



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΩΝ ΧΗΜΙΚΩΝ  
ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ ΝΕΡΟΥ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΠΡΟΤΥΠΕΣ  
ΜΕΘΟΔΟΥΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ**



**ΘΕΟΔΩΡΟΠΟΥΛΟΥ ΔΕΣΠΟΙΝΑ (ΑΜ:7323)**

**ΕΠΟΠΤΕΥΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΠΑΝΑΓΟΠΟΥΛΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ**  
(Αναπληρωτής Καθηγητής)

**ΠΑΤΡΑ 2022**

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία πραγματοποιείται την ανάπτυξη πρωτοκόλλων χημικών αναλύσεων νερού σύμφωνα με πρότυπες μεθόδους ανάλυσης. Η εργασία υλοποιήθηκε στα πλαίσια των σπουδών στο Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου, Σχολή Μηχανικών, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών.

Η επιλογή του παρόντος θέματος έγινε με γνώμονα την σπουδαιότητα του νερού αφού η ζωή όλων των ζωντανών οργανισμών (άνθρωποι, ζώα, φυτά) εξαρτάται άμεσα από αυτό. Το νερό έχει σημαντική αξία στην διατήρηση της ζωής, διότι τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά και ιδιότητες (χαρακτηριστικοί δεσμοί υδρογόνου μεταξύ των μορίων και η πολικότητα) το καθιστούν απαραίτητο και αναγκαίο στοιχείο ζωής. Ωστόσο, το νερό για να καταναλωθεί χωρίς να δημιουργεί πρόβλημα στην ανθρώπινη ζωή θα πρέπει να πληροί συγκεκριμένες προδιαγραφές ποιοτικών χαρακτηριστικών, φυσικοχημικές και μικροβιολογικές, οι οποίες ορίζονται από ισχύουσες νομοθετικές διατάξεις.

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κ. Παναγόπουλο Γεώργιο, Αναπληρωτή Καθηγητή και επόπτη της παρούσας Πτυχιακής Εργασίας για την αμέριστη συμπαράσταση του καθώς και την καθοδήγηση του με στόχο την άρτια διεκπεραίωση της. Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την οικογένεια μου που ήταν δίπλα μου και με στήριζαν σε κάθε μου βήμα καθώς και τους φίλους μου που ήταν συνοδοιπόροι σε αυτό το ταξίδι.



**Υπεύθυνη Δήλωση Φοιτητή:** Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Φοιτητής έχω επίγνωση των συνεπειών του Νόμου περί λογοκλοπής και δηλώνω υπεύθυνα ότι είμαι συγγραφέας αυτής της Διπλωματικής Εργασίας, έχω δε αναφέρει στην Βιβλιογραφία μου όλες τις πηγές τις οποίες χρησιμοποίησα και έλαβα ιδέες ή δεδομένα. Δηλώνω επίσης ότι, οποιοδήποτε στοιχείο ή κείμενο το οποίο έχω ενσωματώσει στην εργασία μου προερχόμενο από Βιβλία ή άλλες εργασίες ή το διαδίκτυο, γραμμένο ακριβώς ή παραφρασμένο, το έχω πλήρως αναγνωρίσει ως πνευματικό έργο άλλου συγγραφέα και έχω αναφέρει ανελλιπώς το όνομά του και την πηγή προέλευσης.

Η Φοιτήτρια  
Θεοδωροπούλου Δέσποινα

(Υπογραφή)

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ζωή στον πλανήτη είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με το νερό αφού σε μεγάλο ποσοστό κάθε ζωντανός οργανισμός (άνθρωποι, ζώα και φυτά) αποτελείται από νερό. Χωρίς την ύπαρξη του νερού δεν δίνεται η δυνατότητα ύπαρξης ζωής στη γη, κάτι που διακρίνεται από τα πρώτα χρόνια εμφάνισης του ανθρώπου όπου επιβίωσε και κατοικούσε σε περιοχές με νερό με σκοπό να καλύπτονται οι ανάγκες για πόση αλλά και οι ανάγκες και κάθε είδους δραστηριότητα. Ωστόσο, με το πέρασμα των χρόνων την αστικοποίηση και κατ' επέκταση την ρύπανση του περιβάλλοντος η ποιότητα του νερού υποβαθμίστηκε με συνέπεια να απαιτείται έλεγχος, ο οποίος θα το κρίνει κατάλληλο ή μη για την χρήση του ως πόσιμο.

Το πόσιμο νερό λόγω της σπουδαιότητας που παίζει στην επιβίωση του ανθρώπου παρουσιάζει αυξημένο επιστημονικό ενδιαφέρον. Η κακή ποιότητα του νερού μπορεί να δημιουργήσει από προβλήματα υγείας μέχρι και να προκαλέσει και θάνατο. Για την διαφύλαξη της ανθρώπινης ζωής έχει δημιουργηθεί ένα Νομοθετικό Πλαίσιο με κατάλληλες παραμέτρους για την ποιότητα του νερού καθώς και τα επιτρεπτά όρια των στοιχείων που περιέχει. Η παρούσα πτυχιακή εργασία στοχεύει στην ανάπτυξη πρωτοκόλλων ανάλυσης των φυσικών παραμέτρων του ποτίμου νερού. Τα πρωτόκολλα αυτά ακολουθούν πρότυπες μεθοδολογίες με απώτερο σκοπό να θα αξιολογηθούν τα αποτελέσματα και η ακρίβεια των μετρήσεων με μετρήσεις προτύπων διαλυμάτων και δειγμάτων ελέγχου.

Λέξεις κλειδιά: Πόσιμο νερό, φυσικοχημικές ιδιότητες, πρωτόκολλα

## Πίνακας περιεχομένων

ΠΡΟΛΟΓΟΣ .....	2
ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	4
ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	1
1. ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΠΟΣΙΜΟΥ ΝΕΡΟΥ .....	3
1.1. ΣΥΣΤΑΣΗ ΦΥΣΙΚΟΥ ΝΕΡΟΥ .....	3
1.2. ΠΟΣΙΜΟ ΝΕΡΟ .....	4
1.3. ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΝΕΡΟΥ .....	5
1.3.1. ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ .....	10
1.3.2. ΒΙΟΧΗΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ .....	20
1.3.3. ΜΙΚΡΟΒΙΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ .....	21
2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΕΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ .....	23
2.1. ΣΚΟΠΟΣ .....	23
2.2. ΓΕΝΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ .....	23
2.3. ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ .....	24
3. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΝΕΡΟΥ .....	31
3.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	31
3.2. ΜΕΘΟΔΟΣ «ΑΜΜΩΝΙΑ – SDIC» .....	32
3.2.1. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ .....	32
3.2.2. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ .....	35
3.3. ΜΕΘΟΔΟΣ «ΝΙΤΡΙΚΑ ΚΑΙ ΝΙΤΡΩΔΗ ΑΛΑΤΑ» .....	37
3.3.1. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ .....	37
3.3.2. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ .....	40
3.4. ΜΕΘΟΔΟΣ «ΝΙΤΡΩΔΗ ΙΟΝΤΑ» .....	41
3.4.1. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ .....	41
3.4.2. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ .....	43
3.5. ΜΕΘΟΔΟΣ «ΘΕΙΚΑ ΙΟΝΤΑ» .....	45
3.5.1. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ .....	45
3.5.2. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ .....	47
3.6. ΜΕΘΟΔΟΣ «ΑΛΚΑΛΙΚΟΤΗΤΑ» .....	48
3.6.1. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ .....	48
3.6.2. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ .....	49
3.7. ΜΕΘΟΔΟΣ «ΑΣΒΕΣΤΙΟΥ - ΤΙΤΛΟΔΟΤΗΣΗ» .....	50
3.7.1. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ .....	50
3.7.2. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ .....	53
3.8. ΜΕΘΟΔΟΣ «ΟΛΙΚΗΣ ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑΣ» .....	55
3.8.1. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ .....	55
3.8.2. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ .....	57
3.9. ΜΕΘΟΔΟΣ «ΧΛΩΡΙΟΝΤΑ» .....	58



3.9.1.	ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ .....	58
3.9.2.	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ .....	60
3.10.	ΜΕΘΟΔΟΣ ΦΛΟΓΟΦΩΤΟΜΕΤΡΙΑ .....	61
3.10.1.	ΜΕΘΟΔΟΣ «ΚΑΛΙΟ».....	62
3.10.2.	ΜΕΘΟΔΟΣ «ΝΑΤΡΙΟ».....	63
3.11.	ΜΕΘΟΔΟΣ ΦΑΣΜΑΤΟΦΩΤΟΜΕΤΡΙΑ ΑΤΟΜΙΚΗΣ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ.....	64
3.11.1.	ΜΕΘΟΔΟΣ «ΧΑΛΚΟΣ».....	65
3.11.2.	ΜΕΘΟΔΟΣ «ΟΛΙΚΟΣ ΣΙΔΗΡΟΣ».....	67
3.11.3.	ΜΕΘΟΔΟΣ «ΟΛΙΚΟ ΜΑΓΓΑΝΙΟ» .....	69
3.11.4.	ΜΕΘΟΔΟΣ «ΜΑΓΝΗΣΙΟ».....	71
3.11.5.	ΜΕΘΟΔΟΣ «ΑΣΒΕΣΤΙΟ».....	72
3.12.	ΜΕΘΟΔΟΣ ΦΑΙΝΟΛΩΝ.....	74
3.11.1.	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ .....	80
	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	81
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	83

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Πόσιμο Νερό .....	5
Εικόνα 2: Ενδεικτικά ψηφιακά θερμόμετρα νερού.....	11
Εικόνα 3: Ενδεικτικά α) χρωματομετρικά β) αναλογικό και γ) ψηφιακό pH-μετρα νερού .....	12
Εικόνα 4: Ενδεικτικό φορητό αγωγιμόμετρο νερού (TDS/EC/Θερμοκρασίας).....	13
Εικόνα 5: Το χρώμα βασική παράμετρος ποιότητας νερού.....	15
Εικόνα 6: Ενδεικτικό θολόμετρο .....	16
Εικόνα 7: (α) Φούρνος, (β) μαγνητικός αναδευτήρας, (γ) φασματόμετρο, δ) ψηφιακό φασματοφωτόμετρο, (ε) ψηφιακό pH,(στ) ψηφιακός ζυγός, (ζ) χρονόμετρο .....	25
Εικόνα 8: Φασματόμετρο ατομικής απορρόφησης (Φλογοφωτομετρία).....	26
Εικόνα 9: Τιτλοδότης .....	27
Εικόνα 10: Ενδεικτικές πιπέτες.....	27
Εικόνα 11: Κεραμική κάψα .....	28
Εικόνα 12: Ράβδοι ανάδευσης α) γυάλινη ράβδος και β) μαγνητική ράβδος.....	28
Εικόνα 13: Υαλικά σκεύη για την διεξαγωγή πειραμάτων (α) κωνικές φιάλες (β) ποτήρια ζέσεως γ) ογκομετρικές φιάλες, δ) προχοϊδες από βοριοπυριτικό γυαλί, ε) σιφώνια μέτρησης και ζ) σιφώνια πλήρωσης.....	29
Εικόνα 14: α) και β) χώρος αποθήκευσης υαλικών σκευών.....	30
Εικόνα 15: 1 <sup>ο</sup> Αντιδραστήριο: διάλυμα sodium salicylate (R1 SAL) και 2 <sup>ο</sup> Αντιδραστήριο: διάλυμα sodium dichloroisocyanurate (R2 SDIC). .....	33
Εικόνα 16: α) Δείγματα για την μέτρηση της συνολικής περιεκτικότητας σε νιτρώδη άλατα και β) Ψηφιακό Φασματοφωτόμετρο .....	37
Εικόνα 17: 1 <sup>ο</sup> Αντιδραστήριο: υδροξείδιο του νατρίου (NaOH) - R1TONAQ), 2 <sup>ο</sup> Αντιδραστήριο: θειικός χαλκός (CuSO <sub>4</sub> ) - R <sub>2</sub> TONAQ και 3 <sup>ο</sup> Αντιδραστήριο: χρώματος - R <sub>3</sub> TONAQ.....	39
Εικόνα 18: Μαλακτικό (conditioning) Αντιδραστήριο .....	46
Εικόνα 19: Προετοιμασία τυφλού δείγματος στο ψηφιακό φασματοφωτόμετρο.....	47
Εικόνα 20: Δείκτης Μουρεξιδίου, αλλαγή χρώματος από ροζ σε μωβ.....	52
Εικόνα 21: Τελικό σημείο μετά από τιτλοδότηση .....	53
Εικόνα 22: Τελικό διάλυμα με την μέθοδο της ολικής σκληρότητας.....	57
Εικόνα 23: Τελικό διάλυμα με την μέθοδο χλωριόντα .....	60
Εικόνα 24: Απεικόνιση αποτελεσμάτων από φωτόμετρο για ατομική απορρόφηση χαλκού (Cu) .....	67
Εικόνα 25: Υλικά και σκεύη για την μέθοδο της ατομικής απορρόφησης σιδήρου (Fe) .....	68
Εικόνα 26: Απεικόνιση αποτελεσμάτων από φασματόμετρο για ατομική απορρόφηση σιδήρου (Fe). .....	69
Εικόνα 27: Απεικόνιση αποτελεσμάτων από φασματόμετρο για ατομική απορρόφηση μαγγανίου (Mn). .....	70

Εικόνα 28: Απεικόνιση αποτελεσμάτων από φασματοόμετρο για ατομική απορρόφηση μαγνησίου ( $Mg^{2+}$ ).....	72
Εικόνα 29: Απεικόνιση αποτελεσμάτων από φασματοόμετρο για ατομική απορρόφηση ιοντικού ασβεστίου ( $Ca^{2+}$ ) .....	74
Εικόνα 30: Αποσταγμένο νερό σε διαχωριστική χοάνη των 500 ml. ....	76
Εικόνα 31: α) 1 <sup>η</sup> χοάνη και β) 2 <sup>η</sup> χοάνη. ....	77
Εικόνα 32: Εξαερισμός.....	77
Εικόνα 33: Προσδιορισμός ιζήματος. ....	78
Εικόνα 34: Τοποθέτηση ενός μικρού κομματιού βαμβακιού στο σωλήνα παράδοσης κάθε χοάνης.....	78
Εικόνα 35: 1 <sup>η</sup> κυψελίδα μηδενικό και 2 <sup>η</sup> κυψελίδα δείγμα. ....	79





## ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1: Ποσοστά φυσικών νερών σε παγκόσμιο επίπεδο.....	3
Σχήμα 2: Ουσίες στο νερό .....	16
Σχήμα 3: Κατάταξη μικροοργανισμών σε φυτά και ζώα .....	22
Σχήμα 4: Ταξινόμηση μικροοργανισμών .....	22
Σχήμα 5: Χημική αντίδραση για μέθοδο των φαινολών (4- aminoantipyrine) .....	75

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Ποιοτικά χαρακτηριστικά νερού .....	6
Πίνακας 2: Ανώτατα επιτρεπτά όρια διαφόρων χημικών στοιχείων και ενώσεων στο πόσιμο νερό [Πηγή: Νταράκας, 2010] .....	7
Πίνακας 3: Ανώτατα επιτρεπτά όρια στο πόσιμο νερό σύμφωνα με τη νομοθεσία της Ε.Ε. (Ενδεικτικές παράμετροι) [Πηγή: Νταράκας, 2010] .....	8
Πίνακας 4: Τυπικές συγκεντρώσεις συστατικών διάφορων τύπων νερού [Πηγή: Τσώνης, 2003] .....	9
Πίνακας 5: Ταξινόμηση συστατικών στο νερό ανάλογα με το επίπεδο συγκέντρωσης .....	10
Πίνακας 6: Ανόργανα συστατικά φυσικών νερών .....	17
Πίνακας 7: Ολικής σκληρότητας .....	18
Πίνακας 8: Μετατροπές μονάδων σκληρότητας νερού.....	19
Πίνακας 9: Κατάταξη νερών σύμφωνα με τη σκληρότητα .....	19
Πίνακας 10: Συγκεντρωτικός πίνακας μεθόδων για την ανάλυση της ποιότητας του νερού. ...	31
Πίνακας 11: Λίστα αντιδραστηρίων για την μέθοδο Αμμωνία - SDIC .....	34
Πίνακας 12: Αποτελέσματα μεθόδου Αμμωνίας - SDIC για NH <sub>4</sub> -N HR (0-80 mg/L N).....	35
Πίνακας 13: Αποτελέσματα μεθόδου Αμμωνίας - SDIC για NH <sub>4</sub> -N HR (0-2 mg/L N).....	35
Πίνακας 14: Λίστα αντιδραστηρίων για την μέθοδο νιτρικά και νιτρώδη άλατα .....	39
Πίνακας 15: Αντιδραστήρια NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> απορρόφηση Νιτρικά.....	40
Πίνακας 16: Αποτελέσματα μεθόδου νιτρικά και νιτρώδη άλατα για συγκέντρωση NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> απορρόφηση Νιτρικά.....	41
Πίνακας 17: Λίστα αντιδραστηρίων για την μέθοδο νιτρικά και νιτρώδες νερά και νιτρικά ..	43
Πίνακας 18: Αντιδραστήρια NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N απορρόφηση νιτρώδη .....	44
Πίνακας 19: Αποτελέσματα μεθόδου νιτρικά και νιτρώδη άλατα για συγκέντρωση NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> - N απορρόφηση νιτρώδη .....	44
Πίνακας 20: Αποτελέσματα μεθόδου θειικά ιόντα .....	48
Πίνακας 21: Λίστα αντιδραστηρίων για την μέθοδο χλωρίοντα .....	59
Πίνακας 22: Αποτελέσματα μετρήσεων ατομικής απορρόφησης K <sup>+</sup> (mg/L) στο φωτόμετρο	62
Πίνακας 23: Αποτελέσματα μετρήσεων ατομικής απορρόφησης Na <sup>+</sup> (mg/L στο φωτόμετρο	63
Πίνακας 24: Αποτελέσματα μεθόδου ατομική απορρόφηση χαλκού (Cu) .....	66
Πίνακας 25: Αποτελέσματα μεθόδου ατομική απορρόφηση σιδήρου (Fe).....	68
Πίνακας 26: Αποτελέσματα μεθόδου ατομική απορρόφηση μαγγανίου (Mn).....	70
Πίνακας 27: Αποτελέσματα μεθόδου ατομική απορρόφηση μαγνησίου (Mg <sup>2+</sup> ).....	71
Πίνακας 28: Αποτελέσματα μεθόδου ατομική απορρόφηση ασβεστίου (Ca).....	73
Πίνακας 29: Μηχανολογικός εξοπλισμός μεθόδου 4- aminoantipyrine .....	75
Πίνακας 30: Παρεμβάσεις μεθόδου 4- aminoantipyrine. ....	79
Πίνακας 31: Αποτελέσματα μεθόδου φαινολών .....	80



## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 1: Καμπύλη βαθμονόμησης $\text{NH}_4\text{-N}$ HR (0-80 mg/L N) .....	36
Διάγραμμα 2: Καμπύλη βαθμονόμησης $\text{NH}_4\text{-N}$ HR (0-20 mg/L N) .....	36
Διάγραμμα 3: Καμπύλη βαθμονόμησης ABS $\text{NO}_3^-$ (mg/L) .....	41
Διάγραμμα 4: Καμπύλη βαθμονόμησης ABS $\text{NO}_2^-$ - N (mg/L) .....	44
Διάγραμμα 5: Καμπύλη βαθμονόμησης ABS $\text{SO}_4^-$ (mg/L) .....	48
Διάγραμμα 6: Καμπύλη βαθμονόμησης της απορρόφησης του χαλκού (Cu).....	66
Διάγραμμα 7: Καμπύλη βαθμονόμησης της απορρόφησης του σιδήρου (Fe) .....	68
Διάγραμμα 8: Καμπύλη βαθμονόμησης της απορρόφησης μαγγανίου (Mn). .....	70
Διάγραμμα 9: Καμπύλη βαθμονόμησης της απορρόφησης ιόντα μαγνησίου ( $\text{Mg}^{2+}$ ).....	72
Διάγραμμα 10: Καμπύλη βαθμονόμησης της απορρόφησης ιοντικού ασβεστίου ( $\text{Ca}^{2+}$ ) .....	73

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το νερό κατατάσσεται σε ένα από τα σημαντικότερα αγαθά για τον άνθρωπο αφού δεν αποτελεί μόνο βασικό στοιχείο επιβίωσης αλλά είναι ένας από τους βασικότερους παράγοντες που επηρεάζει την υγεία του. Η κακή ποιότητα του νερού μπορεί να προκαλέσει από σοβαρές ασθένειες έως ακόμα και θάνατο. Σε περιπτώσεις των μη αναπτυσσόμενων χωρών η κακή ποιότητα του νερού έχει οδηγήσει σε μαζικές επιδημίες και πολυάριθμους θανάτους. Στην περίπτωση όμως των αναπτυσσόμενων χωρών η κακή ποιότητα του νερού οφείλεται στην ρύπανση των υδάτων (υπόγειων και επιφανειακών) με συνέπεια ομοίως να διακρίνονται αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου αλλά τα αποτελέσματα τους είναι μακροπρόθεσμα.

Η ποιότητα του νερού είναι από τα μείζον θέματα που απασχολεί διεθνείς και εθνικούς οργανισμούς καθώς και τις αρμόδιες υπηρεσίες των υδάτων με αποτέλεσμα να πραγματοποιούνται συνεχής μελέτες και έρευνες. Αποτέλεσμα αυτού είναι η προσπάθεια της δημιουργίας προτύπων (standards) τα οποία, όταν εφαρμόζονται, εξασφαλίζουν ποιότητα πόσιμου νερού επαρκώς ασφαλή για τον άνθρωπο. Αυτό που θα πρέπει να σημειωθεί είναι οι επιπτώσεις που δημιουργούν τα στοιχεία του νερού στην υγεία του ανθρώπου δεν είναι όλες γνωστές και υπάρχουν και περιπτώσεις που είναι άγνωστες, παράγοντας που οδηγεί στην επιτακτική ανάγκη για περαιτέρω έρευνες.

Οι σημαντικότεροι οργανισμοί ή υπηρεσίες που έχουν εκδώσει οδηγίες και πρότυπα για την ποιότητα του πόσιμου νερού είναι η Παγκόσμια Οργάνωση Υγείας (Π.Ο.Υ.), η Ευρωπαϊκή Ένωση (Ε.Ε.), η Υπηρεσία Προστασίας Περιβάλλοντος (Υ.Π.Π.) των Η.Π.Α. καθώς και το Εθνικό Συμβούλιο Έρευνας των Η.Π.Α.

Σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η ανάπτυξη πρωτοκόλλων ανάλυσης των φυσικών παραμέτρων του πόσιμου νερού που δύναται να προσδιοριστούν στο εργαστήριο Χημικής και Περιβαλλοντικής Τεχνολογίας, του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών Π.Ε της Σχολής Μηχανικών, του Πανεπιστημίου Πελοποννήσου (Πάτρα). Τα πρωτόκολλα αυτά ακολουθούν πρότυπες μεθοδολογίες, όπως για παράδειγμα της Υπηρεσίας Περιβαλλοντικής Προστασίας των ΗΠΑ κ.ά., με απώτερο σκοπό να αξιολογηθούν τα αποτελέσματα και η ακρίβεια των μετρήσεων με μετρήσεις προτύπων διαλυμάτων και δειγμάτων ελέγχου.

Σε αυτό το σημείο ακολουθεί η δομή της εργασίας:

Στο 1<sup>ο</sup> Κεφάλαιο δίνονται βασικές πληροφορίες για το πόσιμο νερό. Αναλύεται η σύσταση του και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του που διαχωρίζονται σε τρεις κατηγορίες που είναι τα φυσικοχημικά, τα βιοχημικά και τα μικροβιολογικά χαρακτηριστικά.

Στο 2<sup>ο</sup> Κεφάλαιο περιγράφονται τα πρωτόκολλα χημικών αναλύσεων και η μεθοδολογία. Αρχικά αναλύεται ο σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας, ακολουθεί η ανάλυση της γενικής μεθοδολογίας των πειραμάτων και περιγράφεται ο εργαστηριακός εξοπλισμός που θα χρησιμοποιηθεί.



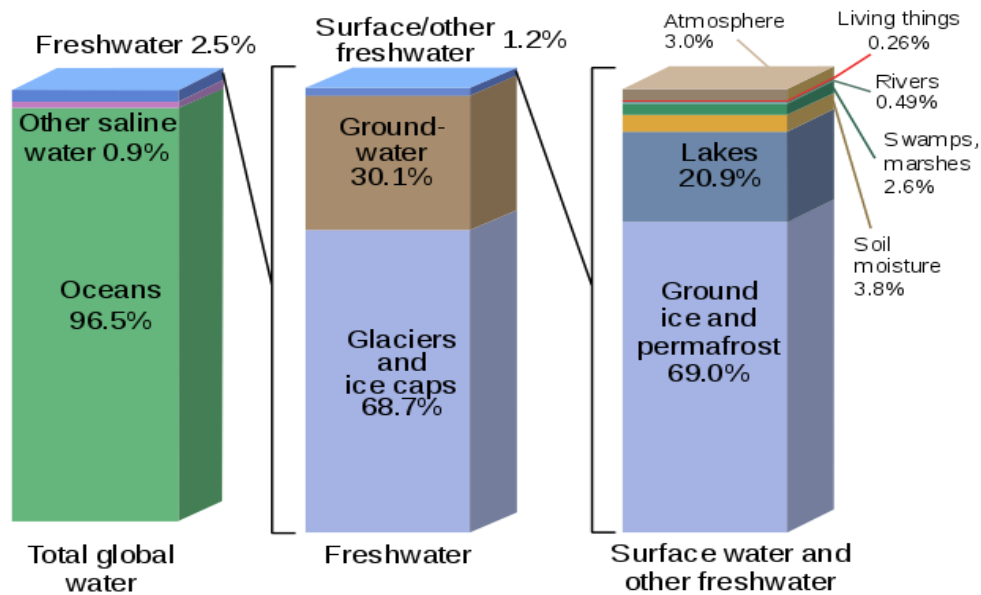
Στο 3<sup>ο</sup> Κεφάλαιο δίνεται η πειραματική διαδικασία της ανάλυσης του νερού. Αναλύονται και περιγράφονται όλες οι μέθοδοι που θα χρησιμοποιηθούν δίνοντας έμφαση στην αρχή της εκάστοτε μεθόδου, τα αντιδραστήρια που χρησιμοποιούνται, τα υλικά, όργανα και σκεύη καθώς επίσης και τους υπολογισμούς – αποτελέσματα που θα προκύψουν μετά την ολοκλήρωση των διαδικασιών.

Τέλος, καταγράφονται τα συμπεράσματα της παρούσας πτυχιακής εργασίας όπου αξιολογούνται τα αποτελέσματα και η ακρίβεια των μετρήσεων με μετρήσεις προτύπων διαλυμάτων και δειγμάτων ελέγχου.

# 1. ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΠΟΣΙΜΟΥ ΝΕΡΟΥ

## 1.1. ΣΥΣΤΑΣΗ ΦΥΣΙΚΟΥ ΝΕΡΟΥ

Φυσικό νερό καλείται κάθε είδος νερού που βρίσκεται στην επιφανειακά της γης (ποτάμια, λίμνες, θάλασσες, λιμνοθάλασσες κ.ά.) καθώς και κάτω από την επιφάνεια του εδάφους (υπόγεια ύδατα). Κάθε είδους φυσικού νερού περιέχει πλήθος ουσιών, οι οποίες είναι διαλυμένες ή αιωρούνται. Η προέλευση τους και τα χαρακτηριστικά τους εξαρτώνται από το γήινο υπόβαθρό της περιοχής, την δραστηριότητα της περιοχής (γεωργία και βιομηχανία) καθώς επίσης και από τα χαρακτηριστικά της ατμόσφαιρας. Ωστόσο, εντός των φυσικών νερών υπάρχουν φυτικοί και ζωικοί οργανισμοί που επηρεάζουν σημαντικά την σύστασή τους (Νταράκας, 2010).



Σχήμα 1: Ποσοστά φυσικών νερών σε παγκόσμιο επίπεδο  
[Πηγή: <https://www.wikiwand.com/>]

Τα ανόργανα συστατικά του νερού είναι υδρογόνο (H), οξυγόνο (O), άνθρακας (C), όξινα ανθρακικά ( $\text{HCO}_3^-$ ), ανθρακικά ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) ιόντα, ασβέστιο (Ca), μαγνήσιο (Mg), νάτριο (Na), κάλιο (K), θειικά ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), χλωριούχα ( $\text{Cl}^-$ ), νιτρικά ( $\text{NO}_3^-$ ) και τα πυριτικά ( $\text{SiO}_4^{4-}$ ). Ωστόσο, σε μικρότερες συγκεντρώσεις υπάρχουν ιόντα όπως αμμωνιακά ( $\text{NH}_4^+$ ), νιτρώδη ( $\text{NO}_2^-$ ), φωσφορικά ( $\text{PO}_4^{3-}$ ), σίδηρος (Fe), μαγγάνιο (Mn) και φθόριο (F), τα οποία είναι ιδιαίτερα σημαντικά για την βιολογία του νερού αλλά και για πλήθος βιομηχανικών εφαρμογών.

Επιπλέον, στην σύσταση του νερού σημαντικό ρόλο παίζουν τα θρεπτικά συστατικά των φυτικών οργανισμών ενός υδάτινου οικοσυστήματος που είναι αμμωνιακά ( $\text{NH}_4^+$ ), νιτρώδη ( $\text{NO}_2^-$ ), νιτρικά ( $\text{NO}_3^-$ ), φωσφορικά ιόντα ( $\text{PO}_4^{3-}$ ), πυρίτιο (Si), κατιόντα ασβεστίου ( $\text{Ca}^{2+}$ ), μαγνησίου ( $\text{Mg}^{2+}$ ), καλίου ( $\text{K}^+$ ), ανιόντα θειικά ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) κ.ά.. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι τα θρεπτικά συστατικά του νερού είναι υπεύθυνα για τον ευτροφισμό των φυσικών αποδεκτών. Επιπροσθέτως, απαραίτητα στη σύσταση του νερού είναι οι μικρές συγκεντρώσεις των μικροθρεπτικών συστατικών όπως κατιόντα των μετάλλων σιδήρου ( $\text{Fe}^{2+}$ ), μαγγανίου ( $\text{Mn}^{2+}$ ), χαλκού ( $\text{Cu}^{2+}$ ), ψευδαργύρου ( $\text{Zn}^{2+}$ ) και κοβαλτίου ( $\text{Co}^{2+}$ ). Από τα προαναφερόμενα ο σίδηρος ( $\text{Fe}^{2+}$ ) είναι αυτός που παρουσιάζει την μεγαλύτερη συγκέντρωση και είναι απαραίτητος και για τους οργανισμούς, το μαγγάνιο ( $\text{Mn}^{2+}$ ) είναι από τα συστατικά που συμπεριλαμβάνεται σε όλα τα επιφανειακά νερά και η χρήση του είναι απαραίτητη για τους φυτοπλακτονικούς οργανισμούς, ο χαλκός ( $\text{Cu}^{2+}$ ), ο ψευδάργυρος ( $\text{Zn}^{2+}$ ) και το κοβάλτιο ( $\text{Co}^{2+}$ ) ιδιαίτερα στα φυσικά νερά βρίσκονται σε επίπεδα μη ανιχνεύσιμα έως και μερικές εκατοντάδες  $\text{mg/m}^3$ .

Ωστόσο, οι ποσότητες των συστατικών του νερού επηρεάζονται άμεσα και εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τα χαρακτηριστικά που διέπουν την περιοχή που βρίσκονται. Στο νερό υπάρχει περίπτωση να βρίσκονται όλα τα στοιχεία του περιοδικού πίνακα αλλά οι συγκεντρώσεις τους να είναι χαμηλές της τάξης μερικών  $\text{mg/l}$ . Τα στοιχεία τα οποία είναι σε τόσο χαμηλές συγκεντρώσεις καλούνται ιχνοστοιχεία, είναι απαραίτητα για τη ζωή και η συμμετοχή τους είναι απαραίτητη για τις μεταβολικές διεργασίες των οργανισμών.

Διαφορετική σύσταση παρουσιάζει το θαλασσίνο νερό το οποίο αποτελείται από χλώριο ( $\text{Cl}_2$ ) με τη μορφή ανιόντων ( $\text{Cl}^-$ ), θείου με τη μορφή των θεικών ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) καθώς και από ιόντα νατρίου ( $\text{Na}^+$ ) και μαγνησίου ( $\text{Mg}^{2+}$ ). Επιπλέον, σε συγκεντρώσεις της τάξης  $10^{-3}\%$  βρίσκονται τα ιόντα ασβεστίου ( $\text{Ca}^{2+}$ ), καλίου ( $\text{K}^+$ ), βρωμιούχων ( $\text{Br}^-$ ) και όξινων ανθρακικών ( $\text{HCO}_3^-$ ). Τα υπόλοιπα στοιχεία βρίσκονται σε χαμηλότερες συγκεντρώσεις από τα προαναφερόμενα. Επιπροσθέτως στο θαλασσίνο νερό βρίσκονται διαλυμένα αέρια οξυγόνου ( $\text{O}_2$ ) και διοξειδίου του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ).

Σύμφωνα με τα ανωτέρω γίνεται κατανοητό ότι τα συστατικά του θαλασσινού νερού βρίσκονται σε διαφορετικές περιεκτικότητες, κάτι που εξαρτάται άμεσα από την περιοχή που βρίσκεται το νερό. Ωστόσο, αυτό που είναι σημαντικό είναι η σταθερότητα του pH, όπου στο θαλασσίνο νερό κυμαίνεται από 7,5 – 8,5 κάτι που οφείλεται στα ανθρακικά ιόντα ( $\text{CO}_3^{2-}$ ), τα οποία δρουν ως ρυθμιστικά διαλύματα. Τιμές του pH είτε μικρότερες από 5,0 είτε μεγαλύτερες από 9,0 είναι τοξικές για την υδρόβια ζωή (Νταράκας, 2010).

## 1.2. ΠΟΣΙΜΟ ΝΕΡΟ

Τα ύδατα που προορίζονται για ανθρώπινη κατανάλωση χωρίς να προκαλούν αρνητικές συνέπειες στην ανθρώπινη υγεία θεωρούνται πόσιμο νερό. Το πόσιμο νερό μπορεί να ανακτηθεί είτε από υπόγεια είτε από επιφανειακά νερά. Για να χαρακτηριστεί ένα νερό ως πόσιμο απαιτείται να τηρεί προδιαγραφές που ορίζονται από το Νομοθετικό Πλαίσιο κάθε χώρας. Ωστόσο, υπάρχουν Διατάξεις που καθορίζουν και την ποιότητα του ποσίμου νερού.

Το πόσιμο νερό διακρίνεται από βασικά χαρακτηριστικά όπως να είναι διαυγές, άχρωμο, άοσμο, εύγευστο, δροσερό, απαλλαγμένο από παθογόνους μικροοργανισμούς, οι διαλυτές ενώσεις του να μην ξεπερνούν τα προκαθορισμένα όρια και τα ανόργανα συστατικά να είναι σε συγκεντρώσεις μικρότερες του 1 g/l. Ως επί το πλείστον, το πόσιμο νερό απαιτεί περαιτέρω επεξεργασία διότι αυτό που είναι διαθέσιμο δεν διαθέτει τα ποιοτικά χαρακτηριστικά που απαιτούνται με στόχο την ασφάλεια της ανθρώπινης υγείας. Η περαιτέρω επεξεργασία του νερού που προορίζεται για πόσιμο είναι η διύλιση. Ωστόσο, αυτό συμβαίνει σε πιο αστικοποιημένες περιοχές, σε περιπτώσεις που χαρακτηρίζονται ως αραιοκατοικημένες το νερό από ρέματα, ποτάμια κ.ά. μπορεί να είναι κατάλληλο για άμεση κατανάλωση. Επιπλέον, πόσιμο νερό μπορεί να ληφθεί και από επεξεργασίες όπως αφαλάτωση για θαλασσινά και γλυφά νερά (Belitzetal, 2011 ; Μάλαμα, 2017).



*Εικόνα 1: Πόσιμο Νερό*  
[Πηγή: <https://www.amazon.com/>]

Η ανθρώπινη ζωή εξαρτάται άμεσα από το πόσιμο νερό, το οποίο είναι απαραίτητο για την ανάπτυξη του καθώς και για την άρτια λειτουργία του οργανισμού και του μεταβολισμού του. Η ποσότητα νερού που θα πρέπει να λαμβάνει ένας ενήλικας είναι 35-50 gH<sub>2</sub>O/Kg<sup>βάρους</sup> day, η οποία καλύπτεται από πόσιμο νερό, τροφή κ.ά.. Το νερό βοηθά στην μεταφορά των ανόργανων αλάτων καθώς επίσης και για την εισχώρηση στοιχείων όπως μεταλλικά στοιχεία (Na, K, Mg, Ca κ.ά.) και ιχνοστοιχείων, τα οποία είναι απαραίτητα για τον οργανισμό σε ημερήσια βάση και σε συγκεκριμένες ποσότητες (Μητράκας, 2001).

### 1.3. ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΝΕΡΟΥ

Για την άρτια διαχείριση του νερού απαιτείται να είναι γνώριμα τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του. Η χρήση του νερού για ανθρώπινη κατανάλωση απαιτεί να έχει συγκεκριμένες προδιαγραφές με στόχο την διασφάλιση της ανθρώπινης υγείας. Το πόσιμο νερό επεξεργάζεται με μεθόδους με σκοπό την διάκριση των ποιοτικών χαρακτηριστικών του νερού



στα επιτρεπτά όρια που δίνονται από το νομοθετικό πλαίσιο. Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του νερού διακρίνονται στις ακόλουθες τρεις κατηγορίες:

- φυσικοχημικά
- βιοχημικά
- μικροβιολογικά

Η ανωτέρω ταξινόμηση βασίζεται με την ανθρώπινη υγεία και την αισθητική (Πίνακας 1), ενώ για περισσότερο εξειδικευμένους σκοπούς μπορούν να διαχωριστούν σε πολλές υποομάδες.

*Πίνακας 1: Ποιοτικά χαρακτηριστικά νερού  
[Πηγή: Νταράκας, 2010]*

<b>Ποιοτικά χαρακτηριστικά</b>	<b>Παράμετρος</b>
<b>Φυσικοχημικά</b>	Θερμοκρασία Οξύτητα – Αλκαλικότητα Αγωγιμότητα – Αλατότητα Θολότητα Οσμή Χρώμα Στερεές ουσίες Άλατα – Σκληρότητα Διάφορα κατιόντα ( $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{Mg}^{2+}$ , $\text{Na}^+$ , $\text{K}^+$ , $\text{NH}_4^+$ ) Διάφορα ανιόντα ( $\text{NO}_2^-$ , $\text{NO}_3^-$ , $\text{PO}_4^{3-}$ , $\text{SO}_4^{2-}$ , $\text{Cl}^-$ ) Θρεπτικά συστατικά (N, P, S, Si) Ιχνοστοιχεία / μέταλλα
<b>Βιοχημικά</b>	Διαλυμένο οξυγόνο (DO) Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (BOD) Χημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (COD) Ολικός Οργανικός Άνθρακας (TOC)
<b>Μικροβιολογικά</b>	Ιοί Βακτήρια Μύκητες Φύκια Πρωτόζωα Έλμινθες Μαλακόστρακα

Στην συνέχεια ακολουθούν τα ανώτερα επιτρεπτά όρια διαφόρων χημικών στοιχείων και ενώσεων στο πόσιμο (Πίνακας 2), τα ανώτατα επιτρεπτά όρια στο πόσιμο νερό σύμφωνα με τη νομοθεσία της Ε.Ε (Πίνακας 3), οι τυπικές συγκεντρώσεις συστατικών για διάφορους τύπους νερού (Πίνακας 4) καθώς και ταξινόμηση συστατικών στο νερό ανάλογα με το επίπεδο συγκεντρώσεις (Πίνακας 5).

Πίνακας 2: Ανώτατα επιτρεπτά όρια διαφόρων χημικών στοιχείων και ενώσεων στο πόσιμο νερό [Πηγή: Νταράκας, 2010]

Στοιχείο / Ουσία	Σύμβολο / Χημικός τύπος	Συνήθης περιεκτικότητα σε επιφανειακά και υπόγεια νερά	Ανώτατο επιτρεπτό όριο σύμφωνα με την Π.Ο.Υ.
Αργίλιο	Al <sup>3+</sup>		0,2 mg/l
Αμμωνία	NH <sup>4+</sup>	< 0,2 mg/l (μέχρι 0,3 mg/l σε αναερόβιες συνθήκες)	-
Αντιμόνιο	Sb <sup>3+</sup>	< 4 μg/l	0.005 mg/l
Αρσενικό	As <sup>2+</sup>		0,01 mg/l
Αμίαντος			-
Βάριο	Ba <sup>2+</sup>		0,3 mg/l
Βηρύλλιο	Be <sup>2+</sup>	< 1 μg/l	-
Βόριο	B <sup>2+</sup>	< 1 mg/l	0,3 mg/l
Κάδμιο	Cd <sup>2+</sup>	< 1 μg/l	0,003 mg/l
Χλώριο	Cl <sup>-1</sup>		250 mg/l
Χρώμιο	Cr <sup>+3</sup> , Cr <sup>+6</sup>	< 2 μg/l	0,05 mg/l
Χρώμα			<15 mg/l Pt-Co (επιθυμητή τιμή)
Χαλκός	Cu <sup>2+</sup>		2 mg/l
Κυανιούχα	CN <sup>-</sup>		0,07 mg/l
Διαλ. Οξυγόνο	O <sub>2</sub>		-
Φθόριο	F <sup>-1</sup>	< 1,5 mg/l (μέχρι 10)	1,5 mg/l
Σκληρότητα	CaCO <sub>3</sub>		-
Υδρόθειο	H <sub>2</sub> S		-
Σίδηρος	Fe <sup>2+</sup>	0,5 - 50 mg/l	-
Μόλυβδος	Pb <sup>2+</sup>		0,01 mg/l
Μαγγάνιο	Mn <sup>2+</sup>		0,5 mg/l
Υδράργυρος	Hg <sup>+</sup>	< 0,5 mg/l	0,001 mg/l
Μολυβδαίνιο	Mb <sup>2+</sup>	< 0,01 mg/l	0,07 mg/l
Νικέλιο	Ni <sup>2+</sup>	< 0,02 mg/l	0,02 mg/l
Νιτρώδη-Νιτρικά	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		50 mg/l (ολικό άζωτο)
Θολότητα			< 5 NTU επιθυμητή
Σελήνιο	Se <sup>2+</sup>	<< 0,01 mg/l	0,01 mg/l
Αργυρος	Ag <sup>+</sup>	5 - 50 μg/l	-
Νάτριο	Na	< 20 mg/l	200 mg/l
Θειικά	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>		500 mg/l
Κασσίτερος	Sn		-
TDS			-
Ουράνιο	U		1,4 mg/l
Ψευδάργυρος	Zn <sup>2+</sup>		3 mg/l

Πίνακας 3: Ανώτατα επιτρεπτά όρια στο πόσιμο νερό σύμφωνα με τη νομοθεσία της Ε.Ε.  
(Ενδεικτικές παράμετροι) [Πηγή: Νταράκας, 2010]

Παράμετρος	Σύμβολο / Χημικός τύπος	Ανώτατη παραδεκτή τιμή
Αργίλιο	Al <sup>3+</sup>	0.2 mg/l
Αμμωνία	NH <sup>4+</sup>	0.50 mg/l
Χλωριούχα	Cl <sup>-</sup>	250 mg/l
<i>Clostridium perfringens</i> (περιλαμβανομένων και σπόρων)		0/100 ml
Χρώμα		Αποδεκτό στους καταναλωτές και άνευ ασυνήθους μεταβολής
Αγωγιμότητα		2500 μS/cm στους 20οC
pH	-	≥ 6.5 και ≤ 9.5
Σίδηρος	Fe <sup>3+</sup>	0.2 mg/l
Μαγγάνιο	Mn <sup>2+</sup>	0.05 mg/l
Οσμή		Αποδεκτή στους καταναλωτές και άνευ ασυνήθους μεταβολής
Οξύτητα		5.0 mg/l O <sub>2</sub>
Θειικά	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	250 mg/l
Νάτριο	Na <sup>+</sup>	200 mg/l
Γεύση		Αποδεκτή στους καταναλωτές και άνευ ασυνήθους μεταβολής
Αριθμός αποικιών 22ο		Άνευ ασυνήθους μεταβολής
Coliform bacteria		0 / 100 ml
Total organic carbon (TOC)		Άνευ ασυνήθους μεταβολής
Θολότητα	NTU	Αποδεκτή στους καταναλωτές και άνευ ασυνήθους μεταβολής
Τρίτιο Ολική ενδεικτική δόση	H <sub>3</sub>	100 Bq/l 0.10 mSv/year

Πίνακας 4: Τυπικές συγκεντρώσεις συστατικών διάφορων τύπων νερού [Πηγή: Τσώνης, 2003]

Συστατικά ή χαρακτηριστικά	Τύπος νερού				
	Βρόχινο	Βρύση σπιτιού	Επιφανειακό	Υπόγειο	Θάλασσα
<b>Βιολογικά</b>					
Κολοβακτηρίδια (Most Probable Number), MPN/100 mL	0	1	2000	100	-
Ιοί (plaque forming units), pfu/100 mL	0	0	10	1	0
Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο 5 ημερών (BAO5), mg/L	-	-	5	-	2
<b>Χημικά</b>					
Ολικός οργανικός άνθρακας (ΟΟΑ), mg/L	0,2	0,5	3	0,5	1
NH <sub>3</sub> , mg/L σαν N	0,05	-	0,2	0,1	-
Ολικό άζωτο (TN), mg/L σαν N	-	-	3	<10	0,5
Ολικός φωσφόρος (TP), mg/L σαν P	-	-	0,05	0,01	0,01
Ολική σκληρότητα, mg/L σαν CaCO <sub>3</sub>	25	90	90	120	-
Αλκαλικότητα, mg/L σαν CaCO <sub>3</sub>	20	80	100	150	
pH	7,0	8,0	7,5	7,5	7,9
<b>Κατιόντα</b>					
Ca <sup>2+</sup> , mg/L	6	20	20	50	400
Mg <sup>2+</sup> , mg/L	2	3	3	5	1350
Na <sup>+</sup> , mg/L	5	20	20	5	10500
K <sup>+</sup> , mg/L	-	-	2	2	350
Fe <sup>2+</sup> , mg/L	0,05	0,1	0,1	0,1	0,1
<b>Ανιόντα</b>					
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , mg/L	18	80	90	120	150
Cl <sup>-</sup> , mg/L	5	25	25	25	20000
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , mg/L	4	20	20	10	2800
Si, mg/L σαν SiO <sub>2</sub>	1	5	5	10	20
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , mg/L	0,1	1	0,5	<10	-
F <sup>-</sup> , mg/L	-	2	0,2	0,1	1
<b>Φυσικά</b>					
Ολικά διαλυτά στερεά (ΟΔΣ), mg/L	25	200	150	205	35000
Θολότητα, NTU (Νεφελομετρικές μονάδες θολότητας)	0	<0,5	10	<0,5	5
Χρώμα, μονάδες Pt-Co	-	<5	-	-	5

Πίνακας 5: Ταξινόμηση συστατικών στο νερό ανάλογα με το επίπεδο συγκέντρωσης  
[Πηγή: Τσώνης, 2003]

Συγκεντρώσεις	Συστατικά
Υψηλές ( $>5\text{mg/L}$ )	Ασβέστιο ( $\text{Ca}^{2+}$ ), Δισανθρακικά ( $\text{HCO}_3^-$ ), Θεϊκά ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), Μαγνήσιο ( $\text{Mg}^{2+}$ ), Νάτριο ( $\text{Na}^+$ ), Πυρίτιο ( $\text{SiO}_2$ ), Χλωριόντα ( $\text{Cl}^-$ )
Χαμηλές ( $0,01-10\text{ mg/L}$ )	Κάλιο ( $\text{K}^+$ ), Στρόντιο ( $\text{Sr}^{2+}$ ), Σίδηρος ( $\text{Fe}^{2+}$ ), Ανθρακικά ( $\text{CO}_3^{2-}$ ), Φθοριόντα ( $\text{F}^-$ ), Νιτρικά ( $\text{NO}_3^-$ )
Ιχνοσυγκεντρώσεις	Αργίλιο, Αντιμόνιο, Αρσενικό, Βάριο, Βηρύλλιο, Βρώμιο, Θάλιο, Ιώδιο, Κάδμιο, Κοβάλτιο, Λίθιο, Μαγγάνιο, Μολυβδαίνιο, Μόλυβδος, Ουράνιο, Σελήνιο, Υδράργυρος, Φωσφόρος, Χαλκός, Χρώμιο, Ψευδάργυρος,
	Αμίαντος (μη ιοντική μορφή)

### 1.3.1. ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Σε αυτό το σημείο θα αναλυθούν εκτενέστερα τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του νερού (Πίνακας 1).

#### ❖ Θερμοκρασία

Μια από τις βασικότερες παραμέτρους που επηρεάζει τις φυσικοχημικές ιδιότητες του νερού είναι η θερμοκρασία. Επιπλέον, η θερμοκρασία είναι υπεύθυνη για την διαλυτότητα του οξυγόνου όπου σε υψηλές θερμοκρασίες (θερμό νερό) η διαλυτότητά του είναι μικρότερη συγκρινόμενη με αυτή σε χαμηλότερη θερμοκρασία (ψυχρό νερό). Άρα στην περίπτωση αύξησης της θερμοκρασίας διακρίνεται μείωση του ποσοστού του διαλυμένου οξυγόνου αλλά και μείωση του βάρους του με συνέπεια να βρίσκεται στην επιφάνεια (φαινόμενο αναστροφής) και να δημιουργείται ένα θερμό στρώμα με μικρότερη δυνατότητα διάλυσης του ατμοσφαιρικού οξυγόνου.

Ωστόσο, η αυξημένη θερμοκρασία επηρεάζει θετικά την ανάπτυξη μικροοργανισμών. Η θερμοκρασία διακύμανσης που είναι κατάλληλη για την διατήρηση του νερού σε πόσιμο είναι από  $5\text{ }^\circ\text{C}$  έως και  $12\text{ }^\circ\text{C}$ . Η αύξηση της θερμοκρασίας πάνω από το ανωτέρω προαναφερμένο όριο το καθιστά ακατάλληλο για ορισμένες χρήσεις (Νταράκας, 2010). Η θερμοκρασία του νερού μπορεί να μετρηθεί με ψηφιακά θερμομέτρα (Εικόνα 3).



Εικόνα 2: Ενδεικτικά ψηφιακά θερμόμετρα νερού  
[Πηγή: <https://www.melodiaeshop.gr/>]

### ❖ Οξύτητα (pH)

Το καθαρό νερό μπορεί να ιονίζεται σε κατιόντα υδρογόνου ( $H^+$ ) και σε ανιόντα υδροξυλίου ( $OH^-$ ) και δίνεται από την σχέση:



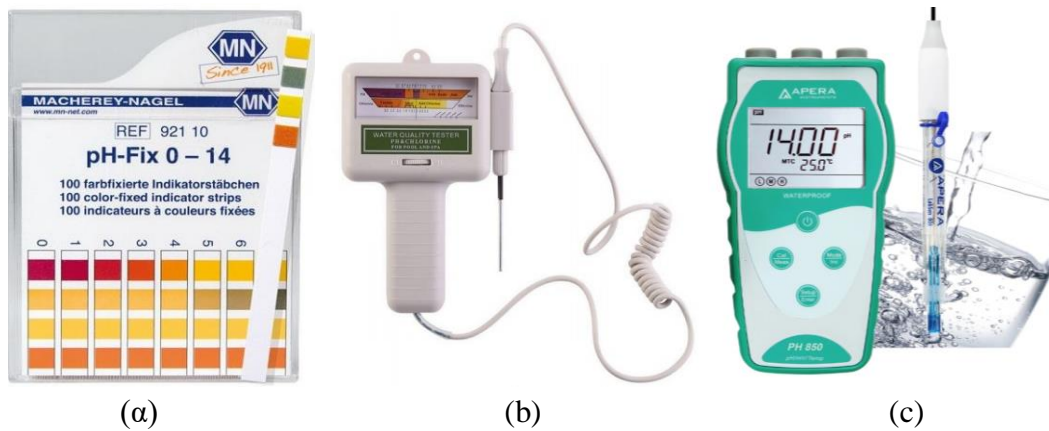
Η οξύτητα (pH) ορίζεται ως ο αρνητικός δεκαδικός λογάριθμος της συγκέντρωσης των κατιόντων υδρογόνου  $pH = -\log[H^+]$ . Οι τιμές που λαμβάνει το pH κυμαίνονται από 0 ως 14 εκ των οποίων:

- $pH = 7 \rightarrow$  ουδέτερα δείγματα
- $pH < 7 \rightarrow$  υπεροχή κατιόντων υδρογόνου  $H^+$
- $pH > 7 \rightarrow$  υπεροχή υδροξυλίωντων  $OH^-$  (αλκαλικά νερά)

Σημαντικοί παράμετροι που επηρεάζουν την οξύτητα είναι η θερμοκρασία, η αλατότητα, οι συγκεντρώσεις διοξειδίου του άνθρακα ( $CO_2$ ) και οξυγόνου (O) καθώς επίσης και η υδρόβια ζωή, η μεταβολική δραστηριότητα των μικροοργανισμών, η φωτοσύνθεση, η αναπνοή και η αποσύνθεση των οργανικών ουσιών (Νταράκας, 2010). Ωστόσο, η ενεργός οξύτητα είναι υπεύθυνη για αντιδράσεις είτε βιολογικές είτε χημικές, για παράδειγμα σε ουδέτερο pH αντιδρούν οι βιοχημικές αντιδράσεις. Οι τιμές pH που παρουσιάζουν τα φυσικά νερά είναι μεταξύ 4 έως 9. Όμως η καταλληλότερη οξύτητα (pH) για τους υδρόβιους οργανισμούς κυμαίνεται από 6,5 έως 8,5. Επιπλέον, οι τιμές pH των εκροών των υγρών αποβλήτων μετά από επεξεργασία κυμαίνονται ομοίως στα όρια 6,5 έως 8,5 με σκοπό να μην υπάρχει μεταβολή στην οξύτητα των φυσικών νερών (Μάλαμα, 2017).

Σύμφωνα με τα ανωτέρω, η μέτρηση της οξύτητας είναι απαραίτητη για την αξιολόγηση της ποιότητας του πόσιμου νερού, αφού όπως προαναφέρθηκε, η κατανάλωση γίνεται από τον άνθρωπο και απαιτείται η διασφάλιση της υγείας του. Η μέτρηση της μπορεί να πραγματοποιηθεί χρωματομετρικά, δηλαδή με την βοήθεια δεικτών, (ουσίες που αλλάζουν

χρώμα σε διαφορετικές τιμές του pH) είτε με σύγχρονα αναλογικά ή ψηφιακά πεχάμετρα (Εικόνα 4) (Νταράκας, 2010 ; Μάλαμα, 2017)



Εικόνα 3: Ενδεικτικά a) χρωματομετρικά b) αναλογικό και c) ψηφιακό pH-μετρα νερού  
[Πηγή: a) <https://www.why.gr/>, b) <https://www.alifragis.com.gr/>, c) [https://aperainst.com//](https://aperainst.com/)]

#### ❖ Αλκαλικότητα

Αλκαλικότητα (alkalinity) είναι η δυνατότητα του νερού να εξουδετερώνει τα οξέα. Η αλκαλικότητα οφείλεται στην παρουσία όξινων ανθρακικών ( $\text{HCO}_3^-$ ) και των ανθρακικών ιόντων ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) που δημιουργούνται από τον ιονισμό του διοξειδίου του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ) και των υδροξυλιακών ιόντων ( $\text{OH}^-$ ) (Ζαγγανά, 2015). Το διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ) έχει την ικανότητα να διαλύεται εύκολα στο νερό ( $\text{H}_2\text{O}$ ) με συνέπεια να δημιουργεί ένα περιβάλλον ιδανικό για ζωή. Επιπροσθέτως, το διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ) λαμβάνει μέρος στην φωτοσύνθεση και είναι η πηγή άνθρακα για τους οργανισμούς. Η συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ) στα φυσικά νερά επηρεάζει την οξύτητά τους και συγκεκριμένα, με την αύξησή του παρουσιάζεται μείωση της οξύτητας ενώ με την μείωσή του παρουσιάζεται αύξηση της οξύτητας (Νταράκας, 2010).

Τα φυσικά νερά διακρίνονται για την ρυθμιστική τους ικανότητα και αυτό οφείλεται στις διάφορες χημικές αντιδράσεις που πραγματοποιούνται με την μεταβολή της οξύτητας. Παράγοντες που δρουν μόνιμα στη μεταβολή της οξύτητας είναι εξωγενείς, βασικά παραδείγματα είναι η εισαγωγή οξέων μέσω όξινης βροχής και αποβλήτων (αστικών και βιομηχανικών), η ρύπανση των υδάτινων αποδεκτών με αλκαλικές ουσίες (απορρυπαντικά και απόβλητα) καθώς και με την αύξηση συγκεντρώσεων νατρίου (Na), καλίου (K), ασβεστίου (Ca) και μαγνησίου (Mg) (Νταράκας, 2010).

Η αλκαλικότητα εκφράζεται χημικά με την σχέση:

$$[\text{HCO}_3^-] + 2[\text{CO}_3^{2-}] + [\text{OH}^-] - [\text{H}^+] \text{ meq/l} \quad [1.2]$$

### ❖ Αγωγιμότητα και αλατότητα

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα του νερού είναι η ικανότητα να μεταφέρει ηλεκτρικό φορτίο, κάτι που οφείλεται στη παρουσία ιόντων και συγκεκριμένα στο ποσοστό συγκέντρωσης, την ευκινησία, το σθένος τους καθώς και τη θερμοκρασία του διαλύματος (Ζαγγανά, 2015). Η αγωγιμότητα που παρουσιάζουν τα φυσικά νερά επηρεάζουν τις χημικές ισορροπίες, το ρυθμό διάβρωσης στα μέταλλα καθώς και την ανάπτυξη των οργανισμών. Η ποιότητα του νερού εξαρτάται άμεσα από τις ενδεικτικές τιμές της αγωγιμότητας, οι οποίες ορίζονται με σχετικό Νομοθετικό Πλαίσιο, αφού οι μεταβολές της αποδεικνύουν την ύπαρξη ρύπων στα ύδατα. Στα φυσικά γλυκά νερά η αγωγιμότητα κυμαίνεται από 50 - 1500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  και στα βιομηχανικά απόβλητα η τιμή της υπερβαίνει τα 10.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Νταράκας, 2010). Η μέτρηση της πραγματοποιείται με αγωγιμόμετρο νερού (Εικόνα 5).



Εικόνα 4: Ενδεικτικό φορητό αγωγιμόμετρο νερού (TDS/EC/Θερμοκρασίας)  
[Πηγή: <https://www.skroutz.gr/>]

Αυτό που θα πρέπει να σημειωθεί είναι ότι η αγωγιμότητα συνδέεται άμεσα από την αλατότητα των υδάτων που εκφράζεται σε ποσοστό επί τοις χιλίοις (S ‰). Αλατότητα καλείται η περιεκτικότητα των φυσικών νερών σε άλατα (π.χ. NaCl) και ορίζεται σύμφωνα με τον Νταράκα (2010) ως η συνολική ποσότητα των στερεών ουσιών σε γραμμάρια που περιέχονται σε 1 kg θαλασσίνο νερό, όταν όλα τα ανθρακικά ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) έχουν μετατραπεί σε οξείδια, τα βρωμιούχα ( $\text{Br}^-$ ) και ιωδιούχα ( $\text{I}^-$ ) έχουν αντικατασταθεί από χλωριούχα ( $\text{Cl}^-$ ) ιόντα και έχει οξειδωθεί όλη η οργανική ύλη (Νταράκας, 2010).

### ❖ Οσμή και γεύση

Βασικά χαρακτηριστικά που εξετάζονται για την ποιότητα του νερού είναι η οσμή και η γεύση. Οι παράγοντες που επηρεάζουν αυτά τα χαρακτηριστικά είναι η ύπαρξη χημικών ουσιών, διαλυμένων αερίων και οργανικών ουσιών καθώς και μικροοργανισμών. Το νερό που



προορίζεται για κατανάλωση πρέπει να είναι απαλλαγμένο από κάθε είδους οσμή και γεύση (Νταράκας, 2010).

Η αλλοίωση της γεύσης του νερού οφείλεται σε παράγοντες όπως (Μάλαμα, 2017):

- Διαλυμένα άλατα (TDS),
- Παρουσία μετάλλων ( Fe, Cu, Mn και Zn)
- Χλωροφαινόλες

Σημειώνεται ότι οι τελευταίες είναι ικανές να δημιουργήσουν σοβαρή αλλοίωση στη γεύση ακόμα και σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις. Με την σειρά τους τα άλατα δεν επηρεάζουν τόσο αρνητικά τη γεύση του νερού. Το βασικό πρόβλημα οσμής και γεύσης δημιουργείται από την χλωρίωση όπου οι ενώσεις που δημιουργούνται είναι παράγωγα των αντιδράσεων του χλωρίου με τα οργανικά συστατικά του νερού. Όσον αφορά τα επιφανειακά νερά, οι παράγοντες που δημιουργούν και ενισχύουν αυτές τις αρνητικές επιπτώσεις είναι η αποικοδόμηση των φυτικών υλών και τα προϊόντα των μικροοργανισμών (νηματοειδών βακτηρίων, ακτινομυκήτων και πράσινο-μπλε αλγών). Όσον αφορά τα υπόγεια νερά, οι παράγοντες που δημιουργούν και ενισχύουν αυτές τις αρνητικές επιπτώσεις είναι λόγω των αναερόβιων βιολογικών διεργασιών που δημιουργούν αναγωγή των θειικών ιόντων με συνέπεια την αύξηση του υδρόθειου (H<sub>2</sub>S) στο νερό (Μήτρακας, 2001).

Η οσμή και η γεύση είναι οργανοληπτικά χαρακτηριστικά και είναι κριτήρια που χαρακτηρίζουν την ποιότητα του νερού και τα ταξινομούν σε κατηγορίες (πόσιμα, αναψυχής, βιομηχανική χρήση κ.ά.) (Μήτρακας, 2001). Επιπλέον, η μέτρηση της οσμής και της γεύσης δεν μπορεί να δοθεί από κάποιο όργανο, με συνέπεια ο προσδιορισμός τους μπορεί να γίνει μόνο από τον άνθρωπο, κάτι που δεν δίνει άρτια αποτελέσματα. Αυτό έχει ως συνέπεια η ποιότητα του νερού και κατ' επέκταση η κατάταξή τους να γίνεται με περαιτέρω επεξεργασία, ειδικές εξετάσεις, συγκεκριμένες συνθήκες καθώς και τον υπολογισμό αντιπροσωπευτικών ουσιών (π.χ. χλώριο, υδρόθειο, αμμωνία, μούχλα κ.ά.) (Νταράκας, 2010).

#### ❖ *Χρώμα*

Το νερό που προορίζεται για πόσιμο δεν είναι χρωματισμένο. Το χρώμα είναι επίσης μια παράμετρος που αναδεικνύει την ποιότητά του. Οι παράγοντες που συνδέονται με το χρώμα στο νερό είναι το είδος των αιρούμενων σωματιδίων, το είδος των πλαγκτονικών οργανισμών, η παρουσία οργανικών και ανόργανων ουσιών, το χρώμα του ιζήματος, το γεωλογικό υπόστρωμα της περιοχής καθώς και η αναπτυσσόμενη βιολογική δραστηριότητα. Οι προαναφερόμενοι παράγοντες είναι υπεύθυνοι για την απορρόφηση του φωτός στο νερό κάτι που προσδίδει χρώμα, το οποίο κυμαίνεται από πράσινο – γαλάζιο έως και σκούρο καφέ (Εικόνα 6). Η απορρόφηση του φωτός εξαρτάται από τον συντελεστή απορρόφησης που όσο πιο μικρός είναι τόσο πιο διαφανές (άχρωμο) είναι το νερό (Τριανταφυλλίδης, 2013).



Εικόνα 5: Το χρώμα βασική παράμετρος ποιότητας νερού.  
[Πηγή: Taylor, 2020]

Όπως προαναφέρθηκε, το πόσιμο νερό είναι άχρωμο, άρα κάθε είδους χρώμα είναι ανεπιθύμητο. Το πόσιμο νερό πρέπει να είναι διάφανο και διαυγές. Σε περιπτώσεις που δεν διακρίνονται αυτά τα χαρακτηριστικά μπορεί να οφείλονται στην ύπαρξη μεταλλικών ιόντων ( $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ), τα οποία βρίσκονται στο φυσικό περιβάλλον καθώς και σε χημικές ενώσεις και απόβλητα. Το χρώμα του νερού είναι ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά που λειτουργεί ως ιχνηλάτης για τον προσδιορισμό της ποιότητάς του αλλά και της προέλευσής του. Επιπλέον, το χρώμα είναι δείκτης μόλυνσης του νερού άρα και δείκτης που το κατατάσσει σε κατηγορία μη ποσίμου νερού (Μήτρακας, 2001).

Ο προσδιορισμός του χρώματος μπορεί να πραγματοποιηθεί με οπτική σύγκριση του δείγματος με έγχρωμο διάλυμα γνωστής συγκέντρωσης (Pt και Co), το οποίο κατασκευάζεται στο εργαστήριο (Νταράκας, 2010).

#### ❖ **Θολότητα**

Θολότητα καλείται η διαύγεια ή μη ενός υγρού. Η αντίσταση του υγρού (νερό) στη διέλευση του φωτός οφείλεται στα ανόργανα και οργανικά σωματίδια, τα οποία είναι διάσπαρτα στο υγρό είτε ως αιωρούμενα είτε ως κolloειδή. Η θολότητα του νερού είναι ένα χαρακτηριστικό που αναδεικνύει την ποιότητά του και μπορεί να το κατατάξει στο πόσιμο νερό ή όχι. Το βασικό χαρακτηριστικό της θολότητας είναι η εξασθένηση της έντασης της διέλευσης της ακτινοβολίας, κάτι που οφείλεται στα φαινόμενα σκέδασης και απορρόφησης. Η θολότητα οφείλεται στην περιεκτικότητα του νερού σε διοξείδιο του πυριτίου ( $\text{SiO}_2$ ) (μονάδες μέτρησης Nephelometric Turbidity Units/NTU ή σε mg/l (mg/L)) (Μήτρακας, 2001).

Η μέτρηση της θολότητας μπορεί να πραγματοποιηθεί με το όργανο που καλείται θολόμετρο (Εικόνα 7), το οποίο μετρά την ένταση του φωτός που διαχέεται μέσα από το δείγμα υγρού κατά την διέλευσή του και το συγκρίνει με πρότυπο δείγμα κάτω από τις ίδιες συνθήκες. Το θολόμετρο διαθέτει μια πηγή φωτός και ένα σύστημα ένδειξης της έντασης του φωτός που το διαπερνά σε γωνία  $90^\circ$  ως προς την προσπίπτουσα δέσμη όταν αυτή διέρχεται από το προς εξέταση δείγμα. Ωστόσο, θα πρέπει να σημειωθεί ότι η μέτρηση της θολότητας μπορεί να είναι παραπλανητική (όχι αληθής) στην περίπτωση που υπάρχουν στο δείγμα νερού διαλυμένα υλικά

που προσδίδουν χρώμα και μπορεί να προκληθεί απορρόφηση και μείωση της έντασης του σκεδαζόμενου φωτός (Νταράκας, 2010).



Εικόνα 6: Ενδεικτικό θολόμετρο  
[Πηγή: <https://it.hach.com/>]

#### ❖ Στερεές ουσίες

Τα ολικά στερεά διαχωρίζονται σε δύο κατηγορίες: στα διαλυμένα και στα αιωρούμενα στερεά. Στην περίπτωση των ολικών διαλυμένων στερών νοούνται όλα τα ιόντα που είναι διαλυμένα στο νερό. Επιπλέον περιλαμβάνουν οργανικά στερεά τα οποία μπορεί να είναι είτε εξαερώσιμα είτε όχι. Στην περίπτωση των μη εξαερώσιμων, αυτά είναι σταθερά, δηλαδή είναι ουσίες που παραμένουν ως υπόλοιπο μετά την εξάτμιση του δείγματος νερού στους 105 °C (Σχήμα 2) (Νταράκας, 2010).



Σχήμα 2: Ουσίες στο νερό  
[Πηγή: Νταράκας, 2010]

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι μόνο οι αδιάλυτες ουσίες μπορούν να διακριθούν με γυμνό μάτι και είτε αιωρούνται είτε καθιζάνουν (Νταράκας, 2010). Ωστόσο, πόσιμο νερό με στερεές ουσίες θεωρείται ακατάλληλο και επιβλαβές για την ανθρώπινη υγεία όταν η συγκέντρωση τους ξεπερνά τα 500 mg/L. Επιπροσθέτως, οι μεγάλες συγκεντρώσεις προκαλούν δυσάρεστη γεύση με συνέπεια να υποβαθμίζεται η ποιότητα του νερού (Μητράκας, 2001).

## ❖ Άλατα και σκληρότητα

Η ποιότητα του νερού καθορίζεται και από δύο ακόμα παράγοντες που είναι η συγκέντρωση αλάτων και η σκληρότητα. Τα άλατα είναι ο βασικός παράγοντας που επηρεάζει την οξύτητα και τη θερμοκρασία του νερού. Η χημική σύσταση των φυσικών νερών έχει την δυνατότητα να τροποποιηθεί με τη βοήθεια των βιολογικών μεταβολισμών. Επιπροσθέτως, ο υδρολογικός κύκλος του νερού είναι υπεύθυνος για την αυξομείωση της συγκέντρωσης κάθε χημικού στοιχείου. Οι βασικές αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα είναι η διάλυση, οξείδωση, η αναγωγή, η ιοντοανταλλαγή και η συμπλοκοποίηση (Τριανταφυλλίδης, 2013). Τα φυσικά νερά που κατατάσσονται στην κατηγορία του πόσιμου νερού περιέχουν ανόργανα συστατικά (ανιόντα, κατιόντα και ιόντα) συγκεκριμένης συγκέντρωσης και αναγράφονται στον Πίνακα 6.

Πίνακας 6: Ανόργανα συστατικά φυσικών νερών  
[Πηγή: Νταράκας, 2010]

	Όνομασία	Χημικός τύπος	Επιτρεπόμενο όριο συγκέντρωσης (mg/l)
<b>Κατιόντα</b>	Ασβέστιο	(Ca) <sup>+2</sup>	1 – 100
	Μαγνήσιο	(Mg) <sup>+2</sup>	1 – 100
	Νάτριο	(Na)	1 – 100
	Κάλιο	(K) <sup>+</sup>	1 – 100
<b>Ανιόντα</b>	Όξινα ανθρακικά	(HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	200 – 400
	Ανθρακικά	(CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> )	1 – 100
	Χλωριούχα	(Cl <sup>-</sup> )	1 – 100
	Θειικά	(SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	1 – 100
	Νιτρικά	(NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	1 – 100
	Πυριτικά	(SiO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> )	1 – 100
<b>Ιόντα</b>	Αμμωνία	(NH <sub>3</sub> )	0,01 – 1
	Νιτρώδη	(NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	0,01 – 1
	Φωσφορικά	(PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	0,01 – 1
	Σίδηρος	(Fe) <sup>3+</sup>	0,01 – 1
	Μαγγάνιο	(Mn) <sup>2+</sup>	0,01 – 1
	Φθόριο	(F) <sup>-</sup>	0,01 – 1

Όπως προαναφέρθηκε και στα προηγούμενα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του νερού, έτσι και σε αυτή την περίπτωση σημαντικό ρόλο στις συγκεντρώσεις των αλάτων που παρουσιάζουν τα νερά είναι το γεωλογικό περιβάλλον της περιοχής καθώς και η γεωργική, βιομηχανική και αστική δραστηριότητα που λαμβάνει χώρα. Για παράδειγμα, τα επιφανειακά και τα υπόγεια νερά περιέχουν μεγαλύτερες συγκεντρώσεις αλάτων συγκρινόμενα με το νερό της βροχής (Τριανταφυλλίδης, 2013).

Όσο αφορά την σκληρότητα, αυτή εκφράζει την συγκέντρωση του νερού σε ιόντα μετάλλων δηλαδή σε πολυσθενή κατιόντα (π.χ. Ca<sup>2+</sup> και Mg<sup>2+</sup>), τα οποία μπορούν να αντιδράσουν με το σαπούνι και να σχηματίσουν ίζημα. Επιπλέον υπάρχουν και μικρές

συγκεντρώσεις ανιόντων τα οποία δημιουργούν κρούστα. Οι ουσίες αυτές ως επί το πλείστον αποκτώνται από το νερό της βροχής που διαπερνά τα πετρώματα. Τα φυσικά νερά διακρίνονται από σημαντικές ποσότητες κατιόντων  $\text{Ca}^{2+}$  και  $\text{Mg}^{2+}$  και για αυτό η σκληρότητα είναι μια χαρακτηριστική παράμετρος που εκφράζει το σύνολο αυτών των κατιόντων με τη μορφή του  $\text{CaCO}_3$ .

Στην περίπτωση της παροδικής σκληρότητας του νερού, αυτή αποτελείται από τα ανθρακικά και τα όξινα ανθρακικά άλατα αυτών των δύο μετάλλων ( $\text{Ca}^{2+}$  και  $\text{Mg}^{2+}$ ). Η παροδική σκληρότητα ονομάζεται και ανθρακική σκληρότητα και είναι ίση με την ανθρακική αλκαλικότητα. Η παροδική σκληρότητα οφείλεται στα κατιόντα τα οποία απομακρύνονται με το βρασμό του νερού (Νταράκας, 2010).

Η σκληρότητα του νερού κατατάσσεται στις σημαντικότερους χημικές παραμέτρους ποιότητας νερού και διακρίνεται σε δύο διαφορετικές σκληρότητες (Νταράκας, 2010):

- *Ολική σκληρότητα (General Hardness)*: μετράει τη συγκέντρωση των διαλυμένων αλάτων στο νερό
- *Ανθρακική σκληρότητα (Carbonate Hardness) ή Alkalinity*: μετράει τη συγκέντρωση ανθρακικών (carbonates) και διτανθρακικών (bicarbonates) αλάτων στο νερό

Ωστόσο, η σκληρότητα μπορεί να διακριθεί σε:

- Ολική:  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{MgCO}_3$
- Παροδική:  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ,  $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$
- Μόνιμη:  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{MgCO}_3$ ,  $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{MgSO}_4$ ,  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{MgCl}_2$ ,  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ . Η σχέση μεταξύ αλκαλικότητας και σκληρότητας εκφράζονται  $\text{mg} / \text{l CaCO}_3$ .

Πίνακας 7: Ολικής σκληρότητας  
[Πηγή: Νταράκας, 2010]

Πίνακας Ολικής Σκληρότητας		
0-4 °dH	0-70 mg/L	Πολύ μαλακό
4-8 °dH	70-140 mg/L	Μαλακό
8-12 °dH	140-210 mg/L	Ελαφρώς σκληρό
12-18 °dH	210-320 mg/L	Μέτρια σκληρό
18-30 °dH	320-530 mg/L	Σκληρό
Μεγαλύτερη τιμή		Πολύ Σκληρό

Η σκληρότητα του νερού εκφράζεται σε ανθρακικό ασβέστιο ( $\text{CaCO}_3$ ) και σε οξείδιο του ασβεστίου ( $\text{CaO}$ ) τα οποία καθορίζονται ανάλογα με τον βαθμό σκληρότητας. Οι μονάδες έκφρασης της σκληρότητας του νερού είναι Γαλλικός (°F), Γερμανικός (°D) και Αγγλικός (°E) βαθμός.

Πίνακας 8: Μετατροπές μονάδων σκληρότητας νερού  
[Πηγή: Νταράκας, 2010]

Σκληρότητα	Ιόντα αλκ. γαιών mmole/l	Ιόντα αλκ. γαιών meq/l	Γερμ. βαθμός °D	CaCO <sub>3</sub> mg/l	Αγγλ. βαθμός °E	Γαλλ. βαθμός °F
Ιόντα αλκαλικών γαιών (1 mmole/l)	<b>1.00</b>	2.00	5.60	100.0	7.02	10.00
Ιόντα αλκαλικών γαιών (1 meq/l)	0.50	<b>1.00</b>	2.80	50.00	3.51	5.00
1 Γερμ. Βαθμός	0.18	0.357	<b>1.00</b>	17.86	1.25	1.786
1 mg/l CaCO	0.01	0.020	0.056	<b>1.00</b>	0.070	0.100
1 Αγγλικός βαθμός	0.14	0.285	0.798	14.30	<b>1.00</b>	1.43
1 Γαλλικός βαθμός	0.10	0.200	0.560	10.00	0.702	<b>1.00</b>

Στην συνέχεια ακολουθεί η κατάταξη των νερών σύμφωνα με την σκληρότητα ανάλογα με τον βαθμό μέτρησης που παρουσιάζουν (Πίνακας 9). Ο πιο διαδεδομένος τρόπος μέτρησης σκληρότητας νερού είναι σε γαλλικούς ή γερμανικούς βαθμούς, η συσχέτιση των δύο βαθμών είναι:

- 1 Γαλλικός βαθμός (10 mg CaO<sub>3</sub>/l) = 0,56 Γερμανικοί.
- 1 Γερμανικός βαθμός (17,9 mg CaCO<sub>3</sub>/l.) = 1,79 Γαλλικοί.

Πίνακας 9: Κατάταξη νερών σύμφωνα με τη σκληρότητα  
[Πηγή: Νταράκας, 2010]

Βαθμοί Σκληρότητας	Κατηγορίες Σκληρότητας
Γερμανικοί βαθμοί	Πολύ Μαλακά <4 °D Μαλακά 4-8 °D Μέτρια σκληρά 8-12 °D Αρκετά σκληρά 12-18 °D Σκληρά 18-30 °D Πολύ σκληρά >30 °D
Γαλλικοί βαθμοί	Μαλακά <10 °F Ημισκληρά 10-20 °F Σκληρά 20-30 °F Πολύ σκληρά >30 °F
Σκληρότητα σε mg/L	Μαλακά <100 mg/L Ημισκληρά 100-200 mg/L Σκληρά 200-300 mg/L Πολύ σκληρά >300 mg/L

Όταν ένα νερό χαρακτηρίζεται ως σκληρό, η ποιότητά του είναι χαμηλή, θεωρείται ακατάλληλο για πόση ενώ επίσης παρουσιάζει αλλοίωση στη γεύση. Ένα σκληρό νερό μπορεί να χαρακτηριστεί ακόμα και ακατάλληλο για διάφορες δραστηριότητες αφού μπορεί να προκαλέσει βλάβες στις οικιακές συσκευές, προβλήματα στις βιομηχανικές και γεωργικές δραστηριότητες (Ζαγγανά, 2015).

### 1.3.2. ΒΙΟΧΗΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Σε αυτό το σημείο θα αναλυθούν εκτενέστερα τα βιομηχανικά χαρακτηριστικά του νερού (Πίνακας 1).

#### ❖ *Διαλυμένο οξυγόνο (DO)*

Διαλυμένο οξυγόνο (DO: Dissolved Oxygen) αναφέρεται στο επίπεδο ελεύθερου, μη σύνθετου οξυγόνου που υπάρχει στο νερό ή σε άλλα υγρά (Fondriest Environmental, 2013). Στην ουσία καλείται η συγκέντρωση του μοριακού οξυγόνου στα υδάτινα οικοσυστήματα (Γαλάνη, 2017). Είναι μια σημαντική παράμετρος για την αξιολόγηση της ποιότητας του νερού λόγω της επιρροής του στους οργανισμούς που ζουν μέσα σε ένα νερό. Στη μελέτη των λιμνών, το διαλυμένο οξυγόνο είναι ένας ουσιαστικός παράγοντας. Το επίπεδο διαλυμένου οξυγόνου που είναι πολύ υψηλό ή πολύ χαμηλό μπορεί να βλάψει την υδρόβια ζωή και να επηρεάσει την ποιότητα του νερού (Fondriest Environmental, 2013). Η διαλυτότητα του οξυγόνου στο νερό εξαρτάται από την αλατότητα και τη θερμοκρασία (Γαλάνη, 2017). Συμπερασματικά λοιπόν καθώς αυξάνεται η αλατότητα του νερού, το DO μειώνεται, δηλαδή καθώς το νερό γίνεται πιο αλμυρό διατηρεί λιγότερο οξυγόνο και καθώς η θερμοκρασία του νερού αυξάνεται, το DO μειώνεται, δηλαδή καθώς το νερό θερμαίνεται διατηρεί λιγότερο οξυγόνο.

#### ❖ *Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (BOD)*

Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD: Biological Oxygen Demand) καλείται το μέτρο εκτίμησης του ρυπαντικού φορτίου των ρυπασμένων υδάτων. Στην ουσία το βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο είναι μια χημική διαδικασία για τον προσδιορισμό της ποσότητας διαλυμένου οξυγόνου που χρειάζονται οι μικροοργανισμοί για τη διάσπαση της οργανικής ύλης (Γαλάνη, 2017). Συγκεκριμένα είναι η ποσότητα οξυγόνου που καταναλώνεται από αερόβια βακτήρια εντός πέντε ημερών με σκοπό τη χημική και βιολογική οξείδωση. Η διαδικασία πραγματοποιείται σε θερμοκρασία 20°C. Η έκφρασή του γίνεται σε mg/L και όταν το δείγμα επωάζεται για πέντε μέρες συμβολίζεται ως BOD<sub>5</sub> (Ζανάκη, 2001). Επιπλέον, το βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο θεωρείται σημαντικός περιβαλλοντικός δείκτης και χρησιμοποιείται με στόχο την εκτίμηση της ρύπανσης είτε των αποδεκτών (επιφανειακά και υπόγεια νερά) είτε του οργανικού ρυπαντικού φορτίου των αποβλήτων (Φουντουκίδης, 2009).

#### ❖ *Χημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (COD)*

Χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (COD: Chemical Oxygen Demand) καλείται η ποσότητα οξυγόνου η οποία απαιτείται για την χημική οξείδωση των οργανικών ενώσεων που περιέχονται στο νερό. Η μέτρησή του πραγματοποιείται με σκοπό την εκτίμηση της ρύπανσης στα επιφανειακά νερά ενώ παράλληλα χρησιμοποιείται για την επιλογή και τον έλεγχο συστημάτων καθορισμού λυμάτων και αποβλήτων (Ζανάκη, 2001). Το χημικά απαιτούμενο οξυγόνο θεωρείται σημαντικός περιβαλλοντικός δείκτης και χρησιμοποιείται με στόχο την εκτίμηση της ρύπανσης είτε των αποδεκτών (επιφανειακά και υπόγεια νερά) είτε του οργανικού

ρυπαντικού φορτίου των αποβλήτων (Φουντουκίδης, 2009). Η έκφρασή του γίνεται σε mg O<sub>2</sub>/L νερού (Γαλάνη, 2017).

#### ❖ *Ολικός Οργανικός Άνθρακας (TOC)*

Ολικός οργανικός άνθρακας (TOC: Total Organic Carbon) καλείται η ολική φόρτιση των νερών σε οργανικές ενώσεις (Γαλάνη, 2017). Ο προσδιορισμός του ολικού οργανικού άνθρακα γίνεται με στόχο τη μέτρηση της οργανικής ύλης των υγρών αποβλήτων. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται όταν τα δείγματα δεν έχουν δώσει ακριβή αποτελέσματα με την μέθοδο BOD και COD. Σημειώνεται ότι η μέθοδος αυτή, σε αντίθεση με τις BOD και COD, είναι ανεξάρτητη από τον βαθμό οξείδωσης της οργανικής ύλης καθώς επίσης δεν πραγματοποιείται καταμέτρηση των στοιχείων που δεσμεύονται σε οργανικά μόρια και τα ανόργανα στοιχεία που συνεισφέρουν στο απαιτούμενο οξυγόνο (Ζανάκη, 2001). Η έκφρασή του γίνεται σε mg C/L νερού (Γαλάνη, 2017).

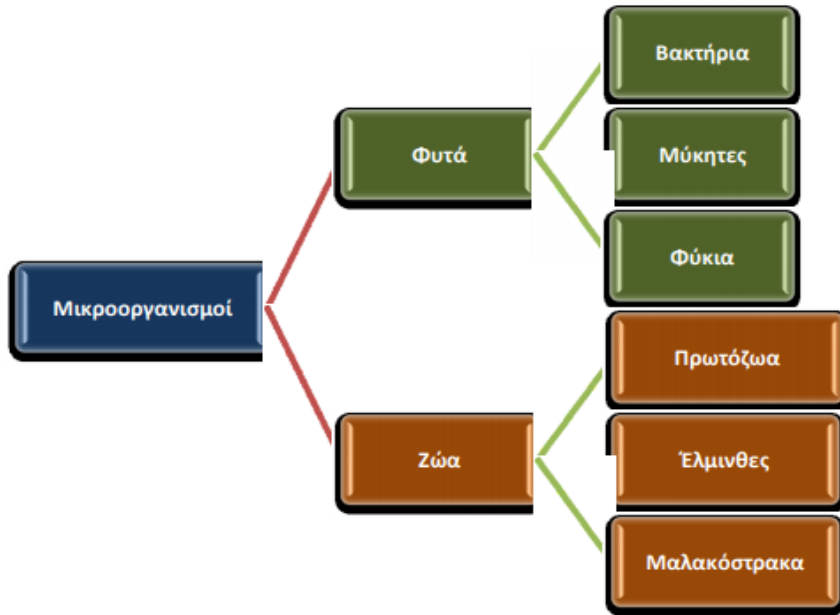
### 1.3.3. ΜΙΚΡΟΒΙΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Οι μικροοργανισμοί διαχωρίζονται σε βακτήρια, μύκητες, φύκια, πρωτόζωα, έλμινθες και μαλακόστρακα (Πίνακας 1). Ωστόσο υπάρχουν και οι ιοί (Πίνακας 1) που κατατάσσονται στις μικρότερες βιολογικές μονάδες αφού δεν είναι αυτόνομοι και λειτουργούν παρασιτικά σε κύτταρα (Μάλαμα, 2017). Σύμφωνα με τον Νταράκα (2010), τα βακτήρια είναι η στοιχειωδέστερη αυτόνομη βιολογική οντότητα. Είναι μονοκύτταροι οργανισμοί με μέγεθος από κλάσμα μέχρι μερικά μm. Τα φύκια και τα πρωτόζωα είναι μονοκύτταροι ή πολυκύτταροι οργανισμοί με μέγεθος πολλαπλάσιο του βακτηρίου και, κατά κανόνα με τελειότερη οργάνωση του κυττάρου. Η διαφορά μεταξύ πρωτόζωων και φυκιών βρίσκεται στις πηγές άνθρακα και ενέργειας (Νταράκας, 2010).

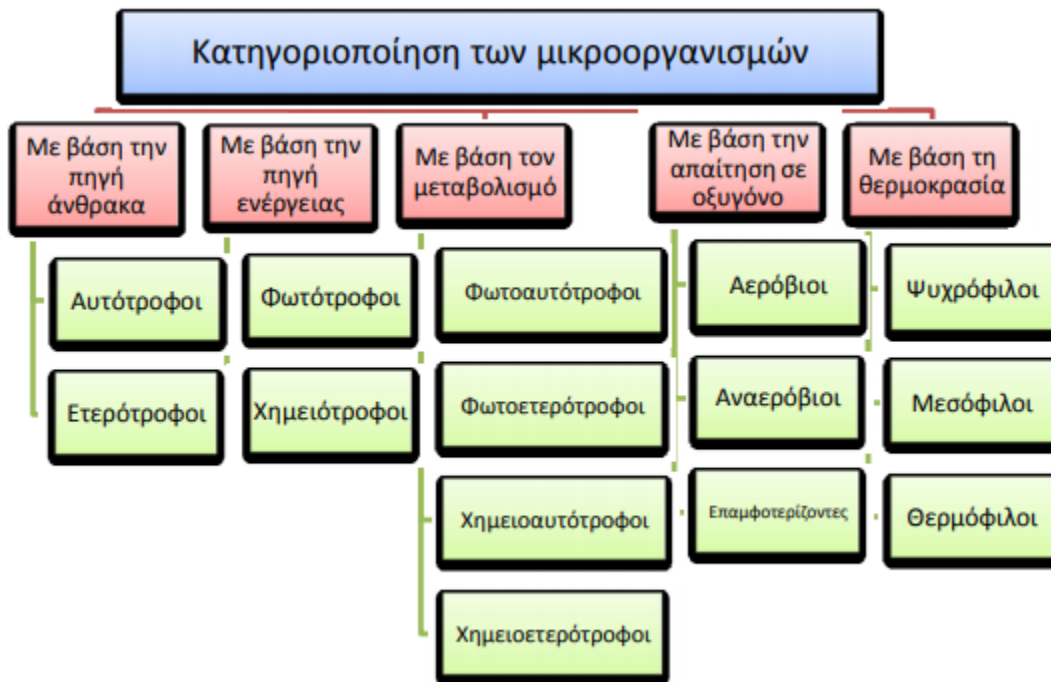
Η ποιότητα του νερού εξαρτάται άμεσα από τους μικροοργανισμούς που περιέχει αφού είναι υπεύθυνοι για πλήθος ασθενειών που μπορούν να μεταδοθούν από το νερό, επηρεάζουν τη γεύση και την οσμή, διαβρώνουν τα μέταλλα και το σκυρόδεμα καθώς επίσης είναι υπεύθυνοι για τον ευτροφισμό των υδάτινων οικοσυστημάτων. Επιπλέον η ταξινόμηση των μικροοργανισμών βασίζεται στην κυτταρική δομή τους (προκαρυωτικοί, ευκαρυωτικοί), στις ανάγκες τους για το οξυγόνο (αερόβιοι, αναερόβιοι, επαμφοτερίζοντες) καθώς και στο είδος του μεταβολισμού τους (φωτοαυτότροφοι, φωτοετερότροφοι, χημειοαυτότροφοι, χημειοετερότροφοι) (Νταράκας, 2010).

Στην συνέχεια ακολουθεί η κατάταξη των μικροοργανισμών σε φυτά και ζώα (Σχήμα 3) και η ταξινόμηση των μικροοργανισμών (Σχήμα 4).





Σχήμα 3: Κατάταξη μικροοργανισμών σε φυτά και ζώα  
[Πηγή: Νταράκας, 2010]



Σχήμα 4: Ταξινόμηση μικροοργανισμών  
[Πηγή: Νταράκας, 2010]

## 2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΕΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

### 2.1. ΣΚΟΠΟΣ

Σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η ανάπτυξη πρωτοκόλλων ανάλυσης των χημικών παραμέτρων του πόσιμου νερού που θα προσδιοριστούν στο εργαστήριο Χημικής και Περιβαλλοντικής Τεχνολογίας, του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών, της Σχολής Μηχανικών, του Πανεπιστημίου Πελοποννήσου (Πάτρα). Τα πρωτόκολλα αυτά ακολουθούν πρότυπες μεθοδολογίες, όπως για παράδειγμα της Υπηρεσίας Περιβαλλοντικής Προστασίας των ΗΠΑ κ.ά., με απώτερο σκοπό να θα αξιολογηθούν τα αποτελέσματα και η ακρίβεια των μετρήσεων με μετρήσεις προτύπων διαλυμάτων και δειγμάτων ελέγχου.

### 2.2. ΓΕΝΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία θα βασιστεί στην υλοποίηση πειραμάτων με στόχο τη μελέτη του νερού σε αμμωνία, ολικό άζωτο, νιτρικά και νιτρώδη άλατα, θειικά ιόντα, αλκαλικότητα, ασβεστίου, ολική σκληρότητα, χλωριόντα, ιχνοστοιχεία και φαινόλες. Κάθε στοιχείο υπολογίζεται με συγκεκριμένη πειραματική διαδικασία μέσα από πλήθος πειραματικών βιβλιογραφικών αναφορών. Ωστόσο, όλες οι πειραματικές διαδικασίες βασίστηκαν σε μία γενική μεθοδολογία διεκπεραίωσης τους.

Αρχικά για κάθε πείραμα απαιτείται η κατανόηση της εκάστοτε πειραματικής διαδικασίας καθώς επίσης τους λόγους που πραγματοποιείται, δηλαδή τι μελετάται και ποια τα αποτελέσματα που αναμένεται να βγουν. Στην συνέχεια ετοιμάζονται υλικά και εξοπλισμός σύμφωνα με τα ανωτέρω.

Η διαδικασία παρασκευής των διαλυμάτων είναι σχεδόν η ίδια, με μικρές αλλαγές που αναλύονται εκτενέστερα σε κάθε πειραματική διαδικασία. Όμως αυτό που απαιτείται προσοχή σε όλες τις περιπτώσεις είναι στη χρήση των υλικών και των αναλωσίμων, τα οποία θα πρέπει να είναι απαλλαγμένα από μολύνσεις. Τα γυάλινα σκεύη που θα χρησιμοποιούνται θα πρέπει να έχουν πλυθεί με πυκνό 1:1 HCl (υδροχλώριο) και να ξεπλένονται με αποσταγμένο νερό. Επιπλέον, τα υλικά που χρησιμοποιούνται θα πρέπει να ζυγίζονται με ζυγαριά ακριβείας (τεσσάρων δεκαδικών ψηφίων).

Όσον αφορά τον εργαστηριακό εξοπλισμό, για την διεκπεραίωση κάθε πειράματος απαιτείται συγκεκριμένος εξοπλισμός. Στο επόμενο εδάφιο γίνεται περιγραφική ανάλυση όλων των εργαστηριακών εξοπλισμών που χρησιμοποιήθηκε για την υλοποίηση - πραγματοποίηση όλων των πειραμάτων. Όμως σε κάθε πειραματική διαδικασία (Κεφάλαιο 3) θα αναγράφεται ο ακριβής εργαστηριακός εξοπλισμός που θα χρησιμοποιείται. Τονίζεται ότι για την έναρξη του εκάστοτε πειράματος πραγματοποιείται έλεγχος για την διαθεσιμότητά του και την άρτια λειτουργία του.

Τέλος, απαραίτητος για κάθε πείραμα είναι ο ηλεκτρονικός υπολογιστής όπου θα καταγράφονται τα αποτελέσματα και θα πραγματοποιούνται βασικοί υπολογισμοί. Σημειώνεται ότι από υπολογιστικά προγράμματα χρησιμοποιήθηκε το excel και το word της Microsoft.

### 2.3. ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ

Για την διεξαγωγή των πειραμάτων χρησιμοποιήθηκε ο εργαστηριακός εξοπλισμός που διαθέτει το Εργαστήριο Χημικής και Περιβαλλοντικής Τεχνολογίας, του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών, της Σχολής Μηχανικών του Πανεπιστημίου Πελοποννήσου (Πάτρα).

Ο εξοπλισμός που θα χρησιμοποιηθεί είναι ο ακόλουθος:

- **Φούρνος:** MEMMERT U25, 220V/800W, 0-220 C (Εικόνα 7.α). Χρησιμοποιείται για την ξήρανση των υλικών.
- **Μαγνητικός αναδευτήρας:** IKA RH 2 (Εικόνα 7.β). Χρησιμοποιείται με στόχο την ομογενή ανάδευση των διαλυμάτων – μειγμάτων χωρίς τη διάσπαση και τον τεμαχισμό των συστατικών τους.
- **Φλογοφωτόμετρο:** LI-1382, LASANY, 230 V + 10% AC, 50 Hz (Εικόνα 7.γ). Χρησιμοποιείται για την ανάλυση του νερού όπου παρέχει υψηλής ακρίβειας αποτελέσματα με αξιοπιστία. Τα στοιχεία που αναλύονται με τη μέθοδο αυτή είναι τα ιόντα νατρίου και καλίου.
- **Φασματοφωτόμετρο (DR 3900):** LANGE, RFID LOC100, 110 - 240V (Εικόνα 7.δ). Η φωτομετρική ανάλυση χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό των παραμέτρων της ποιότητας του νερού. Δίνεται η δυνατότητα εξειδικευμένων ψηφιακών μετρήσεων τόσο σε πολλαπλές αλλά και μονές παραμέτρους. Τα φασματοφωτόμετρα καλύπτουν σημαντικές παραμέτρους ποιότητας του νερού και είναι κατάλληλα για χρήση σε πλήθος εφαρμογών. Το εύρος μήκους κύματος είναι 320 - 1100 nm. Διακριτική ικανότητα μήκους κύματος :1 nm
- **Πεχάμετρο:** METTLER TOLEDO, S220, 0.0- 14.0 pH, (Εικόνα 7.ε), χρησιμοποιείται με στόχο την μέτρηση το pH των διαλυμάτων – δειγμάτων.
- **Εργαστηριακός ζυγός:** KERN, ABT 120-4NM, MAX: 120g MIN: 0.01g (Εικόνα 7.στ), χρησιμοποιείται για την ακριβή ζύγιση υλικών – ουσιών και διαλυμάτων
- **Χρονόμετρο:** ψηφιακό χρονόμετρο ακρίβειας sec (Εικόνα 7.ζ), χρησιμοποιείται για την μέτρηση του χρόνου διεξαγωγής πειραμάτων (όταν αυτό απαιτείται).



(α)



(β)



(γ)



(δ)



(ε)



(στ)



(ζ)

Εικόνα 7: (α) Φούρνος, (β) μαγνητικός αναδευτήρας, (γ) φασματόμετρο, δ) ψηφιακό φασματοφωτόμετρο, (ε) ψηφιακό pH, (στ) ψηφιακός ζυγός, (ζ) χρονόμετρο

- **Θάλαμος Ψύξης:** FREAS 815/ GCA/ PRECISION SCIENTIFIC/ Low temperature incubator. Ο θάλαμος ψύξης χρησιμοποιείται με στόχο την αποθήκευση των δειγμάτων με στόχο την διατήρησή τους σε συγκεκριμένη θερμοκρασία.
- **Φασματοφωτόμετρο Ατομικής Απορρόφησης:** iCE 3000 SERIES, THERMO, GFS, (Εικόνα 8). Το συγκεκριμένο φασματόμετρο χρησιμοποιείται μόνο για την ανάλυση στοιχείων των οποίων τα άτομα διαθέτουν μικρή ενέργεια ιοντισμού (αλκάλια και αλκαλικές γαίες). Χρησιμοποιείται για την μέτρηση της απορροφημένης ακτινοβολίας χαρακτηριστικού μήκους κύματος από ελεύθερα ουδέτερα άτομα ενός στοιχείου που βρίσκονται στην θεμελιώδη κατάσταση. Η ποιοτική ανάλυση βασίζεται στη μέτρηση του μήκους κύματος της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας. Η ποσοτική ανάλυση βασίζεται στην μέτρηση της ισχύος της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας. Η εκπεμπόμενη ακτινοβολία είναι χαρακτηριστικού μήκους κύματος του στοιχείου που διεγείρεται. Όλα τα φασματόμετρα της σειράς iCE 3000 είναι εντελώς αυτόματα με δυνατότητα πλήρους στοιχείου. Ο έλεγχος γίνεται μέσω ενός σταθμού δεδομένων που εκτελεί το Thermo. Επιστημονικό λογισμικό iCE SOLAAR με λειτουργικό σύστημα Windows®. Τα συστήματα απορρόφησης/εκπομπής φλόγας μπορούν να επεκταθούν στον γραφίτη λειτουργίας φούρνου και ατμού με τη χρήση του κατάλληλου εξαρτήματος



(α)



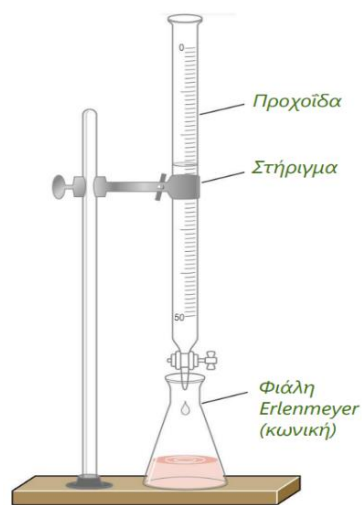
(β)



(γ)

Εικόνα 8: Φασματόμετρο ατομικής απορρόφησης (Φλογοφωτομετρία)

- **Τιτλοδότης:** Χρησιμοποιείται για την εύρεση της ακριβούς συγκέντρωσης ενός άγνωστης συγκέντρωσης διαλύματος (Εικόνα 9).



Εικόνα 9: Τιτλοδότης

- **Πιπέτα:** διαβαθμισμένος σωλήνας που χρησιμοποιείται για την ακριβή μέτρηση της ποσότητας ενός υγρού καθώς και για τη μεταφορά υγρού (μικρών ποσοτήτων) από το ένα δοχείο στο άλλο. Οι πιπέτες διαχωρίζονται σε βαθμονομημένη πιπέτα, ογκομετρική πιπέτα, μικροπιπέτα κ.ά.. Η άνω οπή των πιπετών καλύπτεται έτσι ώστε η ατμοσφαιρική πίεση να καθιστά αδύνατη τη διαφυγή του υγρού. Οι πιπέτες έχουν κλίμακες σε ml μέσω του σωλήνα, η οποία γίνεται ορατή λόγω της διαφάνειας του σωλήνα που επιτρέπει στο υγρό να παρατηρηθεί και η κλίμακα που δείχνει διαφορετικούς όγκους (Εικόνα 10).



Εικόνα 10: Ενδεικτικές πιπέτες.

- **Κεραμική κάψα:** για την ζύγιση και παρασκευή στερεών ουσιών – μειγμάτων (μικρού όγκου) (Εικόνα 11).



Εικόνα 11: Κεραμική κάψα

- **Ράβδοι ανάδευσης:** χρησιμοποιούνται για την ανάδευση διαλειμμάτων – μειγμάτων με στόχο την ομογενοποίησή τους. Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι α) γυάλινη ράβδος ανάδευσης (Εικόνα 12.α) και μαγνητική ράβδος ανάδευσης (Εικόνα 12).



(α)



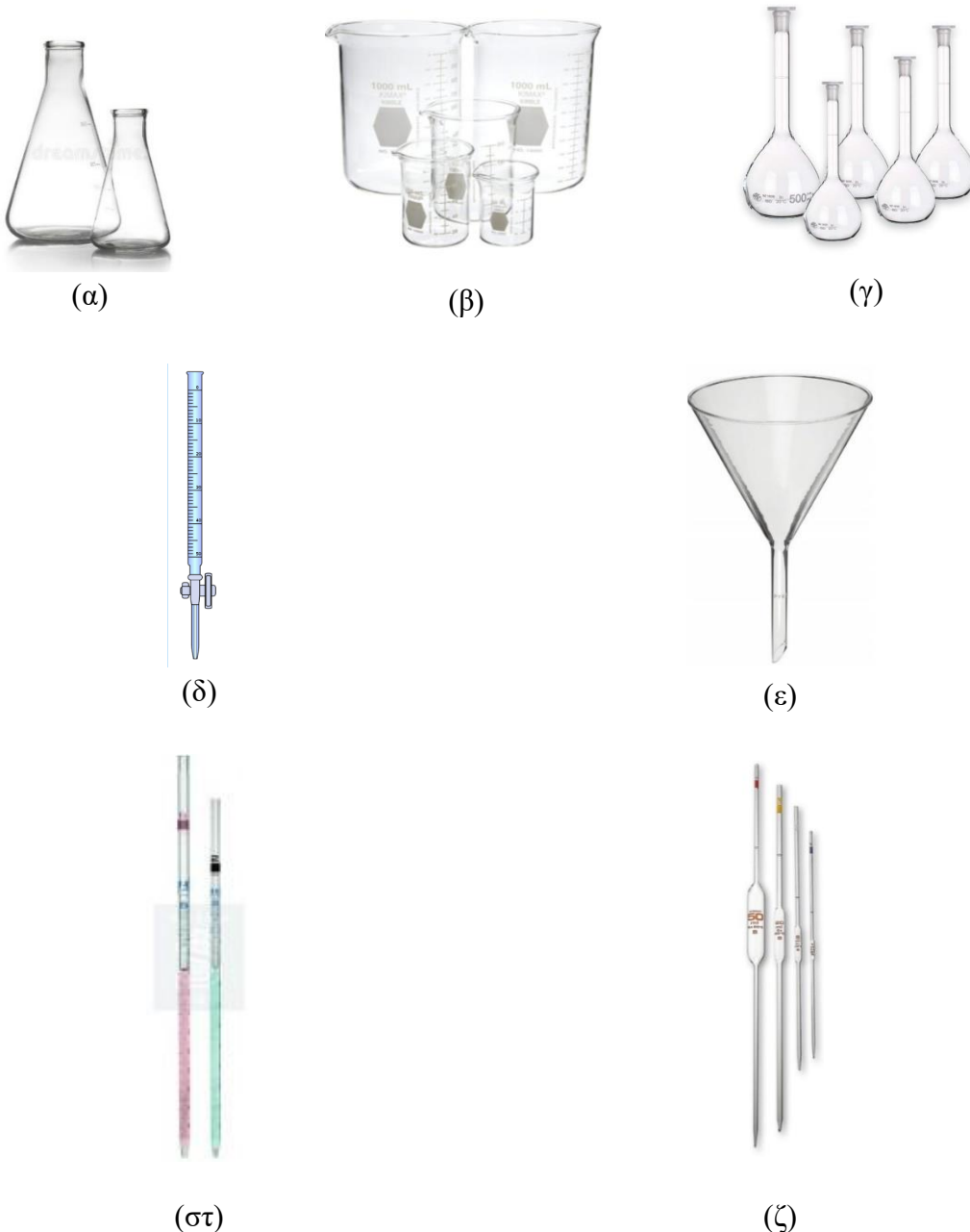
(β)

Εικόνα 12: Ράβδοι ανάδευσης α) γυάλινη ράβδος και β) μαγνητική ράβδος.

- **Υαλικά σκεύη:**
  - ✓ **Κωνικές φιάλες:** χρησιμοποιούνται για την μέτρηση του όγκου διαλυμάτων αφού διαθέτουν διαβαθμίσεις τυπωμένες στην εξωτερική τους επιφάνεια, καθώς και για την διεκπεραίωση των πειρατών, δηλαδή ως σκεύη παρασκευής διαλυμάτων (Εικόνα 13.α).
  - ✓ **Ποτήρια ζέσεως:** διαθέτουν χείλος εκροής για την καλύτερη μεταφορά διαλυμάτων - δειγμάτων (υγρών). Χρησιμοποιούνται για την ακριβή μέτρηση του όγκου διαλυμάτων αφού διαθέτουν διαβαθμίσεις τυπωμένες στην εξωτερική τους επιφάνεια, καθώς και την παρασκευή διαλυμάτων (Εικόνα 13.β).
  - ✓ **Ογκομετρικές φιάλες:** χρησιμοποιούνται για την παρασκευή διαλυμάτων όταν απαιτείται μεγάλη ακρίβεια (Εικόνα 13.γ).
  - ✓ **Προχοϊδες από βοριοπυριτικό γυαλί:** χρησιμοποιούνται για την μέτρηση του όγκου διαλύματος που καταναλώνεται σε μια ογκομετρική ανάλυση (Εικόνα 13.δ)
  - ✓ **Χωνιά διήθησης:** χρησιμοποιούνται για διοχέτευση υγρών ή λεπτόκοκκων ουσιών σε δοχεία με ένα μικρό άνοιγμα, για την έκχυση υγρών ή σκόνης μέσω ενός μικρού

ανοίγματος και για τη συγκράτηση του διηθητικού χαρτιού σε διήθηση καθώς και για τη μεταφορά υγρών σε μικρά δοχεία. (Εικόνα 13.ε).

- ✓ *Σιφώνια μέτρησης:* χρησιμοποιούνται για τη μετάγγιση ποσοτήτων υγρών με ακρίβεια, αποτελείται από σωλήνα με λεπτό στόμιο, που φέρει οριζόντιες χαραγμένες ενδείξεις του όγκου που περιέχει, με την τιμή μηδέν στο άνω άκρο της κλίμακας. Διαθέτει επίσης χρωματική ένδειξη της χωρητικότητας (Εικόνα 13.στ).
- ✓ *Σιφώνια πλήρωσης:* χρησιμοποιούνται για την πλήρωση υγρών (Εικόνα 13.ζ).



Εικόνα 13: Υαλικά σκεύη για την διεξαγωγή πειραμάτων (α) κωνικές φιάλες (β) ποτήρια ζέσεως γ) ογκομετρικές φιάλες, δ) προχοϊδες από βοριοπυριτικό γυαλί, ε) σιφώνια μέτρησης και ζ) σιφώνια πλήρωσης





(α)



(β)

Εικόνα 14: α) και β) χώρος αποθήκευσης υαλικών σκευών.

### 3. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΝΕΡΟΥ

#### 3.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σε αυτό το σημείο της παρούσας πτυχιακής εργασίας θα αναλυθούν και θα περιγράψουν οι πειραματικές διαδικασίες που πραγματοποιήθηκαν με στόχο την ανάλυση της ποιότητας του νερού. Στον Πίνακα 10 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά οι μέθοδοι χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση του, η βασική παράμετρος και το βασικό εργαστηριακό όργανο για την εκάστοτε μέθοδο.

*Πίνακας 10: Συγκεντρωτικός πίνακας μεθόδων για την ανάλυση της ποιότητας του νερού.*

α/α	Παράμετρος	Όργανο	Πρωτόκολλο
1	Αμμωνία (mg/L NH <sub>3</sub> ) (φασματοφωτομετρική)	Φασματοφωτόμετρο	ISO 7150-1:1984
2	Συνολικό οξειδωμένο άζωτο (mg/L TON)	Φασματοφωτόμετρο	EPA 353.1
3	Νιτρικά και νιτρώδη ιόντα (mg/L NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	Φασματοφωτόμετρο	EPA 353.1
4	Θειικά ιόντα (mg/L SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	Φασματοφωτόμετρο	EPA 375.4
5	Ολική Αλκαλικότητα (mg/L HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	Τιτλοδότης	EPA 310.1
6	Σκληρότητα ασβεστίου (mg/L Ca <sup>2+</sup> )	Τιτλοδότης	EPA 215.2
7	Σκληρότητα, ολική (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	Τιτλοδότης	EPA 130.2
8	Χλωριόντα (mg/L Cl <sup>-</sup> )	Τιτλοδότης	EPA 9253
9	Ασβέστιο, Μαγνήσιο, ολικός χαλκός, ολικός σίδηρος, ολικό μαγγάνιο (mg/L Ca <sup>2+</sup> , Mg <sup>2+</sup> , Cu, Fe, Mn)	Ατομική απορρόφηση	EPA 7000B
10	Νάτριο, Κάλιο (mg/L Na <sup>+</sup> , K <sup>+</sup> )	Φλογοφωτόμετρο	3500-Na, K Standard methods
11	Φαινόλες (mg/L C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH)	Φασματοφωτόμετρο	USEPA 4- Aminoantipyrine method

Σε αυτό το σημείο τονίζεται ότι τα πειράματα που θα υλοποιηθούν για τον χαρακτηρισμό της ποιότητας νερού βασίζονται στα πρωτόκολλα που αναγράφονται στον Πίνακα 10. Επιπλέον, η επιλογή της μεθόδου για την ανάλυση του βασίζεται στα κύρια στοιχεία του νερού.

Στη συνέχεια του κεφαλαίου θα αναλύεται σε κάθε μέθοδο η πειραματική διαδικασία, που θα περιέχει την αρχή της μεθόδου, τον εργαστηριακό εξοπλισμό (όργανα και σκεύη), τα αντιδραστήρια, τα υλικά καθώς και την διαδικασία δοκιμής. Τέλος, θα δίνονται οι υπολογισμοί και τα αποτελέσματα που θα προκύπτουν για κάθε μέθοδο.

## 3.2. ΜΕΘΟΔΟΣ «ΑΜΜΩΝΙΑ – SDIC»

### 3.2.1. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

#### ➤ *Αμμωνία νερού - Sodium Dichloroisocyanurate Citrate*

Η διαδικασία που αναλύεται βασίζεται στη μέθοδο για τον προσδιορισμό της αμμωνίας στο νερό και το νερό άρδευσης (Barouchas, 2017), στη μέθοδο για την εξέταση των υδάτων και των συναφών υλικών (Ammonia in Water, 1981), στο ISO 7150-1:1984 (Ποιότητα νερού-προσδιορισμός του αμμωνίου. Φυσικές, χημικές και βιοχημικές μέθοδοι), στο ISO 15923-1:2013 (ποιότητα νερού - προσδιορισμός επιλεγμένων παραμέτρων από διακριτά συστήματα ανάλυσης αμμωνίου, νιτρικό, νιτρώδες, χλωριούχο, οργανοφωσφορικό, θειικό και πυριτικό με φωτομετρική ανίχνευση) και στο DIN 38 406 (Γερμανικές τυποποιημένες μέθοδοι για την εξέταση των υδάτων, των λυμάτων και της ιλύος).

#### ➤ *Αρχή της μεθόδου*

Ο προσδιορισμός των ιόντων αμμωνίου πραγματοποιείται με τη χρήση φασματοφωτομέτρου και βασίζεται στην αντίδραση, στην οποία το σαλικυλικό οξύ (salicylate) σχηματίζει μια ινδοφαινόλη (indophenol) παρουσία αμμωνίου και διχλωροϊσοκυανουρικό νάτριο (sodium dichloroisocyanurate) υπό την καταλυτική δράση του νιτροπρουσσιδικού νατρίου (sodium nitroprusside).

Η ινδοφαινόλη που σχηματίζεται έχει πράσινο μπλε χρώμα, η απορρόφηση του οποίου μετράται σε μήκος κύματος 660nm.

#### ➤ *Όργανα- Σκεύη*

Η διεκπεραίωση της μεθόδου απαιτεί τα ακόλουθα όργανα και σκεύη:

#### ❖ Όργανα :

- Μαγνητικός αναδευτήρας
- Μαγνητική Ράβδος
- Ψηφιακό Φασματοφωτόμετρο
- Εργαστηριακός ζυγός
- Χρονόμετρο

- Φούρνος
- Πεχάμετρο
- Πιπέτα των 5,0 και 1000 ml κλάσης A.

❖ Σκεύη

- Κυψελίδες των 10 ml
- Ογκομετρικές φιάλες των 50 και 250 ml
- Σιφόνια
- Κουτάλι μέτρησης 0,2 ml χωρητικότητας
- Γυάλινα μπουκαλάκια των 500ml.
- Ποτήρια ζέσεως των 50 ml

➤ **Προετοιμασία αντιδραστηρίων**

Χρησιμοποιήθηκαν δύο (2) αντιδραστήρια το διάλυμα σαλικυλικού νατρίου ( $R_1$  SAL) και το διάλυμα sodium dichloroisocyanurate ( $R_2$  SDIC). Στην συνέχεια ακολουθούν τα χαρακτηριστικά κάθε αντιδραστηρίου:

- 1<sup>ο</sup> Αντιδραστήριο: **διάλυμα sodium salicylate ( $R_1$  SAL)**: Διαλύονται 13 gr σαλικυλικού νατρίου ( $C_7H_5O_3Na$ ) και 65gr κιτρικού νατρίου ( $C_6H_5Na_3O_7 \cdot 2H_2O$ ) σε αποσταγμένο νερό των 80 ml. Ακολουθεί η ρύθμιση του pH σε λιγότερο από 8,0 με προσθήκη 0,4% νιτρικού οξέος ( $HNO_3$ ). Στην συνέχεια γίνεται προσθήκη 0,098 gr νιτροπρουσσιδικού νατρίου ( $Na_2Fe(CN)_5NO$ ) και διαλύεται σε ογκομετρική φιάλη των 100 ml με αποσταγμένο νερό.
- 2<sup>ο</sup> Αντιδραστήριο: **διάλυμα sodium dichloroisocyanurate ( $R_2$  SDIC)**: Διαλύονται 2 gr υδροξειδίου του νατρίου (NaOH) σε 50 ml αποσταγμένου νερού. Ακολουθεί προσθήκη 0,2 gr διχλωροϊσοκυανουριτικού νατρίου ( $Cl_2Na(NCO)_3 \cdot 2H_2O$ ) και πραγματοποιείται διάλυση σε μια ογκομετρική φιάλη των 100 ml με αποσταγμένο νερό. Τα διαλύματα είναι σταθερά για 1 μήνα.



Εικόνα 15: 1<sup>ο</sup> Αντιδραστήριο: διάλυμα sodium salicylate ( $R_1$  SAL) και 2<sup>ο</sup> Αντιδραστήριο: διάλυμα sodium dichloroisocyanurate ( $R_2$  SDIC).

### ➤ Προετοιμασία διαλύματος Standard

Αρχικά διαλύονται 0,381 gr χλωριούχο αμμώνιο ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ) σε ογκομετρική φιάλη των 100 mL με αποσταγμένο νερό. Το διάλυμα που προκύπτει περιέχει 1000 mg  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  / mL και χρησιμοποιείται για την κατασκευή μιας πρότυπης καμπύλης. Η αποθήκευση του γίνεται σε θερμοκρασία που κυμαίνεται από 2 έως 8 °C.

### ➤ Λίστα αντιδραστηρίων

Στον Πίνακα 11 παρατίθεται η λίστα των αντιδραστηρίων για την μέθοδο Αμμωνία – SDIC.

Πίνακας 11: Λίστα αντιδραστηρίων για την μέθοδο Αμμωνία - SDIC

A/A	ΟΝΟΜΑΣΙΑ	ΧΗΜΙΚΟΣ ΤΥΠΟΣ
1	Sodium salicylate	$\text{C}_7\text{H}_5\text{O}_3\text{Na}$
2	Dihydrate citrate trisodium	$\text{C}_6\text{H}_5\text{Na}_3\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
3	Nitric acid	$\text{HNO}_3$
4	Sodium Nitroprusside	$\text{Na}_2[\text{Fe}(\text{CN})_5\text{NO}] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
5	Sodium hydroxide	$\text{NaOH}$
6	Sodium dichloroisocyanurate	$\text{Cl}_2\text{Na}(\text{NCO})_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
7	Ammonium chloride	$\text{NH}_4\text{Cl}$

### ➤ Υλικά πειραματικής διαδικασίας

Για την υλοποίηση της πειραματικής διαδικασίας απαιτείται όλα τα υλικά και ο εξοπλισμός να είναι απαλλαγμένα από βάρεα μέταλλα, το νερό να είναι αποσταγμένο και να υπάρχει διαθέσιμος αναλώσιμος εργαστηριακός εξοπλισμός. Όλα τα γυάλινα σκεύη που χρησιμοποιούνται για την διεκπεραίωση του πειράματος πρέπει να πλένονται με πυκνό 1:1 HCl και να ξεπλένονται με αποσταγμένο νερό.

### ➤ Διαδικασία δοκιμής

Τοποθετείται 0,8 ml του δείγματος ή του προτύπου σε σωλήνα των 15 ml. Στην συνέχεια γίνεται προσθήκη των αντιδραστηρίων. Στην περίπτωση του παρόντος πειράματος γίνεται προσθήκη 4,6 ml διαλύματος 1 ( $R_1$ ) και 4,6 ml διαλύματος 2 ( $R_2$ ). Πραγματοποιείται ανάμιξη του δείγματος και των αντιδραστηρίων και στη συνέχεια αφήνεται το μείγμα για δέκα λεπτά (10 min) σε θερμοκρασία δωματίου μέχρις ότου αποκτήσει την πλήρη ανάπτυξη του χρώματος. Τέλος, μετράται η απορρόφηση (ABS) στα 660 nm και εν συνεχεία πραγματοποιείται σύγκριση με την απορρόφηση των προτύπων (standards) αμμωνίας.

### 3.2.2. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Οι υπολογισμοί πραγματοποιούνται για συγκέντρωση  $\text{NH}_4\text{-N}$  HR (0-80 mg/L N) και για συγκέντρωση  $\text{NH}_4\text{-N}$  LR (0-2 mg/L N).

Για τον υπολογισμό της διόρθωσης (Corrected) χρησιμοποιείται η σχέση:

$$\text{Corrected} = \text{ABS}_{\text{std}} - \text{ABS}_{\text{blank}} \quad [3.1]$$

Για τον υπολογισμό της τιμής συγκέντρωσης (mg/L) γίνεται χρήση της σχέσης:

$$\text{Value} = 13,192 \cdot \text{ABS} \quad [3.2]$$

Όπως προαναφέρθηκε η διαδικασία πραγματοποιείται για συγκέντρωση  $\text{NH}_4\text{-N}$  HR (0-80 mg/L N) και για συγκέντρωση  $\text{NH}_4\text{-N}$  LR (0-2 mg/L N). Τα αποτελέσματα απεικονίζονται στον Πίνακα 12 και 13 αντίστοιχα.

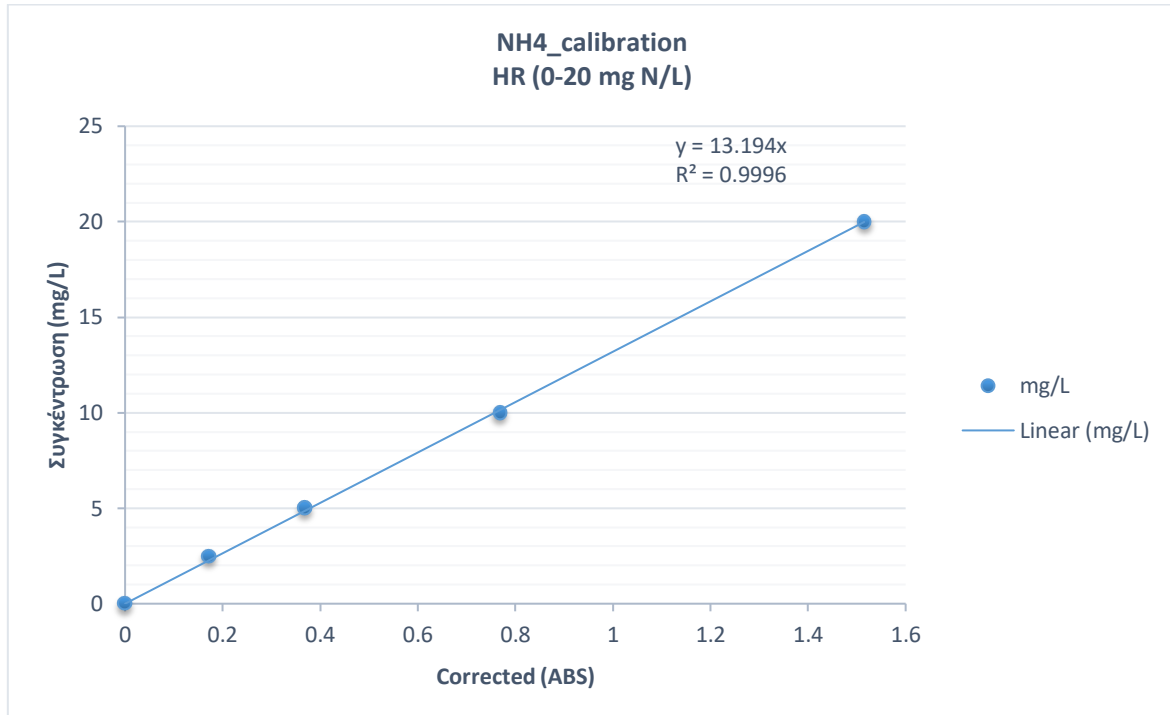
Πίνακας 12: Αποτελέσματα μεθόδου Αμμωνίας - SDIC για εύρος τιμών  $\text{NH}_4\text{-N}$  HR (0-80 mg/L N)

Κωδικός Code	Συγκέντρωση πρότυπου διαλύματος $\text{NH}_4\text{-N}$ (mg/L)	Απορρόφηση (ABS)	Διόρθωση (ABS)	Τιμή Συγκέντρωσης (mg/L)
<b>Blank</b>	0,0	0,677	0,000	8,9
<b>Std 1</b>	2,5	0,848	0,171	11,2
<b>Std 2</b>	5,0	1,045	0,368	13,8
<b>Std 3</b>	10,0	1,446	0,769	19,1
<b>Std 4</b>	20,0	2,192	1,515	28,9

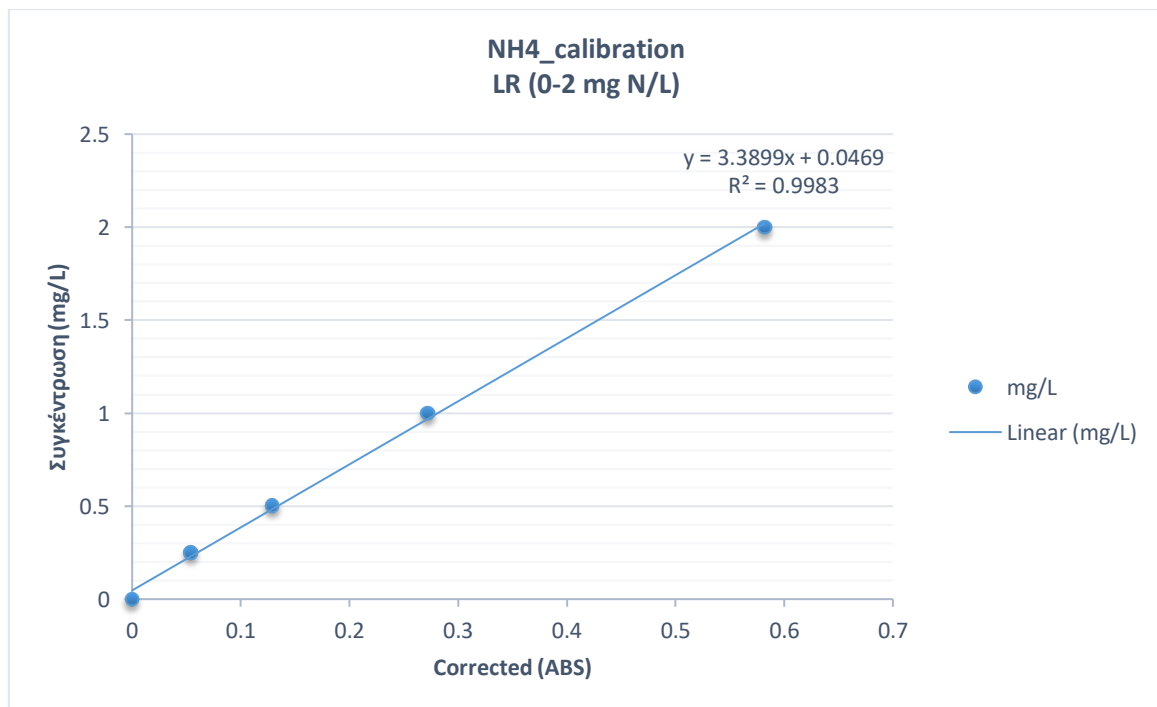
Πίνακας 13: Αποτελέσματα μεθόδου Αμμωνίας - SDIC για εύρος τιμών  $\text{NH}_4\text{-N}$  HR (0-2 mg/L N)

Κωδικός Code	Συγκέντρωση πρότυπου διαλύματος $\text{NH}_4\text{-N}$ (mg/L)	Απορρόφηση (ABS)	Διόρθωση (ABS)	Τιμή Συγκέντρωσης (mg/L)
<b>Blank</b>	0,00	0,654	0,000	2,9
<b>Std 1</b>	0,25	0,708	0,054	3,1
<b>Std 2</b>	0,50	0,783	0,129	3,4
<b>Std 3</b>	1,00	0,926	0,272	4,0
<b>Std 4</b>	2,00	1,236	0,582	5,4

Ακολουθούν οι καμπύλες βαθμονόμησης για συγκέντρωση  $\text{NH}_4\text{-N}$  HR (0-80 mg/L N) (Διάγραμμα 1) και για συγκέντρωση  $\text{NH}_4\text{-N}$  LR (0-2 mg/L N) (Διάγραμμα 2).



Διάγραμμα 1: Καμπύλη βαθμονόμησης NH<sub>4</sub>-N HR (0-80 mg/L N)



Διάγραμμα 2: Καμπύλη βαθμονόμησης NH<sub>4</sub>-N HR (0-20 mg/L N)

### 3.3. ΜΕΘΟΔΟΣ «ΝΙΤΡΙΚΑ ΚΑΙ ΝΙΤΡΩΔΗ ΑΛΑΤΑ»

#### 3.3.1. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

##### ➤ Συνολικό Οξειδωμένο Αζωτο

Σκοπός της παρούσας μεθόδου είναι ο προσδιορισμός του συνολικού οξειδωμένου αζώτου στο νερό. Η διαδικασία που αναλύεται βασίζεται στη μέθοδο της αναγωγής της υδραζίνης για τον προσδιορισμό του συνολικού αζώτου (νιτρικά και νιτρώδη ιόντα) (Barouchas, 2017), στην αυτοματοποιημένη ανάλυση για νιτρικά άλατα με αναγωγή υδραζίνης (Kamphake et al., 1967), στη μέθοδο 353:1 νιτρικά άλατα από χρωματομετρία (U.S EPA) και στις μεθόδους χημικής ανάλυσης νερού και αποβλήτων (MCAWW) (U.S EPA, 1983).

##### ➤ Αρχή της μεθόδου

Το οξειδωμένο άζωτο είναι το άθροισμα των νιτρικών και νιτρωδών ιόντων ( $\text{NO}_3^-$  και  $\text{NO}_2^-$ , αντίστοιχα). Τα νιτρικά ιόντα ανάγονται σε νιτρώδη άλατα με υδραζίνη υπό αλκαλικές συνθήκες, χρησιμοποιώντας τα ιόντα του χαλκού ως καταλύτη. Η συνολική περιεκτικότητα σε νιτρώδη άλατα του δείγματος αντιδρά στη συνέχεια με σουλφανιλαμίνη (sulphanilamine,  $\text{C}_6\text{H}_8\text{N}_2\text{O}_2\text{S}$ ) και N-1 naphthylenediamine dihydrochloride ( $\text{C}_{12}\text{H}_{14}\text{N}_2 \cdot 2\text{HCl}$ ) υπό όξινες συνθήκες για να σχηματιστεί ένα χαρακτηριστικό ροζ χρώμα (Εικόνα 16.α) το οποίο διαβάζεται με φασματοφωτόμετρο (Εικόνα 16.β) στα 540 nm.



(α)



(β)

Εικόνα 16: α) Δείγματα για την μέτρηση της συνολικής περιεκτικότητας σε νιτρώδη άλατα και β) Ψηφιακό Φασματοφωτόμετρο



## ➤ **Όργανα- Σκεύη**

Η διεκπεραίωση της μεθόδου απαιτεί τα ακόλουθα όργανα και σκεύη:

### ❖ Όργανα:

- Μαγνητικός αναδευτήρας
- Μαγνητική Ράβδος
- Ψηφιακό Φασματοφωτόμετρο
- Εργαστηριακός ζυγός
- Χρονόμετρο
- Πιπέτα των 5,0 ml κλάσης Α.

### ❖ Σκεύη:

- Κυψελίδες των 10 ml
- Ογκομετρικές φιάλες των 50, 100 και 250 ml.
- Σιφόνια
- Κουτάλι μέτρησης 0,2 ml χωρητικότητας
- Ποτήρια ζέσεως των 100 και 500 ml
- Γυάλινα μπουκαλάκια των 50 ml.

## ➤ **Προετοιμασία αντιδραστηρίου**

Όλα τα διαλύματα αντιδραστηρίου θα πρέπει να παρασκευάζονται με τη χρήση κατάλληλου εξοπλισμού ατομικής προστασίας και να χρησιμοποιούνται δελτία δεδομένων ασφαλείας χημικών ουσιών.

- 1<sup>ο</sup> Αντιδραστήριο: **Υδροξείδιο του νατρίου (NaOH) - R<sub>1</sub>TONAQ**: διαλύονται 0,4 gr υδροξειδίου του νατρίου (NaOH) σε 50 ml αποσταγμένου νερού. Αυτό το διάλυμα είναι σταθερό για 1 ημέρα.
- 2<sup>ο</sup> Αντιδραστήριο: **Θεικός χαλκός (CuSO<sub>4</sub>) - R<sub>2</sub>TONAQ**: Διαλύονται 0,195 gr CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O σε 40 ml αποσταγμένου νερού. Αυτό το διάλυμα είναι σταθερό για 1 μήνα.
- 3<sup>ο</sup> Αντιδραστήριο: **Αντιδραστήριο χρώματος - R<sub>3</sub>TONAQ**: προστίθενται 5 ml πυκνού φωσφορικού οξέος (HP<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) σε 100 ml αποσταγμένου νερού. Ακολουθεί η πρόσθεση 0,5 gr sulphanilamine (C<sub>6</sub>H<sub>8</sub>N<sub>2</sub>O<sub>2</sub>S) τα οποία διαλύονται εντελώς πριν προστεθούν 0,025 gr N - (1-naphthyl) - ethylenediamine dihydrochloride (C<sub>12</sub>H<sub>14</sub>N<sub>2</sub>·2HCl). Στην συνέχεια προστίθενται 100 ml αποσταγμένο νερό για αραιώση και το αντιδραστήριο φυλάσσεται σε γυάλινη φιάλη, σε θερμοκρασία που κυμαίνεται μεταξύ 2- 8 °C. Αυτό το διάλυμα είναι σταθερό για 1 μήνα.



Εικόνα 17: 1<sup>ο</sup> Αντιδραστήριο: υδροξείδιο του νατρίου (NaOH) - R1TONAQ), 2<sup>ο</sup> Αντιδραστήριο: θειικός χαλκός (CuSO<sub>4</sub>) - R<sub>2</sub>TONAQ και 3<sup>ο</sup> Αντιδραστήριο: χρώματος - R<sub>3</sub>TONAQ

#### ➤ Προετοιμασία πρότυπου διαλύματος

Διαλύονται 0,1631 gr αποξηραμένου νιτρικού καλίου (KNO<sub>3</sub>) με αποσταγμένο νερό σε μια ογκομετρική φιάλη των 100 ml. Αυτό το διάλυμα είναι σταθερό για 1 μήνα.

#### ➤ Λίστα αντιδραστηρίων

Στον Πίνακα 14 παρατίθεται η λίστα των αντιδραστηρίων για την μέθοδο νιτρικά και νιτρώδη άλατα.

Πίνακας 14: Λίστα αντιδραστηρίων για την μέθοδο νιτρικά και νιτρώδη άλατα

A/A	ΟΝΟΜΑΣΙΑ	ΧΗΜΙΚΟΣ ΤΥΠΟΣ
1	Sodium hydroxide	NaOH
2	Hydrazine sulfate	N <sub>2</sub> H <sub>4</sub> ·H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
3	Copper sulphate pentahydrate	CUSO <sub>4</sub> ·5H <sub>2</sub> O
4	Phosphoric acid	HP <sub>3</sub> O <sub>4</sub>
5	Sulphanilamine	C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> N <sub>2</sub> O <sub>2</sub> S
6	N - (1-naphthyl) - ethylenediamine dihydrochloride	C <sub>12</sub> H <sub>14</sub> N <sub>2</sub> ·2HCl
7	Potassium nitrate	KNO <sub>3</sub>

#### ➤ Υλικά πειραματικής διαδικασίας

Για την υλοποίηση της πειραματικής διαδικασίας απαιτείται όλα τα υλικά και ο εξοπλισμός να είναι απαλλαγμένα από βαρέα μέταλλα, το νερό να είναι αποσταγμένο και να υπάρχει διαθέσιμος αναλώσιμος εργαστηριακός εξοπλισμός. Όλα τα γυάλινα σκεύη που

χρησιμοποιούνται για την διεκπεραίωση του πειράματος πρέπει να πλένονται με πυκνό 1:1 HCl και να ξεπλένονται με αποσταγμένο νερό.

### ➤ Διαδικασία δοκιμής

Σε σωλήνα των 15 ml τοποθετούνται 3 ml αντιδραστηρίου 1 (R<sub>1</sub>TONAQ) και προστίθεται 1ml από το δείγμα. Αναμειγνύεται το μείγμα καλά και αφήνεται 3 min σε θερμοκρασία δωματίου (20 – 25 °C). Στην συνέχεια προστίθενται 3,5 ml αντιδραστηρίου 2 (R<sub>2</sub>TONAQ), αναμειγνύεται το μείγμα καλά και αφήνεται για 7 min σε θερμοκρασία δωματίου (20 – 25 °C). Στην συνέχεια προστίθενται 2,5 ml αντιδραστηρίου 3 (αντιδραστήριο χρώματος), αναμειγνύεται το μείγμα καλά και αφήνεται για 10 min σε θερμοκρασία δωματίου (20 – 25 °C) με στόχο την πλήρη χρωματική ανάπτυξη.

Τέλος, το μείγμα τοποθετείται στις κυψέλες των 10 ml και μετράται η απορρόφηση στα 540nm. Τα αποτελέσματα συγκρίνονται με την απορρόφηση των προτύπων νιτρωδών - νιτρικών αζώτου.

### 3.3.2. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Οι υπολογισμοί πραγματοποιούνται για απορρόφηση νιτρικά (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) και για απορρόφηση νιτρώδη (NO<sub>2</sub><sup>-</sup> - N).

Για τον υπολογισμό της διορώσης (Corrected) χρησιμοποιείται η σχέση:

$$Corrected = ABS_{std} - ABS_{black} \quad [3.3]$$

Για τον υπολογισμό της τιμής συγκέντρωσης (mg/L) γίνεται χρήση της σχέσης:

$$Value = 0.2439 \cdot ABS \quad [3.4]$$

### ➤ NO<sub>3</sub><sup>-</sup> Απορρόφηση Νιτρικά

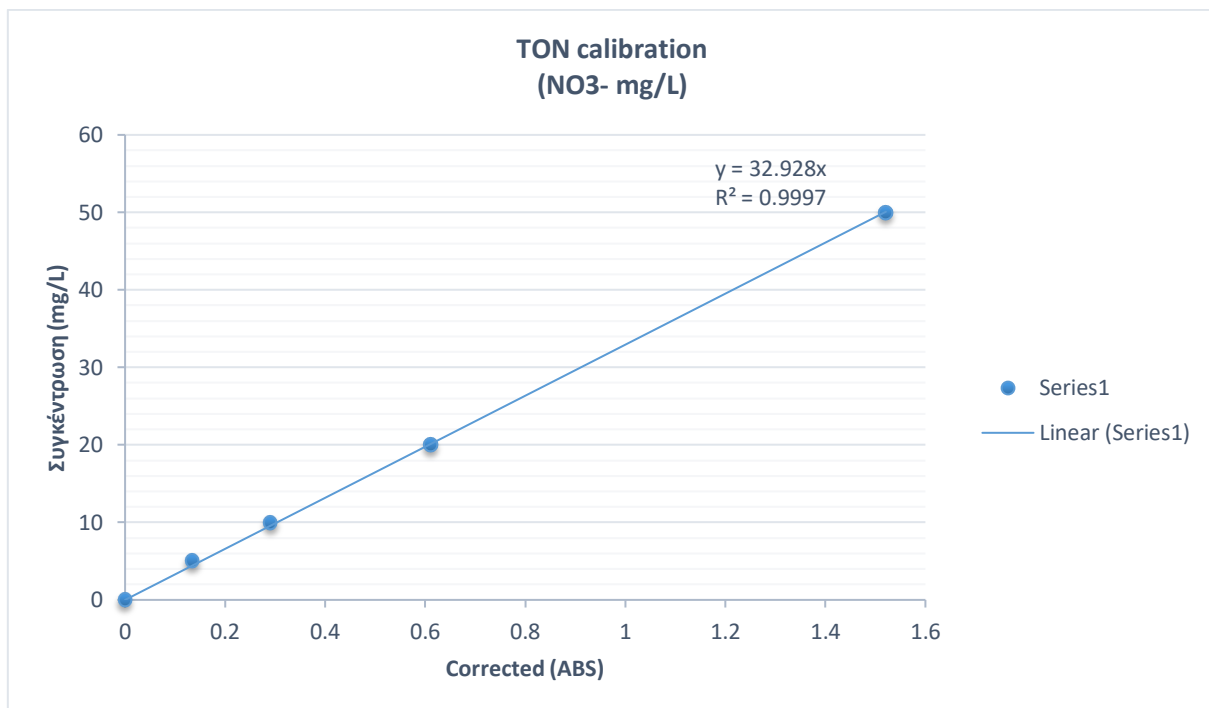
Για αντιδραστήρα     R1: NaOH 0,4g TONAQ  
                              R2: TONAQ TON  
                              R3: TONAQ

Πίνακας 15: Αντιδραστήρια NO<sub>3</sub><sup>-</sup> απορρόφηση Νιτρικά

Sample (ml)	R <sub>1</sub> (ml)	R <sub>2</sub> (ml)	R <sub>3</sub> (ml)	Sum
0,2	2,7	3,2	2,1	8,2
0,244	3,293	3,902	2,561	10
0,2	3,3	4	2,5	10

Πίνακας 16: Αποτελέσματα μεθόδου νιτρικά και νιτρώδη άλατα για συγκέντρωση  $\text{NO}_3^-$  απορρόφηση Νιτρικά

Κωδικός Code	Συγκέντρωση πρότυπου διαλύματος $\text{NO}_3^-$ (mg/L)	Απορρόφηση ABS	Διόρθωση (ABS)	Τιμή Συγκέντρωσης (mg/L)
Blank	0	0,094	0	3
Std1	5	0,228	0,134	8
Std2	10	0,385	0,291	13
Std3	20	0,705	0,611	23
Std4	50	1,615	1,521	53



Διάγραμμα 3: Καμπύλη βαθμονόμησης ABS  $\text{NO}_3^-$  (mg/L)

### 3.4. ΜΕΘΟΔΟΣ «ΝΙΤΡΩΔΗ ΙΟΝΤΑ»

#### 3.4.1. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

##### ➤ Παράμετρος Νιτρώδη ιόντα

Η διαδικασία που αναλύεται βασίζεται στη μέθοδο για τον προσδιορισμό νιτρωδών ιόντων χαμηλής συγκέντρωσης σε νερό (Barouchas, 2017), στην αυτοματοποιημένη ανάλυση

για νιτρικά άλατα με αναγωγή υδραζίνης (Kamphake et al., 1967), στη μέθοδο 353:1 νιτρικά άλατα από χρωματομετρία (U.S EPA) και στις μεθόδους χημικής ανάλυσης νερού και αποβλήτων (MCAWW) (U.S EPA, 1983).

### ➤ Αρχή της μεθόδου

Η συνολική περιεκτικότητα του δείγματος σε νιτρώδη ιόντα αντιδρά με sulphanilamine ( $C_6H_8N_2O_2S$ ) και N-1-Naphthylenediamine dihydrochloride ( $C_{12}H_{14}N_2 \cdot 2HCl$ ) κάτω από όξινες συνθήκες για να σχηματιστεί ένα ροζ χρώμα το οποίο διαβάζεται φασματοφωτομετρικά στα 540 nm.

### ➤ Όργανα - Σκεύη

Η διεκπεραίωση της μεθόδου απαιτεί τα ακόλουθα όργανα και σκεύη:

#### ❖ Όργανα:

- Μαγνητικός αναδευτήρας
- Μαγνητική Ράβδος
- Ψηφιακό Φασματοφωτόμετρο
- Εργαστηριακός ζυγός
- Χρονόμετρο
- Πιπέτα των 5,0 ml κλάσης A

#### ❖ Σκεύη:

- Κυψελίδες των 10 ml
- Κεραμική κάψα
- Ογκομετρικές φιάλες των 50, 100 και 250 ml.
- Σιφόνια
- Ποτήρια ζέσεως των 100 και 500 ml
- Κουτάλι μέτρησης χωρητικότητας 0,2 ml

### ➤ Προετοιμασία αντιδραστηρίου

Όλα τα διαλύματα αντίδρασης πρέπει να προετοιμάζονται με τη χρήση κατάλληλου εξοπλισμού κάθε ατόμου για την ασφάλεια τους και να χρησιμοποιούν τα δεδομένα ασφαλείας των χημικών ουσιών.

- 1<sup>ο</sup> Αντιδραστήριο: **αντιδραστήριο χρώματος ( $R_1$ )**: σε ογκομετρική φιάλη των 500 ml τοποθετούνται 10 ml φωσφορικό οξύ ( $HP_3O_4$ ) και στη συνέχεια αποσταγμένο νερό μέχρι την χαραγή. Στη συνέχεια προστίθεται 1 gr sulphanilamide ( $C_6H_8N_2O_2S$ ) όπου αναδεύεται ως ότου διαλυθεί και έπειτα προστίθενται 0,2500 gr N-(1-naphthyl)-ethylenediamine ( $C_{12}H_{14}N_2$ ) 0,05 gr dihydrochloride ( $2HCl$ ) τα οποία επίσης διαλύονται με αποσταγμένο

νερό ποσότητας 1000 ml σε ποτήρι ζέσεως. Το μείγμα φυλάσσεται σε θερμοκρασία που κυμαίνεται από 2-8 °C. Τα διαλύματα είναι σταθερά για ένα μήνα.

➤ **Προετοιμασία πρότυπου διαλύματος**

Διαλύονται 0,060 gr αποξηραμένου νιτρώδους καλίου (KNO<sub>2</sub>) με αποσταγμένο νερό σε μια ογκομετρική φιάλη των 100 ml. Αυτό το διάλυμα είναι σταθερό για ένα μήνα.

➤ **Λίστα αντιδραστηρίων**

Στον Πίνακα 17 παρατίθεται η λίστα των αντιδραστηρίων για την μέθοδο νιτρώδη ιόντα

*Πίνακας 17: Λίστα αντιδραστηρίων για την μέθοδο νιτρικά και νιτρώδες νερά και νιτρικά*

A/A	ΟΝΟΜΑΣΙΑ	ΧΗΜΙΚΟΣ ΤΥΠΟΣ
1	Phosphoric acid	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>
2	Sulphanilamine	C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> N <sub>2</sub> O <sub>2</sub> S
3	N-(1-naphthyl)-ethylenediamine	C <sub>12</sub> H <sub>14</sub> N <sub>2</sub>
4	Sodium nitrite	NaNO <sub>2</sub>

➤ **Υλικά πειραματικής διαδικασίας**

Για την υλοποίηση της πειραματικής διαδικασίας απαιτείται όλα τα υλικά και ο εξοπλισμός να είναι απαλλαγμένα από βαρέα μέταλλα, το νερό να είναι αποσταγμένο και να υπάρχει διαθέσιμος αναλώσιμος εργαστηριακός εξοπλισμός. Όλα τα γυάλινα σκεύη που χρησιμοποιούνται για την διεκπεραίωση του πειράματος πρέπει να πλένονται με πυκνό 1:1 HCl και να ξεπλένονται με αποσταγμένο νερό.

➤ **Διαδικασία δοκιμής**

Σε σωλήνα των 15 ml τοποθετούνται 4,8 ml δείγμα ή πρότυπο διάλυμα γίνεται προσθήκη 2,8 ml χρωματικού διαλύματος και το μείγμα αναδεύεται. Αφήνεται για 10 min σε θερμοκρασία δωματίου (20 – 25 °C) για να αναπτύξει χρώμα περιβάλλοντος. Τέλος, μετράται η απορρόφηση των νιτρωδών ιόντων.

### 3.4.2. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Για τον υπολογισμό της διόρθωσης (Corrected (ABS)) χρησιμοποιείται η σχέση [3.3] και για τον υπολογισμό της τελικής τιμής γίνεται χρήση της σχέσης [3.4]

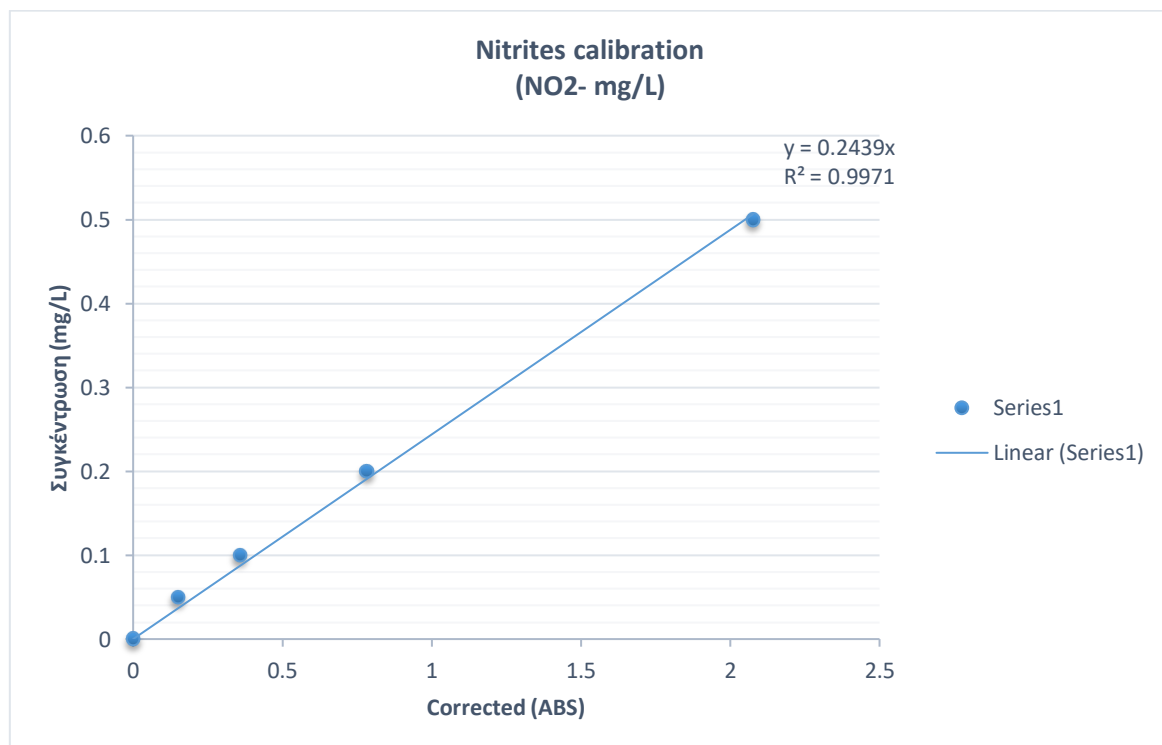
➤  $\text{NO}_2^- - \text{N}$  Απορρόφηση Νιτρώδη

Πίνακας 18: Αντιδραστήρια  $\text{NO}_2^- - \text{N}$  απορρόφηση νιτρώδη

Sample (ml)	R <sub>3</sub> (ml)	Sum
4,8	2,8	7,6
6,315789	3,684211	10
6,3	3,7	10

Πίνακας 19: Αποτελέσματα μεθόδου νιτρικά και νιτρώδη άλατα για συγκέντρωση  $\text{NO}_2^- - \text{N}$  απορρόφηση νιτρώδη

Κωδικός Code	Συγκέντρωση πρότυπου διαλύματος $\text{NO}_2^- - \text{N}$ (mg/L)	Απορρόφηση (ABS)	Διόρθωση (ABS)	Τιμή Συγκέντρωσης (mg/L)
Blank	0,00	0,008	0	0,00
Std1	0,05	0,158	0,15	0,04
Std2	0,10	0,366	0,358	0,09
Std3	0,20	0,791	0,783	0,19
Std4	0,50	2,085	2,077	0,51



Διάγραμμα 4: Καμπύλη βαθμονόμησης ABS  $\text{NO}_2^- - \text{N}$  (mg/L)

### 3.5. ΜΕΘΟΔΟΣ «ΘΕΪΚΑ ΙΟΝΤΑ»

#### 3.5.1. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

##### ➤ Αρχή της μεθόδου

Η μέθοδος είναι εφαρμόσιμη στα πόσιμα και επιφανειακά νερά καθώς και στα οικιακά και βιομηχανικά απόβλητα. Είναι κατάλληλη για όλες τις τιμές σύμβασης των θεικών ιόντων άλλα για την αξιοπιστία των μετρήσεων γίνεται χρήση μείγμα που δεν περιέχει πάνω από 40 mg SO<sub>4</sub>/L. Το ελάχιστο όριο ανίχνευσης είναι περίπου 4 mg SO<sub>4</sub>/L.

Το θειϊκό ιόν μετατρέπεται σε αιώρημα θειϊκού βαρίου (BaSO<sub>4</sub>) κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες. Έτσι η θολερότητα που θα προκύψει προσδιορίζεται με το φασματοφωτόμετρο και συγκρίνεται με μια καμπύλη βαθμονόμησης που έχει προετοιμαστεί από πρότυπα διαλύματα θεικών ιόντων. Τα δείγματα συντηρούνται με ψύξη στους 4 °C.

##### ➤ Όργανα- Σκεύη

Η διεκπεραίωση της μεθόδου απαιτεί τα ακόλουθα όργανα και σκεύη:

###### ❖ Όργανα:

- Μαγνητικός αναδευτήρας
- Μαγνητική Ράβδος
- Φασματοφωτόμετρο
- Χρονόμετρο
- Εργαστηριακός ζυγός

###### ❖ Σκεύη:

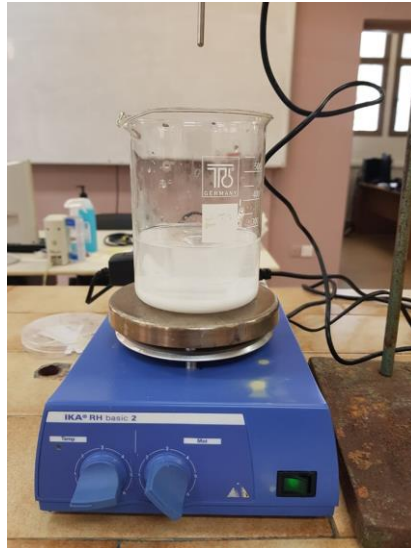
- Κυψελίδες των 10 ml
- Κεραμική κάψα
- Ογκομετρικές φιάλες των 50, 100 και 250 ml.
- Σιφόνια
- Κουτάλι μέτρησης χωρητικότητας 0,2 ml
- Ποτήρια ζέσεως των 50 και 250 ml.

##### ➤ Λίστα αντιδραστηρίων

- Μαλακτικό (conditioning) αντιδραστήριο: τοποθετούνται 150 ml αποσταγμένο νερό, 15 ml πυκνό HCl, 50 ml 95% αιθανόλη και 37,5 gr NaCl σε διάλυση μέσα σε ένα ποτήρι ζέσεως των 500ml. Τέλος προστίθεται γλυκερίνη 99,87% pH. EUR/USP (E422).
- Άλας ένυδρου (2) χλωριούχου βαρίου BaCl<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O



- Πρότυπο διάλυμα θειικών ιόντων από  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ : διαλύονται 147,9 mg άνυδρου  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  σε αποσταγμένο νερό μέσα σε ογκομετρική φιάλη 1 L και αραιώνεται μέχρι την χαραγή με αποσταγμένο νερό. Έτσι προκύπτει το πρότυπο διάλυμα συγκέντρωσης 100 mg/L  $\text{SO}_4$ .



Εικόνα 18: Μαλακτικό (conditioning) Αντιδραστήριο

#### ➤ Διαδικασία μεθόδου

- Προετοιμασία προτύπων διαλυμάτων  $\text{SO}_4$ .

Από το πρότυπο διάλυμα ετοιμάζεται πρότυπα διαλύματα συγκέντρωσης 5,10,20 και 40 mg/L  $\text{SO}_4^{2-}$  εφαρμόζοντας τον νόμο της αραιώσης σε ογκομετρική φιάλη των 50 ml.

1. Standard 5,0 mg/L  $\text{SO}_4$

$$C_{\text{αρχ}} * V_{\text{αρχ}} = C_{\text{τελ}} * V_{\text{τελ}} = C_{\text{αρχ}} * 100 = 5 * 50 = C_{\text{αρχ}} = 2,5\text{ml}$$

2. Standard 10,0 mg/L  $\text{SO}_4$

$$C_{\text{αρχ}} * V_{\text{αρχ}} = C_{\text{τελ}} * V_{\text{τελ}} = C_{\text{αρχ}} * 100 = 10 * 50 = C_{\text{αρχ}} = 5\text{ml}$$

3. Standard 20,0 mg/L  $\text{SO}_4$

$$C_{\text{αρχ}} * V_{\text{αρχ}} = C_{\text{τελ}} * V_{\text{τελ}} = C_{\text{αρχ}} * 100 = 20 * 50 = C_{\text{αρχ}} = 10\text{ml}$$

4. Standard 40,0 mg/L  $\text{SO}_4$

$$C_{\text{αρχ}} * V_{\text{αρχ}} = C_{\text{τελ}} * V_{\text{τελ}} = C_{\text{αρχ}} * 100 = 40 * 50 = C_{\text{αρχ}} = 20\text{ml}$$

- Προετοιμασία τυφλού δείγματος

Η πρώτη μέτρηση γίνεται με τυφλό δείγμα για τον μηδενισμό οργάνου. Αρχικά ενεργοποιείται το ψηφιακό φασματοφωτόμετρο, επιλέγεται η μέθοδος 990 και ορίζεται το

μήκος κύματος 540 nm. Τοποθετούνται 50 ml αποσταγμένου νερού σε ένα ποτήρι ζέσεως των 250 ml και στη συνέχεια προστίθενται με μεγάλη ακρίβεια 2,5 ml μαλακτικού (conditioning) αντιδραστήριου, τα οποία αναμειγνύονται στον μαγνητικό αναδευτήρα. Κατόπιν, μεταφέρονται 10ml του διαλύματος μέσα σε μια κυψελίδα φασματοφωτομέτρου 10 ml. Τέλος, το δείγμα τοποθετείται στην κυψελίδα στο φασματοφωτόμετρο και ακολουθεί ο μηδενισμός της ένδειξη (zero) (Εικόνα 19).



Εικόνα 19: Προετοιμασία τυφλού δείγματος στο ψηφιακό φασματοφωτόμετρο.

#### - Μέτρηση πρότυπων διαλυμάτων - standards

Αρχικά τοποθετούνται 50 ml του 1<sup>ου</sup> standard μέσα σε ένα ποτήρι ζέσεως και στη συνέχεια ακολουθεί η προσθήκη 2,5 ml μαλακτικό αντιδραστήριο, τα οποία και αναμειγνύονται με την χρήση μαγνητικού αναδευτήρα. Ζυγίζεται στον ζυγό ποσότητα 0,45 gr χλωριούχο βάριο ( $\text{BaCl}_2$ ) μέσα σε μια κάψα. Καθώς το διάλυμα αναμειγνύεται γίνεται προσθήκη το περιεχόμενο της κάψας και αναδεύεται για 1,0 min με σταθερή ταχύτητα. Μόλις τελειώσει η χρονομέτρηση το διάλυμα μεταφέρεται στην κυψελίδα και χρονομετρώνται για ½ min. Με το πέρας αυτού του χρονικού διαστήματος τοποθετείται η κυψέλη στο φασματοφωτόμετρο και καταγράφεται η μέτρηση της απορρόφησης.

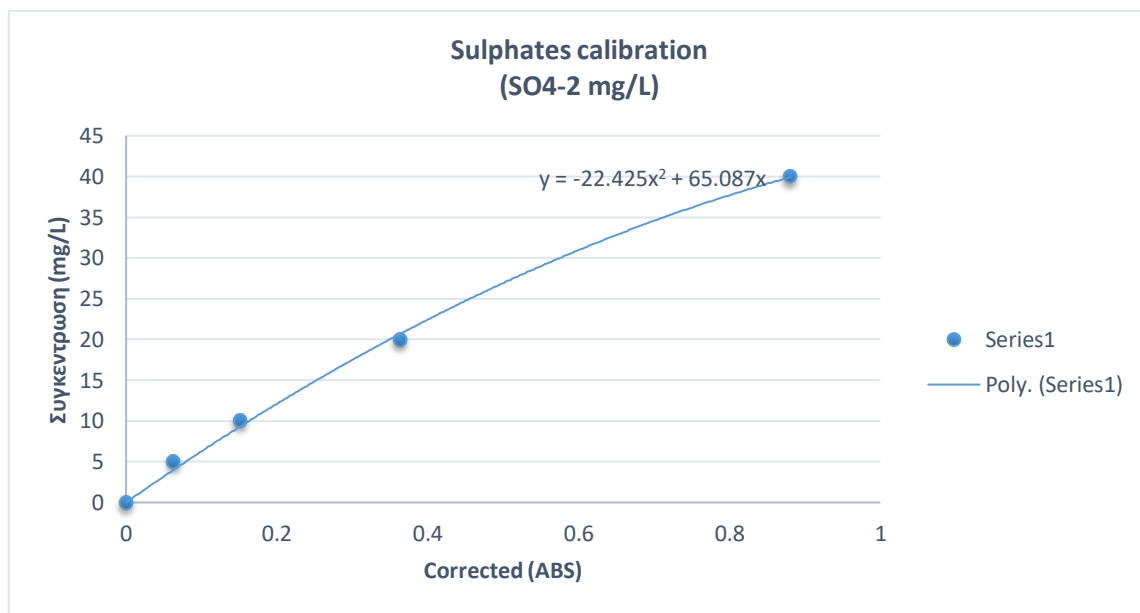
Η διαδικασία αυτή, επαναλαμβάνεται για όλα τα πρότυπα διαλύματα. Από τα αποτελέσματα των μετρήσεων κατασκευάζεται το διάγραμμα απορρόφησης - συγκέντρωσης και υπολογίζεται η εξίσωση της γραμμικής γραμμής τάσης.

### 3.5.2. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων από το φασματοφωτόμετρο φαίνονται στον Πίνακα 20. Στο Διάγραμμα 5 απεικονίζεται η καμπύλη βαθμονόμησης  $\text{SO}_4$  ABS.

Πίνακας 20: Αποτελέσματα μεθόδου θειικά ιόντα

Κωδικός Code	Συγκέντρωση πρότυπου διαλύματος SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/L)	Απορρόφηση (ABS)	Διόρθωση (ABS)	Τιμή Συγκέντρωσης (mg/L)
Blank	0,0	0,008	0,000	1
Std1	5,0	0,071	0,063	5
Std2	10,0	0,159	0,151	10
Std3	20,0	0,371	0,363	21
Std4	40,0	0,888	0,880	40



Διάγραμμα 5: Καμπύλη βαθμονόμησης ABS SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (mg/L)

### 3.6. ΜΕΘΟΔΟΣ «ΑΛΚΑΛΙΚΟΤΗΤΑ»

#### 3.6.1. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

##### ➤ Αρχή της μεθόδου

Η μέθοδος είναι εφαρμόσιμη στα πόσιμα, επιφανειακά και υφάλμυρα νερά καθώς και στα οικιακά και βιομηχανικά απόβλητα. Η μέθοδος είναι κατάλληλη για όλες τις τιμές όπου κυμαίνεται η αλκαλικότητα, πρέπει όμως να χρησιμοποιείται κατάλληλος όγκος δείγματος ώστε να μην ξεπερνά ο όγκος της τιτλοδότησης τα 50 ml. Το δείγμα ψύχεται στους 4°C.

##### ➤ Όργανα- Σκεύη

Η διεκπεραίωση της μεθόδου απαιτεί τα ακόλουθα όργανα και σκεύη:

❖ Όργανα:

- Τυπικός εργαστηριακός εξοπλισμός τιτλοδότησης που αποτελείται από:
  - ✓ Κωνική φιάλη
  - ✓ Προχοΐδες από βοριοπυριτικό γυαλί
  - ✓ Βάση στήριξης
- Πεχάμετρο
- Μαγνητικός αναδευτήρας

❖ Σκεύη

- Κωνική φιάλη
- Προχοΐδες από βοριοπυριτικό γυαλί
- Ογκομετρικές φιάλες των 50,100 και 250 ml.
- Κουτάλι μέτρησης χωρητικότητας 0,2 ml
- Ποτήρια ζέσεως των 50 και 250 ml
- Σιφόνια

➤ **Λίστα αντιδραστηρίων**

- Διάλυμα ανθρακικού νατρίου ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) 0.017 N: διαλύονται 0,4343 gr ανθρακικό νάτριο ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), αφού αρχικά έχουν ξηρανθεί στους 250 °C για 4 ώρες και έχουν ψυχθεί σε ξηραντήρα, σε μια ογκομετρική φιάλη του 1 lit. Στην συνέχεια αραιώνονται μέχρι την χαραγή. Το διάλυμα αυτό έχει συγκέντρωση  $\text{HCO}_3^-$  500 mg/L.

➤ **Διαδικασία μεθόδου**

Γίνεται χρήση ενός επαρκώς μεγάλου όγκου τιτλοδότη, με σκοπό να υπάρχει καλή ακρίβεια ενώ διατηρούμε τον όγκο μικρό ώστε να επιτυγχάνεται απότομο τελικό σημείο. Το δείγμα τοποθετείται σε κωνική φιάλη με σιφόνιο, έχοντας την άκρη της κοντά στον πυθμένα της κωνικής φιάλης. Κατόπιν μετράται το pH του δείγματος και στην συνέχεια γίνεται προσθήκη του πρότυπου οξέος προσέχοντας η ανάδευση να γίνεται σωστά και σταθερά. Τέλος, πραγματοποιείται τιτλοδότηση μέχρι pH 4,5 και καταγράφεται ο όγκος του τιτλοδότη.

### 3.6.2. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Η αλκαλικότητα του διαλύματος υπολογίζεται από την σχέση:

$$\text{Αλκαλικότητα, } mg_L \text{ CaCO}_3 = A * N * 50000 = \frac{A * N * 50000}{ml \text{ sample}} \Rightarrow [3.5]$$

Όπου:

- A: ml του πρότυπου οξέος
- N : κανονικότητα του πρότυπου οξέος
- 50.000: Ισοδύναμο Βάρος  $\text{CaCO}_3$

Με πρότυπο διάλυμα  $\text{HCO}_3^-$  1000 mg/L, για  $A=22,4$  και  $N=0,02$  κάνοντας αντικατάσταση την σχέση 3.5:

$$\text{Αλκαλικότητα} = \frac{22,4 * 0,02 * 50000}{50} = 448 \text{ mg/L CaCO}_3$$

Ωστόσο επειδή γίνεται αραίωση σε 1:1 ισχύει:

$$\text{Αλκαλικότητα} = 448 * 2 = 896 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{CaCO}_3$$

Για την μετατροπή του σε  $\text{HCO}_3^-$  χρησιμοποιείται η ακόλουθη σχέση:

$$\frac{\text{Αλκαλικότητα} * \text{Ισοδύναμο βάρους } \text{HCO}_3^-}{\text{Ισοδύναμο βάρους του } \text{CaCO}_3} \quad [3.6]$$

Επομένως:

$$\text{Ισοδύναμο βάρους } \text{HCO}_3^- = 61$$

$$\text{Ισοδύναμο βάρους } \text{CaCO}_3 = 50$$

Κάνοντας αντικατάσταση στη σχέση 3.6 προκύπτει η αλκαλικότητα:

$$\text{Αλκαλικότητα} = \frac{896 * 61}{50} = 1093 \text{ mg/L } \text{HCO}_3^-$$

Από τα ανωτέρω προκύπτει το σφάλμα από την σχέση:

$$\text{Σφάλμα} = \left| \frac{\text{Θεωρητική τιμή} - \text{Πειραματική τιμή}}{\text{θεωρητική τιμή}} \right| 100\% \quad [3.7]$$

Κάνοντας αντικατάσταση προκύπτει:

$$\text{Σφάλμα} = \left| \frac{1093 \text{ mg/L } \text{HCO}_3^- - 1093 \text{ mg/L } \text{HCO}_3^-}{1093 \text{ mg/L } \text{HCO}_3^-} \right| 100\% \Rightarrow \text{Σφάλμα} = 9,3\%$$

## 3.7. ΜΕΘΟΔΟΣ «ΑΣΒΕΣΤΙΟΥ - ΤΙΤΛΟΔΟΤΗΣΗ»

### 3.7.1. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

#### ➤ Αρχή της μεθόδου

Η μέθοδος είναι εφαρμόσιμη στα πόσιμα, επιφανειακά και υφάλμυρα νερά καθώς και στα οικιακά και βιομηχανικά απόβλητα. Το χαμηλότερο όριο προσδιορισμού της μεθόδου είναι

περίπου 0,5 mg/L ανθρακικό ασβέστιο ( $\text{CaCO}_3$ ), το ανώτερο όριο ανίχνευσης μπορεί να επεκταθεί σε όλες τις συγκεντρώσεις με αραιώση του δείγματος. Προτείνεται το δείγμα μέτρησης να μην περιέχει περισσότερο από 25 mg ανθρακικού ασβεστίου ( $\text{CaCO}_3$ ).

Τα ιόντα ασβεστίου του δείγματος δεσμεύονται με την προσθήκη disodium ethylenediamine tetraacetate (δινατριούχου αιθυλενοδιαμινοτετραοξικού οξέος,  $\text{Na}_2\text{EDTA}$ ). Το τελικό σημείο της αντίδρασης προσδιορίζεται με χρήση ενός δείκτη, ο οποίος συμπλοκοποιείται μόνο με το ασβέστιο.

### ➤ **Όργανα- Σκεύη**

Η διεκπεραίωση της μεθόδου γίνεται με τον ακόλουθο εξοπλισμό (όργανα και σκεύη):

#### ❖ **Όργανα:**

- Τυπικός εργαστηριακός εξοπλισμός τιτλοδότησης που αποτελείται από:
  - ✓ Κωνική φιάλη
  - ✓ Προχοΐδες από βοριοπυριτικό γυαλί
  - ✓ Βάση στήριξης
- Μαγνητικός αναδευτήρας
- Πεχάμετρο

#### ❖ **Σκεύη:**

- Κωνική φιάλη
- Προχοΐδες από βοριοπυριτικό γυαλί
- Ογκομετρικές φιάλες των 50, 100 και 250 ml.
- Ποτήρια ζέσεως των 50 και 250 ml
- Σιφόνια

### ➤ **Λίστα αντιδραστηρίων**

- Υδροξείδιο του νατρίου ( $\text{NaOH}$ )
- Δείκτες:
  - ✓ Δείκτης I Μουρεξίδιο "Murexide": αλλάζει το χρώμα από ροζ σε μωβ (Εικόνα 20). Αναμιγνύονται 200 gr Μουρεξίδιο με 100 gr στερεό  $\text{NaCl}$  και το δείγμα λειώνεται μέχρι να γίνουν μικρά κομματάκια. Στη συνέχεια τιτλοδοτείται αφού προστεθεί ο δείκτης διότι είναι ασταθής κάτω από αλκαλικές συνθήκες.
  - ✓ Δείκτης II: ο ρυθμιστικός αυτός δείκτης είναι σε δισκία και προστίθεται ένα δισκίο στο πείραμα ( $\text{NH}_4\text{Cl}+(\text{CH}_2)_6\text{N}_4$ ).

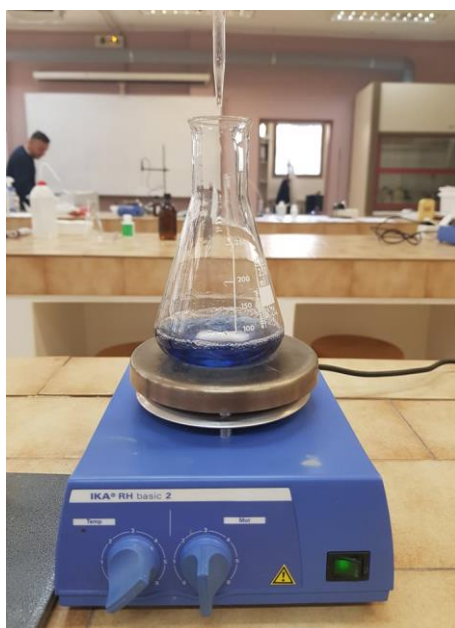


Εικόνα 20: Δείκτης Μουρεξίδιου, αλλαγή χρώματος από ροζ σε μωβ.

- *Πρότυπο διάλυμα τιτλοδότησης EDTA 0,02N*: διαλύονται 3,723 gr δινατριούχου αιθυλενοδιαμινοτετραοξικού οξέος (EDTA disodium) σε αποσταγμένο νερό. Το διάλυμα μεταφέρεται σε ογκομετρική φιάλη των 1000 ml και αραιώνεται μέχρι την χαραγή με αποσταγμένο νερό.
  - ✓ Πρότυπο διάλυμα ασβεστίου 0,02 N: τοποθετούνται 0,250 gr άνυδρο ανθρακικό ασβέστιο σε μια κωνική φιάλη των 500 ml. Στη συνέχεια προστίθεται σιγά σιγά λίγο 1:1 HCl (υδροχλώριο) έως ότου διαλυθεί όλο το ανθρακικό ασβέστιο ( $\text{CaCO}_3$ ) και στο τέλος προστίθενται 200 ml αποσταγμένο νερό αφήνεται να αναδευτεί με θερμοκρασία μέχρι να εξαχθεί το διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ). Τέλος το διάλυμα μεταφέρεται σε μια ογκομετρική φιάλη των 500 ml και γίνεται συμπλήρωση με αποσταγμένο νερό μέχρι την χαραγή.
  - ✓ Πορεία βαθμονόμησης τιτλοδότησης: τοποθετούνται 10 ml προτύπου διαλύματος ιόντα ασβεστίου ( $\text{Ca}^{2+}$ ) σε μια κωνική φιάλη που περιέχει περίπου 50 ml αποσταγμένο νερό. Προστίθενται 0,2 gr δείκτη. Τιτλοδοτείται αργά με συνεχή ανάδευση μέχρι το κόκκινο χρώμα να εξαφανιστεί και να γίνει μπλε.
- *Ρυθμιστικό διάλυμα*: διαλύονται 1,179 gr EDTA disodium και 644 mg  $\text{MgCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$  σε 50 ml αποσταγμένο νερό. Στην συνέχεια δίνεται προσθήκη του διαλύματος σε μια ογκομετρική φιάλη των 250 ml που περιέχει 16,9 gr  $\text{NH}_4\text{Cl}$  και 143 ml πυκνό  $\text{NH}_4\text{OH}$  με ανάδευση και στο τέλος αραιώνεται μέχρι την χαραγή αποσταγμένο νερό.
- *Δείκτες*:
  - ✓ Δείκτης I: αναμιγνύονται μαζί 0,5 gr eriochrome black T και 100 g NaCl.
  - ✓ Δείκτης II: αναμιγνύονται 0,5 gr eriochrome black T με 4,5 gr hydroxylamine hydrochloride. Τέλος, διαλύονται σε 100 ml 95% αιθανόλη.

### ➤ Πορεία μέτρησης

Τοποθετούνται 50 ml δείγματος σε μια κωνική φιάλη. Στη συνέχεια προστίθενται 2 ml υδροξείδιο του νατρίου (NaOH) ώστε να παραχθεί pH που κυμαίνεται από 12 έως 13. Στα φυσικά νερά επαρκούν 2,0 ml υδροξείδιο του νατρίου (NaOH) ενώ στα οξιμισμένα δείγματα ο όγκος του ανέρχεται σε 3,5 έως 4 ml. Το διάλυμα αναδύεται στο μαγνητικό αναδευτήρα και γίνεται προσθήκη του δείκτη. Κατόπιν τιτλοδοτείται αμέσως με συνεχή ανάδευση μέχρι το τελικό σημείο όπου το δείγμα από κόκκινο γίνεται πράσινο. Τέλος, ελέγχεται ότι δεν γίνεται περαιτέρω αλλαγή του χρώματος και στο τέλος τιτλοδοτείται σιγά με ανάδευση EDTA μέχρι το διάλυμα να γίνει **μπλε** (Εικόνα 21) όπου είναι και το τελικό σημείο



Εικόνα 21: Τελικό σημείο μετά από τιτλοδότηση

### 3.7.2. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Το ολικό ασβέστιο και η σκληρότητα υπολογίζονται από τις ακόλουθες σχέσεις:

$$\text{Ολικό ασβέστιο} \left( \frac{\text{mg}}{\text{L Ca}} \right) = \frac{A * N * 20040}{\text{ml sample}} \quad [3.8]$$

και

$$\text{Σκληρότητα ασβεστίου} \left( \frac{\text{mg}}{\text{L CaCO}_3} \right) = \frac{A * N * 50000}{\text{ml sample}} \quad [3.9]$$



Όπου

A: ml EDTA

N: κανονικότητα (N) του EDTA

50.000: Ισοδύναμο βάρος  $\text{CaCO}_3$

Οι πειραματικές μετρήσεις για τον υπολογισμό της σκληρότητας του ασβεστίου από τον τιτλοδότη είναι οι ακόλουθες:

- Πρότυπο διάλυμα: 100mg/L

- 1<sup>η</sup> μέτρηση:

$$\text{Αρχική τιμή} = 35,2 - \text{Τελική τιμή} = 40,8 \rightarrow A = 5,6$$

- 2<sup>η</sup> μέτρηση:

$$\text{Αρχική τιμή} = 33,6 - \text{Τελική τιμή} = 28,3 \rightarrow A = 5,3$$

Από τα ανωτέρω κάνοντας αντικατάσταση στην σχέση [3.9] τις αντίστοιχες πειραματικές μετρήσεις προκύπτει:

$$\text{Σκληρότητα ασβεστίου}_{(1\eta \text{ μέτρηση})} (\text{mg/L CaCO}_3) = \frac{A * N * 50000}{\text{ml sample}} = \frac{5,6 * 0,02 * 50000}{50}$$

$$\Rightarrow \text{Σκληρότητα ασβεστίου}_{(1\eta \text{ μέτρηση})} = 112 \text{ mg/L CaCO}_3$$

$$\text{Σκληρότητα ασβεστίου}_{(2\eta \text{ μέτρηση})} (\text{mg/L CaCO}_3) = \frac{A * N * 50000}{\text{ml sample}} = \frac{5,3 * 0,02 * 50000}{50}$$

$$\Rightarrow \text{Σκληρότητα ασβεστίου}_{(2\eta \text{ μέτρηση})} = 106 \text{ mg/L CaCO}_3$$

Από την σχέση [3.7] και κάνοντας αντικατάσταση προκύπτει:

$$\text{Σφάλμα} = \left| \frac{100 \text{ mg/L CaCO}_3 - 109 \text{ mg/L CaCO}_3}{106 \text{ mg/L CaCO}_3} \right| 100\% \Rightarrow \text{Σφάλμα} = 9,0\%$$

Σημειώνεται ότι η πειραματική τιμή λήφθηκε η μέση τιμή των δυο ανωτέρω μετρήσεων: (112  $\text{mg/L CaCO}_3$ , 106  $\text{mg/L CaCO}_3$ ).

## 3.8. ΜΕΘΟΔΟΣ «ΟΛΙΚΗΣ ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑΣ»

### 3.8.1. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

#### ➤ Αρχή της μεθόδου

Η μέθοδος αυτή είναι εφαρμόσιμη στα πόσιμα επιφανειακά και υφάλμυρα νερά καθώς και στα οικιακά και βιομηχανικά απόβλητα. Τα ιόντα ασβεστίου και μαγνησίου του δείγματος δεσμεύονται με την προσθήκη disodium ethylenediamine tetraacetate (δινατριούχου αιθυλενοδιαμινοτετραοξικού οξέος,  $\text{Na}_2\text{EDTA}$ ) ( $\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{N}_2\text{O}_8^{-2}$ ). Το τελικό σημείο της αντίδρασης προσδιορίζεται με την χρήση του δείκτη eriochrome black T, ο οποίος έχει κόκκινο χρώμα παρουσία ασβεστίου και μαγνησίου και μπλε χρώμα όταν τα κατιόντα αυτά δεσμεύονται. Τα δείγματα συντηρούνται με ψύξη 4 °C και οξίνιση με νιτρικό οξύ ( $\text{HNO}_3$ ) σε  $\text{pH} < 2$ .

#### ➤ Όργανα- Σκεύη

Η διεκπεραίωση της μεθόδου γίνεται με τον ακόλουθο εξοπλισμό (όργανα και σκεύη):

##### ❖ Όργανα:

- Τυπικός εργαστηριακός εξοπλισμός τιτλοδότησης που αποτελείται από:
  - ✓ Κωνική φιάλη
  - ✓ Προχοΐδες από βοριοπυριτικό γυαλί
  - ✓ Βάση στήριξης
- Μαγνητικός αναδευτήρας
- Πεχάμετρο

##### ❖ Σκεύη:

- Κωνική φιάλη
- Προχοΐδες από βοριοπυριτικό γυαλί
- Ογκομετρικές φιάλες των 50, 100 και 250 ml.
- Ποτήρια ζέσεως των 50 και 250 ml
- Σιφόνια

#### ➤ Λίστα αντιδραστηρίων

- Υδροξείδιο του Αμμωνίου ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ) IN: σε μια ογκομετρική φιάλη των 50 ml τοποθετούμε 3,5 ml πυκνό υδροξείδιο του αμμωνίου ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ) και αραιώνεται μέχρι την χαραγή με αποσταγμένο νερό.
- Δείκτες:
  - ✓ Δείκτης I: αναμιγνύονται 0,5 gr Eriochrome Black T με 100 gr χλωριούχο νάτριο ( $\text{NaCl}$ ).

- ✓ Δείκτης II: αναμιγνύονται 0,5 g Eriochrome Black T με 4,5 gr hydroxylamine hydrochloride ( $\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{HCl}$ ) και στη συνέχεια διαλύονται σε 100 ml 95% αιθανόλη ( $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$ ).
- *Πρότυπο διάλυμα τιτλοδότησης EDTA 0,02N*: αρχικά διαλύονται 3,723 gr EDTA disodium άλας σε αποσταγμένο νερό. Μεταφέρεται το διάλυμα σε ογκομετρική φιάλη των 1000 ml και αραιώνεται μέχρι την χαραγή με αποσταγμένο νερό. Ελέγχεται η κανονικότητα μέσω του τιτλοδότη πρότυπου διαλύματος ασβεστίου. Το διάλυμα φυλάσσεται σε πλαστική φιάλη.
- ✓ *Πρότυπο διάλυμα ασβεστίου 0,02N (400mg/L  $\text{Ca}^{2+}$ )*: τοποθετούνται 1000 gr άνυδρο ανθρακικό ασβέστιο ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) σε μια κωνική φιάλη των 500ml. Στην συνέχεια προστίθενται σταγόνα σταγόνα υδροχλώριο 1:1 ( $\text{HCl}$ ) μέχρις ότου διαλυθεί όλο το ανθρακικό ασβέστιο ( $\text{CaCO}_3$ ). Στην συνέχεια προστίθενται 200 ml αποσταγμένο νερό. Αναδεύεται το διάλυμα με θερμοκρασία για λίγα λεπτά μέχρι να εξαχθεί το διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ). Έπειτα το διάλυμα ψύχεται και μεταφέρεται σε μια ογκομετρική φιάλη 1 L και αραιώνεται με αποσταγμένο νερό μέχρι την χαραγή.
- ✓ *Πορεία βαθμονόμησης τιτλοδότησης*: τοποθετούνται 10,0 ml προτύπου διαλύματος ασβεστίου (Ca) 0,02N σε μια κωνική φιάλη που περιέχει 50 ml αποσταγμένο νερό. Προστίθενται 1 ml ρυθμιστικού διαλύματος και καθώς και 0,2 gr σκόνη δείκτη I η οποία έχει ζυγιστεί σε μια κεραμική κάψα στον εργαστηριακό ζυγό. Εναλλακτικά, προστίθεται 1-2 σταγόνες του δείκτη II. Τιτλοδοτείται αργά με συνεχή ανάδευση έως ότου το κόκκινο χρώμα εξαφανιστεί. Το τελικό σημείο έχει χρώμα μπλε και η συνολική διάρκεια της τιτλοδότησης δεν πρέπει να υπερβίνει τα 5 min από την στιγμή προσθήκης του buffer solution.
- ✓ *Υδροξείδιο του Αμμωνίου, 1 N*: Σε μια ογκομετρική φιάλη των 100 ml, τοποθετούνται 7 ml πυκνό  $\text{NH}_4\text{OH}$  και αραιώνεται με αποσταγμένο νερό μέχρι την χαραγή.

### ➤ Πορεία μέτρησης

Η τιτλοδότηση πρέπει να ολοκληρώνεται εντός 5 min από την προσθήκη του ρυθμιστικού διαλύματος (buffer solution). Τοποθετούμε 25,0 ml δείγματος σε μια κωνική φιάλη, εξουδετερώνεται με 1N το υδροξείδιο του αμμωνίου ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ) μέχρι το pH να γίνει περίπου 7,0 και αραιώνεται μέχρι τα 50 ml. Στην συνέχεια γίνεται προσθήκη 2,0 ml ρυθμιστικού διαλύματος (buffer solution -  $\text{pH} = 10,00 \pm 0,1$ ). Κατόπιν προστίθεται 0,2 gr σκόνη δείκτη Erio-T (0,5 gr Erio-T + 100g NaCl) η οποία ζυγίζεται σε μια κεραμική κάψα στον εργαστηριακό ζυγό. Τιτλοδοτείται αργά με συνεχή ανάδευση με EDTA στον τιτλοδότη μέχρι η τελευταία κόκκινη χροιά χρώματος χαθεί. Το τελικό σημείο έχει χρώμα μπλε (Εικόνα 22).



Εικόνα 22: Τελικό διάλυμα με την μέθοδο της ολικής σκληρότητας

### 3.8.2. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Η σκληρότητα υπολογίζονται από την σχέση [3.9]. Από την πειραματική διαδικασία προέκυψαν τα ακόλουθα:

- Αρχική ένδειξη= 0
- Τελική ένδειξη= 6,9

Η κατανάλωση EDTA  $A_{\Pi}$  προκύπτει από την διαφορά της τελικής και της αρχικής ένδειξης των πειραματικών αποτελεσμάτων και είναι:

$$\text{Κατανάλωση EDTA } A_{\Pi} = 6,9 - 0 = 6,9 \text{ mL}$$

Άρα κάνοντας αντικατάσταση στη σχέση [3.8] προκύπτει:

$$\text{Σκληρότητα EDTA}_{\Pi} = \frac{6,9 * 0,02 * 50000}{25} = 276 \text{ mg/L } CaCO_3$$

Σημειώνεται ότι η θεωρητική τιμή του ασβεστίου (Ca) είναι 100 mg/L. Άρα η θεωρητική σκληρότητα υπολογίζεται ομοίως κάνοντας χρήση της σχέσης [3.9] και τα αποτελέσματα είναι:

$$\text{Σκληρότητα EDTA}_{\theta} = \frac{100 * 50}{20,4} = 245 \text{ mg/L } CaCO_3$$

Από την σχέση [3.7] και κάνοντας αντικατάσταση προκύπτει:

$$\text{Σφάλμα} = \left| \frac{245 \text{ mg/L CaCO}_3 - 276 \text{ mg/L CaCO}_3}{245 \text{ mg/L CaCO}_3} \right| 100\% \Rightarrow \text{Σφάλμα} = 12,6\%$$

Από τις ανωτέρω μετρήσεις προκύπτει σφάλμα της θεωρητικής τιμής σκληρότητας με τις μετρήσεις των πειραματικών μετρήσεων. Οι λόγοι που μπορεί να οδήγησαν σε αυτά τα σφάλματα είναι σε μη άρτια ανάγνωσης βαθμονόμησης, λανθασμένη μέτρηση διαλυμάτων, μικρή ακρίβεια οργάνων κ.ά.

### 3.9. ΜΕΘΟΔΟΣ «ΧΛΩΡΙΟΝΤΑ»

#### 3.9.1. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

##### ➤ Αρχή της μεθόδου

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται κυρίως για τα προϊόντα καύσης οβίδας οξυγόνου ή άλλα νερά με περιεκτικότητα χλωριόντων μεγαλύτερη από 5 mg/L, όπου οι παρεμβολές όπως το χρώμα και οι υψηλές συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων καθιστούν τη μέθοδο 9252 μη εφαρμόσιμη. Στη παρούσα μέθοδο το νερό ρυθμίζεται σε pH τιμής 8,3 και τιτλοδοτείται με διάλυμα νιτρικού αργύρου (AgNO<sub>3</sub>) παρουσία του δείκτη χρωμικού καλίου (K<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub>).

##### ➤ Παρεμβολές

Τα ιόντα βρωμίου, ιωδίου και θείου τιτλοδοτούνται μαζί με τα χλωριόντα. Τα ορθοφωσφορικά και πολυφωσφορικά ιόντα παρεμβάλουν εάν είναι παρόντα σε συγκεντρώσεις μεγαλύτερες από 250 και 25 mg/L αντίστοιχα. Το SO<sub>3</sub><sup>2-</sup> (sulfite) και το χρώμα ή η θολότητα πρέπει να απομακρυνθούν. Ενώσεις που καθιζάνουν σε pH 8,3 (κυρίως υδροξείδια) μπορεί να προκαλέσουν σφάλματα.

##### ➤ Όργανα - Σκεύη

Η διεκπεραίωση της μεθόδου γίνεται με τον ακόλουθο εξοπλισμό (όργανα και σκεύη):

##### ❖ Όργανα:

- Τυπικός εργαστηριακός εξοπλισμός τιτλοδότησης που αποτελείται από:
  - ✓ Κωνική φιάλη
  - ✓ Προχοΐδες από βοριοπυριτικό γυαλί
  - ✓ Βάση στήριξης
- Μαγνητικός αναδευτήρας

- Πεχάμετρο
- Αναλυτικός ζυγός ( τέσσερα σημαντικά στοιχεία)

❖ Σκεύη:

- Κωνική φιάλη
- Προχοϊδες από βοριοπυριτικό γυαλί
- Ογκομετρικές φιάλες των 50, 100 και 250 ml.
- Ποτήρια ζέσεως των 50 και 250 ml
- Σιφόνια

➤ Προετοιμασία διαλυμάτων

- *Διάλυμα δείκτη χρωμικού καλίου:* διαλύονται 5 gr χρωμικού καλίου ( $K_2CrO_4$ ) σε 10 ml αποσταγμένο νερό και προστίθεται νιτρικό άργυρο ( $AgNO_3$ ) μέχρις ότου δημιουργηθεί ένα κόκκινο ίζημα. Το διάλυμα αφήνεται να σταθεροποιηθεί για τουλάχιστον 24 ώρες σε σκιά μετά την προσθήκη νιτρικού αργύρου ( $AgNO_3$ ). Κατόπιν το διάλυμα φιλτράρεται ώστε να απομακρυνθεί το ίζημα και αραιώνεται σε 500 ml με αποσταγμένο νερό.
- *Πρότυπο διάλυμα νιτρικού αργύρου ( $AgNO_3$ ):* με την χρήση του το χημικού γουδιού συνθλίβονται 5 gr κρυστάλλων νιτρικού αργύρου ( $AgNO_3$ ) και ακολουθεί η ξήρασή τους στους 40 °C. Στη συνέχεια διαλύονται 2,1236 gr των ξηρών κρυστάλλων σε αποσταγμένο νερό και αραιώνονται σε 500 ml αποσταγμένο νερό.
- *Πρότυπο διάλυμα χλωριούχου νατρίου ( $NaCl$ ) (0,025N):* διαλύονται 1.4613 gr χλωριούχου νατρίου ( $NaCl$ ) σε μια ογκομετρική φιάλη 1 L και αραιώνονται μέχρι τη χαραγή με αποσταγμένο νερό.
- *Διάλυμα υπεροξειδίου του νατρίου ( $NaOH$ ) (0,25N):* διαλύονται περίπου 2,5 gr υπεροξείδιο του νατρίου ( $NaOH$ ) σε μια ογκομετρική φιάλη των 250 ml και αραιώνονται μέχρι την χαραγή με αποσταγμένο νερό.

➤ Λίστα αντιδραστηρίων

Στον Πίνακα 21 παρατίθεται η λίστα των αντιδραστηρίων για την μέθοδο χλωριόντα.

Πίνακας 21: Λίστα αντιδραστηρίων για την μέθοδο χλωριόντα

A/A	ΟΝΟΜΑΣΙΑ	ΧΗΜΙΚΟΣ ΤΥΠΟΣ
1	Hydrogen peroxide	$H_2O_2$
2	Phenolphthalein (10g/L)	$C_{20}H_{14}O_4$
3	Potassium chromate	$K_2CrO_4$
4	Sodium chloride	$NaCl$
5	Sodium peroxide	$NaOH$
6	Silver nitrate	$AgNO_3$
7	Sulfuric acid	$H_2SO_4$

### ➤ Διαδικασία δοκιμής

Σε ένα γυάλινο δοχείο γίνεται προσθήκη 50 ml δείγματος. Στην συνέχεια αραιώνεται στα 50 ml με αποσταγμένο νερό. Το pH ρυθμίζεται στο 8,3 στο τελικό σημείο ρίχνοντας υδροξείδιο του νατρίου (NaOH). Έπειτα προστίθεται 1 ml διάλυμα δείκτη χρωμικού καλίου ( $K_2CrO_4$ ) και το μείγμα αναδεύεται. Στην συνέχεια προστίθεται το πρότυπο διάλυμα νιτρικού αργύρου ( $AgNO_3$ ), σταγόνα με την προχοΐδα μέχρι το χρώμα να γίνει πορτοκαλί (Εικόνα 23). Η διαδικασία επαναλαμβάνεται χρησιμοποιώντας το μισό του αρχικού δείγματος αραιώνοντας με αποσταγμένο νερό σε φιάλη των 50 ml.



Εικόνα 23: Τελικό διάλυμα με την μέθοδο χλωρίοντα

### 3.9.2. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Για τον υπολογισμό των χλωριόντων στο πόσιμο νερό γίνεται χρήση της σχέσης:

$$Cl^{-} (mg/L) = \frac{V * N * 35500}{S} \quad [3.10]$$

Όπου:

V= ml του πρότυπου  $AgNO_3$  που προστέθηκαν κατά την τιτλοδότηση του δείγματος

N= Κανονικότητα του πρότυπου διαλύματος  $AgNO_3$

S= ml του αρχικού δείγματος στο 50 ml δείγμα

Κάνοντας αντικατάσταση στην σχέση 3.9 με  $V=45,3$  ml προκύπτει η ποσότητα των χλωριόντων:

$$Cl^{-} (mg/L) = \frac{45,3 * 0,025 * 35500}{50} = 804 (mg/L)$$

Από την σχέση [3.7] και γνωρίζοντας ότι η συγκέντρωση του πρότυπου διαλύματος είναι 886 mg/L γίνεται αντικατάσταση προκύπτει:

$$\text{Σφάλμα} = \left| \frac{886 \text{ mg/L Cl}^- - 804 \text{ mg/L Cl}^-}{886 \text{ mg/L Cl}^-} \right| 100\% \Rightarrow \text{Σφάλμα} = 9,2\%$$

### 3.10. ΜΕΘΟΔΟΣ ΦΛΟΓΟΦΩΤΟΜΕΤΡΙΑ

Φλογοφωτομετρία είναι μια αναλυτική τεχνική που βασίζεται στη θερμική διέγερση των ατόμων και τη μέτρηση της εκπεμπόμενης, χαρακτηριστικής (κατά άτομο) ακτινοβολίας, κατά την αποδιέγερσή τους. Υπάγεται στις τεχνικές ατομικής εκπομπής (atomic emission techniques). Προκειμένου να ληφθούν τα οπτικά ατομικά φάσματα, τα συστατικά του δείγματος πρέπει να μετατραπούν σε αέρια άτομα, τα οποία στη συνέχεια μπορούν να προσδιορισθούν με φασματικές μετρήσεις απορρόφησης ή εκπομπής. Η διεργασία με την οποία το δείγμα μετατρέπεται σε άτομα σε αέρια κατάσταση λέγεται ατομοποίηση (atomization). Μια κοινή μέθοδος ατομοποίησης είναι η ατομοποίηση σε φλόγα. Στους ατομοποιητές φλόγας, ένα διάλυμα του δείγματος εκνεφώνεται σε μια ροή οξειδωτικού αερίου, το οποίο αναμιγνύεται με ένα καύσιμο αέριο και μεταφέρεται στη φλόγα, όπου συμβαίνει ατομοποίηση.

#### ➤ Όργανα - Σκεύη

Η διεκπεραίωση της μεθόδου απαιτεί τα ακόλουθα όργανα και σκεύη:

##### ❖ Όργανα:

- Μαγνητικός αναδευτήρας
- Μαγνητική Ράβδος
- Φλογοφωτόμετρο
- Εργαστηριακός ζυγός
- Χρονόμετρο
- Πιπέτα των 5.0 και 1000 ml κλάσης A

##### ❖ Σκεύη:

- Κεραμική κάψα
- Ογκομετρικές φιάλες των 50, 100 και 250 ml.
- Σιφόνια
- Ποτήρια ζέσεως των 100 και 500 ml
- Κουτάλι μέτρησης χωρητικότητας 0,2 ml
- Πλαστικά μπουκαλάκια των 50 και 100 ml
- Γυάλινα μπουκαλάκια των 50 και 100 ml



### 3.10.1. ΜΕΘΟΔΟΣ «ΚΑΛΙΟ»

Διάλυμα καλίου, απόθεμα, 1mL = 1000mg K: Διαλύονται 1,907 gr χλωριούχο κάλιο (KCl), και το αποξηραίνονται στους 110 °C. Ακολουθεί ζύγιση (ακρίβεια τέσσερα σημαντικά ψηφία). Με αντιδραστήριο το νερό προστίθενται 5 ml υδροχλωρίου (HCl) και αραιώνονται σε μια ογκομετρική φιάλη 1 L. Με την μέθοδο των τριών υπολογίζεται η ποσότητα χλωριούχου καλίου (KCl) που αντιστοιχεί στα 250 ml διαλύματος:

$$\begin{aligned} 1,907\text{g KCl} &\rightarrow 1000 \text{ ml διαλύματος} \\ x \text{ g KCl} &\rightarrow 250 \text{ ml διαλύματος} \\ x &= 0,4767 \text{ g KCl} \end{aligned}$$

Κατόπιν, δημιουργούνται τα πρότυπα διαλύματα – standards – του καλίου (K<sup>+</sup>) των 1,5 και 10 mg/L και στην συνέχεια μετράται η ατομική απορρόφηση των προτύπων και δειγμάτων που υπάρχουν στο εργαστήριο.

Όριο ανίχνευσης: 1mg/L

Std1 1 mg/L K<sup>+</sup>

$$C_{\text{αρχ}} * V_{\text{αρχ}} = C_{\text{τελ}} * V_{\text{τελ}} \Rightarrow 100 * V_{\text{αρχ}} = 1 * 100 \Rightarrow V_{\text{αρχ}} = 1\text{ml}$$

Std2 5 mg/L K<sup>+</sup>

$$C_{\text{αρχ}} * V_{\text{αρχ}} = C_{\text{τελ}} * V_{\text{τελ}} \Rightarrow 100 * V_{\text{αρχ}} = 5 * 100 \Rightarrow V_{\text{αρχ}} = 5 \text{ ml}$$

Std3 10 mg/L K<sup>+</sup>

$$C_{\text{αρχ}} * V_{\text{αρχ}} = C_{\text{τελ}} * V_{\text{τελ}} \Rightarrow 100 * V_{\text{αρχ}} = 10 * 100 \Rightarrow V_{\text{αρχ}} = 10\text{ml}$$

[Προστίθενται σε όλα τα πρότυπα διαλύματα 2 ml 1:1 υδροχλώριο (HCl)]

Τα αποτελέσματα μετρήσεων ατομικής απορρόφησης K<sup>+</sup> (mg/L) στο φωτόμετρο απεικονίζονται στον Πίνακα 22.

Πίνακας 22: Αποτελέσματα μετρήσεων ατομικής απορρόφησης K<sup>+</sup> (mg/L) στο φωτόμετρο

Standard	Θεωρητική τιμή	Πειραματική τιμή	Σφάλμα
1	5 mg/L	4,5 mg/L	10%
2	10 mg/L	9,1 mg/L	9%

### 3.10.2. ΜΕΘΟΔΟΣ «ΝΑΤΡΙΟ»

Διάλυμα νατρίου, απόθεμα, 1mL=1000 mg Na: Διαλύονται 2,542 gr χλωριούχο νάτριο (NaCl). Ακολουθεί ζύγιση (ακρίβεια τέσσερις σημαντικά ψηφία). Με αντιδραστήριο το νερό προστίθενται 2,5 ml συμπυκνωμένο νιτρικό οξύ (HNO<sub>3</sub>) και αραιώνονται σε μια ογκομετρική φιάλη 1 L με αντιδραστήριο το αποσταγμένο νερό. Με την μέθοδο των τριών υπολογίζεται η ποσότητα χλωριούχου νατρίου (NaCl) που αντιστοιχεί στα 250 ml διαλύματος:

$$\begin{aligned} 2,542\text{g NaCl} &\rightarrow 1000\text{ ml διαλύματος} \\ x\text{ g NaCl} &\rightarrow 250\text{ ml διαλύματος} \\ x &= 0,6355\text{ g NaCl} \end{aligned}$$

Κατόπιν, δημιουργούνται τα πρότυπα διαλύματα – standards – του νατρίου (Na<sup>+</sup>) των 10, 50 και 100 mg/L και στην συνέχεια μετράται η ατομική απορρόφηση των προτύπων και δειγμάτων που υπάρχουν στο εργαστήριο.

Όριο ανίχνευσης: 1 mg/L

Std1 10 ppm Na<sup>+</sup>

$$C_{\text{αρχ}} * V_{\text{αρχ}} = C_{\text{τελ}} * V_{\text{τελ}} \Rightarrow 1000 * V_{\text{αρχ}} = 10 * 100 \Rightarrow V_{\text{αρχ}} = 1\text{ ml}$$

Std2 50 mg/L Na<sup>+</sup>

$$C_{\text{αρχ}} * V_{\text{αρχ}} = C_{\text{τελ}} * V_{\text{τελ}} \Rightarrow 1000 * V_{\text{αρχ}} = 50 * 100 \Rightarrow V_{\text{αρχ}} = 5\text{ ml}$$

Std3 100 mg/L Na<sup>+</sup>

$$C_{\text{αρχ}} * V_{\text{αρχ}} = C_{\text{τελ}} * V_{\text{τελ}} \Rightarrow 1000 * V_{\text{αρχ}} = 100 * 100 \Rightarrow V_{\text{αρχ}} = 10\text{ ml}$$

[Προστίθενται σε όλα τα πρότυπα διαλύματα 1 ml πυκνό νιτρικό οξύ (HNO<sub>3</sub>)]

Σε αυτή την περίπτωση χρησιμοποιείται το φωτόμετρο για τα αποτελέσματα του πειράματος. Ομοίως ισχύει ότι και στη μέθοδο της αττικής απορρόφησης καλίου. Τα αποτελέσματα μετρήσεων ατομικής απορρόφησης Na<sup>+</sup> (mg/L) στο φωτόμετρο απεικονίζονται στον Πίνακα 23.

Πίνακας 23: Αποτελέσματα μετρήσεων ατομικής απορρόφησης Na<sup>+</sup> (mg/L στο φωτόμετρο)

Standard	Θεωρητική τιμή	Πειραματική τιμή	Σφάλμα
1	50 mg/L	47,1 mg/L	5,8%

### 3.11. ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ

### ΦΑΣΜΑΤΟΦΩΤΟΜΕΤΡΙΑ

### ΑΤΟΜΙΚΗΣ

Η φασματοφωτομετρία ατομικής απορρόφησης (ΦΑΑ) βασίζεται στη μέτρηση της απορρόφησης ακτινοβολίας χαρακτηριστικού μήκους κύματος από ελεύθερα άτομα ενός στοιχείου, που βρίσκονται στη θεμελιώδη κατάσταση. Η ατομοποίηση του στοιχείου (δημιουργία ενός νέφους ατόμων) γίνεται με εισαγωγή του δείγματος (ψεκασμό) σε φλόγα. Η διέγερση επιτελείται με απορρόφηση ακτινοβολίας, που παράγεται από μία εξωτερική πηγή και διαβιβάζεται μέσα από τη φλόγα. Αυτή αντιστοιχεί στην ενέργεια που απαιτείται για μία ηλεκτρονική μετάπτωση από τη θεμελιώδη κατάσταση σε μία διεγερμένη κατάσταση.

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιήθηκε για τον ποσοτικό προσδιορισμό των κατιόντων Cu, Fe, Mn, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, με φασματοφωτόμετρο ατομικής απορρόφησης Thermo CE3000®. Το όργανο αυτό περιλαμβάνει τα ακόλουθες βασικές μονάδες:

- Πηγές ακτινοβολίας. Πρόκειται για πηγές γραμμικής ακτινοβολίας, οι οποίες εκπέμπουν σταθερή ακτινοβολία χαρακτηριστικού μήκους κύματος για τον προσδιορισμό του στοιχείου. Η μέτρηση κάθε ενός στοιχείου απαιτεί διαφορετική πηγή ακτινοβολίας. Ως πηγή γραμμικής ακτινοβολίας χρησιμοποιείται η λυχνία κοίλης καθόδου, ΛΚΚ (hollow-cathode lamp).
- Εκνεφωτής – καυστήρας. Χρησιμοποιείται καυστήρας προαναμείξεως, ενώ ο συνδυασμός αερίων είναι ένα μείγμα ακετυλενίου – αέρα.
- Μονοχρωμάτορας. Ο μονοχρωμάτορας (πρίσμα ή φράγμα) επιτρέπει τη διόδο μόνο της επιθυμητής ακτινοβολίας.
- Ανιχνευτής. Χρησιμοποιείται ένας φωτοπολλαπλασιαστής.
- Ενισχυτής. Χρησιμοποιείται ενισχυτής εναλλασσόμενου ρεύματος.
- Όργανο μέτρησης. Χρησιμοποιείται ψηφιακή μονάδα και εκτυπωτής.

Το φασματοφωτόμετρο ατομικής απορρόφησης είναι αυτοματοποιημένο σε μεγάλο βαθμό, με τη βοήθεια ενσωματωμένων μικροϋπολογιστών, οι οποίοι ελέγχουν όλες τις παραμέτρους που απαιτούν ρύθμιση σε κάθε νέο είδος ανάλυσης. Η όλη διαδικασία εκτελείται μέσω ειδικού λογισμικού προγράμματος, μέσω του οποίου επιλέγεται το στοιχείο που πρόκειται να αναλυθεί, το κατάλληλο καύσιμο και οξειδωτικό και οι πιέσεις τους, το εύρος σχισμής, το μήκος κύματος λειτουργίας, η ένταση του ρεύματος της λυχνίας, η ακριβής θέση του καυστήρα, το έναυσμα της φλόγας κ.λ.π. Το φασματοφωτόμετρο βαθμονομείται με τρία ή περισσότερα πρότυπα διαλύματα και υπολογίζεται αυτόματα η καμπύλη αναφοράς, με βάση την οποία υπολογίζονται οι συγκεντρώσεις των δειγμάτων, απ' ευθείας στις επιθυμητές μονάδες. Τα πρότυπα διαλύματα παρασκευάζονται από ένα πρωταρχικό πυκνό πρότυπο διάλυμα, συγκέντρωσης 1000 mg/l (Merck®), με τη μέθοδο της σειριακής αραιώσης.

Στην περίπτωση της μέτρησης των ιόντων Ca<sup>2+</sup> και Mg<sup>2+</sup> απαιτείται προεπεξεργασία των δειγμάτων και προτύπων διαλυμάτων με προσθήκη, 10% του αρχικού όγκου διαλύματος, ενός διαλύματος LaO<sub>2</sub>, συγκέντρωσης 2.5%. Η προσθήκη αυτή γίνεται για την εξομάλυνση των παρεμβολών, που προκαλούν στις μετρήσεις, οι αυξημένες συγκεντρώσεις ιόντων Na<sup>+</sup>.

## ➤ Όργανα - Σκεύη

Η διεκπεραίωση της μεθόδου απαιτεί τα ακόλουθα όργανα και σκεύη:

### ❖ Όργανα:

- Μαγνητικός αναδευτήρας
- Μαγνητική Ράβδος
- Φασματόμετροατομικής απορρόφησης
- Εργαστηριακός ζυγός
- Χρονόμετρο
- Πιπέτα των 5.0 και 1000 ml κλάσης A

### ❖ Σκεύη:

- Κεραμική κάψα
- Ογκομετρικές φιάλες των 50, 100 και 250 ml.
- Σιφόνια
- Ποτήρια ζέσεως των 100 και 500 ml
- Κουτάλι μέτρησης χωρητικότητας 0,2 ml
- Πλαστικά μπουκαλάκια των 50 και 100 ml
- Γυάλινα μπουκαλάκια των 50 και 100 ml

### 3.11.1. ΜΕΘΟΔΟΣ «ΧΑΛΚΟΣ»

Η διάλυση χαλκού 1 ml = 1000mg Cu: Διαλύονται 0,250 gr χαλκού (Cu), οξύ που καθαρίζεται με (1:9) νιτρικού οξέος (HNO<sub>3</sub>). Στην συνέχεια ζυγίζεται με ακρίβεια (4 σημαντικά ψηφία) 12,5 ml (1:1) νιτρικού οξέος (HNO<sub>3</sub>), τα οποία θερμαίνονται με στόχο την επίτευξη της διάλυσης. Αφήνεται το διάλυμα να κρυώσει και αραιώνεται σε ογκομετρική φιάλη των 250 ml με αποσταγμένο νερό. Στην συνέχεια σε μια ογκομετρική φιάλη των 50 ml γίνεται προσθήκη 2,5 ml από το παραπάνω διάλυμα του χαλκού (Cu) και προστίθεται μέχρι την χαραγή αποσταγμένο νερό. Ο λόγος που πραγματοποιείται η ανωτέρω διαδικασία είναι γιατί από 1000 mg/L επιθυμείται να μειωθεί στα 50 mg/L. Τέλος, δημιουργούνται τα πρότυπα διαλύματα του χαλκού (Cu) με συγκεντρώσεις 5, 10, 20 και 50 mg/L ή mg/L.

Όριο ανίχνευσης: 5 mg/L

Std1 5 mg/L Cu

$$C_{\text{αρχ}} * V_{\text{αρχ}} = C_{\text{τελ}} * V_{\text{τελ}} \Rightarrow 50 * V_{\text{αρχ}} = 5 * 50 \Rightarrow V_{\text{αρχ}} = 0,5 \text{ ml}$$

Std2 10 mg/L Cu

$$C_{\text{αρχ}} * V_{\text{αρχ}} = C_{\text{τελ}} * V_{\text{τελ}} \Rightarrow 50 * V_{\text{αρχ}} = 10 * 50 \Rightarrow V_{\text{αρχ}} = 1 \text{ ml}$$

Std3 20 mg/L Cu

$$C_{αρχ} * V_{αρχ} = C_{τελ} * V_{τελ} \Rightarrow 50 * V_{αρχ} = 20 * 50 \Rightarrow V_{αρχ} = 2 \text{ ml}$$

Std4 50 mg/L Cu

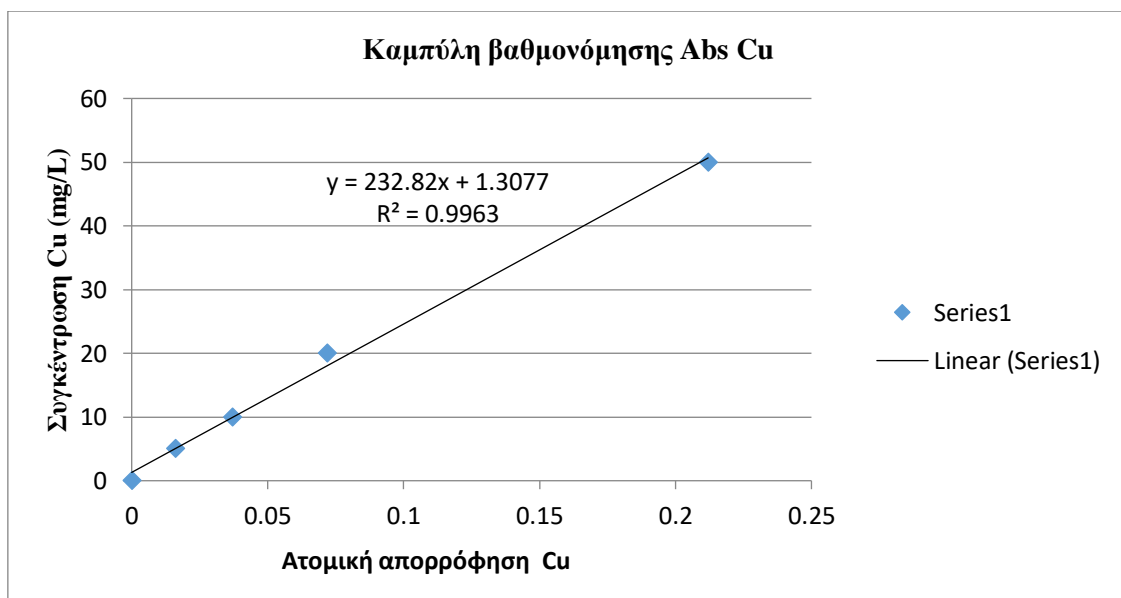
$$C_{αρχ} * V_{αρχ} = C_{τελ} * V_{τελ} \Rightarrow 50 * V_{αρχ} = 50 * 50 \Rightarrow V_{αρχ} = 2 \text{ ml}$$

[Προστίθενται σε όλα τα πρότυπα διαλύματα – standards – 1 ml πυκνό νιτρικού οξέος (HNO<sub>3</sub>)].

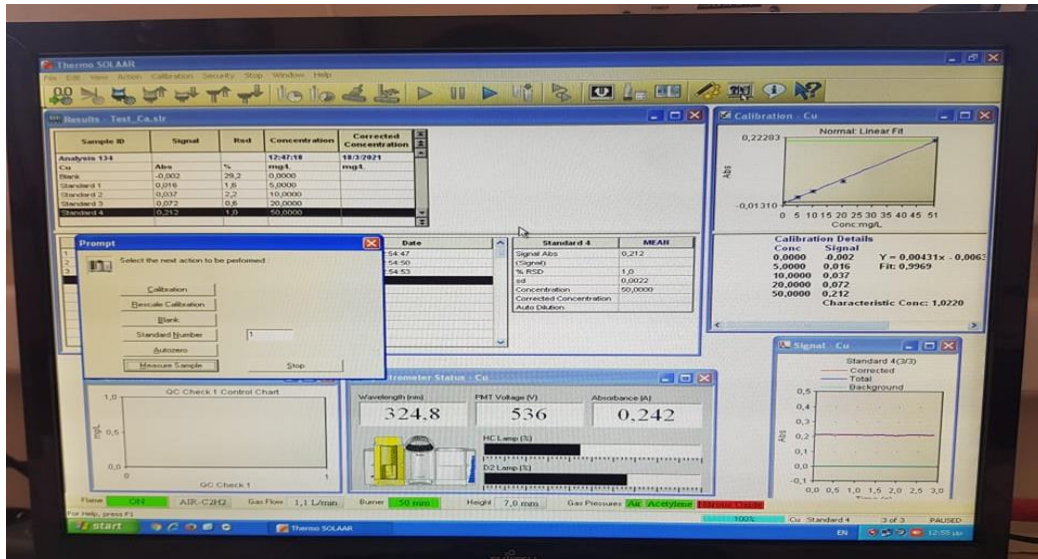
Τα αποτελέσματα των standards του χαλκού από το φασματοφωτόμετρο φαίνονται στον Πίνακα 24 και ακολουθεί το Διάγραμμα 6 που απεικονίζεται την καμπύλη βαθμονόμηση της απορρόφησης του χαλκού (Cu).

Πίνακας 24: Αποτελέσματα μεθόδου ατομική απορρόφηση χαλκού (Cu)

Κωδικός Code	Συγκέντρωση Cu (mg/L)	Απορρόφηση ABS
Blank	0,0	0,000
Std1	5,0	0,016
Std2	10,0	0,037
Std3	20,0	0,072
Std4	50,0	0,212



Διάγραμμα 6: Καμπύλη βαθμονόμησης της απορρόφησης του χαλκού (Cu).



Εικόνα 24: Απεικόνιση αποτελεσμάτων από φωτόμετρο για ατομική απορρόφηση χαλκού (Cu)

### 3.11.2. ΜΕΘΟΔΟΣ «ΟΛΙΚΟΣ ΣΙΔΗΡΟΣ»

Η διάλυση του σιδήρου 1ml = 1000mg Fe: διαλύονται 0,250 g Fe μέταλλο, οξύ που καθαρίζεται με (1:1) υδροχλώριο (HCl). Στην συνέχεια ζυγίζεται με ακρίβεια (τέσσερα σημαντικά ψηφία) μέσα σε 25 ml 1:1 υδροχλώριο (HCl) τα οποία θερμαίνονται με στόχο την επίτευξη της διάλυσης. Αφήνεται το διάλυμα να κρυώσει και αραιώνεται σε ογκομετρική φιάλη του 1 L με αποσταγμένο νερό. Στην συνέχεια με τον νόμο της αραιώσης δημιουργούνται τα πρότυπα διαλύματα του σιδήρου Fe με συγκεντρώσεις 5, 10, 20, 50 mg/L.

Όριο ανίχνευσης: από 5 mg/L

Std1 5 mg/L Fe

$$C_{αρχ} * V_{αρχ} = C_{τελ} * V_{τελ} \Rightarrow 1000 * V_{αρχ} = 5 * 50 \Rightarrow V_{αρχ} = 0,25 \text{ ml}$$

Std2 10 mg/L Fe

$$C_{αρχ} * V_{αρχ} = C_{τελ} * V_{τελ} \Rightarrow 1000 * V_{αρχ} = 10 * 50 \Rightarrow V_{αρχ} = 0,5 \text{ ml}$$

Std3 20 mg/L Fe

$$C_{αρχ} * V_{αρχ} = C_{τελ} * V_{τελ} \Rightarrow 1000 * V_{αρχ} = 20 * 50 \Rightarrow V_{αρχ} = 1 \text{ ml}$$

Std4 50 mg/L Fe

$$C_{αρχ} * V_{αρχ} = C_{τελ} * V_{τελ} \Rightarrow 1000 * V_{αρχ} = 50 * 50 \Rightarrow V_{αρχ} = 2,5 \text{ ml}$$

[Προστίθενται σε όλα τα πρότυπα διαλύματα – standards – 2 ml υδροχλωρίου (HCl)].

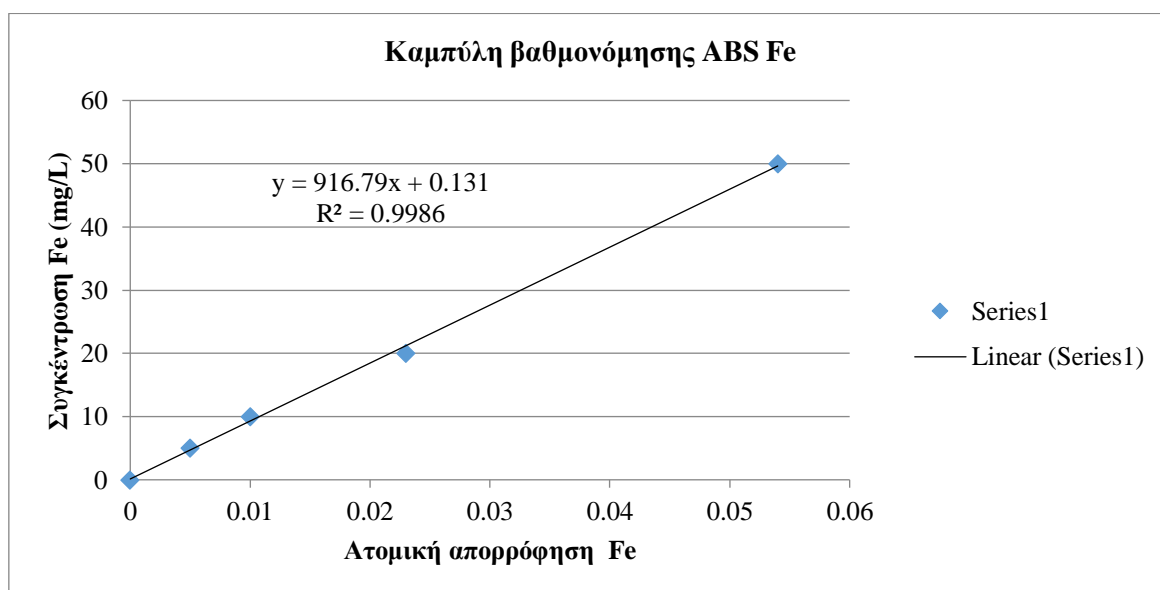


Εικόνα 25: Υλικά και σκεύη για την μέθοδο της ατομικής απορρόφησης σιδήρου (Fe)

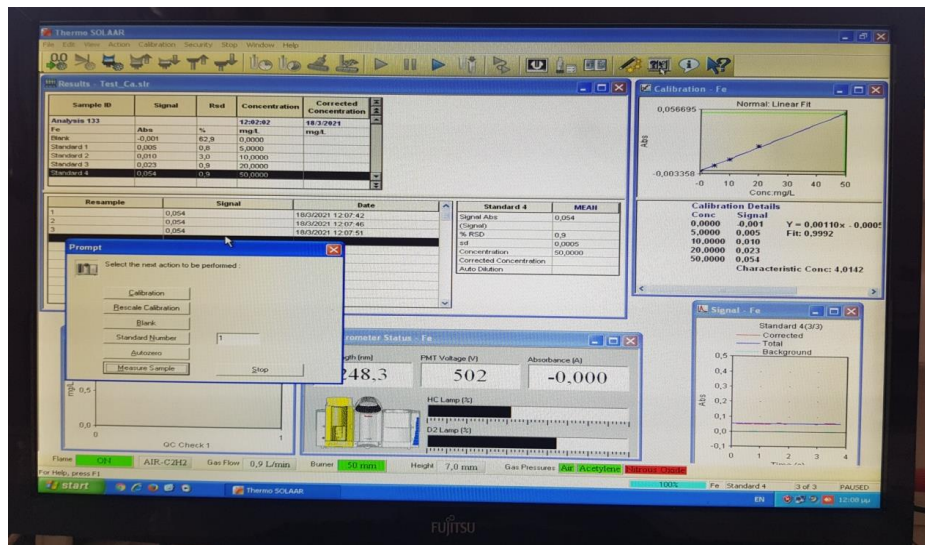
Τα αποτελέσματα των standards του σιδήρου (Fe) από το φασματοφωτόμετρο φαίνονται στον Πίνακα 25 και ακολουθεί το Διάγραμμα 7 που απεικονίζεται την καμπύλη βαθμονόμησης της απορρόφησης του σιδήρου (Fe).

Πίνακας 25: Αποτελέσματα μεθόδου ατομική απορρόφηση σιδήρου (Fe)

Κωδικός Code	Συγκέντρωση Fe (mg/L)	Απορρόφηση ABS
Blank	0,0	0,000
Std1	5,0	0,005
Std2	10,0	0,010
Std3	20,0	0,023
Std4	50,0	0,054



Διάγραμμα 7: Καμπύλη βαθμονόμησης της απορρόφησης του σιδήρου (Fe)



Εικόνα 26: Απεικόνιση αποτελεσμάτων από φασματόμετρο για ατομική απορρόφηση σιδήρου (Fe).

### 3.11.3. ΜΕΘΟΔΟΣ «ΟΛΙΚΟ ΜΑΓΓΑΝΙΟ»

Διάλυμα μαγγανίου 1 ml = 1000mg Mn: διαλύονται 0,250 gr μαγγανίου (Mn) και στην συνέχεια ζυγίζονται με ακρίβεια (τέσσερα σημαντικά ψηφία) 12,5 ml νιτρικού οξέος (HNO<sub>3</sub>) 1:1 και αραιώνεται σε μια ογκομετρική φιάλη των 250 ml με την προσθήκη αποσταγμένου νερού μέχρι την χαραγή. Στην συνέχεια με τον νόμο της αραιώσης δημιουργούνται τα πρότυπα διαλύματα του μαγγανίου (Mn) με συγκεντρώσεις 5, 10, 20, 50 mg/L.

Όριο ανίχνευσης: 5 mg/L

Std1 5 mg/L Mn

$$C_{αρχ} * V_{αρχ} = C_{τελ} * V_{τελ} \Rightarrow 1000 * V_{αρχ} = 5 * 50 \Rightarrow V_{αρχ} = 0,25 \text{ ml}$$

Std2 10 mg/L Mn

$$C_{αρχ} * V_{αρχ} = C_{τελ} * V_{τελ} \Rightarrow 1000 * V_{αρχ} = 10 * 50 \Rightarrow V_{αρχ} = 0,5 \text{ ml}$$

Std3 20 mg/L Mn

$$C_{αρχ} * V_{αρχ} = C_{τελ} * V_{τελ} \Rightarrow 1000 * V_{αρχ} = 20 * 50 \Rightarrow V_{αρχ} = 1 \text{ ml}$$

Std4 50 mg/L Mn

$$C_{αρχ} * V_{αρχ} = C_{τελ} * V_{τελ} \Rightarrow 1000 * V_{αρχ} = 50 * 50 \Rightarrow V_{αρχ} = 2,5 \text{ ml}$$

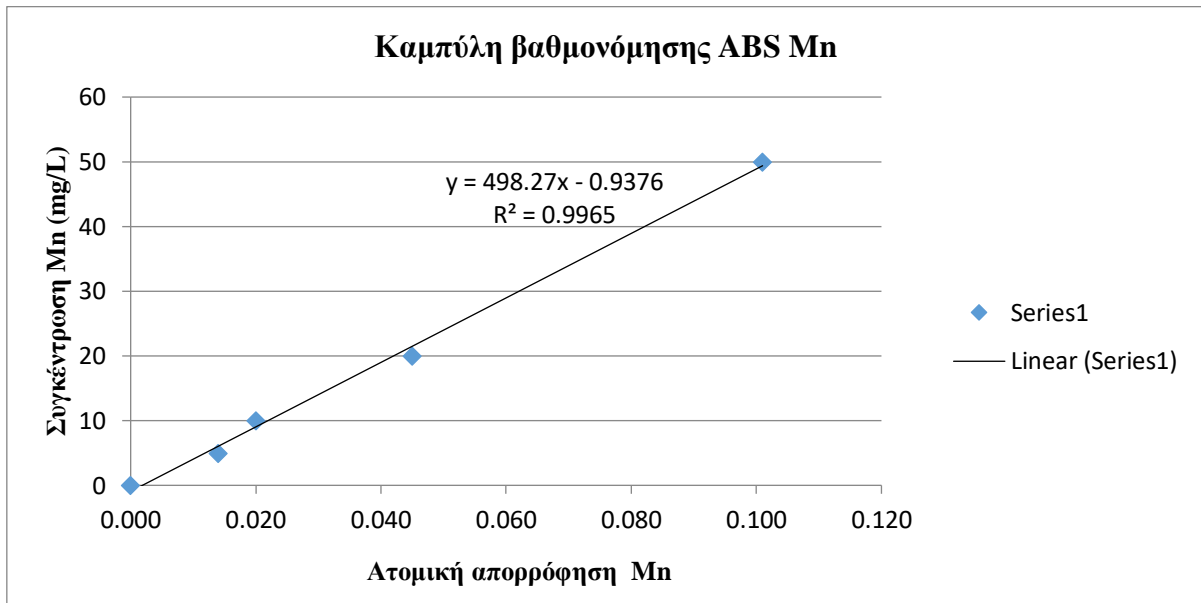
[Προστίθεται σε όλα τα πρότυπα διαλύματα – standards – 1 ml πυκνό νιτρικό οξύ (HNO<sub>3</sub>)]

Τα αποτελέσματα των standards του μαγγανίου (Mn) από το φασματοφωτόμετρο φαίνονται στον Πίνακα 26 και ακολουθεί το Διάγραμμα 8 που απεικονίζεται την καμπύλη βαθμονόμηση της απορρόφησης του μαγγανίου (Mn).

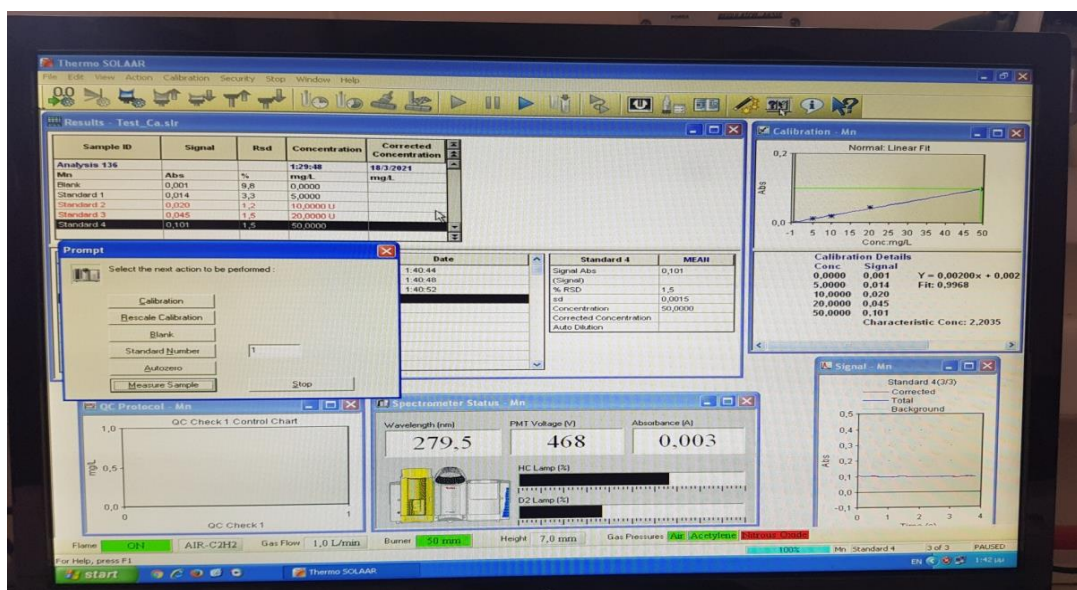


Πίνακας 26: Αποτελέσματα μεθόδου ατομική απορρόφηση μαγγανίου (Mn).

Κωδικός Code	Συγκέντρωση Mn (mg/L)	Απορρόφηση ABS
Blank	0,0	0,000
Std1	5,0	0,014
Std2	10,0	0,020
Std3	20,0	0,045
Std4	0,0	0,000



Διάγραμμα 8: Καμπύλη βαθμονόμησης της απορρόφηση μαγγανίου (Mn).



Εικόνα 27: Απεικόνιση αποτελεσμάτων από φασματόμετρο για ατομική απορρόφηση μαγγανίου (Mn).

### 3.11.4. ΜΕΘΟΔΟΣ «ΜΑΓΝΗΣΙΟ»

Διάλυμα μαγνησίου, απόθεμα, 1 ml = 1000 mg  $Mg^{2+}$ : διαλύονται 0,250 gr καθαρά ιόντα μαγνησίου ( $Mg^{2+}$ ), ζυγίζονται με ακρίβεια (τέσσερα σημαντικά ψηφία), ενώ προστίθενται αργά 2,5 ml 1:1 υδροχλωρίο (HCl). Τέλος, προστίθενται 10 ml 1:1 νιτρικού οξέος ( $HNO_3$ ) και αραιώνονται σε ογκομετρική φιάλη των 250 ml με αποσταγμένο νερό. Στην συνέχεια με τον νόμο της αραιώσης δημιουργούνται τα πρότυπα διαλύματα (standards) των 0,5, 1 και 2 mg/L. Όριο ανίχνευσης: έως 0,5 mg/L

Std1 0,5 mg/L Mg

$$C_{αρχ} * V_{αρχ} = C_{τελ} * V_{τελ} \Rightarrow 50 * V_{αρχ} = 0.5 * 50 \Rightarrow V_{αρχ} = 0.5ml$$

Std2 1 mg/L Mg

$$C_{αρχ} * V_{αρχ} = C_{τελ} * V_{τελ} \Rightarrow 50 * V_{αρχ} = 1 * 50 \Rightarrow V_{αρχ} = 1ml$$

Std3 2 mg/L Mg

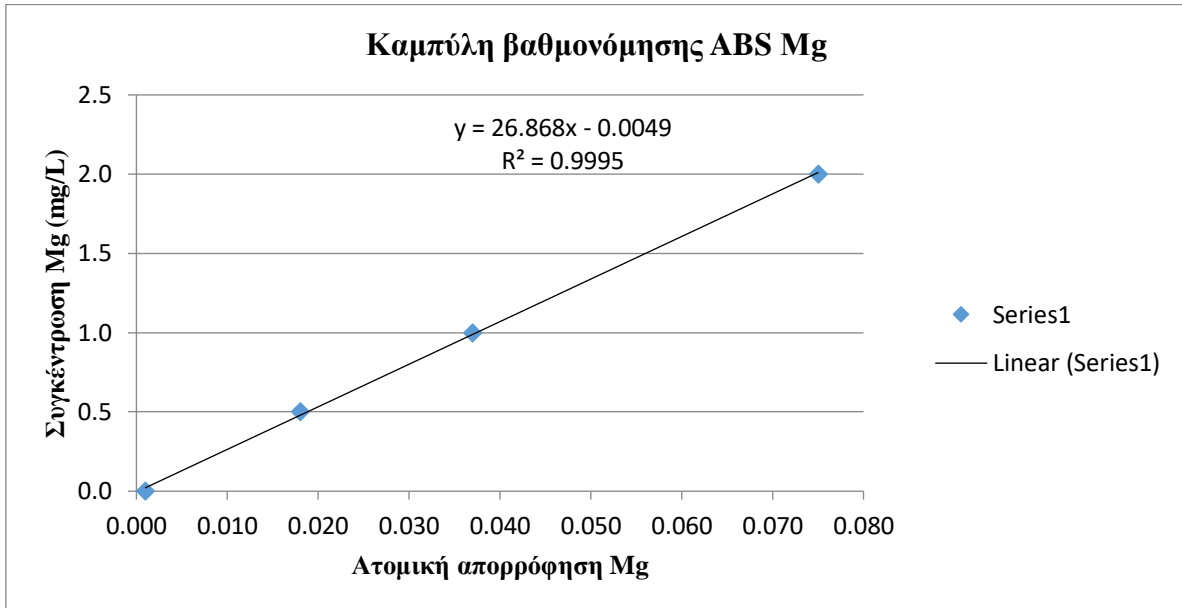
$$C_{αρχ} * V_{αρχ} = C_{τελ} * V_{τελ} \Rightarrow 50 * V_{αρχ} = 2 * 50 \Rightarrow V_{αρχ} = 2ml$$

[Προστίθενται σε όλα τα πρότυπα διαλύματα – standards - 1 ml πυκνού νιτρικού οξέος ( $HNO_3$ )]

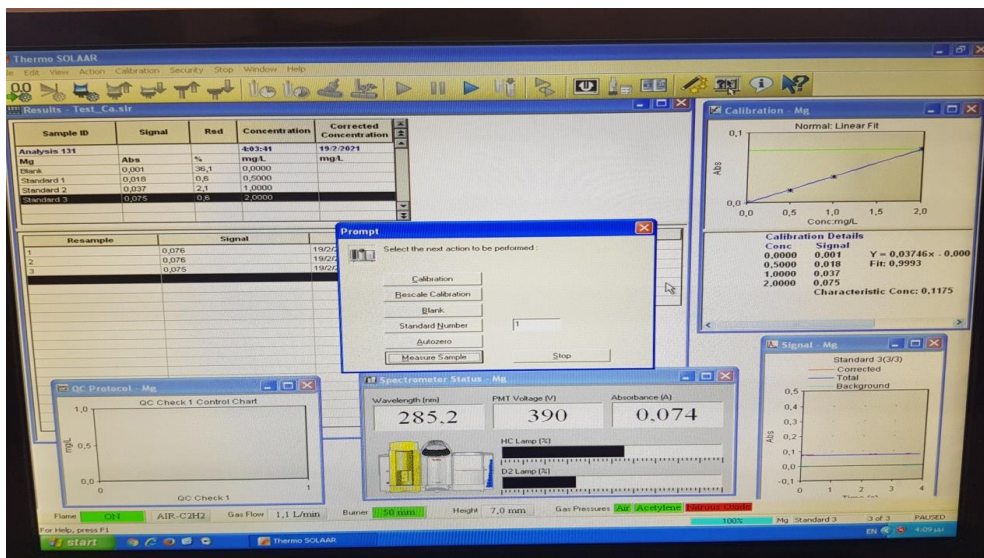
Τα αποτελέσματα των standards μαγνησίου  $Mg^{2+}$  από το φασματοφωτόμετρο φαίνονται στον Πίνακα 27 και ακολουθεί το Διάγραμμα 9 που απεικονίζεται την καμπύλη βαθμονόμηση της απορρόφησης του μαγνησίου  $Mg^{2+}$ .

Πίνακας 27: Αποτελέσματα μεθόδου ατομική απορρόφηση μαγνησίου ( $Mg^{2+}$ )

Κωδικός Code	Συγκέντρωση $Mg^{2+}$ (mg/L)	Απορρόφηση ABS
Blank	0,0	0,001
Std1	0,5	0,018
Std2	1,0	0,037
Std3	2,0	0,075



Διάγραμμα 9: Καμπύλη βαθμονόμησης της απορρόφησης ιόντα μαγνησίου ( $Mg^{2+}$ )



Εικόνα 28: Απεικόνιση αποτελεσμάτων από φασματόμετρο για ατομική απορρόφηση μαγνησίου ( $Mg^{2+}$ )

### 3.11.5. ΜΕΘΟΔΟΣ «ΑΣΒΕΣΤΙΟ»

Διάλυμα ιοντικού ασβεστίου ( $Ca^{2+}$ ), απόθεμα, 1 mL = 1000 mg Ca: Ζυγίζονται 1,249 gr ανθρακικό ασβέστιο ( $CaCO_3$ ) και το αποξηραίνονται στους 180 °C για μία ώρα. Ακολουθεί ζύγιση (ακρίβεια τέσσερις σημαντικά ψηφία). Με αντιδραστήριο το νερό, διαλύονται προσεκτικά με ελάχιστη ποσότητα (1:1) νιτρικού οξέος ( $HNO_3$ ). Προστίθενται 5 ml συμπυκνωμένο νιτρικό οξύ ( $HNO_3$ ) και αραιώνονται σε μια ογκομετρική φιάλη 500 ml με αντιδραστήριο το νερό. Κατόπιν δημιουργούνται τα πρότυπα διαλύματα -standards- του

ιοντικού ασβεστίου ( $\text{Ca}^{2+}$ ) των 20, 50 και 100 mg/l και στην συνέχεια γίνεται η καταμέτρηση της ατομικής απορρόφησης του.

Όριο ανίχνευσης 20 mg/L:

Std1 20 mg/L :

$$\text{Caρχ} * \text{Vaρχ} = \text{Cτελ} * \text{Vτελ} \Rightarrow 1000 * \text{Vaρχ} = 20 * 50 \Rightarrow \text{Vaρχ} = 1 \text{ ml}$$

Std2 50 mg/L:

$$\text{Caρχ} * \text{Vaρχ} = \text{Cτελ} * \text{Vτελ} \Rightarrow 1000 * \text{Vaρχ} = 50 * 50 \Rightarrow \text{Vaρχ} = 2,5 \text{ ml}$$

Std3 100 mg/L:

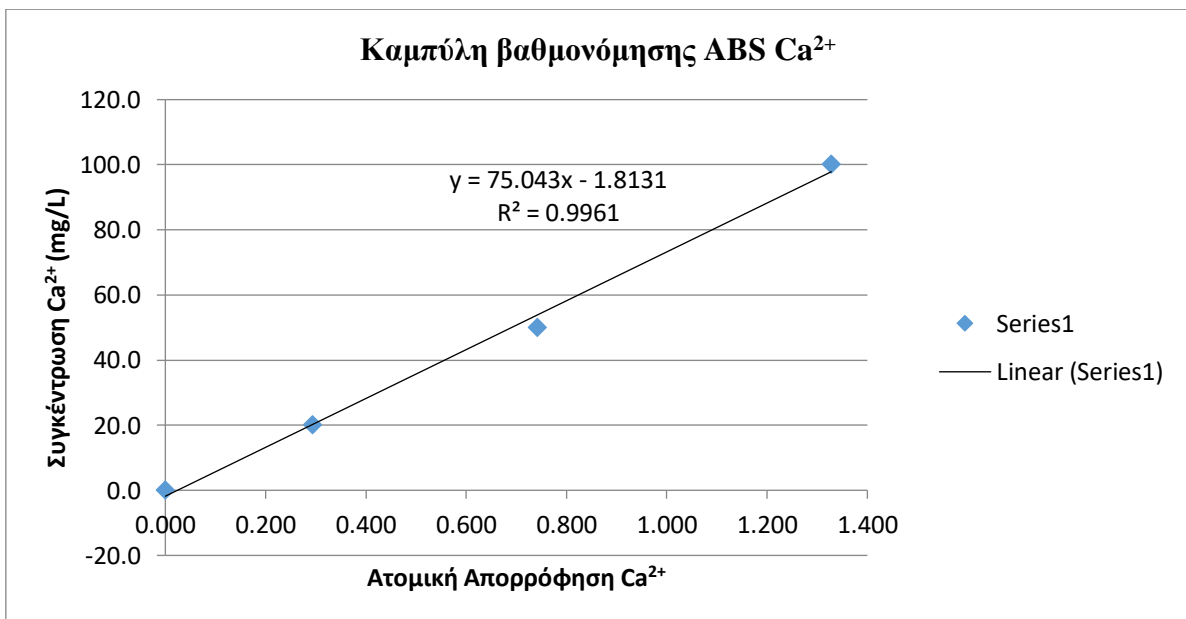
$$\text{Caρχ} * \text{Vaρχ} = \text{Cτελ} * \text{Vτελ} \Rightarrow 1000 * \text{Vaρχ} = 100 * 50 \Rightarrow \text{Vaρχ} = 5 \text{ ml}$$

[Προστίθενται σε όλα τα πρότυπα διαλύματα 1 ml πυκνού νιτρικού οξέος ( $\text{HNO}_3$ )].

Τα αποτελέσματα των standards ιοντικού ασβεστίου ( $\text{Ca}^{2+}$ ) από το φασματοφωτόμετρο φαίνονται στον Πίνακα 28 και ακολουθεί το Διάγραμμα 10 που απεικονίζεται την καμπύλη βαθμονόμησης της απορρόφησης του ιοντικού ασβεστίου ( $\text{Ca}^{2+}$ ).

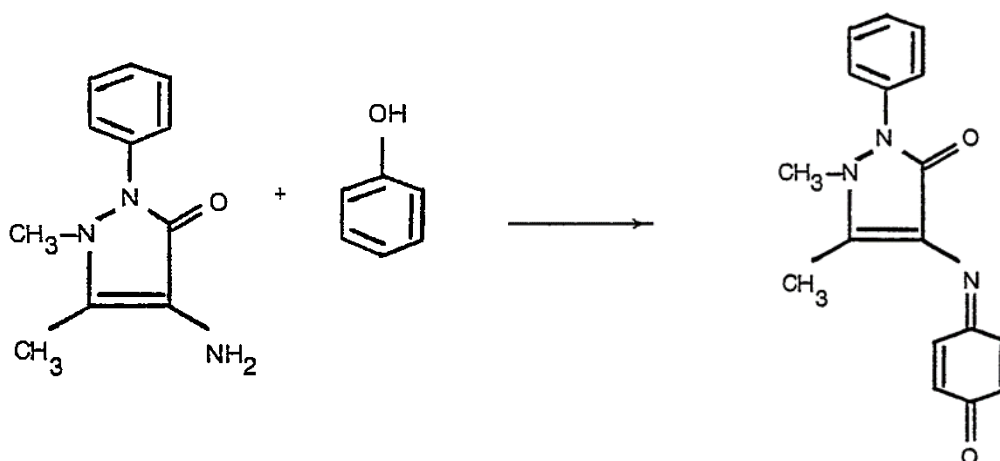
Πίνακας 28: Αποτελέσματα μεθόδου ατομική απορρόφηση ασβεστίου (Ca)

Κωδικός Code	Συγκέντρωση $\text{Ca}^{2+}$ (mg/L)	Απορρόφηση ABS
Blank	0,0	0,000
Std1	20,0	0,293
Std2	50,0	0,741
Std3	100,0	1,328



Διάγραμμα 10: Καμπύλη βαθμονόμησης της απορρόφησης ιοντικού ασβεστίου ( $\text{Ca}^{2+}$ )





Σχήμα 5: Χημική αντίδραση για μέθοδο των φαινολών (4- aminoantipyrine)

Πριν την έναρξη της διαδικασίας απαιτείται η ανάλυση των δειγμάτων εντός τεσσάρων (4) ωρών με στόχο την αποτροπή της οξείδωσης. Το χυμένο αντιδραστήριο μπορεί να έχει επίδραση στα αποτελέσματα των δοκιμών και είναι επικίνδυνο για το δέρμα. Χρησιμοποιείται χλωροφόρμιο μόνο με κατάλληλο εξαερισμό. Οι σκόνες αντιδραστηρίου φαινόλης περιέχουν νιτροφεριανίδη καλίου. Διατηρούνται τα διαλύματα κυανίου στο pH > 1 L με στόχο την αποφυγή της έκθεσης σε αέριο υδροκυανίου. Τέλος συλλέγονται τα δείγματα που αντέδρασαν για σωστή απόρριψη. Απαγορεύεται η ρίψη διαλυμάτων χλωροφόρμιου κάτω από την αποχέτευση. Συλλέγεται το νερό που είναι κορεσμένο με χλωροφόρμιο, και το μικρό κομμάτι βαμβακιού που χρησιμοποιείται αργότερα στο πείραμα στον σωλήνα παράδοσης της διαχωριστικής χοάνης για σωστή απόρριψη. Το βαμβάκι τεμαχίζεται στο μέγεθος ενός μπιζελιού. Σημειώνεται ότι ένα μεγαλύτερο κομμάτι περιορίζει τη ροή και ένα μικρότερο κομμάτι βαμβακιού μπορεί να εκτοπιστεί από το σωλήνα παράδοσης της χοάνης. Εξετάζονται τα δελτία δεδομένων ασφαλείας για τις χημικές ουσίες που χρησιμοποιούνται.

➤ **Όργανα:**

- ✓ Φασματοφωτόμετρο (Εικόνα 7.γ)

➤ **Μηχανολογικός εξοπλισμός:**

Πίνακας 29: Μηχανολογικός εξοπλισμός μεθόδου 4- aminoantipyrine

A/A	Περιγραφή	Ποσότητα
1	Χλωροφόρμιο	60 mL
2	Σκόνη αντιδραστηρίων φαινόλης 1	2
3	Σκόνη αντιδραστηρίου φαινόλης 2	2
4	Βαμβάκι	varies
5	Buffer σκληρότητας με pH 10.1	10 mL
6	Πιπέτα της κατηγορίας A- 5.00 mL	1
7	Ειδικό δαχτυλίδι υποστήριξης 5x8	2

8	Κύλινδρος βαθμονομημένος 50 mL	1
9	Κύλινδρος βαθμονομημένος 500 mL	1
10	Υποστηρικτής για την στάση του δαχτυλιδιού	2
11	Διαχωριστική χοάνη	2
12	Κυψελίδα 10 ml	2
13	Αποσταγμένο νερό	varies

### ➤ Συλλογή δειγμάτων και αποθήκευση

Για τα περισσότερα αποτελέσματα, αναλύονται τα δείγματα εντός τεσσάρων ωρών μετά τη συλλογή. Σε περίπτωση που δεν δίνεται η δυνατότητα άμεσης ανάλυσης ακολουθούνται οι εξής οδηγίες:

- Συλλέγονται 500 ml δείγματος σε καθαρό γυάλινο δοχείο.
- Προθέεται τις δυο σκόνες θειικού χαλκού.
- Ρυθμίζεται το pH σε 4 ή μειώνεται με την προσθήκη φωσφορικού οξέος.
- Διατηρούνται τα δείγματα στους 6 °C ή κάτω από 6 °C με μέγιστο αριθμό 24 ωρών.
- Αναλύονται τα διατηρημένα δείγματα μέχρι 24 ώρες.

### ➤ Βήματα - Πορεία πειράματος

Στο φασματοφωτόμετρο επιλέγεται το πρόγραμμα 470 nm φαινόλη. Ακολουθεί η μέτρηση 300 ml αποσταγμένου νερού σε ογκομετρικό κύλινδρο των 500 ml. Μεταφέρεται σε μια κυψελίδα 10 ml αποσταγμένου νερού για να μηδενίσουμε το φασματοφωτόμετρο. Στη συνέχεια περιχύνεται το μετρημένο αποσταγμένο νερό σε διαχωριστική χοάνη των 500 ml (Εικόνα 30).



Εικόνα 30: Αποσταγμένο νερό σε διαχωριστική χοάνη των 500 ml.

Μετράται 300 ml δείγματος σε έναν ογκομετρικό κύλινδρο των 500 ml. Κατόπιν, προετοιμάζεται το δεύτερο δείγμα όπου μεταφέρεται το δείγμα αυτό σε μια δεύτερη

διαχωριστική χοάνη των 500 ml. Στην συνέχεια προστίθεται σε κάθε διαχωριστική χοάνη 5 ml ρυθμιστικού διαλύματος (buffer solution), τοποθετούνται τα πώματα στις χοάνες και αναμιγνύονται καλά. Μετά, προστίθεται η σκόνη του πρώτου αντιδραστηρίου φαινόλης σε κάθε διαχωριστική χοάνη, τοποθετούνται ξανά τα πώματα στις χοάνες και αναμιγνύονται έως ότου διαλυθεί το αντιδραστήριο. Στην συνέχεια προστίθεται στην δεύτερη σκόνη φαινόλης 2 στις διαχωριστικές χοάνες και αναμιγνύονται, επίσης.



(α) 1<sup>η</sup> χοάνη



(β) 2<sup>η</sup> χοάνη

Εικόνα 31: α) 1<sup>η</sup> χοάνη και β) 2<sup>η</sup> χοάνη.

Έπειτα γίνεται προσθήκη 30 ml χλωροφόρμιο σε κάθε χοάνη. Τοποθετούνται τα πώματα στις χοάνες, αντιστρέφεται κάθε χοάνη και ανοίγεται το στόμιο με σκοπό να εξαερωθεί.



Εικόνα 32: Εξαερισμός.

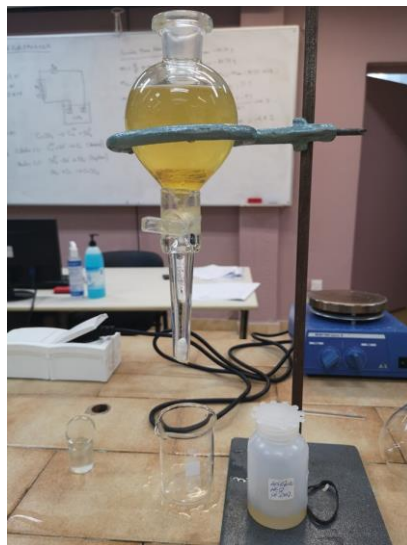


Στην συνέχεια κλείνονται τα στόμια, αναδεύεται για λίγο κάθε χοάνη και αντιστρέφονται πάλι όπου ανοίγεται κάθε στόμιο για να εξαερωθεί πλήρως. Ανακατεύεται έντονα κάθε χοάνη για 30 δευτερόλεπτα και αφαιρούνται τα πόματα. Απαιτούνται λίγα λεπτά να διαχωριστούν τα επίπεδα και εάν υπάρχει φαινόλη στο δείγμα, το κάτω στρώμα χλωροφόρμιου θα έχει ένα κίτρινο έως πορτοκαλί χρώμα (Εικόνα 33).



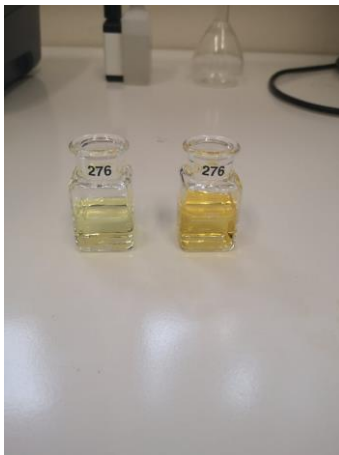
*Εικόνα 33: Προσδιορισμός ιζήματος.*

Ακολουθεί η τοποθέτηση ενός μικρού κομματιού βαμβακιού στο μέγεθος ενός μπιζελιού στο σωλήνα παράδοσης κάθε χοάνης με στόχο να αφαιρεθεί το αιωρούμενο νερό και τα σωματίδια από το χλωροφόρμιο.



*Εικόνα 34: Τοποθέτηση ενός μικρού κομματιού βαμβακιού στο σωλήνα παράδοσης κάθε χοάνης.*

Έπειτα, στραγγίζονται τα στρώματα που υπάρχει χλωροφόρμιου σε ξεχωριστές κυψελίδες ένα για το μηδενικό και ένα για το δείγμα (1<sup>η</sup> κυψελίδα μηδενικό και 2<sup>η</sup> κυψελίδα δείγμα).



Εικόνα 35: 1<sup>η</sup> κυψελίδα μηδενικό και 2<sup>η</sup> κυψελίδα δείγμα.

Στην συνέχεια εισάγεται το μηδενικό στην υποδοχή του Φασματοφωτομετρου, επιλέγεται το «zero» και η οθόνη δείχνει φαινόλη 0,000 mg/L. Καθαρίζεται η δεύτερη κυψελίδα το παρασκευασμένο δείγμα και εισάγεται στο Φασματοφωτόμετρο. Έπειτα, επιλέγεται το «read» και γίνεται ανάγνωση του αποτελέσματος σε mg/L φαινόλης.

### ➤ Παρεμβάσεις

Για την πραγματοποίηση της μεθόδου απαιτήθηκαν οι παρεμβάσεις που αναγράφονται στον Πίνακα 30.

Πίνακας 30: Παρεμβάσεις μεθόδου 4- aminoantipyridine.

A/A	Παρεμβατική ουσία	Επίπεδο Παρεμβολής
1	pH	Το δείγμα pH πρέπει να είναι μεταξύ 3 και 11,5 για καλύτερα αποτελέσματα
2	Οξειδωτικοί παράγοντες	Μπορεί να παρέμβει απόσταγμα των δειγμάτων
3	Σουλφίδια ή αιωρούμενη ύλη	<p>Η απόσταξη ή η ακόλουθη προεπεξεργασία είναι απαραίτητη:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Μέτρηση 350 mL δείγματος με καθαρό κλιμακωτό κύλινδρο 500 mL. Μεταφέρεται το δείγμα σε καθαρή φιάλη των 500 ml.</li> <li>– Προστίθεται το περιεχόμενο με την σκόνη αντιδραστηρίου αναστολέα σουλφιδίου και αναμιγνύεται</li> <li>– Φιλτράρονται 300 ml του δείγματος με ένα ειδικό χαρτί φίλτρου και γίνεται χρήση του διαλύματος.</li> </ul>

### ➤ Έλεγχος ακριβείας

Σε αυτό το σημείο δίνεται η τυποποιημένη μέθοδος λύσης. Απαιτούμενα στοιχεία για χρήση:

- Φαινόλη, ACS
- 2 ογκομετρικές φιάλες των 1000 ml, κλάσης A
- 1 ογκομετρική φιάλη των 500 ml, κλάσης A
- Ογκομετρικός σωλήνας 10 ml, κλάσης A με βολβό ασφαλείας
- Αποσταγμένο νερό

1. Παρασκευάζεται διάλυμα αποθέματος φαινόλης 1000 mg/L ως εξής:
  - a) Ζυγίζονται 1000 γραμμάρια φαινόλης.
  - b) Προστίθεται η φαινόλη σε ογκομετρική φιάλη των 1000 mL.
  - c) Αραιώνεται με αποσταγμένο νερό μέχρι την χαραγή και αναμιγνύεται καλά μέχρι να διαλυθεί.
2. Παρασκευάζεται πρότυπο διάλυμα φαινόλης λειτουργίας 10 mg/L ως εξής:
  - a) Χρησιμοποιείται ένας ογκομετρικός σωλήνας για την προσθήκη 10 mL του διαλύματος φαινόλης αποθέματος σε ογκομετρική φιάλη των 1000 mL.
  - b) Αραιώνεται μέχρι την χαραγή με αποσταγμένο νερό και αναμιγνύεται καλά.
3. Παρασκευάζεται πρότυπο διάλυμα 0,200 mg/L ως εξής:
  - a) Χρησιμοποιείται έναν ογκομετρικό σωλήνα για να προστίθενται 10 mL του διαλύματος των 10 mg/L σε μια ογκομετρική φιάλη 500 mL.
  - b) Αραιώνεται μέχρι την χαραγή με αποσταγμένο νερό και ανακατεύεται καλά.
4. Χρησιμοποιείται η διαδικασία δοκιμής για τη μέτρηση της συγκέντρωσης του παρασκευασμένου τυποποιημένου διαλύματος.
5. Συγκρίνεται το αναμενόμενο αποτέλεσμα με το πραγματικό αποτέλεσμα.

#### 3.11.1. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Τα δεδομένα επιδόσεων της μεθόδου που ακολουθούν προέκυψαν από εργαστηριακές δοκιμές που μετρήθηκαν σε φασματοφωτόμετρο σε ιδανικές συνθήκες δοκιμής. Δίνεται η δυνατότητα να ληφθούν διαφορετικά αποτελέσματα υπό διαφορετικές συνθήκες δοκιμής.

Πίνακας 31: Αποτελέσματα μεθόδου φαινόλων

Πρόγραμμα	Standard	Ακρίβεια (95% ποσοστό ακριβείας)	Sensitivity Concentration change per 0,010 Abs change
470 nm	0,100 mg/L Φαινόλη	0,93- 0,107 mg/L Φαινόλη	0,002 mg/L

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ο ρόλος του νερού είναι αναπόσπαστο κομμάτι των διαδικασιών της έμβιας ύλης. Το νερό είναι μια χημική ουσία που παρεμβαίνει με ποικίλους τρόπους στις χημικές αντιδράσεις που σχετίζονται με την ύπαρξη αλλά και την διατήρηση της ζωής στον πλανήτη.

Ο σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας ήταν η ανάπτυξη πρωτοκόλλων ανάλυσης των φυσικών παραμέτρων του πόσιμου νερού που προσδιορίστηκαν στο εργαστήριο Χημικής και Περιβαλλοντικής Τεχνολογίας, του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών Π.Ε της Σχολής Μηχανικών, του Πανεπιστημίου Πελοποννήσου (Πάτρα). Τα πρωτόκολλα που χρησιμοποιήθηκαν ακολουθούν πρότυπες μεθοδολογίες δίνοντας την δυνατότητα αξιολόγησης των αποτελεσμάτων καθώς και την επιβεβαίωση της ακρίβειας των πειραματικών μετρήσεων συγκρινόμενες με τις μετρήσεις προτύπων διαλυμάτων και δειγμάτων ελέγχου.

Οι παράμετροι της ποιότητας του νερού που εξετάστηκαν:

- Με φασματοφωτόμετρο:
  - Αμμωνία (mg/L NH<sub>3</sub>) (φασματοφωτομετρική) (ISO 7150-1:1984)
  - Συνολικό οξειδωμένο άζωτο (mg/L TON) (EPA 353.1)
  - Νιτρικά και νιτρώδη ιόντα (mg/L NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) (EPA 353.1)
  - Θειικά ιόντα (mg/L SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) (EPA 375.4)
  - Φαινόλες (mg/L C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>OH) (USEPA 4-Aminoantipyrine method)
- Μέθοδο ατομικής απορρόφησης:
  - Ασβέστιο, μαγνήσιο, ολικός χαλκός, ολικός σίδηρος, ολικό μαγγάνιο (mg/L Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Cu, Fe, Mn) (EPA 7000B).
  -
- Μέθοδος Τιτλοδότησης

α/α	Παράμετρος	Πρωτόκολλο	Σφάλμα (%)
1	Ολική Αλκαλικότητα (mg/L HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	EPA 310.1	9,3
2	Σκληρότητα ασβεστίου (mg/L Ca <sup>2+</sup> )	EPA 215.2	9,0
3	Σκληρότητα, ολική (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	EPA 130.2	12,6
4	Χλωριόντα (mg/L Cl <sup>-</sup> )	EPA 9253	9,2

- Μέθοδος Φλογοφωτόμετρο

α/α	Παράμετρος	Πρωτόκολλο	Σφάλμα (%)
1	Κάλιο (mg/L Na <sup>+</sup> )	3500-Na, K Standard methods	9,5
2	Νάτριο, Κάλιο (mg/L K <sup>+</sup> )	3500-Na, K Standard methods	5,8



Τα συμπεράσματα που προέκυψαν μετά την διεξαγωγή των πειραματικών μετρήσεων είναι ότι ακολουθώντας τα πρωτόκολλα και τις μεθόδους που έχουν αναπτυχθεί, διεξάχθηκαν αποτελέσματα που αποκλίνουν ελάχιστα από τις πρότυπες τιμές.

Τέλος, με την ολοκλήρωση της παρούσας πτυχιακής εργασίας μου δόθηκε η δυνατότητα να εκπαιδευτώ στην διεξαγωγή πειραμάτων καθώς και να εντοπίσω την σπουδαιότητα της πειραματικής διαδικασίας, αφού άμεσα από την πιστή εκτέλεση της μπορούμε να λάβουμε άρτια αποτελέσματα.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Ammonia in Waters, 1981, *Methods for the examination of waters and associated materials*, ISBN-13: 978-0117516137, ISBN-10:01175516139
- Barouchas, P.E. 2017., *Method for the determination of Low Range Nitrite in water and irrigation water*, Laboratory of Soil Science, TEI of Western Greece, SOILSYS Book of Methods
- Barouchas, P.E. 2017., *Method for the determination of nitrogen, nitrate – nitrite by hydrazine reduction in water and irrigation water*, Laboratory of Soil Science, TEI of Western Greece, SOILSYS Book of Methods
- Barouchas, P.E. 2017., *Method for the determination of ammonia in water and irrigation water*, Laboratory of Soil Science, TEI of Western Greece, SOILSYS Book of Methods
- DIN 38 406 German standard methods for the examination of water, waste water and sludge; cations (group E); determination of ammonia –nitrogen (E 5)
- Μέθοδος για τον προσδιορισμό της αμμωνίας στο νερό και το νερό άρδευσης, Εργαστήριο Επιστήμης Εδάφους, TEI Δυτικής Ελλάδας, Πάτρα
- Methods for the examination of waters and associated materials oxidized nitrogen in waters 1981. ISBN 0117515930
- Belitz H.D., Grosch W. and Schieberie, P., 2011, *Χημεία Τροφίμων*, Μεταφρασμένο από τα Αγγλικά από τους Παπαγεωργίου Μ.Δ. και Βάρναλης Ά.Ι., 3<sup>η</sup> Έκδοση, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη
- Γαλάνη Α., 2017, *Ρύπανση υδάτων*, Σημειώσεις Μαθήματος, Πανεπιστήμιο Πατρών
- Ζαγγανά Ε., 2015 *Υδροχημεία, Μετρήσεις και υπολογισμοί φυσικοχημικών - υδροχημικών παραμέτρων*, Σημειώσεις Μαθήματος, Πανεπιστήμιο Πατρών Έκδοση 1<sup>η</sup>, Πάτρα
- ISO 7150-1: 1984, *Preview. Water quality – Determination of ammonium – Part 1. Manual ...* ISO/TC 147 2. Physical, chemical and biochemical methods.
- ISO 15923-1:2013, *Water quality – Determination of selected parameters by discrete analysis system – PART 1: Ammonium, nitrate, nitrite, chloride, orthophosphate, sulfate and silicate with photometric detection*

- Kamphake L.J., Habbah S.A., Cohen J.M., 1967, *Automated Analysis for nitrate by hydrazine reduction*, Water Research Vol.1, p 205-216
- Μάλαμα Α, 2017, *Μικροβιολογικά και φυσικοχημικά χαρακτηριστικά στο πόσιμο νερό*, Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου, Καλαμάτα
- Μήτρακας Μ., 2001, *Ποιοτικά χαρακτηριστικά και επεξεργασία νερού*, 2<sup>η</sup> Έκδοση, Τζιόλα, Θεσσαλονίκη.
- Νταράκας Ε, 2010, *Ποιοτικά χαρακτηριστικά και διεργασίες επεξεργασίας νερού*, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο, Θεσσαλονίκη
- Taylor J., 2020, *5 Τρόποι για να Ελέγξετε την Ποιότητα του Πόσιμου Νερού*, <https://tofti.axa.gr>
- Τριανταφυλλίδης Τ., 2013, *Απόψεις καταναλωτών του Δήμου Πάρου για το νερό της ύδρευσης και τα εμφιαλωμένα νερά*, Ανώτατο Τεχνολογικό Ίδρυμα Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη
- Τσώνης Σ., 2003, *Καθαρισμός Νερού*, Εκδόσεις Παπασωτηρίου.
- U.S. EPA, Method of chemical analysis of water and waste (MCAWW), Section 9.1, EPA/600/4-79/020. March 1983, Cincinnati OH.
- U.S. EPA Method 353:1: Nitrate – nitrite by Colorimetry, Official Name: Nitrogen, Nitrate – Nitrite (Colorimetric, Automated, Hydrazine Reduction)
- Fondriest Environmental, Inc. *Dissolved Oxygen*, Fundamentals of Environmental Measurements. 19 Nov. 2013. Web. <https://www.fondriest.com/environmental-measurements/parameters/water-quality/dissolved-oxygen/>
- Φουντουκίδης Ε., 2009, *Εργαστηριακές ασκήσεις χημικής και περιβαλλοντικής τεχνολογίας*, Εκδόσεις Πουκαμισάς, Αθήνα.