



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΓΓΕΙΟΒΕΛΤΙΩΤΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ ΚΑΙ
ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ

**Παρακολούθηση και αξιολόγηση
ποιότητας νερού του ρέματος Ραφήνας
στην Ανατολική Αττική
για το έτος 2011**

Διπλωματική εργασία

ΠΑΝΩΡΙΟΣ Σ. ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ

Επιβλέπων: Ναλμπάντης Ιωάννης, Επίκ. Καθηγητής ΕΜΠ

ΑΘΗΝΑ
ΙΟΥΝΙΟΣ 2013

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας αποτελεί την ολοκλήρωση μίας μακροχρόνιας διαδικασίας μάθησης και γι' αυτό το λόγο σηματοδοτεί το επιτυχημένο τέλος όλης αυτής της πορείας. Έτσι θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους εκείνους τους ανθρώπους που με βοήθησαν έτσι ώστε να βρίσκομαι αυτή τη στιγμή στο τέλος.

Πρώτα απ' όλα θα ήθελα να πω ένα τεράστιο ευχαριστώ στον επιβλέποντα καθηγητή μου, κ. Ιωάννη Ναλμπάντη, που μου εμπιστεύτηκε την εκπόνηση του θέματος της παρούσας διπλωματικής και σε πολλά σημεία δυσκολιών πίστεψε στις ικανότητες μου με την ιδιότητα του φοιτητή που κατέχω και με στήριξε. Θα ήθελα όμως να τον ευχαριστήσω ακόμα θερμά και για τις συμβουλές τόσο στο επιστημονικό κομμάτι της διπλωματικής εργασίας όσο και στη συγγραφή της, γιατί χάρη στις λεπτομερείς οδηγίες του η σωστή παρουσίαση του κειμένου της διπλωματικής εργασίας είναι αναμενόμενη. Τέλος, τον ευχαριστώ ιδιαίτερα για την υπομονή του διότι λόγω επαγγελματικών μου υποχρεώσεων πολλές φορές παρέκλινα από το χρονοδιάγραμμα των εργασιών αυτής.

Έπειτα θα ήθελα να εκφράσω ένα μεγάλο ευχαριστώ μέσα από την καρδιά μου στον κ. Δημήτρη Αλεξάκη, Δρ. Γεωλόγο – Γεωχημικό και συνεργάτη του Εργαστηρίου Εγγειοβελτιωτικών Έργων και Διαχείρισης Υδατικών Πόρων, ο οποίος βρέθηκε δίπλα μου δίνοντας μου τις σωστές καθοδηγήσεις και συμβουλές σε όλα τα στάδια εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας. Συγκεκριμένα τον ευχαριστώ για τον χρόνο που αφιέρωσε πολλές φορές έτσι ώστε να με καθοδηγήσει στην συλλογή των δειγμάτων στην ύπαιθρο, όπου η παρουσία του ήταν καθοριστική, στους εργαστηριακούς προσδιορισμούς, που ήταν πάντα παρόν αλλά και στο γραφείο του τις πάρα πολλές ώρες που αφιερώσαμε για τις αναλύσεις των αποτελεσμάτων. Επίσης τον ευχαριστώ γιατί οι γνώσεις του, που ποτέ δεν αρνήθηκε να μοιραστεί μαζί μου, με βοήθησαν ιδιαίτερα πέρα από την διπλωματική εργασία και σε επαγγελματικό επίπεδο. Τέλος, οι οργανωτικές του ικανότητες ήταν απαραίτητες όποτε χρειάστηκε να γίνουν μετρήσεις σε εργαστήρια άλλων σχολών του ΕΜΠ έτσι ώστε να ολοκληρωθεί η διπλωματική εργασία και τον ευχαριστώ πολύ και γι' αυτό.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου, τους φίλους μου και όλους εκείνους του ανθρώπους από το προσωπικό μου περιβάλλον που σε δύσκολες στιγμές μου έδωσαν δύναμη με την στήριξη και τη βοήθεια τους να προχωρήσω και να φτάσω στο τέλος αυτής της εργασίας με επιτυχία. Φυσικά το λιγότερο που μπορώ να κάνω είναι να τους αφιερώσω αυτή την εργασία.

Περιεχόμενα

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	1
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	5
ABSTRACT.....	6
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΥΜΒΟΛΩΝ.....	7
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΥΝΤΟΜΕΥΣΕΩΝ.....	10
1 ^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	11
1.1 Γενικά.....	11
1.2 Στόχοι – Επιμέρους στόχοι.....	11
1.3 Διάρθρωση της διπλωματικής εργασίας.....	12
2 ^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΝΕΡΟΥ ΥΔΑΤΟΡΕΥΜΑΤΩΝ.....	15
2.1 Εισαγωγή.....	15
2.2 Κύκλος νερού.....	15
2.3 Παράμετροι ποιότητας νερού.....	16
2.3.1 Φυσικοχημικές παράμετροι.....	16
2.3.2 Ανόργανες Παράμετροι.....	20
2.3.3 Οργανικές Παράμετροι.....	24
2.3.4 Βαρέα Μέταλλα.....	24
2.3.5 Μεταφερόμενα στερεά και συστατικά.....	26
2.4 Κριτήρια ποιότητας αρδευτικού νερού.....	27
2.4.1 Αλατότητα.....	28
2.4.2 Περιεκτικότητα σε νάτριο.....	28
2.4.3 Περιεκτικότητα σε υπολειμματικό ανθρακικό νάτριο.....	28
2.4.4 Περιεκτικότητα σε ανταλλάξιμο νάτριο.....	28
2.4.5 Περιεκτικότητα σε αιωρούμενα υλικά.....	29
2.5 Νομοθετικό Πλαίσιο για τα Υδατορεύματα.....	29
2.5.1 Προστασίας από τη δόμηση.....	29
2.5.2 Πρότυπα ποιότητας περιβάλλοντος.....	30
3 ^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	35
3.1 Συλλογή στοιχείων για την περιοχή μελέτης - Προετοιμασία για τις εργασίες υπαίθρου.....	35
3.2 Συλλογή δειγμάτων – Εργασίες υπαίθρου.....	37

3.2.1 Διαδικασία συλλογής δειγμάτων	37
3.2.2 Συλλογή δειγμάτων.....	37
3.2.3 Μέτρηση φυσικοχημικών παραμέτρων.....	38
3.2.4 Μετρήσεις για τον προσδιορισμό της παροχής	41
3.3 Προετοιμασία δειγμάτων για εργαστηριακούς προσδιορισμούς	42
3.3.1 Αποθήκευση – Συντήρηση	43
3.3.2 Διήθηση και διαχωρισμός σε υποδείγματα	43
3.4 Εργαστηριακοί προσδιορισμοί.....	43
3.4.1 Ιοντική χρωματογραφία	43
3.4.2 Φασματομετρική ανάλυση	46
3.4.3 Τιτλοδότηση.....	46
3.5 Περιγραφικά στατιστικά.....	48
3.5.1 Εισαγωγή.....	48
3.5.2 Κλίμακες μέτρησης	49
3.5.3 Συνεχείς και διακριτές μεταβλητές	49
3.5.4 Περιγραφικά μέτρα στατιστικών δεδομένων	50
3.5.5 Ασυμμετρία.....	53
3.5.6 Κυρτότητα.....	53
3.5.7 Δοκιμασία t του Student.....	54
3.6 Υδροχημική ανάλυση.....	55
3.6.1 Διάγραμμα Piper.....	55
3.6.2 Διάγραμμα Stiff.....	57
4 ^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ.....	59
4.1 Παροχή υδατορευμάτων	59
4.2 Υπολογισμός περιγραφικών μέτρων στατιστικών	60
4.2.1 Χλώριο (Cl).....	61
4.2.2 Νιτρικά (NO ₃)	62
4.2.3 Θειικά (SO ₄).....	63
4.2.4 Ώξινα ανθρακικά (HCO ₃).....	64
4.2.5 Νάτριο (Na)	64
4.2.6 Κάλιο (K).....	65
4.2.7 Μαγνήσιο (Mg)	66
4.2.8 Ασβέστιο (Ca).....	67

4.2.9 Διαλυμένο οξυγόνο (DO)	68
4.2.10 Ειδική αγωγιμότητα (SPC).....	69
4.2.11 Συνολικά διαλυμένα στερεά(TDS)	70
4.2.12 Αλατότητα (SAL).....	70
4.2.13 Ενεργός οξύτητα (pH).....	71
4.3 Υδροχημική ανάλυση.....	73
4.3.1 Ανάλυση των διαγραμμάτων Piper	73
4.3.2 Ανάλυση των διαγραμμάτων Stiff	86
4.4 Καταλληλότητα του νερού για αρδευτική χρήση	90
4.4.1 Ποιοτική κατάταξη του νερού σύμφωνα με το Εργαστήριο Αλατότητας της Αμερικής (U.S.S.L.).....	90
4.4.2 Κατάταξη των δειγμάτων νερού ως προς την ποιότητα τους και τους κινδύνους δημιουργίας προβλημάτων κατά Ayers και Westcot (1985).....	92
4.4.3 Διερεύνηση της διακύμανσης των ποιοτικών χαρακτηριστικών του νερού	99
4.5 Σύγκριση του νερού με βάση τα Πρότυπα Ποιότητας Περιβάλλοντος.	100
5 ^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	103
ΑΝΑΦΟΡΕΣ.....	105
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ ΤΩΝ ΘΕΣΕΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ	109
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΧΗΜΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ.....	135
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3: ΠΕΡΙΓΡΑΦΙΚΑ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΟΚΙΜΗΣ t ΤΟΥ STUDENT.....	139
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 4: ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΕΙΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΣΤΟ GOOGLE EARTH.....	141

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Για την μελέτη της ποιότητας του νερού του υδατορεύματος της ανατολικής Αττικής, που βρίσκεται στην υδρολογική λεκάνη της Ραφήνας, έγινε συλλογή δειγμάτων νερού, μέτρηση των φυσικοχημικών παραμέτρων του νερού και έγιναν κατάλληλες μετρήσεις για τον καθορισμό της παροχής του υδατορεύματος σε είκοσι καθορισμένες θέσεις του. Τα δείγματα νερού αποθηκεύτηκαν και προετοιμάστηκαν για τους εργαστηριακούς προσδιορισμούς. Οι εργαστηριακοί προσδιορισμοί που πραγματοποιήθηκαν είναι η ιοντική χρωματογραφία για τον καθορισμό των συγκεντρώσεων των κύριων ιόντων, η φασματομετρική ανάλυση για τον προσδιορισμό των συγκεντρώσεων των ιχνοστοιχείων, η μέθοδος της τιτλοδότησης για τον προσδιορισμό της αλκαλικότητας και η διήθηση με χρήση ηθμού για τον προσδιορισμό των ολικών αιωρούμενων στερεών των δειγμάτων νερού του υδατορεύματος. Ακολούθησε η στατιστική ανάλυση των υδροχημικών παραμέτρων, των συγκεντρώσεων των κύριων ιόντων και των συγκεντρώσεων των ιχνοστοιχείων των δειγμάτων νερού με την περιγραφική στατιστική. Στη συνέχεια κατασκευάστηκαν διαγράμματα Piper για την κατηγοριοποίηση και σύγκριση των δειγμάτων νερού με βάση τις συγκεντρώσεις σε κύρια ιόντα και διαγράμματα Stiff για την γραφική απεικόνιση των χημικών αναλύσεων. Καθορίστηκε η καταλληλότητα του νερού του υδατορεύματος για αρδευτική χρήση με το σύστημα κατάταξης των νερών του Εργαστηρίου Αλατότητας των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής (U.S.S.L) και το σύστημα ποιοτικής κατάταξης του αρδευτικού νερού, που αναπτύχθηκε από τους Ayers και Westcot (1985), στο πλαίσιο των δραστηριοτήτων του Παγκόσμιου Οργανισμού Τροφίμων (FAO). Επίσης ελέγχτηκε η ποιότητα των δειγμάτων νερού του υδατορεύματος με βάση τα Πρότυπα Ποιότητας Περιβάλλοντος που καθορίζονται από την ελληνική και ευρωπαϊκή νομοθεσία. Από τα παραπάνω προέκυψε ότι η συνεχής χρήση του νερού του υδατορεύματος δημιουργεί αυξανόμενα προβλήματα στις καλλιέργειες. Συνεπώς μπορεί να χρησιμοποιηθεί για άρδευση υπό προϋποθέσεις. Επίσης το νερό του υδατορεύματος βρίσκεται εντός των ορίων που ορίζονται στα ΠΠΠ, δηλαδή βρίσκεται σε καλή χημική κατάσταση. Η ποιότητα του νερού του υδατορεύματος σε διάρκεια ενός έτους δεν παρουσίασε αξιόλογη μεταβολή.

ABSTRACT

In order to study the water quality of the stream of east Attiki, located in the hydrological basin of Rafina, water samples were collected, the physico-chemical parameters of the water were measured and appropriate measurements were conducted for the determination of the stream discharge at twenty defined locations thereof. The water samples were stored and prepared for laboratory tests. Laboratory analyses carried out include ion chromatography to define the concentration of major ions, spectrometric analysis to define the concentrations of trace elements, titration method to define alkalinity and filtration to define the total suspended solids of the stream water samples. Statistical analysis of hydrochemical parameters, concentrations of major ions and concentrations of trace elements in the water samples followed using descriptive statistics. Subsequently Piper diagrams were created in order to categorize and compare the water samples based on the concentrations in major ions and Stiff diagrams for the graphic representation of chemical analyses. The suitability of stream water for irrigation purposes was defined by the water classification system of the US Salinity Laboratory (USSL) and the quality classification system of irrigation water that was developed by Ayers and Westcot (1985), within the frameworks of the activities of the Food and Agriculture Organization (FAO). Also the quality of the stream water samples was tested based on the Environmental Quality Standards prescribed by the Greek and European legislation. From the above it ensues that continuous use of the stream water causes increasing problems in cultures. Consequently the water may be used for irrigation under conditions. Further the stream water is within the limits fixed by the Environment Quality Standards, i.e. in good chemical condition. The stream water quality during the period of one year did not present any considerable variation.

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΥΜΒΟΛΩΝ

X_i	Τιμές τυχαίας μεταβλητής
\bar{x}	Δειγματικός μέσος όρος
N	Πλήθος τιμών μιας μεταβλητής
\tilde{x}	Διάμεσος
R	Δειγματικό εύρος
X	Τυχαία μεταβλητή
s^2	Διασπορά
s	Τυπική απόκλιση
CV	Συντελεστής μεταβλητότητας
α	Συντελεστής κύρτωσης
γ	Συντελεστής ασυμμετρίας
κ	Κλάσεις διαστημάτων
$f(x)$	Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας
$F(x)$	Αθροιστική συνάρτηση πιθανότητας
$F^*(x)$	Παρατηρούμενο αθροιστικό ιστόγραμμα
D_m	Η μέγιστη των απόλυτων τιμών των διαφορών μεταξύ της θεωρητικής και εμπειρικής αθροιστικής κατανομής
c	Μία κρίσιμη τιμή
F_0	Συνάρτηση κατανομής
χ^2	Έλεγχος κατανομής
O_i	Παρατηρούμενες συχνότητες
E_i	Αναμενόμενες συχνότητες
ρ	Αριθμός παραμέτρων κατανομής
H_0	Μηδενική υπόθεση
r	Συντελεστής συσχέτισης δείγματος
r_s	Συντελεστής συσχέτισης διατάξεων

ρ	Συντελεστής συσχέτισης πληθυσμού
q	Αριθμός παραγόντων
\bar{V}	Μέση ταχύτητα ροής
A	Επιφάνεια διατομής ρέματος
Q	Παροχή υδατορεύματος
φ	Γεωγραφικό πλάτος
λ	Γεωγραφικό μήκος
P	Αριθμός Μεταβλητών
H_t	Τιμή ολικής σκληρότητας νερού
Cl	Χλώριο
F	Φθόριο
Ca	Ασβέστιο
K	Κάλιο
Mg	Μαγνήσιο
Na	Νάτριο
Fe	Σίδηρος
Zn	Ψευδάργυρος
Cu	Χαλκός
Cd	Κάδμιο
Cr	Χρώμιο
Ni	Νικέλιο
Pb	Μόλυβδος
P	Φώσφορος
Mn	Μαγγάνιο
Li	Λίθιο
NO_3	Νιτρικά ιόντα
NO_2	Νιτρώδη ιόντα

SO_2	Θειικά ιόντα
CN	Κυανιούχα
HCO_3	Όξινα Ανθρακικά
NH_4	Αμμωνιακά ιόντα

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΥΝΤΟΜΕΥΣΕΩΝ

Ελληνικές

ΕΜΣ	Ετήσια Μέγιστη Συγκέντρωση
ΚΥΑ	Κοινή Υπουργική Απόφαση
ΜΕΣ	Μέγιστη Επιτρεπόμενη Συγκέντρωση
ΠΠΠ	Πρότυπα Ποιότητας Περιβάλλοντος
ΦΕΚ	Φύλλα Εφημερίδας της Κυβερνήσεως

Αγγλικές

DO	Dissolved Oxygen
EC	Electric Conductivity
ES	Effective Salinity
ESP	Exchangeable Sodium Percentage
FAO	Food and Agriculture Organization
ICP-MS	Inductively Coupled Plasma – Mass Spectrometry
PS	Sodium Percentage
RSC	Residual Sodium Carbonate
SAL	Salinity
SAR	Sodium Absorption Ratio
SPC	Special Conductivity
TDS	Total Dissolved Solids
TS	Total Solids
TSS	Total Suspended Solids
USDA	United States Department of Agriculture
USGS	United States Geological Survey
USSL	United States Salinity Laboratory

1^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Γενικά

Οι ζωντανοί οργανισμοί αποτελούνται κατά 60% από νερό. Γι' αυτό το λόγο το νερό αποτελεί το σημαντικότερο συστατικό για την ζωή στον πλανήτη γη. Χωρίς νερό δεν μπορεί να υπάρξει ζωή. Αν και το 71% της επιφάνειας της γης καλύπτεται με νερό, μόνο το 3% από αυτό το νερό που υπάρχει στον πλανήτη γη είναι γλυκό και άρα διαθέσιμο προς χρήση. Το νερό αποτελεί επίσης το σημαντικότερο διαλύτη και μεταφορέα των συστατικών στα φυτά, στα ζώα, στον άνθρωπο και σε όλες τις φυσικές διαδικασίες που εκτελούνται στη γη (Jones et al., 1997). Η εκβιομηχανοποίηση, η αύξηση του πληθυσμού, η συνεχώς αυξανόμενη χρήση των λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων ρυπαίνει ολοένα και περισσότερο τα λιγοςτά αποθέματα νερού και τα καθιστά ακατάλληλα τόσο για τις χρήσεις του ανθρώπου όσο και για την αρδευόμενη γεωργία. Έτσι τα τελευταία χρόνια δίνεται πια μεγάλη σημασία στην προστασία της ποιότητας των υδατικών πόρων και στη σωστή διαχείρισή τους. Η ποικιλία σχετικά με την ποιότητα του νερού, οι πολλαπλές χρήσεις του, η οικιστική χρήση και οι αυξανόμενες πιέσεις από τη γεωργία και τη βιομηχανία αποτελούν τους βασικούς λόγους για την ανάγκη ολοκληρωμένης διαχείρισής του. Για τους παραπάνω λόγους κρίθηκε αναγκαίο σε ευρωπαϊκό κατ' αρχήν επίπεδο να οριστεί ένα σαφές θεσμικό πλαίσιο διαχείρισης και προστασίας της ποιότητας των υδάτων βάσει του οποίου τα Κράτη Μέλη θα πρέπει να λαμβάνουν τα απαραίτητα μέτρα ακολουθώντας ποιοτικούς, οικολογικούς και ποσοτικούς στόχους για την προστασία των υδάτινων οικοσυστημάτων και την καλή κατάσταση όλων των υδατικών πόρων.

1.2 Στόχοι – Επιμέρους στόχοι

Ο τρόπος προστασίας και διαχείρισής των υδατικών πόρων απασχόλησε και απασχολεί τις χώρες της Ευρωπαϊκής Κοινότητας και κατ' επέκταση την Ελλάδα, γιατί τα τελευταία χρόνια έχει αυξηθεί ιδιαίτερα το ενδιαφέρον για πρόσβαση σε υδατικούς πόρους καλής ποιότητας.

Με βάση τα παραπάνω προκύπτει ο κύριος στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας που είναι: ο εντοπισμός της σημερινής ποιοτικής κατάστασης του υδατορεύματος της Ανατολικής Αττικής. Ο στόχος αυτός αναλύεται στους παρακάτω επιμέρους στόχους:

- A. Καταγραφή και αξιολόγηση της ποιότητας του νερού για αρδευτική χρήση με βάση:
 1. Το ευρέως αποδεκτό σύστημα κατάταξης των νερών, που βασίζεται στην περιεκτικότητά τους σε άλατα και νάτριο και αναπτύχθηκε από το εργαστήριο αλατότητας των ΗΠΑ (U.S.D.A., 1954).
 2. Το σύστημα ποιοτικής κατάταξης όπως αναπτύχθηκε από τους Ayers και Westcot (1985) στα πλαίσια του παγκόσμιου οργανισμού τροφίμων (FAO).

B. Η αξιολόγηση και έλεγχος της ποιότητας του νερού της ανατολικής Αττικής με βάση τα πρότυπα ποιότητας περιβάλλοντος τα οποία ενσωματώθηκαν στην ελληνική νομοθεσία (ΦΕΚ 1909/08-12-2010) από την αντίστοιχη ευρωπαϊκή (οδηγίες 2000/60/ΕΚ και 2008/105/ΕΚ).

Επιπλέον, για να εξαχθούν ασφαλή συμπεράσματα για την ποιότητα του υδατορεύματος της ανατολικής Αττικής, απαιτούνται πολλαπλές μετρήσεις και συλλογή δεδομένων σε βάθος χρόνου. Συνεπώς προκύπτει ως δεύτερος κύριος στόχος η σύγκριση της σημερινής ποιοτικής κατάστασης (έτος 2011) με αυτή της έρευνας του προηγούμενου έτους (Κουρής, 2010). Ο στόχος αυτός είναι απαραίτητος για περαιτέρω μελέτη της ποιότητας του νερού του υδατορεύματος της ανατολικής Αττικής στο μέλλον.

1.3 Διάρθρωση της διπλωματικής εργασίας

Η διπλωματική αυτή εργασία αποτελείται από πέντε κεφάλαια τα οποία αναλύονται ως εξής:

Στο κεφάλαιο ένα γίνεται μια εισαγωγή στο θέμα που πραγματεύεται η διπλωματική και στη συνέχεια αναφέρεται ο σκοπός της και κάποιοι επιμέρους στόχοι της, ενώ περιγράφεται και η διάρθρωση της εργασίας.

Στο κεφάλαιο δύο γίνεται μια διεξοδική παρουσίαση του ζητήματος της ποιότητας του νερού των υδατορευμάτων και των παραγόντων που επιδρούν στη διαμόρφωσή της. Διευκρινίζονται ορισμένες έννοιες για την αξία και την ποιότητα του νερού και αμέσως μετά περιγράφεται ο κύκλος που ακολουθεί το νερό στη Γη. Αναπτύσσονται οι παράμετροι που καθορίζουν την ποιότητα του νερού και γίνεται διάκρισή τους σε φυσικοχημικές παραμέτρους, ανόργανες παραμέτρους, οργανικές παραμέτρους, βαρέα μέταλλα και μεταφερόμενα στερεά και συστατικά. Αναφέρονται τα κριτήρια που καθορίζουν την ποιότητα και καταλληλότητα του αρδευτικού νερού και παρουσιάζεται το νομοθετικό πλαίσιο, το οποίο διέπει την προστασία των υδατορευμάτων από τη δόμηση. Τέλος αναφέρεται η Ευρωπαϊκή νομοθεσία, η οποία υιοθετήθηκε και από την Ελλάδα, στην οποία περιέχονται τα Πρότυπα Ποιότητας Περιβάλλοντος.

Στο κεφάλαιο τρία περιγράφεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας. Συγκεκριμένα τη διαδικασία προετοιμασίας πριν τη δειγματοληψία στην ύπαιθρο, που περιλαμβάνει τη συλλογή βιβλιογραφικών και χαρτογραφικών δεδομένων για τη περιοχή μελέτης και την συλλογή των συσκευών και λοιπών μέσων για τις μετρήσεις στην ύπαιθρο. Έπειτα παρουσιάζεται η διαδικασία δειγματοληψίας και όλες οι εργασίες που συντελέστηκαν στην ύπαιθρο. Στη συνέχεια γίνεται αναφορά στα στάδια που ακολουθήθηκαν για την προετοιμασία των δειγμάτων και τους εργαστηριακούς προσδιορισμούς που πραγματοποιήθηκαν. Τέλος αναφέρεται η θεωρία για τη στατιστική και την υδροχημική ανάλυση που χρησιμοποιήθηκαν στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας.

Στο κεφάλαιο τέσσερα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα και γίνεται ο σχολιασμός τους. Σε πρώτη φάση υπολογίζεται προσεγγιστικά και σχολιάζεται η παροχή του υδατορεύματος στα διάφορα σημεία δειγματοληψίας. Σε δεύτερη φάση αναλύονται τα περιγραφικά στατιστικά που προκύπτουν από τα αποτελέσματα των εργαστηριακών αναλύσεων και σχολιάζονται τα θηκογράμματα. Σε τρίτη φάση γίνεται διεξοδική ανάλυση των διαγραμμάτων Piper και Stiff, που αποτελούν μέρος της υδροχημικής ανάλυσης. Σε τέταρτη φάση γίνεται αξιολόγηση των δειγμάτων νερού σε σχέση με τα κριτήρια ποιότητας του αρδευτικού νερού. Σε πέμπτη και τελευταία φάση αξιολογούνται τα δείγματα νερού με βάση τα Πρότυπα Προστασίας Περιβάλλοντος που προβλέπονται από την ευρωπαϊκή και ελληνική νομοθεσία.

Τέλος, στο κεφάλαιο πέντε αναφέρονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από τα προηγούμενα κεφάλαια και γίνεται μία σύγκριση με τα αποτελέσματα προηγούμενης έρευνας για την ίδια περιοχή μελέτης και τα ίδια σημεία δειγματοληψίας.

2^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΝΕΡΟΥ ΥΔΑΤΟΡΕΥΜΑΤΩΝ

2.1 Εισαγωγή

Η μοναδικότητα του νερού ως φυσικού πόρου δεν τίθεται υπό αμφισβήτηση τόσο, διότι αποτελεί απαραίτητο στοιχείο για την επιβίωση του ανθρώπου όσο και διότι μακροπρόθεσμα θεωρητικά διατηρεί σταθερή την ποσότητά του ανά περιοχή.

Η έννοια της ποιότητας του ύδατος δεν αποτελεί από μόνη της σταθερή αξία αφού υπόκειται εννοιολογικά και πρακτικά σε συνεχείς μεταβολές επομένως η μελέτη της πρέπει να είναι σχετική με τα οικολογικά συστήματα και τις διαφορετικές χρήσεις του νερού.

Η μελέτη των φυσικών, χημικών και βιοτικών παραγόντων των υδάτινων οικοσυστημάτων, οδηγεί στη συλλογή σημαντικών στοιχείων για την εκτίμηση της χημικής και οικολογικής τους κατάστασης. Σε ορισμένες περιπτώσεις, η παραδοχή πως η βιολογική κατάσταση ενός οικοσυστήματος είναι τυπική του βαθμού μόλυνσης μας επιτρέπει μια γενική βιοοικολογική εκτίμηση της «καθαρότητας» του νερού χωρίς να γνωρίζουμε λεπτομερή χημικά στοιχεία (Σίνης, 2005).

2.2 Κύκλος νερού

Ο κύκλος του νερού, γνωστός και ως υδρολογικός κύκλος, είναι η συνεχής ανακύκλωση του νερού της Γης μέσα στην υδρόσφαιρα και στην ατμόσφαιρα. Το συνεχές της κυκλικής διαδικασίας του κύκλου του νερού επιτυγχάνεται εξαιτίας της ηλιακής ακτινοβολίας.

Το νερό του πλανήτη αλλάζει συνεχώς φυσική κατάσταση, από τη στερεά μορφή των πάγων στην υγρή μορφή των ποταμών, λιμνών και της θάλασσας και την αέρια κατάσταση των υδρατμών.

Πιο συγκεκριμένα, λόγω της θέρμανσης και των ανέμων στην επιφάνεια της γης τα νερά της εξατμίζονται και μαζεύονται ως υδρατμοί δημιουργώντας τα σύννεφα. Οι υδρατμοί συμπυκνώνονται, υγροποιούνται και στη συνέχεια πέφτουν ως βροχή ή άλλες μορφές υετού, εμπλουτίζοντας έτσι τις αποθήκες νερού της γης, είτε είναι αυτές επιφανειακές, όπως οι θάλασσες και οι λίμνες, είτε είναι υπόγειες.

Ο υδρολογικός κύκλος αποτελεί το σπουδαιότερο καιρικό φαινόμενο ως σύνολο επιμέρους φαινομένων και ρυθμίζει την υγρασία του εδάφους, τη λαμπρότητα της ημέρας, τη συχνότητα και ένταση των υδρομετεώρων και συμβάλει στην μεταφορά της ενέργειας.



Σχήμα 2.1: Απεικόνιση του υδρολογικού κύκλου του νερού στη γη (USGS)

2.3 Παράμετροι ποιότητας νερού

2.3.1 Φυσικοχημικές παράμετροι

2.3.1.1 Θερμοκρασία (Temperature)

Η θερμοκρασία είναι καθοριστικός παράγοντας στη λειτουργία του οικοσυστήματος όπως αυτό μιας λίμνης επειδή επηρεάζει τη διαλυτότητα του οξυγόνου και άλλων συστατικών, το μεταβολισμό των υδρόβιων οργανισμών αλλά και τη διαδικασία διάσπασης των οργανικών ουσιών που υπάρχουν. Είναι ακόμη απαραίτητη στη διαδικασία μέτρησης ορισμένων χαρακτηριστικών του νερού, όπως το pH, την αγωγιμότητα, την αλατότητα, το βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο και άλλα (Κουίμτζής και Σαμαρά, 1994).

2.3.1.2 Ενεργός οξύτητα (pH)

Το pH είναι μια άκρως σημαντική παράμετρος για ένα υδατικό σύστημα και αποτελεί μέτρο ελέγχου για πολλούς παράγοντες. Πιο συγκεκριμένα, εξαρτάται άμεσα από το είδος των χημικών ενώσεων που περιέχονται στο νερό, ρυθμίζει τις χημικές αντιδράσεις που πραγματοποιούνται σε αυτό και επιταχύνει ή παρεμποδίζει τις βιοχημικές διεργασίες. Για παράδειγμα, η επιβίωση των κυττάρων είναι εφικτή σε pH με εύρος τιμών 5 έως 9, ενώ υψηλή τιμή pH μειώνει την διαλυτότητα των ουσιών στο νερό, οπότε καθιζάνουν στον πυθμένα (Χαραλάμπους, 2006).

Επίσης, χαρακτηρίζει τόσο τα φυσικά νερά όσο και τα υγρά απόβλητα τα οποία είναι συνήθως αλκαλικά. Ορίζεται ως ο αρνητικός λογάριθμος

της συγκέντρωσης ιόντων υδρογόνου και επηρεάζει όλες τις βιοχημικές αντιδράσεις. Το κατάλληλο εύρος για τη διατήρηση των περισσότερων μικροοργανισμών είναι συνήθως μεταξύ 6 και 9. Πολύ όξινα ή πολύ αλκαλικά απόβλητα είναι δύσκολο έως αδύνατο να υποστούν βιολογική επεξεργασία. Η αναερόβια επεξεργασία της ιλύος απαιτεί σταθερές τιμές pH (7.0 έως 7.5) για να υπάρξει ισορροπία μεταξύ της όξινης και της αλκαλικής ζύμωσης. Οι τιμές pH των εκροών των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων πρέπει να κυμαίνονται από 6.5 έως 8.5 ώστε να μην μεταβάλλονται οι αντίστοιχες τιμές των φυσικών νερών (Νταρακάς, 2011).

Οι υψηλές τιμές pH μπορούν να έχουν έμμεσες επιπτώσεις στην υγεία, αφού μειώνουν την απολυμαντική ικανότητα της χλωρίωσης και συντελούν στην αύξηση της διάβρωσης των σωλήνων, αυξάνοντας έτσι τις συγκεντρώσεις των διαλυμένων αλάτων στο νερό. Υψηλές τιμές pH μπορούν να προκαλέσουν επίσης, προβλήματα αισθητικής, όπως έντονο χρωματισμό και πικρή γεύση (Κουϊμτζής και Σαμαρά, 1994).

2.3.1.3 Ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC)

Η ικανότητα ενός υλικού να είναι αγωγός του ηλεκτρικού ρεύματος, ονομάζεται ηλεκτρική αγωγιμότητα. Η αγωγιμότητα όγκου νερού ίσου με 1 cm³, στη θερμοκρασία των 25°C ονομάζεται ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα. Είναι το αντίστροφο της ηλεκτρικής αντίστασης και μονάδα μέτρησης της είναι το μικρο Siemens ανά cm ($\frac{\mu S}{cm}$). Έτσι, η ηλεκτρική αγωγιμότητα αποτελεί την αριθμητική έκφραση των ηλεκτρικών φορτίων που φέρει ένα υδατικό διάλυμα. (Τσακίρης, 2010).

2.3.1.4 Ολικά στερεά (TS)

Μία από τις πιο σημαντικές παραμέτρους του νερού και των υγρών αποβλήτων είναι η συγκέντρωση των ολικών στερεών σωματιδίων που συνίσταται από αιωρούμενη, καθιζάνουσα, κολλοειδή και διαλυμένη μάζα. Ως ολικά στερεά σωματίδια ορίζεται όλη εκείνη η μάζα που παραμένει ως στερεό υπόλειμμα, όταν ένα δείγμα νερού ή υγρών αποβλήτων υποστεί εξάτμιση στους 105°C (Κουϊμτζής και Σαμαρά, 1994).

2.3.1.5 Ολικά αιωρούμενα στερεά (TSS)

Τα αιωρούμενα στερεά (λεπτομερή σωματίδια και κολλοειδή) είναι ανόργανης ή οργανικής φύσης και έχουν είτε φυσική προέλευση είτε προέρχονται από τη χρήση του νερού από τον άνθρωπο. Η παρουσία τους στα ύδατα οδηγεί στη δημιουργία θολότητας η οποία εκτρέπεται ή απορροφά το ηλιακό φως. Ως συνέπεια του γεγονότος αυτού είναι πέρα από την αισθητική υποβάθμιση του νερού, η παρεμπόδιση της διέλευσης του ηλιακού φωτός και ο περιορισμός των διαδικασιών φωτοσύνθεσης και παραγωγής του φυτοπλαγκτόν. Επιπλέον, τα αιωρούμενα στερεά επηρεάζουν τη μεταφορά συστατικών, όπως του οξυγόνου, μεταξύ

ατμόσφαιρας και νερού. Ο διαχωρισμός γίνεται με διήθηση και ξήρανση στους 105°C (Χαραλάμπους, 2006).

2.3.1.6 Ολικά διαλυμένα στερεά (TDS)

Τα ολικά διαλυμένα στερεά εκφράζουν τη συνολική συγκέντρωση των διαλυμένων χλωριούχων, θειικών, νιτρικών, νιτρωδών και αμμωνιακών αλάτων. Είναι όλα τα σωματίδια τα οποία διέρχονται από ηθμό που αποτελείται από γυάλινες ίνες οπής διαμέτρου 1μm και παραμένουν μετά από ξήρανση του ηθμού σε θερμοκρασία 180°C (Τσακίρης, 2010).

Μία αναλυτική έκφραση που συνδέει με ικανοποιητική ακρίβεια (της τάξης του 10%) την ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) με τα ολικά διαλυμένα στερεά (TDS) είναι η ακόλουθη (2.1):

$$\text{TDS} \left(\frac{\text{mg}}{\text{l}} \right) = 640 \times \text{EC} \left(\frac{\mu\text{S}}{\text{cm}} \right) \quad (2.1)$$

2.3.1.7 Αλκαλικότητα (Alkalinity)

Το νερό έχει την ικανότητα να εξουδετερώνει μια ορισμένη ποσότητα υδρογονοκατιόντων (H^+) κάτι το οποίο ονομάζεται αλκαλικότητα. Ο προσδιορισμός της πραγματοποιείται με τιτλοδότηση του δείγματος με πρότυπο διάλυμα θειϊκού οξέος (H_2SO_4) και εκφράζεται σε ολική αλκαλικότητα και αλκαλικότητα φαινολοφθαλείνης. Η ολική αλκαλικότητα είναι η ποσότητα του οξέος που πρέπει να τιτλοδοτήσουμε το δείγμα για την εξουδετέρωση μέχρι την τιμή pH 4.3, όπου αλλάζει χρώμα ο δείκτης της ηλιανθίνης. Η αλκαλικότητα φαινολοφθαλείνης εκφράζει την ποσότητα του οξέος που πρέπει να προστεθεί στο δείγμα για την εξουδετέρωση την τιμή pH 8.3, όπου αλλάζει χρώμα ο δείκτης φαινολοφθαλείνης (Τσακίρης, 2010). Παρακάτω δίνονται οι δύο εκφράσεις της αλκαλικότητας (2.2 και 2.3).

$$\text{Ολική αλκαλικότητα} = [\text{HCO}_3^-] + 2 \times [\text{CO}_3^{2-}] + [\text{OH}^-] - [\text{H}^+] \quad (2.2)$$

$$\text{Αλκαλικότητα φαινολοφθαλείνης} = [\text{CO}_3^{2-}] \quad (2.3)$$

2.3.1.8 Σκληρότητα (Hardness)

Η σκληρότητα του νερού είναι μια χαρακτηριστική ιδιότητα του νερού που οφείλεται στην παρουσία διαλυμένων αλάτων ασβεστίου και μαγνησίου δεσμευμένων με ανθρακικά και δισανθρακικά ιόντα σχηματίζοντας τις ενώσεις $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$, CaCO_3 κτλ. Η σκληρότητα μπορεί να προέλθει και από άλλα κατιόντα, συνήθως όμως, η συμμετοχή τους στη σκληρότητα είναι μικρή και είναι δύσκολο να προσδιοριστεί.

Όταν αναφερόμαστε στη σκληρότητα τη διακρίνουμε σε ολική, ανθρακική και μη ανθρακική. Η ολική σκληρότητα (H_T) έχει αριθμητική τιμή, ίση με το άθροισμα της ανθρακικής και μη ανθρακικής σκληρότητας.

Η ανθρακική σκληρότητα αντιστοιχεί στον παλιότερο όρο "παροδική σκληρότητα" και η μη ανθρακική σκληρότητα στον όρο "μόνιμη" ή "παραμένουσα σκληρότητα". Ο προσδιορισμός της ανθρακικής σκληρότητας γίνεται με τον προσδιορισμό της αλκαλικότητας.

Στην περίπτωση που η ολική σκληρότητα έχει αριθμητική τιμή, μεγαλύτερη από την ολική αλκαλικότητα (ανθρακική και δισανθρακική), τότε η αλκαλικότητα εκφράζει την ανθρακική ή παροδική σκληρότητα. Η διαφορά της αλκαλικότητας από την ολική σκληρότητα, εκφράζει την μη ανθρακική ή μόνιμη σκληρότητα.

Στην περίπτωση που η ολική σκληρότητα έχει αριθμητική τιμή ίση ή μικρότερη από την ολική αλκαλικότητα, τότε όλη η ολική σκληρότητα αναφέρεται ως ανθρακική σκληρότητα και δεν υπάρχει μη ανθρακική σκληρότητα. (Κουϊμτζή και Σαμαρά, 1994).

Το νερό ανάλογα με την τιμή ολικής σκληρότητας (H_T), σύμφωνα με τους Sawyer et al. (1994) χαρακτηρίζεται ως μαλακό (H_T : 0 – 75 $\text{mgL}^{-1}\text{CaCO}_3$), μέτρια σκληρό (H_T : 76 – 150 $\text{mgL}^{-1}\text{CaCO}_3$), σκληρό (H_T : 151 – 300 $\text{mgL}^{-1}\text{CaCO}_3$) ή πολύ σκληρό (H_T : > 300 $\text{mgL}^{-1}\text{CaCO}_3$) (Τσακίρης, 2010).

2.3.1.9 Διαλυμένο οξυγόνο (DO)

Πρόκειται κυρίως για το οξυγόνο το οποίο δεσμεύεται από την ατμόσφαιρα όπου υπάρχει σε ποσοστό 20.95%. Νερό το οποίο έχει μεγάλη τιμή DO που φτάνει σε τιμή κορεσμού (95 -100%) δείχνει νερό το οποίο δεν είναι σε επαφή με οργανική υλη. Νερό το οποίο έχει μικρή τιμή DO (<70%) δείχνει ότι το νερό δεν ανανεώνεται (παλαιό νερό) ή ότι το νερό βρίσκεται σε επαφή με οργανική υλη βιολογικής προέλευσης, η οξειδωση της οποίας καταναλώνει το οξυγόνο. Επίσης, η μικρή τιμή DO σε αποξυγονωμένα νερά μπορεί να οφείλεται στην παρουσία υδρόθειου (H_2S), μεθανίου (CH_4) ή αμμωνίας (NH_4). (Hounslow, 2000).

Τα αστικά λύματα όπως και συγκεκριμένες κατηγορίες υγρών βιομηχανικών αποβλήτων περιέχουν σημαντικές συγκεντρώσεις οργανικού φορτίου, αμμωνιακού και οργανικού αζώτου. Η μη αποτελεσματική επεξεργασία τους πριν την τελική τους διάθεση, οδηγεί σε αντίστοιχη αύξηση των συγκεντρώσεων των ενώσεων αυτών στα φυσικά ύδατα όπου λαμβάνουν χώρα οι εξής διεργασίες: Το οργανικό άζωτο μετατρέπεται σε αμμωνιακά ιόντα τα οποία είναι άμεσα διαθέσιμο για νιτροποίηση (μετατροπή σε νιτρικά). Η διαδικασία αυτή απαιτεί την κατανάλωση σημαντικών ποσοτήτων διαλυμένου οξυγόνου. Επίσης, το άζωτο και ο φώσφορος που περιέχονται στα λύματα, ως θρεπτικά συστατικά, ενεργοποιούν την παραγωγή νέας ζωντανής οργανικής ύλης στον υδάτινο αποδέκτη η οποία μετά την ολοκλήρωση του κύκλου ζωής της αποσυντίθεται καταναλώνοντας διαλυμένο οξυγόνο.

Επομένως, η μείωση της συγκέντρωσης του διαλυμένου οξυγόνου στα ύδατα είναι δείκτης της ρυπαντικής επιβάρυνσης που έχει επέλθει σε αυτά, λόγω κυρίως της παρουσίας οργανικών ενώσεων και ενώσεων του αζώτου (Λοϊζίδου, 2006).

2.3.2 Ανόργανες Παράμετροι

2.3.2.1 Αζωτούχες ενώσεις – Ολικό άζωτο

Οι ενώσεις του αζώτου αποτελούν σημαντική παράμετρο στην αξιολόγηση της ρύπανσης των υδάτων. Το άζωτο συντελεί στο φαινόμενο του ευτροφισμού των υδάτων, ιδιαίτερα σε θαλάσσια περιβάλλοντα. Το άζωτο, με βαθμίδες οξειδωσης από 5 έως -3, απαντάται σε διάφορες μορφές στα ύδατα. Κυρίως ως νιτρικά ιόντα, νιτρώδη ιόντα, αμμωνιακά ιόντα και οργανικό άζωτο. Οι ενώσεις αυτές, μαζί με το διαλυμένο αέριο άζωτο, καταναλώνονται από τους μικροοργανισμούς που συμμετέχουν στον κύκλο του αζώτου (Κουϊμτζής et al., 2004).

Το άζωτο είναι βασικό στοιχείο για τη σύνθεση των πρωτεϊνών και οι γνώσεις για τη μορφή με την οποία βρίσκεται στα απόβλητα καθώς επίσης και οι συγκεντρώσεις του σε οποιαδήποτε μορφή, είναι απαραίτητες για τη διαδικασία αξιολόγησης της αποτελεσματικότητας των βιολογικών διεργασιών επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων. Στα υγρά απόβλητα το άζωτο βρίσκεται σε διάφορες μορφές κυριαρχεί όμως η μορφή του πρωτεϊνικού υλικού και της ουρίας (NH_2CONH_2). Ανεπαρκής ποσότητα αζώτου μπορεί να επιβάλλει την προσθήκη αζώτου προκειμένου να διευκολυνθεί η επεξεργασία των υγρών αποβλήτων (Νταρακάς, 2011).

2.3.2.2 Αμμωνιακά ιόντα

Το αμμωνιακό άζωτο μπορεί να βρίσκεται υπό την μορφή αμμωνιακών ιόντων (NH_4^+) ή ελεύθερης αμμωνίας (NH_3), ανάλογα με το pH του διαλύματος, σύμφωνα με την παρακάτω σχέση ισορροπίας (2.4):



Η αμμωνία είναι προϊόν αποσύνθεσης των φυτικών και ζωικών πρωτεϊνών και απορριμμάτων. Με δεδομένο ότι πολλά λιπάσματα περιέχουν αμμωνία και ενώσεις αμμωνίας, η έκπλυση των χωραφιών μπορεί να συμβάλλει στην αύξηση της συγκέντρωσης της αμμωνίας στο νερό.

Το αμμώνιο δεν επηρεάζει την υγεία στις συνήθεις συγκεντρώσεις που απαντάται στο πόσιμο νερό (συνήθως κάτω από $0.5 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$) αλλά ούτε και σε υψηλότερες. Συνήθως αυξημένες συγκεντρώσεις γίνονται αντιληπτές με την οσμή. Η ύπαρξη αυξημένων συγκεντρώσεων αμμωνίου ευνοεί την ανάπτυξη αυτοχθόνων βακτηρίων και φυκιών στο νερό επειδή αποτελεί βασικό θρεπτικό συστατικών αυτών. Επίσης το αμμώνιο συμβάλλει σημαντικά στη διάβρωση

του χαλκού και των κραμάτων αυτού. Σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία, στη χώρα μας, η ανώτατη παραδεκτή συγκέντρωση αμμωνιακών στο πόσιμο νερό είναι $0.5 \frac{mg}{L}$ (Κουϊμτζής και Σαμαρά, 1994).

2.3.2.3 Νιτρώδη ιόντα (NO_2^-)

Τα νιτρώδη προέρχονται είτε από την οξείδωση της αμμωνίας είτε από την αναγωγή των νιτρικών και είναι ενώσεις ασταθείς και βραχύβιες. Βρίσκονται σε πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις στα φυσικά ύδατα και η συγκέντρωσή τους συνεχώς μειώνεται λόγω οξείδωσής τους προς νιτρικά. Επίσης απαντώνται στα νερά ψύξης βιομηχανικών μονάδων, όπου προστίθενται ως αντιδιαβρωτικό μέσο, σε απόβλητα συγκεκριμένων βιομηχανικών κλάδων και στα αστικά λύματα. Θεωρούνται επικίνδυνα για τους οργανισμούς δεδομένου ότι σε όξινο περιβάλλον, αντιδρούν με τις δευτεροταγείς αμίνες σχηματίζοντας νιτροζαμίνες που είναι δυνητικά καρκινογόνες (Χαραλάμπους, 2006).

2.3.2.4 Νιτρικά ιόντα (NO_3^-)

Το νιτρικό ιόν είναι η σταθερή μορφή του οξειδωμένου αζώτου. Στη φύση μπορεί να υποστεί αναγωγή και μετατροπή του σε νιτρώδες μέσω βακτηριακής δράσης.

Τα νιτρικά άλατα χρησιμοποιούνται κυρίως ως λιπάσματα. Η εντατικοποίηση της αγροτικής παραγωγής οδήγησε στη χρήση, μετά το 1950, τεράστιων ποσοτήτων λιπασμάτων που περιείχαν άζωτο με την μορφή των νιτρικών ιόντων. Τα νιτρικά ιόντα είναι προϊόν της αποικοδόμησης των πρωτεϊνών στο νερό. Τα φυτά δεν αξιοποιούν το σύνολο του προστιθέμενου αζώτου και σε συνδυασμό με την μεγάλη διαλυτότητα των νιτρικών ιόντων στο νερό αυτά παρασύρονται προς τα βαθύτερα υδροφόρα στρώματα. Εκεί αν επικρατούν αερόβιες συνθήκες παραμένουν σαν νιτρικά ενώ αν επικρατούν αναερόβιες συνθήκες ανάγονται σε νιτρώδη ιόντα αλλά η διαδικασία αυτή μπορεί να φθάσει και μέχρι πλήρους μετατροπής σε μοριακό άζωτο. Σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία, στη χώρα μας, η ανώτατη παραδεκτή συγκέντρωση νιτρικών στο πόσιμο νερό είναι $50 \frac{mg}{L}$ (Κουϊμτζής και Σαμαρά, 1994).

2.3.2.5 Φώσφορος (P)

Στα επιφανειακά νερά και στα απόβλητα, ο φώσφορος απαντάται σε πολλές μορφές, πιο συχνά με τη μορφή ορθοφωσφορικών ($H_2PO_4^-$, HPO_4^{2-} , PO_4^{3-}) και πολυορθοφωσφορικών (π.χ. $Na_3(PO_3)_6$) ιόντων και ως οργανικός φώσφορος, δεσμευμένος σε οργανικές ενώσεις.

Όταν τα νερά είναι καθαρά, τα ορθοφωσφορικά ιόντα ανιχνεύονται σε μικρές μόνο ποσότητες. Τα ιόντα αυτά προέρχονται κατά το πλείστον από τις βροχές και από τη διάβρωση ορθοφωσφορικών πετρωμάτων. Η παρουσία τους οφείλεται και σε πολλές άλλες πηγές, φυσικής ή ανθρωπογενούς προέλευσης. Λύματα και απόβλητα καταλήγουν στους επιφανειακούς αποδέκτες,

επιβαρημένα με σημαντικές ποσότητες φωσφόρου. Τα φωσφορούχα λιπάσματα που εφαρμόζονται στις καλλιέργειες, δε δεσμεύονται ποσοτικά από τα φυτά ή το έδαφος και έτσι οι εκπλύσεις εδαφών περιέχουν και αυτές σημαντικά φορτία φωσφόρου.

Ο φώσφορος είναι το βασικό στοιχείο για την ανάπτυξη των οργανισμών και η έλλειψή του μπορεί να περιορίσει την ανάπτυξη της πρωτογενούς παραγωγής σε μια υδατική μάζα. Σε περιπτώσεις όπου ο φώσφορος είναι περιοριστικός παράγοντας, η διοχέτευση επεξεργασμένων ή ανεπεξέργαστων λυμάτων, κτηνοτροφικών αποβλήτων, εκπλύσεων γεωργικών εδαφών ή ορισμένων βιομηχανικών αποβλήτων μπορεί να προκαλέσει την υπέρμετρη ανάπτυξη φωτοσυνθετικών, υδρόβιων φυτών ή μακρόφυτων που με τη σειρά τους προκαλούν ευτροφισμό. Ο ευτροφισμός αποτελεί ένα ευρέως διαδεδομένο πρόβλημα σε ποταμούς, λίμνες, εκβολές ποταμών και παράκτιες περιοχές.

Μία από τις μεγαλύτερες πηγές ορθοφωσφορικών ως ρυπαντές των νερών είναι τα απορρυπαντικά. Η αντίδραση συνθετικών απορρυπαντικών με ιόντα ασβεστίου και μαγνησίου για να σχηματίσουν σύμπλοκα ιόντα, ελαττώνει την ικανότητα καθαρισμού των απορρυπαντικών. Τα πολυφωσφορικά ιόντα, τα οποία είναι ανιόντα που περιέχουν διάφορες φωσφορικές ομάδες ενωμένες με κοινό άτομο οξυγόνου, προστίθενται στα απορρυπαντικά ως πρόσθετα, σχηματίζοντας έτσι ευδιάλυτα σύμπλοκα με τα μέταλλα αυτά. Με τον τρόπο αυτό επιτρέπουν τα μόρια του απορρυπαντικού να δράσουν ως παράγοντες καθαρισμού, παρά να είναι δεσμευμένα ως σύμπλοκα με τα ιόντα Ca^{2+} και Mg^{2+} . Ένας άλλος ρόλος των προσθέτων είναι ότι μετατρέπουν το νερό πλυσίματος σε αλκαλικό, γεγονός που βοηθάει στην απομάκρυνση των ρύπων από διάφορους τύπους υφασμάτων. Σύμφωνα με την νομοθεσία το επιθυμητό όριο ορθοφωσφορικών στο πόσιμο νερό είναι $0.4 \frac{mg}{L} P_2O_5$ ενώ το ανώτατο όριο είναι $0.7 \frac{mg}{L}$ (Κουϊμτζής και Σαμαρά, 1994).

2.3.2.6 Χλωριόντα (Cl^-)

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

Υψηλές συγκεντρώσεις χλωριόντων αλλοιώνουν τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του πόσιμου νερού, αυξάνουν το ρυθμό διάβρωσης των μεταλλικών επιφανειών και έχουν βλαβερές συνέπειες στην ανάπτυξη των περισσότερων φυτών.

Υπάρχουν πολλές μέθοδοι για τον προσδιορισμό των χλωριόντων. Η μέθοδος νιτρικού αργύρου είναι η παλαιότερη και συνηθέστερα χρησιμοποιούμενη μέθοδος, κατάλληλη για σχετικά καθαρά νερά με συγκέντρωση χλωριόντων

από 1.5 έως 100 $\frac{mg}{L}$. Πρόκειται για ογκομετρική μέθοδο που στηρίζεται στη δέσμευση των χλωριόντων υπό τη μορφή $AgCl_2$, παρουσία δείκτη χρωμικού καλίου κατά την ογκομέτρηση ορισμένης ποσότητας δείγματος με διάλυμα νιτρικού αργύρου ($AgNO_3$) (Κουϊμτζής και Σαμαρά, 1994).

2.3.2.7 Θειικά (SO_2^-)

Από τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα αντιδραστήρια στη βιομηχανία είναι το θειικό οξύ, ο θειούχος σίδηρος και άλλα θειούχα και θειικά άλατα. Το γεγονός αυτό οδηγεί στην παρουσία σημαντικών ποσοτήτων θειούχων και θειικών στα παραγόμενα απόβλητα και στην περίπτωση που δεν λαμβάνει χώρα αποτελεσματική απομάκρυνσή τους, ρυπαίνουν τα φυσικά ύδατα στα οποία καταλήγουν άμεσα ή έμμεσα. Τονίζεται ότι η ύπαρξη αερόβιων συνθηκών ευνοεί τη μετατροπή των θειικών σε θειικά, ενώ η ύπαρξη αναερόβιων συνθηκών την αντίστροφη αντίδραση (μετατροπή θειικών προς θειώδη). (Χαραλάμπους, 2006).

Το θείο είναι απαραίτητο στοιχείο στη σύνθεση των πρωτεϊνών και απελευθερώνεται κατά την αποικοδόμησή τους. Τα θειικά ιόντα (SO_4^{2-}) διασπώνται βιολογικά κάτω από αναερόβιες συνθήκες σε θειούχα (S_2^-), τα οποία στη συνέχεια σχηματίζουν υδρόθειο (H_2S). Το υδρόθειο εκτός του ότι είναι τοξικό, είναι και επικίνδυνο γιατί οξειδώνεται σε θειικό οξύ (H_2SO_4) το οποίο ευθύνεται για τη διάβρωση των αγωγών αποχέτευσης (Νταρακάς, 2011).

Η παρουσία των θειικών ιόντων στα επιφανειακά και υπόγεια νερά οφείλεται στην γεωλογική σύσταση των πετρωμάτων από τα οποία διέρχεται το νερό ή σε ορισμένες χρήσεις του νερού από τον άνθρωπο. Η συγκέντρωση των θειικών ιόντων στα φυσικά νερά παρουσιάζει μεγάλες διακυμάνσεις, ανάλογα με το είδος των πετρωμάτων από τα οποία διέρχονται και το είδος και την ένταση των ανθρωπίνων δραστηριοτήτων.

Ο έλεγχος των θειικών ιόντων στο νερό έχει μεγάλη σημασία γιατί έχει βρεθεί ότι τα θειικά άλατα ασβεστίου και μαγνησίου έχουν καθαρική δράση στον ανθρώπινο οργανισμό, γι' αυτό και το ανώτερο επιτρεπτό όριο θειικών ιόντων στο πόσιμο νερό είναι 250 $\frac{mg}{L}$ (Κουϊμτζής και Σαμαρά, 1994).

2.3.2.8 Κυανιούχα (CN^-)

Παρά το γεγονός ότι τα κυανιούχα είναι μία από τις πιο επικίνδυνες ομάδες ενώσεων, εν τούτοις περιέχονται σε σημαντικές ποσότητες στα απόβλητα διαφόρων βιομηχανικών μονάδων. Οι πιο διαδεδομένες κυανιούχες ενώσεις που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία είναι τα κυανιούχα άλατα νατρίου και καλίου τα οποία βρίσκουν εφαρμογή στην εξόρυξη μεταλλευμάτων ψευδαργύρου, χρυσού, αργύρου και μολύβδου, σε διεργασίες επιμεταλλώσεων, στον καθαρισμό των μετάλλων, στη θερμική επεξεργασία μετάλλων κ.λπ. Επίσης χρησιμοποιούνται ως πρώτες ύλες

στην παρασκευή βαφών, εντομοκτόνων και απολυμαντικών. Επίσης, το κυανιούχο ασβέστιο χρησιμοποιείται ευρέως ως απολυμαντικό, παρά το γεγονός ότι αποδεδειγμένα υδροκυάνιο όταν έρθει σε επαφή με τον ατμοσφαιρικό αέρα (Λοϊζίδου, 2006).

2.3.3 Οργανικές Παράμετροι

2.3.3.1 Φαινόλες (Phenols)

Οι σημαντικότερες πηγές ρύπανσης των υδάτων με φαινόλες είναι τα βιομηχανικά απόβλητα και τα αστικά λύματα. Κατά την χλωρίωση, αν το νερό περιέχει φαινόλες, το χλώριο αντικαθιστά τα άτομα υδρογόνου του φαινολικού δακτυλίου και σχηματίζονται χλωροφαινόλες, οι οποίες προσδίδουν άσχημη γεύση και οσμή στο νερό (Χαραλάμπους, 2006).

2.3.3.2 Διοξίνες (Dioxin)

Στο σύνολο τους είναι αδιάλυτες στο νερό, μεταφέρονται όμως με τον αέρα και το νερό και δεσμεύονται στον λιπαρό ιστό των ζώων και των ψαριών από όπου εισέρχονται στην τροφική αλυσίδα. Είναι εξαιρετικά ανθεκτικές στις υψηλές θερμοκρασίες και έχουν χαμηλό ρυθμό βιοαποικοδόμησης (Τσακίρης, 2010).

2.3.4 Βαρέα Μέταλλα

Τα μέταλλα (K, Na, Ca, Mg, Zn, Fe, Mn, Zn, Sn, Pb, Cr κ.λπ.) σε ίχνη είναι απαραίτητα για όλα τα έμβια όντα, είναι όμως τοξικά σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις. Πολλά από αυτά χαρακτηρίζονται σαν ρύποι προτεραιότητας. Οι εκροές των εγκαταστάσεων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων πρέπει να ελέγχονται για την ύπαρξη μετάλλων, ιδιαίτερα εάν οι εκροές προορίζονται για άρδευση.

2.3.4.1 Σίδηρος (Fe)

Ο σίδηρος αποτελεί σε μικρές ποσότητες, απαραίτητο συστατικό για την ανάπτυξη των οργανισμών. Η ημερήσια συνιστώμενη ποσότητα για ενήλικες είναι 10 mg για τους άνδρες και 18 mg για τις γυναίκες (Χαραλάμπους, 2006).

Υψηλές συγκεντρώσεις σιδήρου παρατηρούνται συνήθως στα υπόγεια ύδατα λόγω της διέλευσής τους από πετρώματα πλούσια σε άλατα σιδήρου. Συνεχής κατανάλωση νερού με μεγάλη περιεκτικότητα σε σίδηρο μπορεί να προκαλέσει στον άνθρωπο και ειδικότερα στα παιδιά, βλάβες στους ιστούς. Επίσης, υπόγεια ύδατα πλούσια σε σίδηρο, όταν εξέρχονται στην επιφάνεια του εδάφους γίνονται θολά λόγω οξειδωσης του δισθενούς σιδήρου σε τρισθενή που σχηματίζει κολλοειδές ίζημα.

Πηγές σιδήρου είναι τα απόβλητα που προέρχονται από μεταλλευτικές δραστηριότητες και μονάδες επιφανειακής κατεργασίας μετάλλων (αποξείδωση σιδηρούχων επιφανειών) (Λοϊζίδου, 2006).

2.3.4.2 Ψευδάργυρος (Zn)

Σε μικρές ποσότητες αποτελεί απαραίτητο ιχνοστοιχείο για την αποτελεσματική δράση ορισμένων ενζύμων στον οργανισμό του ανθρώπου και των ζώων. Η μέση ημερήσια κατανάλωση ψευδαργύρου μέσω των τροφών είναι της τάξης των 4 έως 15 mg, ενώ ημερήσιες δόσεις μεγαλύτερες των 150 mg προκαλούν απορρύθμιση στο μεταβολισμό του σιδήρου και του χαλκού στον ανθρώπινο οργανισμό, χωρίς όμως να έχει επιβεβαιωθεί η πρόκληση κάποιας μόνιμης βλάβης. Πηγές ψευδαργύρου είναι τα απόβλητα που προέρχονται από μεταλλευτικές δραστηριότητες, επιμεταλλωτήρια καθώς και η διάβρωση γαλβανισμένων σωλήνων (Λοϊζίδου, 2006).

2.3.4.3 Χαλκός (Cu)

Ο χαλκός σε μικρές ποσότητες διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στον ανθρώπινο μεταβολισμό και ειδικότερα στην παραγωγή των ερυθρών αιμοσφαιρίων. Επίσης συμβάλλει στην απελευθέρωση του σιδήρου που βρίσκεται στους ιστούς, στην ανάπτυξη των οστών και στη σωστή λειτουργία του νευρικού συστήματος. Η συνιστώμενη ημερήσια ποσότητα για ενήλικες είναι 2 mg (Χαραλάμπους, 2006).

Η υπερβολική λήψη χαλκού από τον άνθρωπο εκδηλώνεται με ερεθισμό των βλεννογόνων, αγγειακά προβλήματα και ερεθισμό του νευρικού και γαστρεντερικού συστήματος. Κύριες πηγές χαλκού είναι τα απόβλητα που προέρχονται από τα επιμεταλλωτήρια, την ηλεκτρονική βιομηχανία και τη βιομηχανία παραγωγής ηλεκτρικών καλωδίων (Λοϊζίδου, 2006).

2.3.4.4 Κάδμιο (Cd)

Το κάδμιο είναι ένα από τα πιο επικίνδυνα μέταλλα και χρησιμοποιείται στην κατασκευή συσσωρευτών, ξηρών μπαταριών, χρωμάτων και πλαστικών. Ο άνθρωπος λαμβάνει το κάδμιο μέσω της αναπνοής και της τροφής και ένα μέρος του αποβάλλεται αλλά η ημιπερίοδος ζωής του στον ανθρώπινο οργανισμό κυμαίνεται από 10 έως 30 έτη. Με υψηλές ποσότητες πρόσληψης, εναποτίθεται στο ήπαρ, τα νεφρά, το θυρεοειδή και άλλα όργανα προκαλώντας σοβαρές παθήσεις (Λοϊζίδου, 2006).

2.3.4.5 Χρώμιο (Cr)

Το τρισθενές χρώμιο είναι απαραίτητο ιχνοστοιχείο για το μεταβολισμό των σακχάρων και των λιπιδίων και συντελεί στην πρόληψη του διαβήτη και της αρτηριοσκλήρυνσης. Στα φυσικά ύδατα απαντάται συνήθως με τη μορφή εξασθενούς χρωμίου το οποίο είναι ιδιαίτερα επικίνδυνο, αφού σε συγκεντρώσεις της τάξης των $10 \frac{mg}{kg}$ βάρους προκαλεί νέκρωση ιστών και νεφρική ανεπάρκεια, ενώ χαμηλότερες συγκεντρώσεις προκαλούν ερεθισμό του γαστρικού και εντερικού βλεννογόνου. (Χαραλάμπους, 2006)

Το χρώμιο περιέχεται στα απόβλητα από βιομηχανικές δραστηριότητες αφού χρησιμοποιείται ως συστατικό κραμάτων, ως προστατευτικό διάβρωσης μετάλλων και ως μέσο για την προστασία αντλιών και εναλλακτών θερμότητας (Ταμπακίδης, 2012).

2.3.4.6 Νικέλιο (Ni)

Το νικέλιο περιέχεται σε απόβλητα επιμεταλλωτηρίων και γενικά βιομηχανιών κατεργασίας μετάλλων. Στον άνθρωπο μπορεί να προκαλέσει αλλεργικές δερματίτιδες και άσθμα. Έρευνες έδειξαν ότι τα περισσότερα προβλήματα προκαλούνται από παράγωγα του νικελίου όπως το οξειδίο του νικελίου και τα κρυσταλλικά του σύμπλοκα π.χ. Ni_3S_2 . Λόγω του γεγονότος ότι δεν έχει ακόμη καθορισθεί η σχέση μεταξύ της δόσης του μετάλλου αυτού και της αντίδρασης του ανθρώπινου οργανισμού, τα όρια έκθεσης στο νικέλιο είναι ιδιαίτερα αυστηρά (Λοϊζίδου, 2006).

2.3.4.7 Μόλυβδος (Pb)

Τα οργανικά παράγωγα του μολύβδου, όπως το τετρα-μεθύλιο και το τετρα-αιθύλιο, χρησιμοποιούνται ως πρόσθετα στα καύσιμα, γεγονός που αυξάνει την πιθανότητα έκθεσης του ανθρώπου στο συστατικό αυτό. Επίσης παλαιότερα χρησιμοποιείτο σε σωλήνες μεταφοράς νερού, με αποτέλεσμα την αύξηση της συγκέντρωσης του σε αυτό και τη δημιουργία δυσμενών επιπτώσεων στον άνθρωπο. Ο μόλυβδος επεμβαίνει στη λειτουργία ενός ευρέως φάσματος ενζύμων, με αποτέλεσμα να είναι επικίνδυνος για όλους τους οργανισμούς. Ενδεικτικά για τον άνθρωπο έχουν αναφερθεί επιδράσεις στο νευρικό σύστημα, το ήπαρ και στην αναπαραγωγή ακόμη και σε περιπτώσεις έκθεσης μικρής διάρκειας. Κύριες πηγές μολύβδου είναι τα απόβλητα επιμεταλλωτηρίων, βιομηχανιών παραγωγής μπαταριών και χρωμάτων (Λοϊζίδου, 2006).

2.3.4.8 Μαγγάνιο (Mn)

Το Μαγγάνιο είναι απαραίτητο στοιχείο για την ανάπτυξη των φυτών και των ζωικών οργανισμών. Η ημερήσια συνιστώμενη ποσότητα για ενήλικες είναι 4 mg. Είναι αρκετά διαδεδομένο σε πετρώματα και εισέρχεται στα νερά παρομοίως με τον Σίδηρο. Σε αναγωγικές συνθήκες προκύπτει διαλυτό μαγγάνιο και εμπλουτίζει τα υπόγεια ύδατα. Το δισθενές μαγγάνιο όταν έρχεται σε επαφή με την ατμόσφαιρα οξειδώνεται και προκαλεί τα ίδια προβλήματα με τον Σίδηρο (χρωματισμός νερού, δυσσομία), αλλά πιο έντονα (Χαραλάμπους, 2006).

2.3.5 Μεταφερόμενα στερεά και συστατικά

Η αποδοτικότητα της αρδεύουσας γεωργίας εξαρτάται εκτός των άλλων και από τα μεταφερόμενα οργανικά και ανόργανα υλικά. Είναι χαρακτηριστικό ότι τόσο στα δίκτυα αρδεύσεως όσο και στα δίκτυα μεταφοράς (π.χ. διάβρωση

και εναπόθεση) και αποθήκευσης (π.χ. μείωση του ωφέλιμου όγκου ταμιευτήρων) τα μεταφερόμενα υλικά έχουν αρνητικές συνέπειες.

Για τα επιφανειακά ρέοντα ύδατα και πάντα σε σχέση με την πηγή νερού που χρησιμοποιείται, τα πιο συνηθισμένα ανιόντα είναι τα Διπτανθρακικά (HCO_3^-) και τα θειικά (SO_4^{2-}), ενώ το Ασβέστιο (Ca^{2+}) και το Νάτριο (Na^+) αποτελούν τα κύρια κατιόντα. Το νερό της βροχής περιέχει διαλυμένα αέρια (N_2 , O_2 , CO_2) και διαλυμένα άλατα που προέρχονται από τη γήινη επιφάνεια ή τη θάλασσα.

Έπειτα, επισημαίνεται το πλήθος άλλων ουσιών οι οποίες δύναται να βρεθούν σε νερό για άρδευση σε πολύ μικρές ποσότητες. Συνήθως δεν χρησιμοποιούνται ως δείκτες για την κατάταξη σε κατηγορίες και είναι το Φθόριο, το Βρώμιο, το Ιώδιο και τα Li, Rb, Cs, Be, Sr και άλλα.

2.4 Κριτήρια ποιότητας αρδευτικού νερού

Ορισμένοι δείκτες που χρησιμοποιούνται για το χαρακτηρισμό της ποιότητας νερού, είναι η αρχική περιεκτικότητα σε διαλυτά άλατα, το ποσό των αιωρούμενων στερεών και το ποσό των ρύπων (pollutants) από πηγές ανθρώπινης δραστηριότητας. Η αρχική περιεκτικότητα του νερού σε διαλυτά άλατα μπορεί βέβαια να μεταβληθεί κυρίως λόγω της περιεκτικότητας των εδαφών-πετρωμάτων από τα οποία διέρχεται το αρδευτικό νερό κατά την μεταφορά του στην αρδευόμενη έκταση. Τα αιωρούμενα υλικά που βρίσκονται στο νερό προέρχονται από διάβρωση περιοχών και επομένως βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν την ποσότητα των υλικών αυτών είναι η σύνθεση των υλικών (πετρωμάτων- εδάφους) και η αιτία της διαβρώσεως (π.χ. βροχή). Τέλος, οι ρύποι που φθάνουν στο αρδευτικό νερό προέρχονται από υπολείμματα αγροτοχημικών ουσιών όπως τα ανόργανα λιπάσματα και τα φυτοφάρμακα. (Τσακίρης, 2004).

Όμως, η καταλληλότητα του αρδευτικού νερού δεν καθορίζεται απόλυτα από την ποσότητα και τις ιδιότητες των μεταφερόμενων με το αρδευτικό νερό υλικών. Άλλοι παράγοντες που επιδρούν είναι:

- ❖ η αντοχή των φυτών
- ❖ οι φυσικές ιδιότητες του εδάφους
- ❖ το βιολογικό ισοζύγιο στο έδαφος
- ❖ η υπάρχουσα τεχνολογία των αρδεύσεων (επιλογή μεθόδου εφαρμογής)
- ❖ η δυνατότητα για στράγγιση (Κουρής, 2011)

Ορισμένες παράμετροι που τίθενται ως κριτήρια για την καταλληλότητα του νερού άρδευσης αναλυτικότερα είναι οι παρακάτω (Τσακίρης, 2004):

2.4.1 Αλατότητα

Η ολική συγκέντρωση των διαλυτών αλάτων που παρέχει ενδείξεις για τον κίνδυνο αλατώσεως του εδάφους μετράται εκτός των άλλων και με την ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα που εκφράζεται σε $\frac{mmhos}{cm}$ ή $\frac{dS}{m}$ στους 25°C.

2.4.2 Περιεκτικότητα σε νάτριο

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 σχέση μεταξύ διαλυτού Νατρίου (Na^+) και των άλλων διαλυτών επίσης κατιόντων Ασβεστίου και Μαγνησίου (Ca^{2+} και Mg^{2+}) δίνεται από την αναλογία προσροφημένου νατρίου (Sodium Absorption Ratio) γνωστό ως SAR από την παρακάτω σχέση (2.5):

$$SAR \left(\frac{meq}{l} \right) = \frac{Na^+}{\sqrt{Ca^{2+} + Mg^{2+}}} \quad (2.5)$$

Η περιεκτικότητα σε νάτριο εκφράζεται ως το ποσοστό επί τοις εκατό των ολικών κατιόντων και ο υπολογισμός του προκύπτει από την παρακάτω σχέση (2.6):

$$PS(\%) = \frac{Na^+}{Na^+ + K^+ + Ca^{2+} + Mg^{2+}} \times 100 \quad (2.6)$$

2.4.3 Περιεκτικότητα σε υπολειμματικό ανθρακικό νάτριο

Τα όξινα ανθρακικά ιόντα (HCO_3^-) έχουν την τάση να σχηματίζουν δυσδιάλυτες ενώσεις με ιόντα Ca^{2+} και Mg^{2+} με αποτέλεσμα την σχετική αύξηση της συγκέντρωσής του Na^+ . Εκτός των όξινων ανθρακικών στο νερό υπάρχουν και ουδέτερα ανθρακικά (HCO_3^{2-}) σε αμελητέες όμως συγκεντρώσεις. Η επίδραση, των ανθρακικών ιόντων (όξινων και ουδέτερων) στην ποιότητα του αρδευτικού νερού εκφράζεται ως υπολειμματικό ανθρακικό νάτριο (Residual Sodium Carbonate, RSC) και υπολογίζεται από την παρακάτω εξίσωση (2.7):

$$RSC \left(\frac{meq}{l} \right) = (CO_3^{2-} + HCO_3^{2-}) - (Ca^{2+} + Mg^{2+}) \quad (2.7)$$

2.4.4 Περιεκτικότητα σε ανταλλάξιμο νάτριο

Ο βαθμός κορεσμού των ιοντοανταλλάξιμων θέσεων του πορώδους μέσου του νατρίου εκφράζει το ποσοστό ανταλλάξιμου νατρίου και ο υπολογισμός του προκύπτει από τον παρακάτω τύπο (2.8) με τη χρήση του SAR:

$$ESP = \frac{1.47 \times SAR - 1.26}{(0.0147 \times SAR) + 0.99} \quad (2.8)$$

2.4.5 Περιεκτικότητα σε αιωρούμενα υλικά

Σημαντικές ποσότητες αιωρούμενων υλικών στο αρδευτικό νερό έχουν δυσμενείς επιπτώσεις στην τεχνολογία των αρδεύσεων. Στα αρδευτικά δίκτυα καταιονισμού τα μεταφερόμενα υλικά μπορούν να προξενήσουν με την συγκέντρωσή τους προβλήματα στα φύλλα των καλλιεργειών ενώ στα συστήματα αρδεύσεως με σταγόνες υπάρχει κίνδυνος εμφράξεως των σταλλακτών με αποτέλεσμα την κακή λειτουργία του συστήματος και την ανομοιομορφία της κατανομής του αρδευτικού νερού.

2.5 Νομοθετικό Πλαίσιο για τα Υδατορεύματα

2.5.1 Προστασίας από τη δόμηση

Σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία για την προστασία των ρεμάτων και της παραρεμάτιας ζώνης, απαγορεύεται η δόμηση εντός της όχθης των ρεμάτων ενώ περιορισμοί ισχύουν κατά περίπτωση και για τη δόμηση εκτός οριογραμμής. Ο καθορισμός της όχθης (οριογραμμής) των ρεμάτων, χειμάρρων ή ρυακιών υπάγεται στις αρμοδιότητες του ΥΠΕΧΩΔΕ ή των κατά τόπους Περιφερειών. Σύμφωνα με το άρθρο 5 του Ν.3010/2002, *«η οριοθέτηση συνίσταται στον καθορισμό και επικύρωση των πολυγωνικών γραμμών εκατέρωθεν της βαθιάς γραμμής του υδατορεύματος, οι οποίες περιβάλλουν τις γραμμές πλημμύρας, τις όχθες, καθώς και τα τυχόν φυσικά ή τεχνητά στοιχεία, που αποτελούν αναπόσπαστο μέρος του υδατορεύματος»*.

Ειδικά για την Αττική, βάσει του ΦΕΚ 281Δ/93 ορίστηκαν 55 ρέματα ως διατηρητέου περιβαλλοντικού ενδιαφέροντος χωρίς όμως να δίνονται κατευθύνσεις και προδιαγραφές για την αντιμετώπιση, προστασία και αξιοποίηση των ρεμάτων εν γένει κατά τον πολεοδομικό σχεδιασμό. Οι μόνες προδιαγραφές πέραν του Ν.3010 που υπάρχουν μέχρι και σήμερα είναι αυτές του κτιριοδομικού κανονισμού. Ο κτιριοδομικός κανονισμός διακρίνει τα ρέματα σε οριοθετημένα και προσωρινώς οριοθετημένα. Για τα οριοθετημένα απαγορεύεται η δόμηση εντός των οριογραμμών και επιτρέπεται σε απόσταση 10μ από αυτές ή επί αυτών αν έχουν γίνει τα έργα διευθέτησης. Για τα μη οριοθετημένα, επιτρέπεται η δόμηση σε απόσταση 20 μέτρα ή 10 μέτρα αν έχουν γίνει τα απαραίτητα τεχνικά έργα οριοθέτησης τα οποία αφορούν κάθε ιδιοκτησία ξεχωριστά.

Ο καθαρισμός από απορρίμματα και μπάζα, η συντήρηση του χώρου των ρεμάτων και των ποταμών και η κατασκευή έργων αντιπλημμυρικής προστασίας εντάσσονται στις αρμοδιότητες των Δήμων και των Νομαρχιών. Σε ό,τι αφορά την Αθήνα, η ΕΥΔΑΠ είναι υπεύθυνη για τον καθαρισμό των ρεμάτων από φερτές ύλες, κάτι που πραγματοποιείται σε ετήσια βάση για τα μεγαλύτερα ρέματα (Ποδονίφτης, Πικροδάφνης, Χαλανδρίου, Σαπφούς), ενώ στα μικρότερα ρέματα γίνονται παρεμβάσεις ανάλογα με τις ανάγκες που προκύπτουν.

Συνήθη είναι τα φαινόμενα καταπατήσεων και αυθαίρετης δόμησης στα ρέματα. Η διαδικασία που πρέπει να κινηθεί για την κατεδάφιση αυθαίρετων κατασκευών εξαρτάται από την ύπαρξη αγωγών ομβρίων. Στην περίπτωση που έχουν κατασκευαστεί αγωγοί ομβρίων, επεμβαίνει το Τμήμα Ακίνητης Περιουσίας της ΕΥΔΑΠ. Σε αντίθετη περίπτωση πρέπει να πραγματοποιηθεί αποτύπωση από την Τοπογραφική Υπηρεσία της ΕΥΔΑΠ, η οποία αποστέλλεται στο Πολεοδομικό Γραφείο του Δήμου ή της Νομαρχίας, μετά τις ενέργειες του οποίου προχωράει η κατεδάφιση των κατασκευών και η αποκατάσταση του ρέματος.

2.5.2 Πρότυπα ποιότητας περιβάλλοντος

Τα τελευταία χρόνια όλο και πιο έντονες είναι οι συζητήσεις και ο προβληματισμός για τη σωστή διαχείριση των υδατικών πόρων και την προστασία της ποιότητάς τους τόσο στην επιστημονική κοινότητα όσο και στην πολιτεία. Η ποικιλία σχετικά με την ποιότητα του νερού, οι πολλαπλές χρήσεις του, η οικιστική χρήση και οι αυξανόμενες πιέσεις από τη γεωργία και τη βιομηχανία αποτελούν τους βασικούς λόγους για την ανάγκη ολοκληρωμένης διαχείρισής του.

Για τους παραπάνω λόγους κρίθηκε αναγκαίο σε ευρωπαϊκό κατ' αρχήν επίπεδο να οριστεί ένα σαφές θεσμικό πλαίσιο διαχείρισης και προστασίας της ποιότητας των υδάτων βάσει του οποίου τα Κράτη Μέλη θα πρέπει να λαμβάνουν τα απαραίτητα μέτρα ακολουθώντας ποιοτικούς, οικολογικούς και ποσοτικούς στόχους για την προστασία των υδάτινων οικοσυστημάτων και την καλή κατάσταση όλων των υδατικών πόρων.

Το 2000 εκδόθηκε η Οδηγία- Πλαίσιο 2000/60/ΕΚ για τα Ύδατα, με στόχο να δώσει ένα τέλος στην υποβάθμιση των υδάτων. Επιπροσθέτως, σημαντική για το ζήτημα που εξετάζουμε είναι η έκδοση της Οδηγίας 2008/105/ΕΚ σχετικά με τα πρότυπα ποιότητας περιβάλλοντος στον τομέα της πολιτικής των υδάτων και στη συνέχεια η Κοινή Υπουργική Απόφαση το Δεκέμβριο του 2010 με την οποία καθορίστηκαν τα Πρότυπα Ποιότητας Περιβάλλοντος και στην Ελλάδα (ΚΥΑ 5134/2641/Ε103) . Τέλος, εκδόθηκε ο Ν.3010/2002 που ρύθμιζε τη διαδικασία οριοθέτησης και άλλων θεμάτων σχετικών με τα υδατορεύματα.

2.5.2.1 Οδηγία Πλαισίου 2000/60/ΕΚ

Εκδόθηκε στις 23 Οκτωβρίου 2000 με σκοπό την αντιμετώπιση προβλημάτων που προκύπτουν από την υποβάθμιση της ποιότητας των νερών. Είχε ως αποτέλεσμα τη θέσπιση ενός πλαισίου κοινοτικής δράσης στον τομέα της πολιτικής των υδάτων, και δημοσιεύθηκε στην επίσημη εφημερίδα των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων στις 22 Δεκεμβρίου του 2000. Σύμφωνα με αυτή, το νερό δεν αποτελεί εμπορικό προϊόν όπως όλα τα άλλα, αλλά πρόκειται για μια κληρονομιά που πρέπει να προστατεύεται και να τυγχάνει κατάλληλης μεταχείρισης.

Γι αυτό το λόγο η Οδηγία θέτει ποιοτικούς, οικολογικούς και ποσοτικούς στόχους για την προστασία υδατικών οικοσυστημάτων και την καλή κατάσταση όλων των υδατικών πόρων με κεντρική ιδέα την ολοκληρωμένη διαχείρισή τους στη γεωγραφική κλίμακα των Λεκανών Απορροής Ποταμών. Επίσης, επαναπροσδιορίζει την έννοια της Λεκάνης Απορροής, η οποία περιλαμβάνει τα υπόγεια ύδατα, τα εσωτερικά επιφανειακά (ποταμοί, λίμνες), τα μεταβατικά (δέλτα, εκβολές ποταμών) και τα παράκτια οικοσυστήματα. Επιπλέον, αναδεικνύεται ως σημαντικός στόχος η προοδευτική μείωση της ρύπανσης του υδάτινου περιβάλλοντος, καθώς επίσης και των υπόγειων υδάτων. Η εξάλειψη της απόρριψης ρυπαντικών ουσιών αποτελεί τον απώτερο σκοπό που οφείλει κάθε κράτος να επιτύχει. Ακόμη, αντιμετωπίζονται 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. Πρέπει να επισημανθεί ότι αυτή η οδηγία εκτός των άλλων δημιουργεί και εισάγει νέες προσεγγίσεις στην αντιμετώπιση κινδύνων από τις πλημμύρες και την ξηρασία. Τέλος, τίθεται ως στόχος για τα επόμενα 15 χρόνια η επίτευξη «Καλής Οικολογικής Ποιότητας» για όλα τα ύδατα.

Το πρώτο βήμα για την εφαρμογή της Οδηγίας από κάθε κράτος μέλος είναι η ομαλή ένταξή της στο εθνικό δίκαιο, μια διαδικασία που διαφέρει σημαντικά για κάθε κράτος. Ποικίλοι παράγοντες όπως η ωριμότητα των θεσμικών υποδομών κάθε κράτους διαμορφώνουν ένα συγκεκριμένο υπόβαθρο και καθορίζουν τις συνθήκες ενσωμάτωσής τους στην εθνική νομοθεσία. Σημειώνεται δε πως όταν η Οδηγία τεθεί σε πλήρη εφαρμογή, θα αντικαταστήσει όλες τις προηγούμενες Οδηγίες που σχετίζονται με τη διαχείριση των υδάτων.

2.5.2.2 Οδηγία πλαισίου 2008/105/ΕΚ – ΚΥΑ 51354/2641/Ε103

Σύμφωνα με την οδηγία 2000/60/ΕΚ, εκδόθηκε από το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο και το Συμβούλιο της 16ης Δεκεμβρίου η οδηγία 2008/105/ΕΚ. Η συγκεκριμένη οδηγία δημοσιεύθηκε στην Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης στις 24 Δεκεμβρίου 2008 . Όπως ορίζεται στο πρώτο άρθρο της καθορίζει τα πρότυπα ποιότητας περιβάλλοντος (ΠΠΠ) για ουσίες προτεραιότητας και ορισμένους άλλους ρύπους όπως προβλέπεται στο άρθρο 16 της οδηγίας 2000/60/ΕΚ, με στόχο την επίτευξη καλής χημικής κατάστασης των επιφανειακών υδάτων και σύμφωνα με τις διατάξεις και τους στόχους του άρθρου 4 της εν λόγω οδηγίας(2000/60/ΕΚ).

Με κοινή Υπουργική απόφαση των Υπουργών Εσωτερικών, Αποκέντρωσης και Ηλεκτρονικής Διακυβέρνησης- Οικονομίας, Ανταγωνιστικότητας και Ναυτιλίας- Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής η οδηγία 2000/60/ΕΚ εντάχθηκε στην Ελληνική Νομοθεσία στις 8 Δεκεμβρίου 2010 (Αριθμός Η.Π. 51354/2641/Ε103).

Η εν λόγω κοινή υπουργική απόφαση καθορίζει τα Πρότυπα Ποιότητας Περιβάλλοντος (ΠΠΠ) για τις συγκεντρώσεις ορισμένων ρύπων και ουσιών προτεραιότητας στα επιφανειακά ύδατα. Εξαιρετικής σημασίας είναι τα τρία μέρη του παραρτήματος Ι του άρθρου 8 που αφορούν: α. τις ουσίες προτεραιότητας και ορισμένους άλλους ρύπους και β. ειδικούς ρύπους και απαιτούνται για την υποβοήθηση του προσδιορισμού της οικολογικής κατάστασης των συστημάτων των εσωτερικών επιφανειακών υδάτων. Επιπλέον, στο Γ μέρος του παραρτήματος Ι του άρθρου 8 αναφέρονται οι απαιτήσεις σύμφωνα με τις οποίες εφαρμόζονται τα ΠΠΠ στα συστήματα επιφανειακών υδάτων. Επισημαίνεται ακόμη, ότι μπορεί σε ορισμένες κατηγορίες επιφανειακών υδάτων να απαιτείται για τα ιζήματα ή/και τους ζώντες οργανισμούς η εφαρμογή ΠΠΠ συμπληρωματικών ή διαφορετικών από τα ΠΠΠ που ορίζονται στο μέρος Α του παραρτήματος Ι. Επίσης, Η Ειδική Γραμματεία Υδάτων του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής, κοινοποιεί στην Επιτροπή και τα άλλα κράτη μέλη, μέσω της επιτροπής του άρθρου 21 της οδηγίας 2000/60/ΕΚ, κατάλογο των ουσιών για τις οποίες ορίσθηκαν ΠΠΠ, τους λόγους για τη χρήση της προσέγγισης αυτής, τα εναλλακτικά ΠΠΠ που έχουν ορισθεί, συμπεριλαμβανομένων των δεδομένων και τη μεθοδολογία που ακολουθήθηκε, τις κατηγορίες των επιφανειακών υδάτων στα οποία θα εφαρμόζονται καθώς και την προγραμματιζόμενη συχνότητα παρακολούθησης. Επιπροσθέτως, η Ειδική Γραμματεία Υδάτων ανέλυσε τις μακροπρόθεσμες τάσεις των συγκεντρώσεων των ουσιών προτεραιότητας που παρουσιάζονται στο μέρος Α του παραρτήματος Ι και οι οποίες τείνουν να συγκεντρώνονται σε ιζήματα ή/και ζώντες οργανισμούς. Τέλος, καθόρισε τη συχνότητα παρακολούθησής τους, ώστε να υπάρχουν αξιόπιστα δεδομένα για ανάλυση.

Στην Κοινή Υπουργική Απόφαση, περιλαμβάνονται σημαντικές παράμετροι που θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη για την εφαρμογή των ΠΠΠ που ορίζονται στα μέρη Α και Β του Παραρτήματος Ι.

1. Για κάθε δεδομένη επιφάνεια υδάτινης μάζας, η εφαρμογή του ΕΜΣ-ΠΠΠ σημαίνει ότι, για ο,τιδήποτε αντιπροσωπευτικό σημείο παρακολούθησης εντός της υδάτινης μάζας, ο αριθμητικός μέσος των μετρούμενων συγκεντρώσεων σε διάφορους χρόνους κατά τη διάρκεια του έτους δεν υπερβαίνει το πρότυπο.
2. Για κάθε δεδομένη επιφάνεια υδάτινης μάζας, η εφαρμογή του ΜΕΣ-ΠΠΠ σημαίνει ότι η μετρούμενη συγκέντρωση σε οποιοδήποτε αντιπροσωπευτικό σημείο παρακολούθησης εντός της υδάτινης μάζας δεν υπερβαίνει το πρότυπο του μέρους Α του παρόντος παραρτήματος.
3. Με εξαίρεση το κάδμιο, το μόλυβδο, τον υδράργυρο και το νικέλιο, τα ΠΠΠ που ορίζονται στο παρόν παράρτημα εκφράζονται ως ολικές συγκεντρώσεις στο συνολικό δείγμα ύδατος. Στην περίπτωση του καδμίου,

του μολύβδου, του υδραργύρου και του νικελίου, το ΠΠΠ αναφέρεται στην εν διαλύσει συγκέντρωση, δηλαδή την εν διαλύσει φάση δείγματος ύδατος που λαμβάνεται με διήθηση μέσω ηθμού 0,45 μm ή κάθε ισοδύναμη προεπεξεργασία.

4. Κατά την εκτίμηση των αποτελεσμάτων της παρακολούθησης σε σχέση με τα ΠΠΠ θα λαμβάνονται υπόψη πρώτον οι φυσικές συγκεντρώσεις μετάλλων σε αδιατάρακτο περιβάλλον και οι ενώσεις τους, εάν εμποδίζουν με τα σχετικά ΠΠΠ και δεύτερον η σκληρότητα, το pH ή άλλες παράμετροι ποιότητας ύδατος που επηρεάζουν τη βιοδιαθεσιμότητα των μετάλλων.

2.5.2.3 Νόμος 3010/2002

Το 2002 εκδόθηκε ο Ν.3010/2002 «Εναρμόνιση του Ν. 1650/1986 με τις Οδηγίες 97/11 ΕΕ και 96/61 ΕΕ, διαδικασία οριοθέτησης και ρυθμίσεις θεμάτων για τα υδατορεύματα και άλλες διατάξεις» που δημοσιεύτηκε στο Τεύχος Α ΦΕΚ91 στις 25 Απριλίου 2002. Ο συγκεκριμένος νόμος αποτελεί το βασικό θεσμικό πλαίσιο για τη διαδικασία οριοθέτησης των υδατορευμάτων, δηλαδή τον καθορισμό των οριογραμμών τους, διότι το άρθρο 5 αυτού αντικαθιστά τις παραγράφους 1,2,3 του άρθρου 6 του Ν.880/79. Συγκεκριμένα τα υδατορεύματα οριοθετούνται με βάση τις διατάξεις του άρθρου 5 του Ν.3010/2002, στον οποίο η οριοθέτηση συνίσταται στον καθορισμό και στην επικύρωση των πολυγωνικών γραμμών εκατέρωθεν της βαθιάς γραμμής του ρέματος, οι οποίες περιβάλλουν α. τις γραμμές πλημμύρας, β. τις όχθες του υδατορεύματος όπου είναι διακριτές και γ. οποιοδήποτε εδαφικό, φυσικό ή τεχνητό στοιχείο που αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι του ρέματος και σημαντικό για την ομαλή λειτουργία του. Επισημαίνεται, ακόμη, ότι ο κατά τα ανωτέρω καθορισμός μπορεί να γίνεται και σε τμήματα μόνο των υδατορευμάτων. Επιπλέον, ο καθορισμός της οριογραμμής γίνεται από τις αρμόδιες υπηρεσίες που μπορεί να είναι το ΥΠΕΧΩΔΕ ή η Περιφέρεια και η επικύρωσή του γίνεται με απόφαση του Γενικού Γραμματέα της Περιφέρειας ή του Υπουργού ΠΕΧΩΔΕ. Ο έλεγχος τήρησης των κείμενων διατάξεων για τα ρέματα στα διοικητικά όρια κάθε νομού ασκείται από τις αρμόδιες τεχνικές υπηρεσίες της οικείας Νομαρχιακής Αυτοδιοίκησης.

3^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

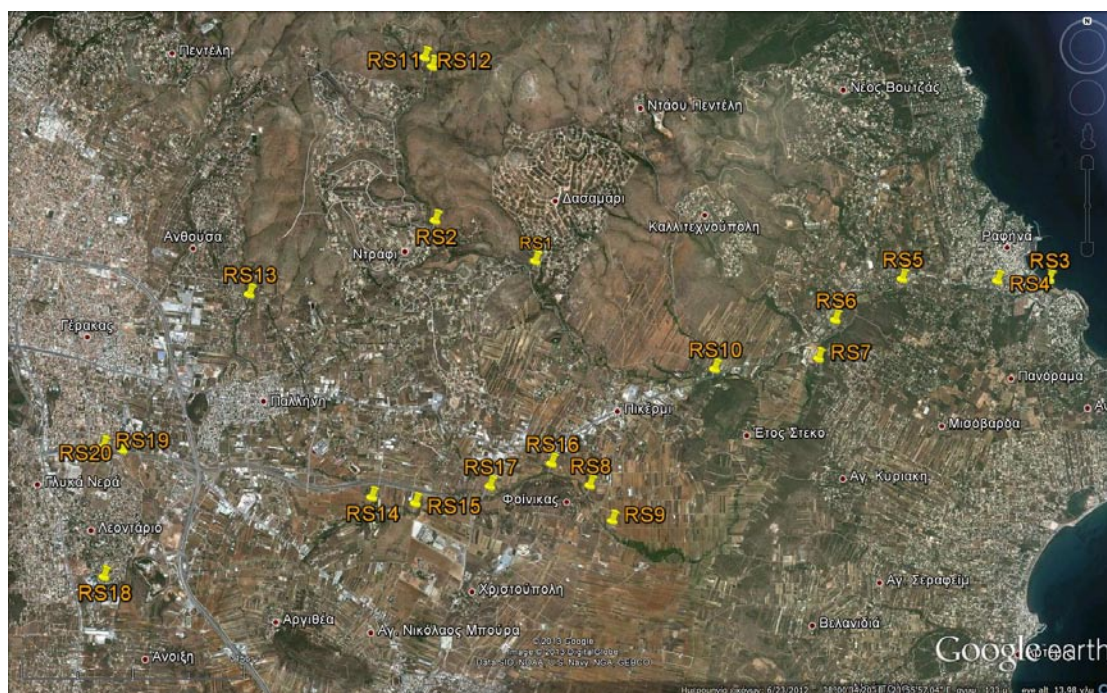
3.1 Συλλογή στοιχείων για την περιοχή μελέτης - Προετοιμασία για τις εργασίες υπαίθρου

Σε προηγούμενη διπλωματική εργασία είχαν καθοριστεί οι θέσεις δειγματοληψίας σε γεωγραφικές συντεταγμένες (γεωγραφικό πλάτος φ και γεωγραφικό μήκος λ) στο παγκόσμιο γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς (WGS 84') οι οποίες δίνονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 3.1).

Πίνακας 3.1: Γεωγραφικές συντεταγμένες των θέσεων δειγματοληψίας.

Κωδικός θέσης	Γεωγραφικό πλάτος φ (° ' ")	Γεωγραφικό μήκος λ (° ' ")
RS1	38 01 13.3	23 55 38.9
RS2	38 01 31.9	23 54 40.1
RS3	38 01 4.90	24 00 45.0
RS4	38 01 4.40	24 00 14.0
RS5	38 01 5.30	23 59 17.0
RS6	38 00 46.1	23 58 37.1
RS7	38 00 28.1	23 58 27.1
RS8	37 59 28.8	23 56 11.1
RS9	37 59 12.3	23 56 24.4
RS10	38 00 23.1	23 57 25.0
RS11	38 02 42.4	23 54 38.9
RS12	38 02 46.2	23 54 30.5
RS13	38 00 57.6	23 52 51.6
RS14	37 59 23.5	23 54 2.20
RS15	37 59 20.7	23 54 27.9
RS16	37 59 39.1	23 55 48.4
RS17	37 59 28.5	23 55 12.0
RS18	37 58 46.9	23 51 25.2
RS19	37 59 47.2	23 51 24.6
RS20	37 59 45.6	23 51 35.7

Οι συντεταγμένες αυτές τοποθετήθηκαν σε αεροφωτογραφίες με τη βοήθεια του λογισμικού Google Earth έτσι ώστε να προσδιοριστεί που βρίσκονται οι συγκεκριμένες θέσεις και ο τρόπος πρόσβασης σ' αυτές (Σχήμα 3.1).



Σχήμα 3.1: Προσδιορισμός των θέσεων δειγματοληψίας στις αεροφωτογραφίες του Google Earth.

Στη συνέχεια καθορίστηκε και συγκεντρώθηκε ο απαραίτητος εξοπλισμός και τα υλικά για την συλλογή των δειγμάτων και τις απαραίτητες μετρήσεις στις θέσεις της δειγματοληψίας, ο οποίος δίνεται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 3.2).

Πίνακας 3.2: Εξοπλισμός και όργανα για τις δειγματοληψίες και τις μετρήσεις στην ύπαιθρο.

A/A	Εξοπλισμός	Όργανα
1	Μετροταινία 5 μ.	GPS χειρός
2	Μετροταινία 50 μ.	Χρονόμετρο
3	Γάντια	Πολύμετρο YSI Professional Plus
4	Γαλότσες	Ψηφιακός Μυλίσκος Valeport
5	Μαρκαδόροι	
6	Πίνακες φύλλων Excel	
7	Λευκές σελίδες A4	
8	Τυπωμένος χάρτης	
9	Δοχεία δειγματοληψίας	

Ο ακριβής εντοπισμός των θέσεων δειγματοληψίας, όταν φτάσαμε κοντά τους, έγινε με τη χρήση GPS χειρός στο οποίο είχαν τοποθετηθεί οι γεωγραφικές συντεταγμένες στο ελληνικό γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς (ΕΓΣΑ 87') των σημείων και οι οποίες δίνονται στον Πίνακα 3.3.

3.2 Συλλογή δειγμάτων – Εργασίες υπαίθρου

3.2.1 Διαδικασία συλλογής δειγμάτων

Η σωστή διαδικασία δειγματοληψίας συμβάλλει στη σωστή χημική ανάλυση των δειγμάτων νερού και συνεπώς από αυτήν καταλήγουμε στην εξαγωγή αξιόπιστων αποτελεσμάτων. Η σωστή συντήρηση των δειγμάτων, καθώς και η προετοιμασία τους για τις εργαστηριακές αναλύσεις συντελούν επίσης στη σωστή χημική ανάλυση τους. Γι' αυτό το λόγο ακολουθήθηκαν οι παρακάτω απαιτήσεις που προβλέπονται από τα διεθνή πρότυπα δειγματοληψίας (Eaton et al., 2005):

- Η δειγματοληψία να πραγματοποιείται με όσο το δυνατόν απλούστερα και οικονομικότερα μέσα.
- Τα δείγματα να είναι αντιπροσωπευτικά της πραγματικής σύστασης του νερού στη περιοχή δειγματοληψίας.
- Η απαραίτητη προετοιμασία των δοχείων δειγματοληψίας, έτσι ώστε κατά τη συλλογή να μην υφίστανται αλλοιώσεις τα δείγματα από φυσικοχημικές ή βιολογικές διεργασίες.
- Να τηρούνται τα κατάλληλα μέτρα στην αποθήκευση των δειγμάτων στο εργαστήριο έτσι ώστε αυτά να παραμένουν αναλλοίωτα για όσο το δυνατόν περισσότερο χρόνο, τουλάχιστον μέχρι την ολοκλήρωση όλων των χημικών αναλύσεων.

Η επιλογή των θέσεων δειγματοληψίας, που πραγματοποιήθηκε για την συλλογή των δειγμάτων νερού, πραγματοποιήθηκε έτσι ώστε οι θέσεις αυτές να καλύπτουν όσο το δυνατόν καλύτερα την περιοχή μελέτης, δηλαδή τα δείγματα νερού να αποτελούν μια αντιπροσωπευτική εικόνα της πραγματικής κατάστασης του περιβάλλοντος. Σε αυτό συνέβαλε η σωστή διασπορά των σημείων δειγματοληψίας στην υδρολογική λεκάνη. Ακόμα σημαντικό ρόλο για την επιλογή των θέσεων αυτών διαδραμάτισε η εύκολη πρόσβαση στο υδατόρευμα και η δυνατότητα συλλογής των δειγμάτων από αυτό, κάτι το οποίο συμβάλει στην ασφάλεια του συνεργείου μετρήσεων αλλά και στην δυνατότητα που δίνεται σε αυτό για επανάληψη της δειγματοληψίας μελλοντικά. Τέλος προσδιορίστηκαν οι συντεταγμένες κάθε θέσης με GPS χειρός έτσι ώστε να ταυτοποιηθούν και να γίνει περαιτέρω μελέτη αυτών στο εργαστήριο και σύγκριση με μελλοντικές έρευνες.

3.2.2 Συλλογή δειγμάτων

Με την παραπάνω διαδικασία πραγματοποιήθηκαν είκοσι δειγματοληψίες σε δύο ημέρες (30/03/2011 και 14/04/2011) στους διάφορους κλάδους της υδρολογικής λεκάνης μελέτης. Η κάθε θέση δειγματοληψίας χαρακτηρίστηκε με έναν κωδικό θέσης (π.χ. RS1) και προσδιορίστηκε με γεωγραφικές συντεταγμένες (X, Y) στο ελληνικό γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς (ΕΓΣΑ 87'). Τα αναλυτικά στοιχεία των θέσεων δειγματοληψίας δίδονται στον παρακάτω πίνακα 3.3.

Πίνακας 3.3: Στοιχεία των θέσεων δειγματοληψίας

Ημερομηνία	Κωδικός θέσης	Συντεταγμένες στο ΕΓΣΑ 87'	
		X (m)	Y (m)
30/3/2011	RS1	493485.18	4207789.05
30/3/2011	RS2	492052.09	4208363.58
30/3/2011	RS3	500948.40	4207527.78
30/3/2011	RS4	500192.55	4207512.31
30/3/2011	RS5	498802.76	4207540.10
30/3/2011	RS6	497829.76	4206948.54
30/3/2011	RS7	497585.76	4206393.84
30/3/2011	RS8	494268.06	4204567.79
30/3/2011	RS9	494592.14	4204059.05
30/3/2011	RS10	496071.34	4206240.30
30/3/2011	RS11	492024.92	4210536.45
30/3/2011	RS12	491917.79	4210653.67
14/4/2011	RS13	489405.53	4207309.40
14/4/2011	RS14	491123.87	4204407.20
14/4/2011	RS15	491750.65	4204320.26
30/3/2011	RS16	493714.62	4204885.64
30/3/2011	RS17	492826.54	4204559.66
14/4/2011	RS18	487292.65	4203284.17
14/4/2011	RS19	487280.87	4205142.65
14/4/2011	RS20	487551.52	4205092.92

Η συλλογή των δειγμάτων νερού έγινε με την βοήθεια δοχείων του ενός λίτρου και αφού πρώτα αυτά ξεπλύθηκαν με νερό του υδατορεύματος σε κάθε θέση έτσι ώστε να μην υπάρξει επιμόλυνση του δείγματος νερού. Στα περισσότερα σημεία δειγματοληψίας η στάθμη του υδατορεύματος που μετρήθηκε ήταν αρκετά χαμηλή λόγω της περιόδου δειγματοληψίας. Πιο συγκεκριμένα η ελάχιστη στάθμη που μετρήθηκε ήταν στη θέση RS3 (7 cm) και η μέγιστη στη θέση RS20 (60 cm). Επομένως λόγω της χαμηλής στάθμης δόθηκε ιδιαίτερη προσοχή έτσι ώστε κατά την συλλογή του δείγματος νερού να μην υπάρξει ανασήκωση υλικού από τον πυθμένα του υδατορεύματος και πρόσμιξη αυτού με το νερό του δείγματος κάτι το οποίο θα επηρέαζε άμεσα τα εργαστηριακά αποτελέσματα.

3.2.3 Μέτρηση φυσικοχημικών παραμέτρων

Σε κάθε σημείο δειγματοληψίας πραγματοποιήθηκαν, πέρα από τη συλλογή των δειγμάτων, μετρήσεις των φυσικοχημικών παραμέτρων του νερού του υδατορεύματος. Για τις μετρήσεις αυτές χρησιμοποιήθηκε το πολύμετρο YSI Professional Plus (Σχήμα 3.2).



Σχήμα 3.2: Μέτρηση φυσικοχημικών παραμέτρων με το πολύμετρο YSI Professional Plus

Το πολύμετρο αυτό αποτελεί έναν φορητό πολυπαραμετρικό μετρητή που προσφέρει εξαιρετική ευελιξία για τις μετρήσεις μιας ποικιλίας φυσικοχημικών παραμέτρων. Συγκεκριμένα μετρήσαμε σε κάθε θέση τη θερμοκρασία (Temperature), το διαλυμένο οξυγόνο (Dissolved Oxygen), την αγωγιμότητα (Conductivity), την ειδική αγωγιμότητα (Specific Conductance), την αλατότητα (Salinity), τα συνολικά διαλυμένα στερεά (Total Dissolved Solids) και την ενεργό οξύτητα (pH) του νερού του υδατορεύματος. Παρακάτω παρουσιάζεται ο πίνακας των μετρήσεων σε κάθε θέση δειγματοληψίας (Πίνακας 3.4).

Πίνακας 3.4: Φυσικοχημικές παράμετροι των θέσεων δειγματοληψίας.

Κωδικός θέσης	Θερμοκρασία (°C)	Διαλυμένο οξυγόνο (mg/L)	Αγωγιμότητα (μS/cm)	Ειδική αγωγιμότητα (μS/cm)
RS1	15.8	9.96	649	786
RS2	15.9	10.28	617	747
RS3	21.7	15.51	1700	1816
RS4	19.9	12.72	1145	1267
RS5	20.4	11.1	1105	1212
RS6	18	10.42	1069	1234
RS7	16.9	11.6	1150	1358
RS8	17.6	11.9	1236	1439
RS9	17.6	12.1	1225	1428
RS10	17.4	10.78	783	915
RS11	14.5	11.06	602	752
RS12	14.6	10.7	620	774
RS13	17.7	8.8	1174	1363
RS14	20.8	7.91	952	1035
RS15	17.9	8.76	1033	1194
RS16	17.1	11.14	1192	1403
RS17	17.4	10.46	1121	1310
RS18	16.6	7.14	980	1171
RS19	14.8	12.9	691	858
RS20	16.1	15.32	681	721

Πίνακας 3.4 (συνέχεια): Φυσικοχημικές παράμετροι των θέσεων δειγματοληψίας.

Κωδικός θέσης	Αλατότητα (mg/L)	Συνολικά διαλυμένα στερεά (mg/L)	Ενεργός οξύτητα
RS1	0.39	513.5	8.7
RS2	0.37	487.5	8.75
RS3	0.92	1183	9
RS4	0.63	825.5	8.69
RS5	0.6	786.5	8.9
RS6	0.62	799.5	8.8
RS7	0.69	884	8.8
RS8	0.73	936	9.18
RS9	0.7	929.5	9.2
RS10	0.45	598	8.83
RS11	0.37	487.5	8.9
RS12	0.38	500.5	8.8
RS13	0.69	884	8.6
RS14	0.51	670	8.93
RS15	0.6	773	8.9
RS16	0.71	910	9.1
RS17	0.66	851.5	9.03
RS18	0.6	760	8.57
RS19	0.42	560	9.42
RS20	0.41	533	9.64

3.2.4 Μετρήσεις για τον προσδιορισμό της παροχής

Η παροχή του υδατορεύματος είναι απαραίτητη εκτός των άλλων για τον προσδιορισμό των ποιοτικών παραμέτρων του νερού. Για τον υπολογισμό της παροχής (Q) χρησιμοποιήθηκε η εξίσωση της συνεχείας (3.1).

$$Q = \bar{V} \times A \quad (3.1)$$

όπου \bar{V} είναι η μέση ταχύτητα ροής του υδατορεύματος και A το εμβαδό της υγρής διατομής σε κάθε θέση μέτρησης.

Επομένως για τον υπολογισμό της παροχής είναι απαραίτητη η γνώση της γεωμετρίας της υγρής διατομής στα σημεία μέτρησης και η μέση ταχύτητα ροής σ' αυτά.

Στη παρούσα διπλωματική προσδιορίσθηκε η γεωμετρία της υγρής διατομής, δηλαδή στις θέσεις όπου η κοίτη ήταν διευθετημένη, θεωρήθηκε ότι η διατομή είναι ορθογωνική, ενώ στις υπόλοιπες θέσεις, η διατομή θεωρήθηκε ότι έχει

την μορφή έλλειψης. Συνεπώς για τον υπολογισμό της υγρής διατομής υπολογίσθηκε το πλάτος της κοίτης και τη στάθμη του νερού στο μέσο.

Για τον υπολογισμό της μέσης ταχύτητας ροής στις είκοσι θέσεις δειγματοληψίας χρησιμοποιήθηκε ειδική συσκευή, η οποία στην περίπτωση μας ήταν ένας ψηφιακός μιλίσκος Valeport (Σχήμα 3.3). Ο μιλίσκος αποτελεί το σύνηθες όργανο μέτρησης ροής, ο οποίος αποτελείται από:

- Αισθητήρα στερεάς κατάστασης
- Συσκευή ελέγχου με οθόνη
- Βαθμονομημένο κοντάρι



Σχήμα 3.3: Ψηφιακός μιλίσκος Valeport

Ο αισθητήρας του μιλίσκου τοποθετήθηκε στο κατάλληλο βάθος, προσεγγιστικά στο 60% του βάθους από την επιφάνεια του υδατορεύματος, γιατί όπως προκύπτει από συστηματικές παρατηρήσεις στο βάθος αυτό καταγράφεται απευθείας η μέση ταχύτητα ροής. Έγιναν περισσότερες από μία μετρήσεις ροής με το μιλίσκο σε κάθε θέση σε χρονική διάρκεια ενός λεπτού. Για τον υπολογισμό της μέσης ταχύτητας ροής, που χρησιμοποιήθηκε στην εξίσωση συνέχειας για τον υπολογισμό της παροχής, πάρθηκε ο μέσος όρος αυτών των μετρήσεων.

Σε ορισμένες θέσεις (RS14, RS15 και RS20) λόγω της χαμηλής στάθμης του υδατορεύματος χρησιμοποιήθηκε για την μέτρηση της μέσης ταχύτητας ροής και η μέθοδος του πλωτήρα. Για τον υπολογισμό της μέσης ταχύτητας ροής με τη μέθοδο του πλωτήρα μετρήθηκε ο χρόνος που απαιτείται ο πλωτήρας να διανύσει συγκεκριμένη απόσταση και έπειτα χρησιμοποιήθηκε διορθωτικός συντελεστής με τιμή 0.7, γιατί το βάθος σε όλες της θέσεις μετρήσεων ήταν μικρότερο του ενός μέτρου.

3.3 Προετοιμασία δειγμάτων για εργαστηριακούς προσδιορισμούς

Για να προχωρήσουμε στους εργαστηριακούς προσδιορισμούς των δειγμάτων ήταν απαραίτητο να προηγηθεί η προετοιμασία αυτών. Η

προετοιμασία έγινε στο Εργαστήριο Εγγειοβελτιωτικών Έργων και Διαχείρισης Υδατικών Πόρων της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών ΕΜΠ και περιλαμβάνει τα στάδια της αποθήκευσης, συντήρησης και διήθησης.

3.3.1 Αποθήκευση – Συντήρηση

Η δειγματοληψία διήρκησε δύο μέρες. Τα δείγματα νερού, που τοποθετήθηκαν σε δοχεία πολυαιθυλενίου του ενός λίτρου, μεταφέρθηκαν αμέσως μετά τη συλλογή τους από την ύπαιθρο στο Εργαστήριο Εγγειοβελτιωτικών Έργων και Διαχείρισης Υδατικών Πόρων της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών ΕΜΠ. Για να διατηρηθούν αναλλοίωτα για όσο το δυνατόν μεγαλύτερο χρονικό διάστημα αποθηκεύτηκαν σε συνθήκες ψύξης σε ειδικό ψυγείο του εργαστηρίου.

3.3.2 Διήθηση και διαχωρισμός σε υποδείγματα

Μετά την αποθήκευση και τη συντήρηση των δειγμάτων ακολούθησε η διήθηση κάθε δείγματος και στη συνέχεια η δημιουργία υποδειγμάτων σύμφωνα με τις ανάγκες κάθε χημικής παραμέτρου για τον εργαστηριακό προσδιορισμό. Με τη διήθηση απομονώνονται τα στερεά σωματίδια που περιέχονται στα δείγματα του νερού με τη χρήση φίλτρου. Στη περίπτωση της παρούσας διπλωματικής χρησιμοποιήθηκαν ηθμοί Whatman με διάμετρο πόρων 0.45μm και διάμετρο ηθμού 47mm. Το διήθημα, δηλαδή το απομονωμένο νερό που διήλθε από το φίλτρο, χωρίστηκε στα παρακάτω υποδείγματα:

1. Μέρος δείγματος 50 ml τοποθετήθηκε σε ειδικά γυάλινα δοχεία και αποθηκεύτηκαν σε συνθήκες ψύξης, ώστε στη συνέχεια να χρησιμοποιηθούν για τον προσδιορισμό των κύριων ιόντων με τη συσκευή ιοντικής χρωματογραφίας της DIONEX ICS-3000.
2. Μέρος δείγματος 50 ml τοποθετήθηκε σε κατάλληλα δοχεία και σε αυτά προστέθηκε πυκνό HNO₃ (περιεκτικότητας 69%) με σκοπό να διατηρηθεί το pH στο 2. Το υποδείγματα αυτά αποθηκεύτηκαν σε συνθήκες ψύξης, ώστε στη συνέχεια να χρησιμοποιηθούν για τον προσδιορισμό των συγκεντρώσεων των ιχνοστοιχείων με τη συσκευή φασματομετρικής ανάλυσης ICP-MS της Agilent – MassHunter 7700.
3. Το υπόλοιπο μέρος των διηθημένων δειγμάτων τοποθετήθηκε σε κατάλληλα δοχεία, αποθηκεύτηκε σε συνθήκες ψύξης για συντήρηση και χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης των όξινων ανθρακικών με τη μέθοδο της τιτλοδότησης.

3.4 Εργαστηριακοί προσδιορισμοί

3.4.1 Ιοντική χρωματογραφία

Ο όρος ιοντική χρωματογραφία εισήχθη στη διεθνή βιβλιογραφία το 1975 από τον H. Small, με σκοπό την περιγραφή μίας τεχνικής υγρής χρωματογραφίας διαχωρισμού ανόργανων ιόντων, όπου η στατική φάση της στήλης διαχωρισμού ήταν ιονανταλλακτική ρητίνη, το υγρό έκλουσης υδατικό διάλυμα

ηλεκτρολυτών και ο ανιχνευτής αγωγιμομετρικός. Σε σειρά με τη στήλη διαχωρισμού ήταν απαραίτητη η τοποθέτηση μίας δεύτερης στήλης ιονανταλλακτικής ρητίνης, με δραστικές ομάδες αντίθετου φορτίου από τη στήλη διαχωρισμού, ώστε να επιτευχθεί εξουδετέρωση της κινητής φάσης, μείωση της αγωγιμότητας υποβάθρου και επομένως αύξηση του λόγου σήματος προς θόρυβο. Τα αμέσως επόμενα χρόνια, υπήρξε σημαντική ανάπτυξη στην τεχνική της ιοντικής χρωματογραφίας, τόσο από την πλευρά των αναλυτικών εφαρμογών όσο και από την πλευρά της τεχνολογίας, με αποτέλεσμα να καταστούν εφικτοί προσδιορισμοί, τόσο οργανικών όσο και ανόργανων, κατιόντων και ανιόντων, ακόμη και πολύ ασθενώς ιονιζόμενων σωματιδίων, σε ένα πλήθος φυσικών και βιομηχανικών δειγμάτων. Η τεχνική της χημικής καταστολής (δέσμευση των ιόντων της κινητής φάσης) δεν είναι πλέον μονόδρομος για την ιοντική χρωματογραφία, ενώ τα υγρά έκλουσης δεν είναι αναγκαστικά υδατικά διαλύματα.

Παράλληλα, εκτός από τον αγωγιμομετρικό ανιχνευτή, έχει γίνει εφικτό να ενσωματωθούν στην ιοντική χρωματογραφία όλα τα συστήματα ανίχνευσης που είχαν αναπτυχθεί για την υγρή χρωματογραφία υψηλής απόδοσης, καθώς και οι αντλίες υψηλής απόδοσης που αρχικά ήταν μη συμβατές εξαιτίας των διαβρώσεων που προκαλούσαν τα εκλουστικά υγρά της ιοντικής χρωματογραφίας. Επίσης, ο μηχανισμός διαχωρισμού ιόντων δεν περιορίζεται πλέον στον κλασικό ιονανταλλακτικό μηχανισμό, αλλά μπορούν να επιτευχθούν διαχωρισμοί με βάση μηχανισμό αποκλεισμού κατά μέγεθος (ion exclusion chromatography), με μηχανισμό ιοντικών αλληλεπιδράσεων (ion interaction chromatography) ή με συνδυασμό μηχανισμών για ταυτόχρονο προσδιορισμό ανιόντων και κατιόντων (πολυδιάστατη ιοντική χρωματογραφία). Πολύ σημαντική είναι επίσης η εισαγωγή στην ιοντική χρωματογραφία της τεχνολογίας των στηλών υψηλής απόδοσης, που βασίζονται σε πληρωτικά υλικά μικρής χωρητικότητας και μικρού μεγέθους.

Επομένως, είναι εμφανές ότι ο όρος ιοντική χρωματογραφία, έπειτα από 25 και πλέον χρόνια ανάπτυξης, έχει διευρυνθεί, με αποτέλεσμα να συμπεριλαμβάνει κάθε τεχνική χρωματογραφίας υψηλής απόδοσης που αφορά το διαχωρισμό και προσδιορισμό ιοντικών ενώσεων.



Σχήμα 3.4: Συσσκευή ιοντικής χρωματογραφίας Dionex ICS – 3000.

Στην παρούσα εργασία, χρησιμοποιείται εναλλάκτης ιόντων χαμηλής ικανότητας ως στατική φάση και συνήθως υδατικά διαλύματα αλάτων ασθενών μονοβασικών και διβασικών οξέων ως κινητές φάσεις και αποτελούν το διάλυμα έκλουσης. Στην μέθοδο που συνοπτικά περιγράφηκε παραπάνω, το διάλυμα έκλουσης που χρησιμοποιείται έχει σύσταση 4.5 mM και Na_2CO_3 0.8 mM NaHCO_3 .

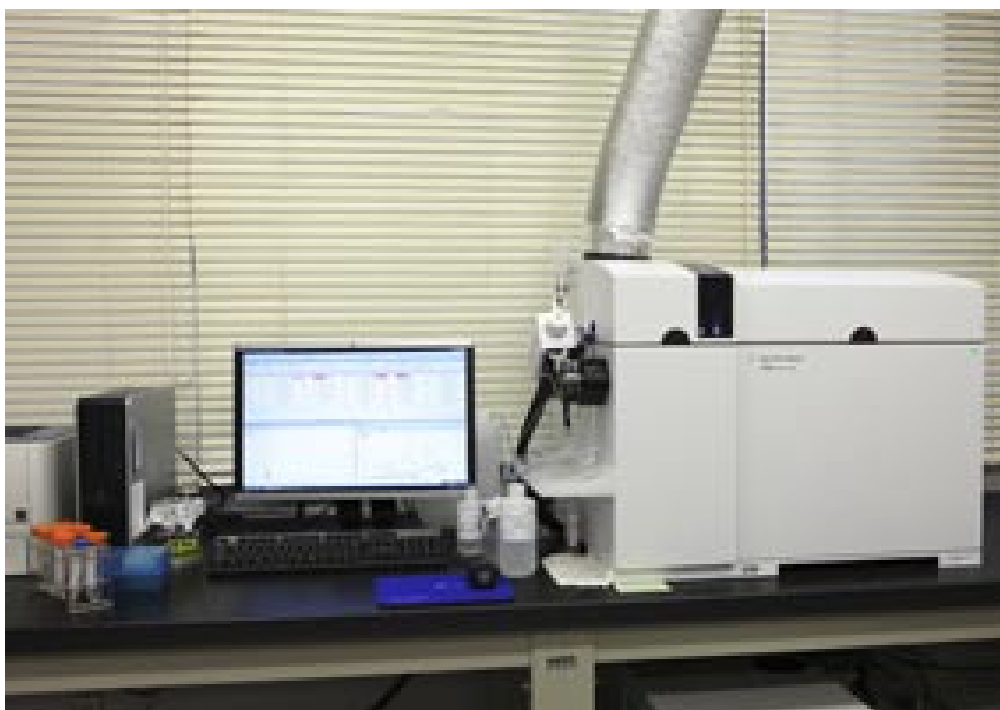
Η διαδικασία συντελείται με τον αγωγιμομετρικό ανιχνευτή που είναι πλέον εδραιωμένος γι αυτόν τον τρόπο ανίχνευσης. Ο εν λόγω ανιχνευτής μπορεί να συνδυαστεί με μια διάταξη καταστολής της αγωγιμότητας. Ο συγκεκριμένος συνδυασμός επιτυγχάνει να μειώσει την αγωγιμότητα του διαλύματος έκλουσης και καταφέρνει να μετατρέψει τα ανιόντα που διαχωρίζονται στα αντίστοιχά τους οξέα. Στη συσκευή ιοντικής χρωματογραφίας της DIONEX ICS-3000 (Σχήμα 3.4) που χρησιμοποιήθηκε σε αυτήν την ανάλυση υπάρχει ο συνδυασμός που περιγράφηκε παραπάνω.

Ο τρόπος αναγνώρισης και προσδιορισμού των ιόντων γίνεται με σύγκριση των χρόνων κατακράτησης με τους χρόνους που γνωρίζουμε για τα μεικτά πρότυπα διαλύματα και χρησιμοποιούνται για την κατασκευή της καμπύλης βαθμονόμησης. Κατά τη διάρκεια της ανάλυσης δειγμάτων, η απόκλιση των χρόνων κατακράτησης που παρατηρούνται για κάθε ένα από τα ιόντα δεν θα πρέπει να ξεπερνά το $\pm 10\%$. Τέλος, είναι απαραίτητο να λάβουμε υπόψη μας κατά τη διάρκεια της ανάλυσης ορισμένες παραμέτρους. Πιο συγκεκριμένα, οι χρόνοι κατακράτησης που εξετάζονται μπορεί να εξαρτώνται από τη συγκέντρωση και τη γενική σύσταση του δείγματος, ενώ το εμβαδόν της

κορυφής που λαμβάνεται από τα χρωματογραφήματα είναι ανάλογο της συγκέντρωσης του ανιόντος.

3.4.2 Φασματομετρική ανάλυση

Η φασματομετρική ανάλυση είναι ένας τύπος φασματομετρίας της μάζας η οποία είναι ικανή να ανιχνεύει μέταλλα και άλλα μη-μέταλλα σε συγκεντρώσεις τόσο χαμηλές όσο ένα μέρος ανά τρισεκατομμύριο. Αυτό επιτυγχάνεται με ιονισμό ενός επαγωγικά συζευγμένου πλάσματος και στη συνέχεια, χρησιμοποιώντας ένα φασματόμετρο μάζας για να διαχωρίσει και να ποσοτικοποιήσει αυτά τα ιόντα.



Σχήμα 3.5: Συσσκευή φασματομετρικής ανάλυσης Aligent MassHunter 7700

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, ο αναλυτικός προσδιορισμός των ιχνοστοιχείων συντελέστηκε με φασματομετρία ατομικών μαζών σε επαγωγικά συζευγμένο πλάσμα.

Για τη λειτουργία της τεχνικής ICP-MS (Σχήμα 3.5) ακολουθήθηκαν ορισμένα βήματα. Πρώτα, πραγματοποιήθηκαν η εισαγωγή του υγρού δείγματος στο σύστημα του πλάσματος και ο ιοντισμός, ενώ χρησιμοποιήθηκε ρεύμα αερίου αργού για τη μεταφορά. Στη συνέχεια, έγινε ο διαχωρισμός των παραγόμενων ιόντων με βάση το λόγο (μάζα / φορτίο) σε αναλυτή μαζών. Τέλος, μετρήθηκε η σχετική ένταση που αντιστοιχεί σε κάθε λόγο m/z σε ηλεκτρονικό πολλαπλασιαστή / ανιχνευτή.

3.4.3 Τιτλοδότηση

Η ογκομετρική ανάλυση είναι μια από τις πιο χρήσιμες αναλυτικές τεχνικές. Η ογκομετρική μέθοδος είναι αναλυτική μέθοδος ποσοτικού προσδιορισμού που

στηρίζεται στη μέτρηση του όγκου διαλύματος αντιδραστηρίου, αυστηρά καθορισμένης συγκέντρωσης και περιέχει τα γραμμοϊσοδύναμα που απαιτούνται για την ποσοτική αντίδραση της ογκομετρούμενης ουσίας μέσω επιλεγμένης χημικής αντίδρασης (δηλαδή όγκος πρότυπου διαλύματος, που είναι χημικώς ισοδύναμος με την ουσία που ογκομετρείται).

Εν ολίγοις, η ογκομετρική ανάλυση ή αλλιώς τιτλοδότηση είναι στην ουσία μια χημική τεχνική που έχει ως στόχο τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης κάποιων χημικών ουσιών έχοντας ως βάση την προσθήκη μιας συγκεκριμένης ποσότητας κάποιας άλλης ένωσης γνωστής συγκέντρωσης. Οι τιτλοδοτήσεις διακρίνονται στις εξής 3 κατηγορίες: στις τιτλοδοτήσεις οξέος-βάσεως, στις οξειδοαναγωγικές τιτλοδοτήσεις και στις τιτλοδοτήσεις συμπλοκοποίησης. Για παράδειγμα, προκειμένου να εντοπιστεί και να προσδιοριστεί η ικανότητα που έχει το νερό να εξουδετερώνει τα οξέα, δηλαδή η αλκαλικότητα του, αξιοποιείται η εν λόγω μέθοδος της ογκομετρικής ανάλυσης.

Η μέθοδος που ακολουθήθηκε προκειμένου να εντοπιστεί η αλκαλικότητα του νερού είναι η τυποποιημένη μέθοδος της HACH-Method 8203 που εφαρμόζεται για εύρος συγκεντρώσεων 10 – 4000 mg/L ως CaCO₃. Πιο συγκεκριμένα, σε αυτήν τη μέθοδο ακολουθούνται κάποια βήματα. Αρχικά, λαμβάνεται ένας συγκεκριμένος όγκος δείγματος, ο οποίος εξαρτάται κυρίως από την αναμενόμενη συγκέντρωση αλκαλικότητας. Σε αυτό το σημείο, επιλέγεται από έναν τυποποιημένο πίνακα όγκων δείγματος και συγκεντρώσεων οξέος, η αντίστοιχη στήλη H₂SO₄. Ο όγκος αυτός του δείγματος που έχουμε συλλέξει τοποθετείται σε μια ειδική φιάλη κωνικού σχήματος των 250 ml και συμπληρώνεται με υπερκάθαρο νερό σε τελικό όγκο 100 ml. Αμέσως μετά, γίνεται προσθήκη δείκτη φαινολοφθαλείνης με δείκτη pH 8.3. Αν το δείγμα αποκτήσει ένα ροζέ χρώμα πρέπει να προβούμε σε τιτλοδότηση με θειικό οξύ μέχρι τη στιγμή που το δείγμα θα αποχρωματιστεί (Σχήμα 3.6).



Σχήμα 3.6: Αποχρωματισμός δείγματος με τιτλοδότηση θειικού οξέος.

Σε αυτό το σημείο καταγράφεται ο όγκος θειικού οξέος που προστίθεται και σύμφωνα με αυτόν τον όγκο, υπολογίζεται η αλκαλικότητα φαινολοφθαλείνης (P). Γίνεται, μετά, προσθήκη του δείκτη ερυθρό του μεθυλίου-πράσινη βρωμοκρεσόλη και το δείγμα έτσι τιτλοδοτείται με θειικό οξύ μέχρι να φτάσει στο δεύτερο ισοδύναμο σημείο κατά τη διάρκεια του οποίου το διάλυμα λαμβάνει γκρίζο-μπλε χρώμα και το pH υπολογίζεται στο 5.1. Η τιτλοδότηση όμως δεν σταματάει και στη συνέχεια το δείγμα λαμβάνει ένα ερυθρωπό-ροζέ χρώμα με pH στο 4.5. Σε αυτό το σημείο θεωρείται ότι η μέτρηση έχει τελειώσει. Στο τέλος, καταγράφεται ο συνολικός όγκος θειικού οξέος και από αυτόν υπολογίζεται η ολική αλκαλικότητα. Ως αλκαλικότητα ορίζουμε συνήθως το άθροισμα των όξινων ανθρακικών, των ανθρακικών ριζών και των υδροξυλίωντων.

3.5 Περιγραφικά στατιστικά

3.5.1 Εισαγωγή

Η στατιστική χωρίζεται στα περιγραφικά και επαγωγικά στατιστικά (Σχήμα 3.7). Η έρευνα που γίνεται για να περιγράψει διάφορα φαινόμενα λέγεται περιγραφική (descriptive) και η έρευνα που γίνεται για να εξηγήσει λέγεται εξηγητική (explanatory). Περιγραφική ή εξηγητική, η επιστημονική έρευνα συνίσταται στη συλλογή και ανάλυση εμπειρικών δεδομένων (empirical data).

3.5.2 Κλίμακες μέτρησης

Ανάλογα με το επιστημονικό πεδίο, διαφοροποιούνται σημαντικά και οι τύποι των μεταβλητών που χρησιμοποιούνται.

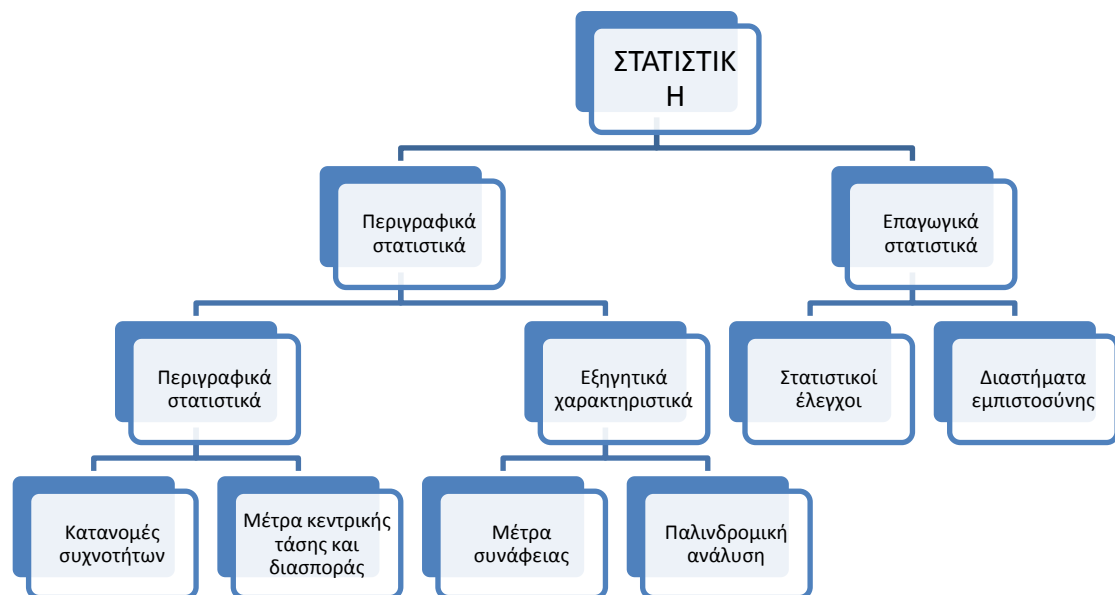
Οι κλίμακες μέτρησης, σύμφωνα με τον Κατσιλλή (2002) είναι:

- Ονομαστικές (nominal): αντιπροσωπεύουν το χαμηλότερο επίπεδο μέτρησης και απλά ταξινομούν τα δεδομένα σε κατηγορίες. Οι μεταβλητές που μετρούνται σε αυτό το επίπεδο μέτρησης, ονομάζονται ονομαστικές (ή και κατηγορικές) μεταβλητές.

- Τακτικές (ή και διάταξης) (ordinal): ταξινομούν και αυτές τα δεδομένα αλλά επιπλέον καθορίζουν και μια σειρά (τάξη) μεταξύ των κατηγοριών.

- Ισοδιαστημικές (interval): όπως και οι τακτικές, ταξινομούν και ιεραρχούν κατηγορίες, αλλά το διάστημα μεταξύ δυο διαδοχικών σημείων μεταξύ μιας ισοδιαστημικής κλίμακας είναι ίσο με το διάστημα μεταξύ οποιωνδήποτε άλλων δυο διαδοχικών σημείων της κλίμακας.

- Αναλογικές (ratio): είναι ισοδιαστημικές κλίμακες με τη διαφορά ότι έχουν απόλυτο μηδέν.



Σχήμα 3.7: Κατηγοριοποίηση στατιστικών μεγεθών (Κατσιλλής, 2002)

3.5.3 Συνεχείς και διακριτές μεταβλητές

- Συνεχείς (continuous): Αφορά το σύνολο των ποιοτικών μεταβλητών. Μπορούν να πάρουν μόνο έναν ορισμένο αριθμό τιμών, που αντιστοιχούν στις κατηγορίες των μεταβλητών.

- Διακριτές (ή και ασυνεχείς) (discrete): είναι οι μεταβλητές των οποίων ο πιθανός αριθμός τιμών σε ένα δεδομένο διάστημα είναι άπειρος, δηλαδή οι μεταβλητές που δεν έχουν ελάχιστη μονάδα μέτρησης.

Για τις ποιοτικές μεταβλητές δεν υπάρχει δυνατότητα μαθηματικών πράξεων. Δύναται μόνον να καταμετρηθούν οι συχνότητες κάθε κατηγορίας και η δημιουργία του πίνακα συχνοτήτων με παρουσίαση με χρήση γραφικών μεθόδων (τομεογράμματα ή ραβδογράμματα).

Για τις ποσοτικές μεταβλητές, είναι δυνατή η εφαρμογή αριθμητικών μεθόδων παρουσίασης των δεδομένων. Συνίσταται η κατασκευή πίνακα, αλλά, στην περίπτωση αυτή, είναι απαραίτητη η πρότερη ομαδοποίηση των δεδομένων. Η συνηθέστερη γραφική μέθοδος στις ποσοτικές μεταβλητές είναι τα ιστογράμματα. Επίσης, είναι δυνατό να παρουσιαστούν και με γραφήματα. (Φουσκάκης)

Στην παρούσα εργασία, οι μεταβλητές που χρησιμοποιήθηκαν για την περιγραφή των φαινομένων ανήκουν στην κατηγορία των συνεχών ποσοτικών μεταβλητών.

3.5.4 Περιγραφικά μέτρα στατιστικών δεδομένων

Ο πίνακας συχνοτήτων και το ραβδόγραμμα ή ιστόγραμμα δίνουν μια συνοπτική παρουσίαση των δεδομένων και επιτρέπουν να μελετηθεί ποιοτικά η κατανομή της τυχαιάς μεταβλητής που παρατηρείται. Στη συνέχεια θα οριστούν ποσοτικά μεγέθη που περιγράφουν περιληπτικά τα βασικά χαρακτηριστικά της κατανομής της τυχαιάς μεταβλητής X και λέγονται συνοπτικά ή περιγραφικά μέτρα (summarizing or descriptive statistics). Κάθε τέτοιο μέτρο υπολογίζεται από τις παρατηρήσεις του δείγματος κι όπως θα δειχθεί παρακάτω αποτελεί εκτίμηση κάποιου παραμέτρου της κατανομής της τυχαιάς μεταβλητής που μελετάται.

Αναφέρονται δύο τύποι περιγραφικών μέτρων :

- τα μέτρα θέσης (measures of location) που προσδιορίζουν χαρακτηριστικές θέσεις μέσα στο εύρος των δεδομένων και
- τα μέτρα μεταβλητότητας (variability measures) που δίνουν περιληπτικά τη διασκόρπιση και μεταβλητότητα των δεδομένων. (Κουγιουμτζής, 2009).

3.5.4.1 Μέτρα θέσης

Ως μέτρα θέσης εννοούνται κυρίως τα μέτρα κεντρικής τάσης που προσδιορίζουν ένα κεντρικό σημείο γύρω από το οποίο τείνουν να συγκεντρώνονται τα δεδομένα. Τα κυριότερα μέτρα κεντρικής τάσης κατά τον Κουγιουμτζή (2009), είναι:

- 1) Η δειγματική μέση τιμή (sample mean value) ή αριθμητικός μέσος (arithmetic mean), ή μέσος όρος (average)
- 2) Η δειγματική διάμεσος (sample median)
- 3) Η δειγματική επικρατούσα τιμή (sample mode)

1) Μέση τιμή

Η δειγματική μέση τιμή είναι το πιο γνωστό και χρήσιμο μέτρο του κέντρου των δεδομένων. Έστω x_1, x_2, \dots, x_n , οι τιμές των παρατηρήσεων του δείγματος για μια τυχαία μεταβλητή X . Η δειγματική μέση τιμή συμβολίζεται \bar{x} και ορίζεται ως

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (3.2)$$

2) Διάμεσος

Η δειγματική διάμεσος είναι ένα άλλο μέτρο του κέντρου των δεδομένων και ορίζεται ως η κεντρική τιμή όταν διατάξουμε τα δεδομένα σε αύξουσα σειρά. Συμβολίζεται με \tilde{x} . Αν ο αριθμός n των δεδομένων είναι περιττός τότε η διάμεσος είναι η τιμή στη θέση $\frac{(n+1)}{2}$, ενώ αν το n είναι άρτιος τότε είναι το ημίαθροισμα των τιμών στις θέσεις $\frac{n}{2}$ και $\frac{n}{2} + 1$.

3) Επικρατούσα τιμή

Η δειγματική επικρατούσα τιμή χρησιμοποιείται επίσης για να δηλώσει την κεντρική τάση των δεδομένων κι ορίζεται ως η τιμή που εμφανίζεται με τη μεγαλύτερη συχνότητα. Αν υπάρχουν πάνω από μία τέτοιες τιμές, τότε όλες αυτές θεωρούνται επικρατούσες τιμές. Είναι φανερό πως η επικρατούσα τιμή δεν έχει νόημα όταν το δείγμα δεν αποτελείται από διακεκριμένες επαναλαμβανόμενες τιμές.

3.5.4.2 Μέτρα μεταβλητότητας

Εκτός από την κεντρική τάση ενδιαφέρει επίσης και η μεταβλητότητα ή διασπορά των παρατηρήσεων. Όταν τα δεδομένα είναι συγκεντρωμένα γύρω από μια κεντρική τιμή, δηλαδή η διασπορά των δεδομένων είναι μικρή, τότε η κεντρική τιμή αντιπροσωπεύει ικανοποιητικά τα δεδομένα. Αντίθετα, όταν τα δεδομένα είναι διασκορπισμένα, τα μέτρα κεντρικής τιμής δεν δίνουν καλή περιληπτική περιγραφή των δεδομένων. Επίσης, διαφορετικά δείγματα από τον ίδιο πληθυσμό μπορεί να έχουν το ίδιο μέτρο κεντρικής τάσης αλλά να διαφέρουν κατά κάποιο σημαντικό τρόπο ως προς τη διασπορά των παρατηρήσεων. (Κουγιουμτζής, 2009)

Τα κυριότερα μέτρα διασποράς κατά τον Κουγιουμτζή (2009), είναι:

- 1) Το δειγματικό εύρος (sample range) R

- 2) Η δειγματική διακύμανση ή δειγματική διασπορά (sample variance) s^2 και η δειγματική τυπική απόκλιση (standard deviation) s

1) Το δειγματικό εύρος

Αποτελεί τη διαφορά της ελάχιστης από τη μέγιστη τιμή του δείγματος. Το εύρος υπολογίζεται εύκολα αλλά δεν είναι ανθεκτικό μέτρο μεταβλητότητας. Εξαρτάται μόνο από τις δύο ακραίες παρατηρήσεις x_{\min} και x_{\max} και αγνοεί τις υπόλοιπες παρατηρήσεις. Για αυτό μπορεί να αλλάζει σημαντικά από δείγμα σε δείγμα (ίδιου πλήθους και από τον ίδιο πληθυσμό). Γενικά το εύρος αυξάνει όταν μεγαλώνει το δείγμα καθώς αναμένεται να συμπεριληφθούν πιο ακραίες τιμές.

2) Διασπορά

Η διασπορά ή διακύμανση ορίζει τη μεταβλητότητα των παρατηρήσεων περί τη μέση τιμή. Αν οριστεί η απόκλιση μιας παρατήρησης x_i από τη μέση τιμή ως $x_i - \bar{x}$, είναι φανερό πως το άθροισμα όλων αυτών των αποκλίσεων είναι μηδέν γιατί χρησιμοποιώντας τον ορισμό της δειγματικής μέσης τιμής (3.2) έχουμε:

$$\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) = \sum_{i=1}^n x_i - \sum_{i=1}^n \bar{x} = n\bar{x} - n\bar{x} = 0$$

Η δειγματική μέση τιμή \bar{x} έχει οριστεί έτσι ώστε οι θετικές αποκλίσεις για τιμές μεγαλύτερες του \bar{x} να είναι αθροιστικά ίδιες με τις αρνητικές αποκλίσεις για τιμές μικρότερες του \bar{x} .

Η δειγματική διασπορά ορίζεται ως:

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (3.3)$$

Η διασπορά s^2 προκύπτει από τα τετράγωνα των παρατηρήσεων και συχνά είναι δύσκολο να ερμηνευτεί ως πραγματικό φυσικό μέγεθος. Για αυτό ορίζεται η δειγματική τυπική απόκλιση s , που είναι απλά η θετική ρίζα της δειγματικής διασποράς s^2 . Η τυπική απόκλιση s μετριέται με τη μονάδα μέτρησης της τυχαίας μεταβλητής X και εκφράζει (όπως δηλώνει η ονομασία της) την τυπική απόκλιση των δεδομένων από τη δειγματική μέση τιμή, δηλαδή μέχρι πόσο περίπου αναμένεται μια τυπική τιμή της X να απέχει από τη μέση τιμή.

Για τη σύγκριση της μεταβλητότητας δειγμάτων χρησιμοποιούμε το αδιάστατο μέγεθος, που ονομάζεται συντελεστής μεταβλητότητας (Κοκολάκης και Σπηλιώτης, 1999) και δίνεται στον παρακάτω τύπο (3.4):

$$\lambda = 100 \times \frac{s}{\bar{x}} (\%) \quad (3.4)$$

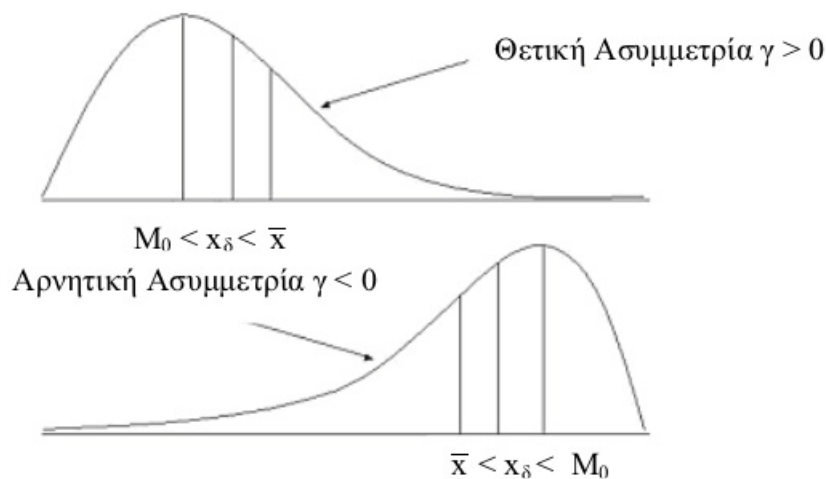
3.5.5 Ασυμμετρία

Η κατανομή ενός πληθυσμού μπορεί να είναι είτε συμμετρική είτε μη συμμετρική. Στην πρώτη περίπτωση η κορυφή, η διάμεσος και η μέση τιμή συμπίπτουν. Στις άλλες περιπτώσεις ένα από τα τμήματα στα οποία χωρίζει την κατανομή η κορυφή περιέχει περισσότερες παρατηρήσεις από το άλλο. Υπάρχουν δύο ειδών ασυμμετρίες, η θετική ασυμμετρία στην οποία οι περισσότερες παρατηρήσεις, καθώς επίσης και η διάμεσος και η μέση τιμή, βρίσκονται δεξιά της κορυφής και στην περίπτωση αυτή μάλιστα ισχύει $M_0 < x_\delta < \bar{x}$, και η αρνητική ασυμμετρία στην οποία οι περισσότερες παρατηρήσεις, όπως η διάμεσος και η μέση τιμή, βρίσκονται αριστερά της κορυφής και στην περίπτωση αυτή μάλιστα ισχύει $\bar{x} < x_\delta < M_0$ (Φουσκάκης).

Σαν αριθμητικό μέτρο καθορισμού της ασυμμετρίας το συνηθέστερο είναι ο συντελεστής ασυμμετρίας με βάση τις ροπές ο οποίος ορίζεται ως:

$$\gamma = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{\left\{ \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \right\}^3} \quad (3.5)$$

Όταν $\gamma > 0$ υπάρχει θετική ασυμμετρία, όταν $\gamma < 0$ η ασυμμετρία είναι αρνητική, ενώ για $\gamma = 0$ παρουσιάζεται συμμετρία.



Σχήμα 3.8: Σχηματική απεικόνιση της θετικής και αρνητικής ασυμμετρίας.

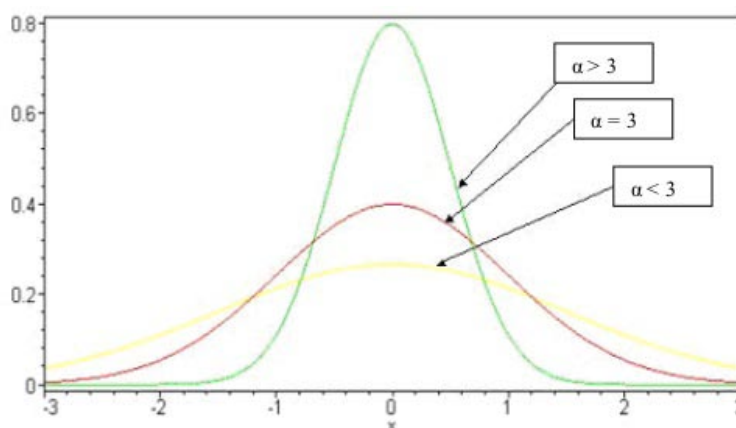
3.5.6 Κυρτότητα

Μια κατανομή η οποία έχει σχετικά μεγάλη μέγιστη συχνότητα (κορυφή) και επομένως μεγάλη συγκέντρωση τιμών γύρω από το μέσο λέγεται λεπτόκυρτη (leptokurtic), ενώ αν η μέγιστη συχνότητα της είναι σχετικά μικρή λέγεται πλατύκυρτη (platykurtic). Κατανομές που προσεγγίζονται από την κανονική κατανομή λέγονται μεσόκυρτες (mesokurtic).

Ένα μέτρο που εκφράζει το βαθμό κυρτότητας μιας κατανομής είναι ο συντελεστής κύρτωσης του Pearson ο οποίος ορίζεται από τον τύπο (3.6):

$$\alpha = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4}{\left\{ \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \right\}^4} \quad (3.6)$$

Επειδή για κανονικές κατανομές έχουμε $\alpha = 3$ συνηθίζεται να μετράται η κυρτότητα με την διαφορά $\alpha - 3$, η οποία για λεπτόκυρτες κατανομές παίρνει θετικές τιμές (θετική κύρτωση), ενώ για πλατύκυρτες κατανομές γίνεται αρνητική (αρνητική κύρτωση).



Σχήμα 3.9: Σχηματική απεικόνιση της λεπτόκυρτης (πράσινο), της κανονικής (κόκκινο) και της πλατύκυρτης (κίτρινο) κατανομής.

3.5.7 Δοκιμασία t του Student

Η δοκιμασία t του Student εφαρμόζεται σε μικρές ομάδες δεδομένων και αποτελεί μια συνηθισμένη στατιστική δοκιμασία σημαντικότητας. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα μίας από αυτές τις δοκιμασίες πραγματοποιεί σύγκριση δύο μέσων τιμών και βρίσκει εφαρμογή σε πολλές περιπτώσεις.

Στη παρούσα διπλωματική εργασία η δοκιμασία πραγματοποιήθηκε για τη σύγκριση των μέσων τιμών που προέκυψαν από τα αποτελέσματα των εργαστηριακών προσδιορισμών στα δείγματα νερού, που ελήφθησαν με την ίδια μέθοδο στα ίδια σημεία δειγματοληψίας την ίδια χρονική περίοδο δύο διαδοχικών ετών, για να διαπιστωθεί αν τα δείγματα περιέχουν τη μετρούμενη ουσία σε ίδιο ή διαφορετικό ποσοστό. Το αποτέλεσμα αυτής της δοκιμασίας είναι η αποδοχή ή η απόρριψη της μηδενικής υπόθεσης (null hypothesis) (H_0). Συγκεκριμένα στην παρούσα εργασία η μηδενική υπόθεση είναι οι μέσες τιμές να είναι ίδιες, δηλαδή η μέση συγκέντρωση της προσδιοριζόμενης ουσίας από τα αποτελέσματα των μετρήσεων σε δύο διαδοχικά έτη να είναι ίδια.

Όλες οι δοκιμασίες σημαντικότητας παρέχουν αποτελέσματα σε προκαθορισμένη στάθμη εμπιστοσύνης % (confidence level, CL%). Οι πλέον χρησιμοποιούμενες στάθμες εμπιστοσύνης είναι 90%, 95% και 99%, με πλέον συνηθισμένη (τουλάχιστον στο πεδίο της χημικής ανάλυσης) το 95%.

Η δοκιμασία t του Student για τη σύγκριση δύο μέσων τιμών προϋποθέτει ότι η πληθυσμιακή κατανομή των τυχαίων σφαλμάτων είναι κανονική (κατά Gauss) και ότι οι τυπικές αποκλίσεις μεταξύ των δύο πληθυσμιακών δειγμάτων δεν διαφέρουν σημαντικά.

Από τις μέσες τιμές και τις αντίστοιχες τυπικές αποκλίσεις που προέκυψαν για τα μετρούμενα στοιχεία στα ίδια σημεία δειγματοληψίας την ίδια χρονική περίοδο δύο διαδοχικών ετών υπολογίζεται η εκ συνένωση τυπική απόκλιση S_{AB} με τη χρήση του παρακάτω τύπου (3.7):

$$S_{AB} = \sqrt{\frac{(n_A - 1) \times S_A^2 + (n_B - 1) \times S_B^2}{n_A + n_B - 2}} \quad (3.7)$$

και στη συνέχεια το στατιστικό στοιχείο t -πειραματικό (t_{exp}) από τον παρακάτω τύπο (3.8):

$$t_{exp} = \frac{|\bar{x}_A - \bar{x}_B|}{S_{AB} \times \sqrt{\frac{1}{n_A} + \frac{1}{n_B}}} \quad (3.8)$$

Η τιμή του t_{exp} συγκρίνεται με την κρίσιμη (θεωρητική) τιμή t (t_{th}) που αντιστοιχεί στους δεδομένους βαθμούς ελευθερίας N και στην επιλεγμένη στάθμη εμπιστοσύνης (95%). Εάν $t_{exp} > t_{th}$ η μηδενική υπόθεση (H_0) απορρίπτεται, ειδάλλως γίνεται αποδεκτή.

3.6 Υδροχημική ανάλυση

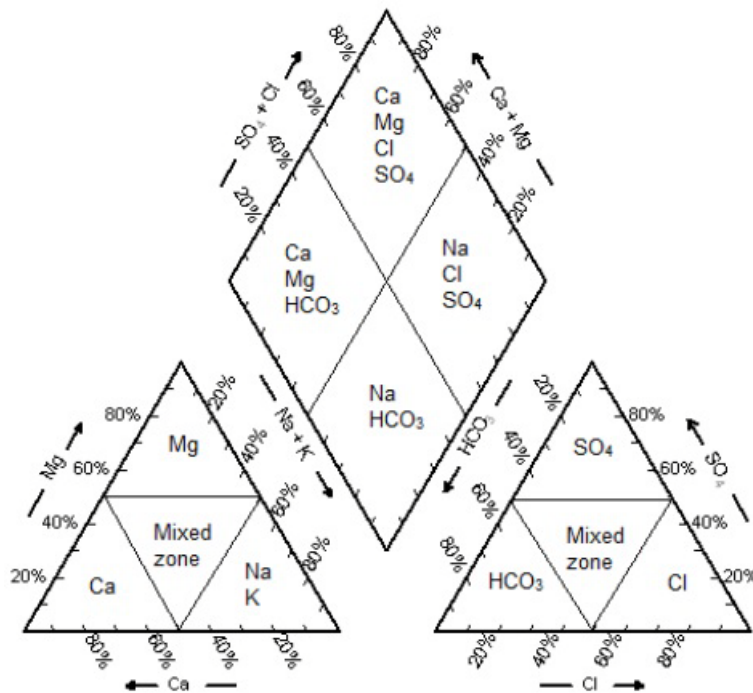
3.6.1 Διάγραμμα Piper

Το διάγραμμα Piper (Σχήμα 3.10) προτάθηκε από τον Piper το 1944 και αποτελεί μία σχετικά απλή και γρήγορη μέθοδο για την κατηγοριοποίηση και σύγκριση διάφορων τύπων νερού, η οποία βασίζεται στην ιοντική σύσταση των επιμέρους δειγμάτων (Alexakis, 2011).

Το διάγραμμα Piper είναι ένα τριγραμμικό διάγραμμα (trilinear diagram). Τα τριγραμμικά διαγράμματα παρουσιάζουν το πλεονέκτημα της άμεσης αναγνώρισης ομοιοτήτων και διαφορών ανάμεσα στα δείγματα των νερών μιας περιοχής, καθώς και στη σύγκριση ποιοτικών χαρακτηριστικών των νερών διαφόρων περιοχών. Από την προβολή των αποτελεσμάτων των αναλύσεων σε διάγραμμα Piper, εξάγονται συμπεράσματα σχετικά με τον χημικό τύπο του νερού, τον σχηματισμό αλάτων ή την διάλυση αλάτων, την ανάμιξη νερών διαφορετικών υδροφόρων οριζόντων και την ιοντική ανταλλαγή (Τσακίρης, 2010).

Οι συγκεντρώσεις των κατιόντων και των ανιόντων προβάλλονται σε ισόπλευρο τρίγωνο του οποίου η κάθε πλευρά διαιρείται σε 50 ίσα μέρη και με τον τρόπο αυτό προκύπτει ένα διάγραμμα με τους τρεις άξονες των συντεταγμένων παράλληλου προς τα ύψη του ισόπλευρου τριγώνου. Τα κατιόντα (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+) και τα ανιόντα (SO_4^{2-} , HCO_3^- , Cl^-), είναι εκφρασμένα επί τοις εκατό των αντίστοιχων συνολικών συγκεντρώσεων σε meq. Στο Σχήμα 3.10 παρουσιάζεται ένα τυπικό διάγραμμα Piper. Μέσα σε κάθε ένα από τα τρίγωνα μπορούν να ορισθούν περιοχές όπου ένα ιόν επικρατεί και ένα πεδίο με μικτές συστάσεις (πεδίο χωρίς επικράτηση ιόντος), έτσι στο τρίγωνο των ανιόντων διακρίνεται το πεδίο των θειικών, χλωριούχων, ανθρακούχων και των μικτών νερών, ενώ στο τρίγωνο των κατιόντων διακρίνεται το πεδίο των μαγνησιούχων, ασβεστούχων, νατριούχων και των μικτών νερών. Από τις προβολές των συγκεντρώσεων, προκύπτει ένα σημείο στο ισόπλευρο τρίγωνο των ανιόντων και ένα δεύτερο σημείο στο ισόπλευρο τρίγωνο των κατιόντων. Τα δύο αυτά σημεία των δύο τριγώνων, προβάλλονται παράλληλα προς τις δύο άνω πλευρές του ρόμβου. Ο τύπος του νερού καθορίζεται από το σημείο τομής των δύο παραπάνω ευθειών (Τσακίρης, 2010).

Ο ρόμβος του διαγράμματος Piper (Σχήμα 3.10) κατηγοριοποιεί τα δείγματα του νερού σε τέσσερις βασικούς τύπους, ανάλογα με τη θέση που έχει το κάθε δείγμα σε αυτόν. Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει τα νερά τα οποία είναι πλούσια σε Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- και SO_4^{2-} και σε αυτήν αντιστοιχούν τα δείγματα τα οποία προβάλλονται στην άνω κορυφή του ρόμβου (πεδίο μόνιμης σκληρότητας). Η δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνει τα ύδατα που είναι πλούσια σε Ca^{2+} , Mg^{2+} και HCO_3^- και σε αυτήν αντιστοιχούν τα δείγματα τα οποία προβάλλονται στην αριστερή γωνία του ρόμβου (πεδίο παροδικής σκληρότητας). Όσα δείγματα βρίσκονται στην δεξιά γωνία του ρόμβου είναι πλούσια σε Na^+ , K^+ , Cl^- και SO_4^{2-} και ορίζουν την τρίτη κατηγορία νερού (πεδίο προβολής αλμυρών νερών), ενώ τέλος η τέταρτη αποτελείται από ύδατα τα οποία είναι πλούσια σε Na^+ και HCO_3^- και τα αντίστοιχα δείγματα προβάλλονται στον κάτω υπό-ρόμβο (πεδίο ανθρακικών αλάτων αλκαλίων). (Τσακίρης, 2010)



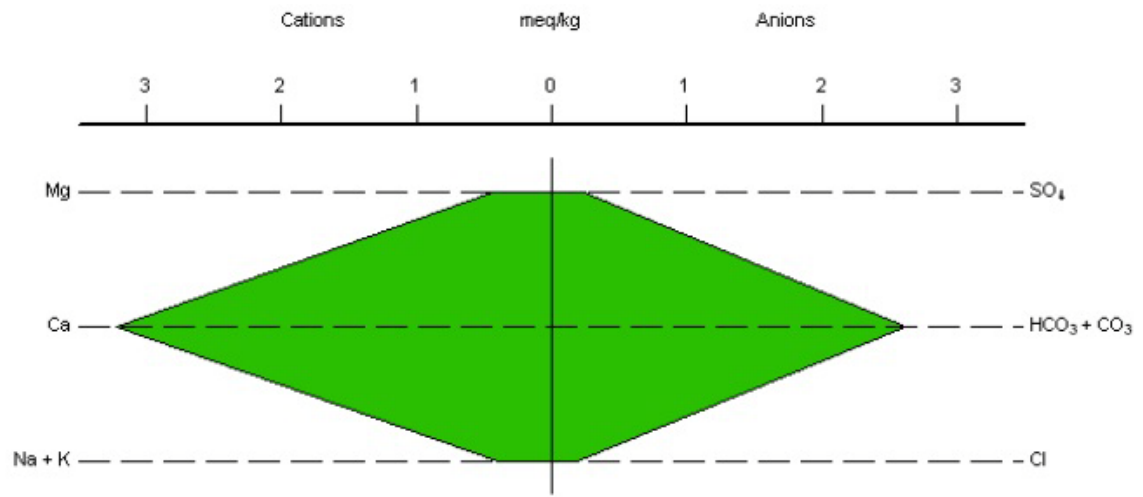
Σχήμα 3.10: Τριγραμμικό διάγραμμα Piper και χημικοί τύποι νερού

3.6.2 Διάγραμμα Stiff

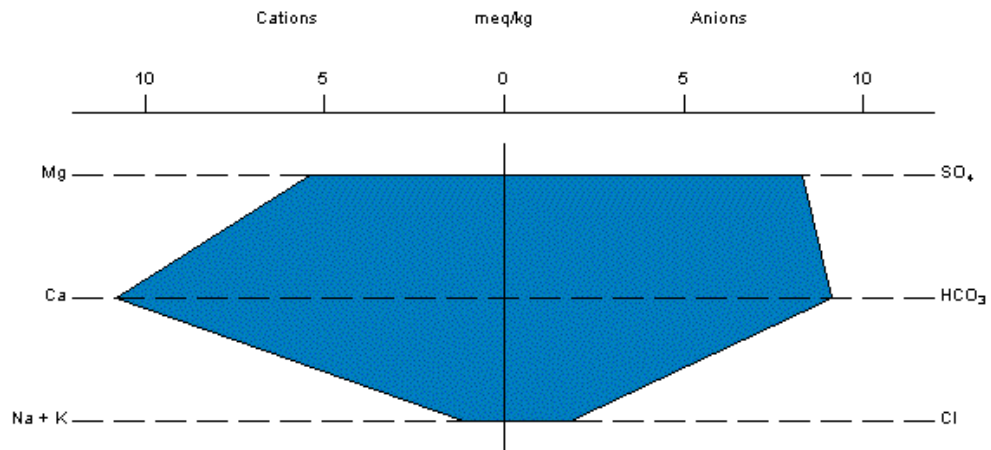
Το διάγραμμα Stiff (Σχήμα 3.11) είναι μία γραφική απεικόνιση των χημικών αναλύσεων, η οποία αναπτύχθηκε για πρώτη φορά από τον Η.Α. Stiff το 1951. Χρησιμοποιείται ευρέως από υδρογεωλόγους και γεωχημικούς ώστε να καθοριστεί η κύρια ιοντική σύσταση ενός δείγματος νερού.

Ένα πολυγωνικό σχήμα δημιουργείται από τρεις παράλληλους οριζόντιους άξονες, οι οποίοι εκτείνονται και από τις δύο πλευρές ενός κάθετου μηδενικού άξονα. Στην αριστερή μεριά του μηδενικού αυτού άξονα βρίσκονται οι άξονες των κατιόντων, ενώ στην δεξιά των ανιόντων. Ανάλογα με την περιεκτικότητα του δείγματος στα κύρια ιόντα, τοποθετείται και ένα σημείο στον αντίστοιχα άξονα, ενώ το τελικό διάγραμμα δημιουργείται με την ένωση αυτών των σημείων δημιουργώντας ένα πολύγωνο. Τόσο τα κατιόντα (Ca^{2+} , Mg^{2+} , $\text{Na}^+ + \text{K}^+$), όσο και τα ανιόντα (Cl^- , SO_4^{2-} , $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$) που προβάλλονται στο διάγραμμα, είναι εκφρασμένα σε $\frac{\text{meq}}{\text{L}}$ (Τζίμα, 2012).

Τα διαγράμματα Stiff είναι χρήσιμα στο να επιτευχθεί μια εποπτική σύγκριση μεταξύ διαφορετικών δειγμάτων νερού (Σχήμα 3.11), καθώς και στο να εντοπισθούν νερά με παρόμοια χημική σύσταση (όμοια πολύγωνα – παρόμοια χημική σύσταση).



Stiff Diagram



Σχήμα 3.11: Διαγράμματα Stiff με διαφορετικά πολύγωνα που σημαίνει νερά με διαφορετική χημική σύσταση.

4^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ

4.1 Παροχή υδατορευμάτων

Στα σημεία δειγματοληψίας πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις των ταχυτήτων ροής και των γεωμετρικών χαρακτηριστικών του υδατορεύματος με σκοπό να εκτιμηθεί η παροχή αυτού στις αντίστοιχες θέσεις. Η μέτρηση της ταχύτητας έγινε στα δεκαεννιά σημεία δειγματοληψίας με την βοήθεια ενός ψηφιακού μιλίσκου. Στο σημείο RS19 δεν πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις, διότι δεν υπήρχε πρόσβαση λόγω του τεχνικού έργου διαμόρφωσης της κοίτης μέσα στο οποίο βρισκόταν το σημείο δειγματοληψίας. Στις θέσεις RS14, RS15 και RS20 η μέτρηση της ταχύτητας πραγματοποιήθηκε επιπλέον του ψηφιακού μιλίσκου και με τη χρήση πλωτήρα έτσι ώστε να γίνει σύγκριση μεταξύ των δύο μεθόδων υπολογισμού της ταχύτητας ροής του υδατορεύματος και να υπολογιστεί η απόκλιση τους. Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 4.2) παρουσιάζονται οι τιμές της παροχής όπως αυτές προέκυψαν από τις δύο μεθόδους προσεγγιστικά για κάθε σημείο δειγματοληψίας, με βάση τις τιμές ταχύτητας ροής, του βάθους και του πλάτους του υδατορεύματος που δίνονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 4.1).

Πίνακας 4.1: Τιμές ταχύτητας ροής, βάθους και πλάτους του υδατορεύματος σε κάθε θέση δειγματοληψίας.

Κωδικός θέσης	Ταχύτητα ροής V m/s (με μιλίσκο)	Ταχύτητα ροής V m/s (με πλωτήρα)	Βάθος (m)	Πλάτος (m)
RS1	0.171	-	0.34	2.4
RS2	0.188	-	0.28	2
RS3	0.367	-	0.07	22.97
RS4	0.373	-	0.25	4.29
RS5	0.698	-	0.25	2.77
RS6	0.194	-	0.22	7.5
RS7	0.639	-	0.39	2
RS8	0.189	-	0.25	5
RS9	0.162	-	0.35	4.4
RS10	0.284	-	0.30	3
RS11	0.017	-	0.33	0.9
RS12	0.011	-	0.46	1.1
RS13	0.086	-	0.12	1.2
RS14	0.298	0.19	0.35	2.8
RS15	0.246	0.19	0.25	4.73
RS16	0.628	-	0.21	2.78
RS17	0.551	-	0.30	7.3
RS18	0.074	-	0.10	1.3
RS19	-	-	-	-
RS20	0.141	0.12	0.60	3

Πίνακας 4.2: Τιμές παροχής υδατορεύματος σε κάθε θέση δειγματοληψίας.

Κωδικός θέσης	Παροχή Q με τη μέθοδο του ψηφιακού μυλίσκου m ³ /s	Παροχή Q με τη μέθοδο του πλωτήρα m ³ /s
RS1	0.110	-
RS2	0.083	-
RS3	0.590	-
RS4	0.314	-
RS5	0.379	-
RS6	0.251	-
RS7	0.391	-
RS8	0.185	-
RS9	0.196	-
RS10	0.201	-
RS11	0.004	-
RS12	0.004	-
RS13	0.010	-
RS14	0.229	0.146
RS15	0.228	0.176
RS16	0.288	-
RS17	0.947	-
RS18	0.008	-
RS19	-	-
RS20	0.254	0.216

Η μεγαλύτερη τιμή της παροχής του υδατορεύματος υπολογίστηκε στη θέση δειγματοληψίας RS17 ($0.947 \frac{m^3}{s}$) και η μικρότερη στις θέσεις δειγματοληψίας RS11 και RS12 ($0.004 \frac{m^3}{s}$). Στις θέσεις δειγματοληψίας RS17, RS16 και RS8 (Σχήμα 3.1), οι οποίες είναι διαδοχικές με κατεύθυνση προς την εκβολή του υδατορεύματος στη Ραφήνα, παρατηρείται μείωση της παροχής η οποία πιθανόν να οφείλεται σε πιθανή άρδευση των μεγάλων καλλιεργήσιμων εκτάσεων, οι οποίες βρίσκονται πλησίον των παραπάνω σημείων δειγματοληψίας ή σε απώλειες ποσοτήτων νερού που καταλήγουν στον υπόγειο υδροφόρα. Στα συνεχόμενα σημεία δειγματοληψίας RS11, RS12, RS1, RS2 και RS10 (Σχήμα 3.1) του ανάντη κλάδου του υδατορεύματος παρατηρείται αύξηση της παροχής, διότι συμβάλλουν μικροί παράπλευροι κλάδοι μεταξύ των θέσεων δειγματοληψίας και επομένως η αύξηση της παροχής θεωρείται φυσιολογική.

4.2 Υπολογισμός περιγραφικών μέτρων στατιστικών

Από τις αναλύσεις των είκοσι δειγμάτων νερού στο εργαστήριο συλλέξαμε δεδομένα για την σύσταση τους και πιο συγκεκριμένα πήραμε αποτελέσματα για τα ιόντα: Cl^- , F^- , NO_3^- , NO_2^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , Na^+ , NH_4^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} και Li^+ .

Στη συνέχεια υπολογίστηκαν τα περιγραφικά μέτρα των εργαστηριακών αποτελεσμάτων των δειγμάτων για τα στοιχεία που οι συγκεντρώσεις τους παρουσιάζουν αξιόλογες διακυμάνσεις, δηλαδή για τα κατιόντα Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} και τα ανιόντα Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- . Οι συγκεντρώσεις των στοιχείων F^- , NO_2^- , NH_4^+ και Li^+ δεν παρουσιάζουν αξιόλογες διακυμάνσεις και για το λόγο αυτό δεν θεωρήθηκε σκόπιμος ο υπολογισμός των περιγραφικών μέτρων. Επίσης, κατά τη διάρκεια της δειγματοληψίας στην ύπαιθρο μετρήσαμε την ειδική αγωγιμότητα (SPC), τα ολικά διαλυμένα στερεά (TDS), το διαλυμένο οξυγόνο (DO), την αλατότητα (SAL) και την ενεργό οξύτητα (pH) για τα οποία υπολογίστηκαν επίσης τα περιγραφικά μέτρα. Ακόμα υπολογίστηκαν οι συντελεστές ασυμμετρίας και κυρτότητας για όλα τα παραπάνω εκτός αυτών που δεν παρουσιάζουν αξιόλογες διακυμάνσεις.

4.2.1 Χλώριο (Cl)

Για το χλώριο υπολογίστηκαν τα περιγραφικά μέτρα, δηλαδή η μέση τιμή, η διάμεσος, το εύρος, η διασπορά, η τυπική απόκλιση και ο συντελεστής μεταβλητότητας. Επίσης υπολογίστηκαν οι συντελεστές ασυμμετρίας και κυρτότητας. Η μέση τιμή της συγκέντρωσης του χλωρίου στα είκοσι δείγματα νερού ύστερα από τα αποτελέσματα των εργαστηριακών αναλύσεων υπολογίστηκε $110.5 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$ και η διάμεσος $114.5 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$. Η μικρότερη συγκέντρωση χλωρίου εμφανίζεται στο δείγμα RS11 και είναι $35.4 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$, ενώ η μεγαλύτερη συγκέντρωση στο δείγμα RS3 και είναι $333.9 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$. Επομένως το εύρος των συγκεντρώσεων του χλωρίου είναι $298.4 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$ που είναι αρκετά μεγάλο εξαιτίας της ακραίας τιμής του δείγματος RS3 που συμπεριλάβαμε. Η δειγματική διασπορά είναι $4573.1 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$ και η τυπική απόκλιση $67.6 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$, ενώ ο συντελεστής μεταβλητότητας των δειγμάτων είναι 61.22%. Η τιμή του συντελεστή ασυμμετρίας είναι 1.69 που είναι μεγαλύτερη του μηδενός, οπότε τα δείγματα παρουσιάζουν θετική ασυμμετρία, δηλαδή τα περισσότερα αυτών, καθώς και η μέση τιμή και η διάμεσος, βρίσκονται δεξιά της κορυφής. Όσο αφορά την κυρτότητα των τιμών των δειγμάτων, αυτή χαρακτηρίζεται ως λεπτόκυρτη, διότι ο συντελεστής κύρτωσης υπολογίστηκε ίσος με την τιμή 6.95, που είναι μεγαλύτερη του 3, που χαρακτηρίζει τις κανονικές κατανομές. Συγκρίνοντας την μέση τιμή $110.5 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$ των συγκεντρώσεων του χλωρίου της παρούσης εργασίας με την αντίστοιχη μέση τιμή $116 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$ της εργασίας του Κουρή (2011) παρατηρούμε ότι δεν υπάρχει ουσιαστική μεταβολή. Όλα τα παραπάνω αποτελέσματα παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 4.3).

Πίνακας 4.3: Περιγραφικά μέτρα, συντελεστές ασυμμετρίας και κυρτότητας για τις συγκεντρώσεις του χλωρίου.

Μέση τιμή \bar{x} ($\frac{mg}{L}$)	110.5	Τυπική απόκλιση s ($\frac{mg}{L}$)	67.6
Διάμεσος \tilde{x} ($\frac{mg}{L}$)	114.5	Συντελεστής μεταβλητότητας CV (%)	61.22
Εύρος R ($\frac{mg}{L}$)	298.4	Συντελεστής ασυμμετρίας γ	1.69
Διασπορά s^2 ($\frac{mg}{L}$)	4573.1	Συντελεστής κυρτότητας α	6.95

4.2.2 Νιτρικά (NO₃)

Η μικρότερη συγκέντρωση των νιτρικών εμφανίζεται στο δείγμα RS12 και είναι $0.48 \frac{mg}{L}$, ενώ η μεγαλύτερη συγκέντρωση στο δείγμα RS10 και είναι $35.4 \frac{mg}{L}$. Από αυτές τις τιμές υπολογίστηκε ότι το εύρος των συγκεντρώσεων των νιτρικών είναι $34.9 \frac{mg}{L}$. Η μέση τιμή της συγκέντρωσης των νιτρικών στα είκοσι δείγματα νερού ύστερα από τα αποτελέσματα των εργαστηριακών αναλύσεων υπολογίστηκε $21.9 \frac{mg}{L}$ και η διάμεσος $25.4 \frac{mg}{L}$. Η δειγματική διασπορά είναι $135.5 \frac{mg}{L}$ και η τυπική απόκλιση $11.6 \frac{mg}{L}$, ενώ ο συντελεστής μεταβλητότητας των δειγμάτων είναι 53.24%. Η τιμή του συντελεστή ασυμμετρίας είναι -0.71 που είναι μικρότερη του μηδενός, οπότε τα δείγματα παρουσιάζουν αρνητική ασυμμετρία, δηλαδή τα περισσότερα αυτών, καθώς και η μέση τιμή και η διάμεσος, βρίσκονται αριστερά της κορυφής. Όσο αφορά την κυρτότητα των τιμών των δειγμάτων, αυτή χαρακτηρίζεται ως πλατύκυρτη, διότι ο συντελεστής κύρτωσης υπολογίστηκε ίσος με την τιμή 2.26, που είναι μικρότερη του 3, που χαρακτηρίζει τις κανονικές κατανομές. Τα παραπάνω περιγραφικά μέτρα και οι συντελεστές που υπολογίστηκαν εμφανίζονται συγκεντρωτικά στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 4.4).

Πίνακας 4.4: Περιγραφικά μέτρα, συντελεστές ασυμμετρίας και κυρτότητας για τις συγκεντρώσεις των νιτρικών.

Μέση τιμή \bar{x} ($\frac{mg}{L}$)	21.9	Τυπική απόκλιση s ($\frac{mg}{L}$)	11.6
Διάμεσος \tilde{x} ($\frac{mg}{L}$)	25.4	Συντελεστής μεταβλητότητας CV (%)	53.24
Εύρος R ($\frac{mg}{L}$)	35.4	Συντελεστής ασυμμετρίας γ	-0.71
Διασπορά s^2 ($\frac{mg}{L}$)	135.5	Συντελεστής κυρτότητας α	2.26

Η μέση τιμή $18.5 \frac{mg}{L}$ της εργασίας του Κουρή (2011) δεν διαφέρει κατά πολύ σε σχέση με την μέση τιμή $21.9 \frac{mg}{L}$ της παρούσας εργασίας που υπολογίστηκε. Έτσι δεν παρατηρείται ουσιαστική μεταβολή όσο αφορά για τις συγκεντρώσεις των νιτρικών.

4.2.3 Θειϊκά (SO₄)

Από τα αποτελέσματα των εργαστηριακών αναλύσεων η μέση τιμή για τις συγκεντρώσεις των θειϊκών στα είκοσι δείγματα νερού υπολογίστηκε ότι είναι $67.6 \frac{mg}{L}$ και η διάμεσος $73.1 \frac{mg}{L}$. Η μικρότερη συγκέντρωση θειϊκών εμφανίζεται στο δείγμα RS11 και είναι $30.6 \frac{mg}{L}$, ενώ η μεγαλύτερη συγκέντρωση στο δείγμα RS7 και είναι $98.6 \frac{mg}{L}$. Επομένως το εύρος των συγκεντρώσεων των θειϊκών είναι $67.9 \frac{mg}{L}$. Η δειγματική διασπορά είναι $598.2 \frac{mg}{L}$ και η τυπική απόκλιση $24.5 \frac{mg}{L}$, ενώ ο συντελεστής μεταβλητότητας των δειγμάτων είναι 36.16%. Η τιμή του συντελεστή ασυμμετρίας είναι -0.24 που είναι μικρότερη του μηδενός, οπότε τα δείγματα παρουσιάζουν αρνητική ασυμμετρία, δηλαδή τα περισσότερα αυτών, καθώς και η μέση τιμή και η διάμεσος, βρίσκονται αριστερά της κορυφής. Όσο αφορά την κυρτότητα των τιμών των δειγμάτων, αυτή χαρακτηρίζεται ως πλατύκυρτη, διότι ο συντελεστής κύρτωσης υπολογίστηκε ίσος με την τιμή 1.64, που είναι μικρότερη του 3, που χαρακτηρίζει τις κανονικές κατανομές. Συγκρίνοντας την μέση τιμή $67.6 \frac{mg}{L}$ των συγκεντρώσεων των θειϊκών της παρούσης εργασίας με την αντίστοιχη μέση τιμή $77 \frac{mg}{L}$ της εργασίας του Κουρή (2011) παρατηρούμε ότι υπάρχει μια μικρή μεταβολή η οποία πιθανόν να οφείλεται στη χρήση εδαφοβελτιωτικών (CaSO₄) και λιπασμάτων. Όλα τα παραπάνω αποτελέσματα παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 4.5).

Πίνακας 4.5: Περιγραφικά μέτρα, συντελεστές ασυμμετρίας και κυρτότητας για τις συγκεντρώσεις των θειϊκών.

Μέση τιμή \bar{x} ($\frac{mg}{L}$)	67.6	Τυπική απόκλιση s ($\frac{mg}{L}$)	24.5
Διάμεσος \tilde{x} ($\frac{mg}{L}$)	73.1	Συντελεστής μεταβλητότητας CV (%)	36.16
Εύρος R ($\frac{mg}{L}$)	67.9	Συντελεστής ασυμμετρίας γ	-0.24
Διασπορά s^2 ($\frac{mg}{L}$)	598.2	Συντελεστής κυρτότητας α	1.64

4.2.4 Όξινα ανθρακικά (HCO₃)

Η δειγματική διασπορά των συγκεντρώσεων των όξινων ανθρακικών υπολογίστηκε ότι είναι $119793 \frac{mg}{L}$ και η τυπική απόκλιση $346.11 \frac{mg}{L}$, ενώ ο συντελεστής μεταβλητότητας των δειγμάτων είναι 114.15%. Η μέση τιμή της συγκέντρωσης των όξινων ανθρακικών στα είκοσι δείγματα νερού ύστερα από τα αποτελέσματα των εργαστηριακών αναλύσεων υπολογίστηκε $303.2 \frac{mg}{L}$ και η διάμεσος $239 \frac{mg}{L}$. Η μικρότερη συγκέντρωση των όξινων ανθρακικών εμφανίζεται στο δείγμα RS20 και είναι $182 \frac{mg}{L}$, ενώ η μεγαλύτερη συγκέντρωση στο δείγμα RS3 και είναι $1768 \frac{mg}{L}$. Επομένως το εύρος των συγκεντρώσεων των όξινων ανθρακικών είναι $1586 \frac{mg}{L}$ που είναι αρκετά μεγάλο εξαιτίας της ακραίας τιμής του δείγματος RS3 που συμπεριλάβαμε. Η τιμή του συντελεστή ασυμμετρίας είναι 4.08 που είναι μεγαλύτερη του μηδενός, οπότε τα δείγματα παρουσιάζουν θετική ασυμμετρία, δηλαδή τα περισσότερα αυτών, καθώς και η μέση τιμή και η διάμεσος, βρίσκονται δεξιά της κορυφής. Όσο αφορά την κυρτότητα των τιμών των δειγμάτων, αυτή χαρακτηρίζεται ως λεπτόκυρτη, διότι ο συντελεστής κύρτωσης υπολογίστηκε ίσος με την τιμή 17.78, που είναι μεγαλύτερη του 3, που χαρακτηρίζει τις κανονικές κατανομές. Τα παραπάνω περιγραφικά μέτρα και οι συντελεστές που υπολογίστηκαν εμφανίζονται συγκεντρωτικά στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 4.6).

Πίνακας 4.6: Περιγραφικά μέτρα, συντελεστές ασυμμετρίας και κυρτότητας για τις συγκεντρώσεις των όξινων ανθρακικών.

Μέση τιμή \bar{x} ($\frac{mg}{L}$)	303.2	Τυπική απόκλιση s ($\frac{mg}{L}$)	346.11
Διάμεσος \tilde{x} ($\frac{mg}{L}$)	239	Συντελεστής μεταβλητότητας CV (%)	114.15
Εύρος R ($\frac{mg}{L}$)	1586	Συντελεστής ασυμμετρίας γ	4.08
Διασπορά s^2 ($\frac{mg}{L}$)	119793	Συντελεστής κυρτότητας α	17.78

Η μέση τιμή $290 \frac{mg}{L}$ της εργασίας του Κουρή (2011) δεν διαφέρει κατά πολύ σε σχέση με την μέση τιμή $303.2 \frac{mg}{L}$ της παρούσας εργασίας που υπολογίστηκε. Έτσι δεν παρατηρείται ουσιαστική μεταβολή όσο αφορά για τις συγκεντρώσεις των όξινων ανθρακικών.

4.2.5 Νάτριο (Na)

Η τιμή του συντελεστή ασυμμετρίας για τις συγκεντρώσεις του νατρίου στα δείγματα υπολογίστηκε ότι είναι 1.83 που είναι μεγαλύτερη του μηδενός, οπότε τα δείγματα παρουσιάζουν θετική ασυμμετρία, δηλαδή τα περισσότερα

αυτών, καθώς και η μέση τιμή και η διάμεσος, βρίσκονται δεξιά της κορυφής. Όσο αφορά την κυρτότητα των τιμών των δειγμάτων, αυτή χαρακτηρίζεται ως λεπτόκυρτη, διότι ο συντελεστής κύρτωσης υπολογίστηκε ίσος με την τιμή 7.92, που είναι μεγαλύτερη του 3, που χαρακτηρίζει τις κανονικές κατανομές. Η μέση τιμή της συγκέντρωσης του νατρίου στα είκοσι δείγματα νερού ύστερα από τα αποτελέσματα των εργαστηριακών αναλύσεων υπολογίστηκε $84.4 \frac{mg}{L}$ και η διάμεσος $89.6 \frac{mg}{L}$. Η μικρότερη συγκέντρωση του νατρίου εμφανίζεται στο δείγμα RS11 και είναι $27.7 \frac{mg}{L}$, ενώ η μεγαλύτερη συγκέντρωση στο δείγμα RS3 και είναι $249.6 \frac{mg}{L}$. Επομένως το εύρος των συγκεντρώσεων του νατρίου είναι $221.9 \frac{mg}{L}$ που είναι αρκετά μεγάλο εξαιτίας της ακραίας τιμής του δείγματος RS3 που συμπεριλάβαμε. Η δειγματική διασπορά είναι $2340.3 \frac{mg}{L}$ και η τυπική απόκλιση $48.4 \frac{mg}{L}$, ενώ ο συντελεστής μεταβλητότητας των δειγμάτων είναι 57.31%. Συγκρίνοντας την μέση τιμή $84.4 \frac{mg}{L}$ των συγκεντρώσεων του νατρίου της παρούσης εργασίας με την αντίστοιχη μέση τιμή $76.4 \frac{mg}{L}$ της εργασίας του Κουρή (2011) παρατηρούμε ότι δεν υπάρχει ουσιαστική μεταβολή. Όλα τα παραπάνω αποτελέσματα παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 4.7).

Πίνακας 4.7: Περιγραφικά μέτρα, συντελεστές ασυμμετρίας και κυρτότητας για τις συγκεντρώσεις του νατρίου.

Μέση τιμή \bar{x} $(\frac{mg}{L})$	84.4	Τυπική απόκλιση $s (\frac{mg}{L})$	48.4
Διάμεσος \tilde{x} $(\frac{mg}{L})$	89.6	Συντελεστής μεταβλητότητας CV (%)	57.31
Εύρος R $(\frac{mg}{L})$	221.9	Συντελεστής ασυμμετρίας γ	1.83
Διασπορά s^2 $(\frac{mg}{L})$	2340.3	Συντελεστής κυρτότητας α	7.92

4.2.6 Κάλιο (Κ)

Η μέση τιμή της συγκέντρωσης του καλίου στα είκοσι δείγματα νερού ύστερα από τα αποτελέσματα των εργαστηριακών αναλύσεων υπολογίστηκε $2.05 \frac{mg}{L}$ και η διάμεσος $2.08 \frac{mg}{L}$. Η μικρότερη συγκέντρωση του καλίου εμφανίζεται στο δείγμα RS16 και είναι $0.66 \frac{mg}{L}$, ενώ η μεγαλύτερη συγκέντρωση στο δείγμα RS3 και είναι $7.67 \frac{mg}{L}$. Επομένως το εύρος των συγκεντρώσεων του καλίου είναι $7.01 \frac{mg}{L}$ που είναι αρκετά μεγάλο εξαιτίας της ακραίας τιμής του δείγματος RS3 που συμπεριλάβαμε. Η δειγματική διασπορά είναι $2.24 \frac{mg}{L}$ και η τυπική απόκλιση $1.50 \frac{mg}{L}$, ενώ ο συντελεστής μεταβλητότητας των δειγμάτων είναι

73.13%. Η τιμή του συντελεστή ασυμμετρίας είναι 2.67 που είναι μεγαλύτερη του μηδενός, οπότε τα δείγματα παρουσιάζουν θετική ασυμμετρία, δηλαδή τα περισσότερα αυτών, καθώς και η μέση τιμή και η διάμεσος, βρίσκονται δεξιά της κορυφής. Όσο αφορά την κυρτότητα των τιμών των δειγμάτων, αυτή χαρακτηρίζεται ως λεπτόκυρτη, διότι ο συντελεστής κύρτωσης υπολογίστηκε ίσος με την τιμή 11.15, που είναι μεγαλύτερη του 3, που χαρακτηρίζει τις κανονικές κατανομές. Τα παραπάνω περιγραφικά μέτρα και οι συντελεστές που υπολογίστηκαν εμφανίζονται συγκεντρωτικά στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 4.8).

Πίνακας 4.8: Περιγραφικά μέτρα, συντελεστές ασυμμετρίας και κυρτότητας για τις συγκεντρώσεις του καλίου.

Μέση τιμή \bar{x} ($\frac{mg}{L}$)	2.05	Τυπική απόκλιση s ($\frac{mg}{L}$)	1.50
Διάμεσος \tilde{x} ($\frac{mg}{L}$)	2.08	Συντελεστής μεταβλητότητας CV (%)	73.13
Εύρος R ($\frac{mg}{L}$)	7.01	Συντελεστής ασυμμετρίας γ	2.67
Διασπορά s^2 ($\frac{mg}{L}$)	2.24	Συντελεστής κυρτότητας α	11.15

Η μέση τιμή $1.91 \frac{mg}{L}$ της εργασίας του Κουρή (2011) δεν διαφέρει κατά πολύ σε σχέση με την μέση τιμή $2.05 \frac{mg}{L}$ της παρούσας εργασίας που υπολογίστηκε. Έτσι δεν παρατηρείται ουσιαστική μεταβολή όσο αφορά για τις συγκεντρώσεις των όξινων ανθρακικών.

4.2.7 Μαγνήσιο (Mg)

Για το μαγνήσιο υπολογίστηκαν τα περιγραφικά μέτρα, δηλαδή η μέση τιμή, η διάμεσος, το εύρος, η διασπορά, η τυπική απόκλιση και ο συντελεστής μεταβλητότητας. Επίσης υπολογίστηκαν οι συντελεστές ασυμμετρίας και κυρτότητας. Η μέση τιμή της συγκέντρωσης του μαγνησίου στα είκοσι δείγματα νερού ύστερα από τα αποτελέσματα των εργαστηριακών αναλύσεων υπολογίστηκε $32.3 \frac{mg}{L}$ και η διάμεσος $34.0 \frac{mg}{L}$. Η μικρότερη συγκέντρωση του μαγνησίου εμφανίζεται στο δείγμα RS12 και είναι $6.4 \frac{mg}{L}$, ενώ η μεγαλύτερη συγκέντρωση στο δείγμα RS8 και είναι $59.4 \frac{mg}{L}$. Επομένως το εύρος των συγκεντρώσεων του μαγνησίου είναι $53 \frac{mg}{L}$, που είναι αρκετά μεγάλη αλλά δεν οφείλεται σε κάποιο συγκεκριμένο δείγμα. Η δειγματική διασπορά είναι $342.80 \frac{mg}{L}$ και η τυπική απόκλιση $18.5 \frac{mg}{L}$, ενώ ο συντελεστής μεταβλητότητας των δειγμάτων είναι 57.29%. Η τιμή του συντελεστή ασυμμετρίας είναι περίπου μηδέν, οπότε τα δείγματα δεν παρουσιάζουν ασυμμετρία, δηλαδή μοιράζονται εξίσου τόσο στα δεξιά όσο και στα αριστερά της κορυφής. Όσο αφορά την

κυρτότητα των τιμών των δειγμάτων, αυτή χαρακτηρίζεται ως πλατύκυρτη, διότι ο συντελεστής κύρτωσης υπολογίστηκε ίσος με την τιμή 1.56, που είναι μικρότερη του 3, που χαρακτηρίζει τις κανονικές κατανομές. Συγκρίνοντας την μέση τιμή $32.3 \frac{mg}{L}$ των συγκεντρώσεων του νατρίου της παρούσης εργασίας με την αντίστοιχη μέση τιμή $33.7 \frac{mg}{L}$ της εργασίας του Κουρή (2011) παρατηρούμε ότι δεν υπάρχει ουσιαστική μεταβολή. Όλα τα παραπάνω αποτελέσματα παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 4.9).

Πίνακας 4.9: Περιγραφικά μέτρα, συντελεστές ασυμμετρίας και κυρτότητας για τις συγκεντρώσεις του μαγνησίου.

Μέση τιμή \bar{x} $(\frac{mg}{L})$	32.3	Τυπική απόκλιση $s (\frac{mg}{L})$	18.5
Διάμεσος \tilde{x} $(\frac{mg}{L})$	34.0	Συντελεστής μεταβλητότητας CV (%)	57.29
Εύρος R $(\frac{mg}{L})$	53.0	Συντελεστής ασυμμετρίας γ	0
Διασπορά $s^2 (\frac{mg}{L})$	342.8	Συντελεστής κυρτότητας α	1.56

4.2.8 Ασβέστιο (Ca)

Η μικρότερη συγκέντρωση του ασβεστίου εμφανίζεται στο δείγμα RS14 και είναι $54.5 \frac{mg}{L}$, ενώ η μεγαλύτερη συγκέντρωση στο δείγμα RS18 και είναι $95.7 \frac{mg}{L}$. Επομένως το εύρος των συγκεντρώσεων του ασβεστίου είναι $41.3 \frac{mg}{L}$. Η μέση τιμή της συγκέντρωσης του ασβεστίου στα είκοσι δείγματα νερού ύστερα από τα αποτελέσματα των εργαστηριακών αναλύσεων υπολογίστηκε $73.7 \frac{mg}{L}$ και η διάμεσος $72 \frac{mg}{L}$. Η δειγματική διασπορά είναι $144.3 \frac{mg}{L}$ και η τυπική απόκλιση $12 \frac{mg}{L}$, ενώ ο συντελεστής μεταβλητότητας των δειγμάτων είναι 16.30%. Η τιμή του συντελεστή ασυμμετρίας είναι περίπου μηδέν, οπότε τα δείγματα δεν παρουσιάζουν ασυμμετρία, δηλαδή μοιράζονται εξίσου τόσο στα δεξιά όσο και στα αριστερά της κορυφής. Όσο αφορά την κυρτότητα των τιμών των δειγμάτων, αυτή χαρακτηρίζεται ως πλατύκυρτη, διότι ο συντελεστής κύρτωσης υπολογίστηκε ίσος με την τιμή 1.96, που είναι μικρότερη του 3, που χαρακτηρίζει τις κανονικές κατανομές. Τα παραπάνω περιγραφικά μέτρα στατιστικών και οι συντελεστές ασυμμετρίας και κυρτότητας, που υπολογίστηκαν εμφανίζονται συγκεντρωτικά στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 4.10).

Πίνακας 4.10: Περιγραφικά μέτρα, συντελεστές ασυμμετρίας και κυρτότητας για τις συγκεντρώσεις του ασβεστίου.

Μέση τιμή \bar{x} ($\frac{mg}{L}$)	73.7	Τυπική απόκλιση s ($\frac{mg}{L}$)	12
Διάμεσος \tilde{x} ($\frac{mg}{L}$)	72	Συντελεστής μεταβλητότητας CV (%)	16.30
Εύρος R ($\frac{mg}{L}$)	41.3	Συντελεστής ασυμμετρίας γ	0
Διασπορά s^2 ($\frac{mg}{L}$)	144.3	Συντελεστής κυρτότητας α	1.96

Η μέση τιμή $80.2 \frac{mg}{L}$ της εργασίας του Κουρή (2011) δεν διαφέρει κατά πολύ σε σχέση με την μέση τιμή $73.7 \frac{mg}{L}$ της παρούσας εργασίας που υπολογίστηκε. Έτσι δεν παρατηρείται ουσιαστική μεταβολή όσο αφορά για τις συγκεντρώσεις των όξινων ανθρακικών.

4.2.9 Διαλυμένο οξυγόνο (DO)

Από τα αποτελέσματα των μετρήσεων στην ύπαιθρο η μέση τιμή για τις συγκεντρώσεις του διαλυμένου οξυγόνου στα είκοσι σημεία δειγματοληψίας υπολογίστηκε ότι είναι $11.03 \frac{mg}{L}$ και η διάμεσος $10.92 \frac{mg}{L}$. Η μικρότερη συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου εμφανίζεται στη θέση δειγματοληψίας RS18 και είναι $7.14 \frac{mg}{L}$, ενώ η μεγαλύτερη συγκέντρωση στη θέση δειγματοληψίας RS3 και είναι $15.51 \frac{mg}{L}$. Επομένως το εύρος των συγκεντρώσεων του διαλυμένου οξυγόνου είναι $8.37 \frac{mg}{L}$. Η δειγματική διασπορά είναι $4.45 \frac{mg}{L}$ και η τυπική απόκλιση $2.11 \frac{mg}{L}$, ενώ ο συντελεστής μεταβλητότητας των δειγμάτων είναι 19.14%. Η τιμή του συντελεστή ασυμμετρίας είναι 0.39 που είναι πολύ κοντά στο μηδέν, οπότε οι μετρήσεις δεν παρουσιάζουν ασυμμετρία. Όσο αφορά την κυρτότητα των τιμών των μετρήσεων, αυτή χαρακτηρίζεται ως κανονική κατανομή, διότι ο συντελεστής κύρτωσης υπολογίστηκε ίσος με την τιμή 3.19, που είναι σχεδόν ίσος με την τιμή 3, που χαρακτηρίζει τις κανονικές κατανομές. Όλα τα παραπάνω αποτελέσματα παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 4.11).

Πίνακας 4.11: Περιγραφικά μέτρα, συντελεστές ασυμμετρίας και κυρτότητας για τις συγκεντρώσεις του διαλυμένου οξυγόνου.

Μέση τιμή \bar{x} ($\frac{mg}{L}$)	11.03	Τυπική απόκλιση s ($\frac{mg}{L}$)	2.11
Διάμεσος \tilde{x} ($\frac{mg}{L}$)	10.92	Συντελεστής μεταβλητότητας CV (%)	19.14
Εύρος R ($\frac{mg}{L}$)	8.37	Συντελεστής ασυμμετρίας γ	0.39
Διασπορά s^2 ($\frac{mg}{L}$)	4.45	Συντελεστής κυρτότητας α	3.19

4.2.10 Ειδική αγωγιμότητα (SPC)

Η δειγματική διασπορά της ειδικής αγωγιμότητας στις θέσεις δειγματοληψίας είναι 91560 ($\frac{\mu S}{cm}$) και η τυπική απόκλιση 302.6 ($\frac{\mu S}{cm}$), ενώ ο συντελεστής μεταβλητότητας των δειγμάτων είναι 26.56%. Η μέση τιμή της ειδικής αγωγιμότητας στις είκοσι θέσεις δειγματοληψίας ύστερα από τις μετρήσεις στην ύπαιθρο υπολογίστηκε ότι είναι 1139 ($\frac{\mu S}{cm}$) και η διάμεσος 1203 ($\frac{\mu S}{cm}$). Η μικρότερη τιμή της ειδικής αγωγιμότητας εμφανίζεται στη θέση δειγματοληψίας RS20 και είναι 721 ($\frac{\mu S}{cm}$), ενώ η μεγαλύτερη τιμή στη θέση δειγματοληψίας RS3 και είναι 1816 ($\frac{\mu S}{cm}$). Επομένως το εύρος των τιμών της ειδικής αγωγιμότητας είναι 613 ($\frac{\mu S}{cm}$). Η τιμή του συντελεστή ασυμμετρίας είναι 0.18 που είναι πολύ κοντά στο μηδέν, οπότε οι μετρήσεις δεν παρουσιάζουν ασυμμετρία. Όσο αφορά την κυρτότητα των τιμών των μετρήσεων, αυτή χαρακτηρίζεται ως πλατύκυρτη, διότι ο συντελεστής κύρτωσης υπολογίστηκε ίσος με την τιμή 2.34, που είναι μικρότερη του 3, που χαρακτηρίζει τις κανονικές κατανομές. Τα παραπάνω περιγραφικά μέτρα και οι συντελεστές που υπολογίστηκαν εμφανίζονται συγκεντρωτικά στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 4.12).

Πίνακας 4.12: Περιγραφικά μέτρα, συντελεστές ασυμμετρίας και κυρτότητας για τις τιμές της ειδικής αγωγιμότητας.

Μέση τιμή \bar{x} ($\frac{\mu S}{cm}$)	1139	Τυπική απόκλιση s ($\frac{\mu S}{cm}$)	302.6
Διάμεσος \tilde{x} ($\frac{\mu S}{cm}$)	1203	Συντελεστής μεταβλητότητας CV (%)	26.56
Εύρος R ($\frac{\mu S}{cm}$)	613	Συντελεστής ασυμμετρίας γ	0.18
Διασπορά s^2 ($\frac{\mu S}{cm}$)	91560	Συντελεστής κυρτότητας α	2.34

Συγκρίνοντας την μέση τιμή 1139 ($\frac{\mu S}{cm}$) των τιμών της ειδικής αγωγιμότητας της παρούσης εργασίας με την αντίστοιχη μέση τιμή 1100 $\frac{mg}{L}$ της εργασίας του Κουρή (2011) παρατηρούμε ότι δεν υπάρχει ουσιαστική μεταβολή.

4.2.11 Συνολικά διαλυμένα στερεά(TDS)

Η τιμή του συντελεστή ασυμμετρίας των τιμών των συνολικών διαλυμένων στερεών είναι 0.24 που είναι πολύ κοντά στο μηδέν, οπότε οι τιμές των μετρήσεων δεν παρουσιάζουν ασυμμετρία. Όσο αφορά την κυρτότητα των τιμών των μετρήσεων, αυτή χαρακτηρίζεται ως πλατύκυρτη, διότι ο συντελεστής κύρτωσης υπολογίστηκε ίσος με την τιμή 2.42, που είναι μικρότερη του 3, που χαρακτηρίζει τις κανονικές κατανομές. Η μέση τιμή της συγκέντρωσης των συνολικών διαλυμένων στερεών στις είκοσι θέσεις δειγματοληψίας ύστερα από τις αποτελέσματα των μετρήσεων υπολογίστηκε ότι είναι 743.6 $\frac{mg}{L}$ και η διάμεσος 779.7 $\frac{mg}{L}$. Η μικρότερη συγκέντρωση των συνολικών διαλυμένων στερεών εμφανίζεται στο δείγμα RS2 και είναι 487.5 $\frac{mg}{L}$, ενώ η μεγαλύτερη συγκέντρωση στο δείγμα RS3 και είναι 1183.00 $\frac{mg}{L}$. Επομένως το εύρος των συγκεντρώσεων των συνολικών διαλυμένων στερεών είναι 695.5 $\frac{mg}{L}$. Η δειγματική διασπορά είναι 37058 $\frac{mg}{L}$ και η τυπική απόκλιση 192.5 $\frac{mg}{L}$, ενώ ο συντελεστής μεταβλητότητας των δειγμάτων είναι 25.89%. Όλα τα παραπάνω αποτελέσματα παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 4.13).

Πίνακας 4.13: Περιγραφικά μέτρα, συντελεστές ασυμμετρίας και κυρτότητας για τις συγκεντρώσεις των συνολικών διαλυμένων στερεών.

Μέση τιμή \bar{x} ($\frac{mg}{L}$)	743.6	Τυπική απόκλιση s ($\frac{mg}{L}$)	192.5
Διάμεσος \tilde{x} ($\frac{mg}{L}$)	779.7	Συντελεστής μεταβλητότητας CV (%)	25.89
Εύρος R ($\frac{mg}{L}$)	695.5	Συντελεστής ασυμμετρίας γ	0.24
Διασπορά s^2 ($\frac{mg}{L}$)	37058	Συντελεστής κυρτότητας α	2.42

Η μέση τιμή 717 $\frac{mg}{L}$ της εργασίας του Κουρή (2011) δεν διαφέρει κατά πολύ σε σχέση με την μέση τιμή 743.6 $\frac{mg}{L}$ της παρούσας εργασίας που υπολογίστηκε. Έτσι δεν παρατηρείται ουσιαστική μεταβολή όσο αφορά για τις συγκεντρώσεις των συνολικών διαλυμένων στερεών.

4.2.12 Αλατότητα (SAL)

Η μέση τιμή της συγκέντρωσης της αλατότητας στα είκοσι σημεία δειγματοληψίας ύστερα από τα αποτελέσματα των μετρήσεων υπολογίστηκε

ότι είναι $0.57 \frac{mg}{L}$ και η διάμεσος $0.60 \frac{mg}{L}$. Η μικρότερη συγκέντρωση της αλατότητας εμφανίζεται στο σημείο δειγματοληψίας RS2 και είναι $0.37 \frac{mg}{L}$, ενώ η μεγαλύτερη συγκέντρωση στο σημείο δειγματοληψίας RS3 και είναι $0.92 \frac{mg}{L}$. Επομένως το εύρος των συγκεντρώσεων της αλατότητας είναι $0.55 \frac{mg}{L}$. Η δειγματική διασπορά είναι $0.02 \frac{mg}{L}$ και η τυπική απόκλιση $0.15 \frac{mg}{L}$, ενώ ο συντελεστής μεταβλητότητας των δειγμάτων είναι 26.73%. Η τιμή του συντελεστή ασυμμετρίας είναι 0.23 που είναι πολύ κοντά στο μηδέν, οπότε οι τιμές των μετρήσεων δεν παρουσιάζουν ασυμμετρία. Όσο αφορά την κυρτότητα των τιμών των μετρήσεων, αυτή χαρακτηρίζεται ως πλατύκυρτη, διότι ο συντελεστής κύρτωσης υπολογίστηκε ίσος με την τιμή 2.39, που είναι μικρότερη του 3, που χαρακτηρίζει τις κανονικές κατανομές. Συγκρίνοντας την μέση τιμή $0.57 \frac{mg}{L}$ των συγκεντρώσεων της αλατότητας της παρούσης εργασίας με την αντίστοιχη μέση τιμή $0.55 \frac{mg}{L}$ της εργασίας του Κουρή (2011) παρατηρούμε ότι δεν υπάρχει ουσιαστική μεταβολή. Όλα τα παραπάνω αποτελέσματα παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 4.14).

Πίνακας 4.14: Περιγραφικά μέτρα, συντελεστές ασυμμετρίας και κυρτότητας για τις συγκεντρώσεις της αλατότητας.

Μέση τιμή \bar{x} ($\frac{mg}{L}$)	0.57	Τυπική απόκλιση s ($\frac{mg}{L}$)	0.15
Διάμεσος \tilde{x} ($\frac{mg}{L}$)	0.60	Συντελεστής μεταβλητότητας CV (%)	26.73
Εύρος R ($\frac{mg}{L}$)	0.55	Συντελεστής ασυμμετρίας γ	0.23
Διασπορά s^2 ($\frac{mg}{L}$)	0.02	Συντελεστής κυρτότητας α	2.39

4.2.13 Ενεργός οξύτητα (pH)

Η μικρότερη τιμή της ενεργού οξύτητας εμφανίζεται στο σημείο δειγματοληψίας RS18 και είναι 8.57, ενώ η μεγαλύτερη τιμή στο σημείο δειγματοληψίας RS20 και είναι 9.64. Επομένως το εύρος των τιμών της ενεργού οξύτητας είναι 1.07. Η μέση τιμή της ενεργού οξύτητας στις είκοσι θέσεις δειγματοληψίας ύστερα από τα αποτελέσματα των μετρήσεων υπολογίστηκε ότι είναι 8.94 και η διάμεσος 8.90. Η δειγματική διασπορά είναι 0.07 και η τυπική απόκλιση 0.27, ενώ ο συντελεστής μεταβλητότητας των δειγμάτων είναι 3.00%. Η τιμή του συντελεστή ασυμμετρίας είναι 1.02 που είναι μεγαλύτερη του μηδενός, οπότε οι μετρήσεις παρουσιάζουν θετική ασυμμετρία, δηλαδή οι περισσότερες αυτών, καθώς και η μέση τιμή και η διάμεσος, βρίσκονται δεξιά της κορυφής. Όσο αφορά την κυρτότητα των τιμών των μετρήσεων, αυτή χαρακτηρίζεται ως λεπτόκυρτη, διότι ο συντελεστής

κύρτωσης υπολογίστηκε ίσος με την τιμή 3.72, που είναι μεγαλύτερη του 3, που χαρακτηρίζει τις κανονικές κατανομές. Τα παραπάνω περιγραφικά μέτρα και οι συντελεστές που υπολογίστηκαν εμφανίζονται συγκεντρωτικά στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 4.15).

Πίνακας 4.15: Περιγραφικά μέτρα, συντελεστές ασυμμετρίας και κυρτότητας για τις τιμές της ενεργού οξύτητας.

Μέση τιμή \bar{x}	8.94	Τυπική απόκλιση s	0.27
Διάμεσος \tilde{x}	8.90	Συντελεστής μεταβλητότητας CV (%)	3.00
Εύρος R	1.07	Συντελεστής ασυμμετρίας γ	1.02
Διασπορά s^2	0.07	Συντελεστής κυρτότητας α	3.72

Η μέση τιμή 8.81 της εργασίας του Κουρή (2011) δεν διαφέρει κατά πολύ σε σχέση με την μέση τιμή 8.94 της παρούσας εργασίας που υπολογίστηκε. Έτσι δεν παρατηρείται ουσιαστική μεταβολή όσο αφορά για τις συγκεντρώσεις των συνολικών διαλυμένων στερεών.

Στον Πίνακα 4.16 παρουσιάζεται η ποσοστιαία μεταβολή των συγκεντρώσεων των κύριων ιόντων και των τιμών των φυσικοχημικών παραμέτρων που προέκυψαν από τις μετρήσεις τον Απρίλιου του 2010 (Κουρή, 2011) και τις μετρήσεις τον Απρίλιο του 2011 της παρούσας εργασίας.

Πίνακας 4.16: Ποσοστιαία μεταβολή των συγκεντρώσεων των κύριων ιόντων και των τιμών των φυσικοχημικών παραμέτρων που προέκυψαν από τις μετρήσεις τον Απρίλιο του 2010 (Κουρής, 2011) και τις μετρήσεις τον Απρίλιο του 2011 της παρούσας εργασίας.

A/A	Μετρημένο στοιχείο	Μέση τιμή το έτος 2010	Μέση τιμή το έτος 2011	Αύξηση (+) - Μείωση (-) (%)	t-test report for CL 95%
1	Χλώριο (Cl) ($\frac{mg}{L}$)	116	110	-5.2	n.d.
2	Νιτρικά (NO_3) ($\frac{mg}{L}$)	20.3	20.4	0.5	n.d.
3	Θειικά (SO_4) ($\frac{mg}{L}$)	77	67.6	-12.2	n.d.
4	Όξινα ανθρακικά (HCO_3) ($\frac{mg}{L}$)	294	303	3	n.d.
5	Νάτριο (Na) ($\frac{mg}{L}$)	76.4	84.4	10.5	n.d.
6	Κάλιο (K) ($\frac{mg}{L}$)	1.91	2.05	7.3	n.d.
7	Μαγνήσιο (Mg) ($\frac{mg}{L}$)	33.7	32.3	-4.2	n.d.
8	Ασβέστιο (Ca) ($\frac{mg}{L}$)	80.2	73.7	-8.1	n.d.
9	Ειδική αγωγιμότητα (SPC) ($\frac{\mu S}{cm}$)	1100	1139	3.5	n.d.
10	Συνολικά διαλυμένα στερεά(TDS) ($\frac{mg}{L}$)	717	744	3.8	n.d.
11	Αλατότητα (SAL) ($\frac{mg}{L}$)	0.55	0.57	3.6	n.d.
12	Ένεργος οξύτητα (pH)	8.81	8.94	1.5	n.d.

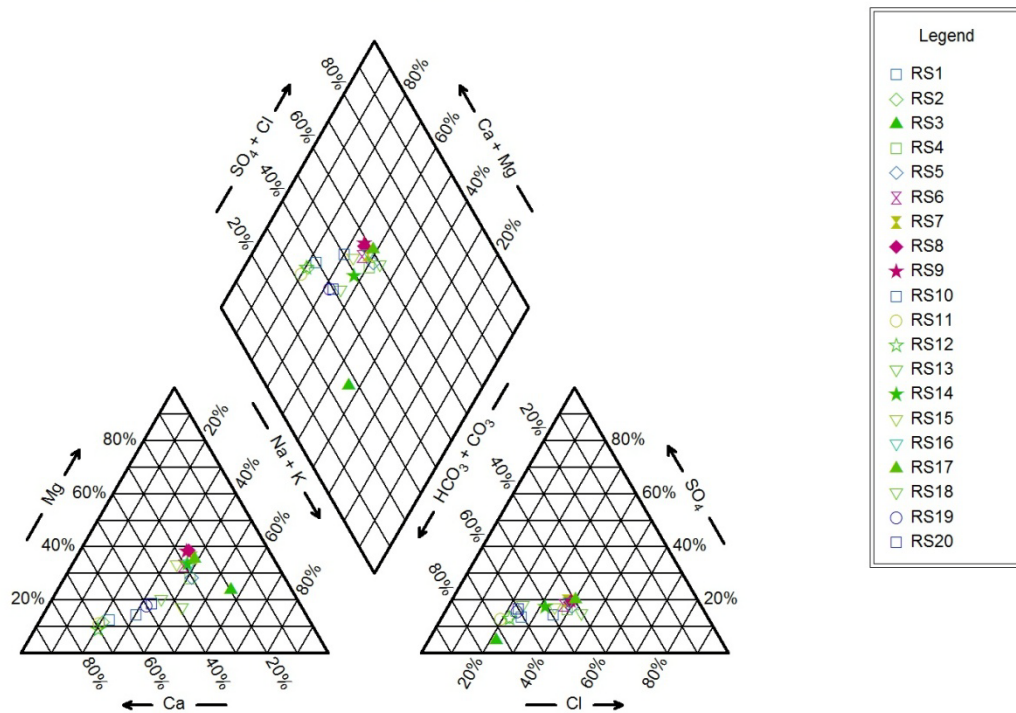
n.d.= not different

4.3 Υδροχημική ανάλυση

4.3.1 Ανάλυση των διαγραμμάτων Piper

Η απεικόνιση των αποτελεσμάτων των εργαστηριακών αναλύσεων από τα είκοσι δείγματα νερού που συλλέξαμε, εμφανίζεται στο παρακάτω διάγραμμα Piper (Σχήμα 4.1).

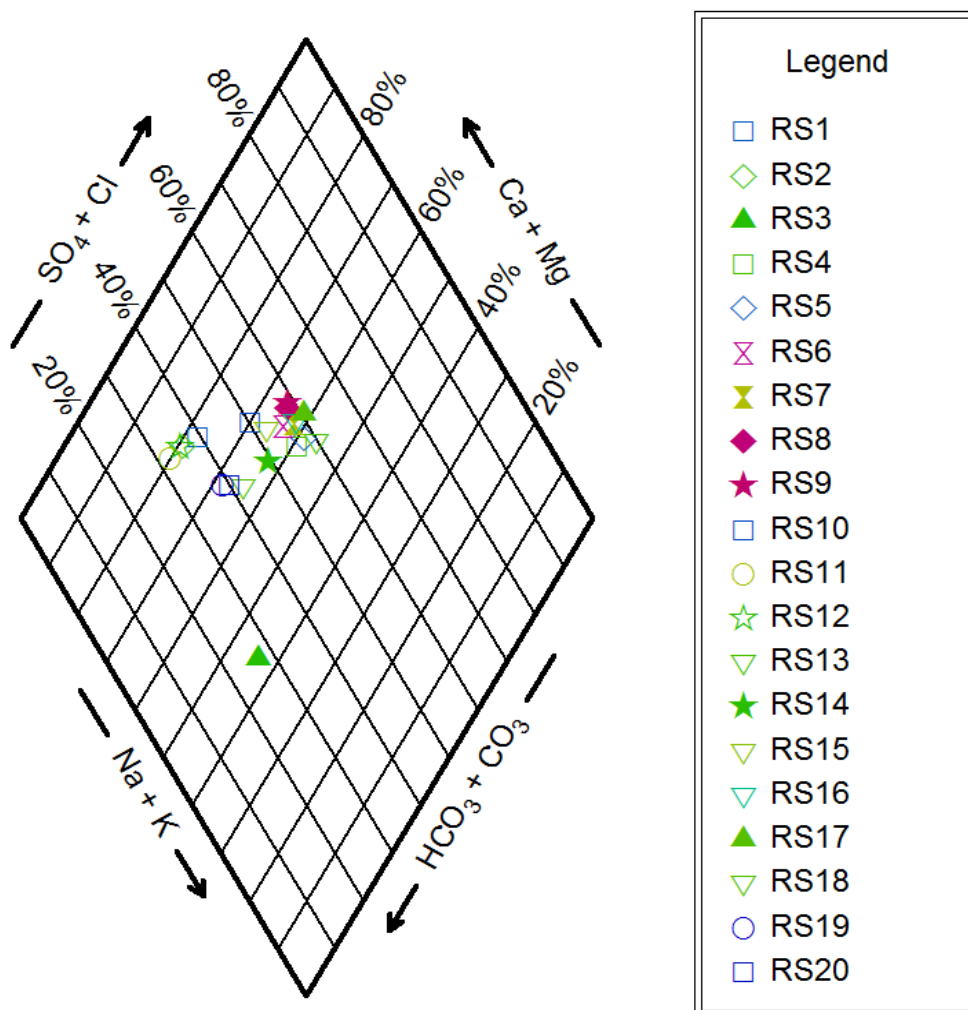
Piper Diagram



Σχήμα 4.1: Διάγραμμα Piper στο οποίο απεικονίζονται τα αποτελέσματα των εργαστηριακών αναλύσεων των είκοσι δειγμάτων νερού.

4.3.1.1 Ανάλυση των διαγραμμάτων Piper όσο αφορά τα κύρια ιόντα

Από το διάγραμμα Piper του παρακάτω σχήματος (Σχήμα 4.2), προκύπτει ότι τα δείγματα, όσο αφορά στα κύρια ιόντα, κατατάσσονται σε τρεις κύριες κατηγορίες, όπως παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 4.17).

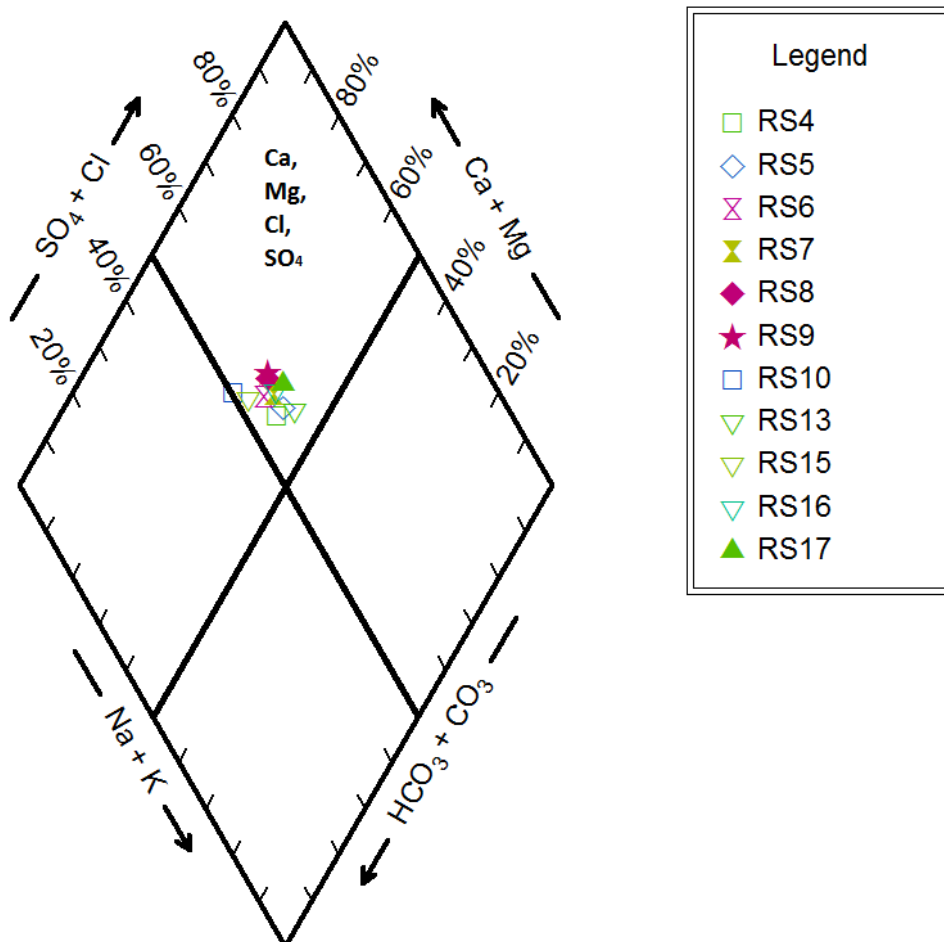


Σχήμα 4.2: Διάγραμμα Piper στο οποίο απεικονίζονται τα αποτελέσματα των εργαστηριακών αναλύσεων των είκοσι δειγμάτων νερού, όσο αφορά στα κύρια ιόντα.

Πίνακας 4.17: Κατάταξη των δειγμάτων νερού σε κατηγορίες, όσο αφορά στα κύρια ιόντα.

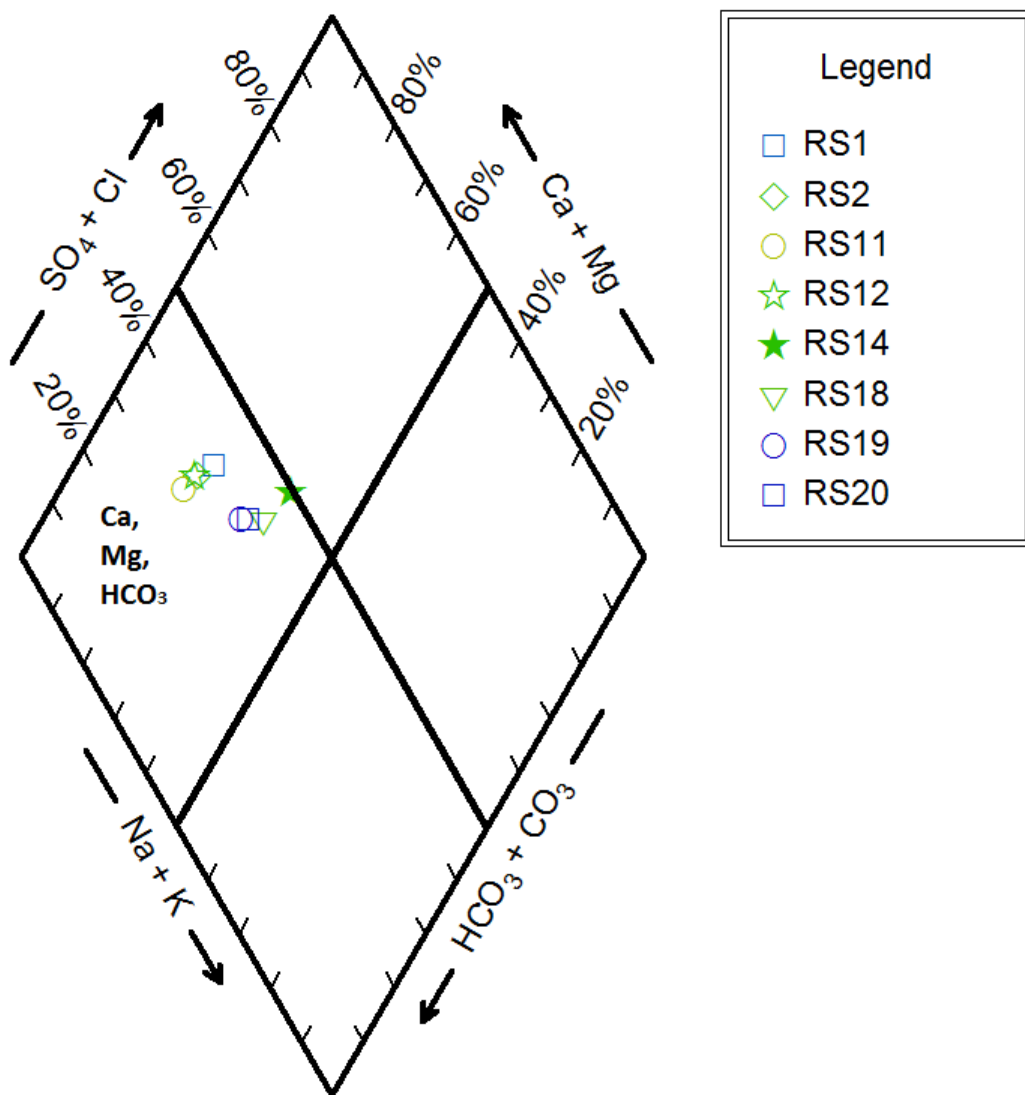
Κατηγορίες	Δείγματα
Δείγματα νερού πλούσια σε Ca + Mg και Cl + SO ₄ ή μόνιμης σκληρότητας	RS4, RS5, RS6, RS7, RS8, RS9, RS10, RS13, RS15, RS16, RS17
Δείγματα νερού πλούσια σε Ca + Mg και HCO ₃ ή παροδικής σκληρότητας	RS1, RS2, RS11, RS12, RS14, RS18, RS19, RS20
Δείγματα νερού πλούσια σε Na και HCO ₃ ή αποτελούμενα από ανθρακικά άλατα αλκαλίων	RS3

Η πρώτη κατηγορία αφορά νερό πλούσιο σε Ca + Mg και Cl + SO₄ και αντιστοιχεί στο πεδίο της μόνιμης σκληρότητας (Τσακίρης, 2010). Η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει τα δείγματα RS4, RS5, RS6, RS7, RS8, RS9, RS10, RS13, RS15, RS16, RS17 (Σχήμα 4.3), που αντιπροσωπεύουν το 55% των συνολικών δειγμάτων.



Σχήμα 4.3: Διάγραμμα Piper στο οποίο απεικονίζονται τα αποτελέσματα των εργαστηριακών αναλύσεων των δειγμάτων νερού, που κατατάσσονται στην πρώτη κατηγορία (Ca, Mg, Cl, SO₄).

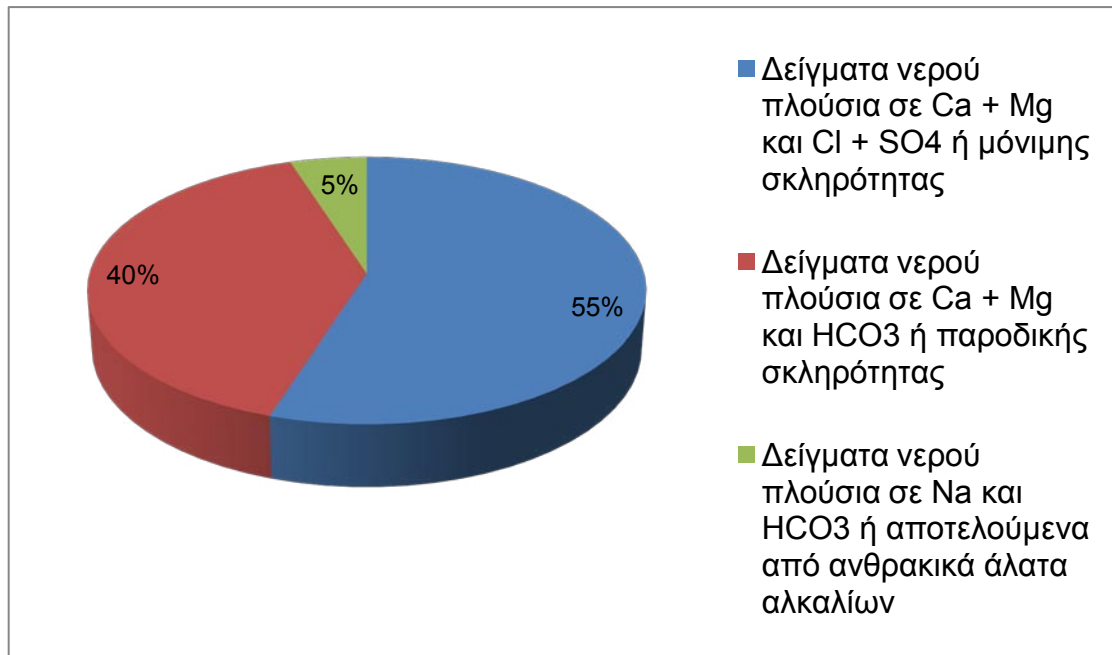
Η δεύτερη κατηγορία αφορά νερό πλούσιο σε Ca + Mg και HCO₃ και αντιστοιχεί στο πεδίο της παροδικής σκληρότητας (Τσακίρης, 2010). Η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει τα δείγματα RS1, RS2, RS11, RS12, RS14, RS18, RS19, RS20 (Σχήμα 4.4), που αντιπροσωπεύουν το 40% των συνολικών δειγμάτων.



Σχήμα 4.4: Διάγραμμα Piper στο οποίο απεικονίζονται τα αποτελέσματα των εργαστηριακών αναλύσεων των δειγμάτων νερού, που κατατάσσονται στην δεύτερη κατηγορία (Ca, Mg, HCO₃).

Η τρίτη κατηγορία αφορά νερό που αποτελείται από ανθρακικά άλατα αλκαλίων (Τσακίρης, 2010). Η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει μόνο το δείγμα RS3, που αντιπροσωπεύει το 5% των συνολικών δειγμάτων και αποτελεί ξεχωριστή περίπτωση, διότι η θέση δειγματοληψίας βρίσκεται κοντά στη θάλασσα, κάτι το οποίο επηρεάζει άμεσα την σύσταση του δείγματος.

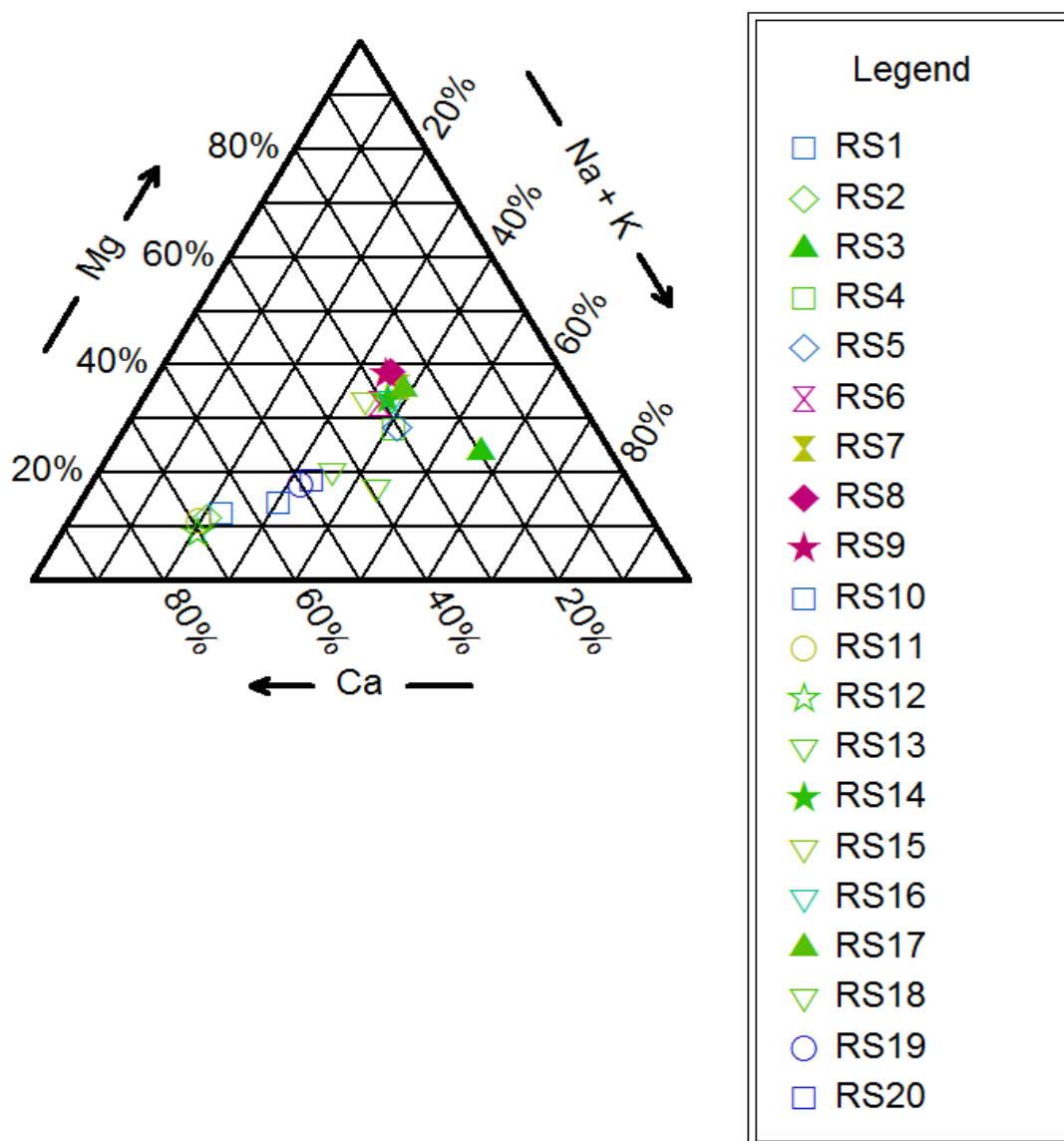
Στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 4.5) παρουσιάζεται το διάγραμμα ποσοστών για τα δείγματα νερού, όπως αυτά κατατάσσονται βάση του διαγράμματος Piper για τα κύρια ιόντα, σε τρεις κύριες κατηγορίες.



Σχήμα 4.5: Διάγραμμα ποσοστών δειγμάτων νερού ανά κατηγορία για το διάγραμμα Piper, όσο αφορά στα κύρια ιόντα.

4.3.1.2 Ανάλυση των διαγραμμάτων Piper όσο αφορά τα κατιόντα

Στο διάγραμμα Piper του παρακάτω σχήματος (Σχήμα 4.6) απεικονίζονται τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων των είκοσι δειγμάτων νερού όσο αφορά τα κατιόντα. Από αυτό προκύπτει ότι τα δείγματα χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες νερού σχετικά με τα κατιόντα που περιέχουν. Οι τρεις αυτές κατηγορίες, καθώς και τα δείγματα που περιέχει η κάθε μία παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.18.

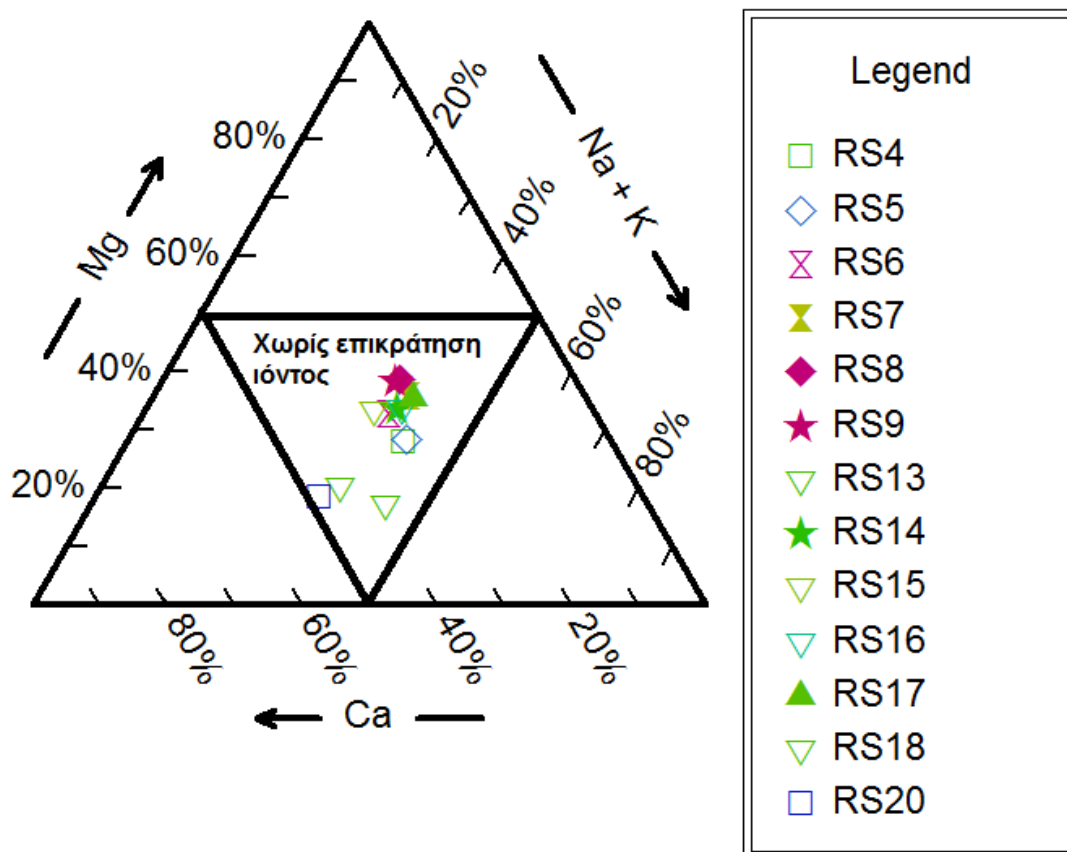


Σχήμα 4.6: Διάγραμμα Piper στο οποίο απεικονίζονται τα αποτελέσματα των εργαστηριακών αναλύσεων των είκοσι δειγμάτων νερού, όσο αφορά στα κατιόντα.

Πίνακας 4.18: Κατάταξη των δειγμάτων νερού σε κατηγορίες, όσο αφορά στα κατιόντα.

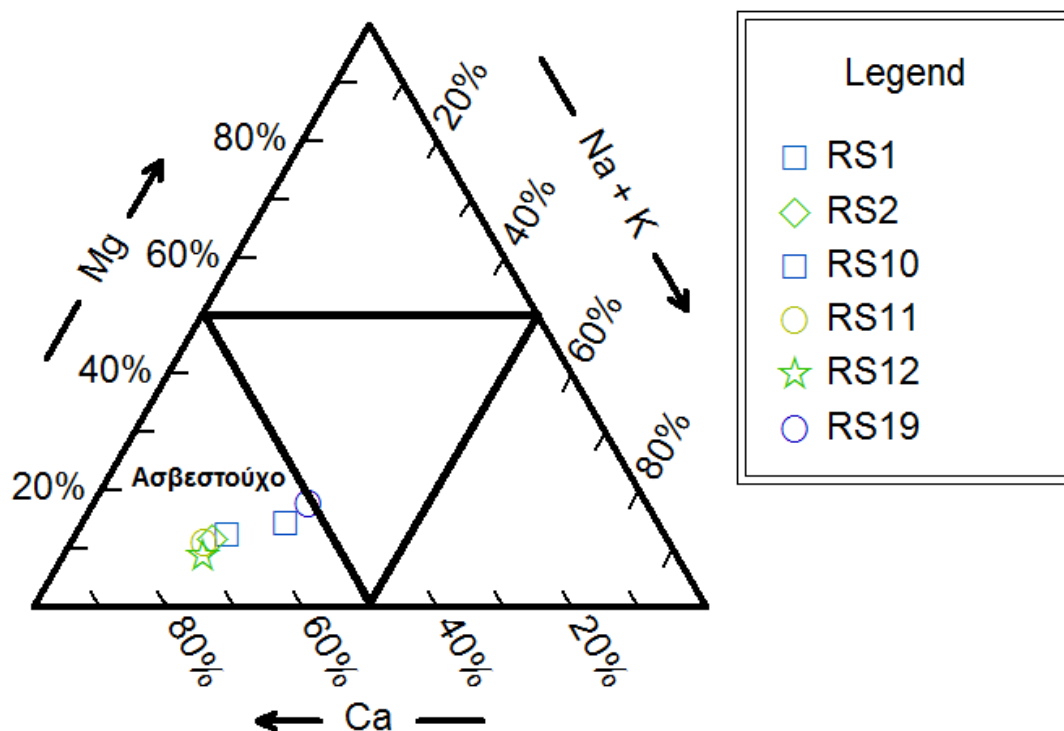
Κατηγορίες	Δείγματα
Δείγματα νερού χωρίς επικράτηση ιόντος	RS4, RS5, RS6, RS7, RS8, RS9, RS13, RS14, RS15, RS16, RS17, RS18, RS20
Δείγματα νερού πλούσια σε Ca ή ασβεστιούχο νερό	RS1, RS2, RS10, RS11, RS12, RS19
Δείγματα νερού πλούσια σε Na + K ή νατριούχο ή καλιούχο νερό	RS3

Η πρώτη κατηγορία αφορά μικτό νερό, δηλαδή νερό στο οποίο δεν επικρατεί κάποιο ιόν. Η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει τα δείγματα RS4, RS5, RS6, RS7, RS8, RS9, RS13, RS14, RS15, RS16, RS17, RS18, RS20 (Σχήμα 4.7), που αντιπροσωπεύουν το 65% των συνολικών δειγμάτων.



Σχήμα 4.7: Διάγραμμα Piper στο οποίο απεικονίζονται τα αποτελέσματα των εργαστηριακών αναλύσεων των δειγμάτων νερού, που κατατάσσονται στην πρώτη κατηγορία (νερό χωρίς επικράτηση ιόντος) σχετικά με τα κατιόντα που περιέχουν.

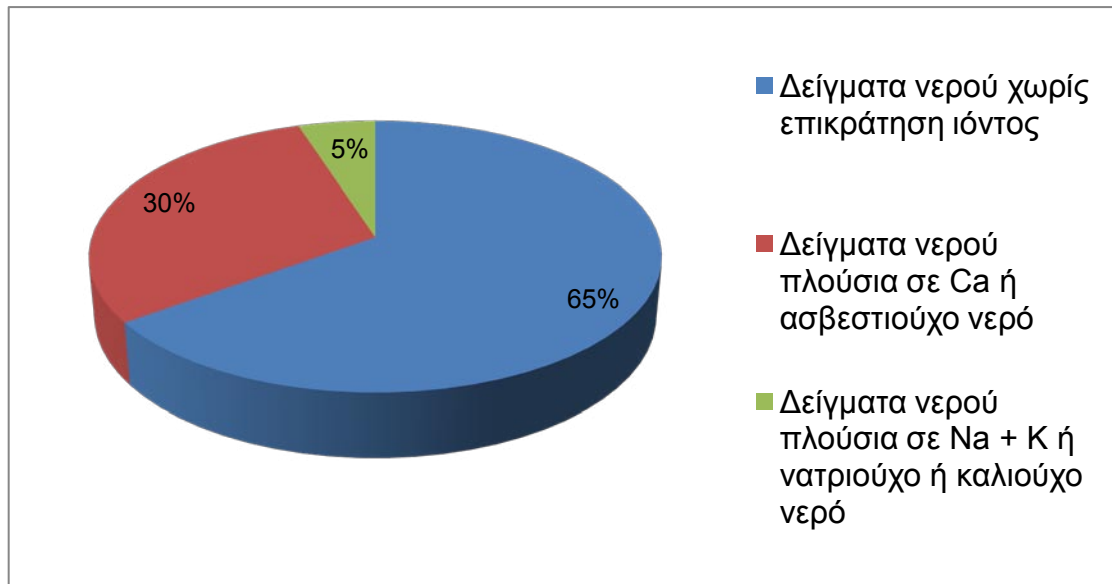
Η δεύτερη κατηγορία αφορά νερό πλούσιο σε Ca ή ανθρακούχο. Η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει τα δείγματα RS1, RS2, RS10, RS11, RS12, RS19 (Σχήμα 4.8), που αντιπροσωπεύουν το 30% των συνολικών δειγμάτων.



Σχήμα 4.8: Διάγραμμα Piper στο οποίο απεικονίζονται τα αποτελέσματα των εργαστηριακών αναλύσεων των δειγμάτων νερού, που κατατάσσονται στην δεύτερη κατηγορία (νερό ασβεστούχο) σχετικά με τα κατιόντα που περιέχουν.

Η τρίτη κατηγορία αφορά νερό που είναι πλούσιο σε Na + K ή νατριούχο ή καλιούχο νερό. Η κατηγορία αυτή, όπως ακριβώς παρατηρήσαμε και στην κατάταξη των δειγμάτων νερού βάσει των κύριων ιόντων που περιέχουν, περιλαμβάνει μόνο το δείγμα RS3, που αντιπροσωπεύει το 5% των συνολικών δειγμάτων και αποτελεί ξεχωριστή περίπτωση. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η θέση δειγματοληψίας βρίσκεται κοντά στη θάλασσα, κάτι το οποίο επηρεάζει άμεσα την σύσταση του δείγματος χάρη στο θαλασσινό νερό.

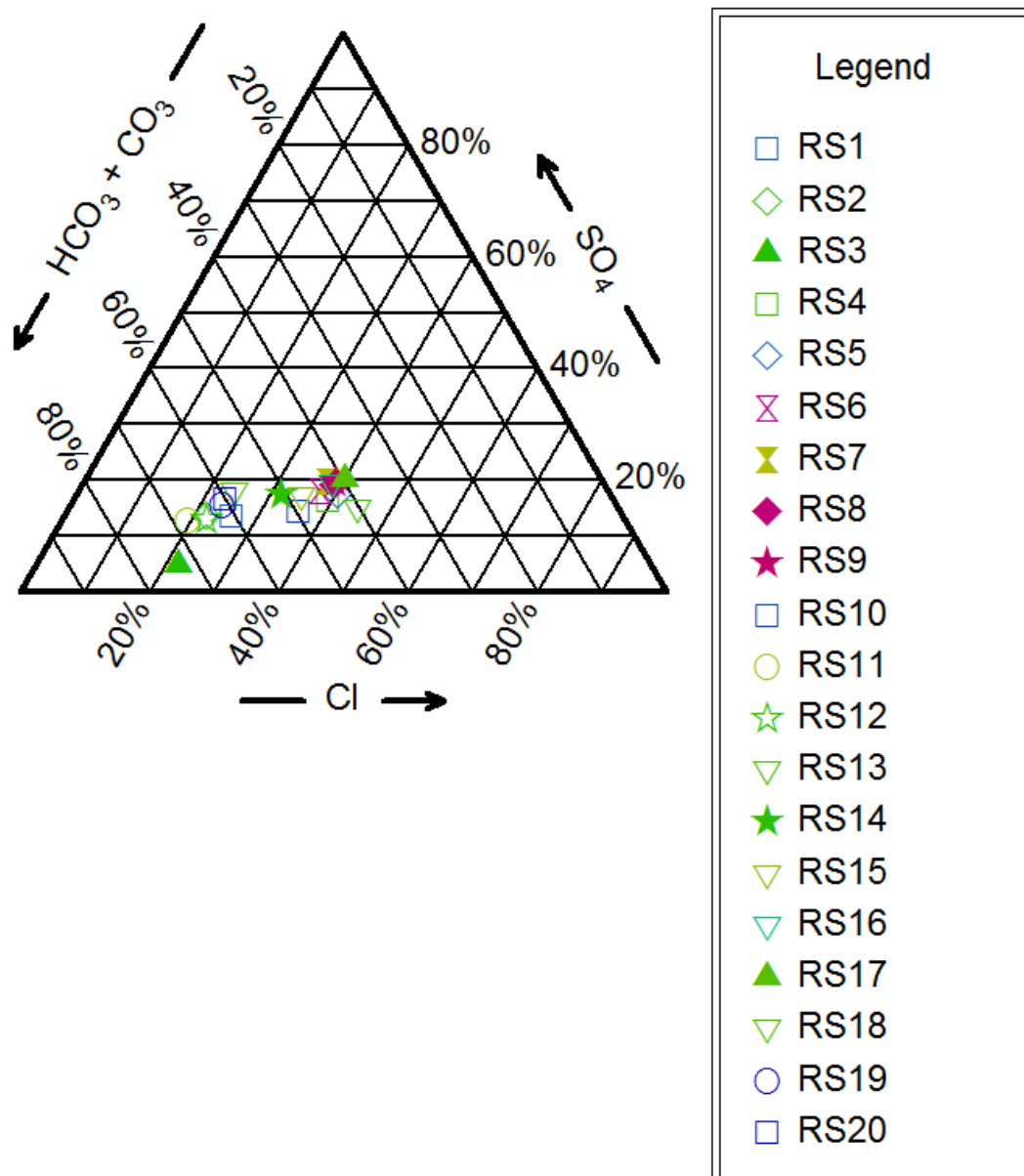
Στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 4.9) παρουσιάζεται το διάγραμμα ποσοστών για τα δείγματα νερού, όπως αυτά κατατάσσονται βάση του διαγράμματος Piper για τα κατιόντα που περιέχουν, σε τρεις κύριες κατηγορίες.



Σχήμα 4.9: Διάγραμμα ποσοστών δειγμάτων νερού ανά κατηγορία για το διάγραμμα Piper, όσο αφορά στα κατιόντα.

4.3.1.3 Ανάλυση των διαγραμμάτων Piper όσο αφορά τα ανιόντα

Στο διάγραμμα Piper του παρακάτω σχήματος (Σχήμα 4.10) απεικονίζονται τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων των είκοσι δειγμάτων νερού όσο αφορά τα ανιόντα. Από αυτό προκύπτει ότι τα δείγματα χωρίζονται σε δύο κύριες κατηγορίες νερού σχετικά με τα ανιόντα που περιέχουν. Οι δύο αυτές κατηγορίες, καθώς και τα δείγματα που περιέχει η κάθε μία παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.19.

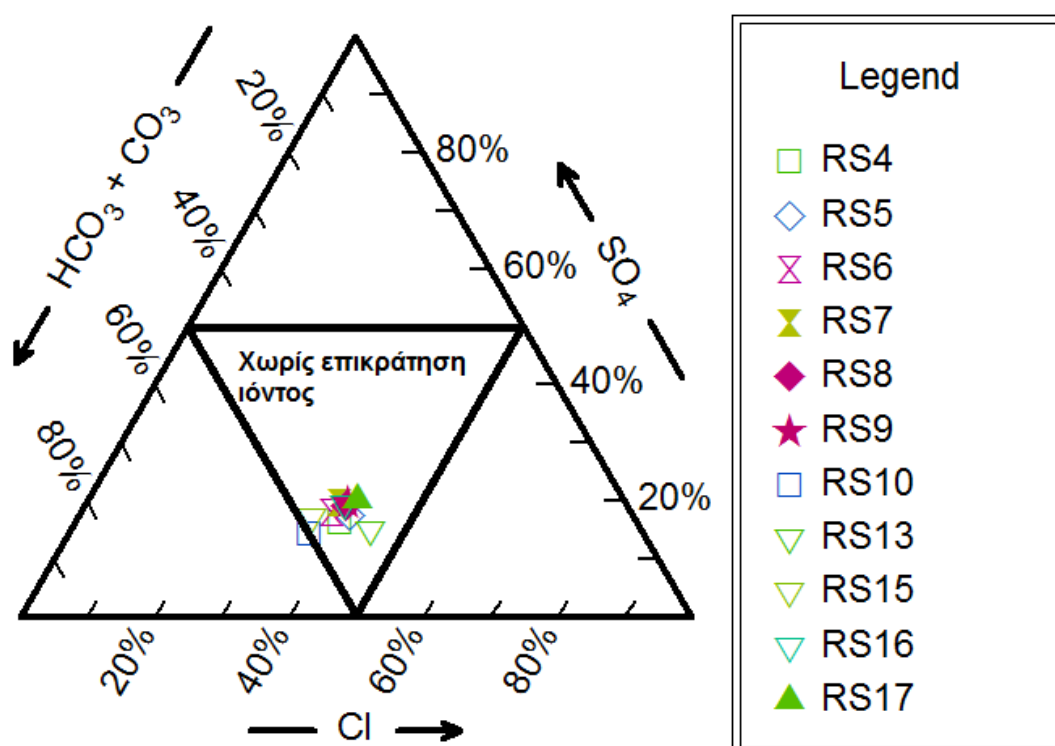


Σχήμα 4.10: Διάγραμμα Piper στο οποίο απεικονίζονται τα αποτελέσματα των εργαστηριακών αναλύσεων των είκοσι δειγμάτων νερού, όσο αφορά στα ανιόντα.

Πίνακας 4.19: Κατάταξη των δειγμάτων νερού σε κατηγορίες, όσο αφορά στα ανιόντα.

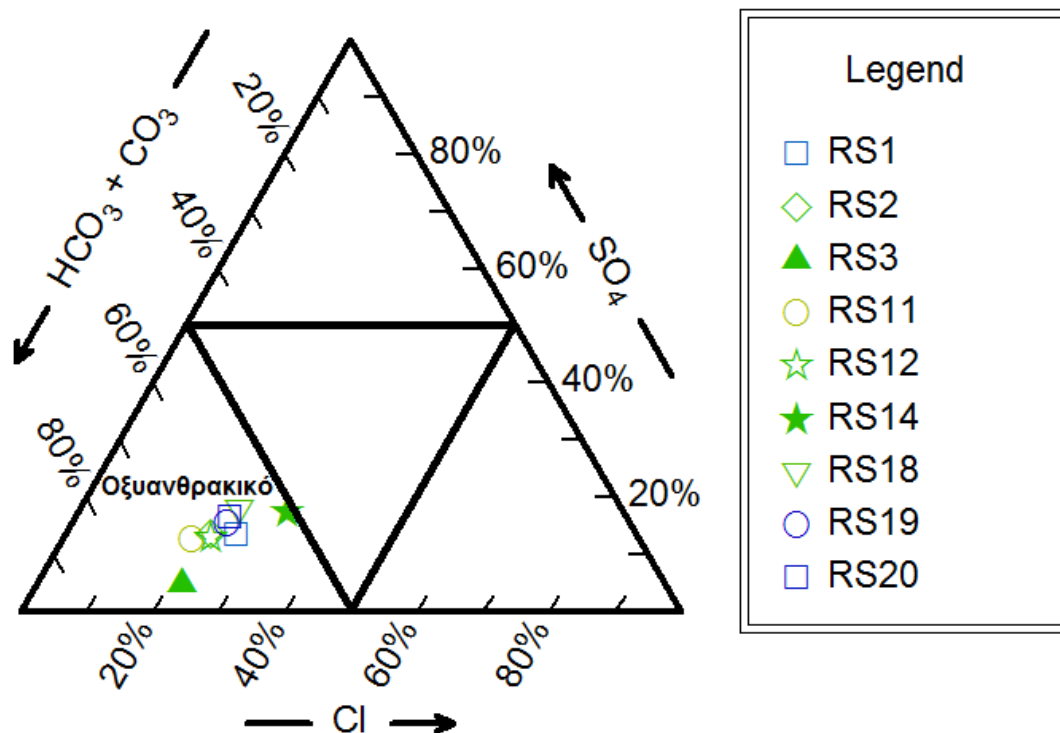
Κατηγορίες	Δείγματα
Δείγματα νερού χωρίς επικράτηση ιόντος	RS4, RS5, RS6, RS7, RS8, RS9, RS10, RS13, RS15, RS16, RS17
Δείγματα νερού πλούσια σε HCO_3 ή οξυανθρακικό νερό	RS1, RS2, RS3, RS11, RS12, RS14, RS18, RS19, RS20

Η πρώτη κατηγορία αφορά μικτό νερό, δηλαδή νερό στο οποίο δεν επικρατεί κάποιο ιόν. Η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει τα δείγματα RS4, RS5, RS6, RS7, RS8, RS9, RS10, RS13, RS15, RS16, RS17 (Σχήμα 4.11), που αντιπροσωπεύουν το 55% των συνολικών δειγμάτων.



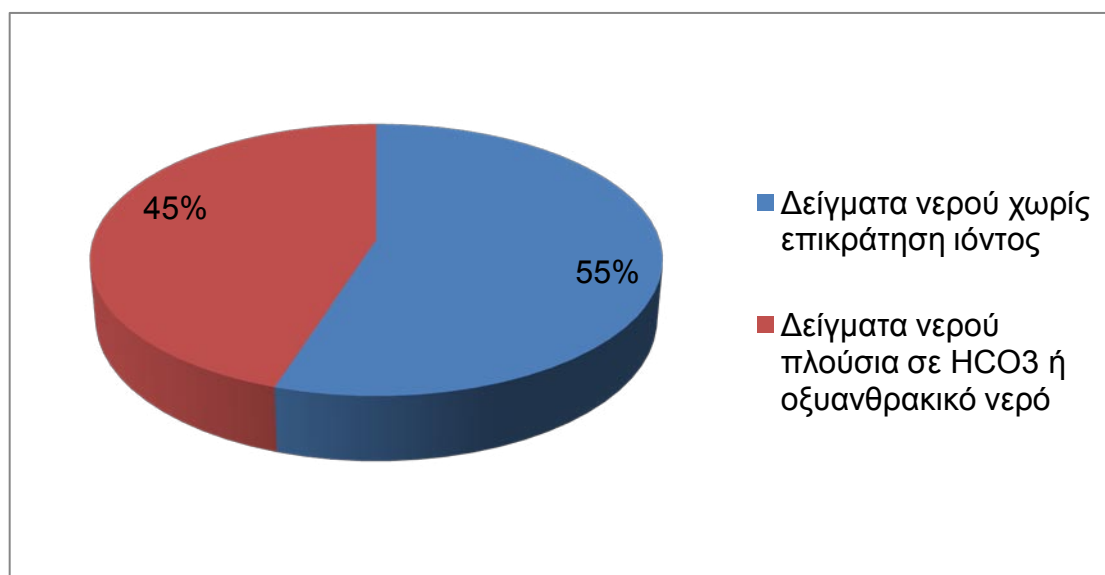
Σχήμα 4.11: Διάγραμμα Piper στο οποίο απεικονίζονται τα αποτελέσματα των εργαστηριακών αναλύσεων των δειγμάτων νερού, που κατατάσσονται στην πρώτη κατηγορία (νερό χωρίς επικράτηση ιόντος) σχετικά με τα ανιόντα που περιέχουν.

Η δεύτερη κατηγορία αφορά νερό πλούσιο σε HCO_3 ή οξυανθρακικό. Η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει τα δείγματα RS1, RS2, RS3, RS11, RS12, RS14, RS18, RS19, RS20 (Σχήμα 4.12), που αντιπροσωπεύουν το 45% των συνολικών δειγμάτων.



Σχήμα 4.12: Διάγραμμα Piper στο οποίο απεικονίζονται τα αποτελέσματα των εργαστηριακών αναλύσεων των δειγμάτων νερού, που κατατάσσονται στην δεύτερη κατηγορία (νερό οξυανθρακικό) σχετικά με τα ανιόντα που περιέχουν.

Στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 4.13) παρουσιάζεται το διάγραμμα ποσοστών για τα δείγματα νερού, όπως αυτά κατατάσσονται βάση του διαγράμματος Piper για τα ανιόντα που περιέχουν, σε δύο κύριες κατηγορίες.

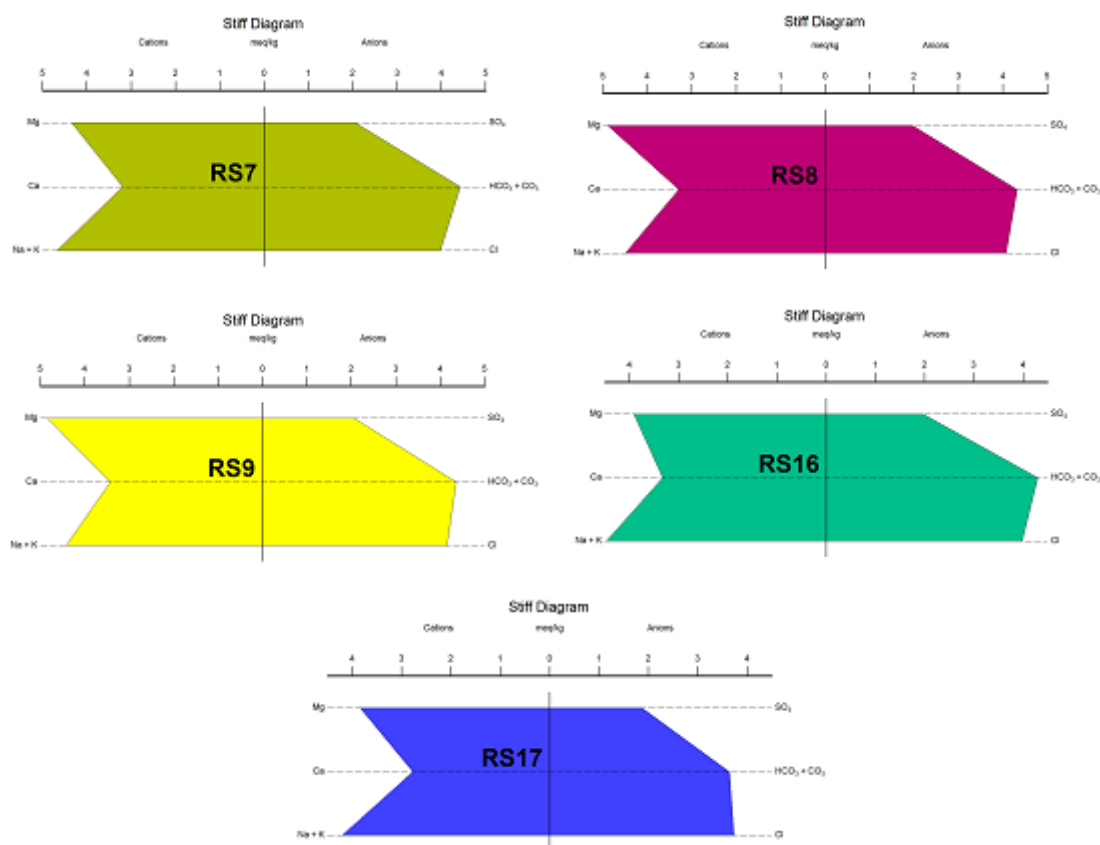


Σχήμα 4.13: Διάγραμμα ποσοστών δειγμάτων νερού ανά κατηγορία για το διάγραμμα Piper, όσο αφορά στα ανιόντα.

4.3.2 Ανάλυση των διαγραμμάτων Stiff

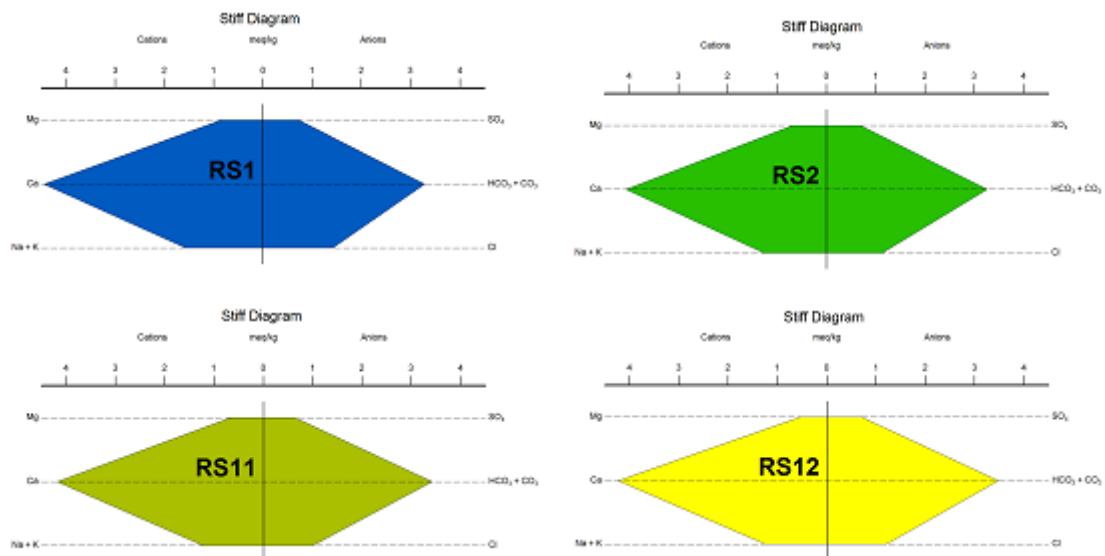
Δημιουργήθηκαν είκοσι διαγράμματα Stiff, ένα για κάθε δείγμα νερού και έτσι προέκυψαν εννιά κατηγορίες με βάση την ομοιομορφία των σχημάτων των διαγραμμάτων. Τα διαγράμματα Stiff των δειγμάτων νερού που σχηματίζουν όμοια πολύγωνα ανήκουν στην ίδια κατηγορία και συνεπώς έχουν παρόμοια χημική σύσταση.

Η πρώτη κατηγορία πολυγώνων (Σχήμα 4.14) περιλαμβάνει τα δείγματα RS7, RS8, RS9, RS16, RS17 και αποτελεί το 25% των δειγμάτων (Σχήμα 4.23).



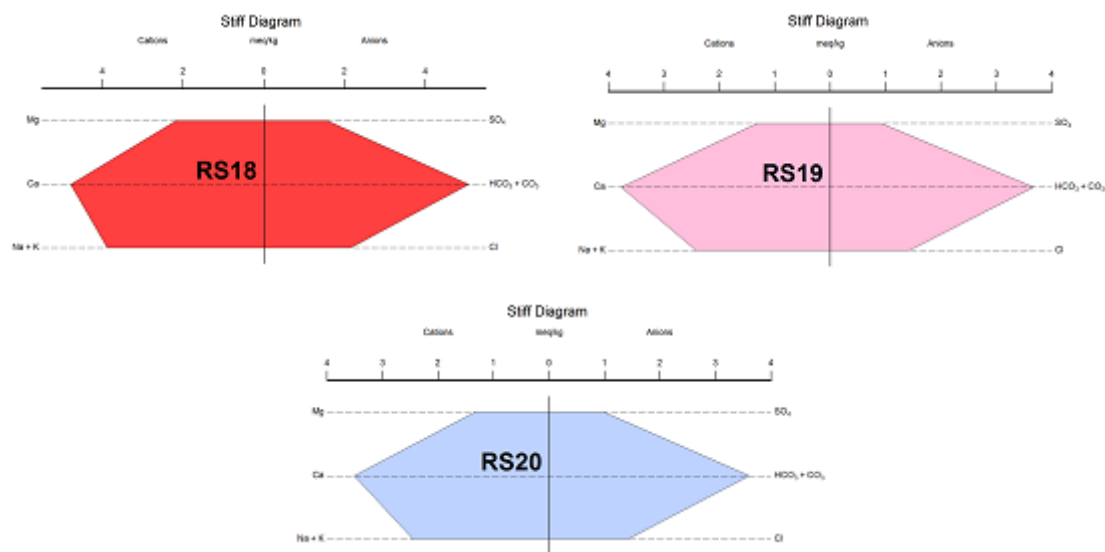
Σχήμα 4.14: Πρώτη κατηγορία διαγραμμάτων Stiff.

Η δεύτερη κατηγορία πολυγώνων (Σχήμα 4.15) περιλαμβάνει τα δείγματα RS1, RS2, RS11, RS12 και αποτελεί το 20% των δειγμάτων (Σχήμα 4.23).



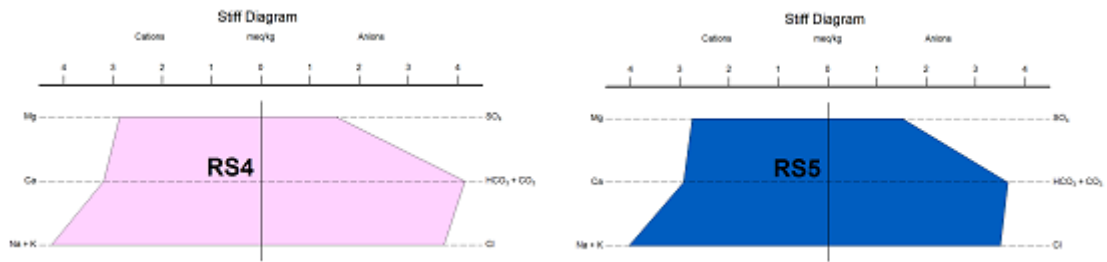
Σχήμα 4.15: Δεύτερη κατηγορία διαγραμμάτων Stiff.

Η τρίτη κατηγορία πολυγώνων (Σχήμα 4.16) περιλαμβάνει τα δείγματα RS18, RS19, RS20 και αποτελεί το 15% των δειγμάτων (Σχήμα 4.23).



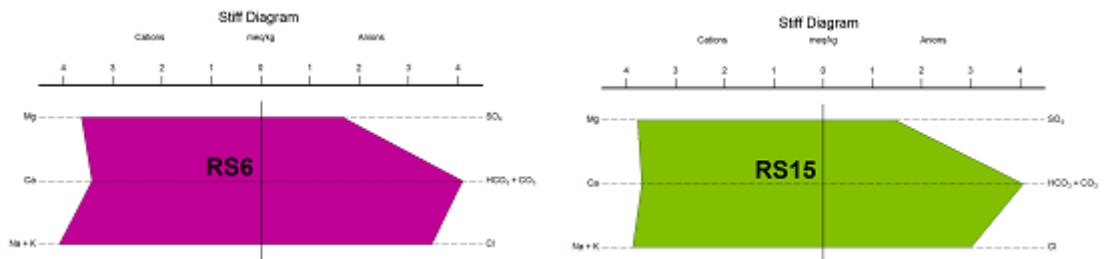
Σχήμα 4.16: Τρίτη κατηγορία διαγραμμάτων Stiff.

Η τέταρτη κατηγορία πολυγώνων (Σχήμα 4.17) περιλαμβάνει τα δείγματα RS4 και RS5 και αποτελεί το 10% των δειγμάτων (Σχήμα 4.23).



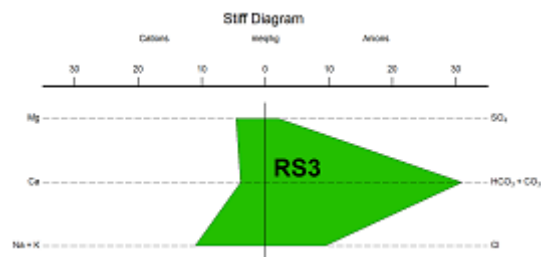
Σχήμα 4.17: Τέταρτη κατηγορία διαγραμμάτων Stiff.

Η πέμπτη κατηγορία πολυγώνων (Σχήμα 4.18) περιλαμβάνει τα δείγματα RS6 και RS15 και αποτελεί το 10% των δειγμάτων (Σχήμα 4.23).



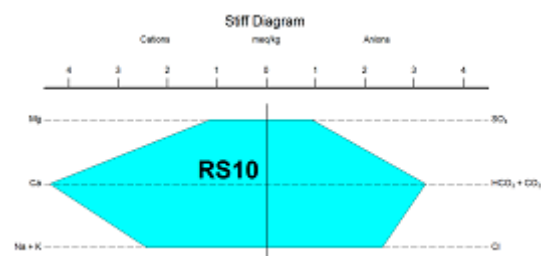
Σχήμα 4.18: Πέμπτη κατηγορία διαγραμμάτων Stiff.

Η έκτη κατηγορία πολυγώνων (Σχήμα 4.19) περιλαμβάνει το δείγμα RS3 και αποτελεί το 5% των δειγμάτων (Σχήμα 4.23).



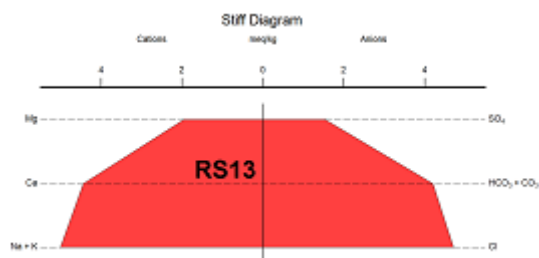
Σχήμα 4.19: Έκτη κατηγορία διαγραμμάτων Stiff.

Η έβδομη κατηγορία πολυγώνων (Σχήμα 4.20) περιλαμβάνει το δείγμα RS10 και αποτελεί το 5% των δειγμάτων (Σχήμα 4.23).



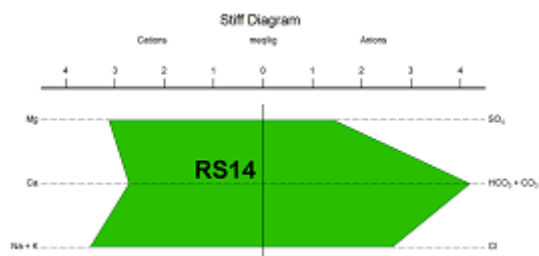
Σχήμα 4.20: Έβδομη κατηγορία διαγραμμάτων Stiff.

Η όγδοη κατηγορία πολυγώνων (Σχήμα 4.21) περιλαμβάνει το δείγμα RS13 και αποτελεί το 5% των δειγμάτων (Σχήμα 4.23).



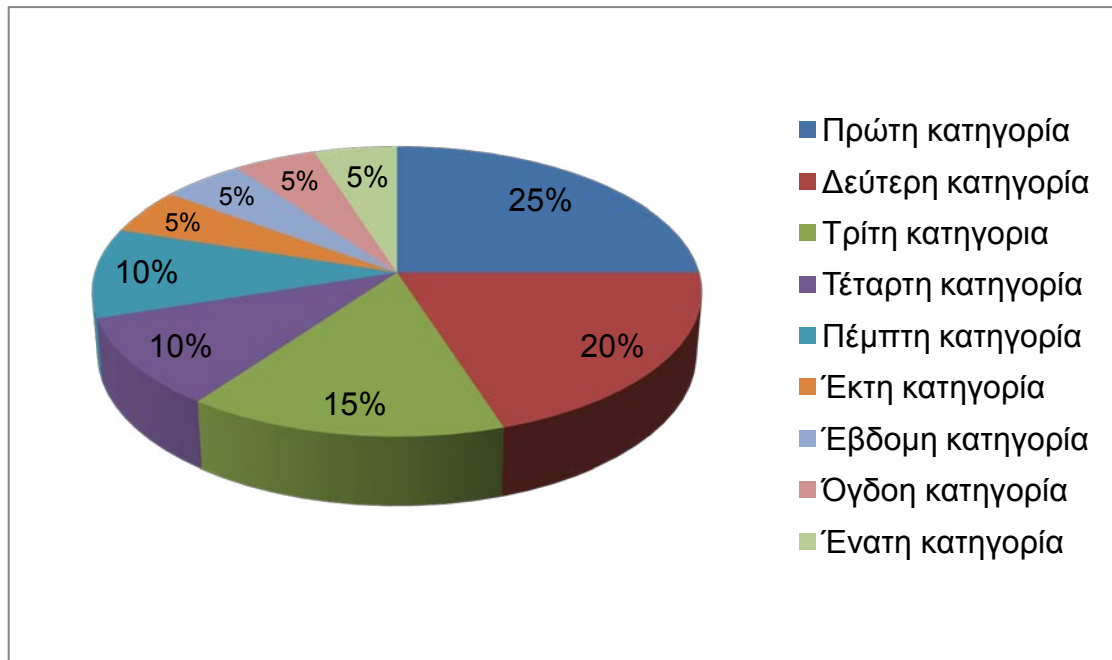
Σχήμα 4.21: Όγδοη κατηγορία διαγραμμάτων Stiff.

Τέλος, η ένατη κατηγορία πολυγώνων (Σχήμα 4.22) περιλαμβάνει το δείγμα RS14 και αποτελεί το 5% των δειγμάτων (Σχήμα 4.23).



Σχήμα 4.22: Ένατη κατηγορία διαγραμμάτων Stiff.

Στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 4.23) παρουσιάζεται το διάγραμμα ποσοστών για τα δείγματα νερού, όπως αυτά κατατάσσονται βάση των διαγραμμάτων Stiff σε κατηγορίες όμοιων πολυγώνων, δηλαδή σε νερά με παρόμοια χημική σύσταση.



Σχήμα 4.23: Διάγραμμα ποσοστών δειγμάτων νερού ανά κατηγορία σύμφωνα με τα διαγράμματα Stiff.

4.4 Καταλληλότητα του νερού για αρδευτική χρήση

Η ποιοτική κατάταξη των δειγμάτων νερού της παρούσας διπλωματικής εργασίας πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με το ευρύτατα αποδεκτό σύστημα κατάταξης των νερών με βάση την περιεκτικότητά τους σε άλατα και νάτριο του Εργαστηρίου Αλατότητας των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής (U.S.D.A., 1954) και το σύστημα ποιοτικής κατάταξης του αρδευτικού νερού, που έχει αναπτυχθεί από τους Ayers και Westcot (1985), στο πλαίσιο των δραστηριοτήτων του Παγκόσμιου Οργανισμού Τροφίμων (FAO) και βασίζεται στον έλεγχο του νερού ως προς τον κίνδυνο εμφάνισης ενός από τα παρακάτω προβλήματα: 1) αλατότητα, 2) διηθητικότητα, 3) τοξικότητα και 4) ειδικά προβλήματα σε ευαίσθητες καλλιέργειες.

4.4.1 Ποιοτική κατάταξη του νερού σύμφωνα με το Εργαστήριο Αλατότητας της Αμερικής (U.S.S.L.)

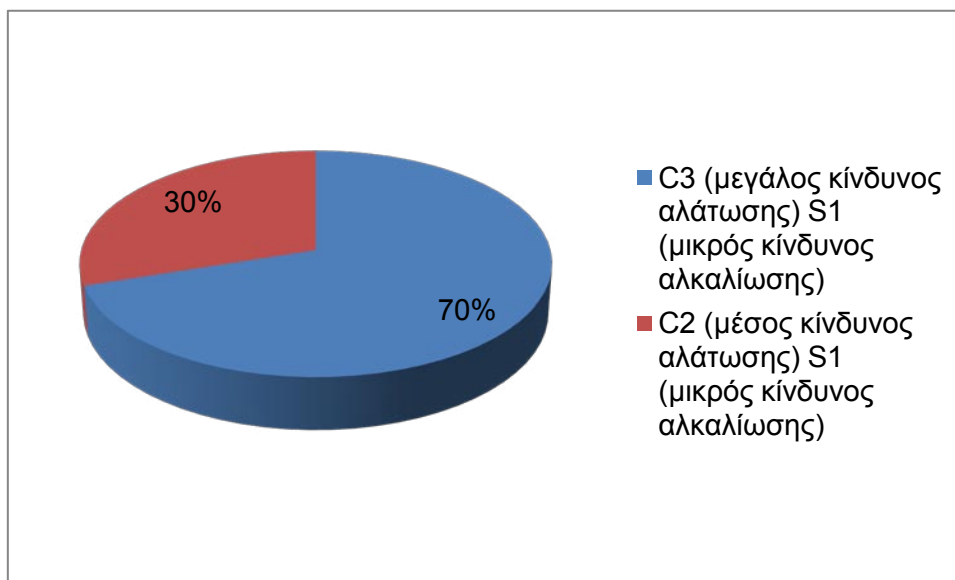
Για την ποιοτική κατάταξη των είκοσι δειγμάτων νερού, σύμφωνα με το σύστημα κατάταξης νερών για αρδευτική χρήση του Εργαστηρίου Αλατότητας της Αμερικής (U.S.S.L.), προσδιορίστηκε η ηλεκτρική αγωγιμότητα κάθε δείγματος και η αναλογία προσροφημένου νατρίου (SAR), που υπολογίζεται από τις συγκεντρώσεις των κατιόντων νατρίου (Na^+), ασβεστίου (Ca^{2+}) και μαγνησίου (Mg^{2+}), που προέκυψαν από τις εργαστηριακές αναλύσεις των δειγμάτων νερού. Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 4.20) παρουσιάζεται η ποιοτική κατάταξη των δειγμάτων νερού κατά U.S.S.L.

Πίνακας 4.20: Ποιοτική κατάταξη των δειγμάτων νερού κατά U.S.S.L.

Κωδικός θέσης	Na meq/L	Mg meq/L	Ca meq/L	Ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) $\mu\text{S/cm}$	SAR meq/L	Κατηγορία κινδύνου αλάτωσης	Κατηγορία κινδύνου αλκαλίωσης
RS1	1.55	0.86	4.45	649	0.67	C2	S1
RS2	1.25	0.69	4.07	617	0.57	C2	S1
RS3	10.85	4.69	3.88	1700	3.71	C3	S1
RS4	4.22	2.90	3.19	1145	1.71	C3	S1
RS5	3.98	2.78	2.93	1105	1.67	C3	S1
RS6	4.04	3.68	3.43	1069	1.51	C3	S1
RS7	4.61	4.40	3.20	1150	1.67	C3	S1
RS8	4.43	4.95	3.30	1236	1.54	C3	S1
RS9	4.34	4.90	3.43	1225	1.50	C3	S1
RS10	2.38	1.15	4.39	783	1.01	C3	S1
RS11	1.20	0.67	4.18	602	0.55	C2	S1
RS12	1.23	0.54	4.22	620	0.56	C2	S1
RS13	4.95	1.98	4.44	1174	1.95	C3	S1
RS14	3.44	3.16	2.72	952	1.42	C3	S1
RS15	3.80	3.81	3.68	1033	1.39	C3	S1
RS16	4.44	3.96	3.33	1192	1.65	C3	S1
RS17	4.14	3.88	2.77	1121	1.61	C3	S1
RS18	3.81	2.19	4.79	980	1.44	C3	S1
RS19	2.36	1.33	3.77	691	1.04	C2	S1
RS20	2.38	1.35	3.51	681	1.08	C2	S1

Από τον παραπάνω πίνακα (Πίνακας 4.20) παρατηρούμε πως τα δείγματα νερού χωρίζονται σε δύο κατηγορίες. Η πρώτη κατηγορία καταλληλότητας είναι η C2S1 και περιλαμβάνει τα δείγματα RS1, RS2, RS11, RS12, RS19, RS20 που αντιπροσωπεύουν το 30% του συνόλου των δειγμάτων νερού μας. Η κατηγορία αυτή όσο αφορά τον κίνδυνο αλάτωσης περιλαμβάνει νερά μέσης αλατότητας με μέσο κίνδυνο αλάτωσης. Όσο αφορά τον κίνδυνο αλκαλίωσης, η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει νερά χαμηλής περιεκτικότητας σε νάτριο με μικρό κίνδυνο αλκαλίωσης ($\text{SAR} < 10$). Η δεύτερη κατηγορία καταλληλότητας είναι η C3S1 και περιλαμβάνει τα δείγματα RS3, RS4, RS5, RS6, RS7, RS8, RS9, RS10, RS13, RS14, RS15, RS16, RS17, RS18 που αντιπροσωπεύουν το 70% του συνόλου των δειγμάτων νερού μας. Η κατηγορία αυτή όσο αφορά τον κίνδυνο αλάτωσης περιλαμβάνει νερά υψηλής αλατότητας με μεγάλο κίνδυνο αλάτωσης. Όσο αφορά τον κίνδυνο αλκαλίωσης, η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει νερά χαμηλής περιεκτικότητας σε νάτριο με μικρό κίνδυνο αλκαλίωσης ($\text{SAR} < 10$). Τα νερά και τον δυο κατηγοριών όσο αφορά τον κίνδυνο αλάτωσης (C2 και C3) μπορούν να

χρησιμοποιηθούν χωρίς δυσμενείς επιπτώσεις στα φυτά, με την προϋπόθεση της εφαρμογής εκπλύσεων που είναι μεγαλύτερη σε πιο αλατούχα νερά, την καλή στράγγιση των εδαφών και τη χρησιμοποίηση φυτών από μέτριας ανθεκτικότητας μέχρι και ανθεκτικών στα άλατα (Τσακίρης, 2006). Στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 4.24) δίνεται το διάγραμμα ποσοστών για την κατάταξη των δειγμάτων νερού σε κατηγορίες κατά U.S.S.L.



Σχήμα 4.24: Διάγραμμα ποσοστών με την κατάταξη των δειγμάτων νερού σε κατηγορίες κατά U.S.S.L.

4.4.2 Κατάταξη των δειγμάτων νερού ως προς την ποιότητα τους και τους κινδύνους δημιουργίας προβλημάτων κατά Ayers και Westcot (1985).

Για την κατάταξη των είκοσι δειγμάτων νερού σύμφωνα με το σύστημα ποιοτικής κατάταξης του αρδευτικού νερού των Ayers και Westcot (1985) συγκρίναμε τις τιμές των συγκεντρώσεων και των παραμέτρων των δειγμάτων νερού μας ως προς τον κίνδυνο εμφάνισης μίας από τις τέσσερις ομάδες πιθανών προβλημάτων (αλατότητα, διηθητικότητα, τοξικότητα και ειδικών προβλημάτων). Η κάθε ομάδα προβλημάτων διαβαθμίζεται σε τρεις κατηγορίες κινδύνου (1, 2, 3) για την δημιουργία προβλημάτων. Οι κατηγορίες αυτές είναι : 1) καλή ποιότητα – χωρίς προβλήματα, 2) αύξηση του κινδύνου προβλημάτων από τη συνεχή χρήση του νερού και 3) ακατάλληλη ποιότητα – σοβαρά προβλήματα. Παρακάτω αναλύονται τα δείγματα νερού ως προς την κάθε κατηγορία προβλήματος.

Η πρώτη ομάδα κινδύνου αφορά στη δημιουργία προβλημάτων αλατότητας. Η κατάταξη των δειγμάτων στις κατηγορίες γίνεται με βάση την τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας που εμφανίζουν. Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 4.21) εμφανίζεται η κατάταξη των δειγμάτων νερού ως προς την ποιότητα τους και τους κινδύνους δημιουργίας προβλημάτων αλατότητας.

Πίνακας 4.21: Κατάταξη των δειγμάτων νερού ως προς την ποιότητα τους και τους κινδύνους δημιουργίας προβλημάτων αλατότητας.

Κωδικός θέσης	Ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) $\mu\text{S}/\text{cm}$	Κατηγορία ποιότητας νερού και κινδύνου δημιουργίας προβλημάτων αλατότητας
RS1	649	1
RS2	617	1
RS3	1700	2
RS4	1145	2
RS5	1105	2
RS6	1069	2
RS7	1150	2
RS8	1236	2
RS9	1225	2
RS10	783	2
RS11	602	1
RS12	620	1
RS13	1174	2
RS14	952	2
RS15	1033	2
RS16	1192	2
RS17	1121	2
RS18	980	2
RS19	691	1
RS20	681	1

Από τον παραπάνω πίνακα (Πίνακας 4.21) τα δείγματα νερού κατατάσσονται σε δυο κατηγορίες ως προς την ποιότητα τους και τον κίνδυνο δημιουργίας προβλημάτων αλατότητας κατά Ayers και Westcot (1985). Η πρώτη κατηγορία (1) περιλαμβάνει τα δείγματα RS1, RS2, RS11, RS12, RS19, RS20 που αποτελεί το 30% των συνολικών δειγμάτων νερού και αφορά σε νερά καλής ποιότητας – χωρίς προβλήματα, δηλαδή η χρήση των νερών αυτών δεν δημιουργεί κινδύνους για προβλήματα στα φυτά και στο έδαφος. Η δεύτερη κατηγορία (2) περιλαμβάνει τα δείγματα RS3, RS4, RS5, RS6, RS7, RS8, RS9, RS10, RS13, RS14, RS15, RS16, RS17, RS18 που αποτελεί το 70% των συνολικών δειγμάτων νερού και αφορά σε νερά που η συνεχής χρήση τους αυξάνει τον κίνδυνο δημιουργίας προβλημάτων.

Η δεύτερη ομάδα κινδύνου αφορά την δημιουργία προβλημάτων διηθητικότητας. Η κατάταξη των δειγμάτων στις κατηγορίες γίνεται με βάση την τιμή της αναλογίας του προσροφημένου νατρίου (SAR) και την τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας που εμφανίζουν. Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας

4.22) εμφανίζεται η κατάταξη των δειγμάτων νερού ως προς την ποιότητα τους και τους κινδύνους δημιουργίας προβλημάτων διηθητικότητας.

Πίνακας 4.22: Κατάταξη των δειγμάτων νερού ως προς την ποιότητα τους και τους κινδύνους δημιουργίας προβλημάτων διηθητικότητας.

Κωδικός θέσης	Ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) $\mu\text{S}/\text{cm}$	SAR meq/L	Κατηγορία ποιότητας νερού και κινδύνου δημιουργίας προβλημάτων διηθητικότητας
RS1	649	0.67	2
RS2	617	0.57	2
RS3	1700	3.71	1
RS4	1145	1.71	1
RS5	1105	1.67	1
RS6	1069	1.51	1
RS7	1150	1.67	1
RS8	1236	1.54	1
RS9	1225	1.50	1
RS10	783	1.01	1
RS11	602	0.55	2
RS12	620	0.56	2
RS13	1174	1.95	1
RS14	952	1.42	1
RS15	1033	1.39	1
RS16	1192	1.65	1
RS17	1121	1.61	1
RS18	980	1.44	1
RS19	691	1.04	2
RS20	681	1.08	2

Τα δείγματα νερού μας κατατάσσονται σε δυο κατηγορίες ως προς την ποιότητα τους και τον κίνδυνο δημιουργίας προβλημάτων διηθητικότητας κατά Ayers και Westcot (1985) σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα (Πίνακας 4.22). Η πρώτη κατηγορία (1) περιλαμβάνει τα δείγματα RS1, RS2, RS11, RS12, RS19, RS20 που αποτελεί το 30% των συνολικών δειγμάτων νερού και αφορά σε νερά που η συνεχής χρήση τους αυξάνει τον κίνδυνο δημιουργίας προβλημάτων. Η δεύτερη κατηγορία (2) περιλαμβάνει τα δείγματα RS3, RS4, RS5, RS6, RS7, RS8, RS9, RS10, RS13, RS14, RS15, RS16, RS17, RS18 που αποτελεί το 70% των συνολικών δειγμάτων νερού και αφορά σε νερά καλής ποιότητας – χωρίς προβλήματα, δηλαδή η χρήση των νερών αυτών δεν δημιουργεί κινδύνους για προβλήματα στα φυτά και στο έδαφος.

Η τρίτη ομάδα κινδύνου αφορά την δημιουργία προβλημάτων τοξικότητας. Η κατάταξη των δειγμάτων στις κατηγορίες γίνεται με βάση τις τιμές των συγκεντρώσεων του νατρίου, του χλωρίου και του βορίου που εμφανίζουν. Στη συγκεκριμένη εργασία δεν έχουν μετρηθεί και προσδιοριστεί οι συγκεντρώσεις του βορίου, οπότε η τοξικότητα που μπορεί να προκαλέσουν θα παραληφθεί. Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 4.23) εμφανίζεται η κατάταξη των δειγμάτων νερού ως προς την ποιότητα τους και τους κινδύνους δημιουργίας προβλημάτων τοξικότητας από τα ιόντα νατρίου και χλωρίου τους.

Πίνακας 4.23: Κατάταξη των δειγμάτων νερού ως προς την ποιότητα τους και τους κινδύνους δημιουργίας προβλημάτων τοξικότητας από τα ιόντα νατρίου και χλωρίου τους.

Κωδικός θέσης	Na meq/L	Cl mg/L	Κατηγορία ποιότητας νερού και κινδύνου δημιουργίας προβλημάτων τοξικότητας από το νάτριο	Κατηγορία ποιότητας νερού και κινδύνου δημιουργίας προβλημάτων τοξικότητας από το χλώριο
RS1	1.55	50.24	1	1
RS2	1.25	40.06	1	1
RS3	10.85	333.87	3	2
RS4	4.22	131.43	2	1
RS5	3.98	123.83	2	1
RS6	4.04	122.59	2	1
RS7	4.61	140.55	2	1
RS8	4.43	144.04	2	2
RS9	4.34	146.70	2	2
RS10	2.38	83.00	1	1
RS11	1.20	35.43	1	1
RS12	1.23	42.65	1	1
RS13	4.95	166.62	2	2
RS14	3.44	92.74	2	1
RS15	3.80	106.32	2	1
RS16	4.44	140.76	2	1
RS17	4.14	131.94	2	1
RS18	3.81	76.15	2	1
RS19	2.36	50.20	1	1
RS20	2.38	50.21	1	1

Από τον παραπάνω πίνακα (Πίνακας 4.23) τα δείγματα νερού κατατάσσονται σε τρεις κατηγορίες ως προς την ποιότητα τους και τον κίνδυνο δημιουργίας προβλημάτων τοξικότητας από τα κατιόντα του νατρίου κατά Ayers και Westcot (1985). Η πρώτη κατηγορία (1) περιλαμβάνει τα δείγματα RS1, RS2,

RS10, RS11, RS12, RS19, RS20 που αποτελεί το 35% των συνολικών δειγμάτων νερού και αφορά σε νερά καλής ποιότητας χωρίς προβλήματα, που δεν περιέχουν δηλαδή τοξικές συγκεντρώσεις νατρίου, οπότε και δεν υπάρχει κίνδυνος για προσρόφηση των ιόντων αυτών από τις ρίζες ή από τα φύλλα κατά τον ψεκασμό. Η δεύτερη κατηγορία (2) περιλαμβάνει τα δείγματα RS4, RS5, RS6, RS7, RS8, RS9, RS13, RS14, RS15, RS16, RS17, RS18 που αποτελεί το 60% των συνολικών δειγμάτων νερού και αφορά σε νερά που περιέχουν τοξικές συγκεντρώσεις νατρίου, δηλαδή η συνεχής χρήση των νερών αυτών χωρίς περιορισμούς μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα τοξικότητας. Γι' αυτό θα πρέπει να απομακρύνονται από το έδαφος με εκπλύσεις και να αποφεύγεται η εφαρμογή του νερού με καταιονισμό (Τσακίρης, 2006). Η τρίτη κατηγορία (3) περιλαμβάνει το δείγμα RS3 που αποτελεί το 5% των συνολικών δειγμάτων νερού και αφορά σε νερό ακατάλληλης ποιότητας που μπορεί να προκαλέσει σοβαρά και μόνιμα προβλήματα στα φυτά και το έδαφος, αφού η συγκέντρωση του νατρίου σ' αυτό είναι πάνω από τα όρια τοξικότητας. Σε αυτές τις συγκεντρώσεις το νάτριο μπορεί να προσροφηθεί από τις ρίζες των φυτών ή από τα φύλλα τους κατά τον ψεκασμό και να προκαλέσει σοβαρά και χρόνια προβλήματα.

Τα δείγματα νερού επίσης κατατάσσονται σε δύο κατηγορίες ως προς την ποιότητα τους και τον κίνδυνο δημιουργίας προβλημάτων τοξικότητας από την παρουσία των ανιόντων του χλωρίου κατά Ayers και Westcot (1985) σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα (Πίνακας 4.23). Η πρώτη κατηγορία (1) περιλαμβάνει τα δείγματα RS1, RS2, RS4, RS5, RS6, RS7, RS10, RS11, RS12, RS14, RS15, RS16, RS17, RS18, RS19, RS20 που αποτελεί το 80% των συνολικών δειγμάτων νερού και αφορά σε νερά καλής ποιότητας χωρίς προβλήματα, που δεν περιέχουν δηλαδή τοξικές συγκεντρώσεις χλωρίου, οπότε και δεν υπάρχει κίνδυνος για προσρόφηση των ιόντων αυτών από τις ρίζες ή από τα φύλλα κατά τον ψεκασμό. Η δεύτερη κατηγορία (2) περιλαμβάνει τα δείγματα RS3, RS8, RS9, RS13 που αποτελεί το 20% των συνολικών δειγμάτων νερού και αφορά σε νερά που περιέχουν τοξικές συγκεντρώσεις χλωρίου, δηλαδή η συνεχής χρήση των νερών αυτών χωρίς περιορισμούς μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα τοξικότητας. Γι' αυτό απαιτείται συνεχής παρακολούθηση και ειδική μεταχείριση (π.χ. έκπλυση) για να μην δημιουργηθούν μόνιμα προβλήματα (Τσακίρης, 2006).

Η τέταρτη ομάδα κινδύνου αφορά την δημιουργία ειδικών προβλημάτων σε ευαίσθητες καλλιέργειες. Η κατάταξη των δειγμάτων στις κατηγορίες γίνεται με βάση τις τιμές των συγκεντρώσεων των όξινων ανθρακικών, των νιτρικών και της αμμωνίας που εμφανίζουν. Στη συγκεκριμένη εργασία οι συγκεντρώσεις της αμμωνίας σε όλα τα σημεία δειγματοληψίας ήταν αρκετά χαμηλή, οπότε τα δείγματα νερού μας ως προς την παρουσία αμμωνίας κατατάσσονται όλα στην πρώτη κατηγορία, δηλαδή σε νερά καλής ποιότητας – χωρίς προβλήματα. Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 4.24) εμφανίζεται η κατάταξη

των δειγμάτων νερού ως προς την ποιότητα τους και τους κινδύνους δημιουργίας ειδικών προβλημάτων σε ευαίσθητες καλλιέργειες από τις συγκεντρώσεις νιτρικών και όξινων ανθρακικών που περιέχουν.

Πίνακας 4.24: Κατάταξη των δειγμάτων νερού ως προς την ποιότητα τους και τους κινδύνους δημιουργίας ειδικών προβλημάτων σε ευαίσθητες καλλιέργειες από τις συγκεντρώσεις νιτρικών και όξινων ανθρακικών που περιέχουν.

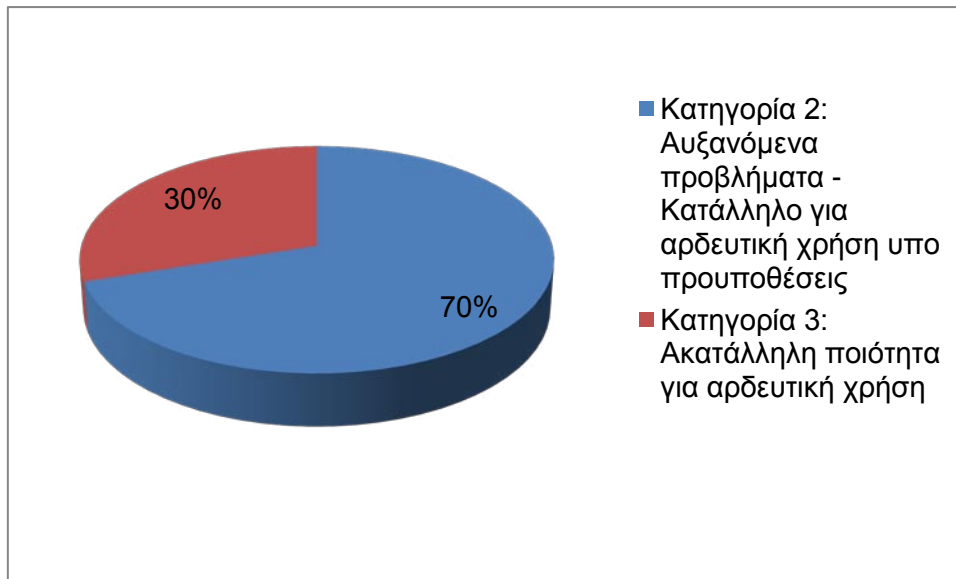
Κωδικός θέσης	HCO ₃ mg/L	Κατηγορία ποιότητας νερού και κινδύνου δημιουργίας ειδικών προβλημάτων από τα όξινα ανθρακικά	NO ₃ mg/L	Κατηγορία ποιότητας νερού και κινδύνου δημιουργίας ειδικών προβλημάτων από τα νιτρικά
RS1	195	2	3.45	1
RS2	193	2	3.33	1
RS3	1768	3	16.56	2
RS4	246	2	19.33	2
RS5	213	2	16.92	2
RS6	241	2	18.91	2
RS7	260	2	26.25	2
RS8	242	2	34.60	3
RS9	243	2	34.85	3
RS10	190	2	7.14	2
RS11	200	2	1.26	1
RS12	205	2	0.48	1
RS13	251	2	25.57	2
RS14	244	2	28.88	2
RS15	237	2	30.79	3
RS16	244	2	33.15	3
RS17	209	2	32.07	3
RS18	304	2	25.29	2
RS19	197	2	26.06	2
RS20	182	2	24.13	2

Από τον παραπάνω πίνακα (Πίνακας 4.24) τα δείγματα νερού κατατάσσονται σε δύο κατηγορίες ως προς την ποιότητα τους και τον κίνδυνο δημιουργίας ειδικών προβλημάτων σε ευαίσθητες καλλιέργειες από την παρουσία των όξινων ανθρακικών κατά Ayers και Westcot (1985). Η πρώτη κατηγορία (2) περιλαμβάνει τα δείγματα RS1, RS2, RS4, RS5, RS6, RS7, RS8, RS9, RS10, RS11, RS12, RS13, RS14, RS15, RS16, RS17, RS18, RS19, RS20 που αποτελεί το 95% των συνολικών δειγμάτων νερού και αφορά σε νερά που η συνεχής χρήση τους μπορεί να προκαλέσει ειδικά προβλήματα σε ευαίσθητες καλλιέργειες. Η δεύτερη κατηγορία (3) περιλαμβάνει το δείγμα RS3 που αποτελεί το 5% των συνολικών δειγμάτων νερού και αφορά σε νερό που

περιέχει μεγάλη συγκέντρωση όξινων ανθρακικών, κάτι που το καθιστά ακατάλληλο γιατί η χρήση του θα προκαλέσει ειδικά προβλήματα σε ευαίσθητες καλλιέργειες.

Από τον παραπάνω πίνακα (Πίνακας 4.24) επίσης τα δείγματα νερού κατατάσσονται σε τρεις κατηγορίες ως προς την ποιότητα τους και τον κίνδυνο δημιουργίας ειδικών προβλημάτων σε ευαίσθητες καλλιέργειες από την παρουσία νιτρικών κατά Ayers και Westcot (1985). Η πρώτη κατηγορία (1) περιλαμβάνει τα δείγματα RS1, RS2, RS11, RS12 που αποτελεί το 20% των συνολικών δειγμάτων νερού και αφορά σε νερά καλής ποιότητας χωρίς προβλήματα, που δεν περιέχουν δηλαδή συγκεντρώσεις νιτρικών, που να δημιουργούν ειδικά προβλήματα κατά την χρήση των νερών αυτών σε ευαίσθητες καλλιέργειες. Η δεύτερη κατηγορία (2) περιλαμβάνει τα δείγματα RS3, RS4, RS5, RS6, RS7, RS13, RS14, RS18, RS19, RS20 που αποτελεί το 45% των συνολικών δειγμάτων νερού και αφορά σε νερά που περιέχουν συγκεντρώσεις νιτρικών, που με τη συνεχή χρήση τους χωρίς περιορισμούς μπορεί να δημιουργήσουν ειδικά προβλήματα σε ευαίσθητες καλλιέργειες. Η τρίτη κατηγορία (3) περιλαμβάνει τα δείγματα RS8, RS9, RS10, RS15, RS16, RS17 που αποτελεί το 25% των συνολικών δειγμάτων νερού και αφορά σε νερό ακατάλληλης ποιότητας που μπορεί να προκαλέσει σοβαρά και μόνιμα ειδικά προβλήματα σε ευαίσθητες καλλιέργειες, αφού η συγκέντρωση των νιτρικών σ' αυτά είναι πάνω από τα όρια.

Η τήρηση όλων των παραπάνω κριτηρίων οδηγεί στην κατάταξη των επιφανειακών νερών σε κατηγορίες καταλληλότητας όπως αυτές παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.25. Παρακάτω (Σχήμα 4.25) παρουσιάζεται γραφικά σε διάγραμμα ποσοστών η αναλογία των δειγμάτων στις κατηγορίες καταλληλότητας.



Σχήμα 4.25: Διάγραμμα ποσοστών για την κατάταξη των δειγμάτων νερού σε κατηγορίες καταλληλότητας για άρδευση κατά Ayers και Westcot (1985).

4.4.3 Διερεύνηση της διακύμανσης των ποιοτικών χαρακτηριστικών του νερού

Από τη κατάταξη του νερού του υδατορεύματος της ανατολικής Αττικής για αρδευτική χρήση ως προς την ποιότητα του και τους κινδύνους δημιουργίας προβλημάτων (Ayers και Westcot, 1985) για τα δείγματα νερού που συλλέχθηκαν τα έτη 2010 (Κουρής, 2011) και 2011 της παρούσας εργασίας και η οποία δίνεται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 4.25), προκύπτει ότι μόνο στις θέσεις RS15 και RS18 έχουμε διαφοροποίηση κατηγορίας κατάταξης. Συγκεκριμένα στη θέση RS15 σε διάστημα ενός έτους περάσαμε από την κατηγορία δύο (2) στην κατηγορία τρία (3), που σημαίνει πως το νερό είναι ακατάλληλο για άρδευση, που οφείλεται στην οριακή μεταβολή της συγκέντρωσης των νιτρικών από την τιμή $29.8 \frac{mg}{L}$ (έτος 2010) στην τιμή $30.79 \frac{mg}{L}$ (έτος 2011). Επιπλέον στη θέση RS18 σε διάστημα ενός έτους περάσαμε από την κατηγορία τρία (3) στην κατηγορία δύο (2), που σημαίνει πως η ποιότητα του νερού στην συγκεκριμένη θέση βελτιώθηκε, γιατί η συγκέντρωση των νιτρικών μειώθηκε από $37.3 \frac{mg}{L}$ (έτος 2010) σε $25.29 \frac{mg}{L}$ (έτος 2011) και πλέον το νερό αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για άρδευση υπό συνθήκες.

Πίνακας 4.25: Σύγκριση της κατάταξης των δειγμάτων νερού διαφορετικών ετών κατά Ayers και Westcot (1985).

Κωδικός θέσης 2010 (Κουρής, 2011)	Κατάταξη αρδευτικού νερού 2010	Κωδικός θέσης 2011 (Πανώριος, 2013)	Κατάταξη αρδευτικού νερού 2011
S15	2	RS1	2
S14	2	RS2	2
S20	3	RS3	3
S19	2	RS4	2
S18	2	RS5	2
S17	2	RS6	2
S11	2	RS7	2
S9	3	RS8	3
S10	3	RS9	3
S16	2	RS10	2
S13	2	RS11	2
S12	2	RS12	2
S4	2	RS13	2
S5	2	RS14	2
S6	2	RS15	3
S8	3	RS16	3
S7	3	RS17	3
S3	3	RS18	2
S1	2	RS19	2
S2	2	RS20	2

4.5 Σύγκριση του νερού με βάση τα Πρότυπα Ποιότητας Περιβάλλοντος

Στο πλαίσιο της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας υπήρξε η δυνατότητα του προσδιορισμού των συγκεντρώσεων ορισμένων ιχνοστοιχείων στα δείγματα νερού του υδατορεύματος. Συγκεκριμένα προσδιορίστηκαν οι συγκεντρώσεις χρωμίου (Cr), κοβαλτίου (Co) και νικελίου (Ni), ενώ για τον χαλκό (Cu), τον ψευδάργυρο (Zn), το κάδμιο (Cd) και τον μόλυβδο (Pb), οι συγκεντρώσεις ήταν αρκετά μικρές οπότε και δεν εντοπίστηκαν κατά την φασματομετρική ανάλυση. Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 4.26) παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων όσο αφορά τις συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων που εντοπίστηκαν με την φασματομετρική ανάλυση στα δείγματα νερού του υδατορεύματος.

Πίνακας 4.26: Αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων όσο αφορά τα ιχνοστοιχεία για κάθε θέση δειγματοληψίας.

Κωδικός θέσης	Χρώμιο Cr ($\frac{mg}{L}$)	Κοβάλτιο Co ($\frac{mg}{L}$)	Νικέλιο Ni ($\frac{mg}{L}$)
RS1	<0.000	0.846	0.500
RS2	<0.000	0.860	0.313
RS3	1.624	1.053	4.437
RS4	1.083	1.076	4.528
RS5	0.964	1.010	5.157
RS6	0.884	1.098	4.917
RS7	1.311	1.188	7.143
RS8	1.977	1.346	7.737
RS9	1.943	1.308	7.631
RS10	0.080	0.873	0.726
RS11	<0.000	0.894	0.218
RS12	<0.000	0.928	0.204
RS13	0.355	1.168	1.677
RS14	1.846	1.271	6.015
RS15	1.848	1.365	7.247
RS16	1.961	1.349	7.638
RS17	1.877	1.338	7.619
RS18	0.621	3.247	11.478
RS19	1.382	0.958	3.562
RS20	1.454	0.928	2.879

Σύμφωνα με την ελληνική νομοθεσία (Αριθμ. Η.Π. 51354/2641/Ε103) καθορίζονται Πρότυπα Ποιότητας Περιβάλλοντος (ΠΠΠ) για τις συγκεντρώσεις ορισμένων ρύπων και ουσιών προτεραιότητας στα επιφανειακά ύδατα. Στα ΠΠΠ περιλαμβάνονται οι μέγιστες επιτρεπόμενες και οι ετήσιες μέσες συγκεντρώσεις και για τις παραπάνω ουσίες που προσδιορίστηκαν στην συγκεκριμένη διπλωματική εργασία. Έτσι παρακάτω παρουσιάζεται μια σύγκριση των μετρημένων και των καθορισμένων από τα ΠΠΠ συγκεντρώσεων των στοιχείων αυτών με σκοπό να ελεγχθεί αν η σύσταση των δειγμάτων νερού του υδατορεύματος της ανατολικής Αττικής βρίσκεται εντός των ορίων που θέτουν τα ΠΠΠ βάση της ελληνικής νομοθεσίας.

Η ετήσια μέση συγκέντρωση για το ολικό χρώμιο σύμφωνα με τα ΠΠΠ είναι $50 \frac{mg}{L}$ για σκληρότητα μεγαλύτερη από $50 \frac{mg}{L}$. Για την μέτρηση της σκληρότητας των δειγμάτων νερού χρησιμοποιήθηκε τις τιμές των ολικών διαλυμένων στερεών (TDS) σε κάθε θέση δειγματοληψίας. Παρατηρούμε πως οι συγκεντρώσεις του ολικού χρωμίου στις θέσεις δειγματοληψίας κυμαίνονται σε χαμηλά επίπεδα, με την μεγαλύτερη συγκέντρωση να εμφανίζεται στη θέση RS8 και να είναι ίση με $1.977 \frac{mg}{L}$ που είναι πολύ μικρότερη από την τιμή που ορίζουν τα ΠΠΠ. Επομένως όσο αφορά την συγκέντρωση του ολικού χρωμίου

στα δείγματα νερού δεν παρατηρείται υπέρβαση του ορίου που ορίζει η ελληνική νομοθεσία και για την συγκεκριμένη περίοδο δειγματοληψίας.

Η ετήσια μέση συγκέντρωση για το κοβάλτιο σύμφωνα με τα ΠΠΠ είναι $20 \frac{mg}{L}$. Παρατηρούμε πως οι συγκεντρώσεις του κοβαλτίου στις θέσεις δειγματοληψίας κυμαίνονται σε χαμηλά επίπεδα, με την μεγαλύτερη τιμή συγκέντρωσης να εμφανίζεται στη θέση RS18 και να είναι ίση με $3.247 \frac{mg}{L}$ που είναι πολύ μικρότερη από την τιμή που ορίζουν τα ΠΠΠ. Έτσι όσο αφορά την συγκέντρωση του κοβαλτίου στα δείγματα νερού δεν παρατηρείται κάποια υπέρβαση του ορίου που ορίζει η ελληνική νομοθεσία και για την συγκεκριμένη περίοδο δειγματοληψίας.

Η ετήσια μέση συγκέντρωση για το νικέλιο σύμφωνα με τα ΠΠΠ είναι $20 \frac{mg}{L}$. Παρατηρούμε πως οι συγκεντρώσεις του νικελίου στις θέσεις δειγματοληψίας κυμαίνονται σε επίπεδα τιμών που δεν ξεπερνάνε την τιμή $11.478 \frac{mg}{L}$, που είναι η μεγαλύτερη τιμή συγκέντρωσης και εμφανίζεται στη θέση δειγματοληψίας RS18. Η τιμή αυτή είναι μικρότερη αυτής που ορίζουν τα ΠΠΠ. Επομένως όσο αφορά την συγκέντρωση του νικελίου στα δείγματα νερού, δεν παρατηρείται κάποια υπέρβαση του ορίου που ορίζει η ελληνική νομοθεσία και για την συγκεκριμένη περίοδο δειγματοληψίας.

Για τα υπόλοιπα στοιχεία που οι συγκεντρώσεις τους ήταν αρκετά μικρές και δεν εντοπίστηκαν με την φασματομετρική ανάλυση στα πλαίσια της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας, οι τιμές των ετήσιων μέσων συγκεντρώσεων σύμφωνα με τα ΠΠΠ είναι: για τον χαλκό (Cu) τιμή ίση με $26 \frac{mg}{L}$ για σκληρότητα νερού μεγαλύτερη από $200 \frac{mg}{L}$ που αντιπροσωπεύει τα δείγματα μας, για τον ψευδάργυρο (Zn) τιμή ίση με $125 \frac{mg}{L}$ για σκληρότητα νερού μεγαλύτερη από $200 \frac{mg}{L}$ που αντιπροσωπεύει τα δείγματα μας, για το κάδμιο (Cd) τιμή ίση με $0.25 \frac{mg}{L}$ για σκληρότητα νερού μεγαλύτερη από $200 \frac{mg}{L}$ που αντιπροσωπεύει τα δείγματα μας και για τον μόλυβδο (Pb) τιμή ίση με $7.2 \frac{mg}{L}$. Επομένως όσο αφορά τις συγκεντρώσεις των παραπάνω στοιχείων στα δείγματα νερού, δεν παρατηρείται κάποια υπέρβαση του ορίου που ορίζει η ελληνική νομοθεσία και για την συγκεκριμένη περίοδο δειγματοληψίας.

5^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με βάση τις μέσες τιμές των συγκεντρώσεων των κύριων ιόντων και των τιμών των υδροχημικών παραμέτρων που μετρήθηκαν στα είκοσι ίδια σημεία δειγματοληψίας κατά την ίδια χρονική περίοδο δύο διαφορετικών ετών (2010 και 2011) παρατηρείται ύστερα από σύγκριση, ότι δεν υπάρχουν ουσιαστικές μεταβολές. Συγκεκριμένα, η μεγαλύτερη μεταβολή παρουσιάζεται στη συγκέντρωση των νιτρικών, όπου παρατηρείται μία αύξηση της τάξεως του 18.4%.

Από τη κατάταξη των δειγμάτων νερού του ρέματος της Ραφήνας για αρδευτική χρήση ως προς την ποιότητα τους σύμφωνα με το Εργαστήριο Αλατότητας της Αμερικής (U.S.S.L) εξάγεται το συμπέρασμα ότι τα δείγματα νερού χωρίζονται σε δύο κατηγορίες. Η πρώτη κατηγορία καταλληλότητας (C2S1) περιλαμβάνει το 30% των δειγμάτων και όσο αφορά τον κίνδυνο αλάτωσης περιλαμβάνει νερά μέσης αλατότητας με μέσο κίνδυνο αλάτωσης, ενώ όσο αφορά τον κίνδυνο αλκαλίωσης, η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει νερά χαμηλής περιεκτικότητας σε νάτριο με μικρό κίνδυνο αλκαλίωσης (SAR<10). Η δεύτερη κατηγορία καταλληλότητας (C3S1) περιλαμβάνει το 70% των δειγμάτων και όσο αφορά τον κίνδυνο αλάτωσης περιλαμβάνει νερά υψηλής αλατότητας με μεγάλο κίνδυνο αλάτωσης, ενώ όσο αφορά τον κίνδυνο αλκαλίωσης, η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει νερά χαμηλής περιεκτικότητας σε νάτριο με μικρό κίνδυνο αλκαλίωσης (SAR<10). Επομένως το νερό του υδατορεύματος της Ανατολικής Αττικής κατά U.S.S.L μπορεί στο σύνολο του μπορεί να χρησιμοποιηθεί χωρίς δυσμενείς επιπτώσεις στα φυτά, με την προϋπόθεση της εφαρμογής εκπλύσεων, που είναι μεγαλύτερη σε πιο αλατούχα νερά, την καλή στράγγιση των εδαφών και τη χρησιμοποίηση φυτών από μέτριας ανθεκτικότητας μέχρι και ανθεκτικών στα άλατα.

Από τη κατάταξη των δειγμάτων νερού του ρέματος της Ραφήνας για αρδευτική χρήση ως προς την ποιότητά τους και τους κινδύνους δημιουργίας προβλημάτων η οποία παρουσιάζεται σε προηγούμενο κεφάλαιο προκύπτει ότι το 30% των δειγμάτων νερού κατατάσσεται στην κατηγορία τρία (3), δηλαδή νερό που είναι ακατάλληλο για άρδευση, ενώ το 70% κατατάσσεται στην κατηγορία δύο (2), δηλαδή νερό που η συνεχής χρήση του για άρδευση παρουσιάζει αυξανόμενα προβλήματα. Παρόλα αυτά όμως μπορεί να χρησιμοποιηθεί για άρδευση υπό τις κατάλληλες προϋποθέσεις. Ο ανάντη κλάδος του υδατορεύματος παρουσιάζει ομοιομορφία ως προς την κατηγοριοποίηση, γιατί όλα τα σημεία του, που ελέγχθηκαν κατατάσσονται στην κατηγορία δύο (2), ενώ αντιθέτως ο κατάντη κλάδος δεν παρουσιάζει ομοιομορφία κατηγοριοποίησης, γιατί παρατηρείται ότι στις διάφορες θέσεις δειγματοληψίας έχουμε διαφορετικές κατηγορίες (2 ή 3). Επομένως η χωρική κατανομή των ποσοστών των κατηγοριών καταλληλότητας του νερού του ρέματος Ραφήνας για άρδευση είναι διάσπαρτη.

Από τη σύγκριση των δειγμάτων νερού των ετών δειγματοληψίας 2010 και 2011 προκύπτει ότι μόνο στις θέσεις RS15 και RS18 υπάρχει διαφοροποίηση στην κατηγορία κατάταξης του νερού του ρέματος της Ραφήνας για αρδευτική χρήση ως προς την ποιότητα του και τους κινδύνους δημιουργίας προβλημάτων κατά Ayers και Westcot (1985). Στη θέση RS15 η ποιότητα του νερού χειροτέρευσε οριακά και το νερό πλέον δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για άρδευση, ενώ στη θέση RS18 η ποιότητα του νερού βελτιώθηκε αισθητά και έτσι πλέον μπορεί να χρησιμοποιηθεί για άρδευση υπό προϋποθέσεις. Σε όλες τις υπόλοιπες θέσεις η ποιότητα του νερού καθώς και ο κίνδυνος δημιουργίας προβλημάτων διατηρήθηκαν σταθερά στην διάρκεια ενός έτους.

Με βάση τα Πρότυπα Ποιότητας Περιβάλλοντος που προβλέπει η ελληνική νομοθεσία, το νερό του ρέματος της Ραφήνας είναι εντός των ορίων ποιότητας και κατά συνέπεια έχει καλή χημική κατάσταση. Επομένως τηρούνται οι ποιοτικοί, οικολογικοί και ποσοτικοί στόχοι για την προστασία των υδατικών οικοσυστημάτων και την καλή κατάσταση όλων των υδατικών πόρων που προβλέπει η νομοθεσία. Το συμπέρασμα αυτό προέκυψε με βάση μόνο τους προσδιορισμούς των συγκεντρώσεων των στοιχείων που προσδιορίστηκαν στην παρούσα διπλωματική εργασία, διότι λόγω αυξημένου κόστους ήταν αδύνατο να προσδιοριστούν οι συγκεντρώσεις όλων των ουσιών προτεραιότητας και άλλων ρύπων που περιλαμβάνουν τα ΠΠΠ για την αξιολόγηση του νερού. Επίσης προτείνεται η επανάληψη της συστηματικής παρακολούθησης της ποιότητας του νερού του ρέματος της Ραφήνας και σε επόμενα έτη.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Στην Ελληνική Γλώσσα

Αγγελίδης, Μ., Λέκκας, Θ., Αλμπάνης, Τ. (2005) Ρύπανση των υδατικών πόρων της Ελλάδας, Συνέδριο: Ελληνικοί Υδατικοί Πόροι: Μια Ρεαλιστική Προσέγγιση, Αθήνα.

Κατσιλλής, Ι.Μ. (2002) Περιγραφική Στατιστική, Εφαρμοσμένη στις Κοινωνικές Επιστήμες και την Εκπαίδευση, Εκδόσεις Gutenberg, Αθήνα.

Κουγιουμτζής, Δ., (2009). Σημειώσεις για το μάθημα Στατιστική για Πολιτικούς Μηχανικούς- Μέρος Β, Πολυτεχνική Σχολή, Α.Π.Θ., Νοέμβριος 2009, Θεσσαλονίκη.

Κουϊμτζής, Θ., Σαμαρά, Κ. (1994) Έλεγχος Ρύπανσης Περιβάλλοντος, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.

Κουϊμτζής Θ., Σαμαρά - Κωνσταντίνου Κ., Φυτιάνος Κ., Βουτσά Δ. (2004) Έλεγχος Ρύπανσης Περιβάλλοντος, Εκδόσεις University Studio Press, Θεσσαλονίκη.

Κουρής, Ν. (2011) Καταγραφή και Αξιολόγηση ποιότητας νερού υδατορευμάτων: Η περίπτωση του ρέματος Ραφήνας, Αττικής, Διπλωματική Εργασία, Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών ΕΜΠ, Αθήνα.

ΚΥΑ 5134/2641/Ε103 «Καθορισμός Προτύπων Ποιότητας Περιβάλλοντος» για τις Συγκεντρώσεις Συγκεκριμένων Ρύπων και Ουσιών Προτεραιότητας στα Επιφανειακά Ύδατα, σε Συμμόρφωση με τις Διατάξεις της Οδηγίας 2008/105/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 16^{ης} Δεκεμβρίου 2008 σχετικά με Πρότυπα Ποιότητας Περιβάλλοντος (ΠΠΠ) στον τομέα της Πολιτικής των Υδάτων (ΦΕΚ 1909/8-12-2010).

Λοϊζίδου, Μ. (2006) Διενέργεια δειγματοληψιών, μετρήσεων και αναλύσεων σε ύδατα και υγρά απόβλητα, Μονάδα Περιβαλλοντικής Επιστήμης και Τεχνολογίας, Σχολή Χημικών Μηχανικών ΕΜΠ, Αθήνα.

Μάστακα, Β. (2007) Μικροβιακή διαδοχή κατά την κομποστοποίηση ιλύος από τον βιολογικό καθαρισμό Ηρακλείου με την μέθοδο των αναστρεφόμενων σωρών, Διπλωματική Εργασία, ΠΜΣ Βιώσιμη Ανάπτυξη, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα.

Μιμίκου Μ. (2006) Τεχνολογία Υδατικών Πόρων, 3^η Έκδοση, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα.

Νόμος 3010/02 «Εναρμόνιση του Ν.1650/1986 με τις Οδηγίες 97/11 Ε.Ε. και 96/61 Ε.Ε., διαδικασία οριοθέτησης και ρυθμίσεις θεμάτων για τα υδατορεύματα και άλλες διατάξεις», ΦΕΚ 91/Α/25-04-02, Αθήνα.

Νταρακάς, Ε. (2011) Στοιχεία Χημείας Περιβάλλοντος, ΠΜΣ Προστασία Περιβάλλοντος και Βιώσιμη Ανάπτυξη, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη.

Οδηγία 1976/464/ΕΟΚ «Περί ρυπάνσεως που προκαλείται από ορισμένες επικίνδυνες ουσίες που εκχέονται στο υδάτινο περιβάλλον της Κοινότητας, Βρυξέλλες.

Οδηγία 2000/60/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 23ης Οκτωβρίου 2000 « Για τη Θέσπιση Πλαισίου Κοινοτικής Δράσης στον Τομέα της Πολιτικής των Υδάτων».

Οδηγία 2008/105/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 16^{ης} Δεκεμβρίου 2008 «Σχετικά με τα Πρότυπα Ποιότητας Περιβάλλοντος στον Τομέα της Πολιτικής των Υδάτων καθώς και σχετικά με την τροποποίηση και τη συνακόλουθη κατάργηση των οδηγιών του Συμβουλίου 82/176/ΕΟΚ, 83/513/ΕΟΚ, 84/156/ΕΟΚ, 84/491/ΕΟΚ και 86/280/ΕΟΚ και την τροποποίηση της οδηγίας 2000/60/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου».

Πράξη Υπουργικού Συμβουλίου υπ' αριθμόν 2/2.1.2001, όπως δημοσιεύτηκε στην Εφημερίδα της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας, αρ. φύλλου 15, Φεβρουάριος 2001, Αθήνα.

Σίνης, Α. (2005) Λιμνολογία, θεωρία και ασκήσεις, University Studio Press, Θεσσαλονίκη.

Ταμπακίδης, Χ. (2012) Συγκριτική Μελέτη και Αξιολόγηση των Παραμέτρων Ποιότητας των Υδάτων και των Αστικών Λυμάτων, Διπλωματική Εργασία, Σχολή Χημικών Μηχανικών ΕΜΠ, Αθήνα.

Τσακίρης, Γ. (1995) Υδατικοί Πόροι: Ι. Τεχνική Υδρολογία», Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα.

Τσακίρης, Γ. (2004) Σημειώσεις Υδατικοί Πόροι – Ποιότητα Αρδευτικού Νερού, Δ.Π.Μ.Σ. Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων, Ε.Μ.Π., Αθήνα.

Τσακίρης, Γ. (2006) Υδραυλικά Έργα – Σχεδιασμός και Διαχείριση (Τόμος ΙΙ): Εγγειοβελτιωτικά Έργα. Κεφ. 5: Ποιότητα Αρδευτικού Νερού (του Αντωνόπουλου, Β., Τσακίρη, Γ.), 187 – 217. Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα.

Τσακίρης, Γ. (2010) Υδραυλικά Έργα – Σχεδιασμός και Διαχείριση (Τόμος Ι): Αστικά Υδραυλικά Έργα. Κεφ 5: Ποιότητα Νερού για Ανθρώπινη Κατανάλωση (του Τσακίρη, Γ., Αλεξάκη, Δ.), 175 - 244. Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα.

Τζίμα, Γ.Μ. (2012) Αξιολόγηση Ποιοτικών Χαρακτηριστικών Εμφιαλωμένων Νερών, Διπλωματική Εργασία, Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών ΕΜΠ, Αθήνα.

Χαραλάμπους, Αικ. (2006) Υδατικό Περιβάλλον, Διδακτικές σημειώσεις μαθήματος Περιβαλλοντικής Επιστήμης, Σχολή Χημικών Μηχανικών ΕΜΠ, Αθήνα.

ΦΕΚ 281/Δ/23-03-93 «Χαρακτηρισμός ως ιδιαίτερου περιβαλλοντικού ενδιαφέροντος ρεμάτων, χειμάρρων και ρυακιών Ν. Αττικής», Αθήνα.

Φουσκάκης, Δ. Σημειώσεις Περιγραφικής Στατιστικής, Τομέας Μαθηματικών, Σχολή Εφαρμοσμένων Μαθηματικών και Φυσικών Επιστημών – ΕΜΠ, Αθήνα

Ξενόγλωσσες

Alexakis, D. (2011) Assessment of Water Quality in the Messolonghi – Etoliko and Neochorio Region (West Greece) Using Hydrochemical and Statistical Analysis Methods, Athens.

Ayers, R.S. and Westcot, D.W., 1985 Water Quality for Agriculture, Irrigation and Drainage paper, FAO, Rome.

Birnbaum, Z.E. (1952) Numerical tabulation of the Distribution of Kolmogorov's Statistic of finite sample size, J. Am. Statist. Assoc., Vol. 47, 425-441.

Eaton, A.D., Clesceri L.S., Rice E.W. and Greenberg A.E. (2005) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Gedennial Edition (21st), American Water Works Association.

Fisz, M. (1963) Probability Theory and Mathematical Statistics, 3rd ed. John Wiley and Sons Inc., New York, N.Y., U.S.A.

Freund, J.E., Williams, F.J., and Perles, B.M. (1988) Elementary Business Statistics, the Modern Approach, Prentice-Hall.

Hirsch, R.M., Helsel, D.R., Cohn, T.A., and Gilroy, E.J. (1993) Statistical analysis of hydrologic data in Handbook of Hydrology, edited by D.R., Maidment, McGraw-Hill.

Hounslow, A.W. (2000) Water Quality Data Analysis and Interpretation, Lewis Publishers, A CRC Press Company, Florida.

Jones, M., Gareth, S., Hollier, P., Graham, (1997) Resources, Society and Environmental Management, Chapman, London.

Massey, F.J. (1951) The Kolmogorov test of goodness of fit, J. Am. Statist. Assoc., Vol. 46, 68-78.

Papoulis, A. (1990) Probability and Statistics, Prentice-Hall.

Sawyer, C.N., McCarty, P.L., Parkin, G.F., (1994). Chemistry for Environmental Engineering, 4th Ed., McGraw-Hill, Inc., New York.

U.S.D.A. , (1954) Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils, Handbook No 60, U.S. Salinity Laboratory Staff, U.S. Department of Agriculture, Washington, D.C.

U.S.G.S. , <http://ga.water.usgs.gov/edu/watercyclegreek.html>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ ΤΩΝ ΘΕΣΕΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ

Π 1.1: Θέση δειγματοληψίας RS1

Η συγκεκριμένη θέση εντοπίζεται κατάντη του οικισμού του Δαμασαρίου, πλησίον και δυτικά του οικισμού της Διώνης και νοτιοανατολικά του οικισμού του Ντράφι και απέχει 2.5 χιλιόμετρα από το Πικέρμι. Από λιθολογικής απόψεως υπάρχει σε μεγάλη ποσότητα ανθρακικό υλικό, σχιστόλιθοι και κροκάλες μαρμάρων (Σχήμα Π1.2). Παρατηρείται πυκνή βλάστηση, ενώ η θέση βρίσκεται πριν από γέφυρα στην οποία είναι εγκατεστημένος σταθμός του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου για την μέτρηση της παροχής του υδατορεύματος (Σχήμα Π1.1).



Σχήμα Π1.1: Φωτογραφική απεικόνιση του σταθμού μέτρησης παροχής του ΕΜΠ στη θέση RS1



Σχήμα Π1.2: Φωτογραφική απεικόνιση της δειγματοληψίας στη θέση RS1

Π1.2: Θέση δειγματοληψίας RS2

Αυτή η θέση βρίσκεται κοντά στη θέση RS1 και εντός του οικισμού Ντράφι. Υπάρχουν και εδώ μάρμαρα και κάποιοι σχιστόλιθοι σε μικρότερο ποσοστό απ' ότι στις ανάντη θέσεις RS11 και RS12. Το επικρατέστερο υλικό στην κοίτη είναι το ανθρακικό (Σχήμα Π1.3). Διακρίνεται πλευρική τροφοδοσία από τον οικισμό Ντράφι περίπου στα 250 μέτρα ανάντη της θέσεως δειγματοληψίας (Σχήμα Π1.4).



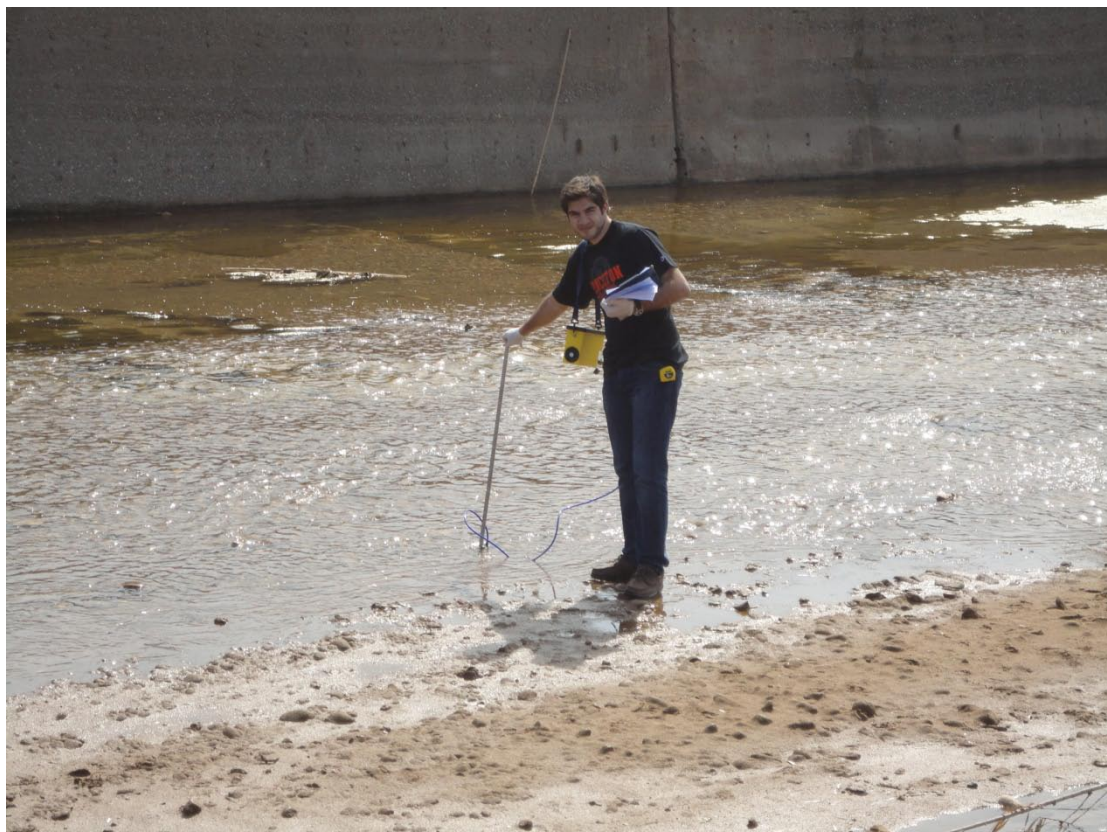
Σχήμα Π1.3: Φωτογραφική απεικόνιση της θέσης δειγματοληψίας RS2



Σχήμα Π1.4: Πλευρική τροφοδοσία του υδατορεύματος από τον οικισμό Ντράφι 250 μέτρα ανάντη της θέσης δειγματοληψίας RS2.

Π1.3: Θέση δειγματοληψίας RS3

Αυτό το σημείο εντοπίζεται 100 μέτρα από την εκβολή του ρέματος στη θάλασσα και βρίσκεται στη Ραφήνα. Βρέθηκε ανάμεικτο υλικό, όμως το επικρατέστερο ήταν το αργιλικό λεπτομερές υλικό. Πέρα από αυτό, εντοπίστηκαν ψαμμιτική άμμος και παράλληλα πολλά απορρίμματα. Η στάθμη ήταν αρκετά χαμηλή και η κοίτη είναι διευθετημένη με ορθογωνική διατομή (Σχήμα Π1.5).



Σχήμα Π1.5: Φωτογραφική απεικόνιση της δειγματοληψίας στη θέση RS3, στην οποία εμφανίζεται και η διευθέτηση της κοίτης του υδατορεύματος.

Π1.4: Θέση δειγματοληψίας RS4

Η θέση RS4 βρίσκεται στη Ραφήνα σε απόσταση ενός χιλιομέτρου περίπου ανάντη της θέσης RS3. Υπάρχουν κροκάλες μαρμάρου μικρού μεγέθους λόγω της μικρής μεταφορικής ικανότητας του υδατορεύματος και ψαμμιτική άμμος. Η μια πλευρά της κοίτης είναι διευθετημένη, ενώ η άλλη είναι μη διευθετημένη και εμφανίζεται διάβρωση (Σχήμα Π1.6).



Σχήμα Π1.6: Φωτογραφική απεικόνιση της δειγματοληψίας στη θέση RS4.

Π1.5: Θέση δειγματοληψίας RS5

Η συγκεκριμένη θέση βρίσκεται 700 μέτρα ανατολικά της λεωφόρου Μαραθώνος και 1.6 χιλιόμετρα δυτικά της Ραφήνας. Λιθολογικά παρατηρούνται κροκάλες μαρμάρου μεγέθους 5 έως 30 εκατοστά και κροκάλες υπερβασικών πετρωμάτων, ενώ υπάρχει διάβρωση της κοίτης (Σχήμα Π1.7).



Σχήμα Π1.7: Φωτογραφική απεικόνιση της θέσης δειγματοληψίας RS5 στην οποία εμφανίζονται κροκάλες μαρμάρου και υπερβασικών πετρωμάτων.

Π1.6: Θέση δειγματοληψίας RS6

Αυτή η θέση απέχει μόλις 100 μέτρα από τη Λεωφόρο Μαραθώνος και υπάρχει εύκολη πρόσβαση σε αυτή διότι απέχει μόλις 40 μέτρα από τοπική οδό. Η διάβρωση της κοίτης είναι πολύ έντονη και εντοπίζονται κροκάλες και μικρότερο ποσοστό σχιστολιθικού υλικού, ενώ εντοπίζονται στο σημείο πολλές αποθέσεις (Σχήμα Π1.8).



Σχήμα Π1.8: Φωτογραφική απεικόνιση της δειγματοληψίας στη θέση RS6, όπου εμφανίζονται οι πολλές αποθέσεις.

Π1.7: Θέση δειγματοληψίας RS7

Η εν λόγω θέση βρίσκεται 400 μέτρα νότια της λεωφόρου Μαραθώνος, ανάντη των οικισμών Αγία Τριάδα και Βουνόπολη και απέχει 4 μέτρα από μεταλλική γέφυρα (Σχήμα Π1.9). Η κοίτη στενεύει απότομα και δεν είναι σχηματισμένη σε άλλα σημεία, ενώ η πυκνή βλάστηση καλαμιών (Σχήμα Π1.10) και πολύ χαμηλή ταχύτητα ροής δημιούργησε δυσκολίες στη λήψη του δείγματος. Εμφανίζεται επίσης τεταρτογενής και νεογενής σχηματισμός στη κοίτη (Σχήμα Π1.11).



Σχήμα Π1.9: Φωτογραφική απεικόνιση της μεταλλικής γέφυρας κοντά στη θέση δειγματοληψίας RS7, στην οποία εμφανίζεται και η μη σχηματισμένη κοίτη



Σχήμα Π1.10: Φωτογραφική απεικόνιση της θέσης δειγματοληψίας RS7, στην οποία εμφανίζεται η πυκνή βλάστηση καλαμιών, που δυσκόλεψε την δειγματοληψία.



Σχήμα Π1.11: Φωτογραφική απεικόνιση του τεταρτογενούς σχηματισμού πλησίον της θέσης δειγματοληψίας RS7.

Π1.8: Θέση δειγματοληψίας RS8

Η θέση αυτή βρίσκεται στον οικισμό του Φοίνικα και σε απόσταση 1.3 χιλιάμετρα νότια από το Πικέρμι. Η κοίτη παρουσιάζει έντονα στοιχεία διάβρωσης. Για το λόγο αυτό υπάρχει σήμανση επικινδυνότητας κατάρρευσης του δρόμου που βρίσκεται πλησίον αυτής (σχήματα Π1.12 και Π1.13). Στην γύρω περιοχή υπάρχουν καλλιέργειες με αμπέλια και ελαιώνες.



Σχήμα Π1.12: Φωτογραφική απεικόνιση της θέσης δειγματοληψίας RS8, στην οποία παρατηρείται η έντονη διάβρωση της κοίτης.



Σχήμα Π1.13: Φωτογραφική απεικόνιση της θέσης δειγματοληψίας RS8 στην οποία φαίνεται η έντονη διάβρωση των τοιχωμάτων της κοίτης και του δρόμου που βρίσκεται πλησίον της.

Π1.9: Θέση δειγματοληψίας RS9

Η συγκεκριμένη θέση βρίσκεται 1.7 χιλιόμετρα νότια του Πικερμίου και εντός καλλιεργημένης περιοχής. Παρατηρείται έντονη διάβρωση, υψηλή μεταφορική ικανότητα και εναποθέσεις στερεών απορριμμάτων (Σχήμα Π1.14). Λιθολογικά επικρατεί το λεπτομερές υλικό και κυρίως οι σχηματισμοί με αργιλική σύσταση.



Σχήμα Π1.14: Φωτογραφική απεικόνιση της θέσης δειγματοληψίας RS9 στην οποία εμφανίζονται τα στερεά απορρίμματα, η μεγάλη μεταφορική ικανότητα, η έντονη βλάστηση και η μεγάλη διάβρωση.

Π1.10: Θέση δειγματοληψίας RS10

Αυτό το σημείο βρίσκεται σε απόσταση 30 μέτρων νότια από τη Λεωφόρο Μαραθώνος και η πρόσβαση σε αυτό είναι αρκετά δύσκολη λόγω της πυκνής βλάστησης. Παρατηρείται μεγάλη διάβρωση στην κοίτη και λιθολογικά επικρατεί το ανθρακικό υλικό, ενώ υπάρχουν και πολλές εναποθέσεις κροκάλων (Σχήμα Π1.15).



Σχήμα Π1.15: Φωτογραφική απεικόνιση της θέσης δειγματοληψίας RS10, στην οποία εμφανίζονται οι εναποθέσεις κροκάλων.

Π1.11: Θέση δειγματοληψίας RS11

Η εν λόγω θέση βρίσκεται βόρεια του οικισμού Ντράφι. Το υλικό που εντοπίζεται στην κοίτη είναι κροκάλες και τεμάχια πετρωμάτων σχιστόλιθων καθώς επίσης και μαρμάρων (Σχήμα Π1.17). Στη συγκεκριμένη θέση πραγματοποιήθηκε και συλλογή εδαφικού δείγματος (Σχήμα Π1.16).



Σχήμα Π1.16: Συλλογή δείγματος ιζήματος στη θέση δειγματοληψίας RS11.



Σχήμα Π1.17: Φωτογραφική απεικόνιση του υδατορεύματος στη θέση RS11.

Π1.12: Θέση δειγματοληψίας RS12

Η θέση αυτή, όπως και η RS11 βρίσκεται βόρεια του οικισμού Ντράφι. Εντοπίζεται πυκνή βλάστηση στην περιοχή (Σχήμα Π1.19) και σχιστολιθικό υπόβαθρο. Στην γύρω περιοχή υπάρχουν μικρά φράγματα ανάσχεσης της ροής του νερού του υδατορεύματος (Σχήμα Π1.18) που λόγω της στασιμότητας του νερού αυξάνουν τον ευτροφισμό και δημιουργούν την πυκνή βλάστηση.



Σχήμα Π1.18: Φωτογραφική απεικόνιση των μικρών φραγμάτων ανάσχεσης πλησίον των θέσεων δειγματοληψίας RS11 και RS12.



Σχήμα Π1.19: Φωτογραφική απεικόνιση και συλλογή δείγματος από τη θέση δειγματοληψίας RS12.

Π1.13: Θέση δειγματοληψίας RS13

Αυτή η θέση βρίσκεται 1 χιλιόμετρο νοτιοανατολικά του οικισμού της Ανθούσας, στους πρόποδες του Πεντελικού Όρους. Παρατηρείται έντονη πυκνή βλάστηση. Η κοίτη είναι φυσική και παρατηρούνται κροκάλες μαρμάρων σε διάφορα σημεία της. Η στάθμη του νερού είναι πολύ μικρή όπως και η ταχύτητα ροής (Σχήμα Π1.20).



Σχήμα Π1.20: Φωτογραφική απεικόνιση της θέσης δειγματοληψίας RS13, στην οποία φαίνεται η μικρή ταχύτητα ροής, η πυκνή βλάστηση και η φυσικότητα της κοίτης.

Π1.14: Θέση δειγματοληψίας RS14

Η συγκεκριμένη θέση βρίσκεται 2.1 χιλιόμετρα νοτιοανατολικά της Παλλήνης και 3.8 χιλιόμετρα νοτιοδυτικά του Πικερμίου, ενώ βρίσκεται 600 μέτρα από την θέση RS15. Το υδατόρευμα διέρχεται μέσα από καλλιεργούμενες εκτάσεις κυρίως αμπελώνων και εντοπίζονται αργιλικά και τεταρτογενή ιζήματα στην κοίτη (Σχήμα Π1.21). Παρατηρήθηκε η ύπαρξη διασωλήνωσης (Σχήμα Π1.22) μέσω του οποίου γίνεται υδροληψία από το υδατόρευμα πιθανότατα με σκοπό να ποτιστούν οι καλλιεργούμενες εκτάσεις.



Σχήμα Π1.21: Φωτογραφική απεικόνιση της θέσης δειγματοληψίας RS14, όπου εμφανίζεται η έντονη βλάστηση και διάβρωση της κοίτης.



Σχήμα Π1.22: Φωτογραφική απεικόνιση της υδροληψίας μέσω διασωλήνωσης στη θέση δειγματοληψίας RS14.

Π1.15: Θέση δειγματοληψίας RS15

Η θέση αυτή βρίσκεται 2.3 χιλιόμετρα νοτιοανατολικά της Παλλήνης και 3.3 χιλιόμετρα νοτιοδυτικά του Πικερμίου. Η κοίτη διέρχεται μέσα από καλλιεργούμενες εκτάσεις όπου επικρατεί έντονη βλάστηση καλαμιών (Σχήμα Π1.24). Η διάβρωση είναι πολύ μεγάλη και η μεταφορική ικανότητα έντονη (Σχήμα Π1.23).



Σχήμα Π1.23: Φωτογραφική απεικόνιση της θέσης δειγματοληψίας RS15, όπου φαίνεται η μεγάλη μεταφορική ικανότητα του υδατορεύματος στο συγκεκριμένο σημείο.



Σχήμα Π1.24: Φωτογραφική απεικόνιση της θέσης δειγματοληψίας RS15.

Π1.16: Θέση δειγματοληψίας RS16

Η θέση αυτή βρίσκεται 400 μέτρα νότια της λεωφόρου Μαραθώνος. Η κοίτη είναι φυσική και επικρατεί έντονη βλάστηση καλαμιών, ενώ διέρχεται μέσα από καλλιεργούμενες εκτάσεις. Η διάβρωση είναι πολύ μεγάλη και η μεταφορική ικανότητα έντονη. Εμφανίζονται πολλές κροκάλες διαμέτρου 5 έως 30 εκατοστών (Σχήμα Π1.25) και η σύσταση του εδάφους είναι ασβεστολιθική. Επίσης είναι έντονη η παρουσία τασιενεργών ενώσεων.



Σχήμα Π1.25: Φωτογραφική απεικόνιση της θέσης δειγματοληψίας RS16, όπου εμφανίζεται η έντονη βλάστηση και η μεγάλη διάβρωση της κοίτης.

Π1.7: Θέση δειγματοληψίας RS17

Η θέση αυτού του σημείου είναι στην είσοδο της Λεωφόρου Περιφερειακής Υμηττού και 700 μέτρα νότια της λεωφόρου Μαραθώνος. Η κοίτη διέρχεται από καλλιεργούμενες εκτάσεις και σ' αυτή εντοπίζονται τασιενεργές ενώσεις, καθώς επίσης και μεγάλες κροκάλες ανθρακικού και σχιστολιθικού υλικού. Από το σημείο διέρχεται αγωγός αγνώστου προελεύσεως (Σχήμα Π1.26), ενώ ένας άλλος αγωγός εκβάλλει στο υδατόρευμα.



Σχήμα Π1.26: Φωτογραφική απεικόνιση της θέσης δειγματοληψίας RS17, στην οποία εμφανίζεται ο αγωγός που διέρχεται από το υδατόρευμα και εκβάλλει σ' αυτό.

Π1.18: Θέση δειγματοληψίας RS18

Αυτή η τοποθεσία βρίσκεται νότια του οικισμού της Κάντζας και πλησίον κατοικημένης περιοχής. Η ταχύτητα ροής είναι πολύ μικρή, ενώ παρατηρείται πολύ έντονη βλάστηση (Σχήμα Π1.27).



Σχήμα Π1.27: Φωτογραφική απεικόνιση της θέσης δειγματοληψίας RS18, όπου παρατηρείται έντονη βλάστηση.

Π1.19: Θέση δειγματοληψίας RS19

Η συγκεκριμένη θέση δειγματοληψίας βρίσκεται εντός της εγκιβωτισμένης κοίτης (Σχήμα Π1.28) που εκτείνεται από τη λεωφόρο Περιφερειακής Υμητού έως τη λεωφόρο των Σπάτων και σε απόσταση 1 χιλιομέτρου βορειοανατολικά των Γλυκών Νερών. Οι μετρήσεις των υδροχημικών παραμέτρων έγιναν από τη γέφυρα της οδού Ρεματιάς και λόγω του τεχνικού έργου διευθέτησης της κοίτης δεν υπήρχε πρόσβαση εντός της κοίτης για μετρήσεις της ταχύτητας ροής. Παρατηρείται ανθρακικό υλικό εντός της κοίτης διαμέτρου 20 έως 80 εκατοστών και παρουσία έντονης χλωρίδας στην κοίτη, ενώ το σημείο βρίσκεται κοντά σε αστική περιοχή.



Σχήμα Π1.28: Φωτογραφική απεικόνιση της θέσης δειγματοληψίας RS19 από την γέφυρα της οδού Ρεματιάς, στην οποία εμφανίζεται η διευθετημένη κοίτη και η έντονη βλάστηση.

Π1.20: Θέση δειγματοληψίας RS20

Και αυτή η θέση δειγματοληψίας βρίσκεται εντός της εγκιβωτισμένης κοίτης που εκτείνεται από τη λεωφόρο Περιφερειακής Υμητού έως τη λεωφόρο των Σπάτων και σε απόσταση 1.2 χιλιομέτρων βορειοανατολικά από τα Γλυκά Νερά. Το σημείο εντοπίζεται αρκετά κοντά σε αστική περιοχή. Παρατηρούνται τεμάχια ανθρακικού υλικού εντός της κοίτης από 20 έως 80 εκατοστά και παρουσία έντονης χλωρίδας (Σχήμα Π1.29).



Σχήμα Π1.29: Φωτογραφική απεικόνιση της θέσης δειγματοληψίας RS20, στην οποία εμφανίζεται η διευθετημένη κοίτη, η έντονη βλάστηση και το ανθρακικό υλικό εντός αυτής.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΧΗΜΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ

Πίνακας Π2.1: Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων όσο αφορά τα ανιόντα.

Κωδικός σημείου	Χλώριο Cl^- ($\frac{mg}{L}$)	Φθόριο F^- ($\frac{mg}{L}$)	Νιτρικά NO_3^- ($\frac{mg}{L}$)	Νιτρώδη NO_2^- ($\frac{mg}{L}$)	Θειικά SO_4^{2-} ($\frac{mg}{L}$)	Όξινα ανθρακικά HCO_3^- ($\frac{mg}{L}$)
RS1	50.24	0.09	3.45	n.a.	34.85	195
RS2	40.06	0.08	3.33	n.a.	32.93	193
RS3	333.87	0.20	16.56	n.a.	98.05	1768
RS4	131.43	0.22	19.33	0.04	73.63	246
RS5	123.83	n.a.	16.92	n.a.	72.52	213
RS6	122.59	0.26	18.91	0.07	79.35	241
RS7	140.55	0.23	26.25	0.10	98.26	260
RS8	144.04	0.20	34.60	0.34	94.25	242
RS9	146.70	0.21	34.85	0.30	98.55	243
RS10	83.00	n.a.	6.37	n.a.	44.10	190
RS11	35.43	0.09	1.26	n.a.	30.61	200
RS12	42.65	0.08	0.48	n.a.	33.31	205
RS13	166.62	0.19	25.57	0.03	73.73	251
RS14	92.74	n.a.	28.88	n.a.	68.51	244
RS15	106.32	n.a.	30.79	n.a.	69.89	237
RS16	140.76	0.22	33.15	0.36	94.43	244
RS17	131.94	n.a.	32.07	n.a.	89.37	209
RS18	76.15	n.a.	25.29	n.a.	75.11	304
RS19	50.20	n.a.	26.06	n.a.	44.03	197
RS20	50.21	0.14	24.13	n.a.	47.31	182

n.a = not available

Πίνακας Π2.2: Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων όσο αφορά τα κατιόντα.

Κωδικός σημείου	Νάτριο Na^+ ($\frac{mg}{L}$)	Αμμωνία NH_4^+ ($\frac{mg}{L}$)	Κάλιο K^+ ($\frac{mg}{L}$)	Μαγνήσιο Mg^{2+} ($\frac{mg}{L}$)	Ασβέστιο Ca^{2+} ($\frac{mg}{L}$)	Λίθιο Li^+ ($\frac{mg}{L}$)
RS1	35.59	n.a.	0.86	10.36	89.04	0.0020
RS2	28.66	n.a.	0.76	8.30	81.34	0.0016
RS3	249.58	n.a.	7.67	56.28	77.68	0.0136
RS4	97.17	0.01	0.77	34.77	63.89	0.0125
RS5	91.59	n.a.	1.68	33.34	58.54	0.0137
RS6	92.81	n.a.	1.88	44.18	68.52	0.0135
RS7	106.09	n.a.	2.04	52.75	63.91	0.0180
RS8	101.92	n.a.	2.47	59.36	66.04	0.0171
RS9	99.85	0.01	2.73	58.79	68.60	0.0177
RS10	54.77	n.a.	1.46	13.83	87.81	0.0033
RS11	27.67	n.a.	0.89	8.03	83.62	0.0019
RS12	28.18	n.a.	0.92	6.45	84.49	0.0020
RS13	113.74	n.a.	2.16	23.71	88.89	0.0105
RS14	79.14	0.08	2.44	37.92	54.46	0.0133
RS15	87.36	0.04	2.43	45.75	73.67	0.0154
RS16	102.22	n.a.	0.66	47.49	66.51	0.0169
RS17	95.31	n.a.	2.12	46.59	55.45	n.a.
RS18	87.69	0.10	2.49	26.29	95.73	0.0080
RS19	54.19	0.08	2.11	15.96	75.49	n.a.
RS20	54.81	0.09	2.39	16.23	70.26	0.0076

n.a = not available

Πίνακας Π2.3: Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων.

Κωδικός σημείου	Χρώμιο Cr ($\frac{\mu g}{L}$)	Μαγγάνιο Mn ($\frac{\mu g}{L}$)	Κοβάλτιο Co ($\frac{\mu g}{L}$)	Νικέλιο Ni ($\frac{\mu g}{L}$)
RS1	<0.000	35.038	0.846	0.500
RS2	<0.000	0.294	0.860	0.313
RS3	1.624	<0.000	1.053	4.437
RS4	1.083	<0.000	1.076	4.528
RS5	0.964	<0.000	1.010	5.157
RS6	0.884	<0.000	1.098	4.917
RS7	1.311	<0.000	1.188	7.143
RS8	1.977	<0.000	1.346	7.737
RS9	1.943	<0.000	1.308	7.631
RS10	0.080	<0.000	0.873	0.726
RS11	<0.000	19.822	0.894	0.218
RS12	<0.000	<0.000	0.928	0.204
RS13	0.355	<0.000	1.168	1.677
RS14	1.846	<0.000	1.271	6.015
RS15	1.848	<0.000	1.365	7.247
RS16	1.961	<0.000	1.349	7.638
RS17	1.877	<0.000	1.338	7.619
RS18	0.621	<0.000	3.247	11.478
RS19	1.382	<0.000	0.958	3.562
RS20	1.454	<0.000	0.928	2.879

Πίνακας Π2.4: Αποτελέσματα μετρήσεων φυσικοχημικών παραμέτρων του νερού του ρέματος της Ραφήνας.

Κωδικός θέσης	T (°C)	DO ($\frac{mg}{L}$)	C ($\frac{\mu S}{cm}$)	SPC ($\frac{\mu S}{cm}$)	SAL ($\frac{mg}{L}$)	TDS ($\frac{mg}{L}$)	pH
RS1	15.8	9.96	649	786	0.39	513.5	8.7
RS2	15.9	10.28	617	747	0.37	487.5	8.8
RS3	21.7	15.51	1700	1816	0.92	1183	9
RS4	19.9	12.72	1145	1267	0.63	825.5	8.7
RS5	20.4	11.1	1105	1212	0.6	786.5	8.9
RS6	18	10.42	1069	1234	0.62	799.5	8.8
RS7	16.9	11.6	1150	1358	0.69	884	8.8
RS8	17.6	11.9	1236	1439	0.73	936	9.2
RS9	17.6	12.1	1225	1428	0.7	929.5	9.2
RS10	17.4	10.78	783	915	0.45	598	8.8
RS11	14.5	11.06	602	752	0.37	487.5	8.9
RS12	14.6	10.7	620	774	0.38	500.5	8.8
RS13	17.7	8.8	1174	1363	0.69	884	8.6
RS14	20.8	7.91	952	1035	0.51	670	8.9
RS15	17.9	8.76	1033	1194	0.6	773	8.9
RS16	17.1	11.14	1192	1403	0.71	910	9.1
RS17	17.4	10.46	1121	1310	0.66	851.5	9
RS18	16.6	7.14	980	1171	0.6	760	8.6
RS19	14.8	12.9	691	858	0.42	560	9.4
RS20	16.1	15.32	681	721	0.41	533	9.6

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3: ΠΕΡΙΓΡΑΦΙΚΑ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΟΚΙΜΗΣ t ΤΟΥ STUDENT

Πίνακας Π3.1: Περιγραφικά στατιστικά μέτρα για τα μετρημένα στοιχεία του νερού του υδατορεύματος της ανατολικής Αττικής.

Μετρημένο στοιχείο	Μέση τιμή \bar{x}	Διάμεσος \tilde{x}	Ελάχιστη τιμή x_{min}	Μέγιστη τιμή x_{max}	Εύρος R	Διασπορά s^2	Τυπική απόκλιση s	Συντελεστής μεταβλητότητας CV (%)
Χλώριο Cl^- ($\frac{mg}{L}$)	110.5	114.5	35.4	333.9	298.4	4573.1	67.6	61.22
Νιτρικά NO_3^- ($\frac{mg}{L}$)	21.9	25.4	0.48	35.4	34.9	135.5	11.6	53.24
Θειικά SO_4^{2-} ($\frac{mg}{L}$)	67.6	73.1	30.6	98.6	67.9	598.2	24.5	36.16
Όξινα ανθρακικά HCO_3^- ($\frac{mg}{L}$)	303.2	239	182	1768	1586	119793	346.11	114.15
Νάτριο Na^+ ($\frac{mg}{L}$)	84.4	89.6	27.7	249.6	221.9	2340.3	48.4	57.31
Κάλιο K^+ ($\frac{mg}{L}$)	2.05	2.08	0.66	7.67	7.01	2.24	1.5	73.13
Μαγνήσιο Mg^{2+} ($\frac{mg}{L}$)	32.3	34	6.4	59.4	53	342.8	18.5	57.29
Ασβέστιο Ca^{2+} ($\frac{mg}{L}$)	73.7	72	54.5	95.7	144.3	12	16.3	16.30
Διαλυμένο οξυγόνο DO ($\frac{mg}{L}$)	11.03	10.92	7.14	15.51	8.37	4.45	2.11	19.14
Ειδική αγωγιμότητα SPC ($\frac{\mu S}{cm}$)	1139	1203	721	1816	613	91560	302.6	26.56
Συνολικά διαλυμένα στερεά TDS ($\frac{mg}{L}$)	743.6	779.7	487.5	1183	695.5	37058	192.5	25.89
Αλατότητα SAL ($\frac{mg}{L}$)	0.57	0.6	0.37	0.92	0.55	0.02	0.15	26.73
pH	8.94	8.9	8.57	9.64	1.07	0.07	0.27	3.00

Πίνακας Π3.2: Αποτελέσματα της δοκιμής t του Student.

A/A	Μετρημένο στοιχείο	Μέση τιμή \bar{x} για το έτος 2010	Τυπική απόκλιση s για το έτος 2010	Μέση τιμή \bar{x} για το έτος 2011	Τυπική απόκλιση s για το έτος 2011	t-πειραματικό (t_{exp})	t-θεωρητικό (t_{th})	Πιθανότητα εσφαλμένης απόρριψης της μηδενικής υπόθεσης (%)	Αναφορά της δοκιμής t του Student
1	Χλώριο Cl^- ($\frac{mg}{L}$)	116	54.2	110	67.6	0.288	1.725	77.5	not different at CL 95%
2	Νιτρικά NO_3^- ($\frac{mg}{L}$)	20.3	12.9	20.4	11.7	0.018	1.725	98.6	not different at CL 95%
3	Θειικά SO_4^{2-} ($\frac{mg}{L}$)	77	27.9	67.6	24.5	1.115	1.725	27.2	not different at CL 95%
4	Όξινα ανθρακικά HCO_3^- ($\frac{mg}{L}$)	294	62.4	303	346	0.123	1.725	90.3	not different at CL 95%
5	Νάτριο Na^+ ($\frac{mg}{L}$)	76.4	29.2	84.4	48.4	0.622	1.725	53.8	not different at CL 95%
6	Κάλιο K^+ ($\frac{mg}{L}$)	1.91	0.65	2.05	1.5	0.357	1.725	72.3	not different at CL 95%
7	Μαγνήσιο Mg^{2+} ($\frac{mg}{L}$)	33.7	18.3	32.3	18.5	0.241	1.725	81.1	not different at CL 95%
8	Ασβέστιο Ca^{2+} ($\frac{mg}{L}$)	80.2	15	73.7	12	1.493	1.725	14.4	not different at CL 95%
9	Διαλυμένο οξυγόνο DO ($\frac{mg}{L}$)	1100	280	1139	303	0.418	1.725	67.8	not different at CL 95%
10	Ειδική αγωγιμότητα SPC ($\frac{\mu S}{cm}$)	717	177	744	192	0.444	1.725	66	not different at CL 95%
11	Συνολικά διαλυμένα στερεά TDS ($\frac{mg}{L}$)	0.55	0.14	0.57	0.15	0.385	1.725	70.2	not different at CL 95%
12	Αλατότητα SAL ($\frac{mg}{L}$)	8.81	0.55	8.94	0.27	0.966	1.725	34	not different at CL 95%

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 4: ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΕΙΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΣΤΟ GOOGLE EARTH

Στο λογισμικό Google Earth εισήχθησαν οι είκοσι θέσεις δειγματοληψίας με τη βοήθεια των συντεταγμένων τους (φ, λ) στο παγκόσμιο γεωδαιτικό σύστημα (WGS 84'). Οι θέσεις απεικονίζονται στις αεροφωτογραφίες του Google Earth με κίτρινη πινέζα και τον κωδικό της κάθε θέσης δειγματοληψίας (π.χ. RS1) με πορτοκαλί χρώμα.

Με τη βοήθεια των αεροφωτογραφιών που προσφέρει το λογισμικό Google Earth σχεδιάστηκαν επίσης προσεγγιστικά οι κλάδοι του υδατορεύματος της ανατολικής Αττικής. Με μωβ χρώμα παρουσιάζεται ο ανάντη κλάδος του υδατορεύματος, που ξεκινώντας από την Πεντέλη διέρχεται ανατολικά από τον οικισμό Ντράφι, στη συνέχεια νότια του οικισμού Δασαμάρι, έπειτα βόρεια από του οικισμού Πικέρμι μέχρι που συμβάλει με τον κατάντη κλάδο (ροζ χρώμα) μεταξύ των οικισμών Πεύκο και Αγία Τριάδα.

Με γαλάζιο χρώμα απεικονίζεται μέρος του κατάντη κλάδου και συγκεκριμένα το μέρος εκείνο που εκτείνεται από τη λεωφόρο Περιφερειακής Υμηττού έως τη λεωφόρο των Σπάτων και διέρχεται μέσα από διευθετημένη κοίτη.

Με πράσινο χρώμα απεικονίζεται ένα άλλο μέρος του κατάντη κλάδου, που ξεκινάει νότια του οικισμού Κάντζα και εκτείνεται μέχρι να συμβάλει με τον διευθετημένο κλάδο (γαλάζιο χρώμα).

Με μπλε χρώμα απεικονίζεται η συνέχεια των δύο παραπάνω υποκλάδων του κατάντη κλάδου του υδατορεύματος μέχρι το σημείο που συμβάλουν με τον τρίτο υποκλάδο (κίτρινο χρώμα) του κατάντη κλάδου, που ξεκινάει από τον λόφο της Παλλήνης και διέρχεται μέσα από αυτήν έως ότου συμβάλει με τους δύο προαναφερθείσες υποκλάδους.

Έπειτα οι τρεις συμβαλλόμενοι υποκλάδοι (ροζ χρώμα), που αποτελούν τον κατάντη κλάδο του υδατορεύματος της ανατολικής Αττικής εκτείνονται έως το σημείο συμβολής τους με τον ανάντη κλάδο (μωβ χρώμα).

Έτσι με κόκκινο χρώμα παρουσιάζεται η συμβολή των ανάντη και κατάντη κλάδων που αφού πρώτα διέρχεται από τον οικισμό της Ραφήνα εκβάλλει στην θάλασσα.

Παρακάτω δίνονται οι απεικονίσεις των παραπάνω σε εικόνες από το λογισμικό Google Earth.







