

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ

ΕΙΔΙΚΕΥΣΗ: ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

**« ΠΟΙΟΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ
ΤΗΣ ΝΗΣΟΥ ΠΑΡΟΥ »**

ΤΡΙΑΝΤΑΦΥΛΛΟΥ Ν. ΔΗΜΗΤΡΑ

Χημικός

ΑΘΗΝΑ 2012

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ: ΨΥΧΟΓΙΟΥ ΜΑΡΙΑ, ΛΕΚΤΟΡΑΣ Γ.Π.Α.

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

**« ΠΟΙΟΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ
ΤΗΣ ΝΗΣΟΥ ΠΑΡΟΥ »**

ΤΡΙΑΝΤΑΦΥΛΛΟΥ Ν. ΔΗΜΗΤΡΑ

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ: ΨΥΧΟΓΙΟΥ ΜΑΡΙΑ, ΔΕΚΤΟΡΑΣ Γ.Π.Α.

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ: ΨΥΧΟΓΙΟΥ ΜΑΡΙΑ, ΔΕΚΤΟΡΑΣ Γ.Π.Α.

ΜΕΛΗ: ΑΡΓΥΡΟΚΑΣΤΡΙΤΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ, ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Γ.Π.Α.

ΚΑΡΑΒΙΤΗΣ ΧΡΗΣΤΟΣ, ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Γ.Π.Α.

Περίληψη

Στην Πάρο, όπως και στις υπόλοιπες Κυκλάδες τα υπόγεια νερά αποτελούν την κύρια πηγή νερού. Η υπόγεια υδροφορία της Πάρου εντοπίζεται στις προσχώσεις και στα μάρμαρα είτε ως αυτόνομες στρωματογραφίες είτε ως ενστρώσεις στους γνευσιοσχιστόλιθους. Το μέσο ετήσιο ύψος βροχής είναι μόλις 427.6 mm με αποτέλεσμα οι συνθήκες επαναπλήρωσης να είναι ιδιαίτερα δυσμενείς για τα υπόγεια νερά.

Η υδροληψία του νερού για την κάλυψη των αναγκών της ύδρευσης εξασφαλίζεται από περίπου 60 δημοτικές γεωτρήσεις, που εκμεταλλεύονται τις κύριες υδρολογικές λεκάνες του νησιού με συνολική αντλούμενη παροχή χειμώνα περίπου 4,000 m³/ημέρα και αντλούμενη παροχή θέρους περίπου 14,000 m³/ημέρα, καθώς και από μία μονάδα αφαλάτωσης δυναμικότητας 1,200 m³/ημέρα. Για τις ανάγκες της άρδευσης λειτουργούν περίπου 500 ιδιωτικές γεωτρήσεις. Την περίοδο 2001-2011 η κατανάλωση νερού αυξήθηκε κατά 26%, εξαιτίας κυρίως της τουριστικής ανάπτυξης, γεγονός το οποίο εκδηλώνεται με τη διπλάσια κατανάλωση νερού κατά τους θερινούς μήνες.

Σήμερα τα κύρια προβλήματα ύδρευσης στην Πάρο οφείλονται σε φαινόμενα λειψυδρίας κατά τη θερινή περίοδο, ειδικά στους κύριους τουριστικούς προορισμούς της Παροικίας και της Νάουσας, στην ακαταλληλότητα αρκετών νερών για πόση λόγω της αυξημένης αλατότητας και σε ορισμένες περιπτώσεις στη μόλυνση από τη λειτουργία βόθρων. Επιπλέον, συναντάται δυσχέρεια στη διανομή του νερού λόγω της ανεξάρτητης λειτουργίας των δικτύων ύδρευσης.

Στην παρούσα εργασία για την μελέτη και την εκτίμηση της ποιότητας των υπόγειων νερών της Πάρου συλλέχθηκαν στοιχεία που αφορούν την ποιότητα και πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία το Μάιο του 2011. Η υδροχημική μελέτη έδειξε ότι τα υπόγεια νερά βρίσκονται πάνω στη συντηρητική γραμμή μίξης γλυκού και αλμυρού νερού με υδροχημικούς τύπους Ca²⁺-HCO₃⁻, Ca²⁺-Na⁺-Mg²⁺-HCO₃⁻, μικτό τύπο νερών και Na⁺-Cl⁻. Τα μάρμαρα, τα οποία αποτελούν τον κύριο γεωλογικό σχηματισμό, έχουν επηρεάσει το χημισμό των υπογείων νερών με αποτέλεσμα να χαρακτηρίζονται από σκληρά έως πολύ σκληρά νερά.

Οι υποβαθμισμένες από την υφαλμύρωση περιοχές εντοπίζονται κυρίως βόρεια και νοτιοδυτικά του νησιού καθιστώντας τα νερά τύπου Na⁺-Cl⁻. Αντίθετα, οι υπόγειοι υδατικοί πόροι που βρίσκονται στην ενδοχώρα του νησιού και στην ανατολική πλευρά της Πάρου χαρακτηρίζονται στην πλειοψηφία τους ως Ca²⁺-HCO₃⁻ και Ca²⁺-Na⁺-Mg²⁺-HCO₃⁻ αντίστοιχα.

Τέλος, σε γενικές γραμμές η χημική σύσταση των νερών της Πάρου, παρόλη την αυξημένη κατανάλωση και τη χαμηλή βροχόπτωση, δεν παρουσιάζει έντονες μεταβολές ενώ όποτε αυτή μεταβλήθηκε οι υδροφόροι κατάφεραν σε σχετικά σύντομο χρονικό διάστημα να επιστρέψουν στην κατάσταση δυναμικής ισορροπίας μεταξύ γλυκού και αλμυρού νερού.

Επιστημονική περιοχή: υπόγεια νερά της νήσου Πάρου

Λέξεις κλειδιά: Πάρος, ποιότητα νερών της Πάρου, υπόγειο νερό, ποιότητα, υδροχημική μελέτη

Water Quality Assessment in Paros island

Abstract

In Paros, as in the rest of the Cyclades islands water supply comes predominantly from groundwater. The aquifers of Paros located on alluvial and marbles either stratigraphic autonomous or as intercalations with gneiss and schist. The average amount precipitation is only 427.6 mm having as a result a low annual groundwater replenishment rate.

Water supply for urban consumption is provided by approximately 60 municipal wells, mostly drilled in the largest basins of the island with a total supply pumped about 4,000 m³/day in winter, whereas in the summer the pumping rate may reach 14,000 m³/day, to which a desalination capacity of 1,200 m³/day is added. For irrigation purposes, about 500 private wells are operated. During the 2001- 2011 period water consumption increased by 26%, mainly due to tourism, which results in more than doubling water consumption during the summer months.

Currently, summer water shortages are the central water supply problems, especially in the main tourist destinations of Paroikia and Naoussa. Such problems are compounded with increased water salinity due to sea-water intrusion and contamination by leachates from septic tanks. Added difficulties are also encountered by the haphazard development of water conveyance and distribution systems for the urban water supply.

In the present effort the analysis and assessment of groundwater quality of Paros island is presented using data collected during the month of May 2011. The hydro-chemical analyses applied showed that groundwater used is conservatively on the interface of fresh and saltwater with hydro-chemical formulas of Ca²⁺-HCO₃⁻, Ca²⁺-Na⁺-Mg²⁺-HCO₃⁻, mixed type of water and Na⁺-Cl⁻. The marbles, which are the main geological formation, have also affected the groundwater chemistry, characterizing it hard to very hard.

The degraded by salinization areas are mainly located to the north and southwest of the island, producing water of the Na⁺-Cl⁻. In the contrary, groundwater locations in the central areas of the island and on the east side are mostly characterized as Ca²⁺-HCO₃⁻ and Ca²⁺-Na⁺-Mg²⁺-HCO₃⁻ respectively.

All in all, the chemical composition of the groundwater in the island, despite the increased withdrawal rate, consumption and low precipitation values shows no severe changes, and where such changes did occurred, it seemed that the aquifers succeeded in a relatively short time period to return in their state of dynamic equilibrium between freshwater and saltwater.

Scientific area: groundwater of Paros island

Keywords: Paros, water quality of Paros, groundwater, quality, hydro-chemical analysis

Περιεχόμενα

Περίληψη	3
Abstract	5
Πρόλογος	14
1. Εισαγωγή	15
1.1 Στόχος της παρούσας εργασίας	15
1.2 Δομή της εργασίας	15
2. Βιβλιογραφική Ανασκόπηση	17
2.1 Ποιότητα Υδατικών Πόρων	17
2.1.1 Η έννοια της ποιότητας του νερού	17
2.1.2 Διαχρονικές μεταβολές της ποιότητας του νερού	18
2.1.3 Ποιότητα επιφανειακών και υπόγειων υδάτων στην Ελλάδα	20
2.1.4 Προβλήματα ποιότητας στα νησιά του Αιγαίου	22
2.2 Νομοθεσία	23
2.2.1 Η Οδηγία 2000/60/EK	25
2.2.2 Η νομοθεσία για το νερό ανθρώπινης κατανάλωσης	28
2.3 Το Υπόγειο Νερό	30
2.3.1 Ποιότητα υπόγειου νερού	31
2.3.2 Ανθρωπογενείς επιπτώσεις στην ποιότητα των υπόγειων νερών	44
2.3.3 Διακύμανση της πιεζομετρικής στάθμης των υδροφόρων	45
2.3.4 Υφαλμύρωση παράκτιων υδροφόρων	46
2.4 Απόθεση Αλάτων- Διάβρωση Μεταλλικών Επιφανειών	48
3. Μεθοδολογία	54
3.1 Υλικά και Μέθοδοι	54
3.1.1. Πεδίο μελέτης- πειραματικός σχεδιασμός	54
3.1.2 Εργασίες πεδίου	55
3.1.3 Εργαστηριακή μεθοδολογία	55
3.2 Οργάνωση και Μελέτη των Αποτελεσμάτων της Χημικής Ανάλυσης του Νερού	58
3.2.1 Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων	59
3.2.2 Αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των χημικών αναλύσεων με βάση τη νομοθεσία	59
3.2.3 Σύνολο διαλυμένων στερεών	59
3.2.4 Διαγράμματα συγκέντρωσης ιόντων	59
3.2.5 Τριγραμμικά διαγράμματα	60
3.2.6 Διάγραμμα Sulin	61

3.2.7	Συσχετίσεις	61
3.2.8	Ιοντικοί Λόγοι	62
3.2.9	Δείκτες κορεσμού	64
3.2.10	Σκληρότητα	65
3.2.11	Δείκτες απόθεσης αλάτων και διάβρωσης μεταλλικών επιφανειών	65
3.2.12	Συστήματα ταξινόμησης ποιότητας αρδευτικού νερού	68
3.3	Οργάνωση και Μελέτη της Χημικής Ανάλυσης των Δειγμάτων Νερού από το Δίκτυο Ύδρευσης	71
3.3.1	Παρουσίαση αποτελεσμάτων χημικών αναλύσεων των δειγμάτων νερού από το δίκτυο ύδρευσης	71
3.3.2	Αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των χημικών αναλύσεων με βάση τη νομοθεσία	71
3.3.3	Πίτες	71
3.3.4	Σκληρότητα	71
3.3.5	Δείκτες απόθεσης αλάτων και διάβρωσης μεταλλικών επιφανειών	71
3.4	Μελέτη Εξέλιξης Ποιότητας Υδατικών Πόρων στην νήσο Πάρο	72
4.	Μελέτη Περίπτωσης: Νήσος Πάρος	73
4.1	Γενικά Χαρακτηριστικά νήσου Πάρου	73
4.1.1	Ιστορική αναδρομή	73
4.1.2	Διοικητική διαίρεση- Δημογραφία	74
4.1.3	Οικονομικά στοιχεία- Απασχόληση	75
4.1.4	Υποδομές	78
4.1.5	Φυσικό Περιβάλλον	78
4.2	Περιγραφή της Περιοχής Μελέτης	79
4.2.1	Γεωγραφικά στοιχεία- Μορφολογία	79
4.2.2	Γεωλογία της νήσου Πάρου	80
4.2.3	Τεκτονική	83
4.2.2	Κλιματικά χαρακτηριστικά	84
4.2.3	Υδρολογικές συνθήκες	86
4.2.4	Υδρογεωλογικές συνθήκες-Υδροσυστήματα	88
4.3	Διαχείριση Υδατικών Πόρων	94
4.3.1	Φορείς Διαχείρισης	94
4.3.2	Υδροδότηση	95
4.3.3	Δίκτυα και εγκαταστάσεις ύδρευσης	97
4.3.4	Προσφορά και ζήτηση νερού	100
4.3.5	Ποιότητα υδατικών πόρων νήσου Πάρου	102

4.3.6 Έλεγχος ποιότητας νερού ύδρευσης	114
4.3.7 Πιεζομετρική στάθμη υπόγειων υδροφόρων	115
5. Αποτελέσματα	118
5.1 Αποτελέσματα Χημικών Αναλύσεων	118
5.2 Αξιολόγηση των Αποτελεσμάτων των Χημικών Αναλύσεων με βάση τη Νομοθεσία	118
5.3 Σύνολο Διαλυμένων Στερεών (TDS)	120
5.4 Διαγράμματα Συγκέντρωσης Ιόντων	120
5.4.1 Διαγράμματα Πίτας και Stiff	120
5.4.2 Διάγραμμα Schoeller	120
5.5 Τριγραμμικά Διαγράμματα	123
5.6 Διάγραμμα Sulin	127
5.7 Συσχετίσεις	127
5.7.1 Αγωγιμότητα	127
5.7.2 Πίνακας συσχετίσεων	128
5.7.3 Διάγραμμα διαλυτότητας ασβεστίτη και γύψου	129
5.8 Ιοντικοί Λόγοι	130
5.9 Δείκτες Κορεσμού	132
5.11 Σκληρότητα	133
5.12 Δείκτες Απόθεσης-Διάβρωσης	134
5.13 Συστήματα Ταξινόμησης Αρδευτικού Νερού	136
5.13.1 Σύστημα ταξινόμησης αρδευτικού νερού κατά F.A.O.	136
5.13.2 Σύστημα ταξινόμησης αρδευτικού νερού κατά U.S. Salinity Laboratory Staff	138
5.14 Αποτελέσματα Χημικών Αναλύσεων Νερού Δικτύου Ύδρευσης	139
5.15 Αξιολόγηση των Αποτελεσμάτων των Χημικών Αναλύσεων του Νερού του Δικτύου Ύδρευσης με βάση τη Νομοθεσία	
5.16 Διάγραμμα Συγκέντρωσης Ιόντων Νερού Δικτύου Ύδρευσης	141
5.17 Σκληρότητα Νερού Δικτύου Ύδρευσης	141
5.18 Δείκτες Απόθεσης Αλάτων και Διάβρωσης Νερού Δικτύου Ύδρευσης	141
5.19 Μελέτη Εξέλιξης Ποιότητας Υδατικών Πόρων στην νήσο Πάρο	144
6. Συμπεράσματα	152
7. Προτάσεις	155
Βιβλιογραφία	157

Εικόνες

Εικόνα 1. Κύρια Προβλήματα Ρύπανσης Πόσιμου Νερού στην Ευρώπη (ΕΕΑ, 2003)	20
Εικόνα 2. Απόθεση CaCO ₃	50
Εικόνα 3. Διάβρωση	52

Πίνακες

Πίνακας 1. Θερμοδυναμικές Σταθερές Γινόμενων Διαλυτότητας για τις τρεις μορφές του Ανυδρου Κρυσταλλικού Ανθρακικού Ασβεστίου στους 25 ⁰ C	50
Πίνακας 2. Ταξινόμηση Ποιότητας Νερού με βάση το TDS (Carroll, 1962)	59
Πίνακας 3. Τάξεις Νερού με βάση τη Σκληρότητα (Sawyer, 1960)	65
Πίνακας 4. Ερμηνεία τιμών LSI κατά Carrier (1965)	66
Πίνακας 5. Ερμηνεία τιμών RSI κατά Carrier (1965)	67
Πίνακας 6. Σύστημα Ταξινόμησης κατά FAO (Ayers and Westcot, 1985)	69
Πίνακας 7. Μόνιμος Απογεγραμμένος Πληθυσμός ανά Δ.Δ. (ΕΣΥΕ, 2001)	74
Πίνακας 8. Εξέλιξη Μόνιμου Πληθυσμού (ΕΣΥΕ, 2001)	75
Πίνακας 9. Δενδρώδεις Καλλιέργειες Δήμου Πάρου (Τμ. Αγροτικής Ανάπτυξης Πάρου, 2009)	77
Πίνακας 10. Έκταση που καταλαμβάνει κάθε Γεωλογικός Σχηματισμός στη νήσο Πάρο (Ευελπίδου, 1996)	83
Πίνακας 11. Κλιματικά Στοιχεία Μ.Σ. Πάρου	84
Πίνακας 12. Φυσιογραφικά Χαρακτηριστικά Λεκανών Απορροής Νήσου Πάρου	87
Πίνακας 13. Υδρολογικό Ισοζύγιο	88
Πίνακας 14. Εκτίμηση Δυνητικών Ανανεώσιμων Αποθεμάτων του Υδροσυστήματος Μαραθίου-Νάουσας (Γιαννουλόπουλος και Λάμπας, 2010)	92
Πίνακας 15. Εκτίμηση Δυνητικών Ανανεώσιμων Αποθεμάτων του Υδροσυστήματος Προδρόμου-Δρυού (Γιαννουλόπουλος και Λάμπας, 2010)	93
Πίνακας 16. Εκτίμηση Δυνητικών Ανανεώσιμων Αποθεμάτων του Υδροσυστήματος Αγκαιριάς (Γιαννουλόπουλος και Λάμπας, 2010)	93
Πίνακας 17. Εκτίμηση Δυνητικών Ανανεώσιμων Αποθεμάτων του Υδροσυστήματος Συρίγου-Αλυκής (Γιαννουλόπουλος και Λάμπας, 2010)	94
Πίνακας 18. Τιμολογιακή Πολιτική Έτους 2011	95
Πίνακας 19. Γεωτρήσεις Δικτύου Ύδρευσης (ΔΕΥΑΠ 2012)	96
Πίνακας 20. Δεξαμενές Δικτύου Ύδρευσης (ΔΕΥΑΠ, 2012)	98
Πίνακας 21. Κάλυψη Υδρευτικών και Αρδευτικών Αναγκών ανά Είδος Προσφοράς (Κ/Ξ	101

Υδατοσυστημάτων Αιγαίου, 2008)

Πίνακας 22 . Υδροχημικές Ομάδες (Χαρμανίδης, 1998)	104
Πίνακας 23. Βάθη Άντλησης Γεωτρήσεων 2005-2010 (ΙΓΜΕ 2010, ΔΕΥΑΠ, 2012)	115
Πίνακας 24. Αποτελέσματα Χημικών Αναλύσεων – Μάιος 2011	119
Πίνακας 25. Υδροχημικές Φάσεις	126
Πίνακας 26. Πίνακας Συσχετίσεων Κύριων Ιόντων	129
Πίνακας 27. Ιοντικοί Λόγοι	131
Πίνακας 28. Δείκτες Κορεσμού	132
Πίνακας 29. Σκληρότητα Δειγμάτων Νερού	133
Πίνακας 30 . Τιμές Δεικτών LSI, RSI, PSI, LKI	135
Πίνακας 31α,31β. Σύστημα Ταξινόμησης Αρδευτικού Νερού κατά FAO	137- 138
Πίνακας 32. Αποτελέσματα Χημικών Αναλύσεων Νερού Δικτύου Ύδρευσης- Μάιος 2011	140
Πίνακας 33. Σκληρότητα Δειγμάτων Νερού Δικτύου Ύδρευσης	141
Πίνακας 34 . Δείκτες Νερού Δικτύου Ύδρευσης	142
Πίνακας 35. Εξέλιξη Υδροχημικών Τύπων Νερού	145

Σχήματα

Σχήμα 1. Εμφάνιση των Κυριότερων Προβλημάτων Ποιότητας του Νερού στην Ευρώπη (Meybeck , 1990)	19
Σχήμα 2. Ταξινόμηση Σταθμών Παρακολούθησης Επιφανειακών Υδάτων σε σχέση με τα αποτελέσματα για τις Ουσίες Προτεραιότητας και τους Ειδικούς Ρύπους (Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2012)	21
Σχήμα 3. Αριθμός Υπογείων Υδάτων και σχέση με Οριακές Τιμές (Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2012)	22
Σχήμα 4. Η καμπύλη του Baylis (Ripp, 2000)	48
Σχήμα 5. Σύστημα Ταξινόμησης κατά U.S. Salinity Laboratory Staff (1954)	70
Σχήμα 6. Μόνιμος και Εποχικός Πληθυσμός 2001 και 2021	74
Σχήμα 7. Έκταση (%) που καταλαμβάνει κάθε Γεωλογικός Σχηματισμός στη νήσο Πάρο	83
Σχήμα 8. Ενδοετήσια Διακύμανση Κλιματικών Μεγεθών	85
Σχήμα 9. Χρονοσειρά των Ετήσιων Τιμών Ύψους Βροχής	86
Σχήμα 10. Δίκτυο Ύδρευσης Δ.Δ. Παροικίας, Κώστου και Λευκών	98
Σχήμα 11. Συνολική Κατανάλωση Νερού Ύδρευσης 2001-2011 (ΔΕΥΑΠ, 2012)	101
Σχήμα 12. Ενδοετήσια Διακύμανση Κατανάλωσης Νερού Ύδρευσης (ΔΕΥΑΠ, 2012)	102
Σχήμα 13. Διαγράμματα Piper και Piper Mix περιόδου 2005-2007	106

Σχήμα 14. Διάγραμμα Expanded Duroν περιόδου 2005-2007	107
Σχήμα 15. Διάγραμμα Διαλυτότητας Ασβεστίτη και Γύψου περιόδου 2005-2007	110
Σχήμα 16. Σύστημα Ταξινόμησης κατά U.S. Salinity Laboratory Staff περιόδου 2005-2007	111
Σχήμα 17. Διαγράμματα Piper και Expanded Duroν περιόδου 1998-2000	112
Σχήμα 18. Διακύμανση Ηλεκτρικής Αγωγιμότητας του Νερού Ύδρευσης την περίοδο 2005-2010 (ΔΕΥΑΠ, 2011)	114
Σχήμα 19. Διάγραμμα Schoeller-Μάιος 2011	123
Σχήμα 20. Διάγραμμα PiPer- Μάιος 2011	125
Σχήμα 21. Διάγραμμα Piper Mix- Μάιος 2011	125
Σχήμα 22. Διάγραμμα Expanded Duroν- Μάιος 2011	126
Σχήμα 23. Διάγραμμα Sulin- Μάιος 2011	127
Σχήμα 24. Διάγραμμα Ηλεκτρικής Αγωγιμότητας σε συνάρτηση με τα Κύρια Ανιόντα	127
Σχήμα 24. Διάγραμμα Ηλεκτρικής Αγωγιμότητας σε συνάρτηση με τα Κύρια Κατιόντα	128
Σχήμα 25. Διαγράμματα Συσχέτισης Ιόντων $Cl-Na^+$, $Cl-SO_4^{2-}$, $Ca^{2+}-Na^+$ και $HCO_3^- - Cl^-$	129
Σχήμα 26. Διάγραμμα Διαλυτότητας Ασβεστίτη και Γύψου	130
Σχήμα 27. Διάγραμμα Ιόντων Χλωρίου σε συνάρτηση με τον Ιοντικό Λόγο Cl/HCO_3^-	132
Σχήμα 28. Διαγράμματα LSI, RSI, PSI, LKI σε συνάρτηση με τη Θερμοκρασία	136
Σχήμα 29. Σύστημα Ταξινόμησης Αρδευτικού Νερού κατά U.S. Salinity Laboratory Staff- Μάιος 2011	139
Σχήμα 30. Διαγράμματα LSI, RSI, PSI, LKI Νερού Δικτύου Ύδρευσης	142
Σχήμα 31α, 31β, 31γ, 31δ. Διαγράμματα Ηλεκτρικής Αγωγιμότητας, Κύριων Ιόντων και Ιοντικών Λόγων συναρτήσει του έτους δειγματοληψίας	148- 151

Χάρτες

Χάρτης 1. Θέσεις Σημείων Δειγματοληψίας Νερού -Μάιος 2011	54
Χάρτης 2. Νήσος Πάρος	80
Χάρτης 3. Γεωλογικός Χάρτης Νήσου Πάρου κατά Παπανικολάου (1979)	82
Χάρτης 4. Κύριοι Υδροκρίτες και Υδρογραφικό Δίκτυο της νήσου Πάρου (Ευελπίδου, 1996)	86
Χάρτης 5. Κατανομή Υδροσυστημάτων νήσου Πάρου (Γιαννουλόπουλος και Λάμπας, 2010)	100
Χάρτης 6. Σημεία Εμφάνισης Ύδατος (Γιαννουλόπουλος και Λάμπας, 2010)	105
Χάρτης 7. Κατανομή Κύριων Ιόντων σε διαγράμματα Πίτας περιόδου 2005-2007	108
Χάρτης 8. Κατανομή Κύριων Ιόντων σε διαγράμματα Stiff περιόδου 2005-2007	109
Χάρτης 9. Κατανομή Κύριων Ιόντων σε διαγράμματα Πίτας περιόδου 1998-2000	113

Χάρτης 10. Προβολή Κύριων Ιόντων σε διαγράμματα Πίτας- Μάιος 2011	121
Χάρτης 11. Προβολή Κύριων Ιόντων σε διαγράμματα Stiff- Μάιος 2011	122
Χάρτης 12. Προβολή Κύριων Ιόντων Νερού Δικτύου Ύδρευσης σε διαγράμματα Πίτας- Μάιος 2011	143

Συνομογραφίες

A.W.W.A.: American Water Works Association

Δ.Δ.: Δημοτικό Διαμέρισμα

Δ.Ε.Υ.Α.Π.: Δημοτική Επιχείρηση Ύδρευσης- Αποχέτευσης Πάρου

Γ.Χ.Κ.: Γενικό Χημείο του Κράτους

E.C.: Electrical Conductivity

E.O.Π.: Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος

E.Σ.Υ.Ε.: Ελληνική Στατιστική Υπηρεσία Ελλάδος

F.A.O.: Food and Agriculture Organization

I.Γ.Μ.Ε.: Ινστιτούτο Γεωλογικών & Μεταλλευτικών Ερευνών

L.S.I.: Langelier Saturation Index

P.S.I.: Puckorius Scaling Index

R.S.I.: Ryznar Stability Index

T.D.S.: Total Dissolved Solids

U.S.S.L.: United States Salinity Laboratory

WISE: Water Information System for Europe

Πρόλογος

Η εργασία αυτή εκπονήθηκε στα πλαίσια των υποχρεώσεων του Π.Μ.Σ. Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής με Ειδικευση στη Διαχείριση Περιβάλλοντος. Κατά την διάρκεια εκπόνησης της εργασίας μου συνεργάστηκα με πολλούς ανθρώπους και νιώθω την ανάγκη να τους ευχαριστήσω που στάθηκαν δίπλα μου και συνέβαλαν στην διεκπαιρέωση της.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την επιβλέπουσα καθηγήτρια μου κ. Ψυχογιού Μαρία για τη συνεχή καθοδήγηση και την πολύτιμη βοήθεια της σε όλα τα στάδια εκτέλεσης της διατριβής, τη συμπαράσταση της καθώς επίσης και για το ενδιαφέρον και την εμπιστοσύνη που έδειξε απέναντί μου.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ και την εκτίμηση μου θα ήθελα να εκφράσω στον καθηγητή κ. Καραβίτη Χρήστο για τον ορισμό του θέματος της μεταπτυχιακής εργασίας μου και την ευκαιρία που έδωσε να ασχοληθώ με ένα μείζον θέμα του τόπου καταγωγής και διαμονής μου, την Πάρο.

Ευχαριστώ μέσα από την καρδιά μου τον Ξενάκη Μάρκο, γεωλόγο του Ι.Γ.Μ.Ε. για την αμέριστη, διαρκή και ουσιώδη συμπαράσταση του καθόλη τη διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας μου και την πολύτιμη βοήθεια του κατά την περίοδο δειγματοληψίας και επεξεργασίας των χημικών αναλύσεων.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω στον Δρ. Γιαννουλόπουλο Παναγιώτη, γεωλόγο-υδρογεωλόγο (M.Sc, Ph.D) για την αμέριστη συμπαράσταση του, την καθοδήγηση του, καθώς και την επιστημονική συνεισφορά του στην εργασία μου, η οποία υπήρξε καθοριστική για την επεξεργασία των αποτελεσμάτων των χημικών αναλύσεων.

Ευχαριστίες οφείλω στον κ. Ξαγοράρη Γεώργιο, Γενικό Διευθυντή της Δ.Ε.Υ.Α. Πάρου και στον κ. Κουτσουράκη Παναγιώτη, Αντιδήμαρχο Δήμου Πάρου, για την συνεργασία τους και την προσφορά τους σε απαραίτητο υλικό για την εκπόνηση της εργασίας.

Ευχαριστώ πολύ την κ. Σγουμποπούλου Νατάσα για την πολύτιμη βοήθεια της κατά τη διάρκεια των χημικών αναλύσεων.

Την βαθιά εκτίμηση μου και τις ευχαριστίες μου θα ήθελα να εκφράσω στον καθηγητή κ. Γεωργακάκη Δημήτρη για την υποστήριξη του και τις πολύτιμες συμβουλές του καθόλη τη διάρκεια του μεταπτυχιακού.

Με την ολοκλήρωση αυτής της εργασίας κλείνει ο κύκλος των σπουδών μου και γι'αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την αμέριστη υποστήριξη και συμπαράσταση τους όλα αυτά τα χρόνια των σπουδών μου. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Λεωνίδα για την παρότρυνση του να παρακολουθήσω αυτό το μεταπτυχιακό καθώς και για την διαρκή συμπαράσταση και ηθική υποστήριξη του.

Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή

1.1 Στόχος της παρούσας εργασίας

Οι υδατικοί πόροι των Κυκλάδων τις τελευταίες δύο δεκαετίες υφίστανται μεγάλες πιέσεις, ειδικά την θερινή περίοδο, εξαιτίας της διαρκούς αύξησης των αναγκών σε νερό λόγω της τουριστικής ανάπτυξης. Οι ανάγκες σε νερό εξασφαλίζονται κυρίως από τα υπόγεια νερά, στα οποία όμως λόγω της χαμηλής ετήσιας βροχοπτώσης δεν αναπληρώνονται επαρκώς τα υδάτινα αποθέματα κατά τη χειμερινή περίοδο. Η παραπάνω κατάσταση έχει οδηγήσει σε προβλήματα λειψυδρίας, τα οποία καλύπτονται με την υπεράντληση των υδροφόρων με αποτέλεσμα τη δημιουργία υδραυλικών συνθηκών που ευνοούν την υφαλμύρωση και την εισροή ρυπασμένων νερών στους υδροφορείς, την καταστροφή σημαντικών παρακτίων υπόγειων νερών και την εξάντληση σε μεγάλο βαθμό των οικονομικά εκμεταλλεύσιμων αποθεμάτων νερού με συνέπεια να εμφανίζονται σταδιακά ελλείματα ποιοτικά αποδεκτού νερού.

Η Ελλάδα, ως κράτος μέλος της Ευρωπαϊκής Ένωσης, έχει δεσμευτεί ως προς την εφαρμογή των άρθρων της Οδηγίας 2000/60/EK για την επίτευξη, μέχρι το 2015, καλής οικολογικής και χημικής κατάστασης και την αποτροπή της περαιτέρω υποβάθμισης όλων των υδάτων.

Μπροστά σε αυτή την προοπτική και με βάση το εύθραστο υπόγειο περιβάλλον των Κυκλάδων, στόχος της παρούσας εργασίας είναι η ποιοτική ανάλυση και εκτίμηση των υδατικών πόρων της νήσου Πάρου καθώς και η αξιολόγηση τους σύμφωνα με τη νομοθεσία. Η έρευνα επεκτείνεται στον χαρακτηρισμό των νερών, τον έλεγχο των μηχανισμών που υπεισέρχονται στη διαμόρφωση της ποιότητας των υπογείων υδάτων καθώς και των παραμέτρων που επηρεάζουν τη χημική σύσταση των νερών. Επιπλέον, προσδιορίζονται τα ευαίσθητα στη ρύπανση σημεία.

1.2 Δομή της εργασίας

Για την καλύτερη προσέγγιση του θέματος, αρχικά γίνεται αναφορά στην έννοια της ποιότητας των υδατικών πόρων, στην ποιοτική κατάσταση των υδατικών πόρων στην Ευρώπη και στην Ελλάδα, καθώς στη νομοθεσία που πλαισιώνει του υδατικούς πόρους. Έν συνεχεία αναλύονται βασικές έννοιες για την ποιότητα των υπόγειων νερών.

Στο τρίτο κεφάλαιο αναφέρεται αναλυτικά το πειραματικό μέρος της παρούσας εργασίας, το οποίο αφορά τη συλλογή δειγμάτων νερών και την ανάλυση τους στο εργαστήριο καθώς και οι μέθοδοι και οι τεχνικές που εφαρμόστηκαν για την γραφική και στατιστική ερμηνεία των αποτελεσμάτων των χημικών αναλύσεων που πραγματοποιήθηκαν.

Κατόπιν, στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η μελέτη περίπτωσης του νησιού της Πάρου. Το

κεφάλαιο αυτό χωρίζεται σε τέσσερα μέρη. Το πρώτο μέρος αναλύει τις κοινωνικο-οικονομικές συνθήκες του νησιού. Στο δεύτερο μέρος περιγράφεται η περιοχή μελέτης, δίνονται στοιχεία για τις γεωλογικές, υδρογεωλογικές και κλιματικές συνθήκες που επικρατούν στο νησί και επηρεάζουν την ποιότητα των υπογείων νερών. Στο τρίτο μέρος γίνεται αναφορά στην υδροδότηση του νησιού, ενώ το τέταρτο μέρος αφορά την ποιότητα των υδατικών πόρων της Πάρου.

Έπειτα, στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων των δειγμάτων νερού και η επεξεργασία αυτών μέσα από την εφαρμογή υδροχημικών διαγραμμάτων, στατιστικής και άλλων μεθόδων που επιτρέπουν την ταξινόμηση, τη σύγκριση και τη σύνοψη αυτών. Επιπλέον, σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται μία προσπάθεια συλλογής και σύγκρισης των μέχρι τώρα χημικών αναλύσεων που έχουν πραγματοποιηθεί στα υπόγεια νερά του νησιού.

Τέλος, ακολουθούν οι προτάσεις για την πρόληψη και τον έλεγχο των υπόγειων υδάτων από τη ρύπανση.

Κεφάλαιο 2. Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

2.1 Ποιότητα Υδατικών Πόρων

Το 1995, στην έκθεση για το περιβάλλον που δημοσίευσε ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος, την γνωστή ως Dobris Assessment τόνιζε ότι : «η υγεία και η ανάπτυξη απειλούνται λόγω της χαμηλής ποιότητας των νερών. Οι πλημμύρες αποτελούν σοβαρό πρόβλημα για πολλά κράτη-μέλη ενώ η καταστροφή υδροβιοτόπων τους μπορεί να οδηγήσει στη μείωση της βιοποικιλότητας».

Το νερό είναι ένας μοναδικός φυσικός πόρος και αποτελεί το κύριο συστατικό του οικολογικού κύκλου και το βασικό στοιχείο όλων των περιβαλλοντικών και κοινωνικών διαδικασιών. Μόνο το 3% του συνολικού νερού της γης είναι γλυκό και τελικά το νερό που είναι πραγματικά διαθέσιμο στον άνθρωπο είναι ελάχιστο (μόλις 1%).

Η μακροχρόνια εφαρμογή του παραδοσιακού μοντέλου διαχείρισης των υδατικών πόρων, που στηρίζεται στην αντίληψη ότι το νερό σαν φυσικός πόρος αποτελεί σημαντική συνιστώσα για την οικονομική ανάπτυξη και την τεχνολογική πρόοδο, έχει σήμερα σαν αποτέλεσμα την ανεπάρκεια νερού, η οποία οφείλεται στην αύξηση των απαιτήσεων σε νερό και την υποβάθμιση της ποιότητας του, ιδιαίτερα στις ανεπτυγμένες χώρες. Οι υδατικοί πόροι δέχονται μεγάλες ποσότητες ρύπων τυχαία ή με την παρέμβαση του ανθρώπινου παράγοντα που έχει ως αποτέλεσμα τη μεταβολή της ποιοτικής κατάστασής τους.

Η μελέτη της ποιότητας του νερού έχει απασχολήσει πολλούς επιστήμονες από τα μέσα του 20ου αιώνα και μετά, οπότε εμφανίστηκαν και τα πρώτα προβλήματα ρύπανσης. Όμως, τις τελευταίες δεκαετίες, επειδή τα προβλήματα ρύπανσης και μόλυνσης των υδατικών πόρων γίνονται όλο πιο έντονα και η ευαισθητοποίηση της κοινής γνώμης αυξάνεται, το ζήτημα πλέον δεν περιορίζεται στα πλαίσια της επιστημονικής έρευνας, αλλά έγινε υπόθεση διεθνής και η έρευνα βρίσκεται στην υπηρεσία διεθνών και εθνικών οργανισμών και φορέων θεσμοθέτησης, διαχείρισης και ελέγχου των υδατικών πόρων.

2.1.1 Η έννοια της ποιότητας του νερού

Η ποιότητα του νερού είναι ένα χαρακτηριστικό του, που αναφέρεται στη χημική του σύνθεση με τα διαλυμένα και αιωρούμενα υλικά, στην ενεργειακή του κατάσταση με τη μορφή της θερμότητας και της ραδιενεργού ακτινοβολίας, καθώς και στα βιολογικά υλικά που περιέχει στον όγκο του. Οι ουσίες που περιέχονται στο νερό είναι πάρα πολλές και μπορεί να είναι ανόργανες, οργανικές, ραδιοακτινοβόλουσες, μέταλλα και ιχνοστοιχεία (Αντωνόπουλος, 2003).

Η ποιότητα του νερού προσδιορίζεται σε σχέση με ορισμένες παραμέτρους (φυσικές, χημικές

και βιολογικές) και ο χαρακτηρισμός του νερού σε καλής ή κακής ποιότητας γίνεται σε σχέση με τις τιμές των παραμέτρων αυτών και με τη χρήση του νερού. Ο αριθμός αυτός των παραμέτρων δεν είναι σταθερός και όταν διαπιστωθεί ότι κάποιο συστατικό μπορεί να προκαλέσει προβλήματα στους χρήστες του νερού μεταβάλλεται.

Ο όρος "ποιότητα νερού" χρησιμοποιείται για να εκφράσει την καταλληλότητα του νερού για να υποστηρίξει τις διάφορες χρήσεις ή διαδικασίες. Οποιαδήποτε χρήση έχει συγκεκριμένες απαιτήσεις όσον αφορά στα φυσικά, χημικά ή βιολογικά χαρακτηριστικά του νερού. Η αστική χρήση έχει απαιτήσεις καλής ποιότητας νερού, ιδιαίτερα όταν το νερό προορίζεται για πόση. Οι δημόσιες χρήσεις, το πότισμα ζώων και η άρδευση έχουν ορισμένες απαιτήσεις ποιότητας νερού. Άλλες χρήσεις που εξαρτώνται από την ποιότητα του νερού είναι η αναψυχή π.χ κολύμπι, καθώς και η υδρόβια ζωή. Τέλος, υπάρχουν ορισμένες χρήσεις που δεν εξαρτώνται από την ποιότητα του νερού, όπως η χρήση του νερού για την παραγωγή ενέργειας, η ναυσιπλοΐα κ.α. Οι προσπάθειες για βελτίωση ή συντήρηση μιας συγκεκριμένης ποιότητας νερού συχνά συμβιβάζονται μεταξύ των ποιοτικών και ποσοτικών απαιτήσεων των διάφορων χρηστών.

Από την άλλη πλευρά οι διάφορες χρήσεις του νερού επηρεάζουν διαφορετικά την ποιότητα του νερού. Για παράδειγμα, η αστική χρήση με τις διαδικασίες διάθεσης των λυμάτων και με την επιφανειακή απορροή που ακολουθεί τις βροχές επηρεάζει την ποιότητα του νερού των αποδεκτών. Η άρδευση επηρεάζει τους αποδέκτες με το νερό στράγγισης των αρδευτικών εκτάσεων, με τα αγροχημικά και με τα εκπλύματα των στερεών αποβλήτων των γεωργικών εκμεταλλεύσεων.

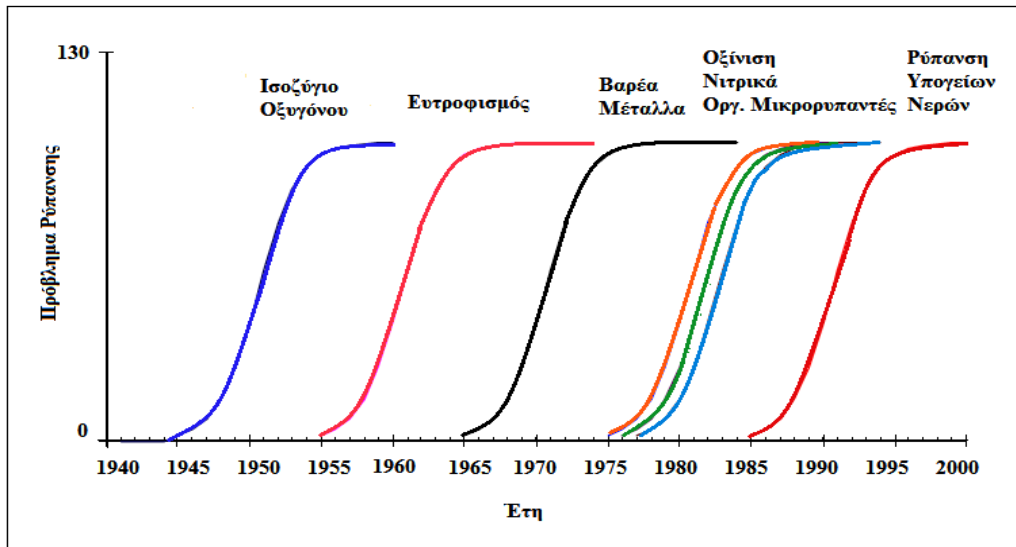
Πρέπει να τονίσουμε ότι ο όρος "ποιότητα του νερού" δεν συνιστά από μόνος του μία συγκεκριμένη αξία διότι υπόκειται εννοιολογικά και πρακτικά σε συνεχείς μεταβολές και συνεπώς πρέπει να θεωρείται και να μελετάται σε σχέση με τα οικολογικά συστήματα και τις διαφορετικές χρήσεις του νερού. Μόνο μία λεπτομερής ανάλυση των ποσοτικών και ποιοτικών απαιτήσεων των διαφορετικών χρήσεων του νερού, μπορεί να οδηγήσει στην εκτίμηση της ποιότητας και της επάρκειας ή της ανεπάρκειας των διαθέσιμων υδατικών πόρων (Αντωνόπουλος, 2001).

2.1.2 Διαχρονικές μεταβολές της ποιότητας του νερού

Η φυσική ποιότητα των υδατικών πόρων τις τελευταίες δεκαετίες έχει τροποποιηθεί σημαντικά εξαιτίας των διαφόρων ανθρώπινων δραστηριοτήτων και χρήσεων του νερού. Τα περισσότερα προβλήματα ρύπανσης αναπτύχθηκαν βαθμιαία και χρειάστηκε αρκετός χρόνος μέχρι την αναγνώριση τους, τον έλεγχο τους και τη λήψη κατάλληλων μέτρων αντιμετώπισης.

Τον 18ο αιώνα εμφανίστηκαν τα πρώτα προβλήματα κακής ποιότητας νερού με επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου. Αργότερα, από τα μέσα 20ού αιώνα, παράλληλα με τη βιομηχανική ανάπτυξη άρχισαν να εμφανίζονται πολλά προβλήματα ποιότητας του νερού και η υπερφόρτιση των υδάτινων

σωμάτων εξαπλώθηκε ταχύτατα σε πολλά μέρη του κόσμου. Στο Σχήμα 1 παρουσιάζεται με χρονολογική σειρά η εμφάνιση των κυριότερων προβλημάτων ποιότητας νερού στην Ευρώπη (Meybeck, 1990).



Σχήμα 1. Εμφάνιση των Κυριότερων Προβλημάτων Ποιότητας του Νερού στην Ευρώπη (Meybeck , 1990)

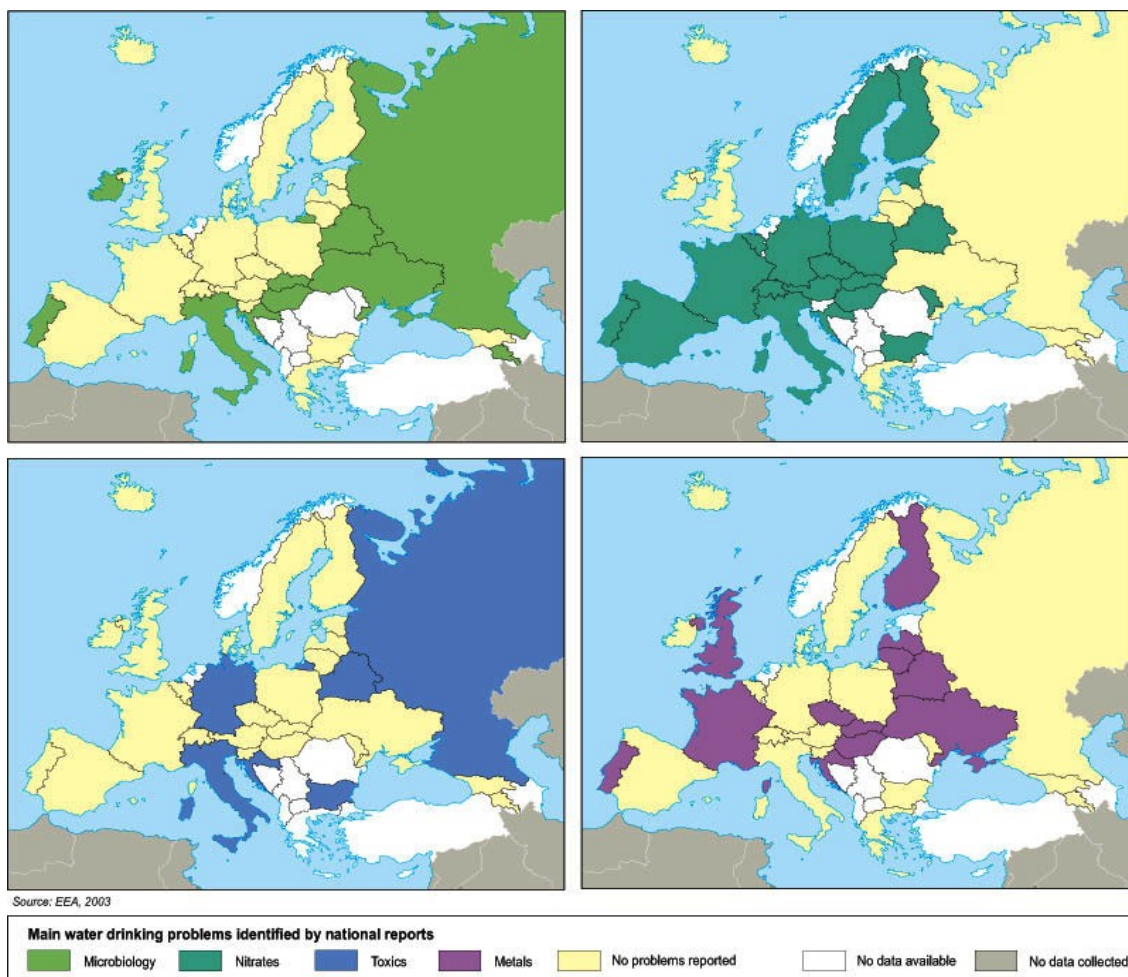
Σήμερα, το κύριο πρόβλημα στις περισσότερες υπανάπτυκτες και αναπτυσσόμενες χώρες είναι η μόλυνση του νερού από παθογόνους μικροοργανισμούς, ενώ η ρύπανση του νερού έχει ανακύψει σαν εξίσου σοβαρή απειλή σ' όλες τις χώρες με γεωργική και βιομηχανική ανάπτυξη. Σε πολλές περιοχές της γης υπάρχουν έντονα προβλήματα έλλειψης νερού, περισσότεροι από 1.2 δισ. άνθρωποι δεν έχουν πρόσβαση σε ασφαλούς ποιότητας πόσιμο νερό, ενώ 4,500 παιδιά (<5) πεθαίνουν την ημέρα από ασθένειες που προκαλούνται από μολυσμένο νερό.

Από την εφαρμογή του δικτύου πληροφοριών και δεδομένων που συντονίζει ο Ε.Ο.Π. και από το Ευρωπαϊκό σύστημα πληροφόρησης για το νερό (WISE) που άρχισε να λειτουργεί το 2007, αντικαθιστώντας το προϋφιστάμενο δίκτυο πληροφοριών, προκύπτει ότι:

- Το 20% των επιφανειακών υδάτων απειλείται σοβαρά από την ρύπανση
- Στα επιφανειακά και υπόγεια νερά, εμφανίζονται φυτοφάρμακα από γεωργικές χρήσεις, σε ανησυχητικά επίπεδα.
- Περίπου στο 1/3 των υπογείων υδάτων, για τα οποία διαθέτουμε πληροφορίες, παρατηρείται υπέρβαση των ανώτατων τιμών νιτρικών αλάτων.
- Εντομοκτόνα, βαρέα μέταλλα, και χλωριωμένοι υδρογονάνθρακες βρίσκονται σε υψηλές συγκεντρώσεις.
- Η ποιότητα των νερών των ποταμών, κυρίως στην βόρεια και κεντρική Ευρώπη,

παρουσιάζει βελτίωση.

Αυτή η αυξανόμενη και ανεξέλεγκτη υποβάθμιση, των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων, οδήγησε σε ξαφνικά ελλείμματα ποιοτικά αποδεκτού νερού (Εικόνα 1).



Εικόνα 1. Κύρια Προβλήματα Ρύπανσης Πόσιμου Νερού στην Ευρώπη (EEA, 2003)

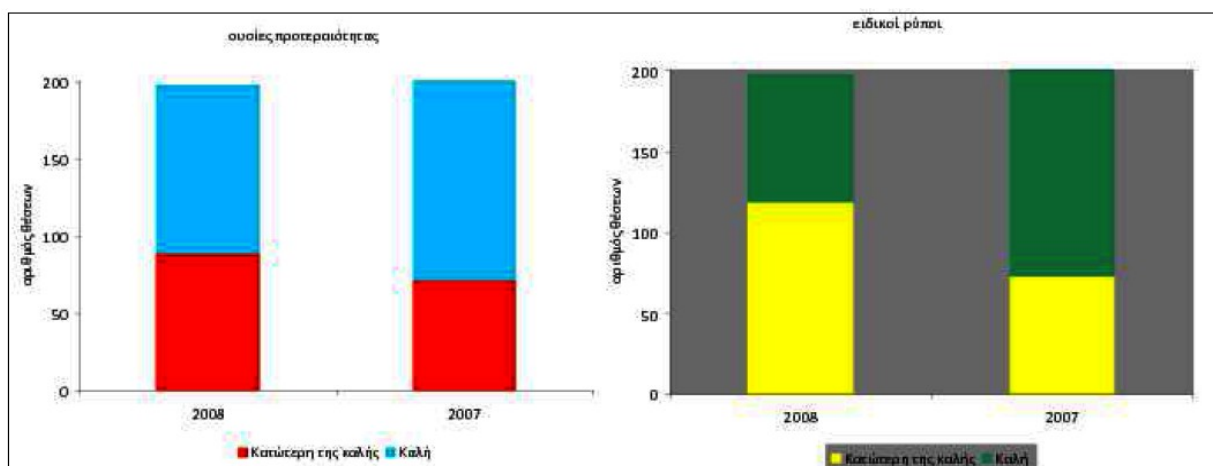
2.1.3 Ποιότητα επιφανειακών και υπόγειων υδάτων στην Ελλάδα

Η Ελλάδα, η οποία δεν ακολούθησε την ίδια πορεία ανάπτυξης με αυτή των χωρών Βόρειας Ευρώπης, δεν αντιμετώπισε με την ίδια χρονολογική ακολουθία και ένταση παρόμοια προβλήματα ρύπανσης των υδατικών πόρων της. Όμως, η συγκέντρωση του πληθυσμού σε ορισμένα αστικά κέντρα, η ευρύτατη και ανεξέλεγκτη εφαρμογή λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων στη γεωργία, η ραγδαία αυξανόμενη εισαγωγή χημικών ουσιών στο περιβάλλον, η ευρύτατη διασυνοριακή μεταφορά ρύπων, η γενική αλλαγή των υδρογεωλογικών κύκλων και η απουσία συστηματικής εφαρμογής μέτρων ελέγχου, φέρνουν τη χώρα μας μπροστά σε προβλήματα ρύπανσης δεύτερης και τρίτης γενιάς, τη στιγμή που δεν έχουν ακόμα αντιμετωπιστεί επαρκώς τα "παραδοσιακά" προβλήματα ρύπανσης (Αντωνόπουλος, 2001).

Στην τεχνική έκθεση με τίτλο "Ποιότητα επιφανειακών και υπόγειων υδάτων της χώρας: περίοδος αναφοράς 2000-2008" (Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2012), που συντάχθηκε στο πλαίσιο ενημέρωσης του Εθνικού Συμβουλίου Υδάτων σύμφωνα με τα οριζόμενα στον Ν.3199/2003 παρουσιάζεται η ποιότητα των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων της χώρας, όπως αυτή προκύπτει από την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των προγραμμάτων παρακολούθησης του ΓΧΚ της περιόδου 2006-2008 και του ΙΓΜΕ της περιόδου 2000-2008.

Τα αποτελέσματα των εργαστηριακών αναλύσεων υποβλήθηκαν σε στατιστική επεξεργασία και συγκρίθηκαν με τα θεσμοθετημένα Πρότυπα Ποιότητας Περιβάλλοντος της ΚΥΑ Η.Π. 51354/2641/Ε103/2010 για τις συγκεντρώσεις ορισμένων ρύπων και ουσιών προτεραιότητας στα επιφανειακά ύδατα και για τα υπόγεια νερά με τα ποιοτικά πρότυπα της ΚΥΑ 39626/2208/Ε130/2009 και τις ανώτερες αποδεκτές τιμές του σχετικού σχεδίου Υπουργικής Απόφασης σε εφαρμογή της παραγράφου 2 του Άρθρου 3 της προαναφερθείσας ΚΥΑ. Ανώτερος στόχος είναι η εκτίμηση της κατάστασης των υδάτων σε σχέση με την παρουσία χημικών ουσιών σε αυτά.

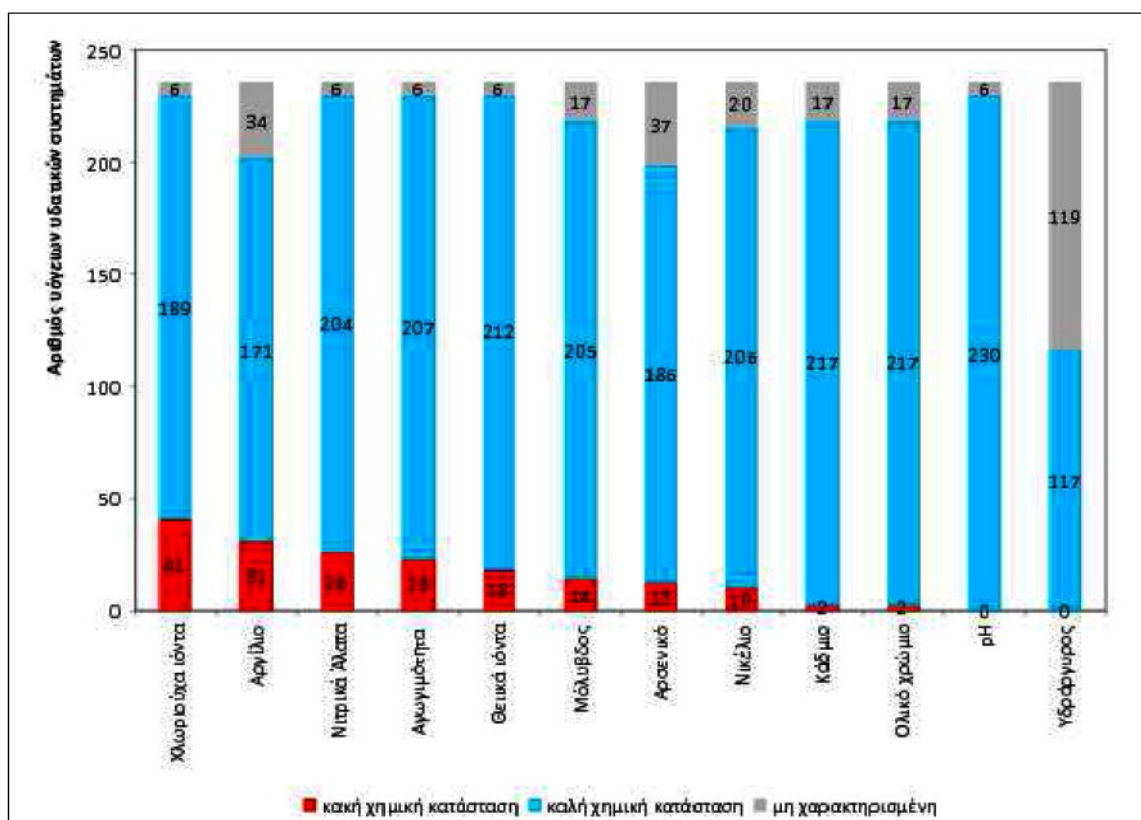
Στα επιφανειακά ύδατα από το σύνολο των θέσεων που παρακολούθηθηκαν τη διετία 2007-2008, σε σχέση με τις ουσίες προτεραιότητας το 64% (2007) και το 55% (2008) των θέσεων ταξινομείται σε καλή χημική κατάσταση και σε σχέση με τους ειδικούς ρύπους το 64% (2007) και 40% (2008) των θέσεων ταξινομείται σε καλή κατάσταση (Σχήμα 2).



Σχήμα 2. Ταξινόμηση Σταθμών Παρακολούθησης Επιφανειακών Υδάτων σε σχέση με τα αποτελέσματα για τις Ουσίες Προτεραιότητας και τους Ειδικούς Ρύπους (Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2012)

Στα υπόγεια ύδατα οι περισσότερες υπερβάσεις παρατηρούνται σε παραμέτρους που σχετίζονται με φαινόμενα υφαλμύρωσης (χλωριόντα, αγωγιμότητα, θειικά). Το 17% των υπογείων υδατικών συστημάτων βρίσκεται σε κακή χημική κατάσταση ως προς τα χλωριόντα, το 13% ως προς το

αργίλιο και το 11% ως προς τα νιτρικά. Ακολουθούν τα μέταλλα μόλυβδος, αρσενικό και νικέλιο στα οποία λιγότερο από 6% των υπόγειων υδατικών συστημάτων παρουσιάζει κακή χημική κατάσταση (Σχήμα 3).



Σχήμα 3. Αριθμός Υπόγειων Υδάτων και σχέση με Οριακές Τιμές (Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2012)

2.1.4 Προβλήματα ποιότητας στα νησιά του Αιγαίου

Τα επιφανειακά νερά στο χώρο του νησιωτικού Αιγαίου με τη μορφή μόνιμων απορροών είναι κάτι σχεδόν άγνωστο, πλην ελάχιστων εξαιρέσεων. Η μικρή έκταση των λεκανών απορροής, οι μεγάλες κλίσεις αποστράγγισης των, η περιορισμένη φυτοκάλυψη σε συνδυασμό με τις περιορισμένες πηγαιές εκφορτίσεις, είναι οι βασικοί αρνητικοί παράγοντες που τις καθιστούν απορροές περιστασιακής μορφής. Με δεδομένες τις δυσμενείς συνθήκες βροχόπτωσης και εξάτμισης ειδικότερα στο κεντρικό νησιωτικό χώρο του Αιγαίου η εκμετάλλευση των επιφανειακών νερών με τη μορφή ταμιευτήρων, είναι υπόθεση εμπειριστατωμένης μελέτης (Σταμπατάκης, 2001).

Οι υπόγειοι υδατικοί πόροι των νησιών του Αιγαίου παρουσιάζουν ορισμένες ιδιαιτερότητες που οφείλονται στις χαμηλές ετήσιες βροχοπτώσεις, στο ανάγλυφο του εδάφους που δεν ευνοεί την διήθηση και προκαλεί μεγάλη επιφανειακή απορροή, στα περιορισμένης έκτασης υπόγεια υδροφόρα στρώματα, στην γεωλογική δομή από υδατοστεγούς σχηματισμούς και τέλος στη

γεινίαση των υπόγειων υδροφορέων με τη θάλασσα με αποτέλεσμα την διείσδυση του αλμυρού νερού (Αντωνόπουλος, 2001).

Ορισμένα νησιά, ιδιαίτερα τα μικρότερα, είναι άνυδρα (π.χ. Σίκινος, Ηρακλειά, Κουφονήσια, κ.λ.π.) και τα υδρογεωλογικά τους χαρακτηριστικά σε συνδυασμό με τις χαμηλές βροχοπτώσεις, δεν επιτρέπουν την ανάπτυξη εκμεταλλεύσιμων υπόγειων υδροφοριών. Σε άλλες περιπτώσεις έχουμε πλούσιους καρστικούς ή προσχωματικούς υδροφορείς (π.χ. Ρόδος, Λέσβος, Άνδρος, κ.λ.π.), ενώ σε πολλές περιπτώσεις υπάρχει κάποιο υπόγειο δυναμικό που όμως έχει περιορισμένη δυνατότητα εκμετάλλευσης. Υπάρχουν και μικρά νησιά (π.χ. Δονούσα), των οποίων η αυτόνομη υδροφορία επέτρεπε μέχρι πρόσφατα την αυτοτελή κάλυψη των αναγκών τους (Κ/Ξ Υδατοσυστημάτων Αιγαίου, 2008).

Οι υδατικοί πόροι των νησιών του Αιγαίου Πελάγους τα τελευταία χρόνια υφίστανται μεγάλες πιέσεις ποιοτικής και ποσοτικής υποβάθμισης που συνδέονται κυρίως με την τουριστική ανάπτυξη καθώς και τη μη ορθολογική διαχείριση αυτών. Οι ανάγκες σε νερό εξασφαλίζονται κυρίως από τα υπόγεια νερά, γεγονός που σημαίνει ότι η αναφορά στην ποιότητα και τη ρύπανση των υδατικών πόρων στα νησιά του Αιγαίου αφορά κυρίως τα υπόγεια νερά. Η υποβάθμιση των σημείων νερού οφείλεται κυρίως στην υπερεκμετάλλευση αυτών με συνέπεια τη δημιουργία υδραυλικών συνθηκών που ευνοούν την υφαλμύρωση και την εισροή ρυπασμένων νερών στους υδροφορείς. Επιπλέον, τοπικά προβλήματα υποβάθμισης δημιουργούνται από την ανεξέλεγκτη διάθεση στερεών και υγρών αποβλήτων, την περιορισμένη γεωργική παραγωγή, τις διάσπαρτες κτηνοτροφικές μονάδες μικρής δυναμικότητας και τις περιορισμένες βιομηχανικές μονάδες.

Στο υδατικό διαμέρισμα των νήσων Αιγαίου (ΥΔ14) τα επιφανειακά ύδατα για τα έτη 2007 και 2008 παρουσιάζουν καλή χημική κατάσταση ως προς τις ουσίες προτεραιότητας και τους ειδικούς ρύπους. Η χημική κατάσταση των υπόγειων υδάτων είναι καλή στην πλειονότητα των παραμέτρων. Υπερβάσεις των οριακών τιμών παρατηρούνται κυρίως στις παραμέτρους των χλωριόντων, της αγωγιμότητας, του αργιλίου, του αρσενικού, των θεικών, του νικελίου και των νιτρικών (Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2012).

2.2 Νομοθεσία

Με βασικό στόχο τον έλεγχο και την πρόληψη της ρύπανσης, την διασφάλιση της ανθρώπινης υγείας και τη διατήρηση της οικολογικής ισορροπίας θεσπίστηκαν νόμοι και προδιαγραφές για την προστασία της ποιότητας των φυσικών νερών.

Την δεκαετία του 1970, η τότε ΕΟΚ και νυν Ευρωπαϊκή Ένωση άρχισε να δημιουργεί ένα ευρύ κανονιστικό πλαίσιο για τα ύδατα υιοθετώντας προγράμματα, πολιτικές και νομοθεσία. Υπήρξαν δύο νομοθετικά «κύματα». Με το πρώτο τέθηκαν ποιοτικοί στόχοι για τα νερά, ανάλογα με τη

χρήση που αυτά προορίζονται να έχουν (περίοδος 1970-1980). Ενώ με το δεύτερο νομοθετικό «κύμα», τέθηκαν ποιοτικοί στόχοι στις πηγές που προκαλούν τη ρύπανση των νερών (περίοδος 1988-2000). Το 1991 η σύνοδος Υπουργών Περιβάλλοντος αποφάσισε την εκπόνηση συνολικής στρατηγικής για τη διαχείριση των υδάτων και άρχισε η δεκαετής διαδικασία εκπόνησης της Οδηγίας Πλαίσιο για το νερό που υιοθετήθηκε το 2000 (Οδηγία 2000/60). Παράλληλα, η κλιματική αλλαγή και η αναθεωρημένη ευρωπαϊκή στρατηγική για την αειφόρο ανάπτυξη επέβαλαν στα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης πρόσθετες υποχρεώσεις καταγραφής των προβλημάτων που αφορούν την διαχείριση των υδάτων, την κατάσταση και τους κινδύνους που διατρέχει το έδαφος και των κινδύνων πλημμύρας (Καλλία-Αντωνίου, 2007).

Οι βασικές νομοθετικές διατάξεις για τα νερά είναι οι εξής:

- ποιότητα των επιφανειακών νερών από τα οποία αντλείται πόσιμο νερό (Οδηγία 75/440: καταργήθηκε το 2007, αντικαταστάθηκε με την 91/692),
- ποιότητα υδάτων κολύμβησης (Οδηγία 76/160 που αντικαταστάθηκε με την 2006/7)
- ποιότητα του πόσιμου νερού (Οδηγία 98/83 που αντικατέστησε την 80/778),
- μέθοδοι δειγματοληψίας και ελέγχου του νερού που προορίζεται για πόσιμο (Οδηγίες 79/869: καταργήθηκε το 2007, 81/885, 91/692) ,
- ρύπανση από τα απορρυπαντικά (Οδηγία 648/2004, που κατήργησε την Οδηγία 73/404),
- έκχυση επικίνδυνων ουσιών στο υδάτινο περιβάλλον (Οδηγία 76/464: θα καταργηθεί το 2013, 2006/11),
- απαιτούμενη ποιότητα των νερών για τα οστρακοειδή (Οδηγίες 79/923: θα καταργηθεί το 2013, 2006/113),
- απαιτούμενη ποιότητα των νερών για τη διατήρηση της ζωής των ψαριών (Οδηγίες 78/659: θα καταργηθεί το 2013, 91/692, 2006/44),
- προστασία των υπόγειων νερών (Οδηγίες 80/68: θα καταργηθεί το 2013, 2006/118),
- προστασία των νερών από την νιτρική ρύπανση που προκαλείται από χρήση λιπασμάτων στη γεωργία (Οδηγία 91/676),
- υποχρέωση επεξεργασίας αστικών και βιομηχανικών λυμάτων, (Οδηγίες 91/271, 98/15),
- αντιμετώπιση των έμμονων οργανικών ρύπων (POP) (Οδηγία 79/117, Κανονισμός 850/2004, Απόφαση 2006/507),
- ολοκληρωμένη πρόληψη και αντιμετώπιση της ρύπανσης των νερών κατά την διαδικασία αδειοδότησης έργων και δραστηριοτήτων (Οδηγία 96/61, αντικαταστάθηκε από την Οδηγία 2008/1),
- Οδηγία πλαίσιο για τα νερά (Οδηγία 2000/60)

Στην Ελλάδα μέχρι τα μέσα της δεκαετίας του 1980, η έρευνα, αξιοποίηση, χρήση και προστασία των υδατικών πόρων ρυθμίζεται από νόμους, διατάγματα και διοικητικές αποφάσεις, που πολλές φορές επικαλύπτονται ή έρχονται σε αντίθεση μεταξύ τους. Οι πρώτες διατάξεις αφορούσαν το πόσιμο νερό και ήταν υγειονομικές διατάξεις που εξέδιδε το Υπουργείο Υγείας και ρύθμιζαν την υποχρέωση απολύμανσης, τις μεθόδους χλωρίωσης και φθορίωσης του νερού, ενώ απουσίαζε τελείως η οικολογική και οικονομική προσέγγιση.

Μετά τα μέσα της δεκαετίας του 1980, ψηφίστηκαν νομοθετήματα με περισσότερο σύγχρονο πνεύμα που λειτουργούν συμπληρωματικά και διακρίνονται για την ολοκληρωμένη αντιμετώπιση των υδατικών πόρων. Αν και οριοθέτησαν μια καθοριστική για τη νομοθετική πραγματικότητα των νερών χρονική περίοδο, δυστυχώς, αδυναμίες του δημόσιου τομέα δεν επέτρεψαν την πλήρη εφαρμογή τους, με αποτέλεσμα τη συνέχιση της αποσπασματικής και ευκαιριακής αντιμετώπισης του νερού (Ανδρεαδάκης, 2008).

Το 1986 εκδόθηκε ο Ν.1650 για το περιβάλλον, ο οποίος περιλαμβάνει διατάξεις για το νερό, διακηρυκτικού κυρίως χαρακτήρα, που απαιτούν για την εφαρμογή τους έκδοση κανονιστικών αποφάσεων που δεν ολοκληρώθηκαν ποτέ. Έπειτα, το 1987 εκδόθηκε από το Υπουργείο Ανάπτυξης ο Ν.1739 «για την διαχείριση των υδάτινων πόρων» που προσπαθεί να συστηματοποιήσει το νομικό πλαίσιο των υδάτινων πόρων. Χωρίζει τη χώρα σε 14 υδατικά διαμερίσματα, τα ακριβή όρια των οποίων περιγράφονται στο ΠΔ 60/1998, και θεσμοθετεί επίσης την Διυπουργική Επιτροπή Υδάτων και τις Περιφερειακές Επιτροπές Υδάτων. Ο νόμος αυτός, σε μεγάλο βαθμό, δεν εφαρμόστηκε ποτέ. Παρόλα αυτά, ακόμα και η μερική εφαρμογή τους, κυρίως του Ν. 1739/87, δημιούργησε τις δομές και τις εμπειρίες εκείνες, που είναι απαραίτητες για να συνειδητοποιήσουν οι χρήστες και οι δημόσιοι φορείς την αναγκαιότητα ορθολογικής διαχείρισης των υδατικών πόρων.

2.2.1 Η Οδηγία 2000/60/ΕΚ

Στις 22.12.2000 δημοσιεύτηκε στην Εφημερίδα των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων η Οδηγία 2000/60/ΕΚ «για τη θέσπιση πλαισίου κοινοτικής δράσης στον τομέα της πολιτικής των υδάτων». Η Οδηγία-Πλαίσιο για τα νερά αποτελεί πλέον το βασικό νόμο της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τη διαχείριση των υδάτινων πόρων και στρατηγικό εργαλείο πολιτικής και νομοθεσίας για την προστασία και διατήρηση των υδάτων στην Ευρωπαϊκή Ένωση.

Η πρώτη φράση της Οδηγίας για τα νερά είναι η εξής: "το νερό δεν είναι εμπορικό προϊόν, αποτελεί κληρονομιά που πρέπει να προστατεύεται". Η φράση αυτή καθιστά σαφές ότι ο στόχος της πολιτικής της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τα νερά είναι να αντιμετωπίσει τις προκλήσεις που απειλούν τους υδάτινους πόρους, λαμβάνοντας υπόψιν τις εκτιμήσεις και τις ανάγκες των Ευρωπαίων πολιτών.

Η Οδηγία 2000/60 αποτελεί την πρώτη οδηγία που θέτει σαφείς περιβαλλοντικούς στόχους: την επίτευξη, μέχρι το 2015, καλής οικολογικής (ποιοτικής και ποσοτικής) και χημικής κατάστασης και την αποτροπή της περαιτέρω υποβάθμισης όλων των υδάτων (επιφανειακών, υπόγειων και παράκτιων) της Ευρώπης και συγχρόνως θέτει το πλαίσιο συντονισμού στη διαχείριση διασυνοριακών υδάτων. Επιπλέον, εισηγείται μια συνολική και οικολογική αντιμετώπιση των υδάτινων πόρων, καθορίζει στρατηγική κατά της ρύπανσης των υδάτων και προβλέπει νέα ειδικά μέτρα για τον έλεγχο της ρύπανσης και για τα πρότυπα ποιότητας περιβάλλοντος (ΠΠΠ). Παράλληλα, αντιμετωπίζονται συνολικά όλες οι χρήσεις και υπηρεσίες νερού, συνυπολογίζοντας την αξία του νερού για το περιβάλλον, την υγεία, την ανθρώπινη κατανάλωση και την κατανάλωση σε παραγωγικούς τομείς.

Η Οδηγία δημιουργεί ένα πλαίσιο για την προστασία όλων των υδάτων (επιφανειακών, μεταβατικών, παράκτιων και υπόγειων) και των οικοσυστημάτων τους, όπως διαφαίνονται από το πρώτο άρθρο της, ώστε:

- Να αποτρέπεται η περαιτέρω υποβάθμιση της ποιότητας των υδάτων και να προστατεύονται και βελτιώνονται οι υδατικοί πόροι.
- Να προωθείται η βιώσιμη διαχείριση των υδάτων, μέσω της μακροπρόθεσμης προστασίας των υδατικών πόρων.
- Να υποβοηθείται η βελτίωση του υδάτινου περιβάλλοντος μέσω εφαρμογής συγκεκριμένων μέτρων για τη σταδιακή μείωση της απόρριψης ρυπαντικών ουσιών προτεραιότητας και την εξάλειψη της απόρριψης επικίνδυνων ρυπαντικών ουσιών προτεραιότητας.
- Να εξασφαλίζεται η προοδευτική μείωση της ρύπανσης των υπόγειων υδάτων και να αποτρέπεται η περαιτέρω ρύπανσή τους.
- Να υποβοηθείται η αντιμετώπιση των επιπτώσεων ακραίων φαινομένων πλημμυρών και ξηρασίας.

Οι νεωτερισμοί της Οδηγίας είναι:

- Η ολοκληρωμένη διαχείριση των υδατικών πόρων σε επίπεδο λεκάνης απορροής ποταμού. Προβλέπει την ταυτοποίηση των ευρωπαϊκών υδάτων και των χαρακτηριστικών τους, ταξινομημένων ανά υδρογραφική λεκάνη απορροής και περιοχή λεκάνης απορροής, με παράλληλη έγκριση των σχεδίων διαχείρισης και των προγραμμάτων λήψης των ενδεδειγμένων μέτρων για κάθε υδατικό σύστημα.
- Η συνδυασμένη προσέγγιση για τον έλεγχο της ρύπανσης, καθορίζοντας τόσο όρια εκπομπών ρύπων όσο και στόχους για την επίτευξη της επιθυμητής ποιότητας των υδάτινων

σωμάτων.

- Η αναφορά στην οικολογική κατάσταση και όχι απλώς σε φυσικοχημικά ή υδρομορφολογικά χαρακτηριστικά.
- Η ανάκτηση κόστους του νερού.
- Η εφαρμογή τιμολογιακής πολιτικής στις διαφορετικές χρήσεις του νερού.
- Η συμμετοχή του κοινού στη λήψη αποφάσεων για την διαχείριση υδατικών πόρων.

Η Οδηγία δεν υιοθετεί νέα πρότυπα αλλά οργανώνει την διάσπαρτη θεματικά κοινοτική νομοθεσία και ενσωματώνει διεθνείς ουσιαστικούς και διαδικαστικούς κανόνες. Από πλευράς ουσίας, συνδυάζει τις δύο ανωτέρω προσεγγίσεις του ποιοτικού στόχου για τα ύδατα και των οριακών τιμών εκπομπών, εφαρμόζοντας έτσι τις βασικές περιβαλλοντικές αρχές του πρωτογενούς κοινοτικού δικαίου - την αρχή της προφύλαξης και την αρχή της επανόρθωσης της ρύπανσης κατά προτεραιότητα στην πηγή, καθώς και την αρχή ότι πρέπει να λαμβάνονται υπόψη τα περιβαλλοντικά δεδομένα κάθε συγκεκριμένης περιφέρειας (Καριψιάδης, 2008). Οι διατάξεις της Οδηγίας προβλέπουν την ολοκληρωμένη διαχείριση των υδάτινων πόρων και αναμένεται να έχουν σημαντικές συνέπειες για όλες τις πτυχές της περιβαλλοντικής προστασίας: χημικά και φυτοφάρμακα, ρύπανση από βιομηχανίες, προστατευόμενες περιοχές και υγρότοποι, απειλούμενα είδη, νερά κολύμβησης και παράκτιες περιοχές.

Η επίτευξη των διαχειριστικών στόχων σε όλες τις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης μέσω εφαρμογής κατάλληλων προγραμμάτων ορθής διαχείρισης των υδατικών πόρων σε κάθε υδατική περιφέρεια, προϋποθέτει την υλοποίηση διακριτών ενδιάμεσων σταδίων, που ρητά αναφέρονται στην Οδηγία, με πρώτο βήμα την εναρμόνιση του εθνικού θεσμικού πλαισίου (Άρθρο 24). Η υλοποίηση των στόχων από όλα τα κράτη μέλη προβλέπεται να γίνει με κοινά βήματα σε προκαθορισμένο χρονοδιάγραμμα από το 2000 έως το 2015.

Μετά την υιοθέτηση της το 2000, νέα νομοθετικά μέτρα κλήθηκαν να συμπληρώσουν τα κενά που εντοπίστηκαν, χωρίς, ωστόσο, να τροποποιήσουν την καθοδηγητική της λειτουργία. Η νέα Οδηγία για τα υπόγεια ύδατα 2006/118/EK και η Οδηγία 2006/11/EK για τη ρύπανση που προκαλείται από ορισμένες επικίνδυνες ουσίες που εκχέονται στο υδάτινο περιβάλλον διευρύνουν το πεδίο εφαρμογής της πολιτικής της Ευρωπαϊκής Ένωσης για το νερό και συμπληρώνουν το γενικό της πλαίσιο για τη διαχείριση και την προστασία του ύδατος.

Σημαντική εξέλιξη στον τομέα πολιτικής των υδάτων είναι η δημοσίευση της νέας οδηγίας, Οδηγία 2008/105/EK (θυγατρική της 2000/60/EK) για την ποιότητα του νερού και την καταπολέμηση της χημικής ρύπανσης των επιφανειακών υδάτων, όπου προβλέπονται οριακές τιμές

για 33 επικίνδυνες ουσίες προτεραιότητας (επανεξετάζονται και άλλες 11). Η προτεινόμενη νέα οδηγία εξειδικεύει τα Πρότυπα Ποιότητας Περιβάλλοντος (ΠΠΠ) σύμφωνα με τις διατάξεις και τους στόχους της μητρικής οδηγίας 2000/60/ΕΚ. Με τη νέα οδηγία αρχικά τροποποιούνται και συνακόλουθα καταργούνται (από τις 22 Δεκεμβρίου 2012), πέντε παλαιότερες οδηγίες, 82/176/ΕΟΚ, 83/513/ΕΟΚ, 84/156/ΕΟΚ, 84/491/ΕΟΚ, 86/280/ΕΟΚ και τροποποιείται η Οδηγία 2000/60/ΕΚ. Παράλληλα, η νέα οδηγία απλοποιεί το σύστημα υποβολής εκθέσεων σχετικά με τα ύδατα στο πλαίσιο του WISE, του συστήματος πληροφοριών για τα ύδατα στην Ευρώπη.

Στην Ελλάδα σε εφαρμογή της Οδηγίας 2000/60/ΕΚ εκδόθηκε το 2003 ο Ν.3199 για την προστασία και διαχείριση των υδάτων με στόχο την εναρμόνιση της Κοινοτικής Οδηγίας στο ελληνικό δίκαιο. Ο 3199/2003 προτείνει αναδιάρθρωση σε εθνικό και περιφερειακό επίπεδο της προϋπάρχουσας περίπλοκης δομής διοίκησης που είχε εισαγάγει ο Ν. 1739/1987. Σε μεγάλο βαθμό ο Ν. 3199/2003 αναφέρεται στη διοικητική οργάνωση του εθνικού φορέα διαχείρισης και γίνεται επίσης αναφορά στις βασικές αρχές για τα Σχέδια Διαχείρισης και τη χρήση των υδάτων. Η εναρμόνιση ουσιαστικών θεμάτων της Οδηγίας παραπέμπεται σε μελλοντικά Προεδρικά Διατάγματα (άρθρο 15 παρ. 1).

Δυστυχώς, η Ελλάδα μέχρι το 2007 είχε αποτύχει να ενσωματώσει ικανοποιητικά την Οδηγία 2000/60/ΕΚ, αφού ο Ν.3199/2003 στην ουσία δεν ενσωματώνει τους στόχους της Οδηγίας. Ουσιαστική πρόοδος γίνεται το 2007 με το Προεδρικό Διάταγμα 51/2007, το οποίο εναρμονίζει τα ουσιαστικά θέματα της Οδηγίας 2000/60/ΕΚ για την ολοκληρωμένη προστασία και διαχείριση των υδάτων. Η εφαρμογή του Π.Δ. θα οδηγήσει στην ολοκληρωμένη προστασία και ορθολογική διαχείριση των υδατικών πόρων της χώρας.

2.2.2 Η νομοθεσία για το νερό ανθρώπινης κατανάλωσης

Το νερό το προοριζόμενο για ανθρώπινη κατανάλωση πρέπει να είναι από κάθε άποψη αβλαβές για την υγεία του ανθρώπου, οργανοληπτικά άμεμπτο και απολύτως καθαρό, απαλλαγμένο από παθογόνους μικροοργανισμούς και οποιεσδήποτε ουσίες σε αριθμούς και συγκεντρώσεις που αποτελούν ενδεχόμενο κίνδυνο για τη Δημόσια Υγεία.

Από τις πρώτες υγειονομικές διατάξεις για το πόσιμο νερό ήταν η Υ.Δ. 5673/4-12-1957 (ΦΕΚ 5B/9-01-58) «Περί απολυμάνσεως των υδάτων των υδρεύσεων» που ρύθμιζε την υποχρέωση απολύμανσης και η Υ.Δ. Γ3α/761 (Φ.Ε.Κ 189B/10-04-1968) «Περί ποιότητας του πόσιμου ύδατος». Η πρώτη σπουδαία υγειονομική διάταξη για το πόσιμο νερό εκδόθηκε στη χώρα μας το 1986 (Α5/288/23.1.1986 ΦΕΚ 53B/20-2-86) με σκοπό την εναρμόνιση της Ελληνικής Νομοθεσίας με την 80/778 Οδηγία του Συμβουλίου της Ε.Ο.Κ. της 15/7/80. Στη διάταξη αυτή ορίζεται ως "πόσιμο νερό" το νερό που χρησιμοποιείται για ανθρώπινη χρήση, είτε μετά από προηγούμενη επεξεργασία

είτε όχι, οποιαδήποτε και αν είναι η προέλευσή του. Το πόσιμο νερό διατίθεται για ανθρώπινη κατανάλωση και χρησιμοποιείται σε εργοστάσια και βιοτεχνίες παρασκευής τροφίμων και ποτών. Από τη διάταξη εξαιρέθηκαν τα φυσικά μεταλλικά και τα ιαματικά νερά.

Το 1988 εκδόθηκε στη χώρα μας η ΚΥΑ 46399/1352/1988 (ΦΕΚ 438B/3-07-1988) «Απαιτούμενη ποιότητα των επιφανειακών νερών που προορίζονται για πόσιμα, κολύμβηση, διαβίωσης ψαριών σε γλυκά νερά, και καλλιέργεια και αλιεία οστρακοειδών, μέθοδοι μέτρησης, συχνότητα δειγματοληψίας, και ανάλυση των επιφανειακών νερών που προορίζονται για πόσιμα» σε συμμόρφωση με τις οδηγίες του Συμβουλίου των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων 75/440, 76/160, 78/659, 79/923, και 79/869.

Η πιο πρόσφατη διάταξη για την ποιότητα του πόσιμου νερού είναι η Κ.Υ.Α. Υ2/2600/2001 (Φ.Ε.Κ 892/B/11-07-2001) «Ποιότητα του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης» σε συμμόρφωση προς την οδηγία 98/83/ΕΚ του Συμβουλίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης της 3/11/98, η οποία αντικατέστησε την 80/778. Η συγκεκριμένη Κοινή Υπουργική Απόφαση έχει στόχο την προστασία της ανθρώπινης υγείας από τις δυσμενείς επιπτώσεις που οφείλονται στη ρύπανση ή στη μόλυνση του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης διασφαλίζοντας ότι αυτό είναι υγιεινό και καθαρό. Ως νερό ανθρώπινης κατανάλωσης νοείται:

- το νερό, είτε στη φυσική του κατάσταση είτε μετά από επεξεργασία, που προορίζεται για πόση, μαγείρεμα, παρασκευή τροφής ή άλλες οικιακές χρήσεις, ανεξάρτητα από την προέλευσή του και από το εάν παρέχεται από δίκτυο διανομής, από βυτίο, ή σε φιάλες ή δοχεία.
- το νερό που χρησιμοποιείται στις επιχειρήσεις παραγωγής τροφίμων για την παρασκευή, επεξεργασία, συντήρηση ή εμπορία προϊόντων ή ουσιών, που προορίζονται για ανθρώπινη κατανάλωση

Οι μικροβιολογικές και χημικές παράμετροι έχουν άμεση σημασία για την προστασία της ανθρώπινης υγείας, ενώ οι ενδεικτικές παράμετροι από μόνες τους δεν εμφανίζουν κινδύνους για την ανθρώπινη υγεία αλλά παρέχουν σαφείς ενδείξεις μεταβολών στην ποιότητα του νερού. Οι τιμές των ποιοτικών χαρακτηριστικών του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης ορίζονται με μια Παραμετρική τιμή χωρίς να γίνεται αναφορά σε Ενδεικτικό επίπεδο και Ανώτατη παραδεκτή συγκέντρωση, όπως στην υγειονομική διάταξη για το πόσιμο νερό του 1986.

Παρεκκλίσεις από τις τιμές αυτές επιτρέπονται, προκειμένου να αντιμετωπιστούν συνθήκες που έχουν σχέση με τη φύση και τη σύσταση του εδάφους στην περιοχή, η οποία τροφοδοτεί την υπό εξέταση πηγή και 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. Η Υ2/2600/2001 τροποποιήθηκε από τις ΔΥΓ2/ΓΠ οικ 38295/07 (ΦΕΚ 603/Β/26-4-07) «Τροποποίηση της Υγειονομικής Διάταξης Κοινής Υπουργικής Απόφασης Υ2/2600/2001 «Ποιότητα του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης», σε συμμόρφωση προς την οδηγία 98/83/ΕΚ του Συμβουλίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης της 3ης Νοεμβρίου 1998» και ΥΑΔΥΓ2/5932/06 (ΦΕΚ 141/Β/7-2-06) «Χορήγηση παρεκκλίσεων σύμφωνα με την Υ2/2600/2001 Κοινή Υπουργική Απόφαση «για την ποιότητα του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης»

2.3 Το Υπόγειο Νερό

Τα επιφανειακά νερά που βρίσκονται στα ποτάμια, στις λίμνες και στην ακόρεστη σε νερό ανώτερη εδαφική ζώνη, αποτελούν περίπου το 2%, τα υπόγεια νερά αποτελούν το 23% και τα νερά με τη μορφή πολικών πάγων το 75% του συνόλου του γλυκού νερού σε παγκόσμια κλίμακα. Στην Ελλάδα το 85-90% των αποθεμάτων του γλυκού νερού είναι επιφανειακά και το 10-15% είναι υπόγεια.

Τα υπόγεια ύδατα διαδραματίζουν έναν ουσιαστικό ρόλο στον υδρολογικό κύκλο και είναι πολύτιμη η αξία τους ως ρυθμιστικός παράγοντας για τη διατήρηση υγρότοπων και ποταμών, ιδιαίτερα σε περιόδους ξηρασίας, γιατί εξασφαλίζουν τη μόνιμη ροή των συστημάτων επιφανειακών υδάτων, πολλά από τα οποία χρησιμοποιούνται για υδροδότηση και αναψυχή. Σε πολλούς ποταμούς της Ευρώπης, πλέον του 50% της ετήσιας ροής προέρχεται από υπόγεια ύδατα. Γι' αυτό και η υποβάθμιση της ποιότητας των υπόγειων υδάτων μπορεί να επηρεάσει άμεσα τα συνδεδεμένα με αυτά υδατικά και χερσαία οικοσυστήματα (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2008).

Στην Ευρώπη τα υπόγεια ύδατα παρέχουν το 65% του πόσιμου νερού, ενώ το 60% των ευρωπαϊκών πόλεων κάνουν υπερκεκμετάλλευση των πόρων των υπόγειων υδάτων τους (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2002). Στην Ελλάδα το 40% του νερού άρδευσης προέρχεται από τους υπόγειους υδροφορείς. Στις παραθαλάσσιες περιοχές και στα νησιά το υπόγειο νερό είναι η κύρια πηγή νερού. Η χρήση του νερού γίνεται κυρίως για πόση και άρδευση καθώς επίσης και για κάλυψη των τουριστικών και βιομηχανικών αναγκών.

Τα υπόγεια νερά αποτελούν ένα στοιχείο του υδρολογικού κύκλου. Το νερό εισέρχεται στο έδαφος μέσω της επιφάνειας του, με διήθηση περνάει μέσα από την ακόρεστη ζώνη και συναντά την υπόγεια στάθμη του υδροφόρου στρώματος. Τα υδροφόρα στρώματα βρίσκονται μεταξύ της υπόγειας στάθμης του νερού και μιας αδιαπέρατης στο νερό στρώσης, η οποία εμποδίζει το νερό να προχωρήσει βαθύτερα. Το νερό στο υδροφόρο στρώμα είναι δυνατό να κινηθεί προς όλες τις κατευθύνσεις ανάλογα με τις υδραυλικές ιδιότητες της εδαφικής στρώσης και μπορεί να εξέλθει από την επιφάνεια του εδάφους υπό μορφή πηγών ή να απομακρυνθεί διά φρεάτων ή να εξέλθει κατευθείαν σε επιφανειακά νερά, όπως ποτάμια, λίμνες ή θάλασσα. Τα υδροφόρα στρώματα

εξαντλούνται και επαναπληρώνονται από το νερό της βροχής. Ο όγκος του νερού που μπορεί να αποδοθεί από ένα υδροφόρο στρώμα, αποτελεί χαρακτηριστικό αυτού και εξαρτάται, ανάμεσα σε άλλα, σε σημαντικό βαθμό από το πορώδες του εδάφους. Τα υδροφόρα στρώματα και μάλιστα το ανώτερο μέρος τους εκτίθεται σε ρύπανση, η οποία γίνεται από τα επιφανειακά νερά κατά την κατείδυση τους. Ακόμα από την υπεράνληση τους και μετακίνηση των υδάτων από τη θάλασσα ή άλλους σχηματισμούς (Καραβίτης, 2010).

Οι παράμετροι που ελέγχουν το καθεστώς του υπόγειου νερού είναι: η γεωλογία, η μορφολογία και το κλίμα. Το κλίμα (θερμοκρασία, βροχοπτώσεις, υγρασία, εξάτμιση) καθορίζει τις ποσότητες νερού σε μια περιοχή, καθώς και την κατανομή τους στο χρόνο. Η μορφολογία (μέγεθος, σχήμα τοπογραφικών εξάρσεων και ταπεινώσεων, γεωμορφικά χαρακτηριστικά) καθορίζει την ενεργειακή κατάσταση του νερού για κίνηση. Η γεωλογία (λιθολογικά και στρωματογραφικά χαρακτηριστικά, τεκτονικά στοιχεία) καθορίζει την ταχύτητα κίνησης του νερού, τις ποσότητες νερού που μεταφέρονται στο υπόγειο νερό και τα χημικά χαρακτηριστικά του νερού.

2.3.1 Ποιότητα υπόγειου νερού

Η ποιότητα του νερού σε οποιαδήποτε υδάτινη μάζα εξαρτάται από γεωλογικούς, τοπογραφικούς, μετεωρολογικούς, υδρολογικούς, χημικούς, βιολογικούς παράγοντες και διαφέρει τοπικά και χρονικά. Η χημική σύσταση των φυσικών νερών μπορεί να τροποποιηθεί με τη βοήθεια των βιολογικών μεταβολισμών. Ο υδρολογικός κύκλος επιδρά στην αύξηση ή μείωση της συγκέντρωσης των διαφόρων χημικών στοιχείων. Ανάλογα με το γήινο υπόβαθρο της περιοχής, την αστική, γεωργική και τη βιομηχανική ρύπανση, είναι δυνατόν να υπάρχει στο νερό κάθε στοιχείο του περιοδικού πίνακα σε πολύ χαμηλή συγκέντρωση (μg/l) ως ιχνοστοιχείο.

Η ποιότητα του υπόγειου νερού εξαρτάται από τη σύνθεση του νερού επαναπλήρωσης, τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ νερού και εδάφους, αερίων εδάφους και πετρωμάτων με τα οποία εφάπτεται στην ακόρεστη ζώνη, τις υδροδυναμικές συνθήκες μεταφοράς και ανάμιξης του νερού, το χρόνο παραμονής και τις αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα στο υδροφόρο στρώμα. Οι κύριες διεργασίες που διαμορφώνουν την φυσική ποιότητα των υπογείων νερών είναι φυσικές (διάχυση, διασπορά, ανάμιξη), γεωχημικές (συμπλοκοποίηση, ιονταλλαγή, οξέο-βασικές και οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις, κατακρήμνιση- διάλυση και προσρόφιση-εκρόφιση), και βιολογικές (μικροβιακή αναπνοή και αποσύνθεση, κυτταρική σύνθεση).

Επιπλέον, η ανθρώπινη επέμβαση τροποποιεί την ποιότητα των υπόγειων υδάτων, είτε με την απευθείας εισαγωγή χημικών και βιολογικών ουσιών στα υπόγεια νερά, είτε έμμεσα επεμβαίνοντας στις φυσικές διαδικασίες που επηρεάζουν το σύστημα των υπόγειων νερών (π.χ. η εισβολή θαλασσινού νερού). Το ρυπασμένο νερό ακολουθεί τις καθορισμένες διαδικασίες κίνησης του

υπόγειου νερού. Με την παρέλευση του χρόνου η ένταση της ρύπανσης του νερού είτε μειώνεται μέσα στο υδροφορέα ή το ρυπασμένο νερό οδηγείται προς ένα φρεάτιο ή ευκαιριακά εξέρχεται στα επιφανειακά υδάτινα συστήματα (ποτάμια, λίμνες, θάλασσα). Σε βαθείς υδροφορείς που δεν επηρεάζονται από τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες η ποιότητα του νερού εξαρτάται από τις γεωχημικές αντιδράσεις μεταξύ του νερού και του εδάφους, καθώς το νερό ακολουθεί τις διαδρομές του από τα σημεία επανεμπλουτισμού του προς τα σημεία απόδοσης.

Η ποιότητα του νερού γενικά περιγράφεται από ένα μεγάλο αριθμό παραμέτρων, οι οποίες καλύπτουν τα κύρια χημικά στοιχεία και ενώσεις, τις φυσικοχημικές ιδιότητες και τα βιολογικά υλικά. Οι σημαντικότεροι παράγοντες που επηρεάζουν τη συγκέντρωση και το είδος των αλάτων που περιέχονται στο υπόγειο νερό είναι η προέλευση του νερού, η κίνηση του, το γήινο υπόβαθρο, το pH και η θερμοκρασία. Οι κυριότερες παράμετροι του υπόγειου νερού είναι:

- Φυσικές
 - Θερμοκρασία, Χρώμα, Θολότητα, Οσμή, Ραδιενέργεια
- Χημικές
 - pH, Αγωγιμότητα, Σκληρότητα, Αλκαλικότητα, Δυναμικό οξειδοαναγωγής
 - Κύρια ιόντα (1- 1000 mg/l): Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^-
 - Δευτερεύοντα ιόντα (0.1-1mg/l): Fe^{2+} , Fe^{3+} , Mn^{2+} , NH_4^+ , F^- , NO_2^- , Al^{3+} κ.ά.
 - Βαρέα μέταλλα (<0,01-1mg/l): Pb^{2+} , Cr^{6+} , Hg^{2+} , As^{3+} , Cd^{2+} κ.ά.
 - Θρεπτικές ενώσεις του N, P
 - Οργανικές ενώσεις
 - Αέρια (O_2 , N_2 , H_2S , NH_3 , CH_4)
 - Διαλυμένο Οξυγόνο, Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο, Χημικά απαιτούμενο οξυγόνο, Ολικός οργανικός άνθρακας
- Βιολογικές

Θερμοκρασία

Η θερμοκρασία είναι μια παράμετρος που υπεισέρχεται σε όλες τις φυσικοχημικές και βιοχημικές αντιδράσεις. Η αύξηση της θερμοκρασίας του νερού μειώνει την ποσότητα του διαλυμένου οξυγόνου και αυξάνει την ταχύτητα των χημικών αντιδράσεων. Η θερμοκρασία των υπόγειων νερών καθορίζεται κυρίως από τη θερμοκρασία των πετρωμάτων, τα οποία τα περιβάλλουν καθώς και από τις μεταβολές της πιεζομετρικής επιφάνειας του υδροφορέα. Οι θερμοκρασίες του υπόγειου νερού τείνουν να παραμείνουν σταθερές και να αυξάνονται 1-5°C με το βάθος.

Χρώμα, θολότητα, οσμή και γεύση

Το χρώμα στο πόσιμο νερό είναι αισθητικά ανεπιθύμητο. Το καθαρό φυσικό νερό είναι διαυγές και άχρωμο σε μικρές μάζες, όμως η παρουσία ορισμένων μετάλλων προσδίδουν στο νερό κάποιο χρώμα. Ο χρωματισμός αποτελεί ένδειξη για την παρουσία συγκεκριμένων χημικών ουσιών και πολλές φορές χρησιμεύει και σαν ιχνηλάτης για τον προσδιορισμό του τόπου προέλευσης του νερού π.χ. η παρουσία θείου προσδίδει στο νερό κιτρινωπό χρώμα, η παρουσία ανθρακικού ασβεστίου πράσινο χρώμα, το κοκκινωπό χρώμα είναι ενδεικτικό ύπαρξης ενώσεων σιδήρου, το γαλάζιο οφείλεται σε ύπαρξη χαλκού, ενώ το μελανό χρώμα μπορεί να οφείλεται σε ύπαρξη οργανικών οξέων και τανίνης.

Η θολότητα είναι η περισσότερο μεταβαλλόμενη παράμετρος ποιότητας του νερού, η οποία καθορίζει συχνά την ποιότητα του νερού και την επιλογή της μεθόδου επεξεργασίας του. Με τον όρο θολότητα εννοούμε την απουσία διαύγειας σε ένα υγρό δείγμα εξαιτίας της αντίστασης του νερού στην διέλευση του φωτός που προκαλείται από την ύπαρξη ανόργανων και οργανικών ουσιών, τα οποία αιωρούνται ή βρίσκονται σε κolloειδή μορφή και είναι διάσπαρτα στην υγρή φάση. Λόγω της διάλυσης και της αποσάθρωσης των πετρωμάτων το νερό μεταφέρει αιωρούμενα σωματίδια, πολλές φορές μη ορατά με γυμνό μάτι. Επιπλέον, η ρύπανση με απόβλητα συμβάλλει στην επιπλέον δημιουργία αιωρούμενων. Στη θολότητα συνεισφέρουν και τα αιωρούμενα βιολογικής προέλευσης (βακτήρια και άλγη).

Η οσμή και η γεύση καθορίζονται από την προέλευση του νερού, τις μεθόδους επεξεργασίας του καθώς και από τα δίκτυα μεταφοράς και διανομής του νερού. Η οσμή και η γεύση είναι δυνατόν να προέρχονται από διάφορες χημικές ουσίες, από διαλυμένες ή από εν αιωρήσει οργανικές ουσίες σε αποσύνθεση, από μικροοργανισμούς και από διαλυμένα στο νερό αέρια. Το προς πόση νερό πρέπει να είναι απαλλαγμένο από κάθε ίχνοσ δυσάρεστης οσμής ή γεύσης.

Τα προβλήματα γεύσης στο νερό οφείλονται στα διαλυμένα άλατα, καθώς και στην παρουσία ορισμένων μετάλλων, όπως είναι ο σίδηρος, ο χαλκός, το μαγγάνιο και ο ψευδάργυρος. Τα νερά με σύνολο διαλυμένων αλάτων μικρότερο από 1,200 mg/l δεν παρουσιάζουν προβλήματα γεύσης και είναι αποδεκτά από τον καταναλωτή. Μερικά άλατα, όπως για παράδειγμα το χλωριούχο μαγνήσιο ($MgCl_2$), παρουσιάζουν μεγαλύτερα προβλήματα γεύσης, ενώ η γεύση των θειικών αλάτων του μαγνησίου ($MgSO_4$) και ασβεστίου ($CaSO_4$) είναι λιγότερο δυσάρεστη (Νταρακάς, 2010). Η παρουσία αμμωνίας, η οποία είναι δείκτης βιολογικής ρύπανσης, προσδίδει στο νερό μια δυσάρεστη γεύση στο νερό. Ουσίες, όπως οι φαινόλες και οι χλωροφαινόλες δημιουργούν σοβαρά προβλήματα γεύσης στο νερό ακόμα και σε πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις.

Αρκετά υπόγεια νερά έχουν δυσάρεστη οσμή αλλά και γεύση που οφείλεται στον σχηματισμό υδρόθειου (H_2S) λόγω αναγωγής των θειικών αλάτων σε αναερόβιες συνθήκες. Το βακτήριο που

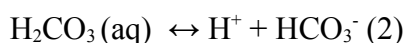
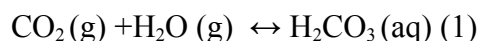
είναι συνήθως υπεύθυνο για την παραγωγή του υδρόθειου είναι το *Desulfovibrio desulfuricans*.

Ραδιενέργεια

Η ραδιενέργεια του νερού είναι φυσική ή ανθρώπινης προέλευσης. Τα τρία κυριότερα ραδιενεργά ισότοπα που υπάρχουν στο νερό είναι το τρίτιο (^3H), άνθρακας-14 (^{14}C) και το κάλιο-40 (^{40}K). Στη φυσική ραδιενέργεια συμβάλλουν τα ραδιενεργά ισότοπα του ουρανίου-238, θορίου-232 και ουρανίου-235 και τα προϊόντα διάσπασής τους ράδιο-228 και ράδιο-226. Τα ανθρώπινης προέλευσης ραδιενεργά ισότοπα προέρχονται κυρίως από τη χρήση των πυρηνικών όπλων, τα απόβλητα των πυρηνικών εργοστασίων, καθώς και τα ραδιενεργά φάρμακα και καύσιμα. Η παρουσία ραδιενεργών ισοτόπων στο νερό τα καθιστά ακατάλληλα για πόση διότι προκαλούν γενετικές μεταλλάξεις και τερατογενέσεις.

Ενεργός οξύτητα- pH

Το pH είναι ο αρνητικός δεκαδικός λογάριθμος της ενεργότητας των ιόντων H_3O^+ και εκφράζει την ενεργό οξύτητα ενός διαλύματος. Το pH του νερού εξαρτάται από τη θερμοκρασία, την αλατότητα (παρουσία ιόντων θείου, χλωρίου, ασβεστίου, μαγνησίου κ.ά.), τις συγκεντρώσεις του διοξειδίου του άνθρακα και του οξυγόνου, καθώς και από τη μεταβολική δραστηριότητα των υδρόβιων οργανισμών και την αποσύνθεση των οργανικών ουσιών. Τα φυσικά νερά έχουν τιμές pH που κυμαίνονται μεταξύ 4 και 9. Το pH του υπόγειου νερού διαμορφώνεται κυρίως από το ελεύθερο διοξείδιο του άνθρακα σύμφωνα με τις αντιδράσεις:



Άλλες ενώσεις που επηρεάζουν το pH είναι τα όξινης υδρολυόμενα άλατα και τα ανόργανα οξέα. pH μεγαλύτερο του 6 και μικρότερο του 7 αποδίδεται στο ελεύθερο διοξείδιο του άνθρακα. Μικρότερο του 6 έως και 5 αποδίδεται στα όξινης υδρολυόμενα άλατα (FeSO_4 , FeCl_2 κτλ), ενώ pH μικρότερο του 5 έως και 4 οφείλεται στην ύπαρξη ανόργανων οξέων (θειικά, νιτρικά κ.α.).

Χαμηλές τιμές του pH οφείλονται συχνά στην εισαγωγή οξέων στα φυσικά νερά από την όξινη βροχή, αστικά και βιομηχανικά απόβλητα, καθώς και την οξείδωση πυριτών. Το όξινο pH του νερού του υπεδάφους είναι σημαντικός παράγοντας αποσάθρωσης, αφού ευνοεί την αφαίρεση σιδήρου και αργιλίου από τα μητρικά ορυκτά, καθώς και τη συγκέντρωση του SiO_2 . Αλκαλικές τιμές pH συναντώνται σε περιπτώσεις έντονης φωτοσυνθετικής δραστηριότητας εξαιτίας της κατανάλωσης του CO_2 , σε περιπτώσεις ρύπανσης των υδάτινων αποδεκτών με αλκαλικές ουσίες (απορρυπαντικά κ.ά.) από αστικά και βιομηχανικά απόβλητα και σε αυξημένες συγκεντρώσεις

ασβεστίου, νατρίου και μαγνησίου.

Το pH των νερών γενικά μειώνεται όσο η υδάτινη μάζα ενηλικιώνεται. Μια νέα υδάτινη μάζα είναι συνήθως αλκαλική και βαθμιαία με τον χρόνο γίνεται όξινη, εξαιτίας της συγκέντρωσης οργανικού υλικού, που εκλύει CO₂ όταν αποσυντίθεται.

Ηλεκτρική αγωγιμότητα (E.C.)

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα του νερού αναφέρεται στην ικανότητά του να μεταφέρει - άγει ηλεκτρικά φορτία και εξαρτάται από την παρουσία ιόντων (κατ' επέκταση αλάτων), τη συγκέντρωση των ιόντων, την ευκινησία των ιόντων, το σθένος των ιόντων και τη θερμοκρασία του διαλύματος. Το καθαρό νερό δεν είναι καλός αγωγός του ηλεκτρισμού. Η αύξηση της ποσότητας των διαλυμένων αλάτων και η αύξηση της θερμοκρασίας συνεπάγονται με αύξηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας.

Οι τιμές της αγωγιμότητας είναι ενδεικτικές για την ποιότητα των φυσικών νερών. Ρύποι που εισέρχονται στους υδάτινους αποδέκτες επηρεάζουν την αγωγιμότητα, ειδικότερα αν οι ρύποι περιλαμβάνουν ιόντα όπως χλωρίου, ανθρακικά, θειϊκά, φωσφόρου, μαγνησίου, νατρίου και καλίου. Απότομη αύξηση της αγωγιμότητας του νερού ενός φυσικού αποδέκτη αποτελεί ένδειξη ρύπανσης. Αυξημένη αγωγιμότητα υποδηλώνει αυξημένες ποσότητες αλάτων, που ανάλογα με τη φύση τους και τη συγκέντρωσή τους μπορεί να δημιουργήσουν προβλήματα υγείας. Η αγωγιμότητα διευκολύνει την εκτίμηση της επίδρασης των διαφόρων ιόντων στις χημικές ισορροπίες, στο ρυθμό διάβρωσης στα μέταλλα, στην ανάπτυξη των φυτών και ζώων κ.λ.π.

Συνολικά διαλυμένα στερεά (T.D.S.)

Τα συνολικά διαλυμένα στερεά είναι μία παράμετρος που εκφράζει τη συνολική συγκέντρωση των διαλυμένων στο νερό αλάτων, χωρίς να περιλαμβάνονται τα αιωρούμενα ιζήματα, τα κολλοειδή και τα διαλυμένα αέρια και αποτελεί ένα δείκτη μεταλλικότητας (αλατότητας). Τα υπόγεια νερά εμφανίζουν υψηλότερες συγκεντρώσεις διαλυμένων στερεών από τα επιφανειακά επειδή το υπόγειο νερό έρχεται σε επαφή με τα πετρώματα για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα και ως εκ τούτου υπάρχει η δυνατότητα να διαλύσει περισσότερα ορυκτά των πετρωμάτων.

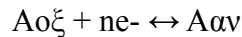
Το TDS επηρεάζεται από τη διείσδυση της θάλασσας, την εξάτμιση του νερού και τη διάλυση ορυκτής ύλης. Επιπλέον, το νερό κατείσδυσης ιδιαίτερα σε αρδευόμενες εκτάσεις που διηθείται στον υδροφόρο αυξάνει το TDS. Συνήθως, μεγάλες τιμές αλατότητας απαντώνται σε υδροφόρους ξηρών περιοχών και σε λεκάνες με κακή στράγγιση. Στις παράκτιες περιοχές τα αερομεταφερόμενα άλατα αποτελούν μια σημαντική πηγή αλατότητας των υπόγειων νερών (Βουδούρης, 2006).

Όταν οι τιμές του TDS κυμαίνονται μεταξύ 0-1.000 mg/L το νερό είναι γλυκό, μεταξύ 1.000-

10.000 mg/L θεωρείται υφάλμυρο, μεταξύ 10.000-100.000 mg/L αλμυρό και για τιμές μεγαλύτερες των 100.000 mg/L υπεραλμυρό (Carroll, 1962).

Δυναμικό οξειδοαναγωγής (Eh)

Οι αντιδράσεις οξειδοαναγωγής είναι ιδιαίτερα σημαντικές στο περιβάλλον και χαρακτηρίζονται από την αλλαγή του αριθμού οξείδωσης των αντιδρώντων, λόγω μεταφοράς ηλεκτρονίων από το ένα αντιδρών στο άλλο. Η εξίσωση μίας οξειδοαναγωγικής ημιαντιδράσεως μπορεί να γραφεί με τη γενική μορφή:



Όσο ισχυρότερο είναι το οξειδωτικό Aox, δηλαδή όσο μεγαλύτερη είναι η τάση του για πρόσληψη ηλεκτρονίων, τόσο περισσότερο η ισορροπία είναι μετατοπισμένη προς τα δεξιά. Το δυναμικό οξειδοαναγωγής ενός υδατικού διαλύματος αποτελεί ένα ποσοτικό δείκτη της ισχύος των συνθηκών οξείδωσης ή αναγωγής που επικρατούν στο διάλυμα και παρέχεται από την γενικευμένη εξίσωση του Nerst:

$$E = E^{\circ} - (RT/nF) \ln(\alpha_{Aox}/\alpha_{Aox}),$$

όπου E° είναι το κανονικό δυναμικό του οξειδοαναγωγικού ζεύγους Aox/Aox. Η μεταβολή του pH στο περιβάλλον προκαλεί σημαντική μεταβολή της τιμής του δυναμικού οξειδοαναγωγής, λόγω της συμμετοχής των ιόντων OH⁻ στις αντιδράσεις οξειδοαναγωγής.

Διαλυμένο οξυγόνο (D.O.)

Το οξυγόνο παρουσιάζει μικρή διαλυτότητα στο νερό και η περιεκτικότητά του σε αυτό εξαρτάται από (Βουδούρης, 2006):

- τη θερμοκρασία, όσο αυξάνεται η θερμοκρασία του νερού, τόσο μειώνεται η περιεκτικότητά του σε οξυγόνο,
- την ποσότητα της οργανικής ύλης, η οποία αποσυντίθεται στο νερό,
- το βαθμό της διείσδυσης του φωτός, που εξαρτάται από το βάθος,
- την παρουσία ή απουσία φυτών τα οποία μπορούν να φωτοσυνθέσουν.

Η παρουσία του οξυγόνου στο υπόγειο νερό, υποδηλώνει πρόσφατη έκθεση του νερού στην επίδραση της ατμόσφαιρας. Κατά την κίνηση του νερού στην ακόρεστη ζώνη μειώνεται η συγκέντρωση του οξυγόνου, λόγω κατανάλωσης στις οξειδωτικές διεργασίες που συντελούνται εκεί. Η μείωση του οξυγόνου με το βάθος είναι εκθετική και σπάνια περιέχεται διαλυμένο οξυγόνο σε βάθη μεγαλύτερα των 20 m από την υδροστατική επιφάνεια. Μικρές τιμές περιεκτικότητας σε οξυγόνο παρατηρούνται σε παλαιά νερά που δεν ανανεώνονται ή είναι ρυπασμένα με οργανικές

ουσίες, ενώ αντίθετα μεγάλες συγκεντρώσεις συναντώνται σε νερά, τα οποία ανανεώνονται συνεχώς και δεν παραμένουν για μεγάλο χρονικό διάστημα στους υδροφόρους ορίζοντες.

Σκληρότητα

Η σκληρότητα των νερών είναι μια παράμετρος που αναφέρεται στα διαλυμένα στο νερό άλατα, κυρίως ασβεστίου και μαγνησίου. Τα άλατα αυτά είναι κυρίως όξινα ανθρακικά, θειικά και χλωριούχα. Μεταξύ των διττανθρακικών αλάτων ασβεστίου, μαγνησίου και του ελεύθερου διοξειδίου του άνθρακα υπάρχει ισορροπία, που ρυθμίζει την περιεκτικότητα των νερών σε διττανθρακικά άλατα ασβεστίου και μαγνησίου, τα οποία καθορίζουν το βαθμό σκληρότητας.

Η σκληρότητα του νερού διακρίνεται σε παροδική ή μόνιμη σκληρότητα. Η παροδική ή ανθρακική σκληρότητα οφείλεται στην παρουσία όξινων ανθρακικών αλάτων του ασβεστίου ($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$) και του μαγνησίου ($\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$), τα οποία προέρχονται από τη διάλυση αλάτων Ca^{2+} και Mg^{2+} , που υπάρχουν στα διάφορα πετρώματα ή στο έδαφος μέσα από τα οποία διέρχεται το νερό. Η διάλυση αυτή διευκολύνεται από το CO_2 που ελευθερώνεται από τη βακτηριακή δράση σε οργανικές ουσίες του εδάφους ή προσλαμβάνεται από την ατμόσφαιρα. Η σκληρότητα αυτή αφαιρείται με βρασμό του νερού και το μεν διοξείδιο του άνθρακα διαφεύγει, τα δε αδιάλυτα CaCO_3 και MgCO_3 καθιζάνουν σαν ανθρακικά άλατα:



Η μόνιμη σκληρότητα ή μη ανθρακική οφείλεται στην παρουσία ανθρακικών, θειούχων, χλωριούχων και νιτρικών αλάτων του ασβεστίου και του μαγνησίου και δεν αφαιρείται με βρασμό. Παραδείγματα τέτοιων αλάτων είναι το CaCO_3 , MgCO_3 , CaSO_4 , MgSO_4 , CaCl_2 , MgCl_2 , $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$. Η κύρια πηγή των θειϊκών ιόντων είναι η οξείδωση του σιδηροπυρίτη, εκτός και αν συμβαίνει απόθεση εβαποριτών.

Η ολική σκληρότητα είναι το άθροισμα της ανθρακικής και της μόνιμης σκληρότητας. Εκφράζεται σε ισοδύναμο CaCO_3 (mg/L), αλλά και σε βαθμούς σκληρότητας. Μαλακά χαρακτηρίζονται τα νερά με σκληρότητα 0 – 100 mg CaCO_3 /l. Τα μέσης σκληρότητας νερά με εμφανίζουν σκληρότητα 100 – 200 mg CaCO_3 /l. Τα νερά με σκληρότητα 200 – 300 mg CaCO_3 /l χαρακτηρίζονται ως σκληρά. Τέλος, τα νερά με σκληρότητα μεγαλύτερη από 300 mg CaCO_3 /l ανήκουν στην κατηγορία των πολύ σκληρών νερών.

Ο προσδιορισμός της σκληρότητας έχει μεγάλη σημασία διότι αποτελεί κριτήριο καταλληλότητας για πολλές χρήσεις των νερών. Το σκληρό νερό δεν έχει καλή γεύση, έχει την τάση να δημιουργεί επικαθήσεις στις σωληνώσεις, στις οικιακές συσκευές και είναι ακατάλληλο για πλύση με κοινό σάπωνα, γιατί αντί να σχηματιστεί αφρός σάπωνα σχηματίζονται αδιάλυτοι

σάπωνες ασβεστίου και μαγνησίου. Επίσης, προκαλεί ποικίλα και σοβαρά προβλήματα στους ατμολέβητες, τις ψυκτικές δεξαμενές και σε παρόμοια μηχανήματα, λόγω αποθέσεως ανθρακικού ασβεστίου ή ανθρακικού μαγνησίου ή θειϊκού ασβεστίου ή μείγμα από αυτά, στα τοιχώματα τους κατά τη θέρμανση του ύδατος.

Η μηδενική σκληρότητα δεν είναι επιθυμητή, ενώ η μεγάλη σκληρότητα συνδέεται με την υγεία του ανθρώπου αφού σχετίζεται με καρδιακές παθήσεις, προκαλεί ελαφρά διάρροια σε όσους πίνουν για πρώτη φορά και η συνεχής εξωτερική του χρήση προκαλεί ερεθισμό στο δέρμα.

Αλκαλικότητα

Η αλκαλικότητα αποτελεί το μέτρο της ικανότητας του νερού να εξουδετερώνει τα οξέα. Η εξουδετέρωση αυτή οφείλεται στην παρουσία των ιόντων OH^- , CO_3^{2-} και HCO_3^- . Επιπλέον δρουν οι συζυγείς βάσεις του φωσφορικού και πυριτικού οξέος. Για νερά με $\text{pH} < 9,5$, που δεν παρουσιάζουν κάποια ασυνήθιστη χημική σύσταση, η αλκαλικότητα διαμορφώνεται από την παρουσία ιόντων CO_3^{2-} και HCO_3^- (Hem, 1989). Τα χλωριούχα, θειϊκά και νιτρικά ιόντα δεν συμβάλλουν στην αλκαλικότητα. Τα φυσικά νερά παρουσιάζουν μεγάλη ρυθμιστική ικανότητα, αντιστέκονται δηλαδή, μέσω μιας σειράς χημικών αντιδράσεων που συμβαίνουν στο εσωτερικό τους, σε απότομες μεταβολές του pH. Σημαντικές και σχετικά μόνιμες μεταβολές στο pH παρατηρούνται συνήθως κάτω από την επίδραση εξωγενών παραγόντων.

Κατιόντα

Ασβέστιο- Μαγνήσιο

Το ασβέστιο (Ca^{2+}) υπάρχει σε όλα τα φυσικά νερά και προέρχεται από τα πετρώματα δια μέσου των οποίων διέρχεται το νερό. Η κύρια προέλευση του ασβεστίου είναι τα ανθρακικά ιζηματογενή πετρώματα και τα μάρμαρα. Επιπλέον, προέρχεται από τους ασβεστονατριούχους άστριους, τη γύψο ($\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$), τους πυρόξενους, τους αμφιβόλους, καθώς και ορυκτά της ομάδας του επίδοτου (Βουδούρης, 2006).

Το μαγνήσιο (Mg^{2+}) βρίσκεται σε αφθονία στη φύση και είναι από τα πιο συνηθισμένα συστατικά των φυσικών νερών. Απαντάται στον ολιβίνη (Mg,FeSiO_4), μαγνησίτη, δολομίτη και τους χλωρίτες. Επίσης, στα ανθρακικά πετρώματα, στα οποία είναι περισσότερο άφθονο όταν περιέχουν μαγνησίτη (MgCO_3) και δολομίτη ($\text{Ca}(\text{CO}_3)\text{Mg}(\text{CO}_3)$). Επιπλέον, προέρχεται και από τη διάλυση αργλικών ορυκτών, όπου βρίσκεται προσροφημένο στο πλέγμα τους (Βουδούρης, 2006).

Τα παραπάνω στοιχεία είναι απαραίτητα για την υγεία του ανθρώπου γιατί το ασβέστιο είναι διουρητικό, αντιυπερτασικό και αντιαλλεργικό και βοηθά στην πήξη του αίματος, ενώ το μαγνήσιο βοηθά στην ομαλή λειτουργία του νευρομυϊκού συστήματος.

Νάτριο- Κάλιο

Το νάτριο (Na^+) περιέχεται σε όλα τα φυσικά νερά και στα υπόγεια νερά το ενδεικτικό επίπεδο συγκέντρωσης νατρίου είναι τα 20 mg/L, ενώ στο θαλασσινό νερό ανέρχεται σε 10.000 mg/L. Το νάτριο απαντάται στον αλβίτη ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$), στους νατριούχους αμφιβόλους (γλαυκοφανή) και στον αλίτη (NaCl). Επιπλέον, η παρουσία του στα υπόγεια νερά σχετίζεται και με τη διείσδυση της θάλασσας σε παράκτιους υδροφόρους ορίζοντες ή με αερομεταφερόμενα σταγονίδια από τη θάλασσα (Βουδούρης, 2006).

Το κάλιο βρίσκεται σε όλα τα φυσικά νερά, σπάνια όμως η περιεκτικότητά του στο πόσιμο νερό φθάνει τα 20 mg/l. Το κάλιο απαντάται στο ορθόκλαστο, στον μικροκλινή (KAlSi_3O_8) και τον συλβίτη (KCl). Επιπλέον, σχετίζεται και με τα καλιούχα λιπάσματα.

Σε μικρές περιεκτικότητες το νάτριο και το κάλιο συμμετέχουν στην οσμωτική ισορροπία του κυττάρου. Μεγάλες συγκεντρώσεις ιόντων νατρίου στο πόσιμο νερό επιφέρουν προβλήματα αύξησης της αρτηριακής πίεσης στην υγεία των ανθρώπων που το χρησιμοποιούν. Επιπλέον, η μεγάλη αναλογία του νατρίου προς τα άλλα κατιόντα στο νερό επηρεάζει αρνητικά τη διαπερατότητα του εδάφους. Περισσότερο από 50 mg/L νατρίου και καλίου προκαλούν σαπωνοποίηση που επιταχύνει τη διάβρωση στους λέβητες, δημιουργώντας κρούστα.

Αμμωνιακά

Το αμμωνιακό άζωτο στο νερό βρίσκεται με την μορφή αμμωνιακών ιόντων (NH_4^+) ή ελεύθερης αμμωνίας (NH_3), ανάλογα με το pH και την θερμοκρασία του διαλύματος, σύμφωνα με την παρακάτω αντίδραση:



Σε αλκαλικό περιβάλλον, η αντίδραση μετατοπίζεται προς τα αριστερά, ενώ σε όξινο περιβάλλον προς τα δεξιά. Όσο αυξάνει η θερμοκρασία, η αντίδραση μετατοπίζεται προς τα αριστερά και αντίστροφα. Τα υπόγεια νερά περιέχουν συνήθως αμμωνία σε χαμηλές συγκεντρώσεις (~ 0,2mg/l). Υψηλότερες συγκεντρώσεις παρατηρούνται σε υπόγεια νερά κάτω από εδάφη δασών. Η αμμωνία δεν επηρεάζει άμεσα την υγεία στις συγκεντρώσεις που ενδέχεται να υπάρχει στο πόσιμο νερό, αποτελεί όμως σημαντικό δείκτη κοπρανώδους ρύπανσης. Σε συγκεντρώσεις μεγαλύτερες από 0,2 mg/l δημιουργεί προβλήματα οσμής και γεύσης στο νερό, ελαττώνει την αποτελεσματικότητα της απολύμανσης και συμβάλλει στο σχηματισμό νιτροδών αλάτων στα συστήματα ύδρευσης (Νταρακάς, 2010).

Ανιόντα

Χλώριο

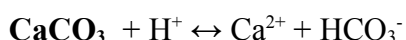
Τα χλωριούχα ιόντα (Cl⁻) είναι συντηρητικά ιόντα, ευδιάλυτα και εισδύουν στο έδαφος ή μεταφέρονται σε κλειστές δεξαμενές και τους ωκεανούς. Είναι ευρέως διαδεδομένα στη φύση σαν άλατα νατρίου, καλίου και ασβεστίου. Προέρχονται από τα αργιλικά ορυκτά θαλάσσιας γένεσης, καθώς και τους εβαπορίτες. Άλλες πηγές αποτελούν η διείσδυση της θάλασσας στους παράκτιους υδροφόρους, τα λύματα και βιομηχανικά απόβλητα καθώς και τα λιπάσματα. Η απότομη αύξηση των χλωριούχων στο νερό, αν δεν οφείλεται στην είσοδο θαλασσινού νερού, δείχνει πιθανή ρύπανση από λύματα.

Η αλατότητα του βρόχινου νερού στις νησιωτικές και παράκτιες περιοχές είναι υψηλότερη σε σύγκριση με τις περιοχές στην ενδοχώρα γιατί οι υγρές αέριες μάζες πάνω από τη θάλασσα μεταφέρουν και σταγονίδια πλούσια σε άλατα. Η απόθεση αυτών των αλάτων με τη βροχόπτωση επιδρά σημαντικά στη χημική σύσταση των υπόγειων νερών των νησιών (Dazy, 1997, Lambrakis, 2000).

Τα χλωριούχα ιόντα συμβάλλουν στη διατήρηση της ηλεκτρικής ουδετερότητας των ερυθρών αιμοσφαιρίων και στην παραγωγή του υδροχλωρικού οξέος στο στομάχι. Σε μεγάλες συγκεντρώσεις δίνουν στο πόσιμο νερό γλυφή γεύση, ενώ δεν έχει παρατηρηθεί τοξικότητα των χλωριούχων στον άνθρωπο.

Οξίνα Ανθρακικά

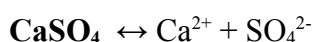
Τα όξινα ανθρακικά (HCO₃⁻) είναι το επικρατέστερο ανιόν στα γλυκά υπόγεια νερά και προέρχεται από το CO₂ της ατμόσφαιρας και το ελευθερούμενο στο έδαφος κατά την οργανική αποσύνθεση, καθώς και από τη διάλυση των ανθρακικών πετρωμάτων από το νερό:

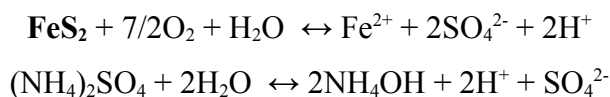


Αποτελούν ρυθμιστικό παράγοντα του pH των νερών και είναι σημαντικό ιόν για την ανθρώπινη υγεία γιατί ρυθμίζει το pH του οργανισμού σε κατάλληλες τιμές.

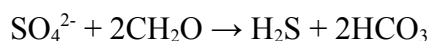
Θειικά

Τα θειικά (SO₄²⁻) ιόντα απαντώνται στη γύψο (CaSO₄·2H₂O) και τον ανυδρίτη (CaSO₄). Επιπλέον, προέρχονται από το νερό της βροχής και την οξείδωση θειούχων ενώσεων (πυριτών), που εμφανίζονται σε αργιλικά πετρώματα, καθώς και τη χρήση θειικών λιπασμάτων τύπου (NH₄)₂SO₄.



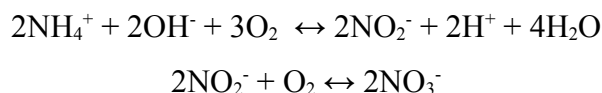


Το νερό που περιέχει υψηλές συγκεντρώσεις θειικών ιόντων δρα ως καθαριστικό. Συγκεντρώσεις άνω των 250 mg/L καθιστούν τη χρήση των νερών προβληματική για πόση και βιομηχανική χρήση. Γενικά, το θείο και οι ενώσεις του ευθύνονται για τα προβλήματα οσμών και διαβρώσεων (Βουδούρης, 2006). Παρουσία οργανικής ύλης τα SO_4^{2-} μπορεί να αναχθούν, κυρίως σε υδρόθειο, το οποίο έχει δυσάρεστη οσμή και διαβρώνει τους αγωγούς μεταφοράς νερού:



Νιτρικά

Τα νιτρικά αποτελούν τμήμα του κύκλου του αζώτου στη φύση και είναι το τελικό προϊόν της φυσικής αποσύνθεσης οργανικών αζωτούχων ενώσεων, επομένως υπάρχουν στα φυσικά νερά σε χαμηλές συγκεντρώσεις. Η οξείδωση του ιόντος NH_4^+ που προκύπτει από την αποσύνθεση πραγματοποιείται σε δύο στάδια με τη βοήθεια αερόβιων μικροοργανισμών (νιτροποίηση):



Υψηλές συγκεντρώσεις νιτρικών στα νερά οφείλονται σε λιπάσματα, απορρίμματα και ζωικά ή ανθρώπινα απόβλητα. Τα νιτρικά υπάρχουν ακόμη και στον αέρα, λόγω της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, με αποτέλεσμα να παρασύρονται από τη βροχή ή να αποτίθενται στο έδαφος. Σε αερόβιες συνθήκες τα νιτρικά σαν ευκίνητο ιόν διεισδύουν στον υδροφόρο ορίζοντα. Μεγάλη περιεκτικότητα σε νιτρικά ιόντα υποδηλώνει την παρουσία βιολογικών ρύπων ή επίδραση ή ανάμιξη με νερά άρδευσης από λιπαινόμενα εδάφη. Το ανώτατο όριο συγκέντρωσης νιτρικών στο πόσιμο νερό έχει καθορισθεί σε 50 mg/L, ενώ το επιθυμητό όριο είναι 25 mg/L. Τα πόσιμα νερά που περιέχουν μεγάλες ποσότητες νιτρικών αλάτων μπορεί να προκαλέσουν στα παιδιά την ασθένεια μεθαιμογλοβιναιμία, λόγω της αναγωγής τους στον οργανισμό σε νιτρώδη. Τα νιτρικά και τα νιτρώδη άλατα, στο περιβάλλον του στομάχου, σχηματίζουν νιτροζοενώσεις, που είναι καρκινογόνες.

Νιτρώδη

Τα νιτρώδη, όπως και τα νιτρικά αποτελούν τμήμα του κύκλου του αζώτου και αποτελούν ενδιάμεσο προϊόν τόσο της νιτροποίησης όσο και της απονιτροποίησης. Η παρουσία νιτρωδών υποδηλώνει ρύπανση από λύματα.

Φωσφορικά

Ο φώσφορος στη φύση συναντάται κυρίως με τη μορφή απατιτών $\text{Ca}_5\text{X}(\text{PO}_4)_3$ X= F⁻, Cl⁻, OH⁻

και των φωσφοριτών (άμορφοι απατίτες). Οι βασικές μορφές του φωσφόρου σε όλα τα υδάτινα συστήματα είναι τα ανόργανα φωσφορικά άλατα και ιδιαίτερα τα ορθοφωσφορικά. Είναι γνωστό ότι, σε φυσικά ύδατα με pH=6-8, σε θερμοκρασία 20°C, το κυριότερο ποσοστό του φωσφόρου βρίσκεται με τη μορφή μονόξινων φωσφορικών (HPO_4^{2-}), ένα 10% περίπου ως φωσφορικά (PO_4^{3-}) και μόλις το 1% περίπου ως δισόξινα φωσφορικά (H_2PO_4^-). Το ποσοστό του αδιάστατου H_3PO_4 είναι αμελητέο (Σκούλλος, 2009).

Νέα ποσά φωσφορικών εισέρχονται διαρκώς στα υδάτινα συστήματα από τη διάβρωση φωσφοριτών. Η μεγαλύτερη, όμως ποσότητα ανόργανου φωσφόρου οφείλεται στα αστικά λύματα και προέρχεται από τη διάσπαση των πρωτεϊνών κατά τον μεταβολισμό, στα φωσφορικά λιπάσματα και στα απορρυπαντικά. Μικρά ποσά φωσφορικών εισέρχονται στα δίκτυα από την επεξεργασία του νερού, όπου χρησιμοποιούνται για να εμποδιστεί η διάβρωση στις σωληνώσεις και οι επικαθήσεις στους λέβητες. Ο φώσφορος, με τη μορφή φωσφορικών κυρίως ιόντων (PO_4^{3-} και HPO_4^{2-}) αποτελεί ένα από τα βασικά θρεπτικά συστατικά τόσο των ζωικών όσο και των φυτικών οργανισμών.

Ιχνοστοιχεία- Βαρέα μέταλλα

Στο υπόγειο νερό υπάρχουν και ιχνοστοιχεία, τα οποία σε μικρές περιεκτικότητες είναι ευεργετικά για τον ανθρώπινο οργανισμό, ενώ σε μεγάλες περιεκτικότητες καθίστανται επιβλαβή. Ορισμένα από αυτά είναι ο σίδηρος, ο χαλκός, το μαγγάνιο, το βανάδιο, ο ψευδάργυρος, το χρώμιο κ.α. Αντίθετα, στοιχεία όπως ο υδράργυρος, το αργίλιο, ο άργυρος, το κάδμιο είναι ιδιαίτερα τοξικά ακόμα και σε μικρές συγκεντρώσεις και προκαλούν βλάβες στους οργανισμούς.

Σίδηρος

Στο στερεό φλοιό της γης ο σίδηρος συναντάται κυρίως με τη μορφή των σταθερών και δυσδιάλυτων ενώσεων του με οξυγόνο και θείο. Τα κυριότερα ορυκτά του είναι ο αιματίτης (FeO_3), ο λειμωνίτης ($2\text{FeO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), ο μαγνησίτης (FeO_4), ο σιδηροπυρίτης (FeS_2), ο σιδηρίτης (FeCO_3) κ.α. Υπάρχει κυρίως σε υπόγεια νερά, που διέρχονται από πετρώματα πλούσια σε άλατα σιδήρου.

Τα επιφανειακά νερά έχουν τον σίδηρο με την τρισθενή μορφή, ενώ αντίθετα μερικά υπόγεια νερά περιέχουν ιόντα δισθενούς σιδήρου, λόγω έλλειψης οξυγόνου. Όταν τα νερά αυτά οξυγονωθούν οι δισθενείς ενώσεις του σιδήρου οξειδώνονται προς τρισθενείς και κατακρημνίζονται, προσδίδοντας καφέ-κόκκινο χρώμα. Το υδρόθειο αντιδρά με οξείδια του σιδήρου, που υπάρχουν στον υδροφορέα και σχηματίζονται πυρίτες (σουλφίδια του Fe). Οι εντατικές αντλήσεις οδηγούν πολλές φορές στην αναγωγή των θειικών με αποτέλεσμα την απόφραξη των φιλτροσωλήνων των υδρογεωτρήσεων με σουλφίδια του σιδήρου.

Ο σίδηρος δίνει στο νερό γεύση που είναι ανιχνεύσιμη σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις. Προκαλεί

προβλήματα στα πλυντήρια και υφαντήρια και στους αγωγούς διανομής νερού (ευνοείται η ανάπτυξη βακτηρίων και δημιουργούνται αποθέσεις). Ο σίδηρος είναι απαραίτητο ιχνοστοιχείο για τον άνθρωπο και η έλλειψή του προκαλεί αναιμία, παρόλα αυτά, συνεχής κατανάλωση νερού με υψηλές συγκεντρώσεις σιδήρου μπορεί να προκαλέσει βλάβες στους ιστούς (αιμοχρωμάτωση).

Οργανικές ενώσεις

Οι οργανικές ενώσεις στο νερό προέρχονται από φυσικές διεργασίες, όπως η αποδόμηση φυτικών και ζωικών προϊόντων και κυρίως από ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Φυτοφάρμακα, οργανοχλωριωμένα εντομοκτόνα, διοξίνες, χλωριωμένοι υδρογονάνθρακες, πολυχλωριωμένα διαφαινύλια (PCB), φαινόλες, πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες (PAH) και άλλες οργανικές ενώσεις που χρησιμοποιούνται ευρέως στη γεωργία και τη βιομηχανία αποτελούν πηγές ρύπανσης των νερών. Οι ενώσεις αυτές χαρακτηρίζονται από σημαντική βιολογική δράση και λόγω της ισχυρής τοξικότητάς τους (καρκινογόνες, τερατογόνες κ.λ.π.) αποτελούν τεράστιο κίνδυνο για το περιβάλλον. Πολλές φορές οι οργανικές ουσίες εισέρχονται στο νερό μετά από διαρροές ή ατυχήματα (π.χ. διαρροή πετρελαιοειδών) ή μετά τη διάλυση των πλαστικών σωλήνων (διάλυση μονομερούς από τη μάζα του πολυμερούς πλαστικού) στα δίκτυα μεταφοράς νερού.

Θρεπτικά Συστατικά

Τα κυριότερα θρεπτικά στοιχεία είναι το άζωτο και ο φωσφόρος, και για μερικούς οργανισμούς, με πυριτικό σκελετό το πυρίτιο. Το άζωτο βρίσκεται στο νερό με διάφορες μορφές: αέριο σε διάλυση, NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^- , οργανικό άζωτο. Οι ενώσεις του φωσφόρου στο νερό διακρίνονται σε οργανικές ή ανόργανες, διαλυμένες ή σωματιδιακές. Φυσικές, χημικές και βιολογικές διεργασίες που συμβαίνουν στο υδάτινο περιβάλλον μεταβάλλουν διαρκώς την αναλογία των παραπάνω μορφών του αζώτου και του φωσφόρου. Τα διαλυμένα στο νερό θρεπτικά άλατα παίζουν καθοριστικό ρόλο στη βιολογική παραγωγικότητα.

Βιολογικές

Τα νερά είναι φορείς μικροοργανισμών όπως φύκη, μύκητες, βακτήρια, πρωτόζωα, ιών και άλλα που είναι υπεύθυνοι για πολλές ασθένειες που μεταδίδονται μέσω των νερών, για την οσμή και τη γεύση του πόσιμου νερού, τη διάβρωση των μετάλλων και του σκυροδέματος καθώς επίσης και για τον ευτροφισμό των υδάτινων οικοσυστημάτων. Η αφομοίωση των ρύπων στα υδάτινα οικοσυστήματα επιτυγχάνεται με βιολογικό αυτοκαθαρισμό του νερού χάρη στους μικροοργανισμούς.

2.3.2 Ανθρωπογενείς επιπτώσεις στην ποιότητα των υπογείων νερών

Οι ανθρώπινες δραστηριότητες μπορεί να προκαλέσουν άμεσες ή έμμεσες μεταβολές της φυσικής ποιότητας του υπογείου νερού με αποτέλεσμα την μεταβολή της ποιοτικής κατάστασής τους καθιστώντας τα πολλές φορές επιβλαβή όχι μόνο για την ανθρώπινη υγεία αλλά και για όλους τους άλλους οργανισμούς. Η μεταβολή αυτή της ποιότητας των υπογείων νερών μπορεί να προέλθει από:

i) Μεταβολές στον υδρολογικό κύκλο, οι οποίες τροποποιούν την ικανότητα αραίωσης και ανάμιξης του νερού των υδατικών συστημάτων και του υδατικού ισοζυγίου. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η μεταβολή της υδραυλικής ισορροπίας λόγω της υπεράντλησης των υπόγειων νερών που είναι η αιτία για την εισροή νερών χαμηλής ποιότητας, υφάλμυρων ή εμπλουτισμένων με ιχνοστοιχεία και βαριά μέταλλα από διπλανούς, επάλληλους υδροφορείς και από τη θάλασσα.

ii) Επεμβάσεις στους φυσικούς βιογεωχημικούς κύκλους με την υλοτόμηση των δασών, τις πυρκαγιές, την κατασκευή δρόμων, την επέκταση της γεωργίας, την καταστροφή των υγροτόπων κ.α με συνέπεια να επηρεάζεται σημαντικά η ικανότητα του περιβάλλοντος να αποθηκεύει και αποικοδομεί τους ρύπους και τα θρεπτικά στοιχεία

iii) Το ρυπασμένο νερό, το οποίο ακολουθεί τις καθορισμένες διαδικασίες κίνησης του υπόγειου νερού. Το επιφανειακό νερό καθώς περνά από την ακόρεστη εδαφική ζώνη διαλύει κάθε διαλυτή ουσία που βρίσκεται μέσα σε αυτήν προερχόμενη είτε από το έδαφος είτε από διάφορες σημειακές πηγές ρύπανσης. Οι κυριότεροι ρυπαντές είναι τα αστικά και βιομηχανικά απόβλητα, τα γεωργικά χημικά, τα στερεά απόβλητα των ζώων, η διάθεση των πυρηνικών αποβλήτων κ.α.

Η εδάφια διάθεση των λυμάτων των σταθμών επεξεργασίας αστικών λυμάτων και σηπτικών δεξαμενών, τις εκπλύσεις από τους σκουπιδότοπους και ΧΥΤΑ προκαλεί ρύπανση και μόλυνση των υπόγειων υδάτων. Η ρύπανση οφείλεται κυρίως στην παρουσία ανόργανων και οργανικών συστατικών, ενώ η μόλυνση οφείλεται σε παθογόνα βακτήρια, μύκητες κ.α. Τα σοβαρότερα προβλήματα υγείας που προκαλούνται από τους μικροοργανισμούς του υπόγειου νερού είναι ο τύφος, η χολέρα και η ηπατίτιδα.

Τα υγρά βιομηχανικά απόβλητα σε σύγκριση με τα αστικά λύματα περιέχουν τοξικά στοιχεία, όπως αρσενικό, κάδμιο, εξασθενές χρώμιο, διαλύτες, χρώματα, μη αναμίξιμα με το νερό υγρά (NAPLs) κ.α. Τα NAPLs είναι ρύποι, όπως η βενζίνη, το πετρέλαιο θέρμανσης, οι χλωριωμένοι υδρογονάνθρακες, τα πολυχλωριωμένα διφαινύλια (PCBs) κ.α. Η σημασία των NAPLs στα υπόγεια νερά οφείλεται στην ικανότητα που έχουν να ρυπαίνουν μεγάλους όγκους νερού λόγω της μικρής δυνατότητας απομάκρυνσής του. Η μετακίνηση των ουσιών αυτών στο έδαφος εξαρτάται από την ποσότητα που ελευθερώνεται στο έδαφος, τις φυσικές ιδιότητες του εδάφους και τη δομή

του εδάφους δια μέσου του οποίου μετακινούνται.

Η άρδευση και η εφαρμογή των λιπασμάτων, φυτοφαρμάκων, ζιζανιοκτόνων κ.α. στη γεωργία αποτελούν σημαντικό κίνδυνο ρύπανσης των υπογείων νερών. Τα νιτρικά ιόντα είναι ευκίνητα και με μεγάλη ευκολία μεταφέρονται με το νερό που διηθείται βαθιά δια μέσου της ακόρεστης ζώνης του εδάφους και της υπόγειας ροής στους υπόγειους υδροφορείς. Οι οργανικές ουσίες που χρησιμοποιούνται σαν φυτοφάρμακα παρόλο που οι περισσότερες είναι ταχείας αποικοδόμησης, σημαντικές ποσότητες αυτών και των προϊόντων της διάσπασής τους έχουν καταγραφεί στα υπόγεια νερά. Σημαντικό ρόλο για τη σοβαρότητα της ρύπανσης από τα αγροχημικά αποτελεί η τοξικότητα, η ποσότητα και ο χρόνος παραμονής της ουσίας στο έδαφος καθώς και ο τρόπος εφαρμογής τους στο έδαφος.

iv) Η άρδευση σε ξηρά και ημίξηρα κλίματα είναι υπεύθυνη για τη μεταφορά και εναπόθεση των ανόργανων ενώσεων και αλάτων στην ακόρεστη ζώνη. Λόγω της εξατμισοδιαπνοής, αυξάνει η συγκέντρωση των αλάτων στο εδαφικό νερό με αποτέλεσμα το νερό που διηθείται στα βαθύτερα στρώματα να περιέχει διαλυμένα άλατα σε συγκεντρώσεις δύο και τρεις φορές μεγαλύτερες από αυτές του εφαρμοζόμενου νερού. Στα περατά εδάφη, η περίσσεια νερού που διηθείται κάτω από τη ζώνη ριζοστρώματος παρασέρνει τα διαλυμένα υλικά (ιδιαίτερα τα ιόντα χλωρίου, θεικών, νιτρικών και νατρίου) στα υπόγεια νερά. Η επαναχρησιμοποίηση και ανακύκλωση του νερού για άρδευση είναι μία σοβαρή διαδικασία συσσώρευσης των αλάτων στα επιφανειακά και τα υπόγεια νερά.

2.3.3 Διακύμανση της πιεζομετρικής στάθμης των υδροφόρων

Η πιεζομετρική στάθμη των υδροφόρων στρωμάτων δε βρίσκεται σε στατική ισορροπία αλλά σε δυναμική και μεταβάλλεται συνεχώς με το χρόνο. Η μεταβολή της στάθμης του υπογείου νερού, είτε πρόκειται για ελεύθερους είτε για αρτεσιανούς υδροφόρους, αντικατροπτίζει τις αλλαγές της διαίτας τους (Καλλέργης, 1986). Οι κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν την πιεζομετρική στάθμη του υπογείου νερού είναι:

i) Το ύψος των κατακρημνισμάτων και ο χρόνος που χρειάζεται το νερό της βροχής για να φτάσει στον υδροφορέα. Ο χρόνος μπορεί να κυμαίνεται από μερικά λεπτά στους ρηχούς υδροφόρους που βρίσκονται κάτω από περατούς σχηματισμούς, μέχρι μερικούς μήνες ή μερικά χρόνια για βαθείς υδροφόρους που βρίσκονται κάτω από σχηματισμούς μικρής υδροπερατότητας. Σε ξηρές και ημίξερους περιοχές η επαναπλήρωση των υδάτινων αποθεμάτων μπορεί να είναι μηδενική.

ii) Η υπεράντληση του υπογείου νερού για ύδρευση ή άρδευση. Η υπεράντληση εντοπίζεται κυρίως κατά την ξηρή περίοδο και ειδικότερα τους καλοκαιρινούς μήνες με συνέπεια την

υποχώρηση της στάθμης που είναι τόσο μεγαλύτερη, όσο πιο έντονη και μακροχρόνια είναι η υπεράντληση. Γίνεται άντληση όχι μόνο των εκμεταλλεύσιμων αλλά και μέρους των μονίμων αποθεμάτων, τα οποία δεν είναι αναπληρώσιμα παρά μόνο σε πλούσια υδρολογικά έτη. Έτσι τα φυσικά αποθέματα μειώνονται συνεχώς.

iii) Η υπεράρδευση και η στράγγιση. Όταν η άρδευση των καλλιεργειών γίνεται με επιφανειακό νερό ποταμών (αρδευτικό δίκτυο, κανάλια) έχει ως αποτέλεσμα την επανατροφοδοσία των υδροφόρων στρωμάτων και την άνοδο της στάθμης τους. Έχει υπολογιστεί ότι περίπου το 10% ως 30% του αρδευόμενου νερού καταλήγει στον υποκείμενο υδροφόρο. Το ποσό εμπλουτισμού εξαρτάται από το ρυθμό άρδευσης, το βάθος της στάθμης και την περατότητα του επικαλύμματος του υδροφόρου στρώματος. Όσο πιο αβαθές είναι το υδροφόρο στρώμα τόσο πιο εύκολα γίνεται η επανατροφοδοσία του (Παναγόπουλος, 1995).

iv) Η διακύμανση της απορροής στα υδρορέματα. Όταν ένα υδρορέμα βρίσκεται σε άμεση επαφή με έναν ελεύθερο υδροφόρο, το υδρορέμα κατά περίπτωση τροφοδοτεί ή τροφοδοτείται απ' αυτόν ανάλογα αν η στάθμη του νερού στο υδρορέμα βρίσκεται αντίστοιχα πάνω ή κάτω από τη στάθμη του υδροφόρου (Καλλέργης, 1986).

2.3.4 Υφαλμύρωση παράκτιων υδροφόρων

Με τον όρο υφαλμύρωση υπόγειων υδροφορέων εννοείται όχι μόνο η ύπαρξη γλυκού νερού αλλά και υφάλμυρου νερού στους υδροφορείς αυτούς. Η διείσδυση του αλμυρού νερού σε παράκτιους υδροφορείς μπορεί να οφείλεται σε φυσικούς παράγοντες, όσο και ανθρωπογενείς ή πολλές φορές συνδυασμό και των δύο (Νάνου-Γιάνναρου, 2001). Τα φυσικά αίτια που ευθύνονται για το πρόβλημα της υφαλμύρωσης είναι τα ακόλουθα:

- Η διάλυση των πετρωμάτων που φιλοξενούν το υπόγειο νερό, ειδικά όταν πρόκειται για πετρώματα πλούσια σε άλατα
- Η εισχώρηση του θαλασσινού νερού μέσω ρηγμάτων, διακλαδώσεων και ρωγμών
- Η παγίδευση του θαλασσινού νερού από παλαιότερες γεωλογικές εποχές στα πετρώματα
- Η ανύψωση της στάθμης της θάλασσας, οι καθοδικές κινήσεις της ξηράς ή συνδυασμός και των δύο

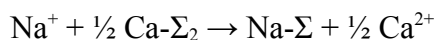
Οι ανθρωπογενείς παράγοντες που επηρεάζουν το φαινόμενο σχετίζονται με την υπεράντληση των υπόγειων υδάτων σε περιοχές οι οποίες είναι παραθαλάσσιες. Στους παράκτιους υδροφορείς η υδραυλική κλίση του υπόγειου νερού έχει συνήθως κατεύθυνση προς τη θάλασσα. Λόγω της παρουσίας του αλμυρού νερού, στο τμήμα του υδροφορέα που βρίσκεται κάτω από το επίπεδο της θάλασσας σχηματίζεται μια ζώνη επαφής μεταξύ του ελαφρύτερου γλυκού νερού του υδροφορέα

και του υποκείμενου βαρύτερου αλμυρού νερού. Ο όγκος του αλμυρού νερού κάτω από το γλυκό λόγω της χαρακτηριστικής του μορφής ονομάζεται σφήνα. Το αλμυρό και το γλυκό νερό είναι αναμίξιμα με αποτέλεσμα η μεταξύ τους ζώνη επαφής να παίρνει τη μορφή μιας μεταβατικής ζώνης λόγω του φαινομένου της διάχυσης. Το φαινόμενο της υφαλμύρωσης εμφανίζεται όταν η υδραυλική κλίση του παράκτιου υδροφορέα προς τη θάλασσα είναι μικρή και ακόμα περισσότερο όταν αλλάζει διεύθυνση εξαιτίας των έντονων αντλήσεων. Στην περίπτωση αυτή δημιουργούνται ευνοϊκές συνθήκες για τη μετακίνηση της αλμυρής σφήνας προς το εσωτερικό του υδροφορέα με αποτέλεσμα την υφαλμύριση του, την αύξηση δηλαδή της συγκέντρωσης των ιόντων χλωρίου, μαγνησίου και ασβεστίου στα υπόγεια νερά (Ζαχαριάδη, Παπαδοπούλου, Καρατζάς, 2006). Η εισροή αυτή μπορεί να είναι μόνιμη ή συνηθέστερα μη μόνιμη ροή. Έτσι το αλμυρό νερό αντικαθιστά ίσες ποσότητες γλυκού νερού.

Πρέπει να τονισθεί ότι το φαινόμενο δεν μπορεί να θεωρηθεί αναστρέψιμο, γι'αυτό και η αντιμετώπιση του συνδέεται πρακτικά με πρόβλεψη και ορθή διαχείριση. Είναι λοιπόν φανερό, ότι η μελέτη του φαινομένου της υφαλμύρισης των παράκτιων υδροφορέων είναι πολύ σημαντική για την Ελλάδα λόγω της μεγάλης ακτογραμμής και των κοινωνικοοικονομικών επιπτώσεων στις παράκτιες περιοχές (Νάνου-Γιάνναρου, 2001).

Από υδρογεωχημική άποψη η υφαλμύριση των υδροφόρων συνίσταται από ένα υψηλής αλατότητας διάλυμα (θαλασσινό νερό) αναμειγμένο με ένα αραιωμένο διάλυμα (γλυκό νερό) σε ένα πορώδες μέσο, που περιέχει πολλά δραστικά στερεά (ορυκτά) (Martinez and Bocanegra, 2002). Κατά τη διάρκεια της διείσδυσης του νερού της θάλασσας σε ένα παράκτιο υδροφόρο στρώμα οι υδροχημικές διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα επηρεάζοντας τη χημική σύνθεση των υπόγειων νερών είναι οι διαδικασίες μίξης, η ιονταλλαγή και σε ορισμένα μείγματα η αναγωγή των θειϊκών.

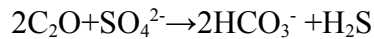
Το γλυκό νερό είναι κατά κανόνα οξυανθρακικό ασβεστούχο και το θαλασσινό χλωριονατριούχο. Όταν διεισδύσει θαλασσινό νερό στην ενδοχώρα λαμβάνει χώρα ιοντοανταλλαγή (Appelo and Postma, 1994):



όπου Σ είναι η στερεά φάση στην οποία λαμβάνει χώρα η ανταλλαγή (ιοντοανταλλάκτης). Η ιοντοανταλλαγή οδηγεί σε απελευθέρωση Ca^{2+} και δέσμευση του Na^+ . Το αντίθετο συμβαίνει κατά τη διάρκεια τεχνητού εμπλουτισμού με γλυκό νερό σε υφάλμυρο υδροφόρο ορίζοντα, όπου μετατρέπεται σε $\text{Na}-\text{HCO}_3$ τύπο. Η ανταλλαγή κατιόντων είναι ένας ρυθμιστικός παράγοντας των ιοντικών συγκεντρώσεων στο νερό και αποτελεί μια από τις πλέον σημαντικές γεωχημικές διαδικασίες της θαλάσσιας διείσδυσης (Gimenez and Morell, 1997, Hafi, 1997).

Η αναγωγή των θειϊκών είναι μια τυπική αντίδραση σε μερικά μείγματα θαλασσινού-γλυκού νερού (Bosch and Custodio, 1993). Η αντίδραση περιλαμβάνει οξείδωση του οργανικού υλικού σε

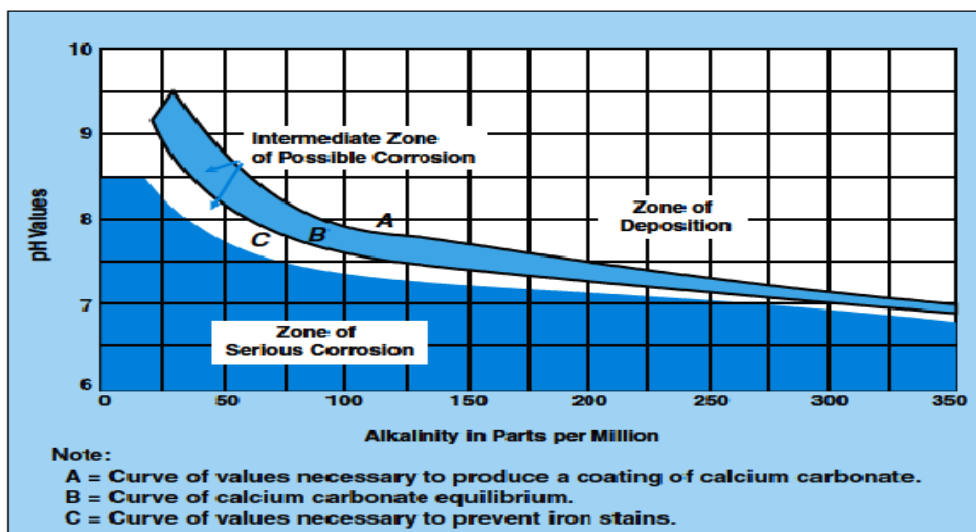
ένα αναερόβιο περιβάλλον:



2.4 Απόθεση Αλάτων- Διάβρωση Μεταλλικών Επιφανειών

Η απόθεση αλάτων και η διάβρωση των μεταλλικών επιφανειών είναι δύο φαινόμενα που συχνά αποτελούν σοβαρές αιτίες προβλημάτων στα μέρη ενός συστήματος διανομής νερού, σε τμήματα βιομηχανικών εγκαταστάσεων που έρχονται σε επαφή με το νερό κτλ. Η οικονομική ζημιά που προκύπτει στις περιπτώσεις αυτές είναι σημαντική και αφορά τη δαπάνη αντικατάστασης του υλικού, έξοδα τοποθέτησης καθώς και απώλεια παραγωγικού χρόνου.

Γενικά το νερό μπορεί να διαχωριστεί σε τρεις κατηγορίες: το νερό που έχει την τάση να αποθέτει άλατα σε μία επιφάνεια, το ουδέτερο δηλαδή αυτό που βρίσκεται σε ισορροπία και το διαβρωτικό, το οποίο έχει την τάση να διαβρώνει τα μεταλλικά μέρη των επιφανειών από τις οποίες διέρχεται (Ripp, 2000). Οι κύριοι παράγοντες που διαμορφώνουν τις παράπανω κατηγορίες είναι η αλκαλικότητα, το pH και η σκληρότητα. Σύμφωνα με την καμπύλη του Baylis (Σχήμα 4) νερά με χαμηλή αλκαλικότητα και χαμηλό pH έχουν την τάση να διαβρώνουν ενώ νερά με υψηλή αλκαλικότητα και υψηλό pH έχουν την τάση να αποθέτουν. Παρόλα αυτά, οι παραπάνω κατηγορίες δεν είναι απόλυτες, αφού για την εμφάνιση αυτών των φαινομένων συμβάλλουν πληθώρα παραγόντων. Σε ορισμένες περιπτώσεις το νερό μπορεί να είναι διαβρωτικό σε μερικά σημεία και σε άλλα αποθετικό. Η υψηλότερη θερμοκρασία και πίεση μπορούν να μετατρέψουν το νερό από διαβρωτικό σε αποθετικό. Η μεγαλύτερη ταχύτητα κίνησης του νερού στις σωληνώσεις μπορεί να μετατρέψει το νερό σε περισσότερο διαβρωτικό (Ripp, 2000).



Σχήμα 4. Η καμπύλη του Baylis (Ripp, 2000)

Ως απόθεση ή επικάλυψη (deposit/scale), στην περίπτωση του νερού, χαρακτηρίζεται κάθε συσσώρευση αδιάλυτου υλικού, το οποίο προέρχεται από το νερό ή και εξαιτίας του σχηματιζόμενο από την αντίδραση του νερού στην επιφάνεια με την οποία έρχεται σε επαφή (Υφαντής, 1995).

Η απόθεση αλάτων είναι μία χημική διαδικασία που λαμβάνει χώρα κατά την επαφή υδατικών διαλυμάτων με επιφάνειες και υπό την προϋπόθεση ότι τα υδατικά διαλύματα είναι υπέρκορα ως προς τον σχηματισμό δυσδιαλύτων αλάτων, με αποτέλεσμα τον σχηματισμό επικαθίσεων αποτελούμενων από τα αντίστοιχα άλατα. Δεδομένου του ότι τα περισσότερα από τα άλατα αυτά (ανθρακικά, φωσφορικά και θειικά άλατα των αλκαλικών γαιών) χαρακτηρίζονται από αντίστροφη διαλυτότητα οι αρνητικές επιπτώσεις σε χημικές διεργασίες με σημαντικές απαιτήσεις σε νερό είναι σημαντικές.

Για να δημιουργηθεί μία απόθεση το γινόμενο των ιόντων τα οποία είναι υπεύθυνα για την απόθεση πρέπει να είναι μεγαλύτερο από το αντίστοιχο γινόμενο διαλυτότητας τους στην συγκεκριμένη θερμοκρασία, να υπάρχουν πυρήνες κρυστάλλωσης σαν βάση για τη δημιουργία αδρομερών κρυσταλλιτών, να υπάρχει διαθέσιμος χρόνος για την ανάπτυξη των πυρήνων σε κρυσταλλίνη και κατάλληλες προϋποθέσεις για την προσρόφηση τους στην επιφάνεια. Όταν ο κρυσταλλίτης προσκολληθεί στην μεταλλική επιφάνεια και εφόσον υπάρχουν οι παραπάνω προϋποθέσεις, θα αναπτυχθεί ανεμπόδιστα, για να δημιουργήσει μία σκληρή κρυσταλλική απόθεση ανοργάνων αλάτων (scale). Εάν δεν υπάρχουν οι προϋποθέσεις προσκόλλησης του κρυσταλλίτη στην μεταλλική επιφάνεια, ενώ υπάρχουν οι προϋποθέσεις ανάπτυξής του σε κρύσταλλο, τότε αυτός θα αναπτυχθεί μέσα στην μάζα του νερού, δημιουργώντας αιωρούμενο σωματίδιο (fouling). Οι παράγοντες που ευνοούν τη δημιουργία αποθέσεων είναι: το υψηλό pH, το υπερκορεσμένο σε άλατα νερό, οι προϋπάρχουσες αποθέσεις ή διαβρωμένες επιφάνειες, οι συσσωρεύσεις αιωρούμενων, τα αιωρούμενα στερεά στο νερό κυκλοφορίας, οι μικρές ταχύτητες ανακυκλοφορίας και η αύξηση της θερμοκρασίας.

Τα σκληρά νερά που είναι υπερκορεσμένα σε ανθρακικό ασβέστιο, έχουν ισχυρότερη τάση να δημιουργήσουν απόθεση. Το δυσδιάλυτο ανθρακικό ασβέστιο είναι η συνηθέστερη τύπου scale απόθεση, εξαιτίας του χαμηλού γινομένου διαλυτότητας για μεγάλο εύρος θερμοκρασιών και της αυξημένης παρουσίας του στα φυσικά νερά. Συνολικά υπάρχουν έξι διαφορετικές μορφές του CaCO_3 , αλλά μόνο τρεις χαρακτηρίζονται από την συχνή τους εμφάνιση στην φύση καθώς και στους ζωντανούς οργανισμούς. Οι τρεις αυτές άνυδρες κρυσταλλικές μορφές του ανθρακικού ασβεστίου κατά σειρά φθίνουσας θερμοδυναμικής σταθερότητας και αυξανόμενης διαλυτότητας, όπως γίνεται αντιληπτό από τον Πίνακα 1 είναι οι ακόλουθες: ασβεστίτης, αραγωνίτης, βατερίτης. Μείγμα βατερίτη και καλσίτη σχηματίζεται στους 10- 30°C, ενώ ο αραγωνίτης σχηματίζεται σε

υψηλότερες θερμοκρασίες (60- 80°C). Η διαλυτότητα όλων των φάσεων του ανθρακικού ασβεστίου μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας γεγονός που αυξάνει σημαντικά την πιθανότητα σχηματισμού των στις υψηλές θερμοκρασίες.

Πίνακας 1. Θερμοδυναμικές Σταθερές Γινομένων Διαλυτότητας για τις τρεις μορφές του Άνυδρου Κρυσταλλικού Ανθρακικού Ασβεστίου στους 25°C

Όνομασία	K_s^0 (mol/l)
Ασβεσίτης	3.31×10^{-9}
Αραγωνίτης	4.61×10^{-9}
Βατερίτης	1.22×10^{-8}

Το ανθρακικό ασβέστιο αποτελεί τον πιο συνηθισμένο τύπο απόθεσης στις σωληνώσεις μεταφοράς νερού, στις οικιακές συσκευές, στους λέβητες, τις ψυκτικές μηχανές κ.α. (Εικόνα 2). Ο σχηματισμός του, έχει σαν αποτέλεσμα την μείωση της λειτουργικής διαμέτρου των σωληνώσεων των εγκαταστάσεων, αύξηση της πίεσης και κατά συνέπεια ανάγκη για συχνό καθαρισμό των σωληνώσεων καθώς και αυξημένο κίνδυνο έκρηξης-καταστροφής των εγκαταστάσεων. Παρόλα αυτά, το ανθρακικό ασβέστιο όταν σχηματίζει μία ελαφρά επίστρωση στα τοιχώματα εμποδίζει το φαινόμενο της διάβρωσης.



Εικόνα 2. Απόθεση CaCO_3

Το θειικό ασβέστιο συναντάται σε τρεις μορφές, το ημιενυδατωμένο, το άνυδρο και την γύψο $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Αυξανόμενης της θερμοκρασίας παρουσιάζει αυξανόμενο γινόμενο διαλυτότητας μέχρι περίπου τους 38°C και μετά αρχίζει να ελαττώνεται. Είναι εκατό φορές πιο διαλυτό από το CaCO_3 με αποτέλεσμα στις συνήθεις περιπτώσεις να μην αποτελεί πρόβλημα.

Οι συνηθέστερες αποθέσεις εκτός των προαναφερθησών ουσιών, είναι αυτές του πυριτίου. Το

πυριτικό ασβέστιο και μαγνήσιο σχηματίζονται όταν το SiO_2 είναι της τάξης των 175 ppm. Οι αποθέσεις αυτές είναι πολύ δύσκολο να απομακρυνθούν με χημικά μέσα. Η παρουσία σημαντικών συγκεντρώσεων PO_4^{3-} στο νερό έχει ως αποτέλεσμα να αντιδρούν με το Ca^{+2} και να δημιουργούν σοβαρή απόθεση μονοόξινου, δισόξινου και φωσφορικού ασβεστίου. Η διεθνής βιβλιογραφία αναφέρει ότι οι φωσφορικές αποθέσεις του ασβεστίου δημιουργούν τα σοβαρότερα προβλήματα εξαιτίας του πολύ χαμηλού γινομένου διαλυτότητας, με αποτέλεσμα στις χημικές επεξεργασίες που παράγουν φωσφορικά να απαιτείται χαμηλό pH και ειδικός χειρισμός.

Οι συγκεντρώσεις των μαγνησιακών αλάτων στα νερά είναι σημαντικά χαμηλότερες από αυτές του ασβεστίου και συνήθως είναι περισσότερο διαλυτές από του ασβεστίου με αποτέλεσμα το ασβέστιο να καταβυθίζεται πρώτο. Όμως είναι δυνατόν, εξαιτίας της ποιότητας του νερού, να παρουσιαστούν αποθέσεις από το μαγνήσιο αυτό καθ' εαυτό.

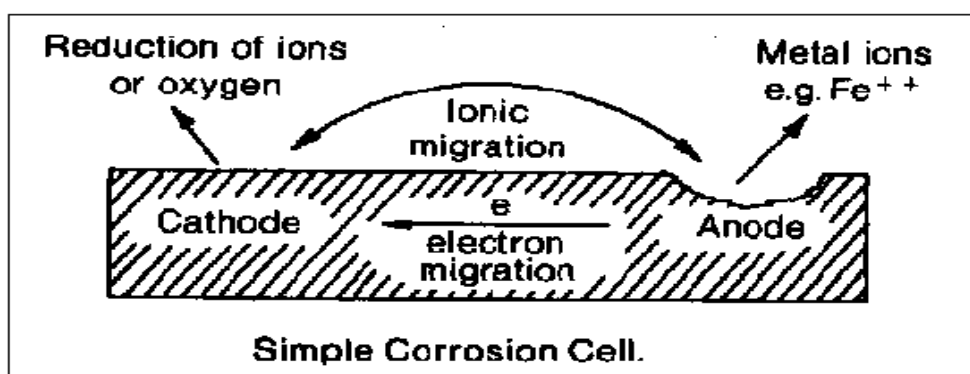
Ο διαλυτός σίδηρος δημιουργεί υδροξείδιο του σιδήρου $\text{Fe}(\text{OH})_3$ που μπορεί να αποτεθεί αυτούσιο ή σαν Fe_2O_3 . Το $\text{Fe}(\text{OH})_3$ έχει κροκκιδωτικές ικανότητες και συσσωματώνει τα άλλα αιωρούμενα άλατα και επομένως αποτελεί συνδετικό υλικό για συστατικά fouling. Πάντως τα προβλήματα από τον σίδηρο προέρχονται κυρίως από την διάβρωση που προκαλεί και όχι τόσο από την απόθεση που δημιουργεί στα ψυκτικά κυκλώματα.

Με τον όρο διάβρωση (corrosion) εννοούμε την καταστροφή, φθορά ή και λειτουργική αχρήστευση ενός υλικού εξαιτίας χημικής ή ηλεκτροχημικής ή μηχανικής δράσης του υλικού με το περιβάλλον του. Συνήθως, ο όρος διάβρωση χρησιμοποιείται για μεταλλικά υλικά. Τελευταία όμως χρησιμοποιείται και για τα πολυμερή ή και τα σύνθετα υλικά (Υφαντής, 1995).

Σε οποιοσδήποτε συνθήκες η διάβρωση είναι φαινόμενο θερμοδυναμικά αυθόρμητο διότι κάθε μέταλλο ή κράμα σύμφωνα με τον δεύτερο θερμοδυναμικό νόμο έχει την τάση να διαβρωθεί ανεξάρτητα από το περιβάλλον που βρίσκεται. Το υλικό και το περιβάλλον ή το διαβρωτικό μέσο αποτελούν το σύστημα διάβρωσης και διαμορφώνουν τα κύρια χαρακτηριστικά του φαινομένου της διάβρωσης που είναι η πολυπλοκότητα του και η συχνά μη προβλέψιμη φύση του, ο τοποχρονικός και τοποχημικός χαρακτήρας του, η ευαισθησία του στις διάφορες συνθήκες και στην εναλλαγή τους, η ποικιλία των μορφών του.

Οι παράμετροι που επηρεάζουν τη διάβρωση με κριτήριο το υλικό είναι η χημική του σύσταση, η δομή του, η μέθοδος και οι συνθήκες χύτευσης, οι μηχανικές κατεργασίες και η τελική επεξεργασία της επιφάνειας. Οι παράμετροι που ευνοούν τη διάβρωση με κριτήριο το υδατικό διαβρωτικό περιβάλλον είναι: οι υψηλές θερμοκρασίες, η χαμηλή αλκαλικότητα και η σκληρότητα σε συνάρτηση με το χαμηλό pH, η αυξημένη ηλεκτρική αγωγιμότητα, τα επίπεδα διαλυμένου οξυγόνου 3-5 mg/l, οι υψηλές συγκεντρώσεις χλωριούχων, νιτρικών,θειϊκών ιόντων, διοξειδίου του άνθρακα και τα βακτήρια. Συνήθως υπάρχει επαλληλία των προηγούμενων παραμέτρων στα

συστήματα διάβρωσης, στην πράξη μπορούν να συνυπάρχουν δύο ή και τρεις μηχανισμοί διάβρωσης που δρουν άμεσα ή έμμεσα με αποτέλεσμα η διάγνωση των αιτιών της διάβρωσης να είναι εξαιρετικά δύσκολη σε ορισμένες περιπτώσεις.



Εικόνα 3. Διάβρωση

Κοινό χαρακτηριστικό όλων των μορφών διάβρωσης είναι η επιφανειακή αλλοίωση των υλικών, η οποία οφείλεται στα προϊόντα διάβρωσης που είναι το αποτέλεσμα χημικής ή ηλεκτροχημικής δράσης μεταξύ υλικού και περιβάλλοντος. Τα προϊόντα της διάβρωσης είτε συσσωρεύονται στην επιφάνεια καλύπτοντάς την τοπικά ή σε όλη την έκταση της είτε διαφεύγουν προς το διαβρωτικό περιβάλλον, χωρίς να αποκλείονται και τα δύο. Το μέταλλο ή τα συστατικά του κράματος βρίσκονται σε μηδενική οξειδωτική βαθμίδα (Me^0), ενώ τα προϊόντα διάβρωσης σε υψηλότερη οξειδωτική βαθμίδα (Me^{++}), όπως φαίνεται και στην Εικόνα 3. Τα προϊόντα της διάβρωσης από χημική άποψη είναι οξείδια, υδροξείδια ή άλατα και εξαρτώνται από τη χημική σύσταση κυρίως του υλικού αλλά και του διαβρωτικού περιβάλλοντος.

Σύμφωνα με τον Υφαντή (1995), δεν υπάρχει ενιαία συστηματική κατάταξη των τύπων της διάβρωσης στη βιβλιογραφία διότι δεν χρησιμοποιούνται πάντοτε τα ίδια κριτήρια κατάταξης. Σε γενικές γραμμές με κριτήριο τη γεωμετρική κατανομή της διάβρωσης στην επιφάνεια χωρίς μηχανική καταπόνηση διακρίνουμε 2 τύπους: την ομοιόμορφη ή γενική αν η επιφάνεια του μετάλλου καλύπτεται από ομοιόμορφο στρώμα διάβρωσης ή η μεταλλική επιφάνεια διαλύεται ομοιόμορφα και την τοπική διάβρωση όταν η προσβολή είναι εντοπισμένη σε ορισμένες περιοχές της επιφανείας, δηλαδή υπάρχουν διαφορετικές ταχύτητες διάβρωσης στην επιφάνεια. Εδώ η προσβολή μπορεί να εξειδικευθεί ανάλογα με τη μορφή (ρωγμές, αβαθείς οπές/ κοιλότητες) ή την έκτασή της οπότε διακρίνουμε διάβρωση με βελονισμούς ή σημειακή ή με οπές, όπως στον ανοξείδωτο χάλυβα παρουσία χλωριόντων και διάβρωση νηματοειδή, όπως κάτω από λεπτούς υμένες χρωμάτων σε βαμμένα φύλλα αλουμινίου ή και χάλυβα κ.ο.κ. Η σημαντικότερη μορφή διάβρωσης που εμφανίζεται σε προστατευμένες επιφανειακά μεταλλικές κατασκευές είναι η

τοπική. Τοπικές διαβρώσεις έχουν συχνά διαπιστωθεί στις υδραυλικές εγκαταστάσεις οικιών, στις σωληνώσεις/ συνδέσεις των ηλιακών θερμοσιφώνων, στα δίκτυα θερμού/ ψυχρού βιομηχανικού νερού, σε εξοπλισμό χημικών βιομηχανιών όπως εναλλάκτες θερμότητας κλπ. Η τοπική διάβρωση είναι ιδιαίτερα επικίνδυνη για σημαντικά κατασκευαστικά υλικά όπως ο σίδηρος άνοξειδωτος ή όχι και το αλουμίνιο διότι μπορεί να οδηγήσει σε καταστροφή ή σε αχρήστευση μιας κατασκευής π.χ. τρύπημα μιας σωλήνωσης ή μιας δεξαμενής. Η οικονομική ζημιά που προκύπτει από τη διάβρωση στις περιπτώσεις αυτές είναι σημαντική και αφορά τη δαπάνη αντικατάστασης του υλικού, έξοδα τοποθέτησης, απώλεια παραγωγικού χρόνου.

Υπάρχουν πολλές μορφές διάβρωσης που προκαλούν προβλήματα στις επιφάνειες που έρχονται σε επαφή με το νερό. Η γαλβανική διάβρωση επιτίθεται συνήθως στις συνδέσεις των μετάλλων, ή τις περιοχές όπου ένα κατασκευαστικό μέταλλο διαδέχεται από άλλο. Η εκλεκτική διάβρωση προκαλεί αποψευδαργύρωση του ορειχάλκου, αποκοβαλτίωση και απονικέλωση η οποία συνήθως εμφανίζεται σε κράματα χαλκού/ νικελίου μετά από παρατεταμένη έκθεση σε μαλακό νερό. Η ρευστομηχανική διάβρωση μπορεί να εμφανιστεί σε μεταλλικές σωληνώσεις νερού (νερό ύδρευσης, θέρμανσης, ψύξης, κ.α.) όπου τα προϊόντα της διάβρωσης εμπλέκονται συχνά με αποθέσεις αλάτων από το νερό ή σε μεταλλικά υλικά εκτεθειμένα στη ροή υγρών (π.χ. σε δικλείδες/ βάνες ύδρευσης). Η βιολογική διάβρωση είναι αποτέλεσμα της έμμεσης επίδρασης βιολογικών παραγόντων στο σύστημα διάβρωσης. Σε δίκτυα ζεστού ή κρύου πόσιμου νερού κατασκευασμένα από χαλκοσωλήνες έχουν παρατηρηθεί βλάβες από σημειακή διάβρωση με αίτιο τη δημιουργία βιοϋμένων.

Η διάβρωση μπορεί να αποτελέσει την αιτία σοβαρών βλαβών στα μεταλλικά μέρη ενός συστήματος διανομής, στις δεξαμενές αποθήκευσης νερού, στους σωλήνες μεταφοράς, στις βαλβίδες κτλ. Επιπλέον, μπορεί να υποβαθμίσει την ποιότητα του νερού αφού τα προϊόντα της διάβρωσης ενδέχεται να καταλήξουν στο νερό.

Κεφάλαιο 3. Μεθοδολογία

3.1 Υλικά και Μέθοδοι

3.1.1 Πεδίο μελέτης- πειραματικός σχεδιασμός

Το πεδίο μελέτης αυτής της διπλωματικής αποτέλεσαν οι υδατικοί πόροι της νήσου Πάρου. Στα πλαίσια της υδροχημικής έρευνας των υπογείων νερών της περιοχής έρευνας πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία το Μάιο του 2011.



Χάρτης 1. Θέσεις Σημείων Δειγματοληψίας Νερού -Μάιος 2011

Η δειγματοληψία έγινε σε γεωτρήσεις, πηγές και πηγάδια για την κάλυψη της περιοχής έρευνας μ' ένα όσο το δυνατόν αντιπροσωπευτικό δίκτυο (Χάρτης 1). Συγκεκριμένα, συλλέχθηκαν δείγματα από 15 δημοτικές και 3 ιδιωτικές γεωτρήσεις, οι οποίες χρησιμοποιούνται για ύδρευση και άρδευση αντίστοιχα, 2 πηγές εκ των οποίων η μία χρησιμοποιείται για αφαλάτωση και άρδευση, ενώ η άλλη παραμένει ανεκμετάλλευτη και 1 πηγάδι. Τα δείγματα νερού από τις γεωτρήσεις πάρθηκαν τουλάχιστον 15' λεπτά της ώρας μετά από την έναρξη της άντλησης, ώστε το δείγμα να είναι αντιπροσωπευτικό. Επιπλέον, συλλέχθηκαν 5 δείγματα από το δίκτυο ύδρευσης του Δήμου Πάρου.

3.1.2 Εργασίες πεδίου

Η συλλογή των δειγμάτων έγινε σε δοχεία των 500ml και 250ml από πολυαιθυλένιο. Για την συντήρηση των δειγμάτων προστέθηκε επί τόπου στα δοχεία των 250ml θειικό οξύ. Μετά τη συλλογή των δειγμάτων, ακολούθησε αποθήκευση σε χαμηλή θερμοκρασία και άμεση μεταφορά τους στο εργαστήριο όπου διεξήχθησαν οι αναλύσεις. Παράλληλα με την δειγματοληψία πραγματοποιήθηκαν και μετρήσεις υπαίθρου με τον εξοπλισμό του Ινστιτούτου Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (ΙΓΜΕ). Οι μετρήσεις αυτές περιελάμβαναν:

- pH και δυναμικό οξειδοαναγωγής με τη συσκευή pH 315i της WTW
- Αγωγιμότητα με τη συσκευή Cond 315i της WTW
- Διαλυμένο οξυγόνο με τη συσκευή Oxi 315 της WTW
- Θερμοκρασία νερού και αέρα με θερμόμετρο

3.1.3 Εργαστηριακή μεθοδολογία

Οι χημικές αναλύσεις του νερού βασίστηκαν σε πρότυπες μεθόδους ανάλυσης (APHA, AWWA, WEF, 1989). Ο έλεγχος των αποτελεσμάτων έγινε με το ισοζύγιο ιόντων. Αν το σφάλμα υπερέβαινε κατά πολύ το 5% η ανάλυση επαναλαμβανόταν εκ νέου.

$$\text{Σφάλμα Ισοζυγίου} = [\text{Σκατιόντων} - \text{Σανιόντων} / (\text{Σκατιόντων} + \text{Σανιόντων})] \times 100$$

Οι εργαστηριακές αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν στο Εργαστήριο Γεωργικής Υδραυλικής του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών και χρησιμοποιήθηκε ο ακόλουθος εξοπλισμός:

- Σπεκτροφωτόμετρο Hitachi U-2000
- Σπεκτροφωτόμετρο HACH Lange DR2800
- Φλογοφωτόμετρο Corning 410
- Αυτόματος Τιτλοδότης Metrohm 702 SM Titrino

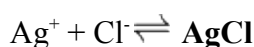
Για τον προσδιορισμό της περιεκτικότητας των ιόντων στα δείγματα ακολούθησαν οι παρακάτω χημικές αναλύσεις:

Προσδιορισμός νιτρικών ιόντων

Η μέθοδος προσδιορισμού των NO_3^- στηρίχθηκε στην αναγωγή των νιτρικών ιόντων σε νιτρώδη παρουσία καδμίου και τη μέτρηση της συγκέντρωσή τους φασματοφωτομετρικά. Τα νιτρικά ιόντα μετατρέπονται ποσοτικά σε νιτρώδη, τα οποία προσδιορίζονται από το σχηματισμό του διαζωνικού ιόντος με την N-(1-νάφθυλο)-αιθυλενοδιαμίνη (έγχρωμο αζώχρωμα). Η μέτρηση τους πραγματοποιήθηκε σε σπεκτροφωτόμετρο στα 550 nm με κυψελίδα 1 cm.

Προσδιορισμός ιόντων χλωρίου

Τα ιόντα χλωρίου που είναι διαλυμένα στο νερό προσδιορίστηκαν με ποτενσιομετρική ογκομέτρηση με νιτρικό άργυρο (AgNO_3) 0.01N σε αυτόματο τιτλοδότη που καταγράφει τη μεταβολή δυναμικού στο διάλυμα.



Η καθίζηση έγινε από διάλυμα που έχει οξινοσθεί με νιτρικό οξύ, αφενός μεν γιατί τα προσροφούμενα στο λευκό κολλοειδές ίζημα του AgCl ιόντα H^+ συντελούν στην θρόμβωση του και αφετέρου για να παρεμποδιστεί η καταβύθιση άλλων ανιόντων υπό μορφή δυσδιάλυτων αλάτων αργύρου.

Προσδιορισμός του αθροίσματος ιόντων Ca^{2+} και Mg^{2+} (ολική σκληρότητα)

Ο προσδιορισμός της ολικής σκληρότητας του ύδατος πραγματοποιήθηκε με συμπλοκομετρική ογκομέτρηση με EDTA 0.02N παρουσία δείκτη μέλανος εριοχρώματος T (EBT) και ρυθμιστικού διαλύματος αμμωνίας-χλωριούχου αμμωνίου (pH=10). Κατά την ογκομέτρηση διαλύματος, που περιέχει ιόντα Ca^{2+} και Mg^{2+} με EDTA, παρουσία δείκτη EBT σε pH 10, αρχικά συμπλοκοποιούνται τα ιόντα Ca^{2+} και στη συνέχεια τα ιόντα Mg^{2+} . Στο τελικό σημείο γίνεται χρωματική αλλαγή από οινέρυθρο (χρώμα Mg-EBT) σε κυανό (χρώμα του ελεύθερου δείκτη EBT σε pH 10).

Προσδιορισμός ιόντων ασβεστίου

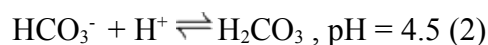
Ο προσδιορισμός του ασβεστίου έγινε με συμπλοκομετρική ογκομέτρηση με EDTA 0.02 N σε pH = 12-13, ώστε το μαγνήσιο να βρίσκεται στη δυσδιάλυτη μορφή $\text{Mg}(\text{OH})_2$, παρουσία δείκτη Eriochrome Blue-Black R. Η ρύθμιση του pH των δειγμάτων του νερού πραγματοποιήθηκε με την προσθήκη KOH 8N.

Προσδιορισμός ιόντων μαγνησίου

Το μαγνήσιο υπολογίστηκε από τη διαφορά του αθροίσματος ιόντων Ca^{2+} και Mg^{2+} .

Προσδιορισμός ολικής αλκαλικότητας

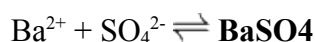
Ο προσδιορισμός των CO_3^{2-} και των HCO_3^- επιτυγχάνθηκε με ογκομέτρηση εξουδετερώσεως με πρότυπο διάλυμα H_2SO_4 0.02N. Η ογκομέτρηση γίνεται σε δύο στάδια, σύμφωνα με τις αντιδράσεις



Για τον προσδιορισμό του τελικού σημείου της αντίδρασης (1) και (2) χρησιμοποιήθηκαν οι δείκτες φαινολοφθαλεΐνης και πρασίνου της βρωμοκρεσόλης αντίστοιχα. Είναι χαρακτηριστικό ότι σε όλα προς τα εξέταση δείγματα η συγκέντρωση των ανθρακικών ιόντων ήταν μηδενική, αφού μετά την προσθήκη της φαινολοφθαλεΐνης δεν εμφανίστηκε η ρόδινη χροιά που αποτελεί ένδειξη παρουσίας ανθρακικών ιόντων.

Προσδιορισμός θεικών ιόντων

Ο προσδιορισμός των θεικών ιόντων πραγματοποιήθηκε με την προσθήκη γλωριούχου βαρίου σε ασθενώς όξινο περιβάλλον αντιδρών με το βάριο σχηματίζοντας το θεικό βάριο.



Το θειικό βάριο είναι ένα χονδροκρυσταλλικό ίζημα, το οποίο προσδίδει θολότητα στο διάλυμα. Η θολότητα μετρήθηκε με σπεκτροφωτόμετρο στα 450 nm με κυψελίδα 5 cm.

Προσδιορισμός ιόντων νατρίου και καλίου

Ο προσδιορισμός του Na^+ και του K^+ έγινε με τη χρήση φλογοφωτόμετρου. Αρχικά μετρήθηκε η ισχύς της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας προτύπων διαλυμάτων Na^+ με εύρος συγκέντρωσης 0-30 ppm Na^+ στα 590 nm για την κατασκευή καμπύλης βαθμονόμησης και στη συνέχεια τα δείγματα. Για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης του K^+ σαν μηκός κύματος επιλέχθηκαν τα 770 nm και το εύρος των τιμών των προτύπων διαλυμάτων ήταν 0-10 ppm K^+ .

Προσδιορισμός νιτρωδών ιόντων

Η μέθοδος βασίζεται στη διαζώτωση του σουλφανιλαμιδίου με τα νιτρώδη και τη σύζευξη της υδρογλωρικής N-(1-νάφθυλο) αιθυλενοδιαμίνης. Το ροζ χρώμα που σχηματίζεται με την παρουσία των νιτρωδών, προσδιορίστηκε φασματοφωτομετρικά στα 543 nm.

Προσδιορισμός φωσφορικών ιόντων

Ο προσδιορισμός των φωσφορικών ιόντων στηρίχθηκε στην κατεργασία του δείγματος με το όξινο αντιδραστήριο του μολυβδαινικού ιόντος που περιέχει ασκορβικό οξύ και μικρή ποσότητα τρυγικού καλιο-αντιμονυλίου. Το φωσφορομολυβδαινικό οξύ που παράγεται ανάγεται και δίνει ένα

μπλε-μωβ σύμπλοκο. Η απορρόφηση μετρήθηκε στα 710 nm.

Προσδιορισμός αμμωνιακών ιόντων

Η αρχή της μεθόδου βασίζεται στο σχηματισμό μίας έντονα κυανής ένωσης της ινδοφαινόλης. Τα αμμωνιακά σε pH 12.6 αντιδρούν με τα υποχλωριώδη και σαλικυλικά ιόντα, παρουσία συμπλόκου σιδήρου ($\text{Na}_2[\text{Fe}(\text{CN})_5\text{NO}]_2\text{H}_2\text{O}$) που δρα σαν καταλύτης, και σχηματίζουν ινδοφαινόλη. Για τον προσδιορισμό των αμμωνιακών ιόντων χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της Hack (LCK 304) και η απορρόφηση μετρήθηκε στα 690 nm.

Προσδιορισμός COD

Η αρχή της μεθόδου βασίζεται στην πλήρη οξείδωση των οργανικών ενώσεων από το διχρωμικό κάλιο ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) σε συνθήκες υψηλών θερμοκρασιών (148 °C) και χαμηλού pH παρουσία θειϊκού αργύρου (Ag_2SO_4) σαν καταλύτη και θειϊκού υδραργύρου (HgSO_4) για την εξουδετέρωση των χλωριούχων. Η οξείδωση των οργανικών ενώσεων έχει ως αποτέλεσμα την αναγωγή των διχρωμικών ανιόντων σε πράσινα ιόντα Cr^{3+} . Τα κίτρινα Cr^{6+} που απομένουν μετρώνται φασματοφωτομετρικά. Για τον προσδιορισμό του COD χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της Hack (LCK 314). Τα εναπομείναντα Cr^{6+} μετρήθηκαν στα 420 nm. Ο προσδιορισμός του COD δεν πραγματοποιήθηκε για τα δείγματα του δικτύου ύδρευσης.

3.2 Οργάνωση και Μελέτη των Αποτελεσμάτων της Χημικής Ανάλυσης του Νερού

Η ποιότητα των νερών προσδιορίζεται από τις χημικές αναλύσεις. Υπάρχει μία μεγάλη ποικιλία μεθόδων και τεχνικών που επιτρέπει την ταξινόμηση, τη σύγκριση και τη σύνοψη των αποτελεσμάτων των χημικών αναλύσεων. Η γραφική και στατιστική ερμηνεία των αποτελεσμάτων των χημικών αναλύσεων αποτελούν βασικό εργαλείο των υδροχημικών μελετών. Σκοπός των υδροχημικών μελετών είναι ο προσδιορισμός των διαδικασιών που ελέγχουν την ποιότητα των υπόγειων νερών και είναι απαραίτητες για την διαχείριση της ποιότητας των νερών.

Στην παρούσα εργασία για την επεξεργασία των χημικών αναλύσεων των δειγμάτων του νερού, την κατασκευή των υδροχημικών διαγραμμάτων και των χαρτών χρησιμοποιήθηκαν τα πρόγραμμα OpenOffice Calc, ArcView GIS και το πρόγραμμα Υδροχημικών μελετών του Δρ. Γιαννουλόπουλου Παναγιώτη, Γεωλόγου- Υδρογεωλόγου (M.Sc, Ph.D).

3.2.1 Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων για 19

φυσικοχημικές παραμέτρους σε 21 θέσεις νερού στην νήσο Πάρο και γίνεται ένα σύντομος σχολιασμός τους.

3.2.2 Αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των χημικών αναλύσεων με βάση τη νομοθεσία

Με βάση την ισχύουσα νομοθεσία σχετικά με την ποιότητα του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης της ΚΥΑ Υ2/2600/2001 (ΦΕΚ 892Β/11-07-2001) και σχετικά με τον ορισμό ανώτερων αποδεκτών τιμών για τη συγκέντρωση συγκεκριμένων ρύπων, ομάδων ρύπων ή δεικτών ρύπανσης σε υπόγεια ύδατα της ΥΑ Οικ. 1811/2011 (ΦΕΚ 3322Β/30-12-11), πραγματοποιήθηκε η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των χημικών αναλύσεων του νερού.

3.2.3 Σύνολο διαλυμένων στερεών

Τα συνολικά διαλυμένα στερεά (TDS) είναι μία παράμετρος που εκφράζει τη συνολική συγκέντρωση των διαλυμένων στο νερό αλάτων, χωρίς να περιλαμβάνονται τα αιωρούμενα ιζήματα, τα κολλοειδή και τα διαλυμένα αέρια και αποτελεί ένα δείκτη αλατότητας. Η ταξινόμηση των νερών με βάση το TDS κατά Carroll (1962) φαίνεται στον Πίνακα 2.

Πίνακας 2. Ταξινόμηση Ποιότητας Νερού με βάση το TDS (Carroll, 1962)

TDS (mg/l)	Ποιότητα Νερού
0- 1,000	Φρέσκο νερό
1,000- 10,000	Υφάλμυρο νερό
10,000- 100,000	Αλμυρό νερό
> 100,000	Υπεράλμυρο νερό

3.2.4 Διαγράμματα συγκέντρωσης ιόντων

3.2.4.1 Διαγράμματα Πίτας και Stiff

Πίτες

Το μέγεθος της Πίτας εκφράζει τη συνολική συγκέντρωση των κύριων ιόντων σε ένα δείγμα νερού και μεταβάλλεται ανάλογα με τη συνολική συγκέντρωση των κύριων ιόντων. Ο κύκλος χωρίζεται σε επι μέρους τμήματα που το καθένα αντιστοιχεί σε ένα ιόν. Το μέγεθος του τμήματος ενός ιόντος μεταβάλλεται ανάλογα με τη συγκέντρωση του ιόντος στο δείγμα (Hem, 1989).

Διαγράμματα Stiff

Ο Stiff (1951) ανέπτυξε μια γραφική μέθοδο που βασίζεται στο σχεδιασμό τεσσάρων παράλληλων οριζόντιων αξόνων που εκτείνονται δεξιά και αριστερά από ένα κάθετο μηδενικό άξονα. Οι συγκεντρώσεις (meq/l) τεσσάρων κατιόντων απεικονίζονται σε κάθε ένα παράλληλο

άξονα στα αριστερά του μηδενικού άξονα, ενώ οι συγκεντρώσεις (meq/l) τεσσάρων ανιόντων στα δεξιά. Η σύνδεση των παραπάνω δίνει ένα πολύγωνο, του οποίου η έκταση δείχνει τη συνολική συγκέντρωση των ιόντων. Είναι πολύ χρήσιμο διότι παρουσιάζει ευδιάκριτα της διαφορές και τις ομοιότητες της σύνθεσης του νερού πολλών δειγμάτων νερού (Hem, 1989).

Για κάθε δείγμα κατασκευάστηκαν τα διαγράμματα Πίτας και Stiff με κύρια ιόντα τα: Ca^{2+} , Na^+ + K^+ , Mg^{2+} , HCO_3^- , Cl^- και SO_4^{2-} και Ca^{2+} , Na^+ , Mg^{2+} , HCO_3^- , Cl^- και SO_4^{2-} αντίστοιχα και απεικονίστηκαν πάνω σε χάρτες ώστε να είναι συγκρίσιμα.

3.2.4.2 Ημιαλγοριθμικό διάγραμμα Schoeller

Πρωτοεισήχθηκε από τον Schoeller H. (1955) και εφαρμόζεται ευρέως στη βιβλιογραφία γιατί επιτυγχάνει να απεικονίσει τους διάφορους τύπους υπόγειου νερού. Πρόκειται για ένα διάγραμμα που στον κατακόρυφο άξονα έχει τιμές διαφόρων ιόντων σε meq/l και στον οριζόντιο τα διάφορα ιόντα με την εξής σειρά: Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , Cl^- , SO_4^{-2} , HCO_3^- . Σύμφωνα με το Hem (1989) το διάγραμμα αυτό έχει το πλεονέκτημα να δείχνει τις σχέσεις μεταξύ mg/l και meq/l για κάθε ιόν. Νερά με παρόμοια σύσταση απεικονίζονται παράλληλα.

3.2.5 Τριγραμμικά διαγράμματα

Τα τριγραμμικά υδροχημικά διαγράμματα επιτρέπουν την άμεση σύγκριση και την ταξινόμηση των αναλυθέντων δειγμάτων νερού, δίνουν πληροφορίες για την υδροχημική φάση τους και τις γεωχημικές διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα στα υπόγεια ύδατα. Με βάση τις χημικές αναλύσεις κατασκευάστηκαν τα διαγράμματα Piper, Piper Mix και Expanded Durov.

Διάγραμμα Piper

Πρωτοεισήχθηκε από τον Piper M. (1944), συμπληρώθηκε από τους Davis S. – De Wist R. (1967) και τον Fetter C.W. (1994) και χρησιμοποιείται ευρύτατα στη σύγχρονη βιβλιογραφία. Αποτελείται από δύο τριγωνικά διαγράμματα, ένα για τα ανιόντα και ένα για τα κατιόντα και ένα ενδιάμεσο ρομβικό που στο σύνολο συνιστούν ένα τρίγωνο. Η θέση του αντίστοιχου δείγματος νερού το κατατάσσει σε μία κατηγορία, τόσο ως προς τα κατιόντα ή ανιόντα όσο και στο σύνολο τους, δίνοντας την υδροχημική φάση του δείγματος. Για την εφαρμογή του διαγράμματος Piper χρησιμοποιούνται meq/l σε εκατοστιαία συμμετοχή κάθε ιόντος χωριστά για κατιόντα και για ανιόντα. Το διάγραμμα επιτρέπει τόσο την άμεση σύγκριση των διαφόρων δειγμάτων νερού, όσο και την ταξινόμηση τους σε κατηγορίες ακόμα και όταν έχουμε πολλά και διαφορετικά δείγματα νερού.

Διάγραμμα Piper Mix

Το διάγραμμα Piper Mix αποτελεί μία παραλλαγή του κλασσικού διαγράμματος Piper που διευκολύνει την αναγνώριση των γεωχημικών διαδικασιών. Από κάθε σημείο ξεκινάει μία γραμμή όπου η διεύθυνση της φανερώνει την κυρίαρχη υδροχημική διεργασία που επηρεάζει τη χημική σύσταση του δείγματος.

Διάγραμμα Expanded Durov

Πρωτοεισήχθηκε από τον Durov (1948) και η διευρυμένη μορφή του αναπτύχθηκε από τους Burdon και Mazloum (1958) και από τον Lloyd (1965). Είναι παρόμοιο με το διάγραμμα Piper με τη διαφορά ότι για την εφαρμογή του Piper χρησιμοποιούνται meq/l σε εκατοστιαία συμμετοχή κάθε ιόντος, χωριστά για κατιόντα και για ανιόντα ενώ στο διάγραμμα Expanded Durov το άθροισμα των κατιόντων και των ανιόντων χρησιμοποιείται σαν 100%. Το Expanded Durov σε σχέση με το Piper έχει το πλεονέκτημα ότι παρέχει μία σαφέστερη και πιο ξεκάθαρη εικόνα των υδροχημικών τύπων των νερών και των χημικών διεργασιών που λαμβάνουν μέρος.

3.2.6 Διάγραμμα Sulin

Ο Sulin (1948) εισήγαγε ένα γράφημα για την γενετική κατάταξη των υπόγειων νερών που εφαρμόζεται για να δείξει τη γένεση και των τύπο των νερών χρησιμοποιώντας την υδροχημική σύνθεση τους. Τα υπόγεια νερά διακρίνονται σε τέσσερις γενετικούς τύπους:

- Θειονατριούχα, τα οποία προέρχονται από ατμοσφαιρικό νερό, όπου σε αυτό έχουν προστεθεί θειικά από επίγειες διεργασίες.
- Όξινα ανθρακικά νατριούχα, τα οποία είναι αποτέλεσμα της πρόσφατης προσθήκης μετεωρικού νερού στον υπόγειο υδροφόρο.
- Χλωριομαγνησιούχα, τα οποία φανερώνουν την επίδραση της θάλασσας καθώς και συνθήκες εξάτμισης.
- Χλωριοασβεστούχα, τα οποία υποδηλώνουν θαλασσίνο νερό.

3.2.7 Συσχετίσεις

3.2.7.1 Ηλεκτρική αγωγιμότητα

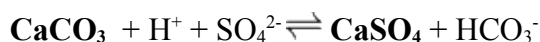
Οι τιμές της αγωγιμότητας είναι ενδεικτικές για την ποιότητα των φυσικών νερών. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα εξαρτάται από την παρουσία ιόντων, τη συγκέντρωση των ιόντων, την ευκινησία των ιόντων, το σθένος των ιόντων και τη θερμοκρασία του διαλύματος. Η συσχέτιση της με τα κύρια ιόντα του νερού αποτελεί μία μέθοδο προσδιορισμού των ιόντων που διαμορφώνουν την τιμή της.

3.2.7.2 Συσχέτισεις ιόντων

Οι τιμές περιεκτικότητας του υπόγειου νερού σε διάφορα ιόντα, εξεταζόμενα ανά ορισμένα ζεύγη, αυξάνονται ή μειώνονται παράλληλα, διατηρώντας μια περίπου σταθερή σχέση μεταξύ τους. Σε πολλά ζεύγη ιόντων, η συσχέτιση είναι συνήθης, ενώ σε άλλα συγκυριακή. Η συσχέτιση συνδέεται με τη χημική συγγένεια και τις ιδιότητες των ιόντων αυτών, αλλά και με τη λιθολογία του αντίστοιχου υδροφορέα (Σούλιος, 2006). Για τον προσδιορισμό των συσχετίσεων χρησιμοποιήθηκαν οι συγκεντρώσεις των ιόντων Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} και NO_3^- , εκφρασμένες σε meq/l και κατασκευάστηκε ο πίνακας συσχετίσεων ιόντων.

3.2.7.3 Διάγραμμα διαλυτότητας ασβεστίτη και γύψου

Το διάγραμμα αυτό βασίζεται σε μία μέθοδο συσχετίσεων που προτείνει ο Hem (1989) κατά την οποία οι συγκεντρώσεις ελέγχονται από τη χημική ισορροπία. Εξετάζει τη θέση ισορροπίας του ασβεστίτη και της γύψου βασιζόμενο στις σχέσεις που ακολουθούν:



$$([\text{HCO}_3^-]/[\text{H}^+]) * [\text{SO}_4^{2-}] = K \text{ ή } \log([\text{HCO}_3^-]/[\text{H}^+]) + \log[\text{SO}_4^{2-}] = \log K$$

όπου το K είναι συνδυασμός των σταθερών γινομένου διαλυτότητας του ασβεστίτη και της γύψου.

3.2.8 Ιοντικοί λόγοι

Οι τιμές των ιοντικών λόγων δίνουν πληροφορίες για την προέλευση, την υπόγεια διαδρομή κ.λ.π. του δείγματος νερού που αναλύθηκε. Διαμορφώνονται ανάλογα με το γεωλογικό περιβάλλον, την τροφοδοσία των υδροφορέων, την ανάμιξη με θαλασσινό νερό κ.α. γι' αυτό είναι χρήσιμες παράμετροι για την υδροχημική μελέτη το υπόγειου νερού. Οι τιμές των ιοντικών λόγων υπολογίστηκαν με τις συγκεντρώσεις των ιόντων εκφρασμένες σε meq/l.

Ιοντικός Λόγος $\text{Mg}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$

Ο λόγος αυτός δείχνει αν το νερό προέρχεται από ασβεστολιθικά ή μαγνησιούχα πετρώματα. Ο λόγος $\text{Mg}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$ στο θαλασσινό νερό είναι περίπου 5, ενώ στο γλυκό νερό ο λόγος αυτός κυμαίνεται μεταξύ 0.2-1.5. Τιμές αυτού:

- $\text{Mg}^{2+}/\text{Ca}^{2+} = 0,5-0,7$ αντιστοιχούν σε νερό από ασβεστολιθικά υδροφόρα (ή αντίστοιχα μεταμορφωμένα)
- $\text{Mg}^{2+}/\text{Ca}^{2+} = 0,7-0,9$ αντιστοιχούν σε δολομιτικά (ή αντίστοιχα μεταμορφωμένα) υδροφόρα στρώματα
- $\text{Mg}^{2+}/\text{Ca}^{2+} > 0,9$ αντιστοιχούν σε υδροφόρους οφειολιθικούς σχηματισμούς ή γενικά πυριτικούς πλούσιους σε μαγνήσιο.

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

Ιοντικός Λόγος $(\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+})/(\text{K}^{+}+\text{Na}^{+})$

Ο λόγος αυτός έχει σχέση με την τροφοδοσία του υπόγειου νερού. Ανάλογα με τις τιμές αυτού έχουμε:

- $(\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+})/(\text{K}^{+}+\text{Na}^{+}) > 1$ υδροφόρο στρώμα με συνεχή τροφοδοσία
- $(\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+})/(\text{K}^{+}+\text{Na}^{+}) < 1$ παλιό νερό στα κατάντι τμήματα (ως προς τη διεύθυνση ροής) του υδροφορέα.

Ιοντικός Λόγος $\text{Na}^{+}/\text{Cl}^{-}$

Ο λόγος αυτός σχετίζεται με τη διείσδυση του θαλασσινού νερού ή με υδροφόρα μέσα στα οποία υπήρξαν υπολείμματα θαλασσιών αλάτων. Ο λόγος $\text{Na}^{+}/\text{Cl}^{-}$ στο υφάλμυρο από θάλασσα διείσδυση νερό είναι μικρότερος από ότι στο θαλασσινό νερό. Το Cl^{-} χαρακτηρίζεται από υδροχημική άποψη ως ένα από τα πλέον συντηρητικά στοιχεία και αποτελεί τον πιο αξιόπιστο ιχνηθέτη της διείσδυσης της θάλασσας. Για το λόγο αυτό η παραπάνω σχέση σε συνδυασμό και με άλλες γεωχημικές παραμέτρους μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν δείκτης της θαλάσσιας διείσδυσης, ακόμα και σε μικρές συγκεντρώσεις χλωρίου κατά τα πρώτα στάδια της θαλάσσιας διείσδυσης. Ανάλογα με τις τιμές αυτού έχουμε:

- $\text{Na}^{+}/\text{Cl}^{-} = 0.876 \pm 10\%$ κανονικό υπόγειο νερό
- $\text{Na}^{+}/\text{Cl}^{-} > 1$ νερό από αλκαλικά μαγματικά ή μεταμορφωμένα πετρώματα (ιοντική ανταλλαγή Ca και Mg με Na)
- $\text{Na}^{+}/\text{Cl}^{-} < 0.876 \pm 10\%$ υφαλμύρωση του υδροφορέα (διείσδυση της θάλασσας ή υπολείμματα κλπ.).

Ιοντικός Λόγος $\text{Cl}^{-}/\text{SO}_4^{2-}$

Ο λόγος σχετίζεται με την υφαλμύρωση και την ύπαρξη υπολειμματικών αλάτων στους υδροφορείς. Οι τιμές της σχέσης $\text{Cl}^{-}/\text{SO}_4^{2-}$ είναι υψηλότερες στα παλαιά αλμυρά νερά σε σχέση με το σύγχρονο θαλάσσιο νερό σαν αποτέλεσμα της αναγωγής των θειικών. Έτσι, τιμές αυτού δείχνουν:

- $\text{Cl}^{-}/\text{SO}_4^{2-} = 10$ θαλασσινό νερό

- $Cl^-/SO_4^{2-} > 5$ νερό χλωριούχο
- $Cl^-/SO_4^{2-} = 1- 5$ νερό χλωροθειούχο
- $Cl^-/SO_4^{2-} = 0.2- 1$ νερό θειούχο – χλωριούχο
- $Cl^-/SO_4^{2-} < 0.2$ νερό θειούχο.

Συντελεστής Revelle

Ο δείκτης Revelle προσδιορίζει τη συνεισφορά της θαλάσσιας διείσδυσης στην αύξηση της συγκέντρωσης χλωριόντων στο υπόγειο νερό και εκφράζεται από τη σχέση:

$$R = rCl^- / (rCO_3^{2-} + rHCO_3^-)$$

Τιμές του δείκτη Revelle μεγαλύτερες του 1 υποδηλώνουν ρύπανση του υπόγειου νερού από τη διείσδυση της θάλασσας.

3.2.9 Δείκτες κορεσμού

Οι δείκτες κορεσμού αποτελούν ένα χρήσιμο δείκτη της χημικής σταθερότητας και της πιθανής συμπεριφοράς των υπόγειων νερών διότι εξετάζουν τη διαλυτότητα των ορυκτών στους υπόγειους υδροφορείς. Ο δείκτης κορεσμού εκφράζει τη θερμοδυναμική σταθερότητα του υπόγειου νερού ως προς ένα στερεό (ορυκτό) και δίνεται από τη σχέση:

$$SI = \log(IAP/K_{sp})$$

όπου IAP είναι το ιοντικό γινόμενο ενεργοτήτων και K_{sp} είναι το γινόμενο διαλυτότητας.

Όταν η τιμή του δείκτη κορεσμού είναι μεταξύ -0.2 και 0.2 δείχνει ότι το διάλυμα είναι κορεσμένο. Τιμές του δείκτη κορεσμού μεγαλύτερες από 0.2 δείχνουν ότι το νερό είναι υπερκορεσμένο στο υπό εξέταση ορυκτό, ενώ όταν είναι μικρότερες από -0.2 τότε το νερό είναι ακόρεστο και επικρατούν συνθήκες διαλυτοποίησης του ορυκτού (Merkel and Planner-Friedrich 2005). Οι δείκτες κορεσμού του νερού σε ένα στερεό είναι πολύ χρήσιμοι για τον προσδιορισμό της σταθερότητας του νερού που φτάνει στους καταναλωτές.

Στην παρούσα εργασία εξετάστηκαν οι δείκτες κορεσμού για 13 ορυκτά, όπως: ο ασβεστίτης ($CaCO_3$), ο αραγωνίτης ($CaCO_3$), ο δολομίτης ($CaMg(CO_3)_2$), ο μαγνησίτης ($MgCO_3$), ο βρουκίτης ($Mg(OH)_2$), ο αρτινίτης ($Mg_2(CO_3)(OH)_2 \cdot 3H_2O$), ο ανυδρίτης ($CaSO_4$), η γύψος ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$), ο αλίτης ($NaCl$), ο εψομίτης ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$), ο χουντίτης ($CaMg_3(CO_3)_4$), ο υδρομαγνησίτης ($Mg_5(CO_3)_4(OH)_2 \cdot 4H_2O$) και ο μιραμπιλίτης ($Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$).

3.2.10 Σκληρότητα

Η σκληρότητα των νερών είναι μια παράμετρος που αναφέρεται στα διαλυμένα στο νερό άλατα,

κυρίως ασβεστίου και μαγνησίου. Ο προσδιορισμός της έχει μεγάλη σημασία διότι αποτελεί κριτήριο καταλληλότητας για πολλές χρήσεις των νερών. Τα νερά με βάση τη σκληρότητα ταξινομούνται όπως φαίνεται στον Πίνακα 3.

Πίνακας 3. Τάξεις Νερού με βάση τη Σκληρότητα (Sawyer, 1960)

Σκληρότητα (mgCaCO ₃)	Τάξη νερού
0- 75	Μαλακό
75- 150	Υπόσκληρο
150- 300	Σκληρό
> 300	Πολύ σκληρό

Η σκληρότητα διακρίνεται στην παροδική ή ανθρακική σκληρότητα του Ca(HCO₃)₂ και του Mg(HCO₃)₂ και στην μόνιμη σκληρότητα ή μη ανθρακική που οφείλεται στην παρουσία ανθρακικών, θειούχων, χλωριούχων και νιτρικών αλάτων του ασβεστίου και του μαγνησίου. Ο προσδιορισμός του γίνεται με βάση την αλκαλικότητα, που εκφράζεται από τη σχέση:

$$\text{Alk (mgCaCO}_3\text{/l)} = 50 \times \text{HCO}_3 \text{ (meq/l)}$$

Όταν η αλκαλικότητα είναι μεγαλύτερη από την ολική σκληρότητα τότε η μη ανθρακική σκληρότητα είναι μηδέν και η ολική σκληρότητα ισούται με την ανθρακική σκληρότητα. Αν η αλκαλικότητα είναι μικρότερη από την ολική σκληρότητα τότε η παροδική σκληρότητα είναι ίση με την αλκαλικότητα και η μόνιμη είναι η διαφορά της αλκαλικότητας από την ολική σκληρότητα.

3.2.11 Δείκτες απόθεσης αλάτων και διάβρωσης μεταλλικών επιφανειών

Για την περαιτέρω αξιολόγηση του δυναμικού των δειγμάτων νερών χρησιμοποιήθηκαν οι δείκτες Langelier, Ryznar, Puckorius, οι οποίοι εστιάζουν στην σταθερότητα του ανθρακικού ασβεστίου και ο δείκτης Larson-Skold, ο οποίος εστιάζει στην συγκέντρωση των χλωριούχων και θειικών ιόντων. Πρέπει να τονίσουμε ότι οι αυτοί οι δείκτες δείχνουν την τάση του νερού για απόθεση ή διάβρωση στην τρέχουσα κατάσταση του συγκεκριμένου δείγματος και δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως ποσοτικό μέτρο.

Δείκτης κορεσμού Langelier (LSI)

Ο δείκτης κορεσμού Langelier ή LSI (Langelier Saturation Index) χρησιμοποιείται για να προβλέψει την σταθερότητα του ανθρακικού ασβεστίου στο νερό στις συγκεκριμένες θερμοκρασίες, φανερώνοντας αν το νερό έχει την τάση να αποθέσει ή να αναδιαλύσει ή να βρίσκεται σε κατάσταση ισορροπίας με το ανθρακικό ασβέστιο.

Ο Langelier ανέπτυξε μία μέθοδο για τον υπολογισμό του pH, στο οποίο το νερό είναι

κορεσμένο σε ανθρακικό ασβέστιο και το ονόμασε pH κορεσμού ή αλλιώς pHs. Για τον υπολογισμό του pHs είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε την αλκαλικότητα (εκφρασμένη σε mg CaCO₃/l), το ασβέστιο (εκφρασμένο σε mg CaCO₃/l), τα συνολικά διαλυμένα στερεά (mgTDS/l) και την θερμοκρασία του νερού.

$$pH_s = (9.3 + A + B) - (C + D)$$

όπου

$$A = (\log_{10} [T.D.S.] - 1) / 10$$

$$B = -13.12 \times \log_{10} (^{\circ}C + 273) + 34.55$$

$$C = \log_{10} [Ca^{+2} \text{ as } CaCO_3] - 0.4$$

$$D = \log_{10} [\text{alkalinity as } CaCO_3]$$

Ο δείκτης κορεσμού Langelier εκφράζεται με τη διαφορά του μετρούμενου pH του νερού και του pH κορεσμού:

$$LSI = pH - pH_s, \text{ όπου } pH \text{ είναι το μετρούμενο } pH.$$

Όταν το pH του νερού είναι μικρότερο από το pHs, τότε ο LSI είναι αρνητικός και το νερό έχει την τάση να αναδιαλύει το ανθρακικό ασβέστιο, ενώ όταν το pH του νερού είναι μεγαλύτερο από το pHs, τότε είναι θετικός και το νερό έχει την τάση να αποθέτει ανθρακικό ασβέστιο. Όταν ο LSI είναι μηδέν τότε το σύστημα βρίσκεται σε ισορροπία. Υψηλές συγκεντρώσεις ασβεστίου, ολικών διαλυμένων στερεών, αλκαλικότητας και η αύξηση της θερμοκρασίας αυξάνουν την τάση του νερού να αποθέτει ανθρακικό ασβέστιο.

Πίνακας 4. Ερμηνεία τιμών LSI κατά Carrier (1965)

Περιγραφή	Τιμές LSI
Απόθεση	> 2
Ελαφριά απόθεση και διάβρωση	0.5 - 2
Ισορροπία αλλά πιθανή διάβρωση με βελονισμούς	0.02 - 0.5
Ελαφριά διάβρωση αλλά απίθανη η απόθεση	(-0.5) - 0.02
Σημαντική διάβρωση	(-0.5) έως (-2)

Ο δείκτης Langelier είναι ένας ποιοτικός δείκτης και δεν δίνει ένδειξη για το πόσο αποθετικό είναι το νερό. Παρόλα αυτά, ορισμένοι μελετητές, όπως ο Carrier (1965) θέτουν μία κλίμακα (Πίνακας 4). Επιπλέον στις αρνητικές τιμές του δείκτη έχουμε τάση αναδιάλυσης η οποία συνδέεται μεν, αλλά δεν συμβαδίζει υποχρεωτικά με την τάση διάβρωσης. Σε περίπτωση που συμβαδίζουν δεν συμβαδίζουν ποσοτικά.

Δείκτης σταθερότητας Ryznar

Αντίθετα από το δείκτη Langelier ο δείκτης σταθερότητας Ryznar ή RSI (Ryznar Stability Index) είναι εμπειρικός και δίνει ποσοτικά δεδομένα. Η γενική μορφή του δείκτη Ryznar είναι:

$$RSI = 2pH_s - pH$$

Τιμές μικρότερες του 6 δηλώνουν ότι το νερό έχει την τάση να εναποθέτει άλατα και μάλιστα όσο μικραίνει η τιμή του δείκτη η τάση εναπόθεσης αυξάνει, τιμές μεγαλύτερες του 7 δηλώνουν ότι ο σχηματισμός του ανθρακικού ασβεστίου δεν επαρκεί για την ανάπτυξη ενός προστατευτικού από τη διάβρωση φιλμ τιμές μεγαλύτερες του 8 δείχνουν ότι το νερό είναι διαβρωτικό. Ορισμένοι μελετητές, όπως ο Carrier (1965) θέτουν μία πιο συγκεκριμένη κλίμακα για τις τιμές του RSI, όπως φαίνεται στον Πίνακα 5.

Πίνακας 5. Ερμηνεία τιμών RSI κατά Carrier (1965)

Περιγραφή	Τιμές RSI
Πολύ βαριά απόθεση	< 4
Βαριά απόθεση	4 - 5
Ελαφριά απόθεση	5 - 6
Ελαφριά απόθεση ή διάβρωση	6 - 7
Σημαντική διάβρωση	7 - 7.5
Βαριά διάβρωση	7.5 - 9
Πολύ βαριά διάβρωση	> 9

Δείκτης εναπόθεσης Puckorius

Ο δείκτης εναπόθεσης Puckorius ή PSI (Puckorius Scaling Index), όπως και ο Ryznar είναι ένας εμπειρικός δείκτης, αλλά διαφέρει από αυτόν διότι βασίζεται στην ρυθμιστική ικανότητα του νερού. Για τον υπολογισμό δεν χρησιμοποιεί το μετρούμενο pH αλλά το pH ισορροπίας (pHeq), το οποίο εκφράζει τη μέγιστη ποσότητα ιζήματος ανθρακικού ασβεστίου που μπορεί να σχηματιστεί ώστε το νερό να φτάσει σε κατάσταση ισορροπίας. Προκύπτει από την εμπειρική σχέση:

$$pHeq = 1.465 \log_{10}[\text{Alkalinity}] + 4.54, \text{ όπου } [\text{Alkalinity}] = [\text{HCO}_3^-] + 2[\text{CO}_3^{2-}] + [\text{OH}^-]$$

Η ανάγκη για τον υπολογισμό του pH ισορροπίας προέκυψε από το γεγονός ότι νερό που φέρει υψηλή συγκέντρωση ασβεστίου και χαμηλή αλκαλικότητα μπορεί μεν να έχει υψηλή τάση για απόθεση αλλά δεν έχει την ικανότητα να διατηρήσει το pH και να αποθέσει ικανή ποσότητα ανθρακικού ασβεστίου ώστε να γίνει παρατηρήσιμο. Η γενική μορφή του δείκτη είναι:

$$PSI = 2pH_s - pHeq$$

Όπως και ο RSI, ο PSI θεωρεί πιθανή την εναπόθεση αλάτων όταν παίρνει τιμές πολύ

μικρότερες του 6, ενώ είναι πιθανή η διάβρωση όταν ο δείκτης παίρνει τιμές πολύ μεγαλύτερες του 7.

Δείκτης Larson-Skold

Ο δείκτης Larson-Skold είναι και αυτός ένας εμπειρικός δείκτης, ο οποίος βασίζεται στο ότι τα χλωριούχα και τα θειικά ιόντα αποτελούν τους κύριους παράγοντες στην επιθετικότητα προς τη διάβρωση ενώ η αλκαλικότητα είναι αυτή που την ελαχιστοποιεί. Εκφράζεται από τον τύπο:

$$LKI = (Cl^- + SO_4^{2-}) / (HCO_3^-), \text{ όπου οι συγκεντρώσεις των ιόντων εκφράζονται σε ppm.}$$

Τιμές χαμηλότερες από 0.8 υποδεικνύουν ότι τα χλωριούχα και τα θειικά ιόντα είναι απίθανο να παρέμβουν στο σχηματισμό φυσικού φίλμ, τιμές 0.8 - 1.2 υποδεικνύουν την δυνατότητα τα θειικά και χλωριούχα ιόντα να παρέμβουν στο σχηματισμό φυσικού φίλμ, ενώ τιμές μεγαλύτερες από 1.2 δηλώνουν υψηλούς βαθμούς τοπικής διάβρωσης. Ο δείκτης αυτός είναι αποτελεσματικός όταν χρησιμοποιείται για νερά με pH = 6.6 - 8.5 και με μέτρια αλκαλικότητα.

3.2.12 Συστήματα ταξινόμησης ποιότητας αρδευτικού νερού

Το νερό άρδευσης καθορίζει σε μεγάλο βαθμό το είδος και την ποσότητα των αλάτων που βρίσκονται διαλυμένα στο εδαφικό διάλυμα. Έχουν αναπτυχθεί πολλά συστήματα ταξινόμησης του αρδευτικού νερού. Τα όρια για την εκτίμηση της ποιότητας είναι ενδεικτικά μιας και η επίδραση της χρήσης του νερού στην απόδοση των καλλιεργειών εξαρτάται από την ανθεκτικότητα της καλλιέργειας, την μηχανική σύσταση του εδάφους, τη μέθοδο και τη συχνότητα εφαρμογής του νερού άρδευσης, το εφαρμοζόμενο ποσοστό έκπλυσης, το κλίμα και της συνθήκες στράγγισης. Τα συστήματα ταξινόμησης της ποιότητας του αρδευτικού νερού που εφαρμόστηκαν στην παρούσα εργασία ήταν το σύστημα ταξινόμησης κατά FAO (1985) και το κατά U.S. Salinity Laboratory Staff (1954).

3.2.5.1 Σύστημα ταξινόμησης κατά F.A.O. (1985)

Στον Πίνακα 6 δίνεται το σύστημα ταξινόμησης που προτάθηκε από τον FAO το 1985 (Ayers and Westcot, 1985). Ο κίνδυνος αλατότητας μπορεί να εκτιμηθεί από την ηλεκτρική αγωγιμότητα στους 25° C. Σε εδάφη που κυριαρχούν τα αργιλικά υλικά, η δυνατότητα απόπλυσης των αλάτων που υπάρχουν σε περίσσεια είναι μειωμένη λόγω της μικρής περατότητας και της χαμηλής δυνατότητας αποστράγγισης.

Πίνακας 6. Σύστημα Ταξινόμησης κατά FAO (Ayers and Westcot, 1985)

Πιθανά πρόβλημα από τη χρήση του νερού άρδευσης	Μονάδες	Περιορισμός στη χρήση		
		Μηδαμινός	Μικρός-Μέτριος	Σοβαρός
Αλατότητα				
E.C.(25°C)	μS/cm	< 700	700-3,000	> 3,000
T.D.S.	mg/l	< 450	450-2,000	> 2,000
Ταχύτητα Διήθησης				
S.A.R.= 0-3 και E.C.=		> 700	700-200	< 200
S.A.R.= 3-6 και E.C.=		> 1,200	1,200-300	< 300
S.A.R.= 6-12 και E.C.=		> 1,900	1,900-500	< 500
S.A.R.= 12-20 και E.C.=		> 2,900	2,900-1,300	< 1,300
S.A.R.= 20-40 και E.C.=		> 5,000	5,000-2,900	< 2,900
Ειδική Τοξικότητα Ιόντων				
Νάτριο (Na ⁺)				
Κατάκλυση	S.A.R.	< 3	3-9	> 9
Τεχνητή βροχή	meq/l	< 3	> 3	
Χλώριο (Cl ⁻)				
Κατάκλυση	meq/l	< 4	4- 10	> 10
Τεχνητή βροχή	meq/l	< 3	> 3	
Βόριο (B)	mg/l	< 0.7	0.7-3.0	> 3.0
Άλλες Επιπτώσεις				
Αζωτο (NO ₃ -N)	mg/l	< 5	5- 30	> 30
Οξίνα ανθρακικά (HCO ₃ ⁻)	meq/l	< 1.5	1.5-8.5	> 8.5
pH	Επιθυμητές τιμές: 6.5-8.4			

Η περιεκτικότητα σε νάτριο χρησιμοποιείται ως δείκτης της ποιότητας του αρδευτικού νερού κυρίως λόγω της επίδρασης του νατρίου στις φυσικές ιδιότητες του εδάφους όπως η διαπερατότητα, η διηθητικότητα και η καταλληλότητα για γεωργική χρήση. Η σημαντική προσρόφηση Na⁺ σε σχέση με τα δισθενή ιόντα Ca⁺ και Mg²⁺ επηρεάζει τη δομή του εδάφους λόγω της διασποράς των κολλοειδών της αργίλου και της καταστροφής των συσσωμάτων προκαλώντας έμμεσα μείωση του αερισμού και της περατότητας του εδάφους. Η έκταση της ανταλλαγής ιόντων μπορεί να προσδιοριστεί βάση του δείκτη προσρόφησης Na⁺ (SAR), που προτάθηκε από το Υπουργείο Γεωργίας των Η. Π. Α. (U.S Salinity Laboratory – 1954) και δίνεται από τον τύπο:

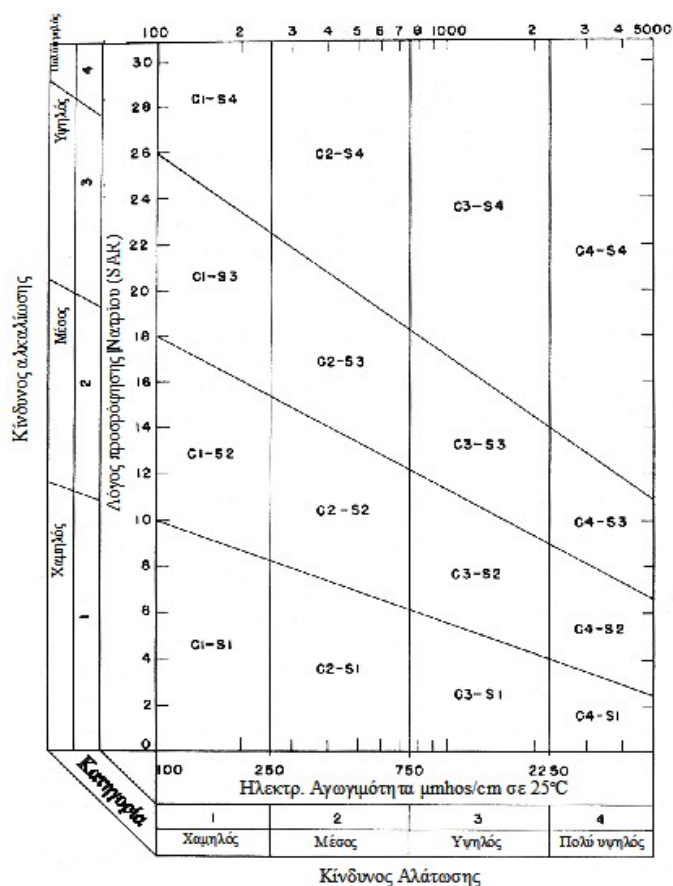
$$SAR = Na / \sqrt{(Ca + Mg)/2}$$

Για μία δεδομένη τιμή του SAR η ταχύτητα διήθησης αυξάνει όσο αυξάνει η αλατότητα του νερού. Η εκτίμηση του κινδύνου της μεταβολής της ταχύτητας διήθησης γίνεται με τη βοήθεια του S.A.R. και της E.C. στους 25° C (Ayers and Westcot, 1985).

Άλλα πιθανά προβλήματα από τη χρήση του νερού άρδευσης είναι η τοξικότητα που προκαλούν οι αυξημένες συγκεντρώσεις νατρίου και χλωρίου στις ευαίσθητες σε αυτά καλλιέργειες όπως τα ξυλώδη φυτά και οι δενδρώδεις καλλιέργειες (Ayers and Westcot, 1985). Επιπλέον, το νιτρικό άζωτο ($\text{NO}_3\text{-N}$) και τα όξινα ανθρακικά σε μεγάλες συγκεντρώσεις αποτελούν περιοριστικούς παράγοντες στη χρήση του αρδευτικού νερού.

3.2.5.2 Σύστημα ταξινόμησης κατά U.S. Salinity Laboratory Staff (1954)

Το διάγραμμα αυτό χρησιμοποιείται για να προσδιορίσει την καταλληλότητα των νερών για άρδευση. Απεικονίζει, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 5 τη μεταβολή του δείκτη προσρόφησης νατρίου (SAR) ως συνάρτηση της ειδικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας του νερού στους 25°C .



Σχήμα 5. Σύστημα Ταξινόμησης κατά U.S. Salinity Laboratory Staff (1954)

3.3 Οργάνωση και Μελέτη της Χημικής Ανάλυσης των Δειγμάτων Νερού από το Δίκτυο Ύδρευσης

Το νερό των γεωτρήσεων καταλήγει στις δεξαμενές του δικτύου, απολυμαίνεται με τη μέθοδο της χλωρίωσης και μέσω του δικτύου διανομής καταλήγει στους χρήστες. Στην περιοχή της Νάουσας μέρος του νερού δικτύου ύδρευσης προέρχεται από την αφαλάτωση. Για την μελέτη των αποτελεσμάτων των χημικών αναλύσεων εφαρμόστηκαν οι παρακάτω μέθοδοι, που πραγματοποιήθηκαν με τα πρόγραμμα OpenOffice Calc, ArcView GIS και το πρόγραμμα υδροχημικών μελετών του Δρ. Γιαννουλόπουλου Παναγιώτη, Γεωλόγου-Υδρογεωλόγου (M.Sc, Ph.D).

3.3.1 Παρουσίαση αποτελεσμάτων χημικών αναλύσεων των δειγμάτων νερού από το δίκτυο ύδρευσης.

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων για 18 φυσικοχημικές παραμέτρους σε 5 θέσεις του δικτύου ύδρευσης στην νήσο Πάρο.

3.3.2 Αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των χημικών αναλύσεων με βάση τη νομοθεσία

Με βάση την ισχύουσα νομοθεσία σχετικά με την ποιότητα του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης της ΚΥΑ Υ2/2600/2001 (ΦΕΚ 892B/11-07-2001) πραγματοποιήθηκε η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των χημικών αναλύσεων του νερού ύδρευσης.

3.3.3 Πίτες

Οι πίτες συνοψίζουν τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων απεικονίζοντας τα κύρια ιόντα του νερού. Η προβολή των κυκλικών αυτών διαγραμμάτων πάνω στο πεδίο μελέτης δίνει μία σαφή εικόνα της κατάστασης του νερού.

3.3.4 Σκληρότητα

Ο προσδιορισμός της σκληρότητας έχει μεγάλη σημασία διότι αποτελεί κριτήριο καταλληλότητας για πολλές χρήσεις των νερών. Η ταξινόμηση των νερών με βάση τη σκληρότητα έγινε σύμφωνα με την ταξινόμηση που προτείνει ο Saywer (1960).

3.3.5 Δείκτες απόθεσης αλάτων και διάβρωσης μεταλλικών επιφανειών

Το νερό για να καταλήξει στους ενδιαφερόμενους χρήστες διέρχεται μέσα από το μεταλλικές, πλαστικές και άλλων ειδών επιφάνειες. Το νερό σαν φυσικό διάλυμα έχει την τάση να αλληλεπιδρά με το περιβάλλον του με συνέπεια πολύ συχνά να προκαλεί σημαντικά προβλήματα στα μέρη του

δικτύου ύδρευσης αλλά και να επηρεάζεται η ποιότητα του. Οι περισσότερο ευρέως διαδομένοι δείκτες, οι οποίοι εξετάζουν την τάση του νερού να αποθέσει άλατα στις επιφάνειες ή να διαβρώνει επιφάνειες είναι οι Langelier Saturation Index (L.S.I.), Ryznar Stability Index (R.S.I.), Puckorius Index (P.S.I.) και Larson-Skold Index (L.K.I.).

3.4 Μελέτη Εξέλιξης Ποιότητας Υδατικών Πόρων στην νήσο Πάρο

Για την μελέτη εξέλιξης της ποιότητας των υδάτων χρησιμοποιήθηκαν οι χημικές αναλύσεις που πραγματοποίησε το ΙΓΜΕ τα έτη 1998-2000, 2005-2007, καθώς και αυτές που πραγματοποιήθηκαν για την την εκπόνηση αυτής της εργασίας,

Αρχικά έγινε ταυτοποίηση των γεωτρήσεων και ταξινόμηση των διαθέσιμων στοιχείων για κάθε χρονιά δειγματοληψίας. Έπειτα, με βάση τα διαγράμματα Expanded Durov κατασκευάστηκαν ένας πίνακας που παρουσιάζει τον υδροχημικό τύπο νερού για κάθε σημείο ύδατος ανά έτος δειγματοληψίας και διαγράμματα ηλεκτρικής αγωγιμότητας, κύριων ιόντων (Ca^{2+} , Na^+ , HCO_3^- , Cl^-) και ιοντικών λόγων (Na^+/Cl^- , $\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-}$, $\text{Cl}^-/(\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-})$, $(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})/(\text{Na}^+ + \text{K}^+)$) συναρτήσει τους έτους δειγματοληψίας.

Κεφάλαιο 4. Μελέτη Περίπτωσης: Νήσος Πάρος

4.1 Γενικά Χαρακτηριστικά νήσου Πάρου

4.1.1 Ιστορική αναδρομή

Η καίρια γεωγραφική θέση της Πάρου στο κέντρο των θαλάσσιων δρόμων του Αιγαίου αποτέλεσε τη διαχρονική βάση για την ανάπτυξη του νησιού. Η Πάρος κατοικήθηκε από την 4η χιλιετία π.Χ. στη διάρκεια της νεότερης νεολιθικής περιόδου και γνώρισε περιόδους μεγάλης οικονομικής και καλλιτεχνικής ακμής αλλά και περιόδους λεηλασιών, έντονης βίας, παρακμής και αφάνειας.

Την Μινωική εποχή η Πάρος γίνεται ένα μεγάλο στρατιωτικό και εμπορικό κέντρο του Μινωικού κράτους και εποίκίζεται από Κρήτες. Σύμφωνα με την μυθολογία ο αρχηγός των Κρητών ήταν ο Αλκαίος, ο οποίος έκτισε την πρώτη πόλη στη θέση της σημερινής Παροικίας. Με την σταδιακή αποδυνάμωση της Μινωικής Κρήτης, στην ηπειρωτική Ελλάδα εμφανίζεται η δύναμη των Μυκηναίων. Στην Πάρο λείψανα του Μυκηναϊκού πολιτισμού ανακαλύφθηκαν στο ύψωμα Κουκουναριές, κοντά στη Νάουσα και στον λόφο του κάστρου της Παροικίας.

Γύρω στο 1000 π.Χ. κατέφτασαν οι Αρκάδες στο νησί με αρχηγό τον Πάρο, από τον οποίο πήρε η Πάρος το όνομά της. Λίγο αργότερα φθάνουν νέοι άποικοι στο νησί, οι Ίωνες και η Πάρος εξελίσσεται σε μεγάλη ναυτική δύναμη, αναπτύσσεται η γεωργία, η κτηνοτροφία και το εμπόριο του μαρμάρου φέρνει πλούτη στο νησί. Την Αρχαϊκή εποχή (700-500 π.Χ.) η Πάρος αναπτύχθηκε σε ναυτική δύναμη και εγκαθίδρυσε αποικίες στη Θάσο. Επιπλέον, δημιουργήθηκαν τα φημισμένα εργαστήρια γλυπτικής. Τον 7ο π.Χ. αιώνα ιδιαίτερη άνθηση γνωρίζει και η ποίηση με κύριο εκπρόσωπο τον λυρικό ποιητή Αρχίλοχο.

Κατά τη διάρκεια των Περσικών Πολέμων τμήμα του πάριου στρατού συμπολέμησε με τους Πέρσες. Μετά την ήττα των Περσών (480 π.Χ.) ο Αθηναϊκός στόλος, υπό την ηγεσία του Θεμιστοκλή, εξανάγκασε τους Πάριους να παραδοθούν και υποχρεώνει την Πάρο να γίνει μέλος της αθηναϊκής συμμαχίας. Την εποχή αυτή ζουν και δημιουργούν οι Παριανοί γλύπτες Αγοράκριτος και Σκόπας. Με το τέλος της κλασικής περιόδου, η Πάρος γίνεται σύμμαχος των Μακεδόνων μέχρι τον θάνατο του Μ. Αλεξάνδρου. Η περίοδος (323 π.Χ. - 167 π.Χ.) που μεσολαβεί από τον θάνατο του Μεγάλου Αλεξάνδρου μέχρι την υποταγή των διαδόχων του στους Ρωμαίους είναι εποχή συγκρούσεων και ανακατατάξεων και για πολλά χρόνια η Πάρος ανήκει στην κυριαρχία των Πτολεμαίων. Κατά την Ρωμαϊκή εποχή (167 π.Χ. - 330 μ.Χ.) η Πάρος αποτελεί επαρχία της ρωμαϊκής αυτοκρατορίας, η ανάπτυξη ανακόπτεται και το νησί χρησιμοποιείται σαν τόπος εξορίας.

Την βυζαντινή εποχή (303- 1204) ο χριστιανισμός απλώθηκε στην Πάρο από τον 4ο αιώνα όπως

προκύπτει από τα κατάλοιπα των παλαιοχριστιανικών εκκλησιών και μνημείων. Τότε κτίστηκε και η πρώτη εκκλησία της Παναγίας της Εκατονταπυλιανής, με εντολή της Αγίας Ελένης. Από τον 10ο αιώνα η Πάρος βρίσκεται στο επίκεντρο πειρατικών επιδρομών που προκαλούν εκτεταμένες καταστροφές. Την περίοδο της Ενετοκρατίας (1204 – 1537) η Πάρος εντάσσεται στο Δουκάτο του Αιγαίου (1207) και περιέρχεται διαδοχικά σε διάφορες βενετσιάνικες οικογένειες. Οι κάτοικοι του νησιού δουλεύουν στα χωράφια σαν δουλοπάροικοι ενώ εξακολουθούν να ταλαιπωρούνται από πειρατικές επιδρομές και λεηλασίες. Την περίοδο της ενετοκρατίας κτίζεται το κάστρο της Παροικιάς, της Νάουσας και του Κέφαλου (Μάρπησσα). Με την κατάληψη του νησιού από τον πειρατή Μπαρμπαρόσα (1537) και την ερήμωση που ακολουθεί κλίνει το κεφάλαιο της ενετοκρατίας για την Πάρο. Το κατεστραμμένο πλέον νησί κυριεύεται από τους Τούρκους (1560).

Στην ελληνική επανάσταση (1821) η Πάρος παίρνει ενεργό μέρος και μαζί με τα υπόλοιπα νησιά των Κυκλάδων, την Πελοπόννησο και την Στερεά Ελλάδα αποτελούν τον πυρήνα του ελεύθερου ελληνικού κράτους. Την περίοδο της γερμανικής κατοχής η Πάρος δοκιμάστηκε ιδιαίτερα και μετά το τέλος του Β΄ Παγκοσμίου Πολέμου οι Παριανοί αναγκάζονται να μεταναστεύσουν αρχικά στον Πειραιά και αργότερα στο εξωτερικό. Γύρω στο 1960 αρχίζει μία καινούρια περίοδος ανάπτυξης για την Πάρο, που βασίζεται κυρίως στον τουρισμό.

Σήμερα η Πάρος είναι ένας από τους πιο δημοφιλείς τουριστικούς προορισμούς στις Κυκλάδες και κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού ο εποχιακός πληθυσμός είναι περίπου τρεις φορές μεγαλύτερος από τον μόνιμο πληθυσμό του νησιού και μπορεί να φτάσει μέχρι και δέκα φορές περισσότερο στην αιχμή της θερινής περιόδου.

4.1.2. Διοικητική διαίρεση- Δημογραφία

Η Πάρος βρίσκεται κάτω από την διοίκηση ενός και μόνο Δήμου, του Δήμου Πάρου, που έχει έδρα την πρωτεύουσα του νησιού την Παροικία. Ο Δήμος Πάρου περιλαμβάνει 7 Δημοτικά Διαμερίσματα: Πάρου (Παροικίας), Αγκαιριάς, Μαρπήσσης, Αρχιλόχου, Κώστου, Λευκών και Ναούσης.

Πίνακας 7. Μόνιμος Απογεγραμμένος Πληθυσμός ανά Δ.Δ. (ΕΣΥΕ, 2001)

ΔΗΜΟΣ	Δ.Δ.	Δ.Δ.	Δ.Δ.	Δ.Δ.	Δ.Δ.	Δ.Δ.	Δ.Δ.
ΠΑΡΟΥ	Παροικίας	Αγκαιριάς	Αρχιλόχου	Κώστου	Λευκών	Μαρπήσσης	Ναούσης
12, 853	5,812	981	910	374	765	984	3,027

Ο μόνιμος πληθυσμός ανέρχεται σε 12,853 άτομα σύμφωνα με την απογραφή του 2001, ενώ σύμφωνα με τα προσωρινά αποτελέσματα της απογραφής του 2011 ο πληθυσμός της Πάρου έχει ανέλθει στα 13,710 άτομα (ΕΣΥΕ, 2012). Το 45% των κατοίκων συγκεντρώνεται στην Παροικία,

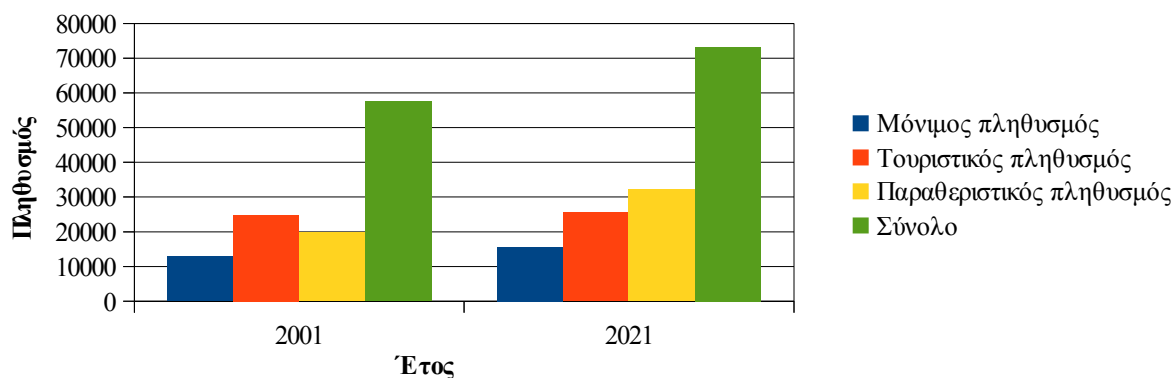
όπου βρίσκονται όλες οι διοικητικές, κοινωνικές και πολιτιστικές δραστηριότητες του νησιού, ενώ η Νάουσα αποτελεί το δεύτερο σημαντικό οικισμό, ο οποίος θεωρείται ανταγωνιστικός μόνο κατά την θερινή περίοδο. Οι υπόλοιποι οικισμοί του νησιού είναι μικροί, αν και παρουσίασαν κάποια ανάπτυξη λόγω τουρισμού τα τελευταία χρόνια μετά την μείωση που είχε ακολουθήσει τον Β΄ Παγκόσμιο Πόλεμο. Ο Πίνακας 8 παρουσιάζει την εξέλιξη του πληθυσμού με βάση τις απογραφές από το 1951 μέχρι το 2001 (ΕΣΥΕ, 2001).

Πίνακας 8. Εξέλιξη Μόνιμου Πληθυσμού (ΕΣΥΕ, 2001)

Έτος	Μόνιμος Πληθυσμός
1951	9,022
1961	7,830
1971	7,314
1981	7,881
1991	9,591
2001	12,853

4.1.3 Οικονομικά στοιχεία- Απασχόληση

Η Πάρος έχει διαμορφώσει την οικονομία της τις τελευταίες δεκαετίες γύρω από τον τουρισμό και τα εποχικά χαρακτηριστικά του. Ο εποχικός πληθυσμός περιλαμβάνει Έλληνες και ξένους επισκέπτες του νησιού διαμένοντες σε ενοικιαζόμενα καταλύματα, εποχιακούς επισκέπτες κατόχους παραθεριστικής κατοικίας και γηγενείς μετεγκατασταθέντες σε άλλες περιοχές της χώρας που φιλοξενούνται εποχιακά από κατοίκους του νησιού. Η μεγαλύτερη πληθυσμιακή φόρτιση σημειώνεται τους μήνες Μάιο ως Οκτώβριο, με μήνα αιχμής τον Αύγουστο. Τους υπόλοιπους μήνες η τουριστική κίνηση του νησιού είναι πολύ μικρή.



Σχήμα 6. Μόνιμος και Εποχικός Πληθυσμός 2001 και 2021

Σύμφωνα με τη μελέτη Γενικού Πολεοδομικού Σχεδίου Πάρου (Δέκαθλον Α.Ε. και Λαγουδάκη Αναστασία, 2008) το 2001 κατά την περίοδο αιχμής (καλοκαίρι), ο τουριστικός και ο

παραθεριστικός πληθυσμός άγγιξαν τα 24,867 και 19,744 άτομα αντίστοιχα. Το 2021, την ίδια περίοδο, εκτιμάται ότι ο τουριστικός και ο παραθεριστικός πληθυσμός θα αγγίξουν τα 25,501 και 32,087 άτομα αντίστοιχα, με το συνολικό πληθυσμό αιχμής να προσεγγίζει τα 73,284 άτομα (Σχήμα 6).

Η αλιεία στην Πάρο είναι ένα από τα παλαιότερα και παραδοσιακά επαγγέλματα. Σήμερα η αλιεία συντηρείται σε οικογενειακή βάση, ενώ πλέον λίγοι είναι αυτοί που απασχολούνται αποκλειστικά με αυτή, λόγω εξάντλησης του αλιευτικού πλούτου.

Στην Πάρο η αγροτική δραστηριότητα είναι περιορισμένη. Η πλειοψηφία των αγροτών και κτηνοτρόφων ασχολούνται παράλληλα και με τον τουρισμό και δεν υπάρχουν εντατικές και οργανωμένες μονάδες διότι οι οικογένειες έχουν αστικοποιηθεί σε μεγάλο βαθμό και δεν αντιμετωπίζουν την γεωργία ή την κτηνοτροφία σαν βασική επαγγελματική δραστηριότητα. Ο περιορισμός της τοπικής παραγωγής σε συνδυασμό με την αυξανόμενη ζήτηση λόγω αύξησης του πληθυσμού, ιδιαίτερα τη θερινή περίοδο οδηγεί στην κάλυψη των μεγαλύτερων αναγκών του νησιού από εισαγωγές.

Οι καλλιεργούμενες εκτάσεις στην Πάρο έχουν γενικά μικρό μέγεθος, πράγμα που είναι χαρακτηριστικό όλων των νησιών των Κυκλάδων. Η Πάρος και η Αντίπαρος έχουν συνολικά 234.000 στρέμματα καλλιεργήσιμων εκτάσεων, από τα οποία καλλιεργείται το 28.6%, δηλαδή 66.000 στρέμματα. Οι βοσκότοποι είναι 88.000 στρέμματα ενώ τα υπόλοιπα αποτελούν άγονες εκτάσεις. Την τελευταία δεκαετία, σύμφωνα με στοιχεία του τμήματος Αγροτικής Ανάπτυξης Πάρου (2011) στο νησί καλλιεργούνται κυρίως σιτηρά και ψυχανθή σε έκταση 40,000 στρεμμάτων, ενώ οι δενδρώδεις καλλιέργειες αγγίζουν τα 10,000 στρέμματα (Πίνακας 9), από τα οποία τα 4,000 στρέμματα αποτελούν αρδευόμενες εκτάσεις. Η έκταση των αμπελιών έχει μειωθεί στα 5,000 στρέμματα από τα 10,000 που υπήρχαν στην δεκαετία του '80, ενώ τα κηπευτικά και τα θερμοκήπια αγγίζουν τα 2,500 και τα 40 στρέμματα αντίστοιχα. Τα σιτηρά καταναλώνονται στο νησί και στις Κυκλάδες, τα ψυχανθή χρησιμοποιούνται για την τοπική κτηνοτροφία, τα κηπευτικά για ιδιωτική κατανάλωση, τα αμπέλια λόγω σημαντικής παραγωγής εξάγονται και η παραγωγή των ελαιόδέντρων προορίζεται μόνο για τοπική κατανάλωση.

Στην έκθεση της Γενικής Διεύθυνσης Περιφερειακής Αγροτικής Οικονομίας και Κτηνιατρικής την περίοδο 2010-2011 στην Πάρο η έκταση των ελαιόδέντρων ήταν 11,288 στρέμματα και η μέση παραγωγή ελαιόλαδου την περίοδο 2008-2010 έφτασε τους 172 τόνους. Όσον αφορά τα αμπέλια, σύμφωνα με το αμπελουργικό μητρώο η δεδηλωμένη έκταση αμπελοκαλλιέργειας είναι 8,778 στρέμματα και την περίοδο 2010-2011, 1,000 τόνοι σταφυλιού κατέληξαν στα τρία οινοποιεία του νησιού. Το κρασί της Πάρου είναι προϊόν ονομασίας προέλευσης .

Η κτηνοτροφία δεν παρουσιάζει εντατική μορφή. Πιο συγκεκριμένα, η κτηνοτροφική

δραστηριότητα στο νησί συνίσταται από 1,325 βοοειδή, 9,056 αιγοπρόβατα και 235 χοίρους. Η παραγωγή σε γάλα την περίοδο 2010-11 έφτασε τους 8 τόνους. Τα βασικά κτηνοτροφικά προϊόντα είναι τα τυροκομικά, όπως η γραβιέρα Πάρου, το Κεφαλοτύρι κ.α. Το τυροκομείο της είναι σύγχρονο και έχει δυναμικότητα 750-1,200 τόνους/χρόνο.

Πίνακας 9. Δενδρώδεις Καλλιέργειες Δήμου Πάρου (Τμ. Αγροτικής Ανάπτυξης Πάρου, 2009)

Δενδρώδεις καλλιέργειες	Δέντρα	Συνολική έκταση σε στρέμματα	Αρδευόμενες εκτάσεις σε στρέμματα
Ελαιοκομικά προϊόντα			
Ελιές για λάδι	250,000	8,500	3,000
Οπωροφόρα			
Αχλαδιές	3,000	90	30
Μηλιές	100	4	
Βερυκοκκιές	1,000	40	
Ροδακιές	2,000	80	
Νεκταρινιές	200	8	8
Κερασιές	100	4	
Βυσσινιές	500	20	
Κυδωνιές	300	6	
Ροδιές	3,000	120	
Κορομηλιές	200	8	
Μεσπιλιές	300	12	
Συκιές	8,000	330	
Δαμασκηνιές	20	1	
Ξηροί καρποί			
Αμυγδαλιές	8,000	300	
Καρυδιές	50	2	
Φυστικιές	1,000	40	
Χαρουπιές	600	25	
Εσπεριδοειδή			
Λεμονιές	7,000	280	280
Πορτοκαλιές	8,000	320	320
Μανταρινιές	5,000	200	200
Σύνολο	295,373	10,390	3,838

Τέλος, στον πρωτογενή τομέα καταγράφονται και μια σειρά από λατομεία που λειτουργούν στο νησί (λατομεία αργών λίθων, σκύρων, άμμου, ασβέστη) που εξυπηρετούν τις τοπικές δομικές ανάγκες που είναι αρκετά σημαντικές με δεδομένη τη μόνιμη τουριστική ανάπτυξη σε

παραθεριστικές κατοικίες, δημόσια έργα κ.α. Επίσης, η εξόρυξη στη Πάρο είναι γνωστή για το γνωστό μάρμαρο της Πάρου που αποτελούσε την συνήθη πρώτη ύλη για πολλά αριστουργήματα της αρχαιότητας. Σήμερα το λιγοστό μάρμαρο τέτοιας ποιότητας προσφέρεται από τα λατομεία μόνο για γλυπτά.

4.1.4 Υποδομές

Η Πάρος είναι αυτόνομη σε τροφοδοσία ηλεκτρικής ενέργειας και αποτελεί μέρος του συστήματος της Παροναξίας, το οποίο περιλαμβάνει τα νησιά Πάρος, Αντίπαρος, Φολέγανδρος, Ύος, Ηρακλειά, Κουφονήσι, Νάξος, Σίκινος και Σχοινούσσα. Ο τοπικός σταθμός βρίσκεται ανατολικά της Νάουσας και περιλαμβάνει 10 θερμικές μονάδες ηλεκτροπαραγωγής (diesel & μαζούτ), συνολικής ισχύος 74,549 MW. Πρόσφατα το ηλεκτρικό δίκτυο ενισχύθηκε, αφού τέθηκε σε λειτουργία το αιολικό πάρκο ισχύος 3 MW στην περιοχή Καμάρες.

Το οδικό δίκτυο της Πάρου αποτελείται από το κυρίως δίκτυο που συνδέει περιφερειακά όλο το νησί και τους κυριότερους οικισμούς μεταξύ τους και από το δευτερεύον δίκτυο που συνδέει μικρούς οικισμούς και παραλίες με τον κύριο οδικό άξονα. Το λιμάνι του νησιού βρίσκεται στην Παροικιά και συνδέεται ακτοπλοϊκά με τα λιμάνια του Πειραιά, της Ραφήνας κ.α. Επιπλέον, στο νησί υπάρχει αεροδρόμιο, στη νοτιοδυτική πλευρά αλλά μπορεί να δεχτεί μόνο μικρά αεροσκάφη.

Στο νησί έχουν κατασκευαστεί τρεις Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων για τη διαχείριση των υγρών αποβλήτων στις περιοχές της Παροικιάς, Νάουσας και Μάρπησσας, ενώ στις περιοχές που δεν διαθέτουν αποχετευτικό σύστημα κατασκευάζονται βόθροι. Η διαχείριση και η διάθεση των στερεών αποβλήτων από το 2008 γίνεται στις εγκαταστάσεις του ΧΥΤΑ.

4.1.5 Φυσικό Περιβάλλον

Η φυσική βλάστηση της Πάρου κατατάσσεται στις θερμομεσογειακές διαπλάσεις της Ανατολικής Μεσογείου και έχει κυρίως θαμνώδη ή χορτολιβαδική μορφή. Η πυκνότητα της ποικίλλει ανάλογα με το πέτρωμα, το υπάρχον έδαφος, την κλίση και την έκθεση προς τον ορίζοντα. Το μεγαλύτερο μέρος της φυσικής βλάστησης της Πάρου είναι υποβαθμισμένο λόγω της επίδρασης της βόσκησης, της οικοδομικής δραστηριότητας και των πυρκαγιών. Από την άλλη παρατηρείται επέκταση της θαμνώδους βλάστησης, λόγω της εγκατάλειψης των καλλιεργειών στα ορεινά του νησιού. Η ποώδης χορτολιβαδική βλάστηση έχει συχνή παρουσία, κυρίως στα υποβαθμισμένα και καμένα εδάφη. Η πανίδα της Πάρου έχει ακολουθήσει την πορεία της βλάστησης όπου τρέφεται και βρίσκει καταφύγιο.

Στο νησί εντοπίζονται αξιόλογοι υγροβιότοποι, οι κυριότεροι από αυτούς είναι:

- Η περιοχή του Έλους Κολυμπήθρες Πάρου

- Η Λιμνοθάλασσα της Σάντα Μαρίας
- Μώλος-Αγ. Αντώνιος
- Η περιοχή του Έλους Αλυκή
- Η περιοχή του Έλους Λιβάδια

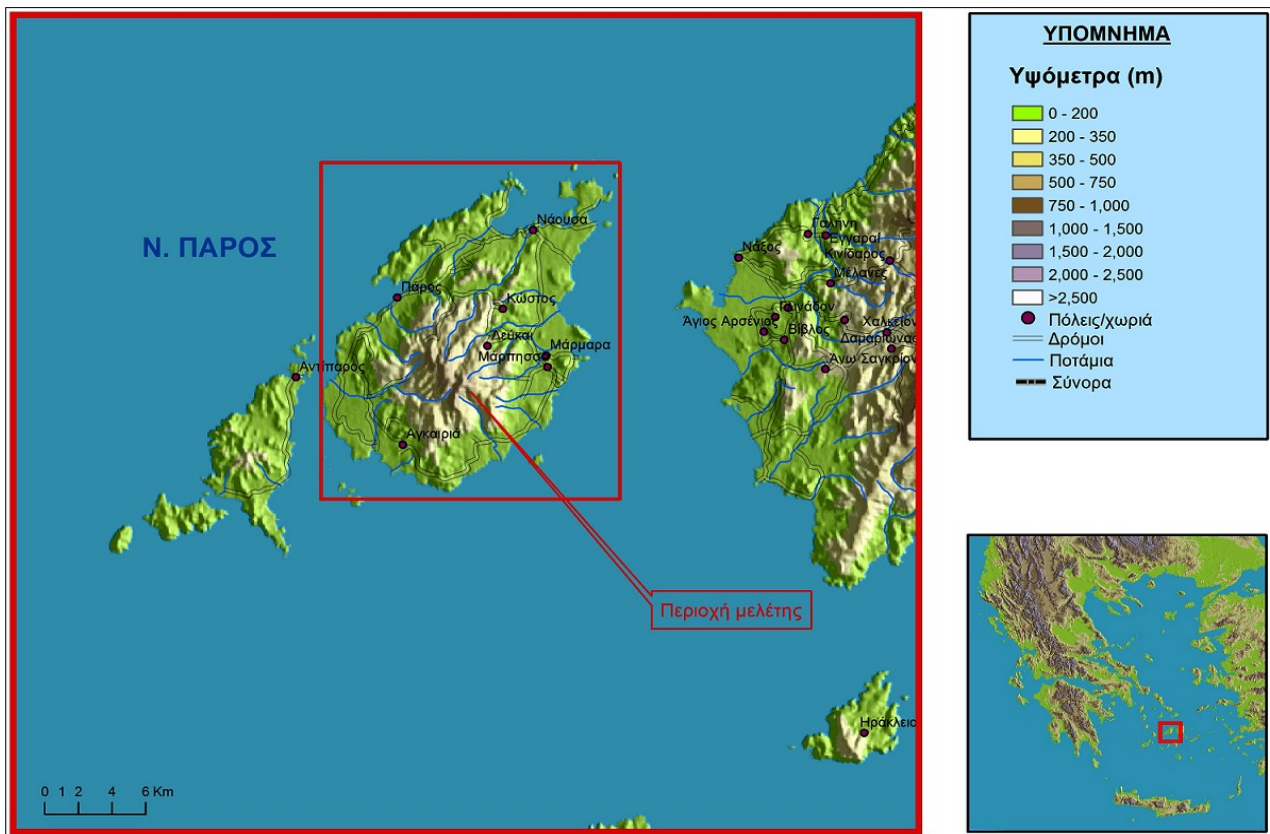
Στους υγροβιοτόπους αυτούς βρίσκουν πολύτιμο καταφύγιο θαλασσοπούλια όπως καλικάτσούνια, μαυροπετρίτες, μίχοι κ.α. Η διατήρησή τους θεωρείται σημαντική καθώς εμποδίζουν την υφαλμύρωση, ιδιαίτερα αυτοί που βρίσκονται κοντά στην ακτή. Για την διατήρησή τους, είναι απαραίτητη η προστασία των ρεμάτων που τους τροφοδοτούν.

Τα τελευταία χρόνια η μεγάλη οικιστική ανάπτυξη απειλεί τους υγροβιοτόπους με αποτέλεσμα της υποβάθμιση τους, όπως το έλος στα Λιβάδια, και τη διείσδυση του θαλασσινού νερού σε πηγάδια κοντά στην παράκτια ζώνη. Σημαντικό οικοσύστημα αποτελεί η ρεματιά με τις Πεταλούδες που είναι ενταγμένη στο Δίκτυο "NATURA 2000", βρίσκεται στο κέντρο της Πάρου, κοντά στη Μονή Χριστού.

4.2 Περιγραφή της Περιοχής Μελέτης

4.2.1. Γεωγραφικά στοιχεία- Μορφολογία

Η Πάρος αποτελεί νησί του Αιγαίου Πελάγους και βρίσκεται στο κέντρο του νησιώτικου συγκροτήματος των 24 νησιών των Κυκλάδων σε απόσταση 90 ναυτικών μιλίων από τον Πειραιά. Πρόκειται για το τρίτο σε μέγεθος νησί των Κυκλάδων με έκταση 196 km² μετά την Νάξο και την Άνδρο. Η Πάρος είναι ημιορεινό νησί, ελλειψοειδούς σχήματος με υψηλότερη κορυφή αυτή του Προφήτη Ηλία- Αγ. Πάντες (771m), ενώ διαμορφώνονται δύο σημαντικοί μεγάλοι κόλποι, της Παροικιάς στα δυτικά και της Νάουσας στα βόρεια του νησιού. Έχει μήκος ακτών 108km περίπου και ενώ στο σύνολο τους είναι απότομες και βραχώδεις, διακόπτονται από κολπίσκους με αμμώδεις παραλίες. Ο κεντρικός ορεινός όγκος έχει άξονα ανάπτυξης Β – Ν και αποτελεί το βασικό επιφανειακό υδροκρίτη στο νησί διαχωρίζοντάς το σε δύο τμήματα, το ανατολικό και το δυτικό. Το ανατολικό τμήμα της νήσου είναι πεδινό με μέση κλίση της ευρύτερης περιοχής περίπου 10% προς τη θάλασσα. Από τον ορεινό αυτό όγκο ξεκινούν διάφορα ρέματα, τα οποία σχηματίζουν στις προεκτάσεις τους μικροχειμάρρους. Γενικά, η Πάρος παρουσιάζει ανάγλυφο αρκετά ανώμαλο με χαμηλά όρη, λοφοειδείς εκτάσεις και αντερίσματα, ενώ σε πολλά σημεία η διάβρωση, καθώς και οι ποταμοχειμάρριες και λιμνοθαλάσσιες αποθέσεις εξομαλύνουν τις μορφολογικές ανωμαλίες του νησιού διαμορφώνοντας λεκάνες σημαντικού εύρους. Ας σημειωθεί ότι η τελική γεωμορφολογική εικόνα του νησιού είναι αποτέλεσμα της διαβρωτικής δράσης, της πετρολογικής σύνθεσης, καθώς και της έντονης ρηξιγενούς τεκτονικής.



Χάρτης 2. Νήσος Πάρος

4.2.2. Γεωλογία της νήσου Πάρου

Όπως και τα περισσότερα νησιά των Κυκλάδων έτσι και η Πάρος αποτελείται, κυρίως από μάρμαρα, γνευσίους, σχιστόλιθους και γρανίτες και δομείται γεωλογικά από τέσσερις τεκτονικές ενότητες, οι οποίες από κάτω προς τα επάνω είναι : Παροικία, Μαράθι, Δρυός και Μαρμαρά. Από τις τεκτονικές αυτές ενότητες μόνο οι τρεις τελευταίες αποτελούν τεκτονικά καλύμματα.

Η ενότητα Παροικία αποτελεί το σχετικά αυτόχθονο της περιοχής. Αποτελείται από γνεύσιους (gn) πάχους αρκετών εκατοντάδων μέτρων, γρανίτες (γ) και πηγματίτες (πγ).

Η ενότητα Μαράθι χαρακτηρίζεται ως παραυτόχθονη, λόγω του γεγονότος ότι στη δυτική Πάρο έρχεται με τεκτονική επαφή μικρής κλίσης πάνω τους γνεύσιους και τους γρανίτες της σχετικά αυτόχθονης ενότητας, πιθανόν λόγω τεκτονικής αποκόλλησης (Παπανικολάου 1977,1979). Συνιστά την κύρια μεταμορφωμένη ενότητα και αποτελείται από δύο ομάδες σχηματισμών. Η κατώτερη ομάδα αποτελείται από αμφιβολίτες και οι αμφιβολιτικούς σχιστόλιθους (ab) που παρουσιάζουν παρεμβολές μαρμαρυγιακών γνευσίων και σχιστολίθων, καθώς και λεπτών οριζόντων μαρμάρου (mr). Η ανώτερη ομάδα της ενότητας Μαράθι συνιστάται από μάρμαρα (Mz.mr) λευκά, αδροκρυσταλλικά με ορισμένους οριζόντες πυριτικών ενστρώσεων και δολομιτικών μαρμάρων. Κατά θέσεις απαντούν λεπτοί οριζόντες ασβεστιτικών, αμφιβολιτικών – μαρμαρυγιακών

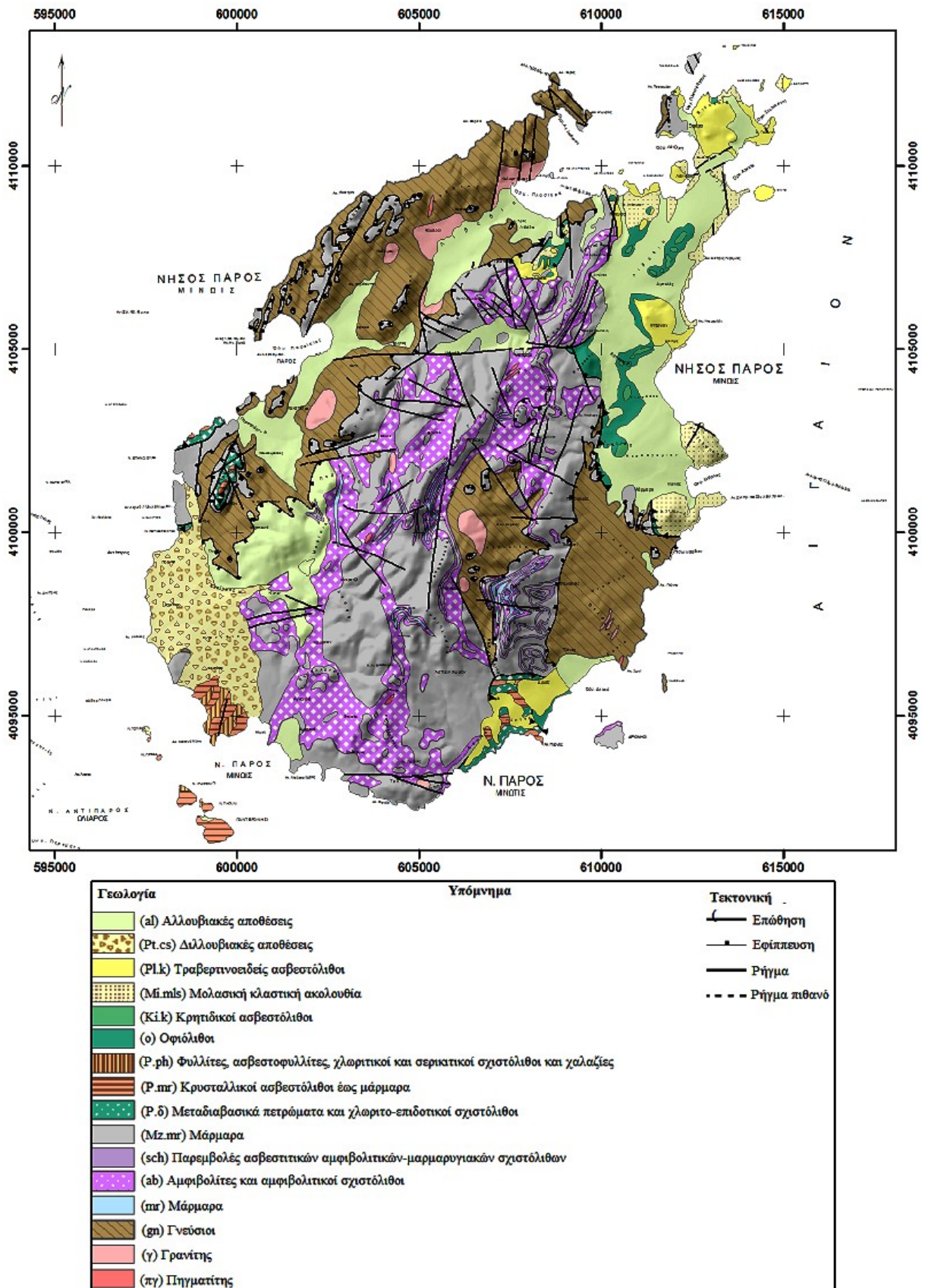
σχιστολίθων (sch). Τα μάρμαρα παρουσιάζουν κυμαινόμενο πάχος από 50 – 600 m.

Η ενότητα του Δρυού είναι απωθημένη στην ενότητα Μαράθι. Πρόκειται για κάλυμμα ισχυρά τεκτονισμένο με πτυχές, επιπεύσεις και έντονο λατυποπαγές κοντά στη βάση (Παπανικολάου, 1979). Αποτελεί ένα ενδιάμεσου βαθμού μεταμόρφωσης κάλυμμα με φυλλίτες, ασβεστοφυλλίτες, χαλαζίτες (P.ph) πάχους μεγαλύτερο των 200 m, με κρυσταλλικούς ασβεστόλιθους έως μάρμαρα (P.mr), νηριτικής κυρίως φάσης, πάχους πάνω από 100 m και με μεταδιαβασικά πετρώματα και χλωριτο – επιδοτιτικούς σχιστόλιθους (P.δ) πάχους άνω των 200 m. Το κάλυμμα του Δρυού εμφανίζεται στη δυτική ακτογραμμή μεταξύ Παροικίας και Πούντας, στην περιοχή του ακρωτηρίου Μακριά μύτη έως δυτικά της Αλυκής και στην νοτιοανατολική ακτογραμμή ανάμεσα στο Δρυό και την Τρυπητή (Ξενάκης, 1983).

Η ενότητα Μαρμαρά αποτελεί το ανώτερο μη μεταμορφωμένο τεκτονικό καλύμμα, το οποίο περιλαμβάνει τρεις σχηματισμούς. Ο κατώτερος αποτελείται από υπερμαφικά πετρώματα, συνήθως σερπεντίνες, οι οποίοι τοπικά δείχνουν την αρχική τους σύνθεση με τους περιδοτίτες. Κατά μήκος της επώθησης, τα υπερμαφικά είναι γενικά παρόντα με μόνο 1-2 m πάχος. Πάνω από τους οφιόλιθους (ο), που εμφανίζονται με τη μορφή των έντονα σερπεντινωμένων περιδοτιτών, βρίσκονται επικλυσιογενώς Κρητιδικοί ασβεστόλιθοι (Ki-k) (Τρικαλινός 1942-47, Παπαγεωργάκης, 1968) με ενδιάμεση παρουσία ερυθρών αποθέσεων λατεριτικού τύπου. Το πάχος του σχηματισμού των Κρητιδικών ασβεστόλιθων ανέρχεται στα 50 m. Ο ανώτερος σχηματισμός της ενότητας αυτής είναι η μολασσική κλαστική ακολουθία (M_i-mls), η οποία συνίσταται από μάργες, ψαμμίτες και κροκαλοπαγή, που απαντούν σε στρωματογραφική ασυμφωνία πάνω στους οφιόλιθους και στα ανώτερα τμήματά της παρατηρείται έντονη πυριτίωση των ψαμμιτοκροκαλοπαγών.

Ασύμφωνα προς τις ενότητες που αναφέρθηκαν επικάθονται Νεογενείς και Τεταρτογενείς αποθέσεις. Το Νεογενές εκφράζεται με την παρουσία τραβερτινοειδών ασβεστολίθων (Pl.k) (Πλειόκαινο) πάχους έως 40 m, ενώ το Τεταρτογενές με αλλουβιακές (al) και διλουβιακές (Pt.cs) αποθέσεις (Ολόκαινο). Οι τραβερτινοειδείς ασβεστόλιθοι είναι σχηματισμοί αβαθούς θαλάσσιας φάσης. Οι αλλουβιακές αποθέσεις περιλαμβάνουν αργιλοψαμμιτικά ιζήματα πολύ μικρού πάχους και λατύπες. Οι διλλουβιακές αποθέσεις συνίστανται από ψαμμιτοκροκαλοπαγή που έχουν αποθεθεί με μικρή κλίση, είναι περιορισμένες σε έκταση και απαντούν στη ΝΔ Πάρο στην περιοχή του Κάμπου.

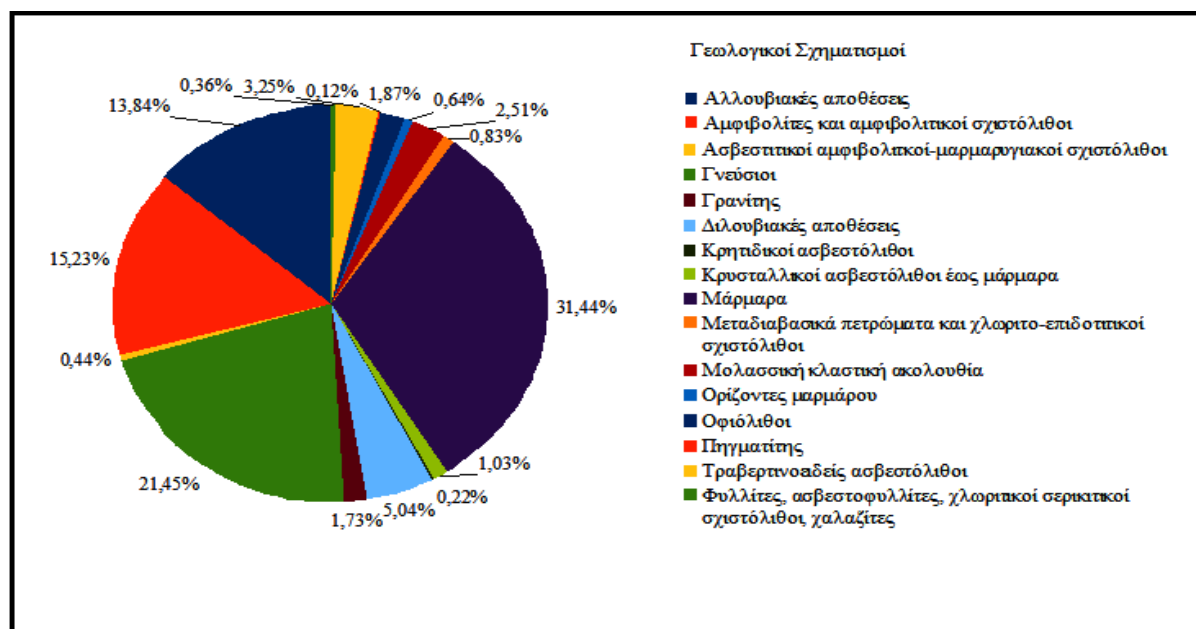
Στο Χάρτη 3 που ακολουθεί απεικονίζεται ο γεωλογικός χάρτης της νήσου Πάρου και στον Πίνακα 10 η έκταση που καταλαμβάνει ο κάθε ο γεωλογικός σχηματισμός στο νησί. Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 7 τη μέγιστη έκταση καταλαμβάνεται από μάρμαρα με ποσοστό 31.44%, ακολουθούν οι γνεύσιοι (21.45%), οι αμφιβολίτες (15.23%) και οι αλλουβιακές αποθέσεις (13.84%) (Ευελπίδου, 1996).



Χάρτης 3. Γεωλογικός Χάρτης Νήσου Πάρου κατά Παπανικολάου (1979)

Πίνακας 10. Έκταση που καταλαμβάνει κάθε Γεωλογικός Σχηματισμός στη νήσο Πάρο (Ευελπίδου, 1996)

Γεωλογικός Σχηματισμός	Έκταση (%)	Έκταση (Κm ²)
Αλλουβιακές αποθέσεις	13.84	27.45
Αμφιβολίτες και αμφιβολιτικοί σχιστόλιθοι	15.23	30.22
Ασβεστιτικοί αμφιβολιτικοί-μαρμαρυγικοί σχιστόλιθοι	0.4421	0.88
Γνεύσιοι	21.45	42.56
Γρανίτης	1.726	3.43
Διλουβιακές αποθέσεις	5.037	9.99
Κρητιδικό ασβεστόλιθοι	0.215	0.43
Κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι έως μάρμαρα	1.030	2.04
Μάρμαρα	31.44	62.39
Μεταδιαβασικά πετρώματα και χλωριτο-επιδοτιτικοί σχιστόλιθοι	0.8328	1.65
Μολασσική κλαστική ακολουθία	2.509	4.98
Ορίζοντες μαρμάρου	0.6393	1.27
Οφιόλιθοι	1.873	3.72
Πηγματίτης	0.1247	0.25
Τραβερτινοειδείς ασβεστόλιθοι	3.247	6.44
Φυλλίτες, ασβεστοφυλλίτες, χλωριτικοί σερικιτικοί σχιστόλιθοι, χαλαζίτες	0.3572	0.71



Σχήμα 7. Έκταση (%) που καταλαμβάνει κάθε Γεωλογικός Σχηματισμός στη νήσο Πάρο

4.2.3 Τεκτονική

Η γενική διεύθυνση, που παρουσιάζουν τα στρώματα του κρυσταλλοσχιτώδους υποβάθρου της

Πάρου, είναι BBA – NNΔ οφειλόμενη σε πτύχωση με άξονα της ίδιας διεύθυνσης. Επίσης, υπάρχει και δευτερεύουσα πτύχωση, νεότερη της προηγούμενης και με άξονα διεύθυνσης ΒΔ – ΝΑ. Η κλίση των εν λόγω στρωμάτων είναι προς Α για το ανατολικό τμήμα του νησιού και προς Δ για το δυτικό, γεγονός που μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η Πάρος αποτελεί αντίκλινο, του οποίου ο άξονας διεύθυνσης, που είναι BBA, συμπίπτει με την κύρια κορυφογραμμή.

Η τεκτονική εικόνα της νήσου συμπληρώνεται από πτύχωση μικρής κλίσης με τη διεύθυνση των κύριων αξόνων των πτυχών να είναι Β – Ν στο νότιο και κεντρικό μέρος της νήσου, και ΒΑ – ΝΔ στο βόρειο μέρος. Ιδιαίτερα έντονα πτυχωμένα είναι τα στρώματα των διαφόρων τύπων σχιστολίθων και γνευσίων, λόγω της πλαστικότητας του υλικού τους, ενώ αντίθετα τα μάρμαρα είναι περισσότερο διερρηγμένα, με κύριες διευθύνσεις ΒΑ – ΝΔ και Α – Δ..

4.2.2 Κλιματικά χαρακτηριστικά

Το κλίμα στην Πάρο χαρακτηρίζεται ως θαλάσσιο μεσογειακό, με ήπιους χειμώνες, δροσερά καλοκαίρια, υψηλή υγρασία αέρα και ισχυρούς ανέμους. Η μέση ετήσια θερμοκρασία είναι 18.3 °C, με ψυχρότερο μήνα τον Φεβρουάριο με 11.1 °C και θερμότερο τον Ιούλιο με 26.4 °C. Το μέσο ύψος βροχής είναι 427.6 mm, με ελάχιστη τιμή 0.5 mm τον Αύγουστο και μέγιστη τιμή 80.9 mm τον Φεβρουάριο. Η μέση τιμή της σχετικής υγρασίας είναι 67.7% και η μέση ταχύτητα του ανέμου είναι περίπου 2.1 m/sec με επικρατούσα διεύθυνση βόρεια κατά 32.7%.

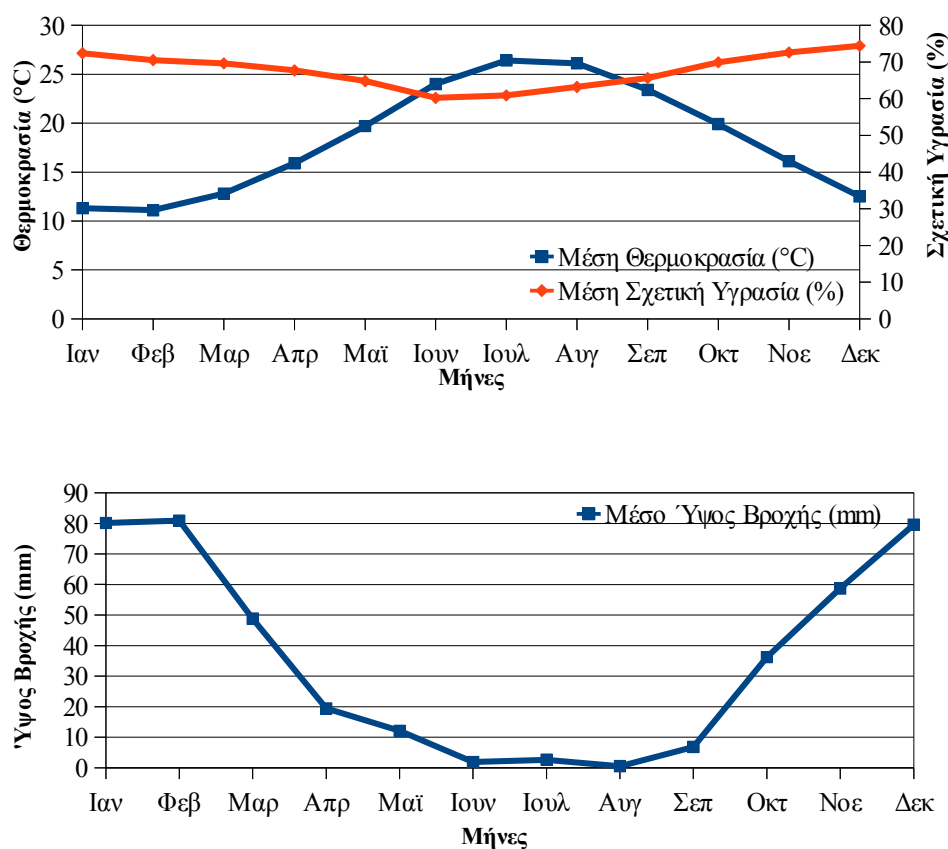
Πίνακας 11. Κλιματικά Στοιχεία Μ.Σ. Πάρου

Μήνας	Μέση Θερμοκρασία (°C)	Μέσο Ύψος Βροχής (mm)	Μέση Σχετική Υγρασία (%)	Μέση Ταχύτητα Ανέμου (m/s)
Ιανουάριος	11.3	80.1	72.4	2.4
Φεβρουάριος	11.1	80.9	70.5	2.5
Μάρτιος	12.8	48.8	69.6	2.4
Απρίλιος	15.9	19.4	67.7	2.1
Μάιος	19.7	12.1	64.8	1.9
Ιούνιος	24.0	1.9	60.2	1.9
Ιούλιος	26.4	2.6	60.9	1.8
Αύγουστος	26.1	0.5	63.2	1.9
Σεπτέμβριος	23.4	6.8	65.6	1.9
Οκτώβριος	19.9	36.2	69.9	2.1
Νοέμβριος	16.1	58.7	72.6	2.1
Δεκέμβριος	12.5	79.6	74.4	2.4
Έτος	18.3	427.6	67.7	2.1

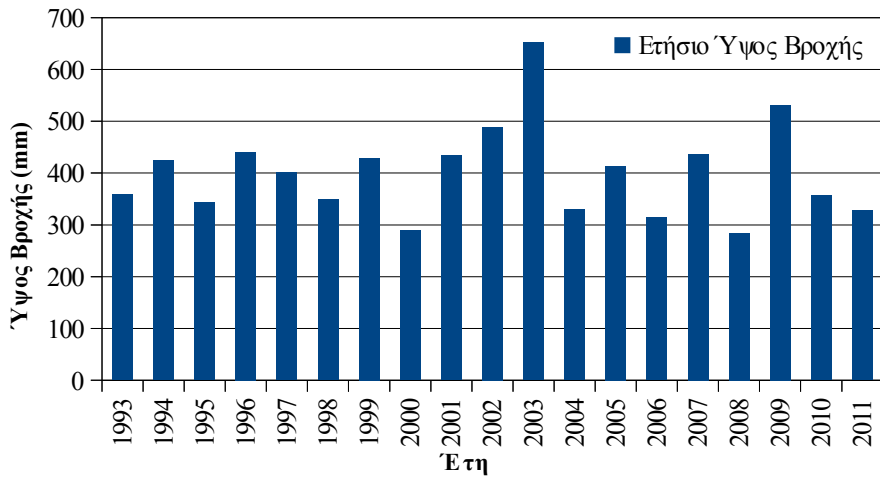
Ο Πίνακας 11 παρουσιάζει τις μέσες μηνιαίες τιμές των κλιματικών μεγεθών που προαναφέρθηκαν, όπως καταγράφηκαν στον Μετεωρολογικό Σταθμό της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας την περίοδο 1974-2010 και στον Μετεωρολογικό Σταθμό του Υπουργείου Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων την περίοδο 1997-2004.

Το Σχήμα 8 απεικονίζει την ενδοετήσια μεταβολή των κλιματικών μεγεθών. Παρατηρείται μεγάλη διακύμανση του ύψους βροχής και οι βροχοπτώσεις σημειώνονται σχεδόν μόνο το χειμώνα, μέγεθος το οποίο επηρεάζει σημαντικά την φυσικά προσφερόμενη ποσότητα νερού. Από το Σχήμα 9 παρατηρούμε ότι την περίοδο 1993-2011 στα έτη 2000 και 2008 σημειώθηκαν τα χαμηλότερα ύψη βροχής, 289 mm και 264 mm αντίστοιχα, ενώ το μεγαλύτερο ύψος βροχής καταγράφηκε το 2003 (652 mm). Το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών κατέγραψε το 2011 ύψος βροχής μόλις 372 mm.

Παρά το γεγονός ότι οι άνεμοι μεταφέρουν προς το νησί μεγάλες ποσότητες υδρατμών, οι βροχοπτώσεις είναι σχετικώς σπάνιες, διότι απουσιάζουν οι μεγάλες οροσειρές, που ενεργούν σαν εμπόδιο και προκαλούν την ανύψωση των αερίων μαζών και την συμπύκνωση των υδρατμών (Μπεζές, 2001).

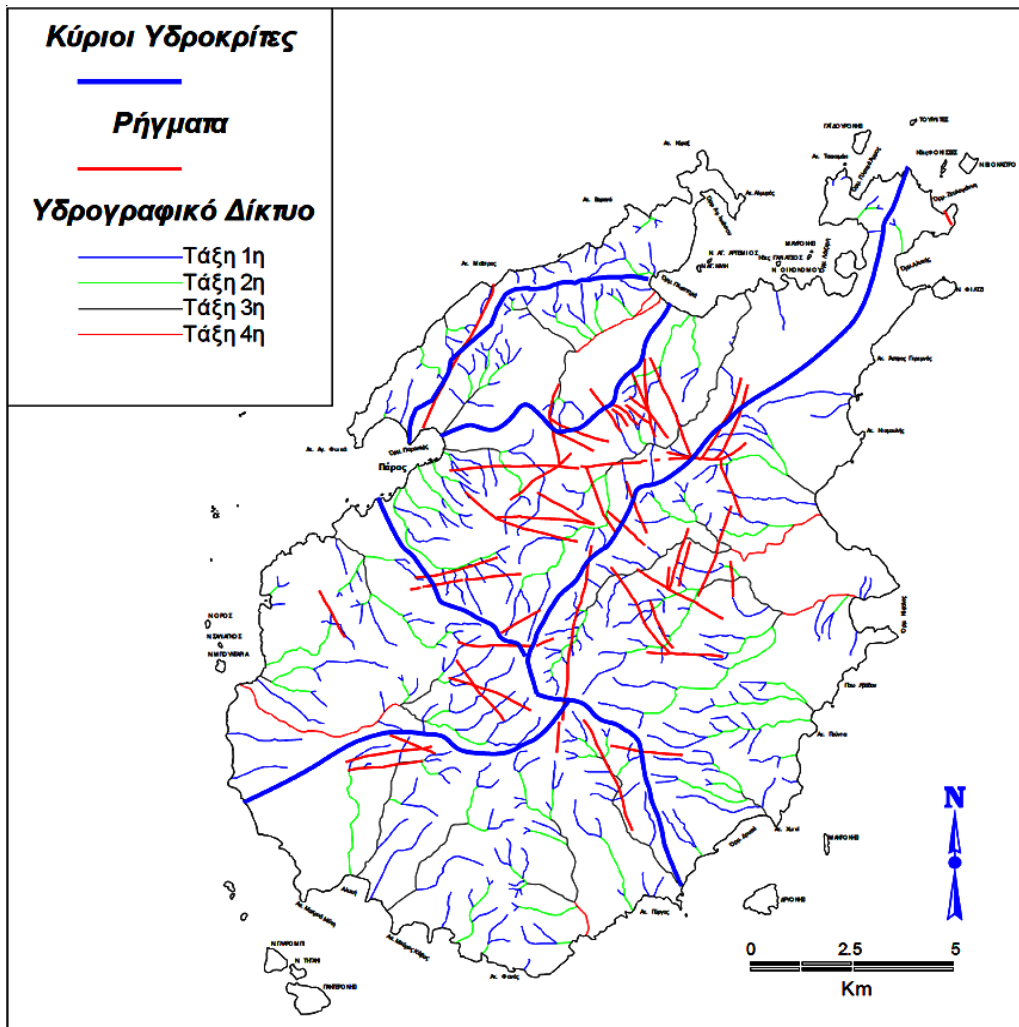


Σχήμα 8. Ενδοετήσια Διακύμανση Κλιματικών Μεγεθών



Σχήμα 9. Χρονοσειρά των Ετήσιων Τιμών Ύψους Βροχής

4.2.3 Υδρολογικές συνθήκες



Χάρτης 4. Κύριοι Υδροκρίτες και Υδρογραφικό Δίκτυο της νήσου Πάρου (Ευελπίδου, 1996)

Οι κύριοι υδροκρίτες της Πάρου, έτσι όπως παρατήρησε η Ευελπίδου (1996) και απεικονίζονται στο Χάρτη 4, είναι έξι. Χαρακτηριστική είναι η συνύπαρξη απότομων αλλαγών της διεύθυνσης τους με τα ρήγματα. Το υδρογραφικό δίκτυο της Πάρου παρουσιάζει ασύμμετρη γεωγραφική ανάπτυξη και είναι επηρεασμένο σε έντονο βαθμό από την τεκτονική και τα λιθολογικά χαρακτηριστικά της. Οι ανατολικές και οι νότιες περιοχές παρουσιάζουν εκτενέστερη ανάπτυξη των κλάδων από ότι οι δυτικές και οι βόρειες αντίστοιχα. Το υδρογραφικό δίκτυο αναπτύσσεται κυρίως στους γνευσιοσχτόλιθους και στα ανθρακικά.

Η νήσος Πάρος χωρίζεται σε 23 λεκάνες απορροής (Κ/Ξ Υδατοσυστημάτων Αιγαίου, 2008) με επιφάνειες που κυμαίνονται από 4 έως 19km². Τα κυριότερα φυσιογραφικά χαρακτηριστικά των λεκανών απορροή δίνονται στον Πίνακα 12 που ακολουθεί.

Πίνακας 12. Φυσιογραφικά Χαρακτηριστικά Λεκανών Απορροής Νήσου Πάρου

α/α	Όνομα Λεκάνης	Έκταση (km²)	Μέσο Υψόμετρο(m)	Μέση Κλίση (%)
1	Κολυμπήθρες	5.78	60.8	21.3
2	Παλιόπυργος	11.24	16.7	3.6
3	Λιβάδια	9.46	82.4	13.7
4	Νάουσα	4.01	77.8	11.4
5	Χοχλακάς	5.10	62.6	21.1
6	Αγ. Χαράλαμπος	4.82	68.9	14.3
7	Αμπελάς	4.58	56.2	6.7
8	Ρ. Αρμακα	6.32	59.6	8.0
9	Ρ. Ξηροπόταμος	15.22	232	18.6
10	Παροικιά	7.37	129	20.2
11	Κακάπετρα	4.64	255	26.4
12	Ρ. Κλεάνθης	11.7	236	20.2
13	Ρ. Παρασπόρος	8.13	146	19.0
14	Μάρπησσα	19.16	153	16.4
15	Γλυσίδα	8.58	81.7	13.2
16	Πίσω Λιβάδι	7.22	80.4	11.4
17	Ρ. Συρίγος	10.85	327	21.5
18	Ρ. Καβουροπόταμος	5.53	305	31.1
19	Δρυός	7.93	81.9	12.8
20	Βουτάκος	7.43	25,4	3.2
21	Αλυκή	9.94	107	12.0
22	Γλυφά	11.62	180	17.3
23	Φανός	10.07	135	18.7
	Σύνολο	196.68	139	15.7

Στην Πάρο δεν υπάρχουν έργα ταμίευσης ύδατος, αλλά μόνο ορισμένα φράγματα ανάσχεσης στον Ξηροπόταμο για την ενίσχυση της διήθησης του επιφανειακού νερού στον υδροφόρο ορίζοντα. Μελλοντικά προβλέπεται να κατασκευαστούν τρεις λιμνοδεξαμενές στον Καβουροπόταμο, στον Συρίγο και στην Μάρπησσα συνολικής ωφέλιμης ποσότητας 841 m³, καθώς και δύο φράγματα στην Μάρπησσα και στον Κλεάνθη ωφέλιμης ποσότητας 139 m³.

Το υδρολογικό ισοζύγιο του νησιού εκτιμάται με βάση τον ετήσιο όγκο των κατακρημνισμάτων, της επιφανειακής απορροής, της εξατμισοδιαπνοής και της κατείσδυσης. Στις σχετικώς ξηρές ζώνες, όπως είναι οι Κυκλάδες, το ποσοστό της κατείσδυσης (σε υπερετήσια διάρκεια) είναι γενικώς μικρό. Σε μικρότερες όμως περιόδους (ετήσιες ή μηνιαίες) παρατηρείται μεγάλη διακύμανση της κατείσδυσης (Μπεζές, 2001). Ο Πίνακας 13 παρουσιάζει τις τιμές των υδρολογικών παραμέτρων που προαναφέρθηκαν.

Πίνακας 13. Υδρολογικό Ισοζύγιο

Υδρολογική Παράμετρος	hm ³ /yr		Συντελεστής (%)	
	Περιφέρεια Ν.Αιγαίου, 1994	Κ/Ξ Υδατοσυστημάτων Αιγαίου, 2008	Περιφέρεια Ν.Αιγαίου, 1994	Κ/Ξ Υδατοσυστημάτων Αιγαίου, 2008
Επιφανειακή Απορροή (R)	9.6	20.95	12.0	22.4
Εξατμισοδιαπνοή (E)	53.4	60.70	66.4	66.0
Κατείσδυση (I)	17.4	10.71	21.6	11.4
Κατακρημνίσματα (P)	80.4	91.98	100.0	100.0

Ο Μπεζές στη μελέτη "Υδρογεωλογία Νήσου Πάρου" (2001) υπολογίζοντας το υδατικό ισοζύγιο της λεκάνης του Ξηροποτάμου διαπίστωσε ότι οι συνθήκες είναι ιδιαίτερα δυσμενείς για τα υπόγεια νερά. Μόνο το 34% των βροχοπτώσεων συμμετέχει στην τροφοδοσία των υδροφόρων οριζόντων. Επίσης παρατηρούνται ολόκληρα υδρολογικά έτη με σχεδόν μηδενική τροφοδοσία των υπογείων νερών. Αντίθετα, κατά τις βροχερές χρονιές η τροφοδοσία είναι σημαντική και εμπλουτίζονται ικανοποιητικά τα υδροφόρα στρώματα. Εάν μάλιστα συμβαίνει (όπως είναι η περίπτωση της πηγής της Νάουσας) η εκφόρτιση του υδροφόρου ορίζοντα να είναι αργή, τότε μία βροχερή χρονιά αρκεί για να αυξήσει σε σημαντικό βαθμό τα υπόγεια αποθέματα, ώστε να διατηρείται επί μακρόν σχεδόν σταθερή η παροχή της πηγής

4.2.4 Υδρογεωλογικές συνθήκες-Υδροσυστήματα

4.2.4.1 Υδρολιθολογία

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί σύμφωνα με τους Γάκη (1980) και Χαρμανίδη (1998) ανάλογα με την υδρολιθολογική τους συμπεριφορά ταξινομούνται στις εξής κατηγορίες (πηγή: "Καταγραφή και Αποτίμηση των Υδρογεωλογικών Χαρακτήρων των Υπόγειων Νερών και των Υδροφόρων

Συστημάτων της Χώρας", 2010):

i) Υδροπερατοί: στην κατηγορία αυτή υπάγονται τα μάρμαρα και οι ασβεστόλιθοι του νησιού, τα οποία χαρακτηρίζονται ως πολύ υδροπερατά, λόγω της έντονης διάρρηξης, της αποκάρσωσης και του κατακερματισμού της μάζας τους. Εντός αυτών των προνομιακών ρωών δημιουργούνται υδροφόροι ορίζοντες, η δυναμικότητα των οποίων είναι ανάλογη, σε κάθε περίπτωση, με την επιφανειακή ανάπτυξη και τις διαστάσεις τους. Τόσο τα μάρμαρα όσο και οι ασβεστόλιθοι υπέρκεινται υδροστεγανών πετρωμάτων (σχιστόλιθοι, γνεύσιοι), με αποτέλεσμα να διαμορφώνονται ενίοτε μικροπηγές επαφής.

ii) Ημιπερατοί έως υδροπερατοί σχηματισμοί: πρόκειται για τις προσχωματικές αλλουβιακές αποθέσεις, οι οποίες συνίστανται από άμμους, αργίλους και κροκάλες. Αποτελούν προϊόντα αποσάθρωσης των σχιστολίθων, των γνευσίων και των μαρμάρων, ενώ η υδροπερατότητά τους αποδίδεται τόσο στην πρωτογενή τους σύσταση όσο και στο υψηλό ποσοστό των αδρομερών κλαστικών υλικών και συνιστούν κατάλληλο υδροφόρο διήθησης. Ωστόσο, η υδροπερατότητά τους εξαρτάται σε σημαντικό βαθμό από το ποσοστό της αργίλου, με συνέπεια οι σχηματισμοί αυτοί να καθίστανται κατά τόπους ημιπερατοί. Επίσης, στην κατηγορία αυτή ανήκει το αποσαθρωμένο κάλυμμα των περιδοτιτών, το οποίο αποτελεί ενιαίο υδροφορέα με τις προσχώσεις, καθώς η ψαθυρή σύσταση και το ικανό πάχος του δημιουργούν κατάλληλες συνθήκες υδατικής αποθήκευσης.

iii) Πρακτικά αδιαπέρατοι σχηματισμοί: πρόκειται για τις κλαστικές αποθέσεις του Νεογενούς (μάργες, άργιλοι κ.ά.) και τους σχιστόλιθους – γνεύσιους. Είναι υδατοστεγείς σχηματισμοί, σε ορισμένες όμως περιοχές, όπου τα πετρώματα αυτά έχουν αποσαθρωθεί σε σημαντικό βαθμό παρουσιάζεται μικρή υδροπερατότητα. Στις αποσαθρωμένες αυτές περιοχές αναπτύσσεται φρεάτιος υδροφόρος ορίζοντας, ο οποίος εκφορτίζεται με μορφή πηγών επαφής μικρής έως ασήμαντης παροχής, σε θέσεις, όπου το στεγανό υπόβαθρο αναδύεται στην επιφάνεια του εδάφους και οι γεωμορφολογικές συνθήκες είναι ευνοϊκές.

4.2.4.2 Υδροφόροι ορίζοντες- Υδροσύστημα

Σύμφωνα με το έργο "Καταγραφή και Αποτίμηση των Υδρογεωλογικών Χαρακτήρων των Υπόγειων Νερών και των Υδροφόρων Συστημάτων της Χώρας" (Γιαννουλόπουλος και Λάμπας, 2010) η υπόγεια υδροφορία της Πάρου εντοπίζεται στις προσχώσεις και στα μάρμαρα είτε ως αυτόνομες στρωματογραφίες είτε ως ενστρώσεις στους γνευσιοσχιστόλιθους και επομένως αναπτύσσονται τα κάτωθι καρστικά υδροσυστήματα, όπως απεικονίζονται και στο Χάρτη 5 :

- Μαραθίου- Νάουσας (1408a)
- Προδρόμου- Δρυού (1408b)

Στα κεντρικά και νότια της Πάρου τα υδροσυστήματα διαμορφώνονται εντός των ανθρακικών σχηματισμών και χαρακτηρίζονται ως καρστικά υψηλής υδροπερατότητας, λόγω του δευτερογενούς πορώδους. Τα μάρμαρα πλαισιώνονται από τα μεταμορφωμένα πετρώματα του νησιού, δηλαδή, τους γνεύσιους και τους σχιστόλιθους. Όταν τα μάρμαρα έρχονται σε επαφή με αδιαπέρατο πέτρωμα διαμορφώνονται θύλακες γλυκού νερού εντός αυτών και συνεπώς προκύπτει ότι ο υδρογεωλογικός ρόλος των γνευσιοσχιστολίθων είναι αυτός του φυσικού φραγμού της θάλασσας και η προφύλαξη του υπόγειου νερού από υφαλμύρωση.

Στο βορειοδυτικό και νοτιανατολικό μέρος της Πάρου παρουσία των γνευσιοσχιστολίθων το νερό κινείται μέσω δικτύου ασυνεχειών, ρωγμών και ρηξιγενών ζωνών. Στις αποσαθρωμένες αυτές περιοχές αναπτύσσεται σχετικά ασθενής φρεάτιος υδροφόρος ορίζοντας, περιορισμένου υδρογεωλογικού ενδιαφέροντος, ενίοτε όμως εκδηλώνονται μικροπηγές επαφής μεταξύ ελλουβιακού μανδύα και υγιούς πετρώματος, όπως οι πηγές στις Πεταλούδες, του Αγίου Ιωάννη, του Κεσμέ, του Καντέλη κ.ά. Ακόμα, η κατά τόπους επιφανειακή εκδήλωση των μαρμάρων συνεισφέρει σημαντικά στην υδροφορία των γνευσιοσχιστολίθων. Δημιουργούνται πολυάριθμες πηγές στην επαφή τους (Πηγές Νάουσας, Παροικιάς, Δρυός κ.ά.), με παροχές γύρω στα 5 m³/h. Οι πηγές αυτές εκδηλώνονται πλησίον της ακτής, με συνέπεια να έχουν επηρεαστεί από τη διείσδυση της θάλασσας και να έχουν ήδη υφαλμυρίσει. Η υπόγεια υδροφορία αναπτύσσεται κύρια στις ενστρώσεις μαρμάρων εντός των γνευσιοσχιστολίθων, με αποτέλεσμα η υδροφορία να θεωρείται υπό πίεση και ο σχηματισμός των γνευσιοσχιστολίθων να αποκτά χαρακτηριστικά ημιυδροφορέα. Οι παροχές για υδροληπτικά έργα μέχρι βάθους 200 m ανέρχονται μέχρι τα 40 m³/h.

Στις περιοχές Παροικιάς – Παρασπόρου, Λιβαδιού και Αν. Πάρου συναντάμε ελεύθερους υδροφόρους ορίζοντες εντός των Τεταρτογενών αλλουβιακών και παράκτιων αποθέσεων στα δυτικά, βόρεια και βορειοανατολικά του νησιού και γενικά δημιουργούνται ευνοϊκές προϋποθέσεις υπόγειας υδροφορίας. Πρόκειται για αμμοαργιλώδεις και ψαμμιτοκροκαλοπαγείς αποθέσεις, ποταμοχειμάριας φάσης, με υπόβαθρο ανθρακικό και γνευσιοσχιστολιθικό. Η φυσική τροφοδοσία του υδροφόρου αυτού ορίζοντα προέρχεται απευθείας από τα κατεισδύοντα νερά της βροχής, από τη διήθηση των χειμαρρικών υδάτων και από την πλευρική τροφοδοσία των γνευσιοσχιστολίθων και μαρμάρων μέσω ρωγμών και διακλάσεων.

Η υπόγεια υδροφορία υφίσταται σημαντική εκμετάλλευση, κυρίως μέσω ανόρυξης γεωτρήσεων βάθους έως 40m, με τις παροχές τους να μην ξεπερνούν τα 10 – 15 m³/h. Η στάθμη του υπόγειου νερού απαντά σε βάθη, που συνήθως κυμαίνεται από 7 – 20 m. Η απόδοση των υδροληπτικών έργων κυμαίνεται ανάλογα με την κοκκομετρική σύσταση του κοκκώδους υδροφορέα από αργιλικά ορυκτά και όσο αυξομειώνεται το ποσοστό της λεπτομερούς φάσης των προσχώσεων τόσο μεταβάλλεται η υδροπερατότητα των σχηματισμών. Ο προσχωματικός υδροφορέας υφίσταται

μεγάλες πιέσεις, κυρίως τη θερινή περίοδο και εξαιτίας του ανοιχτού μετώπου των προσχώσεων με τη θάλασσα έχει ως συνέπεια την υφαλμύρωση των εν λόγω υδροσυστημάτων (ηλεκτρική αγωγιμότητα έως και 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Τέλος, ορισμένες γεωτρήσεις, που έχουν ανορυχθεί σε αλλουβιακές αποθέσεις, παρουσιάζουν μεγάλα βάθη διάτρησης και ως εκ τούτου έχουν διατρήσει τους υποκείμενους σχηματισμούς, με την υδροφορία τους να προέρχεται από τα μάρμαρα

Οι σχιστολιθικοί σχηματισμοί έχουν μικρή έως ελάχιστη περατότητα και δεν συνιστούν υδροφορία σε αντίθεση με τα ανθρακικά πετρώματα, τα οποία εν γένει παρουσιάζουν υψηλή σχετικά υδροπερατότητα και μεγάλη ικανότητα υδροαποθηκευτικότητας. Επίσης, στην Πάρο απαντούν σημαντικές σε έκταση προσχωματικές αποθέσεις, όπως στην Παροικιά και στο Πίσω Λιβάδι, οι οποίες χαρακτηρίζονται μέτρια υδροπερατές με χαμηλή έως μέτρια υδροδυναμικότητα.

4.2.4.3 Εκτίμηση υδατικού ισοζυγίου υδροσυστημάτων

Σχετικά με τις υδρολιθολογικές ενότητες του νησιού, εκτιμάται ότι για τις μεν προσχώσεις ο συντελεστής κατείσδυσης ισοδυναμεί με 15%, για τα δε μάρμαρα και τους σχιστόλιθους ο συντελεστής κατείσδυσης ισούται με 30% και 7% αντίστοιχα ((Γιαννουλόπουλος & Λάμπας, 2010).

Καρστικό Υδροσύστημα Μαραθίου- Νάουσας (1408a)

Από τους σχετικούς υπολογισμούς προκύπτει ότι τα συνολικά ετήσια, δυνητικά, ανανεώσιμα υδατικά αποθέματα των υπόγειων νερών του καρστικού υδροσυστήματος Μαραθίου – Νάουσας (1408a) ανέρχονται σε $3.7 \times 10^6 \text{ m}^3$ περίπου. Εάν ληφθούν υπόψη οι πλευρικές απώλειες των υδροφόρων σχηματισμών προς τη θάλασσα, εκτιμάται ότι τα ετήσια υπόγεια υδατικά αποθέματα δεν υπερβαίνουν τα $2.5 \times 10^6 \text{ m}^3$.

Πίνακας 14. Εκτίμηση Δυνητικών Ανανεώσιμων Αποθεμάτων του Υδροσυστήματος Μαραθίου-Νάουσας (Γιαννουλόπουλος και Λάμπας, 2010)

Υδρολιθολογικός Σχηματισμός	Έκταση	Ύψος Βροχής	Συντελεστής Κατείσδυσης	Δυνητικά Ανανεώσιμα Υδατικά Αποθέματα
	km^2	mm	%	m^3
Προσχώσεις, παράκτιες αποθέσεις, κώνοι κορημάτων, πλευρικά κορήματα, άμμοι, ψαμμίτες	3.1	659	15	306,435
Μάρμαρα	15.4	659	30	3,044,580
Σχιστολιθικά πετρώματα με εναλλαγές και ενστρώσεις μαρμάρων	8.7	659	7	401,331
ΣΥΝΟΛΟ	27.2			3,752,346

Καρστικό Υδροσύστημα Προδρόμου- Δρυού (1408b)

Από τους σχετικούς υπολογισμούς προκύπτει ότι τα συνολικά ετήσια, δυνητικά, ανανεώσιμα υδατικά αποθέματα των υπόγειων νερών του καρστικού υδροσυστήματος Προδρόμου – Δρυού (1408b) ανέρχονται σε $5.5 \times 10^6 \text{ m}^3$ περίπου. Εάν ληφθούν υπόψη οι πλευρικές απώλειες των υδροφόρων σχηματισμών προς τη θάλασσα, εκτιμάται ότι τα ετήσια υπόγεια υδατικά αποθέματα δεν υπερβαίνουν τα $3.5 \times 10^6 \text{ m}^3$.

Πίνακας 15. Εκτίμηση Δυνητικών Ανανεώσιμων Αποθεμάτων του Υδροσυστήματος Προδρόμου-Δρυού (Γιαννουλόπουλος και Λάππας, 2010)

Υδρολιθολογικός Σχηματισμός	Έκταση	Ύψος Βροχής	Συντελεστής Κατείσδυσης	Δυνητικά Ανανεώσιμα Υδατικά Αποθέματα
	km ²	mm	%	m ³
Προσχώσεις, παράκτιες αποθέσεις, κώνιοι κορημάτων, πλευρικά κορήματα, άμμοι, ψαμμίτες	1.8	702	15	189,540
Μάρμαρα	22.7	702	30	4,780,620
Σχιστολιθικά πετρώματα με εναλλαγές και ενστρώσεις μαρμάρων	11.0	702	7	540,540
ΣΥΝΟΛΟ	35.5			5,510,700

Καρστικό Υδροσύστημα Αγκαιριάς (1448)

Σχετικά με τα συνολικά ετήσια, δυνητικά, ανανεώσιμα υδατικά αποθέματα των υπόγειων νερών του καρστικού υδροσυστήματος Αγκαιριάς (1448) ανέρχονται σε $1.0 \times 10^6 \text{ m}^3$ περίπου. Εάν ληφθούν υπόψη οι πλευρικές απώλειες των υδροφόρων σχηματισμών προς τη θάλασσα, εκτιμάται ότι τα ετήσια υπόγεια υδατικά αποθέματα δεν υπερβαίνουν τα 600,000 m³.

Πίνακας 16. Εκτίμηση Δυνητικών Ανανεώσιμων Αποθεμάτων του Υδροσυστήματος Αγκαιριάς (Γιαννουλόπουλος και Λάππας, 2010)

Υδρολιθολογικός Σχηματισμός	Έκταση	Ύψος Βροχής	Συντελεστής Κατείσδυσης	Δυνητικά Ανανεώσιμα Υδατικά Αποθέματα
	km ²	mm	%	m ³
Μάρμαρα	5.5	678	30	1,118,700
Σχιστολιθικά πετρώματα με εναλλαγές και ενστρώσεις μαρμάρων	0.1	678	7	4,746
ΣΥΝΟΛΟ	5.6			1,123,446

Καρστικό Υδροσύστημα Συρίγγου- Αλυκής (1449)

Τα συνολικά ετήσια, δυνητικά, ανανεώσιμα υδατικά αποθέματα των υπόγειων νερών του καρστικού υδροσυστήματος Συρίγγου – Αλυκής (1449) ανέρχονται σε $2.6 \times 10^6 \text{ m}^3$ περίπου. Εάν ληφθούν υπόψη οι πλευρικές απώλειες των υδροφόρων σχηματισμών προς τη θάλασσα, καθώς και ο βαθμός εκμετάλλευσης των διαθέσιμων υδατικών αποθεμάτων από υδροληπτικά έργα, εκτιμάται ότι τα ετήσια υπόγεια υδατικά αποθέματα δεν υπερβαίνουν τα $1.0 \times 10^6 \text{ m}^3$.

Πίνακας 17. Εκτίμηση Δυνητικών Ανανεώσιμων Αποθεμάτων του Υδροσυστήματος Συρίγγου-Αλυκής (Γιαννουλόπουλος και Λάμπας, 2010)

Υδρολιθολογικός Σχηματισμός	Έκταση	Ύψος Βροχής	Συντελεστής Κατείσδυσης	Δυνητικά Ανανεώσιμα Υδατικά Αποθέματα
	km ²	mm	%	m ³
Προσχώσεις, παράκτιες αποθέσεις, κώνιοι κορημάτων, πλευρικά κορήματα, άμμοι, ψαμμίτες	15.2	491	15	1,119,480
Μάρμαρα	8.2	491	30	1,207,860
Σχιστολιθικά πετρώματα με εναλλαγές και ενστρώσεις μαρμάρων	8.4	491	7	288,08
Σύνολο	31.8			2,616,048

4.3 Διαχείριση Υδατικών Πόρων

4.3.2 Φορείς Διαχείρισης

4.3.2.1 Δημοτική Επιχείρηση Ύδρευσης Αποχέτευσης Πάρου (Δ.Ε.Υ.Α.Π.)

Η διαχείριση των υδατικών πόρων του νησιού είναι αρμοδιότητα της Δημοτικής Υπηρεσίας Ύδρευσης Αποχέτευσης Πάρου (Δ.Ε.Υ.Α.Π.) που ιδρύθηκε το 1999 και ξεκίνησε τη λειτουργία της το 2000. Οι αρμοδιότητές της αφορούν τη μελέτη, κατασκευή, επισκευή, επέκταση, συντήρηση, εκμετάλλευση, διοίκηση και λειτουργία των δικτύων ύδρευσης και αποχέτευσης ομβρίων και ακαθάρτων, των γεωτρήσεων, των δεξαμενών, των αντλιοστασίων, των μονάδων βιολογικού καθαρισμού λυμάτων και αποβλήτων ολόκληρης της Πάρου. Επίσης εκδίδει και εισπράττει λογαριασμούς ύδρευσης και αποχέτευσης και συντάσσει και εφαρμόζει τον κανονισμό λειτουργίας των δικτύων. Η υπηρεσία είναι ανταποδοτικός οργανισμός κοινωφελούς χαρακτήρα και δεν δημιουργείται αποθεματικό κεφάλαιο, γιατί απαγορεύεται λόγω καταστατικού. Σε περίπτωση που δημιουργηθεί οφείλει να επενδυθεί σε τεχνικά έργα.

Για τις υπηρεσίες ύδρευσης η χρέωση γίνεται ανά κατηγορία και κλιμακώνεται με βάση την

καταναλισκόμενη ποσότητα, όπως φαίνεται στον Πίνακα 18. Η Αποχέτευση χρεώνεται ανάλογα με την καταναλισκόμενη ποσότητα νερού ύδρευσης.

Πίνακας 18. Τιμολογιακή Πολιτική Έτους 2011

Ποσότητα νερού (m ³)	Δ.Δ. Παροικιάς	Δ. Δ. Μάρπησας Δ. Δ. Αγκαϊριάς	Δ. Δ. Αρχιλόγου Δ. Κόστου Δ. Δ. Λευκών	Δ. Δ. Νάουσας
0-5	Δωρεάν	Δωρεάν	Δωρεάν	Δωρεάν
6-30	0.42	0.42	0.42	0.44
31-50	0.80	0.64	0.58	0.66
51-70	1.00	0.80	0.69	0.83
71-100	1.54	0.95	0.80	0.99
101-150	1.91	1.22	1.22	1.27
151-200	2.33	1.70	1.70	1.76
201-400	2.81	2.07	2.07	2,15
401 και άνω	5.30	5.30	5.30	5.50

Οι κατηγορίες χρήσεων διαφοροποιούνται ως προς το τέλος σύνδεσης για την ύδρευση και ανάλογα με την επιφάνεια του ακινήτου για την αποχέτευση. Για την καλύτερη εξυπηρέτηση του συνόλου των πολιτών αποφασίστηκε η χρήση ξεχωριστού υδρομετρητή για την κάθε χρήση και κάθε υδρόμετρο ½ ίντσας να αντιστοιχεί σε 7 δωμάτια. Η αύξηση της χρέωσης των παρεχόμενων υπηρεσιών και η επιβολή προστίμων υπερκατανάλωσης στοχεύει στην ώθηση των κατοίκων και επαγγελματιών για μείωση της κατανάλωσης.

4.3.1.2 Γραφείο Αγροτικής Ανάπτυξης

Υπεύθυνος του γραφείου είναι ο γεωπόνος του νησιού. Στις αρμοδιότητές του περιλαμβάνεται και η έκδοση αδειών ανόρυξης νέων αρδευτικών γεωτρήσεων. Ωστόσο, ο έλεγχος καλής λειτουργίας τους, η παροχή καθώς και η τοποθέτηση υδρομετρητή βαρύνει τη ΔΕΥΑΠ. Υπολογίζεται ότι στο νησί λειτουργούν περίπου 500 αρδευτικές γεωτρήσεις.

4.3.1.3 Τοπικός Οργανισμός Εγγείων Βελτιώσεων (ΤΟΕΒ)

Στην περιοχή της Νάουσας ο ΤΟΕΒ διαθέτει νερό για άρδευση με την ώρα μέσω ανοικτών καναλιών που προέρχεται από την πηγή της Νάουσας.

4.3.2. Υδροδότηση

Ο βασικός πόρος υδροδότησης του νησιού είναι το υπόγειο νερό, το οποίο εκμεταλλεύεται μέσω ενός εκτενούς δικτύου γεωτρήσεων ύδρευσης και άρδευσης. Η ΔΕΥΑΠ για τις ανάγκες της άρδευσης έχει στην κατοχή της περίπου 60 γεωτρήσεις (Πίνακας 19) με συνολική αντλούμενη παροχή χειμώνα περίπου 4,000 m³/ημέρα και αντλούμενη παροχή θέρους περίπου 14,000 m³

/ημέρα. Οι γεωτρήσεις Σαρρή, Όθωνα, Μάγγανο, Κοδιανή, Βαλάδι, Ραφνίδια θεωρούνται ανενεργές προς το παρόν και δεν χρησιμοποιούνται από τη ΔΕΥΑΠ. Η λειτουργία των ενεργών γεωτρήσεων εξαρτάται από τα ποσοτικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά τους, καθώς και τη ζήτηση νερού ύδρευσης. Ορισμένες γεωτρήσεις, όπως η Νικολαρά λειτουργούν μόνο τη θερινή περίοδο. Οι ημερήσιες ώρες απόληψης των ενεργών γεωτρήσεων ποικίλουν, για παράδειγμα η γεώτρηση Χιώτης λειτουργεί σχεδόν 24 h/ημέρα, ενώ η γεώτρηση Αγ.Ιωάννη 1 λειτουργεί 13 h/ημέρα.

Πίνακας 19. Γεωτρήσεις Δικτύου Ύδρευσης (ΔΕΥΑΠ, 2012)

a/a	Γεώτρηση	Βάθος Διάτρησης (m)	Μέγιστη Παροχή (cm ³ /h)	a/a	Γεώτρηση	Βάθος Διάτρησης (m)	Μέγιστη Παροχή (cm ³ /h)
1	Μαράθι μεγάλο	140	48	26	Όθωνας	60	8
2	Μαράθι μικρό	140	36	27	Σαρρή	68	
3	Παναγίτσα	110	27	28	Αγκαιριά κάτω μακριά	180	
4	Καντινελιές	95	27	29	Αγκαιριά κάτω κοντά	150	25
5	Μωραϊτη	163	30	30	Αγκαιριά πάνω	196	20
6	Χιώτης	90	22	31	Λεύκες κάτω	144	18
7	Χωριουδάκι	216	18	32	Λεύκες πάνω	128	27
8	Αστέρας	60	30	33	Συρίγγος	100	30
9	Μακαρόνι	80	30	34	Αγ. Ιωάννη 1	120	50
10	Φυστικιές	220	20	35	Αγ. Ιωάννη 2	123	30
11	Σφαγεία	325	50	36	Μπάου	105	22
12	Μπάλιου	115	50	37	Κοντιανή		25
13	Χατζημιχάλη	33	30	38	Κοντογιώργη	70	25
14	Νικολή	80	30	39	Γαλατιανή	105	30
15	Φανουρίου	135	30	40	Μουγκού 1	160	35
16	Μποποτά	36	30	41	Μουγκού 2	138	30
17	Λογγοβάρδα κάτω	105	15	42	Νικολαρά	90	
18	Λογγοβάρδα πάνω	110	14	43	Άσπρο Χωριό	210	3
19	Αγ. Ανδρέα	110	22	44	Κεφάλια	130	22
20	Ραφνίδια	126	10	45	Αγ. Ανδρέα 1	105	
21	Αγ. Αρσένιος	200	27	46	Αγ. Ανδρέα 2	105	
22	Βούλα	200		47	Βαλάδι		
23	Καβάκι	200	17	48	Μάγγανο		
25	Καλαμαύκα	80	8	49	Παρανταίς	85	

Από το 2002 εγκαταστάθηκε μονάδα αφαλάτωσης στη Νάουσα. Η μονάδα αφαλάτωσης με δυναμικότητα 1,200 m³/ημέρα παράγει 50 m³/h, αφαλατώνοντας 70 m³/h υφάλμυρο νερό από την πηγή της Νάουσας και λειτουργεί 24 h/ημέρα. Το χειμώνα λειτουργεί στο 50% της δυναμικότητας και η παροχή ενισχύεται από δύο γεωτρήσεις, ενώ το καλοκαίρι λειτουργεί στο 100%. Παράλληλα, η ΔΕΥΑΠ έχει ως στόχο την εγκατάσταση και τη λειτουργία μίας διπλής μονάδας αφαλάτωσης θαλασσινού νερού τύπου αντίστροφης ώσμωσης, συνολικής παραγωγής 2,500 m³/ημέρα, στην περιοχή Πέπονας του Δημοτικού Διαμερίσματος της Παροικιάς (Ξαγοράρης, 2012) .

Για τις ανάγκες της άρδευσης λειτουργούν περίπου 500 ιδιωτικές γεωτρήσεις, αλλά δεν υπάρχουν σχετικά στοιχεία. Οι γεωτρήσεις αδειοδοτούνται για 5 έτη και στην πενταετία η άδεια επανεξετάζεται. Για τις αρδευτικές γεωτρήσεις υπάρχει περιορισμός βάθους και περιορισμός στην παροχή, με μέγιστη επιτρεπόμενη τα 5m³/ημέρα.

Γενικά, η πολιτική διαχείρισης στο νησί επενδύει στα υπόγεια νερά προσπαθώντας να αποφύγει την εξάρτηση των υδατικών αποθεμάτων από τις βροχοπτώσεις. Τα επιφανειακά ύδατα εξαρτώνται περισσότερο από τις ετήσιες βροχοπτώσεις, οι οποίες στο νησί είναι περιορισμένες

4.3.3 Δίκτυα και Εγκαταστάσεις Ύδρευσης

Η ΔΕΥΑΠ διαθέτει 29 δεξαμενές (Πίνακας 20) συνολικής χωρικότητας 12,000 m³ και δίκτυα ύδρευσης τροφοδοτικά και διανομής με συνολικό μήκος περίπου 450 km κατασκευασμένα από σωλήνες PVC, αμιαντοσωλήνες, σιδηροσωλήνες και σωλήνες πολυαιθυλενίου. Το παλαιό δίκτυο αμιαντοσωλήνων έχει αντικατασταθεί στο μεγαλύτερο μέρος του από πλαστικούς σωλήνες (Ξαγοράρης, 2012). Οι γεωτρήσεις κάθε διαμερίσματος τροφοδοτούν τις αντίστοιχες δεξαμενές και στη συνέχεια, μέσω του δικτύου, το νερό διανέμεται στους οικισμούς. Οι απομονωμένοι οικισμοί εξυπηρετούνται από ιδιωτικά πηγάδια.

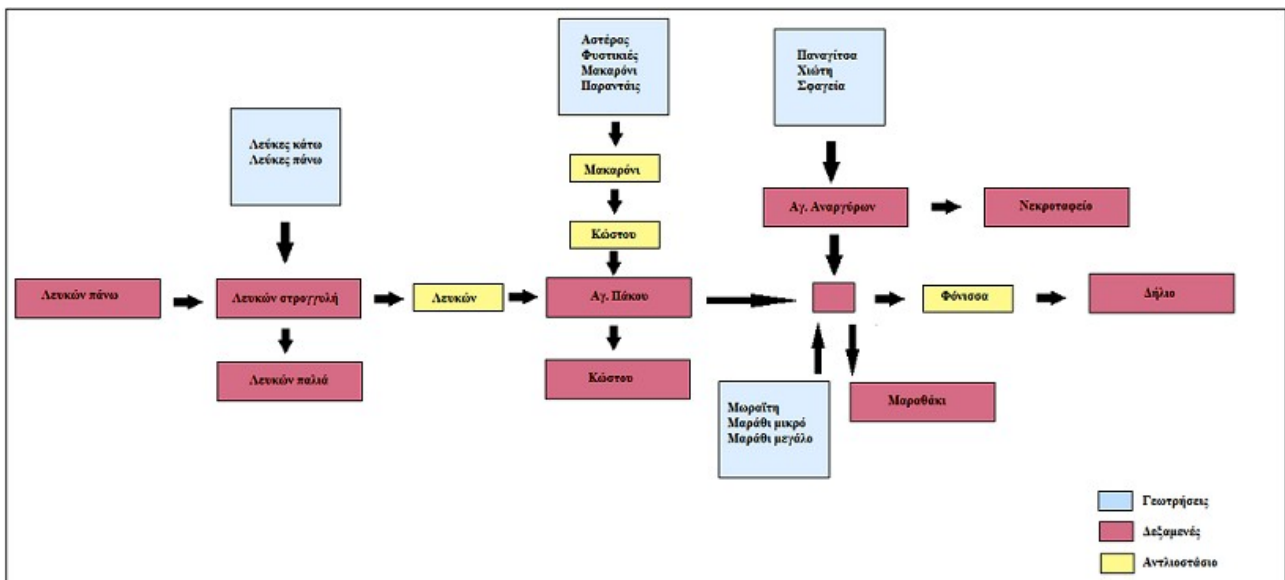
Τα υφιστάμενα δίκτυα των Δημοτικών Διαμερισμάτων αν και καλύπτουν σε μεγάλο ποσοστό τις ανάγκες των οικισμών, είναι ανεξάρτητα για κάθε Δημοτικό Διαμέρισμα με μικρές δυνατότητες διασύνδεσης με αποτέλεσμα ορισμένες φορές, ειδικά τη θερινή περίοδο, να δημιουργούνται προβλήματα υδροδότησης λόγω της δυσχέρειας στη διανομή του νερού μεταξύ των οικισμών.

Πίνακας 20. Δεξαμενές Δικτύου Ύδρευσης (ΔΕΥΑΠ, 2012)

a/a	Θέση-Ονομασία	Χωρητικότητα (m ³)	Υψόμετρο (m)	a/a	Θέση-Ονομασία	Χωρητικότητα (m ³)	Υψόμετρο (m)
1	Νεκροταφείο	1,000	40	17	Μάρπησας	60	50
2	Αγ.Αναργύρων	800	140	18	Μάρπησας-Αγ.Αντώνιος	600	100
3	Αγ.Αρσένιος	200	180	19	Τζάνε	1,000	140
4	Πεταλούδες	30	190	20	Νικολαρά		
5	Καλαμαύκα	200	110	21	Δρυός 2	80	50

a/a	Θέση-Ονομασία	Χωρητικότητα (m ³)	Υψόμετρο (m)	a/a	Θέση-Ονομασία	Χωρητικότητα (m ³)	Υψόμετρο (m)
6	Καβάκι	200	130	22	Αγκαιριάς παλιά	180	210
7	Δήλιο	300	150	23	Αγκαιριάς νέα	100	
9	Νάουσσα – Αγ.Γεώργιος	500	60	24	Καμπί	100	130
10	Νάουσσα - Κανόνι	1,500	120	25	Μαραθάκι	150	180
12	Κώστου (Προφ. Ηλίας)	200	220	26	Χωριουδάκι	200	180
13	Λευκών στρογγυλή	700	130	27	Αγ. Υπακοή	1200	230
14	Λευκών πάνω	60	260	28	Λογγοβάρδα		
15	Άσπρο Χωριό	150	190	29	Κοντογιώργη		
16	Προδρόμου	600	175				

Το Σχήμα 10 απεικονίζει τα δίκτυα των Δ.Δ. Παροικιάς, Κώστου και Λευκών. Η υδροδότηση της Παροικιάς πραγματοποιείται από γεωτρήσεις της ευρύτερης περιοχής (Παναγίτσα, Χιώτης κ.α.) και από γεωτρήσεις άλλων Δημοτικών Διαμερισμάτων, ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια της θερινής τουριστικής περιόδου. Το 65% περίπου των αναγκών καλύπτεται από τις γεωτρήσεις του στην περιοχή του Έλητα, Μαραθίου και Ξηροποτάμου μέσω των δεξαμενών των Αγίων Αναργύρων και του Νεκροταφείου τις γεωτρήσεις, το 25% από γεωτρήσεις στις περιοχές Κακάπετρα, Ψυχοπιανά – Καλαμαύκα και ένα 10% καλύπτεται από τις γεωτρήσεις του Κώστου (Δέκαθλον Α.Ε. και Λαγουδάκη Αναστασία, 2008).



Σχήμα 10. Δίκτυο Ύδρευσης Δ.Δ. Παροικιάς, Κώστου, και Λευκών

Η δεξαμενή στην περιοχή του Δήλιου η οποία τροφοδοτεί με νερό, εκτός από την ευρύτερη περιοχή και τις περιοχές Καμάρες και Νάουσα, ιδιαίτερα κατά τη θερινή περίοδο. Ο οικισμός

Καβάκι – Κακάπετρα έχει ανεξάρτητο δίκτυο το οποίο τροφοδοτείται από μία μόνο γεώτρηση δύσκολα επισκέψιμη. Ο οικισμός Αγίου Αρσενίου τροφοδοτείται από τις γεωτρήσεις Αγ. Αρσενίου και Βούλας μέσω των δεξαμενών Αγ. Αρσένιος και Πεταλούδες και η περιοχή Καλαμαύκα από τη γεωτρύση Καλαμαύκα.

Το Δημοτικό Διαμέρισμα Κώστου υδρεύεται από τις γεωτρήσεις Αστέρας, Φυστικιές, Μακαρόνι και Παρανταίς μέσω των δεξαμενών της Αγίας Υπακοής και Κώστου, ενώ δίνει μεγάλο ποσοστό της παραγόμενης ποσότητας στα Δημοτικά Διαμερίσματα της Παροικιάς και των Λευκών. Οι γεωτρήσεις Κοντογιώργης και Γαλατιανή καλύπτουν τις υδρευτικές ανάγκες οικισμών έξω από τον Κώστο μέσω της δεξαμενής Κοντογιώργη.

Το Δημοτικό Διαμέρισμα Λευκών υδρεύεται από δύο γεωτρήσεις μέσω των ομώνυμων δεξαμενών και κατά ένα ποσοστό από το δίκτυο του Κώστου. Στο Δημοτικό Διαμέρισμα των Λευκών ανήκει και ο οικισμός του Άσπρου Χωριού. Η υδροδότηση της περιοχής πραγματοποιείται από μια γεώτρηση στην περιοχή.

Στο παρελθόν ο οικισμός των Λευκών υδρευόταν από ένα σύστημα συλλογής νερού μέσω στοών, στους υπερκείμενους ορεινούς όγκους της περιοχής. Οι στοές συνδέονταν μεταξύ τους με αγωγούς σε σειρά, ο τελευταίος των οποίων υδροδοτούσε τον οικισμό. Το συλλεγόμενο νερό κάλυπτε τις υδρευτικές ανάγκες του πληθυσμού κατά τη χειμερινή περίοδο. Το σύστημα αυτό προβλέπεται να ξαναχρησιμοποιηθεί στο μέλλον, αφού υποστεί καθαρισμό (Δέκαθλον Α.Ε. και Λαγουδάκη Αναστασία, 2008).

Το Δημοτικό Διαμέρισμα Νάουσας υδρεύεται μέσω των δεξαμενών Νάουσα-Αγ.Γεώργιος και Κανόνι και από τις γεωτρήσεις Μπάλιου, Νικολή Σιφναίου, Χατζημιχάλη, Φανουρίου και Καντινελιές. Επίσης από το 2001 η περιοχή παίρνει νερό από μια μονάδα αφαλάτωσης, η οποία λειτουργεί κατά προτεραιότητα σε σχέση με τις γεωτρήσεις γιατί παλαιότερα, σε περιπτώσεις υπεράντλησης, είχε παρατηρηθεί υφαλμύρωση. Η δεξαμενή Λογγοβάρδας υδροδοτεί το ανατολικό κομμάτι του δημοτικού διαμερίσματος.

Το Δημοτικό Διαμέρισμα Αρχιλόχου υδρεύεται από τις γεωτρήσεις Μπάου και Κεφάλα μέσω της δεξαμενής του Προδρόμου. Το δίκτυο του Δημοτικού Διαμερίσματος Μάρπησας χωρίζεται σε δύο μέρη. Η Μάρπησσα και το Πίσω Λιβάδι υδρεύονται από τις δύο γεωτρήσεις του Αγ. Ιωάννη μέσω των δεξαμενών Μάρπησας και Αγίου Αντωνίου. Ο Δρυός και η Χρυσή Ακτή υδρεύονται από τις γεωτρήσεις στην περιοχή Μουγγού και συμπληρωματικά, κατά τη θερινή περίοδο από την ιδιωτική γεώτρηση Νικολαρά μέσω της δεξαμενής Τζάνε.

Στο παρελθόν για την ύδρευση του οικισμού του Δρυού χρησιμοποιούνταν και το νερό της ομώνυμης πηγής. Το πηγάδι παρείχε περίπου 900 m³/ημέρα και, μέσω αντλιοστασίου, τροφοδοτούσε τις δεξαμενές Δρυού και Τζάνες. Σε συνδυασμό με τη γεώτρηση κάλυπτε τις

υδρευτικές ανάγκες του οικισμού κατά το θέρος. Από τη στιγμή που παρουσιάστηκε σημαντική μικροβιακή μόλυνση του υδροφόρου ορίζοντα από τους βόθρους του οικισμού σταμάτησε η χρήση του. Στα άμεσα σχέδια είναι η εκτέλεση προγράμματος απολύμανσης του νερού με UV και μεταφορά ποσότητας περίπου 2,000 m³/ημέρα στον Αστέρα (Δέκαθλον Α.Ε. και Λαγουδάκη Αναστασία, 2008).

Η υδροδότηση της περιοχής του Δημοτικού Διαμερίσματος της Αγκαιριάς πραγματοποιείται από τρεις γεωτρήσεις που τροφοδοτούν τις δύο ομώνυμες δεξαμενές. Η υφάλμυρη γεώτρηση στον Συρίγο Ποταμό τροφοδοτεί την ευρύτερη περιοχή μέσω της δεξαμενής Καμπί.

Για την ορθότερη διαχείριση και διανομή του πόσιμου νερού ο Δήμος Πάρου σε συνεργασία με τη ΔΕΥΑΠ επιδιώκουν την προμήθεια, εγκατάσταση και θέση σε λειτουργία συστήματος τηλεελέγχου- τηλεχειρισμού και ελέγχου των διαρροών του δικτύου ύδρευσης Πάρου. Στόχος του συστήματος είναι η συνεχής παρακολούθηση και επίβλεψη σημαντικών παραμέτρων της λειτουργίας του συστήματος ύδρευσης (παροχή, πίεση, ηλεκτρική κατανάλωση κλπ), η συλλογή και αποθήκευση των σχετικών ιστορικών δεδομένων και η εκτέλεση χειρισμών για τον έλεγχο των ενεργών στοιχείων του συστήματος ύδρευσης (Ξαγοράρης, 2012).

4.3.4 Προσφορά και ζήτηση νερού

Η προσφερόμενη ποσότητα νερού για την κάλυψη των υδρευτικών και αρδευτικών αναγκών των κατοίκων του νησιού προέρχεται κυρίως από τις γεωτρήσεις. Το 2008 στην μελέτη "Ανάπτυξη συστημάτων και εργαλείων διαχείρισης Υδατικών Πόρων Υδατικού Διαμερίσματος Νήσων Αιγαίου" που πραγματοποίησε η Κ/Ε Υδατοσυστημάτων Αιγαίου με έτος αναφοράς το 2005, δεδομένα προσφοράς: 1985-2001 και δεδομένα ζήτησης: 2005 υπολογίστηκε η μέση ετήσια κάλυψη των υδρευτικών και αρδευτικών αναγκών. Ο υπολογισμός των υδρευτικών απαιτήσεων έγινε με μέση κατανάλωση 150 l/κατ/ημ, η οποία τους θερινούς μήνες προσαυξήθηκε κατά 50%.

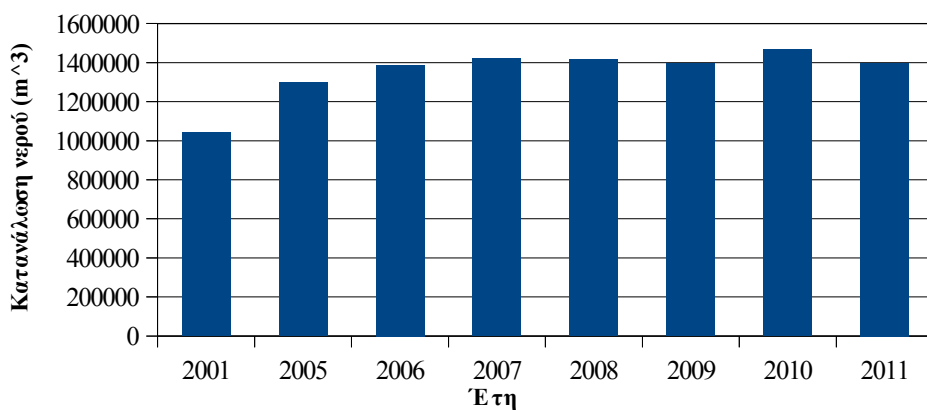
Για την περίπτωση της Πάρου η μελέτη έδειξε, όπως φαίνεται και στον Πίνακα 21, ότι οι υδρευτικές ανάγκες στο νησί καλύπτονται κατά 87.05% από τα υπόγεια νερά και 12.41% από τις αφαλατώσεις, ενώ οι αρδευτικές ανάγκες καλύπτονται εξ'ολοκλήρου από τα υπόγεια νερά. Το συνολικό έλλειμμα ύδρευσης και άρδευσης ανέρχεται στο 1,6%. Αξιοσημείωτο είναι ότι η Πάρος παρουσιάζει μικρότερο ποσοστό συνολικού ελλείμματος από άλλα νησιά των Κυκλάδων, όπως η Μύκονος -Δήλος όπου το συνολικό έλλειμμα αγγίζει το 24,3%, η Σίφνος με συνολικό έλλειμμα 16,8% κ.α.

Με βάση καταγεγραμμένα στοιχεία της ΔΕΥΑΠ η κατανάλωση νερού ύδρευσης στην Πάρο (Σχήμα 11) το 2001 ανήλθε στα 1,040,045 m³ νερού και το 2011 στα 1,398,711 m³ νερού, παρουσιάζοντας αύξηση 26%, που οφείλεται στην αύξηση της ζήτησης σε νερό ύδρευσης.

Χαρακτηριστικό είναι ότι από το 2006 έως και το 2011 η κατανάλωση του νερού παραμένει περίπου στα ίδια επίπεδα τιμών (1,404,349 m³ το έτος), με εξαίρεση το 2010, όπου άγγιξε τα 1,467,097 m³.

Πίνακας 21. Κάλυψη Υδρευτικών και Αρδευτικών Αναγκών ανά Είδος Προσφοράς (Κ/Ξ Υδατοσυστημάτων Αιγαίου, 2008)

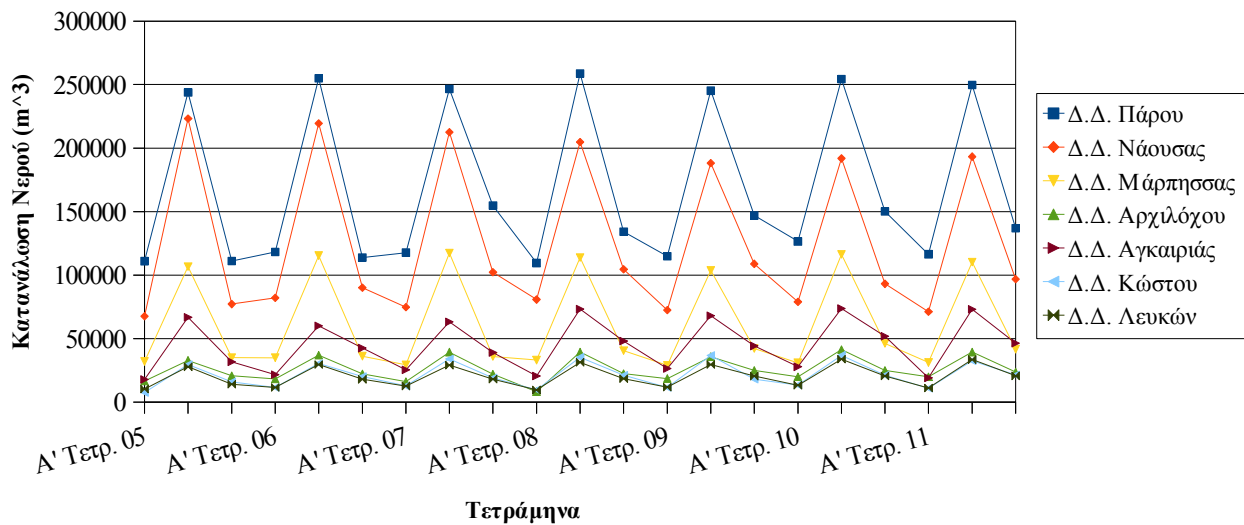
Υδρευση								
Αφαιλά τώσεις %	Μεταφερόμενες Ποσότητες (%)	Ταμιευτήρες (%)	Υπόγεια (%)	Κάλυψη Υδρευσης (%)	Υδρευτική Απαίτηση (m ³)	Έλλειμμα Υδρευσης (%)	Πληθυσμός 2001	Ετήσιες Διανυκτερεύσεις 2001
12.41	-	-	87.05	99.46	1,675,267	2.5	12,853	891,449
Αρδευση								
Αφαιλά τώσεις %	Μεταφερόμενες Ποσότητες (%)	Ταμιευτήρες (%)	Υπόγεια (%)	Κάλυψη Αρδευσης (%)	Αρδευτική Απαίτηση (m ³)	Έλλειμμα Αρδευσης (%)	Έκταση (στρέμματα)	
-	-	-	97.46	97.46	1,786,366	0.5	3,561	
Σύνολο								
					Συνολικές Απαιτήσεις (m ³)	Συνολικό Έλλειμμα (%)		
					3,751,605	1.6		



Σχήμα 11. Συνολική Κατανάλωση Νερού Υδρευσης 2001-2011 (ΔΕΥΑΠ, 2012)

Τα περισσότερα κυβικά νερού καταναλώνονται ουσιαστικά στο τετράμηνο του Μαΐου-Σεπτεμβρίου λόγω της έντονης εποχικότητας στη ζήτηση λόγω τουρισμού. Όπως παρατηρούμε και από το Σχήμα 12, τη θερινή περίοδο η κατανάλωση νερού διπλασιάζεται σε σχέση με τη χειμερινή περίοδο. Είναι αξιοσημείωτο ότι τον Αύγουστο η κατανάλωση του νερού αγγίζει τα 18,500 m³/ημ (Φραγκούλης Στ., 2012). Από όλα τα Δημοτικά Διαμερίσματα η Παροικιά και η Νάουσα εμφανίζουν την μεγαλύτερη κατανάλωση σε νερό λόγω μεγαλύτερου μόνιμου πληθυσμού αλλά

κυρίως λόγω του έντονου τουριστικού χαρακτήρα τους, αφού αποτελούν τους κύριους τουριστικούς προορισμούς στην Πάρο.



Σχήμα 12. Ενδοετήσια Διακύμανση Κατανάλωσης Νερού Ύδρευσης (ΔΕΥΑΠ., 2012)

4.3.5 Ποιότητα υδατικών πόρων νήσου Πάρου

Οι υπόγειοι υδροφορείς, εξαιτίας της σημαντικής συνεισφοράς τους στην κάλυψη των υδατικών αναγκών των νησιού, τις περισσότερες φορές υφίστανται υπερεκμετάλλευση, πράγμα που έχει ως αποτέλεσμα την ποιοτική υποβάθμιση των νερών τους εξαιτίας της διεισδύσεως της θάλασσας. Επιπλέον, η λειτουργία των βόθρων σε ορισμένες περιπτώσεις δημιουργεί προβλήματα μικροβιακής ρύπανσης καθιστώντας το νερό ακατάλληλο για κατανάλωση.

Για τη μελέτη της ποιότητας των υδατικών πόρων της Πάρου χρησιμοποιήθηκαν οι χημικές αναλύσεις που πραγματοποίησε το ΙΓΜΕ στα πλαίσια του Β' ΚΠΣ και Γ' ΚΠΣ και κατασκευάστηκαν τα υδροχημικά διαγράμματα που ακολουθούν παρακάτω.

Στα πλαίσια των εργασιών του Υποέργου 7 "Αξιολόγηση Υδατικών Πόρων Αιγαίου", και με σκοπό την παρακολούθηση της εξέλιξης της ποιοτικής και ποσοτικής κατάστασης στα διάφορα υδροσυστήματα, που προσδιορίστηκαν στο Υδατικό Διαμέρισμα του Αιγαίου (Υ.Δ. 14) πραγματοποιήθηκε σημαντικός αριθμός περιοδικών μετρήσεων σε διάφορα Σημεία Εμφάνισης Ύδατος (γεωτρήσεις, πηγές, φρέατα) (Γιαννουλόπουλος και Λάππας, 2010). Τα Σημεία Εμφάνισης Ύδατος για την Πάρο, απεικονίζονται στο Χάρτη 6 και περιλαμβάνουν 59 γεωτρήσεις, 8 πηγές και 3 φρέατα.

Την περίοδο 2005-2007 πραγματοποιήθηκαν 103 χημικές αναλύσεις σε 39 γεωτρήσεις, 9 πηγές

και 1 πηγάδι για 37 φυσικοχημικές παραμέτρους. Από το Σχήμα 13 διαπιστώνουμε ότι τα υπόγεια νερά της Πάρου βρίσκονται πάνω στη γραμμή συντηρητικής μίξης, με το γενικό υδροχημικό τύπο να είναι $Mg - SO_4$ έως $Na - Cl$, σε περιοχές με έντονη υφαλμύρωση. Όπως φαίνεται και στο Χάρτη 7 κατανομής κύριων ιόντων σε διαγράμματα πίτας, σε περιοχές βόρεια (Νάουσα) και νοτιοδυτικά του νησιού παρατηρείται υψηλή συγκέντρωση διαλυμένων αλάτων, εξαιτίας κυρίως της αυξημένης περιεκτικότητας σε ιόντα νατρίου και χλωρίου (Χάρτης 8), ως αποτέλεσμα της υφαλμύρωσης, με συνέπεια τα υπόγεια νερά να χαρακτηρίζονται ως υφάλμυρα. Θεωρούνται νερά υψηλού κινδύνου αλατότητας και χαμηλού κινδύνου αλκαλίωσης (Σχήμα 16), ενώ άλλο ένα χαρακτηριστικό τους είναι ότι βρίσκονται υπερκορεσμένα σε ανθρακικό ασβέστιο (Σχήμα 15).

Εμφανίζονται αυξημένες σχετικά τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας, ιόντων χλωρίου (Cl), νατρίου (Na) και καλίου (K), πέραν των επιτρεπτών ορίων για ανθρώπινη κατανάλωση, ως συνέπεια ανάμιξης αλμυρού και γλυκού νερού σε προσχωματικές λεκάνες, που έχουν άμεση υδραυλική επικοινωνία με τη θάλασσα. Τέλος, τοπικά παρατηρείται υπέρβαση της ενδεικτικής τιμής σε σίδηρο (Fe) και της παραμετρικής τιμής σε μαγγάνιο (Mn), νικέλιο (Ni), σελήνιο (Se) και αργίλιο (Al), εξαιτίας των σχιστολιθικών πετρωμάτων του νησιού (Γιαννουλόπουλος και Λάππας, 2010).

Την περίοδο 1998-2000 το ΙΓΜΕ στα πλαίσια του Β' Κοινοτικού Πλαισίου Στήριξης πραγματοποίησε 58 χημικές αναλύσεις σε 17 γεωτρήσεις και 5 πηγές για 11 φυσικοχημικές παραμέτρους. Η απεικόνιση των αποτελεσμάτων των χημικών αναλύσεων σε διαγράμματα Piper και Expanded Durog (Σχήμα 17) δείχνει ότι ορισμένα δείγματα βρίσκονται πάνω στη γραμμή συντηρητικής μίξης και άλλα έχουν επηρεαστεί από τη διείσδυση του θαλασσινού νερού. Χαρακτηρίζονται από τους υδροχημικούς τύπους $Ca^{2+}-HCO_3^-$, $Ca^{2+}-Mg^{2+}-HCO_3^-$, Na^+-Cl^- και $Na^+-Ca^{2+}-Mg^{2+}-Cl^-$. Στο Χάρτη 9 κατανομής κύριων ιόντων φαίνεται ότι τα υπόγεια νερά και οι πηγές στην ευρύτερη περιοχή της Νάουσας και στη νοτιοδυτική πλευρά του νησιού παρουσιάζουν υψηλή συγκέντρωση αλάτων, λόγω της υφαλμύρωσης.

Το 1998 ο Χαρμανίδης στη μελέτη "Υδροχημικά χαρακτηριστικά των υπογείων νερών των νησιών του Κυκλαδίτικου Συμπλέγματος (παράδειγμα: Σύρος, Τήνος, Πάρος, Αντίπαρος)" που συντάχθηκε με βάση τις φυσικοχημικές αναλύσεις που πραγματοποίησε το ΙΓΜΕ κατά την περίοδο 1992-1994, ταξινομεί τα νερά ανάλογα με το σύνολο διαλυμένων αλάτων και την ηλεκτρική αγωγιμότητα σε τρεις ομάδες, όπως φαίνεται και στον Πίνακα 22. Η κατάταξη σε τρεις υδροχημικές ομάδες προκύπτει από δύο ουσιώδεις υδρογεωλογικούς παράγοντες:

- επικράτηση των καρστικών υδροφόρων σε περιβάλλον ανθρακικό (μάρμαρα)
- ρύπανση, περισσότερο ή λιγότερο σημαντική, από το νερό της θάλασσας

Από τις χημικές αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν διαπιστώθηκε ότι τα νερά κατατάσσονται σε δύο γενικούς υδροχημικούς τύπους: όξινο ανθρακικά-ασβεστούχα και νατριο-χλωριούχα.

Τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων έδειξαν ότι καρστικοί υδροφορείς της Πάρου έχουν τελείως διαφορετικό χημισμό σε σχέση με τα υπόλοιπα νησιά, ιδιαίτερα σε ότι αφορά γεωτρήσεις μεγάλης παροχής και σημαντικής ετήσιας απόληψης νερού, οι οποίες δεν επηρεάστηκαν από τη θαλάσσια διείσδυση. Οι υδροφορείς καρστικοί ή όχι, που υπόκεινται σε υπερβολική άντληση, παρουσιάζουν σε μικρό χρονικό διάστημα επιστροφή στην κατάσταση δυναμικής ισορροπίας γλυκού και αλμυρού νερού. Επιπλέον, διαπιστώθηκε ότι ο χημισμός των νερών των σημείων ύδατος που βρίσκονται πλησίον της θάλασσας είναι νατριο-χλωριούχα, ενώ αυτά που βρίσκονται στην ενδοχώρα όξινο ανθρακικό-ασβεστιούχα (Χαρμανίδης, 1998).

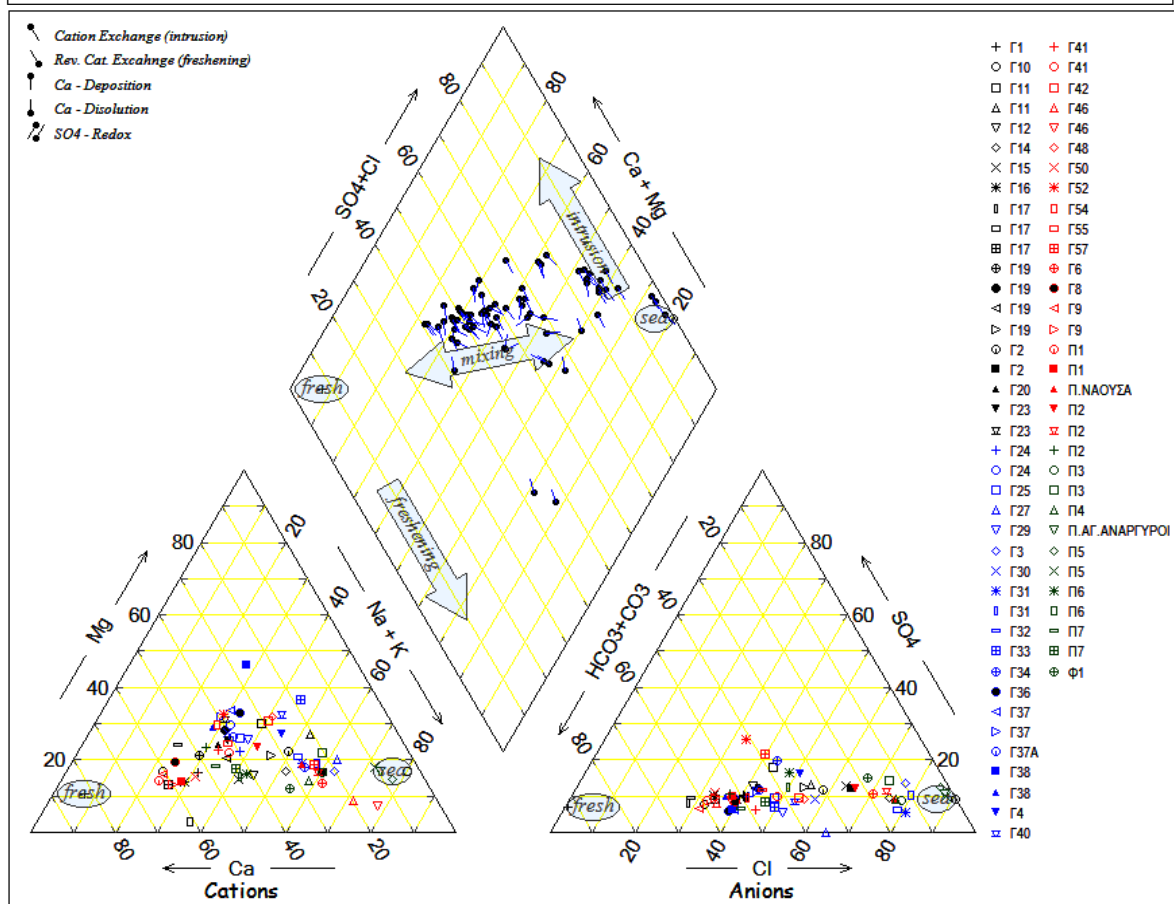
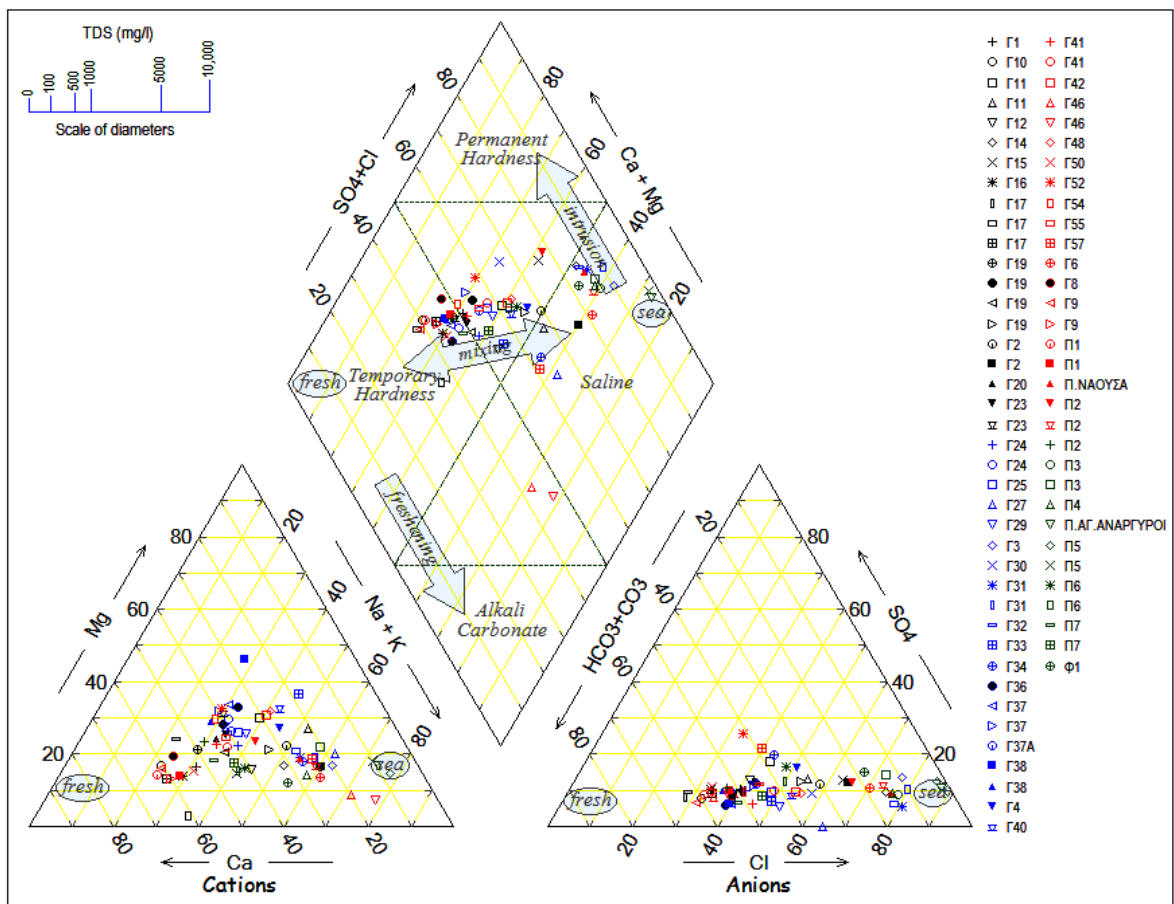
Αξιοσημείωτο είναι ότι από τις γεωτρήσεις του Πίνακα 22 το Μαράθι 1, Μαράθι 2, Αγκαιριά, Τούρλος, Καντινελιά και Συρίγος παραμένουν ακόμα ενεργές και χρησιμοποιούνται από τη ΔΕΥΑΠ, ενώ η γεώτρηση Μάγκανο είναι ανενεργή τα τελευταία χρόνια λόγω της αυξημένης αλατότητας της.

Πίνακας 22 . Υδροχημικές Ομάδες (Χαρμανίδης, 1998)

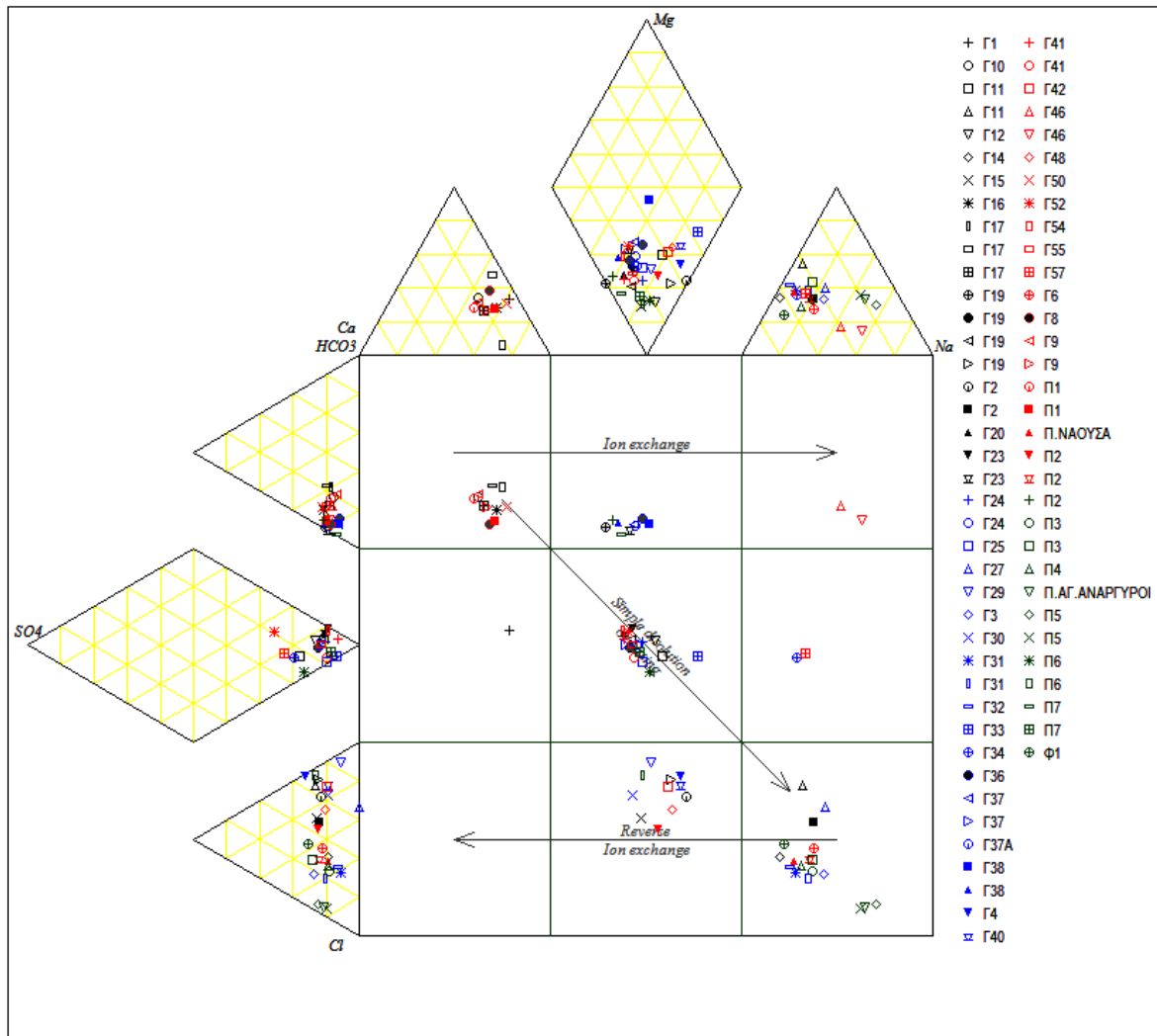
	Γεωτρήσεις	Γεωλογία	Τύπος Νερού	Θαλάσσια Ρύπανση	TDS (mg/l)	E.C. (25°C, μS/cm)
1η Ομάδα	Μαράθι 1	Καρστικοποιημένα μάρμαρα	Όξινο ανθρακικό-ασβεστιούχο	Καμμία	580	820
	Βουνάλες	Καρστικοποιημένα μάρμαρα	Όξινο ανθρακικό-ασβεστιούχο	Καμμία	653	835
	Μαράθι 2	Καρστικοποιημένα μάρμαρα	Όξινο ανθρακικό-ασβεστιούχο	Καμμία	553	650
	Αγκαιριά	Καρστικοποιημένα μάρμαρα	Όξινο ανθρακικό-ασβεστιούχο	Καμμία	590	850
	Τούρλος	Καρστικοποιημένα μάρμαρα	Όξινο ανθρακικό-ασβεστιούχο	Καμμία	550	805
2η Ομάδα	Παρασπόρος	Χαλαζιακοί σχιστόλιθοι με εναλλαγές καρστικοποιημένων μαρμάρων	Νάτριο-χλωριούχο	Μέτρια	1032	1650
	Καντινελιά	Σχιστόλιθοι με εναλλαγές καρστικοποιημένων μαρμάρων	Νάτριο-χλωριούχο	Μέτρια	1037	1510
3η Ομάδα	Συρίγος	Καρστικοποιημένα μάρμαρα	Νάτριο-χλωριούχο	Μεγάλη	1976	3640
	Μάγκανο	Καρστικοποιημένα μάρμαρα	Μαγνήσιο-νάτριο-χλωριούχο	Μεγάλη	6411	10830
	Πηγές					
1η Ομάδα	Πεταλούδες	Αποσαθρωμένος μανδύας σχιστ.- χαλαζιακοί σχιστόλιθοι	Όξινο ανθρακικό-ασβεστιούχο.	Μικρή	657	925
	Δρυός	Καρστικοποιημένα μάρμαρα-σχιστόλιθοι	Όξινο ανθρακικό-ασβεστιούχο.	Μικρή	700	1050
2η Ομάδα	Νάουσα	Καρστικοποιημένα μάρμαρα-σχιστόλιθοι	Νάτριο-χλωριούχο	Μεγάλη	1576	2750



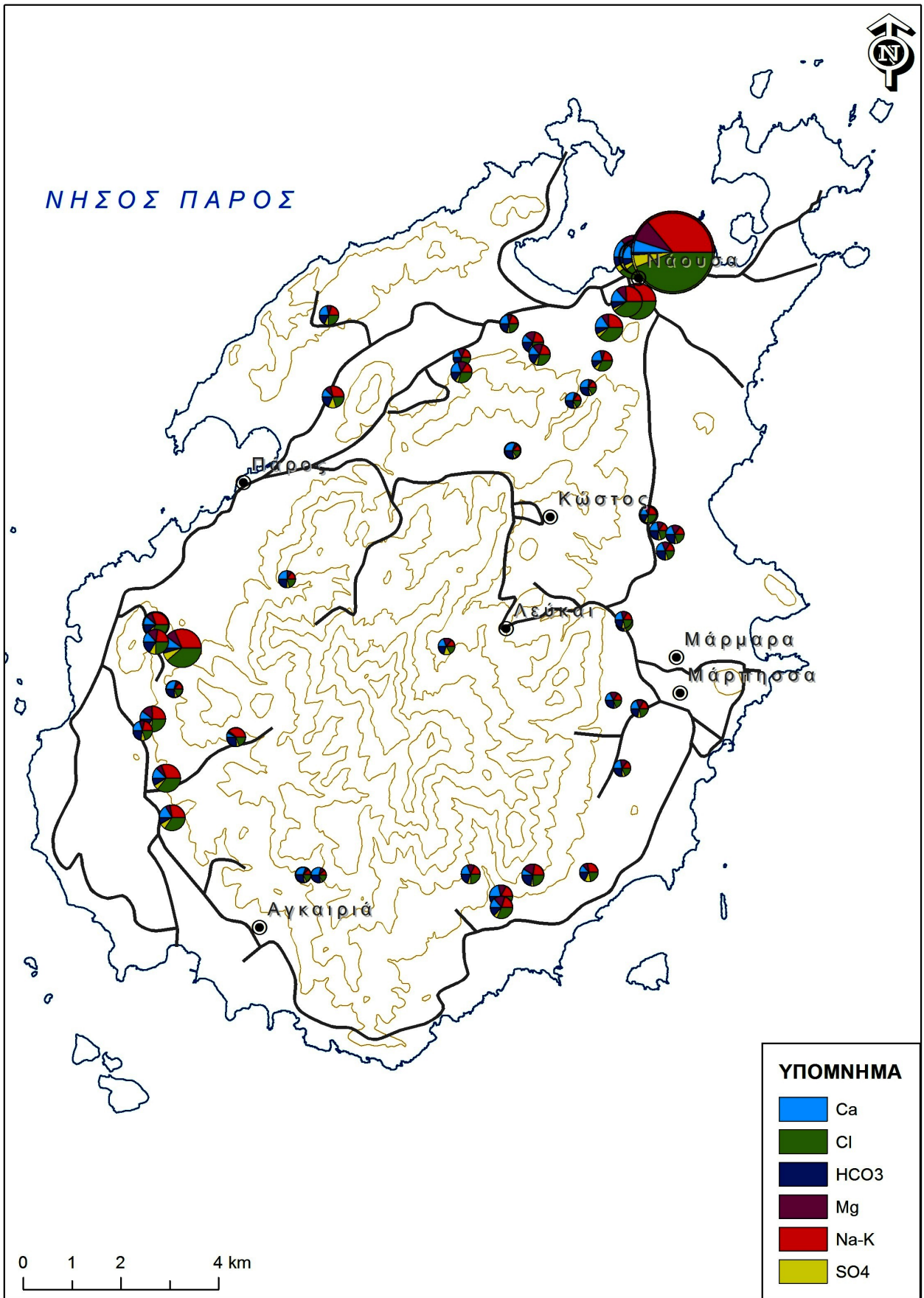
Χάρτης 6. Σημεία Εμφάνισης Ύδατος (Γιαννουλόπουλος και Λάππας, 2010)



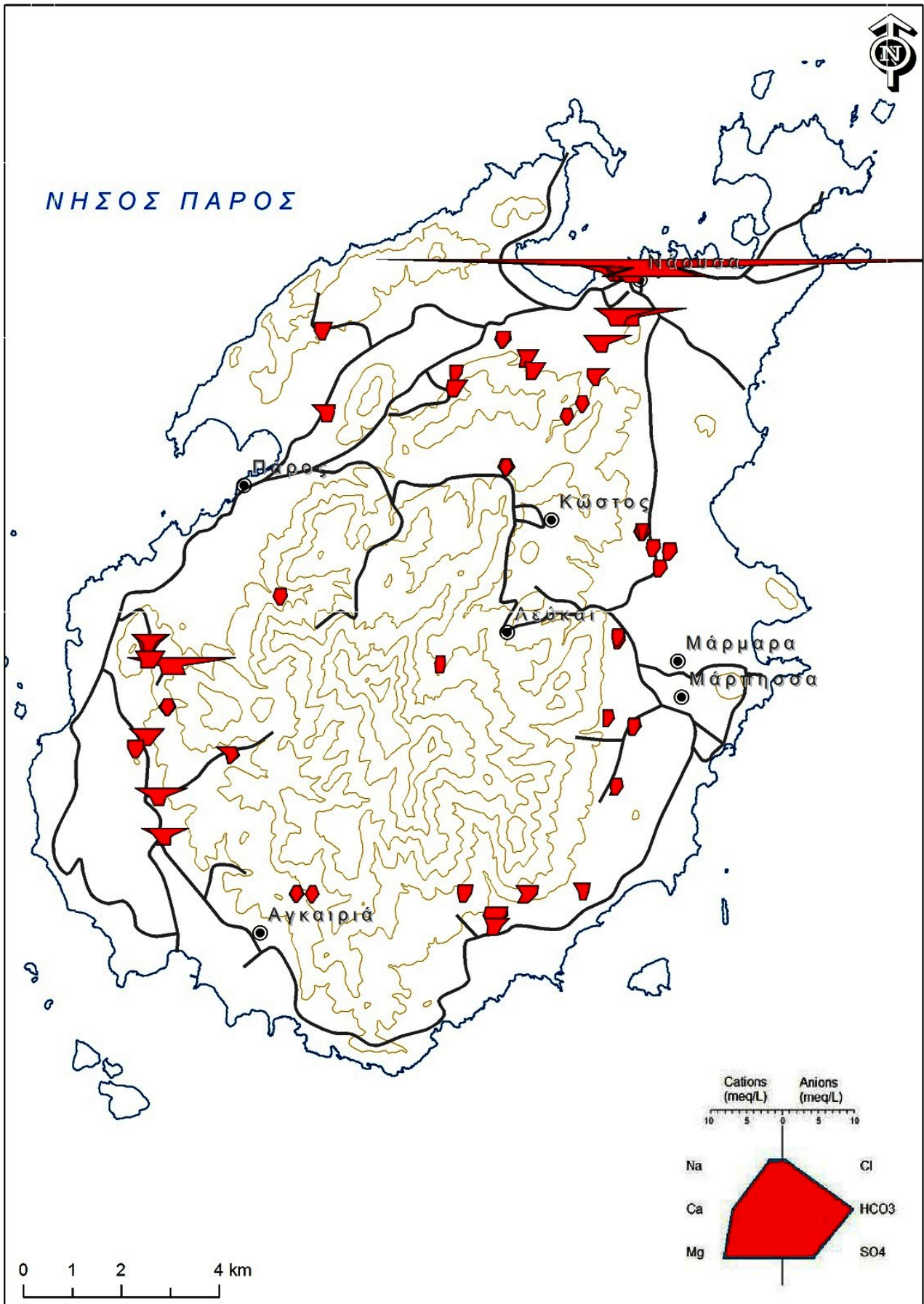
Σχήμα 13. Διαγράμματα Piper και Piper Mix περιόδου 2005-2007



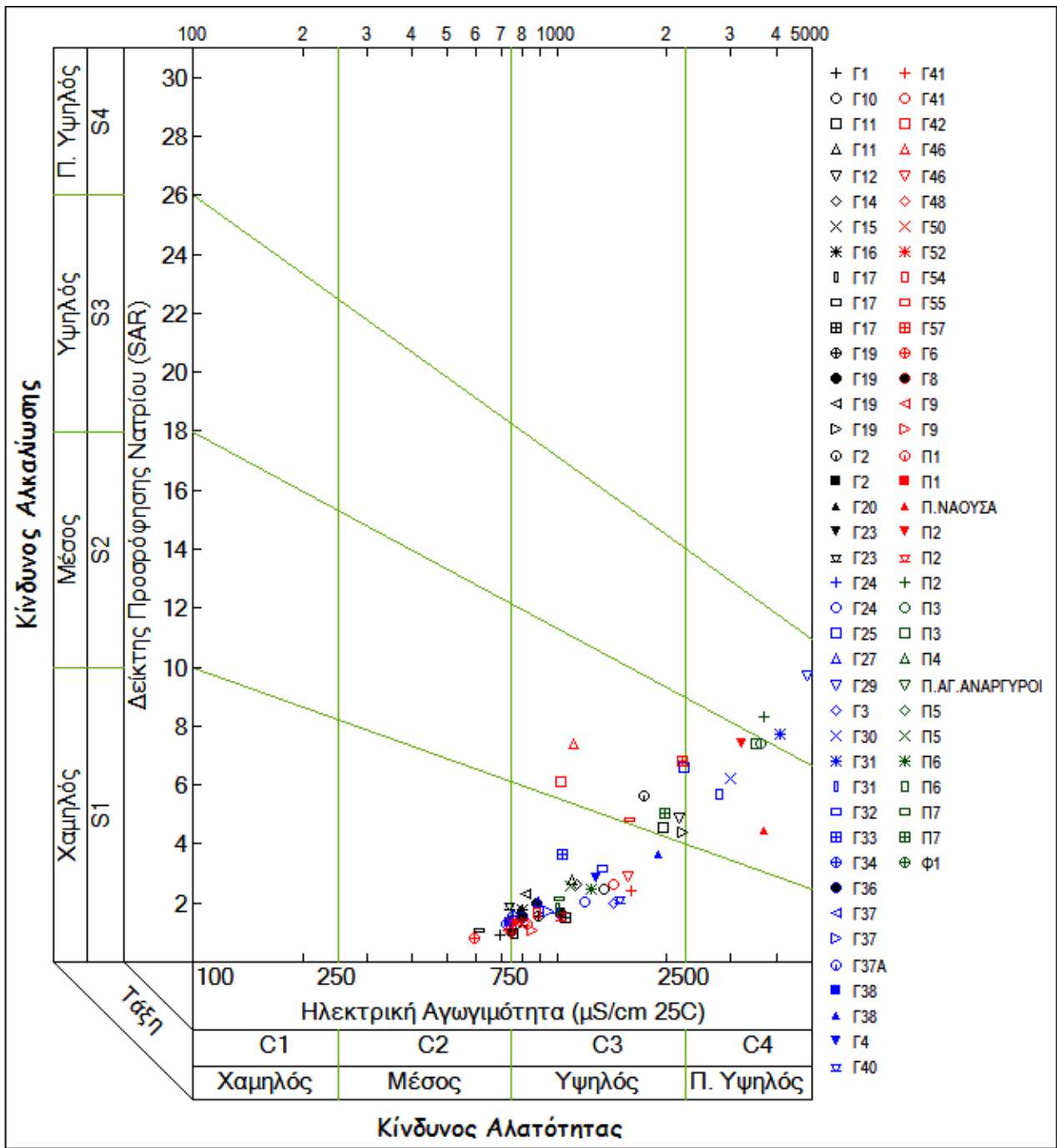
Σχήμα 14. Διάγραμμα Expanded Duiron περιόδου 2005-2007



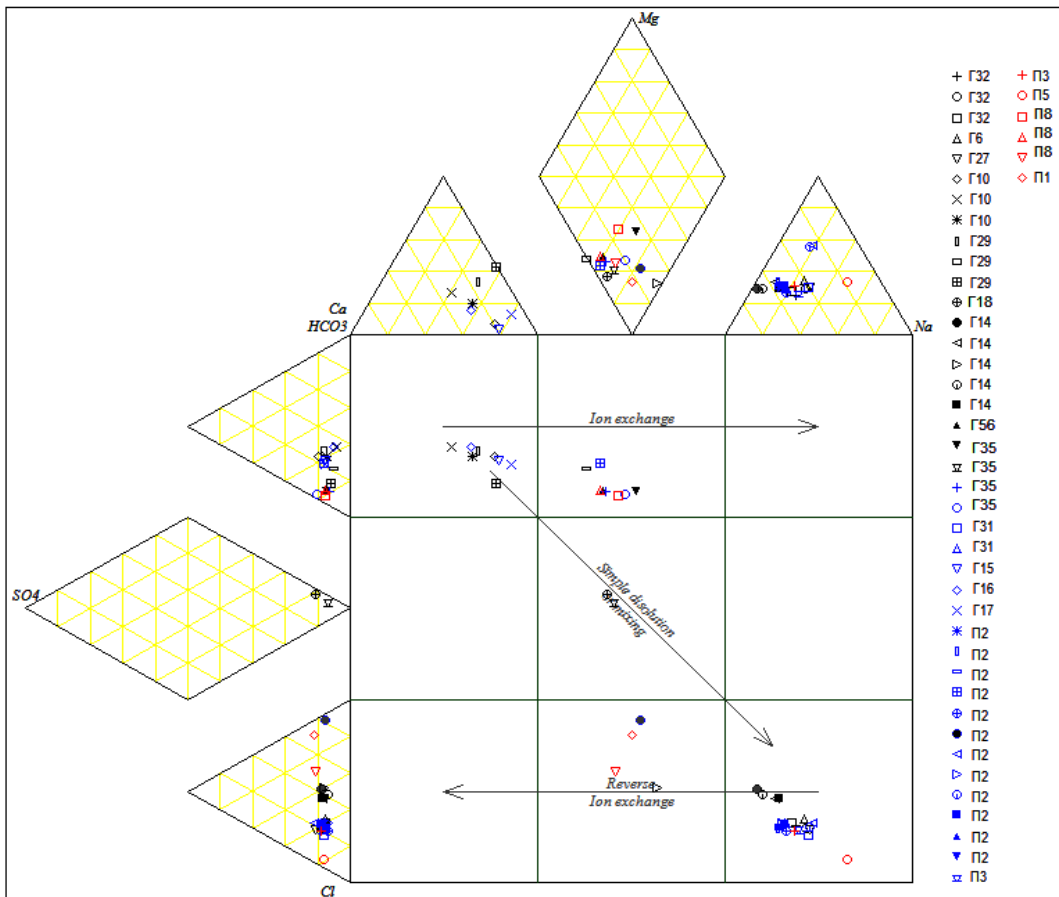
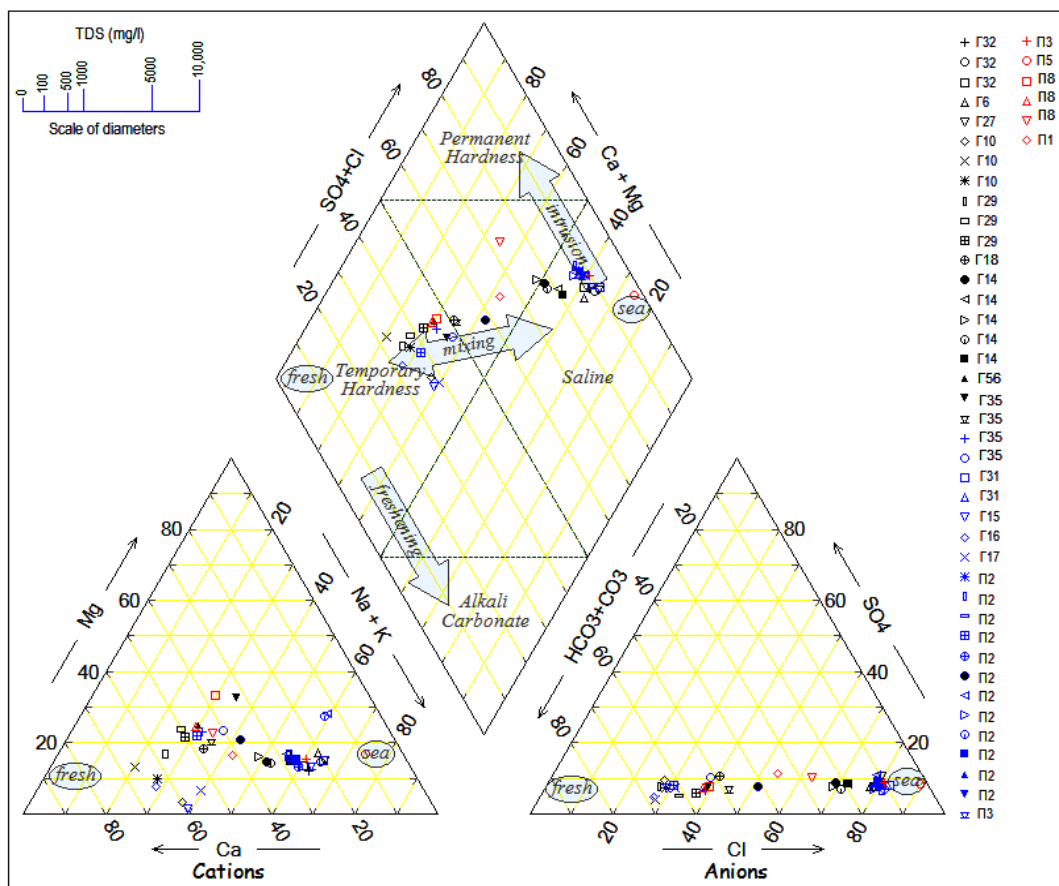
Χάρτης 7. Κατανομή Κύριων Ιόντων σε διαγράμματα Πίτας περιόδου 2005-2007



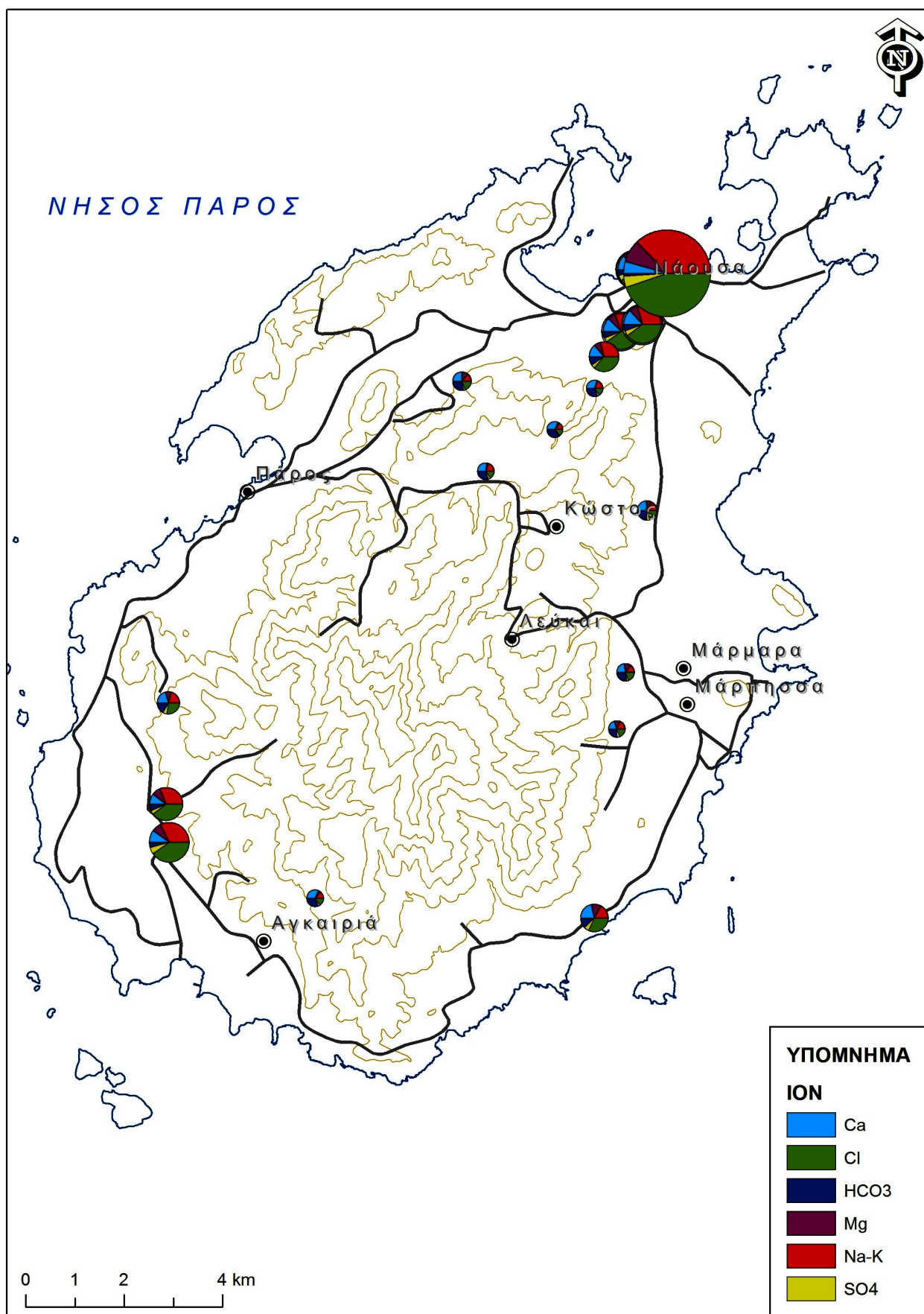
Χάρτης 8. Κατανομή Κύριων Ιόντων σε διαγράμματα Stiff περιόδου 2005-2007



Σχήμα 16. Σύστημα Ταξινόμησης κατά U.S. Salinity Laboratory Staff περίοδου 2005-2007



Σχήμα 17. Διαγράμματα Piper και Expanded Durov περιόδου 1998-2000

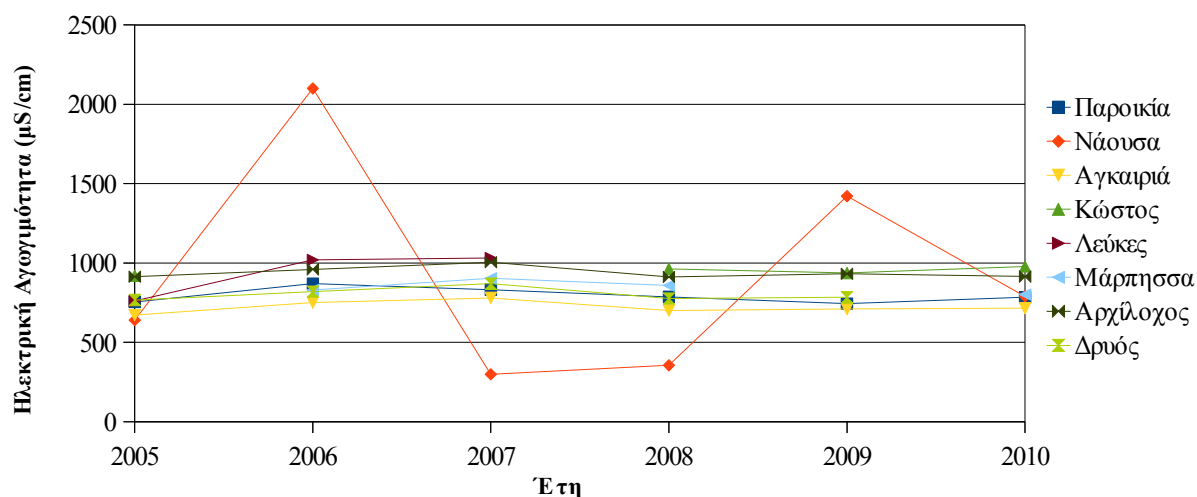


Χάρτης 9. Κατανομή Κύριων Ιόντων σε διαγράμματα Πίτας περιόδου 1998-2000

4.3.6 Έλεγχος ποιότητας νερού ύδρευσης

Υπεύθυνος φορέας για τον έλεγχο ποιότητας του νερού ύδρευσης είναι η ΔΕΥΑΠ. Το νερό πριν τη διανομή του στο δίκτυο απολυμαίνεται με τη μέθοδο της χλωρίωσης. Από το 2005 καθιερώθηκε επί μονίμου βάσεως η ποιοτική παρακολούθηση του νερού με χημικές και μικροβιολογικές εξετάσεις με συνεργασία υπευθύνων υγειονομικού και χημικού ελέγχου με τα αντίστοιχα κρατικά εργαστήρια δημόσιας υγείας, έτσι όπως ορίζει η ΚΥΑ. Υ2/2600/2001. Η ΔΕΥΑΠ συνεργάζεται με ιατρό υγειονολόγο καθώς και με χημικό για τη συνεχή παρακολούθηση της ποιότητας του νερού. Οι μικροβιολογικές παράμετροι εξετάζονται περίπου εννιά φορές το χρόνο για τα Δημοτικά Διαμερίσματα της Παροικιάς και της Νάουσας, όπου έχουμε και τη μεγαλύτερη κατανάλωση νερού, ενώ για τα υπόλοιπα περίπου τέσσερις φορές το χρόνο. Πλήρης χημική ανάλυση πραγματοποιείται μία φορά το χρόνο (ΔΕΥΑΠ, 2011).

Σύμφωνα με στοιχεία της ΔΕΥΑ Πάρου την περίοδο 2005-2010, από τις παραμέτρους που εξετάστηκαν, προκύπτει ότι το νερό ύδρευσης πληρεί τις προϋποθέσεις της ΚΥΑ Υ2/2600/2001 για την ποιότητα του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης. Η αγωγιμότητα, όπως φαίνεται στο Σχήμα 18 δεν παρουσιάζει έντονες μεταβολές στις περισσότερες περιοχές και κυμαίνεται μεταξύ 672-1031 $\mu\text{S}/\text{cm}$, εκτός από την περιοχή της Νάουσας, όπου το νερό του δικτύου αποτελεί μίξη των νερών των γεωτρήσεων και της αφαλάτωσης. Οι συγκεντρώσεις των νιτρικών κυμαίνονται από 1.32-25.10 mg/l , ενώ από τα μέταλλα ανιχνεύσιμα ήταν μόνο ο σίδηρος με συγκεντρώσεις 4.6-49.2 $\mu\text{g}/\text{l}$ και σπανιότερα το μαγγάνιο (0.5-9 $\mu\text{g}/\text{l}$). Μικρόβια-δείκτες κοπρανώδους μόλυνσης δεν ανιχνεύτηκαν την περίοδο 2005-2010.



Σχήμα 18. Διακύμανση Ηλεκτρικής Αγωγιμότητας του Νερού Ύδρευσης την περίοδο 2005-2010 (ΔΕΥΑΠ, 2011)

Την περίοδο αυτή το νερό ύδρευσης εμφανίζει υψηλή σκληρότητα που φτάνει μέχρι τα 408

mgCaCO₃/l, χαρακτηρίζοντας το νερό από σκληρό έως πολύ σκληρό. Πρέπει να τονίσουμε ότι στην ΚΥΑ Υ2/2600/2001, δεν αναφέρεται όριο για την σκληρότητα του νερού. Η υψηλή συγκέντρωση των αλάτων του ασβεστίου και του μαγνησίου έχει ως αποτέλεσμα να εμφανίζονται αποθέσεις αυτών κυρίως στις δεξαμενές και στις υπέργειες σωληνώσεις του δικτύου ύδρευσης (Ξαγοράρης, 2012), φαινόμενο που εντείνεται την καλοκαιρινή περίοδο, όπου επικρατούν υψηλές θερμοκρασίες, καθώς και στα μέρη του δικτύου ύδρευσης που το νερό παραμένει στάσιμο.

4.3.7 Πιεζομετρική στάθμη υπόγειων υδροφόρων

Ο Μαρκαντωνάτος στην έκθεση "Επισήμανση προβλημάτων ύδρευσης – αποχέτευσης Ν. Πάρου και προσδιορισμός αναγκαίων έργων για την ολοκλήρωση των υποδομών" (2001) αναφέρει ότι το πρόβλημα της εξασφάλισης πόσιμου νερού κατά τους θερινούς μήνες έχει επιδεινωθεί σημαντικά την τελευταία 10ετία λόγω της συνεχώς αυξανόμενης ζήτησης σαν επακόλουθο της υψηλής τουριστικής κίνησης. Η υδροληψία νερού στην Πάρο εξασφαλίζεται από ένα σημαντικό αριθμό γεωτρήσεων που εκμεταλλεύονται τις κύριες υδρογεωλογικές λεκάνες του νησιού, στις οποίες όμως λόγω της παρατεταμένης ανομβρίας δεν αναπληρώνονται επαρκώς τα υδάτινα αποθέματα κατά τη χειμερινή περίοδο. Η παραπάνω κατάσταση έχει οδηγήσει την τελευταία 10ετία σε σταδιακή πτώση της πιεζομετρικής στάθμης του υπόγειου υδροφόρου στις εντατικά εκμεταλλεόμενες υδρογεωλογικές λεκάνες, όπως του Μαραθίου, της Νάουσας και του Δρυού, στην σταδιακή υφαλμύρυνση των υπόγειων νερών που γειτνιάζουν με τη θάλασσα, όπως στις περιοχές Νάουσας, Αλυκής, Μάγγανου, κλπ, καθώς και στη μείωση της παροχής των πηγών, όπως της Νάουσας και του Δρυού καθώς και στην «ξήρανση» αρκετών γεωτρήσεων όπως εκτεταμένα παρατηρήθηκε κατά το θέρος του 2000.

Στον Πίνακα 23 παρουσιάζονται τα βάθη άντλησης υδρογεωτρήσεων και πηγαδιών, έτσι όπως καταγράφηκαν από το ΙΓΜΕ στα πλαίσια του Γ' ΚΠΣ και το 2010 από τη ΔΕΥΑΠ. Δυστυχώς, η έλλειψη συστηματικών μετρήσεων στάθμης στις γεωτρήσεις δυσχεραίνει την οργάνωση των δεδομένων και τη διεξαγωγή συμπερασμάτων. Όπως παρατηρούμε στα περισσότερα σημεία νερού το βάθος άντλησης αυξάνεται τον Οκτώβριο εξαιτίας της μεγάλης κατανάλωσης νερού τη θερινή περίοδο λόγω του τουρισμού, της ανομβρίας καθώς και της υπόγειας απορροής προς τα κατάντη.

Πίνακας 23. Βάθη Άντλησης Γεωτρήσεων 2005-2010 (ΙΓΜΕ, 2010 , ΔΕΥΑΠ, 2012)

Γεώτρηση	Μάι-05	Ιούν-05	Οκτ-05	Ιούλ-06	Μάρτ-07	Οκτ-07	Οκτ-08	Μαρ-10
Γ1	42.73				65.44		56.21	
Γ2	40.11			41.40	41.51	42.02	41.00	
Γ3	98.43				102.09	121.25	143.30	

Γεώτρηση	Μάι-05	Ιούν-05	Οκτ-05	Ιούλ-06	Μάρτ-07	Οκτ-07	Οκτ-08	Μαρ-10
Γ4	4.04						2.48	
Γ5	26.37						28.80	
Γ6				71.35				
Γ7	135.87						135.47	
Γ8				141.84	142.60		142.31	133
Γ9				62.70			139.82	
Γ10						167.95		
Γ11						71.36	74.89	
Γ13	40.15						38.49	
Γ14				23.30	23.94	24.75	26.12	23.1
Γ16	71.41				75.02		74.85	
Γ18					24.41		38.42	
Γ19								
Γ20	17.67					22.08	19.15	
Γ21	26.03				29.38	30.51	36.42	
Γ22							39.65	
Γ23	13.62				16.75	17.90		15
Γ24	23.38			31.50		29.20		
Γ25								172.85
Γ26	172.92				172.88	172.90	172.32	
Γ27					65.64	65.52	54.90	
Γ28		6.96					12.96	
Γ29		38.10					41.44	
Γ30		65.26						
Γ31					37.62	37.17		
Γ32		15.93				17.40		
Γ33		81.11					78.14	
Γ34		18.96			19.37	23.10	8.65	18.8
Γ35		42.04					50.55	
Γ36		50.53						
Γ37					38.40	47.38		
Γ38						56.71		
Γ39		23.94			35.52		31.66	
Γ40							63.96	
Γ41		76.97			77.16	77.06		
Γ42							67.05	
Γ43		57.63			54.91	45.55	53.02	
Γ44		133.61			137.55	142.40	145.02	
Γ45							135.65	

Γεώτρηση	Μάι-05	Ιούν-05	Οκτ-05	Ιούλ-06	Μάρτ-07	Οκτ-07	Οκτ-08	Μαρ-10
Γ46		102.39			102.19	102.05	101.31	
Γ47		155.44			155.65	155.62	155.86	
Γ48							69.73	
Γ49			114.30		115.80	118.08	114.02	
Γ50			63.90		64.75	66.02	59.08	
Γ51					4.08			17.08
Γ52			39.80				45.80	30
Γ53			35.79		38.60	43.72	37.78	
Γ54			30.62	26.90		40.22		
Γ56							77.84	
Γ57			7.20			5.63	5.66	
Φ1		6.93			6.76	10.34	10.07	
Φ3					7.39		6.69	

Κεφάλαιο 5. Αποτελέσματα

5.1 Αποτελέσματα Χημικών Αναλύσεων

Στον Πίνακα 24 δίνονται τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων για 19 φυσικοχημικές παραμέτρους σε 21 θέσεις νερού στην νήσο Πάρο. Τα δείγματα νερού εμφανίζουν αγωγιμότητες που κυμαίνονται από 749 $\mu\text{S}/\text{cm}$ έως και 3,710 $\mu\text{S}/\text{cm}$ και pH με τιμές 7.26 έως 7.81. Η πλειοψηφία των δειγμάτων εμφανίζει θετικό δυναμικό οξειδοαναγωγής με αποτέλεσμα να επικρατούν οξειδωτικές συνθήκες.

Τα κύρια ιόντα που συναντάμε είναι Ca^{2+} , Na^+ , HCO_3^- , Cl^- και σε μικρότερο ποσοστό Mg^{2+} και SO_4^{2-} . Η σειρά κατάταξης των κύριων κατιόντων στα δείγματα 1,2,3,4,6,7,8,9,10,11,12,15,16,18, 20,21 είναι $\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+}$ και στα δείγματα 5,13,14,17,19 είναι $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$. Η σειρά κατάταξης των κύριων ανιόντων στα δείγματα 1,2,3,4,6,7,8,9,10,11,12,14,15,16,17,18,20,21 είναι $\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$ και στα δείγματα 5,13,17,19 είναι $\text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-}$. Σε κανένα δείγμα δεν ανιχνεύτηκαν ανθρακικά ιόντα κατά συνέπεια η ολική αλκαλικότητα ισούται με τη συγκέντρωση των όξινων ανθρακικών. Σε χημικές παραμέτρους, όπως τα NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ , PO_4^{3-} και το COD δεν ανιχνεύτηκαν σημαντικές συγκεντρώσεις. Εξαιρέση αποτελεί το δείγμα 20, όπου η συγκέντρωση των NO_3^- άγγιξε τα 68.3 mg/l.

5.2 Αξιολόγηση των Αποτελεσμάτων των Χημικών Αναλύσεων με βάση τη Νομοθεσία

Από τις παραμέτρους που εξετάστηκαν φαίνεται ότι η πλειοψηφία των δειγμάτων πληρούν τις προϋποθέσεις της η ΚΥΑ Υ2/2600/2001 σχετικά με την ποιότητα του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης. Υπερβάσεις παρατηρούνται στην αγωγιμότητα, στα ιόντα χλωρίου και νατρίου μίας δημοτικής γεώτρησης και της πηγής στην περιοχή της Νάουσας (δείγματα 5 και 17), στα ιόντα νατρίου και χλωρίου της δημοτικής γεώτρησης στον ποταμό Συρίγο (δείγμα 13) και της ιδιωτικής γεώτρησης κοντά στα Γλυφά (δείγμα 19), στα ιόντα χλωρίου της ιδιωτικής γεώτρησης στην Παροικία (δείγμα 21) καθώς και στα νιτρικά μιας ιδιωτικής γεώτρησης (δείγμα 20) στην περιοχή του Ασπρου Χωριού.

Τα περισσότερα σημεία ύδατος αξιολογούνται ως νερά με καλή χημική κατάσταση σύμφωνα με την Υ.Α. Οικ. 1811/2011 σχετικά με τον ορισμό ανώτερων αποδεκτών τιμών για τη συγκέντρωση συγκεκριμένων ρύπων, ομάδων ρύπων ή δεικτών ρύπανσης σε υπόγεια ύδατα. Εξαιρέση αποτελούν τα δείγματα 5,17,13,19,21, τα οποία υπερβαίνουν τις ανώτατες αποδεκτές τιμές της αγωγιμότητας και των ιόντων χλωρίου καθώς και το δείγμα 20 λόγω της υψηλής συγκέντρωσης νιτρικών.

Πίνακας 24. Αποτελέσματα Χημικών Αναλύσεων – Μάιος 2011

Δείγμα	Θ (°C)	D.O.	Eh	pH	E.C.	Σκληρότητα	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	NH ₄ ⁺	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	PO ₄ ³⁻	TDS	COD
		mgO ₂ /l	mV		μS/cm	mgCaCO ₃ /l	mg/l													
1	25.7	2.7	100	7.50	749	282.5	84.2	17.6	48.9	2.7	0.066	311.1	0	72.2	21.8	6.32	0.007	0.000	564.9	2.00
2	21.2	3.0	139	7.26	775	315.0	103.2	14.0	40.8	2.1	0.037	347.7	0	73.3	32.3	13.2	0.01	0.012	626.6	3.15
3	20.6	2.9	120	7.40	826	325.0	104.2	15.8	47.2	2.4	0.071	341.6	0	85.2	37.3	18.9	0.038	0.019	652.7	6.59
4	20.6	3.2	68	7.64	863	345.0	106.2	19.4	51.9	2.5	0.045	347.7	0	94.2	34.2	14.3	0.029	0.05	670.7	10.7
5	22.7	2.8	-30	7.27	3,700	650.0	176.4	58.3	431.3	12.4	0.067	311.1	0	907.7	196.5	13.3	0.044	0.046	2,107	7.73
6	21.0	3.1	15	7.54	1,037	355.0	102.2	24.3	79.3	3.4	0.049	353.8	0	148.9	51.3	11.9	0.012	0.019	775.3	1.99
7	19.8	3.1	-130	7.74	1,045	380.0	108.2	26.7	76.2	3.6	0.138	366	0	154.7	57.2	2.08	0.016	0.025	794.9	8.79
8	21.8	1.4	-180	7.46	855	257.5	77.2	21.9	74.4	3.3	0.088	262.3	0	126.4	72.4	8.29	0.139	0.068	646.4	0.00
9	19.9	3.2	40	7.64	875	300.0	77.2	26.1	66.0	2.3	0.054	292.8	0	111.4	52.9	5.38	0.009	0.04	634.1	6.55
10	22.2	3.1	75	7.81	838	310.0	78.2	27.9	54.0	2.4	0.043	323.3	0	100.0	45.2	11.1	0.006	0.034	642.2	4.72
11	22.1	2.8	80	7.28	1,225	420.0	108.2	36.5	86.3	5.7	0.028	347.7	0	197.5	75.0	21.0	0.005	0.034	860.1	6.49
12	20.1	3.6	135	7.35	784	315.0	108.2	10.9	42.2	2.1	0.028	353.8	0	79.8	24.5	7.93	0.001	0.022	629.6	9.35
13	21.9	3.3	20	7.40	2,280	470.0	124.2	38.9	268.4	10.4	0.028	323.3	0	468.8	127.3	21.7	0.004	0.019	1,383	9.31
14	22.0	3.2	-80	7.57	1,501	450.0	116.2	38.9	149.2	4.9	0.142	463.6	0	240.9	73.9	8.17	0.042	0.03	1,096	11.9
15	22.8	3.4	150	7.70	1,025	360.0	112.2	19.4	77.7	3.9	0.034	347.7	0	152.2	48.8	11.8	0.001	0.037	773.8	13.8
16	23.5	3.1	180	7.35	1,000	335.0	108.2	15.8	77.2	3.1	0.023	329.4	0	148.9	38.3	12.7	0.011	0.046	733.7	6.00
17	21.4	3.1	127	7.28	3,710	780.0	200.4	68.0	455.8	12.4	0.023	335.5	0	923.8	208.9	15.2	0.002	0.083	2,220	9.27
18	21.4	3.6	137	7.38	1,051	376.0	104.2	28.2	69.9	4.0	0.050	366.0	0	140.2	60.7	13.7	0.052	0.046	787.1	6.18
19	21.5	3.7	101	7.43	1,600	414.0	92.2	44.7	199.8	10.0	0.018	384.3	0	354.2	93.2	17.6	0.016	0.053	1,196	6.09
20	21.5	3.9	135	7.31	1,072	430.0	118.2	32.8	55.6	3.3	0.019	353.8	0	118.4	85.5	68.3	0.001	0.044	836.0	7.30
21	21.6	3.4	158	7.56	1,630	510.0	144.3	36.5	137.4	10.1	0.026	457.5	0	268.8	43.3	9.21	0.01	0.078	1,107	0.00

5.3 Σύνολο Διαλυμένων Στερεών (TDS)

Το σύνολο των διαλυμένων στερεών παρουσιάζει εύρος τιμών από 564.9-2,220 mg/l. Η πλειοψηφία των νερών χαρακτηρίζονται ως φρέσκα νερά, ενώ τα δείγματα 5,13,14,17,19,21 έχουν τιμές συνόλου διαλυμένων αλάτων μεγαλύτερες από 1,000 mg/l και χαρακτηρίζονται ως υφάλμυρα (Carroll, 1962).

5.4 Διαγράμματα Συγκέντρωσης Ιόντων

5.4.1 Διαγράμματα Πίτας και Stiff

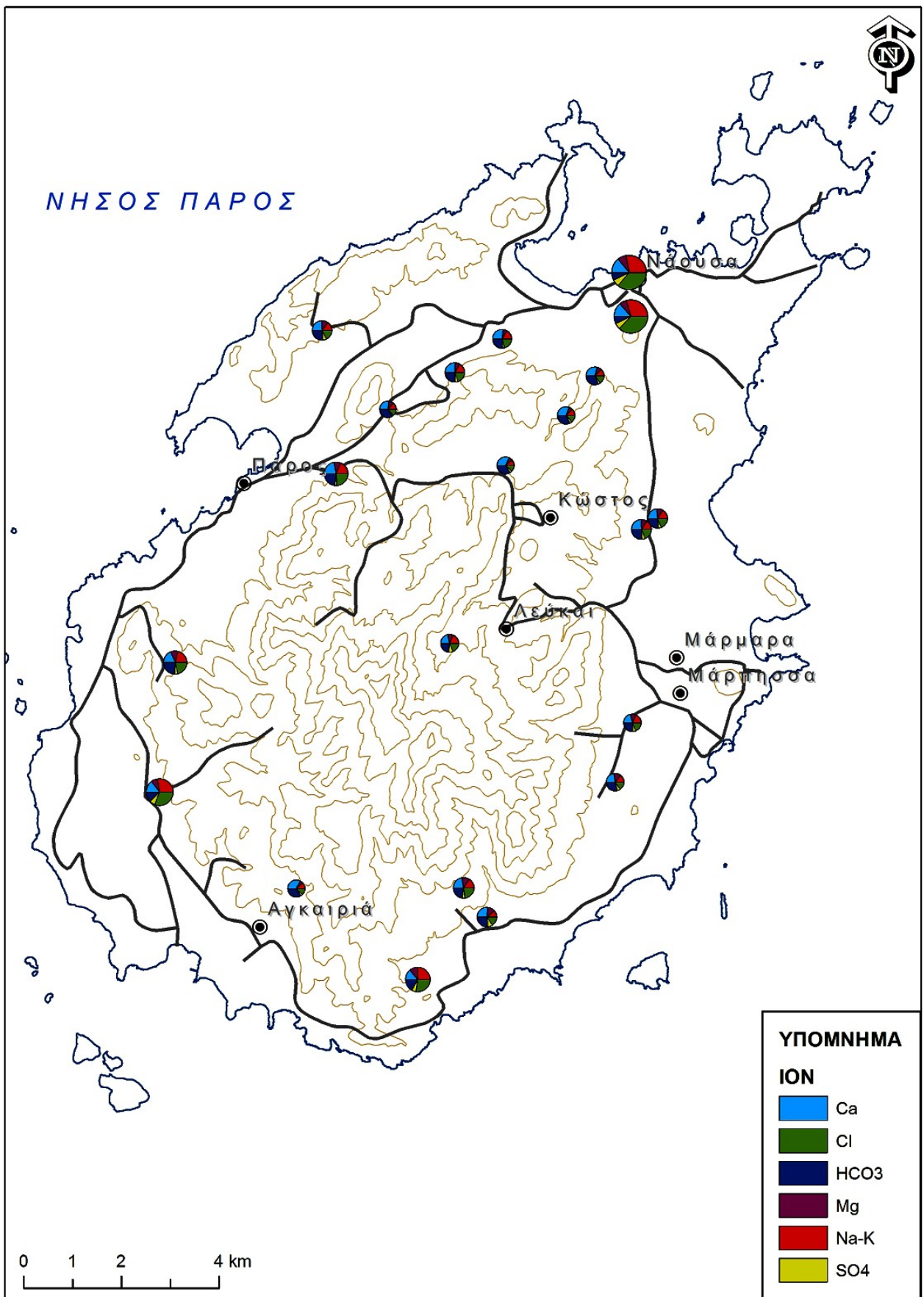
Η κατανομή των κύριων ιόντων που διαμορφώνουν την ποιότητα των νερών στην περιοχή μελέτης σε διαγράμματα Πίτας και Stiff και η απεικόνιση τους σε χάρτη δίνει μία ολοκληρωμένη εικόνα για την κατάσταση των νερών στην περιοχή. Στους Χάρτες 8 και 9 που ακολουθούν απεικονίζονται τα διαγράμματα Πίτας και Stiff με κύρια ιόντα τα: Ca^{2+} , Na^{++} , K^{+} , Mg^{2+} , HCO_3^{-} , Cl^{-} και SO_4^{2-} και Ca^{2+} , Na^{+} , Mg^{2+} , HCO_3^{-} , Cl^{-} και SO_4^{2-} αντίστοιχα.

Από το Χάρτη 10 παρατηρούμε ότι αυξημένη συγκέντρωση κύριων διαλυμένων ιόντων, πάνω από 2,000 mg/l, εμφανίζεται στην περιοχή της Νάουσας, σε μία γεώτρηση (δείγμα 5) και στην πηγή της Νάουσας (δείγμα 17), όπου κυρίαρχα ιόντα είναι το νάτριο και το χλώριο, όπως φαίνεται από το Χάρτη 11 με τις κατανομές κατά Stiff.

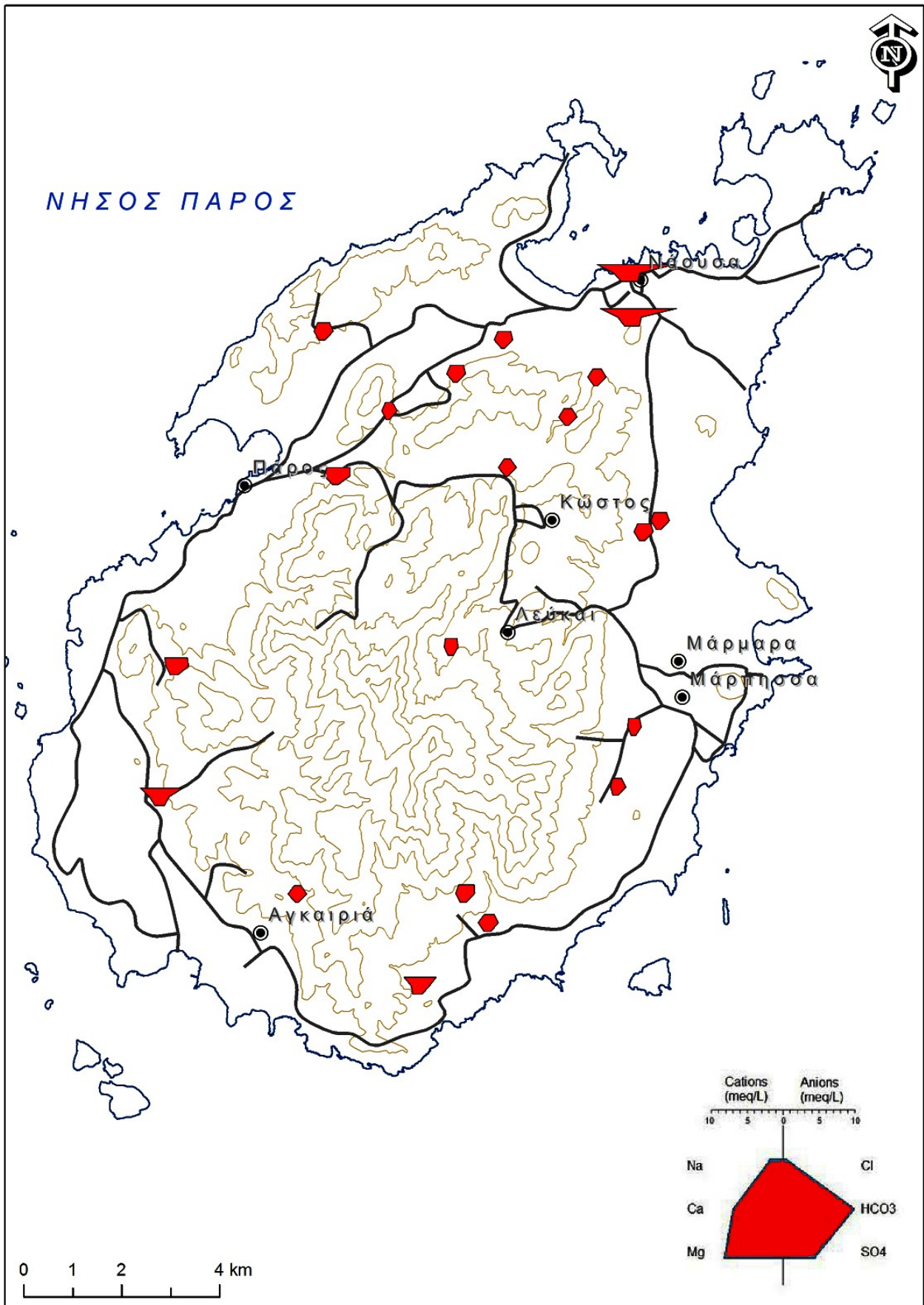
Στα νοτιοδυτικά της Πάρου η γεώτρηση στον ποταμό Συρίγο και στον Αγ. Αρσένιο (δείγματα 13,14) η συγκέντρωση των κύριων ιόντων είναι 1,361 mg/l και 1,088 mg/l. Στο δείγμα 13 κύρια ιόντα είναι το νάτριο και το χλώριο, ενώ στο δείγμα 14 δεν φαίνεται να επικρατεί κάποιο ιόν. Συγκεντρώσεις κύριων ιόντων κοντά στα 1,100 mg/l εμφανίζουν και δύο ιδιωτικές γεωτρήσεις, μία στο νότιο μέρος της Πάρου (δείγμα 19) και η άλλη στα δυτικά κοντά στην Παροικιά (δείγμα 21). Στο δείγμα 19 από τις κατανομές κατά Stiff προκύπτει ότι επικρατέστερα ιόντα είναι το νάτριο και το χλώριο. Τα υπόλοιπα σημεία παρουσιάζουν συγκέντρωση κύριων διαλυμένων ιόντων με εύρος 560-840 mg/l και η πλειοψηφία αυτών εμφανίζει σαν κυρία ιόντα τα όξινα ανθρακικά και το ασβέστιο.

5.4.2 Διάγραμμα Schoeller

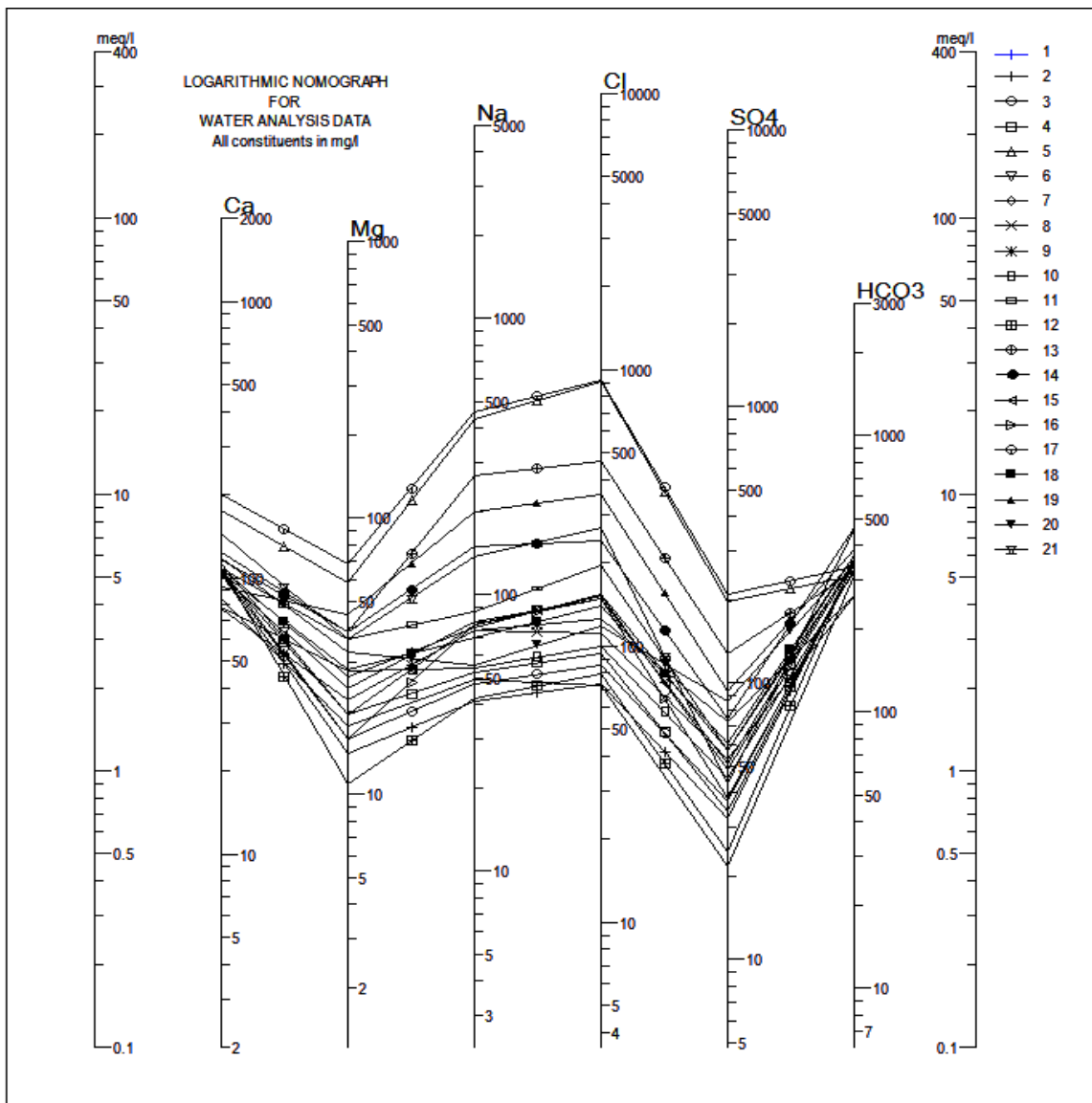
Στο Σχήμα 19 απεικονίζεται το ημιαλγοριθμικό διάγραμμα του Schoeller που παρουσιάζει τον συνδυασμό των κύριων κατιόντων (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{+}) και ανιόντων (Cl^{-} , SO_4^{2-} , HCO_3^{-}) της περιοχής μελέτης. Παρατηρούμε ότι οι συγκεντρώσεις των κύριων ανιόντων και κατιόντων, με εξαίρεση τα όξινα ανθρακικά ιόντα, διαφοροποιούνται στα περισσότερα δείγματα δείχνοντας διαφορετικούς υδροχημικούς τύπους νερών.



Χάρτης 10 . Προβολή Κύριων Ιόντων σε διαγράμματα Πίτας- Μάιος 2011



Χάρτης 11. Προβολή Κύριων Ιόντων σε διαγράμματα Stiff- Μάιος 2011



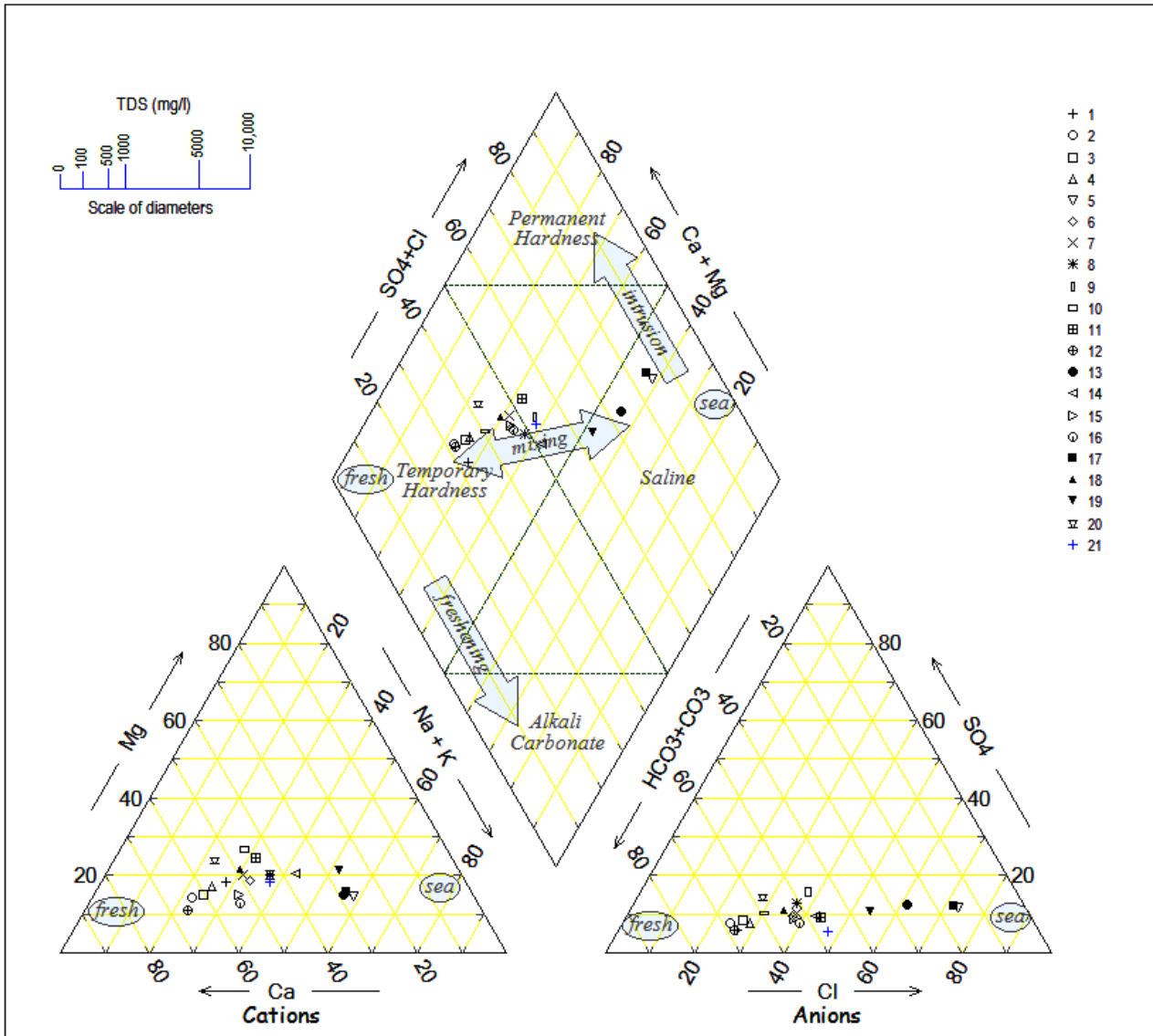
Σχήμα 19. Διάγραμμα Schoeller- Μάιος 2011

5.5 Τριγραμμικά Διαγράμματα

Τα τριγραμμικά διαγράμματα Piper, Piper Mix και Expanded Durov επιτρέπουν την άμεση, εποπτική σύγκριση διαφόρων δειγμάτων νερού, την ταξινόμηση τους σε κατηγορίες (φάσεις) και την αναγνώριση της κυρίαρχης υδροχημικής διεργασίας που επηρεάζει τη χημική σύσταση του δείγματος, ακόμα και όταν έχουμε πολλά και διαφορετικά δείγματα νερού. Με βάση τις χημικές αναλύσεις των στοιχείων κατασκευάστηκαν τα διάγραμμα Piper, Piper Mix και Expanded Durov των Σχημάτων.

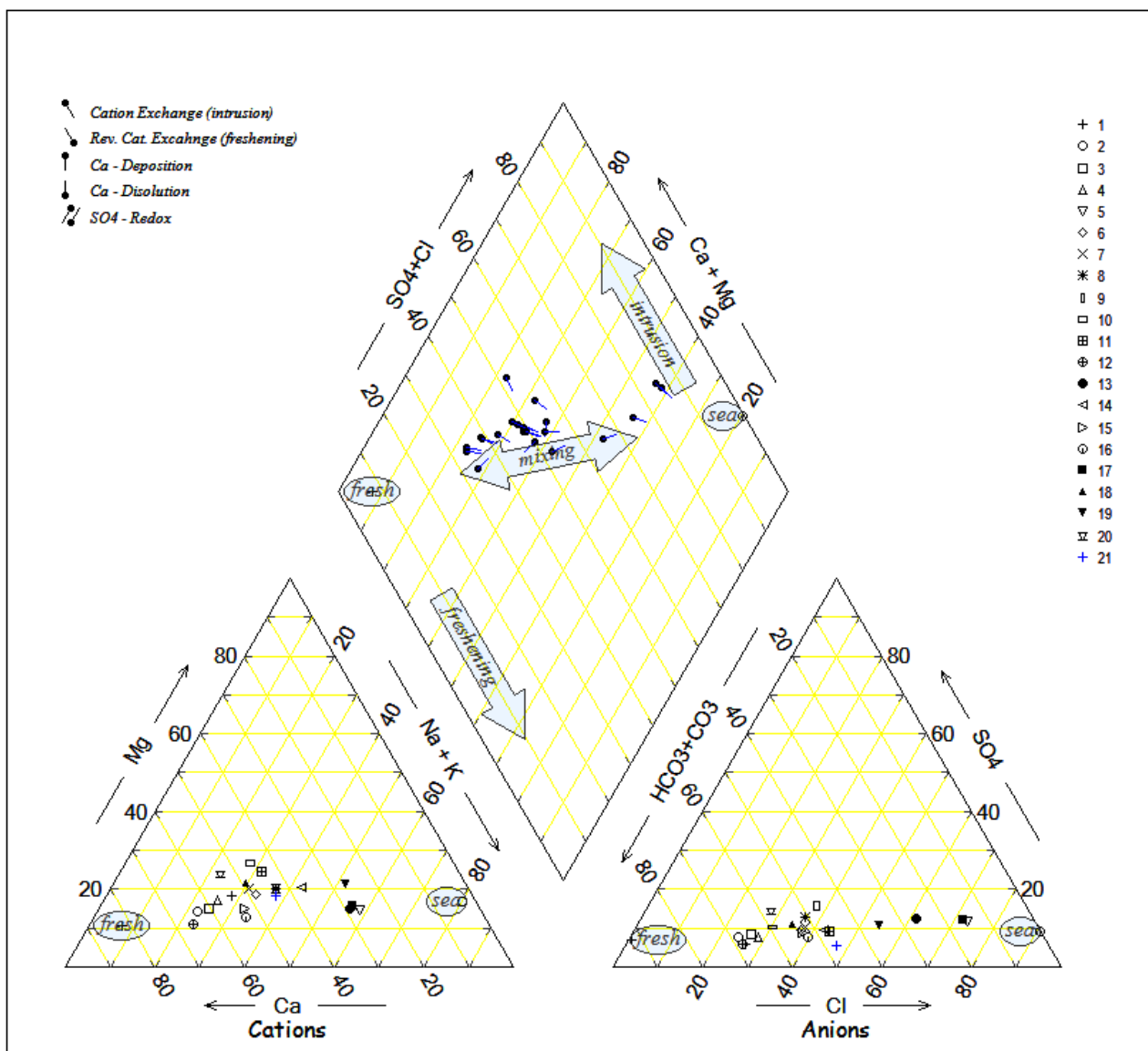
Σύμφωνα με το διάγραμμα Piper (Σχήμα 20) η πλειοψηφία των υπόγειων νερών της περιοχής χαρακτηρίζεται από ανθρακική σκληρότητα που ξεπερνά το 50% με αποτέλεσμα να επικρατούν τα

ασθενή οξέα. Σε αυτά τα υπόγεια νερά αν και κυριαρχούν οι αλκαλικές γαίες, η συγκέντρωση των αλκαλίων είναι σημαντική. Στα δείγματα 5,13,17 και 19 η μη ανθρακική σκληρότητα υπερβαίνει το 50%, δηλαδή οι χημικές τους ιδιότητες καθορίζονται από την παρουσία αλκαλίων και ισχυρών οξέων, φαινόμενο που οφείλεται στην υφαλμύρωση. Στα δείγματα 9,11,14 και 21 κανένα ζεύγος κατιόντος-ανιόντος δεν υπερβαίνει το 50% με αποτέλεσμα να μην κυριαρχεί κάποιο ιόν.



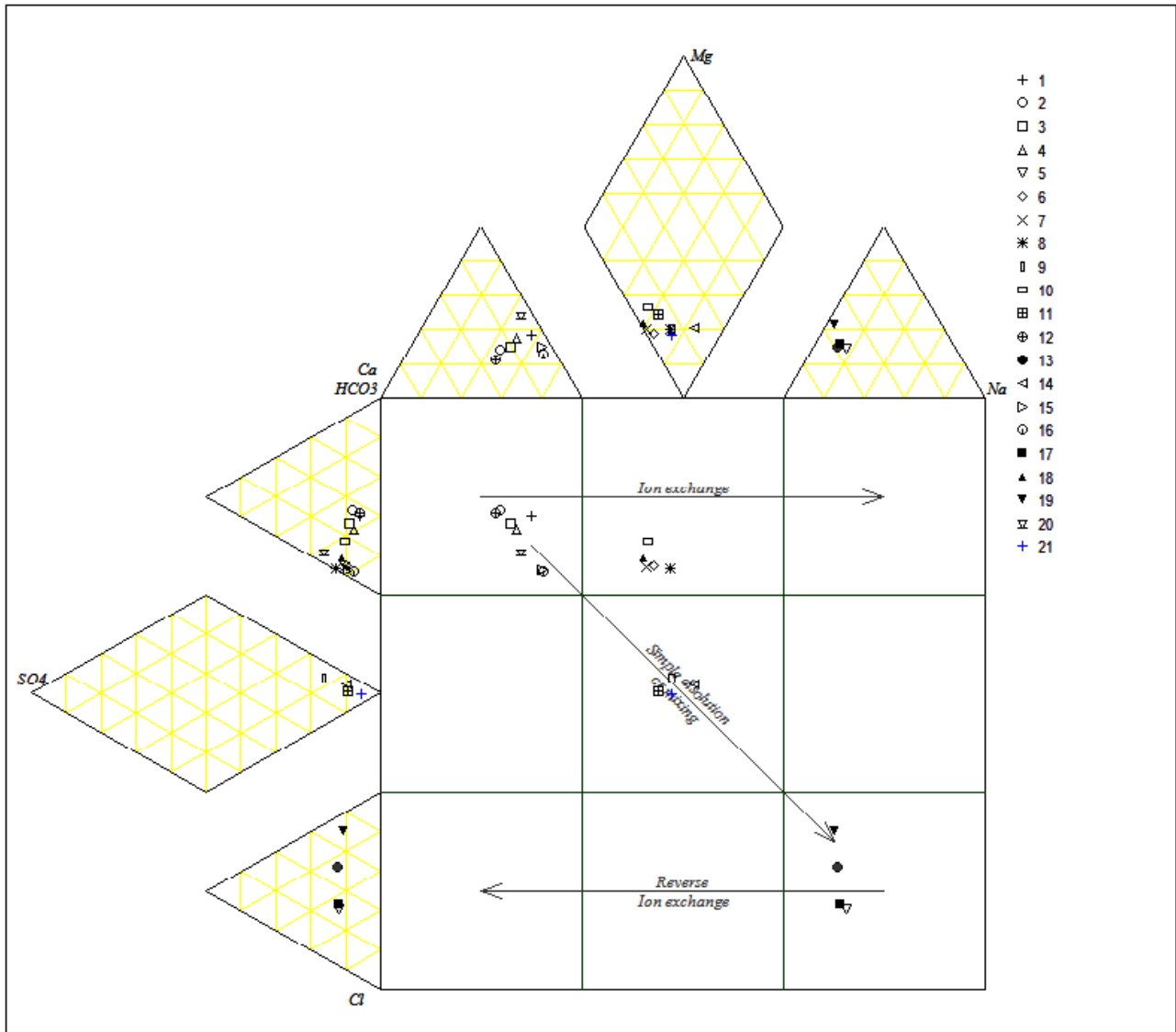
Σχήμα 20. Λιάγραμμα PiPer- Μάιος 2011

Από το διάγραμμα Piper Mix (Σχήμα 21) παρατηρούμε ότι η πλειοψηφία των δειγμάτων είναι παράλληλη στη γραμμή συντηρητική μίξης γλυκού και θαλασσινού νερού, φαινόμενο το οποίο δείχνει ότι η κύρια υδροχημική διεργασία στους υδροφόρους είναι η μίξη γλυκού και θαλασσινού νερού.



Σχήμα 21. Διάγραμμα Piper Mix- Μάιος 2011

Από το διάγραμμα Expanded Durov (Σχήμα 22) παρατηρούμε ότι δείγματα 1,2,3,4,12,15,16 και 20 ανήκουν στο πρώτο πεδίο, όπου κυρίαρχα ιόντα είναι το Ca^{2+} και το HCO_3^- , φαινόμενο που συχνά χαρακτηρίζει τα ανανεώσιμα νερά. Το δεύτερο πεδίο, όπου ανήκουν τα δείγματα 6,7,8,10 και 18, χαρακτηρίζεται από νερά που κυριαρχούν τα ιόντα Ca^{2+} και το HCO_3^- και συνδέονται με την παρουσία δολομίτη στον υδροφόρο, όταν το μαγνήσιο βρίσκεται σε σημαντικές συγκεντρώσεις. Ωστόσο, είναι πιθανό να συμβαίνει ιοντική ανταλλαγή όταν οι συγκεντρώσεις νατρίου είναι υψηλές. Τα δείγματα 9,11,14 και 21 βρίσκονται στο πέμπτο πεδίο, στο οποίο δεν κυριαρχεί κάποιο ιόν και δείχνει απλή διάλυση ή μίξη. Το ένατο πεδίο, όπου βρίσκονται τα δείγματα 7,13,17 και 19, αντιστοιχεί σε νερά που κυριαρχούν τα ιόντα Cl^- και Na^+ και χαρακτηρίζει τα νερά ως "τελικά" (Lloyd and Heathcoat, 1985).



Σχήμα 22. Διάγραμμα Expanded Durov- Μάιος 2011

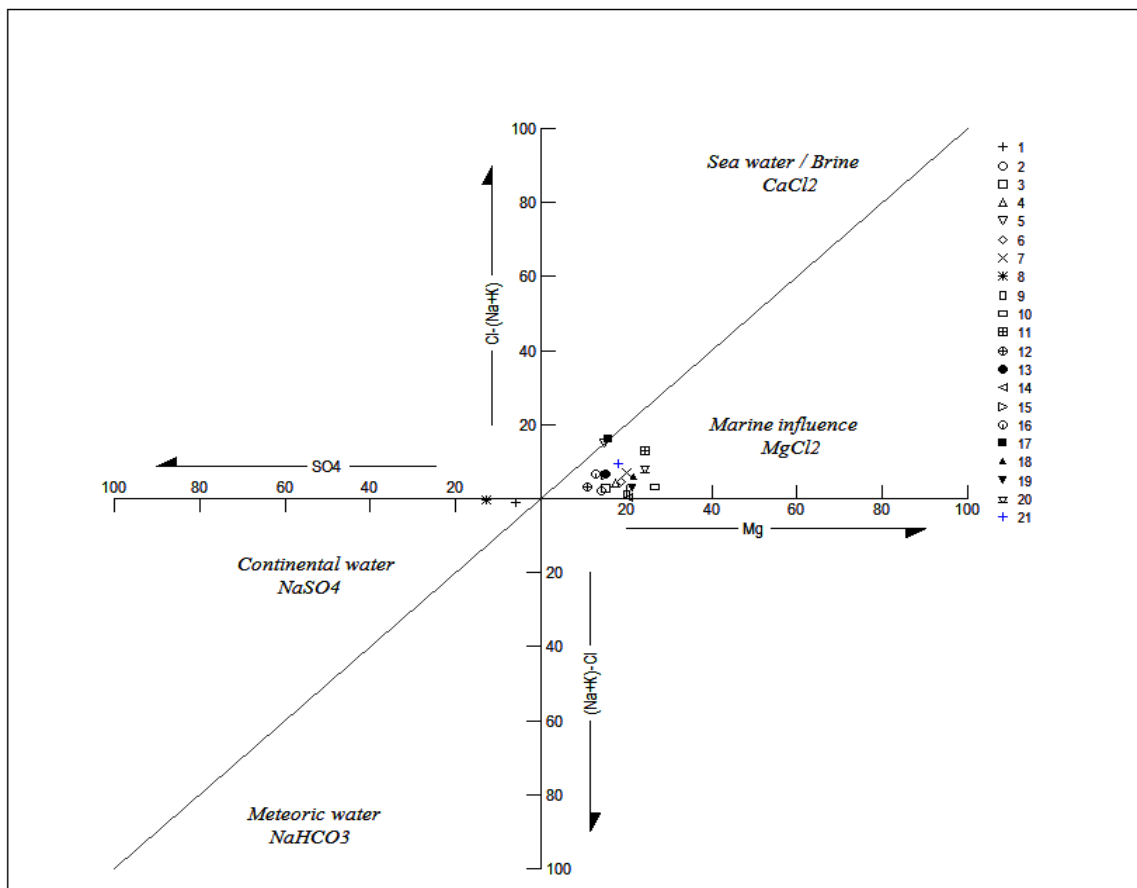
Από τα παραπάνω διαγράμματα παρατηρούμε ότι η πλειοψηφία των δειγμάτων των υπόγειων νερών βρίσκονται πάνω στη συντηρητική γραμμή μίξης γλυκού και αλμυρού νερού με υδροχημικούς τύπους $\text{Ca}^{2+}\text{-HCO}_3^-$, $\text{Ca}^{2+}\text{-Na}^+\text{-Mg}^{2+}\text{-HCO}_3^-$, $\text{Na}^+\text{-Cl}^-$ και μικτό τύπο νερών. Στον Πίνακα 25 παρουσιάζεται ο τύπος νερού κάθε δείγματος νερού.

Πίνακας 25. Υδροχημικές Φάσεις

Δείγμα	Τύπος Νερού
1,2,3,4,12,15,16,20	$\text{Ca}^{2+}\text{-HCO}_3^-$
6,7,8,10,18	$\text{Ca}^{2+}\text{-Na}^+\text{-Mg}^{2+}\text{-HCO}_3^-$
11,21,9,14	Μικτός τύπος νερών
5, 13, 17,19	$\text{Na}^+\text{-Cl}^-$

5.6 Διάγραμμα Sulin

Στο Σχήμα 23 απεικονίζεται το διάγραμμα Sulin για την γενετική ταξινόμηση των νερών της περιοχής μελέτης. Χαρακτηρίζονται από το $MgCl_2$ γενετικό τύπο νερού που δείχνει ότι έχουν επηρεαστεί από το φαινόμενο της υφαλμύρωσης πρόσφατα.



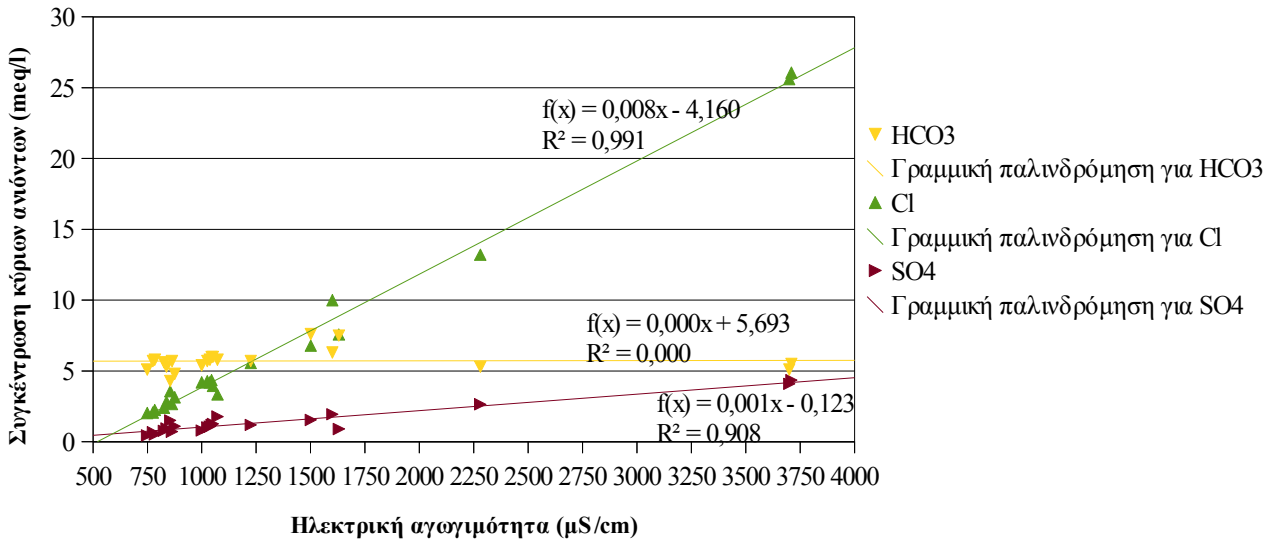
Σχήμα 23. Διάγραμμα Sulin- Μάιος 2011

5.7 Συσχετίσεις

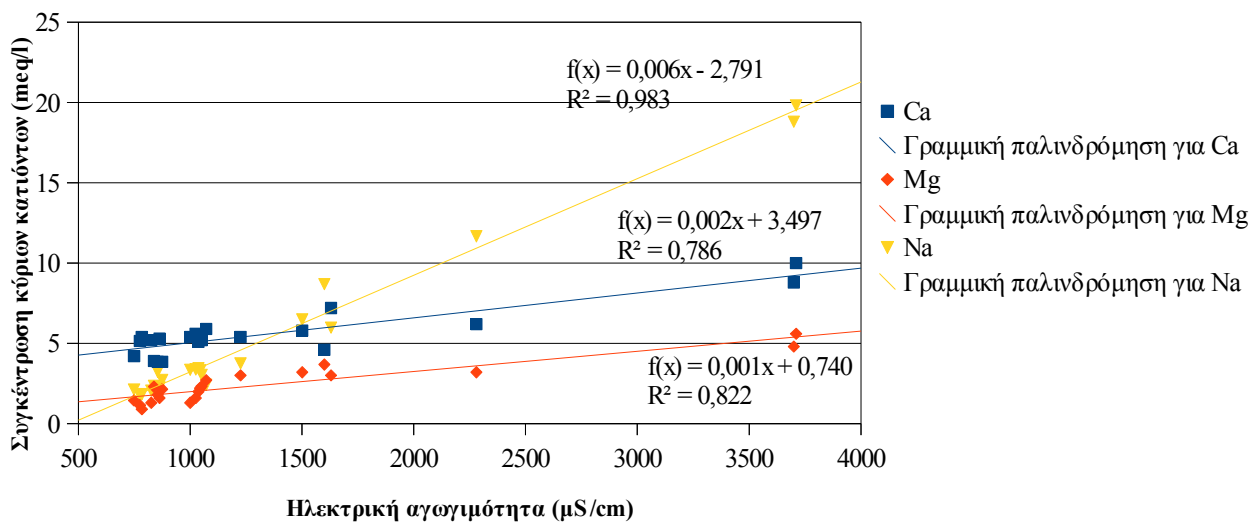
5.7.1 Αγωγιμότητα

Η αγωγιμότητα των δειγμάτων υπογείου νερού στην περιοχή μελέτης κυμαίνεται από 749 $\mu S/cm$ έως και 3,710 $\mu S/cm$. Οι υψηλότερες τιμές, άνω των 2,000 $\mu S/cm$ εμφανίζονται στην περιοχή της Νάουσας (δείγμα 5 και 17) και σε μία γεώτρηση στον Συρίγο ποταμό (δείγμα 13), νοτιοδυτικά της Πάρου.

Από τα Σχήματα 23 και 24 παρατηρούμε μία ισχυρή θετική συσχέτιση της αγωγιμότητας με τα ιόντα του χλωρίου ($r=0.996$) και του νατρίου ($r=0.992$), καθώς και με τα ιόντα μαγνησίου ($r=0.906$), τα θειϊκά ιόντα ($r=0.953$) και τα ιόντα ασβεστίου ($r=0.886$). Κατά συνέπεια τα παραπάνω ιόντα επηρεάζουν την ηλεκτρική αγωγιμότητα και διαμορφώνουν την τιμή της.



Σχήμα 24. Διάγραμμα Ηλεκτρικής Αγωγιμότητας σε συνάρτηση με τα Κύρια Ανιόντα



Σχήμα 24. Διάγραμμα Ηλεκτρικής Αγωγιμότητας σε συνάρτηση με τα Κύρια Κατιόντα

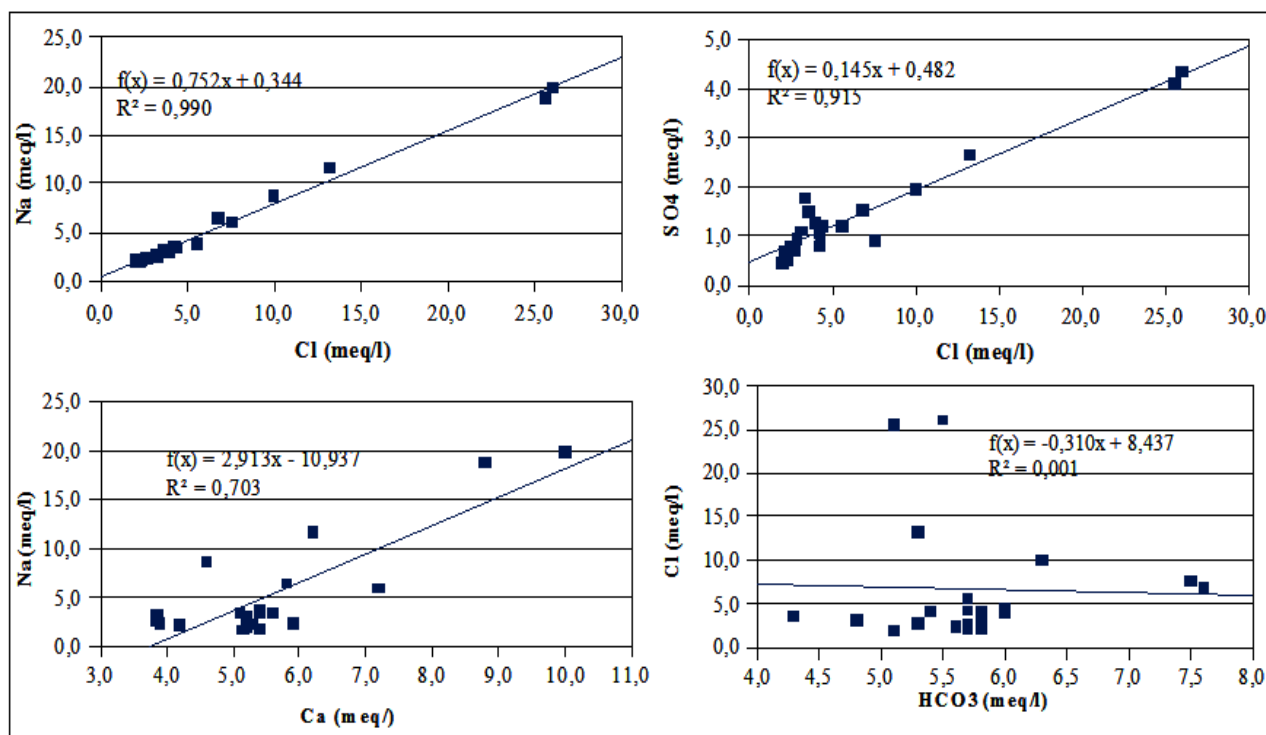
5.7.2 Πίνακας συσχετίσεων

Στον Πίνακα 26 δίνονται οι συντελεστές συσχέτισης των ιόντων που εμφανίζουν τις υψηλότερες συγκεντρώσεις στα δείγματα νερού. Παρατηρούμε ισχυρές θετικές συσχετίσεις για την πλειοψηφία των ιόντων. Η υψηλή συσχέτιση των ιόντων Na⁺-Cl⁻ (r= 0.995) οφείλεται στην κοινή προέλευση αυτών των ιόντων. Η συσχέτιση των όξινων ανθρακικών με τα υπόλοιπα ιόντα είναι αρκετά ασθενής ακόμα και με τα ιόντα των αλκαλικών γαιών, πιθανόν λόγω της προέλευσης τους από άλλη

πηγή, όπως την οξείδωση του διοξειδίου του άνθρακα. Τα νιτρικά ιόντα παρουσιάζουν και αυτά πολύ χαμηλούς συντελεστές συσχέτισης με τα υπόλοιπα ιόντα, ένδειξη ότι προέρχονται από διαφορετική πηγή, όπως η αποσύνθεση της οργανικής ύλης. Παρακάτω στο Σχήμα 25 δίνονται επιλεκτικά τα διαγράμματα συσχέτισης των ιόντων Cl^- - Na^+ , Cl^- - SO_4^{2-} , Ca^{2+} - Na^+ και HCO_3^- - Cl^- .

Πίνακας 26. Πίνακας Συσχετίσεων Κύριων Ιόντων

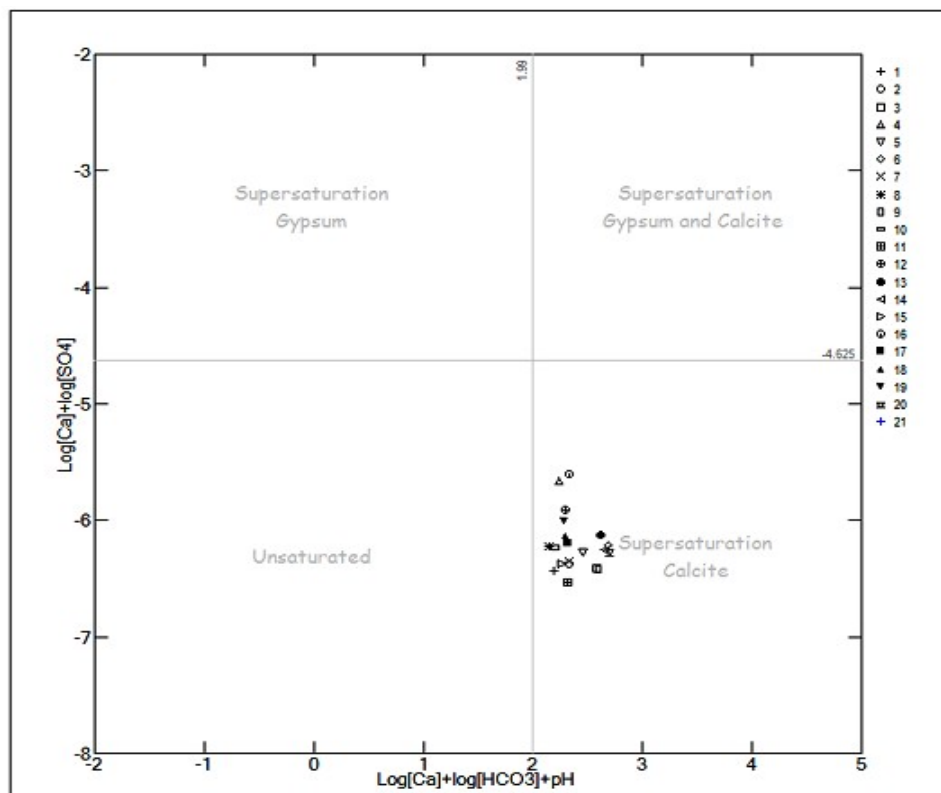
	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	NO_3^-
Ca^{2+}	1	0.748	0.838	0.768	0.222	0.862	0.783	0.137
Mg^{2+}		1	0.90	0.886	0.156	0.901	0.906	0.156
Na^+			1	0.910	-0.012	0.995	0.955	0.000
K^+				1	0.197	0.896	0.826	0.043
HCO_3^-					1	-0.034	-0.132	0.008
Cl^-						1	0.957	0.014
SO_4^{2-}							1	0.184
NO_3^-								1



Σχήμα 25. Διαγράμματα Συσχέτισης Ιόντων Cl^- - Na^+ , Cl^- - SO_4^{2-} , Ca^{2+} - Na^+ και HCO_3^- - Cl^-

5.7.3 Διάγραμμα διαλυτότητας ασβεστίτη και γύψου

Στο Σχήμα 26 δίνεται το διάγραμμα σχέσεων διαλυτότητας μεταξύ του ασβεστίτη και της γύψου. Παρατηρούμε ότι όλα τα δείγματα είναι υπερκορεσμένα σε ασβεστίτη, φαινόμενο που οφείλεται στο ασβεστολιθικό χαρακτήρα των πετρωμάτων που βρίσκονται οι γεωτρήσεις.



Σχήμα 26. Διάγραμμα Διαλυτότητας Ασβεστίτη και Γύψου

5.8 Ιοντικοί Λόγοι

Οι τιμές των ιοντικών λόγων δίνουν πληροφορίες για την προέλευση του δείγματος νερού που αναλύθηκε και είναι πολύ χρήσιμοι στην ταξινόμηση των τύπων των νερών.

Ιοντικός Λόγος Mg^{2+}/Ca^{2+}

Στην περιοχή μελέτης ο λόγος Mg^{2+}/Ca^{2+} παρουσιάζει εύρος τιμών 0.17-0.80. Οι τιμές του λόγου για το 48% των δειγμάτων δείχνουν ότι η πλειοψηφία αυτών προέρχεται από ασβεστολιθικά υδροφόρα στρώματα. Αντίθετα, για το 52% των δειγμάτων οι τιμές του λόγου είναι κάτω από το 0.5 και δεν δίνουν σαφή εικόνα για την προέλευση του νερού. Σύμφωνα με το Hem (1989) οι τιμές του λόγου Mg^{2+}/Ca^{2+} επηρεάζονται από διάφορους παράγοντες γι' αυτό η ερμηνεία του πρέπει να γίνεται με προσοχή. Για παράδειγμα στα νερά που προέρχονται από δολομίτες, η καθίζηση του ανθρακικού ασβεστίου ρίχνει τις τιμές κάτω από το 0.8.

Ιοντικός Λόγος $(Ca^{2+}+Mg^{2+})/(K^{+}+Na^{+})$

Στην περιοχή μελέτης η πλειοψηφία των ιοντικών λόγων $(Ca^{2+}+Mg^{2+})/(K^{+}+Na^{+})$ εμφανίζει τιμές μεγαλύτερες του 1, με υψηλότερη τιμή το 3.4, υποδηλώνοντας την συνεχή τροφοδοσία του υπόγειου νερού με μικρές ταχύτητες ροής. Ο λόγος στα δείγματα 5,13,17 και 19 λαμβάνει τιμές μικρότερες του 1 που δηλώνει παλιό νερό στα κατάντι τμήματα (ως προς τη διεύθυνση ροής) του υδροφορέα.

Ιοντικός Λόγος Na^{+}/Cl^{-}

Οι τιμές του λόγου Na^{+}/Cl^{-} στην περιοχή μελέτης κινούνται γύρω στο 0.876 +/- 10% και δεν δίνουν σαφή εικόνα για την εξαγωγή συμπερασμάτων. Οι μικρότερες τιμές του λόγου παρατηρούνται στα δείγματα 5,7,11,17,18 και 20.

Ιοντικός Λόγος Cl^{-}/SO_4^{2-}

Στην περιοχή μελέτης η πλειοψηφία των δειγμάτων νερού χαρακτηρίζονται ως χλωροθειούχα, αφού παρουσιάζουν τιμές από 1.9 έως 5.0. Τα δείγματα 5, 13, 16, 17, 19 και 21 εμφανίζουν $Cl^{-}/SO_4^{2-} > 5$ και εντάσσονται στην ομάδα των χλωριούχων. Στο δείγμα 21 η υψηλή τιμή του λόγου Cl^{-}/SO_4^{2-} πιθανότατα οφείλεται στην αναγωγή των θειικών.

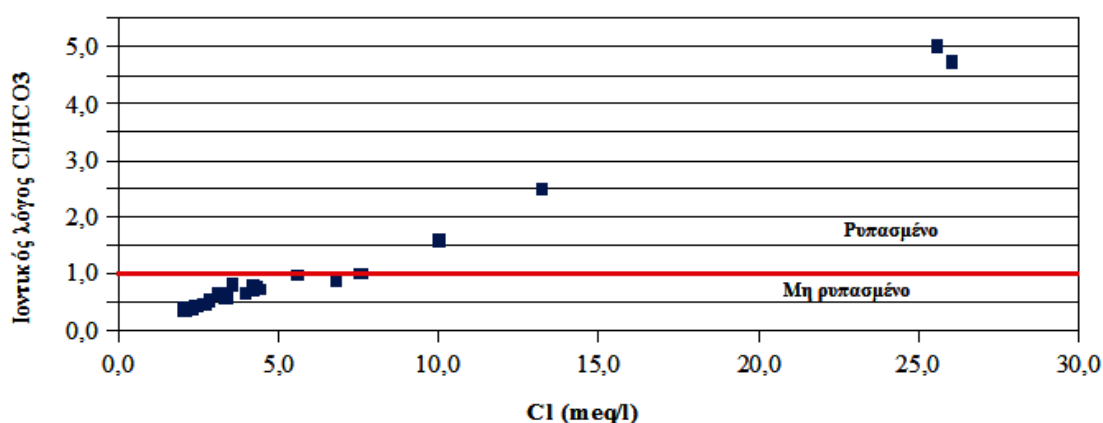
Πίνακας 27. Ιοντικοί Λόγοι

Δείγμα	Mg^{2+}/Ca^{2+}	$(Ca^{2+}+Mg^{2+})/(K^{+}+Na^{+})$	Na^{+}/Cl^{-}	Cl^{-}/SO_4^{2-}	Cl^{-}/HCO_3^{-}
1	0.35	2.6	1.047	4.5	0.40
2	0.22	3.4	0.860	3.1	0.36
3	0.25	3.1	0.856	3.1	0.43
4	0.30	3.0	0.851	3.7	0.47
5	0.55	0.7	0.734	6.3	5.0
6	0.39	2.0	0.822	3.9	0.72
7	0.41	2.2	0.760	3.7	0.73
8	0.47	1.7	0.908	2.4	0.83
9	0.56	2.2	0.868	2.8	0.65
10	0.59	2.6	0.832	3.0	0.53
11	0.56	2.2	0.675	4.7	0.98
12	0.17	3.3	0.816	4.4	0.39
13	0.52	0.8	0.884	5.0	2.5
14	0.55	1.4	0.956	4.4	0.89
15	0.29	2.1	0.789	4.2	0.75
16	0.24	1.9	0.800	5.3	0.78
17	0.56	0.8	0.761	6.0	4.7

Δείγμα	Mg ²⁺ /Ca ²⁺	(Ca ²⁺ +Mg ²⁺)/(K ⁺ +Na ⁺)	Na ⁺ /Cl ⁻	Cl ⁻ /SO ₄ ²⁻	Cl/HCO ₃
18	0.45	2.4	0.770	3.1	0.66
19	0.80	0.9	0.869	5.1	1.6
20	0.46	3.4	0.725	1.9	0.58
21	0.42	1.6	0.789	8.4	1.0

Ιοντικός Λόγος Cl/HCO₃⁻ (Συντελεστής Revelle)

Στην περιοχή μελέτης τα δείγματα 5, 13, 17, 19 εμφανίζουν τιμές μεγαλύτερες του 1 με μέγιστη τιμή το 5.0, φανερώνοντας την ρύπανση των υπογείων νερών από τη διεύδυση της θάλασσας.



Σχήμα 27. Διάγραμμα Ιόντων Χλωρίου σε συνάρτηση με τον Ιοντικό Λόγο Cl⁻/HCO₃⁻

5.9 Δείκτες Κορεσμού

Στον Πίνακα 28 παρουσιάζονται οι δείκτες κορεσμού για 13 ορυκτά. Όλα τα δείγματα είναι υπερκορεσμένα στα ανθρακικά ορυκτά του ασβεστίου και μαγνησίου, όπως ο ασβεστίτης (CaCO₃), ο αραγωνίτης (CaCO₃), ο δολομίτης (CaMg(CO₃)₂), ο χουντίτης (Mg₃Ca(CO₃)₄) και ο μαγνησίτης (MgCO₃) και κατακρημνίζονται στο υπόγειο περιβάλλον. Εξάιρεση αποτελούν τα δείγματα 5 και 20, τα οποία είναι ακόρεστα στα παραπάνω ορυκτά με αποτέλεσμα να επικρατούν συνθήκες διαλυτοποίησης. Οι δείκτες κορεσμού για τα θειικά ορυκτά και τον αλίτη είναι αρνητικοί για όλα τα δείγματα που σημαίνει ότι τα δείγματα είναι ακόρεστα σε αυτά τα ορυκτά, γεγονός που οφείλεται στην απουσία τέτοιων πετρωμάτων στους γεωλογικούς σχηματισμούς του νησιού.

Πίνακας 28. Δείκτες Κορεσμού

Δείγμα	Ασβεστίτης	Αραγωνίτης	Δολομίτης	Χουντίτης	Μαγνησίτης	Βροουίτης	Γύψος	Αλίτης	Ανοδίτης	Αρνιτίτης	Εψομίτης	Μιραμπίλιτης	Υδρομαγνησίτης
1	2.17	2.03	3.99	3.55	1.32	-0.3	-2.31	-7.04	-2.27	0.17	-5.19	-8.24	-1.57
2	2.01	1.87	3.41	2.08	0.9	-1.66	-1.99	-7.10	-2.00	-1.56	-5.06	-8.04	-4.61

Δείγμα	Ασβεστίτης	Αραγωνίτης	Δολομίτης	Χονδίτης	Μαγνησίτης	Βροκίτης	Γύψος	Αλίτης	Ανοδίτης	Αρνίτης	Εψομίτης	Μιραμιλίτης	Υδρομαγνησίτης
3	1.86	1.72	3.15	1.58	0.79	-2.03	-1.91	-6.97	-1.93	-2.04	-4.94	-7.84	-5.45
4	2.13	1.99	3.78	2.94	1.15	-1.14	-1.99	-6.89	-2.01	-0.79	-4.92	-7.79	-3.11
5	-0.83	-0.97	-1.87	-8.09	-1.55	-6.82	-1.20	-5.06	-1.20	-9.19	-3.91	-5.53	-19.58
6	1.97	1.83	3.58	2.65	1.11	-1.48	-1.83	-6.51	-1.85	-1.18	-4.66	-7.29	-3.63
7	2.18	2.04	4.01	3.52	1.33	-0.87	-1.80	-6.51	-1.83	-0.33	-4.59	-7.22	-2.12
8	1.76	1.62	3.22	1.98	0.96	-1.54	-1.76	-6.60	-1.78	-1.38	-4.50	-7.11	-4.29
9	2.11	1.97	3.95	3.5	1.34	-0.12	1.96	-6.66	-1.97	-0.41	-4.70	-7.32	-1.32
10	1.83	1.69	3.48	2.67	1.15	-1.41	-1.97	-6.85	-1.97	-1.07	-4.62	-7.71	-3.36
11	1.73	1.59	3.24	2.14	1.01	-1.94	-1.77	-6.37	-1.77	-1.74	-4.46	-7.26	-4.46
12	2.15	2.01	3.56	2.14	0.91	-1.43	-2.11	-7.05	-2.13	-1.31	-5.29	-8.07	-4.35
13	1.79	1.65	3.34	2.3	1.05	-1.72	-1.46	-5.52	-1.46	-1.48	-4.18	-5.99	-4.10
14	2.24	2.1	4.29	4.26	1.55	-0.71	-1.74	-6.05	-1.74	0.02	-4.41	-6.68	-1.08
15	1.59	1.45	2.65	0.64	0.57	-2.67	-1.78	-6.52	-1.79	-2.9	-4.76	-7.33	-6.98
16	1.99	1.85	3.43	2.2	0.94	-1.53	-1.93	-6.53	-1.91	-1.42	-4.98	-7.55	-4.34
17	1.94	1.8	3.66	2.98	1.23	-1.50	-1.17	-5.03	-1.18	-1.08	-3.85	-5.41	-3.17
18	1.89	1.75	3.47	2.5	1.08	-1.69	-1.75	-6.60	-1.76	-1.41	-4.52	-7.35	-3.93
19	1.23	1.09	2.4	0.6	0.67	-2.89	-1.66	-5.76	-1.67	-3.03	-4.19	-6.33	-6.80
20	-1.75	-1.89	-3.81	-12.06	-2.56	-8.24	-1.52	-6.78	-1.53	-11.6	-4.31	-7.45	-25.05
21	2.41	2.27	4.5	4.56	1.6	-0.32	-1.91	-6.04	-1.91	0.47	-4.69	-6.97	-0.51

5.11 Σκληρότητα

Τα δείγματα εμφανίζουν τιμές ολικής σκληρότητας που κυμαίνονται από 282.5 mgCaCO₃/l έως και 780 mgCaCO₃/l κατατάσσοντας τα στην κατηγορία σκληρών και πολύ σκληρών νερών (Sawyer, 1960).

Πίνακας 29. Σκληρότητα Δειγμάτων Νερού

Δείγμα	Ανθρακική Σκληρότητα	Μη Ανθρακική Σκληρότητα	Ολική Σκληρότητα	Κατηγορία
	mgCaCO ₃ /l			
1	255.0	27.5	282.5	Σκληρό
2	285.0	30.0	315.0	Πολύ σκληρό
3	280.0	45.0	325.0	Πολύ σκληρό
4	285.0	60.0	345.0	Πολύ σκληρό
5	255.0	395.0	650.0	Πολύ σκληρό
6	290.0	65.0	355.0	Πολύ σκληρό
7	300.0	80.0	380.0	Πολύ σκληρό
8	215.0	42.5	257.5	Σκληρό

Δείγμα	Ανθρακική Σκληρότητα	Μη Ανθρακική Σκληρότητα	Ολική Σκληρότητα	Κατηγορία
	mgCaCO ₃ /l			
9	240.0	60.0	300.0	Σκληρό
10	265.0	45.0	310.0	Πολύ σκληρό
11	285.0	135.0	420.0	Πολύ σκληρό
12	290.0	25.0	315.0	Πολύ σκληρό
13	265.0	205.0	470.0	Πολύ σκληρό
14	380.0	70.0	450.0	Πολύ σκληρό
15	285.0	75.0	360.0	Πολύ σκληρό
16	270.0	65.0	335.0	Πολύ σκληρό
17	275.0	505.0	780.0	Πολύ σκληρό
18	300.0	76.0	376.0	Πολύ σκληρό
19	315.0	99.0	414.0	Πολύ σκληρό
20	290.0	140.0	430.0	Πολύ σκληρό
21	375.0	135.0	510.0	Πολύ σκληρό

Η αυξημένη σκληρότητα οφείλεται στο γεγονός ότι τα μάρμαρα αποτελούν τον κύριο υδρολιθολογικό σχηματισμό των υδροσυστημάτων, όπου βρίσκονται οι γεωτρήσεις. Η ολική σκληρότητα των δειγμάτων είναι το άθροισμα της ανθρακικής ή παροδικής σκληρότητας, που οφείλεται στα άλατα Ca(HCO₃) και Mg(HCO₃) και της μη ανθρακικής ή μόνιμης σκληρότητας, που οφείλεται στην παρουσία αλάτων όπως CaCl, MgCl₂, CaSO₄ κτλ. Από τον Πίνακα 29 παρατηρούμε ότι στα δείγματα 5 και 17 η μόνιμη σκληρότητα είναι μεγαλύτερη από την ανθρακική με αποτέλεσμα να επικρατούν κυρίως άλατα των αλκαλικών γαιών ενωμένα με το ιόντα χλωρίου ή/και με τα θειικά ιόντα.

5.12 Δείκτες Απόθεσης-Διάβρωσης

Για κάθε δείγμα υπολογίστηκαν οι δείκτες Langelier (LSI), Ryznar (RSI), Puckorius (PKI) και Larson-Skold (LKI). Πρέπει να τονίσουμε ότι δείκτες Langelier (LSI), Ryznar (RSI), Puckorius (PKI) εκφράζουν τη προδιάθεση του ανθρακικού ασβεστίου για απόθεση ή αναδιάλυση στην τρέχουσα κατάσταση του συγκεκριμένου δείγματος. Το αν θα συμβεί απόθεση του ανθρακικού ασβεστίου ή όχι εξαρτάται από την ταχύτητα της αντιδράσεως. Οι τιμές που προέκυψαν παρουσιάζονται στον Πίνακα 30.

Ο δείκτης Langelier λαμβάνει θετικές τιμές, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 27, που κυμαίνονται από 0.05-0.63 και αντιστοιχούν σε τάση για απόθεση ανθρακικού ασβεστίου. Αντίθετα, ο δείκτης Ryznar λαμβάνει στην πλειοψηφία των δειγμάτων τιμές ανάμεσα στο 6-7 δείχνοντας ότι η απόθεση ανθρακικού ασβεστίου είναι απίθανο να συμβεί. Οι τιμές του δείκτη Puckorius κυμαίνονται από

5.4-6.8 και δείχνουν τάση για απόθεση ανθρακικού ασβεστίου στα δείγματα 5 και 21, ενώ στα δείγματα 8 και 9 η απόθεση ανθρακικού ασβεστίου είναι απίθανο να συμβεί. Τα υπόλοιπα δείγματα βρίσκονται κοντά στο σημείο αναφοράς του δείκτη, το 6 (Σχήμα 28), επομένως είναι κορεσμένα σε ανθρακικό ασβέστιο. Οι διαφορές των τιμών μεταξύ των δεικτών οφείλονται στο γεγονός ότι ο Langelier είναι ένας ποιοτικός δείκτης που εκφράζει τη θέση ισορροπίας του ανθρακικού ασβεστίου, ενώ οι δείκτες Ryznar και Puckorius αν και στηρίζονται στο ίδιο θεωρητικό υπόβαθρο με αυτό του Langelier, η ερμηνεία τους είναι εμπειρική με αποτέλεσμα ορισμένες φορές να μην είναι αντιπροσωπευτικοί. Γι'αυτό το λόγο ο δείκτης Langelier θεωρείται περισσότερο αξιόπιστος από τους άλλους δύο.

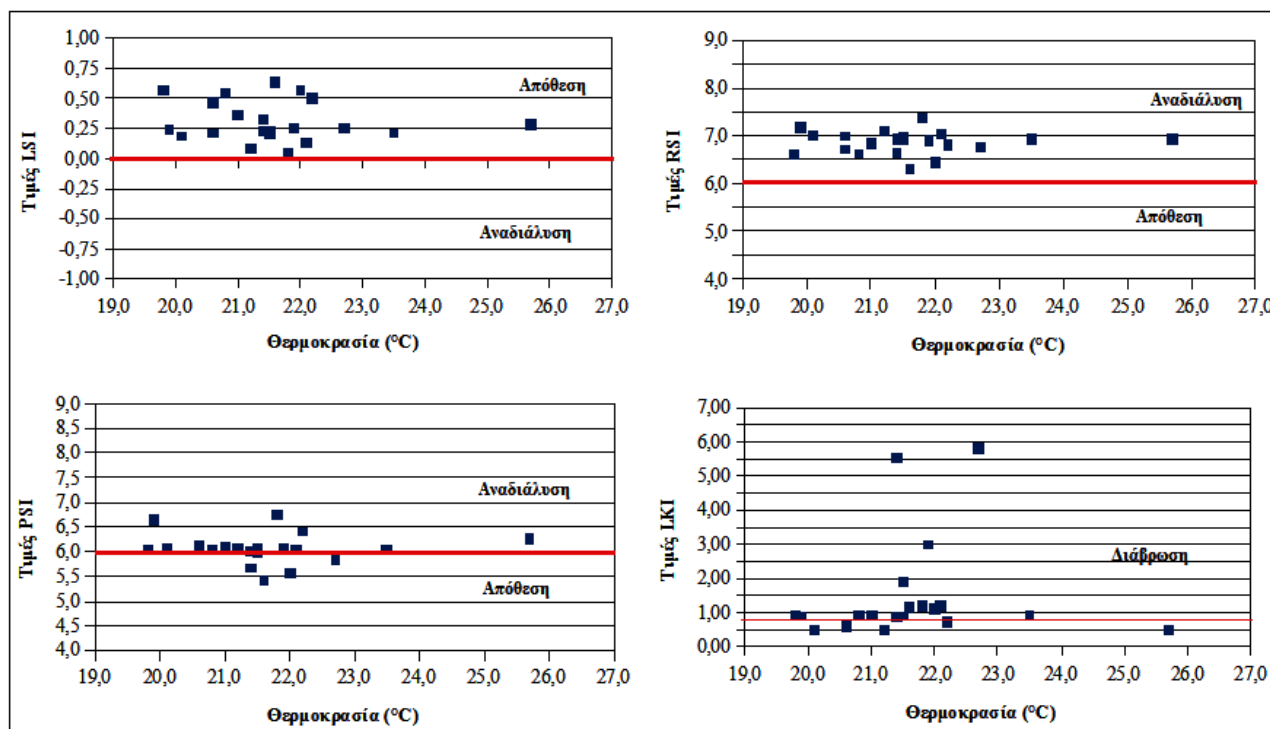
Διάφοροι μελετητές, έχουν δώσει ποσοτικές ερμηνείες στις τιμές του δείκτη Langelier. Σύμφωνα, λοιπόν με τον Carrier (1965) τα δείγματα 1,2,3,5,6,10,12,13,16,17,18,19,20 βρίσκονται σε ισορροπία αλλά είναι πιθανή η διάβρωση με βελονισμούς, ενώ τα δείγματα 4,7,10,14,15 και 21 παρουσιάζουν μία ελαφριά τάση για απόθεση τύπου scale και διάβρωση.

Τέλος, όσον αφορά τις τιμές του δείκτη Larson-Skold, παρουσιάζουν εύρος 0.48-5.5. Από το Σχήμα 28 φαίνεται ότι στα δείγματα 5,13,17 και 19 ότι υπάρχει σημαντική τάση τοπικής διάβρωσης από τα χλωριούχα και θειικά ιόντα, που οφείλεται στην παρουσία υψηλών συγκεντρώσεων των παραπάνω ανιόντων στα συγκεκριμένα δείγματα σε σχέση με τα υπόλοιπα δείγματα.

Πίνακας 30 .Τιμές Δεικτών LSI, RSI, PSI, LKI

Δείγμα	Δείκτες			
	LSI	RSI	PSI	LKI
1	0.28	6.9	6.2	0.49
2	0.09	7.1	6.1	0.48
3	0.21	7.0	6.1	0.57
4	0.46	6.7	6.1	0.59
5	0.26	6.8	5.8	5.8
6	0.36	6.8	6.1	0.91
7	0.57	6.6	6.0	0.92
8	0.05	7.4	6.7	1.2
9	0.24	7.2	6.6	0.88
10	0.50	6.8	6.4	0.71
11	0.13	7.0	6.0	1.2
12	0.18	7.0	6.1	0.48
13	0.25	6.9	6.1	3.0
14	0.56	6.4	5.6	1.1
15	0.55	6.6	6.0	0.93
16	0.21	6.9	6.1	0.92
17	0.33	6.6	5.7	5.5

Δείγμα	Δείκτες			
	LSI	RSI	PSI	LKI
18	0.23	6.9	6.0	0.87
19	0.23	7.0	6.1	1.9
20	0.20	6.9	6.0	0.88
21	0.63	6.3	5.4	1.1



Σχήμα 28. Διαγράμματα LSI, RSI, PSI, LKI σε συνάρτηση με τη Θερμοκρασία

5.13 Συστήματα Ταξινόμησης Αρδευτικού Νερού

5.13.1 Σύστημα ταξινόμησης αρδευτικού νερού κατά F.A.O.

Στους Πίνακες 31α και 31β που ακολουθούν δίνεται το σύστημα ταξινόμησης αρδευτικού νερού κατά FAO (1985). Στον Πίνακα 31α δίνονται οι τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και ο συνδυασμός τους με τις τιμές του SAR καθώς και ο περιορισμός χρήσης τους σύμφωνα με τους Ayers και Westcot (1985). Με το ίδιο τρόπο στον Πίνακα 31β δίνονται οι τιμές του SAR και οι συγκεντρώσεις των ιόντων νατρίου, χλωρίου, όξινων ανθρακικών και νιτρικών και ο περιορισμός χρήσης τους.

Οι αυξημένες τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας των δειγμάτων νερού ενδέχεται να προκαλέσουν αύξηση της περιεκτικότητας του εδάφους σε άλατα. Από τον συνδυασμό του SAR και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας προκύπτει ότι κίνδυνος μεταβολής της ταχύτητας διήθησης του

εδάφους δεν υφίσταται κατά συνέπεια τα νερά αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν χωρίς κανένα περιορισμό σύμφωνα με τους Ayers και Westcot (1985).

Πίνακας 31α. Σύστημα Ταξινόμησης Αρδευτικού Νερού κατά FAO

Δείγμα	Αλατότητα	Περιορισμός στη χρήση	Ταχύτητα Διήθησης		Περιορισμός στη χρήση
	ECi (μS/cm)		S.A.R.	ECi (μS/cm)	
1	749	Μέτριος	1.27	749	Κανένας
2	775	Μέτριος	1.00	775	Κανένας
3	826	Μέτριος	1.14	826	Κανένας
4	863	Μέτριος	1.22	863	Κανένας
5	3,700	Σοβαρός	7.21	3,700	Κανένας
6	1,037	Μέτριος	1.83	1,037	Κανένας
7	1,045	Μέτριος	1.70	1,045	Κανένας
8	855	Μέτριος	1.92	855	Κανένας
9	875	Μέτριος	1.57	875	Κανένας
10	838	Μέτριος	1.33	838	Κανένας
11	1,225	Μέτριος	1.83	1,225	Κανένας
12	784	Μέτριος	1.03	784	Κανένας
13	2,280	Μέτριος	5.38	2,280	Κανένας
14	1,501	Μέτριος	3.06	1,501	Κανένας
15	1,025	Μέτριος	1.78	1,025	Κανένας
16	1,000	Μέτριος	1.83	1,000	Κανένας
17	3,710	Σοβαρός	7.10	3,710	Κανένας
18	1,051	Μέτριος	1.57	1,051	Κανένας
19	1,600	Μέτριος	4.27	1,600	Κανένας
20	1,072	Μέτριος	1.17	1,072	Κανένας
21	1,630	Μέτριος	2.65	1,630	Κανένας

Από τον Πίνακα 31β παρατηρούμε ότι ορισμένα νερά εξαιτίας της αυξημένης περιεκτικότητας τους σε ιόντα νατρίου και χλωρίου κατά τη χρήση τους για άρδευση ενδέχεται να προκαλέσουν τοξικότητες ιδιαίτερα στις ευαίσθητες καλλιέργειες. Τα ιόντα χλωρίου φαίνεται να είναι περισσότερο υπεύθυνα για την εμφάνιση τοξικότητας από ότι τα ιόντα νατρίου εξαιτίας της μεγαλύτερης συγκέντρωσης τους στα νερά. Από τις δύο μεθόδους άρδευσης η τεχνητή βροχή πιθανόν να προκαλέσει περισσότερα προβλήματα τοξικότητας. Προβλήματα κατά τη χρήση αυτών των νερών για άρδευση πιθανόν να προκαλέσουν τα όξινα ανθρακικά και να νιτρικά ιόντα γι'αυτό συνίσταται ο μέτριος περιορισμός χρήσης αυτών.

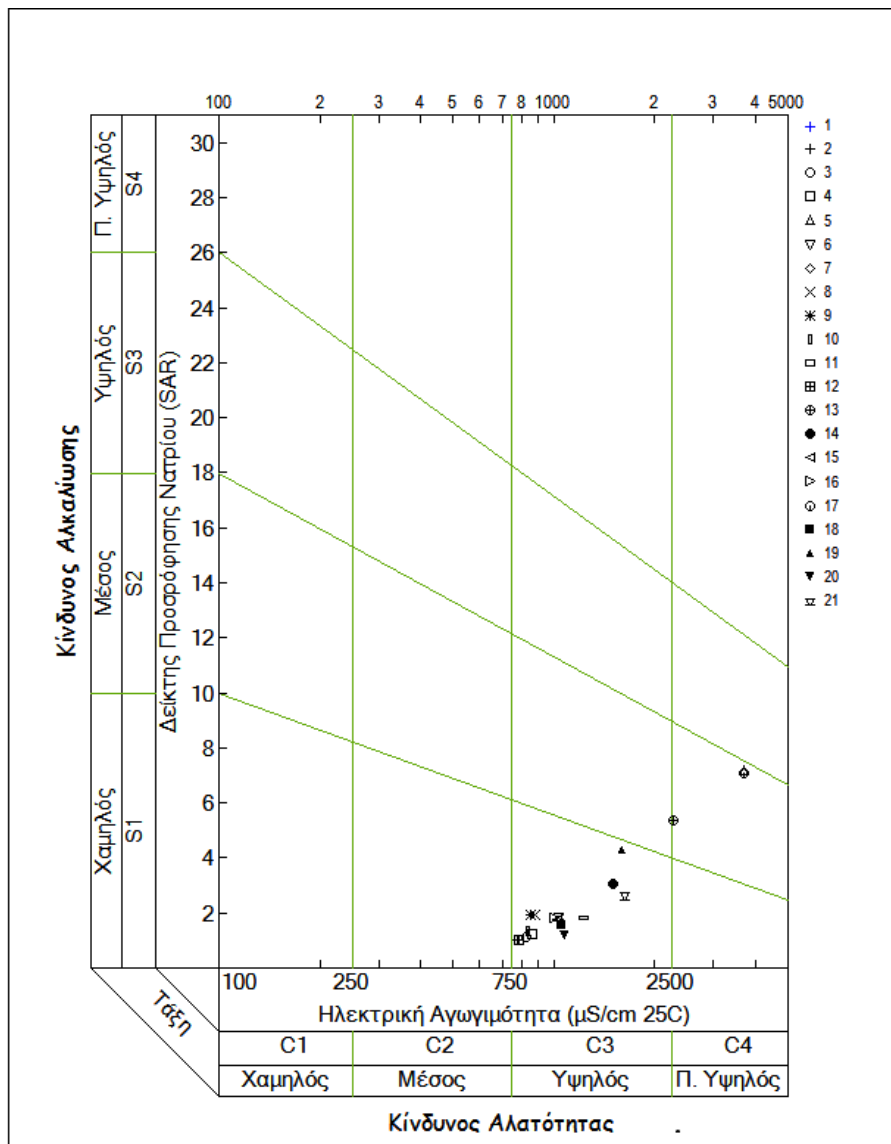
Πίνακας 31β. Σύστημα Ταξινόμησης Αρδευτικού Νερού κατά FAO

Δείγμα	Ειδική Τοξικότητα Ιόντων								Άλλες επιπτώσεις			
	Na ⁺				Cl ⁻				HCO ₃ ⁻	Περιορισμός στη χρήση	NO ₃ ⁻	Περιορισμός στη χρήση
	Κατά-κλυση	Περιορισμός στη χρήση	Τεχνητή βροχή	Περιορισμός στη χρήση	Κατά-κλυση	Περιορισμός στη χρήση	Τεχνητή βροχή	Περιορισμός στη χρήση				
SAR		Na ⁺ meq/l		Cl ⁻ meq/l		Cl ⁻ meq/l			meq/l		mg/l	
1	1.27	Κανένας	2.13	Κανένας	2.03	Κανένας	2.03	Κανένας	5.10	Μέτριος	6.32	Μέτριος
2	1.00	Κανένας	1.78	Κανένας	2.07	Κανένας	2.07	Κανένας	5.70	Μέτριος	13.2	Μέτριος
3	1.14	Κανένας	2.05	Κανένας	2.40	Κανένας	2.40	Κανένας	5.60	Μέτριος	18.9	Μέτριος
4	1.22	Κανένας	2.26	Κανένας	2.65	Κανένας	2.65	Κανένας	5.70	Μέτριος	14.3	Μέτριος
5	7.21	Μέτριος	18.8	Μέτριος	25.6	Σοβαρός	25.6	Μέτριος	5.10	Μέτριος	13.3	Μέτριος
6	1.83	Κανένας	3.45	Μέτριος	4.19	Μέτριος	4.19	Μέτριος	5.80	Μέτριος	11.9	Μέτριος
7	1.70	Κανένας	3.31	Μέτριος	4.36	Μέτριος	4.36	Μέτριος	6.00	Μέτριος	2.08	Κανένας
8	1.92	Κανένας	3.23	Μέτριος	3.56	Κανένας	3.56	Μέτριος	4.30	Μέτριος	8.29	Μέτριος
9	1.57	Κανένας	2.72	Κανένας	3.14	Κανένας	3.14	Μέτριος	4.80	Μέτριος	5.38	Μέτριος
10	1.33	Κανένας	2.35	Κανένας	2.82	Κανένας	2.82	Κανένας	5.30	Μέτριος	11.1	Μέτριος
11	1.83	Κανένας	3.75	Μέτριος	5.56	Μέτριος	5.56	Μέτριος	5.70	Μέτριος	21.0	Μέτριος
12	1.03	Κανένας	1.84	Κανένας	2.25	Κανένας	2.25	Κανένας	5.80	Μέτριος	7.93	Μέτριος
13	5.38	Μέτριος	11.7	Μέτριος	13.2	Σοβαρός	13.2	Μέτριος	5.30	Μέτριος	21.7	Μέτριος
14	3.06	Μέτριος	6.49	Μέτριος	6.79	Μέτριος	6.79	Μέτριος	7.60	Μέτριος	8.17	Μέτριος
15	1.78	Κανένας	3.38	Μέτριος	4.29	Μέτριος	4.29	Μέτριος	5.70	Μέτριος	11.8	Μέτριος
16	1.83	Κανένας	3.36	Μέτριος	4.19	Μέτριος	4.19	Μέτριος	5.40	Μέτριος	12.7	Μέτριος
17	7.10	Μέτριος	19.8	Μέτριος	26.1	Σοβαρός	26.1	Μέτριος	5.50	Μέτριος	15.2	Μέτριος
18	1.57	Κανένας	3.04	Μέτριος	3.95	Μέτριος	3.95	Μέτριος	6.00	Μέτριος	13.7	Μέτριος
19	4.27	Μέτριος	8.68	Μέτριος	9.99	Μέτριος	9.99	Μέτριος	6.30	Μέτριος	17.6	Μέτριος
20	1.17	Κανένας	2.42	Κανένας	3.34	Μέτριος	3.34	Μέτριος	5.80	Μέτριος	68.3	Σοβαρός
21	2.65	Κανένας	5.98	Μέτριος	7.57	Μέτριος	7.57	Μέτριος	7.50	Μέτριος	9.21	Μέτριος

5.13.2 Σύστημα ταξινόμησης αρδευτικού νερού κατά U.S. Salinity Laboratory Staff

Στο Σχήμα 29 δίνεται το διάγραμμα ταξινόμησης αρδευτικού νερού κατά U.S. Salinity Laboratory Staff (1954) με βάση την ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα (25°C) και το δείκτη προσρόφησης νατρίου (SAR). Από το διάγραμμα προκύπτει ότι η πλειοψηφία των δειγμάτων των νερών εμφανίζει υψηλό κίνδυνο αλατότητας και χαμηλό κίνδυνο αλκαλίωσης. Πολύ υψηλό κίνδυνο αλατότητας και μέσο κίνδυνο αλκαλίωσης εμφανίζουν τα δείγματα από μια γεώτρηση και την πηγή στην περιοχή της Νάουσας (δείγματα 5 και 17), καθώς και το δείγμα από μία γεώτρηση στον

ποταμό Συρίγο (δείγμα 13).



Σχήμα 29. Σύστημα Ταξινόμησης Αρδευτικού Νερού κατά U.S. Salinity Laboratory Staff- Μάιος 2011

5.14 Αποτελέσματα Χημικών Αναλύσεων Νερού Δικτύου Ύδρευσης

Στον Πίνακα 32 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων για 18 φυσικοχημικές παραμέτρους σε πέντε δείγματα νερού από το δίκτυο ύδρευσης της Πάρου. Το δείγμα Α προέρχεται από την περιοχή της Νάουσας, το Β από το Πίσω Λιβάδι, το Γ από την Αλυκή, το Δ από την Παροικία και το Ε από τις Λεύκες. Τα δείγματα νερού από το δίκτυο ύδρευσης παρουσιάζουν ηλεκτρική αγωγιμότητα από 758-1,036 μS/cm και pH= 7.3-7.9. Η σειρά κατάταξης των κύριων κατιόντων είναι $Ca^{2+} > Na^{+} > Mg^{2+}$ και των κύριων ανιόντων $HCO_3^{-} > Cl^{-} > SO_4^{2+}$.

Πίνακας 32. Αποτελέσματα Χημικών Αναλύσεων Νερού Δικτύου Ύδρευσης- Μάιος 2011

Δείγμα	Θ (°C)	DO	Eh	pH	E.C.	Σκληρότητα	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	NH ₄ ⁺	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	PO ₄ ²⁻	TDS
		mgO ₂ /l	mV		μS/cm	mgCaCO ₃ /l	mg/l												
A	22.5	3.6	183	7.3	758	247.5	80.2	11.5	52.7	2.2	0.026	268.4	0	92.9	28.4	14.3	0.002	0.039	550.6
B	20.5	3.7	145	7.8	875	290.0	78.2	23.1	63.4	2.3	0.015	317.2	0	88.6	53.8	6.5	0.01	0.051	633.1
Γ	22.0	4.0	173	7.6	784	317.5	107.2	12.2	39.1	2.2	0.018	341.6	0	86.7	25.1	8.5	0.003	0.043	622.6
Δ	23.0	4.0	168	7.7	863	355	102.2	24.3	57.5	2.7	0.022	372.1	0	105.8	43.4	12.6	0.002	0.028	720.7
E	20.2	4.4	190	7.9	1036	380	106.2	27.9	69.9	3.4	0.015	378.2	0	135.8	53.7	14.0	0.005	0.051	785.3

5.15 Αξιολόγηση των Αποτελεσμάτων των Χημικών Αναλύσεων του Νερού του Δικτύου Ύδρευσης με βάση τη Νομοθεσία.

Από τις παραμέτρους που εξετάστηκαν προκύπτει ότι το νερό ύδρευσης πληρεί τις προϋποθέσεις της ΚΥΑ 2600/2001.

5.16 Διάγραμμα Συγκέντρωσης Ιόντων Νερού Δικτύου Ύδρευσης

Στο Χάρτη 12 φαίνεται η κατανομή των κύριων ιόντων σε Πίτες για τα σημεία δειγματοληψίας του νερού ύδρευσης. Το σύνολο των κύριων ιόντων παρουσιάζει τιμές από 537 mg/l στην περιοχή της Νάουσας έως και 772 mg/l στις Λεύκες.

5.17 Σκληρότητα Νερού Δικτύου Ύδρευσης

Το νερό ύδρευσης εμφανίζει σκληρότητα από 247.5- 1,036 mgCaCO₃/l και κατάσσεται στα σκληρά έως πολύ σκληρά νερά, όπως φαίνεται και στον Πίνακα 33. Η ολική σκληρότητα των δειγμάτων είναι το άθροισμα της ανθρακικής ή παροδικής σκληρότητας, που οφείλεται στα άλατα Ca(HCO₃) και Mg(HCO₃) και της μη ανθρακικής ή μόνιμης σκληρότητας, που οφείλεται στην παρουσία αλάτων όπως CaCl₂, MgCl₂, CaSO₄ κτλ.

Πίνακας 33. Σκληρότητα Δειγμάτων Νερού Δικτύου Ύδρευσης

Δείγμα	Ανθρακική Σκληρότητα	Μη Ανθρακική Σκληρότητα	Ολική Σκληρότητα	Κατηγορία
	mgCaCO ₃ /l			
A	220.0	27.50	247.5	Σκληρό
B	260.0	30.0	290.0	Σκληρό
Γ	280.0	37.50	317.5	Πολύ σκληρό
Δ	305.0	50.0	355	Πολύ σκληρό
E	310	70.0	380	Πολύ σκληρό

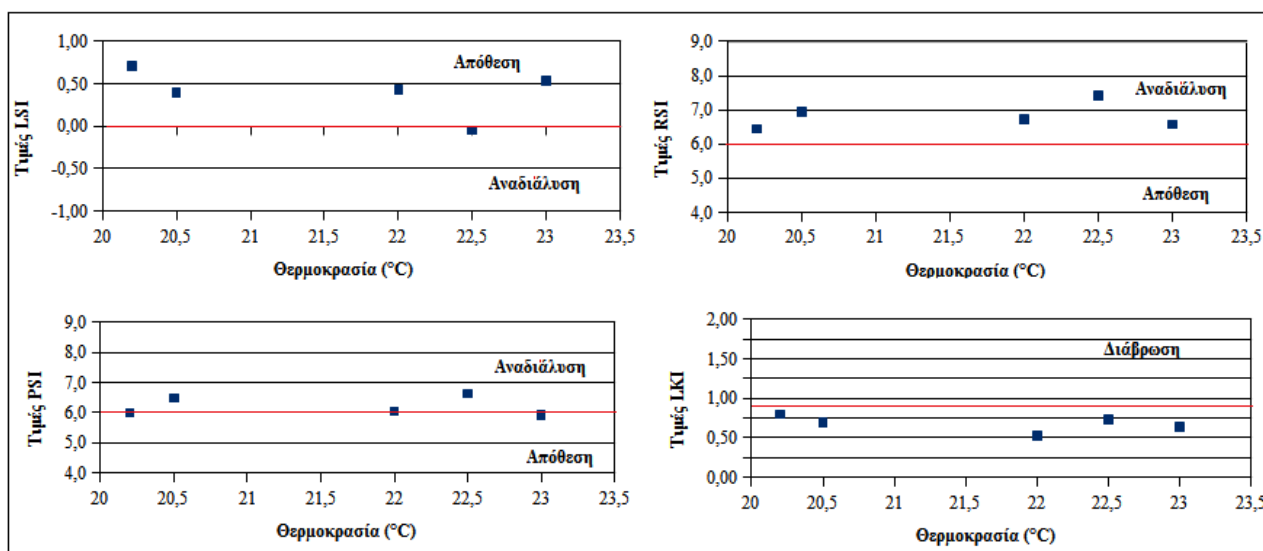
5.18 Δείκτες Απόθεσης Αλάτων και Διάβρωσης Νερού Δικτύου Ύδρευσης

Οι τιμές του δείκτη LSI είναι θετικές για τα δείγματα Β,Γ,Δ,Ε δηλώνοντας την τάση του νερού για απόθεση ανθρακικού ασβεστίου. Οι τιμές του δείκτη Langelier, σύμφωνα με τον Carrier, δείχνουν ότι στα δείγματα Β και Γ υπάρχει ισορροπία αλλά είναι πιθανή η διάβρωση με βελονισμούς, στα δείγματα Δ και Ε υπάρχει τάση για ελαφριά απόθεση τύπου scale και διάβρωση, ενώ στο δείγμα Α φαίνεται μία ελαφριά τάση για διάβρωση.

Οι τιμές του δείκτη Ryznar δείχνουν μία τάση για απόθεση ή διάβρωση στα δείγματα Β, Γ, Δ και Ε και σημαντική διάβρωση για το δείγμα Α (Carrier,1965), ενώ οι τιμές του δείκτη Puckorius δείχνουν ότι τα δείγματα Α και Β εμφανίζουν μία τάση διάβρωσης. Οι τιμές του δείκτη Larson-Skold είναι όλες μικρότερες του 0.8 που σημαίνει ότι τα χλωριούχα και τα θειικά είναι απίθανο να εμπλακούν με το σχηματισμό ενός φυσικού φιλμ για την προστασία των μεταλλικών επιφανειών.

Πίνακας 34 . Δείκτες Νερού Δικτύου Ύδρευσης

Δείγμα-Περιοχή	LSI	RSI	PSI	LKI
A Νάουσα	-0.05	7.4	6.6	0.70
B Πίσω Λιβάδι	0.40	7.0	6.5	0.73
Γ Αλυκή	0.43	6.7	6.0	0.53
Δ Παροικιά	0.54	6.6	5.9	0.64
Ε Λεύκες	0.71	6.5	6.0	0.80



Σχήμα 30. Διαγράμματα LSI, RSI, PSI, LKI Νερού Δικτύου Ύδρευσης



Χάρτης 12 . Προβολή Κύριων Ιόντων Νερού Δικτύου Ύδρευσης σε διαγράμματα Πίτας- Μάιος 2011

5.19 Μελέτη Εξέλιξης Ποιότητας Υδατικών Πόρων στην νήσο Πάρο

Στον Πίνακα 35 που ακολουθεί παρουσιάζεται ο τύπος νερού για κάθε σημείο ύδατος (γεωτρήσεις και πηγές) ανά έτος δειγματοληψίας. Έπειτα, ακολουθούν τα διαγράμματα της ηλεκτρικής αγωγιμότητας, των κύριων ιόντων (Ca^{2+} , Na^+ , HCO_3^- , Cl^-) και των ιοντικών λόγων: Na^+/Cl^- , $\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-}$, $\text{Cl}^-/(\text{HCO}_3^-+\text{CO}_3^{2-})$ και $(\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+})/(\text{Na}^++\text{K}^+)$ συναρτήσει τους έτους δειγματοληψίας (Σχήμα 31). Τα παραπάνω διαγράμματα αφορούν κυρίως σημεία ύδατος για τα οποία υπάρχουν περισσότερα διαθέσιμα στοιχεία.

Στα σημεία ύδατος που βρίσκονται στην ενδοχώρα του νησιού (Γ9, Γ10, Γ16, Γ17) και συγκεκριμένα στην περιοχή του Καμαρίου, του Μαραθίου και του Ξηροποτάμου σε υδροφορείς διαμορφούμενους εντός καρστικοποιημένων μαρμάρων με γενεσιακό υπόβαθρο ο τύπος νερού ($\text{Ca}^{2+}-\text{HCO}_3^-$) παραμένει ο ίδιος κατά την πάροδο του χρόνου. Παρόλη την εκτεταμένη άντληση τους εξαιτίας της καλής ποιότητας τους και την ανομβρία τα όξινα ανθρακικά παραμένουν το επικρατέστερο ιόν κατά την πάροδο του χρόνου, ενώ οι μεταβολές της αγωγιμότητας κυμαίνονται σε φυσιολογικά επίπεδα. Χαρακτηριστικό αυτών των γεωτρήσεων είναι ότι ο λόγος $(\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+})/(\text{Na}^++\text{K}^+)$ παρουσιάζει τιμές μεγαλύτερες του 1, υποδηλώνοντας τη συνεχή τροφοδοσία των υδροφόρων στρωμάτων με φρέσκο νερό.

Όπως, παρατηρούμε από τον Πίνακα 33 υπάρχουν σημεία ύδατος όπου η χρόνια διείσδυση της θάλασσας στους υδροφορείς έχει μετατρέψει τα νερά σε τύπου Na^+-Cl^- με συνέπεια να χαρακτηρίζονται ως "τελικά" νερά. Στην περιοχή της Νάουσας σε κοντινή απόσταση από τη θάλασσα, στο φαράγγι του Ξηροποτάμου συναντάμε τις γεωτρήσεις Γ31, Γ32 και Γ14 όπου την τελευταία δεκαπενταετία χαρακτηρίζονται ως χλωριο-νατριούχες. Σύμφωνα με το Μπεζέ (2001) στην περιοχή τα μάρμαρα βρίσκονται απωθημένα πάνω σε αδιαπέρατο υπόβαθρο (γενέσιου). Η απόλυτη στάθμη των γεωτρήσεων σε απόσταση 1.5 km από την ακτή (στο φαράγγι Ξηροπόταμου) είναι 7.5 m περίπου, δηλαδή σχετικώς αρκετά υψηλά. Αυτό δείχνει, είτε ότι υπάρχει μία στένωση της ροής κατάντη των γεωτρήσεων αυτών, είτε ότι το αδιαπέρατο υπόβαθρο βρίσκεται πολύ μικρό βάθος. Πιθανότατα, η μικρή σχετικώς υφαλμύρωση του υδροφόρου ορίζοντα να οφείλεται σ' αυτό το αίτιο.

Όπως και οι παραπάνω γεωτρήσεις, έτσι και η γεώτρηση του Συρίγου τα τελευταία 15 χρόνια χαρακτηρίζεται ως χλωριο-νατριούχα. Βρίσκεται νοτιοδυτικά της Πάρου με βάθος διάτρησης 100 m, ως εκ τούτου έχει διατρήσει τους υποκείμενους σχηματισμούς (διαλουβιακές αποθέσεις) και η υδροφορία της προέρχεται από τα μάρμαρα. Η υφαλμύρωση της πιθανότατα οφείλεται στο ανοιχτό υδραυλικό μέτωπο των μαρμάρων της ευρύτερης περιοχής με τη θάλασσα καθώς και στην πολυετή χρήση της. Η γεώτρηση Συρίγου ανορύχθηκε αρχές του '80 και για ένα μεγάλο χρονικό διάστημα υδροδοτούσε την Αντίπαρο. Τα τελευταία χρόνια υδροδοτεί την ευρύτερη περιοχή του Κάμπου.

Πίνακας 35. Εξέλιξη Υδροχημικών Τύπων Νερού

Σημείο Ύδατος	1998	1999	2000	2005	2006	2007	2011
Γ2				Mg-Na-Ca-Cl	Na-Cl		
Γ3						Na-Cl	Μικτός
Γ6	Na-Cl				Na-Cl		Na-Cl
Γ9				Ca-HCO ₃		Ca-HCO ₃	Ca-HCO ₃
Γ10	Ca-HCO ₃	Ca-HCO ₃	Ca-HCO ₃	Ca-HCO ₃			
Γ11				Μικτός		Na-Cl	
Γ14	Na-Cl	Na-Cl	Na-Cl		Na-Cl		
Γ15			Ca-HCO ₃		Mg-Na-Ca-Cl		Ca-HCO ₃
Γ16			Ca-HCO ₃			Ca-HCO ₃	Ca-HCO ₃
Γ17			Ca-HCO ₃	Ca-HCO ₃	Ca-HCO ₃		Ca-HCO ₃
Γ19				Mg-Ca-Na-HCO ₃	Μικτός	Mg-Na-Ca-Cl	Mg-Ca-Na-HCO ₃
Γ23					Μικτός	Mg-Ca-Na-HCO ₃	
Γ24					Mg-Ca-Na-HCO ₃	Mg-Ca-Na-HCO ₃	
Γ25						Μικτός	Μικτός
Γ29	Mg-Ca-Na-HCO ₃	Ca-HCO ₃	Ca-HCO ₃	Mg-Na-Ca-Cl			Ca-HCO ₃
Γ31		Na-Cl	Na-Cl	Na-Cl		Na-Cl	Na-Cl
Γ32		Na-Cl	Na-Cl	Na-Cl			
Γ35	Mg-Ca-Na-HCO ₃	Mg-Ca-Na-HCO ₃					
Γ37					Μικτός	Μικτός	
Γ37A						Mg-Ca-Na-HCO ₃	Μικτός
Γ38			Mg-Ca-Na-HCO ₃	Mg-Ca-Na-HCO ₃			
Γ41					Mg-Na-Ca-Cl	Μικτός	
Γ46					NaHCO ₃	NaHCO ₃	
Π1			Mg-Na-Ca-Cl	Ca-HCO ₃		Ca-HCO ₃	
Π2	Na-Cl	Na-Cl	Na-Cl	Na-Cl	Na-Cl		Na-Cl
Π3		Na-Cl	Na-Cl	Na-Cl			
Π5			Na-Cl	Na-Cl	Na-Cl		
Π6				Μικτός		Mg-Na-Ca-Cl	
Π7				Mg-Ca-Na-HCO ₃		Μικτός	
Π8		Mg-Ca-Na-HCO ₃	Mg-Na-Ca-Cl				Mg-Ca-Na-HCO ₃

Όσον αφορά τις πηγές παρατηρούμε ότι στις πηγές στην περιοχή της Νάουσας (Π2, Π3, Π5) που βρίσκονται πλησίον της θάλασσας η χημική σύσταση τους δεν έχει μεταβληθεί κατά την πάροδο του χρόνου. Το 2000 η ηλεκτρική αγωγιμότητα είναι πιο αυξημένη σε σχέση με τις υπόλοιπες χρονιές, πιθανότατα λόγω της παρατεταμένης ανομβρίας.

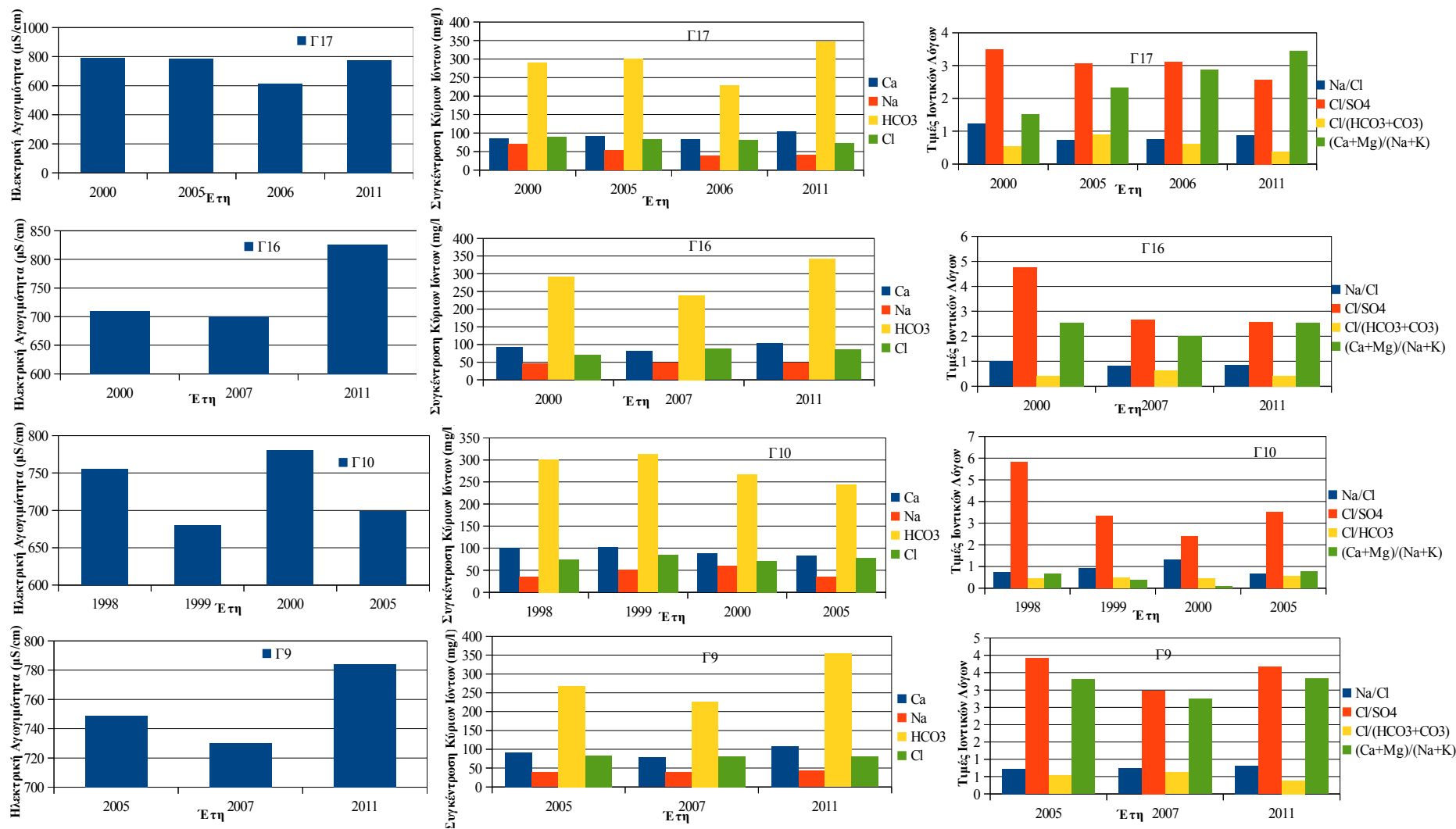
Οι γεωτρήσεις Γ2, Γ3, Γ11 βρίσκονται στην δυτική περιοχή της Πάρου, στην ευρύτερη περιοχή των Πεταλούδων. Αν και τα δεδομένα για αυτές τις γεωτρήσεις είναι περιορισμένα παρατηρούμε μία διαρκή μεταβολή στη χημική τους σύνθεση. Αξιοσημείωτη είναι η περίπτωση της γεώτρησης του Αγ. Αρσενίου (Γ3), στην οποία το 2011 η ποιότητα του νερού βελτιώθηκε σε σχέση με το 2007 όπως φαίνεται και από τον Πίνακα 35 και το Σχήμα 31γ. Το 2007 το βάθος άντλησης νερού υποχώρησε περίπου 23m σε σχέση με το 2005 με απώλεσματα την απότομη αύξηση των χλωριόντων, του συντελεστή Revelle και τον χαρακτηρισμό του νερού ως $\text{Na}^+\text{-Cl}^-$ λόγω της διείσδυσης θαλασσινού νερού.

Στις πηγές Π1 και Π8 παρατηρούμε το 2000 μία μεταβολή στη συνήθη χημική σύσταση τους με αύξηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας κυρίως λόγω της αύξησης των συνολικών διαλυμένων στερεών. Σύμφωνα με τους Lloyd και Heathcote (1985), η επικράτηση του τύπου νερού $\text{Mg}^{2+}\text{-Na}^+\text{-Ca}^{2+}\text{-Cl}^-$ το έτος 2000, δείχνει ότι τα κυρίαρχα ιόντα είναι το νάτριο και το χλώριο και σχετίζεται με την αντίστροφη ιοντική ανταλλαγή νερών τύπου $\text{Na}^+\text{-Cl}^-$. Η απότομη αύξηση του συντελεστή Revelle υποδηλώνει την διείσδυση της θάλασσας στους αντίστοιχους υδροφόρους. Οι δύο αυτές πηγές παραμένουν ανεκμετάλλευτες τα τελευταία χρόνια, οπότε πιθανόν η κύρια αιτία της μεταβολής της χημικής τους σύστασης το 2000 είναι η παρατεταμένη ξηρασία.

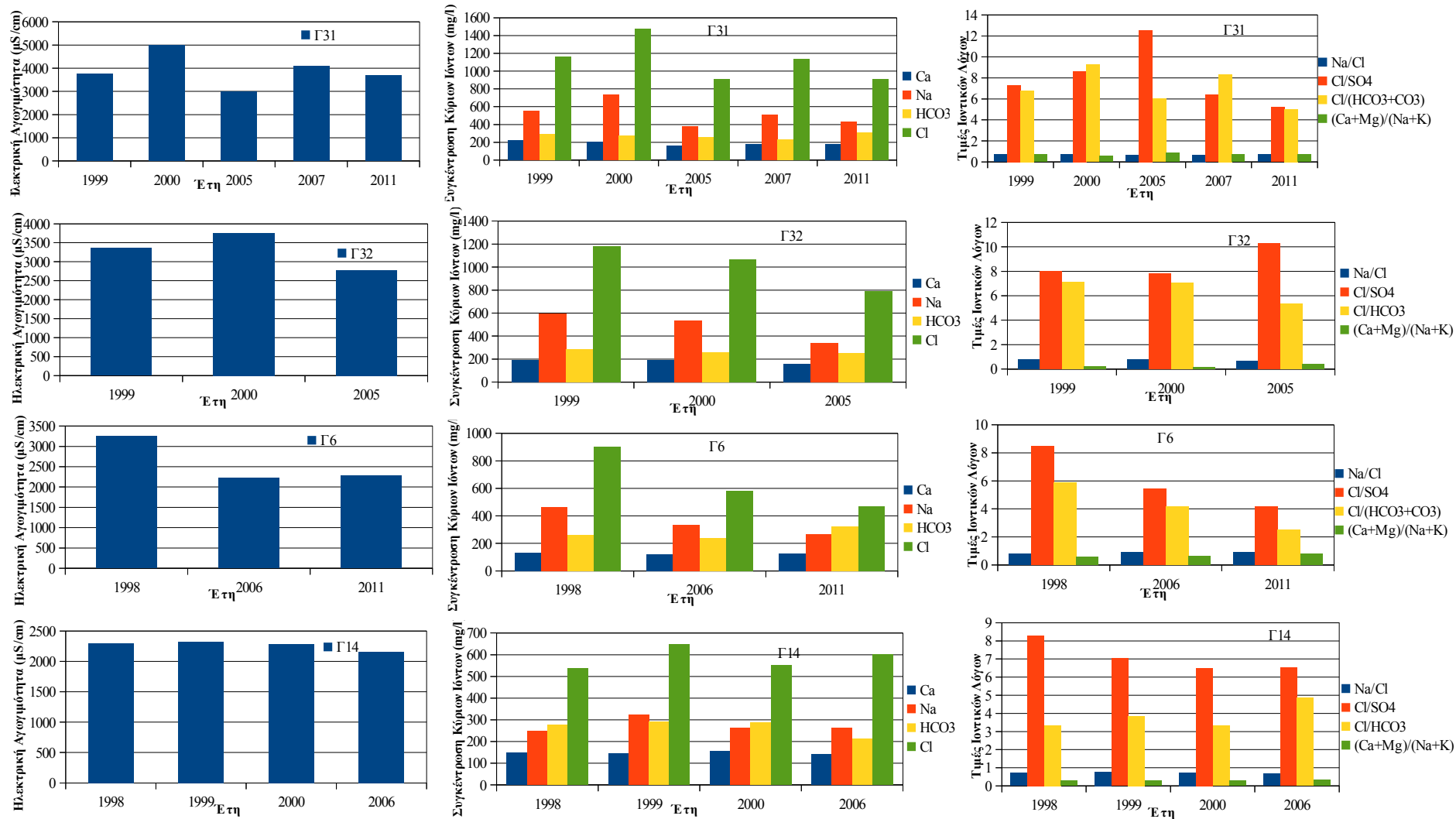
Στις γεωτρήσεις Γ15, Γ19 και Γ29 παρατηρούμε την επικράτηση του τύπου $\text{Mg}^{2+}\text{-Na}^+\text{-Ca}^{2+}\text{-Cl}^-$ τις χρονιές 2006, 2007 και 2005 αντίστοιχα. Η μεταβολή της χημικής σύστασης εκδηλώνεται στη Γ15 με την απότομη αύξηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας λόγω της αύξησης των χλωριόντων και την αύξηση του συντελεστή Revelle. Η πιο πιθανή αιτία για την μεταβολή της χημικής σύστασης είναι η διείσδυση του θαλασσινού νερού εξαιτίας της υπεράντλησης του υδροφόρου. Αντίθετα στις Γ19 και Γ29 η μεταβολή αυτή δύσκολα γίνεται αντιληπτή παρατηρώντας μόνο τις τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας λόγω της ισχυρής συσχέτισης της με τα ιόντα χλωρίου, τα οποία στην συγκεκριμένη περίπτωση δεν παρουσιάζουν τόσο μεγάλη ποσοτική μεταβολή όσο τα όξινα ανθρακικά ιόντα, που όπως αποδείχθηκε και παραπάνω δεν συσχετίζονται με την ηλεκτρική αγωγιμότητα. Τα όξινα ανθρακικά αποτελούν ρυθμιστικό παράγοντα του pH των νερών, το οποίο με τη σειρά του επηρεάζει τις ισορροπίες των αντιδράσεων που επιτελούνται στο υπόγειο νερό και κατά συνέπεια τη χημική σύσταση του.

Τέλος, από τον Πίνακα 33 και το Σχήμα 30 παρατηρούμε ότι στις παραπάνω γεωτρήσεις και πηγές, στις οποίες παρουσιάστηκε για κάποιο χρονικό διάστημα μεταβολή στη συνήθη χημική των

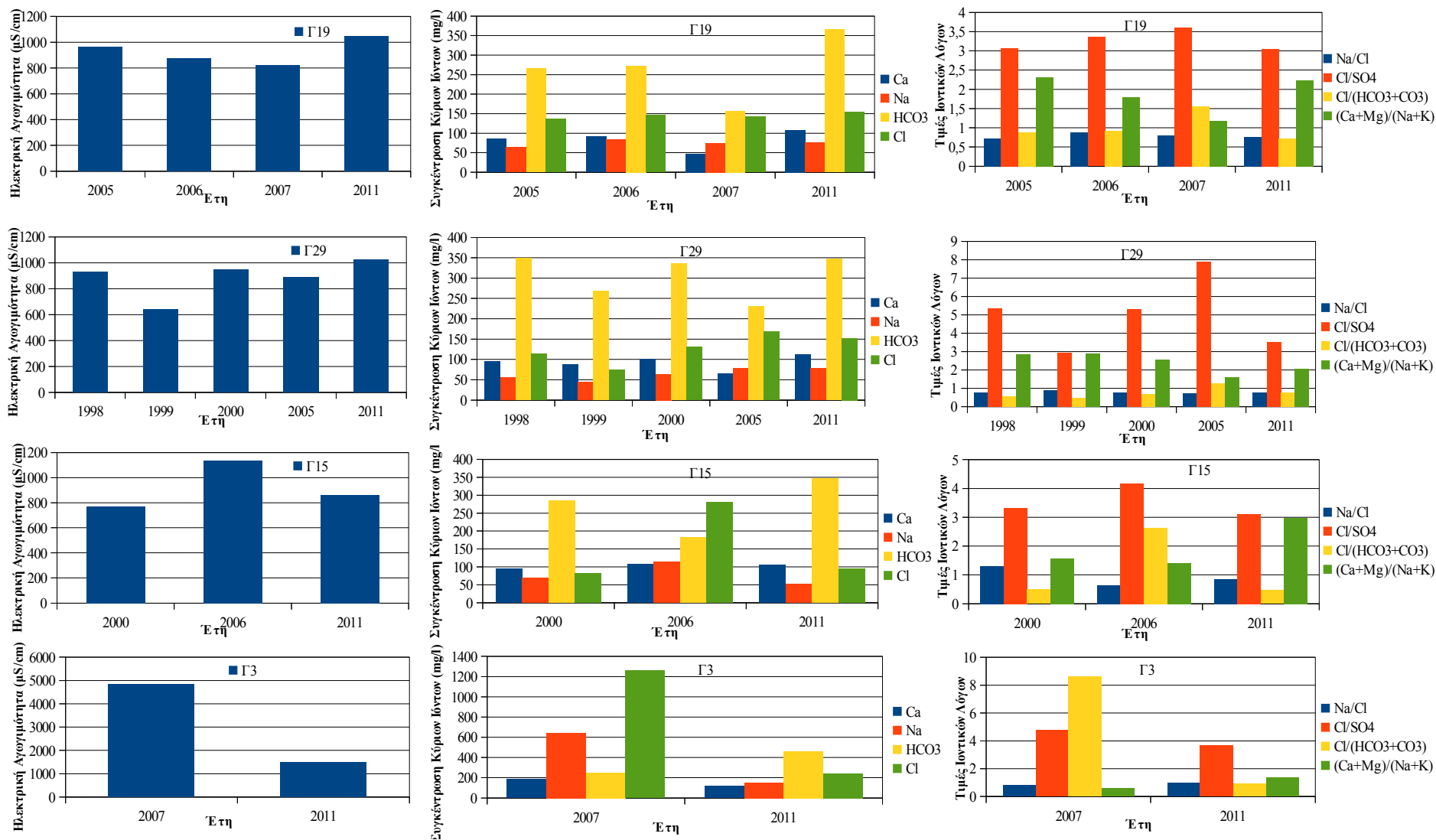
νερών τους μπόρεσαν σε μικρό σχετικά χρονικό διάστημα να επανέλθουν σε αυτή, υποδηλώνοντας οι υδροφόροι κατάφεραν να επιστρέψουν στην κατάσταση δυναμικής ισορροπίας μεταξύ γλυκού και αλμυρού νερού.



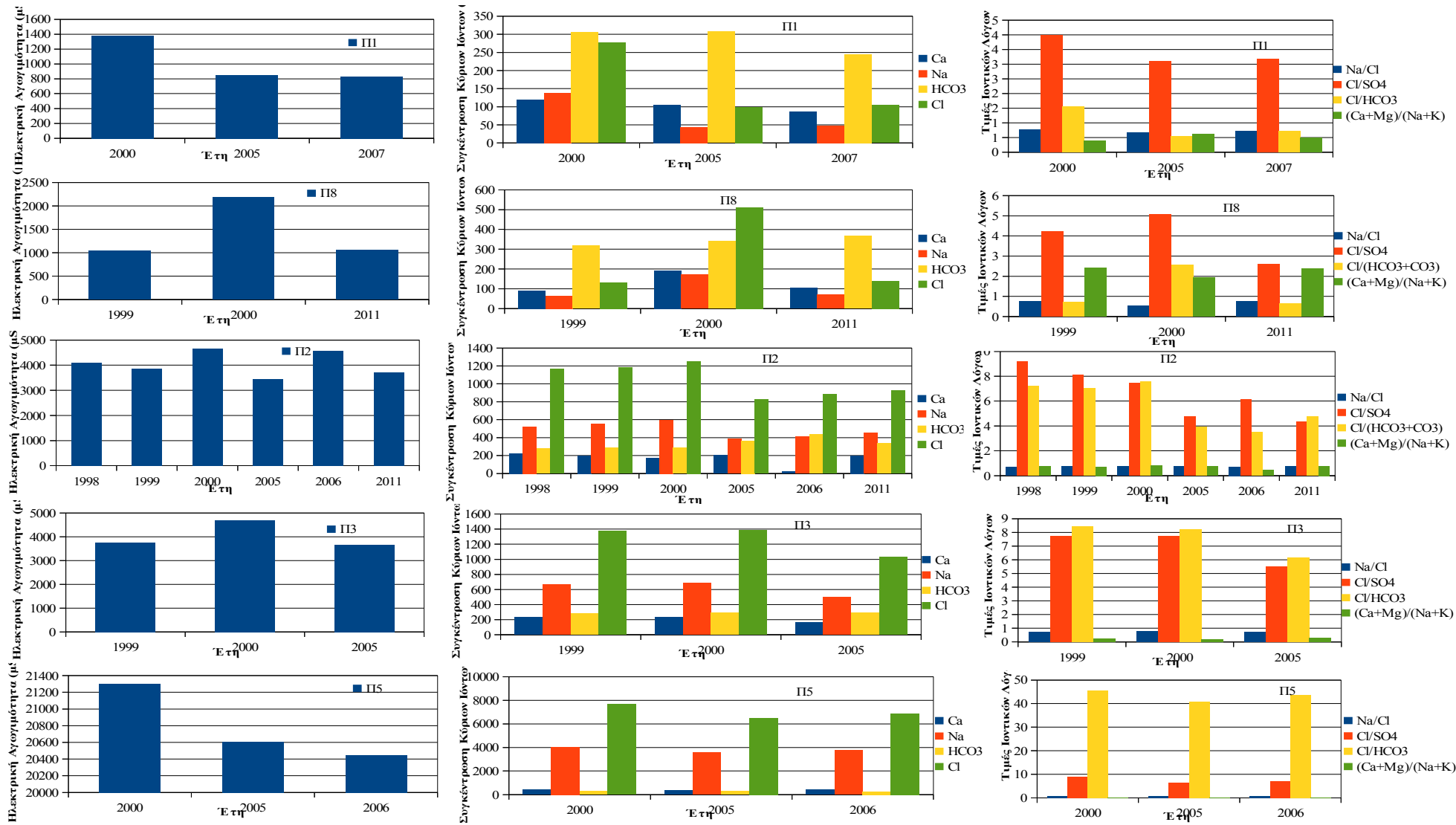
Σχήμα 31α. Διαγράμματα Ηλεκτρικής Αγωγιμότητας, Κύριων Ιόντων και Ιοντικών Λόγων συναρτήσει τους έτους δειγματοληψίας



Σχήμα 31β. Διαγράμματα Ηλεκτρικής Αγωγιμότητας, Κύριων Ιόντων και Ιοντικών Λόγων συναρτήσει τους έτους δειγματοληψίας



Σχήμα 31γ. Διαγράμματα Ηλεκτρικής Αγωγιμότητας, Κύριων Ιόντων και Ιοντικών Λόγων συναρτήσει τους έτους δειγματοληψίας



Σχήμα 31δ. Διαγράμματα Ηλεκτρικής Αγωγιμότητας, Κύριων Ιόντων και Ιοντικών Λόγων συναρτήσει τους έτους δειγματοληψίας

Κεφάλαιο 6. Συμπεράσματα

Οι χημικές αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια της υδροχημικής έρευνας σε γεωτρήσεις και πηγές της νήσου Πάρου έδειξαν ότι η χημική σύσταση για την πλειοψηφία των δειγμάτων διαμορφώνεται ως εξής:

- κατιόντα: $\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+}$
- ανιόντα: $\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$

με τιμές pH = 7.28- 7.81 και την ηλεκτρική αγωγιμότητα να κυμαίνεται από 749- 1,630 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Στα υπόλοιπα δείγματα η κατάταξη των κατιόντων και ανιόντων διαμορφώνεται ως εξής:

- κατιόντα: $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$
- ανιόντα: $\text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-}$

με τιμές pH = 7.27- 7.43 και την ηλεκτρική αγωγιμότητα να κυμαίνεται από 2,280- 3,710 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Οι αυξημένες τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας οφείλονται στην μεγαλύτερη περιεκτικότητα των νερών αυτών σε ιόντα θαλάσσιας προέλευσης και κυρίως σε ιόντα χλωρίου και νατρίου.

Σε κανένα δείγμα δεν ανιχνεύτηκαν ανθρακικά ιόντα, γεγονός που οφείλεται στις τιμές του pH, οι οποίες είναι μικρότερες από 8.3. Σε χημικές παραμέτρους, όπως τα NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ , PO_4^{3-} και το COD, οι οποίες χρησιμοποιούνται συχνά σαν δείκτες ρύπανσης και ποιότητας των νερών, δεν ανιχνεύτηκαν σημαντικές συγκεντρώσεις. Εξαιρέση αποτελεί το δείγμα από μία γεώτρηση στο Άσπρο Χωριό, όπου η συγκέντρωση των NO_3^- άγγιξε τα 68.3 mg/l, πιθανώς λόγω της ύπαρξης νεκροταφείου δίπλα στη γεώτρηση.

Από τα παραπάνω διαπιστώνουμε ότι η χημική σύσταση των υπόγειων νερών και πηγών της Πάρου προσδιορίζεται από τρεις κυρίως παράγοντες:

- την υπόγεια υδροφορία της Πάρου, η οποία εντοπίζεται στις προσχώσεις και στα μάρμαρα είτε ως αυτόνομες στρωματογραφίες είτε ως ενστρώσεις στους γνευσιοσχιστόλιθους,
- την απόσταση και το υψόμετρο των σημείων ύδατος από τη θάλασσα και
- την αλατότητα του βρόχινου νερού, η οποία είναι υψηλότερη στις νησιωτικές και παράκτιες περιοχές σε σύγκριση με τις περιοχές στην ενδοχώρα, γιατί οι υγρές αέριες μάζες πάνω από τη θάλασσα μεταφέρουν σταγονίδια πλούσια σε άλατα.

Η υδροχημική έρευνα έδειξε ότι η πλειοψηφία των δειγμάτων των υπόγειων νερών βρίσκονται πάνω στη συντηρητική γραμμή μίξης γλυκού και αλμυρού νερού με υδροχημικούς τύπους Ca^{2+} - HCO_3^- για το 38% των δειγμάτων, Ca^{2+} - Na^+ - Mg^{2+} - HCO_3^- για το 24% των δειγμάτων, Na^+ - Cl^- για το 19% των δειγμάτων και μικτό τύπο νερών για το 19% των δειγμάτων. Οι τύποι νερού Ca^{2+} - HCO_3^- και Ca^{2+} - Na^+ - Mg^{2+} - HCO_3^- στους οποίους κυρίαρχα ιόντα είναι τα όξινα ανθρακικά και το ασβέστιο

παρουσιάζουν T.D.S = 656- 836 mg/l χαρακτηρίζοντας τα νερά αυτά ως φρέσκα. Οι τιμές του λόγου $(Ca^{2+}+Mg^{2+})/(Na^{+}+K^{+})$ λαμβάνουν τιμές από 1.7 έως 3.4, δείχνοντας ότι η πλειοψηφία των νερών αυτών είναι ανανεώσιμα. Ο μικτός τύπου νερού αντιστοιχεί σε νερά που δεν κυριαρχεί κάποιο ιόν και δείχνει απλή διάλυση ή μίξη. Λαμβάνει τιμές T.D.S.= 634- 1,107 mg/l και τιμές του λόγου $Cl^{-}/HCO_3^{-} = 0.65-1.0$ υποδεικνύοντας σε ορισμένα δείγματα την έκθεση τους στο θαλασσινό νερό. Ο τύπος νερού $Na^{+}-Cl^{-}$ αντιστοιχεί στα "τελικά" νερά και λαμβάνει τιμές T.D.S = 1,196- 2,220 mg/l χαρακτηρίζοντας τα νερά ως υφάλμυρα. Οι τιμές του λόγου $Cl^{-}/HCO_3^{-} = 1.6- 5.0$ δείχνουν ότι ο τύπος νερού $Na^{+}-Cl^{-}$ είναι αποτέλεσμα της διείσδυσης της θάλασσας στους αντίστοιχους υδροφορείς.

Το γεωλογικό υπόβαθρο των υδροφόρων, το οποίο είναι πλούσιο σε ανθρακικά ορυκτά ασβεστίου και μαγνησίου έχει επηρεάσει το χημισμό των νερών καθιστώντας τα νερά υπέρκορα σε αυτά. Το γεγονός αυτό εκδηλώνεται με υψηλές τιμές ολικής σκληρότητας, οι οποίες κυμαίνονται από 282.5 mgCaCO₃/l έως και 780 mgCaCO₃/l κατατάσσοντας τα νερά στην κατηγορία σκληρών και πολύ σκληρών νερών με τάσεις απόθεσης του ανθρακικού ασβεστίου σύμφωνα με τον δείκτη Langelier στα δείγματα με μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε αλκαλικές γαίες και ασθενή οξέα. Σημεία ύδατος με τύπο νερού $Na^{+}-Cl^{-}$ χαρακτηρίζονται από σημαντική τάση για τοπική διάβρωση λόγω της υψηλής περιεκτικότητας τους σε χλωριούχα και θειικά ιόντα.

Ο κίνδυνος μεταβολής της ταχύτητας διήθησης του εδάφους δεν υφίσταται παρόλο που τα νερά εμφανίζουν υψηλό κίνδυνο αλατότητας εξαιτίας των μεγάλων ηλεκτρικών αγωγιμοτήτων. Κατά συνέπεια τα νερά αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν χωρίς κανένα περιορισμό σύμφωνα με τους Ayers και Westcot (1985).

Από τις παραμέτρους που εξετάστηκαν προκύπτει ότι το 71% των σημείων ύδατος αξιολογείται ως νερά με καλή χημική κατάσταση και είναι κατάλληλα για πόση. Οι υπερβάσεις που παρατηρούνται αφορούν τις συγκεντρώσεις νατρίου, χλωρίου και αγωγιμότητας και σε ένα δείγμα τα νιτρικά.

Το νερό ύδρευσης ακολουθεί τη χημική σύσταση των νερών των γεωτρήσεων ακόμα και στην περιοχή της Νάουσας όπου μέρος του νερού προέρχεται από την αφαλάτωση. Τα δείγματα έχουν ηλεκτρική αγωγιμότητα από 758-1,036 $\mu S/cm$ και pH= 7.3-7.9. Εμφανίζουν ολική σκληρότητα από 247.5 έως 1,036 mgCaCO₃/l και χαρακτηρίζονται σκληρά ως πολύ σκληρά νερά. Από τις παραμέτρους που εξετάστηκαν προκύπτει ότι το νερό ύδρευσης πληρεί τις προϋποθέσεις της ΚΥΑ 2600/2001.

Από τη μελέτη εξέλιξης των υδάτων διαπιστώνουμε τα εξής:

- Στην ενδοχώρα του νησιού και συγκεκριμένα βόρεια στην λεκάνη του Ξηροποτάμου, στο Μαράθι και νότια στην περιοχή του Καμαρίου (Αγκαϊριά), όπου οι υδροφόροι

διαμορφώνονται εντός των καρστικοποιημένων μαρμάρων, ο κυρίαρχος τύπος νερού είναι ο $\text{Ca}^{2+}\text{-HCO}_3^-$. Η πολύχρονη εκμετάλλευση των γεωτρήσεων των παραπάνω περιοχών, εξαιτίας της καλής ποιότητας τους για την υδροδότηση της Παροικίας, της Νάουσας και της Αλυκής, καθώς και η ανομβρία δεν έχουν επηρεάσει σημαντικά τη χημική τους σύσταση. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην ύπαρξη γνευσίων και σχιστόλιθων που λειτουργούν σαν φυσικός φραγμός της θάλασσας καθώς και στην μεγάλη απόσταση από τη θάλασσα.

- Στην ανατολική μεριά της Πάρου, όπου συναντάμε πληθώρα γεωτρήσεων που υδροδοτούν την ευρύτερη περιοχή, οι κύριοι γεωλογικοί σχηματισμοί είναι μάρμαρα και αμφιβολίτες ή προσχώσεις και γνεύσιοι διαμορφώνοντας κυρίως νερά τύπου $\text{Ca}^{2+}\text{-Na}^+\text{-Mg}^{2+}\text{-HCO}_3^-$, τα οποία σε γενικές γραμμές δεν εμφανίζουν ακραίες μεταβολές στη σύσταση τους κατά την πάροδο του χρόνου.
- Τα ποιοτικά, λόγω της υφαλμύρωσης, υποβαθμισμένα σημεία ύδατος εντοπίζονται στο βόρειο και νότιο μέρος της Πάρου πλησίον της θάλασσας. Η υποβάθμιση αυτών των σημείων οφείλεται πρωτίστως στην γεωλογική διαμόρφωση που ευνοεί τη διείσδυση της θάλασσας και δευτερευόντως στην υπερκεκμετάλλευση τους για την κάλυψη των αναγκών σε νερό. Πιο συγκεκριμένα, στην περιοχή της Νάουσας, οι πηγές που εκδηλώνονται δίπλα στη θάλασσα και οι γεωτρήσεις που βρίσκονται σε απόσταση 1.5 km από την ακτή στο φαράγγι του Ξηροπόταμου είναι υφάλμυρες ($\text{Na}^+\text{-Cl}^-$). Τα νερά αυτά να υφίστανται την χρόνια επίδραση της θάλασσας είτε λόγω του μικρού βάθους του αδιαπέρατου υπόβαθρου είτε λόγω της ύπαρξης στένωσης της ροής του υπογείου νερού προς την έξοδο του (πηγή Νάουσας). Νοτιοδυτικά της Πάρου, όπου οι κύριοι γεωλογικοί σχηματισμοί είναι διαλουβιακές αποθέσεις και μάρμαρα κυριαρχεί ο τύπος $\text{Na}^+\text{-Cl}^-$ εξαιτίας του ανοιχτού υδραυλικού μετώπου των μαρμάρων με τη θάλασσα. Στην νοτιοανατολική πλευρά της Πάρου, στο Άσπρο Χωριό, το ανοιχτό υδραυλικό μέτωπο των μαρμάρων με τη θάλασσα έχει δημιουργήσει κυρίως μικτούς τύπους νερών. Τέλος, την εισβολή του θαλασσινού νερού πιθανόν δέχονται οι γεωτρήσεις, νότια της Παροικίας στην περιοχή των Πεταλούδων.
- Τέλος, σε γενικές γραμμές η χημική σύσταση των νερών της Πάρου παρόλη την αυξημένη κατανάλωση νερού ειδικότερα τους θερινούς μήνες και τη χαμηλή βροχόπτωση δεν φαίνεται να παρουσιάζει έντονες διακυμάνσεις κατά την πάροδο του χρόνου και η πλειοψηφία των σημείων ύδατος διατηρούν τη συνήθη χημική τους σύσταση. Σημεία ύδατος (γεωτρήσεις, πηγές), τα οποία κάποια χρονική στιγμή εμφάνισαν μεταβολή στη συνήθη χημική τους σύσταση, κατάφεραν σε σχετικά σύντομο χρονικό διάστημα να επιστρέψουν στην κατάσταση δυναμικής ισορροπίας μεταξύ γλυκού και αλμυρού νερού.

Κεφάλαιο 7. Προτάσεις

Με στόχο τον έλεγχο και την πρόληψη των υπόγειων υδάτων από τη ρύπανση και τα προβλήματα υφαλμύρωσης προτείνονται τα εξής:

- Πρόγραμμα συστηματικής παρακολούθησης της ποιοτικής και ποσοτικής κατάστασης των υπόγειων υδάτων καθώς και προσομοίωση με μαθηματικά μοντέλλα της κατάστασης του υπόγειου υδροφορέα
- Δημιουργία βάσης υδρολογικών και υδρογεωλογικών δεδομένων
- Καταγραφή των ιδιωτικών γεωτρήσεων και των ποιοτικών και ποσοτικών χαρακτηριστικών τους
- Αναστολή της λειτουργίας των γεωτρήσεων που βρίσκονται στις υποβαθμισμένες από την υφαλμύρωση περιοχές, λελογισμένη απόληψη νερού από τις γεωτρήσεις που βρίσκονται εκτός της ρυπασμένης ζώνης που θα βασίζεται αποκλειστικά και μόνο στις δυνατότητες των υδροφορέων και αξιοποίηση ανεκμετάλλευτων γεωτρήσεων.
- Έρευνα για τον εντοπισμό νέων αποθεμάτων νερού και για την αποφυγή ποσοτικής και ποιοτικής επιδείνωσής των ήδη υπάρχοντων.
- Έργα εμπλουτισμού υπόγειων υδροφοριών μέσω της συγκράτησης και διήθησης των επιφανειακών απορροών των ρεμάτων. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί είτε με την κατασκευή χαμηλών φραγμάτων μέσα στην κοίτη ορισμένων ρεμάτων και ενίσχυση με τον τρόπο αυτό της κατεΐσδυσης του νερού προς τον υδροφόρο ορίζοντα, είτε με την κατασκευή υπόγειου διαφράγματος στο κατάντη τμήμα του ποταμού για την αποφυγή της ανάμιξης των νερών με τα υφάλμυρα της παράκτιας ζώνης. Τα έργα εμπλουτισμού θα έχουν ως αποτέλεσμα τη διατήρηση της δυναμικότητας των ήδη αξιοποιούμενων υδρογεωτρήσεων και αφετέρου θα καταστήσουν δυνατή τη διάνοιξη όλο και περισσότερων νέων υδρογεωτρήσεων.
- Αξιοποίηση των επιφανειακών νερών και εξεύρεση καταλλήλων θέσεων για κατασκευή έργων ικανών να αποθηκεύουν ποσότητες νερού.
- Εγκατάσταση μικρών μονάδων αφαλάτωσης σε παράκτιους υφάλμυρους υδροφόρους, τα οποία θα χρησιμοποιούν υφάλμυρο νερό μέσω κατάλληλων υδροληπτικών έργων πολύ περιορισμένης αλατότητας σε σχέση με εκείνο της θάλασσας.
- Αξιοποίηση των πηγών, όπως για παράδειγμα την πηγή του Δρυού. Η πηγή του Δρυού τα τελευταία χρόνια δε χρησιμοποιείται, λόγω μικροβιακής μόλυνσης της από βόθρους της περιοχής. Με την κατασκευή έργων αποχέτευσης και την κατάργηση των βόθρων μπορεί να επιτευχθεί απορρύπανση και μελλοντική αξιοποίηση της.

- Φυτοκάλυψη με θάμνους και δενδρύλια. Η φυτοκάλυψη συγκρατεί μία σημαντική ποσότητα βροχής ενώ ταυτόχρονα στερεώνει το έδαφος και εμποδίζει την ταχεία επιφανειακή ροή του νερού. Έτσι τα νερά αναγκάζονται να απορρέουν αργά διαμέσου του εδάφους, να εμπλουτίζουν τα υπόγεια υδροφόρα στρώματα και να τροφοδοτούν τις πηγές.
- Κατασκευή έργων αποχέτευσης για την κατάργηση των βόθρων και την αποφυγή μολύνσεων των υπόγειων υδροφόρων.
- Αποτροπή εγκατάστασης ρυπογόνων για τα υπόγεια νερά δραστηριοτήτων μέσα στη γεωγραφική περιοχή της λεκάνης του υδροφόρου συστήματος.
- Βελτίωση του δικτύου ύδρευσης, ώστε να ελαχιστοποιηθούν οι απώλειες νερού, μέσω της πλήρους αντικατάστασής του από πλαστικούς σωλήνες.
- Συνεχής επέκταση των δικτύων για την εξυπηρέτηση νέων ή απομονωμένων οικισμών, ή ακόμα και μεμονωμένων κατοικιών.
- Αποφυγή των επικαθήσεων αλάτων και κυρίως του ανθρακικού ασβεστίου στα μέρη του δικτύου ύδρευσης, στις οικιακές συσκευές κ.α με:
 - Προσθήκη υδατοδιαλυτών ενώσεων σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις (ppm), οι οποίες μπορούν να επηρεάσουν το σχηματισμό των φάσεων του ανθρακικού ασβεστίου είτε στο στάδιο σχηματισμού των πυρήνων κρυστάλλωσης είτε στο στάδιο της κρυσταλλικής ανάπτυξης. Επίσης, οι ενώσεις αυτές μπορεί να προκαλέσουν σημαντικές μεταβολές στην μορφολογία των σχηματιζόμενων κρυστάλλων, επηρεάζοντας την προσκόλλησή τους σε επιφάνειες ή/και να σταθεροποιήσουν θερμοδυναμικά ασταθέστερες φάσεις. Η αποτελεσματικότητα των ενώσεων αυτών εξαρτάται από την χημική σύσταση και τα μοριακά χαρακτηριστικά τους. Οι συνθετικοί πολυηλεκτρολύτες και οι οργανοφωσφορικές ενώσεις αποτελούν δύο από τις σημαντικότερες κατηγορίες των ενώσεων αυτών.
 - Οξίνιση του νερού με προσθήκη οξέος, όπως το θειικό οξύ, για τη μείωση του pH ώστε να είναι μικρότερο του pHs
 - Περιορισμό των συνολικών διαλυμένων στερεών (TDS) με μεθόδους όπως η αντίστροφη ώσμωση και ο ιονισμός.
 - Αποσκλήρυνση του νερού για την μείωση του συγκεντρώσεων ιόντων μαγνησίου και ασβεστίου
 - Αποφυγή λειτουργίας οικιακών συσκευών, όπως το πλυντήριο σε υψηλές θερμοκρασίες, οι οποίες ευνοούν τις επικαθήσεις του ανθρακικού ασβεστίου.

Βιβλιογραφία

- Abdosalehi, E., Banejad, H., Abyaneh, Z.H., (2009). Conceptual considerations concerning water quality of Gezel-Ozan river in Iran, Thirteenth International Water Technology Conference 2009, Hurghada, Egypt, 333-343
- Αντωνόπουλος, Β., (2003). Ποιότητα και Ρύπανση Υπογείων Νερών, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη
- Αντωνόπουλος, Β., (2001). Ποιότητα Νερού και Ρύπανση Υδατικών Πόρων, Συμπόσιο: Αιγαίο-Νερό-Βιώσιμη ανάπτυξη, 6-7 Ιουλίου 2001, Πάρος
- Ανδρεαδάκης, Α., (2008). Οδηγία –πλαίσιο 2000/60 για τη Διαχείριση Υδάτινων Πόρων, Ινστιτούτο Τοπικής Αυτοδιοίκησης, Αθήνα, σ. 31
- APHA, AWWA, WEF, 1989. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Clesceri, L.S., Greenberg, A.E. and Trussell, R.R. (eds), Seventeenth Edition. American Public Assosiation, Washington D.C.
- Appelo, C.A.J. and Postma, D., (1996). Geochemistry, groundwater and pollution, A.A. Balkema p. 536
- Ayers R.S. and Westcot, D.W., (1985). Water Quality for Agriculture, FAO Irrigation and Drainage paper, no 29 rev., Rome
- Bexfield, L.M. and Anderholm,S.K., (2008). Potential Chemical Effects of Changes in the Source of Water Supply for the Albuquerque Bernalillo County Water Utility Authority,U.S. Geological Survey, Reston, Virginia, p. 48
- Bosch, X. and Custodio, E., (1993). Dissolution processes in the freshwater-saltwater mixing zone in the Cala Jostel area (Tarragona). Proc. of the XII Salt Water Intrusion Meeting, Barcelona, CIMNE-UPC edn, 229-244
- Βουδούρης, Κ. (2006). Θέματα υδρογεωλογίας περιβάλλοντος, Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας, Τμήμα Γεωλογίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
- Βουδούρης Κ., Νίκας Κ., Αντωνάκος Α., (2004). Μελέτη της εξέλιξης του μετώπου υφαλμύρωσης σε παράκτιους υδροφόρους ορίζοντες. Η περίπτωση του παράκτιου τμήματος της ΒΔ Αχαΐας, Πρακτικά 10ου Διεθνούς Συνεδρίου, Θεσ/νίκη Απρίλιος 2004, Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας τομ. XXXVI, 1952-1961
- Burdon D.J. and Mazloun S., (1958). Some chemical types of groundwater from Syria, UNESCO Symp, Teheran, 73–90

- Γερασίδη, Α., (2004). Αξιολόγηση προτάσεων διαχείρισης υδατικών πόρων στη Ν. Πάρο, Μεταπτυχιακή εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Πανεπιστήμιο Πειραιώς, Αθήνα, σελ. 90
- Γιαννουλόπουλος, Π. και Λάππας Ι., (2010). Υπόεργο 7: Αποτίμηση Υδατικών Πόρων Αιγαίου. Ποιοτικοί Έλεγχοι και Προτάσεις Αξιοποίησης (Υ.Δ.14), Έργο: Καταγραφή και αποτίμηση των υδρογεωλογικών χαρακτήρων των υπογείων νερών και υδροφόρων συστημάτων της χώρας, Γ'ΚΠΣ Επιχειρησιακό Πρόγραμμα Ανταγωνιστικότητα, Διεύθυνση Υδρογεωλογίας, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος, ΙΓΜΕ
- Carrier Air Conditioning Company, (1965). Handbook of Air Conditioning System Design, McGraw-Hill Books, New York
- Carroll, D., (1962). Rainwater as a chemical agent of geologic processes: a review, US Geological Survey Water-Supply Paper 1535-G, p. 18
- Chadha, D. K., (1999). A proposed new diagram for geochemical classification of natural waters and interpretation of chemical data, Hydrogeology Journal 7, 431–439
- Dazy J., Drogue C., Charmanidis Ph., Darlet Ch., (1997). The influence of marine inflows on the chemical composition of groundwater in small islands: the example of the Kyclades (Greece), Environmental Geology 31 (3/4), 133-141
- Δήμος Πάρου, (2011). Α' Στρατηγικός σχεδιασμός, Επιχειρησιακό πρόγραμμα Δήμου Πάρου 2011-2014
- Δέκαθλον Α.Ε. και Λαγουδάκη Αναστασία, (2008). Μελέτη του Γενικού Πολεοδομικού Σχεδίου του Δήμου Πάρου Β2 Φάση, Περιφερειακό Πλαίσιο Χωροταξικού Σχεδιασμού και Αειφόρου Ανάπτυξης Νοτίου Αιγαίου
- Durov, S.A., (1948). Natural waters and graphic representation of their compositions, Dokl Akad Nauk SSSR 59, 87–90
- Ειδική Γραμματεία Υδάτων, (2012). Ποιότητα Επιφανειακών και Υπόγειων Υδάτων της Χώρας -Περίοδος Αναφοράς 2000-2008, ΥΠΕΚΑ
- Ευελπίδου, Ν.Η., (1996). Γεωλογικές και γεωμορφολογικές παρατηρήσεις στη νήσο Πάρο με τη χρησιμοποίηση μεθόδων φωτοερμηνείας και GIS, Μεταπτυχιακή εργασία, Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωλογίας, Αθήνα, σ. 181
- Ευρωπαϊκή Επιτροπή, (2002). Η Οδηγία-Πλαίσιο περί Υδάτων: Αντλήστε απο αυτήν, Λουξεμβούργο: Γραφείο Επίσημων Δημοσιεύσεων των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων, σ. 12
- Ευρωπαϊκή Επιτροπή, (2008). Προστασία των Υπόγειων Νερών στην Ευρώπη: Η νέα ευρωπαϊκή οδηγία για τα υπόγεια ύδατα- Ενοποίηση του κοινοτικού ρυθμιστικού πλαισίου,

Λουξεμβούργο: Γραφείο Επίσημων Δημοσιεύσεων των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων, σ. 35

- Ζαχαριάδη Χ.Ι., Παπαδοπούλου Μ.Π., Καρατζάς Γ.Π., (2006). Μελέτη του φαινομένου της υφαλμύρινσης σε καρστικοποιημένες παράκτιες περιοχές, 10ο Πανελλήνιο Επιστημονικό Συνέδριο Διαχείρισης Υδατικών Πόρων και Προστασίας Περιβάλλοντος, 13-16 Δεκεμβρίου 2006, Ξάνθη, Ελληνική Υδροτεχνική Ένωση
- Gimenez, E., & Morell, I., (1997). Hydrogeochemical analysis of salinization processes in the coastal aquifer of Oropesa (Castellon, Spain), *Environmental Geology* 29 (1/2), p.118-131
- Güler, C., Thyne, G.D., McCray, J.E., Turner, K.A., (2002). Evaluation of graphical and multivariate statistical methods for classification of water chemistry data, *Hydrogeology Journal* 10, 455–474
- Hadi, K.M. and Al-Ruwaih, F.M., (2008). Geochemical evolution of the fresh groundwater in Kuwait Desert, *Emirates Journal for Engineering Research*, 13 (3), 37-45
- Hem D.J., (1989). Study and Interpretation of the chemical characteristics of natural water, 3rd Edition, US Geological Survey Water-Supply paper 2254, p. 249
- Καλλέργης, Γ., (1986). Εφαρμοσμένη Υδρογεωλογία, Τόμος Α, Τ.Ε.Ε., Αθήνα
- Καλλία – Αντωνίου, Αγ., (2007). Το νερό, Επιτροπή Κοινωνικής Πολιτικής, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη, σ.16
- Καλλία-Αντωνίου Αγ., (2007). Νομικό Πλαίσιο Διαχείρισης Υδάτινων Πόρων – Η Εφαρμογή της Οδηγίας – Πλαίσιο 2000/60/ΕΚ, Περιβάλλον και Δίκαιο 4, 570-576
- Καραβίτης, Χ.Α., (2010) Σχεδιασμός και διαχείριση υδατικών πόρων, Σημειώσεις μαθήματος Διαχείρισης Υδατικών Πόρων, Εαρινό Εξάμηνο 2010, Τμήμα Αξιοποίησης Υδατικών Πόρων και Γεωργικής Υδραυλικής, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, σελ. 40
- Καρισιάδης Γ., (2008). Η Οδηγία-Πλαίσιο για τα ύδατα. Διαχείριση διασυννοριακών υδάτων, Ηλεκτρονικό Περιοδικό «Νόμος και Φύση»
- Κατάκης, Δ., Μεθενίτης, Κ., Μητσοπούλου, Χ., Πνευματικάκης, Γ., (2002). Ανόργανη χημεία Β': Τα στοιχεία, Εκδόσεις Παπαζήση, Αθήνα, σ. 356
- Κ/Ξ Υδατοσυστημάτων Αιγαίου, (2008). Ανάπτυξη συστημάτων και εργαλείων διαχείρισης Υδατικών Πόρων Υδατικού Διαμερίσματος Νήσων Αιγαίου, ΥΠΑΝ
- Λαμπράκης Ν., Soren, J., Παναγόπουλος Γ. και Πυτικάκης, Ε., (2004). Υδροχημικές συνθήκες και ποιότητα των υπογείων νερών της πεδινής ζώνης της λεκάνης του ποταμού Πηνειού, Ν.Ηλείας, Πρακτικά 10ου Διεθνούς Συνεδρίου, Θεσ/νίκη Απρίλιος 2004, Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας τομ. XXXVI, 2002-2011

- Lambrakis, N., Tiniakos, L., Voudouris, K., Kallergis, G., (2000). Hydrogeologische Untersuchungen auf der Insel Serifos zur Beschaffenheit der granodioritischen Wässer, Beiträge zur Hydrogeologie 51, 95-110
- Langelier, W. F., (1936). The analytical control of the anti-corrosion water treatment. Journal of the American Water Works Association, 38, 1500-1521
- Larson, T. E., and Skold, R.V., (1958). Laboratory studies relating mineral water quality of water to corrosion of steel and cast iron, Corrosion, 146, 285–288
- Lloyd, J.W., (1965). The hydrochemistry of the aquifers of northeastern Jordan, J Hydrol 3, 319–330
- Lloyd, J.W., Heathcote J.A., (1985). Natural inorganic hydrochemistry in relation to groundwater, Oxford, p. 296.
- Μαρκαντωνάτος, Γ. Π., (2001), Επισήμανση προβλημάτων ύδρευσης – αποχέτευσης Ν. Πάρου και προσδιορισμός αναγκαίων έργων για την ολοκλήρωση των υποδομών, Συμπόσιο: Αιγαίο-Νερό-Βιώσιμη ανάπτυξη, 6-7 Ιουλίου 2001, Πάρος
- Martinez, D.E. and Bocanegra, E.M., (2002). Hydrogeochemistry and cation exchange processes in the coastal aquifer of Mar Del Plata, Argentina. Hydrogeology Journal, 10 (3), 393-408
- Merkel, B.J. And Planner-Friedrich, B., (2008). Groundwater geochemistry. A practical guide to modeling of natural and contaminated aquatic systems. Springer, New York
- Μπεζές Κ., (2001). Υδρογεωλογική Έρευνα Νήσου Πάρου, Συμπόσιο: Αιγαίο-Νερό-Βιώσιμη ανάπτυξη, 6-7 Ιουλίου 2001, Πάρος
- Meybeck, M., Chapman, D.V. and Helmer, R., (1990). Global Freshwater Quality - A First Assessment, WHO and UNEP, B. Blackwell, Ltd, U.K
- Νάνου-Γιάνναρου Α., (2001). Υφαλμύρωση παράκτιων υδροφορέων, Συμπόσιο: Αιγαίο-Νερό-Βιώσιμη ανάπτυξη, 6-7 Ιουλίου 2001, Πάρος
- Νταρακάς, Ε., (2010). Ποιοτικά χαρακτηριστικά και διεργασίες επεξεργασίας νερού, Τομέας Υδραυλικής & Τεχνικής περιβάλλοντος, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
- Neville, A. and Morizot, A.P., (2000). A combined bulk chemistry/electrochemical approach to study the precipitation, deposition and inhibition of CaCO₃, Chemical Engineering Science 55, 4737-4743
- Ξενάκης, Μ., (1983). Το κάλυμμα του Δρυού στην Πάρο, την Αντίπαρο και τα γύρω νησιά, Διπλωματική εργασία, Τομέας Δυναμικής Τεκτονικής και Εφαρμοσμένης Γεωλογίας, Αθήνα, σ.46

- Παπαγεωργάκης, Ι., (1968). Περί μίας εμφανίσεως Κρητιδικού της νήσου Πάρου ΡΑΑ, 43, Αθήνα, 163-174
- Panagopoulos, A., (1995). A methodology for groundwater resources management of a typical alluvial aquifer system in Greece. University of Birmingham
- Papanikolaou, D., (1977). On the structural geology and tectonics of Paros island (Aegean sea), A.G.P.H., 28, 450-464
- Papanikolaou, D., (1979c). Contribution to the geology of Aegean Sea: The island of Paros, A.G.P.H., 30/1, 65-96
- Piper, M., (1944). A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analysis, Trans. Amer. Geophysical Union, 25, 914-928
- Puckorius, P.R., Brooke, J.M., (1988). Effectively evaluating cooling water treatment programs (17), NACE-Corrosion Conference 21-25 March 1998, St Louis, USA
- Pradhan, B. and Pirasteh, S., (2011). Hydro-Chemical Analysis of the Ground Water of the Basaltic Catchments: Upper Bhatsai Region, Maharashtra. The Open Hydrology Journal, 5, 51-57
- Ripp, M.K., (2000). Causes and cures of distribution system corrosion, American Water Works Association, p. 28
- Ryznar, J.W., (1944). A new index for determining amount of calcium carbonate scale formed by a water, Journal of the American Water Works Association, 36, 472-483
- Sawyer, C.H., (1960). Chemistry for sanitary engineers, McGraw Hill Book, New York
- Schoeller, H., (1955). Geochimie des eaux souterraines, Application aux des gisements de petrole, Revue de l' Institute Francais du Petrole et Annales de Combustibles Liquuides, Paris, 10, 230-244
- Sharaky, A.M., Atta, S.A., El Hassanein, A.S., Khallaf K.M.A., (2007). Hydrochemistry of groundwater in the Western Nile Delta aquifers, 2nd International Conference on the Geology of Tethys, 19-21 March 2007, Cairo University, Egypt
- Σκούλλος, Μ., (2009). Χημεία Περιβάλλοντος, Τμήμα Χημείας, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών
- Σούλιος, Γ., (2006). Ποιότητα υπόγειου νερού, Ρύπανση – Μόλυνση υπόγειου νερού, Τέταρτος τόμος, University Studio Press, Θεσσαλονίκη
- Σταμπατάκης, Π., (2001). Υπόγεια νερά- Το παρόν και το μέλλον στα νησιά του Αιγαίου, Συμπόσιο: Αιγαίο-Νερό-Βιώσιμη ανάπτυξη, 6-7 Ιουλίου 2001, Πάρος
- Sulin, V.A., (1948). Condition of formation, principals of classification and constituents of

natural waters, Particularly Water of Petroleum Accumulation, Moscow, Leningrad, Acad. of Sc., USSR

- Trikalinos, J., (1942-47). Uber die ob. Kreidettransgression auf den kristallinen Schichten der Insel Paros, A.G.P.H., p. 1-6
- U.S. Environmental Protection Agency (1976). Quality Criteria for water. Washington, D.C. 20460, p. 501
- U.S. Salinity Laboratory Staff, (1954). Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils, U.S.D.A. Agricultural Handbook, No 60, Department of Agriculture, Washington D. C., USA. p. 160.
- Wilcox, L., (1948). The quality of water for irrigation use. Technical Bull. 962, U.S.D.A., Washington
- Vengosh, A., Rosenthal, E., (1994). Saline groundwater in Israel: its bearing on the water crisis in the country, Journal of Hydrology 156, 389-430
- Υφαντής, Δ.Κ., (2005). Υλικά, διάβρωση και προστασία, Ε.Μ.Π., Αθήνα, σ. 223
- Χαρμανίδης, Φ.Η., (1998). Υδροχημικά χαρακτηριστικά των υπογείων νερών των νησιών του κυκλαδικού συμπλέγματος (Παράδειγμα: Σύρος, Τήνος, Πάρος, Αντίπαρος). Πρακτικά 18ου Διεθνούς Συνεδρίου, Πάτρα Μαΐος 1998, Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας τομ. XXXII/4, 81-89
- Χατζηιωάννου, Θ.Π., (2003). Χημική ισορροπία και ανόργανη ποιοτική ημιμικροανάλυση, Αθήνα, σ. 577
- Χατζηιωάννου, Θ.Π., Καλοκαιρινού, Α.Κ., Τιμοθέου-Ποταμιά, Μ., (2003). Ποσοτική ανάλυση, Αθήνα, σ. 530
- Zaporozec, A., (1972). A graphical interpretation of water quality data, Groundwater, 10, 32-43

Διαδίκτυο

- <http://www.americanscience.org>
- http://www.chem.uoa.gr/quali/quali_menu.htm
- <http://www.epa.gov/>
- <http://geology.com/>
- <http://www.ypeka.gr/>

- <http://www.eea.europa.eu/>
- <http://www.elinyae.gr/>
- <http://www.nomosphysis.org.gr/>
- <http://www.paros.gr/>
- <http://www.statistics.gr/portal/page/portal/ESYE>
- <http://www.usgs.gov/>
- <http://www.wwf.gr/>