλοπαγών, ψαμμιτών, μάργων και ερυθρών πηλών** ($M_s.c.st.l$), σε **Σχηματισμούς μάργων** ($M_s.m$) και σε **Μαργαϊκούς-Τραβερτινοειδείς Ασβεστόλιθους** ($M_s.mk.tv$). Ηλικία: Ανώτερο Μειόκαινο. Πάχος: 100m περίπου.



Εικόνα Α.3 Αντιπροσωπευτική γεωλογική τομή του υπόγειου υδατικού συστήματος Βόρειο-Ανατολικής Πάρνηθας (ΙΓΜΕ, φύλλο χάρτη «ΚΗΦΙΣΙΑ»), όπου διακρίνεται η γενική δομή της περιοχής, όπως αποδίδεται από τον συντάκτη του χάρτη (Κατσικάτσος 1992). Σύμφωνα με νεότερες αντιλήψεις οι ενότητες που εντοπίζονται στην περιοχή είναι τρεις και διαχωρίζονται όχι από ανάστροφα ρήγματα (επωθήσεις) αλλά από μεγάλης κλίμακας κανονικά ρήγματα μικρής κλίσης (Detachment faults).

ΠΕΛΑΓΟΝΙΚΗ ΖΩΝΗ

Οι αλπικοί σχηματισμοί της Πελαγονικής ζώνης στην περιοχή του φύλλου Κηφισιά είναι εξ ολοκλήρου αμεταμόρφωτοι και συνιστούν δύο Τεκτονικές Ενότητες: την Τεκτονική Ενότητα Σφενδάλης και την Τεκτονική Ενότητα Μαυρηνόρας – Κασιμιδίου η οποία δεσπάζει στον ορεινό όγκο της Πάρνηθας.

ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΜΑΥΡΗΝΟΡΑΣ - ΚΑΤΣΙΜΙΔΙΟΥ

Καταλαμβάνει μεγάλη έκταση και μαζί με το Νεοπαλαιοζωϊκό της υπόβαθρο είναι επωθημένη πάνω στην Ενότητα Αφιδνών-Τουρκοβουνίων.

ΑΝΩΤΕΡΟ ΜΑΙΣΤΡΙΧΤΙΟ – ΠΑΛΑΙΟΚΑΙΝΟ

Φλύσχης (fg): λιθολογικά μοιάζει με τον φλύσχη της Ενότητας Σφενδάλης. Απαντάται με μικρό πάχος και σε μικρές εμφανίσεις. Στην περιοχή Αγίου Μερκουρίου - Κασιμιδίου βρίσκεται με επίκλυση, απευθείας ή με τη μεσολάβηση μικρού πάχους Ανωκρητιδικών ασβεστόλιθων συνήθως λατυποπαγών, πάνω στους Μεσοτριάδικης – Κατω-Ιουρασικής ηλικίας ασβεστόλιθους της περιοχής ($T_m.-J_i.k$).

ΚΕΝΟΜΑΝΙΟ (;) – ΜΑΙΣΤΡΙΧΤΙΟ

Ανωκρητιδικοί ασβεστόλιθοι ($K_s.k_3$): με κυμαινόμενο πάχος από λίγα έως μερικές δεκάδες μέτρα, νηριτικοί και συχνά λατυποπαγείς. Σε πολλές θέσεις απουσιάζουν παντελώς, λόγω της προφλυσχικής διάβρωσης, την οποία, κατά πάσα πιθανότητα, έχουν υποστεί.

ΜΕΣΟ ΤΡΙΑΔΙΚΟ - ΚΑΤΩΤΕΡΟ ΙΟΥΡΑΣΙΚΟ

Ασβεστόλιθοι Μαυρηνόρας – Μπελετσίου ($T_m.-J_i.k$): ανοικτότεφροι ή σκουρότεφροι και τοπικά ροδόχρωμοι ή υποκίτρινοι λόγω αγγερίτωσης, μέσο-έως παχυστρωματώδεις, κατά θέσεις άστρωτοι και έντονα καρστικοί, νηριτικοί, συχνά

οργανογενείς και κατά θέσεις ωολιθικοί, με πολλές παρεμβολές δολομιτών και δολομιτικών ασβεστόλιθων. Ηλικία Μέσου -Ανώτερου Τριαδικού και Πάχος: 400m περίπου.

ΛΙΘΑΝΘΡΑΚΟΠΕΡΜΙΟ - ΜΕΣΟ ΤΡΙΑΔΙΚΟ

Σειρά εναλλασσόμενων αργιλοψαμμιτικών πετρωμάτων (C-P-T) με ενστρώσεις ασβεστόλιθων (C-P-T.k): αποτελείται από δύο τμήματα, ένα Ανώτερο, κατω-μεσοτριάδικης ηλικίας και ένα Κατώτερο, λιθανθρακοπέρμιας, μη διαχωρισθέντα.

α) Ανώτερο τμήμα: αποτελείται από εναλλασσόμενα αργιλοψαμμιτικά πετρώματα, βασικά ηφαιστειακά πετρώματα και ποικίλου πάχους ενστρώσεις ασβεστόλιθων (C-P-T.k) που έχουν υποστεί μια πολύ χαμηλού βαθμού μεταμόρφωση.

- **Αργιλοψαμμιτικά πετρώματα:** κυρίως λεπτόκοκκοι έως και χονδρόκοκοι σερικιτικοί ψαμμίτες, γραουβάκες, αργιλικόι σχιστόλιθοι, φυλλίτες, μερικές φορές ψηφιδοπαγή και κροκαλοπαγή, με κροκαλολατύπες, κυρίως χαλαζιακές, ποικίλου μεγέθους
- **Ηφαιστειακά πετρώματα:** απαντώνται, κυρίως, στα ανώτερα μέλη του τμήματος αυτού. Πρόκειται για υποθαλάσσιες εκχύσεις μάγματος, που έλαβαν χώρα, κυρίως κατά το Λαδίνιο συγχρόνως με την απόθεση των αργιλοψαμμιτικών ιζημάτων. Είναι κυρίως βασάλτες, και κερατοφύρες, έντονα εξαλλοιωμένοι, κατά κανόνα σχιστοποιημένοι, χρώματος ιώδους ή υποπράσινου.
- **Ασβεστόλιθοι (C-P-T.k):** με μορφή ενστρώσεων πάχους από λίγα έως μερικές δεκάδες μέτρα. Κυρίως ανοικτότεφροι έως σκοτεινότεφροι ή κερασέρυθροι, συχνά με κονδύλους και διαστρώσεις πυριτόλιθων, μεσοστρωματώδεις έως παχυστρωματώδεις. Σε αρκετές περιπτώσεις, οι ανθρακικές αυτές ενστρώσεις, στο σύνολο τους ή εν μέρει, είναι δολομίτες ή δολομιτικοί ασβεστόλιθοι.

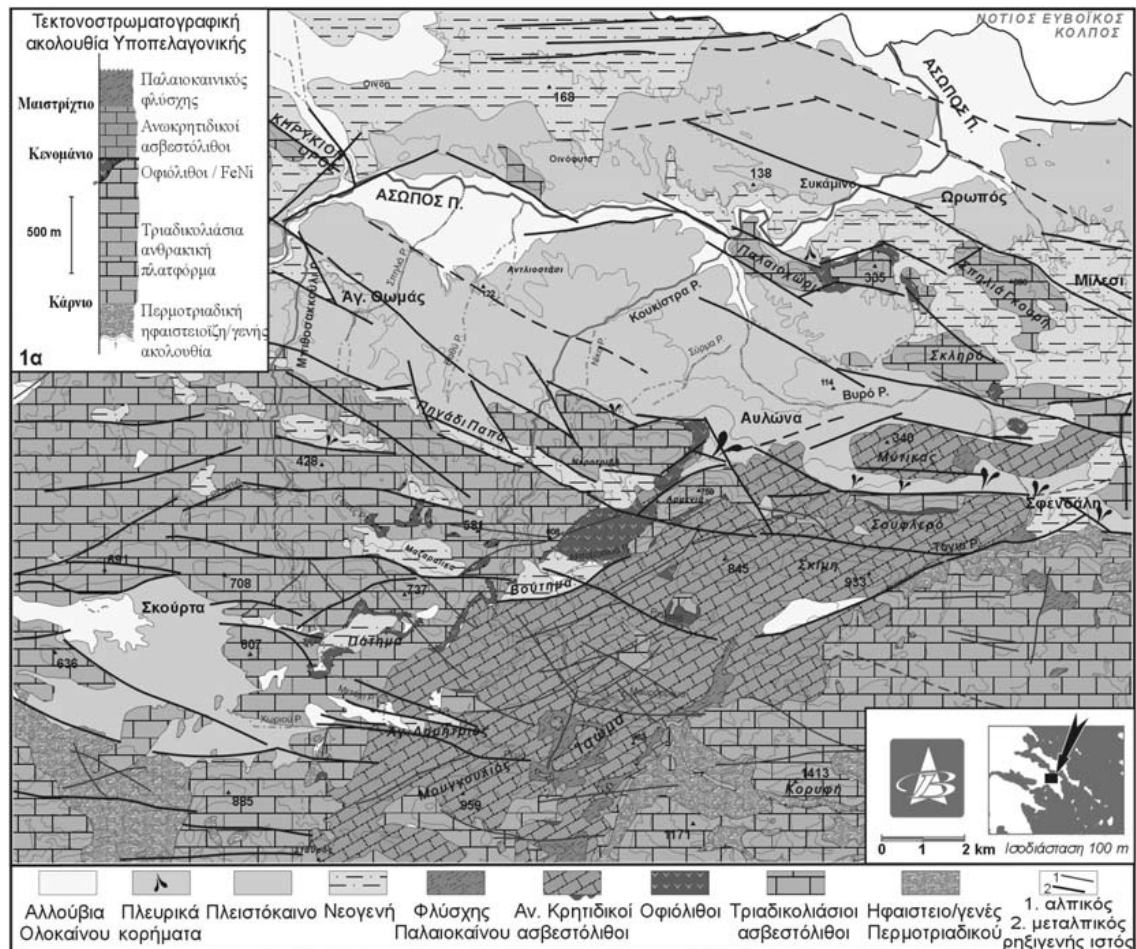
Το πέρασμα των σχηματισμών του Ανώτερου τμήματος προς τους υπερκείμενους Ασβεστόλιθους Μαυρηνώρας - Μπελετσίου (**T_m-J_i.k**) γίνεται χωρίς τη μεσολάβηση στρωματογραφικής ασυμφωνίας. Ηλικία Ανωτέρου τμήματος: Κατώτερο - Μέσο Τριαδικό. Πάχος: 150m περίπου.

β) Κατώτερο τμήμα: αποτελείται από εναλλασσόμενους αργιλικούς, σερικιτικούς χλωριτικούς και αρκοζικούς σχιστολίθους, χρώματος κυρίως υποπράσινου, φυλλίτες και λεπτόκοκκους έως χονδρόκοκκους ψαμμίτες και γραουβάκες, με παρεμβολές ψηφιδοπαγών και κροκαλολατυποπαγών. Παρεμβάλλονται, επίσης, φακοειδείς ενστρώσεις, μικρού πάχους, κρυσταλλικών ασβεστόλιθων, χρώματος τεφρού έως και τεφρομέλανου, οι μεγαλύτερες των οποίων έχουν διαχωριστεί (**C-P-T.k**). Σε ασβεστόλιθους των ενστρώσεων αυτών βρέθηκε πλούσια μικροπανίδα Λιθανθρακοφόρο και Περμίου. Ηλικία Κατωτέρου τμήματος: Λιθανθρακοφόρο - Πέρμιο. Πάχος ορατό: 250m περίπου.

Ειδικότερα η περιοχή του υπόγειου υδατικού συστήματος Βόρειο-Ανατολικής Πάρνηθας δομείται ως επί το πλείστον από αλπικούς σχηματισμούς της ενότητας της Πελαγονικής, με τις μεταλπικές αποθέσεις να περιορίζονται στο βόρειο πεδινό τμήμα της λεκάνης του Βοιωτικού Ασωπού.

Πιο συγκεκριμένα διαπιστώθηκε μια ασυνεχής στρωματογραφική ακολουθία, στη βάση της οποίας συναντά κανείς: το σχετικά αυτόχθονο σχηματισμό της Πάρνηθας με το ηφαιστειοϊζηματογενές σύμπλεγμα του Περιοτριάδικού, στη συνέχεια τους δολομίτες και ασβεστόλιθους του Τριαδικολιάσιου, στους οποίους επικάθεται κατά θέσεις η σχιστοψαμμιτοκερατολιθική ακολουθία του Ιουρασικού, το επωημένο οφιολιθικό σύμπλεγμα, την ασυμφωνία των Ανωκρητιδικών ασβεστόλιθων με την κατά θέσεις

παρουσία FeNi μεταλλεύματος και τέλος την παρουσία του Παλαιοκαινικού φλύσχη που κλείνει την αλπική στρωματογραφική σειρά.



Εικόνα Α.4 Γεωλογικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής του υπόγειου υδατικού συστήματος Βόρειο-Ανατολικής Πάρνηθας ((Θ. Χατούπης, Ι. Φουντούλης, 2001).

Στον γεωλογικό χάρτη κλίμακας 1:50.000 που παρά τις μικρές τροποποιήσεις βασίζεται στους χάρτες του ΙΓΜΕ, διαπιστώνεται ο σημαντικός ρόλος του νεοτεκτονικού ρηξιγενούς ιστού τόσο στις θέσεις εμφάνισης των μεταλλικών αποθέσεων όσο και στην εξάπλωση των επιμέρους αλπικών στρωματογραφικών ενότητων.

Στην ορεινή μορφοτεκτονική ενότητα στο νότιο τμήμα του χάρτη, οι νεογενείς αποθέσεις περιορίζονται στα επιμέρους νεοτεκτονικά βυθίσματα των Σκούρτων, Βούτημα, Πάτημα, Πηγάδι Παπά διεύθυνσης περίπου Α-Δ, με την γεωλογική εικόνα να αντιστρέφεται βόρεια στην πεδινή μορφοτεκτονική ενότητα, όπου η παρουσία του αλπικού υποβάθρου περιορίζεται κατά μήκος των νεοτεκτονικών κεράτων Μύτικα, Σπηλιάς Γκουρή – Παλαιοχωρίου και Κυρήκιου όρους, διεύθυνσης ΔΒΔ-ΑΝΑ έως ΒΔ-ΝΑ (Εικόνα Α.4).

Παράλληλα διαπιστώνεται η σημαντική επικράτηση των Τριαδικό-Ιουρασικών ανθρακικών στο μεγαλύτερο μέρος της ορεινής νότιας περιοχής, με το ηφαιστειογενές υπόβαθρο να περιορίζεται στο νότιο, αλλά κυρίως ΝΑ τμήμα, κατά μήκος του επιφανειακού υδροκρίτη, και τους ανωκρητιδικούς ασβεστόλιθους να παρουσιάζουν μια χαρακτηριστική ΒΑ-ΝΔ εξάπλωση στο κεντρικό τμήμα.

Το κύριο ενδιαφέρον της σύνθετης αλπικής τεκτονικής δομής, εστιάζεται: i) στην αλλαγή της διεύθυνσης των αξόνων των πτυχών του φλύσχη από ΒΒΑ-ΝΝΔ στην

ορεινή περιοχή της Πάρνηθας (θέση Ίσωμα) σε ΑΒΑ-ΔΝΔ στο πεδινό τμήμα μεταξύ Σφενδάλης – Μαλακάσας (Χατούπης θ. 2003 & Μαριολάκος κ.α. 2001), ii) στην τεκτονική αποκόλληση των Τριαδικών δολομιτικών ασβεστόλιθων πάνω στην αυτόχθονη ηφαιστειοϊζηματογενή ακολουθία (νότια της Μαλακάσας), iii) στη μεγάλη εφίππευση των Ιουρασικών ασβεστόλιθων πάνω στο οφιολιθικό σύμπλεγμα (περιοχές Σκληρού, Μαυροβουνίου, Αυλώνας), η οποία χαρακτηρίζεται από αποσφηνώσεις του μαλακού υποβάθρου (μικρολεπιώσεις), iv) στην απευθείας τεκτονική επαφή του Παλαιοκαινικού φλύσχη με το ηφαιστειοϊζηματογενές σύμπλεγμα του Περμοτριαδικού νότια της Σφενδάλης, και v) στην τεκτονική αποκόλληση των ρουδιστοφόρων ασβεστόλιθων πάνω σε ανθρακικά του Ιουρασικού ΝΑ της Αυλώνας (Εικόνα Α.4).

Πρόκειται για τρεις επιμέρους υπο-οριζόντιες τεκτονικές δομές που διακόπτουν τη συνέχεια της στρωματογραφικής ακολουθίας και που φαίνεται να έχουν επαναδραστηριοποιηθεί κατά το Νεογενές, γεγονός που αποδεικνύεται τόσο από τα γεωλογικά όσο και από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά τους (παράλληλα με τον μεταλλικό ρηξιγενή ιστό).

Α.1.3 ΤΕΚΤΟΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Η τεκτονική εξέλιξη του Ελλαδικού χώρου κατά το Μεσοζωικό – Τριτογενές, μέχρι δηλαδή την Νεοτεκτονική περίοδο (η οποία στον Ελλαδικό χώρο αρχίζει κατά το Μ. – Αν. Μειόκαινο) χαρακτηρίζεται από δύο κύριες ορογενετικές φάσεις, δηλαδή περιόδους σχηματισμού οροσειρών – συγκρούσεων – τεκτονικών παραμορφώσεων. Η πρώτη ορογενετική περίοδος παρατηρείται κατά το Αν. Ιουρασικό – Κατ. Κρητιδικό. Κατά το Τριτογενές παρατηρείται μια δεύτερη παροξυσμική ορογενετική περίοδος η οποία χαρακτηρίζεται από σημαντικές επωθήσεις. Το μέτωπο των συγκρούσεων κατά τις ορογενετικές περιόδους αυτές μετανάστευε από το εσωτερικό του ελληνικού τόξου προς το εξωτερικό.

Οι διάφορες λεκάνες της Αττικής, όπως Ωρωπού - Μαλακάσας, Μεγάρων, Καπανδριτίου - Μαραθώνα κ.α., αντιστοιχούν σε τεκτονικές τάφρους που σχηματίσθηκαν συνέπεια ηπειρογενετικών κινήσεων, μετά το τέλος της Αλπικής ορογένεσης, δηλαδή στο στάδιο της χαλάρωσης των τεκτονικών πιέσεων, οπότε οι μετατοπίσεις ήταν κατακόρυφες με αποτέλεσμα την δημιουργία τεκτονικών τάφρων και υβωμάτων. Στις πρώτες αποτέθηκαν νεογενή ιζήματα λιμναίας και χερσαίας προελεύσεως. Εντός των τάφρων αυτών απετέθησαν τα νεογενή ιζήματα (λεκάνη Θηβών, Ωρωπού - Μαλακάσας - Καλάμου). Μετά την απόθεση των νεογενών ιζημάτων ακολουθούν περίοδοι νεότερων διαρρήξεων που έπληξαν ακόμη και τους διλλουβιακούς σχηματισμούς.

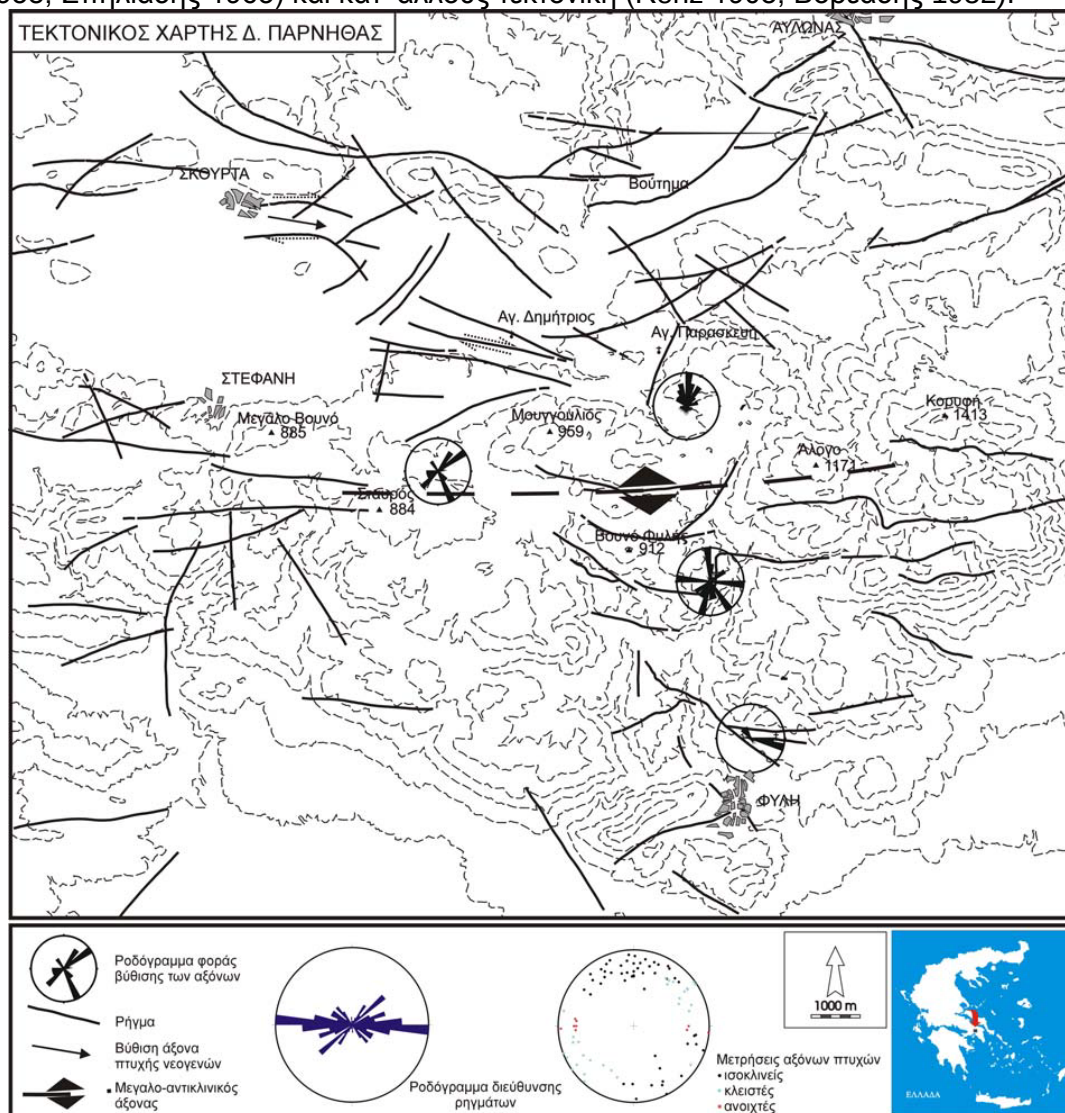
Κατά το Τεταρτογενές, εκτός των ηπειρογενετικών κινήσεων, έλαβαν χώρα και ευστατικές κινήσεις, ανοδικές και καθοδικές, οφειλόμενες στη δέσμευση ή απελευθέρωση πάγων στους πόλους (παγετώδεις και μεσοπαγετώδεις περίοδοι) οι οποίες είχαν σαν αποτέλεσμα την μετακίνηση της γραμμής των ακτών αντίστοιχα προς τα κάτω ή προς τα πάνω. Τέλος, η ύπαρξη αναβαθμιδών στους χείμαρρους της περιοχής, το ύψος των οποίων σε μερικές περιπτώσεις υπερβαίνει τα 3m πιστοποιεί θετική κατακόρυφη κίνηση που έλαβε χώρα κατά το τέλος του τεταρτογενούς ίσως δε και κατά τους ιστορικούς χρόνους.

Η ευρύτερη περιοχή της Αττικής έχει υποστεί την επίδραση επανειλημμένων τεκτονικών διαταραχών. Γενικά, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, διακρίνεται μία παλαιότερη (προ-νεογενής) τεκτονική, η οποία έπληξε το σύστημα της Πάρνηθας και μία νεώτερη, του Τριτογενούς και Τεταρτογενούς, κατά την διάρκεια της οποίας επαναδραστηριοποιήθηκαν και παλιές προνεογενείς τεκτονικές επιφάνειες. Η προ-νεογενής τεκτονική χαρακτηρίζεται από την έντονη πτύχωση των γεωλογικών

σχηματισμών και την κατάτμησή τους από διαρρήξεις που ακολούθησαν τις πτυχώσεις, ενώ στους μεταλπηκούς σχηματισμούς παρατηρείται κυρίως έντονος ρηξιγενής τεκτονισμός.

Σύμφωνα με τον Α. Δούνα (1971) στην ευρύτερη περιοχή Πάρνηθας παρατηρείται μετάβαση από τα νεοπαλαιοζωικά ιζήματα προς τα μεσοζωικά. Έτσι τους σχιστοψαμμίτες με ασβεστόλιθους του ανωτέρου λιθανθρακοφόρου, διαδέχονται οι ασβεστόλιθοι και κερατοφυρικοί τόφοι του Περμίου και ακολουθούν οι ασβεστόλιθοι του Κάτω – Μέσου Τριαδικού. Η μόνη διαταραχή που έλαβε χώρα μεταξύ Νεοπαλαιοζωικού και Μεσοζωικού είναι μια έντονη ηφαιστειακή δράση, η οποία πιστοποιείται από την παρουσία ηφαιστειακών τόφων, με ασβεστολιθικούς φακούς εντός αυτών, και η οποία άρχισε πριν από την απόθεση των κατωτριάδικών ιζημάτων και συνεχίστηκε και κατά την διάρκεια απόθεσης αυτών (Α Δούνας 1971). Η τεκτονική αυτή φαίνεται ότι έδωσε άξονες διεύθυνσεως ΒΑ – ΝΔ (35°).

Κατά τον Βορεάδη (1952) ο πυρήνας της Πάρνηθας υπέστη την επίδραση της Ερκυνίου πτυχώσεως, η οποία προκάλεσε ασυμφωνία μεταξύ Περμίου και Μεσοζωικού. Η ασυμφωνία αυτή κατ' άλλους είναι γωνιώδης (Κτενάς 1924, Μαρίνος 1958, Σπηλιάδης 1963) και κατ' άλλους τεκτονική (Renz 1908, Βορεάδης 1952).



Εικόνα Α.5: Τεκτονικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής μελέτης σύμφωνα με Μαριολάκο Η., Φουντούλη Ι., Σίδηρη Χ., Χατούπη Θ. (2001).

Αντιθέτως όπως ήδη αναφέρθηκε, οι Παπανικολάου, Σίδερης & Baud (1991) δεν δέχονται καμία ασυμφωνία του αλπικού κύκλου πάνω στο ερκύνιο υπόβαθρο, αλλά μια κανονική μετάβαση προς τα ανθρακικά μέσω ενός ανωπαλαιοζωικού - κατωτριάδικου κλαστικού σχηματισμού με ασβεστολιθικά ρηξιτεμάχη περμικής ή και παλαιότερης ηλικίας που συναντώνται στη βάση της τριάδικης τράπεζας στην περιοχή της Πάρνηθας.

Στη μη μεταμορφωμένη σειρά της Πάρνηθας κατά τη διάρκεια του Μεσοζωικού έλαβαν χώρα διάφορα τεκτονικά γεγονότα, τα οποία έδωσαν τεκτονικούς άξονες πτυχώσεων γενικής διεύθυνσης ΒΔ-ΝΑ και ΒΑ-ΝΔ. Σύμφωνα με τον Δούνα (1971) η παλαιοκιμμερική ορογένεση που εκδηλώθηκε στην περιοχή της Πάρνηθας μετά την απόθεση των ανωτριάδικών ιζημάτων (λεπτοκοκκώδεις μελανότεφροι ασβεστόλιθοι μετά κερατολίθων) έδωσε πτυχές ΒΔ-ΝΑ Δ/σης και είχε σαν αποτέλεσμα την έντονη πτύχωση των στρωμάτων και την εκδήλωση εφαπτομενικών κινήσεων, οι οποίες έφεραν σε τεκτονική επαφή τα νεοπαλαιοζωικά πετρώματα με τα ανθρακικά ιζήματα του Τριαδικοιουρασιακού.

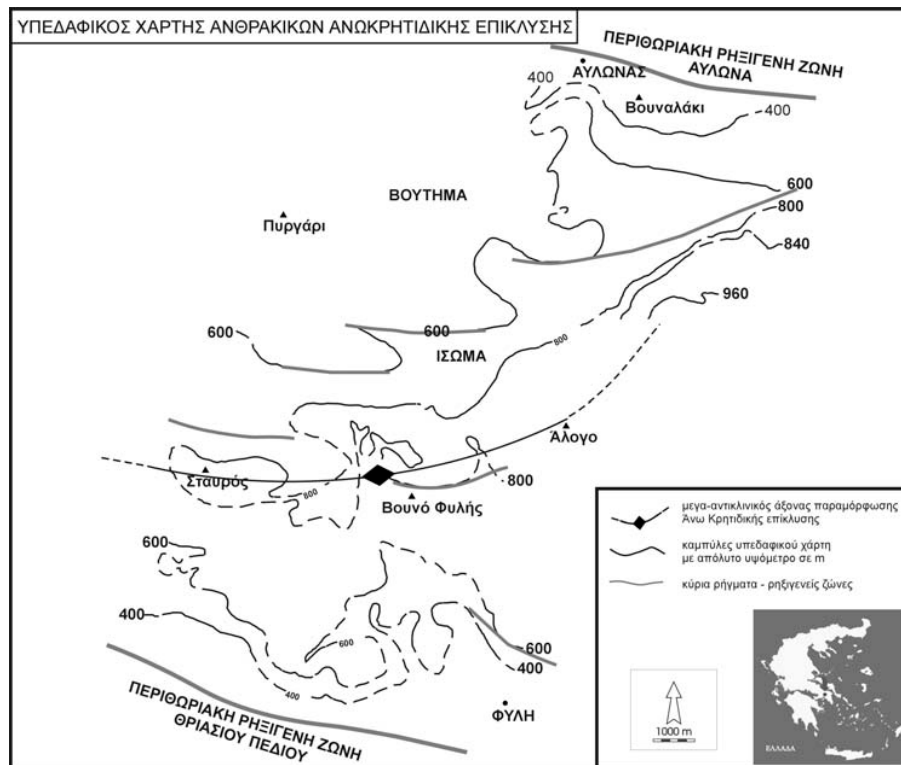
Έτσι, σε ορισμένες περιπτώσεις παρατηρείται εφίππευση των νεοπαλαιοζωικών στρωμάτων επί των λεπτοπλακωδών τριάδικών ασβεστόλιθων επί μήκους πολλών χιλιομέτρων.

Μετά την παλαιοκιμμερική πτύχωση η περιοχή παραμένει εν αναδύσει μέχρι το κenoμάνιο, οπότε άρχισε και η ομώνυμη επίκλυση της θάλασσας. Με την εκδήλωση της Πυρηναϊκής ορογένεσης, η οποία έχει μεγάλη εξάπλωση, σε όλο τον χώρο της Ανατολικής Ελλάδας, σταματά η ιζηματογένεση του φλύσχη και δημιουργούνται πτυχώσεις κυρίως επί των ανωκρητιδικών ασβεστόλιθων και του φλύσχη ΒΑ - ΝΔ διεύθυνσεως, ενώ οι παλαιότεροι σχηματισμοί είτε πτυχώθηκαν περαιτέρω, είτε διερράγησαν με παράλληλη ελαφρά μεταμόρφωση (Α. Δούνας, 1971).

Ένα χαρακτηριστικό επίσης γεγονός της Πυρηναϊκής πτύχωσης είναι η εφίππευση νεοπαλαιοζωικών σχηματισμών, όπως αυτή παρατηρείται βορείως της Μαλακάσας, επί των τριάδικών ασβεστόλιθων, ιουρασικών σχιστοψαμμιτών και κρητιδικών ασβεστόλιθων. Το μέτωπο της εφίππευσεως, αυτής, έχει διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ και αρχίζει από το Μαύρο Ρέμμα και τελειώνει στη Μαυροσουβάλα, ενώ η περαιτέρω πορεία του δεν είναι ορατή διότι καλύπτεται από τα νεογενή ιζήματα.

Προκειμένου να κατανοηθεί η πάρελξη των αξόνων των πτυχών που απαντούν στην ανωκρητιδική επίκλυση κατασκευάστηκε (Μαριολάκος Η., Φουντούλης Ι., Σίδερης Χ., Χατούπης Θ. (2001), ο υπεδαφικός τεκτονικός χάρτης της επαφής των ανωκρητιδικών ασβεστόλιθων (τεκτονική αποκόλληση) με τα υποκείμενα αλπικά ιζήματα της Υποπελαγονικής.

Το μεγαλύτερο υψόμετρο (800m) κατά μήκος της ευθείας Σταυρός – Βουνό Φυλής – Άλογο και η σταδιακή μείωση που παρουσιάζει προς βορρά και νότο αντίστοιχα, δίνει μια σαφή μεγαλο-αντικλινική πλαστικοθραυσισιγενής δομή, με άξονα διεύθυνσης Α-Δ έως ΝΔ-ΒΑ στο δυτικό τμήμα του χάρτη (εικόνα 6).



Εικόνα Α.6: Υπεδαφικός Χάρτης της επαφής των ανωκρητιδικών ασβεστολίθων με το υποκείμενο αλπικό υπόβαθρο της Υποπελαγονικής, σύμφωνα με Μαριολάκο Η., Φουντούλη Ι., Σίδερη Χ., Χατούπη Θ. (2001).

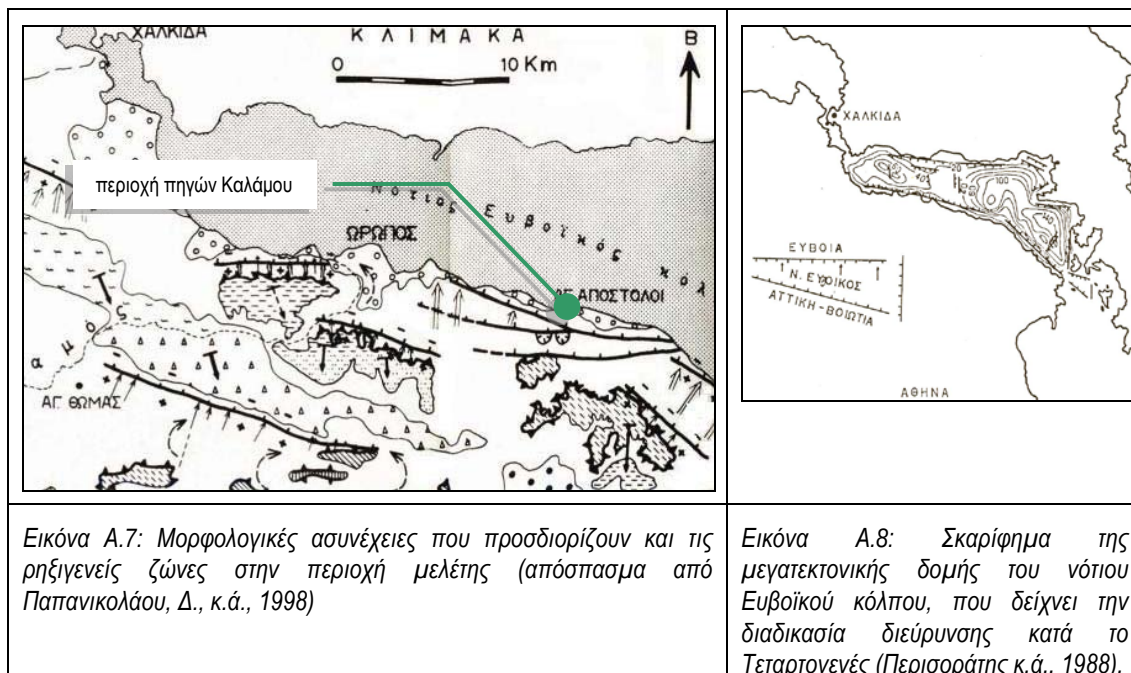
Α.1.4 ΝΕΟΤΕΚΤΟΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Η νεοτεκτονική δομή της Βόρειας Αττικής χαρακτηρίζεται κυρίως από κανονικά ρήγματα, τα οποία έχουν δημιουργήσει μεταλπικές λεκάνες με απόθεση σχεδόν αποκλειστικά ηπειρωτικών ιζημάτων. Τα ρήγματα αυτά έχουν παραμορφώσει όλες τις προηγούμενες τεκτονικές δομές του αλπικού υποβάθρου συμπεριλαμβανομένης και της μεγάλης εγκάρσιας ρηξιγενούς ζώνης Οχτωνιάς - Αλιβερίου - Καλάμου - Αγίου Στεφάνου - Κηφισού. Τα ρήγματα αυτά έχουν διεύθυνση περίπου Α-Δ στην Βόρεια και Δυτική Αττική και ΒΔ-ΝΑ στην Ανατολική Αττική (Παπανικολάου και Λόζιος, 1990).

Η διαφοροποίηση της διεύθυνσης των νεοτεκτονικών ρηγμάτων γίνεται περίπου κατά μήκος της εγκάρσιας τεκτονικής ζώνης και έτσι στην Πάρνηθα και στην περιοχή Καλάμου-Αγίων Αποστόλων επικρατεί η διεύθυνση Α-Δ ενώ στην περιοχή Βαρνάβα-Μαραθώνα-Πεντέλη επικρατεί η διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ.

Στη περιοχή ανάβλυσης των υφάλμυρων καρστικών πηγών Αγίων Αποστόλων Καλάμου, η σημαντικότερη μορφολογική έξαρση, έχει διεύθυνση ΔΒΔ-ΑΝΑ και φορά βύθισης προς τα ΒΒΑ, και ταυτίζεται με μια μεγάλη ρηξιγενή ζώνη, η οποία ανυψώνει σημαντικά το νότιο ημιορεινό τμήμα από το βόρειο, οριοθετώντας παράλληλα και την εμφάνιση του ασβεστολιθικού υποβάθρου (εικόνα 7). Το απόλυτο υψόμετρο αυτής, δεν ξεπερνά τα 400 μέτρα, στις θέσεις Μαυροβούνι (335μ.) και Σπηλιά Γκουρή (396μ.).

Οι ρηξιγενείς ζώνες Παλιοχωρίου – Μαυροβουνίου, αποτελούν νεοτεκτονικές ρηξιγενείς δομές στα περιθώρια των επιμέρους ομώνυμων αλπικών ρηξιτεμαχών, τα οποία μαζί με την Σπηλιά Γκουρή συνιστούν ένα νεοτεκτονικό κέρας ΔΒΔ-ΑΝΑ διεύθυνσης.



Εικόνα Α.7: Μορφολογικές ασυνέχειες που προσδιορίζουν και τις ρηξιγενείς ζώνες στην περιοχή μελέτης (απόσπασμα από Παπανικολάου, Δ., κ.ά., 1998)

Εικόνα Α.8: Σκαρίφημα της τεκτονικής δομής του νότιου Ευβοϊκού κόλπου, που δείχνει την διαδικασία διεύρυνσης κατά το Τεταρτογενές (Περισσοράτης κ.ά., 1988).

Εκτός όμως των κατακόρυφων αυτών κινήσεων κατά το Τεταρτογενές λαμβάνουν χώρα και κατακόρυφες ευστατικές κινήσεις.

Κατά μήκος μιας δέσμης διαρρήξεων αυτής της περιόδου εμφανίζονται **οι πηγές των Αγίων Αποστόλων** οι οποίες ήταν πιθανότατα αρχικά όλες υποθαλάσσιες, με κάποιες από αυτές να εμφανίζονται στην επιφάνεια ως αποτέλεσμα των τελευταίων γεωλογικά ευστατικών κινήσεων.

Η τεκτονική δομή της ευρύτερης περιοχής ενδιαφέροντος, σχετίζεται με τη δημιουργία του νότιου Ευβοϊκού κόλπου. Ο τρόπος με τον οποίο δημιουργήθηκε και διαχρονικά εξακολουθεί να εξελίσσεται ο θαλάσσιος χώρος του νότιου Ευβοϊκού κόλπου, σχετίζεται με τη δημιουργία μεγάλων ρηξιγενών ζωνών στα περιθώριά του και στην διαδικασία της λειτουργίας και δράσης τους. Οι ρηξιγενείς αυτές ζώνες (όπως φαίνεται και στην εικόνα 8), αναπτύσσονται στον παράκτιο θαλάσσιο χώρο, ίχνη τους όμως είναι δυνατόν να παρατηρηθούν και σε χερσαίες θέσεις, ως υπολειμματικές μορφές.

Σημαντική ανύψωση του ορεινού όγκου της Πάρνηθας, που αποτελεί ένα 1^{ης} τάξης νεοτεκτονικό κέρα, γίνεται τα τελευταία 1,8ma περίπου, σε σχέση με το λεκανοπέδιο των Αθηνών, το Θριάσιο πεδίο και τον Ευβοϊκό κόλπο γενικότερα. Η ανύψωση αυτή δεν είναι ομοιόμορφη σε όλη την Πάρνηθα αλλά παρατηρούνται διαφοροποιήσεις τόσο μεταξύ των επιμέρους ρηξιτεμαχών που τη συνιστούν όσο και στο σύνολό της. Το γεγονός αυτό πιστοποιείται τόσο από την έντονη κατά βάθος διάβρωση στα περιθώρια, όσο και από το απόλυτο υψόμετρο εμφάνισης των νεογενών, το οποίο φτάνει τα 600m (περιοχές Αγ. Δημήτριος και Θρακομακεδόνες) και τα 400m στη περιοχή της Φυλής.

Τα 2^{ης} τάξης τεκτονικά ρηξιτεμάχη ΔΒΔ-ΑΝΑ μέσης διεύθυνσης, καθορίζουν 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 της ανωκρητιδικής επίκλυσης, δηλώνοντας μια σαφή επίδραση της νεοτεκτονικής παραμόρφωσης στις μορφογενετικές διαδικασίες. Συγκεκριμένα εντοπίζονται στρέψεις μικροτεμαχών γύρω από οριζόντιο άξονα διεύθυνσης ΔΒΔ-ΑΝΑ τόσο στο νότιο περιθώριο (Θριάσιο) προς βορρά, όσο και στο βόρειο (Αυλώνας) προς νότο, ενώ η πρόσφατη, στο πλαίσιο του γεωλογικού χρόνου, κινηματική των

περιθωρίων του νότιου Ευβοϊκού κόλπου δείχνει ότι αυτός διευρύνεται προς τα ανατολικά, με σταθερό το δυτικό του περιθώριο, το οποίο και συμπεριφέρεται ως σημείο στρέψης.

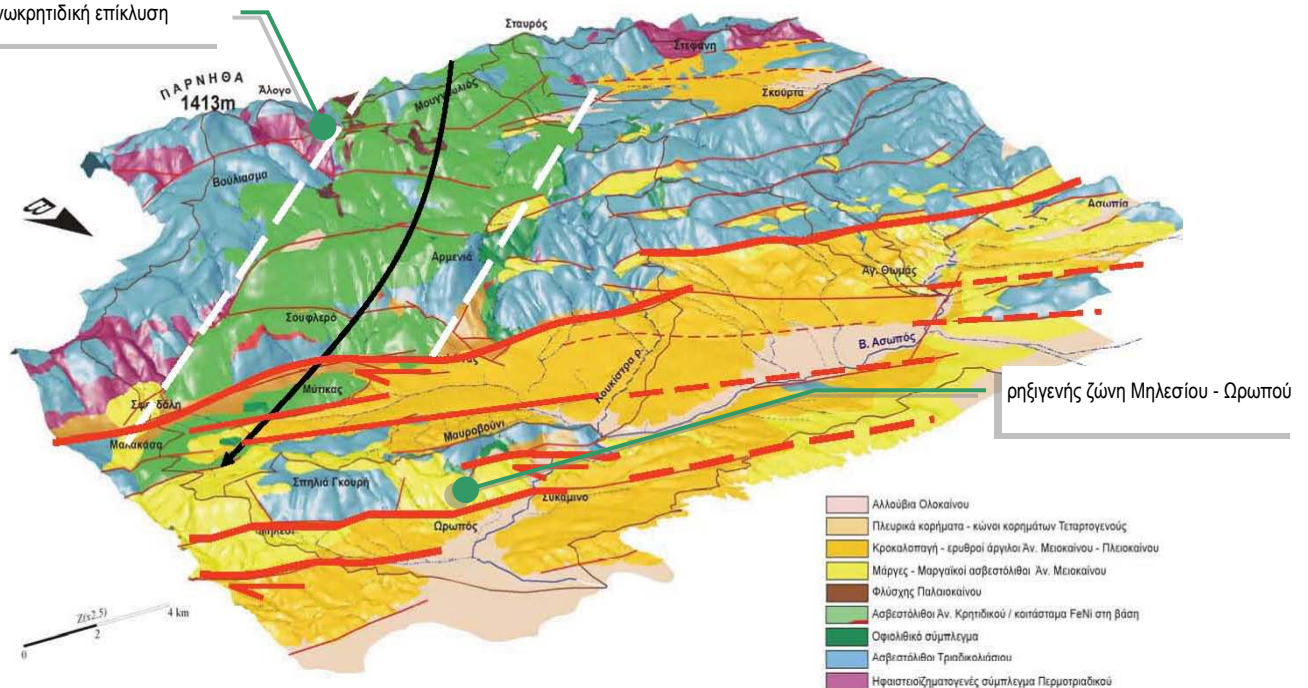
Όσον αφορά στον ρηγματογόνο τεκτονισμό της χέρσου, σημειώνεται ότι μικρού κατακόρυφου άλματος ρήγματα έχουν προσβάλλει τη μάζα των νεογενών σχηματισμών (Μέττος, 1992). Ο γαιώδης χαρακτήρας των αποθέσεων που έχουν προσβληθεί από τον ρηγματογόνο τεκτονισμό, έχει συμβάλλει ώστε να μην έχουν διατηρηθεί στην επιφάνεια του εδάφους τα ίχνη των ρηγμάτων.

Ο Μέττος Α. (1992) δέχεται ότι κατά την διάρκεια της ιζηματογένεσης, συνεπεία ανοδικών κινήσεων του νοτίου τμήματος της λεκάνης (περιοχή Πάρνηθας), είχαμε ανύψωση της τάξης των 600m των νεογενών ιζημάτων, η εν συνεχεία διάβρωση των οποίων αλλά και σχηματισμών του υποβάθρου, τροφοδότησε με κλαστικά υλικά τις ποταμοχερσαίες αποθέσεις του Ανωτ. Μειοκαίνου της περιοχής Ωρωπού, Καπανδριτίου και Μπογιατίου.

Στην ορεινή μορφοτεκτονική ενότητα της Πάρνηθας διακρίνεται μια κλιμακωτή παρουσία υποπαράλληλων ρηγμάτων διεύθυνσης Α-Δ, τα οποία διαμορφώνουν επιμέρους τεκτονικά μπλοκ (τάφρους και κέρατα), κύριο χαρακτηριστικό των οποίων είναι η σταδιακή υψομετρική ταπείνωση προς τα ΒΒΑ.

Η πεδινή μορφοτεκτονική ενότητα ΔΒΔ-ΑΝΑ διεύθυνσης, χαρακτηρίζεται επίσης από την παρουσία υποπαράλληλων τεκτονικών κεράτων. Η μεγάλη πιθανά ενεργή ρηξιγενή ζώνη Μήλεσι – Ωρωπού (ΡΖΜΩ), όπως φαίνεται στην εικόνα 9 σε τρισδιάστατη απεικόνιση, αποτελεί το βόρειο περιθώριο του τεκτονικού κέρατος Σπηλιάς Γκουρή – Μαυροβουνίου και που επίσης χαρακτηρίζεται από μια σημαντική οριζόντια συνιστώσα ολίσθησης, διαχωρίζει το πεδινό τμήμα σε δύο επιμέρους ρηξιτεμάχια 2ης τάξης: i) στο νότιο με τις μικρότερες παράλληλες νεοτεκτονικές δομές του Μύτικα και του Κηρύκιου όρους και ii) στο βόρειο παραθαλάσσιο τμήμα της Σκάλας Ωρωπού – Χαλκουτσίου, το βόρειο ρηξιγενές περιθώριο του οποίου έχει εντοπιστεί στον υποθαλάσσιο χώρο του Ν. Ευβοϊκού (Περισοράτης κ.α. 1989, Παπανικολάου κ.α. 1989).

Ανωκρητιδική επίκλυση



Εικόνα Α.9: Ρήγματα στην ευρύτερη περιοχή μελέτης (Θ. Χατούπης, Ι. Φουντούλης, 2001)

A.1.5 Ο ΡΟΛΟΣ ΤΗΣ ΛΙΘΟΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ ΣΤΗΝ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ

Η τεκτονική σε συνδυασμό με την λιθοστρωματογραφία παίζουν πρωτεύοντα ρόλο στη διαμόρφωση των υδρογεωλογικών συνθηκών που επικρατούν στην περιοχή μελέτης, καθώς καθορίζουν την κίνηση και την αποθήκευση του υπόγειου νερού.

Σημαντικό ρόλο στην υδρογεωλογία και ιδιαιτέρως στην σχέση μεταξύ διαφορετικών υδροφορέων έχει παίξει ο ρηγματογόνος τεκτονισμός. Τα ρήγματα φέρνουν σε πλευρική επαφή διαφορετικούς σχηματισμούς. Όπως είναι φυσικό, τις περισσότερες φορές οι σχηματισμοί αυτοί διαφέρουν μεταξύ τους, επομένως παρουσιάζουν και διαφορετική υδρογεωλογική συμπεριφορά. Υπό την επίδραση των ρηγμάτων είναι δυνατόν να έρχονται σε πλευρική επαφή μακροπερατοί σχηματισμοί με μικροπερατούς ή και σχεδόν αδιαπέρατους.

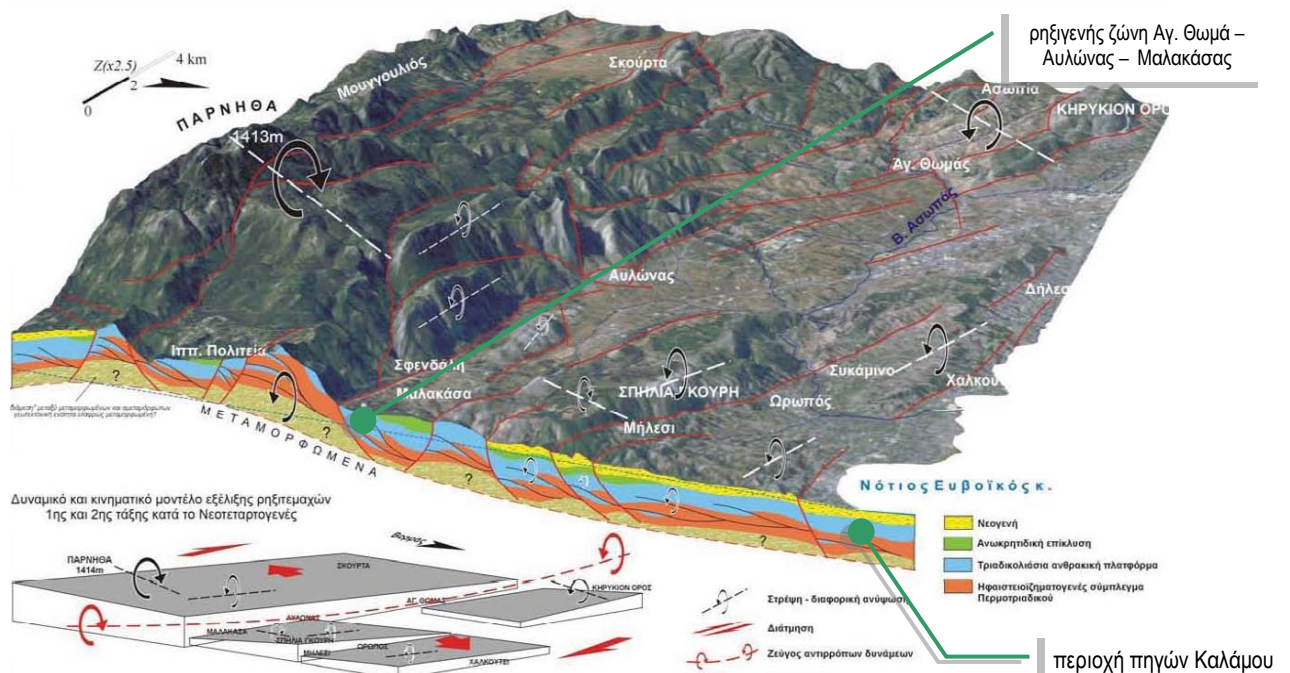
Στην περίπτωση που ένας καρστικός σχηματισμός έρθει σε πλευρική επαφή με ένα μεταμορφωμένο κλαστικό ή ένα φλυσχικό σχηματισμό, δεν παρατηρείται ουσιαστική κυκλοφορία του νερού από τον ένα σχηματισμό στον άλλο, με αποτέλεσμα το ρήγμα να αποτελεί υδραυλικό όριο και να οριοθετεί την υδρογεωλογική λεκάνη που απαρτίζεται από τα ανθρακικά πετρώματα.

Έτσι η προνεογενής τεκτονική της περιοχής συνδέεται με τις πτυχώσεις της Αλπικής ορογένεσης, ένα από τα χαρακτηριστικά της οποίας αποτελεί η εφίππευση των νεοπαλαιοζωικών σχηματισμών πάνω στους μεσοζωϊκούς ασβεστολίθους.

Η **εφίππευση** αυτή διαδραματίζει τον σημαντικότερο ρόλο στην **κίνηση των καρστικών νερών** παρεμποδίζοντας την πορεία τους βόρεια προς την περιοχή του Ωρωπού, μέσω της δημιουργίας στεγανού διαφράγματος.

Η πορεία κίνησης συνεπώς αλλάζει και ακολουθεί, ανατολική διεύθυνση κατά μήκος του μεγάλου ρήγματος Αγ. Θωμά – Αυλώνας – Μαλακάσας (εικ.10), διεύθυνσης ανατολής – δύσης (Α-Δ), όπου το πάχος των αδιαπέρατων σχηματισμών φθίνει.

Όταν το νερό φτάσει στους αδιαπέρατους νεοπαλαιοζωικούς σχηματισμούς, αρχικά κινείται μέσω των ρηγμάτων που υπάρχουν σε αυτούς τους σχηματισμούς και εν συνεχεία, είναι δυνατή η διοχέτευση των νερών της Πάρνηθας προς τις πηγές των Αγίων Αποστόλων.



Εικόνα Α.10: Τρισδιάστατη ψηφιακή απεικόνιση της γεωλογίας και της τεκτονικής στην Πάρνηθα και στην ανατολική λεκάνη του Β. Ασωπού. (Θ. Χατούπης, Ι. Φουντούλης, 2001)

Επιπροσθέτως μία σειρά διαρρήξεων διεύθυνσης Β-Ν που δημιουργήθηκαν κατά το Ολιγόκαινο ως διαρρήξεις διατάσεως και επανενεργοποιήθηκαν κατά το Διλούβιο, προσφέρονται ως δίοδοι κυκλοφορίας των καρστικών νερών της Πάρνηθας προς τις πηγές.

Συνεπώς ο συνδυασμός ευνοϊκών λιθοστρωματογραφικών συνθηκών, η ένταση και το μέγεθος των ρηξιγενών γραμμών, η μεταξύ τους θέση αλλά και η φύση των ζωνών διάρρηξης είναι καθοριστικοί παράγοντες για το είδος και το μέγεθος της κυκλοφορίας των υπόγειων νερών.

B ΜΕΡΟΣ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ

- B.1 ΥΔΡΟΛΟΓΙΑ - ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ**
- B.2 ΥΔΡΟΦΟΡΟΙ ΟΡΙΖΟΝΤΕΣ**
- B.3 ΥΔΡΟΦΟΡΟΙ ΟΡΙΖΟΝΤΕΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ**
- B.4 ΠΗΓΕΣ**
- B.5 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΠΗΓΩΝ**
- B.6 ΥΔΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ ΠΗΓΩΝ**

B.1. ΥΔΡΟΛΟΓΙΑ - ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ

B.1.1 ΔΙΑΙΤΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΩΝ ΥΔΑΤΩΝ – ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ

Σύμφωνα με την βιβλιογραφία (Μόρφης, 1995) αναφέρεται πως το βόρειο ορεινό ανθρακικό τμήμα της Πάρνηθας, με έκταση περί τα 224Km², δέχεται κατά μέσο όρο ετησίως περίπου 180x10⁶m³ εκ των οποίων :

- τα 90x10⁶m³ ή ποσοστό 50% κατεισδύουν δημιουργώντας το καρστικό υδροφόρο σύστημα της ΒΑ Πάρνηθας,
- τα 80x10⁶m³ εξατμίζονται (45%),
- τα υπόλοιπα 10x10⁶m³ ή ποσοστό (5%) απορρεούν επιφανειακά προς το πεδινό τμήμα της λεκάνης.

Υπολογισμοί του υδρολογικού ισοζυγίου της Πάρνηθας έχουν γίνει από τον Τομέα Υδατικών Πόρων & Περιβάλλοντος του ΕΜΠ στα πλαίσια προγράμματος για την τεχνική υποστήριξη της Κεντρικής Υπηρεσίας Υδάτων (Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε., Κεντρική Υπηρεσία Υδάτων, Φεβρουάριος 2008) για την κατάρτιση μεσοχρόνιου προγράμματος προστασίας και διαχείρισης του υδατικού δυναμικού της χώρας. Για τον υπολογισμό του υδρολογικού ισοζυγίου της εν λόγω περιοχής εκτός από τα βροχομετρικά δεδομένα ελήφθη υπόψη τόσο η περατότητα όσο και η έκταση των συναντώμενων γεωλογικών σχηματισμών. Το συνολικό υδρολογικό ισοζύγιο που υπολογίστηκε παρουσιάζεται στον ακόλουθο πίνακα.

Πίνακας 1 Υδρολογικό Ισοζύγιο Πάρνηθας ((Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε., ΚΥΥ, Φεβρουάριος 2008)

<u>Υδρολογικό ισοζύγιο σε ετήσια βάση</u>	Υδρολιθολογικοί σχηματισμοί			
	Αδιαπέρ.	Ημιπέρ.	Προσχωμ.	Καρστ.
Όγκος βροχής (hm ³)	290	419	228	705
Εξάτμιση (hm ³)	203	293	160	494
Συντελεστής κατείσδυσης	2%	2%	10%	30%
Κατείσδυση (hm ³)	6	8	23	204
Επίγεια ροή (hm ³)	81	117	46	7

Ειδικότερα, στους υπολογισμούς αυτούς θεωρήθηκε, λαμβάνοντας υπόψη τις συνθήκες που επικρατούν στην θεωρούμενη έκταση, ότι ένα μεγάλο τμήμα (30%) των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων κατεισδύει στους υδροπερατούς, ως επί το πλείστον, ασβεστολιθικούς σχηματισμούς, που σημειώνουν ιδιαίτερα μεγάλη επιφανειακή εξάπλωση στην ευρύτερη περιοχή. Τονίζεται ότι σε έντονα δομημένες περιοχές, η κατείσδυση σε μέση ετήσια βάση θα πρέπει να κυμαίνεται σε ποσοστό από 0% έως 10%.

B.2 ΥΔΡΟΦΟΡΟΙ ΟΡΙΖΟΝΤΕΣ

B.2.1 Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΟΥ ΚΑΡΣΤΙΚΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΟΥ

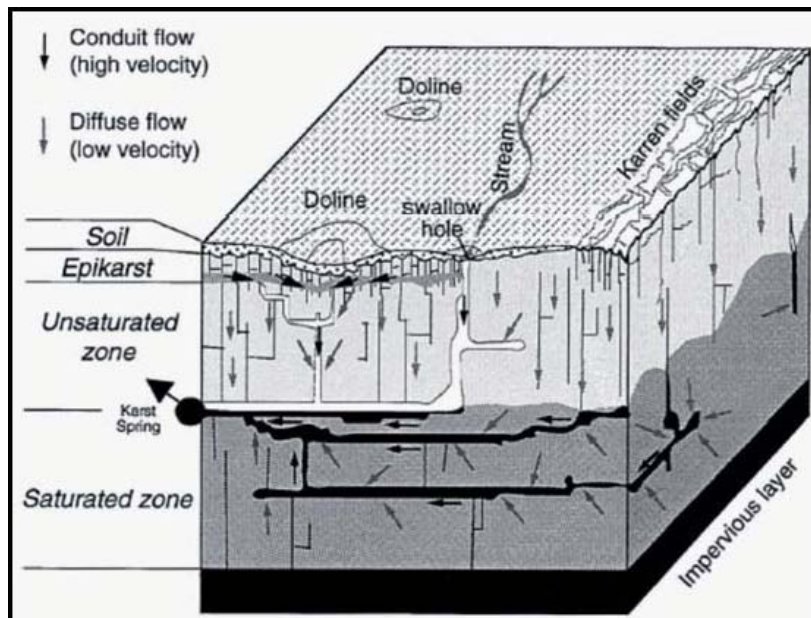
Οι καρστικοί υδροφόροι χαρακτηρίζονται από διακεκριμένες μορφολογικές δομές και από ιδιαίτερο υδρολογικό καθεστώς. Στα περισσότερα καρστικά πεδία εμφανίζονται αυτοί οι ειδικοί χαρακτήρες, όπως η μικρή επιφανειακή αποστράγγιση, επιφανειακές καρστικές μορφές (οπές, κοιλάτες, δολίνες, πόλγες) και υπόγεια καρστικά δίκτυα ανοιχτών ασυνεχειών ή αγωγών. Παράλληλα το υδρολογικό καθεστώς ελέγχεται από πολύ ετερογενείς συνθήκες ροής. Οι μεγάλες τιμές υδραυλικής αγωγιμότητας των ασυνεχειών και αγωγών έρχονται σε αντίθεση με τις μικρές αγωγιμότητες του πιο συμπαγούς τμήματος του

πετρώματος και οι επιφανειακές κοιλότητες έρχονται να συμπληρώσουν την διάχυση του κατεισδύοντος μετεωρικού νερού.

Έτσι τα χαρακτηριστικά υδρογράμματα των καρστικών πηγών παρουσιάζουν έντονες αλλά σύντομες, χρονικές, εξάρσεις και παρατεταμένες περιόδους στειρεύσεως. Στη βάση αυτών ο καρστικός υδροφορέας θεωρείται σαν ένα δίκτυο διασυνδεδεμένων ασυνεχειών και αγωγών (καρστικό δίκτυο), αναπτυγμένο σε ένα πιο συμπαγές και λιγότερο περατό διακλασμένο πέτρωμα. Στην περίοδο των υψηλών υδάτων, το διακλασμένο μέσο τροφοδοτείται από το καρστικό δίκτυο, ενώ στη διάρκεια της περιόδου των χαμηλών υδάτων και ιδιαιτέρως στην περίοδο της στειρεύσεως, το μέσο αυτό αποστραγγίζεται από το καρστικό δίκτυο.

Η καρστική υδροφορία είναι πολύπλοκη δεδομένου ότι σπανίως εντοπίζεται μια τυπική και μεμονωμένη καρστική υδροφορία, ενώ ο κανόνας αναφέρει ένα σύνολο υδροφοριών, με υδραυλική επικοινωνία μεταξύ τους που εντοπίζονται στα επιμέρους συστήματα ενός καρστικού περιβάλλοντος.

Σύμφωνα με τις τελευταίες απόψεις περί της τυποποίησης ενός καρστικού συστήματος (Εικ.11) τα επί μέρους τμήματα του είναι τα εξής (Γ. Στουρνάρας, 2007):



Εικόνα Β-1: Ιδεατό μοντέλο καρστικού υδροφόρου ορίζοντα (Action COST 65, 1995).

- ≈ Το **επιφανειακό έδαφος (topsoil)**, σχετικώς αδιαπέρατο, προερχόμενο από την αποσάθρωση του ανθρακικού πετρώματος και από την εκλεκτική διαφοροποίηση του υποκείμενου υποεπιφανειακού εδάφους.
- ≈ Το **υποεπιφανειακό έδαφος (subsoil)**, σχετικώς αδιαπέρατο, πλέον συνεκτικό και συμπιεσμένο, σε σχέση με το επιφανειακό στρώμα. Στο σύνολο των δύο αυτών οριζόντων μπορεί να σχηματίζεται ασθενής φρεάτια υδροφορία.
- ≈ **Μη καρστικό βραχώδες υπόβαθρο (non-karstic bedrock)**, στο οποίο η κυκλοφορία του υπογείου νερού επιτελείται μέσω των ασυνεχειών του πετρώματος. Στη ζώνη αυτή παρά την ονομασία της ως μη καρστική, μπορεί να ανήκει και το **επικάρστ**, και η **επικαρστική (επικρεμάμενη) υδροφορία**, η οποία μπορεί να εκφορτίζεται μερικώς μέσω πηγαίων εκφορτίσεων ή μέσω γεωτρήσεων, τροφοδοτεί όμως επίσης και το υποκείμενο κυρίως καρστικό σύστημα.
- ≈ **Ακόρεστη ζώνη κυρίως καρστικού συστήματος (unsaturated karstic bedrock)**, ζώνη μεγάλης ταχύτητας διαβιβάσεως του νερού προς τα κάτω.

≈ **Κορεσμένη ζώνη κυρίως καρστικού συστήματος (saturated karstic bedrock)**, ζώνη μικρότερης γενικά ταχύτητας κινήσεως του καρστικού νερού. Στις δύο τελευταίες ζώνες συναντώνται οι τυπικές υπόγειες καρστικές γεωμορφές (καρστικοί αγωγοί, σπηλαια, υπόγειοι ποταμοί, κ.α). Κάτω από την κορεσμένη ζώνη ακολουθεί πολλές φορές ζώνη αποθηκείσεως στην οποία το νερό κινείται μέσω ασυνεχειών, με πολύ μικρή ταχύτητα.

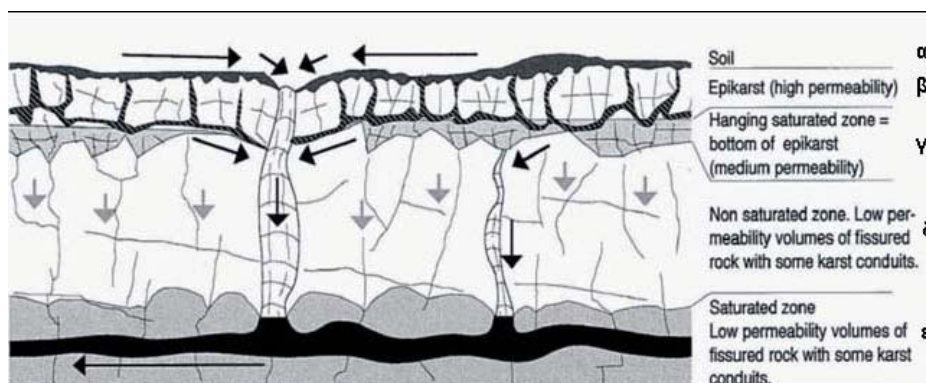
Τα κύρια χαρακτηριστικά και οι ιδιότητες της ακόρεστης και της κορεσμένης ζώνης (Εικ. Β-2), αναφέρονται κάτωθι:

Στην **ακόρεστη ζώνη** διακρίνουμε:

- Διάχυτη τροφοδοσία στο σύνολο της ανθρακικής εμφάνισης.
- Συγκεντρωμένη τροφοδοσία σε ένα μικρό αριθμό αβαθών κοιλοτήτων, στις οποίες οι επιφανειακοί άξονες απορροής, κυλώντας σε λιγότερο υδροπερατά πεδία, εισέρχονται στον καρστικό υδροφορέα.
- Μια επικαρστική ζώνη, μια δηλαδή τοπικά κορεσμένη ζώνη κοντά στην επιφάνεια.

Στην **κορεσμένη ζώνη** διακρίνουμε:

- Αγωγούς που αποτελούν διόδους εκτεταμένης διάλυσης, όπως διευρυμένες διακλάσεις και κοιλότητες, με ένα πλέγμα παρόμοιο με το δίκτυο επιφανειακής απορροής, που εμφανίζουν υψηλές ταχύτητες και σχέσεις ροής, με περιορισμένη όμως ανάμειξη νερού, αφού ο χρόνος παραμονής είναι μικρός.
- Περιοχές αποθήκευσης, το παρακείμενο στην αποστράγγιση σύστημα (κενά γειτονικά προς τους αγωγούς), με μικρές διόδους από διάλυση, λεπτές ρωγμές και πρωτογενείς πορώδεις, όπου το νερό κινείται πολύ αργά και επομένως ο χρόνος παραμονής είναι πολύ μεγαλύτερος.



Εικόνα Β-2: Λεπτομέρεια του καρστικού υδροφόρου ορίζοντα (Doerfliger & Zwahlen, 1995). Διακρίνονται α) ο εδαφικός μανδύας β) η ζώνη του επικαρστ με την υψηλή διαπερατότητα γ) η επικρεμάμενη κορεσμένη ζώνη που αντιστοιχεί στη βάση του επικαρστ δ) η ακόρεστη ζώνη και ε) η κορεσμένη ζώνη.

Σε σύγκριση με τους πορώδεις υδροφορείς και τους υδροφόρους ασυνεχειών, οι διαδικασίες του καρστ τροποποιούν τα αρχικά χαρακτηριστικά των ανθρακικών υδροφόρων, γρήγορα και σε μεγάλα βάθη. Επομένως, δεν είναι δυνατόν να προσδιοριστεί ένας καρστικός υδροφόρος από ένα αντιπροσωπευτικό στοιχείο, όπως άλλοι υδροφόροι. Στην περίπτωση των καρστικών υδροφόρων πρέπει να γνωρίζουμε τα χαρακτηριστικά του συνόλου της αποστραγγιστικής δομής του καρστικού συστήματος.

Οι Doerfliger & Zwahlen (1995) αναφέρουν, πως οι καρστικές περιοχές χαρακτηρίζονται από:

- Την γενική απουσία μόνιμης επιφανειακής ροής και την παρουσία μόνιμων αβαθών κοιλοτήτων και κλειστών ταπεινώσεων της επιφάνειας.
- Την συχνή παρουσία σπηλαίων και γενικά εκτεταμένων υπόγειων διόδων.

- Την παρουσία μεγάλων πηγών που συχνά εντοπίζονται στην βάση της ανθρακικής φάσης.

Σύμφωνα με τον Bonacci, 1982 δύο είναι οι κύριοι τρόποι κυκλοφορίας του υπόγειου νερού στους καρστικούς υδροφόρους ορίζοντες:

- **η τυρβώδης ροή (turbulent flow)** ή αλλιώς ροή σε αγωγό (conduit flow), η οποία μπορεί να παρομοιαστεί με εκείνη που επικρατεί στην κίνηση νερού μέσα σε σωλήνα. Πραγματοποιείται στα ανώτερα τμήματα των καλά ανεπτυγμένων καρστικών περιοχών. Αν και ο όγκος των καρστικών αγωγών είναι 30 φορές μικρότερος από εκείνον του καρστικού σχηματισμού (Atkinson, 1973), εντούτοις το 60-80% της συνολικής ποσότητας του νερού μεταφέρεται με ταχύτητα προς τον υδροφόρο, μέσω των αγωγών αυτών.
- **Η διάχυτη ροή (diffuse flow)** η οποία μοιάζει με εκείνη στα πορώδη μέσα και λαμβάνει χώρα στα κατώτερα τμήματα των καρστικών σχηματισμών στα οποία επικρατούν οι μικρές ρωγμές και διακλάσεις.

Όσον αφορά την επιφανειακή ροή στους καρστικούς σχηματισμούς, αυτή συνήθως κατεισδύει σταδιακά (διάχυτη κατείσδυση) μέσω του δικτύου των επιφανειακών ρωγμών και διακλάσεων. Ορισμένες φορές συγκεντρώνεται και κατεισδύει προς τον υδροφόρο ορίζοντα μέσω μίας καταβόθρας ή μέσω πολλών μικρότερων καταβοθρών (σημειακή κατείσδυση). Αποτέλεσμα αυτού είναι η ατελής ανάπτυξη ενός επιφανειακού υδρογραφικού δικτύου.

B.3 ΥΔΡΟΦΟΡΟΙ ΟΡΙΖΟΝΤΕΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

B.3.1 ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΥΔΡΟΦΩΡΩΝ

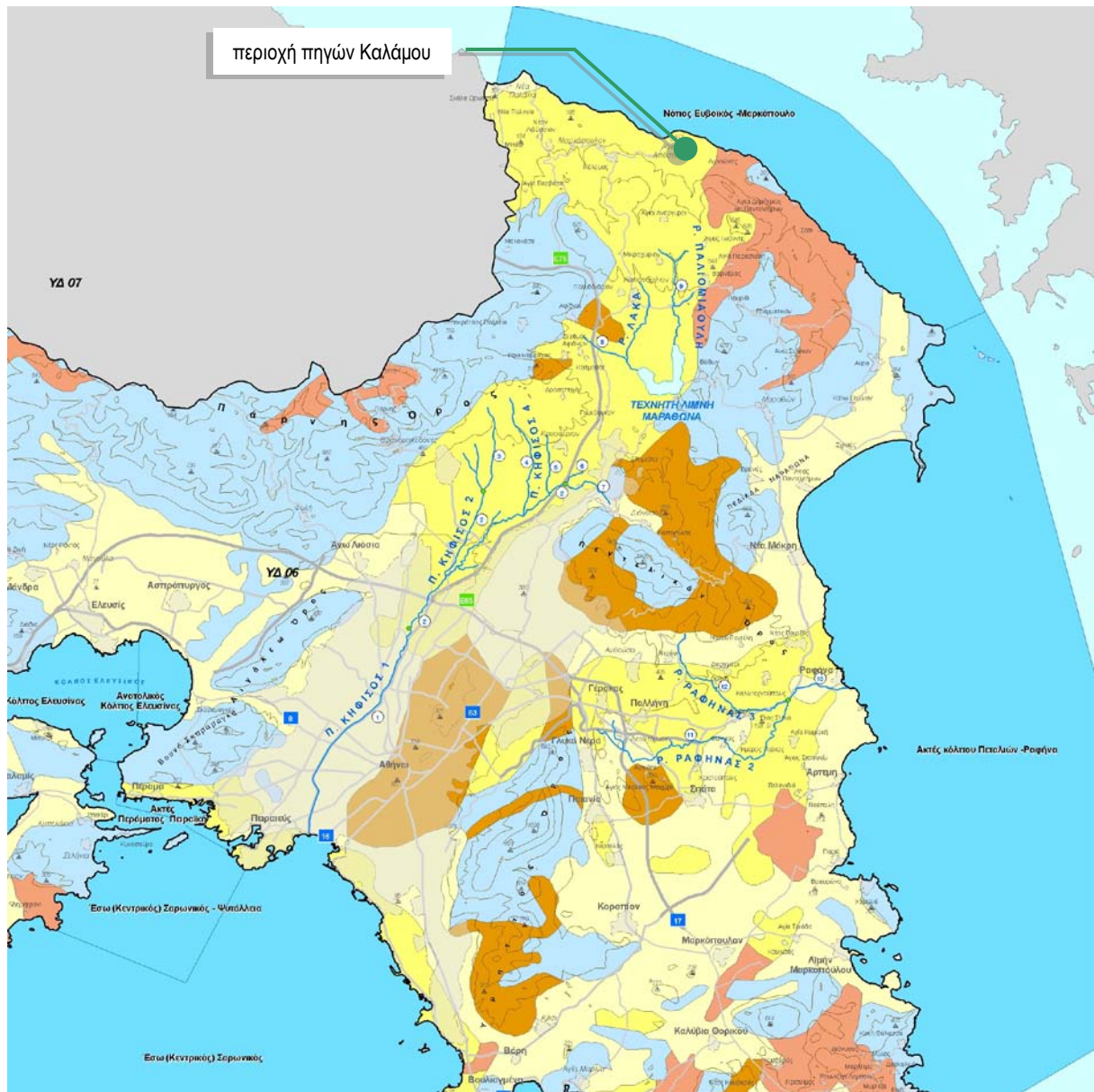
Ο τρόπος διακινήσεως του κατεισδύοντος ύδατος και η διαμόρφωση υπόγειων υδροφόρων οριζόντων εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, οι σπουδαιότεροι από τους οποίους είναι η περατότητα των λιθολογικών μονάδων, η σχετική θέση μεταξύ περατών, ημιπερατών και στεγανών σχηματισμών, η τεκτονική της περιοχής και η θέση της επιφάνειας της θάλασσας.

Οι πετρολογικοί σχηματισμοί που συμμετέχουν στην δομή της περιοχής, από την άποψη των υδρολιθολογικών χαρακτηριστικών τους, διακρίνονται σε :

- καρστικούς - υψηλής υδροπερατότητας
- πορώδεις σχηματισμούς μικρής έως μέσης, και κατά θέσεις, υψηλής υδροπερατότητας
- αδιαπέρατους - υδατοστεγανούς σε γενικές γραμμές σχηματισμούς στην δομή των οποίων υφίστανται και υδροπερατά στρώματα

Η διακριτοποίηση των υδρογεωλογικών διαχειριστικών λεκανών σε σχέση με τους αντίστοιχους γεωλογικούς σχηματισμούς, παρουσιάζεται στον ακόλουθο Χάρτη από την διαχειριστική μελέτη του Υδατικού διαμερίσματος Αττικής.

Στην περιοχή του υπόγειου υδατικού συστήματος Βόρειο-Ανατολικής Πάρνηθας οι λιθολογικοί τύποι, που διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην κατείσδυση, είναι οι ασβεστόλιθοι γενικά και κατά δεύτερο λόγο οι αδρομερείς σχηματισμοί του Νεογενούς και Τεταρτογενούς. Οι ασβεστόλιθοι, επειδή έχουν μεγάλη υδροπερατότητα και μεγάλη ανάπτυξη στον ευρύτερο χώρο της περιοχής, επιτρέπουν την κατείσδυση σημαντικού ποσοστού από τα ετήσια κατακρημνίσματα που δέχεται η περιοχή. Ένα κατά πολύ μικρότερο ποσοστό από αυτά, κατεισδύει μέσα στους αδρομερείς σχηματισμούς του Νεογενούς και Τεταρτογενούς.



Υπόμνημα/Legend

Υδρολιθολογία/ Hydrolithology

Αδιεισάτοι σχηματισμοί/ Impervious formations



Φλύσχος/ Flysch



Μεταμορφωμένα πετρώματα/ Metamorphic



Πλουτώνια και ηφαιστειακά πετρώματα/ Plutonic and volcanic

Καρστικοί σχηματισμοί/ Karstic formations



Ασβεστόλιθοι και μάρμαρα εκτεταμένης ανάπτυξης, μέτριας έως υψηλής υδροπερατότητας/ Limestones and marbles of extensive development, moderate to high permeability



Ασβεστόλιθοι και μάρμαρα περιορισμένης ανάπτυξης, κυμαινόμενης υδροπερατότητας/ Limestones and marbles of limited development, varying permeability

Πορώδεις σχηματισμοί/ Porous formations



Κοκκώδεις προσχωματικές αποθέσεις, κυμαινόμενης υδροπερατότητας/ Granular alluvial deposits varying permeability



Κοκκώδεις μη προσχωματικές αποθέσεις, μέτριας έως υψηλής υδροπερατότητας/ Granular non-alluvial deposits moderate to high permeability



Κοκκώδεις μολασσικές αποθέσεις, σχετικά μικρής υδροπερατότητας/ Granular molassic deposits of relatively low permeability

Εικόνα Β-3: Απόσπασμα από τον Υδρολιθολογικό χάρτη του Σχεδίου Διαχείρισης των Λεκανών Απορροής Ποταμών Υδατικού Διαμερίσματος Αττικής (GR06), 2012

Καρστική Υδροφορία των ασβεστολιθικών σχηματισμών

Το τμήμα του καρστικού υδροφορέα Πάρνηθας αποτελεί μόνο το βόρειοανατολικό μέρος ενός πολύ μεγάλου καρστικού υδροφορέα, ο οποίος εκτείνεται σ' ορισμένα τμήματα μέχρι και στον Ν. Βοιωτίας και αποτελεί το Υπόγειο Υδατικό Σύστημα Βόρειο-Ανατολικής Πάρνηθας με κωδικό **GR0600080**.

Ορίζεται στις μάζες των ανθρακικών πετρωμάτων του κυρίως ορεινού όγκου της Πάρνηθας που αναπτύσσονται στην Αττική, νότια της νοητής γραμμής Αυλώνας-Σκούρτα-Ερυθρές, ενώ περιλαμβάνει και το όρος Αιγάλεω μέχρι τον όρμο του Κερατσινίου.

Στην παράκτια περιοχή του Καλάμου η συνέχεια των ανθρακικών μαζών είναι υπόγεια, ενώ επιφανειακά καλύπτονται επίσης από τριτογενή ιζήματα. Η αναπτυσσόμενη υπόγεια υδροφορία είναι καρστικής μορφής και σχηματίζεται σε βάθη που σχετίζονται με τα επίπεδα εμφάνισης του στεγανού παλαιοζωϊκού συνόλου.

Η γεωλογική σύσταση του συστήματος αποτελείται από ανοικτότεφρους ασβεστόλιθους που χαρακτηρίζονται από ισχυρή ρηγμάτωση και αποκάρσωση, ενώ το πάχος της κορεσμένης μάζας του εκτιμάται περίπου στα 50m. Το συνολικό πάχος της ανθρακικής μάζας υπερβαίνει τα 500m.

Υπερκείμενα στρώματα του συστήματος αποτελούν κατά περίπτωση: τα ανώτερα τμήματα ασβεστόλιθων υψηλής υδροπερατότητας, ή τριτογενή και τεταρτογενή υλικά μέτριας υδροπερατότητας.

Η τροφοδοσία του συστήματος εξασφαλίζεται από την απευθείας κατέισδυση του μετεωρικού νερού, ενώ η εκφόρτιση του γίνεται προς τις πεδινές περιοχές της Αττικής, αλλά και προς την θάλασσα τόσο στο νότιο τμήμα του (όρος Αιγάλεω), όσο και στην παράκτια περιοχή Καλάμου όπου τροφοδοτεί τις υφάλμυρες καρστικές πηγές Αγίων Αποστόλων. Η εκφόρτιση του συστήματος στα νότια σχετίζεται με την δημιουργία στον Σκαρμαγκά της Λίμνης Κουμουνδούρου. Η εκφόρτιση προς την περιοχή του Καλάμου γίνεται με μεγάλη υδραυλική κλίση, υπόγεια, από ανθρακική μάζα που επιφανειακά καλύπτεται από τριτογενή ιζήματα. Οι πηγές Αγίων Αποστόλων εκφορτίζουν όγκους νερού της τάξης των 80.000 ως 160.000m³/24h (1-2 m³/sec), με βάση δεδομένα μετρήσεων του 1980 και παρουσιάζουν διακύμανση ανάλογα με την εποχή του χρόνου και το ύψος των βροχοπτώσεων στην λεκάνη τροφοδοσίας τους (*Σχέδιο Διαχείρισης Λεκανών Απορροής Ποταμών Υδατικού Διαμερίσματος Αττικής, 2012*).

Η ετήσια τροφοδοσία του συστήματος υπολογίζεται με βάση δεδομένα μετρήσεων του 1980 της τάξης των 85x10⁶m³, ενώ οι απολήψεις εκτιμήθηκαν σε ετήσια βάση σε 5,4x10⁶m³. Με την συνεκτίμηση και των παράκτιων αναβλύσεων που γίνονται τόσο προς τον Ευβοϊκό, όσο και προς τον Σαρωνικό Κόλπο, οι συνολικές εκροές από το σύστημα είναι περισσότερες, αλλά το υπερετήσιο ισοζύγιο του παραμένει πλεονασματικό.

Το σύστημα εκμεταλλεύεται από μερικές δεκάδες γεωτρήσεις, που αντλούνται κύρια για αρδευτικούς σκοπούς. Παράλληλα έχουν καταγραφεί 30 γεωτρήσεις περίπου που αντλούνται για ύδρευση (γεωτρήσεις Μαυροσουβάλας κλπ.). Τοπικά το σύστημα υφίσταται υπερεκμετάλλευση λόγω των αντλήσεων.

Υδροφορία των παλαιοκαινικών σχηματισμών (φλύσχης)

Αντιπροσωπεύεται κυρίως από τον φλύσχη. Πρόκειται για μια κλαστική ακολουθία με εναλλαγές πηλινών, αργιλικών σχιστών, ψαμμιτικών και μαργαϊκών ασβεστόλιθων. Με εξαίρεση την μικρή υδροφορία των ψαμμιτικών και κροκαλοπαγικών στρώσεων ο φλύσχος χαρακτηρίζεται πρακτικά υδατοστεγής (Δούνας κ.α., 1980).

Υδροφορία των νεογενών σχηματισμών

Πρόκειται για σχηματισμούς διαφόρων φάσεων, αποτελούμενοι από αλληπάλληλα στρώματα άμμων, κροκαλών, αργιλοπηλινών, ψαμμιτοκροκαλών, μαργών και μαργαϊκών ασβεστόλιθων.

Οι σχηματισμοί που περιέχουν αργίλους και μάργες θεωρούνται υδατοστεγείς. Η συνεκτικότητα των σχηματισμών αυτών οφείλεται στην παρουσία του συνδετικού μαργαϊκού υλικού. Οι σχηματισμοί που περιέχουν μαργαϊκούς ασβεστόλιθους λόγω πρωτογενούς και δευτερογενούς πορώδους παρουσιάζουν μεγάλο ενδιαφέρον από απόψεως υδροφορίας. Ανάλογα με τον τρόπο τροφοδοσίας τα υδροφόρα στρώματα βρίσκονται υπό πίεση ή είναι ελεύθερης στάθμης. Γενικά πρόκειται για σχηματισμούς που ανάλογα με τη σύνθεση τους έχουν χαρακτήρα ημιπερατό ως υδατοστεγή.

Γενικά οι υδροφόροι ορίζοντες που δημιουργούνται μέσα στα αδρομερή μέλη του Νεογενούς επειδή περιβάλλονται μεταξύ στεγανών στρωμάτων (μαργών, αργίλων), είναι εγκλωβισμένοι και συνήθως βρίσκονται υπό αρτεσιανή πίεση.

Υδροφορία των τεταρτογενών αποθέσεων.

Στο σύνολο τους οι σχηματισμοί είναι ημιπερατοί και παρουσιάζουν μικρό υδρογεωλογικό ενδιαφέρον. Φρέατα και γεωτρήσεις μέσα σε αυτούς τους σχηματισμούς αποδίδουν μικρές παροχές της τάξεως των 5-30 m³/h (Δούνας κ.α., 1980).

Σχετικά με τις αποθέσεις κλειστών λεκανών, παρατηρείται ότι η υδροπερατότητα τους είναι πολύ περιορισμένη, γιατί οι σχηματισμοί αυτοί θεωρούνται ελάχιστα περατοί ή πρακτικά στεγανοί για τις περισσότερες περιπτώσεις. Μόνο στα κράσπεδα των παραπάνω λεκανών οι σχηματισμοί αυτοί παρουσιάζουν κάποια υδροπερατότητα, λόγω της αδρομερέστερης συστάσεως τους και ελάττωσης της περιεκτικότητας σε αργιλικά υλικά. Φρέατα που έχουν διανοιχθεί μέσα στους σχηματισμούς αυτούς αποδίδουν ελάχιστο νερό και τα περισσότερα από αυτά στερεύουν κατά την περίοδο του καλοκαιριού.

Όσον αφορά τα πλευρικά κορήματα αυτά θεωρούνται ανάλογα, από πλευράς υδροπερατότητας, με τα κροκαλολατυτοπαγή των χειμάρριων αποθέσεων, δηλαδή ως ημιπερατοί σχηματισμοί. Αυτά λόγω της μικρής τους έκτασης και του γεγονότος ότι επικάθονται σε ασβεστόλιθους και μάλιστα σε μεγάλα σχετικά υψόμετρα, δεν παρουσιάζουν κανένα ενδιαφέρον από πλευράς εκμεταλλεύσεως των νερών που υπάρχουν μέσα σε αυτούς.

Οι αλλουβιακές αποθέσεις παρουσιάζουν έναν ημιπερατό χαρακτήρα. Μέσα σε αυτές αναπτύσσεται υδροφόρος ορίζοντας, συχνά υπό πίεση.

Β.3.2 ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΑΝΘΡΑΚΙΚΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ ΠΑΡΝΗΘΑΣ

Όπως αναφέρθηκε ο συνδυασμός ευνοϊκών λιθοστρωματογραφικών συνθηκών, η ένταση και το μέγεθος των ρηξιγενών γραμμών, η μεταξύ τους θέση αλλά και η φύση των ζωνών διάρρηξης είναι καθοριστικοί παράγοντες για το είδος και το μέγεθος της κυκλοφορίας των υπόγειων υδάτων.

Τα ανθρακικά πετρώματα της ευρύτερης περιοχής της Βόρειας Αττικής, από τους νεοπαλαιοζωικούς και μεσοζωικούς ασβεστόλιθους της σειράς της Πάρνηθας έως τους ασβεστόλιθους της νεογενούς σειράς παρουσιάζουν ιδιαίτερο υδρογεωλογικό ενδιαφέρον, λόγω του μεγάλου υπόγειου καρστικού υδατικού δυναμικού που δημιουργείται εντός της μάζας αυτών.

Καταδεικνύεται πως (Μόρφης, 1995), «κύριο και καθοριστικό ρόλο στην δημιουργία των καρστικών υδροφόρων οριζόντων της περιοχής μελέτης διαδραματίζουν οι λιθοστρωματογραφικοί ιζηματογενείς και τεκτογενετικοί χαρακτήρες των ανθρακικών πετρωμάτων.

Συνέπεια της διαφοροποίησης των προαναφερθέντων χαρακτήρων στους διάφορους ανθρακικούς σχηματισμούς, είναι η δημιουργία ενοτήτων με διαφορετική υδρογεωλογική συμπεριφορά.

Στην παρούσα ενότητα δίνεται μια αναλυτικότερη περιγραφή της υδρογεωλογικής συμπεριφοράς των ανθρακικών σχηματισμών, οι οποίοι συνιστούν τον καρστικό μεγάλης

δυναμικότητας υδροφόρο ορίζοντα της ΒΑ Πάρνηθας, ο οποίος εκφορτίζεται μέσω των παράκτιων και υποθαλάσσιων πηγών των Αγίων Αποστόλων Καλάμου,.

Παλαιοζωικοί ασβεστόλιθοι (C-P-T.k):

Οι παλαιοζωικοί ασβεστόλιθοι εμφανίζονται στην περιοχή της Πάρνηθας και των βόρειων πρόβουνων αυτής (Μαυρηγόρα), σε διάφορους στρωματογραφικούς ορίζοντες του νεοπαλαιοζωικού σχιστοψαμμιτικού υποβάθρου της ανθρακικής μεσοζωικής σειράς. Ως προς τα υδρολιθολογικά τους χαρακτηριστικά-εξαιτίας της κακής αποκάρσωσης της μάζας τους, κατατάσσονται από άποψη υδρογεωλογικής συμπεριφοράς στην κατηγορία των μέτρια περατών σχηματισμών.

Εντός της μάζας τους σχηματίζονται ανεξάρτητες μεταξύ τους υδρογεωλογικές μονάδες, διασπαρμένες στην ορεινή ζώνη της Πάρνηθας επικαθήμενες του "υδατοστεγούς νεοπαλαιοζωικού σχιστοψαμμιτικού υποβάθρου, εντός του οποίου περιέχονται και λόγω διάβρωσης του αποκαλύπτονται στην επιφάνεια.

Η τροφοδοσία των υδρογεωλογικών μονάδων οφείλεται στην απευθείας κατείσδυση των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων που πέφτουν στην επιφάνεια τους αλλά και στην κατείσδυση των επιφανειακών νερών, των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου των ανάντη υδατοστεγών σχιστολίθων.

Συνεπώς, τα όρια της υδρολογικής λεκάνης, επεκτείνονται προς τα ανάντη, μέχρι τα όρια του υδροκρίτη του σχιστοψαμμιτικού υποβάθρου και είναι διαφορετικά από τα γεωλογικά όρια του σχηματισμού.

Δεδομένης της απουσίας υπόγειας τροφοδοσίας των υδρογεωλογικών μονάδων, τα όρια τους συμπίπτουν με τα γεωλογικά όρια, δηλαδή με την επιφάνεια επαφής των ασβεστόλιθων με το υδατοστεγές νεοπαλαιοζωικό υπόβαθρο. Με άλλα λόγια, τα υδραυλικά όρια των υδρογεωλογικών μονάδων συμπίπτουν με τα γεωλογικά όρια.

Κατά τον (Μόρφη, 1995) η υδραυλική ανεξαρτησία των μονάδων οφείλεται σε ιζηματογενή, λιθοστρωματογραφικά και μερικές φορές τεκτονικά αίτια όπως οι μικρές διαστάσεις τους, η φακοειδής ανάπτυξη τους η έντονη στολίδωση και ο μικρός βαθμός διάρρηξης και ενίοτε η τεκτονική τους θέση. Κατά τον ίδιο ερευνητή, ο συνδυασμός των περιορισμένων διαστάσεων των σχηματισμών και της πτωχής τους υδροφορίας, έχει σαν αποτέλεσμα την δημιουργία υδροφόρων οριζόντων περιορισμένης δυναμικότητας και αποκλειστικά τοπικής σημασίας, με την εκδήλωση της υδροφορίας να γίνεται συνήθως υπό μορφή πηγών επαφής ή επαφής υπερχείλισης με παροχή μερικών m^3 /ημέρα, οι οποίες ενίοτε έχουν παροδική λειτουργία.

Μεσοζωικοί ασβεστολίθοι

Ασβεστόλιθοι Μέσου Τριαδικού - Κάτω Ιουρασικού (T_m-J_i.k):

Οι ως άνω ασβεστόλιθοι εκτείνονται σε σημαντική έκταση στην περιοχή Πάρνηθας-Πάστρας. με το πάχος σειράς να εκτιμάται στα 1000m. Χαρακτηρίζονται ως παχυστρωματώδεις έως άστρωτοι, έντονα διαρρηγμένοι και κατακερματισμένοι, με καλή δυνατότητα καρστικοποίησης, ενώ κατά περιοχές μεταπίπτουν σε δολομίτες.

Επισημαίνεται πως (Μόρφης, 1995), διαθέτουν μεγάλο βαθμό καθαρότητας (περιεκτικότητα σε $CaCO_3$ από 99-100%), ενώ άλλα χαρακτηριστικά τους είναι η απουσία προσμίξεων, ο μεγάλος βαθμός κατακερματισμού με ρωγμές πυκνές και κατά κανόνα ΒΑ προσανατολισμού, η μακρά περίοδος χέρσευσης της περιοχής από το Κατώτερο Ιουρασικό έως το Κενομάνιο, η έντονη καρστική διάβρωση, η καταβύθιση του καρστικού δικτύου και η επαναδιάταξη και επανεργοποίησή του.

Εκτιμάται πως το 'ενδοχωρικό' καρστικό δίκτυο που τροφοδοτεί τις καρστικές πηγές των Αγίων Αποστόλων Καλάμου, εντοπίζεται στην μεταξύ Μαυροσουβάλας-Αυλώνας και Αγ.Θωμά περιοχή, σε μικρά αρνητικά υψόμετρα (-20 έως -30m). τοποθετείται δηλαδή στον κεντρικό και δυτικό τομέα της λεκάνης τροφοδοσίας των πηγών.

Η καταβύθιση του ενεργού καρστικού δικτύου σε σημαντικό βάθος μέχρι και -150m, από το επίπεδο της θάλασσας (παράκτιες υφάλμυρες αναβλύσεις Αγίων Αποστόλων - Καλάμου) πρέπει να συνδέεται με νεοτεκτονικές κινήσεις (Μόρφης, 1995).

Λαμβάνοντας υπόψη τις προαναφερθείσες επισημάνσεις, οι σχηματισμοί κατατάσσονται ως υδροπερατοί (υδροφόροι) έως πολύ υδροπερατοί σχηματισμοί.

Ασβεστόλιθοι Κρητιδικού ($K_s.k_3$):

Η σειρά έχει πάχος γύρω στα 300m και βρίσκεται σε θέση επίκλυσης επί μεσοτριάδικών-κάτω ιουρασικών ασβεστολίθων.

Οι κατώτεροι ορίζοντες της σειράς αποτελούνται από λεπτοπλακώδεις στρώσεις, μαργαϊκής σύστασης, έντονης στολίδωσης και πτύχωσης κενομάνιους ασβεστόλιθους, εντός της μάζας των οποίων υφίστανται κατά θέσεις σιδηρονικελιούχα και βωξίτικά κοιτάσματα.

Το ανώτερο μέρος της σειράς συνίσταται από μέσο-παχυστρωματώδεις ασβεστόλιθους ηλικίας τουρωνίου, οι οποίοι χαρακτηρίζονται από σχετικά μεγάλη καθαρότητα, έντονο τεκτονισμό και κατακερματισμό, με καλή δυνατότητα αποκάρσωσης.

Συνέπεια των προαναφερθέντων χαρακτηριστικών τους είναι, οι μεν τουρώνιοι ασβεστόλιθοι να κατατάσσονται στην κατηγορία των υδροπερατών σχηματισμών ως προς την υδρογεωλογική τους συμπεριφορά, ενώ οι κενομάνιοι να κατατάσσονται στους μέτρια περατούς σχηματισμούς.

Σύμφωνα με την βιβλιογραφία (Μόρφης, 1995), οι ασβεστόλιθοι του μέσου Τριαδικού - Κάτω Ιουρασικού, μαζί με τους υπερκείμενους κρητιδικούς ασβεστόλιθους συνιστούν το σημαντικότερο τμήμα της λεκάνης τροφοδοσίας των υφάλμυρων καρστικών πηγών Αγίων Αποστόλων Καλάμου.

Καταδεικνύεται πως ανεξάρτητα από τις επιμέρους διαφοροποιήσεις του βαθμού αποκάρσωσης, των γεωλογικών χαρακτήρων και της υδραυλικής αγωγιμότητας, οι μεσοτριάδικοί-κάτω-ιουρασικοί και κρητιδικοί ασβεστόλιθοι ορίζουν δύο υδρογεωλογικές ενότητες, «τα υδραυλικά όρια των οποίων καθορίζονται κύρια από το αποκαλυπτόμενο στην κορυφή της Πάρνηθας νεοπαλαιζωικό υδατοστεγανό σχιστοψαμμιτικό υπόβαθρο» (Μόρφης, 1995).

B.3.3 ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΡΣΤΙΚΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ ΠΑΡΝΗΘΑΣ

Για την προσέγγιση των υδρογεωλογικών συνθηκών του καρστικού υδροφορέα Πάρνηθας, χρησιμοποιήθηκε πλήθος δεδομένων από γεωλογικές - υδρογεωλογικές εκθέσεις και μελέτες που εκπονήθηκαν από το ΙΓΜΕ (Δούνας, Α., Καλλέργης, Γ., Μόρφης, Α., Παγούνης, Μ. 1978) και δήμους της ευρύτερης περιοχής, καθώς και την διαχειριστική μελέτη του Υδατικού Διαμερίσματος Αττικής (Σχέδιο Διαχείρισης Λεκανών Απορροής Ποταμών Υδατικού Διαμερίσματος Αττικής, 2012).

Έτσι σύμφωνα με τον Κούνη, 1997, στην περιοχή της Αττικής, ο υπόγειος υδροκρίτης συμπίπτει με τον άξονα του μεγάλου αντικλίνου Πάρνηθας – Κιθαιρώνα, κατά μήκος του οποίου εμφανίζονται οι σχετικά αδιαπέρατοι παλαιοζωϊκοί σχηματισμοί του υποβάθρου. Λόγω της μεγάλης κλίσης του αδιαπέρατου υποβάθρου η κυκλοφορία στην ζώνη του κορεσμού είναι συγκριτικά γρήγορη.

Σύμφωνα με τον ίδιο ερευνητή περίπου τα 2/3 της μάζας των ασβεστολίθων της βόρειας πλευράς του αντικλίνου αποστραγγίζονται στον Ευβοϊκό κόλπο, κατά προτίμηση με συγκλίνουσες ροές προς τις πηγές των Αγίων Αποστόλων. Στην λειτουργία της σύγκλισης συνεπικουρούν πλευρικά λιθολογικά εμπόδια (μάργες νεογενούς), τα οποία οφείλονται σε τοποθετήσεις κανονικών ρηγμάτων ή επωθήσεων, ενώ υπάρχει μερική υδραυλική ανταλλαγή μεταξύ ασβεστολίθων και κοκκώδων σχηματισμών. Το υπόλοιπο 1/3 της ασβεστολιθικής μάζας εκφορτίζεται στον Κορινθιακό κόλπο με την υδραυλική επικοινωνία να οφείλεται

κυρίως στα μεγάλα ρήγματα και τα σύγκλινα (π.χ. Ψάθα, Πόρτο Γερμενό). Η νότια πλευρά του αντικλίνου εκφορτίζεται στον Σαρωνικό κόλπο στην περιοχή του Ασπροπύργου (λιμνη Κουμουνδούρου).

Σύμφωνα με τον Κουμαντάκη (1997), το καρστικό σύστημα της Πάρνηθας εκφορτίζεται κατά το βόρειο τμήμα του, όπως αυτό ορίζεται από την αντικλινική δομή, στις πηγές των Αγίων Αποστόλων, ενώ το νότιο τμήμα του εκφορτίζεται στις Τεταρτογενείς αποθέσεις του Θριασίου πεδίου στην περιοχή του Ασπροπύργου.

Με βάση τα παραπάνω αλλά και από την σχετική μελέτη του ΙΓΜΕ, θεωρείται πως τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα που δέχεται η Πάρνηθα, κατά ένα μεγάλο ποσοστό κατεισδύουν μέσα στους μεσοζωϊκούς ασβεστολίθους. Αυτά κινούμενα βαθύτερα, συναντούν τον υποκείμενο στεγανό νεοπαλαιοζωϊκό πυρήνα που ένα μέρος τους κατευθύνεται προς την βόρεια πλευρά, ενώ ένα άλλο προς τη νότια.

Το υπόγειο νερό από την στιγμή που θα συναντήσει κατά την προς το βάθος κίνηση του το παλαιοζωϊκό στεγανό υπόβαθρο, αναγκάζεται να ακολουθήσει πορεία που ταυτίζεται με την κλίση της επιφάνειας επαφής ασβεστολίθων και παλαιοζωϊκών στρωμάτων, αναπτύσσοντας μεγάλη σχετικά ταχύτητα εξαρτώμενη από την κατά τόπους περατότητα των ασβεστολίθων και το μέγεθος της κλίσεως της επιφάνειας των δύο σχηματισμών.

Εκτός από τους νεογενείς και τους πλειοκαϊνικούς σχηματισμούς, τα νεοπαλαιοζωϊκά στρώματα παρεμβάλλονται κατά ένα σημαντικό τμήμα, μεταξύ θάλασσας και ασβεστολίθων, τους οποίους εφίππεύουν και αποτελούν έτσι ένα πρόσθετο φραγμό στην άνετη διακίνηση του καρστικού νερού προς βορρά.

Το υπόγειο νερό λοιπόν, επειδή δεν μπορεί να περάσει μέσα από τον φραγμό αυτόν, ακολουθεί πορεία προς τα ανατολικά, όπου στην περιοχή των Αγ.Αποστόλων ο φραγμός από τους στεγανούς σχηματισμούς έχει μικρότερο πλάτος και αναπτύσσεται σε χαμηλά υψόμετρα.

Στην περιοχή αυτή, η προς ανατολάς πορεία του ανακόπτεται από την ύπαρξη των στεγανών κρυσταλλικών σχηματισμών του μεταμορφωμένου συστήματος, του οποίου στην περιοχή αυτή επικάθονται τεκτονικά πάνω στους ασβεστολίθους της Πάρνηθας.

Επειδή όμως στην περιοχή αυτή το πάχος των στεγανών σχηματισμών είναι σχετικά μικρό και τα υψόμετρα χαμηλά, το υπόγειο νερό κατορθώνει να διαπεράσει μέσα από ρήγματα τον στεγανό φραγμό και να εξέλθει στην επιφάνεια με μορφή πηγών, παράκτιων και υποθαλάσσιων.

B.4 ΠΗΓΕΣ

B.4.1 ΕΙΔΗ ΠΗΓΩΝ

Οι πηγές και οι αναβλύσεις συνδέονται στενά με τον κύκλο του νερού στη φύση, την υδρολογική ισορροπία και το υδρολογικό ισοζύγιο του υπόγειου νερού. Υδρογεωλογικά οι πηγές και γενικά οι αναβλύσεις είναι στην πραγματικότητα «υπερχείλιση» υδροφόρων στρωμάτων, καθώς εκφορτίζουν τα υδροφόρα αυτά στρώματα. Οι πηγές εμφανίζονται εκεί που η στάθμη των υδροφόρων στρωμάτων έρχεται σε επαφή με την επιφάνεια του εδάφους. Είναι ο γεωμετρικός τόπος της τομής του υδροφόρου ορίζοντα με τη στάθμη του εδάφους. Για αυτό εμφανίζονται γεωμορφολογικά στα χαμηλότερα σημεία, στο επίπεδο βάσης, εκτός από τις πηγές που συνδέονται με επικρεμάμενους υδροφορείς.

Οι πηγές εμφανίζονται με πολλές μορφές και η κατάταξή τους γίνεται με διάφορα κριτήρια, όπως το σημείο εμφάνισης, την κινούσα δύναμη, το διαμορφωμένο υδραυλικό φορτίο και τα χαρακτηριστικά του σημείου εμφάνισης (Στουρνάρας, 2007), αναλυτικότερα δε:

α) Με κριτήριο το σημείο εμφάνισης της πηγής

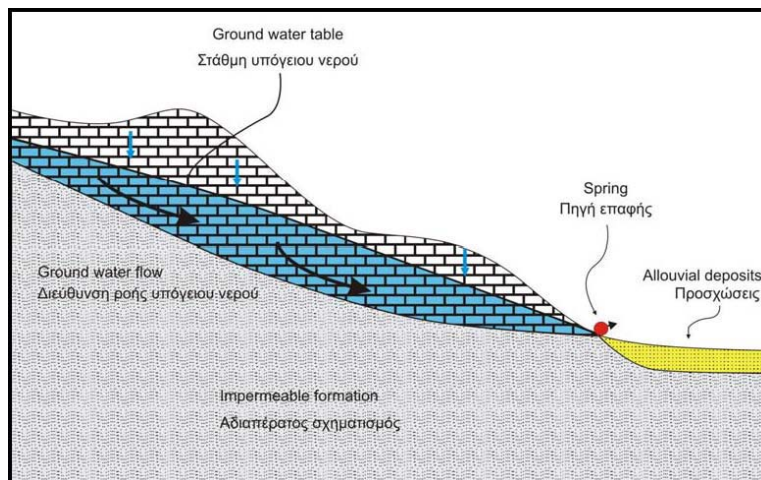
Με βάση αυτό το κριτήριο οι πηγές διακρίνονται σε (Στουρνάρας, 2007):

- Πηγές υποθαλάσσιες, όταν η ανάβλυση εντοπίζεται στην θάλασσα.
- Πηγές κυματογής, όταν η ανάβλυση εντοπίζεται στη ζώνη κυματισμού. Είναι πηγές με κυμαινόμενη αλατότητα στο νερό τους, λόγω των διαρκώς μεταβαλλόμενων συνθηκών θαλάσσιας διείσδυσης από τη μεταβολή χειμέριου και θερινού κύματος και της παλίρροιας.
- Πηγές παράκτιες, όταν η ανάβλυση εντοπίζεται κοντά στην ακτή. Επηρεάζονται σε μικρότερο βαθμό από το θαλασσινό νερό.
- Πηγές κοιλαδογενείς, στην τομή του υδροφόρου ορίζοντα από την κατά βάθος διάβρωση.
- Πηγές εσωτερικές. Πρόκειται για τις πιο συνηθισμένες μορφές πηγών.

β) Με κριτήριο το διαμορφωμένο υδραυλικό φορτίο

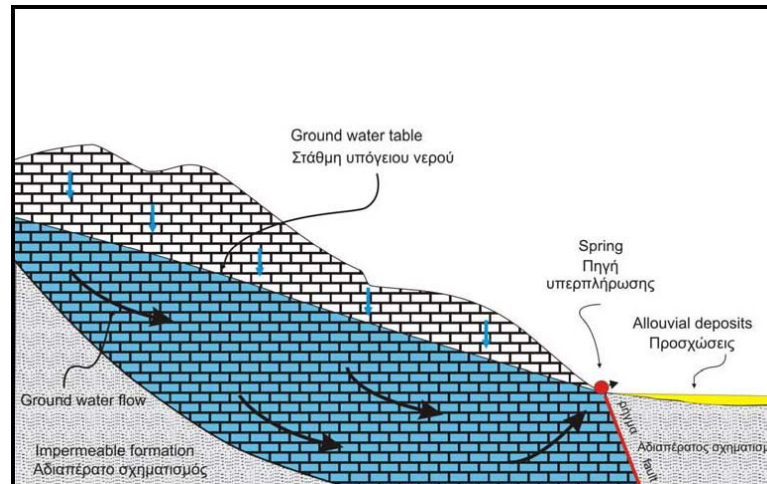
Με βάση αυτό το κριτήριο οι πηγές διακρίνονται σε (Στουρνάρας, 2007):

- Πηγές επαφής, όταν το υπόγειο νερό βρίσκεται αποκλειστικά σε μεγαλύτερα υψόμετρα από το υψόμετρο του σημείου εκδήλωσης της πηγής (Εικ. Β-4). Η επαφή δηλαδή μεταξύ περατού και αδιαπέρατου, η οποία είναι υπεύθυνη για την εκδήλωση της πηγής, βρίσκεται σε υψόμετρα μεγαλύτερα από το υψόμετρο του σημείου εκδήλωσης της πηγής.



Εικόνα Β-4: Σχηματική τομή πηγής επαφής, Σούλιος, Γ. (1985).

- Πηγές υπερπλήρωσης, όταν το υπόγειο νερό βρίσκεται σε μεγαλύτερα αλλά και μικρότερα υψόμετρα από το υψόμετρο του σημείου εκδήλωσης της πηγής (Εικ. Β-5). Η επαφή δηλαδή μεταξύ περατού και αδιαπέρατου, η οποία είναι υπεύθυνη για την συγκέντρωση του νερού, βρίσκεται και σε μικρότερα υψόμετρα από το υψόμετρο του σημείου εκδήλωσης της πηγής. Για να εκδηλωθεί πηγή θα πρέπει η σχηματιζόμενη λεκάνη να είναι γεμάτη με νερό. Πρόκειται για την κατεχοχήν μορφή των πηγών που επιδέχονται υδρομάστευση με αναρρύθμιση της υπερετήσιας λειτουργίας του υδατικού συστήματος.



Εικόνα Β-5: Σχηματική τομή πηγής υπερπλήρωσης, Σούλιος, Γ. (1985).

γ) Με κριτήριο την κινούσα δύναμη

Με βάση αυτό το κριτήριο οι πηγές διακρίνονται σε (Στουρνάρας, 2007):

- Πηγές ανοδικές λόγω πίεσης ανερχόμενων αερίων. Πρόκειται για συνηθισμένη περίπτωση ιαματικών πηγών.
- Πηγές ανοδικές λόγω φαινόμενων σιφωνισμού. Πρόκειται για ειδικές περιπτώσεις καρστικών πηγών.
- Πηγές βαρύτητας, όπου η βαρύτητα κινεί το υπόγειο νερό προς την έξοδο στην επιφάνεια.

δ) Με κριτήριο τα χαρακτηριστικά του σημείου εμφάνισης

Με βάση αυτό το κριτήριο οι πηγές διακρίνονται σε (Στουρνάρας, 2007):

- Πηγές κανονικές, όταν το σημείο ανάβλυσης είναι το υδρογεωλογικώς αναμενόμενο.
- Πηγές μετατοπισμένες, όταν το σημείο εκφόρτισης δεν είναι το υδρογεωλογικώς αναμενόμενο. Τέτοιες είναι οι πηγές, όπου το σημείο φυσικής εκφόρτισης καλύπτεται από κορήματα και το νερό μεταγγίζεται σε αυτά. Στην περίπτωση αυτή η πηγή εκδηλώνεται στην επαφή των κορημάτων με το σχετικά αδιαπέρατο υπόβαθρό τους.
- Πηγές διάχυτες, όταν τα σημεία εκφόρτισης δεν είναι σαφή και καθορισμένα αλλά το νερό διαχέεται εξερχόμενο σε μεγάλη έκταση.
- Μέτωπο πηγών με πολλά σημεία εκφόρτισης, που το καθένα είναι σαφές και καθορισμένο.

B.5 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΩΝ ΠΗΓΩΝ ΑΓΙΩΝ ΑΠΟΣΤΟΛΩΝ

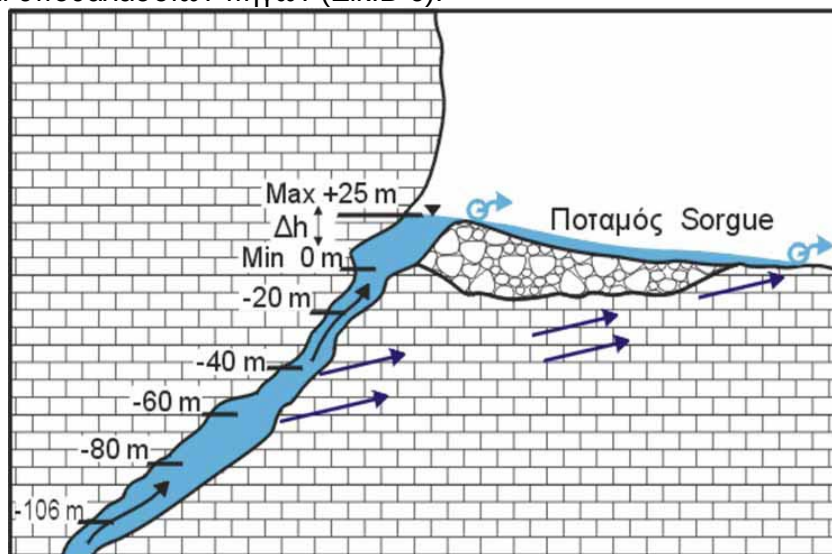
Από την μελέτη της περιοχής των υφάλμυρων καρστικών πηγών Αγίων Αποστόλων του ΙΓΜΕ (1980), που έγινε σχετικά με την ερμηνεία του τρόπου γενέσεως και λειτουργίας των πηγών, η οποία περιελάμβανε τηλεσκοπική, ισοτοπική, γεωφυσική και γεωτρητική έρευνα, προέκυψαν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

(α) Οι εκφορτίσεις των πηγών εντοπίζονται τόσο στην παράκτια επίπεδη προσχωματική ζώνη με μέσο υψόμετρο 4m, όσο και μέσα στην θάλασσα σε μικρή απόσταση από την ακτή (βάθος αναβλύσεως 18-20m κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας).

(β) Η παροχή των χερσαίων αναβλύσεων είναι της τάξεως του $1\text{-}2\text{m}^3/\text{sec}$, ενώ η παροχή των υποθαλάσσιων πηγών εκτιμήθηκε σε $0,5\text{-}1\text{m}^3/\text{sec}$.

(γ) Η σύσταση των προσχωματικών αποθέσεων στην ευρεία περιοχή αναβλύσεως των πηγών είναι αργιλική μέχρι άργιλοαμμώδης στα ανώτερα στρώματα και άργιλοαμμώδης με κροκαλοπαγή στα κατώτερα.

(δ) Κατά την εκτέλεση των ερευνητικών γεωτρήσεων στην περιοχή των πηγών παρατηρήθηκε αφενός μεν αρτεσιανισμός μετά την διάτρηση του αργιλικού καλύμματος (βάθος 20m), αφετέρου δε βωκλούζιος τύπος ροής κατά μήκος του άξονα εμφάνισης των παράκτιων και υποθαλάσσιων πηγών (Εικ.Β-6).



Εικόνα Β-6: Βωκλυζιανή πηγή (Σούλιος, Γ. (1985))

(ε) Από τις εκτελεσθείσες γεωτρήσεις μεγάλου βάθους, τόσο στην περιοχή των πηγών όσο και νότια αυτών μέχρι τα κράσπεδα της λεκάνης, προέκυψε ότι κάτω από τις νεώτερες αποθέσεις και σε βάθος από 20-40m, αναπτύσσονται, στρώματα του μεταμορφωμένου συστήματος, δηλαδή σχιστολίθων και μαρμάρων, ισχυρά τεκτονισμένων, ενώ κάτω από αυτά βρίσκονται τα μεσοζωϊκά άνθρακικά πετρώματα (μαύροι ασβεστόλιθοι) της σειράς της Πάρνηθας σε απόλυτο υψόμετρο -140m, κατά μέσο όρο. Ειδικότερα στην περιοχή των πηγών παρατηρήθηκε αυτόματη ροή νερού 300 περίπου m^3/h , όταν η γεώτρηση διάτρησε τον μεσοζωϊκό ασβεστόλιθο.

(στ) Οι μεσοζωϊκοί ασβεστόλιθοι της Πάρνηθας διατρήθηκαν σε θετικά υψόμετρα στην ευρύτερη περιοχή των πηγών (περιοχή Μαυροσουβάλας) και όλες οι ενδείξεις έδειξαν πως ο πλούσιος καρστικός υδροφόρος ορίζοντας έχει σχέση με τις πηγές των Αγ. Αποστόλων.

Σύμφωνα λοιπόν με την μελέτη του ΙΓΜΕ (ΙΓΜΕ (Δούνας, Α., Καλλέργης, Γ., Μόρφης, Α., Παγούνης, Μ., 1980) **οι πηγές Αγίων Αποστόλων Καλάμου δεν αποτελούν σημεία εκφορτίσεως προσχωματικών υδροφόρων οριζόντων άλλα συνδέονται με τους**

καρστικούς ορίζοντες των μεσοζωϊκών ασβεστολίθων της Πάρνηθας. Τα καρστικά νερά στο τελευταίο τμήμα της διαδρομής τους πριν από την εκφόρτιση τους διέρχονται αρχικά μέσα από ρήγμα το οποίο τέμνει τους σχιστολίθους και τα μάρμαρα και ακολούθως αναβλύζει μέσα από πόρους των προσχώσεων. Αυτό προέκυψε από τα εξής στοιχεία:

- μία τόσο μεγάλη παροχή, όσο των πηγών Αγίων Αποστόλων Καλάμου, δεν είναι δυνατόν να συνδέεται με τον τόσο ασήμαντο προσχωματικό ορίζοντα της περιοχής (χαμηλός συντελεστής υδροπερατότητας των προσχώσεων, μικρό πάχος και περιορισμένη ανάπτυξη τους).
- η ύπαρξη και υποθαλάσσιων πηγών, προφανώς ίδιας γενέσεως με τις παράκτιες πηγές, αποκλείει την τροφοδοσία των πηγών από τον προσχωματικό ορίζοντα.
- ο αρτεσιανισμός στο χώρο των πηγών, με μεγίστη πίεση μεγαλύτερη από τα 6m στήλης νερού, καθώς και η μορφή των ισοπιεζομετρικών καμπυλών της ίδιας περιοχής, προϋποθέτουν ότι οι πηγές τροφοδοτούνται από αγωγούς τελείως η ατελώς κλειστούς μέσα στους οποίους το νερό βρίσκεται κάτω από υδραυλικό φορτίο μεγαλύτερο από αυτό του υδροφόρου ορίζοντα των προσχώσεων.
- από τη μορφή του πιεζομετρικού χάρτη διαπιστώνεται ροή βωκλούζιου τύπου, δηλαδή ανερχόμενη κατά την κατακόρυφο, κατά μήκος ενός άξονα που υλοποιείται από τις παράκτιες και υποθαλάσσιες πηγαίες αναβλύσεις.
- όταν διατρήθηκαν οι μεσοζωϊκοί ασβεστόλιθοι της Πάρνηθας στην περιοχή των πηγών, αυξήθηκε αυτόματα και η παροχή και το φορτίο της γεωτρήσεως.
- η ύπαρξη και υποθαλάσσιων πηγών, προφανώς ίδιας γενέσεως με τις παράκτιες πηγές, αποκλείει την τροφοδοσία των πηγών από τον προσχωματικό ορίζοντα.

Συγκεντρωτικά η έρευνα της περιοχής των υφάλμυρων καρστικών πηγών Αγίων Αποστόλων του ΙΓΜΕ (1980), που έγινε σχετικά με την ερμηνεία του τρόπου γενέσεως και λειτουργίας των πηγών, κατέληξε στα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Οι πηγές παρουσιάζουν μία φυσιολογική διακύμανση στην παροχή τους κατά την διάρκεια του έτους, αλλά το μέγιστο και το ελάχιστο της παροχής μεταβάλλεται ευρέως, ανάλογα με το ύψος των βροχοπτώσεων στην λεκάνη τροφοδοσίας.
- Οι αντλήσεις των γεωτρήσεων επέδρασαν κατά τον πρώτο χρόνο αντλήσεως στην συμπεριφορά των πηγών λόγω διαταράξεως της αρχικής ισορροπίας μεταξύ γλυκού και θαλάσσιου νερού.
- Με τις πηγές εκτός από τις γεωτρήσεις του Αγ. Γεωργίου, συνδέονται, και οι γεωτρήσεις της Μαυροσουβάλας, με την διαφορά ότι λόγω τεκτονικών αιτιών κυρίως η ποιοτική σύσταση του νερού των τελευταίων είναι πολύ καλή.
- Στην ανάμιξη θαλασσινού νερού με το γλυκό σημαντικό ρόλο παίζουν τα φαινόμενα διαχύσεως.

Στην συνέχεια αναφέρονται ορισμένα στοιχεία που προέκυψαν από την διεξαχθείσα τηλεσκοπική, γεωφυσική και γεωτρητική έρευνα σχετικά με το καρστικό υδροφόρο σύστημα της ΒΑ Πάρνηθας.

Η τηλεσκοπική έρευνα

Στην περιοχή έγινε χρήση μεθόδων τηλεπισκόπησης (Μόρφης, 1995) με στόχο την αποτύπωση της καθολικής ρηξιγενούς τεκτονικής της ευρύτερης περιοχής και την σύγκριση των αποτελεσμάτων με τα ρηξιγενή συστήματα, όπως αυτά είναι γνωστά από άλλες χαρτογραφήσεις στην περιοχή.

Η βάση της τηλεπισκοπικής έρευνας στηρίζεται στο ότι οι ζώνες διακλάσεων και ρηγμάτων διακρίνονται και στις δορυφορικές εικόνες σαν φωτογραμμώσεις και μπορούν να χαρτογραφηθούν σαν στοιχεία τεκτονικής προέλευσης.

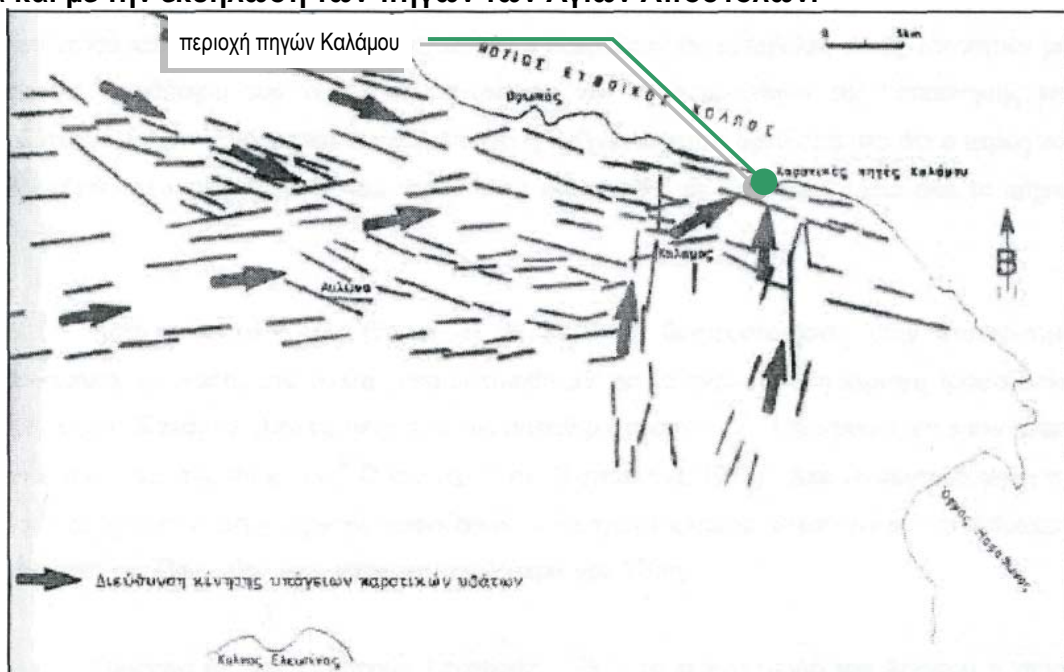
Για την συγκεκριμένη έρευνα (Μόρφης 1995) χρησιμοποιήθηκαν φωτογραφικές μεγεθύνσεις δορυφορικών εικόνων LANDSAT TM σε κλίμακα 1:500.000 και 1:200.000.

Από τα αποτελέσματα της έρευνας (Μόρφης 1995) μεταξύ άλλων προέκυψαν τα εξής συμπεράσματα:

- Από την χρήση δορυφορικών εικόνων κλ.1:200.000, αναγνωρίστηκαν στοιχεία τεκτονικών δομών που είναι συγκρίσιμα με τεκτονικές δομές που αφορούν την ίδια περιοχή και υπάρχουν στον χάρτη νεοτεκτονικών ασυνεχειών.
- Από την χρήση δορυφορικών εικόνων LANDSAT TM σε κλίμακα 1:500.000 αναγνωρίστηκαν τεκτονικές δομές ανάλογες με εκείνες του σεισμοτεκτονικού χάρτη Ελλάδος κλίμακας 1:500.000 (ΙΓΜΕ, 1988).
- Από την εξέταση και σύγκριση των στοιχείων διαπιστώνεται σαφώς η τάση οι περισσότερες από τις φωτογραμμώσεις να διατάσσονται σε ζώνες οι οποίες διασχίζουν με σταθερές διευθύνσεις τις επιμέρους λιθολογικές μονάδες της περιοχής.

Σύμφωνα με τον Μόρφη, 1995 για την περιοχή της Πάρνηθας, «η κίνηση των υπογείων υδάτων, κύρια εντός των ανθρακικών μελών του προνεογενούς υποβάθρου, διευκολύνεται πρωτίστως από το επικρατούν σύστημα ρηγμάτων διεύθυνσης Α-Δ και Β-Ν, δευτερεύοντος δε από τα συστήματα ΒΑ-ΝΔ και ΒΔ-ΝΑ διεύθυνσης σε συνδυασμό με τις υπάρχουσες λιθοστρωματογραφικές συνθήκες κατά περίπτωση.

Κατά τον ίδιο ερευνητή οι διασταυρώσεις του συστήματος ρηγμάτων διεύθυνσης Β-Ν και Α-Δ συνδέονται με πολύ καλές υδροληπτικές δυνατότητες καρστικών νερών, αλλά και με την εκδήλωση των πηγών των Αγίων Αποστόλων.



Εικόνα Β-7: Κίνηση υπόγειων καρστικών υδάτων πηγών Αγίων Αποστόλων.Ι (Μόρφης, 1995)

Ισοτοπική έρευνα

Στην ευρύτερη περιοχή έρευνας εκτελέσθηκε ένα εκτεταμένο πρόγραμμα ισοτοπικών αναλύσεων στα μετεωρικά, επιφανειακά, υπόγεια και πηγαία ύδατα της περιοχής (Λεοντιάδης, 1980). Στόχος του προγράμματος ήταν ο εντοπισμός της περιοχής προέλευσης

του νερών των καρστικών παράκτιων και υποθαλάσσιων πηγών των Αγίων Αποστόλων Καλάμου, η οριοθέτηση της λεκάνης τροφοδοσίας τους και η εξακρίβωση του μηχανισμού λειτουργίας των πηγών.

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε, αφορούσε την μέτρηση των σταθερών φυσικών ισοτόπων του περιβάλλοντος Δευτερίου (D) και ^{18}O και του ραδιενεργού Τριτίου (T) τα οποία συμμετέχουν στην δομή των μορίων του νερού.

Σύμφωνα με την βιβλιογραφία, οι παρατηρούμενες μεταβολές στην ισοτοπική σύσταση του νερού και η ανίχνευση των στοιχείων που εκφράζουν τις μεταβολές αυτές, συνιστούν μια φυσική ιχνηθέτηση του νερού και επιτρέπουν την παρακολούθηση της μετακίνησης των υδάτινων μαζών. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι η ανίχνευση αυτή οφείλεται στο ότι ο ατμός που προκύπτει από την εξάτμιση του νερού είναι πτωχότερος σε βαρύτερα μόρια από το αρχικό νερό.

Κατά τους ερευνητές (Payne et al, 1978), οι διαφοροποιήσεις στην σταθερότητα ισοτοπικής σύστασης στα ύδατα χρησιμοποιήθηκαν για να εντοπισθεί η περιοχή τροφοδοσίας των πηγών Αγίων Αποστόλων Καλάμου. Από τις μετρήσεις διαπιστώθηκε συσχετισμός του υπομέτρου εμφανίσεως μιας πηγής και της τιμής του ^{18}O του νερού της (Payne et al, 1978).

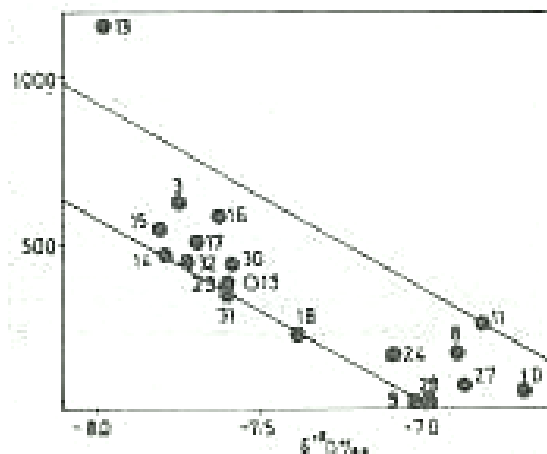
Σύμφωνα με τους (Kallergis and Leontiadis, 1983), το πεδινό τμήμα του Ασωπού ποταμού τροφοδοτείται πρωτίστως από τα τοπικά ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα, ενώ οι καρστικές πηγές Αγίων Αποστόλων Καλάμου τροφοδοτούνται από το σύστημα της Πάρνηθας, με το μέσο υψόμετρο της περιοχής τροφοδοσίας να εκτιμάται στα 870m σε έκταση 150Km².

Από την μέτρηση της περιεκτικότητας των μέσων τιμών Τριτίου στα σημεία δειγματοληψίας, υπολογίσθηκαν οι αντίστοιχες μέσες τιμές των υπόγειων νερών.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των μετρήσεων, η μέση ηλικία των καρστικών νερών του συστήματος της Πάρνηθας κυμαίνεται από 35 έτη στην περιοχή Αυλώνας, έως 61 έτη στην περιοχή των πηγών Καλάμου, με ενδιάμεση μέση τιμή 50 έτη στην περιοχή της Μαυροσουβάλας και αντιστοιχούν σε μέσες ταχύτητες υπογείας ροής (μέση απόσταση 700 μέτρων το χρόνο).

Υπόγεια νερά του καρστικού συστήματος εντοπίζονται και κατά τον άξονα Αυλώνα-Οινόφυτα με μέσες ηλικίες μεγαλύτερες των 100 ετών (πρακτικώς στάσιμα).

Όπως αναφέρεται (ΙΓΜΕ, 1980), η μέση ετήσια παροχή των πηγών είναι 2m³/sec. Ο υπόγειος καρστικός ταμειευτήρας, εκτείνεται από τους πρόποδες της Πάρνηθας με διεύθυνση προς Βορρά προς την περιοχή των Οινόφυτων, δυτικά προς τον Άγιο Θωμά και ανατολικά προς την περιοχή Μαλακάσας - Μαυροσουβάλας – Καλάμου, με συνολική χωρητικότητα περίπου 4x10⁹m³ νερού, δηλαδή 40 περίπου φορές από την μέση ετήσια τροφοδοσία (κατείσδυση) στην ορεινή Πάρνηθα.



Εικόνα Β-8: Καμπύλη υπομέτρου εμφανίσεως μιας πηγής και της τιμής του ^{18}O του νερού της. (ΙΓΜΕ, 1980)

Από τα αποτελέσματα, της ισοτοπικής έρευνας προέκυψε ότι η περιοχή τροφοδοσίας των πηγών Καλάμου, τοποθετείται στο ανθρακικό σύστημα της Πάρνηθας, σε υψόμετρα μεγαλύτερα των 570m (Εικ. Β-8), ενώ η μέση ηλικία των καρστικών νερών του συστήματος της Πάρνηθας φθάνει τα 61 έτη στην περιοχή των πηγών Αγίων Αποστόλων.

Η γεωφυσική έρευνα

Η γεωφυσική έρευνα (Παπανικολάου, 1976) αποσκοπούσε να δώσει πληροφορίες σχετικά με την στρωματογραφία, την μορφολογία και την τεκτονική της περιοχής.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της γεωφυσικής έρευνας, διαπιστώθηκε η ύπαρξη ενεργού καρστικού δικτύου σε αρνητικά υψόμετρα της τάξης των -20 έως -30m για το μεγαλύτερο τμήμα του καρστικού υδροφόρου (πεδινή και λοφώδης περιοχή Αγ. Θωμά, Αυλώνα, Μαλακάσα) και -150m για την περιοχή ανάβλυσης των παράκτιων καρστικών πηγών των Αγίων Αποστόλων.

Για την περιοχή της Μαλακάσας (βόρεια του στρατοπέδου), διαπιστώθηκε η ύπαρξη ενεργού καρστικού δικτύου σε βάθος -80m.

Για την στενή περιοχή Μαυροσουβάλας-Μαλακάσας επιβεβαιώθηκε η εφίππευση του νεοπαλαιοζωϊκού σχιστοψαμμιτικού υποβάθρου της Πάρνηθας επί της μεσοζωικής ανθρακικής σειράς.

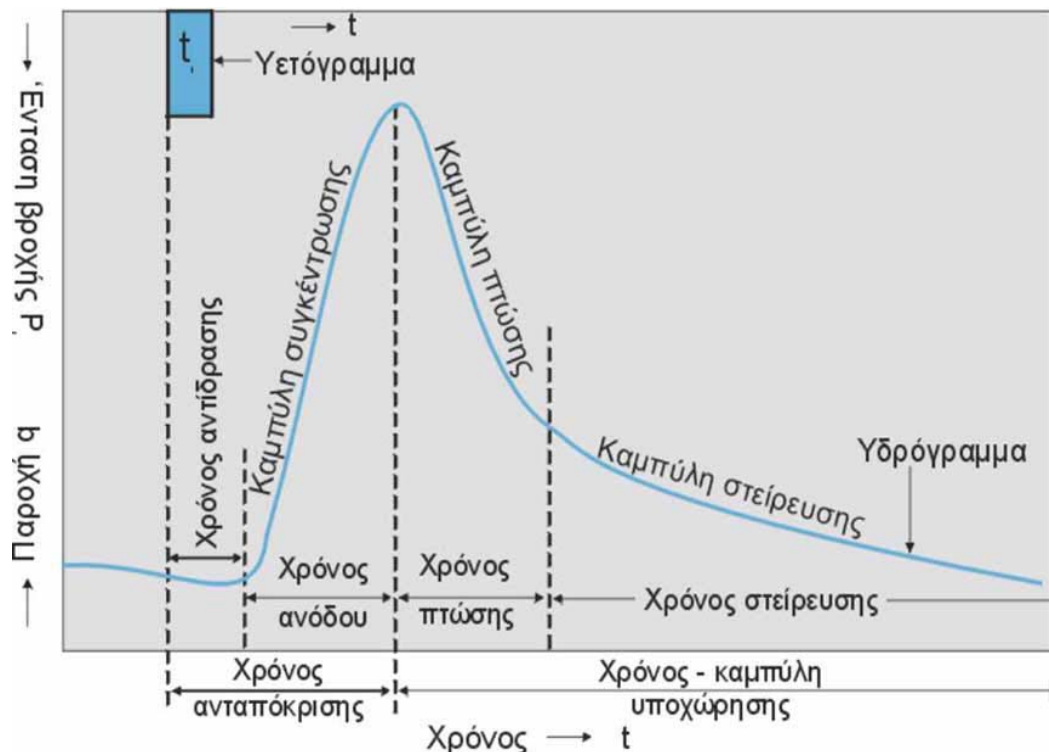
B.6 ΥΔΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ

B.6.1 ΥΔΡΟΓΡΑΜΜΑ ΠΑΡΟΧΗΣ ΠΗΓΗΣ

Η περιοχή τροφοδοσίας και η γεωμετρία του καρστικού υδροφόρου είναι παράγοντες που αλλάζουν στον χρόνο και στον χώρο και εξαρτώνται από τις υδρολογικές συνθήκες. Αυτές οι αλλαγές συμβαίνουν σχεδόν διαρκώς σε περιόδους ισχυρών βροχοπτώσεων. Η έλλειψη γνώσεων για αυτούς τους παράγοντες απαιτούν την προσέγγιση των αποθεμάτων με άλλο τρόπο. Ένα καρστικό υδροφόρο σύστημα συχνά εκφορτίζει την συγκεντρωμένη του ροή σε μια μεγάλη πηγή. Αυτό το χαρακτηριστικό κάνει εφικτό τον υπολογισμό των αποθεμάτων από την ανάλυση του υδρογράμματος παροχής της πηγής.

Υδρόγραμμα μιας πηγής είναι η γραφική απεικόνιση της μεταβολής της παροχής, σε συνάρτηση με το χρόνο. Είναι το διάγραμμα που παριστά τη συνάρτηση $q(t)$, ή αλλιώς ένα διάγραμμα ($q-t$). Είναι δηλαδή η γραφική παράσταση της συνάρτησης $q(t)$ και ουσιαστικά πρόκειται για μια καμπύλη, που δείχνει την διακύμανση της παροχής μίας πηγής.

Αν υποτεθεί ότι, σε ολόκληρη την περιοχή τροφοδοσίας μιας πηγής, οι βροχοπτώσεις είναι ενιαίες και ομοιόμορφες, με σταθερή μοναδιαία ένταση P_i και για μοναδιαίο και ενιαίο χρόνο t_i , τότε το υδρόγραμμα, που θα προκύψει από την απεικόνιση αυτή, ονομάζεται μοναδιαίο υδρόγραμμα (Εικ. B-9).



Εικόνα B-9: Μοναδιαίο υδρόγραμμα και τα επιμέρους στοιχεία του (ΣΟΥΛΙΟΣ, 1985).

Σε αυτό διακρίνονται τρία βασικά τμήματα, αυτά που διακρίνονται και σε ένα διάγραμμα εξομαλύνσεως, που προκύπτει από την επεξεργασία των ημερησίων καταγραφών και που είναι (Στουρνάρας Γ. (2007):

- Η καμπύλη αύξησης ή συγκεντρώσεως, που αντιπροσωπεύει το χρονικό διάστημα, μέσα στο υδρολογικό έτος, στο οποίο οι παροχές αυξάνουν γενικά, ανεξαρτήτως από επί μέρους προσωρινές μειώσεις.
- Η καμπύλη μείωσης, που αντιπροσωπεύει το αντίστοιχο διάστημα μείωσης των παροχών, ανεξαρτήτως από επί μέρους προσωρινές αυξήσεις.

- Η καμπύλη στειρεύσεως ή εξαντλήσεως, που αρχίζει από το τέλος της προηγούμενης και τελειώνει στην αρχή της επόμενης καμπύλης αυξήσεως. Ανταποκρίνεται δηλαδή στο τμήμα εκείνο του υδρογράμματος κατά το οποίο η παροχή μειώνεται με βραδύ ρυθμό, συνεχώς επιβραδυνόμενο. Γίνεται δεκτό ότι, στο διάστημα αυτό, η παροχή της πηγής δεν επηρεάζεται από νέες αφίξεις νερού. Το νερό που έχει κατεισδύσει, έχει πλήρως ενσωματωθεί στον υδροφόρο ορίζοντα, ο οποίος, ρυθμισμένος πλέον, εκφορτίζεται από την πηγή με αντίστοιχη μείωση του υδραυλικού του φορτίου, καθοριζόμενος αποκλειστικώς από την γεωλογική και υδρογεωλογική δομή στη λεκάνη της πηγής και τις υδραυλικές συνθήκες στη ζώνη εκφορτίσεως. Η έναρξη της στειρεύσεως, για κάθε πηγή, μεταβάλλεται κάθε υδρολογικό έτος, αναλόγως με το καθεστώς των κατακρημνισμάτων που έχουν προηγηθεί, το ίδιο και η λήξη της, που σημαδεύεται από την άφιξη νέων ποσοτήτων νερού στον υδροφόρο ορίζοντα, με την έναρξη των κατακρημνισμάτων του νέου υδρολογικού έτους.

Η καμπύλη πτώσης μαζί με την καμπύλη στειρεύσεως αποτελούν την καμπύλη υποχώρησης του υδρογράμματος.

Στο υδρόγραμμα, ακόμα, διακρίνονται και οι εξής χαρακτηριστικοί χρόνοι:

- Ο χρόνος ανταποκρίσεως, που είναι το χρονικό διάστημα που μεσολαβεί από το "μέσο" ή "κέντρο βάρους" της βροχοπτώσεως μέχρι τη στιγμή της εμφανίσεως της μέγιστης παροχής εκφορτίσεως.
- Ο χρόνος ανόδου, που αντιπροσωπεύει τη χρονική διάρκεια της καμπύλης αυξήσεως.
- Ο χρόνος καθόδου, που αντιστοιχεί στο χρονικό διάστημα της καμπύλης μειώσεως.
- Ο χρόνος βάσης, που είναι το άθροισμα των δύο προηγούμενων χρόνων.

Τα χαρακτηριστικά αυτά του υδρογράμματος μιας πηγής είναι αποτέλεσμα της γεωλογίας, γεωμετρίας, υδρογεωλογίας και υδραυλικών συνθηκών και παραμέτρων μέσα στο υδροφόρο σύστημα. Επειδή οι βροχοπτώσεις δεν έχουν σταθερή, αλλά μεταβαλλόμενη ένταση, ούτε και κατανέμονται με ομοιόμορφο τρόπο στη λεκάνη τροφοδοσίας της πηγής, το υδρόγραμμα που προκύπτει, συνήθως, είναι ένα σύνθετο υδρόγραμμα, από τις μεταβολές που υφίσταται το θεωρητικό μοναδιαίο υδρόγραμμα.

Εκτός από τα ποιοτικά και ποσοτικά συμπεράσματα, που προκύπτουν από την παρατήρηση και ανάλυση ενός υδρογράμματος, σε συνδυασμό με την αντίστοιχη μελέτη του υετογράμματος, σχετικώς με την υδρογεωλογική συμπεριφορά των σχηματισμών και τα χαρακτηριστικά του υδρολογικού ισοζυγίου της περιοχής, και άλλα χρήσιμα στοιχεία και αποτελέσματα μπορούν να προκύψουν με τις κατάλληλες επεξεργασίες. Αυτά είναι:

- Ο **τελεστής μετασχηματισμού**, ή ακόμα η συνάρτηση μετασχηματισμού, που συνδέει την είσοδο στον υδροφορέα και την έξοδο από την πηγή. Η είσοδος καθορίζεται από τα χαρακτηριστικά των κατακρημνισμάτων, αλλά και των άλλων κλιματικών παραμέτρων, μέσα στα πλαίσια της συνθέσεως του υδρολογικού ισοζυγίου μιας περιοχής. Καθορίζεται, ακόμα, από την υδρογεωλογική και υδραυλική συμπεριφορά, τόσο του υδροφορέα, όσο, σε κάποιο βαθμό, και των άλλων γεωλογικών σχηματισμών, με τους οποίους αυτός έρχεται σε επαφή, κυρίως υδραυλική.
- Η **πρόγνωση παροχής** και ο **υπολογισμός αποθεμάτων**. Αφορά στην πρόγνωση των παροχών στη διάρκεια της καμπύλης μειώσεως και ιδιαιτέρως, στη διάρκεια της καμπύλης στειρεύσεως. Τα στοιχεία αυτά είναι άγνωστα στην αρχή της ξηράς περιόδου, οπότε έχει και μεγαλύτερη αξία και σημασία η πρόγνωση αυτή. Μέσα στο ίδιο πλαίσιο μπορούν να προκύψουν πληροφορίες για την εσωτερική δομή και λειτουργία του υδροφόρου συστήματος, ιδιαιτέρως αν αυτό είναι καρστικό.

Από το υδρόγραμμα των πηγών, το πιο ενδιαφέρον τμήμα είναι η καμπύλη υποχώρησης, ειδικώς θεωρώντας το χρόνο ανταποκρίσεως ή την ίδια τη διάρκεια της υποχώρησης. Στη

διάρκεια αυτή διατυπώνονται τα στοιχεία λειτουργίας του συστήματος, προσδιορίζονται οι ελάχιστες παροχές και τα προς εκφόρτιση αποθέματα. Στο διάστημα π.χ. της στειρεύσεως, θεωρείται ότι ο υδροφόρος ορίζοντας λειτουργεί χωρίς εξωτερικές τροφοδοσίες, χωρίς εξωτερικές επιδράσεις, εκφράζοντας αποκλειστικώς τα γεωλογικά, υδρογεωλογικά και υδραυλικά χαρακτηριστικά του.

Έτσι, η πλειοψηφία των ερευνητών ασχολείται με το τμήμα αυτό του υδρογράμματος, με διάφορες προτάσεις, που αφορούν ολόκληρη την καμπύλη υποχωρήσεως ή αποκλειστικώς την καμπύλη στειρεύσεως, που εμφανίζουν μία λιγότερο ή περισσότερο γενική εφαρμογή και που έχουν την αφετηρία τους σε διαφορετικά πρότυπα.

Μέσα στα πλαίσια αυτά, διατυπώθηκαν προτάσεις στηριζόμενες σε νοητικά πρότυπα (Maillet 1905, Tison 1960, κ.λ.π.), σε εμπειρικές προασπίσεις (Forkasiewicz, Paloc, 1967, κ.λ.π.), στην υδροδυναμική, που αφορά τα υδροφόρα στρώματα και τις οριακές συνθήκες (Berkaloff 1967, κ.λ.π.).

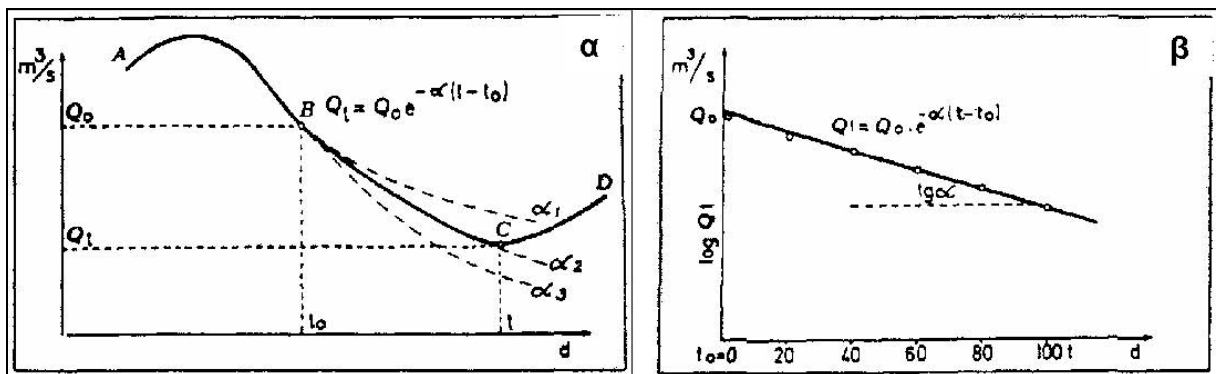
Η καμπύλη στειρεύσεως

Καμπύλη στειρεύσεως ονομάζεται το τελευταίο τμήμα του καθοδικού κλάδου του υδρογράμματος μιας πηγής. Στο τμήμα αυτό, η καμπύλη μειώνει κατά πολύ την κλίση της και τείνει ασυμπτωτικώς να οριζοντιωθεί, δηλαδή να σταθεροποιηθεί η παροχή με την πάροδο του χρόνου. Γίνεται δεκτό ότι, στο διάστημα αυτό, η παροχή της πηγής δεν επηρεάζεται από νέες αφίξεις νερού. Το νερό που έχει κατεισδύσει, έχει πλήρως ενσωματωθεί στον υδροφόρο ορίζοντα, ο οποίος, ρυθμισμένος πλέον, εκφορτίζεται από την πηγή με αντίστοιχη μείωση του υδραυλικού του φορτίου.

Η έναρξη της στειρεύσεως, για κάθε πηγή, μεταβάλλεται κάθε υδρολογικό έτος, αναλόγως με το καθεστώς των κατακρημνισμάτων που έχουν προηγηθεί, το ίδιο και η λήξη της, που σημαδεύεται από την άφιξη νέων ποσοτήτων νερού στον υδροφόρο ορίζοντα, με την έναρξη των κατακρημνισμάτων του νέου υδρολογικού έτους.

Αντιλαμβάνεται κανείς, ότι η μορφή της καμπύλης στειρεύσεως και η θέση της στο διάγραμμα παροχής - χρόνου εξαρτώνται από τα χαρακτηριστικά του υδροφορέα, τα χαρακτηριστικά της ροής και το καθεστώς των προηγηθέντων κατακρημνισμάτων. Οι βασικές εξισώσεις, που έχουν προταθεί και ισχύουν, κυρίως για το τμήμα στειρεύσεως της καμπύλης υποχωρήσεως, βασίζονται στις κλασικές εργασίες του Boussinesq (1877), όπου διατυπώνεται η αρχή: "κατά τη διάρκεια της στειρεύσεως, όταν η πηγή λειτουργεί χωρίς επηρεασμό από νέες εξωτερικές αφίξεις και τροφοδοσίες, **η μεταβολή της παροχής συνδέεται με εκθετική συνάρτηση με το χρόνο $dq = e^{f(t)}$** ".

Σε αριθμητική κλίμακα η καμπύλη στειρεύσεως ή υποχώρησης του υδρογράμματος έχει σχήμα φθίνουσας καμπύλης. Η ίδια καμπύλη σε ημιλογαριθμική κλίμακα είναι μια ευθεία γραμμή (Εικ. Β-10).



Εικόνα Β-10: α) Η εξίσωση στειρεύσεως σε δεκαδική κλίμακα έχει μορφή φθίνουσας καμπύλης ενώ β) σε ημιλογαριθμικό χαρτί έχει μορφή ευθείας γραμμής (MILANOVIC, 1981).

Η έναρξη της καμπύλης στειρεύσεως σημειώνεται στον χρόνο t_0 , που αντιστοιχεί σε μία παροχή Q_0 . Η καμπύλη, επίσης, χαρακτηρίζεται από το **συντελεστή στειρεύσεως**, που συμβολίζεται με το Ελληνικό γράμμα (α). Ο **συντελεστής (α)**, δεν αντιπροσωπεύει την κλίση της καμπύλης στειρεύσεως, εξαρτάται, όμως, η αριθμητική του τιμή από αυτή. Σε μία υδρογεωλογική λεκάνη, καλά διακεκριμένη, όπου τα υδροφόρα στρώματα τροφοδοτούνται από τα κατακρημνίσματα, χωρίς απώλειες προς γειτονικές λεκάνες και χωρίς πρόσθετες εξωτερικές τροφοδοσίες, ο συντελεστής στειρεύσεως είναι συνάρτηση των εξής παραγόντων:

- Του **ποσοστού της ενεργού κατείσδυσεως**. Αν (I), είναι η ενεργός κατείσδυση στη μοναδιαία επιφάνεια και στο μοναδιαίο χρόνο, σε $m^3/m^2/s$ και H , το ενεργό πάχος του υδροφόρου στρώματος, σε m , τότε ισχύει; $\alpha = I/H$. Επομένως, ο συντελεστής στειρεύσεως είναι άμεση συνάρτηση της ενεργού κατείσδυσεως.
- Των **διαστάσεων του υδροφόρου στρώματος**. Ο συντελεστής στειρεύσεως, με σταθερή την ενεργό κατείσδυση I , κυμαίνεται αντιστρόφως αναλόγως προς το ενεργό πάχος του υδροφορέα, H , και του μήκους του, επομένως του όγκου των αποθεμάτων υπόγειου νερού. Η τιμή του συντελεστή είναι τόσο πιο μικρή, όσο μεγαλύτερος είναι ο όγκος του αποθηκευμένου υπόγειου νερού μέσα στον υδροφορέα και όσο μεγαλύτερες είναι οι διαστάσεις του τελευταίου. Για δύο υδροφόρα στρώματα, που εμφανίζουν την ίδια τιμή της Q_0 , η μικρή τιμή του (α) αντιστοιχεί σε πιο μεγάλο υδατικό απόθεμα, σε σχέση με μία μεγάλη τιμή του συντελεστή αυτού.
- Του **ενεργού πορώδους** ή του **συντελεστή εναποθηκεύσεως (S)** του υδροφορέα. Η τιμή του (α) είναι αντιστρόφως ανάλογη των παραπάνω υδραυλικών παραμέτρων.
- Της **περατότητας (K)**. Η τιμή του (α) είναι άμεση συνάρτηση της περατότητας του υδροφόρου στρώματος.

Επομένως, ο συντελεστής στειρεύσεως (α), είναι τόσο πιο μεγάλος (επομένως και η εκκένωση του υδροφορέα πιο γρήγορη), όσο ο όγκος του υδροφορέα είναι μικρότερος, η ενεργός κατείσδυση του μικρότερη και η περατότητα του μεγαλύτερη. Είναι τόσο πιο μικρός (επομένως και η εκκένωση του υδροφορέα πιο αργή), όσο ο όγκος του υδροφορέα είναι μεγαλύτερος, η ενεργός κατείσδυση του μεγαλύτερη και η περατότητα του μικρότερη.

Η περιβαλλοντική σημασία του συντελεστή στειρεύσεως είναι προφανής, όχι μόνο γιατί ρυθμίζει τη λειτουργία μιας πηγής, όσο και γιατί στην έννοια του παρεμβαίνουν βασικές παράμετροι του γεωλογικού και υδατικού περιβάλλοντος, όπως είναι η ενεργός κατείσδυση, οι διαστάσεις του υδροφορέα, το ενεργό πορώδες και οι υδραυλικές παράμετροι του.

B.6.2 ΥΔΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΩΝ ΠΑΡΟΧΩΝ ΠΗΓΩΝ ΑΓΙΩΝ ΑΠΟΣΤΟΛΩΝ

Οι πηγές των Αγίων Αποστόλων εντοπίζονται τόσο στην παράκτια επίπεδη προσχωματική ζώνη, όσο και μέσα στην θάλασσα, σε μικρή απόσταση από την ακτή (βάθος αναβλύσεως 18-20μ. κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας). Στην παράκτια ζώνη των Αγίων Αποστόλων εκφορτίζονται επτά πηγές που φέρουν την ονομασία Άγιοι Απόστολοι και έχουν αριθμηθεί με τους κωδικούς Α,Β,Γ,Δ,Ε,Ζ,Η.

Οι πηγές των Αγίων Αποστόλων είναι ανερχόμενου τύπου ροής, σε επαφή με μία ζώνη διάρρηξης που εμποδίζει την κίνηση προς τα ανατολικά. Η ζώνη αυτή είναι επωθημένη επί των ασβεστολίθων της Πάρνηθας στο χώρο κοντά στις πηγές ανάβλυσης (ΙΓΜΕ, 2009).

Για την αποτύπωση των υδρογραμμάτων των επτά παράκτιων υφάλμυρων πηγών Αγίων Αποστόλων (Α,Β,Γ,Δ,Ε,Ζ,Η) οι οποίες βρίσκονται πολύ κοντά η μία στην άλλη (η πηγή Β δεν είχε αξιολογηθεί παροχή και δεν καταγράφηκε), χρησιμοποιήθηκαν τα αποτελέσματα μετρήσεων παροχών (αθροιστικά) που έχουν πραγματοποιηθεί κατά την περίοδο Ιουνίου 2008 έως Μαΐου 2009 στα πλαίσια της Υδρογεωλογικής μελέτης παρακολούθησης των

υδατικών πόρων σε περιοχές γεωτρήσεων της ΕΥΔΑΠ, από το ΙΓΜΕ (Σύμβαση ΕΥΔΑΠ-ΙΓΜΕ, 2008) και παρουσιάζονται αθροιστικά στον κάτωθι πίνακα (B-1).

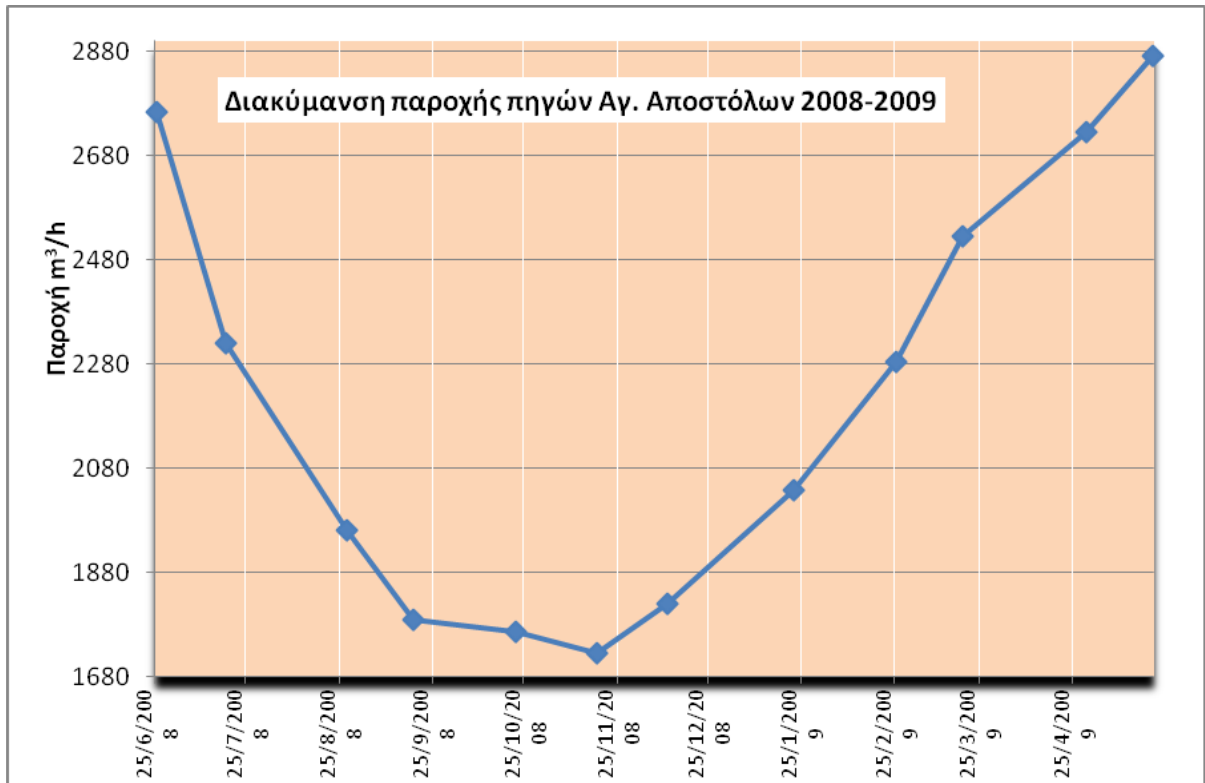
Πίνακας B-1: Αθροιστικές παροχές πηγών Αγίων Αποστόλων (Α,Β,Γ,Δ,Ε,Ζ,Η)

Ημερομηνία	t (ημέρες)	Παροχή Q (m ³ /sec)	Παροχή Q (m ³ /h)
25/6/2008	1	0,76778	2.764
18/7/2008	24	0,64417	2.319
27/8/2008	64	0,54472	1.961
18/9/2008	86	0,49722	1.790
22/10/2008	120	0,49056	1.766
18/11/2008	147	0,47889	1.724
11/12/2008	170	0,50556	1.820
22/1/2009	212	0,56583	2.037
25/2/2009	246	0,63444	2.284
19/3/2009	268	0,70111	2.524
29/4/2009	309	0,75667	2.724
21/5/2009	331	0,79750	2.871

Στις πηγές Άγιοι Απόστολοι πραγματοποιήθηκαν δώδεκα μηνιαίες μετρήσεις παροχής σε διάστημα 331 ημερών και συγκεκριμένα από τις 25/6/2008 έως τις 21/5/2009. Τα δεδομένα των μετρήσεων των παροχών με βάση τα οποία κατασκευάστηκε το υδρογράμμα (**Εικ. B-11**) των πηγών βρίσκονται στον **Πίνακα B-1** (με μπλε χρώμα σημειώνονται οι μετρήσεις της καμπύλης στείρευσης).

Οι μετρήσεις αυτές χρησιμοποιήθηκαν, αφενός μεν, για την κατασκευή του υδρογράμματος των αθροιστικών παροχών των πηγών (Α,Γ,Δ,Ε,Ζ,Η) των Αγίων Αποστόλων, αφετέρου δε για τη μαθηματική ανάλυση του δεύτερου τμήματος του καθοδικού του κλάδου (καμπύλη στείρευσης), ώστε να εξαχθούν συμπεράσματα για το μηχανισμό λειτουργίας των πηγών.

Τα υδρογράμματα των πηγών διακρίνονται, όπως έχει ήδη αναφερθεί σε τρία τμήματα (Σούλιος, 1985). Στον ανοδικό κλάδο της καμπύλης (καμπύλη συγκέντρωσης) και στα δύο τμήματα του καθοδικού κλάδου της καμπύλης, στην καμπύλη πτώσης και στην καμπύλη στείρευσης.



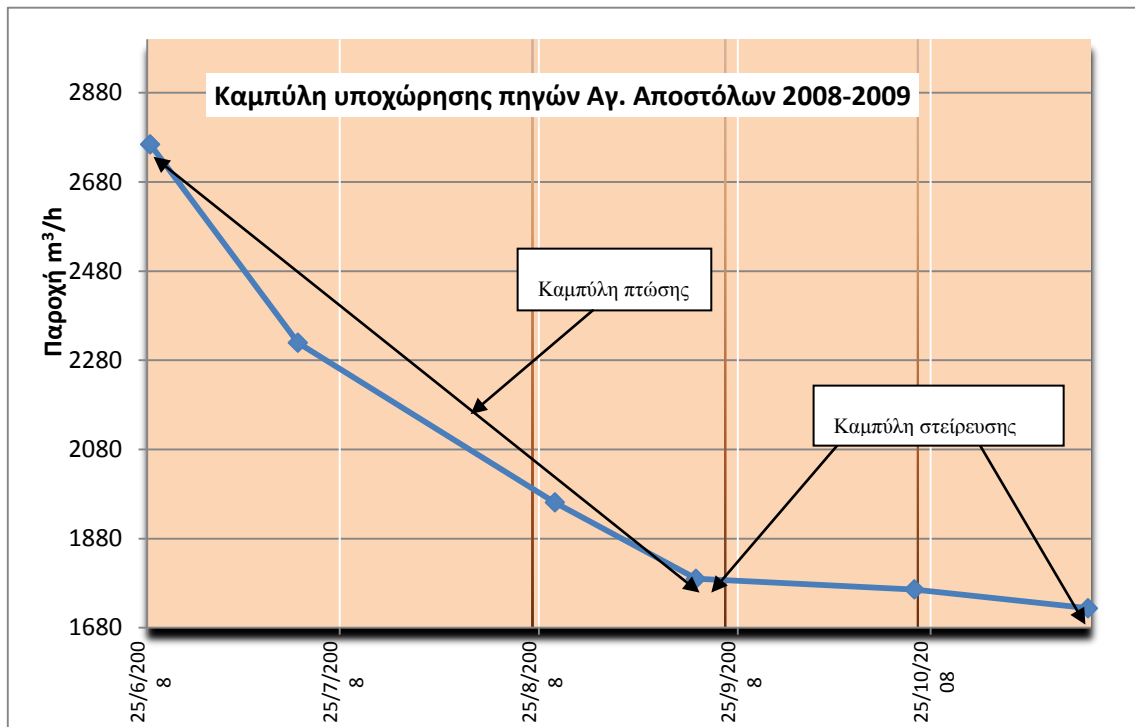
Εικόνα Β-11: Υδρογράμματα αθροιστικών παροχών πηγών Αγίων Αποστόλων κατά το χρονικό διάστημα Ιούνιος 2008 έως Μάιος 2009 (Ι.Γ.Μ.Ε., 2009).

Όπως έχει ήδη αναφερθεί από το υδρογράμματα των πηγών, το πιο ενδιαφέρον τμήμα είναι η καμπύλη υποχωρήσεως, ειδικά θεωρώντας το χρόνο ανταποκρίσεως ή την ίδια τη διάρκεια της υποχωρήσεως, διότι στη διάρκεια αυτή διατυπώνονται τα στοιχεία λειτουργίας του συστήματος, προσδιορίζονται οι ελάχιστες παροχές και τα προς εκφόρτιση αποθέματα.

Η καμπύλη πτώσης έχει μεγάλη κλίση και αποτελεί το τμήμα ταχείας εκφόρτισης, ενώ η καμπύλη στείρευσης έχει μικρή κλίση και αποτελεί το τμήμα αργής εκφόρτισης. Ουσιαστικά, η διάκριση της καμπύλης πτώσης από την καμπύλη στείρευσης βασίζεται στην μεταβολή της κλίσης του καθοδικού τμήματος του υδρογράμματος, με αυτή με την μεγαλύτερη κλίση να αντιστοιχεί στην ταχεία εκφόρτιση των υδροφόρων, ενώ αυτή με την μικρότερη κλίση αντιστοιχεί στην βασική ροή. Από την μορφή της καμπύλης πτώσεως προκύπτει πως η ακόρεστη ζώνη είναι πολύ μεγάλη σε σχέση με την κορεσμένη.

Έτσι μετά την σύνταξη του υδρογράμματος, ακολούθησε διάκριση του καθοδικού του κλάδου σε δύο τμήματα και μαθηματική ανάλυση στο δεύτερο από αυτά, το οποίο χαρακτηρίστηκε ως “Καμπύλη στείρευσης – Ξηράς Περιόδου”.

Το 1^ο τμήμα της καμπύλης υποχώρησης (Β-12) του υδρογράμματος (καμπύλη πτώσης) αποτυπώνει εκφόρτιση με ανώμαλη - πιθανότατα - μεταβολή του υδραυλικού φορτίου μέσα στο υδροφόρο μέσο, λόγω αφίξεως και εκφορτίσεως νερού που προέρχεται από την ακόρεστη ζώνη. Το τμήμα αυτό χαρακτηρίζεται και από αυξημένη κλίση, γεγονός που δεικνύει μεγάλο βαθμό ανάπτυξης καρστικών αγωγών (έντονη καρστικοποίηση) από έγκοιλα, ρωγμές, κλπ, μέσα στο οποίο γίνεται μία ταχεία κυκλοφορία των υπόγειων νερών προς την πηγή, λόγω και της έντονης διασύνδεσής τους. Πρόκειται δηλαδή για ζώνες με μεγάλη περατότητα (μεγάλοι καρστικοί αγωγοί), μεγάλης ταχύτητας κινήσεως νερού, αποτελώντας διαβιβαστικές ζώνες με μεγάλα Κ και Τ, αφού το νερό δεν μένει σ' αυτές για μεγάλο διάστημα.



Εικόνα Β-12: Καμπύλη υποχώρησης πηγών Αγίων Αποστόλων.

Το 2^ο τμήμα της καμπύλης αρχίζει με τη λήξη του 1ου, όταν έχουν σταματήσει πλέον οι αφίξεις νερού από την ακόρεστη ζώνη και αποτυπώνει εκφόρτιση νερού που προέρχεται μόνο από τη μόνιμη αποθήκευση του υδροφόρου μέσου. Το τμήμα αυτό χαρακτηρίστηκε ως τμήμα “στείρευσης” της καμπύλης και χαρακτηρίζει ροή “ομαλοποιημένη”. Αποτελούν ζώνες μικρότερης ταχύτητας κινήσεως νερού, που χαρακτηρίζονται σαν αποθεματικές (μικροί καρστικοί αγωγοί) με μικρά Κ και Τ.

Στο διάστημα της στείρευσεως, θεωρείται ότι ο υδροφόρος ορίζοντας λειτουργεί χωρίς εξωτερικές τροφοδοσίες, χωρίς εξωτερικές επιδράσεις, εκφράζοντας αποκλειστικώς τα γεωλογικά, υδρογεωλογικά και υδραυλικά χαρακτηριστικά του.

Ο συντελεστής στείρευσης (α) εξαρτάται από τους εξής παράγοντες:

- Την περατότητα του υδροφορέα (k), όσο μεγαλύτερη είναι αυτή τόσο μεγαλύτερος είναι ο (α),
- Τον συντελεστή εναποθήκευσης (S), (ή το ενεργό πορώδες), όσο μεγαλύτερος είναι αυτός τόσο μικρότερος είναι ο (α),
- Το μέγεθος του υδροφόρου στρώματος, όσο μεγαλύτερο είναι αυτό τόσο μικρότερος είναι ο (α).

Μεγάλες τιμές του συντελεστή στείρευσης (α) (10^{-1} έως 10^{-2}) σημαίνουν ότι το καρστικό σύστημα έχει αγωγούς και γενικά κενά μεγάλης διαμέτρου και ικανοποιητικής συνέχειας. Αντίθετα μικρές τιμές του (α) (της τάξης του 10^{-3}) σημαίνουν ότι το νερό ρέει διαμέσου των διακλάσεων και των ενδοστρωσιγενών κενών. Επίσης πολύ μικρές τιμές του (α) (της τάξης του 10^{-4}) αντιστοιχούν σε μεγάλα υδροφόρα στρώματα με μεγάλο συντελεστή εναποθήκευσης (Σούλιος, 1985).

Στις 25/6/2008 που πραγματοποιήθηκε η πρώτη μέτρηση, οι αθροιστικές παροχές του μετώπου των πηγών ήταν $2.764 \text{ m}^3/\text{h}$. Στις 18/7/2008 η παροχή ήταν $2.319 \text{ m}^3/\text{h}$, ενώ στις 18/9/2008 όπου ξεκίνησε η καμπύλη στείρευσης η παροχή ήταν $1.790 \text{ m}^3/\text{h}$, ενώ η ελάχιστη παροχή μετρήθηκε στις 18/11/2008 και ήταν $1.724 \text{ m}^3/\text{h}$.

Η επόμενη καμπύλη συγκέντρωσης άρχισε στις 11/12/2008 και η παροχή ήταν 1.820m³/h. Από το υδρογράμματα των αθροιστικών παροχών πηγών Αγίων Αποστόλων προκύπτει, πως η στείρευση αρχίζει (το υδρολογικό έτος 2008-9) στις 18/9/2008 που αλλάζει η κλίση της καμπύλης υποχώρησης ή λίγο νωρίτερα.

Αρχικά έγινε ανάλυση του υδρογράμματος με την προσέγγιση και τον τύπο του Maillet θεωρώντας, πως η εξίσωση στείρευσης αντιπροσωπεύει το τμήμα του υδρογράμματος μεταξύ των σημείων των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν στις 18/9/2008 και 18/11/2008 (Εικ. Β-13).

Ο Maillet (1905) για να περιγράψει το κατερχόμενο σκέλος (καμπύλη στειρεύσεως) του υδρογραφήματος χρησιμοποίησε την εκθετική συνάρτηση:

$Q_t = Q_0 \cdot e^{-\alpha t}$ ή $Q_t = Q_0 \cdot e^{-\alpha(t-t_0)}$, που είναι πλέον γνωστή ως **εξίσωση του Maillet**, όπου:

Q_t = η παροχή της πηγής τη χρονική στιγμή t μετά την έναρξη της στείρευσης, δηλαδή η παροχή Q μετά από χρονική περίοδο $t-t_0$ από τον χρόνο έναρξης της στείρευσης t_0 , σε m³/sec.

Q_0 = η παροχή της πηγής την χρονική στιγμή έναρξης της στείρευσης t_0 , σε m³/sec.

t_0 = η χρονική στιγμή που αντιστοιχεί στην έναρξη της στείρευσης t_0 .

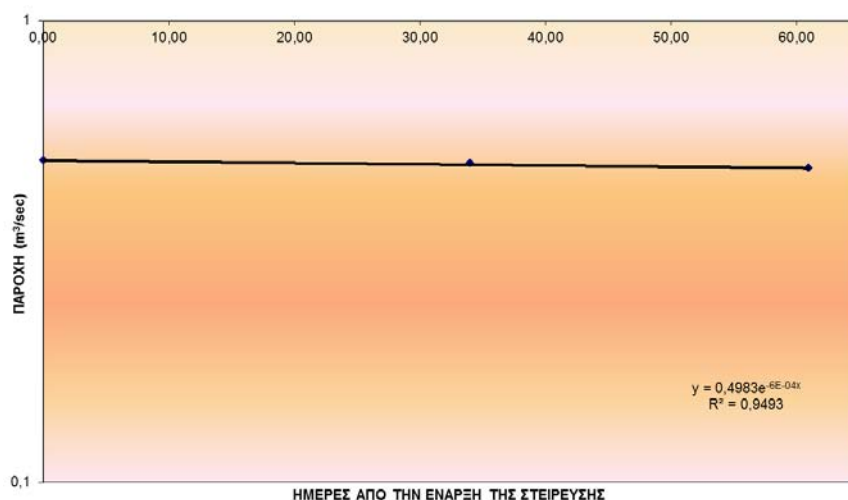
t = οποιαδήποτε χρονική στιγμή μετά την έναρξη της στείρευσης σε ημέρες και

$\alpha = 1/t' =$ συντελεστής στείρευσης (ή σταθερά εξάντλησης), όπου t' είναι ο χρόνος, σε ημέρες, που απαιτείται να για να μειωθεί η παροχή της πηγής κατά $1/e$ ($e =$ η βάση των νεπερίων λογαρίθμων (2,718) της αρχικής παροχής, δηλαδή κατά 0,368 αυτής. Επομένως ο συντελεστής στείρευσης έχει διαστάσεις T^{-1} και εκφράζεται σε ημέρες⁻¹.

Η γραφική παράσταση της εξίσωσης **του Maillet**, σε απλό αριθμητικό χαρτί, δίνει μια φθίνουσα καμπύλη γραμμή. Η ίδια γραφική παράσταση σε ημιλογαριθμικό χαρτί, (με τον $\log(Q_t)$ στον κατακόρυφο άξονα, δηλ. στον άξονα των τετμημένων), είναι ευθεία γραμμή.

Εξαιτίας αυτού του γεγονότος χρησιμοποιούμε την γραφική παράσταση Q_t vs t προκειμένου να επιλύσουμε γραφικά την εξίσωση **Maillet** και να υπολογίσουμε τον συντελεστή στείρευσης (α), δεδομένου ότι η εξίσωση αυτή έχει αποδειχθεί ότι εμφανίζει πολύ καλή αντιπροσωπευτικότητα σε όλους τους τύπους πηγών.

ΚΑΜΠΥΛΗ ΣΤΕΙΡΕΥΣΗΣ ΠΗΓΩΝ ΑΓΙΩΝ ΑΠΟΣΤΟΛΩΝ (2008-2009)



Εικόνα Β-13: Η εξίσωση στείρευσης σε διάγραμμα Q/t ημιλογαριθμικής κλίμακας.

Από τα παραπάνω διαγράμματα προκύπτει, πως η εξίσωση του **Maillet** είναι της μορφής:

$$Q_t = 0.4983 \cdot e^{-0.0006 t}$$

($R^2=0,9493$) και επομένως ο συντελεστής στείρευσης (α) ισούται με $6 \cdot 10^{-4}$ ημέρες⁻¹. Συνεπώς οι πολύ μικρές τιμές του (α) (της τάξης του 10^{-4}) των πηγών Αγίων Αποστόλων αντιστοιχούν σε μεγάλα υδροφόρα στρώματα με μεγάλο συντελεστή εναπόθήκευσης (ΣΟΥΛΙΟΣ, 1985).

Με τον συντελεστή στείρευσης και από το διάγραμμα στείρευσης μπορούμε να υπολογίσουμε τον όγκο του νερού που είναι αποθηκευμένος στο καρστικό σύστημα, ανάμεσα σε δύο τομές μέτρησης της παροχής, χρησιμοποιώντας την σχέση:

$$V_0 = 86.400 \cdot (Q_0 / \alpha)$$

Ο παραπάνω τύπος μας επιτρέπει τον υπολογισμό των διαθέσιμων αποθεμάτων κατά την έναρξη της στείρευσης, κατά την οποία η παροχή είναι q . Τα διαθέσιμα αποθέματα κατά την έναρξη της στείρευσης, ήταν **1.202.880m³** ή **1,2x10⁶ m³**.

Επίσης μας επιτρέπει να υπολογίσουμε τον όγκο νερού δw , που εκφορτίστηκε από μία πηγή κατά το χρονικό διάστημα από t_1 με παροχή q_1 , μέχρι t_2 με παροχή q_2 , δηλαδή:

$$\delta w = 86.400 \cdot (q_1 - q_2) / \alpha$$

Από την λύση αυτής της εξίσωσης προκύπτει, πως ο όγκος νερού που εκφόρτισαν οι πηγές των Αγίων Αποστόλων συνολικά ήταν της τάξης των **17.042.628m³**.

Στην συνέχεια έγινε ανάλυση του υδρογράμματος με την προσέγγιση και τον τύπο του **Tison**. Ο τύπος του **Tison** (1960) βασίζεται επίσης σε νοητικό πρότυπο, όπως και η εξίσωση του Maillet, σύμφωνα με τον οποίο η αποφόρτιση του υδροφορέα είναι γραμμική, που σημαίνει ότι ο υδροφορέας εκκενώνεται κατά μήκος μιας πλευράς του. Ο **Tison** θεωρεί ότι η εκφόρτιση του υδροφόρου δεν είναι σημειακή δεν γίνεται δηλαδή από ένα σημείο, την πηγή, αλλά γραμμική γίνεται δηλαδή κατά μήκος μιας πλευράς του υδροφορέα από μία πορώδη γραμμή, δηλαδή πρακτικά από πολλές αναβλύσεις κατά μήκος μιας γραμμής, όπως και στην περίπτωση των πηγών Αγίων Αποστόλων.

Η εξίσωση του **Tison** θεμελιώνεται εργαστηριακώς, από το ρυθμό εκκενώσεως ίδιου δοχείου με εκείνο του Maillet, τη φορά αυτή όμως, μέσω πορώδους τοιχώματος. Μετά τα παραπάνω, είναι αναμενόμενο, το αθροιστικό υδρόγραμμα περισσότερων της μιας πηγής, που εκφορτίζουν τον ίδιο υδροφορέα, να αντιπροσωπεύεται καλύτερα από την εξίσωση του Tison. Η εξίσωση του Tison υποδηλώνει ότι οι παροχές μειώνονται σε συνάρτηση με το χρόνο, σαν το αντίστροφο της τετραγωνικής τους ρίζας και ως εκ τούτου, ο Tison πρότεινε τον υπερβολικό τύπο:

$$Q_t = Q_0 / (1 + a \cdot t)^2$$

όπου,

Q_t : η παροχή του νερού μετά από χρόνο t ,

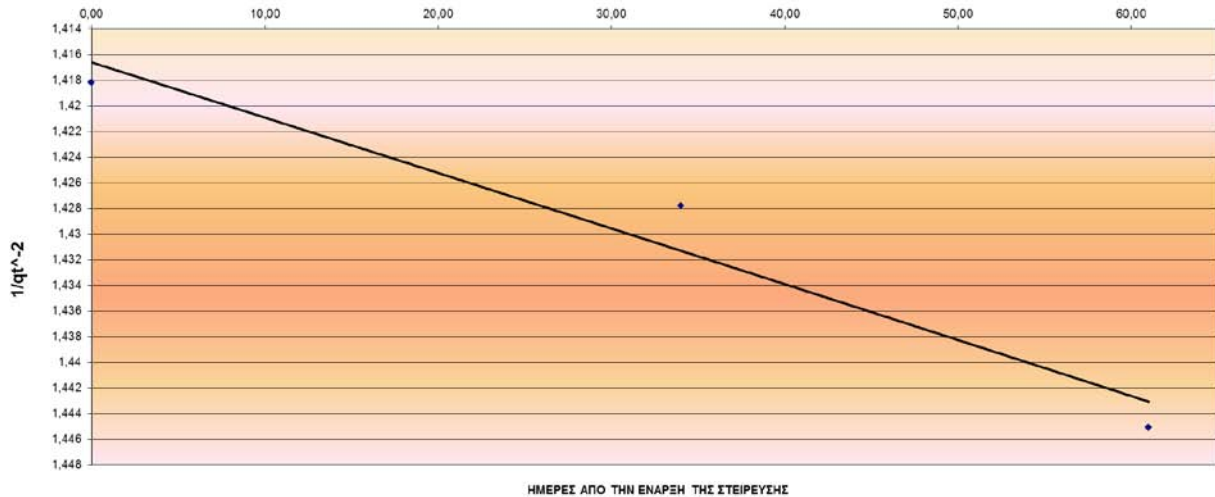
Q_0 : η παροχή του νερού στην έναρξη της περιόδου μείωσής της,

a : ο συντελεστής στείρευσης, και

t : ο χρόνος (συνήθως σε ημέρες).

Η γραφική παράσταση γίνεται σε αριθμητικό διάγραμμα, με τους χρόνους, σε ημέρες, στον άξονα x και στον άξονα y το αντίστροφο της τετραγωνικής ρίζας των παροχών σε m³/sec (Εικ. Β-14).

Η ευθεία που προκύπτει, τέμνει τον άξονα των παροχών στην τιμή $1/(Q_i^{-2})$. Για τον υπολογισμό του συντελεστή "α", προσδιορίζεται, γραφικώς, ο χρόνος t , σε ημέρες, που αντιστοιχεί σε $1/(Q_i^{-2})$. Οι τιμές των $1/(Q_0^{-2})$ και $1/(Q_i^{-2})$ εισάγονται στην εξίσωση και υπολογίζεται η τιμή του "α".



Εικόνα Β-14: Εφαρμογή της εξίσωσης Tison στις πηγές Αγίων Αποστόλων.

Από τα παραπάνω προκύπτει πως ο συντελεστής στείρευσης (α) ισούται με $3 \cdot 10^{-4}$ ημέρες⁻¹.

Τέλος έγινε ανάλυση του υδρογράμματος με την προσέγγιση και τον τύπο του **Schoeller (1967)**. Η επιλογή του τύπου του **Schoeller**, στην παρούσα έρευνα των υφάλμυρων καρστικών πηγών Αγίων Αποστόλων, έγινε δεδομένου ότι ο τύπος αυτός θεωρείται ως η βάση για την μοντελοποίηση παροχών πηγών, ιδιαιτέρως δε των καρστικών.

Ο τύπος του **Schoeller** αποτελεί μια άλλη προσέγγιση του τύπου Maillet, οι προτεινόμενες δε εξισώσεις του, αφορούν αποκλειστικά την κορεσμένη ζώνη του καρστικού υδροφορέα (μελέτη πηγής Vaucluse Γαλλίας). Η κίνηση νερού στην ακόρεστη ζώνη, ή, γενικά, σε πορώδες μέσο, δεν αντιμετωπίζεται. Αντίθετα με άλλες εξισώσεις, εδώ αντιμετωπίζεται και το καθεστώς τυρβώδους ροής, πέρα από τη γραμμική ροή.

Ο **Schoeller** διακρίνει δύο περιπτώσεις υδροφόρων, με δύο υποπεριπτώσεις κάθε φορά, τον υδροφόρο ορίζοντα ανοικτό, ελεύθερο, με οριζόντιο αδιαπέρατο ή ανάλογης δομής σε καθεστώς γραμμικής ροής και σε καθεστώς τυρβώδους ροής και τον υδροφόρο ορίζοντα υπό πίεση, κεκλιμένο, ή ανάλογης δομής, σε καθεστώς γραμμικής ροής και σε καθεστώς τυρβώδους ροής.

Ο **Schoeller** διέκρινε το καθοδικό τμήμα του υδρογράμματος σε επιμέρους ευθύγραμμα τμήματα, που εκφράζουν την εκφόρτιση διαφορετικών τμημάτων καρστ, με κλιμακωτά μειούμενο άνοιγμα διακένων, δηλαδή αγωγοί μεγάλου, ενδιάμεσου και μικρού ανοίγματος, οι οποίοι συνήθως συνυπάρχουν σε έναν εκτεταμένο καρστικό υδροφόρο. Συμπέρανε ότι οι πιο σημαντικοί όγκοι νερού προέρχονται από την εκφόρτιση των διακένων μικρότερης διαμέτρου (75% έως 80% του συνολικού όγκου νερού που εκφορτίζεται).

Ο **Schoeller** δέχεται τη διάκριση ανάμεσα στο δίκτυο των ρωγμών και στο δίκτυο των καρστικών αγωγών. Η καμπύλη στειρεύσεως διασπάται σε πολλά τμήματα, που αντιστοιχούν σε διαφορετικές τιμές των α και β και γίνεται δεκτή η αρχή, ότι οι αγωγοί αδειάζουν πιο γρήγορα από τις ρωγμές και τις διακλάσεις ή ασυνέχειες, γενικώτερα. Στο εσωτερικό των μεγάλων ασυνεχειών η ροή μπορεί να είναι τυρβώδης, ενώ μέσα στις μικρές διακλάσεις θα είναι γραμμική.

Ο **Schoeller** δέχεται ότι μέσα στην καρστική μάζα είναι δυνατή η ανάπτυξη:

- Ενός δικτύου μεγάλων αγωγών από έγκοιλα, ρωγμές, κλπ, μέσα στο οποίο γίνεται μία ταχεία κυκλοφορία των υπόγειων νερών προς την πηγή.
- Ενός δικτύου μεσαίου μεγέθους αγωγών από ρωγμές και άλλες ασυνέχειες μέσα στο οποίο το νερό ρέει με σχετικά μικρότερη ταχύτητα.
- Ενός δικτύου πολύ λεπτών αγωγών από διακλάσεις κλπ, μέσα στο οποίο το νερό ρέει βραδέως.

Έτσι γίνεται αποσύνθεση του υδρογράμματος σε επί μέρους συνιστώσες, ευθείες που θεωρητικά μπορεί να είναι πολλές στην πράξη όμως είναι συνήθως 2 ή 3. Συνεπώς ο τύπος που περιγράφει την καμπύλη υποχώρησης του υδρογράμματος γράφεται:

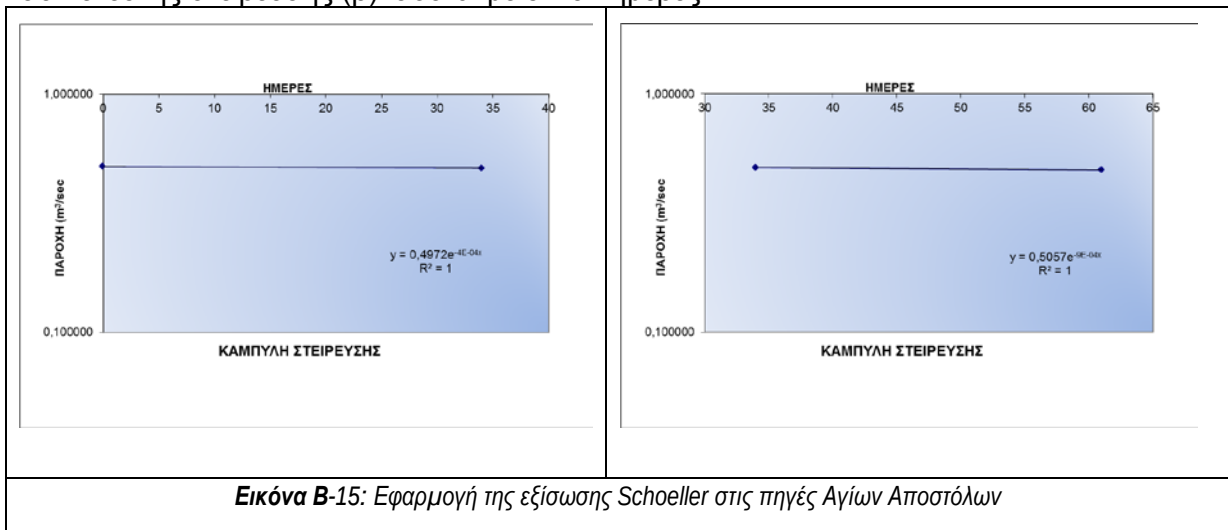
$$Q=Q_{01} \cdot e^{-\alpha_1 t} + Q_{02} \cdot e^{-\alpha_2 t} + Q_{03} \cdot e^{-\alpha_3 t}$$

Η καμπύλη στειρεύσεως στο υδρογράμμα των πηγών Αγίων Αποστόλων, διασπάται σε δύο τμήματα που αντιστοιχούν σε διαφορετικές τιμές του συντελεστή στειρεύσεως (α , β) και γίνεται δεκτή η αρχή πως οι αγωγοί αδειάζουν πιο γρήγορα από τις ρωγμές και τις διακλάσεις γενικότερα.

Από τα παραπάνω διαγράμματα προκύπτει, πως η εξίσωση του **Schoeller** είναι της μορφής:

$$Q=0.4972 \cdot e^{-0.0004 t} + 0.5057 \cdot e^{-0.0009 t}$$

($R^2=1$) και επομένως ο συντελεστής στειρεύσεως (α) ισούται με $4 \cdot 10^{-4}$ ημέρες⁻¹ ενώ ο συντελεστής στειρεύσεως (β) ισούται με $9 \cdot 10^{-4}$ ημέρες⁻¹.



Εικόνα Β-15: Εφαρμογή της εξίσωσης Schoeller στις πηγές Αγίων Αποστόλων

Ένας επίσης σημαντικός παράγοντας που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά την ερμηνεία υδρογραμμάτων πηγών είναι η βροχόπτωση (ποσότητα και ένταση), που πέφτει στις υδρογεωλογικές λεκάνες των πηγών στο κοινό χρονικό διάστημα που πραγματοποιούνται και οι μετρήσεις των παροχών.

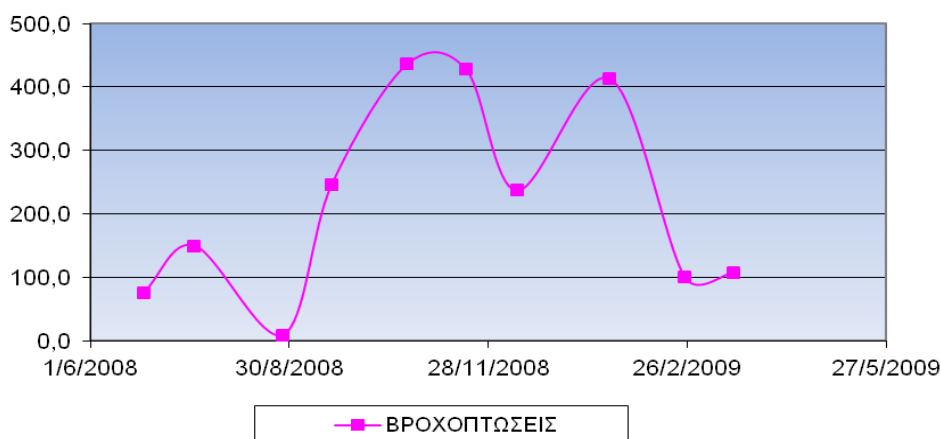
Για την περιοχή μελέτης χρησιμοποιήθηκαν τα μετεωρολογικά στοιχεία της «Μελέτης των μετεωρολογικών και υδρολογικών συνθηκών και της χημείας της βροχής στο καμένο και άκαυτο τμήμα του ελατοδάσους του Εθνικού Δρυμού Πάρνηθας» που εκπόνησε το ΕΘΙΑΓΕ για τον Φορέα Διαχείρισης Εθνικού Δρυμού Πάρνηθας το 2010.

Πίνακας Β-2: Δεδομένα Βροχοπτώσεων περιόδου 8-2008 έως 7-2009

Ημερομηνία	Μετεωρολογικοί Σταθμοί / Υψόμετρο σε m		
	ΚΕΠ / H=1300m	Αγία Τριάδα / H=1040m	Αμυγδαλέζα / H=358m
Ύψος βροχής σε mm			
8/2008	20,0	21,0	35,0
9/2008	75,0	49,0	26,0
10/2008	8,0	1,0	0,0
11/2008	115,0	88,0	43,0
12/2008	182,0	144,0	110,0
1/2009	171,0	180,0	77,0
2/2009	111,0	88,0	38,0
3/2009	194,0	153,0	67,0
4/2009	53,0	42,0	5,0
5/2009	32,0	47,0	29,0
6/2009	6,0	21,0	3,0
7/2009	34,0	30,0	21,0

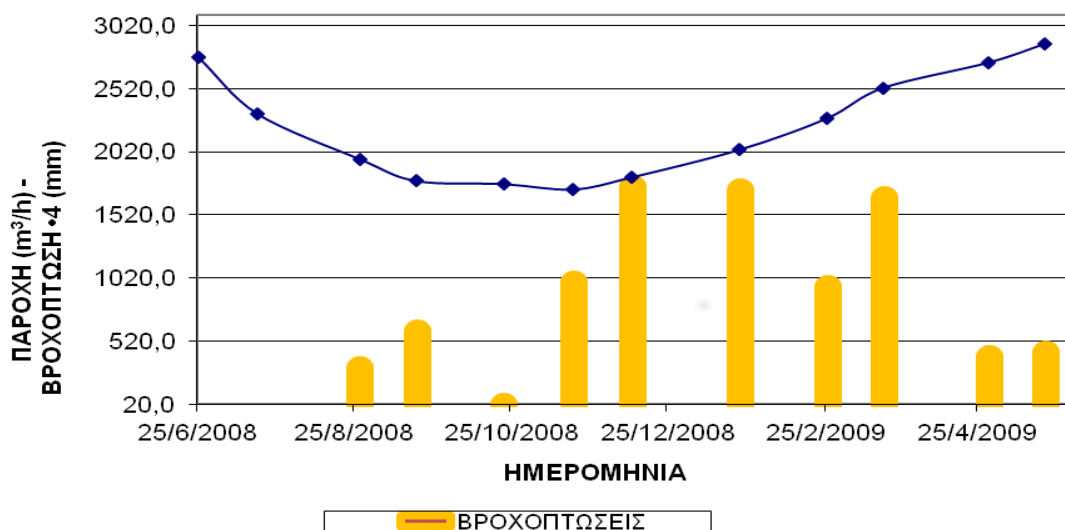
Συγκεκριμένα στα πλαίσια της εν λόγω μελέτης μετρήθηκαν τα μηνιαία ύψη βροχής των σταθμών ΚΕΠ, Αγίας Τριάδας και φυτωρίου Αμυγδαλέζας, την περίοδο από τον Αύγουστο 2008 έως τον Ιούλιο του 2009. Το υψόμετρο των σταθμών αυτών κυμαίνεται από 1300m έως 358m, καλύπτοντας σε σημαντικό βαθμό το τμήμα του καρστικού υδροφορέα Πάρνηθας ο οποίος αναπτύσσεται στις μάζες των ανθρακικών πετρωμάτων του κυρίως ορεινού όγκου της Πάρνηθας, νότια της νοητής γραμμής Αυλώνας-Σκούρτα-Ερυθρές και εκφορτίζεται από τις πηγές των Αγίων Αποστόλων.

Ακολουθως κατασκευάσθηκε το υετόγραμμα των αθροιστικών βροχοπτώσεων των σταθμών αυτών, όπως παρουσιάζεται στην ακόλουθη εικόνα Β-16.



Εικόνα Β-16: Υετόγραμμα βροχοπτώσεων σε mm βροχής.

Στην συνέχεια κατασκευάσθηκε συσχετιστικό διάγραμμα παροχών – βροχοπτώσεων (στο τετραπλάσιο τους για λόγους προβολής στο διάγραμμα), το οποίο παρατίθεται στην εικόνα Β-17, όπου το μέγιστο και το ελάχιστο της παροχής μεταβάλλεται ανάλογα με το ύψος των βροχοπτώσεων στην λεκάνη τροφοδοσίας. Παρατηρώντας το υδρόγραμμα σε συνδυασμό με τις βροχοπτώσεις διαπιστώνεται πως ο χρόνος ανταποκρίσεως, που είναι το χρονικό διάστημα που μεσολαβεί από το "μέσο" ή "κέντρο βάρους" της βροχοπτώσεως μέχρι τη στιγμή της εμφανίσεως της μέγιστης παροχής εκφορτίσεως, είναι περίπου πέντε μήνες (Δεκέμβριος 08 – Μάιος 09).



Εικόνα B-17: Διάγραμμα συσχέτισης παροχής – (βροχόπτωσης x 4).

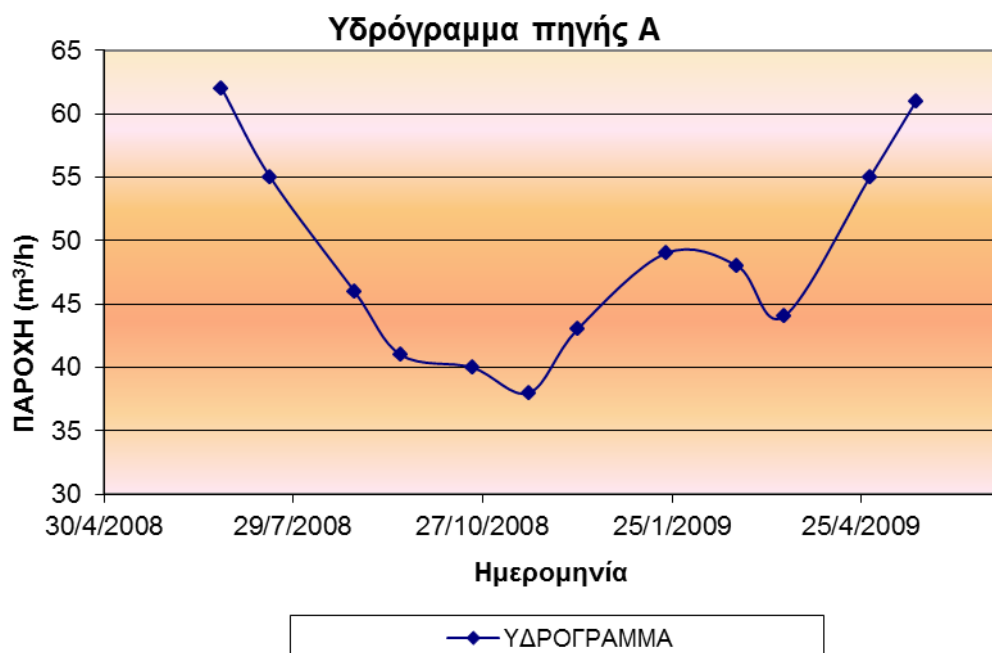
B.6.2.1 ΥΔΡΟΓΡΑΜΜΑ ΠΗΓΗΣ A

Στην πηγή **A** των Αγίων Αποστόλων πραγματοποιήθηκαν δώδεκα μηνιαίες μετρήσεις παροχής σε διάστημα 331 ημερών και συγκεκριμένα από τις 25/6/2008 έως τις 21/5/2009. Τα δεδομένα των μετρήσεων των παροχών με βάσει τα οποία κατασκευάστηκε το υδρογράμμα (Εικ. B-18) της πηγής **A** βρίσκονται στον Πίνακα B-2 (με μπλε χρώμα σημειώνονται οι μετρήσεις της καμπύλης στείρευσης).

Πίνακας B-2: Δεδομένα μετρήσεων παροχών πηγής A

Ημερομηνία	t (ημέρες)	Παροχή Q (m³/sec)	Παροχή Q (m³/h)
25/6/2008	1	0,0172222	62
18/7/2008	24	0,0152778	55
27/8/2008	64	0,0127778	46
18/9/2008	86	0,0113889	41
22/10/2008	120	0,0111111	40
18/11/2008	147	0,0105556	38
11/12/2008	170	0,0119444	43
22/1/2009	212	0,0136111	49
25/2/2009	246	0,0133333	48
19/3/2009	268	0,0122222	44
29/4/2009	309	0,0152778	55
21/5/2009	331	0,0169444	61

Οι μετρήσεις αυτές χρησιμοποιήθηκαν, αφενός μεν, για την κατασκευή του υδρογράμματος παροχών της πηγής **A**, αφετέρου δε για τη μαθηματική ανάλυση του δεύτερου τμήματος του καθοδικού του κλάδου (καμπύλη στείρευσης), ώστε να εξαχθούν συμπεράσματα για το μηχανισμό λειτουργίας των πηγών.

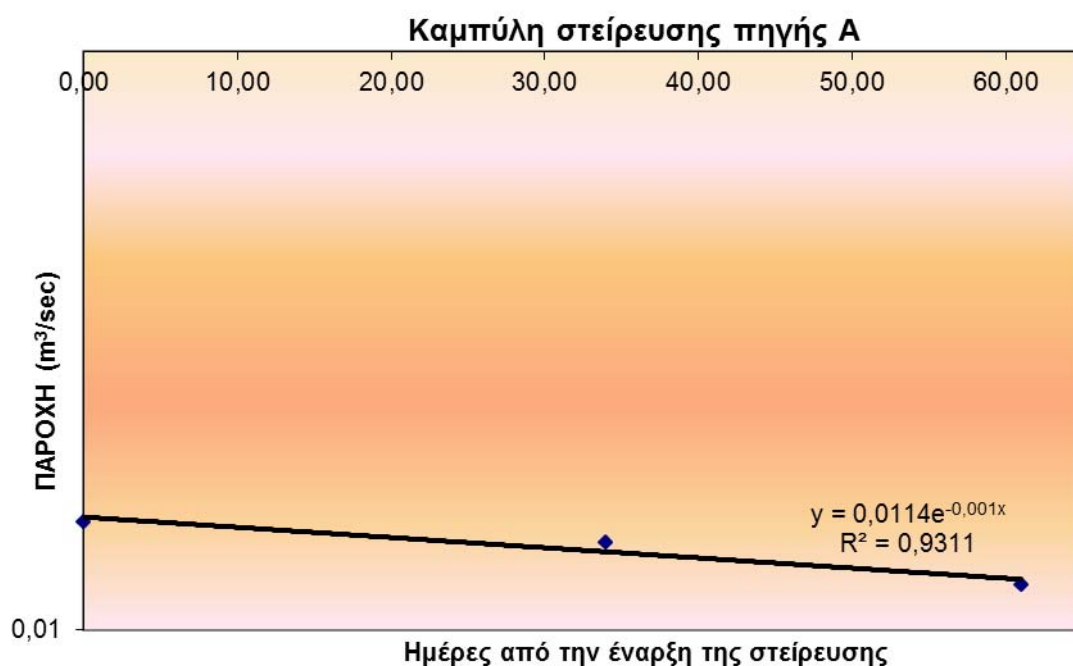


Εικόνα B-18: Υδρογράμμα παροχών πηγής Α κατά το χρονικό διάστημα Ιούνιος 2008 έως Μάιος 2009 (Ι.Γ.Μ.Ε., 2009).

Στις 25/6/2008 που πραγματοποιήθηκε η πρώτη μέτρηση, η παροχή της πηγής **Α** ήταν $62\text{m}^3/\text{h}$. Στις 18/7/2008 η παροχή ήταν $55\text{m}^3/\text{h}$, ενώ στις 18/9/2008 όπου ξεκίνησε η καμπύλη υποχώρησης η παροχή ήταν $41\text{m}^3/\text{h}$, ενώ η ελάχιστη παροχή μετρήθηκε στις 18/11/2008 και ήταν $38\text{m}^3/\text{h}$.

Η επόμενη καμπύλη συγκέντρωσης άρχισε στις 11/12/2008 και η παροχή ήταν $43\text{m}^3/\text{h}$. Από το υδρογράμμα προκύπτει, πως η στείρευση αρχίζει στις 18/9/2008 που αλλάζει η κλίση της καμπύλης υποχώρησης ή λίγο νωρίτερα.

Έγινε ανάλυση του υδρογράμματος με την προσέγγιση και τον τύπο του Maillet θεωρώντας, πως η εξίσωση στείρευσης αντιπροσωπεύει το τμήμα του υδρογράμματος μεταξύ των σημείων των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν στις 18/9/2008 και 18/11/2008 (Εικ. B-19).



Εικόνα B-19: Η εξίσωση στείρευσης σε διάγραμμα Q/t ημιλογαριθμικής κλίμακας.

Από τα παραπάνω διαγράμματα προκύπτει, πως η εξίσωση του **Maillet** είναι της μορφής:

$$Q_t = 0.0114 \cdot e^{-0.001 t}$$

($R^2=0,9311$) και επομένως ο συντελεστής στείρευσης (α) ισούται με $1 \cdot 10^{-3}$ ημέρες⁻¹. Αυτό συνεπάγεται, πως το νερό ρέει διαμέσου των διακλάσεων και των ενδοστρωσιγενών κενών, μέσω στρωσιγενών ασβεστολίθων.

Με τον συντελεστή στείρευσης και από το διάγραμμα στείρευσης μπορούμε να υπολογίσουμε τον όγκο του νερού που είναι αποθηκευμένος στο καρστικό σύστημα πάνω από το υψόμετρο εκδήλωσης της πηγής, ανάμεσα σε δύο τομές μέτρησης της παροχής, χρησιμοποιώντας την σχέση:

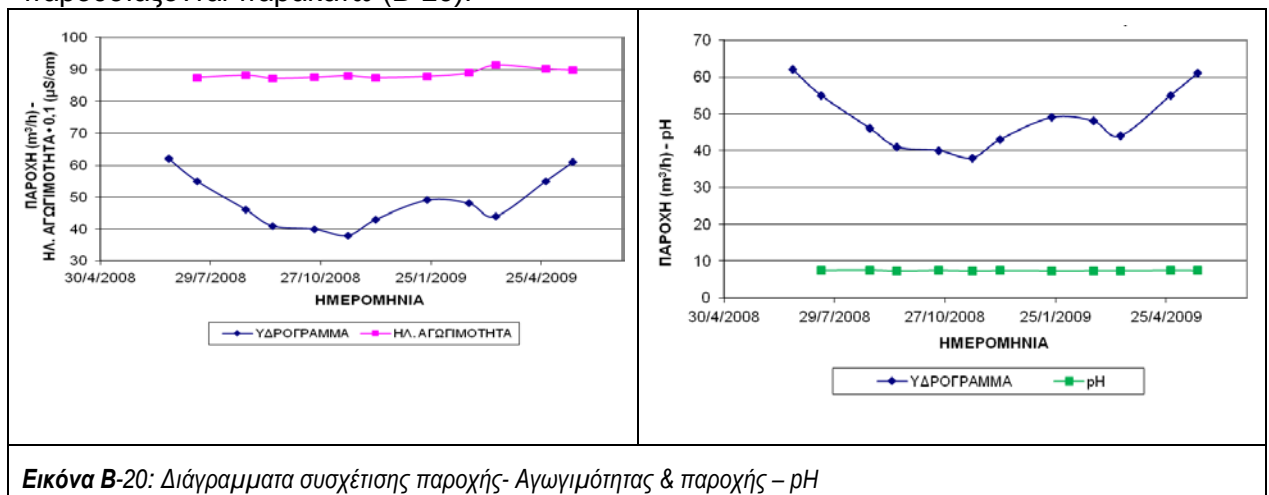
$$V_0 = 86.400 \cdot (Q_0 / \alpha)$$

Ο παραπάνω τύπος μας επιτρέπει τον υπολογισμό των εκκενώσιμων αποθεμάτων κατά ορισμένη χρονική στιγμή t της ξηρής περιόδου κατά την οποία η παροχή είναι q . Επίσης μας επιτρέπει να υπολογίσουμε τον όγκο dw που απέρρευσε από μία πηγή κατά το χρονικό διάστημα από t_1 με παροχή q_1 , μέχρι t_2 με παροχή q_2 , δηλαδή:

$$\delta w = 86.400 \cdot (q_1 - q_2) / \alpha$$

Από την λύση αυτής της εξίσωσης προκύπτει, πως ο όγκος των απορρεύσιμων αποθεμάτων είναι της τάξης των **373.980m³**.

Παράλληλα με τις μετρήσεις παροχής πραγματοποιήθηκαν μηνιαίες μετρήσεις της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και του pH. Με τα δεδομένα των μετρήσεων των παροχών και των φυσικοχημικών αυτών παραμέτρων, κατασκευάστηκαν διαγράμματα συσχέτισης τα οποία παρουσιάζονται παρακάτω (B-20).



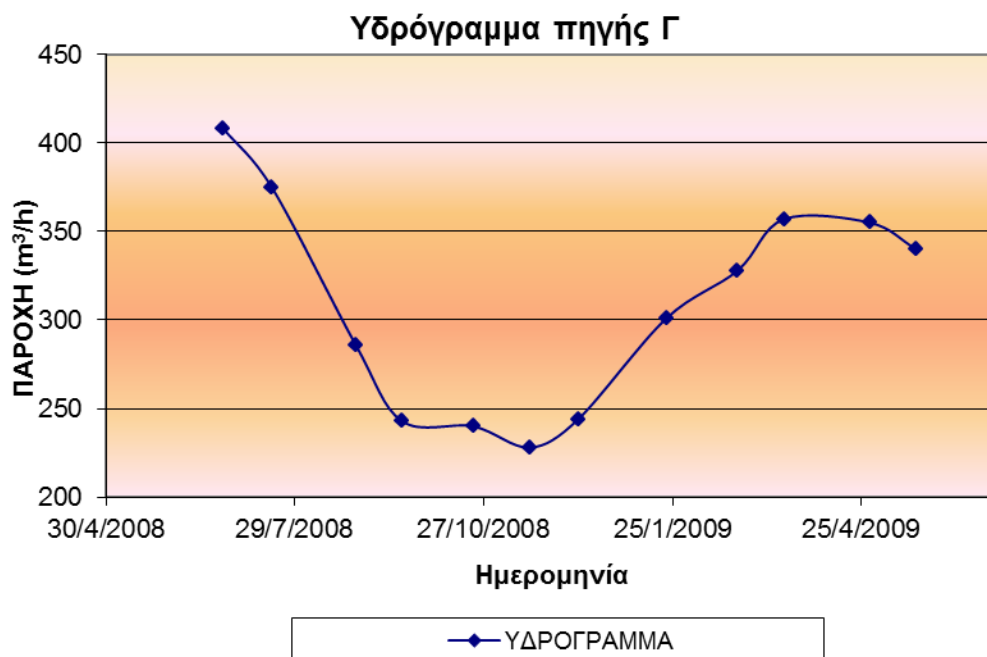
B.6.2.2 ΥΔΡΟΓΡΑΜΜΑ ΠΗΓΗΣ Γ

Στην πηγή **Γ** των Αγίων Αποστόλων πραγματοποιήθηκαν δώδεκα μηνιαίες μετρήσεις παροχής σε διάστημα 331 ημερών και συγκεκριμένα από τις 25/6/2008 έως τις 21/5/2009. Τα δεδομένα των μετρήσεων των παροχών με βάση τα οποία κατασκευάστηκε το υδρογράμμο (Εικ. B-21) της πηγής **Γ** βρίσκονται στον **Πίνακα B-3** (με μπλε χρώμα σημειώνονται οι μετρήσεις της καμπύλης στείρευσης).

Πίνακας Β-3: Δεδομένα μετρήσεων παροχών πηγής Γ

Ημερομηνία	t (ημέρες)	Παροχή Q (m ³ /sec)	Παροχή Q (m ³ /h)
25/6/2008	1	0,1133333	408
18/7/2008	24	0,1041667	375
27/8/2008	64	0,0794444	286
18/9/2008	86	0,0675000	243
22/10/2008	120	0,0666667	240
18/11/2008	147	0,0633333	228
11/12/2008	170	0,0677778	244
22/1/2009	212	0,0836111	301
25/2/2009	246	0,0911111	328
19/3/2009	268	0,0991667	357
29/4/2009	309	0,0986111	355
21/5/2009	331	0,0944444	340

Οι μετρήσεις αυτές χρησιμοποιήθηκαν, αφενός μεν, για την κατασκευή του υδρογράμματος παροχών της πηγής Γ, αφετέρου δε για τη μαθηματική ανάλυση του δεύτερου τμήματος του καθοδικού του κλάδου (καμπύλη στείρευσης), ώστε να εξαχθούν συμπεράσματα για το μηχανισμό λειτουργίας των πηγών.

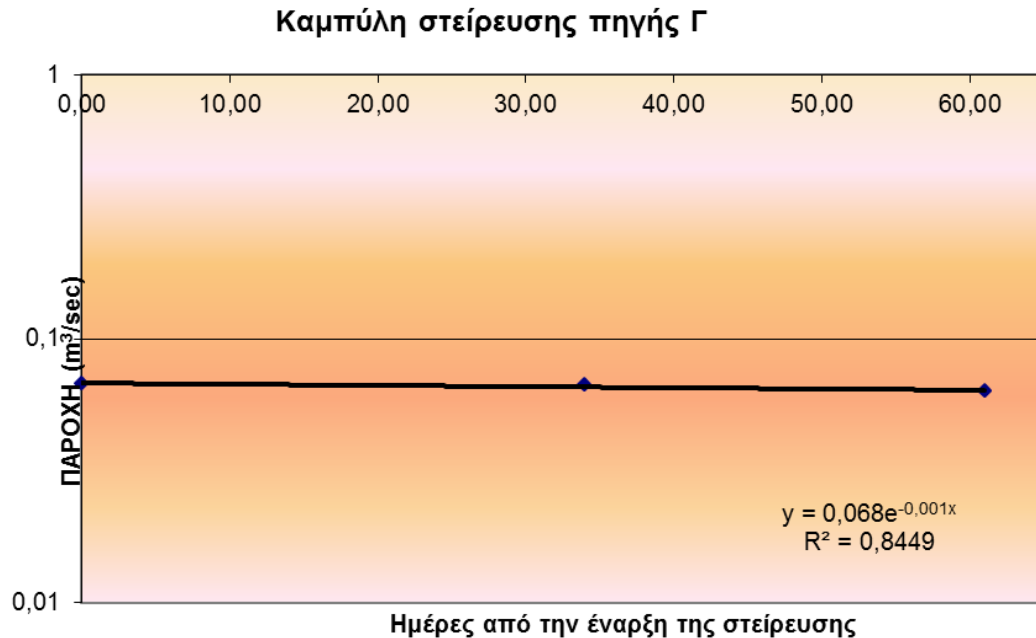


Εικόνα Β-21: Υδρογράμμα παροχών πηγής Γ κατά το χρονικό διάστημα Ιούνιος 2008 έως Μαΐος 2009 (Ι.Γ.Μ.Ε., 2009).

Στις 25/6/2008 που πραγματοποιήθηκε η πρώτη μέτρηση, η παροχή της πηγής Γ ήταν 408m³/h. Στις 18/7/2008 η παροχή ήταν 375m³/h, ενώ στις 18/9/2008 όπου ξεκίνησε η καμπύλη υποχώρησης η παροχή ήταν 243m³/h, ενώ η ελάχιστη παροχή μετρήθηκε στις 18/11/2008 και ήταν 228m³/h.

Η επόμενη καμπύλη συγκέντρωσης άρχισε στις 11/12/2008 και η παροχή ήταν 244m³/h. Από το υδρογράμμα προκύπτει, πως η στείρευση αρχίζει στις 18/9/2008 που αλλάζει η κλίση της καμπύλης υποχώρησης ή λίγο νωρίτερα.

Έγινε ανάλυση του υδρογράμματος με την προσέγγιση και τον τύπο του Maillet θεωρώντας, πως η εξίσωση στείρευσης αντιπροσωπεύει το τμήμα του υδρογράμματος μεταξύ των σημείων των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν στις 18/9/2008 και 18/11/2008 (Εικ. Β-22).



Εικόνα Β-22: Η εξίσωση στείρευσης σε διάγραμμα Q/t ημιλογαριθμικής κλίμακας.

Από τα παραπάνω διαγράμματα προκύπτει, πως η εξίσωση του **Maillet** είναι της μορφής:

$$Q_t = 0.068 \cdot e^{-0.001 t}$$

($R^2=0,8449$) και επομένως ο συντελεστής στείρευσης (α) ισούται με $1 \cdot 10^{-3}$ ημέρες⁻¹. Αυτό συνεπάγεται, πως το νερό ρέει διαμέσου των διακλάσεων και των ενδοστρωσιγενών κενών, μέσω στρωσιγενών ασβεστολίθων.

Με τον συντελεστή στείρευσης και από το διάγραμμα στείρευσης μπορούμε να υπολογίσουμε τον όγκο του νερού που είναι αποθηκευμένος στο καρστικό σύστημα πάνω από το υψόμετρο εκδήλωσης της πηγής, ανάμεσα σε δύο τομές μέτρησης της παροχής, χρησιμοποιώντας την σχέση:

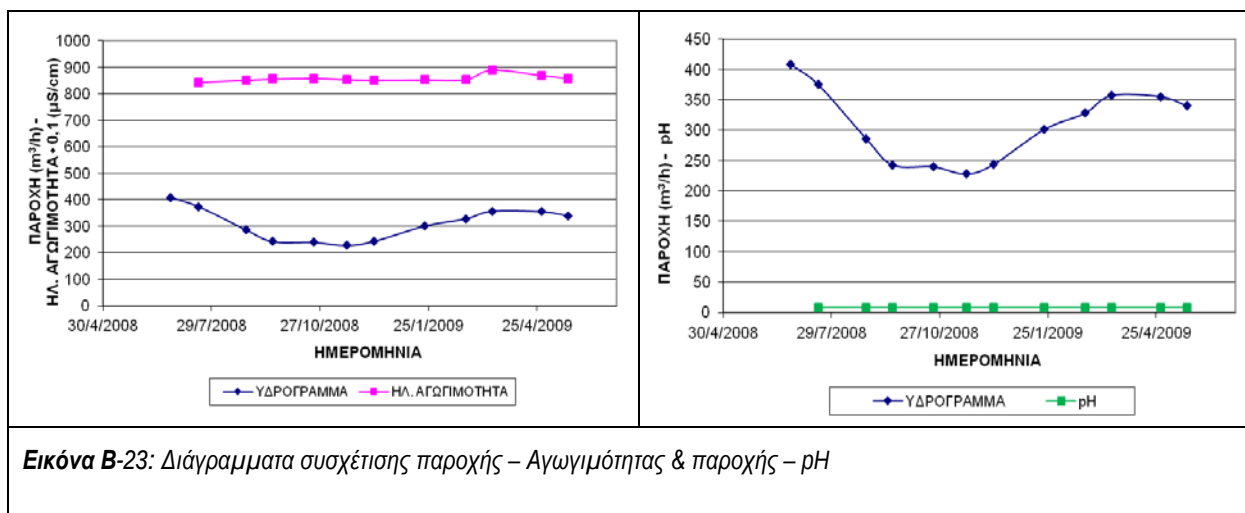
$$V_0 = 86.400 \cdot (Q_0 / \alpha)$$

Ο παραπάνω τύπος μας επιτρέπει τον υπολογισμό των εκκενώσιμων αποθεμάτων κατά ορισμένη χρονική στιγμή t της ξηρής περιόδου κατά την οποία η παροχή είναι q . Επίσης μας επιτρέπει να υπολογίσουμε τον όγκο dw που απέρρευσε από μία πηγή κατά το χρονικό διάστημα από t_1 με παροχή q_1 , μέχρι t_2 με παροχή q_2 , δηλαδή:

$$dw = 86.400 \cdot (q_1 - q_2) / \alpha$$

Από την λύση αυτής της εξίσωσης προκύπτει, πως ο όγκος των απορρεύσιμων αποθεμάτων είναι της τάξης των **2.397.948m³**.

Παράλληλα με τις μετρήσεις παροχής πραγματοποιήθηκαν μηνιαίες μετρήσεις της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και του pH. Με τα δεδομένα των μετρήσεων των παροχών και των φυσικοχημικών αυτών παραμέτρων, κατασκευάστηκαν διαγράμματα συσχέτισης τα οποία δίνονται παρακάτω (Β-23).



Οι χρονοσειρές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας όπως φαίνεται στο διάγραμμα συσχέτισης παραμένουν σχετικά σταθερές καθόλο το διάστημα των μετρήσεων, όπως αντίστοιχα συμβαίνει και με τις μετρήσεις του pH σε σχέση με τις παροχές.

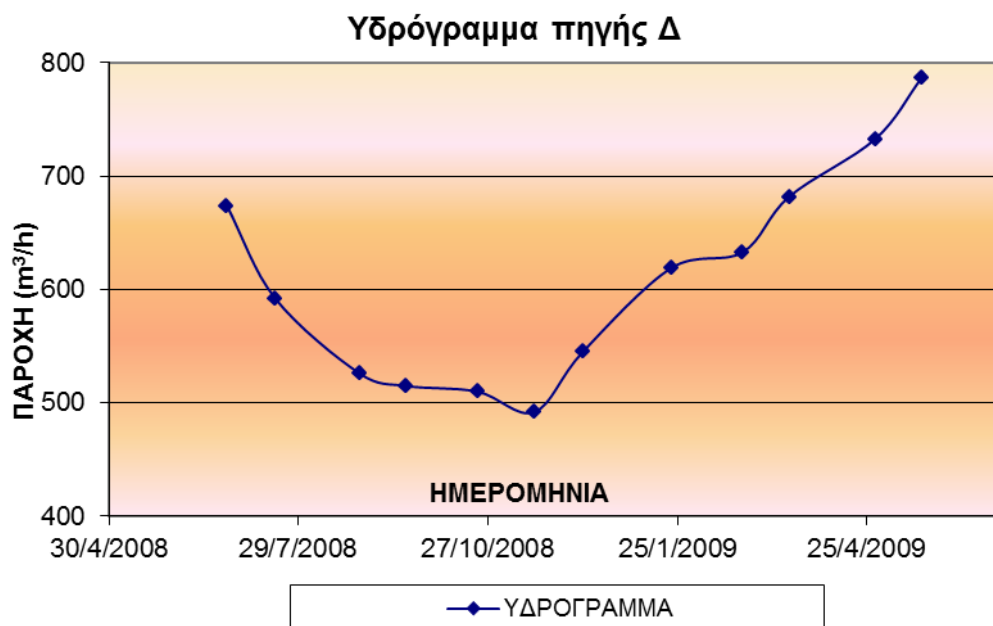
B.6.2.3 ΥΔΡΟΓΡΑΜΜΑ ΠΗΓΗΣ Δ

Στην πηγή Δ των Αγίων Αποστόλων πραγματοποιήθηκαν δώδεκα μηνιαίες μετρήσεις παροχής σε διάστημα 331 ημερών και συγκεκριμένα από τις 25/6/2008 έως τις 21/5/2009. Τα δεδομένα των μετρήσεων των παροχών με βάση τα οποία κατασκευάστηκε το υδρογράμμο (Εικ. B-24) της πηγής Δ βρίσκονται στον Πίνακα B-4 (με μπλε χρώμα σημειώνονται οι μετρήσεις της καμπύλης στέρησης).

Πίνακας B-4: Δεδομένα μετρήσεων παροχών πηγής Δ

Ημερομηνία	t (ημέρες)	Παροχή Q (m³/sec)	Παροχή Q (m³/h)
25/6/2008	1	0,1872222	674
18/7/2008	24	0,1644444	592
27/8/2008	64	0,1461111	526
18/9/2008	86	0,1430556	515
22/10/2008	120	0,1416667	510
18/11/2008	147	0,1366667	492
11/12/2008	170	0,1513889	545
22/1/2009	212	0,1719444	619
25/2/2009	246	0,1758333	633
19/3/2009	268	0,1894444	682
29/4/2009	309	0,2036111	733
21/5/2009	331	0,2186111	787

Οι μετρήσεις αυτές χρησιμοποιήθηκαν, αφενός μεν, για την κατασκευή του υδρογράμματος παροχών της πηγής Δ, αφετέρου δε για τη μαθηματική ανάλυση του δεύτερου τμήματος του καθοδικού του κλάδου (καμπύλη στέρησης), ώστε να εξαχθούν συμπεράσματα για το μηχανισμό λειτουργίας των πηγών.

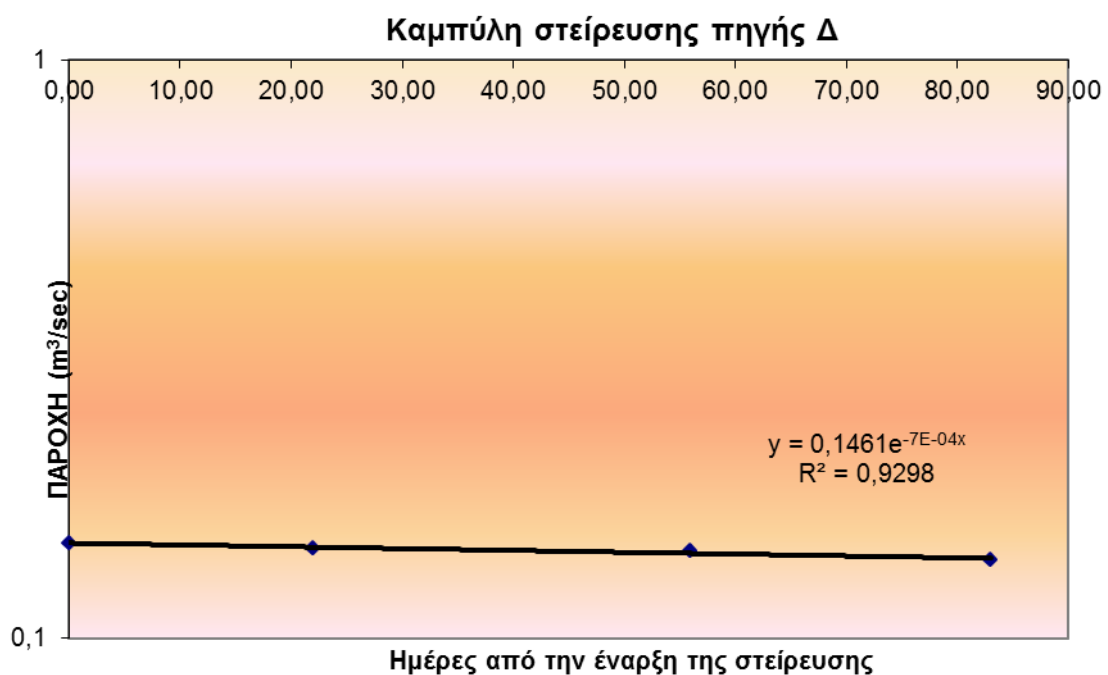


Εικόνα B-24: Υδρογράμμα παροχών πηγής Δ κατά το χρονικό διάστημα Ιούνιος 2008 έως Μαΐος 2009 (Ι.Γ.Μ.Ε., 2009).

Στις 25/6/08 που πραγματοποιήθηκε η πρώτη μέτρηση, η παροχή της πηγής Δ ήταν $674\text{m}^3/\text{h}$. Στις 18/7/2008 η παροχή ήταν $592\text{m}^3/\text{h}$, ενώ στις 27/8/2008 όπου ξεκίνησε η καμπύλη υποχώρησης η παροχή ήταν $526\text{m}^3/\text{h}$, ενώ η ελάχιστη παροχή μετρήθηκε στις 18/11/2008 και ήταν $492\text{m}^3/\text{h}$.

Η επόμενη καμπύλη συγκέντρωσης άρχισε στις 11/12/2008 και η παροχή ήταν $545\text{m}^3/\text{h}$. Από το υδρογράμμα προκύπτει, πως η στείρευση αρχίζει στις 18/7/2008 που αλλάζει η κλίση της καμπύλης υποχώρησης ή λίγο νωρίτερα.

Έγινε ανάλυση του υδρογράμματος με την προσέγγιση και τον τύπο του Mailliet θεωρώντας, πως η εξίσωση στείρευσης αντιπροσωπεύει το τμήμα του υδρογράμματος μεταξύ των σημείων των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν στις 27/8/2008 και 18/11/2008 (Εικ. B-25).



Εικόνα B-25: Η εξίσωση στείρευσης σε διάγραμμα Q/t ημιλογαριθμικής κλίμακας.

Από τα παραπάνω διαγράμματα προκύπτει, πως η εξίσωση του **Maillet** είναι της μορφής:

$$Q_t = 0.1461 \cdot e^{-0.0007 t}$$

($R^2=0,9298$) και επομένως ο συντελεστής στείρευσης (α) ισούται με $7 \cdot 10^{-4}$ ημέρες⁻¹. Συνεπώς οι πολύ μικρές τιμές του (α) (της τάξης του 10^{-4}) της πηγής Δ αντιστοιχούν σε μεγάλα υδροφόρα στρώματα με μεγάλο συντελεστή εναπόθκευσης (ΣΟΥΛΙΟΣ, 1985).

Με τον συντελεστή στείρευσης και από το διάγραμμα στείρευσης μπορούμε να υπολογίσουμε τον όγκο του νερού που είναι αποθηκευμένος στο καρστικό σύστημα πάνω από το υψόμετρο εκδήλωσης της πηγής, ανάμεσα σε δύο τομές μέτρησης της παροχής, χρησιμοποιώντας την σχέση:

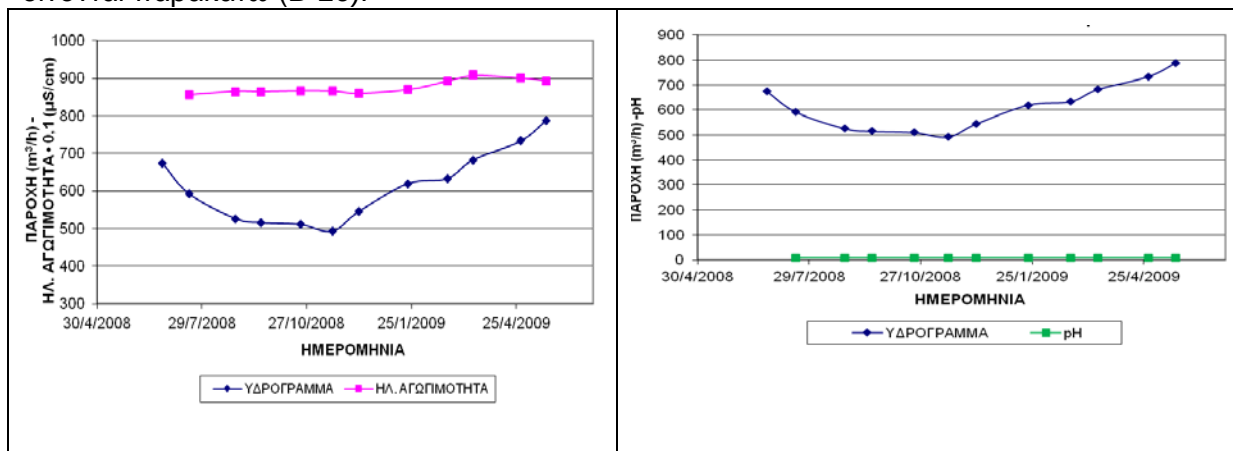
$$V_0 = 86.400 \cdot (Q_0 / \alpha)$$

Ο παραπάνω τύπος μας επιτρέπει τον υπολογισμό των εκκενώσιμων αποθεμάτων κατά ορισμένη χρονική στιγμή t της ξηρής περιόδου κατά την οποία η παροχή είναι q . Επίσης μας επιτρέπει να υπολογίσουμε τον όγκο dw που απέρρευσε από μία πηγή κατά το χρονικό διάστημα από t_1 με παροχή q_1 , μέχρι t_2 με παροχή q_2 , δηλαδή:

$$\delta w = 86.400 \cdot (q_1 - q_2) / \alpha$$

Από την λύση αυτής της εξίσωσης προκύπτει, πως ο όγκος των απορρεύσιμων αποθεμάτων είναι της τάξης των **4.732.032m³**.

Παράλληλα με τις μετρήσεις παροχής πραγματοποιήθηκαν μηνιαίες μετρήσεις της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και του pH. Με τα δεδομένα των μετρήσεων των παροχών και των φυσικοχημικών αυτών παραμέτρων, κατασκευάστηκαν διαγράμματα συσχέτισης τα οποία δίνονται παρακάτω (B-26).



Εικόνα B-26: Διάγραμματα συσχέτισης παροχής – Αγωγιμότητας & παροχής – pH

Οι χρονοσειρές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας όπως φαίνεται στο διάγραμμα συσχέτισης παραμένουν σχετικά σταθερές καθόλο το διάστημα των μετρήσεων, όπως αντίστοιχα συμβαίνει και με τις μετρήσεις του pH σε σχέση με τις παροχές.

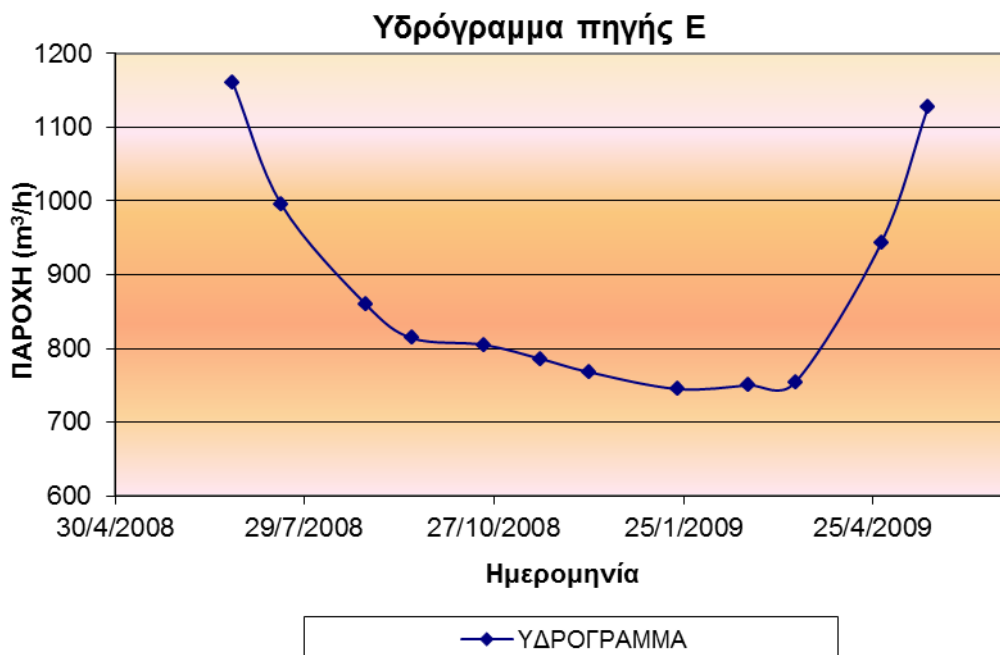
B.6.2.4 ΥΔΡΟΓΡΑΜΜΑ ΠΗΓΗΣ Ε

Στην πηγή **Ε** των Αγίων Αποστόλων πραγματοποιήθηκαν δώδεκα μηνιαίες μετρήσεις παροχής σε διάστημα 331 ημερών και συγκεκριμένα από τις 25/6/2008 έως τις 21/5/2009. Τα δεδομένα των μετρήσεων των παροχών με βάση τα οποία κατασκευάστηκε το υδρογράμμο (**Εικ. B-27**) της πηγής **Ε** βρίσκονται στον **Πίνακα B-5** (με μπλε χρώμα σημειώνονται οι μετρήσεις της καμπύλης στείρευσης).

Πίνακας Β-5: Δεδομένα μετρήσεων παροχών πηγής Ε

Ημερομηνία	t (ημέρες)	Παροχή Q (m ³ /sec)	Παροχή Q (m ³ /h)
25/6/2008	1	0,322222	1160
18/7/2008	24	0,276389	995
27/8/2008	64	0,238889	860
18/9/2008	86	0,226111	814
22/10/2008	120	0,223611	805
18/11/2008	147	0,218333	786
11/12/2008	170	0,213333	768
22/1/2009	212	0,206944	745
25/2/2009	246	0,208333	750
19/3/2009	268	0,209444	754
29/4/2009	309	0,262222	944
21/5/2009	331	0,313056	1127

Οι μετρήσεις αυτές χρησιμοποιήθηκαν, αφενός μεν, για την κατασκευή του υδρογράμματος παροχών της πηγής Ε, αφετέρου δε για τη μαθηματική ανάλυση του δεύτερου τμήματος του καθοδικού του κλάδου (καμπύλη στείρευσης), ώστε να εξαχθούν συμπεράσματα για το μηχανισμό λειτουργίας των πηγών.



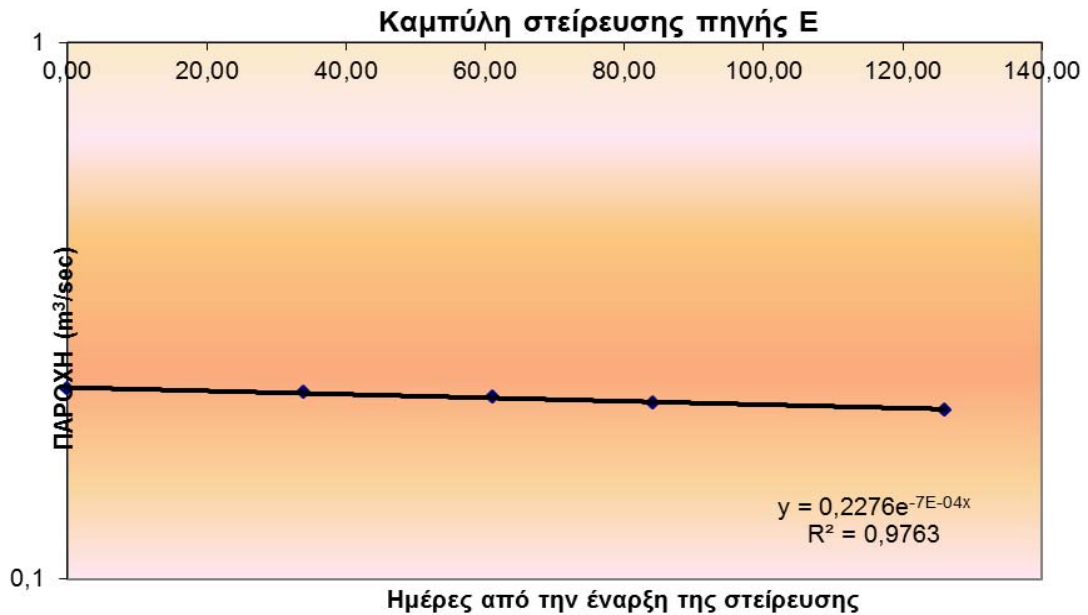
Εικόνα Β-27: Υδρογράμμα παροχών πηγής Ε κατά το χρονικό διάστημα Ιούνιος 2008 έως Μαΐος 2009 (Ι.Γ.Μ.Ε., 2009).

Στις 25/6/2008 που πραγματοποιήθηκε η πρώτη μέτρηση, η παροχή της πηγής Ε ήταν 1160m³/h. Στις 18/7/2008 η παροχή ήταν 995m³/h, ενώ στις 18/9/2008 όπου ξεκίνησε η καμπύλη υποχώρησης η παροχή ήταν 814m³/h, ενώ η ελάχιστη παροχή μετρήθηκε στις 22/1/2009 και ήταν 745m³/h.

Η επόμενη καμπύλη συγκέντρωσης άρχισε στις 25/2/2009 και η παροχή ήταν 750m³/h. Από το υδρογράμμα προκύπτει, πως η στείρευση αρχίζει στις 18/9/2008 που αλλάζει η κλίση της καμπύλης υποχώρησης ή λίγο νωρίτερα.

Έγινε ανάλυση του υδρογράμματος με την προσέγγιση και τον τύπο του Maillet θεωρώντας, πως η εξίσωση στείρευσης αντιπροσωπεύει το τμήμα του υδρογράμματος μεταξύ των

σημείων των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν στις 18/9/2008 και 18/11/2008 (Εικ. Β-27).



Εικόνα Β-28: Η εξίσωση στείρευσης σε διάγραμμα Q/t ημιλογαριθμικής κλίμακας.

Από τα παραπάνω διαγράμματα προκύπτει, πως η εξίσωση του **Maillet** είναι της μορφής:

$$Q_t = 0.2276 \cdot e^{-0.0007 t}$$

($R^2=0,9763$) και επομένως ο συντελεστής στείρευσης (α) ισούται με $7 \cdot 10^{-4}$ ημέρες⁻¹. Συνεπώς οι πολύ μικρές τιμές του (α) (της τάξης του 10^{-4}) των πηγών Αγίων Αποστόλων αντιστοιχούν σε μεγάλα υδροφόρα στρώματα με μεγάλο συντελεστή εναπόθήκευσης (Σούλιος, 1985).

Με τον συντελεστή στείρευσης και από το διάγραμμα στείρευσης μπορούμε να υπολογίσουμε τον όγκο του νερού που είναι αποθηκευμένος στο καρστικό σύστημα πάνω από το υψόμετρο εκδήλωσης της πηγής, ανάμεσα σε δύο τομές μέτρησης της παροχής, χρησιμοποιώντας την σχέση:

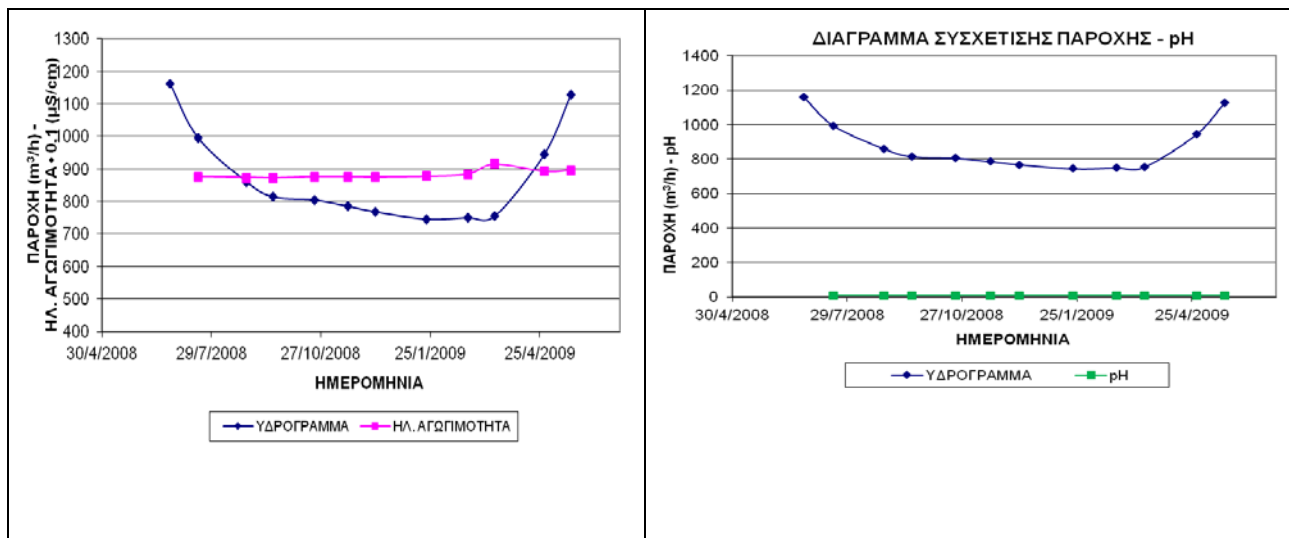
$$V_0 = 86.400 \cdot (Q_0 / \alpha)$$

Ο παραπάνω τύπος μας επιτρέπει τον υπολογισμό των εκκενώσιμων αποθεμάτων κατά ορισμένη χρονική στιγμή t της ξηρής περιόδου κατά την οποία η παροχή είναι q . Επίσης μας επιτρέπει να υπολογίσουμε τον όγκο Δw που απέρρευσε από μία πηγή κατά το χρονικό διάστημα από t_1 με παροχή q_1 , μέχρι t_2 με παροχή q_2 , δηλαδή:

$$\Delta w = 86.400 \cdot (q_1 - q_2) / \alpha$$

Από την λύση αυτής της εξίσωσης προκύπτει, πως ο όγκος των απορρεύσιμων αποθεμάτων είναι της τάξης των **6.683.784 m³**.

Παράλληλα με τις μετρήσεις παροχής πραγματοποιήθηκαν μηνιαίες μετρήσεις της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και του pH. Με τα δεδομένα των μετρήσεων των παροχών και των φυσικοχημικών αυτών παραμέτρων, κατασκευάστηκαν διαγράμματα συσχέτισης τα οποία δίνονται παρακάτω (Β-29).



Εικόνα Β-29: Διάγραμματα συσχέτισης παροχής – Αγωγιμότητας & παροχής – pH

Οι χρονοσειρές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας όπως φαίνεται στο διάγραμμα συσχέτισης παραμένουν σχετικά σταθερές καθόλο το διάστημα των μετρήσεων, όπως αντίστοιχα συμβαίνει και με τις μετρήσεις του pH σε σχέση με τις παροχές.

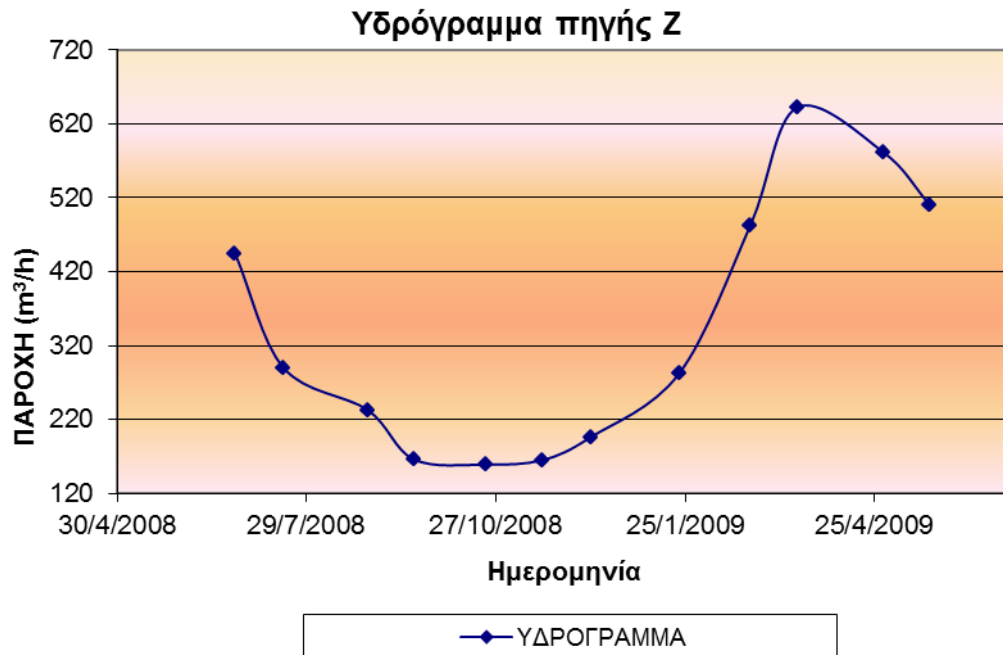
Β.6.2.5 ΥΔΡΟΓΡΑΜΜΑ ΠΗΓΗΣ Ζ

Στην πηγή **Z** των Αγίων Αποστόλων πραγματοποιήθηκαν δώδεκα μηνιαίες μετρήσεις παροχής σε διάστημα 331 ημερών και συγκεκριμένα από τις 25/6/2008 έως τις 21/5/2009. Τα δεδομένα των μετρήσεων των παροχών με βάσει τα οποία κατασκευάστηκε το υδρογράμμο (Εικ. Β-30) της πηγής **Z** βρίσκονται στον Πίνακα Β-6 (με μπλε χρώμα σημειώνονται οι μετρήσεις της καμπύλης στέρησης).

Πίνακας Β-5: Δεδομένα μετρήσεων παροχών πηγής **Z**

Ημερομηνία	t (ημέρες)	Παροχή Q (m³/sec)	Παροχή Q (m³/h)
25/6/2008	1	0,123611	445
18/7/2008	24	0,080556	290
27/8/2008	64	0,064722	233
18/9/2008	86	0,046111	166
22/10/2008	120	0,044167	159
18/11/2008	147	0,045833	165
11/12/2008	170	0,054444	196
22/1/2009	212	0,078333	282
25/2/2009	246	0,134167	483
19/3/2009	268	0,178333	642
29/4/2009	309	0,161667	582
21/5/2009	331	0,141944	511

Οι μετρήσεις αυτές χρησιμοποιήθηκαν, αφενός μεν, για την κατασκευή του υδρογράμματος παροχών της πηγής **Z**, αφετέρου δε για τη μαθηματική ανάλυση του δεύτερου τμήματος του καθοδικού του κλάδου (καμπύλη στέρησης), ώστε να εξαχθούν συμπεράσματα για το μηχανισμό λειτουργίας των πηγών.

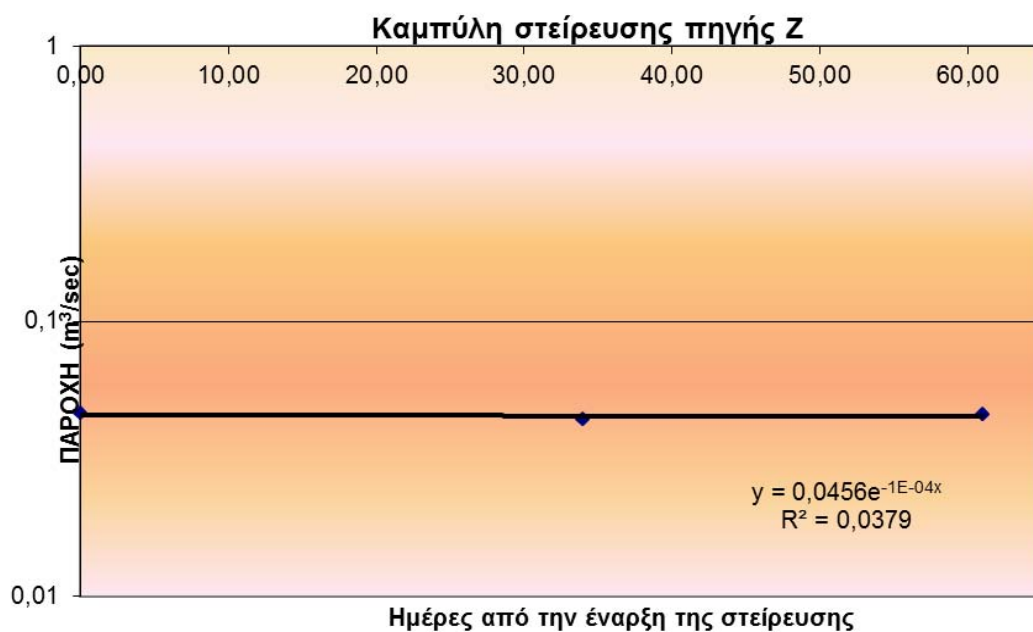


Εικόνα B-30: Υδρογράμμα παροχών πηγής Z κατά το χρονικό διάστημα Ιούνιος 2008 έως Μαΐος 2009 (Ι.Γ.Μ.Ε., 2009).

Στις 25/6/2008 που πραγματοποιήθηκε η πρώτη μέτρηση, η παροχή της πηγής **Z** ήταν $445\text{m}^3/\text{h}$. Στις 18/7/2008 η παροχή ήταν $290\text{m}^3/\text{h}$, ενώ στις 18/9/2008 όπου ξεκίνησε η καμπύλη υποχώρησης η παροχή ήταν $166\text{m}^3/\text{h}$, ενώ η ελάχιστη παροχή μετρήθηκε στις 22/10/2008 και ήταν $159\text{m}^3/\text{h}$.

Η επόμενη καμπύλη συγκέντρωσης άρχισε στις 11/12/2008 και η παροχή ήταν $196\text{m}^3/\text{h}$. Από το υδρογράμμα προκύπτει, πως η στείρευση αρχίζει στις 18/9/2008 που αλλάζει η κλίση της καμπύλης υποχώρησης ή λίγο νωρίτερα.

Έγινε ανάλυση του υδρογράμματος με την προσέγγιση και τον τύπο του Maillet θεωρώντας, πως η εξίσωση στείρευσης αντιπροσωπεύει το τμήμα του υδρογράμματος μεταξύ των σημείων των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν στις 18/9/2008 και 18/11/2008 (Εικ. B-31).



Εικόνα B-31: Η εξίσωση στείρευσης σε διάγραμμα Q/t ημιλογαριθμικής κλίμακας.

Από τα παραπάνω διαγράμματα προκύπτει, πως η εξίσωση του **Maillet** είναι της μορφής:

$$Q_t = 0.0456 \cdot e^{-0.0001 t}$$

($R^2=0,0379$) και επομένως ο συντελεστής στείρευσης (α) ισούται με $1 \cdot 10^{-4}$ ημέρες⁻¹. Συνεπώς οι πολύ μικρές τιμές του (α) (της τάξης του 10^{-4}) των πηγών Αγίων Αποστόλων αντιστοιχούν σε μεγάλα υδροφόρα στρώματα με μεγάλο συντελεστή εναπόθήκευσης (Σούλιος, 1985).

Με τον συντελεστή στείρευσης και από το διάγραμμα στείρευσης μπορούμε να υπολογίσουμε τον όγκο του νερού που είναι αποθηκευμένος στο καρστικό σύστημα πάνω από το υψόμετρο εκδήλωσης της πηγής, ανάμεσα σε δύο τομές μέτρησης της παροχής, χρησιμοποιώντας την σχέση:

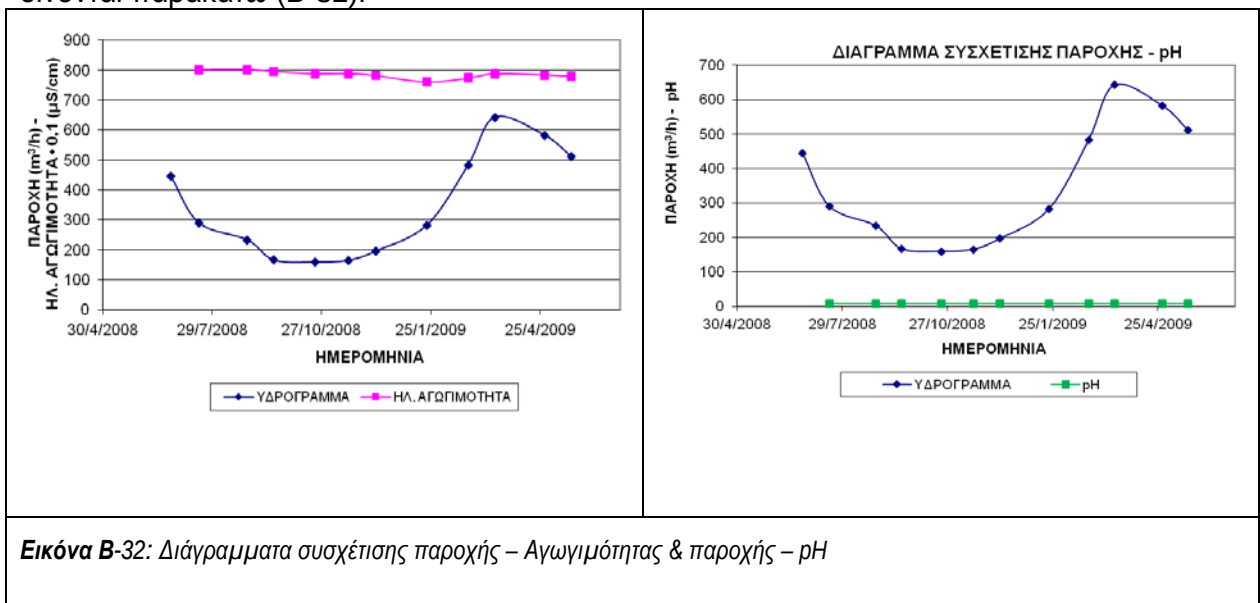
$$V_0 = 86.400 \cdot (Q_0 / \alpha)$$

Ο παραπάνω τύπος μας επιτρέπει τον υπολογισμό των εκκενώσιμων αποθεμάτων κατά ορισμένη χρονική στιγμή t της ξηρής περιόδου κατά την οποία η παροχή είναι q . Επίσης μας επιτρέπει να υπολογίσουμε τον όγκο dw που απέρρευσε από μία πηγή κατά το χρονικό διάστημα από t_1 με παροχή q_1 , μέχρι t_2 με παροχή q_2 , δηλαδή:

$$dw = 86.400 \cdot (q_1 - q_2) / \alpha$$

Από την λύση αυτής της εξίσωσης προκύπτει, πως ο όγκος των απορρεύσιμων αποθεμάτων είναι της τάξης των **2.637.240m³**.

Παράλληλα με τις μετρήσεις παροχής πραγματοποιήθηκαν μηνιαίες μετρήσεις της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και του pH. Με τα δεδομένα των μετρήσεων των παροχών και των φυσικοχημικών αυτών παραμέτρων, κατασκευάστηκαν διαγράμματα συσχέτισης τα οποία δίνονται παρακάτω (B-32).



Οι χρονοσειρές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας όπως φαίνεται στο διάγραμμα συσχέτισης παραμένουν σχετικά σταθερές καθόλο το διάστημα των μετρήσεων, όπως αντίστοιχα συμβαίνει και με τις μετρήσεις του pH σε σχέση με τις παροχές.

B.6.2.6 ΥΔΡΟΓΡΑΜΜΑ ΠΗΓΗΣ Η

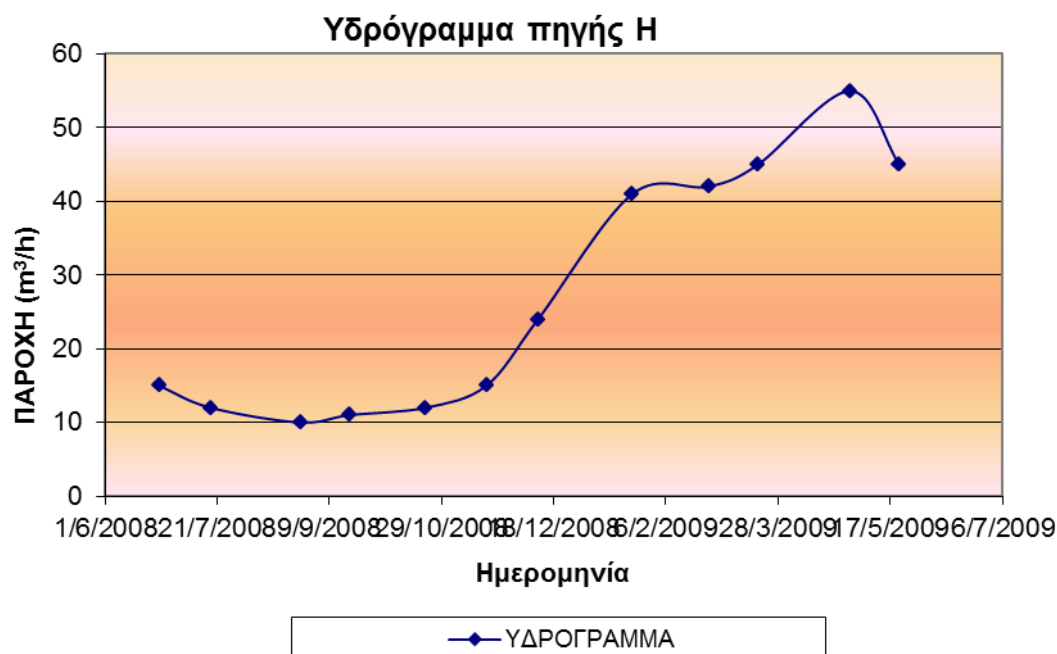
Στην πηγή **Η** των Αγίων Αποστόλων πραγματοποιήθηκαν δώδεκα μηνιαίες μετρήσεις παροχής σε διάστημα 331 ημερών και συγκεκριμένα από τις 25/6/2008 έως τις 21/5/2009. Τα δεδομένα των μετρήσεων των παροχών με βάση τα οποία κατασκευάστηκε το

υδρόγραμμα (Εικ. Β-33) της πηγής Η βρίσκονται στον Πίνακα Β-7 (με μπλε χρώμα σημειώνονται οι μετρήσεις της καμπύλης στέρησης).

Πίνακας Β-7: Δεδομένα μετρήσεων παροχών πηγής Η

Ημερομηνία	t (ημέρες)	Παροχή Q (m ³ /sec)	Παροχή Q (m ³ /h)
25/6/2008	1	0,0041667	15
18/7/2008	24	0,0033333	12
27/8/2008	64	0,0027778	10
18/9/2008	86	0,0030556	11
22/10/2008	120	0,0033333	12
18/11/2008	147	0,0041667	15
11/12/2008	170	0,0066667	24
22/1/2009	212	0,0113889	41
25/2/2009	246	0,0116667	42
19/3/2009	268	0,0125000	45
29/4/2009	309	0,0152778	55
21/5/2009	331	0,0125000	45

Οι μετρήσεις αυτές χρησιμοποιήθηκαν, αφενός μεν, για την κατασκευή του υδρογράμματος παροχών της πηγής Η, αφετέρου δε για τη μαθηματική ανάλυση του δεύτερου τμήματος του καθοδικού του κλάδου (καμπύλη στέρησης), ώστε να εξαχθούν συμπεράσματα για το μηχανισμό λειτουργίας των πηγών.

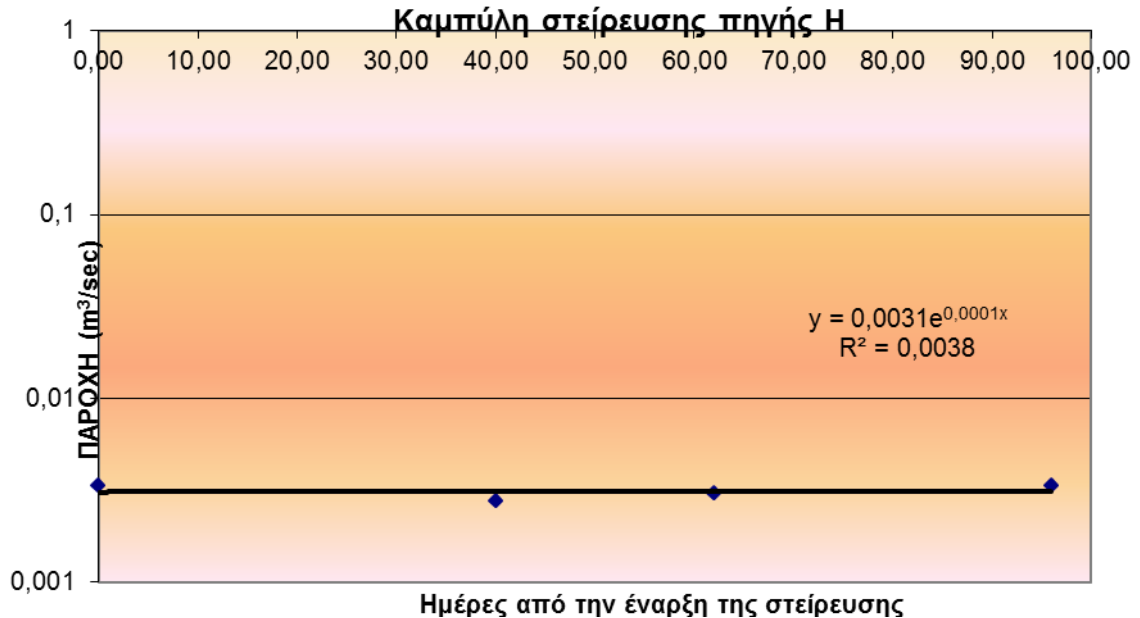


Εικόνα Β-33: Υδρόγραμμα παροχών πηγής Ζ κατά το χρονικό διάστημα Ιούνιος 2008 έως Μάιος 2009 (Ι.Γ.Μ.Ε., 2009).

Στις 25/6/2008 που πραγματοποιήθηκε η πρώτη μέτρηση, η παροχή της πηγής Η ήταν 15m³/h. Στις 18/7/2008 όπου ξεκίνησε η καμπύλη υποχώρησης η παροχή ήταν 12m³/h, ενώ η ελάχιστη παροχή μετρήθηκε στις 27/8/2008 και ήταν 10m³/h.

Η επόμενη καμπύλη συγκέντρωσης άρχισε στις 18/11/2008 και η παροχή ήταν 15m³/h. Από το υδρόγραμμα προκύπτει, πως η στέρηση αρχίζει στις 18/9/2008 που αλλάζει η κλίση της καμπύλης υποχώρησης ή λίγο νωρίτερα.

Έγινε ανάλυση του υδρογράμματος με την προσέγγιση και τον τύπο του Maillet θεωρώντας, πως η εξίσωση στείρευσης αντιπροσωπεύει το τμήμα του υδρογράμματος μεταξύ των σημείων των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν στις 18/7/2008 και 22/10/2008 (Εικ. B-34).



Εικόνα B-34: Η εξίσωση στείρευσης σε διάγραμμα Q/t ημιλογαριθμικής κλίμακας.

Από τα παραπάνω διαγράμματα προκύπτει, πως η εξίσωση του **Maillet** είναι της μορφής:

$$Q_t = 0.0031 \cdot e^{-0.0001 t}$$

($R^2=0,0038$) και επομένως ο συντελεστής στείρευσης (α) ισούται με $1 \cdot 10^{-4}$ ημέρες $^{-1}$.

Συνεπώς οι πολύ μικρές τιμές του (α) (της τάξης του 10^{-4}) των πηγών Αγίων Αποστόλων αντιστοιχούν σε μεγάλα υδροφόρα στρώματα με μεγάλο συντελεστή εναπόθήκευσης (Σούλιος, 1985).

Με τον συντελεστή στείρευσης και από το διάγραμμα στείρευσης μπορούμε να υπολογίσουμε τον όγκο του νερού που είναι αποθηκευμένος στο καρστικό σύστημα πάνω από το υψόμετρο εκδήλωσης της πηγής, ανάμεσα σε δύο τομές μέτρησης της παροχής, χρησιμοποιώντας την σχέση:

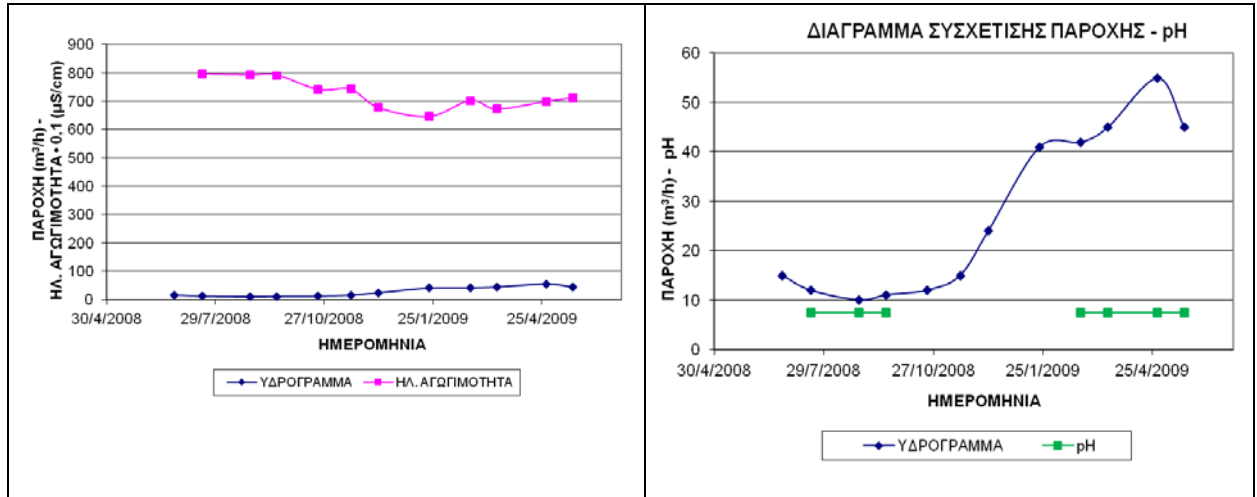
$$V_0 = 86.400 \cdot (Q_0 / \alpha)$$

Ο παραπάνω τύπος μας επιτρέπει τον υπολογισμό των εκκενώσιμων αποθεμάτων κατά ορισμένη χρονική στιγμή t της ξηρής περιόδου κατά την οποία η παροχή είναι q . Επίσης μας επιτρέπει να υπολογίσουμε τον όγκο Δw που απέρρευσε από μία πηγή κατά το χρονικό διάστημα από t_1 με παροχή q_1 , μέχρι t_2 με παροχή q_2 , δηλαδή:

$$\Delta w = 86.400 \cdot (q_1 - q_2) / \alpha$$

Από την λύση αυτής της εξίσωσης προκύπτει, πως ο όγκος των απορρεύσιμων αποθεμάτων είναι της τάξης των **217.644m³**.

Παράλληλα με τις μετρήσεις παροχής πραγματοποιήθηκαν μηνιαίες μετρήσεις της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και του pH. Με τα δεδομένα των μετρήσεων των παροχών και των φυσικοχημικών αυτών παραμέτρων, κατασκευάστηκαν διαγράμματα συσχέτισης τα οποία δίνονται παρακάτω (B-35).



Εικόνα B-35: Διάγραμματα συσχέτισης παροχής – Αγωγιμότητας & παροχής – pH

Οι χρονοσειρές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας όπως φαίνεται στο διάγραμμα συσχέτισης παραμένουν σχετικά σταθερές καθόλο το διάστημα των μετρήσεων, όπως αντίστοιχα συμβαίνει και με τις μετρήσεις του pH σε σχέση με τις παροχές.

B.6.3 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΠΗΓΩΝ ΑΓΙΩΝ ΑΠΟΣΤΟΛΩΝ

Οι συνθήκες της υπόγειας ροής του νερού που κατεισδύει στους καρστικοποιημένους μεσοζωϊκούς ασβεστολίθους (ασβεστόλιθοι του μέσου Τριαδικού - Κάτω Ιουραϊκού, κρητιδικό ασβεστόλιθοι) του κυρίως ορεινού όγκου της Πάρνηθας, που συνιστούν το σημαντικότερο τμήμα της λεκάνης τροφοδοσίας των υφάλμυρων καρστικών πηγών Αγίων Αποστόλων, έγιναν αντικείμενο υδροδυναμικής ανάλυσης, μέσω ανάλυσης του καθοδικού κλάδου του υδρογράμματος της παροχής των πηγών (καμπύλη υποχωρήσεως) που εκφορτίζουν τις ανθρακικές αυτές μάζες.

Η καμπύλη πτώσης του υδρογράμματος των πηγών Αγίων Αποστόλων, έχει μεγάλη κλίση και αποτελεί το τμήμα ταχείας εκφόρτισης, ενώ η καμπύλη στείρευσης έχει μικρή κλίση και αποτελεί το τμήμα αργής εκφόρτισης. Ουσιαστικά, η διάκριση της καμπύλης πτώσης από την καμπύλη στείρευσης βασίσθηκε στην μεταβολή της κλίσης του καθοδικού τμήματος του υδρογράμματος, με αυτή με την μεγαλύτερη κλίση να αντιστοιχεί στην ταχεία εκφόρτιση των υδροφόρων, ενώ αυτή με την μικρότερη κλίση αντιστοιχεί στην βασική ροή της κορεσμένης ζώνης. Το καρστικό σύστημα εμφανίζει την κορεσμένη και την ακόρεστη ζώνη, όπως αυτές διαμορφώθηκαν στην παλαιογεωγραφική εξέλιξη του καρστικού σχηματισμού.

Έτσι μετά την σύνταξη του υδρογράμματος, ακολούθησε διάκριση του καθοδικού του κλάδου σε δύο τμήματα και μαθηματική ανάλυση στο δεύτερο από αυτά, το οποίο χαρακτηρίστηκε ως “Καμπύλη στείρευσης – Ξηράς Περιόδου”.

Το 1^ο τμήμα της καμπύλης υποχώρησης του υδρογράμματος (καμπύλη πτώσης) αποτυπώνει εκφόρτιση με ανώμαλη - πιθανότατα - μεταβολή του υδραυλικού φορτίου μέσα στο υδροφόρο μέσο, λόγω αψίξεως μέσω ταχείας κατείσδυσης και εκφορτίσεως νερού που προέρχεται από την ακόρεστη ζώνη (unsaturated karstic bedrock).

Το τμήμα αυτό χαρακτηρίζεται και από αυξημένη κλίση, γεγονός που δεικνύει μεγάλο βαθμό ανάπτυξης καρστικών αγωγών (έντονη καρστικοποίηση) από έγκοιλα, ρωγμές, κλπ, μέσα στο οποίο γίνεται μία ταχεία κυκλοφορία των υπόγειων νερών προς τις πηγές, λόγω και της πιθανότατης έντονης διασύνδεσής τους. Πρόκειται δηλαδή για ζώνες με μεγάλη περατότητα (μεγάλοι καρστικοί αγωγοί), μεγάλης ταχύτητας κινήσεως νερού, αποτελώντας διαβιβαστικές

ζώνες με υψηλές τιμές υδραυλικής αγωγιμότητας (K m/s) και μεταβιβαστικότητας (T m²/s), αφού το νερό δεν μένει σ' αυτές για μεγάλο διάστημα.

Συνεπώς, το καρστικό σύστημα των πηγών Αγίων Αποστόλων, έχει ένα καλά ανεπτυγμένο δίκτυο συνδεδεμένων καρστικών αγωγών με μεγάλο δυναμικό μεταφοράς υπόγειου νερού.

Επίπροσθέτως από την μορφή της καμπύλης πτώσεως προέκυψε, πως η ακόρεστη ζώνη είναι πολύ μεγάλη σε σχέση με την κορεσμένη, γεγονός που επίσης δεικνύει, πως η ζώνη τροφοδοσίας των καρστικών πηγών παρουσιάζει μεγάλο βαθμό αποκάρσωσης και μεγάλο βαθμό διασύνδεσης των καρστικών αγωγών.

Οι μεγάλες τιμές υδραυλικής αγωγιμότητας των καρστικών αγωγών της ακόρεστης ζώνης, όπως διαπιστώθηκε από την ανάλυση του 1^{ου} τμήματος της καμπύλης υποχώρησης του υδρογράμματος, έρχονται σε αντίθεση με τις μικρές αγωγιμότητες του πιο συμπαγούς κορεσμένου τμήματος (saturated karstic bedrock), του καρστικού υδροφόρου του 2^{ου} τμήματος.

Το 2^ο τμήμα της καμπύλης αρχίζει με τη λήξη του 1^{ου}, όταν έχουν σταματήσει πλέον οι αφίξεις νερού από την ακόρεστη ζώνη και αποτυπώνει εκφόρτιση νερού που προέρχεται μόνο από τη μόνιμη αποθήκευση του υδροφόρου μέσου. Το τμήμα αυτό χαρακτηρίστηκε ως τμήμα “στείρευσης” της καμπύλης και χαρακτηρίζει ροή “ομαλοποιημένη” καθοριζόμενη αποκλειστικώς από την γεωλογική και υδρογεωλογική δομή στη λεκάνη της πηγής και τις υδραυλικές συνθήκες στη ζώνη εκφορτίσεως. Αποτελούν ζώνες μικρότερης ταχύτητας κινήσεως νερού, που χαρακτηρίζονται σαν αποθεματικές (μικροί καρστικοί αγωγοί) με χαμηλές τιμές K και T , αφού το νερό παραμένει σ' αυτές για μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα.

Η υδροκινηματική αυτή φάση (περίοδος στειρεύσεως) θεωρείται ότι αντιπροσωπεύει την κορεσμένη ζώνη του καρστικού υδροφορέα. Η απεικόνιση της εκκενώσεως της κορεσμένης ζώνης, είναι γραμμική (και όχι παράλληλη με τον άξονα των χρόνων), όσο η ροή είναι τυρβώδης και εκθετική όταν η ροή γίνει γραμμική.

Η σχετικά καλή αντιπροσωπευτικότητα της εξίσωσης του Mailliet και κάτω από ορισμένες συνθήκες, εκείνης του Tison θεωρούνται δεδομένες. Έτσι προκειμένου να βρεθεί η αρχή της στείρευσης χρησιμοποιήθηκαν οι καμπύλες στείρευσης κάθε μεθόδου (εκθετική για την μέθοδο Mailliet και υπερβολική για την μέθοδο Tison). Οι καμπύλες αυτές σχεδιάστηκαν στο τμήμα των υδρογραμμάτων της πηγής, κατά το οποίο αρχίζει η πτώση των απορροών της (ξηρή περίοδος), και θεωρήθηκε το σημείο τομής τους με τα υδρογράμματα ως η αρχή της στείρευσης.

Αρχικά έγινε ανάλυση του υδρογράμματος με την προσέγγιση και τον τύπο του Mailliet δεδομένου, ότι η εξίσωση αυτή έχει αποδειχθεί ότι εμφανίζει πολύ καλή αντιπροσωπευτικότητα σε όλους τους τύπους πηγών. Οι συντελεστές στείρευσης (α) με την μέθοδο Mailliet, λαμβάνουν τιμές που βρίσκονται ως επί το πλείστον στην ίδια τάξη μεγέθους της τάξης του $6 \cdot 10^{-4}$ ημέρες⁻¹.

Από τον υπολογισμό των εκφορτίσεων προκύπτει ότι από τις πηγές των Αγίων Αποστόλων εκφορτίστηκαν $17.042.628 \text{ m}^3$ νερού, κατά το χρονικό διάστημα μεταξύ **25/6/08** και **21/5/09**, ενώ περισσότερο σημαντικές ήταν οι πηγές **Δ** και **Ε**. Τα διαθέσιμα αποθέματα κατά την έναρξη της στείρευσης, ήταν $1.202.880 \text{ m}^3$ ή $1,2 \times 10^6 \text{ m}^3$.

Στην συνέχεια έγινε ανάλυση του υδρογράμματος με την προσέγγιση και τον τύπο του Tison, δεδομένου ότι ο Tison θεωρεί ότι η εκφόρτιση του υδροφόρου δεν είναι σημειακή, αλλά γραμμική γίνεται δηλαδή κατά μήκος μίας πλευράς του υδροφορέα από μία πορώδη γραμμή, δηλαδή πρακτικά από πολλές αναβλύσεις κατά μήκος μίας γραμμής, όπως και στην περίπτωση των πηγών Αγίων Αποστόλων. Μετά τα παραπάνω, είναι αναμενόμενο, το αθροιστικό υδρογράμμα περισσότερων της μιας πηγής, που εκφορτίζουν τον ίδιο υδροφορέα, να αντιπροσωπεύεται καλύτερα από την εξίσωση του Tison. Από την εξίσωση του Tison υπολογίστηκε πως ο συντελεστής στείρευσης (α) ισούται με $3 \cdot 10^{-4}$ ημέρες⁻¹.

Τέλος έγινε ανάλυση του υδρογράμματος με την προσέγγιση και τον τύπο του **Schoeller (1967)**, δεδομένου ότι ο τύπος αυτός θεωρείται ως η βάση για την μοντελοποίηση παροχών πηγών, ιδιαιτέρως δε των καρστικών, αφορούν δε οι προτεινόμενες εξισώσεις του, αποκλειστικά την κορεσμένη ζώνη του καρστικού υδροφορέα. Αντίθετα με άλλες εξισώσεις, ο **Schoeller** αντιμετωπίζει και το καθεστώς τυρβώδους ροής, πέρα από τη γραμμική ροή.

Ο **Schoeller** δέχεται τη διάκριση ανάμεσα στο δίκτυο των ρωγμών και στο δίκτυο των καρστικών αγωγών. Στο εσωτερικό των μεγάλων ασυνεχειών η ροή μπορεί να είναι τυρβώδης, ενώ μέσα στις μικρές διακλάσεις θα είναι γραμμική. Η καμπύλη στειρεύσεως στο υδρογράμμα των πηγών Αγίων Αποστόλων, διασπάται σε δύο τμήματα που αντιστοιχούν σε διαφορετικές τιμές του συντελεστή στειρέυσης (α , β) και γίνεται δεκτή η αρχή πως οι αγωγοί αδειάζουν πιο γρήγορα από τις ρωγμές και τις διακλάσεις γενικότερα. Από την εξίσωση του **Schoeller** υπολογίστηκε πως ο συντελεστής στειρέυσης (α) **ισούται με $4 \cdot 10^{-4}$ ημέρες⁻¹** ενώ ο συντελεστής στειρέυσης (β) **ισούται με $9 \cdot 10^{-4}$ ημέρες⁻¹**.

Συνεπώς παρατηρείται σημαντική συμφωνία των αποτελεσμάτων των τριών μεθόδων (Maillet, Tison, Schoeller), όσον αφορά την τάξη μεγέθους των συντελεστών στειρέυσης της τάξης του 10^{-4} , γεγονός που σημαίνει πως οι πηγές των Αγίων Αποστόλων αντιστοιχούν σε μεγάλα υδροφόρα στρώματα με μεγάλο συντελεστή εναποθήκευσης (S) .

Στον **Πίνακα Β-8** παρουσιάζονται τα συγκεντρωτικά στοιχεία που προέκυψαν από την ανάλυση των επιμέρους υδρογραμμάτων των επτά παράκτιων υφάλμυρων πηγών Αγίων Αποστόλων (Α,Β,Γ,Δ,Ε,Ζ,Η), με βάση τα οποία έγινε μία ομαδοποίηση των πηγών (η πηγή Β δεν είχε αξιολογη παροχή σε όλη την διάρκεια του έτους).

Πίνακας Β-8: Συγκεντρωτικά στοιχεία από την ανάλυση των υδρογραμμάτων με την προσέγγιση και τον τύπο του Maillet

Πηγή	Περίοδος	Εξίσωση Maillet	Συντελεστής Στείρευσης (α)	Έναρξη στειρέυσης	Ποσοστό επιρροής (%)	Εκφορτίσεις (m ³ /έτος)
Α	25/6/08 - 21/5/09	$Q_t = 0.0114 \cdot e^{-0.001 t}$	$1 \cdot 10^{-3}$	18/9/2008	2	373.980
Γ	25/6/08 - 21/5/09	$Q_t = 0.068 \cdot e^{-0.001 t}$	$1 \cdot 10^{-3}$	18/9/2008	14	2.397.948
Δ	25/6/08 - 21/5/09	$Q_t = 0.1461 \cdot e^{-0.0007 t}$	$7 \cdot 10^{-4}$	27/8/2008	28	4.732.032
Ε	25/6/08 - 21/5/09	$Q_t = 0.2276 \cdot e^{-0.0007 t}$	$7 \cdot 10^{-4}$	18/9/2008	39	6.683.784
Ζ	25/6/08 - 21/5/09	$Q_t = 0.0456 \cdot e^{-0.0001 t}$	$1 \cdot 10^{-4}$	18/9/2008	15	2.637.240
Η	25/6/08 - 21/5/09	$Q_t = 0.0031 \cdot e^{-0.0001 t}$	$1 \cdot 10^{-4}$	18/7/2008	1	217.644

Από την παραπάνω πινακοποίηση, προκύπτει πως η έναρξη της στειρέυσης δεν αρχίζει ταυτόχρονα σε όλες τις πηγές. Στην πηγή **Δ** η στειρέυση αρχίζει στις 27/8/2008, νωρίτερα από τις άλλες πηγές στις οποίες η στειρέυση αρχίζει στις 18/9/2008, όπως και στην πηγή **Η**, που η στειρέυση αρχίζει στις 18/7/2008.

Ο βαθμός επιδράσεως της κάθε πηγής στο συνολικό υδρογράμμα των πηγών, εκφράστηκε με βάση τις εκφορτίσεις και τις παροχές, σύμφωνα με τις οποίες οι πηγές **Δ & Ε**, αποτελούν το 67% του συνολικού όγκου ύδατος που εκφορτίστηκε στο υδρολογικό έτος 2008-2009.

Αντιθέτως πολύ μικρή συγκριτικά είναι η επίδραση των πηγών **Α & Η**, αποτελώντας μόλις το 3% του συνολικού όγκου ύδατος που εκφορτίστηκε στο υδρολογικό έτος 2008-2009.

Ενδιάμεσης σημασίας αποτελούν οι πηγές **Γ & Ζ**, αποτελώντας το 29% του συνολικού όγκου ύδατος που εκφορτίστηκε στο υδρολογικό έτος 2008-2009.

Όσον αφορά τους συντελεστές στείρευσης που υπολογίστηκαν με την προσέγγιση και τον τύπο του **Maillet**, αυτοί (πηγές Δ,Ε,Ζ,Η) εμφανίζουν πολύ μικρές τιμές (της τάξης του 10^{-4}) και αντιστοιχούν σε μεγάλα υδροφόρα στρώματα με μεγάλο συντελεστή εναποθήκευσης (S) .

Τέλος όσον αφορά τους συντελεστές στείρευσης που υπολογίστηκαν με την προσέγγιση και τον τύπο του **Maillet**, αυτοί (πηγές Α,Γ) εμφανίζουν μικρές τιμές (τάξης του 10^{-3}) γεγονός που σημαίνει ότι το νερό ρέει διαμέσου των διακλάσεων και των ενδοστρωσιγενών κενών.

Γ ΜΕΡΟΣ ΥΔΡΟΧΗΜΕΙΑ

- Γ.1 ΥΔΡΟΧΗΜΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ**
- Γ.2 ΥΔΡΟΧΗΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ**
- Γ.3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ - ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ**
- Γ.4 ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ ΠΗΓΩΝ ΑΓΙΩΝ ΑΠΟΣΤΟΛΩΝ**
- Γ.5 ΥΔΡΟΧΗΜΙΚΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ**
- Γ.6 ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΝΕΡΟΥ ΑΡΔΕΥΣΗΣ - ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΚΑΤΑ WILCOX**

Γ.1 ΥΔΡΟΧΗΜΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ

Τα κριτήρια ποιότητας καθορίζονται ανάλογα με την χρήση για την οποία προορίζεται το υπόγειο νερό, καθώς οι ιδιότητες που μπορούν να κάνουν το νερό τελείως ακατάλληλο για κάποια συγκεκριμένη χρήση, π.χ. ύδρευση, μπορεί να μην επηρεάζουν την καταλληλότητα του για άλλες χρήσεις π.χ. βιομηχανική κ.λπ.

Οι κυριότερες φυσικοχημικές παράμετροι του υπόγειου νερού είναι:

Φυσικές: (θερμοκρασία, χρώμα, θολότητα, οσμή, σύνολο διαλυμένων (TDS) και αιωρούμενων στερεών (TSS),

Χημικές: (pH, Αγωγιμότητα, Σκληρότητα, Αλκαλικότητα, Δυναμικό οξειδοαναγωγής),

Κύρια ιόντα: Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^-

Δευτερεύοντα ιόντα: NH_4^+ , F^- , Br^- , B^- , I^- , CO_3^{2-} , κ.ά.

Βαρέα μέταλλα: Fe^{2+} , Fe^{3+} , Mn^{2+} , Pb^{2+} , Cr^{6+} , Hg^{2+} , As^{3+} , Cd^{2+} , Al^{3+} κ.ά.

Θρεπτικές ενώσεις του N, P, Πρωτεΐνες, Οργανικές ενώσεις, Αέρια (O_2 , N_2 , H_2S , NH_3 , CH_4)

Βιολογικά χαρακτηριστικά: (βακτήρια, ιοί, μύκητες, φύκη, πρωτόζωα, σκώληκες, τροχόζωα, καρκινοειδή κ.α.)

Στην συνέχεια αναφέρονται οι κυριότερες υδροχημικές παράμετροι του υπόγειου νερού:

Θερμοκρασία

Η θερμοκρασία είναι μια σπουδαία παράμετρος που πρέπει πάντα να λαμβάνεται υπόψη κατά την μελέτη της χημείας των υπόγειων νερών επειδή δίνει πολλές πληροφορίες, ακόμη και για την προέλευσή τους (Λαμπράκης, 1994). Η μέτρηση πρέπει να γίνεται όσο το δυνατόν πλησιέστερα στις πηγές προέλευσης των υπόγειων νερών προκειμένου να αντανakλά την πραγματική θερμοκρασία του υδροφόρου ορίζοντα.

Η θερμοκρασία των υπόγειων νερών καθορίζεται κυρίως από τη θερμοκρασία των πετρωμάτων, τα οποία τα περιβάλλουν. Οι θερμοκρασίες του υπόγειου νερού τείνουν να παραμείνουν σταθερές, εκτός από τα επιφανειακά νερά που παρουσιάζουν διακυμάνσεις, ως αποτέλεσμα των μεταβολών της ηλιακής ενέργειας πάνω στην επιφάνεια της γης. Η θερμοκρασία του υπόγειου νερού επηρεάζεται και από τις μεταβολές της πιεζομετρικής επιφάνειας του υδροφορέα.

Σύνολο Διαλυμένων Στερεών (T.D.S)- Αλατότητα του υπόγειου νερού

Η παρουσία αλάτων στο υπόγειο νερό σχετίζεται με το είδος των πετρωμάτων στα οποία κινείται, τον χρόνο παραμονής, την ταχύτητα ροής κ.λπ. Το T.D.S mg/l εκφράζει τη συνολική συγκέντρωση των διαλυμένων στο νερό αλάτων, χωρίς να περιλαμβάνονται τα αιωρούμενα ιζήματα, τα κολλοειδή και τα διαλυμένα αέρια. Δηλαδή το T.D.S αποτελεί ένα δείκτη μεταλλικότητας (αλατότητας) και συνδέεται με την ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) με τις σχέσεις:

$\text{T.D.S (ppm)} \sim 0.65 (\text{EC}) (\mu\text{S/cm})$ και $\text{T.D.S (meq/L)} \sim 0.01 (\text{EC}) (\mu\text{S/cm})$

Αν οι τιμές του T.D.S. κυμαίνονται μεταξύ 0-1.000 mg/L το νερό είναι **γλυκό** (fresh), μεταξύ 1.000-10.000 mg/L θεωρείται **υφάλμυρο** (brackish), μεταξύ 10.000-100.000 mg/L **αλμυρό** (salt or saline) και για τιμές μεγαλύτερες των 100.000 mg/L **υπεραλμυρό** (brine).

Ηλεκτρική αγωγιμότητα

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα αποτελεί μια σπουδαία υδροχημική παράμετρο. Πρόκειται για το αντίστροφο της ηλεκτρικής αντίστασης και δίνεται σε μονάδες Siemens ανά μέτρα (S/m) στο

Διεθνές Σύστημα Μονάδων (S.I). Επειδή όμως οι τιμές της είναι πολύ μικρές, χρησιμοποιείται σαν μονάδα μέτρησης το μικροSiemens ανά cm ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

Το καθαρό νερό δεν είναι καλός αγωγός του ηλεκτρισμού. Η αύξηση της ποσότητας των διαλυμένων αλάτων και η αύξηση της θερμοκρασίας συνεπάγονται και αύξηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας, γι' αυτό η μέτρησή της πρέπει να γίνεται σε συγκεκριμένη θερμοκρασία (συνήθως 25°C). Έτσι η ηλεκτρική αγωγιμότητα συνδέεται άμεσα με την ποσότητα και τη φύση των διαλυμένων ηλεκτρολυτών. Το ενδεικτικό επίπεδο της αγωγιμότητας στο πόσιμο νερό είναι $400 \mu\text{S}/\text{cm}$.

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα συνδέεται πολύ στενά με την θερμοκρασία του υπόγειου νερού και για αυτό επιβάλλεται η μέτρησή της στην ύπαιθρο στα σημεία εμφάνισης του υπόγειου νερού. Αύξηση της θερμοκρασίας του νερού κατά 10°C συνεπάγεται αύξηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας κατά 2% περίπου (Καλλέργης, 2000).

Ενεργός οξύτητα (pH)

Ενεργός οξύτητα είναι η συγκέντρωση των ιόντων H_3O^+ που περιέχεται στο διάλυμα και εκφράζεται με το pH, δηλ. με τον αρνητικό δεκαδικό λογάριθμο της συγκέντρωσης των ιόντων H_3O^+ και κυμαίνεται από 0 έως 14. Ο προσδιορισμός του pH γίνεται χρωματομετρικά και ηλεκτρομετρικά.

Το pH του υπόγειου νερού καθορίζεται από τις διάφορες χημικές αντιδράσεις και ισορροπίες μεταξύ των διαλυμένων ιόντων μέσα σε αυτό. Το pH που οφείλεται στην παρουσία του CO_2 αποτελεί το pH ισορροπίας ή pHs κορεσμού. Αν το pH του νερού είναι μικρότερο από το pHs κορεσμού τότε το νερό έχει μεγάλη διαλυτική ικανότητα και μπορεί να διαλύσει το CaCO_3 . Στην αντίθετη περίπτωση το διάλυμα είναι κορεσμένο και αποθέτει το CaCO_3 .

Το pH του νερού του υπεδάφους είναι επίσης σημαντικός παράγοντας αποσάθρωσης.

Το pH των νερών γενικά μειώνεται όσο η υδάτινη μάζα ενηλικιώνεται. Μια νέα υδάτινη μάζα είναι συνήθως αλκαλική ($\text{pH} > 7$) και σιγά-σιγά με τον χρόνο γίνεται όξινη ($\text{pH} < 7$). Αυτό οφείλεται κυρίως στη συγκέντρωση οργανικού υλικού, που εκλύει CO_2 όταν αποσυντίθεται.

Δυναμικό οξειδοαναγωγής (Eh)

Σε μερικές χημικές αντιδράσεις τα στοιχεία που συμμετέχουν σε αυτές αλλάζουν το σθένος τους με την πρόσληψη ή την απώλεια ηλεκτρονίων. Όταν προσληφθεί ένα ηλεκτρόνιο τότε προκαλείται απώλεια ενός θετικού σθένους και το αποτέλεσμα είναι η αναγωγή του στοιχείου. Το αντίθετο συμβαίνει εάν χάσει το στοιχείο ένα ηλεκτρόνιο, οπότε το αποτέλεσμα είναι η οξείδωση του στοιχείου. Η παραπάνω διαδικασία ονομάζεται οξειδοαναγωγή (Καλλέργης, 2000).

Το δυναμικό οξειδοαναγωγής μας δίνει πληροφορίες σχετικά με την κατάσταση οξείδωσης των στοιχείων ενός υδατικού διαλύματος. Εάν το δυναμικό οξειδοαναγωγής είναι αρνητικό το διάλυμα είναι αναγωγικό, ενώ εάν είναι θετικό το υδατικό διάλυμα είναι οξειδωτικό (Λαμπράκης, 1994).

Σχέση pH και Eh

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, το pH δείχνει τον αριθμό των πρωτονίων και το Eh τον αριθμό των ηλεκτρονίων που υπάρχουν σε ένα υδατικό διάλυμα. Τα δύο μεγέθη συνδέονται με την εξίσωση του Nernst.

Η μεταβολή του pH στο περιβάλλον προκαλεί σημαντική μεταβολή της τιμής του δυναμικού οξειδοαναγωγής, λόγω της συμμετοχής των ιόντων OH^- στις αντιδράσεις οξειδοαναγωγής. Γνωρίζοντας τις τιμές του δυναμικού οξειδοαναγωγής σε συνάρτηση με το pH, είναι δυνατός ο προσδιορισμός των μορφών με τις οποίες βρίσκεται ένα χημικό στοιχείο σε ένα συγκεκριμένο φυσικό περιβάλλον.

Η σχέση Eh-pH είναι ιδιαίτερα χρήσιμη όταν χρησιμοποιείται με τη μορφή διαγράμματος Eh-pH. Εάν ένα διάλυμα περιέχει διάφορα ιόντα, τα οποία μπορούν να αντιδράσουν ώστε να δημιουργήσουν διάφορα προϊόντα ή να πάρουν διαφορετικά σθένη, το σταθερό προϊόν ή σθένος σε δοσμένη συγκέντρωση των αντιδρώντων θα είναι συνάρτηση του pH και Eh του διαλύματος.

Η σκληρότητα των νερών προέρχεται από την παρουσία δισθενών μεταλλικών κατιόντων, εκ των οποίων τα πιο συνηθισμένα είναι το Ca^{2+} και το Mg^{2+} . Τα ιόντα αυτά αντιδρούν με το σαπούνι και σχηματίζουν ίζημα και μαζί με ορισμένα ανιόντα, που βρίσκονται στο νερό δημιουργούν κρούστα.

Ο προσδιορισμός της σκληρότητας έχει μεγάλη σημασία, αποτελεί κριτήριο καταλληλότητας για πολλές χρήσεις των νερών, δείχνει την τάση για σχηματισμό ανθρακικών επικαθήσεων στους λέβητες και τις ψυκτικές δεξαμενές και την ικανότητα δέσμευσης σαπώνων και χρωμάτων κ.ά (Μήτράκας, 2001). Η σκληρότητα του πόσιμου νερού, μεταξύ των άλλων, συνδέεται και με την υγεία του ανθρώπου και συγκεκριμένα σχετίζεται με καρδιακές παθήσεις.

Η σκληρότητα διακρίνεται σε: α) **Παροδική ή ανθρακική** σκληρότητα που προέρχεται από την παρουσία όξινων ανθρακικών αλάτων του Ca^{2+} και Mg^{2+} , δηλ. $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ και $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$. Τα άλατα αυτά προέρχονται από τη διάλυση αλάτων Ca^{2+} και Mg^{2+} , που υπάρχουν στα διάφορα πετρώματα ή στο έδαφος μέσα από τα οποία διέρχεται το νερό. Η διάλυση αυτή διευκολύνεται από το CO_2 που ελευθερώνεται από τη βακτηριακή δράση σε οργανικές ουσίες του εδάφους ή προσλαμβάνεται από την ατμόσφαιρα. Όταν το νερό θερμανθεί τα άλατα αυτά αποσυντίθεται στα αντίστοιχα ανθρακικά και πέφτουν ως ίζημα.

β) **Μόνιμη σκληρότητα ή μη ανθρακική** που προέρχεται από την παρουσία αλκαλικών γαιών, ενωμένων με το θειϊκό ιόν, το ιόν χλωρίου και το νιτρικό ιόν. Η κύρια πηγή των θειϊκών ιόντων είναι η οξείδωση του σιδηροπυρίτη, εκτός και αν συμβαίνει απόθεση εβαποριτών.

γ) **Ολική σκληρότητα** (Total Hardness): Είναι το άθροισμα της ανθρακικής και της μόνιμης σκληρότητας. Εκφράζεται σε ισοδύναμο CaCO_3 (mg/l), αλλά και σε βαθμούς σκληρότητας.

Ο Γαλλικός βαθμός ισοδυναμεί με 10 mg/L CaCO_3 και ο Γερμανικός βαθμός ισοδυναμεί με 17,86 mg/L $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$.

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

Η περιοχή μεταξύ 15-20 γαλλικών βαθμών χαρακτηρίζουν πολύ καλό νερό από άποψη σκληρότητας. Η μηδενική σκληρότητα, η παντελής δηλ. έλλειψη ασβεστίου και μαγνησίου δεν είναι επιθυμητή (Καλλέργης, 2000).

Αλκαλικότητα

Αλκαλικότητα είναι η ικανότητα του νερού να εξουδετερώνει οξέα. Επειδή η αλκαλικότητα οφείλεται πρακτικά στην παρουσία ανθρακικών και οξυανθρακικών ιόντων, η τιτλοδοτημένη αλκαλικότητα εκφράζεται σαν η ισοδύναμη συγκέντρωση CaCO_3 (Καλλέργης, 2000). Πρόκειται δηλαδή για το άθροισμα CO_3^{2-} και HCO_3^- εκφρασμένο σε ισοδύναμο CaCO_3 , σε mg/l.

Το μεγαλύτερο μέρος των ανθρακικών και δισανθρακικών ιόντων στα υπόγεια νερά, προέρχεται από τη διάλυση των ανθρακικών πετρωμάτων, η οποία διευκολύνεται από το CO_2 το οποίο το νερό προσλαμβάνει από την ατμόσφαιρα και το έδαφος.

Χλώριο (Cl⁻)

Ο πιο συχνά χρησιμοποιούμενος ιχνηθέτης στις περιπτώσεις διείσδυσης του θαλάσσιου νερού σε κάποιο υδατικό σύστημα είναι το ιόν του Cl^- , το οποίο είναι το πιο συντηρητικό φυσικό συστατικό στο νερό, όταν αυτό είναι σε διαλελυμένη μορφή (Πεταλάς et al., 1997).

Σε αυτές τις περιπτώσεις έχει ιδιαίτερη σημασία να γνωρίζουμε τη βασική συγκέντρωση σε ιόντα Cl^- των νερών σε μια δεδομένη περιοχή, κυρίως από ιστορικές πληροφορίες ή από σημεία υδροληψίας που έχουν μείνει ανέπαφα από το αλμυρό νερό, καθώς και μικρές αλλαγές στο περιεχόμενο Cl^- είναι δυνατόν να σημαίνουν την ενεργοποίηση του φαινομένου της θαλάσσιας διείσδυσης (Schaefer, 1983).

Η συγκέντρωση του Cl^- στα γλυκά υπόγεια νερά ποικίλει από περιοχή σε περιοχή. Αξιοσημείωτο είναι επίσης, πως σε παράκτιες περιοχές το νερό της βροχής δύναται να περιέχει συγκεντρώσεις Cl^- μεταξύ 10-40 mg/l και να προσεγγίζει έτσι τις βασικές συγκεντρώσεις ορισμένων περιοχών (Custodio, 1987).

Η αρχική συγκέντρωση ιόντων Cl^- είναι δυνατόν να είναι υψηλή (>200 mg/l) σε υπόγεια νερά που δεν έχουν υποστεί υφαλμύριση. Η γνώση της παραπάνω συγκέντρωσης είναι πολύτιμη στην αναγνώριση αλλά και στην παρακολούθηση της κίνησης ενός προωθούμενου μετώπου θαλάσσιας διείσδυσης (Πεταλάς et al., 1997).

Γ.2 ΥΔΡΟΧΗΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Η χημική σύσταση του υπόγειου νερού καθορίζεται από την σύσταση των πετρωμάτων με τα οποία έρχεται σε επαφή κατά την κίνησή του από την επιφάνεια του εδάφους μέχρι τον υδροφόρο αλλά και στην συνέχεια μέσα στον ίδιο τον υδροφόρο. Η χρονική διάρκεια της επαφής του νερού με τα διάφορα πετρώματα είναι επίσης καθοριστική για την διαμόρφωση της υδροχημικής σύστασης.

Βασικός επίσης παράγοντας διαμόρφωσης του χημισμού της υπόγειας υδροφορίας της Πάρνηθας είναι η διείσδυση της θάλασσας (υφαλμύριση). Άλλες παράμετροι που επιδρούν στη διαμόρφωση των ποιοτικών χαρακτηριστικών είναι οι συνθήκες αποστράγγισης και ο χρόνος της επιφανειακής ροής του νερού πριν φθάσει στο υπέδαφος.

Γενικότερα το ποιοτικό καθεστώς των υπογείων νερών καθορίζεται κυρίως από :

1. την σύσταση των πετρωμάτων και των γεωλογικών σχηματισμών με τα οποία έρχονται σε επαφή τα ύδατα κατά την υπόγεια κίνησή τους από τις περιοχές τροφοδοσίας του υδροφόρου ορίζοντα μέχρι την περιοχή δειγματοληψίας,
2. τις συνθήκες εμπλουτισμού και ανανέωσης των, καθώς και τον χρόνο παραμονής των στο υπέδαφος,
3. τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες και την ένταση της δευτερογενούς ρύπανσης,
4. τις συνθήκες υφαλμύρωσης του υδροφόρου ορίζοντα στις παράκτιες ζώνες.

Ειδικότερα όσον αφορά την διάγνωση της διείσδυσης του θαλασσινού νερού στα υπόγεια νερά, ο REVELLE (1941) εισήγαγε το λόγο, ο οποίος είναι γνωστός ως Συντελεστής Revelle:

$$\text{Συντελεστής Revelle} = \frac{r\text{Cl}}{r\text{CO}_3 + r\text{HCO}_3} \quad (\text{σε meq/l})$$

Ο συντελεστής Revelle αποτελεί ουσιαστικά ένα είδος ιχνηθέτη, είναι εύχρηστος και χρησιμοποιήθηκε κατά κόρο για τη διαπίστωση της θαλάσσιας διείσδυσης. Αν η τιμή του ξεπεράσει το 10 αυτό θεωρείται ένδειξη διείσδυσης θαλασσινού νερού ενώ η τιμή 150-200 αντιστοιχεί σε θαλασσινό νερό. Έχουν δοθεί διάφορες τιμές του συντελεστή αυτού ενδεικτικές της ποιότητας και του βαθμού ρύπανσης του υπογείου νερού (Καλλέργης Γ. 2001). Στην συνέχεια δίνεται πίνακας (Γ-1) για τον χαρακτηρισμό του βαθμού ρυπάνσεως νερού από τη διείσδυση της θάλασσας (κατά Simpson 1946 και με τροποποιήσεις).

Πίνακας Γ-1: Πίνακας χαρακτηρισμού ρύπανσης νερού από τη διείσδυση της θάλασσας

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ REVELLE		
ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΟ ΟΡΙΟ	ΟΡΙΟ SIMPSON	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΝΕΡΟΥ
<1	0,5	Καλό υπόγειο νερό χωρίς ρύπανση από τη θάλασσα
1-2	1,3	Ελαφρά ρυπασμένο νερό
2-6	2,8	Μέτρια ρυπασμένο νερό
6-10	6,6	Σοβαρά ρυπασμένο νερό
10-150	15,5	Επικίνδυνα ρυπασμένο νερό
>150	200±	Θαλασσινό νερό

Επιπροσθέτως κάποιοι ιοντικοί λόγοι (λόγοι περιεκτικότητας του υπογείου νερού σε κάποιο ιόν, ως προς αυτή σε κάποιο άλλο ιόν) σχετίζονται άμεσα με το βαθμό ανανέωσης του ή την ανάμιξη του με θαλασσινό νερό, δίνοντας συχνά ενδιαφέρουσες υδρογεωχημικές πληροφορίες.

Εν συνεχεία δίνονται οι ιοντικοί λόγοι οι οποίοι δεικνύουν την ανάμιξη του υπογείου νερού με το θαλασσινό νερό (Σούλιος, 2006).

Ιοντικοί λόγοι :

Ο ιοντικός λόγος $r_{Cl^-} / r_{SO_4^{2-}}$:

Όταν παίρνει τιμή 10 σημαίνει ότι πρόκειται για θαλασσινό νερό.

Όταν παίρνει τιμές μεταξύ 5 και 10 σημαίνει υφάλμυρο νερό, δηλ. ανάμειξη γλυκού νερού με θαλασσινό.

Ο ιοντικός λόγος $r_{SO_4^{2-}} / r_{Cl^-}$:

Ο λόγος SO_4^{2-}/Cl^- (σε meq/l) στο θαλασσινό νερό παίρνει τιμές 0,07 έως 0,1. Για τιμές του λόγου μικρότερες του 0,2 το υπόγειο νερό χαρακτηρίζεται χλωριούχο, ενώ για τιμές μεγαλύτερες του 5 το νερό χαρακτηρίζεται θειούχο. Ενδιάμεσες τιμές χαρακτηρίζουν το υπόγειο νερό ως χλωροθειούχο (0,2-1) και θειούχο-χλωριούχο (1-5).

Ο ιοντικός λόγος r_{Na^+}/r_{Cl^-} :

Ο ιοντικός λόγος r_{Na^+}/r_{Cl^-} είναι ενδεικτικός για τη ρύπανση του υπογείου νερού από θαλάσσια διείσδυση και σχετίζεται με την υφαλμύρωση. Ο λόγος Na^+/Cl^- (meq/l) παραμένει σταθερός, ίδιος με αυτόν του νερού της βροχής και του θαλασσινού νερού ($0,876 \pm 10\%$). Ο λόγος Na^+/Cl^- (meq/l) όταν παίρνει πολύ μικρές τιμές, υποδηλώνει θαλάσσια διείσδυση. Τιμές του λόγου Na^+/Cl^- (meq/l) μεγαλύτερες της μονάδας, υποδηλώνουν υδροφορέα από αλκαλικά μαγματικά ή μεταμορφωμένα πετρώματα. Πρέπει να σημειωθεί ότι το Cl^- είναι αδρανές ιόν και απομακρύνεται εύκολα. Τιμές του λόγου $Na/Cl > 1$ σε χαμηλές τιμές αλατότητας υποδηλώνει ότι το μετεωρικό $NaCl$ δεν είναι μόνο η κύρια πηγή προέλευσης νατρίου.

Αναλυτικότερα και σε σχέση με τις τιμές του λόγου αυτού έχουμε:

Όταν $Na/Cl = 0,876 \pm 10\%$ κανονικό υπόγειο νερό.

Όταν $Na/Cl > 1$, πρόκειται για νερό από αλκαλικά ή μεταμορφωμένα πετρώματα.

Όταν $Na/Cl < 0,876 \pm 10\%$, υποδηλώνεται υφαλμύρωση του υδροφορέα (διείσδυση θαλασσινού νερού).

Ο ιοντικός λόγος Mg^{2+}/Ca^{2+} :

Ο λόγος Mg^{2+}/Ca^{2+} (meq/l) στο θαλασσινό νερό είναι περίπου 5, ενώ στο γλυκό νερό ο λόγος αυτός κυμαίνεται μεταξύ 0,2-1,5. Τιμές του λόγου Mg^{2+}/Ca^{2+} (meq/l) μεταξύ 0,5-0,7

αντιστοιχούν σε υδροφόρους ορίζοντες ασβεστολιθικών πετρωμάτων, τιμές μεταξύ 0,7-0,9 αντιστοιχούν σε υδροφόρους δολομιτικών πετρωμάτων και τιμές >0,9 σε υδροφόρους οφιολιθικών ή γενικά πυριτικών πετρωμάτων πλούσιων σε Mg^{2+} .

Στους παράκτιους καρστικούς υδροφόρους γίνεται δολομιτίωση (αντικατάσταση Ca^{2+} από Mg^{2+}). Λόγω της δολομιτίωσης ο λόγος Mg^{2+}/Ca^{2+} (meq/l) στο θαλασσινό νερό των παράκτιων καρστικών υδροφόρων με το πέρασμα του χρόνου ελαττώνεται και από την τιμή 5 τείνει προς την τιμή 2. Έτσι η τιμή του λόγου καθορίζει την ηλικία του διεισδύοντος θαλασσινού νερού.

Ιοντική σχέση (Mg+Ca)/(K+Na)

Η αναλογία $(Mg+Ca)/(K+Na)$ καθορίζεται από το ρυθμό ανανέωσης των υδροφόρων μιας περιοχής. Τιμές μικρότερες της μονάδας χαρακτηρίζουν πολύ χαμηλούς ρυθμούς ανανέωσης ενώ όταν οι τιμές μεγαλώνουν πλησιάζουμε στις περιοχές έντονου εμπλουτισμού.

Τιμές του λόγου $(Ca^{2+} + Mg^{2+})/(Na^{+} + K^{+}) > 1$ (οι συγκεντρώσεις σε meq/l) αντιστοιχούν σε περιοχές εμπλουτισμού, ενώ τιμές <1 σε περιοχές εκφόρτισης.

Ιοντική σχέση Na^{+}/K^{+}

Ο λόγος Na^{+}/K^{+} (meq/l) σε περιοχές εμπλουτισμού παίρνει τιμές 15-25, ενώ σε περιοχές εκφόρτισης 45-70, λόγω προσρόφησης Na^{+} . Ο λόγος αυτός στο θαλασσινό νερό είναι ίσος με 46, ενώ στο βρόχινο ίσος με 10.

Χλώριο Cl^{-}

Επιπροσθέτως σημαντικό στοιχείο για την διαπίστωση της θαλάσσιας διείσδυσης αποτελεί το **χλώριο**. Αν και στη βιβλιογραφία δεν υπάρχει απόλυτη συμφωνία, το νερό χαρακτηρίζεται ως **γλυκό** αν η περιεκτικότητα του σε ιόντα χλωρίου είναι έως 300 mg/l. Περιεκτικότητα του σε ιόντα χλωρίου έως 150 mg/l είναι το όριο για οικιακή χρήση (πόση κλπ.). Αν περιεκτικότητα του σε ιόντα χλωρίου είναι μεγαλύτερη από 300 mg/l ίσως μέχρι 4000-5000 mg/l τότε είναι **υφάλμυρο**. Περιεκτικότητα μεγαλύτερη από αυτή το χαρακτηρίζει **αλμυρό**. Το θαλασσινό νερό που είναι βέβαια αλμυρό έχει περιεκτικότητα σε ιόντα χλωρίου συνήθως 18.000-34.000 mg/l.

Σε κατακλείδα υπάρχει πληθώρα ερευνών και βιβλιογραφικών δεδομένων για τους υδροχημικούς δείκτες κατά την υφαλμύρωση υπογείου νερού. (Davis S.-De Wiest R.,1967, Schoeller H.,1962, Domenico P.-Schartz F.,1997, Revelle A.1940, Λαμπράκης Ν.,1994 κ.α.).

Γ.3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ - ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ

Στα πλαίσια της παρούσης Μεταπτυχιακής Εργασίας πραγματοποιήθηκε υδροχημική έρευνα που σαν σκοπό είχε την επικαιροποίηση των υδροχημικών δεδομένων των πηγών Αγίων Αποστόλων, σε σχέση με παλαιότερα προγράμματα παρακολούθησης, στις οποίες αποτυπώθηκε η πορεία του χημισμού του νερού, καθώς και του φαινομένου της υφαλμύρωσης του χρονικά.

Για την αποτύπωση των υδροχημικών χαρακτηριστικών των πηγών Αγίων Αποστόλων, χρησιμοποιήθηκαν τα αποτελέσματα χημικών αναλύσεων που έχουν πραγματοποιηθεί κατά τα έτη 2000 έως και 2006 από το ΙΓΜΕ στα πλαίσια προγραμμάτων παρακολούθησης της ποιότητας των υδάτων, όπως αυτά αποτυπώνονται στα πλαίσια της Διαχειριστικής μελέτης του Υδατικού διαμερίσματος Αττικής, καθώς και τα αποτελέσματα χημικής ανάλυσης που έγινε κατά την εκπόνηση της παρούσης Διπλωματικής Εργασίας.

Έτσι για την δειγματοληψία χρησιμοποιήθηκαν πλαστικές φιάλες 1,5 lt και τηρήθηκαν οι ασφαλείς κανόνες δειγματοληψίας. Έγινε χημική ανάλυση των νερών αυτών, στα Χημικά Εργαστήρια Α.ΑΝΔΡΕΟΥ στις 20-11-2012, με σκοπό να ελεγχθεί η ποιότητα των νερών των πηγών. Συγκεκριμένα εκτελέστηκαν οι ακόλουθοι χημικοί προσδιορισμοί, σύμφωνα με μεθόδους του «Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater» 20 Edition by APHA-AWWA-WEF:

• pH	• Ασβέστιο
• Αγωγιμότητα	• Μαγνήσιο
• Όξινα ανθρακικά	• Φθοριούχα
• Ανθρακικά	• Νάτριο
• Χλωριούχα	• Νιτρικά
• Θειικά	• Αμμωνιακά
• Κάλιο	• Σκληρότητα

Στην συνέχεια παρουσιάζονται σε πίνακα συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα όλων των χημικών αναλύσεων που διενεργήθηκαν στα πλαίσια της Διαχειριστικής μελέτης του Υδατικού διαμερίσματος Αττικής, καθώς και τα αποτελέσματα χημικής ανάλυσης που έγινε κατά την εκπόνηση της παρούσης Μεταπτυχιακής Εργασίας.

Έγινε στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων των χημικών αναλύσεων, με υπολογισμό των ελαχίστων, μεγίστων, μέσων τιμών, καθώς και των τυπικών αποκλίσεων αυτών, όπως παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα Γ-2.

Επιπροσθέτως υπολογίστηκαν οι ιοντικοί λόγοι $(Mg + Ca)/(K + Na)$, Na^+/K^+ , Mg^{2+}/Ca^{2+} , Cl/SO_4 , Na/Cl και ο συντελεστής Revelle που σχετίζονται άμεσα με το βαθμό ανανέωσης του ή την ανάμιξη του με θαλασσινό νερό, δίνοντας ενδιαφέρουσες υδρογεωχημικές πληροφορίες.

Τέλος στα πλαίσια της Μεταπτυχιακής Εργασίας, σχεδιάστηκαν τα διαγράμματα Durov, Piper, Schoeller και Stiff και κατασκευάστηκαν υδροχημικά συσχετιστικά διαγράμματα για τα ζεύγη ιόντων Na/Cl , Ca/Mg , Cl/SO_4 .

ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΥΦΑΛΜΥΡΩΝ ΚΑΡΣΤΙΚΩΝ ΠΗΓΩΝ ΑΓΙΩΝ ΑΠΟΣΤΟΛΩΝ

Πίνακας Γ-2: Στατιστική επεξεργασία Χημικών αναλύσεων νερού από τις πηγές των Αγίων Αποστόλων

ΑΡΙΘΜΟΣ ΥΔΡΟ- ΣΗΜΕΙΟΥ	ΕΙΔΟΣ	ΗΜΕΡ/ΝΙΑ ΔΕΙΓΜΑ- ΤΟΛΗΨΙΑΣ	ΦΥΣ/ΧΗΜΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ Θ=25°C		ΑΝΙΟΝΤΑ (mg/l)					ΚΑΤΙΟΝΤΑ (mg/l)				ΔΕΙΚΤΕΣ ΜΟΛΥΝΣΗΣ (mg/l)		ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ (mg/l CaCO ₃)		
			pH	ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ (μS/cm)	Cl	SO ₄	NO ₃	CO ₃	HCO ₃	Ca	Mg	Na	K	NO ₂	NH ₄	Παρο- δική	Μόνιμη	Ολική
ΑΝΩΤΕΡΗ ΑΠΟΔΕΚΤΗ ΤΙΜΗ			6.5-9.5	2500	250	250	50	-	-	-	50	200	12	0,5	0,5	-	-	-
75% ΑΝΩΤΕΡΗΣ ΑΠΟΔΕΚΤΗΣ ΤΙΜΗΣ			-	1875	187,5	187,5	37,5	-	-	100	-	150	9	0,375	0,375	-	-	-
Π/ΑΓΠ-Δ	ΠΗΓΗ	24/1/2000	7,1	12300	3368	576,4	<5	0	318,5	240,5	174,1	1936	68,8	<0,05	<0,26	261	1055	1316
Π/ΑΓΠ-Δ	ΠΗΓΗ	8/5/2000	7,5	11600	3403,8	852,5	<5	0	329,5	256,5	175,1	2069,1	78,2	<0,05	<0,26	270	1090	1360
Π/ΑΓΠ-Δ	ΠΗΓΗ	24/7/2000	7,6	10000	3247,8	562	<5	0	334,4	237,3	175,1	1862,2	62,6	<0,05	<0,26	274	1038	1312
Π/ΑΓΠ-Δ	ΠΗΓΗ	3/10/2000	7,7	10600	3262	576,4	<5	0	338,1	243,7	169,3	1885	58,7	<0,05	<0,26	277	1027	1304
Π/ΑΓΠ-Δ	ΠΗΓΗ	22/1/2001	7,7	11000	3304	576	6,2	0	336	247	169	1908	58,7	<0,05	<0,26	275	1037	1312
Π/ΑΓΠ-Δ	ΠΗΓΗ	24/4/2001	8	11900	3347	480,3	<5	0	347,8	187,6	209,2	1885	58,7	<0,05	<0,26	285	1043	1328
Π/ΑΓΠ-Δ	ΠΗΓΗ	23/7/2001	7	11600	3162,7	406,8	<5	0	329,5	208,4	184,8	1747,2	58,7	<0,05	<0,26	270	1010	1280
Π/ΑΓΠ-Δ	ΠΗΓΗ	1/10/2001	7,4	9800	3077,6	312,2	6,2	0	323,4	240,5	159,5	1655,3	58,7	<0,05	<0,26	265	991	1256
Π/ΑΓΠ-Δ	ΠΗΓΗ	11/5/2002	7,2	13000	3971,1	519,7	<5	0	331,9	275,8	212,1	2184,1	78,2	<0,05	<0,26	272	1288	1560
Π/ΑΓΠ-Δ	ΠΗΓΗ	22/7/2002	7,5	11800	3634,2	376,6	<5	0	336,8	250,5	194,6	1954,2	78,2	<0,05	<0,26	276	1149	1425
Π/ΑΓΠ-Δ	ΠΗΓΗ	1/10/2002	7,8	10300	3439,2	413,1	<5	0	335,6	232,5	199,4	1873,7	62,6	<0,05	<0,26	275	1125	1400
Π/ΑΓΠ-Δ	ΠΗΓΗ	23/1/2003	7,7	11049	3560	528,3	<5	0	342,9	248,5	201,9	1986	66,5	<0,05	<0,26	281	1169	1450
Π/ΑΓΠ-Δ	ΠΗΓΗ	8/5/2003	7,7	10867	3482	445,7	<5	0	343	273	218	1839	58,7	<0,05	<0,26	281	1295	1576
Π/ΑΓΠ-Δ	ΠΗΓΗ	2/10/2003	8,2	9387	2978	220,9	<5	0	350	43	309	1497	62,6	<0,05	<0,26	287	1093	1380
Π/ΑΓΠ-Δ	ΠΗΓΗ	6/2/2004	7,6	10200	3156	420	<5	0	373	228	169	1770	58,7	<0,05	<0,26	306	959	1265
Π/ΑΓΠ-Δ	ΠΗΓΗ	19/1/2006		8700	2961		<5							<0,05	<0,26			
Π/ΑΓΠ-Δ	ΠΗΓΗ	3/5/2006	7,5	8600	2907		<5							<0,05	<0,26			
Π/ΑΓΠ-Δ	ΠΗΓΗ	18/7/2006	8	8191	2411		<6							<0,05	<0,26			
Π/ΑΓΠ-Δ*	ΠΗΓΗ	10/11/2012	7,35	10350	3260	289		27	313	257	168	1690	61,3	<0,05	<0,26			1328
ΠΛΗΘΟΣ ΔΟΚΙΜΩΝ			18	19	19	16	18	16	16	16	16	16	16	19	19	15	15	16
ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΤΙΜΗ			7,0	8191,0	2411,0	220,9	5,0	0,0	313,0	43,0	159,5	1497,0	58,7	0,1	0,3	261,0	959,0	1256,0
ΜΕΓΙΣΤΗ ΤΙΜΗ			8,2	13000,0	3971,1	852,5	6,2	27,0	373,0	275,8	309,0	2184,1	78,2	0,1	0,3	306,0	1295,0	1576,0
ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ			7,6	10591,8	3259,6	472,2	5,2	1,7	336,5	229,4	193,0	1858,9	64,4	0,1	0,3	277,0	1091,3	1365,8
PERCENTILE 95%			8,0	12370,0	3667,9	645,4	6,2	6,8	355,8	273,7	240,8	2097,9	78,2	0,1	0,3	292,7	1290,1	1564,0
ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ			0,3	1299,8	327,2	149,1	0,5	6,8	13,9	54,2	35,9	164,7	7,5	0,0	0,0	10,6	99,4	96,1

Π/ΑΓΠ-Δ* Χημική ανάλυση στα πλαίσια της μεταπτυχιακής εργασίας

Γ.4 ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ ΠΗΓΩΝ ΑΓΙΩΝ ΑΠΟΣΤΟΛΩΝ

Από τα διαθέσιμα συγκριτικά στοιχεία όλων των χημικών αναλύσεων που έχουν πραγματοποιηθεί κατά τα έτη 2000 έως και 2006 στα πλαίσια προγραμμάτων παρακολούθησης από το ΙΓΜΕ, όπως αυτά αποτυπώνονται στα πλαίσια της Διαχειριστικής Μελέτης του Υδατικού Διαμερίσματος Αττικής, καθώς και τα αποτελέσματα χημικής ανάλυσης που έγινε κατά την εκπόνηση της παρούσης Μεταπτυχιακής Εργασίας, προκύπτουν τα ακόλουθα :

- το pH έχει ένα εύρος τιμών μεταξύ του 7.6 και 8.2
- η αγωγιμότητα κυμαίνεται μεταξύ 8.191 $\mu\text{S}/\text{cm}$ και 13.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$
- η τιμή του Cl κυμαίνεται μεταξύ 2.411 mg/l και 3.971 mg/l
- η τιμή του Mg κυμαίνεται μεταξύ 159,5 και 309 mg/l
- η περιεκτικότητα του νερού σε SO_4 κυμαίνεται μεταξύ 220,9 και 852,5 mg/l
- η περιεκτικότητα του νερού Na, κυμαίνεται μεταξύ 1.497 και 2.184,1 mg/l.

Τα υπόγεια νερά στην περιοχή, εξεταζόμενα στο σύνολο τους, μπορούν να χαρακτηριστούν ως νατριοχλωριούχα λαμβάνοντας υπόψη και το επικρατών ανιόν και κατιόν στα περισσότερα δείγματα. Η σχετική επικράτηση των ιόντων ασβεστίου και των οξυανθρακικών, υποδηλώνει την παρουσία νερών που έχουν κινηθεί κατά κύριο λόγο σε ανθρακικά πετρώματα ή σε σχηματισμούς με μεγάλο ποσοστό ασβεστιτικών ορυκτών.

Οι τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (E.C.) κυμαίνονται μεταξύ 8.191 και 13.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, με μέση τιμή 10.591,8 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Από τα κύρια κατιόντα, τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις παρουσιάζει το νάτριο με μέση τιμή 1.859 mg/l και διακύμανση τιμών μεταξύ 1.497 και 2.184,1 mg/l ακολουθεί το ασβέστιο με μέση τιμή 229,4 mg/l και διακύμανση τιμών μεταξύ 43 και 275,8 mg/l. Τέλος δε το μαγνήσιο με μέση τιμή 193 mg/l και διακύμανση τιμών μεταξύ 159,5 και 309 mg/l.

Από τα κύρια ανιόντα έντονη είναι η επικράτηση των χλωριόντων με μέση τιμή 3.259,6 mg/l και διακύμανση τιμών μεταξύ 2.411 και 3.971,1 mg/l. Ακολουθούν τα θειικά με μέση τιμή 472,2 mg/l και διακύμανση τιμών μεταξύ 220,9 και 852,5 mg/l και τα οξυανθρακικά με μέση τιμή 336,5 mg/l και διακύμανση τιμών μεταξύ 313 και 373 mg/l.

Ο λόγος Cl/HCO_3 (συντελεστής Revelle) έχει μέση τιμή 17,02 και αντικατοπτρίζει υπόγεια νερά τα οποία είναι επικίνδυνα ρυπασμένα λόγω θαλάσσιας ρύπανσης (SIMPSON, 1946).

Η μέση τιμή των κύριων ιοντικών σχέσεων για τον λόγο Na/Cl είναι 0.85 και διακύμανση τιμών μεταξύ 0.78 και 0.94 και για το λόγο Cl/SO_4 η μέση τιμή είναι 10.5 και διακύμανση τιμών μεταξύ 5.41 και 18.26. Οι τιμές των ιοντικών αυτών σχέσεων υποδηλώνουν περιοχές οι οποίες έχουν υποστεί θαλάσσια ρύπανση εμφανίζοντας υφάλμυρα ύδατα. Η μέση τιμή των κύριων ιοντικών σχέσεων για τον λόγο SO_4/Cl είναι 0.10 και διακύμανση τιμών μεταξύ 0.05 και 0.18, γεγονός που χαρακτηρίζει το νερό ως χλωριούχο.

Η μέση τιμή των κύριων ιοντικών σχέσεων για τον λόγο Na/K είναι 49.40 και διακύμανση τιμών μεταξύ 40.67 και 55.28 υποδηλώνοντας περιοχές εκφόρτισης (45-70), ενώ ο λόγος αυτός στο θαλασσινό νερό είναι ίσος με 46. Η μέση τιμή για το λόγο Mg/Ca είναι 1.93 και διακύμανση τιμών μεταξύ 1.08 και 11.84. Επιπροσθέτως, η περιεκτικότητα σε ιόντα χλωρίου Cl παρουσιάζει μέση τιμή 3.260 και διακύμανση τιμών μεταξύ 2.411 και 3.971 mg/l, χαρακτηρίζοντας το νερό ως υφάλμυρο.

Τέλος η μέση τιμή για το λόγο $(\text{Ca}+\text{Mg})/(\text{K}+\text{Na})$ είναι 0.33 και διακύμανση τιμών μεταξύ 0.30 και 0.41 υποδηλώνοντας πολύ χαμηλούς ρυθμούς ανανέωσης του νερού. Επίσης τιμές <1 υποδηλώνουν περιοχές εκφόρτισης.

Πίνακας Γ-3: Πίνακας ιοντικών λόγων χαρακτηρισμού ρύπανσης νερού από τη διείσδυση της θάλασσας

Ημερομηνία δειγματοληψίας	συντελεστής Revelle	Σχέση Mg/Ca	Σχέση Na/Cl	Σχέση Na/K	Σχέση (Ca+Mg)/(K+Na)	Σχέση SO ₄ /Cl	Σχέση Cl/SO ₄	SAR
		(%meq/lit)	(%meq/lit)	(%meq/lit)	(%meq/lit)	(%meq/lit)	(%meq/lit)	
24/1/2000	18,198	1,193	0,886	47,856	0,306	0,126	7,916	23,213
8/5/2000	17,778	1,125	0,937	44,998	0,296	0,185	5,409	24,404
24/7/2000	16,714	1,216	0,884	50,591	0,318	0,128	7,829	22,361
3/10/2000	16,604	1,145	0,891	54,613	0,312	0,130	7,667	22,703
22/1/2001	16,922	1,128	0,891	55,279	0,310	0,129	7,771	22,919
24/4/2001	16,561	1,838	0,869	54,613	0,318	0,106	9,440	22,496
23/7/2001	16,518	1,461	0,852	50,620	0,330	0,095	10,532	21,243
1/10/2001	16,377	1,093	0,829	47,958	0,342	0,075	13,354	20,316
11/5/2002	20,590	1,267	0,848	47,499	0,322	0,097	10,351	24,050
22/7/2002	18,569	1,280	0,829	42,499	0,328	0,076	13,073	22,515
1/10/2002	17,636	1,413	0,840	50,903	0,337	0,089	11,278	21,781
23/1/2003	17,867	1,339	0,860	50,790	0,329	0,110	9,129	22,683
8/5/2003	17,470	1,316	0,815	53,280	0,387	0,094	10,583	20,139
2/10/2003	14,643	11,843	0,775	40,669	0,413	0,055	18,263	17,541
6/2/2004	14,561	1,222	0,865	51,281	0,322	0,098	10,179	21,656
10/11/2012*	15,249	1,077	0,799	46,886	0,355	0,065	15,281	20,141
ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΤΙΜΗ	14,56	1,08	0,78	40,67	0,30	0,05	5,41	17,54
ΜΕΓΙΣΤΗ ΤΙΜΗ	20,59	11,84	0,94	55,28	0,41	0,18	18,26	24,40
ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	17,02	1,93	0,85	49,40	0,33	0,10	10,50	21,89

Π/ΑΓΠ-Δ*: Χημική ανάλυση στα πλαίσια της μεταπτυχιακής εργασίας

Γ.5 ΥΔΡΟΧΗΜΙΚΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ

Γ.5.1 ΓΕΝΙΚΑ

Στα πλαίσια της παρούσης εργασίας έγινε υδροχημική αξιολόγηση του υπόγειου νερού με βάση τα δεδομένα των χημικών αναλύσεων που έχουν πραγματοποιηθεί κατά τα έτη 2000 έως και 2006 στα πλαίσια προγραμμάτων παρακολούθησης του ΙΓΜΕ, της ποιότητας των υδάτων, όπως αυτά αποτυπώνονται στα πλαίσια της Διαχειριστικής Μελέτης του Υδατικού Διαμερίσματος Αττικής, καθώς και τα αποτελέσματα χημικής ανάλυσης που έγινε κατά την εκπόνηση της παρούσης Μεταπτυχιακής Εργασίας.

Εποπτική εικόνα των πολυάριθμων δεδομένων είναι δυνατή μέσω των υδροχημικών διαγραμμάτων, που πέρα από την σύγκριση επιτρέπουν και την ταξινόμηση των αναλυθέντων δειγμάτων νερού, δίνοντας πληροφορίες για την υδροχημική τους φάση.

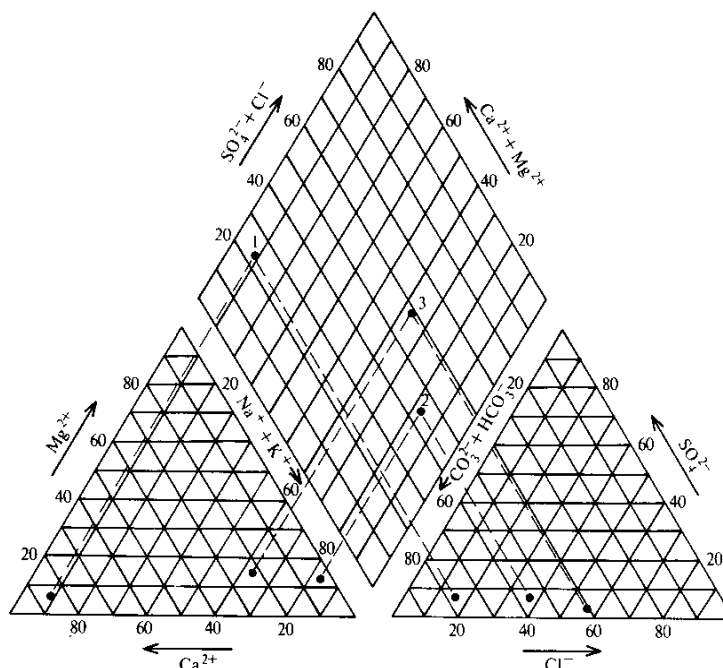
Στα πλαίσια της παρούσης Μεταπτυχιακής Εργασίας, σχεδιάσθηκαν τα διαγράμματα Durov, Piper, Schoeller και Stiff, τα χαρακτηριστικά των οποίων αναφέρονται συνοπτικά στην συνέχεια.

Επιπροσθέτως κατασκευάσθηκαν υδροχημικά συσχετιστικά διαγράμματα για τα ζεύγη ιόντων Na/Cl, Ca/Mg, Cl/SO₄.

Διαγράμματα Piper

Είναι ένα από τα πρώτα από τα λεγόμενα τριγραμμικά διαγράμματα που επινοήθηκαν για την παρουσίαση των αποτελεσμάτων των χημικών αναλύσεων δειγμάτων νερού. Μια πρώτη προσπάθεια είχε κάνει ο Hill το 1940, και την προσπάθεια αυτή τελειοποίησε ο Piper το 1944. Από τότε άρχισε να χρησιμοποιείται ευρέως σε όλο τον κόσμο, τόσο για την παρουσίαση των χημικών αναλύσεων όσο και για τον προσδιορισμό της υδροχημικής φάσης των υπόγειων νερών.

Τα διαγράμματα Piper αποτελούνται από δυο ισόπλευρα τρίγωνα (ένα για τα κατιόντα και ένα για τα ανιόντα), και από ένα ρόμβο που είναι τοποθετημένος ανάμεσα στα δυο τρίγωνα (Εικ.Γ-1).



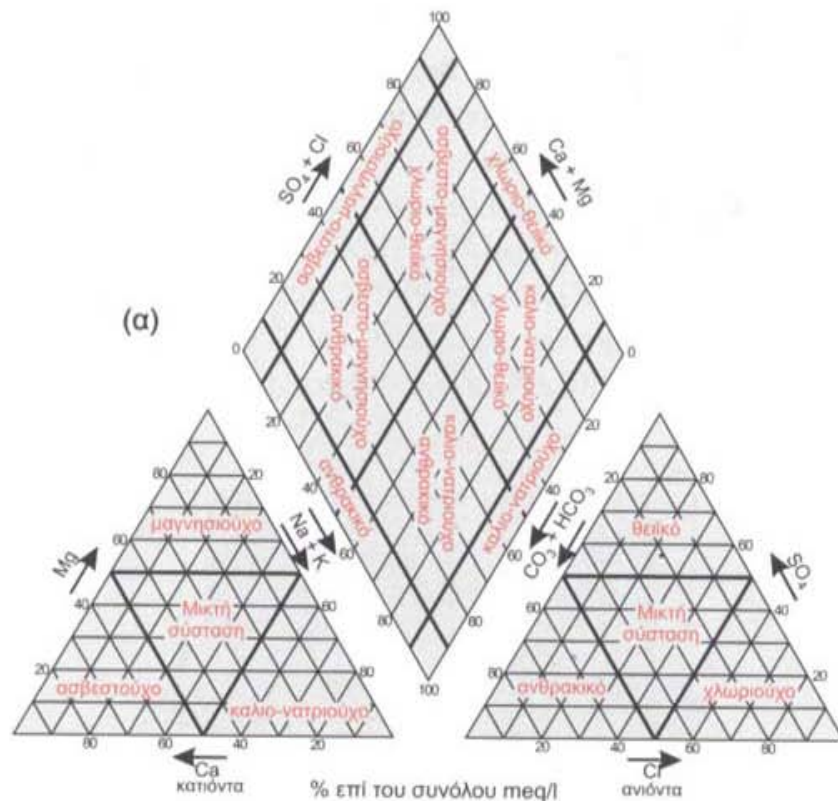
Εικόνα Γ-1: Διάγραμμα Piper

Τα κατιόντα προβάλλονται στο τρίγωνο των κατιόντων. Στην μια πλευρά του τριγώνου προβάλλεται το Ca^{2+} , στην άλλη το Mg^{2+} και στην τρίτη τα $(\text{Na}^+ + \text{K}^+)$. Η συγκέντρωση για κάθε κατιόν, που έχει υπολογιστεί σε meq/l , μετατρέπεται σε ποσοστό % του συνόλου των κατιόντων.

Τα ανιόντα προβάλλονται στο τρίγωνο των ανιόντων. Στην μια πλευρά του τριγώνου προβάλλονται τα HCO_3^- στην άλλη τα SO_4^{2-} και στην τρίτη τα Cl^- . Η συγκέντρωση για κάθε ανιόν, που έχει υπολογιστεί σε meq/l, μετατρέπεται σε ποσοστό % του συνόλου των ανιόντων.

Για κάθε δείγμα νερού, τα σημεία που έχουν προβληθεί στα τρίγωνα των κατιόντων και των ανιόντων, προβάλλονται στη συνέχεια στον ρόμβο. Η προβολή τους στο ρόμβο είναι το σημείο τομής δυο γραμμών που φέρονται, από το σημείο προβολής τους σε κάθε τρίγωνο, παράλληλα προς τις δυο εξωτερικές πλευρές των τριγώνων.

Τα διαγράμματα αυτά παρουσιάζουν το πλεονέκτημα, ότι είναι άμεση η αναγνώριση των ομοιοτήτων και των διαφορών που παρουσιάζουν διάφορα δείγματα νερού, καθώς και της ανάμειξης δύο διαφορετικών νερών, ενώ με τη βοήθεια των διαγραμμάτων Piper καθορίζονται οι υδροχημικές φάσεις (εικ.Γ-2).



Εικόνα Γ-2: Οι υδροχημικές φάσεις των τριγραμμικών διαγραμμάτων.

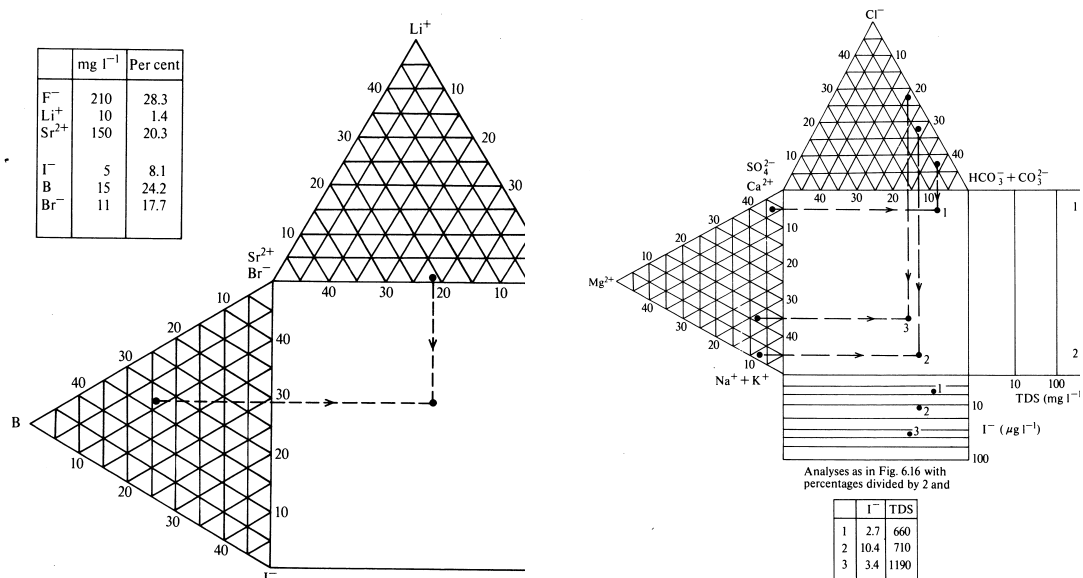
Στο διάγραμμα Piper μπορεί να απεικονιστεί επίσης και το σύνολο των διαλυμένων συστατικών. Η απεικόνιση γίνεται χρησιμοποιώντας έναν κύκλο που το κέντρο του βρίσκεται στο σημείο προβολής της χημικής σύστασης στον ρόμβο και η διάμετρος του είναι ανάλογη της τιμής του TDS. Το σύνολο των διαλυμένων στερεών (TDS) καθορίζεται από το βάρος του υπολείμματος που προκύπτει από την εξάτμιση συγκεκριμένου όγκου νερού.

Διαγράμματα Durov

Ένα άλλο, εναλλακτικό τριγραμμικό διάγραμμα, απέναντι σ' αυτό του Piper, είναι το διάγραμμα που επινόησε και παρουσίασε ο Durov (1948). Αποτελείται από ένα τετράγωνο και από δυο ισόπλευρα τρίγωνα που η μια πλευρά κάθε τριγώνου ταυτίζεται με μία από τις

δύο κάθετες πλευρές του τετραγώνου (Εικ.Γ-3).

Όπως και το διάγραμμα Piper, έτσι κι αυτό, βασίζεται στο % ποσοστό της συγκέντρωσης των κύριων ιόντων, εκφρασμένης σε χιλιοστοίσοδύναμα. Όμως σ' αυτή την περίπτωση το ποσοστό συμμετοχής κάθε ανιόντος ή κατιόντος εκφράζεται ως ποσοστό στο συνολικό άθροισμα των κατιόντων και των ανιόντων. Είναι προφανές ότι με αυτόν τρόπο έκφρασης της συγκέντρωσης, η συγκέντρωση κάθε ανιόντος ή κάθε κατιόντων παίρνει τιμές που κυμαίνονται μεταξύ του 0 και του 50%. Γι' αυτό το λόγο η κάθε πλευρά των δύο τριγώνων αντιστοιχεί σε έναν άξονα που ξεκινά από την τιμή 0 και φτάνει μέχρι την τιμή 50%. Η συγκέντρωση για κάθε ανιόν και κατιόν προβάλλεται στο κατάλληλο τρίγωνο, και στη συνέχεια προβάλλεται στο κύριο τετράγωνο. Στο ίδιο διάγραμμα θα μπορούσαν να προβληθούν δυο ακόμη, οποιοσδήποτε παράμετροι (π.χ. η μια πλευρά του τετραγώνου να χρησιμοποιηθεί για την προβολή της συγκέντρωσης των ιόντων ιωδίου και η άλλη για την προβολή του συνόλου των διαλυμένων στερεών).



Εικόνα Γ-3: Διάγραμμα Durov

Το επεκταμένο διάγραμμα Durov αναπτύχθηκε από τους Burdon και Mazloun (1958) και από τον Lloyd (1965) και βασίστηκε στο διάγραμμα Durov. Πρόκειται για δυο διαγράμματα Piper, διατεταγμένα στις δυο κάθετες πλευρές ενός τετραγώνου.

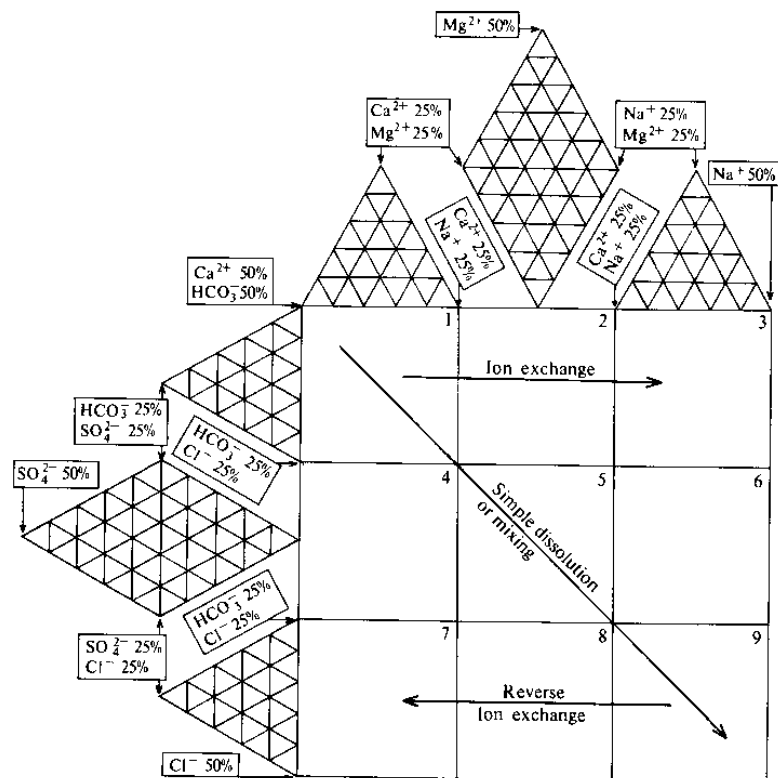
Στη μορφή αυτή υπάρχουν ξεχωριστά τρίγωνα για τα ανιόντα και τα κατιόντα μόνο που κάθε πλευρά κάθε τριγώνου αντιπροσωπεύει έναν άξονα που οι υποδιαιρέσεις του αντιστοιχούν στο 25% της συγκέντρωσης (δηλ. κάθε πλευρά μπορεί να αντιστοιχεί σε συγκεντρώσεις που κυμαίνονται μεταξύ 0 και 25% ή μεταξύ 25 και 50%). (εικ.Γ-4)

Η σημασία των εννέα πεδίων του επεκταμένου διαγράμματος Durov όπως σημειώνονται στην εικόνα Γ-4, είναι η παρακάτω:

- Κυριαρχούν τα HCO_3^- και τα Ca^{2+} . Συνήθως αντιπροσωπεύουν μικρού βάθους, γλυκά υπόγεια νερά, κοντά στην περιοχή τροφοδοσίας των υδροφόρων και συνδέονται με διάφορους τύπους υδροφόρων οριζόντων. Νερά επηρεασμένα συνήθως από ροή του νερού μέσα σε ασβεστόλιθους, ψαμμίτες κ.α.
- Κυριαρχούν τα HCO_3^- και τα Mg^{2+} . Όμως, τα κατιόντα μπορεί να αντιπροσωπεύονται, εκτός από Mg^{2+} και από Ca^{2+} είτε σε μη σημαντικά διαφορετικές συγκεντρώσεις, είτε με σαφή υπεροχή των Mg^{2+} έναντι των Ca^{2+} . Ο υδροχημικός τύπος Mg-HCO_3 είναι τυπικός της "leading-edge" διεξόδου θαλασσινού νερού σε αβαθείς ελεύθερους υδροφόρους ορίζοντες. Ο τύπος Mg-Ca-HCO_3 συνήθως συνδέεται με αβαθή γλυκά

υπόγεια νερά που ο υδροφόρος αποτελείται εν μέρει από δολομίτες. Εάν η συγκέντρωση των Ca^{2+} και Na^+ είναι σημαντική τότε αυτό είναι ένδειξη διαδικασιών μερικής ιοντο-ανταλλαγής.

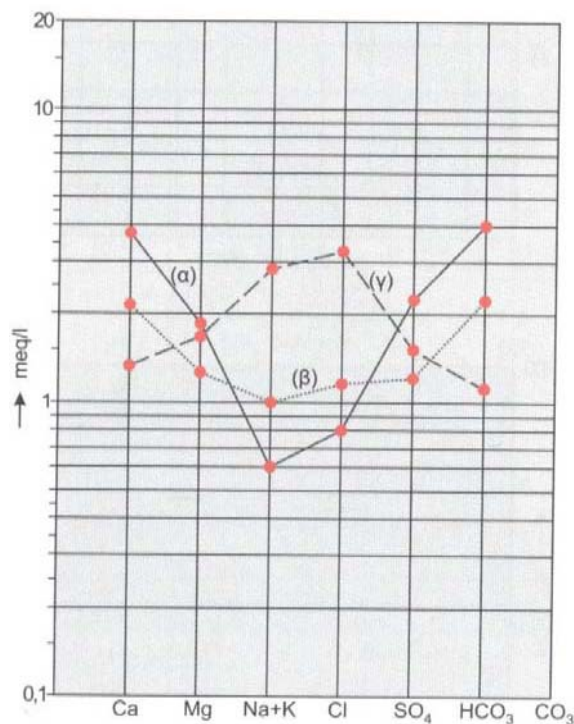
- Κυριαρχούν τα HCO_3 και τα Na^+ . Υποδηλώνουν διαδικασίες ιοντο-ανταλλαγής, αν και είναι γνωστό ότι, κάτω από ορισμένες συνθήκες και σε κάποιο βάθος, η παρουσία CO_2 και η μεγάλη συγκέντρωση Na^+ , μπορεί να δημιουργήσει HCO_3 . Η Na-HCO_3 φάση συνδέεται με αβαθείς υδροφόρους ή με υδροφόρους που σε κάποιο τμήμα τους είναι υπό πίεση.
- Κυριαρχούν τα SO_4^{2-} . Μπορεί όμως να μην υπάρχει σαφής υπεροχή κάπου ανιόντος αλλά από την μεριά των κατιόντων να αφθονούν τα Ca^{2+} , ή να επικρατούν τα SO_4 και τα Ca^{2+} . Η Ca-SO_4 υδροχημική φάση είναι δείκτης υδροφόρων που συνδέονται με γύψους, ενδεχομένως και με λάβες, ή ότι τα υπόγεια νερά έχουν επηρεαστεί από την οξείδωση πυριτών ή και άλλων θειούχων ορυκτών. Επί πλέον το πεδίο αυτό υποδηλώνει νερά που έχουν προέλθει από την ανάμειξη διαφορετικών νερών ή νερά που έχουν εκτεθεί σε απλή διάλυση.
- Δεν υπάρχει συγκεκριμένη επικρατούσα υδροχημική φάση. Συνήθως τα νερά αυτού του πεδίου προέρχονται από την ανάμειξη νερών δυο ή περισσότερων υδροχημικών φάσεων, ή είναι αποτέλεσμα απλής διάλυσης.
- Κυριαρχούν τα SO_4^{2-} ή μπορεί να μην έχουμε σαφή υπεροχή κάποιου ανιόντος αλλά να επικρατούν τα Na^+ . Ο Na-SO_4 υδροχημικός τύπος συναντάται πολύ σπάνια. Συνήθως είναι αποτέλεσμα της ανάμειξης παλιών πλούσιων σε Na υπόγειων νερών και νερών που έχουν επηρεαστεί από την οξείδωση πυριτών. Μπορούν επίσης να προκύψει από την έντονη εξάτμιση νερών τα οποία προηγουμένως έχουν χάσει το Ca και το HCO_3 λόγω καθίζησης του ανθρακικού ασβεστίου.
- Κυριαρχούν τα Cl^- και τα Ca^{2+} . Είναι νερά που και αυτά δεν τα συναντάμε συχνά, εκτός και εάν έχουν επηρεαστεί από το τσιμέντο που έχουμε χρησιμοποιήσει στην κατασκευή του υδροληπτικού έργου. Μπορούν να προκύψουν από την ανάστροφη ιοντο-ανταλλαγή νατριούχων και χλωριούχων νερών. Ο Ca-Cl υδροχημικός τύπος συνήθως απαντάται σε αβαθείς υδροφόρους με γλυκό νερό που έχουν επηρεαστεί από διείσδυση θαλασσινού νερού. Σπανιότερα μπορεί να προκύψει από τη διάλυση του CaCl_2 .
- Κυριαρχούν τα Cl^- . Εάν δεν υπάρχει επικρατούν κατιόν τότε τα υπόγεια νερά μπορεί να σχετίζονται με ανάστροφη ιοντο-ανταλλαγή νατριούχων και χλωριούχων νερών. Ο υδροχημικός τύπος Mg-Na-Ca-Cl είναι συνήθως αποτέλεσμα ανάμειξης γλυκού και θαλασσινού νερού.
- Κυριαρχούν τα Cl^- και τα Na^+ και συνήθως υποδηλώνουν "end-point" νερά. Ο Na-Cl υδροχημικός τύπος υποδηλώνει επίδραση θαλασσινού νερού, παλιά υπερ-άλμυρα νερά (σαλαμούρες) ή διάλυση του ορυκτού αλίτη (NaCl).



Εικόνα Γ-4: Επεκταμένο διάγραμμα Durov με τα εννέα υδροχημικά πεδία και τις υποδηλούμενες υδροχημικές διαδικασίες

Διάγραμμα Schoeller

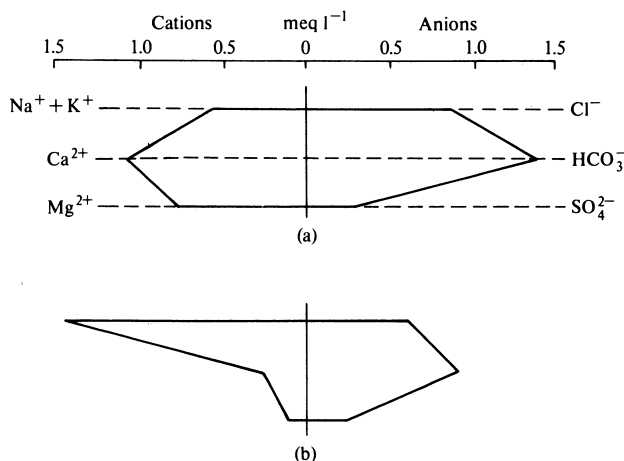
Το ημιλογαριθμικό διάγραμμα Schoeller αποτελείται από ένα κατακόρυφο άξονα που έχει τιμές διαφόρων ιόντων σε meq/l σε ημιλογαριθμική κλίμακα και στον οριζόντιο άξονα σε δεκαδική κλίμακα τα διάφορα ιόντα με την εξής σειρά: Ca^{++} , Mg^{++} , $\text{Na}^{+} + \text{K}^{+}$, Cl^{-} , SO_4^{2-} , HCO_3^{-} .



Εικόνα Γ-5: Διαγράμματα Schoeller

Διαγράμματα Stiff

Στα διαγράμματα αυτά οι ιοντικές συγκεντρώσεις, εκφραζόμενες σε meq/l προβάλλονται σε οριζόντιους άξονες. Τα κατιόντα προβάλλονται αριστερά και τα ανιόντα δεξιά από ένα κατακόρυφο άξονα. Τα δεδομένα προβάλλονται σε τέσσερις παράλληλες, οριζόντιες γραμμές και τα σημεία προβολής ενώνονται μεταξύ τους και σχηματίζουν ένα πολύγωνο.



Εικόνα Γ-6: Διαγράμματα Stiff

Ακολούθως γίνεται η αξιολόγηση των υδροχημικών διαγραμμάτων που κατασκευάστηκαν με την χρήση του λογισμικού Aq•QA 1.1.

Γ.5.2 ΥΔΡΟΧΗΜΙΚΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΑΓΙΩΝ ΑΠΟΣΤΟΛΩΝ

Στα πλαίσια της παρούσης Διπλωματικής εργασίας έγινε υδροχημική αξιολόγηση του υπόγειου νερού των πηγών Αγίων Αποστόλων με βάση τα δεδομένα των χημικών αναλύσεων που έχουν πραγματοποιηθεί κατά τα έτη 2000 έως και 2006 στα πλαίσια προγραμμάτων παρακολούθησης από το ΙΓΜΕ, όπως αυτά αποτυπώνονται στα πλαίσια της Διαχειριστικής μελέτης του Υδατικού διαμερίσματος Αττικής, καθώς και τα αποτελέσματα χημικής ανάλυσης που έγινε κατά την εκπόνηση της παρούσης Διπλωματικής Εργασίας.

Εποπτική εικόνα των πολυάριθμων δεδομένων είναι δυνατή μέσω των υδροχημικών διαγραμμάτων, που πέρα από την σύγκριση επιτρέπουν και την ταξινόμηση των αναλυθέντων δειγμάτων νερού, δίνοντας πληροφορίες για την υδροχημική τους φύση.

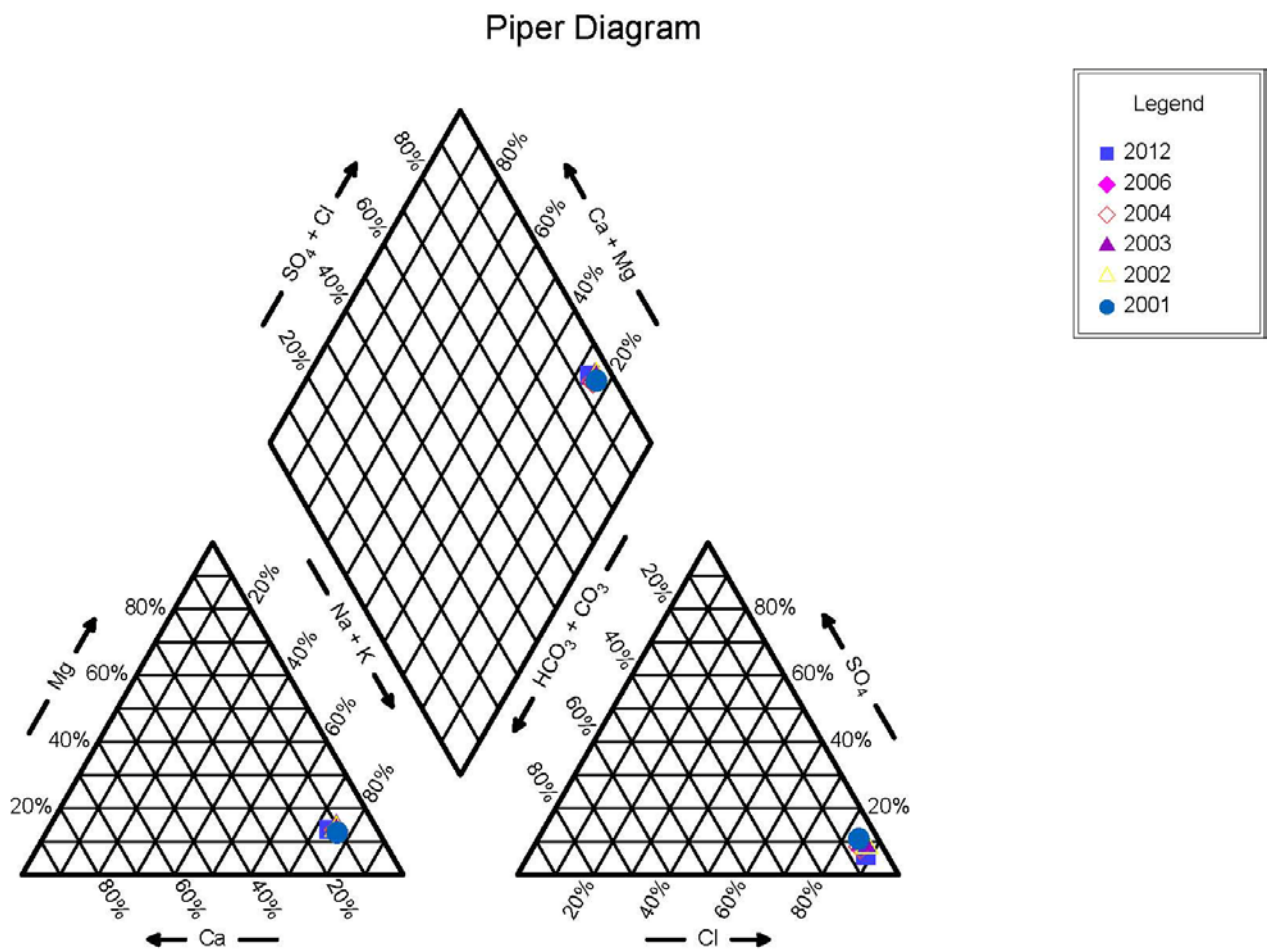
Για την κατασκευή των υδροχημικών διαγραμμάτων Piper, Durov, Schoeller και Stiff στις χημικές αναλύσεις χρησιμοποιήθηκε το σύνολο των δειγμάτων.

Επίσης κατασκευάστηκαν συσχετιστικά διαγράμματα ζευγών ιόντων.

Διαγράμματα Piper

Από την θεώρηση των διαγραμμάτων Piper για το σύνολο των δειγμάτων συμπεραίνεται ότι:

- βάση των ανιόντων κατατάσσονται στην κατηγορία των χλωριούχων,
- βάση των κατιόντων κατατάσσονται στην κατηγορία των καλίου-νατριούχων,
- βάση του συνόλου των ιόντων κατατάσσονται κυρίως στις κατηγορίες των χλωριο-θεικών.



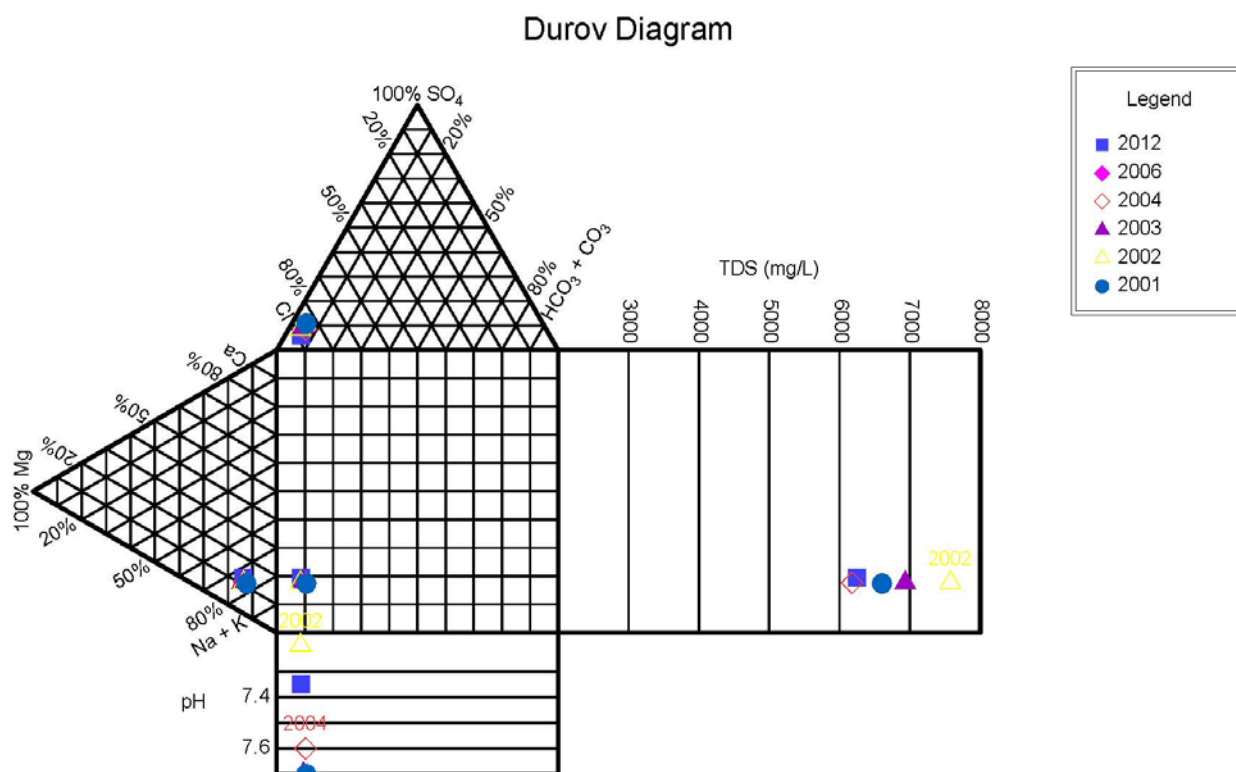
Διαγράμματα Durov

Για την εφαρμογή του διαγράμματος Durov χρησιμοποιούνται ως μονάδες meq/lit και μάλιστα η εκατοστιαία αναλογία τους στα κατιόντα και στα ανιόντα χωριστά. Η κατασκευή των διαγραμμάτων Durov έγινε με χρήση του λογισμικού Aq-QA 1.1.

Από τη θεώρηση των διαγραμμάτων Durov του συνόλου των δειγμάτων, διακρίνεται η επικράτηση των χλωριόντων όσον αφορά στα κατιόντα, ενώ όσον αφορά στα ανιόντα επικρατεί το άθροισμα Na+K.

Συνεπώς από την επικράτηση των ιόντων Cl⁻ και Na⁺ υποδηλώνεται η διείσδυση του θαλασσινού νερού. Άλλωστε ο **Na-Cl υδροχημικός τύπος** υποδηλώνει επίδραση θαλασσινού νερού.

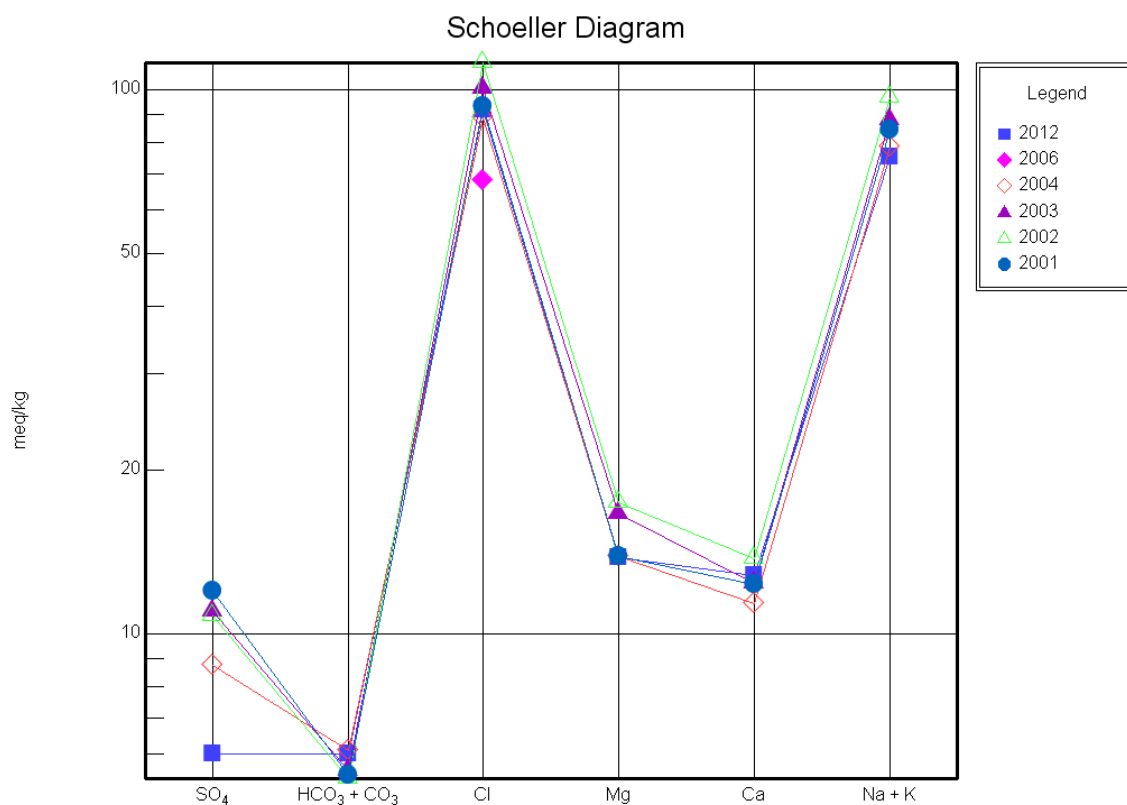
Τα ίδια δείγματα παρουσιάζουν τιμές TDS που κυμαίνονται κυρίως μεταξύ 6000 και 7000mg/lit και pH ουδέτερο έως ελαφρά αλκαλικό.



Εικόνα Γ-8: Διάγραμμα Durov Αγίων Αποστόλων

Διαγράμματα Shoeller

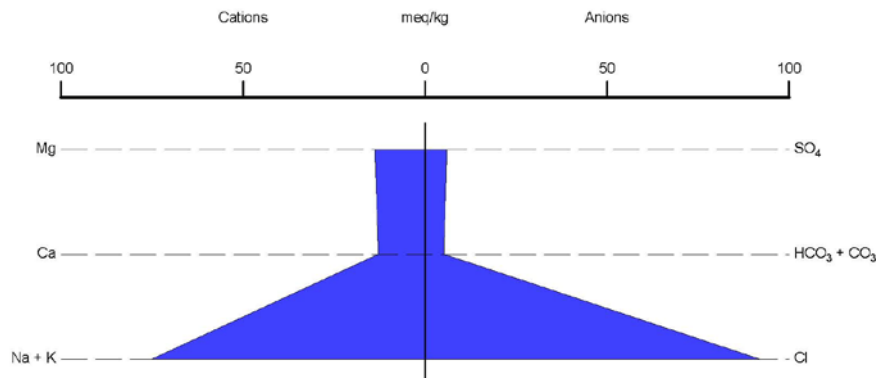
Κατασκευάστηκε επίσης το διάγραμμα Shoeller στο οποίο παρατηρείται η επικράτηση των ιόντων χλωρίου και νατρίου/καλίου έναντι των υπόλοιπων ιόντων.



Εικόνα Γ-9: Διάγραμμα Shoeller Αγίων Αποστόλων

Διαγράμματα Stiff

Κατασκευάσθηκε επίσης το διάγραμμα Stiff στο οποίο παρατηρείται επίσης η επικράτηση των ιόντων χλωρίων και νατρίου/καλίου έναντι των υπόλοιπων ιόντων.



Εικόνα Γ-10: Διάγραμμα Stiff Αγίων Αποστόλων

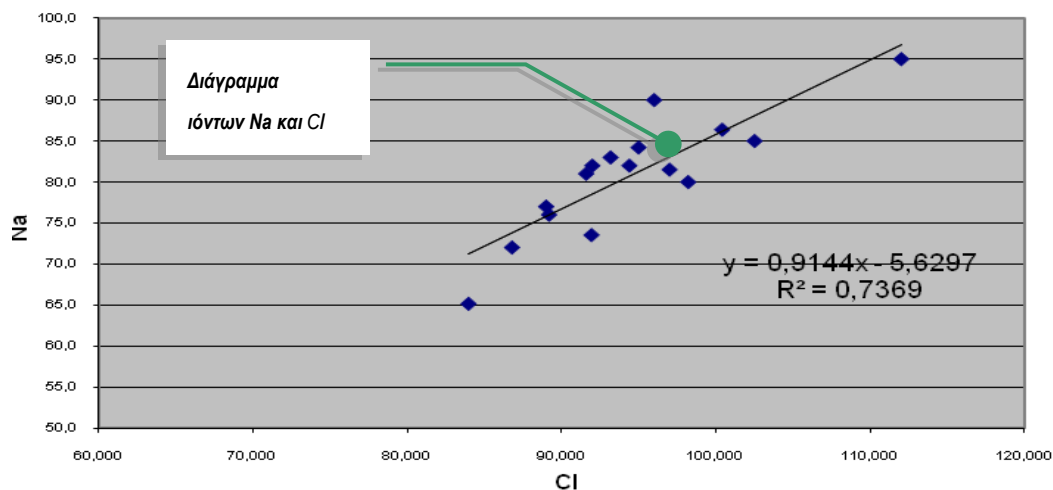
Συμπερασματικά διακρίνεται η έντονη παρουσία των χλωριόντων σε όλα σχεδόν τα δείγματα, στοιχείο το οποίο υποδηλώνει την καθολική διείσδυση του θαλασσινού νερού στους υδροφόρους.

Συσχετιστικά Διαγράμματα

Οι τιμές περιεκτικότητας του υπόγειου νερού σε διάφορα ιόντα κύρια ή δευτερεύοντα, εξεταζόμενα ανά ορισμένα ζεύγη, αυξάνονται ή μειώνονται παράλληλα, διατηρώντας μια περίπου σταθερή σχέση μεταξύ τους, κυρίως όταν εκφράζονται σε meq/l. Σε πολλά ζεύγη ιόντων, η συσχέτιση είναι συνήθης, ενώ σε άλλα συγκυριακή. Η συσχέτιση συνδέεται με την χημική συγγένεια και τις ιδιότητες των ιόντων αυτών, αλλά και με την λιθολογία του αντίστοιχου υδροφορέα. Έτσι συχνά βρίσκονται σε συσχέτιση τα ζεύγη Na/Cl, ή τα αθροίσματα Na+K/Ca+Mg, ενώ συγκυριακά το ζεύγος Cl/SO₄ (Σούλιος, 2006).

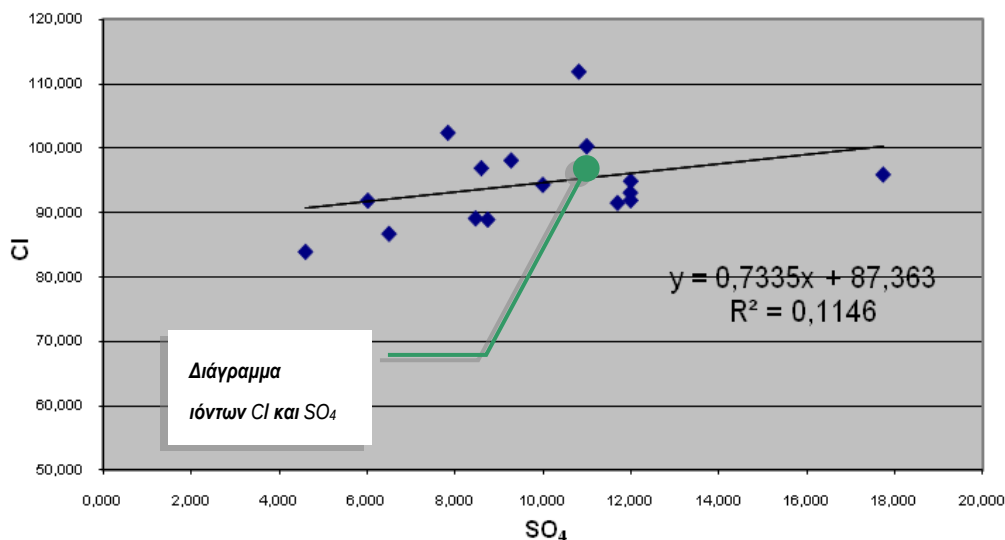
Στα πλαίσια της παρούσης Διπλωματικής εργασίας κατασκευάσθηκαν υδροχημικά συσχετιστικά διαγράμματα για τα ζεύγη ιόντων Na/Cl και Cl/SO₄ και τα αθροίσματα Na+K/Ca+Mg τα οποία παρουσιάζονται στην συνέχεια.

Ακολούθως παρατίθεται το συσχετιστικό διάγραμμα για τα ζεύγη ιόντων Na/Cl, όπου φαίνεται η γραμμική σχέση ανάμεσα στο Na και το Cl, με συντελεστή συσχέτισης (R) 0,74 και με τύπο εξίσωσης $y=ax+b$.



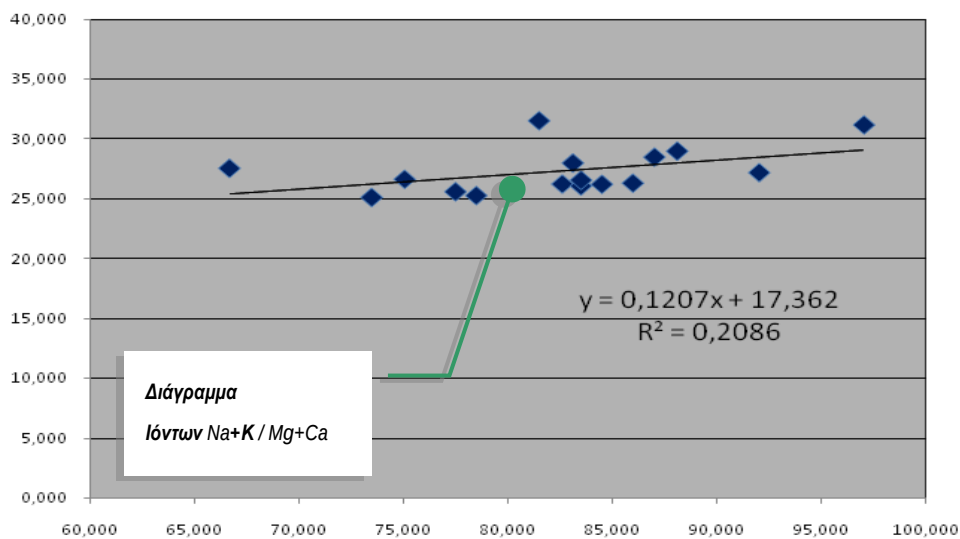
Εικόνα Γ-11: Η γραμμική συσχέτιση μεταξύ των ιόντων Na και Cl.

Το συσχετιστικό διάγραμμα για τα ζεύγη ιόντων Cl και SO₄, παρουσιάζεται στην εικόνα Γ-12 όπου φαίνεται η γραμμική σχέση ανάμεσα στο Cl και SO₄, με συντελεστή συσχέτισης (R) 0,11 και με τύπο εξίσωσης $y=ax+b$.



Εικόνα Γ-12: Η γραμμική συσχέτιση μεταξύ των ιόντων Cl και SO₄.

Τέλος το συσχετιστικό διάγραμμα για τα αθροίσματα Na+K/Ca+Mg, παρουσιάζεται στην εικόνα Γ-13 όπου φαίνεται η γραμμική σχέση ανάμεσα στα Na+K/Ca+Mg, με συντελεστή συσχέτισης (R) 0,21 και με τύπο εξίσωσης $y=ax+b$.



Εικόνα Γ-13: Η γραμμική συσχέτιση μεταξύ των αθροισμάτων ιόντων Na+K / Mg+Ca.

Γ.6 ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΝΕΡΟΥ ΑΡΔΕΥΣΗΣ - ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΚΑΤΑ WILCOX

Το διάγραμμα Wilcox αποτελεί μία σημαντική μέθοδο ελέγχου της καταλληλότητας του αρδευτικού νερού σε σχέση με τη φύση και τις ιδιότητες των καλλιεργούμενων εδαφών. Χρησιμοποιεί το δείκτη S.A.R. και την ηλεκτρική αγωγιμότητα E.C.

Τα σταθερότυπα του αρδευτικού νερού βασίζονται (Richards 1954, Wilcox 1955):

- στην ολική συγκέντρωση αλάτων του νερού, γιατί αυτή επιδρά στην καρποφορία επηρεάζοντας την ωσμωτική πίεση.

- στην συγκέντρωση ορισμένων ιόντων τα οποία μπορεί να είναι τοξικά στα φυτά ή να επιδρούν δυσμενώς στην ποιότητα της καρποφορίας.
- στην συγκέντρωση των κατιόντων εκείνων που μπορεί να προκαλέσουν αποκροκίδωση της αργίλου στο έδαφος και να προξενήσουν έτσι βλάβη στην δομή του εδάφους και λόγω αυτής μείωση της περατότητας και δυνατότητας αερισμού του.

Το Na δημιουργεί αποκροκίδωση του εδάφους κατά την ανταλλαγή ιόντων του με ιόντα Ca και έτσι προκαλεί μείωση του αερισμού και της περατότητας του εδάφους.

Εδάφη πλούσια σε Na ονομάζονται αλκαλικά, όταν το ανιόν που επικρατεί είναι η ανθρακική ρίζα και αλατούχα, όταν το ανιόν που επικρατεί είναι το χλώριο ή η θειική ρίζα (Καλλέργης, 2000).

Οι ποιοτικές απαιτήσεις αρδευτικού νερού ποικίλουν ανάμεσα στα είδη των καλλιεργειών, τους τύπους των εδαφών, την στράγγισή τους και το κλίμα. Έτσι δεν υπάρχουν αυστηρά σταθερότυπα και ένα νερό χαμηλής ποιότητας για την άρδευση μιας περιοχής μπορεί να είναι καλής ποιότητας για μια άλλη.

Ο **Συντελεστής Προσρόφησης Νατρίου (SAR)** αποτελεί ένα βασικό κριτήριο της καταλληλότητας ενός νερού για άρδευση.

Στη χώρα μας χρησιμοποιείται πολύ συχνά η ταξινόμηση του αρδευτικού νερού, που αναπτύχθηκε από το εργαστήριο αλατότητας του Υπουργείου Γεωργίας των ΗΠΑ και βασίζεται στην ηλεκτρική αγωγιμότητα του νερού και στο συντελεστή προσρόφησης του νατρίου (**Εικ. Γ-11**).

Το αρδευτικό νερό **με βάση την ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα** κατατάσσεται στις ακόλουθες τέσσερις κατηγορίες ποιότητας (US SALINITY LABORATORY, 1954):

Κατηγορία C1. Ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) μικρότερη των 250μS/cm στους 25°C, περιεκτικότητα σε άλατα μικρότερη των 160ppm, κίνδυνος αλατώσεως μικρός. Τα νερά αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για όλες σχεδόν τις καλλιέργειες και για όλα τα εδάφη.

Κατηγορία C2. Ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) μεταξύ 250-750μS/cm στους 25°C, περιεκτικότητα σε άλατα μεταξύ 160 έως 480ppm, κίνδυνος αλατώσεως μέσος. Τα νερά μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε εδάφη με μέτρια απόπλυση που στραγγίζονται καλά και για φυτά με μέτρια ανθεκτικότητα σε άλατα.

Κατηγορία C3. Ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) μεταξύ 750-2.250μS/cm στους 25°C, περιεκτικότητα σε άλατα 480 έως 1.470ppm, κίνδυνος αλατώσεως μεγάλος. Τα εδάφη πρέπει να παρουσιάζουν καλή στράγγιση και τα φυτά να είναι ανθεκτικά στα άλατα.

Κατηγορία C4. Ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) μεγαλύτερη των 2.250μS/cm στους 25°C, περιεκτικότητα σε άλατα μεγαλύτερη των 1.470ppm, κίνδυνος αλατώσεως πολύ μεγάλος. Το νερό της κατηγορίας αυτής είναι ακατάλληλο για άρδευση σε συνηθισμένες συνθήκες. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο σε ειδικές περιπτώσεις, όπως όταν το έδαφος είναι πολύ περατό και η στράγγιση είναι επαρκής. Επιπλέον, το νερό που χρησιμοποιείται για πότισμα πρέπει να είναι περισσότερο από το κανονικό, ώστε να επιτυγχάνεται σημαντική απόπλυση και τα φυτά να είναι πολύ ανθεκτικά στα άλατα.

Με βάση την περιεκτικότητα σε νάτριο ή αλκαλικότητα (SAR) οι κατηγορίες του αρδευτικού νερού είναι:

Κατηγορία S1. Νερό μικρής αλκαλικότητας (0-10). Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για άρδευση όλων των εδαφών.

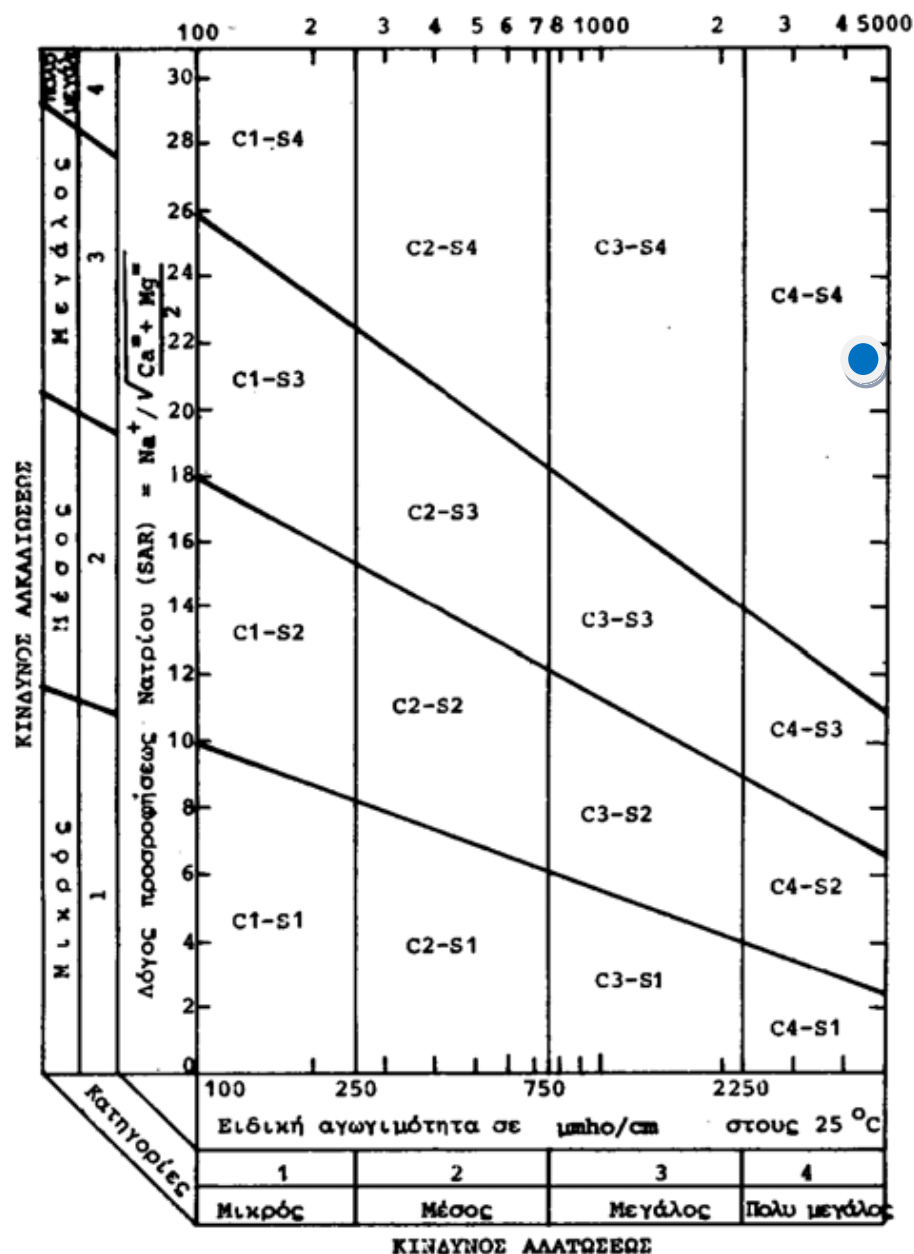
Κατηγορία S2. Νερό μέσης αλκαλικότητας (10-18). Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για άρδευση διαπερατών και καλά στραγγιζόμενων χονδρόκοκκων εδαφών ή οργανικών εδαφών με

ικανοποιητική περατότητα. Δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί στα πολύ λεπτόκοκκα εδάφη που η στράγγιση και η απόπλυση είναι ανεπαρκής, εκτός αν υπάρχει στο έδαφος γύψος.

Κατηγορία S3. Νερό υψηλής αλκαλικότητας (18-26). Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για άρδευση σε εδάφη που παρουσιάζουν πλήρη στράγγιση και μεγάλη απόπλυση προσθέτοντας οργανικές ουσίες. Όταν το νερό έχει χαμηλή έως μέση αλατότητα μπορεί να χρησιμοποιηθεί, όταν προσθέσουμε γύψο που θα αντικαταστήσει το Na με το Ca.

Κατηγορία S4. Νερό πολύ υψηλής αλκαλικότητας (>26). Ακατάλληλο για άρδευση για τις συνηθισμένες περιπτώσεις. Όταν συνδυάζεται με χαμηλή περιεκτικότητα σε άλατα μπορεί να χρησιμοποιηθεί με προσθήκη γύψου.

Χρησιμοποιώντας το διάγραμμα ταξινόμησης των νερών άρδευσης του US SALINITY LABORATORY (1954), τα νερά των πηγών των Αγίων Αποστόλων κατατάσσονται στην κατηγορία **C4-S4**, πρόκειται δηλαδή για νερό πολύ κακής ποιότητας τόσο που η εφαρμογή του για άρδευση καθίσταται απαγορευτική.



Εικόνα Γ-14: Διάγραμμα ταξινόμησης του αρδευτικού νερού κατά το US SALINITY LABORATORY (1954).

Δ ΜΕΡΟΣ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Δ.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Σκοπός της παρούσης Μεταπτυχιακής Εργασίας, ήταν η υδροδυναμική ανάλυση των υφάλμυρων καρστικών πηγών Αγίων Αποστόλων Καλάμου, οι οποίες εκφορτίζουν σημαντικό όγκο νερού του υπόγειου υδατικού συστήματος Βόρειο-Ανατολικής Πάρνηθας.

Για την εκπόνηση της παρούσης εργασίας χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα της περιόδου Ιουνίου 2008 - Μαΐου 2009, οι οποίες πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια της Υδρογεωλογικής μελέτης παρακολούθησης των υδατικών πόρων σε περιοχές γεωτρήσεων της ΕΥΔΑΠ, οι οποίες πραγματοποιήθηκαν από το ΙΓΜΕ (Σύμβαση ΕΥΔΑΠ-ΙΓΜΕ, 2008).

Ιδιαίτερη έμφαση δόθηκε στην μελέτη και ανάλυση των υδρογραμμάτων των πηγών Αγίων Αποστόλων οι οποίες εκφορτίζουν το καρστικό υδροφορέα της ΒΑ Πάρνηθας και ιδιαιτέρως στο σημαντικότερο κομμάτι του υδρογράμματος που αντιστοιχεί στην καμπύλη στείρευσης. Από την μελέτη των υδρογραμμάτων πηγών Αγίων Αποστόλων με τις προσεγγίσεις και τους τύπους των **Maillet, Tison και Schoeller**, έγινε προσδιορισμός της παροχής της πηγής και υπολογισμός των εκφορτίσεων του καρστικού συστήματος, ενώ προέκυψαν πληροφορίες για τον τρόπο οργάνωσης και λειτουργίας του καρστικού συστήματος της ΒΑ Πάρνηθας. Έγινε επίσης ανάλυση των χρονοσειρών της αγωγιμότητας (και άλλων φυσικοχημικών παραμέτρων, όπως pH, κλπ).

Τέλος κατασκευάσθηκαν τριγραμμικά διαγράμματα (διαγράμματα Piper, Durov, Schoeller και Stiff), για τον καθορισμό των υδροχημικών χαρακτηριστικών των υδροφόρων οριζόντων της περιοχής.

Κατόπιν των ανωτέρω, δύναται να εξαχθούν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

1. Το υπόγειο υδατικό σύστημα ΒΑ/κής Πάρνηθας αναπτύσσεται στις μάζες των ανθρακικών πετρωμάτων του κυρίως ορεινού όγκου της Πάρνηθας που αναπτύσσονται στην Αττική, νότια της νοητής γραμμής Αυλώνας-Σκούρτα-Ερυθρές, ενώ περιλαμβάνει και το όρος Αιγάλεω μέχρι τον όρμο του Κερατσινίου. Η υπόγεια υδροφορία είναι καρστικής μορφής και προχωρά σε βάθη που σχετίζονται με τα επίπεδα εμφάνισης του στεγανού παλαιοζωϊκού συνόλου. Η τροφοδοσία του συστήματος εξασφαλίζεται από την απευθείας κατέισδυση του μετεωρικού νερού, ενώ η εκφόρτιση του γίνεται προς τις πεδινές περιοχές της Αττικής, αλλά και προς την θάλασσα τόσο στο νότιο τμήμα του (όρος Αιγάλεω), όσο και στην παράκτια περιοχή Καλάμου, όπου τροφοδοτεί τις υφάλμυρες καρστικές πηγές Αγίων Αποστόλων, δείχνοντας έτσι, πως το καρστ είναι ανοικτό στην θάλασσα και κάτω από τη στάθμη της θάλασσας.
2. Η γεωλογία της περιοχής του υπόγειου υδατικού συστήματος ΒΑ/κής Πάρνηθας χαρακτηρίζεται από την παρουσία, ως επί το πλείστον, αλπικών σχηματισμών της ενότητας της Πελαγονικής, με τις μεταλλικές αποθέσεις να περιορίζονται στο βόρειο πεδινό τμήμα της λεκάνης του Βοιωτικού Ασωπού. Ειδικότερα διαπιστώθηκε μια ασυνεχής στρωματογραφική ακολουθία, στη βάση της οποίας συναντά κανείς: α) το σχετικά αυτόχθονο σχηματισμό της Πάρνηθας με το ηφαιστειοϊζηματογενές σύμπλεγμα του Περμοτριάδικου, β) στη συνέχεια τους δολομίτες και ασβεστόλιθους του Τριαδικολιάσιου, στους οποίους επικάθεται κατά θέσεις η σχιστοψαμμιτοκερατολιθική ακολουθία του Ιουρασικού, γ) το επωθημένο οφιολιθικό σύμπλεγμα, δ) την ασυμφωνία των ανωκρητιδικών ασβεστόλιθων με την κατά θέσεις παρουσία FeNi μεταλλεύματος και τέλος ε) την παρουσία του παλαιοκαινικού φλύσχη που κλείνει την αλπική στρωματογραφική σειρά. Παράλληλα διαπιστώνεται η σημαντική επικράτηση των τριαδικο-ιουρασικών ανθρακικών στο μεγαλύτερο μέρος της ορεινής νότιας περιοχής, με το ηφαιστειοϊζηματογενές υπόβαθρο να περιορίζεται στο νότιο αλλά κυρίως ΝΑ τμήμα κατά μήκος του επιφανειακού υδροκρίτη, και τους ανωκρητιδικούς ασβεστόλιθους να

παρουσιάζουν μια χαρακτηριστική ΒΑ-ΝΔ εξάπλωση στο κεντρικό τμήμα.

3. Ο συνδυασμός ευνοϊκών λιθοστρωματογραφικών συνθηκών, η ένταση και το μέγεθος των ρηξιγενών γραμμών, η μεταξύ τους θέση αλλά και η φύση των ζωνών διάρρηξης είναι καθοριστικοί παράγοντες για το είδος και το μέγεθος της κυκλοφορίας των υπόγειων νερών. Έτσι η προνεογενής τεκτονική της περιοχής συνδέεται με τις πτυχώσεις της Αλπικής ορογένεσης, ένα από τα χαρακτηριστικά της οποίας αποτελεί η εφίπτευση των νεοπαλαιοζωικών σχηματισμών πάνω στους μεσοζωικούς ασβεστόλιθους. Η εφίπτευση αυτή διαδραματίζει τον σημαντικότερο ρόλο στην κίνηση των καρστικών νερών παρεμποδίζοντας την πορεία τους βόρεια προς την περιοχή του Ωρωπού, μέσω της δημιουργίας στεγανού διαφράγματος. Η πορεία κίνησης συνεπώς αλλάζει και ακολουθεί, ανατολική διεύθυνση κατά μήκος του μεγάλου ρήγματος Αγ. Θωμά – Αυλώνας – Μαλακάσας, διεύθυνσης ανατολής – δύσης (Α-Δ), όπου το πάχος των αδιαπέρατων σχηματισμών φθίνει. Όταν το νερό φτάσει στους αδιαπέρατους νεοπαλαιοζωικούς σχηματισμούς, αρχικά κινείται μέσω των ρηγμάτων που υπάρχουν σε αυτούς τους σχηματισμούς και εν συνεχεία, είναι δυνατή η διοχέτευση των νερών της Πάρνηθας προς τις πηγές των Αγίων Αποστόλων.
4. Η διαφοροποίηση της διεύθυνσης των νεοτεκτονικών ρηγμάτων γίνεται περίπου κατά μήκος της εγκάρσιας τεκτονικής ζώνης και έτσι στην Πάρνηθα και στην περιοχή Καλάμου-Αγίων Αποστόλων επικρατεί η διεύθυνση Α-Δ.
5. Στη περιοχή ανάβλυσης των υφάλμυρων καρστικών πηγών Αγίων Αποστόλων Καλάμου, η σημαντικότερη μορφολογική έξαρση, έχει διεύθυνση ΔΒΔ-ΑΝΑ και φορά βύθισης προς τα ΒΒΑ, και ταυτίζεται με μια μεγάλη ρηξιγενή ζώνη, η οποία ανυψώνει σημαντικά το νότιο ημιορεινό τμήμα από το βόρειο, οριοθετώντας παράλληλα και την εμφάνιση του ασβεστολιθικού υπόβαθρου. Οι πηγές των Αγίων Αποστόλων οι οποίες ήταν πιθανότατα αρχικά όλες υποθαλάσσιες, λόγω της ανύψωσης αυτής εμφανίζονται στην επιφάνεια.
6. Στην περιοχή του υπόγειου υδατικού συστήματος Βόρειο-Ανατολικής Πάρνηθας διακρίνονται τρεις στιβάδες ασβεστόλιθων (Μεσοτριάδικοί, Τριαδικοί-Ιουρασικοί, Κρητιδικοί) που διαφέρουν μεταξύ τους στη μορφή, σύσταση και τεκτονισμό (Δούνας κ.α., 1980). Τα όρια μετάβασης από τη μια στιβάδα στην άλλη δεν είναι ευκρινή. Οι ασβεστόλιθοι του Μέσου Τριαδικού είναι παχυστρωματώδεις μέχρι άστρωτοι. Σαν συνέπεια της ισχυρής διάρρηξης και κατακλάσεως τους η ανάπτυξη του καρστικού δικτύου είναι μεγάλη με αποτέλεσμα να αποτελούν πολύ καλό υδροφορέα. Στο σύστημα των τριαδικών ασβεστόλιθων οι μεσοτριάδικοί ασβεστόλιθοι αποτελούν τον κύριο φορέα αποθηκείσεως και κυκλοφορίας των υπογείων υδάτων. Οι ασβεστόλιθοι του Ανωτέρου Τριαδικού - Ιουρασικού από πλευράς περατότητας κατατάσσονται στους περατούς ασβεστόλιθους που παρά τον μικρότερο βαθμό αποκάρσωσης σε σχέση με τους μεσοτριάδικους ασβεστόλιθους θεωρείται σαν καλός υδροφορέας. Οι κρητιδικοί ασβεστόλιθοι και ειδικότερα ο κατώτερος ορίζοντας, Κενομανίου ηλικίας, παρουσιάζει μέτρια αποκάρσωση και συμπεριφέρεται σαν μέτρια περατός σχηματισμός σε αντίθεση προς τον ανώτερο ορίζοντα, που από τον έντονο κερματισμό έχει αυξημένη δευτερογενή περατότητα και συμπεριφέρεται σαν ένας υδροπερατός σχηματισμός.
7. Σύμφωνα με τις υπάρχουσες μελέτες, οι ασβεστόλιθοι του μέσου Τριαδικού - Κάτω Ιουρασικού, μαζί με τους υπερκείμενους κρητιδικούς ασβεστόλιθους συνιστούν το σημαντικότερο τμήμα της λεκάνης τροφοδοσίας των υφάλμυρων καρστικών πηγών Αγίων Αποστόλων Καλάμου. Καταδεικνύεται πως ανεξάρτητα από τις επιμέρους διαφοροποιήσεις του βαθμού αποκάρσωσης των γεωλογικών χαρακτήρων και της υδραυλικής αγωγιμότητας, οι μεσοτριάδικοί-κατω-ιουρασικοί και κρητιδικοί ασβεστόλιθοι ορίζουν δύο υδρογεωλογικές ενότητες «τα υδραυλικά όρια των οποίων καθορίζονται κύρια από το αποκαλυπτόμενο στην κορυφή της Πάρνηθας νεοπαλαιοζωικό υδατοστεγανό σχιστοψαμμιτικό υπόβαθρο» (Μόρφης, 1995).
8. Ειδικότερα ο υπόγειος υδροκρίτης συμπίπτει με τον άξονα του μεγάλου αντικλίνου

Πάρνηθας – Κιθαιρώνα, κατά μήκος του οποίου εμφανίζονται οι σχετικά αδιαπέρατοι παλαιοζωικοί σχηματισμοί του υποβάθρου. Λόγω της μεγάλης κλίσης του αδιαπέρατου υποβάθρου η κυκλοφορία στην ζώνη του κορεσμού είναι συγκριτικά γρήγορη. Το καρστικό σύστημα της Πάρνηθας εκφορτίζεται κατά το βόρειο τμήμα του, όπως αυτό ορίζεται από την αντικλινική δομή, στις πηγές των Αγίων Αποστόλων, ενώ το νότιο τμήμα του εκφορτίζεται στις Τεταρτογενείς αποθέσεις του Θριασίου πεδίου στην περιοχή του Ασπροπύργου. Το υπόγειο νερό από την στιγμή που θα συναντήσει κατά την προς το βάθος κίνηση του το παλαιοζωικό στεγανό υπόβαθρο, αναγκάζεται να ακολουθήσει πορεία που ταυτίζεται με την κλίση της επιφάνειας επαφής ασβεστολίθων και παλαιοζωικών στρωμάτων, κινούμενα με μεγάλη σχετικά ταχύτητα εξαρτώμενη από την κατά τόπους περατότητα των ασβεστολίθων και το μέγεθος της κλίσεως της επιφάνειας των δύο σχηματισμών.

9. Τα συμπεράσματα της μελέτης της περιοχής των υφάλμυρων καρστικών πηγών Αγίων Αποστόλων του ΙΓΜΕ (1980), που έγινε σχετικά με την ερμηνεία του τρόπου γενέσεως και λειτουργίας των πηγών, προέκυψαν κατόπιν τηλεσκοπικής, ισοτοπικής, γεωφυσικής και γεωτρητικής έρευνας. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της γεωφυσικής έρευνας, διαπιστώθηκε η ύπαρξη ενεργού καρστικού δικτύου σε αρνητικά υψόμετρα της τάξης των -20 έως -30m για το μεγαλύτερο τμήμα του καρστικού υδροφόρου (πεδινή και λοφώδη περιοχή Αγ.Θωμά, Αυλώνα, Μαλακάσα) και -150m για την περιοχή ανάβλυσης των παράκτιων καρστικών πηγών των Αγίων Αποστόλων.
10. Οι πηγές των Αγίων Αποστόλων εντοπίζονται τόσο στην παράκτια επίπεδη προσχωματική ζώνη, όσο και μέσα στην θάλασσα, σε μικρή απόσταση από την ακτή (βάθος αναβλύσεως 18-20μ. κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας). Στην παράκτια ζώνη των Αγίων Αποστόλων εκφορτίζονται επτά πηγές που φέρουν την ονομασία Άγιοι Απόστολοι και έχουν αριθμηθεί με τους κωδικούς Α,Β,Γ,Δ,Ε,Ζ,Η.
11. Για την αποτύπωση των υδρογραμμάτων των επτά (7) παράκτιων υφάλμυρων πηγών Αγίων Αποστόλων (Α,Β,Γ,Δ,Ε,Ζ,Η), οι οποίες βρίσκονται πολύ κοντά η μία στην άλλη, χρησιμοποιήθηκαν τα αποτελέσματα μετρήσεων παροχών (αθροιστικά και ανά πηγή) που έχουν πραγματοποιηθεί κατά την περίοδο Ιουνίου 2008 έως Μαΐου 2009 στα πλαίσια της Υδρογεωλογικής μελέτης παρακολούθησης των υδατικών πόρων σε περιοχές γεωτρήσεων της ΕΥΔΑΠ, από το ΙΓΜΕ (Σύμβαση ΕΥΔΑΠ-ΙΓΜΕ, 2008). Στις πηγές Άγιοι Απόστολοι πραγματοποιήθηκαν δώδεκα μηνιαίες μετρήσεις παροχής σε διάστημα 331 ημερών και συγκεκριμένα από τις 25/6/2008 έως τις 21/5/2009. Οι μετρήσεις αυτές χρησιμοποιήθηκαν, αφενός μεν, για την κατασκευή του υδρογράμματος των αθροιστικών παροχών των πηγών (Α,Γ,Δ,Ε,Ζ,Η) των Αγίων Αποστόλων και ανά πηγή (η πηγή Β δεν είχε αξιόλογη παροχή και δεν καταγράφηκε), αφετέρου δε για τη μαθηματική ανάλυση του δεύτερου τμήματος του καθοδικού του κλάδου (καμπύλη στείρευσης), ώστε να εξαχθούν συμπεράσματα για το μηχανισμό λειτουργίας των πηγών.
12. Η καμπύλη πτώσης του υδρογράμματος των πηγών Αγίων Αποστόλων, έχει μεγάλη κλίση και αποτελεί το τμήμα ταχείας εκφόρτισης, ενώ η καμπύλη στείρευσης έχει μικρή κλίση και αποτελεί το τμήμα αργής εκφόρτισης. Ουσιαστικά, η διάκριση της καμπύλης πτώσης από την καμπύλη στείρευσης βασίσθηκε στην μεταβολή της κλίσης του καθοδικού τμήματος του υδρογράμματος, με αυτή με την μεγαλύτερη κλίση να αντιστοιχεί στην ταχεία εκφόρτιση των υδροφόρων, ενώ αυτή με την μικρότερη κλίση αντιστοιχεί στην βασική ροή της κορεσμένης ζώνης.
13. Η καμπύλη πτώσης αποτυπώνει εκφόρτιση με ανώμαλη - πιθανότατα - μεταβολή του υδραυλικού φορτίου μέσα στο υδροφόρο μέσο, λόγω αφίξεως μέσω ταχείας κατείσδυσης και εκφορτίσεως νερού που προέρχεται από την ακόρεστη ζώνη (unsaturated karstic bedrock). Το τμήμα αυτό χαρακτηρίζεται και από αυξημένη κλίση, γεγονός που δεικνύει μεγάλο βαθμό ανάπτυξης καρστικών αγωγών (έντονη καρστικοποίηση) από έγκοιλα, ρωγμές, κλπ, μέσα στο οποίο γίνεται μία ταχεία κυκλοφορία των υπόγειων νερών προς

τις πηγές, λόγω και της πιθανότατης έντονης διασύνδεσης τους. Πρόκειται δηλαδή για ζώνες με μεγάλη περατότητα (μεγάλοι καρστικοί αγωγοί), μεγάλης ταχύτητας κινήσεως νερού, αποτελώντας διαβιβαστικές ζώνες με μεγάλα K και T, αφού το νερό δεν μένει σ' αυτές για μεγάλο διάστημα. Συνεπώς το καρστικό σύστημα των πηγών Αγίων Αποστόλων, έχει ένα καλά ανεπτυγμένο δίκτυο συνδεόμενων καρστικών αγωγών με μεγάλο δυναμικό μεταφοράς υπόγειου νερού.

14. Η ακόρεστη ζώνη είναι πολύ μεγάλη σε σχέση με την κορεσμένη, γεγονός που επίσης δεικνύει πως η ζώνη τροφοδοσίας των καρστικών πηγών παρουσιάζει μεγάλο βαθμό αποκάρσωσης και μεγάλο βαθμό διασύνδεσης των καρστικών αγωγών.
15. Οι μεγάλες τιμές υδραυλικής αγωγιμότητας των καρστικών αγωγών της ακόρεστης ζώνης, όπως διαπιστώθηκε από την ανάλυση της καμπύλης πτώσης του υδρογράμματος, έρχονται σε αντίθεση με τις μικρές αγωγιμότητες του πιο συμπαγούς κορεσμένου τμήματος (saturated karstic bedrock).
16. Η καμπύλη στείρευσης αρχίζει όταν έχουν σταματήσει πλέον οι αφίξεις νερού από την ακόρεστη ζώνη και αποτυπώνει εκφόρτιση νερού που προέρχεται μόνο από τη μόνιμη αποθήκευση του υδροφόρου μέσου, χαρακτηρίζεται δε από ροή "ομαλοποιημένη" καθοριζόμενη αποκλειστικώς από την γεωλογική και υδρογεωλογική δομή στη λεκάνη της πηγής και τις υδραυλικές συνθήκες στη ζώνη εκφορτίσεως. Πρόκειται δηλαδή για ζώνες που χαρακτηρίζονται σαν αποθεματικές (μικροί καρστικοί αγωγοί) με μικρά K και T.
17. Από το συσχετιστικό διάγραμμα παροχών – βροχοπτώσεων διαπιστώθηκε πως ο χρόνος ανταποκρίσεως, που είναι το χρονικό διάστημα που μεσολαβεί από το "μέσο" ή "κέντρο βάρους" της βροχοπτώσεως μέχρι τη στιγμή της εμφανίσεως της μέγιστης παροχής εκφορτίσεως, είναι περίπου πέντε μήνες (Δεκέμβριος 08 – Μάιος 09).
18. Παράλληλα με τις μετρήσεις παροχής πραγματοποιήθηκαν μηνιαίες μετρήσεις της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και του pH. Με τα δεδομένα των μετρήσεων των παροχών και των φυσικοχημικών αυτών παραμέτρων, κατασκευάστηκαν διαγράμματα συσχέτισης.
19. Από τα συγκεντρωτικά στοιχεία που προέκυψαν από την ανάλυση των υδρογραμμάτων των επτά παράκτιων υφάλμυρων πηγών Αγίων Αποστόλων (Α,Β,Γ,Δ,Ε,Ζ,Η) με τις προσεγγίσεις και τους τύπους των **Maillet**, **Tison** και **Schoeller** προέκυψε πως η έναρξη της στείρευσης δεν αρχίζει ταυτόχρονα σε όλες τις πηγές. Στην πηγή Δ η στείρευση αρχίζει στις 27/8/2008, νωρίτερα από τις άλλες πηγές στις οποίες η στείρευση αρχίζει στις 18/9/2008, όπως και στην πηγή Η, που η στείρευση αρχίζει στις 18/7/2008.
20. Ο συντελεστής στείρευσης (α) **κατά Maillet** ισούται με $6 \cdot 10^{-4}$ ημέρες⁻¹ γεγονός που σημαίνει, πως οι πηγές των Αγίων Αποστόλων αντιστοιχούν σε μεγάλα υδροφόρα στρώματα με μεγάλο συντελεστή εναποθήκευσης.
21. Στην συνέχεια έγινε ανάλυση του υδρογράμματος με την προσέγγιση και τον τύπο του **Tison**, δεδομένου ότι ο **Tison** θεωρεί ότι η εκφόρτιση του υδροφόρου δεν είναι σημειακή, αλλά γραμμική γίνεται δηλαδή κατά μήκος μίας πλευράς του υδροφορέα από μία πορώδη γραμμή, δηλαδή πρακτικά από πολλές αναβλύσεις κατά μήκος μίας γραμμής, όπως και στην περίπτωση των πηγών Αγίων Αποστόλων. Μετά τα παραπάνω, είναι αναμενόμενο, το αθροιστικό υδρόγραμμα περισσότερων της μιας πηγής, που εκφορτίζουν τον ίδιο υδροφορέα, να αντιπροσωπεύεται καλύτερα από την εξίσωση του Tison. Από την εξίσωση του Tison υπολογίστηκε πως ο συντελεστής στείρευσης (α) ισούται με $3 \cdot 10^{-4}$ ημέρες⁻¹.
22. Τέλος έγινε ανάλυση του υδρογράμματος με την προσέγγιση και τον τύπο του **Schoeller (1967)**, δεδομένου ότι ο τύπος αυτός θεωρείται ως η βάση για την μοντελοποίηση παροχών πηγών, ιδιαιτέρως δε των καρστικών, αφορούν δε οι προτεινόμενες εξισώσεις του, αποκλειστικά την κορεσμένη ζώνη του καρστικού υδροφορέα. Αντίθετα με άλλες

εξισώσεις, ο **Schoeller** αντιμετωπίζει και το καθεστώς τυρβώδους ροής, πέρα από τη γραμμική ροή. Ο **Schoeller** δέχεται τη διάκριση ανάμεσα στο δίκτυο των ρωγμών και στο δίκτυο των καρστικών αγωγών. Στο εσωτερικό των μεγάλων ασυνεχειών η ροή μπορεί να είναι τυρβώδης, ενώ μέσα στις μικρές διακλάσεις θα είναι γραμμική. Η καμπύλη στειρεύσεως στο υδρόγραμμα των πηγών Αγίων Αποστόλων, διασπάται σε δύο τμήματα που αντιστοιχούν σε διαφορετικές τιμές του συντελεστή στειρεύσης (α , β) και γίνεται δεκτή η αρχή πως οι αγωγοί αδειάζουν πιο γρήγορα από τις ρωγμές και τις διακλάσεις γενικότερα. Από την εξίσωση του **Schoeller** υπολογίστηκε πως ο συντελεστής στειρεύσης (α) ισούται με $4 \cdot 10^{-4}$ ημέρες⁻¹ ενώ ο συντελεστής στειρεύσης (β) ισούται με $9 \cdot 10^{-4}$ ημέρες⁻¹.

23. Παρατηρείται σημαντική συμφωνία των αποτελεσμάτων των τριών μεθόδων (Maillet, Tison, Schoeller), όσον αφορά την τάξη μεγέθους των συντελεστών στειρεύσης της τάξης του 10^{-4} , γεγονός που σημαίνει πως οι πηγές των Αγίων Αποστόλων αντιστοιχούν σε μεγάλα υδροφόρα στρώματα με μεγάλο συντελεστή εναποθήκευσης (S).
24. Από τον υπολογισμό των εκφορτίσεων με την προσέγγιση Maillet, προέκυψε ότι από τις πηγές των Αγίων Αποστόλων εκφορτίστηκαν $17.042.628 \text{ m}^3$ νερού, κατά το χρονικό διάστημα μεταξύ **25/6/08** και **21/5/09**, ενώ περισσότερο σημαντικές ήταν οι πηγές **Δ** και **Ε**. Τα διαθέσιμα αποθέματα κατά την έναρξη της στειρεύσης ήταν $1.202.880 \text{ m}^3$ ($1,2 \cdot 10^6 \text{ m}^3$).
25. Οι χρονοσειρές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας όπως φαίνεται στα διαγράμματα συσχέτισης παραμένουν σχετικά σταθερές καθόλου το διάστημα των μετρήσεων, όπως αντίστοιχα συμβαίνει και με τις μετρήσεις του pH σε σχέση με τις παροχές.
26. Ο βαθμός επιδράσεως της κάθε πηγής στο συνολικό υδρόγραμμα των πηγών, εκφράστηκε με βάση τις εκφορτίσεις και τις παροχές, σύμφωνα με τις οποίες οι πηγές **Δ** & **Ε**, αποτελούν το 67% του συνολικού όγκου ύδατος που εκφορτίστηκε στο υδρολογικό έτος 2008-2009. Αντιθέτως πολύ μικρή συγκριτικά είναι η επίδραση των πηγών **Α** & **Η**, αποτελώντας μόλις το 3% του συνολικού όγκου ύδατος που εκφορτίστηκε στο υδρολογικό έτος 2008-2009 (η πηγή **Β** δεν είχε αξιολογη παροχή και δεν καταγράφηκε). Ενδιάμεσης σημασίας αποτελούν οι πηγές **Γ** & **Ζ**, αποτελώντας το 29% του συνολικού όγκου ύδατος που εκφορτίστηκε στο υδρολογικό έτος 2008-2009.
27. Όσον αφορά τους συντελεστές στειρεύσης που υπολογίστηκαν με την προσέγγιση και τον τύπο του **Maillet**, αυτοί (πηγές Δ,Ε,Ζ,Η) εμφανίζουν πολύ μικρές τιμές (της τάξης του 10^{-4}) και αντιστοιχούν σε μεγάλα υδροφόρα στρώματα με μεγάλο συντελεστή εναποθήκευσης (S). Τέλος όσον αφορά τους συντελεστές στειρεύσης που υπολογίστηκαν με την προσέγγιση και τον τύπο του **Maillet**, αυτοί (πηγές Α,Γ) εμφανίζουν μικρές τιμές (τάξης του 10^{-3}) γεγονός που σημαίνει ότι το νερό ρέει διαμέσου των διακλάσεων και των ενδοστρωσιγενών κενών.
28. Στα πλαίσια της παρούσης εργασίας πραγματοποιήθηκε υδροχημική έρευνα που σαν σκοπό είχε την επικαιροποίηση των υδροχημικών δεδομένων των πηγών Αγίων Αποστόλων, σε σχέση με παλαιότερα προγράμματα παρακολούθησης, στις οποίες αποτυπώθηκε η πορεία του χημισμού του νερού, καθώς και του φαινομένου της υφαλμύρωσης του χρονικά.
29. Για την αποτύπωση των υδροχημικών χαρακτηριστικών των πηγών Αγίων Αποστόλων, χρησιμοποιήθηκαν τα αποτελέσματα χημικών αναλύσεων που έχουν πραγματοποιηθεί κατά τα έτη 2000 έως και 2006 από το ΙΓΜΕ στα πλαίσια προγραμμάτων παρακολούθησης της ποιότητας των υδάτων, όπως αυτά αποτυπώνονται στα πλαίσια της Διαχειριστικής Μελέτης του Υδατικού Διαμερίσματος Αττικής, καθώς και τα αποτελέσματα χημικής ανάλυσης που έγινε κατά την εκπόνηση της παρούσης Μεταπτυχιακής Εργασίας.

30. Έγινε στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων των χημικών αναλύσεων, με υπολογισμό των ελαχίστων, μεγίστων, μέσων τιμών καθώς και των τυπικών αποκλίσεων αυτών. Επιπροσθέτως υπολογίστηκαν οι ιοντικοί λόγοι $(Mg+Ca)/(K+Na)$, $Na+/K+$, Mg^{2+}/Ca^{2+} , Cl/SO_4 , Na/Cl και ο συντελεστής Revelle που σχετίζονται άμεσα με το βαθμό ανανέωσης του ή την ανάμιξη του με θαλασσινό νερό, δίνοντας ενδιαφέρουσες υδρογεωχημικές πληροφορίες.
31. Τέλος στα πλαίσια της παρούσης εργασίας, σχεδιάσθηκαν τα διαγράμματα Durov, Piper, Schoeller και Stiff και κατασκευάσθηκαν υδροχημικά συσχετιστικά διαγράμματα για τα ζεύγη ιόντων Na/Cl , Ca/Mg , Cl/SO_4 .
32. Τα υπόγεια νερά στην περιοχή, εξεταζόμενα στο σύνολο τους, μπορούν να χαρακτηριστούν ως νατριοχλωριούχα, λαμβάνοντας υπόψη και το επικρατών ανιόν και κατιόν στα περισσότερα δείγματα. Η σχετική επικράτηση των ιόντων ασβεστίου και των οξυανθρακικών, υποδηλώνει την παρουσία νερών που έχουν κινηθεί κατά κύριο λόγο σε ανθρακικά πετρώματα ή σε σχηματισμούς με μεγάλο ποσοστό ασβεστιτικών ορυκτών.
33. Ο λόγος Cl/HCO_3 (συντελεστής Revelle) έχει μέση τιμή 17,02 και αντικατοπτρίζει υπόγεια νερά τα οποία είναι επικίνδυνα ρυπασμένα λόγω θαλάσσιας ρύπανσης (Simson, 1946).
34. Η περιεκτικότητα σε ιόντα χλωρίου Cl παρουσιάζει μέση τιμή 3.260 και διακύμανση τιμών μεταξύ 2.411 και 3.971 mg/l, χαρακτηρίζοντας το νερό ως υφάλμυρο.
35. Από την θεώρηση των διαγραμμάτων Piper για το σύνολο των δειγμάτων συμπεραίνεται ότι βάση των ανιόντων κατατάσσονται στην κατηγορία των χλωριούχων, βάση των κατιόντων κατατάσσονται στην κατηγορία των καλίου-νατρίουχων, βάση του συνόλου των ιόντων κατατάσσονται κυρίως στις κατηγορίες των χλωριο-θειικών.
36. Από τη θεώρηση των διαγραμμάτων Durov του συνόλου των δειγμάτων, διακρίνεται η επικράτηση των χλωριόντων όσον αφορά στα κατιόντα, ενώ όσον αφορά στα ανιόντα επικρατεί το άθροισμα $Na+K$. Συνεπώς από την επικράτηση των ιόντων Cl^- και Na^+ υποδηλώνεται η διείσδυση του θαλασσινού νερού. Άλλωστε ο $Na-Cl$ υδροχημικός τύπος υποδηλώνει επίδραση θαλασσινού νερού. Τα ίδια δείγματα παρουσιάζουν τιμές TDS που κυμαίνονται κυρίως μεταξύ 6000 και 7000 mg/l και pH ουδέτερο έως ελαφρά αλκαλικό.
37. Κατασκευάσθηκαν επίσης τα διαγράμματα Schoeller και Stiff στα οποία παρατηρείται η επικράτηση των ιόντων χλωρίων και νατρίου/καλίου έναντι των υπόλοιπων ιόντων.
38. Τέλος χρησιμοποιώντας το διάγραμμα ταξινόμησης των νερών άρδευσης του US SALINITY LABORATORY (1954), τα νερά των πηγών των Αγίων Αποστόλων κατατάσσονται στην κατηγορία C4-S4, πρόκειται δηλαδή για νερό πολύ κακής ποιότητας τόσο που η χρήση του για άρδευση καθίσταται απαγορευτική.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- ◆ **Aley, T., C. Aley, W.R. Elliott, and P. Huntoon. 1993.** Karst and Cave Resource Significance Assessment Ketchikan Area, Tongass National Forest, Alaska. U.S. Dep. Agric. For. Serv., Ketchikan, AK. Final Rep.
- ◆ **Atkinson, T. C. Smith D. I., Lavis J. J, Whitaker R. J (1973).** Experiment sintracing under groundwater sinlimestones. J Hydrol19:323–349.
- ◆ **Baud, A., C. Jenny, D. Papanikolaou, C. Sideris and G. Stampfli 1991.** New observations on Permian stratigraphy in Greece and geodynamic interpretation. Bulletin of the Geological Society of Greece, v. 25, no. 1, p. 187-206
- ◆ **Bakalowicz M, Blavoux B, Mangin A (1974).** Apports du tra_age isotopique naturel la connaissance du fonctionnement d'un systeme karstique eteneurs en oxygene 18 de trois syst_mes des Pyrenes, France. (Natural isotope tracing as an informer of karst system functioning. Oxygen-18 content of three karst systems in the Pyrenees, France.). J Hydrol 23:141–158.
- ◆ **Bakalowicz M.J. & Jusserand C., 1987** - Etude de l'infiltration en milieu karstique par les méthodes géochimiques et isotopiques. Cas de la Grotte de Niaux (Ariege, France).Bulletin Centre d'Hydrogeologie, Univ. Neuchatel, 7: 265-83.
- ◆ **Bakalowicz M. (1995).** La zone d'infiltration des aquifères karstiques. Méthodes d'étude. Structure et fonctionnement. Hydrogéologie, 4: 3-21.
- ◆ **Bakalowicz, M. 2004.** The epikarst, the skin of karst. In: Jones, W.K., Culver, D.C. and Herman, J. (Eds.). 2004. Epikarst. Proc. of the symposium held October 1 through 4, 2003 Sheperdstown, West Virginia, USA. Karst Water Institute special publication 9, 16-22.
- ◆ **Bakalowicz, M. (2005).** Karst groundwater: a challenge for new resources. Hydrogeology Journal, 13, 148–160.
- ◆ **Bezes, C. (1976):** «Contribution a la modelisation des systemes aquifers karstiques». - Memoires du C.E.R.G.H., v. X, fasc. I-II, p. 1-135, Montpellier.
- ◆ **Bögli, A. (1980).** Karst Hydrology and Physical Speleology. New York: Springer, 270 p.
- ◆ **Bonacci O, (1982).** Specific hydrometry of karst regions. Advance sin Hydrometry, IAHS Publ.no134,pp321–33.
- ◆ **Bonacci, O. (1995).** Groundwater behaviour in karst: example of the Ombla spring (Croatia)..J Hydrol165(1–4):113–134.
- ◆ **Boussinesq, J. 1877.** Theorie de l'ecoulement tourbillant. *Mem. Pres. Acad. Sci. Paris*, **23**, 46.

- ◆ **Bottrell SH, Atkinson TC (1992).** Tracer study of flow and storage in the unsaturated zone of a karstic limestone aquifer. In: Werner H (ed) Tracer hydrology. Balkema, Rotterdam, pp 207–211
- ◆ **Chapman J.B., Ingraham N.L. & Hess J.W., 1992.** Isotopic investigation of infiltration and unsaturated zone processes at Carlsbad Cavern, New Mexico. Journal of Hydrology, 133: 343–63.
- ◆ **Clemens, T., Huckinghaus, D., Liedl, R. and Sauter, M., 1999.** Simulation of the Development of Karst Aquifers: Role of the Epikarst. International Journal of Earth Sciences, 88(1): 157-162.
- ◆ **COST action 65, 1995.** «Hydrogeological aspects of groundwater protection in karstic areas». Guidelines, European Commission, Directorate – General Science, Research and Development, 16p
- ◆ **COST ACTION 620, Vulnerability and Risk Mapping for the Protection of Carbonate (Karst) Aquifers.** Final Report. EC, Research DG, Bruxelles, 315 p., 2003.
- ◆ **Γιαννουλόπουλος, Π. (2008).** Αναγνωριστική Υδρογεωλογική -Υδροχημική έρευνα ποιοτικής επιβάρυνσης των υπόγειων νερών της ευρύτερης περιοχής της λεκάνης του Ασωπού Ν. Βοιωτίας, ΙΓΜΕ, Αθήνα
- ◆ **Ε.Θ.Ι.Α.Γ.Ε.,** Μελέτη των μετεωρολογικών και υδρολογικών συνθηκών και της χημείας της βροχής στο καμένο και άκαυτο τμήμα του ελατοδάσους του Εθνικού Δρυμού Πάρνηθας, - Φορέας Διαχείρισης Εθνικού Δρυμού Πάρνηθας, 2010.
- ◆ **Δούνας, Α., Καλλέργης, Γ., Μόρφης, Α. Παγούνης, Μ. (1978).** Υδρογεωλογική έρευνα λεκάνης μέσου ρου Ασωπού ποταμού, ΙΓΕΥ, Υδρολ. & Υδρογεωλ. Έρευναι, No 21.
- ◆ **Δούνας, Α., (1971):** Η γεωλογία μεταξύ Μεγάρων και Ερυθρών. Γεωλογικάί & Γεωφυσικάί έρευναι, ΙΓΜΕ. No 2, τομ. 15, Αθήνα.
- ◆ **Δούνας, Α., Καλλέργης, Γ., Μόρφης, Α. Παγούνης, Μ. (1980):** Υδρογεωλογική έρευνα υφάλμυρων καρστικών πηγών Αγίων Αποστόλων (Καλάμου). ΙΓΜΕ. No 35, 55 σελ.
- ◆ **Freyberg, B. V. (1951):** Das Neogen-Gebiet nordwestlich Athen. *Ann. Geol.*
- ◆ **Doerfliger, N. and Zwahlen, F., 1995,** Action COST 65 – Swiss National Report: Bulletin d'Hydrogéologie de l'Université de Neuchâtel, v. 14, p. 3-33.
- ◆ **Drogue, C., 1972,** Analyse statistique des hydrographes de de crues des sources karstiques: Journal of Hydrology, v. 15, p. 49-68.
- ◆ **Drogue, C., 1974,** Structure de certains aquifères karstiques d'après les résultats de travaux de forage: Comptes Rendus Académie des sciences, Paris, D, v. 278, p. 2621-2624.

- ◆ **Droque, C., 1967:** «Essai de determination des composantes de l' ecoulement des sources karstiques». - Chronique d' Hydrog., no 10, p. 43-47, editions du B.R.G.M., Orleans (France).
- ◆ **Droque, C., 1969:** «Contribution a l' etude quantitative des systemes hydrologiques karstiques d' après l' exemple de quelques karst perimediterranees». - These d' etat, Univ. de Montpellier, 482 p.
- ◆ **Even H., Carmi I., Magaritz M. & Gerson R., 1986** - Timing the transport of water through the upper vadose zone in a karstic system above a cave in Israel. Earth Surface Processes and Landforms, 11: 181–91.
- ◆ **Ford, D, C. and Williams P.:** “Karst Geomorphology and Hydrology”. Unwin Hyman, Winchester, Massachusetts. 1989.
- ◆ **Forkasiewicz, J.-Paloc, H. (1967):** «Le regime de tarissement de la Voux de la Vis». - Chronique d' Hydrogeologie, no 10, kp. 59-73, editions B.R.G.M., Orleans, France.
- ◆ **Friederich, H. and Smart P.L. 1981.** Dye tracer studies of the unsaturated zone: recharge of the Carboniferous Limestone aquifer of the Mendip Hills, England. Proceedings, 8th International Speleological Congress Kentucky, USA, 283-6.
- ◆ **Friedrich H., and Smart, P. L, (1986),** Water movement and storage in the unsaturated zone of a maturely karstified carbonate aquifer, Mendip Hills, England, paper presented at the Environmental Problems in Karst Terraines and Their Solutions Conference, Natl. Water Well Assoc., Bowling Green, Ky.
- ◆ **Galabov, M. (1972):** «Sur l' expression mathematique des hydrogrammes des sources et le prognostic du debit». - Bul. B.R.G.M. ser. (2), III, no 2/1972, p. 52-57, Orleáns, France.
- ◆ **Goldscheider N. & D. Drew (2007).** Methods in Karst Hydrogeology: IAH: International Contributions to Hydrogeology, 26, by Taylor Francis, London, 264 pp. ISBN 978-0-415-42873-6.
- ◆ **Gunn, J. (1981),** Hydrologic processes in karst depressions, Z. Geomorphol., 25, 313 – 331.
- ◆ **Genty D. & Deflandre G., 1998** -Drip flow variations under a stalactite of the Père Noël cave (Belgium). Evidence of seasonal variations and air pressure constraints. Journal of Hydrology, **211**: 208-232.
- ◆ **Griffiths P., 2001** - Collection, culture and identification of soil microfungi from Florence Lake Cave near Victoria, B.C. Canadian Caver, 10: 35-38.
- ◆ **Griffiths, P., T.R. Stokes, B. l'Anson, C. Ramsey, P. Bradford, and B. Craven. 2005.** The next step for karst management in British Columbia: transition to a results-based forest practices framework. 17th Natl. Cave Karst Manag. Symp. Proc., Albany, N.Y. pp. 174–189.

- ◆ **Huntoon, P.W (1995)** Is it appropriate to apply porous media groundwater circulation models to karstic aquifers ? In: El-Kadi Al (ed) Groundwater models for resources analysis and management, chapter 19, pp 339–358
- ◆ **Jones, W.K., Culver, D.C. & Herman, J.S., eds., 2004**, Epikarst. Proceedings of the symposium held October 1 through 4, 2003, Sheperdstown, West Virginia, USA: Karst Waters Institute Special Publ. 9, Charles Town, W.Va., 200 p.
- ◆ **Καλλέργης, Γ.:** «Εφαρμοσμένη – Περιβαλλοντική Υδρογεωλογία», 2^η έκδοση, Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, Αθήνα 2001.
- ◆ **Κατσικάτσος, Γ., Μέττος, Α., Βιδάκης, Μ., Δούνας, Α. 1986.** Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδος, φύλλο ΑΘΗΝΑΙ-ΕΛΕΥΣΙΣ, κλίμακας 1/50.000. Αθήνα, Εκδόσεις Ι.Γ.Μ.Ε.
- ◆ **Kiraly, L., Morel, G. (1976a):** Etude de regularisation de l'Areuse par modèle mathématique. Bulletin du Centre d'Hydrogéologie, Neuchatel, 1, 19-36.
- ◆ **Kiraly, L., Morel, G. (1976b):** Remarques sur l'hydrogramme des sources karstiques simulé par modèles mathématiques. Bulletin du Centre d'Hydrogéologie, Neuchatel, 1. 37-60.
- ◆ **Kiraly, L., (2002):** Karstification and Groundwater Flow. Proceedings of the Conference on Evolution of Karst: From Prekarst to Cessation. Postojna-Ljubljana, 155-190.
- ◆ **Klimchouk A.B., Jablokova N.L. 1989.** Genesis of carbon dioxide of air in Ukrainian caves. *Proc. of the 10th Internatl. Congress of Speleology*, v.III, Budapesht: 800-801.
- ◆ **Klimchouk, A.B. 1995.** Karst morphogenesis in the epikarstic zone. *Cave and Karst Science*. 21 (2), 45-50.
- ◆ **Klimchouk Alexander, 2003:** Towards defining, delimiting and classifying epikarst: Its origin, processes and variants of geomorphic evolution, Institute of Geological Sciences, National Academy of Science of Ukraine, Re-published (modified) from: Jones, W.K., Culver, D.C. and Herman, J. (Eds.). 2004. Epikarst. Proc. of the symposium held October 1 through 4, 2003 Sheperdstown, West Virginia, USA. Karst Water Institute special publication 9, 23-35).
- ◆ **Kogovšek, J., 1997:** Pollution transport in the vadose zone.- In: Günay, G. et al. (eds.) *Karst waters & environmental impacts : proceedings*. A.A. Balkema, 161–165, Rotterdam, Brookfield.
- ◆ **Kovács, A. 2003:** Geometry and hydraulic parameters of karst aquifers: A hydrodynamic modeling approach
- ◆ **Κατωπόδης Γ., (Μάρτιος 2010):** Μελέτη Γεωλογικής Καταλληλότητας περιοχών οικιστικών επεκτάσεων στη χωρική Υποενοότητα της κοιλάδας Ωρωπού.
- ◆ **Καλέργης Γ. Α., «Εφαρμοσμένη – Περιβαλλοντική Υδρογεωλογία» , Τόμοι Α, Β & Γ, Έκδοση ΤΕΕ, Αθήνα 2000.**

- ◆ **Κούτση Ρεγγίνα, 2007.** Ο ρόλος του Επικάρστ στην εκτίμηση και χαρτογράφηση της τρωτότητας των καρστικών σχηματισμών μέσω της νέας δημιουργούμενης σχετικής ευρωπαϊκής μεθόδου. Διδακτορική Διατριβή, ΕΚΠΑ.
- ◆ **Λέκκας, Ε. κ.ά. (1997).** Νεοτεκτονικός Χάρτης Ανατολικής Αττικής.
- ◆ **Maillet, E. (1905):** «Essais d' hydraulique souterraine et fluviale». - Herman, Paris, 218 p+24 fig., 11 graph., h.t.
- ◆ **Mangin, A. (1974):** «Contribution a l' etude hydrodynamique des aquifers karstiques, premiere partie».- Ann. Speleol. 29, no 3, p. 283-332.
- ◆ **Mangin, A. (1974):** «Contribution a l' etude hydrodynamique des aquifers karstiques, deuxieme partie».- Ann. Speleol. T. 26, fasc. 2, p. 283-329, Moulis (Ariege), France.
- ◆ **Mangin, A. 1973.** Sur la dynamique des transferts en aquifer karstique. Proc.of the 6th Intern. Congr. of Speleol., Olomouc, v.4. 157-162.
- ◆ **Μαριολάκος, Η., Φουντούλης, Ι., Σίδερης, Χρ., Χατούπης, Θ. 2001.** Μορφοτεκτονική δομή του όρους Πάρνηθα Αττικής. *Ε.Γ.Ε.*, Τόμος XXXIV/1, σελ. 183-190.
- ◆ **Mariolagos, I. & Papanikolaou, D. 1982.** The neogene Basins of the Aegean Arc from the Paleogeographic and the Geodynamic point of view. *Intern Symp. Hell. Arc and Trench*, Proceedings 1, p. 383-399, Athens.
- ◆ **Μέττος, Α. (1992).** Γεωλογική και παλαιογεωγραφική μελέτη των ηπειρωτικών νεογενών και τεταρτογενών σχηματισμών ΒΑ Αττικής και ΝΑ Βοιωτίας. Διδακτορική διατριβή Παν/μιου Αθηνών.
- ◆ **Mijatovic, B. (1974):** «Determination de la transmissivite et du coefficient d' emmagasinement par la courbe de tarissement dans les aquifers karstiques». - Mem. A.I.H., Reunion de Montpellier, no 10, p. 225-230.
- ◆ **Milanovic, P. 1981:** "Karst hydrogeology". Water Resources Publicatons.
- ◆ **Μόρφης, Α. (1995).** Υδρογεωλογική έρευνα καρστικού υδροφόρου συστήματος ΒΑ Πάρνηθας και ευρύτερης περιοχής βορείου Αττικής, Διδακτορική διατριβή, Πανεπιστήμιο Πατρών.
- ◆ **Monroe, W.H., 1970,** A glossary of karst terminology. U.S. Geological Survey Water Supply Paper 1899-K. U.S. Geological Survey. 26 p.
- ◆ **Παπανικολάου, Ν., 1976.** Γεωφυσική έρευνα καρστικού υδροφόρου πηγών Αγίων Αποστόλων, ΙΓΜΕ..
- ◆ **Παπανικολάου, Δ., Μαριολάκος, Η., Λέκκας, Ε., Λόζιος, Σ. 1988.** Μορφοτεκτονικές Παρατηρήσεις στη Λεκάνη του Ασωπού και την παραλιακή ζώνη Ωρωπού. Συμβολή στη Νεοτεκτονική της Βόρειας Αττικής. *Ε.Γ.Ε.*, Τόμος XX, σελ 251-267.

- ◆ Παπανικολάου, Δ., Χρόνης, Γ., Λυκούσης, Β., Παυλακάκης, Π., Ρουσσάκης, Γ., Συσκάκης, Δ. **1989**. Υποθαλάσσιος νεοτεκτονικός χάρτης Νότιου Ευβοϊκού κόλπου. Έκδοση ΟΑΣΠ-ΕΚΘΕ-ΤΔΤΕΓ.
- ◆ Παπανικολάου, Δ. **(1986)**. Γεωλογία της Ελλάδας. Εκδόσεις Επτάλοφος ΑΒΕΕ, Αθήνα
- ◆ Περισωράτης, Κ., Μέττος, Α., Van Andel, T. **1989**. Στρωματογραφία και Τεκτονική του Νότιου Ευβοϊκού Κόλπου και της ευρύτερης Νεογενούς λεκάνης. *Ε.Γ.Ε.* Τόμος XXIII/1, σελ. 209-221.
- ◆ Perrin, J., Jeannin, P.-Y., Zwahlen, F., 2003a. Implications of the spatial variability of the infiltration water chemistry for the investigation of a karst aquifer. *Hydrogeology Journal* 11, 673– 686.
- ◆ Perrin, J., Jeannin, P.-Y., Zwahlen, F., 2003b. Epikarst storage in a karst aquifer: a conceptual model based on isotopic data. Milandre test site, Switzerland. *Journal of Hydrology* 279, 106– 124.
- ◆ Ρουμπάνης, Β. **(1961)**. Γεωμορφολογικές Έρευνες επί της οροσειράς της Πάρνηθας, Απν. G.P.H. XII, σελ 18-101, 14 πιν.
- ◆ Sauter, M. **(1992)**: Quantification and forecasting of regional groundwater flow and transport in a karst aquifer (Gallusquelle, Malm, SW. Germany). *Tübinger Geowissenschaftliche Arbeiten* C13. 150 pp.
- ◆ Schoeller, H. **(1967)**: «Hydrodynamique dans le karst (ecoulement et emmagasinement)».- *Chronique d' Hydrogeologie* no 10, p. 7-21, edition B.R.G.M., Orleans, France.
- ◆ Smart, P. L. and Friedrich, H., 1987. Water movement and storage in the unsaturated zone of a maturely karstified aquifer, Mendip Hills, England, *Proceedings of the Conference on Environmental Problems in Karst Terrains and Their Solution*, Bowling Green, Kentucky. National Water Well Association, pp. 57-87.
- ◆ Soulios, G. **(1985)**: «Recherches sur l' unite des systemes aquifers karstiques d' après des exemples du karst hellenique»- *Journal of Hydrology*, v. 81, p. 333-354.3
- ◆ Soulios, G. **(1991)**: «Contribution a l' etude des courbes de recession des sources karstiques: exemples du pays helleniques».- *Journal of Hydrology*, v. 124, p. 29-42.
- ◆ Σούλιος, Γ. **1985**. Συμβολή στην υδρογεωλογική μελέτη των καρστικών υδροφόρων συστημάτων του ελληνικού χώρου. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- ◆ Στουρνάρας Γ. **(2007)** ΝΕΡΟ, Περιβαλλοντική Διάσταση και Διαδρομή, Εκδόσεις Τζιόλα, Αθήνα.
- ◆ Tison, G. **(1960)**: «Courbe de tarrissement, coefficient d' ecoulement et permeabilite du bassin».- *Memoires A.I.H.S.*, p. 229-243.
- ◆ Therond, R, **1972**. Recherche sur l etancheite des lacs de barrage en pays karstique, Eyroles, Paris, 443p.

- ◆ **Tooth, A.F., Fairchild, I.J., 2003.** Soil and karst aquifer hydrological controls on the geochemical evolution of speleothem-forming drip waters, Crag Cave, southwest Ireland. *J. Hydrol.* 274, 51–68.
- ◆ **Tripet, J. (1969):** «Une methode d' approche de l' analyse du tarrissement d' une source karstique. Etude preliminaire».- Mem. B.R.G.M., no 76, p. 701-709, Orleans, France.
- ◆ **Χατούπης Θ. 2003.** Γεωλογική έρευνα για τη δυνατότητα τεχνητού εμπλουτισμού του καρστικού υδροφορέα της Βόρειας Πάρνηθας (ΝΑ λεκάνη Βοιωτικού Ασωπού). Μεταπτυχιακή διατριβή ειδίκευσης Παν/μιου Αθηνών.
- ◆ **Χατούπης, Θ., Φουντούλης, Ι. (2004).** Νεοτεκτονική παραμόρφωση της βόρειας Πάρνηθας, Πρακτικά 10ου Συνέδριου Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας, Δελτίο ΕΓΕ τ. XXXVI/4 σελ. 1588-1597
- ◆ **White, W.B., 1988,** *Geomorphology and hydrology of karst terrains:* New York, Oxford University Press, 464 p.
- ◆ **Williams, P.W. 1983.** The role of the subcutaneous zone in karst hydrology. *Journal of Hydrology* 61. 45-67.
- ◆ **Williams, P.W. 1985.** Subcutaneous hydrology and the development of doline and cockpit karst. *Zeitschrift fur Geomorphologie* 29. 463-482.
- ◆ **Williams P.W., 1993.** Climatological and geological factors controlling the development of polygonal karst. *Zeitschrift für Geomorphologie, Suppl.-Bd.* 93, 159-173.
- ◆ **Williams P.W. & Fowler A., 2002.** Relationship between oxygen isotopes in rainfall, cave percolation waters and speleothem calcite at Waitomo, New Zealand. *New Zealand Journal of Hydrology*, 41(1): 53–70.
- ◆ **Williams P.W., 2003** The epikarst: evolution of understanding. In: Jones, W.K., Culver, D.C. & Herman, J.S. (Eds.) – *Epikarst.* Charles Town, WV: Karst Waters Institute, Special Publication 9: 11-22.
- ◆ **Williams, P.W. 2008.** The role of the epikarst in karst and cave hydrogeology: a review. *International Journal of Speleology*, 37 (1), 1-10. Bologna (Italy). ISSN 0392-6672.

Διευθύνσεις στο διαδίκτυο:

<http://www.iah-hellas.geol.uoa.gr>

<http://www.iah.org/>

http://www.iah.org/publications_books.asp

<http://www.geosociety.gr/>

<http://www.nckms.org/2005/pdf/Papers/Griffiths.pdf> (Accessed May 2010)

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

Φωτογραφίες



ΦΩΤ.1: πηγή Α



ΦΩΤ.2: πηγή Γ



ΦΩΤ.3: πηγή Δ



ΦΩΤ.4: πηγή Δ



ΦΩΤ.5: πηγή Ε



ΦΩΤ.6: πηγή Η



ΦΩΤ.7: πηγή Ζ

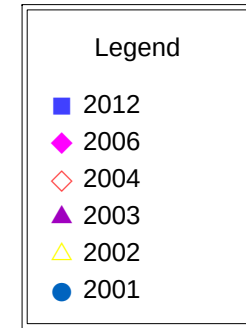
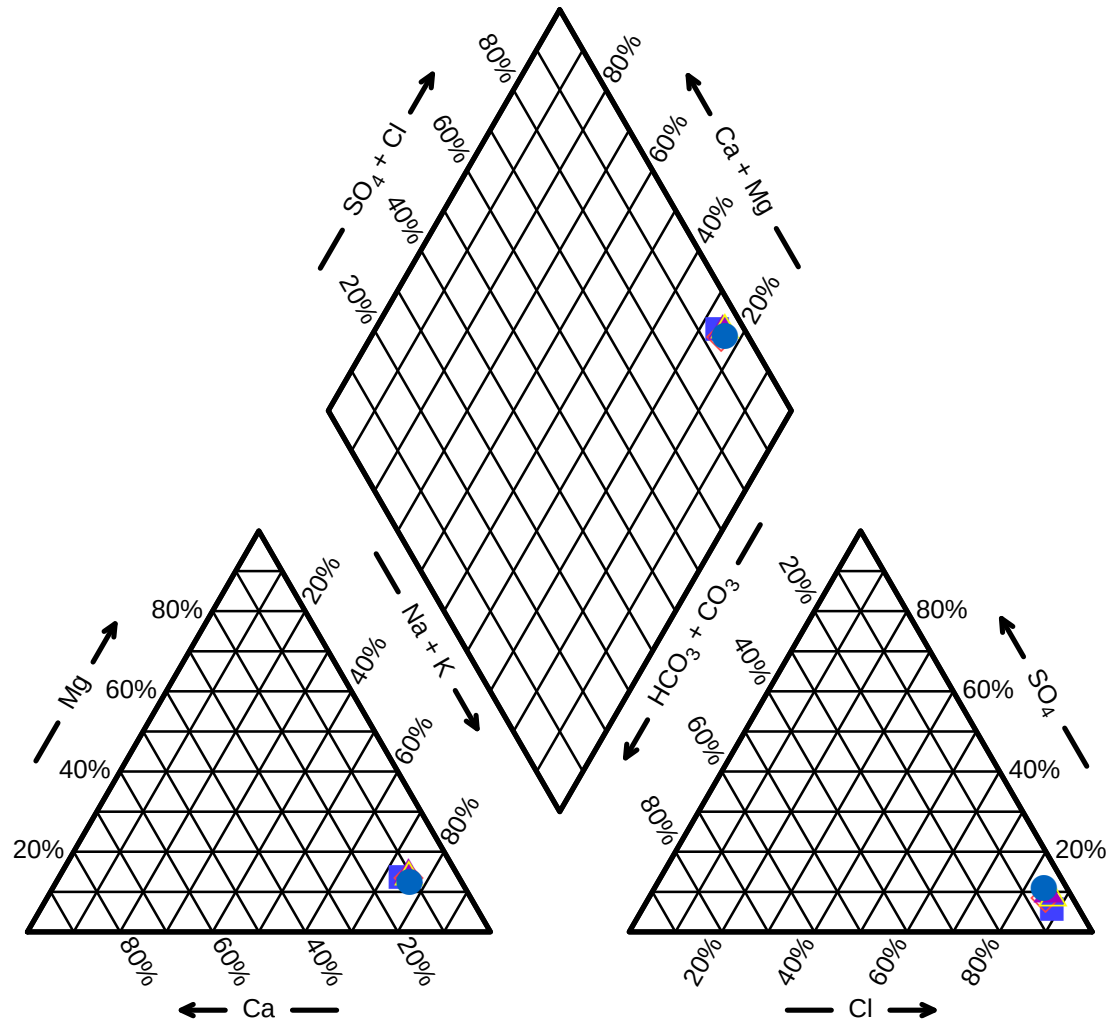


ΦΩΤ.8: πηγή Β με κατεστραμμένη διαμόρφωση (όπου δεν έχουν γίνει μετρήσεις).

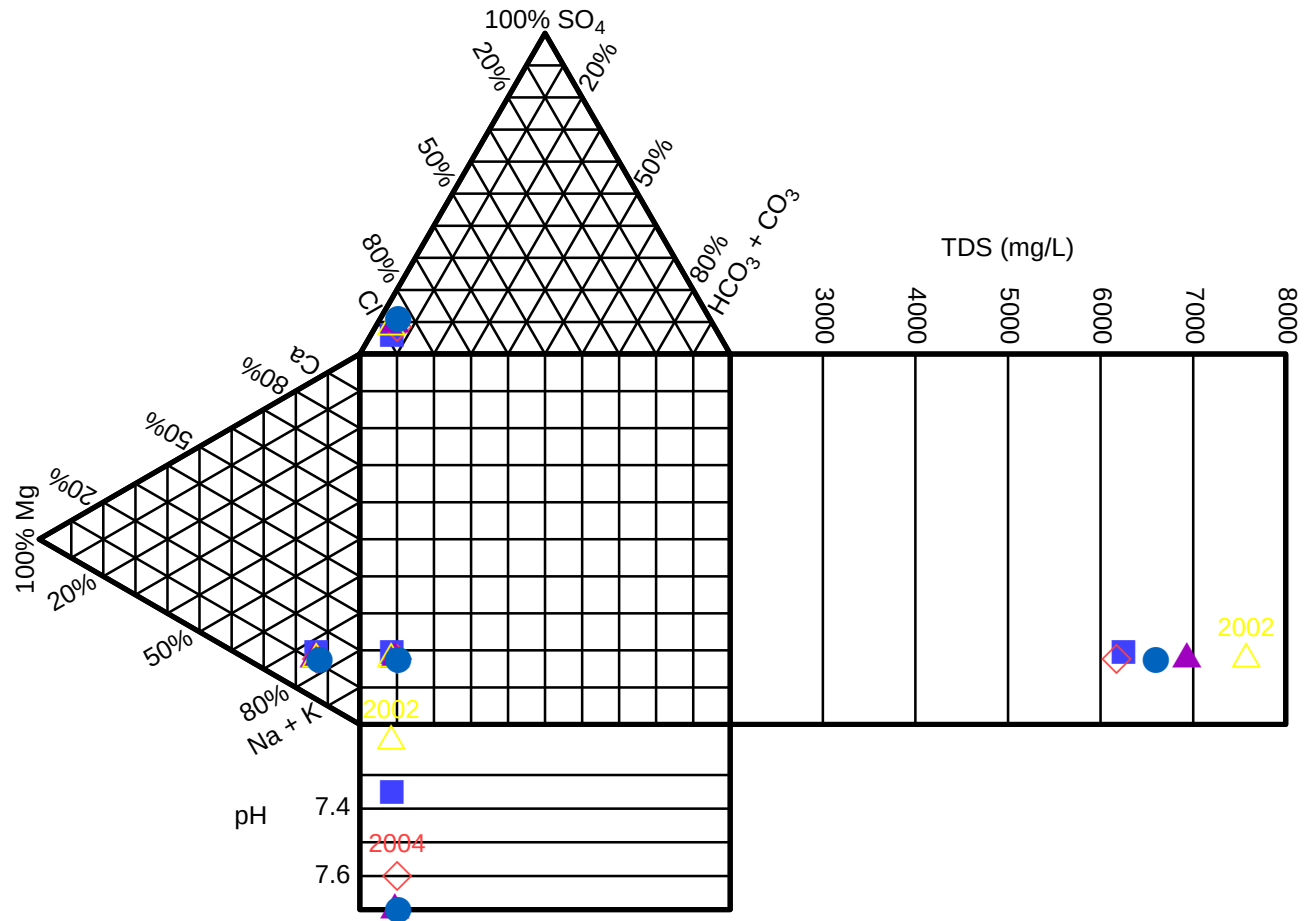
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

Διαγράμματα

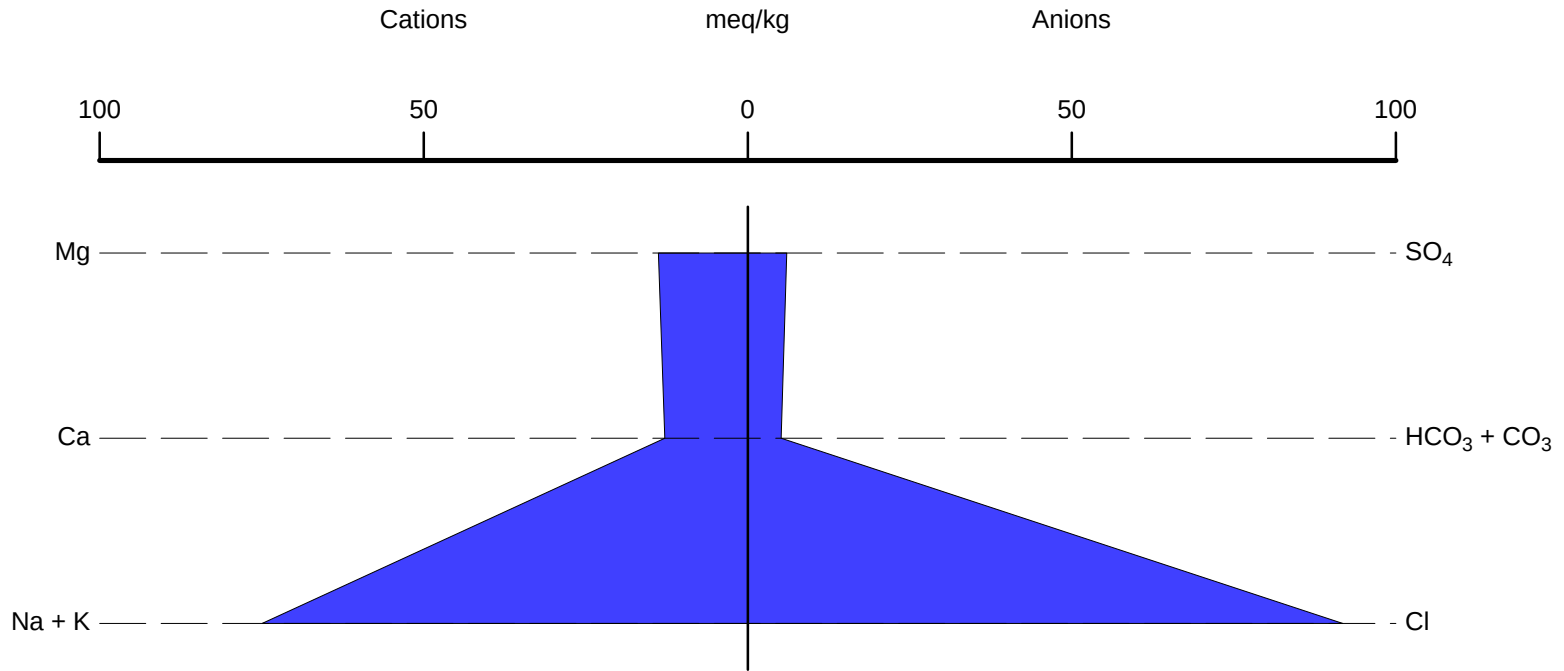
Piper Diagram



Durov Diagram



Stiff Diagram



ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ

Χημικές Αναλύσεις

ΓΕΝΙΚΕΣ ΧΗΜΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΠΗΓΗΣ Δ ΑΓΙΩΝ ΑΠΟΣΤΟΛΩΝ

ΑΡΙΘΜΟΣ ΥΔΡΟ- ΣΗΜΕΙΟΥ	ΕΙΔΟΣ	ΗΜΕΡ/ΝΙΑ ΔΕΙΓΜΑ- ΤΟΛΗΨΙΑΣ	ΦΥΣ/ΧΗΜΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ Θ=25°C		ΑΝΙΟΝΤΑ (mg/l)					ΚΑΤΙΟΝΤΑ (mg/l)				ΔΕΙΚΤΕΣ ΜΟΛΥΝΣΗΣ (mg/l)		ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ (mg/l CaCO ₃)		
			pH	ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ (μS/cm)	Cl	SO ₄	NO ₃	CO ₃	HCO ₃	Ca	Mg	Na	K	NO ₂	NH ₄	Παρο- δική	Μόνιμη	Ολική
ΑΝΩΤΕΡΗ ΑΠΟΔΕΚΤΗ ΤΙΜΗ			6.5-9.5	2500	250	250	50	-	-	-	50	200	12	0,5	0,5	-	-	-
75% ΑΝΩΤΕΡΗΣ ΑΠΟΔΕΚΤΗΣ ΤΙΜΗΣ			-	1875	187,5	187,5	37,5	-	-	100	-	150	9	0,375	0,375	-	-	-
Π/ΑΓΠ-Δ	ΠΗΓΗ	24/1/2000	7,1	12300	3368	576,4	<5	0	318,5	240,5	174,1	1936	68,8	<0,05	<0,26	261	1055	1316
Π/ΑΓΠ-Δ	ΠΗΓΗ	8/5/2000	7,5	11600	3403,8	852,5	<5	0	329,5	256,5	175,1	2069,1	78,2	<0,05	<0,26	270	1090	1360
Π/ΑΓΠ-Δ	ΠΗΓΗ	24/7/2000	7,6	10000	3247,8	562	<5	0	334,4	237,3	175,1	1862,2	62,6	<0,05	<0,26	274	1038	1312
Π/ΑΓΠ-Δ	ΠΗΓΗ	3/10/2000	7,7	10600	3262	576,4	<5	0	338,1	243,7	169,3	1885	58,7	<0,05	<0,26	277	1027	1304
Π/ΑΓΠ-Δ	ΠΗΓΗ	22/1/2001	7,7	11000	3304	576	6,2	0	336	247	169	1908	58,7	<0,05	<0,26	275	1037	1312
Π/ΑΓΠ-Δ	ΠΗΓΗ	24/4/2001	8	11900	3347	480,3	<5	0	347,8	187,6	209,2	1885	58,7	<0,05	<0,26	285	1043	1328
Π/ΑΓΠ-Δ	ΠΗΓΗ	23/7/2001	7	11600	3162,7	406,8	<5	0	329,5	208,4	184,8	1747,2	58,7	<0,05	<0,26	270	1010	1280
Π/ΑΓΠ-Δ	ΠΗΓΗ	1/10/2001	7,4	9800	3077,6	312,2	6,2	0	323,4	240,5	159,5	1655,3	58,7	<0,05	<0,26	265	991	1256
Π/ΑΓΠ-Δ	ΠΗΓΗ	11/5/2002	7,2	13000	3971,1	519,7	<5	0	331,9	275,8	212,1	2184,1	78,2	<0,05	<0,26	272	1288	1560
Π/ΑΓΠ-Δ	ΠΗΓΗ	22/7/2002	7,5	11800	3634,2	376,6	<5	0	336,8	250,5	194,6	1954,2	78,2	<0,05	<0,26	276	1149	1425
Π/ΑΓΠ-Δ	ΠΗΓΗ	1/10/2002	7,8	10300	3439,2	413,1	<5	0	335,6	232,5	199,4	1873,7	62,6	<0,05	<0,26	275	1125	1400
Π/ΑΓΠ-Δ	ΠΗΓΗ	23/1/2003	7,7	11049	3560	528,3	<5	0	342,9	248,5	201,9	1986	66,5	<0,05	<0,26	281	1169	1450
Π/ΑΓΠ-Δ	ΠΗΓΗ	8/5/2003	7,7	10867	3482	445,7	<5	0	343	273	218	1839	58,7	<0,05	<0,26	281	1295	1576
Π/ΑΓΠ-Δ	ΠΗΓΗ	2/10/2003	8,2	9387	2978	220,9	<5	0	350	43	309	1497	62,6	<0,05	<0,26	287	1093	1380
Π/ΑΓΠ-Δ	ΠΗΓΗ	6/2/2004	7,6	10200	3156	420	<5	0	373	228	169	1770	58,7	<0,05	<0,26	306	959	1265
Π/ΑΓΠ-Δ	ΠΗΓΗ	19/1/2006		8700	2961		<5							<0,05	<0,26			
Π/ΑΓΠ-Δ	ΠΗΓΗ	3/5/2006	7,5	8600	2907		<5							<0,05	<0,26			
Π/ΑΓΠ-Δ	ΠΗΓΗ	18/7/2006	8	8191	2411		<6							<0,05	<0,26			
Π/ΑΓΠ-Δ*	ΠΗΓΗ	10/11/2012	7,35	10350	3260	289		27	313	257	168	1690	61,3	<0,05	<0,26			1328
ΠΛΗΘΟΣ ΔΟΚΙΜΩΝ			18	19	19	16	18	16	16	16	16	16	16	19	19	15	15	16
ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΤΙΜΗ			7,0	8191,0	2411,0	220,9	5,0	0,0	313,0	43,0	159,5	1497,0	58,7	0,1	0,3	261,0	959,0	1256,0
ΜΕΓΙΣΤΗ ΤΙΜΗ			8,2	13000,0	3971,1	852,5	6,2	27,0	373,0	275,8	309,0	2184,1	78,2	0,1	0,3	306,0	1295,0	1576,0
ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ			7,6	10591,8	3259,6	472,2	5,2	1,7	336,5	229,4	193,0	1858,9	64,4	0,1	0,3	277,0	1091,3	1365,8
PERCENTILE 95%			8,0	12370,0	3667,9	645,4	6,2	6,8	355,8	273,7	240,8	2097,9	78,2	0,1	0,3	292,7	1290,1	1564,0
ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ			0,3	1299,8	327,2	149,1	0,5	6,8	13,9	54,2	35,9	164,7	7,5	0,0	0,0	10,6	99,4	96,1

Π/ΑΓΠ-Δ* Χημική ανάλυση στα πλαίσια της μεταπτυχιακής εργασίας

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ

Κωδικός δείγματος : 201112-05

Παράμετρος	Αναλυτική Μέθοδος	Αποτέλεσμα	LoQ	Όρια (*) Ποσίου	Μονάδες
pH (@ 20°C)	AWWA - 4500/H - Ed. 21 st	7,35	---	6,5 - 9,5	---
Αγωγιμότητα (@ 20°C)	AWWA - 2510 - Ed. 21 st	10350	1	2.500	μS/cm
Ολικά Διαλυμένα Στερεά	AWWA - 2540/C - Ed. 21 st	6520	70	1.500	mg/l
Σκληρότητα Ολική* (Γαλλικοί βαθμοί)	AWWA - 2340/B - Ed. 21 st	1328	3,0	(*)	mg CaCO ₃ /l
(Γερμανικοί βαθμοί)	AWWA - 2340/B - Ed. 21 st	133	0,3	(*)	F°
	AWWA - 2340/B - Ed. 21 st	74,3	0,2	(*)	D°
Ανθρακικά* (CO ₃ ²⁻)	AOAC Off. M. 920.194	27,0	0	(*)	mg/l
Όξινα Ανθρακικά* (HCO ₃ ⁻)	AOAC Off. M. 920.194	313	10	(*)	mg/l
Αλκαλικότητα* (Φ)	AWWA - 2320/B - Ed. 21 st	22,5	0	(*)	mg CaCO ₃ /l
Αλκαλικότητα* (H)	AWWA - 2320/B - Ed. 21 st	279	10	(*)	mg CaCO ₃ /l
Χλωριούχα (Cl ⁻)	AWWA - 4500 - Cl/B - Ed. 21 st	3260	5	250	mg/l
Νιτρικά (NO ₃ ⁻)	MERCK 1.09713	<LoQ (3,6)	5	50	mg/l
Νιτρώδη (NO ₂ ⁻)	MERCK 1.14776	MA	0,05	0,5	mg/l
Αμμονιακά (NH ₄ ⁺)	MERCK 1.14752	MA	0,05	0,5	mg/l
Φώσφορος (P ₂ O ₅)	MERCK 1.14848	MA	0,20	5	mg/l
Φθόριο* (F)	AWWA - 4500 - F/E - Ed. 21 st	0,87	0,1	1,5	mg/l
Θειικά* (SO ₄ ²⁻)	AWWA - 4500 - SO ₄ ²⁻ /E - Ed. 21 st	289	10	250	mg/l
Πυριτικά (SiO ₂)	MERCK 1.14794	9,0	0,2	(*)	mg/l
Ασβέστιο (Ca ²⁺)	ASTM D 511-08	257	0,2	(*)	mg/l
Μαγνήσιο (Mg ²⁺)	ASTM D 511-08	168	0,5	(*)	mg/l
Κάλιο (K ⁺)	ISO 9964-3:1993 (E)	61,3	0,2	12	mg/l
Νάτριο (Na ⁺)	ASTM D 4191-08 & ASTM D 3561-02 (R-2007) E1	1690	2	200	mg/l
Χαλκός (Cu ²⁺)	ASTM D 1688-07	MA	0,1	2	mg/l
Ψευδάργυρος (Zn ²⁺)	ASTM D 1691-02 (R-2007) E1	MA	0,05	5	mg/l
Μαγγάνιο (Mn ²⁺)	ISO 15586:2003	MA	2	50	μg/l
Σίδηρος* (Fe)	ISO 15586:2003	<LoQ (9)	10	200	μg/l
Υπολειμματικό Χλώριο* (Cl ₂)	AWWA - 4500 - Cl ₂ /G - Ed. 21 st	MA	0,05	(*)	mg/l

Συντηρήσεις: Μ. Α.: Μη Ανιχνεύσιμο
 < LoQ : μικρότερο του Ορίου Ποσοτικοποίησης

LoQ : Όριο Ποσοτικοποίησης

Σημειώσεις: 1. (*): Όρια ποσίου (παραμετρική τιμή) βάσει της Κ.Υ.Α. Υ2/2600/2001
 2. Για τις παραμέτρους που επισημαίνονται με αστερίσκο (*) δεν προβλέπεται ανώτατο όριο.

Ο Προϊστάμενος Εργαστηρίου



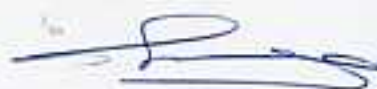
ΣΤΕΦ. Κ. ΑΝΔΡΕΟΥ
 ΧΗΜΙΚΟΣ BSc MSc

ΓΝΩΜΑΤΕΥΣΗ

Κωδικός Δείγματος: 201112-05

- Το δείγμα εμπεριέχει χλωριούχα που ισοδυναμούν με περίπου 16% θαλασσινό νερό. Το νερό είναι ακατάλληλο για πάσα χρήση με εξαίρεση την ποτιστική χρήση ιδιαίτερος ανθεκτικών στο αλάτι καλλιεργειών.
- Η όποια οικιακή χρήση του νερού αναμένεται ιδιαίτερος προβληματική λόγω της εναπόθεσης αλάτων σε:
 - α) συσκευές θέρμανσης του νερού (π.χ. πλυντήριο, θερμοσίφωνα)
 - β) στα σημεία που στεγνώνει το νερό (π.χ. νιπτήρας, μπανιέρα)
 - γ) σε εξωτερικές σωληνώσεις.
- Η αναλογία Νατρίου με το άθροισμα Ασβεστίου και Μαγνησίου είναι ένδειξη εισροής του θαλασσινού νερού χωρίς διέλευση από πορώδη εδάφη, που σημαίνει ότι κατά τις περιόδους παρατεταμένης ανομβρίας η περιεκτικότητα του θαλασσινού νερού θα αυξηθεί σημαντικά.

Ο Χημικός



ΣΤΕΦ. Κ. ΑΝΔΡΕΟΥ
ΧΗΜΙΚΟΣ BSc MSc