



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ  
ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**

**ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ  
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΓΓΕΙΟΒΕΛΤΙΩΤΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ ΚΑΙ  
ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ  
ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΝΕΡΟΥ ΣΕ  
ΥΔΑΤΟΡΕΥΜΑ ΤΗΣ ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ  
ΑΤΤΙΚΗΣ**

**Θεόδωρος Μιχάλτσος**

**Αθήνα, Μάρτιος 2018**



## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Η πραγματοποίηση της διπλωματικής εργασίας σηματοδοτεί το τέλος μιας πορείας 5 χρόνων μάθησης και εκπαίδευσης και την αρχή μιας νέας. Γι αυτό το λόγο οι άνθρωποι που βοήθησαν, ο καθένας ξεχωριστά και με τον τρόπο του, σε αυτή μου την προσπάθεια είναι άξιοι ευχαριστιών.

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή της διπλωματικής μου εργασίας κ. Δημήτρη Αλεξάκη δρ. Γεωλόγο Ε.ΔΙ.Π του Εργαστηρίου των Εγγειοβελτιωτικών Έργων και Διαχείρισης Υδατικών Πόρων που ήταν δίπλα μου σε όλα τα στάδια εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας. Από την συλλογή των δεδομένων μέχρι την ανάλυση και περιγραφή των αποτελεσμάτων. Επίσης μοιράστηκε μαζί μου πολλές ώρες από το χρόνο του τόσο στο κομμάτι της υπαίθρου όσο και στο εργαστηριακό δίνοντάς μου ερεθίσματα και γνώσεις έτσι ώστε να μπορέσω να ανταπεξέλθω σε όλα τα στάδια της εργασίας αυτής.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω το κοντινό μου περιβάλλον, φίλους και οικογένεια, που ήταν κοντά μου σε όλη τη διάρκεια υλοποίησης της εργασίας αλλά και της πορείας μου γενικότερα στο Πολυτεχνείο και οι οποίοι στιγμή δεν αμφέβαλαν για τις δυνατότητές μου γεμίζοντάς με με δύναμη να συνεχίζω.





## Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	7
ABSTRACT .....	8
Κατάλογος συμβόλων .....	9
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 – ΣΚΟΠΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ .....	13
1.1 Γενικά .....	13
1.2 Στόχοι και επιμέρους στόχοι .....	13
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ .....	15
2.1 Εισαγωγή .....	15
2.2 Κύκλος νερού .....	15
2.3 Παράμετροι ποιότητας νερού .....	16
2.3.1 Οργανοληπτικές παράμετροι .....	16
2.3.2 Χημικές παράμετροι .....	17
2.3.3 μικροβιολογικές παράμετροι .....	27
2.3.4 Μεταφερόμενα στερεά και διαλυμένα ιόντα .....	27
2.4 Κριτήρια ποιότητας αρδευτικού νερού .....	28
2.4.1 Αλατότητα .....	28
2.4.2 Περιεκτικότητα σε Νάτριο ( $\text{Na}^+$ ) .....	29
2.4.3 Περιεκτικότητα σε υπολειμματικό ανθρακικό νάτριο (RSC residual sodium carbonate) .....	29
2.4.4 Περιεκτικότητα σε ανταλλάξιμο νάτριο (Exchangeable sodium) .....	29
2.4.5 Περιεκτικότητα σε αιωρούμενα υλικά-ουσίες .....	30
2.5 Νομοθετικό πλαίσιο για τα υδατορεύματα .....	30
2.5.1 Προστασίας από δόμηση .....	30
2.5.2 Πρότυπα ποιότητας περιβάλλοντος .....	31
2.5.3 Οδηγία-πλαίσιο 2000/60/EK .....	32
2.5.4 Οδηγία-πλαίσιο 2008/105/EK-KYA 51354/2641/E103 .....	33
2.5.5 Νόμος 3010/2002 .....	35
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 - ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ .....	37
3.1 Συλλογή στοιχείων και προετοιμασία εργασιών υπαίθρου .....	37
3.1.1 Μέτρηση φυσικοχημικών παραμέτρων .....	38
3.1.2 Διαδικασία μέτρησης παροχής .....	40
3.2 Γενικά-διαδικασίες .....	41
3.2.1 Στρατηγική συλλογής δειγμάτων .....	42

3.2.2 Προετοιμασία δειγμάτων.....	44
3.2.3 Συντήρηση και αποθήκευση δειγμάτων .....	44
3.3 Διαδικασίες εργαστηρίου .....	44
3.3.1 Διήθηση .....	45
3.3.2 Ιοντική χρωματογραφία.....	47
3.3.3 Φασματομετρική ανάλυση .....	49
3.3.4 Τιτλοδότηση .....	49
3.4 Στοιχεία περιγραφής στατιστικών αποτελεσμάτων.....	51
3.4.1 Ποιοτικές και ποσοτικές μεταβλητές .....	52
3.4.2 Μέτρα στατιστικών δεδομένων .....	52
3.4.3 Μέτρα θέσης.....	53
3.4.4 Μέτρα μεταβλητότητας.....	54
3.4.5 Συντελεστής ασυμμετρίας.....	55
3.4.6 Συντελεστής κυρτότητας .....	56
3.5 Κατανομή t-Student (κατανομή t) .....	56
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 –ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	59
4.1 Τοποθέτηση περιοχής μελέτης .....	59
4.2 Μέγεθος λεκάνης απορροής.....	59
4.3 Στρωματογραφία .....	59
4.3.1 Λεκάνη Μεσογείων .....	59
4.3.2 Νεογενές ίζημα.....	60
4.4 Λιθοστρωματογραφία.....	61
4.4.1 Πετρώματα .....	61
4.5 Ανθρωπογενείς επεμβάσεις.....	62
4.6 Χρήσεις γης.....	64
4.6.1 Πρωτογενής τομέας.....	64
4.6.2 Δευτερογενής τομέας.....	66
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5- ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	69
5.1 Υπολογισμός παροχής υδατορευμάτων .....	69
5.2 Αποτελέσματα δειγμάτων .....	73
5.2.1 Χλώριο ( $\text{Cl}^-$ ).....	74
5.2.2 Νιτρικά ( $\text{NO}_3^+$ ) .....	75
5.2.3 Θειικά ( $\text{SO}_4^{-2}$ ) .....	75
5.2.4 Όξινα ανθρακικά ( $\text{HCO}_3^-$ ) .....	76

5.2.5 Νάτριο ( $\text{Na}^+$ ).....	77
5.2.6 Κάλιο ( $\text{K}^+$ ).....	78
5.2.7 Μαγνήσιο ( $\text{Mg}^{2+}$ ).....	79
5.2.8 Ασβέστιο ( $\text{Ca}^{2+}$ ).....	79
5.2.9 Ειδική αγωγιμότητα (Special conductivity) .....	80
5.2.10 Αγωγιμότητα (Conductivity).....	82
5.2.11 Συνολικά διαλυμένα στερεά (Total dissolved solids).....	83
5.2.12 Αλατότητα (Salinity) .....	84
5.2.13 Ενεργός οξύτητα (pH) .....	85
5.3 Μεταβολή των παραμέτρων στη διάρκεια 6 ετών.....	86
5.4.1 Αποτελέσματα συγκεντρώσεων αιωρούμενων στερεών .....	89
5.4.2 Δείκτης προσροφημένου Νατρίου-Sodium absorption ratio (SAR) .....	90
5.4.3 Ηλεκτρική Αγωγιμότητα-Electric conductivity (EC).....	92
5.5 Καταλληλότητα Νερού για αρδευτική χρήση .....	95
5.5.1 Ποιοτική κατάταξη νερών σύμφωνα με το εργαστήριο αλατότητας της Αμερικής U.S.S.L .....	95
5.5.2 Κατάταξη των δειγμάτων του νερού ως προς την ποιότητα τους και τους κινδύνους δημιουργίας προβλημάτων κατά Ayers και Westcot (1985).....	98
5.5.3 Κατάταξη του αρδευτικού νερού.....	108
5.5.4 Σύγκριση της καταλληλότητας του αρδευτικού νερού στη διάρκεια των ετών ...	110
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6-ΣΥΝΟΨΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	113
Βιβλιογραφία.....	117
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΩΝ ΘΕΣΕΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ .....	121



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το θέμα που πραγματεύεται η διπλωματική εργασία είναι η μελέτη και αξιολόγηση της ποιότητας του νερού στο υδατόρευμα της Ραφήνας, το οποίο βρίσκεται στην ανατολική Αττική στην λεκάνη απορροής της Ραφήνας. Έγινε συλλογή δειγμάτων σε 13 θέσεις και καταγραφή των στοιχείων που προσδιορίζουν την κάθε μία με σκοπό την μελέτη των φυσικοχημικών παραμέτρων και τον υπολογισμό της παροχής. Τα δείγματα που συλλέχθηκαν αποθηκεύτηκαν κατάλληλα και προετοιμάστηκαν για την εργαστηριακή έρευνα. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν στο εργαστήριο των εγγειοβελτιωτικών έργων είναι η μέθοδος της ιοντικής χρωματογραφίας η οποία μας δείχνει τις συγκεντρώσεις των κύριων ιόντων, η διήθηση με ηθμό για την καταγραφή των ολικών αιωρούμενων στερεών των δειγμάτων ξεχωριστά, η φασματομετρική ανάλυση για τον προσδιορισμό των ιχνοστοιχείων και η τιτλοδότηση για τον προσδιορισμό της αλκαλικότητας. Έπειτα έγινε η κατηγοριοποίηση της καταλληλότητας του υδατορεύματος για αρδευτική χρήση σύμφωνα με α) το σύστημα κατάταξης των νερών του εργαστηρίου αλατότητας των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής (U.S.S.L) β) το σύστημα ποιοτικής κατάταξης των νερών που δημιουργήθηκε από τους Ayers και Westcot (1985) στα πλαίσια των δραστηριοτήτων του Παγκόσμιου Οργανισμού Τροφίμων (FAO). Τέλος εξετάστηκε η ποιότητα του υδατορεύματος σύμφωνα με τα Πρότυπα Ποιότητας Περιβάλλοντος καθορισμένα από την ελληνική και ευρωπαϊκή νομοθεσία.

## **ABSTRACT**

The objective of the diploma thesis is the investigation and evaluation of the water quality in the waterfront of Rafina, which is located in eastern Attica at the water catchment area of Rafina. Samples were collected at 13 locations and the data were collected to determine the physico-chemical parameters and the volumetric flow rate. The collected samples were properly stored and prepared for further laboratory research. The used methods in the land reclamation workshop are the ionic chromatography method which shows the concentrations of the major ions, filtering with a filter to record the total suspended solids of the samples separately, the spectrometric analysis for the determination of the trace elements and the titration for the determination of alkalinity. The water quality classification for irrigation was categorized according to (a) the Saltwater Classification System (U.S.S.L) and (b) the Water Quality Classification system created by Ayers and Westcot (1985) in activities of the World Food Organization (FAO). Finally, the quality of the watercourse was examined according to the Environmental Quality Standards which are defined by the Greek and European legislation.

## **Κατάλογος συμβόλων**

### **Λατινικά σύμβολα**

A επιφάνεια διατομής

CV συντελεστής μεταβλητότητας

H<sub>T</sub> τιμή ολικής σκληρότητας νερού

N πλήθος τιμών μεταβλητής

R δειγματικό εύρος

S τυπική απόκλιση

s<sup>2</sup> διασπορά

Q παροχή

V μέση ταχύτητα ροής

X τυχαία μεταβλητή

X<sub>i</sub> τιμές τυχαίας μεταβλητής

### **Ελληνικά σύμβολα**

α συντελεστής κύρτωσης

γ συντελεστής ασυμμετρίας

λ γεωγραφικό μήκος

φ γεωγραφικό πλάτος

$\bar{X}$  δειγματικός μέσος όρος

### **Χημικά στοιχεία**

As Αρσενικό

Ca<sup>++</sup> Χαλκός

Cd<sup>+</sup> Κάδμιο

Cl<sup>-</sup> Χλώριο

$\text{Cr}^{+3}$  Χρώμιο

$\text{Cu}^{+}$  Χαλκός

$\text{F}^{-}$  Φθόριο

$\text{Fe}^{++}$  Σίδηρος

$\text{HCO}_3^{-}$  Όξινα ανθρακικά ιόντα

$\text{K}^{+}$  Κάλιο

$\text{Na}^{+}$  Νάτριο

$\text{Mg}^{++}$  Μαγνήσιο

$\text{Mn}^{++}$  Μαγγάνιο

$\text{NH}_4$  Αμμωνιακά ιόντα

$\text{Ni}$  Νικέλιο

$\text{NO}_2$  Νιτρώδη ιόντα

$\text{NO}_3$  Νιτρικά ιόντα

$\text{SO}_4^{-2}$  Θειικά ιόντα

$\text{P}^{-3}$  Φώσφορος

$\text{Pb}^{+}$  Μόλυβδος

$\text{Zn}^{++}$  Ψευδάργυρος

### **Κατάλογος ελληνικών συντομεύσεων**

ΠΠΠ Πρότυπα προστασίας περιβάλλοντος

ΕΜΣ Ετήσια μέγιστη συγκέντρωση

ΜΕΣ Μέγιστη επιτρεπόμενη συγκέντρωση

ΦΕΚ Φύλλα εφημερίδας κυβερνήσεως

### **Κατάλογος αγγλικών συντομεύσεων**

DO dissolved oxygen



EC electric conductivity  
ES effective salinity  
ESP exchangeable sodium percentage  
PS percentage sodium  
FAO food and agriculture organization  
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



## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 – ΣΚΟΠΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ**

### **1.1 Γενικά**

Το νερό είναι ένα από τα σημαντικότερα και κυριότερα στοιχεία της φύσης. Εμφανίζεται με τη μορφή ύδατος, πάγου και υδρατμών. Αποτελεί την πιο διαδεδομένη ανόργανη χημική ένωση ( $H_2O$ ), τον καλύτερο διαλύτη και ταυτόχρονα μεταφορέα των χημικών και άλλων στοιχείων. Επίσης καλύπτει το 70% της γήινης επιφάνειας, από αυτό 96.5% αποτελεί τους ωκεανούς και τις θάλασσες, 1.7% αποτελεί τα επιφανειακά ύδατα όπως λίμνες, ποτάμια και 1.7% αποτελεί τους πάγους της Ανταρκτικής και της Γροιλανδίας. Ωστόσο μόνο ένα 3% είναι γλυκό και από αυτό διατίθεται προς χρήση μόλις το 0.6% που αντιστοιχεί σε 8.800 δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα. Εξαιτίας λοιπόν της αύξησης του πληθυσμού, της κατάχρησης των φυσικών πόρων, της εκτεταμένης χρήσης φυτοφαρμάκων και λιπασμάτων, της συνεχούς ρύπανσης και μόλυνσης των πηγών η μελέτη και διαχείριση του αποτελεί σήμερα επιβλητική ανάγκη. Έτσι τα τελευταία χρόνια όλο και περισσότερες έρευνες έχουν να κάνουν με τη διαχείριση της ποιότητας νερού και την αξιοποίηση του σε αρδευτικό και υδρευτικό επίπεδο. Γι αυτό το λόγο λοιπόν έχουν δημιουργηθεί νομοθεσίες σε ευρωπαϊκό αλλά και εθνικό επίπεδο που φροντίζουν για την προστασία και την αξιοποίηση των υδατικών πόρων.

### **1.2 Στόχοι και επιμέρους στόχοι**

Η διαχείριση αλλά και προστασία των υδατικών πόρων είναι πρόβλημα που αφορά την Ευρωπαϊκή κοινότητα , και συνεπώς και την Ελλάδα και χρήζει αντιμετώπισης. Εξάλλου η ανάγκη για πρόσβαση σε υδατικούς πόρους υψηλής ποιότητας συνεχώς αυξάνεται. Επομένως ως στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας έχει τεθεί η καταγραφή της ποιότητας του υδατορεύματος στην περιοχή της ανατολικής αττικής και συγκεκριμένα στο ρέμα της Ραφήνας. Παρακάτω παρουσιάζονται οι στόχοι που αποτελούν τον κύριο στόχο της διπλωματικής εργασίας.

A) Αξιολόγηση της ποιότητας του νερού για αρδευτική χρήση με βάσει:

- Το σύστημα κατάταξης των νερών, που βασίζεται στην περιεκτικότητα τους σε άλατα και νάτριο όπως αναπτύχθηκε από το εργαστήριο των Η.Π.Α (U.S.D.A, 1954).

- Το σύστημα κατάταξης νερών όπως αναπτύχθηκε από τους Westcot και Ayers (1985), στα πλαίσια του Παγκόσμιου Οργανισμού Τροφίμων (FAO).

B) Αξιολόγηση και έλεγχος της ποιότητας των νερών σύμφωνα με τα πρότυπα ποιότητας περιβάλλοντος (ΠΠΠ) τα οποία εντάχθηκαν στην ελληνική νομοθεσία (ΦΕΚ 1909/09-12-2012) από την αντίστοιχη ευρωπαϊκή.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ**

### **2.1 Εισαγωγή**

Το νερό είναι από τους σημαντικότερους φυσικούς πόρους τόσο γιατί είναι απαραίτητο για την επιβίωση των ανθρώπων αλλά και άλλων οργανισμών όσο και επειδή η κατανομή και συνεπώς η διαθεσιμότητα ανά περιοχή δεν μεταβάλλεται.

Ωστόσο αν και η διαθεσιμότητα του παραμένει σχετικά αμετάβλητη η ποιότητα του νερού σχετίζεται με πολλούς παράγοντες και μεταβολές που απαρτίζουν το περιβάλλον του. Επομένως η μελέτη και αξιολόγηση του πρέπει να γίνεται με βάσει το οικολογικό σύστημα που το περιβάλλει αλλά και τις χρήσεις που λαμβάνουν χώρα με αυτό (Αντωνόπουλος 2001).

Συγκεκριμένα η ποιότητα νερού έχει να κάνει με την καταγραφή των χημικών, φυσικών, βιολογικών και ραδιολογικών χαρακτηριστικών του νερού. Τα αποτελέσματα των παραπάνω ορίζουν εμμέσως την κατάταξη της ποιότητας του νερού στο πρότυπο που επιλέχθηκε, πχ ως προς την υγεία των οικοσυστημάτων, την ασφάλεια σε ανθρώπινη επαφή και την ποιότητα του πόσιμου νερού.

### **2.2 Κύκλος νερού**

Το νερό στη φύση βρίσκεται σε ένα συνεχή κύκλο. Από τις θάλασσες και τη στεριά στην ατμόσφαιρα και ξανά πίσω δίνοντας ζωή και ενέργεια στη φύση. Είναι το μόνο στοιχείο που συναντάται και στις τρεις μορφές υγρή, στερεή και αέρια.

Η κινητήριος δύναμη σε όλο αυτό το ταξίδι είναι ο ήλιος. Από την ηλιακή ακτινοβολία τα επιφανειακά νερά της Γης, δηλαδή τα νερά που βρίσκονται σε θάλασσες, λίμνες, ποτάμια αλλά και στα εδάφη της στεριάς θερμαίνονται και εξατμίζονται. Έτσι, το νερό από υγρό μετατρέπεται σε αέριο δηλαδή σε υδρατμούς. Καθώς οι υδρατμοί κινούνται στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας, έρχονται σε επαφή με ψυχρές αέριες μάζες, συμπυκνώνονται και σχηματίζουν σύννεφα. Και έτσι οι υδρατμοί με το βάρος που αποκτούν πέφτουν πάλι στη Γη ως βροχή, χαλάζι ή χιόνι.

Το νερό που πέφτει στη στεριά περνάει στο υπέδαφος, απορροφάται από τις ρίζες των φυτών ή συνεχίζει το ταξίδι του προς τη θάλασσα

περνώντας μέσα από ρυάκια, ποτάμια και λίμνες. Αυτή η διαρκής ανακύκλωση του νερού ονομάζεται υδρολογικός κύκλος ή κύκλος νερού. Υπάρχει δηλαδή μία σταθερή ποσότητα νερού που συνεχώς ανανεώνεται και κινείται σε έναν κλειστό κύκλο μεταξύ της θάλασσας, των σύννεφων και της Γης. Οι άνθρωποι όπως και όλοι οι υπόλοιποι ζωντανοί οργανισμοί χρησιμοποιούμε ξανά και ξανά το ίδιο νερό. Αν το σκεφτούμε, πίνουμε το ίδιο νερό που έπιναν κάποτε οι δεινόσαυροι.

## **2.3 Παράμετροι ποιότητας νερού**

Οι παράμετροι που επηρεάζουν άμεσα ή έμμεσα την ποιότητα νερού χωρίζονται σε 3 μεγάλες κατηγορίες, τις οργανοληπτικές, τις χημικές και τις μικροβιολογικές παραμέτρους. Πιο κάτω αναλύονται η κάθε μία ξεχωριστά και οι υποομάδες που τις απαρτίζουν.

### **2.3.1 Οργανοληπτικές παράμετροι**

**Χρώμα (color):** Εάν υπάρχει είναι ανεπιθύμητο για το πόσιμο νερό και υπάρχει περίπτωση να οφείλεται στην παρουσία χρωστικών εν διαλύσει, είτε φυτικών από ρίζες φυτών, φύλλα δέντρων, είτε οργανικών ή ανόργανων (άλατα, σίδηρος από διάβρωση των σωλήνων). Παρουσία χρώματος στο νερό δεν σημαίνει ότι είναι πάντοτε επικίνδυνο. Πρέπει να εξεταστεί και χημικά για να αναζητηθεί η προέλευση του χρώματος. Δεν προτείνεται επιτρεπτό όριο για το χρώμα στο πόσιμο νερό (Κατσίρης και Παππά 2001).

**Θολρότητα (turbidity):** Οφείλεται σε κolloειδείς ανόργανες ή οργανικές ύλες που αιωρούνται. Νερό που είναι θολό πρέπει να ελεγχθεί για ρύπανση. Επίσης τα αιωρούμενα στερεά καθιζάνουν και δημιουργούν προβλήματα στις σωληνώσεις και στις δεξαμενές. Κατανάλωση θολού νερού μπορεί να είναι επικίνδυνη για την υγεία. Η απολύμανση του πόσιμου νερού δεν είναι αποτελεσματική αν υπάρχει θολότητα, γιατί πολλοί παθογόνοι οργανισμοί εγκλωβίζονται στα σωματίδια που αιωρούνται και προστατεύονται από το απολυμαντικό. Επίσης τα σωματίδια μπορεί να απορροφήσουν επιβλαβείς οργανικές ή ανόργανες ουσίες. Το πόσιμο νερό πρέπει να είναι διαυγές όταν φτάσει στον καταναλωτή (Κατσίρης και Παππά 2001).

**Οσμή και γεύση (odor-taste):** Το πόσιμο νερό πρέπει να είναι άοσμο και άγευστο. Όλα τα νερά έχουν την ιδιαίτερη γεύση τους που οφείλεται στα διαλυμένα άλατα και διαλυμένα αέρια που περιέχουν. Γεύση και οσμή

στο νερό συνήθως δεν θεωρείται σημαντική από την άποψη την υγείας. Όμως δεν είναι επιθυμητή γιατί συνήθως οφείλεται σε μικροοργανισμούς ή χημικές ουσίες. Νερό με έντονη οσμή πιθανόν να είναι μολυσμένο γι αυτό πρέπει να εξετασθεί και βρεθεί η αιτία, κυρίως αν υπάρξει απότομη αλλαγή (Κατσίρης και Παππά 2001).

### **2.3.2 Χημικές παράμετροι**

#### **A) Φυσικοχημικές παράμετροι**

Θερμοκρασία (temperature): Αποτελεί σημαντική παράμετρος των υδατικών οικοσυστημάτων. Τα αποδεκτά όρια την θερμοκρασίας για το πόσιμο νερό κυμαίνονται μεταξύ 12 και 25 βαθμούς Κελσίου. Έχει μεγάλη επίδραση σε όλες τις χημικές αντιδράσεις (βιολογικές και μη) και σε φυσικά φαινόμενα (στη δημιουργία ρευμάτων, στην οξυγόνωση νερού, στη διαβίωση υδρόβιων οργανισμών). Με την θερμοκρασία συνδέεται η θερμική ρύπανση. Είναι η απότομη αύξηση της θερμοκρασίας των επιφανειακών κυρίως νερών από την αποχέτευση θερμού νερού που χρησιμοποιείται ως νερό ψύξης εγκαταστάσεων βιομηχανιών (Χαραλάμπους 2004).

Ενεργός οξύτητα (pH): Είναι σημαντική παράμετρος ελέγχου των νερών και των υγρών αποβλήτων. Ενδεικτικά η τιμή της ενεργού οξύτητας του αποσταγμένου νερού-βροχής είναι 5.6, της θάλασσας 7.5-8.4, των επιφανειακών νερών ελαφρά αλκαλικό όταν διέρχεται από ασβεστόχα πετρώματα – ελαφρά όξινο όταν διέρχεται από πυριτικά  $4 < \text{pH} < 9$  και των υγρών αποβλήτων 6.5-8.5. Όταν έχει pH 7.00 σε θερμοκρασία 25 °C θεωρείται ουδέτερο, αν ξεπεράσει το 7.00 χαρακτηρίζεται ως αλκαλικό ενώ σε αντίθετη περίπτωση χαρακτηρίζεται ως όξινο. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι η ενεργός οξύτητα βρίσκεται σε άμεση συνάρτηση με τη χημική μορφή των ενώσεων στο νερό (Τσακίρης 2010).

Αγωγιμότητα (Conductivity): Η αγωγιμότητα είναι η αριθμητική έκφραση της ικανότητας ενός υδατικού διαλύματος να άγει το ηλεκτρικό ρεύμα. Αυτή η ικανότητα εξαρτάται από την παρουσία ιόντων, την ολική τους συγκέντρωση, το σθένος και τις επιμέρους συγκεντρώσεις τους καθώς και τη θερμοκρασία μέτρησης. Η αγωγιμότητα στα νερά αυξάνει με τη θερμοκρασία. Η αγωγιμότητα όγκου νερού ίσου με 1 cm<sup>3</sup>, στην θερμοκρασία των 25°C ονομάζεται ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα. Είναι

το αντίστροφο της ηλεκτρικής αντίστασης και μονάδα μέτρησής της είναι το  $\mu\text{S}$  ανά  $\text{cm}$  ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) (Χαραλάμπους 2004).

Στερεά (solids): Χωρίζονται σε 3 κατηγορίες, τα ολικά στερεά, τα ολικά αιωρούμενα στερεά, τα ολικά διαλυμένα στερεά και οι μέθοδοι προσδιορισμού τους είναι η διήθηση και η ξήρανση.

A) Ολικά στερεά (total solids-TS): Αποτελούν το σύνολο των στερεών στο δείγμα και προσδιορίζονται από την ζύγιση του υπολείμματος ορισμένου όγκου δείγματος από την εξάτμιση του νερού σε θερμοκρασία  $103-105^{\circ}\text{C}$  σε  $\text{mg}/\text{L}$ . Ο προσδιορισμός τους παρέχει πληροφορίες για το επίπεδο επιβάρυνσης του αποδέκτη. Απότομη αύξηση σημαίνει αποχέτευση αστικών λυμάτων ή βιομηχανικών αποβλήτων (Χαραλάμπους 2004).

B) Ολικά αιωρούμενα στερεά (total suspended solids-TSS): Πρόκειται για οργανικές ή ανόργανες ουσίες πολύ μικρού μεγέθους της τάξεως του  $10^{-3}\text{mm}$ . Κατακρατούνται από φίλτρο (ηθμός) σε θερμοκρασία  $103-105^{\circ}\text{C}$  μετά την ξήρανση του ηθμού. Λόγω της ικανότητας τους να προσροφούν διαλύτες οργανικών και ανόργανων χημικών ενώσεων είναι σε θέση να επηρεάζουν την χημική σύσταση του υγρού. Από αυτό γίνεται φανερό ότι έχουν τη δυνατότητα να μην καθιζάνουν αλλά και να επηρεάζουν την αισθητική ποιότητα του νερού αφού μεταβάλλουν τη θολότητα του.

Γ) Ολικά διαλυμένα στερεά (total dissolved solids-TDS): Πρόκειται για τη συγκέντρωση ανόργανων αλάτων όπως χλωριούχων,θειϊκών, νιτρικών, νιτρώδων και αμμωνιακών. Και αυτά όπως και τα TSS διέρχονται από ηθμό διαμέτρου  $1\mu\text{m}$  αλλά ξηραίνονται στους  $180^{\circ}\text{C}$ . Η συγκέντρωση και το είδος τους σχετίζεται με την ορυκτολογία και τη χημική σύσταση των πετρωμάτων, την ταχύτητα ροής καθώς και το χρόνο παραμονής του νερού στον υδροφόρο ορίζοντα. Ουσιαστικά τα υπόγεια νερά παρουσιάζουν μεγαλύτερη συγκέντρωση τέτοιων αλάτων και ειδικά στα λεγόμενα αλμυρά υπόγεια νερά τα TDS είναι και πάνω από  $1000\text{ mg}/\text{L}$  και μπορούν να φτάσουν και  $300.000\text{mg}/\text{L}$ . Αξίζει να αναφερθεί ότι TDS και EC συνδέονται με τη σχέση  $\text{TDS} = k_e \cdot \text{EC}$  (όπου το TDS εκφράζεται σε  $\text{mg}/\text{L}$  και το EC σε  $\mu\text{S}/\text{cm}$  στους  $25^{\circ}\text{C}$  και ο συντελεστής  $k_e$  κυμαίνεται μεταξύ 0,55 και 0,80 για τα υπόγεια νερά) (Τσακίρης 2010).



Αλκαλικότητα (alkalinity): Αλκαλικότητα ορίζεται ως η ικανότητα του νερού να εξουδετερώνει μία συγκεκριμένη ποσότητα υδρογονοκατιόντων ( $H^+$ ) με τη διάλυση του από πρότυπο διάλυμα θειϊκού οξέος ( $H_2SO_4$ ). Η παραπάνω μέθοδος ονομάζεται τιτλοδότηση και βοηθάει στο διαχωρισμό της αλκαλικότητας σε 2 κατηγορίες (την ολική αλκαλικότητα και την αλκαλικότητα φαινολοφθαλεΐνης). Η πρώτη είναι η ποσότητα του οξέος που χρειάζεται το διάλυμα για την εξουδετέρωση με την ενεργό οξύτητα (pH) να μην ξεπερνάει το 4.3 και εκφράζεται με τη σχέση ολική αλκαλικότητα= $HCO_3^-+2CO_3^{2-}+OH^- - H^+$ . Ενώ η δεύτερη αποτελεί την ποσότητα οξέος που απαιτείται στο διάλυμα για την εξουδετέρωση με ενεργό οξύτητα(pH) μέχρι την τιμή 8.3 και εκφράζεται με τη σχέση αλκαλικότητα φαινολοφθαλεΐνης= $CO_3^{2-}$ .

Διαλυμένο οξυγόνο (dissolved oxygen-DO): Ονομάζεται το οξυγόνο το οποίο δεσμεύεται από την ατμόσφαιρα όπου υπάρχει σε ποσοστό 21%. Ουσιαστικά όταν το νερό είναι κορεσμένο σε διαλυμένο οξυγόνο όταν το ποσοστό του είναι στο 100%. Αυτό σημαίνει ότι το νερό δεν βρίσκεται σε επαφή με οργανική ύλη και δεν είναι στάσιμο. Όταν το ποσοστό την οξυγόνωσης βρίσκεται κάτω από 70% τότε το νερό έρχεται σε επαφή με οργανική ύλη η οποία καταναλώνει οξυγόνο και δημιουργούνται έτσι αναερόβιες συνθήκες που βοηθούν στην αναγωγή των νιτρικών σε νιτρώδη, των θειϊκών σε θειούχα που αλλοιώνουν την οσμή (Hounslow 2000).

Σκληρότητα (Hardness): Η σκληρότητα εκφράζει το σύνολο των διαλυμένων αλάτων ασβεστίου ( $Ca^{2+}$ ) και μαγνησίου ( $Mg^{2+}$ ) στο νερό αλλά και των κατιόντων στροντίου ( $Mn^{2+}$ ) και σιδήρου ( $Fe^{2+}$ ). Διακρίνεται επίσης σε 2 κατηγορίες, την παροδική (ή αλλιώς ανθρακική) και την μόνιμη. Το άθροισμα της παροδικής και της μόνιμης σκληρότητας ορίζει την ολική σκληρότητα του δείγματος.

Η παροδική ή ανθρακική σκληρότητα οφείλεται στα ευδιάλυτα όξινα ανθρακικά άλατα του ασβεστίου [ $Ca(HCO_3)_2$ ] και του μαγνησίου [ $Mg(HCO_3)_2$ ]. Η απόθεση των ανθρακικών αλάτων γίνεται σύμφωνα με τις παρακάτω αντιδράσεις:



Η μόνιμη ή μη ανθρακική οφείλεται σε θειικά( $\text{CaSO}_4^{-2}$ ,  $\text{MgSO}_4^{-2}$ ) και χλωριούχα( $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{MgCl}_2$ ) άλατα του ασβεστίου και του μαγνησίου τα οποία σε αντίθεση με τα προηγούμενα δεν καθιζάνουν με το βρασμό.

Η ολική σκληρότητα ( $H_T$ ) εκφράζεται σε mg/L  $\text{CaCO}_3$  και υπολογίζεται με βάση τις συγκεντρώσεις, οι οποίες εκφράζονται σε mg/L των κατιόντων ασβεστίου και μαγνησίου, σύμφωνα με τη σχέση  $H_T=2.5\text{Ca}+4.1\text{Mg}$  αλλά και όταν οι συγκεντρώσεις δίνονται σε meq/L εκφράζεται από τη σχέση  $H_T=50 (\text{Ca}+\text{Mg})$  (Τσακίρης 2010).

Το νερό, ανάλογα με την τιμή της ολικής σκληρότητας σύμφωνα με τους Sawyer et al.(1994) μπορεί να χαρακτηριστεί ως μαλακό ( $H_T$  0-75 mg/L  $\text{CaCO}_3$ ), ως μέτρια σκληρό ( $H_T$  76-150 mg/L  $\text{CaCO}_3$ ),σκληρό( $H_T$  151-300 mg/L  $\text{CaCO}_3$ ) και πολύ σκληρό ( $H_T$  >300 mg/L  $\text{CaCO}_3$ ). Για το πόσιμο νερό η σκληρότητα είναι 80-150 mg  $\text{CaCO}_3$ /L (ελάχιστη 60) σύμφωνα με την Οδηγία 98/83/EK για αποσκληρυμένα νερά. Ακόμα το σκληρό νερό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για πόσιμο, αν είναι μεγάλη ανάγκη αλλά έχει άσχημη γεύση, επίσης επιδημιολογικές μελέτες δείχνουν συσχέτιση μεταξύ αυξημένης σκληρότητας και μείωσης καρδιαγγειακών παθήσεων αλλά είναι ακατάλληλο για οικιακή και βιομηχανική χρήση (λόγω της απόθεσης των ανθρακικών αλάτων στους σωλήνες και τους λέβητες) (Κατσίρης και Παππά 2001).

## **B) Ανόργανες παράμετροι**

Ενώσεις Αζώτου (Αμμωνία-νιτρώδη-νιτρικά): Ο προσδιορισμός των διάφορων ενώσεων αζώτου στο πόσιμο νερό αποτελεί δείκτη για την υγειονομική ποιότητα του νερού. Πριν από την ανάπτυξη των βακτηριολογικών αναλύσεων η μέτρηση των ενώσεων αζώτου στο νερό ήταν ο μόνος δείκτης για πιθανή ρύπανση. Σε πρόσφατα ρυπασμένα νερά το άζωτο βρίσκεται υπό τη μορφή οργανικού αζώτου και αμμωνίας. Καθώς περνάει ο χρόνος, το οργανικό άζωτο μετατρέπεται σταδιακά σε αμμωνία και αργότερα εάν υπάρχουν αερόβιες συνθήκες γίνεται οξείδωση της αμμωνίας σε νιτρώδη και νιτρικά. Με βάση τα παραπάνω, νερά που περιέχουν μεγάλη ποσότητα οργανικού αζώτου και αμμωνίας θεωρούνται ότι έχουν ρυπανθεί πρόσφατα και επομένως παρουσιάζουν κίνδυνο για την δημόσια υγεία. Νερά όπου το άζωτο βρίσκεται υπό τη μορφή νιτρικών σημαίνει ότι έχουν ρυπανθεί από αρκετό καιρό και επομένως δεν αποτελούν άμεση απειλή για την δημόσια υγεία. Αμμωνία

$\text{NH}_3$  περιέχουν συνήθως τα υπόγεια νερά λιγότερο από 0.2 mg/L. Σε εδάφη δασών παρατηρούνται υψηλότερες συγκεντρώσεις. Η αμμωνία δεν επηρεάζει άμεσα την υγεία στις συγκεντρώσεις που ενδέχεται να υπάρχει στα πόσιμα νερά, αποτελεί όμως σημαντικό δείκτη ρύπανσης από κοπρανώδεις ουσίες. Σε συγκεντρώσεις μεγαλύτερες από 0.2 mg/L δημιουργεί προβλήματα οσμής και γεύσης στο νερό και ελαττώνει την αποτελεσματικότητα της απολύμανσης. Επίσης, συμβάλει στο σχηματισμό νιτρώδων στα συστήματα ύδρευσης. Νιτρώδη  $\text{NO}_2$  –Νιτρικά  $\text{NO}_3$  αποτελούν τμήμα του κύκλου του αζώτου στη φύση, επομένως υπάρχουν στα φυσικά νερά, αλλά η συγκέντρωση νιτρικών είναι συνήθως χαμηλή. Υψηλές συγκεντρώσεις οφείλονται σε λιπάσματα, απορρίματα και ζωικά απόβλητα. Υπάρχουν επίσης και στον αέρα λόγω της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, με αποτέλεσμα να παρασύρονται από τη βροχή ή να αποτίθενται στο έδαφος. Σε αερόβιες συνθήκες τα νιτρικά διεισδύουν στον υδροφόρο ορίζοντα. Τα πόσιμα νερά που περιέχουν μεγάλες ποσότητες νιτρικών υπάρχει κίνδυνος να προκαλέσουν στα παιδιά την ασθένεια μεθαιμογλοβιναμία λόγω της αναγωγής σε νιτρώδη. Τα νιτρώδη και τα νιτρικά στο περιβάλλον του στομάχου σχηματίζουν νιτριζοενώσεις που είναι καρκινογόνες (Κατσίρης και Παππά 2001).

Ιόντα χλωρίου ( $\text{Cl}^-$ ): Αποτελεί κύρια κατηγορία ανόργανων συστατικών των φυσικών υδάτων και η συγκέντρωσή τους ποικίλει ανάλογα με την κατηγορία και την προέλευση του νερού. Επίσης η συγκέντρωσή τους στα αστικά λύματα και τα στραγγίσματα στερεών απορριμμάτων είναι σχετικά μεγάλη. Όταν παρατηρείται αυξημένη συγκέντρωση στα υπόγεια ύδατα τότε υπάρχει ένδειξη ρύπανσης από χώρους τελικής διάθεσης στερεών αποβλήτων ή από εισροή θαλασσινού νερού ή διοχέτευση αστικών λυμάτων. Συγκεντρώσεις πάνω από 250 mg/L προκαλούν στο νερό αλμυρή γεύση και πάνω από 200 mg/L έχουν δυσμενείς επιπτώσεις. Τα χλωριόντα αποτελούν ουσιαστικά ένα δείκτη ο οποίος δεν μεταβάλλεται χημικά και έτσι η απομάκρυνσή τους μπορεί να πραγματοποιηθεί μόνοι με καθίζηση. Οι κυριότερες πηγές προέλευσης αυτών είναι από τα προϊόντα διάλυσης των εβαποριτών  $\text{NaCl}$ , απόπλυση αλμυρών νερών εγκλωβισμένων σε λεπτόκοκκες ιζηματογενείς αποθέσεις, θαλάσσια εισροή.

Θειικά ( $\text{SO}_4^{2-}$ ): Είναι ευρέως διαδεδομένα στα φυσικά νερά. Προκαλούν στο νερό δυσάρεστη γεύση και οσμή. Ωστόσο χρησιμοποιούνται κατά

κόρον στη βιομηχανία ως αντιδραστήρια (θειϊκό οξύ, θειούχος σίδηρος και άλλα θειούχα και θειϊκά άλατα). Επίσης όσον αφορά τα θειϊκά άλατα του ασβεστίου και του μαγνησίου έχουν υπακτική δράση. Η μέγιστη συγκέντρωση που μπορεί να έχουν στο πόσιμο νερό δεν ξεπερνάει τα 250 mg/l και σε αερόβιες συνθήκες ευνοείται η μετατροπή των θειούχων σε θειϊκά ενώ αντίθετα σε αναερόβιες ευνοείται η μετατροπή των θειϊκών σε θειούχων (Κατσίρης και Παππά 2001).

Όξινα ανθρακικά ιόντα ( $\text{HCO}_3^-$ ): Η οξυανθρακική ρίζα είναι το επικρατέστερο ανιόν στα υπόγεια νερά και προέρχεται από τη διάλυση των ανθρακικών πετρωμάτων στο νερό ( $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{MgCO}_3$ ). Ουσιαστικά πηγή τους είναι τα ανθρακικά πετρώματα, οι ασβεστόλιθοι και οι δολομίτες (Κατσίρης και Παππά 2001).

Ασβέστιο ( $\text{Ca}^{++}$ ): Είναι το δεύτερο σε συγκέντρωση συστατικό των φυσικών νερών. Εισέρχεται στο νερό από διάφορα πετρώματα όπως ασβεστόλιθο ( $\text{CaCO}_3$ ), δολομίτη ( $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{MgCO}_3$ ), γύψο ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), φθοριούχο ασβέστιο ( $\text{CaF}_2$ ) (Τσακίρης 2010). Η συγκέντρωση του στο πόσιμο νερό είναι 10-100 mg/L ωστόσο νερό που περιέχει 40-100 mg/L θεωρείται σκληρό έως πολύ σκληρό. Αποτελεί φυσικά απαραίτητο στοιχείο της διατροφής των ζώντων οργανισμών (ανθρώπων, ζώων, φυτών) (Κατσίρης και Παππά 2001).

Φώσφορος ( $\text{P}^{3-}$ ): Όλες οι ενώσεις φωσφόρου συναντώνται στα νερά είτε σε διαλυμένες, είτε σαν σωματίδια είτε στο σώμα των υδρόβιων οργανισμών. Ο φώσφορος όπως και το άζωτο είναι βασικό στοιχείο στην ανάπτυξη των αλγών και η περιεκτικότητά του στα νερά αποτελεί καθοριστικό παράγοντα στον ευτροφισμό των επιφανειακών νερών. Η μεγαλύτερη ποσότητα ανόργανου φωσφόρου οφείλεται στα ανθρώπινα λύματα και προέρχεται από τη διάσπαση των πρωτεϊνών κατά τον μεταβολισμό. Επίσης υπάρχει σε πολλά απορρυπαντικά και στα φωσφορικά λιπάσματα. Μικρά ποσά φωσφορικών εισέρχονται στα δίκτυα από την επεξεργασία του νερού, όπου χρησιμοποιούνται για να εμποδιστεί η διάβρωση στις σωληνώσεις και τα επικαθήματα στους λέβητες (Κατσίρης και Παππά 2001).

Κάλιο ( $\text{K}^+$ ): Το κάλιο είναι ένα πολύ διαδεδομένο στοιχείο στα φυσικά νερά. Οι συγκεντρώσεις τους ωστόσο δεν ξεπερνάνε τα 20mg/L ενώ στο πόσιμο νερό τα 12mg/L. Αποτελεί επίσης πολύ καλό θρεπτικό στοιχείο

για τους φυτικούς οργανισμούς και τους βοηθάει να συλλέγουν ευκολότερα το διοξείδιο του άνθρακα (W. Fresenius 1988).

**Μαγνήσιο ( $Mg^{++}$ ):** Το μαγνήσιο αποτελεί ένα από τα πιο διαδεδομένα συστατικά των φυσικών νερών αφού αποτελεί το 2,1% του φλοιού της γης. Τα άλατα του ασβεστίου είναι στο σύνολό τους υδατοδιαλυτά και μαζί με τα άλατα του ασβεστίου αποτελούν την ολική σκληρότητα του νερού (Τσακίρης 2010). Όσον αφορά τις συγκεντρώσεις που συναντάται έχουμε μία συγκέντρωση 4-40 mg/L στο πόσιμο νερό ενώ αν ξεπεράσει το 125mg/L έχει καθαρτικές ιδιότητες για τον άνθρωπο και αποτελεί θρεπτικό συστατικό για φυτά και καλλιέργειες ως εδαφοβελτιωτικό (Κατσίρης και Παππά 2001).

**Νάτριο ( $Na^+$ ):** Το νάτριο συναντάται παντού στο φυσικό περιβάλλον. Βρίσκεται στα φυσικά νερά, στον ανθρώπινο οργανισμό και τις τροφές. Η συγκέντρωση του είναι μεταξύ 1-500mg/L και αυτό γιατί υπάρχει άφθονο στη φύση. Εισέρχεται στο νερό αφού περιέχεται σε πολλά πετρώματα κυρίως ορυκτά χλωριούχου νατρίου και αργιλοπυριτικά ορυκτά. Επίσης χρησιμοποιείται για τον έλεγχο υδάτων έτσι ώστε να προσδιοριστεί η καταλληλότητα για αρδευτική χρήση των λυμάτων γιατί αν υπάρχει σε μεγάλο ποσοστό δημιουργεί πρόβλημα. Ενδεικτική είναι η τιμή της συγκέντρωσης 200mg/L στο πόσιμο νερό σύμφωνα με την οδηγία 90/83/EK (Fresenius 1988).

### **Γ) Οργανικές παράμετροι**

**Διοξίνες (Dioxin):** Κατατάσσονται στην κατηγορία των αλογονούχων παραγώγων των πολυκυκλικών υδρογονανθράκων. Έχουν την ικανότητα να παγιδεύονται στον λιπαρό ιστό των ψαριών και των ζώων αφού μεταφέρονται μέσω νερού και αέρα παραμένοντα αδιάλυτες. Έτσι εισέρχονται στην τροφική αλυσίδα. Αυτό που τις χαρακτηρίζει είναι η ανθεκτικότητα τους σε υψηλές θερμοκρασίες και ο χαμηλός βαθμός βιοαποικοδόμησης (Quevauviller 2002).

**Φαινόλες (Phenols):** Στην μεγάλη κατηγορία των φαινολών συμπεριλαμβάνονται οι ενώσεις hydroxybenzene οι οποίες ανιχνεύονται με αναλυτική μέθοδο χρησιμοποιώντας ως πρότυπο τη φαινόλη. Πηγή προέλευσής τους αποτελεί η αποσύνθεση των φυτικών υλών, η αποικοδόμηση των αγροτικών φαρμάκων αλλά και τα αστικά και βιομηχανικά απόβλητα (Quevauviller 2002).



Χλωροφαινόλες-υδρογονάνθρακες (chlorophenols-hydrocarbons): Το πρώτο χρησιμοποιείται κυρίως για συντήρηση ξύλινων επιφανειών καθώς βοηθάει στην εξάλειψη οργανισμών όπως παράσιτα και μικρόβια. Λόγω της μεγάλης ανάγκης σε ενέργεια απαιτείται συχνά μεταφορά μεγάλης ποσότητας υδρογονανθράκων, με αποτέλεσμα να υπάρχει κίνδυνος απελευθέρωσης τους εξαιτίας κάποιου ατυχήματος ή μιας φυσικής καταστροφής (πυρκαγιά) (Quevauviller 2002).

Χλωροβενζένιο (chlorobenzene): Έχει πολλαπλή χρήση γι αυτό είναι αρκετά σημαντικός παράγοντας. Αποτελεί διαλύτη στην μεταλλουργία, στη φαρμακοβιομηχανία και βοηθάει στη σύνθεση εντομοκτόνων (Quevauviller 2002).

**Δ) Βαρέα μέταλλα** Τα βαρέα μέταλλα είναι σημαντικά για όλους τους οργανισμούς ωστόσο είναι τοξικά σε μεγάλες συγκεντρώσεις. Πολλά από αυτά αποτελούν ρύπους και συχνά τα υγρά απόβλητα εργοστασίων δεν ελέγχονται κατάλληλα για ύπαρξη μετάλλων. Αυτό συνεπάγεται τη ρύπανση του αρδευτικού νερού. Μερικά από τα μέταλλα αυτά είναι μόλυβδος (Pb), χρώμιο (Cr), σελήνιο (Se), αρσενικό (As), κάδμιο (Cd), αργίλιο (Al), υδράργυρος (Hg).

Μόλυβδος ( $Pb^{2+}$ ): Τα φυσικά νερά περιέχουν έως 5mg/L μόλυβδο και είναι πολύ τοξικό στοιχείο. Τα απόβλητα ορυχείων και βιομηχανιών καθώς και η διάβρωση υδραυλικών μολύβδινων εγκαταστάσεων προκαλούν μεγάλες συγκεντρώσεις μολύβδου. Επίσης μεγάλες ποσότητες βρίσκονται στην ατμόσφαιρα από τον τετρααιθυλιούχο μόλυβδο που προστίθεται στη βενζίνη σαν αντικροτικό, ωστόσο οι περισσότερες χώρες χρησιμοποιούν αμόλυβδη βενζίνη σήμερα. Ακόμα άλλες χρήσεις του είναι στην παραγωγή μπαταριών, κραμάτων, χρωστικών και αντισκωριακών. Οι επιπτώσεις του στην υγεία έχουν μελετηθεί πριν χρόνια γιατί οι διαβρώσεις των υδραυλικών εγκαταστάσεων καθώς και οι εσωτερικές διακοσμήσεις χρώματος με βάση το μόλυβδο προκάλεσαν αρκετά προβλήματα όπως δηλητηριάσεις. Οι βλάβες που προκαλεί είναι συνήθως στο συκώτι, στον εγκέφαλο και στο νευρικό σύστημα (Κατσίρης και Παππά 2001).

Χρώμιο ( $Cr^{3+}$ ): Βρίσκεται στο φλοιό της γης και υπάρχει σαν χρώμιο με τρία σθένη και χρώμιο με έξι σθένη. Το εξασθενές υπάρχει κυρίως στα νερά γιατί είναι ευδιάλυτο ενώ το τρισθενές δεν παρουσιάζει μεγάλη

διαλυτότητα και καθιζάνει. Μπορεί να ρυπάνει τα επιφανειακά νερά με τη μεταφορά του από το αεροζόλ με τη βοήθεια της βροχής. Ενδεικτικές συγκεντρώσεις του στο νερό της βροχής είναι 0.2-1  $\mu\text{g/L}$ , της θάλασσας 0.05  $\mu\text{g/L}$ , και στα φυσικά νερά 0.5-2  $\mu\text{g/L}$  ενώ αντίθετα στα υπόγεια νερά η συγκέντρωση του είναι αρκετά χαμηλή. Μεγάλες συγκεντρώσεις του οφείλονται κυρίως σε απόβλητα εργοστασίων. Χρησιμοποιείται στη βιομηχανία χρωμάτων, στα επιμεταλλωτήρια και στην Παρασκευή κραμάτων και καταλυτών. Συχνά προστίθεται στα νερά ψύξης χρωμικές ενώσεις για έλεγχο διάβρωσης. Στην υγεία το εξασθενές χρώμιο είναι επιβλαβές για το συκώτι και το δέρμα, λόγω της τοξικότητας του θεωρείται καρκινογόνο. Το τρισθενές δεν έχει παρουσιάσει ακόμα κάποια προβλήματα στην υγεία (Κατσίρης και Παππά 2001).

Κάδμιο ( $\text{Cd}^{+}$ ): Αποτελεί ένα από τα τοξικότερα μέταλλα και εμφανίζεται στη φύση σε θειούχα ορυκτά μαζί με το μόλυβδο και τον ψευδάργυρο. Εμφανίζεται κυρίως σε ιζήματα και σε αιωρούμενα σωματίδια. Η συγκέντρωση του είναι κάτω από 1  $\mu\text{g/L}$ . Προέρχεται συνήθως από βιομηχανικά απόβλητα και διαβρώσεις γαλβανισμένων σωλήνων. Η διαλυτότητα του καδμίου εξαρτάται από την τιμή του pH και τη σκληρότητα επομένως σε νερό μαλακό χαμηλού pH υπάρχει περίπτωση να βρεθούν υψηλές συγκεντρώσεις καδμίου. Είναι επιβλαβές για την υγεία καθώς προσβάλλει το συκώτι, τη σπλήνα, τα νεφρά, το θυρεοειδή αδένα καθώς επίσης αντικαθιστά και το ασβέστιο από τα οστά προκαλώντας τη νόσο itai itai. Από αρκετές μελέτες και πειράματα έχει συνδεθεί με τον καρκίνο στον άνθρωπο (Κατσίρης και Παππά 2001).

Αρσενικό (As): Τα περισσότερα φυσικά νερά περιέχουν συγκεντρώσεις που ξεπερνούν τα 5  $\mu\text{g/L}$ . Υπάρχει όπως και το κάδμιο σε όλα τα θειούχα ορυκτά και προέρχεται από την καύση ορυκτών και από εντομοκτόνα. Φυσικές πηγές προέλευσης του αποτελούν οι ηφαιστειακές δράσεις και η αποσύνθεση φυτικών οργανικών υλών. Είναι τοξικό και πιθανόν καρκινογόνο και η τοξικότητα του εξαρτάται από τη χημική και φυσική του μορφή, τον τρόπο εισροής, το χρόνο έκθεσης σε αυτό του ανθρώπινου οργανισμού. Προκαλεί επίσης βλάβες στο γαστρικό, νευρικό και αναπνευστικό σύστημα.

Ψευδάργυρος ( $\text{Zn}^{++}$ ): Αποτελεί σημαντικό στοιχείο για τον άνθρωπο και τα ζώα. Προέρχεται συνήθως από διάβρωση γαλβανισμένων σωλήνων

και από απόβλητα μεταλλείων. Η συγκέντρωση του όταν ξεπερνάει τα 5  $\mu\text{g/L}$  προσδίδει χρώμα και στυπτική γεύση στο πόσιμο νερό. Στην υγεία δεν έχει παρατηρηθεί κάτι επιβλαβές (Κατσίρης και Παππά 2001).

Φθόριο ( $\text{F}^-$ ): Υπάρχει στα υπόγεια νερά και όχι στα επιφανειακά. Προέρχεται από ηφαιστειογενή πετρώματα και συναντάται στα νερά σαν φθοριούχο άλας. Είναι πολύ σημαντικό για τον άνθρωπο και δεν βρίσκεται σε στοιχειακή μορφή στη φύση εξαιτίας της δραστηρότητας του. Μικρές ποσότητες της τάξης του  $1\mu\text{g/L}$  είναι ωφέλιμες για την υγεία των δοντιών αφού εμποδίζεται η δημιουργία τερηδόνας ωστόσο μεγαλύτερες ποσότητες προκαλούν τη φθορίαση και βλάβες στα οστά. Χρησιμοποιείται στις βιομηχανίες χάλυβα και γυαλιού, στην παραγωγή αλουμινίου, σε λιπάσματα και κεραμικά. Στα νερά όπου λείπει το φθόριο γίνεται προσθήκη αυτού με φθοριούχες ενώσεις αλλά απαιτείται συνεχής έλεγχος για να μην ξεπεραστούν τα όρια φθορίου στο νερό (Κατσίρης και Παππά 2001).

Σίδηρος ( $\text{Fe}^{++}$ ): Εμφανίζεται σε υπόγεια νερά που περνούν από πετρώματα σιδήρου. Είναι ικανός να προκαλέσει στα παιδιά αιμοχρωμάτωση, δηλαδή βλάβες στους ιστούς και δίνει στο νερό μία ιδιαίτερη γεύση όταν βρίσκεται σε μικρές συγκεντρώσεις. Προκαλεί επίσης προβλήματα στα πλυντήρια, υφαντήρια και στους αγωγούς διανομής νερού (Sawyer and McCarty 1978).

Μαγγάνιο ( $\text{Mn}^{++}$ ): Θεωρείται από τα στοιχεία που είναι λιγότερο τοξικά για τον άνθρωπο και η απορρόφηση του στον οργανισμό συνδέεται με αυτή του σιδήρου. Μεγάλη συγκέντρωση προκαλεί δυσάρεστη γεύση. Εξαιτίας της διευκόλυνσης που παρέχει στην ανάπτυξη μικροοργανισμών προκαλεί θολότητα και ευνοεί τη δημιουργία οσμών και αποθέσεων (Κατσίρης και Παππά 2001).

Χαλκός ( $\text{Cu}^+$ ): Είναι βασικό στοιχείο του ανθρώπινου μεταβολισμού. Επειδή τα άλατα του είναι τοξικά στα υδρόβια φυτά χρησιμοποιείται για την αναστολή των φυκών. Σε περίπτωση στασιμότητας του πόσιμου νερού στις σωληνώσεις πχ για 12 ώρες οι συγκεντρώσεις του φτάνουν ή και υπερβαίνουν πολλές φορές τα  $20\mu\text{g/L}$ . Τότε προσδίδει στο νερό χρώμα και στυπτική γεύση αλλά δεν υπάρχουν ενδείξεις ότι έχει επιπτώσεις στην υγεία (Sawyer and McCarty 1978).



### **2.3.3 μικροβιολογικές παράμετροι**

Στο νερό που υπάρχει στη φύση περιέχεται μεγάλος αριθμός μικροοργανισμών, οι οποίοι αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι του αφού συναποτελούν τη χλωρίδα του νερού. Αυτοί μεταφέρονται στο νερό είτε με φυσικά φαινόμενα (πχ βροχές) είτε μέσω της παρέμβασης του ανθρώπου (απόβλητα, αστικά λύματα). Διακρίνονται στις παρακάτω κατηγορίες: α) ιοί που έχουν μέγεθος 0.01-0.3  $\mu\text{m}$  και είναι παρασιτικοί οργανισμοί, δηλαδή τρέφονται μέσα από κάποιο άλλο οργανισμό, β) βακτήρια έχουν μέγεθος 0.5-5  $\mu\text{m}$  και ζουν σε ουδέτερο pH, γ) μύκητες είναι πιο ανθεκτικοί από τους μύκητες σε διαφορετικές κλίμακες pH και η παρουσία τους προδίδεται από την δυσάρεστη οσμή και γεύση, δ) ακτινομύκητες έχουν το μέγεθος των βακτηρίων 0.5-5  $\mu\text{m}$  και μοιάζουν με μύκητες, ε) φύκη που αποτελούν το κύριο είδος που ζει σε γλυκά νερά και είναι ο κύριος παραγωγός της οργανικής ύλης, ζ) πρωτόζωα που έχουν μέγεθος 10-100  $\mu\text{m}$  και τρέφονται με βακτήρια (Τσακίρης 2010).

Η καταλληλότητα του πόσιμου νερού προσδιορίζεται με βάση τους μικροβιολογικούς δείκτες όπως ολικά κολοβακτηριοειδή (total coliforms), κολοβακτηριοειδή κοπράνων (faecal coliforms), στρεπτόκοκκοι κοπράνων (faecal streptococci), κλωστηρίδια αναγωγικών θειωδών αλάτων, καταμέτρηση των συνολικών βακτηριδίων για το πόσιμο νερό i) στους 37 βαθμούς κελσίου ii) στους 22 βαθμούς κελσίου.

### **2.3.4 Μεταφερόμενα στερεά και διαλυμένα ιόντα**

Ανεξάρτητα από την πηγή προέλευσης του αρδευτικού νερού αυτό περιέχει αιωρούμενα στερεά, ουσίες και διαλυμένα ιόντα. Αυτά βρίσκονται σε ποικίλες συγκεντρώσεις και συσσωρεύονται στο έδαφος από τη μεταφορά του νερού. Έτσι η περιεκτικότητα του νερού στις ποσότητες των αλάτων που μεταφέρει, καθώς και αυτών που απορροφούνται από το έδαφος σε συγκεκριμένες συνθήκες κλίματος και είδος καλλιεργειών καθορίζουν την ποιότητα του αρδευτικού νερού.

Μερικά από τα στοιχεία που περιέχονται στο νερό είναι τα ανιόντα όξινων ανθρακικών, τα θειικά και τα χλωριόντα, τα κατιόντα ασβεστίου, νατρίου, μαγνησίου και καλίου αλλά και διαλυμένες ουσίες όπως ανθρακικά και νιτρικά. Από το νερό της βροχής προέρχονται άλλα στοιχεία όπως άζωτο, οξυγόνο και διοξείδιο του άνθρακα.

## **2.4 Κριτήρια ποιότητας αρδευτικού νερού**

Δείκτες που χαρακτηρίζουν την ποιότητα του νερού είναι η περιεκτικότητα σε διαλυτά άλατα, ορισμένα συστατικά και οι ποσότητες σε αιωρούμενα στερεά και ανθρωπογενείς ρύπους. Η περιεκτικότητα σε άλατα έχει να κάνει από τα στοιχεία που περιέχουν τα πετρώματα από τα οποία διέρχεται το νερό και το εμπλουτίζουν σε διαλυτά άλατα. Τα αιωρούμενα στερεά προέρχονται από τη διάβρωση των εδαφών. Και τέλος οι ανθρωπογενείς ρύποι από τις αγροχημικές ουσίες όπως λιπάσματα και φυτοφάρμακα από βιομηχανικές και αστικές περιοχές (Τσακίρης 2006).

Ωστόσο δεν καθορίζεται η ποιότητα και η καταλληλότητα του νερού μόνο από τα παραπάνω στοιχεία αλλά συμβάλλουν σε αυτή παράγοντες όπως η αντοχή των φυτών, φυσικές και χημικές ιδιότητες του εδάφους, η βιολογική ισορροπία του εδάφους, η υπάρχουσα τεχνολογία των αρδεύσεων και η δυνατότητα για στράγγιση (Τσακίρης 2006).

Έτσι για την καταλληλότητα του νερού θα πρέπει να εξετάζονται όχι μόνο τα χαρακτηριστικά του νερού αλλά και όλοι οι παραπάνω παράγοντες. Άρα για την αποφυγή προβλημάτων απαιτείται κατά το σχεδιασμό η όσο το δυνατόν καλύτερη χρησιμοποίηση του νερού δεδομένης ποιότητας με σεβασμό στην παραγωγή, το έδαφος, το περιβάλλον και τη δημόσια υγεία.

Μερικοί παράμετροι που νοούνται ως κριτήρια ποιότητας-καταλληλότητας αρδευτικού νερού παρουσιάζονται παρακάτω.

### **2.4.1 Αλατότητα**

Ο προσδιορισμός της συγκέντρωσης των διαλυμένων αλάτων γίνεται με

A) τα ολικά διαλυμένα στερεά TDS εκφράζονται σε mg/L

B) την ολική αλατότητα total salinity εκφράζεται σε mg/L

Γ) την ενεργό αλατότητα effective salinity εκφράζεται σε mg/L

Δ) την ηλεκτρική αγωγιμότητα (electrical conductivity) εκφράζεται σε dS/m στους 25 °C (Τσακίρης 2006).

#### 2.4.2 Περιεκτικότητα σε Νάτριο ( $\text{Na}^+$ )

Το νάτριο αποτελεί παράμετρο-κριτήριο της ποιότητας του αρδευτικού νερού καθώς σχετίζεται με φυσικές ιδιότητες του εδάφους όπως η διηθητικότητα και η διαπερατότητα.

Μπορεί να εκφραστεί ως ο λόγος του κατιόντος του νατρίου ως προς το μισό άθροισμα κατιόντων ασβεστίου και μαγνησίου. Ουσιαστικά πρόκειται για τον γνωστό και ως δείκτη SAR sodium absorption ratio και η σχέση με την οποία εκφράζεται είναι (Τσακίρης 2006).

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{++}+Mg^{++}}{2}}} \quad (2.1)$$

Επίσης μπορεί να υπολογιστεί ως ποσοστό PS (percent sodium) επί τοις εκατό των ολικών κατιόντων ασβεστίου, μαγνησίου, καλίου και νατρίου σύμφωνα με την σχέση:

$$PS(\% Na^+) = \frac{Na^+}{Ca^{++}+Mg^{++}+K^{++}+Na^{++}} \quad (2.2)$$

Επιπλέον, προσδιορίζεται από την προσαρμοσμένη αναλογία προσροφημένου νατρίου adjusted SAR.

#### 2.4.3 Περιεκτικότητα σε υπολειμματικό ανθρακικό νάτριο (RSC residual sodium carbonate)

Η τιμή του ανθρακικού νατρίου καθορίζεται από τις αντιδράσεις των όξινων ανθρακικών ή ουδέτερων ανθρακικών (με λιγότερη συγκέντρωση από τα όξινα) με τα ιόντα ασβεστίου και μαγνησίου μεταβάλλοντας έτσι τη συγκέντρωση του νατρίου. Η σχέση με την οποία εκφράζεται είναι (Τσακίρης 2006):

$$RSC = (CO_3 + HCO_3) - (Ca^{++} + Mg^{++}) \quad (2.3)$$

#### 2.4.4 Περιεκτικότητα σε ανταλλάξιμο νάτριο (Exchangeable sodium)

Ο βαθμός με τον οποίο προκύπτει το ποσοστό κορεσμού στις θέσεις των ανταλλάξιμων ιόντων νατρίου του πορώδους μέσου με το νάτριο εκφράζεται με τη σχέση (Τσακίρης 2006):

$$ESP = \frac{\text{ανταλλάξιμο νάτριο}}{CEC \text{ (εκφρασμένα σε } me/100 \text{ g εδάφους)}} \quad (2.4)$$

όπου CEC η ικανότητα εναλλαγής κατιόντων εδάφους. Έτσι έχουμε

$$ESP = \frac{(1.47SAR - 1.26)}{(0.0147SAR + 0.99)} \quad (2.5)$$

με τα ιόντα να εκφράζονται σε me/L.

#### **2.4.5 Περιεκτικότητα σε αιωρούμενα υλικά-ουσίες**

Η περιεκτικότητα σε αιωρούμενα υλικά μπορεί να προκαλέσει πολλαπλά προβλήματα στα δίκτυα άρδευσης. Ανάλογα με την τεχνολογία που χρησιμοποιείται προφανώς μπορεί να υπάρξουν επιπτώσεις στα φύλλα των καλλιεργειών εξαιτίας μεγάλων συγκεντρώσεων αιωρούμενων υλικών αλλά και φράξεις σε μεθόδους όπως άρδευση με σταγόνες. Έτσι επιπτώσεις σαν αυτές δυσκολεύουν το αρδευτικό έργο και συνεπώς την παραγωγική διαδικασία (Τσακίρης 2006).

### **2.5 Νομοθετικό πλαίσιο για τα υδατορεύματα**

#### **2.5.1 Προστασίας από 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. Σύμφωνα με το άρθρο 5 του Ν.3010/2002 <<η οριοθέτηση συνιστάται στον καθορισμό και επικύρωση των πολυγωνικών γραμμών εκατέρωθεν της βαθιάς γραμμής του υδατορεύματος, οι οποίες περιβάλλουν τις γραμμές πλημμύρας, τις όχθες, καθώς και 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 10m από αυτές ή επί αυτών αν έχουν γίνει τα έργα διευθέτησης. Για τα μη οριοθετημένα, επιτρέπεται η δόμηση σε απόσταση 20m ή 10m αν έχουν γίνει τα απαραίτητα τεχνικά έργα οριοθέτησης τα οποία αφορούν κάθε μία ιδιοκτησία ξεχωριστά.

Ο καθαρισμός από απορρίμματα και μάζα, η συντήρηση του χώρου των ρεμάτων και των ποταμών και η κατασκευή έργων αντιπλημμυρικής προστασίας εντάσσονται στις αρμοδιότητες του Δήμου και της Νομαρχίας. Σε ότι 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 των καταπατήσεων και αυθαίρετης δόμησης στα ρέματα. Η διαδικασία που πρέπει να κινηθεί για την κατεδάφιση αυθαιρέτων κατασκευών εξαρτάται από την ύπαρξη αγωγών ομβρίων. Στην περίπτωση όπου 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 20 χρόνια οι συζητήσεις περί διαχείρισης και προστασίας των υδατικών πόρων έχουν αυξηθεί. Αυτό συμβαίνει τόσο σε επιστημονικό όσο και σε πολιτειακό επίπεδο. Οι πολλαπλές χρήσεις του νερού όπως για οικιστική, βιομηχανική, γεωργική χρήση, η αύξηση των αναγκών λόγω αύξησης του πληθυσμού αλλά και η ολοένα μεγαλύτερη χρησιμοποίηση φυτοφαρμάκων και λιπασμάτων αποτελούν βασικούς λόγους για την λήψη τέτοιων αποφάσεων έτσι ώστε να υπάρξει ορθή διαχείριση και προστασία των υδατικών πόρων που εξυπηρετούν τις παραπάνω ανάγκες.

Γι αυτό κρίνεται αναγκαίο σε ευρωπαϊκό επίπεδο να οριστεί σαφές θεσμικό πλαίσιο διαχείρισης και προστασίας της ποιότητας των υδατικών πόρων βάσει του οποίου τα κράτη μέλη θα πρέπει να λαμβάνουν τα απαραίτητα μέτρα ακολουθώντας ποιοτικούς, οικολογικούς και ποσοτικούς στόχους για την προστασία των υδατικών οικοσυστημάτων και την καλή κατάσταση όλων των υδατικών πόρων.

Ουσιαστικά πρόκειται για 3 οδηγίες που κωδικοποιούν την πολιτική στην Ευρωπαϊκή Ένωση:

- Οδηγία για την επεξεργασία αστικών υδατικών αποβλήτων 91/271/ECC που αφορά την αποβολή δημοτικών και κάποιων βιομηχανικών υδατικών αποβλήτων.
- Παροχή νερού και υγιεινή στην Ευρωπαϊκή Ένωση 98/83/EC της 3 Νοεμβρίου του 1998 που αφορά την ποιότητα του πόσιμου νερού.
- Το 2000 εκδόθηκε η οδηγία –πλαίσιο 2000/60/EK για τη διαχείριση των υδατικών πόρων.

Επιπλέον σημαντική για το ζήτημα που εξετάζουμε είναι η έκδοση της οδηγίας 2008/105/EK 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 5134/264/Ε103). Τέλος εκδόθηκε ο Ν.3010/2002 που ρύθμιζε τη διαδικασία οριοθέτησης και άλλων θεμάτων σχετικών με τα υδατορεύματα.

Τι είναι όμως τα πρότυπα περιβάλλοντος; Με τον όρο πρότυπα ποιότητας περιβάλλοντος εννοούμε ένα σύνολο από καθορισμένες τιμές βάση τις οποίες ορίζονται συγκεκριμένα όρια στις ποσότητες των ρύπων που συσσωρεύονται στο περιβάλλον. Ο καθορισμός όμως των ορίων δεν είναι καθόλου εύκολος είτε από επιστημονικές αδυναμίες είτε από θέματα οικονομικής πολιτικής. Επιστημονικές αδυναμίες νοούνται εκείνες οι παράμετροι που επηρεάζουν τα ερευνητικά δεδομένα δηλαδή δεν ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα. Κάτι τέτοιο συμβαίνει όταν οι μετρήσεις γίνονται στην ύπαιθρο και επηρεάζονται από άλλους παράγοντες ή όταν συμβαίνουν στο εργαστήριο απομονώνονται και δεν δημιουργούνται πραγματικές συνθήκες. Όλα αυτά είναι προβλήματα που χρήζουν αντιμετώπισης έτσι ώστε να διαμορφωθούν ορθά πρότυπα ποιότητας περιβάλλοντος (ΠΠΠ).

### **2.5.3 Οδηγία-πλαίσιο 2000/60/EK**

Εκδόθηκε στις 23 Οκτωβρίου του 2000 με σκοπό την αντιμετώπιση προβλημάτων που προκύπτουν από την υποβάθμιση της ποιότητας νερών. Είχε ως αποτέλεσμα τη θέσπιση ενός πλαισίου κοινοτικής δράσης στον τομέα της πολιτικής των υδάτων και δημοσιεύτηκε 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 μία 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 διαχείριση 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 υδατικού περιβάλλοντος καθώς επίσης και των υπογείων υδάτων. Η εξάλειψη της απόρριψης ρυπαντικών ουσιών αποτελεί τον απώτερο σκοπό που οφείλει κάθε κράτος να επιτύχει. Παράλληλα αντιμετωπίζονται όλες οι χρήσεις και υπηρεσίες του 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 των 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 είναι η ομαλή ένταξη της στο εθνικό δίκαιο, μία διαδικασία που διαφέρει σημαντικά για κάθε κράτος. Ποικίλοι είναι οι παράγοντες όπως η ωριμότητα των θεσμικών υποδομών κάθε κράτους διαμορφώνουν ένα συγκεκριμένο υπόβαθρο και καθορίζουν τις συνθήκες ενσωμάτωσης 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 υδατικών πόρων.

#### **2.5.4 Οδηγία-πλαίσιο 2008/105/EK-KYA 51354/2641/E103**

Σύμφωνα με την οδηγία 2000/60/EK εκδόθηκε από το ευρωπαϊκό κοινοβούλιο και το συμβούλιο της 16<sup>ης</sup> Δεκεμβρίου η οδηγία 2008/105/EK. Η συγκεκριμένη οδηγία δημοσιεύτηκε στην επίσημη εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης στις 24 Δεκεμβρίου του 2008. Όπως ορίζεται στο πρώτο άρθρο της καθορίζει τα πρότυπα ποιότητας περιβάλλοντος (ΠΠΠ) για ουσίες προτεραιότητας και ορισμένους άλλους

τύπους όπως προβλέπεται στο άρθρο 16 της οδηγίας 2000/60/EK με στόχο της επίτευξη καλής χημικής κατάστασης των επιφανειακών υδάτων και σύμφωνα με τις διατάξεις και τους στόχους του άρθρου 4 την εν λόγω οδηγίας 2000/60/EK.

Με κοινή υπουργική απόφαση των Υπουργών Εσωτερικών, Αποκέντρωσης και Ηλεκτρονικής διακυβέρνησης-οικονομίας, ανταγωνιστικότητας και ναυτιλίας-περιβάλλοντος, ενέργειας και κλιματικής αλλαγής η οδηγία 2000/60/EK εντάχθηκε στην ελληνική νομοθεσία στις 8 Δεκεμβρίου του 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) στις ουσίες προτεραιότητας και ορισμένους άλλους ρύπους και β) σε 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. Ακόμα 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/EK κατάλογο των ουσιών για τις οποίες ορίστηκαν ΠΠΠ, τους λόγους για τις χρήσεις της προσέγγισης αυτής, τα εναλλακτικά ΠΠΠ που έχουν ορισθεί, συμπεριλαμβανομένων των δεδομένων και τη μεθοδολογία που ακολουθήθηκε, τις κατηγορίες των επιφανειακών υδάτων στα οποία εφαρμόζονται καθώς και την προγραμματιζόμενη συχνότητα παρακολούθησης. Επίσης 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 παρακολούθησης 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 οτιδήποτε 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 δεν υπερβαίνει το πρότυπο 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 του δείγματος ύδατος που λαμβάνεται με διήθηση μέσω του ηθμού 0.45  $\mu\text{m}$  ή και κάθε ισοδύναμη προ-επεξεργασία.
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, οι άλλες παράμετροι ποιότητας ύδατος που επηρεάζουν τη βιοδιαθεσιμότητα των μετάλλων.

#### **2.5.5 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 του 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 Ν880/79. Συγκεκριμένα τα υδατορεύματα οριοθετούνται με βάσει τις διατάξεις του άρθρου 5 του Ν.3010/2002 , στον οποίο η οριοθέτηση συνιστάται στον καθορισμό και στην επικύρωση των πολυγωνικών γραμμών εκατέρωθεν της βαθιάς γραμμής του ρέματος, οι οποίες περιβάλουν α) τις γραμμές πλημμύρας β) τις όχθες του υδατορεύματος όπου είναι διακριτές και γ) οποιοδήποτε εδαφικό, φυσικό και τεχνητό στοιχείο που αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι του ρέματος και σημαντικό για την ομαλή λειτουργία του. Επισημαίνεται ακόμη ότι ο κατά το 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 επικύρωση του γίνεται με απόφαση του γενικού γραμματέα της περιφέρειας 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.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 - ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

### 3.1 Συλλογή στοιχείων και προετοιμασία εργασιών υπαίθρου

Οι θέσεις δειγματοληψίας πάρθηκαν από την προηγούμενη διπλωματική εργασία (Κουρής 2011). Παρουσιάζονται στον παρακάτω Πίνακα 3.1 στο παγκόσμιο σύστημα αναφοράς WGS84 σε μορφή γεωγραφικού πλάτους και μήκους ( $\phi$ ,  $\lambda$ ).

Πινάκας 3.1 Γεωγραφικές συντεταγμένες

Κωδικός θέσης	Γεωγραφικό πλάτος $\phi$ WGS84	Γεωγραφικό μήκος $\lambda$ WGS84	Συντεταγμένες ΕΓΣΑ 87 X (m)	Συντεταγμένες ΕΓΣΑ 87 Ψ (m)
S01	38,020448	23,927621	493495,25	4207798,71
S02	38,036863	23,905913	491594,7	4209621,93
S03	38,044801	23,910752	492020,19	4210502,04
S04	37,988981	23,907852	491759,6	4204308,9
S05	37,993496	23,93399	494055,15	4204807,9
S06	37,990779	23,936847	494305,81	4204506,26
S07	37,986775	23,940115	494593,48	4204061,82
S08	38,006165	23,964076	496697,41	4206212,11
S09	38,007663	23,974121	497579,31	4206378,02
S10	38,011221	23,974951	497652,28	4206772,77
S11	38,012344	23,976881	497821,74	4206897,33
S12	38,017796	24,004216	500221,26	4207502
S13	38,018362	24,012769	500972,01	4207564,87

Ωστόσο αν και είναι 20 στον αριθμό η καταγραφή στην παρούσα διπλωματική εργασία έγινε σε 13 θέσεις αφού η πρόσβαση είναι αδύνατη στις υπόλοιπες. Ο προσδιορισμός τους έγινε με τη χρήση GPS και τοπογραφικού διαγράμματος. Στην Εικόνα 3.1 φαίνονται οι 13 θέσεις δειγματοληψίας και στον Πίνακα 3.1 οι συντεταγμένες τους στο ΕΓΣΑ 87 και στο WGS84. Η απεικόνιση τους έγινε σε περιβάλλον GIS (Εικόνα 3.1).



Εικόνα 3.1 Σημεία δειγματοληπτικών θέσεων με τη χρήση του QGIS

Η διασπορά των θέσεων δειγματοληψίας είναι τέτοια ώστε να καλύπτει όσο το δυνατόν περισσότερο μέρος της λεκάνης κάνοντας έτσι το αποτέλεσμα της εργασίας πιο ολοκληρωμένο και αξιόπιστο .

Τα όργανα που είναι απαραίτητα για την υλοποίηση μιας τέτοιας εργασίας είναι μία μετροταινία 3 μέτρων, μπότες, μαρκαδόροι, φύλλα A4, πίνακες φύλλων excel, μπαταρίες, GPS χειρός, πολύμετρο YSI professional plus, ψηφιακός μυλίσκος valeport.

### 3.1.1 Μέτρηση φυσικοχημικών παραμέτρων

Εκτός από τη λήψη δείγματος σε κάθε θέση πραγματοποιήθηκε και μέτρηση των φυσικοχημικών παραμέτρων του νερού του ρέματος με τη χρήση του πολύμετρου YSI professional Plus (Εικόνα 3.2).



Εικόνα 3.2 Πολύμετρο YSI professional plus

Η χρήση του παραπάνω οργάνου είναι πολύ σημαντική καθώς μας δίνει τη δυνατότητα να μετράμε επιτόπου κάποιες παραμέτρους του υδατορεύματος. Συγκεκριμένα προσδιορίζονται η θερμοκρασία (temperature), το διαλυμένο οξυγόνο (dissolved oxygen), η ενεργός οξύτητα (pH), η αγωγιμότητα (conductivity), η ειδική αγωγιμότητα (special conductivity), τα συνολικά διαλυμένα στερεά (total dissolved solids), η αλατότητα (salinity). Ο Πίνακας 3.2 παρουσιάζει τα αποτελέσματα των παραπάνω παραμέτρων σε κάθε μία θέση δειγματοληψίας.

Πίνακας 3.2 Φυσικοχημικές παράμετροι

Κωδικός θέσης	SPC (μS/cm)	C (μS/cm)	TDS (mg/L)	SAL (ppt)	pH	T (° C )
S01	821	729	533	0,40	8,08	19
S02	678	589	442	0,33	7,95	18
S03	669	580	435,5	0,33	7,98	18
S04	901	787	585	0,45	8,15	18,3
S05	1113	1018	721,5	0,5	8,17	20,5
S06	1109	1023	721,5	0,55	8,21	20,9
S07	1100	1008	715	0,55	8,34	20,6
S08	496,1	455	322,4	0,24	8,13	20,5
S09	1308	1207	851,5	0,66	8,14	21,3
S10	1336	1258	871	0,67	7,89	22
S11	1319	1288	851,8	0,66	8,09	23,7
S12	1197	1175	780	0,59	8,01	24
S13	17296	17475	11245	1017	7,78	25,5

### 3.1.2 Διαδικασία μέτρησης παροχής

Η παροχή του υδατορεύματος είναι καθοριστικός παράγοντας στον προσδιορισμό των ποσοτικών χαρακτηριστικών του νερού. Μπορεί να προσδιοριστεί με την βοήθεια της εξίσωσης της συνέχειας:

$$Q = V \cdot A \quad (3.1)$$

όπου V η μέση ταχύτητα ροής του υδατορεύματος και A το εμβαδόν της υγρής διατομής. Είναι φανερό πως για τον προσδιορισμό τελικά της παροχής απαιτείται η γνώση της ταχύτητας ροής αλλά και η γεωμετρία του υδατορεύματος στα σημεία δειγματοληψίας. Για τον καθορισμό της γεωμετρίας, θεωρήθηκε ως ορθογωνική η διατομή στα σημεία όπου υπάρχει διεύθυνση της κοίτης. Έτσι τα στοιχεία που είναι απαραίτητα για τον προσδιορισμό της γεωμετρίας είναι το πλάτος της κοίτης και το βάθος του νερού στο μέσο του ρέματος.

Ο προσδιορισμός της ταχύτητας ροής έγινε με ειδική συσκευή μέτρησης η οποία λέγεται μυλίσκος (Εικόνα 3.3).





Εικόνα 3.3 Ψηφιακός μυλίσκος την ώρα μετρήσεων

Στη συγκεκριμένη εργασία χρησιμοποιήθηκε ο μυλίσκος valeport. Ουσιαστικά αυτή η συσκευή αποτελείται από έναν αισθητήρα, μία οθόνη ψηφιακή και ένα βαθμονομημένο κοντάρι. Τοποθετούμε τον αισθητήρα στο 60% του βάθους ροής γιατί εκεί καταγράφεται με τη μία η ταχύτητα ροής σύμφωνα με συστηματικές παρατηρήσεις. Το αφήνουμε για ένα λεπτό και παίρνουμε τη μέτρηση της θέσης στην οποία βρισκόμαστε. Επαναλαμβάνουμε στην ίδια θέση και παίρνουμε το μέσο όρο.

Εδώ να σημειωθεί το γεγονός ότι ο μυλίσκος μπορεί και καταγράφει συγκεκριμένη ταχύτητα ροής. Δηλαδή σε υδατορεύματα με πολύ μικρή ταχύτητα ροής η συσκευή του μυλίσκου δεν λειτουργεί ή λειτουργεί αλλά δεν δίνει αποτελέσματα αντιπροσωπευτικά.

### **3.2 Γενικά-διαδικασίες**

Η διαχείριση και ο έλεγχος γύρω από τους υδατικούς πόρους και συνεπώς οι αποφάσεις που είναι αναγκαίες να παρθούν έτσι ώστε να υπάρχει η καλύτερη δυνατή αξιοποίηση τους σχετίζεται μεταξύ των άλλων και σε ποιοτικά κριτήρια που πηγάζουν από μετρήσεις πεδίου. Σε περίπτωση που οι μετρήσεις πεδίου περιέχουν σφάλμα τότε οδηγούμαστε σε αποφάσεις με επιπτώσεις τόσο στο οικονομικό όσο και στο κοινωνικό περιβάλλον. Η καταγραφή και απόκτηση των παραπάνω μετρήσεων γίνεται με συγκεκριμένο τρόπο που περιλαμβάνει μία στρατηγική συλλογής δειγμάτων, την προετοιμασία των δειγμάτων (νερού) και την συντήρηση και αποθήκευση τους οι οποίες θα αναλυθούν πιο κάτω.

### 3.2.1 Στρατηγική συλλογής δειγμάτων

Γενικά: Συλλογή δείγματος νερού καλούμε τη διαδικασία λήψης μιας μικρής ποσότητας νερού (για να μεταφέρεται εύκολα στο χώρο του εργαστηρίου για τις αναλύσεις) ικανή να χαρακτηρίζει τα ποιοτικά στοιχεία του συγκεκριμένου νερού και να επιτρέπει τον προσδιορισμό των ποιοτικών παραμέτρων που χαρακτηρίζουν τον υδατικό πόρο.

Μεγάλη σημασία έχει το γεγονός ότι το δείγμα πρέπει να είναι αντιπροσωπευτικό του υδατικού πόρου για να μην δημιουργούνται αντιφάσεις και αμφιβολίες κατά την επεξεργασία του στα αναλυτικά εργαστήρια. Τέτοιου είδους αμφιβολίες μπορούν να παρουσιαστούν αν για παράδειγμα το δοχείο αποθήκευσης αντιδρά με το δείγμα και έτσι μεταβάλει τις συγκεντρώσεις των στοιχείων του (Τσακίρης 2010).

Επίσης, κάθε υδατικός πόρος απαιτεί διαφορετικό τρόπο συλλογής δειγμάτων. Για τη συλλογή δειγμάτων από αστικό δίκτυο ύδρευσης είναι αρκετή η διέλευση του νερού μέσα από τις σωληνώσεις για 5 λεπτά για την λήψη του. Στο πηγάδι απαιτείται αρκετά μεγάλη ποσότητα άντλησης νερού (με αντλητικό σύστημα). Στο ποτάμι (δηλαδή ο υδατικός πόρος που πραγματεύεται η εργασία αυτή) και το χείμαρρο, η λήψη γίνεται στο μέσο του αποτελεί αντιπροσωπευτική κατάσταση του νερού (απευθείας στο δοχείο) αλλά είναι απαραίτητος και ο προσδιορισμός της παροχής. Όσον αφορά τις λίμνες, τις δεξαμενές και τη θάλασσα σχετίζονται άμεσα από τις βροχοπτώσεις και τους ανέμους και μία καλή λήψη δείγματος γίνεται σε κατάλληλο βάθος ( με δειγματολήπτη νερού ).

Ο τύπος δείγματος μπορεί να διαφέρει ανάλογα με τους σκοπούς για τους οποίους συλλέχθηκε. Μπορεί να περιγραφεί με βάση τη φυσική του κατάσταση στερεό, υγρό, αέριο, με βάση τη σύνθεση του ομογενές ή ετερογενές. Μπορεί επίσης να χωριστεί σε αντιπροσωπευτικό, επιλεγμένο, τυχαίο και σύνθετο (Quevauviller 2002).

- Αντιπροσωπευτικό καλείται αυτό που αποτελεί ταυτότητα του υδατικού σώματος και χωρίζεται σε ομογενές, ανομοιογενές, στατικό σύστημα, δυναμικό σύστημα.
- Επιλεγμένο λέγεται το δείγμα όπου καταγράφεται σε συγκεκριμένο επιλεγμένο σημείο όπου έχει εμφανιστεί πηγή ρύπανσης.



- Τυχαίο ονομάζεται το δείγμα όπου πραγματοποιείται με αμεροληψία αλλά με τέτοιο τρόπο ώστε να υπάρχει πιθανότητα λήψης αντίστοιχου δείγματος σε επόμενη φάση.
- Σύνθετο ονομάζεται το δείγμα το οποίο έχει στόχο να μειώσει το εργαστηριακό κόστος και γι αυτό το λόγο μπορεί να περιλαμβάνει δύο ή και περισσότερα αντιπροσωπευτικά δείγματα.

Ακόμα, σημαντικό παράγοντα που επηρεάζει τη συλλογή των δειγμάτων αποτελεί η θέση δειγματοληψίας. Για την καλύτερη και πιο αξιόπιστη λήψη των δειγμάτων πρέπει να γίνεται έλεγχος των θέσεων δειγματοληψίας έτσι ώστε να αποφεύγονται αλλοιώσεις στα χαρακτηριστικά του μέσου δειγματοληψίας (ενεργός οξύτητα, θερμοκρασία, τα υδρολογικά χαρακτηριστικά, αλατότητα και πηγές ανθρωπογενούς ρύπανσης). Επίσης η εποχιακή διακύμανση καθώς και η ανομοιογένεια του μέσου δειγματοληψίας πχ κοντά στις εκβολές του ποταμού παίζουν σημαντικό ρόλο στην εξέλιξη της αξιολόγησης της ποιότητας του υδάτινου σώματος. Όσον αφορά τη συγκεκριμένη εργασία οι θέσεις δειγματοληψίας ήταν σχετικά προκαθορισμένες με ελάχιστες εξαιρέσεις. Από τις 20 προκαθορισμένες θέσεις πάρθηκαν δείγματα σε 13 από αυτές και αυτό γιατί είτε η πρόσβαση δεν ήταν δυνατή είτε η εποχή δεν επέτρεπε τη συλλογή δείγματος.

Ο αριθμός των δειγμάτων που αναφέρθηκαν πιο πάνω έχει να κάνει συνήθως με τους διαθέσιμους πόρους (εξοπλισμός, προσωπικό) και τους οικονομικούς πόρους. Μπορεί να γίνει αυτομάτως στην περιοχή λήψης η καταγραφή των φυσικών χαρακτηριστικών του υδάτινου σώματος με τη χρήση κάποιων διατάξεων (πολύμετρο) αλλά η καταγραφή φυσικοχημικών και μικροβιολογικών παραμέτρων δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί με συστήματα συνεχούς καταγραφής και απαιτούνται μέθοδοι αναλυτικού εργαστηρίου.

Ωστόσο αν και η δειγματοληψία αποτελεί μία αυτοτελή πράξη γίνεται σε σχετικά τακτά χρονικά διαστήματα. Ειδικά όταν οι μεταβολές σε φυσικοχημικές παραμέτρους είναι μεγάλες και όταν λαμβάνουν χώρα απρόβλεπτοι παράγοντες όπως καταιγίδες, πυρκαγιές κ.ά (Τσακίρης 2006).

### **3.2.2 Προετοιμασία δειγμάτων**

Δεν χρειάζεται καμία προ επεξεργασία των δειγμάτων νερού που λήφθηκαν γιατί επηρεάζονται έτσι κι αλλιώς από φυσικές διεργασίες όπως προσρόφηση ιχνοστοιχείων στα τοιχώματα του δοχείου ή από τα αιωρούμενα σωματίδια. Αυτό που είναι απαραίτητο είναι να εξασφαλιστεί κατά τη διάρκεια της μεταφοράς των δειγμάτων στο εργαστήριο η ταυτότητα των ποιοτικών χαρακτηριστικών του υδατικού σώματος. Αυτό επιτυγχάνεται με την πλύση των δοχείων εκ των προτέρων με αποσταγμένο νερό ενώ αν η λήψη αφορά μικροβιολογικές αναλύσεις απαιτείται αποστείρωση.

### **3.2.3 Συντήρηση και αποθήκευση δειγμάτων**

Η χημική ταυτότητα των δειγμάτων όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως μπορεί να μεταβληθεί για διάφορους λόγους. Διαφορά στο pH, στη θερμοκρασία, επαφή με τον αέρα ή τα τοιχώματα του δοχείου είναι παράγοντες που επηρεάζουν τη χημική σύσταση του δείγματος. Αυτός είναι και ο λόγος που το δείγμα πρέπει να αναλυθεί όσο το δυνατόν γρηγορότερα. Η διατήρηση του γίνεται με διάφορους τρόπους όπως ψύξη, χημική συντήρηση, προσθήκη βιοκτόνων, οξύνιση. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της ψύξης ωστόσο οι διαδικασίες διατήρησης μπορεί να καθυστερούν τυχόν χημικές, βιολογικές και φυσικές μεταβολές δεν ακυρώνουν όμως την ανάγκη για άμεση ανάλυση του δείγματος. Η διαδικασία της ψύξης γίνεται σε σκοτεινό χώρο στους 4 βαθμούς κελσίου. Αυτό επιτρέπει την ελάττωση των φυσικοχημικών μεταβολών. Επίσης έχει το πλεονέκτημα λόγω της μη χρησιμοποίησης χημικών αντιδραστηρίων, ότι δεν αλλοιώνεται η προς ανάλυση χημική σύσταση του δείγματος. Παρόλα αυτά η διαδικασία όπως και οι υπόλοιπες τρεις που αναφέρθηκαν πιο πάνω απαιτούν όσο το δυνατόν γρηγορότερη ανάλυση του δείγματος (Τσακίρης 2006).

### **3.3 Διαδικασίες εργαστηρίου**

Οι διαδικασίες που ακολουθούνται στο εργαστήριο για τα συγκεκριμένα δείγματα είναι τέσσερις. Η διαδικασία της διήθησης, η ιοντική χρωματογραφία, η φασματομετρική ανάλυση και η τιτλοδότηση. Αυτές βοηθούν στον προσδιορισμό των φυσικοχημικών και βιολογικών παραμέτρων των δειγμάτων νερού. Έτσι είμαστε σε θέση να προσδιορίσουμε και την ποιότητα νερού που μας ενδιαφέρει.

### 3.3.1 Διήθηση

Τα δείγματα που έχουν συγκεντρωθεί περιέχουν αιωρούμενα σωματίδια σε ποικίλες συγκεντρώσεις. Η διήθηση είναι απαραίτητη αν για τα στοιχεία που υπάρχει ενδιαφέρον βρίσκονται σε ιοντική μορφή. Η διαδικασία αυτή απομακρύνει αυτού του είδους τα αιωρούμενα σωματίδια και περιορίζει με αυτόν τον τρόπο τυχόν αποκλίσεις κατά τη χημική ανάλυση. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι υπάρχουν υδροφοβικοί ρύποι που προσροφώνται στα αιωρούμενα σωματίδια με μεγάλες συγκεντρώσεις (Quevauviller 2002). Η διαφορά ενός διηθημένου δείγματος και ενός μη διηθημένου είναι πολλές φορές μεγάλη όσον αφορά την ερμηνεία των αποτελεσμάτων της ανάλυσης. Ουσιαστικά η διαδικασία της διήθησης δεν είναι τίποτα παραπάνω από τον διαχωρισμό των αιωρούμενων σωματιδίων του δείγματος και των διαλυτών. Επιτυγχάνεται με τη χρήση ηθμού Whatman με διάμετρο πόρων 0.45  $\mu\text{m}$  και διάμετρο ηθμού 47 $\mu\text{m}$ . Αρχικά ζυγίζεται ο ηθμός για να προσδιοριστεί το αρχικό του βάρος, πλένεται το σύστημα διήθησης με αποσταγμένο νερό για την απομάκρυνση στοιχείων που μπορούν να επηρεάσουν τη διαδικασία, όπως σωληνώσεις και γυάλινα δοχεία. Έπειτα τοποθετείται ο ηθμός ανάμεσα σε δύο δοχεία και προστίθεται στο πάνω δοχείο σιγά σιγά το δείγμα. Ο ηθμός συγκρατεί τα αιωρούμενα σωματίδια του δείγματος που δεν μπορούν να διέλθουν από τις εγκοπές του. Αυτό καθιστά το δείγμα που έχει διηθηθεί καθαρό από αιωρούμενα σωματίδια και ανεπιθύμητους οργανισμούς φυτικούς και μη. Στις Εικόνες 3.4 και 3.5 παρουσιάζονται τα όργανα που χρησιμοποιούνται στη διαδικασία διήθησης.



Εικόνα 3.4 Αντλία κενού για το φιλτράρισμα του δείγματος-Διαδικασία διήθησης



Εικόνα 3.5 Ηθμοί μετά τη διαδικασία διήθησης

Μετά τη διήθηση τοποθετήσαμε 50 mL από κάθε δείγμα σε γυάλινα φιαλίδια για την χρησιμοποίησή τους στη διαδικασία της ιοντικής χρωματογραφίας για τον προσδιορισμό των κύριων ιόντων και τα

υπόλοιπα τα αποθηκεύουμε-συντηρούμε σε συνθήκες ψύξης για την χρησιμοποίηση τους στην μέθοδο της τιτλοδότησης για τον προσδιορισμό των όξινων ανθρακικών ιόντων.

### **3.3.2 Ιοντική χρωματογραφία**

Αρχικά με τον όρο χρωματογραφία εννοούμε τη μέθοδο διαχωρισμού χημικών ουσιών, η οποία στηρίζεται στη διαφορετική κατανομή των συστατικών ενός μίγματος μεταξύ μιας κινούμενης και μιας στατικής φάσης. Ανάλογα με τη φύση της κινούμενης και της στατικής φάσης η χρωματογραφία χαρακτηρίζεται ως αέρια ή υγρή. Ανάλογα με την αρχή στην οποία στηρίζεται ο διαχωρισμός χαρακτηρίζεται ως κατανομής, προσρόφησης, ιοντοανταλλαγής ή πήκτης.

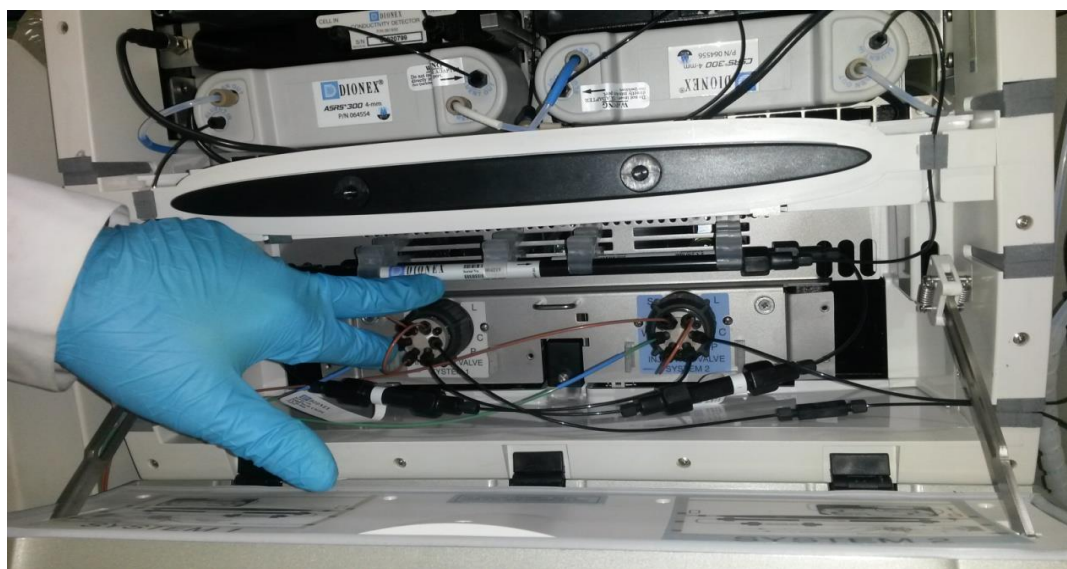
Στην παρούσα εργασία, η χρωματογραφία που ακολουθείται είναι η ιοντική. Διαχωρίζεται δηλαδή μίγμα ουσιών διαφορετικής ιοντικής ισχύος και οι δυνάμεις συγκράτησης μεταξύ των συστατικών του μίγματος και της στερεής φάσης είναι ηλεκτροστατικής φύσης.

Αναλυτικά χρησιμοποιήθηκε εναλλάκτης ιόντων χαμηλής ικανότητας ως στατική φάση και υδατικά διαλύματα μονοβασικών αλάτων και διβασικών οξέων ως κινητές φάσεις. Έχουμε λοιπόν διάλυμα έκλουσης με σύσταση 4.5 mM  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  και 0.8 mM  $\text{NaHCO}_3$ . Χρησιμοποιείται στη διαδικασία ανιχνευτής έτσι ώστε να συνδυαστεί με τέτοιο τρόπο ώστε να μειώσει την αγωγιμότητα του διαλύματος έκλουσης και να μετατρέψει τα διαχωριζόμενα ανιόντα στα αντίστοιχα με αυτών των οξέων. Αυτός ο συνδυασμός που περιγράφηκε πιο πάνω υπάρχει στο όργανο χρωματογραφικής ιοντοεναλλαγής της Dionex ICS-3000 (Εικόνα 3.6 και 3.7) που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία.



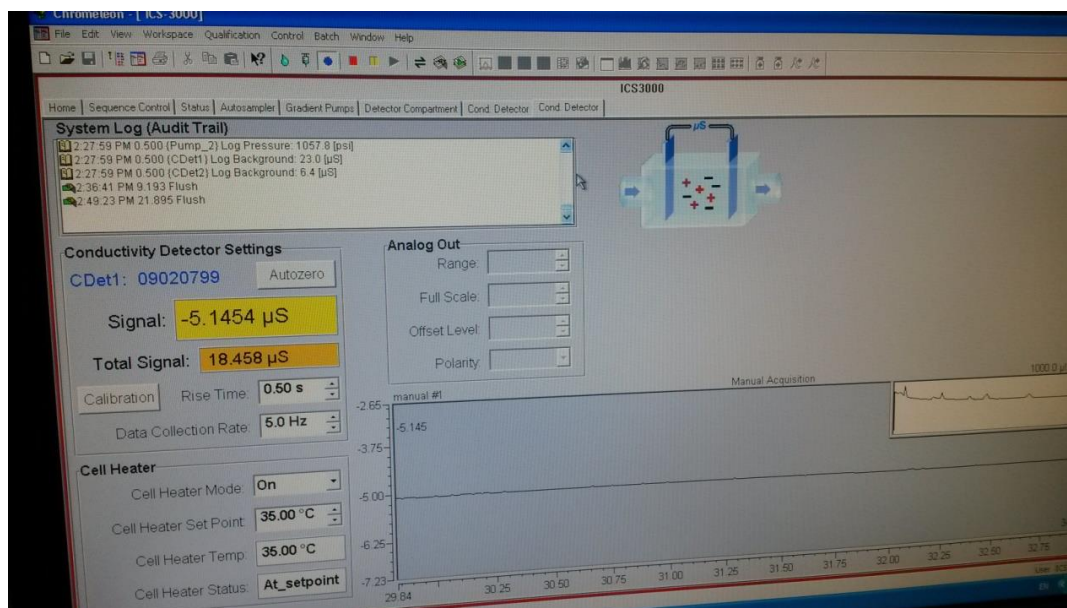


Εικόνα 3.6 Όργανο ιοντικής χρωματογραφίας DIONEX ICS-3000



Εικόνα 3.7 Εσωτερικό σύστημα μικροσωληνώσεων του DIONEX ICS-3000

Δημιουργείται μία καμπύλη βαθμονόμησης (ποιοτικός προσδιορισμός) με τη χρησιμοποίηση συγκριτικά των χρόνων των μεικτών προτύπων διαλυμάτων και των χρόνων κατακράτησης των ιόντων. Ωστόσο σημειώνεται ότι σε μια τέτοια ανάλυση μια σειράς δειγμάτων η απόκλιση των παραπάνω χρόνων κατακράτησης δεν θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη από το 10%. Οι χρόνοι αυτοί επηρεάζονται από τη σύσταση και τη συγκέντρωση των δειγμάτων που αναλύονται. Και η κορυφή των χρωματογραφημάτων είναι ανάλογη της συγκέντρωσης του ανιόντος (ποσοτικός προσδιορισμός) (Εικόνα 3.8).



Εικόνα 3.8 Χρωματογράφημα δειγμάτων

### 3.3.3 Φασματομετρική ανάλυση

Καλείται η διαδικασία κατά την οποία ιονίζεται ένα επαγωγικά συζευγμένο πλάσμα. Ουσιαστικά διαχωρίζονται τα ιόντα με τη βοήθεια ενός φασματομέτρου μάζας και μετριέται έτσι η ποσότητα τους. Η ανάλυση αυτή με τη φασματομέτρηση της μάζας δύναται να εντοπίζει τα στοιχεία με πολύ μικρή συγκέντρωση είτε είναι μέταλλα ή μη μέταλλα.

Στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία χρησιμοποιήθηκε η φασματομετρική ανάλυση μαζών σε επαγωγικά συζευγμένο πλάσμα για τον προσδιορισμό των ιχνοστοιχείων.

Τα βήματα για την υλοποίηση της διαδικασίας είναι τα εξής: Αρχικά τοποθετούμε το δείγμα στο συζευγμένο πλάσμα για τον ιοντισμό ενώ η μεταφορά του πραγματοποιείται με τη χρήση αερίου αργού. Στη συνέχεια ο αναλυτής μαζών διαχωρίζει τα ιόντα με βάσει το λόγο μάζας/φορτίου. Και τέλος μετριέται για κάθε παραπάνω λόγο μάζας φορτίου η ένταση του ιόντος σε ηλεκτρονικό ανιχνευτή.

### 3.3.4 Τιτλοδότηση

Η τιτλοδότηση είναι μια εργαστηριακή μέθοδος για την ποσοτική ανάλυση ενός δείγματος. Σε μία τιτλοδότηση αναμειγνύονται 2 αντιδραστήρια, ένα γνωστής συγκέντρωσης και ένα άγνωστης συγκέντρωσης. Υπάρχουν διάφοροι τρόποι να αντιληφθούμε πότε τα δύο αντιδραστήρια έχουν αντιδράσει πλήρως μεταξύ τους, και έτσι να υπολογίσουμε τη συγκέντρωση του άγνωστου διαλύματος. Συνήθως το

ένα αντιδραστήριο είναι διάλυμα που προστίθεται με τη βοήθεια του ψηφιακού τιτλοδότη (digital titrator) Εικόνα 3.9. Αυτό το διάλυμα είναι το διάλυμα γνωστής συγκέντρωσης (πρότυπο διάλυμα). Το διάλυμα από τον ψηφιακό τιτλοδότη προστίθεται σε μία κωνική φιάλη, η οποία περιέχει είτε ένα συγκεκριμένο-μετρημένο όγκο διαλύματος του δείγματος είτε μια συγκεκριμένη-ζυγισμένη μάζα στερεού δείγματος, η οποία έχει διαλυθεί σε διαλύτη (συνήθως νερό). Ο τιτλοδότης έχει ψηφιακό μετρητικό μηχανισμό και μας επιτρέπει να υπολογίσουμε κάθε φορά τον όγκο προτύπου διαλύματος που προστίθεται στη κωνική φιάλη. Η αντίδραση μεταξύ των αντιδρώντων (προτύπου διαλύματος και δείγματος) πραγματοποιείται μέσα στη κωνική φιάλη. Ο ρυθμός προσθήκης προτύπου διαλύματος στην κωνική φιάλη εξαρτάται από τη μεταβολή του χρώματος του δείγματος. Στην αρχή η προσθήκη γίνεται πιο γρήγορα γιατί το χρώμα του δείκτη εξαφανίζεται γρήγορα και όσο περνάει η ώρα γίνεται με πιο αργούς ρυθμούς αφού το χρώμα μέσα στη φιάλη(του δείκτη) αρχίζει να σταθεροποιείται-διατηρείται.



Εικόνα 3.9 Ψηφιακός τιτλοδότης

Υπάρχουν τρία είδη τιτλοδότησης. Τιτλοδότηση οξέου-βάσεως, οξειδοαναγωγικές τιτλοδοτήσεις και τιτλοδοτήσεις συμπλοκοποίησης.

Ουσιαστικά ακολουθείται η διαδικασία που περιγράφηκε πιο πάνω. Στη συγκεκριμένη εργασία ακολουθήθηκε η μέθοδος HACH-Method 8203,



που εφαρμόζεται για εύρος συγκεντρώσεων 10-4000 mg/L ως  $\text{CaCO}_3$  , για τον προσδιορισμό των όξινων ανθρακικών και συνεπώς της αλκαλικότητας.

Σε ένα κωνικό δοχείο προσθέτουμε δείγμα μετρημένο με ογκομετρικό κύλινδρο μέχρι να έχουμε 100 mL. Έπειτα προστίθεται δείκτης bromocresol και βλέπουμε ότι το χρώμα του δείγματος γίνεται πετρόλ και προχωράμε σε τιτλοδότηση μεθειϊκό οξύ για την αποχρωμάτιση του διαλύματος και σημειώνουμε τον όγκο μεθειϊκού οξέος που χρειάστηκε το δείγμα έτσι ώστε να πάρει χρώμα ανοιχτό μωβ-ροζ. Η τιτλοδότηση συνεχίζεται και το διάλυμα παίρνει τελικά χρώμα ανοιχτό μωβ-ροζ κάνοντας το pH του δείγματος 4.7 (Εικόνα 3.10). Τέλος καταγράφεται ο συνολικός όγκος μεθειϊκού οξέος που χρειάστηκε για την υλοποίηση της τιτλοδότησης ο οποίος προσδιορίζει την ολική αλκαλικότητα. Αλκαλικότητα ορίζεται ως το άθροισμα των όξινων ανθρακικών, ανθρακικών ριζών και των υδροξυλίων.



Εικόνα 3.10 Απεικόνιση διαφορετικού χρώματος δείγματος

### 3.4 Στοιχεία περιγραφής στατιστικών αποτελεσμάτων

Η στατιστική αποτελεί μία μαθηματική μέθοδο που επιχειρεί να εξάγει έγκυρη γνώση χρησιμοποιώντας εμπειρικά δεδομένα παρατήρησης ή πειράματος. Κύριο αντικείμενο έρευνας και μελέτης της είναι η συλλογή, ταξινόμηση, επεξεργασία, παρουσίαση, ανάλυση και ερμηνεία διάφορων δεδομένων με σκοπό την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων για τη

λήψη ορθών αποφάσεων. Χωρίζεται σε *περιγραφική* στατιστική όπου περιγράφονται στατιστικά στοιχεία ενός συνόλου δεδομένων και παρουσιάζονται σε αναλυτικούς πίνακες και διαγράμματα με χαρακτηριστικές τιμές και ιδιότητες. Και σε *αναλυτική* όπου αναζητείται ο βαθμός εμπιστοσύνης με διάφορες μεθόδους από κάποιο περιορισμένο δείγμα στοιχείων ενός γενικότερου συνόλου. Τα στοιχεία που χρησιμοποιούνται αντίστοιχα ονομάζονται περιγραφικά και επαγωγικά (Κικιλίας 2001).

#### **3.4.1 Ποιοτικές και ποσοτικές μεταβλητές**

Οι μεταβλητές στην στατιστική χωρίζονται σε ποιοτικές και ποσοτικές.

*Ποιοτικές ή αλλιώς κατηγορικές* είναι οι μεταβλητές που οι τιμές τους δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε αριθμητικές πράξεις. Πρόκειται για μεταβλητές που δείχνουν ότι διάφοροι παράγοντες μεταβάλλονται κατά είδος. Μπορούν εύκολα να περιγραφούν από πίνακες συχνοτήτων, ιστογράμματα και ραβδογράμματα (Παρασκευόπουλος 1972).

*Ποσοτικές μεταβλητές* είναι οι μεταβλητές των οποίων οι τιμές μπορούν να πάρουν μέρος σε αριθμητικές πράξεις. Πρόκειται για μεταβλητές που δείχνουν ότι διάφοροι παράγοντες μεταβάλλονται αριθμητικά-ποσοτικά. Χωρίζονται σε συνεχείς και διακριτές ή ασυνεχείς. Συνεχείς λέγονται αυτές που προέρχονται από αλλαγές τιμών με προοδευτικό τρόπο, με απροσδιόριστες ενδιάμεσες διαφορές ενώ διακριτές αυτές που προέρχονται από αλλαγές τιμών μετά από ενδιάμεσες διακοπές σαφώς ορισμένων διαστημάτων (Παρασκευόπουλος 1972):

#### **3.4.2 Μέτρα στατιστικών δεδομένων**

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω οι μεταβλητές περιγράφονται περιληπτικά από πίνακες και διαγράμματα (ιστόγραμμα-ραβδόγραμμα). Όμως για να προσδιοριστούν τα χαρακτηριστικά κάθε συνόλου τιμών ποιοτικά ή ποσοτικά απαιτούνται κάποιοι δείκτες που δημιουργούνται από τις τιμές της τυχαίας μεταβλητής  $X$  που λαμβάνει χώρα. Αυτοί οι δείκτες αποτελούν τα μέτρα θέσης, όπως λέγονται, του συνόλου των τιμών της κατανομής και περιγράφουν ακριβώς τα χαρακτηριστικά της κατανομής, δηλαδή αποτελούν την ταυτότητα της.

Χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

- τα μέτρα θέσης (measures of location) που προσδιορίζουν συγκεκριμένες θέσεις μέσα στο εύρος τιμών
- και τα μέτρα μεταβλητότητας (variability measures) που προσδιορίζουν περιληπτικά τη διασκόρπιση ή τη μεταβλητότητα των τιμών.

### 3.4.3 Μέτρα θέσης

Εκτός από τους στατιστικούς πίνακες και τα διαγράμματα υπάρχουν και αριθμητικά μέτρα με τα οποία μπορούμε να περιγράψουμε με συντομία μια κατανομή συχνοτήτων. Η γνώση των μέτρων αυτών διευκολύνει και την παραπέρα στατιστική επεξεργασία των δεδομένων. Τα πιο συνηθισμένα μέτρα που χρησιμοποιούνται για την περιγραφή της θέσης ενός συνόλου δεδομένων πάνω στον οριζόντιο άξονα  $Ox$ , εκφράζοντας την “κατά μέσο όρο” απόστασή τους από την αρχή των αξόνων, είναι ο αριθμητικός μέσος ή μέση τιμή (arithmetic mean or average), η διάμεσος (median) και η κορυφή ή επικρατούσα τιμή (mode).

Η μέση τιμή ενός συνόλου  $n$  παρατηρήσεων αποτελεί το σπουδαιότερο και χρησιμότερο μέτρο της Στατιστικής και ορίζεται ως το άθροισμα των παρατηρήσεων διά του πλήθους των παρατηρήσεων. Όταν σε ένα δείγμα μεγέθους  $n$  οι παρατηρήσεις μιας μεταβλητής  $X$  είναι  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , τότε η μέση τιμή συμβολίζεται με  $\bar{x}$  και δίνεται από τη σχέση:

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

όπου το σύμβολο  $\sum_{i=1}^n x_i$  παριστάνει μια συντομογραφία του αθροίσματος  $x_1 + x_2 + \dots + x_n$  και διαβάζεται “άθροισμα των  $x_i$  από  $i = 1$  έως  $n$ ”. Συχνά, όταν δεν υπάρχει πρόβλημα σύγχυσης, συμβολίζεται και ως  $\sum x_i$  ή ακόμα πιο απλά με  $\sum x_i$ .

Διάμεσος ( $\delta$ ) ενός δείγματος  $n$  παρατηρήσεων οι οποίες έχουν διαταχθεί σε αύξουσα σειρά ορίζεται ως η μεσαία παρατήρηση, όταν το  $n$  είναι περιττός αριθμός  $(n+1)/2$ , ή ο μέσος όρος (ημιάθροισμα) των δύο μεσαίων παρατηρήσεων όταν το  $n$  είναι άρτιος αριθμός  $n/2$  και  $(n/2)+1$ .

Στην περίπτωση μη ομαδοποιημένων δεδομένων επικρατούσα τιμή ή κορυφή (mode)  $M_0$  ορίζεται ως η παρατήρηση με τη μεγαλύτερη συχνότητα

#### 3.4.4 Μέτρα μεταβλητότητας

Παράλληλα λοιπόν με τα μέτρα θέσης κρίνεται απαραίτητη και η εξέταση κάποιων μέτρων διασποράς ή μεταβλητότητας, δηλαδή μέτρων που εκφράζουν τις αποκλίσεις των τιμών μιας μεταβλητής γύρω από τα μέτρα κεντρικής τάσης. Τέτοια μέτρα λέγονται **μέτρα διασποράς** (measures of variation, dispersion measures). Τα σπουδαιότερα μέτρα διασποράς είναι το εύρος, η διακύμανση και η τυπική απόκλιση.

Εύρος ή κύμανση (range) ( $R$ ), ορίζεται ως η διαφορά της ελάχιστης παρατήρησης από τη μέγιστη παρατήρηση. Εύρος  $R = \text{Μεγαλύτερη παρατήρηση} - \text{Μικρότερη παρατήρηση}$

Ένας άλλος τρόπος για να υπολογίσουμε τη διασπορά των παρατηρήσεων  $t_1, t_2, \dots, t_n$  μιας μεταβλητής  $X$  θα ήταν να αφαιρέσουμε τη μέση τιμή  $\bar{x}$  από κάθε παρατήρηση και να βρούμε τον αριθμητικό μέσο των διαφορών αυτών. Ωστόσο αυτό θα οδηγούσε σε ένα άθροισμα μηδενικό γι αυτό παίρνουμε τον μέσο όρο των τετραγώνων των αποκλίσεων των  $t_i$  από τη μέση τιμή τους  $\bar{x}$ . Το μέτρο αυτό καλείται **διακύμανση** ή διασπορά (variance) και ορίζεται από τη σχέση

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

Ωστόσο στη συγκεκριμένη περίπτωση επειδή έχουμε δειγματική διασπορά, δηλαδή διασπορά δείγματος και όχι κατανομής χρησιμοποιούμε στον παρονομαστή το  $n-1$  αντί για  $n$ . Η διακύμανση είναι μια αξιόπιστη παράμετρος διασποράς, αλλά έχει ένα μειονέκτημα. Δεν εκφράζεται με τις μονάδες με τις οποίες εκφράζονται οι παρατηρήσεις. Για παράδειγμα, αν οι παρατηρήσεις εκφράζονται σε cm, η διακύμανση εκφράζεται σε cm. Αν όμως πάρουμε τη θετική τετραγωνική ρίζα της διακύμανσης, θα έχουμε ένα μέτρο διασποράς που θα εκφράζεται με την ίδια μονάδα μέτρησης του χαρακτηριστικού. Η ποσότητα αυτή λέγεται τυπική απόκλιση (standard deviation), συμβολίζεται με  $s$  και δίνεται από τη σχέση:

$$S = \sqrt{s^2} \quad (3.4)$$

### Συντελεστής μεταβλητότητας

Ορισμός: Αν ένα δείγμα εξεταζόμενο ως προς μια ποσοτική μεταβλητή του, παρουσιάζει μέση τιμή  $\bar{X}$  και τυπική απόκλιση  $s$ , τότε συντελεστής μεταβολής ή συντελεστής μεταβλητότητας (CV) ονομάζεται το πηλίκο της τυπικής απόκλισης προς την μέση τιμή \* 100%.

Ο **Συντελεστής μεταβλητότητας** αποτελεί σχετική μέτρηση της διασποράς σε αντίθεση με τους παραπάνω τρόπους. Εκφράζεται ως ποσοστό επί τοις εκατό(%) και η μαθηματική του έκφραση ορίζεται ως ο λόγος της τυπικής απόκλισης προς το μέσο αριθμητικό.

$$CV = \frac{s}{\bar{X}} \quad (3.5)$$

Ωστόσο, αν  $\bar{x} < 0$  τότε

$$CV = \frac{s}{|\bar{X}|} \quad (3.6)$$

Αυτό που πρέπει να τονιστεί σε ότι αφορά τον συντελεστή μεταβλητότητας είναι πως εφόσον τα δεδομένα που παίρνουμε από αυτόν είναι επί τοις εκατό (%), είναι ανεξάρτητος από τις μονάδες μετρήσεων των δεδομένων μας και έτσι μας διευκολύνει στο να συγκρίνουμε ομάδες δεδομένων με διαφορετικές μονάδες μέτρησης. Συγκρίνουμε επίσης δείγματα με μεγάλες αποκλίσεις στις μέσες τιμές.

Ο συντελεστής μεταβολής δεν ορίζεται όταν η μέση τιμή  $\bar{x}$  του δείγματος είναι κοντά στο μηδέν.

Ο CV μετράει την ομοιογένεια ενός πληθυσμού.

- Αν είναι  $CV < 10\%$  , ο πληθυσμός θεωρείται ομοιογενής
- Αν είναι  $CV > 10\%$  ή  $CV = 10\%$  , ο πληθυσμός θεωρείται ανομοιογενής.

### 3.4.5 Συντελεστής ασυμμετρίας

Η κατανομή ενός πληθυσμού μπορεί να είναι συμμετρική ή μη συμμετρική. Όταν η κατανομή είναι συμμετρική τότε η κορυφή, η διάμεσος και η μέση τιμή συμπίπτουν. Σε αντίθετη περίπτωση ένα από τα τμήματα στα οποία χωρίζεται η κατανομή από την κορυφή περιέχει περισσότερες παρατηρήσεις από το άλλο. Υπάρχουν δύο είδη

ασυμμετρίας, η θετική στην οποία η διάμεσος και η μέση τιμή καθώς και οι περισσότερες παρατηρήσεις βρίσκονται δεξιά από την κορυφή και μάλιστα ισχύει  $M_o < \chi_{\delta} < \chi_{\mu}$  και η αρνητική ασυμμετρία στην οποία η διάμεσος και η μέση τιμή, καθώς και το πλήθος των παρατηρήσεων βρίσκονται αριστερά της κορυφής της κατανομής και ισχύει  $\chi_{\mu} < \chi_{\delta} < M_o$ .

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

$$\gamma = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{\left\{ \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \right\}^3} \quad (3.7)$$

Όταν  $\gamma > 0$  τότε υπάρχει θετική ασυμμετρία, όταν  $\gamma < 0$  τότε έχουμε αρνητική ασυμμετρία και όταν  $\gamma = 0$  τότε υπάρχει συμμετρία.

### 3.4.6 Συντελεστής κυρτότητας

Μια κατανομή η οποία έχει σχετικά μεγάλη μέγιστη συχνότητα δηλαδή κορυφή και επομένως μεγάλο αριθμό παρατηρήσεων και τιμών γύρω από το μέσο ονομάζεται λεπτόκυρτη, ενώ αντίθετα αν η μέγιστη συχνότητα είναι σχετικά μικρή λέγεται πλατύκυρτη. Όσον αφορά τις κατανομές που προσεγγίζονται από την κανονική κατανομή, αυτές ονομάζονται μεσόκυρτες.

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

$$\alpha = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4}{\left\{ \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \right\}^4} \quad (3.8)$$

Ωστόσο επειδή για την μεσόκυρτη κατανομή (κανονική κατανομή) έχουμε  $\alpha = 3$  συνηθίζεται να μετράμε και να χαρακτηρίζουμε τις κατανομές ως λεπτόκυρτες ή πλατύκυρτες με βάση τη διαφορά  $\alpha - 3$ . Έτσι για θετική διαφορά έχουμε λεπτόκυρτη κατανομή ενώ για αρνητική έχουμε πλατύκυρτη με αντίστοιχα θετική και αρνητική κύρτωση.

### 3.5 Κατανομή t-Student (κατανομή t)

Η κατανομή t-Student αποτελεί μία κατανομή πιθανότητας όπως οι υπόλοιπες. Αυτή βρίσκει εφαρμογή σε περιπτώσεις όπου ο αριθμός των



δειγμάτων είναι περιορισμένος, όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των δειγμάτων τόσο η κατανομή τείνει να γίνει κανονική.

Στην παρούσα εργασία η διαδικασία του t-Student πραγματοποιήθηκε για την σύγκριση των μέσων τιμών των αποτελεσμάτων που προσδιορίστηκαν στο εργαστήριο όσον αφορά τα δείγματα νερού. Έτσι γίνεται σύγκριση για το αν τα δείγματα περιέχουν την ίδια ποσότητα μίας ουσίας ή σε διαφορετικό βαθμό. Το αποτέλεσμα της διαδικασίας είναι η αποδοχή ή απόρριψη της μηδενικής υπόθεσης. Μηδενική υπόθεση σημαίνει ότι οι μέσες τιμές στο ίδιο δείγμα στη διάρκεια των ετών είναι ίση. Να σημειωθεί ότι οι λήψεις των δειγμάτων έγιναν από τις ίδιες δειγματοληπτικές θέσεις, με την ίδια μέθοδο, την ίδια περίοδο.

Οι δοκιμασίες σημαντικότητας παρέχουν αποτελέσματα σε συγκεκριμένη στάθμη εμπιστοσύνης % (confidence level, CL %). Πιο συνηθισμένες στάθμες εμπιστοσύνης είναι 90%, 95% και 99%, με πιο διαδεδομένη στο χώρο των χημικών αναλύσεων αυτή του 95%. Η δοκιμασία του t-Student προϋποθέτει τα τυχαία σφάλματα του πληθυσμού των μετρήσεων να παρουσιάζουν κανονική και οι τυπικές αποκλίσεις του πληθυσμού να μην διαφέρουν σημαντικά.

Από τις μέσες τιμές και τις τυπικές αποκλίσεις που προέκυψαν για τα μετρούμενα στοιχεία στις ίδιες θέσεις δειγματοληψίας υπολογίζεται η εκ συνένωση τυπική απόκλιση  $S_{AB}$  με τη χρήση του παρακάτω τύπου:

$$S_{AB} = \sqrt{\frac{(n_A-1)*S_A^2 + (n_B-1)*S_B^2}{n_A+n_B-2}} \quad (3.9)$$

Και στη συνέχεια το στατιστικό στοιχείο t-πειραματικό ( $t_{exp}$ ) από τη σχέση:

$$t_{exp} = \frac{\overline{X_A} - \overline{X_B}}{S_A * \sqrt{\frac{1}{n_A} + \frac{1}{n_B}}} \quad (3.10)$$

Η τιμή του  $t_{exp}$  συγκρίνεται με τη κρίσιμη τιμή του t ( $t_{th}$ ) που αντιστοιχεί στους βαθμούς ελευθερίας N των δεδομένων και στην επιλεγμένη στάθμη εμπιστοσύνης (95%). Αν  $t_{exp} > t_{th}$  η μηδενική υπόθεση απορρίπτεται, σε άλλη περίπτωση γίνεται αποδεκτή.





## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 –ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ**

### **4.1 Τοποθέτηση περιοχής μελέτης**

Η περιοχή μελέτης τοποθετείται γεωγραφικά από 37° 55' μέχρι 38° 06' γεωγραφικού πλάτους και 23° 48' μέχρι 24° 02' γεωγραφικού μήκους. Ουσιαστικά βρίσκεται νοτιοανατολικά της περιοχής της Πεντέλης, βόρεια της περιοχής των Μεσογείων ενώ ανατολικά βρέχεται από το αιγαίο πέλαγος. Η συνολική της έκταση είναι περίπου 135 km<sup>2</sup>. Αποτελεί κομμάτι της περιφέρειας Αττικής και περιέχει τους δήμους, σύμφωνα με το πρόγραμμα Καλλικράτης, Ραφήνας-Πικερμίου, Παλλήνης, ανατολικό τμήμα του δήμου Πεντέλης, βόρειο τμήμα του δήμου Παιανίας και το βορειοδυτικό τμήμα του δήμου Σπάτων-Αρτέμιδος. Επίσης, η λεκάνη απορροής, προς μελέτη, εμπεριέχει τις πόλεις-οικισμούς της Ραφήνας, Σπάτων, Πικερμίου, Γλυκών νερών, Παλλήνης, Ανθούσας, Πεντέλης και Γέρακα.

### **4.2 Μέγεθος λεκάνης απορροής**

Ο προσδιορισμός του μεγέθους της λεκάνης απορροής γίνεται με τη χρησιμοποίηση του υδροκρίτη. Στην υλοποίηση του σχεδιασμού του υδροκρίτη της λεκάνης απορροής χρησιμοποιήθηκε ως πρότυπο τοπογραφικός χάρτης της περιοχής για τον καθορισμό των σημαντικών κλίσεων και τυχόν απότομων αλλαγών στη μορφολογία του εδάφους. Επίσης ψηφιοποιήθηκαν τα ρέματα που απαρτίζουν την λεκάνη απορροής έτσι ώστε να ορίσουν κατά μία γενική ομολογία τα όρια της από τις πηγές αυτών. Έτσι με τη χρήση του QGIS ψηφιοποιήθηκε ο υδροκρίτης της περιοχής μελέτης και υπολογίστηκε έκταση της λεκάνης περίπου 135 km<sup>2</sup>.

### **4.3 Στρωματογραφία**

Γενικά οι ηπειρωτικές αποθέσεις της λεκάνης των μεσογείων έχουν ηλικία Ανωμειοκαινική (τουρόλιος-Πικερμική πανίδα) και οι θαλάσσιες αποθέσεις της περιοχής της Ραφήνας έχουν ηλικία ανωπλειοκαινική και κατωπλειστοκαινική.

#### **4.3.1 Λεκάνη Μεσογείων**

Η λεκάνη μεσογείων αποτελεί γενικότερη εικόνα της περιοχής μελέτης . Περιέχει τη λεκάνη μελέτης που μας ενδιαφέρει για την παρούσα διπλωματική ωστόσο δεν μπορεί να προσδιοριστεί η γεωλογική εικόνα

της περιοχής μελέτης ως μεμονωμένη. Γι' αυτό είναι αναγκαίο να προσδιοριστούν τα χαρακτηριστικά της ευρύτερης περιοχής στην οποία περιέχεται, δηλαδή αυτής της λεκάνης Μεσογείων. Παρακάτω αναλύονται κάποια από αυτά τα γεωλογικά χαρακτηριστικά:

Η στρωματογραφική μελέτη των νεογενών ιζημάτων έδειξε ότι αυτά ανήκουν στο ανώτερο μειόκαινο (τουρώλιο).

Το είδος των ιζημάτων διαφέρει από περιοχή σε περιοχή. Έτσι, στο βόρειο τμήμα της λεκάνης έχουμε ποταμοχερσαία υλικά ενώ στο νότιο τα ιζήματα όπως μάργες και μαργαϊκούς ασβεστόλιθους.

Στην περιοχή του Πικερμίου και συγκεκριμένα στην περιοχή αυτού που ονομάζεται «χωματερή» η μικρή κλίση των στρωμάτων μέσα στα οποία βρέθηκαν τα πικερμικά απολιθώματα των σπονδυλωτών, οφείλεται πιθανότατα σε τοπικούς παράγοντες αφού τα κροκαλοπαγή που τα περιβάλλουν έχουν μεγάλη κλίση.

Υπάρχουν στη Ραφήνα κροκαλοπαγή με μεγάλο πάχος και ανήκουν στα πικερμικά ιζήματα. Αυτά προέρχονται από την πλευρική μετάβαση των λιμναίων αποθέσεων στην περιοχή της Ραφήνας.

1. Οι παραπάνω αποθέσεις έχουν ηλικία ανω-πλειοκαινική-κατωπλειστοκαινική και όπως διαπιστώνεται από την πανίδα που περιβάλλουν οι αποθέσεις αυτές αποτελούν ιζήματα της ρηχής θάλασσας.
2. Όσα χερσαία υλικά έχουν καστανό χρώμα δεν αντιστοιχούν στα πλειστοκαινικά ποταμοχερσαία και χερσαία ιζήματα των Μεσογείων αλλά στα ανώτερα μέλη των θαλάσσιων αποθέσεων της Ραφήνας.
3. Το κλίμα ήταν θερμό και υγρό στην περιοχή σύμφωνα με τη μελέτη της παλαιοχλωρίδας της περιοχής (Μέττος 1992).

#### **4.3.2 Νεογενές ιζημα**

Στην διάρκεια των παρατεταμένων πλευρικών πιέσεων και του κατακερματισμού των πετρωμάτων αρχίζουν οι διεργασίες διάβρωσης μεταφοράς και απόθεσης κλασικών ιζημάτων στις λεκάνες απορροής.

Τα μεγαλύτερα πεδία με τα κλασικά ιζήματα παρατηρούνται στις νότιες και ανατολικές παρυφές της Πεντέλης και στην περιοχή μεταξύ μεταμορφωμένων και μη μεταμορφωμένων πετρωμάτων.

Τα κλασικά ιζήματα αποτελούνται από ολισθόλιθους, ογκόλιθους, κροκαλοπαγή, ψαμμίτες, αργίλους και ερυθρούς ψηλούς.

Οι κλιματικές συνθήκες που επικράτησαν στη διάρκεια της απόθεσης των ποταμολιμναίων ιζημάτων, ευνόησαν τη δημιουργία λιγνιτικών κοιτασμάτων.

Θαλάσσια ιζήματα ανωτέρου Πλειόκαινου κατωτέρου πλειόκαινου αναφέρονται στην περιοχή της Ραφήνας (Μητσόπουλος 1948, Μέττος 1992).

#### **4.4 Λιθοστρωματογραφία**

Στη βορειοανατολική Αττική από τα βαθύτερα προς τα ανώτερα μέλη προσδιορίζονται οι εξής λιθοστρωματογραφικοί ορίζοντες: 1. Μάρμαρα Πεντέλης 2. Σχιστόλιθοι Διονύσου 3. Μάρμαρα Γραμματικού 4. Σχιστόλιθοι Μαραθώνα 5. Μάρμαρα Μαραθώνα 6. Σχιστόλιθοι Ραμνούτσας 7. Μάρμαρα Αγίας Μαρίνας (Μητσόπουλος 1948, Μέττος 1992).

##### **4.4.1 Πετρώματα**

Σχηματισμοί μεταφλύσχη: Απαντώνται εκτός από της περιοχής του φύλλου Αλιβέρι δυτικά του Πεντελικού όρους αλλά και στην βόρεια παρυφή του Υμηττού. Ουσιαστικά πρόκειται για σχιστόλιθους μοσχοβίτικους ή ασβεστικούς με ενστρώσεις μαρμάρων κατά κανόνα κλαστικών και έχουν πάχος 80 m. Αποτελούν επίσης την βαθμιαία μετάβαση προς τα πάνω του ανώτερου μαρμάρου ( Μέττος 1992).

Μάρμαρα ΒΑ Αττικής (ανώτερο μάρμαρο): το χρώμα τους είναι υπόλευκο έως και σκοτεινότεφρο και μερικές φορές εντοπίζεται υποκύανο. Συχνές είναι οι παρεμβολές δολομιτών και δολομίτικων ασβεστολίθων. Πολλές φορές οι ασβεστολιθικοί σχηματισμοί βρίσκονται πάνω από τα εν λόγω μάρμαρα καθώς υπάρχουν έντονες πτυχώσεις και παρουσία μεταπτυχώσεων. Καταλαμβάνουν μεγάλες εκτάσεις των περιοχών του Μαραθώνα, του Γραμματικού, Νέας Μάκρης, του Υμηττού και των παρυφών του Πεντελικού όρους. Το πάχος τους είναι περίπου 500 m και η ηλικία τους μεσοζωική έως και μεσοκαινική ( Μέττος 1992).

Σχιστολιθικοί σχηματισμοί ΒΑ Αττικής: Απαντώνται στη ΒΑ Αττική και πιο συγκεκριμένα στο Πεντελικό όρος, στην περιοχή Γραμματικού και Μαραθώνα, αλλά και στο Διόνυσο. Είναι κυρίως μοσχοβίτικοι,

χλωριτικοί, αλβιτικοί, χαλαζιακοί και ανθρακικοί σχιστόλιθοι. Στο ανώτερο τμήμα τους βρίσκονται παρεμβολές μεταφαιστειακών πετρωμάτων και μικρών μαζών σερπεντινιτών (λόγω της ύπαρξης υποθαλάσσιας ηφαιστειακής δραστηριότητας η οποία παρατηρείται κυρίως στο μέσο–κατώτερο Τριαδικό). Έτσι με την συγκεκριμένη στρωματογραφική εικόνα καταλήγουμε στον προσδιορισμό της ηλικίας που είναι το ανώτερο Τριαδικό ( Μέττος 1992).

Μάρμαρα Πεντέλης (Κατώτερο Μάρμαρο): Υπόκεινται των σχιστολιθικών σχηματισμών και απαντώνται κυρίως νοτιοδυτικά της μελετώμενης λεκάνης απορροής στον Υμηττό. Συγκροτούν το κέντρο του Πεντελικού όρους και έχουν κλίσεις N, NΔ, ΝΑ της τάξης των 30°. Πρόκειται για λευκό παχυπλακώδη σχηματισμό με πολλαπλές διαρρήξεις και διακλάσεις εξαιτίας των οποίων παρατηρείται ανεπτυγμένο καρστ. Είναι λεπτά ως χονδροκρυσταλλικά, μεσοστρωματώδη έως παχυστρωματώδη και μερικές φορές άστρωτα, κατά θέσεις δολομιτικά. Επίσης παρεμβάλλονται στα ανώτερα μέλη τους εντρώσεις σχιστόλιθων και πρασινιτών. Το πάχος του είναι 250 m και ηλικιακά κατατάσσονται στο Κατώτερο- Μέσο Τριαδικό ( Μέττος 1992).

#### **4.5 Ανθρωπογενείς επεμβάσεις**

Όπως ήδη έχει αναφερθεί, η λεκάνη απορροής που μελετάμε απλώνεται νότια της Πεντέλης, βορειοανατολικά του Υμηττού και βόρεια των Μεσογείων μέχρι το αεροδρόμιο Ελευθέριος Βενιζέλος. Στο σημείο βέβαια του αεροδρομίου ο υδροκρίτης της λεκάνης απορροής δεν διαμορφώνεται φυσικά αλλά προσαρμόζεται στα τεχνητά έργα που έχουν πραγματοποιηθεί. Τα ρέματα της λεκάνης είναι αρκετά μεγάλα πχ ρέμα Βαλανάρη, ρέμα Ραφήνας, ρέμα Παναγίτσας και πηγάζουν ή διέρχονται από περιοχές αναπτυγμένες και αναπτυσσόμενες όπως Γλυκά Νερά, Ανθούσα, Γέρακας, Ραφήνα, Σπάτα, Πικέρμι. Ωστόσο αν και οι πηγές των ρεμάτων βρίσκονται στα ορεινά σημεία της λεκάνης, όσο απομακρύνεται το ρέμα από την πηγή έχει να αντιμετωπίσει την άναρχη οικοδομική δραστηριότητα των περιοχών αυτών. Έτσι οι κοίτες των ρεμάτων προσαρμόζονται, πολλές φορές όχι με καλό τρόπο (πχ πλημμύρες ) στις ανθρωπογενείς αυτές παρεμβάσεις.

Μερικές από τις πιο σημαντικές παρεμβάσεις αυτές είναι το αεροδρόμιο Ελευθέριος Βενιζέλος. Όπως ήδη αναφέρθηκε η κατασκευή του αεροδρομίου επηρέασε οπτικά την δυτική κυρίως περιοχή της λεκάνης απορροής. Ο υδροκρίτης δεν διαμορφώνεται πλέον φυσικά αλλά



τεχνητά χωρίζοντας την περιοχή σε 2 τμήματα απορροής. Το βόρειο, με απορροή προς το ρέμα Ραφήνας και το νότιο, με απορροή σε δεξαμενή.

Εκτός όμως από αυτή την παρέμβαση, καθοριστική ήταν και είναι η κατασκευή της Αττικής Οδού. Αυτός ο μεγάλος οδικός άξονας ανάγκασε σε διαμόρφωση μεγάλα τμήματα των ρεμάτων. Η δημιουργία αντιπλημμυρικών έργων κρίθηκε απαραίτητη. Έτσι άρχισε μία σειρά από τεχνητά έργα όπως κατασκευή υπογείων τεχνικών έργων, υλοποίηση διευθετήσεων σε πολλά σημεία με κλειστές ή ανοιχτές διατομές, συλλεκτήρες, συρματοκιβώτια, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 4.1.



Εικόνα 4.1 Συρματοκιβώτια κοντά στην Αττική οδό

Ο μεγαλύτερος κίνδυνος ανθρωπογενούς παρέμβασης αποτελεί η ανεξέλεγκτη και άναρχη κατασκευή έργων υποδομής, η έντονη αστικοποίηση που παρουσιάζει η περιοχή αλλά και η ανυπαρξία ενός συστήματος διάθεσης υγρών και στερεών αποβλήτων όπως χώροι υγειονομικής ταφής, βιολογικοί καθαρισμοί. Οι παραπάνω αποτελούν τις κύριες αιτίες-παράγοντες που καθορίζουν την ποιότητα νερού των ρεμάτων και τις πιθανές πηγές ρύπανσης αυτών.

## 4.6 Χρήσεις γης

Σε πολεοδομικό επίπεδο είναι ανάγκη να τονιστεί ότι ο προγραμματισμός ανάπτυξης του αστικού και αγροτικού χώρου περιέχει δυσκολίες που βασίζονται κυρίως στην τοπική ιδιομορφία, ποικιλομορφία και μοναδικότητα της περιοχής μελέτης μας. Το έντονα αστικοποιημένο τοπίο της ανατολικής Αττικής κυριαρχείται κατά κύριο λόγο από περιοχές μικτών χρήσεων γης. Οι κατοικίες αναμειγνύονται με τις οικονομικές δραστηριότητες του πρωτογενούς, δευτερογενούς και τριτογενούς τομέα. Ο κατακερματισμός αυτός του αστικού χώρου θα μπορούσε να αποδοθεί τόσο στην κυριαρχία της άτυπης οικονομίας (μικρά μαγαζιά, περίπτερα, αυτοαπασχολούμενοι, υπεργολαβίες) όσο και στην επέκταση του αστικού χώρου σε περιοχές που χωροθετείται η γεωργική και κτηνοτροφική δραστηριότητα. Αναπτύσσεται δηλαδή ένα αστικό τοπίο, ανταγωνίζεται το αγροτικό με τις κατοικημένες περιοχές να αναμειγνύονται με τις καλλιέργειες, τις κτηνοτροφικές εκμεταλλεύσεις, τις μονάδες μεταποίησης και τυποποίησης κ.ά, ακόμα και στις ζώνες εκείνες που έχουν καθοριστεί για τη χρήση από τον πρωτογενή-δευτερογενή τομέα (Τσαντήλας 2017).

### 4.6.1 Πρωτογενής τομέας

Ο πρωτογενής τομέας στην Ελλάδα αποτελεί το 2,9% του Ακαθάριστου ελληνικού προϊόντος (ΑΕΠ) ενώ παράλληλα καλύπτει το 14% της απασχόλησης. Τα αντίστοιχα στοιχεία σε ευρωπαϊκό επίπεδο είναι 1,2% και 5% (Τσαντήλας 2017).

Η λεκάνη απορροής που μας ενδιαφέρει αποτελεί ένα τμήμα της ανατολικής αττικής. Καλό είναι λοιπόν να καταγραφεί η κατανομή των χρήσεων γης σε γενικό επίπεδο έτσι ώστε να δοθεί μία πιο ολοκληρωμένη εικόνα. Ο πρωτογενής τομέας αποτελεί βασικό πυλώνα όχι μόνο για την ανατολική αττική αλλά και την Ελλάδα γενικότερα. Δραστηριότητες που απαρτίζουν την πρωτογενή παραγωγή είναι η αμπελουργία, ελαιοκομία, μελισσοκομία, κτηνοτροφία (Καπετανοπούλου 2014).

Αμπελουργία: Σύμφωνα με τα επίσημα στοιχεία οι οινοποιήσιμες εκτάσεις στην ανατολική αττική είναι περίπου 49.000 στρέμματα. Ποικιλίες που συνδέονται με την παραγωγή αυτή είναι το σαββατιανό και το αγιωργίτικο, ροδίτικο και ο αριθμός των παραγωγών είναι γύρω στους

4.900 με μέση τιμή έκτασης αγροτεμάχιου στα 2,58 στρέμματα (Καπετανοπούλου 2014).

Ελαιοκομία: Η ελαιοκομία καταλαμβάνει μεγαλύτερη έκταση από την αμπελουργία περίπου 133.200 στρέμματα με 1.369.220 δέντρα. Όπως είναι φυσικό οι παραγωγοί είναι περισσότεροι γύρω στους 9.800, ενώ η μέση τιμή έκτασης αγροτεμάχιου είναι 3,27 στρέμματα (Καπετανοπούλου 2014).

Λοιπές καλλιέργειες: Στον Πίνακα 4.1 παρουσιάζονται οι εκτάσεις που καταλαμβάνει το κάθε είδος καλλιέργειας και στην Εικόνα 4.2 ενδεικτικό παράδειγμα καλλιέργειας (Καπετανοπούλου 2014).

Πίνακας 4.1 Είδη και εκτάσεις καλλιεργειών

<b>ΕΙΔΟΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ</b>	<b>ΕΚΤΑΣΗ (στρέμματα)</b>
Θερμοκήπια για άνθη	918
Θερμοκήπια για κηπευτικά	1.623
Κηπευτικά Υπαίθρου	29.474
Φιστικιές	6.444
Συκιές Νωπών	515
Λοιπές δενδροκαλλιέργειες	500
Σίτος σκληρός	17.524
Κριθάρι	2.287



Εικόνα 4.2 Θερμοκήπιο για κηπευτικά

Μελισσοκομία Οι μέλισσες βοηθούν στη γονιμοποίηση του 60-70% των φυτικών ειδών και αποτελούν το σημαντικότερο επικονιαστή για παραπάνω από 250 χιλιάδες φυτικά είδη. Στην ανατολική αττική δραστηριοποιούνται 673 μελισσοκόμοι με συνολικό αριθμό κυψελών



27.000 (Εικόνα 4.3). Σημαντικό είναι το γεγονός ότι για την παραγωγή αλλά και αποθήκευση αυτής δεν απαιτείται χρήση φαρμάκων και χημικών ουσιών αλλά πραγματοποιείται φυσικά (Καπετανοπούλου 2014).



Εικόνα 4.3 Μελίσσια σε λόφο κοντά στην περιοχή

**Κτηνοτροφία** Το σύνολο των ζωικών μονάδων στην ανατολική Αττική που περιλαμβάνει τα αιγοπρόβατα, χοίρους και βοοειδή είναι 88.252 ζωικές μονάδες. Αναλυτικά: 568 με βοοειδή, 11.803 στους χοίρους, 70.868 με πρόβατα και 16.798 με αίγες. Επίσης, η δυναμικότητα των εγκαταστάσεων εκτροφής ορνίθων ανέρχεται στις 1.149.833 θέσεις για κρεατοπαραγωγή και ωοπαραγωγή. Ειδικά για την περιοχή των Μεσογείων και τους δήμους Πικερμίου, Παλλήνης, Ραφήνας, Γέρακα, Γλυκά νερά, Νέα Μάκρη, Σπάτα οι ζωικές μονάδες ανέρχονται στις 14.390 μονάδες με κυρίαρχα τα βοοειδή (11.596 μον.) και στη συνέχεια τις αίγες (2.650 μον.) (Καπετανοπούλου 2014).

#### **4.6.2 Δευτερογενής τομέας**

Ο δευτερογενής τομέας όπως είναι φυσικό συνδέεται κυρίως με την πρωτογενή παραγωγική δραστηριότητα της περιοχής. Έτσι οι εγκαταστάσεις που βρίσκονται στην ανατολική Αττική είναι κατά κύριο λόγο ασχολούνται με την επεξεργασία της πρωτογενούς παραγωγής.

#### Εγκαταστάσεις και μονάδες παραγωγής

Εγκαταστάσεις που έχουν σχέση με την επεξεργασία και την μεταποίηση είναι τα οινοποιεία (44 στον αριθμό) τα ελαιοτριβεία (22), βιοτεχνίες ξηρών καρπών (4) και κονσερβοποιία οπωρολαχανικών.



Εγκαταστάσεις που σχετίζονται με την συσκευασία και την τυποποίηση αποτελούν τα συσκευαστήρια ελαιόλαδου (14) τον αριθμό, συσκευαστήρια βρώσιμων ελιών (5), συσκευαστήρια αρωματικών φυτών (6), συσκευαστήρια νωπών οπωρολαχνικών (16).

Εργαστήρια παραγωγής παραδοσιακών προϊόντων όπως χειροποίητα ζυμαρικά και μαρμελάδες και γλυκά του κουταλιού, (1 μονάδα παραγωγής και 4 αντίστοιχα).

Λοιπές μονάδες παραγωγής όπως καφέ (4 στον αριθμό), αναψυκτικών (1), φρυγανιών (1) κ.ά.

Εδώ να σημειωθεί ότι λόγω της μεγάλης δραστηριότητας σε αμπελουργικά και κτηνοτροφία υπάρχει οργανωμένη εξαγωγή οίνου και 127 εγκαταστάσεις επεξεργασίας και αποθήκευσης προϊόντων ζωικής προέλευσης όπως ωοσκοπικά κέντρα, ψυκτικές αποθήκες, εγκαταστάσεις επεξεργασίας κρέατος (πουλερικών και μη). Υπάρχει επίσης εμπορία φυτοπροστατευτικών προϊόντων και φυτοϋγειονομικοί έλεγχοι (Καπετανοπούλου 2014).



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5- ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

### 5.1 Υπολογισμός παροχής υδατορευμάτων

Η συλλογή των δειγμάτων έγινε από 13 διαφορετικές δειγματοληπτικές θέσεις. Ωστόσο σε ορισμένες θέσεις, λόγω του μήνα συλλογής των δειγμάτων (Ιούνιος) δεν ήταν εφικτό να υπολογιστεί η παροχή του υδατορεύματος εξαιτίας της χαμηλής στάθμης ή της στασιμότητας του νερού. Γενικά για τον προσδιορισμό της παροχής στις δειγματοληπτικές θέσεις του υδατορεύματος έγινε καταγραφή των διαστάσεων της κοίτης (βάθος, πλάτος) (Πίνακας 5.1) και μετρήθηκε, με τη χρήση του μυλίσκου valeport, η ταχύτητα ροής στο συγκεκριμένο σημείο (Πίνακας 5.2). Εδώ να σημειωθεί ότι σε μερικές περιπτώσεις χρειάστηκε να μετρηθεί η ταχύτητα ροής του υδατορεύματος σε δύο σημεία της κοίτης εξαιτίας του μεγάλου πλάτους ή της ανομοιομορφίας του πυθμένα. Σε μερικά σημεία όπως ήδη αναφέρθηκε ήταν αδύνατο να μετρηθεί η ταχύτητα ροής διότι τα νερά ήταν στάσιμα και δεν διευκόλυναν το έργο με τη χρήση μυλίσκου όμως είχαν παροχή όπως για παράδειγμα οι θέσεις S09 και S10 και σε άλλα η στάθμη του νερού ήταν τόσο χαμηλή που επέτρεπε μόνο τη συλλογή του δείγματος όπως οι θέσεις S03 και S10. Στον παρακάτω Πίνακα 5.1 παρουσιάζονται αναλυτικά για κάθε δειγματοληπτική θέση η παροχή του υδατορεύματος, το πλάτος της κοίτης και το βάθος του νερού.

Για τον προσδιορισμό της παροχής χρειαζόμαστε εν κατακλείδι τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του υδατορεύματος και την ταχύτητα ροής. Θεωρούμε ως ορθογωνική διατομή τη γεωμετρία του υδατορεύματος η οποία απεικονίστηκε για πιο ακριβείς υπολογισμούς στο λογισμικό autocad. Τώρα, αν και διαθέτουμε όλα τα στοιχεία, χρειάζεται μία μετατροπή των αποτελεσμάτων του ψηφιακού μυλίσκου έτσι ώστε να υπολογιστεί η πραγματική ταχύτητα ροής. Αυτό συμβαίνει γιατί ο μυλίσκος έχει τη δυνατότητα να καταγράφει στροφές  $n$  σε μονάδα του χρόνου, δηλαδή έχει δείκτη καταγραφής στροφών και όχι ταχύτητας. Επομένως η γραμμική σχέση που χρησιμοποιείται για την μετατροπή έχει τη μορφή  $V = a \cdot n + b$ . Όπου  $a$ ,  $b$  συντελεστές οι οποίοι καθορίζονται απ τη βαθμονόμηση του οργάνου σε ελεγχόμενες συνθήκες (Thiel 1989).

Πίνακας 5.1 Γεωμετρικά χαρακτηριστικά υδατορεύματος

Κωδικός θέσης	Βάθος (m)	Πλάτος (m)	Διατομή A(m <sup>2</sup> )
S01	0,122	3,39	0,415
S02	0,09	3,51	0,315
S03	0,065	1,3	0,084
S04	0,175	5	0,875
S05	0,21	4,44	0,932
S06	0,27	2,85	0,769
S07	0,21	3,3	0,693
S08	0,095	3,25	0,308
S09	0,68	4,2	2,856
S10	0,71	4,3	3,053
S11	0,13	5,1	0,663
S12	0,12	3,29	0,394
S13	0,1	22,4	2,24

Στην συγκεκριμένη εργασία η χρησιμοποιήθηκε ο μολίσκος Valeport γιατί είναι ο κατάλληλος για καταγραφή ταχύτητας ροής σε μικρά ποτάμια και κανάλια με ελάχιστο βάθος ροής στα 4cm. Οι συντελεστές που θα χρησιμοποιηθούν είναι  $a=0,2529$  και  $b=0,007$  (Τσακίρης 2006). Στα σημεία όπου η χρησιμοποίηση του μολίσκου ήταν αδύνατη παίρνουμε ως ένδειξη την ελάχιστη τιμή του δηλαδή μία περιστροφή. Ακολουθεί ο Πίνακας 5.2 με τις μέσες ταχύτητες ροής  $V$  σε κάθε δειγματοληπτική θέση.

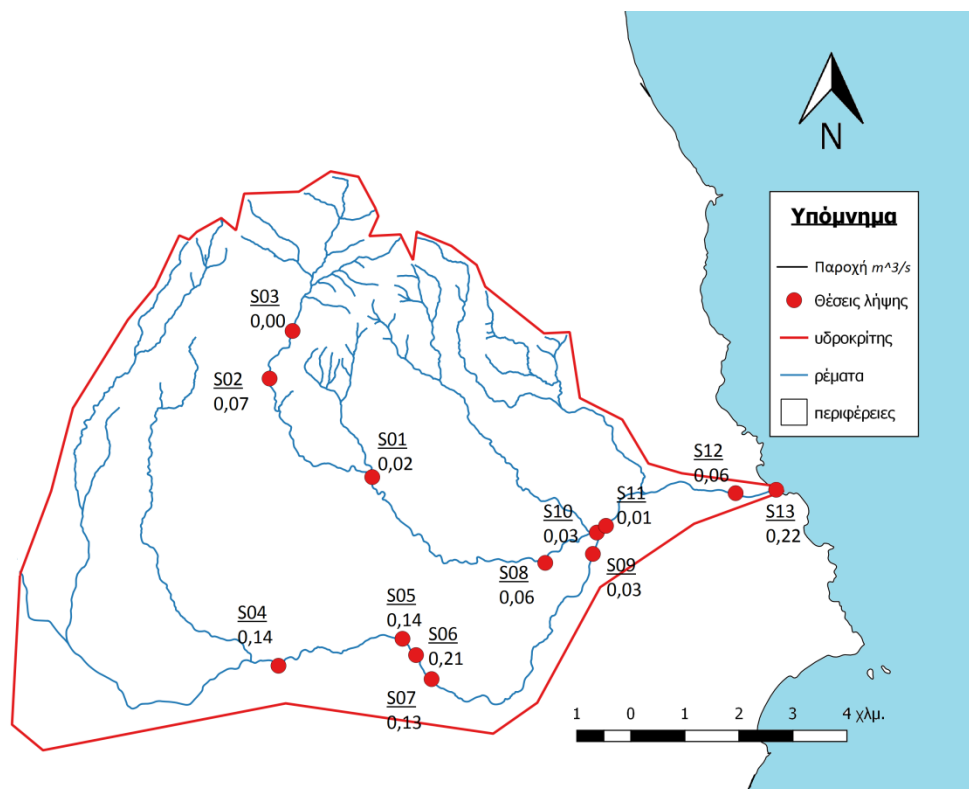
Πίνακας 5.2 Ταχύτητα ροής υδατορεύματος και περιστροφές ψηφιακού μυλίσκου

Κωδικός θέσης	Περιστροφές/sec	Ταχύτητα m/s
S01	0,133	0,040
S02	0,833	0,217
S03	0,016	0,011
S04	0,616	0,162
S05	0,566	0,150
S06	1,033	0,268
S07	0,700	0,184
S08	0,766	0,200
S09	0,016	0,011
S10	0,016	0,011
S11	0,016	0,011
S12	0,6	0,158
S13	0,366	0,099

Η μεγαλύτερη τιμή παροχής συναντάται στη θέση S13 με τιμή  $0,223 \text{ m}^3/\text{s}$  ενώ η μικρότερη στη θέση S03 με τιμή  $0,001 \text{ m}^3/\text{s}$ . Η θέση S03 είναι λογικό να έχει τόσο μικρή παροχή αφού λόγω του μήνα συλλογής και καταγραφής των δεδομένων (Ιούνιος) είχε εξατμιστεί σχεδόν όλη η ποσότητα νερού. Στις θέσεις S06 προς τη S07 σημειώνεται μείωση της παροχής αυτό οφείλεται στην ενδεχόμενη άρδευση για καλλιέργειες που βρίσκονται γύρω από την περιοχή αλλά και την πιθανή απώλεια νερού λόγω υπόγειου υδροφορέα. Λόγω της αδυναμίας του μυλίσκου να καταγράψει ένδειξη σε κάποιες περιπτώσεις που εξηγήθηκαν πιο πάνω, παρουσιάζεται στο Κεφάλαιο του Παραρτήματος φωτογραφικό υλικό των θέσεων δειγματοληψίας και απεικόνιση της κατάστασης του υδατορεύματος σε κάθε μία. Ακολουθεί ο Πίνακας 5.3 με τις παροχές όπως διαμορφώθηκαν και χάρτης των παροχών των σημείων Εικόνα 5.1.

Πίνακας 5.3 Παροχή δειγματοληπτικών θέσεων του υδατορεύματος

Κωδικός θέσης	Παροχή m <sup>3</sup> /s
S01	0,016
S02	0,068
S03	0,001
S04	0,142
S05	0,140
S06	0,206
S07	0,127
S08	0,062
S09	0,032
S10	0,034
S11	0,007
S12	0,063
S13	0,223



Εικόνα 5.1 Χάρτης παροχών στις δειγματοληπτικές θέσεις

## 5.2 Αποτελέσματα δειγμάτων

Από την ανάλυση των 13 δειγμάτων που συλλέξαμε και επεξεργαστήκαμε στο εργαστήριο καταφέραμε να βρούμε τη σύσταση αυτών και συγκεκριμένα των ιόντων  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{F}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Li}^+$ ,  $\text{HCO}_3^-$ .

Στη συνέχεια εντοπίστηκαν τα περιγραφικά μέτρα των παραπάνω στοιχείων έπειτα από την εργαστηριακή ανάλυση. Αυτή πραγματοποιήθηκε για όλα τα στοιχεία κατιόντων  $\text{Na}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Li}^+$  και ανιόντων  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{F}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ . Αν και μερικές συγκεντρώσεις των παραπάνω δεν παρουσιάζουν ιδιαίτερες διακυμάνσεις ο εντοπισμός των περιγραφικών μέτρων έγινε για όλα τα στοιχεία. Εκτός των παραπάνω, από την εργασία στην ύπαιθρο, εντοπίστηκαν και τα περιγραφικά μέτρα της ειδικής αγωγιμότητας SPC, των ολικών διαλυμένων στερεών TDS, του διαλυμένου οξυγόνου DO, της αλατότητας SAL και της ενεργού οξύτητας pH (οι τιμές των οποίων προήλθαν από το πολύμετρο). Ακόμα στα περιγραφικά μέτρα προσθέσαμε και τους συντελεστές κυρτότητας και ασυμμετρίας για μια πιο ολοκληρωμένη-περιγραφική εικόνα των δεδομένων-αναλύσεων. Αξίζει να σημειωθεί εδώ ότι σε ορισμένα στοιχεία δεν συμπεριλάβαμε



στις μετρήσεις ,της θέσης S13, διότι θα υπήρχαν επιπτώσεις στα γενικά αποτελέσματα των περιγραφικών μέτρων . Αυτό συμβαίνει διότι η θέση S13 βρίσκεται πολύ κοντά στη θάλασσα έτσι το δείγμα δεν είναι αντιπροσωπευτικό υδατορεύματος. Έτσι τα περιγραφικά μέτρα και οι συντελεστές υπολογίστηκαν με τη συμμετοχή 12 δειγματοληπτικών θέσεων και όχι 13 που είναι το κανονικό.

### 5.2.1 Χλώριο ( Cl<sup>-</sup> )

Τα περιγραφικά στοιχεία που υπολογίστηκαν για το χλώριο είναι η μέση τιμή, η δειγματική διασπορά ή διακύμανση, η τυπική απόκλιση , το εύρος και ο συντελεστής μεταβλητότητας. Ταυτόχρονα υπολογίστηκαν για τον περιγραφικό προσδιορισμό του στοιχείου η κυρτότητα και ο δείκτης ασυμμετρίας. Η μέση τιμή της συγκέντρωσης του χλωρίου σε 13 δείγματα που συλλέχθηκαν είναι 104,7 mg/L. Η μικρότερη τιμή της συγκέντρωσης παρουσιάζεται στη θέση S08 με τιμή 31,5 mg/L και η μεγαλύτερη στη θέση S11 με τιμή 149,4 mg/L. Έχοντας μέγιστη και ελάχιστη τιμή βρίσκουμε το εύρος του δείγματος που είναι 117,9 mg/L. Η δειγματική διασπορά είναι 1817 και η τυπική απόκλιση 42,6 mg/L, ενώ ο συντελεστής μεταβλητότητας CV είναι ίσος με 40,71%. Η τιμή του συντελεστή ασυμμετρίας είναι -0,47 δηλαδή τα δείγματα παρουσιάζουν αρνητική ασυμμετρία γεγονός που σημαίνει ότι η μέση τιμή βρίσκεται στα αριστερά της κορυφής της καμπύλης. Η κυρτότητα των τιμών των δειγμάτων είναι 1,59 επομένως χαρακτηρίζεται ως πλατύκυρτη αφού δεν ξεπερνάει το συντελεστή κύρτωσης της κανονικής κατανομής που είναι ίσος με 3. Συγκριτικά με τα αποτελέσματα των μέσων τιμών των εργασιών των προηγούμενων ετών 116 mg/L (Κουρής 2011) ,110,5 mg/L (Πανώριος 2013) και 107,2 mg/L (Τσέρμος 2017) η μεταβολή της συγκέντρωσης του δείγματος χλωρίου δεν παρουσιάζει σημαντική διαφορά. Τα παραπάνω αποτελέσματα παρουσιάζονται στον παρακάτω Πίνακα 5.4.

Πίνακας 5.4 Περιγραφικά στοιχεία της συγκέντρωσης χλωρίου

Εύρος R 117,9 mg/L	Τυπική απόκλιση S 42,6 mg/L
Μέση τιμή $\bar{x}$ 104.7 mg/L	Συντελεστής μεταβλητότητας CV 40,71%
Δειγματική διασπορά $s^2$ 1817	Συντελεστής ασυμμετρίας $\alpha$ -0,47 Συντελεστής κύρτωσης $\gamma$ 1,59

### 5.2.2 Νιτρικά ( $\text{NO}_3^+$ )

Μέγιστη τιμή της συγκέντρωσης των νιτρικών έχουμε στη θέση S05 με τιμή 24,9 mg/L και ελάχιστη στις θέσεις S01, S02, S03, S10, S11, S13 με τιμή 0 mg/L. Επομένως το εύρος των συγκεντρώσεων σύμφωνα με τα παραπάνω είναι ίσο με 19,3 mg/L. Η μέση τιμή των συγκεντρώσεων είναι 17,6 mg/L. Η δειγματική διακύμανση υπολογίστηκε 66,5 και η τυπική της απόκλιση 8 mg/L, ενώ ο συντελεστής μεταβλητότητας είναι ίσος με 46,28%. Ο συντελεστής ασυμμετρίας είναι ίσος με -0,46 μικρότερος του μηδενός άρα η καμπύλη έχει αρνητική ασυμμετρία, πράγμα που σημαίνει ότι οι περισσότερες τιμές των δειγμάτων καθώς και η μέση τιμή βρίσκονται στα αριστερά της κορυφής. Ο συντελεστής κύρτωσης είναι 1,4 μικρότερος του 3 που χαρακτηρίζει την κανονική κατανομή, επομένως η συγκεκριμένη κατανομή χαρακτηρίζεται ως πλατύκυρτη. Συγκριτικά με τα αποτελέσματα των μέσων τιμών σε προηγούμενες εργασίες, μέση τιμή 18,5 mg/L (Κουρής 2011), μέση τιμή 21,9 mg/L (Πανώριος 2013) και 22,1 mg/L (Τσέρμος 2017) βλέπουμε ότι δεν υπάρχει διαφορά στη συγκέντρωση νιτρικών. Τα παραπάνω περιγραφικά μέτρα και συντελεστές παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.5.

Πίνακας 5.5 Περιγραφικά στοιχεία της συγκέντρωσης των νιτρικών

Εύρος R 19,3 mg/L	Τυπική απόκλιση S 8 mg/L
Μέση τιμή $\bar{x}$ 17,6 mg/L	Συντελεστής μεταβλητότητας CV 46,28%.
Δειγματική διασπορά $s^2$ 66,5	Συντελεστής ασυμμετρίας $\alpha$ -0,46 Συντελεστής κύρτωσης $\gamma$ 1,4

### 5.2.3 Θειικά ( $\text{SO}_4^{2-}$ )

Σύμφωνα με τις αναλύσεις του εργαστηρίου στα θειικά μέγιστη τιμή έχουμε στη θέση S12 με τιμή 97,5 mg/L και ελάχιστη στη θέση S02 με τιμή 29,3 mg/L. Επομένως το εύρος μεταξύ της μέγιστης και ελάχιστης τιμής είναι ίσο με 68,2 mg/L. Η μέση τιμή της συγκέντρωσης των δειγμάτων είναι ίση με 67,5 mg/L. Από τις μετρήσεις υπολογίστηκε η δειγματική διακύμανση 758 mg/L και η τυπική απόκλιση 27,5 mg/L. Συνεπώς ο συντελεστής μεταβλητότητας είναι ίσος με 40.77%. Όσον αφορά το συντελεστή ασυμμετρίας της συγκεκριμένης κατανομής είναι ίσος με -0,5, δηλαδή μικρότερος του μηδενός, που σημαίνει ότι η

κατανομή παρουσιάζει αρνητική ασυμμετρία και το μεγαλύτερο πλήθος των δειγμάτων μαζί με τη μέση τιμή βρίσκονται στα αριστερά της κορυφής. Ο συντελεστής κύρτωσης είναι μικρότερος του 3 και ίσος με 1,4 επομένως η κατανομή χαρακτηρίζεται ως πλατύκυρτη. Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των μέσων τιμών με τις προηγούμενες εργασίες, σε αυτή του Κουρή 2011 έχουμε μέση τιμή 77 mg/L, 67,6 mg/L στην αντίστοιχη του Πανώριου 2013 και 65,2 mg/L σε αυτή του Τσέρμου 2017. Παρατηρούμε ότι δεν έχει σημαντική διαφορά και ίσως η διαφορά με αυτή του Κουρή να οφείλεται στην προσθήκη εδαφοβελτιωτικών (λίπασμα) ή στην όξινη βροχή. Παρακάτω παρουσιάζεται ο Πίνακας 5.6 με τα αποτελέσματα που προαναφέρθηκαν.

Πίνακας 5.6 Περιγραφικά στοιχεία της συγκέντρωσης των θειικών

Εύρος R 68,2 mg/L	Τυπική απόκλιση S 27,5 mg/L
Μέση τιμή $\bar{x}$ 67,5 mg/L	Συντελεστής μεταβλητότητας CV 40.77%.
Δειγματική διασπορά $s^2$ 758	Συντελεστής ασυμμετρίας $\alpha$ -0,5 Συντελεστής κύρτωσης $\gamma$ 1,4

#### 5.2.4 Όξινα ανθρακικά ( $\text{HCO}_3^-$ )

Τα όξινα ανθρακικά εμφανίζουν μέγιστη τιμή στη θέση S09 με τιμή 325 mg/L και ελάχιστη 148 mg/L στη θέση S08. Το εύρος υπολογίζεται αφαιρώντας ελάχιστη από τη μέγιστη τιμή και είναι ίσο με 177 mg/L. Η δειγματική διακύμανση των δειγμάτων είναι ίση με 3351 mg/L και η τυπική απόκλιση ίση με 57,8 mg/L. Η μέση τιμή των συγκεντρώσεων των δειγμάτων είναι ίση με 237,5 mg/L και ταυτόχρονα υπολογίζεται και ο δείκτης μεταβλητότητας ίσος με 24,37%. Ο συντελεστής ασυμμετρίας υπολογίστηκε ίσος με 0,29 επομένως η κατανομή παρουσιάζει θετική ασυμμετρία και το πλήθος των συγκεντρώσεων βρίσκεται δεξιά της κορυφής. Από την άλλη ο συντελεστής κύρτωσης είναι ίσος με 2 άρα μικρότερος του 3 και η κατανομή χαρακτηρίζεται ως πλατύκυρτη. Σε σύγκριση με τις παλαιότερες εργασίες όσον αφορά τις μέσες τιμές παρατηρείται μείωση της συγκέντρωσης αφού έχουμε 290 mg/L (Κουρή 2011), 303,2 mg/L (Πανώριος 2013) και 216,77 mg/L

(Τσέρμος 2017). Παρακάτω είναι ο Πίνακας 5.7 με τα αποτελέσματα περιγραφικών μέτρων και συντελεστών.

Πίνακας 5.7 Περιγραφικά στοιχεία της συγκέντρωσης των όξινων ανθρακικών

Εύρος R 177 mg/L	Τυπική απόκλιση S 57,8 mg/L
Μέση τιμή $\bar{x}$ 237,5 mg/L	Συντελεστής μεταβλητότητας CV 24,37%.
Δειγματική διασπορά $s^2$ 3351	Συντελεστής ασυμμετρίας $\alpha$ 0.29 Συντελεστής κύρτωσης $\gamma$ 2

#### 5.2.5 Νάτριο ( $\text{Na}^+$ )

Οι τιμές των συγκεντρώσεων του νατρίου παρουσιάζουν αρκετή διαφοροποίηση μεταξύ τους. Έπειτα από την εργαστηριακή ανάλυση παρατηρούμε πως η ελάχιστη τιμή εμφανίζεται στη θέση S08 με τιμή που ξεπερνάει τα 21,5 mg/L ενώ η μεγαλύτερη στη θέση S11 με τιμή 103,1 mg/L, κατά συνέπεια το εύρος παίρνει την τιμή 81,5 mg/L. Όπως αναφέραμε και πιο πάνω η διακύμανση των τιμών παρουσιάζει κάποια ανομοιομορφία γι αυτό και η τιμή της είναι 928,3 και η τυπική απόκλιση 30,4 mg/L. Η αντιπροσωπευτική τιμή των τιμών των συγκεντρώσεων είναι 69,5mg/L, δηλαδή η μέση τιμή και κατά συνέπεια ο συντελεστής μεταβλητότητας είναι ίσος με 43,83%. Το πλήθος των τιμών της κατανομής βρίσκεται στα αριστερά της κορυφής αφού ο συντελεστής ασυμμετρίας είναι μικρότερος του μηδενός και ίσος με -0.39 ενώ και ο συντελεστής κύρτωσης δεν ξεπερνάει το 3 που είναι η αντιπροσωπευτική τιμή κανονικής κατανομής και με τιμή ίση με 1,5 χαρακτηρίζει την κατανομή ως πλατύκυρτη. Παρατηρώντας τις τιμές των μέσων συγκεντρώσεων νατρίου των προηγούμενων εργασιών 76,4 mg/L (Κουρής 2011), 84.4 mg/L (Πανώριος 2013) και 63,3 mg/L (Τσέρμος 2017) διαπιστώνουμε ότι δεν υπάρχει σημαντική μεταβολή, ωστόσο αυτή η μικρή διαφοροποίηση ίσως οφείλεται σε χρήση λιπασμάτων. Ο Πίνακας 5.8 περιέχει τα στοιχεία της κατανομής νατρίου.

Πίνακας 5.8 Περιγραφικά στοιχεία της συγκέντρωσης του νατρίου

Εύρος R 81,5 mg/L	Τυπική απόκλιση S 30,4 mg/L
Μέση τιμή $\bar{x}$ 69,5 mg/L	Συντελεστής μεταβλητότητας CV 43,83%.
Δειγματική διασπορά $s^2$ 928,3	Συντελεστής ασυμμετρίας $\alpha$ 0.39 Συντελεστής κύρτωσης $\gamma$ 1,5

### 5.2.6 Κάλιο ( $K^+$ )

Για το κάλιο οι τιμές των συγκεντρώσεων από τα 13 δείγματα που συλλέχθηκαν, δεν είναι μεγάλες. Αυτό φαίνεται στο ότι η μέγιστη τιμή είναι 2.38 mg/L στη θέση S12 και η μικρότερη εμφανίζεται στις θέσεις S01 και S02 με τιμή 0.5 αντίστοιχα. Το εύρος επομένως παίρνει την τιμή 1.9 mg/L. Η δειγματική διακύμανση της κατανομής κυμαίνεται και αυτή σε χαμηλή τιμή 0.51 ενώ η τυπική απόκλιση παίρνει την τιμή 0,71 mg/L. Η μέση τιμή των συγκεντρώσεων καλίου είναι 1,2 mg/L και συνεπώς ο συντελεστής μεταβλητότητας έχει την τιμή 60,19%. Τα περιγραφικά στοιχεία της κατανομής όπως ο συντελεστής ασυμμετρίας που είναι ίσος 0,4 μεγαλύτερος του μηδενός χαρακτηρίζουν την κατανομή ως θετική και συγκεντρώνουν το πλήθος των τιμών στα δεξιά της κορυφής ενώ ο συντελεστής κύρτωσης είναι και αυτός μεγαλύτερος του μηδενός αλλά μικρότερος του 3 έτσι χαρακτηρίζει την κατανομή ως πλατύκυρτη. Οι μέσες τιμές που έχουν διαμορφωθεί από τις παλαιότερες εργασίες 1,91 mg/L (Κουρής 2011), 2,05 mg/L (Πανώριος 2013) , 1,02 mg/L (Τσέρμος 2017) και από την παρούσα εργασία δείχνουν ότι δεν υπάρχει σημαντική διαφορά στις συγκεντρώσεις καλίου. Παρακάτω παρουσιάζεται ο Πίνακας 5.9 των περιγραφικών στοιχείων και συντελεστών.

Πίνακας 5.9 Περιγραφικά στοιχεία της συγκέντρωσης του καλίου

Εύρος R 1.9 mg/L	Τυπική απόκλιση S 0,71 mg/L
Μέση τιμή $\bar{x}$ 1,2 mg/L	Συντελεστής μεταβλητότητας CV 60,19%
Δειγματική διασπορά $s^2$ 0.51	Συντελεστής ασυμμετρίας $\alpha$ 0,4 Συντελεστής κύρτωσης $\gamma$ 1,8

### 5.2.7 Μαγνήσιο ( $Mg^{2+}$ )

Έχοντας συγκεντρώσει δείγματα από 13 θέσεις και ύστερα από εργαστηριακή ανάλυση παρατηρούμε ότι μικρότερη συγκέντρωση μαγνησίου βρίσκεται στη δειγματοληπτική θέση S08 με τιμή 2,5 mg/L ενώ η μέγιστη εμφανίζεται στη θέση S09 με τιμή 46,3 mg/L. Συνεπώς το εύρος παίρνει τιμή ίση με 43,8 mg/L, δηλαδή διαφορά μέγιστης και ελάχιστης τιμής. Η δειγματική διακύμανση των συγκεντρώσεων μαγνησίου στα 13 δείγματα είναι ίση με 316,3 και η τυπική απόκλιση ίση με 17,7 mg/L. Αφού υπολογίστηκε και η μέση τιμή ίση με 27,2 mg/L φτάνουμε στο πηλίκο που διαμορφώνει το συντελεστή μεταβλητότητας ίσο με 65,31%. Η κατανομή των συγκεντρώσεων παρουσιάζει αρνητική ασυμμετρία καθώς ο συντελεστής δεν ξεπερνάει την τιμή του μηδενός και είναι ίσος με -0,41 ενώ και ο συντελεστής κύρτωσης δεν είναι μεγαλύτερος του 3 επομένως η κατανομή χαρακτηρίζεται ως πλατύκυρτη. Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των μέσων τιμών των συγκεντρώσεων με τις προηγούμενες εργασίες 33,7mg/L (Κουρής 2011), 32,3 mg/L (Πανώριος 2013) και 29,9 mg/L (Τσέρμος 2017) παρατηρούμε ότι η διαφορά δεν είναι ιδιαίτερος μεγάλη. Παρακάτω βρίσκεται ο Πίνακας 5.10 με τα περιγραφικά στοιχεία

Πίνακας 5.10 Περιγραφικά στοιχεία της συγκέντρωσης του μαγνησίου

Εύρος R 43,8 mg/L	Τυπική απόκλιση S 17,7 mg/L
Μέση τιμή $\bar{x}$ 27,2 mg/L	Συντελεστής μεταβλητότητας CV 65,31%
Δειγματική διασπορά $s^2$ 316,3	Συντελεστής ασυμμετρίας $\alpha$ -0,41 Συντελεστής κύρτωσης $\gamma$ 1,43

### 5.2.8 Ασβέστιο ( $Ca^{2+}$ )

Η θέση που εμφανίζει μικρότερη συγκέντρωση σε ασβέστιο έπειτα από την εργαστηριακή ανάλυση των δειγμάτων είναι η S09 με τιμή 20,4 mg/L ενώ η μέγιστη είναι η S08 με τιμή 50,8 mg/L. Αξίζει να σημειωθεί εδώ ότι οι συγκεντρώσεις ασβεστίου χαρακτηρίζονται από μία ομοιομορφία δηλαδή όλες οι τιμές βρίσκονται κοντά μεταξύ τους. Αυτό φαίνεται και από το εύρος το οποίο δεν ξεπερνάει τα 30,5 mg/L. Σύμφωνα με τα παραπάνω η δειγματική διασπορά της κατανομής κυμαίνεται στα 74,5 ενώ η τυπική της απόκλιση στα 8,6 mg/L. Η μέση τιμή είναι ίση με 37,2



mg/L και ταυτόχρονα υπολογίζεται ο συντελεστής μεταβλητότητας ίσος με 23,2%. Η ομοιομορφία που αναφέρθηκε νωρίτερα αποτυπώνεται στους συντελεστές ασυμμετρίας που είναι 0,2 λίγο πάνω του μηδενός και κάνει την κατανομή με θετική ασυμμετρία και κύρτωσης που είναι 2,01 λίγο μικρότερος του 3 που κάνει την κατανομή πλατύκυρτη. Ωστόσο τα αποτελέσματα βρίσκονται πολύ κοντά στην κανονική κατανομή. Συγκριτικά τώρα με τα αποτελέσματα των μέσων συγκεντρώσεων από τις παλαιότερες εργασίες των Κουρή (2011) με τιμή 80,2 mg/L, Πανώριου (2013) με τιμή 73,7 mg/L και Τσέρμου (2017) με τιμή 61,8 mg/L βλέπουμε ότι υπάρχει σημαντική διαφορά. Αυτό ίσως να οφείλεται στην ύπαρξη ασβεστολιθικών στοιχείων της περιοχής τα οποία διαπερνάει ο υδατικός φορέας. Παρακάτω παρουσιάζεται συνοπτικά ο Πίνακας 5.11 με τα αποτελέσματα των στοιχείων που μετρήθηκαν στο εργαστήριο.

Πίνακας 5.11 Περιγραφικά στοιχεία της συγκέντρωσης του ασβεστίου

Εύρος R 30,5 mg/L	Τυπική απόκλιση S 8,6 mg/L
Μέση τιμή $\bar{x}$ 37,2 mg/L	Συντελεστής μεταβλητότητας CV 23,2%
Δειγματική διασπορά $s^2$ 74,5	Συντελεστής ασυμμετρίας $\alpha$ 0,2 Συντελεστής κύρτωσης $\gamma$ 2,01

### 5.2.9 Ειδική αγωγιμότητα (Special conductivity)

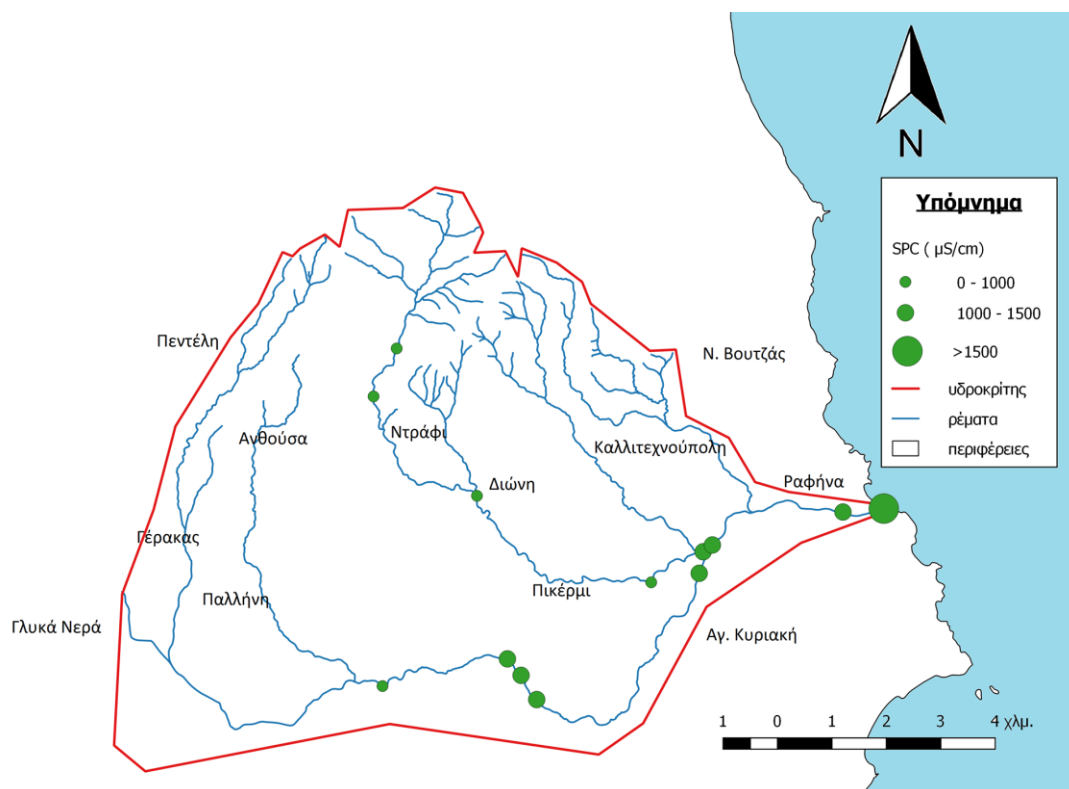
Από τις μετρήσεις που πάρθηκαν με τη βοήθεια του πολύμετρου στην ύπαιθρο παρατηρούμε ότι η θέση που παρατηρήθηκε μεγαλύτερη τιμή ειδικής αγωγιμότητας είναι η S10 με τιμή 1336  $\mu\text{S}/\text{cm}$  ενώ η μικρότερη τιμή παρατηρήθηκε στη θέση S08 με τιμή 496,1  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Αυτό σημαίνει ότι το εύρος τιμών είναι 839,9  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Η δειγματική διακύμανση των τιμών της ειδικής αγωγιμότητας στις θέσεις δειγματοληψίας είναι ίση με 81072  $\mu\text{S}/\text{cm}$  ενώ η τυπική της απόκλιση είναι ίση με 284  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Με τη σειρά της η μέση τιμή υπολογίστηκε ίση με 1003,7  $\mu\text{S}/\text{cm}$  και επομένως ο συντελεστής μεταβλητότητας είναι ίσος με 28,36%. Όσον αφορά το συντελεστή ασυμμετρίας, αυτός δεν ξεπερνάει το -0,4, επομένως η κατανομή έχει αρνητική ασυμμετρία με το πλήθος των τιμών να βρίσκεται στα αριστερά της κορυφής ενώ και ο συντελεστής κύρτωσης δεν ξεπερνάει την αντιπροσωπευτική τιμή 3 της κανονικής κατανομής



και με τιμή 1,4 χαρακτηρίζει την κατανομή ως πλατύκυρτη. Συγκρινόμενη με τα αποτελέσματα των προηγούμενων εργασιών του Κουρή(2011) με μέση τιμή 1100  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , με αυτή του Πανώριου(2013) με μέση τιμή 1139  $\mu\text{S}/\text{cm}$  και με αυτή του Τσέρμου(2017) με μέση τιμή 960  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , η μέση τιμή δεν έχει παρουσιάσει αύξηση η οποία θα οφειλόταν σε χρήση λιπασμάτων. Ακολουθεί ο Πίνακας 5.12 περιγραφικών στοιχείων και συντελεστών της ειδικής αγωγιμότητας και χάρτης της ειδικής αγωγιμότητας κάθε σημείου Εικόνα 5.2.

Πίνακας 5.12 Περιγραφικά στοιχεία της ειδικής αγωγιμότητας

Εύρος R 839,9 $\mu\text{S}/\text{cm}$	Τυπική απόκλιση S 284 $\mu\text{S}/\text{cm}$
Μέση τιμή $\bar{x}$ 1003,7 $\mu\text{S}/\text{cm}$	Συντελεστής μεταβλητότητας CV 28,36%
Δειγματική διασπορά $s^2$ 81072	Συντελεστής ασυμμετρίας $\alpha$ -0,4 Συντελεστής κύρτωσης $\gamma$ 1,4



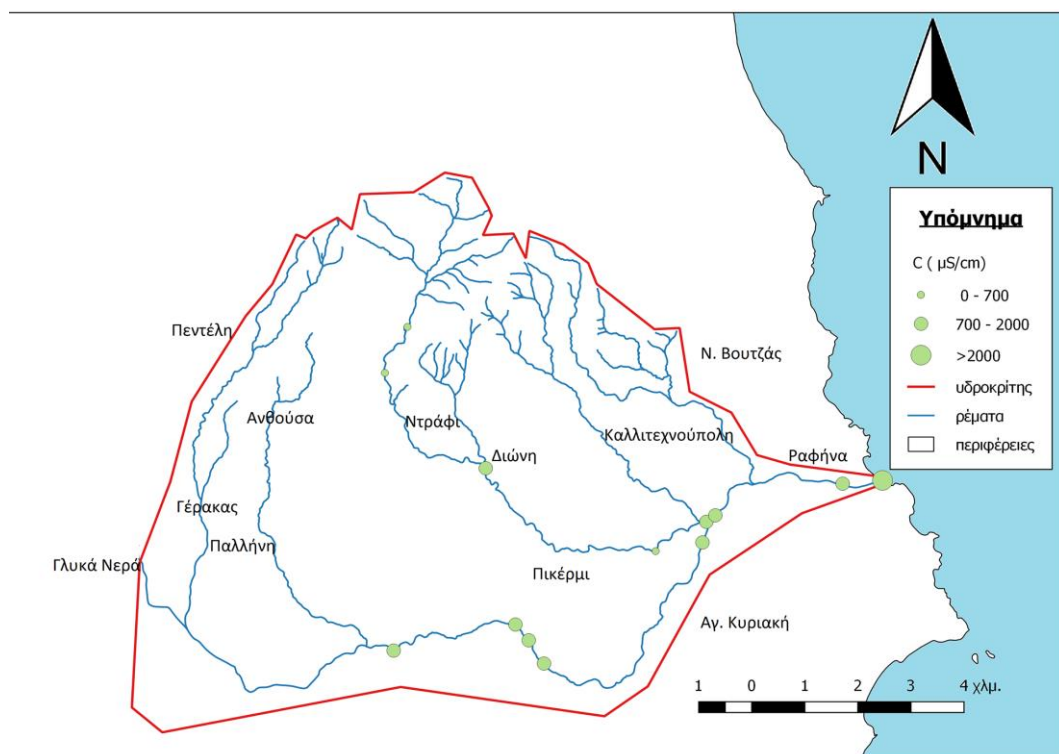
Εικόνα 5.2 Χάρτης ειδικής αγωγιμότητας στις δειγματοληπτικές θέσεις

#### 5.2.10 Αγωγιμότητα (Conductivity)

Όπως και η ειδική αγωγιμότητα έτσι και η αγωγιμότητα μετρήθηκε με τη βοήθεια του πολύμετρου. Λόγω της συσχέτισης τους τα δύο χαρακτηριστικά παρουσιάζουν πολλές ομοιότητες στις τιμές και στις μεταβολές τους. Ελάχιστη τιμή δηλαδή εμφανίζεται στη θέση S08 με τιμή 455  $\mu\text{S}/\text{cm}$  και μέγιστη τιμή στη θέση S11 με τιμή 1288  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Το εύρος τιμών από τα 13 δείγματα είναι συνεπώς 833  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Η δειγματική διακύμανση είναι περίπου ίδια με αυτή της ειδικής αγωγιμότητας με τιμή 83643 και τυπική απόκλιση 289  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Όπως είναι φυσικό δεν παρουσιάζονται ιδιαίτερες αποκλίσεις και στην μέση τιμή η οποία είναι 926,4  $\mu\text{S}/\text{cm}$  με συντελεστή μεταβλητότητας 31,22%. Η κατανομή χαρακτηρίζεται ως πλατύκυρτη με αριστερή ασυμμετρία αφού οι συντελεστές κύρτωσης και ασυμμετρίας είναι ίσοι με 1,67 και -0.28 αντίστοιχα. Οι διαφοροποιήσεις με τις προηγούμενες εργασίες είναι ίδιες με αυτές της ειδικής αγωγιμότητας, δηλαδή δεν έχει υπάρξει αύξηση άρα χρήση λιπασμάτων. Παρατίθεται ο Πίνακας 5.13 των περιγραφικών μέτρων που υπολογίστηκαν και χάρτης της αγωγιμότητας των σημείων Εικόνα 5.3.

Πίνακας 5.13 Περιγραφικά στοιχεία της αγωγιμότητας

Εύρος R 833 $\mu\text{S}/\text{cm}$	Τυπική απόκλιση S 289 $\mu\text{S}/\text{cm}$
Μέση τιμή $\bar{x}$ 926,4 $\mu\text{S}/\text{cm}$	Συντελεστής μεταβλητότητας CV 31,22%
Δειγματική διασπορά $s^2$ 83643	Συντελεστής ασυμμετρίας $\alpha$ -0.28  Συντελεστής κύρτωσης $\gamma$ 1,67



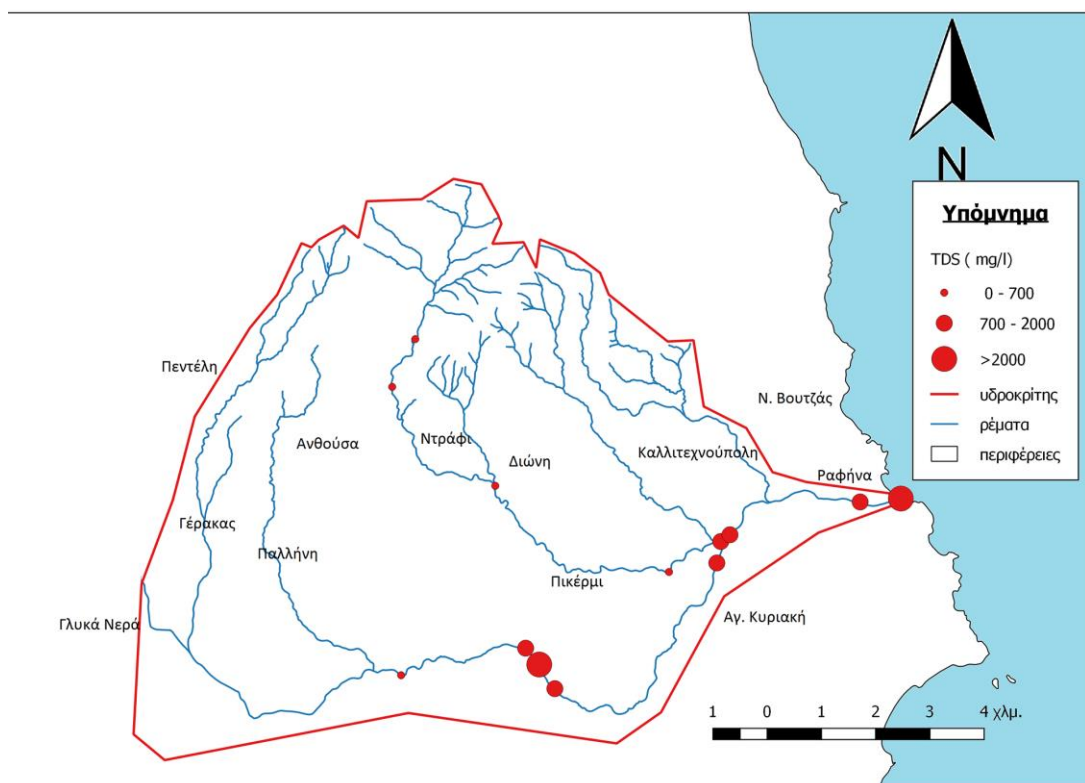
Εικόνα 5.3 Χάρτης αγωγιμότητας στις δειγματοληπτικές θέσεις

#### 5.2.11 Συνολικά διαλυμένα στερεά (Total dissolved solids)

Ανάμεσα σε 13 δειγματοληπτικές θέσεις αυτή που εμφανίζει μεγαλύτερη συγκέντρωση σε διαλυμένα στερεά είναι η θέση S11 και πολύ κοντά είναι η θέση S09 με τιμές 851,8 mg/L και 851,5 mg/L, αντίστοιχα, ενώ χαμηλότερη έχουμε στη θέση S08 με τιμή 322,4 mg/L. Το εύρος επομένως υπολογίζεται στα 548,6 mg/L. Οι εργαστηριακές αναλύσεις και η μετέπειτα μαθηματική επεξεργασία έδειξε ότι η τιμή της δειγματικής διακύμανσης είναι ίση με 34177 και η τυπική της απόκλιση ίση με 184,8 mg/L. Η μέση τιμή έχει τιμή ίση με 652,5 mg/L ενώ ο συντελεστής μεταβλητότητας παίρνει την τιμή 28,33%. Οι συντελεστές ασυμμετρίας και κύρτωσης παίρνουν τιμές -0,4 και 1,8 αντίστοιχα δίνοντας στην κατανομή χαρακτηριστικά αρνητικής ασυμμετρίας αλλά και πλατύκυρτης. Παρακάτω παρουσιάζονται συνοπτικά τα περιγραφικά μέτρα και οι συντελεστές στον Πίνακα 5.13 και ο χάρτης των συνολικών διαλυμένων στερεών στα σημεία λήψης (Εικόνα 5.4).

Πίνακας 5.13 Περιγραφικά στοιχεία της συγκέντρωσης των ολικά διαλυμένων στερεών

Εύρος R 548,6 mg/L	Τυπική απόκλιση S 184,8 mg/L
Μέση τιμή $\bar{x}$ 652,5 mg/L	Συντελεστής μεταβλητότητας CV
Δειγματική διασπορά $s^2$ 34177	Συντελεστής ασυμμετρίας $\alpha$ -0,4
	Συντελεστής κύρτωσης $\gamma$ 1,8



Εικόνα 5.4 Χάρτης συνολικών διαλυμένων στερεών στις δειγματοληπτικές θέσεις

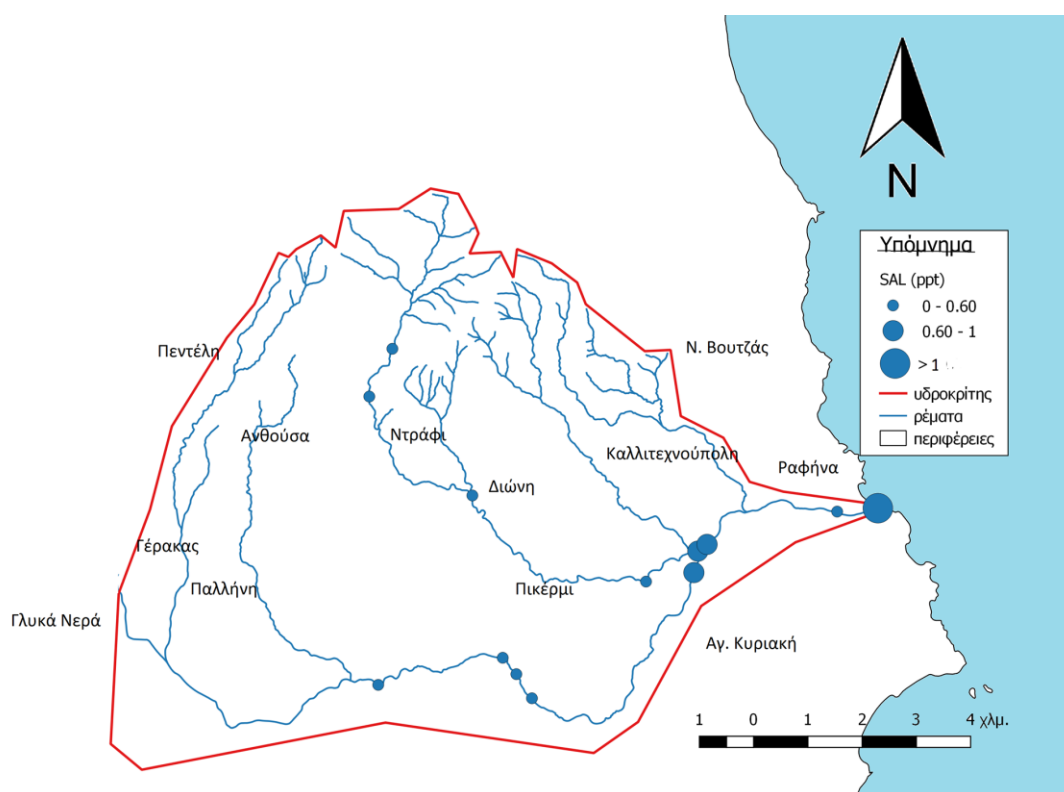
#### 5.2.12 Αλατότητα (Salinity)

Έχοντας στην κατοχή μας 13 δείγματα από 13 δειγματοληπτικές θέσεις παρατηρούμε, έπειτα από την εργαστηριακή ανάλυση, ότι η θέση με την υψηλότερη τιμή σε αλατότητα είναι η θέση S10 με τιμή 0,67ppt και αυτή με την ελάχιστη είναι η θέση S08 με τιμή 0,24 ppt. Η διαφορά μεταξύ μέγιστης και ελάχιστης τιμής είναι 0,43 ppt που χαρακτηρίζει το εύρος των τιμών της δειγματοληψίας. Η δειγματική διακύμανση έχει χαμηλή τιμή όπως είναι φυσικό αν παρατηρήσει κανείς την ομοιομορφία των δειγμάτων ίση με 0,02 και η τυπική της απόκλιση ίση με 0,14 ppt. Η μέση τιμή ήταν 0,49 ppt και ο συντελεστής μεταβλητότητας γίνεται ίσος με 29,31%. Το πλήθος των τιμών βρίσκεται στα αριστερά της κορυφής της κατανομής αφού ο συντελεστής ασυμμετρίας δεν ξεπερνάει το μηδέν και έχει τιμή ίση με -0.3 ενώ η κατανομή χαρακτηρίζεται ως πλατύκυρτη αφού ο συντελεστής κύρτωσης είναι ίσος με 1.8. Συγκριτικά με τα αποτελέσματα των προηγούμενων εργασιών έχουμε 0,57 ppt μέση τιμή σε αυτή του Κουρή(2011), 0,55 ppt σε αυτή του Πανώριου(2013) και 0,48 ppt σε αυτή του Τσέρμου(2017), έτσι παρατηρούμε πως δεν υπάρχει σημαντική διαφοροποίηση στην μέση τιμή. Παρακάτω βρίσκεται ο

Πίνακας 5.14 με τα περιγραφικά μέτρα της αλατότητας και η αλατότητα σε κάθε μία δειγματοληπτική θέση (Εικόνα 5.5).

Πίνακας 5.14 Περιγραφικά στοιχεία της αλατότητας

Εύρος R 0,43 ppt	Τυπική απόκλιση S 0,14 ppt
Μέση τιμή $\bar{x}$ 0,49 ppt	Συντελεστής μεταβλητότητας CV 29,31%
Δειγματική διασπορά $s^2$ 0,02	Συντελεστής ασυμμετρίας $\alpha$ -0.3 Συντελεστής κύρτωσης $\gamma$ 1.8



Εικόνα 5.5 Χάρτης αλατότητας στις δειγματοληπτικές θέσεις

### 5.2.13 Ενεργός οξύτητα (pH)

Ανάμεσα στις 13 δειγματοληπτικές θέσεις μεγαλύτερη τιμή ενεργούς οξύτητας έχουμε στη θέση S07 με τιμή 8,34 και μικρότερη στη θέση S13 με τιμή 7,78. Το εύρος επομένως είναι ίσο με 0,56. Έπειτα από τα αποτελέσματα των μετρήσεων στις 13 αυτές θέσεις υπολογίστηκε η δειγματική διακύμανση τους ίση με 0,02 και η τυπική τους απόκλιση 0,14. Είναι ίδιες τιμές με αυτές της αλατότητας αλλά δεν έχουν καμία φυσική σχέση παρά μόνο χαρακτηρίζουν την ομοιομορφία της

κατανομής των μετρήσεων. Έτσι η μέση τιμή παίρνει την τιμή 8,07mV και ο συντελεστής μεταβλητότητας την τιμή 1,83%. Ο συντελεστής ασυμμετρίας είναι ίσος με -0.24 δείχνοντας πως η κατανομή έχει αρνητική ασυμμετρία και το πλήθος των τιμών μαζί με τη μέση τιμή βρίσκονται στα αριστερά της κορυφής ενώ ο συντελεστής κύρτωσης είναι ίσος με 2,74 πολύ κοντά σε αυτόν της κανονικής κατανομής που είναι 3. Η σύγκριση των μέσων τιμών με αυτές των Κουρή(2011) 8,81, Πανώριου(2013) 8,94 και Τσέρμου(2017) 8,10 δείχνει ότι υπάρχει μία μικρή μεταβολή στη συγκέντρωση των συνολικών διαλυμένων στερεών και της συγκέντρωσης των κατιόντων υδρογόνου. Ακολουθεί ο πίνακας 5.15 με τα περιγραφικά μέτρα που υπολογίστηκαν.

Πίνακας 5.15 Περιγραφικά στοιχεία της ενεργού οξύτητας

Εύρος R 0,56	Τυπική απόκλιση S 0,14
Μέση τιμή $\bar{x}$ 8,07	Συντελεστής μεταβλητότητας CV 1,83%
Δειγματική διασπορά $s^2$ 0,02	Συντελεστής ασυμμετρίας $\alpha$ -0,24 Συντελεστής κύρτωσης $\gamma$ 2,74

### 5.3 Μεταβολή των παραμέτρων στη διάρκεια 6 ετών

Για την πλήρη κατανόηση των περιγραφικών μέτρων των στοιχείων που υπολογίστηκαν είναι απαραίτητη μία σύγκριση η οποία να παρουσιάζει πρακτικά την ποσοστιαία μεταβολή του κάθε μεγέθους σε σχέση με τις μετρήσεις και τα αποτελέσματα των προηγούμενων ετών. Αυτή η σύγκριση παρουσιάζεται στον Πίνακα 5.16, με τις ποσοστιαίες μεταβολές των φυσικοχημικών παραμέτρων αλλά και των κύριων κατιόντων και ανιόντων.



Πίνακας 5.16 Ποσοστιαίες μεταβολές των μέσων τιμών των παραμέτρων στη διάρκεια των ετών

A/A	Παράμετρος	Μέση τιμή έτους 2010	Μέση τιμή έτους 2011	Μέση τιμή έτους 2016 (Απρίλιος)	Μέση τιμή έτους 2016 (Ιούνιος)	Μεταβολή 2010-2016 Ιούνιος	Μεταβολή 2011-2016 Ιούνιος	Μεταβολή 2016 Απρίλιος-2016 Ιούνιος
1	Χλώριο $\text{Cl}^-$ mg/L	116	110	107,2	104.7	-10%	-5%	-2%
2	Κάλιο $\text{K}^+$ mg/L	1,91	2,05	1,02	1,2	-37%	-41%	18%
3	Μαγνήσιο $\text{Mg}^{2+}$ mg/L	33,7	32,3	29,9	27,2	-19%	-16%	-9%
4	Ασβέστιο $\text{Ca}^{2+}$ mg/L	80,2	73,7	61,8	37,2	-54%	-50%	-40%
5	Νάτριο $\text{N}^+$ mg/L	76,4	84,4	63,3	69,5	-9%	-18%	10%
6	Νιτρικά $\text{NO}_3^-$ mg/L	20,3	20,4	22,1	17,6	-13%	-14%	-20%
7	Θειικά $\text{SO}_4^{2-}$ mg/L	77	67,6	65,2	67,5	-12%	0%	4%
8	Όξινα ανθρακικά $\text{HCO}_3^-$ mg/L	294	303	216,77	237,5	-19%	-22%	10%
9	Ειδική αγωγιμότητα SPC $\mu\text{S}/\text{cm}$	1100	1139	959,67	1003,7	-9%	-12%	5%
10	Συνολικά διαλυμένα στερεά TDS mg/L	717	744	615,58	652,5	-9%	-12%	6%
11	Αλατότητα SAL mg/L	0,55	0,57	0,48	0,49	-11%	-14%	2%
12	Ενεργός οξύτητα pH	8,81	8,94	8,1	8,07	-8%	-10%	0%

Εκτός από τον πίνακα των ποσοστιαίων μεταβολών, δημιουργήθηκε και ο Πίνακας 5.17 ο οποίος παρουσιάζει τα αποτελέσματα μετά την εφαρμογή της κατανομής t-Student.

Πίνακας 5.17 Αποτελέσματα κατανομής t-Student

A/A	Παράμετρος	t-test report for CL 95% 2011-2016	t-test report for CL 95% 2013-2016	t-test report for CL 95% Απρίλιος-Ιούνιος 2016
1	Χλώριο $\text{Cl}^-$ mg/L	n.d	n.d	n.d
2	Κάλιο $\text{K}^+$ mg/L	d	d	n.d
3	Μαγνήσιο $\text{Mg}^{2+}$ mg/L	n.d	n.d	n.d
4	Ασβέστιο $\text{Ca}^{2+}$ mg/L	d	d	d
5	Νάτριο $\text{N}^+$ mg/L	n.d	n.d	n.d
6	Νιτρικά $\text{NO}_3^-$ mg/L	n.d	n.d	n.d
7	Θειικά $\text{SO}_4^{2-}$ mg/L	n.d	n.d	n.d
8	Όξινα ανθρακικά $\text{HCO}_3^-$ mg/L	n.d	n.d	n.d
9	Ειδική αγωγιμότητα SPC $\mu\text{S}/\text{cm}$	n.d	n.d	n.d
10	Συνολικά διαλυμένα στερεά TDS mg/L	n.d	n.d	n.d
11	Αλατότητα SAL mg/L	n.d	n.d	n.d
12	Ενεργός οξύτητα pH	n.d	n.d	n.d

n.d.: not different , d.: different

Από τον Πίνακα 5.17 και 5.16 φαίνεται ότι στη διάρκεια των ετών υπάρχει μία σημαντική διαφοροποίηση-μείωση στη συγκέντρωση του ασβεστίου ( $\text{Ca}^{2+}$ ). Πολύ πιθανόν αυτή η μείωση να οφείλεται στην αύξηση της θερμοκρασίας του νερού η οποία συμβάλει στη αποσύνθεση των αλάτων σε ανθρακικά και στη δημιουργία ιζήματος. Αυτό βελτιώνει την καθαρότητα του νερού αφού μειώνεται η συγκέντρωση των διαλυμένων αλάτων. Σταδιακά η σκληρότητα του νερού υφίσταται μείωση, επομένως η χρησιμότητα του σε ανθρώπινες δραστηριότητες

αυξάνεται. Επίσης παρατηρείται μία αυξομείωση στη συγκέντρωση του καλίου ( $K^+$ ). Αυτό μπορεί να οφείλεται σε εκτεταμένη χρήση καλιούχων λιπασμάτων, καθώς η περιοχή είναι κυρίως αγροτική είτε η περιοχή να αποτελεί περιοχή εκφόρτισης λόγω προσρόφησης του νατρίου ( $Na^+$ ). Επίσης παράγοντας αποτελεί η απόσταση από τη θάλασσα. Η συγκέντρωση των αλκαλίων (Κάλιο, Νάτριο) σχετίζεται με τη διεύδυση του θαλασσινού νερού ή των αερομεταφερόμενων σωματιδίων από αυτό. Παρόλα αυτά οι διακυμάνσεις των συγκεντρώσεων στη διάρκεια των ετών δεν είναι σημαντικές και συνεπώς δεν μεταβάλλουν την ποιότητα του νερού.

#### **5.4.1 Αποτελέσματα συγκεντρώσεων αιωρούμενων στερεών**

Τα αποτελέσματα των αιωρούμενων στερεών έχουν άμεση σχέση με τη διαδικασία της διήθησης. Ο υπολογισμός αυτών έπεται της διήθησης και ανάγει ουσιαστικά την ποσότητα των αιωρούμενων στερεών στη ποσότητα των 1000 mL. Αυτό συμβαίνει διότι ο όγκος των δοχείων που χρησιμοποιήθηκαν για τη συλλογή των δειγμάτων είναι 780 mL. Έτσι γίνεται αρχικά η διαδικασία της διήθησης όπως περιγράφεται σε προηγούμενο κεφάλαιο και στη συνέχεια η αναγωγή σε όγκο 1000 mL. Συνοπτικά αφαιρείται ο όγκος του ηθμού πριν τη διήθηση από τον όγκο του ηθμού μετά τη διήθηση. Η διαφορά αντικατοπτρίζει την ποσότητα αιωρούμενων στερεών στα 780 mL και επομένως με μία απλή μέθοδος των τριών ανάγεται σε 1000 mL. Παρακάτω παρουσιάζεται ο Πίνακας 5.18 με τα βάρη των ηθμών και τις συγκεντρώσεις σε κάθε μία δειγματοληπτική θέση.

Πίνακας 5.18 Συγκεντρώσεις αιωρούμενων στερεών και βάρος ηθμών

Κωδικός θέσης	Βάρος Ηθμού πριν (g)	Βάρος Ηθμού μετά (g)	Συγκέντρωση (mg/L)
S01	0,0782	0,0785	0,384
S02	0,0781	0,0803	2,82
S03	0,0784	0,0823	5,00
S04	0,0780	0,0797	2,18
S05	0,0780	0,0789	1,15
S06	0,0780	0,0790	1,28
S07	0,0778	0,0788	1,28
S08	0,0777	0,0784	0,897
S09	0,0776	0,0794	2,31
S10	0,0776	0,0795	2,44
S11	0,0772	0,0793	2,69
S12	0,0783	0,0794	1,41
S13	0,0783	0,0812	3,72

#### 5.4.2 Δείκτης προσροφημένου Νατρίου-Sodium absorption ratio (SAR)

Όπως ήδη έχει αναφερθεί στο Κεφάλαιο 2 το νάτριο αποτελεί κριτήριο ποιότητας του αρδευτικού νερού αφού σχετίζεται με τις φυσικές ιδιότητες του εδάφους. Για τον υπολογισμό του δείκτη SAR (sodium absorption ratio) χρειάστηκε να γίνει μετατροπή των στοιχείων του μαγνησίου ( $Mg^{++}$ ), ασβεστίου ( $Ca^{++}$ ) και νατρίου ( $Na^{+}$ ) σε μονάδες meq/L από mg/L. Αυτό επιτυγχάνεται με την εξής απλή σχέση:

$$meq/L = \text{Συγκέντρωση}(mg/L) / (\text{ατομικό βάρος/σθένος}) \quad (5.1)$$

Πίνακας 5.19 Χαρακτηριστικά των στοιχείων που επηρεάζουν το SAR

Κατιόντα	Ατομικός αριθμός(g/mol)	Σθένος
Μαγνήσιο $Mg^{++}$	24,30	+2
Ασβέστιο $Ca^{++}$	40,08	+2
Νάτριο $Na^{+}$	23,00	+1

Έπειτα υπολογίζεται ο δείκτης SAR από τη σχέση :

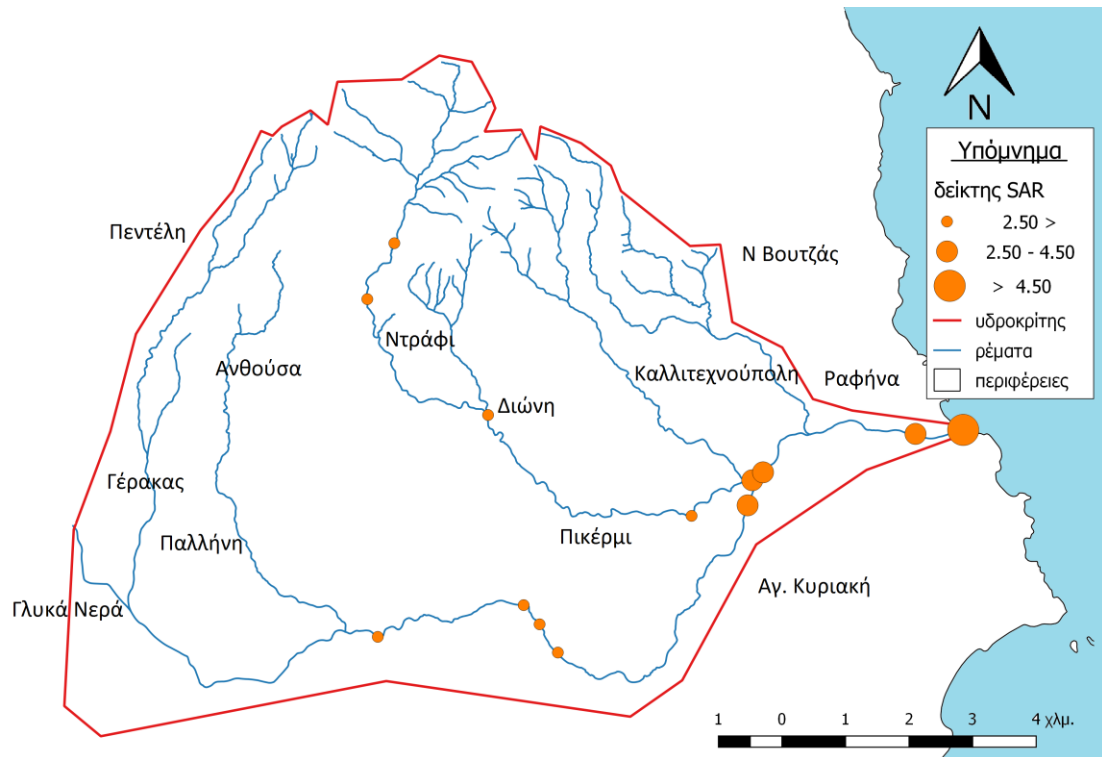
$$SAR = \frac{Na^{+}}{\sqrt{\frac{Ca^{++}+Mg^{++}}{2}}} \quad (2.1)$$

Δημιουργείται έτσι ο Πίνακας 5.20 και ο χάρτης του δείκτη SAR σε κάθε θέση λήψης (Εικόνα 5.6).

Πίνακας 5.20 Στοιχεία που συμβάλλουν στον υπολογισμό του δείκτη SAR σε meq/L

Κωδικός θέσης	Νάτριο meq/L	Ασβέστιο meq/L	Μαγνήσιο meq/L	Δείκτης SAR
S01	1,845	1,829	0,585	1,679
S02	1,344	1,879	0,428	1,251
S03	1,395	2,140	0,291	1,265
S04	2,639	1,536	2,630	1,828
S05	3,637	2,257	3,631	2,119
S06	3,588	2,319	3,215	2,156
S07	3,579	1,668	3,182	2,298
S08	0,937	2,542	0,202	0,800
S09	4,374	1,020	3,814	2,813

S10	4,465	1,995	3,589	2,672
S11	4,483	1,363	3,377	2,912
S12	3,975	1,734	1,950	2,928
S13	120,031	7,659	12,210	38,081



Εικόνα 5.6 Χάρτης δεικτών SAR στις δειγματοληπτικές θέσεις

#### 5.4.3 Ηλεκτρική Αγωγιμότητα-Electric conductivity (EC)

Εκτός από τον δείκτη SAR υπάρχουν και άλλοι δύο παράμετροι που σχετίζονται με την ποιότητα του νερού όσον αφορά την αλατότητα του νερού άρδευσης. Αυτοί οι παράμετροι είναι τα συνολικά διαλυμένα στερεά (αναφέρθηκαν στο Κεφάλαιο 2) και η ηλεκτρική αγωγιμότητα EC. Η αλατότητα του νερού αναφέρεται πολλές φορές ως η συνολική συγκέντρωση των αλάτων ή των συνολικά διαλυμένων στερεών στο νερό TDS. Όμως η πιο χρησιμοποιούμενη παράμετρος είναι αυτή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας καθώς γίνεται άμεσα και ευκολότερα. Τα διαλυμένα άλατα στο νερό άγουν το ηλεκτρικό ρεύμα και επομένως η συγκέντρωση των αλάτων στο νερό σχετίζεται άμεσα με την ηλεκτρική αγωγιμότητα EC. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα του νερού και του εδαφικού

εκχυλίσματος αναφέρεται και συμβολίζεται ως  $EC_w$  και  $EC_e$  αντίστοιχα. Η σχέση που συνδέει τις δύο παραμέτρους είναι:

$$TDS \text{ mg/L} = 640 * EC_w \text{ dS/m} , \text{ όταν } EC_w < 5 \text{ dS/m} \quad (5.3)$$

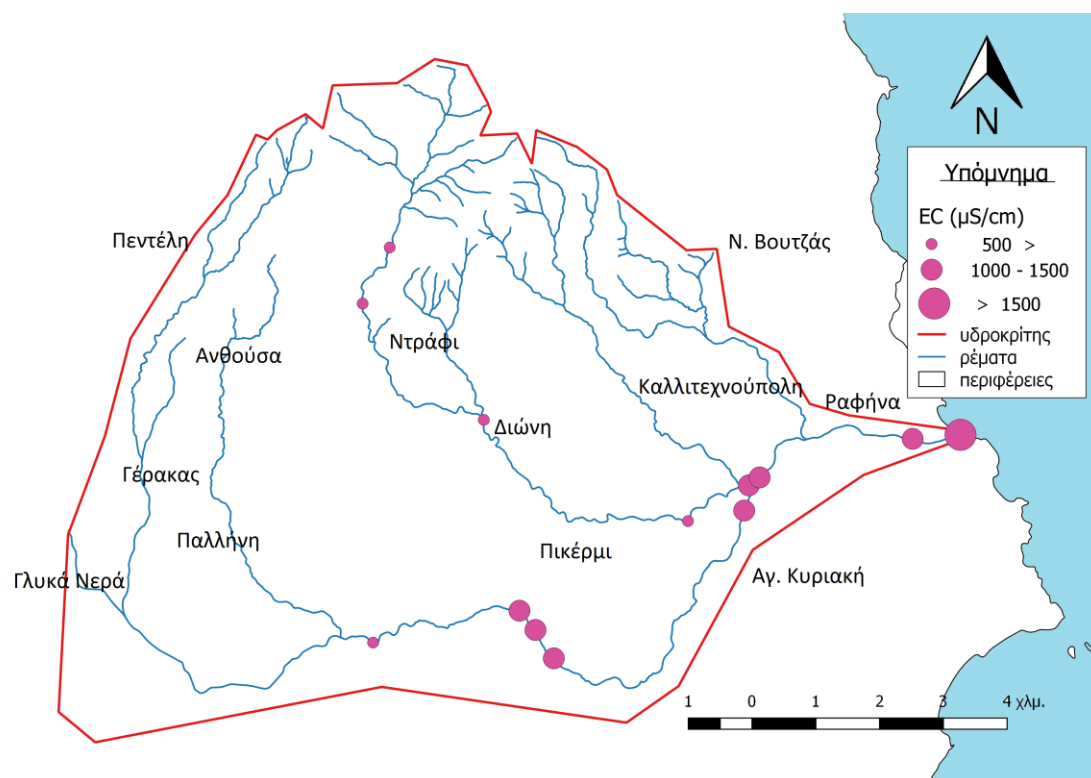
$$TDS \text{ mg/L} = 800 * EC_w \text{ dS/m} , \text{ όταν } EC_w > 5 \text{ dS/m} \quad (5.4)$$

Η μετατροπή μπορεί εύκολα να υλοποιηθεί ωστόσο απαιτείται μεγάλη προσοχή για το επίπεδο αλατότητας του νερού αλλά και τη σύσταση του. Για παράδειγμα, τα θειϊκά άλατα δεν άγουν τον ηλεκτρισμό όπως οι άλλοι τύποι αλάτων. Έτσι αν το νερό περιέχει μεγάλη ποσότητα θειϊκού άλατος η χρησιμοποίηση των συντελεστών απαιτεί την προσαρμογή τους αναλογικά (προς τα πάνω). Ακολουθεί ο Πίνακας 5.21 των τιμών της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και χάρτης αυτών (Εικόνα 5.7).

Πίνακας 5.21 Συνολικά διαλυμένα στερεά και ηλεκτρική αγωγιμότητα

Κωδικός θέσης	TDS mg/L	Ηλεκτρική αγωγιμότητα EC μS/cm
S01	533	832,812
S02	442	690,625
S03	435,5	680,468
S04	585	914,062
S05	721,5	1127,343
S06	721,5	1127,343
S07	715	1117,187
S08	322,4	503,75
S09	851,5	1330,468
S10	871	1360,937
S11	851,8	1330,937
S12	780	1218,75
S13	11245	17570,312





Εικόνα 5.7 Χάρτης ηλεκτρικής αγωγιμότητας στις δειγματοληπτικές θέσεις

## **5.5 Καταλληλότητα Νερού για αρδευτική χρήση**

Η κατάταξη της ποιότητας νερού στην παρούσα διπλωματική εργασία έγινε με βάση δύο συστήματα. Πρώτο είναι το σύστημα κατάταξης νερών που στηρίζεται στην περιεκτικότητα τους σε άλατα και νάτριο σύμφωνα με το εργαστήριο αλατότητας των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής (U.S.S.L). Δεύτερο είναι το σύστημα κατάταξης αρδευτικού νερού που έχει αναπτυχθεί από τους Ayers και Westcot (1985) στο πλαίσιο των δραστηριοτήτων του Παγκόσμιου Οργανισμού Τροφίμων και βασίζεται στον έλεγχο του νερού ως προς τον κίνδυνο εμφάνισης ενός από τα παρακάτω: α) αλατότητα, β) διηθητικότητα, γ) τοξικότητα, δ) ειδικά προβλήματα σε ευαίσθητες καλλιέργειες. Ορισμένα από αυτά τα προβλήματα έχουν αναλυθεί στο Κεφάλαιο 2.4.

### **5.5.1 Ποιοτική κατάταξη νερών σύμφωνα με το εργαστήριο αλατότητας της Αμερικής U.S.S.L**

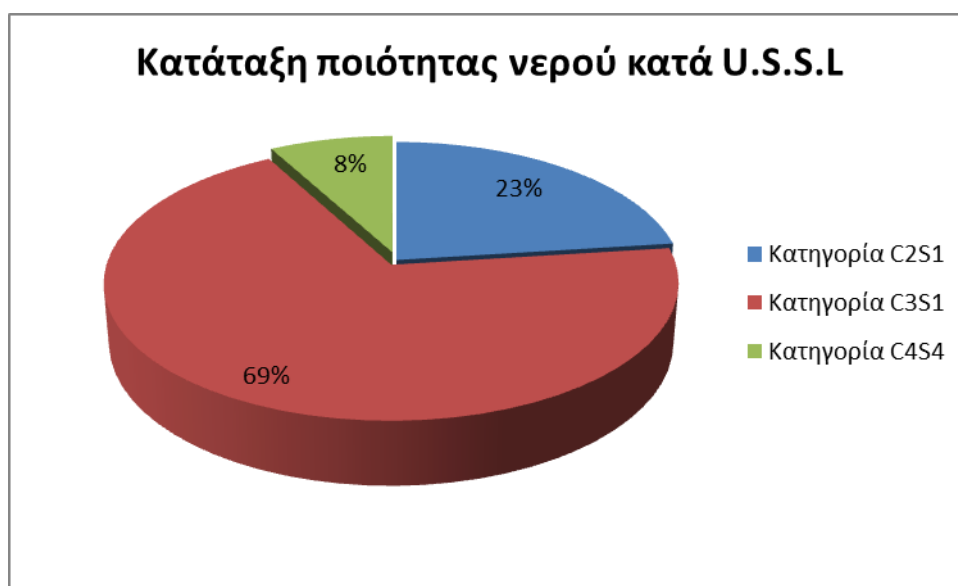
Για την κατάταξη των 13 δειγμάτων που συγκεντρώθηκαν σύμφωνα με το εργαστήριο αλατότητας της Αμερικής χρειάστηκε ο προσδιορισμός της ηλεκτρικής αγωγιμότητας EC και της αναλογίας προσροφημένου νατρίου SAR σε κάθε θέση δειγματοληψίας. Ο δείκτης SAR όπως ήδη έχει αναφερθεί προσδιορίζεται με βάση τις συγκεντρώσεις ιόντων του νατρίου, του μαγνησίου και του ασβεστίου. Έτσι δημιουργείται ο παρακάτω Πίνακας 5.22 με την κατάταξη των δειγμάτων κατά U.S.S.L.

Πίνακας 5.22 Ποιοτική κατάταξη νερών κατά U.S.S.L

Κωδικός θέσης	Ηλεκτρική αγωγιμότητα EC μS/cm	Δείκτης SAR	Αλάτωση	Αλκαλίωση
S01	832,812	1,679	C3	S1
S02	690,625	1,251	C2	S1
S03	680,468	1,265	C2	S1
S04	914,0625	1,828	C3	S1
S05	1127,343	2,119	C3	S1
S06	1127,343	2,156	C3	S1
S07	1117,187	2,298	C3	S1
S08	503,75	0,801	C2	S1
S09	1330,468	2,813	C3	S1
S10	1360,937	2,672	C3	S1
S11	1330,937	2,912	C3	S1
S12	1218,75	2,928	C3	S1
S13	17570,3125	38,081	C4	S4

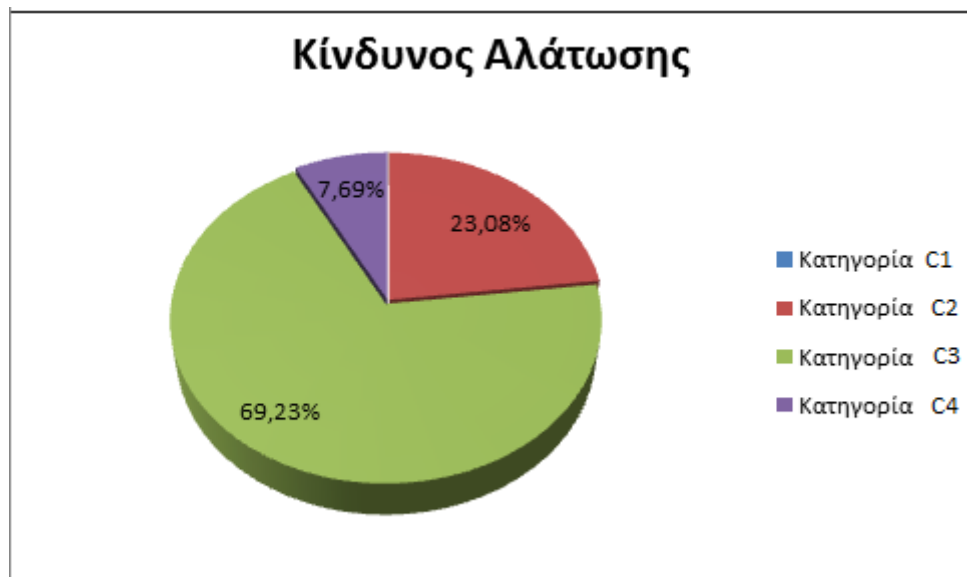
Από τον παραπάνω πίνακα παρατηρούμε ότι τα δείγματα χωρίζονται σε 2 κυρίως κατηγορίες, αν εξαιρέσουμε βέβαια τη θέση S13 που αποτελεί μία κατηγορία μόνη της. Η πρώτη είναι η κατηγορία C2S1 και περιλαμβάνει τα δείγματα S02, S03, S08 τα οποία καταλαμβάνουν το 23% του συνόλου των δειγμάτων. Αυτή η κατηγορία περιλαμβάνει νερά μέσης αλατότητας όπου υπάρχει μέσος κίνδυνος αλάτωσης (Εικόνα 5.9) ενώ ο κίνδυνος αλκαλίωσης (Εικόνα 5.10) είναι πολύ μικρός αφού η περιεκτικότητα σε νάτριο είναι πολύ μικρή  $SAR < 10$ . Η δεύτερη κατηγορία C3S1 είναι και αυτή που εμπεριέχει το σύνολο των δειγμάτων και περιλαμβάνει τα δείγματα S01, S04, S05, S06, S07, S09, S10, S11, S12 τα οποία αποτελούν το 69% του συνόλου των δειγμάτων. Η

κατηγορία αυτή περιλαμβάνει και αυτή νερά με μικρή περιεκτικότητα σε νάτριο  $SAR < 10$  και επομένως μικρό κίνδυνο αλκαλίωσης αλλά η περιεκτικότητα σε άλατα είναι πολύ μεγάλη και έτσι υπάρχει πολύ μεγάλος κίνδυνος αλάτωσης. Και τέλος υπάρχει η κατηγορία C4S4 που δημιουργείται λόγω της δειγματοληπτικής θέσης S13 και περιλαμβάνει νερά με μεγάλο κίνδυνο αλάτωσης αφού η ποσότητα των αλάτων είναι μεγάλη και μεγάλος κίνδυνος αλκαλίωσης αφού η περιεκτικότητα σε νάτριο είναι μεγάλη  $SAR > 26$ . Αυτή η κατηγορία καταλαμβάνει το 8% των δειγμάτων (Εικόνα 5.8).



Εικόνα 5.8 Διάγραμμα κατάταξης ποιότητας νερού κατά U.S.S.L

Εδώ να σημειωθεί ότι τα νερά των δύο πρώτων κατηγοριών μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε φυτά χωρίς επιπτώσεις αρκεί να υπάρχει εφαρμογή εκπλύσεων, καλές στραγγίσεις των εδαφών και τη χρησιμοποίηση φυτών μεγαλύτερης από μέτριας ανθεκτικότητας σε άλατα (Τσακίρης 2006). Ακολουθεί διάγραμμα ποσοστών με τις κατατάξεις των δειγμάτων κατά U.S.S.L.



Εικόνα 5.9 Διάγραμμα κινδύνου δημιουργίας προβλήματος αλάτωσης



Εικόνα 5.10 Διάγραμμα κινδύνου δημιουργίας προβλήματος αλκαλίωσης

### 5.5.2 Κατάταξη των δειγμάτων του νερού ως προς την ποιότητα τους και τους κινδύνους δημιουργίας προβλημάτων κατά Ayers και Westcot (1985)

Η κατάταξη των δειγμάτων που συλλέχθηκαν κατά Ayers και Westcot (1985) γίνεται ως προς τον κίνδυνο εμφάνισης ενός εκ των τεσσάρων ακόλουθων προβλημάτων (αλατότητας, διηθητικότητας, τοξικότητας, ειδικών προβλημάτων) με τις τιμές των αντίστοιχων συγκεντρώσεων και παραμέτρων των δειγμάτων που έχουν αναλυθεί στο εργαστήριο. Για κάθε ένα από αυτά τα 4 προβλήματα, υπάρχουν τρεις διαβαθμίσεις του κινδύνου που προκαλεί το εκάστοτε πρόβλημα, οι οποίες είναι α) καλή ποιότητα-χωρίς προβλήματα β) αύξηση του κινδύνου προβλημάτων από

την συνεχή χρήση του νερού γ) ακατάλληλη ποιότητα- σοβαρά προβλήματα.

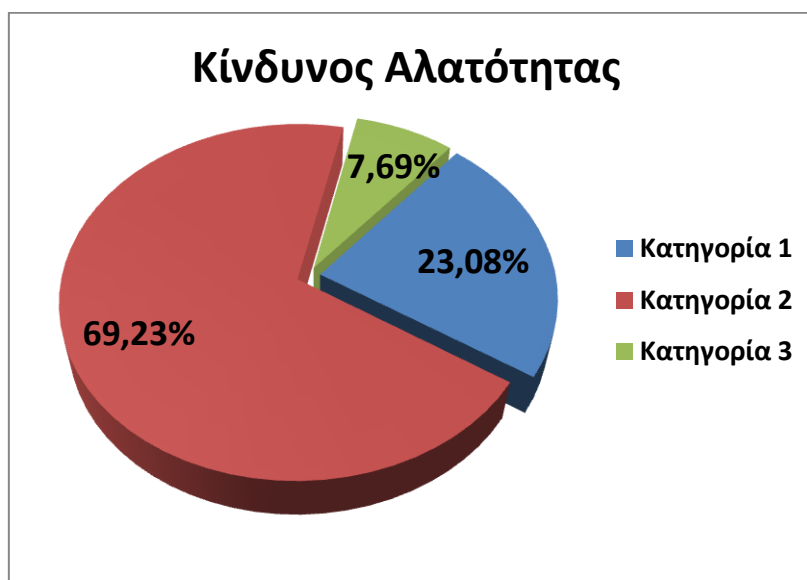
Αρχικά κατηγοριοποιούμε τα δείγματα με βάση το πρόβλημα της αλατότητας το οποίο σχετίζεται άμεσα με την τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας που βρήκαμε πιο πάνω. Έτσι δημιουργείται ο παρακάτω Πίνακας 5.23 κατηγοριών με βάση τον κίνδυνο του προβλήματος της αλατότητας.

Πίνακας 5.23 Κατηγορίες ποιότητας νερού και κινδύνου δημιουργία προβλημάτων αλατότητας

Κωδικός Θέσης	Ηλεκτρική αγωγιμότητα EC $\mu\text{S}/\text{cm}$	Κατηγορία ποιότητας νερού και κίνδυνος προβλημάτων αλατότητας
S01	832,812	2
S02	690,625	1
S03	680,468	1
S04	914,062	2
S05	1127,343	2
S06	1127,343	2
S07	1117,187	2
S08	503,75	1
S09	1330,468	2
S10	1360,937	2
S11	1330,937	2
S12	1218,75	2
S13	17570,312	3

Από την παρατήρηση του παραπάνω πίνακα 5.22 διακρίνει κανείς το διαχωρισμό σε 2 μεγάλες κατηγορίες κατάταξης της ποιότητας νερού ως

προς τον κίνδυνο του προβλήματος της αλατότητας κατά Ayers και Westcot (1985). Η μία είναι κατηγορίας 1, δηλαδή νερό καλής ποιότητας-χωρίς προβλήματα το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί χωρίς πρόβλημα σε φυτά -έδαφος και αντιστοιχεί στις δειγματοληπτικές θέσεις S02, S03 και S08 με ποσοστό επί του συνόλου της τάξης του 23%. Στη δεύτερη κατηγορία αντιστοιχούν τα δείγματα των οποίων η ποιότητα νερού είναι κατηγορίας 2 δηλαδή νερά όπου η συνεχής χρήση τους αυξάνει τον κίνδυνο προβλημάτων. Σε αυτή την κατηγορία εμπεριέχονται οι δειγματοληπτικές θέσεις S01, S04, S05, S06, S07, S09, S10, S11, S12 με ποσοστό επί του συνόλου της τάξης του 69%. Υπάρχει ωστόσο και η κατηγορία που δημιουργεί το δείγμα της θέσης S13 η οποία αποτελεί νερό κατηγορίας 3 με ακατάλληλη ποιότητα και τον κίνδυνο σοβαρών προβλημάτων, αλλά αποτελεί μόνο το 7,6% του συνόλου. (Εικόνα 5.11)



Εικόνα 5.11 Διάγραμμα κινδύνου δημιουργίας προβλήματος αλατότητας

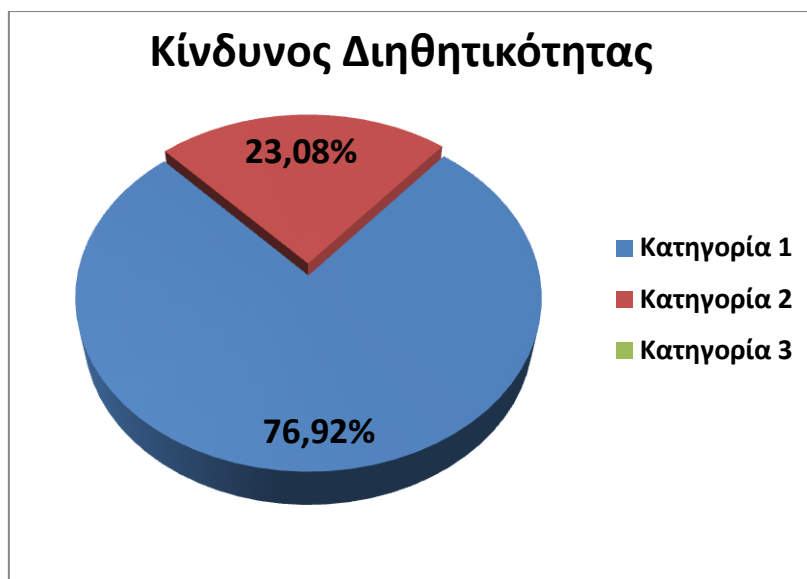
Στην δεύτερη ομάδα κινδύνου έχουμε το πρόβλημα της διηθητικότητας. Αυτή μπορεί να υπολογιστεί με βάση την αναλογία της τιμής του προσροφημένου νατρίου, με τη βοήθεια του δείκτη SAR, με την τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας EC. Ακολουθεί ο Πίνακας 5.24 με βάση τις κατηγορίες ποιότητας νερού όπως διαμορφώνονται με βάση τον κίνδυνο του προβλήματος της διηθητικότητας.



Πίνακας 5.24 Κατηγορίες ποιότητας νερού με βάση τον κίνδυνο διηθητικότητας

Κωδικός θέσης	Ηλεκτρική αγωγιμότητα ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	Δείκτης SAR	Κατηγορία ποιότητας νερού με βάση τον κίνδυνο διηθητικότητας
S01	832,812	1,679	1
S02	690,625	1,251	2
S03	680,468	1,265	2
S04	914,062	1,828	1
S05	1127,343	2,119	1
S06	1127,343	2,156	1
S07	1117,187	2,298	1
S08	503,75	0,800	2
S09	1330,468	2,813	1
S10	1360,937	2,672	1
S11	1330,937	2,912	1
S12	1218,75	2,928	1
S13	17570,3	38,081	1

Σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα 5.23 τα 13 δείγματα νερού σχηματίζουν 2 διαφορετικές κατηγορίες, την κατηγορία 1 και την κατηγορία 2. Η πρώτη περιλαμβάνει τις δειγματοληπτικές θέσεις S01, S04, S05, S06, S07, S09, S10, S11, S12, S13 με ποσοστό επί του συνόλου των δειγμάτων της τάξης του 77% και σε αυτήν την κατηγορία το νερό είναι καλής ποιότητας χωρίς κίνδυνο προβλήματος και η χρήση του σε φυτά και έδαφος είναι απολύτως επιτρεπτή. Στη δεύτερη αντιστοιχούν τα δείγματα των θέσεων S02, S03 και S08 με ποσοστό επί του συνόλου της τάξης του 23% με αυξημένο κίνδυνο διηθητικότητας από την συνεχή χρήση του νερού. (Εικόνα 5.12)



Εικόνα 5.12 Διάγραμμα κινδύνου δημιουργίας προβλήματος διηθητικότητας

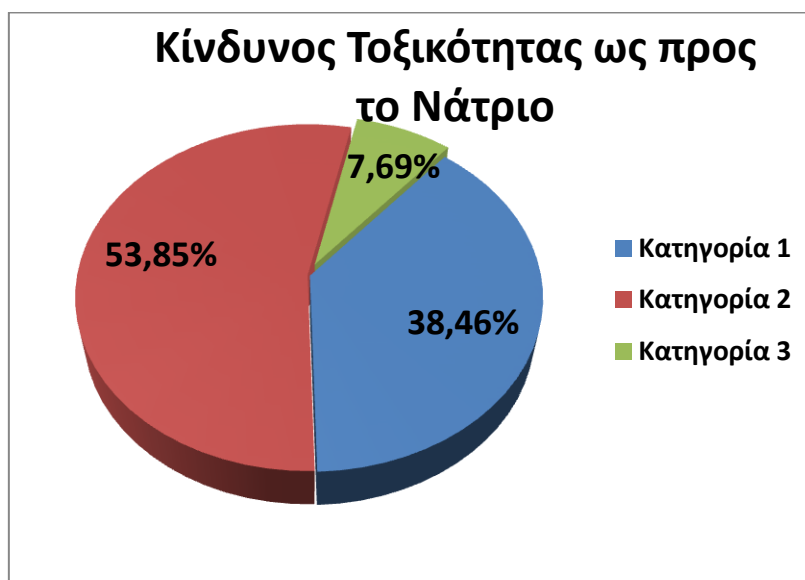
Η τρίτη ομάδα κινδύνου είναι αυτή που σχετίζεται με το πρόβλημα της τοξικότητας. Ο υπολογισμός και η κατηγοριοποίηση των νερών, με βάση αυτό τον κίνδυνο, γίνεται με τη βοήθεια των μετρημένων τιμών των συγκεντρώσεων των στοιχείων του νατρίου του χλωρίου και του βορίου που εμφανίζουν. Επειδή ωστόσο δεν έχουμε υπολογίσει στη συγκεκριμένη εργασία τις συγκεντρώσεις του βορίου θα παραληφθεί ο κίνδυνος εμφάνισης της τοξικότητας με βάση αυτό το στοιχείο. Παρουσιάζεται παρακάτω ο Πίνακας 5.25 κατηγοριοποίησης της ποιότητας του νερού με βάση τα ιόντα νατρίου και χλωρίου σύμφωνα με τον κίνδυνο του προβλήματος της τοξικότητας.

Πίνακας 5.25 Κατηγορίες ποιότητας νερού με βάση τον κίνδυνο της συγκέντρωσης ιόντων νατρίου και ιόντων χλωρίου

Κωδικός θέσης	Νάτριο, meq/L	Κατηγορία ποιότητας νερού με βάση τη συγκέντρωση ιόντων νατρίου	Χλώριο, mg/L	Κατηγορία ποιότητας νερού με βάση τη συγκέντρωση ιόντων χλωρίου
S01	1,845	1	73,1	1
S02	1,344	1	55,0	1
S03	1,395	1	58,0	1
S04	2,639	1	75,0	1
S05	3,637	2	128,6	1
S06	3,588	2	129,2	1
S07	3,579	2	130,3	1
S08	0,937	1	31,5	1
S09	4,374	2	145,2	2
S10	4,465	2	146,1	2
S11	4,483	2	149,4	2
S12	3,975	2	134,9	1
S13	120,030	3	6056,3	3

Για την κατηγοριοποίηση με βάση τις συγκεντρώσεις του στοιχείου του Νατρίου έχουμε το διαχωρισμό σε δύο μεγάλες κατηγορίες και μία μικρότερη. Έχουμε τα δείγματα των θέσεων S01, S02, S03, S04, S09 τα οποία αποτελούν το 38% του συνόλου των δειγμάτων και ανήκουν στην κατηγορία 1 η οποία αφορά νερά καλής ποιότητας και κανένα κίνδυνο προσρόφησης τοξικών κατιόντων νατρίου από τις ρίζες και τα φύλλα. Στη συνέχεια υπάρχουν τα δείγματα των θέσεων S05, S06, S07, S08, S10, S11, S12 τα οποία ανήκουν στα νερά κατηγορίας 2 η οποία έχει αυξημένα προβλήματα, λόγω της συνεχούς χρήσης αυτών, και

καταλαμβάνουν το 54% του συνόλου. Η συγκεκριμένη κατηγορία νερού μπορεί να αντιμετωπιστεί με την αποφυγή χρήσης νερού με καταιονισμό αλλά και έκπλυση των εδαφών (Τσακίρης 2006). Ενώ νερό κατηγορίας 3 εμπεριέχει το δείγμα της θέσης S13 με ποσοστό 7.6% το οποίο είναι ακατάλληλο και με πολύ υψηλό κίνδυνο τοξικότητας. Η χρησιμοποίηση νερού κατηγορίας 3 μπορεί να προκαλέσει προβλήματα για χρόνια ή και μόνιμη ζημιά. (Εικόνα 5.13).



Εικόνα 5.13 Διάγραμμα κινδύνου δημιουργίας προβλήματος τοξικότητας ως προς το νάτριο

Το δεύτερο στοιχείο με βάση το οποίο έγινε η κατηγοριοποίηση είναι το χλώριο (Εικόνα 5.14). Το σύνολο των δειγμάτων με βάση τις συγκεντρώσεις χλωρίου ανήκουν στην κατηγορία 1 με ποσοστό που φτάνει το 69%. Συγκεκριμένα τα δείγματα των θέσεων S01, S02, S03, S04, S05, S06, S07, S08, S12 ανήκουν στην κατηγορία νερού 1 γιατί τα ανιόντα χλωρίου σε αυτά τα νερά δεν είναι τοξικά, έτσι ο κίνδυνος τοξικότητας δεν υπάρχει. Αυτά τα νερά μπορούν εύκολα να χρησιμοποιηθούν σε καλλιέργειες και φυτά. Στη κατηγορία 2, με αυξημένο κίνδυνο τοξικότητας, ανήκουν τα δείγματα των θέσεων S09, S10, S11 τα οποία αποτελούν το 23% του συνόλου των δειγμάτων. Ενώ, νερό κατηγορίας 3 εμπεριέχει το δείγμα της θέσης S13 με ποσοστό 7,6% του συνόλου. Τα ανιόντα χλωρίου είναι πλήρως τοξικά και ο κίνδυνος εμφάνισης του προβλήματος πολύ μεγάλος γι αυτό απαιτείται συνεχής παρακολούθηση και έκπλυση των εδαφών. Έτσι τα νερά αυτής της θέσης είναι ακατάλληλα για οποιαδήποτε χρήση.



Εικόνα 5.14 Διάγραμμα κινδύνου δημιουργίας προβλήματος τοξικότητας ως προς το χλώριο

Η τέταρτη ομάδα κινδύνου είναι αυτή που σχετίζεται με τα ειδικά προβλήματα για ευαίσθητες καλλιέργειες. Για τον προσδιορισμό της ποιότητας νερού σε κατηγορίες για τη συγκεκριμένη ομάδα κινδύνου χρειάζεται υπολογισμός των συγκεντρώσεων των χημικών ενώσεων των όξινων ανθρακικών, των νιτρικών και της αμμωνίας. Ωστόσο λόγω της πολύ χαμηλής συγκέντρωσης αμμωνίας στο νερό που συλλέχθηκε είναι αυτονόητο να κατηγοριοποιηθούν όλα τα δείγματα στην κατηγορία 1, δηλαδή σε νερά με καλή ποιότητα και χωρίς προβλήματα.

Στη συνέχεια ακολουθεί ο Πίνακας 5.26 με την κατηγοριοποίηση των δειγμάτων με βάση τις συγκεντρώσεις νιτρικών και όξινων ανθρακικών, κατά Ayers και Westcot(1985), όσον αφορά τον κίνδυνο σε ειδικά προβλήματα για ευαίσθητες καλλιέργειες.

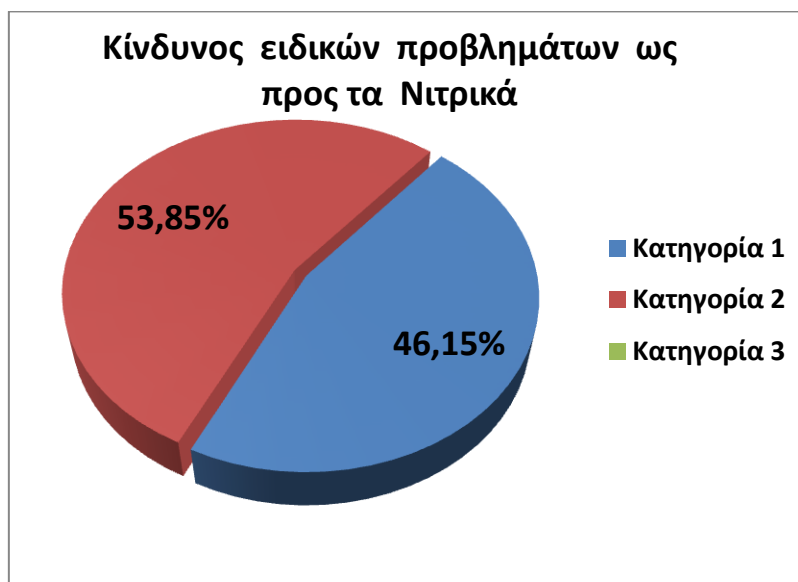
Πίνακας 5.26 Κατηγορίες ποιότητας νερού και δημιουργία κινδύνου ειδικών προβλημάτων από όξινα ανθρακικά και νιτρικά

Κωδικός θέσης	Όξινα ανθρακικά, mg/L	Κατηγορία ποιότητας νερού και κινδύνου δημιουργίας ειδικών προβλημάτων από όξινα ανθρακικά	Νιτρικά, mg/L	Κατηγορία ποιότητας νερού και κινδύνου δημιουργίας ειδικών προβλημάτων από νιτρικά
S01	214	2	0	1
S02	185	2	0	1
S03	171	2	0	1
S04	218	2	22,904	2
S05	225	2	24,929	2
S06	218	2	24,124	2
S07	214	2	23,769	2
S08	148	2	5,589	2
S09	325	2	9,212	2
S10	323	2	0	1
S11	319	2	0	1
S12	264	2	12,871	2
S13	264	2	0	1

Από τον παραπάνω πίνακα παρατηρούμε ότι η κατηγοριοποίηση κατά Ayers και Westcot(1985) των 13 δειγμάτων για την περίπτωση του κινδύνου των ειδικών προβλημάτων έχει ένα αποτέλεσμα όσων αφορά τα όξινα ανθρακικά. Όλα τα δείγματα ανήκουν στην κατηγορία 2. Η συγκέντρωση των όξινων ανθρακικών στα δείγματα δεν διαφέρει ιδιαίτερα από δειγματοληπτική θέση σε δειγματοληπτική θέση. Αυτό

σημαίνει ότι τα νερά στην περιοχή βρίσκονται σε αυξημένο κίνδυνο προβλήματος εξαιτίας της συνεχούς χρήσης τους. Σε αυτό το σημείο καλό είναι να σημειωθεί ότι η κατηγοριοποίηση με βάση τα όξινα ανθρακικά έγινε μόνο στην περίπτωση του ψεκασμού για ευαίσθητες καλλιέργειες.

Επίσης ο πίνακας 5.25 διαχωρίζει τα δείγματα σε 2 μεγάλες κατηγορίες με βάση τη συγκέντρωση των νιτρικών. Οι κατηγορίες αυτές κατέχουν σχεδόν τον ίδιο αριθμό δειγμάτων. Η πρώτη συναντάται σε ποσοστό 46% και η δεύτερη σε 54% του συνόλου των δειγμάτων. Συνεπώς σε νερά κατηγορίας 1 αντιστοιχούν τα δείγματα των θέσεων S01, S02, S03, S10, S11, S13 στα οποία η ποιότητα νερού όσον αφορά τον κίνδυνο για τη δημιουργία ειδικών προβλημάτων είναι καλή και ο κίνδυνος ανύπαρκτος. Τώρα η δεύτερη ομάδα δειγμάτων, δηλαδή το υπόλοιπο 54% ανήκει στην κατηγορία 2 η οποία αντιστοιχεί στις θέσεις S04, S05, S06, S07, S08, S09, S12. Το νερό σε αυτές τις θέσεις εμπεριέχει τον κίνδυνο προβλημάτων αφού δεν υπάρχει περιορισμός στη χρήση του. Έτσι οι ευαίσθητες καλλιέργειες βρίσκονται σε συνεχή κίνδυνο δημιουργίας ειδικών προβλημάτων (Εικόνα 5.15).



Εικόνα 5.15 Διάγραμμα κινδύνου δημιουργίας ειδικών προβλημάτων από τα νιτρικά

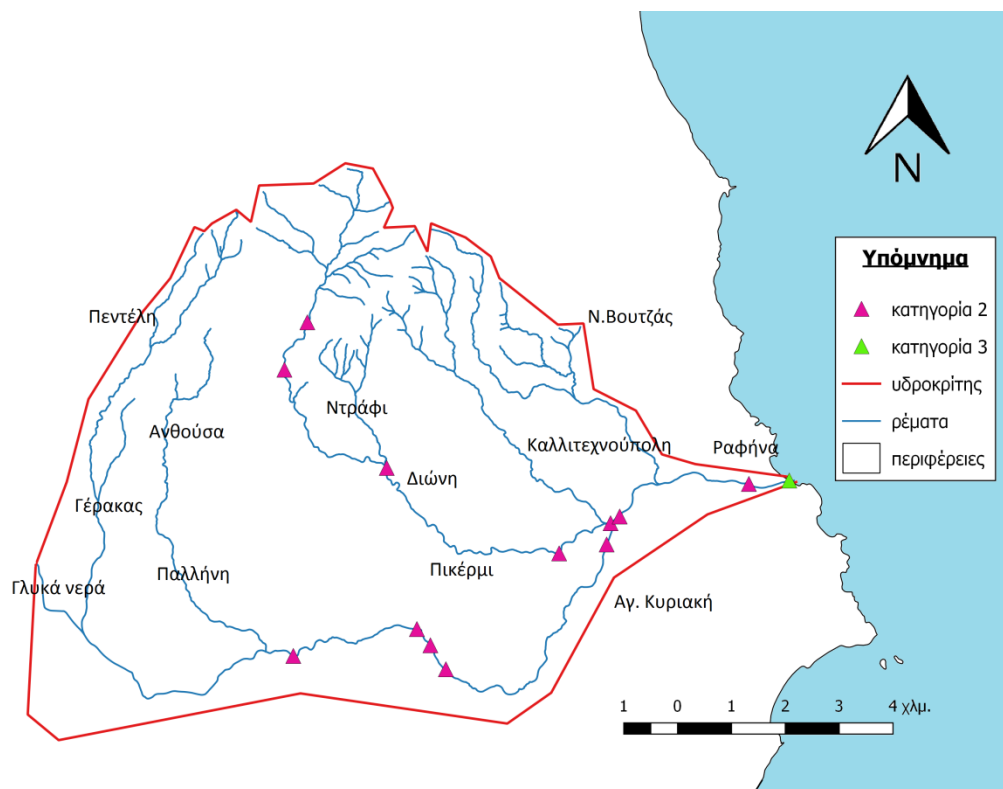


### 5.5.3 Κατάταξη του αρδευτικού νερού

Η κατάταξη του αρδευτικού νερού γίνεται με βάση το σύστημα κατάταξης των Ayers και Westcot(1985). Μετά την ανάλυση των στοιχείων-μετρήσεων πεδίου, για κάθε ένα κατατάσσεται η ποιότητα νερού σε μία κατηγορία. Έχοντας όλες τις κατηγορίες από όλα τα στοιχεία σε όλες τις θέσεις προκύπτει ο γενικός μέσος όρος για την τελική κατάταξη της ποιότητας. Ακολουθεί ο Πίνακας 5.27 και η Εικόνα 5.16 και 5.17 με την τελική κατάταξη της ποιότητας του νερού.

Πίνακας 5.27 Κατάταξη αρδευτικού νερού με βάση τους Ayers και Westcot

Κωδικός θέσης	Κατάταξη αρδευτικού νερού Ιούνιος 2016
S01	2
S02	2
S03	2
S04	2
S05	2
S06	2
S07	2
S08	2
S09	2
S10	2
S11	2
S12	2
S13	3



Εικόνα 5.16 Χάρτης κατάταξης ποιότητας των δειγμάτων στις θέσεις λήψης



Εικόνα 5.17 Διάγραμμα κατάταξης ποιότητας του νερού

#### 5.5.4 Σύγκριση της καταλληλότητας του αρδευτικού νερού στη διάρκεια των ετών

Η σύγκριση γίνεται με βάση την κατάταξη της ποιότητας του αρδευτικού νερού σε σχέση με τον κίνδυνο εμφάνισης προβλημάτων όπως διαμορφώθηκε κατά Ayers και Westcot (1985). Ο Πίνακας 5.28 διαμορφώνεται χαρακτηριστικά από τις κατηγορίες των δειγμάτων της παρούσας διπλωματικής εργασίας (Ιούνιος 2016), της διπλωματικής εργασίας που πραγματοποιήθηκε από τον Τσέρμο (Απρίλιος 2016), της διπλωματικής εργασίας του Κουρή (2011) και αυτή του Πανώριου (2013).

Πίνακας 5.28 Κατάταξη αρδευτικού νερού στη διάρκεια των ετών

Κωδικός θέσης	Κατάταξη αρδευτικού νερού έτος 2016 Ιούνιος	Κωδικός θέσης	Κατάταξη αρδευτικού νερού έτος 2016 Απρίλιος	Κωδικός θέσης	Κατάταξη αρδευτικού νερού έτος 2010	Κωδικός θέσης	Κατάταξη αρδευτικού νερού έτος 2011
S01	2	S01	2	RS1	2	S15	2
S02	2	S02	2	RS2	2	S14	2
S03	2	S03	2	RS11	2	S13	2
S04	2	S05	2	RS15	2	S6	2
S05	2	S06	3	RS16	2	S8	3
S06	2	S07	3	RS8	3	S9	3
S07	2	S08	3	RS9	3	S10	3
S08	2	S09	3	RS10	3	S16	3
S09	2	S010	2	RS7	2	S11	2
S11	2	S011	2	RS6	2	S17	2
S12	2	S04	2	RS4	2	S19	2
S13	3	S012	3	RS3	3	S20	3

Να σημειωθεί σε αυτό το σημείο ότι στον παραπάνω πίνακα που διαμορφώνεται δεν συμπεριλήφθηκε η θέση S10 καθώς βρίσκεται πολύ κοντά στις θέσεις S09 και S11 και έτσι δεν αντιστοιχίζεται με κάποια θέση των παλαιότερων διπλωματικών εργασιών.

Κοιτάζοντας τον Πίνακα 5.27 παρατηρούμε ότι τα δείγματα των δειγματοληπτικών θέσεων S01, S02, S03, S04, S09, S11, S12, S13 και των αντίστοιχων στις προηγούμενες διπλωματικές εργασίες δεν δείχνουν σημαντική μεταβολή στη διάρκεια των ετών. Έτσι σε αυτές τις δειγματοληπτικές θέσεις η ποιότητα νερού είναι κατάλληλη για αρδευτική χρήση υπό προϋποθέσεις εκτός από τη θέση S13 όπου το νερό είναι κατηγορίας 3, δηλαδή ακατάλληλο για άρδευση. Τώρα μεταβολές σημειώθηκαν στις δειγματοληπτικές θέσεις S05, S06, S07, S08. Συγκεκριμένα στη θέση S05 υπάρχει μία ανώμαλη πορεία της ποιότητας του δείγματος στη διάρκεια των ετών. Το έτος 2010 ανήκει στην κατηγορία 2 δηλαδή νερό κατάλληλο για άρδευση, τα έτη 2011 και 2016 στην κατηγορία 3 νερό ακατάλληλης ποιότητας και τελικά καταλήγει στην κατηγορία 2 με βάση την παρούσα εργασία. Όσων αφορά τις θέσεις S06, S07, S08 παρατηρείται αλλαγή κατηγορίας στην ποιότητα νερού γιατί ενώ στα προηγούμενα έτη ήταν ακατάλληλης ποιότητας, κατηγορίας 3, στην παρούσα εργασία κατατάσσεται στην κατηγορία 2 δηλαδή κατάλληλης ποιότητας για αρδευτική χρήση υπό προϋποθέσεις. Αυτές οι μεταβολές παρατηρούνται κυρίως λόγω της μεταβολής της συγκέντρωσης των νιτρικών. Ουσιαστικά τον μήνα Ιούνιο παρατηρήθηκε σημαντική μείωση στη συγκέντρωση των νιτρικών, και αυτό συνέβαλε στην τοποθέτηση σχεδόν όλου του υδατορεύματος της μελέτης στην κατηγορία 2. Ειδικά η συγκέντρωση των νιτρικών δεν ξεπερνάει σε κανένα σημείο τα 30 mg/L, το οποίο είναι και το όριο για την τοποθέτηση σε κατηγορία 3. Ωστόσο οι θέσεις S05, S06, S07 είναι κοντά πολύ στα όρια.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6-ΣΥΝΟΨΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σημαντικά είναι τα αποτελέσματα που πηγάζουν μετά την ανάλυση των χημικών στοιχείων και τη σύγκριση τους με τις έρευνες των προηγούμενων ετών. Συγκεκριμένα από τον Πίνακα 5.16 των μεταβολών μπορεί κανείς να έχει μία ουσιαστική εκτίμηση για την αυξομείωση των συγκεντρώσεων των χημικών στοιχείων στη διάρκεια των ετών. Σημαντική μεταβολή παρατηρείται στις ενώσεις του ασβεστίου καθώς υπάρχει αισθητή μείωση των συγκεντρώσεων της τάξης του 40%. Παράλληλα, μείωση της συγκέντρωσης παρατηρείται και στις ενώσεις των νιτρικών, ωστόσο η μείωση αυτή είναι σταδιακή της τάξης του 20%. Το στοιχείο που παρουσιάζει μία αυξομείωση όσων αφορά τις συγκεντρώσεις τις οποίες εμφανίζει είναι αυτό του καλίου. Αν και μέχρι τον Απρίλιο του 2016 εμφάνιζε αισθητή μείωση της τάξης του 40%, στη συνέχεια παρατηρήθηκε αύξηση της συγκέντρωσης του κατά 18%. Την ίδια πορεία με μικρότερες μεταβολές ανάμεσα στα έτη ακολουθούν οι ενώσεις των όξινων ανθρακικών.

Σύμφωνα με το εργαστήριο αλατότητας των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής U.S.S.L τα δείγματα που συγκεντρώθηκαν και αναλύθηκαν στην παρούσα εργασία ανήκουν σε δύο μεγάλες κατηγορίες. Πρώτη είναι η κατηγορία C2S1, η οποία περιλαμβάνει νερά μέσης αλατότητας, όπου ο κίνδυνος αλάτωσης είναι υπαρκτός αλλά παράλληλα ο κίνδυνος αλκαλίωσης είναι πολύ μικρός αφού η περιεκτικότητα σε νάτριο είναι πολλή μικρή. Σε αυτή την κατηγορία ανήκει το 23% των δειγμάτων νερού. Η δεύτερη κατηγορία είναι η C3S1 η οποία περιλαμβάνει νερά μεγάλης αλατότητας με υψηλό κίνδυνο αλάτωσης αλλά ο κίνδυνος αλκαλίωσης παραμένει μικρός αφού η περιεκτικότητα σε νάτριο είναι ελάχιστη. Ωστόσο υπάρχει και η τρίτη κατηγορία C4S4 η οποία περιλαμβάνει νερά με υψηλό κίνδυνο αλκαλίωσης και αλάτωσης αφού οι συγκεντρώσεις νατρίου και αλάτων είναι μεγάλες. Στην πρώτη κατηγορία ανήκει το 23% του συνόλου των δειγμάτων, στη δεύτερη το 70% και στην τρίτη το 7%. Αυτό σημαίνει ότι το σύνολο του υδατορεύματος της Ραφήνας είναι κατάλληλο για αρδευτική χρήση σύμφωνα με το εργαστήριο αλατότητας των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής (U.S.S.L.) αρκεί να υπάρχει εφαρμογή εκπλύσεων, στραγγίσεις των εδαφών και χρησιμοποίηση ανθεκτικότερων φυτών σε άλατα.

Επίσης τα νερά που συλλέχθηκαν κατατάχθηκαν κατά Ayers και Westcot (1985) με βάση την ποιότητα και τον κίνδυνο εμφάνισης προβλημάτων. Τα προβλήματα αυτά είναι η αλατότητα, η διηθητικότητα, η τοξικότητα και τα ειδικά προβλήματα. Για κάθε πρόβλημα αντιστοιχούν τέσσερις διαβαθμίσεις κινδύνων που προκαλεί το εκάστοτε πρόβλημα, οι οποίες είναι καλή ποιότητα-χωρίς προβλήματα (κατηγορία 1), αύξηση του κινδύνου προβλημάτων από τη συνεχή χρήση (κατηγορία 2) και ακατάλληλη ποιότητα-σοβαρά προβλήματα (κατηγορία 3). Σύμφωνα με τα παραπάνω τα νερά του υδατορεύματος της Ραφήνας ανήκουν στο σύνολο τους στην κατηγορία 2 εκτός από εκείνα που βρίσκονται στις εκβολές του υδατορεύματος και ανήκουν στην κατηγορία 3.

Σημαντικό στοιχείο της παρούσας εργασίας είναι η έρευνα γύρω από εξέλιξη του υδατορεύματος της Ραφήνας στη διάρκεια των ετών. Γίνεται γνωστό λοιπόν μέσα από τους πίνακες και τις αναλύσεις ότι γενικά υπάρχει μία σταδιακή βελτίωση των νερών στο υδατόρευμα αυτό. Συγκριτικά με τις μελέτες που έγιναν τα έτη 2010, 2011 και 2016 (Απρίλιος) παρατηρείται βελτίωση των αποτελεσμάτων όσον αφορά στην ποιότητα του αρδευτικού νερού. Αυτό γιατί στο σύνολο του υδατορεύματος τα νερά είναι κατάλληλα για αρδευτική χρήση αφού ανήκουν στην κατηγορία 2 κατά Ayers και Westcot (1985) με βάση την ποιότητα και τον κίνδυνο εμφάνισης προβλημάτων. Στις θέσεις επομένως όπου είχαμε νερά κατηγορίας 3 στα προηγούμενα έτη, δηλαδή S05, S06, S07 υπήρξε μεταβολή σε καλύτερης ποιότητας νερό, κατηγορίας 2. Η μόνη θέση που παρέμεινε στην κατηγορία 3 είναι αυτή που βρίσκεται κοντά στις εκβολές του υδατορεύματος και οι υπόλοιπες που δεν μεταβλήθηκαν και παρέμειναν στην κατηγορία 2.

Είναι γνωστό ότι η ποιότητα του νερού είναι ένα χαρακτηριστικό που μεταβάλλεται από πολλαπλούς παράγοντες. Αυτό την καθιστά ευμετάβλητη στις όποιες μεταβολές του περιβάλλοντός του. Ωστόσο η εφαρμογή της κατανομής πιθανότητας t-Student με δείκτη εμπιστοσύνης 95% δείχνει ότι η ποιότητα του υδατορεύματος στην ανατολική Αττική μένει σχετικά αμετάβλητη στη διάρκεια των ετών (2011-2017). Αυτό δείχνει ότι στην περιοχή δεν γίνονται δραστηριότητες που επιβαρύνουν το περιβάλλον και συνεπώς τους υδατικούς πόρους. Αν και η κύρια δραστηριότητα των κατοίκων είναι η κτηνοτροφία και η γεωργία, τα μέσα που χρησιμοποιούνται είναι φιλικά προς το περιβάλλον και δεν



γίνεται σπατάλη φυσικών πόρων και αλόγιστη χρήση χημικών-φαρμάκων. Σε αντίθετη περίπτωση οι επιπτώσεις θα ήταν εμφανείς στο νερό αλλά και τον αέρα.



## Βιβλιογραφία

### Στην ελληνική γλώσσα

Αντωνόπουλος Β. (2008), Ποιότητα Νερού και Ρύπανση Υδατικών Πόρων, Τομέας Εγγείων Βελτιώσεων, Εδαφολογίας και Γεωργικής Μηχανικής, Τμήμα Γεωπονίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

Καπετανοπούλου Χ. (2014), Γη: “Τροφός της Γεωργίας και των Αγαθών της”, Περιφέρεια Αττικής, Περιφερειακή Ενότητα ανατολικής Αττικής, Διεύθυνση Αγροτικής Οικονομίας και Κτηνιατρικής.

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

Κικιλίας Π. (2001), Στατιστική – Πιθανότητες: Σπουδή και Διδασκαλία Ανώτατη, Πρόλογος σελ 5, Εκδόσεις Δηρός, Αθήνα

Κατσίρης Ν., Παππά Γ. (2001), Υγειονομική σημασία των χημικών παραμέτρων στο πόσιμο νερό

Μέττος Α. (1992), Γεωλογική και Παλαιογραφική Μελέτη των Ηπειρωτικών Νεογενών και Τεταρτογενών Σχηματισμών ΒΑ Αττικής ΝΑ Βοιωτίας, Διδακτορική Διατριβή, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών (ΕΚΠΑ).

Μητσόπουλος Μ. (1948) Das Pliozan von Raphina (Attika). Prakt. Akad. Ath.23, σελ 295 – 301.

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.

Οδηγία 2000/60/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 23<sup>ης</sup> 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<sup>ης</sup> 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 και 86/280/ΕΟΚ και την τροποποίηση της οδηγίας 2000/60/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου».

Πανώριος Σ., Α. (2013), Παρακολούθηση και Αξιολόγηση ποιότητας νερού του ρέματος Ραφήνας στην ανατολική Αττική, Διπλωματική Εργασία, Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών ΕΜΠ, Αθήνα.

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

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

Τσέρμος Δ. (2017), Παρακολούθηση και αξιολόγηση της ποιότητας νερού στο υδατόρευμα της Ανατολικής Αττικής (περίοδος Απρίλιος 2016), Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών ΕΜΠ, Αθήνα.

Φουσκάκης Δ. (2005), Σημειώσεις Περιγραφικής Στατιστικής, Τομέας Μαθηματικών, Σχολή Εφαρμοσμένων Μαθηματικών και Φυσικών Επιστημών – ΕΜΠ, Αθήνα.

## **Ξενόγλωσσες**

Alexakis D. (2011) Diagnosis of stream sediment quality and assessment of toxic element contamination sources in East Attica, Greece. *Environ Earth Sci.* 63(6):1369-1383

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

Degremont (1979) “Water Treatment Handbook” Fifth Edition, (1979) John Wiley & Sons.

Gleick P.H., (1993). Water in Crisis: A Guide to the World's Freshwater Resources. Oxford University Press, page 13, Table 2.1 "Water reserves on the earth".

Fresenius W., Quentin, K.E., Schneider, W. (Eds), (1988) "Water Analysis" Springer – Verlag.

Sawyer C.N., McCarty P.L., (1978): "Chemistry for Environmental Engineering", Third Edition, McGraw – Hill International Editions (Chemical Engineering Series).

"Standard Methods For The Examination of Water and Wasterwater" 17<sup>th</sup> Edition, prepared and published by American Public Health Association, American Water Works Association and Water Pollution Control Federation.

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

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.

World Health Organization, (1993) "Guidelines for Drinking Water Quality" Volume 1, 2, 3 Second Edition.



## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΩΝ ΘΕΣΕΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ**

**Θέση 1** Η συγκεκριμένη θέση λήψης είναι η πρώτη με την οποία άρχισε η δειγματοληψία. Βρίσκεται δυτικά του οικισμού της Διώνης, νοτιοανατολικά του οικισμού Ντράφι και απέχει από την περιοχή του Πικερμίου περίπου 2 km. Η θέση αυτή χαρακτηρίζεται από μεγάλη παρουσία ανθρακικών υλικών, μεγάλη ποσότητα άλγης καθώς και πυκνή βλάστηση. Επίσης όπως φαίνεται και στην εικόνα βρίσκεται στο βάθος τοποθετημένος υδρομετρικός σταθμός του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου για την μέτρηση της παροχής του υδατορεύματος.



Εικόνα Π1.1 Η δειγματοληπτική θέση S01 και ο υδρομετρικός σταθμός του ΕΜΠ

**Θέση 2** Αυτή η θέση δειγματοληψίας βρίσκεται βορειοδυτικά της θέσης 1 και τοποθετείται στην περιοχή Ντράφι. Χαρακτηριστικά της είναι ότι



βρίσκεται πάνω στο ανθρακικό υπόβαθρο (μάρμαρα Πεντέλης). Γι αυτό υπάρχει μεγάλη παρουσία μαρμάρων, σχιστόλιθου και οξειδίων σιδήρου.



Εικόνα Π1.2 Δειγματοληπτική θέση S02



Εικόνα Π1.3 Γεωλογικά στοιχεία της κοίτης (πεντελικά μάρμαρα, σχιστόλιθοι)



Εικόνα Π1.4 Συλλογή του δείγματος μελέτης

**Θέση 3** Η θέση αυτή βρίσκεται (όπως και η θέση 2) στην περιοχή Ντράφι αλλά σε βορειότερο σημείο, κοντά στο φράγμα. Υπάρχει και σε αυτή μεγάλη παρουσία μαρμάρων καθώς και μοσχοβίτικος σχιστόληθος και υπερβασικά πετρώματα. Χαρακτηρίζεται από πυκνή βλάστηση δεξιά και αριστερά της κοίτης.





Εικόνα Π1.5 Απεικόνιση της δειγματοληπτικής θέσης S03 και η λιγοστή ποσότητα νερού που υπάρχει στο υδατόρευμα

**Θέση 4** Η συγκεκριμένη θέση βρίσκεται ανατολικά της περιοχής Γιαλού και απέχει από την Αττική οδό μόλις 100 m. Χαρακτηρίζεται από άγρια βλάστηση δεξιά και αριστερά της κοίτης καθώς και μεγάλη παρουσία άλγης. Η περιοχή είναι περικυκλωμένη από αγροτικές εκτάσεις.





Εικόνα Π1.6 Η δειγματοληπτική θέση S04 και η ποσότητα άλγης που υπάρχει στο υδατόρευμα

**Θέση 5** Η συγκεκριμένη θέση τοποθετείται στην περιοχή του Ήμερου Πεύκου, νότια του Πικερμίου και απέχει από την επαρχιακή οδό Πικερμίου-Μαρκοπούλου περίπου 800 m. Όπως φαίνεται και στην εικόνα υπάρχει άγρια βλάστηση κατά μήκος του υδατορεύματος και μεγάλη παρουσία καλαμιών από τα δεξιά μεριά. Η περιοχή είναι αραιοκατοικημένη και έχει στοιχεία αγροτικής παραγωγής.



Εικόνα Π1.7 Η δειγματοληπτική θέση S05 γεμάτη από καλαμιές της περιοχής

**Θέση 6** Η θέση αυτή βρίσκεται δυτικότερα της 5 στην περιοχή του Ήμερου Πεύκου, περίπου 1.5 km νοτιότερα του Πικερμίου και 100 m από την επαρχιακή οδό Πικερμίου-Μαρκοπούλου. Στην αριστερή πλευρά της κοίτης παρατηρείται έντονη διάβρωση του δρόμου και στη δεξιά μεγάλη παρουσία καλαμιών.





Εικόνα Π1.8 Η κατάσταση στη δειγματοληπτική θέση S06



Εικόνα Π1.9 Η δειγματοληπτική θέση S06 καθώς και η απόσταση από τον οδικό άξονα της περιοχής



**Θέση 7** Η συγκεκριμένη θέση βρίσκεται βορειοδυτικά του πύργου Πετρέζας και περίπου 2.4 km νοτιότερα του Πικερμίου. Υπάρχει και σε αυτή τη θέση μεγάλη παρουσία καλαμιών και απέχει από κοντινό επαρχιακό δρόμο περίπου 100 m.



Εικόνα Π1.10 Απεικόνιση της δειγματοληπτικής θέσης S07 και της ανομοιομορφίας της κοίτης

**Θέση 8** Η θέση αυτή τοποθετείται ανατολικότερα των θέσεων 6 και 7 και δυτικότερα της θέσης 10. Απέχει 200 m από την λεωφόρο Μαραθώνος και βρίσκεται δυτικά του Πικερμίου. Υπάρχει άγρια βλάστηση κατά μήκος.





Εικόνα Π1.11 Η δειγματοληπτική θέση S08 και ο οδικός άξονας που διασχίζει το υδατόρευμα

**Θέση 9** Η συγκεκριμένη θέση βρίσκεται βόρεια του οικισμού της Αγ. Κυριακής, απέχει μόλις 400 m από τη λεωφόρο μαραθώνος και 3 m από την επαρχιακή οδό Αρίωνος. Η ροή στο συγκεκριμένο σημείο είναι πολύ χαμηλή γι αυτό είχαμε δυσκολίες στη μέτρηση της παροχής. Υπάρχει μεγάλη παρουσία άλγης, μεγάλος αριθμός βατράχων καθώς και εργοστάσιο μπετόν πλησίον.





Εικόνα Π1.12 Απεικόνιση της δειγματοληπτικής θέσης S09 και της γέφυρας που διασχίζει το υδατόρευμα

**Θέση 10** Η εν λόγω θέση βρίσκεται βόρεια της περιοχής Βένια και Αγ. Κυριακής, 50 m από τη λεωφόρο Μαραθώνος και βορειοδυτικότερα της θέσης 9. Το ρέμα αυτή την εποχή του χρόνου είχε στερέψει κατά κύριο λόγο και είχαμε μόνο δυνατότητα λήψη του δείγματος. Υπάρχει άγρια βλάστηση δεξιά και αριστερά του υδατορεύματος και ανομοιόμορφο πλάτος κατά μήκος.



Εικόνα Π1.13 Η δειγματοληπτική θέση S10 και η απεικόνιση της έλλειψης νερού στη συγκεκριμένη θέση

**Θέση 11** Η θέση αυτή βρίσκεται βόρεια της περιοχής Αγ. Κυριακής, δυτικά της θέσης 10 καθώς και 50 m από την λεωφόρο Μαραθώνος και 10 m από επαρχιακή οδό Ναρκίσσου. Δυστυχώς και σε αυτή τη θέση το ρέμα δεν έχει παροχή μεγαλύτερη από αυτή που μπορεί να μετρήσει ο μυλίσκος έτσι αρκεστήκαμε στην συλλογή του δείγματος. Υπάρχουν μπάζα στην κοίτη και το πλάτος είναι ανομοιόμορφο κατά μήκος.





Εικόνα Π1.13 Η δειγματοληπτική θέση S11 και η διαδικασία συλλογής του δείγματος



Εικόνα Π1.14 Ανομοιομορφία κοίτης στη θέση S11

**Θέση 12** Η θέση αυτή βρίσκεται στην περιοχή της Ραφήνας περίπου 1 χιλιόμετρο μακριά από τη θέση 13. Χαρακτηρίζεται από αστικό περιβάλλον και παρουσία σπιτιών γύρω γύρω. Υπάρχουν από άποψη λήθων κροκάλες μαρμάρου και ψαμμιτική άμμος. Όπως φαίνεται και στην εικόνα η μία πλευρά του υδατορευματος έχει διευθετηθεί με τοίχο ενώ η άλλη έχει υποστεί διάβρωση.





Εικόνα Π1.14 Η δειγματοληπτική θέση S12 και η διευθετημένη κοίτη από τα αριστερά καθώς κινείται το υδατόρευμα

**Θέση 13** Η συγκεκριμένη θέση βρίσκεται στις εκβολές του ρέματος της Ραφήνας. Δεξιά βρίσκεται ένα πάρκινγκ και αριστερά ένα πάρκο. Λόγω της θέσης τα ύδατα είναι μεταβατικά και παρουσιάζουν ανάμεικτα υλικά όπως αργιλικό, ψαμμιτική άμμος και πολλά απορρίματα. Υπάρχει παρουσία άλγης και μικρά ψάρια και το βάθος ροής είναι πολύ μικρό.





Εικόνα Π1.15 Η εκβολή του υδατορεύματος της Ραφήνας στη θάλασσα



Εικόνα Π1.16 Η δειγματοληπτική θέση S13 στις εκβολές του υδατορεύματος