



ΤΜΗΜΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΤΡΟΦΗΣ

ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΟ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ
ΙΔΡΥΜΑ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗ ΟΡΓΑΝΙΚΩΝ ΕΝΩΣΕΩΝ ΑΠΟ ΤΟ ΝΕΡΟ ΜΕ ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗ
ΣΕ ΕΝΕΡΓΟ ΑΝΘΡΑΚΑ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΝΕΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗ
ΧΙΤΙΝΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΔΙΑΛΥΜΑΤΩΝ**

ΕΠΙΜΕΛΕΙΑ

ΚΛΑΔΟΥ ΚΥΡΙΑΚΗ

ΧΑΡΙΣΗΣ ΑΔΑΜΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΨΗ

ΣΑΜΑΡΑΣ ΠΕΤΡΟΣ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ, 2012

**ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗ ΟΡΓΑΝΙΚΩΝ ΕΝΩΣΕΩΝ ΑΠΟ ΤΟ ΝΕΡΟ ΜΕ ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗ
ΣΕ ΕΝΕΡΓΟ ΑΝΘΡΑΚΑ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΝΕΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗ
ΧΙΤΙΝΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΔΙΑΛΥΜΑΤΩΝ**

ΚΛΑΔΟΥ ΚΥΡΙΑΚΗ

ΧΑΡΙΣΗΣ ΑΔΑΜΟΣ

Υποβολή Πτυχιακής Διατριβής που αποτελεί μέρος των απαιτήσεων
για την απονομή του Πτυχίου του Τμήματος Τεχνολογίας Τροφίμων
του ΑΤΕΙ Θεσσαλονίκης

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗΣ:

26/09/2012

ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ

ΣΑΜΑΡΑΣ ΠΕΤΡΟΣ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ, 2012

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε θερμά τον εισηγητή της πτυχιακής μας διατριβής κ. Σαμαρά Πέτρο για την υπόδειξη του θέματος, καθώς και για τη συνεχή και αμέριστη υποστήριξη και πολύτιμη βοήθειά του καθ' όλη τη διάρκεια της προετοιμασίας της πτυχιακής αυτής εργασίας. Ακόμα θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον καθηγητή κ. Ριτζούλη Χρήστο για την αμέριστη βοήθειά του κατά τη διεξαγωγή του πειραματικού μέρους.

**ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗ ΟΡΓΑΝΙΚΩΝ ΕΝΩΣΕΩΝ ΑΠΟ ΤΟ ΝΕΡΟ ΜΕ ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗ
ΣΕ ΕΝΕΡΓΟ ΑΝΘΡΑΚΑ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΝΕΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗ
ΧΙΤΙΝΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΔΙΑΛΥΜΑΤΩΝ**

ΕΠΙΜΕΛΕΙΑ

ΚΛΑΔΟΥ ΚΥΡΙΑΚΗ

ΧΑΡΙΣΗΣ ΑΔΑΜΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΨΗ

ΣΑΜΑΡΑΣ ΠΕΤΡΟΣ

**Α.Τ.Ε.Ι. ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ, ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ & ΔΙΑΤΡΟΦΗΣ,
ΤΜΗΜΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ, 57400 ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ, Τ.Θ. 141**

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η προσρόφηση αποτελεί ένα επιφανειακό φαινόμενο κατά το οποίο λαμβάνει χώρα η συσσώρευση ή η συγκέντρωση μιας ουσίας στην επιφάνεια ή διεπιφάνεια μεταξύ δύο φάσεων. Η φάση στην επιφάνεια της οποίας συμβαίνει η προσρόφηση ονομάζεται **“προσροφητικό μέσο”**, ενώ η ουσία που προσροφάται χαρακτηρίζεται **“προσροφημένη ουσία”**.

Η διεργασία της προσρόφησης δεν έχει χρησιμοποιηθεί σε μεγάλο βαθμό στην επεξεργασία υγρών αποβλήτων, αλλά οι απαιτήσεις για καλύτερη ποιότητα εκροών από μονάδες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, συμπεριλαμβανομένης και της μείωσης της τοξικότητας, έχουν οδηγήσει στην εντατική εξέταση και χρήση της διεργασίας της προσρόφησης σε ενεργό άνθρακα.

Η χιτοζάνη, η αποακετυλιωμένη μορφή της χιτίνης, έχει λάβει αξιοσημείωτο ενδιαφέρον από έναν ευρύ αριθμό πεδίων την τελευταία δεκαετία. Μια σειρά πρόσφατων ερευνών επισημαίνουν τη δυναμική της, μεταξύ άλλων, στον τομέα των τροφίμων, στις διαδικασίες απορρόφησης μετάλλων και στην παράδοση των φαρμάκων.

Σαν υλικό η χιτοζάνη μπορεί να διαλυτοποιηθεί σε μικρές τιμές pH, ενώ έχει και τη δυνατότητα σχηματισμού υδροπηκτής. Μεγάλη σημασία έχει η ανάπτυξη μικροπορώδους ή νανοπορώδους χιτοζάνης. Για το σκοπό αυτόν, έχουν χρησιμοποιηθεί τεχνικές όπως η επεξεργασία με υπερκρίσιμα ρευστά, η ενσωμάτωση μιας κolloειδούς διασποράς σε διάλυμα χιτοζάνης, ή η αποξήρανση και στη συνέχεια η απομάκρυνση των κolloειδών μερών.

Η παρούσα αυτή εργασία στοχεύει στην απομάκρυνση των οργανικών ουσιών από την υγρή φάση με προσρόφηση σε ενεργό άνθρακα και στην εφαρμογή νέων υλικών με βάση τη χιτίνη για την επεξεργασία υδατικών διαλυμάτων.

Η πτυχιακή ολοκληρώνεται με τον προσδιορισμό της ισόθερμης προσρόφησης για την οργανική ένωση μπλε του μεθυλενίου, και τον υπολογισμό των βασικών σχεδιαστικών και λειτουργικών παραμέτρων.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	9
2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ.....	10
2.1. ΠΟΣΙΜΟ ΝΕΡΟ.....	10
2.2. ΔΟΜΗ-ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΝΕΡΟΥ.....	10
2.2.1. ΣΥΝΘΕΣΗ-ΜΟΡΙΑΚΗ ΔΟΜΗ.....	10
2.2.2. ΧΡΩΜΑ (COLOR).....	10
2.2.3. ΘΟΛΟΤΗΤΑ (TURBIDITY).....	11
2.2.4. ΟΣΜΗ-ΓΕΥΣΗ (ODOR-TASTE).....	11
2.2.5. ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ (DENSITY).....	11
2.2.6. ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΙΟΝΤΩΝ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ (PH).....	12
2.2.7. ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ (CONDUCTIVITY).....	12
2.2.8. ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ (HARDNESS).....	12
2.3. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ.....	13
2.3.1. ΑΝΟΡΓΑΝΑ ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ.....	13
2.3.1.1. ΧΛΩΡΙΟΥΧΑ (CHLORIDES, Cl^-).....	13
2.3.1.2. ΘΕΙΙΚΑ (Sulphates, SO_4^{2-}).....	14
2.3.1.3. ΝΑΤΡΙΟ (Sodium, Na^+).....	14
2.3.1.4. ΑΜΜΩΝΙΟ (NH_4^+).....	14
2.3.1.5. ΝΙΤΡΙΚΑ-ΝΙΤΡΩΔΗ (NO_3-NO_2).....	15
2.3.1.6. ΦΘΟΡΙΟΥΧΑ (Fluoride, F).....	15
2.3.2. ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΤΕΡΕΑ	15
2.4. ΟΡΓΑΝΙΚΕΣ ΕΝΩΣΕΙΣ ΝΕΡΟΥ.....	16
2.4.1. ΓΕΝΙΚΑ.....	16
2.4.2. ΚΥΡΙΟΤΕΡΟΙ ΟΡΓΑΝΙΚΟΙ ΡΥΠΑΝΤΕΣ	16
2.4.2.1. ΑΚΡΥΛΑΜΙΔΙΟ (C_3H_5NO).....	16
2.4.2.2. ΒΕΝΖΟΛΙΟ (C_6H_6).....	17

2.4.2.3.	ΒΙΝΥΛΟΧΛΩΡΙΔΙΟ (C ₂ H ₃ CL).....	17
2.4.2.4.	ΕΠΙΧΛΩΡΥΔΡΙΝΗ (C ₃ H ₅ ClO).....	17
2.4.2.5.	ΠΑΡΑΣΙΤΟΚΤΟΝΑ ΚΑΙ ΣΥΝΑΦΗ ΠΡΟΙΟΝΤΑ.....	18
2.4.2.6.	ΠΟΛΥΚΥΚΛΙΚΟΙ ΑΡΩΜΑΤΙΚΟΙ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΕΣ (ΡΑΗ).....	18
2.4.2.7.	ΤΡΙΑΛΟΜΕΘΑΝΙΑ (CHX ₃).....	18
2.4.2.8.	ΦΑΙΝΟΛΕΣ-ΧΛΩΡΟΦΑΙΝΟΛΕΣ.....	19
2.4.3.	ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΟΡΓΑΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΑΤΙΚΩΝ ΤΟΥ ΠΟΣΙΜΟΥ ΝΕΡΟΥ ΣΤΗΝ ΥΓΕΙΑ.....	19
2.4.4.	ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΝΕΡΟΥ.....	20
2.4.5.	ΑΤΟΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ.....	21
2.5.	ΕΝΕΡΓΟΣ ΑΝΘΡΑΚΑΣ.....	22
2.5.1.	ΓΕΝΙΚΑ.....	22
2.5.2.	ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΙΔΡΟΥΝ ΣΤΗΝ ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗ.....	23
2.5.3.	ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗΣ.....	24
2.5.4.	ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΕΝΕΡΓΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ.....	25
2.5.5.	ΔΟΜΗ ΕΝΕΡΓΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ.....	26
2.5.6.	ΑΝΑΓΕΝΝΗΣΗ ΚΑΙ ΕΠΑΝΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ.....	27
2.5.7.	ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΩΝ ΙΣΟΘΕΡΜΩΝ ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗΣ.....	28
2.5.8.	ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗ ΜΙΓΜΑΤΩΝ.....	29
2.5.9.	ΚΙΝΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗΣ.....	30
2.5.10.	ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΜΕ ΕΝΕΡΓΟ ΑΝΘΡΑΚΑ.....	31
2.6.	ΧΙΤΙΝΗ-ΧΙΤΟΖΑΝΗ.....	32
2.6.1.	ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΗ ΧΙΤΙΝΗ ΚΑΙ ΤΗ ΧΙΤΟΖΑΝΗ.....	32
2.6.2.	ΠΗΓΕΣ ΧΙΤΙΝΗΣ.....	34
2.6.3.	ΧΡΗΣΕΙΣ ΧΙΤΟΖΑΝΗΣ.....	35
2.6.4.	ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗΣ ΓΙΑ ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗ ΧΡΩΣΤΙΚΩΝ.....	37
3.	ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ.....	38
4.	ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ.....	39

4.1.	ΥΛΙΚΑ.....	39
4.2.	ΣΥΣΚΕΥΕΣ.....	39
4.2.1.	ΦΑΣΜΑΤΟΦΩΤΟΜΕΤΡΟ ΥΠΕΡΥΘΡΟΥ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ FOURIER (FT-IR).....	39
4.3.	ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΑΚΑΣΙΑ.....	40
4.3.1.	ΠΡΟΤΥΠΗ ΚΑΜΠΥΛΗ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗΣ.....	40
4.3.2.	ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ (Sample treatment).....	41
5.	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	44
5.1.	ΠΡΟΤΥΠΗ ΚΑΜΠΥΛΗ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗΣ.....	44
5.2.	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΧΙΤΟΖΑΝΗΣ.....	45
5.2.1.	ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ ΛΑΔΙΟΥ.....	45
5.2.2.	ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ ΧΩΡΙΣ ΛΑΔΙ.....	48
6.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	52
7.	ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ.....	53
8.	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	54

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η προσρόφηση αποτελεί ένα επιφανειακό φαινόμενο κατά το οποίο λαμβάνει χώρα η συσσώρευση ή η συγκέντρωση μιας ουσίας στην επιφάνεια ή διεπιφάνεια μεταξύ δύο φάσεων. Η διεργασία της προσρόφησης δεν έχει χρησιμοποιηθεί σε μεγάλο βαθμό στην επεξεργασία υγρών αποβλήτων, αλλά οι απαιτήσεις για καλύτερη ποιότητα εκροών από μονάδες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, συμπεριλαμβανομένης και της μείωσης της τοξικότητας, έχουν οδηγήσει στην εντατική εξέταση και χρήση της διεργασίας της προσρόφησης σε ενεργό άνθρακα.

Η χιτοζάνη, η αποακετυλιωμένη μορφή της χιτίνης, έχει λάβει αξιοσημείωτο ενδιαφέρον από έναν ευρύ αριθμό πεδίων την τελευταία δεκαετία. Μια σειρά πρόσφατων ερευνών επισημαίνουν τη δυναμική της, μεταξύ άλλων, στον τομέα των τροφίμων, στις διαδικασίες απορρόφησης μετάλλων και στην παράδοση των φαρμάκων. Μεγάλη σημασία έχει η ανάπτυξη μικροπορώδους ή νανοπορώδους χιτοζάνης. Για το σκοπό αυτόν, έχουν χρησιμοποιηθεί τεχνικές όπως η επεξεργασία με υπερκρίσιμα ρευστά, η ενσωμάτωση μιας κολλοειδούς διασποράς σε διάλυμα χιτοζάνης, ή η αποξήρανση και στη συνέχεια η απομάκρυνση των κολλοειδών μερών.

Οι ενότητες που παρατίθενται εξετάζουν τις ιδιότητες, τα χαρακτηριστικά και τις οργανικές ενώσεις του νερού, τους παράγοντες που επιδρούν στην προσρόφηση, τη διεργασία προσρόφησης με ενεργό άνθρακα, την ανάπτυξη των ισόθερμων προσρόφησης Freundlich και Langmuir, τις ιδιότητες και χρήσεις της χιτίνης και της χιτοζάνης, καθώς και τις μεθόδους προσρόφησης για την απομάκρυνση χρωστικών ουσιών.

Η παρούσα αυτή εργασία στοχεύει στην απομάκρυνση των οργανικών ουσιών από την υγρή φάση με προσρόφηση σε ενεργό άνθρακα και στην εφαρμογή νέων υλικών με βάση τη χιτίνη για την επεξεργασία υδατικών διαλυμάτων.

2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

2.1. ΠΟΣΙΜΟ ΝΕΡΟ

Το νερό εισέρχεται στο σώμα μας ως πόσιμο, ή σε συνδυασμό με άλλες τροφές ή ποτά, μεταφέροντας ανόργανα άλατα σε ποσότητες πολύ μικρές σε σχέση με την ποσότητά του, των οποίων όμως η ευνοϊκή ή δυσμενής επίδραση στον ανθρώπινο οργανισμό είναι σημαντική. Οι ενήλικες χρειάζονται ημερησίως 35-50g νερού για κάθε κιλό βάρους του σώματός τους, κάτω από κανονικές κλιματολογικές συνθήκες, ενώ τα νήπια κάτω από τις ίδιες συνθήκες χρειάζονται αντίστοιχα 100-150g, δηλαδή 3 φορές περισσότερο από ότι οι ενήλικες. Αυτός είναι ένας βασικός λόγος που τα παιδιά γενικά είναι περισσότερο ευαίσθητα σε ασθένειες που μεταδίδονται με το νερό.

2.2. ΔΟΜΗ-ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΝΕΡΟΥ

2.2.1. ΣΥΝΘΕΣΗ-ΜΟΡΙΑΚΗ ΔΟΜΗ

Η μοριακή δομή του νερού, αν και απλή, οδηγεί σε μοναδικές φυσικοχημικές ιδιότητες, οι οποίες έχουν πρακτικό ενδιαφέρον για την ποιότητα, την επεξεργασία και τη διάθεσή του. Επίσης, εξηγούν την ικανότητα του νερού να διαλύει μεγάλο αριθμό ενώσεων, την αποτελεσματικότητά του ως υγρό για εναλλαγή θερμότητας, την υψηλή του πυκνότητα και την απαιτούμενη υψηλή ενέργεια άντλησης, καθώς και την αντίστροφη επίδραση της θερμοκρασίας στο ιξώδες του.

Το μόριο του νερού αποτελείται από δύο άτομα υδρογόνου και ένα άτομο οξυγόνου. Επομένως, ο χημικός του τύπος είναι (H_2O) και το μοριακό του βάρος 18.

2.2.2. ΧΡΩΜΑ (COLOR)

Το χρώμα είναι ανεπιθύμητο στο πόσιμο νερό. Οφείλεται σε διαλυμένες ή κολλοειδείς οργανικές ύλες, ή ανόργανες ουσίες. Παρουσία χρώματος στο νερό δε σημαίνει ότι είναι πάντοτε επικίνδυνο. Πρέπει να εξεταστεί χημικά για να αναζητηθεί η προέλευση του χρώματος.

2.2.3. ΘΟΛΟΤΗΤΑ (TURBIDITY)

- Οφείλεται σε κολλοειδείς ανόργανες ή οργανικές ύλες που αιωρούνται. Νερό που είναι θολό πρέπει να ελεγχθεί για ρύπανση. Το πόσιμο νερό πρέπει να είναι διαυγές όταν φτάσει στον καταναλωτή.
- Η κατανάλωση θολού νερού μπορεί να είναι επικίνδυνη για την υγεία, επειδή η απολύμανση του πόσιμου νερού δεν είναι αποτελεσματική αν υπάρχει θολότητα (οι παθογόνοι οργανισμοί εγκλωβίζονται στα σωματίδια που αιωρούνται και προστατεύονται από το απολυμαντικό).
- Ακόμη, τα σωματίδια μπορεί να απορροφήσουν επιβλαβείς οργανικές ή ανόργανες ουσίες.

2.2.4. ΟΣΜΗ – ΓΕΥΣΗ (ODOR - TASTE)

- Το πόσιμο νερό πρέπει να είναι άοσμο και άγευστο.
- Οσμή και γεύση που οφείλονται σε χημικές ουσίες, όπως φαινόλες, χλώριο, αμμωνία, υδρόθειο, κλπ., είτε σε μικροοργανισμούς, είναι ανεπιθύμητες.
- Νερό με έντονη οσμή πιθανόν να είναι ρυπασμένο, οπότε πρέπει να εξεταστεί για να βρεθεί η αιτία.

2.2.5. ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ (DENSITY)

Η πυκνότητα του νερού εξαρτάται από τη θερμοκρασία. Σε 0°C ο πάγος έχει πυκνότητα 0,91671 g/mL, ενώ το νερό στους 0°C έχει πυκνότητα 0,99867 g/mL. Το γεγονός ότι ο πάγος διογκώνεται κατά 8,3%, επιτρέπει από τη μια τη διατήρηση της ζωής κάτω από τις παγωμένες επιφάνειες υδάτινων οικοσυστημάτων, (η μέγιστη πυκνότητα του νερού είναι 1,00000 g/mL στους 3,98°C), ενώ από την άλλη απαιτεί τη λήψη μέτρων για την προστασία των συστημάτων επεξεργασίας και μεταφοράς του νερού από την ψύξη (Μανασσής, 2001).

2.2.6. ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΙΟΝΤΩΝ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ (PH)

- Το pH δείχνει αν το νερό είναι όξινο ή αλκαλικό.
- Τα περισσότερα νερά στη φύση έχουν pH = 6-9.
- Το pH δεν έχει άμεση επίπτωση στην υγεία, αλλά επηρεάζει τη διαβρωτικότητα του νερού.

2.2.7. ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ (CONDUCTIVITY)

Η αγωγιμότητα είναι η αριθμητική έκφραση της ικανότητας ενός υδατικού διαλύματος να άγει το ηλεκτρικό ρεύμα. Αυτή η ικανότητα εξαρτάται από την παρουσία ιόντων, την ολική τους συγκέντρωση, το σθένος, καθώς και τη θερμοκρασία μέτρησης. Το καθαρό νερό δεν είναι καλός αγωγός του ηλεκτρισμού. Η αγωγιμότητα στα νερά αυξάνεται με τη θερμοκρασία. Μετράται σε microsiemens ανά εκατοστό ($\mu\text{S}/\text{cm}$). Η παραμετρική τιμή για την αγωγιμότητα του νερού είναι $2500 \mu\text{S}/\text{cm}$ στους 20°C .

2.2.8. ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ (HARDNESS)

Η σκληρότητα εκφράζει το σύνολο των διαλυμένων αλάτων ασβεστίου και μαγνησίου.

Διακρίνεται σε:

α) ανθρακική (ή παροδική) σκληρότητα, που οφείλεται στα όξινα ανθρακικά (διτανθρακικά) άλατα, και,

β) μη ανθρακική (μόνιμη) σκληρότητα, που οφείλεται στα υπόλοιπα άλατα (χλωριούχα, θειικά, νιτρικά, ανθρακικά).

Νερό με σκληρότητα μέχρι και $500\text{mg}/\text{L}$ CaCO_3 μπορεί να χρησιμοποιηθεί για πόσιμο, αλλά οι πιο καλές τιμές είναι μεταξύ 80-150. Νερά με σκληρότητα 0-100 mg/L CaCO_3 χαρακτηρίζονται ως **“μαλακά”**, από 100-200 mg/L CaCO_3 ως **“μέσης σκληρότητας”**, από 200-300 mg/L CaCO_3 ως **“σκληρά”**, και από 300 και πάνω ως **“πολύ σκληρά”**. Άλλες μονάδες έκφρασης της σκληρότητας είναι ο γαλλικός ($^\circ\text{F}$) και ο γερμανικός ($^\circ\text{G}$) βαθμός σκληρότητας.

Οι ισοδυναμίες μεταξύ των μονάδων είναι οι εξής:

$$\begin{aligned}1^{\circ}\text{F} &= 10 \text{ mg/L CaCO}_3 \\1^{\circ}\text{G} &= 17.86 \text{ mg/L CaCO}_3 \\1^{\circ}\text{G} &= 1.786^{\circ}\text{F}\end{aligned}$$

2.3. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ

Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του νερού ταξινομούνται συνήθως σε φυσικά, χημικά (ανόργανα ή οργανικά) και βιολογικά.

2.3.1. ΑΝΟΡΓΑΝΑ ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ

Το νερό αποτελεί μια από τις κύριες πηγές τροφοδοσίας του ανθρώπινου οργανισμού σε ανόργανα άλατα, τα οποία είναι απαραίτητα για την καλή λειτουργία του, ενώ η έλλειψή τους δημιουργεί πολλές επιπλοκές.

Τα επικρατέστερα ανόργανα συστατικά ενός φυσικού νερού είναι τα χλωριούχα, τα θειικά, τα φωσφορικά, το νάτριο, το κάλιο, το ασβέστιο, το αμμώνιο, τα νιτρικά-νιτρώδη, και τα φθοριούχα. Οι συγκεντρώσεις των συστατικών αυτών σε φυσικό νερό μπορεί να κυμαίνονται από 1-1000 mg/L.

2.3.1.1. ΧΛΩΡΙΟΥΧΑ (CHLORIDES, CL⁻)

Αποτελούν τα πιο σημαντικά ανιόντα του οργανισμού. Είναι ευρέως διαδεδομένα στη φύση σαν άλατα νατρίου, καλίου και ασβεστίου. Επειδή είναι πολύ ευκίνητα και ευδιάλυτα εισδύουν στα υπόγεια νερά. Δεν έχουν επιβλαβή επίδραση στον ανθρώπινο οργανισμό, αλλά σε υψηλές συγκεντρώσεις (μεγαλύτερες από 250 mg/L), δίνουν στο νερό γλυφή γεύση. Όταν υπάρχουν στο νερό ιόντα ασβεστίου και μαγνησίου, η γεύση αυτή δεν εμφανίζεται ακόμη και σε συγκεντρώσεις 1000 mg/L. **Ανώτερο επιθυμητό όριο συγκέντρωσης των χλωριούχων στο πόσιμο νερό είναι τα 200 mg/L.**

2.3.1.2. ΘΕΙΙΚΑ (SULPHATES, SO₄²⁻)

Υπάρχουν σε μεγάλες ποσότητες στα φυσικά νερά και χρησιμοποιούνται σαν κροκιδωτικά στην επεξεργασία του νερού. Τα θειικά άλατα νατρίου, ασβεστίου και μαγνησίου σε συγκεντρώσεις μεγαλύτερες των 700 mg/L δίνουν στο πόσιμο νερό δυσάρεστη γεύση. Για το λόγο αυτό, **σαν ανώτερο όριο συγκέντρωσης θειικών στο πόσιμο νερό καθορίστηκαν τα 250 mg/L.**

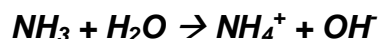
2.3.1.3. ΝΑΤΡΙΟ (SODIUM, Na⁺)

Το νάτριο είναι βασικό στοιχείο για τον άνθρωπο. Τα άλατα νατρίου βρίσκονται σε όλες τις τροφές και το πόσιμο νερό. Λόγω της αφθονίας του στη φύση περιέχεται σε όλα τα φυσικά νερά σε συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από 1-500 mg/L. Συγκεντρώσεις νατρίου μεγαλύτερες από 500 mg/L, δίνουν δυσάρεστη γεύση στο νερό. Γι' αυτό ορίστηκε **ως επιθυμητό ανώτερο όριο συγκέντρωσης νατρίου στο πόσιμο νερό τα 200 mg/L.**

2.3.1.4. ΑΜΜΩΝΙΟ (NH₄⁺)

Η αμμωνία στο πόσιμο νερό δεν παρουσιάζει άμεσα κανένα κίνδυνο για την υγεία, αλλά δίνει δυσάρεστη γεύση στο νερό.

Όταν διαλυθεί στο νερό αντιδρά με αυτό σχηματίζοντας ιόντα NH₄⁺:



Η ύπαρξη αμμωνίας στα επιφανειακά νερά οφείλεται κατά κανόνα σε ρύπανση. Τα υπόγεια νερά περιέχουν συνήθως αμμωνία λιγότερο από 0,2 mg/L. Σε συγκεντρώσεις μεγαλύτερες από 0,2 mg/L δημιουργεί προβλήματα οσμής και γεύσης στο νερό. Το αμμώνιο συγκαταλέγεται στις ανεπιθύμητες ενώσεις του νερού και **σαν ανώτερη τιμή για το πόσιμο νερό ορίζονται τα 0,5 mg/L.**

2.3.1.5. ΝΙΤΡΙΚΑ - ΝΙΤΡΩΔΗ (NO₃ – NO₂)

Η παρουσία NO²⁻, NO³⁻, NH⁴⁺ και PO₄³⁻ στο πόσιμο νερό, αποτελεί ένδειξη ρύπανσής του και οι επιπτώσεις των ιόντων αυτών στον ανθρώπινο οργανισμό είναι μόνο αρνητικές. Αναλυτικότερα, αν και τα νιτρικά είναι αδρανή, μετατρέπονται στη στοματική κοιλότητα σε νιτρώδη, με τη βοήθεια του ενζύμου νιτρική υδρογονάση. Τα νιτρώδη είναι δραστικά και μπορούν να ενωθούν με άλλες ουσίες και να δώσουν καρκινογόνα παράγωγα όπως είναι οι νιτροζαμίνες. **Γι' αυτό η ανώτερη παραδεκτή συγκέντρωση για τα νιτρώδη είναι το 0,1 mg/L.**

2.3.1.6. ΦΘΟΡΙΟΥΧΑ (FLUORIDE, F)

Το φθόριο συναντάται στα νερά σαν φθοριούχα άλατα και συχνότερα βρίσκεται στα υπόγεια νερά παρά στα επιφανειακά. Τα επιτρεπτά όρια συγκέντρωσης φθορίου στο πόσιμο νερό εξαρτώνται από τη θερμοκρασία. **Το ανώτερο όριο συγκέντρωσης φθορίου στο πόσιμο νερό είναι 1,5 mg/L.** Η συσχέτιση της ανώτερης συγκέντρωσης του φθορίου στο πόσιμο νερό με τη θερμοκρασία, εξηγείται από το γεγονός ότι σε θερμά κλίματα καταναλώνονται μεγαλύτερες ποσότητες νερού.

2.3.2. ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΤΕΡΕΑ

Ως αιωρούμενα στερεά στο νερό ορίζονται τα στερεά που περιέχονται σε αυτό σε μέγεθος μεγαλύτερο των μορίων, κατά κανόνα (όχι απαραίτητα), μη ορατά δια γυμνού οφθαλμού. Η κύρια πηγή προέλευσής τους είναι η αποσάθρωση των πετρωμάτων και οι βιολογικές διεργασίες. Τα αιωρούμενα στερεά μπορεί να έχουν τόσο φυσική, όσο και ανθρωπογενή προέλευση. Ακόμη προέρχονται και από την άμεση ρύπανση του νερού με βιομηχανικά απόβλητα.

Τα αιωρούμενα στερεά έχουν ευρεία επίδραση στην ποιότητα του νερού, η οποία εξαρτάται από τα φυσικά, χημικά και βιολογικά τους χαρακτηριστικά. Εξαιτίας του μικρού τους μεγέθους, έχουν μεγάλη ειδική επιφάνεια, η οποία συχνά λειτουργεί ως μέσο προσρόφησης – συγκράτησης τοξικών συστατικών, όπως είναι τα βαρέα μέταλλα και οι αλογονομένοι υδρογονάνθρακες. Η πρόσληψη τέτοιων αιωρούμενων στερεών, ενδέχεται να δημιουργήσει οξεία ή χρόνια τοξική επίδραση. Η μεγάλη επιφάνεια των αιωρούμενων στερεών προκαλεί ισχυρή διάχυση του φωτός, αλλοιώνοντας έτσι τη διαύγεια του νερού (Μανασσής, 2001).

2.4. ΟΡΓΑΝΙΚΕΣ ΕΝΩΣΕΙΣ ΝΕΡΟΥ

2.4.1. ΓΕΝΙΚΑ

Τα φυσικά οργανικά αποτελούν συνήθως το μεγαλύτερο ποσοστό των οργανικών ενώσεων, που απαντούν στο νερό. Τα οργανικά συστατικά στο πόσιμο νερό προέρχονται, είτε από φυσική αποικοδόμηση υλικών φυτικής ή ζωικής προέλευσης, είτε από βιομηχανική, αστική ή αγροτική ρύπανση. Η συγκέντρωση των οργανικών ενώσεων στο νερό μπορεί να κυμαίνεται από το μηδέν, σε ορισμένα καθαρά υπόγεια νερά, έως μερικές δεκάδες mg/L, σε επιφανειακά νερά, που έχουν ρυπανθεί.

2.4.2. ΚΥΡΙΟΤΕΡΟΙ ΟΡΓΑΝΙΚΟΙ ΡΥΠΑΝΤΕΣ

Ένας μεγάλος αριθμός οργανικών ενώσεων εμφανίζεται στα ύδατα με αποτέλεσμα η διοχέτευσή τους στους φυσικούς αποδέκτες να δημιουργεί σημαντικά προβλήματα ρύπανσης, πράγμα το οποίο επηρεάζει και το νερό ανθρώπινης κατανάλωσης.

Οι πιο σημαντικότερες από αυτές τις ενώσεις είναι:

- ✓ Ακρυλαμίδιο
- ✓ Βενζόλιο
- ✓ Βινυλοχλωρίδιο
- ✓ Επιχλωρυδρίνη
- ✓ Παρασιτοκτόνα και συναφή προϊόντα
- ✓ Πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες
- ✓ Τριαλομεθάνια
- ✓ Φαινόλες – Χλωροφαινόλες

2.4.2.1. ΑΚΡΥΛΑΜΙΔΙΟ (C₃H₅NO)

Το ακρυλαμίδιο στο πόσιμο νερό προκύπτει από τη χρήση πολυακρυλαμιδίου στην επεξεργασία του νερού σαν βελτιωτικό κροκίδωσης. Το ακρυλαμίδιο που λαμβάνεται με το πόσιμο νερό απορροφάται εύκολα από τον οργανισμό και με τα υγρά του σώματος διασκορπίζεται σε όλους τους ιστούς. Για το λόγο αυτό, ορίζεται **ως ανώτερο επιτρεπτό όριο πρόσληψης στο πόσιμο νερό το 0,1 μg/L.**

2.4.2.2. BENZOLIO (C₆H₆)

Το βενζόλιο και τα αλκυλοβενζόλια, όπως το τολουόλιο, παράγονται κυρίως από το πετρέλαιο και χρησιμοποιούνται ευρύτατα στη χημική βιομηχανία για την παραγωγή απορρυπαντικών, πλαστικών, καθώς επίσης και για τη βελτίωση των καυσίμων. Επειδή είναι πτητικά, οι συγκεντρώσεις τους στα επιφανειακά νερά είναι μικρές. **Ως ανώτερο επιτρεπτό όριο πρόσληψης ορίζεται το 1 µg/L.**

2.4.2.3. ΒΙΝΥΛΟΧΛΩΡΙΔΙΟ (C₂H₃Cl)

Τα χλωροαιθυλένια είναι ενώσεις που χρησιμοποιούνται κυρίως σαν διαλύτες. Εξαιτίας αυτής της εκτενούς χρήσης τους συναντώνται συχνά στα πόσιμα νερά. Στα υπόγεια νερά βρίσκονται σε συγκεντρώσεις της τάξης του 1mg/L, ενώ στα επιφανειακά νερά απαντούν σε μικρότερες συγκεντρώσεις, εξαιτίας της μεγάλης πτητικότητάς τους.

Η πιο γνωστή ένωση της κατηγορίας αυτής είναι το **βινυλοχλωρίδιο (PVC)**. Το βινυλοχλωρίδιο στο νερό μπορεί να προκύψει είτε από βιομηχανική ρύπανση του επιφανειακού και του υπόγειου νερού, είτε από τη μεταφορά απολυμέριστου μονομερούς από σωλήνες PVC που χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά του νερού. **Ως ανώτερο επιτρεπτό όριο ορίζεται το 0,5 µg/L.**

2.4.2.4. ΕΠΙΧΛΩΡΥΔΡΙΝΗ (C₃H₅ClO)

Η επιχλωρυδρίνη χρησιμοποιείται κυρίως στην κατασκευή γλυκερόλης και μη τροποποιημένων εποξικών ρητινών, και σε μικρότερο βαθμό στην κατασκευή ρητινών επεξεργασίας νερού, ρητινών ιοντοανταλλαγής, φαρμακευτικών προϊόντων, γαλακτοποιητών λαδιού, λιπαντικών και συγκολλητικών. Μπορεί να βρεθεί στο νερό λόγω βιομηχανικής ρύπανσης, χρήσης κροκιδωτικών επεξεργασίας νερού που την περιέχουν, ή λόγω έκπλυσης από εποξικές ρητίνες που χρησιμοποιούνται για εσωτερική βαφή των αγωγών μεταφοράς. **Ως ανώτερο επιτρεπτό όριο στο νερό ορίζεται το 0,1 µg/L.**

2.4.2.5. ΠΑΡΑΣΙΤΟΚΤΟΝΑ ΚΑΙ ΣΥΝΑΦΗ ΠΡΟΙΟΝΤΑ

Τα παρασιτοκτόνα είναι χημικές ενώσεις που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο και την καταστροφή διάφορων ανεπιθύμητων φυτικών και ζωικών οργανισμών που εμφανίζονται στις καλλιέργειες. Σήμερα υπάρχουν περισσότερες από 10000 ενώσεις και μίγματά τους που χρησιμοποιήθηκαν ή χρησιμοποιούνται σαν παρασιτοκτόνα. Από την αλόγιστη χρήση τους δημιουργούνται σοβαρά προβλήματα, επειδή δεν είναι βιοαποδομήσιμα και συσσωρεύονται στο περιβάλλον. Έτσι, σημαντικές ποσότητες διαλύονται από το νερό, υποβαθμίζοντας την ποιότητά του. Όχι μόνο δεν είναι απαραίτητα στον ανθρώπινο οργανισμό, αλλά ακόμη και σε ελάχιστες συγκεντρώσεις προκαλούν σοβαρές διαταραχές στην υγεία. **Ως ανώτερο επιτρεπτό όριο στο νερό ορίζεται το 0,5 µg/L.**

2.4.2.6. ΠΟΛΥΚΥΚΛΙΚΟΙ ΑΡΩΜΑΤΙΚΟΙ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΕΣ (ΡΑΗ)

Οι πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες είναι οργανικές ενώσεις που έχουν στο μόριό τους δύο ή και περισσότερους αρωματικούς δακτυλίους. Αποτελούν μια από τις πιο επικίνδυνες κατηγορίες ρύπων του περιβάλλοντος, γιατί έχουν μεταλλαξιογόνες και καρκινογόνες ιδιότητες. Έχουν χαμηλή διαλυτότητα στο νερό λόγω του μεγάλου τους μοριακού βάρους, και προσροφώνται ισχυρά σε αιωρούμενα στερεά. **Η ανώτερη παραδεκτή συγκέντρωσή τους είναι 0,2 µg/L για το πόσιμο νερό, 1 µg/L για τα επιφανειακά νερά και 100 µg/L για τα λύματα.**

2.4.2.7. ΤΡΙΑΛΟΜΕΘΑΝΙΑ (CHX₃)

Με τον όρο τριαλομεθάνια εννοούμε μια κατηγορία οργανικών ενώσεων που απαντούν στο πόσιμο νερό και προέρχονται από την αντίδραση του χλωρίου με οργανικά συστατικά φυτικής συνήθως προέλευσης. Τα τριαλομεθάνια στο πόσιμο νερό προκύπτουν ως παραπροϊόντα της απολύμανσης με χλώριο. Το υποχλωριώδες οξύ οξειδώνει το ιόν του βρωμίου σε υποβρωμιώδες οξύ που στη συνέχεια, αντιδρά με οργανικές ενώσεις, όπως το χουμικό οξύ και το φουλβικό οξύ, για να σχηματίσει βρωμιωμένα τριαλομεθάνια. Το χλώριο ακόμη, αντιδρά με ορισμένες οργανικές ενώσεις και σχηματίζει χλωροφόρμιο. Σε έρευνες που διεξήχθησαν σε ΗΠΑ και Καναδά, έχουν εντοπιστεί σημαντικές συγκεντρώσεις τριαλομεθανίων από χρήσεις επιφανειακών και υπόγειων νερών. **Η ανώτερη παραδεκτή συγκέντρωσή τους είναι τα 100 µg/L.**

2.4.2.8. ΦΑΙΝΟΛΕΣ - ΧΛΩΡΟΦΑΙΝΟΛΕΣ

Οι φαινόλες είναι αρωματικές ενώσεις στις οποίες η υδροξυ-ομάδα είναι απευθείας ενωμένη με τον αρωματικό δακτύλιο. Μερικές φαινολικές ενώσεις είναι τοξικές για τον άνθρωπο και ειδικά οι χλωροφαινόλες προσδίδουν άσχημη οσμή και γεύση στο νερό. Όταν οι χλωροφαινόλες υπερβούν τα 0,1 μg/L στο πόσιμο νερό, τότε είναι τοξικότερες ενώσεις από τις φαινόλες.

Ο καλύτερος τρόπος για τον έλεγχο της ρύπανσης του πόσιμου νερού από τις χλωροφαινόλες, είναι είτε η παρεμπόδιση της ρύπανσης των διαφόρων υδροφορέων από τις φαινόλες και τα χλωριωμένα φαινολικά παρασιτοκτόνα, είτε η απομάκρυνσή τους με οξειδωτικές διαδικασίες ή η προσρόφησή τους σε ενεργό άνθρακα.

Στη χώρα μας, το ανώτατο επιτρεπτό όριο συγκέντρωσης φαινολών στο πόσιμο νερό είναι 1 μg/L.

2.4.3. ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΟΡΓΑΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΑΤΙΚΩΝ ΤΟΥ ΠΟΣΙΜΟΥ ΝΕΡΟΥ ΣΤΗΝ ΥΓΕΙΑ

Οι επιπτώσεις των οργανικών συστατικών του πόσιμου νερού στην υγεία αποτελούν ένα σημαντικό θέμα συζήτησης, χωρίς όμως να υπάρχει αμφιβολία ότι έκθεση σε μεγάλες δόσεις προκαλεί σοβαρές ασθένειες. Ωστόσο, συγκεντρώσεις αρκετά μεγάλες ώστε να προκαλέσουν αυτές τις επιδράσεις, σπάνια βρίσκονται στο πόσιμο νερό. Η πρόσληψη των οργανικών ρυπαντών με το νερό και τα τρόφιμα έχει ως αποτέλεσμα, τη συγκέντρωσή τους στον οργανισμό με μεγαλύτερη ταχύτητα από εκείνη με την οποία απελευθερώνονται ή αποικοδομούνται.

Η σημαντικότερη επίπτωση κατά τη λήψη για μεγάλο χρονικό διάστημα νερού με οργανικούς ρυπαντές είναι η πρόκληση καρκίνου. Εκτός από τον καρκίνο, οι μικρορυπαντές του πόσιμου νερού εγκυμονούν και άλλες απειλές για την ανθρώπινη υγεία.

Το νερό εγκυμονεί κινδύνους εξαιτίας της απορρόφησης των ρυπαντών από την επιδερμίδα κατά τη διάρκεια του μπάνιου, οι οποίοι είναι παρόμοιοι σε μέγεθος με εκείνους της άμεσης απορρόφησης. Εξάτμιση των ρυπαντών του νερού μέσα στο σπίτι, έχει σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία αέριων ρυπαντών οι οποίοι απειλούν επίσης την υγεία. Συμπερασματικά, οι ποσότητες των καρκινογόνων ενώσεων που προσλαμβάνει ο άνθρωπος από το πόσιμο νερό, είναι αμελητέες σε σχέση με τη συνολική πρόσληψη.

2.4.4. ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΝΕΡΟΥ

Υπάρχουν διάφορες προσεγγίσεις του προβλήματος της προστασίας της δημόσιας υγείας από τους ρυπαντές του πόσιμου νερού. Η καλύτερη λύση είναι η προστασία των υδροφορέων. Δυστυχώς όμως υπάρχουν τόσες πολλές τοξικές ενώσεις στο περιβάλλον που εκπέμπονται από διαφορετικές πηγές, ώστε οι υδροφορείς νερού που δεν έχουν μολυνθεί να είναι πραγματικά ελάχιστα. Καθημερινά άλλωστε, διαπιστώνουμε ότι το νερό που χρησιμοποιούμε ως πόσιμο, ούτε άοσμο είναι, ούτε άγευστο, και πολλές φορές ούτε άχρωμο. Μια άλλη προσέγγιση του προβλήματος είναι η θεσμοθέτηση ορίων για τη μέγιστη επιτρεπτή συγκέντρωση του κάθε ρυπαντή στο πόσιμο νερό.

Τα συστατικά ενός πόσιμου νερού, τα οποία συνήθως αλλοιώνουν την ποιότητά του, είναι τα αιωρούμενα στερεά, τα ανεπιθύμητα διαλυμένα ιόντα και ιχνοστοιχεία, οι τοξικές οργανικές ουσίες, το υπολειμματικό χλώριο, καθώς επίσης και η μόλυνσή του με μ/ο. Τεχνικές όπως η θρόμβωση, η καθίζηση και η διήθηση, χρησιμοποιούνται για την απομάκρυνση των αιωρούμενων στερεών και των τοξικών ιχνοστοιχείων και σε συνδυασμό με την απολύμανση για την καταστροφή των μ/ο.

Ο ενεργός άνθρακας έχει αποδειχθεί ότι απομακρύνει αποτελεσματικά τους περισσότερους οργανικούς ρύπους του νερού. Η επεξεργασία του νερού όμως, συνεπάγεται συχνά ένα κόστος σημαντικά υψηλό, γεγονός που οδηγεί στην επιλογή της διάθεσης στα δίκτυα ύδρευσης ενός **“υπό προϋποθέσεις”** πόσιμου νερού, το οποίο όμως είναι κατάλληλο για όλες τις άλλες ανθρώπινες χρήσεις. Κατά συνέπεια, η ανάγκη για τη χρήση καλής ποιότητας νερού ως πόσιμου, οδηγεί είτε στην αύξηση της κατανάλωσης εμφιαλωμένου νερού, είτε στη χρήση ατομικών συστημάτων βελτίωσης της ποιότητας του νερού των δικτύων ύδρευσης (Μανασσής, 2001).

2.4.5. ΑΤΟΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ

Για τη βελτίωση της ποιότητας του νερού έχει αναπτυχθεί ένας αριθμός συστημάτων ή συνδυασμός συστημάτων επεξεργασίας του, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ατομική οικιακή κλίμακα. Τα κυριότερα από αυτά είναι:

ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗ ΟΣΜΩΣΗ. Χρησιμοποιείται μια εκλεκτική μεμβράνη, η οποία επιτρέπει τη διόδo μόνο του νερού, ενώ διαχωρίζει και απομακρύνει αποτελεσματικά σχεδόν το σύνολο των παραμέτρων που αλλοιώνουν την ποιότητά του. Μειονέκτημα της μεθόδου αυτής, είναι ότι συγχρόνως απομακρύνει και τα χρήσιμα για την ανθρώπινη υγεία στοιχεία που περιέχει το νερό, αλλοιώνοντας συγχρόνως τα οργανοληπτικά του χαρακτηριστικά, καθώς επίσης ότι απαιτείται εξοπλισμός που συντηρείται δύσκολα και είναι ιδιαίτερα δαπανηρός.

ΦΙΛΤΡΑ ΝΕΡΟΥ. Τα φίλτρα νερού είναι συσκευές που χρησιμοποιούνται για τη βελτίωση της ποιότητας ενός “πόσιμου νερού” δικτύου ύδρευσης και καλά θα είναι να αποφεύγεται η χρήση τους σε νερά άγνωστης προέλευσης και αμφιβόλου ποιότητας.

ΦΙΛΤΡΑ ΣΥΓΚΡΑΤΗΣΗΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΤΕΡΕΩΝ. Η απλούστερη μέθοδος επεξεργασίας του πόσιμου νερού είναι ο μηχανικός διαχωρισμός και απομάκρυνση των αιωρούμενων στερεών. Βελτιώνει ελάχιστα την ποιότητα και τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του πόσιμου νερού, ενώ βοηθά σημαντικά στην καλύτερη λειτουργία του οικιακού εξοπλισμού (π.χ. θερμοσίφωνα, βρύσες, κ.α.).

ΦΙΛΤΡΑ ΕΝΕΡΓΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ. Πλεονεκτήματα των φίλτρων αυτών είναι ότι δεσμεύουν πλήρως το υπολειμματικό χλώριο, και τα παράγωγα που δημιουργεί, καθώς επίσης σε σημαντικό ποσοστό δεσμεύουν τοξικές οργανικές ενώσεις και ανεπιθύμητα ή επιβλαβή ιχνοστοιχεία, βελτιώνοντας έτσι σημαντικά την ποιότητα του νερού, και τις οργανοληπτικές του ιδιότητες. Χαρακτηριστικό επίσης των φίλτρων αυτών, είναι ότι δεν αλλοιώνουν τη χημική σύσταση του νερού, γεγονός θετικό ή αρνητικό, ανάλογα με τη χημική σύσταση του προς επεξεργασία νερού. Μειονέκτημα των φίλτρων αυτής της κατηγορίας είναι το γεγονός ότι στη μεγάλη επιφάνεια του άνθρακα αναπτύσσονται μ/ο όταν αυτά δεν λειτουργούν, τους οποίους ελευθερώνουν προς την κατανάλωση τα πρώτα 5 λεπτά χρήσης τους (Μανασσής, 2001).

2.5. ΕΝΕΡΓΟΣ ΑΝΘΡΑΚΑΣ

2.5.1. ΓΕΝΙΚΑ

Η προσρόφηση αποτελεί ένα επιφανειακό φαινόμενο κατά το οποίο λαμβάνει χώρα η συσσώρευση ή η συγκέντρωση μιας ουσίας στην επιφάνεια ή διεπιφάνεια μεταξύ δύο φάσεων. Οι φάσεις αυτές μπορεί να ακολουθούν κάποιον από τους παρακάτω συνδυασμούς: υγρού-υγρού, υγρού-στερεού, αερίου-υγρού και αερίου-στερεού. Η φάση στην επιφάνεια της οποίας συμβαίνει η προσρόφηση ονομάζεται **“προσροφητικό μέσο”**, ενώ η ουσία που προσροφάται χαρακτηρίζεται **“προσροφημένη ουσία”**.

Η προσρόφηση στην επιφάνεια στερεών υλικών έχει μεγάλη περιβαλλοντική σημασία, κυρίως για την αποτελεσματική απομάκρυνση ρύπων από υδάτινα και αέρια ρεύματα. Οφείλεται δε στην παρουσία ατόμων στην επιφάνεια του στερεού υλικού, τα οποία είναι ακόρεστα δεδομένου ότι συνορεύουν μονόπλευρα με άλλα άτομα στο εσωτερικό του στερεού πλέγματος. Έτσι, αναπτύσσονται ελεύθερες μονάδες συγγένειας στην επιφάνεια των στερεών με τις οποίες μπορούν να συγκρατηθούν ξένα άτομα, μόρια ή ιόντα.

Η διεργασία της προσρόφησης δεν έχει χρησιμοποιηθεί σε μεγάλο βαθμό στην επεξεργασία υγρών αποβλήτων, αλλά οι απαιτήσεις για καλύτερη ποιότητα εκροών από μονάδες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, συμπεριλαμβανομένης και της μείωσης της τοξικότητας, έχουν οδηγήσει στην εντατική εξέταση και χρήση της διεργασίας της προσρόφησης σε ενεργό άνθρακα. Η επεξεργασία υγρών αποβλήτων με ενεργό άνθρακα, συνήθως θεωρείται ως στάδιο τριτοβάθμιας επεξεργασίας για νερό που έχει ήδη υποστεί βιολογική επεξεργασία. Ο άνθρακας στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιείται για την απομάκρυνση ενός τμήματος της διαλυτής οργανικής ύλης που έχει απομείνει (Μανασσής, 2001).

2.5.2. ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΙΔΡΟΥΝ ΣΤΗΝ ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗ

Η προσρόφηση ουσιών από υδατικά διαλύματα στην επιφάνεια ενός στερεού εξαρτάται από ορισμένους παράγοντες που έχουν σχέση με τα χαρακτηριστικά του προσροφητικού μέσου και της προσροφημένης ουσίας, καθώς επίσης και από τις ιδιότητες του διαλύματος (pH, θερμοκρασία, παρουσία άλλων ουσιών). Οι παράγοντες αυτοί επηρεάζουν τόσο την έκταση όσο και την ταχύτητα προσρόφησης της ουσίας στη στερεή επιφάνεια.

Φύση του Προσροφητικού Μέσου. Οι βασικοί τύποι των προσροφητικών μέσων περιλαμβάνουν τον ενεργό άνθρακα, τα συνθετικά πολυμερή και τα προσροφητικά μέσα που βασίζονται στο πυρίτιο, αν και τα συνθετικά πολυμερή και τα προσροφητικά μέσα που βασίζονται στο πυρίτιο χρησιμοποιούνται σπάνια για την επεξεργασία υγρών αποβλήτων, λόγω του υψηλού τους κόστους. Μεγάλο ενδιαφέρον συγκεντρώνεται σε προσροφητικά μέσα που παρουσιάζουν πορώδη δομή, λόγω της μεγάλης εσωτερικής τους επιφάνειας, όπως ο ενεργός άνθρακας.

Η ειδική επιφάνεια, το μέγεθος και το σχήμα των πόρων στο εσωτερικό των σωματιδίων, αλλά και το μέγεθος των σωματιδίων, είναι οι βασικές φυσικές ιδιότητες του προσροφητικού μέσου που επηρεάζουν άμεσα την προσροφητική ικανότητά του, καθορίζοντας τόσο τη διαθέσιμη για προσρόφηση επιφάνεια, όσο και το μέγεθος των μορίων που μπορούν να προσροφηθούν. Ως **“ειδική επιφάνεια”** ορίζεται η επιφάνεια του στερεού προσροφητικού μέσου ανά μονάδα μάζας του. Εφόσον η προσρόφηση είναι επιφανειακό φαινόμενο, η έκτασή της είναι ανάλογη της ειδικής επιφάνειας και αυξάνεται με αύξηση της ειδικής επιφάνειας.

2.5.3. ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗΣ

Η διεργασία της προσρόφησης, λαμβάνει χώρα σε τέσσερα περίπου διακριτά στάδια: **(1)** μεταφορά από τον κύριο όγκο του υγρού, **(2)** διάχυση μέσω επιφανειακής στοιβάδας, **(3)** μεταφορά μέσα στους πόρους και **(4)** προσρόφηση (ή ρόφηση).

Η **μεταφορά από τον κύριο όγκο του υγρού** αφορά τη μετακίνηση του οργανικού υλικού που θα προσροφηθεί από τον κύριο όγκο του υγρού, στο οριακό στρώμα της σταθερής επιφανειακής στοιβάδας, που περιβάλλει το προσροφητικό μέσο και λαμβάνει χώρα με εξαναγκασμένη ροή, και διασπορά μέσα στις μονάδες επαφής ενεργού άνθρακα.

Η **διάχυση μέσω επιφανειακής στοιβάδας** αφορά τη μεταφορά λόγω διάχυσης του οργανικού υλικού, διαμέσου του στατικού επιφανειακού υγρού φιλμ από τον κύριο όγκο του υγρού, στην είσοδο των πόρων του προσροφητικού μέσου.

Η **μεταφορά μέσα στους πόρους** αφορά τη μετακίνηση του υλικού που θα προσροφηθεί διαμέσου των πόρων, με συνδυασμό μοριακής διάχυσης μέσα στο υγρό των πόρων, και/ή με διάχυση κατά μήκος της επιφάνειας του προσροφητικού μέσου.

Η **προσρόφηση** αφορά την προσκόλληση/κατακράτηση της ουσίας που θα προσροφηθεί στο προσροφητικό μέσο σε μια διαθέσιμη θέση προσρόφησης. Η προσρόφηση μπορεί να λάβει χώρα πάνω στην εξωτερική επιφάνεια του προσροφητικού μέσου, στους μακροπόρους, μεσοπόρους, μικροπόρους, αλλά η ειδική επιφάνεια των μακρο- και μεσοπόρων είναι μικρή, συγκρινόμενη με την ειδική επιφάνεια των μικροπόρων, και το ποσοστό του υλικού που προσροφάται σε αυτούς τους πόρους συνήθως θεωρείται αμελητέο.

Οι δυνάμεις της προσρόφησης περιλαμβάνουν:

- Έλξεις μεταξύ αντίθετων κολουμπικών φορτίων
- Αλληλεπιδράσεις μεταξύ σημειακού φορτίου και δίπολου
- Αλληλεπιδράσεις δίπολου-δίπολου
- Δυνάμεις London ή van der Waals
- Ομοιοπολικούς δεσμούς με αντίδραση
- Δεσμούς υδρογόνου

2.5.4. ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΕΝΕΡΓΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ

Για την παραγωγή του ενεργού άνθρακα παράγεται αρχικά ένα εξανθράκωμα από οργανικά υλικά όπως κελύφη αμυγδάλων, καρύδας και φουντουκιών, ενώ άλλα υλικά που χρησιμοποιούνται είναι το ξύλο, τα κόκαλα και ο γαιάνθρακας. Το εξανθράκωμα παράγεται με θέρμανση του αρχικού υλικού ως την ερυθροπύρωση (θερμοκρασία μικρότερη από 700°C), σε κλίβανο για την απομάκρυνση των υδρογονανθράκων, ενώ η καύση διατηρείται με ανεπαρκή παροχή οξυγόνου. Η ανθρακοποίηση ή η διεργασία παραγωγής εξανθρακώματος, είναι βασικά μια διεργασία πυρόλυσης. Τα σωματίδια του εξανθρακώματος στη συνέχεια ενεργοποιούνται με έκθεση σε οξειδωτικά αέρια, όπως ο ατμός και το CO₂ σε υψηλές θερμοκρασίες στους 800-900°C. Τα αέρια αυτά αναπτύσσουν στο εξανθράκωμα μια πορώδη δομή και έτσι δημιουργείται μια μεγάλη εσωτερική ειδική επιφάνεια.

Ο τύπος του αρχικού υλικού από τον οποίο παράγεται ο ενεργός άνθρακας μπορεί να επηρεάσει την κατανομή μεγέθους των πόρων και τα χαρακτηριστικά της αναγέννησης. Μετά την ενεργοποίηση, ο άνθρακας μπορεί να διαχωριστεί, ή να παραχθεί σε διαφορετικά μεγέθη με διαφορετική χωρητικότητα προσρόφησης. Οι δύο κατηγορίες μεγέθους είναι ο **“κονιοποιημένος ενεργός άνθρακας” (Powdered Activated Carbon, PAC)**, με διάμετρο μικρότερη από 0.074 mm, και ο **“κοκκώδης ενεργός άνθρακας” (Granular Activated Carbon, GAC)**, με διάμετρο μεγαλύτερη από 0.1 mm.

Οι εμπορικοί ενεργοί άνθρακες εκτός από την τιμή της ειδικής επιφάνειας, μπορούν να χαρακτηριστούν με μια σειρά δοκιμών, που αφορούν δοκιμές προσρόφησης, φυσικών, χημικών και φυσικοχημικών ιδιοτήτων. Στις δοκιμές προσρόφησης περιλαμβάνονται ο προσδιορισμός της ισόθερμης της φαινόλης, η προσρόφηση ιωδίου, μπλε του μεθυλενίου, κ.α. Στις φυσικές δοκιμές περιλαμβάνονται η πυκνότητα του ενεργού άνθρακα, το μέγεθος των σωματιδίων, η πτώση πίεσης και η μηχανική αντοχή. Τέλος, στις χημικές και φυσικοχημικές δοκιμές περιλαμβάνονται το ποσοστό υγρασίας, τέφρας, βαρέων μετάλλων, η θερμοκρασία ανάφλεξης του άνθρακα, κ.α.

Ο **“αριθμός ιωδίου”** αντιπροσωπεύει το ποσό των μικρών πόρων του ενεργού άνθρακα. Ορίζεται ως (mg) ιωδίου, που προσροφώνται ανά γραμμάριο άνθρακα, όταν η συγκέντρωση ισορροπίας είναι 0.02N. Ο αριθμός ιωδίου συνδέεται με την ειδική επιφάνεια πόρων με διάμετρο μικρότερη από 10 Angstroms. Αντίθετα ο **“αριθμός μελάσας”** αντιπροσωπεύει το ποσό των μεγάλων πόρων του ενεργού άνθρακα. Ο αριθμός μελάσας συνδέεται με την ειδική επιφάνεια πόρων με διάμετρο μεγαλύτερη από 10 Angstroms. Τέλος, ο **“αριθμός μπλε του μεθυλενίου”** αντιπροσωπεύει το ποσό των μεσοπόρων του ενεργού άνθρακα.

2.5.5. ΔΟΜΗ ΕΝΕΡΓΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ

Η μοναδική φύση του ενεργού άνθρακα αυξάνει πάρα πολύ την απόδοση της προσρόφησης. Ο ενεργός άνθρακας μπορεί να περιγραφεί σαν μια άμορφη μάζα γραφίτη, με τυχαία μεγέθη γραφιτικών πλακών. Η δομή του είναι πολύ πορώδης, με μια ποικιλία από σπασίματα και ρωγμές που φθάνουν σε μοριακά μεγέθη. Τα μεγαλύτερα ανοίγματα (που αποτελούν περίπου το 10-20% του όγκου κάθε κόκκου), λειτουργούν σαν αγωγοί μεταφοράς, διαμέσου των οποίων οι ρυπαντές διαχέονται σε θέσεις ή σε πόρους προσρόφησης. Η προσρόφηση γίνεται στα μικρότερα ανοίγματα που είναι συνήθως μόνο λίγα μόρια πλατιά. Οι πόροι από άποψη μορφής διακρίνονται σε κυλινδρικούς και κωνικούς.

Για το ίδιο μέγεθος πόρων οι κωνικοί είναι πιο αποδοτικοί για την ταυτόχρονη προσρόφηση μικρών και μεγάλων μορίων, ενώ οι κυλινδρικοί μπορεί να αχρηστευθούν από μεγάλα μόρια ή κολλοειδή. Οι διάφοροι τύποι ενεργού άνθρακα έχουν συνήθως εσωτερική επιφάνεια από 500-2500 m²/g βάρους.

Ο ενεργός άνθρακας χρησιμοποιείται είτε σε μορφή κόκκων, είτε σε μορφή σκόνης. Η μορφή σκόνης συνήθως προστίθεται στο προς επεξεργασία ρεύμα και ύστερα φιλτράρεται στην έξοδο. Κατά την επεξεργασία νερού σε σταθερές κλίνες προσρόφησης, χρησιμοποιείται συνήθως η μορφή κόκκων, επειδή παρέχει μεγαλύτερη ευελιξία (Μανασσής, 2001).

2.5.6. ΑΝΑΓΕΝΝΗΣΗ ΚΑΙ ΕΠΑΝΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ

Η οικονομικότητα της εφαρμογής του ενεργού άνθρακα εξαρτάται από την αποδοτική αναγέννηση και επανενεργοποίησή του μετά την εξάντληση της αρχικής του χωρητικότητας προσρόφησης. **“Αναγέννηση”** είναι ο όρος που χρησιμοποιείται για να περιγράψει όλες τις διεργασίες που χρησιμοποιούνται για την ανάκτηση της χωρητικότητας προσρόφησης του ενεργού άνθρακα, και εκτός από την επανενεργοποίηση περιλαμβάνει: **(1)** χημικά μέσα για την οξειδωση των προσροφημένων ουσιών, **(2)** ατμό για την απομάκρυνση των προσροφημένων ουσιών, **(3)** διαλύτες και, **(4)** διεργασίες βιολογικής μετατροπής. Τυπικά, μέρος της χωρητικότητας προσρόφησης του άνθρακα (περίπου 4-10%) χάνεται κατά τη διεργασία της αναγέννησης, ανάλογα με τις ουσίες που έχουν προσροφηθεί και τη μέθοδο αναγέννησης που χρησιμοποιείται.

Η **“επανενεργοποίηση”** του κοκκώδους ενεργού άνθρακα αφορά κυρίως την ίδια διεργασία που χρησιμοποιείται για την παραγωγή του ενεργού άνθρακα από το αρχικό υλικό. Ο κορεσμένος άνθρακας επανενεργοποιείται σε έναν φούρνο όπου λαμβάνει χώρα οξειδωση των προσροφημένων οργανικών ουσιών, οι οποίες με τον τρόπο αυτό απομακρύνονται από την επιφάνεια του άνθρακα. Κατά την επανενεργοποίηση του ενεργού άνθρακα λαμβάνουν χώρα τα ακόλουθα: **(1)** ο άνθρακας θερμαίνεται για την απομάκρυνση των προσροφημένων οργανικών ουσιών, **(2)** κατά τη διεργασία της απομάκρυνσης των προσροφημένων ουσιών σχηματίζονται ορισμένες νέες ενώσεις, οι οποίες παραμένουν στην επιφάνεια του άνθρακα και, **(3)** το τελικό στάδιο κατά τη διεργασία της επανενεργοποίησης είναι η καύση των νέων ενώσεων που σχηματίζονται.

2.5.7. ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΩΝ ΙΣΟΘΕΡΜΩΝ ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗΣ

Η ποσότητα της προσροφούμενης ουσίας που μπορεί να κατακρατηθεί από ένα προσροφητικό μέσο, εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά και τη συγκέντρωση της προσροφούμενης ουσίας και τη θερμοκρασία. Τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά της προσροφούμενης ουσίας περιλαμβάνουν: τη διαλυτότητα, τη μοριακή δομή, το μοριακό βάρος, την πολικότητα και τον κορεσμό των υδρογονανθράκων. Γενικά, η ποσότητα της ουσίας που προσροφάται προσδιορίζεται ως συνάρτηση της συγκέντρωσης σε μια σταθερή θερμοκρασία, και η τελική συνάρτηση καλείται **“ισόθερμη προσρόφησης”**. Οι ισόθερμες προσρόφησης αναπτύσσονται τοποθετώντας διαφορετικές ποσότητες ενεργού άνθρακα σε έναν σταθερό όγκο υγρού όπου υπάρχει συγκεκριμένη ποσότητα προσροφούμενης ουσίας. Τυπικά χρησιμοποιούνται πάνω από δέκα δοχεία και ο ελάχιστος χρόνος που απαιτείται είναι 7 ημέρες ώστε τα δείγματα να φθάσουν σε ισορροπία στην περίπτωση του κονιοποιημένου ενεργού άνθρακα, ο οποίος χρησιμοποιείται συνήθως για την ελαχιστοποίηση του χρόνου προσρόφησης. Στο τέλος της περιόδου δοκιμής προσδιορίζεται η προσροφούμενη ουσία που παρέμεινε στο υδατικό διάλυμα.

Ισόθερμη Freundlich. Οι εξισώσεις οι οποίες χρησιμοποιούνται συνήθως για να περιγράψουν τα πειραματικά δεδομένα ισόθερμων προσρόφησης έχουν αναπτυχθεί από τους Freundlich, Langmuir, Brunauer, Emmet and Teller (ισόθερμη BET). Από αυτές τις τρεις εξισώσεις, η ισόθερμη του Freundlich χρησιμοποιείται πιο συχνά για να περιγράψει τα χαρακτηριστικά της προσρόφησης σε ενεργό άνθρακα που χρησιμοποιείται στην επεξεργασία νερού και υγρών αποβλήτων. Τα χαρακτηριστικά του ενεργού άνθρακα, καθώς επίσης και η αναλυτική τεχνική που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της υπολειπόμενης συγκέντρωσης της κάθε ένωσης, έχουν σημαντική επίδραση στις τιμές των συντελεστών που λαμβάνονται για τις συγκεκριμένες οργανικές ενώσεις (Chang et al., 2004).

Ισόθερμη Langmuir. Η ισόθερμη Langmuir αναπτύχθηκε υποθέτοντας ότι: **(1)** υπάρχει πρόσβαση σε έναν σταθερό αριθμό θέσεων στην επιφάνεια του προσροφητικού μέσου και όλες οι θέσεις έχουν την ίδια ενέργεια, και **(2)** η προσρόφηση είναι αντιστρεπτή. Η ισορροπία επιτυγχάνεται όταν ο ρυθμός προσρόφησης των μορίων πάνω στην επιφάνεια είναι ίδιος με το ρυθμό εκρόφησης των μορίων από την επιφάνεια. Η ταχύτητα με την οποία προχωρά η προσρόφηση είναι ανάλογη της ωθούσας δύναμης, η οποία είναι η διαφορά ανάμεσα στην ποσότητα που προσροφήθηκε σε μια συγκεκριμένη συγκέντρωση και στην ποσότητα που μπορεί να προσροφηθεί σε αυτή τη συγκέντρωση. Στη συγκέντρωση ισορροπίας η διαφορά αυτή είναι μηδενική.

2.5.8. ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗ ΜΙΓΜΑΤΩΝ

Κατά την εφαρμογή της προσρόφησης στην επεξεργασία υγρών αποβλήτων λαμβάνει πάντα χώρα προσρόφηση μιγμάτων οργανικών ενώσεων. Παρουσιάζεται μείωση στη χωρητικότητα προσρόφησης για οποιαδήποτε ένωση σε διάλυμα πολλών ενώσεων, αλλά η ολική χωρητικότητα προσρόφησης του προσροφητικού μέσου μπορεί να είναι μεγαλύτερη από τη χωρητικότητα προσρόφησης για μία ένωση. Υπάρχουν ισόθερμες προσρόφησης για πολλές μεμονωμένες ουσίες, ωστόσο, οι ισόθερμες αυτές δε λαμβάνουν υπόψη τη δυναμική της προσρόφησης όταν υπάρχει μίγμα ουσιών. Οι ισόθερμες προσρόφησης που μπορούν να προσδιοριστούν για ένα ετερογενές μίγμα ενώσεων περιλαμβάνουν τον ολικό οργανικό άνθρακα (TOC), το διαλυτό οργανικό άνθρακα (DOC), το χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (COD), τις διαλυτές αλογονωμένες οργανικές ενώσεις (DOH), την απορρόφηση της υπεριώδους ακτινοβολίας (UV) και το φθορισμό.

2.5.9. ΚΙΝΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗΣ

Αν και οι θερμοδυναμικοί νόμοι δείχνουν την κατάσταση ισορροπίας μεταξύ του προσροφούμενου και του προσροφητικού μέσου, η απομάκρυνση διαλυτών συστατικών κατά την επεξεργασία του νερού, προσδιορίζεται συνήθως από την ταχύτητα προσρόφησης κατά τη διάρκεια της επαφής με το προσροφητικό. Η διαδικασία της προσρόφησης περιλαμβάνει μια σειρά από διαδοχικά βήματα με επιμέρους ταχύτητες:

Το **πρώτο βήμα** περιλαμβάνει τη μεταφορά του διαλυτού συστατικού από την κύρια μάζα του διαλύματος στο όριο του επιφανειακού φιλμ που περιβάλλει τα σωματίδια του προσροφητικού. Οι συνθήκες ροής και η μετακίνηση του διαλυτού συστατικού στη μάζα του διαλύματος είναι οι παράμετροι που ελέγχουν το φαινόμενο.

Το **δεύτερο βήμα** περιλαμβάνει τη μεταφορά του διαλυτού συστατικού δια μέσου του επιφανειακού φιλμ στην εξωτερική επιφάνεια του προσροφητικού. Η παράμετρος που ελέγχει το φαινόμενο αυτό είναι η μοριακή διάχυση.

Το **τρίτο βήμα** περιλαμβάνει τη διάχυση των συστατικών από την εξωτερική επιφάνεια των σωματιδίων του προσροφητικού μέσα στους πόρους. Η μοριακή διάχυση είναι η παράμετρος που ελέγχει την εσωτερική αυτή μετακίνηση με διάχυση.

Το **τελικό βήμα** είναι η φυσική ή χημική σύνδεση του προσροφούμενου στην εσωτερική επιφάνεια προσροφητικού. Η ταχύτητα του βήματος αυτού ελέγχεται από τη χημική κινητική σε επίπεδο μορίων (Dotto et al., 2011).

2.5.10. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΜΕ ΕΝΕΡΓΟ ΑΝΘΡΑΚΑ

Η προσρόφηση με άνθρακα χρησιμοποιείται κυρίως για την απομάκρυνση οργανικών ενώσεων οι οποίες βιοαποικοδομούνται δύσκολα, καθώς επίσης και για την απομάκρυνση υπολειπόμενων συγκεντρώσεων ανόργανων ενώσεων, όπως άζωτο, σουλφίδια και βαρέα μέταλλα. Μια άλλη σημαντική εφαρμογή αποτελεί η απομάκρυνση από τα υγρά απόβλητα των ενώσεων που προσδίδουν γεύση και οσμή, ειδικότερα στις εφαρμογές επαναχρησιμοποίησης. Κάτω από κανονικές συνθήκες, μετά την επεξεργασία με άνθρακα, η τιμή BOD εξόδου κυμαίνεται από 2-7mg/L και η τιμή COD εξόδου από 10-20mg/L. Σε βέλτιστες συνθήκες η τιμή COD εξόδου μπορεί να μειωθεί σε τιμές μικρότερες από 10mg/L.

Επεξεργασία με Κοκκώδη Ενεργό Άνθρακα (GAC). Η επεξεργασία με GAC αφορά τη διέλευση του υγρού που πρόκειται να υποστεί επεξεργασία, διαμέσου μιας κλίνης ενεργού άνθρακα, η οποία είναι τοποθετημένη σε έναν αντιδραστήρα (μερικές φορές ονομάζεται κλίνη επαφής). Οι τυπικές μονάδες μπορεί να είναι είτε συστήματα πίεσης, είτε τύπου βαρύτητας, και μπορούν να είναι μονάδες σταθερής κλίνης καθοδικής ή ανοδικής ροής, με 2 ή 3 στήλες σε σειρά, ή τύπου διαστελλόμενης κλίνης που λειτουργεί κατά αντιρροή με ανοδική ροή του υγρού.

Σταθερή Κλίνη. Για την επεξεργασία υγρών αποβλήτων με GAC συνήθως χρησιμοποιούνται στήλες σταθερής κλίνης. Οι στήλες σταθερής κλίνης μπορούν να λειτουργήσουν μόνες τους, σε σειρά ή παράλληλα. Συχνά χρησιμοποιούνται φίλτρα με κοκκώδη πληρωτικά υλικά πριν από τις κλίνες επαφής ενεργού άνθρακα, για την απομάκρυνση των οργανικών συστατικών που κατακρατούνται στα αιωρούμενα στερεά μιας δευτεροβάθμιας εκροής. Το νερό που πρόκειται να υποστεί επεξεργασία εισάγεται στην κορυφή της στήλης και απομακρύνεται από τον πυθμένα. Ο άνθρακας συγκρατείται σε μια ορισμένη θέση με ένα σύστημα αποστράγγισης στον πυθμένα της στήλης. Συχνά σε εφαρμογές που αφορούν υγρά απόβλητα υπάρχει πρόβλεψη για αντίστροφη και επιφανειακή πλύση, έτσι ώστε να ελαχιστοποιείται η πτώση πίεσης που οφείλεται στην κατακράτηση αιωρούμενων στερών μέσα στη στήλη του άνθρακα (Dotto et al., 2011).

2.6. ΧΙΤΙΝΗ - ΧΥΤΟΖΑΝΗ

2.6.1. ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΗ ΧΙΤΙΝΗ ΚΑΙ ΤΗ ΧΙΤΟΖΑΝΗ

Η χιτίνη είναι ένα μη τοξικό πολυμερές, υψηλού μοριακού βάρους, και μετά την κυτταρίνη είναι ο πιο κοινά διαδεδομένος πολυσακχαρίτης στο περιβάλλον. Η χιτίνη παρουσιάζει ιδιαίτερες χημικές και βιολογικές ιδιότητες, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε βιομηχανικές και ιατρικές εφαρμογές. Η χιτίνη είναι ένα πολυμερές και θεωρείται ότι είναι υποπροϊόν της κυτταρίνης γιατί και τα δύο έχουν παρόμοια χημική δομή. Η κυτταρίνη περιέχει μια υδροξυ ομάδα και η χιτίνη περιέχει ακεταμίδιο. Ετησίως παράγονται 10^{10} - 10^{12} τν χιτίνης (www.essortment.com).

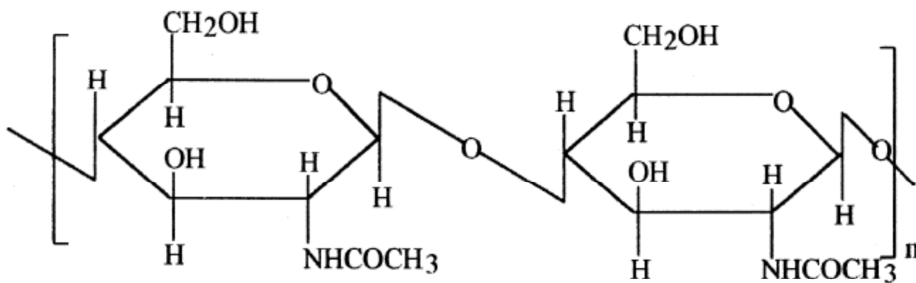
Η χιτοζάνη προέρχεται από το φυσικό προϊόν χιτίνη, που βρίσκεται άφθονο στον εξωσκελετικό σχηματισμό των εντόμων και των οστρακοειδών. Η χιτοζάνη προέρχεται από την αποακετυλίωση της α-χιτίνης με 40-50% υδατικά διαλύματα αλκαλίων, υδροξειδίου του νατρίου στους 120-150⁰C υπό ετερογενείς συνθήκες. Η β-χιτίνη (που προέρχεται από τα καλαμάρια), είναι πιο επιρρεπής στην αντίδραση της αποακετυλίωσης, λόγω των σχετικά αδύναμων διαμοριακών δυνάμεων και επιπλέον τείνει να δίνει στη χιτοζάνη ένα ελαφρύ μαύρισμα στο χρώμα, υπό παρόμοιες συνθήκες (Kurita, 2006).

Η χιτίνη και η χιτοζάνη έχουν παρόμοια χημική δομή. Η χιτίνη αποτελείται από μια γραμμική αλυσίδα ακετυλογλυκοζαμινικών ομάδων και είναι τελείως αδιάλυτη στο νερό. Η χιτοζάνη λαμβάνεται από την απομάκρυνση επαρκών ακετυλικών ομάδων (CH₃-CO) από το οργανικό μόριο και την καθιστά διαλυτή στα αραιά οξέα. Αυτή η διαδικασία, που ονομάζεται “**αποακετυλίωση**”, δίνει στη χιτοζάνη κατιονικό χαρακτήρα σε όξινο περιβάλλον (www.vanderbuilt.com).

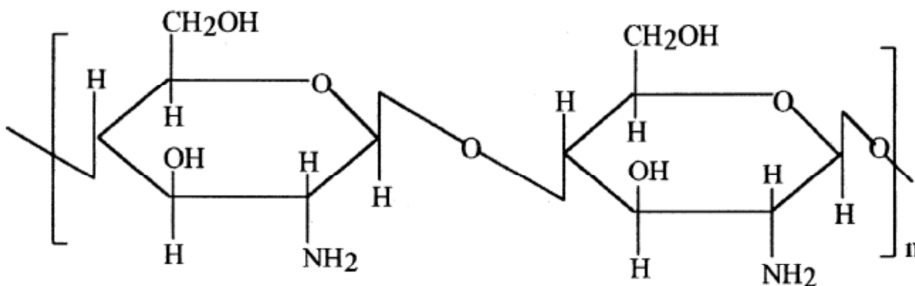
Η οικογένεια των χιτοζανών μπορεί να καταταχθεί σε τρεις κατηγορίες: **α)** σε χιτοζάνες που προέρχονται από χιτίνη με αποακετυλίωση κάτω από ετερογενείς συνθήκες, **β)** σε χιτοζάνες που προέρχονται από χιτίνη με αποακετυλίωση κάτω από ομοιογενείς συνθήκες, και **γ)** σε χιτοζάνες που προέρχονται από χιτίνη με N-ακετυλίωση κάτω από ομοιογενείς συνθήκες (Brine et al., 1982).

Οι ιδιότητες της χιτίνης περιλαμβάνουν τη μη τοξικότητα, την προσρόφηση ιόντων μετάλλου, την πήξη διαλυμένων ουσιών, καθώς και βιολογικές δραστηριότητες. Η χιτίνη και η χιτοζάνη θεωρούνται βιολειτουργικά πολυμερή που έχουν μεγαλύτερο δυναμικό από την κυτταρίνη σε πολλούς τομείς, και το σημαντικό είναι ότι όχι μόνο έχουν άφθονους πόρους, αλλά είναι ένα είδος πολυμερικών υλικών που είναι φιλικά προς το περιβάλλον.

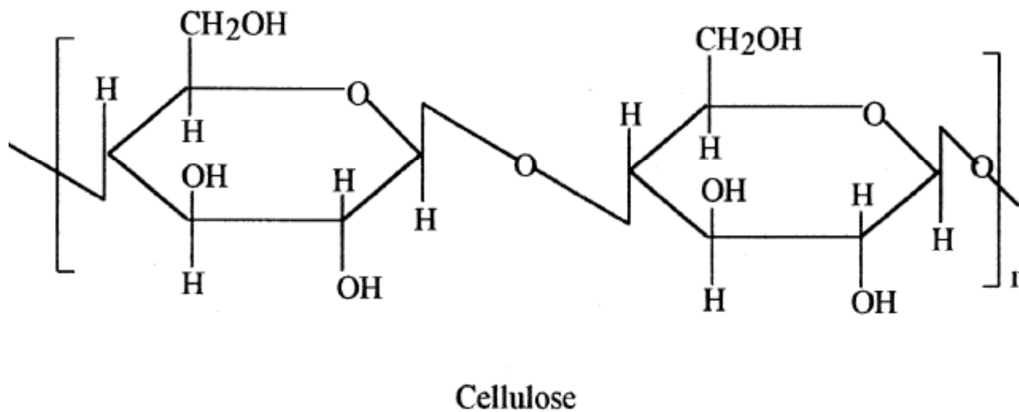
Στο **σχήμα 1** δίνονται οι μοριακές δομές της χιτίνης, της χιτοζάνης, και της κυτταρίνης, αντίστοιχα:



Chitin



Chitosan



Σχήμα 1: Μοριακές δομές χιτίνης, χιτοζάνης και κυτταρίνης (Majeti et al., 2000).

2.6.2. ΠΗΓΕΣ ΧΙΤΙΝΗΣ

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, η χιτίνη είναι ευρέως διαδεδομένη στη φύση. Βρίσκεται στους μύκητες, στα φύκια, στα πρωτόζωα, στα μαλάκια και στα οστρακοειδή. Από πρακτικής άποψης, τα κελύφη των θαλάσσιων μαλακόστρακων όπως τα καβούρια και οι γαρίδες, είναι διαθέσιμα στη βιομηχανία επεξεργασίας θαλασσινών και χρησιμοποιούνται για την παραγωγή χιτίνης. Τα κελύφη περιέχουν 15-40% χιτίνη, 2-40% πρωτεΐνες, και 20-50% ανθρακικό ασβέστιο. Χρωστικές ουσίες και άλλα μεταλλικά άλατα βρίσκονται σε μικρές ποσότητες. Άλλες πιθανές πηγές παραγωγής χιτίνης είναι τα μύδια, τα στρείδια, τα έντομα, και οι μύκητες (Kurita, 2006).

2.6.3. ΧΡΗΣΕΙΣ ΧΥΤΟΖΑΝΗΣ

Η χιτοζάνη μπορεί να χρησιμοποιηθεί **α)** στην ιατρική, **β)** στη βιομηχανία τροφίμων, **γ)** στην επεξεργασία νερού, **δ)** στη γεωργία, **ε)** στη βιοτεχνολογία, **στ)** στην αισθητική, **ζ)** στην παραγωγή χαρτοπολτού, **η)** στις μεμβράνες, και **θ)** στην διατροφολογία.

Πιο συγκεκριμένα:

A) Στην Ιατρική, οι ιδιότητες της χιτοζάνης επιτρέπουν την ταχεία πήξη του αίματος. Επίσης, έχει χρησιμότητα στους επιδέσμους, στα τεχνητά αιμοφόρα αγγεία, χρησιμοποιείται ως αιμοστατικό και στον έλεγχο της χοληστερόλης του αίματος, στην οστεοπόρωση και τέλος, στη δημιουργία φακών επαφής στην οφθαλμιοατρική.

B) Στη Βιομηχανία τροφίμων, η χιτοζάνη βοηθάει στην απομάκρυνση των στερεών και των οξέων, χρησιμοποιείται ως συντηρητικό, ως σταθεροποιητής χρώματος, και τέλος, ως πρόσθετο ζωοτροφών.

Γ) Στην Επεξεργασία νερού, η χιτοζάνη παίρνει μέρος στη διαδικασία της διήθησης. Προκαλεί ίζημα μικροσωματιδίων και στη συνέχεια κατά τη διάρκεια της διήθησης με άμμο, απομακρύνεται μαζί με το ίζημα. Επίσης, η χιτοζάνη απομακρύνει το φώσφορο, τα βαρέα μέταλλα, και τα λίπη από το νερό. Η διήθηση με άμμο μπορεί να απομακρύνει το 50% της θολότητας, ενώ μαζί με τη χιτοζάνη μπορεί να απομακρύνει το 99% της θολότητας.

Δ) Στη Γεωργία, η χιτοζάνη χρησιμοποιείται ως ενισχυτικό της ανάπτυξης των φυτών, καθώς είναι μια ουσία που αυξάνει την ικανότητα των φυτών στην αντιμετώπιση των μυκητιάσεων.

Ε) Στην Βιοτεχνολογία, η χιτοζάνη χρησιμοποιείται ως ένζυμο ακινητοποίησης, παίρνει μέρος στο διαχωρισμό των πρωτεϊνών, λαμβάνει χώρα στη χρωματογραφία και χρησιμοποιείται ως γλυκόζη ηλεκτροδίου.

ΣΤ) Στην Αισθητική, η χιτοζάνη περιέχεται στη σκόνη μακιγιάζ, στα βερνίκια, στις κρέμες ενυδάτωσης, στις κρέμες προσώπου, χεριών και σώματος, στις lotion μπάνιου, στην οδοντόπαστα και στους αφρούς μαλλιών.

Ζ) Στην Παραγωγή χαρτοπολτού, η χιτοζάνη περιέχεται στο φωτογραφικό και στο αυτογραφικό χαρτί.

Η) Στις Μembrάνες, η χιτοζάνη παίρνει μέρος στην αντίστροφη όσμωση, στον έλεγχο της διαπερατότητας, και στο διαχωρισμό του διαλύτη.

Θ) Στη Διατροφολογία, η χιτοζάνη πωλείται στα φαρμακεία σε μορφή ταμπλέτας ως λιποδιαλύτης. Σκοπός της είναι να απομακρύνει το λίπος από το πεπτικό σύστημα και τελικώς να το αποβάλλει από τον οργανισμό. Η χιτοζάνη αφαιρεί 10 θερμίδες την ημέρα από τη διατροφή του ατόμου

(www.3dchem.com).

2.6.4. ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗΣ ΓΙΑ ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗ ΧΡΩΣΤΙΚΩΝ

Η εφαρμογή των βιοπολυμερών όπως είναι η χιτίνη και η χιτοζάνη, αποτελεί μέθοδο προσρόφησης για την απομάκρυνση χρωστικών ουσιών και βαρέων μετάλλων, ακόμη και σε χαμηλές συγκεντρώσεις. Αμινομάδες χιτοζάνης μπορούν να μετατραπούν σε κατιόντα, αφού προσροφήσουν ανιονικές χρωστικές σε όξινο περιβάλλον. Για να θεωρηθεί η χιτοζάνη ως ισχυρό προσροφητικό υλικό, χρησιμοποιούνται διάφορα αντιδραστήρια, όπως φορμαλδεΐδη και αιθυλένιο.

Η ανακάλυψη των συνθετικών χρωστικών κατέχει στην κοινωνία την πρώτη θέση έναντι των φυσικών χρωστικών, λόγω του χαμηλού κόστους παραγωγής τους, της καλύτερης αντοχής τους στους περιβαλλοντικούς παράγοντες, καθώς και της ευκολίας εφαρμογής τους. Αυτό έχει οδηγήσει στην αυξημένη κατανάλωσή τους σε βιομηχανικές εφαρμογές. Ωστόσο, οι συνθετικές χρωστικές είναι συχνά τοξικές και καρκινογόνες. Σε απόβλητα που περιέχουν χρωστικές είναι δύσκολο να απομακρυνθούν λόγω των αδρανών ιδιοτήτων τους. Άλλες μέθοδοι για την απομάκρυνση χρωστικών από απόβλητα αποτελούν η προσρόφηση, η θρόμβωση, η κροκίδωση, η αντίστροφη όσμωση και η χημική οξειδωση.

Ο Won το 2009 χρησιμοποίησε πολυουρεθάνη για τη δημιουργία χιτοζάνης ως προσροφητικό μέσο της χρωστικής Acid Violet 48. Η πολυουρεθάνη χρησιμοποιείται συνήθως ως μονωτικό υλικό σε τοίχους και στέγες, σε υποδήματα και σε ιατρικές συσκευές. Από βιβλιογραφίες διαπιστώθηκε ότι η πολυουρεθάνη έχει πορώδεις δομές, οι οποίες την επιτρέπουν να λειτουργεί ως μήτρα για την ακινητοποίηση διάφορων προσροφητικών μέσων, όπως είναι ο ενεργός άνθρακας. Η παρασκευή διαλύματος χιτοζάνης/πολυουρεθάνης είναι διαφορετική από άλλες μεθόδους, καθώς η χιτοζάνη δεν διαλυτοποιείται χρησιμοποιώντας οξικό οξύ.

Ακόμη, ο μπεντονίτης χρησιμοποιείται συνήθως για να απομακρύνει αρωματικές ενώσεις από υγρά απόβλητα. Η παρασκευή διαλύματος χιτοζάνης/μπεντονίτη χρησιμοποιείται ως προσροφητικό υλικό της ταρτραζίνης, μιας χρωστικής που είναι επιβλαβής για τους ζωντανούς οργανισμούς. Το pH της ταρτραζίνης παίζει σημαντικό ρόλο στη διαδικασία της προσρόφησης. Σε pH χαμηλότερα του pH της ταρτραζίνης, η επιφάνεια του προσροφητικού μέσου θα φέρει θετικό φορτίο και τα μόρια της ταρτραζίνης θα προσελκύονται. Όσο θα αυξάνει το pH, η επιφάνεια του προσροφητικού μέσου θα φέρει αρνητικά φορτία, και τελικά θα οδηγήσει σε άπωση μεταξύ του προσροφητικού μέσου και της ταρτραζίνης, με αποτέλεσμα τη μείωση της προσροφητικής ικανότητας (Teong et al., 2011).

3. ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία μελετούνται οι ιδιότητες και οι οργανικές ενώσεις του νερού, οι παράγοντες που επιδρούν στην προσρόφηση, η διεργασία της προσρόφησης με ενεργό άνθρακα, η ανάπτυξη των ισόθερμων προσρόφησης Freundlich και Langmuir, οι ιδιότητες και χρήσεις της χιτίνης και της χιτοζάνης, καθώς και οι διάφορες μέθοδοι προσρόφησης που μπορεί να χρησιμοποιηθούν για την απομάκρυνση χρωστικών ουσιών.

Η εφαρμογή των βιοπολυμερών όπως είναι η χιτίνη και η χιτοζάνη, αποτελεί μέθοδο προσρόφησης για την απομάκρυνση χρωστικών και βαρέων μετάλλων, ακόμη και σε χαμηλές συγκεντρώσεις. Άλλες μέθοδοι για την απομάκρυνση χρωστικών από απόβλητα αποτελούν η προσρόφηση, η θρόμβωση, η κροκίδωση, η αντίστροφη όσμωση, και η χημική οξειδωση.

Η ανακάλυψη των συνθετικών χρωστικών κατέχει στην κοινωνία την πρώτη θέση έναντι των φυσικών χρωστικών, λόγω του χαμηλού κόστους παραγωγής τους, της καλύτερης αντοχής τους στους περιβαλλοντικούς παράγοντες, καθώς και της ευκολίας εφαρμογής τους. Αυτό έχει οδηγήσει στην αυξημένη κατανάλωσή τους σε βιομηχανικές εφαρμογές. Ωστόσο, οι συνθετικές χρωστικές είναι συχνά τοξικές και καρκινογόνες.

Ο σκοπός της εργασίας είναι η μελέτη της απομάκρυνσης οργανικών ουσιών από την υγρή φάση με προσρόφηση σε ενεργό άνθρακα, καθώς και η εφαρμογή νέων υλικών με βάση τη χιτίνη για την επεξεργασία υδατικών διαλυμάτων.

4. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

4.1. ΥΛΙΚΑ

Η χιτίνη από τα όστρακα των καβουριών προέρχεται από τη Sigma (Sigma-Aldrich, St Louis, MO). Τα διαλύματα καζεϊνικού νατρίου (Sodium caseinate, 2%), οξικού οξέος (CH_3COOH), και η χρωστική κυανό του μεθυλενίου Methylene blue, 82%) ελήφθησαν από την Carlo Erba (Carlo Erba, Rodano, Ιταλία). Το ελαιόλαδο αγοράστηκε από τοπικό σούπερ μάρκετ. Αποσταγμένο νερό χρησιμοποιήθηκε για όλα τα σκευάσματα.

4.2. ΣΥΣΚΕΥΕΣ

4.2.1. ΦΑΣΜΑΤΟΦΩΤΟΜΕΤΡΟ ΥΠΕΡΥΘΡΟΥ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ FOURIER FT-IR (FOURIER TRANSFORM INFARED)

Τα χαρακτηριστικά της σύστασης της χιτοζάνης μελετήθηκαν με τη βοήθεια του φασματοφωτόμετρου μετασχηματισμού Fourier (FT-IR), χρησιμοποιώντας ένα φασματόμετρο Nicolet 380 FT-IR με ένα συναρμολογημένο διαμάντι έξυπνης τροχιάς ATR (Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA).

4.2.2. ΟΜΟΓΕΝΟΠΟΙΗΤΗΣ ΥΠΕΡΗΧΩΝ ULTRA – TURRAX

Για την παρασκευή αδρομερούς γαλακτώματος χιτοζάνης/λαδιού πραγματοποιήθηκε ομογενοποίηση σε ράβδο υπερήχων Ultra– Turrax.

4.3. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

4.3.1. ΠΡΟΤΥΠΗ ΚΑΜΠΥΛΗ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗΣ

Προσδιορισμός της ισόθερμης προσρόφησης μπλε του μεθυλενίου σε ενεργό άνθρακα

Συνοπτικά η διαδικασία που ακολουθήθηκε ήταν η εξής: Ζυγίστηκαν σε ζυγό 0,1220g χρωστικής (κυανό του μεθυλενίου, 82%), τα οποία και τοποθετήθηκαν σε ογκομετρική φιάλη 1L και προστέθηκε απιονισμένο νερό. Αφού ανακινήθηκε καλά η φιάλη για να διαλυθεί η χρωστική, πάρθηκαν 10 ογκομετρικές φιάλες των 100 ml, στις οποίες εισήχθηκαν διαφορετικές ποσότητες χρωστικής και συμπληρώθηκαν όλες με απιονισμένο νερό, σύμφωνα με τον πίνακα 1:

Πίνακας 1: Πειραματικό σχέδιο

Αριθμός φιάλης	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Συγκέντρωση Χρωστικής (mg/L)	1 mg/L	2 mg/L	3 mg/L	4 mg/L	5 mg/L	6 mg/L	7 mg/L	8 mg/L	9 mg/L	10 mg/L

Τα διαλύματα αφέθηκαν σε ηρεμία για αρκετές ώρες και τέλος, μετρήθηκαν οι τιμές των απορροφήσεων σε φασματοφωτόμετρο υπεριώδους /ορατού, Thermo, στα 660nm.

4.3.2. ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ (SAMPLE TREATMENT)

❖ Παρασκευή διαλύματος χιτοζάνης:

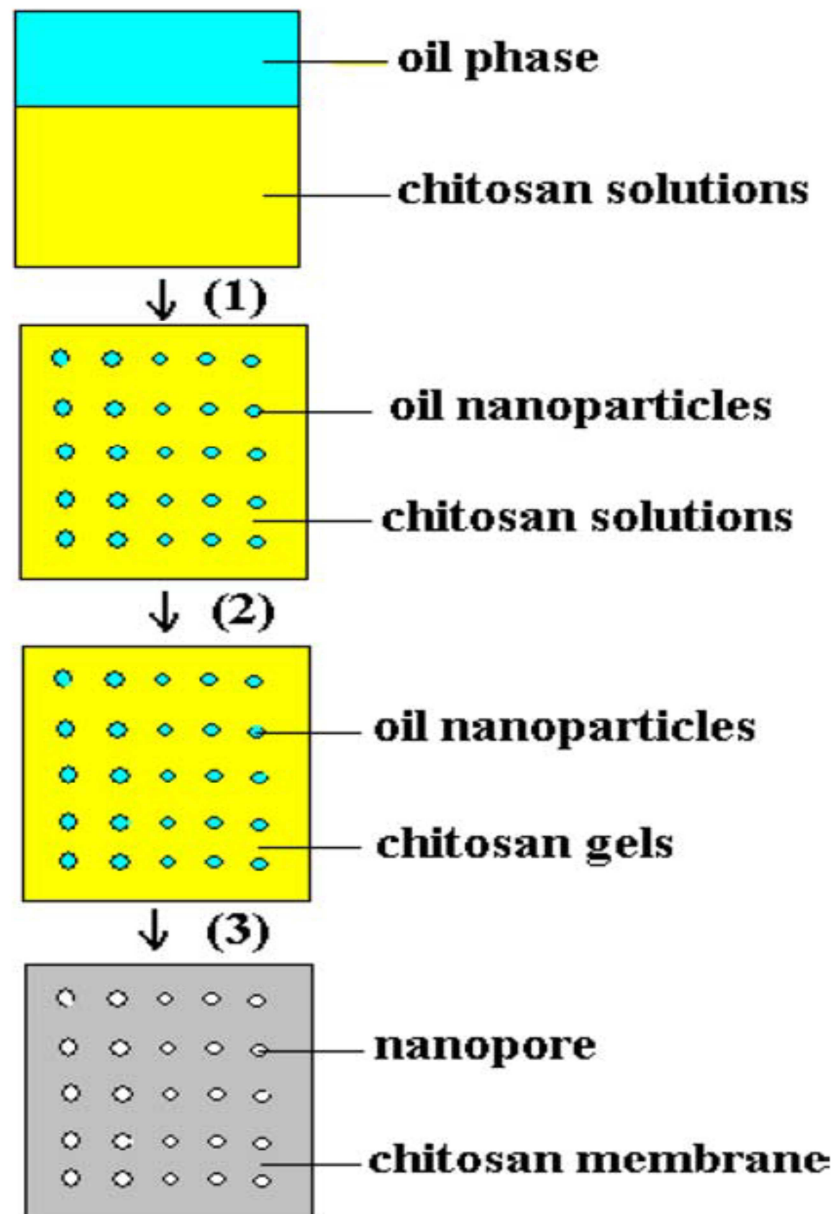
Σε ποτήρι ζέσεως για την παρασκευή διαλύματος χιτοζάνης 5% w/w, προστέθηκαν 15g οξικού οξέος και 185g απιονισμένο νερό. Έπειτα, σε ένα άλλο ποτήρι ζέσεως προστέθηκαν 5g χιτοζάνης, 100g του παραπάνω διαλύματος, καθώς και ένα μαγνητάκι. Το παραπάνω διάλυμα τοποθετήθηκε σε αναδευτήρα για 10min ώστε να επιτευχθεί διαύγανση. Στη συνέχεια, ετοιμάστηκαν 2 δείγματα, το ένα εκ των οποίων είναι με λάδι και το άλλο χωρίς λάδι.

❖ Παρασκευή μικροπορωδών υλικών:

Σε ποτήρι ζέσεως για την παρασκευή δείγματος με λάδι, προστέθηκαν 0,6g καζεϊνικού νατρίου (2%), και 30ml απιονισμένο νερό. Το παραπάνω διάλυμα αφέθηκε σε αναδευτήρα για 2h ώστε να επιτευχθεί διαύγανση. Έπειτα, στο παραπάνω διάλυμα προστέθηκαν 20g ελαιόλαδου υπό μαγνητική ανάδευση, προκειμένου να παρασκευασθεί αδρομερές γαλάκτωμα, το οποίο και ομογενοποιήθηκε σε ομογενοποιητή υπερήχων Ultra-Turrax.

Τα δείγματα στα ποτήρια ζέσεως αναμίχθηκαν με μια γυάλινη ράβδο και στη συνέχεια καταψύχθηκαν και λυοφιλοποιήθηκαν. Το ελαιόλαδο αφαιρέθηκε από το γαλάκτωμα της χιτοζάνης με τη μέθοδο Soxhlet (7 επαναροές). Τα δείγματα στέγνωσαν για 12 ώρες και στη συνέχεια σφραγίστηκαν και αποθηκεύτηκαν. Σε μια παρόμοια διαδικασία, το διάλυμα (όχι του γαλακτώματος), που περιείχε χιτοζάνη σε 15g οξικό οξύ και νερό, αφού καταψύχθηκε και λυοφιλοποιήθηκε, σφραγίστηκε και αποθηκεύτηκε. (το στάδιο της εκχύλισης Soxhlet δεν εφαρμόστηκε, καθώς το δείγμα αυτό δεν περιείχε ελαιόλαδο).

Το **σχήμα 2** είναι μια αναπαράσταση της πορογεννητικής διαδικασίας. Όταν σταγονίδια ελαίου αναμιχθούν με χιτοζάνη και υποστούν έντονη ανάδευση, τότε τα σταγονίδια αυτά του ελαίου διασπείρονται στο γαλάκτωμα υπό μορφή νανοσωματιδίων, και στη συνέχεια απομακρύνονται με τη μέθοδο Soxhlet, αφήνοντας κενούς πόρους στη θέση τους.



Σχήμα 2: Σχηματική αναπαράσταση του γαλακτώματος ελαίου-χιτοζάνης υπό μορφή νανοσωματιδίων.

Κατόπιν, η διαδικασία που ακολουθήθηκε τόσο για το δείγμα λαδιού, όσο και για το δείγμα χωρίς λάδι, ήταν η εξής:

Ζυγίστηκαν σε ζυγό 0,1g χρωστικής (κυανό του μεθυλενίου, καθαρότητας 82%), τα οποία και τοποθετήθηκαν σε ογκομετρική φιάλη των 100ml και προστέθηκε απιονισμένο νερό. Έπειτα ζυγίστηκαν ίσες ποσότητες (0,1g) δείγματος (με ή χωρίς λάδι), οι οποίες τοποθετήθηκαν σε 7 ογκομετρικές φιάλες των 100ml. Ακόμα, στις φιάλες προστέθηκαν με σιφώνιο διαφορετικές ποσότητες χρωστικής (κυανό του μεθυλενίου, καθαρότητας 82%), και τις συμπληρώθηκαν όλες με απιονισμένο νερό, σύμφωνα με τον πίνακα 2:

Πίνακας 2: Πειραματικό σχέδιο

Αριθμός φιάλης	1	2	3	4	5	6	7
Συγκέντρωση Χρωστικής (mL)	2,5 mL	5 mL	7,5 mL	10 mL	15 mL	20 mL	30 mL

Ακόμα, ζυγίστηκαν στο ζυγό 0,3g χρωστικής (κυανό του μεθυλενίου, καθαρότητας 82%), τοποθετήθηκαν σε μια όγδοη ογκομετρική φιάλη των 100ml και προστέθηκε απιονισμένο νερό. Ανακινήθηκε καλά η φιάλη για να διαλυθεί η χρωστική.

Τοποθετήθηκαν και οι 8 ογκομετρικές φιάλες σε αναδευτήρα για 7 ημέρες ώστε να επιτευχθεί προσρόφηση στους 25⁰C. Ύστερα από το πέρας των 7 ημερών, οι φιάλες βγήκαν από τον αναδευτήρα, διηθήθηκαν και τέλος, μετρήθηκαν οι τιμές των απορροφήσεων σε φασματοφωτόμετρο υπεριώδους /ορατού, Thermo, στα 660nm.

5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ

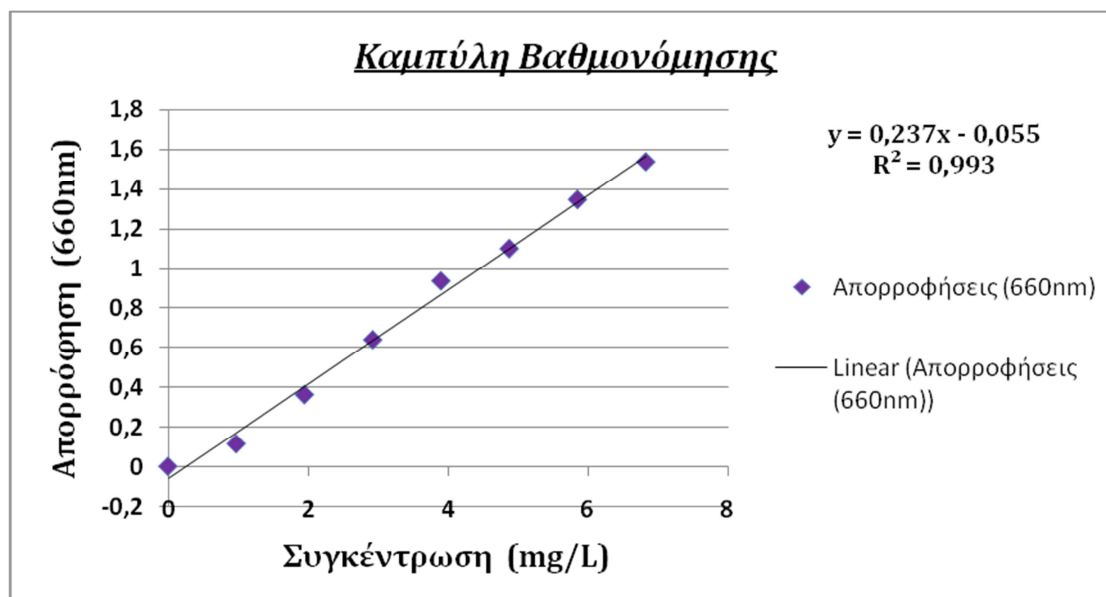
5.1. ΠΡΟΤΥΠΗ ΚΑΜΠΥΛΗ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗΣ

Για την κατασκευή της πρότυπης καμπύλης βαθμονόμησης, όπως αναφέρθηκε στην παράγραφο 4.3.1., πραγματοποιήθηκε μέτρηση της απορρόφησης διαφορετικών συγκεντρώσεων χρωστικής στα 660nm, με τη βοήθεια φασματοφωτόμετρου υπεριώδους/ορατού Thermo.

Πίνακας 3: Απορροφήσεις των διαλυμάτων χρωστικής στα 660nm

Απορροφήσεις (660nm)	0,114	0,362	0,639	0,936	1,101	1,346	1,537	1,670	1,824	1,924
Συγκεντρώσεις (mg χρωστικής/L)	1 mg/L	2 mg/L	3 mg/L	4 mg/L	5 mg/L	6 mg/L	7 mg/L	8 mg/L	9 mg/L	10 mg/L

Με τις τιμές του παραπάνω πίνακα κατασκευάστηκε η παρακάτω πρότυπη καμπύλη βαθμονόμησης:



Σχήμα 3: Πρότυπη καμπύλη βαθμονόμησης

Το **σχήμα 3** απεικονίζει τις απορροφήσεις που λήφθηκαν για ένα υλικό φτιαγμένο από χρωστική (κυανό του μεθυλενίου, καθαρότητας 82%) και απιονισμένο νερό. Όπως φαίνεται και στο σχήμα 3, υπάρχει γραμμική συσχέτιση μεταξύ των απορροφήσεων και των διαφορετικών συγκεντρώσεων χρωστικής.

Η εξίσωση της πρότυπης καμπύλης βαθμονόμησης είναι η εξής: $y = 0.237x - 0.055$

$$R^2 = 0.993$$

5.2. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΧΥΤΟΖΑΝΗΣ

Τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες προέκυψαν από την αναγωγή των απορροφήσεων που πάρθηκαν από τα αντίστοιχα δείγματα με τη βοήθεια των πρότυπων καμπυλών.

5.2.1. ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ ΛΑΔΙΟΥ

Οκτώ δείγματα χιτοζάνης λαδιού παρασκευάστηκαν, τοποθετήθηκαν σε αναδευτήρα για επτά ημέρες, διηθήθηκαν και μετρήθηκαν οι απορροφήσεις τους σε φασματοφωτόμετρο υπεριώδους-ορατού στα 660nm. Τα αποτελέσματα των αναλύσεων παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

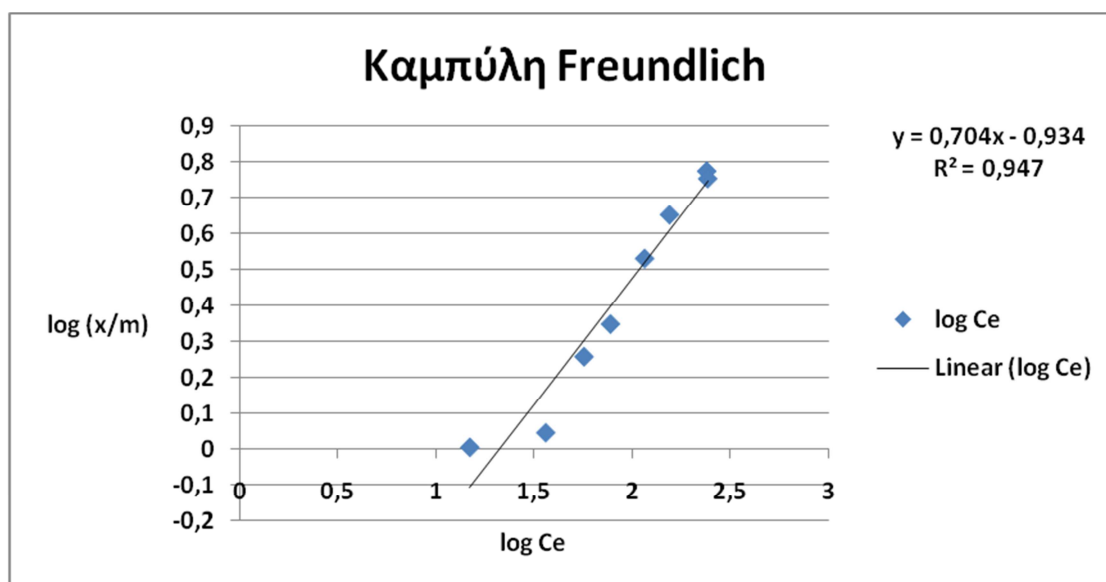
Πίνακας 3: Αποτελέσματα απορροφήσεων των διαλυμάτων χιτοζάνης με λάδι

ΔΕΙΓΜΑ ΜΕ ΛΑΔΙ								
Απορροφήσεις (660nm)	0.834	0.795	0.629	0.476	0.312	0.254	0.156	0.142
Συγκεντρώσεις (mg χρωστικής/L)	30.0	30.0	20.0	15.0	10.0	7.5	5.0	2.5

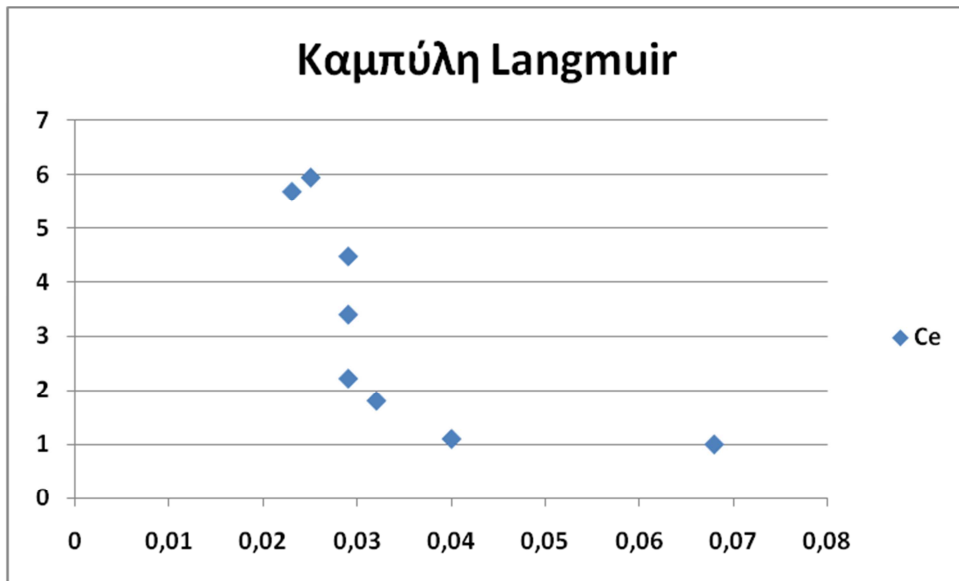
ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ

C_0 (mg/L)	C_e (mg/L)	A (660nm)	$C_0 - C_e$ (mg/L)	M (g)	x/m m (mg)	$C_e/(x/m)$	Log C_e	Log/(x/m)
30.0	5.96	0.834	24.04	0.1	240.4	0.025	0.775	2.381
30.0	5.68	0.795	24.32	0.1	243.2	0.023	0.754	2.386
20.0	4.49	0.629	15.51	0.1	155.1	0.029	0.652	2.191
15.0	3.40	0.476	11.6	0.1	116.0	0.029	0.531	2.064
10.0	2.23	0.312	7.77	0.1	77.7	0.029	0.348	1.890
7.5	1.81	0.254	5.69	0.1	56.9	0.032	0.258	1.755
5.0	1.11	0.156	3.89	0.1	38.9	0.028	0.045	1.560
2.5	1.01	0.142	1.49	0.1	14.9	0.068	0.004	1.173

Με τις τιμές του παραπάνω πίνακα κατασκευάστηκαν οι παρακάτω ισόθερμες προσρόφησης Freundlich και Langmuir:



Σχήμα 4: Ισόθερμη προσρόφησης Freundlich



Σχήμα 5: Ισόθερμη προσρόφησης Langmuir

Τα **σχήματα 4 και 5** απεικονίζουν τις ισόθερμες προσρόφησης που λήφθηκαν για ένα διάλυμα χιτοζάνης με λάδι, φτιαγμένο από χρωστική (κυανό του μεθυλενίου, καθαρότητας 82%) και απιονισμένο νερό.

Από τα αποτελέσματα που πάρθηκαν μέσω της πειραματικής μας διαδικασίας προσδιορίστηκαν οι συντελεστές των παραπάνω ισόθερμων προσρόφησης για το δείγμα λαδιού:

A. ΚΑΜΠΥΛΗ FREUNDLICH (ΔΕΙΓΜΑ ΜΕ ΛΑΔΙ)

Οι σταθερές της ισόθερμης Freundlich προσδιορίζονται από τη γραφική παράσταση του $\log(x/m)$ ως προς $\log C_e$, σύμφωνα με την εξίσωση:

$$\log\left[\frac{x}{m}\right] = \log K_f + \frac{1}{n} \log C_e$$

$$\frac{x}{m} = K_f * C_e^{1/n} \rightarrow \log\left[\frac{x}{m}\right] = \log K_f + \log[C_e^{1/n}] \rightarrow \log\left[\frac{x}{m}\right] = \log K_f + \frac{1}{n} \log C_e$$

Επομένως: $1/n = 0,704$

$\text{Log } K_f = 0,947$

B. ΚΑΜΠΥΛΗ LANGMUIR (ΔΕΙΓΜΑ ΜΕ ΛΑΔΙ)

Επειδή η γραφική παράσταση της ισόθερμης Langmuir είναι καμπύλη γραμμής, η χρήση της ισόθερμης προσρόφησης Langmuir είναι ακατάλληλη.

5.2.2. ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ ΧΩΡΙΣ ΛΑΔΙ

Οκτώ δείγματα χιτοζάνης χωρίς λάδι παρασκευάστηκαν, τοποθετήθηκαν σε αναδευτήρα για επτά ημέρες, διηθήθηκαν και μετρήθηκαν οι απορροφήσεις τους σε φασματοφωτόμετρο υπεριώδους-ορατού στα 660nm. Τα αποτελέσματα των αναλύσεων παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

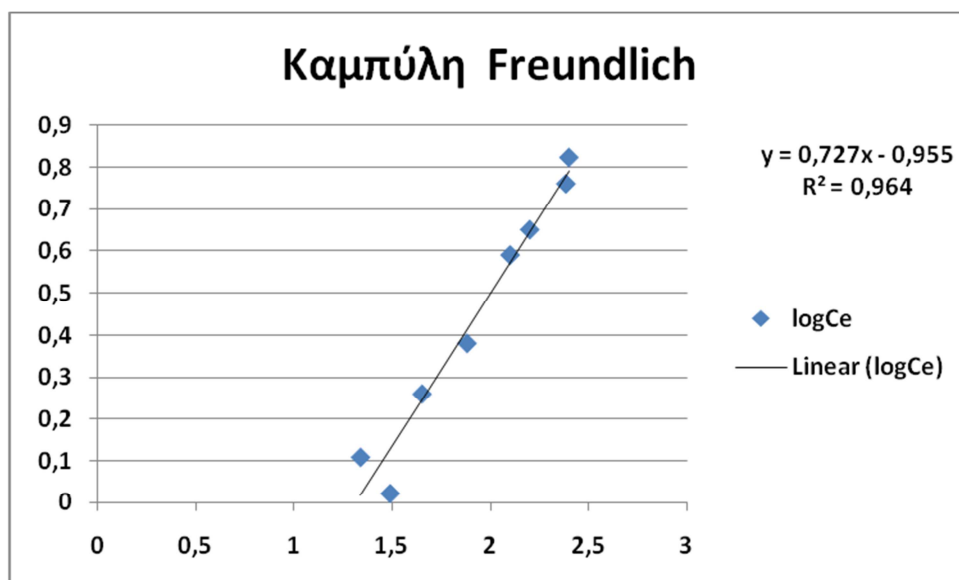
Πίνακας 4: Αποτελέσματα απορροφήσεων των διαλυμάτων χιτοζάνης χωρίς λάδι

<i>ΔΕΙΓΜΑ ΧΩΡΙΣ ΛΑΔΙ</i>								
Απορροφήσεις (660nm)	0,932	0,802	0,631	0,543	0,336	0,255	0,147	1,109
Συγκεντρώσεις (mg χρωστικής/L)	2,5	5,0	7,5	10,0	15,0	20,0	30,0	30,0

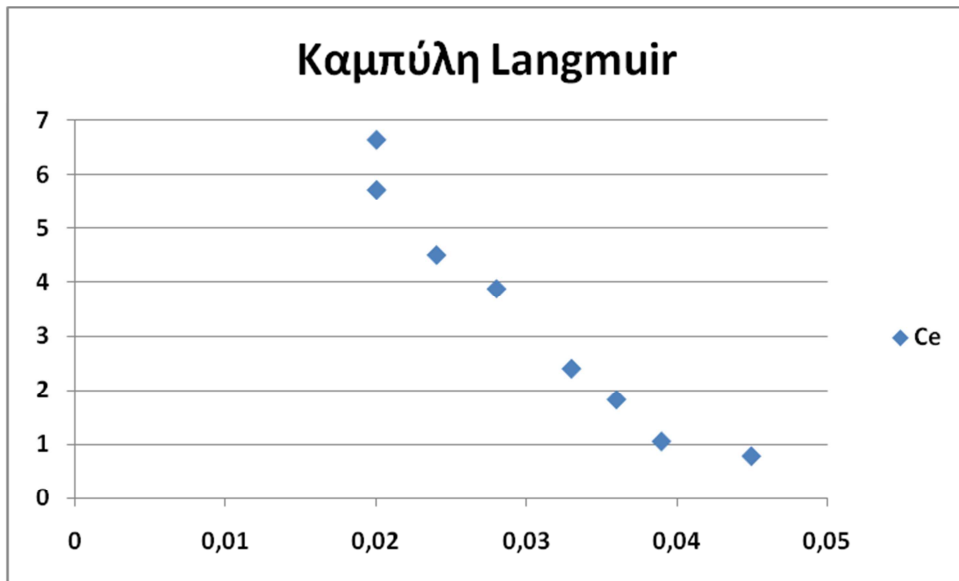
ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ

C_0 (mg/L)	C_e (mg/L)	A (660nm)	$C_0 - C_e$ (mg/L)	M (g)	x/m m (mg)	$C_e/(x/m)$	Log C_e	Log/(x/m)
30,0	6.65	0.932	23.35	0.1	233.5	0,0285	0.823	2.368
30,0	5.73	0.802	24.27	0.1	242.7	0,0236	0.758	2.385
20,0	4.51	0.631	15.49	0.1	154.9	0,0291	0.654	2.190
15,0	3.88	0.543	11.12	0.1	111.2	0,0349	0.589	2.046
10,0	2.40	0.336	7.60	0.1	76.0	0,0316	0.380	1.881
7,5	1.82	0.255	5.68	0.1	56.8	0,0320	0.260	1.754
5,0	1.05	0.147	3.95	0.1	39.5	0,0266	0.021	1.596
2,5	0.78	0.109	1.72	0.1	17.2	0,0453	0.108	1.236

Με τις τιμές του παραπάνω πίνακα κατασκευάστηκαν οι παρακάτω ισόθερμες προσρόφησης Freundlich και Langmuir:



Σχήμα 6: Ισόθερμη προσρόφησης Freundlich



Σχήμα 7: Ισόθερμη προσρόφησης Langmuir

Τα **σχήματα 6 και 7** απεικονίζουν τις ισόθερμες προσρόφησης που λήφθηκαν για ένα διάλυμα χιτοζάνης χωρίς λάδι, φτιαγμένο από χρωστική (κυανό του μεθυλενίου, καθαρότητας 82%) και απιονισμένο νερό.

Από τα αποτελέσματα που πάρθηκαν μέσω της πειραματικής μας διαδικασίας προσδιορίστηκαν οι συντελεστές των παραπάνω ισόθερμων προσρόφησης για το δείγμα λαδιού:

A. ΚΑΜΠΥΛΗ FREUNDLICH (ΔΕΙΓΜΑ ΧΩΡΙΣ ΛΑΔΙ)

Οι σταθερές της ισόθερμης Freundlich προσδιορίζονται από τη γραφική παράσταση του $\log(x/m)$ ως προς $\log C_e$, σύμφωνα με την εξίσωση:

$$\log \left[\frac{x}{m} \right] = \log K_f + \frac{1}{n} \log C_e$$

$$\frac{x}{m} = K_f * C_e^{1/n} \rightarrow \log \left[\frac{x}{m} \right] = \log K_f + \log [C_e^{1/n}] \rightarrow \log \left[\frac{x}{m} \right] = \log K_f + \frac{1}{n} \log C_e$$

Επομένως: $1/n = 0,727$

$\text{Log } K_f = 0,964$

B. ΚΑΜΠΥΛΗ LANGMUIR (ΔΕΙΓΜΑ ΧΩΡΙΣ ΛΑΔΙ)

Επειδή η γραφική παράσταση της ισόθερμης Langmuir είναι καμπύλη γραμμή, η χρήση της ισόθερμης προσρόφησης Langmuir είναι ακατάλληλη.

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε η απομάκρυνση οργανικών ουσιών από την υγρή φάση με προσρόφηση σε ενεργό άνθρακα, καθώς και η εφαρμογή νέων υλικών με βάση τη χιτίνη για την επεξεργασία υδατικών διαλυμάτων.

Η εφαρμογή των βιοπολυμερών όπως είναι η χιτίνη και η χιτοζάνη, αποτελεί μέθοδο προσρόφησης για την απομάκρυνση χρωστικών και βαρέων μετάλλων, ακόμη και σε χαμηλές συγκεντρώσεις. Άλλες μέθοδοι για την απομάκρυνση χρωστικών από απόβλητα αποτελούν η προσρόφηση, η θρόμβωση, η κροκίδωση, η αντίστροφη όσμωση, και η χημική οξειδωση.

Μικροπορώδη υλικά με βάση τη χιτοζάνη, με ελεγχόμενη κατανομή μεγέθους πόρων, παρήχθησαν και χαρακτηρίστηκαν επιτυχώς. Ένας καλός συσχετισμός μπορεί να καθιερωθεί μεταξύ των πορογεννητικών σταγονιδίων του ελαιολάδου.

Από την ανάλυση των ισόθερμων προσρόφησης Freundlich και Langmuir παρατηρήθηκε ότι και στα δύο δείγματα -(με/ χωρίς προσθήκη λαδιού)- οι ισόθερμες Freundlich κρίθηκαν κατάλληλες σε σχέση με τις ισόθερμες Langmuir που η χρήση τους κρίθηκε ακατάλληλη λόγω καμπύλης γραμμής.

Συνολικά, τα στοιχεία που παρουσιάζονται υποδηλώνουν ότι τα μόρια της χιτοζάνης που παραμένουν στη διεπιφάνεια, διατηρούν την αρχική τους τοπολογία και τον προσανατολισμό τους, ακόμα και μετά από την απομάκρυνση του ελαίου και τη δημιουργία των πόρων.

7. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

Υπό το φως των παραπάνω ενδιαφέρον έχει η συστηματική διερεύνηση της συσχέτισης μεταξύ πορογεννητικού (σταγονιδίων) και επαγόμενων πόρων, η οποία μπορεί να γίνει με τη μέθοδο της προσρόφησης αερίου (BET).

Ενδιαφέρον επίσης παρουσιάζει η μελέτη της προσρόφησης ουσιών στα νέα αυτά σύνθετα υλικά με δυνητική χρήση ως μέσα μικροδιήθησης και ως επιλεκτικά προσροφητικά και ως υλικά πλήρωσης χρωματογραφικών στηλών. Στα πλαίσια του τελευταίου ενδιαφέρον θα είχε η χρήση τασενεργών με διαφορετικά φορτία, προκειμένου να μεταβληθεί το φορτίο της επιφάνειας του μικροπροσροφητικού μέσου.

8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- 1) Chitin and Chitosan: Functional Biopolymers from Marine Crustaceans, Keisuke Kurita, Department of Materials and Life Science, Seikei University, Musashino-shi, Tokyo 180-8633, Japan.
- 2) Μανασσής Μ. (2001). Ποιοτικά χαρακτηριστικά και επεξεργασία του νερού. Εκδόσεις Τζιόλα, 2^η έκδοση, Θεσσαλονίκη.
- 3) Liu Y., Tang J., Chen X., Xin J.H. (2005). A templating route to nanoporous chitosan materials. Carbohydrate Research, 340, 2816-2820.
- 4) Chitosan Chemistry: Relevance to the Biomedical Sciences, R.A.A. Muzzarelli, C. Muzzarelli, Institute of Biochemistry, Faculty of Medicine, Polytechnic University, Via Ranieri 67, 60100 Ancona, Italy.
- 5) Majeti N.V., Ravi K. (2000). A review of chitin and chitosan applications. Department of Chemistry, University of Roorkee, Roorkee 247 667 India.
- 6) Ping H., Stanley S.D., Lisbeth I. (1998). In vitro evaluation of the mucoadhesive properties of chitosan microspheres. International Journal of Pharmaceutics, 166, 75-68.
- 7) Chang M.Y., Juang R.S. (2004). Adsorption of tannic acid, humic acid, and dyes from water using the composite of chitosan and activated clay. Journal of colloid and Interface Science, 278, 18-25.

- 8) Dotto G.L., Pinto L.A.A. (2011). Adsorption of food dyes acid blue 9 and food yellow 3 onto chitosan: Stirring rate effect in kinetics and mechanism. *Journal of Hazardous materials*, 187, 164-170.
- 9) Wan Ngah W.S., Teong L.C., Hanafiah M.A.K.M. (2011). Adsorption of dyes and heavy metal ions by chitosan composites: A review. *Carbohydrate Polymers*, 83, 1446-1456.
- 10) Aider M. (2010). Chitosan application for active bio-based films production and potential in the food industry: A review. *LWT-Food Science and Technology*, 43, 837-842.
- 11) Wu F.C., Tseng R.L., Juang R.S. (2010). A review and experimental verification of using chitosan and its derivatives as adsorbents for selected heavy metals. *Journal of Environmental Management*, 91, 798-806.
- 12) Bhattarai N., Gunn J., Zhang M. (2010). Chitosan-based hydrogels for controlled, localized drug delivery. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 62, 83-99.
- 13) Park J.H., Saravanakumar G., Kim K., Kwon I.C. (2010). Targeted delivery of low molecular drugs using chitosan and its derivatives. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 6, 28-41.
- 14) Rani M., Agarwal A., Negi Y.S. (2010). Review: Chitosan based hydrogel polymeric beads as drug delivery system. *Bioresources*, 5, 1-43.

- 15) Zeng M., Ruckenstein E. (1996). Control of pore sizes in macroporous chitosan and chitin membranes. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 35, 4169-4175.
- 16) Imhof A. and Pine D. (1997). Ordered macroporous materials by emulsion templating. *Nature*, 389, 948-951.
- 17) Lumelsky Y., Silverstein M.S. (2009). Biodegradable porous polymers through emulsion templating. *Macromolecules*, 42, 1627-1633.
- 18) Chatterjee S., Chatterjee T., Woo S.H. (2010). A new type of chitosan hydrogel sorbent generated by anionic surfactant gelation. *Bioresource Technology*, 101, 3853-3858.
- 19) Feng F., Liu Y., Hu K., (2004). Influence of alkali-freezing treatment on the solid state structure of chitin. *Carbohydrate Research*, 339, 2321-2324.
- 20) Darder M., Colilla M., Ruiz-Hitzky E. (2005). Chitosan-clay nanocomposites: application as electrochemical sensors. *Applied Clay Science*, 28, 199-208.

ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- 1) www.3dchem.com
- 2) www.essortment.com
- 3) www.chem.sci.osaka-u.ac.jp/lab/okuyama/Research/chem1.gif