

ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ – ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΧΑΝΙΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΛΕΓΧΟΥ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΝΕΡΟΥ

ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΝΕΡΟΥ ΤΟΥ ΚΑΡΣΤΙΚΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΟΥ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΠΗΓΩΝ ΑΓΥΙΑΣ - ΚΟΥΦΟΥ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Μυλωνά Κυριακή

Χανιά 2004

**Αφιερώνεται στο Δρ.Ν. Λυδάκη - Σημαντήρη
για την καθοδήγησή του και το συνεχές ενδιαφέρον του.**

Π Ρ Ο Λ Ο Γ Ο Σ

Όπως είναι γνωστό το νερό είναι το σπουδαιότερο φυσικό αγαθό το οποίο είναι απαραίτητο για την επιβίωση του ανθρώπου. Παρά δε το γεγονός ότι η ποσότητα του νερού στη γη είναι μεγάλη, εντούτοις η ποσοτική του κατανομή και τα ποιοτικά του χαρακτηριστικά, περιορίζουν στο ελάχιστο τη διαθεσιμότητά του, με αποτέλεσμα για την εξασφάλισή του να απαιτούνται προσεγμένες έρευνες, ειδικές μελέτες και τα κατάλληλα κατά περίπτωση τεχνικά έργα υδροληψίας.

Στην Κρήτη ειδικότερα, η μεγάλη σπουδαιότητα του νερού για την ανάπτυξή της είχε αναγνωρισθεί από πολλές δεκαετίες. Η Δυτική Κρήτη καταλαμβάνεται κατά το 40% της επιφάνειάς της από το ορεινό συγκρότημα των Λευκών Ορέων, που δομείται από ανθρακικά πετρώματα πολύ υδροπερατά. Στην υπόλοιπη έκταση αναπτύσσονται φυλλιτικοί - χαλαζιτικοί και τεταρτογενείς σχηματισμοί που παρουσιάζουν πολύ μικρή υδροπερατότητα. Τα νερά της βροχής που πέφτουν στους αδιαπέρατους γεωλογικούς σχηματισμούς, κατά το μεγαλύτερο ποσοστό τους ρέουν επιφανειακά σχηματίζοντας πλούσιο υδρογραφικό δίκτυο και καταλήγουν στη θάλασσα. Αντίθετα αυτά που πέφτουν στα Λευκά Όρη (μεγ. υψομ. 2.452 μ.) σαν βροχή ή χιόνι, κατεισδύουν μέσα στα ανθρακικά πετρώματα κατά ποσοστό μεγαλύτερο του 50% και στη συνέχεια κινούνται υπόγεια και εκφορτίζονται, στις μεν νότιες ακτές κατ' ευθείαν μέσα στη θάλασσα, στις δε βόρειες ακτές τόσο σε πηγές γλυκού νερού μακριά από τις ακτές, όσο και υποθαλάσσια, στη θάλασσα του κόλπου Χανίων και του κόλπου της Σούδας (Παυλάκη, 1984).

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει σαν στόχο να συμβάλει στον έλεγχο ποιότητας νερού του καρστικού υδροφόρου συστήματος Αγυιάς – Κουφού με τη συστηματική παρακολούθηση της ποιότητας του νερού των πηγών Αγυιάς, γεωτρήσεων Κουφού και γεωτρήσεων Μυλωνιανών κατά τη διάρκεια επτά μηνών. Ως γνωστόν, κατά την ξηρή περίοδο οι αντλήσεις αυξάνονται λόγω των περισσότερων υδατικών αναγκών. Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας, διερευνάται η τυχόν επίδραση της άντλησης υπόγειων νερών στην ποιότητά τους.

Φθάνοντας στο τέλος αυτής της προσπάθειας αισθάνομαι την ανάγκη να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τους επιβλέποντες καθηγητές της διπλωματικής μου εργασίας :

- Αικ. Παυλάκη, Γεωλόγο - μελετητή για τον προσδιορισμό του αντικειμένου και των στόχων της παρούσας εργασίας, την καθοδήγηση των σταδίων εκπόνησης και την επιστημονική της συμβολή στο στάδιο επεξεργασίας και αξιολόγησης των

γεωλογικών – υδρογεωλογικών δεδομένων και των αποτελεσμάτων της εργαστηριακής έρευνας.

- Δρ. Γ. Σταυρουλάκη, Αναπληρωτή Καθηγητή για την έγκριση ανάθεσης της διπλωματικής εργασίας, τη συμβολή του στον αρχικό πειραματικό σχεδιασμό, για τις επιστημονικές του επισημάνσεις για την ολοκλήρωση της εργασίας αυτής, καθώς και για τη διάθεση όλης της υλικοτεχνικής υποδομής του εργαστηρίου Ελέγχου Ποιότητας Νερού για την πραγματοποίηση των αναλύσεων.
- Δρ. Ν. Λυδάκη – Σημαντήρη, Καθηγητή Εφαρμογών για όλες τις χρήσιμες παρατηρήσεις, αξιόλογες υποδείξεις του και τη συνεχή καθοδήγησή του σε καθημερινή βάση στην εκπόνηση της διπλωματικής μου εργασίας. Ειδικότερα, τον ευχαριστώ ολόψυχα για την πολύτιμη γνώση που μου παρείχε στο γνωστικό αντικείμενο “ποιότητας νερού”, την πλήρη καθοδήγηση στα πλαίσια διεξαγωγής όλων των εργαστηριακών αναλύσεων, καθώς και την αμέριστη επιστημονική συμβολή του στα πλαίσια συγγραφής της εργασίας.

Επιπλέον θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά :

- το Δρ. Π. Παυλάκη, Πολ. Μηχ/κό για το πλούσιο βιβλιογραφικό υλικό που μου παρείχε καθώς και για τις πολύτιμες γνώσεις, συμβουλές και επιστημονικές υποδείξεις, ειδικότερα στα πλαίσια επεξεργασίας και παρουσίασης σε μορφή διαγραμμάτων των αποτελεσμάτων της εργαστηριακής έρευνας.
- το Σ.Λαμπαθάκη, Γεωλόγο του Οργανισμού Ανάπτυξης Δυτικής Κρήτης (Ο.Α.ΔΥ.Κ), ο οποίος συνέβαλε ενεργά στο πρακτικό μέρος της διπλωματικής εργασίας και ειδικότερα στη δειγματοληψία καθ' όλη τη διάρκεια της διπλωματικής εργασίας.
- το συνεργάτη μου στο Τεχνικό γραφείο του Δρ. Π. Παυλάκη, Χ. Ριζιώτη, Μ. Sc. Τοπ. Μηχ/κό για τις συμβουλές του και την απλόχερη βοήθειά του.
- τις φοιτήτριες του Τμήματος Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος Καλημέρη Μ., Κατσοπρινάκη Σ., Κηρύκου Μ., Κλημαθιανού Α., Μακατουνάκη Β., Φουντουλάκη Α., οι οποίες στα πλαίσια της πρακτικής τους άσκησης στο εργαστήριο Ελέγχου Ποιότητας Νερού, με βοήθησαν στην πραγματοποίηση των χημικών αναλύσεων.

Τέλος, θα επιθυμούσα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου, στην οποία οφείλω τα πάντα και η οποία είναι πάντα δίπλα μου σε κάθε επιλογή μου, για την ηθική συμπαράσταση και ουσιαστική βοήθειά τους σε όλη τη διάρκεια φοίτησης μου στο Τμήμα Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦ.1	ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΚΑΙ ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	8
1.1	Ιστορικό ανάθεσης της διπλωματικής εργασίας.....	8
1.2	Αντικείμενο και σκοπός της διπλωματικής εργασίας.....	9
1.3	Μεθοδολογία της διπλωματικής εργασίας.....	9
1.4	Συνοπτική περιγραφή και περιεχόμενα της διπλωματικής εργασίας.....	10
ΚΕΦ.2	ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΥΔΡΟΦΟΡΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ.....	11
2.1	Μηχανισμός καρστικής διεργασίας.....	11
2.2	Καρστικό υδροφόρο σύστημα, Περιγραφή.....	16
ΚΕΦ 3	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	19
3.1	Γεωγραφική Θέση.....	19
3.2	Γεωμορφολογικές συνθήκες της περιοχής.....	20
3.3	Ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα της περιοχής.....	20
3.4	Γεωλογικές συνθήκες της περιοχής.....	23
3.4.1	Γενικά.....	23
3.4.2	Γεωλογικοί σχηματισμοί.....	25
3.5	Ρηξιγενής Τεκτονική	26
3.6	Γενικές Υδρογεωλογικές Συνθήκες.....	27
3.6.1	Γενικά.....	27
3.6.2	Ο ρόλος των Λευκών Ορέων στην περιοχή μελέτης	28
3.6.3	Υδρολιθολογική συμπεριφορά των γεωλογικών σχηματισμών της περιοχής μελέτης	29
3.6.4	Εμφάνισεις υπόγειων νερών σε πηγές. Θέσεις πηγών, θέσεις γεωτρήσεων - Παροχές... ..	30
ΚΕΦ 4	ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΤΩΝ ΧΗΜΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ-ΓΕΩΧΗΜΙΚΗ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΝΕΡΩΝ ...	34
4.1	Αναγνώριση της γεωχημικής διεργασίας	34
4.2	Ταξινόμηση νερών με βάση τις ιοντικές σχέσεις	35
4.3	Το διάγραμμα ανάμιξης.....	37

4.4	Φυσική ταξινόμηση των νερών.....	37
4.5	Οι γεωχημικοί χαρακτήρες των υπόγειων νερών	38
4.5.1	Ο γεωχημικός χαρακτήρας του νερού στα ιζηματογενή πετρώματα	38
4.5.2	Ο γεωχημικός χαρακτήρας του νερού στα κρυσταλλικά πετρώματα.....	40
4.5.3	Ο γεωχημικός χαρακτήρας του νερού στα ανθρακικά πετρώματα.....	43
ΚΕΦ.5	ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗΣ ΣΥΣΤΑΣΗΣ ΤΩΝ ΥΔΡΟΦΟΡΩΝ ΣΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΝΕΡΟΥ	45
5.1	Η ποιότητα του υπόγειου νερού στα ιζήματα.....	45
5.1.1	Χαλαροί ψηφίτες - «ψαμμίτες»	45
5.1.2	Συνεκτικά ψηφίτικα - «ψαμμίτικα» πετρώματα.....	47
5.1.3	Πηλιτικά πετρώματα	47
5.1.4	Εβαπορίτες.....	48
5.2	Η επίδραση από την παρουσία τύρφης ή λιγνίτη στους υδροφορείς	48
5.3	Η ποιότητα του υπόγειου νερού στους μαγματίτες και μεταμορφίτες.....	49
5.4	Κρυσταλλικά πετρώματα.....	50
5.5	Γάββροι - Βασάλτες	51
5.6	Ημιμεταμορφωμένα πετρώματα	51
5.7	Ηφαιστίτες	52
ΚΕΦ.6	ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΠΟΣΙΜΟΥ ΝΕΡΟΥ	53
ΚΕΦ.7	ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΝΕΡΟΥ ΑΓΥΙΑΣ - ΚΟΥΦΟΥ.....	56
7.1	Δειγματοληψία - Γενικά	56
7.2	Δειγματοληψία στην περιοχή μελέτης.....	56
7.3	Συντήρηση Δειγμάτων και Εκτέλεση χημικών αναλύσεων.....	57
7.4	Οργανοληπτικά Χαρακτηριστικά.....	58
7.4.1	Θολερότητα (Turbidity)	58
7.4.2	Θερμοκρασία (Temperature).....	59
7.5	Φυσικά Χαρακτηριστικά	60

7.5.1	ρΗ	60
7.5.2	Ηλεκτρική Αγωγιμότητα (Electrical Conductivity)	60
7.5.3	Σκληρότητα (Hardness)	61
7.5.4	Στερεό Υπόλειμμα	61
7.6	Ανόργανα Συστατικά	62
7.6.1	Νιτρικά Ιόντα (NO_3^-)	62
7.6.2	Αμμωνιακά Ιόντα (NH_4^+)	62
7.6.3	Φωσφορικά Ιόντα (PO_4^{3-})	62
7.6.4	Διαλυμένο Οξυγόνο (Dissolved Oxygen)	63
7.6.5	Χλώριο (Cl^-)	63
7.6.6	Θειικά Ιόντα (SO_4^{-2})	64
7.6.7	Ασβέστιο (Calcium – Ca)	64
7.6.8	Μαγνήσιο (Magnesium – Mg)	66
7.6.9	Κάλιο (Potassium – K)	66
7.7	Οργανικά Συστατικά	67
7.7.1	Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (BOD)	67
ΚΕΦ.8	ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΩΝ ΧΗΜΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ	68
8.1	Παρατηρήσεις στα πλαίσια της δειγματοληψίας	68
8.2	Αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων. Συνοπτικοί πίνακες	76
8.3	Διαγράμματα χημικών αναλύσεων	86
ΚΕΦ.9	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΠΑΡΟΥΣΑΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	95
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	98
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι	100
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ	103

ΚΕΦ.1 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΚΑΙ ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

1.1 Ιστορικό ανάθεσης της διπλωματικής εργασίας

Τον Μάιο του 2003 η κ. Αικ. Π. Παυλάκη πρότεινε την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, βασισμένη στα ακόλουθα στοιχεία :

- Η ομάδα των πηγών Αγυιάς αποτελεί μια από τις σημαντικότερες ομάδες καρστικών πηγών της Κρήτης. Στην περιοχή του κάμπου Χανίων αναβλύζει η πηγή του Πλατάνου, η οποία ανήκει στην εν λόγω ομάδα και αποτελεί την πηγή ύδρευσης της πόλης των Χανίων.

Νοτιότερα της ομάδας πηγών Αγυιάς βρίσκονται οι γεωτρήσεις Μυλωνιανών με παροχή εκάστη $1.100\text{m}^3/\text{h}$, οι οποίες είναι από τις μεγαλύτερες στην Ελλάδα και αποτελούν την κύρια πηγή ύδρευσης και άρδευσης της βόρειας ζώνης νομού Χανίων. Με βάση τις μελέτες "Αξιοποίησης Υδατικού Δυναμικού Δυτικής Κρήτης", ΥΠΕΧΩΔΕ 1974 - 1980 (Παυλάκης *et.al.*, 1980) τα νερά των πηγών και των γεωτρήσεων προέρχονται από ένα σημαντικό εκτεταμένο υπόγειο υδροφορέα ο οποίος αναπτύσσεται υπόγεια στην ευρύτερη περιοχή της ΒΔ μάζας των Λευκών Ορέων – Μεσκλών – Μυλωνιανών – Αγυιάς.

- Στις προαναφερόμενες μελέτες έχει επισημανθεί η διαφοροποίηση της ποιότητας του νερού στη ζώνη της ομάδας των πηγών Αγυιάς έως την πηγή Κουφού. Το γεγονός αυτό αποτέλεσε την αφορμή και προκάλεσε το επιστημονικό ενδιαφέρον για την περαιτέρω διερεύνηση της συγκεκριμένης ομάδας πηγών. Ειδικότερα, στα πλαίσια της παρούσας εργασίας, η διερεύνηση προτάθηκε να γίνει με βάση τη συστηματική παρακολούθηση της ποιότητας νερού τους, ώστε να διαπιστωθεί αρχικά αν ανήκουν στον ίδιο εκτεταμένο υπόγειο υδροφορέα ή εάν προέρχονται από επιμέρους διαφορετικά υπόγεια υδροφόρα συστήματα.
- Η συστηματική παρακολούθηση με έλεγχο της ποιότητας νερών των πηγών Αγυιάς και των γεωτρήσεων περιοχής Κουφού και περιοχής Μυλωνιανών κατά τη διάρκεια εφτά μηνών, θα μπορούσε να βοηθήσει στη διερεύνηση πιθανής επίδρασης των αντλήσεων νερού κατά την αρδευτική περίοδο από τις γεωτρήσεις των Μυλωνιανών στην ποιότητα νερών των πηγών Πλατάνου από τις οποίες υδρεύεται η πόλη των Χανίων.
- Επειδή, σύμφωνα με τις προαναφερόμενες μελέτες, ο υπόγειος υδροφορέας που εκτείνεται κάτω και νότια των Μυλωνιανών εντός της μάζας του Β.Δ. τμήματος των

Λευκών Ορέων, είναι αυτός ο οποίος τροφοδοτεί με νερό τις πηγές Πλατάνου, η τυχόν διατήρηση σταθερής ποιότητας των νερών των πηγών Πλατάνου κατά τη διάρκεια των αντλήσεων στα Μυλωνιανά, θα δώσει τη δυνατότητα αύξησης του αντλούμενου όγκου νερού από τον υδροφορέα των Μυλωνιανών με όλα τα σημαντικά πλεονεκτήματα που τούτο συνεπάγεται για την οικονομία της περιοχής Χανιά - Κολυμβάρι.

1.2 Αντικείμενο και σκοπός της διπλωματικής εργασίας

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η καταγραφή των γεωλογικών και υδρογεωλογικών δεδομένων της περιοχής με βάση προγενέστερες μελέτες και κυρίως η συστηματική παρακολούθηση της ποιότητας των νερών των πηγών Αγυιάς και των γεωτρήσεων Κουφού και Μυλωνιανών.

Οι δειγματοληψίες επεκτάθηκαν για χρονικό διάστημα 7 μηνών, ικανό ώστε να εξαχθούν ασφαλή συμπεράσματα για πιθανή μεταβολή της ποιότητας νερού σε συνάρτηση με την αντλούμενη ποσότητα. Τα δείγματα που συλλέχθηκαν αναλύθηκαν στο Εργαστήριο Ελέγχου Ποιότητας Νερού του τμήματος Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις αναλύσεις αυτές συναξιολογήθηκαν με γεωλογικά και υδρογεωλογικά δεδομένα, για την εξαγωγή συμπερασμάτων που παρουσιάζονται στην εργασία αυτή.

Η περιοχή μελέτης είναι υψηλής σημασίας. Πρώτα απ' όλα, η πόλη των Χανίων υδρεύεται από αυτή την περιοχή και κατά δεύτερον σε αυτήν διαμορφώνεται αναμφίβολα ένας από τους σημαντικότερους υπόγειους υδροφορείς της Ελλάδας, αν σκεφτούμε ότι οι παροχές ετησίως μόνο από τις γεωτρήσεις των Μυλωνιανών κυμαίνονται γύρω στα 10.313.000 m³.

1.3 Μεθοδολογία της διπλωματικής εργασίας

Στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας ακολουθήθηκε η εξής μεθοδολογία :

Έγινε συγκέντρωση και μελέτη γεωλογικών, υδρογεωλογικών βιβλιογραφικών δεδομένων που αφορούν την περιοχή έρευνας.

Καθορίστηκαν οι θέσεις δειγματοληψίας νερού και ακολούθησε ο έλεγχος της ποιότητας σε κάθε δείγμα ανά τακτά χρονικά διαστήματα, όπως περιγράφονται στα κεφάλαια 7 και 8.

Έγινε επεξεργασία και αξιολόγηση όλων των δεδομένων με βάση τα οποία πραγματοποιήθηκε η εκπόνηση της παρούσας εργασίας. Με βάση τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται σε αυτή την εργασία εξάγονται συμπεράσματα χρήσιμα για την περαιτέρω αξιοποίηση του υδατικού δυναμικού της περιοχής.

1.4 Συνοπτική περιγραφή και περιεχόμενα της διπλωματικής εργασίας

Αρχικά, για να κατανοηθεί πλήρως η εργασία αυτή, είναι απαραίτητο να αναφερθούμε στα βασικά στοιχεία των υπόγειων υδροφόρων συστημάτων. Το υδροφόρο σύστημα της περιοχής της Αγυιάς δομείται κυρίως από ανθρακικά πετρώματα και για το λόγο αυτό το **κεφάλαιο 2** αναφέρεται γενικά στα καρστικά υδροφόρα συστήματα, ώστε να κατανοηθεί πλήρως το σύστημά μας.

Στο **κεφάλαιο 3** περιγράφονται οι πηγές Αγυιάς και οι γεωτρήσεις του Κουφού και των Μυλωνιανών. Αναφέρονται τα γεωγραφικά και γεωμορφολογικά στοιχεία της ευρύτερης περιοχής καθώς επίσης παρουσιάζονται τα ετήσια ύψη βροχής σε πίνακες και σε διαγράμματα.

Στα πλαίσια της εργασίας αυτής, μελετήθηκε, με βάση την αντίστοιχη βιβλιογραφία, και παρουσιάζεται συσχέτιση των γεωλογικών και υδρογεωλογικών παραγόντων με την ποιότητα του νερού. Συγκεκριμένα, το **κεφάλαιο 4** αναφέρεται στη γεωχημική ταξινόμηση των νερών και την ερμηνεία των χημικών αναλύσεων, ενώ στο **κεφάλαιο 5** παρουσιάζεται η επίδραση της ορυκτολογικής σύστασης των υδροφόρων στην ποιότητα του υπόγειου νερού.

Κρίθηκε επίσης αναγκαίο, η παρούσα εργασία να περιλαμβάνει το **κεφάλαιο 6** σχετικά με τους κανονισμούς της ποιότητας των υδάτων, ώστε να παρουσιαστούν οι επιτρεπόμενες τιμές των ποιοτικών χαρακτηριστικών, που χαρακτηρίζουν το νερό ως κατάλληλο για πόση. Οι τιμές των ποιοτικών χαρακτηριστικών του πόσιμου νερού πρέπει να είναι κατώτερες ή ίσες με τις τιμές, που προσδιορίζονται από τον τίτλο ως «Ανώτατη Παραδεκτή Συγκέντρωση» και να προσεγγίζουν τις τιμές που προσδιορίζονται με τον τίτλο «Ενδεικτικό Επίπεδο».

Στη συνέχεια στο **κεφάλαιο 7** περιγράφονται οι παράμετροι που προσδιορίστηκαν στο εργαστήριο οι οποίοι αποτελούν μέρος των ποιοτικών χαρακτηριστικών του νερού και στο **κεφάλαιο 8** παρουσιάζονται λεπτομερώς τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων, οι οποίες διεξήχθησαν στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας, με μορφή πινάκων και διαγραμμάτων.

Τέλος στο **κεφάλαιο 9** παρουσιάζονται τα συμπεράσματα στα οποία καταλήγουμε από την επεξεργασία όλων των στοιχείων.

ΚΕΦ.2 ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΥΔΡΟΦΟΡΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

2.1 Μηχανισμός καρστικής διεργασίας

Η δημιουργία καρστικών φαινομένων συνδέεται πάντα με την παρουσία ορισμένων πετρωμάτων, τα οποία πρέπει να είναι *ευδιάλυτα* και να αφήνουν *ελάχιστο υπόλειμμα*, ώστε τα διάκενα να διευρύνονται με την διεργασία της διάλυσης αλλά και να παραμένουν ανοιχτά, για να είναι δυνατή η κίνηση του νερού μέσα στο υπέδαφος. Τα πετρώματα αυτά λέγονται «καρστικά».

Τα καρστικά πετρώματα, που έχουν μεγάλη υδρογεωλογική σημασία για το Μεσογειακό χώρο γενικότερα και τον Ελλαδικό χώρο ειδικότερα, είναι τα ανθρακικά πετρώματα (*Καλλέργης, 1999γ*).

Με τον όρο ανθρακικοί σχηματισμοί νοούνται οι ασβεστόλιθοι (CaCO_3), μαγνησίτες (MgCO_3), δολομίτες ($\text{CaCO}_3 - \text{MgCO}_3$) και τα από μεταμόρφωσή τους αντίστοιχα πετρώματα. Στο *σχήμα 2.1* δίνεται μια κατάταξη των ανθρακικών και μη ανθρακικών πετρωμάτων (*Παυλάκης, 1989*).

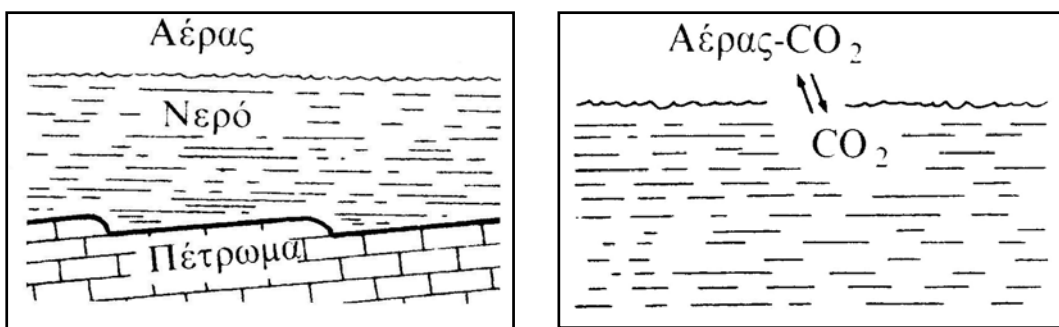
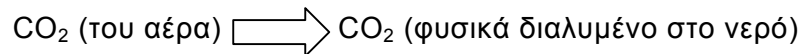
Η διάλυση, που δημιουργείται και με τη διάβρωση (corrosion), των ασβεστολίθων και των δολομιτών είναι η κύρια αιτία της επιφανειακής και υπόγειας καρστικοποίησής τους. Ο μηχανισμός της διάλυσης των ανθρακικών πετρωμάτων, αναφέρεται σε ένα σύστημα ουσιών του τύπου $\text{CO}_2 - \text{H}_2\text{O} - \text{MaCO}_3$ ($\text{Ma} = \text{Ca}$ ή Mg) και περιλαμβάνει πολυάριθμες φυσικές και χημικές διαδικασίες στις οποίες συμμετέχουν και οι τρεις φάσεις (αέρια, υγρή και στερεή). Αυτό προκαλεί μια ανταλλαγή μάζας μέσα από τις διεπιφάνειες «αέρας, νερό» και «νερό, πέτρωμα». Οι διαδικασίες στις διεπιφάνειες είναι φυσικές (ανταλλαγή μάζας, διάχυση) ενώ στο διάλυμα είναι χημικές (*Καλλέργης, 1999γ*).



Σχήμα 2.1 : Ανθρακικά πετρώματα κατά Leighton & Pendexter (1961) (Γαυλάκης, 1989)

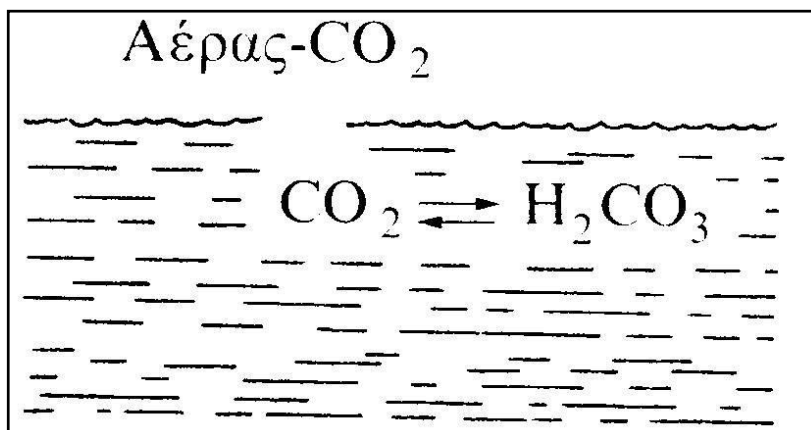
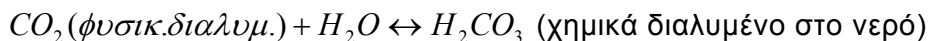
Παρακάτω περιγράφονται τα βασικά στάδια αυτών των διαδικασιών :

1. Κατά τη διάρκεια των βροχοπτώσεων διαχέεται CO_2 μέσα στο νερό κατά τη σχέση :



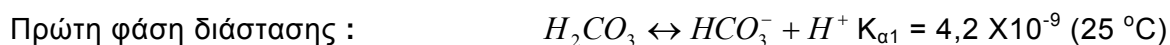
Σχήμα 2.2 α,β : Διάχυση ατμοσφαιρικού CO_2 στο νερό (Καλλέργης, 1999γ)

2. Το φυσικά διαλυμένο CO₂ αντιδρά με το νερό. Στους 4°C σε ποσοστό 0,75% του φυσικά διαλυμένου CO₂ σχηματίζει ανθρακικό οξύ (σχήμα 2.3) σύμφωνα με τη σχέση :

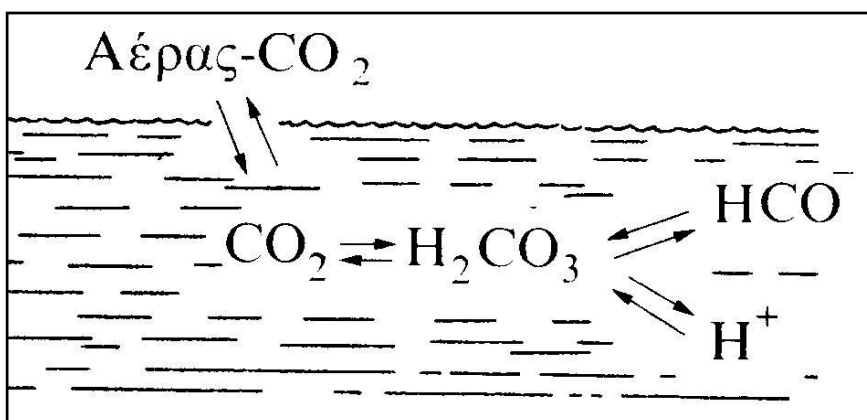


Σχήμα 2.3 : Μετατροπή του διαλυμένου CO₂ στο νερό σε H₂CO₃ (Καλλέργης, 1999γγ)

3. Το H₂CO₃ δίσταται (σχήμα 2.4) σύμφωνα με τις αντιδράσεις :

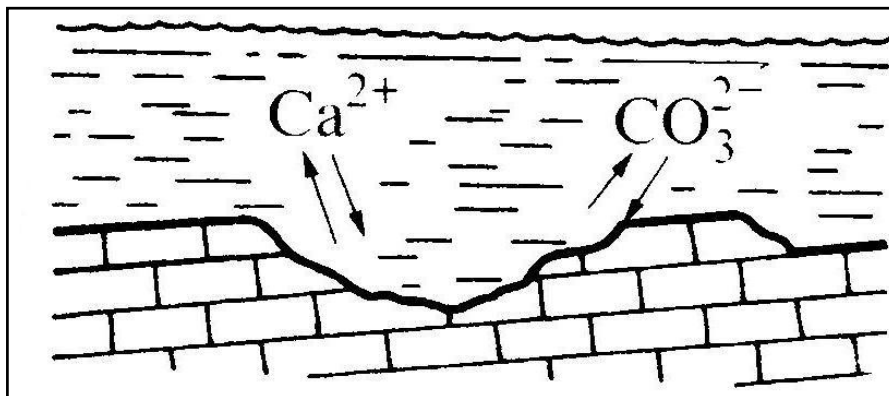
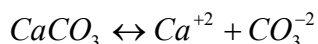


Από τις τιμές αυτές φαίνεται ότι η διάσταση του όξινου ανθρακικού ιόντος μπορεί να αγνοηθεί όταν pH<8,5.



Σχήμα 2.4 : Διάσταση του H₂CO₃ (Καλλέργης, 1999γγ)

4. Κατά τη διάλυση του ανθρακικού ασβεστίου γίνεται διάστασή του σύμφωνα με την αντίδραση (σχήμα 2.5) :



Σχήμα 2.5 : Διάλυση του CaCO_3 με απελευθέρωση CO_3^{2-} (Καλλέργης, 1999γ)

5. Το νεοσχηματισμένο CO_3^{2-} μεταφέρει το σημείο της χημικής ισορροπίας της δεύτερης αντίδρασης του σταδίου 3 προς τα αριστερά, σύμφωνα με την αρχή του Le Chatelier.

6. Η διάλυση στην διεπιφάνεια γίνεται με έλλειμμα CO_3^{2-} . Η ισορροπία του διαλύματος με το στερεό CaCO_3 , διαταράσσεται, οπότε η παραγωγή ιόντων δεν αντιστοιχεί πλέον προς τη διαλυτότητα.

$(\text{Ca}^{+2})(\text{CO}_3^{-2})=L=4 \cdot 10^{-9}$ (Pricknett, 1973 όπως αναφέρεται από τον Καλλέργη, 1999γ) στους 10°C .

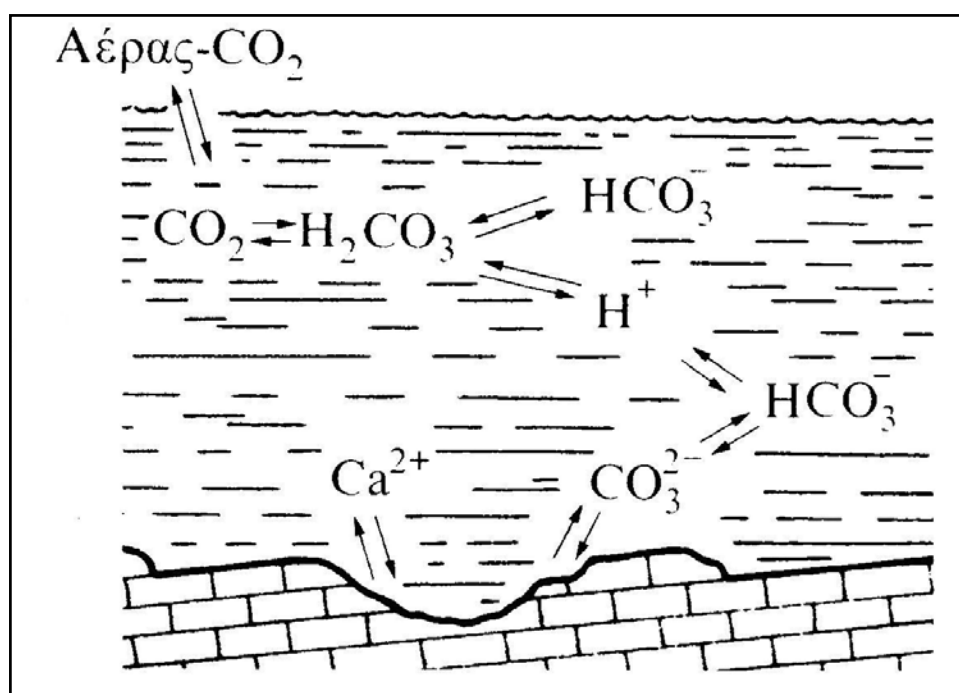
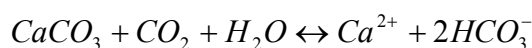
Ο συντελεστής διαλυτότητας L είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας και είναι καθορισμένος.

Προκειμένου να αντικατασταθεί το CO_3^{2-} που καταναλώθηκε έως ότου φθάσει η παραγωγή ιόντων τη σταθερά L , το CaCO_3 διαλύεται ξανά (στάδιο 4), έτσι ώστε η συγκέντρωση Ca^{+2} συνεχώς να υπερέρχει της συγκέντρωσης CO_3^{2-} .

Η ισορροπία μεταξύ ανθρακικού οξέος και πρώτου προϊόντος της διάστασης του διαταράσσεται από το συνδυασμό του H^+ με το CO_3^{2-} και έτσι προκύπτει η νέα διάσταση. Προκειμένου να διατηρηθεί η ισορροπία, το φυσικά διαλυμένο CO_2 ενυδατώνεται και έτσι διαταράσσεται η ισορροπία με το ατμοσφαιρικό CO_2 . Αυτός είναι ο λόγος που νέα ποσότητα ατμοσφαιρικού CO_2 διαχέεται μέσα στο νερό. Με αυτό τον

τρόπο ενεργοποιούνται ξανά όλα τα στάδια στην αντίδραση με την σύνδεση του H^+ και CO_3^{2-} , μέχρι να δημιουργηθεί πάλι μια νέα ισορροπία.

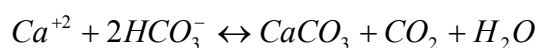
Με την προσθήκη των σταδίων 2 και 5 φθάνουμε στη χημική εξίσωση της διάλυσης των ανθρακικών πετρωμάτων (σχήμα 2.6), που δείχνει μια ασταθή και αμφίδρομη διαδικασία.



Σχήμα 2.6 : Οι σχέσεις στο σύστημα $CO_2 - H_2O - CaCO_3$. Η διάσταση του νερού δε λαμβάνεται υπόψη (Καλλέργης, 1999γ).

Αν στη διαδικασία της διάλυσης παίρνει μέρος το Mg, οι συνθήκες στη διεπιφάνεια «διάλυμα, πέτρωμα» γίνονται εξαιρετικά πολύπλοκες. Σε αυτή την περίπτωση πρέπει να λάβουμε υπόψη μας και τη διάσταση του H_2O .

Εάν μειωθεί το φυσικό διαλυμένο μέσα στο νερό CO_2 (μείωση ατμοσφαιρικής πίεσης ή αύξηση της θερμοκρασίας), τότε διαταράσσεται η ισορροπία και για να αποκατασταθεί ελευθερώνεται χημικά ενωμένο CO_2 οπότε έχουμε απόθεση $CaCO_3$ (σταλακτίτες, σταλαγμίτες) :



Αντίθετα εάν αυξηθεί το φυσικό διαλυμένο μέσα στο νερό CO₂ (αύξηση ατμοσφαιρικής πίεσης ή μείωση της θερμοκρασίας), τότε αυξάνει το χημικά ενωμένο με νερό CO₂, παράγεται H₂CO₃, δίσταται σε H⁺ και HCO₃⁻ οπότε έχουμε αύξηση της διαλυτικής ικανότητας του διαλύματος (στάδιο 2 και 4). Το CO₂ είναι ο μόνος παράγοντας που μπορεί να μεταβάλλεται απότομα και σε μεγάλο εύρος (Παυλάκης, 1989). Θα πρέπει εδώ να αναφερθεί ότι η κύρια πηγή CO₂ είναι η ατμόσφαιρα και το έδαφος. Η περιεκτικότητα σε CO₂ του αέρα στο έδαφος, ξεπερνά εκείνη της ατμόσφαιρας, κατά 10 έως και 100 φορές. Το CO₂ στο έδαφος είναι βιογενούς προέλευσης, δηλαδή προέρχεται από την αποσύνθεση οργανικών ουσιών, από οργανισμούς και από το ριζικό σύστημα των φυτών (Καλλέργης, 1999γ).

2.2 Καρστικό υδροφόρο σύστημα, Περιγραφή

Για την ανάλυση του καρστικού υδροφόρου συστήματος θα πρέπει αρχικά να δοθεί ο ορισμός του υδροφόρου συστήματος.

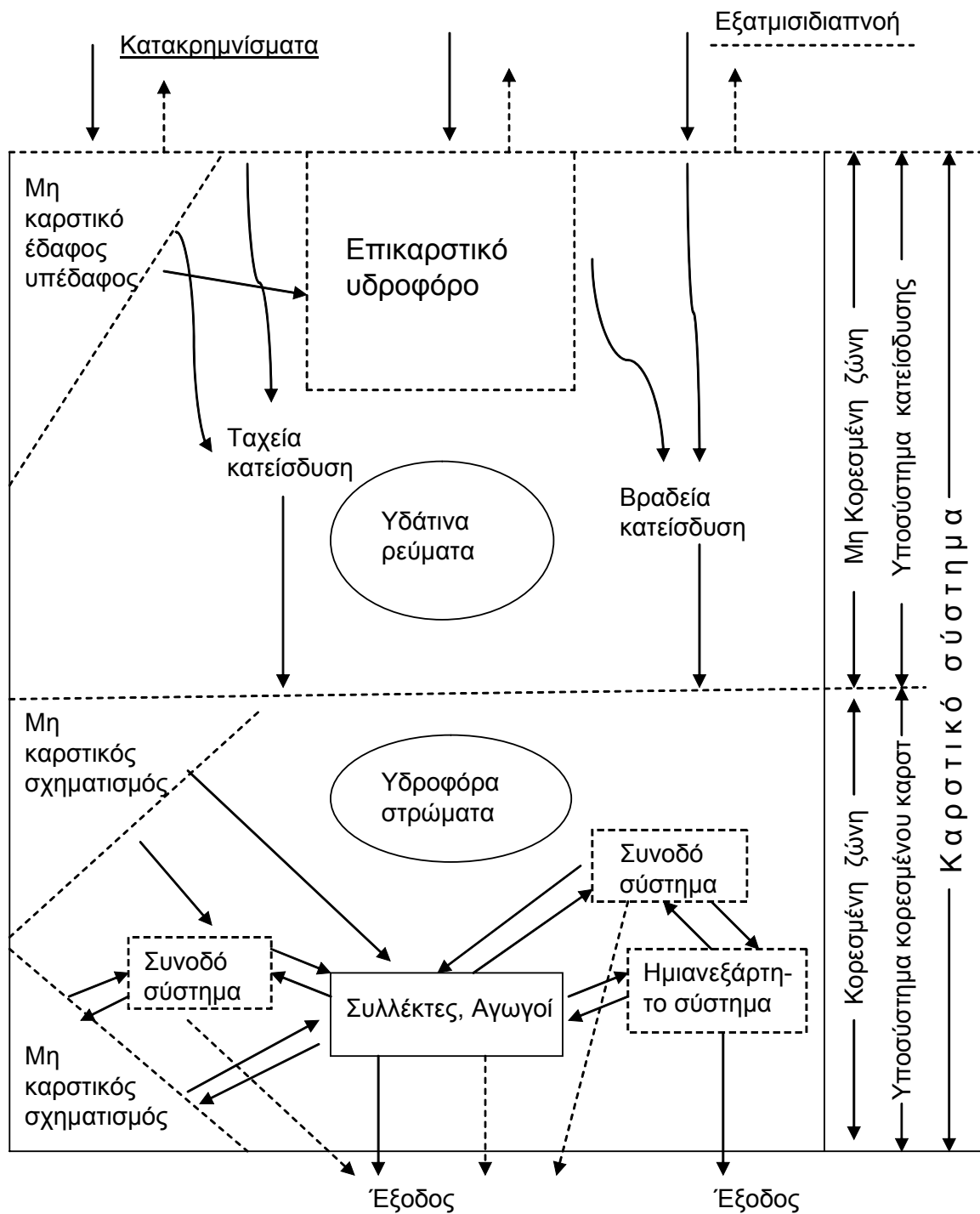
Υδροφόρο σύστημα είναι μια περιοχή περικλειόμενη από όρια τα οποία συνιστούν εμπόδιο σε κάθε μετάδοση υδραυλικής επίδρασης (όρια αδιαπέρατα ή με επιβαλλόμενο σταθερό δυναμικό) και της οποίας όλα τα τμήματα βρίσκονται σε συνεχή υδραυλική διασύνδεση. Συνεπώς, κατά τον ορισμό αυτό, κάθε ενέργεια - δράση (υποχώρηση στάθμης, άνοδος στάθμης, άντληση, τροφοδοσία κλπ) σε οποιοδήποτε σημείο του υδροφόρου συστήματος και αν συμβεί, μπορεί να έχει επίδραση στο σύνολό του, αλλά δε θα έχει καμία επίδραση έξω από τα όρια του. Και αντίστροφα, κάθε μεταβολή των συνθηκών που επικρατούν έξω από τα όρια του συστήματος δεν έχει καμία επίδραση στο εσωτερικό του.

Δηλαδή υδροφόρο σύστημα είναι κάθε περιοχή υδρολογικά αυτόνομη και ανεξάρτητη. Καρστικό υδροφόρο σύστημα είναι το υδροφόρο σύστημα που συνίστανται εξ ολοκλήρου από καρστικά πετρώματα.

Η ποικιλοτυπία της οργάνωσης και οι λεπτομέρειες της λειτουργίας των υδροφόρων καρστικών συστημάτων είναι θέματα επιστημονικών διχογνωμιών και σε μεγάλο βαθμό συζητήσιμα. Μπορούμε όμως να διαιρέσουμε κατακόρυφα το καρστικό σύστημα σε δύο βασικές ζώνες (σχήμα 2.7):

- Τη ζώνη (ή υποσύστημα) κορεσμού όπου όλα τα κενά είναι κορεσμένα με νερό. Αυτό συνεπάγεται ένα τουλάχιστον καρστικό υδροφόρο στρώμα. Η κορεσμένη ζώνη καταλαμβάνει συνήθως μικρό και σπάνια μεγάλο τμήμα του όλου συστήματος.

- Τη ζώνη αερισμού που μπορεί να υποδιαιρεθεί σε υποζώνες. Έχει ποικίλο πάχος. Μπορεί να περιλαμβάνει και στρώματα με διαφορετική περατότητα και άρα με ανάλογη ταχύτητα κατείσδυσης. Αυτή η ετερογένεια της περατότητας μπορεί να δημιουργήσει εποχιακά ή και μόνιμα, κορεσμένα τμήματα μέσα στη ζώνη κατείσδυσης. Είναι τα επικαρστικά υδροφόρα στρώματα. Αυτά μπορούν να συνιστούν ένα ενιαίο ή περισσότερα αλληλοεξαρτημένα ή ανεξάρτητα μεταξύ τους υδροφόρα στρώματα. Τα επικαρστικά υδροφόρα στρώματα αναπτύσσονται κυρίως στις επιπόλαιες ζώνες των καρστικών μαζών και παρατηρείται ο μέγιστος βαθμός καρστικοποίησης, αφού οι ζώνες αυτές βρίσκονται σε εναλλαγή με την ατμόσφαιρα και υπόκεινται στη δράση όλων των παραγόντων της εξωτερικής γεωδυναμικής (Σούλιος, 1983).



Σχήμα 2.7 : Σχηματικό πρότυπο που απεικονίζει τα τμήματα, την οργάνωση και τη λειτουργία του καρστικού συστήματος (Σούλιος, 1983).

ΚΕΦ 3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

3.1 Γεωγραφική Θέση

Η περιοχή μελέτης της παρούσας διπλωματικής εργασίας εκτείνεται ΝΔ της πόλης των Χανίων και εντάσσεται στην πεδινή ζώνη του Νομού. Περιλαμβάνει την περιοχή που αναβλύζουν η **ομάδα πηγών Αγυιάς** και **Κουφού** καθώς και την νοτιότερη περιοχή που βρίσκονται οι γεωτρήσεις των **Μυλωνιανών**.

Κινούμενοι από ανατολή προς δύση, συναντούμε αρχικά την ομάδα πηγών Αγυιάς. Οι κύριες αναβλύσεις αυτής της ομάδας πηγών είναι (*Παυλάκης, 1989*):

- Πλατάνου (+40,2 m)
- Βρυσίδα (+40,9 m)
- Αντλιοστάσιο χωριού Αγυιάς (+40,9 m)
- Κολύμπα (+40,1 m)
- Καλαμιώνας (+34,5 m)

Η πηγή **Πλατάνου** είναι η κύρια πηγή της περιοχής αφού από αυτήν υδρεύεται η πόλη των Χανίων. Το αντλιοστάσιο του Ν. Χανίων βρίσκεται δίπλα από την πηγή αυτή.

Δυτικότερα της πηγής Πλατάνου και νοτιότερα αυτής συναντούμε την πηγή **Βρυσίδα** και ακριβώς δίπλα σε αυτήν, το **αντλιοστάσιο του χωριού Αγυιάς**. Σε λίγο χαμηλότερο υψόμετρο από την πηγή Βρυσίδα, βορειότερα αυτής, αναβλύζει η πηγή **Κολύμπα**. Θα πρέπει εδώ να αναφερθεί ότι η πηγή αυτή καθ' όλη τη διάρκεια της δειγματοληψίας ήταν περιφραγμένη και συνεπώς ήταν αδύνατη η συλλογή δείγματος εκτός από τους μήνες Αύγουστο και Σεπτέμβριο.

Βορειοδυτικά της πηγής Κολύμπα βρίσκεται η πηγή του **Καλαμιώνα** η οποία πήρε μάλλον το όνομά της από την ύπαρξη πολλών καλαμιών.

Δυτικά των πηγών Αγυιάς, σε απόσταση 4,2 Km αναβλύζει η πηγή του **Κουφού** σε υψόμετρο 52 m (*Παυλάκης, 1989*) ενώ δίπλα σε αυτή βρίσκονται οι γεωτρήσεις Κουφού που ανήκουν στις θέσεις δειγματοληψίας.

Οι γεωτρήσεις των **Μυλωνιανών**, οι οποίες εντάσσονται στο σύστημα ύδρευσης και άρδευσης του Βορείου άξονα, βρίσκονται νοτιότερα της περιοχής της Αγυιάς και νοτιοανατολικά του Κουφού.

3.2 Γεωμορφολογικές συνθήκες της περιοχής

Η περιοχή μελέτης και συγκεκριμένα ο κάμπος Αγυιάς και του Κουφού, εντάσσεται στην πεδινή ζώνη του Νομού Χανίων. Διαμορφώνονται αξιόλογες πεδινές εκτάσεις με πλήρη κάλυψη από καλλιέργειες. Εδώ είναι συγκεντρωμένες οι πιο αξιόλογες καλλιέργειες του νομού Χανίων αν και η έκτασή της αποτελεί μικρό ποσοστό της συνολικής καλλιεργήσιμης έκτασης του νομού. Στην νοτιότερη ζώνη αναπτύσσεται σε χαμηλά υψόμετρα η λοφώδης δομή του Χοιροσπηλίου με το ασβεστολιθικό τραχύ τους ανάγλυφο, όπου βρίσκονται οι γεωτρήσεις των Μυλωνιανών, ενώ στη νοτιότερη εκτεινόμενη ευρύτερη περιοχή δεσπόζει το θεαματικό ορεινό συγκρότημα των Λευκών Ορέων με τις πολυάριθμες βουνοκορφές του που φτάνουν στο μέγιστο υψόμετρο των +2.454 μ.

Η μορφολογική σύνθεση της περιοχής έχει δημιουργηθεί από την επίδραση διαφόρων γεωλογικών διαδικασιών, κυρίως δε από τη δράση της ρηξιγενούς τεκτονικής και από τη διάβρωση και αποσάθρωση των πετρωμάτων.

Το ανάγλυφο της περιοχής μελέτης παρουσιάζεται με μεγάλη ποικιλομορφία. Στις περιοχές που δομούνται από ασβεστολιθικά πετρώματα, επικρατεί το τραχύ και βραχώδες ανάγλυφο, ενώ σε αυτές που δομούνται από τους χαλαρούς μαργαϊκούς και αλλουβιακούς σχηματισμούς, το ανάγλυφο παρουσιάζεται ομαλότερο και ηπιότερο.

3.3 Ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα της περιοχής

Η παρακολούθηση και η μελέτη των υδατικών πόρων της νήσου Κρήτης άρχισε το 1965 από την Υπηρεσία Εγγείων Βελτιώσεων του Υπουργείου Γεωργίας και συνεχίζεται και σήμερα (Δεκέμβριος 2003), από ειδικά εκπαιδευμένο τεχνικό προσωπικό που ανήκει στο Τμήμα Εγγείων Βελτιώσεων της Δ/σης Δημοσίων Έργων της Περιφέρειας Κρήτης.

Στη περιοχή μελέτης της παρούσας διπλωματικής εργασίας δεν υπάρχουν βροχομετρικά, εξατμισιμετρικά, θερμομετρικά στοιχεία και στοιχεία ηλιοφάνειας, αφού η περιοχή δε διαθέτει σταθμό. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκαν ως αντιπροσωπευτικά, στοιχεία του σταθμού Πρασσέ Χανίων, ο οποίος βρίσκεται στην υδρογεωλογική ζώνη περιοχής μελέτης σε υψόμετρο 520 μέτρων. Ο σταθμός αυτός λειτουργεί από το έτος 1990 και καταγράφει μόνο ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα.

Τα μηνιαία ύψη βροχής του σταθμού του Πρασσέ Χανίων σε χιλιοστά από ιδρύσεώς του μέχρι το υδρολογικό έτος 2000 - 01, παρουσιάζονται στον *πίνακα 3.1*.

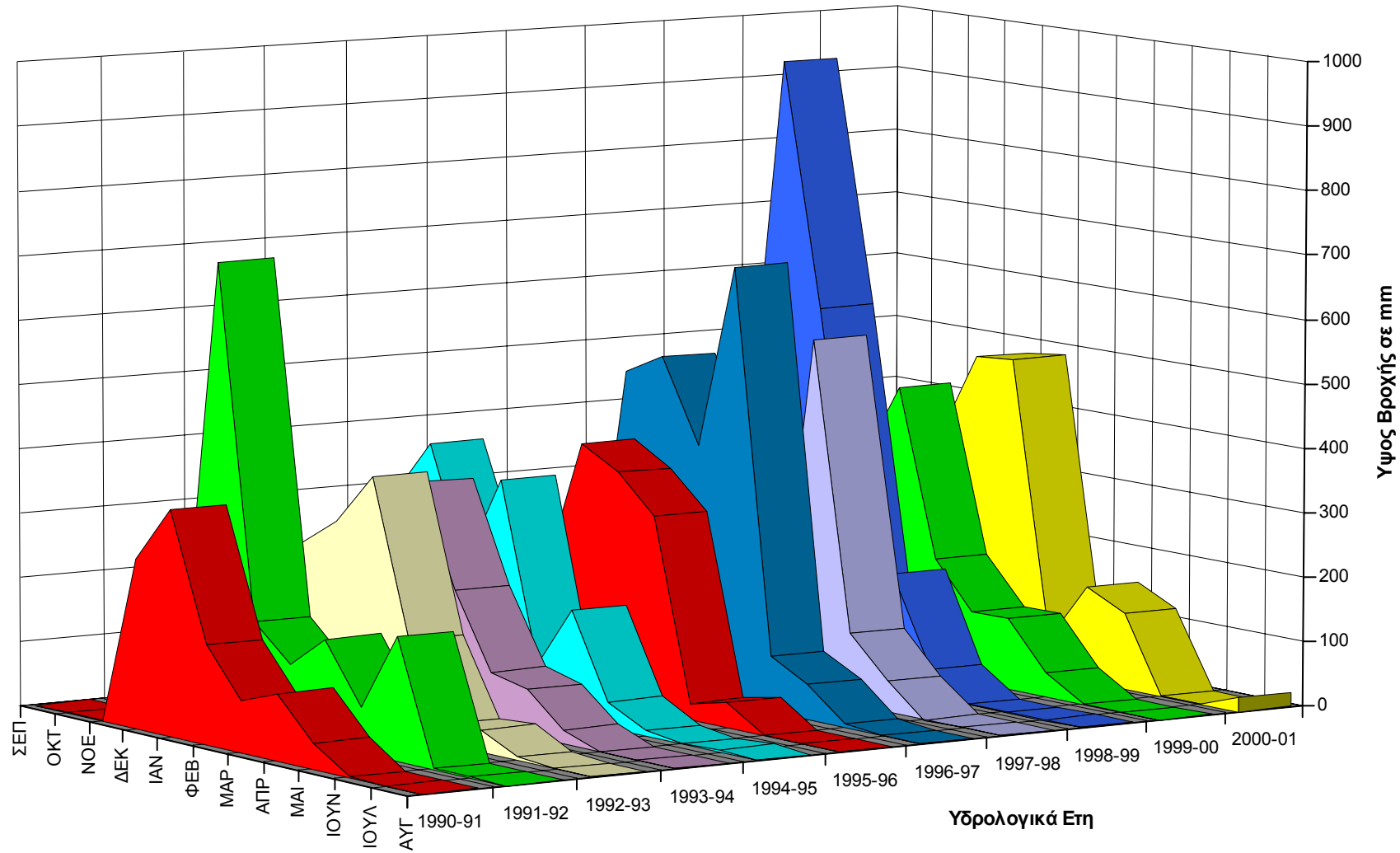
Με βάση τα μέσα μηνιαία ύψη βροχής στο σταθμό υπολογίζεται στον ακόλουθο πίνακα ο μέσος όρος κάθε έτους καθώς επίσης το ελάχιστο και το μέγιστο ύψος των κατακρημνισμάτων ανά μήνα για όλα τα έτη. Παρατηρείται ότι το μέσο βροχομετρικό έτος χωρίζεται σε δύο περιόδους : τη βροχερή (Οκτώβριος - Απρίλιος) και την ξηρή (Μάιος - Σεπτέμβριος).

Στο Διάγραμμα Α παρουσιάζονται τα μηνιαία ύψη βροχής σε χλστ. ανά έτος για τα έτη 1990 – 2001.

Πίνακας 3.1 : Μηνιαία ύψη βροχής (σε mm) ανά έτος, σύμφωνα με τον σταθμό Πρασσέ Χανίων (520 m) γεωγραφικού πλάτους 35° 23' και γεωγραφικού μήκους 24° 51'

ΥΔΡ.ΕΤΟΣ	ΣΕΠ.	ΟΚΤ.	ΝΟΕ.	ΔΕΚ.	ΙΑΝ.	ΦΕΒ.	ΜΑΡ.	ΑΠΡ.	ΜΑΙ.	ΙΟΥΝ.	ΙΟΥΛ.	ΑΥΓ.	ΣΥΝ.
1990-91				260,1	349,3	151,8	79,9	102,1	39,8	0,8	0,0	0,0	
1991-92	0,0	120,1	113,5	706,9	165,0	110,2	161,4	68,6	189,5	0,0	0,2	0,0	1635,4
1992-93	0,0	0,5	114,0	263,0	307,3	388,0	148,1	31,6	34,7	5,2	0,0	0,0	1292,4
1993-94	0,3	101,8	284,3	57,0	357,3	202,1	86,6	71,0	22,1	0,0	0,0	0,0	1182,5
1994-95	0,0	300,2	385,8	211,6	350,9	75,1	170,6	40,9	9,2	0,0	3,8	0,0	1548,1
1995-96	23,0	61,1	212,0	186,9	396,7	361,5	305,2	26,0	39,7	0,0	0,0	0,0	1612,1
1996-97	148,5	164,4	52,9	487,8	520,8	391,9	680,8	85,7	56,0	6,1	0,0	0,0	2594,9
1997-98	7,2	238,4	333,5	399,5	322,0	72,8	557,7	110,9	47,7	0,0	0,0	0,0	2089,7
1998-99	0,5	78,5	351,7	957,1	577,0	148,0	180,4	42,3	0,0	0,0	0,0	0,0	2335,5
1999-00	54,4	14,1	125,4	319,0	441,9	181,4	109,9	109,9	36,4	0,0	0,0	0,0	1392,4
2000-01	5,5	82,7	375,8	346,8	480,4	486,8	55,9	147,4	118,0	0,0	0,0	21,3	2120,6
Μεγ.ύψος	148,5	300,2	385,8	957,1	577,0	486,8	680,8	147,4	189,5	6,1	3,8	21,3	2594,9
Ελ. Ύψος	0,0	0,5	52,9	57,0	165,0	72,8	55,9	26,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1182,5
Μ.Ο	23,9	116,2	234,9	381,4	388,1	233,6	230,6	76,0	53,9	1,1	0,4	1,9	1780,4

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ Α ΜΗΝΙΑΙΑ ΥΨΗ ΒΡΟΧΗΣ ΣΤΟ ΣΤΑΘΜΟ ΠΡΑΣΣΕ ΧΑΝΙΩΝ (+540m)

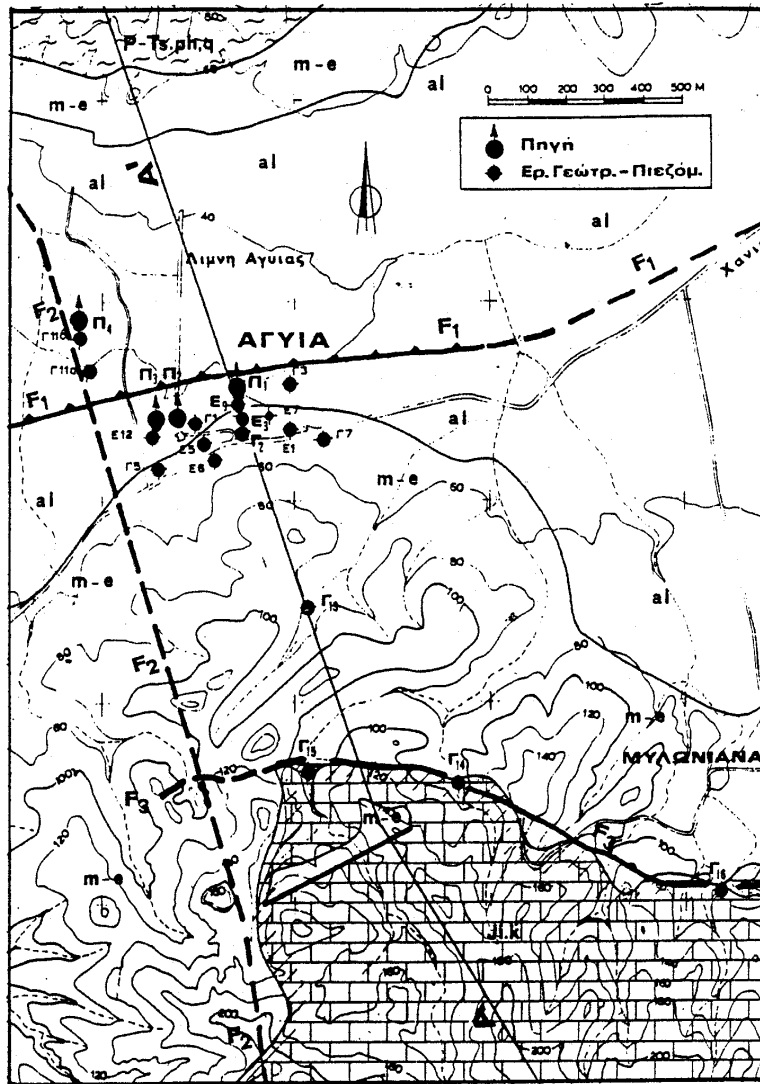


3.4 Γεωλογικές συνθήκες της περιοχής

3.4.1 Γενικά

Η γεωλογική δομή της περιοχής μελέτης και της ευρύτερης περιοχής (Σχήμα 3.1) παρουσιάζει ιδιαίτερο επιστημονικό ενδιαφέρον. Οι γεωλογικοί σχηματισμοί που δομούν την περιοχή ενδιαφέροντος παρουσιάζονται στο γεωλογικό χάρτη που ακολουθεί. Η ρηξιγενής τεκτονική της περιοχής παρουσιάζεται έντονη και εκδηλώνεται με την εμφάνιση μεγάλων ρηξιγενών ζωνών. Θα πρέπει εδώ να αναφερθεί, ότι ο ρόλος των ρηγμάτων είναι καθοριστικός στη διαμόρφωση των υδρογεωλογικών συνθηκών για την περιοχή εργασίας. Ορισμένα ρήγματα από υδρογεωλογικής άποψης μπορούν να λειτουργήσουν σαν αγωγοί ενώ άλλα σαν διαφράγματα στην κίνηση του υπόγειου νερού.

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί που δομούν την περιοχή μελέτης αναλύονται στην παραγράφο 3.4.2 σύμφωνα με το χάρτη του σχήματος 3.1(Παυλάκης, 1989).



ΥΠΟΜΝΗΜΑ

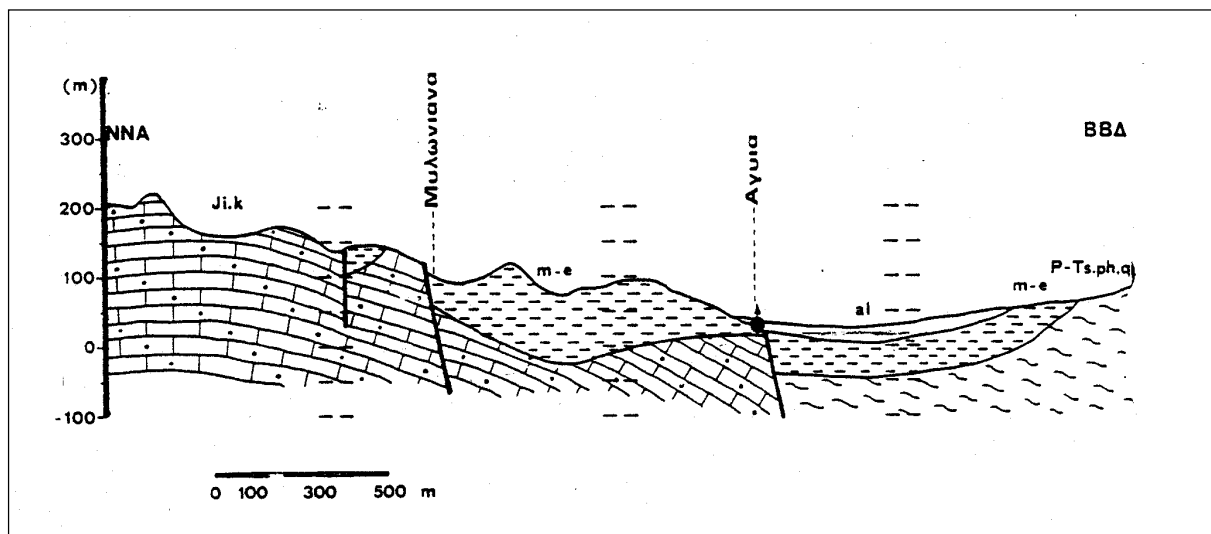
- | | |
|-------------|--|
| al | Αλλουβιακοί σχηματισμοί |
| M-e | Κροκαλλολατυποπαγής σειρά |
| Ji.k | Ασβεστόλιθοι σειράς Τρυπαλίου |
| P - Ts.ph,q | Σειρά φυλλιτών - χαλαζιτών |
| ▲▲▲▲▲ | Ρήγμα μεταπτώσεως (γεωφυσική έρευνα) |
| ———— | Ρήγμα ορατό |
| ----- | Ρήγμα που προσδιορίσθηκε από τηλεπισκόπηση |
| ⊕ | Πηγή |

Σχήμα 3.1 : Γεωλογικός Χάρτης πηγών Αγιάς (Παυλάκης, 1989).

3.4.2 Γεωλογικοί σχηματισμοί

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί που δομούν την περιοχή ενδιαφέροντος περιγράφονται παρακάτω και παρουσιάζονται στο γεωλογικό χάρτη του σχήματος 3.1, καθώς επίσης και στην γεωλογική τομή A – A' του σχήματος 3.2.

Παρατηρώντας λοιπόν τους χάρτες, οι σχηματισμοί που δομούν την περιοχή είναι οι ασβεστόλιθοι ενότητας Τριπαλίου, η κροκαλλολατυτοπαγής σειρά, η ενότητα φυλλιτών – χαλαζιτών και οι αλλουβιακοί σχηματισμοί.



Σχήμα 3.2 : Γεωλογική Τομή A-A' (Παυλάκης., 1989).

Παρατηρώντας την τομή A – A' και κινούμενοι από τα NNA προς τα BBA, οι σχηματισμοί που δομούν την περιοχή των Μυλωνιανών είναι η ανθρακική ενότητα του Τριπαλίου, ενώ πάνω σε αυτήν έχει αναπτυχθεί η κροκαλλοτυτοπαγής σειρά.

Η ενότητα του Τριπαλίου εμφανίζεται μόνο στην Δυτική Κρήτη και δομεί ένα μεγάλο μέρος των Λευκών Ορέων. Αποτελείται από ανθρακικά πετρώματα που παρουσιάζουν υψηλή καρστικότητα. Οι σχηματισμοί αυτοί, μέσω μεταπτωτικών ρηγμάτων διακόπτονται κατά θέσεις (Ζούρβα, Μυλωνιανά) και συνεχίζουν να εκτείνονται υπόγεια κάτω από τους φυλλιτικούς – χαλαζιτικούς σχηματισμούς και τους γεωλογικούς σχηματισμούς του Νεογενούς και του Τεταρτογενούς οι οποίοι παρουσιάζονται να καλύπτουν επιφανειακά τον κάμπο Αγιάς και την περιοχή Φουρνέ (Παυλάκη, 1990).

Τα ανθρακικά πετρώματα της ενότητας Τρυπαλίου, παρουσιάζουν πολύ μεγάλες τιμές του συντελεστή υδροπερατότητάς τους, γεγονός που οφείλεται στη λιθολογική τους σύσταση και στην έντονη τεκτονική τους καταπόνηση, η οποία εκδηλώνεται με τη δημιουργία πολλών τεκτονικών ασυνεχειών που τα διατρέχουν. Αποτέλεσμα αυτών είναι η ανάπτυξη στη μάζα τους σημαντικών υπόγειων υδροφορέων που παρουσιάζουν τεράστιο υδρογεωλογικό ενδιαφέρον και αποτελούν τους σπουδαιότερους υδροφορείς της Κρήτης.

Από την περιοχή των Μυλωνιανών έως την περιοχή της Αγυιάς, οι ασβεστόλιθοι της ενότητας Τρυπαλίου καλύπτονται από τους νεότερους χαλαρούς σχηματισμούς της κροκαλλοτυποπαγούς σειράς. Η παρουσία ενός ρήγματος είναι η γενεσιουργός αιτία των αναβλύσεων των πηγών της Αγυιάς. Το ρήγμα αυτό λειτουργεί σαν διάφραγμα, δηλαδή εμποδίζει την κίνηση του υπόγειου νερού, συνεπώς το νερό του υδροφόρου ορίζοντα οδηγείται στην επιφάνεια και εξέρχεται δια μέσου των πηγών (Παυλάκης, 1989).

3.5 Ρηξιγενής Τεκτονική

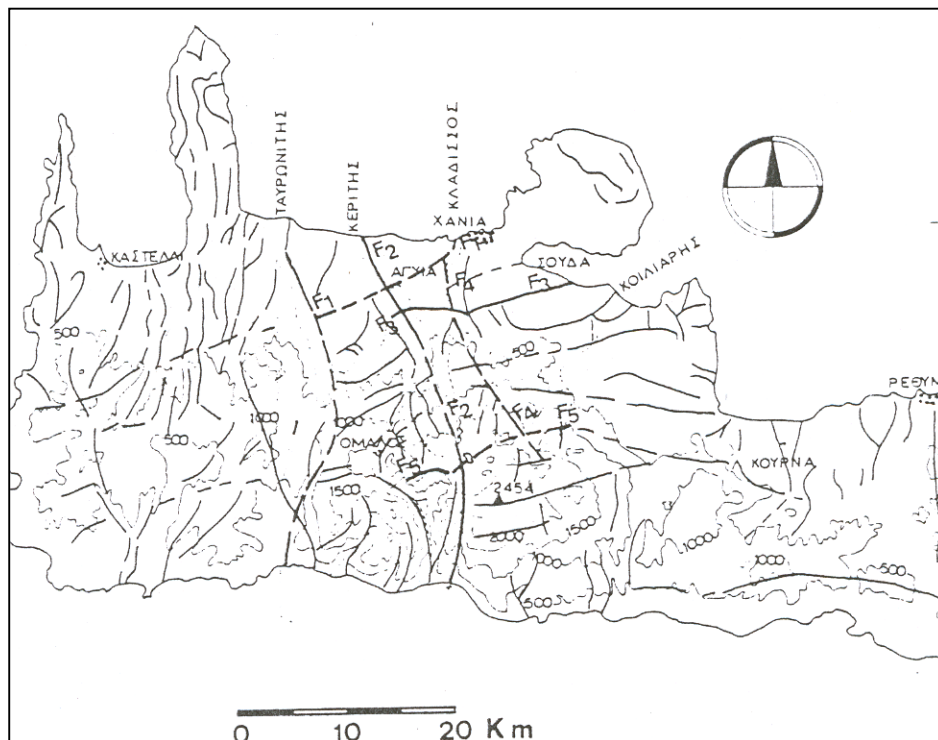
Η γεωλογική δομή της περιοχής μελέτης, έτσι όπως παρουσιάζεται σήμερα, έχει δημιουργηθεί από την επίδραση πολλών τεκτονικών γεγονότων. Τα γεγονότα αυτά συνέβαλαν στην τοποθέτηση των γεωλογικών ενότητων της περιοχής υπό τη μορφή που είναι σήμερα και που περιγράφηκαν στην παράγραφο 3.4.2. Η δημιουργία των γεωλογικών αυτών δομών συνοδεύτηκε από το σχηματισμό μικρών και μεγάλων ρηγμάτων που διατρέχουν τους γεωλογικούς σχηματισμούς. Τα ρήγματα αυτά άλλοτε λειτουργούν σαν διαφράγματα και άλλοτε σαν αγωγοί διέλευσης του νερού (Παυλάκης, 1989).

Η ρηξιγενής τεκτονική εκδηλώνεται με τη δημιουργία ρηγμάτων. Η περιοχή μελέτης, διατρέχεται από σχετικά μεγάλες ρηξιγενείς ζώνες που διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση των υδρογεωλογικών συνθηκών της. Γι' αυτό το λόγο δόθηκε ιδιαίτερη έμφαση στην κατανόηση του τεκτονικού χάρτη της περιοχής ενδιαφέροντος (σχήμα 3.3).

Παρατηρώντας το χάρτη του σχήματος 3.3 βλέπουμε πληθώρα ρηγμάτων να διαπερνούν την περιοχή μελέτης. Το ρήγμα F2 με παράταξη ΒΔ - ΝΑ διασχίζει την περιοχή Αγυιάς και παρατηρείται τόσο στους φυλλίτες, όσο και στους μαργαϊκούς ασβεστόλιθους. Από τη Γεωλογική Τομή Α-Α' βλέπουμε πως το ρήγμα αυτό είναι η αιτία ανάβλυσης των πηγών, αφού λειτουργεί σαν διάφραγμα και συνεπώς εμποδίζει το νερό να κινηθεί υπόγεια οπότε εξέρχεται στην επιφάνεια με τη μορφή πηγών.

Το ρήγμα F1 είναι κάθετο στο F2 και διαπερνά την περιοχή Κουφού και φθάνει έως την περιοχή της Αγιάς. Μία άλλη ομάδα μεταπτωτικών ρηγμάτων F3 διευθύνσεως Α - Δ μέχρι ΔΒΔ - ΑΝΑ παρατηρείται στην περιοχή των Μυλωνιανών με εμφανείς ζώνες μυλωνιτών (Παυλάκης, 1989).

Ουσιαστικό ενδιαφέρον από υδρογεωλογικής πλευράς παρουσιάζουν τα παραπάνω ρήγματα F2 και F3 και το μεταπτωτικό F1. Στις υδρογεωλογικές συνθήκες θα αναφερθούμε παρακάτω.



Σχήμα 3.3 : Μεγαλογραμμώσεις της περιοχής Δυτικής Κρήτης (Παυλάκης, 1989).

3.6 Γενικές Υδρογεωλογικές Συνθήκες

3.6.1 Γενικά

Οι υδρογεωλογικές συνθήκες που επικρατούν σε μία περιοχή διαμορφώνονται από την επίδραση πολλών παραγόντων. Οι κυριότεροι από αυτούς είναι :

- Η υδρολιθολογική συμπεριφορά των γεωλογικών σχηματισμών που δομούν την περιοχή μελέτης. Αυτή εξαρτάται από τη λιθολογική τους σύσταση και την κοκκομετρία εφόσον πρόκειται για κοκκώδεις σχηματισμούς και από το βαθμό διαγένεσης και τον τεκτονισμό τους εφόσον πρόκειται για συμπαγή πετρώματα. Η

συμπεριφορά αυτή των γεωλογικών σχηματισμών έναντι του νερού προσδιορίζεται από το κοκκώδες και την διαπερατότητά τους (Παυλάκης, 1989).

- Η γεωλογική δομή της περιοχής μελέτης. Ειδικότερα ενδιαφέρει η στρωματογραφική διάταξη των γεωλογικών ενοτήτων, δηλαδή η σειρά τοποθέτησής τους.
- Η ρηξιγενής τεκτονική που επικρατεί στην ευρύτερη περιοχή μελέτης και που επηρεάζει με πολλούς τρόπους την διαμόρφωση των υδρογεωλογικών συνθηκών της. Συγκεκριμένα με τη λειτουργία μεγάλων ρηγμάτων ως αγωγών ή και ως διαφραγμάτων στην υπόγεια κίνηση του νερού.
- Οι κλιματολογικές συνθήκες, που ανάλογα με το ύψος και την χρονική διάρκεια των βροχοπτώσεων κυρίως ή και χιονοπτώσεων, επιδρούν αποφασιστικά στην ανάπτυξη και του επιφανειακού υδρογραφικού δικτύου μίας περιοχής αλλά και των τυχόν υπόγειων υδροφορέων της.

3.6.2 Ο ρόλος των Λευκών Ορέων στην περιοχή μελέτης

Στη Δυτική Κρήτη αναπτύσσεται το θεαματικό Ορεινό Ασβεστολιθικό Υδροφόρο Συγκρότημα των Λευκών Ορέων με μέγιστο υψόμετρο 2.454 m. Πέραν της υπέροχης φυσικής ομορφιάς τους και της οικολογικής ιδιαιτερότητας που προσφέρουν, ρυθμίζουν καθοριστικά την ανάπτυξη ευνοϊκών υδρογεωλογικών συνθηκών στη Δυτική Κρήτη και κατ' επέκταση και στην περιοχή μελέτης, παράγοντες οι οποίοι διαμορφώνονται από τις παραμέτρους που αναλύονται παρακάτω.

Πρώτα από όλα ο μεγάλος όγκος τους και τα μεγάλα υψόμετρα των βουνοκορφών τους (μεγαλύτερα των 2.000 m), καθορίζουν αποφασιστικά το μικροκλίμα της περιοχής και συμβάλλουν στην διαμόρφωση μεγάλων βροχοπτώσεων και χιονοπτώσεων.

Η γεωλογική και τεκτονική δομή των Λευκών Ορέων ευνοεί την ανάπτυξη σημαντικών υπόγειων υδροφορέων. Η αιτία αυτού του γεγονότος, είναι ότι τα Λευκά Όρη αφ' ενός μεν δομούνται σχεδόν εξ' ολοκλήρου από ανθρακικά πετρώματα, αφ' ετέρου παρουσιάζουν έντονη ρηξιγενή τεκτονική (Παυλάκης, 1989). Το νερό πέφτει στους ανθρακικούς σχηματισμούς των Λευκών Ορέων. Ένα μέρος της ποσότητας αυτής χάνεται διαμέσου της εξατμισοδιαπνοής. Το υπόλοιπο νερό κατεισδύει μέσα στη μάζα των Λευκών Ορέων.

Το εξαιρετικά μεγάλο ποσοστό κατείσδυσης των νερών της βροχής στους ανθρακικούς σχηματισμούς οφείλεται αφ' ενός μεν στην υδρολιθολογική συμπεριφορά των

ανθρακικών πετρωμάτων, αφ' ετέρου στην καρστικοποίηση και στην έντονη ρηξιγενή τεκτονική που παρουσιάζουν η οποία έχει δημιουργήσει πλήθος ρηγμάτων.

Με βάση τις μελέτες αξιοποίησης υδατικού δυναμικού δυτικής Κρήτης, οι όγκοι νερού που κατεισδύουν στα Λευκά Όρη τροφοδοτούν τους υπόγειους υδροφορείς και στη συνέχεια το νερό κινείται προς τη θάλασσα. Από τα υπόγεια νερά που κινούνται βορειοδυτικά και βορειοανατολικά ένα μέρος τους εμφανίζεται με τη μορφή μεγάλων πηγών γλυκού νερού μακριά από τις ακτές. Μια τέτοια ομάδα πηγών είναι και αυτή της Αγυιάς.

3.6.3 Υδρολιθολογική συμπεριφορά των γεωλογικών σχηματισμών της περιοχής μελέτης

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί που δομούν την περιοχή μελέτης περιγράφηκαν αναλυτικά στην παράγραφο 3.4.2.

Οι ανθρακικοί σχηματισμοί της ενότητας του Τρυπαλίου συμπεριφέρονται έναντι του νερού ως πολύ υδροπερατοί και σε αυτούς αναπτύσσονται οι σημαντικότεροι υπόγειοι υδροφορείς της περιοχής μελέτης. Από ερευνητικές εργασίες προσδιορισμού του συντελεστή υδροπερατότητας των ανθρακικών πετρωμάτων της ενότητας του Τρυπαλίου (Παυλάκης, 1989) προέκυψε ότι αυτός ανέρχεται μέχρι και $2,5 \times 10^{-3}$ m/sec.

Ο υψηλός βαθμός της υδροπερατότητας που παρουσιάζουν οι ανθρακικοί σχηματισμοί της ενότητας **Τρυπαλίου** οφείλεται στην ισχυρή τεκτονική τους καταπόνηση, συνεπώς η ροή του νερού διευκολύνεται μέσω του συστήματος των ρωγμών καθώς επίσης και στη λιθολογική τους σύσταση, αφού οι σχηματισμοί της ενότητας του Τρυπαλίου είναι ανθρακικοί άρα τα κενά μέσα στο πέτρωμα υποβοηθούν στην αποθήκευση και ροή του νερού.

Η **κροκαλλολατυποπαγής σειρά** ανάλογα με το βαθμό διαγένεσης, την κοκκομετρία, τη συγκόλληση, το είδος της συγκολλητικής ύλης και το βαθμό διάβρωσης και κερματισμού, αποτελεί μέτριους μέχρι πολύ καλούς υδροφόρους (Καλλέργης, 1999α).

Οι αλλουβιακές αποθέσεις είναι σχηματισμοί που συμπεριφέρονται από ημιπερατοί έως υδροπερατοί, ανάλογα της περιεκτικότητάς τους σε άργιλο.

Οι σχηματισμοί της ενότητας **φυλλιτών - χαλαζιτών** χαρακτηρίζονται θεωρητικά ως στεγανοί σχηματισμοί. Οι σχηματισμοί αυτοί λόγω της λιθολογικής τους σύστασης δεν διαβρώνονται από το νερό, επομένως δεν σχηματίζουν καρστικά φαινόμενα και κατ' επέκταση δεν επιτρέπουν την κίνηση του νερού στη μάζα τους. Όμως τονίζουμε ότι,

λόγω της έντονης ρηξιγενούς τεκτονικής που επικρατεί σε όλη την ευρύτερη περιοχή του Νομού Χανίων, μπορεί να αναπτυχθεί μία ορισμένη υπόγεια υδροφορία μέσα από το διάσπαρτο δίκτυο τεκτονικών ασυνεχειών οι οποίες διαμορφώνουν το δίκτυο στραγγίσεων νερού (Παυλάκης, 1989), που σε πολλές περιπτώσεις τροφοδοτεί πηγές συνεχούς λειτουργίας.

3.6.4 Εμφανίσεις υπόγειων νερών σε πηγές. Θέσεις πηγών, θέσεις γεωτρήσεων - Παροχές

Οι θέσεις εκφόρτισης υπόγειων νερών, υπό μορφή πηγών, στην περιοχή μελέτης κατανέμονται σε δύο ομάδες. Οι πηγές της πρώτης ομάδας απαντώνται στην περιοχή της Αγυιάς και οι πηγές αυτές είναι του Πλατάνου, Βρισίδια, Καλαμιώνα, αντλιοστάσιο του χωριού και Κολύμπα. Η δεύτερη ομάδα πηγών βρίσκεται στην περιοχή του Κουφού. Επίσης, στη παρούσα διπλωματική εργασία εξετάζουμε και τις γεωτρήσεις των Μυλωνιανών, που, όπως έχουμε αναφέρει, βρίσκονται νοτιότερα των πηγών Αγυιάς.

Θα πρέπει να αναφέρουμε ότι η ομαδοποίηση που γίνεται σε αυτή τη παράγραφο βασίζεται αποκλειστικά σε γεωγραφικά στοιχεία. Με προσδιορισμό των ποιοτικών χαρακτηριστικών των νερών από τις πηγές αυτές, θα γίνει ομαδοποίησή τους ξανά στο τέλος της εργασίας αυτής.

Οι όγκοι νερού που αντλήθηκαν το έτος 2002 από τις γεωτρήσεις των Μυλωνιανών στη δεξαμενή Δ1 παρουσιάζονται στο *διάγραμμα Β*. Η δεξαμενή Δ1 περιέχει νερό και των τριών γεωτρήσεων της περιοχής. Ο υπόγειος υδροφορέας που εκτείνεται κάτω και νότια των Μυλωνιανών εντός της μάζας του Β.Δ. τμήματος των Λευκών Ορέων, είναι αυτός ο οποίος τροφοδοτεί με νερό τις πηγές Πλατάνου. Παρατηρούμε ότι οι όγκοι νερού ανά ώρα που αντλούνται από τη θέση αυτή είναι πολύ μεγάλοι, το οποίο καταδικνύει τη σπουδαιότητα και το ρόλο του υδροφορέα.

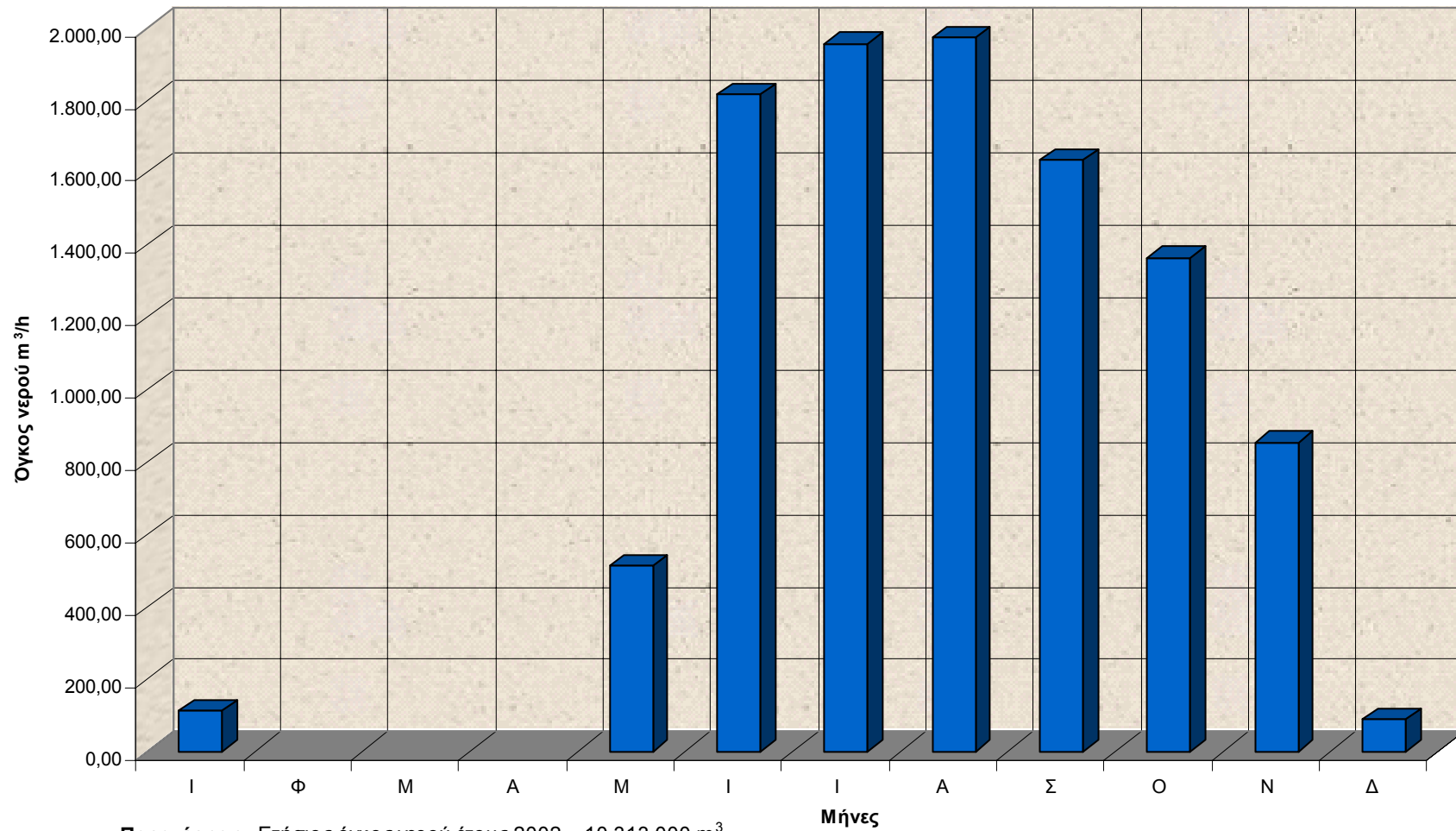
Επομένως, η τυχόν διατήρηση σταθερής ποιότητας των νερών των πηγών Πλατάνου κατά τη διάρκεια των αντλήσεων στα Μυλωνιανά θα δώσει τη δυνατότητα αύξησης του αντλούμενου όγκου νερού από τον υδροφορέα των Μυλωνιανών με όλα τα σημαντικά πλεονεκτήματα που τούτο συνεπάγεται για την οικονομία της περιοχής Χανιά - Κολυμβάρι. Βέβαια, πρέπει να γίνει συστηματικός έλεγχος της ποιότητας του νερού για να καταλήξουμε σε ένα τέτοιο συμπέρασμα.

Στην περιοχή της Αγυιάς, στις πηγές Πλάτανος – Καλαμιώνας, σύμφωνα με μετρήσεις της Περιφέρειας Κρήτης, διεύθυνση Δημοσίων Έργων, τμήματος Εγγείων Βελτιώσεων, της μέσης παροχής ανά μήνα σε lt/sec για τα έτη 1978 – 1985, προκύπτει το διάγραμμα

Γ (στο πίνακα Π2 του παραρτήματος Ι παρουσιάζονται οι μετρήσεις της μέσης παροχής για τα έτη 1971 -1985). Οι μέσες παροχές σε αυτές τις πηγές κυμαίνονται ετησίως γύρω στα 2000 lt/sec. Οι μετρήσεις το 1985 σταμάτησαν λόγω κατασκευής έργου, σύμφωνα με τα στοιχεία της διεύθυνσης Δημοσίων Έργων.

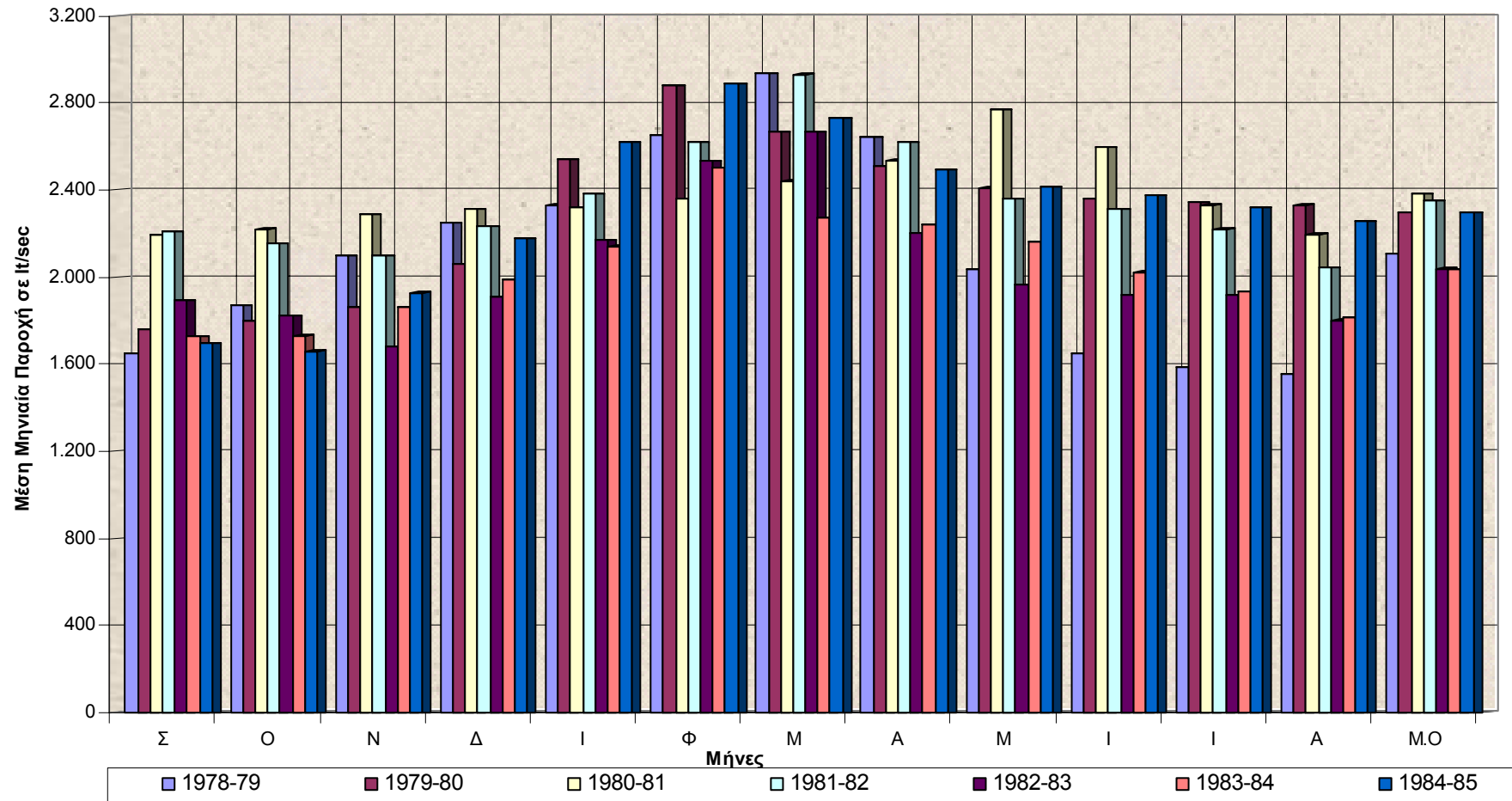
Οι θέσεις δειγματοληψίας, στην περιοχή του Κουφού, ήταν οι γεωτρήσεις N1α και N1β. Η πρώτη (N1α) έχει βάθος 37 μέτρα ενώ η δεύτερη (N1β) 40 μέτρα. Κατά τους καλοκαιρινούς μήνες η παροχή από κάθε γεώτρηση κυμαινόταν στα 180 m³/h.

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ Β ΑΝΤΛΗΣΕΣ ΤΟΥ ΕΤΟΥΣ 2002 ΑΠΟ ΤΙΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ ΜΥΛΩΝΙΑΝΩΝ ΣΤΗ ΔΕΞΑΜΕΝΗ Δ1



Παρατήρηση : Ετήσιος όγκος νερού έτους 2002 = 10.313.000 m³

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ Γ ΜΕΣΗ ΜΗΝΙΑΙΑ ΠΑΡΟΧΗ ΣΕ It/Sec ΣΤΙΣ ΠΗΓΕΣ ΠΛΑΤΑΝΟΥ - ΚΑΛΑΜΙΩΝΑ



ΚΕΦ 4 ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΤΩΝ ΧΗΜΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ-ΓΕΩΧΗΜΙΚΗ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΝΕΡΩΝ

4.1 Αναγνώριση της γεωχημικής διεργασίας

Προκειμένου να παρθούν υδρογεωλογικές πληροφορίες από τις χημικές αναλύσεις των υπόγειων νερών, είναι απαραίτητο να σχηματιστεί η πορεία που ακολούθησε η γεωχημική εξέλιξή τους, δηλαδή η διαδοχή των διαδικασιών, με τις οποίες το νερό απέκτησε τη χημική του σύσταση. Δεν πρέπει να επιχειρείται υδροχημική ερμηνεία, χωρίς την αναφορά σε γεωυδρολογικές συλλογιστικές. Θα πρέπει να μην ξεχνιέται ότι η επικρατούσα γεωχημική διεργασία, που καθορίζει το χημισμό του υπόγειου νερού, είναι η διάλυση από το τελευταίο ορυκτολογικών συστατικών των πετρωμάτων, μέσα από τα οποία κινείται.

Για την ερμηνεία των χημικών αναλύσεων οι Mandel και Shiftan (1981) προτείνουν την εξής διαδικασία :

A) Παραγνωρίζοντας τη χαμηλή μεταλλικότητα του βρόχινου νερού, θεωρούμε ότι τα κύρια συστατικά του υπόγειου νερού προέρχονται από τη διάλυση ορυκτών και εκτιμούμε, με βάση την πιο πάνω παραδοχή, την αναμενόμενη χημική του σύσταση.

B) Αναγνωρίζουμε τις πιο σημαντικές αποκλίσεις, ανάμεσα στην πρόβλεψη (A) και στις χημικές αναλύσεις του νερού.

Γ) Αναγνωρίζουμε τις πιο σημαντικές αλλαγές της χημικής σύστασης του νερού, σε σχέση με το μήκος διαδρομής, το βάθος και το χρόνο.

Δ) Διατυπώνουμε υποθετικές ερμηνείες για τις παρατηρούμενες αποκλίσεις και αλλαγές (B και Γ).

E) Αναζητούμε υδρογεωλογικές μαρτυρίες, που να εξηγούν τις πιο πάνω υποθέσεις (Δ). Αν πιθανολογείται ανάμιξη των νερών, τότε, κάπου στην περιοχή έρευνας, δύο διακρινόμενα «ακραία» μέλη (νερά) πρέπει να έρχονται μεταξύ τους σε υδρογεωλογική επαφή. Αν πιθανολογείται ιοντική ανταλλαγή, θα πρέπει να αποδειχθεί η επαφή με τα ορυκτά της ανταλλαγής.

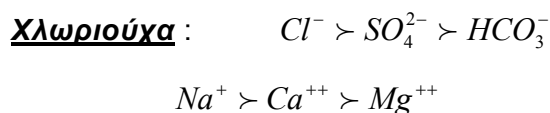
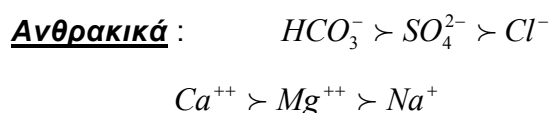
ΣΤ) Εισάγουμε στη συνέχεια τις διορθώσεις από την καθίζηση (ίζημα) του ασβεστίτη ή / και της γύψου, όταν οι συγκεντρώσεις είναι αρκετά υψηλές.

Z) Ερμηνεύουμε την παρουσία και τις συγκεντρώσεις των δευτερευόντων συστατικών όπως των NO_3^- , H_2S , F, Si και βασίζουμε τις ερμηνείες σε υδρογεωλογικές συλλογιστικές (Καλλέργης, 1999β).

4.2 Ταξινόμηση νερών με βάση τις ιοντικές σχέσεις

Ο μηχανισμός ανάμιξης ως γνωστόν γίνεται με τη διάχυση (λόγω θερμικής κίνησης των μορίων και ιόντων) και την υδροδυναμική διασπορά (ροή μέσα από ένα δίκτυο συγκοινωνούντων αγωγών).

Οι κύριοι τύποι των νερών είναι, με βάση τη φθίνουσα περιεκτικότητα σε ανιόντα και κατιόντα (Καλλέργης, 1999β) :



Το ανιόν που επικρατεί καθορίζει τη μεγάλη γεωχημική ομάδα στην οποία ανήκει το νερό. Ο βαθμός επικράτησης των άλλων ιόντων δείχνει πιο λεπτομερή χαρακτηριστικά, τα οποία θα πρέπει να ερμηνευτούν σε σχέση με τις πραγματικές συγκεντρώσεις και τα υδρογεωλογικά δεδομένα.

Μεγάλη βοήθεια στην αναγνώριση της προέλευσης των νερών δίνουν οι ιοντικές σχέσεις σε meq/l :

Σχέση Mg/Ca

Ασβεστολιθικά νερά : $Mg/Ca = 0.5-0.7$ (ασβεστολιθικοί υδροφόροι)

Δολομιτικά νερά : $Mg/Ca = 0.7-0.9$ (δολομιτικοί υδροφόροι)

Πυριτικά νερά : $Mg/Ca > 0.9$ (υδροφόροι σε πυριτικά πετρώματα)

Σχέση Na/Cl

Κανονικά νερά : $Na/Cl = 0.876 \pm 10\%$ όπως και στο θαλασσινό νερό. Όταν $Na/Cl > 1.0$ το νερό προέρχεται από υδροφόρους σε αλκαλικά μαγματικά ή μεταμορφωμένα πετρώματα (ιοντική ανταλλαγή Ca και Mg με Na). Μικρή τιμή Na/Cl, μαρτυρά ρύπανση του υδροφόρου από τη διείσδυση της θάλασσας.

Σχέση Na/K

Θαλασσινό νερό : $Na/K \cong 47$

Βρόχινο νερό : $Na/K < 10$

Στην περιοχή εμπλουτισμού των υδροφόρων : $Na/K = 15-25$

Στο κατάντι τμήμα των υδροφόρων : $Na/K = 50-70$ (λόγω προσρόφησης Na)

Σχέση (Ca + Mg) / (K + Na)

Στις περιοχές εμπλουτισμού υδροφόρων > 1

Στις κατάντι περιοχές < 1

Σχέση Cl/Br

Θαλασσινό νερό : $Cl/Br \cong 300$

Γλυκό νερό : $Cl/Br \cong 300$

Νερό σε επαφή με εβαπορίτες : $Cl/Br \cong 500-4000$

Συγγενετικό νερό : $Cl/Br < 300$

Μικρές τιμές έχουν τα συγγενετικά νερά και τα νερά από «σαλαμούρες». Η σχέση βοηθά στη διάκριση της διείδυσης του θαλασσινού νερού στους παράκτιους υδροφόρους, από άλλες πηγές αλατότητας.

Σχέση HCO_3^-/Cl και SO_4^{2-}/Cl

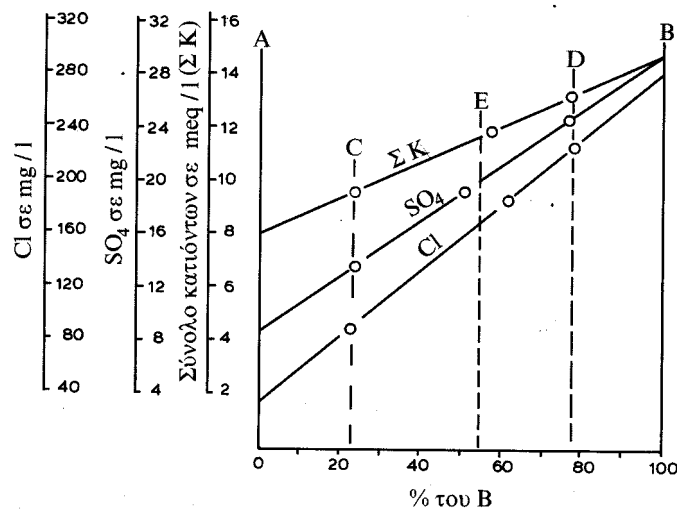
Κοντά στις περιοχές τροφοδοσίας των υδροφόρων επικρατούν, ανάμεσα στα ανιόντα, τα όξινα ανθρακικά, η συγκέντρωση των οποίων αυξάνει συνήθως μέχρι ενός ορίου που καθορίζεται από το γινόμενο διαλυτότητας του $CaCO_3$. Οι συγκεντρώσεις SO_4^{2-} και Cl^- αυξάνουν επίσης προς τα κατάντι. Οι συγκεντρώσεις όμως χλωρίου αυξάνουν πιο γρήγορα, μέχρις ότου τα χλωριόντα γίνουν το ιόν που επικρατεί παρά το γεγονός ότι η συγκέντρωση SO_4^{2-} αυξάνει συνεχώς μια και δε φτάνει στο γινόμενο διαλυτότητας $CaSO_4$. (Καλλέργης, 1999β)

4.3 Το διάγραμμα ανάμιξης

Για τη διερεύνηση των σχέσεων ανάμιξης νερών διαφορετικών προελεύσεων, είναι πολύ χρήσιμο το Διάγραμμα Ανάμιξης (Mixing Diagram), που φαίνεται στο *σχήμα 4.1* (Καλλέργης, 1999β).

Το πλεονέκτημα του διαγράμματος αυτού είναι, ότι κάθε χαρακτηριστικό ή συστατικό μπορεί να παρασταθεί με κατάλληλα επιλεγμένη κλίμακα. Τα σημεία που παριστάνουν ένα συγκεκριμένο χαρακτηριστικό ενός μίγματος νερού «πέφτουν» σε μία γραμμή «ανάμιξης», ανάμεσα σε σημεία που φανερώνουν ακραία μέλη και όλα τα σημεία που παριστάνουν τη σχέση ανάμιξης επί τοις εκατό «πέφτουν» σε μία κατακόρυφη ευθεία, που βρίσκεται ανάμεσα στα ακραία μέλη.

Στη μέθοδο αυτή χρησιμοποιούνται τα συστατικά μόνο εκείνα, που δεν υπόκεινται σε ιοντική ανταλλαγή και στις οξειδοαναγωγικές διεργασίες (Καλλέργης, 1999β).

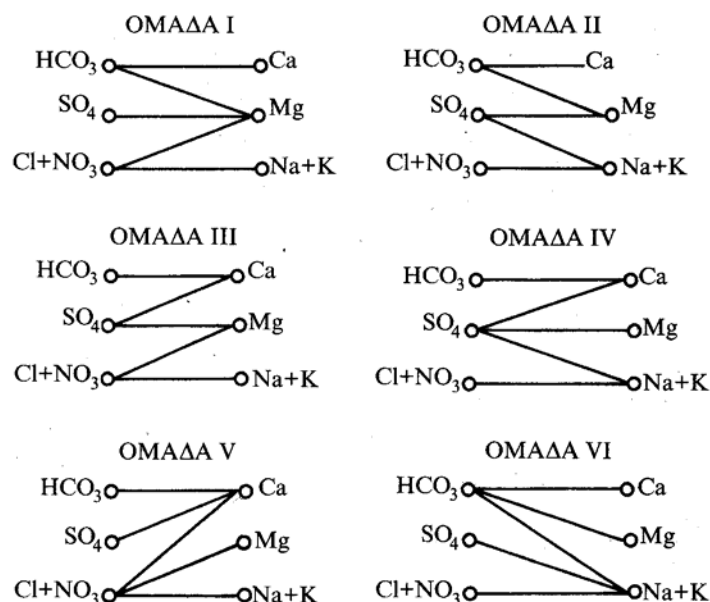


Σχήμα 4.1 : Διάγραμμα ανάμιξης. Τα νερά C και D είναι μίγματα των A και B. Σ.Κ.=Σύνολο κατιόντων (Καλλέργης, 1999β).

4.4 Φυσική ταξινόμηση των νερών

Γίνεται με το συνδυασμό ισοδύναμων συγκεντρώσεων ζευγαριών ιόντων, με μια προκαθορισμένη διαδοχή. Έτσι, π.χ. τα όξινα ανθρακικά συνδυάζονται στην αρχή με Ca^{2+} . Εκείνα που απομένουν συνδυάζονται με Mg^{2+} . Τα υπόλοιπα Mg^{2+} συνδυάζονται πρώτα με SO_4^{2-} και ακολούθως με Cl^- . Τα υπόλοιπα Cl^- συνδυάζονται με $\text{Na}^+ + \text{K}^+$. Με τον τρόπο αυτό μπορούν να διακριθούν έξι ομάδες νερού (*σχήμα 4.2*). Εάν στον κατάλογο αυτό των ιόντων προστεθούν και τα NO_3^- τότε προκύπτουν άλλες τέσσερις

ομάδες. Τα ζευγάρια των ιόντων που κατασκευάζονται με αυτόν τον τρόπο είναι βέβαια ενδεικτικά μόνο (Καλλέργης, 1999β).



Σχήμα 4.2 : Διάγραμμα Taussig για τη φυσική ταξινόμηση των νερών. Για απλότητα έχουν παραληφθεί τα φορτία. (Καλλέργης, 1999β).

Δεν πρέπει να επιχειρείται, έτσι απλοϊκά, η σύνθεση ορυκτών. Με το διάγραμμα Taussig, (σχήμα 4.2), το οποίο κατασκευάζεται με τον πιο πάνω τρόπο, με τις συγκεντρώσεις εκφρασμένες σε meq/l, αναγνωρίζονται εύκολα οι σημαντικές μεταβολές του χημισμού του υπόγειου νερού, κατά μήκος της διαδρομής του.

4.5 Οι γεωχημικοί χαρακτήρες των υπόγειων νερών

4.5.1 Ο γεωχημικός χαρακτήρας του νερού στα ιζηματογενή πετρώματα

Τα ιζηματογενή πετρώματα, χαλαρά ή συνδεδεμένα αποτελούνται από συνδυασμούς διαφορετικών ορυκτών, τα οποία μπορεί να προέρχονται από διαφορετικές, ιζηματογενείς, μαγματικές ή μεταμορφωμένες «πηγές». Ακόμη και μεμονωμένα στρώματα, συνήθως περιέχουν αναμίξεις ορυκτολογικές που διαφέρουν κατά θέσεις από στρώμα σε στρώμα. Αυτές οι διαφορές μπορεί να οδηγήσουν σε μεγάλες διαφορές

στη γεωχημεία των υπόγειων νερών, από στρώμα σε στρώμα και από περιοχή σε περιοχή.

Ο βασικός παράγοντας που ελέγχει το χημισμό του νερού στα ιζηματογενή πετρώματα είναι η σειρά με την οποία το νερό διασχίζει τους διάφορους ορυκτολογικούς συνδυασμούς, κατά την κίνησή του στους ιζηματογενείς υδροφόρους. Αυτό σημαίνει ότι το νερό κατά την κίνησή του μέσα από τα στρώματα υπόκειται σε διαδοχικές μεταβολές του γεωχημικού του χαρακτήρα, που επιβάλλονται από νέους θερμοδυναμικούς περιορισμούς, ορυκτολογικά ελεγχόμενους. Έτσι το νερό ενώ μπορεί να φτάσει σε ορισμένα στρώματα σε τοπική ισορροπία, σε σχέση με μερικές φάσεις, η συνεχής κίνησή του προκαλεί διαταραχές της ισορροπίας, καθώς περνά από στρώματα διαφορετικής ορυκτολογικής σύστασης.

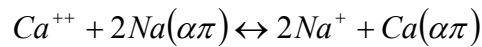
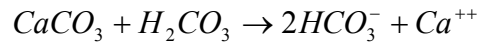
Γίνεται μετά από αυτά φανερή η δυσκολία της ερμηνείας της γεωχημικής εξέλιξης των νερών σε ιζηματογενή πετρώματα. Σημαντικό ρόλο, πάντως, στη διαμόρφωση του γεωχημικού χαρακτήρα υπόγειου νερού παίζουν οι εξής παράγοντες:

- 1) Η διάλυση των ανθρακικών ορυκτών και μικρών ποσοτήτων γύψου, ανυδρίτη ή αλίτη, η οποία επηρεάζει την ιοντική συγκέντρωση στο νερό.
- 2) Η διάλυση αστρίων, μαρμαρυγίων και αργιλικών ορυκτών.

Οι γεωχημικές διαδικασίες ανήκουν συνήθως, σε μία ή περισσότερες από τις εξής τέσσερις κατηγορίες :

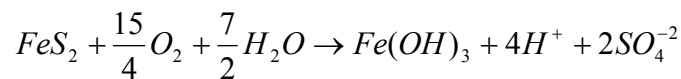
- ιοντική ανταλλαγή,
- δημιουργία CO₂ κάτω από την εδαφική ζώνη,
- βιοχημική αναγωγή των θειικών ορυκτών,
- οξειδωση των θειούχων ορυκτών.

Το εντυπωσιακό χαρακτηριστικό πολλών υπόγειων νερών είναι ότι επικρατούν τα ιόντα Na⁺ και HCO₃⁻. Σε μερικές περιπτώσεις οι συγκεντρώσεις HCO₃⁻ φτάνουν τα 2500 mg/l, δηλαδή είναι διπλάσιες από εκείνες στα ανθρακικά ή δολομιτικά υπόγεια νερά. Τα νατριούχα – όξινα ανθρακικά αυτά νερά δημιουργούνται από τη συνδυασμένη δράση της ιοντικής ανταλλαγής και της διάλυσης ασβεστίτη και δολομίτη, σε στρώματα πλούσια σε ασβεστίτη, δολομίτη και αργιλικά ορυκτά, με Na⁺ που μπορεί να ανταλλαχτεί, κατά τις αντιδράσεις :



όπου (απ) σημαίνει κατιόντα απορροφημένα από αργίλους.

Όταν συμβαίνει το pH του υπόγειου νερού να είναι 7,0-8,5 και η περιεκτικότητά του σε HCO_3^- υψηλή, (> 1000 mg/l) σημαίνει ότι ο εμπλουτισμός του νερού σε HCO_3^- έγινε παρουσία H^+ από την οξειδωση σουλφιδίων, στη ζώνη της εδαφικής υγρασίας, όπου το οξυγόνο προσφέρεται από την ατμόσφαιρα.



Οι υδροχημικές μεταβολές του νερού γίνονται με πολύ αργό ρυθμό, κατά τη διάρκεια μακρών γεωλογικών περιόδων και συνήθως είναι μη αντιστρεπτές. Οι μικρές ποσότητες γύψου ή άλλων ευδιάλυτων ορυκτών που επηρέασαν σοβαρά το γεωχημικό χαρακτήρα των νερών σε πολλά υδρογεωλογικά συστήματα, απομακρύνονται βαθμιαία από τα συστήματα αυτά.

Το Na^+ που ανταλλάχτηκε με το Ca^{+2} για τη δημιουργία νατριούχων νερών, απομακρύνεται από τις θέσεις ανταλλαγής (αργιλικά ορυκτά). Πυριτικά ορυκτά, όπως οι άστριοι και οι μαρμαρυγίες μετατρέπονται συνεχώς σε αργιλικά ορυκτά. Μερικές από τις πιο συνηθισμένες εξαλλοιώσεις είναι η σερικιτίωση (δημιουργία σερικίτη), προπυλιτίωση. (δημιουργία χλωρίτη, αργιλικών και ανθρακικών), η δολομιτοποίηση, η αργιλοποίηση (καολινιτιοποίηση, μπεντονιτοποίηση) κ.λπ.

4.5.2 Ο γεωχημικός χαρακτήρας του νερού στα κρυσταλλικά πετρώματα

Το βασικό χαρακτηριστικό των κρυσταλλικών πετρωμάτων μαγματικής ή μεταμορφωμένης προέλευσης (γρανίτες, διορίτες, βασάλτες και αμφιβολίτες) είναι η αφθονία του χαλαζία και των αργιλοπυριτικών ορυκτών (άστριοι - μαρμαρυγίες). Τα ορυκτά αυτά μέχρι το βάθος των συνηθισμένων υδροφόρων, είναι θερμοδυναμικά

ασταθή και τείνουν να διαλυθούν όταν έρθουν σε επαφή με το νερό. Έτσι, προκαλείται ορυκτολογική εξαλλοίωση των πετρωμάτων ενώ το νερό εμπλουτίζεται με τα προϊόντα της εξαλλοίωσης.

Το νερό εμπλουτιζόμενο σε διαλυμένο CO_2 προκαλεί απόπλυση το Si και τα άλλα κατιόντα «αποπλένονται» επίσης, δημιουργώντας έτσι ένα αργιλοπυριτικό υπόλειμμα (καολινίτης – ιλλίτης - μοντμοριλλονίτης). Τα κατιόντα που αποπλένονται και εμπλουτίζουν το νερό είναι το Na^+ , K^+ , Mg^{++} και Ca^{++} .

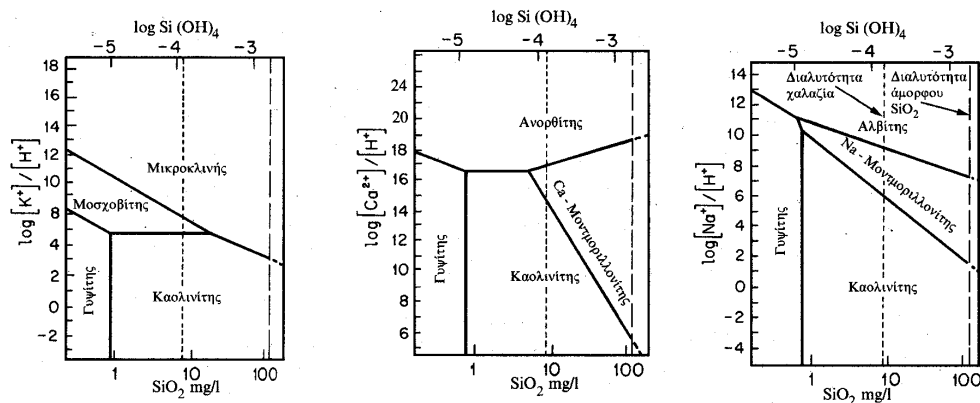
Μία άλλη συνέπεια αυτής της διαδικασίας, που είναι γνωστή σαν «ασύμφωνη διάλυση» (incongruent dissolution), γιατί μερικά από τα προϊόντα της απαντούν ως ορυκτά ή άμορφες στερεές ουσίες (σε αντίθεση με τη «σύμφωνη διάλυση», congruent dissolution κατά την οποία όλα τα προϊόντα της διάλυσης των ορυκτών είναι διαλυτά είδη), είναι η άνοδος του pH και της συγκέντρωσης HCO_3^- . Αν και θα αναμενόταν ότι το SiO_2 θα αποτελούσε βασικό συστατικό του υπόγειου νερού στα πετρώματα αυτά, η αντιπροσωπευτική συγκέντρωσή του δεν ξεπερνά τα 17 mg/l.

Γενικά, τα υπόγεια νερά από τα πετρώματα αυτής της κατηγορίας παρουσιάζουν πολύ χαμηλή συγκέντρωση των κύριων ιόντων. Το ανιόν που επικρατεί, χωρίς εξαιρέσεις, είναι το HCO_3^- , ενώ σε αρκετή συγκέντρωση, σε σχέση με τα κατιόντα, απαντά και το SiO_2 . Τα ανιόντα Cl^- και SO_4^{-2} απαντούν σε μικρές μόνο συγκεντρώσεις και προέρχονται από την ατμόσφαιρα, την αποσύνθεση οργανικών λειψάνων ή από ιχνοπροσμίξεις που απαντούν στα πετρώματα και τα ορυκτά.

Το K^+ γενικά απαντά σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις. Επειδή τα Cl^- και SO_4^{-2} δεν έχουν σημαντική συμμετοχή στα πυριτικά πετρώματα, δεν υπάρχει τάση του υπόγειου νερού, κατά τη μετακίνησή του μέσα σ' αυτά τα πετρώματα, να μεταπίπτει στη θειική ή χλωριούχα φάση. Έτσι οι υδροχημικές φάσεις του Chebotarev δεν έχουν ισχύ σ' αυτά τα συστήματα (Καλλέργης, 1999β).

Η γεωχημική ερμηνεία των χημικών αναλύσεων μπορεί να γίνει με δύο τρόπους :

Ο πρώτος συνίσταται στην κατασκευή των Διαγραμμάτων Σταθερότητας ή Ενεργότητας (Stability ή activity Diagrams), τα οποία φαίνονται στο *σχήμα 4.3*.



Σχήμα 4.3 : Σχέσεις σταθερότητας για τους γυψίτη, καολινίτη, μοντοριλλονίτη, μοσχοβίτη και αστρίους σε 25°C και 1bar (Καλλέργης, 1999β).

Ο δεύτερος στον υπολογισμό της ακολουθίας των χημικών αντιδράσεων, με βάση τις συγκεντρώσεις των πιο άφθονων κατιόντων, του HCO_3^- και του H^+ (Freeze -Cherry, 1979).

Γενικά στα μαγματικά πετρώματα, όλα σχεδόν τα υπόγεια νερά (βρίσκονται στο διάγραμμα σταθερότητας, στη μεριά του καολινίτη, ελάχιστα στη μεριά του μοντοριλλονίτη και σπάνια του γυψίτη (υδραργυλίτη), του μαρμαρυγία, των αστρίων ή ακόμη ξεπερνούν το όριο διαλυτότητας του άμορφου διοξειδίου του πυριτίου. Αυτό σημαίνει ότι η εξαλλοίωση των αστρίων και μαρμαρυγίων γίνεται, κυρίως, προς την κατεύθυνση δημιουργίας καολινίτη, στα συστήματα αυτά.

Ο δεύτερος τρόπος γεωχημικής ερμηνείας είναι όπως προαναφέρθηκε, η «επανασύνδεση» των αρχικών ορυκτών με το συνδυασμό των αργιλικών ορυκτών με τα διαλυμένα προϊόντα που περιέχει το υπόγειο νερό. Κατά τη διεργασία αυτή ο καολινίτης μετατρέπεται σε πλαγιόκλαστα σε τέτοια ποσότητα, ώστε να εξαντληθούν όλες οι ποσότητες Na^+ και Ca^{++} που περιέχονται στο νερό. Τα πλαγιόκλαστα που «συντέθηκαν» με αυτό τον τρόπο πρέπει να συγκρίνονται με αυτά των πετρωμάτων που απαντούν στο υδροφόρο πέτρωμα.

Στη συνέχεια «αντιδρούν» ολόκληρη η ποσότητα Mg^{++} και οι απαραίτητες ποσότητες K^+ , HCO_3^- και SiO_2 , με τον καολινίτη, ώστε να σχηματιστεί βιοτίτης. Τα υπόλοιπα των $K^+ HCO_3^-$ και SiO_2 , «αντιδρούν» επίσης ώστε να δημιουργήσουν καλιούχους αστρίους.

Μία άλλη δυνατότητα είναι η «αντίδραση» ορισμένων αρχικών ορυκτών με το φορτισμένο σε CO₂ νερό, ώστε να παραχθεί το HCO₃⁻ και τα κατιόντα που δίνουν οι χημικές αναλύσεις (Καλλέργης, 1999β).

Ο χημισμός του υπόγειου νερού, που κινείται σε μεγάλα βάθη στα κρυσταλλικά πετρώματα επηρεάζεται από τις υψηλές θερμοκρασίες και πιέσεις, κάτι που δημιουργεί μεγάλες αποκλίσεις από τις γεωχημικές διαδικασίες που περιγράφηκαν.

4.5.3 Ο γεωχημικός χαρακτήρας του νερού στα ανθρακικά πετρώματα

Ο γεωχημικός χαρακτήρας των καρστικών νερών καθορίζεται κυρίως από το μηχανισμό διάλυσης.

- Διάλυση σε ανοιχτό σύστημα

Πρόκειται για τη διάλυση, από το νερό που κατεισδύει, του ασβεστίτη και δολομίτη, με την παρουσία άφθονου CO₂, βιολογικής ή βιοχημικής προέλευσης, πάνω από την κορεσμένη ζώνη,

- Διάλυση σε κλειστό σύστημα

Στην περίπτωση που δεν υπάρχουν ανθρακικά ορυκτά στην εδαφική ή στην ακόρεστη ζώνη, η κατείσδυση του νερού, φορτισμένου με CO₂, προς την κορεσμένη ζώνη γίνεται χωρίς σημαντική κατανάλωση CO₂, το οποίο έτσι δεν μετατρέπεται σε HCO₃⁻. Το νερό, μ' αυτόν τον τρόπο, συναντά για πρώτη φορά, ανθρακικά ορυκτά στην κορεσμένη ζώνη, όπου γίνεται η διάλυσή τους, κάτω από τις συνθήκες κλειστού συστήματος.

- Ασύμφωνη διάλυση (incongruent dissolution)

Κάτω από τις συνθήκες ανοιχτού και κλειστού συστήματος η διάλυση του ασβεστίτη και δολομίτη γίνεται χωριστά για καθένα από τα δύο ορυκτά. Στην περίπτωση που συμβαδίζει η διάλυση δολομίτη και η απόθεση ασβεστίτη τότε πρόκειται για ασύμφωνη διάλυση δολομίτη. Τούτο συμβαίνει όταν το νερό διαλύει δολομίτη μέχρι κορεσμού του και μετά ρέει σε μία ζώνη ασβεστίτη, όπου όμως δεν λαμβάνει χώρα διάλυση ασβεστίτη, αλλά λόγω υπερκορεσμού του νερού σε ασβεστίτη τον αποθέτει.

Το ίδιο αποτέλεσμα συμβαίνει και όταν το νερό διαλύει αρχικά ασβεστίτη, μέχρι να κορεστεί και μετά φτάσει σε δολομιτική ζώνη. Η μοριακή σχέση Ca⁺⁺/Mg⁺⁺ στο νερό εξαρτάται από τη διαδοχική κατανομή δολομίτη και ασβεστίτη, τη σύγχρονη διάλυσή τους, τη θερμοκρασία, την ασύμφωνη διάλυση, το ποσόν του CO₂ κ.λπ.

Γενικότερα μπορεί να τονιστεί ότι τόσο ο ασβεστίτης όσο και ο δολομίτης ελάχιστα διαλύονται στο καθαρό νερό. Όμως η παρουσία του CO₂ στο νερό τα μετατρέπει σε όξινες ανθρακικές ενώσεις, οι οποίες είναι ευδιάλυτες. Οι συγκεντρώσεις CO₂, HCO₃⁻ και CO₃²⁻ εκφράζουν την ιοντική ισορροπία των αλάτων στο νερό, αλλά στις χημικές αναλύσεις συνήθως τα ανθρακικά αυτά είδη εκφράζονται σαν HCO₃⁻.

Το νερό όταν βρίσκεται σε ισορροπία με τον ασβεστίτη και το ατμοσφαιρικό CO₂ πρέπει να περιέχει γύρω στα 60 mg/l HCO₃⁻. Οι συνηθισμένες όμως συγκεντρώσεις του στο καρστικό νερό συνήθως είναι της τάξης των 300-450 mg/l.

Η πρόσθετη, απαραίτητη για τη διάλυση των ανθρακικών ορυκτών, ποσότητα CO₂ είναι βιολογικής ή βιοχημικής προέλευσης κ.λπ. Η μείωση της πίεσης, που προκαλείται από την άντληση νερού στις υδρογεωτρήσεις, οδηγεί στη μείωση του διαλυμένου CO₂ με αποτέλεσμα να γίνεται το νερό πιο κορεσμένο σε ασβεστίτη, απ' ό,τι ήταν αρχικά. Εξάλλου το Mg⁺² μπορεί να παραμένει διαλυμένο σε υψηλότερο pH από ό,τι το ασβέστιο. Για το λόγο αυτό εξάλλου οι ανθρακικές φλέβες ακόμη και στους δολομίτες αποτελούνται από ασβεστίτη.

Όταν το νερό είναι ακόρεστο σε ασβεστίτη, και περιέχει περίσσεια CO₂, είναι διαβρωτικό. Αντίθετα, το υπερκορεσμένο νερό αποθέτει ασβεστίτη (Καλλέργης, 1999β).

ΚΕΦ.5 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗΣ ΣΥΣΤΑΣΗΣ ΤΩΝ ΥΔΡΟΦΟΡΩΝ ΣΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΝΕΡΟΥ

Το νερό των υδροφορέων υπόκειται σε διάφορες μεταβολές που εμφανίζονται ως διάλυση, υδρόλυση, καθίζηση, προσρόφηση - απορρόφηση και ιοντική ανταλλαγή, οξειδωση, αναγωγή, καθώς και μικροβιολογικές μεταβολές .

Όσο πιο ευδιάλυτα είναι τα ορυκτολογικά συστατικά του υδροφορέα, τόσο πιο σημαντική είναι η επίδραση του τελευταίου στη διαμόρφωση της ποιότητας του νερού που περιέχει.

Επίδραση στην ποιότητα του υπόγειου νερού ασκούν η ταχύτητα εξαλλοίωσης των ορυκτολογικών συστατικών, το μέγεθος των επιφανειών επαφής πετρώματος - νερού, η διάρκεια επαφής πετρώματος - νερού δηλαδή ο χρόνος παραμονής του νερού στον υδροφορέα (που ελέγχεται από την ταχύτητα ροής του νερού) το pH, το Eh (δυναμικό οξειδοαναγωγής) κ.λπ.

Δεν είναι υπερβολή να ειπωθεί ότι η χημική σύσταση του υπόγειου νερού αποτελεί τα «δακτυλικά αποτυπώματα» της λιθολογικής σύστασης του υδροφορέα που το περιέχει (Καλλέργης, 1999β).

5.1 Η ποιότητα του υπόγειου νερού στα ιζήματα

5.1.1 Χαλαροί ψηφίτες - «ψαμμίτες»

Τα χαλίκια και οι άμμοι μπορεί να έχουν τελείως διαφορετική ορυκτολογική σύνθεση και, κατά συνέπεια, τελείως διαφορετικές πετρογραφικές ιδιότητες. Διάφορες, επίσης, μπορεί να είναι οι συνθήκες απόθεσής τους (θαλάσσιες, ποτάμιες, υφάλμυρες, αιολικές κ.λπ.).

Στην περίπτωση που τα υλικά είναι ανθρακικής προέλευσης (ασβεστολιθικά), το υπόγειο νερό σ' αυτά, ανάλογα με το χρόνο παραμονής του, είναι πλούσιο σε αλκαλικές γαίες και όξινα ανθρακικά ιόντα (τυπικές τιμές: Ca^{2+} 50 - 200 mg/l, Mg^{2+} 10 - 50 mg/l, HCO_3^- 100 - 250 mg/l).

Αν στην περιοχή απαντούν γύψοι, τότε υψηλή είναι η περιεκτικότητα σε SO_4^{2-} που φτάνει ή και ξεπερνά τα 50 - 300 mg/l. Όταν τα υλικά προέρχονται από μαγματίτες ή μεταμορφίτες περιέχουν χαμηλό ποσοστό ευδιάλυτων ορυκτολογικών συστατικών. Η αλατότητα του νερού είναι, γενικά, χαμηλή. Ιδιαίτερα χαμηλή είναι η περιεκτικότητα σε

θειικά και χλωριόντα (μικρότερη από 50 mg/l) ενώ εμφανίζεται αυξημένη συγκέντρωση SiO₂.

Το βασικό πρόβλημα ποιότητας του υπόγειου νερού στις κοιλάδες μπορεί να προέλθει από την υψηλή συγκέντρωση ιόντων σιδήρου και μαγγανίου, που οφείλεται στην κινητοποίησή τους, κάτω από συνθήκες χαμηλού pH και Eh, από περιοχές υπόγειας συγκέντρωσης οργανικών λειψάνων. Η ύπαρξη, αντίθετα, στον υδροφόρα αποθέσεων ιλύος και αργίλου εμποδίζουν, μερικά τουλάχιστον, τις μεταβολές της ποιότητας του νερού. Αποθέσεις τύρφης είναι δυνατόν, κάτω από αναγωγικές συνθήκες, να προκαλέσουν εμπλουτισμό του νερού σε ιόντα σιδήρου και μαγγανίου.

Γενικά, η ποιότητα νερού στις χαλαρές αποθέσεις μπορεί να ταξινομηθεί σε μια από τις πιο κάτω τέσσερις κατηγορίες:

i) Νερό με μικρό TDS (Σύνολο Διαλυμένων Στερεών = Total Dissolved Solids), με επικράτηση των ιόντων Na⁺, Ca²⁺ και HCO₃⁻. Απαντά συνήθως στα επιφανειακά υδροφόρα.

ii) Νερό νατριούχο, όξινο ανθρακικό με επικράτηση των ιόντων Na⁺ και HCO₃⁻ και με πολύ λίγα ιόντα SO₄²⁻, Ca²⁺ και Mg²⁺.

Τα SO₄²⁻ έχουν, προφανώς, αναχθεί στους υδροφόρους από θειοβακτήρια ενώ τα Ca²⁺ και Mg²⁺ έχουν αντικαταστήσει το Na⁺ των αργιλικών ορυκτών · το νερό αυτό απαντά σε βάθος μέχρι και πάνω από 300 m.

iii) Χλωριονατριούχο νερό, που προέρχεται από την ανάμιξη μετεωρικού και συγγεντικού νερού συναντιέται σε βάθος 300 m. (Το *συγγεντικό νερό (connate)* είναι νερό που για μεγάλη γεωλογική περίοδο δεν έχει έρθει σε επαφή με την ατμόσφαιρα. Αποτελείται κυρίως από απολιθωμένο νερό των πόρων των πετρωμάτων το οποίο έχει μεταναστεύσει από την αρχική θέση ενταφιασμού του. Το απολιθωμένο αυτό νερό μπορεί να είναι ωκεάνιας προέλευσης ή να προέρχεται από «γλυκό» νερό (μετεωρικό ή μεταμορφωμένο) και είναι τυπικά μεταλλικό (Καλλέργης, 1999β).

iv) Θαλασσινό νερό, που έχει διεισδύσει στους υδροφόρους· είναι συνήθως φτωχό σε SiO₂, αλλά πλουσιότερο σε SO₄²⁻ από το συνηθισμένο συγγεντικό νερό (Καλλέργης, 1999β).

5.1.2 Συνεκτικά ψηφίτικα - «ψαμμίτικα» πετρώματα

Η σχετικά χαμηλή υδροπερατότητα, σε σχέση με τα χαλαρά ιζημάτα των πετρωμάτων αυτών (ψαμμίτες, κροκαλοπαγή, λατυποπαγή, γραουβάκες, αρκόζες), αυξάνει τον χρόνο παραμονής του νερού στο πέτρωμα (μεγάλος χρόνος επαφής νερού - πετρώματος).

Οι χαλαζιακοί ψαμμίτες, χωρίς ευδιάλυτο συνδετικό υλικό, δίνουν μαλακό, γενικά, νερό ενώ το CO_3^{2-} , σε συνθήκες χαμηλής περιεκτικότητας βάσεων στο πέτρωμα, είναι δραστικό και προκαλεί μείωση του pH σε 5 μέχρι 6.

Τα υπόλοιπα ιόντα (κυρίως Na^+ , Cl^- και SO_4^{2-}) προέρχονται από το βρόχινο νερό, που εμπλουτίζει τους υδροφόρους και ξεπερνούν την περιεκτικότητα του υπόγειου νερού σε Ca^{2+} και Mg^{2+} και HCO_3^{2-} .

Όταν τα πετρώματα της κατηγορίας αυτής περιέχουν ευδιάλυτο συνδετικό υλικό, τότε το νερό τους περιέχει, γενικά, ψηλές συγκεντρώσεις σε ιόντα SO_4^{2-} , Cl^- , Na^+ , Mg^{2+} και Ca^{2+} , που μπορεί να ξεπεράσουν, ιδιαίτερα σε θερμά κλίματα, ακόμα και εκείνες των υπόγειων νερών σε καρστικά πετρώματα (Καλλέργης, 1999β).

Υπάρχει, επίσης, σαφής διαφοροποίηση της ποιότητας του νερού στους ψαμμίτες και στους σχιστόλιθους. Το σχιστολιθικό νερό περιέχει, συνήθως, ψηλότερα ποσά Fe, F και έχει χαμηλό pH, συνήθως ανάμεσα στο 5,5 και 7,0. Το νερό των ψαμμιτών και των κροκαλοπαγών είναι, συνήθως, μαλακό και πολύ καλής ποιότητας, με περιεκτικότητα σε $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} < 20 \text{ mg/l}$ και υψηλή περιεκτικότητα σε Na^+ και HCO_3^- (Davis, 1967).

5.1.3 Πηλιτικά πετρώματα

Η ροή του νερού στα λεπτόκοκκα αυτά πετρώματα (μάργες - άργιλοι - ιλύς), με χαμηλή υδροπερατότητα, είναι πολύ αργή, με αποτέλεσμα μεγάλο χρόνο επαφής νερού - πετρώματος. Λόγω του λεπτόκοκκου δημιουργείται μεγάλη επιφάνεια επαφής νερού - πετρώματος. Με τους μηχανισμούς της προσρόφησης και ιοντικής ανταλλαγής με τα χλωριούχα και θειικά άλατα του μέσου απόθεσης των ιζημάτων (θάλασσας - λίμνης κ.λπ.), οι πηλίτες εμπλουτίζονται σε αντίστοιχα άλατα. Μέρος αυτών των αλάτων παραμένει στους πόρους των πετρωμάτων και η απόπλυσή τους γίνεται αργά, από το βραδυκίνητο υπόγειο νερό. Το TDS στους πηλιτικούς υδροφόρους είναι, γενικά, ψηλό (μερικές χιλιάδες mg/l) και, οφείλεται, κυρίως στη ψηλή συγκέντρωση SO_4^{2-} και Cl^- . Η υψηλή συγκέντρωση SO_4^{2-} συνδέεται με υψηλές συγκεντρώσεις Ca^{2+} και Mg^{2+} και οι

υψηλές συγκεντρώσεις Cl^- συνδέονται με υψηλή συγκέντρωση Na^+ . Ένα ιδιαίτερο χαρακτηριστικό αυτών των πετρωμάτων είναι η έντονη κατιοντική ανταλλαγή.

Η περιεκτικότητα σε SiO_2 είναι ψηλότερη από εκείνη στο νερό των χοντρόκοκκων ιζημάτων. Το νερό των ιλυολίθων και συμπαγών αργίλων είναι πλούσιο, γενικά, σε σίδηρο ενώ έχει χαμηλό pH (Καλλέργης, 1999β).

5.1.4 Εβαπορίτες

Η ψηλή διαλυτότητά τους εμπλουτίζει το νερό με υψηλές συγκεντρώσεις SO_4^{2-} συνδεδεμένου με ιόντα Ca^{2+} ή Mg^{2+} . Κατά τη διάλυση του ορυκτού αλατιού, οι υψηλές συγκεντρώσεις SO_4^{2-} και Cl^- που συνδέονται με ιόντα Ca^{2+} , Mg^{2+} και Na^+ δημιουργούν τιμές TDS μεγαλύτερες από 200.000 mg/l .

5.2 Η επίδραση από την παρουσία τύρφης ή λιγνίτη στους υδροφορείς

Η παρουσία στρωμάτων, φακών ή τσεπών από τύρφη (συνήθως), ή λιγνίτη (σπανιότερα), ή ακόμη φυτικών λειψάνων στους χαλαρούς ιζηματογενείς υδροφόρους, έχει σαν συνέπεια τη δημιουργία διεπιφανειών νερού - αερίου (ελειογενές αέριο). Κάτω από αναγωγικές συνθήκες τυπική είναι η παρουσία στους υδροφόρους αυτούς H_2S , NH_4^+ , Fe^{2+} , Mn^{2+} και αυξημένης συγκέντρωσης CO_2 . Το CO_2 συνδέεται με πλεονάζοντα κατιόντα, φτιάχνοντας έτσι ανθρακικά άλατα και ενώ παράλληλα, καθιζάνουν τα δυσδιάλυτα ανθρακικά άλατα των αλκαλικών γαιών. Στον πίνακα 5.1 δίνεται ο χημισμός υπόγειου νερού σε επαφή με τύρφη και λιγνίτη (Καλλέργης, 1999β).

Τα υπόγεια νερά από πεδία πετρελαίου, συνήθως, είναι θειούχα, χλωριούχα ή αλκαλικά - ανθρακούχα, όπου, συχνά, έχουν υποστεί μεταβολές του αρχικού τους χημισμού, λόγω ιοντικών ανταλλαγών και αναγωγικών διεργασιών.

Στην περίπτωση που απαντούν κοντά στην επιφάνεια του εδάφους τύρφη, λιγνίτης, υδρογονάνθρακες ή φυτικά λείψανα, είναι δυνατή η οξειδωση, λόγω αφθονίας οξυγόνου στα μικρά βάθη, των σουλφιδίων, με αποτέλεσμα να παρουσιάζεται αυξημένη συγκέντρωση θεικών ιόντων στο υπόγειο νερό.

Έχει αναφερθεί συγκέντρωση SO_4^{2-} μέχρι 1254 mg/l, λόγω οξειδωσης βαλτώδους εδάφους πλούσιου σε πυρίτες.

Πίνακας 5.1 : Χημισμός υπόγειου νερού σε επαφή με τύρφη και λιγνίτη (Καλλέργης, 1999β).

Συστατικό σε mg/l	Τύρφη	Λιγνίτης
Ca ²⁺	7	16-7,6-30
Mg ²⁺	8	6,6-4,3-16
Na ⁺	13	585-430-515
Fe ²⁺	7	0,10-0,8-0,58
Cl ⁻	20	36-6-134
SO ₄ ²⁻	16	11-400-100
CO ₃ ²⁻ +HCO ₃ ⁻	95	753-319-584
NO ₃		3-2-2
SiO ₂		12-14

5.3 Η ποιότητα του υπόγειου νερού στους μαγματίτες και μεταμορφίτες

Οι μαγματίτες και μεταμορφίτες, που έχουν την ίδια ορυκτολογική σύσταση, εξαλλοιώνονται με τις ίδιες διαδικασίες και δίνουν περίπου τα ίδια προϊόντα εξαλλοίωσης. Οι ηφαιστίτες εξαλλοιώνονται κάπως ευκολότερα, γιατί δεν περιέχουν κρυσταλλικές μορφές SiO₂ και, παρουσιάζουν σχετικά μεγαλύτερες επιφάνειες γεωχημικών αντιδράσεων. Το TDS του υπόγειου νερού των κρυσταλλικών πετρωμάτων είναι, γενικά, μικρό, λόγω της αργής εξαλλοίωσης των πυριτικών αλάτων (με εξαίρεση τις ξηρές περιοχές, όπου η έντονη εξάτμιση προκαλεί συμπύκνωση).

Χαρακτηριστική είναι η σχετικά υψηλή περιεκτικότητα του υπόγειου νερού σε SiO₂, που στους πλούσιους σε πυριτικά ορυκτά υδροφόρους φτάνει τα 25 - 55 mg/l. Στους χαλαζίτες, αργιλικούς σχιστόλιθους και φυλλίτες, πάντως, η συγκέντρωση SiO₂ είναι χαμηλότερη από 30 mg/l. Το μεγαλύτερο μέρος του ελευθερούμενου, κατά την αποσάθρωση, SiO₂ σχηματίζει με το αργίλιο αργιλοπυριτικά ορυκτά.

Τα αλκάλια και οι αλκαλικές γαίες, που ελευθερώνονται κατά την αποσάθρωση των πυριτικών ορυκτών, εμπλουτίζουν το υπόγειο νερό σε αντίστοιχα ιόντα. Το K⁺ συνδέεται με τα προϊόντα της αποσάθρωσης. Ο σίδηρος που ελευθερώνεται κατά την αποσάθρωση των μαρμαρυγιών, αμφιβόλων και πυριτών, παραμένει σε διάλυση μόνο ανάλογα με το pH και το Eh. Αξιοσημείωτες συγκεντρώσεις ιόντων σιδήρου απαντούν, συνήθως, σε αναγωγικά περιβάλλοντα. Έχει αναφερθεί συγκέντρωση σιδήρου 5,1 mg/l

σε υπόγειο νερό γάββρων. Η συγκέντρωση SO_4^{-2} και Cl^- , γενικά, δεν ξεπερνά τα 2 meq/l, με εξαίρεση τα ξηρά κλίματα.

Η οξείδωση των πυριτών δημιουργεί θειικά ιόντα. Το χλώριο προέρχεται από τη μικρή περιεκτικότητα του πετρώματος σε χλώριο, η συγκέντρωσή του δε στο νερό υπολείπεται του αθροίσματος των αλκαλίων. Συχνά, το pH είναι χαμηλό, λόγω παρουσίας των πυριτικών αλάτων. Η οξυανθρακική ρίζα, συνήθως, επικρατεί στα νερά της ομάδας αυτής των πετρωμάτων, αν και σε απόλυτες τιμές απαντά σε χαμηλότερη συγκέντρωση από τα ιόντα Cl^- και SO_4^{2-} .

Το νερό που προέρχεται από οφιόλιθους είναι πλούσιο σε Mg^{2+} σε σχέση με τη συγκέντρωση Ca^{2+} ενώ εκείνο που προέρχεται από διορίτες - συηνίτες περιέχει 25 - 50 mg/l SiO_2 . Οι χαλαζίτες, φυλλίτες και σχιστόλιθοι δίνουν νερό με περιεκτικότητα SiO_2 30 mg/l. Το νερό που προέρχεται από γρανίτες, γνεύσιους, μαρμαρυγικούς σχιστόλιθους και ρυόλιθους τείνει να είναι ελαφρά όξινο ($\text{pH} < 7$), με μέση σκληρότητα 20 - 25 mg/l και TDS μόνο 70 - 80 mg/l ενώ εκείνο από τους γάββρους, διορίτες, κερροσιλβικούς, γνεύσιους και ανδεσίτες είναι ελαφρά αλκαλικό ($\text{pH} > 7$), με μέσο TDS της τάξης των 250 mg/l και μέση αλκαλικότητα της τάξης των 150 mg/l (Le Grand, 1958).

Η βιολογική ρύπανση στους υδροφόρους αυτών των πετρωμάτων είναι ιδιαίτερα επικίνδυνη, γιατί δεν γίνεται σχεδόν καθόλου φιλτράρισμα, ιδιαίτερα όταν η υδροφορία οφείλεται στις μηχανικές ασυνέχειες (Καλλέργης, 1999β).

5.4 Κρυσταλλικά πετρώματα

Οι γρανίτες, ρυόλιθοι, γνεύσιοι και τα παρεμφερή πετρώματα περιέχουν, ως κύρια ορυκτολογικά συστατικά, χαλαζία, ορθόκλαστο, νατριούχα πλαγιόκλαστα και μαρμαρυγίες. Η αργή αποσάθρωση των ορυκτών αυτών έχει σαν αποτέλεσμα, το TDS του νερού να μη ξεπερνά τα 300 mg/l, την πολύ χαμηλή περιεκτικότητά του σε SiO_2 , την περιεκτικότητα σε αλκάλια κάτω από 2 meq/l με επικράτηση του Na^+ απέναντι στο K^+ και, τέλος, την χαμηλή περιεκτικότητα αλκαλικών γαιών (με εξαίρεση τα πλούσια σε κερροσίλβη και αυγίτη πετρώματα).

Οι σχέσεις $\text{Na}_2\text{O} / \text{K}_2\text{O}$ και CaO / MgO στο νερό των πετρωμάτων αυτής της κατηγορίας κυμαίνονται, αντίστοιχα, από 1/0,2 έως 1/0,22 και 1/0,33 - 1/0,28. Στους κερροσιλβικούς γρανίτες, διορίτες και παρεμφερή πετρώματα επικρατούν ασβεστούχα πλαγιόκλαστα και η κερροσίλβη ενώ υποχωρούν οι μαρμαρυγίες και ο χαλαζίας (στην περίπτωση του διορίτη). Το υπόγειο νερό στα πετρώματα αυτά είναι πλουσιότερο σε Ca^{2+} και SiO_2 . Ο

πίνακας 5.2 δίνει το μέσο χημισμό γρανιτικού και διοριτικού υπόγειου νερού (Καλλέργης, 1999β).

Πίνακας 5.2 : Χημισμός υπόγειου νερού σε γρανίτες και διορίτες σε mg/l (Καλλέργης, 1999β).

Παράμετρος	Υπόγειο νερό σε γρανίτες	Υπόγειο νερό σε διορίτες
pH	6,5	7,1
TDS	75	269
SiO ₂	28	34
Ολικός Fe	1,2	0,6
Ca ²⁺	5	49
Mg ²⁺	2	12
Na ⁺ , K ⁺	7	14
HCO ₃ ⁻	35	137
SO ₄ ²⁻	4	44
Cl ⁻	4	28
F ⁻	0,1	0,2
NO ₃ ⁻	2,9	4,3

5.5 Γάββροι - Βασάλτες

Τα πετρώματα αυτά είναι πλουσιότερα σε ασβεστούχα και μαγνησιούχα ορυκτά. Το υπόγειο νερό στους υδροφόρους αυτής της κατηγορίας περιέχει περισσότερο SiO₂ (συνήθως 20 - 40 mg/l). Οι αλκαλικές γαίες επικρατούν απέναντι των αλκαλίων (Ca²⁺ < 3 meq/l, Mg²⁺ < 2 meq/l, Na⁺ < 2 meq/l).

Η ομοιότητα των ελαφρά όξινων νερών των γρανιτών, γνεύσιων, μαρμαρυγιακών σχιστόλιθων και ρυολίθων με τα ελαφρά αλκαλικά νερά των γάββρων, διοριτών, κερροστιλικών γνεύσιων και ανδεσιτών κάνει προφανή την ομοιότητα των υπόγειων νερών των μαγματιτών και μεταμορφιτών που έχουν παρεμφερή ορυκτολογική σύσταση. Το υπόγειο νερό των μαρμαρυγιακών σχιστόλιθων είναι πιο πλούσιο σε αλκάλια, ενώ εκείνο των αμφιβολιτών ή αμφιβολιτικών πετρωμάτων είναι πιο πλούσιο σε αλκαλικές γαίες.

5.6 Ημιμεταμορφωμένα πετρώματα

Τα ημιμεταμορφωμένα πετρώματα (φυλλίτες και αργιλικόι σχιστόλιθοι) προσφέρουν στο υπόγειο νερό μεγαλύτερες επιφάνειες επαφής, ενώ ο χρόνος παραμονής του νερού στα πετρώματα αυτά είναι μεγαλύτερος. Έτσι, οι ιοντικές συγκεντρώσεις στο νερό τους είναι

μεγαλύτερες από εκείνες στο νερό των μαγματικών και μεταμορφωμένων πετρωμάτων με παρεμφερή ορυκτολογική σύσταση. Συχνά τα πετρώματα αυτά είναι πλούσια σε πυρίτες, με αποτέλεσμα υψηλές συγκεντρώσεις στο νερό τους SO_4^{2-} , ελεύθερου SO_2^{2-} και χαμηλές τιμές pH (Καλλέργης, 1999β).

5.7 Ηφαιστίτες

Η ποιότητα του νερού στα ηφαιστειακά πετρώματα είναι, συνήθως, από καλή μέχρι εξαιρετική. Γενικά, το νερό τείνει να είναι όξινο ανθρακικό ασβεστομαγνησιούχο ή, στην περίπτωση των όξινων ηφαιστειακών πετρωμάτων, όξινο ανθρακικό - νατριούχο με σχετικά μεγάλες ποσότητες SiO_2 . Κακή ποιότητα νερού εντοπίζεται κοντά στις θερμές πηγές ή τις ατμίδες, όπου οι συγκεντρώσεις Na^+ και Cl^- είναι συχνά απαγορευτικές, το pH είναι χαμηλό και η περιεκτικότητα ιόντων F^- είναι συχνά απαγορευτική. Η βιολογική ρύπανση αποτελεί σημαντικό κίνδυνο για την ποιότητα του νερού των ηφαιστιτών, λόγω της, γενικά, μεγάλης τους υδραυλικής αγωγιμότητας, εκτός αν καλύπτονται από παχύ μανδύα αποσάθρωσης, οπότε το νερό φιλτράρεται. Ο κίνδυνος μικροβιολογικής μόλυνσης είναι σημαντικός (Καλλέργης, 1999β).

ΚΕΦ.6 ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΠΟΣΙΜΟΥ ΝΕΡΟΥ

Στη χώρα μας ο χαρακτηρισμός της ποιότητας των πόσιμων υδάτων καθορίζεται με τη Κοινή Υπουργική Απόφαση, με αριθμό Υ2/2600/2001 (ΦΕΚ 892/Β/11-07-2001) «για την ποιότητα του πόσιμου νερού, σε συμμόρφωση προς την Οδηγία του Συμβουλίου των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων, με αριθμό 98/83/ΕΚ της 03-11-1998».

Με την απόφαση αυτή καθορίζονται οι επιτρεπόμενες τιμές των ποιοτικών χαρακτηριστικών, που χαρακτηρίζουν το νερό ως κατάλληλο για πόση. Οι τιμές των ποιοτικών χαρακτηριστικών του πόσιμου νερού πρέπει να είναι κατώτερες ή ίσες με τις τιμές, που προσδιορίζονται από τον τίτλο ως «Ανώτατη Παραδεκτή Συγκέντρωση» και να προσεγγίζουν τις τιμές που προσδιορίζονται με τον τίτλο «Ενδεικτικό Επίπεδο».

Παρεκκλίσεις από τις τιμές αυτές επιτρέπονται, προκειμένου να αντιμετωπιστούν : α) συνθήκες που έχουν σχέση με τη φύση και τη σύσταση του εδάφους στην περιοχή, η οποία τροφοδοτεί την υπό εξέταση πηγή, β) συνθήκες που έχουν σχέση με εξαιρετικά μετεωρολογικά φαινόμενα ή πρόσκαιρες τεχνικές δυσχέρειες.

Οι παρεκκλίσεις δεν αφορούν, σε καμία περίπτωση, τους τοξικούς ή μικροβιολογικούς παράγοντες, και σε κάθε περίπτωση, πρέπει να αποκλείουν τους κινδύνους για τη δημόσια υγεία.

Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του πόσιμου νερού, σύμφωνα με την απόφαση, που προαναφέρθηκε, ταξινομούνται σε έξι (6) κατηγορίες (Ζανάκη, 2001) :

- A.** Οργανοληπτικές παράμετροι
- B.** Φυσικοχημικές παράμετροι
- Γ.** Παράμετροι που αφορούν τις ανεπιθύμητες ουσίες
- Δ.** Παράμετροι που αφορούν τις τοξικές ουσίες
- Ε.** Μικροβιολογικές παράμετροι

ΣΤ. Ελάχιστη απαιτούμενη συγκέντρωση για το πόσιμο νερό που έχει υποστεί κατεργασία αποσκλήρυνσης

Για την παρουσία ραδιενεργών ουσιών, στο νερό, ισχύουν τα ανώτατα όρια που καθορίζονται στην Υ.Α Γ3α/761 της 26-03-1968

Οι επιτρεπόμενες τιμές για τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του πόσιμου νερού είναι, ανά κατηγορία, οι εξής (πίνακας 6.1) :

Πίνακας 6.1 : Όρια ποιότητας πόσιμου νερού (ΦΕΚ 892/Β/11 – 07 - 2001).

A. Οργανοληπτικές παράμετροι

α/α	Παράμετρος	Έκφραση των αποτελεσμάτων	Ανώτατη παραδεκτή συγκέντρωση
1	Χρώμα	mg/l κλίμακα Pt/Co	Αποδεκτό για τους καταναλωτές και άνευ ασυνήθους μεταβολής
		m δίσκου Secchi	
2	Θολρότητα	mg/l SiO ₂	Αποδεκτό για τους καταναλωτές και άνευ ασυνήθους μεταβολής
		Μονάδες Jackson	
3	Οσμή	Ποσοστό διαλύσεως	Αποδεκτό για τους καταναλωτές και άνευ ασυνήθους μεταβολής
4	Γεύση	Ποσοστό διαλύσεως	Αποδεκτό για τους καταναλωτές και άνευ ασυνήθους μεταβολής

B. Φυσικοχημικές παράμετροι

α/α	Παράμετρος	Έκφραση των αποτελεσμάτων	Ενδεικτικό επίπεδο	Ανώτατη παραδεκτή συγκέντρωση	Παρατηρήσεις
5	Θερμοκρασία	°C	12	25	
6	Συγκέντρωση σε ιόντα υδρογόνου	μονάδα pH	6,5< pH<9,5	9,5	
7	Αγωγιμότητα	μS/cm, 20 °C	400	2500	Σε αντιστοιχία με την συγκέντρωση μεταλλοίωντων στο δείγμα
8	Χλώριο	mg/l Cl ⁻	25	250	
9	Θειικά	mg/l SO ₄ ²⁻	25	250	
10	Πυρίτιο	mg/l SiO ₂			
11	Ασβέστιο	mg/l Ca ²⁺	100		
12	Μαγνήσιο	mg/l Mg ²⁺	30	50	
13	Νάτριο	mg/l Na ⁺	20	200	
14	Κάλιο	mg/l K ⁺	10	12	
15	Αργίλιο	mg/l Al ³⁺	0,05	0,2	
16	Ολική Σκληρότητα	mg/l Ca	30 (ή 150 CaCO ₃)		Αναφέρεται σε νερά που έχουν υποστεί αποσκληρυνση
17	Ξηρό υπόλειμμα	mg/l, 180 °C		1500	
18	Διαλυμένο οξυγόνο	% O ₂ κορεσμού			Τιμή κορεσμού>75% εκτός των υπόγειων νερών
19	Ελεύθερο διοξείδιο του άνθρακα	mg/l CO ₂			Το νερό δεν πρέπει να είναι δραστικό

Γ. Παράμετροι που αφορούν τις ανεπιθύμητες ουσίες

α/α	Παράμετρος	Έκφραση των αποτελεσμάτων	Ενδεικτικό επίπεδο	Ανώτατη παραδεκτή συγκέντρωση	Παρατηρήσεις
20	Νιτρικά	mg/l NO ₃ ⁻	25	50	
21	Νιτρώδη	mg/l NO ₂ ⁻		0,5	
22	Αμμώνιο	mg/l NH ₄ ⁺	0,05	0,5	
23	Άζωτο	μg/l N		1	
24	Σίδηρος	μg/l Fe	50	200	
25	Μαγγάνιο	μg/l Mn	20	50	
26	Χαλκός	μg/l Cu	2000		Στην έξοδο των εγκαταστάσεων άντλησης 3.000. Ύστερα από 12 ωρών ηρεμία στις σωληνώσεις και σε σημεία κατανάλωσής του
27	Ψευδάργυρος	μg/l Zn	100		Στην έξοδο των εγκαταστάσεων άντλησης 5.000. Ύστερα από 12 ωρών ηρεμία στις σωληνώσεις και σε σημεία κατανάλωσής του
28	Φώσφορος	μg/l P ₂ O ₅	400	5000	
29	Φθόριο	μg/l F ⁻ 8-12°C		1500	
		25-30°C		700	
30	Χλώριο υπολειμματικό	μg/l Cl ⁻			
31	Άργυρος	μg/l Ag		10	

ΚΕΦ.7 ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΝΕΡΟΥ ΑΓΥΙΑΣ - ΚΟΥΦΟΥ

7.1 Δειγματοληψία - Γενικά

Ως δειγματοληψία νοείται το σύνολο των διαδικασιών επιλογής, συλλογής, διατήρησης και μεταφοράς προς ανάλυση μιας ενδεικτικής ποσότητας ενός υλικού. Η ποσότητα αυτή (δείγμα) πρέπει να ανταποκρίνεται στα χαρακτηριστικά του προς ανάλυση υλικού και να επιτρέπει την αναγωγή των παραμέτρων που θα προσδιοριστούν στο δείγμα, στο αρχικό υλικό.

Το δείγμα πρέπει να είναι αντιπροσωπευτικό του αρχικού υλικού. Η αντιπροσωπευτικότητα εξασφαλίζεται με επιλογή των κατάλληλων σημείων και του χρόνου δειγματοληψίας καθώς και τη διατήρηση αναλλοίωτου του δείγματος μέχρι την έναρξη της ανάλυσης (*Ζανάκη, 2001*).

7.2 Δειγματοληψία στην περιοχή μελέτης

Στη παρούσα διπλωματική εργασία συλλέγονταν δείγματα από οχτώ θέσεις μια φορά το μήνα. Πολλές φορές οι θέσεις υδρογεωτρήσεων ήταν εκτός λειτουργίας. Όποτε αυτό ήταν δυνατό, μετά από συνεννόηση με τους υπεύθυνους, ορισμένες από τις υδρογεωτρήσεις τίθονταν σε λειτουργία για τις ανάγκες της δειγματοληψίας. Η δειγματοληψία γίνονταν μετά από αναμονή 15 περίπου λεπτών από την έναρξη της λειτουργίας της υδρογεώτρησης, ώστε στην αντλία να ρέει νερό του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα. Στις αναβλύσεις των πηγών της Αγυιάς, το δείγμα παίρνονταν αμέσως αφού οι πηγές έρεαν συνεχώς. Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικά όλα τα αποτελέσματα των αναλύσεων.

Στον *πίνακα 7.1* φαίνονται τα σημεία δειγματοληψίας από τα οποία συλλέχθηκαν δείγματα. Όπως προκύπτει από τον *Πίνακα 7.1* από το κάθε σημείο δειγματοληψίας συλλέγεται δείγμα μία φορά το μήνα περίπου, ξεκινώντας την πρώτη δειγματοληψία στις 20 – 05 – 03. Τα δείγματα αποθηκεύονταν σε ειδικές φιάλες περιεκτικότητας 1,5 lt.

Όπως φαίνεται στον *πίνακα 7.1*, δεν ήταν πάντα δυνατή η δειγματοληψία από όλα τα σημεία.

Πίνακας 8.1 : Θέσεις και ημερομηνίες δειγματοληψίας

	Δειγμ. 1 20/05/03	Δειγμ. 2 04/08/03	Δειγμ. 3 20/08/03	Δειγμ. 4 17/09/03	Δειγμ. 5 06/11/03	Δειγμ. 6 02/12/03	Δειγμ. 7 19/12/03
ΠΗΓΗ ΚΟΥΦΟΥ	√						
ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΚΟΥΦΟΥ (N1α)	√	√	√	√		√	√
ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΚΟΥΦΟΥ (N1β)		√	√	√		√	√
ΠΗΓΗ ΚΑΛΑΜΙΩΝΑΣ ΑΓΥΙΑΣ (N2)	√	√	√	√	√	√	√
ΠΗΓΗ ΒΡΥΣΙΔΙΑ ΑΓΥΙΑΣ (N3)	√	√	√	√	√	√	√
ΠΗΓΗ ΠΛΑΤΑΝΟΣ ΑΓΥΙΑΣ (N4)	√	√	√	√	√	√	√
ΑΝΤΛΟΣΤΑΣΙΟ ΧΩΡΙΟΥ ΑΓΥΙΑΣ (N5)			√	√	√		
ΠΗΓΗ ΚΟΛΥΜΠΑ ΑΓΥΙΑΣ (N6)			√	√			
ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΜΥΛΩΝΙΑΝΩΝ (N7)					√		
ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΜΥΛΩΝΙΑΝΩΝ M3 (N8)						√	√

7.3 Συντήρηση Δειγμάτων και Εκτέλεση χημικών αναλύσεων

Όταν το δείγμα νερού φτάσει στην επιφάνεια, εκτίθεται σε διαφορετικές φυσικοχημικές συνθήκες από εκείνες του υδροφόρου, με αποτέλεσμα να αλλοιώνεται η χημική του σύσταση (π.χ οξείδωση του Fe^{2+} και H_2S που ενδημούν σε αναγωγικά νερά, απελευθέρωση CO_2 που συνεπάγεται μεταβολές του pH, της αλκαλικότητας και του TIC (ολικός ανόργανος άνθρακας) που μπορεί να συνεπάγονται την καθίζηση των ανθρακικών κ.λ.π). Για την πρόληψη των μεταβολών αυτών πρέπει να λαμβάνονται τα κατάλληλα μέτρα όπως **συντήρηση** και **επιτόπου μετρήσεις**.

Στη παρούσα διπλωματική εργασία για τη συντήρηση των δειγμάτων, τα δείγματα ψύχονταν στους 4 °C στο Εργαστήριο Ελέγχου Ποιότητας Νερού του τμήματος Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος. Βέβαια, οι αναλύσεις των περισσότερων παραμέτρων ήταν άμεσες. Μικρή ποσότητα δείγματος οξινίζονταν με πυκνό HNO_3 σε τελική συγκέντρωση 2% κ.ο. Η οξίνιση διακόπτει την ανάπτυξη των περισσότερων βακτηρίων και μπλοκάρει τις οξειδωτικές αντιδράσεις ενώ προλαμβάνει την προσρόφηση ή καθίζηση των κατιόντων. Πριν την οξίνιση το δείγμα νερού πρέπει να φιλτραριστεί ώστε να απομακρυνθούν τα αιωρούμενα στερεά τα οποία θα μπορούσαν να διαλυθούν με την προσθήκη οξέος. Η συνήθης τεχνική συνίσταται στη διήθηση του δείγματος σε φίλτρα μεμβράνης 0.45 μm ή ακόμα καλύτερα 0.1 μm ώστε να συγκρατηθούν και λεπτομερώς διεσπαρμένα οξείδια και υδροξείδια του Fe και Al (Καλλέργης, 1999β). Η διαδικασία αυτή ακολουθήθηκε για τα δείγματα που αναλύθηκαν κατά την εκπόνηση της εργασίας αυτής.

Όλα τα δείγματα μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο, χωρίστηκαν σε δύο μέρη, το ένα εκ των οποίων οξινίστηκε με HNO_3 , σε τελική συγκέντρωση 2% κ.ο.

Στα μη οξινισμένα δείγματα πραγματοποιήθηκαν οι αναλύσεις προσδιορισμού pH, ηλεκτρικής αγωγιμότητας, θολερότητας, διαλυμένου οξυγόνου, ολικής σκληρότητας, BOD, ξηρού υπολείμματος, ιόντων Cl^- , NO_3^- , PO_4^{3-} , SO_4^{2-} , NH_4^+ την ίδια μέρα της δειγματοληψίας.

Τα οξινισμένα δείγματα διατηρήθηκαν σε θερμοκρασία 4 °C μέχρι να χρησιμοποιηθούν για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης των μετάλλων, όπως περιγράφεται παρακάτω.

7.4 Οργανοληπτικά Χαρακτηριστικά

7.4.1 Θολερότητα (Turbidity)

Θολερότητα είναι μια έκφραση της οπτικής ιδιότητας ενός δείγματος νερού να σκεδάζει και να απορροφά το φως που διέρχεται από αυτό και να μη το μεταδίδει σε ευθεία γραμμή. Η μέτρηση της θολερότητας είναι μια σημαντική μέτρηση στην εξέταση των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων, γιατί η διαύγεια του νερού επηρεάζει τους υδρόβιους οργανισμούς και τις χρήσεις των νερών (Ζανάκη., 2001).

Η θολερότητα του νερού οφείλεται σε κολλοειδείς ανόργανες ή οργανικές ύλες που αιωρούνται. Νερό που είναι θολό πρέπει να ελεγχθεί για ρύπανση. Επίσης τα αιωρούμενα στερεά καθιζάνουν και δημιουργούν προβλήματα στις σωληνώσεις και στις δεξαμενές. Κατανάλωση θολού νερού μπορεί να είναι επικίνδυνη για την υγεία. Η απολύμανση του πόσιμου νερού δεν είναι αποτελεσματική αν υπάρχει θολότητα, γιατί πολλοί παθογόνοι οργανισμοί εγκλωβίζονται στα σωματίδια που αιωρούνται και προστατεύονται από το απολυμαντικό. Επίσης τα σωματίδια μπορεί να απορροφήσουν επιβλαβείς οργανικές ή ανόργανες ουσίες. Το πόσιμο νερό πρέπει να είναι διαυγές όταν φτάσει στον καταναλωτή. (http://waterinfo.gr/eedyp/Paros_papers/pappa_g.pdf)

Υπάρχουν πολλοί μέθοδοι για τον προσδιορισμό της θολερότητας. Στις αναλύσεις των δειγμάτων Αγυιάς – Κουφού χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της νεφελομετρίας. Ο προσδιορισμός της θολερότητας με αυτή τη μέθοδο, γίνεται με όργανα γνωστά ως νεφελόμετρα ή θολερόμετρα. Τα όργανα αυτά αποτελούνται από μια πηγή φωτός, ένα ή δύο φωτοηλεκτρικούς ανιχνευτές (φωτοκύτταρα) και διάταξη ανάγνωσης της έντασης του φωτός που διέρχεται από το δείγμα. Ο βαθμός σκέδασης του φωτός από το δείγμα, σε σχέση με ένα πρότυπο αιώρημα αναφοράς αντιστοιχεί σε θολερότητα, που εκφράζεται σε μονάδες N.T.U (Nephelometric turbidity units). Ως αιώρημα αναφοράς, χρησιμοποιείται πολυμερές της φορμαζίνης ή οξειδίο του πυριτίου.

7.4.2 Θερμοκρασία (Temperature)

Το υπόγειο νερό παίρνει τη θερμοκρασία του υδροφόρου ορίζοντα μέσα στον οποίο βρίσκεται αποθηκευμένο. Η θερμοκρασία αυτή του υπόγειου νερού, αν εξαιρέσουμε τις διάφορες πυρηνικές αντιδράσεις που ελευθερώνουν θερμότητα, προέρχεται τόσο από την ανταλλαγή θερμότητας με τον αέρα, όσο και από την προσροή θερμότητας από τον πυρήνα της Γης. Μπορούμε να διακρίνουμε τρεις ζώνες μέσα στο υπέδαφος. Την "ανώτατη ζώνη" που υφίσταται συνεχώς την επίδραση της θερμοκρασίας του αέρα, οι μεταβολές της οποίας γίνονται αισθητές και στο υπόγειο νερό. Την "κατώτερη ζώνη" όπου παρουσιάζεται ροή θερμότητας από τον πυρήνα, οπότε και η θερμοκρασία του υπόγειου νερού είναι υψηλότερη από τη μέση ετήσια θερμοκρασία του αέρα και η "ενδιάμεση ζώνη", όπου η θερμοκρασία του υπόγειου νερού αντιστοιχεί στη μέση ετήσια θερμοκρασία του αέρα. Το πάχος της ανώτερης ζώνης κυμαίνεται ανάλογα με τις κλιματικές συνθήκες. Διάφορες θερμοκρασιακές ανωμαλίες που μπορούν να παρουσιαστούν στην ενδιάμεση και κατώτατη ζώνη με αρκετά μεγάλη ένταση, μπορούν να οφείλονται σε φυσικές ανθρωπογενείς αιτίες.

Από τις φυσικές ιδιότητες του νερού η πιο σημαντική είναι η θερμοκρασία. Από το βαθμό της θερμοκρασίας και τις διακυμάνσεις της εξακριβώνονται πολλές σχέσεις ανάμεσα στο νερό και στο περιβάλλον του, οι οποίες δε θα μπορούσαν να εξακριβωθούν με κανένα άλλο τρόπο (Δημόπουλος, 1983).

Η θερμοκρασία του νερού επηρεάζει τη γεύση του . Όσο αυξάνεται η θερμοκρασία το νερό είναι λιγότερο εύγευστο γιατί εκδιώκονται τα διαλυμένα σ' αυτό αέρια . Η πλέον ευχάριστη γεύση είναι μεταξύ 5-15 °C (κυρίως 9-10 °C).

Όταν η θερμοκρασία του νερού υπερβαίνει τους 15 °C πολλαπλασιάζονται τα τυχόν υπάρχοντα σε αυτό μικρόβια . Επίσης ελαττώνεται η ικανότητα του να διαλύει αέρια , ενώ αυξάνει η διαλυτότητα σε στερεά , ή και επιταχύνονται οι βιολογικές δράσεις . Επίσης αυξάνει το ποσό του απαιτούμενου χλωρίου και ευνοεί την ανάπτυξη των αλγών με συνέπεια την εμφάνιση δυσάρεστων οσμών και γεύσεων (http://waterinfo.gr/eedyp/Paros_papers/pappa_g.pdf).

Εκτός από τη θερμοκρασία, το ιξώδες και η συμπίεστικότητα του υπόγειου νερού είναι ακόμη δύο φυσικές ιδιότητες χωρίς όμως μεγάλη σημασία (Δημόπουλος, 1983). Στην παρούσα διπλωματική εργασία γίνονταν επιτόπιες μετρήσεις της θερμοκρασίας στη θέση όπου συλλέγονταν το κάθε δείγμα με ψηφιακό θερμομέτρο του εργαστηρίου.

7.5 Φυσικά Χαρακτηριστικά

7.5.1 pH

Η μέτρηση του pH είναι μια από τις σημαντικότερες και βασικότερες μετρήσεις κατά την εξέταση των υδάτων. Σε δεδομένη θερμοκρασία, το pH δείχνει πόσο όξινο ή αλκαλικό είναι ένα διάλυμα, ή το βαθμό ιονισμού του διαλύματος. Με το pH δεν μετράται η οξύτητα ή αλκαλικότητα του δείγματος, όμως τιμές pH μικρότερες από 7, δείχνουν μια τάση του δείγματος προς την οξύτητα και οι τιμές pH μεγαλύτερες από 7 δείχνουν μια τάση προς την αλκαλικότητα. Στα νερά φυσικής προέλευσης, το pH κυμαίνεται συνήθως από 6,5 έως 8,5 (χωρίς να αποκλείονται ακραίες τιμές).

Στις αναλύσεις των δειγμάτων Αγιάς – Κουφού έγινε ο ηλεκτρομετρικός προσδιορισμός του pH με πεχάμετρο (Hach, model 51935-00). Το όργανο αυτό αποτελείται από ποτενσιόμετρο, με αισθητήρια από ηλεκτρόδια υάλου (σύνθετο ηλεκτρόδιο) (Ζανάκη, 2001).

7.5.2 Ηλεκτρική Αγωγιμότητα (Electrical Conductivity)

Μετράται η ειδική αντίσταση ή η ειδική αγωγιμότητα ενός κύβου νερού, ίσου με 1 cm^3 , που βρίσκεται μεταξύ δύο παράλληλων ηλεκτροδίων πλατίνας. Ο βαθμός αντίστασης εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά των αγώγιμων συστατικών του εξεταζόμενου δείγματος.

Η μέτρηση της αγωγιμότητας γίνεται με ειδικά όργανα γνωστά έως αγωγιμόμετρα (Hach, model 51975-00). Τα όργανα αυτά μετρούν την αντίσταση του διαλύματος ή την τάση του εναλλασσόμενου ρεύματος. Τα αγωγιμόμετρα, συνήθως αποτελούνται από μια πηγή εναλλασσόμενου ρεύματος, γέφυρα Wheatstone και κύτταρο αγωγιμότητας και δίνουν κατευθείαν την τιμή της αγωγιμότητας.

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα σε αντίθεση με την αγωγιμότητα των μετάλλων αυξάνει με την αύξηση της θερμοκρασίας. Σημαντικές διαφορές στις μετρήσεις προέρχονται συνήθως από τη διαφορετική θερμοκρασία μέτρησης, γι' αυτό, η μέτρηση της αγωγιμότητας πρέπει πάντα να πραγματοποιείται σε σταθερή θερμοκρασία (συνήθως $20 \text{ }^\circ\text{C}$) η οποία και αναγράφεται δίπλα στο αποτέλεσμα της μέτρησης (Ζανάκη, 2001).

Κατά την εκπόνηση της εργασίας αυτής οι μετρήσεις της ηλεκτρικής αγωγιμότητας πραγματοποιήθηκαν αμέσως μετά τη μεταφορά των δειγμάτων στο εργαστήριο και πριν την αποθήκευσή τους στο ψυγείο.

7.5.3 Σκληρότητα (Hardness)

Η σκληρότητα του νερού είναι μια χαρακτηριστική ιδιότητα του νερού που οφείλεται στην παρουσία διαλυμένων αλάτων ασβεστίου και μαγνησίου δεσμευμένων με ανθρακικά και όξινα ανθρακικά ιόντα σχηματίζοντας ενώσεις $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$, CaCO_3 κτλ.

Μεγάλες τιμές σκληρότητας δεν αποτελούν κίνδυνο για την υγεία αντιθέτως έχει βρεθεί σημαντική συσχέτιση μεταξύ αυξημένης σκληρότητας και μείωσης των καρδιαγγειακών παθήσεων

Νερό με σκληρότητα μέχρι και 500 mg/l CaCO_3 μπορεί να χρησιμοποιηθεί για πόσιμο, αλλά οι πιο καλές τιμές είναι μεταξύ 80 και 150 mg/l CaCO_3 (http://waterinfo.gr/eedyp/Paros_papers/pappa_g.pdf).

Ο προσδιορισμός της σκληρότητας στις αναλύσεις αυτής της διπλωματικής εργασίας έγινε με τη μέθοδο EDTA . Αυτή η μέθοδος βασίζεται στην από κοινού δέσμευση των ιόντων ασβεστίου και μαγνησίου από το δινάτριο άλας του αιθυλενοδιαμινοτετραοξικού οξέος (EDTA) σε αλκαλικό περιβάλλον παρουσία δείκτη Eriochrome Black T (Ζανάκη, 2001). Στη συνέχεια τα αποτελέσματα εκφράστηκαν σε mg/l CaCO_3 σύμφωνα με τη σχέση :

$$\text{Σκληρότητα(EDTA) σε mg/l CaCO}_3 = \frac{A \cdot B \cdot 1000}{\text{ml δείγματος}}$$

όπου A : ml του διαλύματος EDTA που χρησιμοποιήθηκαν

B : mg CaCO_3 που περιέχονται σε 1,00 ml διαλύματος EDTA

Όλες οι αναλύσεις σκληρότητας πραγματοποιήθηκαν την ημέρα της δειγματοληψίας και γίνονταν δύο φορές για μεγαλύτερη ακρίβεια.

7.5.4 Στερεό Υπόλειμμα

Ο όρος «στερεά» ή «στερεό υπόλειμμα» αναφέρεται στην περιεκτικότητα ενός δείγματος νερού σε σωματίδια. Η παρουσία στερεών στο νερό επηρεάζει την ποιότητά του.

Η μέτρηση του ολικού στερεού υπολείμματος ή των ολικών στερεών έγινε με εξάτμιση ορισμένης ποσότητας δείγματος, σε κωνική φιάλη, στους 103 – 105 °C. Η ποσότητα του δείγματος που χρησιμοποιήσαμε ήταν 100 gr. Για μεγαλύτερη ακρίβεια

χρησιμοποιήθηκε αναλυτικός ζυγός για τη μέτρηση της ποσότητας του προς εξάτμιση δείγματος και κατόπιν έγινε αναγωγή της μάζας του δείγματος σε όγκο θεωρώντας την πυκνότητά του ίση με 1 g/ml. Η διαφορά του απόβαρου της φιάλης από το μικτό βάρος της κωνικής φιάλης και στερεού υπολείμματος, δίνουν το βάρος του στερεού υπολείμματος. Η τιμή εκφράστηκε σε g/ml σύμφωνα με τη σχέση :

$$\text{Ολικά στερεά ή ολικό στερεό υπόλειμμα, g/l} = \frac{(A - B) \cdot 1000}{\text{ml δείγματος}}$$

Όπου A : βάρος υπολείμματος και βάρος κωνικής φιάλης

Στα ολικά στερεά περιλαμβάνονται τα αιωρούμενα και διαλυμένα στερεά, που περιέχονται στο δείγμα (Ζανάκη, 2001) .

7.6 Ανόργανα Συστατικά

7.6.1 Νιτρικά Ιόντα (NO_3^-)

Τα νιτρικά ιόντα αποτελούν το τελικό στάδιο οξειδωσης των αζωτούχων ενώσεων :



Στα επιφανειακά και υπόγεια νερά οι συγκεντρώσεις των νιτρικών είναι συνήθως μικρές. Η παρουσία υψηλών συγκεντρώσεων στα υπόγεια και επιφανειακά νερά, είναι δείκτης ρύπανσης των υδάτων από λιπάσματα ή λύματα και απόβλητα.

Για τον προσδιορισμό των νιτρικών ιόντων χρησιμοποιήθηκε ημιποσοτική μέθοδος με Kit (MERCK 1.09713.0001) με εύρος 0,1 - 25,00 mg/l NO_3^- - N και φωτόμετρο (MERCK, NOVA 60).

7.6.2 Αμμωνιακά Ιόντα (NH_4^+)

Για τον προσδιορισμό των αμμωνιακών ιόντων χρησιμοποιήθηκε ημιποσοτική μέθοδος με Kit (MERCK 1.14752.0001) και η χρήση φωτομέτρου (MERCK, NOVA 60). Το εύρος των μετρούμενων συγκεντρώσεων που παρέχει αυτή η μέθοδος είναι 0,01 – 3,00 mg/l NH_4^+ - N. Ο προσδιορισμός της συγκέντρωσης των αμμωνιακών ιόντων έγινε αμέσως μετά τη μεταφορά των δειγμάτων στο εργαστήριο.

7.6.3 Φωσφορικά Ιόντα (PO_4^{3-})

Στα επιφανειακά νερά ο φώσφορος απαντάται σε πολλές μορφές, πιο συχνά με τη μορφή ορθοφωσφορικών (H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} , PO_4^{3-}) και πολυφωσφορικών ιόντων, ως

οργανικός φώσφορος, δεσμευμένος σε οργανικές ενώσεις (Ζανάκη, 2001). Η παρουσία του φωσφόρου στα επιφανειακά νερά, οφείλεται σε πολλές πηγές, φυσικής ή ανθρωπογενούς προέλευσης. (Κουϊμτζή, 1998).

Για τον προσδιορισμό των φωσφορικών ιόντων χρησιμοποιήθηκε ημιποσοτική μέθοδος με Kit (MERCK 1.14848.0001) και φωτόμετρο (MERCK, NOVA 60). Το εύρος των συγκεκριμένων αυτών Kit είναι 0,01 - 5,00 mg/l PO_4^{3-} - P.

7.6.4 Διαλυμένο Οξυγόνο (Dissolved Oxygen)

Η συγκέντρωση οξυγόνου στο νερό επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες όπως η θερμοκρασία, η πίεση, η ηλιοφάνεια, ο κυματισμός, τα ρέματα, η περιεκτικότητα σε ανόργανα άλατα και οργανικές ουσίες, το περιεχόμενο σε μικροοργανισμούς και άλλα. Από τους παράγοντες αυτούς, εκείνοι που επηρεάζουν περισσότερο τη διαλυτότητα του οξυγόνου στο νερό, είναι η θερμοκρασία (αυξανόμενης της θερμοκρασίας μειώνεται η διαλυτότητα του οξυγόνου στο νερό και αντιστρόφως), η αλατότητα (αυξανόμενης της αλατότητας μειώνεται η διαλυτότητα του οξυγόνου στο νερό και αντιστρόφως), και η πίεση (αυξανόμενης της πίεσης μειώνεται η διαλυτότητα του οξυγόνου στο νερό και αντιστρόφως).

Ο προσδιορισμός του διαλυμένου οξυγόνου έγινε με την ηλεκτροχημική μέθοδο η οποία βασίζεται στη μέτρηση του ρυθμού διάχυσης του μοριακού οξυγόνου, διαμέσου μεμβράνης. Η μέτρηση γίνεται με τη χρήση κατάλληλου ηλεκτροδίου (Hach, model 51970-03), συνδεδεμένου με συσκευή που μετατρέπει τα προσλαμβανόμενα ηλεκτροχημικά σήματα σε αριθμητική ένδειξη (Ζανάκη, 2001).

7.6.5 Χλώριο (Cl⁻)

Το χλώριο υπό τη μορφή χλωριόντων, αποτελεί ένα από τα βασικά ανόργανα ανιόντα των υδάτων. Στα φυσικά επιφανειακά και υπόγεια νερά, η συγκέντρωση των χλωριόντων διαφέρει και εξαρτάται κυρίως από τη χημική σύσταση των πετρωμάτων από τα οποία διέρχεται το νερό.

Στη παρούσα διπλωματική εργασία τα χλώρια υπολογίστηκαν με τη μέθοδο του νιτρικού αργύρου (μέθοδος Mohr). Σε ουδέτερο ή ελαφρά αλκαλικό περιβάλλον (pH 8,3) και παρουσία δείκτη χρωμικού καλίου, γίνεται ποσοτική καταβύθιση των χλωριόντων, με σχηματισμό χλωριούχου αργύρου και χρωμικού αργύρου. Ο χλωριούχος άργυρος έχει καταβυθιστεί ποσοτικά όταν αρχίζει να εμφανίζεται το κόκκινο χρώμα του χρωμικού

αργύρου. Τα αποτελέσματα εκφράστηκαν σε mg/l σύμφωνα με την παρακάτω σχέση (Ζανάκη, 2001) :

$$\text{mg/l Cl}^- = \frac{(A-B) \cdot N \cdot 35.450}{C}$$

όπου A : ml διαλύματος AgNO₃ που καταναλώθηκαν για το δείγμα

B : ml διαλύματος AgNO₃ που καταναλώθηκαν για το λευκό

N : η κανονικότητα του διαλύματος AgNO₃

C : ml δείγματος

7.6.6 Θειικά Ιόντα (SO₄⁻²)

Η παρουσία των θειικών ιόντων στα επιφανειακά και υπόγεια νερά, μπορεί να προέρχεται από τη γεωλογική σύσταση των πετρωμάτων, από τα οποία διέρχεται το νερό ή από ορισμένες χρήσεις του νερού από τον άνθρωπο. Η συγκέντρωση των θειικών ιόντων στα φυσικά νερά, παρουσιάζει μεγάλες διακυμάνσεις, ανάλογα με το είδος των πετρωμάτων, από τα οποία διέρχονται και το είδος και την ένταση των ανθρώπινων δραστηριοτήτων (Ζανάκη, 2001).

Τα θειικά ιόντα υπολογίστηκαν με Kit (MERCK 14548). Τα συγκεκριμένα Kit μπορούν να μετρήσουν θειικά ιόντα τα οποία κυμαίνονται από 5 έως 250 mg/l. Όταν τα δείγματα ήταν εκτός αυτών των ορίων έγινε αραιώση 1:5 με απιονισμένο νερό για να υπολογιστούν τα θειικά ιόντα με ακρίβεια.

7.6.7 Ασβέστιο (Calcium – Ca)

Υπάρχει σε όλα τα φυσικά νερά και προέρχεται από τα πετρώματα (ασβεστόλιθος, δολομίτης, γύψος) δια μέσου των οποίων διέρχεται το νερό . Η συγκέντρωση ασβεστίου μπορεί να κυμαίνεται από μηδέν μέχρι μερικές εκατοντάδες mg/l ανάλογα με την προέλευση του νερού και συμβάλλει στην ολική σκληρότητά του. Δεν έχει αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία (http://waterinfo.gr/eedyp/Paros_papers/pappa_g.pdf). Τα δείγματα που αναλύθηκαν για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης Ca, Mg, K είχαν οξινοσθεί μετά από κάθε δειγματοληψία με HNO₃ (τελική συγκέντρωση 2% κ.ο.) και αποθηκευθεί σε θερμοκρασία 4 °C.

Για τον προσδιορισμό του ασβεστίου χρησιμοποιήθηκε φασματοφωτόμετρο ατομικής απορρόφησης (Perkin – Elmer AA 700) σε κάθε δείγμα. Κάθε μέτρηση επαναλήφθηκε

δύο φορές και στα αποτελέσματα παρουσιάζεται η μέση τιμή. Η φασματοφωτομετρία ατομικής απορρόφησης (ΦΑΑ) βασίζεται στη μέτρηση της απορρόφησης ακτινοβολίας χαρακτηριστικού μήκους κύματος από ελεύθερα ουδέτερα άτομα ενός στοιχείου που βρίσκονται στη θεμελιώδη κατάσταση. Τα ουδέτερα αυτά άτομα του στοιχείου προέρχονται από ατομοποίηση.

Η ατομοποίηση του προσδιοριζόμενου στοιχείου γίνεται είτε με φλόγα (οπότε έχουμε την φλογοφασματοφωτομετρία ατομικής απορρόφησης, ΦΦΑΑ), είτε με ηλεκτρικά θερμαινόμενο κλίβανο (οπότε έχουμε την φασματοφωτομετρία ατομικής απορρόφησης με φούρνο γραφίτη).

Η διέγερση των ατόμων γίνεται με απορρόφηση ακτινοβολίας, η οποία παράγεται από μία εξωτερική πηγή και διαβιβάζεται μέσα από το νέφος των ατόμων. Η ενέργεια που παρέχεται αντιστοιχεί σε αυτή που απαιτείται για μία ηλεκτρονική μετάπτωση από την θεμελιώδη κατάσταση σε μία διεγερμένη κατάσταση. Η θερμοκρασία της φλόγας πρέπει να διατηρείται κατά το δυνατό χαμηλή σε τέτοιο επίπεδο, ώστε η ενέργεια της φλόγας να επαρκεί για την ατομοποίηση του προσδιοριζόμενου στοιχείου αλλά να μην προκαλεί διέγερση των ατόμων. Στην ΦΑΑ ενδιαφέρει ο αριθμός των ατόμων στη θεμελιώδη κατάσταση, ο οποίος αντιπροσωπεύει την πλειονότητα των ατόμων μέσα στη φλόγα.

Η φλόγα δημιουργήθηκε από την καύση μείγματος ακετυλενίου – αέρα και χρησιμοποιήθηκε λάμπα ασβεστίου κοίλης καθόδου για τον προσδιορισμό του ασβεστίου.

Η τεχνική της φασματοφωτομετρίας ατομικής απορρόφησης βασίζεται στο νόμο του Beer και διατυπώνεται με την σχέση :

$$(2) A = \log(P_0/P) = 0.434 k_v L = \lambda_1 N_0 L = \lambda_2 C$$

όπου :

A = απορρόφηση,

P₀ = η ισχύς της ακτινοβολίας που προσπίπτει στο νέφος των ατόμων,

P = η ισχύς της εξερχόμενης ακτινοβολίας, μετά την δίοδο από το νέφος,

k_v = συντελεστής ατομικής απορρόφησης, ο οποίος είναι ανάλογος προς τον αριθμό των ατόμων που απορροφούν την ακτινοβολία συχνότητας ν, άρα και της συγκέντρωσης του διαλύματος,

λ₁, λ₂ = σταθερές αναλογίας που σχετίζονται με τον συντελεστή ατομικής απορρόφησης και εξαρτώνται από τις πειραματικές συνθήκες,

L = το μήκος της διαδρομής που διανύθηκε μέσα στο νέφος των ατόμων,

N_0 = ο αριθμός των ατόμων που βρίσκονται στη θεμελιώδη κατάσταση ανά μονάδα όγκου του νέφους,

C = η συγκέντρωση του προσδιοριζόμενου στοιχείου στο εισαγόμενο διάλυμα.

Επειδή τελικά $A = f(C) = \lambda C$, η χρήση της εξίσωσης στην ανάλυση γίνεται με σχετικές μετρήσεις, με την βοήθεια καμπύλης αναφοράς.

Ο συντελεστής ατομικής απορρόφησης εξαρτάται από το μήκος κύματος της απορροφούμενης ακτινοβολίας και από τις πειραματικές συνθήκες ατομοποίησης. Η ένταση ενός σήματος απορρόφησης εξαρτάται (1) από τον αριθμό των ατόμων που απορροφούν και (2) από την ισχύ του ταλαντωτή (δηλαδή την πιθανότητα ένα άτομο να υποστεί μία ηλεκτρονική μετάπτωση στη μονάδα του χρόνου και να απορροφήσει ένα φωτόνιο) (http://www.jcb.bio.auth.gr/gewp_biot/Labor_Bion_Nutr_PI/bouranis4.htm).

7.6.8 Μαγνήσιο (Magnesium – Mg)

Είναι σε αφθονία στη φύση (όγδοο σε σειρά) και είναι από τα συνηθισμένα συστατικά των φυσικών νερών . Τα άλατά του μαζί με τα άλατα του ασβεστίου είναι υπεύθυνα για την ολική σκληρότητα του νερού (http://waterinfo.gr/eedyp/Paros_papers/pappa_g.pdf).

Ο προσδιορισμός του μαγνησίου πραγματοποιήθηκε με φασματοφωτομετρία ατομικής απορρόφησης. Χρησιμοποιήθηκε λάμπα μαγνησίου κοίλης καθόδου και η φλόγα δημιουργήθηκε από καύση μείγματος ακετυλενίου – αέρα. Τα αποτελέσματα εκφράστηκαν σε mg/l και κάθε μέτρηση επαναλήφθηκε δύο φορές.

7.6.9 Κάλιο (Potassium – K)

Είναι το έβδομο στοιχείο σε αφθονία στη φύση . Επομένως βρίσκεται σε όλα τα φυσικά νερά. Σπάνια όμως η περιεκτικότητα των πόσιμων νερών φθάνει τα 20 mg/l σε κάλιο . Δεν έχουν αναφερθεί αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία (http://waterinfo.gr/eedyp/Paros_papers/pappa_g.pdf).

Ο προσδιορισμός του καλίου πραγματοποιήθηκε με φασματοφωτομετρία ατομικής απορρόφησης. Χρησιμοποιήθηκε λάμπα καλίου κοίλης καθόδου και η φλόγα δημιουργήθηκε από καύση μείγματος ακετυλενίου – αέρα.

7.7 Οργανικά Συστατικά

7.7.1 Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (BOD)

Το βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο είναι η ποσότητα που απαιτείται για την οξείδωση από μικροοργανισμούς των οργανικών συστατικών που μπορεί να περιέχονται στο νερό. Η μέτρηση του BOD πραγματοποιήθηκε κατά την πρώτη δειγματοληψία μανομετρικά (μέτρηση της πίεσης) στην ειδική συσκευή (Velp apparatus for BOD manometric determination). Από τη δεύτερη δειγματοληψία έως και την τελευταία, ο προσδιορισμός του BOD γίνονταν πάλι μανομετρικά αλλά με ειδικές κεφαλές – ψηφιακούς αισθητήρες.

Η μανομετρική μέθοδος βασίζεται στη μέτρηση της διαφοράς πίεσης που δημιουργείται με την κατανάλωση του οξυγόνου κατά την οξείδωση των οργανικών ενώσεων και την παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα που δεσμεύεται από το καυστικό κάλιο ή νάτριο στο δείγμα στο συγκεκριμένο χρόνο επώασης. Ο προσδιορισμός του BOD είναι εφικτός μόνο εάν τα δείγματα δεν περιέχουν τοξικές ή επικίνδυνες ουσίες (για παράδειγμα χημικά, εντομοκτόνα, χλωριούχες ενώσεις και άλλα) αφού αυτές αναστέλλουν την ανάπτυξη των βακτηρίων, εάν το pH δεν είναι όξινο ή βασικό ώστε να εξασφαλιστεί αρκετό διαλυμένο οξυγόνο για τους μικροοργανισμούς και εάν τα δείγματα έχουν τα απαραίτητα θρεπτικά άλατα και ιχνοστοιχεία για την ανάπτυξη των υπαρχόντων μικροοργανισμών (Μανιός, 2001).

Στα δείγματα με pH είναι κάτω από 6,5 προσθέτω καυστικό νάτριο, ενώ όταν το pH είναι πάνω από 7,5 προσθέτω 2 με 3 σταγόνες H_2SO_4 ώστε να διορθωθεί το pH και να γίνει υπολογισμός του BOD. Το BOD εκφράζεται σε mg/l, και μετρήθηκε έπειτα από την παραμονή του δείγματος στο θάλαμο επώασης στους 20 °C την 20^η ημέρα. Οι ειδικές κεφαλές – ψηφιακοί αισθητήρες αποθήκευαν και το BOD της 5^{ης} ημέρας (BOD₅), τα αποτελέσματα των οποίων παρατείνονται σε πίνακα του επόμενου κεφαλαίου.

ΚΕΦ.8 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΩΝ ΧΗΜΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ

8.1 Παρατηρήσεις στα πλαίσια της δειγματοληψίας

Στην πρώτη δειγματοληψία, η οποία πραγματοποιήθηκε στις 20 – 05 – 03 δεν συλλέχθηκαν δείγματα από όλες τις θέσεις, αλλά από την πηγή Κουφού, τη γεώτρηση του Κουφού Ν1α, την πηγή Καλαμιώνα Αγυιάς, Βρυσίδα και Πλάτανος Αγυιάς. Στην περιοχή της Αγυιάς δεν καταφέραμε να βρούμε σε πιο σημείο αναβλύζει η πηγή Κολύμπα, λόγω έλλειψης τοπογραφικού χάρτη. Στις άλλες θέσεις αποφασίστηκε αργότερα η συλλογή νερού και η χημική ανάλυση αυτού. Κατά την πρώτη δειγματοληψία, δεν έγιναν όλες οι χημικές αναλύσεις. Οι παράμετροι που εξετάστηκαν ήταν το pH, η ηλεκτρική αγωγιμότητα, η θερμοκρασία με επιτόπια μέτρηση, το BOD, το ασβέστιο, το κάλιο, το μαγνήσιο και τα χλωριόντα.

Για τον υπολογισμό των χλωριόντων υπολογίστηκε και η τυπική απόκλιση, ώστε να υπάρχει ακόμη μεγαλύτερη ακρίβεια στα αποτελέσματα. Στον πίνακα 8.1 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της μέσης τιμής \pm τυπική απόκλιση των συγκεντρώσεων των ανιόντων χλωρίου κατά την πρώτη δειγματοληψία.

Πίνακας 8.1 : Αποτελέσματα της μέσης τιμής \pm τυπική απόκλιση των συγκεντρώσεων των ανιόντων χλωρίου κατά την πρώτη δειγματοληψία

ΘΕΣΕΙΣ	Δειγμ. 1 20/05/03
	mg/lit Cl ⁻
ΠΗΓΗ ΚΟΥΦΟΥ	33,3
ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΚΟΥΦΟΥ (N1α)	24,0 - 24,2
ΠΗΓΗ ΚΑΛΑΜΙΩΝΑΣ ΑΓΥΙΑΣ (N2)	35,4 - 35,5
ΠΗΓΗ ΒΡΥΣΙΔΙΑ ΑΓΥΙΑΣ (N3)	9,7 - 10,1
ΠΗΓΗ ΠΛΑΤΑΝΟΣ ΑΓΥΙΑΣ (N4)	8,3 - 8,7

Παρατήρηση στα αποτελέσματα του πίνακα : Τα ml του διαλύματος AgNO₃ που καταναλώθηκαν για το δείγμα της πηγής του Κουφού ήταν ίδιο και τις δύο φορές που πραγματοποιήθηκε το πείραμα, γι' αυτό δεν βρέθηκε η τυπική απόκλιση.

Η δεύτερη δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε στις 04 – 08 – 03 στις ακόλουθες θέσεις : Στη γεώτρηση Κουφού Ν1α και στη γεώτρηση Ν1β, στη πηγή Καλαμιώνα, Βρυσίδα και

την πηγή Πλατάνου της περιοχής Αγυιάς. Η πηγή Κουφού δεν είχε νερό, αφού οι γεωτρήσεις της περιοχής ήταν σε λειτουργία.

Οι παράμετροι που εξετάστηκαν στα συγκεκριμένα δείγματα ήταν το διαλυμένο οξυγόνο, το pH, η ηλεκτρική αγωγιμότητα, η θερμοκρασία με επιτόπια μέτρηση, η θολερότητα, τα ιόντα Cl^- , NO_3^- , PO_4^{3-} , SO_4^{2-} , NH_4^+ , το BOD, η ολική σκληρότητα, το ξηρό υπόλειμμα, το κάλιο, το ασβέστιο και το μαγνήσιο.

Για τον υπολογισμό των χλωριόντων υπολογίστηκε και η τυπική απόκλιση. Στον πίνακα 8.2 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της μέσης τιμής \pm τυπική απόκλιση των συγκεντρώσεων των ανιόντων χλωρίου κατά την δεύτερη δειγματοληψία.

Πίνακας 8.2 : Αποτελέσματα της μέσης τιμής \pm τυπική απόκλιση των συγκεντρώσεων των ανιόντων χλωρίου κατά την δεύτερη δειγματοληψία

ΘΕΣΕΙΣ	Δειγμ. 2
	04/08/03
	mg/lit Cl^-
ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΚΟΥΦΟΥ (N1α)	23,2-23,6
ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΚΟΥΦΟΥ (N1β)	20,4-20,7
ΠΗΓΗ ΚΑΛΑΜΙΩΝΑΣ ΑΓΥΙΑΣ (N2)	37,6
ΠΗΓΗ ΒΡΥΣΙΔΙΑ ΑΓΥΙΑΣ (N3)	9,2
ΠΗΓΗ ΠΛΑΤΑΝΟΣ ΑΓΥΙΑΣ (N4)	7,8

Η τρίτη δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε στις 20 – 08 – 03 στις ακόλουθες θέσεις : Στη γεώτρηση Κουφού N1α και στη γεώτρηση N1β, στη πηγή Καλαμιώνα, Βρυσίδια, την πηγή Πλατάνου της περιοχής Αγυιάς, καθώς επίσης στο αντλιοστάσιο του χωριού Αγυιάς και στη πηγή Κολύμπα. Η πηγή Κουφού δεν είχε νερό, αφού οι γεωτρήσεις της περιοχής ήταν σε λειτουργία.

Οι παράμετροι που εξετάστηκαν στα συγκεκριμένα δείγματα ήταν το διαλυμένο οξυγόνο, το pH, η ηλεκτρική αγωγιμότητα, η θερμοκρασία με επιτόπια μέτρηση, η θολερότητα, τα ιόντα Cl^- , NO_3^- , PO_4^{3-} , SO_4^{2-} , NH_4^+ , το BOD, η σκληρότητα, το ξηρό υπόλειμμα, το ασβέστιο, το κάλιο και το μαγνήσιο.

Για τον υπολογισμό των χλωριόντων και της ολικής σκληρότητας, η ανάλυση πραγματοποιήθηκε δύο φορές και υπολογίστηκε η τυπική απόκλιση. Στον πίνακα 8.3 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της μέσης τιμής \pm τυπική απόκλιση των

συγκεντρώσεων των ανιόντων χλωρίου κατά την τρίτη δειγματοληψία και στον πίνακα 8.4 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της μέσης τιμής \pm τυπική απόκλιση της ολικής σκληρότητας.

Πίνακας 8.3 : Αποτελέσματα της μέσης τιμής \pm τυπική απόκλιση των συγκεντρώσεων των ανιόντων χλωρίου κατά την τρίτη δειγματοληψία

ΘΕΣΕΙΣ	Δειγμ. 3 20/08/03
	mg/lit Cl⁻
ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΚΟΥΦΟΥ (N1α)	21,0-21,5
ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΚΟΥΦΟΥ (N1β)	22,0
ΠΗΓΗ ΚΑΛΑΜΙΩΝΑΣ ΑΓΥΙΑΣ (N2)	37,6
ΠΗΓΗ ΒΡΥΣΙΔΙΑ ΑΓΥΙΑΣ (N3)	8,3-8,7
ΠΗΓΗ ΠΛΑΤΑΝΟΣ ΑΓΥΙΑΣ (N4)	8,3-8,7
ΑΝΤΛΟΣΤΑΣΙΟ ΧΩΡΙΟΥ ΑΓΥΙΑΣ (N5)	9,2
ΠΗΓΗ ΚΟΛΥΜΠΑ ΑΓΥΙΑΣ (N6)	10,6

Πίνακας 8.4 : Αποτελέσματα της μέσης τιμής \pm τυπική απόκλιση της ολικής σκληρότητας κατά την τρίτη δειγματοληψία

ΘΕΣΕΙΣ	Δειγμ. 3 20/08/03
	Σκληρότητα (EDTA)σε mg/lit CaCO₃
ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΚΟΥΦΟΥ (N1α)	430,879-430,891
ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΚΟΥΦΟΥ (N1β)	424,412-424,522
ΠΗΓΗ ΚΑΛΑΜΙΩΝΑΣ ΑΓΥΙΑΣ (N2)	468,862-468,906
ΠΗΓΗ ΒΡΥΣΙΔΙΑ ΑΓΥΙΑΣ (N3)	115,694-115,768
ΠΗΓΗ ΠΛΑΤΑΝΟΣ ΑΓΥΙΑΣ (N4)	116,01-116,015
ΑΝΤΛΟΣΤΑΣΙΟ ΧΩΡΙΟΥ ΑΓΥΙΑΣ (N5)	115,002-115,074
ΠΗΓΗ ΚΟΛΥΜΠΑ ΑΓΥΙΑΣ (N6)	125,342-125,606

Στις 17 – 09 – 03 πραγματοποιήθηκε η τέταρτη δειγματοληψία. Οι θέσεις συλλογής δείγματος είναι όμοιες με αυτές της τρίτης δειγματοληψίας. Βέβαια θα πρέπει εδώ να αναφέρουμε ότι η θέση N5, δηλαδή το αντλιοστάσιο του χωριού της Αγιάς, δε

βρισκόταν σε λειτουργία, αλλά συλλέχθηκε το νερό που βρίσκονταν ήδη μέσα στην αντλία.

Στη θέση N2, δηλαδή στη πηγή του Καλαμιώνα, η στάθμη του νερού είχε μειωθεί αισθητά χωρίς να γνωρίζουμε το λόγο αυτού του φαινομένου.

Οι παράμετροι που υπολογίσθηκαν είναι όμοιες με αυτές της τρίτης δειγματοληψίας αλλά αυτή τη φορά μετρήθηκαν και τα θεϊκά ιόντα, τα οποία προσδιορίστηκαν και σε όλες τις επόμενες δειγματοληψίες.

Κατά τη διάρκεια των αναλύσεων για τα θεϊκά ιόντα κρίθηκε απαραίτητο να γίνει αραίωση πέντε φορές των δειγμάτων N1α, N1β και N2 (γεωτρήσεις Κουφού και πηγή Καλαμιώνα). Αυτό συνέβη γιατί τα θεϊκά ιόντα υπολογίσθηκαν με Kit (MERCK 14548) των οποίων τα όρια μέτρησης κυμαίνονται από 5 έως 250 mg/lit.

Όμοια με πριν για τον υπολογισμό των χλωριόντων και της ολικής σκληρότητας, η ανάλυση πραγματοποιήθηκε δύο φορές και υπολογίστηκε η τυπική απόκλιση, ώστε να υπάρχει μεγαλύτερη ακρίβεια στα αποτελέσματα. Στον *πίνακα 8.5* παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της μέσης τιμής ± τυπική απόκλιση των συγκεντρώσεων των ανιόντων χλωρίου κατά την τέταρτη δειγματοληψία και στον *πίνακα 8.6* παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της μέσης τιμής ± τυπική απόκλιση της ολικής σκληρότητας.

Πίνακας 8.5 : Αποτελέσματα της μέσης τιμής ± τυπική απόκλιση των συγκεντρώσεων των ανιόντων χλωρίου κατά την τέταρτη δειγματοληψία

ΘΕΣΕΙΣ	Δειγμ. 4 17/09/03
	mg/lit Cl⁻
ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΚΟΥΦΟΥ (N1α)	20,4-20,7
ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΚΟΥΦΟΥ (N1β)	25,9-26,5
ΠΗΓΗ ΚΑΛΑΜΙΩΝΑΣ ΑΓΥΙΑΣ (N2)	36,8-36,9
ΠΗΓΗ ΒΡΥΣΙΔΙΑ ΑΓΥΙΑΣ (N3)	9,2
ΠΗΓΗ ΠΛΑΤΑΝΟΣ ΑΓΥΙΑΣ (N4)	6,4
ΑΝΤΛΟΣΤΑΣΙΟ ΧΩΡΙΟΥ ΑΓΥΙΑΣ (N5)	8,3-8,7
ΠΗΓΗ ΚΟΛΥΜΠΑ ΑΓΥΙΑΣ (N6)	9,2

Πίνακας 8.6 : Αποτελέσματα της μέσης τιμής \pm τυπική απόκλιση της ολικής σκληρότητας κατά την τέταρτη δειγματοληψία

ΘΕΣΕΙΣ	Δειγμ. 4 17/09/03
	Σκληρότητα (EDTA)σε mg/lit CaCO₃
ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΚΟΥΦΟΥ (N1α)	460,7
ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΚΟΥΦΟΥ (N1β)	459,4
ΠΗΓΗ ΚΑΛΑΜΙΩΝΑΣ ΑΓΥΙΑΣ (N2)	482,6
ΠΗΓΗ ΒΡΥΣΙΔΙΑ ΑΓΥΙΑΣ (N3)	131,1-131,3
ΠΗΓΗ ΠΛΑΤΑΝΟΣ ΑΓΥΙΑΣ (N4)	131,1-131,2
ΑΝΤΛΟΣΤΑΣΙΟ ΧΩΡΙΟΥ ΑΓΥΙΑΣ (N5)	134,5
ΠΗΓΗ ΚΟΛΥΜΠΑ ΑΓΥΙΑΣ (N6)	142,4-142,5

Στις 06 – 11 – 03 πραγματοποιήθηκε η πέμπτη δειγματοληψία. Οι γεωτρήσεις του Κουφού δεν λειτουργούσαν αφού το νερό στην περιοχή επαρκούσε και χωρίς τη λειτουργία αυτών, συνεπώς δεν συλλέχθηκε δείγμα από τις θέσεις N1α και N1β. Η ανάβλυση νερού από την πηγή του Κουφού δεν είχε ακόμη αποκατασταθεί λόγω της λειτουργίας των γεωτρήσεων όλους τους προηγούμενους μήνες.

Από την πηγή της Κολύμπας στην Αγυιά, δεν είχαμε συλλογή δείγματος. Εξαιτίας των βροχοπτώσεων, η περιοχή αυτή έγινε δύσβατη. Στις δειγματοληψίες που ακολούθησαν ήταν επίσης αδύνατο να πάρουμε δείγμα από τη θέση αυτή.

Κατά την πέμπτη δειγματοληψία, συλλέχθηκε δείγμα και από τη δεξαμενή των Μυλωνιανών. Η δεξαμενή εμπεριείχε νερό τριών γεωτρήσεων, της M1, M2 και M3.

Οι παράμετροι που εξετάστηκαν είναι όμοιες με της προηγούμενης δειγματοληψίας. Και σ' αυτή τη δειγματοληψία βρήκαμε την τυπική απόκλιση για τα χλωριόντα και την ολική σκληρότητα, τα αποτελέσματα των οποίων παρουσιάζονται στους επόμενους πίνακες.

Πίνακας 8.7 : Αποτελέσματα της μέσης τιμής \pm τυπική απόκλιση των συγκεντρώσεων των ανιόντων χλωρίου κατά την πέμπτη δειγματοληψία

ΘΕΣΕΙΣ	Δειγμ. 5 06/11/03
	mg/lit Cl⁻
ΠΗΓΗ ΚΑΛΑΜΙΩΝΑΣ ΑΓΥΙΑΣ (N2)	39,0
ΠΗΓΗ ΒΡΥΣΙΔΙΑ ΑΓΥΙΑΣ (N3)	8,3-8,7
ΠΗΓΗ ΠΛΑΤΑΝΟΣ ΑΓΥΙΑΣ (N4)	4,1-5,7
ΑΝΤΛΟΣΤΑΣΙΟ ΧΩΡΙΟΥ ΑΓΥΙΑΣ (N5)	5,0
ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΜΥΛΩΝΙΑΝΩΝ (N7)	6,4

Πίνακας 8.8 : Αποτελέσματα της μέσης τιμής \pm τυπική απόκλιση της ολικής σκληρότητας κατά την τέταρτη δειγματοληψία

ΘΕΣΕΙΣ	Δειγμ. 5 06/11/03
	Σκληρότητα (EDTA)σε mg/lit CaCO₃
ΠΗΓΗ ΚΑΛΑΜΙΩΝΑΣ ΑΓΥΙΑΣ (N2)	448,0-
ΠΗΓΗ ΒΡΥΣΙΔΙΑ ΑΓΥΙΑΣ (N3)	123,2
ΠΗΓΗ ΠΛΑΤΑΝΟΣ ΑΓΥΙΑΣ (N4)	121,8
ΑΝΤΛΟΣΤΑΣΙΟ ΧΩΡΙΟΥ ΑΓΥΙΑΣ (N5)	129,1-129,4
ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΜΥΛΩΝΙΑΝΩΝ (N7)	85,3-85,6

Η έκτη δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε την 01 – 12 – 03. Οι γεωτρήσεις του Κουφού ήταν και πάλι εκτός λειτουργίας, όμως μετά από συνεννόηση με τον Οργανισμό Ανάπτυξης Δυτικής Κρήτης, και με τη βοήθεια του κ. Σ. Λαμπαθάκη οι γεωτρήσεις μπήκαν σε λειτουργία για τη συλλογή δείγματος.

Στη πηγή Κολύμπα ήταν αδύνατο να γίνει δειγματοληψία. Το αντλιοστάσιο του χωριού της Αγυιάς δε λειτουργούσε, οπότε δεν έγινε και σε αυτή τη θέση δειγματοληψία.

Η δεξαμενή των Μυλωνιανών δεν περιείχε αυτή τη φορά νερό των γεωτρήσεων M1, M2, M3 αλλά των Μεσκλών. Σύμφωνα με τον υπεύθυνο, προτιμάται το νερό των Μεσκλών διότι ρέει φυσικά. Η φυσική αυτή ροή δεν είναι δαπανηρή όπως την άντληση από υδρογεωτρήσεις. Για τη συλλογή δείγματος οι εργαζόμενοι του Ο.Α.ΔΥ.Κ. που

βρίσκονταν εκεί, έβαλαν σε λειτουργία τη γεώτρηση M3 και από το φρεάτιο πήραμε δείγμα.

Οι παράμετροι που εξετάστηκαν είναι όμοιες με της προηγούμενης δειγματοληψίας. Και σ' αυτή τη δειγματοληψία βρήκαμε την τυπική απόκλιση για τα χλώρια και την ολική σκληρότητα, τα αποτελέσματα των οποίων παρουσιάζονται στους πίνακες 8.9 και 8.10.

Πίνακας 8.9 : Αποτελέσματα της μέσης τιμής \pm τυπική απόκλιση των συγκεντρώσεων των ανιόντων χλωρίου κατά την έκτη δειγματοληψία

ΘΕΣΕΙΣ	Δειγμ. 6 02/12/03
	mg/lit Cl ⁻
ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΚΟΥΦΟΥ (N1α)	19,1
ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΚΟΥΦΟΥ (N1β)	20,6
ΠΗΓΗ ΚΑΛΑΜΙΩΝΑΣ ΑΓΥΙΑΣ (N2)	32,5-32,7
ΠΗΓΗ ΒΡΥΣΙΔΙΑ ΑΓΥΙΑΣ (N3)	9,2
ΠΗΓΗ ΠΛΑΤΑΝΟΣ ΑΓΥΙΑΣ (N4)	7,8
ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΜΥΛΩΝΙΑΝΩΝ M3 (N8)	6,4

Πίνακας 8.10 : Αποτελέσματα της μέσης τιμής \pm τυπική απόκλιση της ολικής σκληρότητας κατά την έκτη δειγματοληψία

ΘΕΣΕΙΣ	Δειγμ. 6 02/12/03
	Σκληρότητα (EDTA)σε mg/lit CaCO ₃
ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΚΟΥΦΟΥ (N1α)	454,5-454,6
ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΚΟΥΦΟΥ (N1β)	466,3
ΠΗΓΗ ΚΑΛΑΜΙΩΝΑΣ ΑΓΥΙΑΣ (N2)	530,2
ΠΗΓΗ ΒΡΥΣΙΔΙΑ ΑΓΥΙΑΣ (N3)	123,9
ΠΗΓΗ ΠΛΑΤΑΝΟΣ ΑΓΥΙΑΣ (N4)	129,9-130,0
ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΜΥΛΩΝΙΑΝΩΝ M3 (N8)	117,5

Στην τελευταία δειγματοληψία που πραγματοποιήθηκε στις 19 – 12 – 03, έγινε συλλογή δείγματος από τις ίδιες ακριβώς θέσεις που πήραμε στις 02 – 12 –03.

Υπολογίστηκαν πάλι οι ίδιες παράμετροι και στον *πίνακα 8.11* παρατηρούμε τα αποτελέσματα της μέσης τιμής \pm τυπική απόκλιση των συγκεντρώσεων των ανιόντων χλωρίου. Η ολική σκληρότητα κατά την έβδομη δειγματοληψία δεν υπολογίστηκε δύο φορές όπως στις προηγούμενες αναλύσεις γιατί το δείγμα δεν επαρκούσε.

Πίνακας 8.11 : Αποτελέσματα της μέσης τιμής \pm τυπική απόκλιση των συγκεντρώσεων των ανιόντων χλωρίου κατά την έβδομη δειγματοληψία

ΘΕΣΕΙΣ	Δειγμ. 7 19/12/03
	mg/lit Cl⁻
ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΚΟΥΦΟΥ (N1α)	20,6
ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΚΟΥΦΟΥ (N1β)	19,5 -20,1
ΠΗΓΗ ΚΑΛΑΜΙΩΝΑΣ ΑΓΥΙΑΣ (N2)	34,6 – 34,8
ΠΗΓΗ ΒΡΥΣΙΔΙΑ ΑΓΥΙΑΣ (N3)	6,4
ΠΗΓΗ ΠΛΑΤΑΝΟΣ ΑΓΥΙΑΣ (N4)	2,1 – 3,5
ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΜΥΛΩΝΙΑΝΩΝ M3 (N8)	2,1 – 3,5

8.2 Αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων. Συνοπτικοί πίνακες

Στη παράγραφο αυτή, παρουσιάζονται σε πίνακες τα αποτελέσματα όλων των αναλύσεων που έγιναν στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας. Ο κάθε πίνακας εμπεριέχει ξεχωριστά τα αποτελέσματα κάθε παραμέτρου.

Στον *πίνακα Π1* παρουσιάζονται τα αποτελέσματα μέτρησης της θολερότητας από κάθε δειγματοληψία. Όποια παρατήρηση γίνεται είναι καταγεγραμμένη πάνω στον πίνακα.

Στον *πίνακα Π2* παρουσιάζονται οι τιμές της θερμοκρασίας, μετά από επιτόπια μέτρηση την ώρα της κάθε δειγματοληψίας. Το θερμόμετρο δεν ήταν ίδιο κάθε φορά. Πολλές φορές χρησιμοποιούνταν ψηφιακό, άρα είχαμε μεγάλη ακρίβεια, ενώ άλλες όχι, με αποτέλεσμα η χρήση μη ψηφιακού θερμομέτρου να συμβάλλει σε οπτικά σφάλματα της τάξης του $\pm 0,1$ °C.

Ο *πίνακας Π3* παρουσιάζει τις τιμές της αγωγιμότητας σε κάθε δειγματοληψία, ο *Π4* τις μετρήσεις του pH, ενώ ο *πίνακας Π5* παρουσιάζει τα αποτελέσματα της ολικής σκληρότητας ως μέσος όρος των δύο επαναλήψεων χωρίς να περιλαμβάνεται η τυπική απόκλιση.

Το ξηρό υπόλειμμα είναι μια ακόμη παράμετρος που μετρήθηκε και τα αποτελέσματά της φαίνονται στο *πίνακα Π6*.

Το διαλυμένο οξυγόνο, το οποίο μετράται πριν από κάθε άλλη ανάλυση παρουσιάζεται στον *πίνακα Π7* και *Π8* με διαφορετικές μονάδες σε κάθε πίνακα. Το BOD₅ φαίνεται στον *πίνακα Π9*, ενώ το BOD της 20^{ης} μέρας παρουσιάζεται στον επόμενο *πίνακα Π10*.

Η παρουσίαση των χλωρίων φαίνεται στον *πίνακα Π11*, με τις μέσες τιμές των δύο επαναλήψεων, χωρίς την τυπική απόκλιση.

Τα φωσφορικά, αμμωνιακά, νιτρικά και θειικά ιόντα παρουσιάζονται αντίστοιχα στους *πίνακες Π12, Π13, Π14, Π15*. Ακολουθούν τα αποτελέσματα του ασβεστίου, καλίου και μαγνησίου στους *πίνακες Π16, Π17, Π18* αντίστοιχα.

Πίνακας Π1: Αποτελέσματα μέτρησης της θολερότητας από κάθε δειγματοληψία.

ΘΟΛΕΡΟΤΗΤΑ (NTU)							
	Δειγμ. 1 20/05/03	Δειγμ. 2 04/08/03	Δειγμ. 3 20/08/03	Δειγμ. 4 17/09/03	Δειγμ. 5 06/11/03	Δειγμ. 6 02/12/03	Δειγμ. 7 19/12/03
ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΚΟΥΦΟΥ (N1α)	Το όργανο δεν μας έδινε ακριβείς αποτελέσματα	Κάτω από τα όρια των προτύπων	<1	2,2	Εκτός λειτουργίας η γεώτρηση	2,9	<1
ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΚΟΥΦΟΥ (N1β)		44	<1	1,9	Εκτός λειτουργίας η γεώτρηση	2,2	<1
ΠΗΓΗ ΚΑΛΑΜΙΩΝΑΣ ΑΓΥΙΑΣ (N2)		Κάτω από τα όρια των προτύπων	<1	2	3,3	<1	<1
ΠΗΓΗ ΒΡΥΣΙΔΙΑ ΑΓΥΙΑΣ (N3)		Κάτω από τα όρια των προτύπων	<1	2	3,8	<1	<1
ΠΗΓΗ ΠΛΑΤΑΝΟΣ ΑΓΥΙΑΣ (N4)		Κάτω από τα όρια των προτύπων	<1	2	3,2	<1	<1
ΑΝΤΛΟΣΤΑΣΙΟ ΧΩΡΙΟΥ ΑΓΥΙΑΣ (N5)	Δεν είχα πάρει δείγμα από αυτές τις θέσεις	Δεν είχα πάρει δείγμα από αυτές τις θέσεις	<1	2,5	3,3	Εκτός λειτουργίας	<1
ΠΗΓΗ ΚΟΛΥΜΠΑ ΑΓΥΙΑΣ (N6)			<1	2,8	Δεν πήραμε δείγμα	Δεν πήραμε δείγμα	<1
ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΜΥΛΩΝΙΑΝΩΝ (N7)	Δεν είχα πάρει δείγμα από αυτή τη θέση				3,9	Περιείχε νερό των Μεσκλών η δεξαμενή	Περιείχε νερό των Μεσκλών η δεξαμενή
ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΜΥΛΩΝΙΑΝΩΝ M3 (N8)	Δεν είχα πάρει δείγμα από αυτή τη θέση					1,8	1,5

Πίνακας Π2 : Μετρήσεις θερμοκρασίας (επιτόπια μέτρηση την ώρα της κάθε δειγματοληψίας) (ενδεικτικό επίπεδο : 12 °C, ανώτατη παραδεκτή τιμή : 25 °C)

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (°C)							
	Δειγμ. 1 20/05/03	Δειγμ. 2 04/08/03	Δειγμ. 3 20/08/03	Δειγμ. 4 17/09/03	Δειγμ. 5 06/11/03	Δειγμ. 6 02/12/03	Δειγμ. 7 19/12/03
ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΚΟΥΦΟΥ (N1α)	δεν μέτρησα	δεν μέτρησα	17	16,3	Εκτός λειτουργίας η γεώτρηση	16,1	16,2
ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΚΟΥΦΟΥ (N1β)	Δεν λειτουργούσε	Δεν λειτουργούσε	17	16,9	Εκτός λειτουργίας η γεώτρηση	16,2	16,1
ΠΗΓΗ ΚΑΛΑΜΙΩΝΑΣ ΑΓΥΙΑΣ (N2)	16,8	16,9	17	16,6	16,4	15,8	16
ΠΗΓΗ ΒΡΥΣΙΔΙΑ ΑΓΥΙΑΣ (N3)	14,2	14,1	14,5	14,3	13,9	14	13,7
ΠΗΓΗ ΠΛΑΤΑΝΟΣ ΑΓΥΙΑΣ (N4)	13,5	13,4	13,5	13,5	13	13,1	12,8
ΑΝΤΛΟΣΤΑΣΙΟ ΧΩΡΙΟΥ ΑΓΥΙΑΣ (N5)	Δεν είχα πάρει δείγμα από αυτές τις θέσεις	Δεν είχα πάρει δείγμα από αυτές τις θέσεις	Δε γινόταν να μετρήσω	15,8	14,3	Εκτός λειτουργίας	Εκτός λειτουργίας
ΠΗΓΗ ΚΟΛΥΜΠΑ ΑΓΥΙΑΣ (N6)			14	13,7	Δεν πήραμε δείγμα	Δεν πήραμε δείγμα	Δεν πήραμε δείγμα
ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΜΥΛΩΝΙΑΝΩΝ (N7)	Δεν είχα πάρει δείγμα από αυτή τη θέση				14,8	Περιείχε νερό των Μεσκλών η δεξαμενή	Περιείχε νερό των Μεσκλών η δεξαμενή
ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΜΥΛΩΝΙΑΝΩΝ M3 (N8)	Δεν είχα πάρει δείγμα από αυτή τη θέση					13,1	12,2

Πίνακας Π3 : Μετρήσεις αγωγιμότητας (ενδεικτικό επίπεδο : 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ στους 25⁰C, ανώτατη παραδεκτή τιμή : 2.500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ στους 25 ⁰C)

ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ ($\mu\text{S}/\text{cm}$) ΣΤΟΥΣ 25 ⁰ C							
	Δειγμ. 1 20/05/03	Δειγμ. 2 04/08/03	Δειγμ. 3 20/08/03	Δειγμ. 4 17/09/03	Δειγμ. 5 06/11/03	Δειγμ. 6 02/12/03	Δειγμ. 7 19/12/03
ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΚΟΥΦΟΥ (N1α)	1.271	1.270	1.292	1.263	Εκτός λειτουργίας η γεώτρηση	1.340	1.352
ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΚΟΥΦΟΥ (N1β)	Δεν λειτουργούσε	1.240	1.299	1.277	Εκτός λειτουργίας η γεώτρηση	1.366	1.372
ΠΗΓΗ ΚΑΛΑΜΙΩΝΑΣ ΑΓΥΙΑΣ (N2)	1.562	1.500	1.498	1.455	1.464	1.565	1.548
ΠΗΓΗ ΒΡΥΣΙΔΙΑ ΑΓΥΙΑΣ (N3)	295	293	288	281	288	299	301
ΠΗΓΗ ΠΛΑΤΑΝΟΣ ΑΓΥΙΑΣ (N4)	281	282	276	270	274	288	289
ΑΝΤΛΟΣΤΑΣΙΟ ΧΩΡΙΟΥ ΑΓΥΙΑΣ (N5)	Δεν είχα πάρει δείγμα από αυτές τις θέσεις	Δεν είχα πάρει δείγμα από αυτές τις θέσεις	283	277	280	Εκτός λειτουργίας	Εκτός λειτουργίας
ΠΗΓΗ ΚΟΛΥΜΠΑ ΑΓΥΙΑΣ (N6)			316	309	Δεν πήραμε δείγμα	Δεν πήραμε δείγμα	Δεν πήραμε δείγμα
ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΜΥΛΩΝΙΑΝΩΝ (N7)	Δεν είχα πάρει δείγμα από αυτή τη θέση				301	Περιείχε νερό των Μεσκλών η δεξαμενή	Περιείχε νερό των Μεσκλών η δεξαμενή
ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΜΥΛΩΝΙΑΝΩΝ M3 (N8)	Δεν είχα πάρει δείγμα από αυτή τη θέση					271	270

Πίνακας Π4 : Μετρήσεις pH (ενδεικτικό επίπεδο : 6,5<pH<8,5, ανώτατη παραδεκτή τιμή : 9,5)

pH							
	Δειγμ. 1 20/05/03	Δειγμ. 2 04/08/03	Δειγμ. 3 20/08/03	Δειγμ. 4 17/09/03	Δειγμ. 5 06/11/03	Δειγμ. 6 02/12/03	Δειγμ. 7 19/12/03
ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΚΟΥΦΟΥ (N1α)	7,88	7,24	7,65	7,49	Εκτός λειτουργίας η γεώτρηση	7,32	7,90
ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΚΟΥΦΟΥ (N1β)	Δεν λειτουργούσε	7,55	7,32	7,38	Εκτός λειτουργίας η γεώτρηση	7,31	7,54
ΠΗΓΗ ΚΑΛΑΜΙΩΝΑΣ ΑΓΥΙΑΣ (N2)	7,46	7,24	7,52	7,39	7,31	7,36	7,76
ΠΗΓΗ ΒΡΥΣΙΔΙΑ ΑΓΥΙΑΣ (N3)	7,82	7,82	8,03	7,83	7,90	7,91	8,04
ΠΗΓΗ ΠΛΑΤΑΝΟΣ ΑΓΥΙΑΣ (N4)	7,99	7,96	8,06	7,91	7,92	7,86	8,07
ΑΝΤΛΟΣΤΑΣΙΟ ΧΩΡΙΟΥ ΑΓΥΙΑΣ (N5)	Δεν είχα πάρει δείγμα από αυτές τις θέσεις	Δεν είχα πάρει δείγμα από αυτές τις θέσεις	7,58	7,92	7,97	Εκτός λειτουργίας	Εκτός λειτουργίας
ΠΗΓΗ ΚΟΛΥΜΠΑ ΑΓΥΙΑΣ (N6)			8,00	7,83	Δεν πήραμε δείγμα	Δεν πήραμε δείγμα	Δεν πήραμε δείγμα
ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΜΥΛΩΝΙΑΝΩΝ (N7)	Δεν είχα πάρει δείγμα από αυτή τη θέση				7,95	Περιείχε νερό των Μεσκλών η δεξαμενή	Περιείχε νερό των Μεσκλών η δεξαμενή
ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΜΥΛΩΝΙΑΝΩΝ M3 (N8)	Δεν είχα πάρει δείγμα από αυτή τη θέση					7,89	8,04

Πίνακας Π5 : Αποτελέσματα ολικής σκληρότητας

ΟΛΙΚΗ ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ (EDTA)σε mg/lit CaCO₃							
	Δειγμ. 1 20/05/03	Δειγμ. 2 04/08/03	Δειγμ. 3 20/08/03	Δειγμ. 4 17/09/03	Δειγμ. 5 06/11/03	Δειγμ. 6 02/12/03	Δειγμ. 7 19/12/03
ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΚΟΥΦΟΥ (N1α)	Δεν υπολογίσθηκε αυτή η παράμετρος	449,7	430,9	460,7	Εκτός λειτουργίας η γεώτρηση	454,6	451,2
ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΚΟΥΦΟΥ (N1β)		432,5	424,4	459,4	Εκτός λειτουργίας η γεώτρηση	466,3	467,4
ΠΗΓΗ ΚΑΛΑΜΙΩΝΑΣ ΑΓΥΙΑΣ (N2)		492,9	468,9	482,6	447,8	530,2	531,3
ΠΗΓΗ ΒΡΥΣΙΔΙΑ ΑΓΥΙΑΣ (N3)		126,2	115,7	131,2	123,2	123,9	124,2
ΠΗΓΗ ΠΛΑΤΑΝΟΣ ΑΓΥΙΑΣ (N4)		120,9	116,0	131,1	121,8	130,0	132,5
ΑΝΤΛΟΣΤΑΣΙΟ ΧΩΡΙΟΥ ΑΓΥΙΑΣ (N5)	Δεν είχα πάρει δείγμα από αυτές τις θέσεις	Δεν είχα πάρει δείγμα από αυτές τις θέσεις	115,0	134,5	129,2	Εκτός λειτουργίας	Εκτός λειτουργίας
ΠΗΓΗ ΚΟΛΥΜΠΑ ΑΓΥΙΑΣ (N6)			125,5	142,4	Δεν πήραμε δείγμα	Δεν πήραμε δείγμα	Δεν πήραμε δείγμα
ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΜΥΛΩΝΙΑΝΩΝ (N7)	Δεν είχα πάρει δείγμα από αυτή τη θέση				85,5	Περιείχε νερό των Μεσκλών η δεξαμενή	Περιείχε νερό των Μεσκλών η δεξαμενή
ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΜΥΛΩΝΙΑΝΩΝ M3 (N8)	Δεν είχα πάρει δείγμα από αυτή τη θέση					117,5	115,5

Πίνακας Π6 : Αποτελέσματα ξηρού υπολείμματος (ανώτατη παραδεκτή συγκέντρωση : 1.500 mg/lit) .

ΞΗΡΟ ΥΠΟΛΕΙΜΑ (mg/lit)							
	Δειγμ. 1 20/05/03	Δειγμ. 2 04/08/03	Δειγμ. 3 20/08/03	Δειγμ. 4 17/09/03	Δειγμ. 5 06/11/03	Δειγμ. 6 02/12/03	Δειγμ. 7 19/12/03
ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΚΟΥΦΟΥ (N1α)	Δεν υπολογίσθηκε αυτή η παράμετρος	1.160	950	1.240	Εκτός λειτουργίας η γεώτρηση	1.007	1.065
ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΚΟΥΦΟΥ (N1β)		1.130	1.090	1.330	Εκτός λειτουργίας η γεώτρηση	1.133	1.125
ΠΗΓΗ ΚΑΛΑΜΙΩΝΑΣ ΑΓΥΙΑΣ (N2)		1.350	1.360	1.580	1.200	1.231	1.298
ΠΗΓΗ ΒΡΥΣΙΔΙΑ ΑΓΥΙΑΣ (N3)		210	110	170	180	100	60
ΠΗΓΗ ΠΛΑΤΑΝΟΣ ΑΓΥΙΑΣ (N4)		140	50	230	89	109	148
ΑΝΤΛΟΣΤΑΣΙΟ ΧΩΡΙΟΥ ΑΓΥΙΑΣ (N5)	Δεν είχα πάρει δείγμα από αυτές τις θέσεις	Δεν είχα πάρει δείγμα από αυτές τις θέσεις	80	180	109	Εκτός λειτουργίας	Εκτός λειτουργίας
ΠΗΓΗ ΚΟΛΥΜΠΑ ΑΓΥΙΑΣ (N6)			140	240	Δεν πήραμε δείγμα	Δεν πήραμε δείγμα	Δεν πήραμε δείγμα
ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΜΥΛΩΝΙΑΝΩΝ (N7)	Δεν είχα πάρει δείγμα από αυτή τη θέση				130	Περιείχε νερό των Μεσκλών η δεξαμενή	Περιείχε νερό των Μεσκλών η δεξαμενή
ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΜΥΛΩΝΙΑΝΩΝ M3 (N8)	Δεν είχα πάρει δείγμα από αυτή τη θέση					129	147

Πίνακας Π7 : Αποτελέσματα του διαλυμένου οξυγόνου σε % O₂ κορεσμού.

ΔΙΑΛΥΜΕΝΟ ΟΞΥΓΟΝΟ (%)							
	Δειγμ. 1 20/05/03	Δειγμ. 2 04/08/03	Δειγμ. 3 20/08/03	Δειγμ. 4 17/09/03	Δειγμ. 5 06/11/03	Δειγμ. 6 02/12/03	Δειγμ. 7 19/12/03
ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΚΟΥΦΟΥ (N1α)	Δεν υπολογίσθηκε αυτή η παράμετρος	68,2	76,5	59,5	Εκτός λειτουργίας η γεώτρηση	50,9	55,6
ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΚΟΥΦΟΥ (N1β)		33,9	54,0	61,8	Εκτός λειτουργίας η γεώτρηση	57,5	58,6
ΠΗΓΗ ΚΑΛΑΜΙΩΝΑΣ ΑΓΥΙΑΣ (N2)		63,2	42,9	44,4	43,0	44,4	55,5
ΠΗΓΗ ΒΡΥΣΙΔΙΑ ΑΓΥΙΑΣ (N3)		97,0	70,1	77,9	75,7	78,4	83,9
ΠΗΓΗ ΠΛΑΤΑΝΟΣ ΑΓΥΙΑΣ (N4)		Το δείγμα ήταν ήδη ανοιγμ.	76,1	66,7	75,3	75,4	76,1
ΑΝΤΛΟΣΤΑΣΙΟ ΧΩΡΙΟΥ ΑΓΥΙΑΣ (N5)	Δεν είχα πάρει δείγμα από αυτές τις θέσεις	Δεν είχα πάρει δείγμα από αυτές τις θέσεις	73,7	73,6	76,0	Εκτός λειτουργίας	Εκτός λειτουργίας
ΠΗΓΗ ΚΟΛΥΜΠΑ ΑΓΥΙΑΣ (N6)			70,0	72,3	Δεν πήραμε δείγμα	Δεν πήραμε δείγμα	Δεν πήραμε δείγμα
ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΜΥΛΩΝΙΑΝΩΝ (N7)	Δεν είχα πάρει δείγμα από αυτή τη θέση				74,2	Περιείχε νερό των Μεσκλών η δεξαμενή	Περιείχε νερό των Μεσκλών η δεξαμενή
ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΜΥΛΩΝΙΑΝΩΝ M3 (N8)	Δεν είχα πάρει δείγμα από αυτή τη θέση					85,5	85,2

Πίνακας Π8 : Αποτελέσματα του διαλυμένου οξυγόνου σε mg/lit.

ΔΙΑΛΥΜΕΝΟ ΟΞΥΓΟΝΟ (mg/lit)							
	Δειγμ. 1 20/05/03	Δειγμ. 2 04/08/03	Δειγμ. 3 20/08/03	Δειγμ. 4 17/09/03	Δειγμ. 5 06/11/03	Δειγμ. 6 02/12/03	Δειγμ. 7 19/12/03
ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΚΟΥΦΟΥ (N1α)	Δεν υπολογίσθηκε αυτή η παράμετρος		6,35	5,20	Εκτός λειτουργίας η γεώτρηση	4,68	4,91
ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΚΟΥΦΟΥ (N1β)		2,77	4,47	5,36	Εκτός λειτουργίας η γεώτρηση	5,25	5,20
ΠΗΓΗ ΚΑΛΑΜΙΩΝΑΣ ΑΓΥΙΑΣ (N2)		5,55	3,64	3,91	3,79	4,11	4,99
ΠΗΓΗ ΒΡΥΣΙΔΙΑ ΑΓΥΙΑΣ (N3)		8,10	5,95	6,70	6,73	7,25	7,63
ΠΗΓΗ ΠΛΑΤΑΝΟΣ ΑΓΥΙΑΣ (N4)		Το δείγμα ήταν ήδη ανοιγμ.	6,64	5,80	6,75	7,09	6,98
ΑΝΤΛΟΣΤΑΣΙΟ ΧΩΡΙΟΥ ΑΓΥΙΑΣ (N5)	Δεν είχα πάρει δείγμα από αυτές τις θέσεις	Δεν είχα πάρει δείγμα από αυτές τις θέσεις	6,41	6,31	7,07	Εκτός λειτουργίας	Εκτός λειτουργίας
ΠΗΓΗ ΚΟΛΥΜΠΑ ΑΓΥΙΑΣ (N6)			6,01	6,37	Δεν πήραμε δείγμα	Δεν πήραμε δείγμα	Δεν πήραμε δείγμα
ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΜΥΛΩΝΙΑΝΩΝ (N7)	Δεν είχα πάρει δείγμα από αυτή τη θέση				6,68	Περιείχε νερό των Μεσκλών η δεξαμενή	Περιείχε νερό των Μεσκλών η δεξαμενή
ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΜΥΛΩΝΙΑΝΩΝ M3 (N8)	Δεν είχα πάρει δείγμα από αυτή τη θέση					7,99	7,91

Πίνακας Π9 : Αποτελέσματα του BOD₅.

BOD (mg/lit) (5η μέρα μετά τη δειγματοληψία)							
	Δειγμ. 1 20/05/03	Δειγμ. 2 04/08/03	Δειγμ. 3 20/08/03	Δειγμ. 4 17/09/03	Δειγμ. 5 06/11/03	Δειγμ. 6 02/12/03	Δειγμ. 7 19/12/03
ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΚΟΥΦΟΥ (N1α)	Εκτός ορίων (κάτω από το μηδέν)	Έλλειψη δοχείων BOD	5	2	Εκτός λειτουργίας η γεώτρηση	1	Δεν υπολογίστηκε αυτή η παράμετρος
ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΚΟΥΦΟΥ (N1β)			1	1	Εκτός λειτουργίας η γεώτρηση	1	
ΠΗΓΗ ΚΑΛΑΜΙΩΝΑΣ ΑΓΥΙΑΣ (N2)		2	6	3	1	0	
ΠΗΓΗ ΒΡΥΣΙΔΙΑ ΑΓΥΙΑΣ (N3)		Έλλειψη δοχείων BOD	3	2	1	1	
ΠΗΓΗ ΠΛΑΤΑΝΟΣ ΑΓΥΙΑΣ (N4)		Κάτω από το όριο	4	4	1	1	
ΑΝΤΛΟΣΤΑΣΙΟ ΧΩΡΙΟΥ ΑΓΥΙΑΣ (N5)		Δεν είχα πάρει δείγμα από αυτές τις θέσεις	Δεν είχα πάρει δείγμα από αυτές τις θέσεις	9	3	1	
ΠΗΓΗ ΚΟΛΥΜΠΑ ΑΓΥΙΑΣ (N6)	5			2	Δεν πήραμε δείγμα	Δεν πήραμε δείγμα	
ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΜΥΛΩΝΙΑΝΩΝ (N7)	Δεν είχα πάρει δείγμα από αυτή τη θέση				2	Περιείχε νερό των Μεσκλών η δεξαμενή	
ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΜΥΛΩΝΙΑΝΩΝ M3 (N8)	Δεν είχα πάρει δείγμα από αυτή τη θέση					2	

Πίνακας Π10 : Αποτελέσματα του BOD₂₀.

BOD (mg/lit) (20η μέρα μετά τη δειγματοληψία)							
	Δειγμ. 1 20/05/03	Δειγμ. 2 04/08/03	Δειγμ. 3 20/08/03	Δειγμ. 4 17/09/03	Δειγμ. 5 06/11/03	Δειγμ. 6 02/12/03	Δειγμ. 7 19/12/03
ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΚΟΥΦΟΥ (N1α)	Εκτός ορίων (κάτω από το μηδέν)	Έλλειψη δοχείων BOD	5	4	Εκτός λειτουργίας η γεώτρηση	0	Δεν υπολογίστηκε αυτή η παράμετρος
ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΚΟΥΦΟΥ (N1β)			1	2	Εκτός λειτουργίας η γεώτρηση	2	
ΠΗΓΗ ΚΑΛΑΜΙΩΝΑΣ ΑΓΥΙΑΣ (N2)		2	6	4	3	2	
ΠΗΓΗ ΒΡΥΣΙΔΙΑ ΑΓΥΙΑΣ (N3)		Έλλειψη δοχείων BOD	3	1	2	3	
ΠΗΓΗ ΠΛΑΤΑΝΟΣ ΑΓΥΙΑΣ (N4)		Κάτω από το όριο	4	4	2	4	
ΑΝΤΛΟΣΤΑΣΙΟ ΧΩΡΙΟΥ ΑΓΥΙΑΣ (N5)		Δεν είχα πάρει δείγμα από αυτές τις θέσεις	Δεν είχα πάρει δείγμα από αυτές τις θέσεις	12	4	0	
ΠΗΓΗ ΚΟΛΥΜΠΑ ΑΓΥΙΑΣ (N6)	5			2	Δεν πήραμε δείγμα	Δεν πήραμε δείγμα	
ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΜΥΛΩΝΙΑΝΩΝ (N7)	Δεν είχα πάρει δείγμα από αυτή τη θέση				2	Περιείχε νερό των Μεσκλών η δεξαμενή	
ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΜΥΛΩΝΙΑΝΩΝ M3 (N8)	Δεν είχα πάρει δείγμα από αυτή τη θέση					3	

Πίνακας Π11 : Συγκέντρωση των ιόντων χλωρίου (ενδεικτικό επίπεδο : 25 mg/lit, ανώτατη παραδεκτή συγκέντρωση : 200 mg/lit).

Cl ⁻ (mg/lit)							
	Δειγμ. 1 20/05/03	Δειγμ. 2 04/08/03	Δειγμ. 3 20/08/03	Δειγμ. 4 17/09/03	Δειγμ. 5 06/11/03	Δειγμ. 6 02/12/03	Δειγμ. 7 19/12/03
ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΚΟΥΦΟΥ (N1α)	24,1	23,4	21,3	20,6	Εκτός λειτουργίας η γεώτρηση	19,1	20,6
ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΚΟΥΦΟΥ (N1β)	Δεν λειτουργούσε	20,6	22,0	26,2	Εκτός λειτουργίας η γεώτρηση	20,6	19,8
ΠΗΓΗ ΚΑΛΑΜΙΩΝΑΣ ΑΓΥΙΑΣ (N2)	35,4	37,6	37,6	36,9	39,0	32,6	34,7
ΠΗΓΗ ΒΡΥΣΙΔΙΑ ΑΓΥΙΑΣ (N3)	9,9	9,2	8,5	9,2	8,5	9,2	6,4
ΠΗΓΗ ΠΛΑΤΑΝΟΣ ΑΓΥΙΑΣ (N4)	8,5	7,8	8,5	6,4	5,0	7,8	2,8
ΑΝΤΛΟΣΤΑΣΙΟ ΧΩΡΙΟΥ ΑΓΥΙΑΣ (N5)	Δεν είχα πάρει δείγμα από αυτές τις θέσεις	Δεν είχα πάρει δείγμα από αυτές τις θέσεις	9,2	8,5	5,0	Εκτός λειτουργίας	Εκτός λειτουργίας
ΠΗΓΗ ΚΟΛΥΜΠΑ ΑΓΥΙΑΣ (N6)			10,6	9,2	Δεν πήραμε δείγμα	Δεν πήραμε δείγμα	Δεν πήραμε δείγμα
ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΜΥΛΩΝΙΑΝΩΝ (N7)	Δεν είχα πάρει δείγμα από αυτή τη θέση				6,4	Περιείχε νερό των Μεσκλών η δεξαμενή	Περιείχε νερό των Μεσκλών η δεξαμενή
ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΜΥΛΩΝΙΑΝΩΝ M3 (N8)	Δεν είχα πάρει δείγμα από αυτή τη θέση					6,4	2,8

Πίνακας Π12 : Συγκέντρωση φωσφορικών ιόντων (ενδεικτικό επίπεδο : 0,4 mg/lit, ανώτατη παραδεκτή τιμή : 5 mg/lit).

PO ₄ ³⁻ (mg/lit)							
	Δειγμ. 1 20/05/03	Δειγμ. 2 04/08/03	Δειγμ. 3 20/08/03	Δειγμ. 4 17/09/03	Δειγμ. 5 06/11/03	Δειγμ. 6 02/12/03	Δειγμ. 7 19/12/03
ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΚΟΥΦΟΥ (N1α)	Δεν υπολογίσθηκε αυτή η παράμετρος	<0,05	<0,05	<0,05	Εκτός λειτουργίας η γεώτρηση	0,22	<0,05
ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΚΟΥΦΟΥ (N1β)		0,08	<0,05	<0,05	Εκτός λειτουργίας η γεώτρηση	0,02	<0,05
ΠΗΓΗ ΚΑΛΑΜΙΩΝΑΣ ΑΓΥΙΑΣ (N2)		<0,05	<0,05	<0,05	0,02	0,43	<0,05
ΠΗΓΗ ΒΡΥΣΙΔΙΑ ΑΓΥΙΑΣ (N3)		<0,05	<0,05	0,01	<0,05	0,71	<0,05
ΠΗΓΗ ΠΛΑΤΑΝΟΣ ΑΓΥΙΑΣ (N4)		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,00	<0,05
ΑΝΤΛΟΣΤΑΣΙΟ ΧΩΡΙΟΥ ΑΓΥΙΑΣ (N5)	Δεν είχα πάρει δείγμα από αυτές τις θέσεις	Δεν είχα πάρει δείγμα από αυτές τις θέσεις	<0,05	0,02	<0,05	Εκτός λειτουργίας	Εκτός λειτουργίας
ΠΗΓΗ ΚΟΛΥΜΠΑ ΑΓΥΙΑΣ (N6)			<0,05	<0,05	Δεν πήραμε δείγμα	Δεν πήραμε δείγμα	Δεν πήραμε δείγμα
ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΜΥΛΩΝΙΑΝΩΝ (N7)	Δεν είχα πάρει δείγμα από αυτή τη θέση				<0,05	Περιείχε νερό των Μεσκλών η δεξαμενή	Περιείχε νερό των Μεσκλών η δεξαμενή
ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΜΥΛΩΝΙΑΝΩΝ M3 (N8)	Δεν είχα πάρει δείγμα από αυτή τη θέση					0,11	<0,05

Πίνακας Π13 : Συγκέντρωση αμμωνιακών ιόντων (ενδεικτικό επίπεδο : 0,05 mg/lit, ανώτατη παραδεκτή συγκέντρωση : 0,5 mg/lit).

NH ₄ ⁺ (mg/lit)							
	Δειγμ. 1 20/05/03	Δειγμ. 2 04/08/03	Δειγμ. 3 20/08/03	Δειγμ. 4 17/09/03	Δειγμ. 5 06/11/03	Δειγμ. 6 02/12/03	Δειγμ. 7 19/12/03
ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΚΟΥΦΟΥ (N1α)	Δεν υπολογίσθηκε αυτή η παράμετρος	0,01	0,04	<0,05	Εκτός λειτουργίας η γεώτρηση	<0,05	<0,05
ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΚΟΥΦΟΥ (N1β)		0,06	<0,05	0	Εκτός λειτουργίας η γεώτρηση	<0,05	<0,05
ΠΗΓΗ ΚΑΛΑΜΙΩΝΑΣ ΑΓΥΙΑΣ (N2)		0,04	<0,05	0,08	0,08	0	<0,05
ΠΗΓΗ ΒΡΥΣΙΔΙΑ ΑΓΥΙΑΣ (N3)		0,00	<0,05	<0,05	0,06	<0,05	0,05
ΠΗΓΗ ΠΛΑΤΑΝΟΣ ΑΓΥΙΑΣ (N4)		0,00	0,05	0,03	0,05	<0,05	<0,05
ΑΝΤΛΟΣΤΑΣΙΟ ΧΩΡΙΟΥ ΑΓΥΙΑΣ (N5)	Δεν είχα πάρει δείγμα από αυτές τις θέσεις	Δεν είχα πάρει δείγμα από αυτές τις θέσεις	<0,05	0,06	0,03	Εκτός λειτουργίας	Εκτός λειτουργίας
ΠΗΓΗ ΚΟΛΥΜΠΑ ΑΓΥΙΑΣ (N6)			<0,05	<0,05	Δεν πήραμε δείγμα	Δεν πήραμε δείγμα	Δεν πήραμε δείγμα
ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΜΥΛΩΝΙΑΝΩΝ (N7)	Δεν είχα πάρει δείγμα από αυτή τη θέση				0,08	Περιείχε νερό των Μεσκλών η δεξαμενή	Περιείχε νερό των Μεσκλών η δεξαμενή
ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΜΥΛΩΝΙΑΝΩΝ M3 (N8)	Δεν είχα πάρει δείγμα από αυτή τη θέση					0,08	<0,05

Πίνακας Π14 : Συγκεντρώσεις νιτρικών ιόντων (ενδεικτικό επίπεδο : 25 mg/lit, ανώτατη παραδεκτή συγκέντρωση : 50 mg/lit).

NO ₃ ⁻ (mg/lit)							
	Δειγμ. 1 20/05/03	Δειγμ. 2 04/08/03	Δειγμ. 3 20/08/03	Δειγμ. 4 17/09/03	Δειγμ. 5 06/11/03	Δειγμ. 6 02/12/03	Δειγμ. 7 19/12/03
ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΚΟΥΦΟΥ (N1α)	Δεν υπολογίσθηκε αυτή η παράμετρος	<0,5	1,60	1,50	Εκτός λειτουργίας η γεώτρηση	2,20	2
ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΚΟΥΦΟΥ (N1β)		<0,5	1,70	1,40	Εκτός λειτουργίας η γεώτρηση	1,50	2
ΠΗΓΗ ΚΑΛΑΜΙΩΝΑΣ ΑΓΥΙΑΣ (N2)		<0,5	1,70	2,00	0,6	0,6	0,6
ΠΗΓΗ ΒΡΥΣΙΔΙΑ ΑΓΥΙΑΣ (N3)		<0,5	1,70	1,70	1,00	1,10	0,9
ΠΗΓΗ ΠΛΑΤΑΝΟΣ ΑΓΥΙΑΣ (N4)		<0,5	0,90	1,00	1,20	0,8	0,9
ΑΝΤΛΟΣΤΑΣΙΟ ΧΩΡΙΟΥ ΑΓΥΙΑΣ (N5)	Δεν είχα πάρει δείγμα από αυτές τις θέσεις	Δεν είχα πάρει δείγμα από αυτές τις θέσεις	1,10	0,9	1,10	Εκτός λειτουργίας	Εκτός λειτουργίας
ΠΗΓΗ ΚΟΛΥΜΠΑ ΑΓΥΙΑΣ (N6)			1,10	0,9	Δεν πήραμε δείγμα	Δεν πήραμε δείγμα	Δεν πήραμε δείγμα
ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΜΥΛΩΝΙΑΝΩΝ (N7)	Δεν είχα πάρει δείγμα από αυτή τη θέση				1,00	Περιείχε νερό των Μεσκλών η δεξαμενή	Περιείχε νερό των Μεσκλών η δεξαμενή
ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΜΥΛΩΝΙΑΝΩΝ M3 (N8)	Δεν είχα πάρει δείγμα από αυτή τη θέση					0,9	0,9

Πίνακας Π15 : Συγκέντρωση θειϊκών ιόντων (ενδεικτικό επίπεδο : 25 mg/lit, ανώτατη παραδεκτή συγκέντρωση : 250 mg/lit).

SO ₄ ²⁻ (Θειϊκά) (mg/lit)							
	Δειγμ. 1 20/05/03	Δειγμ. 2 04/08/03	Δειγμ. 3 20/08/03	Δειγμ. 4 17/09/03	Δειγμ. 5 06/11/03	Δειγμ. 6 02/12/03	Δειγμ. 7 19/12/03
ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΚΟΥΦΟΥ (N1α)				610	Εκτός λειτουργίας η γεώτρηση	530	585
ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΚΟΥΦΟΥ (N1β)	Δεν λειτουργούσε			630	Εκτός λειτουργίας η γεώτρηση	530	590
ΠΗΓΗ ΚΑΛΑΜΙΩΝΑΣ ΑΓΥΙΑΣ (N2)				755	625	660	675
ΠΗΓΗ ΒΡΥΣΙΔΙΑ ΑΓΥΙΑΣ (N3)				<5	3<5	6	4<5
ΠΗΓΗ ΠΛΑΤΑΝΟΣ ΑΓΥΙΑΣ (N4)				2 <5	3<5	4<5	3<5
ΑΝΤΛΟΣΤΑΣΙΟ ΧΩΡΙΟΥ ΑΓΥΙΑΣ (N5)	Δεν είχα πάρει δείγμα από αυτές τις θέσεις	Δεν είχα πάρει δείγμα από αυτές τις θέσεις		3 < 5	3<5	Εκτός λειτουργίας	Εκτός λειτουργίας
ΠΗΓΗ ΚΟΛΥΜΠΑ ΑΓΥΙΑΣ (N6)				19	Δεν πήραμε δείγμα	Δεν πήραμε δείγμα	Δεν πήραμε δείγμα
ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΜΥΛΩΝΙΑΝΩΝ (N7)	Δεν είχα πάρει δείγμα από αυτή τη θέση				11	Περιείχε νερό των Μεσκλών η δεξαμενή	Περιείχε νερό των Μεσκλών η δεξαμενή
ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΜΥΛΩΝΙΑΝΩΝ M3 (N8)	Δεν είχα πάρει δείγμα από αυτή τη θέση					3<5	1<5

Πίνακας Π16 : Συγκέντρωση ιόντων ασβεστίου (ενδεικτικό επίπεδο : 100 mg/lit).

Ca (mg/lit)							
	Δειγμ. 1 20/05/03	Δειγμ. 2 04/08/03	Δειγμ. 3 20/08/03	Δειγμ. 4 17/09/03	Δειγμ. 5 06/11/03	Δειγμ. 6 02/12/03	Δειγμ. 7 19/12/03
ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΚΟΥΦΟΥ (N1α)	Έλλειψη οργάνου	132,2	137,0	137,1	Εκτός λειτουργίας η γεώτρηση	135,0	130,1
ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΚΟΥΦΟΥ (N1β)	Δεν λειτουργούσε	137,3	139,3	126,3	Εκτός λειτουργίας η γεώτρηση	138,2	117,5
ΠΗΓΗ ΚΑΛΑΜΙΩΝΑΣ ΑΓΥΙΑΣ (N2)	Έλλειψη οργάνου	154,0	155,4	149,5	149,1	151,3	129,4
ΠΗΓΗ ΒΡΥΣΙΔΙΑ ΑΓΥΙΑΣ (N3)	Έλλειψη οργάνου	45,7	40,8	39,4	37,1	36,4	32,2
ΠΗΓΗ ΠΛΑΤΑΝΟΣ ΑΓΥΙΑΣ (N4)	Έλλειψη οργάνου	38,2	37,8	40,2	37,9	51,2	31,0
ΑΝΤΛΟΣΤΑΣΙΟ ΧΩΡΙΟΥ ΑΓΥΙΑΣ (N5)	Δεν είχα πάρει δείγμα από αυτές τις θέσεις	Δεν είχα πάρει δείγμα από αυτές τις θέσεις	37,9	39,4	39,2	Εκτός λειτουργίας	Εκτός λειτουργίας
ΠΗΓΗ ΚΟΛΥΜΠΑ ΑΓΥΙΑΣ (N6)				39,2	38,7	Δεν πήραμε δείγμα	Δεν πήραμε δείγμα
ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΜΥΛΩΝΙΑΝΩΝ (N7)	Δεν είχα πάρει δείγμα από αυτή τη θέση				40,8	Περιείχε νερό των Μεσκλών η δεξαμενή	Περιείχε νερό των Μεσκλών η δεξαμενή
ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΜΥΛΩΝΙΑΝΩΝ M3 (N8)	Δεν είχα πάρει δείγμα από αυτή τη θέση					37,2	39,1

Πίνακας Π17 : Αποτελέσματα ιόντων καλίου (ενδεικτικό επίπεδο : 10 mg/lit, ανώτατη παραδεκτή συγκέντρωση : 12 mg/lit).

Κ (mg/lit)							
	Δειγμ. 1 20/05/03	Δειγμ. 2 04/08/03	Δειγμ. 3 20/08/03	Δειγμ. 4 17/09/03	Δειγμ. 5 06/11/03	Δειγμ. 6 02/12/03	Δειγμ. 7 19/12/03
ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΚΟΥΦΟΥ (N1α)	Έλλειψη οργάνου	0,7	1,4	0,9	Εκτός λειτουργίας η γεώτρηση	0,5	0,6
ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΚΟΥΦΟΥ (N1β)	Εκτός λειτουργίας η γεώτρηση	0,7	0,8	0,9	Εκτός λειτουργίας η γεώτρηση	0,5	0,5
ΠΗΓΗ ΚΑΛΑΜΙΩΝΑΣ ΑΓΥΙΑΣ (N2)	Έλλειψη οργάνου	0,9	1,0	0,4	1,2	0,9	0,8
ΠΗΓΗ ΒΡΥΣΙΔΙΑ ΑΓΥΙΑΣ (N3)	Έλλειψη οργάνου	0,3	0,3	0,3	0,4	0,2	0,2
ΠΗΓΗ ΠΛΑΤΑΝΟΣ ΑΓΥΙΑΣ (N4)	Έλλειψη οργάνου	0,2	0,3	0,5	0,4	0,2	0,1
ΑΝΤΛΟΣΤΑΣΙΟ ΧΩΡΙΟΥ ΑΓΥΙΑΣ (N5)	Δεν είχα πάρει δείγμα από αυτές τις θέσεις	Δεν είχα πάρει δείγμα από αυτές τις θέσεις	0,2	0,6	0,3	Εκτός λειτουργίας	Εκτός λειτουργίας
ΠΗΓΗ ΚΟΛΥΜΠΑ ΑΓΥΙΑΣ (N6)			0,3	0,5	Δεν πήραμε δείγμα	Δεν πήραμε δείγμα	Δεν πήραμε δείγμα
ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΜΥΛΩΝΙΑΝΩΝ (N7)	Δεν είχα πάρει δείγμα από αυτή τη θέση				0,4	Περιείχε νερό των Μεσκλών η δεξαμενή	Περιείχε νερό των Μεσκλών η δεξαμενή
ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΜΥΛΩΝΙΑΝΩΝ M3 (N8)	Δεν είχα πάρει δείγμα από αυτή τη θέση					0,3	0,2

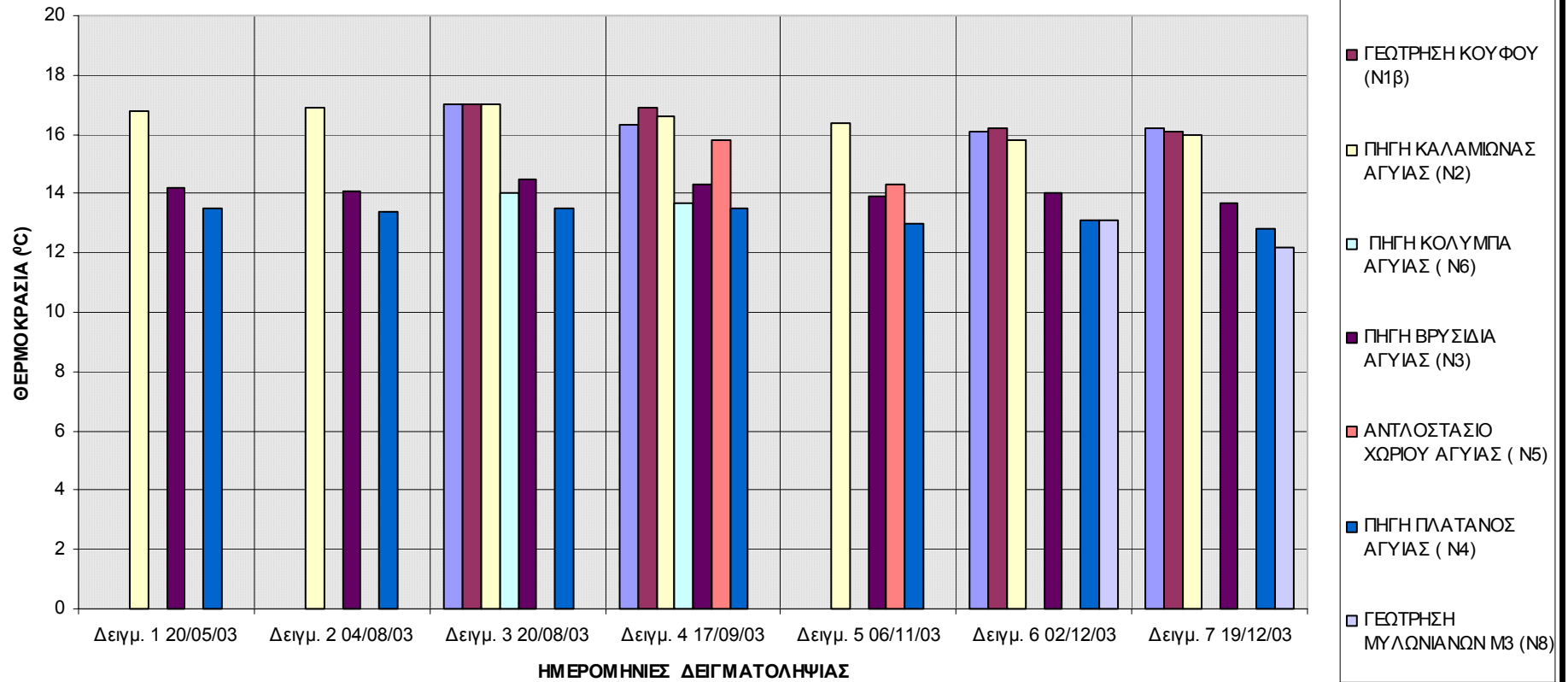
Πίνακας Π18 : Αποτελέσματα ιόντων μαγνησίου (ενδεικτικό επίπεδο : 30 mg/lit, ανώτατη παραδεκτή συγκέντρωση : 50 mg/lit).

Mg (mg/lit)							
	Δειγμ. 1 20/05/03	Δειγμ. 2 04/08/03	Δειγμ. 3 20/08/03	Δειγμ. 4 17/09/03	Δειγμ. 5 06/11/03	Δειγμ. 6 02/12/03	Δειγμ. 7 19/12/03
ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΚΟΥΦΟΥ (N1α)	Έλλειψη οργάνου	35,1	33,7	33,8	Εκτός λειτουργίας η γεώτρηση	33,1	33,4
ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΚΟΥΦΟΥ (N1β)	Δεν λειτουργούσε	34,0	34,1	32,3	Εκτός λειτουργίας η γεώτρηση	33,4	32,6
ΠΗΓΗ ΚΑΛΑΜΙΩΝΑΣ ΑΓΥΙΑΣ (N2)	Έλλειψη οργάνου	35,9	34,8	36,8	35,1	33,7	33,4
ΠΗΓΗ ΒΡΥΣΙΔΙΑ ΑΓΥΙΑΣ (N3)	Έλλειψη οργάνου	10,5	10,5	10,9	10,2	10,0	10,4
ΠΗΓΗ ΠΛΑΤΑΝΟΣ ΑΓΥΙΑΣ (N4)	Έλλειψη οργάνου	9,8	9,7	10,1	9,5	10,8	9,5
ΑΝΤΛΟΣΤΑΣΙΟ ΧΩΡΙΟΥ ΑΓΥΙΑΣ (N5)	Δεν είχα πάρει δείγμα από αυτές τις θέσεις	Δεν είχα πάρει δείγμα από αυτές τις θέσεις	10,5	10,5	10,7	Εκτός λειτουργίας	Εκτός λειτουργίας
ΠΗΓΗ ΚΟΛΥΜΠΑ ΑΓΥΙΑΣ (N6)			11,8	11,8	Δεν πήραμε δείγμα	Δεν πήραμε δείγμα	Δεν πήραμε δείγμα
ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΜΥΛΩΝΙΑΝΩΝ (N7)	Δεν είχα πάρει δείγμα από αυτή τη θέση				11,3	Περιείχε νερό των Μεσκλών η δεξαμενή	Περιείχε νερό των Μεσκλών η δεξαμενή
ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΜΥΛΩΝΙΑΝΩΝ M3 (N8)	Δεν είχα πάρει δείγμα από αυτή τη θέση					7,6	8,2

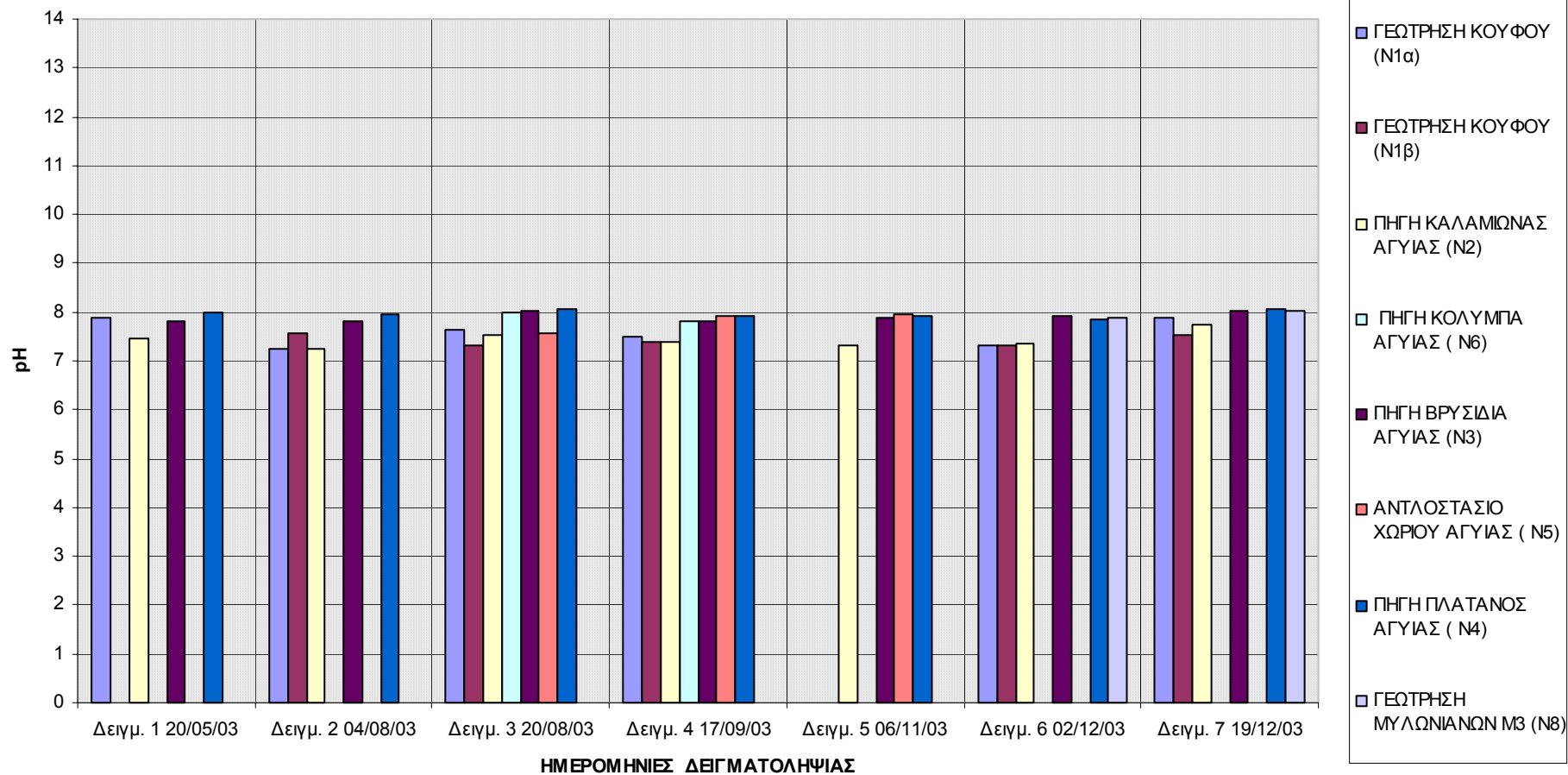
8.3 Διαγράμματα χημικών αναλύσεων

Για ευκολότερη σύγκριση των ποιοτικών χαρακτηριστικών των δειγμάτων που αναλύθηκαν καθώς και για την κατηγοριοποίηση των πηγών σε ομάδες με βάση τα ποιοτικά τους χαρακτηριστικά, κατασκευάστηκαν διαγράμματα της θερμοκρασίας, του pH, της ολικής σκληρότητας, των χλωριόντων, της αγωγιμότητας, των ιόντων ασβεστίου, μαγνησίου και καλίου για κάθε δειγματοληψία, τα οποία παρουσιάζονται παρακάτω.

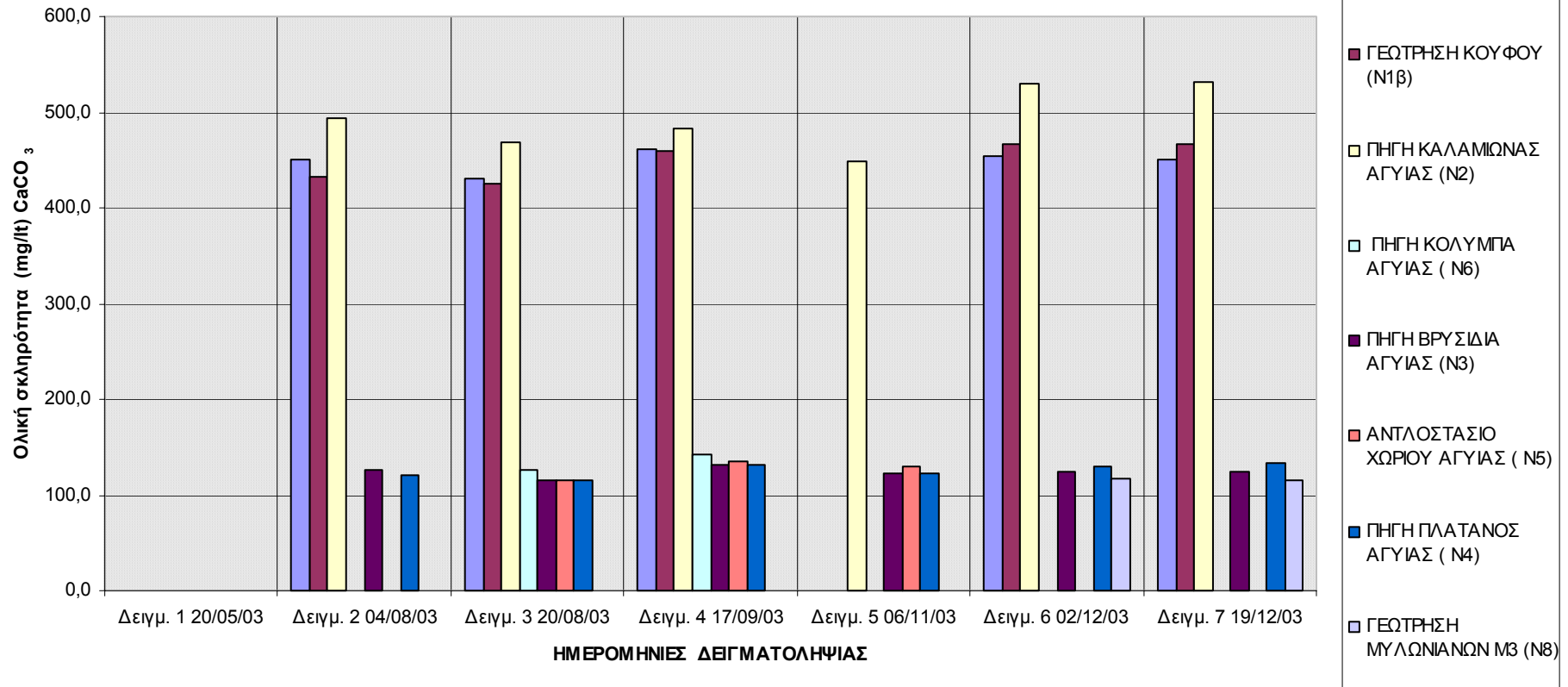
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ Δ1 ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΝΕΡΩΝ ΠΗΓΩΝ ΑΓΥΙΑΣ, ΚΟΥΦΟΥ ΚΑΙ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ ΜΥΛΩΝΙΑΝΩΝ ΤΟ ΕΤΟΣ 2003



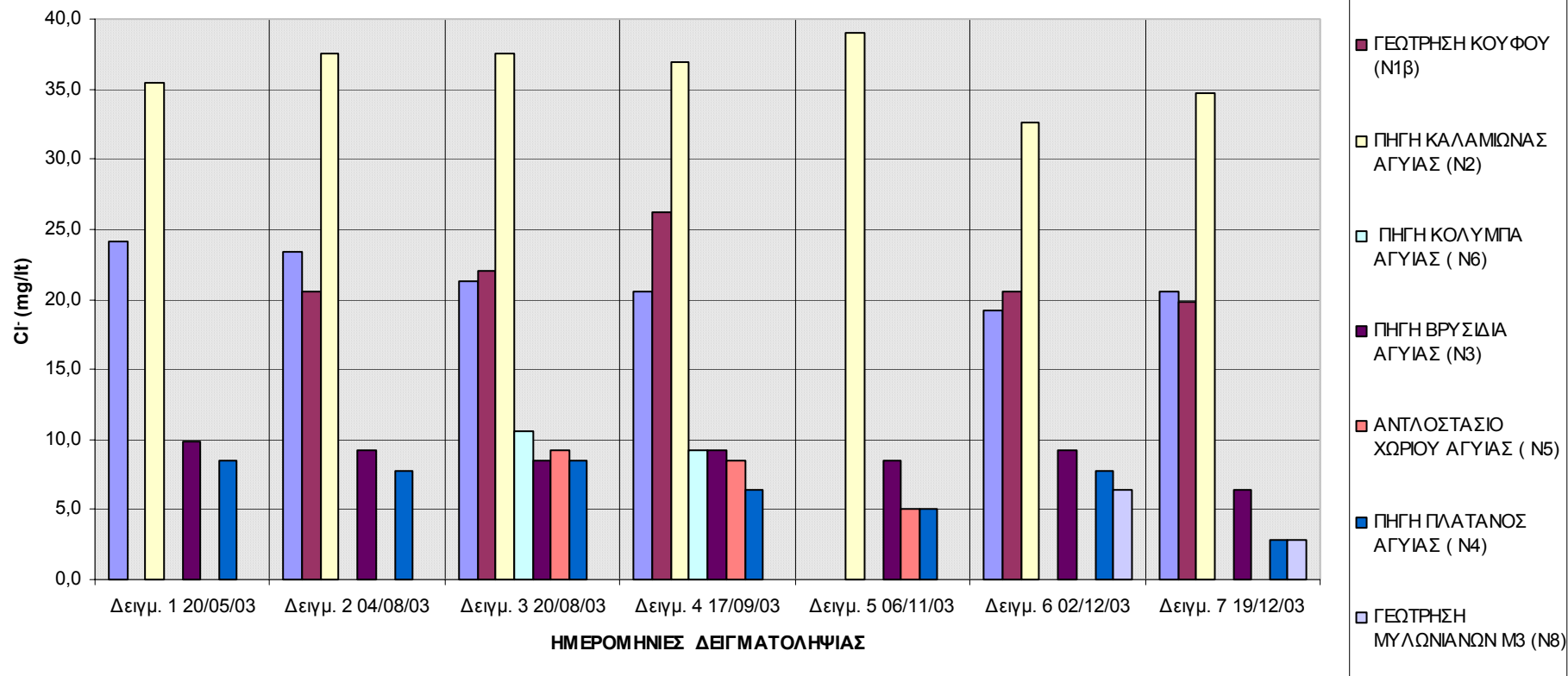
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ Δ2 pH ΝΕΡΩΝ ΠΗΓΩΝ ΑΓΥΙΑΣ, ΚΟΥΦΟΥ ΚΑΙ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ ΜΥΛΩΝΙΑΝΩΝ ΤΟ ΕΤΟΣ 2003



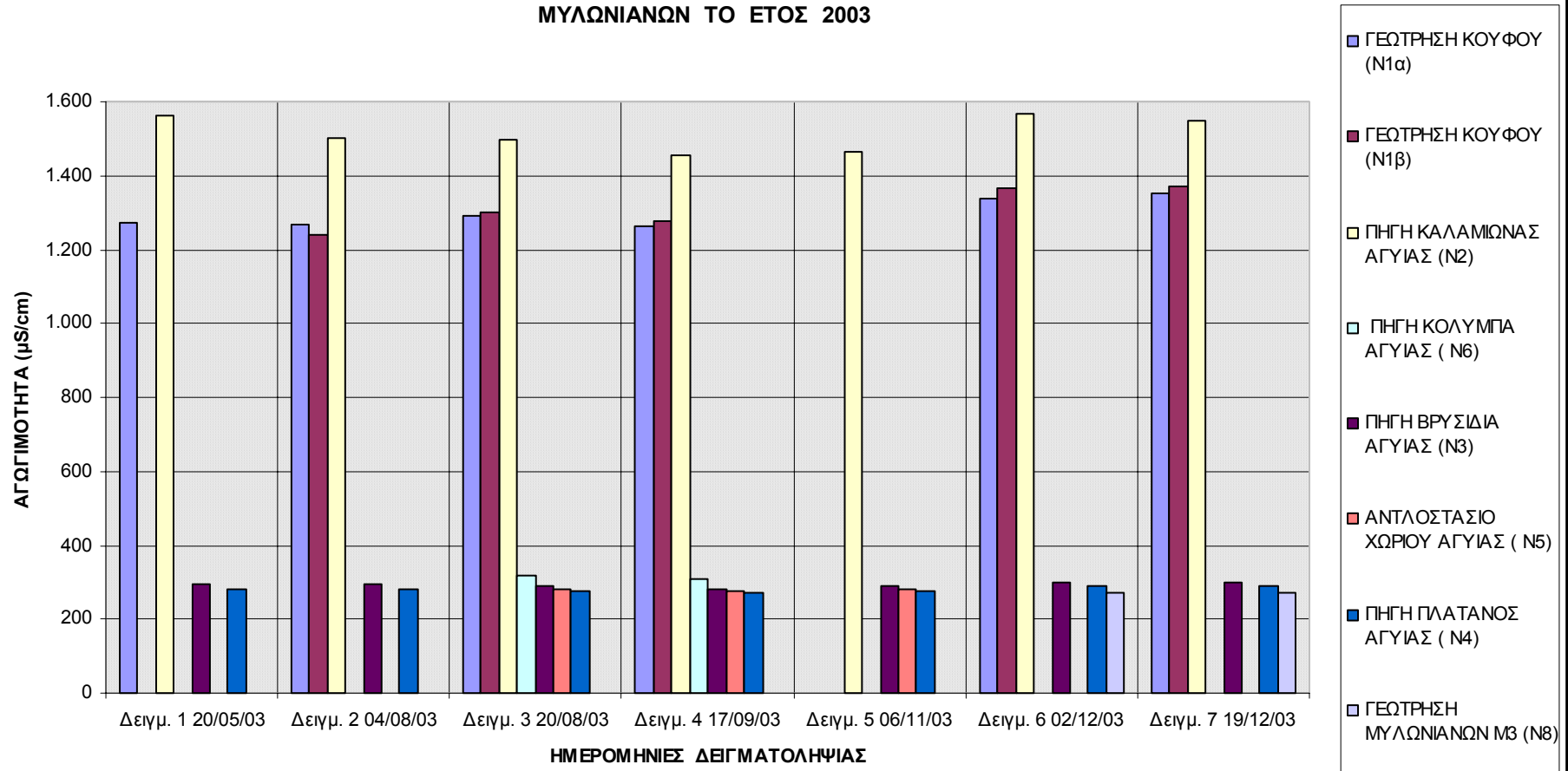
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ Δ3 ΟΛΙΚΗΣ ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑΣ ΝΕΡΩΝ ΠΗΓΩΝ ΑΓΥΙΑΣ, ΚΟΥΦΟΥ ΚΑΙ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ ΜΥΛΩΝΙΑΝΩΝ ΤΟ ΕΤΟΣ 2003



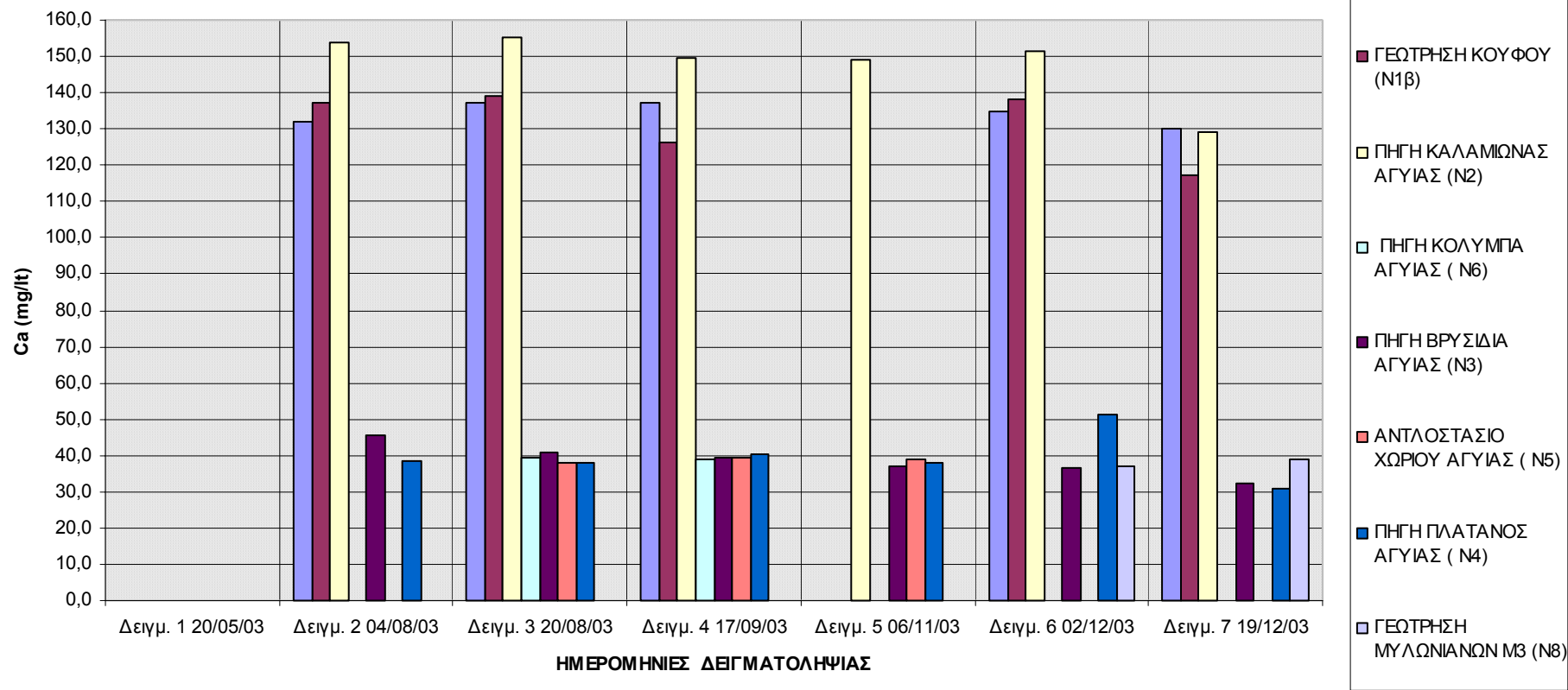
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ Δ4 ΙΟΝΤΩΝ ΧΛΩΡΙΟΥ ΝΕΡΩΝ ΠΗΓΩΝ ΑΓΥΙΑΣ, ΚΟΥΦΟΥ ΚΑΙ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ ΜΥΛΩΝΙΑΝΩΝ ΤΟ ΕΤΟΣ 2003



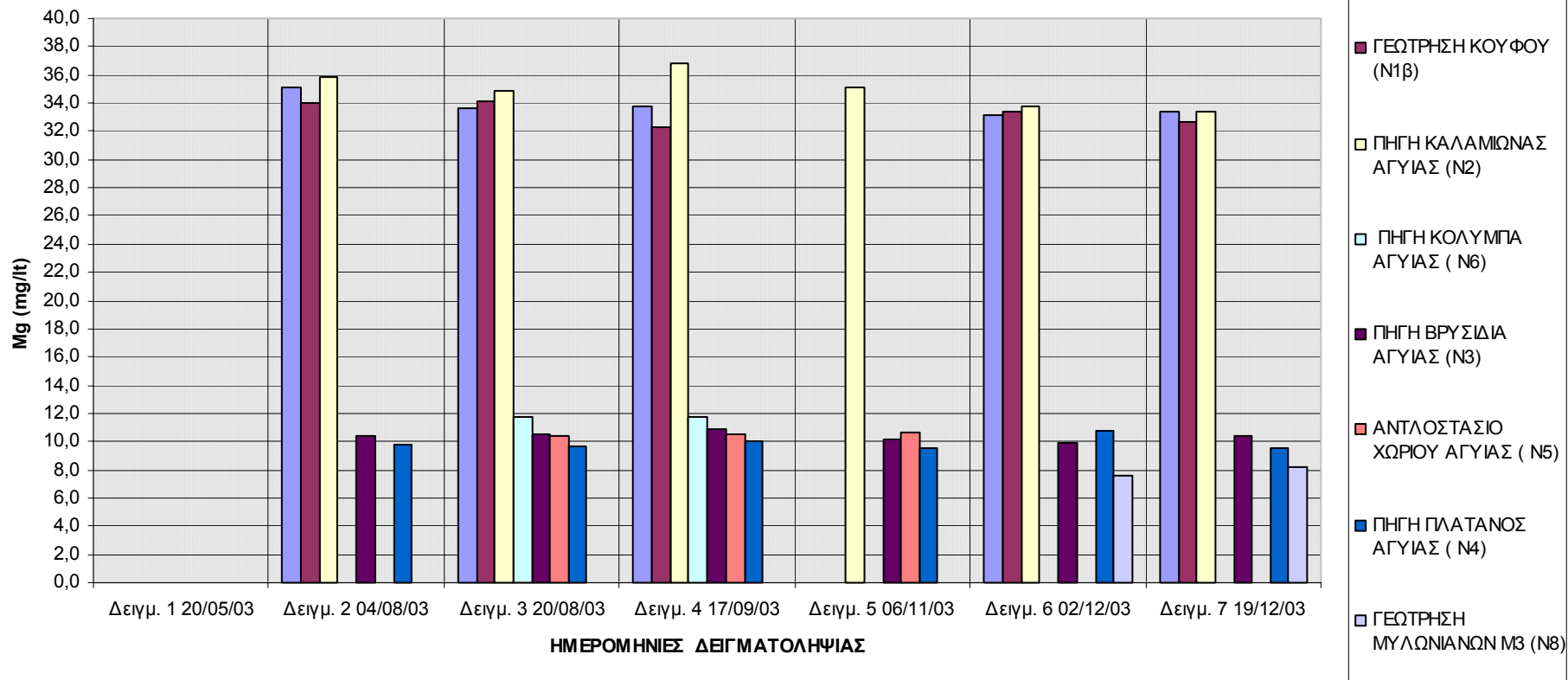
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ Δ5 ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ ΝΕΡΩΝ ΠΗΓΩΝ ΑΓΥΙΑΣ, ΚΟΥΦΟΥ ΚΑΙ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ ΜΥΛΩΝΙΑΝΩΝ ΤΟ ΕΤΟΣ 2003



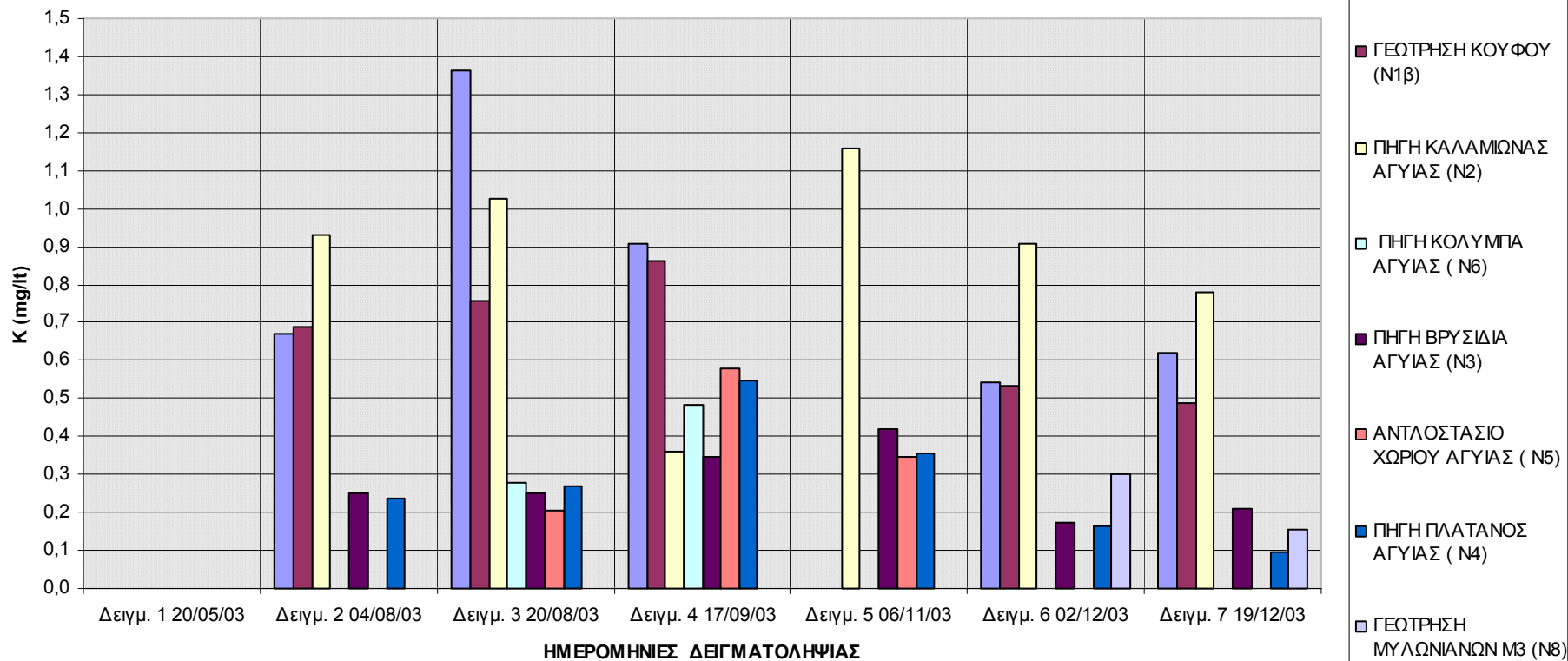
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ Δ6 ΙΟΝΤΩΝ ΑΣΒΕΣΤΙΟΥ ΝΕΡΩΝ ΠΗΓΩΝ ΑΓΥΙΑΣ, ΚΟΥΦΟΥ ΚΑΙ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ ΜΥΛΩΝΙΑΝΩΝ ΤΟ ΕΤΟΣ 2003



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ Δ7 ΙΟΝΤΩΝ ΜΑΓΝΗΣΙΟΥ ΝΕΡΩΝ ΠΗΓΩΝ ΑΓΥΙΑΣ, ΚΟΥΦΟΥ ΚΑΙ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ ΜΥΛΩΝΙΑΝΩΝ ΤΟ ΕΤΟΣ 2003



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ Δ8 ΙΟΝΤΩΝ ΚΑΛΙΟΥ ΝΕΡΩΝ ΠΗΓΩΝ ΑΓΥΙΑΣ, ΚΟΥΦΟΥ ΚΑΙ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ ΜΥΛΩΝΙΑΝΩΝ ΤΟ ΕΤΟΣ 2003



ΚΕΦ.9 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Μετά από την παρακολούθηση της ποιότητας του νερού κατά το χρονικό διάστημα Μαΐου – Δεκεμβρίου 2003 που πραγματοποιήθηκε στην περιοχή της Αγυιάς, του Κουφού και των Μυλωνιανών, διαπιστώθηκαν τα εξής :

1. **Οι πηγές νερού της ζώνης Αγυιάς αποτελούν ομάδα πηγών με διαφορετική ποιότητα νερού**, παρόλο που η απόσταση μεταξύ τους είναι πολύ μικρή. Μελετώντας τους πίνακες της παραγράφου 8.2 παρατηρείται ότι η ποιότητα νερού της πηγής νερού Καλαμιώνα διαφέρει αισθητά από τις άλλες πηγές της περιοχής της Αγυιάς.
2. Ελέγχοντας την ποιότητα νερού στην περιοχή του Κουφού γίνεται αντιληπτό, από τις αναλύσεις που έγιναν στη διάρκεια της διπλωματικής εργασίας, ότι η ποιότητα στις θέσεις αυτές είναι όμοια με αυτή της πηγής Καλαμιώνα. **Αν ομαδοποιήσουμε τις παραπάνω θέσεις με βάση την ποιότητα νερού, θα προκύψουν οι ακόλουθες ομάδες:**

✘ Ομάδα Α

- Γεώτρηση Κουφού N1α
- Γεώτρηση Κουφού N1β
- Πηγή Καλαμιώνας Αγυιάς

Οι πηγές νερού της Αγυιάς Πλάτανος, Βρυσίδα, Κολύμπα, Αντλιοστάσιο του χωριού ανήκουν σε μια κοινή ομάδα με βάση την ποιότητα του νερού. Η περιοχή των Μυλωνιανών εντάσσεται και αυτή στην ομάδα Β, αφού όλες οι παράμετροι που αναλύθηκαν το αποδεικνύουν. Συνεπώς η ομάδα Β περιέχει τις εξής θέσεις :

✘ Ομάδα Β

- Πηγή Πλατάνου Αγυιάς
- Πηγή Βρυσίδα Αγυιάς
- Αντλιοστάσιο Χωριού Αγυιάς
- Πηγή Κολύμπα Αγυιάς
- Δεξαμενή Μυλωνιανών
- Γεώτρηση Μυλωνιανών

Η παραπάνω ομαδοποίηση προέκυψε από τις αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν στο Εργαστήριο Ελέγχου Ποιότητας Νερού του τμήματος Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος. Παρατηρώντας, λοιπόν, τους πίνακες από Π1 έως Π18, διαπιστώνουμε ότι αυτή η ομαδοποίηση είναι δόκιμη, αφού τα αποτελέσματα όλων των παραμέτρων είναι αρκετά όμοια για την κάθε ομάδα πηγών. Επίσης, στην περιοχή μελέτης είχαν πραγματοποιηθεί και παλαιότερα χημικές αναλύσεις (παράρτημα Ι, πίνακες Π1), τα αποτελέσματα των οποίων επιβεβαιώνουν τα αποτελέσματα των αναλύσεων της διπλωματικής εργασίας αυτής, για αντίστοιχες παραμέτρους, παρόλο που αυτές είχαν πραγματοποιηθεί περίπου προ 30ετίας τα έτη 1974 -75. Υπάρχει συνεπώς, μια συνεχής ακολουθία που επιβεβαιώνεται και από παλαιότερα χρόνια.

Επιπλέον, ελέγχοντας τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων, παρατηρούμε ότι σε κάθε δειγματοληψία η κάθε παράμετρος που εξετάστηκε παρέμεινε σχεδόν σταθερή, χωρίς καμία ουσιαστική διακύμανση κατά τη διάρκεια των χημικών αναλύσεων από 20-05-03 μέχρι 19-12-03.

3. Από τις υδρογεωλογικές μελέτες που είχαν γίνει στο παρελθόν και τη διδακτορική διατριβή του Δρ. Παυλάκη (Παυλάκης, 1989) έχει διαπιστωθεί ότι ο υπόγειος υδροφορέας που εκτείνεται κάτω και νότια των Μυλωνιανών εντός της μάζας του Β.Δ. τμήματος των Λευκών Ορέων, είναι αυτός ο οποίος τροφοδοτεί με νερό τις πηγές Πλατάνου. Επομένως **η διατήρηση σταθερής ποιότητας των νερών των πηγών Πλατάνου κατά τη διάρκεια των αντλήσεων στα Μυλωνιανά, όπως προκύπτει από τους πίνακες Π1 έως Π18, πιθανόν να δίνει τη δυνατότητα αύξησης του αντλούμενου όγκου νερού από τον υδροφορέα των Μυλωνιανών κατά την αρδευτική περίοδο** με όλα τα σημαντικά πλεονεκτήματα που τούτο συνεπάγεται για την οικονομία της περιοχής Χανιά - Κολυμβάρι.
4. Όπως γνωρίζουμε, τους καλοκαιρινούς μήνες έχουμε περισσότερη κατανάλωση νερού, λόγω περισσότερων αναγκών άρδευσης και ύδρευσης λόγω τουριστικής περιόδου. Αφού η ποιότητα του νερού στις πηγές Πλατάνου δεν άλλαξε στην περίοδο των αυξημένων αντλήσεων, **εκτιμάται ότι ο υπόγειος υδροφορέας των Μυλωνιανών έχει πολύ μεγάλη υδατοχωρητικότητα** και πραγματικά είναι ένας από τους σημαντικότερους υδροφορείς της Ελλάδας. Βέβαια, για την ασφαλέστερη εξαγωγή του παραπάνω συμπεράσματος απαιτείται συλλογή δειγμάτων για μεγαλύτερη χρονική διάρκεια και μετρήσεις στάθμης του υδροφόρου σε κάθε σημείο δειγματοληψίας, πράγμα το οποίο δεν ήταν δυνατό στα πλαίσια μιας πτυχιακής εργασίας. Παρόλα αυτά όμως οι ενδείξεις που παίρνουμε από τις

αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν είναι αρκετά ισχυρές, επειδή έγιναν κατά τη διάρκεια των αντλήσεων την αρδευτική περίοδο, ώστε να στοιχειοθετούν με αρκετή βεβαιότητα τη σταθερότητα της ποιότητας του νερού.

5. Επιπρόσθετα, παρατηρώντας τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων συμπεραίνουμε ότι **το νερό της ομάδας Β είναι καλύτερης ποιότητας και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για πόσιμο**. Τα νερά των ομάδων πηγών Β χαρακτηρίζονται ως ολιγομεταλλικά, με πρωτεύον κατιόν το Ca^{++} από το οποίο συνάγεται η καρστική - ασβεστολιθική προέλευσή τους.

Η περιεκτικότητα σε χλωριόντα και θειικά ιόντα των νερών της ομάδας Β είναι εξαιρετικά χαμηλή, ώστε να επιτρέπει το χαρακτηρισμό των νερών ως υποχλωριούχων και υποθειικών. Επίσης, η πολύ χαμηλή περιεκτικότητα των νερών σε χλωριόντα δείχνει την απομόνωσή τους από το θαλάσσιο νερό και παρέχει απεριόριστες δυνατότητες χρήσης των νερών της συγκεκριμένης ομάδας πηγών χωρίς τη μεταβολή της ποιότητάς τους. Η σκληρότητά τους είναι πολύ μικρή, σε συνδυασμό δε και με τα λοιπά χημικά χαρακτηριστικά, τα καθιστά **εξαιρετικά για ύδρευση και κατάλληλα για άρδευση και των πιο ευαίσθητων καλλιεργειών**.

6. Η διαφοροποίηση της χημικής σύστασης των νερών των δύο ομάδων πηγών οδηγεί στο συμπέρασμα ότι οι πηγές προέρχονται από δύο διαφορετικούς μεμονωμένους υδροφόρους ορίζοντες, οι οποίοι διαμορφώνονται σε γεωλογικούς σχηματισμούς διαφορετικής λιθολογικής και κατ' επέκταση χημικής σύστασης και είχαν διαπιστωθεί σε προγενέστερη επιστημονική εργασία (Παυλάκης, 1989).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- *Davis, S.N., De Wiest, R.J.M., 1967, Hydrogeology, John Wiley & Sons.*
- *Δημόπουλος Γ.Χρ., 1983, Εφαρμοσμένη Γεωλογία Τόμος Ι, Θεσσαλονίκη.*
- *Ζανάκη Κ., 2001, Έλεγχος Ποιότητας Νερού, Εκδόσεις Ιών.*
- *Καλλέργη Γ.Α., 1999, Εφαρμοσμένη – Περιβαλλοντική Υδρογεωλογία Τόμος Α, Εκδόσεις Τεχνικού Επιμελητηρίου, Αθήνα.*
- *Καλλέργη Γ.Α., 1999, Εφαρμοσμένη – Περιβαλλοντική Υδρογεωλογία Τόμος Β, Εκδόσεις Τεχνικού Επιμελητηρίου, Αθήνα.*
- *Καλλέργη Γ.Α., 1999, Εφαρμοσμένη – Περιβαλλοντική Υδρογεωλογία Τόμος Γ, Εκδόσεις Τεχνικού Επιμελητηρίου, Αθήνα.*
- *Κουϊμτζή Θ., Φυτιάνου Κ., Σαμαρά – Κωνσταντίνου Κ., 1998, Χημεία Περιβάλλοντος, University Studio Press.*
- *Le Grand, H.E., 1958, Chemical Character of Water in igneous and metaporphic rocks of North Carolina, Econ. Geol.*
- *Mandel, S. – Shiftan, Z., 1981, Groundwater Resources, Investigation and Denelopment, Academic Press.*
- *Μανιός Θ., 2001, Σημειώσεις στις Τεχνολογίες Επεξεργασίας και Διαχείρισης Υγρών Αποβλήτων, ΤΕΙ Κρήτης, Τμήμα Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Χανιά.*
- *Παυλάκης Π.Γ., 1989, Συμβολή στην υδρογεωλογική διερεύνηση του ασβεστολιθικού υδροφόρου συστήματος των πηγών Αγυιάς Δυτικής Κρήτης, Διδακτορική Διατριβή, ΑΠΘ, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών.*
- *Παυλάκης Π.Γ., Τετράχτης, 1980, Μελέτη αξιοποίησης υδατικού δυναμικού Δυτικής Κρήτης, ΥΠΕΧΩΔΕ.*

- Παυλάκη Α., 1984, Συμβολή στην υδρογεωλογική μελέτη και βέλτιστη εκμετάλλευση του καρστικού υδροφόρου συστήματος των πηγών Μεσκλών Δυτικής Κρήτης, Διπλωματική Εργασία, ΑΠΘ, Τμήμα Γεωλογίας.
- Παυλάκη Α., Μουντράκης Δ., Κίλιας Α., 1990, Γεωλογική χαρτογράφηση και μελέτη του Β και ΒΔ τμήματος των Λευκών Ορέων.
- Σούλιος Γ.Χ., 1983, Συμβολή στην υδρογεωλογική μελέτη των καρστικών υδροφόρων συστημάτων του ελληνικού χώρου.
- Σούλιος Γ.Χ., 1996, Γενική Υδρογεωλογία Τόμος Α, University Studio Press.

Web sites

- http://waterinfo.gr/eedyp/Paros_papers/pappa_g.pdf
- http://www-jcb.bio.auth.gr/gewp_biot/Labor_Bion_Nutr_PI/bouranis4.htm

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

Πίνακες Π1 : Γενικές αναλύσεις ύδατος, φυσικοχημικό εργαστήριο Χανίων Γ.Μ.Φθενάκη (αρχείο Π.Παυλάκη)

Γεώτρηση Κουφού					
	Αγωγιμότητα (μMhos/cm) (Γεώτρηση Κουφού)	SO ₄ ²⁻ (mg/l) (Γεώτρηση Κουφού)	Ca (mg/l) (Γεώτρηση Κουφού)	Mg (mg/l) (Γεώτρηση Κουφού)	Cl ⁻ (mg/l) (Γεώτρηση Κουφού)
Δειγμ. 1 28/03/73					
Δειγμ. 2 30/09/73	1170	530,88	133,98	63,74	46,15
Δειγμ. 3 30/10/73	200	550,08	143,20	56,40	39,76

Πηγή Κολύμπα Αγιάς					
	Αγωγιμότητα (μMhos/cm) (Πηγή Κολύμπα Αγιάς)	SO ₄ ²⁻ (mg/l) (Πηγή Κολύμπα Αγιάς)	Ca (mg/l) (Πηγή Κολύμπα Αγιάς)	Mg (mg/l) (Πηγή Κολύμπα Αγιάς)	Cl ⁻ (mg/l) (Πηγή Κολύμπα Αγιάς)
Δειγμ. 1 28/03/73	660	269,76	94,40	20,16	31,93
Δειγμ. 2 30/09/73	620	192,00	60,00	19,25	28,82
Δειγμ. 3 30/10/73	700	355,20	94,08	34,81	34,08

Πηγή Καλαμιώνας Αγιάς					
	Αγωγιμότητα (μMhos/cm) (Πηγή Καλαμιώνας Αγιάς)	SO ₄ ²⁻ (mg/l) (Πηγή Καλαμιώνας Αγιάς)	Ca (mg/l) (Πηγή Καλαμιώνας Αγιάς)	Mg (mg/l) (Πηγή Καλαμιώνας Αγιάς)	Cl ⁻ (mg/l) (Πηγή Καλαμιώνας Αγιάς)
Δειγμ. 1 28/03/73					
Δειγμ. 2 30/09/73	1350	542,40	141,02	58,25	49,7
Δειγμ. 3 30/10/73	1150	400,32	119,60	36,06	49,7

Πηγή Βρυσίδα Αγιάς					
	Αγωγιμότητα (μMhos/cm) (Πηγή Βρυσίδα Αγιάς)	SO ₄ ²⁻ (mg/l) (Πηγή Βρυσίδα Αγιάς)	Ca (mg/l) (Πηγή Βρυσίδα Αγιάς)	Mg (mg/l) (Πηγή Βρυσίδα Αγιάς)	Cl ⁻ (mg/l) (Πηγή Βρυσίδα Αγιάς)
Δειγμ. 1 28/03/73					
Δειγμ. 2 30/09/73	300	62,88	22	9,62	18,46
Δειγμ. 3 30/10/73	300	65,28	22,01	9,64	19,88

Πηγή Πλάτανος Αγιάς					
	Αγωγιμότητα (μMhos/cm) (Πηγή Πλάτανος Αγιάς)	SO ₄ ²⁻ (mg/l) (Πηγή Πλάτανος Αγιάς)	Ca (mg/l) (Πηγή Πλάτανος Αγιάς)	Mg (mg/l) (Πηγή Πλάτανος Αγιάς)	Cl ⁻ (mg/l) (Πηγή Πλάτανος Αγιάς)
Δειγμ. 2 30/09/73	255	71,60	24,03	11,76	17,75
Δειγμ. 3 30/10/73	219	71,60	24,22	10,83	15,62

Πίνακας Π2: Μέση παροχή πηγών νερού Πλατάνου – Καλαμιώνα περιοχής Αγυιάς, τα υδρολογικά έτη 1971 – 1985.

ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΚΡΗΤΗΣ Δ/ΝΣΗ ΔΗΜΟΣΙΩΝ ΕΡΓΩΝ ΤΜΗΜΑ ΕΓΓΕΙΩΝ ΒΕΛΤΙΩΣΕΩΝ													ΝΟΜΟΣ : ΧΑΝΙΩΝ ΠΕΡΙΟΧΗ : ΑΓΙΑ ΠΗΓΗ : ΠΛΑΤΑΝΟΣ-ΚΑΛΑΜΙΩΝΑΣ
ΜΕΣΗ ΠΑΡΟΧΗ ΜΗΝΑ ΣΕ L/Sec.													
ΥΔΡ.ΕΤΟΣ	ΣΕΠ.	ΟΚΤ.	ΝΟΕ.	ΔΕΚ.	ΙΑΝ.	ΦΕΒ.	ΜΑΡ.	ΑΠΡ.	ΜΑΙ.	ΙΟΥΝ.	ΙΟΥΛ.	ΑΥΓ.	ΜΕΣΗ ΕΤ.
1971-72	2075	2016	2112	1923	1904	2014	2119	2274	2336	2325	2367	2065	2127,5
1972-73	1786	1763	2018	2127	2156	2366	2730	2795	2528	2325	2142	1961	2224,8
1973-74	1927	1922	1950	1992	2062	2196	2326	2309	2193	2061	1913	1767	2051,5
1974-75	1610	1525	1589	1853	1976	1994	2060	1986	1871	1758	1651	1561	1786,2
1975-76	1527	1402	1359	1510	2021	2330	2204	2185	2132	1995	1848	1778	1857,6
1976-77	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1977-78	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1978-79	1650	1870	2095	2246	2330	2650	2935	2640	2034	1650	1584	1555	2103,3
1979-80	1760	1800	1860	2057	2540	2880	2668	2510	2410	2360	2340	2330	2292,9
1980-81	2190	2220	2285	2310	2320	2360	2440	2536	2768	2596	2330	2196	2379,3
1981-82	2210	2150	2100	2230	2380	2620	2930	2620	2360	2310	2220	2040	2347,5
1982-83	1894	1824	1676	1905	2171	2531	2664	2202	1964	1916	1917	1802	2038,8
1983-84	1729	1731	1861	1985	2141	2498	2271	2239	2159	2022	1934	1813	2031,9
1984-85	1692	1660	1927	2178	2619	2887	2727	2490	2413	2372	2318	2254	2294,8
	Οι μετρήσεις σταμάτησαν λόγω κατασκευής έργου.												
Μ.Ο	1838	1824	1903	2026	2218	2444	2506	2399	2264	2141	2047	1927	2128

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ

**Φωτογραφικό Υλικό από τις γεωτρήσεις Μυλωνιανών και από την πηγή νερού
Καλαμιώνα της περιοχής Αγιάς**



Φωτογραφία 1 : Φρεάτιο της υδρογεώτρησης Μ3 στην περιοχή των Μυλωνιανών, όπου συλλέχθηκε δείγμα



Φωτογραφία 2 : Θέση ανάβλυσης νερού στην πηγή Καλαμιώνα της περιοχής της Αγιάς