



**ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ  
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ ΚΑΙ  
ΔΙΑΤΡΟΦΗΣ  
ΤΜΗΜΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Παρακολούθηση της διακύμανσης της συγκέντρωσης της οργανικής ύλης  
σε δείγματα πόσιμου νερού από τον ποταμό Αλιάκμονα**

**ΚΑΦΑΤΣΟΥ ΞΑΝΘΙΠΠΗ**



**ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2019**

Παρακολούθηση της διακύμανσης της συγκέντρωσης της οργανικής ύλης σε  
δείγματα πόσιμου νερού από τον ποταμό Αλιάκμονα

Καφάτσου Ξανθίπη

Υποβολή πτυχιακής διατριβής που αποτελεί μέρος των απαιτήσεων για την  
απονομή του Πτυχίου του Τμήματος Τεχνολογίας Τροφίμων του ΤΕΙ  
Θεσσαλονίκης.

Ημερομηνία: 27.02.2019

Εισηγήτρια: Μωρίκη Αμαλία

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω την καθηγήτρια κα Μωρίκη Αμαλία του Τμήματος Τεχνολογίας Τροφίμων του ΑΤΕΙ Θεσσαλονίκης για την καθοδήγηση που προσέφερε στην εκτέλεση της Πτυχιακής εργασίας με θέμα 'Παρακολούθηση της διακύμανσης της συγκέντρωσης της οργανικής ύλης σε δείγματα πόσιμου νερού από τον ποταμό Αλιάκμονα' που διενεργήθηκε το χρονικό διάστημα Μάρτιος-Μάιος 2018 και την επίβλεψή της κατά τη συγγραφή αυτής. Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω την κα Γεωργία Σερετούδη και την κα Ματίνα Κατσιάπη από τη Μονάδα Επεξεργασίας Νερού της ΕΥΑΘ στα Διαβατά για την πολύτιμη βοήθειά τους κατά τη δειγματοληψία και την παρουσίαση της επεξεργασίας του νερού μέσα στη μονάδα.

Καφάτσου Ξανθίπη

## Παρακολούθηση της διακύμανσης της συγκέντρωσης της οργανικής ύλης σε δείγματα πόσιμου νερού από τον ποταμό Αλιάκμονα

Καφάτσου Ξανθίππη

ΑΤΕΙ Θεσσαλονίκης, Σχολή Τεχνολογίας Τροφίμων και Διατροφής, Τμήμα Τεχνολογίας Τροφίμων, 57400 Θεσσαλονίκη Τ.Θ. 141

### Περίληψη

Η ποιότητα των επιφανειακών νερών καθορίζεται από φυσικές και χημικές παραμέτρους που παρουσιάζουν φυσιολογικές εποχιακές μεταβολές. Οι μεταβολές της οργανικής ύλης καθορίζουν τα νερά των ποταμών ως προς την οικολογική ποιότητα και την καταλληλότητά τους για ανθρώπινη κατανάλωση. Στην παρούσα πτυχιακή εργασία μελετάται η διακύμανση της συγκέντρωσης της οργανικής ύλης σε δείγματα πόσιμου νερού από τον ποταμό Αλιάκμονα. Η παρακολούθηση της οργανικής ύλης έγινε σε διάστημα τριών μηνών με τη διερεύνηση μεταβλητών που καθορίζονται από τα ποιοτικά χαρακτηριστικά της και τη φύση των ενώσεων που την αποτελούν. Συγκεκριμένα προσδιορίστηκαν οι παράμετροι: Διαλυμένο οξυγόνο (DO), βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD), χλωροφύλλη α, οργανικός άνθρακας ολικός (TOC) και διαλυτός (DOC), ο συντελεστής απορρόφησης στο UV (254 nm), η θερμοκρασία και το pH. Τα αποτελέσματα αναλύθηκαν με την εφαρμογή μεθόδων απλής γραμμικής παλινδρόμησης με τη χρήση του στατιστικού προγράμματος Minitab 17. Οι τιμές του BOD<sub>5</sub> κυμάνθηκαν από 0.23 έως 1.92 mg O<sub>2</sub>/L . Το διαλυμένο οξυγόνο κυμάνθηκε από 6.92 έως 10.14 mg O<sub>2</sub>/L ενώ οι τιμές της χλωροφύλλης α από 0.14 έως 0.52 mg/m<sup>3</sup>. Το εύρος των τιμών του ολικού άνθρακα (TOC) ήταν 29.38 έως 67.39 mg C/L, ενώ οι τιμές του διαλυμένου οργανικού άνθρακα (DOC) κυμάνθηκαν από 28.1 έως 48.7 mg C/L. Τα αποτελέσματα έδειξαν χαμηλή φωτοσυνθετική δραστηριότητα και εξαιρετική ποιότητα των νερών του ποταμού Αλιάκμονα σύμφωνα με τα όρια της νομοθεσίας, όπως ορίζεται από την ΚΥΑ 67322/2017 ,ΦΕΚ-3282/Β/19.9.2017.

# Dissolved organic matter monitoring of drinking water from the river Aliakmonas

Kafatsou Xanthippe

## **Abstract**

Water quality of drinking water coming from surface sources, such as rivers is important not only for human life but for the environment as well. Water quality is evaluated with the monitoring of physical and chemical parameters that undergo natural changes. The aim of this study was the systematic measurement and analysis of organic matter parameters in the Aliakmonas river water, Northern Greece. The monitoring was carried out on a weekly basis, in a period of three months. Organic matter parameters were: Dissolved oxygen (DO), biochemical oxygen demand (BOD<sub>5</sub>), chlorophyll a, total organic carbon (TOC) and dissolved organic carbon (DOC) and SUVA parameter (absorption coefficient in 254 nm). The variation of physicochemical parameters, temperature and pH was also evaluated. The analysis of the results was performed with the application of linear regression analysis using the statistical program Minitab 17. Biochemical oxygen demand (BOD) values ranged from 0.23 to 1.92 mg O<sub>2</sub>/L while dissolved oxygen and chlorophyll a values ranged from 6.92 to 10.14 mg O<sub>2</sub>/L and 0.14 to 0.52 mg/m<sup>3</sup>, respectively. TOC values range was 29.38-67.39 mg C/L, while DOC values ranged from 28.1 to 48.7 mg C/L. The results showed that river Aliakmonas water quality is excellent and organic matter quality parameters are far below the legislation limits.

## Περιεχόμενα

1.	Εισαγωγή.....	9
2.	Βιβλιογραφική ανασκόπηση .....	10
2.1	Νερό .....	10
2.1.1	Δομή .....	10
2.1.2	Ιδιότητες.....	11
2.1.3	Διαλυτική ικανότητα.....	14
2.1.4	Παράμετροι ελέγχου ποιότητας του νερού .....	14
2.1.4.1	Σκληρότητα.....	15
2.1.4.2	Αλκαλικότητα .....	16
2.1.4.3	Αιωρούμενα στερεά.....	17
2.1.4.4	Ολικά διαλυτά στερεά.....	17
2.1.5	Οργανοληπτικά χαρακτηριστικά .....	18
2.1.6	Ρόλος του νερού στον ανθρώπινο οργανισμό .....	18
2.2	Χαρακτηριστικά των ποταμών .....	20
2.2.1	Υδρολογικός κύκλος .....	20
2.2.2	Αλιάκμονας.....	22
2.2.3	Φυσικογεωγραφική και χημική σύνθεση του Αλιάκμονα.....	25
2.3	Η οργανική ύλη στα φυσικά νερά .....	26
2.3.1	Φυσική οργανική ύλη .....	26
2.3.2	Σύνθεση της φυσικής οργανικής ύλης .....	27
2.3.3	Διαλυμένη φυσική οργανική ύλη.....	28
2.3.2	Συνθετική οργανική ύλη.....	29
2.4	Παράμετροι παρακολούθησης της οργανικής ύλης .....	31
2.4.1	Διαλυμένο Οξυγόνο.....	32
2.4.2	Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο.....	33
2.4.3	Ολικός Οργανικός Άνθρακας και Διαλυμένος Οργανικός Άνθρακας.....	34
2.4.4	Ειδική απορρόφηση στο υπεριώδες SUVA <sub>254</sub> .....	35
2.4.5	Χλωροφύλλη .....	35
2.4.6	pH.....	38
2.5	Μέθοδοι απομάκρυνσης της οργανικής ύλης από το νερό .....	39
2.5.1	Εγκαταστάσεις επεξεργασίας νερού Θεσσαλονίκης .....	39
2.5.2	Ηλεκτροχημικές τεχνολογίες.....	45
2.6	Τοξικότητα .....	46

2.6.1	Φυσική οργανική ύλη .....	46
2.6.2	Συνθετική οργανική ύλη.....	47
2.6.3	Τοξικότητα άλλων ενώσεων.....	48
2.7	Νομοθεσία .....	50
3.	Σκοπός της εργασίας .....	54
4.	Μεθοδολογία.....	55
4.4.	Δειγματοληψίες πεδίου .....	55
4.5.	Θερμοκρασία.....	55
4.6.	pH.....	55
4.7.	Διαλυμένο οξυγόνο .....	57
4.7.1.	Υλικά .....	57
4.7.2.	Αντιδραστήρια .....	57
4.7.3.	Μέθοδος.....	57
4.8.	Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο.....	60
4.9.	Χλωροφύλλη .....	61
4.9.1.	Υλικά .....	61
4.9.2.	Αντιδραστήρια .....	61
4.9.3.	Μέθοδος.....	61
4.9.4.	Αρχή μεθόδου της απορρόφησης στο UV-Vis .....	62
4.9.5.	Οργανολογία .....	63
4.9.6.	Μέθοδος.....	64
4.10.	Ολικός Οργανικός Άνθρακας – Διαλυτός Οργανικός Άνθρακας .....	65
4.10.1.	Υλικά .....	65
4.10.2.	Αντιδραστήρια .....	65
4.10.3.	Αρχή μεθόδου.....	65
4.10.4.	Οργανολογία .....	65
4.10.5.	Πρότυπη καμπύλη βαθμονόμησης.....	68
4.10.6.	Μετρήσεις δειγμάτων.....	69
4.11.	Ειδική απορρόφηση στο υπεριώδες SUVA <sub>254</sub> .....	70
4.11.1.	Υλικά .....	70
4.11.2.	Αρχή μεθόδου.....	70
4.11.3.	Οργανολογία .....	70
4.11.4.	Μέθοδος.....	72
5.	Αποτελέσματα – Συζήτηση .....	73

5.1	Θερμοκρασία.....	73
5.2	pH.....	74
5.3	Διαλυμένο οξυγόνο.....	75
5.4	Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο.....	77
5.5	Χλωροφύλλη.....	78
5.6	Ολικός Οργανικός Άνθρακας – Διαλυτός Οργανικός Άνθρακας.....	80
5.6.1	Αποτελέσματα μέτρησης πρότυπης καμπύλης.....	80
5.6.2	Αποτελέσματα μέτρησης της συγκέντρωσης σε TOC και DOC των δειγμάτων.....	81
5.7	Ειδική απορρόφηση στο υπεριώδες SUVA <sub>254</sub> .....	82
5.8	Συνδυασμός παραμέτρων.....	84
5.8.1	Διαλυμένο Οξυγόνο/Θερμοκρασία.....	84
5.8.2	Διαλυμένο Οξυγόνο/Χλωροφύλλη α.....	85
5.8.3	TOC/UV <sub>254</sub> .....	86
5.8.4	DOC/SUVA <sub>254</sub> .....	87
5.8.5	Χλωροφύλλη α/Θερμοκρασία.....	88
5.8.6	BOD <sub>5</sub> /Chla.....	89
6.	Συμπεράσματα.....	90
7.	Προτάσεις για μελλοντική έρευνα.....	91
8.	Βιβλιογραφία.....	92



## 1. Εισαγωγή

Οι ποταμοί αποτελούν μία από τις κυριότερες πηγές τροφοδοσίας νερού για οικιακή, βιομηχανική και αρδευτική χρήση (Wu et al., 2018). Η οργανική ύλη που είναι διαλυμένη στο νερό αποτελεί αντικείμενο μελέτης όσον αφορά την ασφάλεια για την ανθρώπινη υγεία και για το περιβάλλον. Εκατοντάδες είναι οι χημικές ενώσεις που είναι παρούσες στο νερό, με το ποσοστό τους να μειώνεται στο νερό που προέρχεται από φυσικές πηγές. Αν και μέρος αυτών των ενώσεων είναι φυσικής προέλευσης, παρουσιάζουν μεγάλη ποικιλία, από αλειφατικές μικρού μοριακού βάρους, έως υψηλού μοριακού βάρους αρωματικές ενώσεις, ενώ μπορεί να προέρχονται και από ανθρωπογενείς δραστηριότητες, όπως οι φαρμακευτικές ενώσεις και τα παρασιτοκτόνα, ως αποτέλεσμα ρύπανσης του περιβάλλοντος (Ribeiro et al., 2017).

Η τοξικότητα των μεμονωμένων οργανικών ενώσεων αλλά και στο σύνολό τους, είναι δύσκολο να εκτιμηθεί (Rosenmai et al., 2018), ωστόσο η απομάκρυνση της οργανικής ύλης κρίνεται απαραίτητη λόγω των αρνητικών επιπτώσεων της κυρίως στην ποιότητα του πόσιμου νερού, την υψηλή περιεκτικότητά της σε κροκιδωτικά και απολυμαντικά, το σχηματισμό οργανομεταλλικών ενώσεων και παραπροϊόντων που αποτελούν κίνδυνο για την ανθρώπινη υγεία (Albrektiené et al., 2012).

Για τη βελτιστοποίηση των διεργασιών επεξεργασίας νερού και τον έλεγχο του σχηματισμού παραπροϊόντων κρίνεται ιδιαίτερης σημασίας ο χαρακτηρισμός και η ανάλυση της φυσικής οργανικής ύλης ώστε να κατανοηθούν οι ιδιότητες και ο μηχανισμός σχηματισμού της. Λόγω των χαμηλών συγκεντρώσεων της οργανικής ύλης στα φυσικά νερά και της πολυπλοκότητας των ενώσεων που την απαρτίζουν, ενδείκνυται η προεπεξεργασία πριν τον ακριβή χαρακτηρισμό της (Pan et al., 2016). Όπως περιγράφεται στο Υποκεφάλαιο 2.4, η παρακολούθηση της οργανικής ύλης γίνεται με μεθόδους όπως το Διαλυμένο Οξυγόνο, το Βιοχημικά Απαιτούμενο οξυγόνο, ο Ολικός Οργανικός Άνθρακας, ο Διαλυτός Οργανικός Άνθρακας, η συγκέντρωση της Χλωροφύλλης α, η παράμετρος SUVA<sub>254</sub> και τα Ολικά Διαλυτά Στερεά.

Διάφορες είναι οι τεχνικές οι οποίες έχουν αναπτυχθεί για την απομάκρυνση της οργανικής ύλης από τα φυσικά νερά, συμπεριλαμβανομένης της κροκιδώσης, της προσρόφησης, της διήθησης μέσω μεμβρανών και των διεργασιών οξειδωσης (Bhatnagar & Sillanpää, 2017). Οι διεργασίες που ακολουθούνται στη Μονάδα Επεξεργασίας νερού στα Διαβατά καθώς και διάφορες Ηλεκτροχημικές διεργασίες, αναλύονται εκτενώς στο Υποκεφάλαιο 2.5.

Ένας από τους στόχους της Ευρωπαϊκής Ένωσης είναι να εξασφαλίσει για όλα τα επιφανειακά νερά της Ευρώπης ένα 'καλό' προφίλ το αργότερο έως το 2015 (Skoulikidis et al., 2009). Η απαιτούμενη ποιότητα των επιφανειακών νερών που προορίζονται για πόσιμα, οι μέθοδοι μέτρησης και η συχνότητα δειγματοληψίας σε συμμόρφωση με τις οδηγίες του Συμβουλίου των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων 75/440/ΕΟΚ, 76/160/ΕΟΚ, 78/659/ΕΟΚ, 79/293/ΕΟΚ και 79/869/ΕΟΚ υπάγονται στο ΦΕΚ 438/Β/3-7-86 όσον αφορά την ελληνική νομοθεσία.

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, η παρούσα εργασία επικεντρώνεται στην παρακολούθηση της διακύμανσης της συγκέντρωσης της οργανικής ύλης σε δείγματα πόσιμου νερού από τον ποταμό Αλιάκμονα που παραλαμβάνονται από τη Μονάδα επεξεργασίας νερού της ΕΥΑΘ στα Διαβατά και την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με την ποιότητα του νερού.

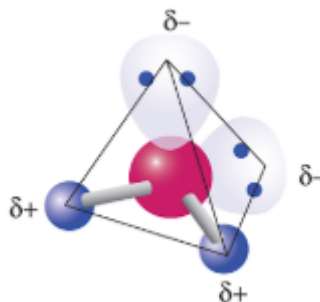
## 2. Βιβλιογραφική ανασκόπηση

### 2.1 Νερό

Το νερό είναι ένα από τα μεγαλύτερα αγαθά που προσφέρει η φύση (Μιμίκου & Μπαλάς, 2006) και μακράν το πιο κοινό υγρό στην επιφάνεια της Γης με τις ιδιαίτερες ιδιότητές του να το καθιστούν σημαντικό για τη διατήρηση της ζωής (Brezonic & Arnold, 2011).

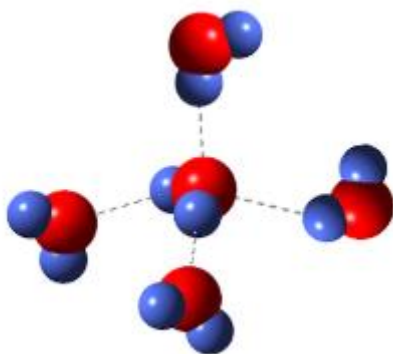
#### 2.1.1 Δομή

Ο χημικός τύπος του νερού είναι  $H_2O$  και συνεπώς το μοριακό του βάρος 18 (<http://www1.lsbu.ac.uk>). Παρόλο που ο χημικός τύπος του νερού είναι απλός και το μόριο  $H_2O$  είναι μικρό, εντούτοις η συμπεριφορά αυτής της χημικής ουσίας είναι ασυνήθιστη και περίπλοκη (Manahan, 2011). Τα έξι ηλεκτρόνια σθένους του οξυγόνου σε ένα μόριο νερού υβριδοποιούνται σε τέσσερα  $sp^3$  τροχιακά που είναι επιμηκυμένα στις γωνίες ενός κάπως παραμορφωμένου, εικονικού τετραέδρου (Belitz, H. D., Grosch, W. & Schieberle, P., 2015), με το οξυγόνο στο κέντρο και τα ιόντα του υδρογόνου στα δύο άκρα (Benjamin, 2015). Δύο υβριδοποιημένα τροχιακά σχηματίζουν ομοιοπολικούς δεσμούς O-H (Belitz, H. D., Grosch, W. & Schieberle, P., 2015) με τη μεταξύ τους απόσταση να είναι  $0,0965 \text{ \AA}$  ( $10^{-10} \text{ m}$ ) και τη γωνία σχηματισμού μεταξύ O και H,  $104,5^\circ$  (Γαλανοπούλου και συν., 2011). Η διάταξη του μορίου του νερού φαίνεται στο **Σχήμα 1**.



**Σχήμα 1:** Σχηματική αναπαράσταση της δομής του μορίου του νερού και την κατανομή των φορτίων σε αυτό (Πηγή: Benjamin, 2015).

Αυτή η διάταξη του νερού δίνει στο μόριό του ηλεκτρική ασυμμετρία (Γαλανοπούλου και συν., 2011) και η σύνθεσή του εξυπηρετεί δύο σκοπούς οι οποίοι καθορίζουν τις ιδιότητές του (Manahan, 2011). Ο πρώτος είναι ότι το οξυγόνο το οποίο είναι πολύ ηλεκτραρνητικό, ασκεί ισχυρότερη έλξη στα κοινά ηλεκτρόνια από ότι το υδρογόνο, καθώς περιέχει δύο επιπλέον ζεύγη ηλεκτρονίων. Το αποτέλεσμα είναι ο μερικός διαχωρισμός του φορτίου και η δημιουργία δίπολου με το στοιχειώδες αρνητικό φορτίο  $\delta^-$  στο οξυγόνο και το στοιχειώδες θετικό φορτίο  $\delta^+$  στο υδρογόνο, έτσι ώστε το μόριο του νερού είναι ηλεκτρικά πολικό (Μήτρακας, 2014). Ο δεύτερος είναι ότι εμφανίζονται ηλεκροστατικές δυνάμεις μεταξύ του αδέσμευτου ζεύγους ηλεκτρονίων στο αρνητικά φορτισμένο άτομο του οξυγόνου του ενός μορίου και του θετικά φορτισμένου ατόμου του υδρογόνου ενός άλλου μορίου, με αποτέλεσμα να δημιουργείται ένας δεσμός γνωστός ως *δεσμός υδρογόνου*, όπως φαίνεται στο **Σχήμα 2** (Manahan, 2011).



**Σχήμα 2:** Μόρια νερού ενωμένα μεταξύ τους με δεσμούς υδρογόνου (Πηγή: Benjamin, 2015).

Ο δεσμός υδρογόνου είναι μία μορφή δύναμης δίπολου-δίπολου, με εξαιρετικά μεγαλύτερη ισχύ από τη συνήθη. Αν και πρόκειται για ασθενείς δεσμούς (Γαλανοπούλου κ.ά., 2011), έχουν τόσο ισχυρή διαμοριακή δύναμη, που επηρεάζουν καθοριστικά τη φυσική κατάσταση των σωμάτων (Παπαδόπουλος, 2010). Σε αντίθεση με τα υδρίδια στοιχείων της ίδιας ομάδας με το οξυγόνο, (π.χ.  $H_2S$ ) που είναι αέρια σε κανονική θερμοκρασία (Γαλανοπούλου κ.ά., 2011), το  $H_2O$  χωρίς την ύπαρξη του δεσμού υδρογόνου, στη θερμοκρασία περιβάλλοντος θα ήταν και αυτό αέριο (Παπαδόπουλος, 2010). Η ενέργεια σχηματισμού των δεσμών υδρογόνου κυμαίνεται από 1,3-4,5 kcal/mole (Μήτρακας, 2014), ενώ το απαραίτητο ποσό θερμότητας για να σπάσουν είναι 9720 cal/mol (Μιμίκου & Μπαλτάς, 2006).

### 2.1.2 Ιδιότητες

Το νερό είναι από τα πλέον ασυνήθιστα υγρά στη φύση. Είναι το μόνο υγρό που διαστέλλεται όπως ένα στερεό και συστέλλεται όπως ένα υγρό. (Μιμίκου & Μπαλτάς, 2006). Οι ασυνήθιστες ιδιότητες του υγρού νερού οφείλονται στο γεγονός ότι τα μόριά του δε συμπεριφέρονται ανεξάρτητα αλλά εξαρτώνται μεταξύ τους εξαιτίας των δεσμών υδρογόνου (Brezonic & Arnold, 2011).

Μερικές από τις σημαντικότερες φυσικοχημικές ιδιότητές του αναφέρονται αναλυτικά παρακάτω

**Αριθμός CAS:** Πρόκειται για την ταυτότητα κάθε χημικής ουσίας που είναι μοναδική για την καθεμία. Δεν έχει κάποια χημική σημασία παρά μόνο δίνει τις απαραίτητες πληροφορίες για τη συγκεκριμένη χημική ουσία. Ο αριθμός CAS για το νερό είναι 7732-18-5 (<http://www1.lsbu.ac.uk>).

**Ενέργεια σχηματισμού:** Η κανονική ενέργεια σχηματισμού ( $\Delta H_f^\circ$  στους 25 °C και 1 atm) για το νερό είναι -68,317 kcal/mole. Η αντίδραση σχηματισμού νερού από τα στοιχεία υδρογόνο και οξυγόνο είναι εξώθερμη.

**Πυκνότητα:** Μεταβάλλεται ανάλογα με τη θερμοκρασία. Όταν η θερμοκρασία μειώνεται κάτω των 4° C, μειώνεται και η πυκνότητα με αποτέλεσμα το νερό να είναι βαρύτερο του

πάγου που επιπλέει. Έτσι, μεγάλοι όγκοι νερού δεν παγώνουν ποτέ όταν η θερμοκρασία είναι μικρή παρά μόνο επιφανειακά. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να μην έχουμε νέκρωση της υδρόβιας βλάστησης σε λίμνες και ποτάμια (Μήτρακας, 2014). Για τους 25 °C και πίεση 1 atm είναι 2260 kg/m<sup>3</sup> (<http://www1.lsbu.ac.uk>).

**Σημείο πήξης:** Όλα τα υγρά έχουν μία χαρακτηριστική θερμοκρασία κατά την οποία μετατρέπονται σε στερεά, γνωστή ως σημείο πήξης (<http://chemed.chem.purdue.edu>). Λόγω της έντονης τάσης των μορίων του νερού να συνδέονται μέσω γεφυρών υδρογόνου, το υγρό νερό και ο πάγος είναι ιδιαίτερα δομημένα. Σταθερός πάγος σχηματίζεται στους 0° και πίεση 1 atm (Belitz et al., 2015)

**Σημείο βρασμού:** Όταν ένα υγρό θερμαίνεται, σταδιακά πιάνει μία θερμοκρασία στην οποία η πίεση των υδρατμών είναι αρκετά ώστε να αρχίσουν να σχηματίζονται φυσαλίδες μέσα στο σώμα του υγρού. Αυτή η θερμοκρασία ονομάζεται σημείο βρασμού. Με το που το υγρό αρχίζει να βράζει, η θερμοκρασία παραμένει σταθερή έως ότου όλο το υγρό μετατραπεί σε ατμό. Το σημείο βρασμού για το νερό είναι 100° σε πίεση 1 atm (<http://chemed.chem.purdue.edu>).

**Πτώση του σημείου πήξης και ανύψωση του σημείου βρασμού:** Αν το νερό περιέχει διαλυτά συστατικά, η θερμοκρασιακή περιοχή του που είναι υγρό επεκτείνεται. Η θερμοκρασία πήξης ελαττώνεται και η θερμοκρασία βρασμού αυξάνεται. Η διάλυση ενός mole διαλυτού άλατος σε 1 kg νερού ελαττώνει τη θερμοκρασία πήξης κατά 1,86 °C και αυξάνει τη θερμοκρασία βρασμού κατά 0,512 °C (Μήτρακας, 2014).

**Ειδική θερμότητα:** Για να υποστεί το νερό την οποιαδήποτε φυσική μεταβολή, δηλαδή, για να γίνει ο πάγος νερό ή το νερό ατμός, θα πρέπει να καταναλωθεί ένα μεγάλο ποσό ενέργειας, για να σπάσουν κάποιοι δεσμοί υδρογόνου (Γαλανοπούλου κ.ά., 2011). Συνεπώς, όταν το νερό θερμαίνεται, που σημαίνει ότι τα μόρια του νερού κινούνται πιο γρήγορα, ένα μεγάλο ποσό ενέργειας πρέπει να περάσει μέσα στη μάζα προκειμένου να αυξηθεί η θερμοκρασία του (Manahan, 2011). Η ειδική θερμότητα για τον πάγο, το νερό και τον ατμό είναι 0,5, 1 και 0,5 cal/g °C, αντίστοιχα (Μήτρακας, 2014).

**Ειδική θερμότητα τήξης:** Όταν ο στέρεος πάγος λιώνει, μεγαλύτερο ποσό ενέργειας απαιτείται, συγκριτικά με άλλες ενώσεις, ώστε τα μόρια να μεταβούν από τις συγκεκριμένες θέσεις τους στην στερεή φάση, στην κινητή φάση τους στο υγρό (Manahan, 2011). Αυτή η θερμότητα που απορροφάται κατά τη μετατροπή του πάγου σε νερό στο σημείο τήξης, καλείται ειδική θερμότητα τήξης. Για τον πάγο είναι 80 cal/gr στους 0 °C (<http://www1.lsbu.ac.uk>), με το μεγαλύτερο μέρος να καταναλώνεται για την καταστροφή κάποιων δεσμών υδρογόνου (Μήτρακας, 2014).

**Ειδική θερμότητα εξάτμισης:** Προκειμένου τα μόρια του νερού να μεταβούν από την υγρή φάση στην αέρια (ατμός) απαιτείται ακόμη μεγαλύτερο ποσό θερμότητας από ότι κατά την τήξη (Manahan, 2011). Αυτή ονομάζεται ειδική θερμότητα εξάτμισης και είναι 540 cal/gr στους 100 °C ([www1.lsbu.ac.uk](http://www1.lsbu.ac.uk)). Είναι σχετικά υψηλή γιατί καταστρέφονται όλοι οι δεσμοί υδρογόνου (Μήτρακας, 2014).

**Ιξώδες:** Πρόκειται για την αντίσταση μιας μάζας στη ροή του υγρού. Ο συντελεστής ιξώδους ( $\nu$ ) του νερού μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας, ως συνέπεια της μείωσης των ενδομοριακών έλξεων (Μήτρακας, 2014). Στους 20 °C είναι 0,01005 gr/cm s ([www1.lsbu.ac.uk](http://www1.lsbu.ac.uk)).

**Επιφανειακή τάση:** Το μόριο του νερού έχει πολύ μεγάλη επιφανειακή τάση (Μιμίκου & Μπαλτάς, 2006), καθώς στους 20 °C είναι 72,75 dynes/cm (Μήτρακας, 2014). Δεδομένου ότι η φυσική σημασία των δεσμών είναι να μειώσουν την ενέργεια ενός συστήματος, εξηγείται η αδυναμία του επιφανειακού νερού να αναπτύξει όλους τους πιθανούς δεσμούς υδρογόνου που οδηγεί εν τέλει τα εν λόγω μόρια σε υψηλότερη ενεργειακή κατάσταση από τα μόρια του εσωτερικού του νερού. Αυτό, μακροσκοπικά εμφανίζεται ως επιπλέον ελεύθερη ενέργεια, λόγω της ύπαρξης της ελεύθερης επιφάνειας. Αυτή η επιπλέον ενέργεια στη μονάδα της επιφάνειας ονομάζεται επιφανειακή τάση. Προκειμένου να μειωθεί η ελεύθερη ενέργεια, τα συστήματα συρρικνώνονται σε σφαιρικά συσσωματώματα, π.χ. σφαιρικές σταγόνες νερού, καθώς η σφαίρα παρουσιάζει το μικρότερο λόγο επιφάνεια/όγκο (Ριτζούλης, 2015)

**Διπολική ροπή:** Οφείλεται στο ότι το κέντρο του θετικού φορτίου δε σχετίζεται με το κέντρο του αρνητικού φορτίου οπότε το μόριο είναι πολικό. Μετρείται σε debyes και είναι μια ιδιότητα που εξαρτάται από το μέγεθος των μορίων και την απόσταση που τα χωρίζει. Είναι 1,84 debye, μια από τις υψηλότερες για τα πολικά υγρά (Μήτρακας, 2014).

**Διηλεκτρική σταθερά:** Είναι ένα μέγεθος που εκφράζει την ικανότητα του νερού να διατηρεί χωριστά τα φορτία. Στους 25 °C είναι 78,5, αρκετά υψηλή και εξηγεί γιατί το νερό είναι ένας θαυμάσιος διαλύτης αφού τα ιόντα δεν μπορούν να ξανασχηματίσουν στερεό εάν διαλυθούν και μετά ([www.britannica.com](http://www.britannica.com)).

**Αγωγιμότητα:** Η ηλεκτρική αγωγιμότητα, ή απλά αγωγιμότητα, αναφέρεται στην ιονική σύνθεση του διαλύματος. Μετρείται με την εφαρμογή ηλεκτρικού πεδίου στο διάλυμα το οποίο αναγκάζει τα διαλυτά ανιόντα και κατιόντα να μεταναστεύσουν προς τα αντίθετα φορτισμένα ηλεκτρόδια, καθιστώντας μία ροή ρεύματος το οποίο είναι ανάλογο της επιφάνειας μέσα στην οποία κινούνται τα ιόντα και του δυναμικού του ηλεκτρικού πεδίου. Το καθαρό νερό δεν είναι αγωγός του ηλεκτρισμού. Η αγωγιμότητα αυξάνεται, καθώς το νερό διαλύει διάφορα συστατικά, γι' αυτό και χρησιμοποιείται ως κύρια παράμετρος που εκφράζει τη συνολική περιεκτικότητα αλάτων του νερού (Benjamin, 2015). Σχετίζεται με τα ολικά διαλυμένα στερεά και μετρείται σε  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Όσο αυξάνεται η συγκέντρωση των αλάτων, ελαττώνεται η ενεργότητα των ιόντων και κατά συνέπεια η ικανότητά τους να μεταφέρουν ρεύμα (Belitz et al., 2015) Στους 25 °C είναι 0,05  $\mu\text{S}/\text{cm}$  ([www1.lsbu.ac.uk](http://www1.lsbu.ac.uk)).

**pH:** Πρόκειται για τον αρνητικό δεκαδικό λογάριθμο της συγκέντρωσης των υδρογονοκατιόντων όταν σε αυτά προστεθεί μικρή αλλά υπολογίσιμη ποσότητα οξέος ή βάσης (Παπαδόπουλος, 2010). Στους 25 °C για το νερό είναι 6,9976 (<http://www1.lsbu.ac.uk>).

**Κρίσιμο σημείο:** Είναι αυτό στο οποίο το νερό και ο ατμός είναι δυσδιάκριτα, καθώς δεν παρατηρείται καμία μεταβολή στην φυσική κατάσταση αν αυξηθεί η πίεση ή δοθεί περισσότερη θερμότητα, έτσι δεν υπάρχει λόγος να γίνεται λόγος για ατμό ή για νερό.

Επιπρόσθετα, τριπλό σημείο είναι αυτό στο οποίο ο πάγος, ο ατμός και το υγρό συνυπάρχουν σε μια θερμοδυναμική ισορροπία (<https://www.engineeringtoolbox.com>). Οι κρίσιμες συνθήκες για το νερό είναι:

- Θερμοκρασία (T) 373,946 °C
- Πίεση (P) 22,064 MPa
- Πυκνότητα ( $\rho$ ) 0,322 gr/cm<sup>3</sup> (<http://www1.lsbu.ac.uk>)

### 2.1.3 Διαλυτική ικανότητα

Το νερό είναι από τους καλύτερους διαλύτες (<https://sciencing.com>), καθώς μπορεί να διαλύει ακόμη και αέρια και ορυκτά (Μιμίκου & Μπαλτάς, 2006). Ενώσεις οι οποίες μπορούν να διαλυθούν μέσα στο μόριο του νερού καλούνται υδρόφιλες, ενώ όσες δε διαλύονται υδρόφοβες (Benjamin, 2015)

Η με δεσμούς υδρογόνου δομή του νερού μεταβάλλεται με διαλυτοποίηση αλάτων ή μορίων με πολικές ή/και υδρόφοβες ομάδες (Belitz et al., 2015).

Στα μόρια των αλάτων ή άλλων ιοντικών ενώσεων, π.χ. του NaCl, υπάρχουν ισχυρές ηλεκτροστατικές δυνάμεις ανάμεσα στα αρνητικά και θετικά ιόντα. Χρειάζονται επομένως να καταναλωθούν σημαντικά ποσά ενέργειας για να απομακρυνθούν αυτά τα ιόντα. Κάποιες άλλες όμως ηλεκτροστατικές δυνάμεις που σχηματίζονται ανάμεσα στα ιόντα αυτά και τα δίπολα του νερού οδηγούν σε σταθερά ενυδατωμένα Na<sup>+</sup> και Cl<sup>-</sup>, οπότε εξασθενούν οι μεταξύ τους ηλεκτροστατικές δυνάμεις (<https://sciencing.com>). Οι φορτισμένες περιοχές των πολικών διαλυτών μπορούν να προσανατολίσουν τα μόρια του νερού με παρόμοιο τρόπο με τα ιόντα, αλλά με λιγότερη δύναμη. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, τα μόρια των πολικών μορίων είναι λιγότερο διαλυτά από ότι τα ιόντα και η διαλυτότητά τους αυξάνεται με την αύξηση της πολικότητας (Benjamin, 2015).

Μία άλλη μεγάλη τάξη ουσιών που διαλύονται στο νερό είναι οι μη πολικές ενώσεις, π.χ. σάκχαρα, αλκοόλες κλπ. Η διαλυτότητα είναι ανάλογη της τάσης που έχουν οι πολικές τους ομάδες να σχηματίζουν δεσμούς υδρογόνου με τα μόρια του νερού (<https://sciencing.com>). Γενικά, οι αλληλεπιδράσεις των μη πολικών μορίων με τα μόρια του νερού είναι ασθενείς και οι διαλυτότητές τους σε αυτό είναι χαμηλές (Benjamin, 2015).

Το νερό ακόμη διασπείρει ή διαλυτοποιεί με τη μορφή μικκυλίων πολλές ενώσεις που περιέχουν στο μόριό τους μία πολική ομάδα και μία μη πολική. Παράδειγμα τέτοιων ενώσεων είναι τα πολικά λιπίδια ή τα άλατα νατρίου των λιπαρών οξέων (<https://sciencing.com>).

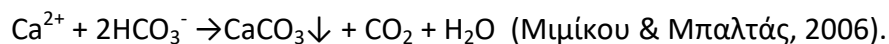
### 2.1.4 Παράμετροι ελέγχου ποιότητας του νερού

Το πόσιμο νερό πρέπει να είναι διαυγές, δροσερό, άχρωμο και άοσμο, ελεύθερο παθογόνων (μικρό πληθυσμό μικροοργανισμών), άριστο αναφορικά με τη γεύση, να μην προκαλεί διάβρωση των μετάλλων, να περιέχει διαλυτές ενώσεις μόνο σε χαμηλά όρια και ανόργανα συνήθως σε συγκεντρώσεις χαμηλότερες από 1 g/L. Το πόσιμο νερό ανακτάται από πηγές από υπόγεια και επιφανειακά νερά (Belitz et al., 2015). Παρακάτω αναλύονται μερικές από τις παραμέτρους που σχετίζονται με την ποιότητά του.

### 2.1.4.1 Σκληρότητα

Το νερό που πίνουμε δεν περιέχει μόνο το καθαρό H<sub>2</sub>O αλλά και άλλες προσμίξεις, όπως ανιόντα (ανθρακικά, θειικά, κ.ά.), κατιόντα (νάτριο, ασβέστιο, μαγνήσιο, μαγγάνιο, κ. ά.) αιωρούμενα σωματίδια και βακτήρια. Τα ανιόντα και κατιόντα προέρχονται συνήθως από τη φυσική και χημική διάβρωση του εδάφους και δεν προκαλούν πρόβλημα στην ποιότητα του πόσιμου νερού. Όταν όμως οι συγκεντρώσεις του ασβεστίου και του μαγνησίου είναι υψηλές, τότε το νερό χαρακτηρίζεται σκληρό και χρειάζεται επεξεργασία (Μιμίκου & Μπαλάς, 2006). Είναι δείκτης του μεταλλικού περιεχομένου του και της αντιδραστικότητάς του με σάπωνες και άλλες χημικές ενώσεις (Benjamin, 2015) και έχει σημαντικό ρόλο για το νερό που προορίζεται για βιομηχανικές χρήσεις γιατί δείχνει την τάση σχηματισμού ανθρακικών και άλλων επικαθήσεων (πουρί) στους λέβητες, στις σωληνώσεις κ.ά.

Η ολική σκληρότητα του νερού αναφέρεται στην ολική συγκέντρωση αλκαλικών γαιών (ασβεστίου και μαγνησίου) σε mmol/L. Κατά τη θέρμανση τα όξινα ανθρακικά, που είναι διαλυμένα στο νερό, μετατρέπονται σε ανθρακικά. Κατά το βρασμό, ένα μέρος των αλάτων ασβεστίου καθιζάνει ως ελάχιστο διαλυτό CaCO<sub>3</sub> (Belitz et al., 2015) σύμφωνα με την αντίδραση:



Αυτό το κλάσμα της σκληρότητας ονομάζεται *ανθρακική σκληρότητα* (Belitz et al., 2015). Συγκεκριμένα, η σκληρότητα ορίζεται ως το άθροισμα των δισθενών κατιόντων, κυρίως Ca<sup>2+</sup> και Mg<sup>2+</sup>, και περιστασιακά και Fe<sup>2+</sup> (Brezonic & Arnold, 2011).

Για τον υπολογισμό της σκληρότητας, το άθροισμα των χιλιοστοϊσοδυνάμων ασβεστίου και μαγνησίου θεωρείται ισοδύναμο χιλιοστοϊσοδυνάμων ανθρακικού ασβεστίου (<https://water.usgs.gov>).

$$\text{meq/L Ca}^{2+} + \text{meq/L Mg}^{2+} \approx \text{meq/L CaCO}_3 \text{ και}$$

$$\text{meq/L CaCO}_3 \times 50 = \text{mg/L CaCO}_3.$$

Μονάδες έκφρασης της σκληρότητας είναι ο γαλλικός (°F) και ο γερμανικός βαθμός (°G). Συγκεκριμένα:

- 1 °F=10 mg/L CaCO<sub>3</sub>
- 1 °G=17.86 mg/L CaCO<sub>3</sub> και
- 1 °G=1,786 °F (<https://www.lenntech.com>).

Ανάλογα με τη σκληρότητά του το νερό διακρίνεται στις εξής κατηγορίες, όπως φαίνεται στον **Πίνακα 1**.

**Πίνακας 1:** Χαρακτηρισμός του νερού ανάλογα με την τιμή της σκληρότητάς του (Πηγή: <https://water.usgs.gov>)

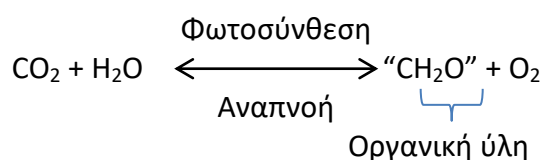
Ταξινόμηση νερού	
Μαλακό	0-60 mg/L CaCO <sub>3</sub>
Μέτρια σκληρό	60-120 mg/L CaCO <sub>3</sub>
Σκληρό	120-180 mg/L CaCO <sub>3</sub>
Πολύ σκληρό	>180 mg/L CaCO <sub>3</sub>

#### 2.1.4.2 Αλκαλικότητα

Ορίζεται ως το άθροισμα της συγκέντρωσης των βάσεων που τιτλοδοτούνται με ισχυρά οξέα και είναι ισχυρά συνδεδεμένη με τη συγκέντρωση των διανθρακικών στα περισσότερα φυσικά νερά. (Brezonic & Arnold, 2011)

Πρόκειται για δείκτη της ποιότητας του νερού που είναι μέτρο της ικανότητας του διαλύματος να εξουδετερώνει οποιαδήποτε όξινη προσθήκη. Συνήθως αναφέρεται ως CaCO<sub>3</sub>, με την έννοια ότι το πραγματικό διάλυμα περιέχει ίση ποσότητα αλκαλικότητας όσο ένα υποθετικό διάλυμα θα περιείχε την ίδια συγκέντρωση CaCO<sub>3</sub> και κανενός άλλου διαλύτη. Ένας άλλος ορισμός είναι ότι η ισοδυναμία έγκειται στην ικανότητα του CaCO<sub>3</sub> να αντιδράει με οξέα ([www.water-research.net](http://www.water-research.net)).

Οι βιολογικές διαδικασίες επιδρούν στο pH και την αλκαλικότητα διαλυμάτων. Η φωτοσύνθεση και η αναπνοή στο νερό και στο ίζημα ελέγχουν την κατανάλωση και την παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα σύμφωνα με την αντίδραση:



Για την ποσοτικοποίηση της επίδρασης της φωτοσύνθεσης και της αναπνοής σε σχέση με το pH θα πρέπει να μετρήσουμε την καθαρή απώλεια ή το καθαρό κέρδος του CO<sub>2</sub>. Γενικά η βιολογική δραστηριότητα αυξάνει την αλκαλικότητα ενός συστήματος και αυτό επιφέρει αύξηση του pH (Νικολαΐδης, 2005).

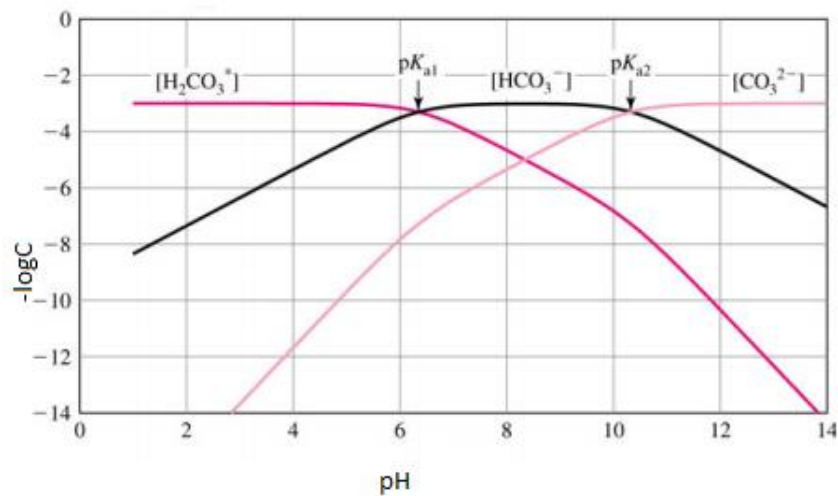
Η ολική αλκαλικότητα έχει δείκτη τελικού σημείου το πορτοκαλί του μεθυλενίου (pH=4,5-4,8).

Η ανθρακική αλκαλικότητα είναι CO<sub>3</sub><sup>-2</sup> και έχει δείκτη τελικού σημείου τη φαινολοφθαλείνη (pH=8,3).

Η αλκαλικότητα του OH<sup>-</sup> δεν έχει κανένα δείκτη (pH=10-11) γιατί υποσκιάζεται από τον ιονισμό του H<sub>2</sub>O (<http://web.iitd.ac.in>).



Στο **Σχήμα 3** παριστάνεται το διάγραμμα διάφορων ειδών των ανθρακικών σε διάφορες τιμές pH. Νερό πλούσιο σε διανθρακικά έχει υψηλή αλκαλικότητα, δηλαδή μεγαλύτερη ικανότητα εξουδετέρωσης των οξέων.



**Σχήμα 3:** Διάγραμμα διάφορων ανθρακικών συναρτήσει διάφορων τιμών pH (Πηγή: (<http://web.iitd.ac.in>).

#### 2.1.4.3 Αιωρούμενα στερεά

Ορίζονται τα στερεά που περιέχονται στο νερό σε μέγεθος μεγαλύτερο των μορίων, συνήθως μη ορατά με το γυμνό μάτι (Μήτρακας, 2014). Προέρχονται κυρίως από την αποσάθρωση των ρευμάτων και τις βιολογικές διεργασίες. Έχουν ευρεία επίδραση στην ποιότητα του νερού, η οποία εξαρτάται από τα φυσικοχημικά και βιολογικά χαρακτηριστικά. Εξαιτίας του μικρού τους μεγέθους έχουν μεγάλη ειδική επιφάνεια, η οποία συχνά λειτουργεί ως μέσο προσρόφησης-συγκράτησης τοξικών ενώσεων, όπως τα βαρέα μέταλλα και οι αλογονωμένοι υδρογονάνθρακες. Η μεγάλη επιφάνειά τους προκαλεί ισχυρή διάχυση του φωτός, αλλοιώνοντας έτσι τη διαύγεια του νερού. Η μέτρησή τους γίνεται με τη θολότητα (Canter, 1985).

#### 2.1.4.4 Ολικά διαλυτά στερεά

Ολικά διαλυμένα στερεά TDS (Αγγλ. Total Dissolved Solids) είναι τα σωματίδια που βρίσκονται διαλυμένα ή σε κολλοειδή μορφή σε ένα διάλυμα και μπορούν να διέλθουν από πόρο διαμέτρου 1 μm. (φίλτρο Goosh ή φίλτρο με γυάλινες ίνες) και παραμένουν μετά από εξάτμιση ή ξήρανση στους 103-105 °C (Ζανάκη, 2001).

Χρησιμοποιούνται για να εκφράσουν τα ολικά διαλυτά σε ένα δείγμα. Η συγκέντρωση των ολικών διαλυτών στερεών (συνήθως αναφέρεται και ως φιλτραρισμένο υπόλειμμα), περιέχει την πλειονότητα των ιονικών και ανιονικών διαλυτών ειδών. Κατά το στάδιο της ξήρανσης όλα τα αέρια που είναι διαλυμένα στο νερό, κυρίως το οξυγόνο, το άζωτο και το διοξείδιο του άνθρακα, απομακρύνονται. Πολλά μόρια του νερού επίσης εξατμίζονται αν και μερικά παραμένουν ενωμένα στα άλατα και άλλα στερεά του υπολείμματος. Στα πιο πολλά φυσικά

νερά, η πλειοψηφία του υπολείμματος αποτελείται από ανόργανα άλατα, έτσι τα TDS μπορούν χονδρικά να χρησιμοποιηθούν ως μέτρο του ιονικού περιεχομένου του αρχικού διαλύματος (Brezonic & Arnold, 2011).

### 2.1.5 Οργανοληπτικά χαρακτηριστικά

Το νερό είναι άοσμο, άχρωμο και άγευστο (Μιμίκου & Μπαλτάς, 2006). Γενικά, η οσμή, η εμφάνιση και η γεύση του πόσιμου νερού σχετίζονται με την προέλευση του νερού, τη μέθοδο επεξεργασίας του, καθώς επίσης και με το δίκτυο διανομής (<https://www.water-research.net>).

Τα προβλήματα γεύσης στο νερό οφείλονται σε υψηλή ποσότητα νατρίου που του προσδίδει αλμυρή γεύση ενώ αιτίες όπως τα διαλυμένα άλατα (TDS), η υψηλή αλκαλικότητα και σκληρότητα, η παρουσία κάποιων συγκεκριμένων μετάλλων όπως είναι ο σίδηρος, ο χαλκός, το μαγγάνιο και ο σίδηρος, αλλά και το χαμηλό pH και οι επιφανειοδραστικές ουσίες είναι υπεύθυνα για την αλκαλική ή μεταλλική του γεύση ([www.watertechonline.com](http://www.watertechonline.com)).

Η οσμή από την άλλη οφείλεται σε διαφορετικούς παράγοντες. Το υδρόθειο είναι συνήθως υπεύθυνο για την οσμή μούχλας, ενώ η αίσθηση αερίου όπως το μεθάνιο, οφείλεται σε οργανική αποσύνθεση. Επιπλέον, οσμή χημικών ή λαδιού πιθανόν να οφείλεται σε βενζίνη ή χημικά που χρησιμοποιήθηκαν βιομηχανικά.

Τέλος, το χρώμα μπορεί να είναι γαλακτώδες, ελαφρώς μαύρο ή κίτρινο που οφείλονται στην κατακρήμνιση των ανθρακικών, την αντίδραση με το μαγγάνιο και την παρουσία χουμικών ενώσεων, αντίστοιχα (<https://www.water-research.net>).

### 2.1.6 Ρόλος του νερού στον ανθρώπινο οργανισμό

Το νερό αποτελεί το βασικότερο είδος διατροφής για τον άνθρωπο, τόσο όσο και η τροφή, και συγχρόνως συμμετέχει σε κάθε σχεδόν παραγωγική διαδικασία. Το νερό αποτελεί το 50-65% του βάρους του ανθρώπινου σώματος (<http://ive.edu.hk>). Είναι συστατικό όλων των ιστών σε διάφορες αναλογίες: 90% στο αίμα, 75% στο μυϊκό ιστό, 20% στο λιπώδη ιστό (Γαλανοπούλου κ.ά., 2011).

Οι σημαντικότερες λειτουργίες του στον ανθρώπινο οργανισμό είναι οι παρακάτω:

1. Το νερό βοηθάει στην πέψη, ως κύριο συστατικό όλων των πεπτικών υγρών, διαλύοντας ή ενυδατώνοντας τις θρεπτικές ύλες, οπότε διευκολύνεται η διέλευση της τροφής στο γαστρεντερικό σωλήνα.
2. Ως συστατικό του αίματος, μεταφέρει τις θρεπτικές ύλες από το πεπτικό σύστημα στα κύτταρα, όπως και τα προϊόντα απέκκρισης από τα κύτταρα στους ιστούς απ' όπου θα γίνει η τελική τους έκκριση στο περιβάλλον.
3. Έχει τη δυνατότητα να ρυθμίζει τη θερμοκρασία του σώματος σύμφωνα με τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος.
4. Είναι απαραίτητο για τη σωστή λειτουργία των κυττάρων καθώς αποτελεί μέρος της σύνθεσής τους ([www.nestle-waters.com](http://www.nestle-waters.com)).

5. Απομακρύνει τα προϊόντα του μεταβολισμού βοηθώντας στην καλύτερη λειτουργία στο ήπαρ και τους νεφρούς.
6. Αποτρέπει τον κίνδυνο της δυσκοιλιότητας ([www.mayoclinic.org](http://www.mayoclinic.org)).

Η συνολική ποσότητα νερού που συμμετέχει στη λειτουργία του σώματος είναι 5-15 λίτρα την ημέρα. Η ελάχιστη ποσότητα που πρέπει να λαμβάνεται είναι ένα λίτρο και 7-8 σε περίπτωση αυξημένων απωλειών. Το περισσότερο νερό που προσλαμβάνει ο οργανισμός απορροφάται από τα όργανα του πεπτικού συστήματος ενώ η απέκκριση φτάνει τα 1-2 λίτρα από τους νεφρούς, μέσω εφίδρωσης, από τους πνεύμονες και από τον εντερικό σωλήνα (Γαλανοπούλου κ.ά., 2011).

## 2.2 Χαρακτηριστικά των ποταμών

### 2.2.1 Υδρολογικός κύκλος

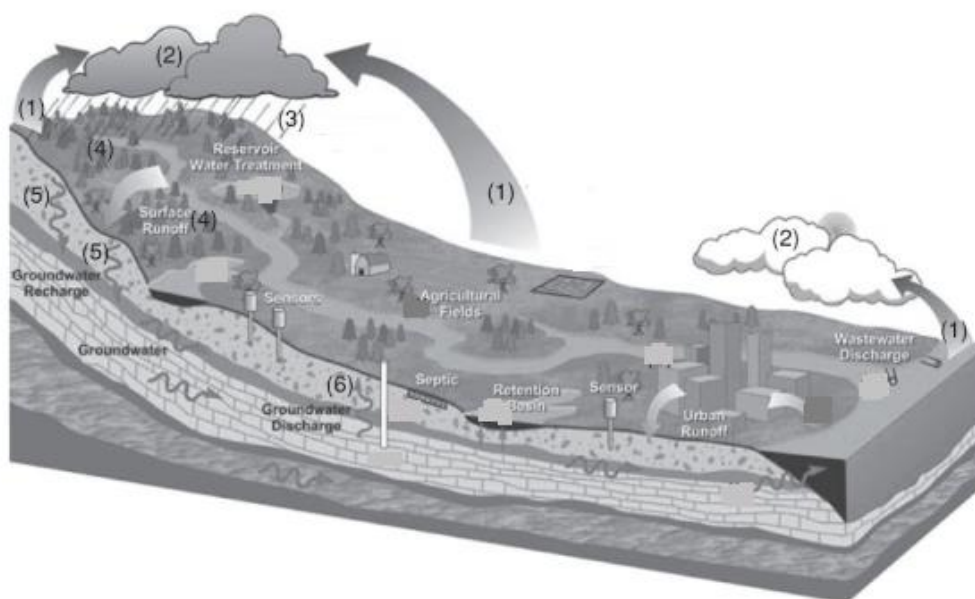
Η κυκλική κίνηση του νερού από τη θάλασσα στην ατμόσφαιρα και από εκεί με τις κατακρημνίσεις στη γη, όπου συλλέγεται με ρεύματα και κυλά πίσω στη θάλασσα, αναφέρεται σαν *υδρολογικός κύκλος* (Wilson, 1977).

Η αρχή του υδρολογικού κύκλου μπορεί θεωρητικά να τοποθετηθεί στην ατμόσφαιρα στην οποία συγκεντρώνονται οι προκύπτοντες υδρατμοί από την εξάτμιση του νερού στη θάλασσα και την ξηρά, καθώς και από τη διαπνοή από τα δέντρα και τη βλάστηση. Οι υδρατμοί αυτοί μεταφέρονται υπό την επίδραση των ανέμων και κάτω υπό κατάλληλες συνθήκες, συμπυκνώνονται με νέφη και στη συνέχεια υπό τη μορφή των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων (βροχή, χιόνι, χαλάζι) επανέρχονται στην επιφάνεια της γης (Μιμίκου & Μπαλτάς, 2006).

Το νερό της ατμόσφαιρας είναι το κλειδί για το κλίμα και τις καιρικές συνθήκες με τις μεταβολές του που έχουν ιδιαίτερη σημασία για τη ζωή, από το αέριο νερό (υγρασία), στο υγρό νερό (σύννεφα, βροχή, ομίχλη) και το στερεό νερό (χιόνι, πάγος). Είναι ταυτόχρονα το κύριο μέσο απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας στην ατμόσφαιρα αλλά και το κύριο αέριο για το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Χωρίς το ατμοσφαιρικό νερό, η Γη θα ήταν σε μία συνεχή κατάσταση παγετώνα (<http://www1.lsbu.ac.uk>). Το νερό της ατμόσφαιρας παίζει μείζονα ρόλο στον υδρολογικό κύκλο καθώς τον τροφοδοτεί με τις κατακρημνίσεις που διατηρούν τη ροή των ποταμών. Το νερό ως χημική ένωση H<sub>2</sub>O αποτελεί την υδρόσφαιρα. (Manahan, 2011)

Η βροχόπτωση που δεν συγκρατείται από το φυσικό κόσμο και από μη φυσικές επιφάνειες όπως οι στέγες ή τα πεζοδρόμια, πέφτει πάνω στη γη όπου μπορεί να εξατμιστεί, διηθηθεί ή συγκρατηθεί σε διάφορους επιφανειακούς σχηματισμούς. Όταν οι ανάγκες μιας περιοχής στα παραπάνω ικανοποιηθούν τότε το νερό ρέει πάνω στην επιφάνεια της γης προς το πλησιέστερο ρεύμα (Wilson, 1977). Ένα μέρος του νερού που φτάνει στη γη ρέει επιφανειακά πάνω στο έδαφος και αφού διανύσει μια μικρή ή μεγάλη διαδρομή, συγκεντρώνεται σε μεγαλύτερους αγωγούς, τους ποταμούς, οι οποίοι με τη σειρά τους το οδηγούν στις λίμνες ή στις θάλασσες (Skoulikidis et. al., 2009). Ο υδρολογικός κύκλος παρουσιάζεται αναλυτικά στο **Σχήμα 4**.

Με εξαίρεση το χημικά δεσμευμένο νερό, η συνολική ποσότητα νερού πάνω στη γη φτάνει τα  $1,4 \times 10^9 \text{ km}^3$ , εκ των οποίων το 97,6% βρίσκεται ως θαλασσινό νερό στους ωκεανούς (Manahan, 2011). Μόνο το 2,8% είναι χαμηλής περιεκτικότητας σε άλατα (γλυκό νερό) με το 77.25% αυτού να είναι σε στερεή κατάσταση (πάγος, χιόνια). Αξίζει να σημειωθεί ότι το 0,62% του γλυκού νερού είναι σε βάθος μεγαλύτερο των 800 μέτρων και έτσι ουσιαστικά δεν είναι διαθέσιμο (Skoulikidis et. al., 2009).



**Σχήμα 4:** Σχηματική αναπαράσταση της κίνησης του νερού μέσα στον υδρολογικό κύκλο. (1) Εξάτμιση από τα επιφανειακά νερά στην ατμόσφαιρα. (2) Μεταφορά ως ατμός και σύννεφα. (3) Επιστροφή στην επιφάνεια της γης ως κατακρημνίσεις (βροχή, χιόνι). (4) Ροή σε ρεύματα και ένωση είτε με ποταμούς, (5) είτε με υδροφορείς όπως λίμνες. (6) Επιστροφή στους ωκεανούς μέσω των ποταμών και την απόρριψη των υπόγειων υδάτων (Πηγή: Brezonic & Arnold, 2011).

Το νερό που υπάρχει στη φύση και χρησιμοποιείται από τον άνθρωπο διακρίνεται σε επιφανειακό και υπόγειο. Επιφανειακό είναι το νερό των λιμνών και των ποταμών, ενώ υπόγειο είναι αυτό που κινείται κάτω από την επιφάνεια του εδάφους (Μιμίκου & Μπαλτάς, 2006).

Το ποτάμι είναι ένα ανοιχτό σύστημα με ισχυρές αλληλεπιδράσεις με τη λεκάνη απορροής του. Η ποιότητα των επιφανειακών νερών επηρεάζεται τόσο από φυσικές διεργασίες (καιρικές συνθήκες, κατακρήμνιση, διάβρωση του εδάφους) όσο και από ανθρωπογενείς δραστηριότητες (γεωργία, αστική και βιομηχανική δραστηριότητα) (Wu et al., 2018).

Τα παράκτια θαλάσσια οικοσυστήματα είναι οι πιο οικολογικές και οικονομικές παραγωγικά περιοχές του πλανήτη, παρέχοντας το 40% περίπου των παγκοσμίων αγαθών και υπηρεσιών του οικοσυστήματος. Η ποιότητα του επιφανειακού νερού που επηρεάζεται τόσο από φυσικές όσο και ανθρωπογενείς αιτίες, και ιδιαίτερα τα νερά δίπλα στις ακτές και οι εκβολές, παρουσιάζουν σημαντική ποικιλομορφία η οποία εξαρτάται από το τοπικό περιβαλλοντικό προφίλ, όπως οι βροχοπτώσεις, την εισροή φρέσκου νερού, την παλιρροϊκή εισβολή και τις βιολογικές δραστηριότητες (Bharathi et al., 2017), ενώ σε μεγάλο βαθμό εξαρτώνται επίσης και από το ρυθμό της ροής, τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των κυριότερων κοιτών και παραποτάμων αυτών και τα φυσικά ή τεχνητά φράγματα κατά μήκος (Boskidis et al., 2018).

Τα επικρατέστερα ανόργανα συστατικά ενός φυσικού νερού είναι το ασβέστιο, το μαγνήσιο, το νάτριο, το κάλιο, τα όξινα ανθρακικά, τα θειικά, τα χλωριούχα, τα νιτρικά και τα πυριτικά. Άλλα ιόντα που συναντώνται σε μικρότερες συγκεντρώσεις είναι η αμμωνία, τα

νιτρώδη, τα φωσφορικά, ο σίδηρος, το μαγγάνιο και το φώσφορο. Η σημασία τους είναι μεγάλη είτε βιολογικά είτε γιατί επηρεάζουν συγκεκριμένες βιομηχανικές εφαρμογές. Και προέρχονται από τις αντιδράσεις του νερού με τα πετρώματα της γης, με τα οποία έρχεται σε επαφή, καθώς επίσης στην αποσάθρωση των πετρωμάτων και την έκπλυση εδαφών και ιζημάτων (Skoulikidis et. al., 2009).

Τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των επιφανειακών πόρων είναι:

**Χωρική κατανομή:** Τα επιφανειακά νερά εμφανίζονται τοπικά (λίμνες) ή ακολουθούν συγκεκριμένη πορεία (ποτάμια) και έτσι από άποψη εγκαταστάσεων για την εκμετάλλευσή τους απαιτούν πολλές φορές ιδιαίτερα δαπανηρά συστήματα μεταφοράς.

**Χρονική μεταβλητότητα:** Η μεταβλητότητά τους είναι φανερή σε σχέση με τα υπόγεια νερά που έχουν μικρή μεταβλητότητα και μπορούν να καλύψουν τις ανάγκες σε διάφορες χρονικές περιόδους.

**Κόστος εγκαταστάσεων και λειτουργίας:** Τα έργα συλλογής επιφανειακών νερών έχουν τεράστιο κόστος (φράγματα, ταμιευτήρες, αγωγοί μεταφοράς κλπ.), ενώ το κόστος λειτουργίας τους είναι σχετικά μικρό.

**Ποιότητα νερού:** Τα επιφανειακά νερά είναι περισσότερο εκτεθειμένα στη ρύπανση από ότι τα υπόγεια (Μιμίκου & Μπαλάς, 2006).

Όσον αφορά τα αισθητικά χαρακτηριστικά στα επιφανειακά νερά οι περισσότεροι πιθανές αιτίες δημιουργίας γεύσης και οσμής στα επιφανειακά νερά οφείλονται στην αποικοδόμηση φυτικών υλικών και τα προϊόντα μεταβολισμού των μικροοργανισμών (Μήτρακας, 2014).

### 2.2.2 Αλιάκμονας

Το όνομα Αλιάκμων (**Σχήμα 5**) είναι σύνθετο και προέρχεται από το άλς (άλας, θάλασσα) και από το άκμων. Θεωρείται από τα μεγάλα σε παροχή ποτάμια της Ελλάδας και είναι ο μεγαλύτερος σε μήκος ποταμός που ρέει αποκλειστικά σε ελληνικό έδαφος ([rotamosaliakmonas.wordpress.com](http://rotamosaliakmonas.wordpress.com)). Βρίσκεται στη Μακεδονία και έχει μήκος μήκος 310 χλμ ([www.britannica.com](http://www.britannica.com)).

Ο ποταμός Αλιάκμονας χωρίζεται σε τρεις επιμέρους περιοχές. Η πρώτη περιοχή εκτείνεται από τις πηγές του ποταμού μέχρι και την Παλιουργιά ([rotamosaliakmonas.wordpress.com](http://rotamosaliakmonas.wordpress.com)). Πηγάζει από το όρος Γράμμος, κοντά στην ανατολική οροσειρά της Πίνδου και συνεχίζει διασχίζοντας διάφορες κοιλάδες όπου δέχεται τα νερά υπερχειλίσης από τη λίμνη Καστοριά ([www.britannica.com](http://www.britannica.com)). Ανάντη και συνεχίζοντας πιο νότια ο μεγαλύτερος παραπόταμός του είναι ο Βενέτικος (821 km<sup>2</sup>) (Skoulikidis et. al., 2009). Χαρακτηρίζεται από έντονο ανάγλυφο και μειωμένη ανθρώπινη δραστηριότητα ([rotamosaliakmonas.wordpress.com](http://rotamosaliakmonas.wordpress.com)). Το άνω τμήμα της λεκάνης του Αλιάκμονα αποτελείται κυρίως από δασικές εκτάσεις και ανοιχτά βοσκοτόπια με τη γεωργία και την αγροτοβιομηχανία να είναι περιορισμένες (Skoulikidis et. al., 2009). Ως μοναδική παρέμβαση στον ποταμό μπορεί να χαρακτηριστεί η ρίψη των ακατέργαστων αστικών λυμάτων απ ευθείας στον Αλιάκμονα και η λειτουργία μικρών βιοτεχνικών μονάδων στην λεκάνη απορροής του ([rotamosaliakmonas.wordpress.com](http://rotamosaliakmonas.wordpress.com)).



**Σχήμα 5:** Ποταμός Αλιάκμονας (Πηγή: [www.google.gr](http://www.google.gr)) .

Η δεύτερη περιοχή του ποταμού καταλαμβάνει κυρίως τις περιοχές των τεχνητών λιμνών του Πολυφύτου, της Σφηκιάς και των Ασωμάτων. Εκεί κυριαρχεί το λιμναίο σύστημα του ποταμού που περικλείεται από βουνά ενώ οι πεδινές εκτάσεις είναι λιγοστές ([rotamosaliakmonas.wordpress.com](http://rotamosaliakmonas.wordpress.com)). Το τμήμα αυτό του ποταμού απειλείται από την εξόρυξη ασβέστη και χρωμίου ενώ το νερό της περιοχής αυτής χρησιμοποιείται επίσης για την ψύξη στις μονάδες καύσης λιγνίτη στην πόλη της Πτολεμαΐδας (Skoulikidis et. al., 2009).

Στην τρίτη περιοχή κατάντη είναι οι παραπόταμοι Αλμωπαίος και Εδεσσαίος, οι οποίοι ενώνονται σχηματίζοντας ένα κανάλι μήκους 2100 km<sup>2</sup>, το οποίο ενώνεται με το ποτάμι που τελικά εκβάλλει στο κόλπο του Θερμαϊκού όπου σχηματίζει δέλτα με τον ποταμό Αξιό (Skoulikidis et. al., 2009). Η περιοχή καταλαμβάνεται από πεδινές εκτάσεις στις οποίες η ανθρώπινη παρέμβαση είναι εμφανής και εκτεταμένη. Η κτηνοτροφία είναι περιορισμένη ενώ ασκείται έντονη γεωργία. Δέχεται μερικώς επεξεργασμένα απόβλητα από μικρές αγροβιομηχανικές μονάδες και τα λύματα από ένα μεγάλο αρδευτικό κανάλι. Οι μονάδες καύσης λιγνίτη στην Πτολεμαΐδα, η οποία βρίσκεται ακριβώς έξω από τη λεκάνη, είναι ο κύριος παράγοντας μόλυνσης του αέρα με SO<sub>2</sub> και βαρέα μέταλλα σε όλη την περιοχή (Skoulikidis, 2009)

Η ιδέα ενός μεγάλου έργου που θα μπορούσε να λύσει μακροπρόθεσμα και με επάρκεια το πρόβλημα ύδρευσης της Θεσσαλονίκης με τη μεταφορά νερού από τον ποταμό Αλιάκμονα συλλαμβάνεται αρχικά τη δεκαετία του 1970. Ο σχεδιασμός του έργου παίρνει μορφή με τις μελέτες των ετών 1975-1977 κατασκευάζονται όμως μόνο ορισμένα, μεμονωμένα τμήματα. Τα έτη 1992-1997 ο σχεδιασμός επικαιροποιείται, σε σχέση και με τη χωροταξική εξέλιξη της περιοχής, εκσυγχρονίζεται ως προς την προβλεπόμενη επεξεργασία του νερού και επεκτείνεται προς τα ανατολικά ο αγωγός διάθεσης πόσιμου νερού.

Το έργο ξεκινά από την θέση Βαρβάρες (Φράγμα Αλιάκμονα), 40 περίπου χιλιόμετρα ανάντη των εκβολών του ποταμού Αλιάκμονα. Μέσω της ενωτικής διώρυγας το νερό μεταφέρεται με ελεύθερη ροή μέχρι τον Αξιό σε μήκος 50 χιλιομέτρων. Στη συνέχεια μέσω του σίφωνα του Αξιού, μήκους 1,5 χιλιομέτρου και κλειστού αγωγού μήκους 8,5 χιλιομέτρων, μεταφέρεται στο αντλιοστάσιο της Σίνδου (<http://www.eydeael.gr>). Το αντλιοστάσιο Σίνδου προωθεί το νερό του ποταμού Αλιάκμονα στο διυλιστήριο για επεξεργασία. Στη συνέχεια το επεξεργασμένο νερό μεταφέρεται με βαρύτητα στην ΒΙ.ΠΕ.Θ

και τα αντλιοστάσια Διαβατών και Ιωνίας (<http://www.ekke.gr>). Στο **Σχήμα 6** απεικονίζεται η πορεία του νερού του Αλιάκμονα ξεκινώντας από το φράγμα του, έως το αντλιοστάσιο της Σίνδου που πηγαίνει μετέπειτα για την επεξεργασία του ώστε να διατεθεί προς κατανάλωση.



**Σχήμα 6:** Σχηματική αναπαράσταση του νερού του Αλιάκμονα από το φράγμα έως τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας του και τα δίκτυα διανομής (Πηγή: <http://www.eydeael.gr>).

Οι εκβολές του ποταμού μαζί με αυτές των ποταμών Αξιού και Λουδία αποτελούν σημαντικό υγροβιότοπο που προστατεύεται από τη συνθήκη Ramsar. Το δέλτα και τα στενά του Αλιάκμονα αποτελούν επίσης περιοχές που έχουν προταθεί για ένταξη στο δίκτυο ΦΥΣΗ 2000. Το δέλτα επίσης του ποταμού μαζί με αυτά των ποταμών Αξιού και τις εκβολές του Λουδία αποτελούν 'Σημαντική Περιοχή για τα Πουλιά (ΙΒΑ)' και προστατεύονται από τη σύμβαση Βέρνης και τη σύμβαση Βαρκελώνης. Τέλος τμήματα της περιοχής αποτελούν καταφύγια ή εκτροφεία θηραμάτων ([potamosaliakmonas.wordpress.com](http://potamosaliakmonas.wordpress.com)).



### 2.2.3 Φυσικογεωγραφική και χημική σύνθεση του Αλιάκμονα

Η εξόρυξη και οι βιομηχανικές δραστηριότητες στην Ελλάδα είναι περιορισμένες. Η βαριά βιομηχανία είναι κυρίως στα μεγάλα αστικά κέντρα και συγκροτείται κυρίως από τις μονάδες επεξεργασίας τροφίμων. Τις τελευταίες δεκαετίες, μεγάλη ανάπτυξη έχει γνωρίσει η γεωργία στις πεδινές περιοχές στην Ελλάδα που συνοδεύτηκε από αυξημένη αγροχημική κατανάλωση και εκτατικοποίηση στις ορεινές περιοχές. Η γεωργία, λοιπόν, είναι ο τομέας με τη μεγαλύτερη κατανάλωση νερού της τάξης του 89% (Skoulikidis, 2009).

Η γεωχημική και υδρογεωλογική μεταβλητότητα καθώς και το μοτίβο των κατακρημνίσεων επηρεάζουν τη θερμοκρασία του νερού και τη συγκέντρωση των διαλυτών ενώσεων. Τα κυριότερα χαρακτηριστικά του Αλιάκμονα όσον αφορά τα φυσικά και γεωγραφικά χαρακτηριστικά του παρουσιάζονται στον **Πίνακα 2**.

**Πίνακας 2:** Φυσικογεωγραφικά χαρακτηριστικά του ποταμού Αλιάκμονα (Πηγή: Skoulikidis, 2009)

	E (m)	CA (km <sup>2</sup> )	L (km)	P (cm)	T (°C)	Q(km <sup>3</sup> )
Αλιάκμονας	771	8880	310	67.1	10.6	2.7

\*E: μέση ανύψωση της λεκάνης, CA: λεκάνη απορροής, L: μήκος ποταμού, P: μέση ετήσια βροχόπτωση, T: μέση ετήσια θερμοκρασία αέρα και Q: μέση ετήσια απορροή.

Επιπλέον, η απόρριψη των λυμάτων, η υπερχείλιση των δεξαμενών και η άντληση νερού τοπικά επηρεάζουν τη χημική του σύνθεση (Skoulikidis, 2009). Τα ανθρακικά αποτελούν τον κύριο μηχανισμό εξουδετέρωσης οξέων στα νερά επιφάνειας. (Νικολαΐδης, 2005). Το νερό του Αλιάκμονα είναι σκληρό και πλούσιο σε ανθρακικό ασβέστιο (Skoulikidis, 2009).

Η ατμόσφαιρα είναι η σημαντικότερη πηγή, ιδιαίτερα μέσω των βροχοπτώσεων, του ανόργανου αζώτου (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) και νιτρικών (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) στα επιφανειακά νερά. Τα οξειδία του αζώτου, όπως το NO<sub>2</sub> από την καύση ορυκτών καυσίμων οξειδώνονται από φωτοχημικές αντιδράσεις για να σχηματίσουν νιτρικό οξύ, HNO<sub>3</sub>. (Brezonic & Arnold, 2011). Οι ορεινοί παραπόταμοι του Αλιάκμονα παρουσιάζουν υψηλό προφίλ από άποψη θρεπτικών. Ιδιαίτερα το φθινόπωρο, η συγκέντρωση των νιτρικών είναι υψηλή ως αποτέλεσμα της εκκαθάρισης των αρόσιμων εδαφών, ενώ την άνοιξη και το καλοκαίρι μειώνεται λόγω της διάλυσης (Skoulikidis et. al., 2009). Στον **Πίνακα 3** δίνονται ενδεικτικές μέσες τιμές για τα θρεπτικά συστατικά του ποταμού αλλά και της τιμής του διαλυμένου οξυγόνου (DO), παραμέτρου της οργανικής ύλης.

**Πίνακας 3:** Μέση τιμή για τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του νερού στον Αλιάκμονα και την ενδεικτική κατάσταση θρεπτικών συστατικών (Πηγή: Skoulikidis, 2009).

	DO (mg/L)	N-NO <sub>3</sub> (mg/L)	N-NO <sub>2</sub> (μg/L)	N-NH <sub>4</sub> (μg/L)
Αλιάκμονας	10.9	0.68	8	140

## 2.3 Η οργανική ύλη στα φυσικά νερά

Η ταυτοποίηση της προέλευσης, η μεταφορά καθώς και η κατάληξη της οργανικής ύλης στα υδάτινα οικοσυστήματα είναι από τα πιο επίκαιρα θέματα έρευνας και ανάπτυξης στη λιμνολογία και ωκεανογραφία (Koszelnik et al., 2018). Η οργανική ύλη είναι ένα σύνθετο μείγμα οργανικών ενώσεων που βρίσκονται και στα υπόγεια και στα επιφανειακά νερά και ως επί το πλείστον πρόκειται για φυσικής προέλευσης (Albrektienė et al., 2012). Τα οργανικά συστατικά στο πόσιμο νερό προέρχονται, είτε από φυσική αποικοδόμηση υλικών φυτικής ή ζωικής προέλευσης, είτε από βιομηχανική, αστική ή αγροτική ρύπανση (Ribeiro et al., 2017; Μήτρακας, 2014). Παράγοντες όπως η θερμοκρασία, το pH, η χημεία του νερού και οι βιολογικές διαδικασίες αυτού (Sillanpää et al., 2018) μεταβάλλουν σημαντικά τη σύνθεση της υδρόβιας οργανικής ύλης όσον αφορά τη χημική φόρτιση, το μέγεθος του μορίου, το μοριακό βάρος, τη χημική σύνθεση και δομή (Pan et al., 2016). Η οργανική ύλη στο πόσιμο νερό έχει μεταβλητή συγκέντρωση η οποία εξαρτάται από την προέλευσή του νερού, τις βιολογικές δραστηριότητες και το γεωχημικό κύκλο της ξηράς που περιβάλλει το ποτάμι (Sillanpää et al., 2018).

### 2.3.1 Φυσική οργανική ύλη

Η *φυσική οργανική ύλη* NOM (Αγγλ. Natural Organic Matter) αποτελεί συνήθως το μεγαλύτερο ποσοστό των οργανικών ενώσεων που απαντούν στο νερό (Μήτρακας, 2014) και υπάρχει σε κάθε πηγή νερού παγκοσμίως (Pan et al., 2016). Βρίσκεται στα επιφανειακά και υπόγεια νερά, ως αποτέλεσμα των διάφορων υδρολογικών, βιολογικών και γεωχημικών αλληλεπιδράσεων (Sillanpää et al., 2018). Ανάλογα με την προέλευσή του νερού, η ποσότητα, τα χαρακτηριστικά αλλά και οι ιδιότητες της NOM διαφέρουν σημαντικά (Särkkä et al., 2015). Το νερό επηρεάζει με πολλούς τρόπους τις ιδιότητες της NOM, όπως τη διόγκωση, την αλληλεπίδρασή της με τα διαλυτά ιόντα, τη συμπεριφορά των αερολυμάτων της NOM στην ατμόσφαιρα και την αλληλεπίδραση των μορίων μεταξύ τους η υπολογίζεται ότι παρακινείται από ενδοκυτταρικές αλληλεπιδράσεις όπως οι υδρόφοβες επιδράσεις και οι κατιονικές γέφυρες (Nanda et al., 2018).

Η NOM είναι ένα περίπλοκο ετερογενές μίγμα από διάφορες οργανικές ενώσεις οι οποίες προκύπτουν μέσω των αλληλεπιδράσεων του υδρολογικού κύκλου, της βιόσφαιρας και της γεώσφαιρας και διαφέρουν μεταξύ τους (Bhatnagar & Sillanpää, 2017; Lamsal et al., 2011) ως προς τη χημική φόρτιση, τη χημική σύνθεση, το μέγεθος του μορίου και το μοριακό βάρος και περιλαμβάνουν λειτουργικές ομάδες όπως εστέρες, φαινόλες, καρβοξυλικά οξέα, αμίνες, κινόνες κ.ά. (Rosenmai et al., 2018). Παράγονται από φυσικές διεργασίες όπως η αποσύνθεση της υδρόβιας οργανικής ύλης και οι μεταβολικές λειτουργίες των αλγών (αυτόχθονη NOM) (Pan et al., 2016) ή μεταφέρονται στη μάζα του νερού μέσω της απορροής της περιοχής που περιβάλλει τον ποταμό, συμπεριλαμβάνοντας και συστατικά που παράγονται κατά την αποικοδόμηση των χερσαίων φυτών (αλλόχθονη NOM) (Sillanpää et al., 2018).

Η αυτόχθονη NOM με σκούρο χρώμα αποτελείται κυρίως από χουμικές ενώσεις. Όσο για την αυτόχθονη NOM με πιο ανοιχτό χρώμα, υπάρχει ποικιλομορφία των βιολογικών δραστηριοτήτων αναλόγως με το είδος του άλγους ή του βακτηρίου που συμμετέχει.

Τέτοιες δραστηριότητες παράγουν διαλυτά εξωκυτταρικά προϊόντα όπως υδατάνθρακες, αμινοξέα, πεπτίδια, ένζυμα και τοξίνες. Πέρα από τη βιοχημική σύνθεση, άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν τη NOM στα υδατικά περιβάλλοντα είναι η χημεία του νερού, το pH, η θερμοκρασία και διάφορες βιολογικές δραστηριότητες που συμβαίνουν μέσα σε αυτό. Συνεπώς, η σύνθεση και η ποσότητα της NOM διαφέρει ουσιαστικά τόσο από τη μία τοποθεσία στην άλλη όσο και μέσα στο σώμα του νερού έπειτα από τις εποχιακές αλλαγές που επηρεάζουν φυσικά φαινόμενα όπως οι πλημμύρες, η ξηρασία και οι βροχοπτώσεις (Sillanpää et al., 2018), που είναι οι κύριες αιτίες αύξησης της NOM τα τελευταία είκοσι χρόνια παγκοσμίως.

### 2.3.2 Σύνθεση της φυσικής οργανικής ύλης

Η NOM του νερού αποτελείται και από υδρόφιλα και από υδρόφοβα τμήματα, με τα πρώτα να είναι πλούσια σε αλειφατικές και αζωτούχες ενώσεις όπως υδατάνθρακες, πρωτεΐνες, σάκχαρα και αμινοξέα, και τα δεύτερα να αποτελούνται κυρίως από αρωματικό δακτύλιο με φαινολικές ομάδες και συζυγείς διπλούς δεσμούς (Bhatnagar & Sillanpää, 2017). Οι κύριες χημικές ενώσεις της NOM είναι κυρίως υδρόφοβα οξέα χουμικού χαρακτήρα που αποτελούν περίπου το 50% της ποσότητας του Ολικού Οργανικού Άνθρακα TOC (Αγγλ. Total Organic Carbon) στο νερό (Sillanpää et al., 2018). Η NOM συνήθως κατηγοριοποιείται βάση της διαλυτικής της ικανότητας (Nanda et al., 2018) σε:

α) *χουμικά οξέα*, διαλυτά σε αλκάλια αλλά αδιάλυτα σε όξινο νερό με  $\text{pH} < 2$  (Sillanpää et al., 2018), υψηλό μοριακό βάρος και υψηλό περιεχόμενο σε C (Νικολαΐδης, 2005). Παράδειγμα της δομής των χουμικών οξέων φαίνεται στο **Σχήμα 7**. Αυτές οι πολυμερείς ενώσεις δεν καταστρέφονται σε υψηλές θερμοκρασίες και πιο πολύ ενσωματώνονται στα ιζήματα απ' ότι αποικοδομούνται (Νικολαΐδης, 2005).

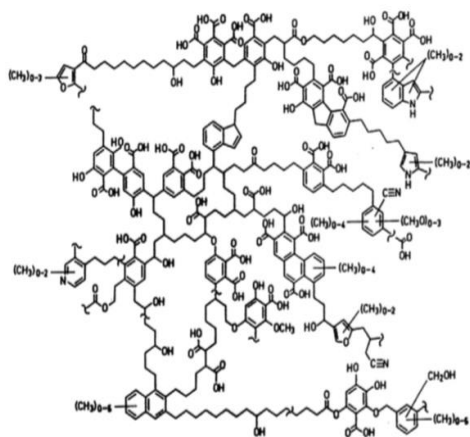
β) *φουλβικά οξέα*, διαλυτά και σε βάσεις και σε οξέα (Sillanpää et al., 2018), χαμηλό μοριακό βάρος, υψηλό  $\text{O}_2$  και χαμηλό περιεχόμενο σε C (Νικολαΐδης, 2005) (**Σχήμα 7**) και  
γ) *χούμος*, που είναι αδιάλυτος και στα οξέα και τις βάσεις (**Σχήμα 7**) (Sillanpää et al., 2018).

Τυπικά, μόνο το 1-10% της διαλυτής NOM εντοπίζεται λόγω της πολυπλοκότητας της φύσης της. Στο νερό του ποταμού, η κατανομή των οργανικών ενώσεων ανέρχεται σε 40% φουλβικά οξέα, 10% χουμικά οξέα, 30% υδρόφιλα οξέα, 10% υδατάνθρακες, 6% καρβοξυλικά οξέα και 4% αμινοξέα (Levchuk et al., 2018). Επιπρόσθετα, τα φουλβικά και τα χουμικά οξέα αποτελούν το 90% του διαλυτού κλάσματος της οργανικής ύλης στο έδαφος (Νικολαΐδης, 2005).

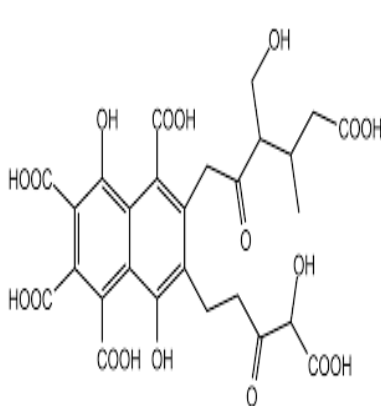
### 2.3.3 Διαλυμένη φυσική οργανική ύλη

Το τμήμα της NOM το οποίο μπορεί να περάσει μέσα από φίλτρο πόρων 0,45 μm είναι το *Διαλυτό Οργανικό Περιεχόμενο DOM* (Αγγλ. Dissolved Organic Matter) και το πιο απαιτητικό τμήμα της NOM ως προς την επεξεργασία του πόσιμου νερού καθώς απομακρύνονται μερικώς μόνο από αυτό και με τη χρήση συμβατικών μεθόδων (Bhatnagar & Sillanpää, 2017). Η DOM παίζει κεντρικό ρόλο στα υδατικά περιβάλλοντα. Οι δύο κύριες διεργασίες που επηρεάζουν την ποσότητα και τη σύνθεση της DOM στα υδατικά περιβάλλοντα είναι η βιοαποικοδόμηση και η φωτοαποικοδόμηση, που μπορεί να οδηγήσουν στη μετατροπή αυτής σε ανόργανες ενώσεις, όπως για παράδειγμα το CO<sub>2</sub>. Αυτό συνεπάγεται την επακόλουθη απώλεια της DOM από το νερό και τη μετατροπή της χημικής της σύνθεσης. Η βιοαποικοδόμηση οδηγεί κυρίως στην απώλεια των ασταθών, μικρού μοριακού βάρους αλειφατικών ενώσεων, όπως οι υδατάνθρακες, οι πρωτεΐνες και τα οργανικά οξέα. Όμως, μπορεί να συνοδευτεί από το σχηματισμό αρωματικών ενώσεων υψηλού μοριακού βάρους, όπως τα φουλβικά και τα χουμικά οξέα, μέσω της μετατροπής των ήδη υπάρχουσών ενώσεων ή μέσω της παραγωγής καινούριων ενώσεων από τους ετερότροφους οργανισμούς. Η φωτοαποικοδόμηση στα υδατικά οικοσυστήματα μπορεί να επηρεάσει σημαντικά τον κύκλο της DOM και τη βιοδιαθεσιμότητά της. Αυτό συμβαίνει με τη διάσπαση των μεγαλύτερων μορίων σε μικρότερα, ασταθή φωτοπροϊόντα που απομακρύνονται από το σώμα της DOM είτε με εξάτμιση αερίων με βάση τον άνθρακα, είτε με απότομη μικροβιακή κατανάλωση (Hansen et al., 2016).

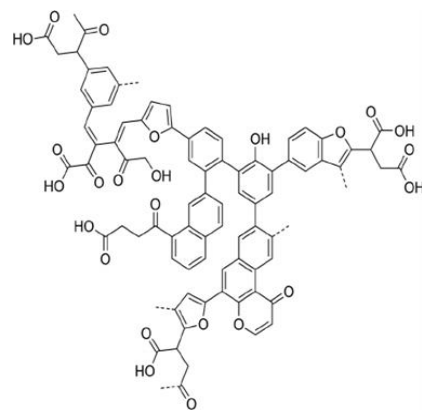
**ΧΟΥΜΙΚΟ ΟΞΥ**



**ΦΟΥΛΒΙΚΟ ΟΞΥ**



**ΧΟΥΜΟΣ**



**Σχήμα 7:** Προτεινόμενη δομή ενός μορίου χουμικού οξέος με μία μεγάλη ποικιλία λειτουργικών ομάδων (αριστερά) και ενός μορίου φουλβικού οξέος (κέντρο) και ενός μορίου χούμου (δεξιά) (Bhatnagar & Sillanpää, 2017; <https://www.google.gr>)

### 2.3.2 Συνθετική οργανική ύλη

Η χημική επανάσταση των τελευταίων 60 χρόνων είχε ως αποτέλεσμα τη σύνθεση νέων μορίων και κατά συνέπεια τη δημιουργία ενός τεράστιου αριθμού οργανικών ενώσεων οι οποίες δεν υπάρχουν στη φύση (Μήτρακας, 2014).

Οι πτητικές οργανικές ενώσεις VOCs (Αγγλ. Volatile Organic Compounds) ανιχνεύονται συνήθως σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις στα επιφανειακά νερά. Μπορεί να προέρχονται είτε από καύσιμα, διαλύτες και αποσμητικά από τη βιομηχανική και οικιακή χρήση, και στη γεωργία ως απολυμαντικά, ζιζανιοκτόνα και διαλύτες για φυτοφάρμακα (Nikolaou et al., 2002).

Ένας μεγάλος αριθμός φυτοφαρμάκων χρησιμοποιούνται στη γεωργία για την αντιμετώπιση των εντόμων, των βακτηρίων και των μυκητιακών παρασίτων. Η μεταφορά τους από τα χωράφια στα επιφανειακά νερά γίνεται μέσω της απορροής τους σε αυτά και αποτελεί πρωτεύον περιβαλλοντικό ζήτημα καθώς και παγκόσμια ανησυχία (Karsi et al., 2019). Η περιοχή της Μεσογείου επηρεάζεται έντονα από τις καιρικές διακυμάνσεις που μεταβάλλουν τις υδρολογικές συνθήκες και τις συγκεντρώσεις του συνόλου των υπολειμμάτων φυτοφαρμάκων στο νερό. Στον ποταμό Έβρο για παράδειγμα, τα πιο συχνά φυτοφάρμακα είναι οι αζόλες, τα οργανοφωσφορικά και οι τριαζίνες (Csanccara et al., 2016). Τα φυτοφάρμακα χωρίζονται σε τέσσερις κατηγορίες:

- **Ζιζανιοκτόνα:** Καταστρέφουν τα αγριόχορτα που αναπτύσσονται στις καλλιέργειες και ανταγωνίζονται τα καλλιεργημένα φυτά διαταράσσοντας τη φυσιολογία τους, με αποτέλεσμα την καταστροφή τους. Γνωστά ζιζανιοκτόνα είναι τα: Eptachlor, Propachlor, Atrazine, Diethylatrazine και Simazine.
- **Εντομοκτόνα:** Καταστρέφουν τα έντομα που κατατρώνε τα διάφορα μέρη των φυτών, χωρίς να βλάπτουν τα ίδια. Ανάλογα με τη σύνθεσή τους κατατάσσονται σε καρβαμιδικούς εστέρες, νιτροφαινόλες, οργανοφωσφορικούς εστέρες, χλωριωμένους υδρογονάνθρακες και πυρεθρίνες (παράγωγα των φυτοτοξινών).
- **Παρασιτοκτόνα ή Μυκητοκτόνα:** Ουσίες που εξοντώνουν βλαβερά παράσιτα και μύκητες των ζώων και των φυτών (κυκλοφορούν 440 μυκητοκτόνα). (Κοτροκόης, 2017). Η μεταλδεΐδη, για παράδειγμα, είναι μία οργανική ένωση με το χημικό τύπο  $(\text{CH}_3\text{CHO})_4$ . Πρόκειται για ένα διαλυτό μαλακιοκτόνο με ευρεία χρήση στα αγροτικά προϊόντα για την αντιμετώπιση των σαλιγκαριών και των γυμνοσαλιάγκων (Asfaw et al., 2018)
- **Τρωκτικοκτόνα:** Ουσίες που χρησιμοποιούνται για την εξόντωση των επιβλαβών τρωκτικών (ποντικών και αρουραίων) και ακαρεοκτόνα. Παράδειγμα είναι τα ANTU, Rodex και τα παράγωγα κουμαρίνης (Κοτροκόης, 2017).

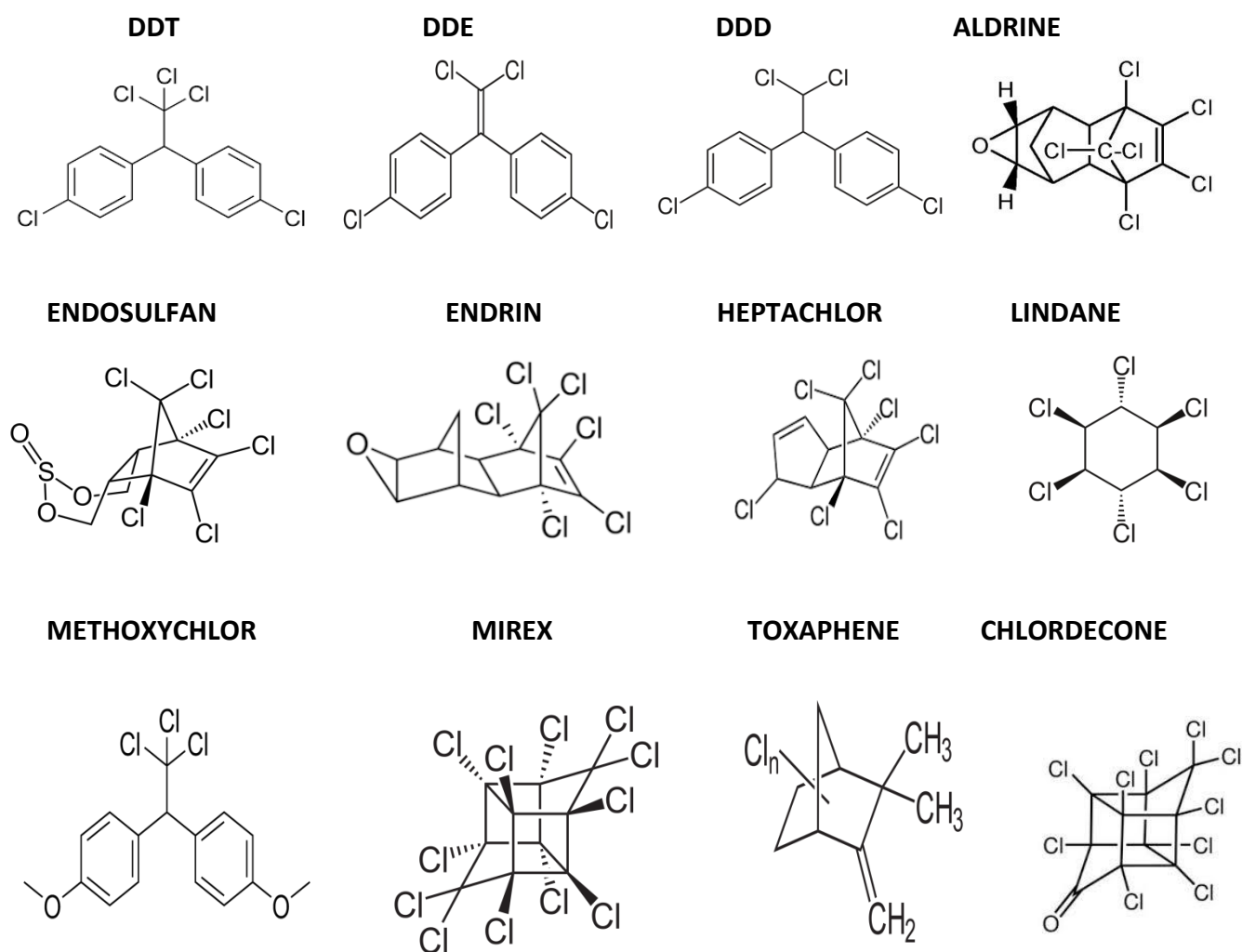
Ανάλογα με τη χημική τους σύνθεση τα φυτοφάρμακα διακρίνονται σε:

- **Οργανοχλωριωμένα (OX)**, όπως τα DDT που περιλαμβάνουν 10 ενώσεις ανάμεσα στις οποίες οι DDE, DDD κ.ά, aldrin, chlordane, lindane, methoxyzhlor, mirex, endrin, endosulfan, heptachlor κ.ά.
- **Οργανοφωσφορικά** όπως τα chlorpyrifos, azinphos, methyl, baytex κ.ά.

- Καρβαμιδικά όπως τα baygon, carbonyl, isolan, betanal, methimyl κ.ά. (Κοτροκόης, 2017).

Στο **Σχήμα 8** παρουσιάζεται η χημική δομή των σημαντικότερων οργανοχλωριωμένων φυτοφαρμάκων μιας και αυτά εμφανίζουν τη μεγαλύτερη τοξικότητα σε σχέση με τις άλλες δύο κατηγορίες.

Άλλες οργανικές ενώσεις, όπως τα παρασιτοκτόνα και τα ζιζανιοκτόνα και πολλοί διαλύτες, διαχέονται στο περιβάλλον είτε σκόπιμα είτε από διαρροές ή ατυχήματα. Όλες αυτές οι ενώσεις ξεπλένονται κατά τη διάρκεια του υδρολογικού κύκλου ρυπαίνοντας τις πηγές υδροληψίας του πόσιμου νερού (Μήτρακας, 2014).



**Σχήμα 8:** Χημική δομή των κυριότερων οργανοχλωριωμένων φυτοφαρμάκων (Πηγή: <https://www.google.gr>).

## 2.4 Παράμετροι παρακολούθησης της οργανικής ύλης

Η πρόληψη της ρύπανσης και ένα βιώσιμο σύστημα διαχείρισης νερού μπορεί να εξασφαλίσουν την καλή ποιότητά του (Dragoi et al., 2018). Διαφοροποιήσεις στην ποιότητα του νερού σε μία πηγή μπορεί να οφείλονται σε ανθρωπογενείς επιρροές και χρήση γης (Wu et al., 2018). Ο βαθμός και η συχνότητα των αναλύσεων του πόσιμου νερού καθορίζεται νομικά σε πολλές χώρες. Πέρα από την παρακολούθηση της υγιεινής κατάστασης των αποθεμάτων νερού και του επεξεργασμένου νερού, ελέγχεται και η διατήρηση των επιτρεπτών τιμών (Belitz, H. D., Grosch, W. & Schieberle, P., 2015).

Συγκεκριμένοι δείκτες ποιότητας νερού μετριοούνται μέσα από περιεκτικές αναλύσεις ρουτίνας για την εξοικονόμηση τόσο χρόνου όσο και χρημάτων (Dragoi et al., 2018). Η μέθοδος του Δείκτη Ποιότητας Νερού WQI (Αγγλ. Water Quality Index) χρησιμοποιείται ευρέως στην εκτίμηση της ποιότητας τόσο των υπόγειων όσο και των επιφανειακών νερών, ιδίως των ποταμών, και έχει παίξει σημαντικό ρόλο στη διαχείρισή του. Βασίζεται στη μέση τιμή τριών παραμέτρων (θολερότητα, διαλυμένο οξυγόνο και είτε αγωγιμότητα είτε διαλυτά στερεά) (Wu et al., 2018).

Για τον ακριβή χαρακτηρισμό της NOM πρέπει να γίνει αποτελεσματική προετοιμασία και προεπεξεργασία δεδομένων των χαμηλών συγκεντρώσεων της στα φυσικά νερά αλλά και της πολυπλοκότητας των ενώσεων που την απαρτίζουν (Pan et al., 2016). Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για να χαρακτηρίσουν τη NOM στο νερό είναι: 1) φασματοσκοπικές (φθορισμός, αρωματικοί δακτύλιοι, -OH, λειτουργικές ομάδες NH<sub>2</sub>), 2) UV-vis (αρωματικοί δακτύλιοι, -OH, λειτουργικές ομάδες -COOH), 3) χρωματογραφικές μέθοδοι (διαχωρίζει τις διάφορες οργανικές ενώσεις) και 4) μέθοδοι φασματομετρίας μάζας (δομή των οργανικών ενώσεων). (Albrektienė et al., 2012).

Σε γενικές γραμμές, οι αναλύσεις που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση συσσωματωμένου οργανικού υλικού μπορούν να διαχωρισθούν σε εκείνες που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση μεγάλων συγκεντρώσεων οργανικού υλικού (> 1,0 mg/L), και σε εκείνες που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση ελάχιστων συγκεντρώσεων στην κλίμακα 10<sup>-12</sup> έως 10<sup>0</sup> mg/L. Οι αναλύσεις της πρώτης κατηγορίας περιλαμβάνουν: το Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο BOD (Αγγλ. Biochemical Oxygen Demand), τον Ολικό Οργανικό Άνθρακα TOC (Αγγλ. Total Organic Carbon) (Metcalf & Eddy, 2017). Άλλες αναλύσεις που αναλύονται παρακάτω είναι: το Διαλυμένο Οξυγόνο DO (Αγγλ. Dissolved Oxygen), ο Διαλυμένος Οργανικός Άνθρακας DOC (Αγγλ. Dissolved Organic Carbon), η παράμετρος SUVA<sub>254</sub>, η χλωροφύλλη (Chl-a) και το pH.

### 2.4.1 Διαλυμένο Οξυγόνο

Η σχέση του διαλυμένου οξυγόνου DO ως κύριου δείκτη της γενικής υγείας ενός υδατικού οικοσυστήματος είναι ευρέως αναγνωρισμένος (Correa-González et al., 2014) και προστατεύει την υδρόβια ζωή (Sharma et al., 2016). Οι μετρήσεις της συγκέντρωσης του διαλυμένου οξυγόνου είναι μεταξύ των πιο σημαντικών παραμέτρων πεδίου και έχουν μετατραπεί σε ρουτίνα σχεδόν σε κάθε υδρόβια έρευνα συμπεριλαμβανομένων των μελετών των θαλάσσιων και χερσαίων υδάτων και των αποβλήτων (Mader et al., 2017). Επηρεάζεται έντονα από τις καιρικές συνθήκες και τη στιγμή της δειγματοληψίας, καθώς είναι πιθανό η συγκέντρωσή του να μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια της ημέρας και υπό διαφορετικές καιρικές συνθήκες, κυρίως σε περίπτωση βροχοπτώσεως (Wu et al., 2018) και από διάφορες παραμέτρους όπως η θερμοκρασία, η πίεση, η αλκαλικότητα, η δραστηριότητα και το είδος των μικροοργανισμών κ.ά. (Durdevic et al., 2018).

Οι συγκεντρώσεις σε κορεσμένο DO έχουν αντίστροφη σχέση με τη θερμοκρασία των ρευμάτων γιατί αύξηση αυτής συνεπάγεται μικρότερη ποσότητα διαθέσιμου οξυγόνου στο νερό. Οι συγκεντρώσεις του DO μειώνονται στα θερμά ρεύματα και επιτείνονται ακόμη περισσότερο από τις θερμές απορροές των καλλιεργειών που είναι πλούσιες σε θρεπτικά συστατικά τα οποία προάγουν τη βιολογική δραστηριότητα, αποσυνθέτοντας τη βιομάζα η οποία καταναλώνει το διαλυμένο οξυγόνο για την αναπνοή (Null et al., 2017). Το χειμώνα το οξυγόνο θα είναι κορεσμένο στην επιφάνεια του επιφανειακού νερού γιατί δεν μπορεί να διαφύγει στην ατμόσφαιρα και θα μειώνεται λίγο με το βάθος. Την άνοιξη τα νερά θα ζεσταθούν και το προφίλ της θερμοκρασίας και του οξυγόνου θα εξομοιωθεί σε όλο το βάθος. Η σταδιακή αύξηση της θερμοκρασίας το καλοκαίρι προκαλεί θερμική στρωμάτωση των νερών με το διαλυμένο οξυγόνο να είναι υπερκορεσμένο λόγω της φωτοσύνθεσης του φυτοπλαγκτού, ενώ έλλειψη αυτού σημειώνεται λόγω της αποσύνθεσης της οργανικής ύλης που καθιζάνει στο ίζημα (Νικολαΐδης, 2005).

Η μεταβλητότητα του διαλυμένου οξυγόνου, για παράδειγμα η ανάπτυξη υποξίας ή ο υπερκορεσμός σε οξυγόνο, είναι αποτέλεσμα ευτροφισμού. Πρόκειται για την άμεση απεικόνιση της ισορροπίας μεταξύ της φωτοσύνθεσης, της αναπνοής και της αποσύνθεσης, μπορεί π.χ. να σχετίζεται με το μεταβολισμό. Ωστόσο, φυσικό νερό πλούσιο σε διαλυτό οξυγόνο μπορεί να μην είναι πάντα αποτέλεσμα ευτροφισμού όπως για παράδειγμα εάν είναι πλούσιο σε οργανική ύλη ή δέχεται τα βιομηχανικά απόβλητα (Coffin et al., 2018).

Σε ρεύματα που δεν πλήττονται από εξωτερικές επιρροές, τρεις είναι οι διαδικασίες που προκαλούν διακυμάνσεις στη συγκέντρωση του DO: η φωτοσύνθεση, η αναπνοή και η διάχυση από την ατμόσφαιρα. Η καθαρή παροχή οξυγόνου στο ρεύμα από την υδρόβια χλωρίδα, μετατρέπει τη φωτοσύνθεση σε σημαντικό παράγοντα που επηρεάζει το DO και μπορεί να το οδηγήσει σε επίπεδα κορεσμού μέχρι και 150-200%, σε έντονα παραγωγικά ρεύματα νερού. Η αυτότροφη και η ετερότροφη αναπνοή διαρκώς μειώνει το DO. Λόγω των αλληλεπιδράσεων μεταξύ της φωτοσύνθεσης και της αναπνοής, τα ποσοστά του DO τείνουν να μειώνονται κατά τις απογευματινές και βραδινές ώρες και να αυξάνονται ξανά πριν ή μετά το ηλιοβασίλεμα. Ο αναερισμός πρόκειται για τη μεταφορά μάζας του οξυγόνου μεταξύ της διεπιφάνειας αέρα-νερού με κινητήρια δύναμη τη διαφορά μεταξύ της συγκέντρωσης του κορεσμένου DO και της πραγματικής συγκέντρωσης του DO στο νερό. Σε ρεύματα τα οποία δέχονται μεγάλες ποσότητες αποβλήτων, η παροχή του οξυγόνου γίνεται αποκλειστικά με αναερισμό (Correa-González et al., 2014).



Τιμές DO μέσα στα όρια είναι απαραίτητες για τη στήριξη της ποικιλίας της υδρόβιας ζωής, ενώ οι αναερόβιες συνθήκες ή χαμηλές τιμές DO έχουν επιβλαβείς επιδράσεις, όπως για παράδειγμα στην ανάπτυξη, την αναπαραγωγή και το θνησιμότητα των ψαριών. (Correa-González et al., 2014). Το διαλυμένο οξυγόνο υποστηρίζει όλη τη μεταβολική διεργασία των υδρόβιων προϊόντων. Η ελαττωμένη ποσότητα οξυγόνου οδηγεί στη συσσώρευση τοξικών ουσιών στο νερό (Ren et al., 2018).

#### 2.4.2 Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο

Η παράμετρος που χρησιμοποιείται ευρέως για τη μέτρηση της οργανικής ρύπανσης τόσο στα υγρά απόβλητα όσο και στα επιφανειακά νερά (λίμνες, ποτάμια κλπ.) (Metcalf & Eddy, 2017), από λύματα ή βιομηχανικά απόβλητα είναι το BOD 5 ημερών (BOD<sub>5</sub>) (Ζανάκη, 2001).

Πρόκειται για μια εμπειρική δοκιμασία, που εκτελείται στο εργαστήριο κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες. Συγκεκριμένα, μετράται η ποσότητα του οξυγόνου που καταναλώνουν αερόβια μεσόφιλα βακτήρια, σε διάστημα πέντε ημερών, για τη χημική και βιολογική οξείδωση των οργανικών κυρίως ουσιών που περιέχει ορισμένος όγκος δείγματος που επωάζεται σε σκοτεινό θάλαμο, σταθερής θερμοκρασίας 20°C. Επίσης, υπολογίζεται και η ποσότητα οξυγόνου που απαιτείται για τη χημική οξείδωση των ανόργανων ουσιών όπως τα θειούχα, ο σίδηρος κλπ. (Ζανάκη, 2001).

Πέρα από την ευρεία χρήση της ανάλυσης του BOD, χαρακτηρίζεται από μία σειρά περιορισμών. Οι περιορισμοί στην ανάλυση του BOD είναι οι ακόλουθοι:

1. είναι απαραίτητη η προεπεξεργασία στην περίπτωση που υπάρχουν τοξικές ουσίες, ενώ οι αντιδράσεις των αζωτοποιητικών βακτηρίων πρέπει να ελαχιστοποιηθούν,
2. μόνο τα βιοαποικοδομήσιμα οργανικά υλικά μετρώνται,
3. η ανάλυση δεν έχει στοιχειομετρική ισχύ μετά την κατανάλωση του διαλυτού οργανικού υλικού και
4. απαιτείται σχετικά μεγάλη χρονική περίοδος για την απόκτηση των αποτελεσμάτων.

Από τα παραπάνω, ο περισσότερος σοβαρός περιορισμός έγκειται στο ότι η περίοδος των 5 ημερών μπορεί και να μην αντιστοιχεί στο σημείο όπου το διαλυτό οργανικό υλικό έχει καταναλωθεί.

Τα αποτελέσματα των αναλύσεων του BOD χρησιμοποιούνται για:

1. Την εύρεση της ποσότητας οξυγόνου που απαιτείται για τη βιοχημική οξείδωση οργανικού υλικού,
2. Την εύρεση του μεγέθους των εγκαταστάσεων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων,
3. Τη μέτρηση της αποδοτικότητας μερικών διεργασιών επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, και
4. Την εύρεση των τιμών συμμόρφωσης με τα όρια των εκροών (Metcalf & Eddy, 2017).

### 2.4.3 Ολικός Οργανικός Άνθρακας και Διαλυμένος Οργανικός Άνθρακας

Η συνολική οργανική συγκέντρωση σε ένα περιβαλλοντικό δείγμα σχεδόν πάντα αναφέρεται ως ολική συγκέντρωση του άνθρακα σε όλες τις οργανικές ενώσεις που περιέχονται στο δείγμα, και αυτό γιατί τα δείγματα περιέχουν μια τεράστια και ανόμοια συλλογή από οργανικά μόρια που είναι πρακτικά αδύνατον να εντοπιστούν ξεχωριστά. Αυτά τα δεδομένα αναφέρονται ως *Ολικός Οργανικός Άνθρακας TOC* (Faust & Aly, 1998).

Οι αναλύσεις που σχετίζονται με τις μεταβολές του είναι οι πιο συνήθεις μέθοδοι για την εκτίμηση της οργανικής ύλης που είναι συγκεντρωμένη ως ίζημα στον πάτο μίας λεκάνης (Koszelnik et al., 2018) για αυτό θεωρείται ο κυριότερος δείκτης αυτής στο πόσιμο νερό (Albrektiené et al., 2012). Τα υδρόφοβα οξέα, γνωστά ως χουμικές ενώσεις, αποτελούν το 50% του ολικού οργανικού άνθρακα στο νερό (Rosenmai et al., 2018).

Κατά τη μέτρηση του TOC ο οργανικός άνθρακας οξειδώνεται προκειμένου να παραχθεί διοξείδιο του άνθρακα υπό την επίδραση είτε της UV ακτινοβολίας είτε υπό μία θερμικά καταλυόμενη χημική οξείδωση με υπερθειικό διάλυμα. Στη συνέχεια, το φέρον αέριο μεταφέρει τα προϊόντα της καύσης στο κελί ενός μη διαπερατού αναλυτή αερίου στον οποίο θα ανιχνευθεί το διοξείδιο του άνθρακα. Ο ανόργανος άνθρακας που περιέχεται στο δείγμα του νερού απομακρύνεται στην αρχή με οξίνιση και έπειτα εκκαθάριση (Albrektiené et al., 2012).

Εάν το δείγμα είναι διηθημένο και μόνο το διάλυμα αναλύεται τότε γίνεται λόγος για το *Διαλυμένο Οργανικό Άνθρακα DOC* (Faust & Aly, 1998). Είναι μία κοινή παράμετρος για τα διαλυτά οργανικά μόρια της NOM. Ο όρος 'διαλυτά' συνήθως αναφέρεται σε ενώσεις οι οποίες μπορούν να διέλθουν μέσα από φίλτρο πόρων 0,45 μm. Η συγκέντρωση του DOC υπολογίζεται με τη χρήση ενός αναλυτή TOC μετά από διήθηση του δείγματος. Μία τυπική ανάλυση DOC μετράει τον ολικό και τον ανόργανο άνθρακα, με το τελευταίο να αναφέρεται στο διαλυτό διοξείδιο του άνθρακα και τα άλατα του ανθρακικού οξέος. Ο DOC υπολογίζεται αφαιρώντας το ανόργανο από το ολικό περιεχόμενο. Το βιοαποικοδομήσιμο DOC πρόκειται για το τμήμα του DOC που μεταβολίζεται από βακτήρια σε διάρκεια μερικών ημερών έως μερικών μηνών που είναι δείκτης της πιθανότητας της βακτηριακής αναγέννησης. Ο κύριος λόγος για την απομάκρυνση του βιοαποικοδομήσιμου DOC είναι κυρίως γιατί αποτελεί πηγή μικροοργανισμών που εισέρχονται μέσα στο σύστημα διανομής (Pan et al., 2016).

Η NOM στους ποταμούς και τις λίμνες είναι κυρίως υπό τη μορφή του DOC συμπεριλαμβανομένων υδρόφιλων και υδρόφοβων συστατικών (Rosenmai et al., 2018). Η συγκέντρωση του DOC κατά κύριο λόγο αποτελείται από καρβονικό οξύ  $H_2CO_3$ , διανθρακικά  $HCO_3^-$  και ανθρακικά  $CO_3^{2-}$  ιόντα. Ο άνθρακας αποτελεί συνήθως το 50% της συνολικής μάζας ενός οργανικού μορίου, έτσι υπολογίζεται συνήθως ως 2 x DOC (Faust & Aly, 1998). Οι συγκεντρώσεις του DOC στα φυσικά νερά είναι 0,1-10 μM/C. Περίπου το 10% του DOC μπορεί να ταυτιστεί με συγκεκριμένες οργανικές ουσίες όπως αμινοξέα, σάκχαρα, λιπαρά οξέα και φαινόλες. Το 90% του DOC δεν μπορεί να αναγνωριστεί επακριβώς και είναι τα χουμικά οξέα (Νικολαΐδης, 2005).

#### 2.4.4 Ειδική απορρόφηση στο υπεριώδες SUVA<sub>254</sub>

Η φασματοσκοπία απορρόφησης στο ορατό και το υπεριώδες είναι η μέτρηση της άμβλυνσης μία ακτίνας φωτός όταν αυτή διέρχεται μέσα από ένα δείγμα ή μετά την ανάκλασή της από την επιφάνεια ενός δείγματος. Πρόκειται για συμπλήρωμα της φασματοσκοπίας φθορισμού όπου ενώ ο φθορισμός μετράει τη μετάβαση από τη διεγερμένη στη βασική κατάσταση, η απορρόφηση καθορίζει τη μετάβαση από τη βασική στη διεγερμένη κατάσταση (Pan et al., 2016). Αυτό βοηθάει στον προσδιορισμό της ολικής ποσότητας των οργανικών ενώσεων στο νερό έπειτα από τη μέτρηση σε ένα συγκεκριμένο μήκος κύματος (Albrektienė et al., 2012).

Μιας και η NOM αποτελείται από διάφορες χρωμοφόρες ενώσεις με διαφορετικά μήκη κύματος απορρόφησης, για την ταυτοποίηση αυτών χρησιμοποιούνται τα αντίστοιχα μήκη κύματος. Το φάσμα απορρόφησης της NOM στο UV μειώνεται με την αύξηση του μήκους κύματος με το εύρος 220-280 να θεωρείται το πιο κατάλληλο για την ανάλυση της NOM. Για παράδειγμα, η απορρόφηση στα 220 nm αναφέρεται σε καρβοξυλικές και αρωματικές χρωμοφόρες ενώσεις (Pan et al., 2016), ενώ η απορρόφηση στα 254 nm γίνεται κυρίως από αρωματικές ενώσεις και συζυγείς διπλούς δεσμούς. Συνεπώς, μείωση στην τιμή της απορρόφησης υποδεικνύει απώλεια αυτών των ενώσεων από το σύνολο της NOM (Lamsal et al., 2011).

Η ειδική απορρόφηση στο υπεριώδες SUVA<sub>254</sub> είναι μία παράμετρος η οποία χρησιμοποιείται για να ανιχνεύσει τις αλλαγές που συμβαίνουν στον αρωματικό χαρακτήρα της NOM (Lamsal et al., 2011) και την πιθανότητα σχηματισμού DBPs. (Pan et al., 2016). Έχει, επίσης, αποδειχθεί ότι έχει ισχυρή συσχέτιση με το κλάσμα του υδρόφοβου οργανικού οξέος της DOM (Hansen et al., 2016). Ορίζεται ως ο λόγος της απορρόφησης στο υπεριώδες στα 254 nm (UV<sub>254</sub>) προς την αντίστοιχη συγκέντρωση του DOC (Lamsal et al., 2011).

Βασίζεται στην ιδιότητα των αρωματικών και χουμικών ενώσεων να εκδηλώνουν υψηλότερα ποσά απορρόφησης στα 254 nm από τις αλειφατικές και μη χουμικές ενώσεις. Συνεπώς, υψηλές τιμές στη μέθοδο SUVA είναι μέτρο ότι η NOM που συμπεριλαμβάνεται στα αναλυόμενα δείγματα νερού αποτελείται κυρίως από υδρόφοβες, υψηλού μοριακού βάρους οργανικές ενώσεις, ενώ χαμηλές τιμές υποδεικνύουν περιεχόμενο που περιέχει κυρίως υδρόφιλες ενώσεις, χαμηλού μοριακού βάρους (Sillanpää et al., 2018). Κατά συνέπεια, το UV<sub>254</sub> χρησιμοποιείται ως αναπληρωματική μέτρηση για την αρωματικότητα της NOM (Pan et al., 2016).

#### 2.4.5 Χλωροφύλλη

Τα φωτοσυνθετικά μικροάλλαγη είναι ευκαρυωτικοί, μονοκύτταροι οργανισμοί με το μέγεθός τους να κυμαίνεται από μερικά έως εκατοντάδες μικρόμετρα. Έχουν τεράστια οικονομική και οικολογική σημασία καθώς πέρα από την επεξεργασία του νερού μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως ανανεώσιμες πηγές λιπιδίων, χρωστικών, πρωτεϊνών, γαλακτωματοποιητών, ενώ βρίσκουν και πολλές βιομηχανικές εφαρμογές όπως στα τρόφιμα, τα καλλυντικά κ.ά. (Lehmuskero et al., 2018).

Το φυτοπλαγκτό είναι ζωτικής σημασίας οργανισμοί που αποτελούν τη βάση της υδρόβιας τροφικής αλυσίδας. Είναι τα πρωτεύοντα βιολογικά συστατικά από τα οποία η ενέργεια μεταφέρεται σε μεγαλύτερους οργανισμούς μέσω της τροφικής αλυσίδας (Sharma et al., 2016) όπως τα ασπόνδυλα, τα ψάρια και τα οστρακοειδή, και οι φάλαινες (Bharathi et al., 2017) και είναι η κινητήρια δύναμη των βιογεωχημικών αντιδράσεων στον ωκεανό (Zheng & DiGiacomo, 2017).

Η ετήσια παραγωγή βιομάζας του φυτοπλαγκτού ανάμεσα στα οικοσυστήματα ποικίλει αρκετά κάθε χρόνο. Ανάμεσα στους διάφορους παράγοντες που επηρεάζουν τη βιομάζα του, ο σημαντικότερος φαίνεται να είναι οι μεταβολές των *θρεπτικών συστατικών* (Zhang et al., 2018). Η απόλυση των αποβλήτων θεωρείται η κύρια πηγή οργανικών και ανόργανων ρυπαντών (συμπεριλαμβανομένων των θρεπτικών) στα παράκτια οικοσυστήματα (Bharathi et al., 2017). Το άζωτο είναι απαραίτητο για την δημιουργία όλων των σημαντικών μορίων στη φύση, όπως της χλωροφύλλης. Το μοριακό άζωτο της ατμόσφαιρας πρέπει να δεσμευτεί και μαζί με το οξυγόνο και με το υδρογόνο να δημιουργήσει νέες ανόργανες ενώσεις όπως το αμμωνιακό άζωτο και τα νιτρικά, οι οποίες χρησιμοποιούνται από τα φυτά και τα ζώα (Μήτρακας, 2014).

Στα επιφανειακά νερά, η συγκέντρωση του φυτοπλαγκτού εξυπηρετεί ως ένας σημαντικός δείκτης της ποιότητας του νερού μιας και η αφθονία σε άλγη μπορεί να υποδείξει το βαθμό του ευτροφισμού σε ένα συγκεκριμένο σώμα νερού (Zheng & DiGiacomo, 2017). Η προσθήκη θρεπτικών οδηγεί στην ταχεία αναπαραγωγή για τα διάφορα είδη μικρο- και μακρο- αλγών (ευτροφισμός) (Coffin et al., 2018). Σε καθεστώς χαμηλής παραγωγικότητας, οι πηγές αδυνατούν να υποστηρίξουν τα πιο σπάνια είδη με την πληθώρα αυτών να είναι χαμηλή. Καθώς η παραγωγικότητα αυξάνεται, περισσότερα είδη μπορούν να συνυπάρχουν μέχρι το σημείο όπου ο αριθμός των ειδών αρχίζει να μειώνεται εξαιτίας του ανταγωνισμού. Σε καθεστώς υψηλής παραγωγικότητας, μόνο τα ιδιαίτερα ανταγωνιστικά είδη μονοπωλούν τις πηγές (Zhang et al., 2018).

Πέρα από τα θρεπτικά συστατικά, σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη του φυτοπλαγκτού και την κατανομή του στα παράκτια νερά παίζουν:

- Η αλκαλικότητα
- Φυσικοχημικές παράμετροι όπως:
  - Τα Ολικά Διαλυτά Στερεά TDS (Αγγλ. *Total Dissolved Solids*),
  - Το Διαλυμένο Οξυγόνο DO,
  - Το pH (Sharma et al., 2016),
  - Η θολερότητα (Bharathi et al., 2017), και
  - Η θερμοκρασία (Bouffard et al., 2018).

Τέλος, είναι και οι μεταβλητές που σχετίζονται με τις κλιματικές περιβαλλοντικές αλλαγές γιατί οφείλονται στο φαινόμενο του ευτροφισμού, όπως:

- Το διαθέσιμο φως κάτω από την επιφάνεια του νερού. Αν η έντασή του φωτός είναι χαμηλή, τότε η κυτταρική αναπνοή καταναλώνει τις οργανικές ενώσεις ταχύτερα από το ρυθμό με τον οποίο παράγονται από τη φωτοσύνθεση με αποτέλεσμα να μη συσσωρεύεται βιομάζα. Αντίθετα, αν η ένταση είναι υψηλή, δημιουργούνται

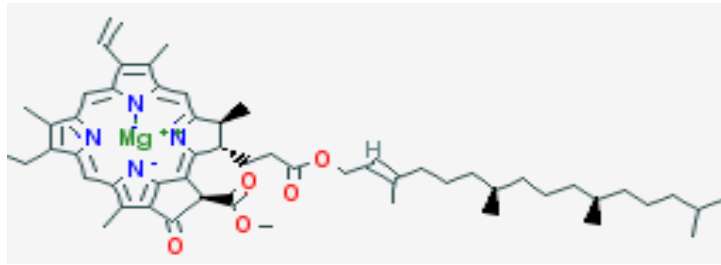
ελεύθερες ρίζες που οδηγούν στη φωτοξείδωση και σε ακραίες περιπτώσεις στο θάνατο του κυττάρου (Lehmuskero et al., 2018). Υλικά που προέρχονται από το έδαφος, όπως τα χουμικά και μεταλλικά στοιχεία πλούσια σε σίδηρο συνεισφέρουν σημαντικά στην απορρόφηση του φωτός και τη σκέδασή του στο νερό αλλά δεν ποικίλλουν ανάλογα με το φυτοπλαγκτό (Zheng & DiGiacomo, 2017). Η αύξηση του φυτοπλαγκτού περιορίζει τη διείσδυση του φωτός μέσα στο νερό και ελαττώνει την ανάπτυξη και την παραγωγικότητα των θαλάσσιων φυτών. Η αποσταθεροποίηση αυτή έχει ως αποτέλεσμα την απελευθέρωση θρεπτικών και συνεπώς μεγαλύτερη ανάπτυξη του φυτοπλαγκτού (Boyer et al., 2009).

- Η ταχύτητα του αέρα (Zhang et al., 2018).

Οι φυτικές χρωστικές είναι τα κύρια συστατικά της φωτοσύνθεσης και περιέχουν ένα δακτύλιο πορφυρίνης. Πρόκειται για ένα σταθερό μόριο κυκλικού σχήματος γύρω από το οποίο κινούνται τα ηλεκτρόνια και είναι ελεύθερα να μεταναστεύσουν. Αυτό δίνει στο δακτύλιο το πλεονέκτημα να δέχεται ή να χάνει ηλεκτρόνια εύκολα και έτσι να τροφοδοτεί με αυτά άλλα μόρια. Αυτή είναι και η βασική διαδικασία με την οποία η χλωροφύλλη 'αιχμαλωτίζει' την ηλιακή ενέργεια (<http://www.ucmp.berkeley.edu>). Καθώς η ηλεκτρομαγνητική ενέργεια ταξιδεύει μέσα από το νερό και φτάνει στο κύτταρο του μικροάλγου μετατρέπεται σε βιοχημική ενέργεια μέσω της φωτοσύνθεσης και χρησιμοποιείται για την κυτταρική αναπνοή, την ανάπτυξη και άλλες μεταβολικές διεργασίες. Οι πιο κοινές χλωροφύλλες είναι οι a, b και c, αντίστοιχα. Η απορρόφηση της κάθε χρωστικής συνδέεται στενά με το μήκος κύματος (Lehmuskero et al., 2018).

Στην πράξη, η βιομάζα του φυτοπλαγκτού μετρείται με ένα πρόδρομο, π.χ. με τη μέτρηση της συγκέντρωσης της χλωροφύλλης α (*Chl-a*) (Zheng & DiGiacomo, 2017) (Σχήμα 9). Το μοριακό της βάρος είναι 893,509 g/mol και ο χημικός της τύπος  $C_{55}H_{72}MgN_4O_5$ . Πρόκειται για μία πράσινη χρωστική που συναντάται στα περισσότερα φυτά, άλγη και κυανοβακτήρια. Η απορρόφηση του φωτός από αυτήν είναι ιδιαίτερα έντονη στις περιοχές του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος όπως οι μπλε και οι κόκκινες και λιγότερο στις πράσινες, κάτι που εξηγεί το πράσινο χρώμα των ιστών των φυτών που περιέχουν τη χρωστική. Η χλωροφύλλη είναι συνδεδεμένη με τις πρωτεΐνες και μπορεί να μεταφέρει την απορροφούμενη ενέργεια στην επιθυμητή κατεύθυνση (<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov>).

Όπως αναφέρθηκε, η Chl-a μεταφέρει τα φορτισμένα ηλεκτρόνια της σε μόρια τα οποία θα παράξουν σάκχαρα (<http://www.ucmp.berkeley.edu>). Συγκεκριμένα, μεταφέρονται στα μόρια του νερού οδηγώντας στο σχηματισμό ιόντων υδρογόνου και οξυγόνου, με το τελευταίο να απομακρύνεται ως παραπροϊόν. Τα ιόντα υδρογόνου από την άλλη, μεταφέρονται μέσω της θυλακοειδούς μεμβράνης των φυτών για τη φωσφορυλίωση της διφωσφορικής αδενοσίνης (ADP) σε τριφωσφορική αδενοσίνη (ATP). Αυτή με τη σειρά της, μειώνει σταδιακά ένα συνένζυμο, το NADP, σε  $NADPH_2$ , που είναι και αυτό που χρησιμοποιείται για να μετατρέψει το  $CO_2$  σε σάκχαρα (<https://sciencing.com>).



**Σχήμα 9:** Μόριο της Χλωροφύλλης α (Chl-a) (Πηγή: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov>).

Η Chl-a είναι μια διαδεδομένη φωτοσυνθετική χρωστική που είναι παρούσα σε όλα τα είδη των αλγών (Zheng & DiGiacomo, 2017) και από τη βιβλιογραφία έχει αποδειχθεί ότι είναι δείκτης της παραγωγικότητας του φυτοπλαγκτού στα παράκτια συστήματα (Coffin et al., 2018) και της τροφικής κατάστασης των εκβολών, των επιφανειακών νερών και των νερού των ωκεανών. Η Chl-a είναι ένας καλός δείκτης για τη γενική εικόνα της ποιότητας του νερού που σχετίζεται με παραμέτρους όπως το άζωτο και ο φωσφόρος, την άνθιση του φυτοπλαγκτού, το διαλυμένο οξυγόνο, το ρυθμό καθίζησης αλλά και τις τοξίνες (Boyer et al., 2009). Είναι σχετικά πιο εύκολο να μετρηθεί σχετικά με τη συγκέντρωση των φυκών. Το βασικό της μειονέκτημα είναι η μεγάλη μεταβλητότητα του κυτταρικού περιεχομένου σε χλωροφύλλη ανάλογα με το είδος των φυκών. Σε μεμονωμένες περιπτώσεις αναμένεται να υπάρχει μεγάλη μεταβλητότητα η οποία εξαρτάται από τη συγκέντρωση των θρεπτικών, το φως και τη σύνθεση των διαφόρων ειδών (Boyer et al., 2009). Μέσω της Chl-a λαμβάνονται αποτελέσματα τα οποία αναλύονται και δίνουν πληροφορίες οι οποίες καθορίζουν την κατανομή του μεγέθους του φυτοπλαγκτού (Lehmuskero et al., 2018).

#### 2.4.6 pH

Διάφοροι είναι οι παράγοντες οι οποίοι μπορούν να επηρεάσουν το pH στα επιφανειακά νερά. Παρακάτω αναφέρονται οι σημαντικότερες από αυτές.

- Η *γεωχημεία*. Το νερό στο ποτάμι αντιδρά με τα ιζήματα και με την ατμόσφαιρα (ανταλλαγή CO<sub>2</sub>). Αυτές οι αντιδράσεις καθορίζουν το pH του ποταμού. Όταν ένα ποτάμι συναντιέται με ένα άλλο, το τελικό pH καθορίζεται όχι μόνο από τη διαδικασία ανάμιξης αλλά και από την καινούρια ισορροπία του νερού με το CO<sub>2</sub> της ατμόσφαιρας (Manahan, 2011).
- Η *κλιματική αλλαγή*. Μπορεί να επηρεάσει έμμεσα ή άμεσα την ποιότητα του νερού στους ποταμούς. Για παράδειγμα, η αύξηση των εκπομπών CO<sub>2</sub> έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της συγκέντρωσης αυτού στα επιφανειακά νερά που καθορίζει τη μείωση του pH, επηρεάζοντας λοιπόν την ποιότητα του νερού (Dragoi et al., 2018).
- Η *φωτοσύνθεση*. Κατά τη διάρκεια της φωτοσύνθεσης, υδρόβιοι φυτικοί οργανισμοί είναι δυνατόν να απομακρύνουν αρκετό CO<sub>2</sub>, με αποτέλεσμα να αυξηθεί το pH, σε σημείο ώστε να σχηματισθεί αδιάλυτο ανθρακικό ασβέστιο (Μήτρακας, 2014).

## 2.5 Μέθοδοι απομάκρυνσης της οργανικής ύλης από το νερό

Τα αυξανόμενα ποσοστά της συγκέντρωσης της NOM είναι ένα μεγάλο στοίχημα όχι μόνο για την απομάκρυνση της οργανικής ύλης από το νερό, αλλά και για την επίδοση, επίσης, της απομάκρυνσης των οργανικών και ανόργανων ρυπαντών (Sillanpää et al., 2018). Η απομάκρυνση της NOM είναι αναγκαία λόγω:

1. Της αρνητικής επίδρασης στην ποιότητα του νερού (χρώμα, οσμή, γεύση).
2. Της αυξημένης περιεκτικότητας σε θρομβωτικά και απολυμαντικά.
3. Του κινδύνου για την ανθρώπινη υγεία από το σχηματισμό παραπροϊόντων απολύμανσης.
4. Της απορρόφησης βαρέων μετάλλων από την οργανική ύλη (Albrektienė et al., 2012).
5. Επηρεάζει έντονα τη δομή του εδάφους και την κατακράτηση του νερού, την απομόνωση και κινητοποίηση των οργανικών και ανόργανων ειδών, και την οξειδωτική ή αναγωγική μετατροπή των οργανικών μορίων (Nanda et al., 2018).
6. Έχει ταυτοποιηθεί ως ένας από τους παράγοντες που καταστρέφουν τις μεμβράνες γιατί φράσσουν τους πόρους και σχηματίζουν ένα στρώμα πλακούντα (Sillanpää et al., 2018).

Η NOM επηρεάζει σημαντικά πολλές πτυχές της επεξεργασίας του νερού κυρίως για το κόστος και την αποτελεσματικότητα του καθαρισμού του (Bhatnagar & Sillanpää, 2017), επομένως η επιλογή της κατάλληλης τεχνολογίας είναι μείζον ζήτημα (Levchuk et al., 2018). Τα υδρόφοβα τμήματα της NOM με υψηλό μοριακό βάρος βρέθηκε ότι είναι πιο ενεργά στην αντίδραση με το χλώριο, ενώ τα υδρόφιλα τμήματα με μικρό μοριακό βάρος είναι λιγότερο ενεργά (Pan et al., 2016). Διάφορες έρευνες πάνω στη φυσική οργανική ύλη (NOM) έχουν τονίσει τη σημασία των βιοπολυμερών (π.χ. πρωτεΐνες, πολυσακχαρίτες κ.ά.) για την ανεπιθύμητη βιολογική δραστηριότητα στα δίκτυα διανομής και τις μονάδες επεξεργασίας του νερού (Hijnen et al., 2018). Αλλαγές στην ποιότητα και την ποσότητα της NOM επηρεάζουν σημαντικά την επιλογή, το σχεδιασμό και τη λειτουργία των μονάδων επεξεργασίας νερού (Särkkä et al., 2015).

Οι πιο κοινές χρησιμοποιούμενες μέθοδοι είναι οι Εφαρμοσμένες Μέθοδοι Οξειδωσης AOPs (Αγγλ. Advanced Oxidation Processes), η προσρόφηση, η πήξη, οι βιολογικές μέθοδοι, η διήθηση μέσω μεμβρανών και η ιοντοανταλλαγή, με την τελευταία να κερδίζει σημαντικό έδαφος τα τελευταία 10 χρόνια τόσο από τους επιστήμονες όσο και από τη βιομηχανία (Levchuk et al., 2018). Οι πιο συνήθεις τεχνικές οι οποίες χρησιμοποιούνται για την ανάλυση οργανικών ενώσεων στο νερό, όπως είναι για παράδειγμα οι πτητικές οργανικές ενώσεις και οι ημιπτητικές οργανικές ενώσεις είναι η αέρια χρωματογραφία GC (Αγγλ. Gas Chromatography) και η υγρή χρωματογραφία υψηλής απόδοσης HPLC (High Performance Liquid Chromatography). Το αρνητικό με αυτές τις τεχνικές όμως είναι ότι επικεντρώνονται σε μία ένωση ή σε μία ομάδα ενώσεων (Ribeiro et al., 2017).

### 2.5.1 Εγκαταστάσεις επεξεργασίας νερού Θεσσαλονίκης

Η λήψη του νερού από τον Αλιάκμονα ξεκινά από τη θέση Βαρβάρες, 40 περίπου χιλιόμετρα από τις εκβολές του ποταμού. Με ενωτική διώρυγα το νερό μεταφέρεται με ελεύθερη ροή μέχρι τον Αξίο σε μήκος 50 χιλιομέτρων, για να καταλήξει στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας νερού (διυλιστήριο) (<http://www.eyath.gr>). Το καθαρό πόσιμο νερό καταλήγει σε δεξαμενή χωρητικότητας 75.000 κ.μ. και διανέμεται μέσω δικτύου αγωγών μήκους 36 χιλιομέτρων στις υφιστάμενες δεξαμενές ύδρευσης Διαβατών, Ευόσμου, Πολίχνης, Νεάπολης, Βλατάδων, Τούμπας και Καλαμαριάς, καθώς και στη ΒΙ.ΠΕ.Θ. (<http://www.eydeael.gr>). Η δυναμικότητα εγκαταστάσεων είναι 150.000 m<sup>3</sup> ανά μέρα (<https://el.aktor.gr>).

Τα στάδια επεξεργασίας νερού είναι τα ακόλουθα:

### **Είσοδος νερού στη δεξαμενή Δ2**

Από το αντλιοστάσιο της Σίνδου, μέσω ωθητικού αγωγού μήκους 5 χλμ., τροφοδοτείται η δεξαμενή Δ2 (**Σχήμα 10**) χωρητικότητας 4.500 κ.μ. Η δεξαμενή είναι ρυθμιστική για τη λειτουργία των εγκαταστάσεων.



**Σχήμα 10:** Δεξαμενή Δ2

### **Προοζόνωση – διόρθωση pH – ταχεία ανάμιξη**

Το προς επεξεργασία νερό εισέρχεται στις δεξαμενές προοζόνωσης, όπου έρχεται σε επαφή με το όζον (O<sub>3</sub>) το οποίο παράγεται στη μονάδα οζόνωσης. Οι δεξαμενές προοζόνωσης είναι αεροστεγώς καλυμμένες και η περίσσεια αέρα - όζοντος οδηγείται σε καταστροφή. Οι δεξαμενές είναι δύο σε επαφή (μία σε λειτουργία στην παρούσα φάση), έχουν ωφέλιμο όγκο 165 κ.μ. η καθεμία και ο μέσος χρόνος παραμονής είναι 1,5 min. Στη συνέχεια το νερό οδηγείται στις δεξαμενές διόρθωσης pH, η οποία γίνεται με προσθήκη διαλύματος H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 98%. Η ρύθμιση του pH γίνεται αυτόματα. Οι δεξαμενές διόρθωσης είναι δύο σε επαφή (μία σε λειτουργία στην παρούσα φάση), έχουν ωφέλιμο όγκο 325 κ.μ. η καθεμία και ο μέσος χρόνος παραμονής είναι 3 min. Το νερό εισέρχεται στις δεξαμενές ταχείας ανάμιξης όπου επιτυγχάνεται η πλήρης ανάμιξη και διασπορά του προστιθέμενου διαλύματος κροκιδωτικού (θειικό αργίλιο, Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>). Κύριος στόχος είναι η οξειδωση φυσικού οργανικού φορτίου, η απολύμανση, η μείωση αλγών και η επίτευξη βέλτιστων συνθηκών για τη λειτουργία της κροκιδοκαθίζησης (<http://www.eyath.gr>).

Οι AOPs έχουν τραβήξει το ενδιαφέρον των βιομηχανιών πόσιμου νερού ως ένα επιπλέον εργαλείο απομάκρυνσης της NOM και ελαχιστοποίησης του κινδύνου σχηματισμού DBPs



(Lamsal et al., 2011). Πρόκειται για συνδυασμό οξειδωτικών, κυρίως όζοντος ( $O_3$ ) και/ή υπεροξειδίου του υδρογόνου ( $H_2O_2$ ), με διάφορους καταλύτες και/ή ακτινοβολία (UV, φυσικό και τεχνητό φως). Η NOM απομακρύνεται αφού αποικοδομηθεί και αυτό επιτυγχάνεται με την παραγωγή υψηλών ποσοτήτων ριζών υδροξυλίου ( $HO\cdot$ ) είτε από φωτόλυση, οζονισμό, ακτινοβολία ή υπεροξειδίου του υδρογόνου. Οι παραγόμενες ρίζες υδροξυλίων αποτελούν έντονα ενεργά κέντρα που αντιδρούν τυχαία με οργανικά μόρια μέσω των εξής μηχανισμών:

1. Αφαίρεση του υδρογόνου από αλειφατικά άτομα άνθρακα που οδηγούν σε σχηματισμό ανθρακούχων ριζών.
2. Προσθήκη ηλεκτρονίων στο διπλό δεσμό των αρωματικών δακτυλίων.
3. Αντιδράσεις μεταφοράς ηλεκτρονίων, όπου η  $HO\cdot$  αποσπά ένα ηλεκτρόνιο από έναν οργανικό υποκαταστάτη. Αυτό πυροδοτεί μια σειρά αλυσιδωτών αντιδράσεων καθώς οι παραγόμενες οργανικές ρίζες συνεχίζουν να αντιδρούν (Sillanpää et al., 2018). Οι  $HO\cdot$  αντιδρούν επίσης με τα ανθρακικά και διττανθρακικά ιόντα που υπάρχουν στη φυσική σύσταση του νερού μειώνοντας τη συγκέντρωση των ριζών που είναι διαθέσιμες για την οξείδωση της NOM. Ωστόσο, νερά με χαμηλή αλκαλικότητα αναμένεται να έχουν αμελητέα επίδραση στην τελική συγκέντρωση των ριζών λόγω της μικρής συγκέντρωσης των παραπάνω ιόντων (Lamsal et al., 2011).

#### **Κροκίδωση – καθίζηση:**

Οι δεξαμενές κροκίδωσης - καθίζησης είναι τρεις, κυκλικές, διαμέτρου 30 μ. και πλευρικού βάθους 4 μ (**Σχήμα 11**). Στο κέντρο κάθε δεξαμενής διαμορφώνεται ομόκεντρη κυλινδρική δεξαμενή κροκίδωσης εσωτερικής διαμέτρου 9,60 μ. και ωφέλιμου όγκου 330 κ.μ. Το νερό εισέρχεται από τον πυθμένα του θαλάμου κροκίδωσης και έρχεται σε επαφή με διάλυμα πολυηλεκτρολύτη, με σκοπό τη δημιουργία μεγαλύτερων συσσωματωμάτων και τη διαύγαση του νερού. Το αιώρημα νερού - νιφάδων από το θάλαμο κροκίδωσης υπερχειλίζει στην κυρίως δεξαμενή καθίζησης, όπου επικρατούν συνθήκες ηρεμίας, και οι νιφάδες ιλύος καθιζάνουν, ενώ το διαυγασμένο νερό ακολουθεί ανοδική πορεία. Ο πυθμένας κάθε δεξαμενής έχει κλίση 1:8, ώστε να διευκολύνεται η μεταφορά της καθιζάνουσας ιλύος προς το κέντρο. Η σάρωση της ιλύος και των επιπλεόντων γίνεται με μηχανισμό γερανογέφυρας (<http://www.eyath.gr>).

Η κροκίδωση είναι μία φυσικοχημική διαδικασία που σκοπό έχει να μειώσει τις απωστικές δυνάμεις του ηλεκτρικού φορτίου στη διεπιφάνεια των κολλοειδών με τη χρήση διάφορων θρομβωτικών μέσων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τα κολλοειδή μικροσωματίδια να αρχίζουν να συσσωματώνονται σε μεγαλύτερα σωματίδια. Χρησιμοποιείται στην επεξεργασία του νερού για να μειώσει το χρώμα και τη θολρότητα αλλά και για να απομακρύνει τα αιωρούμενα σωματίδια και τα παθογόνα. Οι δύο κύριες παράμετροι που επηρεάζουν την πήξη είναι το pH καθώς και η δόση και ο τύπος του θρομβωτικού που χρησιμοποιείται. Στην πράξη, η απόδοση της NOM βασίζεται από τη μία στον τύπο και δόση του θρομβωτικού, το pH, την ανάμιξη και τη θερμοκρασία και από την άλλη, από τις ιδιότητες της NOM όπως το μέγεθος του μορίου, την υδροφοβικότητα, τη φόρτιση αλλά και την παρουσία δισθενών κατιόντων και αποσταθεροποιημένων ανιόντων όπως διττανθρακικά, χλωριούχα και θειικά ιόντα (Sillanpää et al., 2018). Στον **Πίνακα 4** παρουσιάζονται αναλυτικά οι κυριότεροι τύποι

κροκιδωτικών ενώ γίνεται και αναφορά των προτερημάτων και ελαττωμάτων που παρουσιάζει ο καθένας από αυτούς.



**Σχήμα 11:** Δεξαμενές κροκίδωσης και καθίζησης (Πηγή: <http://www.eydeael.gr>)

#### **Διύλιση μέσω κλινών άμμου**

Η διύλιση γίνεται σε κλίνες διύλισης βαρύτητας, υψηλής ταχύτητας φόρτισης (**Σχήμα 12**). Υπάρχουν εννέα δίδυμες κλίνες μονοστρωματικού διυλιστικού μέσου (άμμος) και δύο μονές κλίνες διστρωματικού μέσου (άμμος - ανθρακίτης). Οι δίδυμες κλίνες έχουν ολική επιφάνεια φίλτρανσης 78,75 τ.μ., πλάτος 2x3,15 μ. και μήκος 12,50 μ. η καθεμία. Όταν ολοκληρώνεται ένας κύκλος διύλισης και η κλίνη είναι πλέον κορεσμένη, υποβάλλεται σε αυτόματη διαδικασία έκπλυσης με νερό και αέρα. Το διυλισμένο νερό οδηγείται στη δεξαμενή καθαρού νερού, ωφέλιμου όγκου 393 κ.μ., από την οποία εξυπηρετούνται τα αντλιοστάσια έκπλυσης των κλινών άμμου και ενεργού άνθρακα και διάφορες άλλες βοηθητικές λειτουργίες. Εδώ κύριος στόχος είναι η μείωση των αιωρούμενων στερεών (θολότητα) (<http://www.eyath.gr>).



**Σχήμα 12:** Αριστερά: Δίδυμες κλίνες άμμου και δεξιά: μονές κλίνες άμμου-ανθρακίτη (Πηγή: <http://www.eydeael.gr>)

**Πίνακας 4:** Οι κυριότερες κατηγορίες κροκιδωτικών. Με +: αναφέρονται τα πλεονεκτήματα και με -: τα μειονεκτήματα αυτών, αντίστοιχα (Πηγή: Sillanpää et al., 2018).

	<b>Με βάση το αργίλιο</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>Al_2(SO_4)_3</math></li> <li>• <math>AlCl_3</math></li> <li>• <math>NaAlO_2</math></li> </ul>	<p>+: Χαμηλό κόστος Απομάκρυνση θολερότητας χρώματος</p>	<p>και -: Κίνδυνος για την ανθρώπινη υγεία λόγω υπολειμματικού αργιλίου Σημαντικός παράγοντας το pH Δόση θρομβωτικού Χαρακτηριστικά NOM</p>
<b>Άλατα μετάλλων</b>	<b>Με βάση το σίδηρο</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>Fe_2(SO_4)_3</math></li> <li>• <math>FeSO_4</math></li> <li>• <math>FeCl_3</math></li> </ul>	<p>+: Αποτελεσματικότερη απομάκρυνση της NOM από τα άλατα με βάση το αργίλιο</p>	<p>-: Σημαντικός παράγοντας το pH Δόση θρομβωτικού Χαρακτηριστικά NOM</p>
	<b>Με βάση το ζιρκόνιο</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>ZrCl_4</math></li> <li>• <math>Zr(SO_4)_2</math></li> </ul>	<p>+: Ιδανικά για την απομάκρυνση μορίων οργανικών ενώσεων μικρού ή μεσαίου μοριακού βάρους</p>	<p>-: Δεν είναι ιδιαίτερα διαδεδομένα</p>
	<b>Φυσικά</b>	<p>Βιοθρομβωτικά που παραλαμβάνονται από χερσαία φυτά, υδρόβια είδη και μικροοργανισμούς π.χ. χιτοζάνη και αυτά με βάση τις ταννίνες</p>		
<b>Πολυμερή</b>	<b>Ανόργανα</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• PA</li> <li>• PFC</li> <li>• PFS</li> <li>• PAFS</li> <li>• PFZS</li> <li>• PPAC</li> </ul>	<p>+: Αποτελεσματικότερη απομάκρυνση της NOM από τα άλατα των μετάλλων</p>
	<b>Συνθετικά</b>	<b>Οργανικά (πρόκειται κυρίως για κατιονικούς ηλεκτρολύτες)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Διμεθυλαμίνη</li> <li>• p-DADMAC</li> <li>• CPAM</li> </ul>	<p>+: Λιγότερη δόση Λιγότερη παραγωγή λάσπης Μικρότερη εξάρτηση από το pH -: Επιπλοκές στην υγεία από υπολειμματικά μονομερή και παραπροϊόντα</p>

### **Κλίνες ενεργού άνθρακα (GAC) – μονάδα αναγέννησης**

Το συγκρότημα κλινών ενεργού άνθρακα περιλαμβάνει οκτώ δίδυμες κλίνες, πλάτους 2x3,15 μ., μήκους 12,50 μ. και βάθους στρώματος 2,50 μ. η καθεμία. Ο καθαρισμός των κλινών γίνεται μέσω προγράμματος έκπλυσης αέρα - νερού. Κύριος στόχος είναι η προσρόφηση και βιοαποικοδόμηση οργανικών ουσιών κι η απομάκρυνση της οσμής - γεύσης. Για την αύξηση της ικανότητας του άνθρακα να προσροφά οργανικές ενώσεις, ο GAC αναγεννάται σε ειδική μονάδα με θέρμανση, σε πολύ υψηλή θερμοκρασία. Τα κύρια στάδια της θερμικής αναγέννησης είναι:

1. Ξήρανση του υγρού άνθρακα,
2. Εκρόφηση των πτητικών προσροφημένων ουσιών,
3. Αεριοποίηση και διάσπαση σε ασταθή προϊόντα,
4. Πυρόλυση των μη πτητικών ουσιών,
5. Οξειδωση
6. Αεριοποίηση των παραπροϊόντων της πυρόλυσης (<http://www.eyath.gr>)

Η προσρόφηση, θεωρείται γενικά μία από τις καλύτερες τεχνολογίες επεξεργασίας νερού λόγω της ευκολίας της λειτουργία της και της απλότητας του σχεδιασμού της. Ως προσρόφηση ορίζεται η διαδικασία μεταφορά μάζας που περιλαμβάνει τη συσσώρευση των στοιχείων στη διεπιφάνεια των δύο φάσεων, όπως υγρή-υγρή, αέρια-υγρή, αέρια-στερεή ή υγρή-στερεή διεπιφάνεια. Ως προσροφητές χρησιμοποιούνται διάφορες ενώσεις όπως ενεργός άνθρακας υπό μορφή κόκκων, σκόνης ή τροποποιημένος, σωματίδια οξειδίου του σιδήρου, χιτοζάνη, σύνθεση χιτοζάνης/ζεόλιθου, ιοντοανταλλακτικές ρητίνες κ.ά. Σε μερικές περιπτώσεις, μετατροπές στη φύση του προσροφητικού μέσου συνεπάγεται μεγαλύτερο ποσοστό απομάκρυνσης της NOM (Bhatnagar & Sillanpää, 2017)

Η *ιοντοανταλλαγή* είναι μία διαδικασία αναστρέψιμης ανταλλαγής ιόντων μεταξύ μίας στερεής και μίας υγρής φάσης. Η στερεή φάση καλείται *ιοντοανταλλακτική ρητίνη* και είναι αδιάλυτη στην υγρή φάση, φέρει τα ανταλλάξιμα ιόντα και δεν υφίσταται σημαντικές μεταβολές στη δομή της κατά την αντίδραση. Ανάλογα με τα ιόντα που φέρουν διακρίνονται σε ανιονικές και κατιονικές. Μπορεί να είναι φυσικές ή συνθετικές αν και οι τελευταίες προτιμώνται περισσότερο. Μπορεί να είναι ασθενώς (λειτουργική ομάδα καρβοξυλικών οξέων) ή ισχυρά (στυρόλιο, σουλφονικό οξύ, DVB ή διβινυλοβενζόλιο) όξινης ή ασθενώς (φαινολο-φορμαλδεΰδες ή εποξειδικά υλικά) ή ισχυρά (τρεις μεθυλομάδες ή μία ομάδα αιθανόλης αντικαθιστά μία μεθυλομάδα της πρώτης ρητίνης) βασικές ή ακόμα και χηλικές ρητίνες επιλεκτικές ως προς τα μέταλλα (EDTA). Οι προϋποθέσεις που πρέπει να καλύπτει είναι: υδροφιλικότητα, φυσική και χημική σταθερότητα, σχετικά υψηλή ταχύτητα ανταλλαγής ιόντων, επαρκή ιοντοανταλλακτική χωρητικότητα, επαρκή επιφάνεια για την εφαρμογή και οικονομική βιωσιμότητα (Levchuk et al., 2018).

### **Χλωρίωση**

Η χλωρίωση του νερού γίνεται μέσω δύο γραμμών. Ο κυριότερος εξοπλισμός είναι: ζεύγος διασυνδεόμενων κυλίνδρων χλωρίου, ζυγιστική διάταξη, εξατμιστής, ρυθμιστής κενού, χλωριωτής και εγχυτής χλωρίου, ανιχνευτές και πύργος εξουδετέρωσης διαρροών. Κύριος στόχος είναι η καταστροφή των παθογόνων οργανισμών, η παρεμπόδιση της ανάπτυξης μικροβιολογικής ρύπανσης στη δεξαμενή εξόδου Δ3 και η εξασφάλιση υπολειμματικού χλωρίου στο δίκτυο διανομής (<http://www.eyath.gr>).

### Διόρθωση pH με προσθήκη υδρασβέστου

Η παραγωγή του κορεσμένου διαλύματος ασβέστου γίνεται σε δύο στάδια. Αρχικά, παράγεται γαλάκτωμα με διαλυτοποίηση σκόνης υδρασβέστου και στη συνέχεια δημιουργείται κορεσμένο διάλυμα στη δεξαμενή κορεσμού - καθίζησης. Κύριος στόχος, η διόρθωση pH σε καθορισμένες τιμές για την αποφυγή ανεπιθύμητων επικαθίσεων στο δίκτυο διανομής (<http://www.eyath.gr>).

### Έξοδος – αποθήκευση

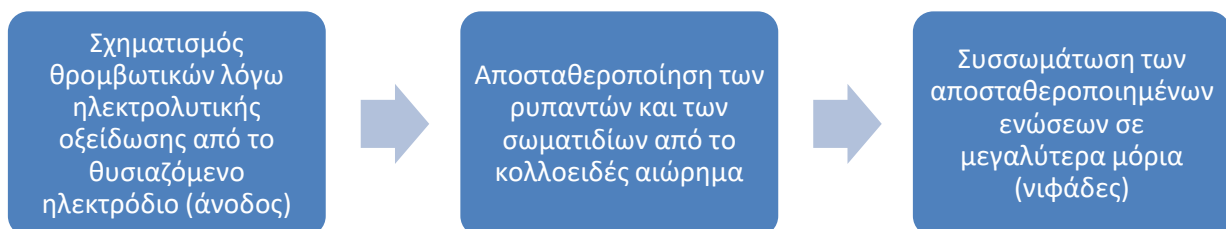
Στο τελικό στάδιο το επεξεργασμένο νερό εισέρχεται στους δύο θαλάμους της δεξαμενής εξόδου Δ3. Η συνολική χωρητικότητα της Δ3 είναι περίπου 80.000 κ.μ. (<http://www.eyath.gr>).

## 2.5.2 Ηλεκτροχημικές τεχνολογίες

Οι ηλεκτροχημικές τεχνολογίες για τον καθαρισμό και την απολύμανση του νερού έχουν προσελκύσει το ενδιαφέρον τα τελευταία χρόνια. Περιλαμβάνουν την ηλεκτροπήξη, ηλεκτροεπίπλευση και την ηλεκτροξείδωση. Οι ηλεκτροχημικές μέθοδοι είναι καινοτόμες, οικονομικές και αποτελεσματικές για τον καθαρισμό των αποβλήτων των βιομηχανιών προτού απολυθούν στα υδάτινα συστήματα, ενώ φαίνεται να είναι πιο αποτελεσματικές έναντι κάποιων τοξικών και ανθεκτικών οργανικών ρυπαντών σχετικά με τις παραδοσιακές μεθόδους. Καλούνται επίσης και 'πράσινες' τεχνολογίες καθώς δεν απαιτείται χρήση χημικών για τη διευκόλυνση της επεξεργασίας του νερού (Särkkä et al., 2015), το λειτουργικό κόστος είναι βιώσιμο ενώ μειώνεται και η παραγόμενη ύλη (Sillanpää et al., 2018).

Στην *ηλεκτροπήξη* συμβαίνουν ταυτόχρονα διάφορες ηλεκτροχημικές αντιδράσεις στις ανόδους και τις καθόδους. Αυτές μπορούν αν διαχωριστούν στους κύριους μηχανισμούς αποσταθεροποίησης των ρυπαντών, και διάφορες παράπλευρες αντιδράσεις όπως το σχηματισμό υδρογόνου. Τα ηλεκτρόδια που παράγουν πηκτικά μέσα στο νερό είναι κατασκευασμένα είτε από αλουμίνιο είτε από σίδηρο. Επιπλέον, μπορεί να υπάρχουν αδρανή ηλεκτρόδια, κάθοδοι, που μερικές φορές χρησιμοποιούνται μέσα στο σύστημα ως αντίθετα ηλεκτρόδια (Särkkä et al., 2015).

Μία ακόμη μέθοδος είναι η *ηλεκτροκροκίδωση* η οποία πραγματοποιείται σε τρία στάδια, όπως φαίνεται στο **Σχήμα 13**.



**Σχήμα 13:** Τα στάδια της ηλεκτροκροκίδωσης για την απομάκρυνση της οργανικής ύλης (Πηγή: Sillanpää et al., 2018).

## 2.6 Τοξικότητα

Επαρκείς ποσότητες κατάλληλων ποιοτικά πηγών νερού είναι προϋπόθεση για την οικονομική ανάπτυξη και την οικολογική ακεραιότητα (Wu et al., 2018). Οι ποταμοί αποτελούν μία από τις κυριότερες πηγές τροφοδοσίας νερού για οικιακή, βιομηχανική και αρδευτική χρήση (Wu et al., 2018). Ωστόσο, διάφοροι παράγοντες επηρεάζουν την ποιότητά τους όπως οι φυσικές διεργασίες (φθορά λόγω των καιρικών συνθηκών, κατακρημνίσεις, διάβρωση του εδάφους κλπ.), ανθρωπογενείς δραστηριότητες (γεωργία, αστικές και βιομηχανικές δραστηριότητες) και η όλο και αυξανόμενη χρήση των πηγών τους (Wu et al., 2018).

Το υδάτινο περιβάλλον μπορεί να περιέχει ένα μεγάλο εύρος από μικρορυπαντές, όπως φάρμακα, φυτοφάρμακα και ζιζανιοκτόνα. Η παρουσία των παραπάνω, συμπεριλαμβανομένων χημικών ουσιών που προκαλούν ενδοκρινικές διαταραχές, στο νερό του περιβάλλοντος, είναι πιθανό να έχουν δυσμενείς επιπτώσεις τόσο στην ανθρώπινη όσο και την οικολογική υγεία (Leusch et al., 2018). Η επιδείνωση της ποιότητας του νερού είναι μείζον ζήτημα παγκοσμίως με 1,1 δις ανθρώπους να μην έχουν πρόσβαση σε μία αξιόπιστη πηγή πόσιμου νερού, σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (WHO) (Wu et al., 2018). Λόγω της χημικής πολυπλοκότητας των επιφανειακών νερών και τα περιορισμένα δεδομένα που διατίθενται για την τοξικότητα τόσο των μεμονωμένων όσο και τον συνδυασμό των χημικών, η εκτίμηση των πιθανών αρνητικών επιπτώσεων αυτών στο οικοσύστημα και τον άνθρωπο, αποτελεί πρόκληση (Rosenmai et al., 2018).

### 2.6.1 Φυσική οργανική ύλη

Το κλάσμα της NOM στο νερό, κυρίως τα χουμικά και φουλβικά οξέα, έχουν την ικανότητα να δημιουργούν ισχυρά σύμπλοκα με βαρέα μέταλλα με αποτέλεσμα να δημιουργούνται *οργανομεταλλικά συμπλέγματα* που επηρεάζουν τη μεταφορά, βιοδιαθεσιμότητα και τοξικότητα αυτών των ενώσεων (Sillanpää et al., 2018). Τα βαρέα μέταλλα είναι τοξικά, έχουν υψηλή υδρόβια βιο-τοξικότητα, βιομεγεθύνονται και μερικά από αυτά προκαλούν καρκίνο στον άνθρωπο. Παράδειγμα αποτελεί η ρύπανση με χαλκό, η τοξική μορφή του οποίου είναι το  $Cu^{2+}$  (Μήτρακας, 2014).

Η NOM δεν είναι εγγενώς τοξική, όμως η παρουσία της στο νερό, ιδιαίτερα στις πηγές του πόσιμου νερού, είναι επιβλαβής (Sillanpää et al., 2018) γιατί επηρεάζει τα *αισθητικά χαρακτηριστικά* του όπως το χρώμα, την οσμή και τη γεύση (Levchuk et al., 2018). Η γεύση του νερού μπορεί να οφείλεται στην παρουσία οργανικών ενώσεων που είναι διαλυμένες σε αυτό. Για παράδειγμα ενώσεις οι οποίες παράγονται από κυανοβακτήρια, οι κυανοτοξίνες, επιδρούν αρνητικά στη γεύση και την ασφάλεια του πόσιμου νερού, επομένως η ανίχνευσή τους είναι βασικός παράγοντας του ποιοτικού ελέγχου του (Ribeiro et al., 2017). Τα θειικά σε μεγάλες συγκεντρώσεις έχουν καθαρτική δράση και σαν ανώτατο όριο ορίστηκαν τα 250 mg/L γιατί πάνω από τα 400 προσδίδουν γεύση στο νερό. Τέλος, η αμμωνία αν και δεν παρουσιάζει κίνδυνο για την υγεία, εντούτοις δίνει άσχημη γεύση στο νερό. Όταν διαλυθεί στο νερό αντιδρά με αυτό σχηματίζοντας ιόντα  $NH_4^+$ . Στα επιφανειακά νερά η ύπαρξή της οφείλεται κατά κανόνα σε ρύπανση (Μήτρακας, 2014).

Πέρα από τα προβλήματα στα αισθητικά χαρακτηριστικά, η ΝΟΜ προκαλεί προβλήματα και κατά την επεξεργασία του νερού καθώς μπορεί να αντιδράσει με διάφορα χημικά που χρησιμοποιούνται κατά την επεξεργασία. Κατά την απολύμανση του νερού όταν χρησιμοποιούνται απολυμαντικά όπως το χλώριο, το διοξείδιο του χλωρίου και το όζον, περίπου 700-900 παραπροϊόβτα απολύμανσης DBPs (Αγγλ. *Disinfection By-Products*) μπορούν να σχηματιστούν (Levchuk et al., 2018). Οργανικές ενώσεις υψηλού μοριακού βάρους διασπώνται σε ενώσεις χαμηλότερου μοριακού βάρους που είναι άμεσα τοξικές, όπως το υποχλωριώδες νάτριο. Οι διχλωραμίνες και η αιθανολαμίνη που προκύπτουν μετά την απολύμανση με χλώριο είναι άμεσα τοξικές, με τις μονοχλωραμίνες να είναι λιγότερο ενεργές και το υποχλωριώδες οξύ καθόλου ενεργό. Άλλα παραπροϊόντα της απολύμανσης είναι οι χλωροφαινόλες, το χλωροβενζόλιο, το νιτροβενζόλιο, τα τριαλομεθάνια (THMs), τα αλογονοξέα (HAAs), τα αλογονοκετονιτρίλια, οι αλογονοκετόνες, οι αλογοναλδεΐδες και οι αλογονωμένες φουρανόνες (Bhatnagar & Sillanpää, 2017). Τα τελευταία χρόνια αρκετός είναι ο αριθμός των αρωματικών αλογονωμένων DBPs στο χλωριωμένο πόσιμο νερό και σε απόβλητα και βρέθηκαν να καθιστούν μεγαλύτερο κίνδυνο για την ανάπτυξη τοξικότητας από ότι τα αλειφατικά αλογονωμένα DBPs (Bhatnagar & Sillanpää, 2017).

Τα αμινοξέα που είναι παρόντα στα φυσικά νερά αντιδρούν με ίσες ποσότητες χλωρίου για να σχηματίσουν γενοτοξικές αλδεΐδες και νιτρίλια. Ενώσεις που δεν είναι εγγενώς τοξικές, όπως τα PAH (Pan et al., 2016) που προκύπτουν από τις διαρροές αργού πετρελαίου ή των προϊόντων διύλισης ή και από απόβλητα βιομηχανιών (Μήτρακας, 2014), τα χουμικά οξέα και η αμμωνία, που βρίσκεται στα απόβλητα, μπορούν επίσης να αντιδράσουν με το χλώριο και να γίνουν γενοτοξικά, με μεγαλύτερο κίνδυνο να προβάλλουν οι χλωραμίνες που προκύπτουν από την αμμωνία. Δυστυχώς, καμία μέθοδος δεν μπορεί να εξαλείψει εντελώς τη γενοτοξικότητα, η οποία επηρεάζεται από το διαλυμένο οξυγόνο, το pH και σε μικρότερο βαθμό από τη θερμοκρασία (Stahl, 1991) Έχει, τέλος, αποδειχθεί ότι οι παραπάνω ενώσεις προκαλούν κυτταροτοξικές, γενοτοξικές και μεταλλαξιογόνες ιδιότητες, όπως επίσης αποβολή στις εγκύους και καρκίνο της ουροδόχου κύστης (Pan et al., 2016).

### 2.6.2 Συνθετική οργανική ύλη

Η ρύπανση μέσω της διάχυσης είναι σημαντική απειλή για την ποιότητα των επιφανειακών νερών, με τις απορροές από τις αγροτικές εργασίες να εμφανίζουν το μεγαλύτερο κίνδυνο. Τα τελευταία εμφάνισαν μεγάλη αύξηση καθώς η χρήση των φυτοφαρμάκων έγινε ιδιαίτερα εντατική, με καινούρια προϊόντα να εμφανίζονται συνεχώς στις αγορές (Asfaw et al., 2018). Τα φυτοφάρμακα είναι ανθεκτικά στο νερό, μπορούν να συσσωρευτούν στα ιζήματα μέσω προσρόφησης και αποικοδομούνται σε διάφορα προϊόντα μέσω των φυσικοχημικών και βιολογικών διεργασιών, τα οποία αποδεικνύονται περισσότερο τοξικά και ανθεκτικά από ότι η ένωση από την οποία προήλθαν (Csanccsara et al., 2016).

Διάφορα φυτοφάρμακα συμπεριλαμβάνονται στη λίστα προτεραιότητας της Ε.Ε. για τις οργανικές ενώσεις από τις απορροές που πρέπει να ελέγχονται, ενώ κάποια από αυτά καθώς και τα προϊόντα της αποσύνθεσής τους έχουν χαρακτηριστεί από την IARC (Διεθνής Ένωση της Έρευνας για τον Καρκίνο) ως πιθανώς καρκινογενείς για τους ανθρώπους. Επιπλέον, 91 φυτοφάρμακα έχουν επιβεβαιωθεί ή είναι πιθανά για πρόκληση ενδοκρινικής διαταραχής (Karsi et al., 2019). Η κλιματική αλλαγή συνεπάγεται συχνότερη και σοβαρή απορροή των συνθετικών αυτών χημικών στα επιφανειακά νερά σε αυξημένες

συγκεντρώσεις (Van Wezel et al., 2018). Χημικά αυξημένης ανησυχίας οργανικές ενώσεις (CEC) μετριοούνται ευρέως σε χαμηλές συγκεντρώσεις (κυρίως ng/L) στα Ευρωπαϊκά επιφανειακά και υπόγεια νερά (Van Wezel et al., 2018). Οι κανονισμοί της Ε.Ε. για την ποιότητα του πόσιμου νερού έχουν θέσει ως όριο στη συγκέντρωση του συνόλου των φυτοφαρμάκων τα 0,5 µg/L και για μεμονωμένες ενώσεις τα 0,1 µg/L, προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί ο κίνδυνος για την ανθρώπινη υγεία και η περιβαλλοντική ρύπανση (Karsi et al., 2019).

Γενοτοξικά υλικά όπως οι καρκινογόνοι Πολυκυκλικοί Αρωματικοί Υδρογονάνρακες PAH (Αγγλ. *Polycyclic Aromatic Hydrocarbon*), έχουν βρεθεί στους ιστούς των υδρόβιων οργανισμών παγκοσμίως κάτι που υποδεικνύει ότι οι οργανισμοί είναι ικανοί να συσσωρεύουν αυτά τα υλικά από το περιβάλλον τους και ρόλο παίζουν παράγοντες όπως η μεταβλητότητα στην ευαισθησία των ειδών στο συγκεκριμένο καρκινογόνο, η πηγή της έκθεσης σε αυτό, και το κατά πόσο η έκθεση έγινε σε ένα ευαίσθητο στάδιο της ανάπτυξης αυτών (Lamsal et al., 2011). Στον **Πίνακα 5** παρουσιάζεται ο χρόνος ημίσειας ζωής αυτών των ενώσεων για το χειμώνα και το καλοκαίρι (Van Wezel et al., 2018). Ως *χρόνος ημίσειας ζωής* ορίζεται ο χρόνος που απαιτείται ώστε η συγκέντρωση του φαρμάκου ή της τοξικής ουσίας να μειωθεί κατά 50% (Κοτροκόης, 2017).

Η αλόγιστη χρήση των *παρασιτοκτόνων* δημιουργεί σοβαρά προβλήματα, επειδή δεν είναι βιοαποικοδομήσιμα και συσσωρεύονται στο περιβάλλον. Έτσι σημαντικές ποσότητες διαλύονται από το νερό υποβαθμίζοντας την ποιότητά του ενώ ακόμα και σε ελάχιστες συγκεντρώσεις προκαλούν διαταραχές στην υγεία που σε κάποιες περιπτώσεις οδηγούν ακόμη και στο θάνατο (Μήτρακας, 2014). Η χαρακτηριστική συμπεριφορά κάποιων ρυπαντών, π.χ. φυτοφάρμακα όπως η *μεταλδεϋδη*, σημαίνει ότι οι υπάρχουσες διεργασίες για την επεξεργασία του πόσιμου νερού είναι ανεπαρκείς για να μειώσουν τα ποσοστά τους μέσα στα αποδεκτά όρια που ορίζονται από τους κανονισμούς και επομένως είναι πρόβλημα για τους φορείς των έργων υποδομής του νερού, γεγονός που οφείλεται στην ανθεκτικότητά της λόγω της μοναδικής μοριακής δομής της (Asfaw et al., 2018).

**Πίνακας 5:** Περιβαλλοντικές τιμές του χρόνου ημιζωής ( $t_{1/2}$ ) σε ημέρες (d) για την περίοδο του χειμώνα και του καλοκαιριού για διάφορες συνθετικές οργανικές ενώσεις (Van Wezel et al., 2018).

Χημική ένωση	$t_{1/2}$ Χειμώνας (d)	$t_{1/2}$ Καλοκαίρι (d)
Βενζόλιο	16	5
Τολουόλιο	22	4
Διχλωρομεθάνιο	180	100
1,2-διχλωροαιθάνιο	28	7
βινυλοχλωρίδιο	180	28

### 2.6.3 Τοξικότητα άλλων ενώσεων

Το *διαλυμένο οξυγόνο* είναι ο πιο διαβρωτικός παράγοντας, περισσότερο και από το CO<sub>2</sub> και το H<sub>2</sub>S και έχει ιδιαίτερη σημασία σε εγκαταστάσεις όπως αυτές του πετρελαίου και



φυσικού αερίου. Το DO τείνει να διαβρώνει τις μεταλλικές επιφάνειες, όπως για παράδειγμα στις σωληνώσεις που έχει ως αποτέλεσμα να μειώνεται το πάχος τους και να οδηγούνται στη ρήξη και συνεπώς σε διαρροή. Αν και η χρήση υλικών ανθεκτικών στη διάβρωση είναι μία λύση, είναι οικονομικά ασύμφορη για αυτό έχουν αναπτυχθεί μέθοδοι. Η διάβρωση λόγω του οξυγόνου επιταχύνεται όταν η συγκέντρωση του DO στο νερό είναι μεγαλύτερη των 0,025 mg/L, που μπορεί αν οφείλεται είτε στην συγκέντρωση του H<sub>2</sub>S στο νερό, στην αλκαλικότητα, στο CO<sub>2</sub> κλπ. (Durdevic et al., 2018).

Η παρουσία των *πτητικών οργανικών ενώσεων VOCs* (Αγγλ. Volatile Organic Compounds) στο περιβάλλον αποτελεί κίνδυνο για την υγεία ακόμα και σε πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις επειδή πολλά από αυτά τα υλικά είναι τοξικά, καρκινογόνα ή μεταλλαξιογόνα (Nikolaou et al., 2002). Εάν απόβλητα που είναι πλούσια σε VOCs καταλήγουν συνεχόμενα στο νερό του ποταμού, η υγεία των κατοίκων που διαμένουν στις εκβολές του πιθανόν να αποτελέσει σοβαρό ζήτημα (Juang et al., 2010). Όταν οι VOCs οξειδώνονται παρουσία οξειδίων αζώτου, οδηγούν στο σχηματισμό φωτοχημικού νέφους το οποίο είναι επιβλαβές για τους ανθρώπους, τη βλάστηση και τα ζώα. Για παράδειγμα, ενώσεις όπως το τριχλωροαιθυλένιο επιδρά στην καρδιά, το συκώτι, τους νεφρούς, το δέρμα, το κεντρικό νευρικό σύστημα και το αναπνευστικό σύστημα, ενώ όμοια το τετραχλωροαιθυλένιο επιδρά στο άνω αναπνευστικό σύστημα, το κεντρικό νευρικό σύστημα, το συκώτι, τους νεφρούς και τα μάτια (Nikolaou et al., 2002) και τέλος έκθεση σε τολουόλιο σε συγκέντρωση 0,03-0,9 mM προκαλεί διαταραχή στο νευρολογικό σύστημα (Juang et al., 2010).

Η παρουσία *ιόντων*, όπως τα NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> και PO<sub>4</sub><sup>-</sup> στο πόσιμο νερό, αποτελεί ένδειξη ρύπανσής του και οι επιπτώσεις των ιόντων αυτών στον ανθρώπινο οργανισμό είναι μόνο αρνητικές. Συγκεκριμένα, τα νιτρικά αν και αδρανή, μέσα στη στοματική κοιλότητα μετατρέπονται σε νιτρώδη με τη βοήθεια του ενζύμου νιτρική υδρογονάση. Τα νιτρώδη είναι δραστικά και μπορούν να ενωθούν με άλλες ενώσεις οδηγώντας στο σχηματισμό νιτροζαμινών. Επίσης, μετατρέπουν την αιμοσφαιρίνη σε μεθαιμοσφαιρίνη, η οποία αδυνατεί να παραλάβει και να μεταφέρει το οξυγόνο στους ιστούς (Μήτρακας, 2014).

## 2.7 Νομοθεσία

Η Ευρωπαϊκή Οικονομική Κοινότητα εξέδωσε οδηγία το 1980 σχετικά με την ποιότητα του νερού που προορίζεται για ανθρώπινη κατανάλωση. Η οδηγία της ΕΕC απευθύνεται στην καθιέρωση ορίων για τις τοξικές ενώσεις και τα βακτήρια που αποτελούν κίνδυνο για τη δημόσια υγεία, όπως επίσης τον ορισμό φυσικών, χημικών και βιολογικών παραμέτρων για τις διάφορες χρήσεις του νερού, συμπεριλαμβανομένης της ανθρώπινης κατανάλωσης (Faust & Aly, 1998). Τα κράτη-μέλη είναι υποχρεωμένα να χαρακτηρίζουν και να κατηγοριοποιούν το νερό τους σύμφωνα με την οικολογική του κατάσταση σε πέντε ποιοτικές κατηγορίες (υψηλό, καλό, μέτριο, φτωχό, κακό). Ένας από τους στόχους της WFD είναι να εξασφαλίσει για όλα τα επιφανειακά νερά της Ευρώπης ένα 'καλό' προφίλ το αργότερο έως το 2015. Οι ευρωπαϊκές λεκάνες απορροής στη Μεσόγειο, ειδικότερα αυτές στην Ελλάδα, χαρακτηρίζονται από μεγάλες διαφορές όσον αφορά τα μορφολογικά, κλιματικά, υδρογραφικά, πετρογραφικά και βλαστικά χαρακτηριστικά και τη μεταβλητότητα στα επίπεδα της μόλυνσης. Ως εκ τούτου, η εκτίμηση της οικολογικής ποιότητας των ελληνικών ποταμών είναι μία περίπλοκη διαδικασία και απαιτεί μία ειδική προσέγγιση (Skoulikidis et al.,)

**ΥΠΟΥΡΓΙΚΗ ΑΠΟΦΑΣΗ: Αριθ. οικ. 46399/1352/86**

**Απαιτούμενη ποιότητα των επιφανειακών νερών που προορίζονται για: «πόσιμα», μέθοδοι μέτρησης, συχνότητα δειγματοληψίας και ανάλυση των επιφανειακών νερών που προορίζονται για πόσιμα, σε συμμόρφωση με τις οδηγίες του Συμβουλίου των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων 75/440/ΕΟΚ, 76/160/ΕΟΚ, 78/659/ΕΟΚ, 79/293/ΕΟΚ και 79/869/ΕΟΚ.**

(ΦΕΚ 438/Β/3-7-86)

Άρθρο 2

Έννοια όρων

Για την εφαρμογή της παρούσας αποφάσεως ως :

1. Επιφανειακά νερά νοούνται τα γλυκά επιφανειακά νερά που χρησιμοποιούνται ή προορίζονται να χρησιμοποιηθούν μετά την εφαρμογή κατάλληλης επεξεργασίας, για την παραγωγή ποσίμου νερού.
2. "Πόσιμα νερά" νοούνται όλα τα επιφανειακά νερά που προορίζονται για ανθρώπινη κατανάλωση και διοχετεύονται από δίκτυο παροχής στη Δημόσια χρήση.

Άρθρο 3

Απαιτούμενα πρότυπα ποιότητας επιφανειακών νερών ανάλογα με την χρήση τους

A. Γλυκά επιφανειακά νερά.

1. Νερά για παραγωγή ποσίμου νερού.

1.1. Κατηγορίες νερών που προορίζονται για παραγωγή ποσίμου νερού.

Τα νερά που προορίζονται για παραγωγή ποσίμου νερού κατατάσσονται στις ακόλουθες κατηγορίες, ανάλογα με τη προβλεπόμενη επεξεργασία τους.

### α) Κατηγορία A1

Νερά μετά από απλή φυσική επεξεργασία και απολύμανση ιδίως με ταχεία διύλιση και απολύμανση.

### β) Κατηγορία A2

Νερά μετά από κανονική φυσική και χημική επεξεργασία και απολύμανση (ιδίως με προχλωρίωση, συσσωμάτωση, κροκύδωση, καθίζηση, διύλιση και απολύμανση).

### γ) Κατηγορία A3

Νερά μετά από εντατική και χημική επεξεργασία και προχωρημένη απολύμανση ιδίως με χλωρίωση μέχρι του σημείου θραύσεως συσσωμάτωση, κροκύδωση, καθίζηση, διύλιση, προσρόφηση (ενεργός άνθρακας), και απολύμανση (όζον τελική χλωρίωση).

### 1.2. Απαιτούμενα πρότυπα ποιότητας των νερών που προορίζονται για παραγωγή πόσιμου νερού ανάλογα με την κατηγορία τους.

Τα απαιτούμενα πρότυπα ποιότητας των νερών για παραγωγή πόσιμου νερού, κάθε κατηγορίας από τις παραπάνω αναφέρονται στο παράρτημα 1 του άρθρ. 10 και εκφράζονται από τις στήλες του ως ανωτέρα επιτρεπόμενα όρια και ως επιθυμητά όρια (<http://www.elinyae.gr>).

ΟΔΗΓΙΑ ΤΟΥ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟΥ της 16ης Ιουνίου 1975 περί της απαιτούμενης ποιότητας των υδάτων επιδότριας που προορίζονται για την παραγωγή ποσίμου ύδατος στα Κράτη μέλη (75/440/ΕΟΚ) (ΕΕ αριθ. L 194 της 25. 7. 1975, σ. 26)

## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι**

Καθορισμός των προτύπων μεθόδων επεξεργασίας για τη μεταφορά των υδάτων επιφανείας των κατηγοριών A1, A2 και A3 σε πόσιμο ύδωρ

### Κατηγορία A1

Απλή φυσική επεξεργασία και απολύμανση, π.χ. ταχεία διήθηση και απολύμανση.

### Κατηγορία A2

Ομαλή φυσική επεξεργασία, χημική επεξεργασία και απολύμανση, π.χ. προ-χλωρίωση, πήξη, κροκύδωση, καταστάλαξη, διήθηση, απολύμανση (τελική χλωρίωση).

### Κατηγορία A3

Εντατική φυσική και χημική επεξεργασία, τελική επεξεργασία και απολύμανση, π.χ. χλωρίωση μέχρι σημείου ρήξεως, πήξη, κροκύδωση, καταστάλαξη, διήθηση, τελική επεξεργασία (ενεργός άνθρακας), απολύμανση (όζον, τελική χλωρίωση) (<http://www.waterlabs.gr>).

Το *ΦΕΚ 438/Β/3-7-86* τροποποιήθηκε από το *ΦΕΚ 3282/Β/19-9-2017* (<https://www.e-nomothesia.gr>), με τα όρια των φυσικοχημικών παραμέτρων των επιφανειακών υδάτων ωστόσο να μένουν τα ίδια.

Στον **Πίνακα 6** παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά υδάτων επιφανείας που προορίζονται για την παραγωγή ποσίμου ύδατος σύμφωνα με την 75/440/ΕΟΚ (<http://www.waterlabs.gr>)

**Πίνακας 6:** Χαρακτηριστικά επιφανειακών νερών που προορίζονται για πόσιμα σύμφωνα με την 75/440/ΕΟΚ (<http://www.waterlabs.gr>)

Παράμετροι	Μονάδα	A1	A2	A3
pH		6,5-8,5	5,5-9	5,5-9
Χρωματισμός (κατόπιν απλής διηθήσεως)	mg/L κλίμακα	10	50	50
Σύνολο αιωρούμενων υλών	mg/L MES	25	-	-
Θερμοκρασία	°C	22	22	22
Αγωγιμότητα	μS/cm <sup>-1</sup> στους 20 °C	1000	1000	1000
Οσμή	Συντελεστής διαλύσεως σε 25 °C	3	10	20
Νιτρικά	mg/L NO <sub>2</sub>	25	-	-
Φθοριούχα	mg/L F	0.7-1	0.7-1.7	0.7-1.7
Ολικό οργανικό χλώριο εκχυλίσσιμο	mg/L Cl	-	-	-
Διαλελυμένος σίδηρος	mg/L Fe	0.1	1	1
Μαγγάνιο	mg/L Mn	0.05	0.1	1
Χαλκός	mg/L Cu	0.02	0.05	1
Ψευδάργυρος	mg/L Zn	0.5	1	1
Βόριο	mg/L B	1	1	1
Αρσενικό	mg/L As	0.01	0.05	0.1
Κάδμιο	mg/L Cd	0.001	0.001	0.001
Υδράργυρος	mg/L Hg	0.0005	0.0005	0.0005
Θειϊκά	mg/L SO <sub>4</sub>	150	150	150
Χλωριούχα	mg/L Cl	200	200	200
Επιφανειακοί παράγοντες (που επιδρούν με κυανούν του μεθυλενίου)	mg/L (lauryl-sulfate)	0.2	0.2	0.5
Φωσφορικά	mg/L P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.4	0.7	0.7
Φαινόλες (δείκτης φαινολών) P-νιτροανιλίνη 4 αμινοαντιπυρίνη	mg/L C <sub>6</sub> H <sub>2</sub> OH	-	0.001	0.01
Υδρογονάνθρακες διαλυμένοι ή γαλακτωματοποιημένοι (δι' εκχυλίσεως με πετρελαϊκό αιθέρα)	mg/L	-	-	0.5
Χημική απαίτηση σε οξυγόνο (VOD)	mg/L O <sub>2</sub>	-	-	30
Ποσοστό κορεσμού σε διαλελυμένο οξυγόνο	% O <sub>2</sub>	>70	>50	>30
Βιοχημική απαίτηση σε οξυγόνο (BOD <sub>5</sub> ) (στοιχεία 20 °C χωρίς προσθήκη	mg/L O <sub>2</sub>	<3	<5	<7

νιτρικών)					
Άζωτο (εξαιρουμένου NO <sub>3</sub> )	Kjeldahl του	mg/L N	1	2	3
Αμμωνία		mg/L NH <sub>4</sub>	0.005	1	2
Ουσίες δυνάμενες να εκχυλισθούν με χλωροφόρμιο		mg/L SEC	0.1	0.2	0.5
Ολικός οργανικό άνθρακας		mg/L C	-	-	-
Υπολειμματικός οργανικός άνθρακας κατόπιν κροκιδώσεως και διυλίσεως επί μεμβράνης (5μ) TOC		mg/L C	-	-	-

### 3. Σκοπός της εργασίας

Σκοπός της πτυχιακής αυτής εργασίας ήταν η παρακολούθηση της διακύμανσης της συγκέντρωσης της οργανικής ύλης στο νερό του ποταμού Αλιάκμονα, πριν την επεξεργασία του για τη διοχέτευσή του στο δίκτυο ύδρευσης της Θεσσαλονίκης. Οι παράμετροι που εξετάστηκαν ήταν: το διαλυμένο οξυγόνο (DO), το βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD<sub>5</sub>), η χλωροφύλλη, ο οργανικός άνθρακας ολικός (TOC) και διαλυμένος (DOC) και η απορρόφηση στο υπεριώδες (UV) στα 254 nm. Παράλληλα, εξετάστηκαν και φυσικοχημικές παράμετροι όπως η θερμοκρασία και το pH.

## 4. Μεθοδολογία

### 4.4. Δειγματοληψίες πεδίου

Οι δειγματοληψίες νερού έγιναν στις δεξαμενές αποθήκευσης νερού του ποταμού Αλιάκμονα στην είσοδο της Μονάδας Επεξεργασίας νερού της ΕΥΑΘ στα Διαβατά. Η δειγματοληψία γινόταν σε εβδομαδιαία βάση μέσα σε περίοδο τριών μηνών (Μάρτιος – Μάιος 2018). Τα δείγματα, που συνολικά έφτασαν τα δέκα σε αριθμό, παραλαμβάνονταν και μεταφέρονταν μέσα σε δύο πλαστικά μπιτόνια συνολικής χωρητικότητας 2 λίτρων το καθένα (Σχήμα 14).



**Σχήμα 14:** Δειγματοληψία νερού από τη δεξαμενή αποθήκευσης της Μονάδας Επεξεργασίας της ΕΥΑΘ στα Διαβατά.

### 4.5. Θερμοκρασία

Η θερμοκρασία των δειγμάτων μετριόταν επιτόπου στο πεδίο με τη χρήση υδραργυρικού θερμομέτρου. Το θερμομέτρο βυθιζόταν σε ένα από τα μπιτόνια που περιείχαν το δείγμα νερού υπό σταθερή ανάδευση έως σταθεροποίησης της ένδειξης της θερμοκρασίας.

### 4.6. pH

#### Υλικά

- Πλαστικό δοχείο
- Πεχάμετρο
- Υδροβολέας με απιονισμένο νερό

- Buffer με pH 7 και buffer με pH 4

Το pH των δειγμάτων μετριόταν τη μέρα της δειγματοληψίας με τη χρήση του πεχαμέτρου που βρίσκεται στο Ερευνητικό Εργαστήριο του τμήματος Τεχνολογίας Τροφίμων (**Σχήμα 15**). Ποσότητα δείγματος μεταφερόταν μέσα σε πλαστικό δοχείο προκειμένου να μετρηθεί το pH του.



**Σχήμα 15:** Καλιμπράρισμα πεχαμέτρου και μέτρηση pH δείγματος.

Σημαντικό πριν από κάθε μέτρηση ήταν το καλιμπράρισμα του οργάνου. Η διαδικασία είχε ως εξής:

- Άνοιγμα πεχαμέτρου.
- Πατάμε την ένδειξη CAL.
- Ξέπλυμα ηλεκτροδίων με απιονισμένο νερό.
- Βύθιση των ηλεκτροδίων σε ρυθμιστικό διάλυμα με pH 7.
- Εάν δεχτούμε την τιμή ξεπλένουμε τα ηλεκτρόδια με απιονισμένο νερό .
- Βύθιση εκ νέου σε ρυθμιστικό διάλυμα με pH 4.
- Εάν δεχτούμε την τιμή, ξεπλένουμε πάλι τα ηλεκτρόδια με απιονισμένο νερό.
- Πατάμε την ένδειξη MEASURE και βυθίζουμε τα ηλεκτρόδια στο δείγμα υπό συνεχή ανάδευση μέχρι να σταθεροποιηθεί η τιμή. Τέλος, καταγράφεται η τιμή και η αντίστοιχη θερμοκρασία, όπως αναγράφονται στο όργανο.
- Ξέπλυμα των ηλεκτροδίων με απιονισμένο νερό και κλείσιμο του πεχαμέτρου .
- Τα ηλεκτρόδια βυθίζονται μέσα σε διάλυμα.



## 4.7. Διαλυμένο οξυγόνο

### 4.7.1. Υλικά

- Φιάλες BOD χωρητικότητας 274,47 και 314,49 mL
- Κωνική φιάλη 250 mL x2
- Προχοΐδα
- Πιπέτα
- Αλουμινόχαρτο

### 4.7.2. Αντιδραστήρια

- Διάλυμα  $KCr_2$
- Διάλυμα  $MnSO_4$
- Διάλυμα  $KI/NaOH$
- Πυκνό διάλυμα  $H_2SO_4$
- Δείκτης αμύλου
- Διάλυμα  $Na_2S_2O_3$  0,01 N

### 4.7.3. Μέθοδος

Η δειγματοληψία νερού που πρόκειται να αναλυθεί για το περιεχόμενό του σε διαλυμένο οξυγόνο γίνεται με δύο ειδικές υάλινες φιάλες (φιάλες BOD) ( **Σχήμα 17**) καθορισμένου όγκου, 274,67 mL και 314,49 mL, αντίστοιχα, μέχρι υπερχείλισης. Οι φιάλες έχουν προηγουμένως ξεπλυθεί με διάλυμα χρωμοθεικού οξέος. Κατόπιν, σφραγίζονται αμέσως με τα ειδικά πώματα. Κατά τη δειγματοληψία δίνεται ιδιαίτερη προσοχή ώστε να μην έρχονται τα δείγματα σε επαφή με τον ατμοσφαιρικό αέρα αλλά ούτε και να αναδεύονται γιατί διαταράσσεται έτσι η ισορροπία των αερίων (**Σχήμα 16**).

Το δείγμα της φιάλης των 314,49 mL αναλύεται την ημέρα της δειγματοληψίας, ενώ αντίθετα, η φιάλη των 274,47 mL τυλίγεται περιμετρικά με αλουμινόχαρτο ώστε να μην έρχεται σε επαφή με το φως και μπαίνει στη συντήρηση στους 4 °C για να αναλυθεί μετά από 5 μέρες.

Η μέθοδος που χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό του διαλυμένου οξυγόνου του δείγματος είναι η ιωδομετρική μέθοδος με τιτλοδότηση, γνωστή και ως *μέθοδος Winkler* (Durdevic et al., 2018).

Βασίζεται στη χημική δέσμευση του οξυγόνου και προσδιορισμό στη συνέχεια με ογκομέτρηση, του δεσμευμένου οξυγόνου. Η διαδικασία αναλύεται παρακάτω:

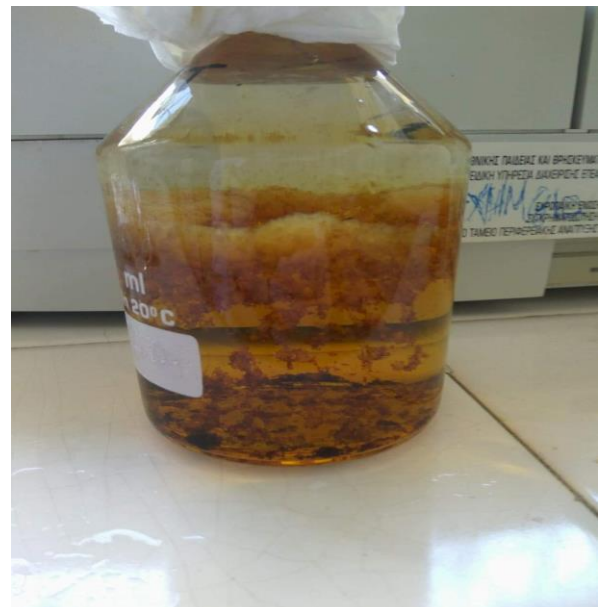


**Σχήμα 16:** Δειγματοληψία νερού σε φιάλες BOD για ανάλυση του διαλυμένου οξυγόνου.

- Με τη χρήση πιπέτας ρίχνουμε μέσα στα τοιχώματα της φιάλης 1 ml διαλύματος  $MnSO_4$  και 1 mL διαλύματος  $KI/NaOH$  (**Σχήμα 17**) ώστε να δημιουργηθεί δισθενές υδροξείδιο του μαγγανίου παρουσία του ισχυρού αλκαλίου. Το διαλυμένο οξυγόνο οξειδώνει ισοδύναμη ποσότητα υδροξειδίου του μαγγανίου προς υδροξείδιο ανωτέρου σθένους (Ζανάκη, 2001).
- Ακολουθεί προσθήκη 1 mL πυκνού διαλύματος  $H_2SO_4$ . Σε όξινο περιβάλλον, και παρουσία ιωδιούχων, η οξειδωμένη μορφή του μαγγανίου επανέρχεται στη δισθενή τη μορφή, με την απελευθέρωση ιωδίου ισοδύναμου με την περιεκτικότητα του δείγματος σε διαλυμένο οξυγόνο (Ζανάκη, 2001) (**Σχήμα 18**).
- Στη συνέχεια, 50 mL από τη φιάλη μεταφέρονται σε κωνική των 250 mL.
- Προστίθενται 3-5 σταγόνες δείκτη αμύλου.
- Ακολουθεί τιτλοδότηση του ιωδίου με πρότυπο διάλυμα  $Na_2S_2O_3$  κανονικότητας 0,01 N, αφού προηγουμένως έχει σημειωθεί ο όγκος της προχοΐδας (**Σχήμα 19**).
- Το πέρας της τιτλοδότησης γίνεται εμφανές με τον αποχρωματισμό του δείγματος λόγω του δείκτη αμύλου που έχει προστεθεί. Σημειώνεται πάλι ο όγκος της προχοΐδας.
- Η διαδικασία της τιτλοδότησης επαναλαμβάνεται εκ νέου σε άλλα 50 mL δείγματος προκειμένου να ληφθεί ο μέσος όρος των δύο μετρήσεων.



**Σχήμα 17:** Από αριστερά προς τα δεξιά: φιάλη BOD, διάλυμα  $MnSO_4$  και διάλυμα  $KI/NaOH$ .



**Σχήμα 18:** Αριστερά: διαλυτοποίηση του σχηματιζόμενου ιζήματος με την προσθήκη πυκνού διαλύματος  $H_2SO_4$ . Δεξιά, το δείγμα αφού έχει αφεθεί σε ηρεμία.



**Σχήμα 19:** Τιτλοδότηση του ιωδίου με πρότυπο διάλυμα  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ .

Ο υπολογισμός του διαλυμένου οξυγόνου ( $\text{DO}_0$ ) γίνεται από τη **Σχέση**:

$$\text{mg O}_2/\text{L} = \frac{V \times N \times 8 \times 1000}{V_S \frac{(B-2)}{B}} \quad (1),$$

όπου:

- V: ο όγκος του διαλύματος  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  που καταναλώθηκε κατά την τιτλοδότηση. Προκύπτει από το Μ.Ο. των δύο επαναλήψεων, με την αφαίρεση κάθε φορά του αρχικού όγκου από τον τελικό (mL).
- N: Η κανονικότητα του διαλύματος  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  ίση με 0,001 N.
- $V_S$ : Ο όγκος του δείγματος που τιτλοδοτήθηκε, δηλαδή 50 mL.
- B: Το απόβαρο της εκάστοτε φιάλης που περιείχε το δείγμα, 274,47 και 314,49 mL, αντίστοιχα.

#### **4.8. Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο**

Ο προσδιορισμός του BOD γίνεται μετά από 5 μέρες από την ημέρα της δειγματοληψίας στη φιάλη BOD με χωρητικότητα 274,47 mL η οποία είχε τυλιχθεί με αλουμινόχαρτο και διατηρηθεί σε σταθερή θερμοκρασία στους 20 °C.

Η διαδικασία που ακολουθείται είναι η ίδια ακριβώς με τον προσδιορισμό του διαλυμένου οξυγόνου της πρώτης μέρας στη φιάλη BOD των 314,49 mL, δηλαδή με τη μέθοδο Winkler.

Με τον υπολογισμό του διαλυμένου οξυγόνου του δείγματος ( $DO_1$ ) ακολουθεί ο υπολογισμός του  $BOD_5$  από τη **Σχέση 2**:

$$BOD_5 \text{ (mg/L)} = DO_0 - DO_1 \text{ (2)},$$

όπου:

- $DO_0$ : Η τιμή του διαλυμένου οξυγόνου ( $mg O_2/L$ ) την ημέρα της δειγματοληψίας.
- $DO_1$ : Η τιμή του διαλυμένου οξυγόνου ( $mg O_2/L$ ) μετά από 5 μέρες επώασης στους  $20^\circ C$ .

## 4.9. Χλωροφύλλη

### 4.9.1. Υλικά

- Συσκευή διήθησης
- Ογκομετρικός σωλήνας 100mL.
- Φυγοκεντρική αντλία
- Membrane nylon filters, μέγεθος πόρων 0,45  $\mu m$
- Λαβίδα
- Δοκιμαστικός σωλήνας
- Φασματοφωτόμετρο UV-Vis
- 3 κυψελίδες υάλου
- Σιφώνιο μετρήσεως 5 mL

### 4.9.2. Αντιδραστήρια

Διάλυμα ακετόνης 90%

Για την παρασκευή του διαλύματος, υπολογίζεται η ποσότητα του νερού που πρέπει να προστεθεί σε 50 mL ακετόνης ως εξής:

Σε 45 mL ακετόνης περιέχονται 5 mL νερό

Σε 50 mL ακετόνης προστίθενται x mL νερό  $\rightarrow x = 5.5$  mL νερό πρέπει να προστεθούν.

### 4.9.3. Μέθοδος

- Η μέθοδος βασίζεται στους Parsons et . al., 1984, που πραγματοποίησαν πειράματα για τη χλωροφύλλη σε θαλασσινό νερό.
- Προετοιμασία της συσκευής διήθησης. Τοποθέτηση του φίλτρου, του δοχείου διήθησης και συγκράτηση αυτού με την ειδική λαβίδα. Κατόπιν, συνδέεται με την αντλία.

- Διήθηση 800 mL δείγματος νερού με ογκομετρικό σωλήνα και ταυτόχρονα ανοίγει η αντλία για να δημιουργηθεί το κενό (**Σχήμα 22**).
- Με το πέρας της διήθησης, κλείνει η αντλία.
- Με τη βοήθεια της λαβίδας, το φίλτρο διπλώνεται προσεχτικά από τα άκρα ώστε να μην ακουμπήσει το υπόλειμμα και μεταφέρεται μέσα στο δοκιμαστικό σωλήνα.
- Προσθήκη 5 mL διαλύματος ακετόνης 90%. Η μέθοδος χρησιμοποιεί ακετόνη καθώς η χλωροφύλλη διαλύεται μόνο σε οργανικό διαλύτη. Με τη λαβίδα πιέζουμε το φίλτρο, ώστε να βοηθήσουμε το περιεχόμενο να διαλυθεί (**Σχήμα 23**). Το φίλτρο μπορεί να περιέχει και πολλά ανόργανα αιωρούμενα στερεά ωστόσο στον οργανικό διαλύτη αυτά δε θα διαλυθούν.
- Συντήρηση του δείγματος στους 4 °C για τουλάχιστον 12 h.

Η μέτρηση της χλωροφύλλης γίνεται μετά από 5 ημέρες σε φασματοφωτόμετρο UV-Vis διπλής δέσμης.



**Σχήμα 22:** Διήθηση υπό κενό.

#### 4.9.4. Αρχή μεθόδου της απορρόφησης στο UV-Vis

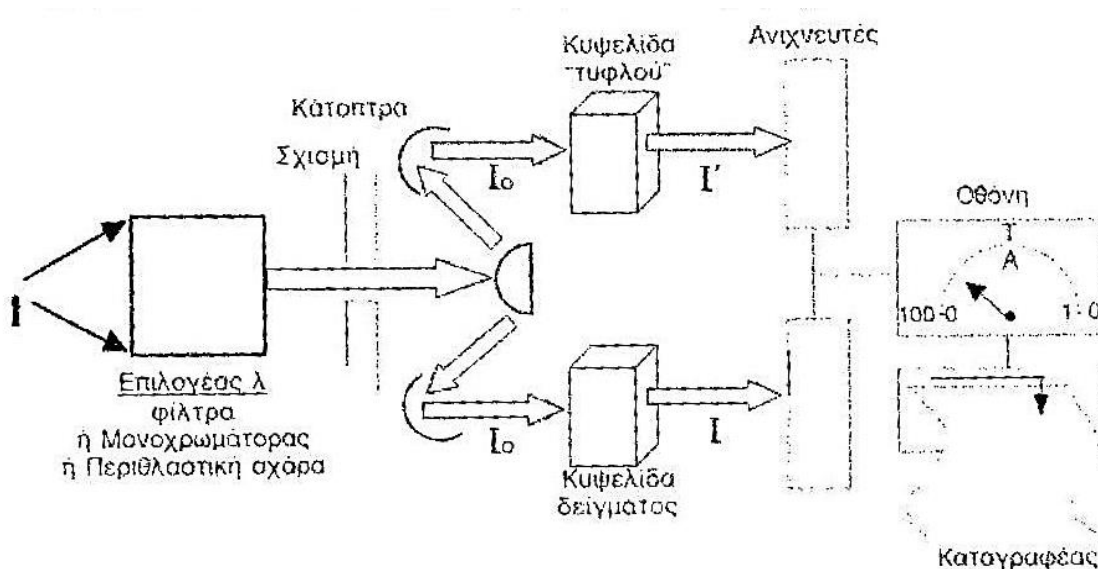
Είναι η ίδια που περιγράφηκε με την Αρχή μεθόδου στο Ειδική απορρόφηση στο υπεριώδες SUVA<sub>254</sub>.



**Σχήμα 23:** Φίλτρο 0,45 µm με οργανικό περιεχόμενο σε διάλυμα ακετόνης 90%.

#### 4.9.5. Οργανολογία

Στο **Σχήμα 24** παριστάνεται το διάγραμμα ενός φασματοφωτομέτρου διπλής δέσμης.



**Σχήμα 24:** Σχηματική αναπαράσταση της αρχής λειτουργίας ενός φασματοφωτομέτρου διπλής δέσμης (Πηγή: Ανδρικόπουλος, 2015).

Η βασική τους διαφορά από τα φασματοφωτόμετρα απλής δέσμης όπως φαίνεται και στο **Σχήμα 24**, έγκειται στο ότι ενώ υπάρχει μία πηγή φωτός, εντούτοις, αυτή διαχωρίζεται σε δύο δέσμες οι οποίες φωτίζουν, ανά μία, δύο κυψελίδες σε δύο διαφορετικές υποδοχές. Η πρώτη δέσμη ή δέσμη δείγματος ακολουθεί την ίδια πορεία και διέρχεται από τα ίδια οπτικά μέρη όπως και στα απλής δέσμης και τελικά φωτίζει μια κυψελίδα που τοποθετείται

το δείγμα. Η δεύτερη δέσμη ή δέσμη αναφοράς ακολουθεί παράλληλη πορεία με την πρώτη, αλλά διέρχεται από δεύτερη σειρά οπτικών μερών και τελικά φωτίζει μία δεύτερη κυψελίδα που τοποθετείται το δείγμα αναφοράς (τυφλό) (Ανδρικόπουλος, 2015).

#### 4.9.6. Μέθοδος

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στο φασματοφωτόμετρο διπλής δέσμης που βρίσκεται στο Ερευνητικό Εργαστήριο του τμήματος Τεχνολογίας Τροφίμων 5 ημέρες μετά την εμφάνιση της δειγματοληψίας.

Στην ειδική θέση στο πίσω μέρος του οργάνου έχουμε πάντα τοποθετημένη μία κυψελίδα με το δείγμα αναφοράς, που στην προκειμένη περίπτωση είναι το διάλυμα ακετόνης 90%.

1. Ανοίγουμε το φασματοφωτόμετρο και περιμένουμε να κάνει τους απαραίτητους ελέγχους.
2. Πατάμε την ένδειξη FIXED → SELECT →664 nm →ENTER.
3. Στη δεύτερη κυψελίδα, γεμίζουμε με το δείγμα αναφοράς και πατάμε την ένδειξη ZERO BASE.
4. Μόλις η οθόνη δείξει 0.000 A βγάζουμε την κυψελίδα με το δείγμα αναφοράς και βάζουμε την Τρίτη κυψελίδα που περιέχει το δείγμα.
5. Σημειώνουμε την τιμή και βγάζουμε το δείγμα.

Τα βήματα 1 έως 5 επαναλαμβάνονται ξανά για τις τιμές 647, 630 και 750 nm.

Με το πέρας των μετρήσεων πατάμε την ένδειξη HOME και κλείνουμε το φασματοφωτόμετρο.

Η επεξεργασία των μετρήσεων γίνεται με τις **Σχέσεις (3)** και **(4)**.

$$Chl_a \text{ (χλωροφύλλη } \alpha) = 11,85 \times A_{664} - 1,54 \times A_{647} - 0,08 \times A_{630} \text{ (3),}$$

όπου,

- $A_{664}$ : η απορρόφηση της χλωροφύλλης  $\alpha$
- $A_{647}$ : η απορρόφηση της χλωροφύλλης  $\beta$
- $A_{630}$ : η απορρόφηση της χλωροφύλλης  $\gamma$

Για την απορρόφηση στα 750 nm, η οποία οφείλεται σε αιωρούμενα σωματίδια, εάν η ένδειξη δεν είναι μηδέν, τότε αφαιρείται η αντίστοιχη τιμή από τις υπόλοιπες τιμές των απορροφήσεων στα 664, 647 και 630 nm και έπειτα υπολογίζεται η **Σχέση 4**.

Τελικά η συγκέντρωση της χλωροφύλλης  $\alpha$  υπολογίζεται από τη **Σχέση (4)**.

$$mg_{Chl_a}/m^3 = \frac{Chl_a \times V_{ακετόνης}}{V_{ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ} \times 10} \text{ (4),}$$

όπου,



- $CH_2$ : Η απορρόφηση της χλωροφύλλης α όπως προκύπτει από τη Σχέση (3).
- $V_{\text{ακετόνης}}$ : ο όγκος της ακετόνης στον οποίο είναι διαλυμένο το φίλτρο (mL).
- $V_{\text{ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ}}$ : ο όγκος του δείγματος νερού που φιλτραρίστηκε (mL) (Parsons et al., 1984).

## 4.10. Ολικός Οργανικός Άνθρακας – Διαλυτός Οργανικός Άνθρακας

### 4.10.1. Υλικά

- 5 ογκομετρικές φιάλες 50 mL
- 1 ογκομετρική φιάλη 1000 mL
- Υπερκάθαρο νερό
- Πιπέτα
- 20 πλαστικά μπουκάλια των 100 mL
- Συσκευή διήθησης
- Φίλτρα GF/C 1,2 μm

### 4.10.2. Αντιδραστήρια

#### Διάλυμα KHP

Για την παρασκευή του διαλύματος όξινου φωσφορικού καλίου ζυγίζονται 2,125 g KHP και μεταφέρονται σε ογκομετρική φιάλη των 1000 mL, η οποία προηγουμένως έχει ξεπλυθεί με υπερκάθαρο νερό. Έπειτα, διαλύονται σε 1 L υπερκάθαρο νερό ώστε η συγκέντρωση να είναι 1000 mg/L. Ο λόγος που χρησιμοποιείται υπερκάθαρο νερό είναι διότι μετρώνται μικροποσότητες της τάξης των μL και θέλουμε όσο το δυνατόν λιγότερη επιμόλυνση αλλά και διότι όλα τα ανθρακικά μετατρέπονται σε διοξείδιο του άνθρακα σε χαμηλό pH.

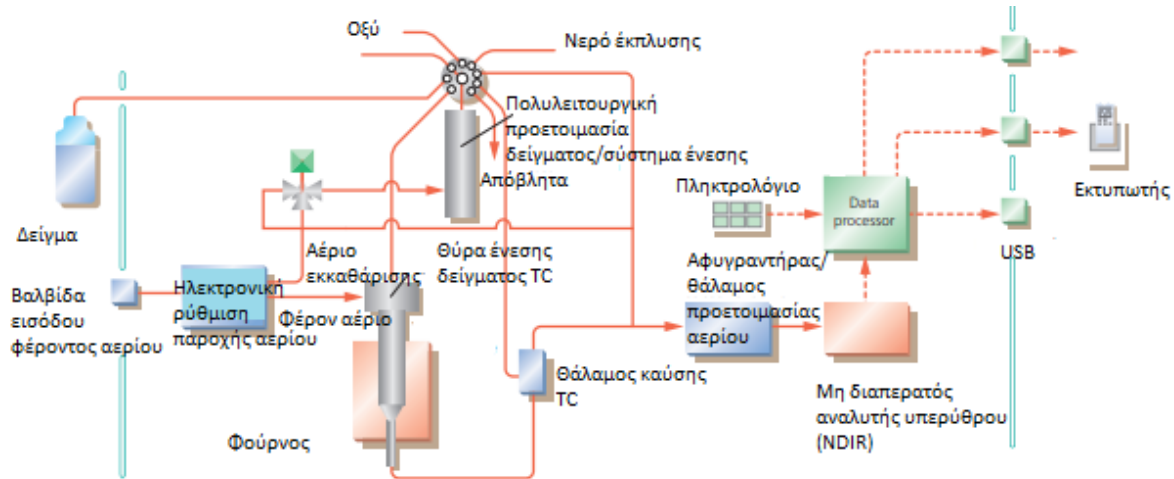
### 4.10.3. Αρχή μεθόδου

Απομάκρυνση του ανόργανου άνθρακα υπό τη μορφή  $CO_2$  που περιέχεται στο δείγμα του νερού με οξίνιση και έπειτα εκκαθάριση. Έπειτα, ο οργανικός άνθρακας οξειδώνεται προκειμένου να παραχθεί διοξείδιο του άνθρακα που μπορεί να μετρηθεί ποσοτικά υπό μία θερμικά καταλυόμενη χημική οξείδωση με διάλυμα όξινου φωσφορικού καλίου και καταλύτη πλατίνα. Τέλος, το φέρον αέριο μεταφέρει το παραγόμενο  $CO_2$  στο κελί ενός αναλυτή υπερύθρου IR (Αγγλ. Infrared) στον οποίο θα ανιχνευθεί και θα δώσει σήμα (Albrektiené et al., 2012; Ζανάκη, 2001).

### 4.10.4. Οργανολογία

Στο **Σχήμα 26** παρουσιάζεται αναλυτικά το διάγραμμα ενός αναλυτή TOC.

Το σημαντικότερο χαρακτηριστικό ενός αναλυτή TOC είναι η ικανότητά του να οξειδώνει αποτελεσματικά όχι μόνο τις εύκολα διασπώμενες ενώσεις, αλλά και τις αδιάλυτες ενώσεις που είναι δύσκολο να διασπαστούν καθώς και μακρομοριακές οργανικές ενώσεις. Αυτό επιτυγχάνεται με τη θερμικά καταλυόμενη στους 680 °C οξειδωτική μέθοδο με την οποία αναλύονται όλες οι οργανικές ενώσεις (<https://www.ssi.shimadzu.com>).



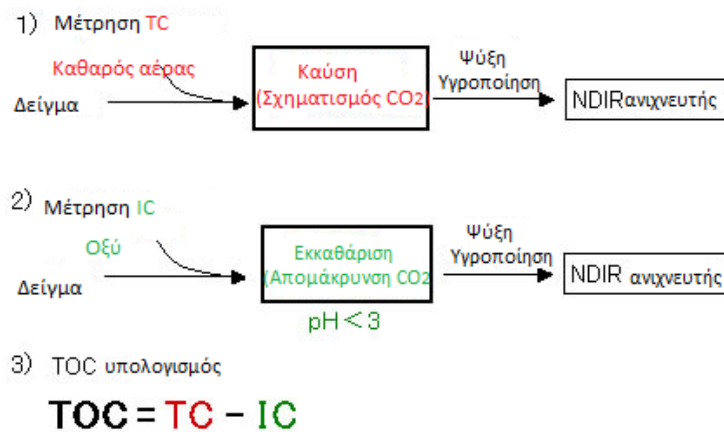
**Σχήμα 26:** Διάγραμμα λειτουργίας ενός Shimadzu TOC analyzer (Πηγή: <https://www.ssi.shimadzu.com>).

Ένα από τα χαρακτηριστικά του είναι ότι μπορεί να αναλύσει ποσότητες από 4 mg/L μέχρι 30.000 µg/L με τις μετρήσεις να είναι δυνατόν να εκτελεστούν στη λειτουργία του Ολικού Άνθρακα TC (Αγγλ. Total Carbon), Ανόργανου Άνθρακα IC (Αγγλ. Inorganic Carbon), Ολικού Οργανικού Άνθρακα TOC (TC-IC) και στο Μη-απομακρίσιμο Οργανικό Άνθρακα NPOC (Αγγλ. Non-purgeable Organic Carbon) (<https://www.ssi.shimadzu.com>).

#### ➤ Μέτρηση στο TOC

Η μέτρηση ενός δείγματος νερού με τη λειτουργία TOC φαίνεται στο **Σχήμα 27**.

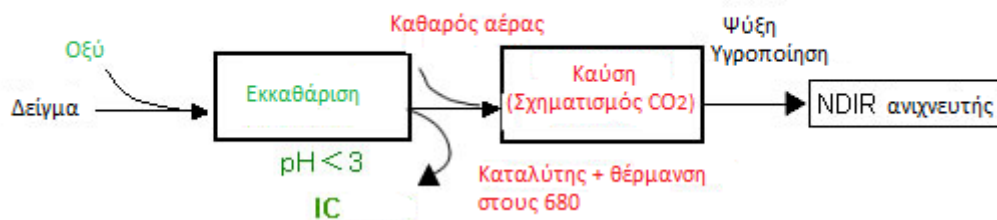
- 1) Το δείγμα μεταφέρεται στο φούρνο όπου θα γίνει η καύση, ο οποίος τροφοδοτείται με καθαρό αέρα. Εκεί, υφίσταται καύση μέσω θέρμανσης στους 680 °C με τη βοήθεια καταλύτη πλατίνα με αποτέλεσμα να αποσυντεθεί και να μετατραπεί σε διοξείδιο του άνθρακα. Το παραγόμενο διοξείδιο του άνθρακα ψύχεται και υγροποιείται και έπειτα ανιχνεύεται από έναν NDIR ανιχνευτή. Η συγκέντρωση του TC στο δείγμα υπολογίζεται έπειτα από σύγκριση που γίνεται με πρότυπη καμπύλη βαθμονόμησης.
- 2) Υποβάλλοντας το οξειδωμένο δείγμα σε διαδικασία εκκαθάρισης ο IC του δείγματος μετατρέπεται σε διοξείδιο του άνθρακα, και η συγκέντρωση του IC υπολογίζεται μέσω του ανιχνευτή NDIR.
- 3) Έπειτα, η συγκέντρωση του TOC υπολογίζεται αφαιρώντας τον IC από τον TC (<https://www.shimadzu.com>).



**Σχήμα 27:** Αναλυτική παρουσίαση της μέτρησης ενός δείγματος νερού στη λειτουργία TOC (Πηγή: <https://www.shimadzu.com>)

➤ Μέτρηση στο NPOC

Σε νερό του περιβάλλοντος και άλλα δείγματα στα οποία ο περιεχόμενος IC του συνολικού TC είναι αρκετά υψηλός, σημαντικά λάθη μπορούν να συμβούν εάν η μέτρηση γίνει με τη μέθοδο TOC που αναφέρθηκε παραπάνω. Συνεπώς, ο ανόργανος άνθρακας του δείγματος υπολογίζεται συνήθως μέσω της μέτρησης NPOC, όπως φαίνεται στο **Σχήμα 28**.



**Σχήμα 28:** Αναλυτική παρουσίαση της μέτρησης ενός δείγματος νερού στη λειτουργία NPOC (Πηγή: <https://www.shimadzu.com>).

Με τη διαδικασία εκκαθάρισης των δειγμάτων στα οποία προστίθεται μικρή ποσότητα οξέος, ο IC του δείγματος μετατρέπεται σε διοξείδιο του άνθρακα, το οποίο απομακρύνεται. Τελικά, ο TOC υπολογίζεται μετρώντας τον TC του δείγματος. Μόλις το διοξείδιο του άνθρακα από τον IC απομακρυνθεί είναι πιθανό μαζί του να διαφύγει και ένα μέρος Απομακρίσιμου Οργανικού Άνθρακα POC (Αγγλ. Purgeable Organic Carbon). Συνεπώς, ο TOC που υπολογίζεται με αυτή τη μέθοδο αναφέρεται ως NPOC (<https://www.shimadzu.com>).

#### 4.10.5. Πρότυπη καμπύλη βαθμονόμησης

##### Παρασκευή πρότυπων διαλυμάτων

Για την κατασκευή της καμπύλης βαθμονόμησης παρασκευάζονται 5 πρότυπα διαλύματα των 1, 5, 10, 20 και 50 mg/L, αντίστοιχα. Για την παρασκευή των διαλυμάτων θα χρειαστεί αραιώση, οπότε η ποσότητα που πρέπει να παραληφθεί από το διάλυμα ΚΗΡ ώστε να επιτευχθεί η επιθυμητή συγκέντρωση των πρότυπων διαλυμάτων, υπολογίζεται από το Νόμο αραιώσης του Ostwald (**Σχέση 5**).

$$C_1 \times V_1 = C_2 \times V_2 \quad (5),$$

όπου:

- $C_1$ : η συγκέντρωση του αρχικού διαλύματος σε mg/L.
- $V_1$ : ο όγκος του αρχικού διαλύματος σε mL.
- $C_2$ : η συγκέντρωση του τελικού διαλύματος σε mg/L.
- $V_2$ : ο όγκος του τελικού διαλύματος σε mL.

Σύμφωνα με τη **Σχέση 5**,

- Για το διάλυμα των 50 mg/L:  $1000 \frac{mg}{L} \times V_1 mL = 50 \frac{mg}{L} \times 50 mL \rightarrow V_1 = 2.5 mL$
- Για τα 20 mg/L:  $1000 \frac{mg}{L} \times V_1 mL = 20 \frac{mg}{L} \times 50 mL \rightarrow V_1 = 1 mL$
- Για τα 10 mg/L:  $1000 \frac{mg}{L} \times V_1 mL = 10 \frac{mg}{L} \times 50 mL \rightarrow V_1 = 0.5 mL$
- Για τα 5mg/L:  $1000 \frac{mg}{L} \times V_1 mL = 5 \frac{mg}{L} \times 50 mL \rightarrow V_1 = 0.250 mL$
- Για το 1mg/L, η αραιώση θα γίνει από το διάλυμα των 50 mg/L.

$$50 \frac{mg}{L} \times V_1 mL = 1 \frac{mg}{L} \times 50 mL \rightarrow V_1 = 1 mL.$$

Όλες οι ποσότητες μετρώνται με τη χρήση πιπέτας και έπειτα μεταφέρονται στις ογκομετρικές φιάλες των 50 mg/L, όπου συμπληρώνονται μέχρι τη χαραγή με υπερκάθαρο νερό και αναδεύονται καλά.

##### ➤ Μέτρηση πρότυπων διαλυμάτων

Οι μετρήσεις του TOC των δειγμάτων πραγματοποιήθηκαν στο “Shimadzu” TOC-VCSH analyzer του Τμήματος Τεχνολογίας Τροφίμων του ΑΤΕΙ Θεσσαλονίκης.

- Ανοίγουμε τη βαλβίδα της φιάλης του φέροντος αερίου.
- Ανοίγουμε το μηχάνημα και περιμένουμε να κάνει τους απαραίτητους ελέγχους.
- Ρύθμιση παραμέτρων στις οποίες θα κατασκευαστεί η πρότυπη καμπύλη. Οι παράμετροι αναλύονται στον **Πίνακα 7**.

- Σε κάθε δείγμα τοποθετείται χειροκίνητα ο σωλήνας με τον οποίο γίνεται η ένεση καθώς ο δειγματολήπτης δεν είναι αυτόματος. Συνολικά σε κάθε δείγμα γίνεται ένεση 2 φορές, με μέγιστο τις 3 εάν το όργανο κρίνει ότι υπάρχει μεγάλη τυπική απόκλιση στις τιμές. Οι μετρήσεις ξεκινάνε από το διάλυμα με τη μικρότερη συγκέντρωση με αύξουσα σειρά προς αυτό με τη μεγαλύτερη. Τα αποτελέσματα κάθε μέτρησης φαίνονται στην οθόνη. Συνδυάζοντας κάθε διάλυμα με τον αντίστοιχο Μέσο Όρο της συγκέντρωσης του TOC, κατασκευάζεται η πρότυπη καμπύλη.

**Πίνακας 7:** Ρύθμιση παραμέτρων του αναλυτή TOC για την κατασκευή της πρότυπης καμπύλης.

Παράμετρος	Τιμή
Ενέσεις	2
Μέγιστο	3
SD	0.1
CV %	2.00
Όγκος (μL)	150
Λόγος οξέος (%)	1,5
Εκκαθάριση (Sparge) (min)	3.0
Μέθοδος	TOC

#### 4.10.6. Μετρήσεις δειγμάτων

Τα δείγματα εξετάζονται και για τον TOC αλλά και για τον DOC.

Για την ανάλυση του TOC μεταφέρονται 100 mL από το αρχικό δείγμα νερού σε κάθε δειγματοληψία σε πλαστικό μπουκάλι και διατηρούνται στην κατάψυξη στους -18 °C μέχρι τη μέρα της ανάλυσης.

Για την ανάλυση του DOC, απαιτείται να γίνει διήθηση εφόσον πρόκειται για το διαλυτό οργανικό περιεχόμενο. Συγκεκριμένα, όπως περιγράφηκε στην ανάλυση της Χλωροφύλλης, γίνεται διήθηση υπό κενό στο αρχικό δείγμα νερού με τη διαφορά ότι τα φίλτρα που χρησιμοποιούνται είναι τα GF/C με μέγεθος πόρων 1,2 μm. Έπειτα, 100 mL από το διήθημα μεταφέρονται σε πλαστικό μπουκάλι το οποίο συντηρείται στην κατάψυξη στους -18 °C μέχρι τη μέρα της ανάλυσης.

Για την ανάλυση των δειγμάτων, ρυθμίζονται εκ νέου οι παράμετροι του Shimadzu TOC analyzer, όπως φαίνεται στον **Πίνακα 8**.

Η μόνη διαφορά είναι ότι οι μετρήσεις γίνονται στο NPOC αντί για το TOC. Αυτό συμβαίνει γιατί έχουμε ένα περιβαλλοντικό δείγμα το οποίο είναι πιθανό να περιέχει μεγάλο ποσοστό IC το οποίο εάν δεν απομακρυνθεί θα οδηγήσει σε σφάλμα και σε λανθασμένο αποτέλεσμα

του TOC. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων καταγράφονται στην οθόνη του οργάνου. Συνολικά έγιναν μετρήσεις σε 20 δείγματα (από 10 για TOC και DOC).

**Πίνακας 8:** Ρύθμιση παραμέτρων του αναλυτή TOC για τη μέτρηση των δειγμάτων.

Παράμετρος	Τιμή
Ενέσεις	2
Μέγιστο	3
SD	0.1
CV %	2.00
Όγκος (μL)	150
Λόγος οξέος (%)	1,5
Εκκαθάριση (Sparge) (min)	3.0
Μέθοδος	NPOC

Με το πέρας των μετρήσεων ο σωλήνας με τον οποίο γίνεται η ένεση βυθίζεται μέσα σε φιάλη με υπερκάθαρο νερό.

#### **4.11. Ειδική απορρόφηση στο υπεριώδες SUVA<sub>254</sub>**

##### **4.11.1. Υλικά**

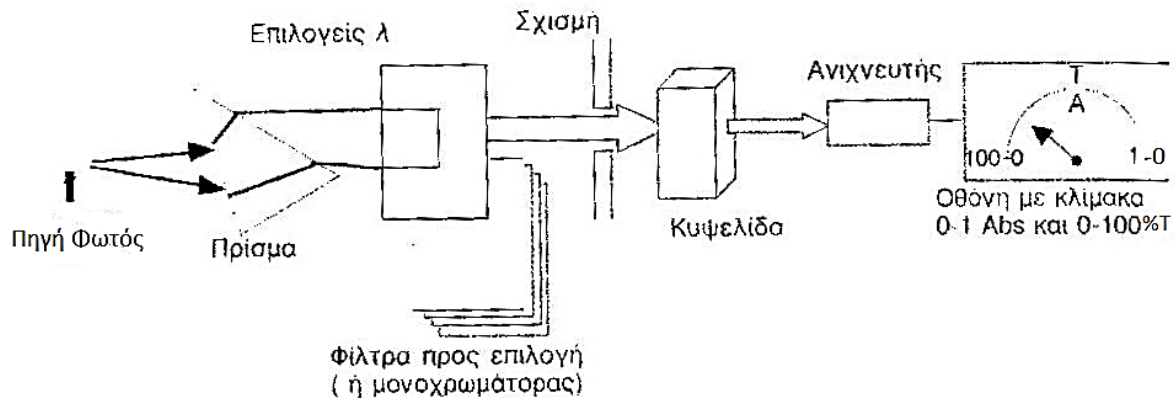
- Υδροβολέας με απιονισμένο νερό
- 2 κυψελίδες χαλαζία

##### **4.11.2. Αρχή μεθόδου**

Ακτινοβολία στην περιοχή μηκών κύματος 200-700 nm διέρχεται από το διάλυμα της ένωσης. Τα ηλεκτρόνια των δεσμών του μορίου απορροφούν ορισμένη από την ενέργεια της ακτινοβολίας που διέρχεται από το διάλυμα και διεγείρονται σε υψηλότερες κβαντικές καταστάσεις. Όσο ασθενέστερα συγκρατούνται τα ηλεκτρόνια εντός των δεσμών του μορίου, τόσο μεγαλύτερο είναι το μήκος κύματος της απορροφούμενης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας (μικρότερη ενέργεια) (Watson, D., G., 2015).

##### **4.11.3. Οργανολογία**

Στο **Σχήμα 29** φαίνεται το διάγραμμα ενός φασματοφωτομέτρου UV-Vis απλής δέσμης.



**Σχήμα 29:** Σχηματική αναπαράσταση της αρχής λειτουργίας ενός φασματοφωτομέτρου απλής δέσμης (Πηγή: Ανδρικόπουλος, 2015).

**Πηγή φωτός:** χρησιμοποιείται μία λυχνία δευτερίου για τη περιοχή UV στα 190-350 nm μια λυχνία αλογόνου/χαλαζία ή βολφραμίου για την ορατή περιοχή από 350-900 nm.

**Μονοχρωμάτορας:** χρησιμοποιείται για να διαχωρίσει το φως στα συνιστώσα μήκη κύματος, τα οποία επιλέγονται περαιτέρω από τη σχισμή εξόδου. Ο μονοχρωμάτορας περιστρέφεται έτσι ώστε ένα εύρος μηκών κύματος να διέρχεται από το δείγμα καθώς το όργανο σαρώνει το φάσμα (Watson, D., G., 2015).

**Σχισμή:** Σχηματίζεται από δύο διαφράγματα και είναι είτε σταθερή είτε ρυθμιζόμενη και με αυτήν ρυθμίζεται η ένταση της δέσμης που εξέρχεται από το μονοχρωμάτορα έτσι ώστε να βρίσκεται μέσα στα όρια ανιχνευσιμότητας του ανιχνευτή.

**Κυψελίδες:** Οι πλέον ενδεδειγμένες είναι οι ορθογώνιες παραλληλεπίπεδες τετραγωνικής διατομής (1 cm x 1 cm), ενώ υπάρχουν και τα κυλινδρικά σωληνάκια, και τοποθετούνται στην ειδική υποδοχή του οργάνου. Για τις μετρήσεις στο ορατό χρησιμοποιούνται κυψελίδες από κοινό γυαλί ή διάφανο πλαστικό, οι οποίες όμως απορροφούν σε μερικές περιοχές του υπεριώδους για αυτό για τις μετρήσεις σε αυτό το φάσμα χρησιμοποιούνται κυψελίδες χαλαζία.

**Ανιχνευτές:** Μετατρέπουν το εξερχόμενο από την κυψελίδα μονοχρωματικό φως σε ηλεκτρικό ρεύμα το οποίο μεταφράζεται σε μονάδες Abs ή % T από τα προγραμματισμένα ολοκληρωμένα κυκλώματα του οργάνου. Μπορεί να είναι φωτοβολταϊκά κύτταρα, σωλήνες κενού και φωτοπολλαπλασιαστές, που είναι και οι πλέον επικρατέστεροι. Πρόκειται για σωλήνες κενού ενισχυμένων με ενδιάμεσα ηλεκτρόδια, τις δυνόδους, τα οποία ενισχύουν το παραγόμενο ρεύμα έως και 100.000 φορές.

**Οθόνη:** Μπορεί να είναι αναλογική ή ψηφιακή και εμφανίζει τις τιμές της απορρόφησης.

**Καταγραφέας:** Μπορεί να είναι είτε μέρος του φασματοφωτομέτρου είτε ανεξάρτητο από αυτό είτε ενσωματωμένο στην οθόνη από την οποία η καταγραφή μεταφέρεται σε εκτυπωτή. Καταγράφει σε καμπύλη τις μεταβολές της Abs τις διάφορες μεταβολές του μήκους κύματος στο δείγμα και ή τις μεταβολές της Abs κατά τις διάφορες συγκεντρώσεις σε διαφορετικά δείγματα της ίδιας ουσίας (Ανδρικόπουλος, 2015).

#### 4.11.4. Μέθοδος

Για τις μετρήσεις χρησιμοποιήθηκε το φασματοφωτόμετρο που βρίσκεται στο εργαστήριο Ανάλυσης Τροφίμων του Τμήματος Τεχνολογίας Τροφίμων (Σχήμα 30)



**Σχήμα 30:** Φασματοφωτόμετρο απλής δέσμης (αριστερά) και το εσωτερικό τμήμα αυτού (δεξιά).

- Ανοίγουμε το φασματοφωτόμετρο και περιμένουμε μέχρι να κάνει όλους τους ελέγχους και να μας μεταφέρει στο αρχικό MENU.
- Ρυθμίζουμε το μήκος κύματος λ στα 254 nm.
- Στη μία κυψελίδα γεμίζουμε με απιονισμένο νερό και την τοποθετούμε στην ειδική θέση.
- Πατάμε ZERO BASE ώστε να μηδενίσει.
- Αφού η ένδειξη δείξει 0,000 A βγάζουμε την κυψελίδα.
- Στη δεύτερη κυψελίδα, ξεπλύνουμε με απιονισμένο νερό, κατόπιν με το προς ανάλυση δείγμα νερού και έπειτα γεμίζουμε με το δείγμα και την τοποθετούμε στην ειδική θέση.
- Περιμένουμε να σταθεροποιηθεί η ένδειξη στην οθόνη και καταγράφουμε την τιμή.
- Αφαιρούμε την κυψελίδα και την ξεπλύνουμε με απιονισμένο.
- Κλείνουμε το φασματοφωτόμετρο.

Τα αποτελέσματα του  $SUVA_{254}$  υπολογίζονται από τη **Σχέση 6**.

$$SUVA_{254} = \frac{UV_{254}}{DOC} \quad (6),$$

όπου,

- $UV_{254}$ : Η απορρόφηση στο υπεριώδες στα 254 nm.
- DOC: Η τιμή του περιεχόμενου Διαλυτού Οργανικού Άνθρακα του δείγματος σε mg/L.



## 5. Αποτελέσματα – Συζήτηση

Παρακάτω υπολογίζονται και παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της οργανικής ύλης των δέκα στο σύνολο αναλυόμενων δειγμάτων.

### 5.1 Θερμοκρασία

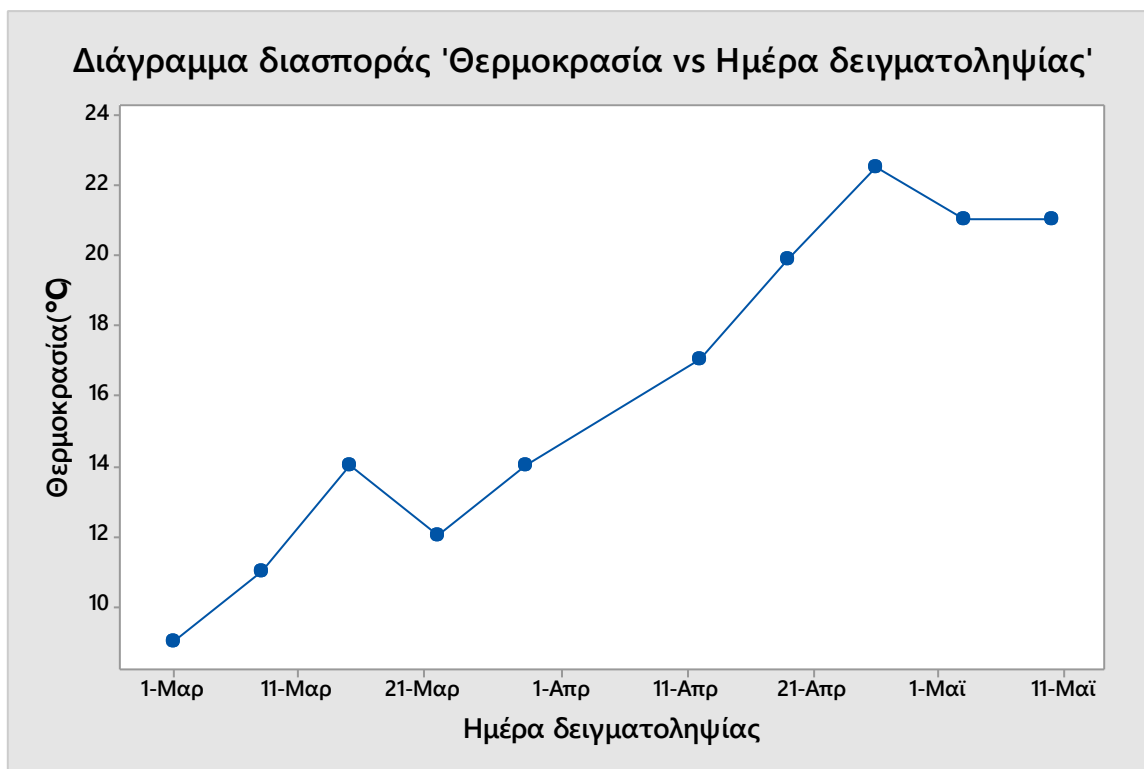
Στον **Πίνακα 9** παρουσιάζονται οι μετρήσεις της θερμοκρασίας όπως μετρήθηκαν στο πεδίο την ημέρα κάθε δειγματοληψίας.

**Πίνακας 9:** Μετρήσεις θερμοκρασίας του δείγματος νερού την ημέρα της δειγματοληψίας στο πεδίο.

Ημερομηνία δειγματοληψίας	Θερμοκρασία (°C)
1-Μαρτίου	9
8- Μαρτίου	11
15- Μαρτίου	14
22- Μαρτίου	12
29- Μαρτίου	14
12-Απριλίου	17
19- Απριλίου	19.9
26- Απριλίου	22.5
3-Μαΐου	21
10- Μαΐου	21

Οι μετρήσεις του **Πίνακα 9** παρουσιάζονται και στο διάγραμμα του **Σχήματος 34**. Τα διαγράμματα έγιναν με τη βοήθεια του στατιστικού προγράμματος Minitab 17. Παρατηρούμε ότι η θερμοκρασία αυξάνεται, με εξαίρεση κάποιες διακυμάνσεις το Μάρτιο, με την υψηλότερη τιμή να εμφανίζεται στις 26 Απριλίου.

Σύμφωνα με την 75/440/ΕΟΚ (<http://www.waterlabs.gr>), η τιμή της θερμοκρασίας για νερό που προορίζεται για πόσιμο είναι 22 °C. Οι τιμές των δειγμάτων πλησιάζουν την τιμή της νομοθεσίας από τον Απρίλιο και μετά, καθώς το Μάρτιο ήταν πολύ χαμηλότερες, όπως και αναμενόταν λόγω της εποχής.



**Σχήμα 34:** Διακύμανση τη θερμοκρασίας των δειγμάτων νερού στη διάρκεια των δειγματοληψιών.

## 5.2 pH

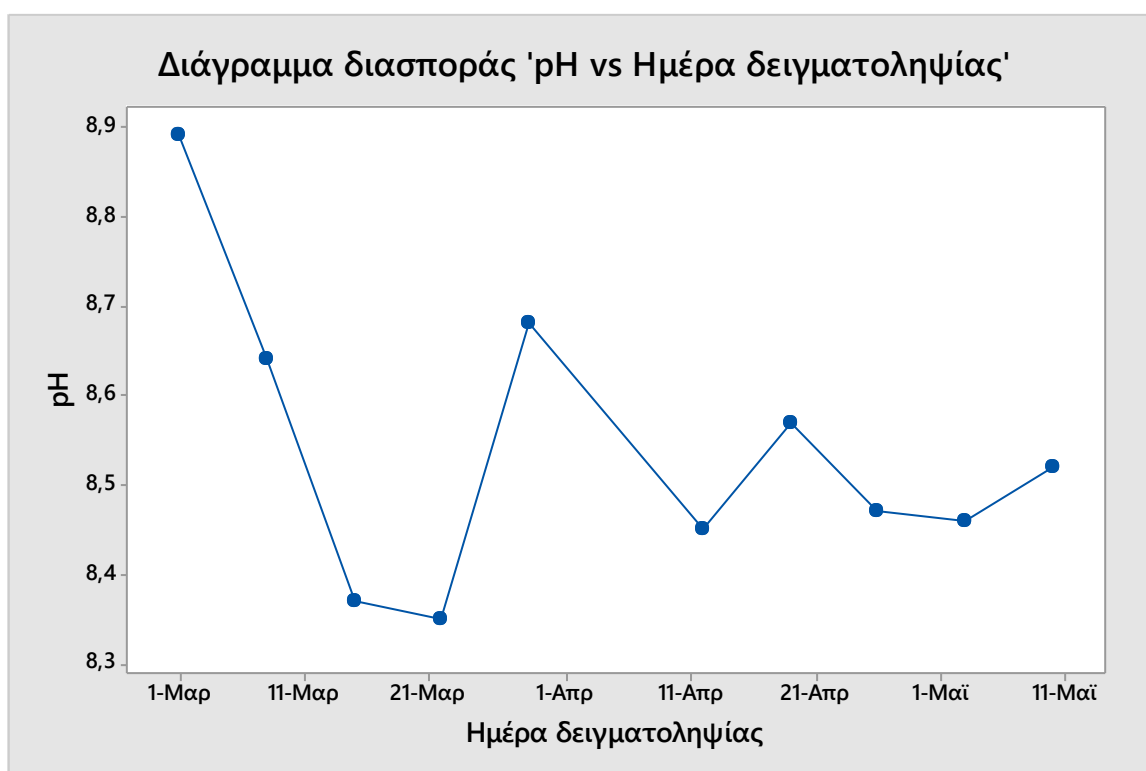
Οι τιμές του pH των δειγμάτων νερού όπως μετρήθηκαν τη μέρα κάθε δειγματοληψίας παρουσιάζονται στον Πίνακα 10.

**Πίνακας 10:** Μετρήσεις του pH των δειγμάτων νερού την ημέρα της δειγματοληψίας.

Ημερομηνία δειγματοληψίας	pH
1-Μαρτίου	8.89
8- Μαρτίου	8.64
15- Μαρτίου	8.37
22- Μαρτίου	8.35
29- Μαρτίου	8.68
12-Απριλίου	8.45
19- Απριλίου	8.57
26- Απριλίου	8.47
3-Μαΐου	8.46
10- Μαΐου	8.52

Οι παραπάνω μετρήσεις παρουσιάζονται στο διάγραμμα του **Σχήματος 35**. Οι τιμές του pH δεν παρουσιάζουν μεγάλες αυξομειώσεις καθώς κυμαίνονται από 8,35-8,89. Το Μάρτιο εμφανίζονται οι υψηλότερες αλλά και οι χαμηλότερες τιμές, με τους υπόλοιπους μήνες να κινούνται σε παρόμοια επίπεδα.

Σύμφωνα με την 75/440/ΕΟΚ (<http://www.waterlabs.gr>), η τιμή του pH για νερό που προορίζεται για πόσιμο είναι 5,5-9, με τις τιμές των δειγμάτων να είναι μέσα στα όρια.



**Σχήμα 35:** Διακύμανση του pH στη διάρκεια των δειγματοληψιών.

### 5.3 Διαλυμένο οξυγόνο

Για τα αποτελέσματα του διαλυμένου οξυγόνου του δείγματος θα γίνει χρήση της **Σχέσης 1**. Για παράδειγμα, για το δείγμα στις 8 Μαρτίου, το  $DO_0$  υπολογίζεται ως εξής:

$$\text{mg O}_2/\text{L} = \frac{V \times N \times 8 \times 1000}{V_S \frac{(B-2)}{B}} = \frac{6,3 \times 0,01 \times 8 \times 1000}{50 \left( \frac{319,49-2}{319,49} \right)} = 10,14 \text{ mg O}_2/\text{L}.$$

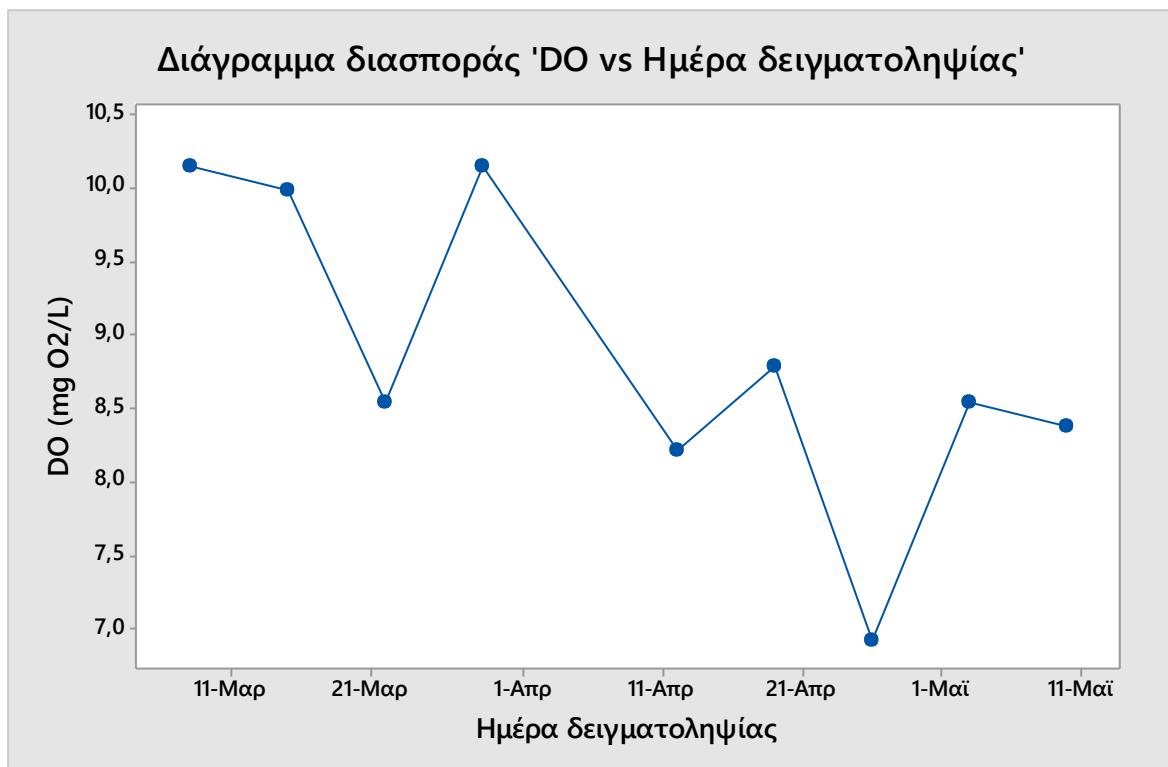
Τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα φαίνονται στον **Πίνακα 11**.

**Πίνακας 11:** Αποτελέσματα των μετρήσεων του Διαλυμένου Οξυγόνου των δειγμάτων την ημέρα της δειγματοληψίας.

Ημερομηνία δειγματοληψίας	M.O. mL Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	DO <sub>0</sub> (mg O <sub>2</sub> /L)
1-Μαρτίου	-	-
8- Μαρτίου	6.3	10.14
15- Μαρτίου	6.2	9.98
22- Μαρτίου	5.3	8.53
29- Μαρτίου	6.3	10.14
12-Απριλίου	5.1	8.21
19- Απριλίου	5.5	8.78
26- Απριλίου	4.3	6.92
3-Μαΐου	5.3	8.53
10- Μαΐου	5.2	8.37

\*Για τη 1 Μαρτίου σημειώνεται ότι δεν είχαν πραγματοποιηθεί μετρήσεις. Η φιάλη που χρησιμοποιήθηκε ήταν η ίδια κάθε φορά για τη μέρα της δειγματοληψίας με όγκο 314,49 mL.

Στο **Σχήμα 36** φαίνεται το διάγραμμα του Διαλυμένου Οξυγόνου συναρτήσει του χρόνου.



**Σχήμα 36:** Διάγραμμα μεταβολής του Διαλυμένου Οξυγόνου συναρτήσει του χρόνου δειγματοληψίας.

Η συσχέτιση του διαλυμένου οξυγόνου με την πάροδο του χρόνου είναι μέτρια, με τις τιμές του να παρουσιάζουν κάποιες αυξομειώσεις όσο περνάνε οι εβδομάδες. Σύμφωνα με τους Sharma et al., 2016, υψηλές τιμές DO οφείλονται σε υψηλή φωτοσυνθετική δραστηριότητα του φυτοπλαγκτού, ωστόσο αυτό δεν παρατηρείται στις τιμές των δειγμάτων οι οποίες είναι σχετικά χαμηλές.

#### 5.4 Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο

Για τις μετρήσεις του BOD<sub>5</sub> θα χρησιμοποιηθεί η Σχέση 2. Για παράδειγμα για το δείγμα στις 8 Μαρτίου, το BOD<sub>5</sub> υπολογίζεται ως εξής:

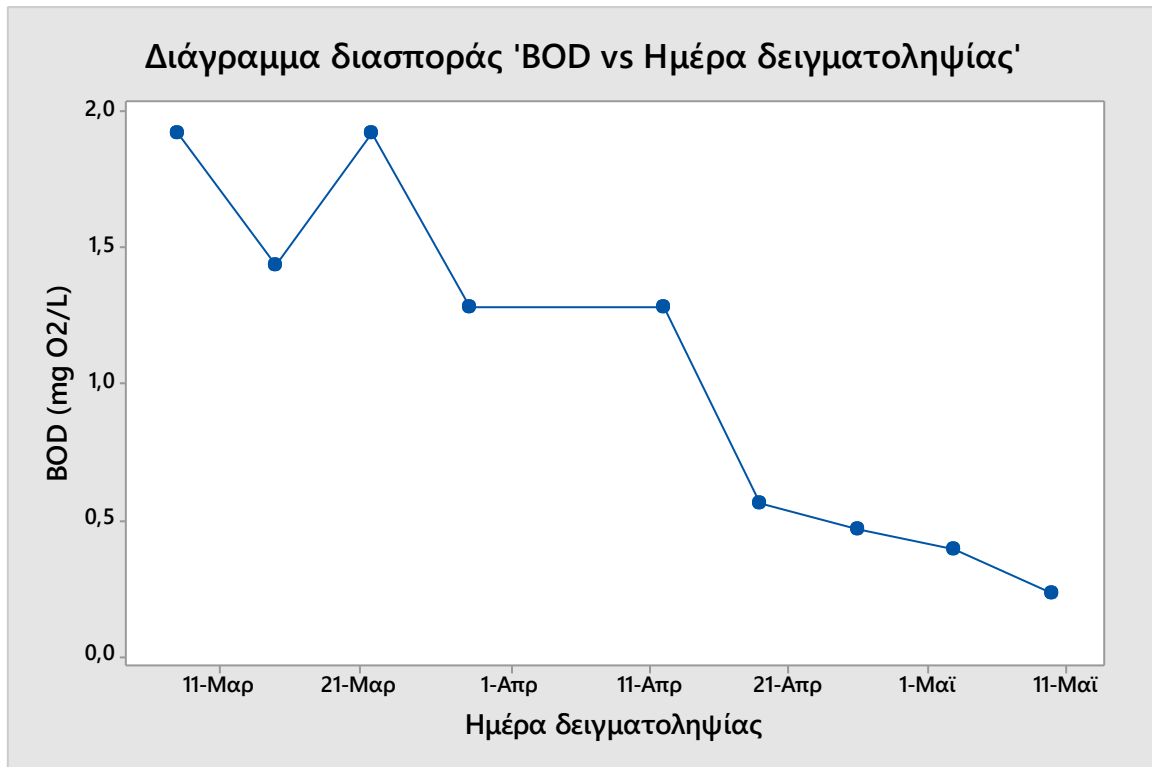
$$\text{BOD}_5 \text{ (mg/L)} = \text{DO}_0 - \text{DO}_1 = 10,14 - 8,22 = 1,92 \text{ mg/L.}$$

Τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα του BOD<sub>5</sub> φαίνονται στον **Πίνακα 12**, μαζί με τις αντίστοιχες τιμές του DO<sub>0</sub> αλλά και του DO<sub>1</sub>, δηλαδή του Διαλυμένου Οξυγόνου που μετρήθηκε μετά από 5 μέρες. Σημειώνεται ότι για τον υπολογισμό του DO<sub>1</sub> χρησιμοποιήθηκε η Σχέση 1, με τη μόνη διαφορά ότι χρησιμοποιήθηκε η φιάλη των 274,47 mL σε όλες τις μετρήσεις.

**Πίνακας 12:** Συγκεντρωτικά αποτελέσματα του DO<sub>0</sub>, DO<sub>1</sub> και του BOD<sub>5</sub> για κάθε ημέρα δειγματοληψίας.

Ημερομηνία δειγματοληψίας	DO <sub>0</sub> (mg O <sub>2</sub> /L)	M.O. mL Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	DO <sub>1</sub> (mg O <sub>2</sub> /L)	BOD <sub>5</sub> (mg/L)
1-Μαρτίου	-	-	-	-
8- Μαρτίου	10.14	5.1	8.22	1.92
15- Μαρτίου	9.98	5.3	8.54	1.44
22- Μαρτίου	8.53	4.1	6.61	1.92
29- Μαρτίου	10.14	5.5	8.86	1.28
12-Απριλίου	8.21	4.3	6.93	1.28
19- Απριλίου	8.78	5.1	8.22	0.56
26- Απριλίου	6.92	4	6.45	0.47
3-Μαΐου	8.53	5.1	8.14	0.39
10- Μαΐου	8.37	5.1	8.14	0.23

Στο **Σχήμα 37** φαίνεται το διάγραμμα του BOD<sub>5</sub> συναρτήσεως του χρόνου για όλες τις ημέρες της δειγματοληψίας.



**Σχήμα 37:** Διάγραμμα μεταβολής των τιμών του BOD<sub>5</sub> συναρτήσει του χρόνου.

Πέρα από το Μάρτιο που παρουσιάζονται κάποιες αυξομειώσεις στην τιμή του BOD<sub>5</sub>, οι τιμές κατά κύριο λόγο μειώνονται με το πέρασμα των εβδομάδων.

Σύμφωνα με την 75/440/ΕΟΚ (<http://www.waterlabs.gr>), η τιμή του BOD<sub>5</sub> για νερό που προορίζεται για πόσιμο είναι <7. Οι τιμές των δειγμάτων υπακούουν σε αυτά τα όρια καθώς η μέγιστη τιμή είναι 1,92 mg O<sub>2</sub>/L.

## 5.5 Χλωροφύλλη

Για την επεξεργασία των αποτελεσμάτων γίνεται χρήση των Σχέσεων 3 και 4. Για παράδειγμα, για το δείγμα της 1 Μαρτίου, η χλωροφύλλη υπολογίζεται ως εξής:

$$(3) \rightarrow \text{Chl}_a \text{ (χλωροφύλλη } \alpha) = 11,85 \times A_{664} - 1,54 \times A_{647} - 0,08 \times A_{630} = 11,85 \times 0,037 - 1,54 \times 0,011 - 0,08 \times 0,008 = 0,420 .$$

Το αποτέλεσμα θα γίνει αντικατάσταση στη Σχέση 4,

$$(4) \rightarrow \text{mg}_{\text{Chl}_a} / \text{m}^3 = \frac{\text{Chl}_a \times V_{\text{ακετόνης}}}{V_{\text{ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ}} \times 10} = \frac{0,420 \times 5}{0,8 \times 10} = 0,262 \text{ mg/L.}$$

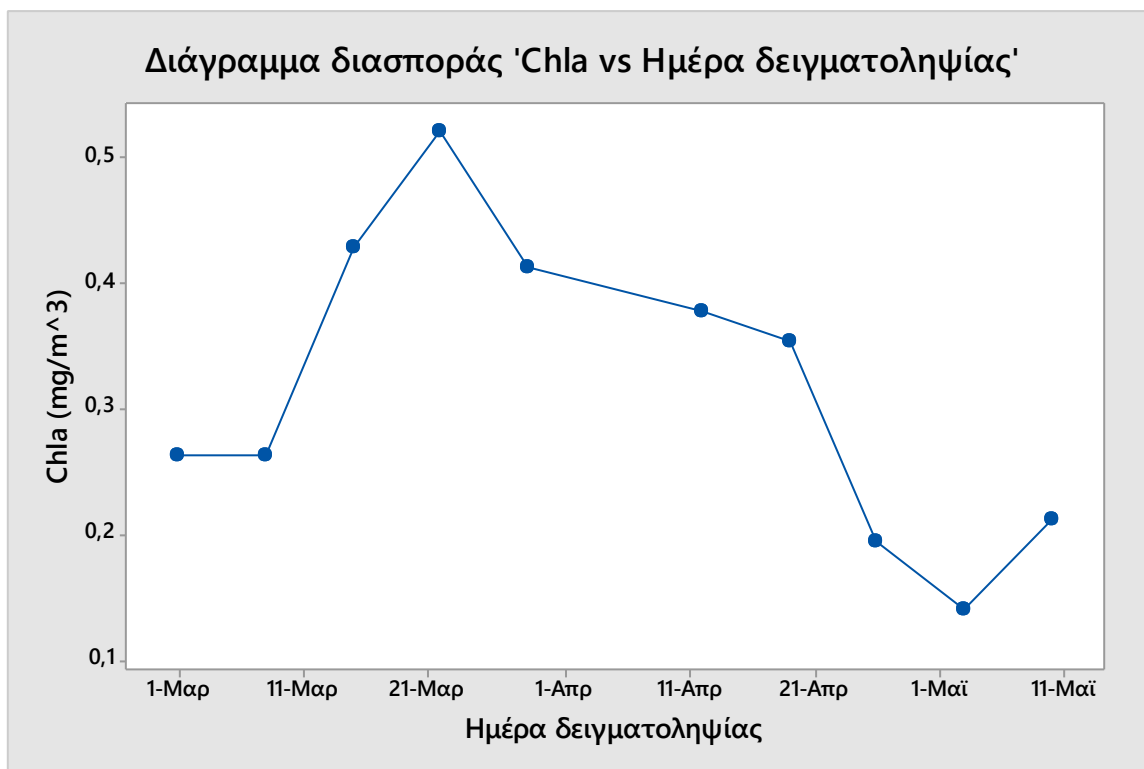
Σημειώνεται ότι ο όγκος της ακετόνης είναι ο ίδιος σε όλες τις μετρήσεις στα 5mL, ενώ ο όγκος του δείγματος για τις 8 Μαρτίου είναι 0,73mL, ενώ για τα υπόλοιπα δείγματα διηθήθηκαν 0,7mL. Τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα φαίνονται στον Πίνακα 13.

**Πίνακας 13:** Αποτελέσματα των μετρήσεων στα 4 μήκη κύματος (664, 647, 630 και 750nm), της Chla αλλά και της τελικής συγκέντρωσης αυτής στο εξεταζόμενο δείγμα.

Ημερομηνία δειγματοληψίας	A <sub>664</sub>	A <sub>647</sub>	A <sub>630</sub>	A <sub>750</sub>	Chla	mg <sub>Chla</sub> /m <sup>3</sup>
1-Μαρτίου	0.037	0.011	0.008	0	0.420	0.262
8- Μαρτίου	0.038	0.016	0.013	0.004	0.384	0.263
15- Μαρτίου	0.053	0.018	0.012	0	0.599	0.428
22- Μαρτίου	0.072	0.027	0.019	0.008	0.728	0.520
29- Μαρτίου	0.059	0.024	0.017	0.008	0.578	0.413
12-Απριλίου	0.046	0.011	0.002	0	0.528	0.377
19- Απριλίου	0.044	0.016	0.011	0	0.496	0.354
26- Απριλίου	0.024	0.007	0.005	0	0.273	0.195
3-Μαΐου	0.017	0.013	0.001	0	0.201	0.144
10- Μαΐου	0.026	0.007	0.004	0	0.297	0.212

Η συγκέντρωση της Χλωροφύλλης α σε σχέση με το χρόνο φαίνεται στο **Σχήμα 38**. Από το διάγραμμα παρατηρείται ότι η χλωροφύλλη α πιάνει τη μέγιστη τιμή της στις 22 Μαρτίου και έπειτα αρχίζει να μειώνεται. Εξαιρέση αποτελεί το δείγμα στις 10 Μαΐου που αντί να μειώνεται, αυξάνεται.

Οι Bharathi et al., 2017, αναφέρουν ότι αυξημένη ποσότητα της συγκέντρωσης της Chl-a στα οικοσυστήματα μπορεί να οφείλεται σε βελτιστοποίηση της αλκαλικότητας και της δομής των θρεπτικών. Υψηλή συγκέντρωση αυτής συνεπάγεται μεγαλύτερη παραγωγικότητα φυτοπλαγκτού. Οι τιμές των δειγμάτων παρατηρούμε ότι κυμαίνονται από 0.195-0.520 mg/m<sup>3</sup>, και σύμφωνα με την <http://ikee.lib.auth.gr>, πρόκειται για ένα oligότροφο περιβάλλον του οποίου τα όρια είναι 0.1-0.5 mg/m<sup>3</sup> και οφείλεται σε χαμηλή φωτοσυνθετική δραστηριότητα κυρίως λόγω της χαμηλής συγκέντρωσης θρεπτικών.



**Σχήμα 38:** Διάγραμμα μεταβολής της χλωροφύλλης α συναρτήσει του χρόνου.

## 5.6 Ολικός Οργανικός Άνθρακας – Διαλυτός Οργανικός Άνθρακας

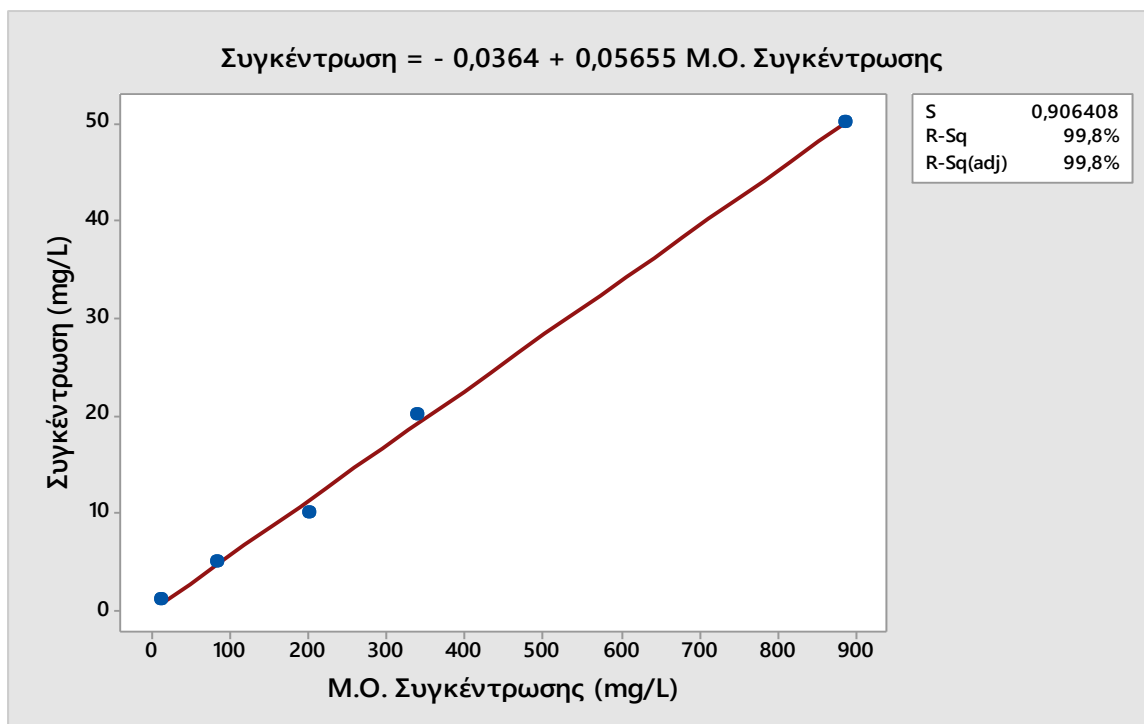
### 5.6.1 Αποτελέσματα μέτρησης πρότυπης καμπύλης

Στον **Πίνακα 14** φαίνονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων για την πρότυπη καμπύλη βαθμονόμησης.

Συγκέντρωση (mg/L)	M.O. (mg/L)	Τυπική Απόκλιση	CV (%)
1	13.29	0.47	3.51
5	84.57	1.13	1.34
10	200.4	1.41	0.71
20	340.2	3.25	0.96
50	885.6	3.68	0.42

Το διάγραμμα της πρότυπης καμπύλης συναρτήσει των αντίστοιχων συγκεντρώσεων φαίνονται στο **Σχήμα 39**.





**Σχήμα 39:** Πρότυπη καμπύλη βαθμονόμησης για τις μετρήσεις των TOC-DOC.

Το  $R^2$  της καμπύλης βγαίνει ίσο με 99,8% που είναι πολύ κοντά στη μονάδα άρα η συσχέτιση είναι ισχυρή ώστε να μην υπάρξει μεγάλο σφάλμα κατά τη διάρκεια των μετρήσεων του TOC και του DOC.

#### 5.6.2 Αποτελέσματα μέτρησης της συγκέντρωσης σε TOC και DOC των δειγμάτων

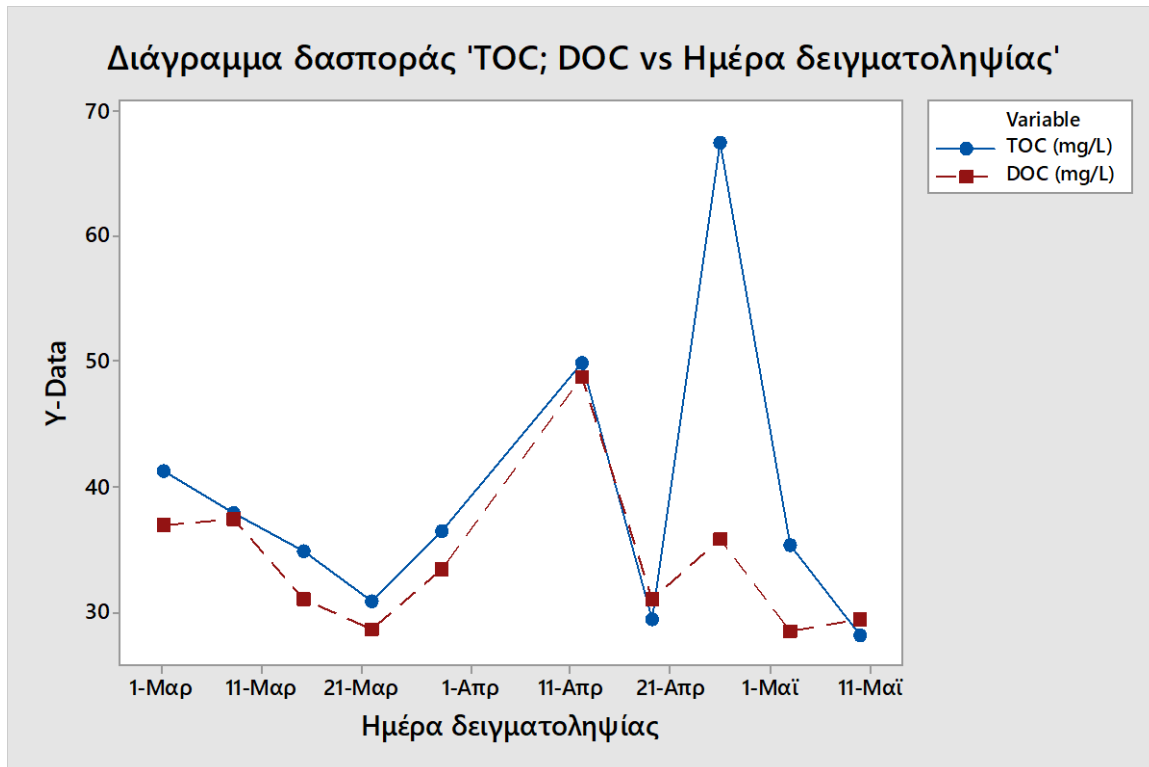
Ο μέσος όρος των συγκεντρώσεων για τον TOC και DOC, αντίστοιχα, φαίνονται στον **Πίνακα 15**.

**Πίνακας 15:** Οι συγκεντρώσεις του TOC και του DOC των αναλυόμενων δειγμάτων.

Ημερομηνία δειγματοληψίας	TOC (mg/L)	DOC (mg/L)
1-Μαρτίου	41.16	36.98
8- Μαρτίου	37.9	37.36
15- Μαρτίου	34.88	30.94
22- Μαρτίου	30.83	28.62
29- Μαρτίου	36.37	33.36
12-Απριλίου	49.93	48.70
19- Απριλίου	29.36	31.06
26- Απριλίου	67.39	35.73
3-Μαΐου	35.4	28.5
10- Μαΐου	28.10	29.38

Στο **Σχήμα 40** φαίνεται και το διάγραμμα μεταβολής των παραπάνω τιμών συναρτήσει του χρόνου.

Τα όρια της 75/440/ΕΟΚ (<http://www.waterlabs.gr>) για τον TOC για νερό που προορίζεται για πόσιμο δεν αναφέρονται, συνεπώς δεν μπορεί να γίνει σύγκριση με τις τιμές των δειγμάτων.



**Σχήμα 40:** Διάγραμμα μεταβολής της συγκέντρωσης TOC & DOC κατά τη διάρκεια των δειγματοληψιών.

### 5.7 Ειδική απορρόφηση στο υπεριώδες $SUVA_{254}$

Για τον υπολογισμό της ειδικής παραμέτρου  $SUVA_{254}$  θα χρησιμοποιηθεί η **Σχέση 6**. Για το δείγμα στη 1 Μαρτίου, για παράδειγμα, θα γίνει:

$$SUVA_{254} = \frac{UV_{254}}{DOC} = \frac{0.021}{36.98} = 0.006 \text{ nm.}$$

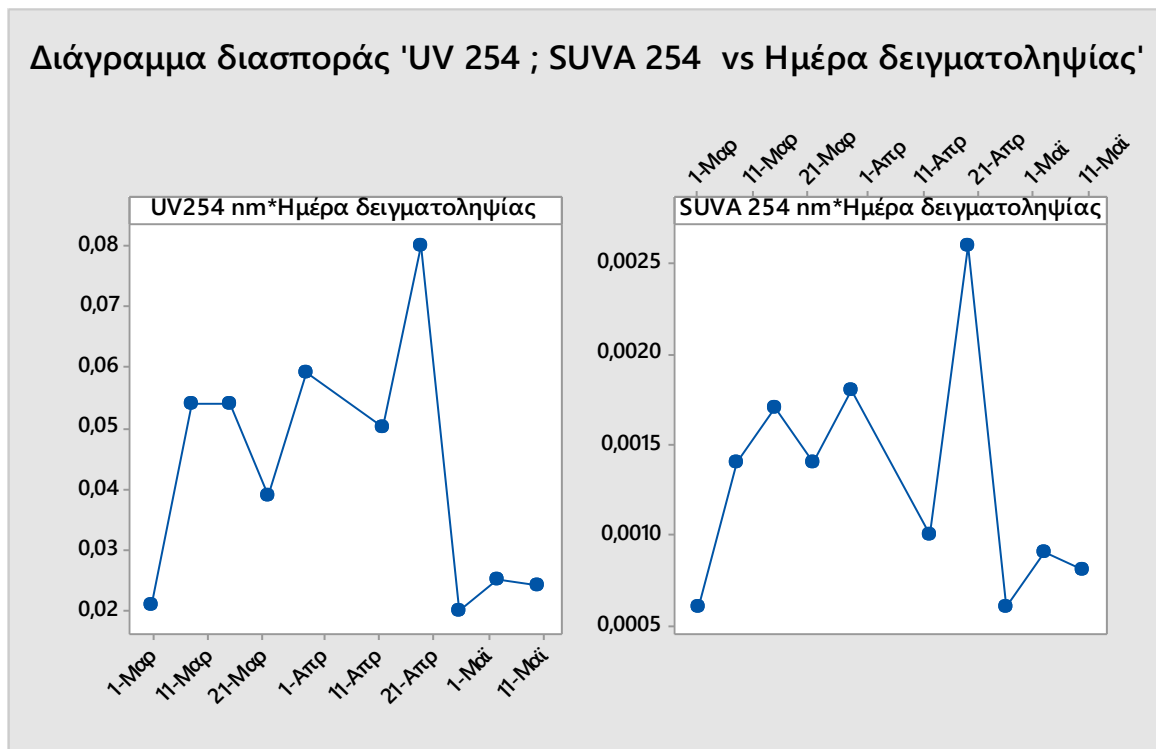
Για τις μετρήσεις στο υπεριώδες  $UV_{254}$  σκοπός ήταν η ποιοτική παρακολούθηση της τιμής για αυτό το λόγο δεν κατασκευάστηκε καμπύλη βαθμονόμησης. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων φαίνονται στον **Πίνακα 16**.

**Πίνακας 16:** Αποτελέσματα μετρήσεων της απορρόφησης στο UV στα 254 nm και της παραμέτρου SUVA<sub>254</sub>.

Ημερομηνία δειγματοληψίας	UV <sub>254</sub>	SUVA <sub>254</sub>
1-Μαρ	0.021	0.0006
8-Μαρ	0.054	0.0014
15-Μαρ	0.054	0.0017
22-Μαρ	0.039	0.0014
29-Μαρ	0.059	0.0018
12-Απρ	0.05	0.0010
19-Απρ	0.08	0.0026
26-Απρ	0.02	0.00056
3-Μαΐ	0.025	0.0009
10-Μαΐ	0.024	0.0008

Τα αποτελέσματα του **Πίνακα 16** αναπαριστώνται γραφικά στο **Σχήμα 41**.

Όπως φαίνεται από το **Σχήμα 41**, και οι δύο παράμετροι εμφανίζουν τη μέγιστη τιμή τους στις 19 Απριλίου και τη χαμηλότερη στις 26 Απριλίου. Γενικά το διάγραμμα δεν παρουσιάζει μία συνεχή αύξηση ή μείωση αλλά χαρακτηρίζεται από αυξομειώσεις στις τιμές του οι οποίες ωστόσο δεν έχουν μεγάλη απόκλιση μεταξύ τους. Η απορρόφηση στο UV<sub>254</sub> θα εξεταστεί και σε σύγκριση με το TOC.



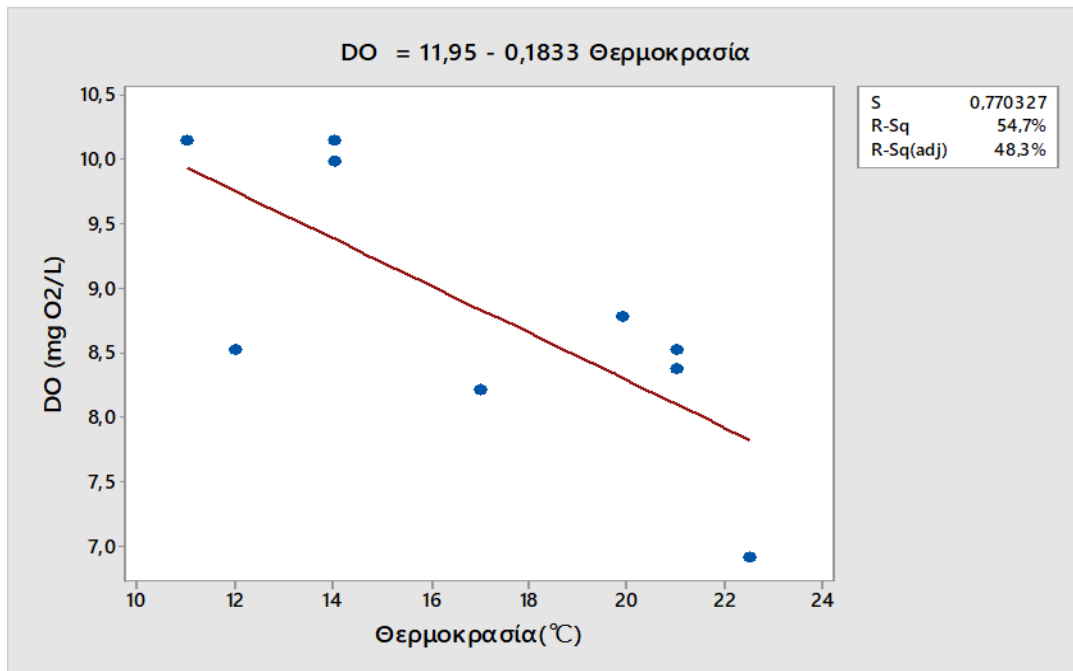
**Σχήμα 41:** Διάγραμμα μεταβολής της απορρόφησης στο UV στα 254nm και της παραμέτρου SUVA<sub>254</sub> κατά τη διάρκεια των δειγματοληψιών.

Οι χαμηλές τιμές του δείκτη SUVA εξηγείται σύμφωνα με τους παρακάτω ερευνητές. Οι Hansen et al., 2016, επισημαίνουν ότι υψηλή τιμή του δείκτη SUVA σχετίζεται με πλούσιο αρωματικό περιεχόμενο. Για τα επιφανειακά νερά η συγκέντρωση κυμαίνεται από 1,0-6,0 L mg<sup>-1</sup> C<sup>-1</sup> m<sup>-1</sup>. Μικρότερες τιμές των ορίων υποδεικνύουν ότι η DOM αποτελείται στο μεγαλύτερο μέρος της από μικρού μοριακού βάρους, αλειφατικές ενώσεις που δεν απορροφούν στα 254 nm. Όμοια, οι Pan et al., 2016, αναφέρουν ότι τιμή μεγαλύτερη του 4 υποδεικνύει την παρουσία υδρόφοβων και συγκεκριμένα αρωματικής NOM, ενώ τιμές μικρότερες από 3 υποδεικνύουν την παρουσία κυρίως υδρόφιλης NOM. Συνεπώς το δείγμα αποτελείται κυρίως από αλειφατικές ενώσεις μικρού μοριακού βάρους.

## 5.8 Συνδυασμός παραμέτρων

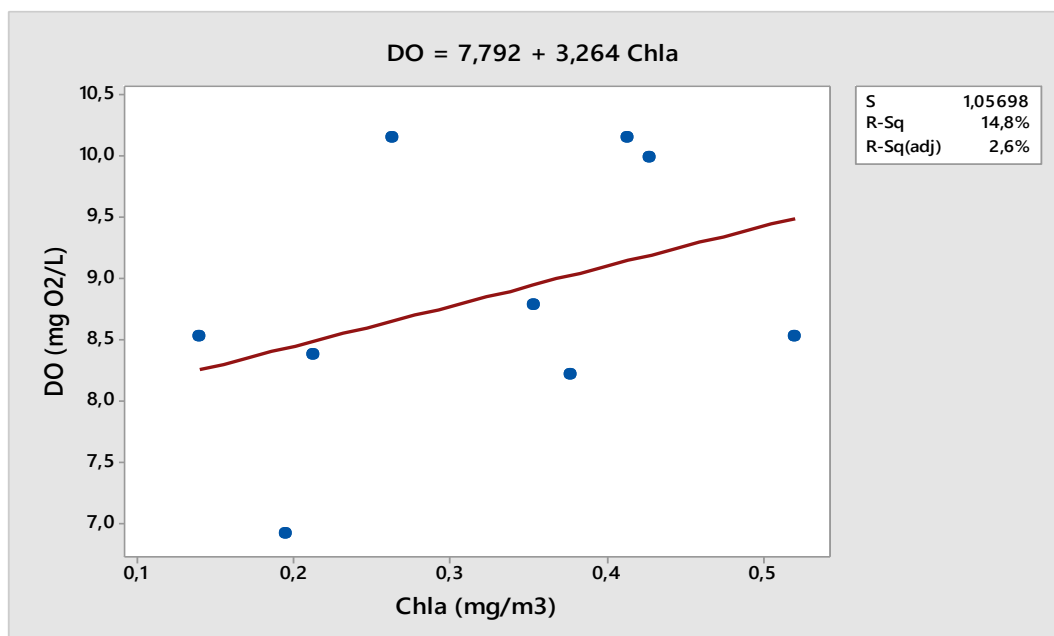
### 5.8.1 Διαλυμένο Οξυγόνο/Θερμοκρασία

Όπως έχει αναφερθεί στο *Κεφάλαιο 4*, η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου έχει αντίστροφη σχέση με τη θερμοκρασία των ρευμάτων. Συγκεκριμένα, με αύξηση της θερμοκρασίας αναμένεται να μειώνεται η συγκέντρωση αυτού. Πράγματι, όπως παρατηρείται στο **Σχήμα 42** όπου απεικονίζεται η μεταβολή του DO σε σχέση με την αντίστοιχη θερμοκρασία του δείγματος, η μαθηματική εξίσωση είναι  $DO = -0.1833 \text{ Θερμοκρασία} + 11.95$ , δηλαδή όσο πιο πολύ αυξάνεται η θερμοκρασία του περιβάλλοντος και κατά συνέπεια του δείγματος, τόσο μειώνεται και η συγκέντρωση του DO. Ωστόσο, η συσχέτιση είναι μέτρια καθώς το  $R^2 = 54,7\%$ . Παρατηρείται επίσης ότι αν και στους 14°C η συγκέντρωση του DO είναι κοντά στα 10 mg O<sub>2</sub>/L, δηλαδή παρουσιάζει αύξηση αντί για μείωση που θα ήταν το αναμενόμενο.



**Σχήμα 42:** Γράφημα απλής παλινδρόμησης του Διαλυμένου Οξυγόνου ( $\text{mg O}_2/\text{L}$ ) συναρτήσεως της θερμοκρασίας στο πεδίο δειγματοληψίας.

### 5.8.2. Διαλυμένο Οξυγόνο/Χλωροφύλλη α

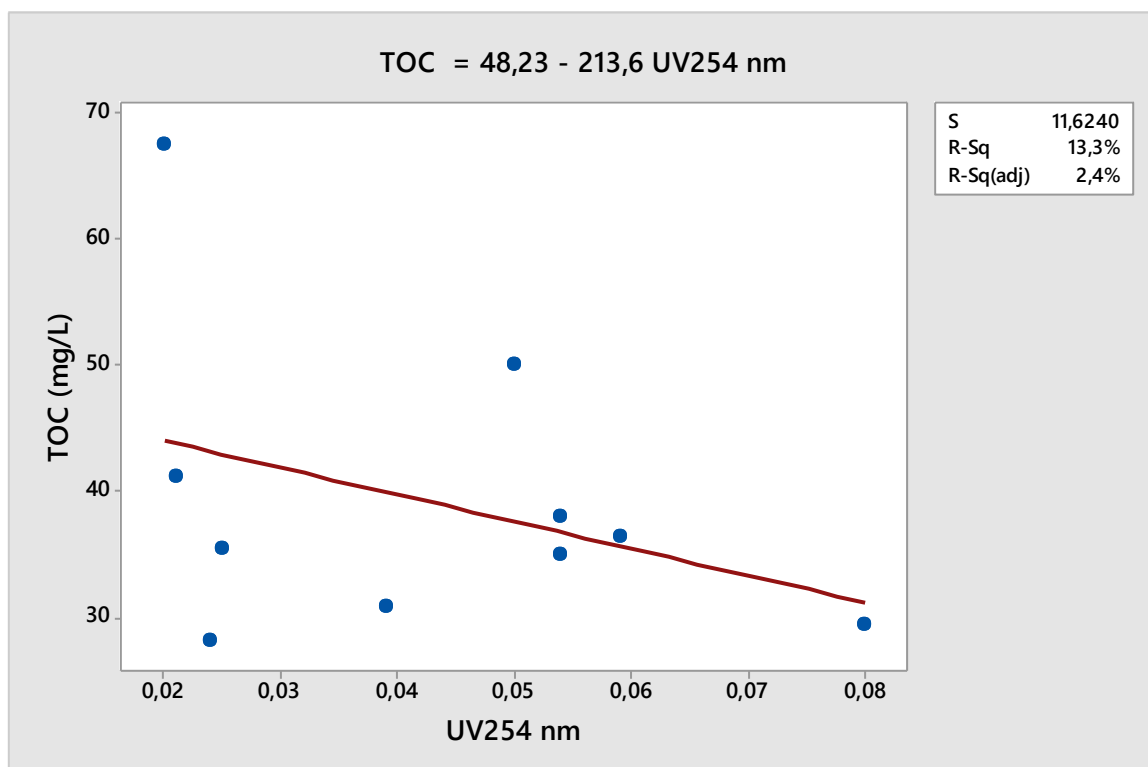


**Σχήμα 43:** Γράφημα απλής παλινδρόμησης του Διαλυμένου οξυγόνου ( $\text{mg O}_2/\text{L}$ ) συναρτήσεως της συγκέντρωσης της Χλωροφύλλης α ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ).

Ένας από τους παράγοντες που επίσης προκαλούν διακυμάνσεις στη συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου είναι η φωτοσύνθεση, όπως αναφέρθηκε στο *Κεφάλαιο 4*. Η παράμετρος που μελετήθηκε και είναι σχετική με τη φωτοσύνθεση είναι η χλωροφύλλη α. Στο **Σχήμα 43** μελετήθηκε η συσχέτιση των δύο παραμέτρων και η εξίσωση βρέθηκε ίση με  $DO = 3.264 Chla + 7.792$ , δηλαδή τόσο μεγαλύτερος είναι ο ρυθμός της φωτοσύνθεσης τόσο αυξάνονται τα επίπεδα του DO στο δείγμα. Λόγω των διακυμάνσεων των τιμών που δεν είχαν μία σταθερή πορεία, η συσχέτιση μεταξύ τους είναι μικρή με το  $R^2=14.8\%$  και το συντελεστή  $S=1.1$ , δείγμα του ότι οι τιμές δεν είχαν μεγάλη απόκλιση μεταξύ τους.

### 5.8.3. TOC/UV<sub>254</sub>

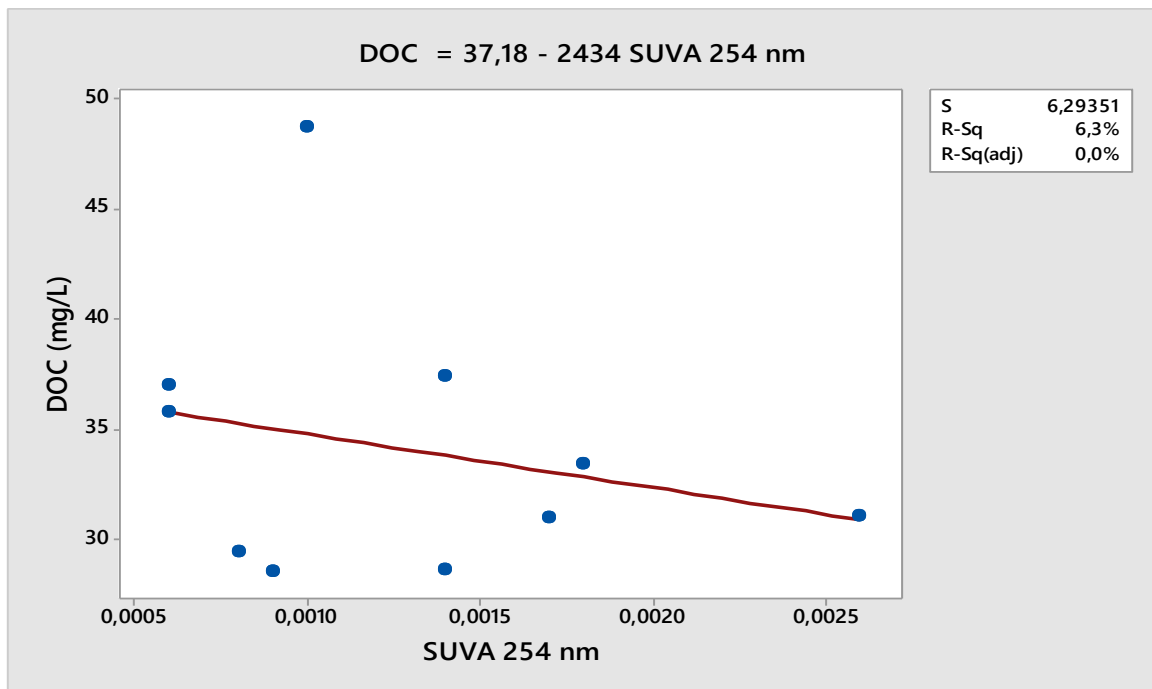
Σύμφωνα με τους Albrektiené et al., 2012, αν η απορρόφηση στο UV<sub>254</sub> είναι μεγάλη τότε θα αναμένεται και η συγκέντρωση του TOC να είναι εξίσου υψηλή. Από το **Σχήμα 44**, παρατηρείται ότι η εξίσωση είναι  $TOC = -213.6 UV_{254} + 48.23$ , δηλαδή δεν υπάρχει θετική συσχέτιση μεταξύ των δύο μεταβλητών κάτι που υποδηλώνεται και από το  $R^2=13.3\%$ , σε αντίθεση με τους Albrektiené et al., 2012 οι οποίοι βρήκαν το συντελεστή συσχέτισης μεταξύ UV<sub>254</sub>/TOC 0,94. Αν και οι τιμές παρουσιάζουν κάποια απόκλιση μεταξύ τους, όπως αναφέρεται από τους Lamsal et al., 2011, η απορρόφηση στα 254 nm γίνεται κυρίως από αρωματικές ενώσεις. Συνεπώς, το κλάσμα του Ολικού Οργανικού Άνθρακα δεν αποτελείται σε μεγάλο βαθμό από αυτές.



**Σχήμα 44:** Γράφημα απλής παλινδρόμησης του Ολικού Οργανικού Άνθρακα(mg/L) συναρτήσει της απορρόφησης στο UVστα 254 nm.

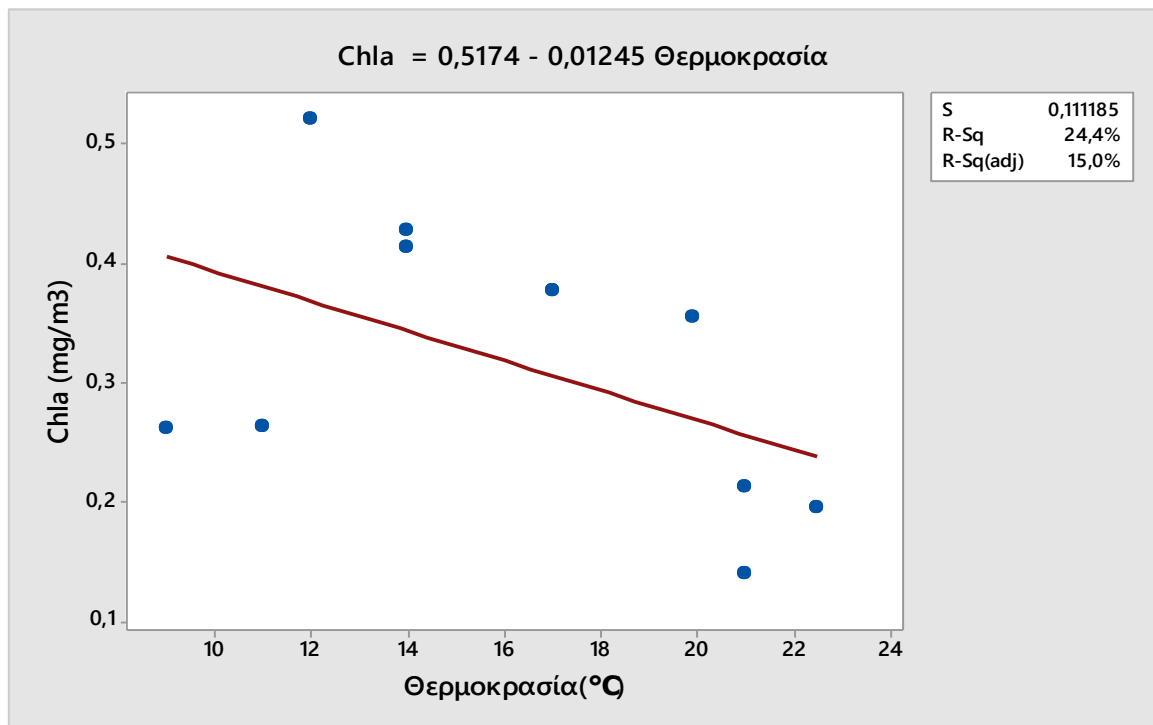
#### 5.8.4. DOC/SUVA<sub>254</sub>

Σύμφωνα με τους Lamsal et al., 2011, η παράμετρος SUVA<sub>254</sub> χρησιμοποιείται για να εντοπίσει μεταβολές στον αρωματικό χαρακτήρα της NOM, ενώ οι Hansen et al., 2016 ανέφεραν ότι έχει ισχυρή συσχέτιση με το κλάσμα του υδρόφοβου οργανικού οξέος της DOM. Από το **Σχήμα 45** ωστόσο, παρατηρείται ότι η εξίσωση είναι  $DOC = -2434 SUVA_{254} + 37.18$ , με  $R^2=6.3\%$ . Συνεπώς, δεν υπάρχει συσχέτιση μεταξύ του διαλυτού οργανικού άνθρακα, άρα το κλάσμα των αρωματικών και χουμικών ενώσεων είναι φτωχό στο δείγμα του νερού.



**Σχήμα 45:** Γράφημα απλής παλινδρόμησης του Διαλυτού Οργανικού Άνθρακα (mg/L) συναρτήσει της ειδικής απορρόφησης SUVA στα 254 nm.

### 5.8.5. Χλωροφύλλη α/Θερμοκρασία



**Σχήμα 46:** Γράφημα απλής παλινδρόμησης της συγκέντρωσης της Χλωροφύλλης α (mg/m<sup>3</sup>) συναρτήσει της θερμοκρασίας του δείγματος (°C).

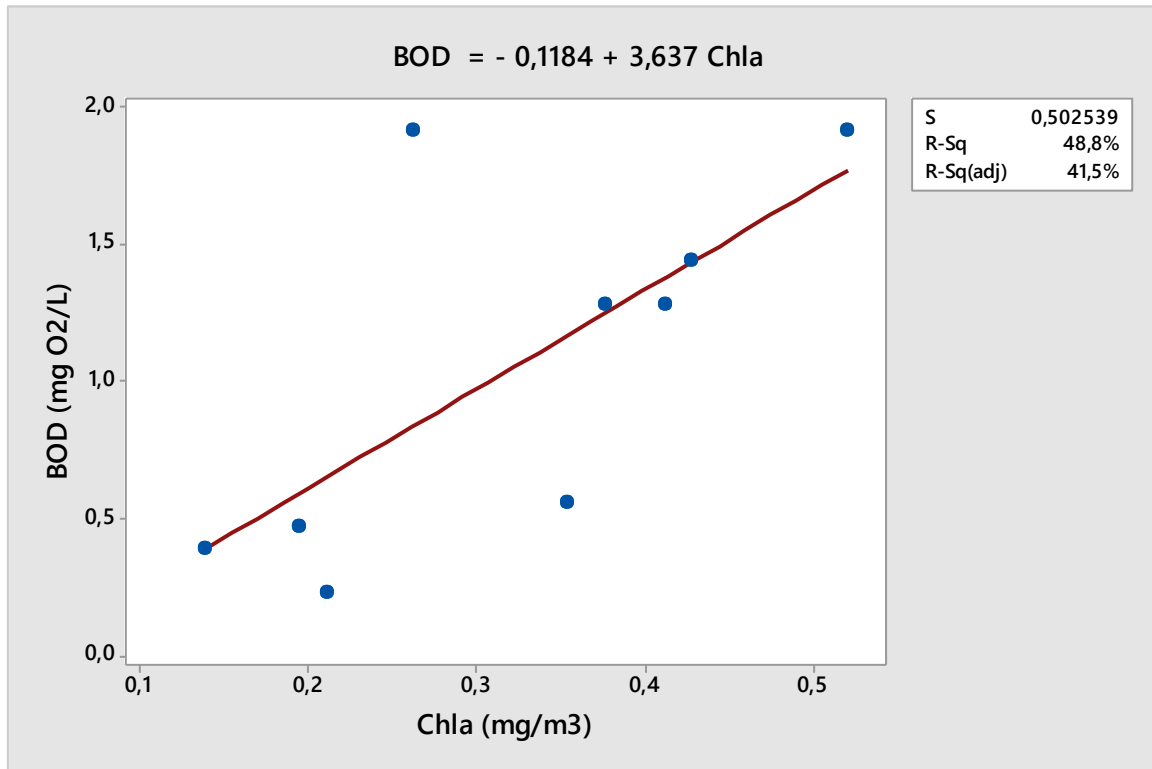
Όπως φαίνεται από το **Σχήμα 46**, η μαθηματική εξίσωση μεταξύ Χλωροφύλλης α και Θερμοκρασίας είναι  $Chla = -0.01245 + 0.5174$ , δηλαδή η συσχέτιση μεταξύ τους είναι αρνητική και όχι ισχυρή όπως υποδεικνύει και το  $R^2=24.4\%$ . Συγκεκριμένα, η Χλωροφύλλη α φτάνει την ανώτερη τιμή της στα τέλη Μαρτίου που η θερμοκρασία είναι 12 °C. Έπειτα, η συγκέντρωσή της αρχίζει να μειώνεται όσο το κλίμα γίνεται πιο ζεστό, που σημαίνει ότι μειώνεται και η φωτοσυνθετική δραστηριότητα του φυτοπλανκτού.

Σύμφωνα με τους Bouffard et al., 2018, οι οποίοι μελέτησαν τη συσχέτιση αυτή σε δείγματα λίμνης, την άνοιξη, η θερμοκρασιακή αύξηση του επιφανειακού νερού ελέγχει την ανάπτυξη του φυτοπλανκτού με δύο μηχανισμούς: α) επιτάχυνση των φυσιολογικών διεργασιών, όπως η πρόσληψη των θρεπτικών ουσιών, η ανάπτυξη και η αναπνοή, και β) ανάπτυξη της θερμικής διαστρωμάτωσης στο σώμα του νερού. Το καλοκαίρι, η διαθεσιμότητα των θρεπτικών συστατικών είναι περιορισμένη. Με λίγα λόγια, η συσχέτιση ήταν θετική την άνοιξη. Αντίθετα, αρνητική βρέθηκε το καλοκαίρι και το φθινόπωρο που το επιφανειακό νερό είναι πιο ψυχρό.

Παρόλο που το πειραματικό μέρος της εργασίας αυτής εκτελέστηκε την άνοιξη, εντούτοις η συσχέτιση βρέθηκε αρνητική καθώς αύξηση της θερμοκρασίας συνοδεύεται από μείωση της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας.



### 5.8.6. BOD<sub>5</sub>/Chla



**Σχήμα 47:** Γράφημα απλής παλινδρόμησης του BOD<sub>5</sub> (mg O<sub>2</sub>/L) συναρτήσει της συγκέντρωσης της Χλωροφύλλης α (mg/m<sup>3</sup>).

Από το διάγραμμα του **Σχήματος 47** η μαθηματική εξίσωση που προκύπτει είναι  $BOD_5 = 3,637 Chla - 0,1184$  που σημαίνει ότι υπάρχει θετική συσχέτιση μεταξύ της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας του φυτοπλαγκτού και της συγκέντρωσης του BOD<sub>5</sub>. Το R<sup>2</sup> της εξίσωσης είναι 48,8%, δηλαδή μέτριο κάτι που εξηγείται από τις αυξομειώσεις κυρίως στις τιμές του BOD<sub>5</sub>.

Οι Bharathi et al., 2017 βρήκαν ότι υψηλή συγκέντρωση BOD μπορεί να οφείλεται σε μεγάλη παραγωγικότητα του φυτοπλαγκτού η οποία αυξάνει τη συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου που οδηγεί σε περισσότερη οργανική ύλη και άρα μεγαλύτερη μικροβιολογική δραστηριότητα που με τη σειρά της αυξάνει το BOD. Αν και οι τιμές του BOD φαίνεται να αυξάνονται όσο αυξάνεται η συγκέντρωση της Χλωροφύλλης α, εντούτοις οι τιμές είναι χαμηλές κάτι που υποδεικνύει ότι η φωτοσυνθετική δραστηριότητα ήταν περιορισμένη.

## 6. Συμπεράσματα

1. Η θερμοκρασία του νερού εποχιακά, παρουσιάζει χαμηλές τιμές στις αρχές της άνοιξης και καταλήγοντας σε υψηλότερες όσο πλησιάζουμε τον Μάιο που είναι και κοντά στα όρια της νομοθεσίας, όπως και αναμένεται.
2. Το pH των δειγμάτων αν και δεν παρουσιάζει καθαρή αυξητική ή μειωτική τάση σε σχέση με το χρόνο, εν τούτοις είναι μέσα στα όρια της νομοθεσίας σε όλη τη διάρκεια της δειγματοληψίας.
3. Η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου των δειγμάτων παρουσιάζει αντιστρόφως ανάλογη σχέση με τη θερμοκρασία όπως αναμένεται καθώς παρατηρείται μείωση της συγκέντρωσής του όσο η θερμοκρασία αυξάνεται. Αντίθετα, οι τιμές του είναι ανάλογες με τη συγκέντρωση της Χλωροφύλλης α, καθώς τις ημέρες που η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου ήταν πιο ψηλή παρατηρήθηκε και αύξηση της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας.
4. Παρατηρώντας τη συσχέτιση μεταξύ της θερμοκρασίας και της Χλωροφύλλης α, τα αποτελέσματα κατά τους μήνες της άνοιξης που πραγματοποιηθήκαν οι μετρήσεις, βρέθηκε αρνητική καθώς όσο πιο πολύ αυξανόταν η θερμοκρασία, μειωνόταν η φωτοσυνθετική δραστηριότητα. Αυτό οφείλεται στη φυσιολογική ετήσια διακύμανση της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας που παρουσιάζει έξαρση στην αρχή της άνοιξης και μειώνεται στη συνέχεια λόγω έλλειψης θρεπτικών συστατικών.
5. Από τη συσχέτιση μεταξύ του Ολικού Οργανικού Άνθρακα και της απορρόφησης στο UV254nm καθώς και από τη συσχέτιση μεταξύ του Διαλυμένου Οργανικού Άνθρακα και της παραμέτρου SUVA254nm συμπεραίνουμε ότι η οργανική ύλη αποτελείται κυρίως από φυσικής προέλευσης υδρόφιλες, αλειφατικές ενώσεις μικρού μοριακού βάρους και σε πολύ μικρότερο βαθμό από υδρόφοβες, αρωματικές ενώσεις.

## 7. Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Δεδομένων των αποτελεσμάτων της παρακολούθησης της συγκέντρωσης της οργανικής ύλης που διεξήχθη μέσα από την παρούσα έρευνα σε διάστημα τριών μηνών από τον Μάρτιο έως τον Ιούνιο του 2018, προτείνεται ως αντικείμενο μίας νέας έρευνας η παρακολούθηση της συγκέντρωσης της οργανικής ύλης με τις ίδιες μεταβλητές σε διαφορετικό χρονικό διάστημα για να εξαχθεί ολοκληρωμένη εικόνα για την κατάσταση και το προφίλ της οργανικής ύλης στον ποταμό Αλιάκμονα. Προτείνεται επίσης και η μελέτη άλλων μεταβλητών, όπως η συγκέντρωση των αμμωνιακών, των νιτρικών και των φωσφορικών ιόντων που συνδέονται στενά με τη συγκέντρωση της χλωροφύλλης α.

## 8. Βιβλιογραφία

### Ελληνική βιβλιογραφία

1. Ανδρικόπουλος, Ν., Κ., (2015). *Ανάλυση τροφίμων (Β' Έκδοση)*. Αυτοέκδοση.
2. Belitz, H., D., Grosch, W. & Schieberle, P. (2015). *Χημεία Τροφίμων (4<sup>η</sup> έκδοση)*. (Επιμέλεια Ραφαηλίδης, Σ., Ν.) (Μετάφραση Παπαγεωργίου, Μ., Δ. & Βάρναλης, Α., Ι.). Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Τζιόλα [Food Chemistry. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2009]
3. Γαλανοπούλου, Ν., Ζαμπετάκης, Γ., Μαυρή, Μ. & Σιαφάκα, Α., (2011). *Διατροφή και Χημεία Τροφίμων*. Αθήνα: Εκδόσεις Αθανάσιος Σταμούλης.
4. Ζανάκη, Κ., (2001). *Έλεγχος Ποιότητας Νερού (2<sup>η</sup> έκδοση)*. Αθήνα, Περιστέρι: Εκδόσεις Ίων.
5. Κοτροκόης, Κ., (2017). *Διατροφή και χημεία τροφίμων στη δημόσια υγεία (2<sup>η</sup> έκδοση)*. Αθήνα: Εκδόσεις Π. Χ. Πασχαλίδης.
6. Metcalf & Eddy, (2017). *Μηχανική υγρών αποβλήτων: Επεξεργασία και Επαναχρησιμοποίηση Τόμος Α (4<sup>η</sup> έκδοση)*. (Αναθεώρηση Tchobanoglous, G., Burton, F., L., & Stensel, H., D.) (Μετάφραση Κούγκολος, Α., & Σαμαράς, Π.) Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Τζιόλα [Wastewater Engineering, Treatment and Reuse, 4<sup>th</sup> edition. The McGraw-Hill Companies, Inc.]
7. Μήτρακας, Μ. (2014). *Ποιοτικά χαρακτηριστικά και επεξεργασία νερού*. (2<sup>η</sup> έκδοση). Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Τζιόλα.
8. Μιμίκου, Μ., Α. & Μπαλτάς, Ε., Α. (2006). *Τεχνική Υδρολογία*. (4<sup>η</sup> έκδοση). Αθήνα: Εκδόσεις Παπασωτηρίου.
9. Νικολαΐδης, Ν., Π. (2005). *Υδατική Χημεία*. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Ζήτη.
10. Παπαδόπουλος, Α., Ν. (2010). *Γενική Χημεία*. (Επιμέλεια Αθανάσιος Παπαδόπουλος).
11. Ριτζούλης, Χ. (2015). *Φυσικοχημεία τροφίμων*. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Τζιόλα.
12. Watson, D., G., (2015). *Φαρμακευτική ανάλυση: Ένα σύγγραμμα για φοιτητές φαρμακευτικής και χημικούς σχολούμενους με το φάρμακο (Τρίτη Έκδοση)*. (Επιμέλεια Κουππάρης, Μ., Α.) (Μετάφραση Αντωνιάδου-Βυζά, Α., Κουππάρης, Μ., α., Λουκάς, Ι., Μικρός, Ε., Παντερή, Ε., & Τσαντίλη-Κακουλίδου, Α.). Αθήνα:Επιστημονικές εκδόσεις Παρισιάνου Α.Ε. [Pharmaceutical Analysis: A Textbook for Pharmacy Students and Pharmaceutical Chemists, 3<sup>rd</sup> edition. Elsevier Ltd, 2012).
13. Wilson, E., M. (1977). *Υδρολογία*. (Μετάφραση Βασιλόπουλος, Η.) Αθήνα: Εκδόσεις: Μόσχος Γκιούρδας. [Engineering Hydrology. London and Basingstoke DC: The Macmillan press ltd, 1974).

### Ξένη βιβλιογραφία

14. Albrektienė, R., Rimeika, M., Zalieckienė, E., Saulys, V., & Zagorskis, A., (2012). Determination of Organic Matter by UV Absorption in the Ground Water. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, **20:2**, 163-167. DOI: 10.3846/16486897.2012.674039.

15. Asfaw, A., Maher, K., & Shucksmith, J., D., (2018). Modelling of metaldehyde concentrations in surface waters: A travel time based approach. *Journal of Hydrology*, **562**, 397-410.
16. Benjamin, M., M., (2015). *Water Chemistry (2<sup>η</sup> έκδοση)*. Long Grove, Illinois: Waveland Press.
17. Bharati, M., D., Patra, S., Sundaramoorthy, S., Madheswaran, P., & Sundaramanickam, A., (2017). Elucidation of seasonal variations of physicochemical and biological parameters with statistical analysis methods in Puducherry coastal waters. *Marine Pollution Bulletin*, **122**, 432-440.
18. Bhatnagar, A., & Sillanpää, M., (2017). Removal of natural organic matter (NOM) and its constituents from water by adsorption – A review. *Chemosphere*, **166**, 497-510.
19. Boskidis, I., Kokkos, N., Sapounidis, A., Triantafillidis, S., Kamidis, N., Koutrakis, E., & Sylaios, G., K., (2018). Ecohydraulic modelling of Nestos River Delta under low flow regimes. *Ecohydrology & Hydrobiology*. Ανακτήθηκε από: <https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2018.06.004>.
20. Bouffard, D., Kiefer, I., Wüest, A., Wunderle, A., & Odermatt, D., (2018). Are surface temperature and chlorophyll in a large deep lake related? An analysis based on satellite observations in synergy with hydrodynamic modeling and in-situ data. *Remote Sensing of Environment*, **209**, 510-523.
21. Boyer, J., N., Kelble, C., R., Ortner, P., B., & Rudnick, D., T., (2009). Phytoplankton bloom status: Chlorophyll a biomass as an indicator of water quality condition in the southern estuaries of Florida, USA. *Ecological indicators*, **9s**, s56-s67.
22. Brezonic, P., L., & Arnold, W., A., (2011). *Water Chemistry: An Introduction to the Chemistry of Natural and Engineered Aquatic Systems*. New York, NY: Oxford University Press.
23. Canter, L., W., (1985). *River Water Quality Monitoring*. Ανακτήθηκε από: [https://books.google.gr/books?hl=el&lr=&id=PFJHDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT15&dq=volatile+solids+in+river+water&ots=\\_ZQgvPR\\_iM&sig=NXAVWTFeL7CoQTj09KPOI95B70&redir\\_esc=y#v=onepage&q=volatile%20solids%20in%20river%20water&f=false](https://books.google.gr/books?hl=el&lr=&id=PFJHDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT15&dq=volatile+solids+in+river+water&ots=_ZQgvPR_iM&sig=NXAVWTFeL7CoQTj09KPOI95B70&redir_esc=y#v=onepage&q=volatile%20solids%20in%20river%20water&f=false)
24. Ccancapa, A., Masiá, A., Navarro-Ortega, A., Picó, Y., & Barceló, D., (2016). Pesticides in the Ebro River basin: Occurrence and risk assessment. *Environmental pollution*, **211**, 414-424.
25. Coffin, M., R., S., Courtenay, S., C., Pater, C., C., & van de Heuvel, M., R., (2018). An empirical model using dissolved oxygen as an indicator for eutrophication at a regional scale. *Marine Pollution Bulletin*, **133**, 261-270.
26. Correa-González, J., C., Chávez-Parga, M., del C., Cortés, J., A., & Pérez-Munguia, R., M., (2014). Photosynthesis, respiration and reaeration in a stream with complex dissolved oxygen pattern and temperature dependence. *Ecological modelling*, **273**, 220-227.
27. Dragoi, E., N., Kovács, Zs., Juzsakova, T., Curteanu, S., & Cretescu, I., (2018). Environmental assesment of surface waters based on monitoring data and neuro-evolutive modelling. *Process Safety and Environmental Protection*, **120**, 136-145.
28. Durdevic, P., Raju, C., S., & Yang, Z., (2018). Potential for real-time monitoring and control of dissolved oxygen in the injection water treatment process. *IFAC PapersOnLine*, **51-8**, 170-177.
29. Faust, S., D., & Aly, O., S., (1998). *Chemistry of water treatment (2<sup>η</sup> έκδοση)*. Ανακτήθηκε από: <https://books.google.gr/books?id=ivLiNH->

- NjOcC&printsec=frontcover&dq=water+chemistry&hl=el&sa=X&ved=0ahUKEwjE56zLgoneAhXNj1AKHWdPBIMQ6AEIbDAJ#v=onepage&q=water%20chemistry&f=false
30. Hansen, A., M., Kraus, T., E., C., Pellerin, B., A., Fleck, J., A., Downing, B., D., & Bergamaschi, B., A., (2016). Optical properties of dissolved organic matter (DOM): Effects of biological and photolytic degradation. *Limnology and Oceanography*, 61, 1015-1032.
  31. Hinjen, W., A., M., Schurer, R., Bahlman, J., A., Ketelaars, H., A., M., Italiaander, R., v. d. Wal, A., & v. d. Wielen, P., W., J., J., (2018). Slowly biodegradable organic compounds impact the biostability of non-chlorinated drinking water produced from surface water. *Water Research*, 129, 240-251.
  32. Juang, D., F., Lee, C., H., Chen, W., C., & Yuan, C., S., (2010). Do the VOCs that evaporate from a heavily polluted river threaten the health of riparian residents? *Science of the Total Environment*, 408, 4524-4531.
  33. Kapsi, M., Tsoutsi, C., Paschalidou, A., & Albanis, T., (2019). Environmental monitoring and risk assessment of pesticide residues in surface waters in Louros River (N.W. Greece). *Science of the Total Environment*, 650, 2188-2198.
  34. Koszelnik, P., Gruca-Rokosz, R., & Bartoszek, L., (2018). An isotopic model for the origin of autochthonous organic matter contained in the bottom sediments of a reservoir. *International Journal of Sediment Research*, 33, 285-293.
  35. Lamsal, R., Walsh, M., E., & Gagnon, G., A., (2011). Comparison of advanced oxidation processes for the removal of natural organic matter. *Water research*, 45, 3263-3269.
  36. Lehmuskero, A., Chauton, M., S., & Boström, T., (2018). Light and photosynthetic microalgae: A review of cellular- and molecular-scale optical processes. *Progress in Oceanography*, 168, 43-56.
  37. Leusch, F., D., L., Neale, P., A., Arnal, C., Aneck-Hahn, N., H., Balaguer, P., Bruchet, A., Escher, B., I., Esperanza, M., Grimaldi, M., Leroy, G., Scheurer, M., Schlichting, R., Schriks, M., & Hebert, A., (2018). Analysis of endocrine activity in drinking water, surface water and treated wastewater from six countries. *Water Research*, 139, 10-18.
  38. Levchuk, I., Ma'ruquez, J., J., R., & Sillanpää, M., (2018). Removal of natural organic matter (NOM) from water by ion exchange – A review. *Chemosphere*, 192, 90-104.
  39. Mader, M., Schmidt, C., van Geldern, R., & Barth, J., A., C., (2017). Dissolved oxygen in water and its stable isotope effects: A review. *Chemical Geology*, 473, 10-21.
  40. Manahan, S., E., (2011). *Water Chemistry: Green Science and Technology of Nature's Most Renewable Resource*. New York, NY: CRC Press.
  41. Nanda, R., Reddy, U., V., Bowers, G., M., Bowden, M., & Kirkpatrick, R., J., (2018). The structural and dynamical role of water in natural organic matter: A <sup>2</sup>H NMR and XRD study. *Organic Geochemistry*, 123, 90-102.
  42. Nikolaou, A., D., Golfinopoulos, S., K., Kostopoulou, M., N., Kolokythas, G., A., & Lekkas, T., D., (2002). Determination of volatile organic compounds in surface waters and treated wastewater in Greece. *Water Research*, 36, 2883-2890.
  43. Null, S., E., Mouzon, N., R., & Elmore, L., R., (2017). Dissolved oxygen, stream temperature, and fish habitat response to environmental water purchases. *Journal of Environmental Management*, 197, 559-570.
  44. Pan, Y., Li, H., Zhang, X. & Li., A., (2016). Characterization of natural organic matter in drinking water: Sample preparation and analytical approaches. *Trends in Environmental Analytical Chemistry*, 12, 23-30.

45. Parsons, T. R., Maita, Y., & Lalli, C. M., (1984). *A manual of chemical and biological methods for seawater analysis* (pp 173). New York, NY: Pergamon Press.
46. Ren, Q., Zhang, L., Wei, Y., & Li, D., (2018). A method for predicting dissolved oxygen in aquaculture water in an aquaponics system. *Computers and Electronics in Agriculture*, **151**, 384-391.
47. Ribeiro, M., A., S., Murgu, M., Silva, V., de M., Sawaya, A., C., H., F., Ribeiro, L., F., Justi, A., & Meurer, E., C., (2017). The screening of organic matter in mineral and tap water by UHPLC-HRMS. *Talanta*, **174**, 581-586.
48. Rosenmai, A., K., Niss, F., Mandava, G., Lundqvist, J., & Oskarsson, A., (2018). Impact of natural organic matter in water on *in vitro* bioactivity assays. *Chemosphere*, **200**, 209-216.
49. Särkkä, H., Vepsäläinen, M., & Silanpää, M., (2015). Natural organic matter (NOM) removal by electrochemical methods – A review. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, **755**, 100-108.
50. Sharma, R., C., Singh, N., & Chauhan, A., (2016). The influence of physic-chemical parameters on phytoplankton distribution in a head water stream of Garhwal Himalayas: A case study. *Egyptian Journal of Aquatic Research*, **42**, 11-21.
51. Sillanpää, M., Ncibi, M., C. & Matilainen, A., (2018). Advanced oxidation processes for the removal of natural organic matter from drinking water sources: A comprehensive review. *Journal of Environmental Management*, **208**, 56-76.
52. Sillanpää, M., Ncibi, M., C. & Matilainen, A., & Vepsäläinen, M., (2018). Removal of natural organic matter (NOM) in drinking water treatment by coagulation: A comprehensive review. *Chemosphere*, **190**, 54-71.
53. Skoulikidis, N. Th., (2009). The environmental state of rivers in the Balkans-A review within the DPSIR framework. *Science of the total environment*, **407**, 2501-2516.
54. Skoulikidis, N., Th., Economou, A., N., Gritzalis, K., C. & Zogaris, S. (2009). Rivers of the Balkans. In K. Tockner, U. Uehlinger & C. T. Robinson (Eds.), *Rivers of Europe* (pp. 421-467). doi:10.1016/B978-0-12-369449-2.00011-4
55. Skoulikidis, N. Th., Gritzalis, K. & Kouvarda, Th., (2002). *Hydrochemical and ecological quality assessment of a Mediterranean river system*. Ανακτήθηκε από: <https://journal.gnest.org/sites/default/files/Journal%20Papers/skoulikidis.pdf>
56. Stahl, R., G., Jr., (1991). The genetic toxicology of organic compounds in natural waters and wastewaters. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, **22**, 94-125.
57. Van Wezel, A., P., van den Hurk, F., Sjerps, R., M., A., Meijers, E., M., Roex, E. W., M., & ter Laak, T., L., (2018). Impact of industrial waste water treatment plants on Dutch surface waters and drinking water sources. *Science of the Total Environment*, **640-641**, 1489-1499.
58. Wu, Z., Cai, Y., Zhang, L., & Chen Y., (2018). Spatial and temporal heterogeneities in water quality and their potential drivers in Lake Poyang (China) from 2009 to 2015. *Limnologica*, **69**, 115-124.
59. Wu, Z., Wang, X., Chen, Y., Cai, Y., & Deng, J., (2018). Assessing river water quality using water quality index in Lake Taihu Basin, China. *Science of the Total Environment*, **612**, 914-922.
60. Zhang, M., Shi, X., Yang, Z., Yu, Y., Shi, L., & Qin, B., (2018). Long-term dynamics and drivers of phytoplankton biomass in eutrophic Lake Taihu. *Science of the Total Environment*, **645**, 876-886.

61. Zhang, M., Straile, D., Chen, F., Shi, X., Yang, Z., Cai, Y., Yu, J., & Kong, F., (2018). Dynamics and drivers of phytoplankton richness and composition along productivity gradient. *Science of the Total Environment*, 625, 275-284.
62. Zheng, G. & DiGiacomo, P., M., (2017). Remote sensing of chlorophyll-a in coastal waters based on the light absorption coefficient of phytoplankton. *Remote Sensing of Environment*, 201, 331-341.

## Διαδίκτυο

63. <https://www.britannica.com/place/Aliakmon-River>
64. <https://potamosaliakmonas.wordpress.com/about>
65. <http://www.eyath.gr/swift.jsp?CMCCode=06010401&extLang=>
66. [http://www.eydeael.gr/?page\\_id=40](http://www.eydeael.gr/?page_id=40)
67. [https://el.aktor.gr/egkatastaseis\\_epeksergasias\\_ygron\\_stereon\\_apobliton/arthro/m onada\\_epeksergasias\\_neroy\\_fragmatos\\_thessalonikis-15453546/](https://el.aktor.gr/egkatastaseis_epeksergasias_ygron_stereon_apobliton/arthro/m onada_epeksergasias_neroy_fragmatos_thessalonikis-15453546/)
68. <http://www.eyath.gr/swift.jsp?CMCCode=1001#1>
69. <http://chemed.chem.purdue.edu/genchem/topicreview/bp/ch14/melting.php>
70. [http://www1.lsbu.ac.uk/water/water\\_properties.html#pot](http://www1.lsbu.ac.uk/water/water_properties.html#pot)
71. [https://www.engineeringtoolbox.com/critical-point-water-steam-d\\_834.html](https://www.engineeringtoolbox.com/critical-point-water-steam-d_834.html)
72. <https://www.britannica.com/science/dielectric-constant>
73. <https://sciencing.com/happens-ionic-compound-dissolves-water-8425533.html>
74. <https://water.usgs.gov/edu/hardness.html>
75. <https://www.lenntech.com/ro/water-hardness.htm>
76. <https://www.water-research.net/index.php/the-role-of-alkalinity-citizen-monitoring>
77. [http://web.iitd.ac.in/~arunku/files/CEL212\\_2012/CEL%20212%20Lab%20%20Alkalinity%20and%20Acidity.pdf](http://web.iitd.ac.in/~arunku/files/CEL212_2012/CEL%20212%20Lab%20%20Alkalinity%20and%20Acidity.pdf)
78. <https://www.water-research.net/index.php/taste-odor>
79. <https://www.watertechonline.com/why-does-water-have-a-bad-taste-or-odor/>
80. <https://www.nestle-waters.com/healthy-hydration/water-fonctions-in-human-body>
81. <https://www.mayoclinic.org/healthy-lifestyle/nutrition-and-healthy-eating/multimedia/functions-of-water-in-the-body/img-20005799>
82. [http://ive.edu.hk/cw/wc/html/en/cw\\_campus\\_offices\\_wellc\\_files/pdf/Function%20of%20water%20in%20the%20human%20body.pdf](http://ive.edu.hk/cw/wc/html/en/cw_campus_offices_wellc_files/pdf/Function%20of%20water%20in%20the%20human%20body.pdf)
83. [http://www.ekke.gr/estia/gr\\_pages/F\\_synerg/Zissis\\_nero/Gia\\_Internet.pdf](http://www.ekke.gr/estia/gr_pages/F_synerg/Zissis_nero/Gia_Internet.pdf)
84. [https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/chlorophyll\\_a#section=Top](https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/chlorophyll_a#section=Top)
85. <http://www.ucmp.berkeley.edu/glossary/gloss3/pigments.html>
86. <https://sciencing.com/what-are-the-roles-of-chlorophyll-a-b-12526386.html>
87. [http://www.elinyae.gr/el/lib\\_file\\_upload/438-86.1112683462745.pdf](http://www.elinyae.gr/el/lib_file_upload/438-86.1112683462745.pdf)
88. [http://www.waterlabs.gr/yliko/odigia\\_75\\_440%20surfWat.pdf](http://www.waterlabs.gr/yliko/odigia_75_440%20surfWat.pdf)
89. <https://www.shimadzu.com/an/toc/lab/toc-l4.html>
90. <https://www.ssi.shimadzu.com/sites/ssi.shimadzu.com/files/Products/literature/toc/C391-E079D.pdf>
91. <http://ikee.lib.auth.gr/record/300356/files/%CF%80%CF%84%CF%85%CF%87%CE%B9%CE%B1%CE%BA%CE%AE%20%CE%9C%CF%80%CE%BF%CF%85%CF%86%CE%AF%CE%B4%CE%BF%CF%85%20%CE%A6.pdf>
92. <https://www.e-nomothesia.gr/kat-agoranomikes-diatakseis/koine-upourgike-apophase-g1d-oik-67322-2017.html>