

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΙΧΘΥΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΥΔΑΤΙΝΟΥ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«Ποιοτικά χαρακτηριστικά των σημαντικών παραποτάμιων πηγών
του Πηνειού ποταμού»**

Χριστίνα Αγγέλη

ΒΟΛΟΣ 2022

UNIVERSITY OF THESSALY
SCHOOL OF AGRICULTURAL SCIENCES
DEPARTMENT OF ICHTHYOLOGY AND AQUATIC
ENVIRONMENT

POSTGRADUATE MASTER'S THESIS

**«Qualitative characteristics of the major riparian springs of Pinios
river»**

Christina Angeli

VOLOS 2022

**«Ποιοτικά χαρακτηριστικά των σημαντικών παραποτάμιων πηγών
του Πηγειού ποταμού»**

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή:

1) Κωνσταντίνος Σκόρδας, Αναπληρωτής Καθηγητής - Περιβαλλοντική Γεωχημεία, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, ***Επιβλέπων***,

2) Νικόλαος Νεοφύτου, Αναπληρωτής Καθηγητής – Υδατοκαλλιέργειες και Περιβάλλον, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, ***Μέλος***,

3) Φωτεινή Μπότσου, Δρ. ΕΔΙΠ Α΄ - Χημεία Περιβάλλοντος, Τμήμα Χημείας ΕΚΠΑ, ***Μέλος***.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους συνέβαλαν στο να φέρω σε πέρας την παρούσα Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία. Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Επιβλέποντα της εργασίας αυτής, κ. Κωνσταντίνο Σκόρδα για την πολύτιμη βοήθειά του και τη διαρκή υποστήριξή του, τόσο κατά τη διεξαγωγή του πειράματος, όσο και κατά τη συγγραφή της παρούσας εργασίας, καθώς και τα μέλη της εξεταστικής επιτροπής μου, αποτελούμενη από τους κ. Νικόλαο Νεοφύτου και κα. Φωτεινή Μπότσου για τις χρήσιμες συμβουλές τους και την καθοδήγησή τους. Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Κωνσταντίνο Γεωργίου για την άμεση και ανιδιοτελή βοήθειά του και υποστήριξη κατά τη συγγραφή της εργασίας αυτής.

Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στην οικογένειά μου για την αμέριστη βοήθεια και προ πάντων κατανόηση και ανοχή καθ' όλο το χρονικό διάστημα των σπουδών μου, αλλά και τους φίλους μου για την συμπαράστασή τους.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο Πηνειός είναι ένας από τους μεγαλύτερους ποταμούς της Ελλάδας και αποτελεί σημαντικό παράγοντα ευζωίας για ολόκληρη την Θεσσαλία. Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του νερού που διαπερνά από τις πηγές έως της εκβολές του, παίζουν καθοριστικό ρόλο για την συνολική εικόνα του ποταμού και τις δυνατότητες που παρέχει τόσο για το περιβάλλον όσο και για τους ανθρώπους.

Με σκοπό την παρακολούθηση της ποιότητας των δεδομένων αυτών, λήφθηκαν τα δείγματα από σημαντικές παραποτάμιες πηγές του Πηνειού. Στη συνέχεια αναλύθηκαν με ποικίλες διαδικασίες ώσπου τελικά να προκύψουν τα αποτελέσματα που αφορούν στην ποιοτική παρουσίαση των χαρακτηριστικών τους.

Τα αποτελέσματα της χημικής ανάλυσης των δειγμάτων νερού για τη θερμοκρασία παρουσιάζουν ένα εύρος μεταξύ 14,2 έως 15,5°C, οι τιμές του pH κυμαίνονται μεταξύ 7,2 και 7,5 ενώ η ηλεκτρική αγωγιμότητα από 378 έως 645 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Οι συγκεντρώσεις των κύριων ιόντων και το διάγραμμα Piper καθόρισαν τον κύριο τύπο νερού που ήταν Ca-Mg-HCO₃. Η αναπαράσταση των συγκεντρώσεων των ιόντων σε διάγραμμα Piper επιβεβαίωσε επίσης ότι τα νερά είναι γλυκά. Σύμφωνα με το διάγραμμα Durov, το νερό χαρακτηρίζεται επίσης ως γλυκό με κυριαρχία HCO₃⁻ και Ca⁺² και συχνά υποδηλώνει εμπλουτισμό των υδάτων με ασβεστόλιθο, ψαμμίτη και άλλα πετρώματα. Επιπλέον τα διαγράμματα Stiff εκτελέστηκαν χωριστά για κάθε δείγμα, και έχουν δείξει επίσης μια κυριαρχία του Ca⁺² και του HCO₃⁻.

Τα συμπεράσματα της παρούσας μελέτης αποτελούν γνώμονα για τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του Πηνειού ποταμού, ενώ επιπλέον συσχετίζονται με τα όρια της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τα πόσιμα ύδατα.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1 Γενικά	1
1.2 Ποτάμια νερά.....	3
1.2.1 Ο κύκλος του νερού	5
1.2.2 Υπόγεια ύδατα.....	6
1.2.3 Πηγές.....	9
1.3 Φυσικές παράμετροι	13
1.3.1 Θερμοκρασία.....	13
1.3.2 Θολότητα.....	13
1.3.3 Οσμή.....	14
1.4 Χημικές παράμετροι	14
1.4.1 pH.....	14
1.4.2 Αγωγιμότητα	15
1.4.3 Διαλυμένο Οξυγόνο	16
1.4.4 Συνολικά Διαλυμένα Στερεά (T.D.S).....	17
1.4.5 Σκληρότητα	18
1.4.6 Αλκαλικότητα	20
1.5 Διάφορα χαρακτηριστικά του νερού.....	21
1.5.1 Θρεπτικά άλατα.....	21
1.6 Προέλευση κύριων ιόντων.....	21
1.6.1. Κατιόντα.....	21
1.6.2 Ανιόντα.....	23
1.7 Σκοπός.....	27
2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ	28
2.1 Περιοχή μελέτης	28
2.1.1 Κλίμα.....	28
2.1.2 Γεωμορφολογία	29
2.1.3 Γεωλογία	30
2.1.4 Υδρολογικά-υδρογραφικά στοιχεία	34
2.2 Δειγματοληψία.....	35
2.3 Προετοιμασία δειγμάτων	36
2.4 Μέθοδοι χημικής ανάλυσης των δειγμάτων ύδατος	37
2.4.1 pH.....	37

2.4.2	Θερμοκρασία νερού (T°).....	37
2.4.3	Ηλεκτρική Αγωγιμότητα (EC)	38
2.4.4	Ιόντα ασβεστίου (Ca^{2+}), μαγνησίου (Mg^{2+}), νατρίου (Na^{+}) και καλίου (K^{+})	38
2.4.4.1	Ατομική απορρόφηση.....	38
2.4.5	Χλωροϊόντα (Cl^{-})	44
2.4.6	Αλκαλικότητα (HCO_3^{-})	45
2.4.7	Αμμωνιακά – Νιτρικά – Νιτρώδη	47
2.4.8	Θειικά ιόντα (SO_4^{-2})	48
2.4.9	Φωσφορικά ιόντα (PO_4^{-3}).....	49
2.5	Συντελεστής Προσρόφησης Νατρίου [(Sodium Absorption Ratio (S.A.R.)).....	50
2.6	Επεξεργασία και παρουσίαση αναλυτικών δεδομένων	51
2.7	Ανάλυση υδροχημικών διαγραμμάτων	51
3.	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ	56
3.1	Παρουσίαση Φυσικοχημικών Παραμέτρων	58
3.1.1	Θερμοκρασία (T°).....	58
3.1.2	pH.....	59
3.1.3	Ηλεκτρική αγωγιμότητα (Electrical Conductivity).....	59
3.1.4	Συνολικά διαλυμένα στερεά (TDS)	60
3.1.5	Ασβέστιο (Ca^{+2})	61
3.1.6	Μαγνήσιο (Mg^{+2})	61
3.1.7	Νάτριο (Na^{+})	62
3.1.8	Κάλιο (K^{+}).....	62
3.1.9	Αμμωνιακά ιόντα (NH_4^{+})	63
3.1.10	Αλκαλικότητα (HCO_3^{-})	63
3.1.11	Χλώριο (Cl^{-}).....	63
3.1.12	Θειικά (SO_4^{-2}).....	64
3.1.13	Νιτρικά (NO_3^{-})	64
3.1.14	Νιτρώδη (NO_2).....	64
3.1.15	Φωσφορικά (PO_4^{-3})	65
3.2	Συντελεστής Προσρόφησης Νατρίου	66
3.3	Ανάλυση υδροχημικών διαγραμμάτων	69
3.3.1	Διάγραμμα Piper	70
3.3.2	Διάγραμμα Durov.....	72
3.3.3	Διαγράμματα Stiff.....	74

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	81
5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	82
6. ABSTRACT	86

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Γενικά

Το νερό ως συστατικό για τη ζωή αλλά και το παγκόσμιο οικοσύστημα αποκτά συνεχώς σαφέστερη σημασία. Καλύπτει τις βασικές ανθρώπινες ανάγκες αλλά αποτελεί και ένα βασικό πόρο για την ανάπτυξη, τη δημιουργία καθώς και την διατήρηση όλων των παγκόσμιων οικοσυστημάτων. Το νερό έχει ζωτική σημασία για τομείς όπως η γεωργία, η επαγγελματική αλιεία, η βιομηχανία καθώς και η παραγωγή ενέργειας.

Τα γεγονότα των τελευταίων δεκαετιών παρουσιάζουν μία ολοένα και αυξανόμενη κρίση στο νερό. Διάφορες ανθρώπινες δραστηριότητες αλλά και χρήσεις του νερού επηρεάζουν και μεταβάλλουν την ποιότητα των φυσικών υδατικών πόρων. Η ρύπανση και η μόλυνση των υδάτων δεν γίνονται εμφανείς παρά μόνο ύστερα από βαθμιαία ανάπτυξη όπου τις καθιστά μετρήσιμες. Ο άνθρωπος χρειάστηκε αρκετά χρόνια ώστε να φτάσει στην αναγνώριση της ρύπανσης ως βασικό πρόβλημα και ακόμα περισσότερα για να γίνουν απαραίτητες μετρήσεις και έλεγχοι.

Το νερό βρίσκεται στην ατμόσφαιρα, την επιφάνεια της Γης και το υπέδαφος και απαντάται και στις τρεις φυσικές φάσεις (στερεό, υγρό και αέριο). Η δυναμική ισορροπία μεταξύ της κατανομής του νερού σε αυτές τις τρεις καταστάσεις καθορίζεται από τη δυναμική ισορροπία της φυσικής νομοτέλειας. Η συνολική ποσότητα του ύδατος που υπάρχει στις τρεις φυσικές καταστάσεις είναι της τάξης του $1.336,8 \times 10^6 \text{ km}^3$.

Πίνακας 1.1: Ποσότητες του νερού της Γης (Μητρόπουλος & Κελεπερτζής, 2012)

Κατάσταση	Ποσότητα
Υγρή	$1.308,29 \times 10^6 \text{ km}^3$
Στερεά (παγετώνας)	$28,5 \times 10^6 \text{ km}^3$
Αέρια (υδρατμοί)	$12,7 \times 10^3 \text{ km}^3$
Κατά περιβάλλον	
Θάλασσες	$1.300 \times 10^6 \text{ km}^3$
Παγετώνες	$28,5 \times 10^6 \text{ km}^3$
Ατμόσφαιρα	$12,7 \times 10^3 \text{ km}^3$
Επί των ηπείρων (γλυκό ύδωρ)	$8,29 \times 10^6 \text{ km}^3$
• Λίμνες, ποτάμια	$224,23 \times 10^3 \text{ km}^3$
Υπόγειο ύδωρ	$8,065 \times 10^6 \text{ km}^3$
• Κοντά στην επιφάνεια	$65 \times 10^3 \text{ km}^3$
• Μέχρι 1000m βάθος	$4 \times 10^6 \text{ km}^3$
• Βάθος μεγαλύτερο των 1000m	$4 \times 10^6 \text{ km}^3$

Η ρύπανση αποτελεί μια από τις πιο σοβαρές ανθρώπινες παρεμβάσεις στα φυσικά οικοσυστήματα τις τελευταίες δεκαετίες. Η ρύπανση περιγράφεται ως η είσοδος ενέργειας ή ουσιών που είναι επικίνδυνες για την υγεία, καθώς και οι πολυάριθμες δομές που είναι ικανές να καταστήσουν το περιβάλλον ακατάλληλο για την προβλεπόμενη χρήση του (Χατζημπίρος & Παναγιωτίδης, 1999). Επιπλέον, φυσικά φαινόμενα όπως τα ηφαίστεια, η αποσύνθεση των πετρωμάτων, η βιολογική δραστηριότητα και ούτω καθεξής μπορούν όλα να συμβάλλουν στη ρύπανση.

Η ρύπανση που προκαλείται από ανθρώπινες δραστηριότητες θεωρείται ότι είναι πιο επικίνδυνη. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η φύση έχει αναπτύξει πολλά αμυντικά συστήματα έναντι των φυσικών καταστροφών, αλλά οι ανθρώπινες δραστηριότητες, που συνήθως λαμβάνουν χώρα σε περιορισμένους χώρους, έχουν ως αποτέλεσμα υψηλή ρύπανση και μη αναστρέψιμες συνθήκες (Φυτιάνος & Σαμανίδου, 1988).

Η ίδρυση σταθμών βιολογικού καθαρισμού έπαιξε σημαντικό ρόλο στην αντιμετώπιση της υπερφόρτισης των υδάτινων ρευμάτων που προκαλείται από βιοαποικοδομήσιμα οργανικά απόβλητα παραποτάμιων πόλεων και επιχειρήσεων. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα τη σταδιακή επαναφορά της ποιότητας των ποτάμιων νερών. Ωστόσο, στη συνέχεια παρουσιάστηκαν προβλήματα ευτροφισμού, ο οποίος προκαλείται κυρίως από εισροές φωσφόρου και αζώτου. Η διαχείριση των προβλημάτων αυτών γίνεται σταδιακά με μείωση του φωσφόρου, αν και για να επιτευχθεί ολική αποκατάσταση απαιτεί μεγάλο χρονικό διάστημα.

Για δεκαετίες, η παγκόσμια κοινότητα απασχολείται με τη ρύπανση και τη μόλυνση των αποθεμάτων νερού. Η μόλυνση του ύδατος από παθογόνους μικροοργανισμούς είναι ένα μείζον ζήτημα στα περισσότερα αναπτυσσόμενα και φτωχά έθνη, ενώ η χημική ρύπανση του νερού έχει προκύψει ως σοβαρός κίνδυνος στις χώρες που έχουν αναπτύξει πρόοδο σε γεωργική αλλά και βιομηχανική ανάπτυξη (Αντωνόπουλος, 2003).

1.2 Ποτάμια νερά

Τα διαλύματα από την αποσάθρωση μπορεί να αναμιχθούν με άλλα νερά που δεν έχουν σχέση με τις διεργασίες αποσάθρωσης. Στη συνέχεια τα νερά αυτά μπορεί να τροποποιηθούν από επιπλέον αντιδράσεις όπως από ανταλλαγή κατιόντων με αργιλικά ορυκτά και άλλες ορυκτολογικές φάσεις ή από ανθρώπινες δραστηριότητες. Έτσι, είναι δύσκολο να προβλέψουμε τη σύσταση ενός δεδομένου νερού σε ένα ιδιαίτερο στάδιο της υδρολογικής του εξέλιξης, ή να υιοθετήσουμε την ακριβή επίδραση εκάστου των παραγόντων που προσδιορίζουν τη σύστασή του. Είναι δυνατό λοιπόν να σχολιάσουμε τη γενική γεωχημεία των υδάτων δύο τύπων:

- a. επιφανειακών νερών: νερά πηγών, ποταμών και λιμνών

β. υπόγειων νερών (δηλαδή υπο-επιφανειακών νερών που βρίσκονται στη ζώνη κορεσμού).

Πίνακας 1.2: Μέση σύσταση του ποτάμιου νερού παγκοσμίως (Livingstone) σε $\mu\text{g/g}$ (Μητρόπουλος & Κελεπερτζής, 2012)

Ανιόντα	$\mu\text{g/g}$	Κατιόντα	$\mu\text{g/g}$
HCO_3^-	58.4	Ca^{2+}	15
SO_4^{2-}	11.2	Mg^{2+}	4.1
Cl^-	7.8	Na^+	6.3
NO_3^-	1	K^+	2.3

Επίσης, στον Πίνακα 1.3 δίδονται οι περιεκτικότητες των ιχνοστοιχείων στα ποτάμια νερά. Το ολικό ποσό των διαλυμένων συστατικών που μεταφέρονται κάθε έτος στους ωκεανούς από ποταμούς υπολογίζεται ότι είναι $3.905 \times 10^{12}\text{kg}$ περίπου.

Πίνακας 1.3 : Μέσα περιεχόμενα ιχνοστοιχείων στο νερό του παγκόσμιου ποταμού (Μητρόπουλος & Κελεπερτζής, 2012)

F	< 1 $\mu\text{g/g}$
Br	0.2 $\mu\text{g/g}$
I	2 ng/g
V	< 1 ng/g
Ni	10 ng/g
Cu	10 ng/g
B	13 ng/g
Rb	1 ng/g
Ba	50 ng/g

Zn	10 ng/g
Pb	1-10 ng/g
U	1 ng/g

1.2.1 Ο κύκλος του νερού

Ο κύκλος του ύδατος στη φύση επιτυγχάνεται με ενεργειακές μεταβολές και αποκτά εξαιρετική σημασία για τη ζωή.

Το ύδωρ διαγράφει στη φύση, με τη μεταφορά του σε διαφορετικά συστήματα, μέσα στο χρόνο ένα αέναο κύκλο. Όταν φτάσει στην επιφάνεια της Γης με οποιαδήποτε μορφή χαρακτηρίζεται σαν ατμοσφαιρικό κατακρήμνισμα (βροχή, χιόνι, χαλάζι) και μπορεί να ακολουθήσει τις διαδρομές:

- α. Να διεισδύει στην επιφάνεια του εδάφους και κατεβαίνει στους υπόγειους υδροφόρους ορίζοντες, όπου εγχέεται στην παροχή υπόγειων υδάτων. Αυτή η ποσότητα αναφέρεται ως κατεΐσδυση. Μπορεί να επιστρέψει στην επιφάνεια αφού περάσει από μια υπόγεια περιοχή. Το υδρογραφικό σύστημα (συστήματα ποταμών) το μεταφέρει στη θάλασσα, όπου εξατμίζεται και ο κύκλος ξεκινά ξανά.
- β. Να ακολουθήσει μια επιφανειακή ροή μέσα από συστήματα ποταμών, όπου τελικά θα χυθεί στη θάλασσα ή σε μια λίμνη. Η επιφανειακή απορροή είναι η ποσότητα του νερού που ρέει στην επιφάνεια. Οι υδρατμοί εξατμίζονται ξανά και επιστρέφουν στην ατμόσφαιρα, επαναλαμβάνοντας τον κύκλο.
- γ. Να επανεξατμιστεί από την επιφάνεια του εδάφους, την ελεύθερη επιφάνεια του υδρογραφικού συστήματος, δηλαδή τα συστήματα ποταμών, το υπέδαφος και τη διαπνοή των φυτών που το αντλούν από το έδαφος. Αυτή είναι η εξατμισοδιαπνοή,

η οποία επιστρέφει στην ατμόσφαιρα ώστε να συνεχίσει τον κύκλο (Θεοδωρίκας, 2014)

Πίνακας 1.4: Η ποσότητα του νερού σε σχέση με φυσικά φαινόμενα (Μητρόπουλος & Κελεπερτζής, 2012)

Φυσικό φαινόμενο	Ποσότητα του ύδατος σε Km³	Βροχομετρικό ύψος σε cm
Βροχόπτωση ολική	425.000	83
Βροχόπτωση επί των ωκεανών	324.000	90
Βροχόπτωση επί των ηπείρων	101.000	68
Απορροή ολική (επιφανειακή + υπόγεια)	27.000	18
Επανεξάτμιση ολική	425.000	83
Επανεξάτμιση από τους ωκεανούς	351.000	97
Επανεξάτμιση από τις ηπείρους	74.000	50

1.2.2 Υπόγεια ύδατα

Με τον όρο υπόγεια ύδατα, εννοούμε τη βροχόπτωση που περνά στο επιφανειακό στρώμα και ακολουθεί τη βαρύτητα διαπερνώντας στα βαθύτερα στρώματα έως ότου φτάσει σε ένα στρώμα το οποίο είναι αδιαπέραστο, στο οποίο συγκεντρώνεται, σχηματίζοντας έναν υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα. Ο πυθμένας του υδροφόρου ορίζοντα είναι η επιφάνεια του αδιαπέρατου στρώματος, ενώ η ελεύθερη επιφάνεια είναι ο

υδροφορέας του στρώματος. Το νερό στο έδαφος γεμίζει τα ρήγματα και τις κοιλότητες του εδάφους, καθώς και τα κενά μεταξύ των χαλαρών υδατοδιαπερατών στρωμάτων. Υπόγεια εδαφικά στρώματα με μεγάλα ανοίγματα πόρων (χαλίκια, χοντρή άμμος) έχουν μεγάλη υδατοχωρητικότητα, το νερό κινείται εύκολα χωρίς μεγάλη αντίσταση και παρουσιάζουν μεγάλη διαπερατότητα σε αντίθεση με τα λεπτόκοκκα εδαφικά στρώματα (βαρεία εδάφη), που παρεμποδίζουν, λόγω του μικρού μεγέθους των πόρων, την κίνηση και παρουσιάζουν μικρή διαπερατότητα. Ο υδροφόρος ορίζοντας ακολουθεί την επιφανειακή μορφολογία, με αποκλίσεις στις εξάρσεις της επιφάνειας του εδάφους, οπότε βρίσκεται βαθύτερα και στις μισγάγκειες, όπου βρίσκεται πιο κοντά στο επιφανειακό στρώμα του εδάφους. Όταν ο υδροφόρος ορίζοντας βρίσκεται σε ψηλότερα επίπεδα από την επιφάνεια του εδάφους, τότε το νερό λιμνάζει και δημιουργούνται τα έλη, δηλαδή βαλτώδη εδάφη. Όταν το υδροφόρο στρώμα τέμνεται από την επιφάνεια του εδάφους στο κατώτερο τμήμα του είναι πιθανό να αναβλύζει νερό οπότε μιλάμε για επιφανειακή πηγή. Όπως ακριβώς το επιφανειακό νερό κινείται και ρέει κατά την κλίση του εδάφους από τα ψηλότερα προς τα χαμηλότερα σημεία, με όμοιο τρόπο κινείται και το υπόγειο νερό κατά την κλίση του υδροφόρου ορίζοντα. Η διεύθυνση της υπόγειας ροής και της ταχύτητας της κίνησης εξαρτάται από δύο παράγοντες, από την υψομετρική διαφορά ανάμεσα σε δύο σημεία του υδροφόρου ορίζοντα, αλλά και από την αντίσταση που προβάλλει το υπέδαφος στην κίνηση του νερού.

Η υδρογεωχημεία των υπόγειων νερών αντανακλά την πηγή του νερού, τη λιθογεωλογία του υδροφόρου και τις τοπικές χημικές συνθήκες (θερμοκρασία, πίεση και δυναμικό οξειδοαναγωγής). Η προέλευση μπορεί να είναι:

- α. μαγματική
- β. μετεωρική

γ. νερό παγιδευμένο στους πόρους ενός ιζήματος κατά τη στιγμή απόθεσης

δ. ωκεάνια

Η λιθολογία παίζει ρόλο στον προσδιορισμό της σύστασης των υπόγειων νερών.

Πίνακας 1.5: Συστατικά υπόγειων νερών από διαφορετικούς τύπους πετρωμάτων (ppm)
(Θεοδωρίκας, 2014)

Κατιόντα ή οξείδια	Γρανίτης	Σερπεντινίτης	Αργιλικός σχίστης
SiO ₂	39	31	5.5
Al ³⁺	0.9	0.2	0
Fe	1.6	0.06	3.5
Ca ²⁺	27	9.5	227
Mg ²⁺	6.2	51	29
Na ⁺	9.5	4.0	12
K ⁺	1.4	2.2	2.7
ανιόντα			
HCO ₃ ⁻	93	276	288
CO ₃ ⁼	0	0	0
SO ₄ ⁼	32	2.6	493
Cl ⁻	5.2	12	24
F ⁻	0	0	0
NO ₃ ⁻	7.5	6.8	0.9
PO ₄ ⁻³	0	0	0

Τα υπόγεια νερά παίζουν σπουδαίο ρόλο στη γένεση των μεταλλευμάτων, γιατί ενεργούν ως ένα μέσο για τη διάλυση και μεταφορά βαρέων μετάλλων στη θέση της εκλεκτικής καθίζησης. Η γένεση πολλών κοιτασμάτων ήταν πολύπλοκη και περιλάμβανε μεγάλη μετανάστευση, μίξη και αντιδράσεις των μητρικών ρευστών. Σε άλλες περιπτώσεις τα

κοιτάσματα δημιουργήθηκαν σε μία ιζηματογενή σειρά από μεταλλοφόρα ρευστά (Θεοδωρίκας, 2014).

1.2.3 Πηγές

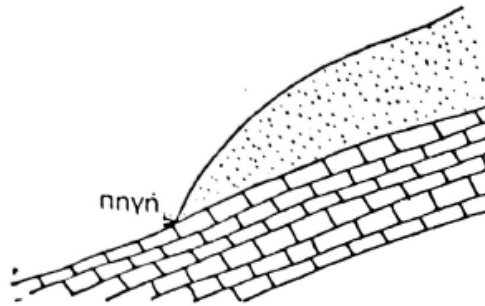
Το νερό που διαπερνά το έδαφος και ρέει στα κατώτερα στρώματα συνεχίζει μέχρι να φτάσει σε ένα στρώμα το οποίο είναι αδιαπέραστο. Στο σημείο αυτό αλλάζει την κατεύθυνσή του και τείνει να ακολουθεί την πορεία αυτού του στρώματος λόγω της κλίσης του. Όταν φτάσει σε ένα βαθύ σημείο θα συσσωρευτεί, διαφορετικά αν φτάσει στην κορυφή του εδάφους, αποκαλύπτεται στην επιφάνεια και σχηματίζει μία πηγή.

Η πηγή είναι μια συνεχής εκροή υπόγειων υδάτων από μια τοποθεσία στην επιφάνεια της γης με ενιαία και διαρκή παροχή για ένα μεγάλο χρονικό διάστημα. Ανάλογα με τον τρόπο που εμφανίζονται, οι πηγές μπορούν να διακριθούν σε:

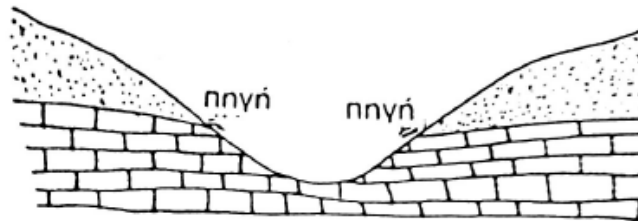
- α. συνεχείς, δηλαδή η ροή τους παραμένει και συνεχίζεται όλο το χρόνο,
- β. προσωρινές, δηλαδή η ροή τους παύει για κάποιο χρονικό διάστημα (ξηρασία),
- γ. περιοδικές, δηλαδή η ροή τους σταματάει και αρχίζει μόνο σε περιόδους βροχοπτώσεων

Παρόλο που το νερό της βροχής θεωρείται ψυχρό, υπάρχουν ορισμένες πηγές όπου η θερμοκρασία του νερού είναι μεγαλύτερη από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος. Οι πηγές αυτές ονομάζονται θερμές πηγές και ο σχηματισμός τους μπορεί να οφείλεται σε μεταβολές στο εσωτερικό του φλοιού της Γης. Οι περισσότερες χαρακτηρίζονται ως μεταλλικές θερμές πηγές καθώς διακρίνονται από την παρουσία μεταλλικών αλάτων. Σύμφωνα με τον Τσόγκα (1999), μία πηγή μπορεί να προέρχεται από:

- A. ένα πορώδες και έντονα διαπερατό στρώμα



Εικόνα 1.1: Πηγή από υπερκείμενο στρώμα (Τσόγκας 1999)



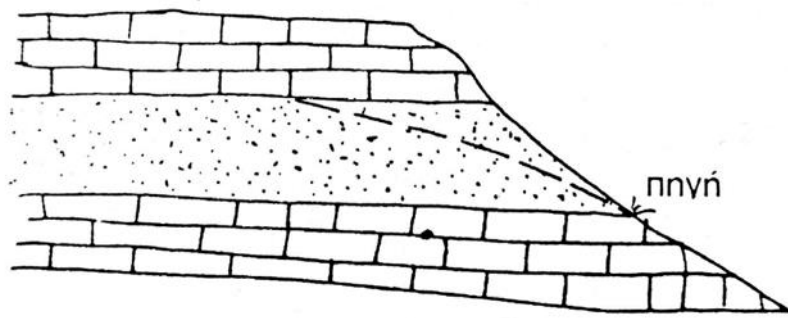
Εικόνα 1.1: Πηγές σε πλαγιές (Τσόγκας 1999)

Β. ένα υδροφόρο στρώμα μεγάλου πάχους με μικρή κλίση του αδιαπέρατου στρώματος



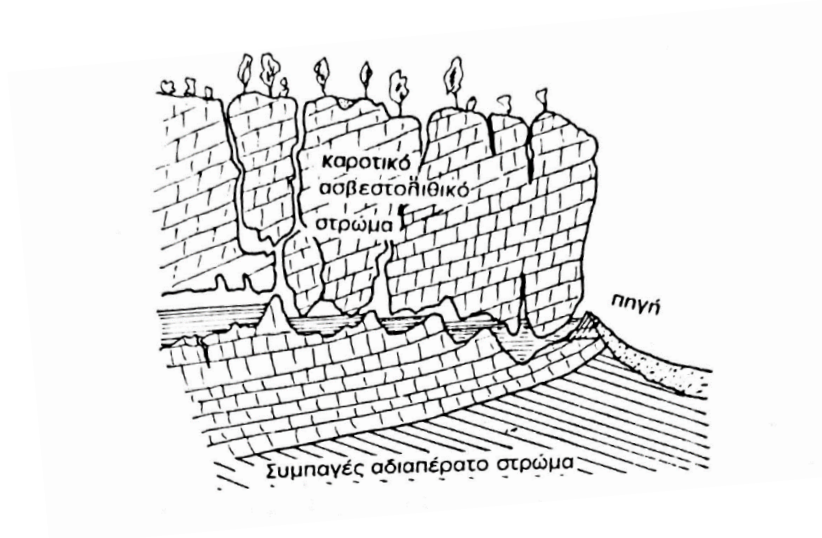
Εικόνα 1.2: Εμφάνιση πηγής λόγω κλίσης αδιαπέρατου στρώματος (Τσόγκας 1999)

Γ. ένα διαπερατό στρώμα παρεμβάλλεται ανάμεσα σε δύο αδιαπέρατα, οπότε το νερό εκρέει μόλις το διαπερατό συναντήσει το επιφανειακό στρώμα του εδάφους



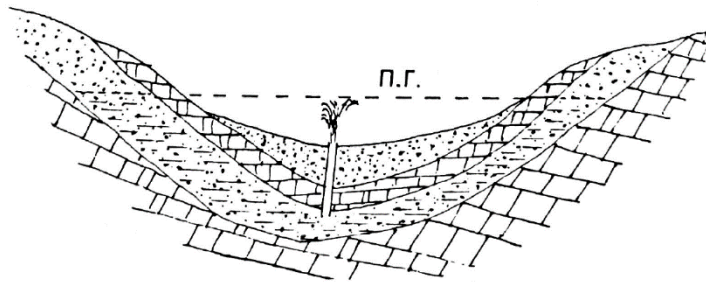
Εικόνα 1.3: Πηγή προερχόμενη από διαπερατό στρώμα παρεμβαλλόμενο ανάμεσα σε δύο διαπερατά (Τσόγκας 1999)

Δ. σπήλαια και έγκοιλα που συνδέονται με την επιφάνεια του εδάφους με σχισμές και ανοίγματα



Εικόνα 1.4: Πηγή προερχόμενη από σπήλαιο (Τσόγκας 1999)

ε) αρτεσιανές γεωτρήσεις



Εικόνα 1.5: Δημιουργία αρτεσιανής πηγής (Τσόγκας 1999)

1.3 Φυσικές παράμετροι

1.3.1 Θερμοκρασία

Τα πετρώματα που περιβάλλουν τα υπόγεια νερά, καθώς και η θερμοκρασία που έχουν αυτά, αποτελούν το βασικότερο παράγοντα στη θερμοκρασία των υπόγειων νερών. Όσον αφορά το υπόγειο νερό, η θερμοκρασία αυτού κατά βάση είναι σταθερή, αν και μπορεί να επηρεαστεί από μεταβολές της πιεζομετρικής επιφάνειας του υδροφορέα. Αντίθετα, οι μεταβολές που επικρατούν στην επιφάνεια της γης λόγω της ηλιακής ενέργειας αφορούν διακυμάνσεις στη θερμοκρασία των επιφανειακών νερών.

1.3.2 Θολότητα

Τα αιωρούμενα σωματίδια στις περισσότερες περιπτώσεις δεν είναι εφικτό να εντοπιστούν και να είναι ορατά με γυμνό μάτι. Η ρύπανση με απόβλητα που προέρχονται από τις ανθρώπινες δραστηριότητες αποτελεί ακόμα ένα παράγοντα στην εκτεταμένη δημιουργία αιωρούμενων σωματιδίων. Ωστόσο, φυσικοί παράγοντες όπως βακτήρια και άλγη δημιουργούν τα αιωρούμενα σωματίδια βιολογικής προέλευσης. Η παρουσία των αιωρούμενων σωματιδίων επηρεάζει το νερό και λόγω διάχυσης του φωτός μειώνει τη διαύγειά του. Επιπλέον, έχουν τη δυνατότητα να απορροφούν διάφορα επιβλαβή συστατικά του περιβάλλοντος, όπως για παράδειγμα βαρέα μέταλλα και οργανικές ουσίες. Αυτός είναι και ο λόγος που αποτελούν βασικό στοιχείο στο γεωχημικό καθώς και στο βιολογικό κύκλο. Η θολότητα, η οποία μετριέται σε μονάδες θολότητας, χρησιμοποιείται για τη μέτρηση των αιωρούμενων σωματιδίων. Η ικανότητα του νερού να διαχέει και να απορροφά το φως χωρίς να επιτρέπει τη διέλευσή του είναι γνωστή ως θολότητα (Μήτρακας, 2001).

1.3.3 Οσμή

Η οσμή αλλά και η γεύση εξαρτώνται κατά κύριο λόγο από την προέλευση του ύδατος. Σημαντικό ρόλο παίζουν οι ανθρώπινες επεμβάσεις τόσο στις μεθόδους επεξεργασίας του νερού αλλά και στα δίκτυα της μεταφοράς αλλά και της διανομής.

Το σύνολο των διαλυμένων αλάτων (TDS) αποτελεί ένα κύριο δείκτη που σχετίζεται με τη γεύση που αποκτά το νερό. Η γεύση του νερού θεωρείται καλή όταν οι τιμές του είναι μικρότερες από 1000 mg/L. Όταν οι τιμές ξεπερνούν την τιμή αυτή, υποδηλώνουν υφάλμυρα νερά με αποτέλεσμα η γεύση του να είναι «γλυφή» (Βουδούρης, 2006).

Οι μέθοδοι επεξεργασίας του νερού παίζουν καθοριστικό ρόλο στη γεύση αλλά και στην οσμή του. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η χρήση του χλωρίου για απολυμαντική δράση. Κατά την αντίδρασή του χλωρίου με τα διάφορα οργανικά συστατικά που υπάρχουν στο νερό (π.χ. χλωροφαινόλες) δημιουργούνται παράγωγες ενώσεις με διάφορες οσμές. Ακόμα, η παρουσία υδρόθειου (H_2S) σε συγκεντρώσεις μεγαλύτερες από 0,1 mg/L στο νερό, μπορεί να δημιουργήσει τη χαρακτηριστική δυσάρεστη οσμή του κλούβιου αυγού.

Στα επιφανειακά νερά, επίσης, μια πιθανή αιτία για δημιουργία οσμής και γεύσης είναι η αποδόμηση των φυτικών υπολειμμάτων αλλά και των προϊόντων μεταβολισμού των μικροοργανισμών. Τέλος, η αμμωνία αποτελεί βασικό δείκτη βιολογικής ρύπανσης και η παρουσία της στο νερό προσδίδει μια δυσάρεστη γεύση.

1.4 Χημικές παράμετροι

1.4.1 pH

Η ενεργός οξύτητα, η οποία παρουσιάζεται ως pH, χαρακτηρίζει τη συγκέντρωση των ιόντων H_3O^+ που εμφανίζονται μέσα σε ένα διάλυμα. Για τον προσδιορισμό του pH

πραγματοποιείται χρωματομετρικός καθώς και ηλεκτρομετρικός έλεγχος. Το pH των υπόγειων νερών έχει άμεση εξάρτηση από τις διάφορες χημικές αντιδράσεις αλλά και τις ισορροπίες που πραγματοποιούνται μεταξύ των διαλυμένων ιόντων. Το pH ισορροπίας (ή αλλιώς pHs κορεσμού) οφείλεται κυρίως στην παρουσία του CO₂. Όταν το pH του νερού είναι χαμηλότερο του pH ισορροπίας, σημαίνει ότι έχει υψηλή ικανότητα διαλυτότητας και ότι ακόμη και το CaCO₃ μπορεί να διαλυθεί. Σε αντίθετη περίπτωση, όταν ένα διάλυμα γίνεται κορεσμένο εναποθέτει ανθρακικό ασβέστιο (CaCO₃).

Το pH των νερών μειώνεται με το πέρασμα των χρόνων. Μια νεοσύστατη υδάτινη μάζα συνήθως έχει pH μεγαλύτερο του 7 και χαρακτηρίζεται αλκαλική, ενώ σιγά-σιγά το pH πέφτει κάτω από 7 οπότε γίνεται όξινη. Η αλλαγή αυτή αποτελεί αποτέλεσμα του οργανικού υλικού το οποίο απελευθερώνει CO₂ κατά την αποσύνθεσή του.

Επιπλέον, η όξινη βροχή παίζει εξίσου σημαντικό ρόλο για τη μείωση του pH, ενώ παράλληλα δημιουργεί και όξινα υπόγεια νερά. Το pH των υπόγειων υδάτων αποτελεί σημαντικό παράγοντα που ευνοεί την αποσάθρωση. Το όξινο περιβάλλον που επικρατεί στο υπέδαφος επηρεάζει και ευνοεί τελικά την απελευθέρωση Fe και Al από τα μητρικά ορυκτά, ενώ επίσης βοηθά στη συγκέντρωση του SiO₂. Η οξείδωση της αμμωνίας, που προκαλείται ως αποτέλεσμα της ευρείας χρήσης κοπριάς για λίπασμα, καθώς και η οξείδωση του πυριτίου (FeS₂), συμβάλλουν και τα δύο εξίσου στη μείωση του pH (Βουδούρης, 2006)

1.4.2 Αγωγιμότητα

Το καθαρό νερό γενικά δεν αποτελεί καλό αγωγό του ηλεκτρισμού. Ωστόσο, όσο αυξάνεται η ποσότητα διαλυμένων αλάτων και θερμοκρασίας τόσο αυξάνεται και η ηλεκτρική αγωγιμότητα (Βουδούρης, 2006). Επομένως, η μέτρηση της αγωγιμότητας θα

πρέπει να πραγματοποιείται σε μία συγκεκριμένη θερμοκρασία, η οποία τις περισσότερες φορές είναι 25°C, ώστε να θεωρείται έγκυρη. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την ποσότητα αλλά και με τη φύση των υπαρχόντων διαλυμένων ηλεκτρολυτών. Το επίπεδο της αγωγιμότητας που ενδείκνυται για τα πόσιμα νερά είναι στα 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Όσο η αγωγιμότητα αυξάνεται από την τιμή αυτή, τόσο μεγαλύτερες είναι και οι ποσότητες αλάτων. Τα άλατα είναι δυνατό να έχουν ως αποτέλεσμα διάφορα προβλήματα υγείας, σε συνάρτηση πάντα με τη φύση τους καθώς και με την περιεκτικότητά τους στο νερό.

1.4.3 Διαλυμένο Οξυγόνο

Η παρουσία του οξυγόνου στο υπόγειο νερό προέρχεται κατά κύριο λόγο από την έκθεση του νερού στην επίδραση της ατμόσφαιρας σε πρόσφατο χρονικό διάστημα. Γενικά, το οξυγόνο χαρακτηρίζεται από μικρή διαλυτότητα στο νερό, δηλαδή περίπου από 6 έως 15 ppm. Σε νερά που έχουν παραμείνει κάποιο χρονικό διάστημα παρατηρούμε σχετικά μικρές τιμές περιεκτικότητας σε οξυγόνο. Αυτό συμβαίνει διότι τα νερά αυτά δεν ανανεώνονται. Η αντίθετη περίπτωση όπου στα νερά συναντώνται μεγάλες συγκεντρώσεις οξυγόνου, είναι αποτέλεσμα του μικρού χρονικού διαστήματος που παρέμειναν στους υδροφόρους ορίζοντες και της συνεχούς ανανέωσής τους. Επίσης, όταν τα νερά είναι έντονα ρυπασμένα με οργανικές ουσίες παρατηρούνται μικρές τιμές διαλυμένου οξυγόνου. Η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου που περιέχεται στο νερό έχει αλληλεπίδραση με:

- α. Τη θερμοκρασία. Η περιεκτικότητα του νερού σε οξυγόνο μειώνεται όσο αυξάνεται η θερμοκρασία του νερού.
- β. Το ποσό οργανικής ύλης το οποίο αποσυντίθεται στο νερό.

- γ. Την απουσία ή παρουσία φυτών, τα οποία μπορούν να εκτελέσουν διεργασίες φωτοσύνθεσης.
- δ. Το βαθμό όπου το φως διεισδύει, εξαρτώμενο από το βάθος (Βουδούρης, 2006)

Όταν το νερό κινείται στην ακόρεστη ζώνη παρατηρείται μείωση της συγκέντρωσης του οξυγόνου. Αυτό είναι αποτέλεσμα της κατανάλωσης οξυγόνου κατά τη διάρκεια οξειδωτικών διεργασιών που συντελούνται εκεί. Επιπλέον, το οξυγόνο μειώνεται εκθετικά ανάλογα με το βάθος. Το διαλυμένο οξυγόνο σπάνια βρίσκεται σε βάθη άνω των 20 μέτρων κάτω από την υδροστατική επιφάνεια. Η ποσότητα του οξυγόνου στα στάσιμα νερά ποικίλλει ανάλογα με το βάθος και την εποχή (Βουδούρης, 2006). Το καλοκαίρι, για παράδειγμα, η περιεκτικότητα του οξυγόνου σε μεγάλα βάθη ελαττώνεται τόσο που έχει τη δυνατότητα ακόμα και να μηδενισθεί.

1.4.4 Συνολικά Διαλυμένα Στερεά (T.D.S)

Η παρουσία αλάτων στα υπόγεια νερά εξαρτάται από το είδος των πετρωμάτων γύρω από τα οποία κινούνται, τον χρόνο παραμονής σε αυτά, την ταχύτητα ροής κ.λπ. Η συνολική περιεκτικότητα σε διαλυμένες ουσίες του νερού εκφράζεται με το T.D.S, αν και δεν περιλαμβάνει τα αιωρούμενα σωματίδια, τα διαλυμένα αέρια και τα κολλοειδή. Το T.D.S. είναι ένας δείκτης μεταλλικότητας, δηλαδή αλατότητας και έχει άμεση συσχέτιση με την ηλεκτρική αγωγιμότητα (Βουδούρης, 2006).

Σε τιμές T.D.S. που κυμαίνονται από 0 έως 1.000 mg/L το νερό είναι γλυκό (fresh), στα επίπεδα T.D.S. από 1.000 μέχρι 10.000 mg/L τα νερά θεωρούνται υφάλμυρα (brackish), σε επίπεδα 10.000 έως και 100.000 mg/L θεωρούνται αλμυρά (salt or saline) και για τιμές που ξεπερνούν τα 100.000 mg/L θεωρούνται υπεραλμυρά (brine) (Βουδούρης, 2006).

Παράγοντες όπως η διείσδυση της θάλασσας στο νερό, η εξάτμιση του νερού και η διάλυση ορυκτών στο νερό τείνουν να μεταβάλλουν το T.D.S.

Στα υπόγεια νερά συναντώνται αυξημένες συγκεντρώσεις διαλυμένων αλάτων σε σχέση με τα επιφανειακά. Η φόρτιση με άλατα λόγω της διάλυσης των πετρωμάτων παίζει βασικό ρόλο στις αυξημένες αυτές συγκεντρώσεις. Η αλατότητα τείνει να αυξάνεται σε περιοχές όπου το νερό έχει μικρή κινητικότητα καθώς και σε ξηρές περιοχές με πολύ μικρή βροχόπτωση και γενικά η αλατότητα αυξάνεται με το βάθος (Βουδούρης, 2006).

1.4.5 Σκληρότητα

Η σκληρότητα των νερών βασίζεται κυρίως στην παρουσία δισθενών μεταλλικών κατιόντων, με συνηθέστερα το Ca^{2+} και το Mg^{2+} . Τείνουν να δημιουργούν κρούστα μαζί με κάποια συγκεκριμένα ανιόντα τα οποία εμφανίζονται στο νερό (Βουδούρης, 2006).

Η αξιολόγηση της σκληρότητας είναι κρίσιμης σημασίας, καθώς αποτελεί κριτήριο για την καταλληλότητα πολλαπλών χρήσεων του νερού, επειδή υποδεικνύει τη δυνατότητα δημιουργίας εναποθέσεων ανθρακικών σε λέβητες και ψυκτικές δεξαμενές οικιακής χρήσης, καθώς και μεταξύ άλλων την ικανότητα δέσμευσης χρωμάτων (Μήτρακας, 2001). Επιπλέον, η σκληρότητα του πόσιμου νερού φαίνεται να έχει σχέση και με τον ανθρώπινο οργανισμό και συγκεκριμένα παρουσιάζει επιρροή σε καρδιακές παθήσεις (Βουδούρης, 2006).

Η σκληρότητα διακρίνεται σε:

- α. Παροδική (ανθρακική) σκληρότητα: οφείλεται στην εμφάνιση των όξινων ανθρακικών αλάτων του Ca^{2+} και του Mg^{2+} , $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ και $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ αντίστοιχα. Τα συγκεκριμένα άλατα δημιουργούνται μετά τη διάλυση των αλάτων Ca^{2+} και Mg^{2+} τα οποία εμφανίζονται σε πετρώματα, ή ακόμα και στο

έδαφος, τα οποία διαπερνά το νερό. Η διάλυση αυτή διευκολύνεται με το CO₂ το οποίο απελευθερώνεται από τη βακτηριακή δράση σε οργανικές ουσίες του εδάφους ή προσλαμβάνεται από την ατμόσφαιρα (Βουδούρης, 2006). Όταν το νερό θερμαίνεται, τα άλατα διαλύονται στα ανθρακικά τους, τα οποία στη συνέχεια σχηματίζουν ένα ίζημα.

β. Μόνιμη σκληρότητα (μη ανθρακική): δημιουργείται από τις αλκαλικές γαίες, σε συνδυασμό με θειικό ιόν, ιόν χλωρίου και νιτρικό ιόν. Η βασική πηγή θειικών ιόντων είναι η οξείδωση του σιδηροπυρίτη, εκτός από την περίπτωση που πραγματοποιείται εναπόθεση εβαποριτών (Βουδούρης, 2006).

γ. Ολική σκληρότητα (Total Hardness): αποτελεί το άθροισμα της παροδικής (ανθρακικής) και της μόνιμης (μη ανθρακικής) σκληρότητας. Μπορεί να εκφραστεί σε βαθμούς σκληρότητας αλλά και με ισοδύναμο CaCO₃ (mg/L). Ο Γαλλικός βαθμός είναι ίσος με 10 mg/L CaCO₃.

Πίνακας 1.6: Χαρακτηρισμός του νερού ανάλογα με τη σκληρότητα (Βουδούρης, 2006)

Ισοδύναμο CaCO ₃ (mg/L)	Γαλλικοί βαθμοί	Χαρακτηρισμός του νερού
0-100	0-10	Μαλακό
101-200	10-20	Μέτρια σκληρό
201-300	20-30	Σκληρό
>300	>30	Πολύ σκληρό

Στην περίπτωση που η συνολική σκληρότητα είναι μικρότερη από την αλκαλικότητα, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι η μη ανθρακική σκληρότητα (μόνιμη) είναι μηδέν, και η συνολική σκληρότητα είναι κατά συνέπεια ίση με την ανθρακική σκληρότητα (παροδική). Όταν η συνολική σκληρότητα υπερβαίνει την αλκαλικότητα, η παροδική σκληρότητα ισούται με την αλκαλικότητα και η μόνιμη σκληρότητα ισούται με τη διαφορά μεταξύ αλκαλικότητας και ολικής σκληρότητας (Βουδούρης, 2006).

1.4.6 Αλκαλικότητα

Η αλκαλικότητα αποτελεί ένδειξη ότι τα εκάστοτε νερά είναι ικανά να εξουδετερώνουν κάποια συγκεκριμένη ποσότητα υδρογονοκατιόντων. Η παρουσία των ιόντων OH^- , CO_3^{2-} και HCO_3^- αποτελεί βασικό παράγοντα της εξουδετέρωσης αυτής, ενώ ένας ακόμη παράγοντας είναι η δραστικότητα συζυγών βάσεων φωσφορικού και πυριτικού οξέος. Η παρουσία της οργανικής ύλης έχει τη δυνατότητα να επηρεάσει καθοριστικά την αλκαλικότητα των υπόγειων υδάτων. Τα χλωριούχα, θειικά και νιτρικά ιόντα δεν συμβάλλουν στην αλκαλικότητα (Βουδούρης, 2006).

Πίνακας 1.7: Ενδεικτικές παράμετροι για το πόσιμο νερό σύμφωνα με την οδηγία 98/83/EK

Παράμετρος	Παραμετρική τιμή	Μονάδα
Ιόντα υδρογόνου	$6.5 \leq \text{pH} \leq 9.5$	μονάδα pH
Αγωγιμότητα	2500	$\mu\text{S}/\text{cm}$
Χλωριούχα άλατα	250	mg/l
Θειικά άλατα	250	mg/l
Νάτριο	200	mg/l
Νιτρικά άλατα	50	mg/l
Νιτρώδη άλατα	0,50	mg/l

1.5 Διάφορα χαρακτηριστικά του νερού

1.5.1 Θρεπτικά άλατα

Η βιολογική παραγωγικότητα είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με τα διαλυμένα θρεπτικά άλατα που βρίσκονται στο νερό. Θρεπτικά άλατα όπως το άζωτο και ο φωσφόρος πλέον θεωρούνται από τους σημαντικότερους παράγοντες που συμμετέχουν στην ανάπτυξη των οργανισμών. Το άζωτο συναντάται σε διάφορες μορφές στο νερό: αέριο σε διάλυση, αμμωνία (ως NH_4^+ ή NH_4OH), NO_3^- , NO_2^- , οργανικό άζωτο. Ο φώσφορος δεν είναι ελεύθερο στοιχείο και μπορεί να βρεθεί στο νερό ως ορθο-φωσφορικό ιόν, πολύ-φωσφορικά ιόντα σε οργανικά μόρια. Ο προσροφημένος φώσφορος σε σωματίδια καθώς και ο διαλυμένος φώσφορος περιλαμβάνονται και οι δύο στον ολικό φώσφορο.

1.6 Προέλευση κύριων ιόντων

1.6.1. Κατιόντα

α) Ασβέστιο - Μαγνήσιο

Τα ιζηματογενή ανθρακικά πετρώματα και τα μάρμαρα αποτελούν τις κύριες πηγές ασβεστίου. Προέρχεται επίσης από ασβεστονατριούχους άστριους, γύψο, πυρόξενο, και ορυκτά ομάδας επίδοτου (Βουδούρης, 2006). Το μαγνήσιο (Mg^{2+}) μπορεί να βρεθεί στην ολιβίνη $(\text{Mg,Fe})\text{SiO}_4$, στον μαγνησίτη, στον δολομίτη και στους χλωρίτες, μεταξύ άλλων ορυκτών. Επίσης σε ανθρακικά πετρώματα, που είναι πιο συνηθισμένα όταν υπάρχει μαγνησίτης (MgCO_3) και δολομίτης ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$). Η αναλογία Ca/Mg στο αλμυρό νερό είναι 0,25 περίπου, στο υφάλμυρο νερό 1,5-3,7, 1,6 στο ασβεστολιθικό νερό και 1,25 στο νερό με δολομίτη (Βουδούρης, 2006).

Το ασβέστιο βοηθά στην πήξη του αίματος, είναι διουρητικό, βοηθά στην υπέρταση και είναι αντιαλλεργικό. Το μαγνήσιο βοηθά στην καλύτερη λειτουργία του νευρομυϊκού συστήματος (Βουδούρης, 2006). Ως αποτέλεσμα, κρίνονται απαραίτητα για την ανθρώπινη υγεία.

β) Νάτριο-Κάλιο

Τα ιόντα Na^+ και K^+ συνδέονται με την εμφάνιση αστρίων. Το κάλιο σε ορθόκλαστο και μικροκλινή (KAlSi_3O_8) και νάτριο στον αλβίτη ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$). Το Na^+ μπορεί επίσης να βρεθεί στα γλαυκοφανή και στον αλίτη (NaCl) και το K^+ στον συλβίνη (KCl) (Βουδούρης, 2006). Η παρουσία καλίου έχει επίσης συσχέτιση με την εισχώρηση θαλασσινού νερού στους παράκτιους υδροφόρους ορίζοντες ή με σταγονίδια θαλασσινού νερού στον αέρα.

Η συγκέντρωση νατρίου στα υπόγεια ύδατα δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 20 mg/l, ενώ στο θαλασσινό νερό έχει συγκέντρωση 10.000 mg/l. Το κάλιο αλλά και το νάτριο είναι απαραίτητα για την ωσμωτική ισορροπία του κυττάρου, όταν αυτά βρίσκονται σε μικρές ποσότητες. Ωστόσο, μπορούν να προκληθούν προβλήματα για την υγεία των ανθρώπων όταν υπάρχει μεγάλη περιεκτικότητα ιόντων νατρίου στο πόσιμο νερό.

γ) Ολικός Σίδηρος

Ο σίδηρος βρίσκεται τόσο σε δισθενή όσο και σε τρισθενή μορφή στο νερό. Προέρχεται από μαγματικά πετρώματα, οξείδια, σουλφίδια και ανθρακικά ορυκτά (Βουδούρης, 2006).

Λόγω της έλλειψης οξυγόνου, ορισμένα υπόγεια ύδατα περιέχουν δισθενή ιόντα σιδήρου, ενώ τα επιφανειακά ύδατα έχουν τρισθενή μορφή σιδήρου. Όταν το νερό οξυγονώνεται, τα σύμπλοκα δισθενούς σιδήρου οξειδώνονται σε τρισθενή και κατακρημνίζονται,

δίνοντας στο νερό μια καφέ-κόκκινη απόχρωση. Υπό κανονικές συνθήκες, τα καλά οξυγονωμένα νερά στην επιφάνεια ουσιαστικά δεν περιέχουν διαλυμένο σίδηρο.

Λόγω διάφορων γεωλογικών παραγόντων, ο σίδηρος βρίσκεται κυρίως στα υπόγεια ύδατα στη Βορειοδυτική Πελοπόννησο (Αχαΐα, Ηλεία) και στους νομούς Κιλκίς, Θεσσαλονίκη, Χαλκιδική κ.λπ. (Αντωνάκος & Νίκας, 2005, Mattas et al., 2006).

Το επίπεδο συνολικής συγκέντρωσης σιδήρου που ενδείκνυται είναι 20 µg/L, με μέγιστο επιτρεπτό όριο στα 200 µg/L. Σε περιπτώσεις όπου η περιεκτικότητα υπερβαίνει τα 100 µg/L και αν εκτεθεί σε ατμοσφαιρικό αέρα γίνεται ίζημα, προκαλώντας θολότητα (Βουδούρης, 2006). Σε περίπτωση που η συγκέντρωση υπερβαίνει τα 200 µg/L, τότε κρίνεται ακατάλληλη για πολλές βιομηχανικές εφαρμογές. Η έλλειψη σιδήρου στον ανθρώπινο οργανισμό προκαλεί αναιμία, επομένως καθίσταται ένα αρκετά σημαντικό ιχνοστοιχείο για τον άνθρωπο. Ωστόσο, όταν βρίσκεται σε μεγάλες ποσότητες, συσσωρεύεται στους ιστούς με αποτέλεσμα να προκαλεί βλάβες.

Οι πυρίτες (σουλφίδια Fe) σχηματίζονται όταν το υδρόθειο αντιδρά με οξείδια του σιδήρου στα υπόγεια ύδατα. Η εντατική άντληση συνήθως προκαλεί αναγωγή των θεικών αλάτων, με αποτέλεσμα τα σουλφίδια του σιδήρου να φράζουν τους σωλήνες φίλτρων των υδρογεωτρήσεων.

1.6.2 Ανιόντα

α) Χλώριο (Cl⁻)

Τα ιζηματογενή πετρώματα, τα οποία περιλαμβάνουν ωκεάνια αργιλικά ορυκτά που προέρχονται από τη θάλασσα καθώς και εβαπορίτες, είναι η κύρια πηγή χλωρίου. Η εισροή της θάλασσας σε παράκτιους υδροφορείς είναι ακόμη μια πηγή προέλευσης. Τα

επίπεδα Cl^- αυξάνονται σε βιομηχανικές περιοχές λόγω της καύσης πλαστικών και θερμικών σταθμών παραγωγής ενέργειας.

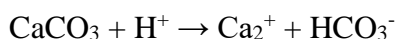
Η ηλεκτρική ουδετερότητα των ερυθρών αιμοσφαιρίων καθώς και το υδροχλωρικό οξύ που παράγεται στο στομάχι υποβοηθούνται από ιόντα χλωρίου. Το ιδανικό και επιθυμητό όριο συγκέντρωσης των χλωριόντων στο πόσιμο νερό είναι 25 mg/L ενώ το ανώτατο 250 mg/L (Βουδούρης, 2006). Όσο αυξάνεται η συγκέντρωσή του στο νερό, τόσο πιο γλυφό γίνεται. Αρκετές επιδημιολογικές μελέτες συνδέουν την αυξημένη συγκέντρωση χλωρίου με καρδιαγγειακά προβλήματα. Το ελεύθερο χλώριο συχνά μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την απολύμανση του νερού, ωστόσο τα παράγωγα που εκλύονται έχουν δυσμενείς επιπτώσεις.

β) Όξινα ανθρακικά ιόντα (HCO_3^-)

Στα γλυκά υπόγεια νερά, είναι το πιο άφθονο ανιόν. Προέρχεται από το CO_2 από την ατμόσφαιρα και απελευθερώνεται στο έδαφος μέσω της διάσπασης της οργανικής ύλης, σύμφωνα με την αντίδραση:



Επίσης προέρχονται από τη διάλυση των ανθρακικών πετρωμάτων από το νερό:

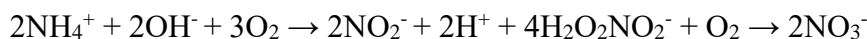


Είναι απαραίτητο για την υγεία του ανθρώπου, γιατί διατηρεί το pH του οργανισμού σε υγιή επίπεδα. Διατίθενται επίσης φυσικά ανθρακούχα νερά με υψηλές ποσότητες HCO_3^- και CO_2 .

γ) Νιτρικά ιόντα (NO_3^-)

Η φυσική διάσπαση οργανικών μορίων αζώτου, όπως η φυτική και η ζωική πρωτεΐνη, παράγει νιτρικά ιόντα. Μπορεί να προκύψει από ζωικά απόβλητα, λιπάσματα ή από την

προηγούμενη χρήση του νερού από τον άνθρωπο. Το ιόν NH_4^+ που οξειδώνεται προκύπτει από την αποσύνθεση πραγματοποιείται σε δύο στάδια με τη βοήθεια μικροοργανισμών:



Η ύπαρξη βιολογικών ρύπων, η ανάμειξη με νερά άρδευσης ή η επίδραση αυτών υποδεικνύουν υψηλή συγκέντρωση νιτρικών ανιόντων. Η μέγιστη συγκέντρωση νιτρικών για να είναι πόσιμο το νερό έχει οριστεί από τη Ευρωπαϊκή Ένωση στα 50 mg/L, ενώ το επιθυμητό όριο έχει υπολογιστεί στα 25 mg/L (98/83/EK).

Ο ανθρώπινος οργανισμός επιβαρύνεται από τα αυξημένα νιτρικά ιόντα. Πιο συγκεκριμένα, τα νιτρικά ιόντα θεωρούνται υπεύθυνα για την παραγωγή ορισμένων τύπων καρκινογένεσης. Αυτό συμβαίνει επειδή τα αδρανή νιτρικά άλατα μετατρέπονται σε δραστικά νιτρώδη μέσα στον οργανισμό και έτσι έχουν τη δυνατότητα να παράγουν καρκινογόνα προϊόντα όπως είναι για παράδειγμα οι νιτροζαμίνες (Βουδούρης, 2006). Η αλόγιστη χρήση λιπασμάτων θα προκαλέσει την μεγέθυνση του προβλήματος των νιτρικών αλάτων στο μέλλον. Είναι λοιπόν άμεσα αναγκαία η χρήση κανονισμών για ορθές γεωργικές πρακτικές, αλλά και η προώθηση εναλλακτικών ειδών καλλιέργειας, για τη διαχείριση και τον ορθολογισμό της γεωργίας.

δ) Νιτρώδες ανιόν (NO_2^-)

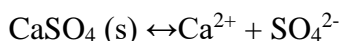
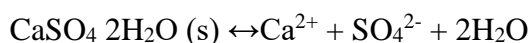
Παρουσιάζεται ως ένα βήμα βιολογικής ανασύστασης από οργανικές ουσίες που περιέχουν άζωτο, ενώ επίσης είναι εξαιρετικά ασταθές. Με τη βοήθεια μικροοργανισμών, η αμμωνία μετατρέπεται σε νιτρώδη όταν βρίσκεται σε αερόβιες συνθήκες. Η παρουσία νιτρωδών και αμμωνίας σημαίνει ότι έχει μολυνθεί από λύματα

(Βουδούρης, 2006). Η μεγαλύτερη περιεκτικότητα νιτρωδών που μπορεί να γίνει αποδεκτή είναι 0,1 mg/L.

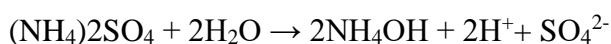
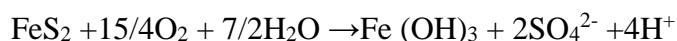
Τα νιτρώδη ιόντα μετατρέπονται σε νιτρικά με την παρουσία του φωτός και των βακτηρίων, επομένως η ύπαρξή τους στα επιφανειακά ύδατα είναι περιορισμένη.

ε) Θειικά ανιόντα (SO_4^{2-})

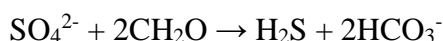
Η διάλυση γύψου και ανυδρίτη, η οξείδωση θειούχων ενώσεων (πυριτίων) που βρίσκονται σε αργιλικά πετρώματα αλλά και τα θειούχα λιπάσματα του τύπου $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ τα οποία χρησιμοποιούνται, αποτελούν τις κύριες πηγές θειικών ανιόντων, σύμφωνα με τις αντιδράσεις:



Η παραγωγή των θειικών ανιόντων από τα σουλφίδια και το θειικό αμμώνιο γίνεται με βάση τις παρακάτω αντιδράσεις:



Το νερό λειτουργεί ως καθαριστικό όταν το επίπεδο των θειικών ιόντων είναι υψηλό. Ωστόσο, το νερό με επίπεδο θειικών ιόντων πάνω από 250 mg/L καθίσταται ακατάλληλο τόσο για πόση (έχει άσχημη γεύση) όσο και για βιομηχανική χρήση. Το θείο και τα συστατικά αυτού είναι υπεύθυνα για την οσμή και τη διάβρωση. Το SO_4^{2-} μπορεί να αναχθεί κυρίως σε υδρόθειο (H_2S) με την παρουσία οργανικών υλικών, το οποίο ωστόσο έχει ενοχλητική οσμή και τείνει να προκαλεί διάβρωση στους σωλήνες νερού:



η) Φωσφορικά ιόντα

Μπορούν να βρεθούν σε πολλές μορφές στα υπόγεια ύδατα, με βάση την τιμή του pH, όπως H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} , PO_4^{3-} . Η ύπαρξή τους συνδέεται ακόμα με τη ρύπανση των λυμάτων από τα αστικά λύματα αλλά και με τη χρήση φωσφορικών λιπασμάτων στη γεωργία (Βουδούρης, 2006). Είναι τα πιο σημαντικά στοιχεία για την πρόκληση ευτροφισμού, μαζί με τα νιτρικά. Η μέγιστη επιτρεπόμενη περιεκτικότητα σε φωσφορικά άλατα στο νερό είναι 5 mg/L, με προτεινόμενη τα 0,4 mg/L.

1.7 Σκοπός

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή αποτελεί τμήμα μίας ευρύτερης μελέτης στην περιοχή του Πηνειού ποταμού. Έχει ως σκοπό την λήψη κατάλληλων στοιχείων και την ανάλυση αυτών ώστε να πραγματοποιηθεί ανάλυση για την ποιότητα του νερού και επέκταση της γνώσης σχετικά με τα νερά της περιοχής.

2. ΥΔΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1 Περιοχή μελέτης

Το συνολικό μήκος του Πηνειού ποταμού είναι 205 χιλιόμετρα, γεγονός που τον καθιστά ως ένα από τα μεγαλύτερα ποτάμια που βρίσκονται στην Ελλάδα. Επιπλέον, η συνολική του έκταση είναι στα 9.500km². Ο Πηνειός, μετά τον Αλιάκμονα (297km) και τον Αχελώο (220km), βρίσκεται στην τρίτη θέση ανάμεσα στους ελληνικούς ποταμούς. Οι πηγές του ξεκινούν στο σημείο όπου συναντώνται οι περιφέρειες Ιωαννίνων και Τρικάλων στις δυτικές πλαγιές της νότιας Πίνδου. Ο Πηνειός ποταμός έχει πολλούς παραπόταμους και συγκεκριμένα στη βόρεια πλευρά του λεκανοπεδίου είναι οι ποταμοί Τιταρήσιος, Νεοχωρίτης, Ληθαίος και Μουργκάνι. Από τη δυτική-βορειοδυτική πλευρά βρίσκονται οι ποταμοί Μαλακασιώτης, Κλεινοβίtkος, Πορταϊκός, Πάμισος. Σε ένα κομμάτι ο Αχελώος διέσχισε τη Θεσσαλία στα δυτικά βουνά, αλλά δεν συνεισφέρει στη λεκάνη απορροής του Πηνειού. Επιπλέον, στον Πηνειό διεισδύουν νερά και από τους παραπόταμους Φαρσαλιώτη, Σοφαδίτη, Ενιπέα, Καλέτζη και Καράμπαλη από τα νότια.

2.1.1 Κλίμα

Το κλίμα στα ανατολικά της περιοχής χαρακτηρίζεται μεσογειακό ενώ στην κεντρική και τη δυτική πλευρά συγκαταλέγεται ως ηπειρωτικό και ανάλογα με τη διαμόρφωση του εδάφους αποκτά δύο παραλλαγές ορεινού και πεδινού κλίματος. Η περιοχή συνήθως χαρακτηρίζεται από ψυχρούς χειμώνες και πολύ ζεστά καλοκαίρια. Επομένως, οι διαφορές που παρατηρούνται στη θερμοκρασία μεταξύ των εποχών είναι αρκετά μεγάλες. Οι πιο ψυχρότεροι μήνες συνήθως είναι οι χειμερινοί μήνες δηλαδή ο Δεκέμβριος, ο Ιανουάριος και ο Φεβρουάριος ενώ αντίθετα οι πιο θερμοί είναι ο Ιούλιος και ο Αύγουστος (Mahleras et al, 2007).

Στα δυτικά τμήματα της περιοχής της λεκάνης του ποταμού παρατηρείται σχετικά μεγάλο ύψος κατακρημνισμάτων. Αντίθετα, το πεδινό τμήμα της λεκάνης του Πηνειού χαρακτηρίζεται από μειωμένο ύψος κατακρημνισμάτων, το οποίο όμως αυξάνεται ξανά στο ανατολικό τμήμα της λεκάνης το οποίο είναι ορεινό. Οι περισσότερες βροχοπτώσεις παρατηρούνται τους μήνες Οκτώβριο μέχρι και τον Ιανουάριο, ενώ αντίθετα οι πιο ξηροί μήνες ταυτίζονται με τους πιο θερμούς, δηλαδή ο Ιούλιος και ο Αύγουστος. Η μέση ετήσια βροχόπτωση που καταγράφεται στη συνολική περιοχή της Θεσσαλίας είναι 700mm. Ωστόσο, παρατηρείται άνιση κατανομή της ποσότητας αυτής τόσο χωρικά στην περιοχή αλλά και χρονικά. Για παράδειγμα, στη Λάρισα και στον Τύρναβο που βρίσκονται στο κεντρικό τμήμα της λεκάνης, η ετήσια βροχόπτωση υπολογίζεται στα 400 – 500mm, σε αντίθεση με το Πευκόφυτο και το Περούλι που βρίσκονται σε ορεινές περιοχές όπου η ετήσια βροχόπτωση είναι στα 1300 - 1500mm αντίστοιχα.

Η μέση ετήσια νέφωση υπολογίζεται σε ένα εύρος από 4 ως 5 βαθμίδες. Στα δυτικά παρουσιάζονται οι υψηλότερες τιμές νέφωσης ενώ οι χαμηλότερες στην ανατολική περιοχή. Η μέση ετήσια υγρασία υπολογίζεται σε επίπεδα από 67 μέχρι 72%. Τέλος, δεν υπάρχει μία επικρατέστερη φορά των ανέμων που πνέουν στο διαμέρισμα, αλλά ποικίλει ανάλογα με την περιοχή. Δηλαδή, στη Λάρισα επικρατούν οι ανατολικοί άνεμοι, στο Βόλο οι βορειοδυτικοί και στα Τρίκαλα οι δυτικοί.

2.1.2 Γεωμορφολογία

Η Θεσσαλία βρίσκεται στο κεντροανατολικό τμήμα της ηπειρωτικής Ελλάδας. Αποτελείται από τους Νομούς Λάρισας, Μαγνησίας, Τρικάλων και Καρδίτσας και καλύπτει συνολική έκταση 14.036 km² (δηλαδή το 10,6% του συνόλου της έκτασης της Ελλάδας). Οι Περιφέρειες Δυτικής και Κεντρικής Μακεδονίας είναι αυτές που

συνορεύουν με τη Θεσσαλία στα βόρεια, η Περιφέρεια Στερεάς Ελλάδας στα νότια, η Περιφέρεια Ηπείρου στα δυτικά και το Αιγαίο Πέλαγος στα ανατολικά.

Σύμφωνα με την Εθνική Στατιστική Υπηρεσία, το 36,0% της περιοχής της Περιφέρειας Θεσσαλίας χαρακτηρίζεται ως πεδινό, το 17,1% χαρακτηρίζεται ημιορεινό και το 44,9% ως ορεινό. Τα ψηλά βουνά που περιβάλλουν τη θεσσαλική πεδιάδα, δηλαδή ο Όλυμπος, το νότιο τμήμα της οροσειράς της Πίνδου, ο Ιταμός, το Πήλιο και η Όθρυς, σχηματίζουν τη λεκάνη απορροής του Πηνειού ποταμού. Ο Πηνειός ποταμός διανύει ουσιαστικά όλο το μήκος αυτής της περιοχής, από τα δυτικά με κατεύθυνση προς τα ανατολικά, πριν εκβάλει στο Αιγαίο Πέλαγος (Περιβαλλοντική Γεω- Ερευνητική ΕΠΕ, 2007).

2.1.3 Γεωλογία

Η περιοχή της Θεσσαλίας κατά βάση αποτελείται από τρεις γεωτεκτονικές ζώνες που έχουν κατανομή από τα δυτικά προς τα ανατολικά. Οι γεωτεκτονικές ζώνες λέγονται «ελληνίδες ζώνες». Έτσι, οι δύο από τις τρεις ζώνες, και συγκεκριμένα η Πελαγονική και η Υποπελαγονική, ανήκουν σε εσωτερικές ελληνίδες, ενώ η μια ζώνη, η ζώνη της Πίνδου, ανήκει σε εξωτερικές ελληνίδες. Στον Θεσσαλικό χώρο επίσης σχηματίζεται η Ενότητα Όσσας. Επίσης έχουμε μολασσικά ιζήματα από τη Μεσοελληνική Αύλακα στα δυτικά, ένα μικρό τμήμα της Ζώνης Γαβρόβου - Τρίπολης στο πεδινό τμήμα της περιοχής και σύγχρονα τεταρτογενή και νεογενή ιζήματα στις πεδινές περιοχές.

Η Πελαγονική ζώνη αποτελείται από γρανιτικά σώματα του Άνω Λιθανθρακοφόρου τα οποία διείσδυσαν μέσα στα προϋπάρχοντα Παλαιοζωϊκά κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα του ηπειρωτικού φλοιού της παλιάς Κιμμερικής ηπείρου. Τα ανθρακικά πετρώματα Τριαδικού και Ιουρασικού αλλά και τα Περμοτριάδικά Μετακλαστικά

ιζήματα έχουν αποτεθεί στα ηπειρωτικά περιθώρια της ζώνης. Στη συνέχεια, εξωθήθηκαν οι οφιολιθικές μάζες που έχουν προέρθει από τις ωκεάνιες λεκάνες της Τηθύος.

Η Πελαγονική ζώνη περιέχει:

- επικλυσιογενή ιζήματα του Μ-Α Κρητιδικού (κροκαλοπαγή, μαργ. ασβεστόλιθοι, μικρολατυποπαγή, φλύσχης),
- οφιόλιθους καθώς και συνοδά ιζήματα,
- ανθρακικά καλύμματα Τριαδικού – Ιουρασικού νηριτικής φάσης,
- περμοτριάδικές μετακλαστικές ακολουθίες,
- γνευσιωμένους γρανίτες λιθανθρακοφόρου και κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο (όρθο και παρα – γνεύσιοι, αμφιβολίτες, μαρμαρυγικοί σχιστόλιθοι).

Οι οφιολιθικές μάζες οι οποίες συνοδεύονται από σχιστοκερατολιθική διάπλαση αποτελούν το βασικό χαρακτηριστικό της Υποπελαγονικής ζώνης και χαρακτηρίζονται σαν «εξωτερική οφιολιθική λωρίδα». Η ζώνη θεωρείται χαρακτηριστική της οφιολιθικής ένωσης της παλιάς ωκεάνιας περιοχής δυτικά του Πελαγονικής ηπειρωτικής περιοχής. Τα Παλαιοζωϊκά πετρώματα της Πελαγονικής καθώς και τα ιζηματογενή πετρώματα της Παλαιοζωϊκής ηλικίας συνιστούν το προαλπικό υπόβαθρο της Υποπελαγονικής.

Τριαδικά ιζήματα, όπως κυβόλιθοι, ψαμμίτες και πυριτικοί ή νεριτικοί ασβεστόλιθοι, όπως οι κόκκινοι αμμωνιτοφόροι ασβεστόλιθοι, αποτελούν τους αλπικούς σχηματισμούς της ζώνης. Συναντώνται Πελαγικοί και Νεριτικοί Ιουρασικοί Ασβεστόλιθοι, καθώς και Τριαδικοί - Ιουρασικοί Σχιστοκερατολιθικοί σχηματισμοί, όπως πράσινοι, κόκκινοι και μαύροι αργιλικόι σχιστόλιθοι, ραδιολαριτικοί κερατόλιθοι, μάργες, ψαμμίτες, πηλίτες. παρεμβολές οφιολιθικών σωμάτων, λατεριτικά σιδηρονικελιούχα κοιτάσματα, ιζήματα

Μέσο – Άνω Κρητιδικής επίκλυσης: ασβεστόλιθοι – φλύσχης, μεταλλικά ιζήματα μολασσικού τύπου (Μαντούζα, 2008).

Η ζώνη της Ωλονού - Πίνδου αναφέρεται σαν το «Ελληνικό ευγεωσύγκλινο» του Μεσοζωϊκού. Σε συνδυασμό με την Υποπελαγονική ζώνη αποτελούν τον πρώην ωκεανό της Νεοτηθύος. Στην Πίνδο, από τα τέλη του κρητιδικού μέχρι το Ηώκαινο – Κ. Ολιγόκαινο, αποτίθενται ψαμμίτες και μάργες μαζί με κροκαλοπαγή και ασβεστόλιθους. Έτσι δομείται ο κύριος «δεύτερος φλύσχης της Πίνδου», που αποτελεί τυπικό του ελληνικού χώρου. Κατά την Ιουρασική περίοδο αποτίθενται στην Αύλακα της Πίνδου ιζήματα βαθιάς θάλασσας όπως κερατολιθοί, ραδιολαρίτες, άργιλοι, ψαμμίτες, πελαγικοί πυριτικοί ασβεστόλιθοι και ιάσπιδες που αποτελούν την «Σχιστοκερατολιθική διάπλαση» (Μαντούζα, 2008).

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί της Θεσσαλίας είναι:

- Πρόσφατα χαλαρά ιζήματα. Αυτά καλύπτουν κυρίως πεδινές εκτάσεις, ενώ τις περισσότερες φορές το πάχος τους ξεπερνά τα 200m. Τα βασικότερα συστατικά τους είναι άργιλος, άμμος, χαλίκια, πηλοί και κροκαλοπαγή.
- Νεογενή - Μολασσικά ιζήματα του τριτογενούς. Εδώ ανήκουν οι: άργιλος, άμμος ασβεστόλιθοι, μάργες, ψαμμίτες, κροκαλοπαγή
- Οφιόλιθοι. Κατά βάση απαντώνται σε περιοχές στο δυτικό τμήμα. Είναι τα βασικά ως υπερβασικά πυριγενή πετρώματα με κυριότερο χαρακτηριστικό το πρασινωπό χρώμα τους.
- Ασβεστόλιθοι/μάρμαρα. Είναι ανθρακικά πετρώματα του αλπικού υποβάθρου που συνήθως είναι ανακρυσταλλωμένα και ίσως μεταμορφωμένα.

- Φλύσχη. Αποτελεί κλαστικό ιζηματογενή σχηματισμό. Ανήκει στη ζώνη της Πίνδου και της Υποπελαγονικής, εμφανίζεται κυρίως στην ορεινή περιοχή της Πίνδου ενώ τα πιο κύρια συστατικά είναι ψαμμίτες, πηλίτες και αργιλικό σχιστόλιθοι με κάποιες εναλλαγές αυτών.
- Σχιστόλιθοι οι οποίοι είναι μεταμορφωμένα πετρώματα που ανήκουν στο αλπικό υπόβαθρο της Πελαγονικής ζώνης. Αποτελούνται κυρίως από σχιστόλιθους, φυλλίτες και γενέσιους. Συναντώνται κυρίως στον Όλυμπο, την Ελασσόνα και το Πήλιο.
- Γρανίτες - Ηφαιστειακά. Οι γενεσιωμένοι γρανίτες, δηλαδή τα όξινα πλουτωνικά πετρώματα, παρουσιάζονται συχνά στα σχιστολιθικά πετρώματα της Πελαγονικής ζώνης. Η πιο εκτεταμένη εμφάνιση έχει παρατηρηθεί στο γρανίτη της Δεσκάτης.

Ο Κωτούλας το 2001 ταξινόμησε τα πετρώματα με βάση παράγοντες όπως το είδος, η ένταση, το μέγεθος και το μείγμα χειμαρρικών φαινομένων που χαρακτηρίζουν ορυκτά ή πετρώματα. Έτσι στην πορεία παρουσιάστηκαν οι εξής χειμαρρικοί - πετρολογικοί σχηματισμοί:

- Ασβεστολιθικός σχηματισμός: ασβεστόλιθοι, δολομίτες και κερατόλιθοι.
- Φλυσχικός σχηματισμός: γεωλογικός σχηματισμός του φλύσχη.
- Σχιστολιθικός σχηματισμός: πάσης φύσεως σχιστόλιθοι
- Κρυσταλλοπυριγενής σχηματισμός: γενέσιοι, γρανίτες, σερπεντινίτες, αμφιβολίτες, πρασινίτες, βασάλτες διορίτες κλπ.
- Νεογενής σχηματισμός: άμμοι, άργιλοι, μάργες, κροκαλώδη, κροκαλοπαγή, λατυπόδη, λατυποπαγή, ψαμμίτες, ψαμόλιθοι.

- Προσχωσιγενής σχηματισμός: καλλιεργούμενα εδάφη, προσχωσιγενών, πεδινών ή ημιπεδινών περιοχών (απλά πετρώματα).

2.1.4 Υδρολογικά-υδρογραφικά στοιχεία

Στην περιοχή της Θεσσαλίας απαντώνται δύο υδρογεωλογικές λεκάνες οι οποίες διακρίνονται σε Δυτικής και Ανατολικής Θεσσαλίας

Η υδρογεωλογική λεκάνη της δυτικής Θεσσαλίας εκτείνεται στην πεδιάδα που περικλείεται από την Καλαμπάκα, τα Τρίκαλα, την Καρδίτσα, τους Σοφάδες και τα Φάρσαλα. Από την άλλη, η υδρογεωλογική λεκάνη ανατολικής Θεσσαλίας περικλείει ολόκληρη την πεδινή περιοχή που εκτείνεται από τον Τύρναβο στον Αμπελώνα, στη συνέχεια στο Ομορφοχώρι, στον Πλατύκαμπο, στη Λίμνη Κάρλα, στα Κανάλια και τέλος στο Ριζόμυλο (ΕΘΙΑΓΕ, 2001). Ακόμα, οι δύο λεκάνες παρουσιάζουν ίδιο άξονα ανάπτυξης με διεύθυνση ΒΔ – ΝΑ, ενώ το μεγάλο και πυκνό υδρογραφικό τους δίκτυο αποστραγγίζεται με κυρίως στον Πηνειό. Περιμετρικά των δύο βασικών λεκανών έχουν αναπτυχθεί και πολλές μικρότερες σε έκταση περιφερειακές υδρογεωλογικές λεκάνες και υδατικά καρστικά διαμερίσματα. Αυτές οι περιοχές έχουν τη δυνατότητα να λειτουργούν ως αυτόνομα και αυτοτελή υδρολογικά συστήματα τα οποία έχουν από ελάχιστη έως ακόμα και μηδενική υδραυλική σύνδεση με τις βασικές υδρογεωλογικές λεκάνες.

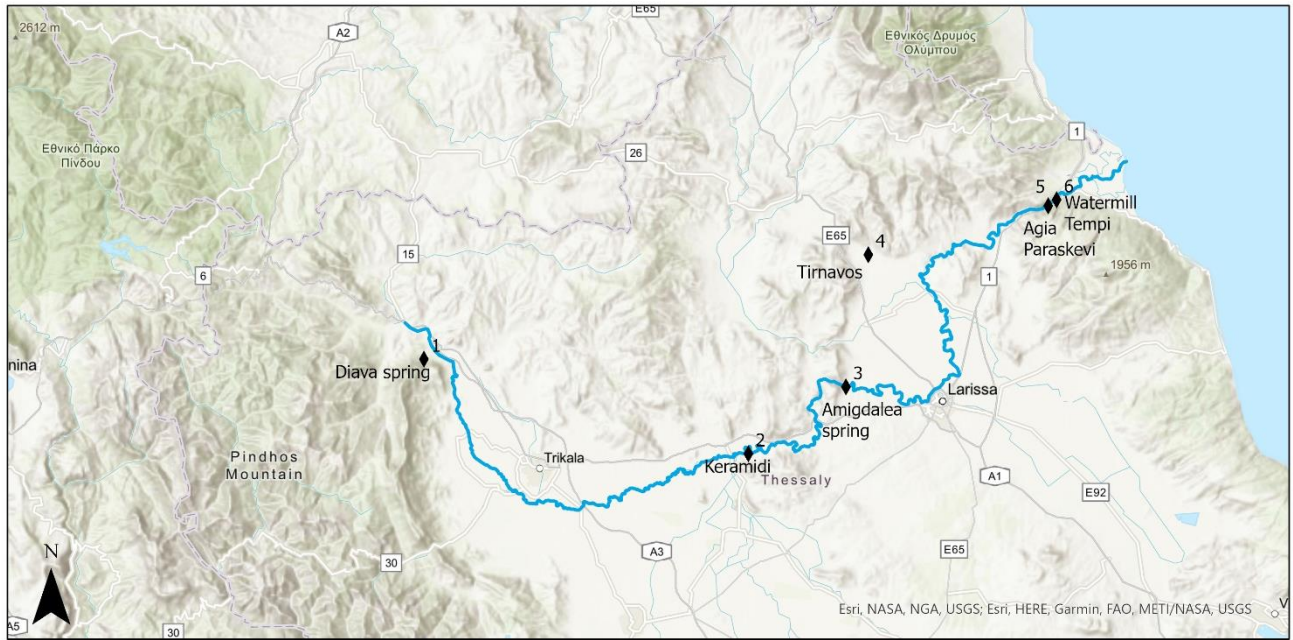
Σε όλες τις υδρογεωλογικές λεκάνες έχουν αναπτυχθεί υδροφορείς, οι οποίοι είναι υποσύνολα της υδρογεωλογικής λεκάνης με τις μοναδικές υδρογεωλογικές τους ιδιότητες, χωρίς να επηρεάζεται η ομοιόμορφη φύση της υδραυλικής και υδρολογικής σύνδεσης που συμβαίνει μεταξύ ζωνών υδροφορίας της ίδιας υδρογεωλογικής λεκάνης (Μαντούζα, 2008).

2.2 Δειγματοληψία

Η προέλευση των δειγμάτων του νερού, που προορίζονται για τον έλεγχο της ποιότητάς του, ποικίλει. Όταν πρόκειται για δείγματα νερού ποταμών μπορούμε να λάβουμε το δείγμα από πηγές, πηγάδια και γεωτρήσεις. Για να θεωρηθεί αξιόπιστη η δειγματοληψία και ανάλογα με τις χρήσεις γης, θα πρέπει να λαμβάνονται επιπλέον δείγματα σε μία σχετική απόσταση από το αρχικό σημείο ώστε να είναι δυνατή η σύγκριση των δεδομένων καθώς και η αποφυγή λανθασμένων στοιχείων.

Η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε κατά τον Ιούλιο του 2020 σε έξι πηγές στην παραποτάμια περιοχή του Πηνειού οι οποίες χαρακτηρίζονται από υψηλές παροχές. Η δειγματοληψία είχε σκοπό την σύγκριση των ποιοτικών χαρακτηριστικών των πηγών και πραγματοποιήθηκε στα σημεία ανάβλυσσης του νερού. Τα δείγματα που λήφθηκαν τοποθετήθηκαν σε δοχεία πολυαιθυλενίου, αποθηκεύτηκαν σε φορητό ψυγείο με θερμοκρασία 4°C μέχρι τη μεταφορά τους στο Εργαστήριο Ωκεανογραφίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Εκεί αποθηκεύτηκαν μέχρι να πραγματοποιηθεί η διαδικασία των αναλύσεων.

Συγκεκριμένα, τα σημεία της δειγματοληψίας ήταν οι πηγές (1) Διάβας, (2) Μάτι Κεραμιδίου, (3) Αμυγδαλέας, (4) Μάτι Τυρνάβου, (5) Αγίας Παρασκευής και (6) Υδροτριβείου Τεμπών όπως φαίνονται και στην Εικόνα 2.1.



— Πηνειός ποταμός
 ◆ Σταθμοί Δειγματοληψίας 1. Πηγή Διάβα, 2. Κεραμίδι, 3. Αμυγδαλέα, 4. Τύρναβος, 5. Αγία Παρασκευή, 6. Υδροτριβείο Τεμπών

Εικόνα 2.1: Τα σημεία δειγματοληψίας κατά μήκος του Πηνειού (GIS)

2.3 Προετοιμασία δειγμάτων

Στα υδατικά δείγματα γενικά δεν είναι απαραίτητο να πραγματοποιηθεί διαλυτοποίηση, με εξαίρεση περιπτώσεις όπως για παράδειγμα σε δείγματα υγρών αποβλήτων που έχουμε μεγάλη περιεκτικότητα αιωρούμενων στερεών. Τα δείγματα νερού που προορίζονται για χημική ανάλυση παρασκευάζονται συνήθως με διήθησή τους χρησιμοποιώντας φίλτρο οπής 0.45 μm. Για να αποφευχθεί η τυχόν απώλεια διαλυμένων μετάλλων, τα δείγματα φυσικού νερού φιλτράρονται και οξινίζονται κατά τη συλλογή τους στην ύπαιθρο (Αργυράκη, 2007).

2.4 Μέθοδοι χημικής ανάλυσης των δειγμάτων ύδατος

2.4.1 pH

Ο εξοπλισμός βαθμονομήθηκε χρησιμοποιώντας ρυθμιστικά διαλύματα, σύμφωνα πάντα με τις απαιτήσεις του κατασκευαστή, με σκοπό τον προσδιορισμό του pH των δειγμάτων νερού. Το ηλεκτρόδιο του πεχάμετρου ξεπλένεται με απιονισμένο νερό πριν από κάθε χρήση. Στη συνέχεια, σε ένα πλαστικό ποτήρι ζέσεως μεταφέρθηκαν 100 ml νερού, βυθίσαμε το ηλεκτρόδιο στο δείγμα υπό ανάδευση και η ένδειξη που μας ενδιαφέρει είναι στο σημείο όπου σταθεροποιείται το όργανο.

Η θερμοκρασία του δείγματος υπολογίστηκε χρησιμοποιώντας το ίδιο όργανο που χρησιμοποιήθηκε για τον έλεγχο του pH. Η διαδικασία στην συνέχεια πραγματοποιήθηκε ξανά αλλά με διαφορετική ποσότητα δείγματος ώστε η διαφορά των δύο αποτελεσμάτων ήταν μικρότερη από 0.1 μονάδα. Το τελικό αποτέλεσμα των μετρήσεων τόσο του pH αλλά και της θερμοκρασίας δόθηκε με ένα δεκαδικό ψηφίο. Για να αποφευχθεί κάποιο πιθανό ηλεκτροστατικό φαινόμενο, το ηλεκτρόδιο του οργάνου καθαρίστηκε με απιονισμένο νερό και στη συνέχεια, πριν την επανάληψη της μέτρησης, σκουπίστηκε εντελώς χωρίς ένταση.

2.4.2 Θερμοκρασία νερού (T°)

Η θερμοκρασία (T°) αποτελεί ένα βασικό παράγοντα σε όλες τις φυσικοχημικές και βιολογικές διεργασίες. Για τον υπολογισμό της απαιτείται μια σχετικά εύκολη τεχνική και είναι ένα ζωτικής σημασίας συστατικό που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά τη μελέτη ενός συστήματος νερού. Η θερμοκρασία και η ηλεκτρική αγωγιμότητα (E.C.) των δειγμάτων μετρήθηκαν ταυτόχρονα.

2.4.3 Ηλεκτρική Αγωγιμότητα (EC)

Ο μετρητής αγωγιμότητας, δηλαδή το αγωγιμόμετρο, ενεργοποιήθηκε σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή για τον προσδιορισμό της ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Τοποθετήθηκαν 80 ml δείγματος σε αποστειρωμένο ποτήρι ζέσεως συνολικής χωρητικότητας 100 ml. Μετά από αυτό, η κυψελίδα βυθίστηκε στο δείγμα μέχρι να επικαλυφθεί πλήρως. Η τιμή καταγράφηκε στο σημείο όπου σταθεροποιήθηκε η ένδειξη του οργάνου.

Το διάλυμα εσωτερικού ελέγχου παρασκευάστηκε με τον ίδιο τρόπο όπως το δείγμα, με μοναδική εξαίρεση ότι στο δείγμα προστέθηκαν 80 ml του διαλύματος εσωτερικού ελέγχου. Τα αποτελέσματα των αναλύσεων δόθηκαν σε $\mu\text{S}/\text{cm}$ (στους 25°C), ενώ η θερμοκρασία του δείγματος υπολογίστηκε ταυτόχρονα.

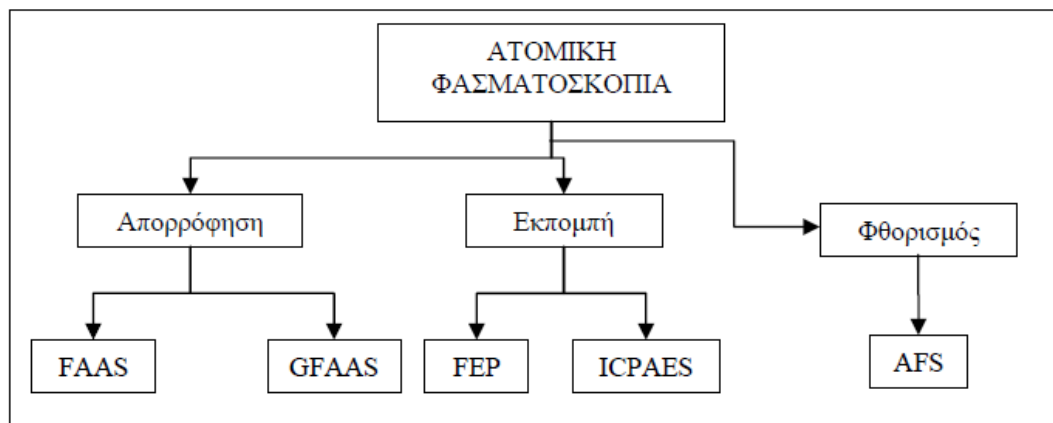
2.4.4 Ιόντα ασβεστίου (Ca^{2+}), μαγνησίου (Mg^{2+}), νατρίου (Na^{+}) και καλίου (K^{+})

Τα ιόντα του ασβεστίου καθώς και τα ιόντα μαγνησίου προσδιορίζονται με τη χρήση της ατομικής απορρόφησης και συγκεκριμένα την τεχνική φλόγας. Για τα ιόντα καλίου και τα ιόντα νατρίου από την άλλη, γίνονται με την τεχνική του φλωγοφωτόμετρου.

2.4.4.1 Ατομική απορρόφηση

Η ατομική φασματοσκοπία (AS) και η φασματοσκοπία μάζας (MS) είναι οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενες αναλυτικές μέθοδοι για τη χημική ανάλυση διαλυμάτων.

Οι τεχνικές της AS χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες με βάση τον τρόπο με τον οποίο τα άτομα αλληλοεπιδρούν με το φως. Οι κατηγορίες αυτές είναι η απορρόφηση, η εκπομπή και ο φθορισμός (Εικ. 2.2).



Εικόνα 2.2: Τεχνικές ατομικής φασματοσκοπίας

2.4.4.2 Φασματοσκοπία ατομικής απορρόφησης

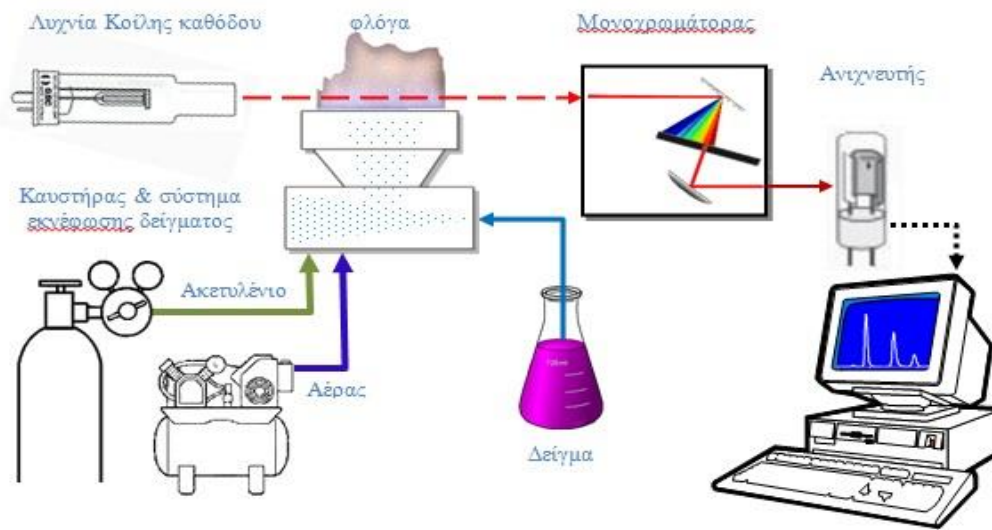
Η ποσότητα της προσπίπτουσας ακτινοβολίας που προσλαμβάνεται σε ένα συγκεκριμένο μήκος κύματος, καθώς και αυτή που διεισδύει στο ατομικό νέφος, είναι και οι δύο παράγοντες της ατομικής απορρόφησης. Η ποσότητα της ακτινοβολίας που απορροφάται από το νέφος αυξάνεται καθώς αυξάνεται ο αριθμός των ατόμων που συμμετέχουν σε αυτό. Σε αυτή την προσέγγιση, η απορροφούμενη ακτινοβολία μπορεί να σχετίζεται ποσοτικά με το υπό διερεύνηση στοιχείο.

Είναι δυνατό να προσδιοριστούν ακόμη και μέταλλα παρουσία άλλων στοιχείων και χρησιμοποιώντας συγκεκριμένες πηγές ακτινοβολίας και με την επιλογή κατάλληλου μήκος κύματος στη δέσμη (Μαυρομάτης, 2003). Η θερμική ενέργεια παρέχεται στο δείγμα με αποτέλεσμα οι ενώσεις να διασπαστούν σε ελεύθερα άτομα και να σχηματιστεί το νέφος που είναι απαραίτητο για να πραγματοποιηθούν οι μετρήσεις ατομικής

απορρόφησης. Τα άτομα του στοιχείου που μετριέται παραμένουν στη θεμελιώδη τους κατάσταση και έτσι προσροφούν φως συγκεκριμένου μήκους κύματος από μια πηγή.

Τα κύρια σημεία ενός φασματομέτρου ατομικής απορρόφησης σύμφωνα με τους Παπαδογιάννη και Σαμανίδου (1996) είναι: (Εικ. 2.3)

1. η πηγή η οποία εκπέμπει το ατομικό φάσμα για ένα ή και περισσότερα συγκεκριμένα στοιχεία
2. ο ατομοποιητής (δηλ. φούρνος με γραφίτη ή φλόγα). Η φλόγα αποτελείται από ένα συνδυασμό αερίων τα οποία σχηματίζονται στον καυστήρα, μέσα στον οποίο το δείγμα εκνεφώνεται, δηλαδή ατμοποιείται, και απορροφά από τη δέσμη φωτός που διέρχεται από αυτόν, και ο φούρνος γραφίτη, στον οποίο εισάγεται το δείγμα, αποτεφρώνεται και ατμοποιείται κάτω από ειδικές συνθήκες για κάθε στοιχείο.
3. ο μονοχρωμάτορας ο οποίος διαχωρίζει το συγκεκριμένο μήκος του στοιχείου που ερευνάται από όλα τα υπόλοιπα μήκη κύματος.
4. ο ανιχνευτής ο οποίος παράγει ποσότητα ρεύματος σε αναλογία με την ένταση της ακτινοβολίας που λαμβάνει.
5. η συσκευή που επεξεργάζεται και ενισχύει το σήμα το οποίο τελικά στέλνει σε έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή παρουσιάζοντας τα αποτελέσματα



Εικόνα 2.3: Διάταξη της διαδικασίας της ατομικής απορρόφησης (Μαυρομάτης, 2003).

Η ατομική φασματοσκοπία είναι μια ομάδα τεχνικών φασματοσκοπικής ανάλυσης που βασίζονται στον τρόπο που τα άτομα αλληλοεπιδρούν με την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Η ατομική φασματοσκοπία κατά βάση εξαρτάται από την ατομοποίηση ενός δείγματος σε θερμοκρασίες εξαιρετικά υψηλές και στην καταμέτρηση της απορρόφησης, ή της εκπομπής ή του φθορισμού στο χαρακτηριστικό μήκος κύματος κάθε στοιχείου για τον προσδιορισμό της περιεκτικότητας του ατόμου (Λιοδάκης 2003).

Το μηχανικό κομμάτι του φασματόμετρου ατομικής απορρόφησης είναι υπεύθυνο για τη δημιουργία ατόμων από το δείγμα, ενώ το οπτικό τμήμα είναι υπεύθυνο για την ατομική απορρόφηση της εξωτερικής πηγής ακτινοβολίας.

Η ατομοποίηση, ή απόκτηση μορφής ατόμων, εφαρμόζεται στο δείγμα που θα μελετηθεί πρώτα. Για να ξεκινήσει η διαδικασία, το υγρό δείγμα απορροφάται εκνεφωτή και μετατρέπεται σε μικρά σταγονίδια. Μετά από μια σειρά απωλειών και αποτυχιών, αυτές

οι σταγόνες διεισδύουν στη φλόγα. Τα άτομα που δημιουργούνται στη φλόγα, από τα οποία τα περισσότερα εμφανίζονται στη θεμελιώδη τους κατάσταση, διέρχονται από την οπτική δέσμη της πηγής ακτινοβολίας και στη συνέχεια διεγείρονται. Ένα μονοχρωματικό σύστημα και ένας ανιχνευτής χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση της απορρόφησής τους. Η απορρόφηση της ακτινοβολίας είναι ανάλογη με τη συγκέντρωση του στοιχείου που έχουμε επιλέξει.

Για συγκεντρώσεις της τάξης των mg/l (ppm), η πιο συχνή τεχνική ατομοποίησης είναι με φλόγα. Η θερμοκρασία της φλόγας καθορίζεται από το είδος του καυσίμου και του οξειδωτικού που χρησιμοποιείται επιτυγχάνοντας θερμοκρασίες έως και 2550° C. Ο πιο συνηθισμένος συνδυασμός καυσίμου και οξειδωτικού αποτελείται από ακετυλένιο και αέρα. Μία από τις πιο σημαντικές απαιτήσεις είναι το δείγμα να εισαχθεί στη φλόγα με σταθερό, συνεπή και ομοιόμορφο ρυθμό (Λιοδάκης 2003, Αργυράκη 2007).

Με σκοπό τον υπολογισμό των συγκεντρώσεων των ιόντων Ca^{+2} , Mg^{2+} , Na^{+} και K^{+} ποσοτικά, χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος φλογοφωτομέτρησης και συγκεκριμένα με τη χρήση των φασμάτων εκπομπής σε φλόγα. Για τη διαδικασία, αρχικά ανοίγεται το φλογοφωτόμετρο με σκοπό να δημιουργηθεί η φλόγα (η βαλβίδα φιάλης προπανίου, η οποία είναι προσαρτημένη στον φλωγοφωτόμετρο, ανοίγει, τροφοδοτώντας την απαιτούμενη ποσότητα καυσίμου στο όργανο και η φλόγα δημιουργείται πιέζοντας έναν συγκεκριμένο διακόπτη στον μετρητή φλόγας). Το όργανο παραμένει ανοιχτό για 30min έως ότου να σταθεροποιηθεί η φλόγα. Στη συνέχεια είναι δυνατό να πραγματοποιηθεί η βαθμονόμηση του οργάνου. Η φάση αυτή αποτελεί βασικό σημείο της διαδικασίας και βασίζεται στην αρχή του ψεκασμού της φλόγας του οργάνου (μπλε χρώματος) με τα πρότυπα διαλύματα που περιέχουν γνωστές συγκεντρώσεις των επιθυμητών στοιχείων για μέτρηση, αλλά και με ένα τυφλό διάλυμα (περιέχει διάφορες ουσίες αλλά όχι τις

επιθυμητές), με τη βοήθεια ενός σωλήνα με διάμετρο πάρα πολύ μικρή. Με τον τρόπο αυτό, η φλόγα αποκτά ένα συγκεκριμένο χρώμα. Το κάθε χρώμα είναι διαφορετικό και συγκεκριμένο για κάθε ένωση. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα μόρια της κάθε ένωσης διασπώνται σε άτομα όταν εισέρχεται η ένωση στη φλόγα. Τα άτομα στη συνέχεια διεγείρονται και η ακτινοβολία παρατηρείται κατά την αποδιέγερσή τους. Η φύση του στοιχείου που εισέρχεται στη φλόγα καθορίζει το μήκος κύματος της ακτινοβολίας που απελευθερώνεται, δηλαδή καθορίζει χρώμα που θα αποκτήσει η φλόγα. Χρησιμοποιώντας κατάλληλα οπτικά φίλτρα, αυτή η εκπομπή σε ένα συγκεκριμένο μήκος κύματος μπορεί να διαχωριστεί και να ανιχνευθεί από έναν φωτοανιχνευτή. Η συγκέντρωση του στοιχείου στο δείγμα που εγχέεται στη φλόγα υπολογίζεται από την ένταση της ακτινοβολίας που απελευθερώνεται.

Τα φλωγοφωτόμετρα χρησιμοποιούν φίλτρα απορρόφησης καθώς και φωτοανιχνευτές που λειτουργούν σαν φωτοκύτταρα στο οπτικό τους σύστημα. Ένας διακόπτης ψηλά στον μετρητή φλόγας χρησιμοποιείται για την επιλογή της χημικής ουσίας που θα μετρηθεί (Ca^{+2} , Mg^{2+} , Na^+ και K^+).

Στη συνέχεια, το εύρος τιμών της προς μέτρηση ουσίας ρυθμίζεται με ροδέλα και η τιμή 0 σταθεροποιείται χρησιμοποιώντας υπερκάθαρο νερό «καρασμένου» σε ποτήρι ζέσεως (τυφλό διάλυμα) που τοποθετείται στη μοναδική και συγκεκριμένη εσοχή του φλωγοφωτόμετρου.

Ο εξειδικευμένος σωλήνας της συσκευής είναι κατάλληλα κορεσμένος σε υπερκάθαρο νερό και ως εκ τούτου τραβάει τη απαιτούμενη ποσότητα νερού (περίπου 3-6 ml/min), η οποία αρκεί για να ραντίσει τη φλόγα του οργάνου. Επειδή τα μόρια της χημικής ουσίας που εισέρχεται στη φλόγα διασπώνται σε άτομα, η φλόγα χρωματίζεται με μια

συγκεκριμένη απόχρωση που είναι χαρακτηριστική του υπερκαθαρού νερού και στο σημείο αυτό γίνεται πιο έντονο μπλε. Έτσι με την ίδια διαδικασία προχωράει η βαθμονόμηση.

2.4.5 Χλωροϊόντα (Cl⁻)

Στην ανάλυση για την ογκομέτρηση του δείγματος μεταφέρουμε σε κωνική φιάλη η οποία έχει χωρητικότητα 250 ml και λευκό προσδιορισμό, ποσότητα δείγματος 100 ml σε θερμοκρασία περιβάλλοντος με σιφόνιο μιας χαραγής Class A. Το pH των δειγμάτων δεν ήταν εκτός του εύρους 5 έως 9,5, επομένως δε χρειάστηκε ρύθμιση του pH με διάλυμα νιτρικού οξέος ή υδροξειδίου του νατρίου

Έπειτα, προστέθηκε διάλυμα χρωμικού καλίου σε ποσότητα 1 ml και με συγκέντρωση 100 g/l. Με τη βοήθεια προχοΐδας πραγματοποιήθηκε η ογκομέτρηση του διαλύματος. Ακόμα, διάλυμα νιτρικού αργύρου προστέθηκε σε ποσότητα 0,02 mol/l με σκοπό το χρώμα του διαλύματος να γίνει φαιοκόκκινο. Η απόχρωση εξαφανίστηκε μόλις προστέθηκε μια σταγόνα διαλύματος χλωριούχου νατρίου (0,02 mol/l) όπως ήταν αναμενόμενο. Σε διαδοχικές τιτλοδοτήσεις, τα ογκομετρικά δείγματα χρησιμοποιήθηκαν ως σύγκριση. Καταγράφηκε η ποσότητα AgNO₃ που καταναλώθηκε καθώς και ο συνολικός όγκος του δείγματος.

Τέλος, έγινε προσδιορισμός για το τυφλό δείγμα. Η περιεκτικότητα των χλωροϊόντων υπολογίστηκε σε mg/l και τελικά προέκυψε με τον εξής τύπο: $P_{Cl} = (V_s - V_b) * c * f / V_a$, όπου c ήταν η συγκέντρωση του διαλύματος νιτρικού αργύρου σε mol/l, όπου f έχουμε το συντελεστή μετατροπής δηλαδή 35,453 mg/mol, το V_s δηλώνει την ποσότητα της κατανάλωσης του νιτρικού αργύρου για το δείγμα εκφρασμένη σε ml, το V_b παρουσιάζει την κατανάλωση του νιτρικού αργύρου για το τυφλό δείγμα σε ml και τέλος V_a δηλώνει τον όγκο του δείγματος σε ml HCO₃⁻ και CO₃²⁻.

2.4.6 Αλκαλικότητα (HCO_3^-)

Για τον προσδιορισμό των όξινων ανθρακικών (HCO_3^-) απαιτείται να προηγηθεί ο υπολογισμός του ανθρακικού ιόντος CO_3^{2-} . Η διαδικασία ξεκινάει με άνυδρο Na_2CO_3 και το δείκτη Bromocresol Green. Προσθέτουμε 0,15 g Bromocresol Green σε 100 ml αιθανόλης 96% (v/v) και σταγόνες NaOH 0,1 N μέχρι το κόκκινο χρώμα να μετατραπεί σε σκούρο κόκκινο (ποσότητα περίπου ίση με 1,5 ml) και ακολουθεί ανάδευση. Στη συνέχεια για το δείκτη Methyl Red διαλύουμε 0,1 g methyl red σε 100 ml αιθανόλης 96% (v/v). Για το μικτό δείκτη Bromocresol Green - Methyl Red αναμιγνύουμε με συγκεκριμένη 1:1 αναλογία. Πρότυπος τιτλοδότης H_2SO_4 0.05 N: 1,4 ml H_2SO_4 96% (w/w), πυκνότητας $d= 1,835$ αραιώνεται μέχρι όγκου 1000 ml με απεσταγμένο νερό (1 ml = 0,05 meq CO_3^{2-} = 0,05 meq HCO_3^-).

Για αυτό το διάλυμα, $f_{\text{H}_2\text{SO}_4}$, ο συντελεστής διόρθωσης υπολογίζεται ως εξής: ζυγίζονται ακριβώς 100 mg του Na_2CO_3 που έχουν λειοτριβηθεί και στη συνέχεια έχουν ξηρανθεί για 2 ώρες στους 270°C και στη συνέχεια μεταφέρονται σε κωνική φιάλη χωρητικότητας 250 ml. Αφού το διαλύουμε σε απεσταγμένο νερό 35 ml, προσθέτουμε τρεις σταγόνες του δείκτη Bromocresol Green και Methyl Red.

Στη συνέχεια, χρησιμοποιώντας τον τυπικό τιτλοδότη H_2SO_4 0.05 N, πραγματοποιούμε ογκομέτρηση μέχρι να αλλάξει το χρώμα από πράσινο σε καφέ και τελικά σε κόκκινο. Κατόπιν επιφέρουμε βρασμό στο διάλυμα ώστε να επιτευχθεί απομάκρυνση του CO_2 , έπειτα ψύχουμε και προχωράμε στην τιτλοδότηση έως ότου το χρώμα αλλάξει ξανά σε κόκκινο (1 ml H_2SO_4 0.05 N = 2.65 mg Na_2CO_3).

Ο συντελεστής διόρθωσης $f_{\text{H}_2\text{SO}_4}$ δίνεται από τον τύπο:

$$f_{\text{H}_2\text{SO}_4} = w/2.65 \times V$$

όπου :

V = ml τιτλοδότη που καταναλώθηκαν και

w = mg ζυγισθέντος Na_2CO_3 .

Ο δείκτης φαινολοφθαλεΐνης στη συνέχεια παρασκευάστηκε με διάλυση 500 mg από το αντιδραστήριο σε 50 ml διαλύματος αιθυλικής αλκοόλης και προσθήκη απεσταγμένου νερού ποσότητας 50 ml με συνεχόμενη ανάδευση.

Προσθέστε τρεις σταγόνες δείκτη φαινολοφθαλεΐνης σε 50 ml δείγματος σε κωνική φιάλη χωρητικότητας 250 ml έως ότου το διάλυμα αποκτήσει διαφορετική απόχρωση και να χάσει το χρώμα του ($\text{pH} = 8,3$). Εάν δεν υπάρχει ρόδινη απόχρωση μετά την προσθήκη φαινολοφθαλεΐνης, σημαίνει ότι δεν υπάρχουν ανθρακικά ιόντα.

Δεδομένου ότι 1 ml H_2SO_4 0.05 N ισοδυναμεί με 0.05 meq ανθρακικών ιόντων, έχουμε:

$$[\text{CO}_3^{2-}] \text{ (meq/l)} = 50 \times A / \text{ml δείγματος} \times f_{\text{H}_2\text{SO}_4}$$

όπου:

A = Κατανάλωση H_2SO_4 0.05 N σε ml

$f_{\text{H}_2\text{SO}_4}$ = συντελεστής διόρθωσης τιτλοδότη.

Συνεχίσαμε με τον υπολογισμό των όξινων ανθρακικών ιόντων (HCO_3^-). Για τον πρότυπο τιτλοδότη H_2SO_4 0.05 N: 1,4 ml H_2SO_4 96% (w/w), πυκνότητας $d = 1,835$ αραιώνεται με απεσταγμένο νερό μέχρι ο όγκος να είναι 1000 ml (1 ml = 0,05 meq CO_3^{2-} = 0,05 meq HCO_3^-).

Για το δείκτη πορτοκαλόχρουν του μεθυλίου διαλύσαμε 50 mg του νατριούχου άλατος του methyl orange σε 100 ml H_2O , τα οποία περιέχουν 15,2 ml διαλύματος 0.01 N HCl.

Η βέλτιστη διάλυση προκαλείται ύστερα από ήπια θέρμανση ενώ στη συνέχεια και αφού κρυώσει το διάλυμα ακολουθεί η διαδικασία διήθησης σε περίπτωση που δεν είναι διαυγές.

Μετά την τιτλοδότηση του CO_3^{2-} , προσθέσαμε τρεις σταγόνες πορτοκαλί μεθυλίου στο ίδιο δείγμα, με αποτέλεσμα το διάλυμα να γίνει κίτρινο παρουσία όξινων ανθρακικών ιόντων. Για να πραγματοποιηθεί ογκομέτρηση χρησιμοποιούμε μαγνητικό αναδευτήρα και διάλυμα H_2SO_4 0.05 N μέχρι να έχει ανοιχτό κόκκινο χρώμα. Στη συνέχεια προσθέτουμε απεσταγμένο νερό 50 ml και τρεις σταγόνες πορτοκαλόχρουν του μεθυλίου καθώς και 0,05 ml διαλύματος H_2SO_4 0.05 N και έτσι προκύπτει το τελικό χρώμα. Με δεδομένο ότι 1 ml H_2SO_4 0.05 N είναι ίσο με 0,05meq όξινων ανθρακικών ιόντων προκύπτει:

$$[\text{HCO}_3^-] \text{ (meq/l)} = 50 \times (\text{B}-\text{A}) / \text{ml δείγματος} \times f_{\text{H}_2\text{SO}_4}$$

όπου:

B = Κατανάλωση H_2SO_4 0.05 N σε ml για τον προσδιορισμό των HCO_3^-

A = Κατανάλωση H_2SO_4 0.05 N σε ml για τον προσδιορισμό των CO_3^{2-} .

$f_{\text{H}_2\text{SO}_4}$ = συντελεστής διόρθωσης του τιτλοδότη

2.4.7 Αμμωνιακά – Νιτρικά – Νιτρώδη

Για να είναι δυνατή η συντήρηση των θρεπτικών αλάτων (αμμωνιακά, νιτρικά, νιτρώδη, φωσφορικά) μέχρι τη διαδικασία των αναλύσεων με φασματοφωτόμετρο, προστέθηκε σε όλα τα δείγματα χλωριούχος υδράργυρος (1 ml HgCl_2 σε 1 l δείγματος) και αποθηκεύτηκαν στους -200°C (Νεοφύτου, 2007).

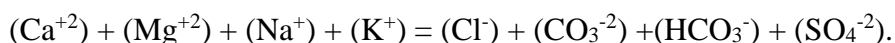
Αμμωνιακά: Για να προσδιοριστεί η συγκέντρωση των αμμωνιακών αλάτων προστέθηκε ποσότητα αντιδραστηρίου φαινόλης-αλκοόλης σε ποσότητα νερού, οξειδωτικό διάλυμα καθώς και σιδηρούχος καταλύτης. Έπειτα τοποθετήθηκε κάτω από υπεριώδες φως για 40 λεπτά με θερμοκρασία 22-27°C με σκοπό να αναπτυχθεί χρώμα. Τελικά μετρήθηκε η οπτική απορρόφηση στα 640 nm έναντι δισαπασταγμένου νερού (Liddicoat et al., 1974).

Νιτρικά: Ο προσδιορισμός των νιτρικών αλάτων στο θαλασσινό νερό βασίζεται στην ιδιότητά τους να ανάγονται ποσοτικά σε νιτρώδη κατά τη διέλευση από γυάλινη στήλη που περιέχει κόκκους καδμίου περιβαλλόμενων από μεταλλικό χαλκό (Νεοφύτου, 2007). Τα νιτρώδη που προκύπτουν από την αναγωγή προσδιορίζονται με διαζώτωση με σουλφαναμιδή και σχηματισμό αζωχρώματος με N-(1-ναφθυλ)-αιθυλενοδιαμίνη. Το αζώχρωμα μετριέται φασματοφωτομετρικά σε μήκος κύματος 543 nm έναντι απασταγμένου νερού. Ως πρότυπο διάλυμα χρησιμοποιείται νιτρικό κάλιο (KNO_3) συγκέντρωσης 20 $\mu\text{g-at N l}^{-1}$ (Parsons et al., 1984).

Νιτρώδη: Τα νιτρώδη άλατα του δείγματος αντιδρούν πρώτα με σουλφαναμιδή σε όξινο περιβάλλον. Η προκύπτουσα διαζωένωση αντιδρά με N-(1-ναφθυλ)-αιθυλενοδιαμίνη και σχηματίζει ένα έντονο αζώχρωμα που μετριέται φασματοφωτομετρικά σε μήκος κύματος 543 nm έναντι απασταγμένου νερού. Ως πρότυπο διάλυμα χρησιμοποιείται νιτρώδες νάτριο (NaNO_2) συγκέντρωσης 50 $\mu\text{g-at N l}^{-1}$ (Parsons et al., 1984).

2.4.8 Θεϊκά ιόντα (SO_4^{-2})

Η συγκέντρωση (SO_4^{-2}) σε meq/l , προσδιορίστηκε υπολογιστικά με δεδομένο ότι ισχύει η σχέση:



2.4.9 Φωσφορικά ιόντα (PO_4^{-3})

Για να προσδιορίσουμε τα φωσφορικά ιόντα προχωρήσαμε σε ανάπτυξη χρώματος, του μολυβδαινικού-φωσφορικού συμπλόκου. Η απορρόφηση υπολογίστηκε με τη χρήση φασματοφωτόμετρου, σε μήκος κύματος 840-888 nm.

Για την παρασκευή του αντιδραστηρίου Α, διαλύθηκαν 12 g $(\text{NH}_4)_6\text{MO}_7\text{O}_{24}\text{H}_2\text{O}$ μέσα σε απεσταγμένο νερό ποσότητας 250 ml με παράλληλη θέρμανση και ακόμα 0,2908 g $\text{KSbOC}_4\text{H}_4\text{O}_6$ σε 100 ml απεσταγμένου νερού. Στη συνέχεια, τα διαλύματα προστέθηκαν μέσα σε φιάλη χωρητικότητας 2000 ml που ήδη περιείχαν 1000 ml διάλυμα H_2SO_4 5N, αναμείχθηκαν καλά και τέλος προστέθηκαν μέχρι ο όγκος να φτάσει 2000 ml. Το τελικό διάλυμα τοποθετήθηκε και παρέμεινε σε ψυχρό και σκοτεινό σημείο.

Για να παρασκευάσουμε το αντιδραστήριο Β, διαλύθηκαν 0,528 g ασκορβικού οξέος (L(+)-Ascorbic acid) σε ποσότητα αντιδραστηρίου Α ίση με 100 ml, διάλυμα το οποίο διατηρείται μόνο για 24 ώρες.

Με σκοπό την ανάπτυξη του χρώματος, τα δείγματα νερού τοποθετήθηκαν σε ογκομετρικές φιάλες χωρητικότητας 50 ml και με χρήση δείγματος νερού 10 ml και αντιδραστηρίου Β ποσότητας 8 ml.

Για τη δημιουργία Stock διαλύματος P (1000 mgP/l), χρειάστηκε να ζυγιστούν 1,099 g KH_2PO_4 , τα οποία διαλύθηκαν σε απεσταγμένο νερό ποσότητας ίση με 1000 ml. Το πρότυπο διάλυμα P (10 mgP/ml) δημιουργήθηκε με αραίωση 1 ml διαλύματος Stock έως ότου ο όγκος να φτάσει τα 100 ml. Τα πρότυπα διαλύματα κατασκευάστηκαν σε 5 ογκομετρικές φιάλες χωρητικότητας 50 ml. Στις φιάλες τοποθετήθηκαν διαφορετικές ποσότητες πρότυπου διαλύματος, και συγκεκριμένα αντίστοιχα 0,5, 15, 25 και 50 ml.

Αυτό είχε ως αποτέλεσμα να δημιουργηθούν πρότυπα διαλύματα διαφορετικών συγκεντρώσεων, δηλαδή 0,1,3,5 και 10 ppm, αντίστοιχα. Μετά από 1 ώρα και με κυψελίδα 1 cm, υπολογίστηκε η απορρόφηση στα 870 nm. Αρχικά, προσδιορίστηκε η απορρόφηση για τα 5 πρότυπα διαλύματα με σκοπό να δημιουργηθεί η πρότυπη καμπύλη.

Μετά την επαναφορά του οργάνου με τη χρήση τυφλού πρότυπου, τα υπόλοιπα τέσσερα μετρήθηκαν με σειρά περιεκτικότητας του προτύπου διαλύματος P. Μετά από αυτό, προσδιορίστηκε η απορρόφηση των δειγμάτων νερού. Στον άξονα X, δημιουργήθηκε η τυπική καμπύλη με την περιεκτικότητα σε P των πέντε πρότυπων διαλυμάτων και στον άξονα Y εμφανίζεται η αντίστοιχη απορρόφηση. Οι τιμές απορρόφησης για τα δείγματα του νερού μεταφράστηκαν στις αντίστοιχες συγκεντρώσεις τους σε P χρησιμοποιώντας την εξίσωση που δημιουργήθηκε (Murphy and Riley, 1962).

Τέλος, έγινε μετατροπή της συγκέντρωσης του P σε PO_4^{3-} με βάση τον τύπο: $\text{ppm PO}_4^{3-} = \text{ppm P} \cdot 3,065$.

2.5 Συντελεστής Προσρόφησης Νατρίου [(Sodium Absorption Ratio (S.A.R.))]

Ο συντελεστής S.A.R. αποτελεί δείκτη για την συγκέντρωση νατρίου στο νερό σε συνάρτηση με τις συγκεντρώσεις του ασβεστίου και μαγνησίου. Προσδιορίζεται με τη σχέση: $\text{S.A.R.} = \text{Na}^+ / \sqrt{[\text{Ca}^{+2}] + [\text{Mg}^{+2}]} / 2$ (συγκέντρωση των ιόντων σε meq/l).

Ο S.A.R. καθορίζεται από την αναλογία νατρίου προς ασβέστιο και μαγνήσιο. Όταν είναι υψηλή η αναλογία αυτή, τότε είναι υψηλότερος ο συντελεστής. Μία χρήση του S.A.R. είναι ο έλεγχος της καταλληλότητας του νερού για άρδευση. Για να επιτευχθεί αυτό πραγματοποιείται μέτρηση της ποσότητας νατρίου στο νερό άρδευσης που αντικαθιστά τα ιόντα που έχουν προσροφηθεί σε εδαφικές αργίλους Ca^{+2} , Mg^{+2} , και έτσι καταστρέφει τη δομή του εδάφους. Τα νερά άρδευσης ταξινομούνται με βάση την επικινδυνότητα της

αγωγιμότητας (ή των TDS) και της επικινδυνότητας νατρίου (SAR) (Καλλέργης 2000, Μήτρακας 2001, Κελεπερτζής 2007, Βουδούρης 2009).

2.6 Επεξεργασία και παρουσίαση αναλυτικών δεδομένων

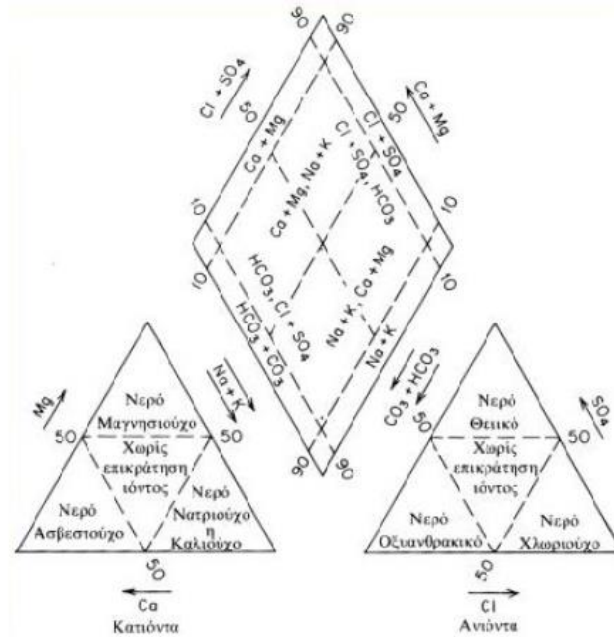
Η επεξεργασία των αναλυτικών δεδομένων έγινε με την χρήση του προγράμματος Aquachem 2014.2, όπου ολοκληρώθηκε και η οπτική τους παρουσίαση. Συγκεκριμένα κατασκευάστηκαν τα υδροχημικά διαγράμματα Piper, Durov και Stiff.

2.7 Ανάλυση υδροχημικών διαγραμμάτων

Τα υδροχημικά δεδομένα των αναλυθέντων δειγμάτων από την περιοχή μελέτης απεικονίζονται σε διαγράμματα Piper, Durov και Stiff για οπτική σύγκριση και οριοθέτηση των υδροχημικών όψεων. Οι υδροχημικές όψεις είναι διαφορετικές ζώνες που έχουν παρόμοιες συγκεντρώσεις κατιόντων και ανιόντων.

Διάγραμμα Piper

Η ιδέα του διαγράμματος εισήχθη πρώτη φορά από τον Piper το 1944, με σκοπό τη μελέτη των υδρογεωλογικών ιδιοτήτων. Το διάγραμμα Piper αποτελείται από δύο τριγωνικά διαγράμματα εκ των οποίων το ένα αφορά τα ανιόντα και το άλλο τα κατιόντα. Τα δύο διαγράμματα συμπληρώνουν ενδιάμεσά τους ένα τρίτο διάγραμμα σε σχήμα ρόμβου. Η θέση του κάθε δείγματος, υποδηλώνει την κατηγορία στην οποία βρίσκεται ως προς τα ανιόντα και τα κατιόντα, τόσο ξεχωριστά όσο και ως προς το σύνολο τους. Αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας είναι η εξαγωγή του υδροχημικού τύπου του δείγματος (Μπάφα, 2018).



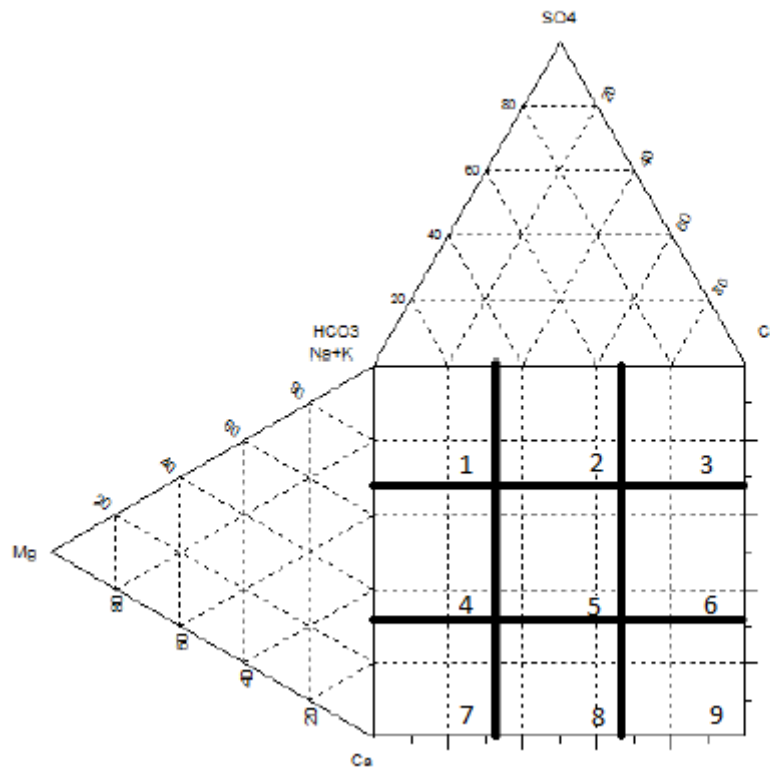
Εικόνα 2.4: Ανάλυση διαγράμματος Piper (Μπάφα, 2018)

Ειδικότερα, στο αριστερό τρίγωνο εμφανίζεται το ποσοστό της συγκέντρωσης σε κατιόντα (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ και K^+), ενώ στο δεξί το ποσοστό των ανιόντων (Cl , HCO_3^- και SO_4^{2-}). Στη συνέχεια τα δυο σημεία προβάλλονται στον κεντρικό ρόμβο, ώστε το τελικό σημείο προβολής να απεικονίζει τη συνολική ιοντική κατανομή και τον υδροχημικό τύπο του δείγματος. Το διάγραμμα Piper αποτελεί μια σύγκριση πλήθους δειγμάτων ως προς την υδροχημική τους φάση (Βουδούρης, 2006).

Διάγραμμα Durov

Το διάγραμμα Durov εισήχθη από τον Durov S.A (1948), ενώ στη συνέχεια τροποποιήθηκε από τους Hem Zaporozec (1958) και Loyd-Heathcote (1965). Η πιο εύχρηστη μορφή περιλαμβάνει δυο τριγωνικά διαγράμματα για τα ανιόντα και τα

κατιόντα και ένα τετραγωνικό που τα συνδέει. Το τετραγωνικό διάγραμμα αποτελείται από 9 υποτετράγωνα, από τα οποία το καθένα αντιστοιχεί σε υδροχημική δραστηριότητα και διαφορετική κατηγορία νερού.



Εικόνα 2.5: Διάγραμμα Durov (Ravikumar P. et al, 2015)

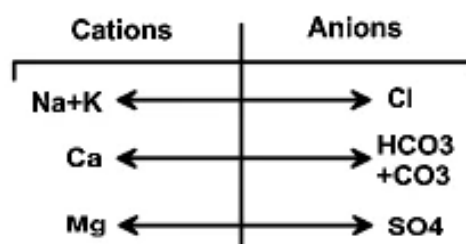
Αναλυτικότερα, σύμφωνα με τους Ravikumar P., Somashekar R.K., Prakash K.L., (2015), τα 9 υποτετράγωνα του διαγράμματος ερμηνεύονται ως εξής:

1. Επικρατούν κυρίως κατιόντα ασβεστίου και όξινα-ανθρακικά ανιόντα. Πρόκειται για φρέσκα νερά που περνούν από ψαμμίτες, ασβεστόλιθους καθώς και άλλα ανθρακικά πετρώματα.
2. Βασική επικράτηση όξινων-ανθρακικών ανιόντων αλλά και πιθανή επικράτηση κατιόντων μαγνησίου. Τα νερά αυτά συνήθως υπάρχουν σε δολομιτικά πετρώματα, ή έχουν διέλθει από αυτά. Στην περίπτωση που τα ιόντα του νατρίου αυξηθούν, ξεκινάει η διαδικασία της κατιοανταλλαγής.
3. Το νάτριο επικρατεί από τα κατιόντα, ενώ από τα ανιόντα επικρατούν κυρίως τα όξινα ανθρακικά. Σε αυτή την κατηγορία η διαδικασία της κατιοανταλλαγής βρίσκεται σε εξέλιξη.
4. Σε περίπτωση που η προέλευση των νερών είναι από ηφαιστειακές λάβες ή γύψους, τότε μπορεί να επικρατούν θειικά ανιόντα ή κατιόντα ασβεστίου, και ίσως κάποια ανιόντα. Όταν δεν υπάρχει επικράτηση κάποιων από τα παραπάνω ιόντα, τότε πρόκειται για νερά μίξης ή διαλυτοποίησης.
5. Σε αυτή την κατηγορία δεν υπάρχει επικράτηση κανενός ιόντος, διότι πρόκειται για νερά προερχόμενα από μίξη.
6. Από τα κατιόντα επικρατούν το νάτριο και τα θειικά από τα ανιόντα. Πρόκειται για νερό μίξης το οποίο δεν είναι σύνηθες.
7. Πρόκειται για νερά που επικρατεί το χλώριο και το ασβέστιο. Προέρχονται από προϊόν αντίστροφης κατιοανταλλαγής από νερά Na-Cl.
8. Επικράτηση χλωρίου και αναφέρεται σε νερά στα οποία βρίσκεται σε εξέλιξη η διαδικασία της αντίστροφης κατιοανταλλαγής.

9. Επικρατούν το κατιόν του νατρίου και το ανιόν του χλωρίου. Είναι νερά προερχόμενα από ζώνες εκφόρτισης παράκτιων υδροφόρων.

Διάγραμμα Stiff

Τα διαγράμματα Stiff μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να δείξουν διακριτικές τάσεις της σύνθεσης του νερού (Hem, 1985). Το μέγεθος του διαγράμματος είναι περίπου ίσο με το συνολικό ιοντικό περιεχόμενο (Hounslow, 1995).



Εικόνα 2.6: Επεξήγηση διαγράμματος Stiff

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Στον Πίνακα 3.1 παρουσιάζονται τα ολοκληρωμένα αποτελέσματα που προέκυψαν από την εφαρμογή των αναλυτικών επεξεργασιών στα δείγματα νερού. Ο μέσος όρος και το εύρος των αποτελεσμάτων για τα δείγματα νερού φαίνονται στον Πίνακα 3.2.

Πίνακας 3.1: Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων

Σταθμοί	Θερμοκρασία	pH	ΑΓΩΓ/ΤΑ	TDS	Ca	Mg	Na	K	NH ₄	HCO ₃	Cl	SO ₄	NO ₃	NO ₂	PO ₄
	°C		μS/cm	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
1. Πηγή Διάβα	14,4	7,4	378	377	67,2	12,6	8,6	1,4	0,02	250,1	17,7	7,5	11,2	0,001	0,11
2. Κεραμίδι	14,8	7,3	425	423	62,4	23	9,6	1,1	0,06	280,6	21,3	14,9	9,5	0,001	0,22
3. Πηγή Αμυγδαλέα	14,6	7,2	467	420	94,4	3,5	3,7	1,9	0,02	286,7	14,2	11,3	4,4	0,001	0,17
4. Τύρναβος	15,5	7,4	565	462	85	18,5	8,6	1,2	0,01	317,2	12,2	8,5	10,5	0,001	0,01
5. Αγ. Παρασκευή	14,6	7,2	645	609	107,5	30,6	5,5	1,5	0,15	445,3	14,2	1,5	2,5	0,005	0,05
6. Υδροτριβείο Τεμπών	14,2	7,5	615	508	92,6	20,4	6,8	1,8	0,12	366,2	10,6	7,2	2,5	0,008	0,08

Πίνακας 3.2: Μέσοι όροι και εύρος διακύμανσης

	Θερμοκρασία	pH	ΑΓΩΓ/ΤΑ	T.D.S	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺	K ⁺	NH ₄ ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	PO ₄ ⁻³
	°C		μS/cm	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Min	14,2	7,2	378	377	62,4	3,5	3,7	1,1	0,01	250,1	10,6	1,5	2,5	0,001	0,01
Max	15,5	7,5	645	609	107,5	30,6	9,6	1,9	0,15	445,3	21,3	14,9	11,2	0,008	0,22
Average	14,68	7,33	515,83	466,50	84,85	18,10	7,13	1,48	0,06	324,35	15,03	8,48	6,77	0,00	0,11
98/83/EK	–	6,5≤pH≤9,5	2500	–	100*	50*	200	12*	–	–	250	250	50	0,5	–
EPA 2001	–	6,5≤pH≤8,5	–	500	–	–	–	–	–	–	250	250	50	1	–

* Οδηγία 80/778/ΕΟΚ

3.1 Παρουσίαση Φυσικοχημικών Παραμέτρων

3.1.1 Θερμοκρασία (T°)

Σύμφωνα με τον Πίνακα 3.2, η ελάχιστη θερμοκρασία που παρατηρήθηκε ήταν 14,2°C στο υδροτριβείο Τεμπών, ενώ η μέγιστη θερμοκρασία μετρήθηκε στον Τύρναβο με τιμή 15,5°C. Ο μέσος όρος των θερμοκρασιών που καταγράφηκαν ήταν στους 14,68°C. Από το βαθμό της θερμοκρασίας και τις διακυμάνσεις της εξακριβώνονται πολλές σχέσεις ανάμεσα στο νερό και στο περιβάλλον του, οι οποίες δε θα μπορούσαν να εξακριβωθούν με κανένα άλλο τρόπο (Δημόπουλος, 1983). Στην περίπτωση που η θερμοκρασία του νερού υπερβαίνει τους 15°C τότε αυξάνονται οι πιθανότητες να πολλαπλασιαστούν τα μικρόβια που τυχόν υπάρχουν σε αυτό. Στις μετρήσεις μας η θερμοκρασία ξεπέρασε ελάχιστα τη θερμοκρασία αυτή και μόνο στην πηγή στον Τύρναβο, γεγονός που πιθανώς οφείλεται στη διαφορά υψόμετρου και θερμοκρασίας των πετρωμάτων που περιβάλλουν το νερό σε σύγκριση με τις υπόλοιπες πηγές.



Σχήμα 3.1: Οι διαφορές θερμοκρασίας του νερού στις πηγές

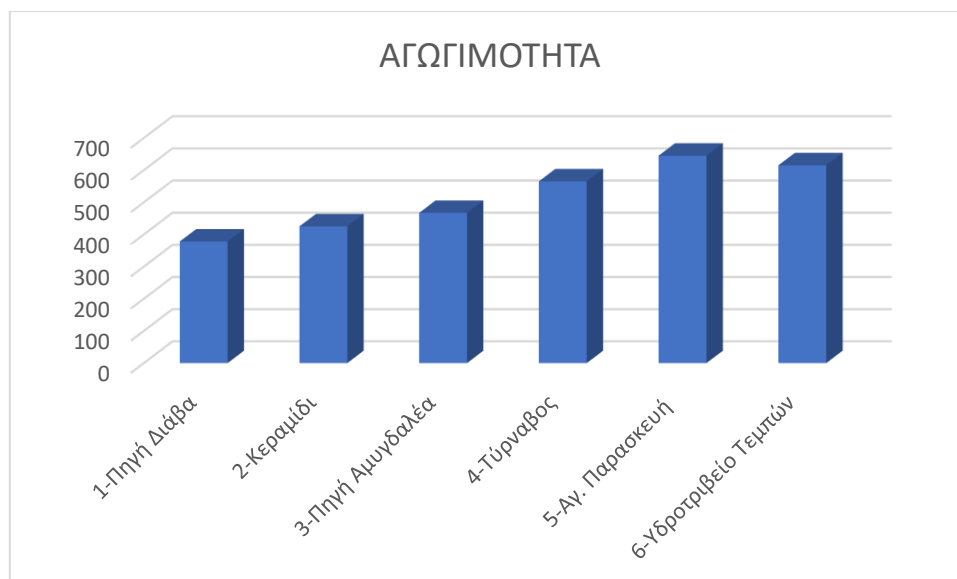
3.1.2 pH

Οι μετρήσεις του pH έδειξαν μια σταθερότητα στις τιμές. Η υψηλότερη τιμή ήταν 7,5 στο υδροτριβείο Τεμπών και η χαμηλότερη 7,2 στην Αγία Παρασκευή Τεμπών αλλά και στην πηγή της Αμυγδαλέας. Με τις μικρές διακυμάνσεις που μετρήθηκαν, ο μέσος όρος των τιμών είναι στο 7,33. Έτσι, με βάση την κλίμακα του pH, οι συγκεκριμένες τιμές χαρακτηρίζονται ως ουδέτερες. Σύμφωνα με τις οδηγίες 98/83 και 2006/44 της Ευρωπαϊκής Ένωσης, οι τιμές αυτές του pH βρίσκονται εντός επιτρεπόμενων ορίων και πολύ κοντά στην τιμή του καθαρού νερού. Επιπλέον, είναι μέσα στα όρια που θέτουν και οι Η.Π.Α. για το πόσιμο νερό.

3.1.3 Ηλεκτρική αγωγιμότητα (Electrical Conductivity)

Όπως βλέπουμε στους πίνακες 3.1 και 3.2 υπάρχει μια σχετική διακύμανση στις τιμές που μετρήθηκαν. Η ελάχιστη τιμή ήταν 378 $\mu\text{S}/\text{cm}$ στην πηγή Διάβα ενώ η μέγιστη 645 $\mu\text{S}/\text{cm}$ στην Αγία Παρασκευή Τεμπών. Η μέση τιμή υπολογίστηκε στα 515,83 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

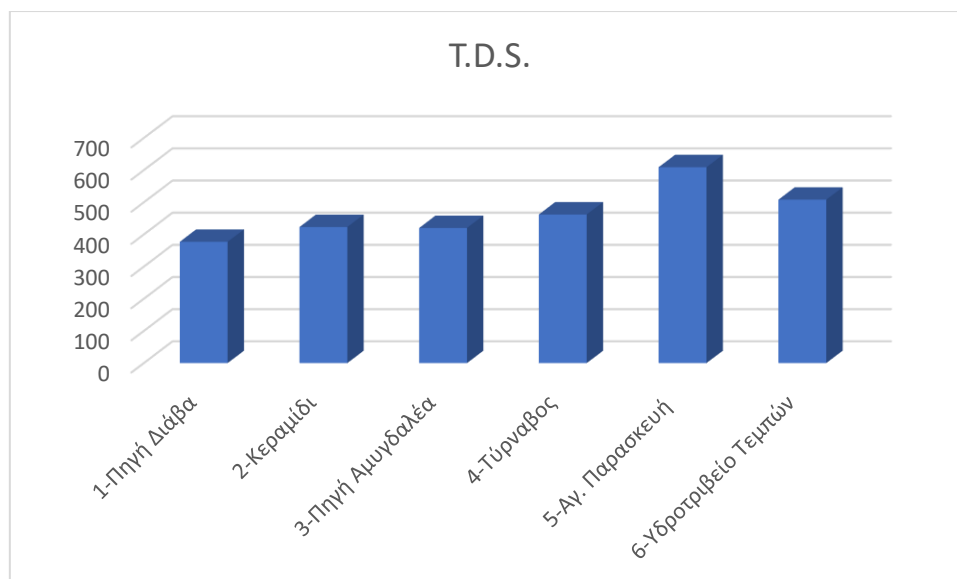
Η αγωγιμότητα των περισσότερων γλυκών νερών κυμαίνεται από 10 έως 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ αλλά μπορεί να ξεπεράσει και τα 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ σε περιπτώσεις όπως νερά τα οποία είναι ρυπασμένα ή δέχονται ποσότητες υδάτων από επιφανειακή απορροή (Charman, 1992). Οι μετρήσεις των δειγμάτων δεν ξεπερνούν τα όρια αυτά αλλά ούτε και την ανώτατη τιμή των 2500 mg/l που αναφέρεται στην οδηγία 98/83 της Ευρωπαϊκής Ένωσης για το πόσιμο νερό.



Σχήμα 3.2: Οι τιμές αγωγιμότητας στα σημεία δειγματοληψίας

3.1.4 Συνολικά διαλυμένα στερεά (TDS)

Οι τιμές για τα TDS στα δείγματα κυμαίνονται από 377 mg/l στην πηγή Διάβα έως 609 mg/l στην Αγία Παρασκευή Τεμπών. Η μέση τιμή των παραπάνω μετρήσεων είναι στα 466,5 mg/l. Όπως παρατηρούμε, η μέγιστη τιμή των διαλυμένων στερεών βρέθηκε να ξεπερνάει το μέγιστο επιτρεπτό όριο των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής. Αυτό ίσως οφείλεται στην τοποθεσία της συγκεκριμένης δειγματοληψίας. Ωστόσο, δεν αποτελεί πρόβλημα εφόσον ακολουθούμε το νομικό πλαίσιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης η οποία δεν έχει θεσμοθετημένο όριο για τα διαλυμένα στερεά.



Σχήμα 3.3: Τα διαλυμένα στερεά ανάλογα με το σημείο δειγματοληψίας

3.1.5 Ασβέστιο (Ca^{+2})

Η μέγιστη συγκέντρωση των ιόντων του ασβεστίου των δειγμάτων μετρήθηκε στην Αγία Παρασκευή Τεμπών με τιμή 107,5 mg/l ενώ η ελάχιστη τιμή ήταν στα 62,4 mg/l στο Κεραμίδι. Κατά μέσο όρο η συγκέντρωση των ιόντων ασβεστίου υπολογίστηκε στα 84,85 mg/l. Επομένως μόνο η τιμή στην Αγία Παρασκευή Τεμπών ξεπερνά ελαφρώς την ενδεικτική τιμή των 100 mg/l που θέτει έχει τεθεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση σχετικά με πόσιμο νερό (Οδηγία 80/778/ΕΟΚ).

3.1.6 Μαγνήσιο (Mg^{+2})

Η συγκέντρωση των ιόντων μαγνησίου στις περιοχές της δειγματοληψίας κυμαίνεται από 3,5 mg/l στην Πηγή της Αμυγδαλέας και 30,6 mg/l στην Αγία Παρασκευή Τεμπών. Η Ευρωπαϊκή Ένωση (98/83/ΕΚ) θέτει ανώτατη αποδεκτή τιμή περιεκτικότητας ιόντων μαγνησίου για το πόσιμο νερό τα 50 mg/l, επομένως οι μετρήσεις βρίσκονται εντός του ορίου αυτού. Ο μέσος όρος των τιμών που μετρήθηκαν είναι τα 18,10 mg/l. Η παρουσία των ιόντων μαγνησίου

πιθανόν σχετίζεται με τις διεργασίες αποσάθρωσης και διάλυσης των ορυκτών ασβεστίτη CaCO_3 και δολομίτη $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ των γεωλογικών σχηματισμών της περιοχής (Parinet et al. 2004).

3.1.7 Νάτριο (Na^+)

Η ελάχιστη τιμή των ιόντων νατρίου που μετρήθηκαν είναι 3,7 mg/l στην Πηγή της Αμυγδαλέας ενώ η μέγιστη μέτρηση ήταν στο Κεραμίδι 9,6 mg/l. Ο μέσος όρος των δειγμάτων υπολογίστηκε 7,13 mg/l. Το νάτριο αποτελεί ένα βασικό στοιχείο για τον άνθρωπο και χαρακτηρίζεται από αφθονία στη φύση καθώς περιέχεται σε όλα τα φυσικά νερά με τις συγκεντρώσεις του να κυμαίνονται από 1 - 500 mg/l. Η μέγιστη τιμή που θέτει ωστόσο η Ευρωπαϊκή Ένωση (98/83) για το πόσιμο νερό είναι στα 200 mg/l, επομένως οι μετρήσεις μας είναι απόλυτα ασφαλείς.

3.1.8 Κάλιο (K^+)

Η μέση τιμή των τιμών του ιόντων καλίου υπολογίστηκε 1,48 mg/l. Οι τιμές δεν είχαν μεγάλες διακυμάνσεις με την ελάχιστη τιμή που μετρήθηκε στο Κεραμίδι με 1,1 mg/l και τη μέγιστη στα 1,9 mg/l στην Πηγή Αμυγδαλέας. Επομένως, καμία μέτρηση δεν πλησιάζει τη μέγιστη ενδεικτική τιμή που έχει θέσει η Ευρωπαϊκή Ένωση στα 12 mg/l (Οδηγία 80/778/ΕΟΚ).

Το κάλιο, όπως και το νάτριο, είναι ένα στοιχείο σε αφθονία στη φύση και σχετίζεται και με τα καλιούχα λιπάσματα. Αυτός είναι ένας λόγος για τον οποίο στις μετρήσεις μας έχουμε αρκετά χαμηλές τιμές, εφόσον οι πηγές μας δεν σχετίζονται με γεωργικές δραστηριότητες. Παρά το γεγονός ότι συναντώνται άφθονα στη φύση, ωστόσο, δεν έχει αναφερθεί κάποιο συγκεκριμένο πρόβλημα που να αφορά επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου (Νταρακάς, 2010).

3.1.9 Αμμωνιακά ιόντα (NH_4^+)

Οι τιμές που υπολογίστηκαν για τα αμμωνιακά ιόντα είναι αρκετά μικρές, ενώ κανένα δείγμα δεν υπερβαίνει τα 0,5 mg/l που αποτελεί την ανώτερη αποδεκτή τιμή συγκέντρωσης στα πόσιμα νερά σύμφωνα με την οδηγία της Ευρωπαϊκής Ένωσης (98/83/EK). Συγκεκριμένα, η ελάχιστη τιμή μετρήθηκε 0,01 mg/l στο Κεραμίδι και η μέγιστη 0,15 mg/l στην Αγία Παρασκευή Τεμπών. Με αυτές τις ελάχιστες διακυμάνσεις, ο μέσος όρος υπολογίστηκε 0,06 mg/l.

Η παρουσία NH_4^+ αποτελεί ένα βασικό δείκτη υπολογισμού της άμεσης ρύπανσης μιας περιοχής, ενώ η ύπαρξη NO_3^- δείχνει ότι η ρύπανση δεν έχει πραγματοποιηθεί πρόσφατα (Stambuk -Giljanovic 2006).

3.1.10 Αλκαλικότητα (HCO_3^-)

Ο μέσος όρος της αλκαλικότητας κυμάνθηκε στα 324,35 mg/l. Η ελάχιστη τιμή υπολογίστηκε 250,1 mg/l στην Πηγή Διάβα και η μέγιστη με μεγάλη διαφορά από τις υπόλοιπες στα 445,3 mg/l στην Αγία Παρασκευή Τεμπών.

3.1.11 Χλώριο (Cl^-)

Το χλώριο λαμβάνεται κυρίως από τη διάβρωση ιζηματογενών πετρωμάτων που περιέχουν αργιλικά ορυκτά θαλάσσιας γένεσης, από εβαπορίτες, καθώς και από θερμές πηγές (Βουδούρης, 2009, Νταρακάς, 2010). Τα χλωριούχα ιόντα συναντώνται συχνά σαν άλατα νατρίου, καλίου και ασβεστίου.

Τα ιόντα χλωρίου κυμαίνονται σε χαμηλά επίπεδα στα σημεία δειγματοληψίας. Η μέγιστη τιμή υπολογίστηκε στα 21,3 mg/l στο Κεραμίδι και η χαμηλότερη στα 10,6 mg/l στο Υδροτριβείο Τεμπών. Η μέση τιμή των ιόντων χλωρίου βρέθηκε στα 15,03 mg/l. Επομένως οι τιμές που μετρήθηκαν απέχουν σημαντικά από το μέγιστο επιτρεπτό όριο τόσο της Ευρωπαϊκής Ένωσης όσο και των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής το οποίο ορίζεται στα 250 mg/l (98/83/EE).

3.1.12 Θεϊκά (SO_4^{-2})

Ο μέσος όρος των τιμών για τα θεϊκά υπολογίστηκε στα 8,48 mg/l. Η μέγιστη τιμή μετρήθηκε στο Κεραμίδι με 14,9 mg/l ενώ, με αρκετή διαφορά, η ελάχιστη τιμή ήταν στην Αγία Παρασκευή με 1,5 mg/l. Οι τιμές για όλα τα δείγματα δεν υπερβαίνουν την ανώτερη τιμή των 250 mg/l που θέτει η Ευρωπαϊκή Ένωση με βάση την οδηγία 98/83 σχετικά με το πόσιμο νερό, αλλά και οι Η.Π.Α.

Το νερό της βροχής είναι η κύρια πηγή ιόντων θείου στις φυσικά υδάτινα οικοσυστήματα. Τα θεϊκά ιόντα μπορεί επίσης να είναι το αποτέλεσμα της γεωργικής άρδευσης και των λιπασμάτων πλούσιων σε θεϊκές ενώσεις (Boari et al., 1997). Επομένως είναι φυσικό τα νερά των πηγών να περιλαμβάνουν μικρότερες ποσότητες θεϊκών σε σχέση με τα ποτάμια και τις λίμνες. Άλλες πιθανές πηγές θεϊκών ιόντων είναι ακόμα τα ιζηματογενή πετρώματα τα οποία περιέχουν θεϊκό ασβέστιο ή θεϊκό πυρίτιο (Νταρακάς 2014).

Το πόσιμο και το νερό για χρήση στη βιομηχανία με περιεκτικότητα σε θεϊκά ιόντα μεγαλύτερη από 250 mg/l καθίσταται προβληματικό. Το θείο και τα συστατικά του ενοχοποιούνται συνήθως για θέματα οσμής και διάβρωσης (Βουδούρης 2006).

3.1.13 Νιτρικά (NO_3^-)

Η μέγιστη τιμή των νιτρικών μετρήθηκε στα 11,2 mg/l στην Πηγή Διάβα και η ελάχιστη στα 2,5 mg/l στην Αγία Παρασκευή Τεμπών. Η μέση τιμή υπολογίστηκε στα 6,77 mg/l. Οι τιμές αυτές μπορούν να θεωρηθούν ασφαλείς εφόσον δεν πλησιάζουν τα 50 mg/l, δηλαδή το μέγιστο όριο συγκέντρωσης νιτρικών με βάση την οδηγία 98/83 της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τα πόσιμα νερά, αλλά ούτε και το θεσμοθετημένο όριο των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής.

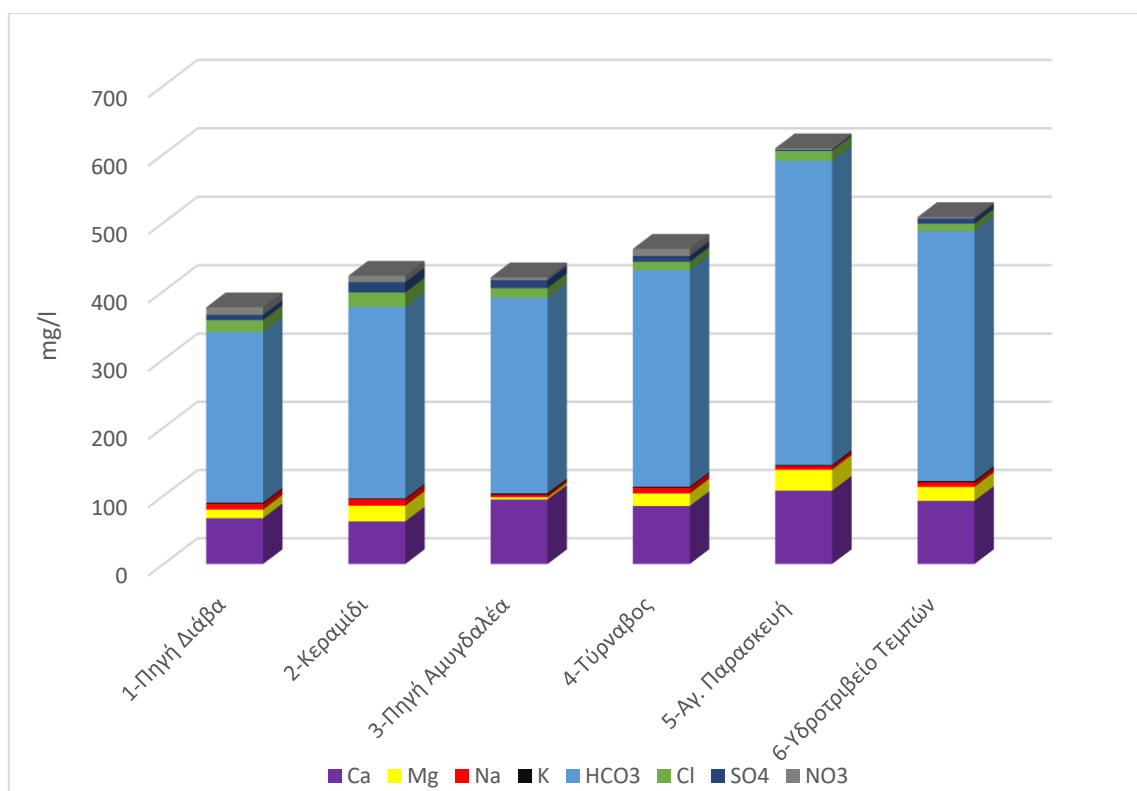
3.1.14 Νιτρώδη (NO_2)

Οι τιμές των νιτρωδών κυμάνθηκαν σε χαμηλά επίπεδα. Στα σημεία δειγματοληψίας στον Τύρναβο, την Πηγή Αμυγδαλέας, το Κεραμίδι και την Πηγή Διάβα η συγκέντρωση των

νιτρωδών μετρήθηκε στα 0,001mg/l, που αποτελεί και την ελάχιστη τιμή. Αντίθετα, η μέγιστη τιμή υπολογίστηκε στα 0,008 mg/l στο Υδροτριβείο Τεμπών. Η μέση τιμή είναι στα 0,003 mg/l. Τα νιτρώδη συμμετέχουν στον κύκλο του αζώτου και υπάρχουν σε όλα τα φυσικά ύδατα σε χαμηλή συγκέντρωση.

3.1.15 Φωσφορικά (PO_4^{-3})

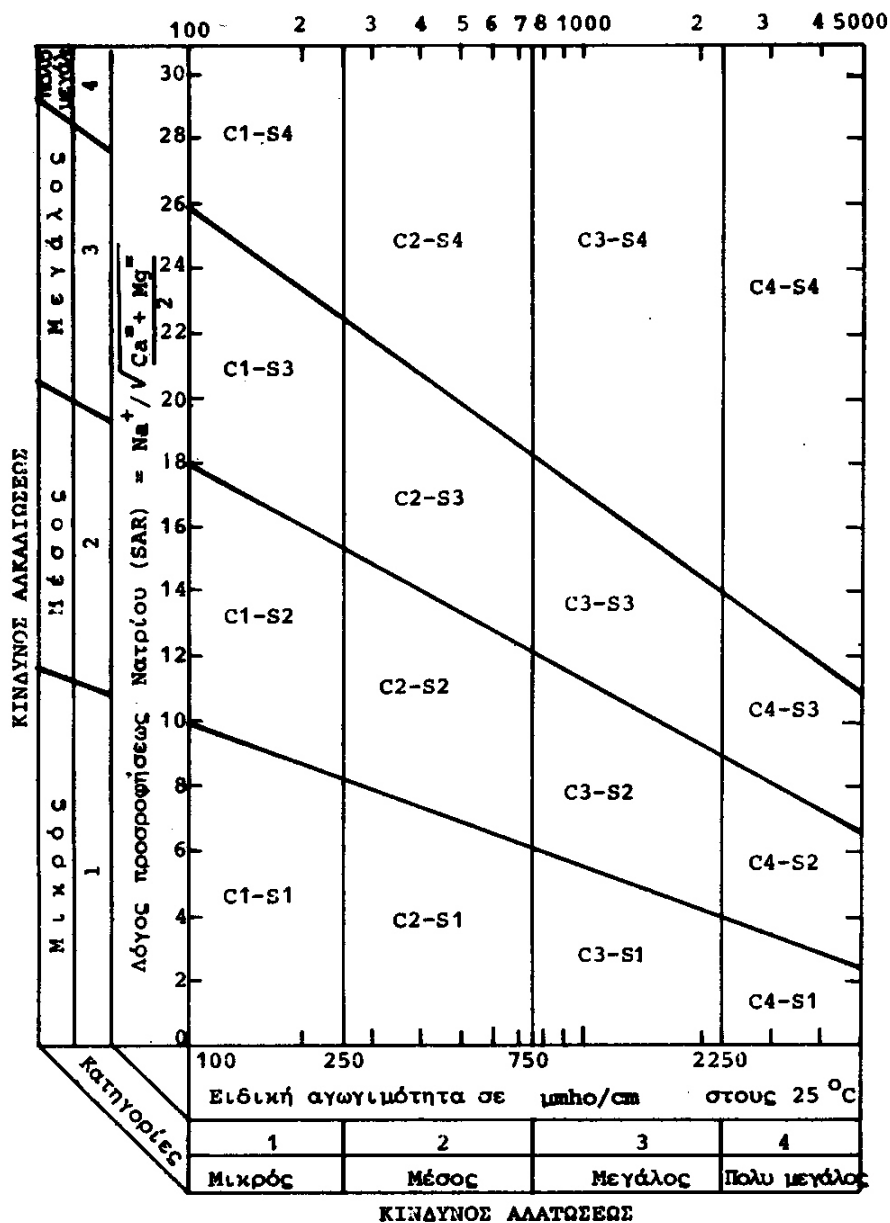
Τα φωσφορικά παρουσιάζουν μια σχετικά μεγάλη απόκλιση ανάμεσα στη μέγιστη και την ελάχιστη τιμή που καταμετρήθηκε. Η ελάχιστη τιμή υπολογίστηκε στα 0,01mg/l στον Τύρναβο και η μέγιστη στα 0,22 mg/l στο Κεραμίδι. Η μέση τιμή βρέθηκε στα 0,11 mg/l. Τα φωσφορικά στα ύδατα συνήθως παρουσιάζονται λόγω δραστηριοτήτων γεωργίας, όπως η χρήση φωσφορικών λιπασμάτων, καθώς και από την απόρριψη αστικών λυμάτων και υγρών βιομηχανικών αποβλήτων (Λοϊζίδου, 2006). Επομένως είναι λογικό οι πηγές να έχουν χαμηλή περιεκτικότητα σε φωσφορικά, συγκριτικά με νερά από άλλες περιοχές.



Σχήμα 3.4: Συγκεντρώσεις ιόντων ανά σημείο δειγματοληψίας

3.2 Συντελεστής Προσρόφησης Νατρίου

Για να κριθεί το νερό κατάλληλο για άρδευση μελετούμε τον συντελεστή προσρόφησης νατρίου (SAR), ο οποίος εκφράζει τη σχέση μεταξύ των συγκεντρώσεων Na^+ και των Ca^{+2} και Mg^{+2} . Το U.S.Salinity Laboratory χρησιμοποιεί το διάγραμμα Richards, εξαρτώμενο από το δείκτη SAR και την ηλεκτρική αγωγιμότητα. Το διάγραμμα αυτό διαχωρίζει τα νερά σε 16 βασικές κατηγορίες με διαφορετικά ποιοτικά χαρακτηριστικά που προσδίδουν και διαφορετική καταλληλότητα για χρήση στην άρδευση σύμφωνα με την ειδική αγωγιμότητα.



Εικόνα 3.1: Διάγραμμα ταξινόμησης νερού αρδεύσεως κατά το U.S Salinity Laboratory (1954)

Με βάση την ηλεκτρική αγωγιμότητα διακρίνεται σε τέσσερις κατηγορίες ποιότητας (US Salinity Laboratory, 1954):

Κατηγορία C1: η ηλεκτρική αγωγιμότητα είναι μικρότερη από 250 $\mu\text{S/cm}$, η περιεκτικότητα των αλάτων είναι μικρότερη από 160 ppm και ο κίνδυνος αλατώσεως είναι μικρός

Κατηγορία C2: η ηλεκτρική αγωγιμότητα υπολογίζεται από 250 έως 750 $\mu\text{S}/\text{cm}$, η περιεκτικότητα σε άλατα είναι 160-480 ppm και ο κίνδυνος αλατώσεως είναι μέσος

Κατηγορία C3: η ηλεκτρική αγωγιμότητα βρίσκεται 750-2250 $\mu\text{S}/\text{cm}$, η περιεκτικότητα σε άλατα είναι 480-1470 ppm και ο κίνδυνος αλατώσεως είναι μεγάλος

Κατηγορία C4: η ηλεκτρική αγωγιμότητα είναι μεγαλύτερη από 2250 $\mu\text{S}/\text{cm}$, η περιεκτικότητα σε άλατα είναι μεγαλύτερη από 1470 ppm και ο κίνδυνος αλατώσεως είναι πολύ μεγάλος.

Επιπλέον, το Υπουργείο Γεωργίας των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής διακρίνει το νερό σε τέσσερις κατηγορίες με βάση την τιμή του S.A.R σύμφωνα με την ταξινόμηση του:

Κατηγορία S1: S.A.R <10, κίνδυνος νατρίου μικρός

Κατηγορία S2: S.A.R από 10 έως 18, κίνδυνος νατρίου μέσος

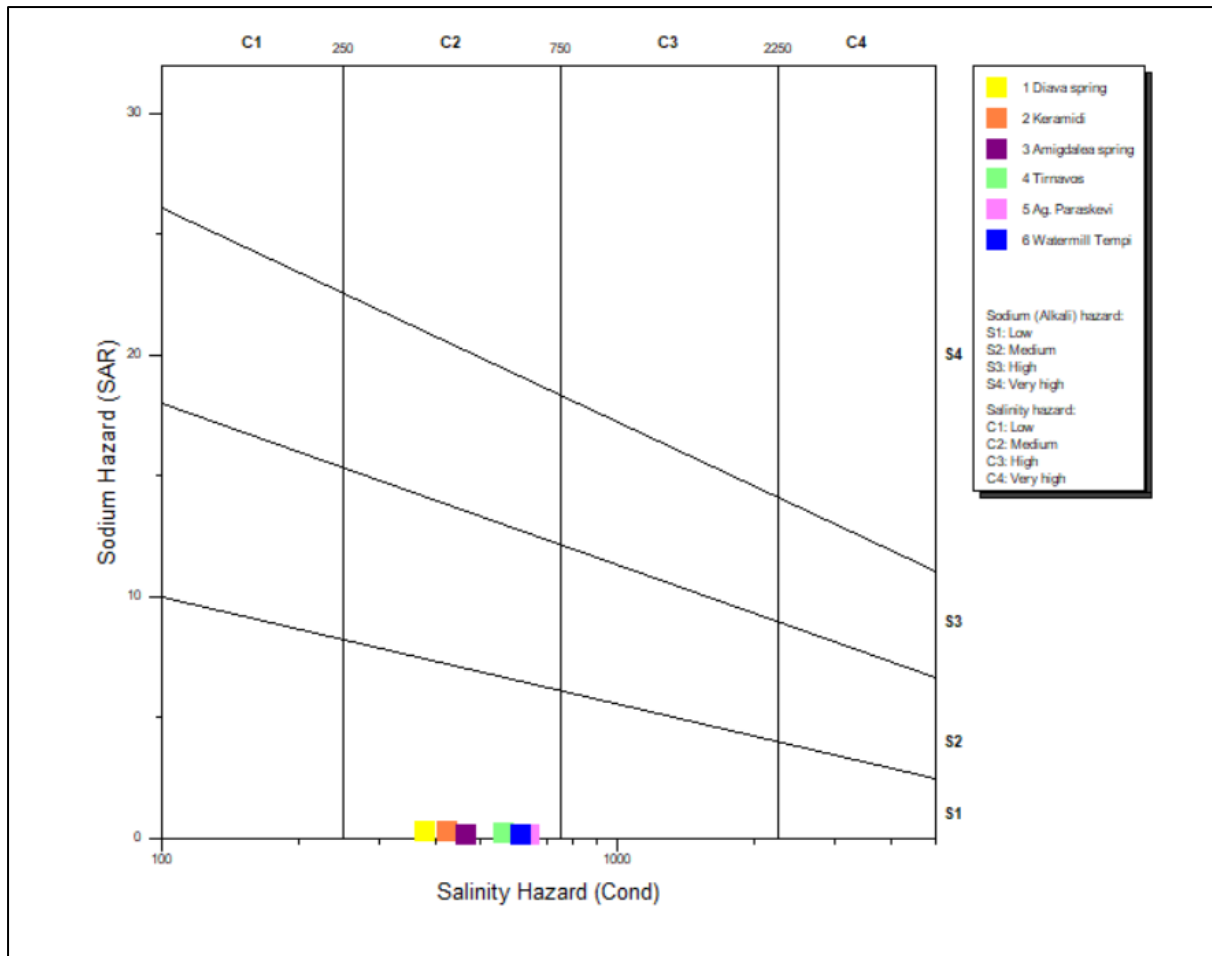
Κατηγορία S3: S.A.R από 18 έως 26, κίνδυνος νατρίου μεγάλος

Κατηγορία S4: S.A.R >26, κίνδυνος νατρίου πολύ μεγάλος (Μήτρακας 2001, Κελεπερτζής 2007)

Με βάση της δικές μας μετρήσεις και συγκεντρώσεις των ιόντων προκύπτει:

Πίνακας 3.3: Συντελεστής S.A.R. ανά πηγή δειγματοληψίας

Σταθμοί	Συντελεστής S.A.R.
Πηγή Διάβα	1,36
Κεραμίδι	1,47
Πηγή Αμυγδαλέα	0,53
Τύρναβος	1,20
Αγία Παρασκευή	0,66
Υδροτριβείο Τεμπών	0,90



Εικόνα 3.2: Διάγραμμα S.A.R. – αγωγιμότητας (Aquachem 2014.2)

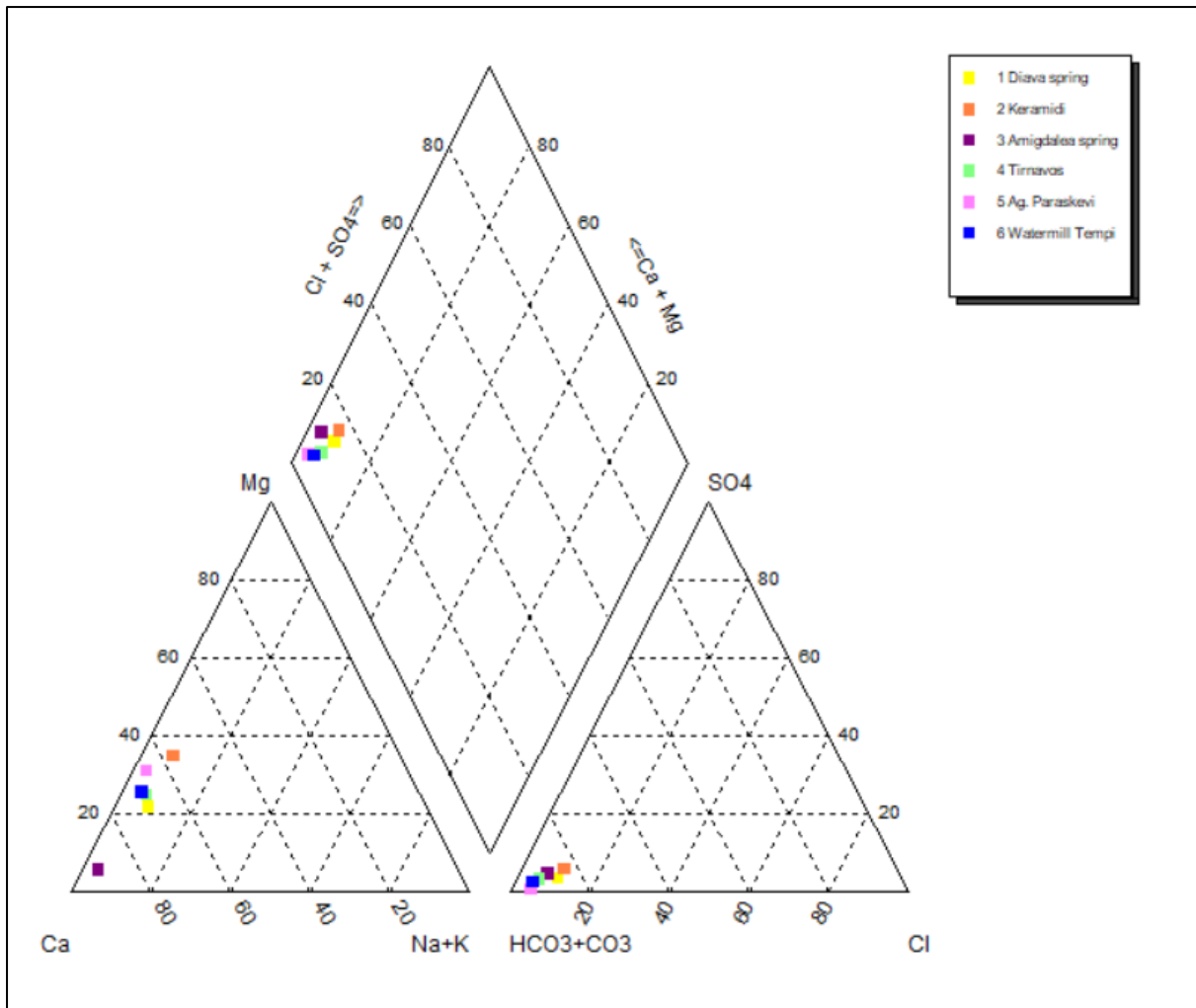
Όπως παρατηρούμε στο διάγραμμα S.A.R. – αγωγιμότητας, οι μετρήσεις μας συγκεντρώνονται στην κατηγορία C2-S1. Στην συγκεκριμένη κατηγορία έχουμε μέσο κίνδυνο αλατώσεως και χαμηλή επικινδυνότητα νατρίου. Επομένως, η ποιότητα του νερού όλων των δειγμάτων κρίνεται καλή έως μέτρια.

3.3 Ανάλυση υδροχημικών διαγραμμάτων

Για τη μελέτη της ποιότητας των νερών είναι απαραίτητη η ανάλυση των υδροχημικών διαγραμμάτων. Με τον τρόπο αυτό είναι εφικτό να επισημανθούν οι εναλλαγές ανάμεσα στα δεδομένα και να μελετηθούν τα πιθανά αίτια ρύπανσης.

3.3.1 Διάγραμμα Piper

Στα διαγράμματα Piper, όταν το νερό υπολογίζεται στην κορυφή του ρόμβου υποδηλώνει ότι είναι πλούσιο σε Ca^{+2} , Mg^{+2} , Cl^- , και SO_4^{-2} . Όταν το νερό παρουσιάζεται στην αριστερή γωνία του ρόμβου θεωρείται πλούσιο σε Ca^{+2} , Mg^{+2} και HCO_3^- . Όταν το νερό προβάλλεται στην χαμηλότερη γωνία που σχηματίζει ο ρόμβος αποτελείται κυρίως από ανθρακικά αλκάλια (πλούσιο σε Na^+ , K^+ και HCO_3^-) ενώ όταν το νερό βρίσκεται κοντά στη δεξιά πλευρά του διαμαντιού, τότε θεωρείται αλμυρό και είναι πλούσιο σε Na^+ , K^+ , Cl^- , και SO_4^{-2} (Κελεπερτζής 2007, Τσακίρης 2010).



Εικόνα 3.3: Διάγραμμα Piper (Aquachem 2014.2)

Πίνακας 3.4: Σύνθεση του νερού στους σταθμούς δειγματοληψίας

Σταθμοί δειγματοληψίας	Σύνθεση νερού
Διάβα	Ca-Mg-HCO ₃
Κεραμίδι	Ca-Mg-HCO ₃
Αμυγδαλέα	Ca-HCO ₃
Τύρναβος	Ca-Mg-HCO ₃

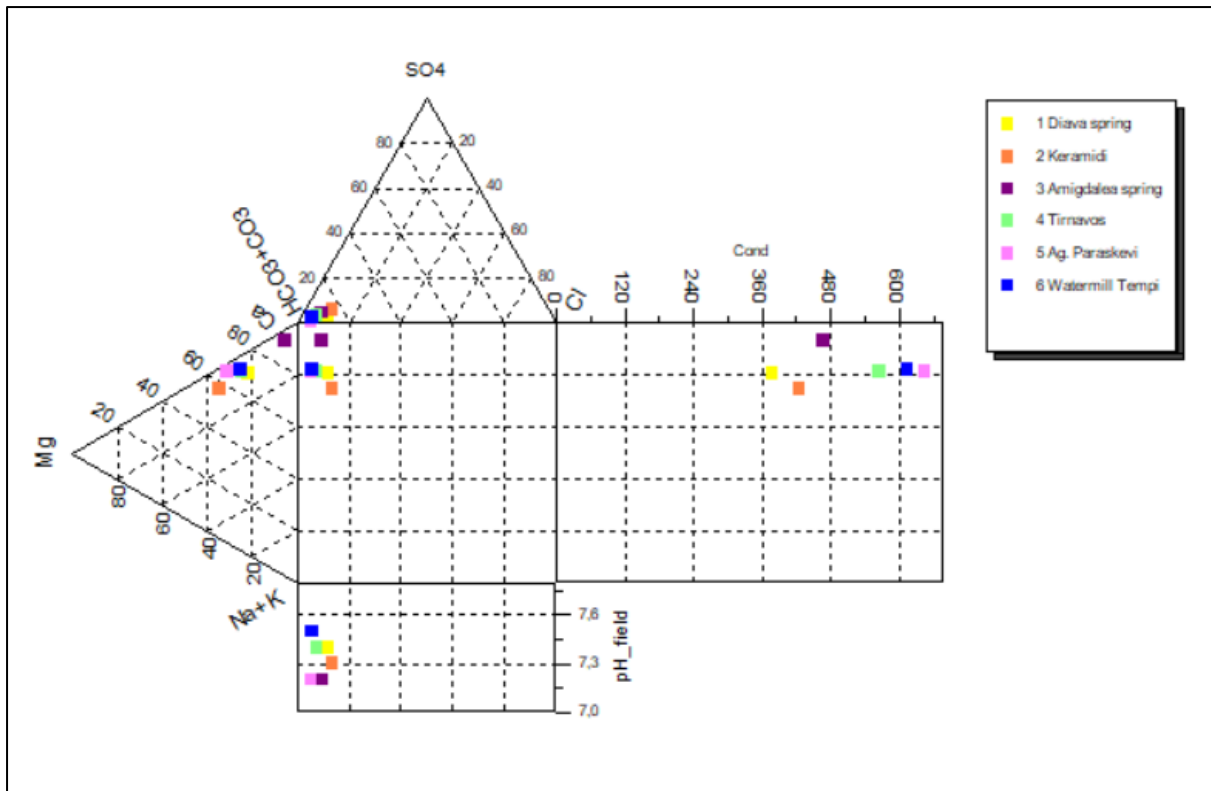
Αγία Παρασκευή	Ca-Mg-HCO ₃
Υδροτριβείο Τεμπών	Ca-Mg-HCO ₃

Σύμφωνα με το διάγραμμα Piper που δημιουργήθηκε με τη βοήθεια του προγράμματος Aquachem 2014.2., όλα τα δείγματα εμφανίζονται στην αριστερή γωνία του διαμαντιού. Αυτό σημαίνει ότι είναι πλούσιο σε Ca⁺², Mg⁺² και HCO₃⁻. Η σύνθεση του νερού στον Πίνακα 3.3 δείχνει ακριβώς τα ίδια συστατικά, με μόνη εξαίρεση την πηγή της Αμυγδαλέας που περιέχει Ca⁺² και HCO₃⁻ όμως δεν έχει Mg⁺².

3.3.2 Διάγραμμα Durov

Δύο τριγωνικά διαγράμματα συνθέτουν το διάγραμμα Durov. Το ένα απεικονίζει ανιόντα, ενώ το άλλο κατιόντα και συνδέονται σε ένα τετράγωνο. Ακόμα, το τετράγωνο χωρίζεται σε μικρότερα τετράγωνα που αντιστοιχούν σε τύπους νερού καθώς και σε περιοχές όπου λαμβάνουν χώρα διάφορες υδροχημικές αντιδράσεις στο νερό (Σούλιος, 2004).

Στην εικόνα 3.2 φαίνεται η υδροχημική ταξινόμηση του νερού για τα σημεία δειγματοληψίας με βάση το διάγραμμα Durov.



Εικόνα 3.4: Διάγραμμα Durov (Aquachem 2014.2)

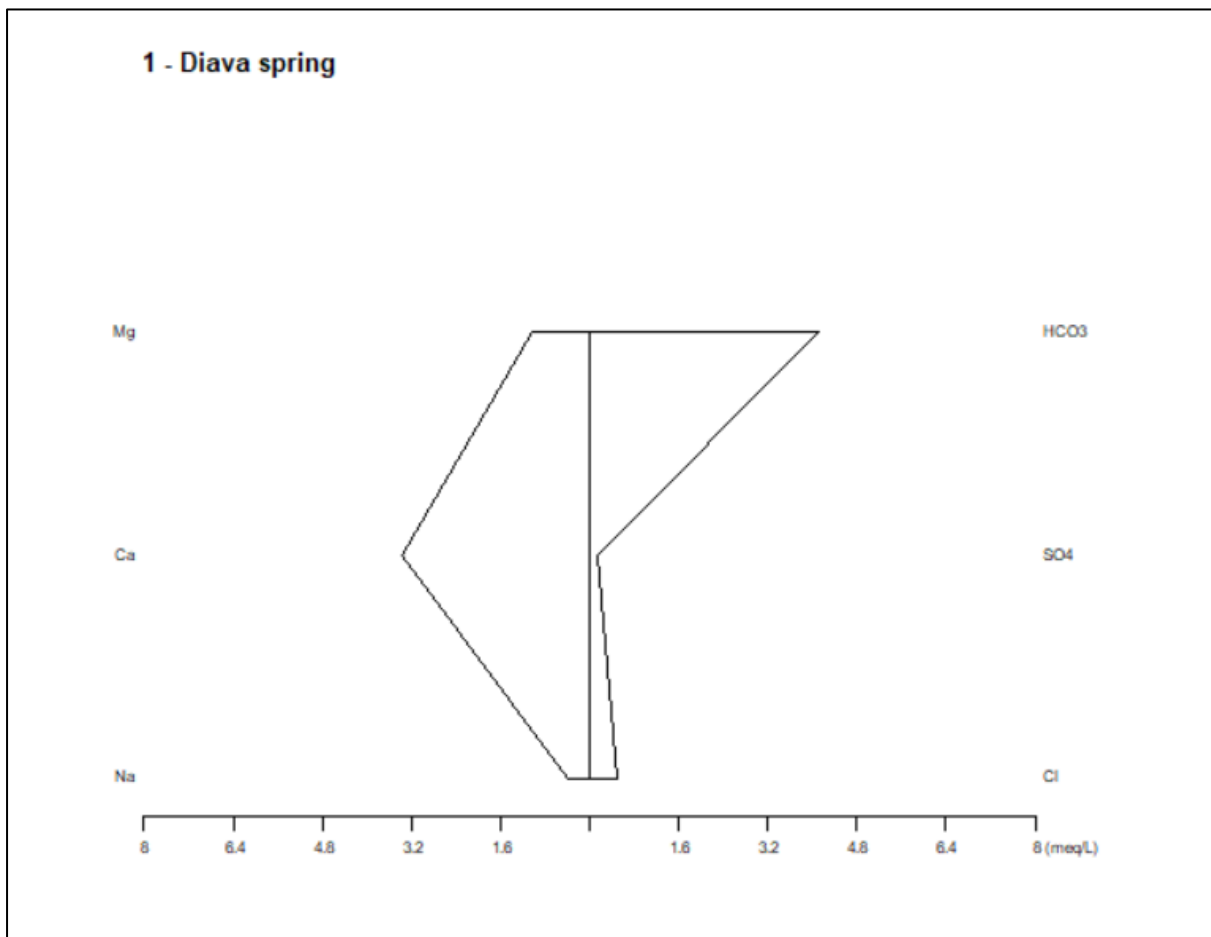
Με βάση την ανάλυση των Ravikumar P., Somashekar R.K., Prakash K.L., (2015) και τα αποτελέσματα του διαγράμματος Durov, στα ύδατα της περιοχής μελέτης επικρατούν κυρίως κατιόντα ασβεστίου και όξινα-ανθρακικά ανιόντα. Επομένως, πρόκειται σίγουρα για φρέσκα νερά τα οποία πιθανώς κατεισδύουν σε ψαμμίτες, ασβεστόλιθους καθώς και άλλα ανθρακικά πετρώματα.

Επίσης, στο διάγραμμα φαίνεται η διακύμανση των τιμών του pH που παρουσιάζει μικρές παραλλαγές. Βέβαια, είναι αναμενόμενο οι μετρήσεις για την τιμή του pH να είναι σχεδόν όμοιες εφόσον πρόκειται αποκλειστικά για νερό προερχόμενο από πηγές.

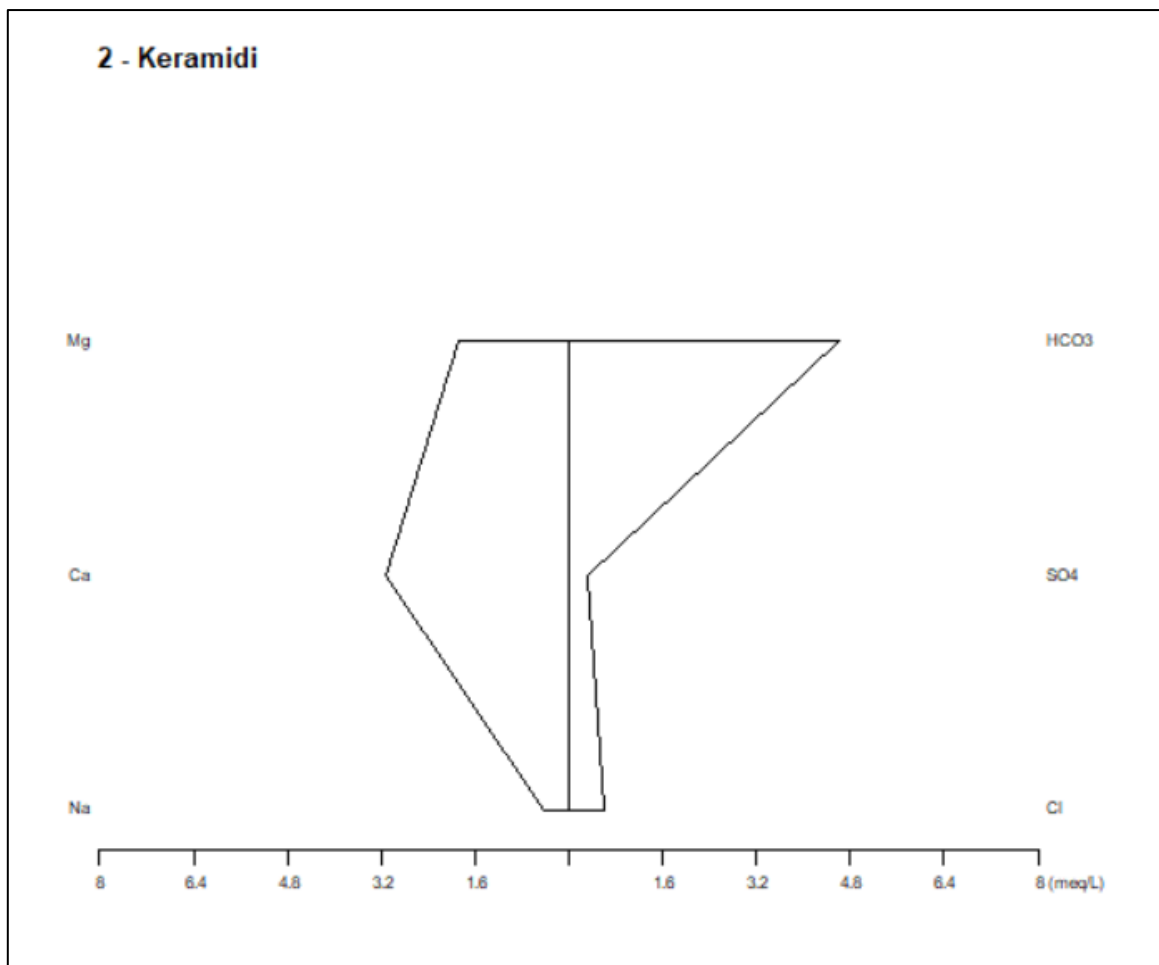
Ακόμα, γίνεται οπτική ανάλυση των τιμών για την ηλεκτρική αγωγιμότητα. Εδώ παρατηρούμε ότι οι τιμές είναι αρκετά διαφοροποιημένες ανάλογα με το δείγμα, γεγονός που έχει ήδη παρατηρηθεί στις αναλύσεις.

3.3.3 Διαγράμματα Stiff

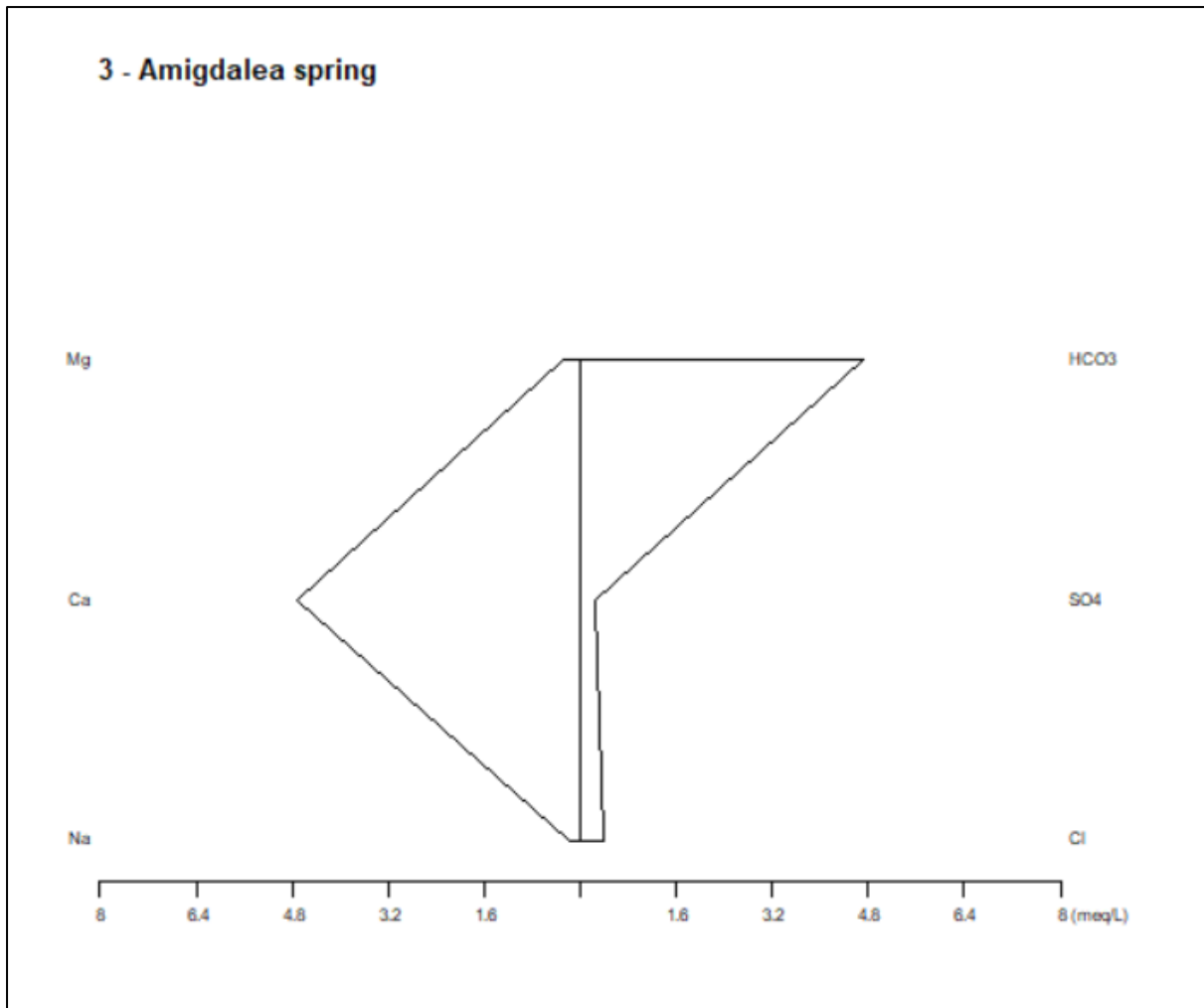
Η ανάλυση για τα διαγράμματα Stiff πραγματοποιήθηκε ξεχωριστά για το κάθε σημείο δειγματοληψίας με τη χρήση του Aquachem 2014.2., όπως και τα παραπάνω διαγράμματα.



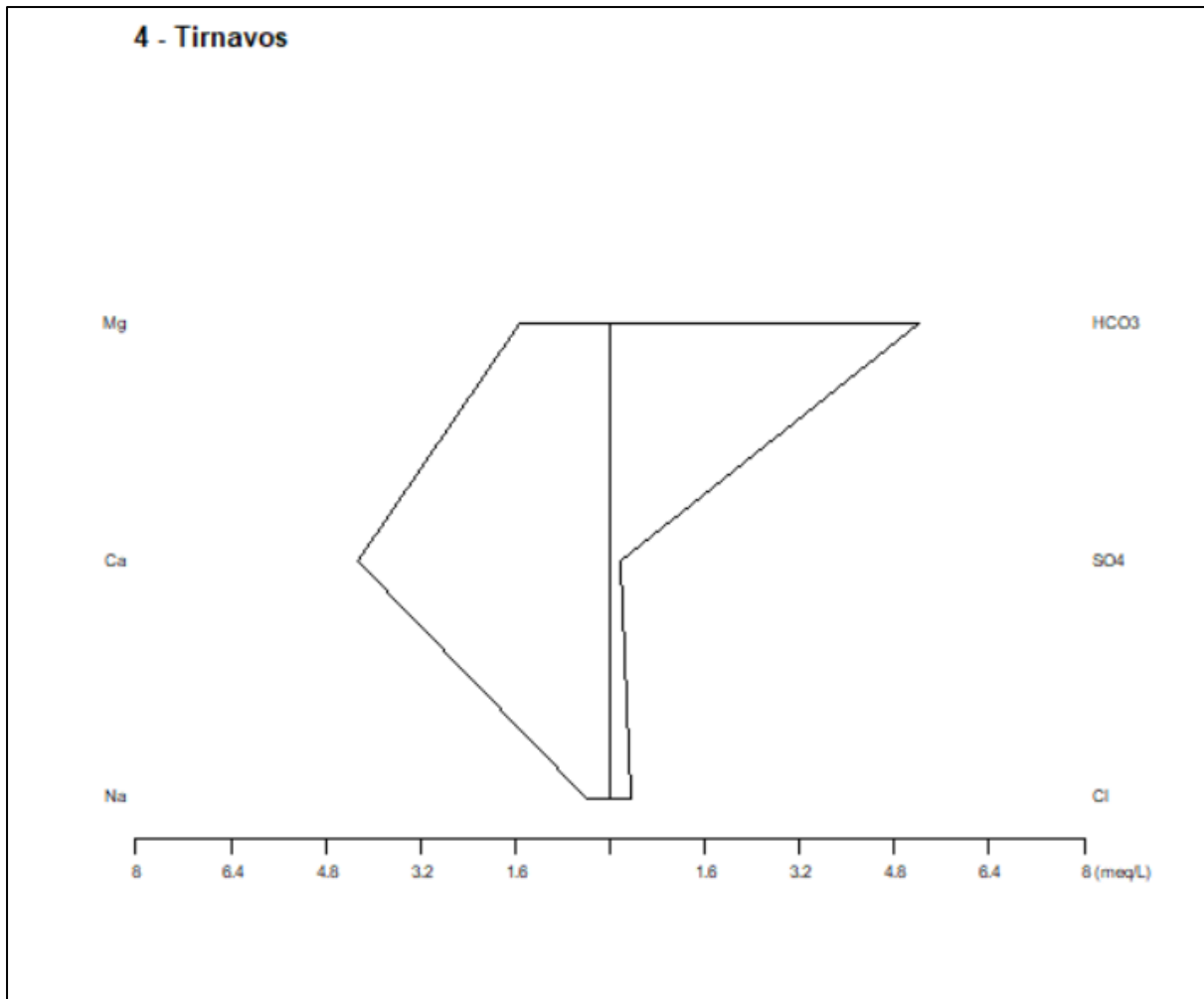
Εικόνα 3.5: Διάγραμμα Stiff για το δείγμα από τη Διάβα (Aquachem 2014.2)



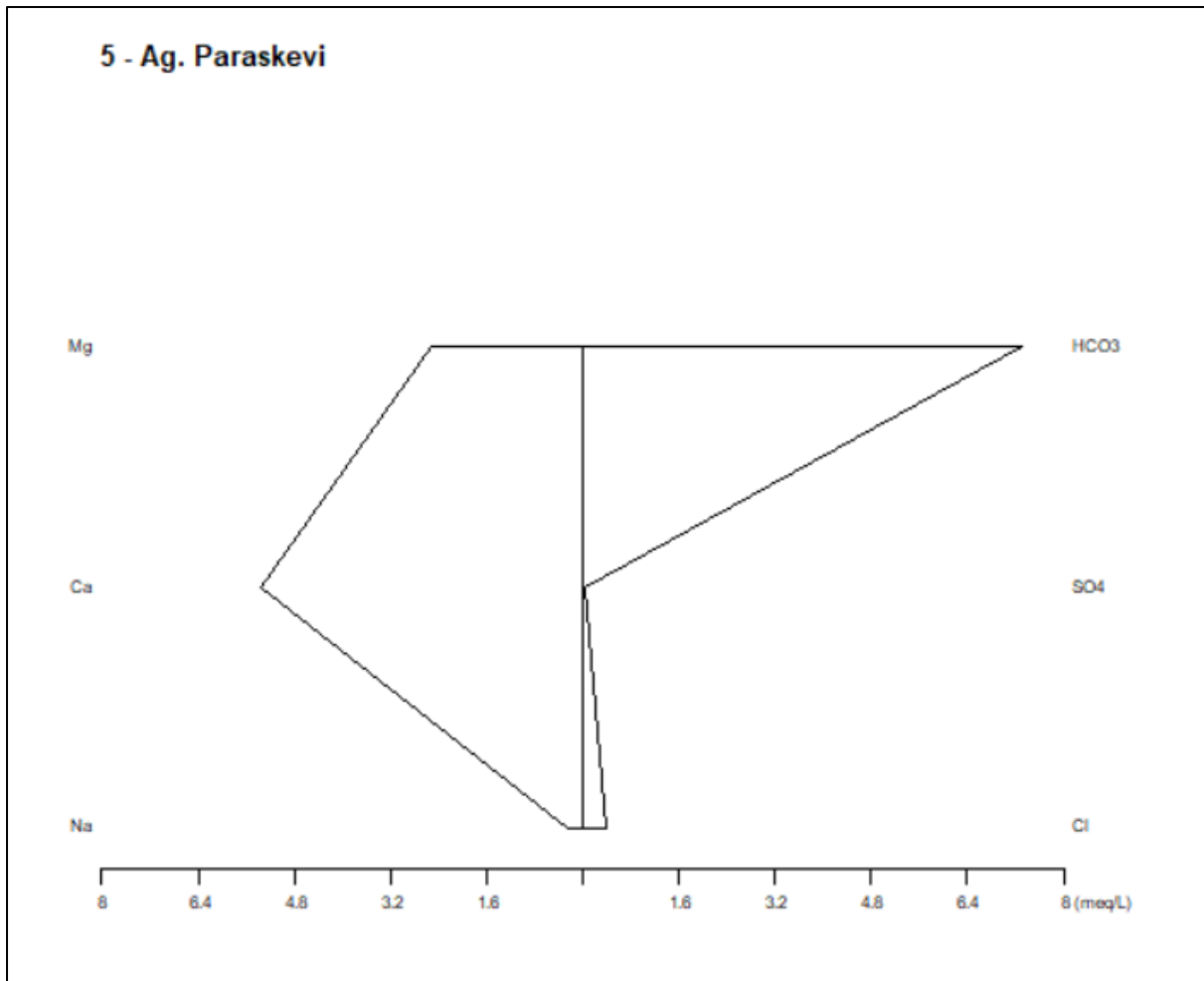
Εικόνα 3.6: Διάγραμμα Stiff για το Κεραμίδι (Aquachem 2014.2)



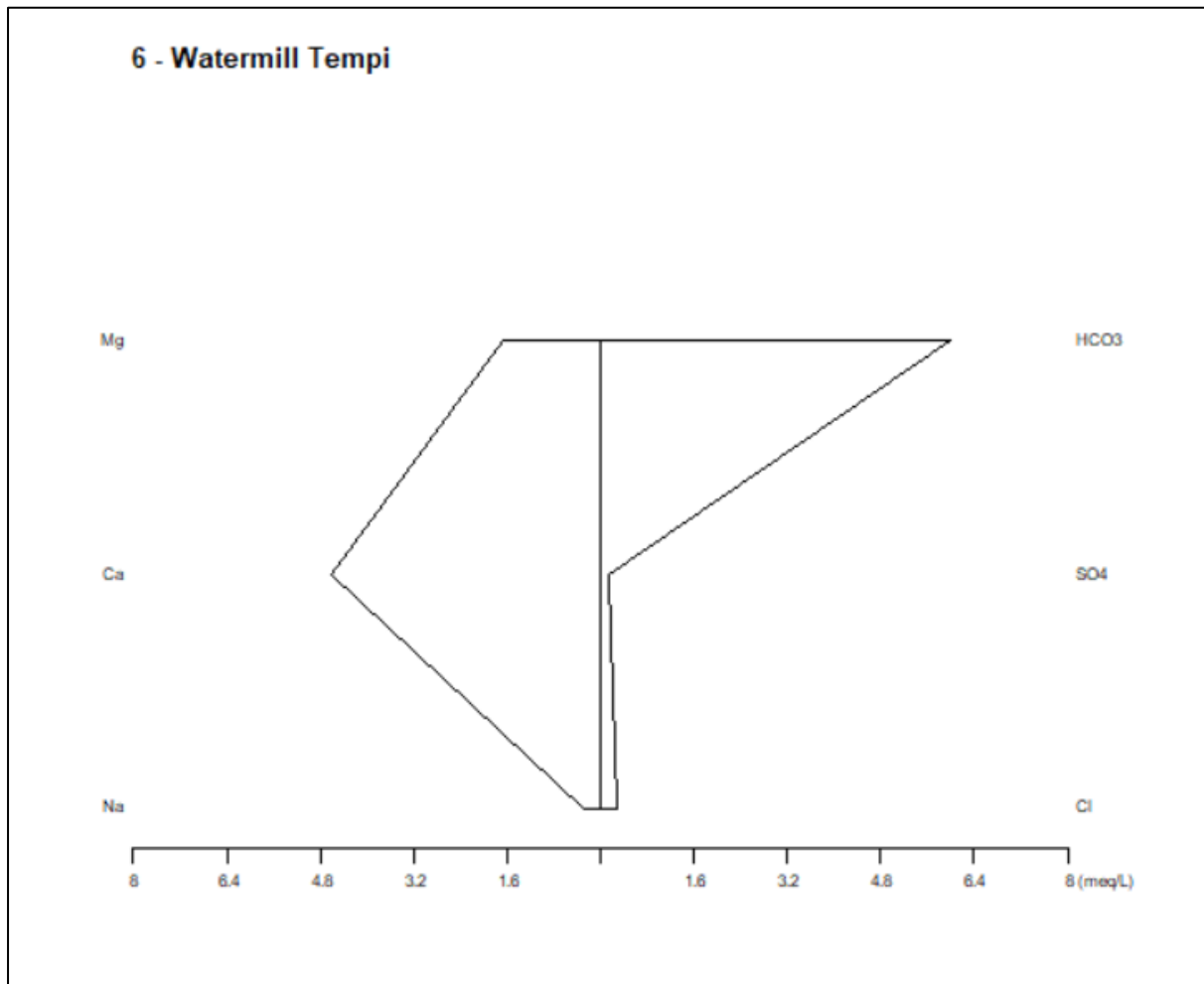
Εικόνα 3.7: Διάγραμμα Stiff για το δείγμα από την Αμυγδαλέα (Aquachem 2014.2)



Εικόνα 3.8: Διάγραμμα Stiff για το δείγμα του Τυρνάβου (Aquachem 2014.2)



Εικόνα 3.9: Διάγραμμα Stiff για το δείγμα από την Αγία Παρασκευή Τεμπών (Aquachem 2014.2)



Εικόνα 3.10: Διάγραμμα Stiff για το δείγμα από την πηγή στο Υδροτριβείο Τεμπών (Aquachem 2014.2)

Τα διαγράμματα Stiff για όλες τις περιοχές δειγματοληψίας παρουσιάζουν μία σχετική ομοιομορφία. Η πιο εμφανής διαφοροποίηση βρίσκεται στο διάγραμμα από το Κεραμίδι που παρατηρούμε χαμηλότερη συγκέντρωση σε κατιόντα Ca^{+2} σε σχέση με τις υπόλοιπες περιοχές. Επιπλέον, στην Αγία Παρασκευή Τεμπών παρουσιάζονται αυξημένα ανιόντα HCO_3^- . Είναι

επίσης εμφανής η μειωμένη συγκέντρωση Mg^{+2} στο διάγραμμα για την πηγή της Αμυγδαλέας. Ωστόσο, όπως παρατηρούμε σε όλα τα διαγράμματα υπερτερούν το Ca^{+2} , το Mg^{+2} και το HCO_3^- .

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

1. Οι φυσικοχημικές παράμετροι (θερμοκρασία, pH, αγωγιμότητα, διαλυμένα στερεά) και τα ιόντα που μετρήθηκαν (Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , K^+ , NH_4^+ , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{-2} , NO_3^- , NO_2^- , PO_4^{-3}) σε όλες τις περιοχές δειγματοληψίας δεν υπερέβησαν τα θεσμοθετημένα όρια της Ευρωπαϊκής Ένωσης όσο και των Η.Π.Α. Αυτό υποδηλώνει την καλή ποιότητα των υδάτων των πηγών.
2. Τα ολικά διαλυμένα στερεά (TDS) στην περιοχή Αγίας Παρασκευής Τεμπών ξεπερνάνε το όριο που έχει θεσπίσει ο EPA των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής και αυτό μπορεί να οφείλεται στην παρουσία ιόντων ασβεστίου.
3. Βάση του διαγράμματος Piper, τα ύδατα χαρακτηρίζονται ως ασβεστούχα – μαγνησιούχα, με υπερίσχυση του ενός ή του άλλου και με παρουσία όξινων ανθρακικών σε όλα τα σημεία δειγματοληψίας, εκτός από την πηγή της Αμυγδαλέας που το Mg^{+2} απαντάται σε αρκετά μειωμένη συγκέντρωση.
4. Με βάση το διάγραμμα Durov, πρόκειται για φρέσκα νερά που πιθανότατα περνούν από ψαμμίτες, ασβεστόλιθους καθώς και άλλα ανθρακικά πετρώματα.
5. Σύμφωνα με τα διαγράμματα Stiff η παρουσία ασβεστίου και μαγνησίου μπορεί να προέρχεται από τη διάλυση των ασβεστόλιθων και δολομιτών που εμφανίζονται στην περιοχή έρευνας.

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική Βιβλιογραφία

Αντωνόπουλος Β. (2003) Ποιότητα και Ρύπανση Υπόγειων Νερών. Εκδόσεις ΖΗΤΗ, Θεσσαλονίκη

Αργυράκη Α. (2007) Σημειώσεις του μαθήματος Αναλυτική Γεωχημεία. Εθνικό Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών

Βουδούρης Κ. (2006) Θέματα Υδρογεωλογίας Περιβάλλοντος, Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρολογίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Κεφ 3 σελ 1-35

Βουδούρης Κ. (2009) Υδρογεωλογία Περιβάλλοντος- Υπόγεια νερά και περιβάλλον Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη, σελ. 460

Δημητρίου Δ., (2015) Παρακολούθηση και αποτίμηση της ποιότητας του νερού του ποτάμιου οικοσυστήματος του Πηνειού. Μεταπτυχιακή Διατριβή, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Επιχειρησιακό Πρόγραμμα (2007-2013) Στρατηγική Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιχειρήσεων (ΣΜΠΕ) του ΠΕΠ Χωρικής Ενότητας Θεσσαλίας, Στερεάς Ελλάδας και Ηπείρου

Θεοδωρίκας Σ. (2014) Γεωχημεία. Γραφικές Τέχνες «Μέλισσα», Θεσσαλονίκη, σελ. 637-651

Καλλέργης Γ. (2000) Εφαρμοσμένη Περιβαλλοντική Υδρογεωλογία. 2η έκδοση, Τόμος Β', έκδοση Τ.Ε.Ε. Αθήνα σελ. 345

Κελεπερτζής Α. (2007) Γεωχημεία. Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα, σελ. 73-151

Κοσμίδης Δ., (2012) Κατανομή κύριων και βασικών ιόντων, άζωτο και φώσφορος στα ιζήματα της λίμνης Κάρλας. Μεταπτυχιακή Διατριβή, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

ΚΥΑΥ2/2600/2001ΦΕΚ 892/Β'/11-07-2001 «Ποιότητα νερού ανθρώπινης κατανάλωσης» σε συμμόρφωση προς την οδηγία 98/83/ΕΚ του Συμβουλίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης της 3^{ης} Νοεμβρίου 1998

Κωτούλας Δ. (2001) Υδρολογία και Υδραυλική Φυσικού Περιβάλλοντος. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Λιοδάκης Σ. (2003) Εφαρμοσμένη Ανόργανη Χημεία 1. Εκδόσεις Παρισιάνος, Αθήνα

Λοιζίδου Μ. (2006) Διενέργεια δειγματοληψιών, μετρήσεων και αναλύσεων σε ύδατα και υγρά απόβλητα. Μονάδα Περιβαλλοντικής Επιστήμης και Τεχνολογίας, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα

Μαντούζα Α., (2008) Ανάλυση της λεκάνης του ποταμού Πηνειού στα πλαίσια της οδηγίας 2000/60 με χρήση γεωγραφικών συστημάτων πληροφόρησης. Μεταπτυχιακή Διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Μαυρομάτης Β. (2003) Παρακολούθηση της συγκέντρωσης βαρών μετάλλων στο θαλασσινό νερό και σε εμπορεύσιμα είδη οστράκων των κόλπων Καλλονής και Μούδρου του νομού Λέσβου. Διατριβή, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Μυτιλήνη

Μελάς Ε. (2014) Διερεύνηση των υδρογεωλογικών συνθηκών στη λεκάνη του Μεσάπιου ποταμού (Δυτική Εύβοια) με έμφαση στην υποβάθμιση των υπόγειων νερών από φυσικούς και ανθρωπογενείς παράγοντες. Μεταπτυχιακή Διατριβή, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών

- Μήτρακας Μ. (2001)** Ποιοτικά Χαρακτηριστικά και Επεξεργασία Νερού. Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη σελ. 543
- Μητρόπουλος Π., Κελεπερτζής Α. (2012)** Μαθήματα Γεωχημείας. Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα, σελ. 196-260
- Μπαντάκου Ι., (2021)** Μικροβιολογική και χημική ποιότητα νερού που προέρχεται από πηγές. Μεταπτυχιακή Διατριβή, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
- Μπάφα Ε., (2018)** Ποιοτική ανάλυση των υπόγειων νερών της λεκάνης απορροής του Αράχθου. Μεταπτυχιακή Διατριβή, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
- Νεοφύτου Ν., (2007)** Διερεύνηση των επιπτώσεων από την εγκατάσταση και λειτουργία ιχθυοκαλλιεργητικών μονάδων, με έμφαση στην επιλογή δεικτών καθοριστικών του βαθμού της προκαλούμενης ρύπανσης στο θαλάσσιο περιβάλλον. Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
- Νταρακάς Ε. (2010)** Προστασία Περιβάλλοντος και βιώσιμη ανάπτυξη. Σημειώσεις του προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών Στοιχεία Χημείας Περιβάλλοντος, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
- Νταρακάς Ε. (2014)** Ποιοτικά χαρακτηριστικά και Διεργασίες επεξεργασίας νερού. Θεσσαλονίκη
- Οδηγία 2006/44/ΕΚ** του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 6ης Σεπτεμβρίου 2006 περί της ποιότητας των γλυκών υδάτων που έχουν ανάγκη προστασίας ή βελτιώσεως για τη διατήρηση της ζωής των ιχθύων <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/PDF/?uri=CELEX:32006L0044&from=EN>
- Οδηγία 98/83/ΕΚ** του Συμβουλίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης της 3ης Νοεμβρίου 1998 σχετικά με την ποιότητα του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης <http://eurlex.europa.eu/legalcontent/EL/TXT/PDF/?uri=CELEX:31998L0083&from=EN>
- Οδηγία 80/778/ΕΟΚ** του Συμβουλίου της 15ης Ιουλίου 1980 περί της ποιότητας του πόσιμου νερού <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/c0ad00db-b82c-46ab-af4b-4691225fbd6d/language-el/format-PDF/1B>
- Παπαδογιάννης Ι., Σαμανίδου Β.Φ. (1996)** Ενόργανη Χημική Ανάλυση. Εκδόσεις Α. Σιμώνη –Σ. Χατζηπάνου Ο.Ε., Θεσσαλονίκη
- Παπαντώνης Α., (2015)** Υδροχημική μελέτη και ποιότητα υδάτων του ταμιευτήρα Καλαμακίου Λάρισας. Μεταπτυχιακή Διατριβή, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
- Παρασκευοπούλου Β., Μπούρα Ν., Μπότσου Φ., Μανδαμαδιώτου Β., Καραμπιτσάκου Δ., Χελιώτη Α., Παπαναγιώτου Κ., Γραμματικοπούλου Κ., Δασενάκης Δ., Λαζογιάννης Κ., Πούλος Σ. (2015)** Μελέτη θρεπτικών συστατικών στον κατώτερο ρου του Πηνειού ποταμού (Θεσσαλία) τη διετία 2012 – 2014. Πρακτικά 11ου Πανελληνίου Συμποσίου Ωκεανογραφίας & Αλιείας, Μυτιλήνη, σελ. 349-352
- Σάκκας Ι.Γ. (2011)** Μέτρηση νιτρορύπανσης σε υπόγεια νερά στην περιοχή της Λάρισας. Μεταπτυχιακή Διατριβή, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
- Σεξαμπάνη Δ. (2014)** Μελέτη ποιότητας των υπόγειων υδάτων του Θεσσαλικού κάμπου ως προς βαρέα μέταλλα σε περιοχές έντονα, μέτρια και ελάχιστα ρυπασμένες με νιτρικά ιόντα. Μεταπτυχιακή Διατριβή, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
- Σιμοπούλου Δ. (2015)** Διαχρονική υδρολογική διαφοροποίηση του Πηνειού. Επιπτώσεις στο Περιβάλλον. Μεταπτυχιακή Διατριβή, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Σούλιος Γ. (2004) Γενική υδρογεωλογία. Εκδοτικός οίκος αδελφών Κυριακίδη, Θεσσαλονίκη, σελ. 199-249

Τσακίρης Γ. (2010) Υδραυλικά Έργα-Σχεδιασμός και Διαχείριση (Τόμος Ι): Αστικά Υδραυλικά Έργα.. Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα, σελ. 175-244,

Τσόγκας Χ. (1999) Υδρολογία. Εκδόσεις Ιων, Αθήνα, σελ. 167-169

Υπουργείο Περιβάλλοντος & Ενέργειας – Ειδική Γραμματεία Υδάτων, Κατάρτιση του Σχεδίου Διαχείρισης Λεκανών Απορροής Ποταμών του ΥΔ Θεσσαλίας (EL08)

Φυτιάνος Κ., Σαμανίδου Β. (1988) Η Ρύπανση των Θαλασσών. University Studio Press, Θεσσαλονίκη

Χατζημπίρος Κ., Παναγιωτίδης Π., (1999) Ολοκληρωμένη Διαχείριση Παράκτιας Ζώνης - Αξιολόγηση της εφαρμογής του Ευρωπαϊκού Θεσμικού Πλαισίου, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Ινστιτούτο Ωκεανογραφίας, Ελληνικό Κέντρο Θαλασσιών Ερευνών

Ψιλοβίκος Α., Ψιλοβίκος Α. (2010) Ιζηματολογία. Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη, σελ. 196-213

Ξένη Βιβλιογραφία

Abdulaziz M. Al-Bassam, Hussein S. Awad, Jomaah A. Al-Alawi (1997) Durov Plot: A Computer Program for Processing and Plotting Hydrochemical Data. The Groundwater Association, 35(2):362-367

Chapman J.C. (1995) The role of ecotoxicity testing in assessing water quality. Australian Journal of Ecology, 20:20-27

Chong Teng W., Leong Fong K., Shenkar D., Wilson J.A., Foo D.C.Y (2016) Piper diagram – A novel visualisation tool for process design. Chemical Engineering Research and Design, 112:132-145

Durov S.A. (1948) Natural waters and graphic representation of their composition. Dokl Akad Nauk SSSR

Hem J.D. (1985) Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water. United States Geological Survey Water Supply, 2254

Hounslow AW (1995) Water quality data, analysis and interpretation. Lewis Publishers, Boca Raton, Florida

Leitz F., Guerra K., (2013) Water Chemistry Analysis for Water Conveyance, Storage, and Desalination Projects. U.S Department of the Interior Bureau of Reclamation Technical Service Center Denver, Colorado

Liddicoat M. I., Tibbits S, Butler E. I., (1974) The determination of ammonia in seawater. Limnol. Ocean., 20: 131-132.

Mahleras A., Kontogianni A., Skourtos M. (2007) Pinios River Basin - Greece (Deliverable D34). AquaMoney

Murphy J., Riley J.P. (1962) A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. Analytica Chimica Acta, 27:31-36

Nadiri A.A., Moghaddam A.A., Tsai F., Fijani E. (2013) Hydrogeochemical analysis for Tasuj plain aquifer, Iran. Journal of Earth System Science, 122:1091–1105

Onwuka O.S., Ezugwu C.K., Ifediegwu S.I. (2018) Assessment of the impact of onsite sanitary sewage system and agricultural wastes on groundwater quality in Ikem and its environs, south-eastern Nigeria. Geology, Ecology and Landscapes, 3(1):65-81

- Papadopoulou K., Vrinotis K., (2007)** Quality of soil and water in deltaic deposits of Louros and Arachthos rivers related to karstic rocks of the wider area. Proceedings of 11th International Congress, Geological Society of Greece, Athens
- Parinet B., Lhote A., Legube B. (2004)** Principal component analysis: an appropriate tool for water quality evaluation and management—application to a tropical lake system. *Ecological Modelling*, 178(3-4): 295-311
- Parsons T. R., Maita Y., Lalli C. M. (1984)** A manual of chemical and biological methods for sea water analysis. Pergamon, Oxford.
- Petrotou A., Skordas K., Papastergios G., Filippidis A. (2012)** Factors affecting the distribution of potentially toxic elements in surface soils around an industrialized area of northwestern Greece. *Environmental Earth Sciences*, 65(3):823-833
- Piper M. (1944)** A graphic procedure in the geochemical interpretation of water-analyses. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 25(6): 914-928
- Ravikumar P., Somashekar R.K., Prakash K.L. (2015)** A comparative study on usage of Durov and Piper diagrams to interpret hydrochemical processes in groundwater from SRLIS river basin, Karnataka, India. *Elixir International Journal*, 80:31073-31077
- Skordas K., Kelepertzis E., Kosmidis D., Panagiotaki P., Vafidis D. (2014)** Assessment of nutrients and heavy metals in the surface sediments of the artificially lake water reservoir Karla, Thessaly, Greece. *Environmental Earth Sciences*, 73:4483-4493
- Skordas K., Neofitou N., Karapanagiotidis I., Neofitou C. (2007)** Hydrogeochemistry of the major ions and quality of groundwater of the hydrological basin of Amyros river, Larisa region, Thessaly-Greece. *Mineral Wealth*, 147/2008:45-56
- Skordas K., Papastergios G., Tziantziou L., Neofitou N., Neofitou C. (2013)** Groundwater hydrogeochemistry of Trikala municipality, central Greece. *Environmental monitoring and assessment*, 185(1):81-94
- Stambuk-Giljanovic N. (2006)** The pollution load by nitrogen and phosphorus in the Jadro River. *Environmental Monitoring and Assessment*, 123:13-30
- Tonjes D.J., Black J.A., Heil J.H. (1993)** Understanding Groundwater conditions at the town of Brookhaven Landfill through sliding Stiff diagrams
- Tryfon H., Moustaka – Gouni M., Nikolaidis G. (1996)** Phytoplankton and Nutrients in the River Strymon, Greece. *Int. Revue Ges. Hydrobiol.* 81:281 – 292
- Tyler G., Miller J. (1999)** Living in the environment. Nelson Education Ltd
- United States Environmental Protection Agency (EPA) (2001)** National Primary Drinking Water Regulations <https://www.epa.gov/ground-water-and-drinking-water/national-primary-drinking-water-regulations>

6. ABSTRACT

This thesis is a hydro geochemical study of several springs throughout Pinios River, one of the largest rivers in Greece and important prosperity factor for the Region of Thessaly. The quality characteristics of the water that emanates from river's springs to its estuary, play a decisive role for the overall quality of the river, ecosystem's function and prosperity of humans. The main purpose of this study was the hydrochemical characterization of water and its quality characteristics.

In total, six sample points were chosen for this study. All of them were springs which end up in Pinios River. The sample points were Diava, Keramidi, Amigdalea, Tirnavos, Agia Paraskevi and Tempi's Wtaermill.

The collected water samples were analysed for physicochemical parameters (temperature, pH, EC, TDS), the major ions Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , K^+ , NH_4^+ , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{-2} , and the nutrients NO_3^- , NO_2^- , PO_4^{-3} . All these analyses took place in the Oceanography Laboratory of the Department of Ichthyology and Aquatic Environment, University of Thessaly. Also, data were analysed through the Aquachem 2014.2 groundwater package software which indicates in water analysis. Through this software, the Piper, Durov and Stiff diagrams were created, necessary diagrams for this study.

The results of chemical analysis of the water samples present the ranges for the temperature, pH and electrical conductivity which were 14,2 to 15,5°C, 7,2 to 7,5 and 378 to 645 $\mu\text{S}/\text{cm}$ respectively.

According to Piper diagram, the main water type was Ca-Mg- HCO_3 , whereas the representation of the concentrations showed that the waters are within freshwater limits. According to Durov diagram, water is characterised also as fresh water with HCO_3 and Ca domination which is

often related with limestone, sandstone, and many other aquifers. Stiff diagrams were made separately for each sample, and they have also shown a domination of Ca and HCO₃.

The conclusions of the present study are based on the quality characteristics of Pinios River, while they are also related to the limits of the European Union Directive 98/83 and E.P.A. 2001 for drinking water.

Keywords: Pinios River, quality characteristics, physiochemical parameters, concentration of ions, European Union Directive 98/83, E.P.A. 2001