



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Διπλωματική Εργασία

**«Παραγωγή φυσικών συσσωματωτικών από φυτά του Ελληνικού
χώρου»**



Αναστασάκης Κων/νος

XANIA 2006

Περίληψη

Σε αυτήν την εργασία προσπαθούμε να ανακαλύψουμε αν τα φυτά μολόχα και μπάμια μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως συσσωματωτικά ή αν μπορούν να βοηθήσουν την διαδικασία της κροκιδωσης. Σκοπός μας είναι να επιτύχουμε καθαρισμό του νερού χρησιμοποιώντας μικρότερες ποσότητες συνθετικού κροκιδωτικού από αυτές που συνηθίζονται, για να εκκαθαρίσει το νερό σε έναν ικανοποιητικό βαθμό.

Η κροκιδωση είναι μια διαδικασία με την οποία απομακρύνονται από το νερό τα αιωρούμενα κολλοειδή μόρια. Για να επιτευχθεί αυτή η διαδικασία είναι απαραίτητη η χρήση κάποιου κροκιδωτικού. Τα πιο κοινά χρησιμοποιούμενα κροκιδωτικά είναι τα άλατα αργιλίου και σιδήρου. Σύμφωνα όμως με αρκετούς μελετητές υπάρχουν αρκετές αμφιβολίες σχετικά με την φρονιμότητα της εισαγωγής μεγάλων ποσοτήτων συνθετικών κροκιδωτικών στο περιβάλλον. Για αυτόν τον λόγο γίνεται η προσπάθεια μείωσης των ποσοτήτων τους χρησιμοποιώντας φυσικά κροκιδωτικά ή συσσωματωτικά.

Στην πρώτη φάση της εργασίας επιχειρήθηκε η επεξεργασία συνθετικού λύματος (διάλυμα καολίνης και χουμικού οξέος) με μικρότερες ποσότητες συνθετικού κροκιδωτικού (άλατα αργιλίου), χρησιμοποιώντας παράλληλα τα προαναφερθέντα φυτά ώστε να φτάσουμε σε επιθυμητά επίπεδα απομάκρυνσης θολότητας. Κατόπιν επιχειρήθηκε η ίδια διαδικασία για πραγματικό λύμα.

Από την πειραματική διαδικασία και την επεξεργασία των αποτελεσμάτων προκύπτει ότι η μολόχα και η μπάμια δεν έχουν κροκιδωτικές ικανότητες αλλά αποτελούν δυο πολύ καλά συσσωματωτικά. Ιδιαίτερα η μπάμια έχει συσσωματωτικές ικανότητες και στην επεξεργασία αποβλήτων, ενώ η μολόχα είχε καλή επίδραση μόνο στην περίπτωση συνθετικού λύματος.

Abstract

In this project we are trying to discover if the plants mallow and okra can be used as flocculants or can help the process of coagulation. Our goal is to achieve water treatment by using lesser amounts of synthetic coagulants than those that are usually used.

Coagulation is a process with which colloidal solids from water can be removed. For achieving this, the presence of a coagulant is necessary. Salts of aluminum and iron are the coagulants most often used in water treatment. However, according to several researchers, there are rising doubts about the advisability of introducing synthetic coagulants in great amounts to the environment. For this reason a lot of efforts are made for reducing these amounts by using natural coagulants and flocculants.

In the first part of the current project, synthetic sewage (kaolin and humid acid solution) treatment was attempted, by using lesser volumes of synthetic coagulant (aluminum salts) combined by okra and mallow mucilage. After that, the same process was attempted for real sewage.

From the experimental procedure and the processing of the results, is evident that mallow and okra mucilage have no coagulation abilities, but they are very good as flocculants. Especially okra mucilage has flocculation abilities in both synthetic and real sewage treatment, while mallow mucilage has good flocculation abilities only in synthetic sewage treatment.

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	2
Abstract	3
Περιεχόμενα.....	5
Αντί Προλόγου	7
Κεφάλαιο 1 – Εισαγωγή.....	8
Κεφάλαιο 2 – Κροκίδωση και Συσσωμάτωση	11
2.1 Αποσταθεροποίηση Αιωρημάτων (Κροκίδωση)	11
2.1.1 Σταθερότητα των κολλοειδών.....	13
2.1.2 Σταθεροποίηση των κολλοειδών.....	14
2.1.2.1 Σταθεροποίηση με πολυμερή	19
2.1.3 Αποσταθεροποίηση Κολλοειδών	20
2.1.3.1 Συμπίεση της διπλής στοιβάδας.....	21
2.1.3.2 Προσρόφηση και εξουδετέρωση των φορτίων.....	22
2.1.3.3 Παρασυρμός από ίζημα	24
2.1.3.4 Διασωματιδιακή γεφύρωση	25
2.2 Συσσωμάτωση.....	26
2.2.1 Μηχανισμοί Συσσωμάτωσης	27
2.2.2 Είδη Συσσωματωτικών.....	28
2.3 Παράγοντες που επηρεάζουν την αποδοτικότητα της κροκίδωσης και της συσσωμάτωσης.....	30
2.4 Φυσικά Συσσωματωτικά και Κροκιδωτικά.....	33
2.4.1 Μπάμια	34
2.4.2 Fenugreek	34
2.4.3 Moringa Oleifera.....	35
2.4.4 Cactus latifaria και Prosopis Juliflora.....	36
2.4.5 Tamarindus indica.....	36
2.4.6 Plantago psyllium.....	37
2.4.7 Ipomoea dasysperma και Guar gum.....	37
2.4.7 Μολόχα	38
Κεφάλαιο 3 - Αντικείμενο Έργου.....	39
Κεφάλαιο 4 – Δείγματα και Υλικά	40
4.1 Δείγματα.....	40
4.1.1 Συνθετικό λύμα.....	40

4.1.2 Λύμα.....	40
4.2 Υλικά	40
4.3 Εκτέλεση Πειραμάτων.....	41
4.4 Αναλυτικές Μέθοδοι	42
4.4.1 Θολότητα.....	42
4.4.2 DOC	42
4.4.3 Ενεργός οξύτητα (pH)	43
Κεφάλαιο 5 – Αποτελέσματα.....	44
5.1 Αποτελέσματα συνθετικού λύματος	44
5.1.1 Αποτελέσματα κροκιδωτικού.....	44
5.1.2 Αποτελέσματα μολόχας.....	46
5.1.3 Αποτελέσματα μπάμιας.....	55
5.1.4 Αποτελέσματα φύλλων μπάμιας.....	65
5.2 Αποτελέσματα λύματος	66
5.2.1 Αποτελέσματα κροκιδωτικού.....	66
5.2.2 Αποτελέσματα μολόχας.....	68
5.2.3 Αποτελέσματα μπάμιας.....	74
Κεφάλαιο 6 – Συμπεράσματα και προτάσεις	80
6.1 Συμπεράσματα.....	80
6.2 Προτάσεις.....	81
Βιβλιογραφικές Αναφορές	82
Παράρτημα	84

Αντί Προλόγου

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα στη διπλωματική μου εργασία, καθηγητή κ. Διαμαντόπουλο Ευάγγελο, για την υπόδειξη του θέματος της διπλωματικής, την καθοδήγηση, τις πολύτιμες συμβουλές και γενικά για όλη την υποστήριξή του κατά τη διάρκεια της εργασίας.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω την υπεύθυνη του εργαστηρίου Τεχνολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος, Κουκουράκη Ελισάβετ, για την πολύτιμη βοήθεια, τις συμβουλές και την υποστήριξη κατά τη διάρκεια των πειραμάτων.

Ευχαριστώ επίσης τον αναπληρωτή καθηγητή κ. Γιδάρικο Ευάγγελο και τον επίκουρο καθηγητή κ. Ματζαβίνο Διονύσιο για την επικουρική τους συμμετοχή στην εξεταστική μου επιτροπή.

Κεφάλαιο 1 – Εισαγωγή

Οι μέθοδοι επεξεργασίας νερού αναπτύχθηκαν για να ανταποκριθούν στη ανησυχία για τη δημόσια υγεία και για να αντιστρέψουν τις βλαβερές συνέπειες που έχουν οι εκροές ρυπασμένων νερών στο περιβάλλον.

Τα τυπικά υγρά απόβλητα αποτελούνται από διάφορες ουσίες που απαιτούν οξυγόνο, κατακίθια, λιπαρές ουσίες, πετρέλαιο, επιπλέοντα απορρίμματα, παθογενή βακτήρια, ιούς, διάφορα άλατα, μικρόβια, οργανικά μείγματα, βαρέα μέταλλα και άλλα. Με την επιλογή της κατάλληλης μεθόδου απορρύπανσης μπορούν να απομακρυνθούν τα παραπάνω συστατικά.

Διάφορα χαρακτηριστικά χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν τα απόβλητα. Ορισμένα από αυτά είναι η θολότητα (NTU), τα αιωρούμενα στερεά (ppm), τα ολικά διαλυμένα στερεά (ppm), το pH και το διαλυμένο οξυγόνο (σε $ppmO_2$).

Οι υπάρχουσες διαδικασίες για την επεξεργασία των λυμάτων είναι η πρωτοβάθμια, δευτεροβάθμια και τριτοβάθμια επεξεργασία. Αντικείμενο της έρευνάς μας είναι η τριτοβάθμια επεξεργασία.

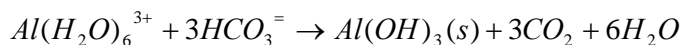
Η τριτοβάθμια επεξεργασία λυμάτων, που συχνά καλείται προχωρημένη επεξεργασία λυμάτων, είναι ένας όρος που χρησιμοποιείται για να περιγράψει ένα πλήθος διεργασιών που γίνονται στην εκροή της δευτεροβάθμιας επεξεργασίας. Οι παράμετροι που απομακρύνονται από αυτό το στάδιο επεξεργασίας ανήκουν στις κατηγορίες (1) των αιωρούμενων στερεών, (2) των διαλυμένων οργανικών συστατικών, και (3) των διαλυμένων ανόργανων ουσιών. Κάθε μία από αυτές τις κατηγορίες δημιουργούν προβλήματα στην ποιότητα του νερού. Τα αιωρούμενα στερεά είναι κυρίως υπεύθυνα για το υπολειμματικό BOD στην εκροή της δευτεροβάθμιας επεξεργασίας. Τα διαλυμένα οργανικά είναι τα πιο

επικίνδυνα από πλευράς τοξικότητας. Το μεγαλύτερο πρόβλημα με τις διαλυμένες ανόργανες ουσίες είναι η δημιουργία νιτρικών και φωσφορικών αλάτων, παρουσία θρεπτικών συστατικών των αλγών. Ακόμα ανάμεσα σε αυτά μπορούν να υπάρχουν επικίνδυνα βαρέα μέταλλα.

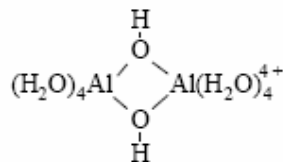
Εκτός από τους χημικούς ρύπους που έχουν ήδη αναφερθεί, τα λύματα μετά τη δευτεροβάθμια επεξεργασία περιέχουν ένα πλήθος μικροοργανισμών που ευθύνονται για την πρόκληση ασθενειών. Ορισμένα από τα βακτήρια που μπορούν να υπάρχουν είναι οργανισμοί που προκαλούν φυματίωση, βακτήρια που προκαλούν δυσεντερία (*Bacillus dysenteriae*, *Shigella dysenteriae*, *Shigella paradysenteriae*, *Proteus vulgaris*), βακτήρια που ευθύνονται για τη χολέρα (*Vibrio cholerae*), βακτήρια που προκαλούν πυρετό (*Leptospira icterohemorrhagiae*), και βακτήρια που προκαλούν τυφοειδή πυρετό (*Salmonella typhosa*, *Salmonella paratyphi*). Ακόμα μπορούν να υπάρχουν ιοί που προκαλούν διάρροια, μολύνσεις ματιών, ηπατίτιδα και πολιομυελίτιδα.

Για την απομάκρυνση όλων των παραπάνω χρησιμοποιούνται οι διαδικασίες της κροκίδωσης, της καθίζησης, της διήθησης και της απολύμανσης.

Οι σχετικά μεγάλοι σωματιδιακοί ρύποι απομακρύνονται από το νερό χρησιμοποιώντας απλή καθίζηση και φιλτράρισμα. Η απομάκρυνση των κολλοειδών στερεών απαιτεί κροκίδωση. Τα κροκιδωτικά που χρησιμοποιούνται περισσότερο στην επεξεργασία νερού είναι τα άλατα αργιλίου και σιδήρου. Από αυτά το αργίλιο είναι περισσότερο διαδεδομένο στην πράξη. Η ουσία που χρησιμοποιείται συνήθως είναι ένυδρα άλατα αργιλίου, $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$. Όταν αυτό το άλας προστίθεται στο νερό, τότε το ιόν του αργιλίου υδρολύεται με αντιδράσεις που καταναλώνουν αλκαλικότητα στο νερό, όπως



Το ζελατινώδες υδροξείδιο που παράγεται μεταφέρει αιωρούμενη ύλη καθώς καθιζάνει. Ακόμα είναι πιθανόν να σχηματίζονται θετικά φορτισμένα σύμπλοκα όπως τα:



Τα σύμπλοκα αυτά αντιδρούν ειδικά με τα κολλοειδή, επιδρώντας στην κροκίδωση.

Εδώ και αρκετές δεκαετίες χρησιμοποιούνται συσσωματωτικά από οργανικά πολυμερή για να βοηθήσουν τη διαδικασία της κροκίδωσης. Τα τελευταία χρόνια έχουν αρχίσει να χρησιμοποιούνται ολοένα και περισσότερο συσσωματωτικά από φυσικά πολυμερή, λόγω του ότι είναι φιλικά προς το περιβάλλον, υπάρχουν σε αφθονία στη φύση, είναι οικονομικότερα και είναι μη τοξικά.

Οι φυσικοί πολυσακχαρίτες έχουν την ικανότητα να συσσωματώνουν μικρά μόρια. Αυτή τους η ιδιότητα τους εισήγαγε σε μία νέα εφαρμογή, σε αυτήν της επεξεργασίας λυμάτων. Φυσικά πολυμερή όπως άμυλο, αμυλοπεκτίνη, κολλοειδή ουσία από guar, xanthum, και kendu βρίσκουν εκτεταμένη εφαρμογή ως συσσωματωτικά. Η πιο πρόσφατη ανακάλυψη σχετικά με τα φυσικά πολυμερή είναι η λειτουργία της κολλοειδούς ουσίας της μπάμιας ως συσσωματωτικό.

Σε αυτήν την εργασία προσπαθούμε να επιτύχουμε επεξεργασία λυμάτων με κροκίδωση, χρησιμοποιώντας φυσικά συσσωματωτικά για να την βοηθήσουν. Τα φυσικά συσσωματωτικά που δοκιμάζονται είναι οι κολλοειδείς ουσίες της μπάμιας και της μολόχας. Η μολόχα δεν έχει ξαναδοκιμαστεί ως προς τη δράση της ως συσσωματωτικό.

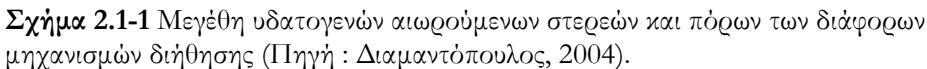
Κεφάλαιο 2 – Κροκίδωση και Συσσωμάτωση

2.1 Αποσταθεροποίηση Αιωρημάτων (Κροκίδωση)

Η αποσταθεροποίηση των αιωρημάτων είναι μια διεργασία που προηγείται της καθίζησης και της διήθησης κατά την επεξεργασία του νερού. Είναι απαραίτητη για να καταστεί δυνατή η συσσωμάτωση, που έχει ως αποτέλεσμα το σχηματισμό μεγαλύτερων αιωρούμενων στερεών.

Οι διεργασίες απομάκρυνσης των αιωρούμενων στερεών από το νερό βασίζονται κατά κύριο λόγο στη βαρύτητα και η απόδοσή τους αυξάνει με το μέγεθος των αιωρούμενων στερεών. Στη μεν καθίζηση υπάρχει άμεση σχέση της ταχύτητας καθίζησης με τη διάμετρο του αιωρούμενου στερεού, στη δε διήθηση οι περισσότεροι μηχανισμοί μεταφοράς εξαρτώνται επίσης από τη διάμετρο των αιωρούμενων στερεών.

Τα αιωρούμενα στερεά στο νερό έχουν μέγεθος από μερικά χιλιοστά έως περίπου 1 μm ($= 10^{-6} \text{m}$). Στο Σχήμα 2.1-1 παριστάνεται το μέγεθος των διαφόρων αιωρούμενων στερεών που είναι δυνατόν να παρατηρηθούν στο νερό μαζί με το μέγεθος των πόρων των διαφόρων φίλτρων. Τα αιωρούμενα στερεά πολλές φορές προσροφούν και τα μόρια οργανικών ενώσεων, που βρίσκονται διαλυμένες στο νερό και επομένως με την απομάκρυνση των αιωρούμενων στερεών απομακρύνονται και οι ουσίες αυτές. Το είδος των αιωρούμενων στερεών που υπάρχει στο προς επεξεργασία νερό εξαρτάται από την προέλευσή του.



Επειδή οι δύο αυτές διεργασίες απαντώνται μαζί (η κροκιδωση προηγείται και η συσσωμάτωση έπειτα), συχνά ο όρος κροκιδωση περιλαμβάνει και τις δύο διεργασίες. Ακόμη, μερικές φορές ο όρος κροκιδωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να υποδηλώσει τη

χρήση των κροκιδωτικών υλικών (π.χ. άλατα του Al και Fe), ενώ στην πραγματικότητα μπορεί να λαμβάνει χώρα καθαρά χημική κατακρήμνιση (π.χ. απομάκρυνση P από λύματα). Είναι όμως σκόπιμο να εξετάζονται χωριστά λόγω της μεγάλης σημασίας που έχει η αποσταθεροποίηση αιωρημάτων (κροκίδωση) για την επιτυχή λειτουργία της καθίζησης και της διήθησης. Ένας άλλος λόγος που υποστηρίζει τη χωριστή εξέταση της κροκίδωσης και της συσσωμάτωσης είναι το γεγονός ότι λαμβάνουν χώρα σε διαφορετικές δεξαμενές. Η μεν κροκίδωση γίνεται στη δεξαμενή άμεσης ανάμιξης ή όπου προστίθεται το κροκιδωτικό, ενώ η συσσωμάτωση γίνεται στη δεξαμενή συσσωμάτωσης, όπου απαιτείται αργή ανάμιξη.

2.1.1 Σταθερότητα των κολλοειδών

Ως σταθερότητα των κολλοειδών ορίζεται η αντίσταση που παρουσιάζουν στη συσσωμάτωση. Μερικά κολλοειδή αιωρούμενα στερεά είναι σταθερά για απεριόριστο χρόνο και μερικά δεν είναι. Η σταθερότητα ενός κολλοειδούς είναι μια πολύπλοκη υπόθεση. Πολλές δυνάμεις μπορούν να συνυπάρχουν και να επενεργούν μεταξύ δύο κολλοειδών. Επί πλέον οι δυνάμεις διαφοροποιούνται με την αλλαγή των συνθηκών όπως το pH, η θερμοκρασία, η συγκέντρωση αλάτων κ.λ.π.

Οι δυνάμεις που συναντώνται συχνότερα μεταξύ των κολλοειδών είναι οι δυνάμεις Van der Waals, οι ηλεκτροστατικές δυνάμεις και οι δυνάμεις που οφείλονται σε προσροφημένα μακρομόρια.

Οι δυνάμεις Van der Waals είναι πάντοτε παρούσες και σχεδόν το ίδιο ισχύει για τις ηλεκτροστατικές δυνάμεις, όπως θα δούμε στη συνέχεια.

Προσροφημένα πολυμερή παίζουν ρόλο όταν υπάρχουν στο σύστημα και προσροφηθούν από τα στερεά. Στο φυσικό νερό σχεδόν πάντα έχουμε τέτοια μόρια, όπως είναι οι χουμικές ουσίες. Οι χουμικές ουσίες, που περιέχονται στο νερό, προέρχονται από το έδαφος και δημιουργούνται μέσω των χημικών και βιολογικών διεργασιών αποσύνθεσης της φυτικής ύλης. Οι χουμικές ουσίες είναι ανιονικοί πολυηλεκτρολύτες μικρού ως μεσαίου μοριακού βάρους. Το ηλεκτρικό φορτίο που έχουν, το οφείλουν στις καρβοξυλικές και φαινολικές ομάδες. Μπορεί να έχουν αρωματικά και αλειφατικά συστατικά και να είναι επιφανειακά ενεργές ουσίες. Είναι δυσκολοδιάσπαστες ενώσεις και μπορούν να υπάρχουν για αιώνες. Οι χουμικές ουσίες χαρακτηρίζονται από τη μέθοδο που χρησιμοποιείται για την εξαγωγή τους από το χώμα ή το νερό. Χωρίζονται στα Φουλβικά Οξέα (ΦΟ) που είναι

περισσότερο διαλυτά και στα λιγότερο διαλυτά Χουμικά Οξέα (ΧΟ). Τα ΦΟ είναι τα περισσότερα κοινά στο νερό.

Η σταθερότητα του κολλοειδούς προέρχεται από τις ηλεκτρικές απωθητικές δυνάμεις, όταν υπερσχύουν των άλλων δυνάμεων, ενώ η αποσταθεροποίηση επιτυγχάνεται με την προσθήκη κατάλληλων ηλεκτρολυτών.

Παραδείγματα απεριόριστα σταθερών ή θερμοδυναμικά ή ενεργειακά σταθερών κολλοειδών είναι οι σάπωνες και τα μόρια των απορρυπαντικών, οι πρωτεΐνες, τα άμυλα, τα μεγαλομόρια πολυμερών και οι χουμικές ουσίες.

Παραδείγματα κολλοειδών, που δεν είναι σταθερά για πάντα και συσσωματώνονται μετά από αποσταθεροποίηση, είναι η άργιλος, τα οξείδια των μετάλλων, οι μικροοργανισμοί, όλα δηλαδή τα αιωρούμενα στερεά που συναντάμε στο φυσικό νερό. Τα μη σταθερά κολλοειδή καλούνται και αντιστρέψιμα. Από τα μη σταθερά κολλοειδή άλλα συσσωματώνονται αργά και άλλα άμεσα. Πολλές φορές τα μη σταθερά κολλοειδή που συσσωματώνονται όμως πολύ αργά, ονομάζονται σταθερά και ο ορισμός του σταθερού σ' αυτήν την περίπτωση έχει κινητική σημασία και όχι θερμοδυναμική. Επομένως ένα κινητικά σταθερό κολλοειδές είναι ένα αντιστρέψιμο ή θερμοδυναμικά μη σταθερό αιώρημα, που συσσωματώνεται με πολύ αργή ταχύτητα. Ένα κινητικά μη σταθερό κολλοειδές είναι ένα αντιστρέψιμο κολλοειδές, που συσσωματώνεται άμεσα. Στην επεξεργασία του νερού χρησιμοποιείται η διεργασία της κροκίδωσης για την αύξηση της ταχύτητας με την οποία τα στερεά συσσωματώνονται δηλαδή για τη μετατροπή ενός κινητικά σταθερού κολλοειδούς σε ένα κινητικά μη σταθερό κολλοειδές.

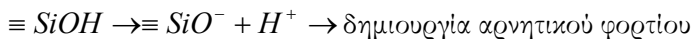
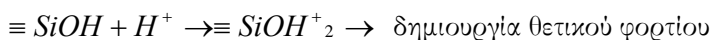
Αιωρούμενα στερεά, που υπάρχουν στους ταμειυτήρες νερού ή τις λίμνες για μήνες ή χρόνια, με την αποσταθεροποίηση συσσωματώνονται σε μια ώρα ή και λιγότερο.

2.1.2 Σταθεροποίηση των κολλοειδών

Τα ηλεκτρικά φορτία των αιωρούμενων στερεών οφείλονται στην ανισοκατανομή των ιόντων πάνω στο στερεό και στο περιβάλλον διάλυμα. Το φορτίο των σωματιδίων και το φορτίο του διαλύματος είναι ίσα σε μέγεθος και αντίθετου σημείου.

Η ανισοκατανομή αυτή των ιόντων μεταξύ του αιωρούμενου στερεού και του διαλύματος οφείλεται σε διάφορους μηχανισμούς που εξαρτώνται από τη σύσταση του αιωρούμενου στερεού. Μερικοί από τους μηχανισμούς που εξαρτώνται από τους μηχανισμούς δημιουργίας του σταθερού κολλοειδούς είναι οι ακόλουθοι :

(α) Ομάδες στην επιφάνεια των στερεών σωματιδίων μπορούν να αντιδρούν με το νερό και να ανταλλάσσουν πρωτόνια

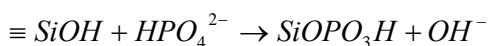
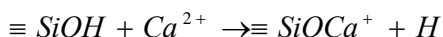


Το φορτίο στην περίπτωση αυτή εξαρτάται από το pH.

Για κάθε στερεό κολλοειδές, υπάρχει ένα pH που το φορτίο μηδενίζεται. Το pH αυτό λέγεται Σημείο Μηδενικού Φορτίου (zpc).

Στα φυσικά νερά, τα περισσότερα κολλοειδή φέρουν αρνητικά φορτία.

(β) Οι ομάδες στην επιφάνεια μπορούν να αντιδράσουν με άλλα ιόντα που υπάρχουν στο νερό



Και αυτές οι χημικές δράσεις εξαρτώνται από το pH και τη χημεία γενικότερα του διαλύματος. Το σημείο του μηδενικού φορτίου εξαρτάται από τη συγκέντρωση το Ca^{2+} και μπορεί να προσδιοριστεί το pCa^{2+} .

(γ) Αντικατάσταση ενός ατόμου της επιφανειακής δομής του στερεού με άλλο άτομο άλλου στοιχείου με διαφορετικό φορτίο, π.χ. ένα άτομο Al αντικαθιστά ένα άτομο Si σε κρυστάλλους SiO_2 , τότε αναπτύσσεται -1 φορτίο.

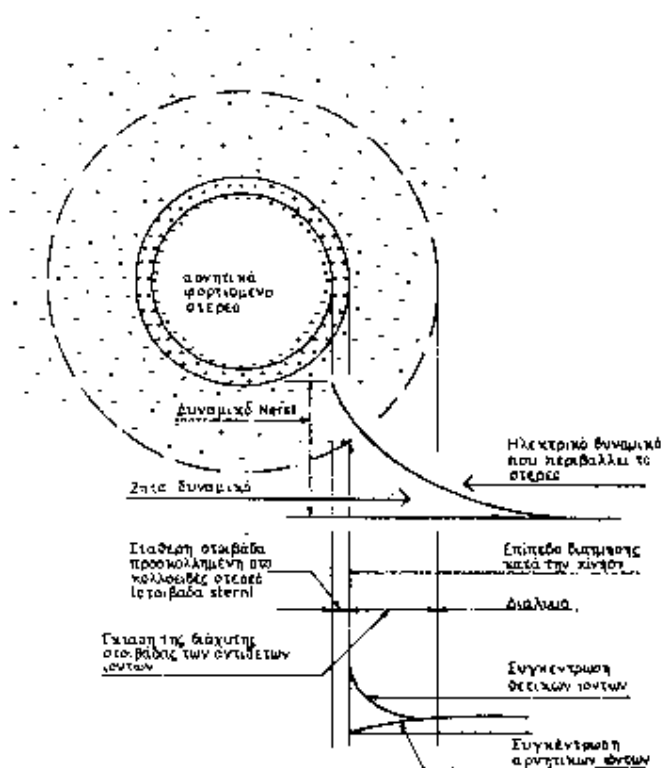
(δ) Αντίδραση με οργανικές ιοντικές ενώσεις που περιέχουν καρβοξυλικές και αμινο-ομάδες.

(ε) Προσρόφηση επιφανειακά ενεργών ουσιών από το νερό στην επιφάνεια των στερεών.

Ένα κολλοειδές αιώρημα δεν παρουσιάζει ηλεκτρικό φορτίο όταν εξετάζεται στο σύνολό του και το πρωτογενές φορτίο στο στερεό εξισορροπείται από τα φορτία του συστήματος. Στο Σχήμα 2.1-2 παριστάνεται σχηματικά ένα κολλοειδές στερεό που έχει αρνητικό πρωτογενές φορτίο μαζί με ένα “νέφος” ή “διάχυτη στοιβάδα” ιόντων γύρω του. Η σύσταση του αντίθετου φορτίου εξαρτάται από τη σύνθεση του διαλύματος. Επειδή το στερεό είναι αρνητικά φορτισμένο, ιόντα με αντίθετο φορτίο συγκεντρώνονται γύρω του, λόγω ηλεκτρικής έλξης, ενώ ιόντα με αντίθετο φορτίο απωθούνται. Τα ιόντα αυτά μαζί με τα

πρωτογενή φορτία σχηματίζουν μια διπλή στοιβάδα. Επιπλέον τα ιόντα μπορεί να έλκονται από την επιφάνεια του στερεού από δυνάμεις άλλες εκτός των ηλεκτροστατικών και επίσης λόγω θερμικής κίνησης τείνουν να κατανεμηθούν ομοιόμορφα στο διάλυμα.

Η διαφορά δυναμικού μεταξύ της διαχωριστικής επιφάνειας (Shear Plane), και του διαλύματος καλείται δυναμικό Ζήτα. Αυτή η διαφορά δυναμικού είναι περίπου 10 έως 200 mV. Όταν μειώνεται στο μηδέν ή κοντά στο μηδέν (ισοηλεκτρικό σημείο), τα μόρια τείνουν να συσσωματωθούν κάτω από την επιρροή των δυνάμεων Van der Waals' και το κolloειδές αιώρημα αποσταθεροποιείται.



Σχήμα 2.1-2 Αρνητικά φορτισμένο αιωρούμενο στερεό με τη διάχυτη στοιβάδα και το ζήτα δυναμικό (Πηγή : Διαμαντόπουλος, 2004).

Στην ηλεκτροχημεία διαιρούν τη διπλή στοιβάδα σε τρία μέρη :

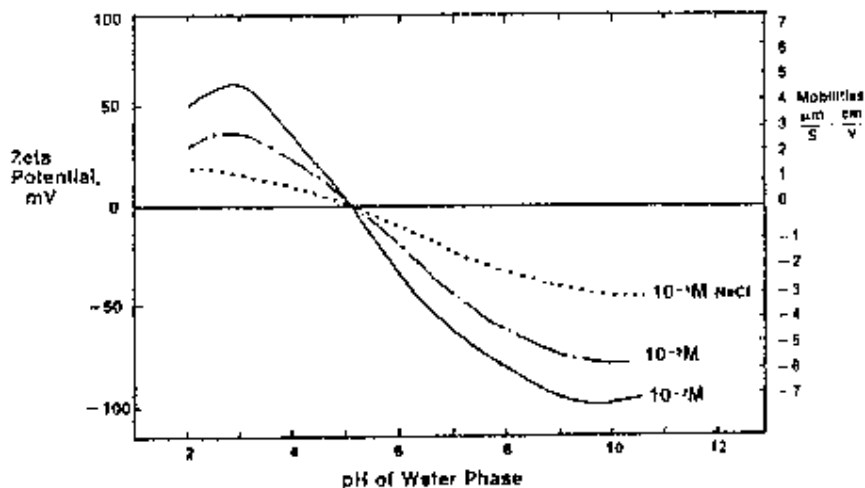
- Μια επιφανειακή στοιβάδα,
- Μια στοιβάδα Stern ή μοριακό πυκνωτή (Σχήμα 2.1-2), που ορίζεται ως εκείνο το μέρος του διαλύματος που είναι αρκετά πλησίον της επιφάνειας του στερεού, ώστε

να επηρεάζονται από αυτό. Δηλαδή στα ιόντα επενεργούν και δυνάμεις άλλες, εκτός των ηλεκτροστατικών, που προκαλούνται από το στερεό,

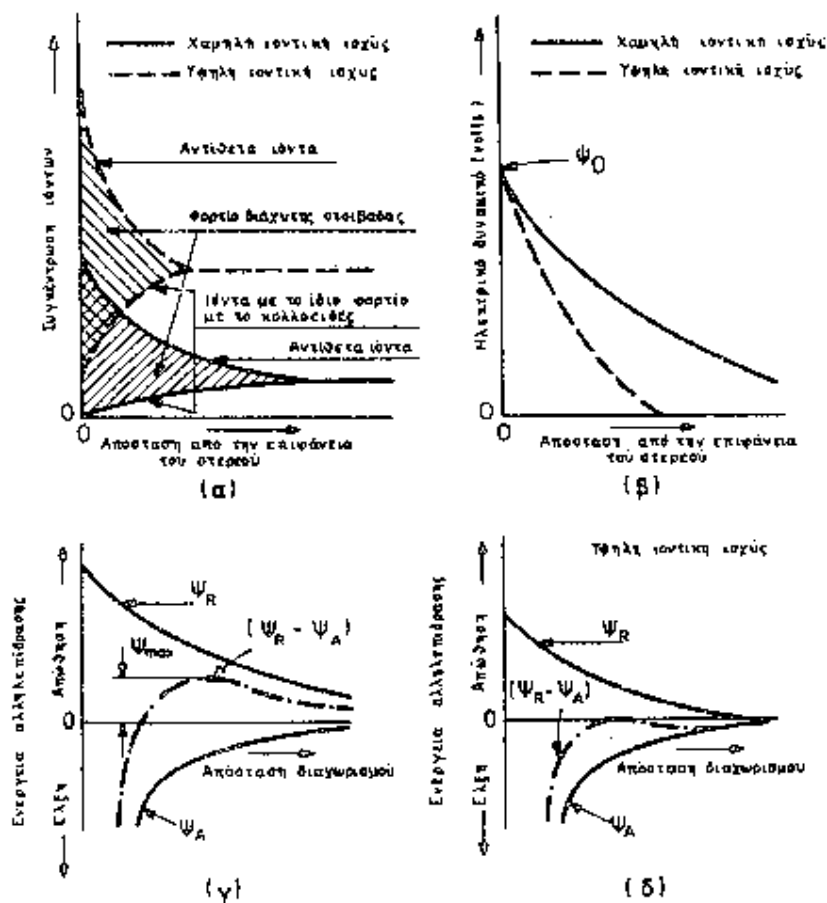
- Μια στοιβάδα Gouy ή διάχυτη στοιβάδα (Σχήμα 2.1-2), δηλαδή εκείνο το μέρος του διαλύματος, που είναι αρκετά μακριά από το στερεό, ώστε στα ιόντα να επενεργούν μόνο ηλεκτροστατικές δυνάμεις και η θερμική κίνηση.

Η διάκριση μεταξύ της στοιβάδας Stern και της διάχυτης στοιβάδας δεν ορίζεται με ευκρίνεια. Πάντως η στοιβάδα Stern έχει πάχος μερικά μοριακά στρώματα. Μοιάζει περισσότερο με ομοιοπολικό δεσμό ή δεσμό υδρογόνων, που στην πραγματικότητα τα ιόντα αντίθετου φορτίου έχουν επαφή με την επιφάνεια. Εάν τα ιόντα είναι ένυδρα και δύο ή περισσότερα ιόντα παρεμβάλλονται μεταξύ των ιόντων και της επιφάνειας, η στοιβάδα Stern δεν υπάρχει και οι ηλεκτροστατικές δυνάμεις είναι πολύ σημαντικότερες από τις μοριακές.

Όταν εφαρμοστεί ένα ηλεκτρικό δυναμικό σε ένα αιώρημα π.χ. αρνητικά φορτισμένο, τα στερεά θα κινηθούν προς το θετικό ηλεκτρόδιο. Το δυναμικό που προκαλεί την κίνηση αντιστοιχεί στο δυναμικό που έχει η διάχυτη στοιβάδα στο σημείο διάτμησης και ονομάζεται Ζήτα δυναμικό ή ηλεκτοκινητικό δυναμικό, όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.1-2. Η μέγιστη διαφορά ηλεκτροστατικού δυναμικού μετράται μεταξύ της διεπιφάνειας του στερεού – υγρού και του διαλύματος σε ένα σημείο μακριά από το στερεό. Καθώς απομακρυνόμαστε από την επιφάνεια του αρνητικά φορτισμένου στερεού το ηλεκτροστατικό δυναμικό συνεχώς μειώνεται. Η βαθμίδα με την οποία μειώνεται το ηλεκτροστατικό δυναμικό εξαρτάται από το pH, καθώς μεταβολή στο pH θα επηρεάσει μέσω των αντιδράσεων υδατική ισορροπίας τα σταθερά φορτία στην επιφάνεια του κολλοειδούς (Σχήμα 2.1-3) και από τη συνολική συγκέντρωση των ιόντων στο διάλυμα, δηλαδή από την ιοντική ισχύ του διαλύματος. Παρατηρείται ότι όταν το διάλυμα έχει μεγαλύτερη ιοντική ισχύ, τα πρωτογενή φορτία εξισορροπούνται σε μικρότερη απόσταση από την επιφάνεια του στερεού, δηλαδή μειώνεται η έκταση της διάχυτης στοιβάδας (Σχήμα 2.1-4)



Σχήμα 2.1-3 Επίδραση του ζ- δυναμικού από το pH (Πηγή : Διαμαντόπουλος, 2004).



Σχήμα 2.1-4 Σχηματική παράσταση (α) της διάχυτης διπλής στοιβάδας, (β) του δυναμικού της διάχυτης στοιβάδας και (γ) και (δ) της ενέργειας απώθησης – έλξης δύο στερεών σε ηλεκτροστατικά σταθεροποιημένο κολλοειδές (Πηγή : Διαμαντόπουλος, 2004).

Το Σχήμα 2.1-4 (γ) και (δ) δείχνει την ενέργεια αλληλεπίδρασης ως συνάρτηση της απόστασης δύο κολλοειδών σωματιδίων. Η ενέργεια αλληλεπίδρασης είναι το άθροισμα των απωστικών δυνάμεων Coulomb και των ελκτικών δυνάμεων London-Van der Waals.

Η ενέργεια αλληλεπίδρασης σε ένα κολλοειδές με υψηλό ζ-δυναμικό (υψηλή σταθερότητα) χαρακτηρίζεται από την εμφάνιση ενός ενεργειακού εμποδίου (barrier), το οποίο είναι δύσκολο να υπερπηδηθεί, και τα δύο σωματίδια να προσεγγίσουν αρκετά, ώστε να υπερσχύσουν οι ελκτικές δυνάμεις Van der Waals. Αντίθετα, η ύπαρξη υψηλής ιοντικής ισχύος μειώνει την ηλεκτρο-απωθητική δράση των διπλών στοιβάδων με αποτέλεσμα την υπερίσχυση των ελκτικών δυνάμεων Van de Waals.

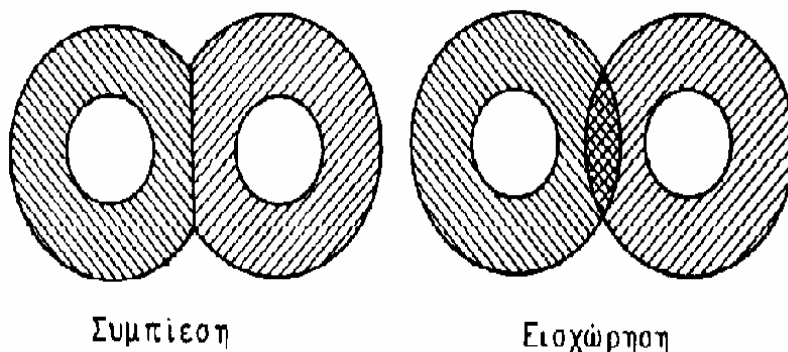
2.1.2.1 Σταθεροποίηση με πολυμερή

Σταθεροποίηση ενός αιωρήματος με πολυμερή (steric stabilization) γίνεται με την προσρόφηση πολυμερών στην επιφάνεια των κολλοειδών στερεών. Μεγαλομόρια πολυμερών, όταν προσροφώνται στην επιφάνεια των κολλοειδών στερεών, καλύπτουν ένα μέρος της επιφάνειας, ενώ ένα τμήμα τους αιωρείται στο νερό. Τα προσροφώμενα πολυμερή μπορεί να δρουν σταθεροποιητικά στο αιώρημα ή αποσταθεροποιητικά. Αυτό εξαρτάται από την ποσότητα του πολυμερούς και των στερεών, τη συγγένεια του πολυμερούς με το στερεό και το νερό, τα στοιχεία των ηλεκτρικών φορτίων και άλλους παράγοντες.

Ένα πολυμερές που σταθεροποιεί ένα αιώρημα συνήθως περιέχει δύο χημικές ομάδες. Η μια προσροφάται στην επιφάνεια και η άλλη αιωρείται μέσα στο νερό. Η περιγραφή ενός τέτοιου συστήματος είναι δύσκολη. Ο Lyklema Πρότεινε μια ποσοτική προσέγγιση βασιζόμενος στις πιθανότητες. Ο Gregory (1978) παρουσίασε τους μηχανισμούς που είναι δυνατό να εξηγήσουν τις δυνάμεις απώθησης στα στερεά, τα οποία είναι καλυμμένα με πολυμερή. Διέκρινε δύο μηχανισμούς απώθησης των στερεών που είναι καλυμμένα με πολυμερή.

- Στον πρώτο θεώρησε ότι οι προσροφημένες στοιβάδες μπορούν να συμπιεστούν λόγω της σύγκρουσης δύο στερεών. Αυτή η μείωση σε όγκο των στοιβάδων εμποδίζει την κίνηση των πολυμερών και προκαλεί απώθηση.
- Στο δεύτερο μηχανισμό θεώρησε ότι οι δύο στοιβάδες των πολυμερών αλληλοκαλύπτονται αυξάνοντας έτσι τη συγκέντρωση του πολυμερούς. Εάν τα τμήματα του πολυμερούς είναι ισχυρά υδρόφιλα, τότε προτιμούν το νερό από τα

άλλα πολυμερή και η επικάλυψη οδηγεί σε απώθηση. Οι μηχανισμοί αυτοί παριστάνονται σχηματικά στο Σχήμα 2.1-5



Σχήμα 2.1-5. Δύο πιθανοί μηχανισμοί αλληλεπίδρασης και απώθησης προσροφημένων πολυμερών που συμβάλλουν στη σταθεροποίηση του κολλοειδούς συστήματος (Πηγή: Λέκκας Θ. Δ., 1996)

Πάντα βέβαια υπάρχουν και οι απωθητικές δυνάμεις που δημιουργούνται από τα φορτία των στερεών και οι αλλαγές που προκαλούνται λόγω της προσρόφησης καθώς και οι ελκτικές δυνάμεις Van der Waals. Πολυμερή φορτισμένα ηλεκτρικά, όπως είναι οι πολυηλεκτρολύτες, μεταβάλλουν το φορτίο των στερεών και οργανικά πολυμερή μπορούν να μειώσουν τις δυνάμεις Van der Waals.

Η σταθεροποίηση με πολυμερή χρησιμοποιείται στη βιομηχανία για την παραγωγή χρωμάτων. Φυσικά οργανικά υλικά όπως τα χουμικά οξέα, υπάρχουν πάντα στο νερό ύδρευσης. Είναι ανιονικοί πολυηλεκτρολύτες που προσροφώνται στην επιφάνεια των αιωρούμενων στερεών και μπορεί να συμβάλλουν στη σταθερότητα των αιωρούμενων στερεών μέσω της σταθεροποίησης πολυμερούς.

2.1.3 Αποσταθεροποίηση Κολλοειδών

Η αποσταθεροποίηση αιωρημάτων παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον στην περιβαλλοντική μηχανική, γιατί είναι μια διεργασία που επιτρέπει τη συσσωμάτωση των αιωρούμενων στερεών και επομένως την ευκολότερη απομάκρυνσή τους.

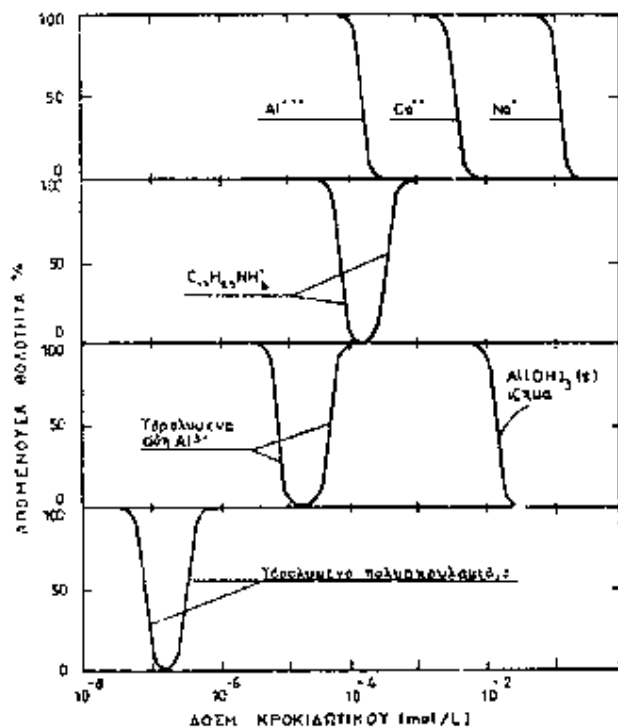
Υπάρχουν οι εξής τέσσερις μηχανισμοί αποσταθεροποίησης των κολλοειδών :

- Συμπίεση διπλής στοιβάδας (Double Layer Compression)

- Προσρόφηση αντιθέτως φορτισμένων ιόντων στην επιφάνεια του σωματιδίου με αποτέλεσμα την τοπική εξουδετέρωση των φορτίων (Counter Ion Adsorption)
- Παράσυρμός από ίζημα (Sweep precipitation / coagulation)
- Διασωματιδιακή γεφύρωση (Interparticle bridging)

2.1.3.1 Συμπίεση της διπλής στοιβάδας

Η συμπίεση της διπλής στοιβάδας προκαλείται με την προσθήκη στο διάλυμα ιόντων αντίθετου φορτίου από το φορτίο των αιωρούμενων στερεών. Η αποτελεσματικότητα των ιόντων στην εξουδετέρωση των φορτίων αυξάνει σημαντικά με την αύξηση του φορτίου του ιόντος. Η αποσταθεροποίηση του κολλοειδούς γίνεται όταν το ζ-δυναμικό προσεγγίζει την τιμή μηδέν.



Σχήμα 2.1-6 Παράσταση καμπυλών κροκίδωσης (jar test) για τέσσερις τύπους κροκιδωτικών (Πηγή : Διαμαντόπουλος, 2004).

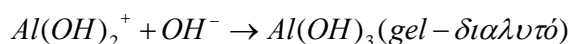
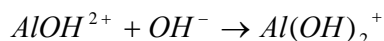
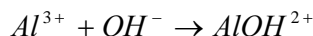
Στο Σχήμα 2.1-6, φαίνεται ότι η αποτελεσματικότητα των ιόντων αυξάνει, όσο αυξάνει το φορτίο τους. Συγκεκριμένα, οι απαιτούμενες δόσεις των Na^+ , Ca^{2+} και Al^{3+} για αποτελεσματική κρoκίδωση έχουν προσεγγιστικά την αναλογία $1:10^{-2}:10^{-3}$. Η αλληλεπίδραση τέτοιων κρoκιδωτικών και κολλοειδών στερεών είναι καθαρά ηλεκτροστατική. Η αύξηση της συγκέντρωσης των ιόντων με αντίθετο φορτίο από εκείνο των κολλοειδών στερεών, έχει ως αποτέλεσμα την εξουδετέρωση των πρωτογενών φορτίων ευκολότερα και σε μικρότερη απόσταση από την επιφάνεια. Ένα καλό παράδειγμα αποσταθεροποίησης των κολλοειδών είναι αυτό που λαμβάνει χώρα, όταν το νερό των ποταμών αναμιγνύεται με το θαλασσόνερο στις εκβολές. Τα αιωρούμενα κολλοειδή αποφορτίζονται, μόλις έρθουν σε επαφή με το υψηλής ιοντικής ισχύος νερό της θάλασσας, συσσωματώνονται και καθιζάνουν. Στο φαινόμενο αυτό οφείλεται ο σχηματισμός των δέλτα στις εκβολές των ποταμών.

2.1.3.2 Προσρόφηση και εξουδετέρωση των φορτίων

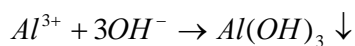
Η ενέργεια της προσρόφησης, όταν αυτή προκαλείται από χημικούς δεσμούς, είναι πολύ μεγαλύτερη από την ηλεκτροχημική ενέργεια. Ένα παράδειγμα ενός τέτοιου κρoκιδωτικού είναι η δωδεκυλαμίνη ($C_{12}H_{25}NH_3^+$), που είναι και επιφανειακά ενεργή ουσία. Τα ιόντα αυτά στην πραγματικότητα προσροφώνται στο στερεό και εξέρχονται από το νερό, αφού δεν υπάρχει αντίδραση μεταξύ των μορίων του νερού και της αλειφατικής αλυσίδας. Στη βέλτιστη δόση εξουδετερώνονται τα φορτία, ενώ για υπερβολική δόση λαμβάνει χώρα επανασταθεροποίηση (restabilization), αλλά με θετικό ηλεκτρικό φορτίο τη φορά αυτή.

Στην πράξη χρησιμοποιούνται κυρίως άλατα Al^{3+} και Fe^{3+} (π.χ. $Al_2(SO_4)_3$, γνωστό ως Alum ή $FeCl_3$).

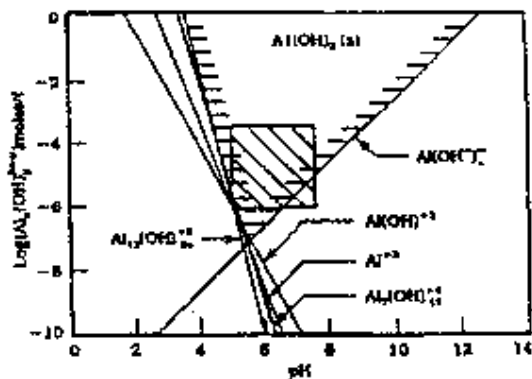
Οι αντιδράσεις υδρόλυσης έχουν ως εξής :



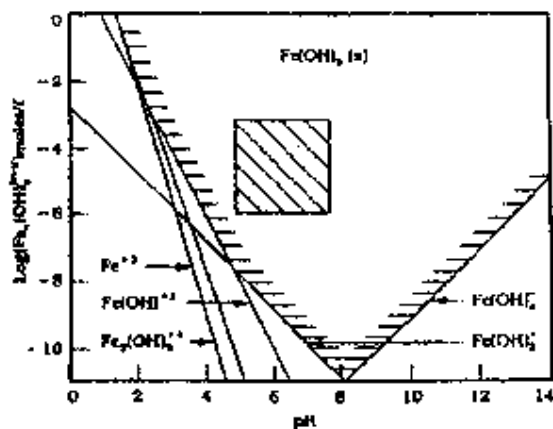
και η αντίδραση ιζηματοποίησης :



Λαμβάνουν επίσης χώρα σύμπλοκες αντιδράσεις υδρόλυσης που οδηγούν στο σχηματισμό ολιγομερών και πολυμερών συμπλόκων. Το διάγραμμα διαλυτότητας για το Fe^{3+} και του Al^{3+} παρουσιάζονται παρακάτω στα Σχήματα 2.1-7 και 2.1-8 αντίστοιχα.



Σχήμα 2.1-7 Διαλυτότητα υδροξειδίου του αργιλίου σαν συνάρτηση του pH. Το σκιαγραφημένο τμήμα είναι η περιοχή κρoκίδωσης που χρησιμοποιείται στην επεξεργασία ύδατος (Πηγή : Διαμαντόπουλος, 2004).



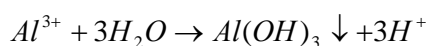
Σχήμα.2.1-8 Διαλυτότητα υδροξειδίου του σιδήρου σαν συνάρτηση του pH. Το σκιαγραφημένο τμήμα είναι η περιοχή κρoκίδωσης που χρησιμοποιείται στην επεξεργασία ύδατος (Πηγή : Διαμαντόπουλος, 2004).

Τα σύμπλοκα της υδρόλυσης προσροφούνται στην επιφάνεια του κολλοειδούς και εξουδετερώνουν τα ηλεκτρικά φορτία. Υπερβολική δόση του φορτίου οδηγεί στην επανασταθεροποίηση με αντιστροφή του φορτίου. Ας σημειωθεί ότι λόγω συμπίεσης της

διπλής στοιβάδας δεν είναι δυνατή η επανασταθεροποίηση των κολλοειδών με αντιστροφή του φορτίου. Επίσης, δεν είναι δυνατός ο θεωρητικός προσδιορισμός της βέλτιστης δόσης. Πρέπει να γίνει πειραματικός προσδιορισμός της βέλτιστης δόσης, γνωστός ως Jar Test.

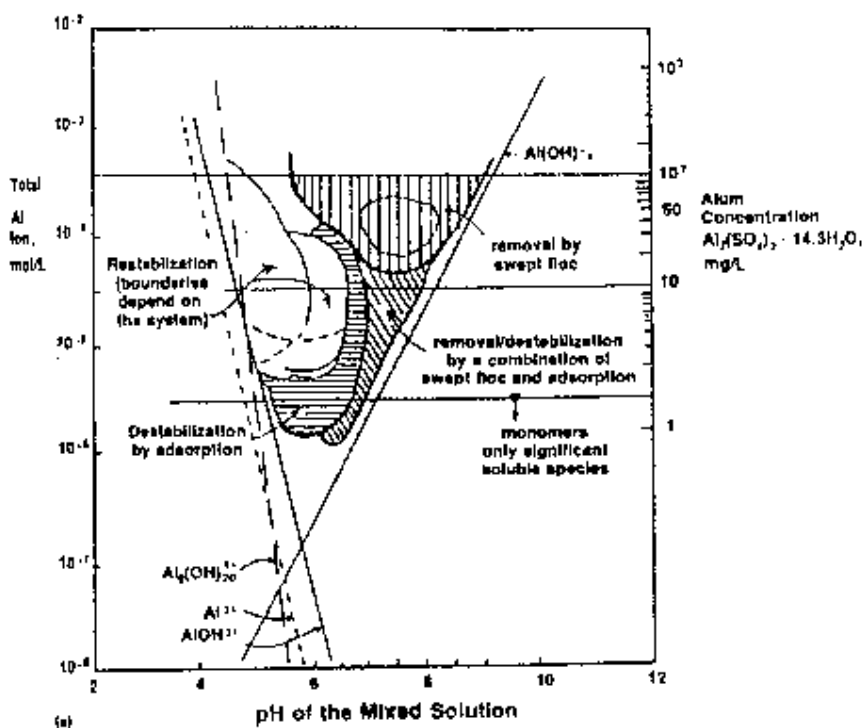
2.1.3.3 Παρασυρμός από ίζημα

Όταν προστίθενται στο νερό άλατα, όπως $Al_2(SO_4)_3$ και $FeCl_3$, σε συγκεντρώσεις που έχουν ως αποτέλεσμα το σχηματισμό ιζημάτων των υδροξειδίων των μετάλλων αυτών, τα κολλοειδή στερεά μπορεί να εγκλωβίζονται στα ιζήματα και να καθιζάνουν.



Απαιτούνται υψηλότερες δόσεις σε σχέση με την προσρόφηση των ιόντων στην επιφάνεια (δεύτερος μηχανισμός), αλλά δεν υπάρχει κίνδυνος επανασταθεροποίησης.

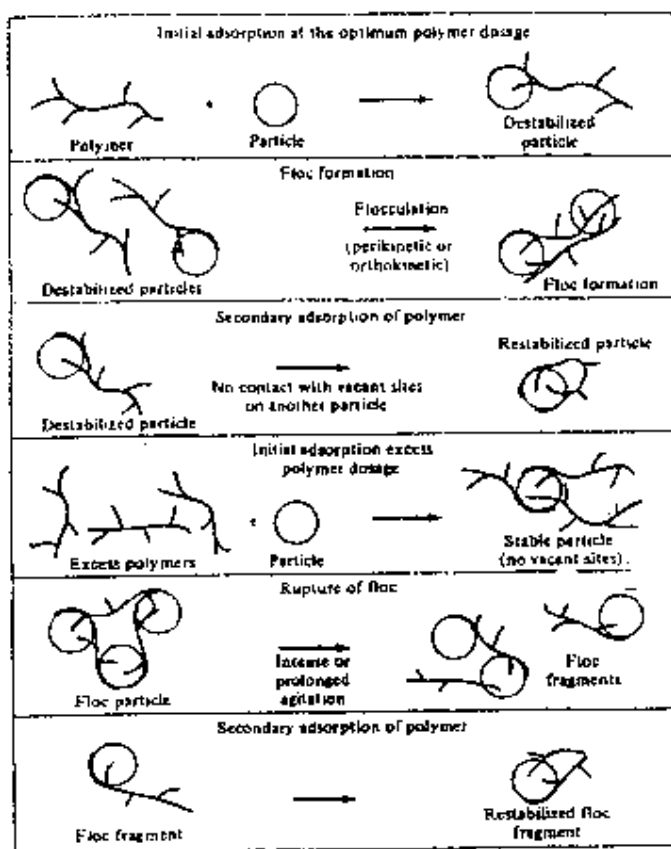
Στο λογαριθμικό διάγραμμα διαλυτότητας του Al οι περιοχές που υπερισχύουν οι διάφοροι μηχανισμοί παρουσιάζονται στο Σχήμα 2.1-9.



Σχήμα 2.1-9 Διάγραμμα προκίδωσης με αργίλιο. (Πηγή : Διαμαντόπουλος, 2004).

2.1.3.4 Διασωματιδιακή γεφύρωση

Τα υδατοδιαλυτά οργανικά πολυμερή μπορούν να φέρουν ενεργές ομάδες (π.χ. ιοντικές ομάδες), οι οποίες δύνανται να αντιδράσουν με ενεργές ομάδες πάνω στην επιφάνεια των σωματιδίων. Αν το υδατοδιαλυτό οργανικό πολυμερές φέρει φορτία θετικά, ονομάζεται κατιονικός πολυηλεκτρολύτης, αν αρνητικά, τότε λέγεται ανιονικός πολυηλεκτρολύτης. Οι μηχανισμοί γεφύρωσης που προκαλούν οι πολυηλεκτρολύτες παρουσιάζονται στο Σχήμα 2.1-10.



Σχήμα 2.1-10 Διασωματιδιακή γεφύρωση με πολυμερή (Πηγή : Διαμαντόπουλος, 2004).

Ο βασικός μηχανισμός αποσταθεροποίησης των κolloειδών με τη χρήση των πολυηλεκτρολυτών είναι η διασωματιδιακή γεφύρωση. Είναι επίσης δυνατή η ανασταθεροποίηση των κolloειδών λόγω υπερδοσολογίας.

Οι πολυηλεκτρολύτες μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνοι τους ή (συνθέστερα) σε συνδυασμό με τα ανόργανα κροκιδωτικά. Το κόστος τους είναι πολύ υψηλότερο των

κροκιδωτικών, αλλά χρησιμοποιούνται σε πολύ χαμηλότερες δόσεις (σε επίπεδα γύρω ή μικρότερα από 1 mg/l).

2.2 Συσσωμάτωση

Σε πολλά βιβλία η συσσωμάτωση, που στα αγγλικά αποδίδεται με τον όρο flocculation, συνεξετάζεται με την αποσταθεροποίηση των αιωρημάτων, δηλαδή την κροκίδωση. Εδώ έχει υιοθετηθεί η ξεχωριστή εξέταση κυρίως λόγω του γεγονότος ότι, παρ' όλο που η συσσωμάτωση εξαρτάται άμεσα από την αποσταθεροποίηση των αιωρούμενων στερεών, λαμβάνει χώρα σε ξεχωριστή δεξαμενή, στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας του νερού. Αποτελεί μια διεργασία που είναι αντικείμενο χωριστού σχεδιασμού.

Κατά την συσσωμάτωση τα αιωρούμενα στερεά συγκρούονται και συγκολλούνται (collide and coalesce) προς μεγαλύτερα στερεά. Η δημιουργία μεγαλύτερων στερεών βοηθά το διαχωρισμό τους με καθίζηση και διήθηση. Στον Πίνακα 2.2-1 φαίνεται η εξάρτηση της ταχύτητας καθίζησης από τη διάμετρο ενός αιωρούμενου στερεού. Από τον πίνακα αυτόν φαίνεται επίσης και η χρησιμότητα της αποθήκευσης του νερού στους ταμειυτήρες, όπου με τους μεγάλους χρόνους παρακράτησης το νερό απαλλάσσεται από το μεγαλύτερο ποσοστό των αιωρούμενων στερεών.

Διάμετρος στερεού (mm)	Είδος στερεού	Χρόνος καθίζησης ενός μέτρου
10	χαλίκι	1 sec
1	άμμος	10 sec
0.1	λεπτή άμμος	2 min
0.01	άργιλος	2 h
0.001	βακτηρία	8 d
0.0001	κολλοειδή στερεά	2 years
0.00001	κολλοειδή στερεά	20 years

Πίνακας 2.2-1 Χρόνος καθίζησης στερεών στο νερό

Η συσσωμάτωση εφαρμόζεται τόσο κατά την επεξεργασία του πόσιμου νερού όσο και κατά την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων. Οι κύριες εφαρμογές της συσσωμάτωσης αναφέρονται παρακάτω :

Επεξεργασία πόσιμου νερού

- Συσσωμάτωση των αποσταθεροποιημένων αιωρημάτων, των στερεών που περιέχονται στο νερό, μετά την προσθήκη κροκιδωτικού,
- Συσσωμάτωση των ιζημάτων που σχηματίζονται κατά την αποσκήρυνση του νερού, όπου προστίθενται χημικές ενώσεις,
- Συσσωμάτωση των αιωρημάτων που σχηματίζονται κατά την απομάκρυνση του σιδήρου και μαγγανίου.

Επεξεργασία αποβλήτων

- Συσσωμάτωση, φυσική και υποβοηθούμενη, των αιωρούμενων στερεών των υγρών αποβλήτων στις δεξαμενές καθίζησης,
- Συσσωμάτωση της ενεργού ιλύος,
- Συσσωμάτωση των αιωρούμενων στερεών των υγρών αποβλήτων πάνω στην επιφανειακή στοιβάδα των βιολογικών φίλτρων,
- Συσσωμάτωση που ακολουθεί την προσθήκη χημικών στα ακατέργαστα υγρά απόβλητα ή στην ιλύ πριν τη διεργασία απονέρωσης, π.χ. φίλτρα κενού ή ταινιοφιλτροπρεσσες.

Της συσσωμάτωσης, στις περισσότερες εφαρμογές, προηγείται κροκίδωση για την αποσταθεροποίηση των κολλοειδών αιωρημάτων.

2.2.1 Μηχανισμοί Συσσωμάτωσης

Η συσσωμάτωση των αιωρούμενων στερεών σε ένα υγρό εξαρτάται από τις συγκρούσεις μεταξύ των στερεών που προκαλούνται από την σχετική τους κίνηση. Αυτή η κίνηση των αιωρούμενων στερεών μπορεί να προκαλείται από την κίνηση Brown, από την

κίνηση του ρευστού που δημιουργεί μία βαθμίδα ταχύτητας ή από την κίνηση των αιωρούμενων στερεών που προκαλείται από εξωτερικά αίτια, όπως π.χ. είναι η βαρύτητα.

Η ταχύτητα της συσσωμάτωσης υπολογίζεται από τη συχνότητα των συγκρούσεων που προκαλούνται από τη σχετική κίνηση των στερεών. Όταν οι συγκρούσεις προκαλούνται από την κίνηση Brown, έχουμε την περικινητική συσσωμάτωση (μικρά σωματίδια $< 1 \mu\text{m}$) και όταν οι συγκρούσεις αυτές προκαλούνται από τη βαθμίδα ταχύτητας, δηλαδή την διαφορική κίνηση τμημάτων του υγρού, έχουμε την ορθοκινητική συσσωμάτωση (μεγάλα σωματίδια $> 1 \mu\text{m}$). Η συσσωμάτωση που προκαλείται από εξωτερικές δυνάμεις είναι μια ειδική περίπτωση ορθοκινητικής συσσωμάτωσης, διότι η κίνηση των στερεών σχετικά με το υγρό δημιουργεί επίσης βαθμίδα ταχύτητας.

Όταν δεν υπάρχουν απωθητικές δυνάμεις μεταξύ των αιωρούμενων στερεών, τότε κάθε σύγκρουση έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία συσσωματώματος και η διεργασία καλείται άμεση συσσωμάτωση. Όταν υπάρχουν απωθητικές δυνάμεις, τότε μόνο ένας μικρός αριθμός συγκρούσεων προκαλεί συσσωμάτωση και η διεργασία καλείται αργή συσσωμάτωση.

Η κλασική θεωρία συσσωμάτωσης, δέχεται ότι έχουμε συνθήκες άμεσης συσσωμάτωσης, όπου κάθε σύγκρουση δημιουργεί ένα συσσωμάτωμα.

2.2.2 Είδη Συσσωματωτικών

Τα συσσωματωτικά που χρησιμοποιούνται μέχρι σήμερα, διακρίνονται σε τρεις ομάδες:

(α) Ορυκτά Συσσωματωτικά

Είναι κολλοειδείς ουσίες. Στο μηχανισμό της συσσωμάτωσης η απορρόφηση και η ουδετεροποίηση του φορτίου παίζουν σημαντικό ρόλο, και είναι τα ακόλουθα :

- Ενεργοποιημένο διοξείδιο του πυριτίου
- Σταθερός κολλοειδής άργιλος (όπως είναι ο μπετονίτης)
- Σταθερά μεταλλικά υδροξείδια με πολυμερική δομή (όπως είναι τα υδροξείδια του αργιλίου και του σιδήρου)

(β) Φυσικά Συσσωματωτικά

Είναι ανιονικά, κατιονικά και μη ιοντικά πολυμερή διαλυτά στο νερό. Τα μη ιοντικά πολυμερή απορροφούν τα αιωρούμενα σωματίδια. Τα πιο κοινά φυσικά συσσωματωτικά είναι τα εξής :

- Τα παράγωγα του αμύλου. Τα περισσότερα είναι καλυμμένα με ζελατίνη και για αυτό είναι διαλυτά στο νερό. Είναι άμυλο το οποίο προέρχεται συνήθως από το καλαμπόκι ή την πατάτα. Μπορεί να είναι φυσικό άμυλο, ανιονικό οξειδωμένο άμυλο ή κατιονικό άμυλο επεξεργασμένο με αμίνη. Η χρήση των παραγώγων του αμύλου έχει ελαττωθεί στην επεξεργασία του νερού αλλά παραμένουν σημαντικά στην βιομηχανία παραγωγής χαρτιού.
- Οι Πολυσακχαρίτες. Είναι συνήθως κολλοειδής ουσίες από φυτά και χρησιμοποιούνται περισσότερο ως μέσα όξινσης.

(γ) Συνθετικά Συσσωματωτικά (ή πολυηλεκτρολύτες)

- Πολυακρυλαμίδια

Τα πιο κοινά συσσωματωτικά είναι αυτά που βασίζονται στο πολυακρυλαμίδιο, το οποίο είναι ένα μη ιοντικό πολυμερές. Η δράση τους έγκειται στο γεφύρωμα των σωματιδίων με πολυμερικές αλυσίδες.

Τα πολυμερή μπορούν να παίρνουν ανιονικό χαρακτήρα, συνπολιμερίζοντας ακρυλαμίδιο με ακριλικό οξύ. Κατιονικά πολυμερή μπορούν να δημιουργηθούν συνπολιμερίζοντας ακρυλαμίδιο με ένα κατιονικό μονομερές. Όλα τα διαθέσιμα πολυμερή που βασίζονται στο ακρυλαμίδιο, έχουν κάποια ποσότητα ιονικού πολυμερούς και αυτό τους προσδίδει ως προς έναν βαθμό ιονικό χαρακτήρα.

Έχουν συγκεκριμένο μοριακό βάρος κατά μέσο όρο και συγκεκριμένη μοριακή διανομή. Τα πολυακρυλαμίδια έχουν το μεγαλύτερο μοριακό βάρος σε σχέση με τα άλλα συνθετικά συσσωματωτικά. Άλλα πολυμερή είναι :

- Πολυαιθυλένια
- Πολυαμίδια
- Πολυαμίνες
- Οξείδια πολυαιθυλενίου

2.3 Παράγοντες που επηρεάζουν την αποδοτικότητα της κροκίδωσης και της συσσωμάτωσης

Η αποδοτικότητα της κροκίδωσης και της συσσωμάτωσης εξαρτάται από πολλές παραμέτρους που σχετίζονται με τα μόρια, τα χρησιμοποιούμενα πολυμερή σώματα και το προς επεξεργασία διάλυμα.

Οι κυριότερες παράμετροι που επηρεάζουν την αποδοτικότητα της κροκίδωσης και της συσσωμάτωσης είναι οι ακόλουθες :

- **Η επιρροή των μορίων αιωρούμενης ύλης**

Συνήθως η κροκίδωση εμφανίζεται για μεμονωμένα μόρια μικρότερα από 50 μm . Τα μεγάλα μόρια (μεγαλύτερα των 100 μm) γενικά δεν κροκιδώνονται, δεδομένου ότι τα ποσοστά σύγκρουσης είναι πολύ χαμηλά. Είναι δύσκολο για τα πολυμερή σώματα να γίνουν σταθερά στις επιφάνειές τους κατά τη διάρκεια της σύγκρουσης και το ποσοστό θραύσης του ιζήματος που διαμορφώνεται είναι πολύ υψηλό.

Εντούτοις, η κροκίδωση των μεγάλων μορίων μπορεί να πραγματοποιηθεί με την χρήση κατάλληλων πολυμερών σωμάτων με πολύ μεγάλο μοριακό βάρος.

Εξαρτώμενη από τη φύση τους και τη συγκέντρωσή τους, η κροκίδωση της αιωρούμενης οργανικής ύλης μπορεί να είναι :

(α) Είτε διασκορπισμένη, όπου όλα τα ιζήματα είναι χωρισμένα κατά διαφορά μεγέθους. Τα μεγάλα ιζήματα καθιζάνουν γρήγορα, αφήνοντας τα λεπτότερα ιζήματα και τα μικρο-ιζήματα, σε αιώρηση, καθώς αυτά είναι ανίκανα να κατακαθίσουν. Οι χρόνοι της κροκίδωσης είναι μεγάλοι, περίπου μεταξύ 1 και 15 λεπτών.

(β) Είτε ομογενής, όπου τα ιζήματα είναι παρόμοιου μεγέθους και καθιζάνουν στο ίδιο ποσοστό, αφήνοντας καθαρό το νερό.

Πάνω από μια ορισμένη συγκέντρωση, το κροκιδωτικό και το αιώρημα δεν αναμιγνύονται και δεν εμφανίζεται πλέον ιζήμα.

Η συγκέντρωση των μορίων στο αιώρημα έχει επίδραση στη φύση των φαινομένων που λαμβάνουν χώρα. Γενικά διαπιστώνεται ότι στις χαμηλές συγκεντρώσεις μορίων τα κυρίαρχα φαινόμενα περιλαμβάνουν την εξουδετέρωση των φορτίων, ενώ, για τις υψηλότερες συγκεντρώσεις, το φαινόμενο της προσρόφησης και της γεφύρωσης είναι κυρίαρχα. Επιπλέον, ιζήματα που διαμορφώνονται με μια υψηλή συγκέντρωση μορίων είναι ισχυρότερα και περιέχουν μια υψηλότερη συγκέντρωση της αιωρούμενης ύλης.

- **Η επιρροή των πολυμερών ουσιών**

Η φύση της πολυμερούς ουσίας είναι ο κύριος παράγοντας στην κροκίδωση. Σε αυτήν την περίπτωση, τρία κύρια χαρακτηριστικά παίζουν ρόλο : το μοριακό βάρος, η συγκέντρωση και το ιοντικό σθένος.

Γενικά, η αποδοτικότητα της πολυμερούς ουσίας είναι μεγαλύτερη όσο μεγαλύτερη είναι η μοριακή αλυσίδα, η οποία εξαρτάται από το μοριακό βάρος και τον συντακτικό τύπο του μορίου. Όσο μακρύτερη είναι η αλυσίδα, τόσο μεγαλύτερη είναι και η δυνατότητα να δημιουργηθούν γέφυρες και τόσο μικρότερη η ποσότητα του πολυμερούς σώματος που χρησιμοποιείται για το ίδιο αποτέλεσμα. Επιπροσθέτως, οι πολυμερείς ουσίες με υψηλό μοριακό βάρος, μπορεί να έχουν μια δευτερεύουσα επίδραση : την επίδραση 'φίλτρων', κατά την οποία ένα μη κροκιδωμένο μόριο παγιδεύεται στο πλέγμα του κροκιδωτικού. Η δομή της αλυσίδας (γραμμικής, διακλαδισμένης ή διασταυρούμενης) επίσης, διαδραματίζει έναν σημαντικό ρόλο.

Εντούτοις, οι μοριακές αλυσίδες δεν πρέπει να είναι πάρα πολύ μακριές καθώς η αποδοτικότητά τους περιορίζεται από τα προβλήματα της διάχυσης στο διάλυμα, και τα στερεά εμπόδια. Επιπροσθέτως, καθώς αυξάνει το μήκος αλυσίδων αυξάνει και το ιξώδες του διαλύματος και ο χρόνος που απαιτείται για να διαλυθεί το πολυμερές σώμα.

Αυτά τα προβλήματα διάχυσης και διάλυσης των πολυμερών επίσης εξαρτώνται από την απαραίτητη δόση που χρησιμοποιείται (το ποσό του πολυμερούς ανά τόνο ξηρής οργανικής ύλης). Η εμφάνιση του ιζήματος επιτρέπει να καθοριστεί η σωστή δόση. Παραδείγματος χάριν, σε ένα φίλτρο, μια ματ εμφάνιση δείχνει την καλή κροκίδωση, ενώ μια λαμπρή εμφάνιση δείχνει ότι πάρα πολύ πολυμερές σώμα έχει προστεθεί.

Πρακτικά, για μια υψηλή ή μέτρια δόση (πολυμερείς ποσότητες μεταξύ του 1 kg και 10 kg ανά τόνο στερεών για τη λάσπη των αστικών λυμάτων), το μέγεθος των μορίων του ιζήματος συσχετίζονται άμεσα με το μοριακό βάρος του πολυμερούς. Όσο μεγαλύτερο είναι το μοριακό βάρος, τόσο μεγαλύτερο και το ιζημα. Από την άλλη πλευρά, για χαμηλές δόσεις, πολυμερή σώματα με μέτριο μοριακό βάρος δίνουν τα καλύτερα αποτελέσματα, εξαιτίας της φτωχής ανάμιξης πολυμερών σωμάτων υψηλού μοριακού βάρους και της τάσης τους να διατηρήσουν τα μόρια μη κροκιδωμένα.

Η επιρροή του φορτίου του πολυμερούς στο ιζημα εκφράζεται σε σχέση με την ιοντική απαίτηση του μέσου. Τα πιο ασθενή φορτία δίνουν εύκαμπτα ιζήματα, αλλά οι ιδιότητες διήθησής τους δεν είναι εξαιρετικές.

Από την άλλη, ένα μέτριο ή ισχυρότερο φορτίο δίνει τις καλύτερες ιδιότητες διήθησης, αλλά τα αποκτηθέντα ιζήματα είναι πιο ευαίσθητα στη διάτμηση.

- **Η επιρροή της πολυμερούς ουσίας που αναμιγνύεται στο διάλυμα**

Οι όροι κάτω από τους οποίους η πολυμερής ουσία έχει αναμιχθεί στο διάλυμα είναι θεμελιώδης στην επίτευξη της καλής κροκίδωσης.

Δεδομένου ότι οι αντιδράσεις προσρόφησης είναι αμετάκλητες και πολύ γρήγορες, η ποιότητα της μίξης πρέπει να είναι αρκετά υψηλή για να επιτρέψει τη γρήγορη διάχυση της πολυμερούς ουσίας στο αιώρημα. Επιπλέον, δεδομένου ότι οι πολυμερείς ουσίες είναι γενικά χρησιμοποιούμενες σε συγκεντρωμένη μορφή και μικρές ποσότητες, πρέπει να διανεμηθούν ομοιόμορφα σε όλο το μέσο.

Με πειραματική διερεύνηση επομένως πρέπει να βρεθεί, η εξάρτηση από τα σημεία στα οποία αν το πολυμερές σώμα θα εγχέεται, η ποιότητα της μίξης θα είναι ικανοποιητική χωρίς να διαχωρίζονται τα ιζήματα που διαμορφώνονται. Επειδή, επάνω από ένα ορισμένο μέγεθος, τα ιζήματα γίνονται πολύ ευαίσθητα.

Λόγω της εγγενούς δύναμης διαχωρισμού και του ποσοστού διαχωρισμού στο μέσο, τα ιζήματα πρέπει να σπάσουν και να γίνουν μικρότερα ιζήματα, ή ακόμα και μεμονωμένα μόρια. Κατά τη διάρκεια του χρόνου, αποκαθίσταται η ισορροπία μεταξύ του σχηματισμού και της εξαφάνισης του ιζήματος.

Η υδροδυναμική κατάσταση του διαλύματος είναι επίσης σημαντική για τη μίξη. Η κροκίδωση δίνει καλά αποτελέσματα σε στρωτή ή τυρβώδη ροή. Τελικά, μικρότερα ιζήματα προκύπτουν λόγω διαχωρισμού.

- **Η επιρροή του pH και της θερμοκρασίας του διαλύματος**

Έχουμε δει ότι το pH του διαλύματος έχει μια άμεση επίδραση στη συμπεριφορά των πολυμερών αλυσίδων. Μπορεί επίσης να έχει άλλα αποτελέσματα :

- i. Η ρύθμιση του pH του διαλύματος επιτρέπει στα υδροξείδια μετάλλων να κατακρημνιστούν, και αυτά μπορούν άμεσα να παρεμποδίσουν την κροκίδωση, παραδείγματος χάριν με τη σύλληψη των κολλοειδών.
- ii. Η υδρόλυση, και επομένως το ιοντικό φορτίο της πολυμερούς ουσίας εξαρτάται από το pH.
- iii. Οι έντονες ανιονικές πολυμερείς ουσίες είναι πολύ αποτελεσματικές σε βασικό μέσο, αλλά η απόδοσή τους δεν είναι τόσο καλή όσο σε όξινο μέσο επειδή οι ενεργές ομάδες καρβοξυλίου δεν διίστανται σε ένα τέτοιο μέσο.

Η θερμοκρασία του αιωρήματος έχει άμεση επίδραση στην κινητική των αντιδράσεων σχετικών με την δραστηριότητα των κολλοειδών. Κατά συνέπεια, το χαμήλωμα της θερμοκρασίας μειώνει την κροκίδωση.

- **Η επιρροή της οργανικής φύσης του κολλοειδούς αιωρήματος**

Ο τελευταίος σημαντικός παράγοντας σχετικά με το αιώρημα είναι η οργανική φύση του. Γενικά, όσο πιο οργανική είναι η φύση του αιωρήματος τόσο μεγαλύτερη η κατιονικότητα της πολυμερούς ουσίας. Αντιθέτως, οι ανιονικές πολυμερείς ουσίες είναι πιο αποτελεσματικές σε ανόργανα αιωρήματα.

2.4 Φυσικά Συσσωματωτικά και Κροκιδωτικά

Για την παραγωγή πόσιμου νερού από ανεπεξέργαστες πηγές, απαιτείται συνήθως η διαδικασία της κροκίδωσης-συσσωμάτωσης για να απομακρυνθεί η θολότητα που υπάρχει λόγω της αιωρούμενης και κολλοειδούς ύλης (Ozakar et al., 2003). Τα άλατα του αργιλίου και σιδήρου και τα συνθετικά πολυμερή είναι τα περισσότερο κοινά χρησιμοποιούμενα χημικά για να επιτευχθεί αυτή η διαδικασία.

Όμως, η υψηλή ευαισθησία των ανόργανων κροκιδωτικών στις μεταβολές του pH και η πιθανότητα δευτερογενούς ρύπανσης του πόσιμου νερού με ίχνη τοξικών συνθετικών συσσωματωτικών ή και με κατάλοιπα ιόντων αργιλίου και σιδήρου, αποτελούν τα κύρια μειονεκτήματα της διαδικασίας της κροκίδωσης-συσσωμάτωσης στην επεξεργασία του νερού (Bratskaya et al., 2004). Επίσης, αρκετές έρευνες (Pan et al., 1999; Divakaran et al., 2001; Schintu et al., 2000 ; Gauthier et al., 2000) έχουν συσχετίσει την ασθένεια του Alzheimer και άλλα συναφή προβλήματα με τα υπολείμματα του αργιλίου στα επεξεργασμένα νερά. Επιπροσθέτως, η λάσπη η οποία δημιουργείται κατά τη διάρκεια της συσσωμάτωσης με συνθετικά πολυμερή, έχει περιορισμένες δυνατότητες χρήσης λόγω της μη βιοδιασπάσης των συνθετικών πολυμερών (Bratskaya et al., 2004).

Για τους λόγους αυτούς υπάρχει μια αυξανόμενη τάση για φιλικές προς το περιβάλλον τεχνολογίες επεξεργασίας υδάτων. Μία από αυτές είναι η χρησιμοποίηση φυσικών πολυηλεκτρολυτών, οι οποίοι μπορούν να αντικαταστήσουν τα συνθετικά συσσωματωτικά σε πολλούς τομείς, όπως στην επεξεργασία υδάτων, στη βιομηχανία τροφής και αναψυκτικών, στη βιοτεχνολογία και στην ιατρική (Bratskaya et al., 2004). Τα πλεονεκτήματά τους είναι ότι είναι βιοδιασπόμενοι, υπάρχουν σε αφθονία καθώς συνήθως προέρχονται από καλλιέργειες και είναι μη τοξικοί (Mishra et al., 2005). Προσφάτως, έχει αναφερθεί και η χρήση φυσικών πολυμερών για την επεξεργασία οικιακών ή βιομηχανικών αποβλήτων (Mishra et al., 2003, 2004; Agarwal et al., 2003).

Παρακάτω παρουσιάζονται ορισμένα φυτά από τα οποία μπορούν να εξαχθούν ουσίες που έχουν κρωκιδωτικές ή συσσωματωτικές ιδιότητες.

2.4.1 Μπάμια

Η μπάμια είναι γνωστή στη βιολογία / βοτανολογία με το όνομα *Hibiscus Esculentus*. Η κολλοειδής ουσία που παράγεται από τη μπάμια είναι διαλυτή στο κρύο νερό και χρησιμοποιείται στη βιομηχανία τροφίμων ως ένας καλός παράγοντας γαλακτοματοποίησης και σταθεροποίησης του αφρού, ενώ έχει και συσσωματωτικές ιδιότητες. Η αποδοτικότητα και οι ιδιότητες στη λειτουργία του φυτού αυτού ως συσσωματωτικό μελετήθηκαν και συγκρίθηκαν με αυτές του ανιονικού πολυακρυλαμίδιου, το οποίο είναι το πιο κοινό βιομηχανικό συσσωματωτικό. Οι τιμές του pH υδατικών διαλυμάτων με διαφορετικές συγκεντρώσεις της κολλοειδής ουσίας της μπάμιας κυμάνθηκαν μεταξύ 6.57 και 8. Τα υγρά απόβλητα είχαν pH 7.63, αγωγιμότητα 2.8 mS/cm, θολότητα 225 NTU, ολικά στερεά 1865 mg/L, ολικά διαλυμένα στερεά (TDS) 1700 mg/L, αιωρούμενα στερεά (SS) 165 mg/L και COD 425 mg/L. Το pH των λυμάτων μετά την προσθήκη της κολλοειδούς ουσίας της μπάμιας ήταν μεταξύ 6.9 και 7.04. Η δραστικότερη δόση στην οποία υπήρξε το μέγιστο της απομάκρυνσης των στερεών αποβλήτων βρέθηκε να είναι $1.2 \cdot 10^{-4} \text{ g/L}$. Σε σύγκριση με το εμπορικό ανιονικό πολυακρυλαμίδιο, η επί τοις εκατό απομάκρυνση των στερεών από το δείγμα ήταν περίπου 88% όταν χρησιμοποιούνταν συνθετικό συσσωματωτικό στις ίδιες συνθήκες με αυτές που υπήρχαν κατά τη διάρκεια της συσσωμάτωσης με την κολλοειδή ουσία της μπάμιας. Η κολλοειδής ουσία της μπάμιας χρησιμοποιείται πλέον στην επεξεργασία υγρών αποβλήτων. Είναι ένα πολύ δραστικό συσσωματωτικό με περίπου 86% απομάκρυνση των αιωρούμενων στερεών. Είναι σχεδόν τόσο αποδοτικό όσο και ένα εμπορικό συσσωματωτικό και επί προσθέτως είναι φιλικό προς το περιβάλλον, αφού έχει το προτέρημα να είναι βιοδιασπώμενο και να αποτελεί μέρος της τροφικής αλυσίδας (Agarwal et al., 2001).

2.4.2 Fenugreek

Το φυτό Fenugreek είναι γνωστό τη βιολογία / βοτανολογία με το όνομα *Trigonella foenum – graecum*, είναι ένα οσπριώδης φυτό με εμφάνιση παρόμοια με αυτή

του τριφυλλιού και καλλιεργείται στη Βόρειο Αφρική, στην Ινδία και το Πακιστάν. Η κολλοειδής ουσία που παράγεται από αυτό το φυτό είναι ένας φυσικός πολυσακχαρίτης και έχει αναφερθεί ότι δρα ως συσσωματωτικό για επεξεργασία αποβλήτων. Η συσσωματωτική ικανότητα της ουσίας αυτής δοκιμάστηκε υπό διάφορες συνθήκες με την κλασική μέθοδο του Jar – Test. Μελετήθηκε η επίδραση της συγκέντρωσης του πολυσακχαρίτη, η επίδραση του χρόνου επαφής και του pH στην επί της εκατό απομάκρυνση των στερεών. Η μέγιστη απομάκρυνση για τα αιωρούμενα στερεά (SS) και για τα διαλυμένα στερεά (TDS) ήταν σχεδόν 85% και 40%, για δόση 0.08 mg/l της κολλοειδούς ουσίας του φυτού Fenugreek. Η τιμή του pH για την μέγιστη αποδοτικότητα της ουσίας ως κροκιδωτικό, ήταν ουδέτερη. Ο απαραίτητος χρόνος για τη μέγιστη απομάκρυνση των διαλυμένων στερεών ήταν τρεις ώρες, ενώ ο αντίστοιχος χρόνος για τα αιωρούμενα στερεά, ήταν μία ώρα. Η συσσωματωτική ικανότητα της κολλοειδούς ουσίας του φυτού Fenugreek βρέθηκε παρόμοια με αυτήν ενός εμπορικού συσσωματωτικού (Mishra et al., 2003).

2.4.3 Moringa Oleifera

Το φυτό Moringa oleifera είναι ένα τροπικό φυτό οι σπόροι του οποίου περιέχουν μια εδώδιμη ουσία η οποία είναι διαλυτή στο νερό και στο λάδι και κατέχει εξαιρετικές κροκιδωτικές ιδιότητες για την επεξεργασία υδάτων. Η αποδοτικότητα και οι ιδιότητες στη λειτουργία του φυτού αυτού ως κροκιδωτικό μελετήθηκαν και συγκρίθηκαν με αυτές του αργιλίου, το οποίο είναι το πιο κοινό βιομηχανικό κροκιδωτικό. Αποδείχτηκε ότι οι ενεργοί παράγοντες στα υδάτινα αποστάγματα του Moringa είναι διμερείς κατιονικές πρωτεΐνες, με μοριακό βάρος 13 kDa και ισοηλεκτρικά σημεία μεταξύ 10 και 11. Ο μηχανισμός της κροκίδωσης, χρησιμοποιώντας το φυτό Moringa oleifera, φαίνεται να αποτελείται από απορρόφηση και ουδετεροποίηση των κολλοειδών φορτίων. Συγκρινόμενο με το αργίλιο η πιο ευνοϊκή δόση των καρπών του Moringa oleifera μαζί με το φλούδι τους είναι σχεδόν η ίδια (50 mg/l). Στην περίπτωση που έχουμε ξεφλουδισμένους καρπούς, η δόση είναι μεγαλύτερη (500 mg/l) για νερά με χαμηλή αρχική θολότητα. Οι εξαγνισμένες πρωτεΐνες είναι πιο αποδοτικές στην κροκίδωση από ότι το αργίλιο. Ως κροκιδωτικό, το φυτό Moringa είναι μη τοξικό και βιοδιασπώμενο. Είναι φιλικό προς το περιβάλλον, και σε αντίθεση με το αργίλιο, δεν επηρεάζει σημαντικά το pH και την αγωγιμότητα του νερού μετά την επεξεργασία. Τα κατακάθια που δημιουργούνται με την κροκίδωση χρησιμοποιώντας το φυτό Moringa oleifera, δεν είναι μόνο αβλαβή αλλά είναι και τέσσερις

με πέντε φορές μικρότερα σε όγκο από αυτά που δημιουργούνται με την κροκίδωση χρησιμοποιώντας αργίλιο. Επομένως, σαν κροκιδωτικό, το φυτό *Moringa oleifera* μπορεί να γίνει ένα ιδανικό αντικατάστατο του αργιλίου (Ndabigengesere et al., 1994).

2.4.4 *Cactus latifaria* και *Prosopis Juliflora*

Τα δύο αυτά φυτά υπάρχουν στην Βενεζουέλα και στο παρελθόν, συστατικά τους έχουν χρησιμοποιηθεί σε άλλες ιδιότητες εκτός από κροκίδωση. Η ικανότητα των φυτών αυτών και των σπόρων τους να δρουν ως κροκιδωτικά μελετήθηκε χρησιμοποιώντας συνθετικό νερό τροποποιημένο έτσι ώστε να προσομοιάζει με το πόσιμο νερό της πόλης του Maracaibo. Σε αυτό προστέθηκε καολίνη ώστε να αυξηθεί η θολότητα. Η ικανότητα σε κροκίδωση των δύο φυτών καθορίστηκε χρησιμοποιώντας την κλασική μέθοδο του Jar – Test. Και τα δύο φυτά έδωσαν ικανοποιητικές απομακρύνσεις θολότητας και έδωσαν τελικά νερό του οποίου η θολότητα ήταν πολύ κοντά στο απαιτούμενο όριο των 5 NTU. Το ίδιο αποτέλεσμα προήλθε χρησιμοποιώντας νερό με μεγάλη αρχική θολότητα (100 – 200 NTU) και με μικρή αρχική θολότητα (30 – 40 NTU). Τα αποτελέσματα αυτά είναι συγκρίσιμα με αυτά που επιτεύχθηκαν χρησιμοποιώντας το φυτό *Moringa oleifera*. Η πιο αποδοτική δόση (20 – 40 mg/l) βρέθηκε ότι είναι μικρότερη από αυτήν των αλάτων αργιλίου (Diaz et al., 1999).

2.4.5 *Tamarindus indica*

Η κολλοειδής ουσία η οποία εξάγεται από το φυτό *Tamarindus indica*, η οποία αποτελεί μέρος της τροφικής αλυσίδας, χρησιμοποιείται ως συσσωματωτικό για την απομάκρυνση διαλυμένων χρωστικών (έντονο κίτρινο χρώμα) και άμεσων χρωστικών (έντονο κόκκινο χρώμα) από τα υδάτινα διαλύματα. Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε για να βρεθεί η βέλτιστη δόση συσσωματωτικού ήταν αυτή των Jar-Test και το δείγμα που χρησιμοποιήθηκε ήταν λύμα. Οι μέγιστες απομακρύνσεις που επιτεύχθηκαν ήταν 60% μετά από δύο ώρες για την απομάκρυνση του έντονου κίτρινου χρώματος και 25% μετά από μία ώρα για την απομάκρυνση του έντονου κόκκινου χρώματος. Η βέλτιστη δόση της κολλοειδούς ουσίας ήταν 10 mg/l και 15 mg/l για την απομάκρυνση του κίτρινου και του κόκκινου χρώματος αντίστοιχα. Οι τιμές του pH βρέθηκαν να επηρεάζουν σημαντικά τις

απομακρύνσεις των δύο χρωμάτων. Το ουδέτερο pH είναι αυτό που ευνοεί περισσότερο την απομάκρυνση χρώματος και για τις δύο περιπτώσεις. Τα αποτελέσματα δεν ήταν πολύ εντυπωσιακά παρόλα αυτά η κολλοειδής αυτή ουσία μπορεί να χρησιμοποιηθεί ιδιαίτερα για την απομάκρυνση των ανεξίτηλων χρωστικών, καθώς έχει μικρό κόστος και είναι βιοδιασπώμενη (Mishra et al., 2006).

2.4.6 *Plantago psyllium*

Η κολλοειδής ουσία η οποία εξάγεται από το φυτό *Plantago psyllium*, η οποία αποτελεί μέρος της τροφικής αλυσίδας, μελετήθηκε για την ικανότητά της στην απομάκρυνση του έντονου κίτρινου και μαύρου χρώματος από συνθετικά απόβλητα. Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε για να βρεθεί η βέλτιστη δόση συσσωματωτικού ήταν αυτή των Jar-Test. Η καλύτερη δόση συσσωματωτικού για την απομάκρυνση και των δύο χρωμάτων βρέθηκε να είναι 10 mg/l. Σε αυτή τη δόση βρέθηκε 71.4% απομάκρυνση του κίτρινου χρώματος και 35% απομάκρυνση του μαύρου. Οι τιμές του pH βρέθηκαν να επηρεάζουν σημαντικά τις απομακρύνσεις των δύο χρωμάτων. Το ουδέτερο pH είναι αυτό που ευνοεί περισσότερο την απομάκρυνση χρώματος και για τις δύο περιπτώσεις. Επομένως η κολλοειδής ουσία από το φυτό *Plantago psyllium* μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως συσσωματωτικό για την απομάκρυνση του χρώματος από ρυπασμένα νερά. (Mishra et al., 2005).

2.4.7 *Ipomoea dasysperma* και *Guar gum*

Οι κολλοειδείς ουσίες οι οποίες εξάγονται από τους σπόρους των φυτών *Ipomoea dasysperma* (ID) και *guar* μελετήθηκαν για την ικανότητά τους στη συσσωμάτωση. Η αποδοτικότητα τους ως συσσωματωτικά μελετήθηκε από την απομάκρυνση χρώματος που πραγματοποιούν σε νερό το οποίο έχει χρωματιστεί με συνθετικές βαφές. Αρχικά μελετήθηκε η απομάκρυνση χρώματος χρησιμοποιώντας μόνο χλωριούχο πολυαργίλιο ως κροκιδωτικό και κατόπιν χρησιμοποιώντας κροκιδωτικό σε συνδυασμό με τα προαναφερθέντα φυτά. Τα αποτελέσματα για την περίπτωση χρήσης μόνο κροκιδωτικού (1 mg/l) ήταν 56%, 40% και 52% απομάκρυνση χρώματος για πορτοκαλί, έντονο κόκκινο και μπλέ χρώμα αντίστοιχα. Χρησιμοποιώντας την ίδια δόση κροκιδωτικού αλλά προσθέτοντας 5 mg/l από την κολλοειδή ουσία του *guar* επιτεύχθηκε 80%, 87%, και 70% απομάκρυνση

χρώματος. Για την περίπτωση της χρήσης 5 mg/l από την κολλοειδή ουσία του φυτού *Ipomoea dasysperma* σε συνδυασμό με 1 mg/l κροκιδωτικού επιτεύχθηκε 73%, 86%, 75% απομάκρυνση χρώματος. Η μεταβολές του pH βρέθηκαν να επηρεάζουν τις απομακρύνσεις και οι μέγιστες απομακρύνσεις που προαναφέρθηκαν επιτεύχθηκαν σε pH 9.5. Επομένως οι κολλοειδείς ουσίες από τα φυτά *Ipomoea dasysperma* (ID) και guar μπορούν να αποτελέσουν ιδανικά για την αντικατάσταση των συνθετικών συσσωματωτικών που χρησιμοποιούνται ευρέως (Rashmi Sanghi et al., 2006).

2.4.7 Μολόχα

Η μολόχα είναι γνωστή από την αρχαιότητα και χρησιμοποιούμε τα άνθη, τα φύλλα και τις ρίζες της για την παρασκευή φαρμακευτικών σκευασμάτων. Έχει καταπραϋντική και μαλακτική δράση. Μαλακώνει τους κάλους των ποδιών, ενώ πιστεύεται ότι ποδόλουτρο σε ζουμί μολόχας ξεκουράζει τα πόδια. Καταπραΰνει τις φλογώσεις του αναπνευστικού συστήματος και βοηθά στην καταπολέμηση του βήχα. Ο Πλίνιος (77 π.Χ.) λέει για τη μολόχα ότι 'όποιος καταπίνει κάθε μέρα μισό κύπελλο από το χυμό της, θα έχει ανοσία σε όλες τις νόσους'....Η άγρια μολόχα συναντάται σε όλη την Ελλάδα, την Ευρώπη τη Δυτική Ασία και την Αμερική. Αναπτύσσεται σε πλούσια πορώδη εδάφη.

Κατόπιν εκτενής βιβλιογραφικής αναζήτησης δεν βρέθηκαν αναφορές σχετικά με την δράση της μολόχας ως συσσωματωτικό ή κροκιδωτικό. Στην παρούσα εργασία εξετάζεται η δράση αυτή για πρώτη φορά.

Κεφάλαιο 3 - Αντικείμενο Έρευνας

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η εξαγωγή ουσιών από φυτά και ο έλεγχος για δράση τους ως συσσωματωτικά ή κροκιδωτικά, με σκοπό την επεξεργασία υγρών αποβλήτων. Στοχεύουμε επομένως στη μείωση του οργανικού φορτίου των αποβλήτων χρησιμοποιώντας φυσικές ουσίες οι οποίες είναι φιλικότερες προς το περιβάλλον και πιθανόν πιο συμφέρουσες από οικονομικής απόψεως.

Με τη χρήση των φυσικών αυτών ουσιών, οι οποίες προήλθαν από τα φυτά μπάμια και μολόχα, επιδιώξαμε να βοηθήσουμε τον μηχανισμό της κροκίδωσης τόσο από άποψης χρόνου όσο και ποσότητας συνθετικού κροκιδωτικού που χρησιμοποιείται.

Μετά το πέρας της διαδικασίας της κροκίδωσης ελέγχθηκαν και καταγράφηκαν τα παρακάτω χαρακτηριστικά της υδατικής φάσης :

- Το pH των υδατικών αποβλήτων και του διαλύματος καολίνης και χουμικού
- Η εναπομένουσα θολότητα (μέτρηση ανά 10 min για συνολικά 30min)
- Ο διαλυμένος οργανικός άνθρακας (DOC)

Κατόπιν έγινε σύγκριση της αποδοτικότητας της κροκίδωσης όταν χρησιμοποιούνταν μόνο άλατα αργιλίου και όταν χρησιμοποιούνταν άλατα αργιλίου σε συνδυασμό με τις προαναφερθείσες ουσίες.

Κεφάλαιο 4 – Δείγματα και Υλικά

4.1 Δείγματα

4.1.1 Συνθετικό λύμα

Για τον έλεγχο της ικανότητας σε συσσωμάτωση των μειγμάτων που αναφέρθηκαν παραπάνω, θεωρήθηκε σκόπιμο αρχικά να γίνει μία πρώτη εκτίμηση της δράσης του σε ένα διάλυμα που προσομοιώνει ικανοποιητικά το λύμα. Το διάλυμα αυτό παρασκευάστηκε με τη προσθήκη 100 mg/l καολίνης και 10 mg/l χουμικού οξέος σε 1 lt απιονισμένου νερού.

Η προσθήκη της καολίνης έγινε για να έχει το διάλυμα αρκετή θολότητα, ενώ η προσθήκη του χουμικού οξέος έγινε για να παρουσιάσει το διάλυμα συγκέντρωση άνθρακα παρόμοια με αυτή των λυμάτων.

Μετά την παρασκευή του διαλύματος, τοποθετήθηκε για ανάδευση στις 120 rpm για 2 ώρες, έτσι ώστε να αποκτήσει ομοιογένεια.

4.1.2 Λύμα

Τα δείγματα υγρών αποβλήτων που χρησιμοποιήθηκαν, ελήφθησαν από την έξοδο της μονάδας βιολογικού καθαρισμού του Πολυτεχνείου Κρήτης (δευτεροβάθμια επεξεργασία). Τα δείγματα χρησιμοποιήθηκαν αμέσως μετά τη συλλογή τους.

Το δείγμα είχε αρχική θολότητα 55 NTU και DOC 22.4 mg/l.

4.2 Υλικά

Χρησιμοποιήθηκαν τρία διαφορετικά είδη φυτών για την παρασκευή τριών μειγμάτων, που πιθανών λειτουργούν ως συσσωματωτικά. Τα τρία αυτά φυτά ήταν μολόχα, μπάμια και φύλλα μπάμιας.

Η συλλογή της μολόχας έγινε κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού από εκτάσεις του Πολυτεχνείου Κρήτης. Η μπάμια που χρησιμοποιήθηκε προήλθε από κλασσικές συσκευασίες κατεψυγμένων μπαμιών που πωλούνται σε super market, ενώ τα φύλλα μπάμιας συλλέχθηκαν από το πάρκο Χλωρίδας και Πανίδας του Πολυτεχνείου Κρήτης.

Μετά την απόκτηση των υλικών ακολουθήθηκε συγκεκριμένη διαδικασία και για τα τρία φυτά. Πλύθηκαν με νερό για να απομακρυνθούν ακαθαρσίες (όπως χώμα, σκόννη κτλ.) και στη συνέχεια αφέθηκαν για ξήρανση. Κατόπιν τα αποξηραμένα πλέον φυτά οδηγήθηκαν σε μύλο για άλεση, χρησιμοποιώντας λεπίδες των 0.5 μm. Η σκόννη που προέκυψε από την άλεση, αφού περάστηκε από κόσκινο των 0.5 μm, ανακατεύτηκε με απιονισμένο νερό σε διάφορες αναλογίες για να προκύψουν τα μείγματα. Παρασκευάστηκαν μείγματα των 50 gr σκόννης / lt απιονισμένου νερού, 5 gr σκόννης / lt απιονισμένου νερού και 0.5 gr σκόννης / lt απιονισμένου νερού.

4.3 Εκτέλεση Πειραμάτων

Η απαιτούμενη δόση κροκιδωτικής ουσίας εξαρτάται από την συγκέντρωση και το είδος των σωματιδίων και το pH του ύδατος. Για να βρεθεί η κατάλληλη δόση χρησιμοποιείται η μέθοδος των αναδευομένων φιαλών ύδατος (Jar Test), στις οποίες προστίθενται διάφορες ποσότητες θρομβωτικής ουσίας σε σταθερή ποσότητα υγρού και εξετάζεται η διαύγεια της υδατικής φάσης που προκύπτει μετά από ανάδευση 30 min. Χρησιμοποιείται η μικρότερη δόση θρομβωτικής ουσίας με την οποία επιτυγχάνεται μια επιθυμητή διαύγηση.

Για τα πειράματα της κροκίδωσης χρησιμοποιήθηκε η συσκευή της εταιρείας VELP SCIENTIFICA μοντέλο F.6/5. Η συσκευή έχει τη δυνατότητα ταυτόχρονης ανάδευσης έξι δοχείων, χωρητικότητας δύο λίτρων το καθένα, με επιλογή της ταχύτητας του κάθε αναδευτήρα. Οι ταχύτητες στις οποίες λειτουργεί η συσκευή είναι : 10, 15, 30, 45, 60, 90, 120, 150 και 200 r.p.m.

Χρησιμοποιήθηκαν δείγματα του διαλύματος χουμικού οξέος και καολίνης καθώς, και υγρά απόβλητα. Μετρήθηκαν τα αρχικά ποιοτικά χαρακτηριστικά των δειγμάτων αυτών (θολότητα, DOC, pH) πριν την κροκίδωση. Για την εκτέλεση των πειραμάτων χρησιμοποιήθηκε όγκος 2 λίτρων του κάθε δείγματος σε κάθε δοχείο της συσκευής Jar Test. Μετά την κροκίδωση και τον διαχωρισμό της υδατικής από το στερεό υπόλειμμα, μετρήθηκαν τα ίδια ποιοτικά χαρακτηριστικά για την υδατική φάση.

Ως κροκιδωτικό υλικό χρησιμοποιήθηκε διάλυμα θειικού αργιλίου ($Al_2(SO_4)_3$) 0.05 M. Επίσης διαλύματα μολύβας και μπάμιας χρησιμοποιήθηκαν ως συσσωματωτικά για να επιταχύνουν τη διαδικασία της κροκιδώσης.

Η ανάδευση στη συσκευή Jar Test έγινε σε θερμοκρασία περιβάλλοντος και με ταχύτητα 200 rpm, για 6 min. Η προσθήκη του κροκιδωτικού στο δείγμα έγινε σε αυτές τις συνθήκες ταχείας ανάδευσης, ενώ η προσθήκη των φυσικών συσσωματωτικών έγινε μετά την πάροδο 3 min από την προσθήκη του κροκιδωτικού. Στη συνέχεια η συσκευή αφέθηκε σε συνθήκες ήπιας ανάδευσης (45 rpm) για 10 min. Κατόπιν σταμάτησε η ανάδευση και το αιώρημα αφέθηκε να καθιζήσει για 30 min (χρόνος καθίζησης). Μετρήσεις για την εναπομείνουσα θολότητα του κάθε δείγματος ελήφθησαν ανά 10 min, από το σωληνάκι της συσκευής του Jar Test.

4.4 Αναλυτικές Μέθοδοι

4.4.1 Θολότητα

Μείωση της διαύγειας του νερού προκαλούν ορισμένα σωματίδια, όπως λάσπη, οργανικό και ανόργανο υλικό, διαλυτές έγχρωμες οργανικές ενώσεις, πλαγκτόν και άλλοι μικροοργανισμοί. Η θολότητα είναι μια έκφραση της διάχυσης και της απορρόφησης του φωτός από αυτά τα σωματίδια, τα οποία δυσκολεύουν τη διέλευση του φωτός. Η θολότητα μετρείται με την νεφελομετρική μέθοδο σε μονάδες νεφελομετρικής θολότητας (nephelometric turbidity units).

Για τον προσδιορισμό της θολότητας χρησιμοποιήθηκε η συσκευή LOVIBOND TURBIDITY METER. Το μοντέλο αυτό μετράει την διαύγεια ή τη θολότητα κάθε άχρωμου υγρού. Είναι ένα πραγματικό νεφελόμετρο, που λειτουργεί στην επίσημα καθορισμένη γωνία των 90° μεταξύ του φωτοανιχνευτή και της προσπίπτουσας ακτίνας φωτός. Διαβάζει και δίνει τα αποτελέσματα σε NTUs (Nephelometric Turbidity Units) σε τρεις κλίμακες 0-20.00, 0-2000.0 και 0-1000. Η ανάλυση του τεστ είναι 0.01 NTU στη χαμηλότερη κλίμακα.

4.4.2 DOC

Η μέτρηση αυτή έγινε πριν και μετά τις δοκιμές κροκιδώσης ώστε να εκτιμηθεί η απόδοση κάθε δόσης κροκιδωτικού. Ως διαλυμένος οργανικός άνθρακας (DOC) ορίζεται

το κλάσμα του ολικού οργανικού άνθρακα (TOC) που περνάει μέσα από φίλτρο με μέγεθος πόρων $0.45\mu\text{m}$, γι' αυτό και μετά τις κροκιδώσεις ακολουθούσε διήθηση των δειγμάτων.

Το όργανο που χρησιμοποιήθηκε για τις μετρήσεις αυτές ήταν ένας αναλυτής οργανικού άνθρακα (TOC Analyzer) της εταιρείας SHIMADZU μοντέλο 5000 A. Η μέθοδος που εφαρμόζει είναι η καταλυτική οξείδωση στους 680°C με καταλύτη σφαιρίδια αλουμίνας επικαλυμμένα με πλατίνα. Στην περίπτωση των εκροών λυμάτων μετά από δευτεροβάθμια επεξεργασία, όπου ο οργανικός και ο ανόργανος άνθρακας είναι στα ίδια περίπου επίπεδα, η παράμετρος TOC δεν υπολογίζεται από τη διαφορά του ολικού άνθρακα μείων τον ανόργανο, αλλά θεωρείται ίση με το μη πτητικό κλάσμα του οργανικού άνθρακα (NPOC). Με αυτόν τον τρόπο το σφάλμα που υπεισέρχεται στη μέτρηση είναι πολύ μικρότερο, αφού οι πτητικές οργανικές ουσίες είναι ελάχιστες και τελικά $\text{NPOC} \cong \text{TOC}$. Το NPOC μετρείται από τον αναλυτή μετά από οξίνιση του δείγματος με $\text{HCl } 2\text{N}$ και διοχέτευση αέρα στο δείγμα για 15 λεπτά.

4.4.3 Ενεργός οξύτητα (pH)

Είναι μία μέτρηση της οξύτητας ή της αλκαλικότητας του νερού. Η κλίμακα εκτείνεται από το 0 ως 14. Η τιμή 7 αναφέρεται στο ουδέτερο pH, ενώ οι τιμές κάτω του 7 αναφέρονται στο όξινο και οι μεγαλύτερες στο αλκαλικό. Δεδομένου ότι το pH εκφράζει το ποσό των ελεύθερων ιόντων υδρογόνου και υδροξυλίου, το νερό χαρακτηρίζεται όξινο όταν έχει περισσότερα ιόντα υδρογόνου ενώ όταν έχει περισσότερα ιόντα υδροξυλίου χαρακτηρίζεται αλκαλικό. Επειδή το pH του νερού μπορεί να τροποποιηθεί χημικά, είναι ένας σημαντικός δείκτης χημικών αλλαγών στο νερό. Η κλίμακα του pH είναι λογαριθμική που σημαίνει ότι μία μονάδα αλλαγή στο pH αντιπροσωπεύει μια αλλαγή της τάξης του 10 στην οξύτητα του νερού. Έτσι όταν το νερό έχει pH 5 είναι 10 φορές πιο όξινο από νερό με pH 6.

Η μέτρηση του pH έγινε πριν και μετά τις δοκιμές κροκιδωσης, ώστε να εκτιμηθεί η αλλαγή που επιφέρει στο pH του δείγματος η προσθήκη των φυτών. Το όργανο που χρησιμοποιήθηκε για τις μετρήσεις αυτές ήταν ένα pHμετρο μοντέλο TD153.E28.1989.

Κεφάλαιο 5 – Αποτελέσματα

5.1 Αποτελέσματα συνθετικού λύματος

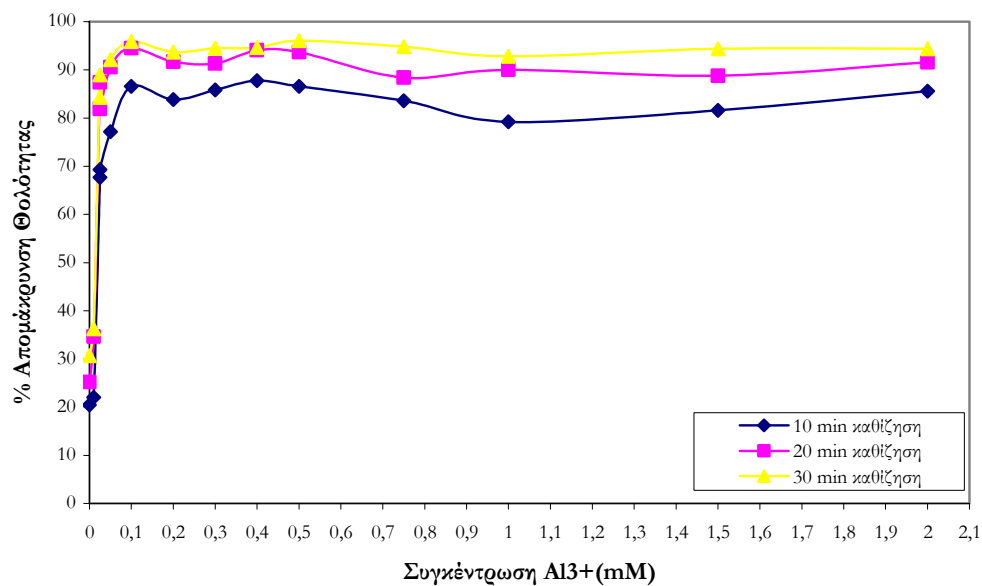
5.1.1 Αποτελέσματα κροκιδωτικού

Αρχικά έγιναν πειράματα για να δούμε την επίδραση του κροκιδωτικού (άλατα αργιλίου) στο συνθετικό λύμα. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στα Σχήματα 5.1 και 5.2.

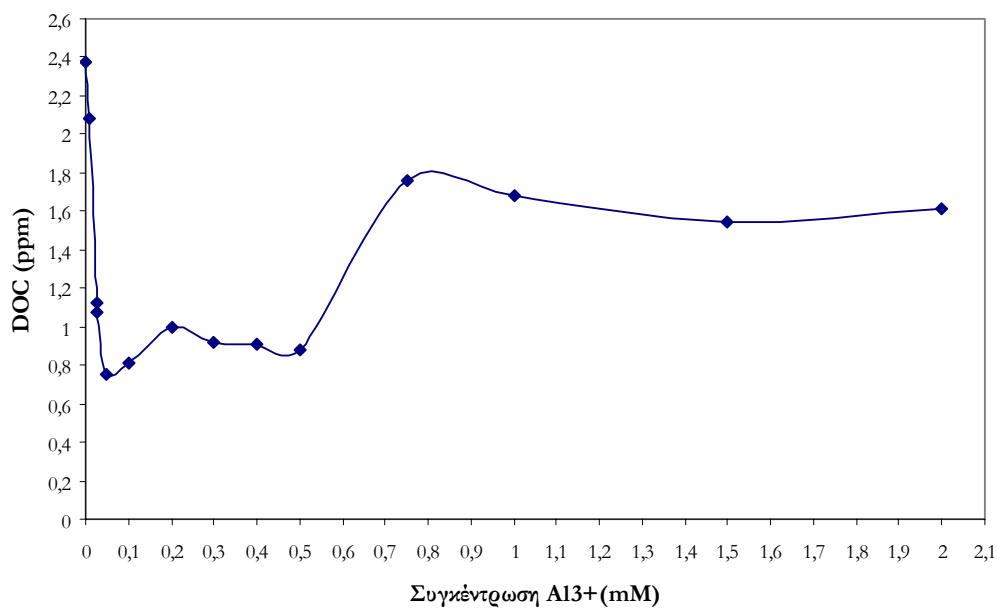
Στο Σχήμα 5.1 παριστάνεται η επίδραση του κροκιδωτικού στην απομάκρυνση θολότητας του συνθετικού λύματος για τρεις διαφορετικούς χρόνους καθίζησης (10, 20 και 30 λεπτά). Στις αρχικές δόσεις Al^{3+} παρατηρείται αύξηση της απομάκρυνσης θολότητας μέχρι και τη δόση των 0.1 mM Al^{3+} , ενώ στη συνέχεια παρατηρείται σταθεροποίηση της απομάκρυνσης. Αυτή η συμπεριφορά υπάρχει και για τους τρεις χρόνους καθίζησης, ενώ όσο μεγαλύτερος είναι ο χρόνος καθίζησης σε τόσο μεγαλύτερα επίπεδα φτάνει η απομάκρυνση θολότητας. Επομένως με τη χορήγηση στο δείγμα μιας δόσης 0.1 mM Al^{3+} και για 20 ή 30 λεπτά χρόνο καθίζησης έχουμε μια αρκετά μεγάλη απομάκρυνση θολότητας (94.5% και 96% αντίστοιχα).

Στο Σχήμα 5.2 παριστάνεται η επίδραση του κροκιδωτικού στο DOC του συνθετικού λύματος. Αρχικά με την αύξηση της δόσης του κροκιδωτικού παρατηρείται μείωση του DOC του δείγματος μέχρι και την δόση των 0.5 mM Al^{3+} , ενώ στη συνέχεια υπάρχει μια αύξηση χωρίς πάντως να ξεπεραστεί η αρχική συγκέντρωση DOC.

Προκειμένου να μελετηθεί η επίδραση των φυτών στην κροκιδωση, επιλέχθηκαν χαμηλές συγκεντρώσεις Al^{3+} στις οποίες δεν υπάρχει μεγάλη απομάκρυνση θολότητας.



Σχήμα 5.1. Σχέση απομάκρυνσης θολότητας με συγκέντρωση Al^{3+} σε συνθετικό λύμα.



Σχήμα 5.2. Σχέση DOC με συγκέντρωση Al^{3+} σε συνθετικό λύμα.

5.1.2 Αποτελέσματα μολόχας

Οι συγκεντρώσεις Al^{3+} οι οποίες επιλέχθηκαν δεν έδιναν υψηλή απομάκρυνση θολότητας (συγκεκριμένα οι δόσεις 0.01 και 0.025 mM Al^{3+}), και σε αυτές τις συγκεντρώσεις δοκιμάσθηκαν διάφορες δόσεις μολόχας, ώστε να δούμε αν η μολόχα βοηθάει την διαδικασία της κροκίδωσης. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στα Σχήματα 5.3, 5.4, 5.5 και 5.6.

Στο Σχήμα 5.3, παριστάνεται η επίδραση της μολόχας στην απομάκρυνση της θολότητας από συνθετικό λύμα χρησιμοποιώντας παράλληλα 0.01 mM Al^{3+} για τρεις διαφορετικούς χρόνους καθίζησης (10, 20 και 30 λεπτά). Αρχικά, μέχρι και τη δόση των 25 mg/l υπάρχει μια μικρή αύξηση στην απομάκρυνση της θολότητας (κυρίως στη δόση των 8.75 mg/l όπου υπάρχει 52.8% απομάκρυνση στα 30 λεπτά καθίζησης), ενώ στη συνέχεια το διάλυμα παρουσιάζει μικρότερη απομάκρυνση της θολότητας από αυτή που είχε χωρίς τη χρησιμοποίηση μολόχας. Το γεγονός ότι δεν υπάρχει υψηλή απομάκρυνση θολότητας οφείλεται στο γεγονός ότι χρησιμοποιώντας 0.01 mM Al^{3+} δεν ξεκινάει η κροκίδωση καθώς είναι αρκετά μικρή δόση κροκιδωτικού (όπως φαίνεται και από το Σχήμα 5.1). Η πτώση της απομάκρυνσης της θολότητας κάτω από τα αρχικά επίπεδα μετά τη δόση των 25 mg/l μολόχας, συμβαίνει επειδή οι δόσεις είναι αρκετά μεγάλες και έτσι επιβαρύνεται το δείγμα με πολλές ουσίες που περιέχει η μολόχα οι οποίες ως ελαφρύτερες από το νερό τείνουν να αιωρούνται παρά να καθιζάνουν.

Στο Σχήμα 5.4, παριστάνεται η επίδραση της μολόχας στο DOC του συνθετικού λύματος χρησιμοποιώντας παράλληλα 0.01 mM Al^{3+} . Όσο μεγαλώνει η δόση της μολόχας που προσθέτουμε στο δείγμα τόσο μεγαλώνει και το DOC του. Η συμπεριφορά αυτή αναμενόταν καθώς η μολόχα ως φυτό περιέχει αρκετές οργανικές ουσίες, οι οποίες ιδιαίτερα σε μεγάλες δόσεις, επιβαρύνουν περισσότερο τα οργανικά του δείγματος.

Στο Σχήμα 5.5, παριστάνεται η επίδραση της μολόχας στην απομάκρυνση της θολότητας από συνθετικό λύμα χρησιμοποιώντας παράλληλα 0.025 mM Al^{3+} για τρεις διαφορετικούς χρόνους καθίζησης (10, 20 και 30 λεπτά). Αρχικά έχουμε αύξηση στην απομάκρυνση της θολότητας μέχρι και τη δόση των 25 mg/l μολόχας. Η μέγιστη απομάκρυνση θολότητας που παρατηρείται είναι 98.1% για την δόση των 12.5 mg/l μολόχας (στα 30 λεπτά καθίζησης). Στη συνέχεια παρατηρείται πτώση στην απομάκρυνση της θολότητας και ιδιαίτερα μετά τη δόση των 70 mg/l η απομάκρυνση της θολότητας

γίνεται μικρότερη από αυτήν που υπήρχε χωρίς την χρησιμοποίηση μολόχας (68%). Με την χρησιμοποίηση μεγαλύτερης δόσης κροκιδωτικού σε σχέση με την προηγούμενη περίπτωση παρατηρείται ότι ξεκινάει η διαδικασία της κροκιδώσης και για αυτό και υπάρχουν υψηλές απομακρύνσεις θολότητας. Ο λόγος για τον οποίο η απομάκρυνση αυτή μειώνεται μετά τη δόση των 25 mg/l είναι ότι οι δόσεις της μολόχας γίνονται αρκετά μεγάλες (υπερδόσεις) και έτσι επιβαρύνεται το δείγμα με πολλές ουσίες που περιέχει η μολόχα οι οποίες ως ελαφρύτερες από το νερό τείνουν να αιωρούνται παρά να καθιζάνουν.

Στο Σχήμα 5.6, παριστάνεται η επίδραση της μολόχας στο DOC του συνθετικού λύματος χρησιμοποιώντας παράλληλα 0.025 mM Al^{3+} . Στις αρχικές δόσεις υπάρχει μια μικρή αύξηση του DOC του δείγματος ενώ μετά την δόση των 25 mg/l μολόχας το DOC αρχίζει να αυξάνει αρκετά. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην επιβάρυνση του δείγματος με επιπλέον οργανικά που περιέχονται στη μολόχα.

Με βάση τα Σχήματα 5.5 και 5.6, επιλέχθηκαν οι δύο καλύτερες δόσεις μολόχας με βάση την απομάκρυνση της θολότητας και την συμπεριφορά του DOC ώστε να μελετηθούν σε διάφορες συγκεντρώσεις Al^{3+} και να συγκριθεί η δράση τους με την δράση που έχει από μόνο του το κροκιδωτικό. Οι δόσεις αυτές ήταν 12.5 mg/l και 25 mg/l μολόχα (98.1% και 98% απομάκρυνση θολότητας αντίστοιχα και λιγότερο από 1 ppm αύξηση του DOC). Τα αποτελέσματα αυτά παρουσιάζονται στα Σχήματα 5.7 και 5.8.

Στο Σχήμα 5.7, παριστάνεται η συνεισφορά της μολόχας στην απομάκρυνση της θολότητας από συνθετικό λύμα για τρεις διαφορετικούς χρόνους καθίζησης (10, 20 και 30 λεπτά). Στο Σχήμα 5.7 α), παρατηρείται ότι με την αύξηση της δόσης του κροκιδωτικού υπάρχει αύξηση και στην απομάκρυνση θολότητας. Στη δόση 0.025 mM Al^{3+} ενώ δεν υπάρχει μεγάλη απομάκρυνση θολότητας χρησιμοποιώντας μόνο κροκιδωτικό (67.7%) με τη βοήθεια της μολόχας η απομάκρυνση αυτή αυξάνει σημαντικά (88.7% με χρήση 12.5 mg/l μολόχας και 96.4% με χρήση 25 mg/l μολόχας). Υπάρχει δηλαδή σχεδόν 30% μεγαλύτερη απομάκρυνση με την παρουσία 25 mg/l μολόχας. Στη συνέχεια, με την αύξηση της δόσης του κροκιδωτικού υπάρχει μείωση στην απομάκρυνση στις περιπτώσεις που υπάρχει μολόχα, και αύξηση της απομάκρυνσης στην περίπτωση που υπάρχει μόνο κροκιδωτικό, και σχεδόν εξισορροπούνται οι 3 περιπτώσεις (στη δόση 0.5 mM Al^{3+} έχουμε 86.6%, 82.1% και 79.8% απομακρύνσεις θολότητας για 0, 12.5 και 25 mg/l μολόχας αντίστοιχα).

Στο Σχήμα 5.7 β), όπου έχουν περάσει 20 λεπτά καθίζησης οι απομακρύνσεις θολότητας και για τις τρεις περιπτώσεις (0, 12.5 και 25 mg/l μολόχας) είναι σχεδόν ίδιες, με

εξαιρέση τη δόση 0.025 mM Al^{3+} όπου υπάρχει μια μικρή διαφορά (10% περισσότερη απομάκρυνση στην περίπτωση της χρήσης 12.5 mg/l μολόχας σε σχέση με σκέτο κροκιδωτικό).

Στο Σχήμα 5.7 γ), όπου έχουν περάσει 30 λεπτά καθίζησης οι απομακρύνσεις θολότητας και για τις τρεις περιπτώσεις (0, 12.5 και 25 mg/l μολόχας) είναι σχεδόν ίδιες, με εξαιρέση πάλι τη δόση 0.025 mM Al^{3+} όπου υπάρχει μια μικρή διαφορά (10% περισσότερη απομάκρυνση στην περίπτωση της χρήσης 12.5 mg/l μολόχας σε σχέση με σκέτο κροκιδωτικό).

Από το Σχήμα 5.7 είναι ξεκάθαρο ότι η μολόχα δεν μπορεί να λειτουργήσει ως κροκιδωτικό αφού από μόνη της δεν έχει καμία συνεισφορά στην απομάκρυνση θολότητας. Σε συνδυασμό όμως με τα άλατα αργιλίου βοηθάει πολύ στην απομάκρυνση θολότητας ειδικά στις χαμηλές δόσεις κροκιδωτικού και κυρίως στα 10 min καθίζησης όπου δεν υπάρχουν μεγάλες απομακρύνσεις από το κροκιδωτικό.

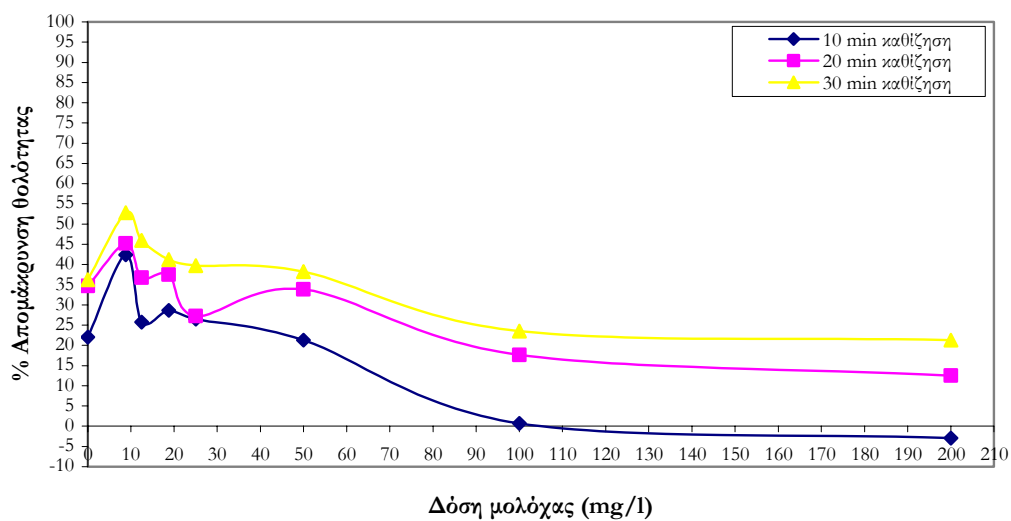
Στο Σχήμα 5.8, παριστάνεται ο τρόπος με τον οποίο επηρεάζεται το DOC του συνθετικού λύματος στις δύο δόσεις μολόχας (12.5 και 25 mg/l) και σε διάφορες δόσεις κροκιδωτικού. Στην περίπτωση που δεν χρησιμοποιείται μολόχα με την αύξηση της δόσης του κροκιδωτικού μειώνεται το DOC του δείγματος. Όταν χρησιμοποιείται μολόχα υπάρχει πάλι πτώση στο DOC του δείγματος όχι όμως ανάλογη με αυτήν που υπήρχε χωρίς μολόχα, ενώ μάλιστα μετά τη δόση 0.025 mM Al^{3+} αρχίζει να αυξάνει.

Από τα συγκεκριμένα Σχήματα (5.7, 5.8) είναι ξεκάθαρο ότι η μολόχα δεν μπορεί να λειτουργήσει ως κροκιδωτικό αφού από μόνη της δεν έχει καμία συνεισφορά στην απομάκρυνση θολότητας. Σε συνδυασμό όμως με τα άλατα αργιλίου βοηθάει πολύ στην απομάκρυνση θολότητας ειδικά στις χαμηλές δόσεις κροκιδωτικού και κυρίως στα 10 min καθίζησης όπου δεν υπάρχουν μεγάλες απομακρύνσεις από το κροκιδωτικό.

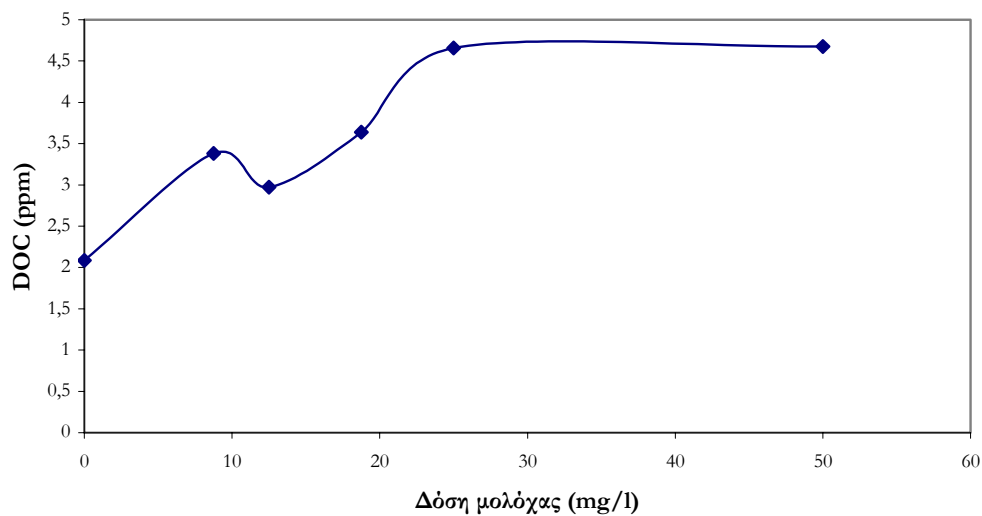
Οι καλύτερες δόσεις μολόχας, όπως προκύπτουν είναι οι δόσεις των 12.5 και 25 ppm μολόχας σε συνδυασμό με 0.025 mM Al^{3+} . Για την δόση των 12.5 ppm μολόχας υπάρχει πάνω από 20% μεγαλύτερη απομάκρυνση θολότητας στα 10 min καθίζησης από αυτήν που έχουμε χρησιμοποιώντας μόνο κροκιδωτικό, ενώ υπάρχει μόνο 0.8 ppm παραπάνω DOC. Για τη δόση των 25 ppm υπάρχει σχεδόν 30% μεγαλύτερη απομάκρυνση θολότητας στα 10 min καθίζησης από αυτήν που έχουμε χρησιμοποιώντας μόνο κροκιδωτικό, ενώ υπάρχει 1.8 ppm παραπάνω DOC. Ταυτόχρονα δεν υπάρχει

αξιοσημείωτη μεταβολή του pH του δείγματος σε αυτές τις δόσεις (τιμές pH 6 - 6.5 ενώ το αρχικό pH του συνθετικού λύματος ήταν 5.9).

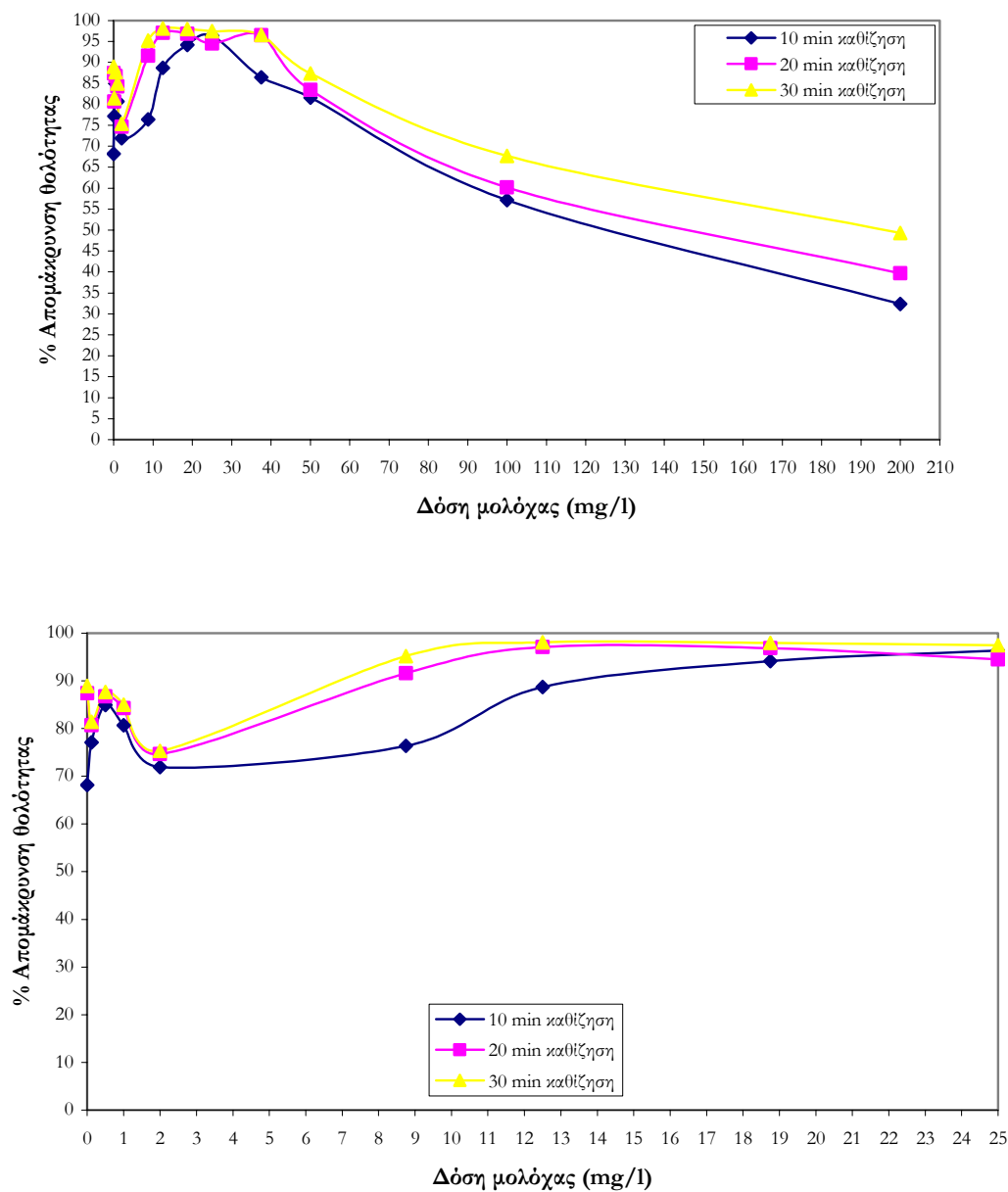
Πιο συγκεκριμένα, με τη χρησιμοποίηση 25 ppm μολόχας σε συνδυασμό με 0.025 mM Al^{3+} έχουμε μεγαλύτερη απομάκρυνση θολότητας από ότι έχουμε αν χρησιμοποιήσουμε μόνο κροκιδωτικό σε δεκαπλάσια συγκέντρωση στα 10 λεπτά καθίζησης. Για να επιτευχθεί η ίδια απομάκρυνση θολότητας χρησιμοποιώντας μόνο κροκιδωτικό θα πρέπει να χρησιμοποιήσουμε τετραπλάσια συγκέντρωση Al^{3+} και να αυξήσουμε τον χρόνο καθίζησης στα 30 λεπτά.



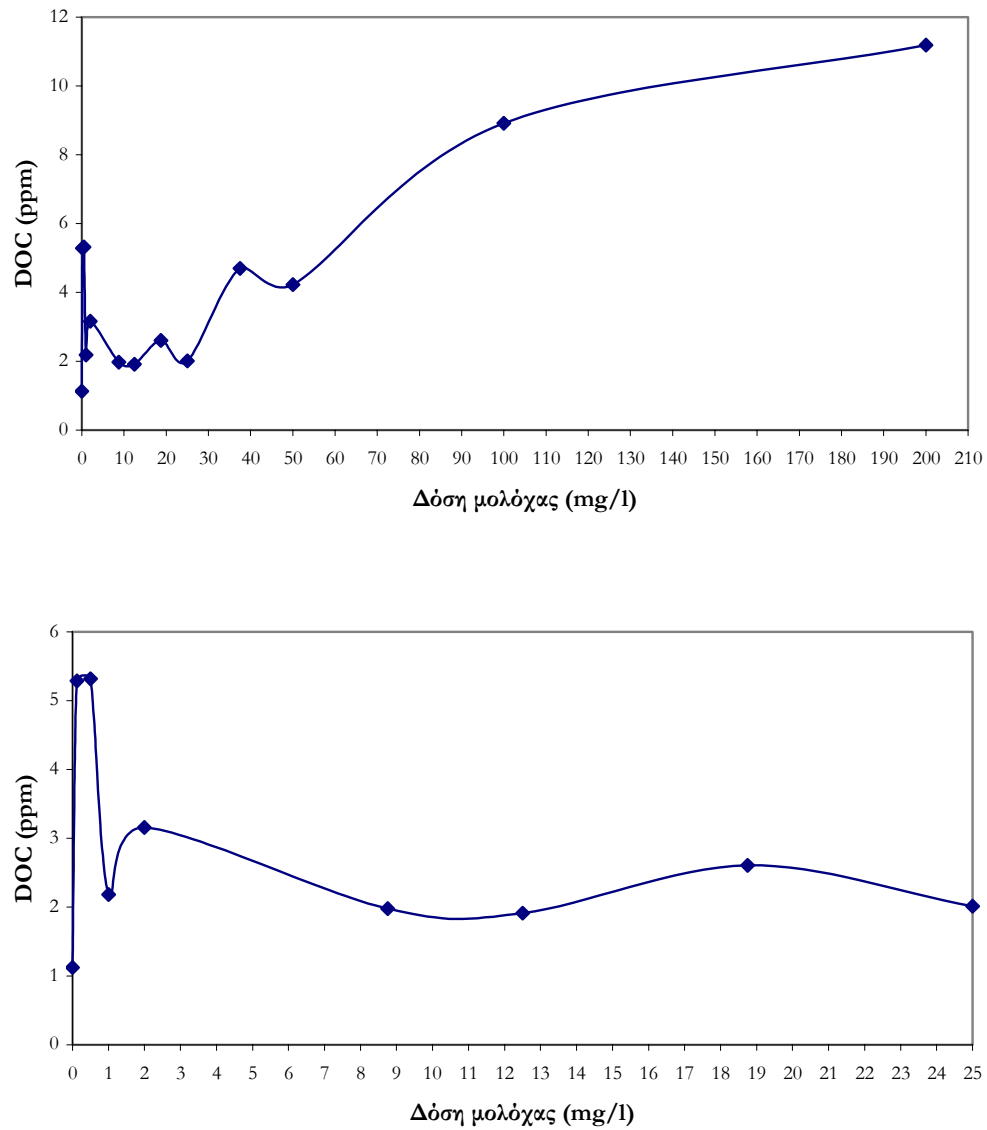
Σχήμα 5.3. Σχέση απομάκρυνσης θολότητας με συγκέντρωση μολύβδου σε συνθετικό λύμα με προσθήκη 0.01 mM Al^{3+} .



Σχήμα 5.4. Σχέση DOC με συγκέντρωση μολύβδου σε συνθετικό λύμα με προσθήκη 0.01 mM Al^{3+} .

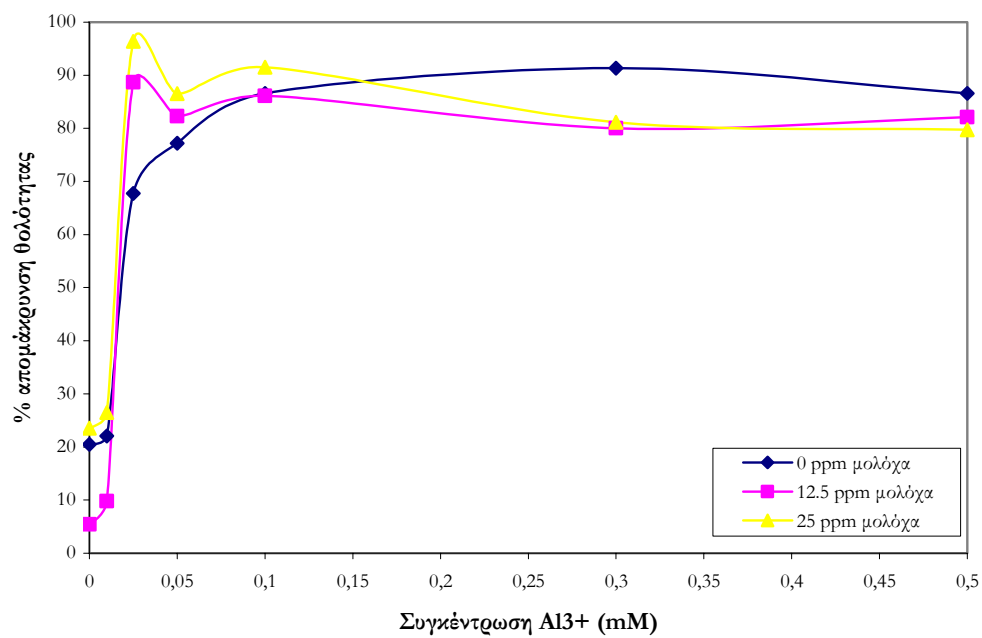


Σχήμα 5.5. Σχέση απομάκρυνσης θολότητας με συγκέντρωση μολύχας σε συνθετικό λύμα με προσθήκη 0.025 mM Al^{3+} .

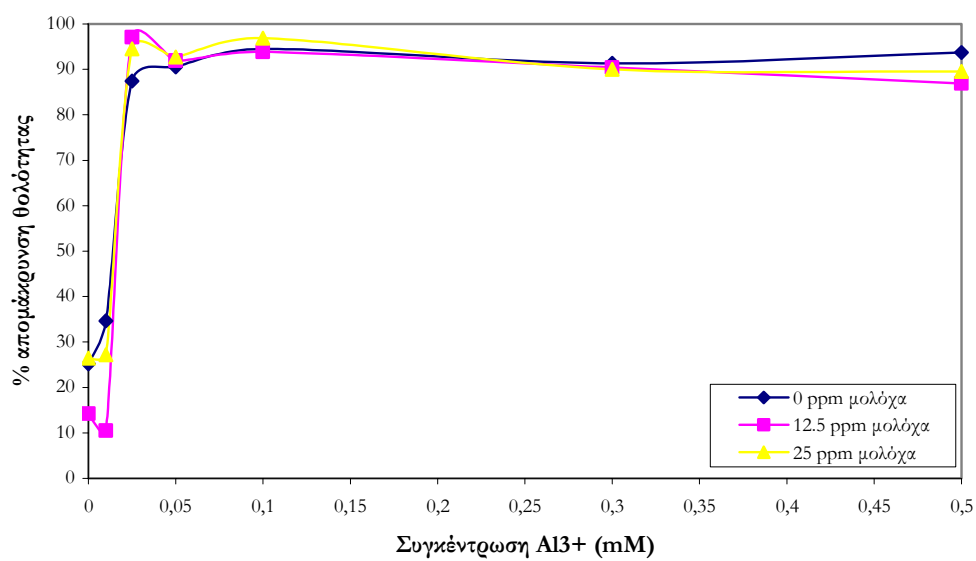


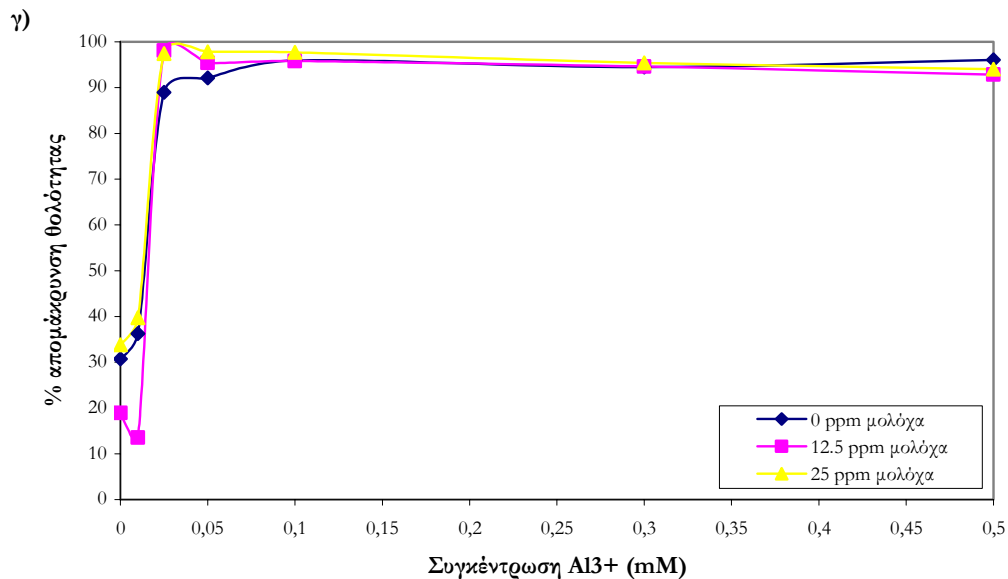
Σχήμα 5.6. Σχέση DOC με συγκέντρωση μολύβδου σε συνθετικό λύμα με προσθήκη 0.025 mM Al^{3+}

α)

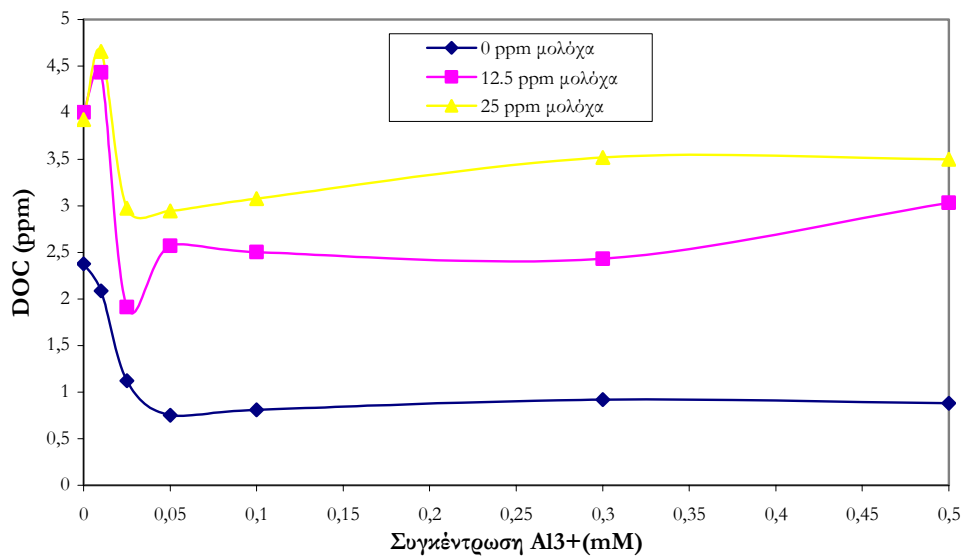


β)





Σχήμα 5.7 Συσχέτιση δράσης μολόχας μαζί με Al^{3+} και σκέτου Al^{3+} στην απομάκρυνση θολότητας σε συνθετικό λύμα : α) 10 min καθίζηση, β) 20 min καθίζηση, γ) 30 min καθίζηση.



Σχήμα 5.8. Συσχέτιση δράσης μολόχας μαζί με Al^{3+} και σκέτου Al^{3+} στο DOC του συνθετικού λύματος.

5.1.3 Αποτελέσματα μπάμιας

Όσον αφορά στην περίπτωση της μπάμιας ακολουθήθηκε ακριβώς η ίδια διαδικασία.

Αρχικά μελετήθηκε η επίδραση της μπάμιας στις ίδιες συγκεντρώσεις κροκιδωτικού που μελετήθηκε και η μολόχα (0.01 και 0.025 mM Al^{3+}). Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στα Σχήματα 5.9, 5.10, 5.11 και 5.12.

Στο Σχήμα 5.9, παριστάνεται η επίδραση της μπάμιας στην απομάκρυνση της θολότητας από συνθετικό λύμα χρησιμοποιώντας παράλληλα 0.01 mM Al^{3+} για τρεις διαφορετικούς χρόνους καθίζησης (10, 20 και 30 λεπτά). Αρχικά, παρατηρείται αύξηση στην απομάκρυνση της θολότητας στις μικρές δόσεις (μέχρι και τη δόση 1 mg/l μπάμια) και για τους τρεις χρόνους καθίζησης. Στη συνέχεια μέχρι και τη δόση 5 mg/l μπάμια το διάλυμα θολώνει, ενώ από τα 5 mg/l μέχρι τα 12.5 mg/l μπάμιας παρατηρείται πάλι αύξηση στην απομάκρυνση της θολότητας. Από εκεί και έπειτα το διάλυμα θολώνει αρκετά και μάλιστα σε αρκετές περιπτώσεις ξεπερνά την αρχική θολότητα του δείγματος μας με αποτέλεσμα να παρουσιάζονται αρνητικές απομακρύνσεις θολότητας. Το γεγονός ότι δεν υπάρχει υψηλή απομάκρυνση θολότητας οφείλεται στο γεγονός ότι χρησιμοποιώντας 0.01 mM Al^{3+} δεν ξεινάζει η κροκιδωση καθώς είναι αρκετά μικρή δόση κροκιδωτικού (όπως φαίνεται και από το Σχήμα 5.1). Η πτώση της απομάκρυνσης της θολότητας κάτω από τα αρχικά επίπεδα μετά τη δόση των 18 mg/l μπάμιας, συμβαίνει επειδή οι δόσεις είναι αρκετά μεγάλες και έτσι επιβαρύνεται το δείγμα με πολλές ουσίες που περιέχει η μπάμια οι οποίες ως ελαφρύτερες από το νερό τείνουν να αιωρούνται παρά να καθιζάνουν.

Στο Σχήμα 5.10, παριστάνεται η επίδραση της μπάμιας στο DOC του συνθετικού λύματος χρησιμοποιώντας παράλληλα 0.01 mM Al^{3+} . Με την προσθήκη της μπάμιας παρατηρείται αύξηση στο DOC του δείγματος, ενώ σε μεγάλες δόσεις (πάνω από 20 mg/l μπάμια) υπάρχει μια θεαματική αύξηση στο DOC που φτάνει μέχρι και τα 19 ppm για τη δόση των 100 mg/l μπάμια. Η συμπεριφορά αυτή αναμενόταν καθώς η μπάμια ως φυτό περιέχει αρκετές οργανικές ουσίες, οι οποίες ιδιαίτερα σε μεγάλες δόσεις, επιβαρύνουν περισσότερο τα οργανικά του δείγματος.

Στο Σχήμα 5.11, παριστάνεται η επίδραση της μπάμιας στην απομάκρυνση της θολότητας από συνθετικό λύμα χρησιμοποιώντας παράλληλα 0.025 mM Al^{3+} για τρεις διαφορετικούς χρόνους καθίζησης (10, 20 και 30 λεπτά). Αρχικά παρατηρείται αύξηση στην απομάκρυνση θολότητας στις μικρές δόσεις με εξαίρεση μια μικρή πτώση στη δόση του 1

mg/l μπάμιας. Στη συνέχεια η απομάκρυνση επανέρχεται σε υψηλά επίπεδα (πάνω από 90%) μέχρι και τη δόση των 37.5 mg/l μπάμιας, όπου από εκεί και έπειτα η απομάκρυνση αρχίζει να μειώνεται. Η μεγαλύτερη απομάκρυνση παρατηρείται στις δόσεις των 0.5, 2.5 και 5 mg/l μπάμιας (97%, για 30 λεπτά καθίζησης). Με την χρησιμοποίηση μεγαλύτερης δόσης κροκιδωτικού σε σχέση με την προηγούμενη περίπτωση παρατηρείται ότι ξεινώνει η διαδικασία της κροκιδώσης και για αυτό και υπάρχουν υψηλές απομακρύνσεις θολότητας. Ο λόγος για τον οποίο η απομάκρυνση αυτή μειώνεται μετά τη δόση των 37.5 mg/l είναι ότι οι δόσεις της μπάμιας γίνονται αρκετά μεγάλες (υπερδόσεις) και έτσι επιβαρύνεται το δείγμα με πολλές ουσίες που περιέχει η μολόχα οι οποίες ως ελαφρύτερες από το νερό τείνουν να αιωρούνται παρά να καθιζάνουν.

Στο Σχήμα 5.12, παριστάνεται η επίδραση της μπάμιας στο DOC του συνθετικού λύματος χρησιμοποιώντας παράλληλα 0.025 mM Al^{3+} . Στις αρχικές δόσεις υπάρχει μια μικρή αύξηση του DOC του δείγματος ενώ μετά την δόση του 1 mg/l μπάμιας το DOC αρχίζει να αυξάνει αρκετά. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην επιβάρυνση του δείγματος με επιπλέον οργανικά που περιέχονται στη μπάμια.

Στη δόση της μπάμιας που έχουμε την μεγαλύτερη απομάκρυνση θολότητας (5 mg/l, 97.3% στα 30 λεπτά καθίζησης) έχουμε αύξηση του DOC κατά 2 ppm και για αυτό επιλέχθηκαν αν μελετηθούν περαιτέρω, οι δόσεις των 0.25 και 0.5 ppm μπάμιας στις οποίες έχουμε απομάκρυνση θολότητας 96.3% και 96.9% αντίστοιχα, ενώ το DOC αυξάνεται λιγότερο από 0.5 ppm για αυτές τις δόσεις. Τα αποτελέσματα αυτά παρουσιάζονται στα Σχήματα 5.13 και 5.14.

Στο Σχήμα 5.13, παριστάνεται η συνεισφορά της μπάμιας στην απομάκρυνση της θολότητας από συνθετικό λύμα για τρεις διαφορετικούς χρόνους καθίζησης (10, 20 και 30 λεπτά). Στο Σχήμα 5.13 α), παρατηρείται ότι με την αύξηση της δόσης του κροκιδωτικού υπάρχει αύξηση και στην απομάκρυνση θολότητας. Στη δόση 0.025 mM Al^{3+} ενώ δεν υπάρχει μεγάλη απομάκρυνση θολότητας χρησιμοποιώντας μόνο κροκιδωτικό (67.7%) με τη βοήθεια της μπάμιας η απομάκρυνση αυτή αυξάνει σημαντικά (87.5% με χρήση 0.25 mg/l μπάμιας και 86.7% με χρήση 0.5 mg/l μπάμιας). Υπάρχει δηλαδή σχεδόν 20% μεγαλύτερη απομάκρυνση με την παρουσία των συγκεκριμένων δόσεων μπάμιας. Στη συνέχεια, με την αύξηση της δόσης του κροκιδωτικού υπάρχει μείωση στην απομάκρυνση στις περιπτώσεις που υπάρχει μπάμια, και αύξηση της απομάκρυνσης στην περίπτωση που υπάρχει μόνο κροκιδωτικό, και σχεδόν εξισορροπούνται οι 3 περιπτώσεις (στη δόση 0.5

mM Al^{3+} έχουμε 86.6%, 85.5% και 91.5% απομακρύνσεις θολότητας για 0, 0.25 και 0.5 mg/l μπάμιας αντίστοιχα).

Στο Σχήμα 5.13 β), όπου έχουν περάσει 20 λεπτά καθίζησης οι απομακρύνσεις θολότητας και για τις τρεις περιπτώσεις (0, 0.25 και 0.5 mg/l μπάμιας) είναι σχεδόν ίδιες, με εξαίρεση τις δόσεις 0.025 και 0.3 mM Al^{3+} όπου υπάρχει μια μικρή διαφορά (σχεδόν 10% περισσότερη απομάκρυνση στην περίπτωση της χρήσης 0.5 mg/l μπάμιας σε σχέση με σκέτο κροκιδωτικό).

Στο Σχήμα 5.13 γ), όπου έχουν περάσει 30 λεπτά καθίζησης οι απομακρύνσεις θολότητας και για τις τρεις περιπτώσεις (0, 0.25 και 0.5 mg/l μπάμιας) είναι σχεδόν ίδιες, με εξαίρεση τη δόση 0.025 mM Al^{3+} όπου υπάρχει μια μικρή διαφορά (σχεδόν 10% περισσότερη απομάκρυνση στην περίπτωση της χρήσης 0.25 και 0.5 mg/l μπάμιας σε σχέση με σκέτο κροκιδωτικό).

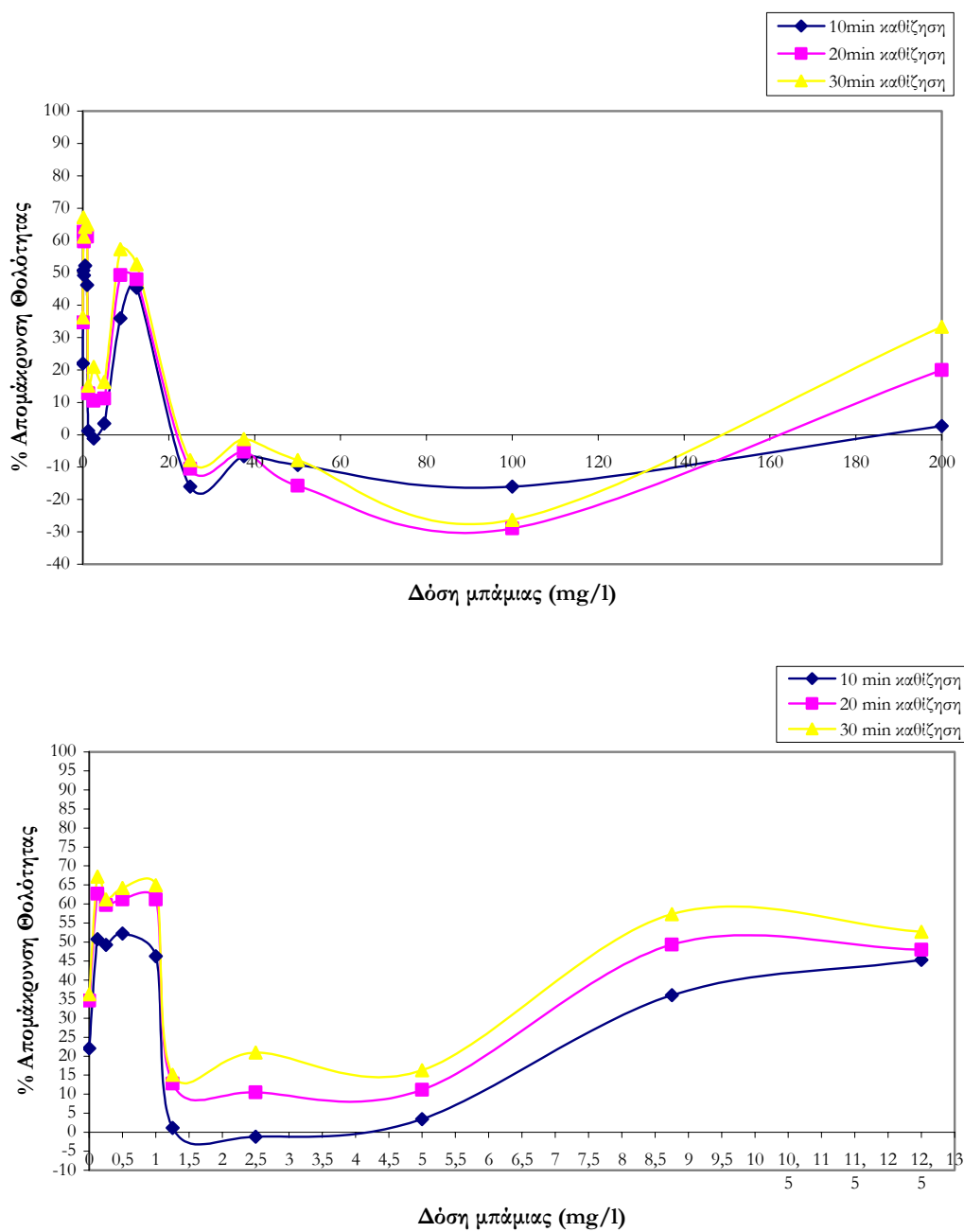
Στο Σχήμα 5.14, παριστάνεται ο τρόπος με τον οποίο επηρεάζεται το DOC του συνθετικού λύματος στις δύο δόσεις μπάμιας (0.25 και 0.5 mg/l) και σε διάφορες δόσεις κροκιδωτικού. Στην περίπτωση που δεν χρησιμοποιείται μπάμια με την αύξηση της δόσης του κροκιδωτικού μειώνεται το DOC του δείγματος. Όταν χρησιμοποιείται μπάμια αυξάνεται το αρχικό DOC του δείγματος ενώ μετά την δόση 0.01 mM Al^{3+} αρχίζει να μειώνεται αρκετά και να φτάνει σε επίπεδα παρόμοια με αυτά που υπήρχαν χωρίς τη χρήση μπάμιας (στη δόση 0.025 mM Al^{3+} υπάρχει 1.1 ppm DOC χωρίς τη χρήση μπάμιας και 1.6 ppm DOC με χρήση 0.5 mg/l μπάμια).

Από τα συγκεκριμένα Σχήματα (5.13, 5.14) είναι ξεκάθαρο ότι η μπάμια δεν μπορεί να λειτουργήσει ως κροκιδωτικό αφού από μόνη της δεν έχει καμία συνεισφορά στην απομάκρυνση θολότητας. Σε συνδυασμό όμως με τα άλατα αργιλίου βοηθάει πολύ στην απομάκρυνση θολότητας ειδικά στις χαμηλές δόσεις κροκιδωτικού και κυρίως στα 10 min καθίζησης όπου δεν υπάρχουν μεγάλες απομακρύνσεις από το κροκιδωτικό.

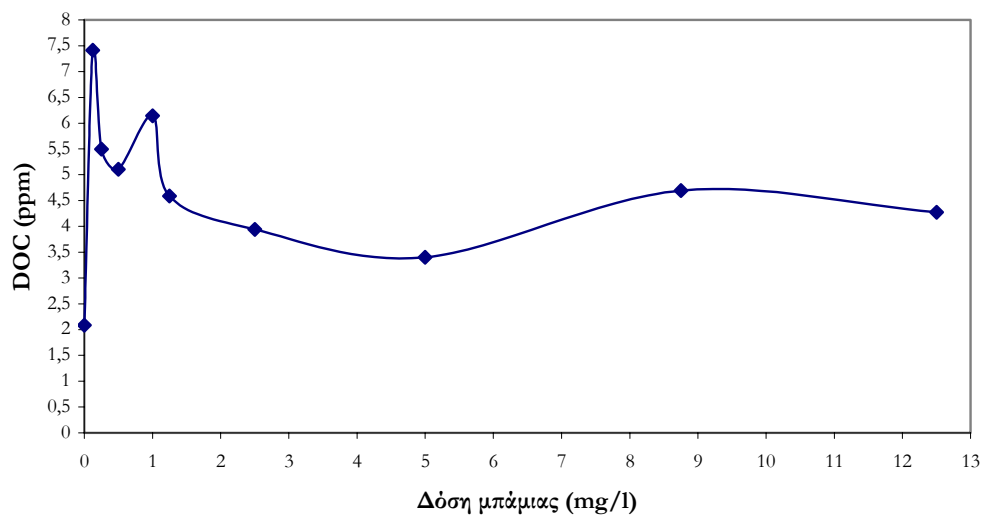
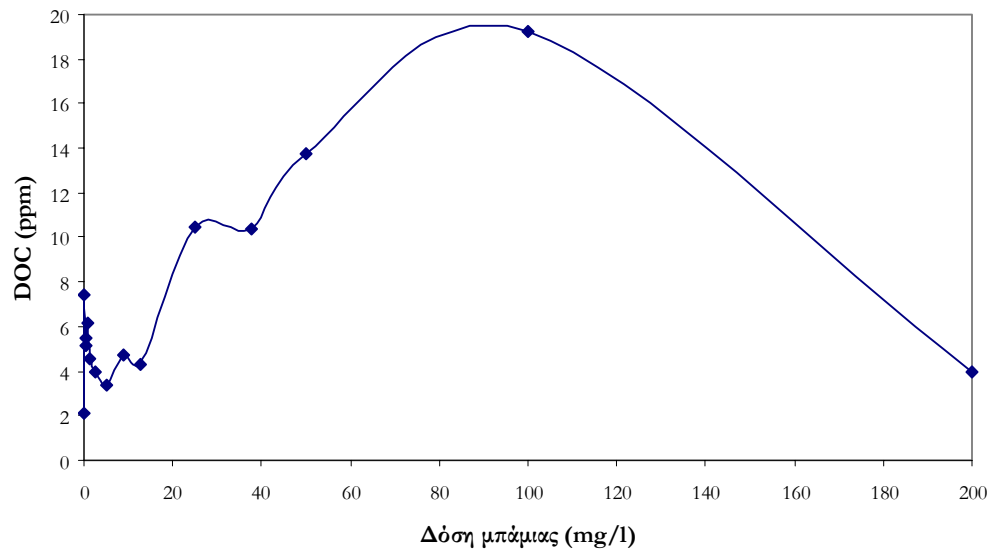
Οι καλύτερες δόσεις για τη μπάμια όπως προκύπτουν, είναι οι δόσεις των 0.25 και 0.5 ppm μπάμιας σε συνδυασμό με 0.025 mM Al^{3+} . Για την δόση των 0.25 ppm μπάμιας υπάρχει περίπου 20% μεγαλύτερη απομάκρυνση θολότητας στα 10 min καθίζησης από αυτήν που έχουμε χρησιμοποιώντας μόνο κροκιδωτικό, ενώ υπάρχει μόνο 0.5 ppm παραπάνω DOC. Για τη δόση των 0.5 ppm υπάρχει σχεδόν 20% μεγαλύτερη απομάκρυνση θολότητας στα 10 min καθίζησης από αυτήν που έχουμε χρησιμοποιώντας μόνο κροκιδωτικό, ενώ υπάρχει μόλις 0.4 ppm παραπάνω DOC. Ταυτόχρονα δεν υπάρχει

αξιοσημείωτη μεταβολή του pH του δείγματος σε αυτές τις δόσεις (τιμές pH 6 - 6.2 ενώ το αρχικό pH του συνθετικού λύματος ήταν 5.9).

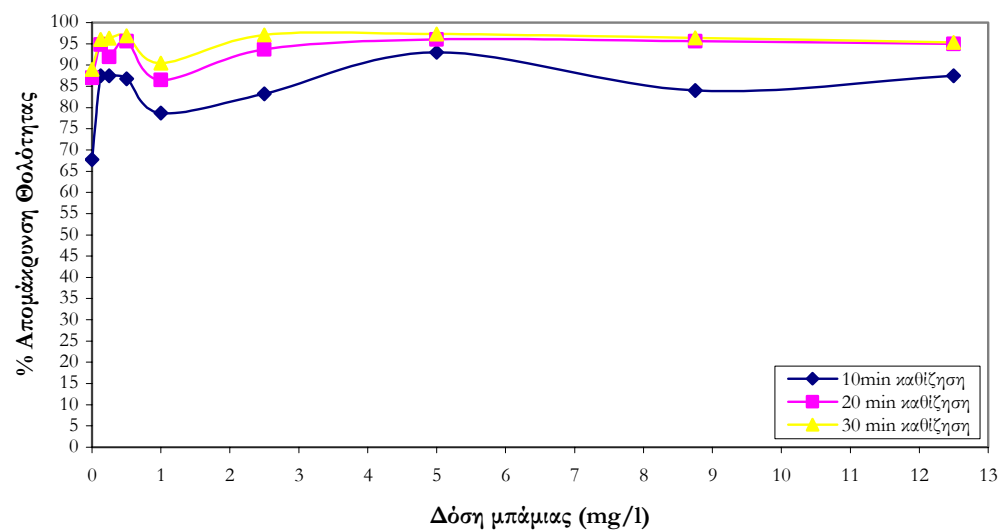
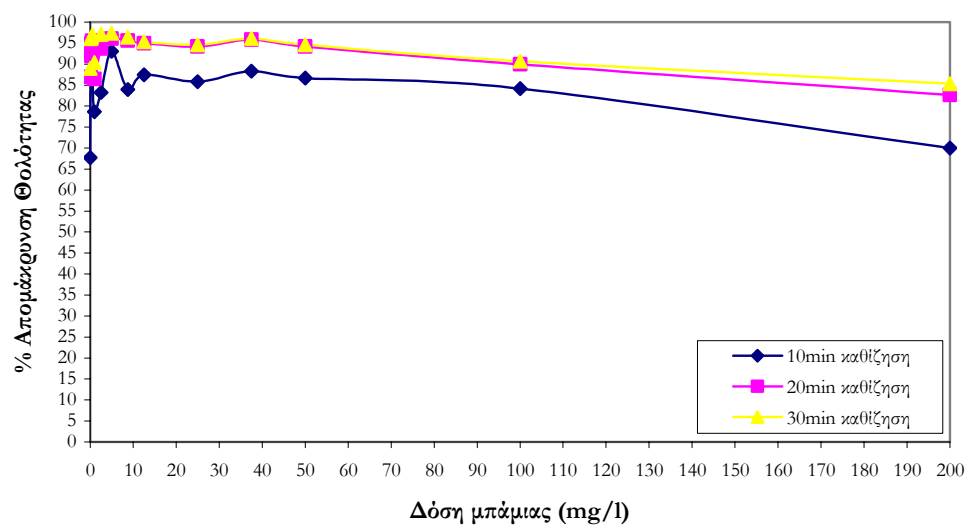
Πιο συγκεκριμένα, με τη χρησιμοποίηση 0.5 ppm μπάμιας σε συνδυασμό με 0.025 mM Al^{3+} έχουμε μεγαλύτερη απομάκρυνση θολότητας από ότι έχουμε αν χρησιμοποιήσουμε μόνο κροκιδωτικό σε τετραπλάσια συγκέντρωση στα 10 λεπτά καθίζησης.



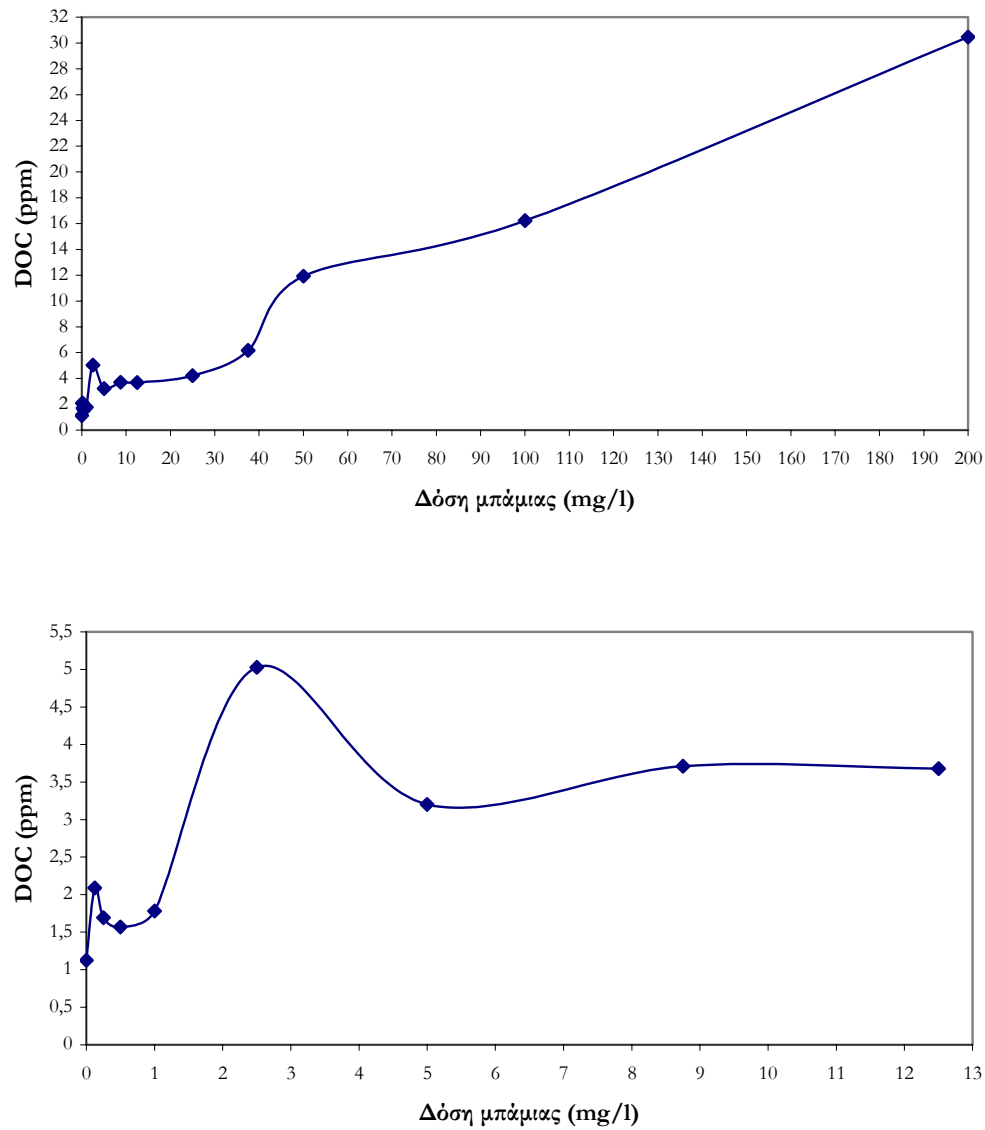
Σχήμα 5.9. Σχέση απομάκρυνσης θολότητας με συγκέντρωση μπάμιας σε συνθετικό λύμα με προσθήκη 0.01 mM Al^{3+} .



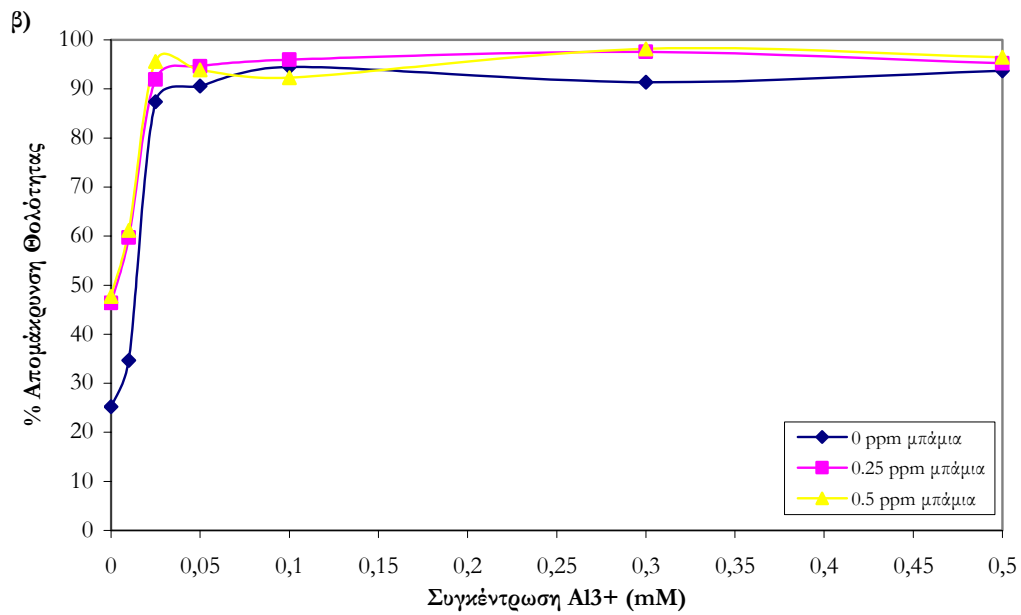
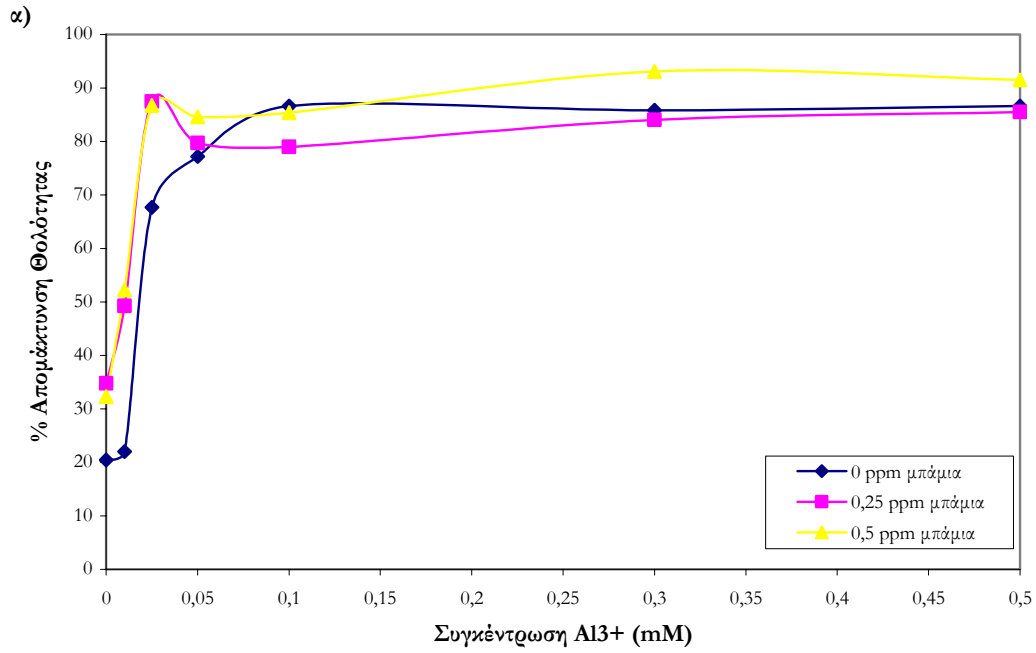
Σχήμα 5.10. Σχέση DOC με συγκέντρωση μπάμιας σε συνθετικό λύμα με προσθήκη 0.01 mM Al^{3+} .

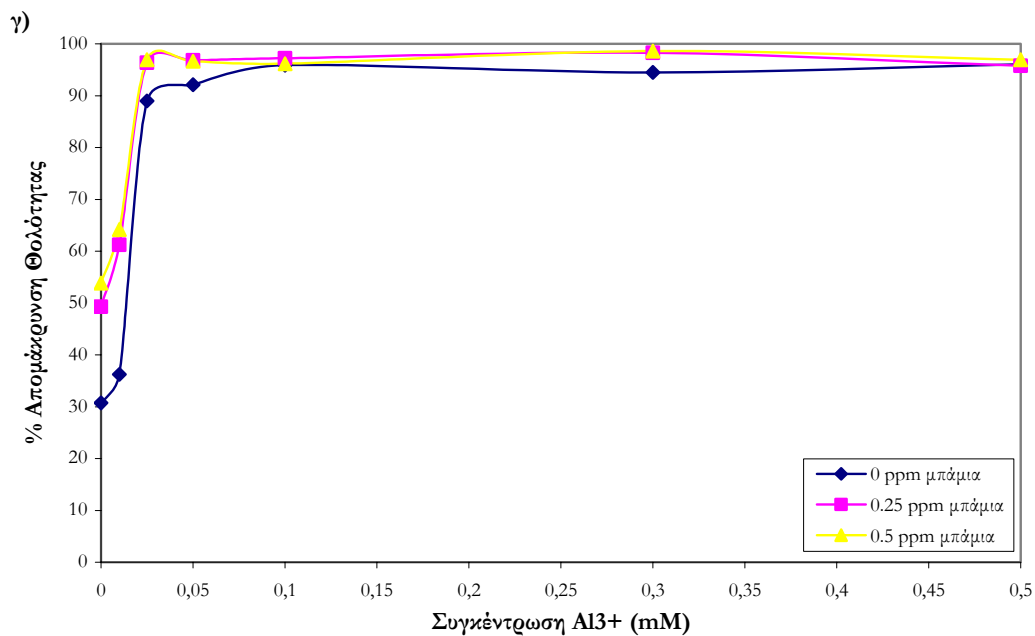


Σχήμα 5.11. Σχέση απομάκρυνσης θολότητας με συγκέντρωση μπάμιας σε συνθετικό λύμα με προσθήκη 0.025 mM Al^{3+} .

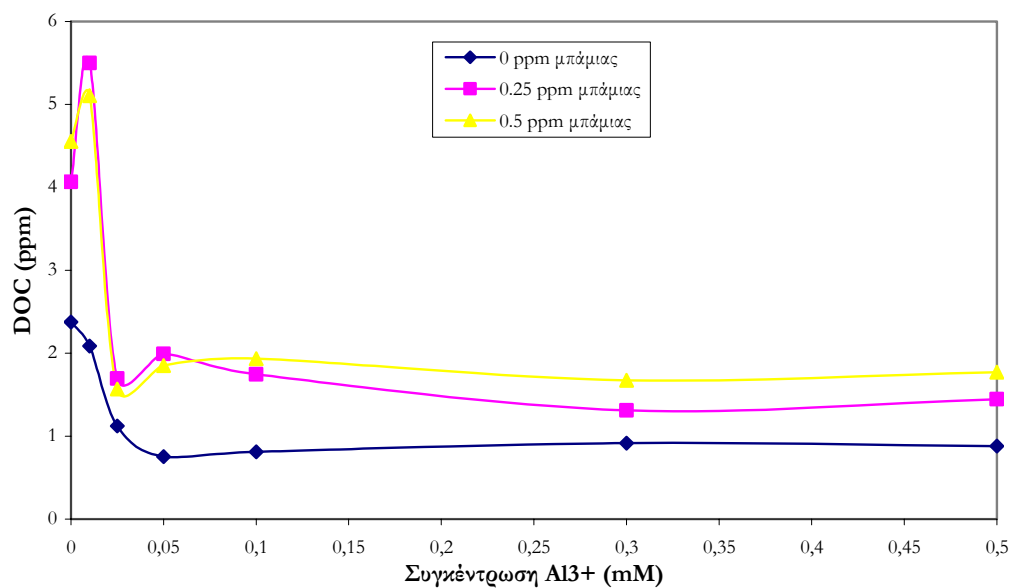


Σχήμα 5.12. Σχέση DOC με συγκέντρωση $μπάμιας$ σε συνθετικό λύμα με προσθήκη 0.025 mM Al^{3+} .





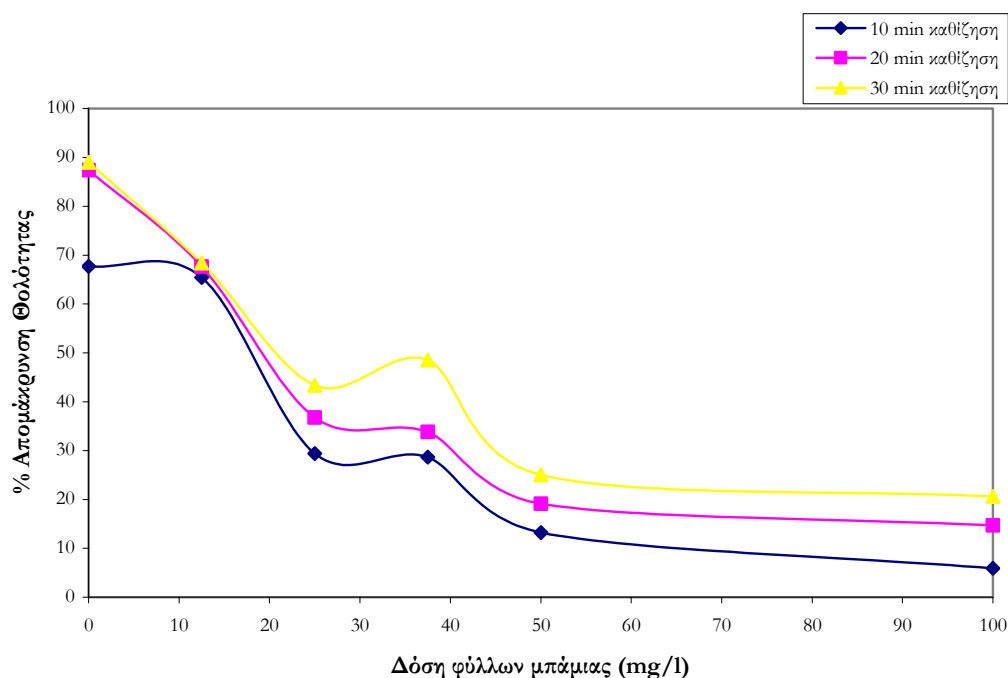
Σχήμα 5.13. Συσχέτιση δράσης μπάμιας μαζί με Al^{3+} και σιέτου Al^{3+} στην απομάκρυνση θολότητας σε συνθετικό λύμα : α) 10 min καθίζηση, β) 20 min καθίζηση, γ) 30 min καθίζηση.



Σχήμα 5.14. Συσχέτιση δράσης μπάμιας μαζί με Al^{3+} και σιέτου Al^{3+} στο DOC του συνθετικού λύματος.

5.1.4 Αποτελέσματα φύλλων μπάμιας

Η επίδραση των διάφορων δόσεων φύλλων μπάμιας σε συνδυασμό με την προσθήκη 0.5 mM Al^{3+} παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.15. Στο σχήμα αυτό παρατηρείται ότι με την προσθήκη φύλλων μπάμιας το δείγμα θολώνει, ενώ όσο αυξάνεται η δόση των φύλλων μπάμιας τόσο περισσότερο μειώνεται η απομάκρυνση θολότητας και τόσο περισσότερο θολώνει το δείγμα. Προφανώς τα φύλλα της μπάμιας δεν έχουν καμία κροκιδωτική ή συσσωματωτική ιδιότητα και για αυτό δεν επιχειρήθηκε περαιτέρω μελέτη τους.



Σχήμα 5.15. Επίδραση διάφορων δόσεων φύλλων μπάμιας σε συνθετικό λύμα με προσθήκη 0.5 mM Al^{3+} .

5.2 Αποτελέσματα λύματος

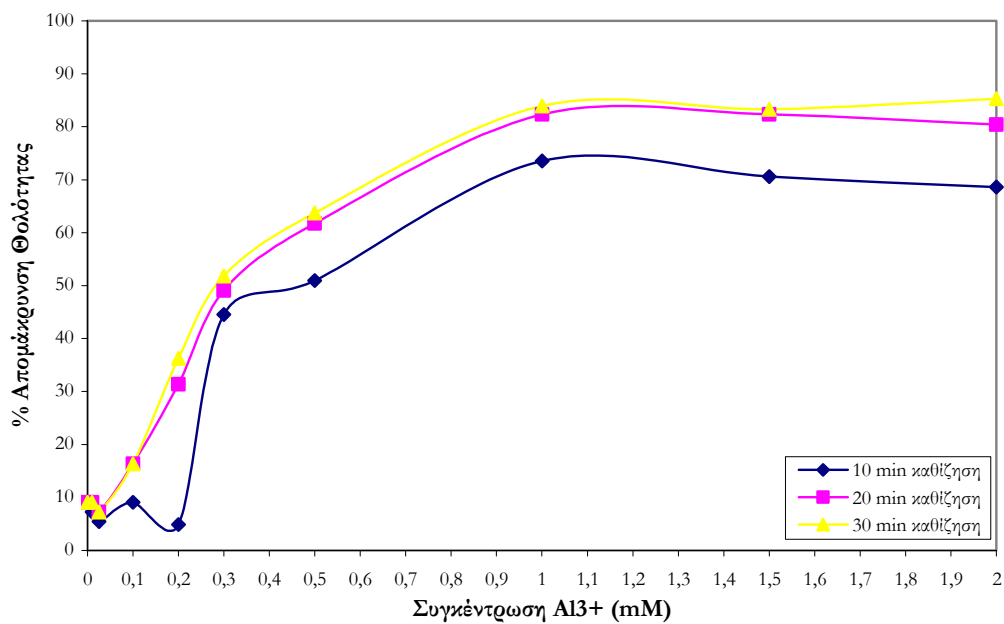
5.2.1 Αποτελέσματα κροκιδωτικού

Αρχικά έγιναν πειράματα για να δούμε την επίδραση του κροκιδωτικού (άλατα αργιλίου) σε λύμα. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στα Σχήματα 5.16 και 5.17.

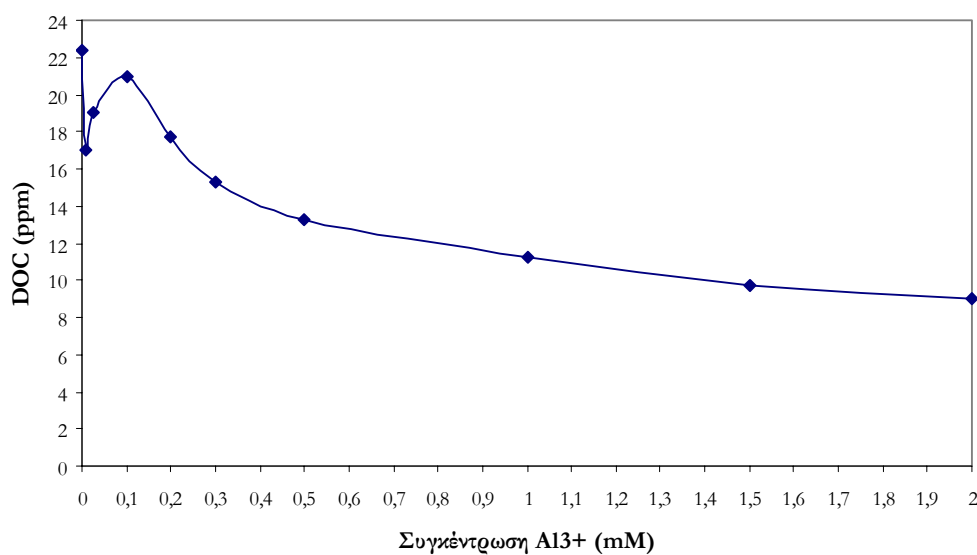
Στο Σχήμα 5.16 παριστάνεται η επίδραση του κροκιδωτικού στην απομάκρυνση θολότητας του λύματος για τρεις διαφορετικούς χρόνους καθίζησης (10, 20 και 30 λεπτά). Στις αρχικές δόσεις Al^{3+} δεν παρατηρείται αύξηση της απομάκρυνσης θολότητας (δεν έχει ξεκινήσει η κροκίδωση) μέχρι και τη δόση των 0.1 mM Al^{3+} , ενώ στη συνέχεια παρατηρείται αύξηση της απομάκρυνσης μέχρι την δόση 1 mM Al^{3+} που από εκεί και έπειτα υπάρχει σταθεροποίηση στην απομάκρυνση. Αυτή η συμπεριφορά υπάρχει και για τους τρεις χρόνους καθίζησης, ενώ όσο μεγαλύτερος είναι ο χρόνος καθίζησης σε τόσο μεγαλύτερα επίπεδα φτάνει η απομάκρυνση θολότητας. Η μεγαλύτερη απομάκρυνση στη θολότητα που επιτυγχάνεται είναι 85.2% με την χρησιμοποίηση 2 mM Al^{3+} και έπειτα από 30 λεπτά καθίζησης.

Στο Σχήμα 5.17 παριστάνεται η επίδραση του κροκιδωτικού στο DOC του λύματος. Όσο αυξάνεται η δόση του κροκιδωτικού τόσο μειώνεται το DOC του δείγματος, γεγονός το οποίο αναμενόταν.

Προκειμένου να μελετηθεί η επίδραση των φυτών στην κροκίδωση, επιλέχθηκε μια δόση χαμηλής συγκέντρωσης Al^{3+} στην οποία δεν υπάρχει αρκετά μεγάλη απομάκρυνση θολότητας, όχι όμως πάρα πολύ μικρή απομάκρυνση καθώς από ότι είδαμε στο συνθετικό λύμα δεν δουλεύει και τόσο καλά.



Σχήμα 5.16. Επίδραση διάφορων δόσεων Al^{3+} στην απομάκρυνση θολότητας του λύματος



Σχήμα 5.17. Σχέση DOC με συγκέντρωση Al^{3+} σε λύμα.

5.2.2 Αποτελέσματα μολόχας

Η συγκέντρωση Al^{3+} η οποία επιλέχθηκε δεν έδινε αρκετή απομάκρυνση θολότητας (συγκεκριμένα η δόση των 0.5 mM Al^{3+} , 63.7% απομάκρυνση στα 30 λεπτά καθίζησης), και σε αυτήν τη συγκέντρωση δοκιμάσθηκαν διάφορες δόσεις μολόχας, ώστε να δούμε αν η μολόχα βοηθάει την διαδικασία της κροοίδωσης. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στα Σχήματα 5.18 και 5.19.

Στο Σχήμα 5.18, παριστάνεται η επίδραση της μολόχας στην απομάκρυνση της θολότητας από λύμα χρησιμοποιώντας παράλληλα 0.5 mM Al^{3+} για τρεις διαφορετικούς χρόνους καθίζησης (10, 20 και 30 λεπτά). Αρχικά, παρατηρείται μια μικρή αύξηση στην απομάκρυνση της θολότητας μέχρι και τη δόση των 75 mg/l μολόχας και για τους τρεις χρόνους καθίζησης. Στη συνέχεια όσο αυξάνεται η δόση μολόχας τόσο μειώνεται η απομάκρυνση θολότητας. Αυτό συμβαίνει γιατί οι δόσεις είναι αρκετά μεγάλες και έτσι επιβαρύνεται το δείγμα με πολλές ουσίες που περιέχει η μολόχα οι οποίες ως ελαφρύτερες από το νερό τείνουν να αιωρούνται παρά να καθιζάνουν. Όπως είναι εμφανές από το σχήμα αυτό, η προσθήκη της μολόχας δεν βοηθάει όπως θα αναμέναμε (με βάση την συμπεριφορά που είχε στο συνθετικό λύμα) την απομάκρυνση θολότητας καθώς οι απομακρύνσεις είναι αρκετά χαμηλές.

Στο Σχήμα 5.19, παριστάνεται η επίδραση της μολόχας στο DOC του λύματος χρησιμοποιώντας παράλληλα 0.5 mM Al^{3+} . Με την προσθήκη της μολόχας παρατηρείται αύξηση στο DOC του δείγματος, ενώ σε μεγάλες δόσεις (πάνω από 100 mg/l μολόχα) υπάρχει μια θεαματική αύξηση στο DOC που φτάνει μέχρι και τα 27.7 ppm για τη δόση των 200 mg/l μολόχας. Η συμπεριφορά αυτή αναμενόταν καθώς η μολόχα ως φυτό περιέχει αρκετές οργανικές ουσίες, οι οποίες ιδιαίτερα σε μεγάλες δόσεις, επιβαρύνουν περισσότερο τα οργανικά του δείγματος.

Από τις διάφορες δόσεις μολόχας που δοκιμάσαμε επιλέξαμε ως καλύτερη με βάση την απομάκρυνση θολότητας και το DOC, αυτή των 75 ppm (3% μεγαλύτερη απομάκρυνση και 4.5 ppm περισσότερο DOC) για περαιτέρω μελέτη και σύγκριση με τα αποτελέσματα χωρίς μολόχα. Τα αποτελέσματα αυτά παρουσιάζονται στα Σχήματα 5.20 και 5.21.

Στο Σχήμα 5.20, παριστάνεται η συνεισφορά της μολόχας στην απομάκρυνση της θολότητας από λύμα για τρεις διαφορετικούς χρόνους καθίζησης (10, 20 και 30 λεπτά). Στο

Σχήμα 5.20 α), παρατηρείται ότι με την αύξηση της δόσης του κροκιδωτικού υπάρχει αύξηση και στην απομάκρυνση θολότητας. Στην περίπτωση που υπάρχει και μολόχα το δείγμα θολώνει περισσότερο από ότι αρχικά αλλά καθώς αυξάνεται η δόση του κροκιδωτικού αυξάνεται και η απομάκρυνση θολότητας. Μάλιστα μετά τη δόση των 0.4 mM Al^{3+} η απομάκρυνση της θολότητας είναι μεγαλύτερη με την χρήση της μολόχας. Η μεγαλύτερη συνεισφορά της μολόχας είναι για την δόση των 0.5 mM Al^{3+} όπου υπάρχει 11% περισσότερη απομάκρυνση με τη χρήση της. Στη συνέχεια παρατηρείται μια σταθεροποίηση στην απομάκρυνση στην περίπτωση που χρησιμοποιούμε μολόχα μαζί με κροκιδωτικό, ενώ στην περίπτωση που χρησιμοποιούμε μόνο κροκιδωτικό η απομάκρυνση συνεχίζει να αυξάνει. Η τάση του συγκεκριμένου σχήματος αναμενόταν καθώς αρχικά με την προσθήκη μολόχας επιβαρύνουμε το δείγμα με επιπλέον οργανικά που περιέχει η μολόχα και για αυτό παρουσιάζονται αρνητικές απομακρύνσεις θολότητας. Στη συνέχεια με την έναρξη της κροκιδωσης το δείγμα αρχίζει να καθαρίζει.

Στο Σχήμα 5.20 β), όπου έχουν περάσει 20 λεπτά καθίζησης παρατηρείται η ίδια ακριβώς τάση με την μόνη διαφορά ότι στη δόση των 0.5 mM Al^{3+} η διαφορά στην απομάκρυνση μεταξύ μολόχας και κροκιδωτικού και κροκιδωτικού σκέτου είναι πολύ μικρότερη (4%).

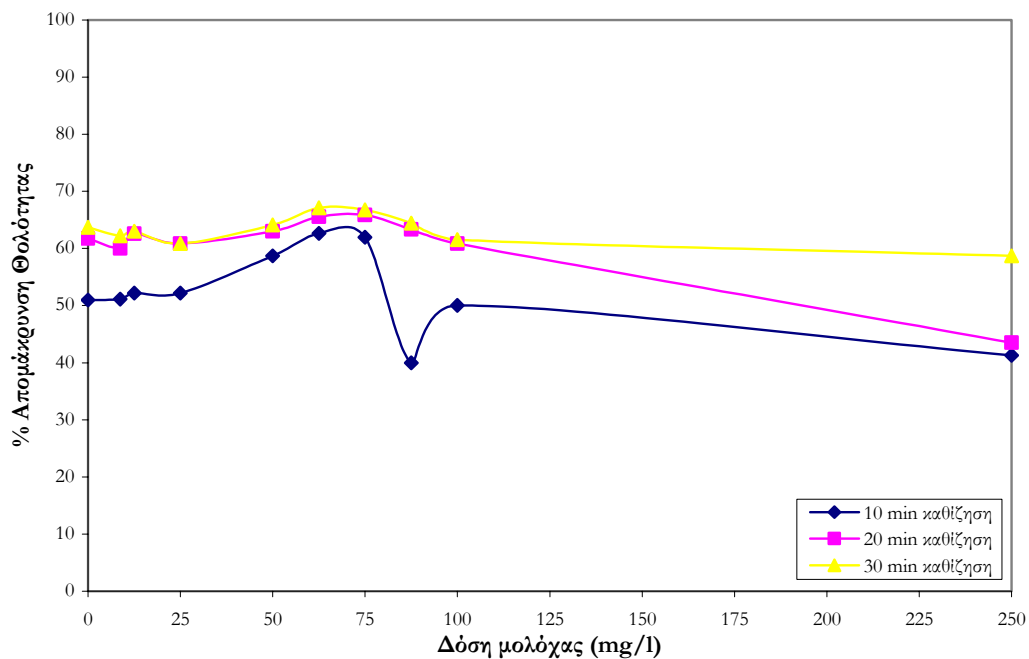
Στο Σχήμα 5.20 γ), όπου έχουν περάσει 30 λεπτά καθίζησης παρατηρείται πάλι η ίδια ακριβώς τάση με την μόνη διαφορά ότι στη δόση των 0.5 mM Al^{3+} υπάρχει ακόμα μικρότερη διαφορά στην απομάκρυνση μεταξύ μολόχας και κροκιδωτικού και κροκιδωτικού σκέτου (3%).

Στο Σχήμα 5.21, παριστάνεται ο τρόπος με τον οποίο επηρεάζεται το DOC του λύματος με την προσθήκη 75 mg/l μολόχας και σε διάφορες δόσεις κροκιδωτικού. Στην περίπτωση που δεν χρησιμοποιείται μολόχα με την αύξηση της δόσης του κροκιδωτικού μειώνεται το DOC του δείγματος. Όταν χρησιμοποιείται μολόχα αυξάνεται το αρχικό DOC του δείγματος και στη συνέχεια αρχίζει να μειώνεται όσο αυξάνεται η δόση του κροκιδωτικού μέχρι και τη δόση των 0.5 mM Al^{3+} όπου από εκεί και έπειτα σταθεροποιείται. Η αύξηση του DOC όταν χρησιμοποιείται μολόχα αναμενόταν καθώς επιβαρύνεται το δείγμα με τα οργανικά που περιέχει η μολόχα. Η μικρότερη αύξηση που υπάρχει είναι 5 ppm για την δόση των 0.5 mM Al^{3+} .

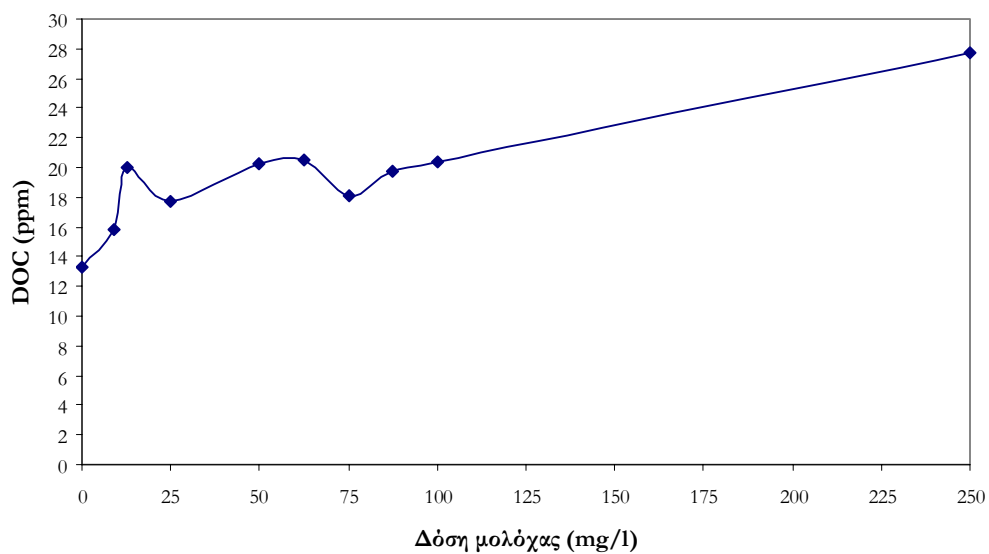
Όπως μπορούμε να συμπεράνουμε από τα Σχήματα 5.20, 5.21 η μολόχα δεν έχει τα ίδια θεαματικά αποτελέσματα στην περίπτωση του λύματος όπως είχε στην περίπτωση

συνθετικού λύματος. Όπως όμως και στην περίπτωση του συνθετικού λύματος, έτσι και εδώ η προσθήκη μολόχας στο λύμα έχει ουσιαστική συνεισφορά στον χρόνο καθίζησης, καθώς μόνο στα 10 min καθίζησης έχουμε διαφορά στην απομάκρυνση θολότητας με τη χρησιμοποίηση ή μη μολόχας. Στα 10 και 20 min καθίζησης οι απομακρύνσεις είναι σχεδόν ίδιες με χρήση ή όχι της μολόχας (4% και 3% διαφορά αντίστοιχα).

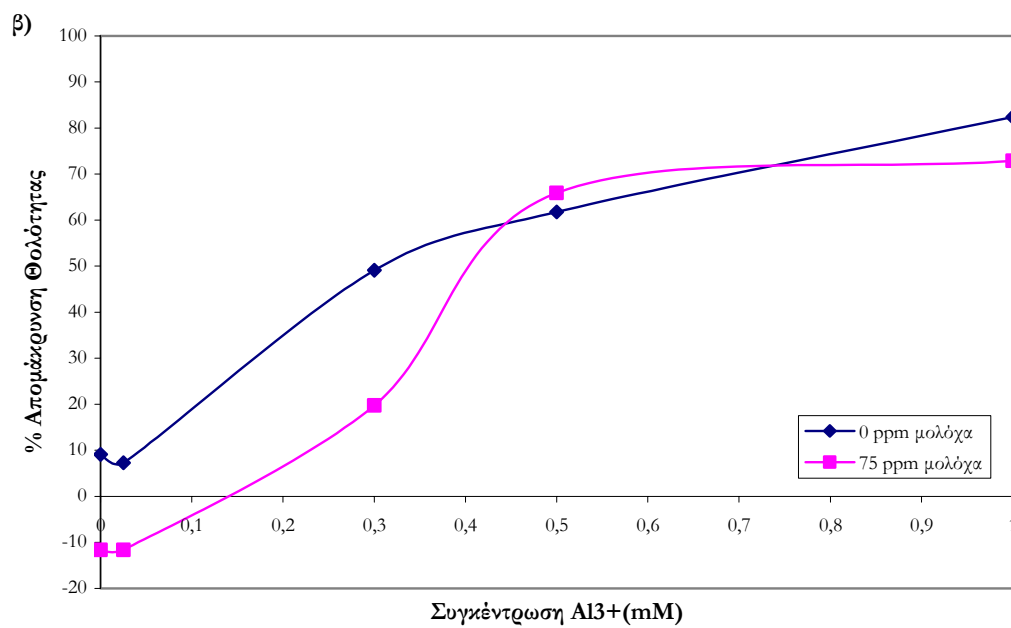
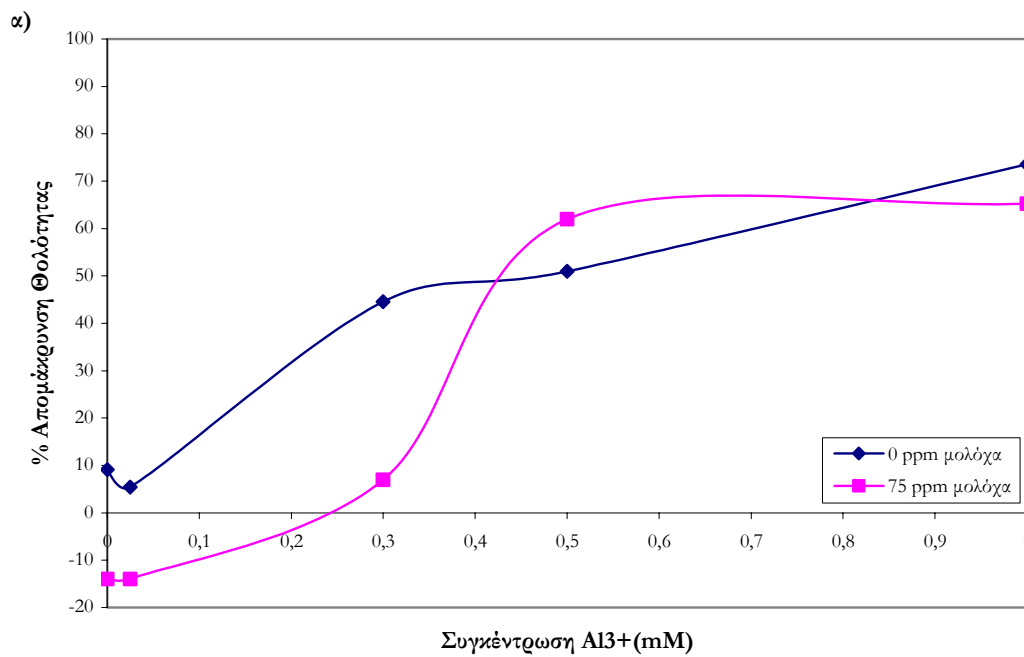
Από τα συγκεκριμένα σχήματα, συμπεραίνουμε ότι η καλύτερη δόση μολόχας είναι αυτή των 75 ppm σε συνδυασμό με 0.5 mM Al^{3+} . Στη συγκεκριμένη δόση έχουμε 11% περισσότερη απομάκρυνση θολότητας στα 10 min καθίζησης και 5 ppm περισσότερο DOC. Ταυτόχρονα δεν υπάρχει αξιοσημείωτη μεταβολή του pH του δείγματος σε αυτή τη δόση (pH 7 ενώ το αρχικό pH του λύματος ήταν 6.9).

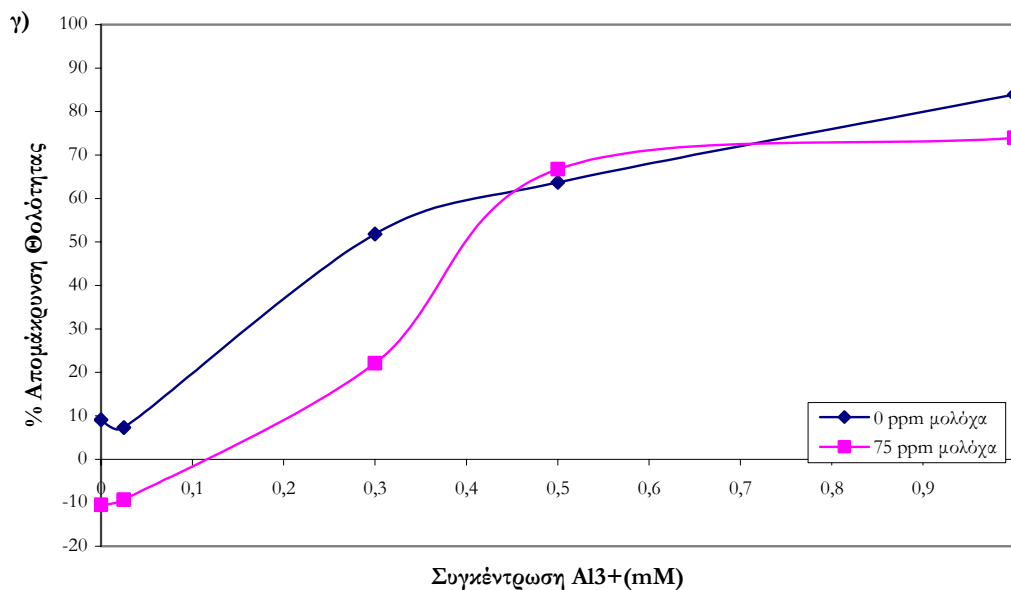


Σχήμα 5.18. Σχέση απομάκρυνσης θολότητας με συγκέντρωση μολόχας σε λύμα με προσθήκη 0.5 mM Al^{3+} .

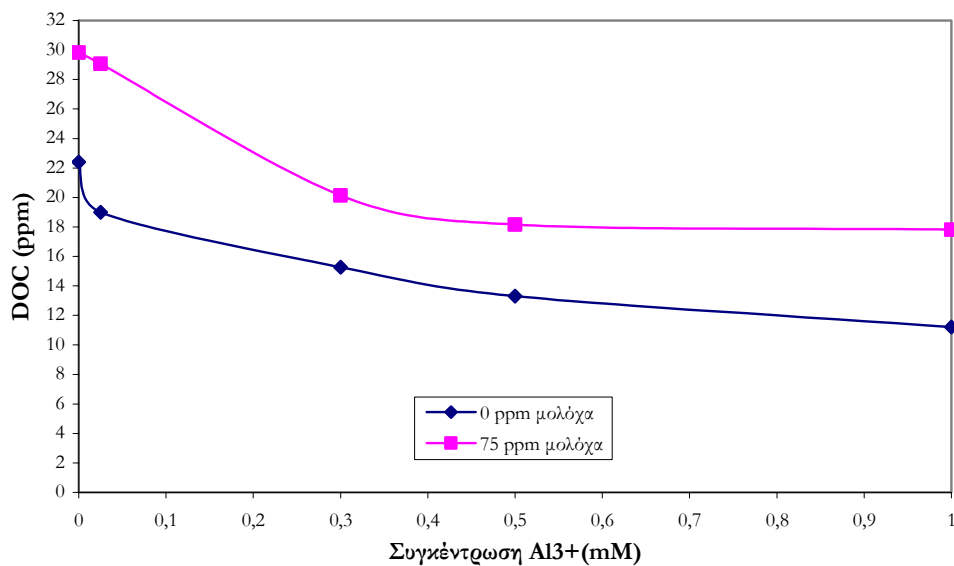


Σχήμα 5.19. Σχέση DOC με συγκέντρωση μολόχας σε λύμα με προσθήκη 0.5 mM Al^{3+} .





Σχήμα 5.20. Συσχέτιση δράσης μολόχας μαζί με Al^{3+} και σκέτου Al^{3+} στην απομάκρυνση θολότητας σε λύμα : α) 10 min καθίζηση, β) 20 min καθίζηση, γ) 30 min καθίζηση.



Σχήμα 5.21. Συσχέτιση δράσης μολόχας μαζί με Al^{3+} και σκέτου Al^{3+} στο DOC του λύματος.

5.2.3 Αποτελέσματα μπάμιας

Η συγκέντρωση Al^{3+} η οποία επιλέχθηκε δεν έδινε αρκετή απομάκρυνση θολότητας (συγκεκριμένα η δόση των 0.5 mM Al^{3+}), και σε αυτήν τη συγκέντρωση δοκιμάστηκαν διάφορες δόσεις μπάμιας, ώστε να δούμε αν η μπάμια βοηθάει την διαδικασία της κροκιδώσης. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στα Σχήματα 5.22 και 5.23.

Στο Σχήμα 5.22, παριστάνεται η επίδραση της μπάμιας στην απομάκρυνση της θολότητας από λύμα χρησιμοποιώντας παράλληλα 0.5 mM Al^{3+} για τρεις διαφορετικούς χρόνους καθίζησης (10, 20 και 30 λεπτά). Αρχικά, παρατηρείται αύξηση στην απομάκρυνση της θολότητας μέχρι και τη δόση των 20 mg/l μπάμιας και για τους τρεις χρόνους καθίζησης. Στη συνέχεια η απομάκρυνση θολότητας παρουσιάζει πτώση. Αυτό συμβαίνει γιατί οι δόσεις είναι αρκετά μεγάλες (υπερδόσεις) και έτσι επιβαρύνεται το δείγμα με πολλές ουσίες που περιέχει η μπάμια οι οποίες ως ελαφρύτερες από το νερό τείνουν να αιωρούνται παρά να καθιζάνουν. Όπως είναι εμφανές από το σχήμα αυτό, η προσθήκη της μπάμιας δεν βοηθάει τόσο πολύ όπως βοηθούσε στην περίπτωση του συνθετικού λύματος. Η μεγαλύτερη διαφορά στην απομάκρυνση θολότητας παρατηρείται στη δόση των 20 mg/l και για 10 λεπτά καθίζησης (σχεδόν 20%).

Στο Σχήμα 5.23, παριστάνεται η επίδραση της μπάμιας στο DOC του λύματος χρησιμοποιώντας παράλληλα 0.5 mM Al^{3+} . Στις μικρές δόσεις μπάμιας δεν έχουμε μεγάλη αύξηση στο DOC του δείγματος ενώ σε αρκετές δόσεις (0.5, 5 και 10 mM Al^{3+}) το DOC παρουσιάζει πτώση. Μεγάλη αύξηση παρατηρείται μετά τη δόση των 20 mg/l μπάμιας, γεγονός το οποίο αναμενόταν καθώς οι δόσεις γίνονται αρκετά μεγάλες και έτσι επιβαρύνεται το δείγμα με αρκετά οργανικά που περιέχει η μπάμια..

Από τις διάφορες δόσεις μπάμιας που δοκιμάσαμε επιλέχθηκε ως καλύτερη με βάση την απομάκρυνση θολότητας και το DOC, αυτή των 20 ppm (18% περισσότερη απομάκρυνση θολότητας στα 10 min καθίζησης και μόλις 0.3 ppm περισσότερο DOC). για περαιτέρω μελέτη και σύγκριση με τα αποτελέσματα χωρίς μπάμια. Τα αποτελέσματα αυτά παρουσιάζονται στα Σχήματα 5.24 και 5.25.

Στο Σχήμα 5.24, παριστάνεται η συνεισφορά της μπάμιας στην απομάκρυνση της θολότητας από λύμα για τρεις διαφορετικούς χρόνους καθίζησης (10, 20 και 30 λεπτά). Στο Σχήμα 5.24 α), παρατηρείται ότι με την αύξηση της δόσης του κροκιδωτικού υπάρχει αύξηση και στην απομάκρυνση θολότητας. Στην περίπτωση που υπάρχει και μπάμια το δείγμα θολώνει περισσότερο από ότι αρχικά αλλά καθώς αυξάνεται η δόση του

κροκιδωτικού αυξάνεται και η απομάκρυνση θολότητας. Μάλιστα μετά τη δόση των 0.35 mM Al^{3+} η απομάκρυνση της θολότητας είναι μεγαλύτερη με την χρήση της μπάμιας. Η μεγαλύτερη συνεισφορά της μπάμιας είναι για την δόση των 0.5 mM Al^{3+} όπου υπάρχει 20% περισσότερη απομάκρυνση με τη χρήση της. Στη συνέχεια η απομάκρυνση συνεχίζει να αυξάνεται και στις δύο περιπτώσεις (με μπάμια και χωρίς). Η τάση του συγκεκριμένου σχήματος αναμενόταν καθώς αρχικά με την προσθήκη μπάμιας επιβαρύνουμε το δείγμα με επιπλέον οργανικά που περιέχει το συγκεκριμένο φυτό και για αυτό παρουσιάζονται αρνητικές απομακρύνσεις θολότητας. Στη συνέχεια με την έναρξη της κροκιδωσης το δείγμα αρχίζει να καθαρίζει.

Στο Σχήμα 5.24 β), όπου έχουν περάσει 20 λεπτά καθίζησης παρατηρείται η ίδια ακριβώς τάση με την μόνη διαφορά ότι στη δόση των 0.5 mM Al^{3+} η διαφορά στην απομάκρυνση μεταξύ μολόχας και κροκιδωτικού και κροκιδωτικού σκέτου είναι μικρότερη (10%).

Στο Σχήμα 5.24 γ), όπου έχουν περάσει 30 λεπτά καθίζησης παρατηρείται πάλι η ίδια ακριβώς τάση με το 5.24 β) και μάλιστα η διαφορά στην απομάκρυνση στη δόση των 0.5 mM Al^{3+} παραμένει ακριβώς η ίδια (10%).

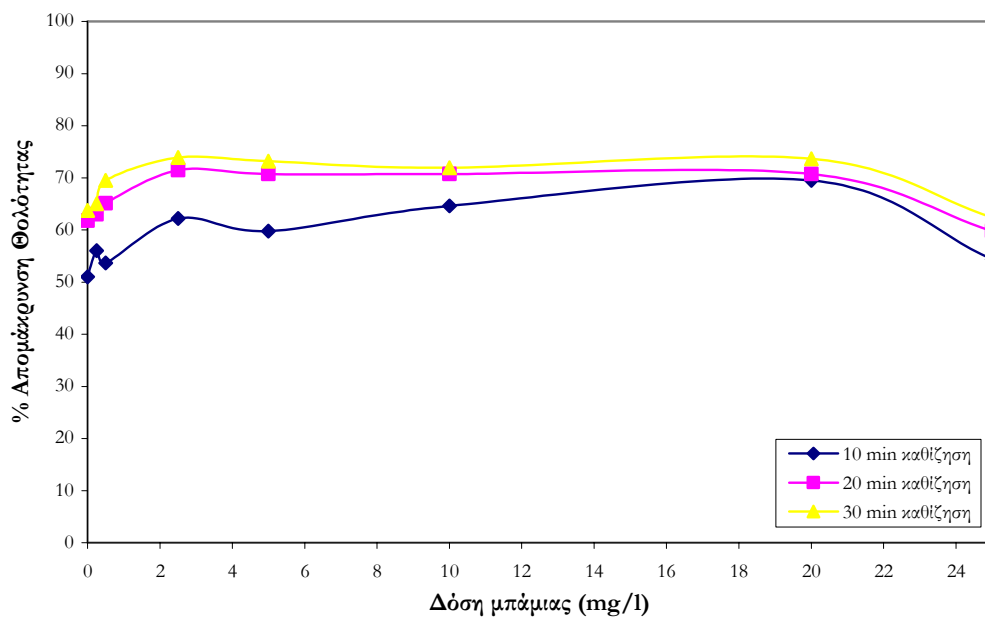
Στο Σχήμα 5.25, παριστάνεται ο τρόπος με τον οποίο επηρεάζεται το DOC του λύματος με την προσθήκη 20 mg/l μπάμιας και σε διάφορες δόσεις κροκιδωτικού. Στην περίπτωση που δεν χρησιμοποιείται μπάμια με την αύξηση της δόσης του κροκιδωτικού μειώνεται το DOC του δείγματος. Όταν χρησιμοποιείται μπάμια αυξάνεται το αρχικό DOC του δείγματος και στη συνέχεια αρχίζει να μειώνεται όσο αυξάνεται η δόση του κροκιδωτικού μέχρι και τη δόση των 0.5 mM Al^{3+} όπου από εκεί και έπειτα σταθεροποιείται. Η αύξηση του DOC όταν χρησιμοποιείται μπάμια αναμενόταν καθώς επιβαρύνεται το δείγμα με τα οργανικά που περιέχει η μολόχα. Η μικρότερη αύξηση που υπάρχει είναι 0.3 ppm για την δόση των 0.5 mM Al^{3+} .

Όπως μπορούμε να συμπεράνουμε από τα Σχήματα 5.24 και 5.25, όπως και στην περίπτωση του συνθετικού λύματος, έτσι και εδώ η προσθήκη μπάμιας στο λύμα έχει μεγάλη συνεισφορά στον χρόνο καθίζησης, καθώς στα 10 min καθίζησης έχουμε 20% μεγαλύτερη απομάκρυνση θολότητας με την χρήση μπάμιας. Ταυτόχρονα για τη συγκεκριμένη δόση υπάρχει μόνο 0.3 ppm παραπάνω DOC. Στα 10 και 20 min καθίζησης η διαφορά στις απομακρύνσεις είναι μικρότερη (10%). Επίσης δεν υπάρχει αξιοσημείωτη

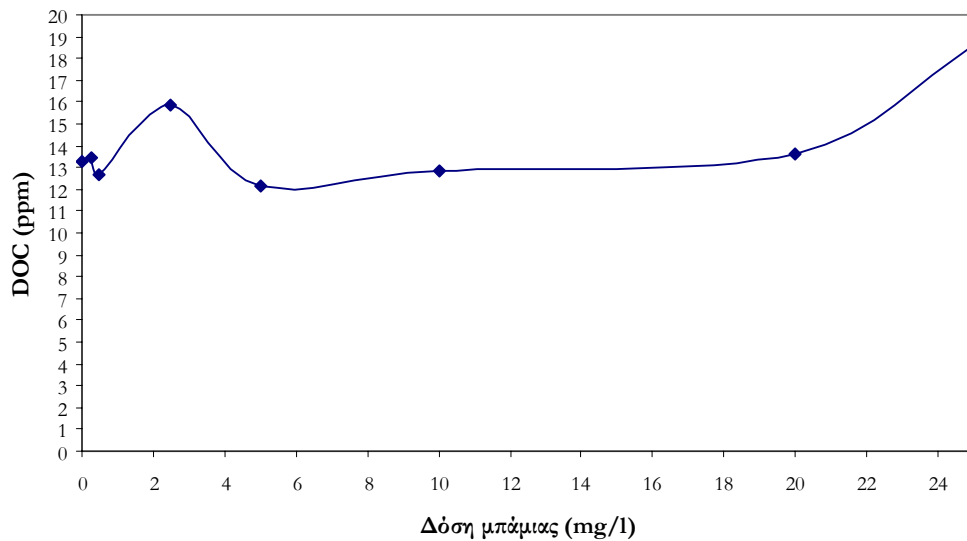
μεταβολή του pH του δείγματος σε αυτή τη δόσεις (pH 6.8 - 7 ενώ το αρχικό pH του λύματος ήταν 6.9).

Για να φτάσουμε σε ένα επίπεδο απομάκρυνσης θολότητας ίδιο με αυτό που έχουμε με τη χρήση 20 mg/l μπάμιας και 0.5 mM Al^{3+} (70%), χωρίς χρήση μπάμιας θα πρέπει να χρησιμοποιήσουμε σχεδόν διπλάσια ποσότητα κροκιδωτικού (0.9 mM Al^{3+}).

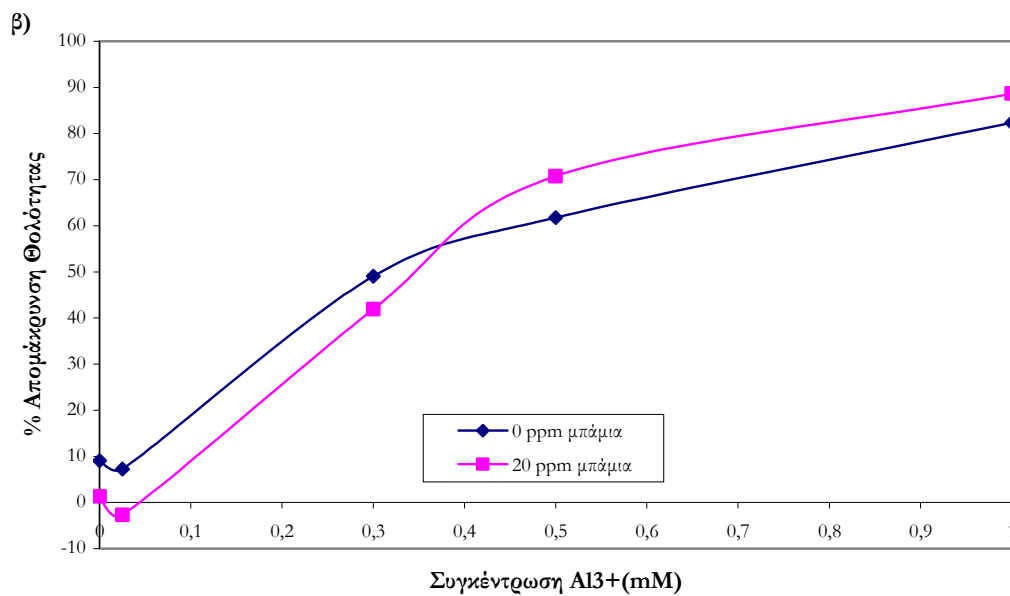
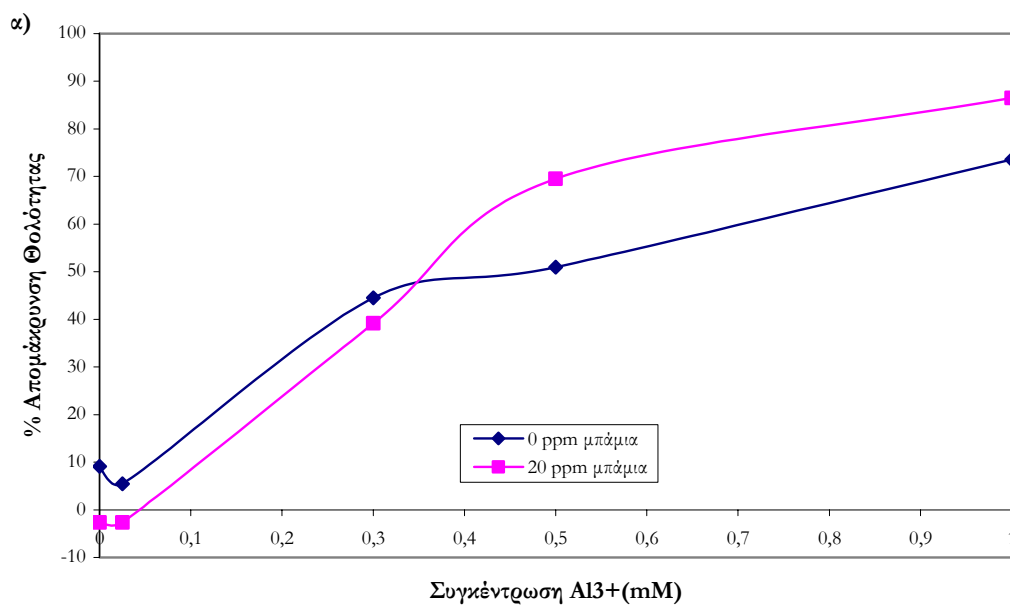
Παρόμοια πειράματα για την χρήση της μπάμιας ως συσσωματωτικό έχουν γίνει και από άλλους ερευνητές (Agarwal et al., 2001). Στα συγκεκριμένα πειράματα η ιδανική δόση της μπάμιας στην επεξεργασία λυμάτων ήταν 0.12 mg/l δηλαδή κατά πολύ μικρότερη από αυτήν που βρέθηκε στην παρούσα εργασία (20 mg/l). Με τη συγκεκριμένη δόση επιτεύχθηκαν απομακρύνσεις περίπου 65% για τα ολικά διαλυμένα στερεά και περίπου 98% για τα αιωρούμενα στερεά για χρόνο καθίζησης μία ώρα.

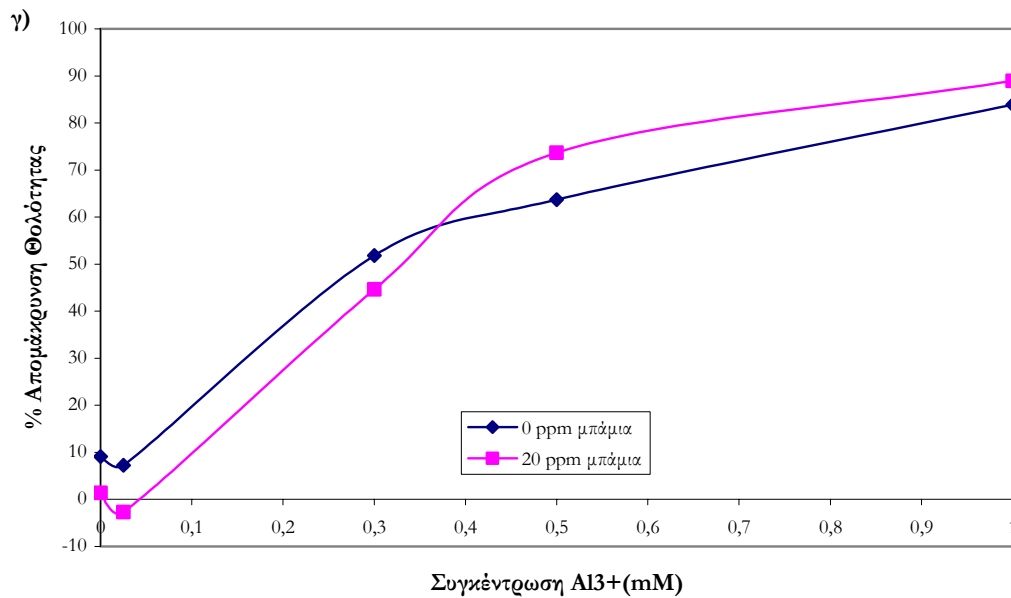


Σχήμα 5.22. Σχέση απομάκρυνσης θολότητας με συγκέντρωση μπάμιας σε λύμα με προσθήκη 0.5 mM Al^{3+} .

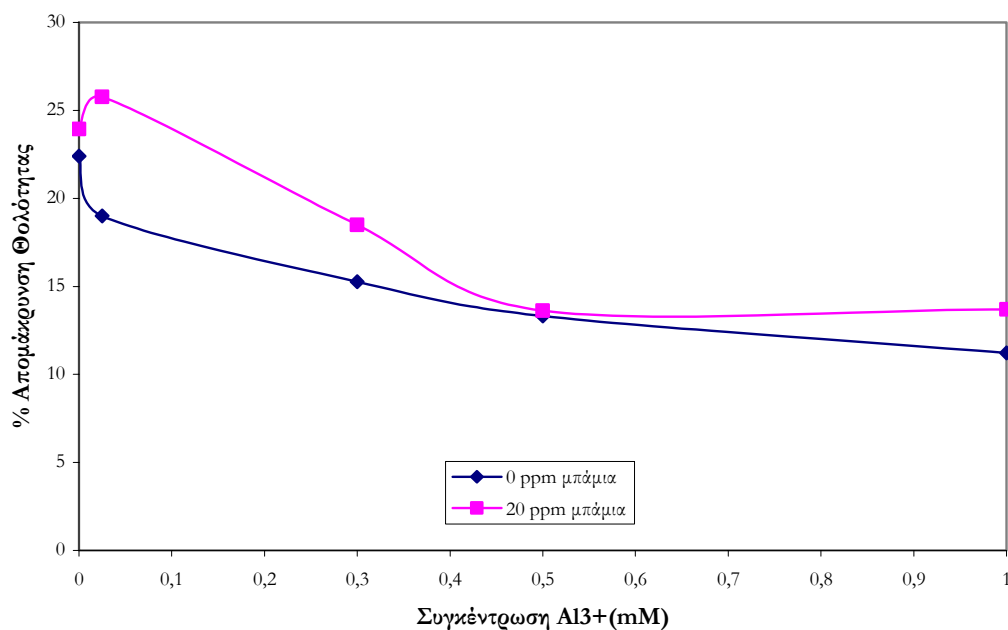


Σχήμα 5.23. Σχέση DOC με συγκέντρωση μπάμιας σε λύμα με προσθήκη 0.5 mM Al^{3+} .





Σχήμα 5.24. Συσχέτιση δράσης μπάμιας μαζί με Al^{3+} και σκέτου Al^{3+} στην απομάκρυνση θολότητας σε λύμα : α) 10 min καθίζηση, β) 20 min καθίζηση, γ) 30 min καθίζηση.



Σχήμα 5.25. Συσχέτιση δράσης μπάμιας μαζί με Al^{3+} και σκέτου Al^{3+} στο DOC του λύματος.

Κεφάλαιο 6 – Συμπεράσματα και προτάσεις

6.1 Συμπεράσματα

- Τα φυτά μολόχα και μπάμια δεν έχουν κροκιδωτικές ικανότητες
- Το φυτό μολόχα αποτελεί ένα πολύ καλό συσσωματωτικό όσον αφορά την επεξεργασία συνθετικού λύματος. Βοηθά αρκετά την ταχύτητα καθίζησης, καθώς σε μόλις 10 λεπτά καθίζησης αυξάνει πολύ την απομάκρυνση θολότητας. Με χρήση 0.025 mM Al^{3+} μαζί με 25 ppm μολόχας παρατηρείται στα 10 λεπτά καθίζησης 30% μεγαλύτερη απομάκρυνση στη θολότητα του δείγματος σε σχέση με τη χρήση μόνο της ίδιας δόσης κροκιδωτικού. Για να επιτευχθεί παρόμοια απομάκρυνση στα 10 λεπτά καθίζησης χρησιμοποιώντας μόνο κροκιδωτικό θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί δεκαπλάσια ποσότητα κροκιδωτικού. Ταυτόχρονα όμως υπάρχει 1.8 ppm αύξηση στο DOC του δείγματος.
- Το φυτό μπάμια αποτελεί ένα πολύ καλό συσσωματωτικό όσον αφορά την επεξεργασία συνθετικού λύματος. Βοηθά αρκετά την ταχύτητα καθίζησης, καθώς σε μόλις 10 λεπτά καθίζησης αυξάνει πολύ την απομάκρυνση θολότητας. Με χρήση 0.025 mM Al^{3+} μαζί με 0.5 ppm μπάμιας παρατηρείται στα 10 λεπτά καθίζησης 20% μεγαλύτερη απομάκρυνση στη θολότητα του δείγματος σε σχέση με τη χρήση μόνο της ίδιας δόσης κροκιδωτικού. Για να επιτευχθεί παρόμοια απομάκρυνση στα 10 λεπτά καθίζησης χρησιμοποιώντας μόνο κροκιδωτικό θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί τετραπλάσια ποσότητα κροκιδωτικού. Ταυτόχρονα υπάρχει μόλις 0.4 ppm αύξηση στο DOC του δείγματος.
- Το φυτό μπάμια αποτελεί ένα πολύ καλό συσσωματωτικό και για την επεξεργασία λυμάτων. Βοηθάει πολύ την ταχύτητα καθίζησης καθώς σε μόλις 10 λεπτά

καθίζησης αυξάνει πολύ την απομάκρυνση θολότητας. Με χρήση 0.5 mM Al^{3+} μαζί με 20 ppm μπάμιας παρατηρείται στα 10 λεπτά καθίζησης 20% μεγαλύτερη απομάκρυνση στη θολότητα του δείγματος σε σχέση με τη χρήση μόνο της ίδιας δόσης κροκιδωτικού. Για να επιτευχθεί παρόμοια απομάκρυνση στα 10 λεπτά καθίζησης χρησιμοποιώντας μόνο κροκιδωτικό θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί σχεδόν διπλάσια ποσότητα (0.9 mM Al^{3+}) κροκιδωτικού. Ταυτόχρονα υπάρχει μόλις 0.3 ppm αύξηση στο DOC του δείγματος.

- Το φυτό μολόχα φαίνεται να βοηθάει λίγο (δηλαδή ως συσσωματωτικό) την απομάκρυνση θολότητας σε λύματα. Ωστόσο η διαφορά στην απομάκρυνση είναι μικρή (11% μεγαλύτερη απομάκρυνση στη θολότητα του λύματος στα 10 λεπτά καθίζησης με χρήση 0.5 mM Al^{3+} μαζί με 75 ppm μολόχας) για τα δεδομένα της ακρίβειας στις μετρήσεις του θολόμετρου, ώστε να εξαχθούν ασφαλή συμπεράσματα.
- Τα φύλλα από το φυτό της μπάμιας δεν έχουν καμία κροκιδωτική ή συσσωματωτική ιδιότητα.

6.2 Προτάσεις

- Χαρακτηρισμός του φυτού της μολόχας χρησιμοποιώντας υπέρυθρο ηλεκτρομαγνητικό φάσμα, ώστε να βρεθούν οι χημικές ενώσεις που το αποτελούν.
- Χρησιμοποίηση ακτίνων X ώστε να βρεθεί ο μηχανισμός της μολόχας που χρησιμεύει στη συσσωμάτωση.
- Σύγκριση της συσσωματωτικής δράσης των φυτών μολόχα και μπάμια με ένα συνθετικό συσσωματωτικό όπως είναι το πολυακριλαμίδιο.
- Έρευνα άλλων φυτών για πιθανές συσσωματωτικές ή κροκιδωτικές ιδιότητες. Φυτά που πιθανόν να έχουν τέτοιες ιδιότητες μπορεί να είναι ορισμένα που χρησιμοποιούνταν στο παρελθόν για ιατρικούς σκοπούς. Ένα παράδειγμα ενός φυτού που πιθανόν να έχει τις συγκεκριμένες ιδιότητες είναι το χαρούπι.

Βιβλιογραφικές Αναφορές

Ελληνικές Βιβλιογραφικές Αναφορές

1. Γκέκας Β. Χ., Πρωιμάκη Σ. Γ. *Φυσικοχημικές Διεργασίες Διαχωρισμού για μηχανικούς περιβάλλοντος*. Εκδόσεις Τζιόλα 2002.
2. Διαμαντόπουλος Ε. *Χημικές Διεργασίες στην επεξεργασία νερού και υγρών αποβλήτων*. Πολυτεχνείο Κρήτης. Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, 2004
3. Λέκκας Θ. Δ. *Περιβαλλοντική Μηχανική Ι. Διαχείριση Υδατικών Πόρων*. Πανεπιστήμιο Αιγαίου. Τμήμα Περιβάλλοντος, 1996.
4. Σαρίκα Ρ. Ε. *μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία Προεπεξεργασία Καστίγαρου (Υγρών Αποβλήτων Ελαιουργείων) με Κροκίδωση*. Χανιά 2004.

Διεθνείς Βιβλιογραφικές Αναφορές

1. Agarwal M., Rajani S., Rai J.S.P., Mishra A. *Utilization of Okra Gum for Treatment Of Tannery Effluent*. Int. J. Polym. Mater. 52 (2003) 1049
2. Agarwal M., Srinivasan R., Mishra A.. *Study on Flocculation Efficiency of Okra Gum in Sewage Waste Water*. Macromol. Mater. Eng. 286, 560-563, 2001.
3. Bratskaya S., Schwartz S., Chervonetsky D. *Comparative study of humic acids flocculation with chitosan hydrochloride and chitosan glutamate*. Water Research 38 (2004) 2955-2961.
4. Diaz A., Rincon N., Escorihuela A., Fernandez N., Chacin E., Foster C. F.. *A preliminary evaluation of turbidity removal by natural coagulants indigenous to Venezuela*. Process Biochemistry 35:391-395, 1999.
5. Divakaran R., Pillai V.N.S. *Flocculation of kaolinite suspension in water by chitosan*. Water Resources 35 (2001) 3904-3908.
6. Gauthier E., Fortier I., Courchense F., Pepin P., Mortimer J., Gauvreau D. *Aluminium forms in drinking water and risk of Alzheimer's disease*. Environmental Research Section A 84, 234-246 (2000).

7. Ghebremichael K. A., Gunaratna K. R., Henriksson H., Brumer H., Dalhammar G.. *A simple purification and activity assay of the coagulant protein from Moringa oleifera seed*. Water Research 39:2338-2344, 2005.
8. Manahan, Stanley E. *Introduction to chemistry, Fundamentals of environmental chemistry*. Boca Raton: CRC Press LLC, 2001.
9. Mishra A., Bajpai M.. *The flocculation performance of Tamarindus mucilage in relation to removal of vat and direct dyes*. Bioresource Technology 97:1055-1059, 2006.
10. Mishra A., Bajpai M.. *Flocculation behavior of model textile wastewater treated with a food grade polysaccharide*. Journal of hazardous materials B118:213-217, 2005.
11. Mishra A. , Yadav A., Agarwal M., Bajpai M.. *Fenugreek mucilage for solid removal from tannery effluent*. Reactive & Functional Polymers 59:99-104, 2004.
12. Mishra A., Yadaval A., Agarwal M., Rajani A.. *Polyacrylonitrile-grafted Plantago psyllium mucilage for the removal of suspended and dissolved solids from tannery effluent*. Colloid. Polym. Sci. 282 (2004) 300.
13. Mishra A., Agarwal M., Yadav A. *Fenugreek mucilage as a flocculating agent for sewage treatment*. Colloid. Polym. Sci. 281 (2003) 164.
14. Ndabigengesere A., Narasiah K. S., Talbot B. G.. *Active agents and mechanism of coagulation of turbid waters using Moringa oleifera*. Water Research 29:703-710, 1995.
15. Ozakar M., Sengil I. A. *Evaluation of tannin biopolymer as a coagulant aid for coagulation of colloidal particles*. Colloids and surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects 229 (2003) 85-96.
16. Pan R.J., Huang C., Chen S., Chung Y. C. *Evaluation of a modified chitosan biopolymer for coagulation of colloidal particles*. Colloids and surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects 147 (1999) 359-364.
17. Sanghi R., Bhattacharya B., Dixit A., Singh V. *Ipomoea dasysperma seed gum: An effective natural coagulant for the depolarization of textile dye solutions*. Journal of environmental management, 2006.
18. Schintu M., Meloni P., Contu A. *Aluminum Fractions in Drinking Water from Reservoirs*. Ecotoxicol. Environ. Saf. 46 (2000) 29-33.

Παράρτημα

Συγκέντρωση Al^{3+} (mM)	Καθίζηση 10min	% Απομάκρυνση Θολότητας	Καθίζηση 20min	% Απομάκρυνση Θολότητας	Καθίζηση 30min	% Απομάκρυνση Θολότητας	DOC
Αρχική θολότητα 63.5							
0	50,5	20,47	47,5	25,20	44	30,71	2,377
0,01	49,5	22,05	41,5	34,65	40,5	36,22	2,086
0,025	20,5	67,72	8	87,40	7	88,98	1,123
0,025	19,5	69,29	11,5	81,89	10	84,25	1,072
0,05	14,5	77,17	6	90,55	5	92,13	0,753
0,1	8,5	86,61	3,5	94,49	2,6	95,91	0,81
0,2	10,25	83,86	5,25	91,73	4	93,70	1,001
0,3	9	85,83	5,5	91,34	3,5	94,49	0,918
0,4	7,75	87,80	3,75	94,09	3,4	94,65	0,909
0,5	8,5	86,61	4	93,70	2,5	96,06	0,881
Αρχική θολότητα 62.5							
0,75	10,25	83,6	7,25	88,4	3,25	94,8	1,762
1	13	79,2	6,25	90	4,5	92,8	1,685
1,5	11,5	81,6	7	88,8	3,5	94,4	1,549
2	9	85,6	5,25	91,6	3,5	94,4	1,611

Πίνακας 1. Μετρήσεις για απομάκρυνση θολότητας σε συνθετικό λύμα χρησιμοποιώντας διάφορες δόσεις Al^{3+} .

Συγκέντρωση μολόχας (mg/l)	Καθίζηση 10 min	% Απομάκρυνση Θολότητας	Καθίζηση 20 min	% Απομάκρυνση Θολότητας	Καθίζηση 30 min	% Απομάκρυνση Θολότητας	DOC
Αρχική θολότητα 63.5							
0	49,5	22,05	41,5	34,65	40,5	36,22	2,086
Αρχική θολότητα 62.5							
8,75	36	42,40	34,25	45,20	29,5	52,80	3,38
Αρχική θολότητα 68							
12,5	50,5	25,74	43	36,76	41,5	45,93	2,973
Αρχική θολότητα 68							
18,75	48,5	28,68	42,5	37,50	40	41,18	3,639
25	50	26,47	49,5	27,21	41	39,71	4,658
Αρχική θολότητα 68							
50	53,5	21,32	45	33,82	42	38,24	4,677
100	67,5	0,74	56	17,65	52	23,53	
200	70	-2,94	59,5	12,50	53,5	21,32	

Πίνακας 2. Μετρήσεις για απομάκρυνση θολότητας σε συνθετικό λύμα χρησιμοποιώντας διάφορες δόσεις μολόχας και 0.01 mM Al^{3+} .

Συγκέντρωση μολόχας (mg/l)	Καθίζηση 10 min	% Απομάκρυνση Θολότητας	Καθίζηση 20 min	% Απομάκρυνση Θολότητας	Καθίζηση 30 min	% Απομάκρυνση Θολότητας	DOC
Αρχική θολότητα 63.5							
0	20,2	68,19	8	87,4	7	88,98	1,123
Αρχική θολότητα 70							
0,125	16	77,14	13,5	80,71	13	81,43	5,287
Αρχική θολότητα 73							
0,5	11	84,93	9,7	86,71	9	87,67	5,318
Αρχική θολότητα 70							
1	13,5	80,71	11	84,29	10,5	85	2,183
Αρχική θολότητα 73							
2	20,5	71,92	18,5	74,66	18	75,34	3,159
Αρχική θολότητα 62.5							
8,75	14,75	76,4	5,25	91,6	3	95,2	1,976
Αρχική θολότητα 68							
12,5	11,5	83,09	4	94,12	2,8	95,88	
Αρχική θολότητα 68.5							
12,5	7,75	88,69	2	97,08	1,3	98,10	1,914
18,75	4	94,16	2,15	96,86	1,4	97,96	2,606
25	2,5	96,35	3,75	94,53	1,75	97,45	2,974
Αρχική							

θολότητα 68							
25	5,6	91,76	3,25	95,22	2	97,06	2,012
Αρχική θολότητα 66.5							
37,5	9	86,47	2,35	96,47	2,3	96,54	4,696
Αρχική θολότητα 68.5							
50	29,5	56,93	16,5	75,91	15,25	77,74	
Αρχική θολότητα 68							
50	12,5	81,62	11,25	83,46	8,6	87,35	4,229
Αρχική θολότητα 66.5							
100	28,5	57,14	26,5	60,15	21,5	67,67	8,914
Αρχική θολότητα 68							
200	46	32,35	41	39,71	34,5	49,26	11,19

Πίνακας 3. Μετρήσεις για απομάκρυνση θολότητας σε συνθετικό λύμα χρησιμοποιώντας διάφορες δόσεις μολύχας και 0.025 mM Al^{3+} .

Συγκέντρωση Al^{3+} (mM)	Καθίζηση 10 min	%Απομάκρυνσ η Θολότητα	Καθίζηση 20 min	%Απομάκρυνσ η Θολότητα	Καθίζηση 30 min	%Απομάκρυνσ η Θολότητα	DOC
Αρχική θολότητα 74							
0	70	5,41	63,5	14,19	60	18,92	4,003
Αρχική θολότητα 66.5							
0,01	60	9,77	59,5	10,53	57,5	13,53	4,432
Αρχική θολότητα 68.5							
0,025	7,75	88,69	2	97,08	1,3	98,10	1,914
Αρχική θολότητα 65							
0,05	11,5	82,31	5,25	91,92	3	95,38	2,57
0,1	9	86,15	4	93,85	2,75	95,77	2,503
0,3	13	80,00	6,25	90,38	3,5	94,62	2,433
Αρχική θολότητα 42							
0,5	7,5	82,14	5,5	86,90	3	92,86	3,033

Πίνακας 4. Μετρήσεις για απομάκρυνση θολότητας σε συνθετικό λύμα χρησιμοποιώντας διάφορες δόσεις κροκιδωτικού και 12.5 mg/l μολόχα.

Συγκέντρωση Al^{3+} (mM)	Καθίζηση 10 min	%Απομάκρυνσ η Θολότητα	Καθίζηση 20 min	%Απομάκρυνσ η Θολότητα	Καθίζηση 30 min	%Απομάκρυνσ η Θολότητα	DOC
Αρχική θολότητα 68							
0	52	23,53	50	26,47	45	33,82	3,926
0,01	50	26,47	49,5	27,21	41	39,71	4,658
Αρχική θολότητα 68.5							
0,025	2,5	96,35	3,75	94,53	1,75	97,45	2,974
Αρχική θολότητα 65							
0,05	8,75	86,54	4,75	92,69	1,4	97,85	2,946
0,1	5,5	91,54	2	96,92	1,5	97,69	3,076
0,3	12,25	81,15	6,5	90,00	3	95,38	3,52
Αρχική θολότητα 42							
0,5	8,5	79,76	4,4	89,52	2,5	94,05	3,501

Πίνακας 5. Μετρήσεις για απομάκρυνση θολότητας σε συνθετικό λύμα χρησιμοποιώντας διάφορες δόσεις κροκιδωτικού και 25 mg/l μολόχα.

Συγκέντρωση μπάμιας (mg/l)	Καθίζηση 10 min	%Απομάκρυνσ η Θολότητας	Καθίζηση 20 min	%Απομάκρυνσ η Θολότητας	Καθίζηση 30 min	%Απομάκρυνσ η Θολότητας	DOC
Αρχική θολότητα 67							
0,125	33	50,75	25	62,69	22	67,16	7,414
0,25	34	49,25	27	59,70	26	61,19	5,499
0,5	32	52,24	26	61,19	24	64,18	5,106
1	36	46,27	26	61,19	23,5	64,93	6,143
Αρχική θολότητα 43							
1,25	42,5	1,16	37,5	12,79	36,5	15,12	4,586
2,5	43,5	-1,16	38,5	10,47	34	20,93	3,943
5	41,5	3,49	38,2	11,16	36	16,28	3,401
Αρχική θολότητα 75							
8,75	48	36,00	38	49,33	32	57,33	4,692
12,5	41	45,33	39	48,00	35,5	52,67	4,274
Αρχική θολότητα 38							
25	50	-16,00	42	-10,53	41	-7,89	10,45
37,5	43	-6,67	40	-5,26	38,5	-1,32	10,4
50	45	-9,33	44	-15,79	41	-7,89	13,77
100	50	-16,00	49	-28,95	48	-26,32	19,25
Αρχική θολότητα 75							
200	73	2,67	60	20,00	50	33,33	3,971

Πίνακας 6. Μετρήσεις για απομάκρυνση θολότητας σε συνθετικό λύμα χρησιμοποιώντας διάφορες δόσεις μπάμιας και 0.01 mM Al^{3+} .

Συγκέντρωση μπάμιας (mg/l)	Καθίζηση 10 min	%Απομάκρυνση η Θολότητα	Καθίζηση 20 min	%Απομάκρυνση η Θολότητα	Καθίζηση 30 min	%Απομάκρυνση η Θολότητα	DOC
Αρχική θολότητα 68							
0,125	8,5	87,50	3,5	94,85	2,7	96,03	2,091
0,25	8,5	87,50	5,5	91,91	2,5	96,32	1,695
0,5	9	86,76	3	95,59	2,1	96,91	1,568
1	14,5	78,68	9,2	86,47	6,5	90,44	1,781
Αρχική θολότητα 43							
2,5	7,2	83,26	2,7	93,72	1,25	97,09	5,026
5	3	93,02	1,7	96,05	1,15	97,33	3,203
Αρχική θολότητα 75							
8,75	12	84,00	3,3	95,60	2,7	96,40	3,71
Αρχική θολότητα 60							
12,5	7,5	87,50	3	95,00	2,8	95,33	3,679
25	8,5	85,83	3,5	94,17	3,2	94,67	4,221
37,5	7	88,33	2,5	95,83	2,3	96,17	6,175
50	8	86,67	3,5	94,17	3,2	94,67	11,93
100	9,5	84,17	6	90,00	5,6	90,67	16,23
Αρχική θολότητα 75							
200	22,5	70,00	13	82,67	11	85,33	30,47

Πίνακας 7. Μετρήσεις για απομάκρυνση θολότητας σε συνθετικό λύμα χρησιμοποιώντας διάφορες δόσεις μπάμιας και 0.025mM Al^{3+} .

Συγκέντρωση Al^{3+} (mM)	Καθίζηση 10 min	%Απομάκρυνσ η Θολότητα	Καθίζηση 20 min	%Απομάκρυνσ η Θολότητα	Καθίζηση 30 min	%Απομάκρυνσ η Θολότητα	DOC
Αρχική θολότητα 69							
0	45	34,78	37	46,38	35	49,28	4,066
Αρχική θολότητα 67							
0,01	34	49,25	27	59,70	26	61,19	5,499
Αρχική θολότητα 68							
0,025	8,5	87,50	5,5	91,91	2,5	96,32	1,695
0,05	14	79,71	3,7	94,64	2,2	96,81	1,994
0,1	14,5	78,99	2,8	95,94	1,9	97,25	1,745
0,3	11	84,06	1,7	97,54	1,2	98,26	1,313
0,5	10	85,51	3,3	95,22	2,9	95,80	1,444

Πίνακας 8. Μετρήσεις για απομάκρυνση θολότητας σε συνθετικό λύμα χρησιμοποιώντας διάφορες δόσεις κροκιδωτικού και 0.25 mg/l μπάμια.

Συγκέντρωση Al^{3+} (mM)	Καθίζηση 10 min	%Απομάκρυνσ η Θολότητα	Καθίζηση 20 min	%Απομάκρυνσ η Θολότητα	Καθίζηση 30 min	%Απομάκρυνσ η Θολότητα	DOC
Αρχική θολότητα 65							
0	44	32,31	34	47,69	30	53,85	4,554
Αρχική θολότητα 67							
0,01	32	52,24	26	61,19	24	64,18	5,106
Αρχική θολότητα 68							
0,025	9	86,76	3	95,59	2,1	96,91	1,568
0,05	10	84,62	4	93,85	2,2	96,62	1,852
0,1	9,5	85,38	5	92,31	2,5	96,15	1,935
0,3	4,5	93,08	1,2	98,15	0,9	98,62	1,675
0,5	5,5	91,54	2,3	96,46	2	96,92	1,773

Πίνακας 9. Μετρήσεις για απομάκρυνση θολότητας σε συνθετικό λύμα χρησιμοποιώντας διάφορες δόσεις κροκιδωτικού και 0.5 mg/l μπάμια.

Συγκέντρωση φύλλων μπάμιας (mg/l)	Καθίζηση 10 min	%Απομάκρυνση Θολότητας	Καθίζηση 20 min	%Απομάκρυνση Θολότητας	Καθίζηση 30 min	%Απομάκρυνση Θολότητας
Αρχική θολότητα 68						
0	20,5	67,72	8	87,40	7	88,98
12,5	23,5	65,44	22	67,65	21,5	68,38
25	48	29,41	43	36,76	38,5	43,38
37,5	48,5	28,68	45	33,82	35	48,53
50	59	13,24	55	19,12	51	25,00
100	64	5,88	58	14,71	54	20,59

Πίνακας 10. Μετρήσεις για απομάκρυνση θολότητας σε συνθετικό λύμα χρησιμοποιώντας διάφορες δόσεις φύλλων μπάμιας και 0.025 mM Al^{3+} .

Συγκέντρωση Al^{3+} (mM)	Καθίζηση 10 min	%Απομάκρυνσ η Θολότητα	Καθίζηση 20 min	%Απομάκρυνσ η Θολότητα	Καθίζηση 30 min	%Απομάκρυνσ η Θολότητα	DOC
Αρχική θολότητα 55							
0	50	9,09	50	9,09	50	9,09	22,4
0,01	51	7,27	50	9,09	50	9,09	16,98
0,025	52	5,45	51	7,27	51	7,27	19
0,1	50	9,09	46	16,36	46	16,36	20,99
0,3	30,5	44,55	28	49,09	26,5	51,82	15,26
Αρχική θολότητα 51							
0,2	48,5	4,90	35	31,37	32,5	36,27	17,75
0,5	25	50,98	19,5	61,76	18,5	63,73	13,31
1	13,5	73,53	9	82,35	8,2	83,92	11,22
1,5	15	70,59	9	82,35	8,5	83,33	9,719
2	16	68,63	10	80,39	7,5	85,29	8,975

Πίνακας 11. Μετρήσεις για απομάκρυνση θολότητας σε λύμα χρησιμοποιώντας διάφορες δόσεις Al^{3+} .

Συγκέντρωση μολόχας (mg/l)	Καθίζηση 10 min	%Απομάκρυνσ η Θολότητας	Καθίζηση 20 min	%Απομάκρυνσ η Θολότητας	Καθίζηση 30 min	%Απομάκρυνσ η Θολότητας	DOC
Αρχική θολότητα 46							
0	25	50,98	19,5	61,76	18,5	63,73	13,31
25	22	52,17	18	60,87	18	60,87	17,71
50	19	58,70	17	63,04	16,5	64,13	20,23
100	23	50,00	18	60,87	17,7	61,52	20,34
12,5	22	52,17	17,2	62,61	17	63,04	20,05
250	27	41,30	26	43,48	19	58,70	27,66
75	17,5	61,96	15,7	65,87	15,3	66,74	18,16
Αρχική θολότητα 45							
62,5	16,8	62,67	15,5	65,56	14,8	67,11	20,54
87,5	27	40,00	16,5	63,33	16	64,44	19,78
8,75	22	51,11	18	60,00	17	62,22	15,76

Πίνακας 12. Μετρήσεις για απομάκρυνση θολότητας σε λύμα χρησιμοποιώντας διάφορες δόσεις μολόχας και 0.5 mM Al^{3+} .

Συγκέντρωση Al^{3+} (mM)	Καθίζηση 10 min	%Απομάκρυνσ η Θολότητας	Καθίζηση 20 min	%Απομάκρυνσ η Θολότητας	Καθίζηση 30 min	%Απομάκρυνσ η Θολότητας	DOC
Αρχική θολότητα 43							
0	49	-13,95	48	-11,63	47,5	-10,47	29,82
0,025	49	-13,95	48	-11,63	47	-9,30	29,07
0,3	40	6,98	34,5	19,77	33,5	22,09	20,14
Αρχική θολότητα 46							
0,5	17,5	61,96	15,7	65,87	15,3	66,74	18,16
1	16	65,22	12,5	72,83	12	73,91	17,82

Πίνακας 13. Μετρήσεις για απομάκρυνση θολότητας σε λύμα χρησιμοποιώντας διάφορες δόσεις κροκιδωτικού και 75 mg/l μολόχα.

Συγκέντρωση μπάμιας (mg/l)	Καθίζηση 10 min	%Απομάκρυνσ η Θολότητας	Καθίζηση 20 min	%Απομάκρυνσ η Θολότητας	Καθίζηση 30 min	%Απομάκρυνσ η Θολότητας	DOC
Αρχική θολότητα 51							
0	25	50,98	19,5	61,76	18,5	63,73	13,31
Αρχική θολότητα 50							
0,25	22	56,00	18,5	63,00	17,5	65,00	13,45
Αρχική θολότητα 41							
0,5	19	53,66	14,3	65,12	12,5	69,51	12,69
2,5	15,5	62,20	11,7	71,46	10,7	73,90	15,83
5	16,5	59,76	12	70,73	11	73,17	12,15
10	14,5	64,63	12	70,73	11,5	71,95	12,87
20	12,5	69,51	12	70,73	10,8	73,66	13,62
Αρχική θολότητα 46							
25	21	54,35	18,5	59,78	17,3	62,39	18,61

Πίνακας 14. Μετρήσεις για απομάκρυνση θολότητας σε λύμα χρησιμοποιώντας διάφορες δόσεις μπάμιας και 0.5 mM Al^{3+} .

Συγκέντρωση Al^{3+} (mM)	Καθίζηση 10 min	%Απομάκρυνσ η Θολότητας	Καθίζηση 20 min	%Απομάκρυνσ η Θολότητας	Καθίζηση 30 min	%Απομάκρυνσ η Θολότητας	DOC
arx.thol.37							
0	38	-2,70	36,5	1,35	36,5	1,35	23,93
0,025	38	-2,70	38	-2,70	38	-2,70	25,76
0,3	22,5	39,19	21,5	41,89	20,5	44,59	18,49
arx.thol.41							
0,5	12,5	69,51	12	70,73	10,80	73,66	13,62
arx.thol.37							
1	5	86,49	4,2	88,65	4,1	88,92	13,7

Πίνακας 15. Μετρήσεις για απομάκρυνση θολότητας σε λύμα χρησιμοποιώντας διάφορες δόσεις κροκιδωτικού και 20 mg/l μπάμια.