



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ**

**ΔΙΑΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΟ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ**

**Οργάνωση και Διοίκηση Βιομηχανικών Συστημάτων**  
Ειδίκευση: Συστήματα Διαχείρισης Ενέργειας και Προστασίας Περιβάλλοντος

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

Της Nertila Vallaj ΔΠΜΣ/ 1018

**“Αξιοποίηση Λιγνοκυτταρινούχων Απορριμμάτων για την  
Αντιμετώπιση της Ρύπανσης των Υδάτων”**

**Τριμελής Επιτροπή**

**Φ. Μπατζιάς, Ομότιμος Καθηγητής**  
**Δ. Σιδηράς, Αναπληρωτής Καθηγητής (Επιβλέπων)**  
**Χ. Σιοντόρου, Λέκτορας**

**Αθήνα, Ιούλιο 2013**

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του Διατμηματικού Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου και του Πανεπιστημίου Πειραιώς στην Οργάνωση και Διοίκηση Βιομηχανικών Συστημάτων με Ειδίκευση στα Συστήματα Διαχείρισης της Ενέργειας και Προστασίας Περιβάλλοντος. Στόχος της εργασίας ήταν να συμβάλει στην Έρευνα και την Ανάπτυξη βιομηχανικών προϊόντων που προέρχονται από την επεξεργασία στερεών απορριμμάτων. Τα προϊόντα αυτά χρησιμοποιούνται σε διεργασίες απομάκρυνσης/εξουδετέρωσης ρύπων και έτσι επιτυγχάνεται μία διπλή περιβαλλοντική παρέμβαση, δημιουργώντας εξωτερικές οικονομίες (external economies) που αποτελούν τη βάση ανάπτυξης μιας ενδιαφέρουσας επιστημονικής/τεχνολογικής περιοχής που έχει γίνει γνωστή ως Βιομηχανική Οικολογία (Industrial Ecology).

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κύριο Δ. Σιδηρά (Αναπληρωτής Καθηγητής / Διευθυντής του Εργαστηρίου Προσομοίωσης Βιομηχανικών Διεργασιών και Επιβλέποντα της Διπλωματικής μου), τον κύριο Φ. Μπατζιά (Αφυπηρετήσαν Καθηγητής) και την κυρία Χ. Σιοντόρου (Λέκτορα) για τις πολύτιμες συμβουλές τους και την καθοδήγησή μου στις μεθόδους της επιστημονικής διερεύνησης και γενικά τους συνεργάτες του Εργαστηρίου Προσομοίωσης Βιομηχανικών Διεργασιών, για την πολύτιμη βοήθειά τους.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου και τους φίλους που με στήριξαν στην προσπάθειά μου αυτή.

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα τελευταία χρόνια εμφανίζεται ιδιαίτερο ενδιαφέρον για τις τεχνολογίες προστασίας και αποκατάστασης του περιβάλλοντος και της παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η επεξεργασία των λιγνοκυτταρινούχων υλικών (άχυρα, ξύλο κλπ) με στόχο την χρησιμοποίησή τους ως προσροφητικά υλικά. Ωστόσο η αξιοποίηση και χρήση τους γι' αυτόν το λόγο θα πρέπει να εξεταστεί με βάση διάφορα τεχνοοικονομικά κριτήρια έτσι ώστε να αξιολογηθούν οι εκάστοτε συνθήκες υπό τις οποίες θα μπορούσε ένα λιγνοκυτταρινούχο υλικό να αντικαταστήσει κάποια ευρέως διαδεδομένα προσροφητικά μέσα όπως ο ενεργός άνθρακας, ως μια οικονομικότερη εναλλακτική λύση. Η αξιοποίηση των λιγνοκυτταρινούχων υλικών όμως δεν περιορίζεται μόνο στη χρήση τους ως προσροφητικά μέσα, η επεξεργασία των λιγνοκυτταρινούχων υλικών (άχυρα, ξύλο κλπ) με στόχο την αξιοποίηση των τριών βασικών συστατικών (κυτταρίνη, ημικυτταρίνες, λιγνίνη) είναι ιδιαίτερα διαδεδομένη. Οι βιομηχανικές διεργασίες επεξεργασίας των λιγνοκυτταρινούχων υλικών αποτελούν αντικείμενο έντονων ερευνητικών προσπαθειών και εκτεταμένων βιομηχανικών εφαρμογών σε διεθνές επίπεδο. Τέτοιες διαδικασίες είναι η όξινη υδρόλυση, η απολιγνίνωση, η άλεση και η χρήση διαλυτών των παραπάνω τριών συστατικών.

Σκοπός της επεξεργασίας των βιομηχανικών υγρών αποβλήτων είναι η ασφαλής διάθεση τους σε κάποιον φυσικό αποδέκτη χωρίς κίνδυνο για την υγεία των ανθρώπων ή την πρόκληση ρύπανσης στο φυσικό περιβάλλον. Η επεξεργασία αυτή επιτυγχάνεται με έναν συνδυασμό φυσικών, χημικών και βιολογικών διεργασιών που απομακρύνει τα ανόργανα και οργανικά στερεά, διασπά την απομένουσα οργανική ουσία και τους παθογόνους μικροοργανισμούς.

Στην παρούσα διπλωματική εξετάζεται η αξιοποίηση λιγνοκυτταρινούχου υλικού και η συμβολή αυτού στη τριτοβάθμια επεξεργασία υγρών αποβλήτων βαφείου κλωστοϋφαντουργίας με προσρόφηση. Η φυσική διεργασία της προσρόφησης, στηρίζεται στο φαινόμενο κατά το οποίο ιόντα ή μόρια μιας ουσίας (συνήθως οργανικού ρύπου) που είναι διαλυμένη στο νερό συγκεντρώνονται στην επιφάνεια των σωματιδίων. Ο ρύπος που προσροφάται αποκαλείται adsorbate (προσροφούμενη ουσία) και η στερεά φάση πάνω στην οποία συγκεντρώνεται ο ρύπος αποκαλείται adsorbent

(προσροφητής) και είναι στην συγκεκριμένη εργασία απροκατέργαστο και προκατεργασμένο λιγνοκυτταρινούχο υλικό (συγκεκριμένα, άχυρο σιταριού).

Οι διεργασίες προσρόφησης βασίζονται στις ιδιότητες ορισμένων πορωδών στερεών σωμάτων, τα οποία προσροφούν φυσικά αέρια ή υγρά από αραιά διαλύματα. Τα περισσότερα προσροφητικά είναι υλικά με μεγάλο πορώδες, στα οποία η προσρόφηση λαμβάνει χώρα κυρίως στα τοιχώματα των πόρων ή σε συγκεκριμένες θέσεις μέσα στο σωματίδιο. Επειδή γενικά οι πόροι είναι πολύ μικροί, η εσωτερική ειδική επιφάνεια είναι τάξεις μεγέθους μεγαλύτερη από την εξωτερική ειδική επιφάνεια. Με το φαινόμενο της προσρόφησης μπορούν να δεσμευθούν βαρέα μέταλλα (π.χ. μόλυβδος, υδράργυρος, άργυρος), ιχνοστοιχεία (π.χ. σελήνιο, αρσενικό), διάφορα μέταλλα (π.χ. χαλκός, χρώμιο), ενώσεις (χρωστικές, ελεύθερα κυανιούχα, κυανιούχα μετάλλων, ιόντα αμμωνίου, οργανικοί διαλύτες κλπ).

Ειδικότερα στο κεφάλαιο 1 γίνεται μια εισαγωγή στα συστήματα και τις μεθόδους επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων. Τα συστήματα επεξεργασίας χωρίζονται στα φυσικά συστήματα τα οποία εκμεταλλεύονται τα διάφορα φυσικά οικοσυστήματα που αναλαμβάνουν να αποικοδομήσουν το ρυπαντικό φορτίο ή ένα μέρος αυτού και τα συμβατικά συστήματα επεξεργασία που αποτελούν μια προσομοίωση των φυσικών διεργασιών που λαμβάνουν χώρα στα φυσικά οικοσυστήματα.

Στο κεφάλαιο 2 αναπτύσσεται το εργοστάσιο των υφανσίμων, οι διάφορες διεργασίες, τα στάδια παραγωγής, οι πρώτες ύλες καθώς επίσης και η φύση των αποβλήτων που προέρχονται από αυτό.

Στο κεφάλαιο 3 γίνεται μια αναφορά στο φαινόμενο της προσρόφησης, τα είδη της προσρόφησης καθώς και στα διάφορα μαθηματικά μοντέλα που έχουν αναπτυχθεί για την καλύτερη προσομοίωση του φαινομένου. Επίσης γίνεται αναφορά στις χρωστικές ουσίες και στα διάφορα προσροφητικά μέσα που είναι ευρέως διαδεδομένα και χρησιμοποιούνται στον οικιακό, βιομηχανικό και αγροτικό τομέα.

Στο κεφάλαιο 4 αναπτύσσεται η αυτοϋδρόλυση και η χρήση της στη προκατεργασία διαφόρων λιγνοκυτταρινούχων υλικών. Παρουσιάζονται επίσης τα διάφορα μαθηματικά μοντέλα που έχουν αναπτυχθεί και έχουν ως στόχο, την όσο το δυνατόν

καλύτερη προσομοίωση των διεργασιών, χημικών και μη που λαμβάνουν χώρα κατά τη διαδικασία της υδρόλυσης.

Στο κεφάλαιο 5 παρουσιάζεται περιληπτικά η πειραματική διαδικασία, τα υλικά, τα εργαστηριακά όργανα που χρησιμοποιήθηκαν καθώς και η μεθοδολογία των πειραμάτων της παρούσης εργασίας.

Στο κεφάλαιο 6 γίνεται η παρουσίαση των αποτελεσμάτων των εργαστηριακών πειραμάτων και η μελέτη των διαφόρων παραμέτρων.

Στο κεφάλαιο 7 ακολουθεί ο σχολιασμός των αποτελεσμάτων της πειραματικής διαδικασίας, τα συμπεράσματα τα οποία προκύπτουν από την παρούσα εργασία, καθώς επίσης και κάποιες προτάσεις που τυγχάνουν επιστημονικού ενδιαφέροντος για πιθανή μελλοντική έρευνα.

Στο κεφάλαιο 8 παρουσιάζεται η σχετική βιβλιογραφία που χρησιμοποιήθηκε για το θεωρητικό υπόβαθρο της εργασίας.

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ:

Πρόλογος	
Εισαγωγή	
Περιεχόμενα	
1 Συστήματα και μέθοδοι επεξεργασίας υγρών αποβλήτων	Σελ. 1
1.1 Πρωτοβάθμια επεξεργασία υγρών αποβλήτων	Σελ. 1
1.1.1 Γενικά	Σελ. 1
1.1.2 Εσχάρωση	Σελ. 1
1.1.3 Εξάμμωση – Λιποσυλλογή	Σελ.3
1.1.4 Καθίζηση (πρωτοβάθμια)	Σελ. 4
1.2 Δευτεροβάθμια επεξεργασία υγρών αποβλήτων	Σελ. 8
1.2.1 Γενικά	Σελ. 8
1.2.2 Αερόβια συστήματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων	Σελ. 9
1.2.3 Αναερόβια συστήματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων	Σελ. 11
1.2.4 Αερόβια – Αναερόβια συστήματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων ...	Σελ. 12
1.3 Τριτοβάθμια επεξεργασία υγρών αποβλήτων	Σελ. 13
1.3.1 Γενικά	Σελ. 13
1.3.2 Διήθηση	Σελ. 14
1.3.3 Μεμβράνες	Σελ. 15
1.3.4 Αντίστροφη ώσμωση	Σελ. 15
1.3.5 Χημικές διεργασίες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων	Σελ. 16
1.3.6 Προσρόφηση	Σελ. 17
1.3.7 Ιοντοεναλλαγή	Σελ. 18
2 Απόβλητα βαφείου	Σελ. 19
2.1 Δομή Βαφείου – Φινιριστήριο	Σελ. 19
2.2 Πηγές αποβλήτων	Σελ. 19
2.3 Χαρακτηριστικά αποβλήτων	Σελ. 21
2.4 Μείωση όγκου και ρυπαντικού φορτίου	Σελ. 24
2.5 Επισκόπηση της εργασίας	Σελ. 25
2.6 Πρότυπα ποιότητας νερού	Σελ. 26
2.7 Μείωση ρυπαντικού φορτίου	Σελ. 26
2.8 Επεξεργασία αποβλήτων	Σελ. 27
3 Προσρόφηση για καθαρισμό υδατικών αποβλήτων	Σελ. 27
3.1 Χαρακτηριστικά των αποβλήτων που περιέχουν χρωστικές ουσίες	Σελ. 27
3.2 Χαρακτηριστικά του αποδέκτη	Σελ. 29
3.3 Προσρόφηση	Σελ. 29
3.4 Είδη προσρόφησης	Σελ. 31
3.5 Στάδια προσρόφησης	Σελ. 32
3.6 Μαθηματικά μοντέλα του φαινομένου της προσρόφησης	Σελ. 33
3.6.1 Ισόθερμες προσρόφησης	Σελ. 33
3.6.2 Είδη ισόθερμων	Σελ. 37
3.6.3 Κινητική προσρόφησης	Σελ. 40
3.7 Τεχνικές προσρόφησης, είδη προσροφητικών μέσων και χρωστικές	Σελ. 43
4 Τροποποίηση λιγνοκυτταρινούχων υλικών	Σελ. 46
4.1 Γενικά	Σελ. 46
4.2 Αχυρο	Σελ. 47

4.3	Αυτοϋδρόλυση .....	Σελ. 49
4.4	Άλλοι τρόποι τροποποίησης λιγνοκυτταρινούχων υλικών .....	Σελ. 54
5	Πειραματική διαδικασία .....	Σελ. 56
5.1	Προκατεργασία βελτίωσης προσροφητικών μέσων .....	Σελ. 56
5.2	Κινητική .....	Σελ. 57
6	Πειραματικά αποτελέσματα .....	Σελ. 58
6.1	Παρουσίαση προσροφητικών υλικών .....	Σελ. 58
6.2	Παρουσίαση αποτελεσμάτων κινητικής .....	Σελ. 58
6.3	Συγκεντρωτικά αποτελέσματα .....	Σελ. 136
6.3.1	Επεξεργασία αποτελεσμάτων με γραμμική παλινδρόμηση .....	Σελ. 136
6.3.2	Επεξεργασία αποτελεσμάτων με μη γραμμική παλινδρόμηση .....	Σελ. 149
6.4	Προσομοίωση της κινητικής προσρόφησης .....	Σελ. 203
7	Συμπεράσματα και προτάσεις για μελλοντική έρευνα .....	Σελ. 203
7.1	Συμπεράσματα .....	Σελ. 223
7.2	Προτάσεις για μελλοντική έρευνα .....	Σελ. 223
8	Βιβλιογραφία .....	Σελ. 224

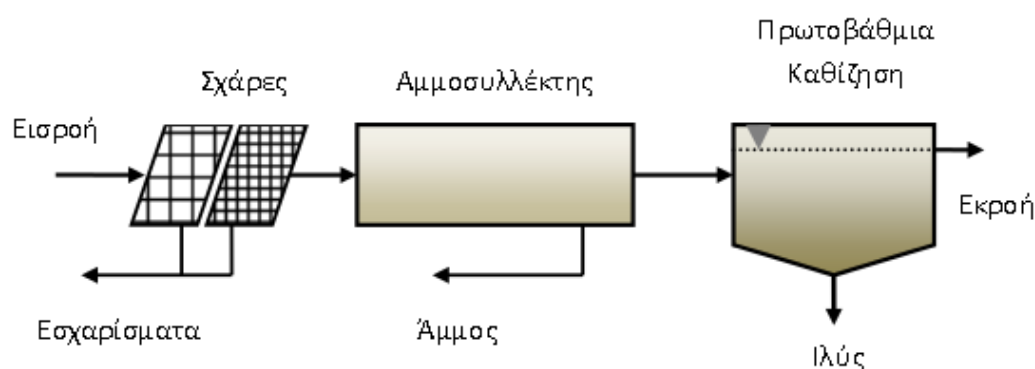
# 1. Συστήματα και μέθοδοι επεξεργασίας υγρών αποβλήτων

## 1.1 Πρωτοβάθμια επεξεργασία αστικών λυμάτων

### 1.1.1 Γενικά

Η πρωτοβάθμια ή μηχανική επεξεργασία περιλαμβάνει τον εσχαρισμό, την αμμοσυλλογή, τη λιποσυλλογή και την πρωτοβάθμια καθίζηση. Σ' αυτό το τμήμα της εγκατάστασης απομακρύνονται από τα λύματα όλες οι ανόργανες φερτές ύλες και από τις οργανικές ουσίες αυτές που καθιζάνουν και αυτές που επιπλέουν.

**Σχήμα 1.1:** Πρωτοβάθμια ή μηχανική επεξεργασία αστικών λυμάτων (πηγή: Ε Νταρακάς, 2010)



Απόδοση μηχανικού καθαρισμού:

- Μείωση αιωρούμενων σωματιδίων (TSS) κατά 40 – 50 %.
- Μείωση οργανικού φορτίου ως BOD 5 κατά 25 – 30 %.

[Νταρακάς, 2010].

### 1.1.2 Εσχάρωση

Οι σχάρες είναι διατάξεις οι οποίες κατασκευάζονται συνήθως από κεκλιμένες ράβδους από ανοξείδωτο χάλυβα ορθογώνιας διατομής με στρογγυλεμένες ακμές. Με την είσοδό τους στην Ε.Ε.Λ. (Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων) τα λύματα διέρχονται από σχάρες όπου συγκρατούνται τα ευμεγέθη στερεά όπως τεμάχια ξύλου,



πανιά, γυαλιά, πλαστικά, φλοιοί φρούτων και λαχανικών κ.λπ. τα οποία είναι δυνατόν να προκαλέσουν εμφράξεις στις σωληνώσεις και τις αντλίες της εγκατάστασης παρεμποδίζοντας την επεξεργασία των λυμάτων. Μερικές φορές τοποθετούνται στη σειρά διαδοχικά σχάρες με μεγάλο και μετά σχάρες με μικρό άνοιγμα. Ο βαθμός καθαρισμού των λυμάτων (απόδοση) είναι φυσικά διαφορετικός. Η απόσταση των ράβδων ποικίλει από μερικά χιλιοστά έως μερικά εκατοστά. Υπάρχουν σχάρες με μεγάλο άνοιγμα (απόσταση ράβδων 40 – 100 mm) οι οποίες καθαρίζονται χειρονακτικά, σχάρες με μικρό άνοιγμα (απόσταση ράβδων 6 – 40 mm) και σχάρες με πολύ μικρό άνοιγμα (απόσταση ράβδων 3 – 6 mm) οι οποίες καθαρίζονται με μηχανικά μέσα. Οι διατάξεις που συνήθως χρησιμοποιούνται είναι μηχανικά αυτοκαθαριζόμενες σχάρες. Σχάρες χρησιμοποιούνται όπου αλλού απαιτείται προστασία ευαίσθητων τμημάτων της Ε.Ε.Λ. (π.χ. σίφωνες).

**Σχήμα 1.2:** Σχάρα (πηγή: Μαρκαντωνάτος, 1990)



Τα εσχαρίσματα που προκύπτουν συμπιέζονται ελαφρά, αφυδατώνονται και οδηγούνται σε χώρους υγειονομικής ταφής στερεών αποβλήτων. Απόδοση εσχαρισμού αποβλήτων (εξαρτάται από το άνοιγμα των σχαρών και την κατά μέγεθος κατανομή των αιωρούμενων σωματιδίων των αποβλήτων):

- Μείωση αιωρούμενων σωματιδίων (TSS) κατά 5 – 10 %.
- Μείωση οργανικού φορτίου ως BOD 5 κατά 0 – 10 %.

Μεγαλύτερες αποδόσεις επιτυγχάνονται με πιο λεπτές σχάρες [Μαρκαντωνάτος, 1990]

### 1.1.3 Εξάμμωση και Λιποσυλλογή (Αμμοσυλλέκτες)

Η άμμος που υπάρχει στα λύματα πρέπει να απομακρυνθεί μόλις τα λύματα εισέλθουν στην Ε.Ε.Λ. γιατί κατακάθεται στον πυθμένα των δεξαμενών καθίζησης και φθείρει τον μηχανολογικό εξοπλισμό των δεξαμενών (αναδευτήρες, σαρωτές, αντλίες κ.λπ.). Επίσης αυξάνει τον απαιτούμενο όγκο των δεξαμενών επεξεργασίας ιλύος. Οι διατάξεις που χρησιμοποιούνται για την εξάμμωση ονομάζονται αμμοσυλλέκτες και η λειτουργία τους βασίζεται είτε στην επίδραση της βαρύτητας είτε στην επίδραση της φυγόκεντρης δύναμης.

Η διάταξη της εξάμμωσης, δηλαδή ο αμμοσυλλέκτης, είναι στην πραγματικότητα μια δεξαμενή καθίζησης στην οποία τα διακεκριμένα στερεά τα οποία βρίσκονται σε υγρό με μικρότερη πυκνότητα, επιταχύνονται μέχρις ότου φθάσουν να κινούνται με μια τερματική ή οριακή ταχύτητα. Τότε η δύναμη βαρύτητας εξισορροπείται με τη οπισθέλκουσα δύναμη με αποτέλεσμα την καθίζηση των στερεών. Στόχος είναι ο διαχωρισμός των κόκκων άμμου, των σωματιδίων αργίλου ή των άλλων αδρανών υψηλής πυκνότητας, με διάμετρο μεγαλύτερη από 200 μm που δεν είναι οργανικά και έχουν ταχύτητες καθίζησης σημαντικά μεγαλύτερες από εκείνες των οργανικών στερεών. Η ταυτόχρονη καθίζηση και μικρής ποσότητας οργανικών ουσιών αντιμετωπίζεται με διατάξεις πλύσης της άμμου οι οποίες τοποθετούνται στους αμμοσυλλέκτες. Οι κόκκοι της άμμου καθιζάνουν με ταχύτητες που εξαρτώνται από τις διαστάσεις και το ειδικό τους βάρος. Στους αμμοσυλλέκτες τα λύματα δεν είναι στάσιμα αλλά βρίσκονται σε συνεχή ροή. Συνεπώς και η ροή (στρωτή ή τυρβώδης) παίζει σημαντικό ρόλο καθώς επίσης και η θερμοκρασία των λυμάτων. Με στρωτή ροή η καθίζηση της άμμου γίνεται ομαλά, με την ίδια ταχύτητα όπως και στα στάσιμα νερά. Όταν όμως η ροή δεν είναι στρωτή η καθίζηση της άμμου επιβραδύνεται και δημιουργούνται προβλήματα στον αμμοσυλλέκτη. Συγκεκριμένα οι υπερβολικά μικρές ταχύτητες οδηγούν στη καθίζηση οργανικών σωματιδίων με επακόλουθο τη σήψη των οργανικών ενώσεων και τις δυσάρεστες οσμές.

**Εικόνα 1.3:** Αμμοσυλλέκτης (πηγή: Ν. Δερμίση - Λεπτίδου, 1996)



Οι αμμοσυλλέκτες είναι απολύτως απαραίτητοι σε όλες τις Ε.Ε.Λ. ιδιαίτερα όμως σε παντοροϊκά συστήματα αποχέτευσης, επειδή σε περιπτώσεις μεγάλης βροχής συμπαρασύρονται μεγάλες ποσότητες άμμου, οι οποίες λόγω μεγάλου στροβιλισμού παραμένουν σε αιώρηση. Οι κυριότεροι τύποι αμμοσυλλεκτών είναι οι οριζόντιοι, οι κατακόρυφοι, οι κυκλικοί. Οι αμμοσυλλέκτες μπορεί να είναι αεριζόμενοι ή μη.

Η απομάκρυνση της άμμου γίνεται με το χέρι σε μικρές εγκαταστάσεις και με αντλίες ή ξέστρα που αναρτώνται σε κινούμενες γέφυρες σε μεγάλες εγκαταστάσεις. Η άμμος συνήθως πλένεται αφυδατώνεται και απομακρύνεται.

Τα λίπη και τα έλαια τα οποία υπάρχουν στα υγρά απόβλητα δημιουργούν προβλήματα στο στάδιο της βιολογικής επεξεργασίας των λυμάτων. Η λιποσυλλογή μπορεί να πραγματοποιηθεί πριν ή και ταυτόχρονα με την αμμοσυλλογή. Συνήθως χρησιμοποιείται η μέθοδος της επίπλευσης επειδή τα λίπη έχουν την ικανότητα να επιπλέουν στην επιφάνεια των υγρών αποβλήτων, απ' όπου απομακρύνονται συνήθως με ξέστρα επιφανείας ή με αναρρόφηση. [Δερμίση - Λεπτίδου, 1996]

#### **1.1.4 Καθίζηση (πρωτοβάθμια)**

Με την καθίζηση επιτυγχάνεται ο διαχωρισμός από τα λύματα των ουσιών που καθιζάνουν και αυτών που επιπλέουν. Πρόκειται για μια φυσική διεργασία διαχωρισμού των αιωρούμενων σωματιδίων, το ειδικό βάρος των οποίων είναι μεγαλύτερο από το αντίστοιχο του νερού. Για σωματίδια με μέσο μέγεθος μεγαλύτερο

από 100  $\mu\text{m}$  και συγκέντρωση μεγαλύτερη από 50 mg/l, η καθίζηση είναι η κατ' εξοχήν εφαρμοζόμενη μέθοδος διαχωρισμού. Στηρίζεται στο φαινόμενο της βαρύτητας και εφαρμόζεται για την απομάκρυνση διαφόρων στερεών που καθιζάνουν.

Η καθίζηση εφαρμόζεται:

- για την απομάκρυνση της άμμου στους αμμοσυλλέκτες,
- για την απομάκρυνση των TSS (πρωτοβάθμια καθίζηση),
- για την απομάκρυνση των βιολογικών κροκίδων μετά από βιολογική επεξεργασία (δευτεροβάθμια καθίζηση),
- για την απομάκρυνση των χημικών κροκίδων (μετά από χημική κροκίδωση),
- για την πάχυνση (πύκνωση) των στερεών στους παχυντές ιλύος.

Η ευρεία χρήση της καθίζησης οφείλεται στην απλότητα της μεθόδου, παρά τις περιπλοκές που παρουσιάζουν πολλές φορές διάφορες δεξαμενές καθίζησης, και στη μικρή κατανάλωση ενέργειας.

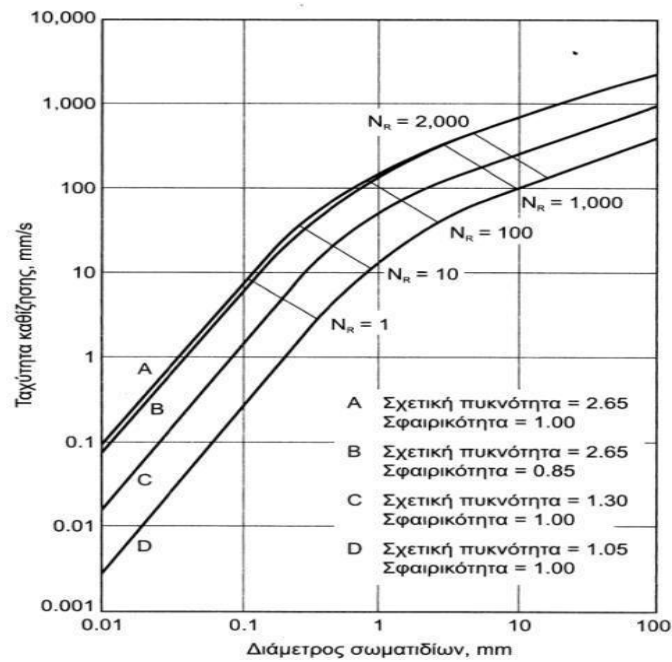
Τα σωματίδια καθιζάνουν με βαρύτητα και η ταχύτητα καθίζησης σε ηρεμία εξαρτάται από το μέγεθος, το ειδικό βάρος και το σχήμα των σωματιδίων καθώς και την κινηματική συνεκτικότητα του ρευστού, η οποία είναι συνάρτηση και της θερμοκρασίας. [Τσώνης, (2004)]

Ο πίνακας και το σχήμα 1.1.4.1 παρουσιάζουν τα χαρακτηριστικά καθίζησης ορισμένων αιωρουμένων σωματιδίων.

**Πίνακας 1.1:** Χαρακτηριστικά καθίζησης αιωρουμένων σωματιδίων (πηγή: Νταρακάς, 2010)

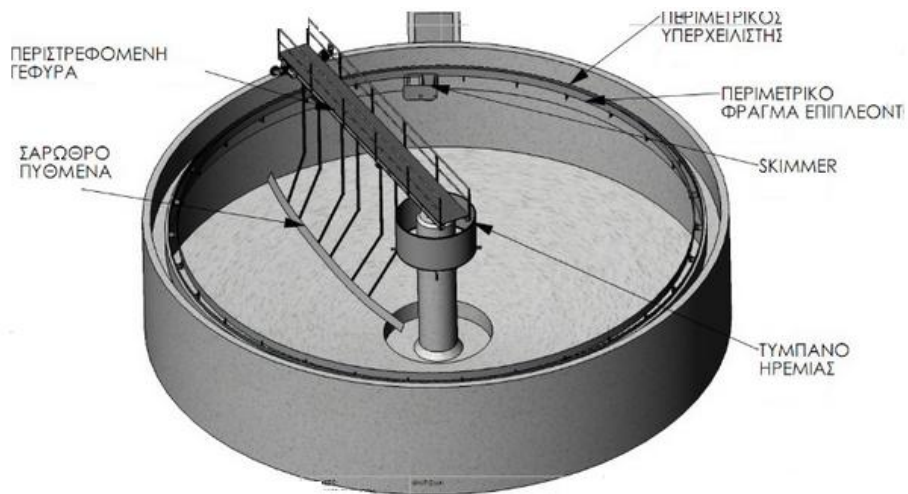
Υλικό	Μέγεθος ( $\mu\text{m}$ )	Χρόνος καθίζησης 1,0m
Χαλαζίας (άμμος)	10.000	1 δευτερόλεπτο
	1.000	10 δευτερόλεπτα
	100	125 δευτερόλεπτα
Ιλύς	10	108 λεπτά
Βακτήρια	1	180 ώρες
Κολλοειδή	0,1	Πάρα πολλές μέρες

**Εικόνα 1.4:** Ταχύτητα καθίζησης διαφόρων σωματιδίων (πηγή: Νταρακάς, 2010)



Η πρωτοβάθμια καθίζηση γίνεται σε ορθογώνιες, ή κυκλικές δεξαμενές (σχήμα 1.4.2) όπου τα στερεά καθιζάνουν σε συνθήκες ηρεμίας κάτω από την επίδραση της βαρύτητας. Ο χρόνος παραμονής κυμαίνεται από 1,5 – 3,0 ώρες, με βάση τη μέση παροχή των λυμάτων.

**Εικόνα 1.5:** Δεξαμενή καθίζησης (πηγή: <http://envecogreen.gr/articles.php?action=view&id=51>)



Οι παράγοντες που επηρεάζουν την καθίζηση, δηλαδή την απόδοση των δεξαμενών, είναι η μεταβολή της πυκνότητας του νερού (συγκέντρωση αλάτων, θολότητα, θερμοκρασία), οι διατάξεις ηρεμίας κατά την εισροή του νερού, οι άνεμοι, και οι μηχανισμοί απομάκρυνσης της ιλύος. [Μήτρακας, (2001)]

Απόδοση πρωτοβάθμιας καθίζησης:

- Μείωση αιωρούμενων σωματιδίων (TSS) κατά 40 – 50 %.
- Μείωση οργανικού φορτίου ως BOD5 κατά 25 – 30 %.

Σημειώνεται ότι ο βαθμός απόδοσης των δεξαμενών πρωτοβάθμιας καθίζησης καθορίζεται από τη μέθοδο επεξεργασίας που θα εφαρμοστεί περαιτέρω. Όταν εφαρμόζεται μόνο μηχανική επεξεργασία, η καθίζηση θέτει αυστηρά όρια και έτσι στην εκροή από τις δεξαμενές, δεν επιτρέπεται μεγαλύτερη περιεκτικότητα από 0.3 cm<sup>3</sup>/lt σε καθιζάνουσα ιλύ. Στην περίπτωση της βιολογικής επεξεργασίας με τη μέθοδο της αιωρούμενης βιομάζας, οι απαιτήσεις στο βαθμό απόδοσης των δεξαμενών πρωτοβάθμιας καθίζησης είναι σχετικά μικρές. Πολλές φορές αρκεί μόνο η απομάκρυνση των πλέον μεγάλων σωματιδίων. Αντίθετα οι απαιτήσεις στην εκροή από τις δεξαμενές τελικής καθίζησης οι οποίες τοποθετούνται μετά τη βιολογική και χημική επεξεργασία για να συγκρατήσουν τους βιολογικούς και χημικούς θρόμβους είναι πολύ αυστηρές. Περισσότερα για τις δεξαμενές αυτές αναφέρονται παρακάτω.

Η ιλύς που προκύπτει από τις δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης (συνήθως 45 gr/κατ. ημ.) περιέχει κυρίως ανόργανες ουσίες, δηλαδή πολλά αδρανή υλικά όπως άμμο, χόμα κ.λπ. Πρόκειται για ιλύ η οποία αφυδατώνεται σχετικά εύκολα. Η περιεκτικότητά της σε στερεά είναι συνήθως 2,5 – 3,0 %. Με δεδομένο ότι τα λύματα στο στάδιο του μηχανικού καθαρισμού δεν έχουν ακόμα υποστεί βιολογική επεξεργασία, η ιλύς της πρωτοβάθμιας καθίζησης περιέχει και πολύ μεγάλο ποσοστό οργανικών ουσιών. Γι αυτό το λόγο απαιτείται οπωσδήποτε σταθεροποίηση πριν την τελική της διάθεση [Βασιλικιώτης, (1986)]

**Πίνακας 1.2.:** Η καθίζηση ως μέθοδος απομάκρυνσης ρυπαντών από τα υγρά απόβλητα (πηγή: Νταρακάς, 2010)

Ρυπαντής	Κροκίδωση και καθίζηση	Πρωτοβάθμια καθίζηση	Βιολογική επεξεργασία και καθίζηση	Προσθήκη χημικών στην εισροή, βιολογική επεξεργασία και καθίζηση
Αιωρούμενη οργανική ύλη	Καλή - Άριστη	<b>Μέτρια – Καλή</b>	Καλή – Άριστη	Καλή – Άριστη
Διαλυμένη οργανική ύλη	Κακή – Μέτρια	-	Κακή	Κακή
Αμμωνιακό άζωτο	-	-	-	-
Ανόργανο άζωτο	-	-	-	-
Φώσφορος	Καλή - Άριστη			Καλή - Άριστη
Σουλφίδια	-	-	-	-
Πτητικές οργανικές ενώσεις (VOC)	-	-	-	-
Ημιπτητικές οργανικές ενώσεις (SOC)	Κακή – Μέτρια	-	-	-
Φυτοφάρμακα		-		
Βαριά μέταλλα	Καλή - Άριστη	<b>Κακή – Μέτρια</b>	Καλή - Άριστη	Καλή - Άριστη
Παθογόνοι μικροοργανισμοί	Κακή	<b>Κακή</b>	Κακή	Κακή
<b>Κακή: 0-20%, Μέτρια: 20-60%, Καλή: 60-90%, Άριστη: 90-100%</b>				

## 1.2 Δευτεροβάθμια επεξεργασία αστικών λυμάτων

### 1.2.1 Γενικά

Η δευτεροβάθμια επεξεργασία των αστικών λυμάτων ακολουθεί συνήθως την πρωτοβάθμια και αποσκοπεί στη περαιτέρω μείωση του διαλυτού οργανικού φορτίου (BOD) και των αιωρούμενων στερεών (S.S.), ενώ ακόμα μπορεί να στοχεύει στη μείωση των αζωτούχων (N) και φωσφορικών (P) ενώσεων, που μπορεί να υπάρχουν στα υγρά απόβλητα. Με δεδομένο ότι το κυριότερο ρυπαντικό φορτίο στα αστικά λύματα είναι κατά το μεγαλύτερο μέρος (σε ποσοστό περίπου 70 %) οργανικής σύνθεσης, η βιολογική επεξεργασία των υγρών αποβλήτων στηρίζεται στη βιοχημική αποικοδόμηση και μετατροπή των πολύ λεπτών και διαλυμένων οργανικών ουσιών σε συσσωματώματα, τα οποία στη συνέχεια απομακρύνονται με καθίζηση. Διακρίνεται

ανάλογα με τους μικροοργανισμούς οι οποίοι παίζουν το σπουδαιότερο ρόλο και είναι υπεύθυνοι για τη διάσπαση και τη σταθεροποίηση των οργανικών ουσιών σε:

- **αερόβια**, κατά την οποία επιτυγχάνεται διάσπαση και σταθεροποίηση από αερόβιους και επαμφοτερίζοντες μικροοργανισμούς,
- **αναερόβια**, κατά την οποία επιτυγχάνεται διάσπαση και σταθεροποίηση από αναερόβιους και επαμφοτερίζοντες μικροοργανισμούς και
- **αερόβια-αναερόβια**, κατά την οποία επιτυγχάνεται διάσπαση και σταθεροποίηση και από τα τρία είδη των οργανισμών (αερόβιοι, αναερόβιοι και επαμφοτερίζοντες).

Κατά τη βιολογική διεργασία οι μικροοργανισμοί χρησιμοποιούν ένα μέρος της τροφής (του υποστρώματος) σε διεργασίες αποσύνθεσης, εξασφαλίζοντας την απαιτούμενη για τις λειτουργικές τους ανάγκες ενέργεια, ενώ παράλληλα χρησιμοποιούν ένα άλλο μέρος του υποστρώματος για τη σύνθεση της κυτταρικής τους δομής [Δεληγιάννης, (2009)]

### **1.2.2 Αερόβια συστήματα επεξεργασίας λυμάτων**

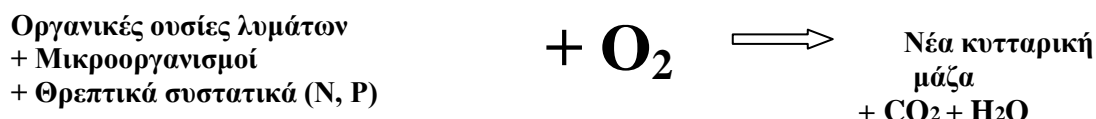
Η απομάκρυνση και η σταθεροποίηση της διαλυμένης και της σωματιδιακής οργανικής ύλης που βρίσκεται στα λύματα επιτυγχάνεται βιολογικά με τη χρήση αερόβιων μικροοργανισμών, κυρίως βακτηρίων. Οι μικροοργανισμοί λαμβάνουν ενέργεια καταναλώνοντας στοιχειακό οξυγόνο ( $O_2$ ) και οξειδώνουν το οργανικό υλικό των αποβλήτων (την τροφή τους) σε διοξείδιο του άνθρακα ( $CO_2$ ), νερό ( $H_2O$ ) και επιπρόσθετη βιομάζα (νέα κύτταρα) (σχήμα 1.2.2.1). Τα θρεπτικά συστατικά (N και P) απαιτούνται για τη μετατροπή της οργανικής ύλης σε απλά τελικά προϊόντα. Ο όρος νέα κυτταρική μάζα χρησιμοποιείται για να αναπαραστήσει τη βιομάζα που παράγεται ως αποτέλεσμα της οξείδωσης της οργανικής ύλης των υγρών αποβλήτων.

Η αμμωνία ( $NH_3$ ) που υπάρχει στα απόβλητα οξειδώνεται από ειδικά βακτήρια σε νιτρώδη ( $NO_2^-$ ) και νιτρικά ( $NO_3^-$ ) άλατα σε μια διαδικασία η οποία ονομάζεται νιτροποίηση και τα νιτρικά άλατα μετατρέπονται από άλλα ειδικά βακτήρια σε αέριο άζωτο ( $N_2$ ) σε μια διαδικασία η οποία ονομάζεται απονιτροποίηση. Έτσι απομακρύνεται το άζωτο από τα απόβλητα. Για την απομάκρυνση του φωσφόρου, οι



βιολογικές διεργασίες διαμορφώνονται έτσι ώστε να προάγουν την ανάπτυξη βακτηρίων με την ικανότητα να απορροφούν και να αποθηκεύουν μεγάλα ποσά ανόργανου φωσφόρου.

**Εικόνα 1.6:** Αερόβια βιολογική επεξεργασία λυμάτων (πηγή: Δεληγιάννης, 2009)



Η μέθοδος της αερόβιας επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων βασίζεται στην ανάμιξη και τον αερισμό των αποβλήτων υπό συνθήκες που επιτρέπουν την επικράτηση κατάλληλων αερόβιων μικροοργανισμών, σε βιοαντιδραστήρες, όπου τα διαλυτά και κolloειδή ρυπαντικά φορτία (εκπεφρασμένα ως οργανικό φορτίο μετρούμενο με το BOD5, ολικό άζωτο, ολικός φώσφορος κ.λπ.) μετατρέπονται σε προϊόντα αποσύνθεσης (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>) και προϊόντα σύνθεσης (νέα κυτταρική μάζα), τα οποία μπορούν εύκολα να διαχωριστούν και να απομακρυνθούν από την υγρή φάση. Η βιομάζα που παράγεται έχει σχετική πυκνότητα ελαφρώς μεγαλύτερη απ' αυτή του νερού και μπορεί να απομακρυνθεί από τα επεξεργασμένα υγρά απόβλητα με καθίζηση με βαρύτητα στις δεξαμενές τελικής καθίζησης. Εάν δεν απομακρυνθεί δεν επιτυγχάνεται ολοκληρωμένη επεξεργασία γιατί η βιομάζα είναι εκ φύσεως οργανικό υλικό και θα προσμετρηθεί ως BOD στην εκροή.

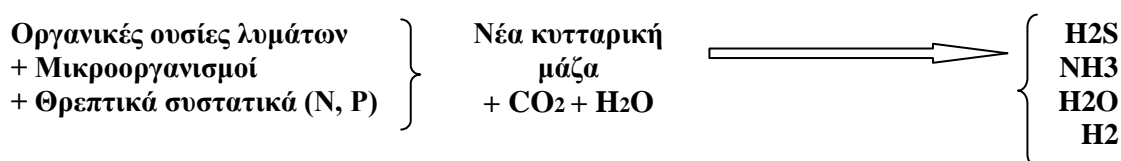
Οι βιοαντιδραστήρες σχεδιάζονται κατάλληλα, ώστε να παρέχουν ιδανικές συνθήκες ανάπτυξης των μικροοργανισμών (θερμοκρασία, pH, συγκέντρωση οξυγόνου, αλκαλικότητα, ανάδευση, κ.α.) και διαστασιολογούνται από την ένταση και το είδος των διεργασιών (αερόβιοι, αναερόβιοι) ενώ οι δεξαμενές καθίζησης είναι κοινές σε όλες τις περιπτώσεις.

### 1.2.3 Αναερόβια συστήματα επεξεργασίας λυμάτων

Κατά την αναερόβια διεργασία η βιολογική αποικοδόμηση του οργανικού υλικού πραγματοποιείται απουσία οξυγόνου με τη δράση αναερόβιων μικροοργανισμών, οι οποίοι αναπτύσσονται χρησιμοποιώντας ως πηγή ενέργειας τις

οργανικές ενώσεις. Τα βασικότερα προϊόντα της αναερόβιας διεργασίας, είναι μεθάνιο (CH<sub>4</sub>), διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>), υδρόθειο (H<sub>2</sub>S), υδρογόνο (H<sub>2</sub>), αμμωνία (NH<sub>3</sub>) και αναερόβια βιομάζα (σχήμα 1.2.3.1) Η δημιουργία των προϊόντων εξαρτάται από τις συνθήκες λειτουργίας, τα χαρακτηριστικά της τροφοδοσίας και τα εμπλεκόμενα είδη των μικροοργανισμών: [Δεληγιάννης, (2009)]

**Εικόνα 1.7:** Αναερόβια βιολογική επεξεργασία λυμάτων (πηγή: Δεληγιάννης, 2009)



Η αναερόβια αποικοδόμηση είναι μια πολύ αργή και ευαίσθητη διαδικασία στην οποία συμμετέχουν υποχρεωτικά αναερόβιοι μικροοργανισμοί όπως τα αρχαιοβακτήρια και τα μεθανοβακτήρια, τα οποία χαρακτηρίζονται από πολύ χαμηλούς ρυθμούς ανάπτυξης, καθώς και μύκητες και πρωτόζωα. Τα θετικά της αναερόβιας διαδικασίας είναι η παραγωγή μεθανίου (CH<sub>4</sub>), το οποίο μαζί με το διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) συνθέτει το βιοαέριο, ότι δεν απαιτείται αερισμός, ότι επιτυγχάνεται αποικοδόμηση δύσκολα βιοαποικοδομήσιμων ουσιών και ότι υπάρχει πολύ χαμηλή παραγωγή ιλύος.

Αναερόβια επεξεργασία εφαρμόζεται ως επί το πλείστον για τη χώνευση ή ζύμωση της ιλύος η οποία προκύπτει από τα συστήματα καθίζησης και για την επεξεργασία πυκνών βιομηχανικών ή άλλων αποβλήτων. Η διεργασία αποικοδόμησης πραγματοποιείται σε δυο στάδια από διαφορετικές ομάδες μικροοργανισμών. Στο πρώτο στάδιο γίνεται υδρόλυση και ζύμωση των σύνθετων οργανικών ενώσεων με παραγωγή απλών οργανικών οξέων από επαμφοτερίζοντα και αναερόβια βακτήρια, ενώ κατά το δεύτερο στάδιο μετατρέπονται τα οργανικά οξέα σε μεθάνιο (CH<sub>4</sub>) και διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) από αναερόβια βακτήρια. Λεπτομερέστερη περιγραφή των διεργασιών δίνεται στο κεφάλαιο που αφορά την αναερόβια χώνευση της ιλύος.

[ Δεληγιάννης, 2009]

## 1.2.4 Αερόβια – αναερόβια συστήματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων

Πρόκειται για συστήματα μικτής επεξεργασίας η οποία πραγματοποιείται σε δεξαμενές ή λίμνες σταθεροποίησης, όπου στο ανώτερο στρώμα διατηρούνται αερόβιες συνθήκες εξαιτίας του ατμοσφαιρικού οξυγόνου ή του παραγόμενου από τα φύκια οξυγόνου με τη διεργασία της φωτοσύνθεσης, ενώ στο κατώτερο στρώμα όπου δεν διεισδύει το φως επικρατούν αναερόβιες συνθήκες.

Οι δεξαμενές σταθεροποίησης είναι σχετικά μικρού βάθους λεκάνες με επίπεδο πυθμένα και συνήθως κατασκευάζονται με χωμάτινο ανάχωμα. Το σχήμα και οι ακριβείς διαστάσεις των λιμνών ποικίλουν ανάλογα με τη διεργασία, τον τύπο των αποβλήτων (ποσότητα, ποιοτικά χαρακτηριστικά) και το κλίμα της περιοχής. Το σχήμα μπορεί να είναι στρογγυλό, τετράγωνο ή ορθογώνιο με στρογγυλεμένες γωνίες και το μήκος δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερο από το τριπλάσιο του πλάτους [ Νταρακάς 2010)]

**Εικόνα 1.8:** Δεξαμενές ή λίμνες σταθεροποίησης λυμάτων

Πηγή: <http://digitalschool.minedu.gov.gr/modules/ebook/show.php/DSGL-B115/90/712,2692/>



Ο πυθμένας των δεξαμενών πρέπει να είναι επίπεδος, εκτός από το σημείο εισροής, για να διευκολύνεται η συνεχής ροή των αποβλήτων. Η στρογγύλευση των γωνιών βοηθά επίσης τη διατήρηση του υδραυλικού τύπου και αποτρέπει τα νεκρά σημεία στη ροή που μπορεί να δημιουργήσουν επιπτώσεις στην επεξεργασία. Κατά το σχεδιασμό πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι ιδιαιτερότητες της περιοχής της εγκατάστασης όπως

ο τύπος του εδάφους, το κλίμα κ.λπ., η διαθέσιμη έκταση, η ποσότητα και η ποιότητα των αποβλήτων και το απαιτούμενο επίπεδο επεξεργασίας. Τα τοιχώματα και ο πυθμένας των λιμνών επενδύονται συνήθως με υλικά όπως η άργιλος ή ένα τεχνητό επικαλυπτικό (μπετονίτης, πλαστικό, ελαστικό, σκυρόδεμα ή άλλο υλικό), για να αποτραπεί η ρύπανση του υδροφόρου ορίζοντα από τυχόν διαρροές. Όλες αυτές οι κατασκευές διακρίνονται σε:

- δεξαμενές σταθεροποίησης ή οξείδωσης (αερόβιες, αερόβιες-αναερόβιες, αναερόβιες)
- αεριζόμενες δεξαμενές (αερόβιες, αερόβιες-αναερόβιες, παρατεταμένου αερισμού).

### **1.3 Τριτοβάθμια επεξεργασία υγρών αποβλήτων**

#### **1.3.1 Γενικά**

Είναι προφανές ότι στα λύματα είναι δυνατόν να υπάρχουν και ουσίες οι οποίες προέρχονται από τη βιομηχανία και τη βιοτεχνία και οι οποίες δεν κατακρατούνται στις κοινές εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων. Επίσης οι προδιαγραφές για τη διάθεση κατεργασμένων λυμάτων σε αποδέκτες τα νερά των οποίων χρησιμοποιούνται για την ύδρευση οικισμών, είναι πολύ αυστηρές. Στις περιπτώσεις αυτές επιβάλλεται η χρήση μεθόδων προχωρημένου καθαρισμού, δηλαδή συστημάτων τριτοβάθμιας επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων.

Η τριτοβάθμια ή προχωρημένη επεξεργασία έπεται της δευτεροβάθμιας και αποσκοπεί στην περαιτέρω αφαίρεση στερεών, οργανικού φορτίου, χρώματος, αμμωνιακών, νιτρικών, φωσφορικών και άλλων ρυπαντών όπως τα βαριά μέταλλα, το αρσενικό (As), οι τοξικές οργανικές ενώσεις, τα θειούχα (S<sup>2-</sup>), τα κυανιούχα (CN<sup>-</sup>) κ.λπ. (μη συμβατικοί ρύποι του νερού). Οι διατάξεις και οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται είναι:

- η διήθηση με πολλές παραλλαγές όπως η διήθηση χώρου, η διήθηση επιφάνειας κ.λπ. με διάφορους συνδυασμούς διηθητικών μέσων όπως η άμμος, ο ανθρακίτης και διάφορες συνθετικές ίνες και μεμβράνες. Σημειώνεται ότι

στις πιο προχωρημένες εφαρμογές μεμβρανών ανήκει η μικροδιήθηση (**MF**), η υπερδιήθηση (**UF**), η νανοδιήθηση (**NF**),

- η αντίστροφη ώσμωση (**RO**),
- η χημική επεξεργασία (οξειδωση, αναγωγή κ.λπ.),
- οι διεργασίες προχωρημένης οξειδωσης (Advanced Oxidation Processes AOP).
- η προσρόφιση (κυρίως σε ενεργό άνθρακα),
- η ιοντοεναλλαγή,
- η απογύμνωση αερίου, η οποία συνίσταται στη μεταφορά μάζας ενός αερίου από την υγρή στην αέρια φάση και εφαρμόζεται κυρίως για την απομάκρυνση αερίων όπως το υδρόθειο (H<sub>2</sub>S), η αμμωνία (NH<sub>3</sub>) και οι πτητικές οργανικές ενώσεις (Volatile Organic Compounds VOC) [Νταρακάς, 2010]

### 1.3.2 Διήθηση

Η διήθηση περιλαμβάνει πολλές παραλλαγές όπως η διήθηση χώρου, η διήθηση επιφάνειας κ.λπ. που βασίζονται στη διήθηση του νερού, με βαρύτητα ή υπό πίεση, με διάφορους συνδυασμούς διηθητικών μέσων όπως η άμμος, ο ανθρακίτης και διάφορες συνθετικές ίνες και μεμβράνες. Η διήθηση σε πολλαπλή κλίνη αποτελεί την πιο διαδεδομένη διάταξη προχωρημένης επεξεργασίας και των υγρών απόβλητων και αποσκοπεί κυρίως στην απομάκρυνση των αιωρούμενων στερεών, τα οποία διαφεύγουν από τις δεξαμενές καθίζησης. Οι συνήθεις διατάξεις βασίζονται στη διήθηση των επεξεργασμένων αποβλήτων, με βαρύτητα ή υπό πίεση, σε κλίνες αποτελούμενες από αλληπάλληλα στρώματα άμμου και ανθρακίτη.

### 1.3.3 Μεμβράνες

Η εφαρμογή των μεμβρανών στην προχωρημένη επεξεργασία του νερού και των υγρών αποβλήτων είναι μια σχετικά νέα τεχνολογία πολλά υποσχόμενη, που κερδίζει συνεχώς έδαφος έναντι άλλων διεργασιών. Βασικό μειονέκτημα είναι το υψηλό κόστος και η μεγάλη κατανάλωση ενέργειας.

Οι μεμβράνες κατασκευάζονται συνήθως από οξική κυτταρίνη (rayon) ή από ιδιοσκευάσματα πολυμερών όπως τα πολυαμίδια. Κάθε μεμβράνη παρουσιάζει βέλτιστες τιμές απόδοσης σε ορισμένο εύρος θερμοκρασίας, pH και ποιοτικών χαρακτηριστικών ενός υγρού, γεγονός που απαιτεί πειραματικά στοιχεία για την επιλογή της. Ενδεικτικά στις μεθόδους διαχωρισμού στερεών με μεμβράνες αναφέρεται η **μικροδιήθηση** (MF) με μέγεθος πόρων μεμβράνης από 0,05 – 2,0 μm, η **υπερδιήθηση** (UF), με μέγεθος πόρων μεμβράνης από 2,0 – 0,05 μm, και η **νανοδιήθηση** (NF) με μέγεθος πόρων μεμβράνης από 0,5 – 2,0 nm. Οι μεμβράνες που χρησιμοποιούνται στην αντίστροφη ώσμωση (RO) θεωρητικά δεν έχουν πόρους [Βασιλικιώτης, 1986]

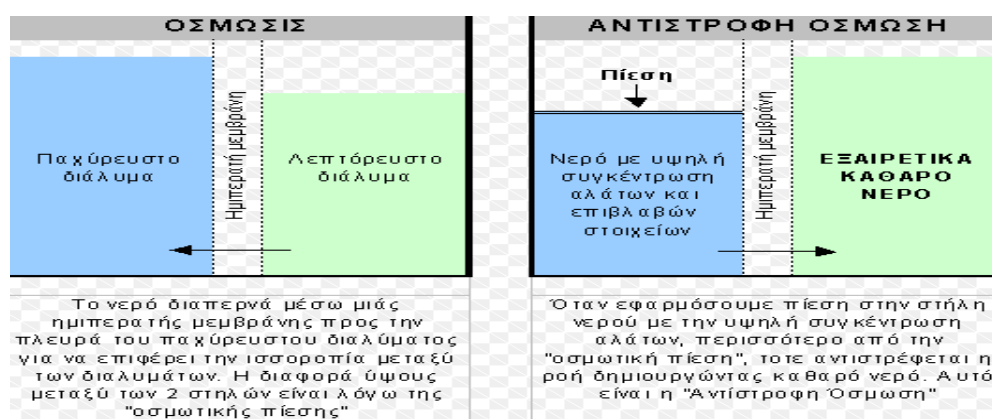
### 1.3.4 Αντίστροφη ώσμωση

Η αντίστροφη ώσμωση είναι μια μέθοδος αντιστροφής της φυσικοχημικής διεργασίας που καλείται ώσμωση. Κατά την διεργασία αυτή μια μεμβράνη δρα σαν μοριακό φίλτρο που συγκρατεί τα διαλυμένα συστατικά ενός υδατικού διαλύματος. Χρησιμοποιείται για το διαχωρισμό διαλυτών συστατικών του νερού. Ωθούσα δύναμη είναι η πίεση που εφαρμόζεται σε ένα υδατικό διάλυμα η οποία υπερβαίνει την οσμωτική πίεση του διαλύματος έναντι μιας ημιπερατής μεμβράνης. Η δύναμη αυτή εξαναγκάζει τη διέλευση καθαρού νερού διαμέσου της ημιπερατής μεμβράνης και όχι των διαλυτών συστατικών του (σχήμα 1.9). Η κύρια εφαρμογή της αντίστροφης ώσμωσης είναι η αφαλάτωση του νερού.

Όταν δύο διαλύματα διαφορετικής συγκέντρωσης, π.χ. αποσταγμένο νερό και υδατικό διάλυμα αλάτων, διαχωρίζονται από μια ημιπερατή μεμβράνη, τότε το καθαρό νερό διέρχεται διαμέσου της μεμβράνης από το διάλυμα (Α) δηλαδή το αποσταγμένο νερό, προς το διάλυμα (Β) με τη μεγαλύτερη συγκέντρωση. Η οσμωτική ροή συνεχίζεται μέχρι να επιτευχθεί ισορροπία, η οποία χαρακτηρίζεται από την υψηλότερη στάθμη του διαλύματος με τη μεγαλύτερη συγκέντρωση. Αυτή η κατάσταση ισορροπίας είναι γνωστή ως οσμωτική και η διαφορά της στάθμης των διαλυμάτων αντιστοιχεί στην οσμωτική πίεση του συστήματος των δύο διαλυμάτων. Εάν στο διάλυμα Β εφαρμοστεί εξωτερική πίεση μεγαλύτερη από την οσμωτική, τότε αντιστρέφεται η ροή και καθαρό νερό διέρχεται διαμέσου της μεμβράνης από το

διάλυμα Β προς το διάλυμα Α. Η διεργασία αυτή ονομάζεται αντίστροφη ώσμωση (**Reverse Osmosis RO**). Το νερό που προκύπτει είναι εξαιρετικά καθαρό. [Νταρακάς, 2010]

**Σχήμα 1.9.:** Σχηματική παράσταση της ώσμωσης και της αντίστροφης ώσμωσης (πηγή: <http://chimikoergastirio.blogspot.gr/2010/10/blog-post.html>)



### 1.3.5 Χημικές διεργασίες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων

Όταν οι διεργασίες που εφαρμόζονται στην επεξεργασία των υγρών αποβλήτων βασίζονται στη μετατροπή μέσω χημικών αντιδράσεων ονομάζονται χημικές διεργασίες. Συνήθως συνδυάζονται με τις φυσικές και τις βιολογικές διεργασίες. Η χημική επεξεργασία στοχεύει κυρίως στην οξείδωση ουσιών οι οποίες δεν αποικοδομούνται (οξειδώνονται) βιολογικά. Οι βασικές χημικές διεργασίες στην επεξεργασία των υγρών αποβλήτων είναι η εξουδετέρωση, η χημική κατακρήμνιση, η κροκίδωση και η χημική απολύμανση.

Βασικό χαρακτηριστικό αυτών των διεργασιών είναι οι αυξημένες ποσότητες της ύλης που προκύπτουν και που οφείλονται τόσο στην προσθήκη χημικών και στα σχηματιζόμενα ιζήματα, όσο και στην αυξημένη απομάκρυνση στερεών. Οι ποσότητες ύλης από τη χημική επεξεργασία εξαρτώνται από το χρησιμοποιούμενο χημικό και τη δόση του, τα χαρακτηριστικά των αποβλήτων και την απόδοση των διαδικασιών επεξεργασίας. [Χατζηαγγέλου, Χατζηαγγέλου, 1996]

Η εξουδετέρωση συνίσταται στην απομάκρυνση της οξύτητας ή της αλκαλικότητας με κάποιο χημικό αντιδραστήριο το οποίο έχει αντίθετη σύσταση.

Η χημική κατακρήμνιση ή ιζηματοποίηση (precipitation) είναι ταυτόχρονα φυσική και χημική διεργασία που εφαρμόζεται στην επεξεργασία του νερού και των υγρών αποβλήτων. Πρόκειται για διεργασία αδιαλυτοποίησης ορισμένων ανεπιθύμητων συστατικών του νερού με σχηματισμό αδιάλυτων ενώσεων, λόγω αλλαγής της διαλυτότητάς τους. Επιτυγχάνεται με:

- μεταβολή του pH (αύξηση ή μείωση),
- προσθήκη κατάλληλων αντιδραστηρίων,
- αλλαγή του αριθμού οξείδωσης των στοιχείων που θα μετατραπούν σε ίζημα.

Πρωτεύοντα ρόλο στη διεργασία αυτή παίζει η ιονική ισχύς του νερού και η οξειδωτική βαθμίδα των περιεχομένων στοιχείων.

Η χημική κατακρήμνιση στοχεύει στην αύξηση της απομάκρυνσης των ολικών και διαλυμένων στερεών και του BOD σε εγκαταστάσεις πρωτοβάθμιας καθίζησης. Μη βιοδιασπώμενες οργανικές ουσίες μετατρέπονται με χημική οξείδωση σε άλλες λιγότερο επικίνδυνες ή καλύτερα «βιοεπεξεργάσιμες» ενώσεις. Εφαρμόζεται επίσης στην απομάκρυνση βαρέων μετάλλων ( $Fe^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$ ,  $Cr^{3+}$  κ.λπ.) και φωσφόρου καθώς και για τον έλεγχο της διάβρωσης των υπονόμων από την έκλυση υδρόθειου ( $H_2S$ ) και τη δημιουργία θειικού οξέος ( $H_2SO_4$ ). Πολλές φορές η χημική κατακρήμνιση εφαρμόζεται σε συνδυασμό με τις διεργασίες της κροκίδωσης και της συσσωμάτωσης. [Χατζηαγγέλου, Χατζηαγγέλου, 1996]

### 1.3.6 Προσρόφηση

Προσρόφηση είναι το φαινόμενο μεταφοράς μάζας από την υγρή φάση στην επιφάνεια ενός στερεού. Πρόκειται για διεργασία συσσωρευσης των συστατικών τα οποία βρίσκονται σε ένα διάλυμα πάνω σε μια κατάλληλη επιφάνεια. Η προσρόφηση των συστατικών στο προσροφητικό μέσο πραγματοποιείται δια μέσου των ηλεκτροστατικών δυνάμεων που έλκουν το προσροφούμενο συστατικό από το διάλυμα στη στερεά επιφάνεια του προσροφητικού. Οι δυνάμεις ή ο μηχανισμός με τον οποίο το προσροφούμενο συστατικό έλκεται στην επιφάνεια του προσροφητικού υλικού, μπορεί να είναι φυσικές ή χημικές χωρίς σαφή προσδιορισμό μεταξύ των φυσικών και χημικών ηλεκτροστατικών δυνάμεων που αναπτύσσονται.



Τα σπουδαιότερα προσροφητικά μέσα είναι ο ενεργός άνθρακας, τα συνθετικά πολυμερή και κάποια προσροφητικά μέσα που βασίζονται στο πυρίτιο. Όλα αυτά εφαρμόζονται για την απομάκρυνση οργανικών ενώσεων και ιχθυοστοιχείων. Ο κονιορτοποιημένος ενεργός άνθρακας έχει χρησιμοποιηθεί με επιτυχία σε ταμιευτήρες νερού και σε δεξαμενές καθίζησης, όπου ενεργεί τόσο σαν προσροφητικό μέσο των στοιχείων που προκαλούν οσμές [Νταρακάς, 2010]

### **1.3.7 Ιοντοεναλλαγή**

Η ιοντοεναλλαγή είναι μια φυσικοχημική διεργασία με την οποία επιτυγχάνεται μεταφορά ιόντων από ένα αδιάλυτο στερεό σε μια υγρή φάση και αντίστροφα. Πιο απλά, ιόντα ενός είδους που βρίσκονται σε ένα αδιάλυτο μέσο ανταλλαγής αντικαθίστανται από ιόντα διαφορετικού είδους που βρίσκονται στο διάλυμα. Το αδιάλυτο στερεό διαθέτει ευκίνητα ανιόντα ή κατιόντα ικανά για αντιστρεπτή και στοιχειομετρική εναλλαγή με ιόντα ίδιου φορτίου από το διάλυμα ενός ηλεκτρολύτη με το οποίο έρχεται σε επαφή. Η διεργασία αυτή βασίζεται στην ικανότητα κάποιων υλικών - ορυκτών (ζεόλιθοι) ή συνθετικών (ρητίνες) - να δεσμεύουν εκλεκτικά διάφορα ιόντα. Μέσα από μια υψίκορμη κυλινδρική δεξαμενή που περιέχει τον ιοντοεναλλάκτη, διέρχεται το νερό και ο ιοντοεναλλάκτης δεσμεύει τα προς απομάκρυνση ιόντα. Ένα ιόν ανταλλάσσεται με κάποιο άλλο, κρατείται προσωρινά στο μέσο και κατόπιν απελευθερώνεται στο διάλυμα αναγέννησης. Μετά από πολλές χρήσεις ο ιοντοεναλλάκτης (η ρητίνη) αναγεννιέται για να επαναχρησιμοποιηθεί. [Νταρακάς, 2010]

## **2. Απόβλητα βαφείου**

### **2.1 Δομή βαφείου – φινιριστηρίου**

Η πλεκτοβιομηχανία χαρακτηρίζεται από μεγάλο αριθμό εγκαταστάσεων σε διάφορους τομείς εξειδικευμένων προϊόντων, κυρίως το εξωτερικό ένδυμα, τα εσώρουχα και την καλτσοποιία. Ένα φινιριστήριο πλεκτών υφασμάτων περιλαμβάνει τις ακόλουθες διεργασίες: λεύκανση, βαφή, τύπωμα και φινίρισμα. Η κύρια διαφορά μεταξύ φινιριστηρίων πλεκτών και υφαντών υφασμάτων είναι ότι οι διεργασίες κολλαρίσματος / αποκολλαρίσματος και μερσερισμού δεν απαιτούνται για τα πλεκτά.

Γι' αυτό και το επίπεδο του φορτίου των ακατέργαστων αποβλήτων από φινιριστήρια πλεκτών είναι χαμηλότερο. Ένα γενικό διάγραμμα ροής ενός φινιριστηρίου πλεκτών φαίνεται στο σχήμα 2.1.1, πρέπει όμως να σημειωθεί ότι οι εξειδικευμένες διεργασίες ποικίλουν από εργοστάσιο σε εργοστάσιο. Γενικά τα νήματα αγοράζονται σε άβαφτη κατάσταση (εκρού), με ένα φινίρισμα πλεκτικού ελαίου για λίπανση κατά την πλεκτική διεργασία. Αφού πλεχτούν, το παραγόμενο ύφασμα επεξεργάζεται μέσω ενός ή περισσότερων εναλλακτικών δρόμων. Οι υγρές διεργασίες που χρησιμοποιούνται σε μία εγκατάσταση εξαρτώνται από τη φύση των ειδών προς επεξεργασία και τις απαιτήσεις σε τελικό προϊόν.[Βαλκανάς, 1972]

## 2.2 Πηγές αποβλήτων

Τα απόβλητα φινιριστηρίου προέρχονται από το καθάρισμα – πλύσιμο, την λεύκανση, τη βαφή ή τύπωμα και το φινίρισμα σχήμα 2.1.1.. Οι πηγές των ρύπων είναι οι φυσικές ακαθαρσίες που αφαιρούνται από τις ίνες και τα χημικά που χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία τους.

Το πλύσιμο – καθάρισμα είναι μια διεργασία κατά την οποία απομακρύνονται οι φυσικές ακαθαρσίες και οι ακαθαρσίες από προηγούμενες διεργασίες (βρωμιά, λάδι, γράσο) χρησιμοποιώντας θερμά αλκαλικά απορρυπαντικά διαλύματα ή διαλύματα σαπουνιού. Επίσης κατά την διεργασία οι ίνες του υφάσματος γίνονται πιο λευκές και απορροφητικές για την λεύκανση και την βαφή. Περισσότερο χρησιμοποιούνται η καυστική σόδα και το ανθρακικό νάτριο σε συγκεντρώσεις 1 έως 8 % και 1 έως 3 % του βάρους του υφάσματος, αντίστοιχα. Το πυριτικό νάτριο χρησιμοποιείται σε μικρότερες δόσεις, 0,25 έως 1 %. Το υγρό εκροής συνεισφέρει περίπου το 16 % του συνολικού φορτίου ΒΑΟ και το 67 % του ελαίου και γράσου των αποβλήτων της εγκατάστασης.

Η λεύκανση των βαμβακερών υφασμάτων μπορεί να γίνει με οξειδωτικά μέσα από τα οποία τα πιο κοινά είναι το υποχλωριώδες νάτριο, το χλωριώδες νάτριο και το υπεροξείδιο του υδρογόνου. Κατά την λεύκανση με υποχλωριώδες νάτριο το ύφασμα ξεπλένεται, καθαρίζεται με ασθενές διάλυμα θειικού ή υδροχλωρικού οξέος και ξαναπλένεται. Στην συνέχεια περνά μέσα από διάλυμα υποχλωριώδους νατρίου (περίπου 0,25 έως 0,5 % διαθέσιμο χλώριο) και στοιβάζεται σε μεγάλες δεξαμενές. Ο απαιτούμενος χρόνος για την λεύκανση ποικίλει με τον τύπο του υφάσματος και κυμαίνεται από μερικές έως 24 ώρες σε θερμοκρασία δωματίου. Το υγρό εκροής του

ξεπλύματος μετά τη λεύκανση με υποχλωριώδες νάτριο είναι συνήθως ουδέτερου pH, ποικίλου BAO, ανάλογα με τις ακαθαρσίες του υφάσματος και περιέχει σημαντικά ποσά ελευθέρου χλωρίου. Ένα τελικό ξέπλυμα με διθειώδες νάτριο ή θειικό οξύ χρησιμοποιείται για να απομακρύνει από το ύφασμα το υπολειπόμενο χλώριο. Στη λεύκανση με χλωριώδες νάτριο, οξείκό οξύ χρησιμοποιείται αντί του θειικού ή υποχλωρικού, η θερμοκρασία του λουτρού είναι σχετικά υψηλή (42 έως 85° C) και το pH 3,5 έως 5,5. Το υπεροξειδίο του υδρογόνου γενικά χρησιμοποιείται στην λεύκανση υπό συνεχή λειτουργία. Η διεργασία αρχίζει με πλύση σε ζεστό νερό (60 έως 80° C), για βέβαιη απομάκρυνση όλων των ρύπων. Καθώς το ύφασμα αφήνει το πλυντήριο, το επιπλέον νερό απομακρύνεται και προστίθεται καυστικό νάτριο. Το κορεσμένο υλικό παραμένει στους 79 έως 82° C για περίπου 40 με 60 λεπτά, με αποτέλεσμα την μετατροπή του λίπους σε κεριού σε σαπούνι. Στη συνέχεια το υλικό ξεπλένεται, περνάει μέσα από διάλυμα υπεροξειδίου του υδρογόνου και αφήνεται να λευκανθεί σε θερμοκρασία 90 ο C για περίπου 40 έως 60 λεπτά. Η διαδικασία της λεύκανσης συμβάλλει στο χαμηλότερο ποσοστό BAO απ' όλες τις διεργασίες της εγκατάστασης.

Βαφή είναι η διεργασία εφαρμογής χρώματος στις ίνες του υφάσματος. Υπάρχουν ποικίλες μέθοδοι βαφής και πολύ περισσότεροι τύποι βαφών για κάθε μέθοδο. Από τις πιο κοινά χρησιμοποιούμενες βαφές είναι οι ουσιαστικές (DIRECT), κάδου (VAT), θείου (SULPHUR) και ανεξίτηλες (REACTIVE) βαφές. Οι ουσιαστικές εφαρμόζονται στις ίνες απ' ευθείας, χωρίς να απαιτείται προεφαρμογή χημικών για την συγκράτησή τους. Τα πλεονεκτήματα των ουσιαστικών βαφών είναι η ευκολία εφαρμογής τους, το χαμηλό κόστος και η ποικιλία των αποχρώσεων, ενώ τα μειονεκτήματα είναι η μειωμένη αντοχή στο φως, στο πλύσιμο, στα οξέα και τις βάσεις. Ορισμένες ουσιαστικές βαφές υπόκεινται σε δευτεροβάθμια επεξεργασία με θειικό χαλκό και οξείκό οξύ για να αυξηθεί η σταθερότητα στο φως και με διχρωμικό κάλιο και οξείκό οξύ ή φορμαλδεΰδη για να αυξηθεί η αντοχή στο πλύσιμο. Οι βαφές κάδου που θεωρούνται σαν σταθερές βαφές, είναι αδιάλυτες στο νερό. Είναι ανθεκτικές στο φως, στο στεγνό καθάρισμα και στο πλύσιμο. Κατά τη βαφή, η αδιάλυτη χρωστική αρχικά καθίσταται διαλυτή στο νερό με χρήση αναγωγικών και στην συνέχεια εφαρμόζονται στις ίνες. Κατόπιν η απορροφημένη χρωστική επαναοξειδώνεται στην αδιάλυτη μορφή της. Χρησιμοποιείται ένα ξέπλυμα με οξύ (συνήθως οξείκό) για να εξουδετερώσει την παρουσία αλκάλειας στο λουτρό βαφής και πλύσιμο με απορρυπαντικό για να προσδώσει αντοχή στο πλύσιμο και φωτεινότητα. Οι βαφές θείου χρησιμοποιούνται για αποχρώσεις μαύρου, βαθύ μπλε,

καφέ και άλλα σκούρα χρώματα. Είναι γενικά αδιάλυτες στο νερό και απαιτούν διάλυση σε αλκαλικό διάλυμα πριν την εφαρμογή. Συνήθως εφαρμόζονται σε υψηλές θερμοκρασίες (60 έως 100° C), χρησιμοποιώντας αλάτι σαν μέσο εξάντλησης. Η επανοξειδωση συνήθως γίνεται με διχρωμικό νάτριο, οξεικό οξύ, υπερβορικό νάτριο ή υπεροξειδίο του υδρογόνου. Μετά την επανοξειδωση της βαφής, η περίσσεια χρωστικής απομακρύνεται με πλύσιμο με απορρυπαντικά.

Τα έγχρωμα σχέδια των υφασμάτων συνήθως τυπώνονται με κυλίνδρους. Το ύφασμα περνά ανάμεσα από χάλκινους κυλίνδρους που έχουν χαραγμένα τα σχέδια στην περιφέρεια τους και τυπώνουν την πάστα βαφής ενώ περιστρέφονται. Ακολουθεί άτμισμα που σταθεροποιεί το χρώμα πριν το πλύσιμο, ξέπλυμα, στέγνωμα και φινίρισμα. Τα απόβλητα από το τύπωμα μπορεί να περιέχουν μεγάλες συγκεντρώσεις ΒΑΟ και ΔΣ.

Φινίρισμα είναι ένας όρος που αναφέρεται στην επεξεργασία ενός υφάσματος για να προσδοθεί στην επιφάνεια του ένα συγκεκριμένο επιθυμητό αποτέλεσμα, όπως καλανδράρισμα και στιλπνότητα. Ορισμένες φορές χρησιμοποιούνται και άλλες φινιριστικές διεργασίες, όπως μαλάκωμα (θερμό σαπούνισμα για πρόσδοση απαλότερης αφής) και βελτίωση χρώματος. Τα απόβλητα από το φινίρισμα έχουν χαμηλή περιεκτικότητα ΒΑΟ.[ Βαλκανάς, 1972]

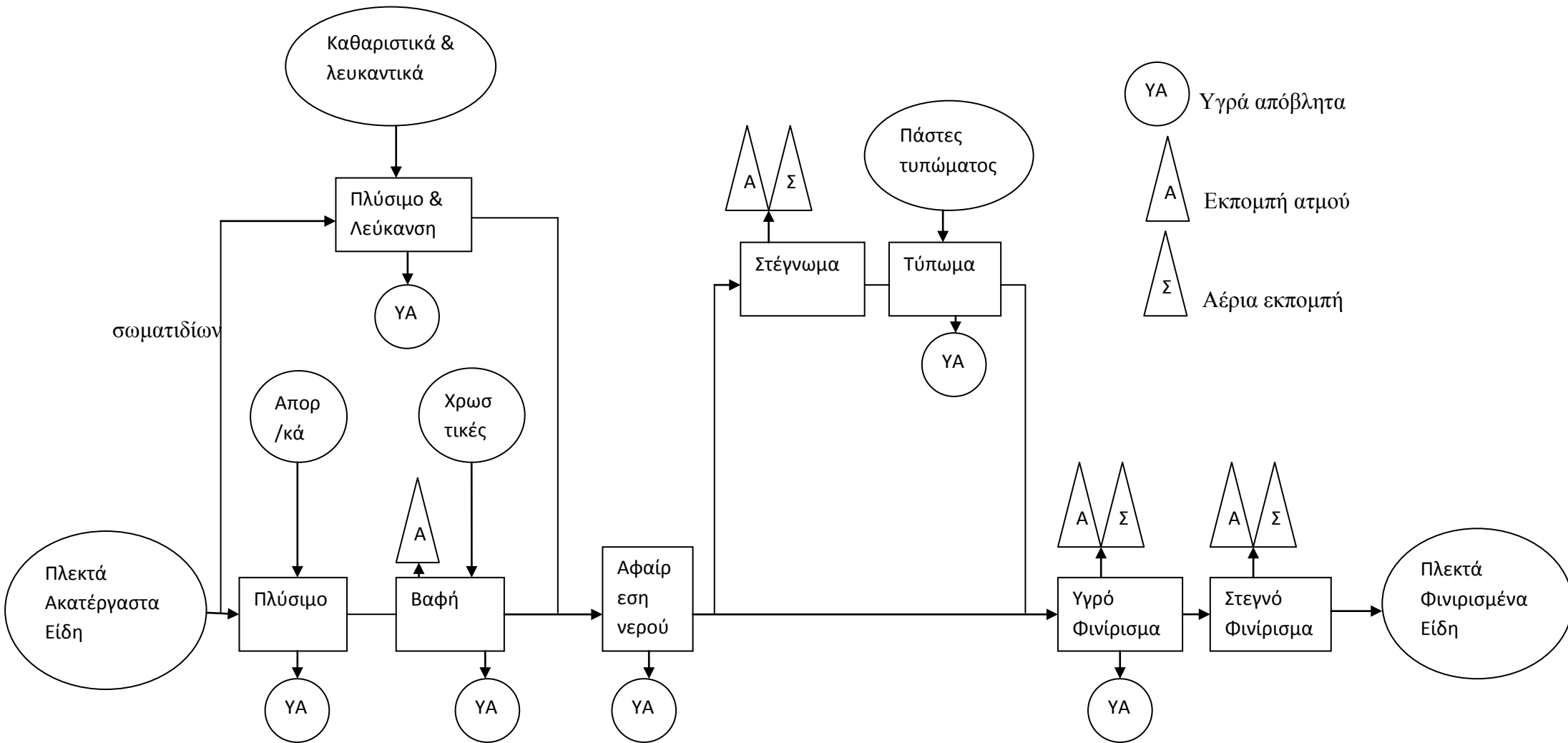
### **2.3 Χαρακτηριστικά αποβλήτων**

Τα διάφορα χαρακτηριστικά των ολικών αποβλήτων και των εκροών από τις επί μέρους διεργασίες του φινιριστηρίου δίνονται στον πίνακα 2.3.1 μαζί με τις ποσότητες νερού που χρησιμοποιούνται.

**Πίνακας 2.1. :** Χαρακτηριστικά αποβλήτων (πηγή: Βαλκανάς, 1972)

Είδος υφάσματος	Διεργασία	ΒΑΟ		ΑΣ		ΧΑΟ	Χρώμα			pH	Έλαια		Χρήση νερού	
		Kg/mg Προϊόν	mg/l	Kg/mg Προϊόν	mg/l	Kg/mg Προϊόν	Kg/mg Προϊόν	mg/l	ADMI*		Kg/mg Προϊόν	mg/l	L/Kg προϊόν	
<b>Πλεκτά</b>	Ολικό Απόβλητο	52,5	350	45	300	1000			400	8	8	53	150	
		60	355	19,4	115	1105	218,9			6,9	9	53	169	
		155	489	70	221					8-11				
<b>Βαμβακερά Πλεκτά</b>	Πλύσιμο	53	530	22	220					10-13				
	Λεύκανση	8	80	5	50					8,5-9,6				
	Βαφή	60	1200	25	500					5-10				
	Τύπωμα	54	3857	12	857									
	Πλύσιμο	24,1	855	5	200					12,5	40	1599	25	
	Λεύκανση	23,5	282							9-12			83	
	Βαφή	Ουσιαστικές	21,1	84				0,75	3					
		Κάδου	42,4	169				2	8					
		Θείου	42,4	169			Όχι ΑΣ	3,5	14		6-12			250
		Ανεξίτηλες	26,6	106				0,6	2					
	Τύπωμα	Πηγμένα	1,3	101	0,13	10					6-11			13
		Κάδου	21,5	644	25	749		0,5	15					33
	Φινίρισμα-Μαλάκωμα		0,25	20							6-8			13

**Εικόνα 2.1:** Διάγραμμα ροής φινιριστηρίου πλεκτών (πηγή: Κουτινάς, 1988)



## 2.4 Μείωση όγκου και ρυπαντικού φορτίου

Πριν γίνει η εκλογή και ο σχεδιασμός της μονάδας επεξεργασίας των αποβλήτων, θα πρέπει να μελετηθεί η δυνατότητα πραγματοποίησης τριών στόχων:

- μείωση της χρήσης νερού στο φινιριστήριο με συνεπαγόμενη μείωση όγκου των παραγόμενων αποβλήτων.
- Μείωση της ισχύος των αποβλήτων και
- Ανακύκλωση ορισμένων ρευμάτων αποβλήτων για επαναχρησιμοποίηση του νερού σε διεργασίες του φινιριστηρίου.

Η μείωση του όγκου και της ισχύος των αποβλήτων έχει θετικές επιπτώσεις στο πάγιο και στο λειτουργικό κόστος εγκατάστασης, επεξεργασίας. Επίσης η μειωμένη χρήση νερού ή η ανακύκλωση και επαναχρησιμοποίηση ορισμένων ρευμάτων θα έχει σαν αποτέλεσμα ελάττωση του κόστους νερού.

Η χρήση νερού εξαρτάται από πολλούς παράγοντες και γενικά τα μικρά εργοστάσια καταναλώνουν χαμηλότερες ποσότητες νερού ανά μονάδα βάρους προϊόντος, ενώ εγκαταστάσεις που προβλέπουν ποικιλία διεργασιών χρησιμοποιούν περισσότερο νερό. Η χρήση νερού εξαρτάται επίσης από το συγκεκριμένο εξοπλισμό που χρησιμοποιείται σε κάθε διεργασία (όπως π.χ. η βαφή σε ανέμη ανοικτού τύπου με σχέση λουτρού 1:8) [Κουτινάς, 1988]

Ο Durig που έχει μελετήσει τις δυνατότητες ανακύκλωσης υγρών αποβλήτων φινιριστηρίου, αναφέρει τις ακόλουθες δυνατότητες.

- Επαναχρησιμοποίηση χωρίς προηγούμενο καθαρισμό επιλεγμένων ρευμάτων αποβλήτων, σε ορισμένες διεργασίες του φινιριστηρίου, όπως π.χ. επαναχρησιμοποίηση του υγρού βαφής για επαναλαμβανόμενες βαφές.
- Μερική επεξεργασία του αποβλήτου μέχρι ενός ορίου ώστε να είναι κατάλληλο για χρήση σε επιλεγμένες διεργασίες.
- Επεξεργασία του αποβλήτου ώστε να είναι κατάλληλο για χρήση σε οποιαδήποτε διεργασία.
- Ανάκτηση χημικών.

Επίσης αναφέρει τα ακόλουθα βήματα που απαιτούνται στη μελέτη της δυνατότητας επαναχρησιμοποίησης ή ανακύκλωσης των αποβλήτων.

- Επισκόπηση της εργασίας με αντικείμενο την αναγνώριση των διεργασιών που συμβάλλουν περισσότερο στην οργανική και υδραυλική φόρτιση αποβλήτων.
- Καθιέρωση προτύπου ελάχιστης ποιότητας νερού για τις διεργασίες στις οποίες θα χρησιμοποιηθούν τα απόβλητα.
- Εξέτασης της δυνατότητας επαναχρησιμοποίησης χωρίς επεξεργασία επιλεγμένων ρευμάτων αποβλήτων που καλύπτουν τα πρότυπα ελάχιστης ποιότητας νερού.
- Προσπάθεια προσέγγισης των προτύπων μειώνοντας το φορτίο του ρύπου στην πηγή του. Σε κάθε περίπτωση, είναι πλεονεκτικό να ελαττωθεί το φορτίο στην πηγή, καθώς αυτό μπορεί συχνά να γίνει με ελάχιστο κόστος και να ελαττώσει το πάγιο και λειτουργικό κόστος μιας οποιασδήποτε μετέπειτα επεξεργασίας.
- Προσπάθεια προσέγγισης των προτύπων με σύστημα πλήρους επεξεργασίας [Κουτινάς, 1988]

## 2.5 Επισκόπηση της Εργασίας

Η επισκόπηση θα γνωστοποιήσει τις ποσότητες νερού που χρησιμοποιούνται στις κύριες διεργασίες του φινιριστηρίου και θα δώσει ένα μέτρο για την κατανάλωση νερού ανά μονάδα βάρους επεξεργασμένου υφάσματος. Σύγκριση των τιμών αυτών με δεδομένα που έχουν συλλεχθεί από κάποια υπηρεσία θα δείξει εάν η χρήση νερού είναι αδικαιολόγητα υψηλή και εάν υπάρχει ευκαιρία για πραγματοποίηση εξοικονόμησης. Επίσης είναι απαραίτητο να αναλυθεί κάθε πηγή αποβλήτων στο φινιριστήριο προσδιορίζοντας τον όγκο, το βιολογικό και αιωρούμενο φορτίο και τα ελάσσονα συστατικά που θα μπορούσαν να επηρεάσουν δυσμενώς την μετέπειτα επεξεργασία ή επαναχρησιμοποίηση (όρια pH, βαρέα μέταλλα, βλαβερά χημικά όπως τα σουλφίδια ή η φορμαλδεΰδη). Μερικές από τις πιο κοινές σχέσεις προβλήματος – διεργασίας δίνονται παρακάτω [Hanner, 1991]

<b>Διεργασία</b>	<b>Πρόβλημα</b>
Βαφή θείου	Υπολειπόμενα σουλφίδια
Βαφή κάδου	Υπολειπόμενο αναγωγικό μέσο, υψηλό pH
Βαφή ανεξίτηλη	Υψηλό pH, συγκέντρωση αλατιού, χρώμα



## 2.6 Πρότυπα ποιότητας νερού

Η τάση να καθοριστούν πολύ υψηλά πρότυπα ποιότητας νερού όταν σχεδιάζεται ανακύκλωση επεξεργασμένου αποβλήτου, θα πρέπει να αποφευχθεί γιατί θα μπορούσε να οδηγήσει σε υπερσχεδίαση της εγκατάστασης επεξεργασίας με συνεπακόλουθες αυξήσεις στο πάγιο και λειτουργικό κόστος. Τα ακόλουθα πρότυπα έχουν προταθεί:

Χαρακτηριστικά	Τιμή, mg/l*
Χρώμα	Άχρωμο
pH	6,5 – 8,0
Περιεκτικότητα σε τέφρα	500 σαν Ca
Περιεκτικότητα σε στερεά	1000 σαν Ca
Χαλκός	0,1
Σίδηρος (I & II)	0,1
Μαγγάνιο	0,05
Αργίλιο	0,2
Χλωριόντα	300 σαν Ca
Θειικά	350 σαν Ca
Νιτρώδη	-
Ολική σκληρότητα	Μέχρι 89 σαν CaCO
Ανθρακική σκληρότητα	Μέχρι 36 σαν CaCO

\*εκτός χρώματος και pH

Ορισμένα ρεύματα, όπως το ψυκτικό νερό, το νερό συμπυκνώματος, το υγρό ξεπλύματος και το υγρό βαφής, θα μπορούσαν να ανακυκλωθούν χωρίς επεξεργασία. [Κουτινάς, 1988]

## 2.7 Μείωση ρυπαντικού φορτίου

Η μείωση ρυπαντικού φορτίου θα μπορούσε να επιτευχθεί μεταβάλλοντας τα χρησιμοποιούμενα χημικά ή διεργασίες. Η EPA αναφέρει ότι η υποκατάσταση χημικών μπορεί να έχει τους ακόλουθους στόχους και περιγράφει μια σειρά από μελέτες – περιπτώσεις.

- Χρήση χημικών που επεξεργάζονται ή ανακτώνται πιο εύκολα στις υπάρχουσες εγκαταστάσεις επεξεργασίας ή ανάκτησης.
- Μείωση της τοξικής επίδρασης επιβλαβών χημικών στο σύστημα επεξεργασίας ή το περιβάλλον και ελάττωση μιας υψηλής ρυπαντικής παραμέτρου.
- Αντικατάσταση υλικών στο απόβλητο που αφήνουν κατάλοιπα μετά την επεξεργασία ανεπιθύμητα για ντον αποδέκτη.

- Αντιμετώπιση προβλημάτων στον εφοδιασμό κάποιων χημικών ή χρήση άλλων που είναι φθηνότερα γιατί αυξάνουν την απόδοση ή μειώνουν την ενεργειακή απαίτηση της διεργασίας.[Κουτινάς, 1988]

## **2.8 Επεξεργασία αποβλήτων**

Οι κύριοι στόχοι της επεξεργασίας των αποβλήτων φινιριστηρίων είναι η αφαίρεση χρώματος και η μείωση της οργανικής ισχύος. Η βιολογική επεξεργασία είναι αποτελεσματική για την σταθεροποίηση του οργανικού υλικού, αλλά όχι και για την αφαίρεση χρώματος εξ' αιτίας κυρίως της μη βιοδιασπασιμότητας των σταθερών χρωστικών. Η προσρόφιση σε ενεργό άνθρακα, με ή χωρίς χημική ιζηματοποίηση έχει αποδειχθεί σχετικά επιτυχής στην αφαίρεση χρώματος. Ο συνδυασμός βιολογικής επεξεργασίας και χημικής προσρόφισης έχει χρησιμοποιηθεί με επιτυχία στην επεξεργασία αποβλήτων φινιριστηρίου.

## **3. Προσρόφιση για καθαρισμό αποβλήτων βαφείου**

### **3.1. Χαρακτηριστικά των αποβλήτων που περιέχουν χρωστικές ουσίες**

Η μέθοδος της επεξεργασίας των βιομηχανικών αποβλήτων εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά των αποβλήτων, την απαιτούμενη ποιότητα της τελικής εκροής, από τα χαρακτηριστικά του αποδέκτη, τη νομοθεσία καθώς και το κόστος της επεξεργασίας.

Τα χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων που περιέχουν χρωστικές ουσίες, περιέχουν ένα σημαντικό αριθμό οργανικών τοξικών και επικίνδυνων ουσιών οι οποίες προέρχονται από διαλύτες που χρησιμοποιούνται στο στάδιο της διαβροχής έκπλυσης της πρώτης ύλης καθώς στο πλύσιμο του εξοπλισμού. Οι συνηθέστερες οργανικές ουσίες που παρουσιάζονται είναι οι φαινόλες, ναφθαλίνη, τολουόλιο, τρι-χλωρο- αιθυλένιο, τετρα-χλωρο-αιθυλένιο, αιθυλένιο, τετρα-χλωρο-αιθυλένιο, αιθυλο-βενζόλιο και διχλωρο-βενζόλιο. Εκτός από τις οργανικές ενώσεις επικίνδυνα απόβλητα αποτελούν και τα βαρέα μέταλλα που απαντώνται στις βαφές, ως συστατικά τους, ή ως παραπροϊόντα παραγωγής τους. Με τον όρο βαρέα μέταλλα εννοούμε εκείνα που έχουν ειδικό βάρος μεγαλύτερο του σιδήρου (Fe) και κυρίως αναφερόμαστε στον μόλυβδο (Pb), τον υδράργυρο (Hg), τον χαλκό (Cu), το κάδμιο (Cd), το χρώμιο (Cr), το ψευδάργυρος (Zn), το αρσενικό (As) και το νικέλιο (Ni). Αυτά τα απόβλητα που περιέχουν τοξικά μέταλλα, είναι επικίνδυνα για τον άνθρωπο,

ρυπαίνουν και μολύνουν τους υδάτινους αποδέκτες και συμβάλλουν στην υποβάθμιση της περιοχής που έχει εγκατασταθεί η βιομηχανία. Το κάδμιο (Cd) παράγεται από βιομηχανίες και περνάει στο νερό και τα τρόφιμα. Μπαίνει στις τροφικές αλυσίδες όπου και συγκεντρώνεται όταν πίνουμε νερό ή παίρνουμε τροφές που περιέχουν κάδμιο τότε αυτό έχει επίδραση στα κόκαλα και είναι θανατηφόρο. Τον μόλυβδο (Pb) τον συναντά με στις βενζίνες των αυτοκινήτων, στη βιομηχανία χυτοσιδήρου και στη χημική βιομηχανία. Βρίσκεται επίσης σε μεγάλες ποσότητες στα νερά των θαλασσών, των λιμνών και των ποταμών όπου κατακαθίζει. Αποτελεί δηλητήριο που απορροφάται από τους ζωντανούς οργανισμούς. Όταν συγκεντρώνεται σε μεγάλες ποσότητες σε ένα οργανισμό προσβάλλει τα ένζυμα και αλλοιώνει τον μεταβολισμό των κυττάρων. Προκαλεί επίσης βλάβες στον εγκέφαλο, το συκώτι τα νεφρά και το νευρικό σύστημα. Ο υδράργυρος (Hg) προέρχεται από τη χρήση ορισμένων ορυκτών καυσίμων, από τις βιομηχανίες, από τα ορυχεία, από τα διωλιστήρια κ.α. Αποτελεί δηλητήριο διατροφής που μολύνει κυρίως τα ψάρια και άλλους θαλάσσιους οργανισμούς και μέσω αυτών και στον άνθρωπο. Η συσσώρευσή του προκαλεί διαταραχές στο νευρικό σύστημα και πολλές φορές και τύφλωση.

Γενικότερα οι χρωστικές ουσίες προκαλούν εάν τις καταπιούμε προβλήματα της γαστρονομικής περιοχής όπως συμπτώματα ναυτίας, εμετού και διάρροιας. Η άμεση επαφή με τα μάτια χρωστικών ουσιών προκαλεί εγκαύματα. Εάν τις εισπνεύσουμε μπορούν να προκαλέσουν ταχυκαρδία και δύσπνοια .[Senthikummar et al, 2005].

Τα βαρέα μέταλλα είναι μια όχι ορατή αλλά πολύ σημαντική μορφή ρύπανσης εξαιτίας της τοξικότητάς τους.

Ένα περιστατικό αύξησης υδραργύρου έλαβε χώρα το 1956 στη πόλη της Minamata στο νομό του Kumamoto στην Ιαπωνία. Η θάλασσα ρυπάνθηκε από τα απόβλητα της χημικής βιομηχανίας Chisso Corporation τα οποία είχαν υψηλές συγκεντρώσεις υδραργύρου. Αυτή η τοξική ουσία που ρύπανε αρχικά τις ακτές της Minamata και τη θάλασσα Shiranui και στη συνέχεια μεταφέρθηκε στο οικοσύστημα των ψαριών τα οποία καταναλώθηκαν από τους τοπικούς κατοίκους. Αποτέλεσμα της μόλυνσης αυτής ήταν να σημειωθεί ο θάνατος 800 ατόμων ενώ άλλα 2000 υπέστησαν σοβαρές βλάβες στην υγεία τους. Έτσι στη δεκαετία του '60 εμφανίστηκε η ασθένεια της Minamata ως ένα παράδειγμα εσφαλμένης διαχείρισης των αποβλήτων και θανατηφόρας επίπτωσης για τον άνθρωπο. [Senthikummar et al, 2005].

### 3.2. Χαρακτηριστικά του αποδέκτη

Όταν ο αποδέκτης των υγρών αποβλήτων που περιέχουν χρωστικές είναι υδάτινος, όπως σε μια θάλασσα, σε μια λίμνη, ή σε ένα ποτάμι, απαιτούνται ελάχιστες συγκεντρώσεις που είναι άμεσα συνδεδεμένες με απαιτήσεις. Οι επιδράσεις ειδικότερα από χρωστικά απόβλητα κατασκευαστικών και καταναλωτικών βιομηχανιών είναι υψηλά συνδεδεμένες με χημικές και βιοχημικές απαιτήσεις (COD και BOD). Όπου COD είναι η ποσότητα του οξυγόνου που απαιτείται για την χημική οξείδωση των αποβλήτων και BOD η βιομηχανική απαίτηση οξυγόνου, όπου είναι η ποσότητα οξυγόνου που απαιτείται από μικροοργανισμούς προκειμένου να αποικοδομήσουν βιολογικά τα απόβλητα. Μία από τις σημαντικότερες παραμέτρους ποιότητας του νερού είναι το ποσό του διαλυμένου σε αυτό οξυγόνου. Η μέγιστη συγκέντρωση (κορεσμού) του διαλυμένου οξυγόνου στο νερό είναι μικρή, της τάξης των 8-15 mg/l και εξαρτάται από την θερμοκρασία και αλατότητα του νερού. Οι ελάχιστες ποσότητες που απαιτούνται μπορεί να είναι υψηλές της τάξης των 5-8 mg/l ή και χαμηλότερες της τάξης των 3 mg/l.[ Wang, 2012]

### 3.3. Προσρόφηση

Προσρόφηση ονομάζεται το φαινόμενο κατά το οποίο ιόντα ή μόρια μιας ουσίας (συνήθως οργανικού ρύπου) που είναι διαλυμένα στο νερό συγκεντρώνονται στην επιφάνεια των σωματιδίων. Ο ρύπος που προσροφάται αποκαλείται adsorbate (προσροφούμενη ουσία) και η στερεά φάση πάνω στην οποία συγκεντρώνεται ο ρύπος αποκαλείται adsorbent (προσροφητής). Η διαφορά του φαινομένου της προσρόφησης από αυτό της απορρόφησης συνίσταται στο γεγονός ότι, κατά την προσρόφηση η προσροφούμενη ουσία συσσωρεύεται στην επιφάνεια του προσροφητικού μέσου, ενώ αντίθετα κατά την απορρόφηση μόρια της ξένης ουσίας διεισδύουν ανάμεσα στα μόρια του απορροφητικού μέσου. Στην πραγματικότητα το φαινόμενο της προσρόφησης δε συμβαίνει αυτούσιο, αλλά συνοδεύεται πάντα από αυτό της απορρόφησης σε μικρά επίπεδα.

Το φαινόμενο της προσρόφησης παρατηρήθηκε αρχικά στις επιφάνειες στερεών ουσιών και αργότερα σε υγρές επιφάνειες. Στις υγρές επιφάνειες ωστόσο οι ξένες ουσίες συγκρατούνται με μικρότερη δύναμη σε σχέση με τις στερεές. Τα στερεά σώματα είναι πηγές ελκτικών δυνάμεων, γιατί τα άτομά τους συνορεύουν μονόπλευρα με τα ομοειδή άτομα του πλέγματος τους. Κατά αυτό τον τρόπο δημιουργούνται ελεύθερες μονάδες συγγένειας στην επιφάνεια των στερεών, η οποία μπορεί να συγκρατεί ξένα μόρια ή άτομα

πολύ ισχυρά. Η προσρόφηση στην επιφάνεια στερεών σωμάτων χωρίζεται σε δύο κατηγορίες, τη φυσική ρόφηση και τη χημική ρόφηση (χημειορόφηση), η πρώτη εκ των οποίων αποδίδεται σε ασθενείς δυνάμεις van der Waals, ενώ η δεύτερη σε δυνάμεις χημικού δεσμού. (Στην ελληνική γλώσσα ο όρος ρόφηση χρησιμοποιείται για τη γενική έννοια του όλου φαινομένου προσρόφησης– εκρόφησης, καθώς και για την προσρόφηση μόνο).

Οι εργασίες προσρόφησης βασίζονται στις ιδιότητες ορισμένων πορωδών στερεών σωμάτων, τα οποία προσροφούν φυσικά αέρια ή υγρά από αραιά διαλύματα. Τα περισσότερα προσροφητικά είναι υλικά με μεγάλο πορώδες, στα οποία η προσρόφηση λαμβάνει χώρα κυρίως στα τοιχώματα των πόρων ή σε συγκεκριμένες θέσεις μέσα στο σωματίδιο. Επειδή γενικά οι πόροι είναι πολύ μικροί, η εσωτερική ειδική επιφάνεια (επιφάνεια ανά μονάδα μάζας) είναι τάξεις μεγέθους μεγαλύτερη από την εξωτερική ειδική επιφάνεια και συχνά φτάνει τα 500-1000 m<sup>2</sup>/g. Ο διαχωρισμός πραγματοποιείται επειδή οι διαφορές στο μοριακό βάρος, στο σχήμα ή την πολυπλοκότητα προκαλούν την ισχυρότερη συγκράτηση ορισμένων μορίων στην επιφάνεια, σε σύγκριση με άλλα μόρια ή επειδή οι πόροι είναι πολύ μικροί και δεν επιτρέπουν την είσοδο των μεγαλύτερων μορίων. Σε πολλές περιπτώσεις η προσροφούμενη ουσία συγκρατείται πολύ ισχυρά, με αποτέλεσμα να μην είναι δυνατή η πλήρης απομάκρυνση της από το ρευστό, με πολύ μικρή προσρόφηση των άλλων συστατικών. Στη συνέχεια θα πρέπει να αναγεννηθεί το προσροφητικό, έτσι ώστε να ληφθεί η προσροφούμενη ουσία σε συμπυκνωμένη ή σχεδόν καθαρή μορφή. Μερικά από τα στερεά του ίδιου τύπου χρησιμοποιούνται για την προσρόφηση ατμών και υγρών, μολονότι για τα υγρά χρησιμοποιούνται συχνά προσροφητικά με μεγαλύτερους πόρους.

Με το φαινόμενο της προσρόφησης μπορούν να δεσμευθούν βαρέα μέταλλα (π.χ. μόλυβδος, υδράργυρος, άργυρος), ιχνοστοιχεία (π.χ. σελήνιο, αρσενικό), διάφορα μέταλλα (π.χ. χαλκός, χρώμιο), ενώσεις (ελεύθερα κυανιούχα, κυανιούχα μετάλλων, ιόντα αμμωνίου, οργανικοί διαλύτες κλπ). Η προσρόφηση των μετάλλων γίνεται είτε μέσω ηλεκτρικής έλξεως των κατιόντων στην επιφάνεια των αρνητικώς φορτισμένων αργιλικών πλακιδίων είτε μέσω ακινητοποιήσεως των ιόντων λόγω καθίζησης με τη μορφή αδιάλυτων αλάτων. Έτσι, π.χ. το αρσενικό μπορεί να προσροφηθεί στην επιφάνεια των υδροξειδίων του σιδήρου και του μαγνησίου (που περιέχονται στα αργιλικά ορυκτά) και να καθιζάνει ως αδιάλυτη ένωση με σίδηρο, χαλκό ή ψευδάργυρο. Η αντίδραση του αρσενικού (αλλά και του χρωμίου) με τον σίδηρο αποτελούν τη βάση ειδικών μεθόδων για την απομάκρυνση ιχνών αρσενικού ή χρωμίου από υδροφόρους ορίζοντες [Peck, 1990]. Μέσω μηχανισμών προσρόφησης γίνεται και η αδρανοποίηση των ελευθέρων κυανιούχων και των μεταλλικών τους ενώσεων. Έρευνες [Smith & Struhsacker, 1988] έδειξαν ότι οι ουσίες αυτές αδρανοποιούνται κατά την

κίνησή τους διαμέσου των αργιλικών υλικών πολύ σύντομα, μέσω μηχανισμών προσρόφησης στην επιφάνεια των αργιλικών πλακιδίων και καθίζησης με τη μορφή σιδηροκυανιούχων. Σημειώνεται ακόμη ότι τα κυανιούχα μπορούν να αποδομηθούν και μέσω βιολογικών μηχανισμών: υπό αερόβιες συνθήκες τα κυανιούχα αποδομούνται προς αμμωνία, άζωτο ή νιτρικά άλατα και διοξείδιο του άνθρακα, ενώ υπό αναερόβιες συνθήκες δίνουν ιόντα αμμωνίου, άζωτο, θειοκυάνιο και διοξείδιο του άνθρακα. Τέλος, το αμμωνιακό άζωτο ( $\text{NH}_4^+$ ) έλκεται προς την αρνητικώς φορτισμένη επιφάνεια των αργιλικών πλακιδίων και τελικώς δεσμεύεται.

### 3.4. Είδη Προσρόφησης

Υπάρχουν τρία είδη προσρόφησης: φυσική, χημική και προσρόφηση ανταλλαγής. Παρακάτω συγκρίνονται τα βασικά τους χαρακτηριστικά.

- **Η φυσική προσρόφηση (physical adsorption)** παρατηρείται σε ευρύ φάσμα ρύπων (και ως εκ τούτου αποκαλείται nonspecific), οφείλεται δε στην επίδραση αδύνατων ελκτικών δυνάμεων ή δυνάμεων van der Waals μεταξύ μορίων. Τα μόρια που προσροφώνται δεν προσαρτιούνται σε ένα συγκεκριμένο σημείο της επιφάνειας αλλά κινούνται ελεύθερα πάνω σε αυτή. Το υλικό που προσροφάται μπορεί να εμφανίσει συμπυκνωμένη διάταξη έτσι ώστε να σχηματισθούν μοριακές στρώσεις που επικάθονται η μια πάνω στην άλλη. Η φυσική προσρόφηση είναι αντιστρέψιμη: μόλις μειωθεί η συγκέντρωση της προσροφημένης ουσίας στο υδατικό διάλυμα, τα προσροφημένα μόρια εγκαταλείπουν την επιφάνεια πάνω στην οποία έχουν συγκεντρωθεί και επιστρέφουν στην υδατική διάλυση (το φαινόμενο αυτό, που είναι αντίθετο της προσρόφησης, ονομάζεται έκροφηση desorption).
- **Η χημική προσρόφηση (chemical adsorption)** προκαλείται από πολύ ισχυρότερες δυνάμεις, ανάλογες με αυτές που οδηγούν στο σχηματισμό χημικών ενώσεων. Η ουσία που προσροφάται σχηματίζει στρώμα πάχους ενός μόνο μορίου πάνω στην στερεή επιφάνεια του προσροφητή, τα δε προσροφημένα μόρια δεν είναι ελεύθερα να κινηθούν πάνω στην επιφάνεια αυτή. Επομένως, μόλις η επιφάνεια του στερεού προσροφητή καλυφθεί πλήρως το μονομοριακό στρώμα της προσροφούμενης ουσίας, το φαινόμενο της προσρόφησης σταματά, λέγεται δε ότι η ικανότητα για προσρόφηση εξαντλείται. Σε αντίθεση με την φυσική προσρόφηση, υπό κανονικές

συνθήκες η χημική προσρόφηση δεν είναι αντιστρεπτή διαδικασία για την έκροφηση (desorption) απαιτείται αύξηση της θερμοκρασίας της επιφάνειας του προσροφητή.

- **Η προσρόφηση ανταλλαγής (exchange adsorption)** χαρακτηρίζεται από ελκτικές ηλεκτροστατικές δυνάμεις μεταξύ των μορίων της προσροφούμενης ουσίας και της στερεάς επιφάνειας του προσροφητή. Η αποκαλούμενη ανταλλαγή ιόντων (ion exchange) αποτελεί το πιο συνηθισμένο είδος προσρόφησης ανταλλαγής. Τα ιόντα της εν διαλύσει ουσίας συγκεντρώνονται στην επιφάνεια του προσροφητή σαν αποτέλεσμα ηλεκτροστατικής έλξης μεταξύ αυτών και σημείων της επιφάνειας που έχουν αντίθετο ηλεκτρικό φορτίο. Όπως είναι αναμενόμενο, τα πολυσθενή ιόντα που χαρακτηρίζονται από μεγαλύτερο ηλεκτρικό φορτίο (σθένος) έλκονται σε αντίθετα φορτισμένα σημεία της επιφάνειας του προσροφητή περισσότερο από ιόντα με μικρότερο σθένος. Επίσης, όσο μικρότερο είναι το μέγεθος του (ένυδρου) ιόντος (συμπεριλαμβανομένων δηλαδή τυχόν μορίων νερού που περιβάλλουν το ιόν), τόσο μεγαλύτερη η ελκτική δύναμη που παρατηρείται. Σημειώνεται ότι η χρήση του όρου sorption γίνεται ώστε να περιλαμβάνονται τα φαινόμενα της απορρόφησης (absorption) και της προσρόφησης (adsorption). Συχνά, ο όρος sorption χρησιμοποιείται για αναφορά σε χημικής μορφής απορρόφηση, ο δε όρος adsorption για αναφορά σε φυσική προσρόφηση [Metcalf & Eddy, 2006].

### 3.5. Στάδια Προσρόφησης

Η προσρόφηση επιτελείται σε τρία στάδια, μακροσκοπική μεταφορά (macrotransport), μικροσκοπική μεταφορά (microtransport) και προσρόφηση στην επιφάνεια του στερεού προσροφητή [Metcalf & Eddy, 1991] οι οποίοι εξετάζουν ειδικότερα την προσρόφηση οργανικών ρύπων στην επιφάνεια των κόκκων ενεργοποιημένου άνθρακα (activated carbon). Κατά το στάδιο της μακροσκοπικής μεταφοράς, η διαλυμένη ουσία μετακινείται μέσα από τον διαλύτη προς την ζώνη διασύνδεσης στερεού – υγρού μέσω της μηχανισμών της υδροδυναμικής μεταφοράς (advection) και της διάχυσης (diffusion).

Στο επόμενο στάδιο της μικροσκοπικής μεταφοράς, η εν διαλύσει ουσία διεισδύει μέσα στο πορώδες των στερεών κόκκων με τον μηχανισμό της διάχυσης. Το δαιδαλώδες σύστημα του πορώδους αποτελείται από μεγαλύτερους (macropores και mesopores) και μικρότερους (micropores και submicropores) πόρους. Τελικά, επιτελείται η προσρόφηση της διαλυμένης ουσίας, λόγω δε της κατά πολύ μεγαλύτερης επιφάνειας των μικρότερων πόρων, η

προσρόφηση συμβαίνει ως επί το πλείστον σε επιφάνειες των μικρότερων πόρων. Όταν ο ρυθμός εκρόφησης (desorption) γίνει ίσος με τον ρυθμό προσρόφησης, επικρατούν συνθήκες ισορροπίας και εξαντλείται η ικανότητα του στερεού να προσροφήσει την διαλυμένη ουσία. Η θεωρητική ικανότητα προσρόφησης μπορεί να προσδιορισθεί με μαθηματικά μοντέλα του φαινομένου της προσρόφησης που αποκαλούνται ισόθερμες [Shaw, 1966]. Η προσρόφηση σε υγρή φάση πραγματοποιείται σε 4 στάδια.

- Μεταφορά από την υγρή φάση στο υγρό φιλμ που περιβάλλει τον άνθρακα.
- Μεταφορά στους τριχοειδούς πόρους.
- Διάχυση προς τη στερεή φάση.

### 3.6. Μαθηματικά μοντέλα του φαινομένου της Προσρόφησης

#### 3.6.1. Ισόθερμες Προσρόφησης

Η στοιχειώδης ισορροπία, σε μια δοσμένη θερμοκρασία, συνήθως αντιπροσωπεύεται από μια ισόθερμη προσρόφησης. Δηλαδή, οι ισόθερμες προσρόφησης αποτελούν μαθηματικές εκφράσεις της προσροφούμενης ουσίας ανά μονάδα μάζας προσροφητικού υλικού συναρτήσει της συγκέντρωσης του ίδιου συστατικού στο αρχικό προς επεξεργασία διάλυμα, σε συνθήκες ισορροπίας και σε σταθερή θερμοκρασία. Επειδή δεν έχει βρεθεί μέχρι τώρα μια εξίσωση για την περιγραφή όλων των μηχανισμών και των σχημάτων της ισόθερμης προσρόφησης, έχουν αναπτυχθεί διάφορα μοντέλα περιγραφής του φαινομένου τα οποία αναφορικά είναι τα εξής.

**Η ισόθερμη του Langmuir** για την προσρόφηση μίας ουσίας από υγρό διάλυμα. Η ισόθερμη αυτή αφορά προσρόφηση επιφανειών πλήρως ομογενοποιημένων με αμελητέα αλληλεπίδραση μεταξύ των μορίων των σωμάτων που συμμετέχουν στη διαδικασία. Η ισόθερμη του Langmuir (1916) βασίζεται στο ακόλουθο μοντέλο προσρόφησης που χαρακτηρίζεται ως «pseudo-monolayer», δηλαδή στρώμα πάχους όσο ένα κύτταρο:

$$1/q = (1/q_m) + (1/(K_L \times q_m)) \times (1/C_e)$$

Όπου:



**K<sub>L</sub>**: είναι συντελεστής της ισόθερμης Langmuir που σχετίζεται με την ενέργεια της προσρόφησης (L/mg).

**q<sub>m</sub>**: είναι συντελεστής της ισόθερμης Langmuir που σχετίζεται με την ποσότητα της βαφής που προσροφήθηκε (mg/g) όταν ολοκληρώθηκε επιτυχώς ο χρωματικός διαποτισμός.

Από την εξίσωση [Uzun & Guzel, 2004] έχουμε:

$$\log b = \log A - (\Delta H / 2303 \times R \times T)$$

$$\Delta G = - R \times T \times \ln b$$

$$\Delta G = \Delta H - T \times \Delta S$$

Όπου:

**b**: είναι η σταθερά Langmuir σχετιζόμενη με την ενεργειακή προσρόφηση (Lmmol<sup>-1</sup>).

**A**: είναι σταθερά.

**ΔH**: είναι μεταβολή της ενθαλπίας (J mol<sup>-1</sup>).

**ΔG**: συμβολίζει την ελεύθερη ενέργεια μιας μεταβολής (J mol<sup>-1</sup>).

**ΔS**: είναι η μεταβολή της εντροπίας (J mol<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>).

**T**: είναι η απόλυτη θερμοκρασία σε (K).

**R**: είναι η παγκόσμια σταθερά των αερίων (J mol<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>).

Αυξανόμενης της σε υψηλές θερμοκρασίες και θετική ΔH επιβεβαιώνεται ότι το Methylene Blue προσροφά περισσότερο πριονίδι σε υψηλές θερμοκρασίες. Αρνητική ΔG δείχνει ότι η προσρόφηση του Methylene Blue στο πριονίδι είναι μια αυθόρμητη διαδικασία [Huseyin et al, 2007].

**Η εμπειρική εξίσωση του Freundlich** για τα αραιά διαλύματα με μικρές συγκεντρώσεις. Συνήθως περιγράφει την προσρόφηση ξένων σωμάτων σε υγρό διάλυμα από ενεργό άνθρακα και σε αντίθεση με αυτή του Langmuir ισχύει για ομογενοποιημένες επιφάνειες στις οποίες υπάρχει αλληλεπίδραση μεταξύ των μορίων που προσροφώνται.

Για αραιά διαλύματα η ισόθερμη προσρόφησης του Freundlich μπορεί να γραφτεί ως εξής:

$$q = K_F \times (C_e)^{1/n}$$

Η παραπάνω εξίσωση περιγράφει τις συνθήκες ισορροπίας και μετασχηματίζοντας την λογαριθμικά προκύπτει η παρακάτω μορφή:

$$\log q = \log K_F + ((1/n) \times \log C_e)$$

Όπου:

**q:** είναι η ποσότητα της προσροφούμενης ουσίας ανά μονάδα μάζας του προσροφητικού υλικού (mg/g).

**C<sub>e</sub>:** είναι η συγκέντρωση ισορροπίας της προσροφούμενης ουσίας στο διάλυμα (mg/L) για χρόνο  $t \rightarrow \infty$

**1/n :** είναι η κλίση της ισόθερμης Freundlich και αποτελεί ένδειξη της ενέργειας προσρόφησης (αδιάστατη παράμετρος).

**K<sub>F</sub>:** είναι ο συντελεστής της ισόθερμης Freundlich που σχετίζεται με τη χωρητικότητα της προσρόφησης, δηλαδή αποτελεί ένδειξη της μέγιστης ποσότητας που δύναται να προσροφηθεί ( $L \text{ mg}^{-1} \text{ min}^{-1}$ ). Η παραπάνω εξίσωση αναφέρεται σε συνθήκες ισορροπίας και για σταθερή θερμοκρασία.[Sidiras, 2013]

Οι Freundlich και Langmuir παράμετροι για την χρωστική Methylene Blue που έχουν μελετηθεί παρουσιάζονται στο παρακάτω πίνακα.

**Πίνακας 3.1.:** Freundlich και Langmuir παράμετροι για την χρωστική Methylene Blue

Methylene Blue					
	Freundlich, παράμετροι		Langmuir, παράμετροι		Αναφορές
	KF (Lmg <sup>-1</sup> min <sup>-1</sup> )	n	qm(mg/g)	KL (L/mg)	
Μπαμπού σκόνη κάρβουνου Rattan ξύλο	0,68	1,96	143	0,12	Kannan, Sundaram (2001)
		8,22	0,131		Hameed (2006)
Φλούδες μπανάνας	1,34	3	20,8	16,5	Annadurai, Juang (2002)
Πριονίδι οξιιάς Πριονίδι πεύκου	6,05	1,59	9,78	1,60	Batzias, Sidiras (2006)
Ενεργός άνθρακας εμπορίου	6,7	3,4	980	0,48	Kannan, Sundaram (2001)
Φλούδες πορτοκαλιού	1,75	3,8	18,6	19,9	Annadurai, Juang (2002)

**Η ισόθερμη του Elovich** [Hamdaoui, 2005] βασίζεται στο ακόλουθο μοντέλο.

$$q_e/q_m = K_E \times C_E \times \exp(-q_e/q_m)$$

Όπου:

**K<sub>E</sub>**: είναι συντελεστής της εξίσωσης Elovich (Lmg<sup>-1</sup>), ο οποίος σχετίζεται με τη χωρητικότητα της προσρόφησης, δηλαδή αποτελεί ένδειξη της μέγιστης ποσότητας που δύναται να προσροφηθεί.

**C<sub>E</sub>**: είναι η συγκέντρωση ισορροπίας της προσροφούμενης ουσίας στο διάλυμα.

**q<sub>e</sub>**: είναι η ποσότητα της προσροφούμενης ουσίας ανά μονάδα μάζας του προσροφητικού υλικού (mg/g).

**q<sub>m</sub>**: είναι ο συντελεστής που σχετίζεται με την ποσότητα της βαφής που προσροφήθηκε (mg/g) όταν ολοκληρώθηκε επιτυχώς ο χρωματικός διαποτισμός.

Οι μέγιστες τιμές της προσροφητικής ικανότητας καθορίζονται χρησιμοποιώντας τη γραμμική μετατροπή της εξίσωσης του Elovich.

Η εξίσωση Sips (Langmuir–Freundlich), [Chern et al, 2001; Chu, 2002; Cavazzini et al, 2002; Calace, 2002].

$$q = [q_m \times (C_e)^{1/n}] / [1 + (K_L \times C_e)^{1/n}]$$

Όπου:

**K<sub>L</sub>**: είναι ο συντελεστής της ισόθερμης που σχετίζεται με την ενέργεια της προσρόφησης (L/mg)

**q<sub>m</sub>**: είναι ο συντελεστής της ισόθερμης που σχετίζεται με την ποσότητα της βαφής που προσροφήθηκε (mg/g) όταν ολοκληρώθηκε ο χρωματικός διαποτισμός.

**1/n**: είναι η κλίση της ισόθερμης και αποτελεί ένδειξη της ενέργειας προσρόφησης.

**C<sub>e</sub>**: είναι η συγκέντρωση ισορροπίας της προσροφούμενης ουσίας στο διάλυμα.

Αν τα πειραματικά δεδομένα ισόθερμης πλησιάζουν την εξίσωση Fritz-Schlunder οι παράμετροι  $K_L$ ,  $q_m$  και  $n$  μπορούν να προκύψουν με μη γραμμική ανάλυση παλινδρόμησης.

Η ισόθερμη του **Radke–Prausnitz**, [Allen et al, 2003; Wong et al, 2004], βασίζεται στο ακόλουθο μοντέλο.

$$q = (K_L \times q_m \times C_e) / [1 + (K_L \times C_e)^{1/n}]$$

Όπου:  $K_L$ ,  $q_m$ ,  $C_e$  και  $1/n$  είναι όροι της ισόθερμης που αναφέρονται αντιστοίχως και στην εξίσωση του μοντέλου **Sips**. Στην περίπτωση που τα πειραματικά δεδομένα προσεγγίζουν την εξίσωση Radke-Prausnitz, ανάλυση μη γραμμικής παλινδρόμησης δίνει τις τιμές των παραμέτρων  $K_L$ ,  $q_m$  και  $n$ .

Η εξίσωση **Unilan**, [Chern et al, 2001; Quinones et al, 1998], βασίζεται στο ακόλουθο μοντέλο.

$$q = (q_m/2s) \times \ln [(1+(K_L \times C_e \times e^s)) / (1+(K_L \times C_e \times e^{-s}))]$$

Όπου:

$K_L$  : είναι η σταθερά Langmuir (L/mg).

$q_m$  : είναι η ποσότητα της χρωστικής που έχει προσροφηθεί σε συνθήκες κορεσμού (mg/g)

και

$s$  : είναι μία σταθερά.

Αν τα πειραματικά δεδομένα περιγράφονται από την ισόθερμη **Unilan**, οι παράμετροι  $K_L$ ,  $q_m$  και  $s$  λαμβάνονται με ανάλυση μη γραμμικής παλινδρόμησης.

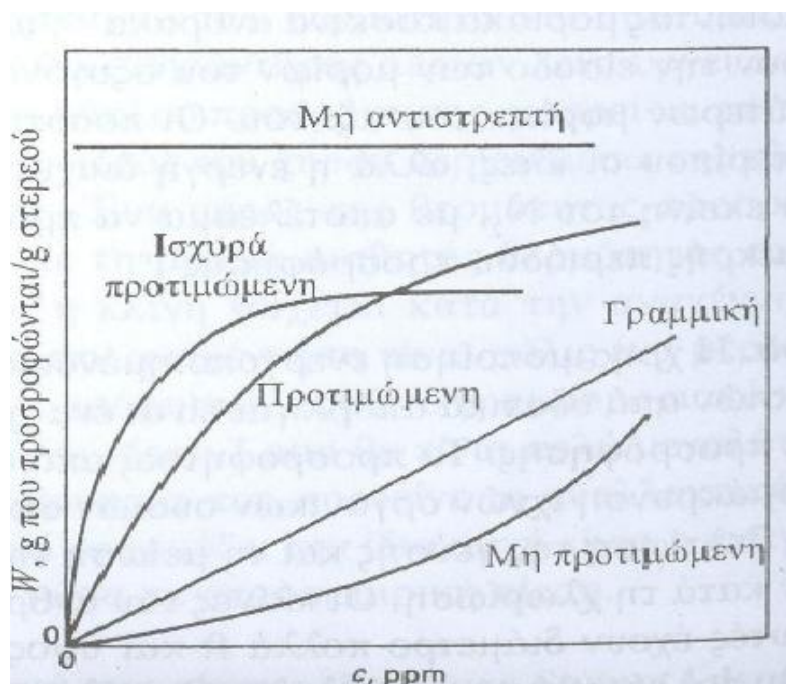
### 3.6.2. Είδη Ισόθερμων

Στο Σχήμα 3.1 παρουσιάζονται μερικές τυπικές ισόθερμες. Η γραμμική ισόθερμη ξεκινά από την αρχή των αξόνων και η ποσότητα που προσροφάται είναι ανάλογη της συγκέντρωσης του ρευστού. Οι ισόθερμες που είναι κυρτές προς τα επάνω είναι οι “προτιμώμενες”, επειδή μπορεί να επιτευχθεί ένα σχετικά υψηλό φορτίο στερεού όταν η συγκέντρωση στο ρευστό είναι μικρή. Η ισόθερμη Langmuir κατατάσσεται στις

«προτιμώμενες» όταν η σταθερά της προσρόφησης είναι μεγάλη και το γινόμενο της σταθεράς επί την αρχική συγκέντρωση του ρευστού είναι πολύ μεγαλύτερο της μονάδας η ισόθερμη είναι ισχυρά προτιμώμενη, ενώ όταν το γινόμενο της σταθεράς επί την αρχική συγκέντρωση του ρευστού είναι μικρότερο της μονάδας η ισόθερμη είναι σχεδόν γραμμική. Η ισόθερμη Langmuir βασίζεται στην παραδοχή της ομοιόμορφης επιφάνειας, η οποία δεν ισχύει, όμως η σχέση που την περιγράφει ισχύει με καλή ακρίβεια για τα αέρια τα οποία προσροφώνται ασθενώς. Για ισχυρά «προτιμώμενες» ισόθερμες η εμπειρική εξίσωση Freundlich δίνει καλύτερη προσομοίωση, ιδιαίτερα για την προσρόφηση από υγρά. Η οριακή περίπτωση μιας πολύ προτιμώμενης ισόθερμης είναι η μη αντιστρεπτή προσρόφηση, όπου η ποσότητα που προσροφάται είναι ανεξάρτητη της συγκέντρωσης μέχρι πολύ χαμηλές τιμές. Σε όλα τα συστήματα η ποσότητα που προσροφάται μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας, ακόμα και σε περιπτώσεις που χαρακτηρίζονται μη αντιστρεπτές. Ωστόσο για την εκρόφηση απαιτείται πολύ υψηλότερη θερμοκρασία, όταν η προσρόφηση είναι ισχυρά «προτιμώμενη» ή μη αντιστρεπτή παρά όταν οι ισόθερμες είναι γραμμικές.

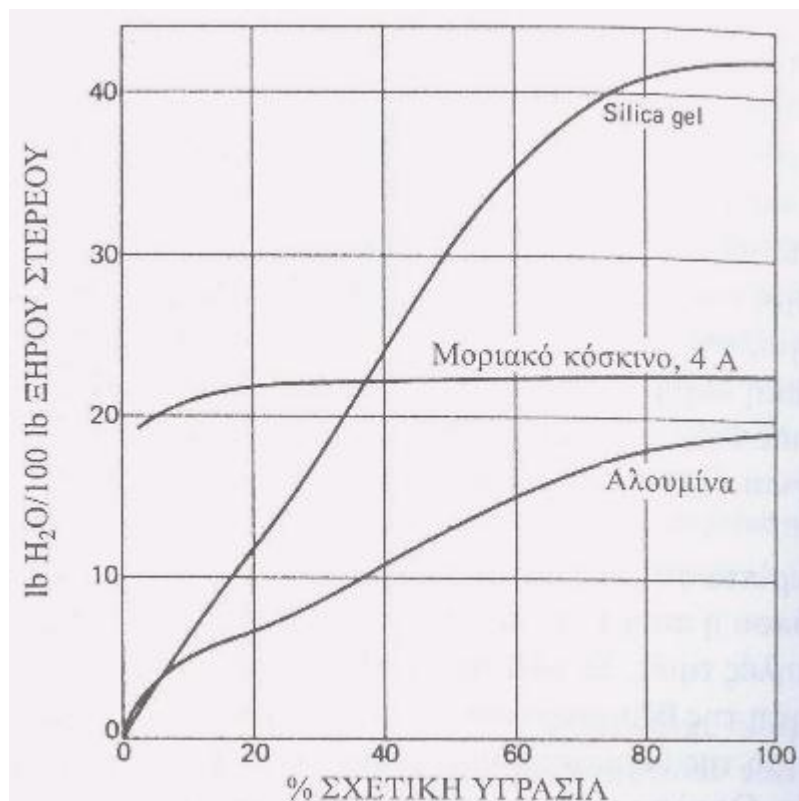
Μια ισόθερμη που είναι κοίλη προς τα επάνω χαρακτηρίζεται “μη προτιμώμενη” επειδή επιτυγχάνονται σχετικά χαμηλά φορτία στερεού και επειδή δημιουργεί μέσα στην κλίνη ζώνες μεταφοράς μάζας με μεγάλο μήκος. Οι ισόθερμες αυτού του τύπου είναι σπάνιες, αξίζει όμως τον κόπο να μελετηθούν γιατί βοηθούν στην καλύτερη κατανόηση της διαδικασίας αναγέννησης του προσροφητικού μέσου.

**Εικόνα 3. 1:** Ισόθερμες προσρόφησης



Για να φανεί η ποικιλία των σχημάτων των ισόθερμων για ένα μόνο προσροφητικό, παρουσιάζονται δεδομένα προσρόφησης του νερού από τον αέρα σε τρία ξηραντικά μέσα, Σχήμα 3.2 Το silica gel έχει μια σχεδόν γραμμική ισόθερμη για σχετική υγρασία μέχρι 50% και η τελική δυναμικότητά του είναι περίπου διπλάσια των άλλων στερεών. Σε υψηλά ποσοστά υγρασίας οι μικροί πόροι γεμίζουν με υγρό με τριχοειδή συμπύκνωση και η ολική ποσότητα που προσροφάται εξαρτάται από τον όγκο των μικρών πόρων και όχι μόνο από την ειδική επιφάνεια. Το νερό συγκρατείται πολύ ισχυρά από τα μοριακά κόσκινα και η προσρόφηση του είναι σχεδόν μη αντιστρεπτή, όμως ο όγκος των πόρων δεν είναι τόσο μεγάλος όσο του silica gel. Οι καμπύλες του σχήματος βασίζονται στη σχετική υγρασία, με αποτέλεσμα οι ισόθερμες να πέφτουν πάνω σε μια μόνο καμπύλη για μια περιοχή θερμοκρασιών. Αξίζει να σημειωθεί ότι, με εξαίρεση τα μοριακά κόσκινα, η ποσότητα που προσροφάται σε μια δεδομένη μερική πίεση μειώνεται κατά πολύ με την αύξηση της θερμοκρασίας. Για τον αέρα που περιέχει 1% H<sub>2</sub>O στους 20 °C ισχύει  $H_R=7,6\text{mm Hg}/17,52*100=43,4\%$  και η ποσότητα που προσροφάται στο silica gel είναι  $W=0,26\text{ lb/lb}$ . Για την ίδια συγκέντρωση στους 40 oC,  $H_R=7,6\text{mm Hg}/55,28*100=13,7\%$  και  $W=0,082\text{ lb/lb}$ .

**Εικόνα 3.2:** Ισόθερμες προσρόφησης για νερό σε αέρα από 20 έως 50



### 3.6.3. Κινητική της Προσρόφησης

Η κινητική προσρόφησης της χρωστικής Methylene Blue σε διάφορα υλικά μελετήθηκε χρησιμοποιώντας διάφορες εξισώσεις κινητικής. [Namasivayam et al, 2001; Annadurai et al, 2002; Aksu, 2001].

Η επικρατούσα εξίσωση που χρησιμοποιείται είναι του Lagergren (1898).

$$q - q_t = q \times e^{-kt}$$

Όπου:

$q$  και  $q_t$  είναι η ποσότητα της χρωστικής ουσίας για μονάδα μάζας του προσροφητικού μέσου σε (mg/g) σε χρόνο ισορροπίας άπειρο και σε χρόνο  $t$  αντίστοιχως.

$k$  είναι η πρώτη κινητική σταθερά της προσροφητικής διαδικασίας (σε  $\text{min}^{-1}$ )

Η εξίσωση του Lagergren μπορεί να γραφεί και ως:

$$[(C_0 - C_e)/m] - [(C_0 - C)/m] = [(C_0 - C_e)/m] \times e^{-kt}$$

Όπου:  $C_0$ ,  $C_e$  και  $C$  είναι οι συγκεντρώσεις του Methylene Blue της μάζας του διαλύματος σε χρόνο  $t$ , 0 και άπειρο, αντίστοιχα, ενώ  $m$  το βάρος του προσροφητικού μέσου που χρησιμοποιήθηκε (σε g).

Επιπλέον μετατροπές δίνουν.

$$C - C_e = (C_0 - C_e) \times e^{-kt}$$

Και ο λογαριθμικός σχηματισμός

$$\ln C - \ln C_e = \ln (C_0 - C_e) - kt$$

Η προσρόφηση στο εσωτερικό της διάχυσης των κόκκων στη κινητική έχει μελετηθεί με το μοντέλο Intra-particle.

Η προσρόφιση στο εσωτερικό της διάχυσης των κόκκων (intra-particle) μπορεί να καθοριστεί χρησιμοποιώντας το μοντέλο Weber-Morris [Hamdaoui, 2006; Weber & Morris, 1962].

$$C = C_o - K_w t^{1/2}$$

ή

$$q = (K_w / W) \times t^{1/2}$$

με  $W = (C_o - C) / q$

Όπου:

**C<sub>o</sub>**: είναι η αρχική συγκέντρωση (mg/L<sup>-1</sup>).

**C**: είναι η συγκέντρωση για κάθε χρόνο t (mg/ L<sup>-1</sup>).

**t**: είναι ο χρόνος σε (min).

**q**: είναι η ποσότητα της προσροφούμενης ουσίας για κάθε χρόνο t σε (mg/g<sup>-1</sup>).

**W**: είναι το βάρος του προσροφητικού υλικού ανά όγκο διαλύματος σε (g L<sup>-1</sup>).

**K<sub>w</sub>**: είναι ο συντελεστής του Weber (intra-particle) διάχυση στο εσωτερικό των κόκκων σε (m g L<sup>-1</sup> min<sup>1/2</sup>)

Αν θέσουμε  $C = 0$  έχουμε  $q_t = k_p \times \sqrt{t}$

Όπου  $V=1$ ,  $m = w$ ,  $q_t = q$ ,  $q_t = [(C_o - C) \times v] / m$

Αν προσθέσουμε και μια σταθερά c έχουμε στην πιο γενικευμένη του μορφή του μοντέλο της intra-particle διάχυσης [Nassar, 1999; Kannan & Sundaram, 2001; Annadurai et al, 2002; Chu & Chen, 2002; Mohan et al, 2002], δίνεται από τη σχέση:

$$q_t = k_p \times \sqrt{t} + c$$

Όπου:

**q<sub>t</sub>** : είναι η ποσότητα της χρωστικής ουσίας σε χρόνο **t**.

**c**: είναι σταθερός όρος.

**k<sub>p</sub>**: είναι ο συντελεστής διάχυσης στο εσωτερικό των κόκκων σε mg g<sup>-1</sup> και min<sup>-1/2</sup>.



Ο συντελεστής είναι μεγαλύτερος για πριονίδι το οποίο έχει υποστεί υδρόλυση από ένα υλικό το οποίο δεν έχει υποστεί καμία προκατεργασία.

Στην κινητική προσρόφηση έχει μελετηθεί επίσης η επίδραση του pH και η επίδραση της ταχύτητας ανάδευσης.[Sidiras, 2013]

### **Η Επίδραση της ταχύτητας ανάδευσης.**

Η ανάδευση είναι μια κλασική παράμετρος στο φαινόμενο της απορρόφησης που επηρεάζει την κατανομή του διαλύματος στο κύριο μέρος του διαλύματος και στο σχηματισμό ενός εξωτερικού ορίου film. Η επίδραση της ταχύτητας ανάδευσης μετριέται σε (rpm). Η κινητική φαίνεται να έχει αποτελέσματα από την ταχύτητα ανάδευσης για τιμές μεταξύ 0 και 200 rpm, η οποία επιβεβαιώνει ότι η επίδραση της επιρροής της εξωτερικής διάχυσης στην κινητική απορρόφηση παίζει ένα σημαντικό ρόλο. Σε αντίθεση, η μικρή επίδραση της ανάδευσης για διακύμανση από 200 σε 600 rpm δείχνει ότι η εξωτερική μεταφερόμενη μάζα δεν είναι περιοριστικός και εφαρμόζεται η (intra-particle) διάχυση, προσρόφηση στο εσωτερικό της διάχυσης των κόκκων. [Batziias & Sidiras, 2001; Annadurai et al, 2002].

### **Η επίδραση του pH**

Η τελική συγκέντρωση C του διαλύματος μετά από μια προσροφητική περίοδο των 190 min ήταν σημαντικά υψηλότεροι για τιμές του pH μεταξύ 1,5 και 4 για μη προκατεργασμένα και προκατεργασμένα υλικά. Η χαμηλή απορρόφηση του Methylene Blue σε όξινο pH οφείλεται εξ αιτίας της παρουσίας περίσσειας ιόντων H (Υδρογόνου). Καθώς το pH του συστήματος αυξάνεται η ποσότητα του θετικού φορτίου μειώνεται ενώ ο αριθμός του αρνητικού φορτίου αυξάνεται. Το αρνητικό φορτίο ευνοεί την απορρόφηση της χρωστικής των ιόντων με θετικό φορτίο εξ αιτίας της ηλεκτροστατικής έλξης. Η αύξηση του αρχικού pH του διαλύματος από 8 σε 13 λίγο αυξάνει την ποσότητα της επιφάνειας που συγκρατεί τις ουσίες. Το τελικό pH του διαλύματος βρέθηκε να αυξήθηκε μόνο λίγο από 0,3 σε 0,5 μονάδες pH, μετά την απορρόφηση με Methylene Blue με απελευθέρωση ιόντων H (Υδρογόνου) από την ενεργή περιοχή της επιφάνειας του προσροφητικού μέσου. [Namasivayam et al, 2001; Aksu, 2001; Kannan & Sundaram, 2001; Batziias & Sidiras, 2001; Annadurai et al, 2002].

### 3.7. Τεχνικές προσρόφησης, είδη προσροφητικών μέσων και χρωστικές

Πολλές τεχνικές έχουν εφαρμοστεί για την αφαίρεση των χρωστικών από τα απόβλητα, όπως οξείδωση (oxidation-ozonation), βιολογική διαχείριση (biological treatment), κροκίδωση (coagulation- flocculation), μεμβράνες διήθησης (membrane filtration), προσρόφηση (adsorption), [Huseyin et al, 2007]. Εξ αιτίας της χαμηλής βιοαποικοδομησιμότητας, την ικανότητα διάσπασης του υλικού από την επίδραση βακτηριδίων, των χρωστικών μια συμβατική βιολογική μεταχείριση δεν είναι πολύ αποτελεσματική. Χρωστικά απόβλητα υπόκεινται σε φυσικές και χημικές διαδικασίες, επεξεργασίες. Όλες αυτές οι μέθοδοι έχουν διαφορετική ικανότητα προσροφητικής αφαίρεσης (προσρόφησης), επενδυτικά και λειτουργικά κόστη. Από όλες αυτές τις διαδικασίες, η προσρόφηση έχει βρεθεί ότι είναι μια από τις καλύτερες από τις άλλες υπάρχουσες τεχνικές για την επεξεργασία αποβλήτων σε τομείς όπως, το πρωταρχικό κόστος, την απλότητα του σχεδιασμού και την ευκολία στη λειτουργία.

Η διεργασία της προσρόφησης εφαρμόζεται ευρέως στην επεξεργασία των επικίνδυνων αποβλήτων. Πολλά στερεά σώματα χρησιμοποιούνται ως προσροφητικά μέσα για την απομάκρυνση διαφόρων προσμίξεων από υγρά. Τα κοινά προσροφητικά μέσα έχουν κατά κανόνα μεγάλη επιφάνεια ανά μονάδα μάζας, ενώ τα πιο γνωστά από αυτά είναι το πυρίτιο (silica gel), το ενεργό αλουμίνιο ή ενεργή αλουμίνα (activated alumina) και ο ενεργός άνθρακας (activated carbon) καθώς και ο ζωάνθρακας (charcoal), η χιτίνη (chitin-chitosan), η τύρφη (peat), μοριακά κόσκινα (molecular sieve), άργιλο (clay) καθώς και σε σύνθλιψη οργανικά υλικά (crushed organic matters: seeds rice, etc). [Sidiras, 2011]

**Πίνακας 3.2:** Ο ενεργός άνθρακας και οι διάφορες χρήσεις του

Σκοπός	Εφαρμογές	Παραδείγματα
<b>Αέρια φάση</b>		
Ανάκτηση	Ανάκτηση ατμών βενζίνης	Ανάκτηση βενζίνης ως καύσιμο
	Ανάκτηση διαλύτη	Κυκλοεξανόνη, τριχλωροεθάνιο, Μεθυλο-αιθυλο-κετόνες (MEK), διθειούχος άνθρακας (CS <sub>2</sub> )
Απόσμηση	Απομάκρυνση οσμών δωματίου	Καπνός, CO, φίλτρα δωματίου, Οσμές τουαλέτας, οσμές κατοικίδιων ζώων
	Ψυγείο/ Καταψύκτης	Αποσμητής
	Αυτοκίνητο	Φίλτρα αέρα της καμπίνας
	Καπνός τσιγάρων	Φίλτρα τσιγάρων
	Νοσοκομείο	Απομάκρυνση αναισθητικών αέριων
	Απομάκρυνση όζοντος	Φωτοτυπικά, Εκτυπωτές Laser
Επικίνδυνα αέρια	Κλειστό περιβάλλον	Απομάκρυνση διοξεινίων, Διαστημόπλοια, CO <sub>2</sub> κάτω από το έδαφος
Διαχωρισμός αερίων	Άζωτο	Διαχωρισμός αερίου αζώτου
	Άλλα αέρια	Ραδιενεργά αέρια
<b>Υγρή φάση</b>		
Επεξεργασία νερού	Εργοστάσιο υγρών αποβλήτων	Καθαρισμός υγρών αποβλήτων
	Επεξεργασία πόσιμου νερού	Απομάκρυνση τριχλωρομεθανίου, χλωρίνης, πτητικών οργανικών ενώσεων (VOCs), αρσενικού
Αποχρωματισμός βιομηχανικών χημικών	Βιομηχανική χρήση	Λεύκανση ζάχαρης, φαρμακευτική χρήση, διύλιση ούσιςκι
Ιατρικές εφαρμογές	Ιατρική και νοσηλευτική	Συσκευές καθαρισμού νεφρού, νοσηλευτικές προμήθειες, αντιασφυξιογόνες μάσκες
Ηλεκτρονικά	Ηλεκτρόδια	Πυκνωτές διπλής στιβάδας, σκληροί δίσκοι
Ανάκτηση μετάλλων	Ανάκτηση χρυσού	Ανάκτηση χρυσού

Ο ενεργός άνθρακας είναι ένα από τα πιο κατάλληλα προσροφητικά μέσα, στη χρήση του στις μέρες μας, αλλά το υψηλό κόστος περιορίζει την εφαρμογή του. Έρευνες επικεντρώθηκαν πάνω στη χρήση χαμηλού κόστους εμπορικά κατάλληλων οργανικών υλικών ικανά να υποκαταστήσουν τον ενεργό άνθρακα, με αποτέλεσμα λιγνοκυτταρινούχα βιομηχανικά παραπροϊόντα από βιομηχανίες ξύλου, γεωργικά κατάλοιπα υπολείμματα, άχυρο, καλαμπόκι, φλούδες από πορτοκάλια, να έχουν ερευνηθεί σαν προσροφητικά μέσα για την αφαίρεση της ρύπανσης από χρωστικές ουσίες.

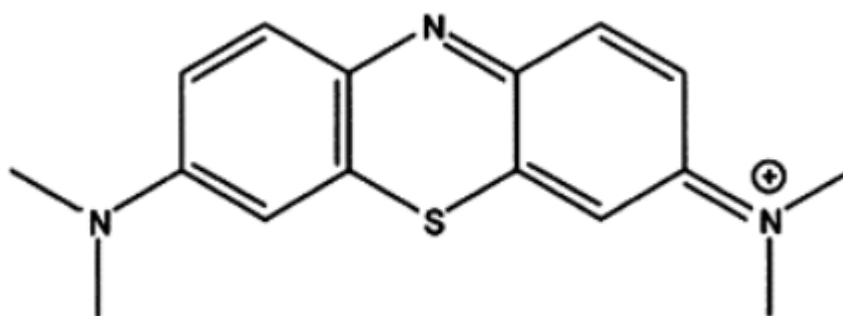
Παρακάτω γίνεται μια σύγκριση της μέγιστης προσρόφησης που επιτυγχάνουν διάφορα οργανικά απορρίμματα για την χρωστική ουσία Methylene Blue.

**Πίνακας 3.3:** Σύγκριση της μέγιστης προσρόφησης της χρωστικής ουσίας Methylene Blue για διάφορα απορρίμματα

Χρωστική ουσία	Προσροφητική ουσία	Προσροφητική ικανότητα Langmuir παράμετρος qm σε mg/g	Αναφορές
Methylene Blue	Πριονίδι από rattan	294,12	Hameed κ.α. (2006)
	Jute (γιούτα) ίνες	225,64	Senthikummar κ.α. (2005)
	Τσόφλια από αμύγδαλα	1,33	Aygun κ.α. (2003)
	Τσόφλια από καρύδια	3,53	Aygun κ.α. (2003)
	Τσόφλια από φουντούκια	8,82	Aygun κ.α. (2003)
	Κουκούτσια από βερίκοκα	4,11	Aygun κ.α. (2003)

Ο μοριακός τύπος του Methylene Blue είναι  $C_{16}H_{18}N_3S$ , ενώ η χημική δομή της χρωστικής ουσίας Methylene Blue παρουσιάζεται παρακάτω

**Εικόνα 3.5.:** Χημική δομή της χρωστικής Methylene Blue  
(πηγή: [http://www.pitsilidis.gr/magazine\\_gr.asp?category=16&id=498](http://www.pitsilidis.gr/magazine_gr.asp?category=16&id=498))



## 4. Τροποποίηση λιγνοκυτταρινούχων υλικών

### 4.1 Γενικά

Τις τελευταίες δεκαετίες εμφανίζεται ιδιαίτερο ενδιαφέρον για τις τεχνολογίες των ανανεώσιμων πηγών υλικών και ενέργειας. Έμφαση δίνεται στην επεξεργασία των λιγνοκυτταρινούχων υλικών (άχυρα, ξύλο κλπ) με στόχο την αξιοποίηση των τριών βασικών συστατικών (κυτταρίνη, ημικυτταρίνες, λιγνίνη). Βιομηχανικές διεργασίες επεξεργασίας των λιγνοκυτταρινούχων υλικών, που αποτελούν αντικείμενο έντονων ερευνητικών προσπαθειών και εκτεταμένων βιομηχανικών εφαρμογών σε διεθνές επίπεδο είναι η όξινη υδρόλυση, η απολιγνίνωση, η άλεση και η χρήση διαλυτών.

Για σιτάρι, άχυρο, καλαμπόκι και κριθάρι έχουν γίνει προσπάθειες με ατμοποίηση, αλκαλική επεξεργασία, αμμωνία και άλεση τα αποτελέσματα της επεξεργασίας με διαφορετικούς τρόπους για τα παραπάνω υλικά έδειξαν ότι η επεξεργασία με άλεση αυξάνει την προσροφητική ικανότητα της κυτταρίνης. [Robinson et al, 2002].

Η κυτταρίνη είναι η πιο διαδεδομένη από τις υπάρχουσες στη φύση οργανικές ενώσεις, ανέρχεται τουλάχιστον στο 1/3 της συνολικής φυτικής ύλης στον κόσμο, και είναι το κύριο συστατικό των κυτταρικών τοιχωμάτων των ανώτερων φυτών. Οι συνεχώς αυξανόμενες ανάγκες της σύγχρονης βιομηχανίας για μεγάλες ποσότητες κυτταρίνης την φέρνει αντιμέτωπη με υλικά που προέρχονται από πολλές διαφορετικές φυτικές πηγές. Η ετήσια παραγωγή γεωργικών υπολειμμάτων, άχυρου κυρίως, αποτελεί σημαντική πηγή κυτταρίνης η οποία δεν έχει αξιοποιηθεί επαρκώς στην Ελλάδα. Ειδικότερα τα άχυρα των δημητριακών χρησιμοποιούνται από καιρό στη βιομηχανία χαρτιού.

Από το 1918 που πραγματοποιήθηκε για πρώτη φορά η υδρόλυση της κυτταρίνης με πυκνό θειικό οξύ, πολυάριθμοι ερευνητές ασχολήθηκαν με την χημεία και την βιομηχανική αξιοποίηση της όξινης υδρόλυσης. Σε πολλές βιομηχανικές εφαρμογές των κυτταρινούχων υλικών λαμβάνει χώρα η όξινη υδρόλυση. Η ετερογενής σύσταση των λιγνοκυτταρινούχων υλικών, που αποτελούνται από κυτταρίνη, ημικυτταρίνες και λιγνίνη, και η μερικώς κρυσταλλική και μερικώς άμορφη δομή της κυτταρίνης, επιτρέπουν αναρίθμητες πιθανότητες χημικής αντίδρασης. Η όξινη υδρόλυση των κυτταρινούχων υλικών (κυρίως ξύλου) έχει εφαρμοστεί εκτεταμένα σε βιομηχανική κλίμακα για την βιομηχανική παραγωγή της εμπορικής αιθανόλης από βιομάζα (βιοαιθανόλης). Πολλές βιομηχανικές εγκαταστάσεις λειτουργούν στην πρώην Σοβιετική Ένωση. Στην Βραζιλία γίνεται βιομηχανική παραγωγή βιοαιθανόλης από παραπροϊόντα της βιομηχανίας ζάχαρης, και χρησιμοποιείται σε μίγμα με

την βενζίνη στις μηχανές εσωτερικής καύσης των αυτοκινήτων. Υπάρχει μεγάλο διεθνές ενδιαφέρον για την όξινη υδρόλυση αγροτικών παραπροϊόντων και στερεών αποβλήτων, με σκοπό την παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας και πολύτιμων ή / και ανανεώσιμων χημικών προϊόντων.

Η φυσικοχημική και βιοχημική διεργασία αποικοδόμησης της κυτταρίνης είναι το κυριότερο εμπόδιο για την οικονομικά βελτιστοποιημένη βιομηχανική μετατροπή των λιγνοκυτταρινούχων υλικών σε χρήσιμα προϊόντα. Για αξιοποίηση των υδατανθράκων που περιέχονται στο ξύλο και στα αγροτικά παραπροϊόντα, με την βιομηχανική διεργασία «σακχαροποίησης - ζύμωσης», η νέα βιομηχανία βιοαιθανόλης πρέπει να χρησιμοποιήσει κάποιες κατεργασίες που να καταστρέφουν την δομή των κυτταρινούχων συστατικών. Από τις πολλές φυσικές και χημικές βιομηχανικές διεργασίες που έχουν μελετηθεί για την βελτίωση της σακχαροποίησης των λιγνοκυτταρινούχων, είτε με ένζυμα είτε με οξέα, η άλεση σε σφαιρόμυλο είναι η πλέον υποσχόμενη άμεση δομική μετατροπή της κυτταρίνης.

Η υδρόλυση λιγνοκυτταρινούχου υλικού με αραιό οξύ, είναι ετερογενής αντίδραση και η προσομοίωσή της έχει απασχολήσει πάρα πολλούς ερευνητές. Η πειραματική προσομοίωση της βιομηχανικής χημικής διεργασίας της όξινα καταλυόμενης υδρόλυσης μονοσακχαριτών, ολιγοσακχαριτών, κυτταρίνης, ξυλάνης, ημικυτταρινών, άχυρου σιταριού και πολλών άλλων λιγνοκυτταρινούχων υλικών σε εργαστηριακής κλίμακας αντιδραστήρα διαλείποντος έργου (αυτόκλειστο). Η ανάγκη βελτιστοποίησης της απόδοσης της όξινης υδρόλυσης λιγνοκυτταρινούχων υλικών εντάσσεται στο γενικότερο πλαίσιο της αξιοποίησης της βιομάζας για την παραγωγή βιοαιθανόλης, δηλαδή ως Ήπιας Ανανεώσιμης Πηγής Ενέργειας.

## **4.2. Άχυρο**

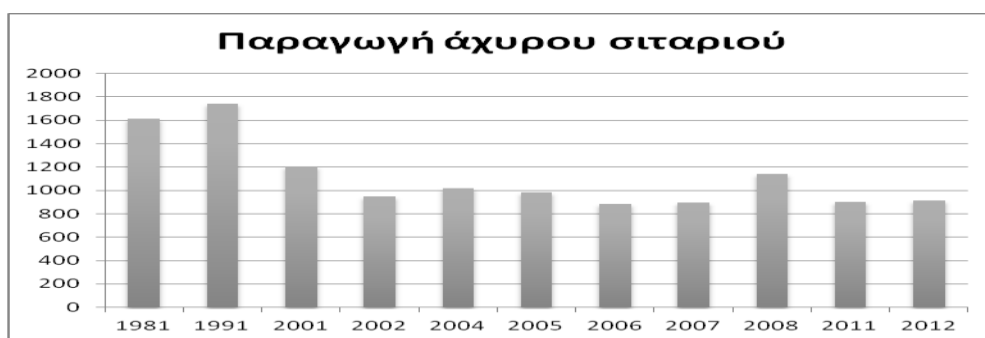
Ανάμεσα στα διάφορα υπολείμματα των γεωργικών καλλιεργειών είναι και το άχυρο σιτηρών. Είναι ένα λιγνοκυτταρινούχο υλικό, πλούσιο σε κυτταρίνη και ημικυτταρίνη, όπως φαίνεται και στον παραπάνω πίνακα. Η υδρόλυση του συνεπώς θα έχει σαν αποτέλεσμα την παραγωγή σακχάρων, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν πηγή άνθρακα σε διάφορες εφαρμογές όπως είναι και η παραγωγή αιθανόλης. Η ετήσια παραγωγή της Ελλάδας σε σιτάρι και άχυρο ανά έτος σύμφωνα με τα διαθέσιμα στοιχεία της Στατιστικής Υπηρεσίας και του Υπ. Γεωργίας είχε ως κατωτέρω:

**Πίνακας 4.1.:** Ετήσια παραγωγή σιταριού και άχυρου σιταριού σε χιλ. τόνους

Έτος	Σιτάρι μαλακό	Σιτάρι σκληρό	Σύνολο	Άχυρο*
1981	-	-	2932	1613
1991	-	-	3162	1739
2001	-	-	2196	1208
2002	334	1394	1728	951
2004	301	1551	1852	1019
2005	285	1504	1789	984
2006	392	1214	1605	883
2007	-	-	1628	895
2008	-	-	2074	1141
2011	350	1290	1640	902
2012	446	1220	1666	916

\* Υπολογίζεται στο 0,55 του βάρους του καρπού

**Εικόνα 4.1.:** Ετήσια παραγωγή σιταριού και άχυρου σιταριού σε χιλ. τόνους



Δηλαδή η μέση ετήσια παραγωγή άχυρου από σιτάρι στην Ελλάδα υπολογίζεται περίπου στους 1.114.000 τόνους. Το μεγαλύτερο μέρος του άχυρου περίπου 40% παράγεται στην Μακεδονία και Θράκη ενώ το 23% παράγεται στη Θεσσαλία.

Ένα μικρό μέρος από το παραγόμενο άχυρο, γύρω στους 40.000 τόνους οδεύει για κτηνοτροφική χρήση ενώ μεγάλες ποσότητες καίγονται δημιουργώντας ποικίλα προβλήματα περιβαλλοντικής ρύπανσης. Επίσης το άχυρο θεωρείται πολύ καλό υλικό για την παραγωγή κομπόστας σε ανάμιξη με άλλα γεωργικά κυρίως απόβλητα με υψηλή συγκέντρωση σε άζωτο. Έτσι, μεγάλες ποσότητες απορροφώντας από τις βιομηχανίες παραγωγής καθώς και άλλες εταιρίες κομποστοποίησης. Επίσης με ημιστερεά ζύμωση και μετά από προεπεξεργασία με οξέα, το άχυρο μετατρέπεται σε ζωοτροφή μηρυκαστικών. Αν και η τιμή του είναι πολύ μικρή στον τόπο παραγωγής του, το μεγαλύτερο έξοδο που πρέπει να ληφθεί

υπόψη για την εκτίμηση του κόστους του τελικού προϊόντος, είναι η δαπάνη συλλογής και μεταφοράς. [Ballesteros et. al, 2000]

**Εικόνα 4.2:** Μπάλα άχυρου σιταριού σε κυλινδρική διάταξη (πηγή: <http://www.e-volos.gr>)



### 4.3 Αυτοϋδρόλυση

Η τροποποίηση (αυτοϋδρόλυση) του άχυρου για χρήση του ως προσροφητικό υλικό περιλαμβάνει συγκεκριμένα στάδια τα οποία περιγράφονται παρακάτω:

✓ **Ελάττωση Μεγέθους**

Το άχυρο είναι τοποθετημένο σε σχήμα μπάλας στις εγκαταστάσεις του εργαστηρίου.

**Εικόνα 4.3:** Άχυρο σιταριού πριν την ελάττωση του μεγέθους του



Για την τοποθέτηση και την ομαλή εισαγωγή του άχυρου στο αυτόκλειστο, γίνεται χειροκίνητα ελάττωση μεγέθους στο άχυρο. Πιο συγκεκριμένα, γίνεται χειροκίνητη κοπή του σε διαστάσεις 1 έως 2 cm.



**Εικόνα 4.4:** Άχυρο μετά την ελάττωση του μεγέθους του



✓ **Επεξεργασία στο Αυτόκλειστο (αυτοϋδρόλυση)**

Η αυτοϋδρόλυση είναι η πιο διαδεδομένη μέθοδος προκατεργασίας των λιγνοκυτταρινούχων υλικών τα οποία είναι σημαντική πηγή ζυμώσιμων σακχάρων για βιομηχανική χρήση. Ο σκοπός κάθε τεχνολογίας προκατεργασίας της βιομάζας είναι να εξαλείψει ή να μειώσει τα εμπόδια που υπάρχουν ώστε να βελτιωθεί ο ρυθμός υδρόλυσης των ενζύμων και να αυξηθεί η απόδοση των ζυμώσιμων σακχάρων από την κυτταρίνη και τις ημικυτταρίνες (Sidiras and Koukios, 1989). Η αυτοϋδρόλυση, ως μέθοδος προκατεργασίας (Lee et al, 2009), μπορεί να αυξήσει σημαντικά την απόδοση της ενζυματικής υδρόλυσης των προκατεργασμένων λιγνοκυτταρινούχων υλικών. Πολλά γεωργικά κατάλοιπα μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως πρώτη ύλη για την παραγωγή ξύλο - ολιγοσακχαριτών μέσω της αυτοϋδρόλυσης. Τα χαρακτηριστικά των απροκατέργαστων υλικών προσδιορίζουν την απόδοση και τη σύνθεση των ολιγοσακχαριτών. Η απόδοση δεν εξαρτάται μόνο από την περιεκτικότητα του απροκατέργαστου υλικού σε ξυλάνη, αλλά και από την περιεκτικότητά του σε ακετυλικές ομάδες. [Beluza et. al, 1986]

Στη μέθοδο αυτή τα μόνα αντιδρώντα στοιχεία είναι το νερό και το λιγνοκυτταρινούχο υλικό. Τα ιόντα υδρονίου που προκύπτουν από το νερό και τα δημιουργούμενα κατά τη διεργασία οξέα (οξικό, ουρονικό και φαινολικό οξύ) καταλύουν την αντίδραση αποπολυμερισμού της ημικυτταρίνης. Η αυτοϋδρόλυση καλύπτει ένα ευρύ φάσμα κατεργασιών, συμπεριλαμβάνοντας και τις διεργασίες που βασίζονται στο νερό και τον ατμό. Σημαντικά πλεονεκτήματα της αυτοϋδρόλυσης είναι ότι ελαττώνεται το φαινόμενο διάβρωσης του εξοπλισμού, δεν δημιουργούνται στρώματα λάσπης που επικάθονται στον

εξοπλισμό, το πάγιο και λειτουργικό κόστος μειώνονται σημαντικά και η κυτταρίνη δεν καταστρέφεται καθώς οι συνθήκες λειτουργίας είναι ήπιες. [Parisi, 1989]

Η αυτοϋδρόλυση έχει ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών συμπεριλαμβάνοντας:

- Τη διεργασία κλασμάτωσης, κατά την οποία πραγματοποιείται η επιλεκτική απομάκρυνση των ημικυτταρινών.
- Τη μέθοδο εκτόνωσης με ατμό με ατμό υψηλής πίεσης (steam explosion), κατά την οποία πραγματοποιείται η επιλεκτική απομάκρυνση των ινών.
- Την προκατεργασία για την ενζυματική υδρόλυση της κυτταρίνης.

Συγκεκριμένα για την αυτοϋδρόλυση του άχυρου σιταριού η διαδικασία, ο εξοπλισμός, τα υλικά και τα αντιδραστήρια που χρησιμοποιήθηκαν είναι τα εξής:

- Άχυρο σιταριού
- Απιονισμένο νερό
- Μεταλλικός αντιδραστήρας χωρητικότητας 3,75 λίτρων με κάθετο αναδευτήρα και σπирάλ ψυκτήρα
- Δύο θερμοζεύγη, ηλεκτρικός θερμαντικός μανδύας και πιεσόμετρο
- Πίνακας ελέγχου οργάνων με δυνατότητα μεταφοράς δεδομένων στον Η/Υ με κατάλληλο λογισμικό.
- Κωνική φιάλη κενού
- Ηθμός Buchner

Η διαδικασία αυτή αφορά στην αυτοϋδρόλυση λιγνοκυτταρινούχων υλικών, που πραγματοποιείται σε αντιδραστήρα διαλείποντος έργου πλήρους ανάδευσης. Ο λόγος στερεού: υγρού είναι 1:20 (σε 2λίτρα απιονισμένου νερού προσθέτουμε 100 ή 200 γραμμάρια άχυρο σιταριού). Το πείραμα πραγματοποιήθηκε σε θερμοκρασίες 160 °C, 180 °C και 200 °C και χρόνο παραμονής από 0 έως 50 min (χρόνος προθέρμανσης 44, 47 και 66 λεπτά αντίστοιχα).

Αφού η αντίδραση ολοκληρωθεί και εφόσον ο αντιδραστήρας έχει ψυχθεί σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, πραγματοποιείται διήθηση υπό κενό του παραγόμενου προϊόντος με σκοπό να διαχωριστούν οι δυο φάσεις. Η στερεή φάση περιέχει την αδιάλυτη λιγνίνη, την κρυσταλλική κυτταρίνη και τις ημικυτταρίνες που δεν έχουν μετατραπεί. Η υγρή φάση περιέχει τα μονομερή σάκχαρα, ολιγομερή γλυκάνης και ξυλάνης καθώς και τα προϊόντα καταστροφής.

**Εικόνα 4.5:** Το αυτόκλειστο όπου διακρίνονται το δοχείο, η βάση του δοχείου και ο θερμαντικός μανδύας που περιβάλλει το δοχείο



**Εικόνα 4.6:** Ηθμός Buchner όπου γίνεται η διήθηση του υλικού υπό κενό



## ✓ Ξήρανση

Μετά την απομάκρυνση του άχρου από το στάδιο της διήθησης, το άχρο τοποθετείται στον φούρνο όπου και παραμένει για 24 ώρες σε θερμοκρασία 140° C. Με το πέρας αυτού του διαστήματος, λαμβάνεται δείγμα ενός γραμμαρίου από το άχρο το οποίο τοποθετείται σε κάψα στον φούρνο για 2 ώρες στην ίδια θερμοκρασία. Με το πέρας αυτού του διαστήματος, η κάψα τοποθετείται στο ξηραντήριο για 2 ώρες και έπειτα ζυγίζεται εκ νέου και μέσω της διαφοράς του βάρους υπολογίζεται η υγρασία του δείγματος.

**Εικόνα 4.7:** Φούρνος στον οποίο πραγματοποιείται το στάδιο της ξήρανσης

Πηγή: <http://greek.chemical-storagecabinet.com>



## ✓ Προσρόφηση

Στο στάδιο της προσρόφησης εξετάζεται η προσροφητική ικανότητα του δείγματος άχρου που λήφθηκε από την παραπάνω διαδικασία στην συγκεκριμένη ουσία, Methylene Blue.

#### 4.4 Άλλοι τρόποι τροποποίησης λιγνοκυτταρινούχων υλικών

Ο Bracconot, το 1918, πρωτοπροσπάθησε να υδρολύσει κυτταρίνη με πυκνό θειικό οξύ [Parisi, 1981]. Τα τελευταία εκατό χρόνια πολυάριθμοι ερευνητές ασχολήθηκαν με την χημεία και την τεχνολογική χρησιμοποίηση της όξινης υδρόλυσης (acid hydrolysis). Σε πολλές τεχνολογικές εφαρμογές των κυτταρινούχων λαμβάνει χώρα όξινη υδρόλυση. Η ετερογενής σύσταση των λιγνοκυτταρινούχων, που αποτελούνται από κυτταρίνη, με πρωτοταγή, δευτεροταγή και τριτοταγή υδροξύλια, ημικυτταρίνες με ακεταλικές και εστερικές ομάδες, και λιγνίνη, με φαινολικές, αλκοολικές και ψευδο-όξινες ομάδες, οι γέφυρες υδρογόνου μεταξύ των δραστικών ομάδων, και την μερικώς κρυσταλλική και μερικώς άμορφη δομή της κυτταρίνης, επιτρέπουν αναρίθμητες πιθανότητες αντίδρασης [Wenzl, 1970]. Μέχρι σήμερα, η όξινη υδρόλυση έχει εφαρμοστεί σε εμπορική κλίμακα μόνο στο ξύλο, και η διεργασία έχει προσανατολιστεί στην παραγωγή αιθανόλης και ζωοτροφών. Οι μόνες σε λειτουργία βιομηχανικές εγκαταστάσεις είναι σήμερα στη ΕΣΣΔ (USSR), ενώ έχουν χρησιμοποιηθεί παλιότερα στις ΗΠΑ (USA), στην Ευρώπη και την Ιαπωνία, κάτω από ειδικές συνθήκες, πόλεμο ή τοπικών οικονομικών συνθηκών.

Μετά τον 2<sup>ο</sup> Παγκόσμιο Πόλεμο, η παραγωγή αιθανόλης με ζύμωση αντικαταστάθηκε με την φθηνότερη καταλυτική παραγωγή αιθανόλης από αιθυλένιο. Υπάρχει όμως σήμερα ενδιαφέρον για την όξινη υδρόλυση αγροτικών παραπροϊόντων και στερεών αποβλήτων γενικά [Grethlein, 1978]. Όπως θα δούμε αναλυτικότερα παρακάτω, κατά την υδρόλυση με οξέα η κυτταρίνη μετατρέπεται σε γλυκόζη. Στις συνθήκες αυτές, οι β-γλυκοζιτικοί δεσμοί των μοριακών αλυσίδων της κυτταρίνης διασπώνται με προσθήκη νερού, και έτσι σχηματίζονται κλάσματα με βραχύτερες αλυσίδες, αλλά με απaráλλακτη βασική δομή.

Στο ένα από τα νεοσχηματιζόμενα άκρα των αλυσίδων βρίσκεται μια αλδεΰδομάδα που έχει αναγωγική ισχύ. Οι ημικυτταρίνες σχηματίζουν μίγμα σακχάρων και παραγώγων τους. Κατά την υδρόλυση των κυτταρινούχων με οξέα σχηματίζονται σε μεγάλο ποσοστό, οι μονοσακχαρίτες που αντιστοιχούν στην γλυκάνη και την ξυλάνη και σε μικρό ποσοστό στην μαννάνη, τη γαλακτάνη και την αραβινάνη, ανάλογα με το είδος του κυτταρινούχου υλικού. Για την κατανόηση του μηχανισμού της υδρόλυσης, είναι απαραίτητη η μελέτη της υδρόλυσης του κάθε συστατικού χωριστά καθώς και των προϊόντων υδρόλυσής τους [Wenzl, 1970].

Η εκτεταμένη έρευνα και τα τεχνολογικά επιτεύγματα στην περιοχή της όξινης υδρόλυσης έχουν οδηγήσει στη δημιουργία διαφόρων τύπων όξινης υδρόλυσης. Παρόλα αυτά, οι αποδόσεις των επιθυμητών προϊόντων παραμένουν χαμηλές.

Γι' αυτό σε όλο τον κόσμο γίνεται έρευνα για την βελτίωση της αποτελεσματικότητας της όξινης υδρόλυσης. Μια ξεκάθαρη συστηματοποίηση των μεθόδων υδρόλυσης διευκολύνει την συγκριτική του αξιολόγηση και την επιλογή της αποτελεσματικότερης διαδικασίας.

Ο ρυθμός της αντίδρασης υδρολυτικής σχάσης των γλυκοζιτικών δεσμών των πολυσακχαριτών και η απόδοση σε μονοσακχαρίτες εξαρτάται από την χημική κινητική και τους μακροκινητικούς παράγοντες, που είναι σχετικοί με την τεχνολογική μέθοδο υδρόλυσης και τον τεχνολογικό εξοπλισμό. Λαμβανομένων υπόψη των κινητικών παραμέτρων, η όξινη υδρόλυση μπορεί να ταξινομηθεί βάσει της ετερογένειας φάσεων (ετερογενής ή ομογενής υδρόλυση), της έκτασης της αντίδρασης των πολυσακχαριτών (υδρόλυση των εύκολα ή δύσκολα υδρολύσιμων πολυσακχαριτών), της ενεργότητας του καταλύτη (αυτοϋδρόλυση, υδρόλυση με ασθενή οργανικά ή ανόργανα οξέα, με ισχυρά οξέα, με άλατα), της συγκέντρωσης του καταλύτη (υδρόλυση με αραιό ή πυκνό οξύ), και της θερμοκρασίας (υδρόλυση χαμηλής θερμοκρασίας με ψύξη, θερμοκρασίας δωματίου, αυξημένης, και υψηλής θερμοκρασίας).

Λαμβανομένων υπόψη των μακροκινητικών και τεχνικών χαρακτηριστικών, η όξινη υδρόλυση μπορεί να συστηματοποιηθεί βάσει της κατάστασης της φάσης μεταξύ των υδρολύμενων σωματιδίων (υδρόλυση αέριας ή υγρής φάσης), του μεγέθους των υδρολύμενων σωματιδίων (σκόνη ή τεμαχίδια), του είδους της πρώτης ύλης (ξύλο κωνοφόρων ή φυλλοβόλων, φυτικά απόβλητα αγροτικής παραγωγής), της σχέσης υγρής προς στερεά φάση (υψηλή ή χαμηλή), του τύπου του αντιδραστήρα (διαλείποντος, ημιδιαλείποντος ή συνεχούς έργου), και της πολλαπλότητας των σταδίων.

Η συστηματοποίηση των μεθόδων υδρόλυσης μπορεί να επεκταθεί βάσει των προκατεργασιών της κυτταρινούχου πρώτης ύλης, της χρήσης νέων καταλυτών, και της πολυσταδιακής βιοδιύλισης (bio-refining) [Koukios, 1989] της πρώτης ύλης [Khol' Kin, 1986]. Με την όξινη υδρόλυση μπορούμε να κλασματώσουμε [Koukios, 1989] τα λιγνοκυτταρινούχα στα τρία βασικά συστατικά τους: ημικυτταρίνες, κυτταρίνη, λιγνίνη. Κατά την (προ) υδρόλυση των ημικυτταρινών λαμβάνεται ξυλόζη, από την οποία μπορούν να παρασκευαστούν: οργανικά οξέα και ξυλοζίτες, ξυλιτόλη και φουρφουράλη. Από την κυτταρίνη παρασκευάζεται χαρτομάζα ή με υδρόλυση λαμβάνεται γλυκόζη, από την οποία παρασκευάζονται αιθανόλη, βουτανόλη, ακετόνη, οξικό οξύ, 2,3-βουτανοδιόλη, γαλακτικό οξύ, μονοκυτταρική πρωτεΐνη, υδροξυμεθυλοφουρφουράλη, φρουκτόζη και σορβιτόλη. Από

την λιγνίνη, που παραμένει στο στερεό υπόλειμμα της υδρόλυσης παρασκευάζονται: καύσιμα, χαμηλού μοριακού βάρους χημικά, πρόσθετα διαλυτικών, ρητίνες, προσροφητικά υλικά και προϊόντα άνθρακα. Είναι λοιπόν σκόπιμο να εξετασθεί η χημική μετατροπή της βιομάζας εκείνης, η οποία δεν μπορεί να χρησιμεύσει ως τρόφιμο [Phillips, 1985].

## **5. Πειραματική διαδικασία**

### **5.1 Προκατεργασία βελτίωσης προσροφητικών υλικών**

Το άχυρο σιταριού που χρησιμοποιήθηκε στην απροκατέργαστη μορφή του (original) και προκατεργασμένο, αυτοϋδρόλυση σε διάφορες θερμοκρασίες και 160° C, 180° C και 200° C και από χρόνους προεπεξεργασίας από 0 έως 50 min . Οι χρόνοι προθέρμανσης ήταν 44,66 και 67 λεπτά αντίστοιχα.

Ο εξοπλισμός που χρειάστηκε για την δημιουργία των συγκεκριμένων προσροφητικών υλικών όπως έχει ήδη αναφερθεί ήταν:

- Άχυρο σιταριού
- Απιονισμένο νερό
- Μεταλλικός αντιδραστήρας χωρητικότητας 3,75 λίτρων με κάθετο αναδευτήρα και σπιράλ ψυκτήρα
- Δύο θερμοζεύγη, ηλεκτρικός θερμαντικός μανδύας και πιεσόμετρο
- Πίνακας ελέγχου οργάνων με δυνατότητα μεταφοράς δεδομένων στον Η/Υ με κατάλληλο λογισμικό.
- Κωνική φιάλη κενού
- Ηθμός Buchner

## 5.2 Κινητική

### Εξοπλισμός-Υλικά Κινητικής

- 1000 ml διαλύματος Methylene Blue διαφόρων συγκεντρώσεων
- Ποτήρι ζέσεως 2000 ml
- 1 g άχυρο σιταριού
- Αναδευτήρας
- 20 δοκιμαστικοί σωλήνες
- Ογκομετρική φιάλη
- Σιφόνιο 10 ml
- Φίλτρα nylon 0,64 mm
- Φασματοφωτόμετρο HACH DR4000U UV–visible according,  $\lambda=664\text{ nm}$
- κυβέτες των 10 ml

### Πειραματική Διαδικασία Κινητικής

- a. Μετράμε τα ml M. B και νερού ανάλογα με την συγκέντρωση που θέλουμε (1000 ml Methylene Blue : 0 ml H<sub>2</sub>O, 500 ml M.B : 500 ml H<sub>2</sub>O, 200 ml M.B : 800 ml H<sub>2</sub>O, 90 ml M.B : 910 ml H<sub>2</sub>O, 50 ml M.B : 950 ml H<sub>2</sub>O, 20 ml M.B : 980 ml H<sub>2</sub>O).
- b. Τοποθετείται το διάλυμα που προκύπτει στο ποτήρι ζέσεως και ρυθμίζεται ο αναδευτήρας στα 600 rpm.
- c. Στο διάλυμα ρίχνουμε 1 g άχυρο σιταριού.
- d. Ανά 10 min (και για t=0) λαμβάνεται ένα δείγμα 10 ml από το διάλυμα με σιφόνι, το οποίο φιλτράρεται σε ένα δοκιμαστικό σωλήνα.
- e. Για τα πυκνά διαλύματα (1000 ml Methylene Blue και καθόλου νερό, 500 ml M.B και 500 ml νερό, 200 ml M.B και 800 ml νερό) ακολουθεί αραιώση 5 ml διαλύματος σε 95 ml νερού, ρίχνουμε σε ογκομετρική φιάλη των 100ml, 5 ml δείγματος και την γεμίζουμε με απιονισμένο νερό. Ανακινούμε με το χέρι.
- f. Παίρνουμε δείγμα αραιού διαλύματος πλέον από την ογκομετρική φιάλη και τα ρίχνουμε σε 3 κυβέτες των 10ml
- g. Γίνεται μέτρηση της συγκέντρωσης στο Φασματοφωτόμετρο HACH DR4000U UV–visible, για μήκος κύματος  $\lambda=664\text{nm}$  και καταγράφονται οι μετρήσεις.
- h. Επαναλαμβάνουμε τις μετρήσεις και για τα 20 συνολικά δείγματα.



## 6. Πειραματικά αποτελέσματα

### 6.1 Παρουσίαση προσροφητικών υλικών

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας μελετήθηκε η προσρόφηση από διαλύματος methylene blue 1000 ml (ζυγίστηκαν κάθε φορά οι ανάλογες ποσότητες διαλύματος methylene blue 1000 ml, 500 ml, 200 ml, 90 ml, 50 ml και 20 ml και έγινε αραίωση στα 0 ml, 500 ml, 800 ml, 910 ml, 950 ml και 980 ml νερού. Στη συνέχεια για τα πυκνά διαλύματα έγινε αραίωση 5:100). Έτσι προκύπτουν εξάδες πειραμάτων με σταθερή την συγκέντρωση του διαλύματος methylene blue. Ως προσροφητικό μέσο χρησιμοποιήθηκε άχυρο σιταριού. Η κινητική της προσρόφησης περιγράφεται από την εξίσωση Langergen.

Το άχυρο σιταριού χρησιμοποιήθηκε στην απροκατέργαστη μορφή του (original) και προκατεργασμένο σε μία σειρά συνθηκών αυτοϋδρόλυσης 160 °C, 180 °C και 200 °C και χρόνους προεπεξεργασίας από 0 έως 50 min και στις τρεις εξεταζόμενες θερμοκρασίες 160 °C, 180 °C και 200 °C. Ο χρόνος προθέρμανσης ήταν 44, 47 και 66 λεπτά αντίστοιχα.

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας αποτελεί η διερεύνηση της πιθανής βελτίωσης της ικανότητας των προσροφητικών υλικών στην προσρόφηση του methylene blue, κατόπιν προκατεργασίας στις προαναφερθείσες συνθήκες.

### 6.2 Παρουσίαση Αποτελεσμάτων Κινητικής

Για καθένα από τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν ως προσροφητικά μέσα (διαφορετικές συνθήκες προκατεργασίας-αυτοϋδρόλυσης), συντάσσονται πίνακες Excel με την επεξεργασία των πειραματικών αποτελεσμάτων και κατασκευάζονται γραφικές παραστάσεις (α) των πειραματικών και θεωρητικών συγκεντρώσεων συναρτήσει του χρόνου προσρόφησης  $t$ , όπως αυτές προκύπτουν από την προαναφερθείσα επεξεργασία, (β) του νεπέριου λογάριθμου της διαφοράς συγκέντρωσης σε χρονική στιγμή προσρόφησης  $t$  μείον τη συγκέντρωση σε άπειρο χρόνο  $t_{\infty}$ ,  $\ln(C - C_{\infty})$ , συναρτήσει του χρόνου προσρόφησης  $t$  και (γ) του νεπέριου λογάριθμου του λόγου της διαφοράς συγκέντρωσης σε χρονική στιγμή  $t$  μείον τη συγκέντρωση σε άπειρο χρόνο  $t_{\infty}$  προς τη διαφορά αρχικής συγκέντρωσης του διαλύματος μείον τη συγκέντρωση σε άπειρο χρόνο  $t_{\infty}$ ,  $\ln[(C - C_{\infty}) / (C_0 - C_{\infty})]$ .

Για μια από τις σειρές συνθηκών προκατεργασίας του πριονιδιού ενδεικτικά συντάσσεται συγκεντρωτικός πίνακας που περιλαμβάνει (i) τις αρχικές πειραματικές συγκεντρώσεις των διαλυμάτων ανά αραίωση,  $C_o$  (mg/L) (ii) τις τιμές των σταθερών ταχύτητας προσρόφησης,  $k$  ( $\text{min}^{-1}$ ), που προκύπτουν για κάθε προκατεργασμένο υλικό.

Βάσει των τιμών του συγκεντρωτικού πίνακα κατασκευάζονται διαγράμματα (α) μέσου όρου των σταθερών ταχύτητας προσρόφησης,  $k$ , ανά συγκεκριμένες συνθήκες προκατεργασίας,  $k_{\text{AVERAGE}}$ , συναρτήσει του χρόνου προκατεργασίας,  $t_{\text{pretreatment}}$ , (β) μέσου όρου των σταθερών ταχύτητας προσρόφησης,  $k$ , ανά αραίωση,  $k_{\text{average}}$ , συναρτήσει της αρχικής συγκέντρωσης του διαλύματος,  $C_o$ .

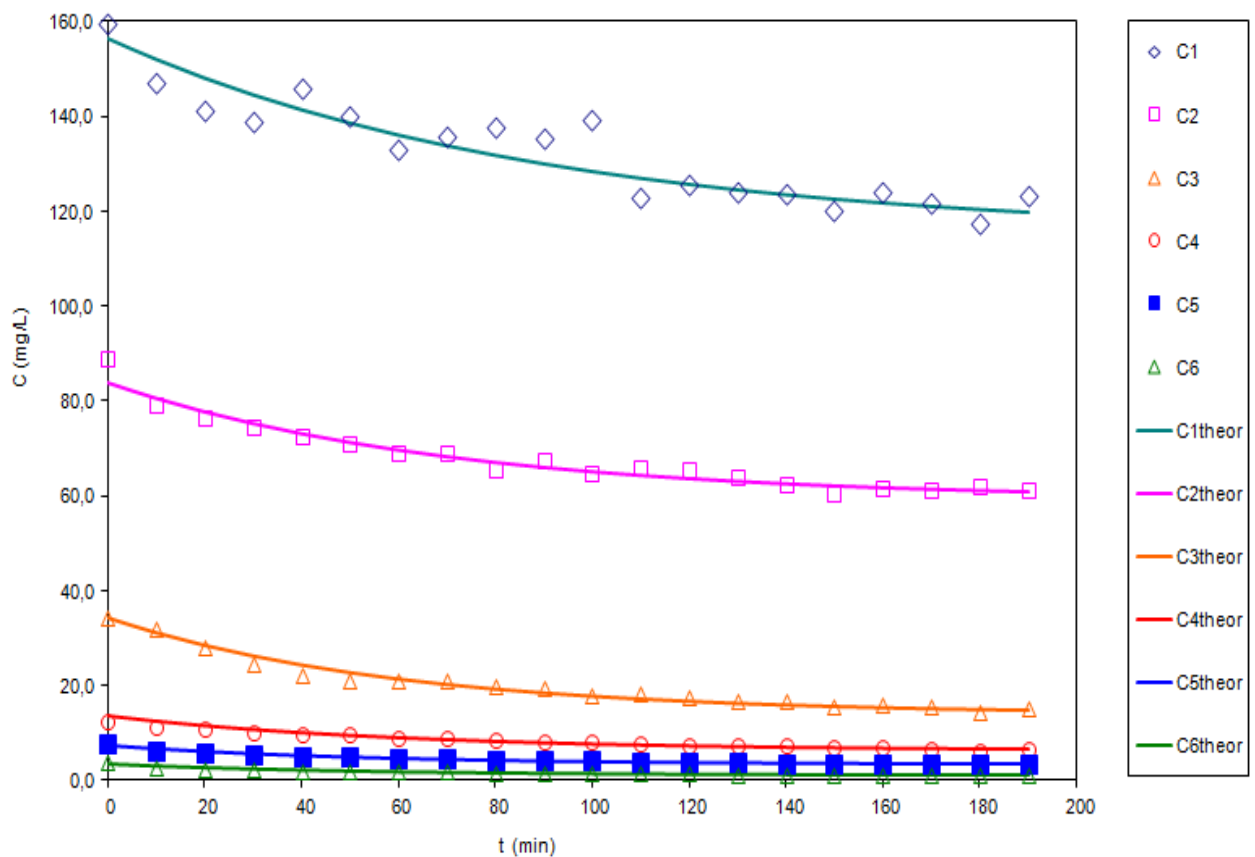
Στη συνέχεια παρατίθενται οι προαναφερθέντες πίνακες και διαγράμματα για όλα τα προσροφητικά υλικά που χρησιμοποιήθηκαν.

**Πινάκας 6.1:** Πειραματικά δεδομένα και υπολογισμός των παραμέτρων της εξίσωσης Lagergren σύμφωνα με την μεταβολή της αρχικής συγκέντρωσης  $C_0$  (mg/L) για προσρόφηση methylene blue σε άχυρο σιταριού απροκατέργαστο (23° C, pH=8)

t (min)	$C$ (mg/L)						$C_{theor}$ (mg/L)					
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C1 <sub>theor</sub>	C2 <sub>theor</sub>	C3 <sub>theor</sub>	C4 <sub>theor</sub>	C5 <sub>theor</sub>	C6 <sub>theor</sub>
0	159,4	89,0	34,5	12,4	7,8	3,7	156,5	83,7	34,3	13,6	7,6	3,4
10	147,1	79,1	31,9	11,3	6,1	2,7	152,1	80,5	31,2	12,5	6,8	3,0
20	141,2	76,3	28,2	10,7	5,7	2,4	148,2	77,7	28,6	11,6	6,2	2,7
30	139,0	74,4	24,4	10,3	5,3	2,3	144,6	75,2	26,3	10,7	5,7	2,4
40	146,0	72,4	22,2	9,8	5,0	2,0	141,5	73,1	24,4	10,1	5,3	2,2
50	140,0	71,1	21,1	9,5	4,9	1,9	138,7	71,3	22,8	9,5	4,9	2,0
60	132,9	69,2	21,1	9,1	4,6	1,7	136,1	69,7	21,5	9,0	4,7	1,8
70	136,0	68,9	21,0	8,9	4,5	1,7	133,9	68,3	20,3	8,6	4,4	1,7
80	137,8	65,6	20,0	8,5	4,4	1,6	131,9	67,1	19,4	8,2	4,2	1,6
90	135,2	67,4	19,3	8,1	4,3	1,6	130,1	66,1	18,6	7,9	4,1	1,5
100	139,3	64,9	18,0	8,0	4,2	1,5	128,5	65,2	17,9	7,7	3,9	1,4
110	123,1	65,9	18,2	7,7	3,9	1,4	127,0	64,4	17,3	7,4	3,8	1,4
120	125,6	65,7	17,5	7,5	3,8	1,3	125,8	63,8	16,8	7,3	3,7	1,3
130	123,9	64,0	16,7	7,3	3,7	1,3	124,6	63,2	16,4	7,1	3,6	1,3
140	123,8	62,6	16,6	7,2	3,6	1,3	123,6	62,7	16,0	7,0	3,6	1,2
150	120,0	60,6	15,7	7,1	3,6	1,3	122,7	62,3	15,7	6,9	3,5	1,2
160	124,2	61,7	16,1	6,9	3,5	1,2	121,8	61,9	15,5	6,8	3,5	1,2
170	121,7	61,2	15,5	6,8	3,5	1,1	121,1	61,5	15,3	6,7	3,5	1,2
180	117,2	61,9	14,4	6,4	3,4	1,1	120,4	61,3	15,1	6,6	3,4	1,1
190	123,4	61,4	15,1	6,5	3,4	1,1	119,9	61,0	14,9	6,6	3,4	1,1

<b><math>C_e</math> (mg/L)</b>	114,9	59,4	14,1	6,2	3,3	1,1
<b><math>C_o</math> (mg/L)</b>	156,5	83,7	34,3	13,6	7,6	3,4
<b><math>k</math> (<math>\text{min}^{-1}</math>)</b>	0,0112	0,0143	0,0168	0,0164	0,0190	0,0190
<b>sum</b>	380,778	46,9856	16,4035	4,61311	1,23976	0,37512
<b><math>n-p</math></b>	18	18	18	18	18	18
<b>SEE</b>	4,59939	1,61565	0,95462	0,50624	0,26244	0,14436

**Σχήμα 6.1:** Πειραματικές τιμές και θεωρητικές καμπύλες της συγκέντρωσης methylene blue συναρτήσει του χρόνου  $t$  (min) κατά την προσρόφηση αυτού σύμφωνα με την μεταβολή της αρχικής συγκέντρωσης  $C_o$  (mg/L) σε άχυρο σιταριού απροκατέργαστο ( $23^\circ\text{C}$ ,  $\text{pH}=8$ )

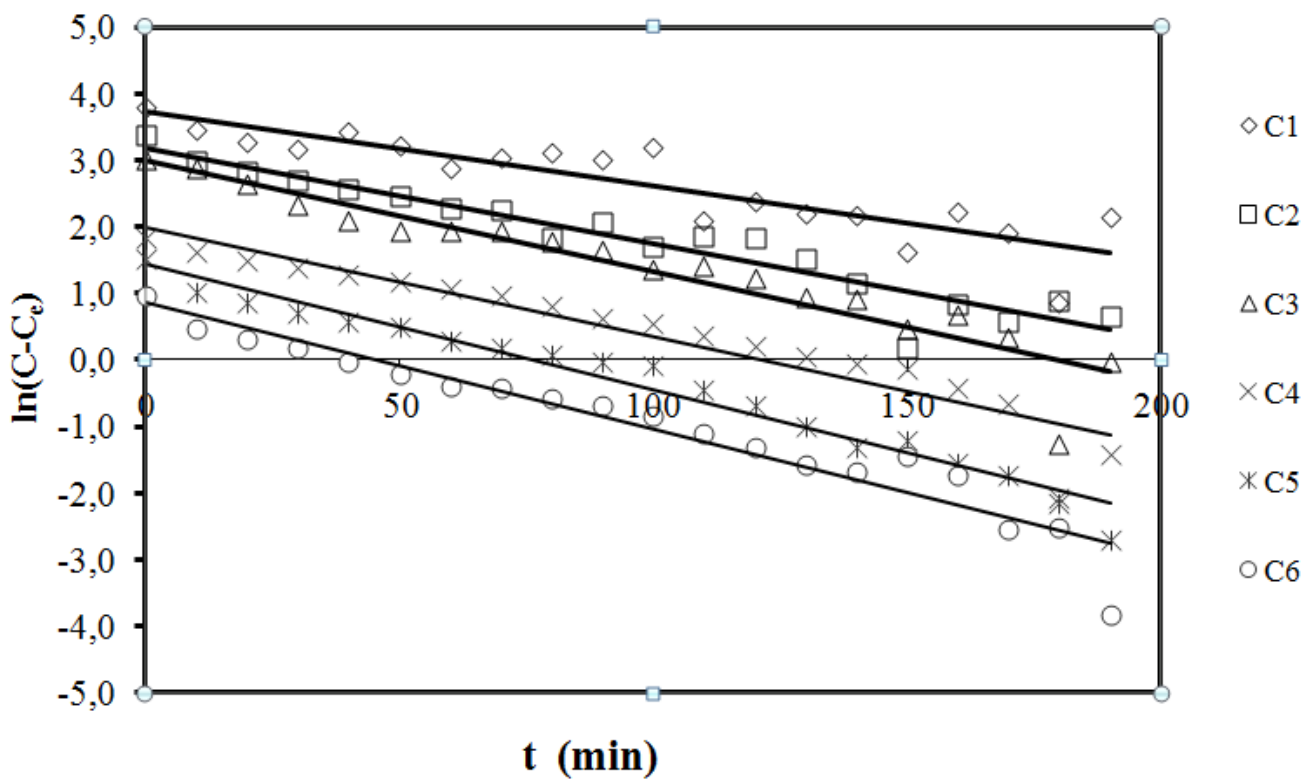


**Πινάκας 6.2:**  $\ln(C-C_e)$  των επεξεργασμένων πειραματικών αποτελεσμάτων ως προς το χρόνο  $t$  (min) σύμφωνα με την μεταβολή της αρχικής συγκέντρωσης  $C_o$  (mg/L) για methylene blue σε άχυρο σιταριού απροκατέργαστο (23°C, pH=8)

t (min)	$C_o=156$ mg/L	$C_o=78$ mg/L	$C_o=31,2$ mg/L	$C_o=14$ mg/L	$C_o=7,8$ mg/L	$C_o=3,1$ mg/L
0	3,79619	3,38655	3,01573	1,82677	1,50983	0,978
10	3,47174	2,98145	2,87993	1,61347	1,03382	0,46052
20	3,27036	2,82615	2,64676	1,49987	0,86781	0,30531
30	3,18392	2,70548	2,33738	1,39622	0,72056	0,19111
40	3,43611	2,56191	2,09338	1,27471	0,56421	-0,02912
50	3,22194	2,46099	1,95138	1,19023	0,48576	-0,21976
60	2,89186	2,27636	1,94428	1,06252	0,291	-0,40412
70	3,04751	2,24532	1,92993	0,98086	0,17798	-0,425
80	3,13029	1,82373	1,77019	0,81776	0,08459	-0,56455
90	3,01317	2,07377	1,64972	0,62504	-0,02118	-0,6812
100	3,19509	1,69319	1,36235	0,55024	-0,0735	-0,84537
110	2,10063	1,86651	1,42307	0,37595	-0,43732	-1,09695
120	2,37513	1,83676	1,23602	0,21162	-0,66932	-1,31026
130	2,19629	1,51363	0,94304	0,06206	-0,98296	-1,58012
140	2,18361	1,15127	0,90462	-0,04877	-1,31408	-1,67729
150	1,63049	0,19279	0,4718	-0,14331	-1,19556	-1,44709
160	2,2334	0,84276	0,68714	-0,41192	-1,55162	-1,74038
170	1,91547	0,5773	0,34409	-0,64335	-1,71796	-2,54852
180	0,85221	0,89941	-1,2468	-2,06229	-2,14403	-2,51687
190	2,14462	0,66458	-0,02086	-1,41211	-2,70153	-3,82604

<b><math>C_e</math> (mg/L)</b>	114,897	59,4188	14,0837	6,23098	3,28804	1,06799
<b><math>C_o</math> (mg/L)</b>	156,506 5	83,7075	34,3378	13,6221	7,55658	3,4261
<b><math>\ln(C_o - C_e)</math></b>	3,7283	3,1900	3,0084	2,0003	1,4513	0,8579
<b><math>k</math> (<math>min^{-1}</math>)</b>	0,0112	0,0143	0,0168	0,0164	0,0190	0,0190
<b>R</b>	-0,8905	-0,9570	-0,9481	-0,9520	-0,9835	-0,9618
<b><math>R^2</math></b>	0,7929	0,9159	0,8988	0,9063	0,9672	0,9250

Σχήμα 6.2:  $\ln(C - C_e)$ , συναρτήσει του χρόνου  $t$  (min) σύμφωνα με την μεταβολή της αρχικής συγκέντρωσης  $C_o$  (mg/L) για άχυρο σιταριού απροκατέργαστο (23° C, pH=8)

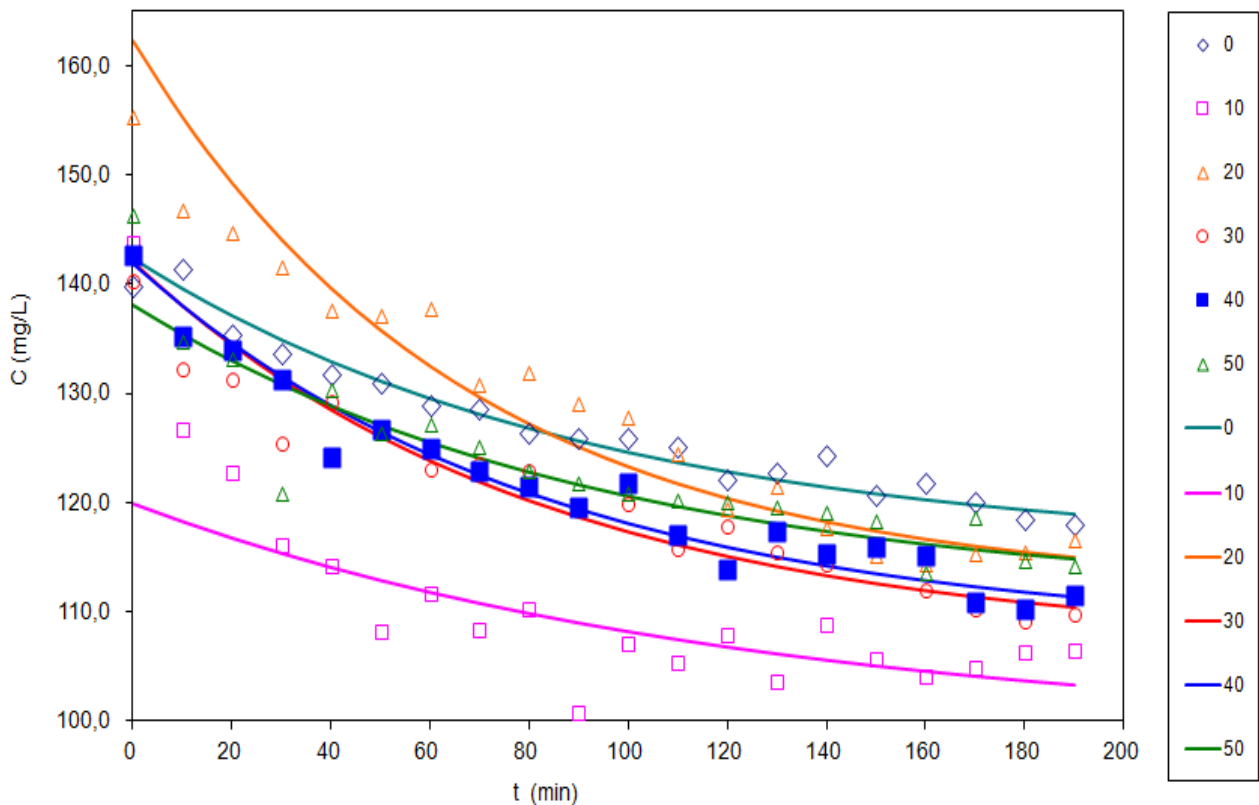


**Πινάκας 6.3:** Πειραματικά δεδομένα και υπολογισμός των παραμέτρων της Lagergren για προσρόφηση methylene blue σε άχυρο σιταριού προκατεργασμένο - αυτοϋδρόλυση στους 160° C για διάλυμα methylene blue με αρχική συγκέντρωση  $C_0 = 156 \text{ mg/l}$ , (χρόνος προθέρμανσης 44min)

t (min)	Πειραματικές τιμές $C_e$ σε mg/l για τους αντίστοιχους χρόνους αυτοϋδρόλυσης άχυρου σιταριού						Θεωρητικές τιμές $C_0$ σε mg/l για τους αντίστοιχους χρόνους αυτοϋδρόλυσης άχυρου σιταριού					
	0min	10min	20min	30min	40min	50 min	0min	10min	20min	30min	40min	50min
0	139,9	143,8	155,3	140,2	142,6	146,3	142,3	119,9	162,2	142,0	141,9	138,1
10	141,4	126,7	146,8	132,2	135,2	134,8	139,6	118,3	155,2	138,0	138,0	135,4
20	135,4	122,7	144,7	131,3	134,0	133,2	137,1	116,7	149,2	134,4	134,6	133,0
30	133,6	116,1	141,6	125,4	131,3	120,8	134,9	115,4	144,0	131,3	131,6	130,8
40	131,7	114,2	137,7	129,2	124,1	130,3	132,9	114,1	139,6	128,5	128,9	128,9
50	130,9	108,1	137,1	126,7	126,7	126,4	131,1	112,9	135,7	126,0	126,5	127,1
60	128,9	111,7	137,8	123,1	125,0	127,2	129,5	111,8	132,4	123,8	124,4	125,5
70	128,6	108,4	130,7	123,6	123,0	125,1	128,1	110,8	129,6	121,9	122,6	124,1
80	126,4	110,2	131,8	122,9	121,5	122,9	126,8	109,9	127,2	120,2	120,9	122,8
90	125,9	100,8	129,0	119,6	119,6	121,8	125,7	109,0	125,1	118,6	119,4	121,6
100	125,9	107,1	127,8	119,9	121,8	120,8	124,6	108,2	123,2	117,3	118,1	120,6
110	125,2	105,3	124,4	115,9	117,1	120,1	123,7	107,5	121,7	116,1	117,0	119,7
120	122,1	107,9	119,4	117,8	113,9	120,0	122,9	106,8	120,3	115,1	116,0	118,8
130	122,7	103,7	121,4	115,5	117,3	119,6	122,1	106,2	119,2	114,1	115,1	118,1
140	124,3	108,9	117,7	114,4	115,2	119,1	121,4	105,6	118,2	113,3	114,3	117,4
150	120,6	105,7	115,2	115,9	116,0	118,3	120,8	105,1	117,3	112,6	113,5	116,8
160	121,8	104,0	114,4	112,0	115,2	113,5	120,3	104,6	116,6	111,9	112,9	116,2
170	120,0	104,9	115,3	110,3	110,9	118,7	119,8	104,1	116,0	111,4	112,4	115,7
180	118,4	106,2	115,5	109,1	110,2	114,6	119,4	103,7	115,4	110,9	111,9	115,3
190	118,0	106,4	116,6	109,7	111,5	114,1	119,0	103,3	115,0	110,4	111,4	114,9

<b><math>C_e</math> (mg/L)</b>	115,6	98,7	112,1	107,0	108,0	111,2
<b><math>C_o</math> (mg/L)</b>	142,3	119,9	162,2	142,0	141,9	138,1
<b><math>k</math> (<math>min^{-1}</math>)</b>	0,0109	0,0080	0,0150	0,0122	0,0121	0,0105
<b>sum</b>	33,3112	814,355	265,995	125,818	72,4109	199,947
<b>n-p</b>	18	18	18	18	18	18
<b>SEE</b>	1,36038	6,72621	3,84415	2,64384	2,0057	3,33289

**Σχήμα 6.3:** Πειραματικές τιμές και θεωρητικές καμπύλες της συγκέντρωσης methylene blue συναρτήσει του χρόνου  $t$  (min) κατά την προσρόφηση αυτού σε άχυρο σιταριού προκατεργασμένο αυτοϋδρόλυση στους  $160^\circ C$  για 0 έως 50 min,  $C_o=156$  mg/l



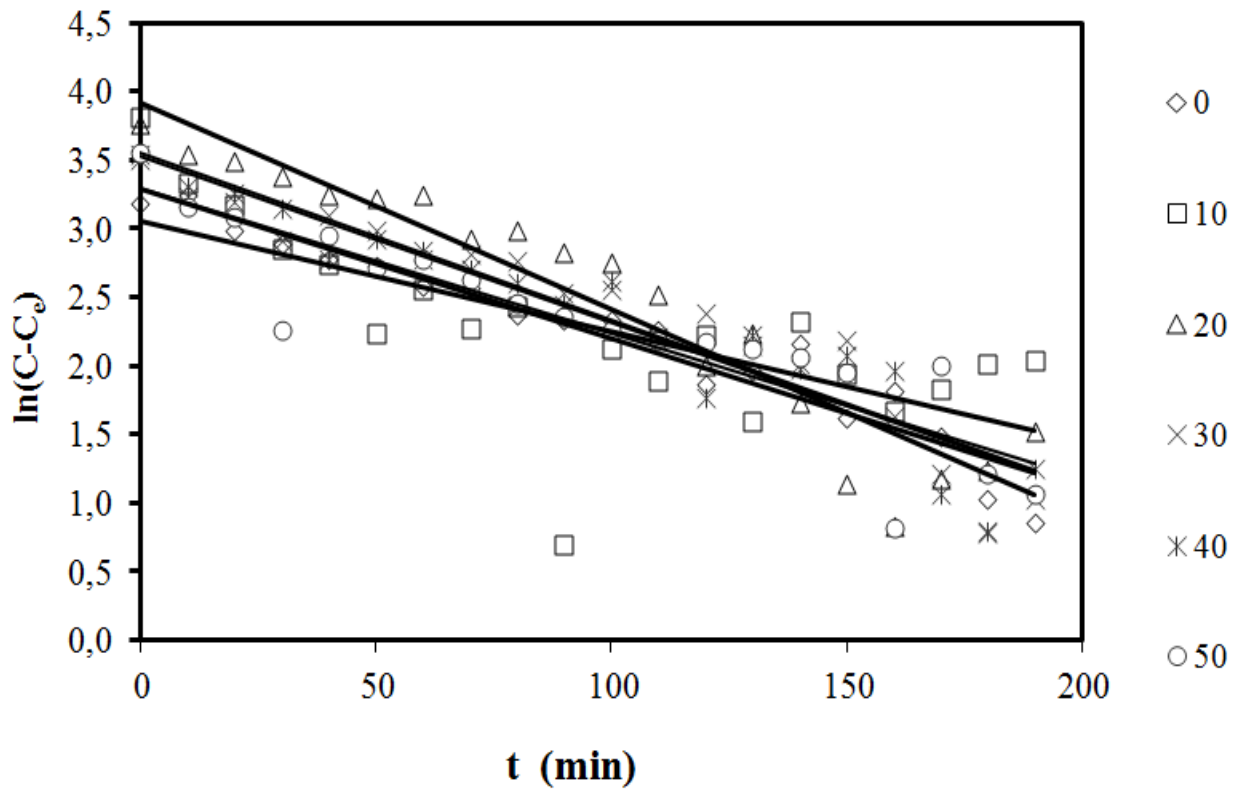


**Πίνακας 6.4:**  $\ln(C-C_e)$  των επεξεργασμένων πειραματικών αποτελεσμάτων ως προς το χρόνο  $t$  (min) για προσρόφιση methylene blue σε άχυρο σιταριού προκατεργασμένο-αυτοϋδρόλυση στους  $160^\circ\text{C}$  για 0 έως 50min,  $C_0=156\text{ mg/l}$  (χρόνος προθέρμανσης 44min)

t (min)	0 min	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min
0	3,18829	3,80702	3,76544	3,50433	3,54353	3,55738
10	3,24898	3,32979	3,54682	3,22827	3,3038	3,15999
20	2,98671	3,17626	3,48665	3,19301	3,25835	3,08887
30	2,89158	2,85413	3,38576	2,91741	3,14786	2,26272
40	2,77826	2,74121	3,24199	3,1035	2,7778	2,94797
50	2,72822	2,239	3,22194	2,98308	2,93016	2,72027
60	2,58631	2,56068	3,24782	2,78304	2,8344	2,77256
70	2,56438	2,27052	2,9266	2,81063	2,70486	2,62588
80	2,37551	2,43673	2,98413	2,77073	2,60173	2,45407
90	2,33214	0,70071	2,829	2,53361	2,44932	2,3575
100	2,33214	2,12839	2,75678	2,55774	2,62237	2,26272
110	2,25756	1,88756	2,51396	2,18577	2,20824	2,18698
120	1,87233	2,21842	1,99749	2,38337	1,77294	2,17114
130	1,95945	1,59282	2,23652	2,15092	2,2294	2,12544
140	2,16095	2,31739	1,72517	2,01312	1,97989	2,05995
150	1,6178	1,94367	1,14553	2,18577	2,07467	1,95112
160	1,81899	1,66732	0,82733	1,62715	1,96836	0,81982
170	1,48738	1,82376	1,17159	1,21199	1,07056	2,00511
180	1,03144	2,01514	1,23795	0,7806	0,79034	1,21612
190	0,85836	2,04025	1,51675	1,0242	1,25089	1,06629

<b>C<sub>e</sub> (mg/L)</b>	115,606	98,744	112,073	106,957	108,003	111,235
<b>C<sub>o</sub> (mg/L)</b>	142,3357	119,891	162,207	142,013	141,9	138,093
<b>ln(C<sub>o</sub>-C<sub>e</sub>)</b>	3,2858	3,0515	3,9147	3,5570	3,5233	3,2906
<b>k (min<sup>-1</sup>)</b>	0,0109	0,0080	0,0150	0,0122	0,0121	0,0105
<b>R</b>	-0,9662	-0,6969	-0,9517	-0,9508	-0,9471	-0,8993
<b>R<sup>2</sup></b>	0,9336	0,4856	0,9057	0,9039	0,8970	0,8087

**Σχήμα 6.4:** ln(C- C<sub>e</sub>), συναρτήσεως του χρόνου t (min) για προσρόφηση methylene blue σε άχυρο σιταριού προκατεργασμένο-αυτοϋδρόλυση στους 160° C για 0 έως 50 min, Co=156 mg/l (χρόνος προθέρμανσης 44min)

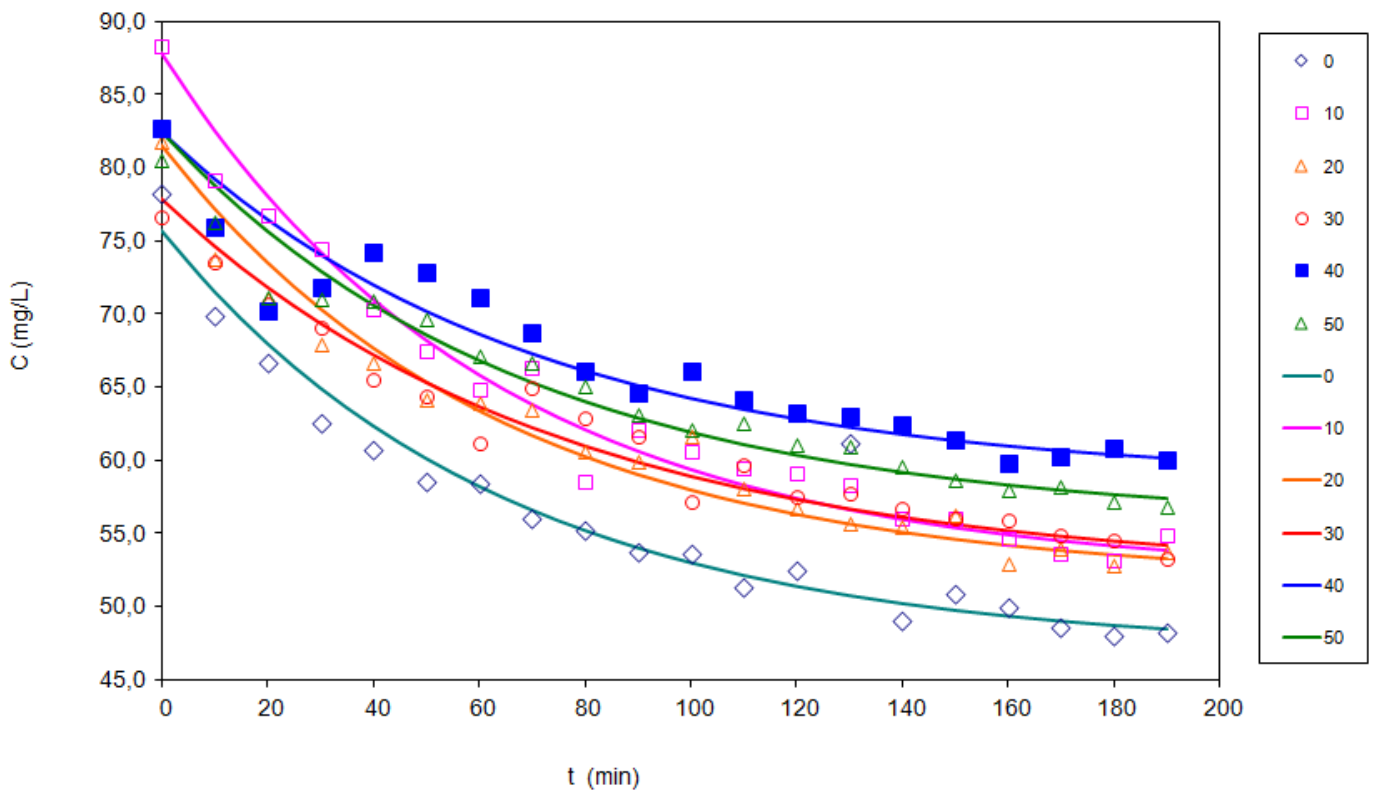


**Πινάκας 6.5:** Πειραματικά δεδομένα και υπολογισμός των παραμέτρων της Lagergren για προσρόφιση methylene blue σε άχυρο σιταριού προκατεργασμένο - αυτοϋδρόλυση στους 160° C για 0 έως 50 min για διάλυμα methylene blue με αρχική συγκέντρωση  $C_0 = 78 \text{ mg/l}$ , (χρόνος προθέρμανσης 44min)

t (min)	Πειραματικές τιμές $C_e$ σε mg/l για τους αντίστοιχους χρόνους αυτοϋδρόλυσης άχυρου σιταριού						Θεωρητικές τιμές $C_0$ σε mg/l για τους αντίστοιχους χρόνους αυτοϋδρόλυσης άχυρου σιταριού					
	0min	10min	20min	30min	40min	50min	0 min	10min	20min	30min	40min	50min
0	78,3	88,3	81,8	76,7	82,8	80,5	75,7	87,8	81,6	77,9	82,5	82,5
10	69,9	79,1	73,8	73,5	75,9	76,3	71,5	82,6	77,3	74,7	79,3	78,9
20	66,7	76,8	71,0	70,7	70,2	71,1	68,0	78,1	73,6	71,9	76,5	75,7
30	62,6	74,5	67,9	69,1	71,8	71,0	65,0	74,2	70,4	69,4	74,1	73,0
40	60,7	70,4	66,7	65,6	74,2	70,9	62,4	71,0	67,7	67,2	72,0	70,6
50	58,5	67,5	64,2	64,4	72,9	69,6	60,1	68,2	65,4	65,4	70,2	68,6
60	58,4	64,8	63,9	61,1	71,1	67,2	58,2	65,8	63,4	63,7	68,7	66,8
70	56,1	66,3	63,5	65,0	68,7	66,6	56,6	63,8	61,7	62,3	67,3	65,3
80	55,2	58,5	60,6	62,9	66,1	65,0	55,2	62,1	60,3	61,0	66,1	64,0
90	53,8	62,1	59,9	61,7	64,6	63,1	54,1	60,6	59,1	59,9	65,1	62,9
100	53,6	60,6	61,7	57,2	66,1	62,1	53,0	59,4	58,0	58,9	64,3	61,9
110	51,4	59,5	58,0	59,7	64,2	62,6	52,2	58,3	57,1	58,1	63,5	61,1
120	52,5	59,1	56,7	57,5	63,3	61,0	51,4	57,4	56,3	57,4	62,8	60,3
130	61,1	58,4	55,7	57,7	63,0	61,0	50,8	56,6	55,7	56,7	62,3	59,7
140	49,1	56,1	55,5	56,7	62,4	59,5	50,3	55,9	55,1	56,1	61,8	59,2
150	50,9	56,0	56,2	56,1	61,4	58,6	49,8	55,4	54,6	55,7	61,4	58,7
160	49,9	54,6	52,9	55,9	59,8	58,0	49,4	54,9	54,2	55,2	61,0	58,3
170	48,6	53,6	54,0	54,9	60,2	58,2	49,1	54,5	53,9	54,8	60,7	57,9
180	48,0	53,2	52,8	54,5	60,9	57,2	48,8	54,1	53,6	54,5	60,4	57,6
190	48,3	54,9	53,7	53,3	60,0	56,8	48,5	53,8	53,3	54,2	60,2	57,4

<b><math>C_e</math> (mg/L)</b>	47,1	52,1	51,8	52,2	58,6	55,7
<b><math>C_o</math> (mg/L)</b>	75,7	87,8	81,6	77,9	82,5	82,5
<b><math>k</math> (<math>min^{-1}</math>)</b>	0,0156	0,0159	0,0157	0,0134	0,0144	0,0146
<b>sum</b>	135,15	49,6547	51,5707	36,9626	83,333	44,5657
<b><math>n-p</math></b>	18	18	18	18	18	18
<b>SEE</b>	2,74014	1,6609	1,69264	1,433	2,15165	1,57349

**Σχήμα 6.5:** Πειραματικές τιμές και θεωρητικές καμπύλες της συγκέντρωσης methylene blue συναρτήσει του χρόνου  $t$  (min) κατά την προσρόφηση αυτού σε άχυρο σιταριού προκατεργασμένο αυτοϋδρόλυση στους  $160^\circ C$  για 0 έως 50 min,  $C_o=78$  mg/l

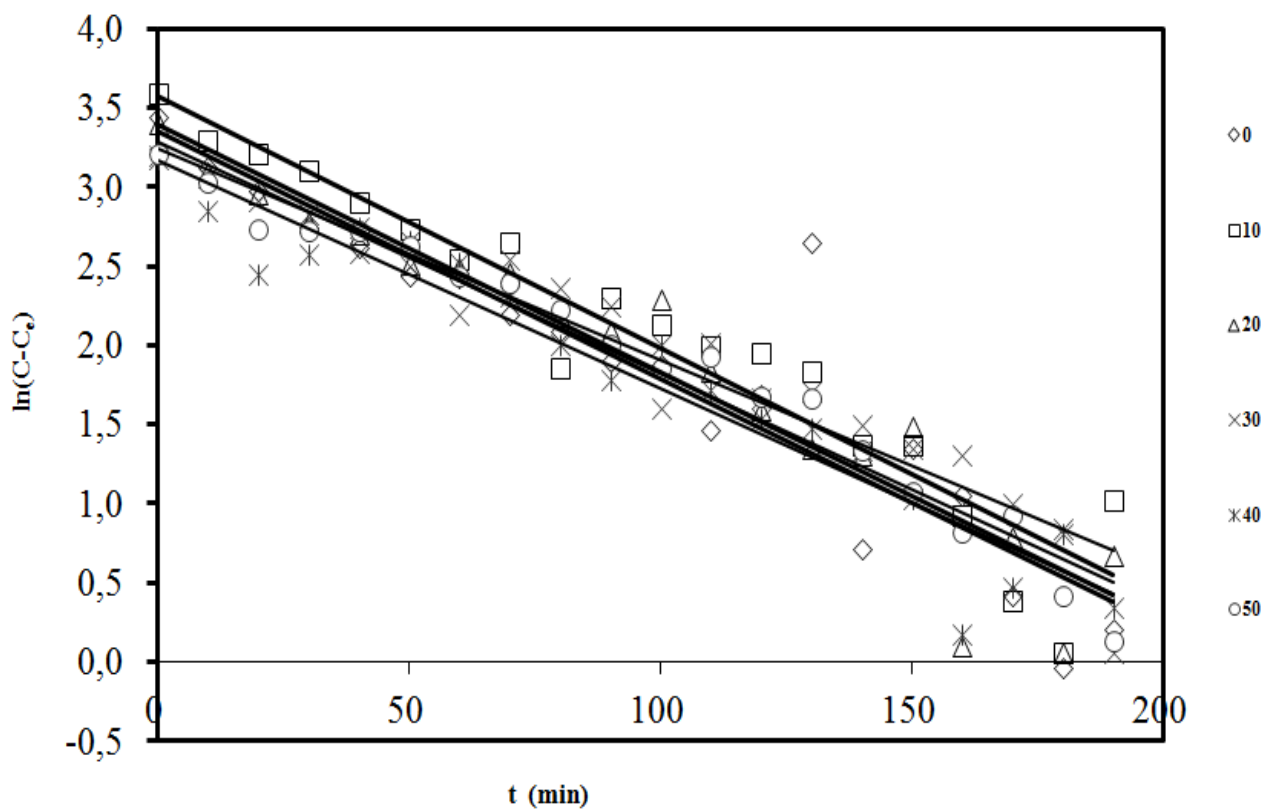


**Πίνακας 6.6:**  $\ln(C-C_e)$  των επεξεργασμένων πειραματικών αποτελεσμάτων ως προς το χρόνο  $t$  (min) για προσρόφιση methylene blue σε άχυρο σιταριού προκατεργασμένο-αυτοϋδρόλυση στους  $160^\circ\text{C}$  για 0 έως 50 min,  $C_0=78\text{ mg/l}$  (χρόνος προθέρμανσης 44min)

t (min)	0 min	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min
0	3,4409	3,58997	3,40105	3,1963	3,18341	3,21002
10	3,12709	3,29605	3,08984	3,0603	2,84902	3,0263
20	2,97898	3,20611	2,95429	2,91891	2,45036	2,7363
30	2,74245	3,10843	2,78069	2,82717	2,5773	2,7275
40	2,6162	2,90406	2,70397	2,59161	2,74523	2,72039
50	2,44156	2,73127	2,5172	2,49814	2,65819	2,63294
60	2,43209	2,54365	2,49511	2,19026	2,52672	2,43813
70	2,19742	2,65432	2,46103	2,54597	2,31026	2,39217
80	2,09302	1,8548	2,18003	2,36495	2,00837	2,23138
90	1,9027	2,30441	2,09045	2,24909	1,7854	2,00672
100	1,88234	2,1339	2,29006	1,60656	2,00837	1,85868
110	1,46512	1,99672	1,83225	2,01525	1,71484	1,92798
120	1,6878	1,95161	1,58823	1,66454	1,53949	1,67376
130	2,64545	1,8334	1,35256	1,7047	1,47347	1,66355
140	0,71145	1,37507	1,3097	1,49168	1,34097	1,33922
150	1,34613	1,36821	1,48958	1,34794	1,0274	1,07254
160	1,05502	0,9252	0,10512	1,30487	0,1793	0,82122
170	0,42226	0,38424	0,78452	0,99836	0,47155	0,923
180	-0,04048	0,06139	0,05528	0,83654	0,81194	0,41582
190	0,20651	1,01727	0,6669	0,06342	0,34569	0,12826

<b>C<sub>e</sub> (mg/L)</b>	47,0561	52,1024	51,7849	52,2083	58,6229	55,7054
<b>C<sub>o</sub> (mg/L)</b>	75,6747	87,8204	81,6063	77,9065	82,4796	82,5054
<b>ln(C<sub>o</sub>-C<sub>e</sub>)</b>	3,3541	3,5757	3,3952	3,2464	3,1721	3,2884
<b>k (min<sup>-1</sup>)</b>	0,0156	0,0159	0,0157	0,0134	0,0144	0,0146
<b>R</b>	-0,9259	-0,9597	-0,9566	-0,9645	-0,9608	-0,9815
<b>R<sup>2</sup></b>	0,8573	0,9209	0,9150	0,9303	0,9231	0,9634

**Σχήμα 6.6:** ln(C- C<sub>e</sub>), συναρτήσεως του χρόνου t (min) για προσρόφηση methylene blue σε άχυρο σιταριού προκατεργασμένο-αυτοϋδρόλυση στους 160° C για 0 έως 50 min, Co=78 mg/l (χρόνος προθέρμανσης 44min)

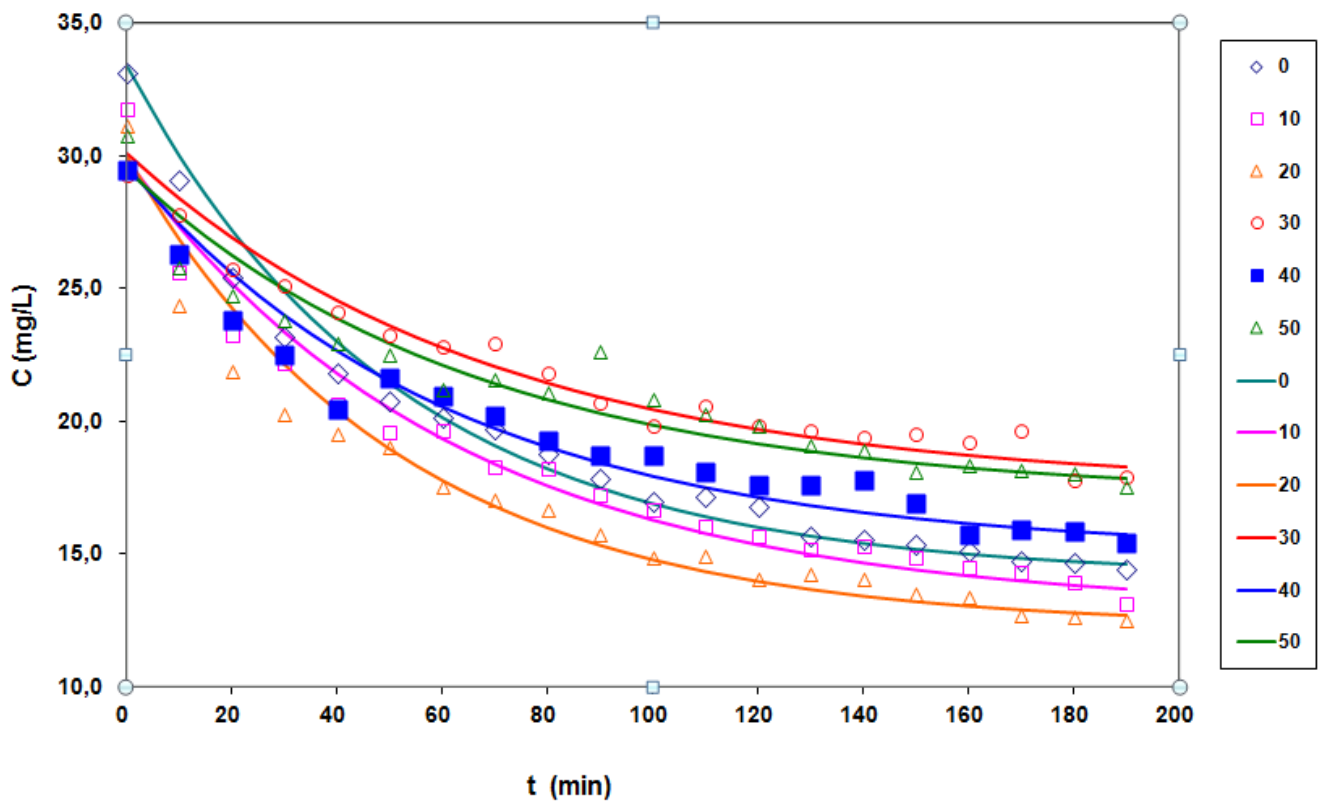


**Πινάκας 6.7:** Πειραματικά δεδομένα και υπολογισμός των παραμέτρων της Lagergren για προσρόφιση methylene blue σε άχυρο σιταριού προκατεργασμένο - αυτοϋδρόλυση στους 160° C για 0 έως 50 min για διάλυμα methylene blue με αρχική συγκέντρωση  $C_0 = 31,2 \text{ mg/l}$ , (χρόνος προθέρμανσης 44min)

t (min)	Πειραματικές τιμές $C_e$ σε mg/l για τους αντίστοιχους χρόνους αυτοϋδρόλυσης άχυρου σιταριού						Θεωρητικές τιμές $C_0$ σε mg/l για τους αντίστοιχους χρόνους αυτοϋδρόλυσης άχυρου σιταριού					
	0min	10min	20min	30min	40min	50min	0min	10min	20min	30min	40min	50min
0	33,1	31,7	31,1	29,3	29,5	30,8	33,4	29,8	29,9	30,1	29,6	29,5
10	29,1	25,6	24,4	27,8	26,3	25,8	30,0	27,3	26,8	28,4	27,4	27,8
20	25,4	23,3	21,9	25,7	23,8	24,8	27,2	25,2	24,2	26,9	25,6	26,3
30	23,2	22,2	20,3	25,1	22,5	23,8	24,9	23,4	22,1	25,6	24,0	25,0
40	21,8	20,6	19,5	24,1	20,5	22,9	23,0	21,8	20,4	24,5	22,7	23,9
50	20,7	19,6	19,0	23,3	21,6	22,5	21,4	20,5	18,9	23,6	21,5	22,9
60	20,1	19,6	17,5	22,8	21,0	21,2	20,1	19,3	17,8	22,8	20,6	22,1
70	19,7	18,3	17,0	22,9	20,2	21,6	19,1	18,4	16,8	22,0	19,7	21,4
80	18,7	18,2	16,6	21,8	19,2	21,0	18,2	17,6	16,0	21,4	19,0	20,8
90	17,9	17,2	15,7	20,7	18,7	22,6	17,5	16,9	15,3	20,9	18,5	20,3
100	16,9	16,6	14,8	19,8	18,7	20,8	16,9	16,3	14,8	20,4	17,9	19,9
110	17,2	16,0	14,9	20,6	18,1	20,3	16,4	15,8	14,3	20,0	17,5	19,5
120	16,8	15,7	14,0	19,8	17,6	19,8	16,0	15,3	14,0	19,7	17,2	19,2
130	15,6	15,1	14,2	19,6	17,6	19,1	15,7	15,0	13,6	19,4	16,8	18,9
140	15,6	15,3	14,0	19,4	17,7	18,9	15,4	14,7	13,4	19,1	16,6	18,7
150	15,4	14,8	13,5	19,5	16,9	18,1	15,2	14,4	13,2	18,9	16,4	18,4
160	15,1	14,5	13,4	19,2	15,7	18,3	15,0	14,2	13,0	18,7	16,2	18,3
170	14,8	14,3	12,7	19,6	15,9	18,1	14,8	14,0	12,9	18,5	16,0	18,1
180	14,7	13,9	12,6	17,8	15,9	18,0	14,7	13,8	12,8	18,4	15,9	18,0
190	14,4	13,1	12,5	17,9	15,4	17,5	14,6	13,7	12,7	18,3	15,8	17,9

<b><math>C_e</math> (mg/L)</b>	14,1	12,9	12,2	17,4	15,1	17,2
<b><math>C_o</math> (mg/L)</b>	33,4	29,8	29,9	30,1	29,6	29,5
<b><math>k</math> (<math>\text{min}^{-1}</math>)</b>	0,0194	0,0161	0,0194	0,0144	0,0162	0,0152
<b>sum</b>	10,5344	15,7862	19,2239	7,03002	15,8172	18,6653
<b><math>n-p</math></b>	18	18	18	18	18	18
<b>SEE</b>	0,76501	0,93649	1,03344	0,62495	0,93741	1,01831

**Σχήμα 6.7:** Πειραματικές τιμές και θεωρητικές καμπύλες της συγκέντρωσης methylene blue συναρτήσει του χρόνου  $t$  (min) κατά την προσρόφηση αυτού σε άχυρο σιταριού προκατεργασμένο αυτοϋδρόλυση στους  $160^\circ\text{C}$  για 0 έως 50 min,  $C_o=31,2$  mg/l



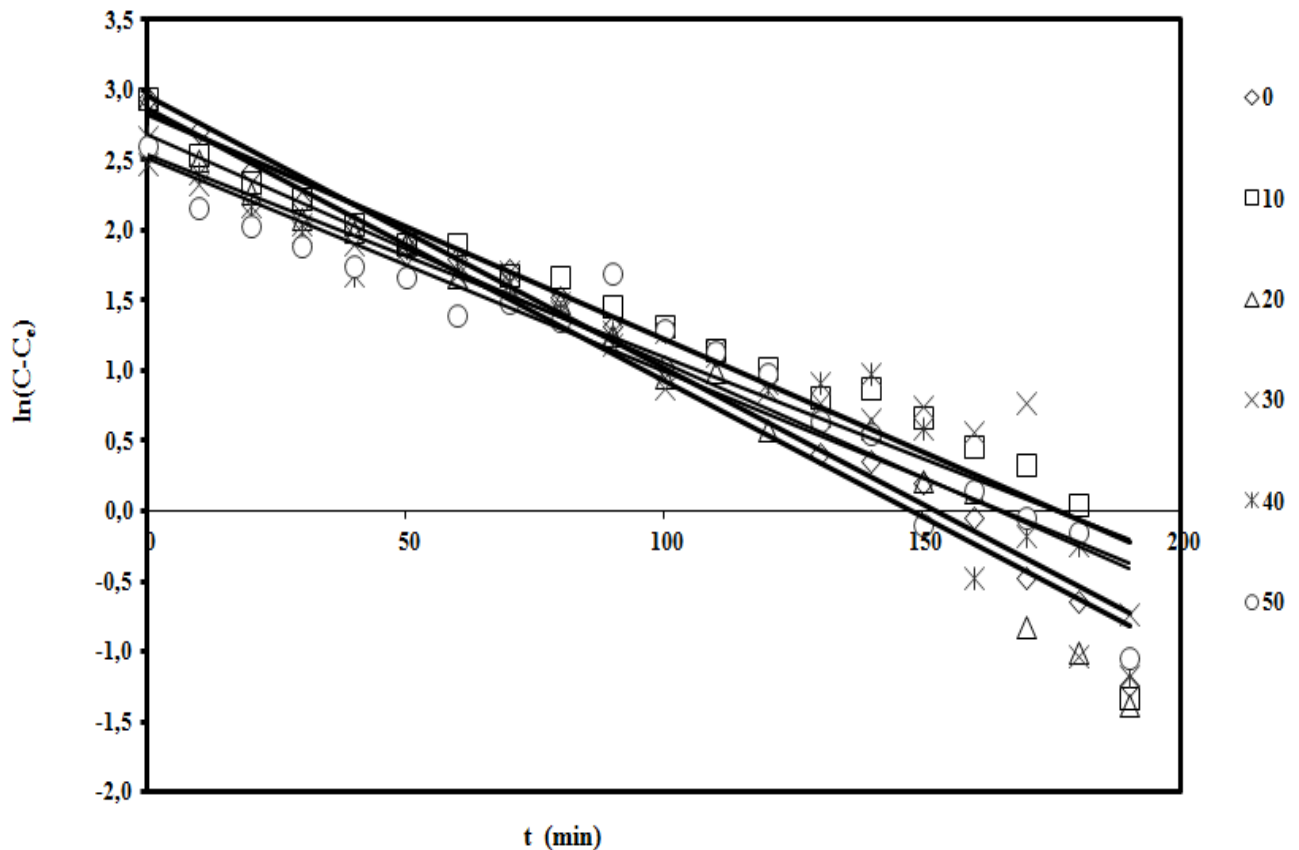


**Πίνακας 6.8:**  $\ln(C-C_e)$  των επεξεργασμένων πειραματικών αποτελεσμάτων ως προς το χρόνο  $t$  (min) για προσρόφιση methylene blue σε άχυρο σιταριού προκατεργασμένο-αυτοϋδρόλυση στους  $160^\circ\text{C}$  για 0 έως 50 min,  $C_0=31,2\text{ mg/l}$  (χρόνος προθέρμανσης 44min)

t (min)	0 min	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min
0	2,94412	2,93721	2,93826	2,47124	2,66663	2,60836
10	2,70564	2,54187	2,49561	2,33378	2,414	2,15579
20	2,42233	2,33926	2,26829	2,11572	2,16795	2,02713
30	2,20498	2,23203	2,08194	2,03926	1,99894	1,89168
40	2,0432	2,05058	1,98829	1,89776	1,67908	1,74895
50	1,88989	1,8996	1,91483	1,76441	1,87646	1,67179
60	1,79152	1,90696	1,66175	1,67899	1,77195	1,39171
70	1,71443	1,68284	1,56999	1,70217	1,63174	1,48064
80	1,52994	1,6737	1,48036	1,48337	1,42299	1,35385
90	1,31818	1,46043	1,24642	1,18976	1,28334	1,69509
100	1,03387	1,32177	0,95216	0,87306	1,28334	1,28747
110	1,10869	1,14623	0,98837	1,14336	1,10551	1,13219
120	0,97162	1,02436	0,57772	0,86268	0,91957	0,97719
130	0,41089	0,81432	0,67902	0,77562	0,91957	0,63796
140	0,36192	0,87603	0,59095	0,65508	0,97625	0,5568
150	0,19895	0,6662	0,21309	0,74094	0,58962	-0,09244
160	-0,04433	0,46318	0,1337	0,56126	-0,47779	0,14527
170	-0,4747	0,33559	-0,82746	0,77562	-0,17829	-0,04019
180	-0,64124	0,04175	-1,00292	-1,03317	-0,23756	-0,14754
190	-1,24349	-1,33636	-1,3877	-0,73832	-1,17776	-1,04836

<b>C<sub>e</sub> (mg/L)</b>	14,1304	12,8772	12,2328	17,4379	15,0905	17,1751
<b>C<sub>o</sub> (mg/L)</b>	33,3524	29,8463	29,9485	30,0769	29,6055	29,4921
<b>ln(C<sub>o</sub>-C<sub>e</sub>)</b>	2,9561	2,8314	2,8745	2,5368	2,6752	2,5110
<b>k (min<sup>-1</sup>)</b>	0,0194	0,0161	0,0194	0,0144	0,0162	0,0152
<b>R</b>	-0,9870	-0,9549	-0,9736	-0,9303	-0,9513	-0,9583
<b>R<sup>2</sup></b>	0,9742	0,9118	0,9479	0,8654	0,9050	0,9183

**Σχήμα 6.8:** ln(C- C<sub>e</sub>), συναρτήσεως του χρόνου t (min) για προσρόφηση methylene blue σε άχυρο σιταριού προκατεργασμένο-αυτοϋδρόλυση στους 160° C για 0 έως 50 min, Co=31,2 mg/l (χρόνος προθέρμανσης 44min)

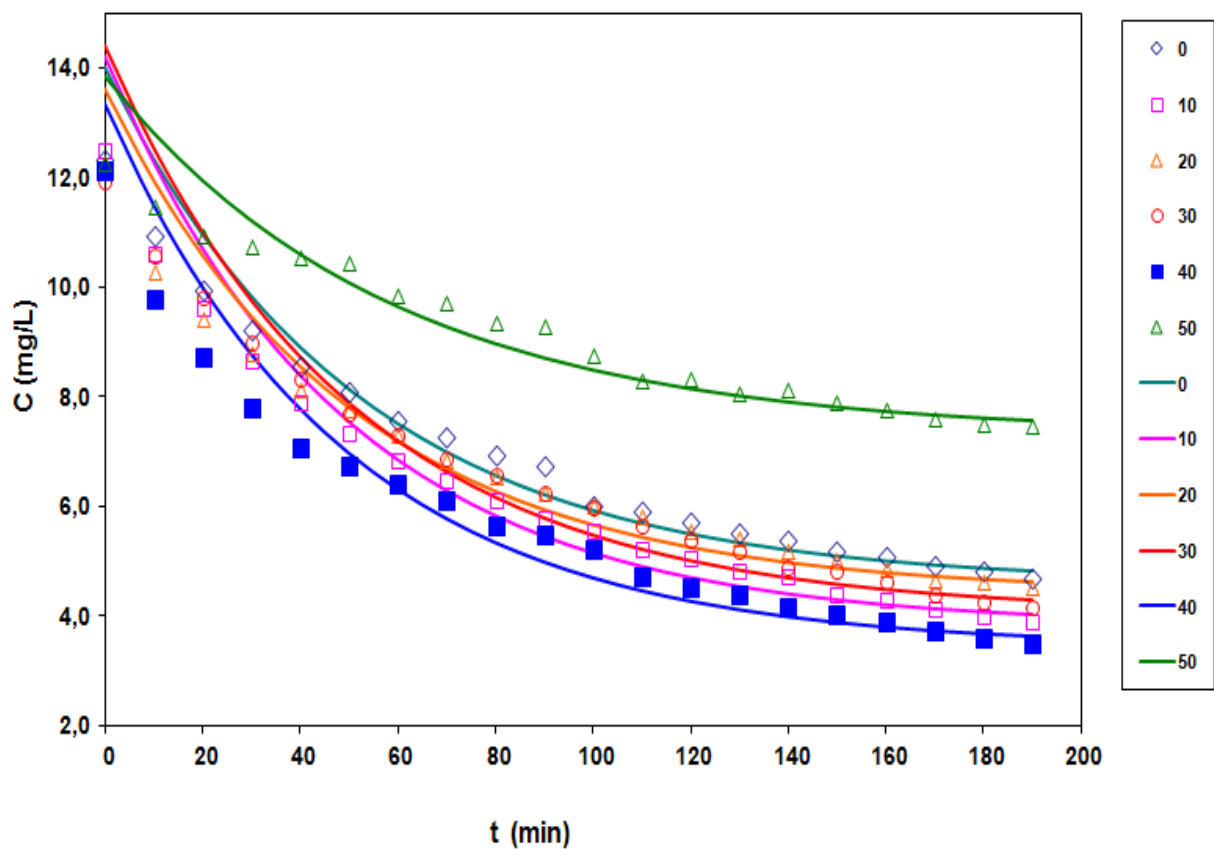


**Πινάκας 6.9:** Πειραματικά δεδομένα και υπολογισμός των παραμέτρων της Lagergren για προσρόφιση methylene blue σε άχυρο σιταριού προκατεργασμένο - αυτοϋδρόλυση στους 160° C για 0 έως 50 min για διάλυμα methylene blue με αρχική συγκέντρωση  $C_0 = 14 \text{ mg/l}$ , (χρόνος προθέρμανσης 44min)

t (min)	Πειραματικές τιμές $C_e$ σε mg/l για τους αντίστοιχους χρόνους αυτοϋδρόλυσης άχυρου σιταριού						Θεωρητικές τιμές $C_0$ σε mg/l για τους αντίστοιχους χρόνους αυτοϋδρόλυσης άχυρου σιταριού					
	0min	10min	20min	30min	40min	50min	0min	10min	20min	30min	40min	50min
0	12,3	12,5	12,2	11,9	12,1	12,2	14,0	14,2	13,6	14,4	13,4	13,8
10	10,9	10,6	10,3	10,6	9,8	11,5	12,3	12,3	11,9	12,5	11,5	12,8
20	9,9	9,6	9,4	9,8	8,7	10,9	11,0	10,7	10,6	11,0	10,0	11,9
30	9,2	8,6	8,8	9,0	7,8	10,7	9,8	9,4	9,5	9,8	8,8	11,2
40	8,6	7,9	8,1	8,3	7,1	10,5	8,9	8,4	8,6	8,7	7,8	10,6
50	8,1	7,3	7,8	7,7	6,7	10,4	8,1	7,6	7,8	7,9	7,0	10,1
60	7,6	6,8	7,3	7,3	6,4	9,9	7,5	6,9	7,2	7,2	6,3	9,6
70	7,3	6,5	6,8	6,9	6,1	9,7	7,0	6,3	6,7	6,6	5,8	9,3
80	7,0	6,1	6,5	6,6	5,6	9,4	6,6	5,8	6,3	6,2	5,3	9,0
90	6,7	5,8	6,3	6,2	5,5	9,3	6,2	5,5	5,9	5,8	5,0	8,7
100	6,0	5,5	6,0	6,0	5,2	8,8	5,9	5,2	5,7	5,5	4,7	8,5
110	5,9	5,2	5,8	5,6	4,7	8,3	5,7	4,9	5,4	5,2	4,5	8,3
120	5,7	5,0	5,5	5,4	4,5	8,3	5,5	4,7	5,3	5,0	4,3	8,1
130	5,5	4,8	5,4	5,2	4,4	8,1	5,3	4,5	5,1	4,8	4,1	8,0
140	5,4	4,7	5,2	4,9	4,1	8,1	5,2	4,4	5,0	4,7	4,0	7,9
150	5,2	4,4	5,0	4,8	4,0	7,9	5,1	4,3	4,9	4,6	3,9	7,8
160	5,1	4,3	4,9	4,6	3,9	7,8	5,0	4,2	4,8	4,5	3,8	7,7
170	4,9	4,1	4,7	4,4	3,7	7,6	4,9	4,1	4,7	4,4	3,7	7,7
180	4,8	4,0	4,6	4,3	3,6	7,5	4,9	4,1	4,7	4,4	3,7	7,6
190	4,7	3,9	4,5	4,1	3,5	7,5	4,8	4,0	4,6	4,3	3,6	7,6

$C_e$ (mg/L)	4,6	3,8	4,4	4,1	3,4	7,3
$C_o$ (mg/L)	14,0	14,2	13,6	14,4	13,4	13,8
$k$ ( $min^{-1}$ )	0,0195	0,0205	0,0200	0,0199	0,0206	0,0172
<i>sum</i>	7,07531	8,79929	7,39536	13,3627	8,68971	6,64767
<i>n-p</i>	18	18	18	18	18	18
<i>SEE</i>	0,62696	0,69918	0,64098	0,86161	0,69481	0,60771

**Σχήμα 6.9:** Πειραματικές τιμές και θεωρητικές καμπύλες της συγκέντρωσης methylene blue συναρτήσει του χρόνου  $t$  (min) κατά την προσρόφηση αυτού σε άχυρο σιταριού προκατεργασμένο αυτοϋδρόλυση στους  $160^\circ C$  για 0 έως 50 min,  $C_o=14$  mg/l

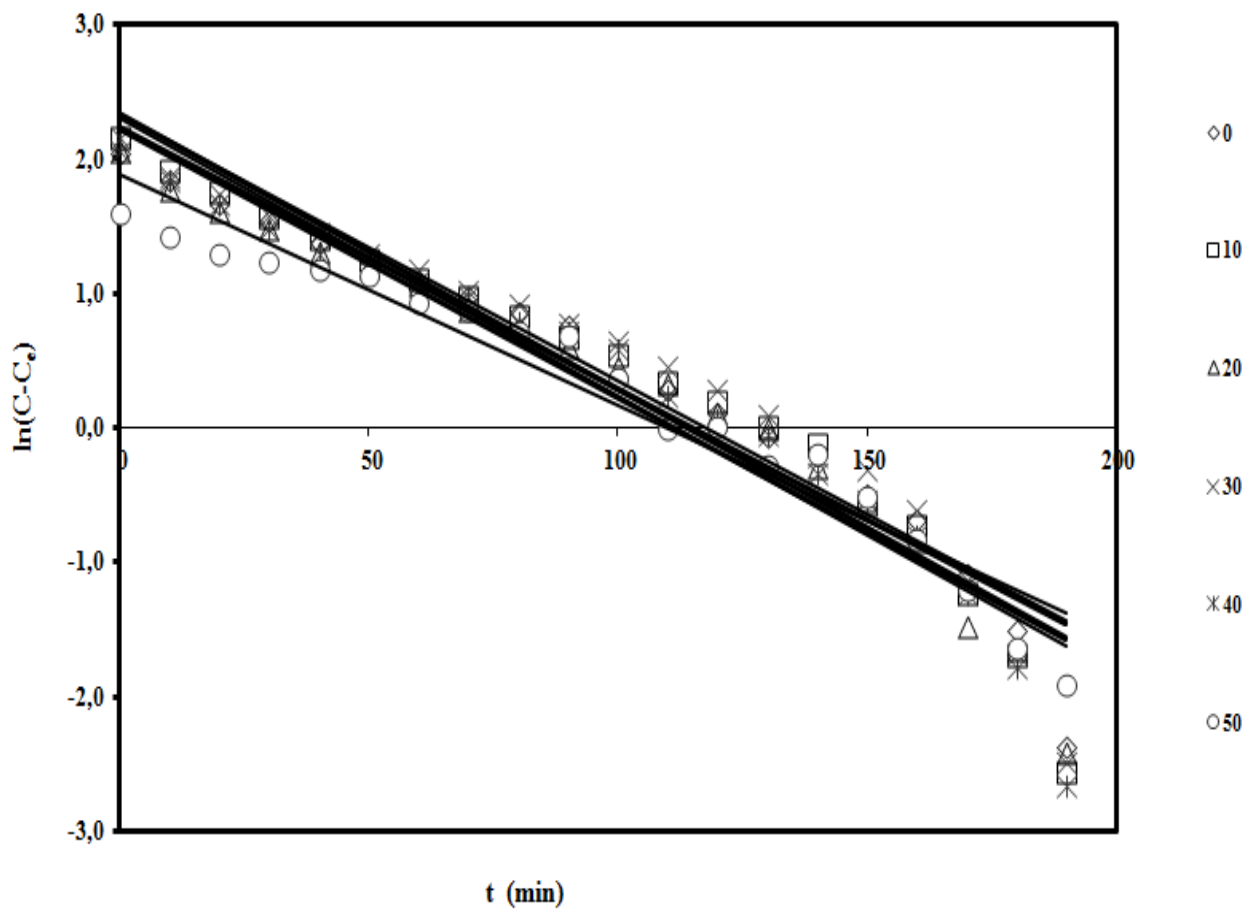


**Πίνακας 6.10:**  $\ln(C-C_e)$  των επεξεργασμένων πειραματικών αποτελεσμάτων ως προς το χρόνο  $t$  (min) για προσρόφιση methylene blue σε άχυρο σιταριού προκατεργασμένο-αυτοϋδρόλυση στους  $160^\circ\text{C}$  για 0 έως 50 min,  $C_0=14\text{ mg/l}$  (χρόνος προθέρμανσης 44min)

t (min)	0 min	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min
0	2,04575	2,15999	2,05724	2,06243	2,16284	1,59645
10	1,84849	1,91691	1,7666	1,8743	1,84614	1,4272
20	1,67662	1,75573	1,60636	1,7493	1,66672	1,28933
30	1,53644	1,57426	1,47738	1,59071	1,47684	1,23487
40	1,38298	1,40929	1,30584	1,4483	1,29409	1,17353
50	1,25552	1,25472	1,20662	1,29025	1,19213	1,14356
60	1,09342	1,1073	1,06177	1,17725	1,0909	0,93219
70	0,98146	0,98141	0,87587	1,02631	0,97992	0,88186
80	0,86172	0,8342	0,74818	0,91363	0,79214	0,71519
90	0,76118	0,6769	0,60527	0,77089	0,71262	0,68388
100	0,36213	0,54217	0,4614	0,65057	0,58288	0,36584
110	0,28216	0,34351	0,33417	0,45803	0,2486	-0,00619
120	0,1128	0,20211	0,1191	0,28114	0,07559	0,0132
130	-0,06122	0,00886	-0,00494	0,10273	-0,04379	-0,27572
140	-0,20823	-0,11645	-0,28412	-0,19885	-0,33255	-0,18893
150	-0,49129	-0,56854	-0,53459	-0,29935	-0,53178	-0,50859
160	-0,68126	-0,7227	-0,83374	-0,61585	-0,78988	-0,82061
170	-1,08046	-1,22448	-1,47912	-1,13412	-1,22256	-1,19896
180	-1,50574	-1,68955	-1,64631	-1,67024	-1,7714	-1,63265
190	-2,36877	-2,55173	-2,40517	-2,48898	-2,65928	-1,90243

<b>C<sub>e</sub> (mg/L)</b>	4,58619	3,8194	4,42226	4,06674	3,42994	7,31109
<b>C<sub>o</sub> (mg/L)</b>	14,0107	14,2261	13,6095	14,3999	13,3578	13,8449
<b>ln(C<sub>o</sub>-C<sub>e</sub>)</b>	2,2433	2,3424	2,2178	2,3354	2,2953	1,8770
<b>k (min<sup>-1</sup>)</b>	0,0195	0,0205	0,0200	0,0199	0,0206	0,0172
<b>R</b>	-0,9731	-0,9675	-0,9707	-0,9598	-0,9655	-0,9713
<b>R<sup>2</sup></b>	0,9470	0,9360	0,9423	0,9212	0,9323	0,9435

**Σχήμα 6.10:** ln(C- C<sub>e</sub>), συναρτήσει του χρόνου t (min) για προσρόφηση methylene blue σε άχυρο σιταριού προκατεργασμένο-αυτοϋδρόλυση στους 160° C για 0 έως 50 min, C<sub>o</sub>=14 mg/l (χρόνος προθέρμανσης 44min)

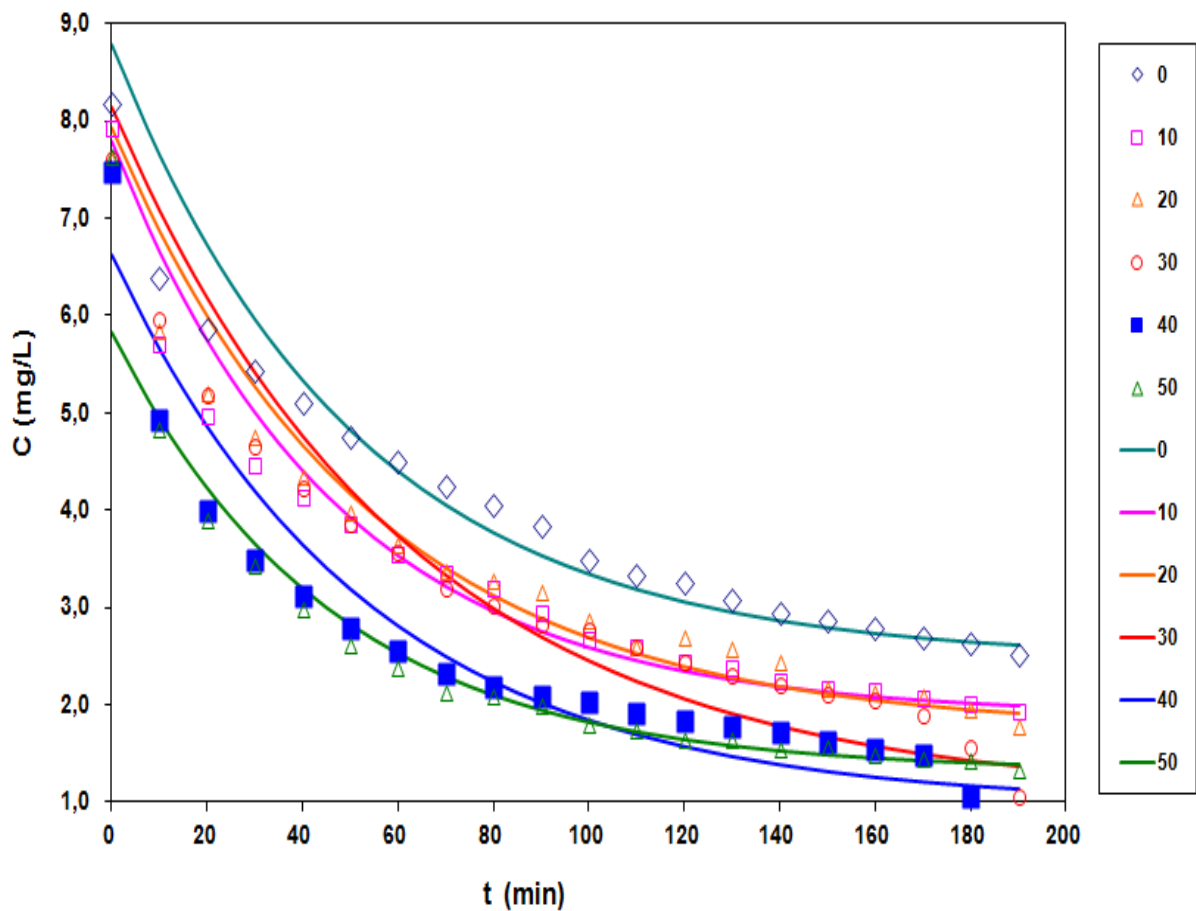


**Πινάκας 6.11:** Πειραματικά δεδομένα και υπολογισμός των παραμέτρων της Lagergren για προσρόφιση methylene blue σε άχυρο σιταριού προκατεργασμένο - αυτοϋδρόλυση στους 160° C για 0 έως 50 min για διάλυμα methylene blue με αρχική συγκέντρωση  $C_0= 7,8 \text{ mg/l}$ , (χρόνος προθέρμανσης 44min)

t (min)	Πειραματικές τιμές $C_e$ σε mg/l για τους αντίστοιχους χρόνους αυτοϋδρόλυσης άχυρου σιταριού						Θεωρητικές τιμές $C_0$ σε mg/l για τους αντίστοιχους χρόνους αυτοϋδρόλυσης άχυρου σιταριού					
	0min	10min	20min	30min	40min	50min	0min	10min	20min	30min	40min	50min
0	8,2	7,9	7,6	7,6	7,5	7,6	8,8	7,8	7,9	8,1	6,6	5,8
10	6,4	5,7	5,8	5,9	4,9	4,8	7,6	6,7	6,9	7,1	5,7	4,9
20	5,9	5,0	5,2	5,2	4,0	3,9	6,7	5,7	6,0	6,2	4,9	4,2
30	5,4	4,5	4,8	4,7	3,5	3,4	6,0	5,0	5,3	5,4	4,2	3,6
40	5,1	4,1	4,4	4,2	3,1	3,0	5,3	4,4	4,7	4,8	3,6	3,2
50	4,8	3,9	4,0	3,9	2,8	2,6	4,8	3,9	4,2	4,2	3,2	2,8
60	4,5	3,5	3,7	3,6	2,6	2,4	4,4	3,5	3,7	3,7	2,8	2,5
70	4,2	3,3	3,4	3,2	2,3	2,1	4,1	3,2	3,4	3,3	2,5	2,3
80	4,0	3,2	3,3	3,0	2,2	2,1	3,8	3,0	3,1	3,0	2,2	2,1
90	3,8	2,9	3,1	2,8	2,1	2,0	3,5	2,8	2,9	2,7	2,0	1,9
100	3,5	2,7	2,9	2,8	2,0	1,8	3,3	2,6	2,7	2,4	1,8	1,8
110	3,3	2,6	2,6	2,6	1,9	1,7	3,2	2,5	2,5	2,2	1,7	1,7
120	3,3	2,4	2,7	2,4	1,8	1,6	3,1	2,3	2,4	2,1	1,6	1,6
130	3,1	2,4	2,6	2,3	1,8	1,6	3,0	2,3	2,3	1,9	1,5	1,6
140	2,9	2,2	2,4	2,2	1,7	1,5	2,9	2,2	2,2	1,8	1,4	1,5
150	2,9	2,2	2,2	2,1	1,6	1,6	2,8	2,1	2,1	1,7	1,3	1,5
160	2,8	2,1	2,1	2,0	1,5	1,5	2,7	2,1	2,0	1,6	1,3	1,4
170	2,7	2,1	2,1	1,9	1,5	1,4	2,7	2,0	2,0	1,5	1,2	1,4
180	2,6	2,0	2,0	1,6	1,1	1,4	2,7	2,0	1,9	1,4	1,2	1,4
190	2,5	1,9	1,8	1,1	1,0	1,3	2,6	2,0	1,9	1,4	1,1	1,4

<b><math>C_e</math> (mg/L)</b>	2,5	1,9	1,7	1,0	1,0	1,3
<b><math>C_o</math> (mg/L)</b>	8,8	7,8	7,9	8,1	6,6	5,8
<b><math>k</math> (<math>\text{min}^{-1}</math>)</b>	0,0197	0,0213	0,0187	0,0161	0,0187	0,0219
<b>sum</b>	3,35207	2,09319	2,54749	5,01428	3,71816	3,57867
<b><math>n-p</math></b>	18	18	18	18	18	18
<b>SEE</b>	0,43154	0,34101	0,3762	0,5278	0,45449	0,44589

**Σχήμα 6.11:** Πειραματικές τιμές και θεωρητικές καμπύλες της συγκέντρωσης methylene blue συναρτήσει του χρόνου  $t$  (min) κατά την προσρόφηση αυτού σε άχυρο σιταριού προκατεργασμένο αυτοϋδρόλυση στους  $160^\circ\text{C}$  για 0 έως 50 min,  $C_o=7,8\text{ mg/l}$



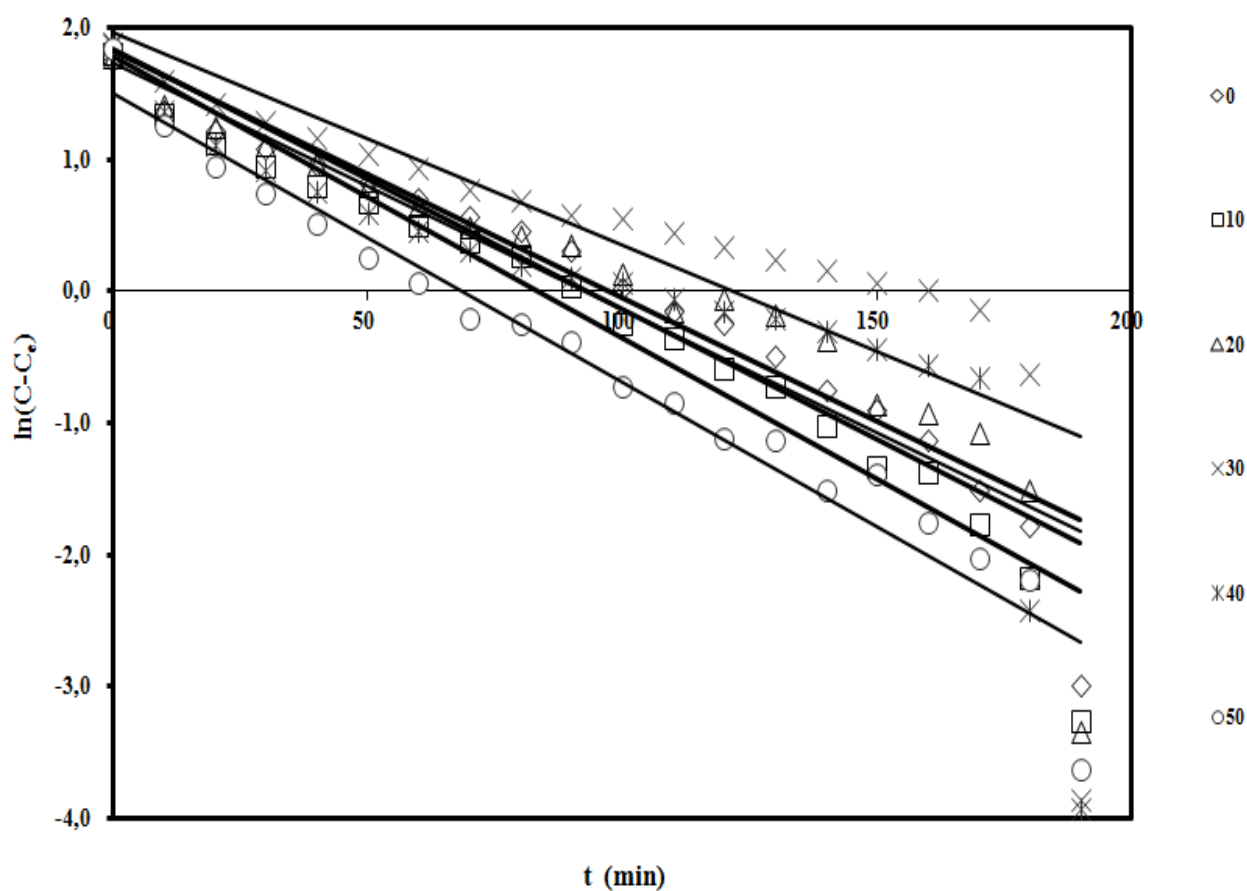


**Πίνακας 6.12:**  $\ln(C-C_e)$  των επεξεργασμένων πειραματικών αποτελεσμάτων ως προς το χρόνο  $t$  (min) για προσρόφηση methylene blue σε άχυρο σιταριού προκατεργασμένο-αυτοϋδρόλυση στους  $160^\circ\text{C}$  για 0 έως 50 min,  $C_0=7,8\text{ mg/l}$  (χρόνος προθέρμανσης 44min)

t (min)	0 min	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min
0	1,7422	1,7971	1,7679	1,88361	1,87267	1,84337
10	1,36628	1,33791	1,41287	1,59251	1,37363	1,26077
20	1,22299	1,12048	1,24256	1,42425	1,10658	0,95182
30	1,08496	0,94634	1,10674	1,28695	0,92315	0,74627
40	0,96699	0,80185	0,96104	1,16218	0,75995	0,50825
50	0,827	0,67759	0,80438	1,04069	0,59967	0,26137
60	0,70941	0,49921	0,64979	0,93133	0,45983	0,06735
70	0,57241	0,37798	0,48756	0,77524	0,30677	-0,20294
80	0,45632	0,26516	0,42406	0,69002	0,19522	-0,24468
90	0,31604	0,04279	0,34577	0,58566	0,10199	-0,38117
100	0,02791	-0,25014	0,12953	0,55586	0,06272	-0,72474
110	-0,14711	-0,35997	-0,15093	0,44018	-0,0564	-0,84898
120	-0,24075	-0,59153	-0,05661	0,34272	-0,15333	-1,11801
130	-0,49425	-0,7211	-0,17315	0,24137	-0,20701	-1,13413
140	-0,74801	-1,02531	-0,36703	0,15337	-0,2984	-1,50188
150	-0,90227	-1,32811	-0,85071	0,06471	-0,43424	-1,3915
160	-1,12966	-1,37457	-0,9254	0,00815	-0,55822	-1,75182
170	-1,50609	-1,76296	-1,07398	-0,14075	-0,65077	-2,0241
180	-1,77724	-2,16908	-1,50561	-0,62787	-2,41598	-2,18236
190	-2,98804	-3,25503	-3,34007	-3,85861	-3,9217	-3,62104

<b>C<sub>e</sub> (mg/L)</b>	2,46893	1,8904	1,73629	1,03376	0,97056	1,31098
<b>C<sub>o</sub> (mg/L)</b>	8,7781	7,79265	7,91463	8,14521	6,62649	5,82359
<b>ln(C<sub>o</sub>-C<sub>e</sub>)</b>	1,8420	1,7753	1,8210	1,9617	1,7327	1,5069
<b>k (min<sup>-1</sup>)</b>	0,0197	0,0213	0,0187	0,0161	0,0187	0,0219
<b>R</b>	-0,9676	-0,9761	-0,9325	-0,8038	-0,8672	-0,9769
<b>R<sup>2</sup></b>	0,9362	0,9528	0,8696	0,6461	0,7521	0,9544

**Σχήμα 6.12:** ln(C- C<sub>e</sub>), συναρτήσει του χρόνου t (min) για προσρόφηση methylene blue σε άχυρο σιταριού προκατεργασμένο-αυτοϋδρόλυση στους 160° C για 0 έως 50 min, Co=7,8 mg/l (χρόνος προθέρμανσης 44min)

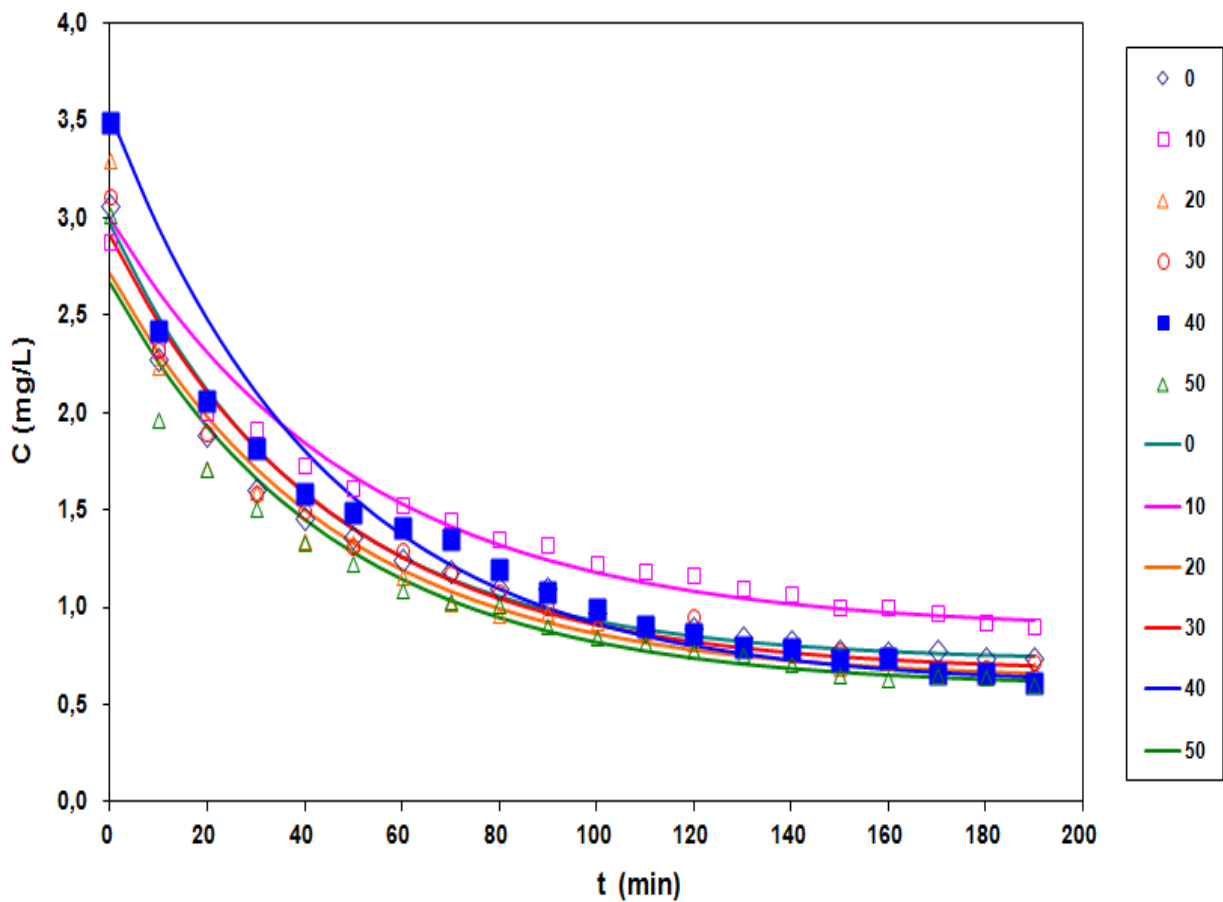


**Πινάκας 6.13:** Πειραματικά δεδομένα και υπολογισμός των παραμέτρων της Lagergren για προσρόφιση methylene blue σε άχυρο σιταριού προκατεργασμένο - αυτοϋδρόλυση στους 160° C για 0 έως 50 min για διάλυμα methylene blue με αρχική συγκέντρωση  $C_0 = 3,1 \text{ mg/l}$ , (χρόνος προθέρμανσης 44min)

t (min)	Πειραματικές τιμές $C_e$ σε mg/l για τους αντίστοιχους χρόνους αυτοϋδρόλυσης άχυρου σιταριού						Θεωρητικές τιμές $C_0$ σε mg/l για τους αντίστοιχους χρόνους αυτοϋδρόλυσης άχυρου σιταριού					
	0min	10min	20min	30min	40min	50min	0min	10min	20min	30min	40min	50min
0	3,1	2,9	3,3	3,1	3,5	3,0	3,0	3,0	2,7	2,9	3,5	2,7
10	2,3	2,3	2,2	2,3	2,4	2,0	2,5	2,6	2,3	2,5	2,9	2,3
20	1,9	2,0	1,7	1,9	2,1	1,7	2,1	2,3	2,0	2,1	2,5	1,9
30	1,6	1,9	1,6	1,6	1,8	1,5	1,8	2,1	1,7	1,8	2,1	1,7
40	1,5	1,7	1,3	1,5	1,6	1,3	1,6	1,8	1,5	1,6	1,8	1,4
50	1,4	1,6	1,3	1,3	1,5	1,2	1,4	1,7	1,3	1,4	1,6	1,3
60	1,2	1,5	1,2	1,3	1,4	1,1	1,3	1,5	1,2	1,3	1,4	1,1
70	1,2	1,4	1,0	1,2	1,4	1,0	1,1	1,4	1,1	1,1	1,2	1,0
80	1,1	1,4	1,0	1,1	1,2	1,0	1,1	1,3	1,0	1,0	1,1	0,9
90	1,1	1,3	1,0	1,0	1,1	0,9	1,0	1,2	0,9	1,0	1,0	0,9
100	1,0	1,2	0,9	1,0	1,0	0,8	0,9	1,2	0,9	0,9	0,9	0,8
110	0,9	1,2	0,9	0,9	0,9	0,8	0,9	1,1	0,8	0,9	0,9	0,8
120	0,9	1,2	0,8	1,0	0,9	0,8	0,9	1,1	0,8	0,8	0,8	0,7
130	0,8	1,1	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	1,0	0,8	0,8	0,8	0,7
140	0,8	1,1	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	1,0	0,7	0,8	0,7	0,7
150	0,8	1,0	0,7	0,8	0,7	0,7	0,8	1,0	0,7	0,7	0,7	0,7
160	0,8	1,0	0,7	0,8	0,7	0,6	0,8	1,0	0,7	0,7	0,7	0,6
170	0,8	1,0	0,7	0,7	0,7	0,6	0,8	1,0	0,7	0,7	0,7	0,6
180	0,7	0,9	0,6	0,7	0,7	0,6	0,8	0,9	0,7	0,7	0,7	0,6
190	0,7	0,9	0,7	0,7	0,6	0,6	0,7	0,9	0,7	0,7	0,6	0,6

$C_e$ (mg/L)	0,7	0,9	0,6	0,7	0,6	0,6
$C_o$ (mg/L)	3,0	3,0	2,7	2,9	3,5	2,7
$k$ ( $\text{min}^{-1}$ )	0,0239	0,0196	0,0217	0,0222	0,0222	0,0220
<i>sum</i>	0,19144	0,25131	0,4771	0,20483	0,63336	0,30879
<i>n-p</i>	18	18	18	18	18	18
<i>SEE</i>	0,10313	0,11816	0,1628	0,10668	0,18758	0,13098

**Σχήμα 6.13:** Πειραματικές τιμές και θεωρητικές καμπύλες της συγκέντρωσης methylene blue συναρτήσει του χρόνου  $t$  (min) κατά την προσρόφηση αυτού σε άχυρο σιταριού προκατεργασμένο αυτοϋδρόλυση στους  $160^\circ\text{C}$  για 0 έως 50 min,  $C_o=3,1$  mg/l

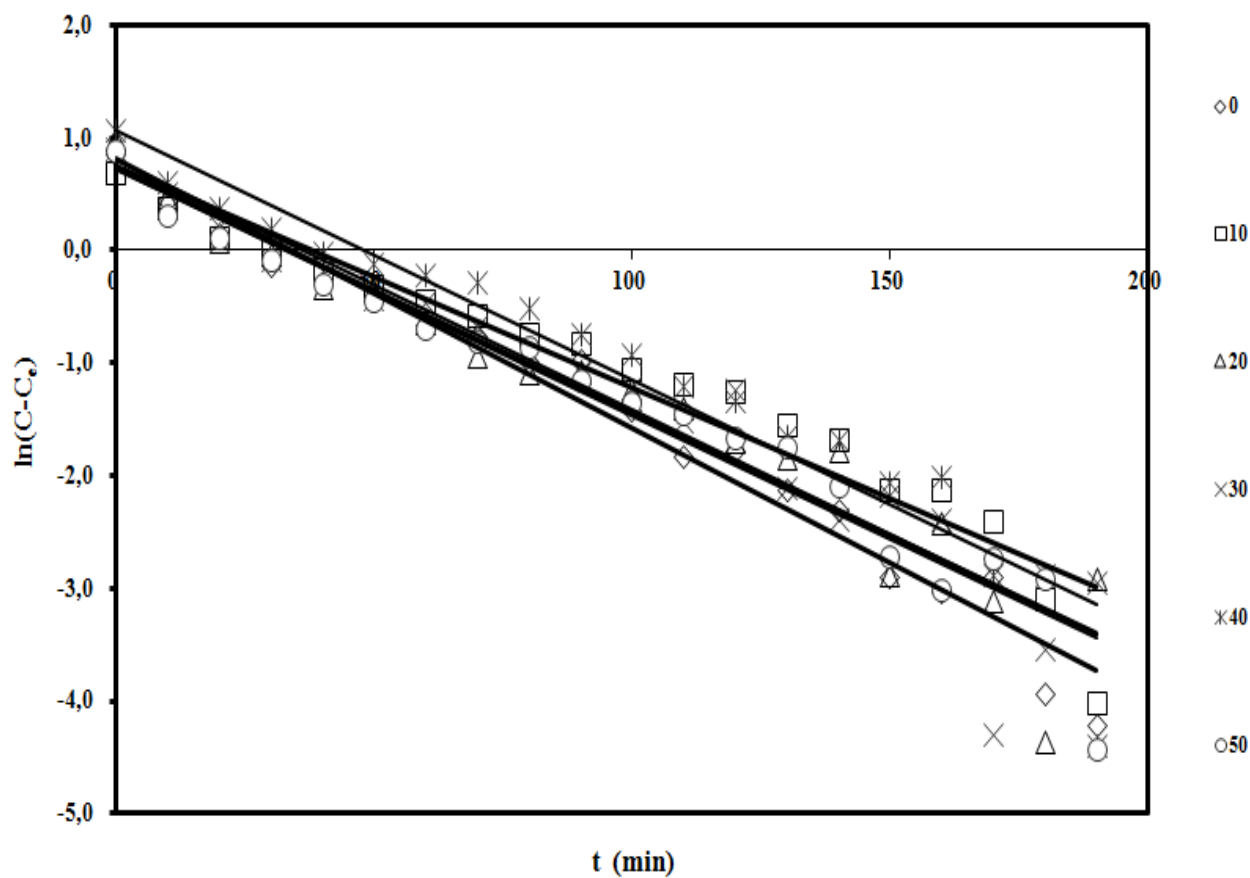


**Πίνακας 6.14:**  $\ln(C-C_e)$  των επεξεργασμένων πειραματικών αποτελεσμάτων ως προς το χρόνο  $t$  (min) για προσρόφιση methylene blue σε άχυρο σιταριού προκατεργασμένο-αυτοϋδρόλυση στους  $160^\circ\text{C}$  για 0 έως 50 min,  $C_0=3,1\text{ mg/l}$  (χρόνος προθέρμανσης 44min)

t (min)	0 min	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min
0	0,85124	0,69173	0,97889	0,89737	1,06276	0,88678
10	0,43934	0,36934	0,47603	0,5047	0,60003	0,31883
20	0,15048	0,11501	0,07445	0,21092	0,38146	0,12095
30	-0,12659	0,03112	-0,03988	-0,08115	0,20019	-0,08073
40	-0,30341	-0,15849	-0,33852	-0,18029	-0,01456	-0,29298
50	-0,44954	-0,30891	-0,35116	-0,43303	-0,11571	-0,44371
60	-0,65527	-0,4434	-0,63965	-0,46703	-0,20826	-0,69544
70	-0,76055	-0,57004	-0,93515	-0,67283	-0,28549	-0,80759
80	-0,98574	-0,74883	-1,09164	-0,88566	-0,51258	-0,86479
90	-0,97906	-0,81887	-1,06626	-1,09235	-0,7426	-1,1579
100	-1,41035	-1,06278	-1,24135	-1,22173	-0,92852	-1,34946
110	-1,8357	-1,1915	-1,40636	-1,51406	-1,20638	-1,44743
120	-1,77633	-1,26021	-1,69714	-1,23433	-1,32744	-1,6575
130	-2,12531	-1,55084	-1,84575	-2,10396	-1,64728	-1,74281
140	-2,30229	-1,67611	-1,77229	-2,38604	-1,679	-2,09923
150	-2,89221	-2,13036	-2,87372	-2,17539	-2,05644	-2,721
160	-3,03131	-2,13036	-2,42443	-2,38604	-2,0109	-3,00859
170	-2,89221	-2,40359	-3,10857	-4,30377	-2,88868	-2,73904
180	-3,93593	-3,10312	-4,35381	-3,54405	-2,88868	-2,91774
190	-4,21635	-4,01799	-2,91652	-2,94444	-4,40235	-4,42744

<b>C<sub>e</sub> (mg/L)</b>	0,72287	0,88146	0,63003	0,66236	0,60018	0,58531
<b>C<sub>o</sub> (mg/L)</b>	2,9629	2,99223	2,71557	2,90736	3,52659	2,66031
<b>ln(C<sub>o</sub>-C<sub>e</sub>)</b>	0,8065	0,7471	0,7350	0,8087	1,0738	0,7300
<b>k (min<sup>-1</sup>)</b>	0,0239	0,0196	0,0217	0,0222	0,0222	0,0220
<b>R</b>	-0,9864	-0,9662	-0,9615	-0,9576	-0,9639	-0,9741
<b>R<sup>2</sup></b>	0,9729	0,9336	0,9245	0,9170	0,9291	0,9488

**Σχήμα 6.14:** ln(C- C<sub>e</sub>), συνάρτησι του χρόνου t (min) για προσρόφηση methylene blue σε άχυρο σιταριού προκατεργασμένο-αυτοϋδρόλυση στους 160° C για 0 έως 50 min, C<sub>o</sub>=3,1 mg/l (χρόνος προθέρμανσης 44min)

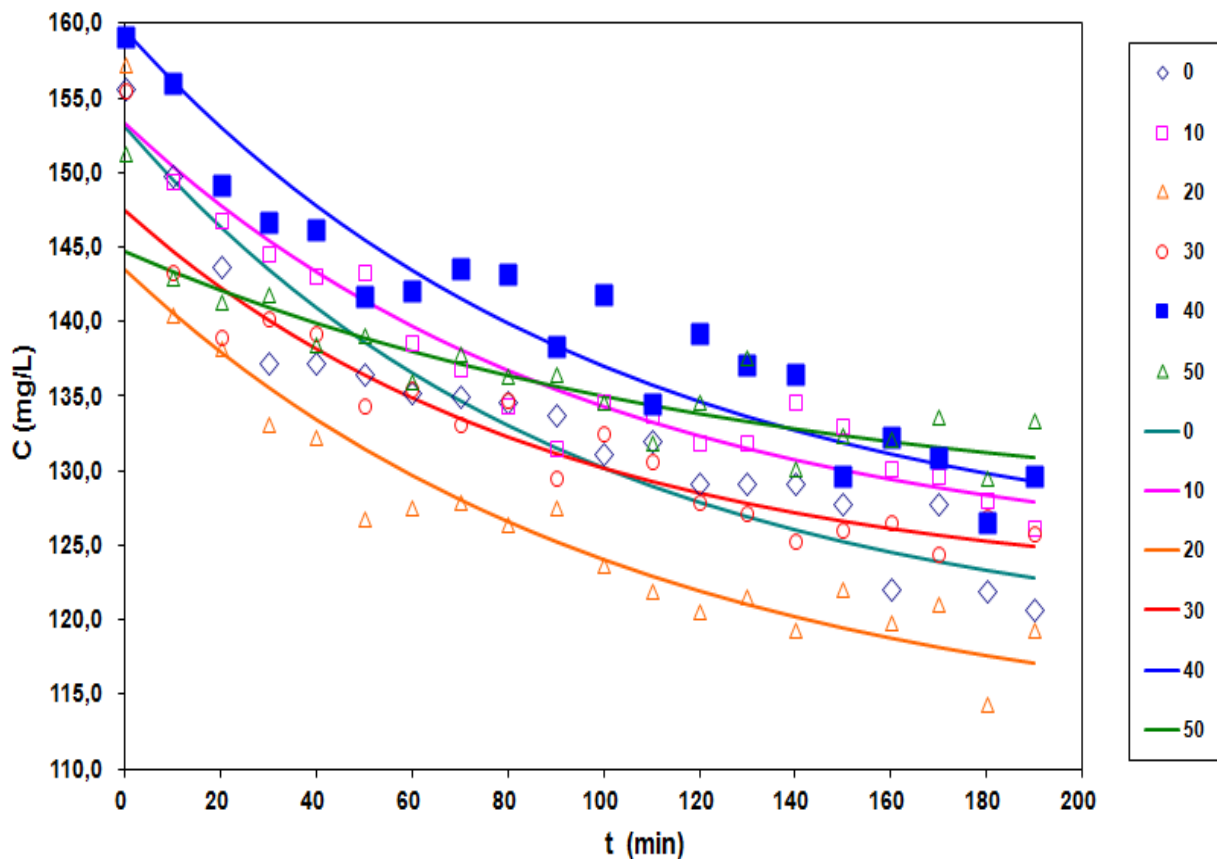


**Πινάκας 6.15:** Πειραματικά δεδομένα και υπολογισμός των παραμέτρων της Lagergren για προσρόφιση methylene blue σε άχυρο σιταριού προκατεργασμένο - αυτοϋδρόλυση στους 180° C για διάλυμα methylene blue με αρχική συγκέντρωση  $C_0 = 156 \text{ mg/l}$ , (χρόνος προθέρμανσης 47 min)

t (min)	Πειραματικές τιμές $C_e$ σε mg/l για τους αντίστοιχους χρόνους αυτοϋδρόλυσης άχυρου σιταριού						Θεωρητικές τιμές $C_0$ σε mg/l για τους αντίστοιχους χρόνους αυτοϋδρόλυσης άχυρου σιταριού					
	0min	10min	20min	30min	40min	50min	0min	10min	20min	30min	40min	50min
0	155,7	160,7	157,2	155,5	159,1	151,3	153,0	153,3	143,4	147,5	159,5	144,7
10	149,7	149,4	140,5	143,3	156,0	143,0	149,5	150,4	140,5	144,7	156,2	143,4
20	143,7	146,8	138,2	138,9	149,2	141,4	146,3	147,8	137,9	142,3	153,1	142,2
30	137,2	144,6	133,1	140,2	146,7	141,9	143,5	145,5	135,5	140,1	150,3	141,0
40	137,2	143,0	132,3	139,2	146,2	138,5	140,9	143,3	133,4	138,2	147,8	139,9
50	136,5	143,4	126,7	134,4	141,7	139,1	138,6	141,4	131,4	136,4	145,5	139,0
60	135,2	138,6	127,5	135,5	142,0	136,0	136,6	139,7	129,6	134,9	143,5	138,0
70	135,0	136,9	127,9	133,2	143,6	137,9	134,7	138,1	128,0	133,5	141,6	137,2
80	134,7	134,4	126,4	134,7	143,1	136,3	133,0	136,7	126,6	132,3	139,9	136,4
90	133,8	131,5	127,6	129,6	138,4	136,6	131,6	135,5	125,2	131,2	138,4	135,7
100	131,1	134,7	123,7	132,5	141,9	134,6	130,2	134,3	124,0	130,2	137,0	135,1
110	132,0	133,7	122,0	130,7	134,5	131,8	129,0	133,3	122,9	129,3	135,8	134,4
120	129,1	131,9	120,6	127,9	139,2	134,7	127,9	132,3	121,9	128,5	134,6	133,9
130	129,2	131,9	121,6	127,1	137,1	137,6	126,9	131,5	121,0	127,8	133,6	133,3
140	129,2	134,6	119,4	125,3	136,4	130,2	126,1	130,7	120,2	127,2	132,7	132,9
150	127,9	133,0	122,1	126,1	129,6	132,3	125,3	130,0	119,4	126,6	131,9	132,4
160	122,1	130,2	119,9	126,6	132,3	132,2	124,6	129,4	118,8	126,1	131,1	132,0
170	127,9	129,7	121,1	124,4	130,9	133,6	123,9	128,9	118,1	125,7	130,4	131,6
180	122,0	128,1	114,3	126,9	126,5	129,5	123,4	128,4	117,6	125,3	129,8	131,3
190	120,7	126,2	119,3	125,8	129,7	133,4	122,8	127,9	117,1	124,9	129,3	130,9

$C_e$ (mg/L)	118,3	123,7	112,0	121,9	124,0	126,9
$C_o$ (mg/L)	153,0	153,3	143,4	147,5	159,5	144,7
$k$ ( $min^{-1}$ )	0,0107	0,0102	0,0096	0,0113	0,0100	0,0079
<i>sum</i>	142,409	113,565	266,416	108,253	152,423	98,1671
<i>n-p</i>	18	18	18	18	18	18
<i>SEE</i>	2,81276	2,51181	3,84719	2,45236	2,90998	2,33532

**Σχήμα 6.15:** Πειραματικές τιμές και θεωρητικές καμπύλες της συγκέντρωσης methylene blue συναρτήσει του χρόνου  $t$  (min) κατά την προσρόφηση αυτού σε άχυρο σιταριού προκατεργασμένο αυτοϋδρόλυση στους  $180^\circ C$  για 0 έως 50 min,  $C_o=156$  mg/l



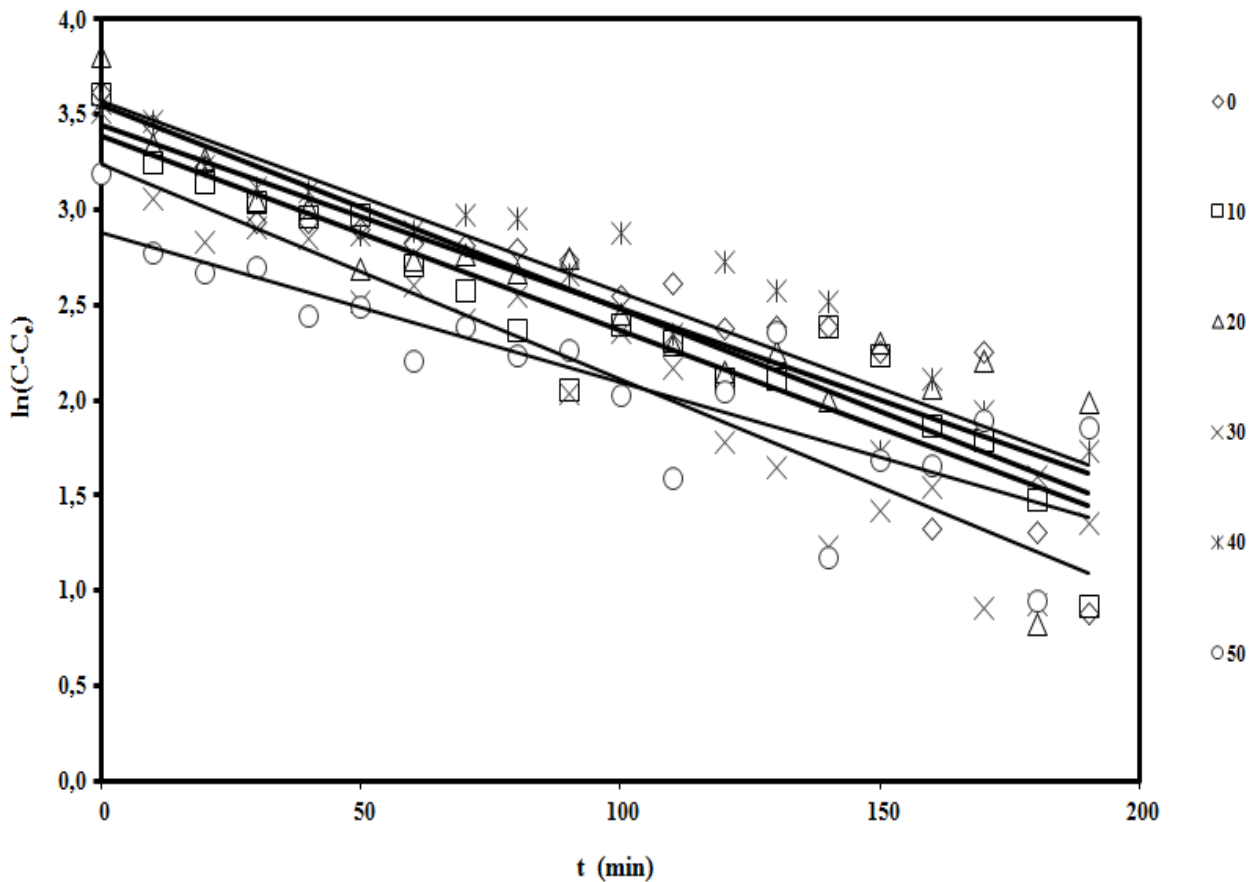


**Πίνακας 6.16:**  $\ln(C-C_e)$  των επεξεργασμένων πειραματικών αποτελεσμάτων ως προς το χρόνο  $t$  (min) για προσρόφιση methylene blue σε άχυρο σιταριού προκατεργασμένο-αυτοϋδρόλυση στους  $180^\circ\text{C}$  για 0 έως 50 min,  $C_0=156\text{ mg/l}$  (χρόνος προθέρμανσης 47 min)

t (min)	0 min	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min
0	3,62153	3,61047	3,81093	3,51283	3,5596	3,19532
10	3,44864	3,24765	3,34989	3,06281	3,46803	2,77442
20	3,23509	3,14292	3,26606	2,8354	3,22808	2,67205
30	2,94021	3,03958	3,04834	2,90718	3,12267	2,70522
40	2,94021	2,96292	3,01014	2,85118	3,10318	2,44809
50	2,90005	2,98024	2,68884	2,5219	2,87354	2,4963
60	2,82904	2,70671	2,74004	2,60821	2,89403	2,20699
70	2,81498	2,57905	2,76565	2,42274	2,97868	2,39211
80	2,79713	2,36984	2,66923	2,54993	2,95332	2,23915
90	2,73985	2,05742	2,74558	2,03709	2,66736	2,26418
100	2,54913	2,39972	2,45712	2,35841	2,88384	2,03321
110	2,61942	2,31033	2,2975	2,16785	2,34912	1,59164
120	2,38207	2,11176	2,14857	1,7866	2,72615	2,04854
130	2,39003	2,11176	2,25711	1,6532	2,57832	2,36437
140	2,39003	2,39165	1,99725	1,23125	2,52252	1,18039
150	2,25772	2,23789	2,30596	1,42702	1,73372	1,68786
160	1,32525	1,87029	2,06334	1,54334	2,11688	1,66049
170	2,25772	1,79149	2,20891	0,91147	1,94096	1,90162
180	1,31017	1,47815	0,82685	1,60264	0,92826	0,95182
190	0,88132	0,92577	1,98964	1,35613	1,73882	1,86137

<b>C<sub>e</sub> (mg/L)</b>	118,2896	123,6671	112,0190	121,9105	123,9749	126,9306
<b>C<sub>o</sub> (mg/L)</b>	152,9886	153,3017	143,4132	147,4792	159,5459	144,7434
<b>ln(C<sub>o</sub>-C<sub>e</sub>)</b>	3,5467	3,3889	3,4466	3,2414	3,5715	2,8799
<b>k (min<sup>-1</sup>)</b>	0,0107	0,0102	0,0096	0,0113	0,0100	0,0079
<b>R</b>	-0,9102	-0,9387	-0,8960	-0,9491	-0,9067	-0,8480
<b>R<sup>2</sup></b>	0,8284	0,8811	0,8029	0,9008	0,8221	0,7190

**Σχήμα 6.16:** ln(C- C<sub>e</sub>), συναρτήσει του χρόνου t (min) για προσρόφηση methylene blue σε άχυρο σιταριού προκατεργασμένο-αυτοϋδρόλυση στους 180° C για 0 έως 50 min, C<sub>o</sub>=156 mg/l (χρόνος προθέρμανσης 47 min)

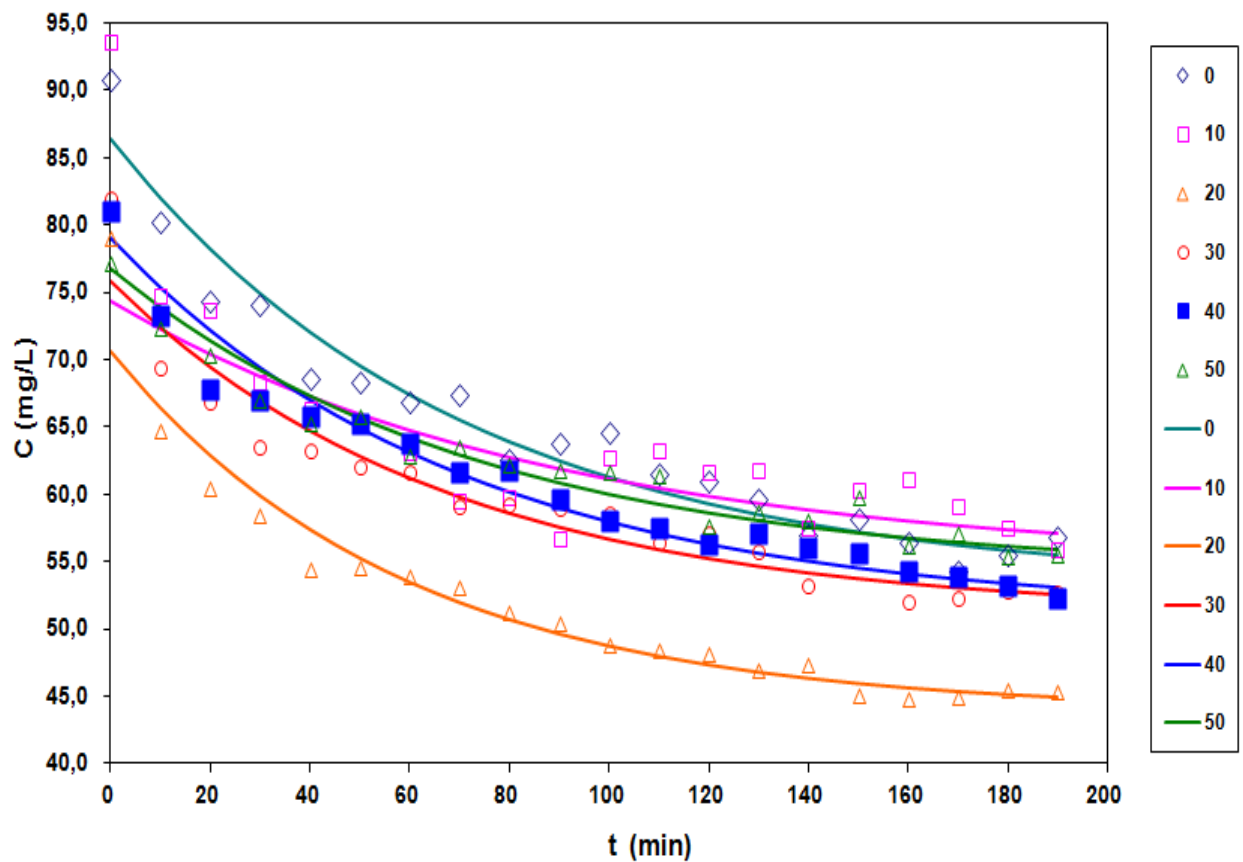


**Πινάκας 6.17:** Πειραματικά δεδομένα και υπολογισμός των παραμέτρων της Lagergren για προσρόφιση methylene blue σε άχυρο σιταριού προκατεργασμένο - αυτοϋδρόλυση στους 180° C για διάλυμα methylene blue με αρχική συγκέντρωση  $C_0=78$  mg/l, (χρόνος προθέρμανσης 47 min)

t (min)	Πειραματικές τιμές $C_e$ σε mg/l για τους αντίστοιχους χρόνους αυτοϋδρόλυσης άχυρου σιταριού						Θεωρητικές τιμές $C_0$ σε mg/l για τους αντίστοιχους χρόνους αυτοϋδρόλυσης άχυρου σιταριού					
	0min	10min	20min	30min	40min	50min	0min	10min	20min	30min	40min	50min
0	90,8	93,6	79,1	82,0	81,0	77,2	86,4	74,4	70,7	75,9	79,1	76,7
10	80,2	74,8	64,7	69,4	73,2	72,4	82,0	72,3	66,5	72,4	75,4	73,9
20	74,4	73,7	60,4	66,8	67,8	70,3	78,2	70,5	62,9	69,5	72,2	71,4
30	74,0	68,3	58,4	63,5	67,0	67,0	74,9	68,8	59,9	66,9	69,4	69,2
40	68,6	66,3	54,5	63,3	65,8	65,3	72,0	67,3	57,4	64,7	67,0	67,3
50	68,3	65,4	54,6	62,1	65,3	65,8	69,5	66,0	55,3	62,8	65,0	65,7
60	66,8	63,1	53,9	61,7	63,8	62,9	67,4	64,8	53,5	61,2	63,2	64,2
70	67,4	59,5	53,1	59,1	61,6	63,5	65,5	63,7	52,0	59,8	61,6	62,9
80	62,5	59,7	51,2	59,3	61,8	62,1	63,9	62,8	50,7	58,6	60,2	61,8
90	63,9	56,7	50,4	58,9	59,6	61,8	62,5	61,9	49,6	57,5	59,0	60,9
100	64,6	62,7	48,9	58,6	58,0	61,7	61,2	61,2	48,7	56,6	58,0	60,0
110	61,5	63,2	48,4	56,4	57,5	61,4	60,2	60,5	47,9	55,9	57,1	59,3
120	61,0	61,6	48,1	57,1	56,3	57,6	59,3	59,9	47,3	55,2	56,4	58,6
130	59,7	61,7	46,9	55,8	57,1	58,8	58,5	59,3	46,8	54,6	55,7	58,1
140	57,0	57,5	47,3	53,3	56,1	58,1	57,8	58,8	46,3	54,1	55,1	57,6
150	58,2	60,3	45,1	55,8	55,6	59,8	57,2	58,4	45,9	53,7	54,6	57,2
160	56,5	61,2	44,7	52,1	54,3	56,2	56,6	58,0	45,6	53,3	54,2	56,8
170	54,3	59,2	45,0	52,4	53,8	57,1	56,2	57,7	45,3	53,0	53,8	56,5
180	55,4	57,5	45,5	52,8	53,2	55,3	55,8	57,4	45,1	52,7	53,4	56,2
190	56,9	55,9	45,4	52,7	52,3	55,4	55,5	57,1	44,9	52,5	53,2	55,9

$C_e$ (mg/L)	53,2	54,8	43,8	51,0	51,3	54,2
$C_o$ (mg/L)	86,4	74,4	70,7	75,9	79,1	76,7
$k$ ( $min^{-1}$ )	0,0142	0,0113	0,0171	0,0149	0,0141	0,0135
sum	83,3818	481,522	96,763	87,3649	43,4365	33,3736
$n-p$	18	18	18	18	18	18
SEE	2,15228	5,17216	2,31856	2,20309	1,55343	1,36165

Σχήμα 6.17: Πειραματικές τιμές και θεωρητικές καμπύλες της συγκέντρωσης methylene blue συναρτήσει του χρόνου  $t$  (min) κατά την προσρόφηση αυτού σε άχυρο σιταριού προκατεργασμένο αυτοϋδρόλυση στους  $180^\circ C$  για 0 έως 50 min,  $C_o=78$  mg/l

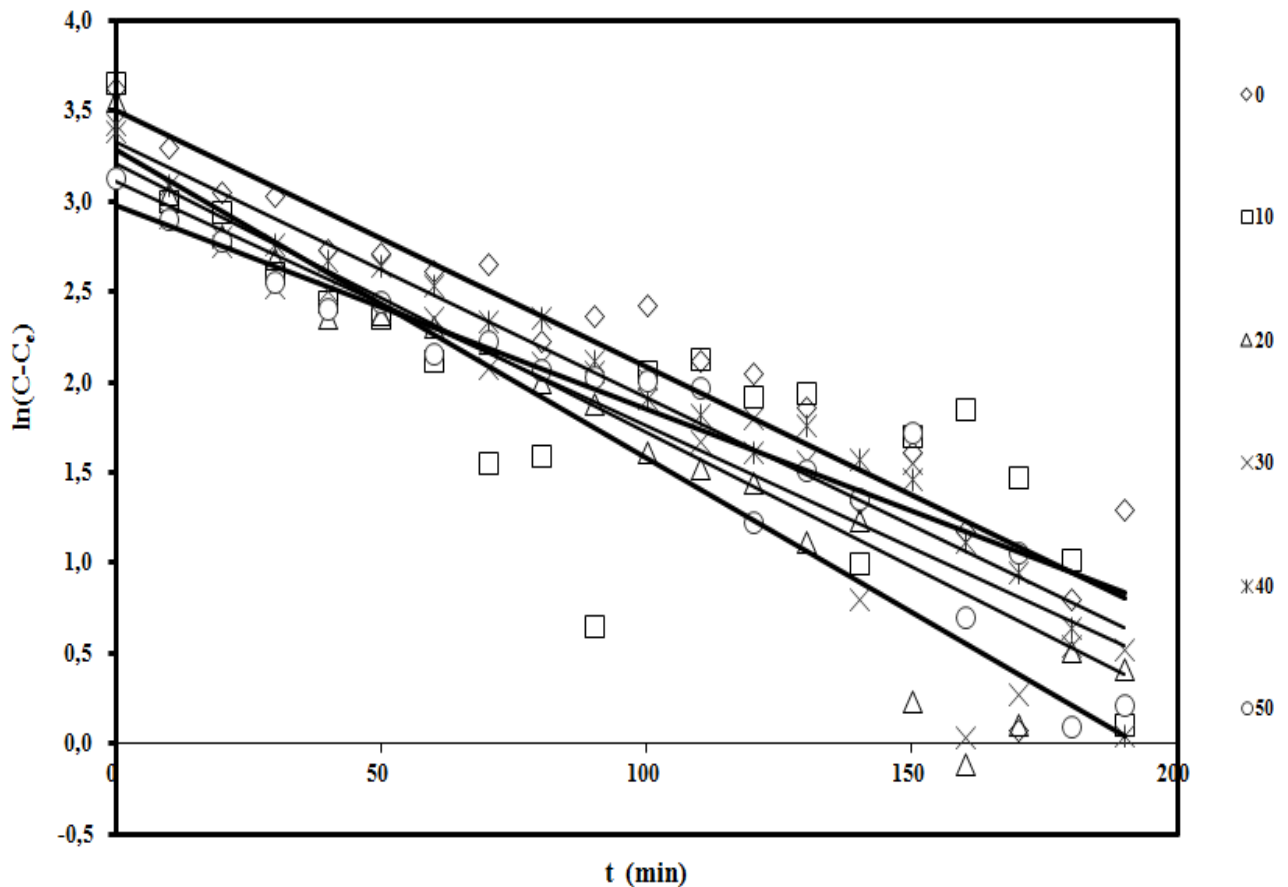


**Πίνακας 6.18:**  $\ln(C-C_e)$  των επεξεργασμένων πειραματικών αποτελεσμάτων ως προς το χρόνο  $t$  (min) για προσρόφιση methylene blue σε άχυρο σιταριού προκατεργασμένο-αυτοϋδρόλυση στους  $180^\circ\text{C}$  για 0 έως 50 min,  $C_0=78\text{ mg/l}$  (χρόνος προθέρμανσης 47 min)

t (min)	0 min	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min
0	3,62562	3,65958	3,56129	3,43157	3,39347	3,13414
10	3,29486	2,99749	3,03853	2,90867	3,08932	2,8991
20	3,05239	2,94201	2,80918	2,75754	2,80645	2,78061
30	3,03564	2,60609	2,68055	2,52234	2,75957	2,55155
40	2,73464	2,44817	2,36246	2,50258	2,67929	2,40642
50	2,71333	2,36269	2,37762	2,39994	2,64335	2,44942
60	2,61137	2,11841	2,30753	2,36239	2,53139	2,16307
70	2,65227	1,55684	2,22052	2,08159	2,33704	2,22786
80	2,23135	1,59601	1,99832	2,10825	2,35519	2,07015
90	2,36455	0,65718	1,88625	2,06457	2,1219	2,03185
100	2,43101	2,06491	1,61045	2,02249	1,91355	2,01032
110	2,11752	2,13135	1,52634	1,67492	1,82598	1,97338
120	2,05362	1,92111	1,44727	1,79869	1,61314	1,2253
130	1,86709	1,94075	1,12119	1,56243	1,76303	1,51927
140	1,3395	0,9984	1,23685	0,8019	1,57468	1,35202
150	1,61099	1,70015	0,23909	1,55102	1,46843	1,72715
160	1,17836	1,85557	-0,11115	0,04087	1,12228	0,7058
170	0,08251	1,47977	0,10367	0,27129	0,9499	1,06164
180	0,79812	1,01815	0,51424	0,54037	0,64716	0,10076
190	1,29605	0,11146	0,41306	0,52451	0,04501	0,21608

<b>C<sub>e</sub> (mg/L)</b>	53,2145	54,7776	43,8456	51,044	51,2557	54,1946
<b>C<sub>o</sub> (mg/L)</b>	86,3862	74,4137	70,668	75,8851	79,0513	76,7467
<b>ln(C<sub>o</sub>-C<sub>e</sub>)</b>	3,5017	2,9774	3,2892	3,2125	3,3249	3,1158
<b>k (min<sup>-1</sup>)</b>	0,0142	0,0113	0,0171	0,0149	0,0141	0,0135
<b>R</b>	-0,9393	-0,7960	-0,9663	-0,9444	-0,9744	-0,9478
<b>R<sup>2</sup></b>	0,8823	0,6336	0,9337	0,8918	0,9495	0,8983

**Σχήμα 6.18:** ln(C- C<sub>e</sub>), συναρτήσει του χρόνου t (min) για προσρόφηση methylene blue σε άχυρο σιταριού προκατεργασμένο-αυτοϋδρόλυση στους 180° C για 0 έως 50 min, Co=78 mg/l (χρόνος προθέρμανσης 47 min)

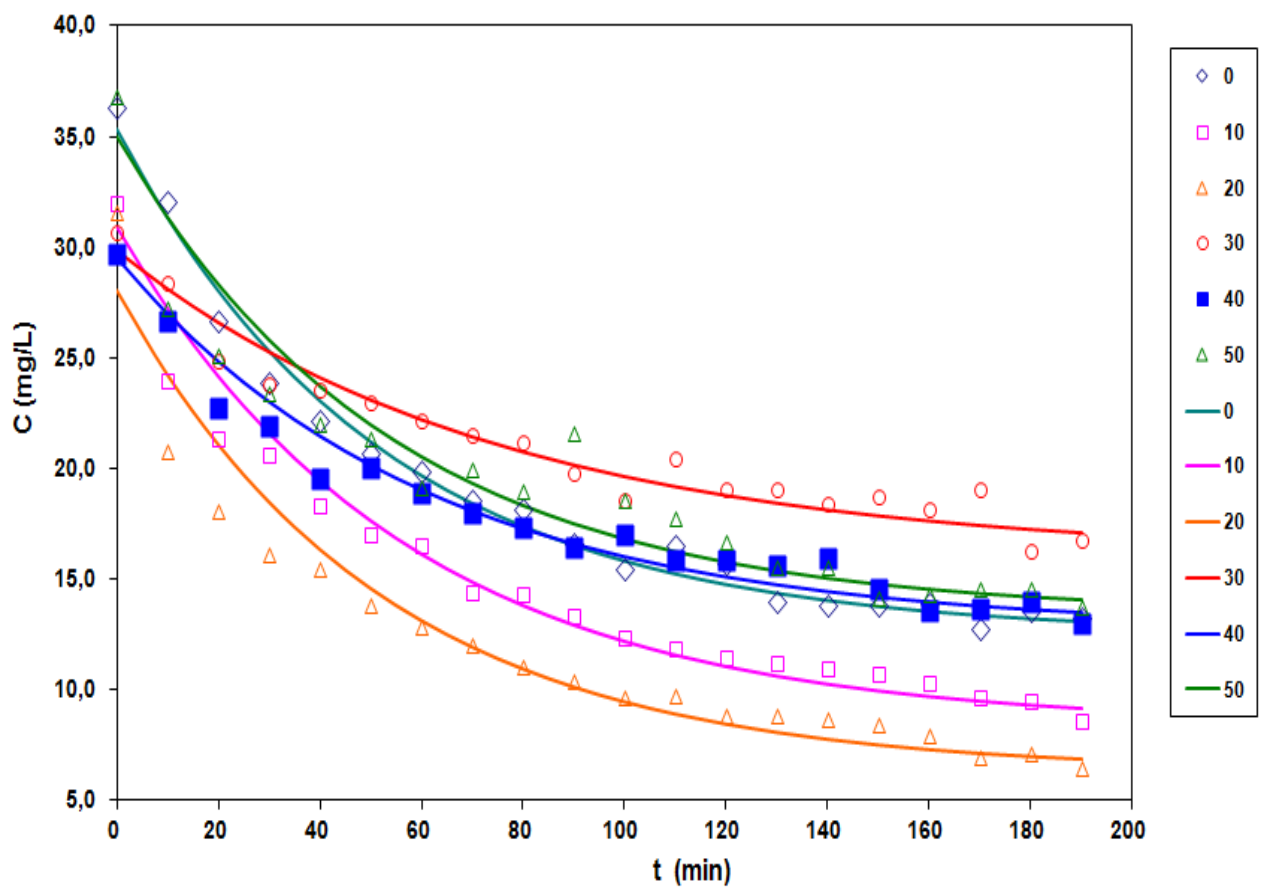


**Πινάκας 6.19:** Πειραματικά δεδομένα και υπολογισμός των παραμέτρων της Lagergren για προσρόφιση methylene blue σε άχυρο σιταριού προκατεργασμένο - αυτοϋδρόλυση στους 180° C για διάλυμα methylene blue με αρχική συγκέντρωση  $C_0 = 31,2 \text{ mg/l}$ , (χρόνος προθέρμανσης 47 min)

t (min)	Πειραματικές τιμές $C_e$ σε mg/l για τους αντίστοιχους χρόνους αυτοϋδρόλυσης άχυρου σιταριού						Θεωρητικές τιμές $C_0$ σε mg/l για τους αντίστοιχους χρόνους αυτοϋδρόλυσης άχυρου σιταριού					
	0min	10min	20min	30min	40min	50min	0min	10min	20min	30min	40min	50min
0	36,3	32,0	31,6	30,7	29,7	36,8	35,3	30,9	28,1	29,9	29,5	35,0
10	32,1	23,9	20,7	28,4	26,6	27,2	31,3	27,3	24,3	28,1	27,0	31,4
20	26,7	21,4	18,1	24,9	22,7	25,1	28,0	24,2	21,1	26,6	24,9	28,3
30	23,9	20,6	16,1	23,8	21,9	23,4	25,3	21,6	18,5	25,3	23,0	25,8
40	22,1	18,3	15,4	23,5	19,5	22,0	23,1	19,5	16,4	24,1	21,5	23,7
50	20,7	17,0	13,8	22,9	20,0	21,3	21,2	17,6	14,6	23,1	20,2	22,0
60	19,9	16,6	12,8	22,1	18,9	19,2	19,7	16,1	13,2	22,2	19,0	20,5
70	18,6	14,4	12,0	21,5	18,0	20,0	18,4	14,9	12,0	21,4	18,1	19,4
80	18,2	14,3	11,0	21,2	17,4	18,9	17,4	13,8	11,0	20,7	17,3	18,4
90	16,6	13,3	10,4	19,8	16,5	21,6	16,5	12,9	10,2	20,1	16,6	17,5
100	15,5	12,3	9,7	18,6	17,0	18,6	15,8	12,2	9,5	19,6	16,0	16,8
110	16,5	11,9	9,7	20,5	15,8	17,7	15,2	11,6	8,9	19,2	15,5	16,3
120	15,7	11,5	8,8	19,1	15,8	16,7	14,7	11,0	8,5	18,8	15,1	15,8
130	14,0	11,2	8,8	19,0	15,6	15,6	14,4	10,6	8,1	18,4	14,7	15,4
140	13,8	11,0	8,7	18,4	16,0	15,6	14,0	10,2	7,8	18,1	14,4	15,1
150	13,8	10,7	8,5	18,7	14,6	14,1	13,8	9,9	7,5	17,8	14,2	14,8
160	13,9	10,3	7,9	18,2	13,6	14,3	13,5	9,7	7,3	17,6	14,0	14,6
170	12,7	9,6	7,0	19,1	13,6	14,6	13,3	9,5	7,2	17,4	13,8	14,4
180	13,6	9,5	7,1	16,3	14,0	14,6	13,2	9,3	7,0	17,2	13,6	14,2
190	13,2	8,6	6,5	16,8	13,0	13,7	13,1	9,1	6,9	17,1	13,5	14,1

$C_e$ (mg/L)	12,5	8,4	6,4	16,0	12,7	13,5
$C_o$ (mg/L)	35,3	30,9	28,1	29,9	29,5	35,0
$k$ ( $min^{-1}$ )	0,0193	0,0178	0,0193	0,0134	0,0163	0,0185
<i>sum</i>	10,3966	26,3304	44,919	15,026	15,378	65,5106
<i>n-p</i>	18	18	18	18	18	18
<i>SEE</i>	0,75999	1,20946	1,57972	0,91366	0,9243	1,90774

**Σχήμα 6.19:** Πειραματικές τιμές και θεωρητικές καμπύλες της συγκέντρωσης methylene blue συναρτήσει του χρόνου  $t$  (min) κατά την προσρόφηση αυτού σε άχυρο σιταριού προκατεργασμένο αυτοϋδρόλυση στους  $180^\circ C$  για 0 έως 50 min,  $C_o=31,2$  mg/l



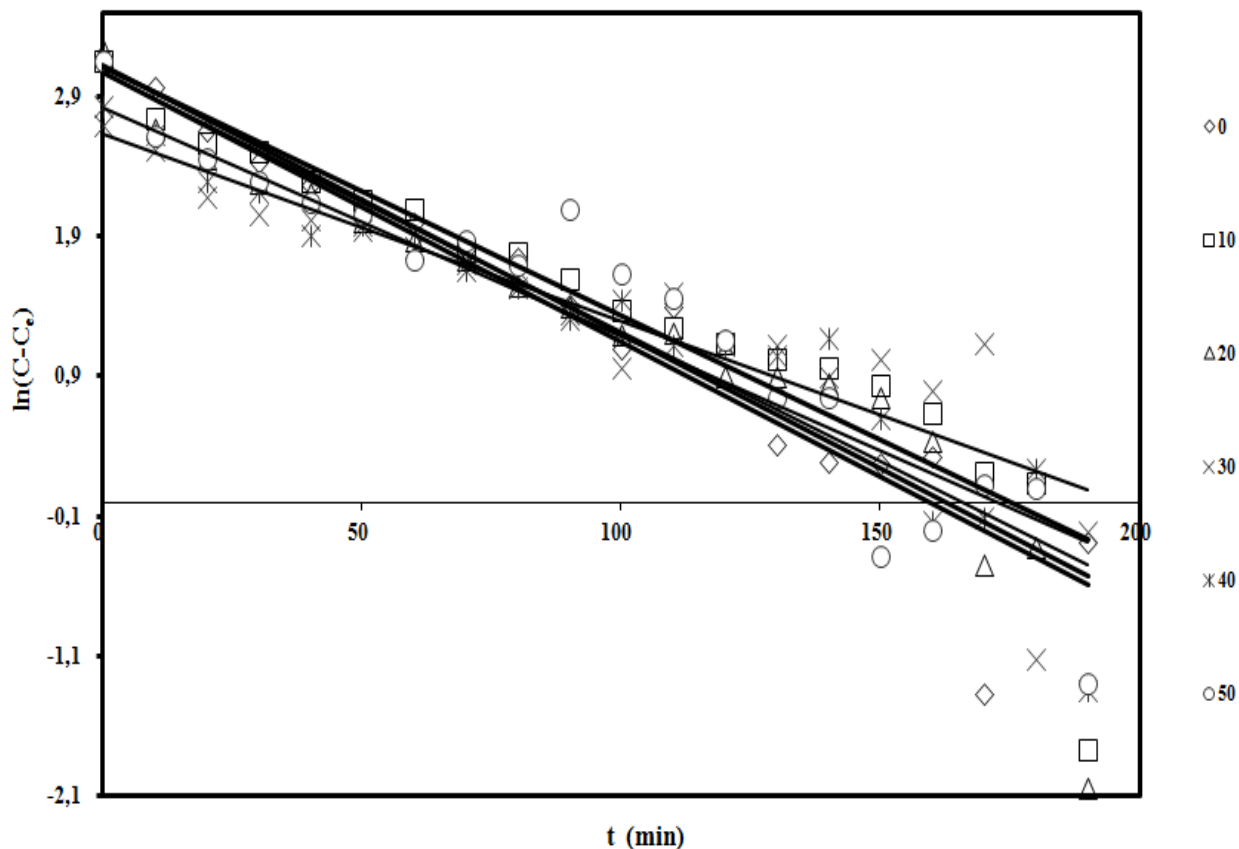


**Πίνακας 6.20:**  $\ln(C-C_e)$  των επεξεργασμένων πειραματικών αποτελεσμάτων ως προς το χρόνο  $t$  (min) για προσρόφιση methylene blue σε άχυρο σιταριού προκατεργασμένο-αυτοϋδρόλυση στους  $180^\circ\text{C}$  για 0 έως 50 min,  $C_0=31,2\text{ mg/l}$  (χρόνος προθέρμανσης 47 min)

t (min)	0 min	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min
0	3,16937	3,16098	3,22913	2,68858	2,83179	3,14947
10	2,97388	2,7441	2,66698	2,5205	2,63103	2,62363
20	2,65451	2,56418	2,46043	2,1867	2,29845	2,45894
30	2,43546	2,50094	2,27905	2,05633	2,2145	2,29719
40	2,26803	2,29266	2,20496	2,02352	1,91284	2,14182
50	2,10279	2,15316	2,01123	1,94387	1,98326	2,06251
60	1,99759	2,10089	1,86898	1,82177	1,81756	1,74013
70	1,81083	1,79404	1,72972	1,71071	1,65361	1,8718
80	1,74031	1,78609	1,54486	1,65987	1,52962	1,70275
90	1,40938	1,59886	1,40247	1,353	1,3135	2,09373
100	1,10158	1,37051	1,20385	0,96065	1,44739	1,6285
110	1,39149	1,25102	1,21066	1,50141	1,12884	1,45611
120	1,16349	1,13098	0,90439	1,14079	1,12884	1,16183
130	0,40913	1,0287	0,8952	1,11692	1,0479	0,74703
140	0,29235	0,96029	0,848	0,90273	1,1745	0,74703
150	0,27451	0,83837	0,74652	1,0243	0,60039	-0,38908
160	0,32711	0,64125	0,43751	0,7982	-0,13556	-0,19814
170	-1,36725	0,21177	-0,45116	1,14079	-0,10883	0,12198
180	0,09795	0,13521	-0,32099	-1,12154	0,24366	0,10066
190	-0,2893	-1,76582	-2,04296	-0,21134	-1,34716	-1,29241

<b>C<sub>e</sub> (mg/L)</b>	12,4855	8,38126	6,35259	15,9631	12,7388	13,4558
<b>C<sub>o</sub> (mg/L)</b>	35,3295	30,9464	28,0857	29,8761	29,5401	34,9891
<b>ln(C<sub>o</sub>-C<sub>e</sub>)</b>	3,1287	3,1164	3,0788	2,6328	2,8215	3,0696
<b>k (min<sup>-1</sup>)</b>	0,0193	0,0178	0,0193	0,0134	0,0163	0,0185
<b>R</b>	-0,9578	-0,9370	-0,9393	-0,8889	-0,9418	-0,9449
<b>R<sup>2</sup></b>	0,9174	0,8779	0,8824	0,7901	0,8871	0,8928

**Σχήμα 6.20:** ln(C- C<sub>e</sub>), συναρτήσει του χρόνου t (min) για προσρόφηση methylene blue σε άχυρο σιταριού προκατεργασμένο-αυτοϋδρόλυση στους 180° C για 0 έως 50 min, Co=31,2 mg/l (χρόνος προθέρμανσης 47 min)

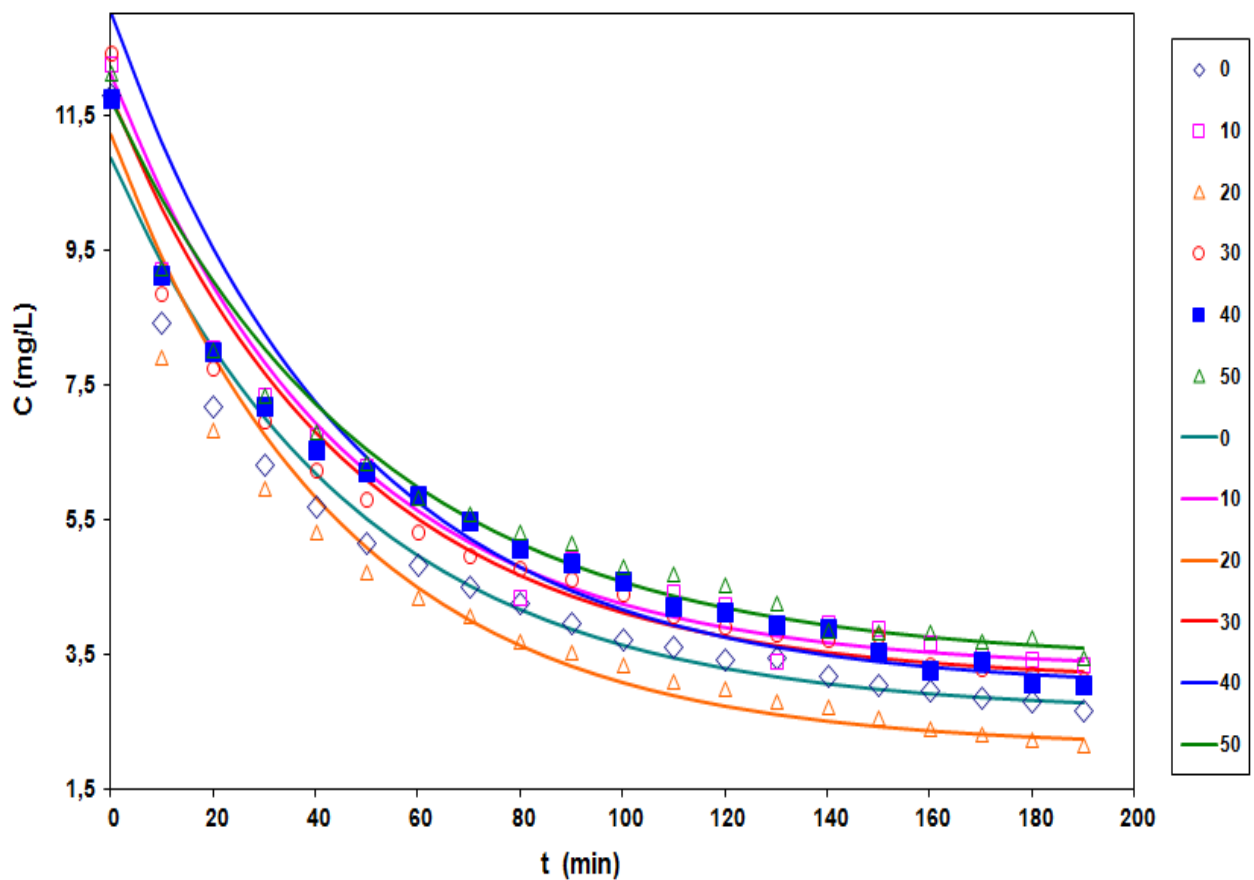


**Πινάκας 6.21:** Πειραματικά δεδομένα και υπολογισμός των παραμέτρων της Lagergren για προσρόφιση methylene blue σε άχυρο σιταριού προκατεργασμένο - αυτοϋδρόλυση στους 180° C για διάλυμα methylene blue με αρχική συγκέντρωση  $C_0 = 14 \text{ mg/l}$ , (χρόνος προθέρμανσης 47 min)

t (min)	Πειραματικές τιμές $C_e$ σε mg/l για τους αντίστοιχους χρόνους αυτοϋδρόλυσης άχυρου σιταριού						Θεωρητικές τιμές $C_0$ σε mg/l για τους αντίστοιχους χρόνους αυτοϋδρόλυσης άχυρου σιταριού					
	0min	10min	20min	30min	40min	50min	0min	10min	20min	30min	40min	50min
0	11,8	12,3	11,8	12,4	11,8	12,1	10,8	12,1	11,2	11,8	13,0	11,7
10	8,4	9,2	7,9	8,9	9,1	9,2	9,3	10,3	9,4	10,1	11,1	10,3
20	7,2	8,0	6,8	7,7	8,0	8,0	8,0	9,0	7,9	8,8	9,5	9,0
30	6,3	7,3	6,0	7,0	7,2	7,3	7,0	7,8	6,8	7,7	8,3	8,0
40	5,7	6,7	5,3	6,2	6,5	6,8	6,2	6,9	5,8	6,8	7,2	7,2
50	5,2	6,3	4,7	5,8	6,2	6,3	5,5	6,2	5,1	6,1	6,4	6,5
60	4,8	5,8	4,3	5,3	5,8	5,8	5,0	5,6	4,5	5,5	5,8	6,0
70	4,5	5,5	4,1	5,0	5,5	5,6	4,5	5,2	4,0	5,0	5,2	5,5
80	4,3	4,3	3,7	4,8	5,1	5,3	4,1	4,8	3,6	4,7	4,8	5,1
90	4,0	4,9	3,5	4,6	4,8	5,1	3,9	4,5	3,3	4,3	4,4	4,8
100	3,7	4,6	3,3	4,4	4,6	4,8	3,6	4,2	3,1	4,1	4,2	4,6
110	3,6	4,4	3,1	4,1	4,2	4,7	3,4	4,1	2,9	3,9	3,9	4,4
120	3,4	4,2	3,0	3,9	4,1	4,5	3,3	3,9	2,7	3,7	3,8	4,2
130	3,4	3,4	2,8	3,8	3,9	4,3	3,1	3,8	2,6	3,6	3,6	4,0
140	3,2	4,0	2,7	3,7	3,9	3,8	3,0	3,7	2,5	3,5	3,5	3,9
150	3,0	3,9	2,5	3,8	3,5	3,8	3,0	3,6	2,4	3,4	3,4	3,8
160	3,0	3,7	2,4	3,3	3,3	3,8	2,9	3,5	2,4	3,4	3,3	3,7
170	2,9	3,5	2,3	3,3	3,4	3,7	2,8	3,5	2,3	3,3	3,2	3,7
180	2,8	3,4	2,2	3,2	3,1	3,7	2,8	3,4	2,3	3,3	3,2	3,6
190	2,7	3,3	2,2	3,1	3,0	3,4	2,8	3,4	2,2	3,2	3,2	3,6

$C_e$ (mg/L)	2,6	3,3	2,1	3,1	3,0	3,4
$C_o$ (mg/L)	10,8	12,1	11,2	11,8	13,0	11,7
$k$ ( $min^{-1}$ )	0,0210	0,0220	0,0224	0,0213	0,0214	0,0194
<i>sum</i>	3,45053	3,60164	4,98783	4,38723	10,4005	3,47394
<i>n-p</i>	18	18	18	18	18	18
<i>SEE</i>	0,43783	0,44732	0,5264	0,4937	0,76013	0,43931

**Σχήμα 6.21:** Πειραματικές τιμές και θεωρητικές καμπύλες της συγκέντρωσης methylene blue συναρτήσει του χρόνου  $t$  (min) κατά την προσρόφηση αυτού σε άχυρο σιταριού προκατεργασμένο αυτοϋδρόλυση στους  $180^\circ C$  για 0 έως 50 min,  $C_o=14$  mg/l

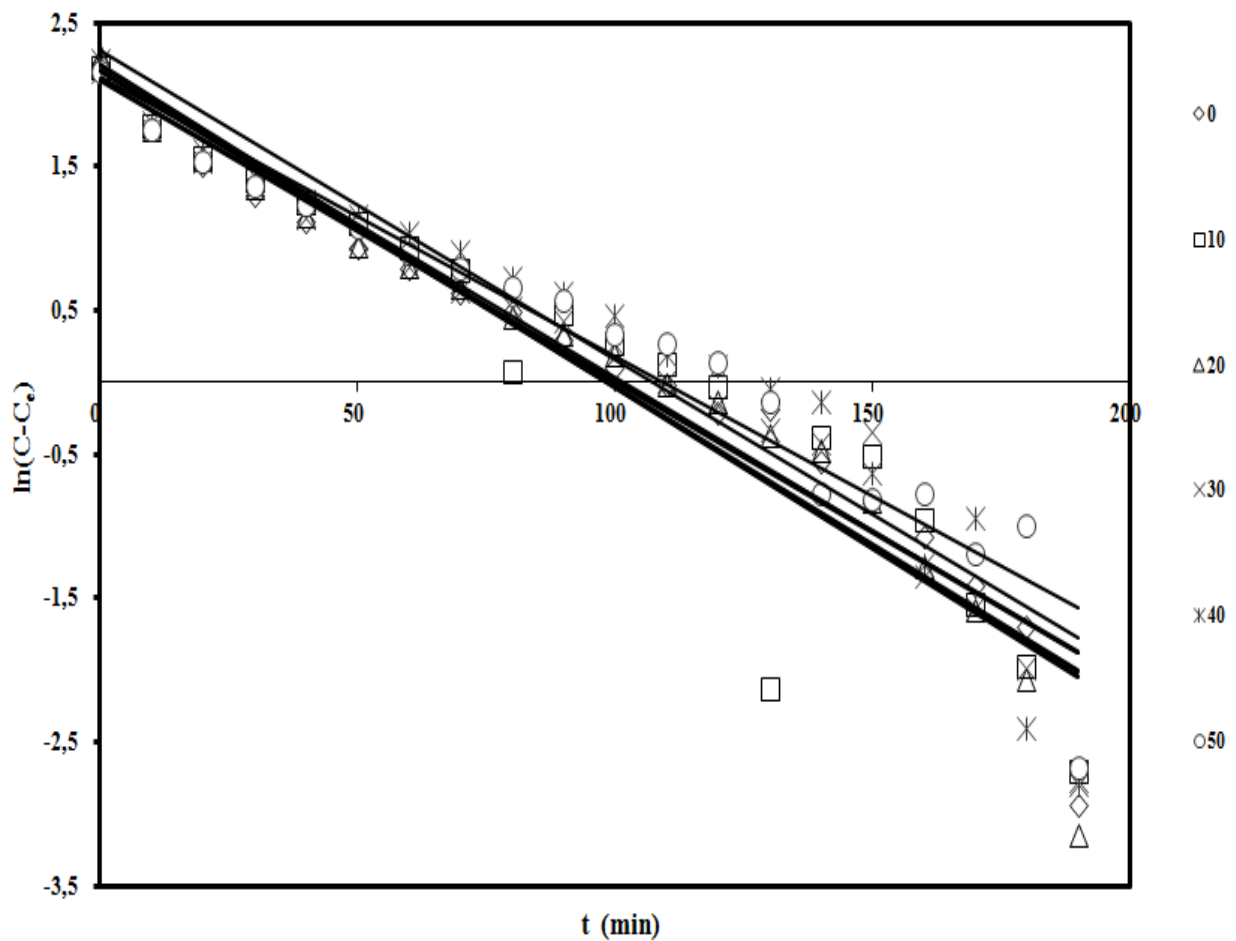


**Πίνακας 6.22:**  $\ln(C-C_e)$  των επεξεργασμένων πειραματικών αποτελεσμάτων ως προς το χρόνο  $t$  (min) για προσρόφιση methylene blue σε άχυρο σιταριού προκατεργασμένο-αυτοϋδρόλυση στους  $180^\circ\text{C}$  για 0 έως 50 min,  $C_0=14\text{ mg/l}$  (χρόνος προθέρμανσης 47 min)

t (min)	0 min	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min
0	2,21868	2,19549	2,26646	2,23724	2,17063	2,16825
10	1,75723	1,78272	1,75972	1,7561	1,81575	1,76632
20	1,51819	1,56045	1,5523	1,54179	1,6121	1,53478
30	1,30813	1,40611	1,3513	1,35835	1,43389	1,37593
40	1,12808	1,24646	1,16566	1,15206	1,26776	1,23255
50	0,93541	1,10479	0,9575	1,00341	1,16507	1,0827
60	0,79474	0,94187	0,80451	0,81027	1,04837	0,89542
70	0,63084	0,78086	0,66972	0,63599	0,91637	0,79312
80	0,49829	0,07682	0,45287	0,52646	0,72758	0,66101
90	0,29741	0,48802	0,34398	0,42943	0,62004	0,57071
100	0,10677	0,2796	0,20085	0,27502	0,46821	0,34517
110	-0,00767	0,13031	-0,01322	0,01167	0,1918	0,27283
120	-0,20606	-0,03121	-0,1341	-0,15963	0,11787	0,13662
130	-0,18794	-2,12456	-0,3606	-0,32838	-0,046	-0,127
140	-0,55246	-0,37897	-0,47554	-0,41866	-0,12542	-0,76848
150	-0,82993	-0,50717	-0,8226	-0,3397	-0,62095	-0,81012
160	-1,07492	-0,95898	-1,28125	-1,34623	-1,27194	-0,77432
170	-1,40547	-1,53449	-1,58409	-1,56649	-0,93485	-1,18987
180	-1,69806	-1,96764	-2,06088	-1,97779	-2,39975	-0,98928
190	-2,9318	-2,7076	-3,14592	-2,77173	-2,7976	-2,67486

<b>C<sub>e</sub> (mg/L)</b>	2,61174	3,26814	2,10834	3,06514	2,98686	3,3769
<b>C<sub>o</sub> (mg/L)</b>	10,8500	12,0881	11,2023	11,7791	13,015	11,7293
<b>ln(C<sub>o</sub>-C<sub>e</sub>)</b>	2,1088	2,1770	2,2076	2,1649	2,3054	2,1226
<b>k (min<sup>-1</sup>)</b>	0,0210	0,0220	0,0224	0,0213	0,0214	0,0194
<b>R</b>	-0,9725	-0,9413	-0,9694	-0,9690	-0,9514	-0,9640
<b>R<sup>2</sup></b>	0,9458	0,8860	0,9398	0,9390	0,9051	0,9292

**Σχήμα 6.22:** ln(C- C<sub>e</sub>), συναρτήσει του χρόνου t (min) για προσρόφηση methylene blue σε άχυρο σιταριού προκατεργασμένο-αυτοϋδρόλυση στους 180° C για 0 έως 50 min, C<sub>o</sub>=14 mg/l (χρόνος προθέρμανσης 47 min)

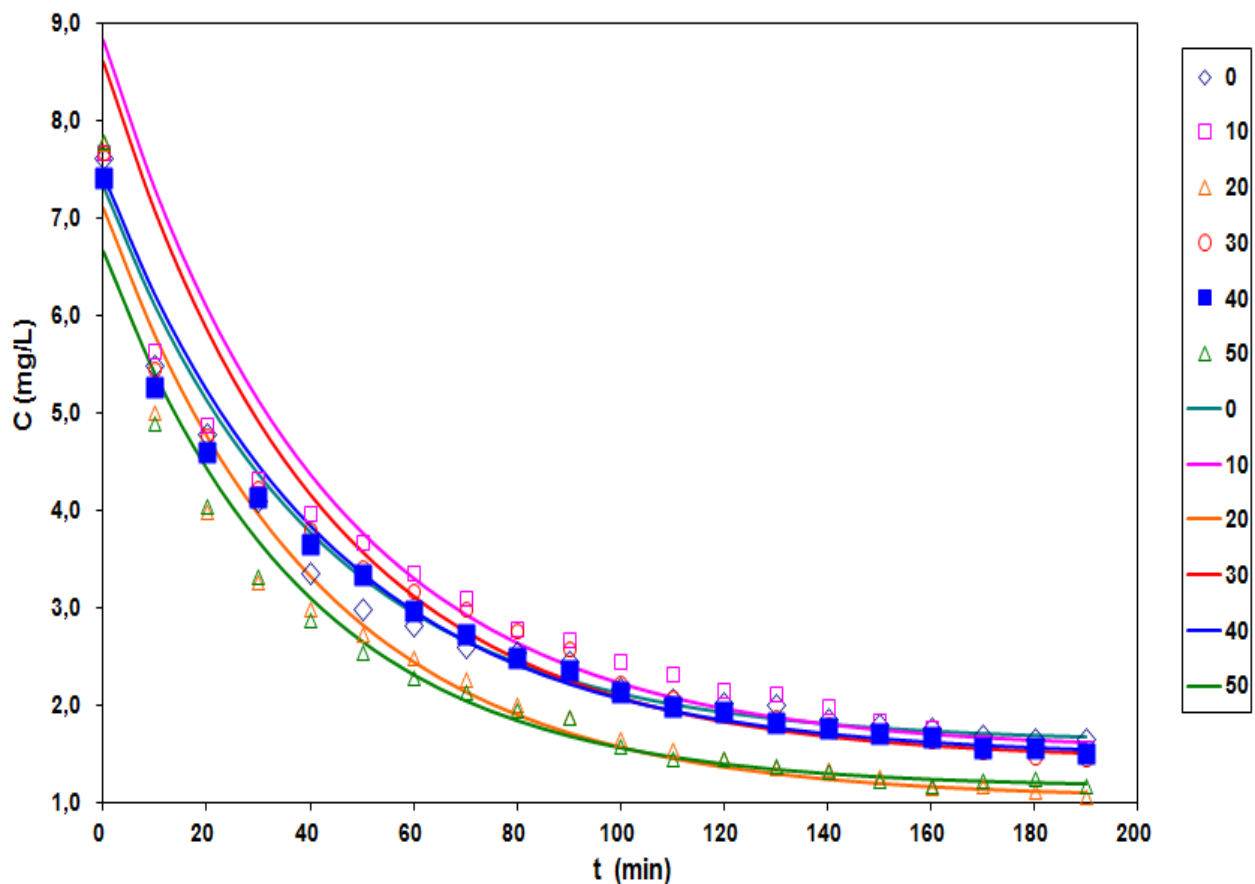


**Πινάκας 6.23:** Πειραματικά δεδομένα και υπολογισμός των παραμέτρων της Lagergren για προσρόφιση methylene blue σε άχυρο σιταριού προκατεργασμένο - αυτοϋδρόλυση στους 180° C για διάλυμα methylene blue με αρχική συγκέντρωση  $C_0=7,8$  mg/l, (χρόνος προθέρμανσης 47 min)

t (min)	Πειραματικές τιμές $C_e$ σε mg/l για τους αντίστοιχους χρόνους αυτοϋδρόλυσης άχυρου σιταριού						Θεωρητικές τιμές $C_0$ σε mg/l για τους αντίστοιχους χρόνους αυτοϋδρόλυσης άχυρου σιταριού					
	0min	10min	20min	30min	40min	50min	0min	10min	20min	30min	40min	50min
0	7,6	7,7	7,8	7,7	7,4	7,8	7,3	8,8	7,1	8,6	7,4	6,7
10	5,5	5,6	5,0	5,5	5,3	4,9	6,1	7,3	5,8	7,1	6,2	5,4
20	4,8	4,9	4,0	4,8	4,6	4,1	5,1	6,1	4,8	5,9	5,2	4,4
30	4,1	4,3	3,3	4,2	4,1	3,3	4,4	5,1	4,0	4,9	4,5	3,7
40	3,4	4,0	3,0	3,8	3,7	2,9	3,8	4,4	3,3	4,2	3,9	3,1
50	3,0	3,7	2,7	3,4	3,4	2,5	3,3	3,8	2,8	3,6	3,4	2,7
60	2,8	3,4	2,5	3,2	3,0	2,3	2,9	3,3	2,5	3,1	3,0	2,3
70	2,6	3,1	2,3	3,0	2,7	2,1	2,7	2,9	2,1	2,8	2,7	2,0
80	2,5	2,8	2,0	2,8	2,5	2,0	2,4	2,6	1,9	2,5	2,4	1,8
90	2,5	2,7	1,9	2,6	2,4	1,9	2,3	2,4	1,7	2,2	2,2	1,7
100	2,2	2,4	1,7	2,2	2,1	1,6	2,1	2,2	1,6	2,1	2,1	1,6
110	2,1	2,3	1,5	2,1	2,0	1,4	2,0	2,1	1,5	1,9	1,9	1,5
120	2,0	2,2	1,5	1,9	1,9	1,4	1,9	2,0	1,4	1,8	1,8	1,4
130	2,0	2,1	1,4	1,9	1,8	1,4	1,9	1,9	1,3	1,7	1,8	1,3
140	1,9	2,0	1,3	1,8	1,8	1,3	1,8	1,8	1,2	1,7	1,7	1,3
150	1,8	1,8	1,3	1,7	1,7	1,2	1,8	1,7	1,2	1,6	1,7	1,3
160	1,8	1,8	1,2	1,6	1,7	1,2	1,7	1,7	1,2	1,6	1,6	1,2
170	1,7	1,6	1,2	1,5	1,6	1,2	1,7	1,7	1,1	1,5	1,6	1,2
180	1,7	1,6	1,1	1,5	1,6	1,2	1,7	1,6	1,1	1,5	1,6	1,2
190	1,7	1,6	1,1	1,5	1,5	1,2	1,7	1,6	1,1	1,5	1,5	1,2

$C_e$ (mg/L)	1,6	1,5	1,0	1,4	1,5	1,1
$C_o$ (mg/L)	7,3	8,8	7,1	8,6	7,4	6,7
$k$ ( $min^{-1}$ )	0,0243	0,0236	0,0244	0,0241	0,0230	0,0259
sum	1,02392	6,6667	2,37686	5,64952	1,48724	1,93498
$n-p$	18	18	18	18	18	18
SEE	0,2385	0,60858	0,36338	0,56023	0,28744	0,32787

**Σχήμα 6.23:** Πειραματικές τιμές και θεωρητικές καμπύλες της συγκέντρωσης methylene blue συναρτήσει του χρόνου  $t$  (min) κατά την προσρόφηση αυτού σε άχυρο σιταριού προκατεργασμένο αυτοϋδρόλυση στους  $180^\circ C$  για 0 έως 50 min,  $C_o=7,8$  mg/l



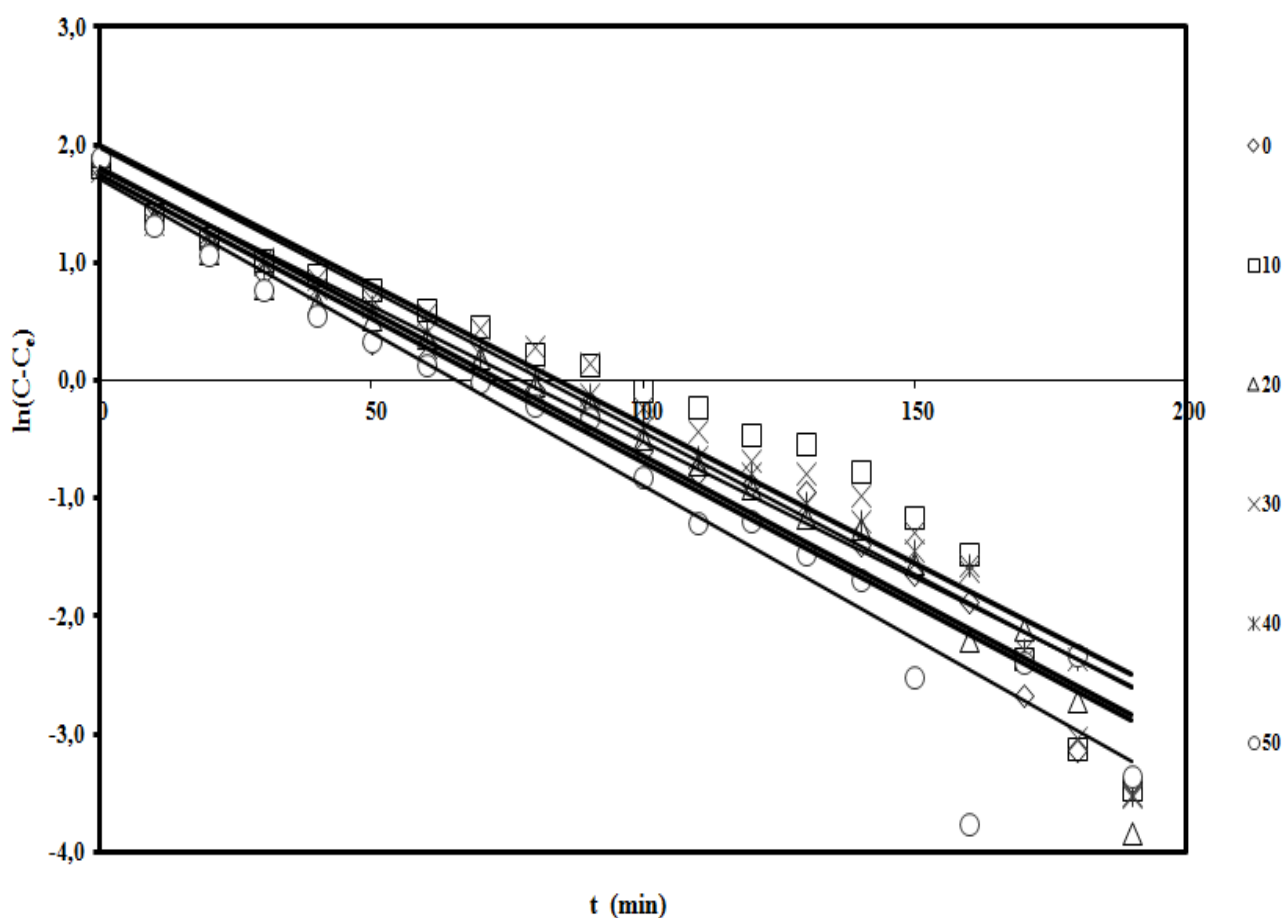


**Πίνακας 6.24:**  $\ln(C-C_e)$  των επεξεργασμένων πειραματικών αποτελεσμάτων ως προς το χρόνο  $t$  (min) για προσρόφιση methylene blue σε άχυρο σιταριού προκατεργασμένο-αυτοϋδρόλυση στους  $180^\circ\text{C}$  για 0 έως 50 min,  $C_0=7,8\text{ mg/l}$  (χρόνος προθέρμανσης 47 min)

t (min)	0 min	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min
0	1,79254	1,81621	1,90456	1,83208	1,78329	1,89342
10	1,35446	1,41373	1,37656	1,39352	1,33613	1,32187
20	1,15625	1,20857	1,07687	1,20503	1,14328	1,06717
30	0,90685	1,02703	0,79333	1,0301	0,98172	0,77866
40	0,56084	0,89226	0,66824	0,86264	0,78682	0,54605
50	0,32295	0,76556	0,52055	0,68853	0,63118	0,33609
60	0,19231	0,60113	0,35998	0,56183	0,40958	0,13499
70	-0,01782	0,45602	0,19297	0,44747	0,23003	-0,00614
80	-0,07577	0,23092	-0,04044	0,29148	0,02616	-0,21394
90	-0,17341	0,13057	-0,18913	0,14968	-0,11739	-0,31217
100	-0,60118	-0,0867	-0,48706	-0,21858	-0,39536	-0,82336
110	-0,79109	-0,22994	-0,71488	-0,4207	-0,63844	-1,20326
120	-0,88339	-0,45609	-0,91008	-0,68071	-0,78438	-1,19044
130	-0,93628	-0,53731	-1,16336	-0,79131	-1,03698	-1,46655
140	-1,39108	-0,77278	-1,25786	-0,97652	-1,19367	-1,6965
150	-1,63657	-1,1523	-1,54714	-1,2898	-1,44362	-2,50719
160	-1,88077	-1,46884	-2,20378	-1,60595	-1,56137	-3,75601
170	-2,66342	-2,36618	-2,10603	-2,35149	-2,2882	-2,38991
180	-3,13469	-3,11708	-2,71167	-3,02442	-2,35449	-2,32298
190	-3,40986	-3,46504	-3,84338	-3,53367	-3,50571	-3,36037

<b>C<sub>e</sub> (mg/L)</b>	1,61925	1,53232	1,04964	1,43068	1,47125	1,14546
<b>C<sub>o</sub> (mg/L)</b>	7,3301	8,82322	7,11308	8,60828	7,44584	6,65422
<b>ln(C<sub>o</sub>-C<sub>e</sub>)</b>	1,7424	1,9866	1,8023	1,9710	1,7875	1,7063
<b>k (min<sup>-1</sup>)</b>	0,0243	0,0236	0,0244	0,0241	0,0230	0,0259
<b>R</b>	-0,9826	-0,9565	-0,9788	-0,9688	-0,9818	-0,9707
<b>R<sup>2</sup></b>	0,9655	0,9149	0,9580	0,9386	0,9639	0,9423

**Σχήμα 6.24:** ln(C- C<sub>e</sub>), συναρτήσει του χρόνου t (min) για προσρόφηση methylene blue σε άχυρο σιταριού προκατεργασμένο-αυτοϋδρόλυση στους 180° C για 0 έως 50 min, C<sub>o</sub>=7,8 mg/l (χρόνος προθέρμανσης 47 min)

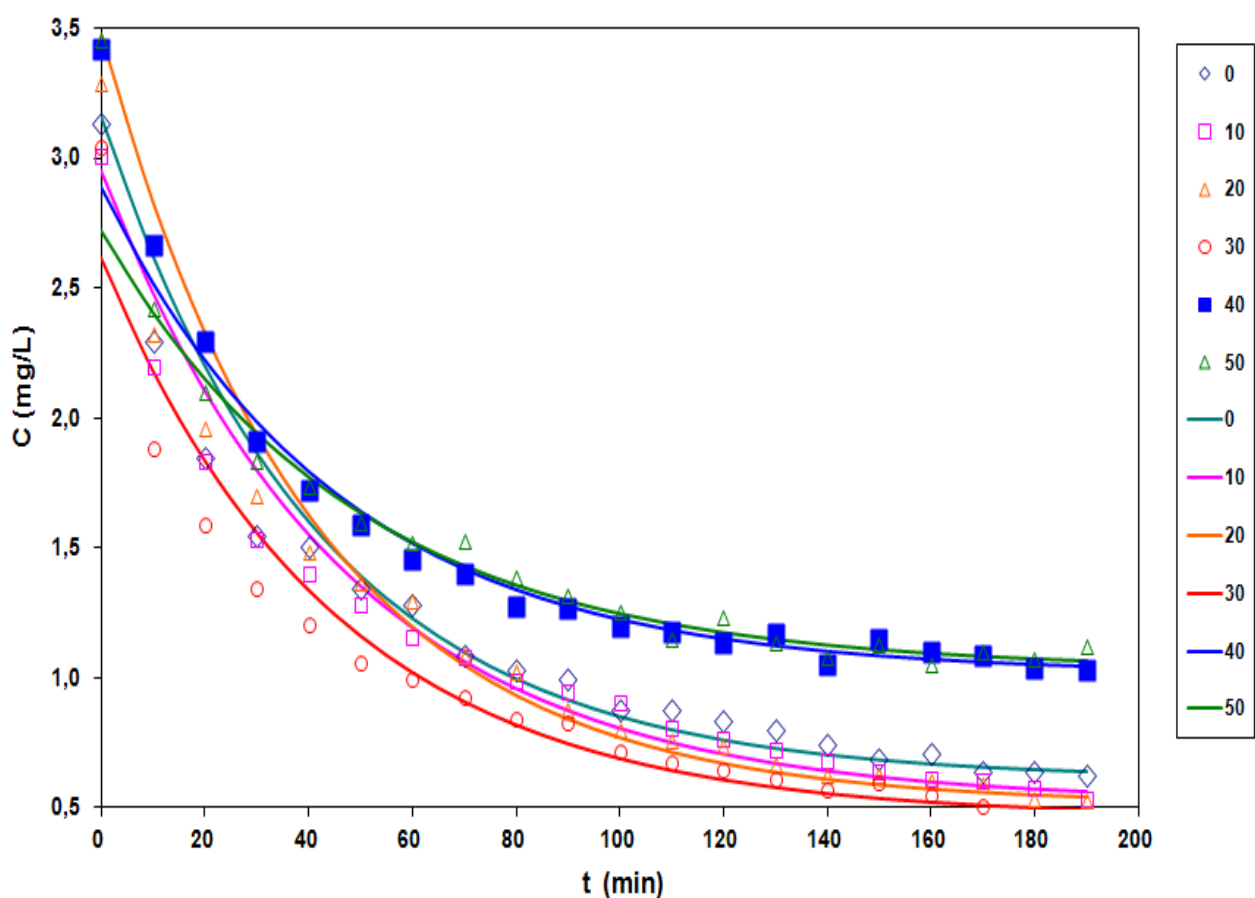


**Πινάκας 6.25:** Πειραματικά δεδομένα και υπολογισμός των παραμέτρων της Lagergren για προσρόφιση methylene blue σε άχυρο σιταριού προκατεργασμένο - αυτοϋδρόλυση στους 180° C για διάλυμα methylene blue με αρχική συγκέντρωση  $C_0=3,1$  mg/l, (χρόνος προθέρμανσης 47 min)

t (min)	Πειραματικές τιμές $C_e$ σε mg/l για τους αντίστοιχους χρόνους αυτοϋδρόλυσης άχυρου σιταριού						Θεωρητικές τιμές $C_0$ σε mg/l για τους αντίστοιχους χρόνους αυτοϋδρόλυσης άχυρου σιταριού					
	0min	10min	20min	30min	40min	50min	0min	10min	20min	30min	40min	50min
0	3,1	3,0	3,3	3,0	3,4	3,5	3,2	3,0	3,5	2,6	2,9	2,7
10	2,3	2,2	2,3	1,9	2,7	2,4	2,6	2,5	2,8	2,2	2,5	2,4
20	1,9	1,8	2,0	1,6	2,3	2,1	2,2	2,1	2,3	1,8	2,2	2,2
30	1,5	1,5	1,7	1,3	1,9	1,8	1,9	1,8	1,9	1,6	2,0	1,9
40	1,5	1,4	1,5	1,2	1,7	1,7	1,6	1,6	1,6	1,3	1,8	1,8
50	1,3	1,3	1,4	1,1	1,6	1,6	1,4	1,4	1,4	1,2	1,6	1,6
60	1,3	1,2	1,3	1,0	1,5	1,5	1,2	1,2	1,2	1,0	1,5	1,5
70	1,1	1,1	1,1	0,9	1,4	1,5	1,1	1,1	1,1	0,9	1,4	1,4
80	1,0	1,0	1,0	0,8	1,3	1,4	1,0	1,0	0,9	0,8	1,3	1,4
90	1,0	0,9	0,9	0,8	1,3	1,3	0,9	0,9	0,8	0,7	1,3	1,3
100	0,9	0,9	0,8	0,7	1,2	1,3	0,9	0,8	0,8	0,7	1,2	1,2
110	0,9	0,8	0,8	0,7	1,2	1,2	0,8	0,8	0,7	0,6	1,2	1,2
120	0,8	0,8	0,7	0,6	1,1	1,2	0,8	0,7	0,7	0,6	1,1	1,2
130	0,8	0,7	0,7	0,6	1,2	1,1	0,7	0,7	0,6	0,6	1,1	1,1
140	0,7	0,7	0,6	0,6	1,1	1,1	0,7	0,6	0,6	0,6	1,1	1,1
150	0,7	0,6	0,6	0,6	1,1	1,1	0,7	0,6	0,6	0,5	1,1	1,1
160	0,7	0,6	0,6	0,6	1,1	1,1	0,7	0,6	0,6	0,5	1,1	1,1
170	0,6	0,6	0,6	0,5	1,1	1,1	0,7	0,6	0,6	0,5	1,1	1,1
180	0,6	0,6	0,5	0,5	1,0	1,1	0,6	0,6	0,6	0,5	1,0	1,1
190	0,6	0,5	0,5	0,5	1,0	1,1	0,6	0,6	0,5	0,5	1,0	1,1

$C_e$ (mg/L)	0,6	0,5	0,5	0,5	1,0	1,0
$C_o$ (mg/L)	3,2	3,0	3,5	2,6	2,9	2,7
$k$ ( $min^{-1}$ )	0,0236	0,0214	0,0244	0,0225	0,0219	0,0206
<i>sum</i>	0,37294	0,28598	0,54	0,42248	0,33802	0,57773
<i>n-p</i>	18	18	18	18	18	18
<i>SEE</i>	0,14394	0,12605	0,17321	0,1532	0,13704	0,17915

**Σχήμα 6.25:** Πειραματικές τιμές και θεωρητικές καμπύλες της συγκέντρωσης methylene blue συναρτήσει του χρόνου  $t$  (min) κατά την προσρόφηση αυτού σε άχυρο σιταριού προκατεργασμένο αυτοϋδρόλυση στους  $180^\circ C$  για 0 έως 50 min,  $C_o=3,1$  mg/l

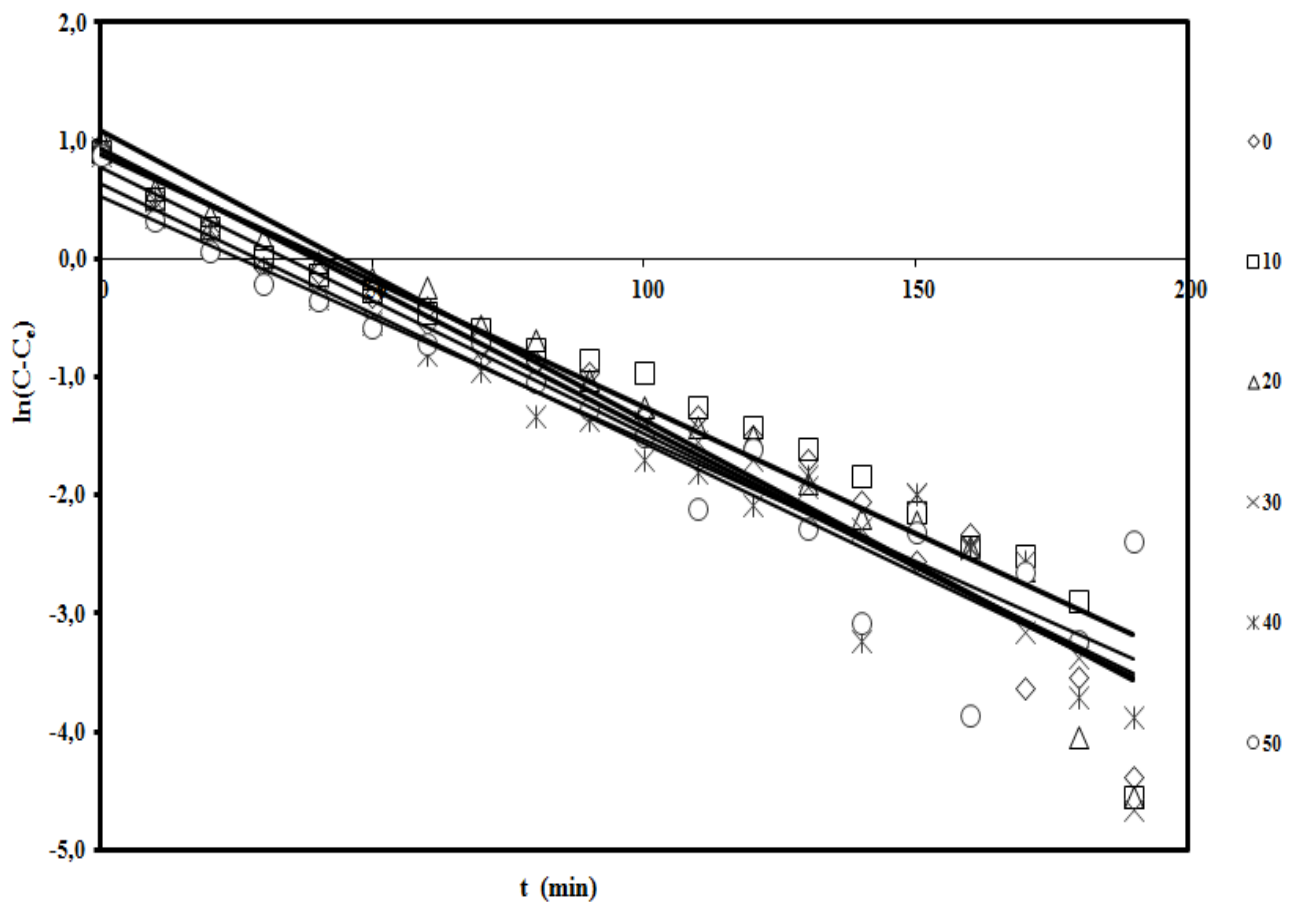


**Πίνακας 6.26:**  $\ln(C-C_e)$  των επεξεργασμένων πειραματικών αποτελεσμάτων ως προς το χρόνο  $t$  (min) για προσρόφιση methylene blue σε άχυρο σιταριού προκατεργασμένο-αυτοϋδρόλυση στους  $180^\circ\text{C}$  για 0 έως 50 min,  $C_0=3,1$  mg/l (χρόνος προθέρμανσης 47 min)

t (min)	0 min	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min
0	0,92439	0,911	1,01925	0,94634	0,87891	0,88535
10	0,52231	0,51587	0,59365	0,35101	0,5019	0,33091
20	0,21356	0,27051	0,3687	0,12116	0,25013	0,06813
30	-0,06561	0,01316	0,17151	-0,12994	-0,10252	-0,21703
40	-0,11678	-0,13207	-0,02968	-0,29669	-0,33706	-0,348
50	-0,31461	-0,27131	-0,15991	-0,51892	-0,55306	-0,57371
60	-0,40419	-0,45491	-0,24604	-0,63599	-0,81155	-0,7174
70	-0,75078	-0,59004	-0,55808	-0,77812	-0,94149	-0,69896
80	-0,86527	-0,75795	-0,68055	-0,97065	-1,32934	-1,03908
90	-0,96096	-0,86029	-1,01804	-1,01309	-1,35367	-1,26108
100	-1,32911	-0,96397	-1,24686	-1,37067	-1,69555	-1,50407
110	-1,32452	-1,25788	-1,42475	-1,54353	-1,80444	-2,11106
120	-1,49869	-1,423	-1,50218	-1,69837	-2,08505	-1,60617
130	-1,69514	-1,60159	-1,90317	-1,92766	-1,83555	-2,28021
140	-2,04321	-1,83231	-2,19386	-2,27838	-3,23667	-3,08035
150	-2,56027	-2,14028	-2,2151	-1,99397	-1,98875	-2,30507
160	-2,32843	-2,42651	-2,42923	-2,43714	-2,44528	-3,86216
170	-3,62768	-2,50911	-2,63391	-3,15701	-2,55168	-2,64603
180	-3,543	-2,88712	-4,05061	-3,36553	-3,71418	-3,22624
190	-4,38156	-4,5424	-4,55545	-4,66092	-3,88006	-2,38352

<b>C<sub>e</sub> (mg/L)</b>	0,61279	0,52174	0,51498	0,46343	1,01183	1,03011
<b>C<sub>o</sub> (mg/L)</b>	3,1595	2,95042	3,47626	2,62016	2,89087	2,72263
<b>ln(C<sub>o</sub>-C<sub>e</sub>)</b>	0,9348	0,8873	1,0856	0,7686	0,6308	0,5262
<b>k (min<sup>-1</sup>)</b>	0,0236	0,0214	0,0244	0,0225	0,0219	0,0206
<b>R</b>	-0,9721	-0,9612	-0,9702	-0,9673	-0,9676	-0,9448
<b>R<sup>2</sup></b>	0,9450	0,9238	0,9413	0,9356	0,9363	0,8927

**Σχήμα 6.26:** ln(C- C<sub>e</sub>), συνάρτησι του χρόνου t (min) για προσρόφηση methylene blue σε άχυρο σιταριού προκατεργασμένο-αντούδρόλυση στους 180° C για 0 έως 50 min, C<sub>o</sub>=3,1 mg/l (χρόνος προθέρμανσης 47 min)

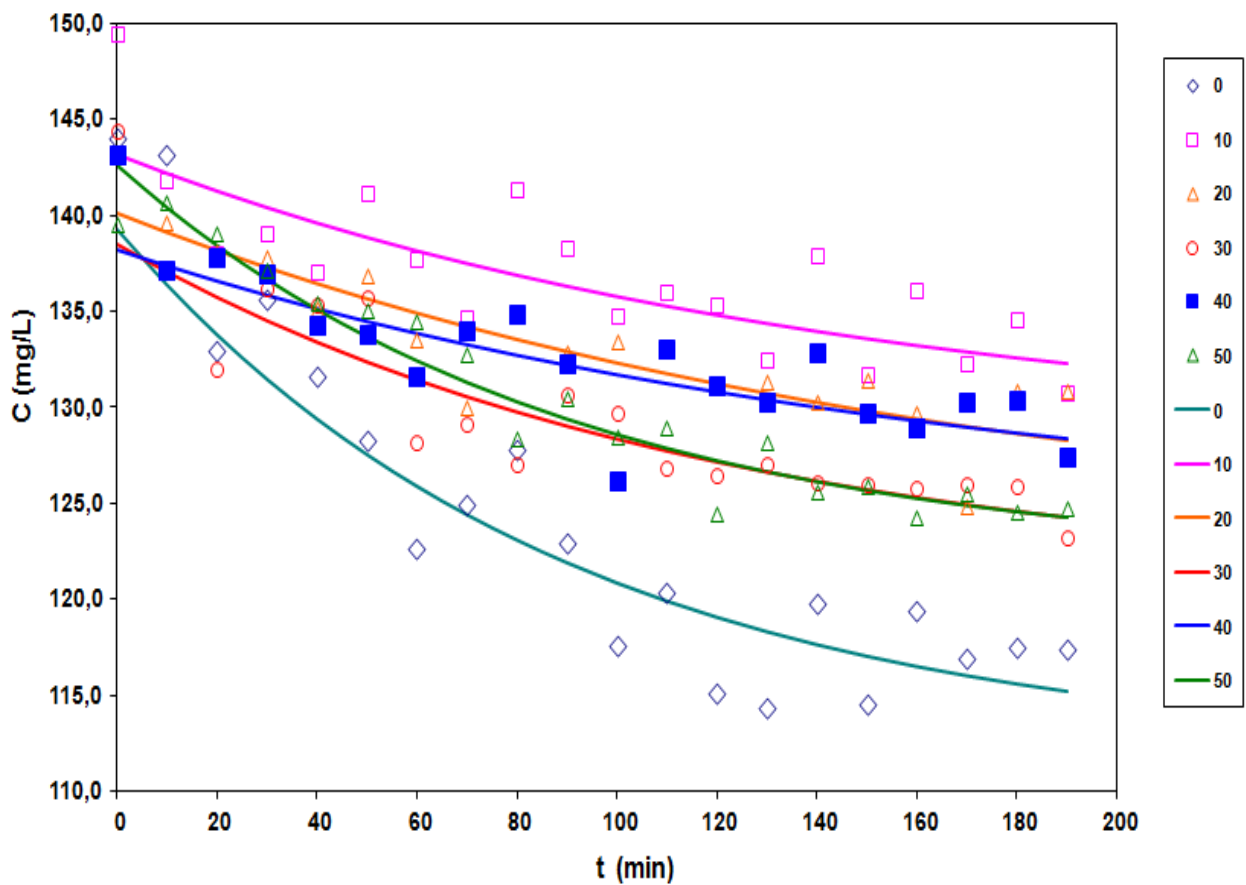


**Πινάκας 6.27:** Πειραματικά δεδομένα και υπολογισμός των παραμέτρων της Lagergren για προσρόφιση methylene blue σε άχυρο σιταριού προκατεργασμένο - αυτοϋδρόλυση στους 200° C για διάλυμα methylene blue με αρχική συγκέντρωση  $C_0= 156 \text{ mg/l}$ , (χρόνος προθέρμανσης 66 min)

t (min)	Πειραματικές τιμές $C_e$ σε mg/l για τους αντίστοιχους χρόνους αυτοϋδρόλυσης άχυρου σιταριού						Θεωρητικές τιμές $C_e$ σε mg/l για τους αντίστοιχους χρόνους αυτοϋδρόλυσης άχυρου σιταριού					
	0min	10min	20min	30min	40min	50min	0min	10min	20min	30min	40min	50min
0	144,0	149,5	143,2	144,4	143,2	139,5	139,2	143,2	140,1	138,5	138,2	142,6
10	143,1	141,8	139,6	137,2	137,1	140,7	136,3	142,2	139,1	137,1	137,3	140,4
20	133,0	138,0	138,1	132,0	137,8	139,0	133,7	141,3	138,2	135,8	136,6	138,4
30	135,6	139,1	137,8	136,2	136,9	137,1	131,4	140,4	137,3	134,5	135,8	136,6
40	131,6	137,0	135,2	135,4	134,3	135,4	129,4	139,6	136,4	133,4	135,1	135,1
50	128,3	141,2	136,8	135,8	133,8	135,0	127,5	138,9	135,6	132,4	134,5	133,6
60	122,6	137,7	133,5	128,1	131,6	134,5	125,9	138,2	134,9	131,5	133,9	132,4
70	124,9	134,7	130,0	129,1	134,0	132,7	124,4	137,5	134,2	130,6	133,3	131,3
80	127,8	141,4	135,0	127,0	134,9	128,4	123,1	136,9	133,5	129,8	132,7	130,3
90	123,0	138,3	132,9	130,7	132,3	130,4	121,9	136,3	132,9	129,1	132,2	129,4
100	117,6	134,8	133,4	129,8	126,2	128,5	120,9	135,8	132,3	128,4	131,7	128,5
110	120,4	136,0	133,0	126,8	133,0	128,9	119,9	135,3	131,7	127,8	131,3	127,8
120	115,2	135,3	131,1	126,4	131,1	124,5	119,1	134,8	131,2	127,2	130,8	127,2
130	114,3	132,5	131,3	127,0	130,2	128,2	118,3	134,4	130,7	126,7	130,4	126,6
140	119,8	138,0	130,2	126,1	132,8	125,6	117,7	134,0	130,3	126,2	130,0	126,1
150	114,6	131,7	131,4	126,0	129,7	125,8	117,1	133,6	129,8	125,7	129,7	125,6
160	119,4	136,1	129,8	125,8	128,9	124,2	116,5	133,3	129,4	125,3	129,3	125,2
170	117,0	132,3	124,9	126,0	130,3	125,5	116,0	132,9	129,0	125,0	129,0	124,9
180	117,5	134,5	130,8	125,9	130,4	124,6	115,6	132,6	128,6	124,6	128,7	124,5
190	117,4	130,8	130,9	123,2	127,4	124,7	115,2	132,3	128,3	124,3	128,4	124,2

<b><math>C_e</math> (mg/L)</b>	112,0190	128,1792	122,3835	120,7175	123,6950	121,7438
<b><math>C_o</math> (mg/L)</b>	139,2225	143,1803	140,0970	138,5298	138,1780	142,5807
<b><math>k</math> (<math>min^{-1}</math>)</b>	0,0112	0,0068	0,0058	0,0084	0,0059	0,0112
<b>sum</b>	196,7684	135,5914	68,9173	98,4017	86,3666	36,5642
<b><math>n-p</math></b>	18,0000	18,0000	18,0000	18,0000	18,0000	18,0000
<b>SEE</b>	3,3063	2,7446	1,9567	2,3381	2,1905	1,4253

**Σχήμα 6.27:** Πειραματικές τιμές και θεωρητικές καμπύλες της συγκέντρωσης methylene blue συναρτήσει του χρόνου  $t$  (min) κατά την προσρόφηση αυτού σε άχυρο σιταριού προκατεργασμένο αυτοϋδρόλυση στους  $200^{\circ}C$  για 0 έως 50 min,  $C_o=156$  mg/l



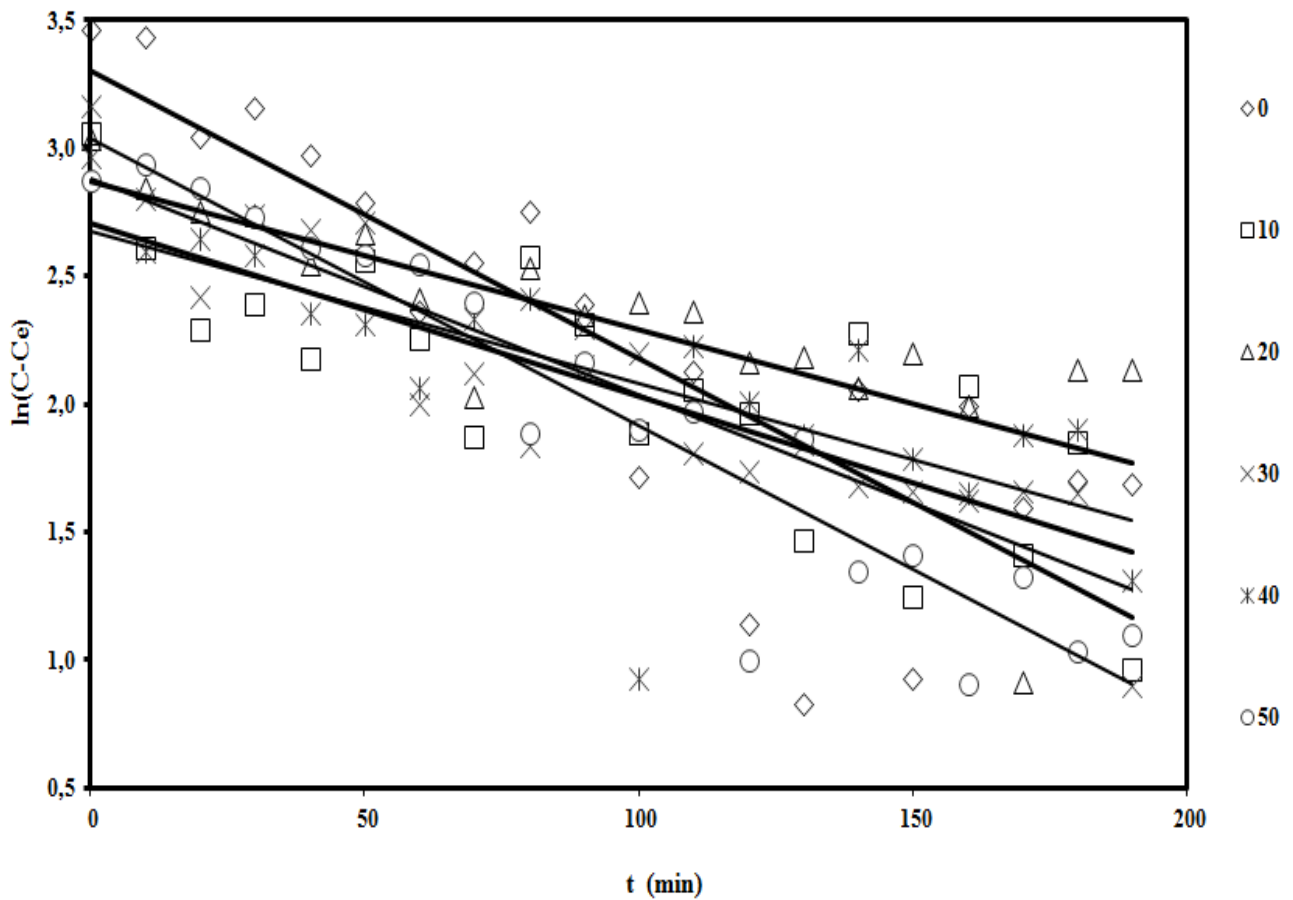


**Πίνακας 6.28:**  $\ln(C-C_e)$  των επεξεργασμένων πειραματικών αποτελεσμάτων ως προς το χρόνο  $t$  (min) για προσρόφιση methylene blue σε άχυρο σιταριού προκατεργασμένο-αυτοϋδρόλυση στους  $200^\circ\text{C}$  για 0 έως 50 min,  $C_0=156\text{ mg/l}$  (χρόνος προθέρμανσης 66 min)

t (min)	0 min	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min
0	3,46439	3,05932	3,03455	3,16511	2,96939	2,87788
10	3,43703	2,61134	2,8465	2,80469	2,59711	2,94057
20	3,04276	2,28926	2,75324	2,41962	2,64704	2,84863
30	3,1606	2,39051	2,73785	2,73952	2,58144	2,73476
40	2,97355	2,18056	2,5499	2,6844	2,35891	2,61394
50	2,78888	2,5632	2,66989	2,71034	2,31047	2,58537
60	2,36062	2,25531	2,41196	2,00427	2,06498	2,54682
70	2,55649	1,87302	2,02816	2,12473	2,33354	2,3956
80	2,75658	2,57949	2,53126	1,83635	2,4158	1,89075
90	2,39207	2,31328	2,3524	2,30164	2,14661	2,1637
100	1,71494	1,88653	2,40138	2,20108	0,926	1,90369
110	2,12541	2,0554	2,36623	1,80861	2,23177	1,97009
120	1,14515	1,96409	2,1669	1,74079	2,00804	0,99749
130	0,82685	1,46663	2,18669	1,84543	1,87933	1,86436
140	2,0562	2,28011	2,06188	1,68414	2,21273	1,34767
150	0,93007	1,24942	2,19967	1,65732	1,78682	1,41218
160	1,99345	2,07423	1,99725	1,62416	1,65251	0,9101
170	1,59832	1,4112	0,91534	1,66274	1,88374	1,32523
180	1,70487	1,8501	2,13306	1,65187	1,90121	1,0385
190	1,68959	0,96161	2,1365	0,90163	1,31523	1,09705

<b>C<sub>e</sub> (mg/L)</b>	112,019	128,179	122,383	120,717	123,695	121,744
<b>C<sub>o</sub> (mg/L)</b>	139,2225	143,18	140,097	138,53	138,178	142,581
<b>ln(C<sub>o</sub>-C<sub>e</sub>)</b>	3,3033	2,7081	2,8743	2,8799	2,6730	3,0367
<b>k (min<sup>-1</sup>)</b>	0,0112	0,0068	0,0058	0,0084	0,0059	0,0112
<b>R</b>	-0,8377	-0,7872	-0,7723	-0,9129	-0,7384	-0,9465
<b>R<sup>2</sup></b>	0,7018	0,6196	0,5964	0,8334	0,5452	0,8959

**Σχήμα 6.28:** ln(C- C<sub>e</sub>), συνάρτησι του χρόνου t (min) για προσρόφηση methylene blue σε άχυρο σιταριού προκατεργασμένο-αυτοϋδρόλυση στους 200° C για 0 έως 50 min, C<sub>o</sub>=156 mg/l (χρόνος προθέρμανσης 66 min)

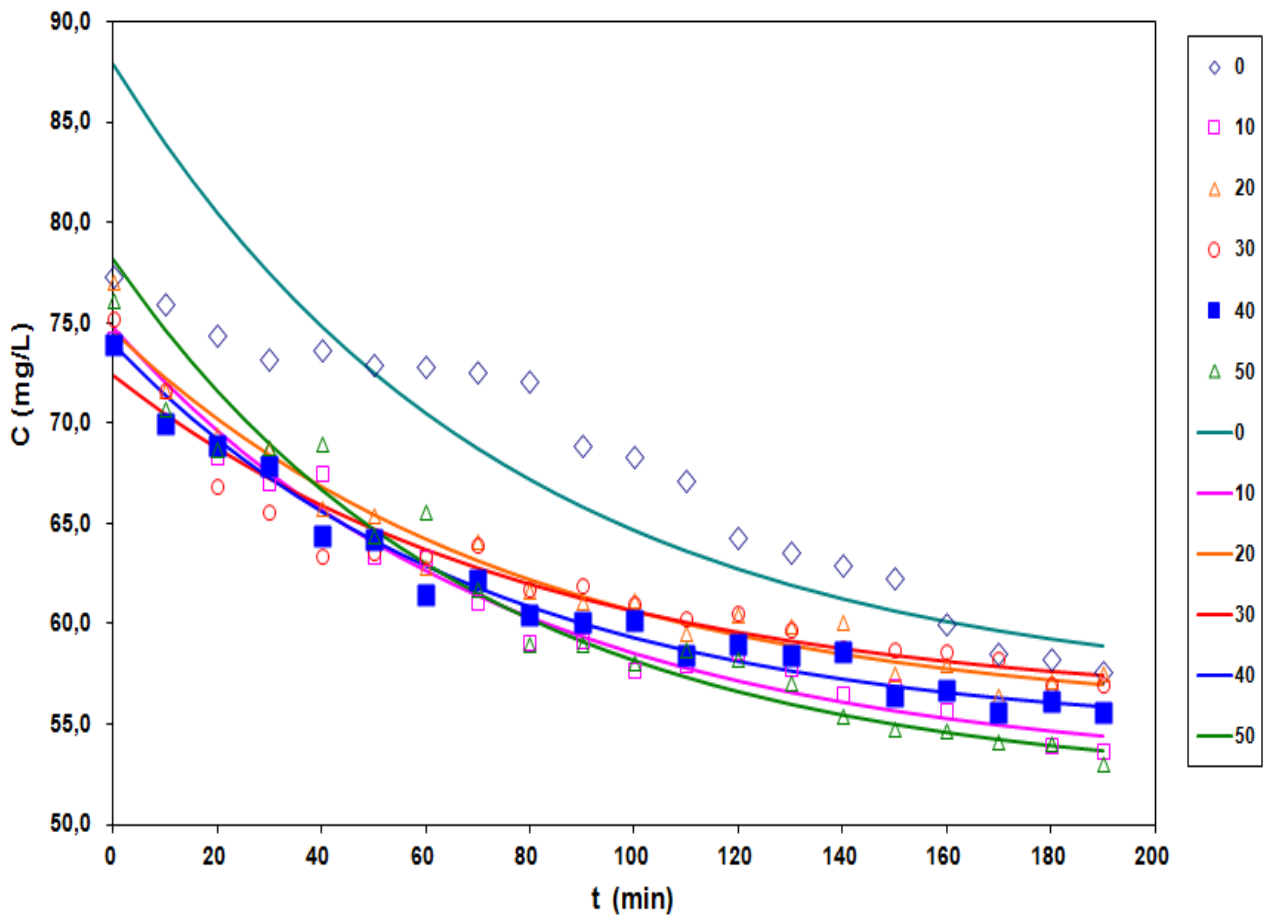


**Πινάκας 6.29:** Πειραματικά δεδομένα και υπολογισμός των παραμέτρων της Lagergren για προσρόφιση methylene blue σε άχυρο σιταριού προκατεργασμένο - αυτοϋδρόλυση στους 200° C για διάλυμα methylene blue με αρχική συγκέντρωση  $C_0=78 \text{ mg/l}$ , (χρόνος προθέρμανσης 66 min)

t (min)	Πειραματικές τιμές $C_e$ σε mg/l για τους αντίστοιχους χρόνους αυτοϋδρόλυσης άχυρου σιταριού						Θεωρητικές τιμές $C_0$ σε mg/l για τους αντίστοιχους χρόνους αυτοϋδρόλυσης άχυρου σιταριού					
	0min	10min	20min	30min	40min	50min	0min	10min	20min	30min	40min	50min
0	77,3	74,2	77,0	75,2	73,9	76,1	87,9	74,8	74,6	72,4	73,9	78,2
10	75,9	70,0	71,6	71,6	70,0	70,7	84,0	72,0	72,3	70,4	71,4	74,6
20	74,4	68,3	69,4	66,9	68,9	68,7	80,5	69,6	70,2	68,7	69,2	71,6
30	73,2	67,1	68,7	65,6	67,8	68,8	77,5	67,5	68,4	67,2	67,2	69,0
40	73,7	67,5	65,8	63,4	64,4	68,9	74,8	65,7	66,9	65,9	65,6	66,7
50	72,9	63,4	65,4	63,5	64,2	64,4	72,5	64,1	65,5	64,7	64,1	64,7
60	72,9	63,3	62,9	63,4	61,4	65,6	70,5	62,6	64,2	63,7	62,9	63,0
70	72,5	61,1	64,1	63,9	62,2	61,7	68,7	61,4	63,2	62,8	61,8	61,5
80	72,1	59,1	61,7	61,7	60,5	59,0	67,2	60,3	62,2	61,9	60,8	60,2
90	68,9	59,1	61,1	61,9	60,0	59,0	65,8	59,4	61,4	61,2	60,0	59,1
100	68,3	57,7	61,2	61,0	60,2	58,1	64,7	58,5	60,7	60,6	59,3	58,2
110	67,2	58,0	59,5	60,3	58,4	58,7	63,6	57,8	60,0	60,0	58,6	57,3
120	64,3	58,7	60,5	60,5	59,0	58,2	62,7	57,2	59,5	59,5	58,1	56,6
130	63,6	57,8	59,9	59,7	58,5	57,1	61,9	56,6	59,0	59,1	57,6	56,0
140	63,0	56,5	60,1	58,8	58,6	55,4	61,2	56,1	58,5	58,7	57,2	55,4
150	62,3	56,9	57,5	58,7	56,4	54,7	60,6	55,7	58,1	58,4	56,8	55,0
160	60,0	55,7	58,0	58,6	56,7	54,7	60,1	55,3	57,8	58,1	56,5	54,6
170	58,5	55,7	56,4	58,2	55,6	54,2	59,6	55,0	57,5	57,8	56,3	54,2
180	58,2	53,9	57,2	57,0	56,2	54,1	59,2	54,7	57,2	57,6	56,0	53,9
190	57,6	53,7	57,5	57,0	55,6	53,0	58,9	54,4	57,0	57,4	55,8	53,7

<b><math>C_e</math> (mg/L)</b>	56,4	52,6	55,3	55,8	54,5	52,0
<b><math>C_o</math> (mg/L)</b>	87,9	74,8	74,6	72,4	73,9	78,2
<b><math>k</math> (<math>min^{-1}</math>)</b>	0,0134	0,0132	0,0128	0,0125	0,0140	0,0144
<b>sum</b>	328,836	19,98	17,771	27,4578	11,1438	47,7807
<b>n-p</b>	18	18	18	18	18	18
<b>SEE</b>	4,27418	1,05357	0,99362	1,23509	0,78683	1,62926

**Σχήμα 6.29:** Πειραματικές τιμές και θεωρητικές καμπύλες της συγκέντρωσης methylene blue συναρτήσει του χρόνου  $t$  (min) κατά την προσρόφηση αυτού σε άχυρο σιταριού προκατεργασμένο αυτοϋδρόλυση στους  $200^{\circ}C$  για 0 έως 50 min,  $C_o=78$  mg/l

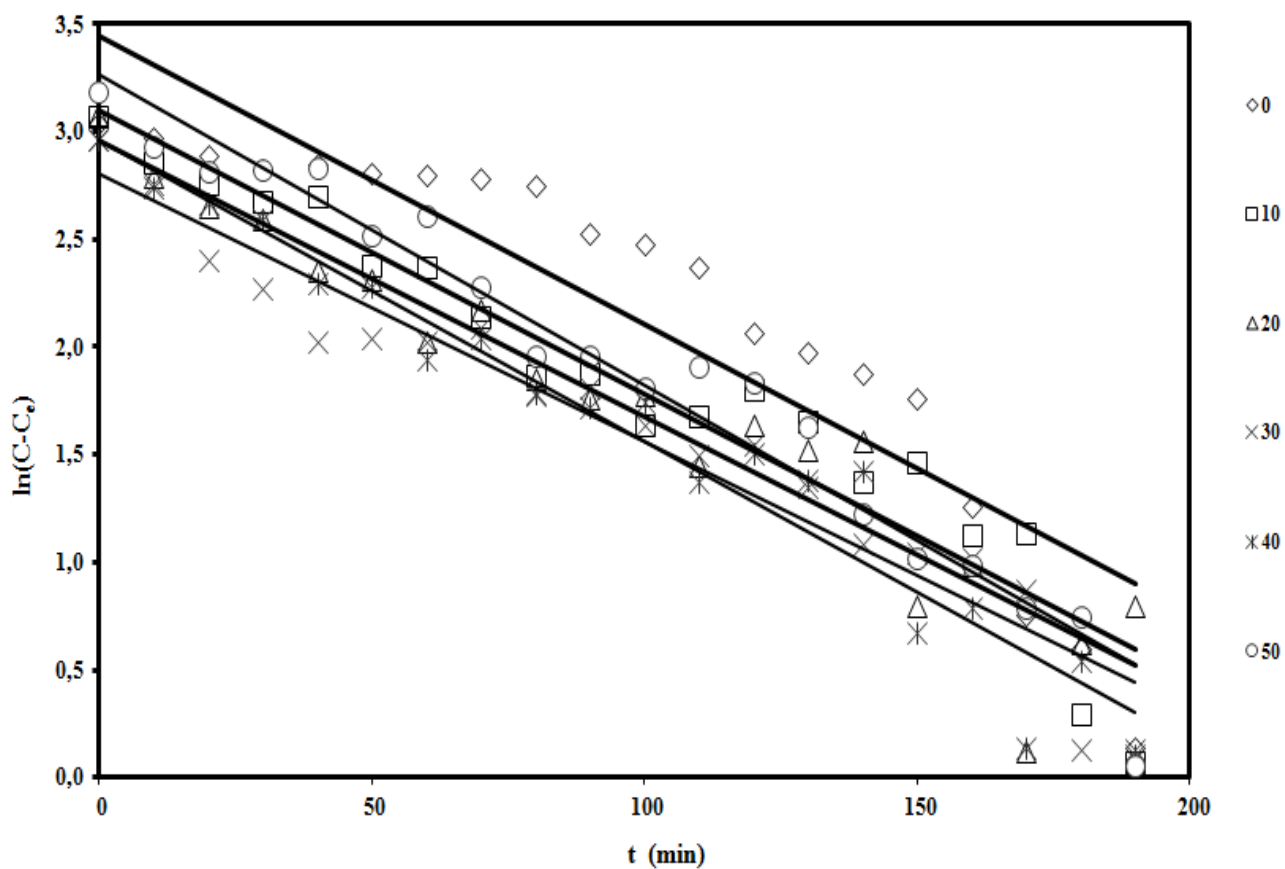


**Πίνακας 6.30:**  $\ln(C-C_e)$  των επεξεργασμένων πειραματικών αποτελεσμάτων ως προς το χρόνο  $t$  (min) για προσρόφιση methylene blue σε άχυρο σιταριού προκατεργασμένο-αυτοϋδρόλυση στους  $200^\circ\text{C}$  για 0 έως 50 min,  $C_0=78\text{ mg/l}$  (χρόνος προθέρμανσης 66 min)

t (min)	0 min	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min
0	3,03737	3,07203	3,07703	2,96146	2,96635	3,18274
10	2,97039	2,85765	2,7937	2,75901	2,74252	2,93169
20	2,88809	2,75637	2,64779	2,39982	2,66649	2,81719
30	2,81956	2,6721	2,59467	2,27436	2,59334	2,82203
40	2,8466	2,7016	2,35095	2,02584	2,2948	2,83165
50	2,80494	2,38094	2,3088	2,04003	2,27829	2,51973
60	2,80002	2,36834	2,02434	2,02226	1,9398	2,61328
70	2,77841	2,13846	2,17665	2,09149	2,03972	2,27669
80	2,75115	1,86499	1,85312	1,77557	1,78886	1,95503
90	2,52534	1,87749	1,75976	1,80717	1,71856	1,95503
100	2,47651	1,63505	1,77823	1,63812	1,74017	1,80661
110	2,37357	1,67638	1,44475	1,49707	1,37431	1,90796
120	2,06595	1,80003	1,64118	1,54441	1,50868	1,83292
130	1,97251	1,65593	1,51856	1,34701	1,38453	1,6323
140	1,87776	1,37099	1,55923	1,0827	1,42439	1,2272
150	1,76383	1,46279	0,7934	1,04534	0,67479	1,01625
160	1,26223	1,12291	0,98242	1,01638	0,79166	0,98646
170	0,7541	1,13167	0,12109	0,86889	0,14172	0,7863
180	0,60322	0,29548	0,62012	0,13063	0,54243	0,74867
190	0,14103	0,071	0,7934	0,13063	0,10588	0,05885

<b>C<sub>e</sub> (mg/L)</b>	56,4213	52,6054	55,3078	55,838	54,4729	51,9701
<b>C<sub>o</sub> (mg/L)</b>	87,9007	74,752	74,6027	72,3841	73,9	78,1555
<b>ln(C<sub>o</sub>-C<sub>e</sub>)</b>	3,4493	3,0977	2,9598	2,8062	2,9667	3,2652
<b>k (min<sup>-1</sup>)</b>	0,0134	0,0132	0,0128	0,0125	0,0140	0,0144
<b>R</b>	-0,9157	-0,9618	-0,9602	-0,9686	-0,9754	-0,9792
<b>R<sup>2</sup></b>	0,8384	0,9250	0,9219	0,9381	0,9515	0,9589

**Σχήμα 6.30:** ln(C- C<sub>e</sub>), συνάρτησι του χρόνου t (min) για προσρόφηση methylene blue σε άχυρο σιταριού προκατεργασμένο-αυτοϋδρόλυση στους 200° C για 0 έως 50 min, C<sub>o</sub>=78 mg/l (χρόνος προθέρμανσης 66 min)

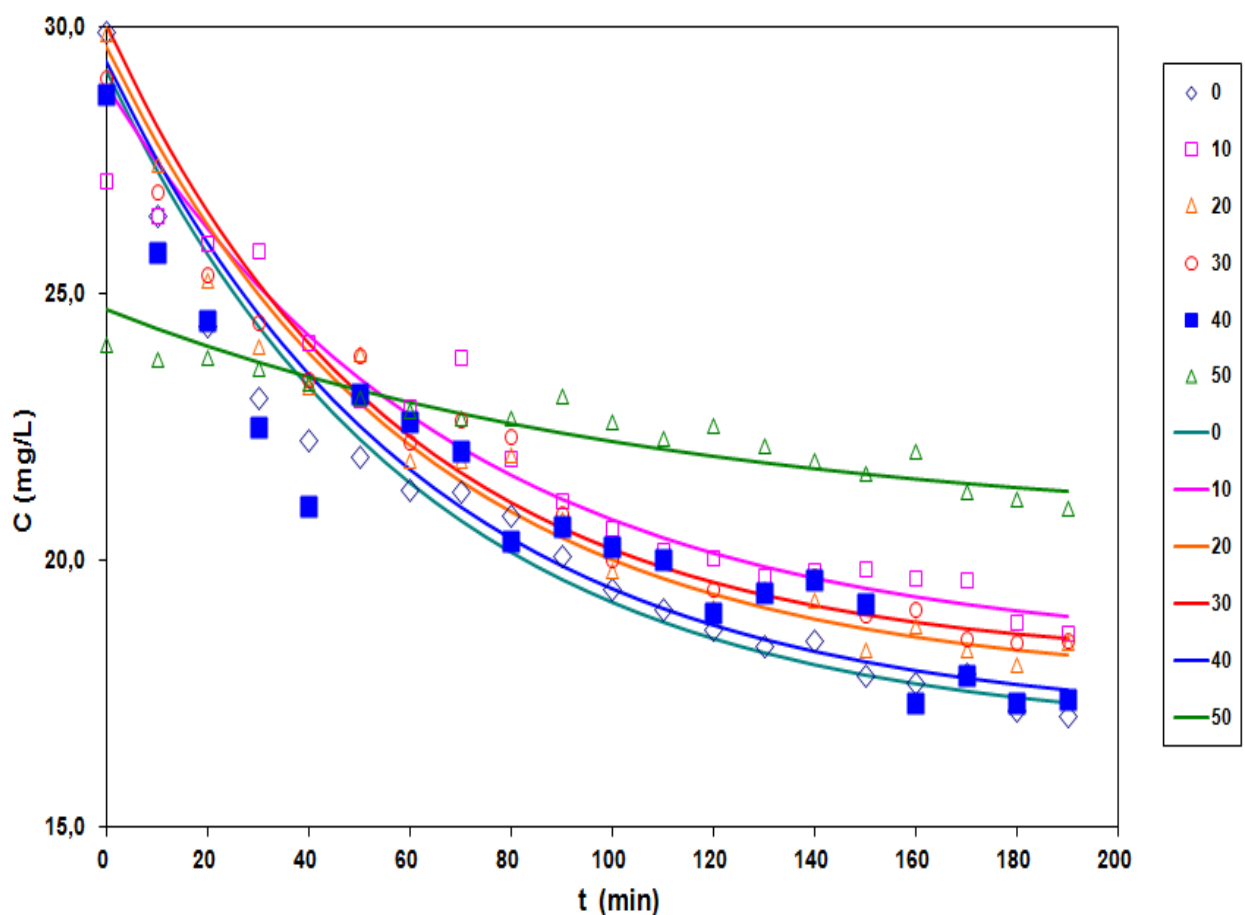


**Πινάκας 6.31:** Πειραματικά δεδομένα και υπολογισμός των παραμέτρων της Lagergren για προσρόφηση methylene blue σε άχυρο σιταριού προκατεργασμένο - αυτοϋδρόλυση στους 200° C για διάλυμα methylene blue με αρχική συγκέντρωση  $C_0 = 31,2 \text{ mg/l}$ , (χρόνος προθέρμανσης 66 min)

t (min)	Πειραματικές τιμές $C_e$ σε mg/l για τους αντίστοιχους χρόνους αυτοϋδρόλυσης άχυρου σιταριού						Θεωρητικές τιμές $C_0$ σε mg/l για τους αντίστοιχους χρόνους αυτοϋδρόλυσης άχυρου σιταριού					
	0min	10min	20min	30min	40min	50min	0min	10min	20min	30min	40min	50min
0	29,9	27,1	29,9	29,0	28,7	24,1	29,2	28,9	29,6	30,0	29,4	24,7
10	26,5	26,5	27,4	26,9	25,8	23,8	27,3	27,5	27,8	28,2	27,5	24,4
20	24,4	26,0	25,2	25,4	24,5	23,8	25,7	26,2	26,3	26,6	26,0	24,0
30	23,1	25,8	24,0	24,5	22,5	23,6	24,4	25,2	25,0	25,2	24,6	23,7
40	22,3	24,1	23,3	23,4	21,0	23,3	23,3	24,2	23,9	24,1	23,5	23,5
50	22,0	23,0	23,9	23,9	23,1	23,1	22,3	23,4	23,0	23,1	22,5	23,2
60	21,3	22,9	21,9	22,2	22,6	22,8	21,5	22,7	22,2	22,3	21,7	23,0
70	21,3	23,8	21,9	22,6	22,1	22,7	20,8	22,1	21,5	21,7	21,0	22,8
80	20,8	21,9	22,0	22,3	20,4	22,7	20,2	21,6	20,9	21,1	20,4	22,6
90	20,1	21,1	20,8	20,9	20,6	23,1	19,7	21,2	20,4	20,6	19,9	22,4
100	19,5	20,6	19,8	20,0	20,3	22,6	19,2	20,8	20,0	20,2	19,5	22,3
110	19,1	20,2	20,0	20,1	20,0	22,3	18,9	20,4	19,7	19,9	19,1	22,1
120	18,7	20,1	19,1	19,5	19,0	22,5	18,5	20,1	19,4	19,6	18,8	22,0
130	18,4	19,7	19,5	19,4	19,4	22,2	18,3	19,9	19,1	19,4	18,5	21,9
140	18,5	19,8	19,3	19,7	19,6	21,9	18,0	19,7	18,9	19,2	18,3	21,7
150	17,9	19,9	18,3	19,0	19,2	21,6	17,9	19,5	18,7	19,0	18,1	21,6
160	17,7	19,7	18,8	19,1	17,4	22,0	17,7	19,3	18,6	18,9	18,0	21,6
170	17,9	19,7	18,4	18,6	17,9	21,3	17,6	19,2	18,4	18,7	17,8	21,5
180	17,2	18,8	18,1	18,5	17,4	21,2	17,4	19,1	18,3	18,6	17,7	21,4
190	17,1	18,7	18,5	18,5	17,4	21,0	17,3	18,9	18,2	18,6	17,6	21,3

$C_e$ (mg/L)	16,8	18,3	17,7	18,1	17,0	20,6
$C_o$ (mg/L)	29,2	28,9	29,6	30,0	29,4	24,7
$k$ ( $min^{-1}$ )	0,0162	0,0145	0,0164	0,0173	0,0161	0,0091
sum	7,48839	8,74028	5,91648	8,51956	24,8325	2,43413
$n-p$	18	18	18	18	18	18
SEE	0,645	0,69683	0,57332	0,68797	1,17456	0,36774

**Σχήμα 6.31:** Πειραματικές τιμές και θεωρητικές καμπύλες της συγκέντρωσης methylene blue συναρτήσει του χρόνου  $t$  (min) κατά την προσρόφηση αυτού σε άχυρο σιταριού προκατεργασμένο αυτοϋδρόλυση στους  $200^{\circ}C$  για 0 έως 50 min,  $C_o=31,2$  mg/l



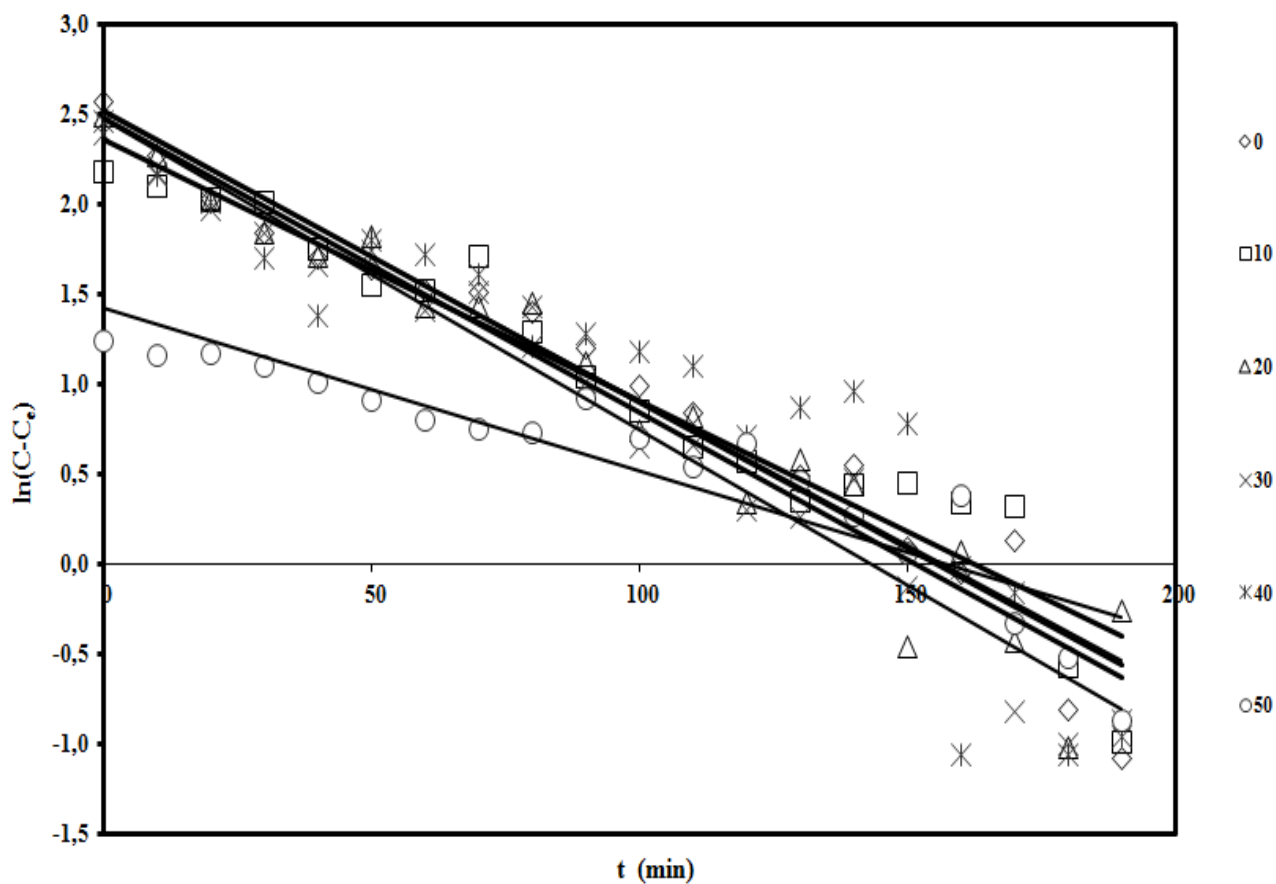


**Πίνακας 6.32:**  $\ln(C-C_e)$  των επεξεργασμένων πειραματικών αποτελεσμάτων ως προς το χρόνο  $t$  (min) για προσρόφιση methylene blue σε άχυρο σιταριού προκατεργασμένο-αυτοϋδρόλυση στους  $200^\circ\text{C}$  για 0 έως 50 min,  $C_0=31,2\text{ mg/l}$  (χρόνος προθέρμανσης 66 min)

t (min)	0 min	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min
0	2,57651	2,18175	2,49888	2,39185	2,46171	1,24719
10	2,27418	2,10369	2,27417	2,1776	2,17059	1,16397
20	2,03587	2,03937	2,02138	1,97999	2,01566	1,17182
30	1,84122	2,01926	1,84159	1,84913	1,70496	1,10723
40	1,70489	1,75897	1,71374	1,6664	1,38678	1,01111
50	1,64712	1,55756	1,82135	1,74872	1,80898	0,91505
60	1,52265	1,52526	1,43378	1,41395	1,72528	0,8033
70	1,51537	1,71447	1,43378	1,51259	1,61942	0,75135
80	1,40564	1,29297	1,45736	1,43803	1,21448	0,73943
90	1,20167	1,04557	1,12257	1,01683	1,28898	0,92507
100	0,99924	0,85345	0,74491	0,65288	1,18081	0,70282
110	0,84952	0,65552	0,82388	0,66568	1,10994	0,54144
120	0,67797	0,57526	0,3477	0,30227	0,71049	0,67765
130	0,49149	0,35871	0,5796	0,26514	0,87728	0,46576
140	0,54972	0,44148	0,44694	0,46982	0,9656	0,27609
150	0,09242	0,45725	-0,4615	-0,12208	0,78053	0,06585
160	-0,04827	0,34131	0,07608	-0,01668	-1,05813	0,38394
170	0,13597	0,3236	-0,42339	-0,81394	-0,15218	-0,33018
180	-0,80441	-0,56317	-1,01819	-0,99542	-1,05813	-0,52051
190	-1,0727	-0,98617	-0,25191	-0,87086	-0,95816	-0,86761

<b>C<sub>e</sub> (mg/L)</b>	16,762	18,2771	17,7011	18,1089	17,0081	20,5777
<b>C<sub>o</sub> (mg/L)</b>	29,1902	28,9348	29,6443	30,0483	29,3685	24,7226
<b>ln(C<sub>o</sub>-C<sub>e</sub>)</b>	2,5200	2,3663	2,4802	2,4798	2,5145	1,4219
<b>k (min<sup>-1</sup>)</b>	0,0162	0,0145	0,0164	0,0173	0,0161	0,0091
<b>R</b>	-0,9760	-0,9648	-0,9703	-0,9802	-0,9096	-0,9161
<b>R<sup>2</sup></b>	0,9525	0,9308	0,9414	0,9609	0,8274	0,8392

**Σχήμα 6.32:** ln(C- C<sub>e</sub>), συνάρτησι του χρόνου t (min) για προσρόφηση methylene blue σε άχυρο σιταριού προκατεργασμένο-αυτοϋδρόλυση στους 200° C για 0 έως 50 min, C<sub>o</sub>=31,2 mg/l (χρόνος προθέρμανσης 66 min)

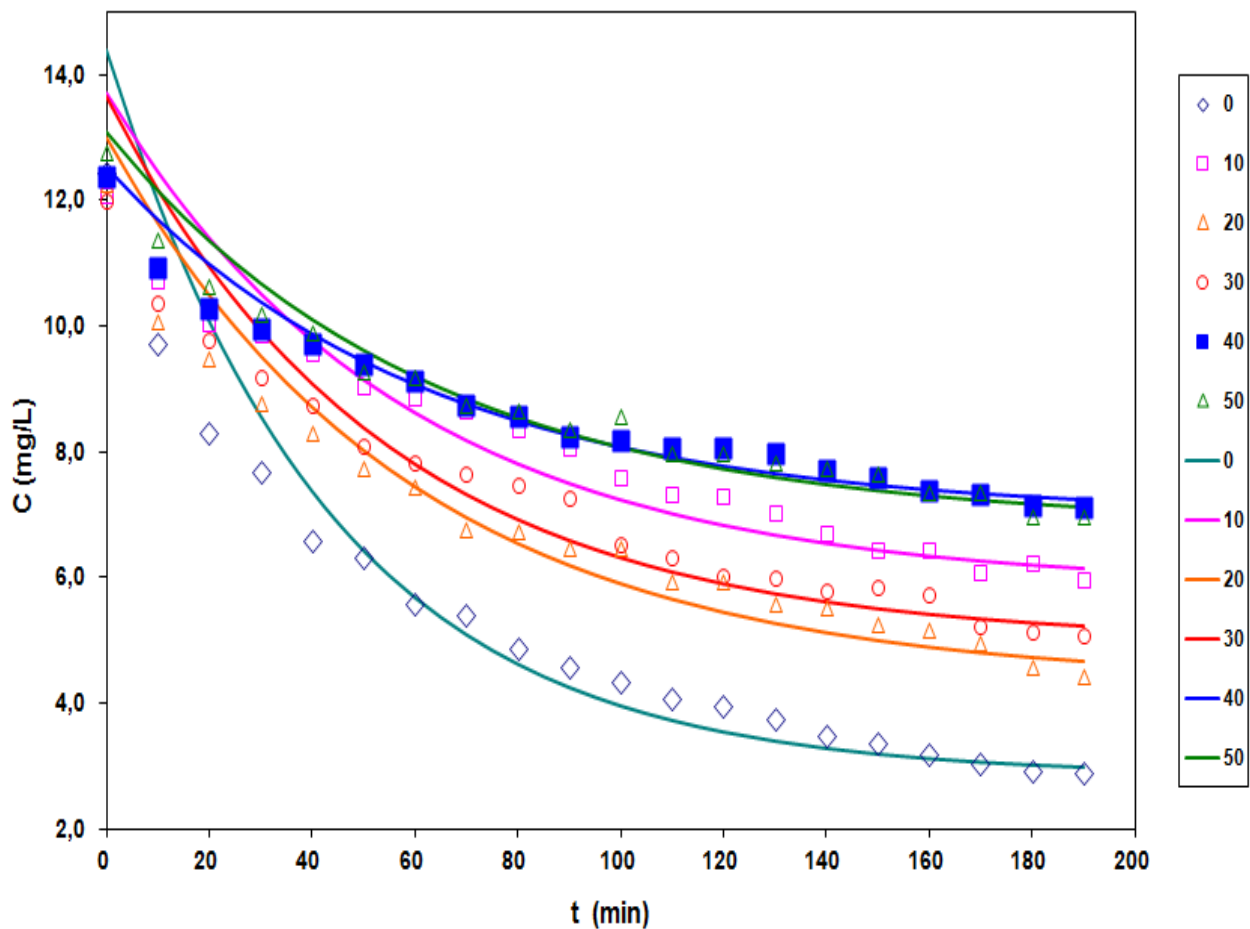


**Πινάκας 6.33:** Πειραματικά δεδομένα και υπολογισμός των παραμέτρων της Lagergren για προσρόφιση methylene blue σε άχυρο σιταριού προκατεργασμένο - αυτοϋδρόλυση στους 200° C για διάλυμα methylene blue με αρχική συγκέντρωση  $C_0= 14 \text{ mg/l}$ , (χρόνος προθέρμανσης 66 min)

t (min)	Πειραματικές τιμές $C_e$ σε mg/l για τους αντίστοιχους χρόνους αυτοϋδρόλυσης άχυρου σιταριού						Θεωρητικές τιμές $C_0$ σε mg/l για τους αντίστοιχους χρόνους αυτοϋδρόλυσης άχυρου σιταριού					
	0min	10min	20min	30min	40min	50min	0min	10min	20min	30min	40min	50min
0	12,4	12,1	12,3	12,0	12,4	12,8	14,4	13,7	13,0	13,6	12,5	13,1
10	9,7	10,7	10,1	10,4	10,9	11,4	12,0	12,5	11,6	12,2	11,7	12,1
20	8,3	10,1	9,5	9,8	10,3	10,6	10,1	11,4	10,5	10,9	11,0	11,3
30	7,7	9,9	8,8	9,2	10,0	10,2	8,6	10,5	9,5	9,9	10,4	10,7
40	6,6	9,6	8,3	8,7	9,7	9,9	7,4	9,8	8,7	9,1	9,9	10,1
50	6,3	9,0	7,7	8,1	9,4	9,3	6,4	9,1	8,0	8,4	9,4	9,6
60	5,6	8,9	7,4	7,8	9,1	9,2	5,7	8,6	7,4	7,8	9,1	9,2
70	5,4	8,7	6,7	7,7	8,7	8,7	5,1	8,2	7,0	7,3	8,7	8,8
80	4,9	8,3	6,7	7,5	8,6	8,7	4,6	7,8	6,5	6,9	8,5	8,5
90	4,6	8,1	6,5	7,3	8,2	8,4	4,2	7,5	6,2	6,6	8,3	8,3
100	4,3	7,6	6,5	6,5	8,2	8,6	4,0	7,2	5,9	6,3	8,1	8,1
110	4,1	7,3	5,9	6,3	8,1	8,0	3,7	7,0	5,7	6,1	7,9	7,9
120	4,0	7,3	5,9	6,0	8,1	8,0	3,5	6,8	5,4	5,9	7,8	7,7
130	3,7	7,0	5,6	6,0	8,0	7,8	3,4	6,7	5,3	5,7	7,6	7,6
140	3,5	6,7	5,5	5,8	7,7	7,8	3,3	6,5	5,1	5,6	7,5	7,5
150	3,4	6,4	5,2	5,8	7,6	7,6	3,2	6,4	5,0	5,5	7,5	7,4
160	3,2	6,5	5,2	5,7	7,4	7,3	3,1	6,3	4,9	5,4	7,4	7,3
170	3,0	6,1	4,9	5,2	7,3	7,3	3,1	6,3	4,8	5,3	7,3	7,2
180	2,9	6,2	4,6	5,1	7,2	7,0	3,0	6,2	4,7	5,3	7,3	7,2
190	2,9	6,0	4,4	5,1	7,1	7,0	3,0	6,1	4,7	5,2	7,2	7,1

$C_e$ (mg/L)	2,8	5,9	4,3	5,0	7,0	6,8
$C_o$ (mg/L)	14,4	13,7	13,0	13,6	12,5	13,1
$k$ ( $min^{-1}$ )	0,0234	0,0174	0,0171	0,0187	0,0163	0,0162
sum	14,2375	9,54441	6,09956	9,48132	1,62345	2,288
n-p	18	18	18	18	18	18
SEE	0,88937	0,72818	0,58212	0,72577	0,30032	0,35653

**Σχήμα 6.33:** Πειραματικές τιμές και θεωρητικές καμπύλες της συγκέντρωσης methylene blue συναρτήσει του χρόνου  $t$  (min) κατά την προσρόφηση αυτού σε άχυρο σιταριού προκατεργασμένο αυτοϋδρόλυση στους  $200^{\circ}C$  για 0 έως 50 min,  $C_o=14$  mg/l

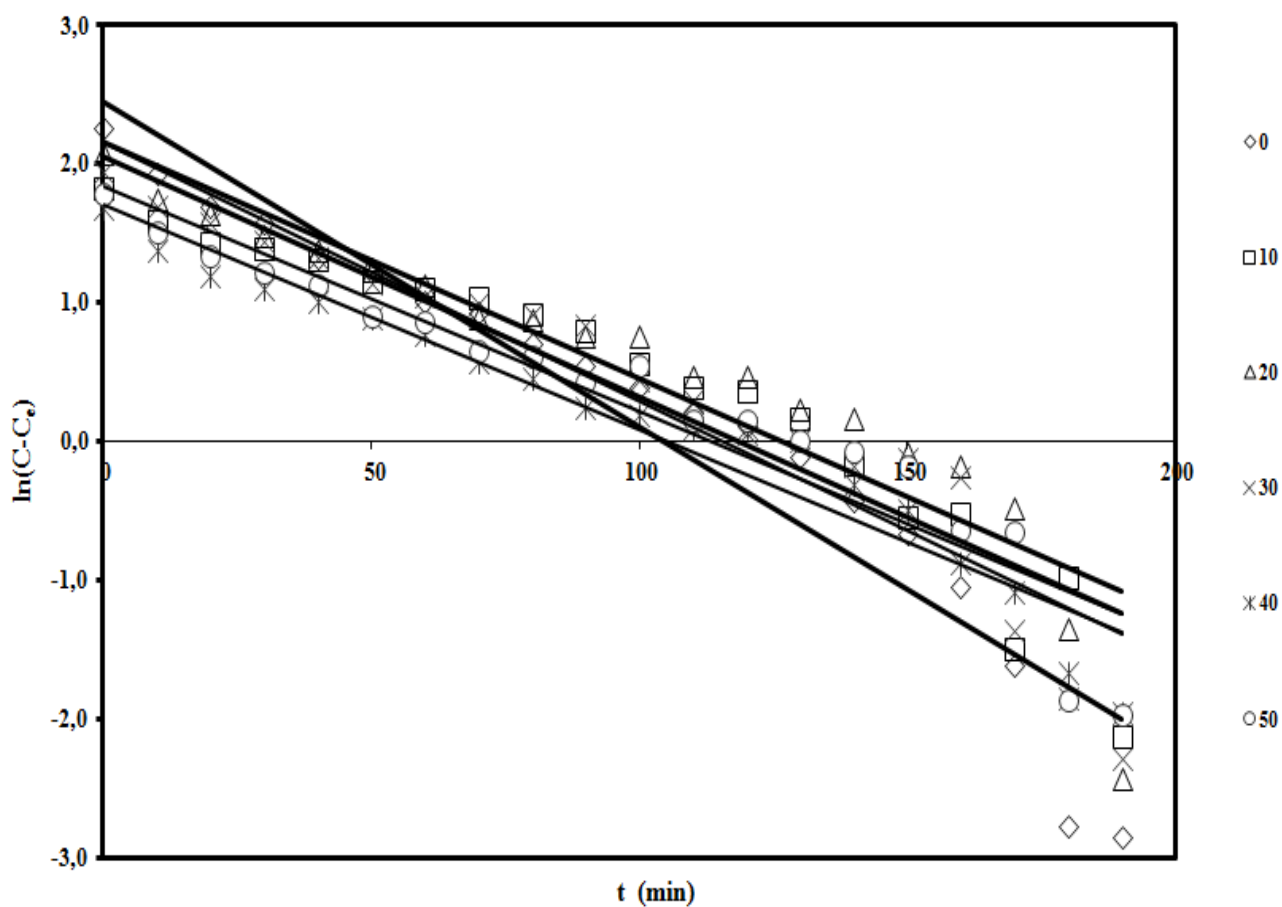


**Πίνακας 6.34:**  $\ln(C-C_e)$  των επεξεργασμένων πειραματικών αποτελεσμάτων ως προς το χρόνο  $t$  (min) για προσρόφιση methylene blue σε άχυρο σιταριού προκατεργασμένο-αυτοϋδρόλυση στους  $200^\circ\text{C}$  για 0 έως 50 min,  $C_0=14\text{ mg/l}$  (χρόνος προθέρμανσης 66 min)

t (min)	0 min	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min
0	2,26206	1,82949	2,0712	1,94895	1,68559	1,78216
10	1,92697	1,58265	1,74833	1,68752	1,37262	1,51407
20	1,69648	1,43454	1,63941	1,56956	1,19754	1,33681
30	1,57573	1,38966	1,48913	1,44198	1,09815	1,21511
40	1,32023	1,31012	1,38118	1,33028	1,00596	1,12169
50	1,24507	1,15508	1,22989	1,13908	0,8863	0,89737
60	1,01078	1,09952	1,13239	1,05333	0,76555	0,86788
70	0,93523	1,02958	0,88399	0,99244	0,57581	0,64967
80	0,7057	0,9122	0,87971	0,92073	0,4612	0,612
90	0,54086	0,79494	0,75621	0,83102	0,23989	0,43116
100	0,39304	0,55615	0,75891	0,44572	0,19209	0,55236
110	0,2053	0,3846	0,46764	0,29387	0,09808	0,15645
120	0,11085	0,36202	0,46589	0,06513	0,09963	0,14626
130	-0,1162	0,16244	0,23552	0,03717	0,01268	0,0083
140	-0,43349	-0,15815	0,16478	-0,18087	-0,30811	-0,06831
150	-0,65976	-0,547	-0,0865	-0,12432	-0,49724	-0,1832
160	-1,04081	-0,51756	-0,1715	-0,25307	-0,87842	-0,63317
170	-1,60855	-1,49339	-0,47996	-1,36774	-1,08304	-0,64805
180	-2,7787	-0,97884	-1,35389	-1,85203	-1,6618	-1,86951
190	-2,84628	-2,12468	-2,42692	-2,28939	-1,95013	-1,97236

<b>C<sub>e</sub> (mg/L)</b>	2,84493	5,85411	4,32711	4,96509	6,97049	6,81729
<b>C<sub>o</sub> (mg/L)</b>	14,3758	13,7134	12,9989	13,6435	12,5164	13,0824
<b>ln(C<sub>o</sub>-C<sub>e</sub>)</b>	2,4450	2,0617	2,1601	2,1608	1,7131	1,8350
<b>k (min<sup>-1</sup>)</b>	0,0234	0,0174	0,0171	0,0187	0,0163	0,0162
<b>R</b>	-0,9598	-0,9524	-0,9306	-0,9479	-0,9711	-0,9491
<b>R<sup>2</sup></b>	0,9212	0,9070	0,8661	0,8985	0,9430	0,9009

**Σχήμα 6.34:** ln(C- C<sub>e</sub>), συναρτήσει του χρόνου t (min) για προσρόφηση methylene blue σε άχυρο σιταριού προκατεργασμένο-αυτοϋδρόλυση στους 200° C για 0 έως 50 min, C<sub>o</sub>=14 mg/l (χρόνος προθέρμανσης 66 min)

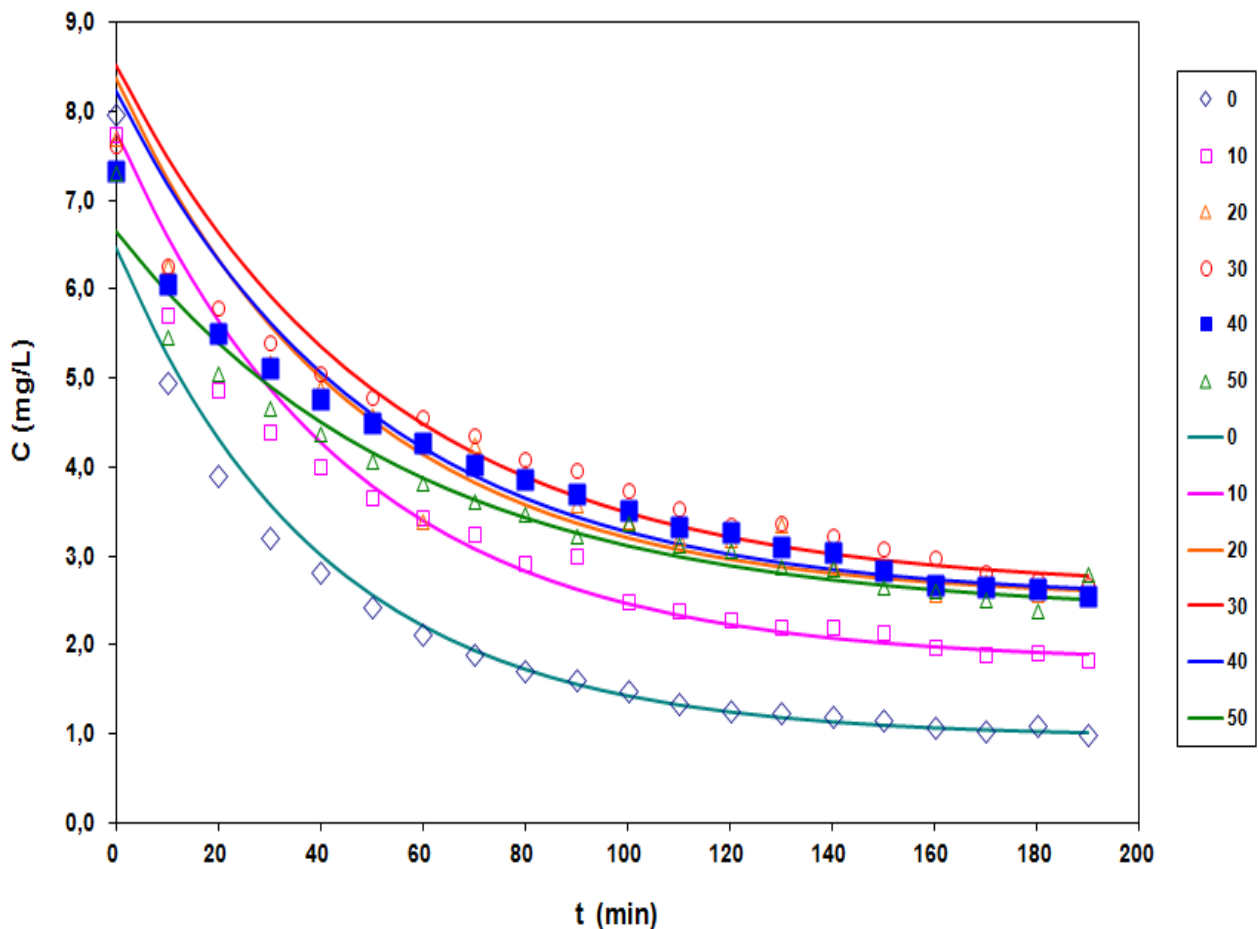


**Πινάκας 6.35:** Πειραματικά δεδομένα και υπολογισμός των παραμέτρων της Lagergren για προσρόφιση methylene blue σε άχυρο σιταριού προκατεργασμένο - αυτοϋδρόλυση στους 200° C για διάλυμα methylene blue με αρχική συγκέντρωση  $C_0=7,8$  mg/l, (χρόνος προθέρμανσης 66 min)

t (min)	Πειραματικές τιμές $C_e$ σε mg/l για τους αντίστοιχους χρόνους αυτοϋδρόλυσης άχυρου σιταριού						Θεωρητικές τιμές $C_0$ σε mg/l για τους αντίστοιχους χρόνους αυτοϋδρόλυσης άχυρου σιταριού					
	0min	10min	20min	30min	40min	50min	0min	10min	20min	30min	40min	50min
0	8,0	7,7	7,7	7,6	7,3	7,3	6,5	7,8	8,4	8,5	8,2	6,7
10	5,0	5,7	6,3	6,3	6,1	5,5	5,3	6,6	7,2	7,5	7,2	6,0
20	3,9	4,9	5,5	5,8	5,5	5,1	4,3	5,6	6,3	6,6	6,3	5,4
30	3,2	4,4	5,2	5,4	5,1	4,7	3,6	4,9	5,6	5,9	5,6	4,9
40	2,8	4,0	4,9	5,0	4,8	4,4	3,0	4,3	5,0	5,4	5,1	4,5
50	2,4	3,7	4,6	4,8	4,5	4,1	2,6	3,8	4,5	4,9	4,6	4,2
60	2,1	3,4	3,4	4,6	4,3	3,8	2,2	3,4	4,1	4,5	4,2	3,9
70	1,9	3,2	4,3	4,4	4,0	3,6	1,9	3,1	3,8	4,2	3,9	3,6
80	1,7	2,9	3,9	4,1	3,9	3,5	1,7	2,8	3,6	3,9	3,6	3,4
90	1,6	3,0	3,6	4,0	3,7	3,2	1,6	2,6	3,4	3,7	3,4	3,3
100	1,5	2,5	3,4	3,8	3,5	3,4	1,4	2,5	3,2	3,5	3,3	3,1
110	1,3	2,4	3,2	3,5	3,3	3,1	1,3	2,3	3,1	3,3	3,1	3,0
120	1,3	2,3	3,2	3,3	3,3	3,1	1,2	2,2	3,0	3,2	3,0	2,9
130	1,2	2,2	3,4	3,4	3,1	2,9	1,2	2,1	2,9	3,1	2,9	2,8
140	1,2	2,2	2,9	3,2	3,0	2,9	1,1	2,1	2,8	3,0	2,8	2,7
150	1,2	2,1	2,9	3,1	2,8	2,7	1,1	2,0	2,7	3,0	2,8	2,7
160	1,1	2,0	2,6	3,0	2,7	2,6	1,1	2,0	2,7	2,9	2,7	2,6
170	1,0	1,9	2,7	2,8	2,7	2,5	1,0	1,9	2,7	2,8	2,7	2,6
180	1,1	1,9	2,6	2,7	2,6	2,4	1,0	1,9	2,6	2,8	2,7	2,5
190	1,0	1,8	2,6	2,7	2,6	2,8	1,0	1,9	2,6	2,8	2,6	2,5

<b><math>C_e</math> (mg/L)</b>	1,0	1,8	2,5	2,6	2,5	2,3
<b><math>C_o</math> (mg/L)</b>	6,5	7,8	8,4	8,5	8,2	6,7
<b><math>k</math> (<math>\text{min}^{-1}</math>)</b>	0,0247	0,0220	0,0213	0,0192	0,0201	0,0172
<b>sum</b>	2,79006	1,97658	3,68966	3,88933	3,54165	1,12576
<b><math>n-p</math></b>	18	18	18	18	18	18
<b>SEE</b>	0,3937	0,33138	0,45275	0,46484	0,44357	0,25008

**Σχήμα 6.35:** Πειραματικές τιμές και θεωρητικές καμπύλες της συγκέντρωσης methylene blue συναρτήσει του χρόνου  $t$  (min) κατά την προσρόφηση αυτού σε άχυρο σιταριού προκατεργασμένο αυτοϋδρόλυση στους  $200^\circ\text{C}$  για 0 έως 50 min,  $C_o=7,8$  mg/l



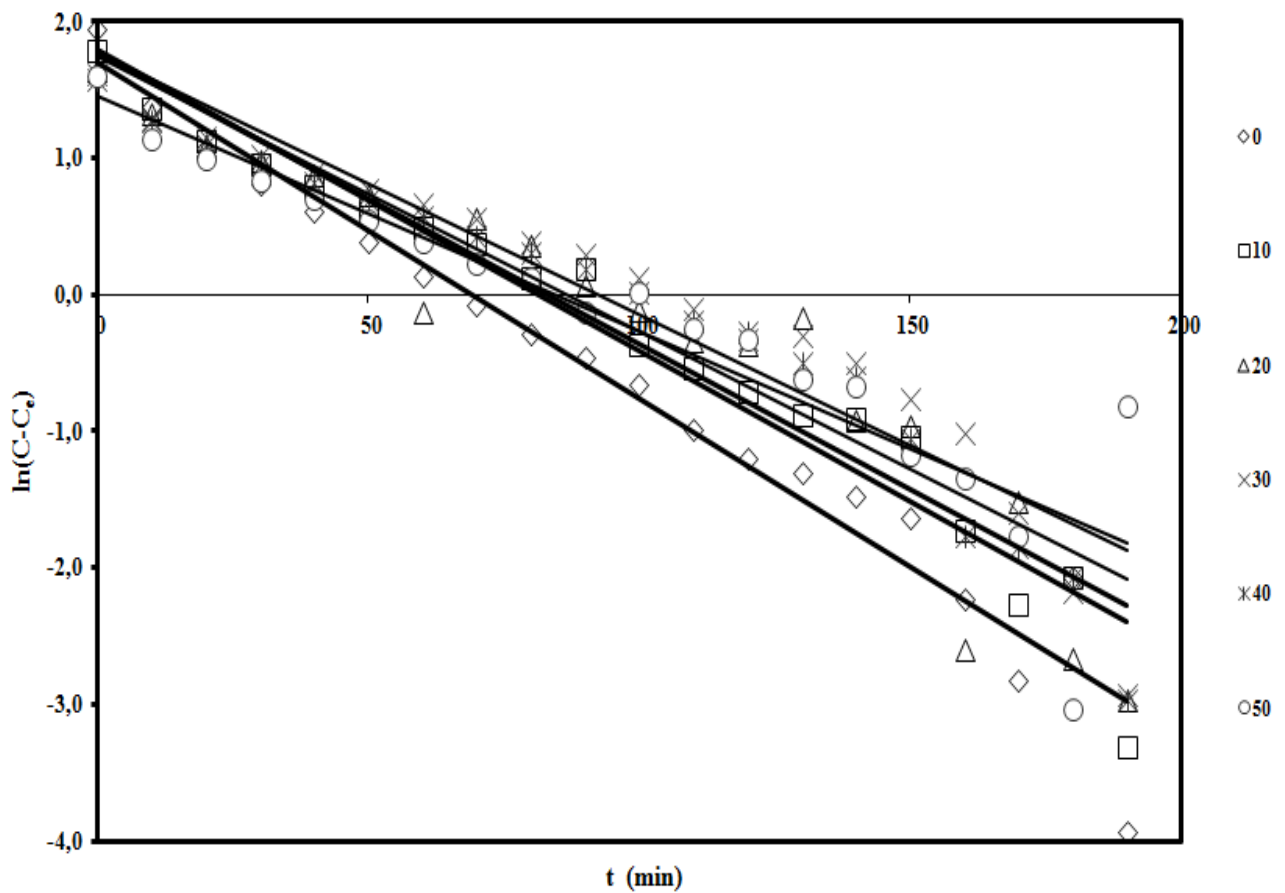


**Πίνακας 6.36:**  $\ln(C-C_e)$  των επεξεργασμένων πειραματικών αποτελεσμάτων ως προς το χρόνο  $t$  (min) για προσρόφιση methylene blue σε άχυρο σιταριού προκατεργασμένο-αυτοϋδρόλυση στους  $200^\circ\text{C}$  για 0 έως 50 min,  $C_0=7,8\text{ mg/l}$  (χρόνος προθέρμανσης 66 min)

t (min)	0 min	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min
0	1,94738	1,781	1,64779	1,61041	1,57394	1,60103
10	1,38367	1,3628	1,32271	1,29048	1,26892	1,13881
20	1,07965	1,12225	1,09136	1,15166	1,1023	0,99771
30	0,81146	0,95323	0,98219	1,019	0,95799	0,84102
40	0,61475	0,79343	0,87238	0,88644	0,81721	0,70941
50	0,38339	0,6248	0,7353	0,77325	0,69166	0,54068
60	0,13696	0,4959	-0,12598	0,65855	0,57581	0,38395
70	-0,07684	0,36953	0,56133	0,5534	0,42638	0,23265
80	-0,28503	0,11766	0,36556	0,38025	0,3136	0,12525
90	-0,45533	0,19296	0,06485	0,29153	0,18412	-0,1244
100	-0,66155	-0,36926	-0,11985	0,12024	0,02206	0,01824
110	-0,98214	-0,54088	-0,3429	-0,09571	-0,19271	-0,24656
120	-1,198	-0,71424	-0,36801	-0,32951	-0,26945	-0,32961
130	-1,30445	-0,88067	-0,16192	-0,29438	-0,49519	-0,62272
140	-1,4716	-0,9135	-0,92041	-0,49714	-0,60298	-0,66391
150	-1,63859	-1,04138	-0,95497	-0,76044	-1,05877	-1,17758
160	-2,22752	-1,73131	-2,60345	-1,01648	-1,77312	-1,34411
170	-2,8254	-2,27526	-1,51482	-1,5985	-1,84739	-1,76169
180	-2,06733	-2,07708	-2,65968	-2,18066	-2,06678	-3,03902
190	-3,92795	-3,30641	-2,97422	-2,92776	-2,97527	-0,81384

<b>C<sub>e</sub> (mg/L)</b>	0,96451	1,79573	2,50328	2,62233	2,50064	2,34621
<b>C<sub>o</sub> (mg/L)</b>	6,4582	7,77516	8,37062	8,5194	8,23074	6,65185
<b>ln(C<sub>o</sub>-C<sub>e</sub>)</b>	1,7036	1,7883	1,7694	1,7745	1,7457	1,4599
<b>k (min<sup>-1</sup>)</b>	0,0247	0,0220	0,0213	0,0192	0,0201	0,0172
<b>R</b>	-0,9779	-0,9747	-0,9406	-0,9541	-0,9648	-0,9232
<b>R<sup>2</sup></b>	0,9562	0,9500	0,8848	0,9104	0,9308	0,8522

**Σχήμα 6.36:** ln(C- C<sub>e</sub>), συναρτήσει του χρόνου t (min) για προσρόφηση methylene blue σε άχυρο σιταριού προκατεργασμένο-αυτοϋδρόλυση στους 200° C για 0 έως 50 min, Co=7,8 mg/l (χρόνος προθέρμανσης 66 min)

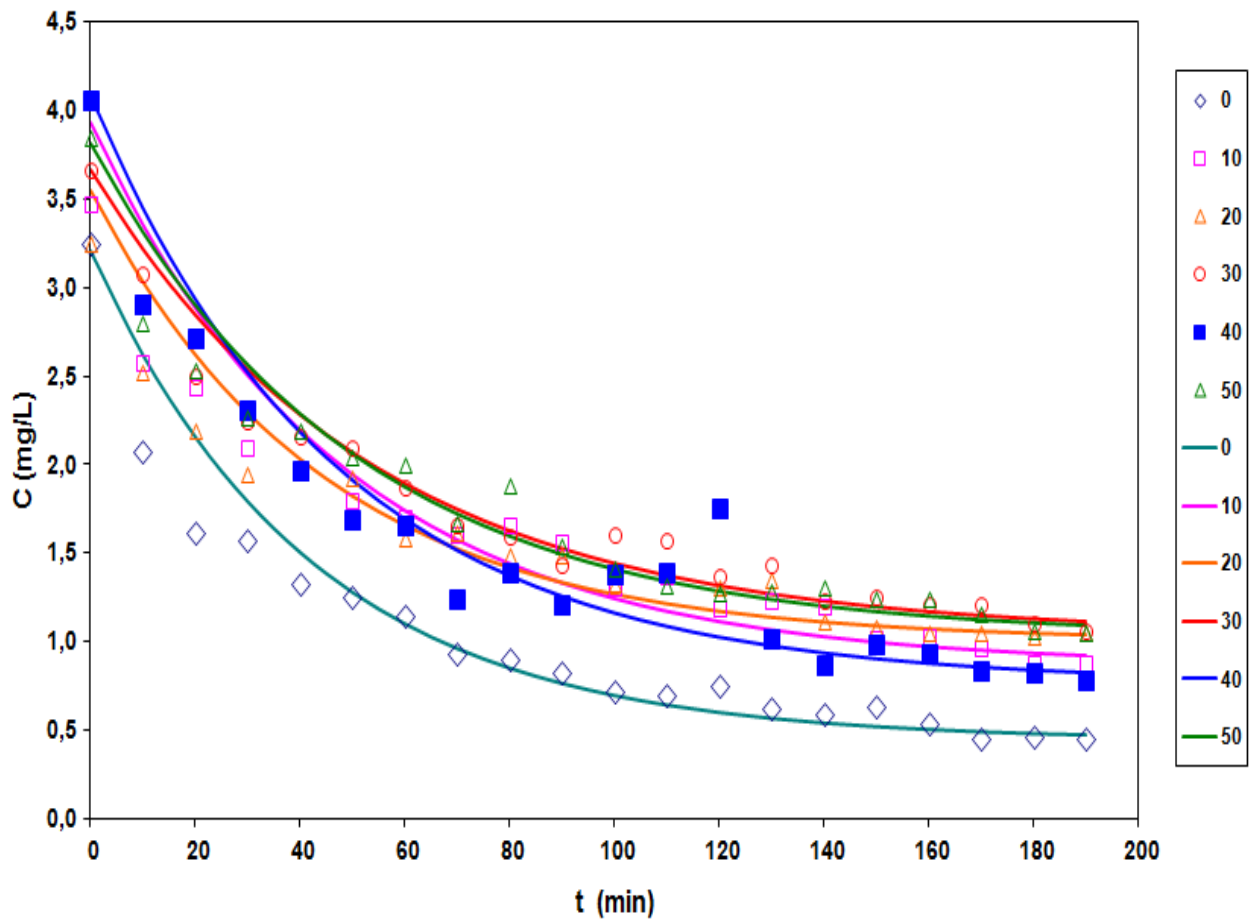


**Πινάκας 6.37:** Πειραματικά δεδομένα και υπολογισμός των παραμέτρων της Lagergren για προσρόφιση methylene blue σε άχυρο σιταριού προκατεργασμένο - αυτοϋδρόλυση στους 200° C για διάλυμα methylene blue με αρχική συγκέντρωση  $C_0= 3,1 \text{ mg/l}$ , (χρόνος προθέρμανσης 66 min)

t (min)	Πειραματικές τιμές $C_e$ σε mg/l για τους αντίστοιχους χρόνους αυτοϋδρόλυσης άχυρου σιταριού						Θεωρητικές τιμές $C_0$ σε mg/l για τους αντίστοιχους χρόνους αυτοϋδρόλυσης άχυρου σιταριού					
	0min	10min	20min	30min	40min	50min	0min	10min	20min	30min	40min	50min
0	3,2	3,5	3,3	3,7	4,1	3,8	3,2	3,9	3,5	3,7	4,1	3,8
10	2,1	2,6	2,5	3,1	2,9	2,8	2,6	3,4	3,0	3,2	3,4	3,3
20	1,6	2,4	2,2	2,5	2,7	2,5	2,2	2,9	2,6	2,8	2,9	2,9
30	1,6	2,1	1,9	2,2	2,3	2,3	1,8	2,5	2,3	2,5	2,5	2,6
40	1,3	2,0	2,0	2,2	2,0	2,2	1,5	2,2	2,0	2,3	2,2	2,3
50	1,3	1,8	1,9	2,1	1,7	2,0	1,3	1,9	1,8	2,1	1,9	2,1
60	1,1	1,7	1,6	1,9	1,7	2,0	1,1	1,7	1,7	1,9	1,7	1,9
70	0,9	1,6	1,6	1,7	1,2	1,7	1,0	1,6	1,5	1,7	1,5	1,7
80	0,9	1,7	1,5	1,6	1,4	1,9	0,8	1,4	1,4	1,6	1,4	1,6
90	0,8	1,6	1,5	1,4	1,2	1,5	0,8	1,3	1,3	1,5	1,3	1,5
100	0,7	1,3	1,3	1,6	1,4	1,4	0,7	1,2	1,3	1,4	1,2	1,4
110	0,7	1,4	1,4	1,6	1,4	1,3	0,6	1,2	1,2	1,4	1,1	1,3
120	0,7	1,2	1,3	1,4	1,7	1,3	0,6	1,1	1,2	1,3	1,0	1,3
130	0,6	1,2	1,3	1,4	1,0	1,3	0,6	1,1	1,1	1,3	1,0	1,2
140	0,6	1,2	1,1	1,2	0,9	1,3	0,5	1,0	1,1	1,2	0,9	1,2
150	0,6	1,0	1,1	1,3	1,0	1,2	0,5	1,0	1,1	1,2	0,9	1,2
160	0,5	1,0	1,1	1,2	0,9	1,2	0,5	1,0	1,1	1,2	0,9	1,1
170	0,5	1,0	1,0	1,2	0,8	1,2	0,5	1,0	1,1	1,1	0,9	1,1
180	0,5	0,9	1,0	1,1	0,8	1,1	0,5	0,9	1,1	1,1	0,8	1,1
190	0,5	0,9	1,0	1,1	0,8	1,0	0,5	0,9	1,0	1,1	0,8	1,1

<b><math>C_e</math> (mg/L)</b>	0,4	0,9	1,0	1,0	0,8	1,0
<b><math>C_o</math> (mg/L)</b>	3,2	3,9	3,5	3,7	4,1	3,8
<b><math>k</math> (<math>min^{-1}</math>)</b>	0,0239	0,0209	0,0227	0,0187	0,0212	0,0199
<b>sum</b>	0,72805	1,46962	0,80626	0,36495	1,24682	0,63463
<b><math>n-p</math></b>	18	18	18	18	18	18
<b>SEE</b>	0,20112	0,28574	0,21164	0,14239	0,26319	0,18777

**Σχήμα 6.37:** Πειραματικές τιμές και θεωρητικές καμπύλες της συγκέντρωσης methylene blue συναρτήσει του χρόνου  $t$  (min) κατά την προσρόφηση αυτού σε άχυρο σιταριού προκατεργασμένο αυτοϋδρόλυση στους  $200^{\circ}C$  για 0 έως 50 min,  $C_o=3,1$  mg/l

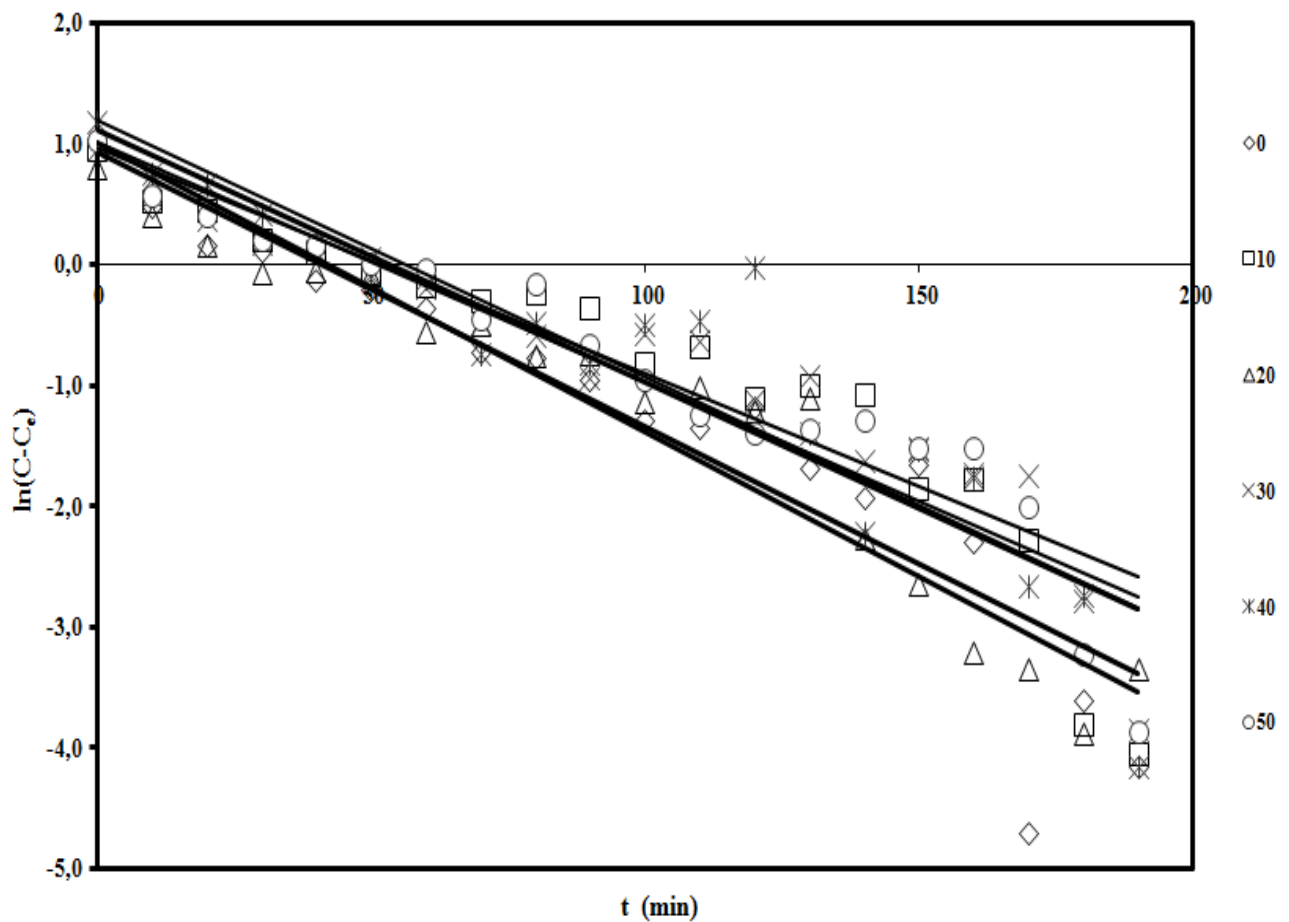


**Πίνακας 6.38:**  $\ln(C-C_e)$  των επεξεργασμένων πειραματικών αποτελεσμάτων ως προς το χρόνο  $t$  (min) για προσρόφιση methylene blue σε άχυρο σιταριού προκατεργασμένο-αυτοϋδρόλυση στους  $200^\circ\text{C}$  για 0 έως 50 min,  $C_0=3,1$  mg/l (χρόνος προθέρμανσης 66 min)

t (min)	0 min	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min
0	1,03124	0,95956	0,80721	0,96501	1,19094	1,03707
10	0,48876	0,53624	0,41035	0,71104	0,75982	0,5708
20	0,15768	0,45755	0,16965	0,38235	0,66917	0,407
30	0,12257	0,20615	-0,0694	0,18756	0,43111	0,21191
40	-0,11905	0,09996	-0,04828	0,11746	0,18759	0,15734
50	-0,20288	-0,06784	-0,08661	0,05371	-0,07496	0,01931
60	-0,35651	-0,17155	-0,55548	-0,18716	-0,11529	-0,02746
70	-0,72047	-0,29189	-0,49807	-0,46947	-0,72952	-0,44796
80	-0,77211	-0,22589	-0,74692	-0,58445	-0,46969	-0,15839
90	-0,94713	-0,35861	-0,73066	-0,93451	-0,81736	-0,65848
100	-1,29074	-0,81028	-1,13717	-0,56132	-0,48626	-0,95598
110	-1,35311	-0,66833	-1,0028	-0,6323	-0,46354	-1,24381
120	-1,18394	-1,10343	-1,21157	-1,11324	-0,01588	-1,39638
130	-1,6793	-0,99852	-1,09805	-0,92147	-1,39124	-1,36599
140	-1,91868	-1,07341	-2,26151	-1,61744	-2,21884	-1,28909
150	-1,65447	-1,84682	-2,63564	-1,51999	-1,52395	-1,51625
160	-2,28659	-1,77842	-3,20618	-1,73233	-1,75851	-1,51625
170	-4,70758	-2,28154	-3,33723	-1,73951	-2,66089	-2,00371
180	-3,60544	-3,79542	-3,88126	-2,7748	-2,73268	-3,22832
190	-4,14621	-4,03993	-3,33723	-3,85508	-4,15955	-3,86572

<b>C<sub>e</sub> (mg/L)</b>	0,4423	0,86234	1,01062	1,03742	0,76511	1,02645
<b>C<sub>o</sub> (mg/L)</b>	3,2048	3,92801	3,54983	3,66461	4,08349	3,81002
<b>ln(C<sub>o</sub>-C<sub>e</sub>)</b>	1,0161	1,1203	0,9319	0,9659	1,1995	1,0237
<b>k (min<sup>-1</sup>)</b>	0,0239	0,0209	0,0227	0,0187	0,0212	0,0199
<b>R</b>	-0,9341	-0,9250	-0,9582	-0,9414	-0,9226	-0,9464
<b>R<sup>2</sup></b>	0,8725	0,8556	0,9182	0,8863	0,8513	0,8957

**Σχήμα 6.38:** ln(C- C<sub>e</sub>), συνάρτησι του χρόνου t (min) για προσρόφηση methylene blue σε άχυρο σιταριού προκατεργασμένο-αυτοϋδρόλυση στους 200° C για 0 έως 50 min, C<sub>o</sub>=3,1 mg/l (χρόνος προθέρμανσης 66 min)



### 6.3. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα

#### 6.3.1. επεξεργασία αποτελεσμάτων με γραμμική παλινδρόμηση

**Πινάκες 6.39:** Πειραματικά δεδομένα και υπολογισμός των παραμέτρων της Lagergren για προσρόφιση methylene blue από άχυρο σιταριού προκατεργασμένο - αυτοϋδρόλυση στους 160°C για διάλυμα methylene blue με διάφορες αρχικές συγκεντρώσεις, (χρόνος προθέρμανσης 44 min)

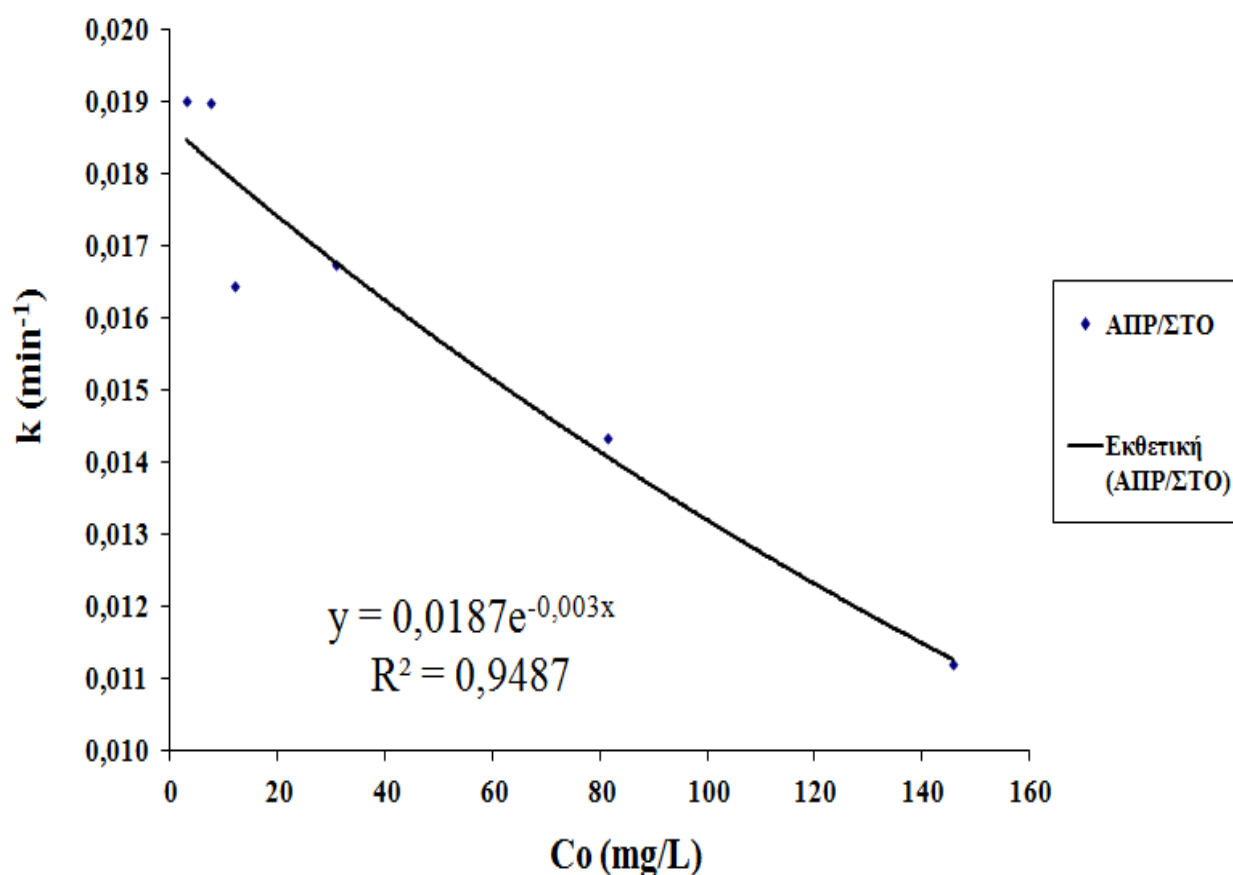
<b>Co (mg/L)</b>								
<b>a/a</b>	<b>Απρ/στο</b>	<b>0 min</b>	<b>10 min</b>	<b>20 min</b>	<b>30 min</b>	<b>40 min</b>	<b>50 min</b>	<b>Average</b>
1	159,4	146,0	143,8	155,3	140,2	142,6	146,3	145,6
2	89,0	78,3	88,3	81,8	76,7	82,8	80,5	81,4
3	34,5	33,1	31,7	31,1	29,3	29,5	30,8	30,9
4	12,4	12,3	12,5	12,2	11,9	12,1	12,2	12,2
5	7,8	8,2	7,9	7,6	7,6	7,5	7,6	7,7
6	3,7	3,1	2,9	3,3	3,1	3,5	3,0	3,1

<b>k (min-1)</b>								
<b>Co (mg/L)</b>	<b>Απρ/στο</b>	<b>0 min</b>	<b>10 min</b>	<b>20 min</b>	<b>30 min</b>	<b>40 min</b>	<b>50 min</b>	<b>k<sub>average</sub></b>
145,6	0,01120	0,0109	0,0080	0,0150	0,0122	0,0121	0,0105	<b>0,0115</b>
81,4	0,01433	0,0156	0,0159	0,0157	0,0134	0,0145	0,0146	<b>0,0150</b>
30,9	0,01676	0,0194	0,0125	0,0194	0,0144	0,0162	0,0152	<b>0,0162</b>
12,2	0,01644	0,0195	0,0205	0,0200	0,0199	0,0206	0,0161	<b>0,0194</b>
7,7	0,01900	0,0197	0,0213	0,0187	0,0161	0,0187	0,0219	<b>0,0194</b>
3,1	0,01902	0,0239	0,0196	0,0217	0,0222	0,0222	0,0220	<b>0,0219</b>
<b>Average</b>	0,0161	0,0182	0,0163	0,0184	0,0164	0,0174	0,0167	<b>0,0172</b>

<b>qe (mg/g)</b>							
<b>Co (mg/L)</b>	<b>Απρ/στο</b>	<b>0 min</b>	<b>10 min</b>	<b>20 min</b>	<b>30 min</b>	<b>40 min</b>	<b>50 min</b>
145,6	44,53	39,18	45,02	43,18	33,26	34,59	35,07
81,4	29,56	31,21	36,23	30,00	24,44	24,13	24,78
30,9	20,40	18,99	18,86	18,88	11,84	14,39	13,58
12,2	6,21	7,73	8,67	7,82	7,87	8,70	4,94
7,7	4,53	5,71	6,03	5,86	6,58	6,51	6,32
3,1	2,66	2,34	2,00	2,66	2,45	2,89	2,43

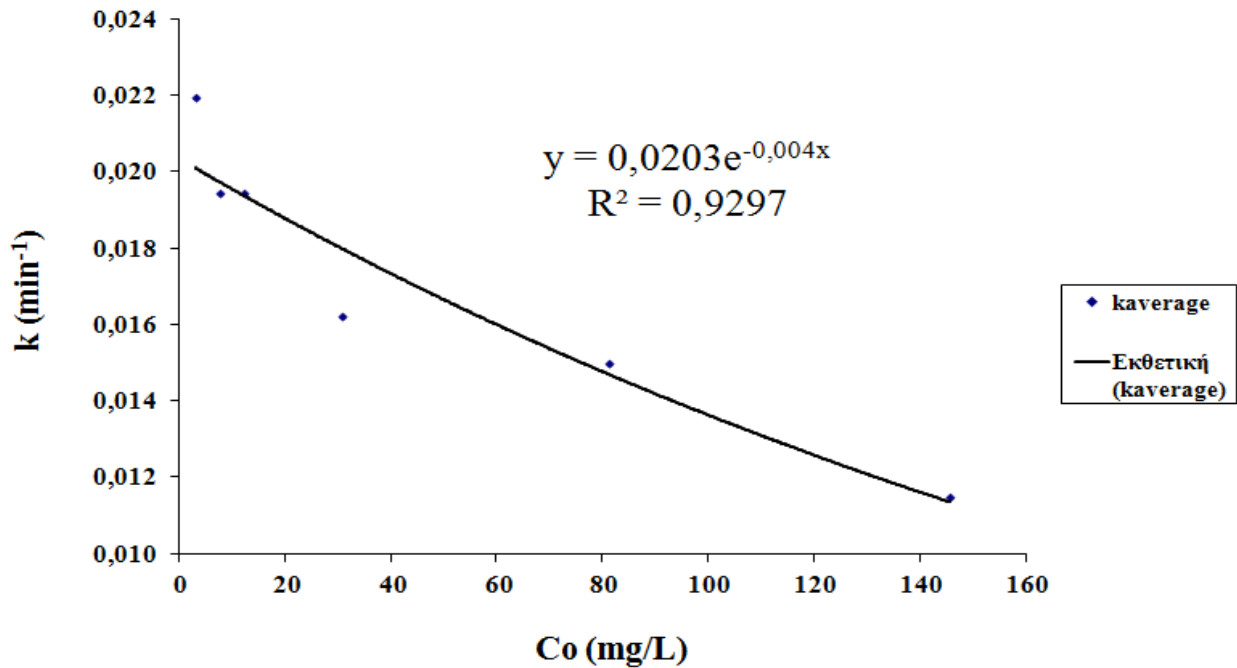
Co (mg/L)	%						
	Απρ/στο	0 min	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min
145,6	28%	27%	31%	28%	24%	24%	24%
81,4	33%	40%	41%	37%	32%	29%	31%
30,9	59%	57%	59%	61%	40%	49%	44%
12,2	50%	63%	69%	64%	66%	72%	40%
7,7	58%	70%	76%	77%	86%	87%	83%
3,1	71%	76%	69%	81%	79%	83%	81%

**Σχήμα 6.39:** Γραφική απεικόνιση της επίδρασης της αρχικής συγκέντρωσης Co στην σταθερά ταχύτητας προσρόφησης του methylene blue από άχυρο σιταριού απροκατέργαστο.

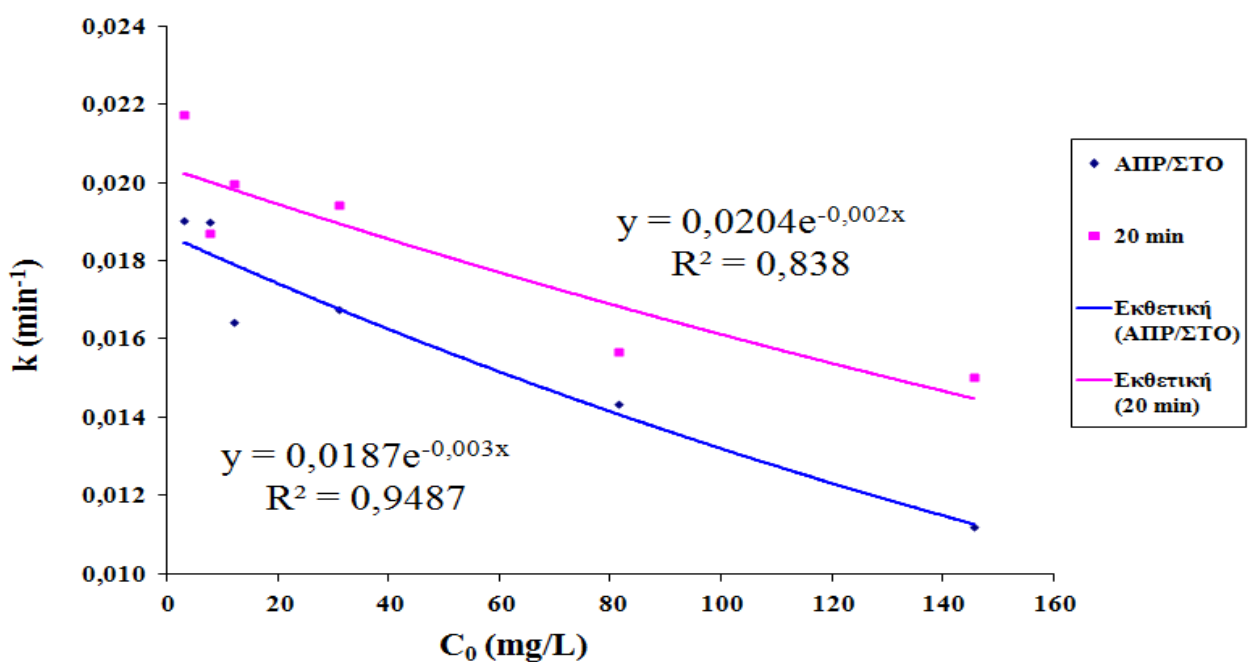




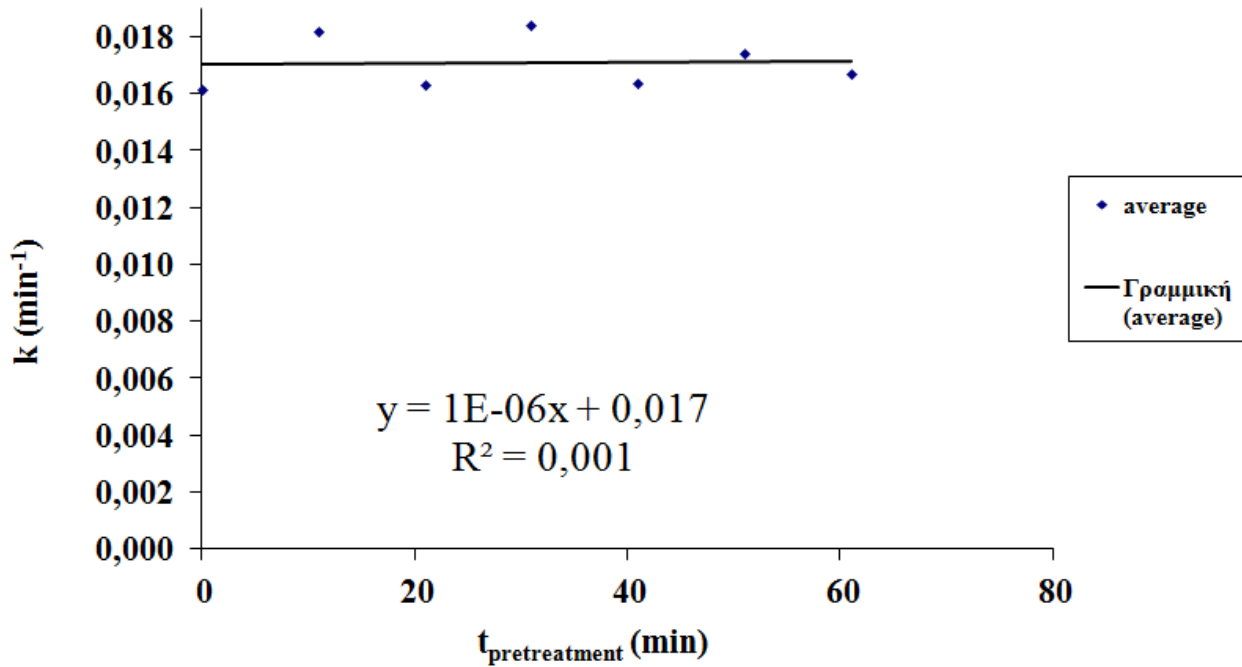
**Σχήμα 6.40:** Γραφική απεικόνιση της επίδρασης της αρχικής συγκέντρωσης  $C_0$  στην σταθερά ταχύτητας προσρόφησης του methylene blue από άχυρο σιταριού προκατεργασμένο (αυτοϋδρόλυση) στους  $160^\circ\text{C}$  για 0 έως 50 min.



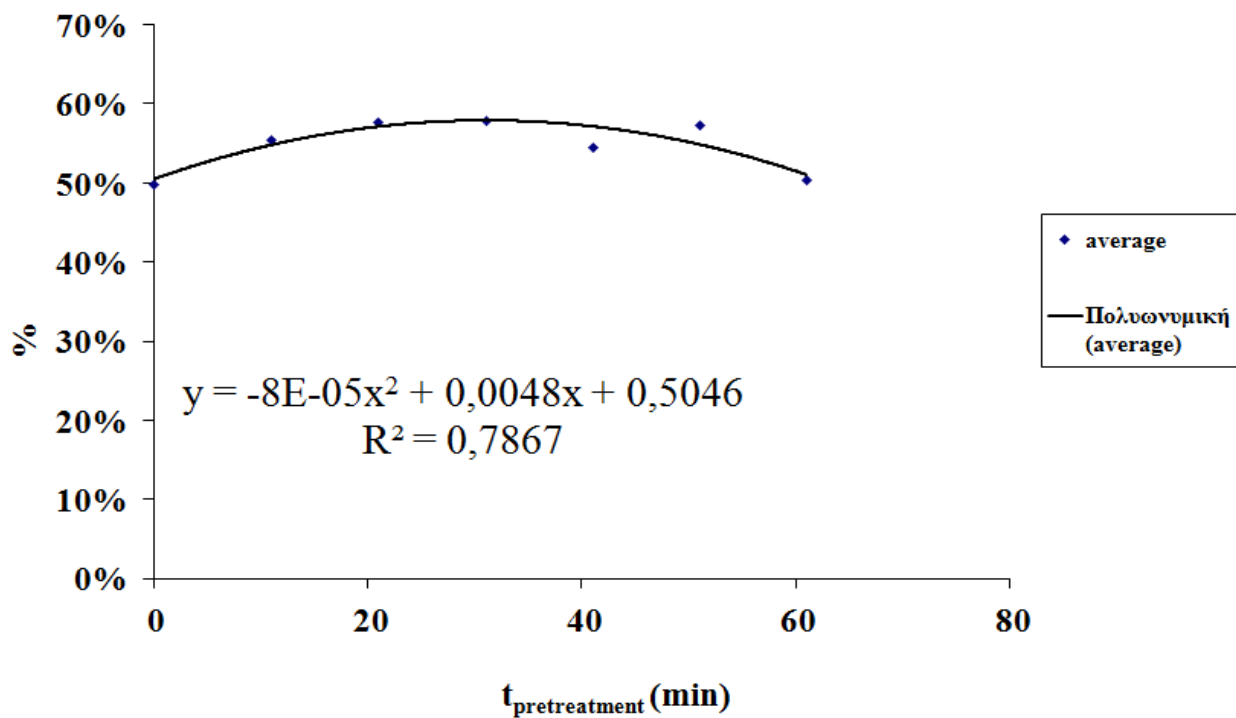
**Σχήμα 6.41:** Συγκριτική γραφική απεικόνιση της επίδρασης της αρχικής συγκέντρωσης  $C_0$  στην σταθερά ταχύτητας προσρόφησης του methylene blue από άχυρο σιταριού απροκατέργαστο και άχυρο σιταριού προκατεργασμένο (αυτοϋδρόλυση) στους  $160^\circ\text{C}$  για 20 min (συνθήκες προκατεργασίας με τα καλύτερα αποτελέσματα).



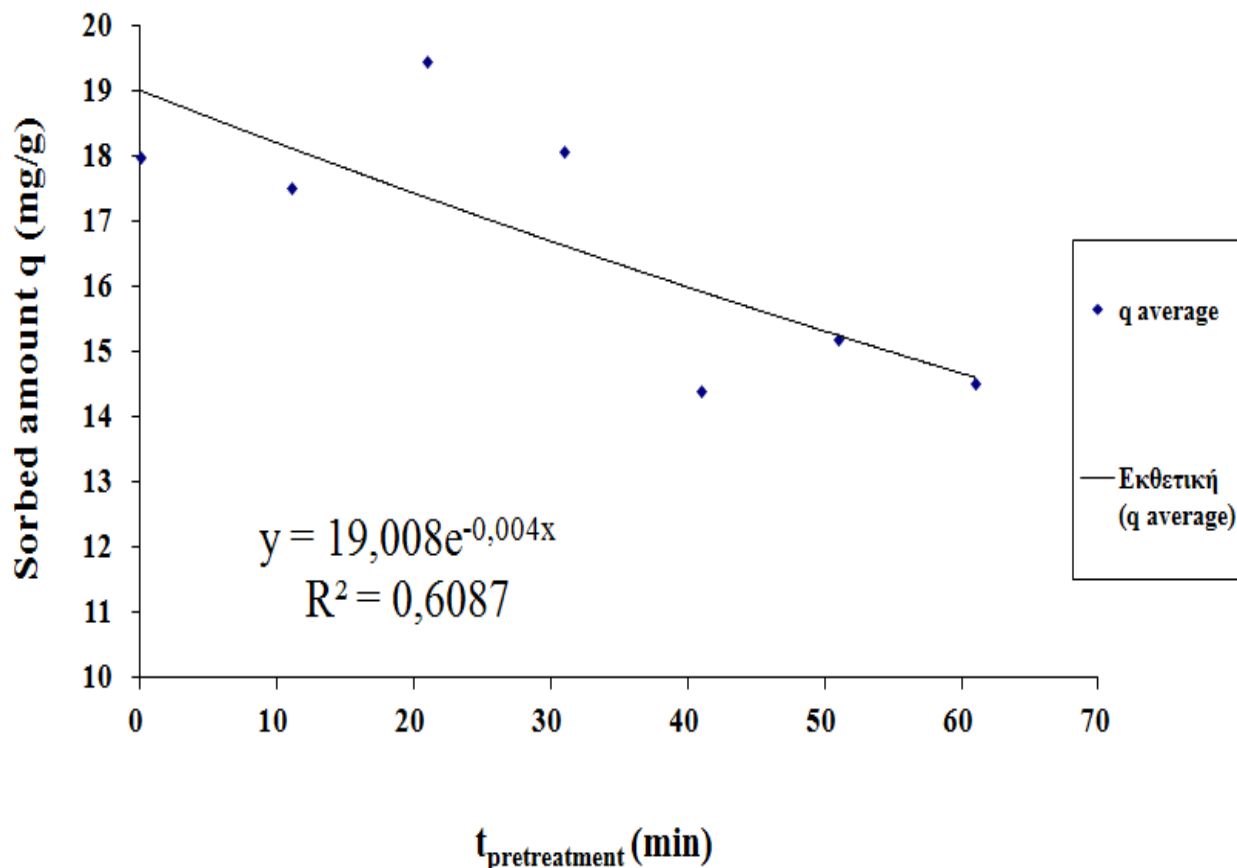
**Σχήμα 6.42 :** Γραφική απεικόνιση του μέσου όρου της σταθεράς ταχύτητας προσρόφησης,  $k_{average}$  ( $\text{min}^{-1}$ ) συναρτήσει του χρόνου προκατεργασίας του προσροφητικού μέσου (άχυρο σιταριού) στους  $160^{\circ}\text{C}$  για 0 έως 50 min.



**Σχήμα 6.43:** Γραφική απεικόνιση του ποσοστού προσρόφησης  $A\%$  συναρτήσει του χρόνου προκατεργασίας του προσροφητικού μέσου (άχυρο σιταριού) στους  $160^{\circ}\text{C}$  για 0 έως 50 min.



**Σχήμα 6.44:** Γραφική απεικόνιση της ποσότητας του methylene blue που έχει απομακρυνθεί συναρτήσει του χρόνου προκατεργασίας του προσροφητικού μέσου (άχυρο σιταριού) στους 160°C για 0 έως 50 min.



**Πινάκας 6.40:** Πειραματικά δεδομένα και υπολογισμός των παραμέτρων της Lagergren για προσρόφηση methylene blue από άχυρο σιταριού προκατεργασμένο - αυτοϋδρόλυση στους 180°C για διάλυμα methylene blue με διάφορες αρχικές συγκεντρώσεις, (χρόνος προθέρμανσης 47 min)

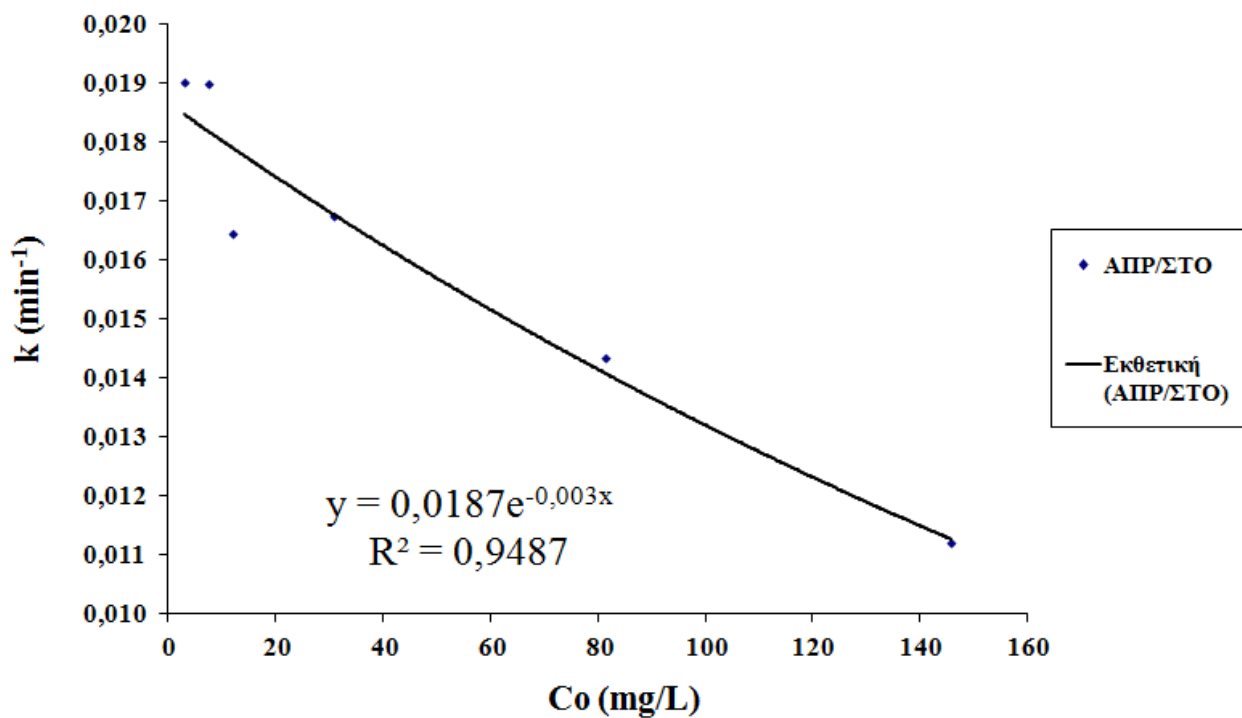
		C <sub>0</sub> (mg/L)						
a/a	Απρ/στο	0 min	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min	Average
1	159,4	155,7	160,7	157,2	155,5	159,1	151,3	<b>156,8</b>
2	89,0	90,8	93,6	79,1	82,0	81,0	77,2	<b>83,9</b>
3	34,5	36,3	32,0	31,6	30,7	29,7	36,8	<b>32,8</b>
4	12,4	11,8	12,3	11,8	12,4	11,8	12,1	<b>12,0</b>
5	7,8	7,6	7,7	7,8	7,7	7,4	7,8	<b>7,7</b>
6	3,7	3,1	3,0	3,3	3,0	3,4	3,5	<b>3,2</b>

<b>k (min-1)</b>								
<b>Co (mg/L)</b>	<b>Απρ/στο</b>	<b>0 min</b>	<b>10 min</b>	<b>20 min</b>	<b>30 min</b>	<b>40 min</b>	<b>50 min</b>	<b>k<sub>average</sub></b>
156,8	0,01120	0,0107	0,0102	0,0096	0,0113	0,0100	0,0079	<b>0,0100</b>
83,9	0,01433	0,0142	0,0113	0,0171	0,0149	0,0141	0,0135	<b>0,0142</b>
32,8	0,01676	0,0193	0,0178	0,0193	0,0134	0,0163	0,0185	<b>0,0174</b>
12,0	0,01644	0,0210	0,0220	0,0224	0,0213	0,0214	0,0194	<b>0,0213</b>
7,7	0,01900	0,0243	0,0236	0,0244	0,0241	0,0230	0,0259	<b>0,0242</b>
3,2	0,01902	0,0236	0,0214	0,0244	0,0225	0,0219	0,0206	<b>0,0224</b>
<b>average</b>	<b>0,0161</b>	<b>0,0188</b>	<b>0,0177</b>	<b>0,0195</b>	<b>0,0179</b>	<b>0,0178</b>	<b>0,0176</b>	<b>0,0182</b>

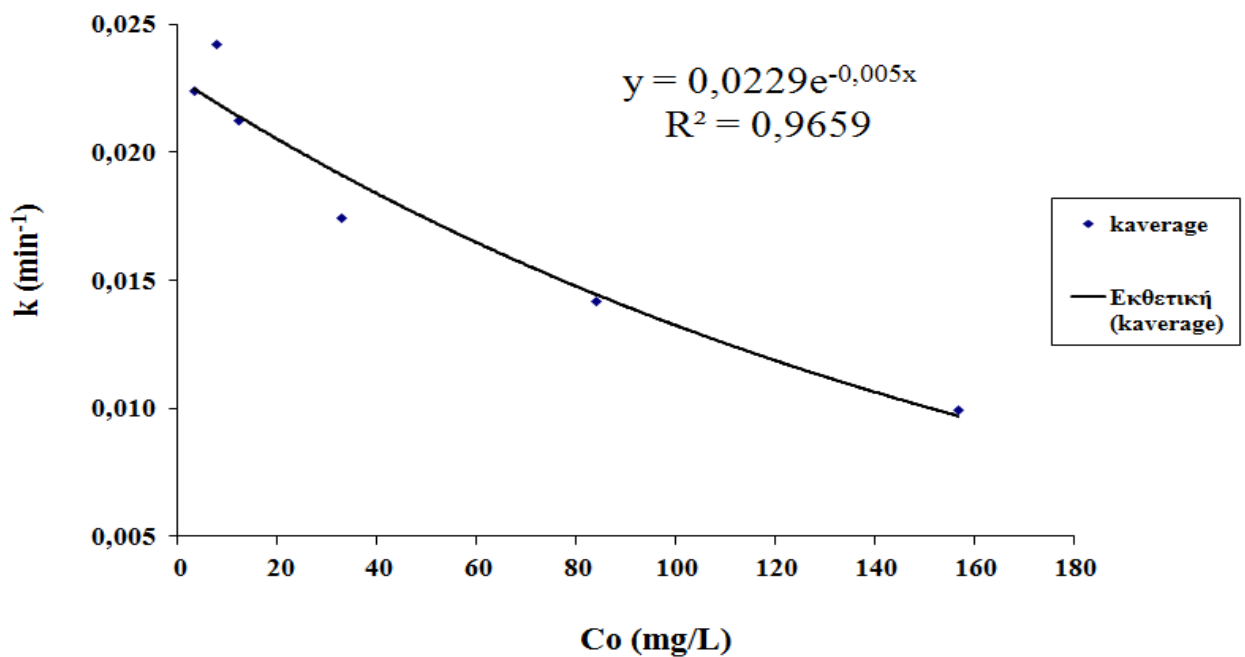
<b>qe (mg/g)</b>							
<b>Co (mg/L)</b>	<b>Απρ/στο</b>	<b>0 min</b>	<b>10 min</b>	<b>20 min</b>	<b>30 min</b>	<b>40 min</b>	<b>50 min</b>
156,8	44,53	37,39	36,98	45,19	33,54	35,15	24,42
83,9	29,56	37,55	38,85	35,21	30,93	29,77	22,97
32,8	20,40	23,79	23,59	25,26	14,71	16,98	23,32
12,0	6,21	9,20	8,98	9,65	9,37	8,76	8,74
7,7	4,53	6,00	6,15	6,72	6,25	5,95	6,64
3,2	2,66	2,52	2,49	2,77	2,58	2,41	2,42

<b>%</b>							
<b>Co (mg/L)</b>	<b>Απρ/στο</b>	<b>0 min</b>	<b>10 min</b>	<b>20 min</b>	<b>30 min</b>	<b>40 min</b>	<b>50 min</b>
156,8	28%	24%	23%	29%	22%	22%	16%
83,9	33%	41%	41%	45%	38%	37%	30%
32,8	59%	66%	74%	80%	48%	57%	63%
12,0	50%	78%	73%	82%	75%	75%	72%
7,7	58%	79%	80%	86%	81%	80%	85%
3,2	71%	80%	83%	84%	85%	70%	70%

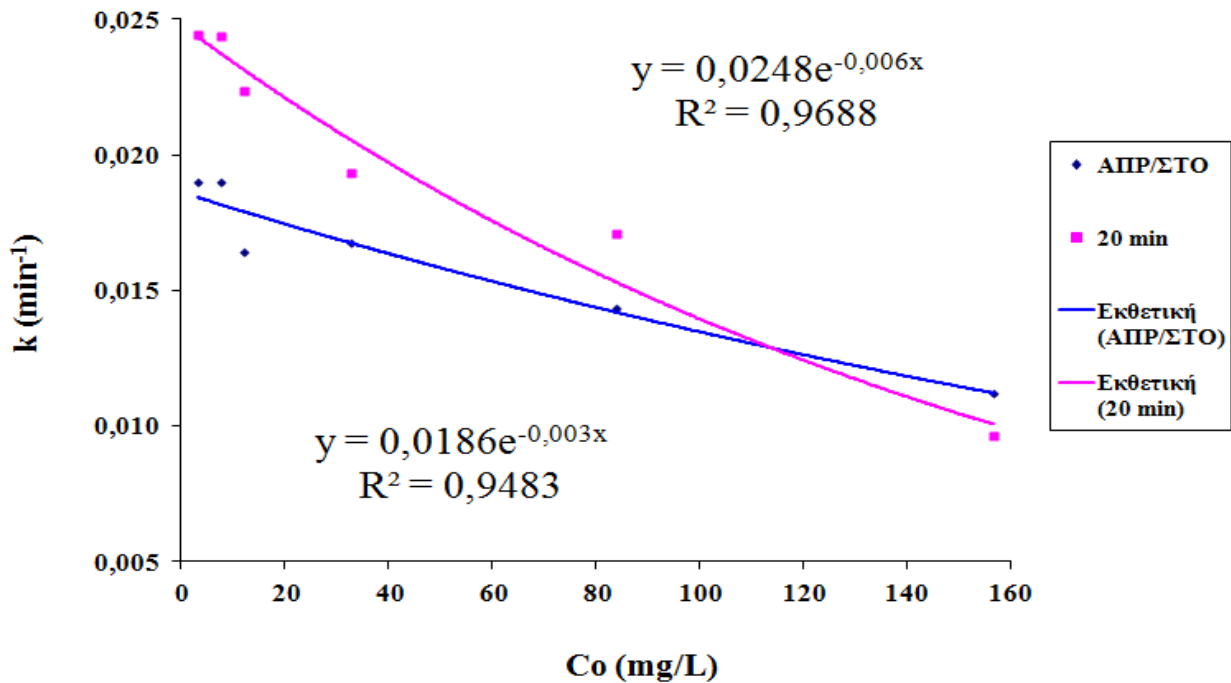
**Σχήμα 6.45:** Γραφική απεικόνιση της επίδρασης της αρχικής συγκέντρωσης  $C_0$  στην σταθερά ταχύτητας προσρόφησης του methylene blue από άχυρο σιταριού απροκατέργαστο.



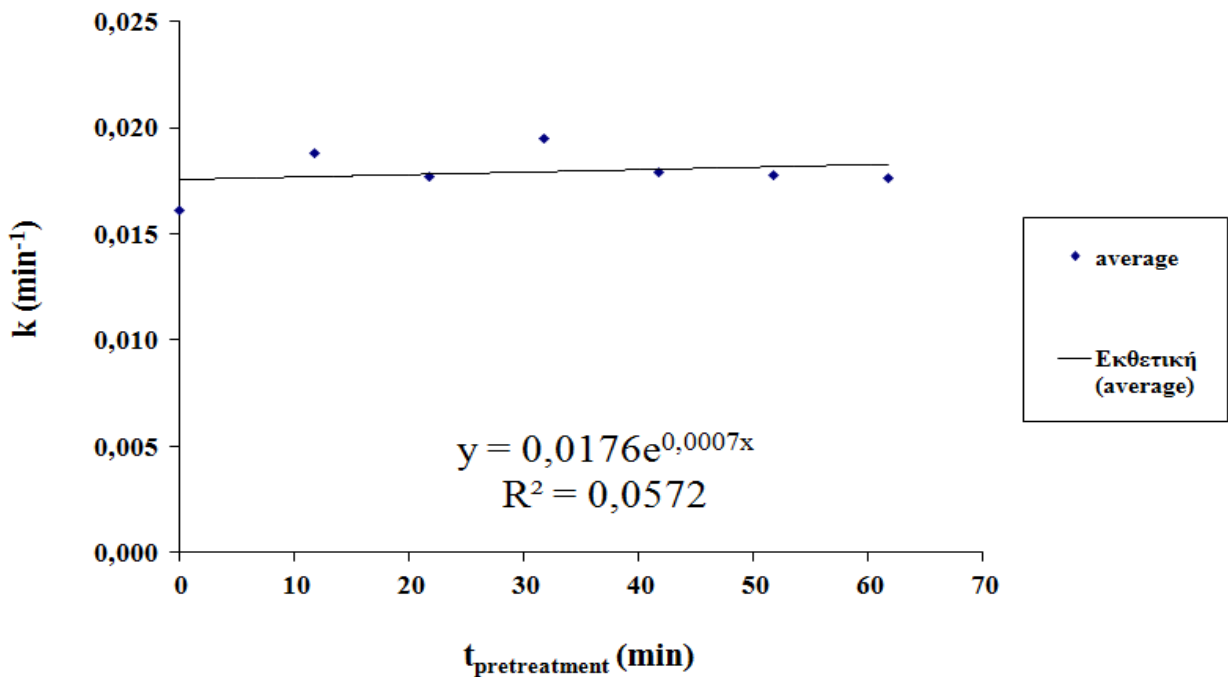
**Σχήμα 6.46:** Γραφική απεικόνιση της επίδρασης της αρχικής συγκέντρωσης  $C_0$  στην σταθερά ταχύτητας προσρόφησης του methylene blue από άχυρο σιταριού προκατεργασμένο (αυτοϋδρόλυση) στους  $180^\circ \text{C}$  για 0 έως 50 min.



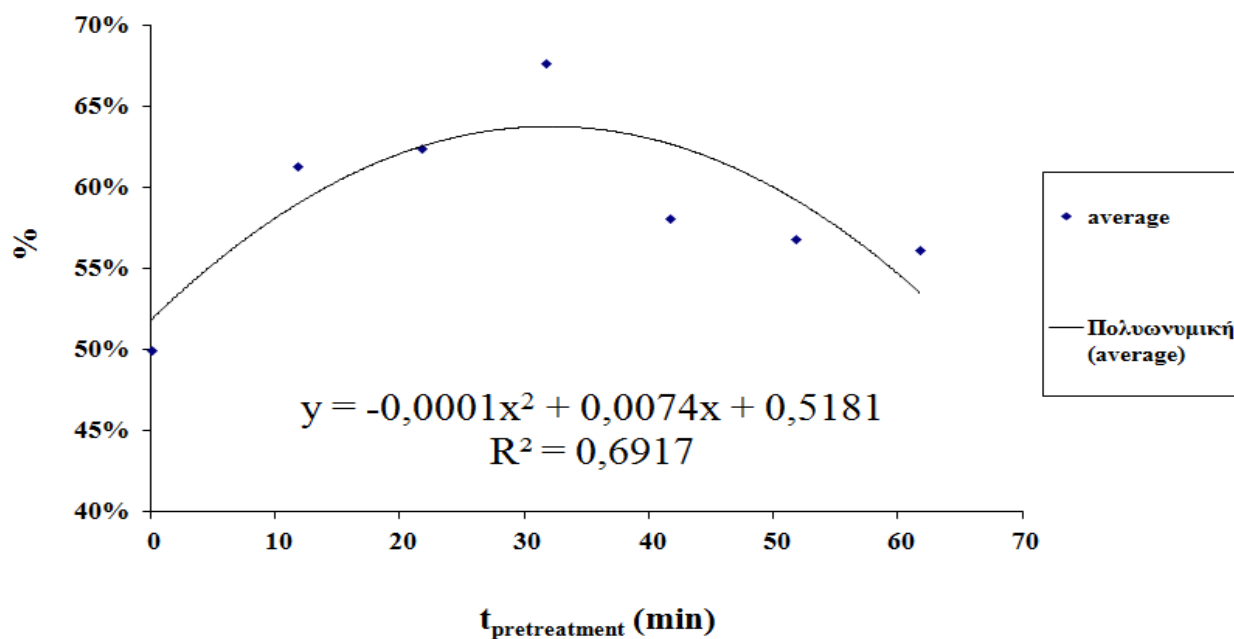
**Σχήμα 6.47:** Συγκριτική γραφική απεικόνιση της επίδρασης της αρχικής συγκέντρωσης  $C_0$  στην σταθερά ταχύτητας προσρόφησης του methylene blue από άχυρο σιταριού απροκατεργαστο και άχυρο σιταριού προκατεργασμένο (αυτουδρόλυση) στους  $180^\circ\text{C}$  για 20 min (συνθήκες προκατεργασίας με τα καλύτερα αποτελέσματα).



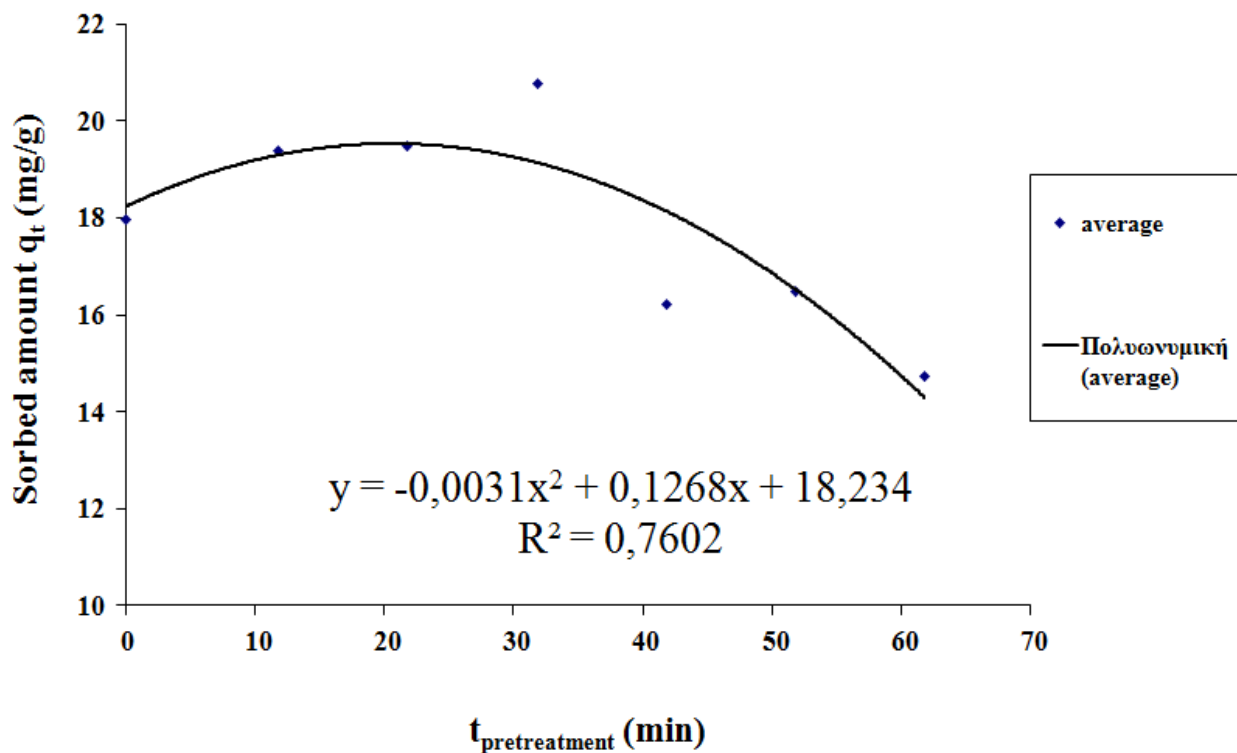
**Σχήμα 6.48 :** Γραφική απεικόνιση του μέσου όρου της σταθεράς ταχύτητας προσρόφησης,  $k_{average}$  (min<sup>-1</sup>) συναρτήσει του χρόνου προκατεργασίας του προσροφητικού μέσου (άχυρο σιταριού) στους  $180^\circ\text{C}$  για 0 έως 50 min.



**Σχήμα 6.49:** Γραφική απεικόνιση του ποσοστού προσρόφησης  $A\%$  συναρτήσει του χρόνου προκατεργασίας του προσροφητικού μέσου (άχυρο σιταριού) στους  $180^{\circ}\text{C}$  για 0 έως 50 min.



**Σχήμα 6.50:** Γραφική απεικόνιση της ποσότητας του methylene blue που έχει απομακρυνθεί συναρτήσει του χρόνου προκατεργασίας του προσροφητικού μέσου (άχυρο σιταριού) στους  $180^{\circ}\text{C}$  για 0 έως 50 min.



**Πινάκες 6.41:** Πειραματικά δεδομένα και υπολογισμός των παραμέτρων της Lagergren για προσρόφιση methylene blue από άχυρο σιταριού προκατεργασμένο - αυτοϋδρόλυση στους 200°C για διάλυμα methylene blue με διάφορες αρχικές συγκεντρώσεις, (χρόνος προθέρμανσης 66 min)

Co (mg/L)								
a/a	Απρ/στο	0 min	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min	Average
1	159,4	144,0	149,5	143,2	144,4	143,2	139,5	<b>144,0</b>
2	89,0	77,3	74,2	77,0	75,2	73,9	76,1	<b>75,6</b>
3	34,5	29,9	27,1	29,9	29,0	28,7	24,1	<b>28,1</b>
4	12,4	12,4	12,1	12,3	12,0	12,4	12,8	<b>12,3</b>
5	7,8	8,0	7,7	7,7	7,6	7,3	7,3	<b>7,6</b>
6	3,7	3,2	3,5	3,3	3,7	4,1	3,8	<b>3,6</b>

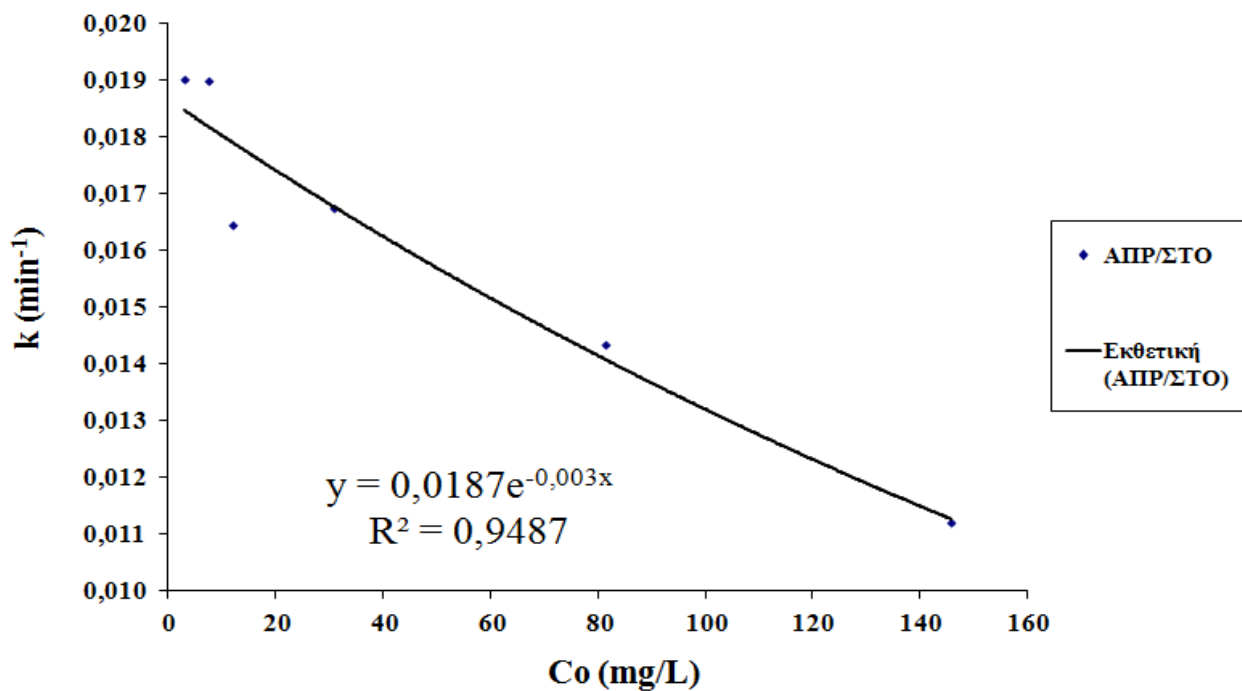
k (min-1)								
Co (mg/L)	Απρ/στο	0 min	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min	k <sub>average</sub>
144,0	0,01120	0,0112	0,0068	0,0058	0,0084	0,0059	0,0112	<b>0,0082</b>
75,6	0,01433	0,0134	0,0132	0,0128	0,0125	0,0140	0,0144	<b>0,0134</b>
28,1	0,01676	0,0128	0,0145	0,0164	0,0173	0,0161	0,0091	<b>0,0144</b>
12,3	0,01644	0,0234	0,0174	0,0171	0,0187	0,0163	0,0162	<b>0,0182</b>
7,6	0,01900	0,0247	0,0220	0,0213	0,0192	0,0201	0,0172	<b>0,0208</b>
3,6	0,01902	0,0239	0,0209	0,0227	0,0187	0,0212	0,0199	<b>0,0212</b>
<b>Average</b>	<b>0,0161</b>	<b>0,0182</b>	<b>0,0158</b>	<b>0,0160</b>	<b>0,0158</b>	<b>0,0156</b>	<b>0,0147</b>	<b>0,0160</b>

qe (mg/g)							
Co (mg/L)	Απρ/στο	0 min	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min
144,0	44,53	31,96	32,29	20,79	23,69	19,48	17,78
75,6	29,56	20,85	21,59	21,69	19,33	19,42	24,11
28,1	20,40	13,15	8,86	12,17	10,93	11,72	3,48
12,3	6,21	9,60	6,23	7,93	7,02	5,40	5,94
7,6	4,53	7,01	5,94	5,20	5,00	4,83	4,96
3,6	2,66	2,80	2,61	2,24	2,62	3,29	2,82

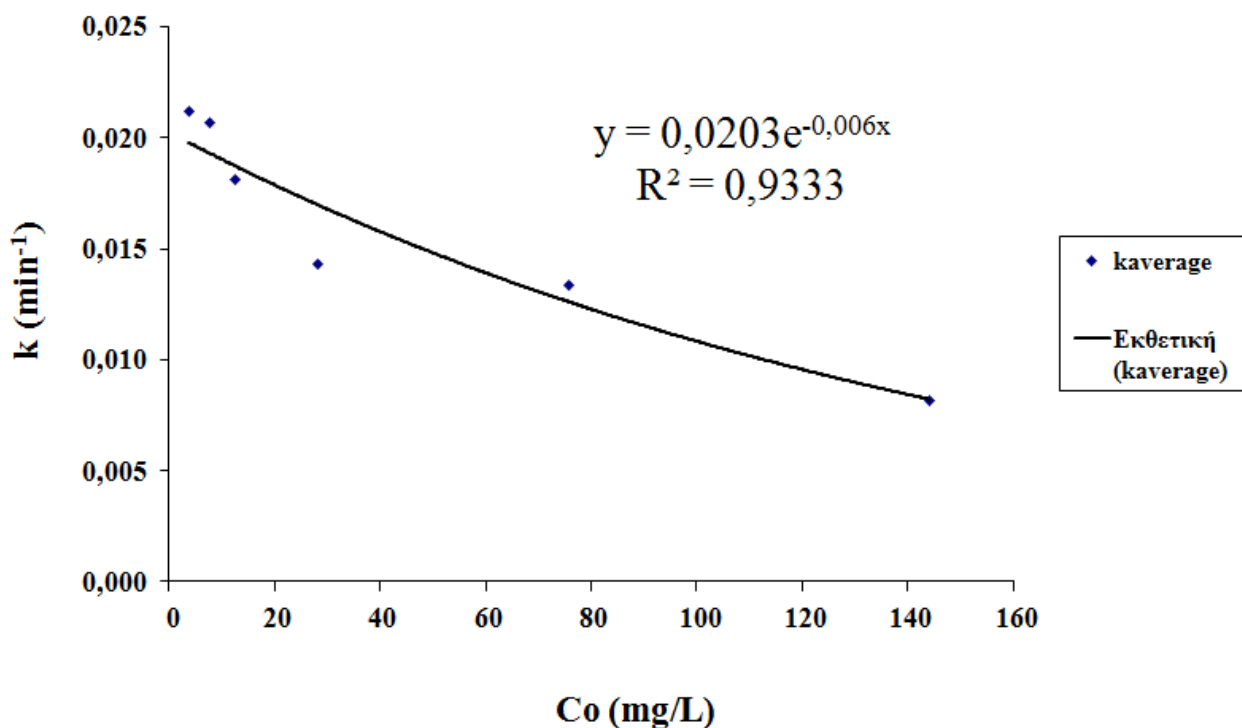
%							
Co (mg/L)	Απρ/στο	0 min	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min
144,0	28%	22%	22%	15%	16%	14%	13%
75,6	33%	27%	29%	28%	26%	26%	32%
28,1	59%	44%	33%	41%	38%	41%	14%
12,3	50%	77%	52%	65%	59%	44%	47%
7,6	58%	88%	77%	67%	66%	66%	68%
3,6	71%	86%	75%	69%	72%	81%	73%



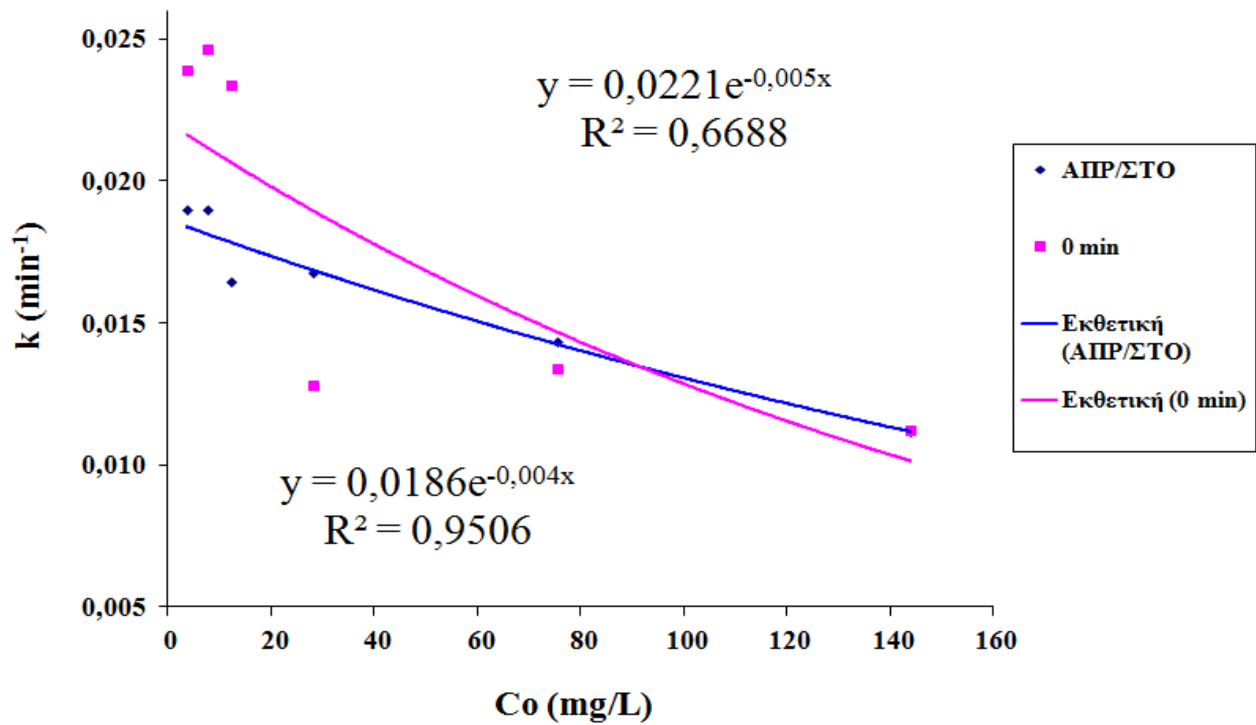
**Σχήμα 6.51:** Γραφική απεικόνιση της επίδρασης της αρχικής συγκέντρωσης  $C_0$  στην σταθερά ταχύτητας προσρόφησης του methylene blue από άχυρο σιταριού απροκατεργαστο.



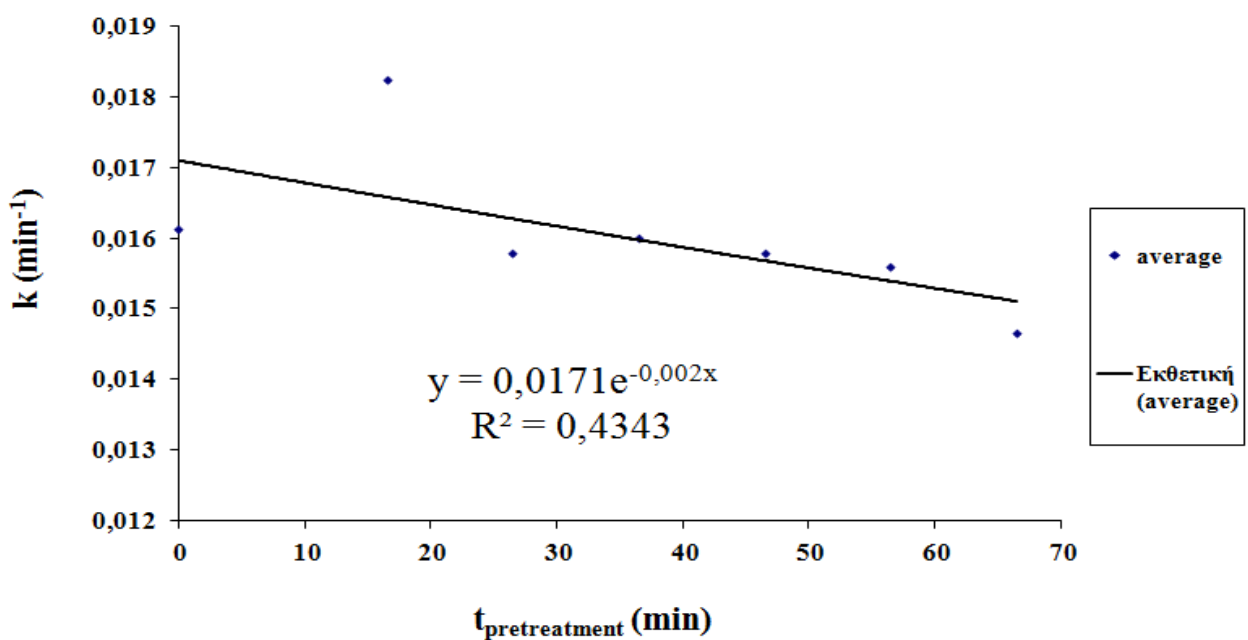
**Σχήμα 6.52:** Γραφική απεικόνιση της επίδρασης της αρχικής συγκέντρωσης  $C_0$  στην σταθερά ταχύτητας προσρόφησης του methylene blue από άχυρο σιταριού προκατεργασμένο (αυτοϋδρόλυση) στους  $200^\circ \text{C}$  για 0 έως 50 min.



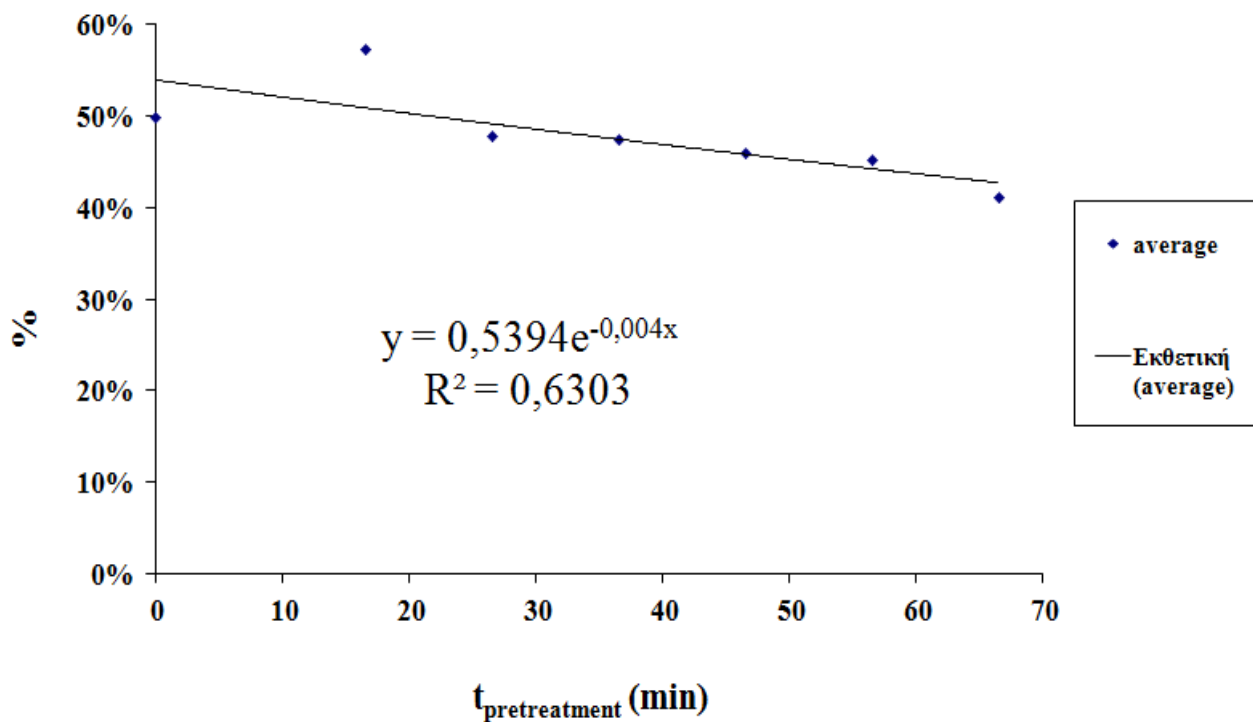
**Σχήμα 6.53:** Συγκριτική γραφική απεικόνιση της επίδρασης της αρχικής συγκέντρωσης  $C_0$  στην σταθερά ταχύτητας προσρόφησης του methylene blue από άχυρο σιταριού απροκατέργαστο και άχυρο σιταριού προκατεργασμένο (αυτουδρόλυση) στους  $200^\circ\text{C}$  για 0 min (συνθήκες προκατεργασίας με τα καλύτερα αποτελέσματα).



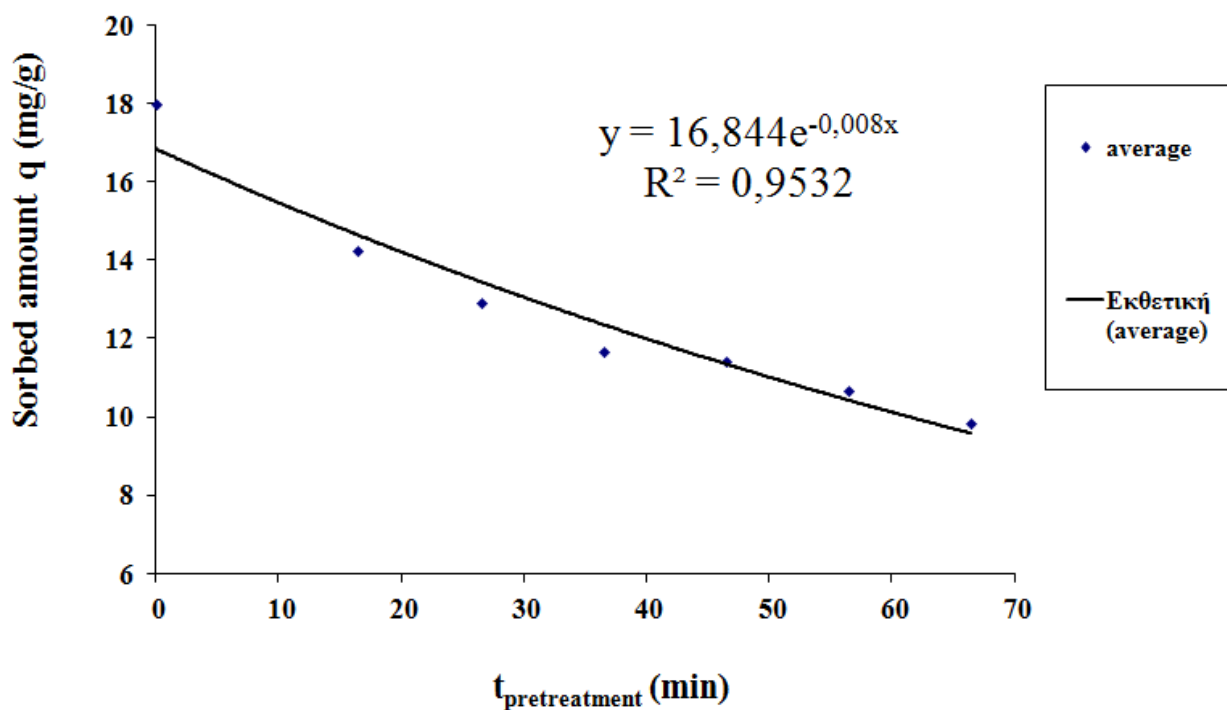
**Σχήμα 6.54 :** Γραφική απεικόνιση του μέσου όρου της σταθεράς ταχύτητας προσρόφησης,  $k_{\text{average}}$  ( $\text{min}^{-1}$ ) συναρτήσει του χρόνου προκατεργασίας του προσροφητικού μέσου (άχυρο σιταριού) στους  $200^\circ\text{C}$  για 0 έως 50 min.



**Σχήμα 6.55:** Γραφική απεικόνιση του ποσοστού προσρόφησης  $A\%$  συναρτήσει του χρόνου προκατεργασίας του προσροφητικού μέσου (άχυρο σιταριού) στους  $200^{\circ}\text{C}$  για 0 έως 50 min.



**Σχήμα 6.56:** Γραφική απεικόνιση της ποσότητας του methylene blue που έχει απομακρυνθεί συναρτήσει του χρόνου προκατεργασίας του προσροφητικού μέσου (άχυρο σιταριού) στους  $200^{\circ}\text{C}$  για 0 έως 50 min.



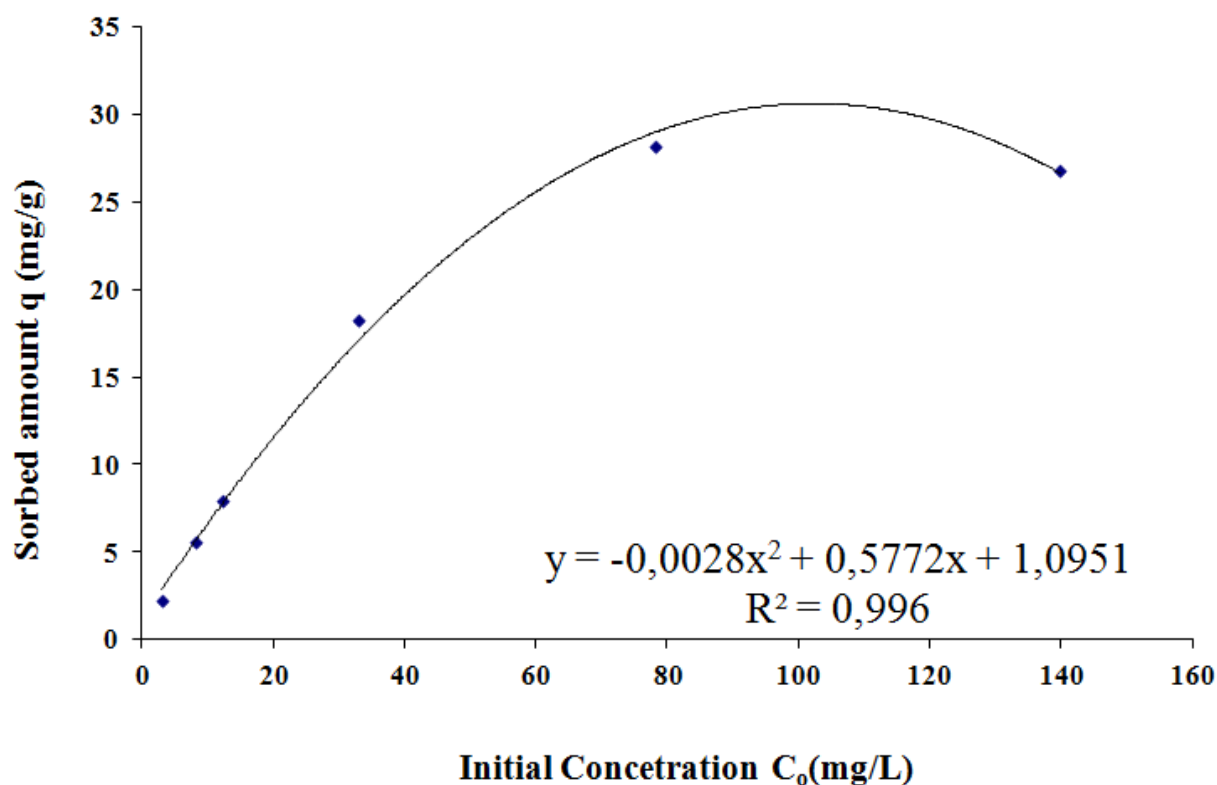
### 6.3.2 Επεξεργασία αποτελεσμάτων με μη γραμμική παλινδρόμηση

**Πινάκας 6.42:** Πειραματικά δεδομένα και υπολογισμός των παραμέτρων της Lagergren για προσρόφιση methylene blue από άχυρο σιταριού προκατεργασμένο - αυτοϋδρόλυση στους 160°C για 0 min για διάλυμα methylene blue σε όλες τις αρχικές συγκεντρώσεις  $C_0$ . (χρόνος προθέρμανσης 44 min)

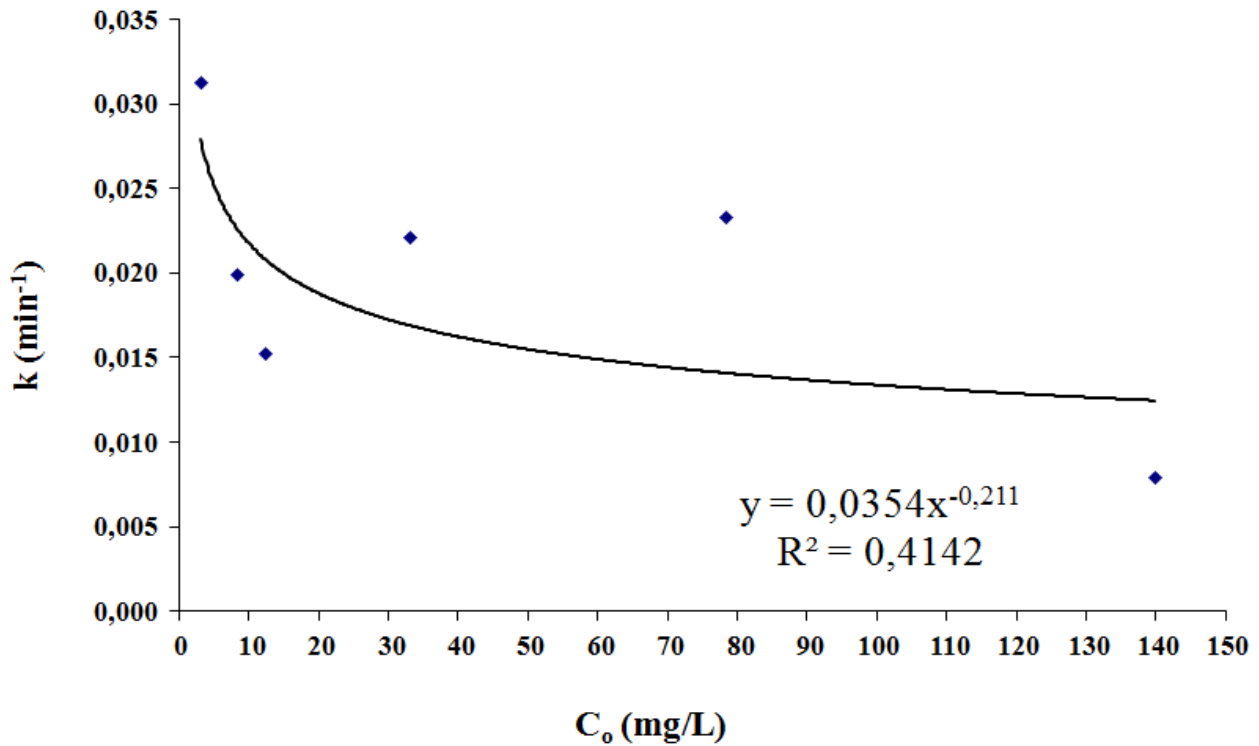
t (min)	Πειραματικές τιμές q σε mg/g για τις αντίστοιχες αρχικές συγκεντρώσεις $C_0$ (mg/l)						Θεωρητικές τιμές $q_{theor}$ σε mg/ g για τις αντίστοιχες αρχικές συγκεντρώσεις $C_0$ (mg/l)					
	156	78	31	14	7,8	3,1	156	78	31	14	7,8	3,1
0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
10	-1,5171	2,0486	8,4074	5,8546	4,0301	3,6395	1,3847	1,1212	1,7891	1,0024	0,7909	0,6045
20	4,4265	3,9409	11,5472	10,4917	7,7219	6,5551	2,3875	2,0836	2,3125	1,8233	1,1802	1,0466
30	6,2252	5,6888	15,6900	14,1646	9,9239	8,8908	3,0869	2,9098	2,7505	2,4957	1,4615	1,3698
40	8,1559	7,3034	17,5313	17,0738	11,2787	10,7620	3,7482	3,6191	3,0798	3,0465	1,6042	1,6062
50	8,9413	8,7948	19,7240	19,3780	12,3754	12,2611	4,2253	4,2279	3,4234	3,4976	1,7046	1,7790
60	10,9663	10,1723	19,8323	21,2031	12,9954	13,4620	4,7505	4,7506	3,6771	3,8670	1,8232	1,9054
70	11,2543	11,4448	22,2132	22,6487	13,4405	14,4240	5,0666	5,1993	3,9373	4,1697	1,8751	1,9978
80	13,4904	12,6202	23,1055	23,7936	14,3761	15,1947	5,3677	5,5845	4,1316	4,4175	1,9694	2,0654
90	13,9469	13,7059	24,5110	24,7005	15,2574	15,8121	5,5941	5,9151	4,3382	4,6205	1,9669	2,1148
100	13,9469	14,7088	24,6460	25,4188	16,1821	16,3067	6,2986	6,1989	4,6816	4,7868	2,0985	2,1509
110	14,6872	15,6352	26,8869	25,9878	15,9636	16,7030	6,4089	6,4426	4,8467	4,9230	2,1830	2,1773
120	17,7435	16,4908	25,8073	26,4384	16,3518	17,0204	6,6155	6,6517	4,9238	5,0345	2,1733	2,1967
130	17,1515	17,2812	26,0000	26,7954	17,4858	17,2747	6,7943	6,8313	5,0998	5,1258	2,2232	2,2108
140	15,5675	18,0113	29,1780	27,0781	17,5579	17,4785	6,9229	6,9854	5,2366	5,2007	2,2425	2,2211
150	19,2049	18,6857	27,3724	27,3020	17,7739	17,6417	7,1231	7,1177	5,3042	5,2620	2,2871	2,2287
160	18,0813	19,3086	28,3429	27,4794	18,0374	17,7724	7,2289	7,2313	5,3867	5,3122	2,2943	2,2342
170	19,8214	19,8840	29,6895	27,6198	18,3719	17,8772	7,3955	7,3288	5,4881	5,3533	2,2871	2,2382
180	21,4418	20,4155	30,2546	27,7311	18,4674	17,9611	7,5131	7,4125	5,5408	5,3869	2,3230	2,2412
190	21,8876	20,9065	29,9856	27,8192	18,7056	18,0283	7,6413	7,4844	5,6595	5,4145	2,3278	2,2433

	156 mg/L	78mg/L	31,2mg/L	14mg/L	7,8mg/L	3,1mg/L
<b>Co</b>	139,85	78,27	33,12	12,32	8,18	3,07
<b>sum</b>	28,30	35,81	7,13	0,43	1,32	0,15
<b>n</b>	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
<b>p</b>	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
<b>SEE</b>	1,2539	1,4104	0,6295	0,1553	0,2710	0,0902
<b>k</b>	0,0079	0,0233	0,0222	0,0153	0,0200	0,0313
<b>q</b>	26,85	28,15	18,30	7,92	5,54	2,25

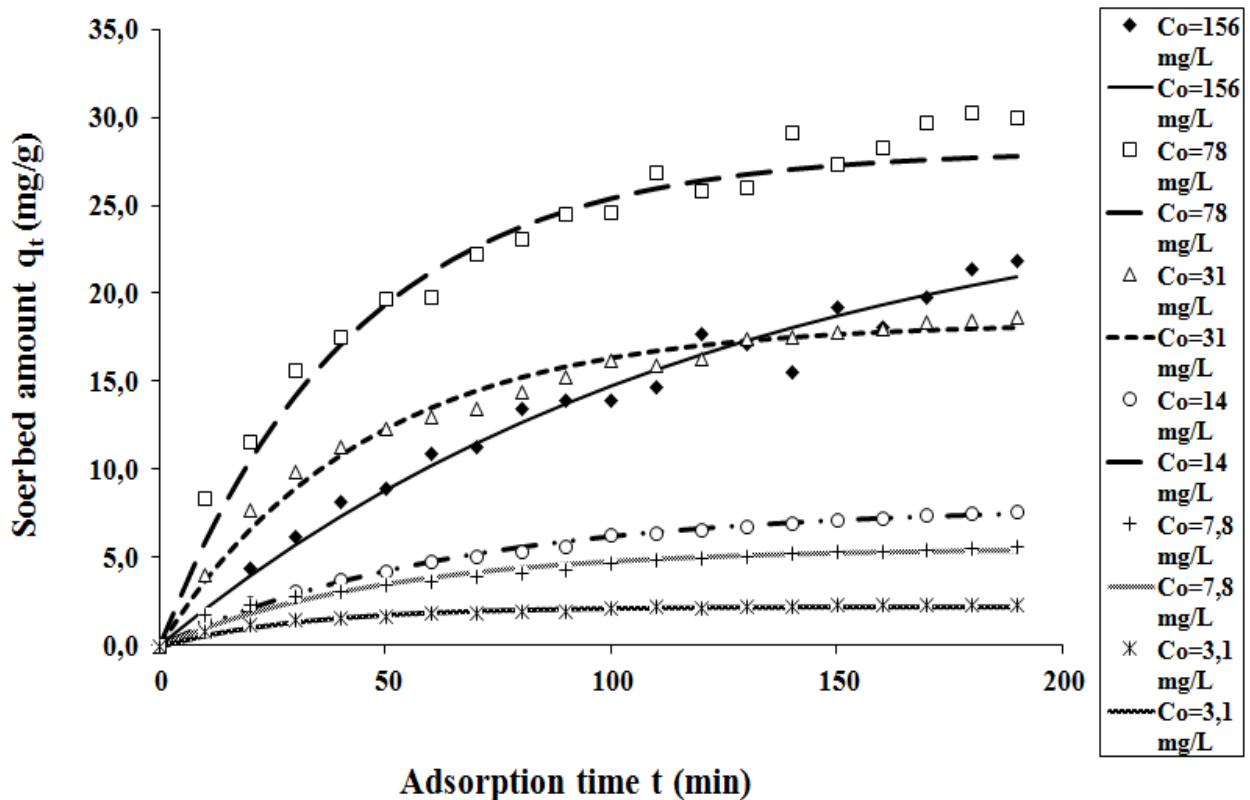
**Σχήμα 6.57:** Γραφική απεικόνιση της επίδρασης της αρχικής συγκέντρωσης  $C_0$  στην προσρόφιση του methylene blue από άχυρο σιταριού προκατεργασμένο (αυτοϋδρόλυση) στους  $160^\circ\text{C}$  για 0 min όπως φαίνεται στις καμπύλες της εξίσωσης Lagergren ( $23^\circ\text{C}$ ,  $\text{pH}=8$ )



**Σχήμα 6.58:** Γραφική απεικόνιση της ποσότητας του methylene blue που έχει απομακρυνθεί από άχυρο σιταριού προκατεργασμένο (αυτοϋδρόλυση) στους 160° C για 0 min όπως επηρεάζεται από την μεταβολή της αρχικής συγκέντρωσης  $C_0$  (mg/L) (23oC, pH=8)



**Σχήμα 6.59:** Γραφική απεικόνιση της σταθεράς ταχύτητας προσρόφησης του methylene blue από άχυρο σιταριού προκατεργασμένο (αυτοϋδρόλυση) στους 160° C για 0 min όπως επηρεάζεται από την μεταβολή της αρχικής συγκέντρωσης  $C_0$  (mg/L) (23oC, pH=8)

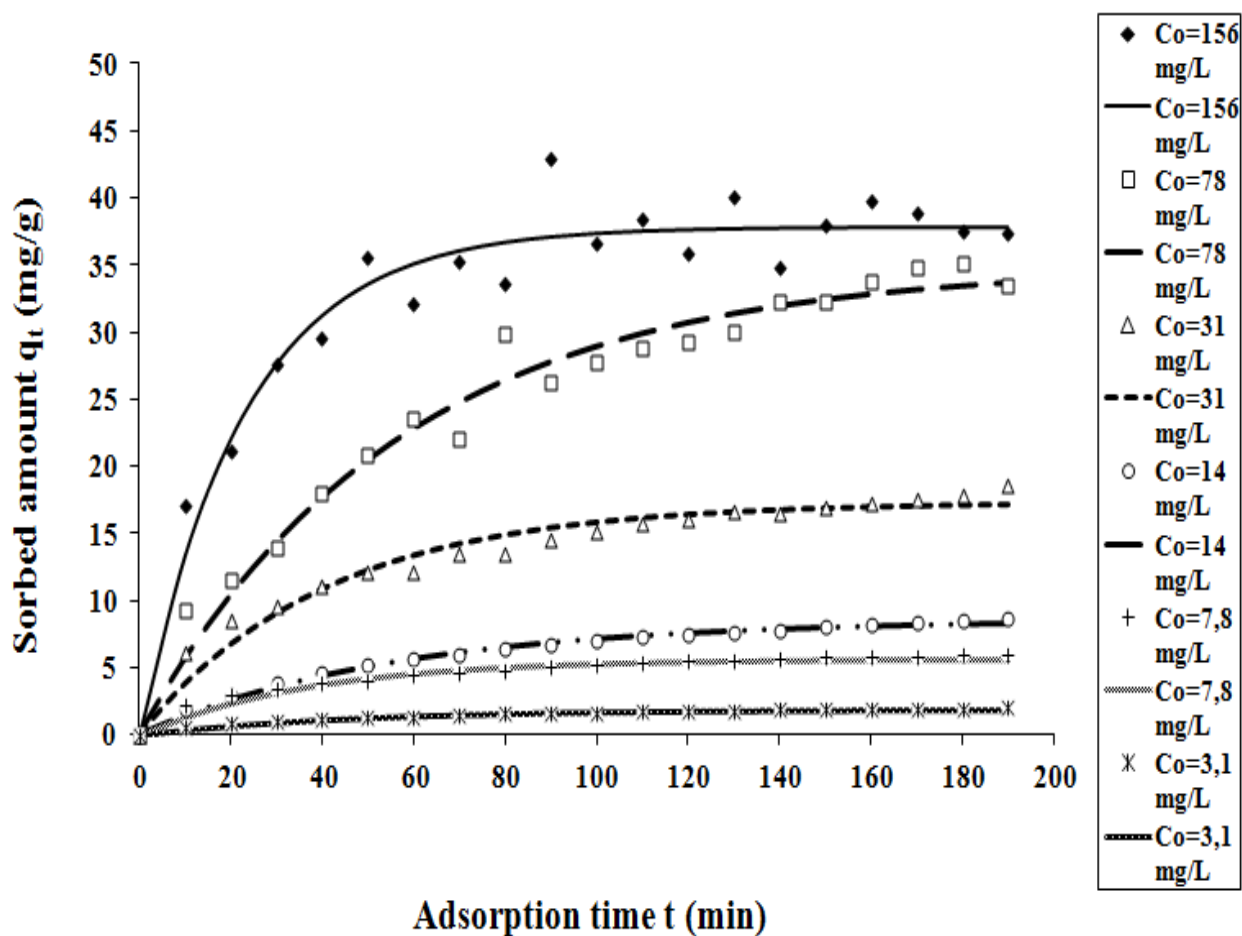


**Πινάκας 6.43:** Πειραματικά δεδομένα και υπολογισμός των παραμέτρων της Lagergren για προσρόφιση methylene blue από άχυρο σιταριού προκατεργασμένο - αυτοϋδρόλυση στους 160°C για 10 min για διάλυμα methylene blue σε όλες τις αρχικές συγκεντρώσεις  $C_0$ . (χρόνος προθέρμανσης 44 min)

t (min)	Πειραματικές τιμές q σε mg/g για τις αντίστοιχες αρχικές συγκεντρώσεις $C_0$ (mg/l)						Θεωρητικές τιμές $q_{theor}$ σε mg/ g για τις αντίστοιχες αρχικές συγκεντρώσεις $C_0$ (mg/l)					
	156	78	31	14	7,8	3,1	156	78	31	14	7,8	3,1
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
10	17,084	13,416	9,227	5,656	6,160	3,764	1,871	1,416	2,221	1,391	0,550	0,379
20	21,059	22,080	11,550	10,396	8,490	6,707	2,883	2,599	2,966	2,444	0,875	0,683
30	27,657	27,674	13,847	14,370	9,544	9,008	3,844	3,587	3,456	3,241	0,966	0,927
40	29,510	31,287	17,985	17,700	11,091	10,808	4,578	4,413	3,802	3,844	1,144	1,122
50	35,632	33,619	20,880	20,492	12,180	12,215	5,164	5,103	4,063	4,301	1,263	1,279
60	32,071	35,126	23,507	22,831	12,131	13,315	5,645	5,680	4,385	4,647	1,355	1,404
70	35,332	36,098	22,018	24,792	13,482	14,175	6,003	6,162	4,573	4,908	1,432	1,504
80	33,580	36,726	29,842	26,436	13,531	14,848	6,368	6,564	4,728	5,106	1,524	1,585
90	43,001	37,132	26,215	27,814	14,555	15,374	6,703	6,901	4,988	5,256	1,556	1,649
100	36,615	37,394	27,785	28,969	15,113	15,785	6,951	7,182	5,253	5,370	1,652	1,701
110	38,413	37,563	28,868	29,936	15,717	16,107	7,261	7,417	5,334	5,455	1,693	1,742
120	35,823	37,672	29,193	30,748	16,078	16,359	7,447	7,613	5,479	5,521	1,714	1,775
130	40,098	37,743	29,978	31,428	16,606	16,555	7,662	7,777	5,546	5,570	1,785	1,802
140	34,867	37,788	32,277	31,998	16,462	16,709	7,781	7,914	5,673	5,607	1,810	1,823
150	38,032	37,818	32,304	32,475	16,916	16,829	8,105	8,029	5,767	5,635	1,878	1,840
160	39,718	37,837	33,710	32,876	17,274	16,923	8,186	8,124	5,779	5,657	1,878	1,854
170	38,821	37,849	34,764	33,211	17,464	16,997	8,377	8,204	5,861	5,673	1,907	1,865
180	37,514	37,857	35,170	33,493	17,821	17,054	8,486	8,271	5,918	5,685	1,952	1,874
190	37,324	37,862	33,467	33,728	18,600	17,099	8,593	8,327	5,994	5,694	1,979	1,881

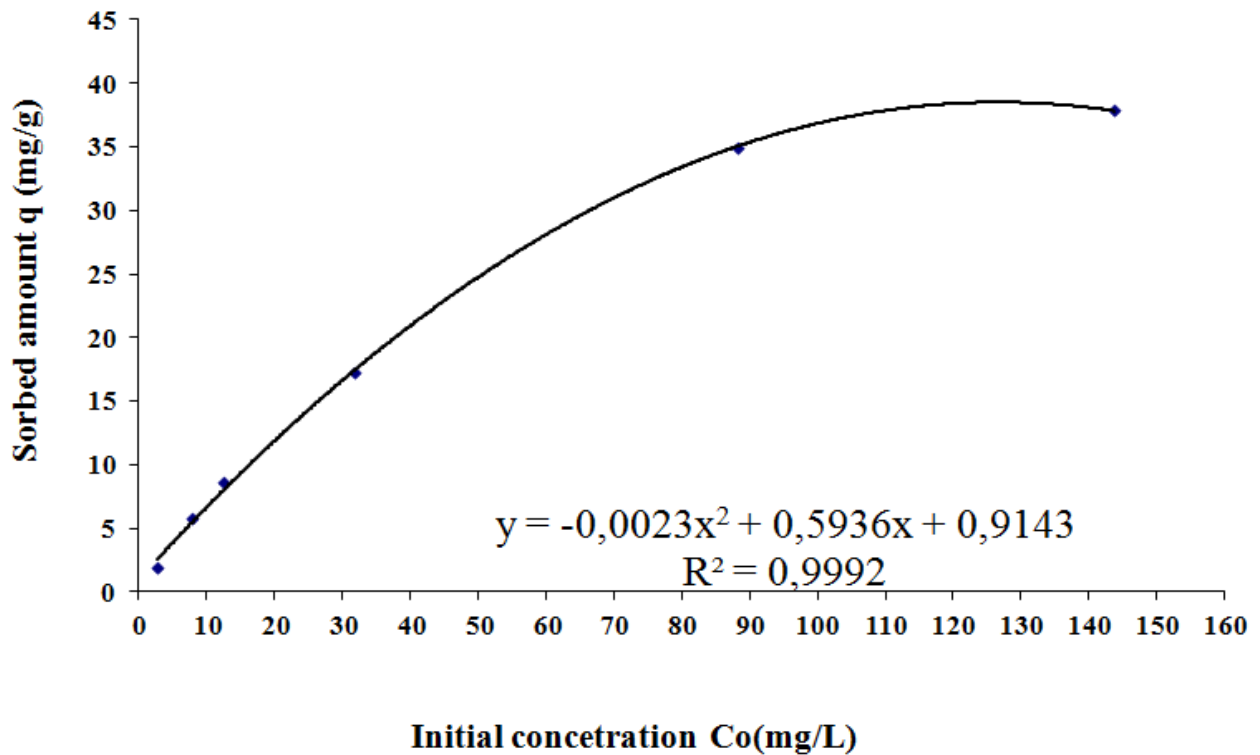
	156 mg/L	78mg/L	31,2mg/L	14mg/L	7,8mg/L	3,1mg/L
<b>Co</b>	143,76	88,34	31,74	12,49	7,92	2,88
<b>Sum</b>	99,72	50,07	17,51	0,78	1,71	0,12
<b>n</b>	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
<b>p</b>	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
<b>SEE</b>	2,3538	1,6678	0,9863	0,2084	0,3080	0,0806
<b>k</b>	0,0437	0,0177	0,0246	0,0180	0,0278	0,0222
<b>q</b>	37,87	34,95	17,26	8,61	5,72	1,91

**Σχήμα 6.60:** Γραφική απεικόνιση της επίδρασης της αρχικής συγκέντρωσης Co στην προσρόφιση του methylene blue από άχυρο σιταριού προκατεργασμένο (αυτοϋδρόλυση) στους 160° C για 10 min όπως φαίνεται στις καμπύλες της εξίσωσης Lagergren (23° C, pH=8)

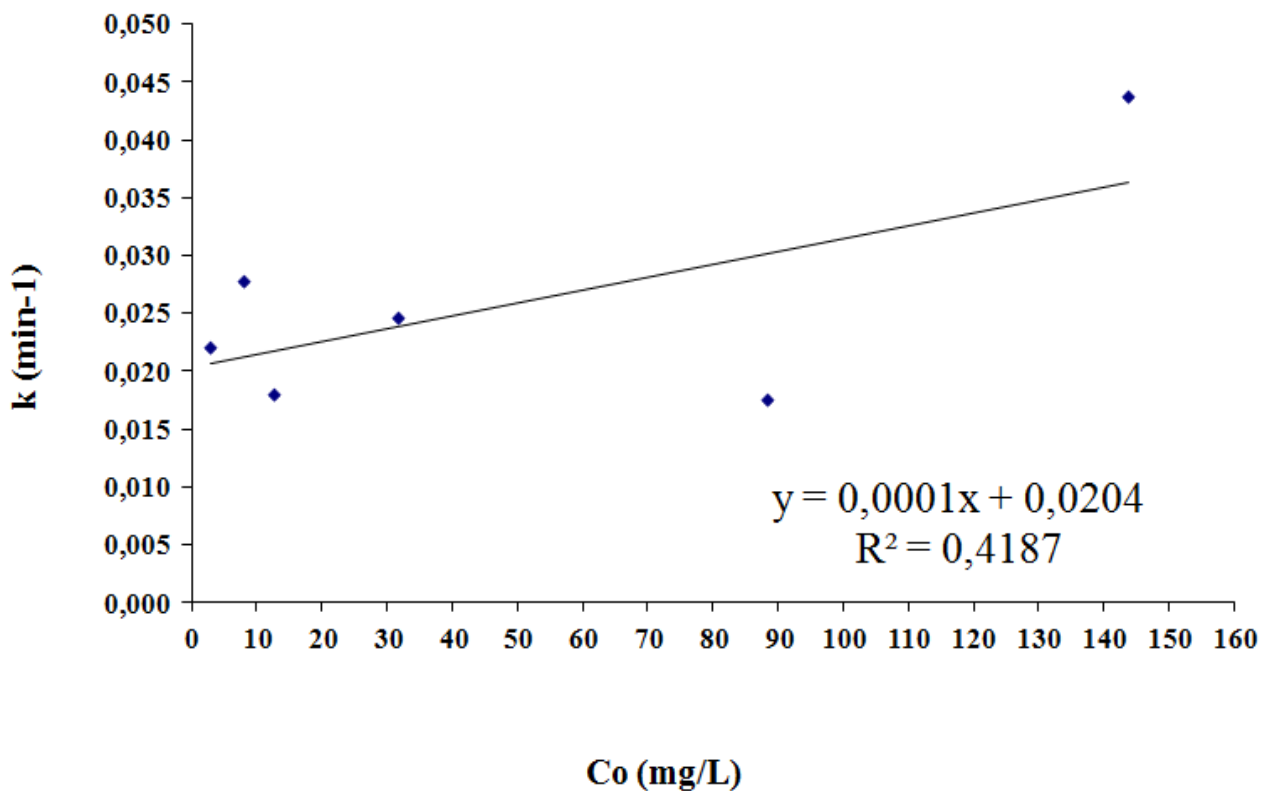


**Σχήμα 6.61:** Γραφική απεικόνιση της ποσότητας του methylene blue που έχει απομακρυνθεί από άχυρο σιταριού προκατεργασμένο (αυτοϋδρόλυση) στους 160° C για 10 min όπως επηρεάζεται από την μεταβολή της αρχικής συγκέντρωσης Co (mg/L) (23oC, pH=8)





**Σχήμα 6.62:** Γραφική απεικόνιση της σταθεράς ταχύτητας προσρόφησης του methylene blue από άχυρο σιταριού προκατεργασμένο (αυτουδρόλυση) στους 160° C για 10 min όπως επηρεάζεται από την μεταβολή της αρχικής συγκέντρωσης  $C_0$  (mg/L) (23oC, pH=8)

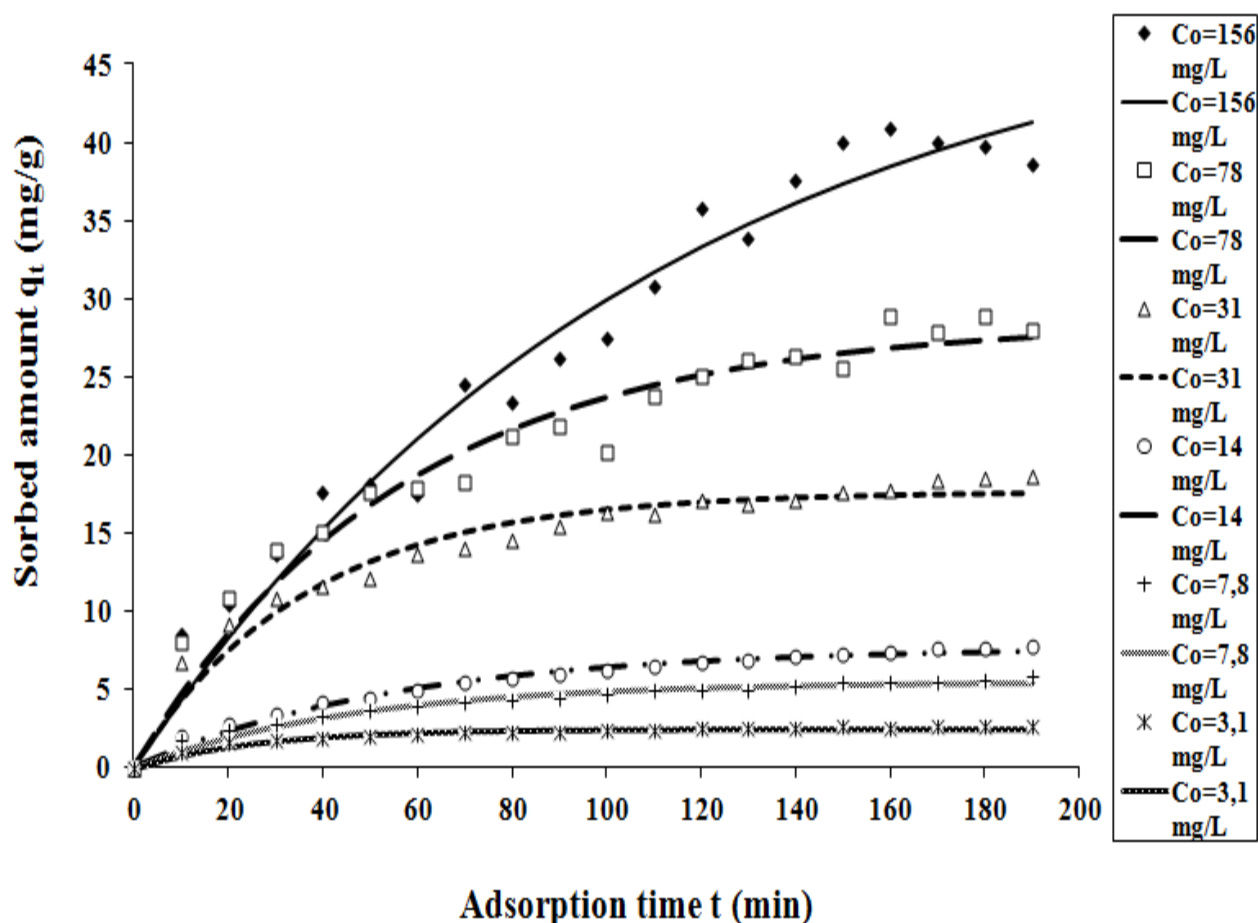


**Πινάκας 6.44:** Πειραματικά δεδομένα και υπολογισμός των παραμέτρων της Lagergren για προσρόφιση methylene blue από άχυρο σιταριού προκατεργασμένο - αυτοϋδρόλυση στους 160°C για 20 min για διάλυμα methylene blue σε όλες τις αρχικές συγκεντρώσεις  $C_0$ . (χρόνος προθέρμανσης 44 min)

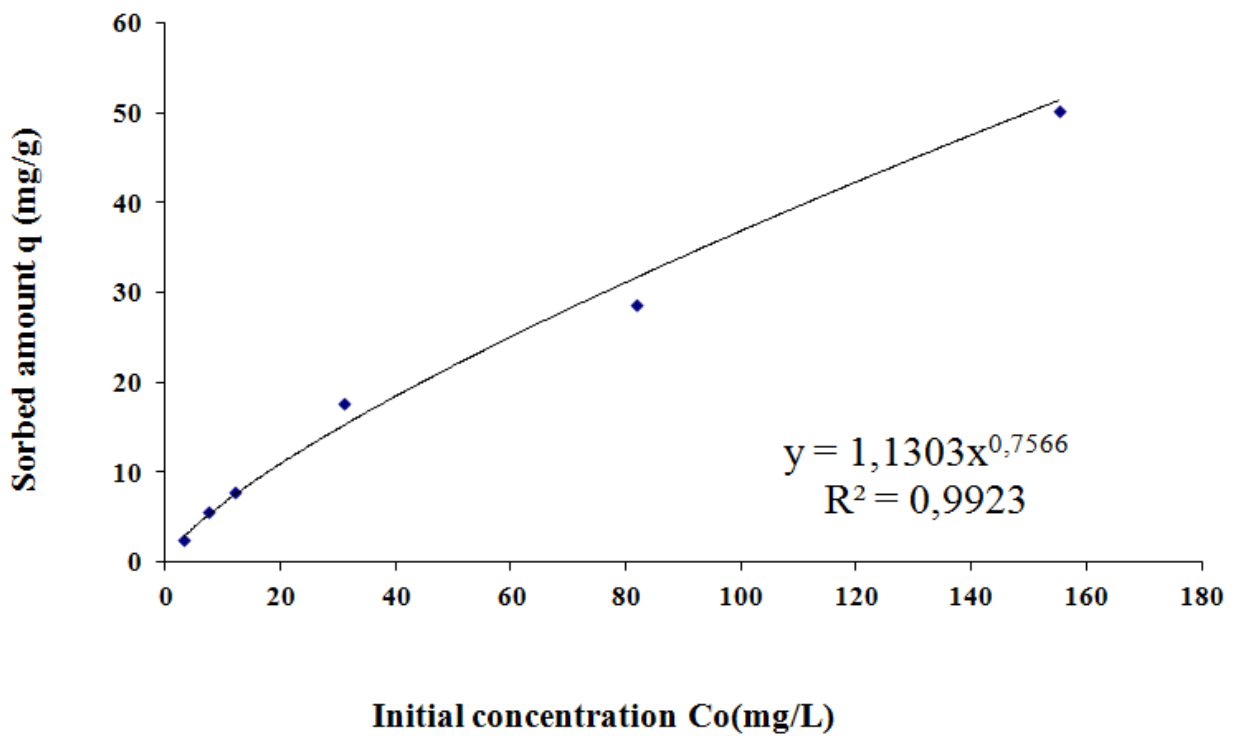
t (min)	Πειραματικές τιμές q σε mg/g για τις αντίστοιχες αρχικές συγκεντρώσεις $C_0$ (mg/l)						Θεωρητικές τιμές $q_{theor}$ σε mg/ g για τις αντίστοιχες αρχικές συγκεντρώσεις $C_0$ (mg/l)					
	156	78	31	14	7,8	3,1	156	78	31	14	7,8	3,1
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
10	8,480	4,348	8,022	4,645	6,754	4,234	1,973	1,271	1,751	1,088	1,052	0,809
20	10,506	8,320	10,808	8,535	9,220	7,455	2,840	2,334	2,394	1,961	1,584	1,357
30	13,642	11,948	13,865	11,792	10,863	9,904	3,443	3,221	2,834	2,663	1,701	1,729
40	17,598	15,263	15,057	14,519	11,580	11,767	4,134	3,963	3,244	3,226	1,949	1,980
50	18,106	18,292	17,602	16,803	12,097	13,184	4,482	4,583	3,623	3,678	1,958	2,151
60	17,448	21,058	17,873	18,715	13,614	14,261	4,933	5,101	3,943	4,042	2,134	2,266
70	24,519	23,585	18,279	20,317	14,076	15,081	5,423	5,533	4,230	4,333	2,269	2,345
80	23,413	25,894	21,149	21,657	14,488	15,704	5,711	5,895	4,330	4,567	2,326	2,398
90	26,254	28,003	21,907	22,780	15,405	16,178	5,993	6,197	4,445	4,755	2,317	2,434
100	27,433	29,930	20,120	23,720	16,292	16,539	6,238	6,450	4,720	4,906	2,372	2,458
110	30,829	31,690	23,748	24,507	16,196	16,813	6,428	6,660	4,999	5,028	2,416	2,474
120	35,812	33,298	25,101	25,166	17,101	17,022	6,698	6,837	4,914	5,125	2,478	2,486
130	33,822	34,768	26,128	25,718	16,911	17,180	6,829	6,984	5,018	5,203	2,504	2,493
140	37,569	36,110	26,291	26,181	17,077	17,301	7,072	7,107	5,166	5,266	2,492	2,498
150	40,038	37,336	25,560	26,568	17,645	17,393	7,238	7,210	5,431	5,317	2,605	2,502
160	40,895	38,456	28,885	26,892	17,740	17,462	7,390	7,296	5,462	5,357	2,573	2,504
170	39,955	39,479	27,804	27,163	18,446	17,516	7,596	7,368	5,517	5,390	2,617	2,506
180	39,734	40,414	28,939	27,390	18,516	17,556	7,632	7,428	5,637	5,416	2,649	2,507
190	38,625	41,267	28,047	27,580	18,633	17,587	7,734	7,478	5,823	5,437	2,607	2,507

	156 mg/L	78mg/L	31,2mg/L	14mg/L	7,8mg/L	3,1mg/L
<b>Co</b>	155,26	81,78	31,12	12,25	7,59	3,29
<b>Sum</b>	90,57	49,41	18,70	1,27	1,20	0,26
<b>n</b>	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
<b>p</b>	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
<b>SEE</b>	2,2431	1,6568	1,0192	0,2652	0,2577	0,1202
<b>k</b>	0,0090	0,0178	0,0274	0,0180	0,0219	0,0389
<b>q</b>	50,29	28,56	17,68	7,73	5,52	2,51

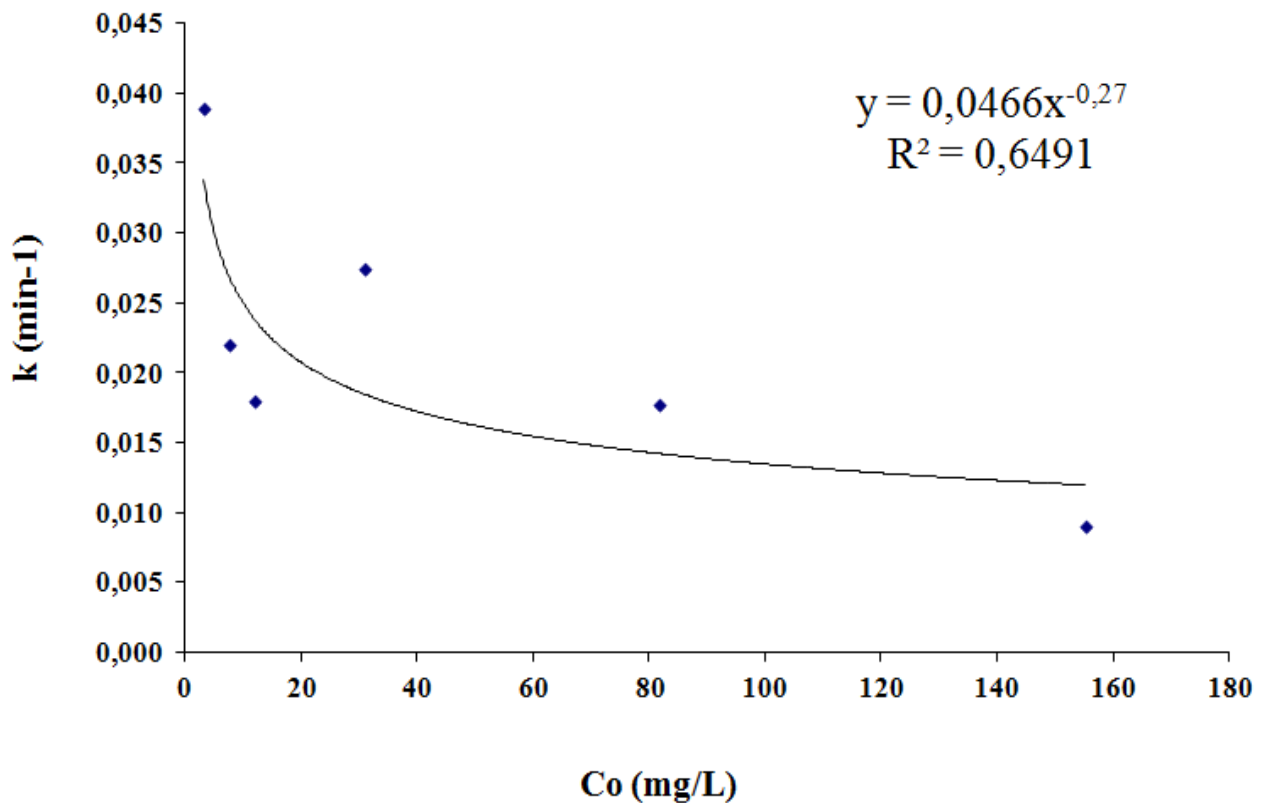
**Σχήμα 6.63:** Γραφική απεικόνιση της επίδρασης της αρχικής συγκέντρωσης  $C_0$  στην προσρόφιση του methylene blue από άχυρο σιταριού προκατεργασμένο (αυτουδρόλυση) στους  $160^\circ\text{C}$  για 20 min όπως φαίνεται στις καμπύλες της εξίσωσης Lagergren ( $23^\circ\text{C}$ ,  $\text{pH}=8$ )



**Σχήμα 6.64:** Γραφική απεικόνιση της ποσότητας του methylene blue που έχει απομακρυνθεί από άχυρο σιταριού προκατεργασμένο (αυτουδρόλυση) στους  $160^\circ\text{C}$  για 20 min όπως επηρεάζεται από την μεταβολή της αρχικής συγκέντρωσης  $C_0$  (mg/L) ( $23^\circ\text{C}$ ,  $\text{pH}=8$ )



**Σχήμα 6.65:** Γραφική απεικόνιση της σταθεράς ταχύτητας προσρόφησης του methylene blue από άχυρο σιταριού προκατεργασμένο (αυτοϋδρόλυση) στους 160° C για 20 min όπως επηρεάζεται από την μεταβολή της αρχικής συγκέντρωσης  $C_0$  (mg/L) (23oC, pH=8)

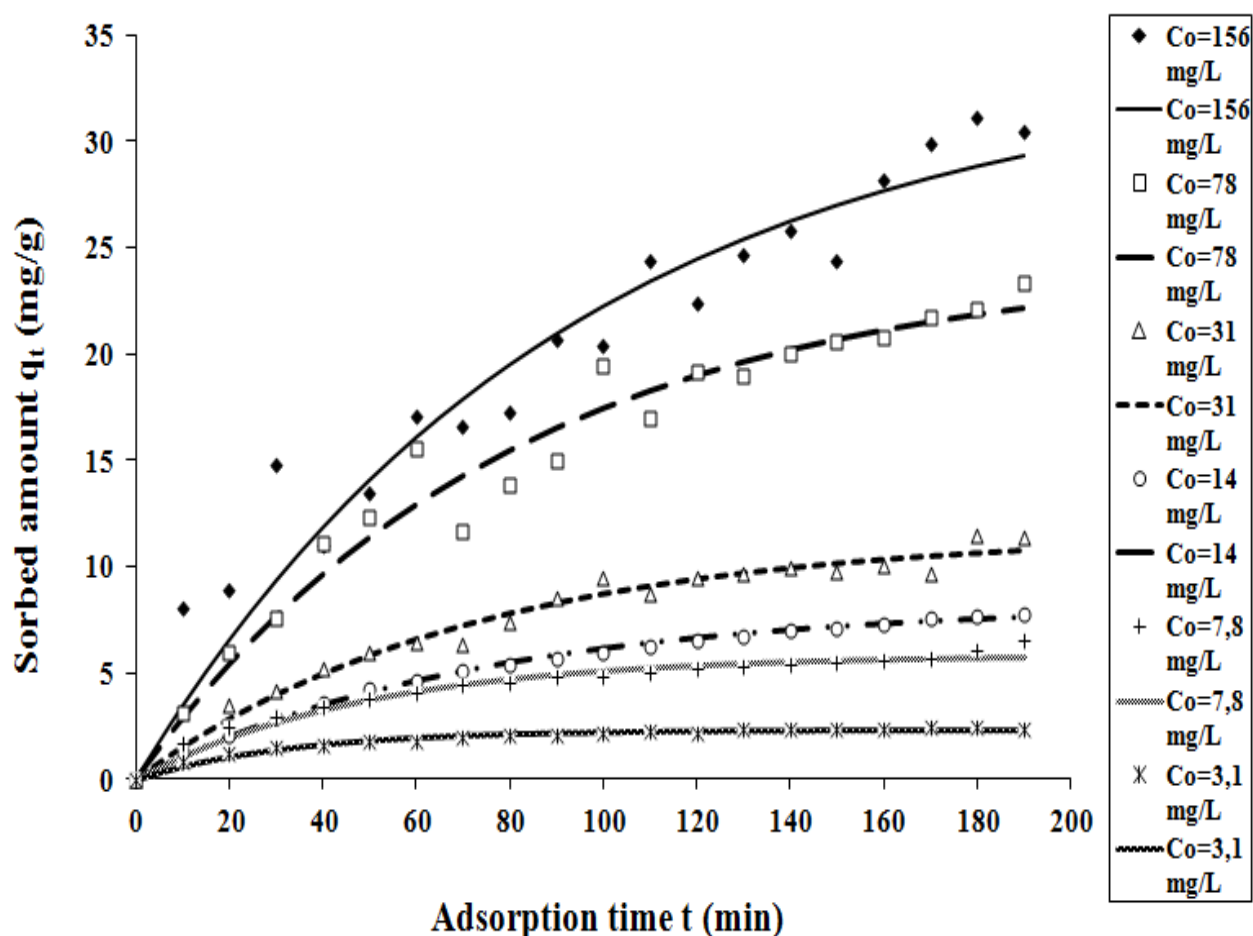


**Πινάκας 6.45:** Πειραματικά δεδομένα και υπολογισμός των παραμέτρων της Lagergren για προσρόφιση methylene blue από άχυρο σιταριού προκατεργασμένο - αυτοϋδρόλυση στους 160°C για 30 min για διάλυμα methylene blue σε όλες τις αρχικές συγκεντρώσεις  $C_0$ . (χρόνος προθέρμανσης 44 min)

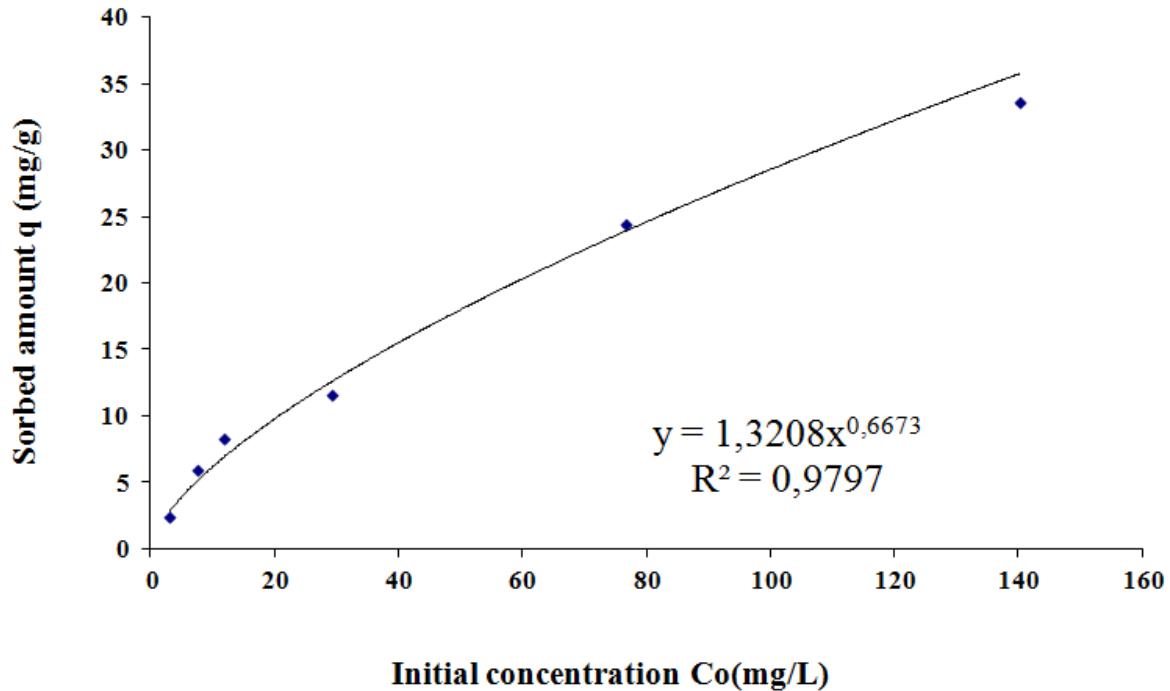
t (min)	Πειραματικές τιμές q σε mg/g για τις αντίστοιχες αρχικές συγκεντρώσεις $C_0$ (mg/l)						Θεωρητικές τιμές $q_{theor}$ σε mg/ g για τις αντίστοιχες αρχικές συγκεντρώσεις $C_0$ (mg/l)					
	156	78	31	14	7,8	3,1	156	78	31	14	7,8	3,1
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
10	8,023	3,454	3,108	2,874	1,520	1,510	1,349	1,059	1,661	1,091	0,797	0,618
20	8,897	6,552	5,921	5,410	3,542	2,823	2,114	1,981	2,422	1,979	1,218	1,073
30	14,766	9,331	7,544	7,647	4,152	3,964	2,958	2,784	2,955	2,702	1,531	1,407
40	10,983	11,825	11,091	9,621	5,166	4,957	3,609	3,484	3,380	3,291	1,618	1,653
50	13,511	14,062	12,282	11,362	5,999	5,820	4,231	4,094	3,746	3,770	1,805	1,834
60	17,091	16,069	15,504	12,898	6,477	6,571	4,620	4,625	4,039	4,161	1,826	1,967
70	16,639	17,869	11,686	14,253	6,351	7,224	5,074	5,088	4,406	4,479	1,943	2,065
80	17,289	19,485	13,799	15,449	7,429	7,791	5,372	5,492	4,583	4,738	2,041	2,137
90	20,660	20,934	14,963	16,503	8,551	8,285	5,703	5,843	4,781	4,949	2,118	2,189
100	20,352	22,234	19,456	17,434	9,443	8,714	5,948	6,149	4,834	5,121	2,158	2,228
110	24,362	23,400	16,939	18,255	8,700	9,087	6,284	6,416	5,024	5,261	2,233	2,257
120	22,418	24,446	19,159	18,979	9,468	9,411	6,540	6,648	5,168	5,375	2,162	2,278
130	24,666	25,385	18,942	19,618	9,665	9,693	6,757	6,850	5,304	5,468	2,331	2,294
140	25,772	26,227	19,997	20,181	9,912	9,939	7,045	7,027	5,411	5,543	2,361	2,305
150	24,362	26,982	20,593	20,678	9,739	10,152	7,124	7,181	5,510	5,605	2,340	2,313
160	28,170	27,660	20,755	21,117	10,084	10,338	7,325	7,314	5,569	5,655	2,361	2,319
170	29,899	28,268	21,728	21,504	9,665	10,499	7,543	7,431	5,709	5,696	2,440	2,324
180	31,076	28,814	22,134	21,845	11,481	10,639	7,677	7,533	6,043	5,729	2,424	2,327
190	30,474	29,303	23,377	22,147	11,359	10,761	7,782	7,621	6,556	5,756	2,401	2,330

	156 mg/L	78mg/L	31,2mg/L	14mg/L	7,8mg/L	3,1mg/L
<b>Co</b>	140,22	76,65	29,28	11,93	7,61	3,12
<b>Sum</b>	89,96	29,94	4,28	0,34	1,65	0,17
<b>n</b>	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
<b>p</b>	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
<b>SEE</b>	2,2356	1,2897	0,4877	0,1378	0,3027	0,0981
<b>k</b>	0,0109	0,0125	0,0140	0,0138	0,0205	0,0307
<b>q</b>	33,57	24,40	11,57	8,22	5,87	2,34

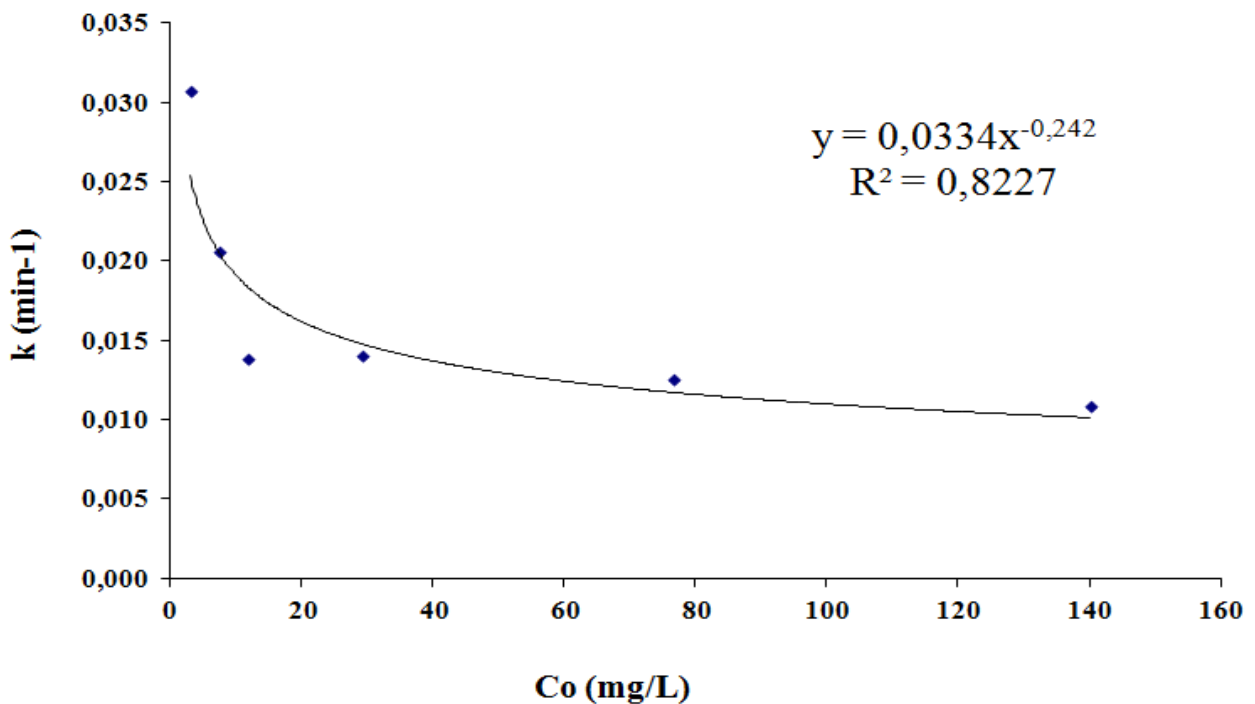
**Σχήμα 6.66:** Γραφική απεικόνιση της ποσότητας του methylene blue που έχει απομακρυνθεί από άχυρο σιταριού προκατεργασμένο (αυτοϋδρόλυση) στους 160° C για 30 min όπως επηρεάζεται από την μεταβολή της αρχικής συγκέντρωσης Co (mg/L) (23oC, pH=8)



**Σχήμα 6.67:** Γραφική απεικόνιση της ποσότητας του methylene blue που έχει απομακρυνθεί από άχυρο σιταριού προκατεργασμένο (αυτοϋδρόλυση) στους 160° C για 30 min όπως επηρεάζεται από την μεταβολή της αρχικής συγκέντρωσης Co (mg/L) (23oC, pH=8)



**Σχήμα 6.68:** Γραφική απεικόνιση της σταθεράς ταχύτητας προσρόφησης του methylene blue από άχυρο σιταριού προκατεργασμένο (αυτοϋδρόλυση) στους 160° C για 30 min όπως επηρεάζεται από την μεταβολή της αρχικής συγκέντρωσης Co (mg/L) (23oC, pH=8)



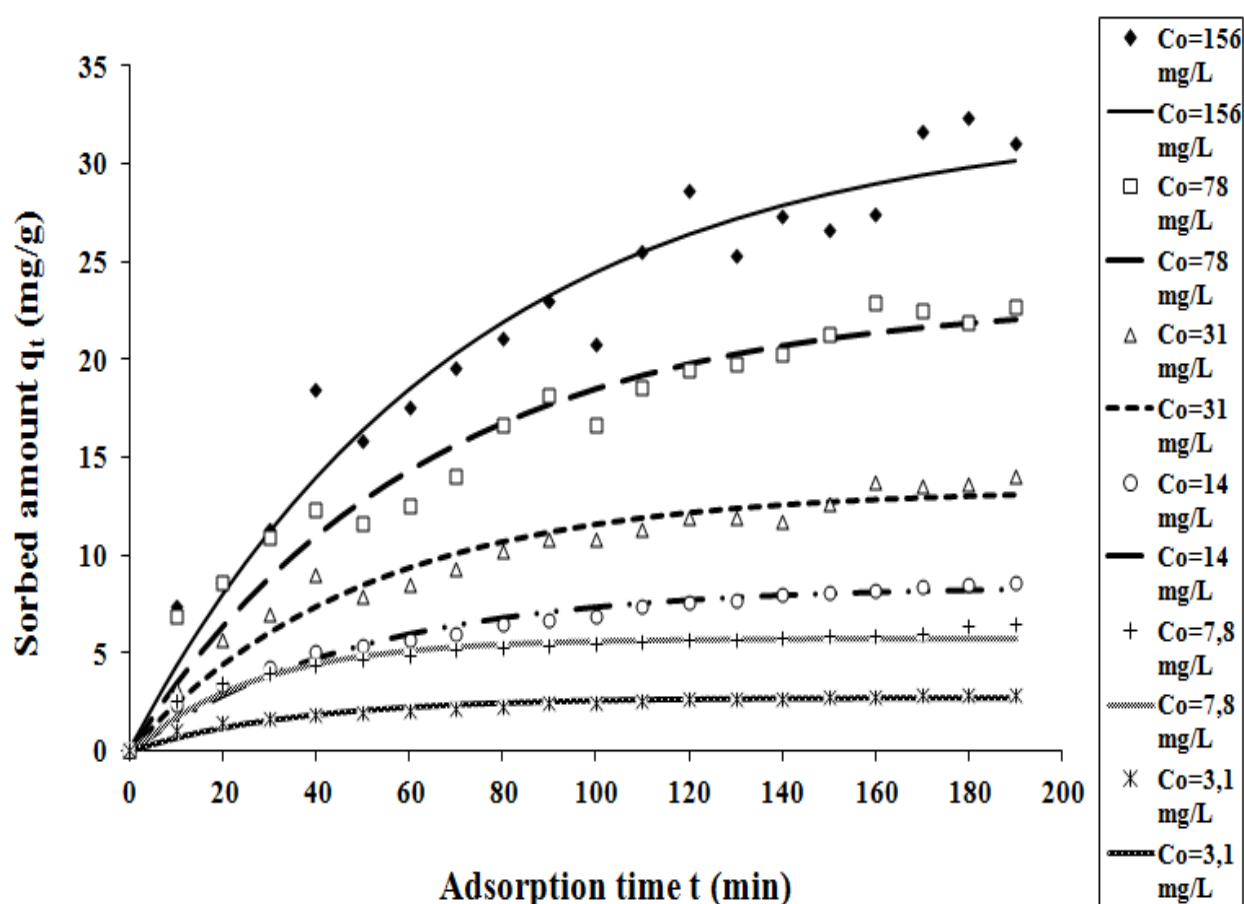
**Πινάκας 6.46:** Πειραματικά δεδομένα και υπολογισμός των παραμέτρων της Lagergren για προσρόφιση methylene blue από άχυρο σιταριού προκατεργασμένο - αυτοϋδρόλυση στους 160°C για 40 min για διάλυμα methylene blue σε όλες τις αρχικές συγκεντρώσεις  $C_0$ . (χρόνος προθέρμανσης 44 min)

t (min)	Πειραματικές τιμές q σε mg/g για τις αντίστοιχες αρχικές συγκεντρώσεις $C_0$ (mg/l)						Θεωρητικές τιμές $q_{theor}$ σε mg/ g για τις αντίστοιχες αρχικές συγκεντρώσεις $C_0$ (mg/l)					
	156	78	31	14	7,8	3,1	156	78	31	14	7,8	3,1
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
10	7,373	4,248	6,858	3,445	3,213	2,430	2,360	1,570	2,556	1,824	1,072	0,683
20	8,582	7,940	8,561	6,376	5,651	4,418	3,401	2,847	3,482	3,078	1,430	1,196
30	11,303	11,147	10,967	8,872	7,010	6,044	4,317	3,886	3,988	3,940	1,673	1,581
40	18,505	13,934	12,293	10,995	9,031	7,375	5,048	4,732	4,367	4,532	1,909	1,871
50	15,858	16,356	11,617	12,803	7,861	8,464	5,402	5,419	4,684	4,940	2,004	2,088
60	17,569	18,461	12,537	14,341	8,509	9,355	5,719	5,979	4,922	5,220	2,082	2,251
70	19,637	20,290	14,052	15,650	9,279	10,084	6,032	6,434	5,147	5,413	2,143	2,374
80	21,102	21,879	16,678	16,765	10,242	10,680	6,488	6,804	5,290	5,545	2,295	2,466
90	23,008	23,259	18,167	17,713	10,783	11,168	6,656	7,105	5,398	5,636	2,418	2,535
100	20,821	24,459	16,678	18,520	10,783	11,567	6,905	7,350	5,441	5,699	2,499	2,587
110	25,489	25,502	18,573	19,207	11,371	11,894	7,414	7,549	5,560	5,742	2,595	2,625
120	28,701	26,408	19,467	19,792	11,883	12,161	7,617	7,711	5,648	5,772	2,629	2,655
130	25,295	27,195	19,765	20,290	11,883	12,380	7,739	7,843	5,693	5,792	2,702	2,677
140	27,347	27,879	20,306	20,713	11,737	12,559	7,979	7,951	5,764	5,806	2,708	2,693
150	26,627	28,473	21,335	21,074	12,588	12,705	8,108	8,038	5,858	5,816	2,766	2,706
160	27,430	28,990	22,933	21,380	13,771	12,825	8,242	8,109	5,933	5,822	2,760	2,715
170	31,672	29,439	22,527	21,642	13,555	12,923	8,401	8,167	5,984	5,827	2,839	2,722
180	32,385	29,829	21,877	21,864	13,603	13,003	8,526	8,214	6,416	5,830	2,839	2,727
190	31,095	30,167	22,716	22,053	14,083	13,069	8,626	8,252	6,486	5,832	2,882	2,731

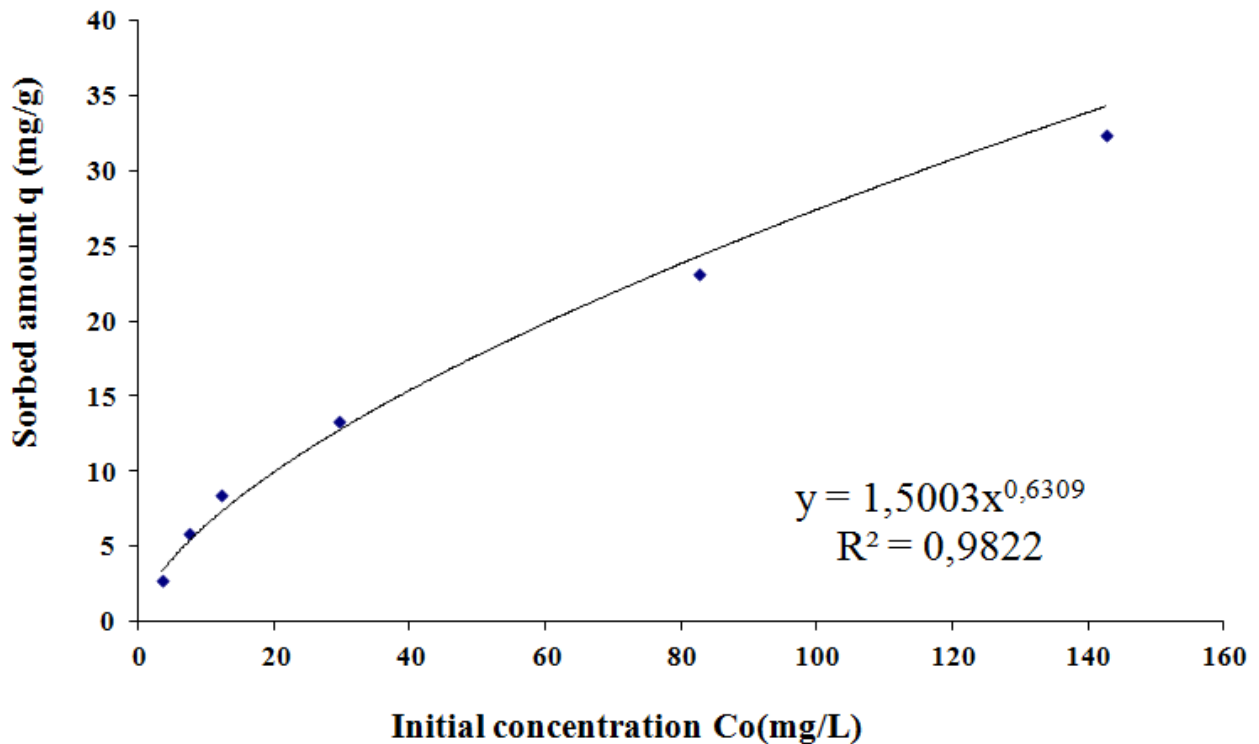


	156 mg/L	78mg/L	31,2mg/L	14mg/L	7,8mg/L	3,1mg/L
<b>Co</b>	142,59	82,75	29,48	12,13	7,48	3,49
<b>Sum</b>	73,85	37,98	12,46	2,30	2,01	0,41
<b>n</b>	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
<b>p</b>	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
<b>SEE</b>	2,0255	1,4525	0,8321	0,3574	0,3344	0,1513
<b>k</b>	0,0140	0,0161	0,0201	0,0206	0,0375	0,0286
<b>q</b>	32,41	23,13	13,36	8,42	5,84	2,74

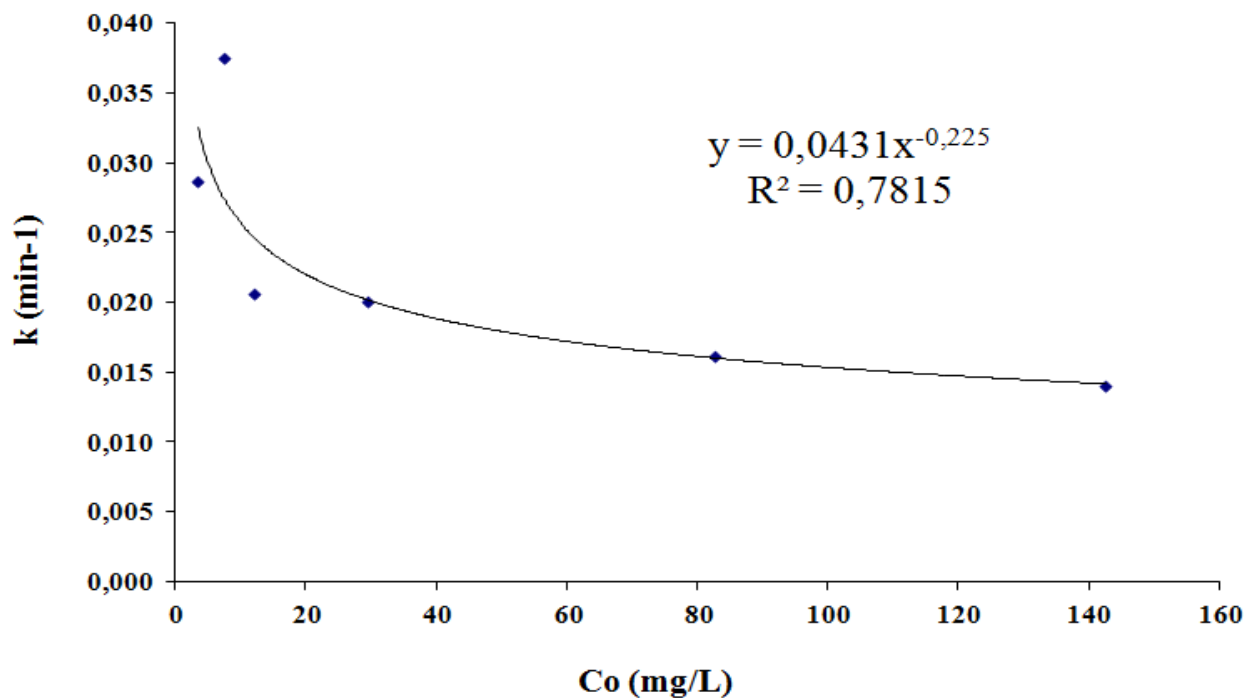
**Σχήμα 6.69:** Γραφική απεικόνιση της επίδρασης της αρχικής συγκέντρωσης  $C_0$  στην προσρόφιση του methylene blue από άχυρο σιταριού προκατεργασμένο (αυτοϋδρόλυση) στους  $160^\circ\text{C}$  για 40 min όπως φαίνεται στις καμπύλες της εξίσωσης Lagergren ( $23^\circ\text{C}$ ,  $\text{pH}=8$ )



**Σχήμα 6.70:** Γραφική απεικόνιση της ποσότητας του methylene blue που έχει απομακρυνθεί από άχυρο σιταριού προκατεργασμένο (αυτοϋδρόλυση) στους 160° C για 40 min όπως επηρεάζεται από την μεταβολή της αρχικής συγκέντρωσης Co (mg/L) (23oC, pH=8)



**Σχήμα 6.71:** Γραφική απεικόνιση της σταθεράς ταχύτητας προσρόφησης του methylene blue από άχυρο σιταριού προκατεργασμένο (αυτοϋδρόλυση) στους 160° C για 40 min όπως επηρεάζεται από την μεταβολή της αρχικής συγκέντρωσης Co (mg/L) (23oC, pH=8)

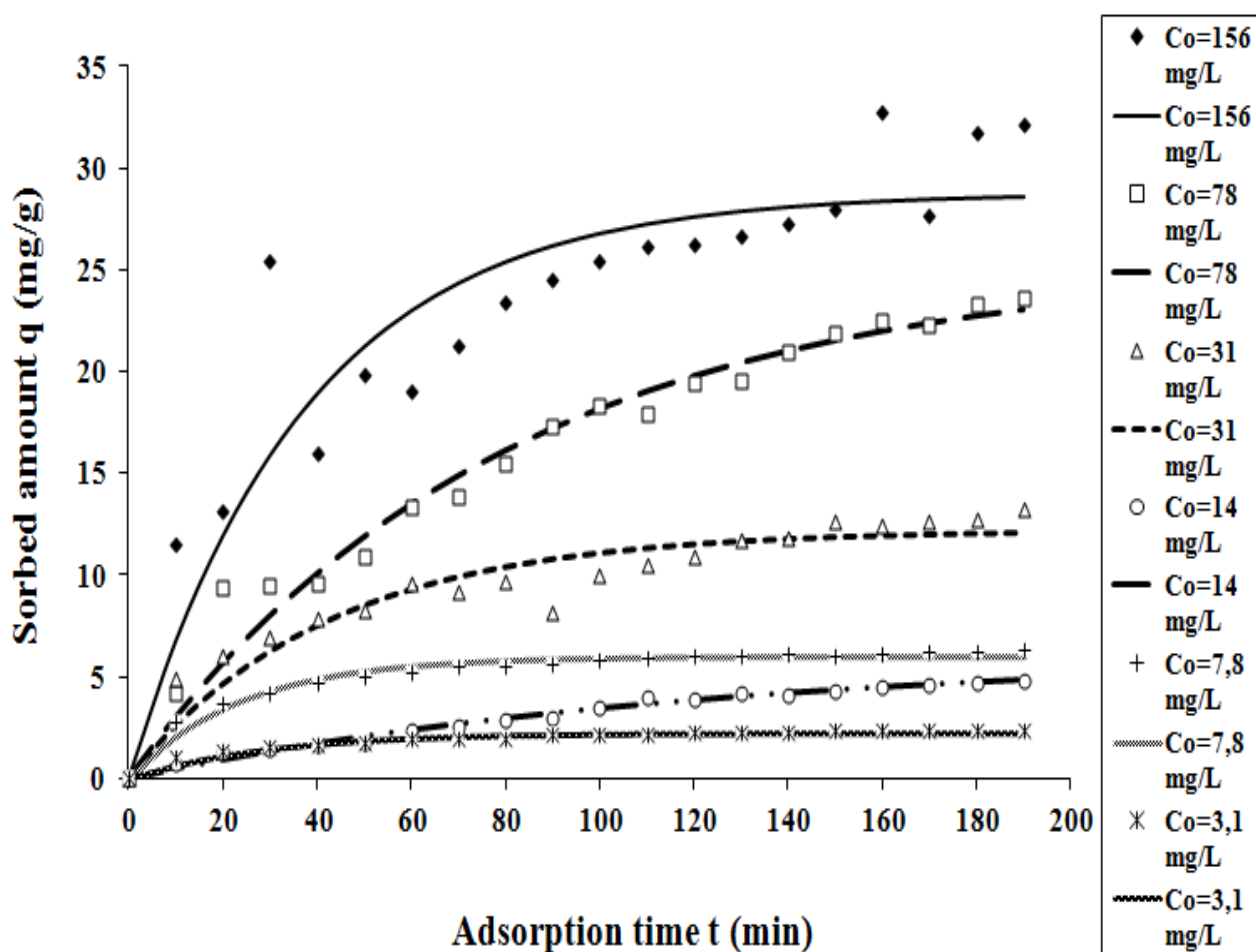


**Πινάκας 6.47:** Πειραματικά δεδομένα και υπολογισμός των παραμέτρων της Lagergren για προσρόφιση methylene blue από άχυρο σιταριού προκατεργασμένο - αυτοϋδρόλυση στους 160°C για 50 min για διάλυμα methylene blue σε όλες τις αρχικές συγκεντρώσεις  $C_0$ . (χρόνος προθέρμανσης 44 min)

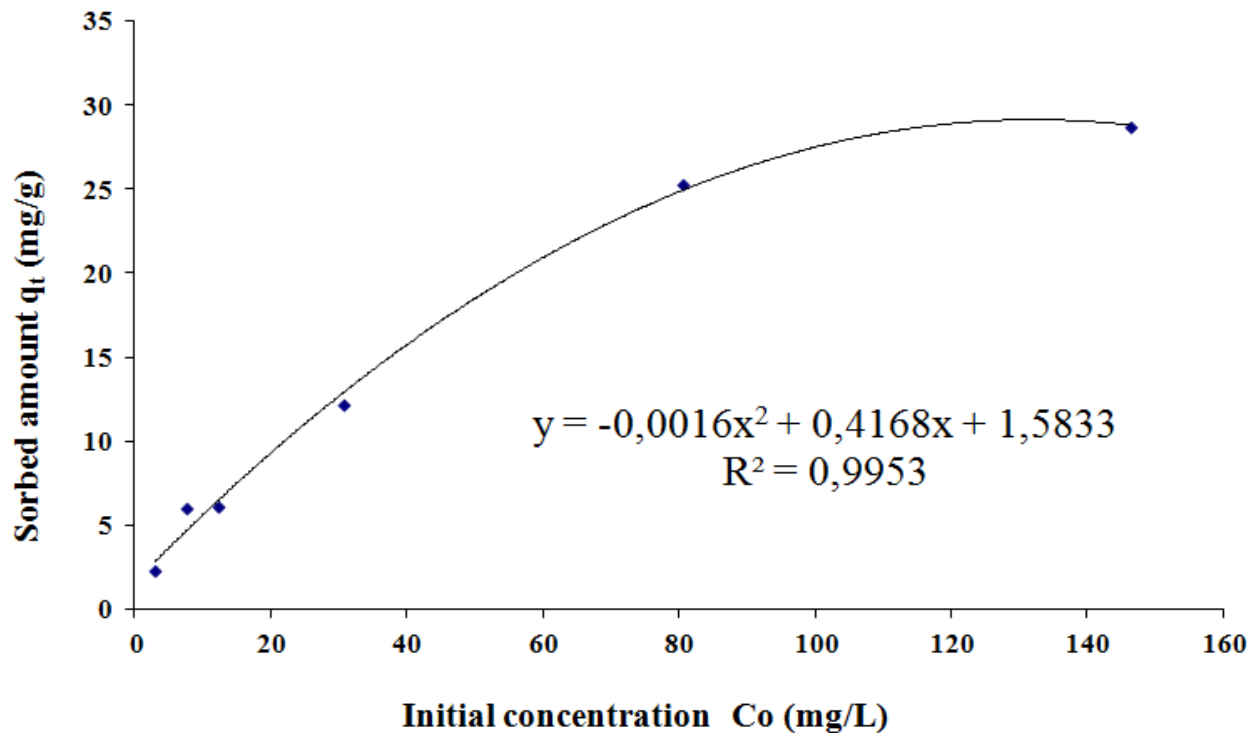
t (min)	Πειραματικές τιμές q σε mg/g για τις αντίστοιχες αρχικές συγκεντρώσεις $C_0$ (mg/l)						Θεωρητικές τιμές $q_{theor}$ σε mg/g για τις αντίστοιχες αρχικές συγκεντρώσεις $C_0$ (mg/l)					
	156	78	31	14	7,8	3,1	156	78	31	14	7,8	3,1
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
10	11,501	6,746	4,159	3,002	4,942	2,584	0,768	0,487	2,790	2,071	1,052	0,684
20	13,119	11,909	9,350	5,649	5,984	4,619	1,305	0,935	3,727	3,426	1,299	1,164
30	25,462	15,859	9,485	7,981	6,946	6,222	1,498	1,347	4,209	4,314	1,505	1,501
40	16,004	18,882	9,593	10,036	7,828	7,484	1,702	1,726	4,655	4,895	1,681	1,737
50	19,887	21,196	10,865	11,848	8,255	8,478	1,798	2,075	5,019	5,275	1,786	1,902
60	19,072	22,966	13,328	13,445	9,555	9,261	2,395	2,396	5,248	5,524	1,928	2,018
70	21,255	24,320	13,842	14,852	9,181	9,877	2,520	2,692	5,501	5,687	1,981	2,099
80	23,436	25,357	15,467	16,092	9,704	10,363	2,891	2,964	5,535	5,794	2,006	2,156
90	24,507	26,150	17,341	17,185	8,130	10,745	2,954	3,215	5,635	5,864	2,113	2,196
100	25,462	26,757	18,364	18,149	9,953	11,046	3,494	3,445	5,833	5,910	2,168	2,224
110	26,163	27,222	17,904	18,998	10,474	11,283	3,942	3,657	5,890	5,940	2,192	2,243
120	26,303	27,577	19,447	19,746	10,920	11,470	3,922	3,852	5,991	5,960	2,237	2,257
130	26,695	27,849	19,502	20,406	11,684	11,617	4,176	4,032	5,996	5,972	2,252	2,267
140	27,226	28,057	20,963	20,987	11,832	11,733	4,108	4,197	6,095	5,981	2,305	2,274
150	28,035	28,216	21,857	21,499	12,665	11,824	4,334	4,349	6,069	5,986	2,362	2,278
160	32,801	28,338	22,506	21,951	12,420	11,896	4,495	4,489	6,144	5,990	2,378	2,282
170	27,644	28,432	22,263	22,349	12,616	11,953	4,634	4,618	6,186	5,992	2,363	2,284
180	31,697	28,503	23,264	22,699	12,714	11,997	4,740	4,737	6,205	5,994	2,373	2,286
190	32,167	28,558	23,643	23,008	13,226	12,032	4,786	4,846	6,291	5,995	2,415	2,287

	156 mg/L	78mg/L	31,2mg/L	14mg/L	7,8mg/L	3,1mg/L
<b>Co</b>	146,31	80,48	30,75	12,25	7,63	3,01
<b>Sum</b>	207,48	23,22	21,49	0,54	1,20	0,27
<b>n</b>	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
<b>p</b>	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
<b>SEE</b>	3,3951	1,1359	1,0927	0,1734	0,2578	0,1235
<b>k</b>	0,0268	0,0126	0,0239	0,0083	0,0424	0,0355
<b>q</b>	28,74	25,30	12,16	6,11	6,00	2,29

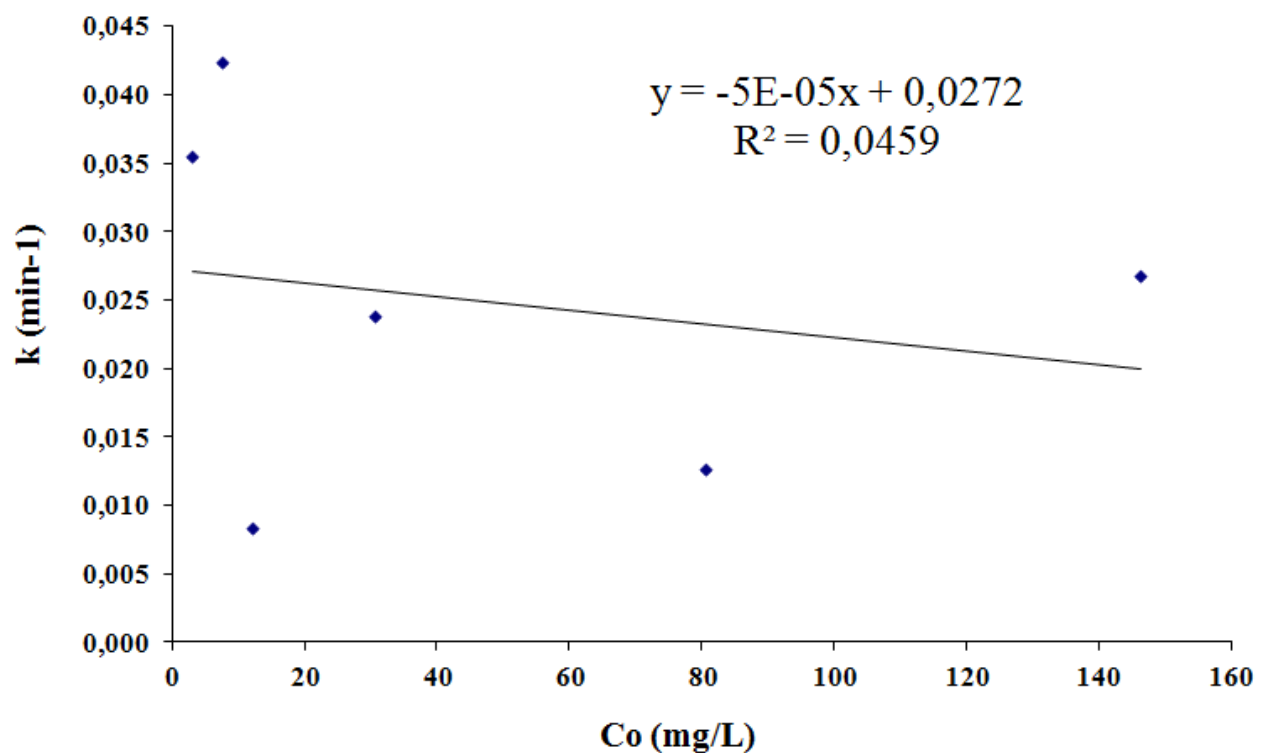
**Σχήμα 6.72:** Γραφική απεικόνιση της επίδρασης της αρχικής συγκέντρωσης Co στην προσρόφιση του methylene blue από άχυρο σιταριού προκατεργασμένο (αυτουδρόλυση) στους 160° C για 50 min όπως φαίνεται στις καμπύλες της εξίσωσης Lagergren (23° C, pH=8)



**Σχήμα 6.73:** Γραφική απεικόνιση της ποσότητας του methylene blue που έχει απομακρυνθεί από άχυρο σιταριού προκατεργασμένο (αυτοϋδρόλυση) στους 160° C για 50 min όπως επηρεάζεται από την μεταβολή της αρχικής συγκέντρωσης Co (mg/L) (23oC, pH=8)



**Σχήμα 6.74:** Γραφική απεικόνιση της σταθεράς ταχύτητας προσρόφησης του methylene blue από άχυρο σιταριού προκατεργασμένο (αυτοϋδρόλυση) στους 160° C για 50 min όπως επηρεάζεται από την μεταβολή της αρχικής συγκέντρωσης Co (mg/L) (23oC, pH=8)

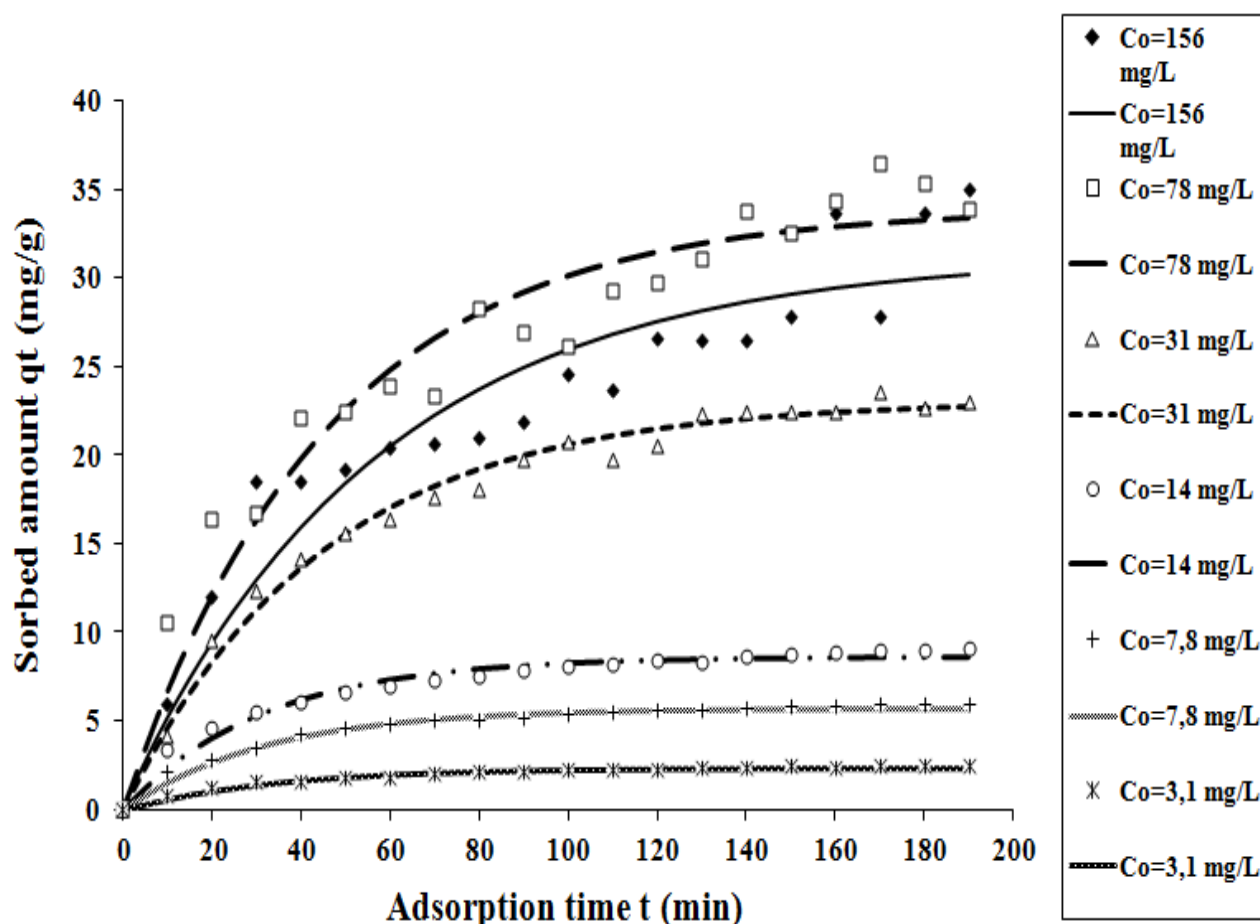


**Πινάκας 6.48:** Πειραματικά δεδομένα και υπολογισμός των παραμέτρων της Lagergren για προσρόφιση methylene blue από άχυρο σιταριού προκατεργασμένο - αυτοϋδρόλυση στους 180°C για 0 min για διάλυμα methylene blue σε όλες τις αρχικές συγκεντρώσεις  $C_0$ . (χρόνος προθέρμανσης 47 min)

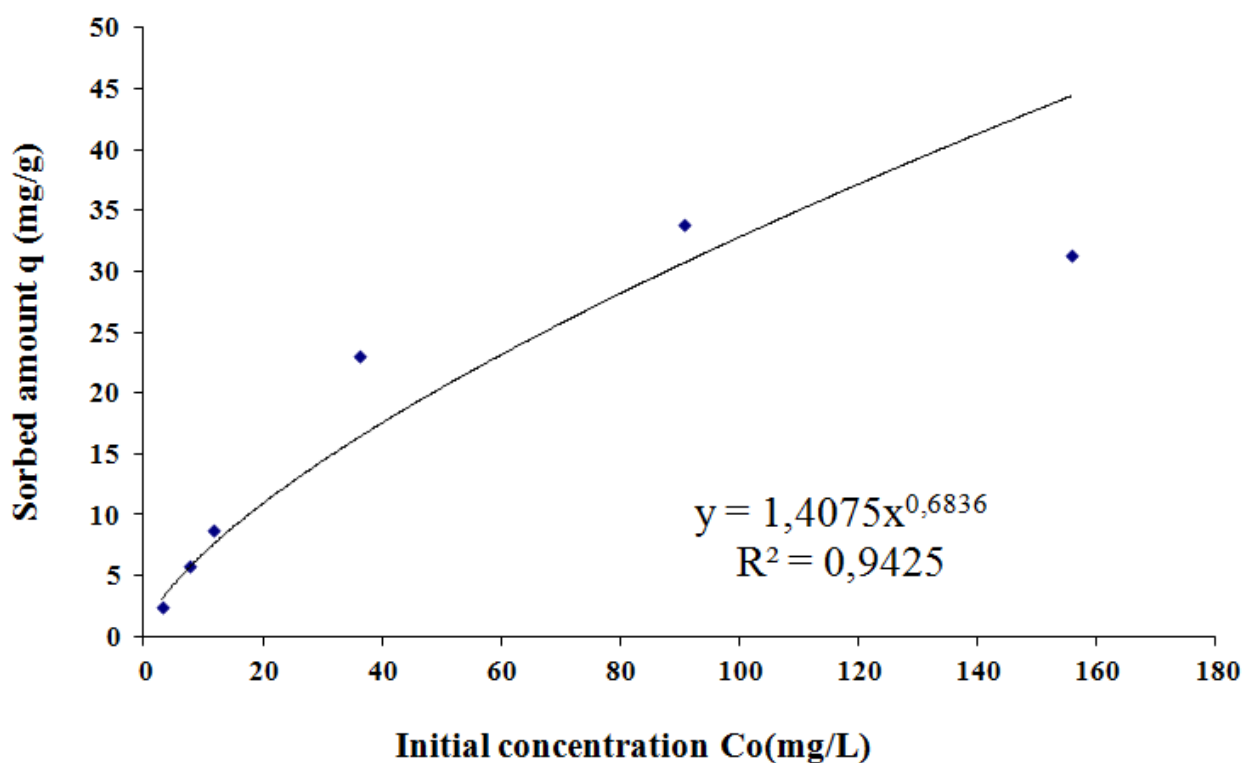
t (min)	Πειραματικές τιμές q σε mg/g για τις αντίστοιχες αρχικές συγκεντρώσεις $C_0$ (mg/l)						Θεωρητικές τιμές $q_{theor}$ σε mg/ g για τις αντίστοιχες αρχικές συγκεντρώσεις $C_0$ (mg/l)					
	156	78	31	14	7,8	3,1	156	78	31	14	7,8	3,1
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
10	5,937	5,088	10,575	6,672	4,225	4,621	3,399	2,353	2,130	1,581	0,834	0,630
20	11,986	9,349	16,382	12,031	9,574	8,314	4,631	4,067	2,827	2,729	1,282	1,095
30	18,475	12,917	16,734	16,335	12,371	11,267	5,496	5,316	3,528	3,564	1,584	1,438
40	18,475	15,906	22,144	19,791	14,132	13,627	6,105	6,225	4,253	4,170	1,631	1,691
50	19,220	18,409	22,469	22,568	15,603	15,513	6,647	6,888	4,623	4,611	1,790	1,878
60	20,466	20,505	23,931	24,798	16,421	17,021	6,981	7,371	4,793	4,931	1,853	2,016
70	20,702	22,260	23,362	26,589	17,677	18,226	7,316	7,723	5,022	5,164	2,048	2,118
80	20,997	23,730	28,236	28,027	18,093	19,190	7,549	7,979	5,078	5,333	2,099	2,193
90	21,910	24,962	26,909	29,183	19,699	19,960	7,849	8,165	5,164	5,456	2,138	2,248
100	24,599	25,993	26,178	30,111	20,783	20,576	8,082	8,301	5,457	5,545	2,256	2,289
110	23,667	26,856	29,238	30,856	19,772	21,068	8,203	8,401	5,551	5,610	2,254	2,319
120	26,568	27,580	29,752	31,455	20,591	21,461	8,381	8,473	5,591	5,657	2,297	2,342
130	26,481	28,185	31,079	31,935	22,287	21,775	8,366	8,525	5,613	5,691	2,337	2,358
140	26,481	28,693	33,731	32,322	22,453	22,027	8,620	8,564	5,756	5,716	2,391	2,370
150	27,834	29,117	32,540	32,632	22,477	22,228	8,759	8,591	5,810	5,734	2,443	2,379
160	33,632	29,473	34,299	32,881	22,405	22,388	8,854	8,612	5,852	5,747	2,423	2,386
170	27,834	29,771	36,462	33,081	23,538	22,517	8,950	8,627	5,935	5,757	2,494	2,391
180	33,688	30,021	35,327	33,242	22,689	22,619	9,012	8,637	5,961	5,764	2,491	2,394
190	34,981	30,230	33,893	33,371	23,044	22,701	9,142	8,645	5,972	5,769	2,508	2,397

	156 mg/L	78mg/L	31,2mg/L	14mg/L	7,8mg/L	3,1mg/L
<b>Co</b>	155,68	90,76	36,28	11,81	7,62	3,13
<b>Sum</b>	144,69	98,03	9,31	2,82	0,66	0,21
<b>n</b>	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
<b>p</b>	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
<b>SEE</b>	2,8352	2,3337	0,7192	0,3959	0,1916	0,1075
<b>k</b>	0,0177	0,0219	0,0224	0,0317	0,0319	0,0304
<b>q</b>	31,31	33,90	23,03	8,67	5,78	2,40

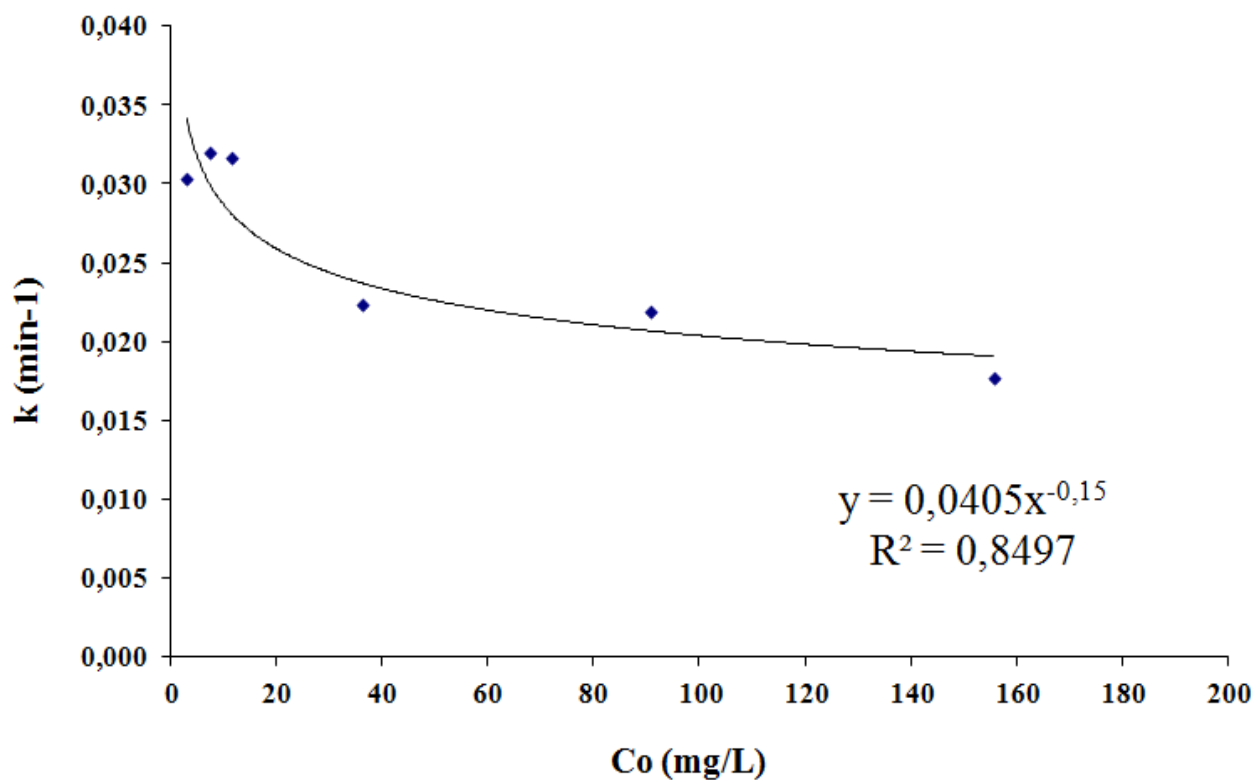
**Σχήμα 6.75:** Γραφική απεικόνιση της επίδρασης της αρχικής συγκέντρωσης Co στην προσρόφιση του methylene blue από άχυρο σιταριού προκατεργασμένο (αυτοϋδρόλυση) στους 180° C για 0 min όπως φαίνεται στις καμπύλες της εξίσωσης Lagergren (23° C, pH=8)



**Σχήμα 6.76:** Γραφική απεικόνιση της ποσότητας του methylene blue που έχει απομακρυνθεί από άχυρο σιταριού προκατεργασμένο (αυτοϋδρόλυση) στους 180° C για 0 min όπως επηρεάζεται από την μεταβολή της αρχικής συγκέντρωσης Co (mg/L) (23oC, pH=8)



**Σχήμα 6.77:** Γραφική απεικόνιση της σταθεράς ταχύτητας προσρόφησης του methylene blue από άχυρο σιταριού προκατεργασμένο (αυτοϋδρόλυση) στους 180° C για 0 min όπως επηρεάζεται από την μεταβολή της αρχικής συγκέντρωσης  $C_0$  (mg/L) (23oC, pH=8)



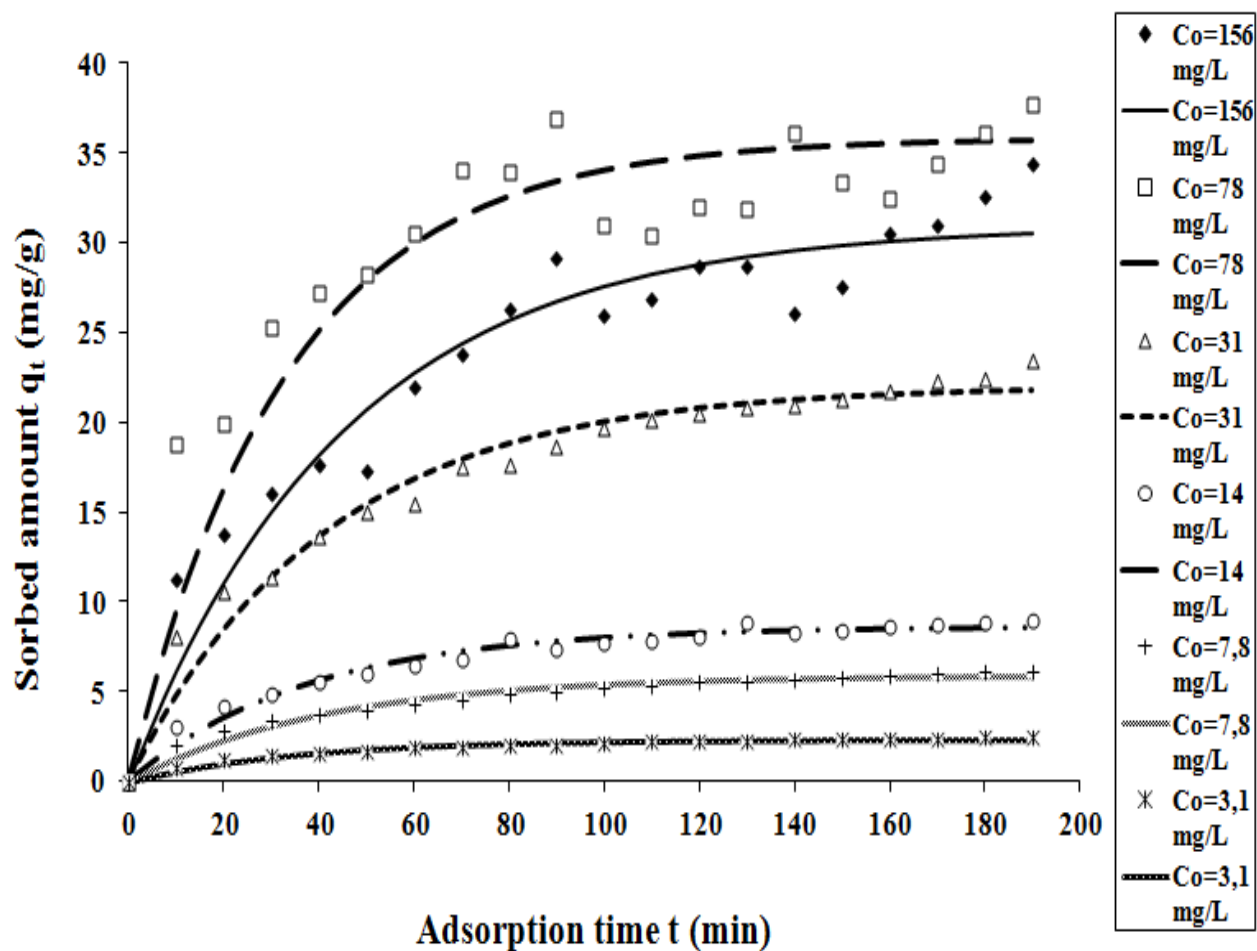


**Πινάκας 6.49:** Πειραματικά δεδομένα και υπολογισμός των παραμέτρων της Lagergren για προσρόφιση methylene blue από άχυρο σιταριού προκατεργασμένο - αυτοϋδρόλυση στους 180°C για 10 min για διάλυμα methylene blue σε όλες τις αρχικές συγκεντρώσεις  $C_0$ . (χρόνος προθέρμανσης 47 min)

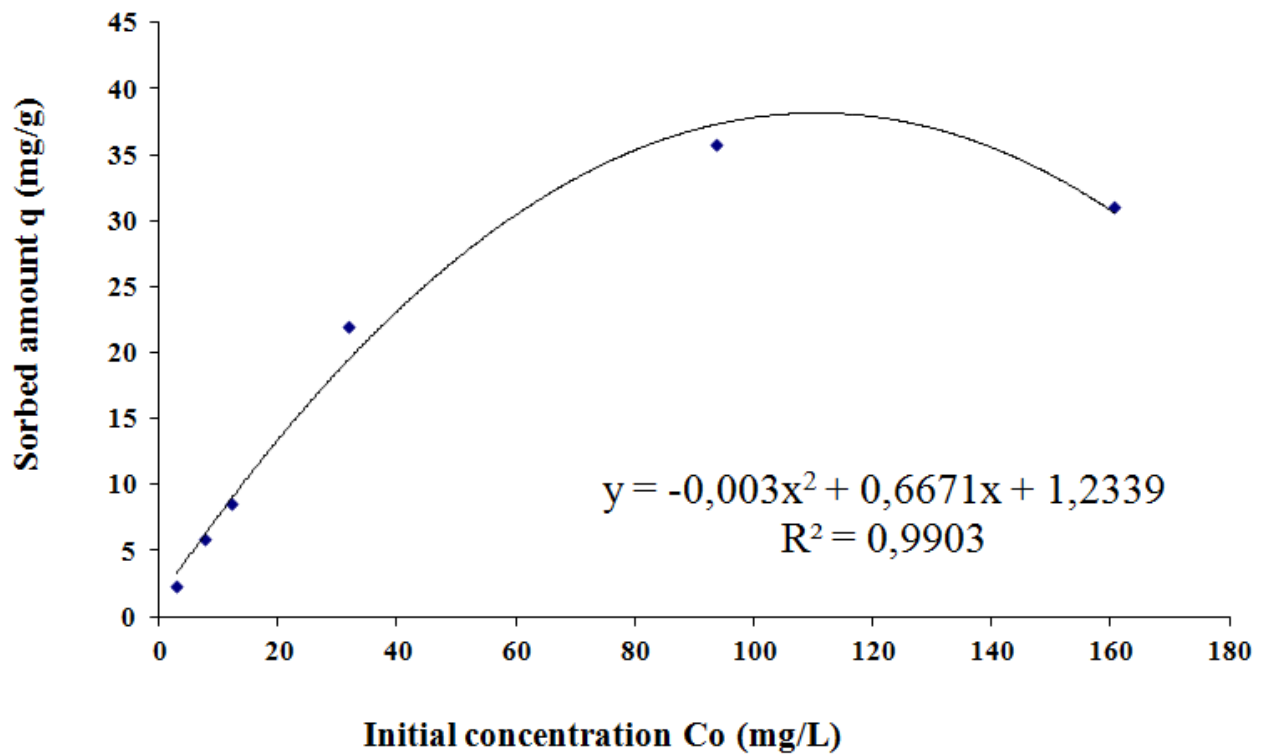
t (min)	Πειραματικές τιμές q σε mg/g για τις αντίστοιχες αρχικές συγκεντρώσεις $C_0$ (mg/l)						Θεωρητικές τιμές $q_{theor}$ σε mg/g για τις αντίστοιχες αρχικές συγκεντρώσεις $C_0$ (mg/l)					
	156	78	31	14	7,8	3,1	156	78	31	14	7,8	3,1
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
10	11,254	6,134	18,810	9,285	8,043	4,708	3,038	1,994	2,037	1,293	0,812	0,588
20	13,812	11,053	19,891	16,164	10,604	8,408	4,223	3,526	2,800	2,302	1,176	1,029
30	16,087	14,999	25,299	21,260	11,400	11,317	4,904	4,705	3,356	3,091	1,474	1,360
40	17,629	18,163	27,278	25,035	13,693	13,603	5,506	5,610	3,708	3,706	1,611	1,609
50	17,291	20,701	28,225	27,832	14,982	15,400	5,966	6,307	3,998	4,187	1,724	1,795
60	22,004	22,737	30,527	29,904	15,420	16,812	6,420	6,842	4,324	4,563	1,852	1,934
70	23,799	24,369	34,101	31,439	17,580	17,922	6,801	7,253	4,571	4,856	1,933	2,039
80	26,288	25,679	33,912	32,576	17,628	18,794	7,905	7,569	4,889	5,086	2,018	2,118
90	29,158	26,729	36,916	33,418	18,646	19,480	7,355	7,812	5,009	5,265	2,064	2,177
100	25,963	27,571	30,960	34,042	19,656	20,019	7,662	7,999	5,232	5,404	2,105	2,221
110	26,906	28,247	30,419	34,504	20,100	20,443	7,845	8,143	5,354	5,514	2,203	2,254
120	28,721	28,788	32,016	34,847	20,495	20,776	8,015	8,253	5,515	5,599	2,246	2,279
130	28,721	29,223	31,881	35,101	20,796	21,037	8,865	8,338	5,564	5,665	2,285	2,297
140	26,052	29,571	36,131	35,289	20,981	21,243	8,300	8,404	5,687	5,717	2,327	2,311
150	27,610	29,851	33,370	35,428	21,281	21,405	8,382	8,454	5,833	5,758	2,369	2,322
160	30,493	30,075	32,450	35,531	21,695	21,532	8,601	8,492	5,918	5,790	2,398	2,330
170	30,985	30,255	34,453	35,607	22,358	21,632	8,769	8,522	6,055	5,815	2,405	2,336
180	32,599	30,399	36,077	35,664	22,449	21,710	8,845	8,545	6,104	5,834	2,431	2,340
190	34,460	30,515	37,727	35,706	23,423	21,772	8,918	8,562	6,117	5,849	2,476	2,343

	156 mg/L	78mg/L	31,2mg/L	14mg/L	7,8mg/L	3,1mg/L
<b>C<sub>0</sub></b>	160,65	93,62	31,98	12,25	7,68	3,01
<b>Sum</b>	97,22	212,19	24,54	3,29	1,45	0,19
<b>n</b>	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
<b>p</b>	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
<b>SEE</b>	2,3240	3,4334	1,1675	0,4275	0,2838	0,1014
<b>k</b>	0,0221	0,0300	0,0241	0,0263	0,0247	0,0288
<b>q</b>	30,98	35,83	22,00	8,62	5,90	2,35

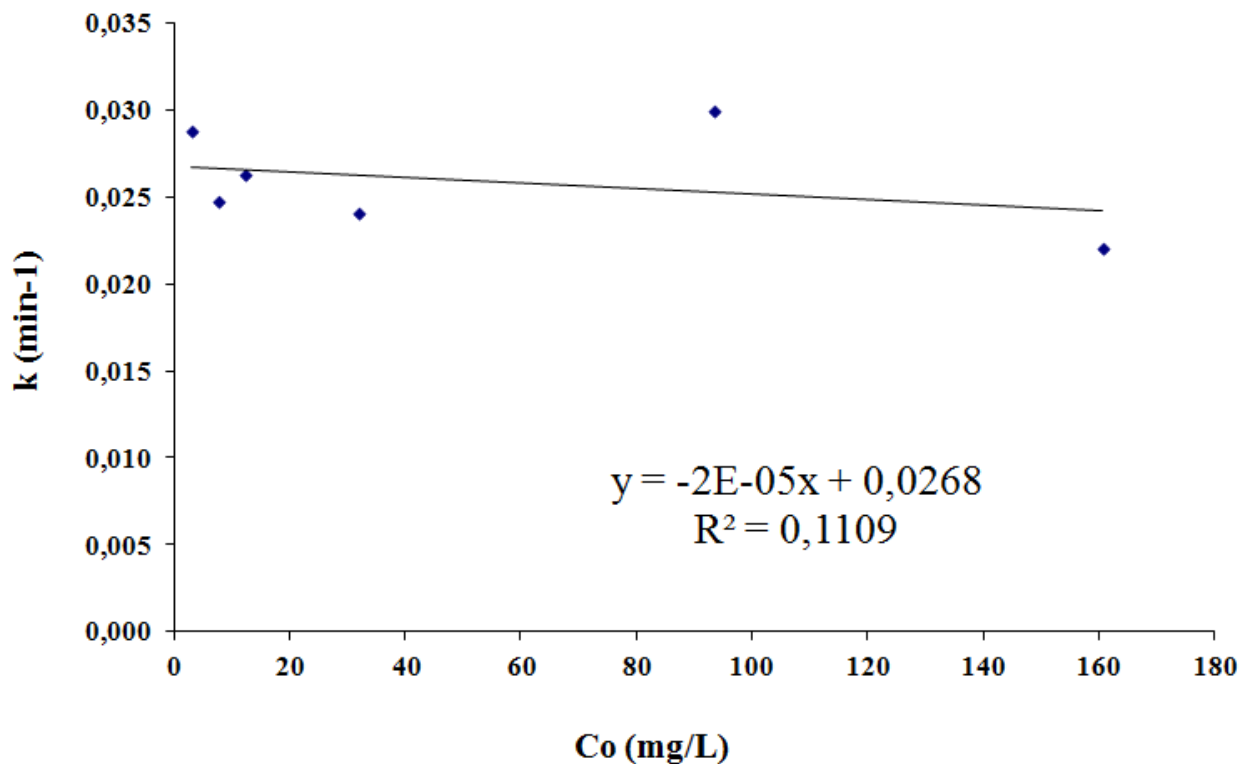
**Σχήμα 6.78:** Γραφική απεικόνιση της επίδρασης της αρχικής συγκέντρωσης C<sub>0</sub> στην προσρόφηση του methylene blue από άχυρο σιταριού προκατεργασμένο (αυτοϋδρόλυση) στους 180° C για 10 min όπως φαίνεται στις καμπύλες της εξίσωσης Lagergren (23° C, pH=8)



**Σχήμα 6.79:** Γραφική απεικόνιση της ποσότητας του methylene blue που έχει απομακρυνθεί από άχυρο σιταριού προκατεργασμένο (αυτοϋδρόλυση) στους 180° C για 10 min όπως επηρεάζεται από την μεταβολή της αρχικής συγκέντρωσης Co (mg/L) (23oC, pH=8)



**Σχήμα 6.80:** Γραφική απεικόνιση της σταθεράς ταχύτητας προσρόφησης του methylene blue από άχυρο σιταριού προκατεργασμένο (αυτοϋδρόλυση) στους 180° C για 10 min όπως επηρεάζεται από την μεταβολή της αρχικής συγκέντρωσης Co (mg/L) (23oC, pH=8)

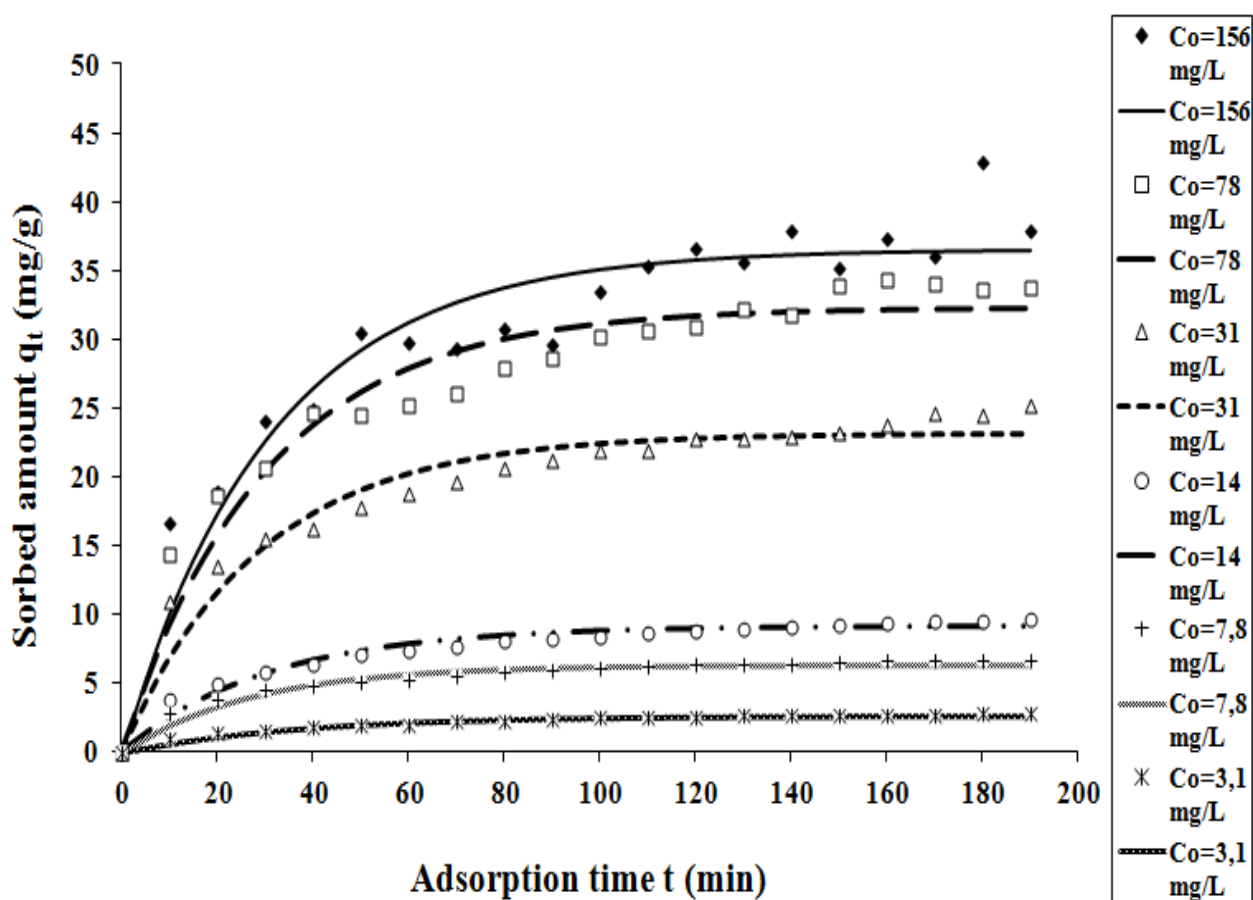


**Πινάκας 6.50:** Πειραματικά δεδομένα και υπολογισμός των παραμέτρων της Lagergren για προσρόφιση methylene blue από άχυρο σιταριού προκατεργασμένο - αυτοϋδρόλυση στους 180°C για 20 min για διάλυμα methylene blue σε όλες τις αρχικές συγκεντρώσεις  $C_0$ . (χρόνος προθέρμανσης 47 min)

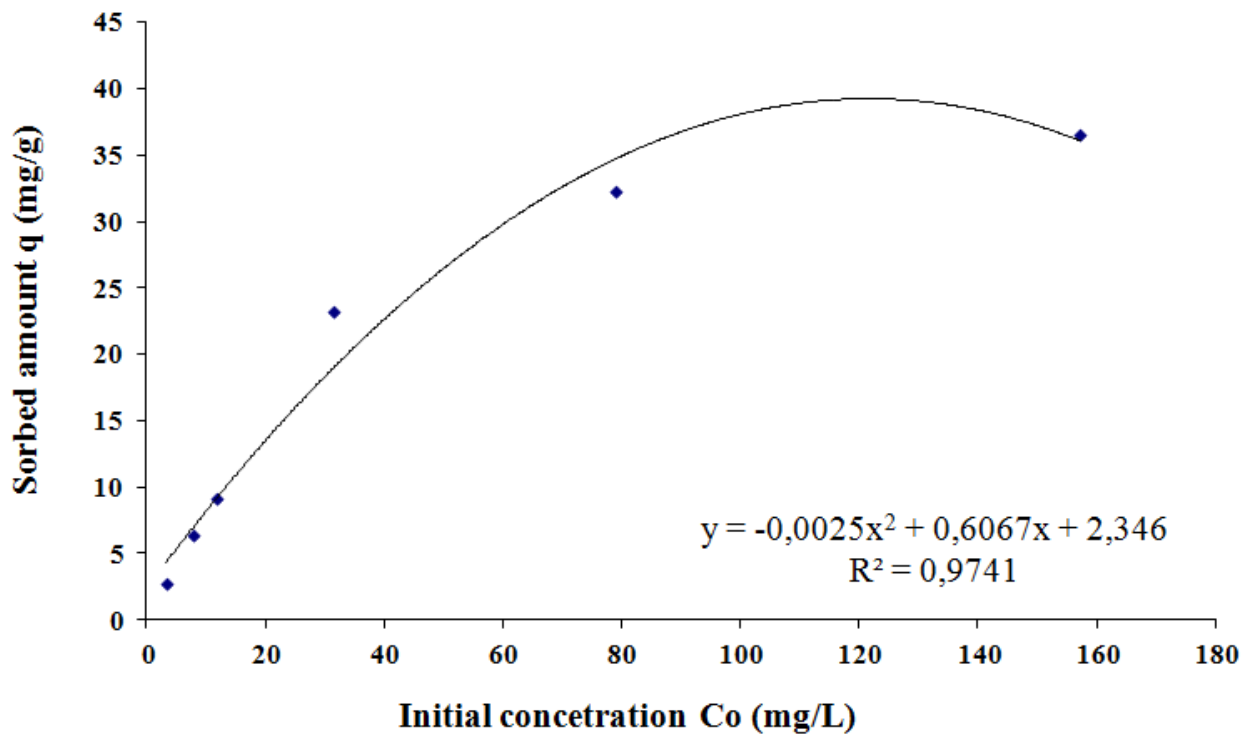
t (min)	Πειραματικές τιμές q σε mg/g για τις αντίστοιχες αρχικές συγκεντρώσεις $C_0$ (mg/l)						Θεωρητικές τιμές $q_{theor}$ σε mg/ g για τις αντίστοιχες αρχικές συγκεντρώσεις $C_0$ (mg/l)					
	156	78	31	14	7,8	3,1	156	78	31	14	7,8	3,1
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
10	16,693	10,035	14,334	9,087	10,861	6,756	3,834	2,525	2,755	1,989	0,961	0,648
20	18,985	17,313	18,612	15,616	13,548	11,544	4,923	4,350	3,781	3,358	1,325	1,140
30	24,112	22,591	20,615	20,307	15,490	14,938	5,783	5,669	4,506	4,301	1,584	1,513
40	24,902	26,418	24,591	23,677	16,188	17,344	6,437	6,623	4,766	4,950	1,800	1,795
50	30,478	29,194	24,429	26,098	17,785	19,049	7,040	7,312	5,033	5,397	1,919	2,009
60	29,705	31,207	25,159	27,837	18,776	20,257	7,410	7,810	5,283	5,704	1,989	2,171
70	29,303	32,667	25,996	29,087	19,618	21,113	7,691	8,170	5,504	5,916	2,199	2,295
80	30,764	33,726	27,832	29,985	20,570	21,720	8,072	8,430	5,756	6,062	2,265	2,388
90	29,619	34,494	28,614	30,630	21,192	22,151	8,235	8,618	5,889	6,162	2,410	2,459
100	33,521	35,051	30,203	31,094	21,925	22,455	8,423	8,754	6,102	6,232	2,484	2,512
110	35,243	35,455	30,607	31,427	21,902	22,672	8,658	8,853	6,227	6,279	2,531	2,553
120	36,620	35,747	30,957	31,666	22,787	22,825	8,771	8,924	6,314	6,312	2,548	2,584
130	35,637	35,960	32,140	31,838	22,810	22,933	8,948	8,975	6,404	6,334	2,622	2,607
140	37,824	36,114	31,764	31,961	22,923	23,010	9,024	9,012	6,432	6,350	2,660	2,625
150	35,159	36,226	33,938	32,050	23,148	23,065	9,206	9,039	6,504	6,361	2,662	2,638
160	37,320	36,307	34,314	32,114	23,709	23,103	9,367	9,058	6,606	6,368	2,683	2,648
170	36,087	36,365	34,099	32,159	24,621	23,131	9,440	9,072	6,595	6,373	2,699	2,656
180	42,906	36,408	33,536	32,192	24,532	23,150	9,518	9,082	6,650	6,377	2,754	2,662
190	37,880	36,439	33,697	32,216	25,128	23,164	9,602	9,090	6,695	6,379	2,761	2,666

	156 mg/L	78mg/L	31,2mg/L	14mg/L	7,8mg/L	3,1mg/L
<b>Co</b>	157,21	79,05	31,61	11,75	7,77	3,29
<b>Sum</b>	152,22	83,91	40,03	3,71	1,82	0,23
<b>n</b>	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
<b>p</b>	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
<b>SEE</b>	2,9080	2,1591	1,4913	0,4541	0,3182	0,1130
<b>k</b>	0,0321	0,0331	0,0344	0,0325	0,0373	0,0277
<b>q</b>	36,52	32,28	23,20	9,11	6,38	2,68

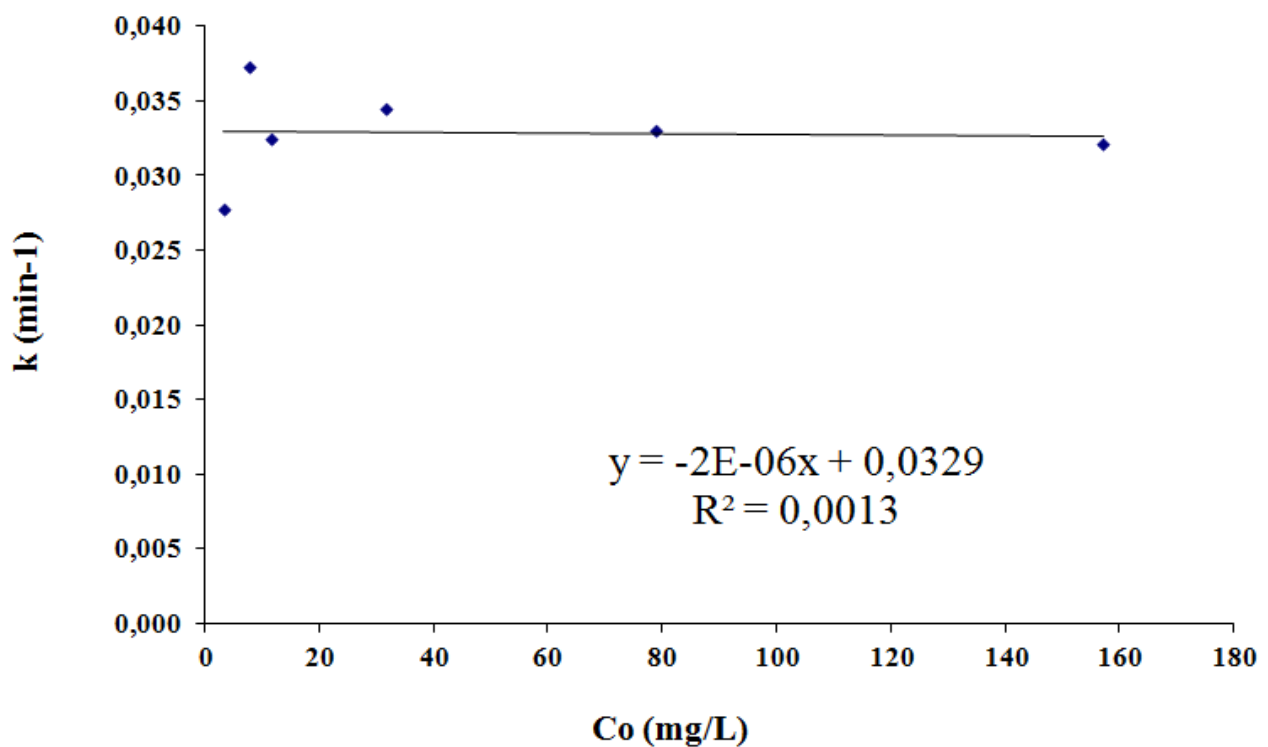
**Σχήμα 6.81:** Γραφική απεικόνιση της επίδρασης της αρχικής συγκέντρωσης  $C_0$  στην προσρόφηση του methylene blue από άχυρο σιταριού προκατεργασμένο (αυτουδρόλυση) στους  $180^\circ\text{C}$  για 20 min όπως φαίνεται στις καμπύλες της εξίσωσης Lagergren ( $23^\circ\text{C}$ ,  $\text{pH}=8$ )



**Σχήμα 6.82:** Γραφική απεικόνιση της ποσότητας του methylene blue που έχει απομακρυνθεί από άχυρο σιταριού προκατεργασμένο (αυτοϋδρόλυση) στους 180° C για 20 min όπως επηρεάζεται από την μεταβολή της αρχικής συγκέντρωσης Co (mg/L) (23oC, pH=8)



**Σχήμα 6.83:** Γραφική απεικόνιση της σταθεράς ταχύτητας προσρόφησης του methylene blue από άχυρο σιταριού προκατεργασμένο (αυτοϋδρόλυση) στους 180° C για 20 min όπως επηρεάζεται από την μεταβολή της αρχικής συγκέντρωσης Co (mg/L) (23oC, pH=8)

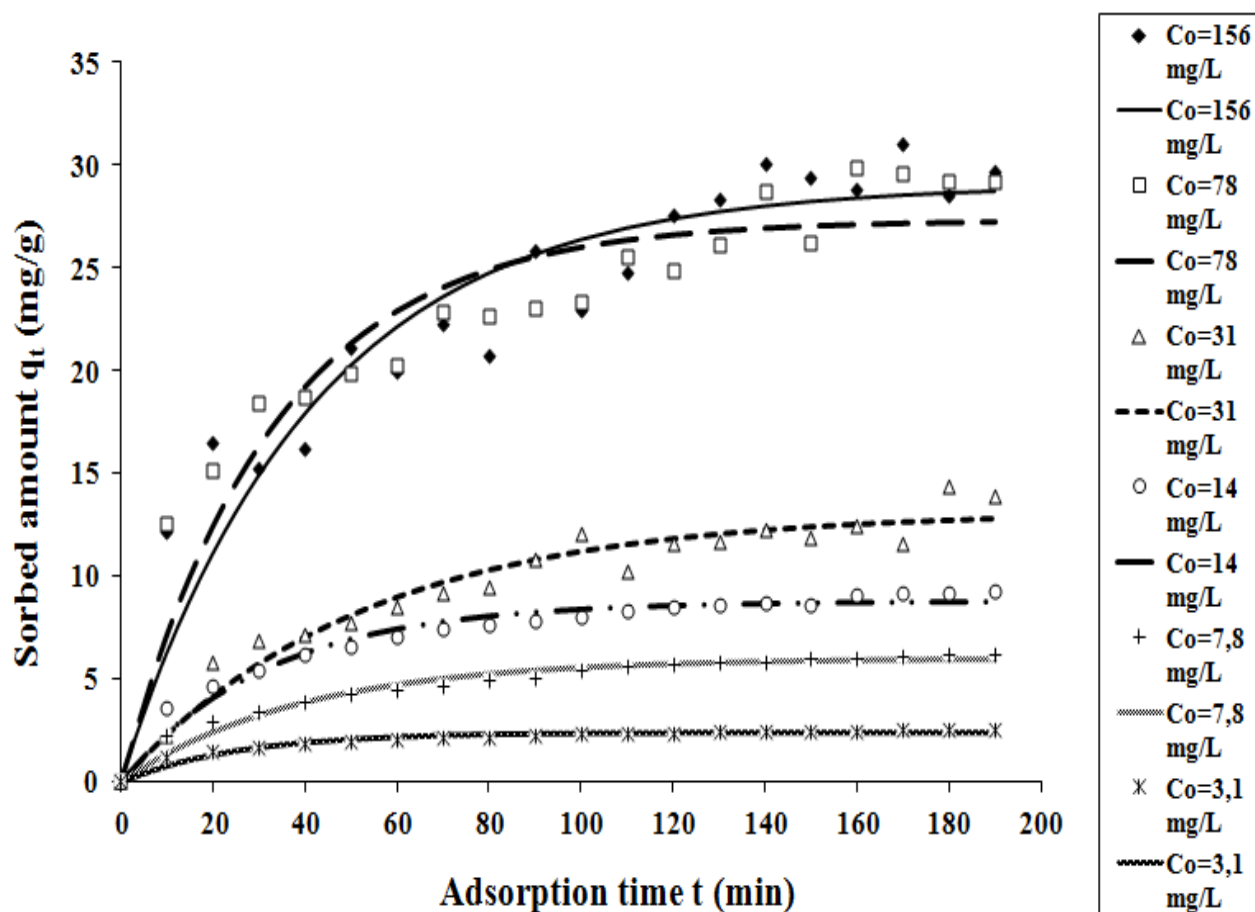


**Πινάκας 6.51:** Πειραματικά δεδομένα και υπολογισμός των παραμέτρων της Lagergren για προσρόφιση methylene blue από άχυρο σιταριού προκατεργασμένο - αυτοϋδρόλυση στους 180°C για 30 min για διάλυμα methylene blue σε όλες τις αρχικές συγκεντρώσεις  $C_0$ . (χρόνος προθέρμανσης 47 min)

t (min)	Πειραματικές τιμές q σε mg/g για τις αντίστοιχες αρχικές συγκεντρώσεις $C_0$ (mg/l)						Θεωρητικές τιμές $q_{theor}$ σε mg/ g για τις αντίστοιχες αρχικές συγκεντρώσεις $C_0$ (mg/l)					
	156	78	31	14	7,8	3,1	156	78	31	14	7,8	3,1
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
10	12,155	6,161	12,593	7,143	2,276	2,289	3,578	2,366	2,218	1,372	1,156	0,791
20	16,506	11,015	15,164	12,417	5,805	4,178	4,694	4,096	2,910	2,430	1,447	1,324
30	15,238	14,838	18,468	16,309	6,894	5,737	5,478	5,361	3,446	3,248	1,698	1,682
40	16,235	17,850	18,711	19,183	7,146	7,025	6,203	6,287	3,877	3,879	1,833	1,923
50	21,091	20,223	19,903	21,304	7,725	8,088	6,640	6,964	4,256	4,366	1,981	2,086
60	19,968	22,092	20,309	22,870	8,528	8,965	7,119	7,460	4,493	4,743	2,047	2,195
70	22,266	23,565	22,908	24,026	9,178	9,689	7,479	7,822	4,683	5,033	2,117	2,269
80	20,737	24,725	22,692	24,879	9,452	10,287	7,675	8,087	4,908	5,257	2,197	2,318
90	25,875	25,639	23,043	25,509	10,842	10,780	7,831	8,281	5,085	5,431	2,213	2,352
100	22,969	26,359	23,368	25,974	12,097	11,188	8,051	8,423	5,443	5,564	2,322	2,374
110	24,803	26,926	25,587	26,318	10,223	11,524	8,356	8,526	5,590	5,667	2,363	2,389
120	27,574	27,373	24,884	26,571	11,582	11,801	8,515	8,602	5,741	5,747	2,393	2,399
130	28,319	27,725	26,155	26,758	11,655	12,031	8,647	8,658	5,794	5,809	2,431	2,406
140	30,117	28,003	28,696	26,896	12,244	12,220	8,710	8,698	5,870	5,856	2,474	2,411
150	29,377	28,221	26,209	26,998	11,926	12,376	8,655	8,728	5,972	5,893	2,440	2,414
160	28,863	28,393	29,884	27,073	12,489	12,505	9,107	8,750	6,046	5,921	2,489	2,416
170	31,055	28,529	29,614	27,129	11,582	12,611	9,159	8,766	6,152	5,943	2,534	2,417
180	28,577	28,635	29,209	27,170	14,385	12,699	9,229	8,777	6,198	5,960	2,542	2,418
190	29,662	28,720	29,236	27,200	13,901	12,772	9,305	8,786	6,218	5,973	2,567	2,419

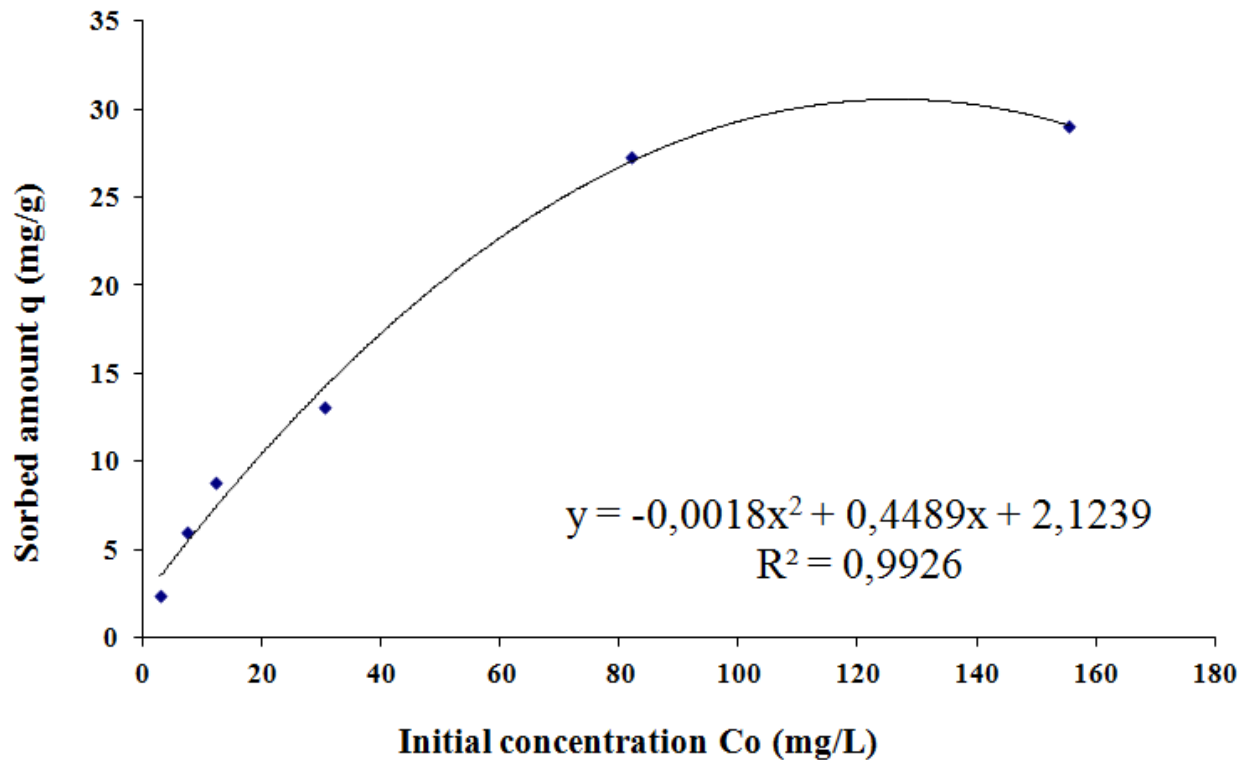
	156 mg/L	78mg/L	31,2mg/L	14mg/L	7,8mg/L	3,1mg/L
<b>Co</b>	155,45	81,97	30,67	12,43	7,68	3,04
<b>Sum</b>	121,47	99,54	13,38	3,50	1,63	0,31
<b>n</b>	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
<b>p</b>	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
<b>SEE</b>	2,5977	2,3516	0,8620	0,4407	0,3006	0,1315
<b>k</b>	0,0239	0,0304	0,0192	0,0313	0,0259	0,0396
<b>Q</b>	29,03	27,29	13,11	8,81	6,02	2,42

**Σχήμα 6.84:** Γραφική απεικόνιση της επίδρασης της αρχικής συγκέντρωσης Co στην προσρόφιση του methylene blue από άχυρο σιταριού προκατεργασμένο (αυτοϋδρόλυση) στους 180° C για 30 min όπως φαίνεται στις καμπύλες της εξίσωσης Lagergren (23° C, pH=8)

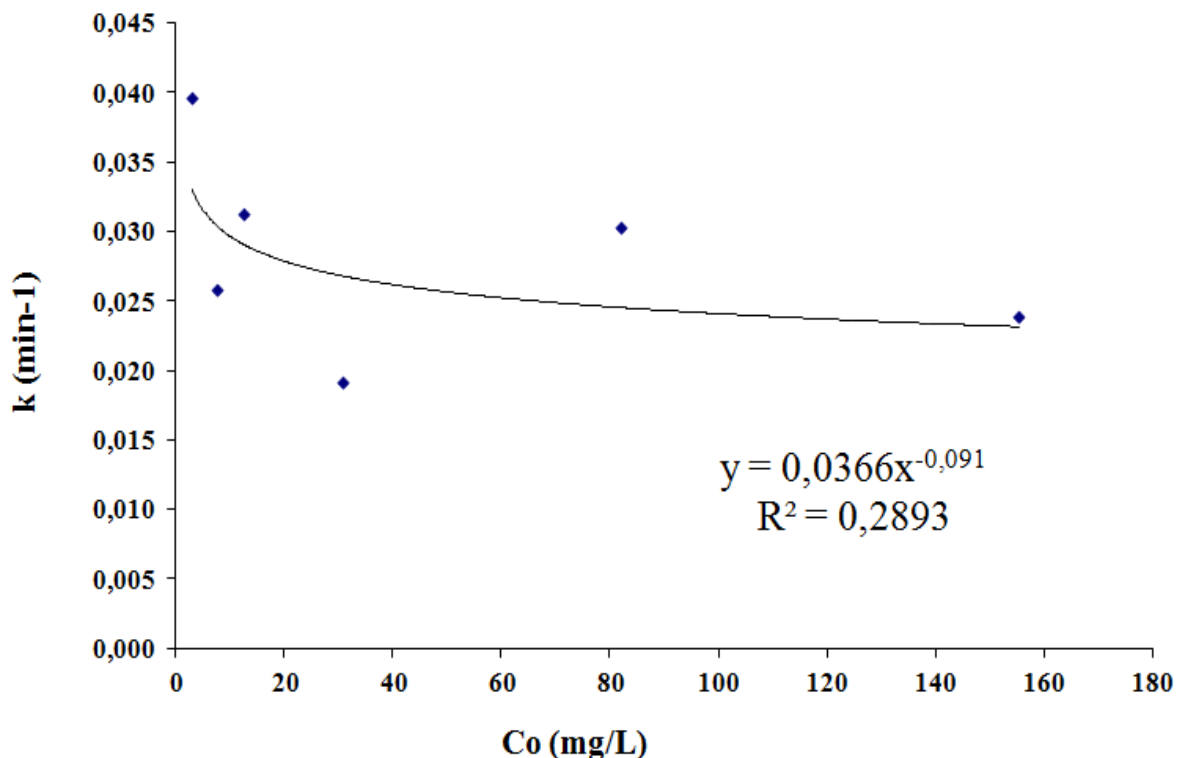




**Σχήμα 6.85:** Γραφική απεικόνιση της ποσότητας του methylene blue που έχει απομακρυνθεί από άχυρο σιταριού προκατεργασμένο (αυτοϋδρόλυση) στους 180° C για 30 min όπως επηρεάζεται από την μεταβολή της αρχικής συγκέντρωσης Co (mg/L) (23oC, pH=8)



**Σχήμα 6.86:** Γραφική απεικόνιση της σταθεράς ταχύτητας προσρόφησης του methylene blue από άχυρο σιταριού προκατεργασμένο (αυτοϋδρόλυση) στους 180° C για 30 min όπως επηρεάζεται από την μεταβολή της αρχικής συγκέντρωσης Co (mg/L) (23oC, pH=8)

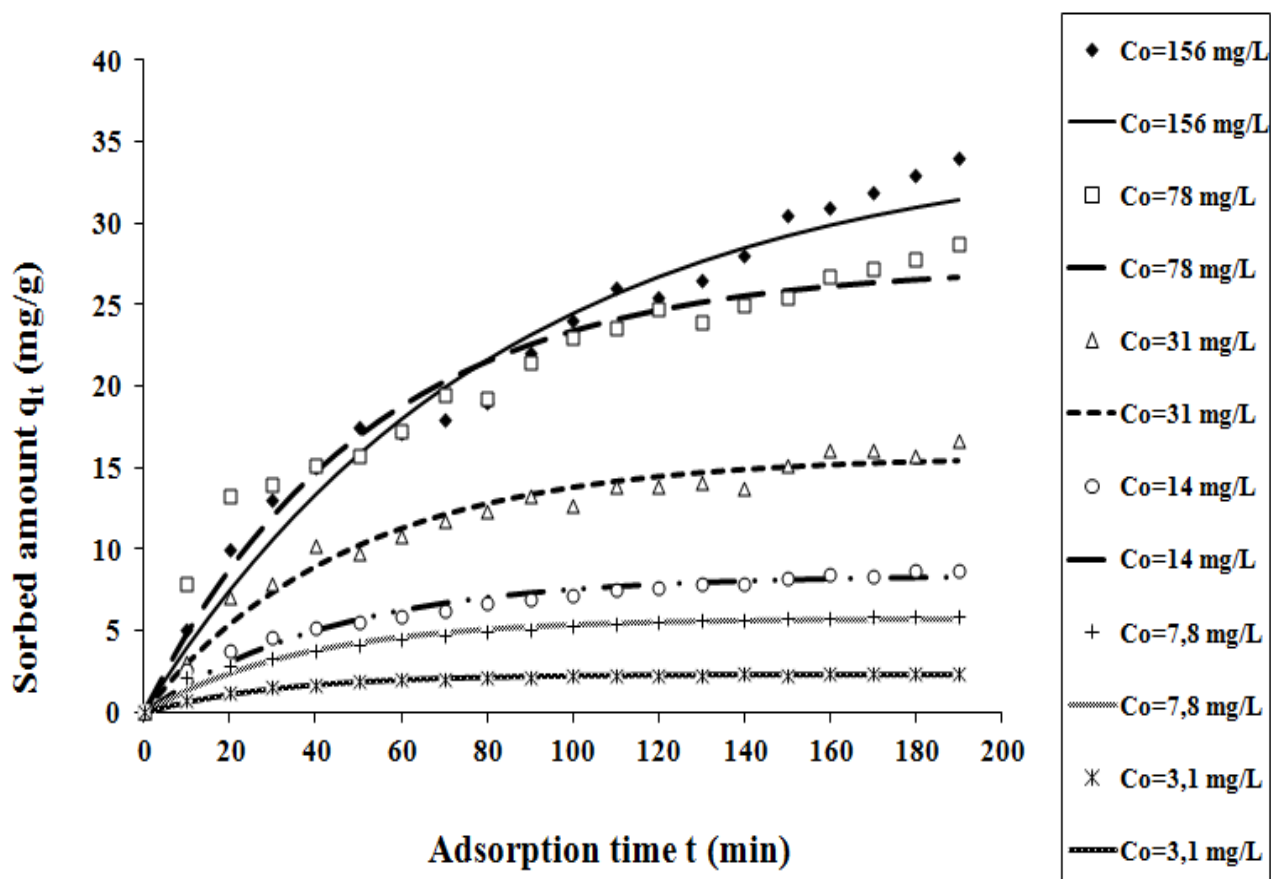


**Πινάκας 6.52:** Πειραματικά δεδομένα και υπολογισμός των παραμέτρων της Lagergren για προσρόφιση methylene blue από άχυρο σιταριού προκατεργασμένο - αυτοϋδρόλυση στους 180°C για 40 min για διάλυμα methylene blue σε όλες τις αρχικές συγκεντρώσεις  $C_0$ . (χρόνος προθέρμανσης 47 min)

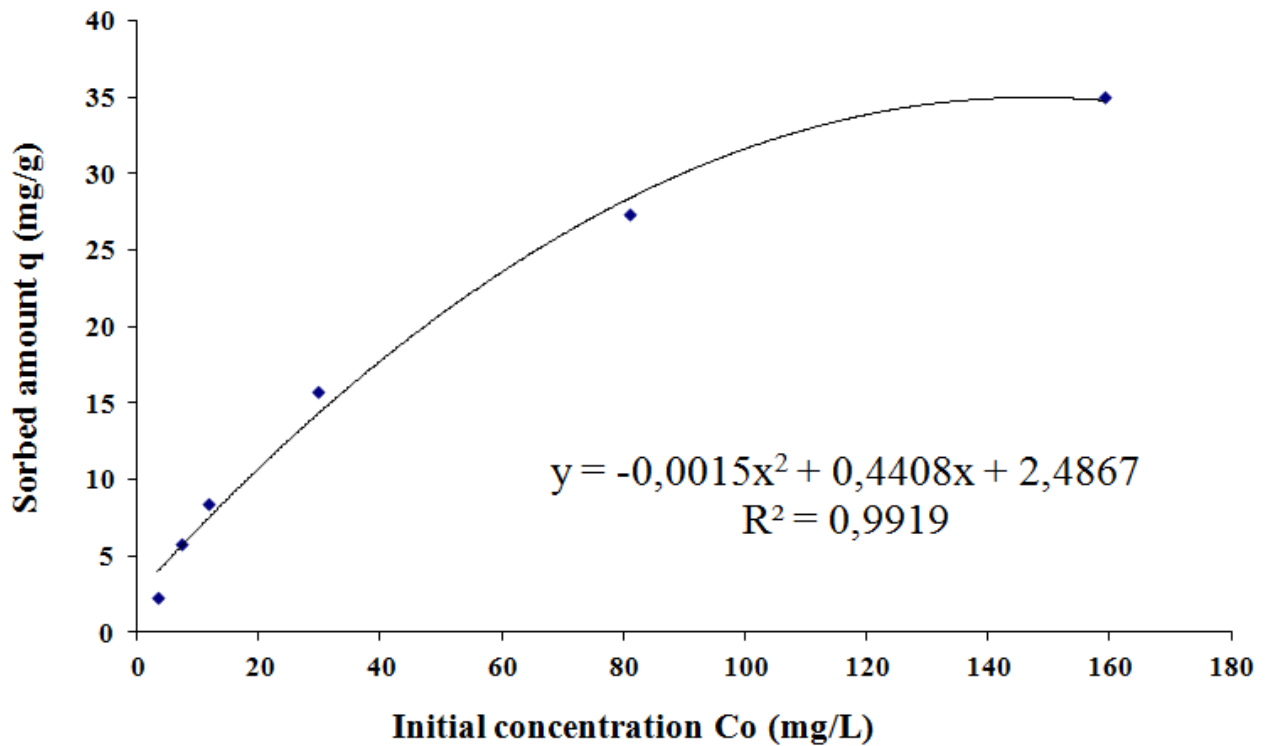
t (min)	Πειραματικές τιμές q σε mg/g για τις αντίστοιχες αρχικές συγκεντρώσεις $C_0$ (mg/l)						Θεωρητικές τιμές $q_{theor}$ σε mg/ g για τις αντίστοιχες αρχικές συγκεντρώσεις $C_0$ (mg/l)					
	156	78	31	14	7,8	3,1	156	78	31	14	7,8	3,1
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
10	5,000	3,958	7,807	4,788	3,088	2,981	2,618	1,707	2,145	1,376	0,756	0,647
20	10,000	7,468	13,218	8,738	7,017	5,397	3,750	3,067	2,812	2,423	1,124	1,114
30	13,000	10,581	13,976	11,997	7,819	7,356	4,569	4,149	3,280	3,219	1,506	1,451
40	15,000	13,343	15,194	14,687	10,204	8,943	5,211	5,011	3,753	3,824	1,694	1,695
50	17,450	15,792	15,709	16,906	9,710	10,230	5,558	5,698	4,070	4,284	1,833	1,870
60	17,083	17,964	17,198	18,736	10,819	11,273	5,911	6,244	4,443	4,635	1,964	1,997
70	18,000	19,890	19,419	20,247	11,750	12,119	6,264	6,679	4,691	4,901	2,018	2,089
80	19,000	21,599	19,229	21,493	12,359	12,804	6,694	7,026	4,923	5,103	2,144	2,155
90	22,000	23,114	21,422	22,522	13,257	13,359	6,905	7,302	5,060	5,257	2,150	2,202
100	24,000	24,458	22,992	23,370	12,724	13,810	7,167	7,521	5,276	5,374	2,225	2,237
110	26,000	25,650	23,560	24,071	13,884	14,175	7,552	7,696	5,421	5,464	2,244	2,262
120	25,500	26,708	24,751	24,648	13,884	14,470	7,639	7,835	5,493	5,531	2,284	2,280
130	26,500	27,645	23,939	25,125	14,124	14,710	7,809	7,946	5,595	5,583	2,249	2,293
140	28,000	28,477	24,940	25,518	13,739	14,905	7,882	8,035	5,646	5,622	2,369	2,302
150	30,500	29,215	25,427	25,843	15,153	15,062	8,226	8,105	5,713	5,652	2,271	2,309
160	31,000	29,869	26,697	26,110	16,103	15,190	8,484	8,161	5,740	5,674	2,322	2,314
170	31,900	30,449	27,184	26,331	16,079	15,293	8,371	8,205	5,848	5,692	2,330	2,317
180	33,000	30,964	27,859	26,513	15,700	15,377	8,673	8,241	5,854	5,705	2,384	2,320
190	34,000	31,420	28,723	26,664	16,716	15,445	8,703	8,269	5,919	5,715	2,388	2,321

	156 mg/L	78mg/L	31,2mg/L	14mg/L	7,8mg/L	3,1mg/L
<b>Co</b>	159,12	81,02	29,71	11,75	7,42	3,42
<b>Sum</b>	50,36	53,63	11,75	2,83	1,06	0,04
<b>n</b>	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
<b>p</b>	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
<b>SEE</b>	1,6726	1,7262	0,8078	0,3967	0,2427	0,0485
<b>k</b>	0,0120	0,0192	0,0210	0,0228	0,0274	0,0326
<b>q</b>	35,00	27,37	15,74	8,38	5,75	2,33

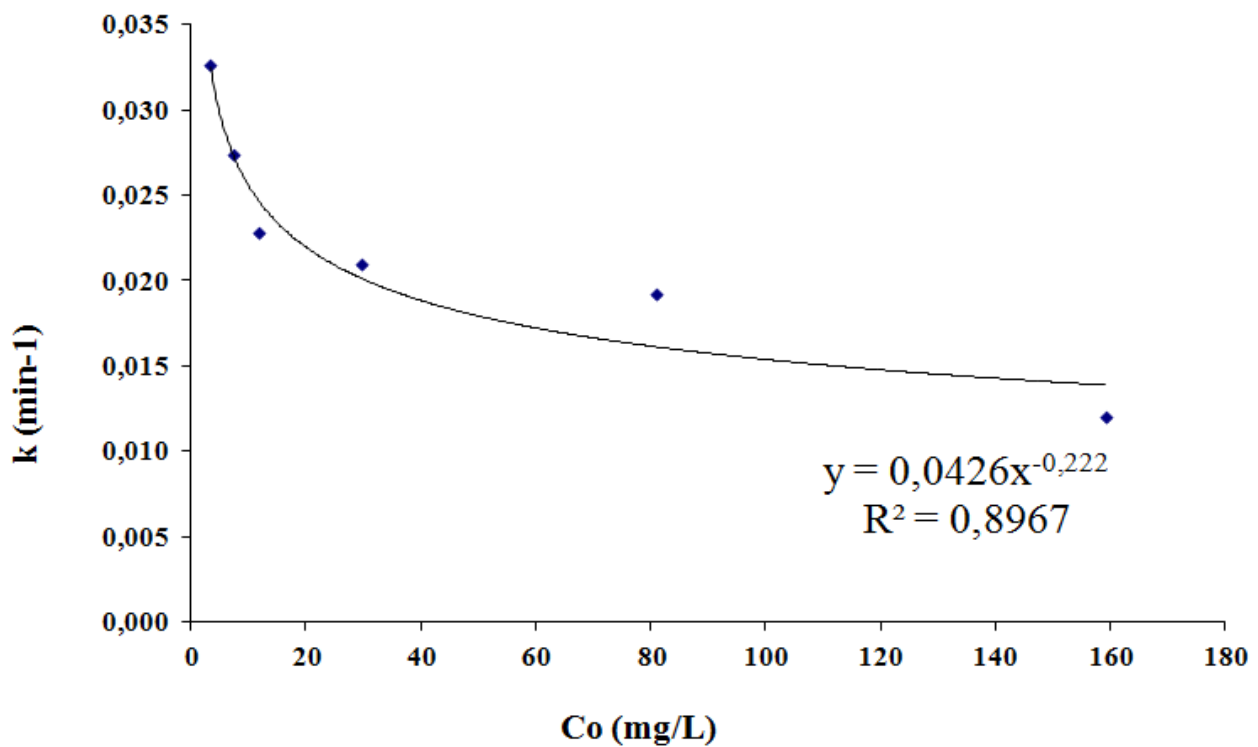
**Σχήμα 6.87:** Γραφική απεικόνιση της επίδρασης της αρχικής συγκέντρωσης Co στην προσρόφιση του methylene blue από άχυρο σιταριού προκατεργασμένο (αυτοϋδρόλυση) στους 180° C για 40 min όπως φαίνεται στις καμπύλες της εξίσωσης Lagergren (23° C, pH=8)



**Σχήμα 6.88:** Γραφική απεικόνιση της ποσότητας του methylene blue που έχει απομακρυνθεί από άχυρο σιταριού προκατεργασμένο (αυτοϋδρόλυση) στους 180° C για 40 min όπως επηρεάζεται από την μεταβολή της αρχικής συγκέντρωσης Co (mg/L) (23oC, pH=8)



**Σχήμα 6.89:** Γραφική απεικόνιση της σταθεράς ταχύτητας προσρόφησης του methylene blue από άχυρο σιταριού προκατεργασμένο (αυτοϋδρόλυση) στους 180° C για 40 min όπως επηρεάζεται από την μεταβολή της αρχικής συγκέντρωσης Co (mg/L) (23oC, pH=8)

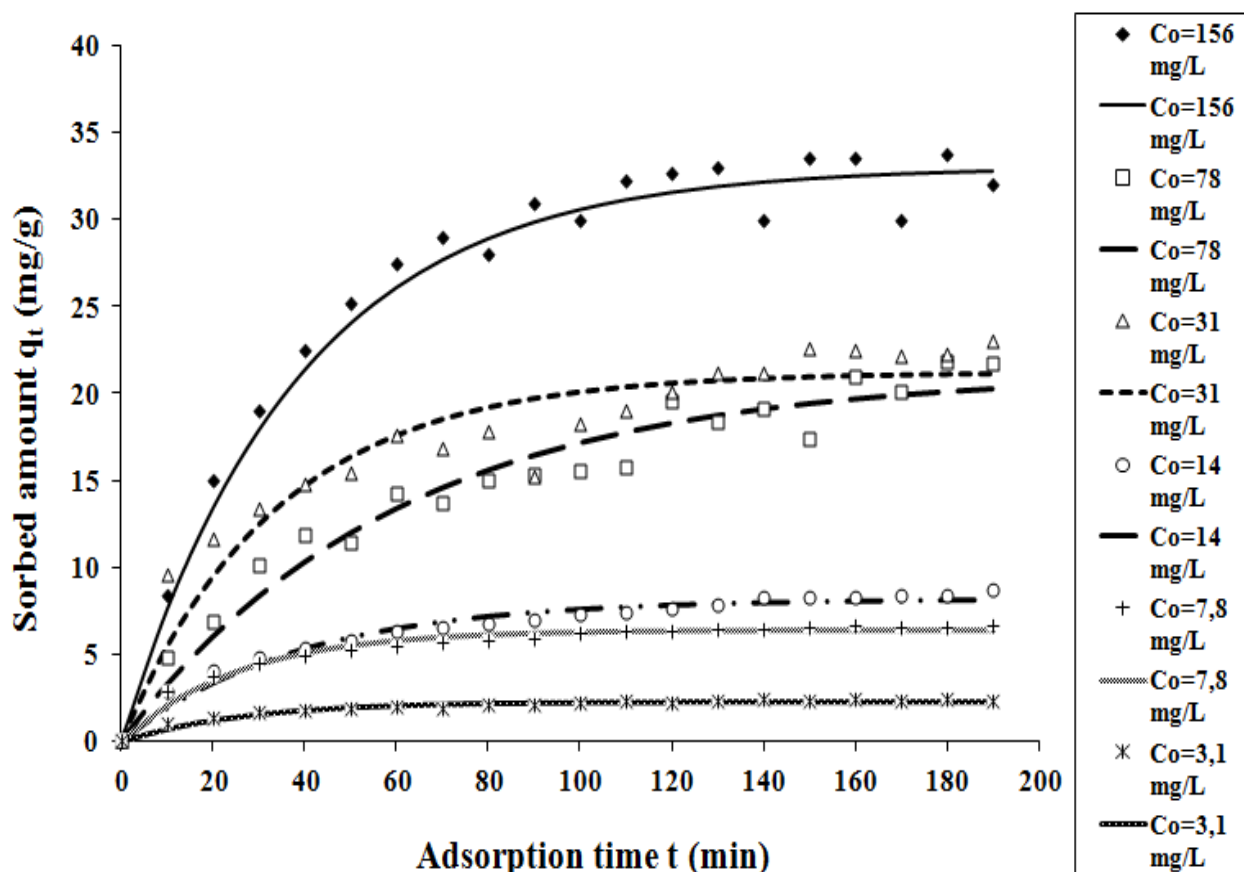


**Πινάκας 6.53:** Πειραματικά δεδομένα και υπολογισμός των παραμέτρων της Lagergren για προσρόφιση methylene blue από άχυρο σιταριού προκατεργασμένο - αυτοϋδρόλυση στους 180°C για 50 min για διάλυμα methylene blue σε όλες τις αρχικές συγκεντρώσεις  $C_0$ . (χρόνος προθέρμανσης 47 min)

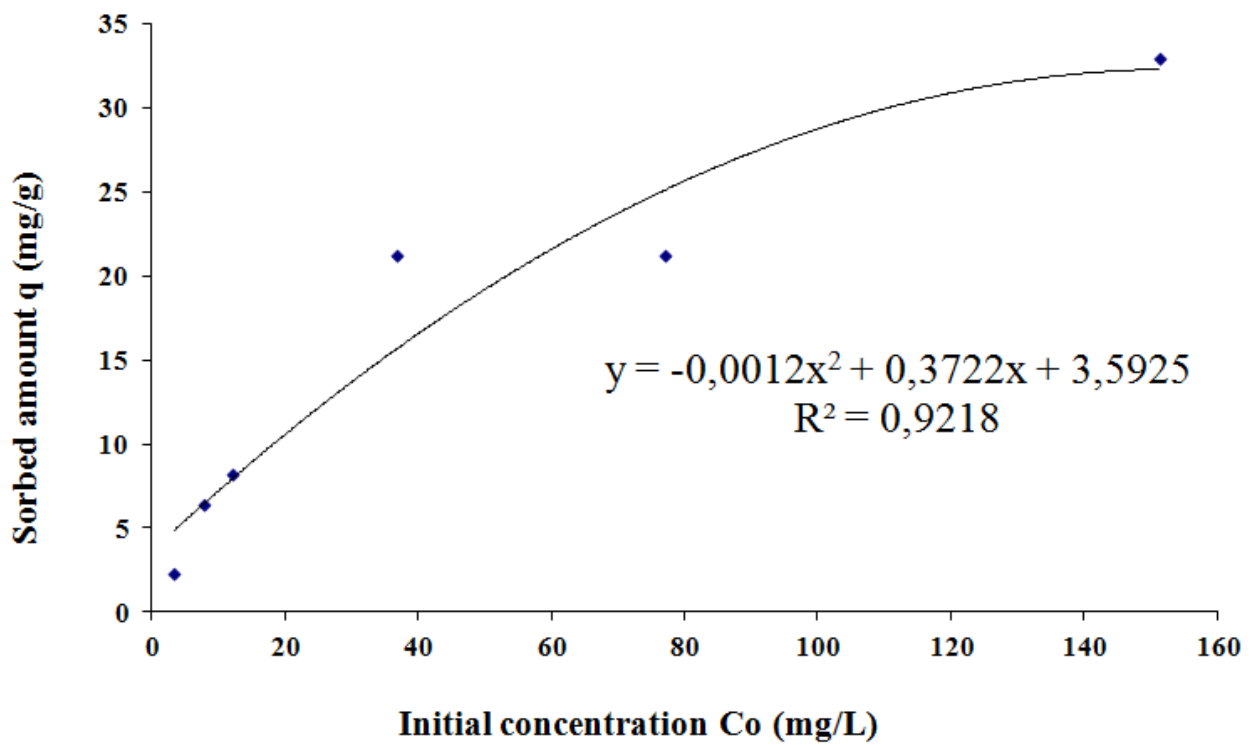
t (min)	Πειραματικές τιμές q σε mg/g για τις αντίστοιχες αρχικές συγκεντρώσεις $C_0$ (mg/l)						Θεωρητικές τιμές $q_{theor}$ σε mg/ g για τις αντίστοιχες αρχικές συγκεντρώσεις $C_0$ (mg/l)					
	156	78	31	14	7,8	3,1	156	78	31	14	7,8	3,1
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
10	8,389	7,555	4,811	3,259	9,538	5,405	2,894	1,897	2,892	2,088	1,032	0,730
20	15,000	13,381	6,840	6,017	11,631	9,431	4,103	3,356	3,735	3,494	1,353	1,228
30	19,000	17,873	10,142	8,351	13,378	12,430	4,784	4,479	4,464	4,441	1,619	1,567
40	22,500	21,336	11,875	10,326	14,809	14,664	5,313	5,343	4,916	5,078	1,718	1,798
50	25,200	24,006	11,387	11,998	15,458	16,328	5,790	6,007	5,243	5,507	1,860	1,956
60	27,500	26,066	14,271	13,413	17,626	17,568	6,295	6,518	5,498	5,795	1,936	2,063
70	29,000	27,653	13,689	14,611	16,824	18,492	6,533	6,912	5,648	5,990	1,927	2,136
80	28,000	28,877	15,043	15,624	17,835	19,179	6,806	7,214	5,835	6,120	2,070	2,186
90	31,000	29,821	15,341	16,482	15,209	19,692	6,973	7,447	5,910	6,209	2,140	2,220
100	30,000	30,549	15,503	17,208	18,228	20,074	7,331	7,626	6,203	6,268	2,202	2,243
110	32,300	31,110	15,774	17,823	19,035	20,358	7,429	7,764	6,342	6,308	2,303	2,259
120	32,700	31,543	19,564	18,343	20,128	20,570	7,597	7,870	6,338	6,335	2,223	2,270
130	33,000	31,876	18,400	18,783	21,213	20,728	7,862	7,952	6,411	6,353	2,322	2,277
140	30,000	32,134	19,104	19,155	21,213	20,845	8,279	8,014	6,459	6,365	2,378	2,282
150	33,500	32,332	17,344	19,470	22,646	20,933	8,298	8,063	6,561	6,373	2,324	2,286
160	33,600	32,485	20,944	19,737	22,504	20,998	8,282	8,100	6,619	6,379	2,403	2,288
170	30,000	32,603	20,078	19,963	22,194	21,047	8,439	8,128	6,550	6,382	2,353	2,290
180	33,800	32,694	21,863	20,154	22,218	21,083	8,371	8,150	6,544	6,385	2,384	2,291
190	32,000	32,764	21,728	20,316	23,049	21,110	8,674	8,167	6,607	6,386	2,332	2,291

	156 mg/L	78mg/L	31,2mg/L	14mg/L	7,8mg/L	3,1mg/L
<b>Co</b>	151,35	77,16	36,78	12,12	7,79	3,45
<b>Sum</b>	33,46	31,94	65,59	3,12	1,39	0,25
<b>n</b>	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
<b>p</b>	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
<b>SEE</b>	1,3634	1,3321	1,9089	0,4163	0,2777	0,1180
<b>k</b>	0,0260	0,0167	0,0294	0,0262	0,0396	0,0384
<b>q</b>	33,00	21,21	21,19	8,22	6,39	2,29

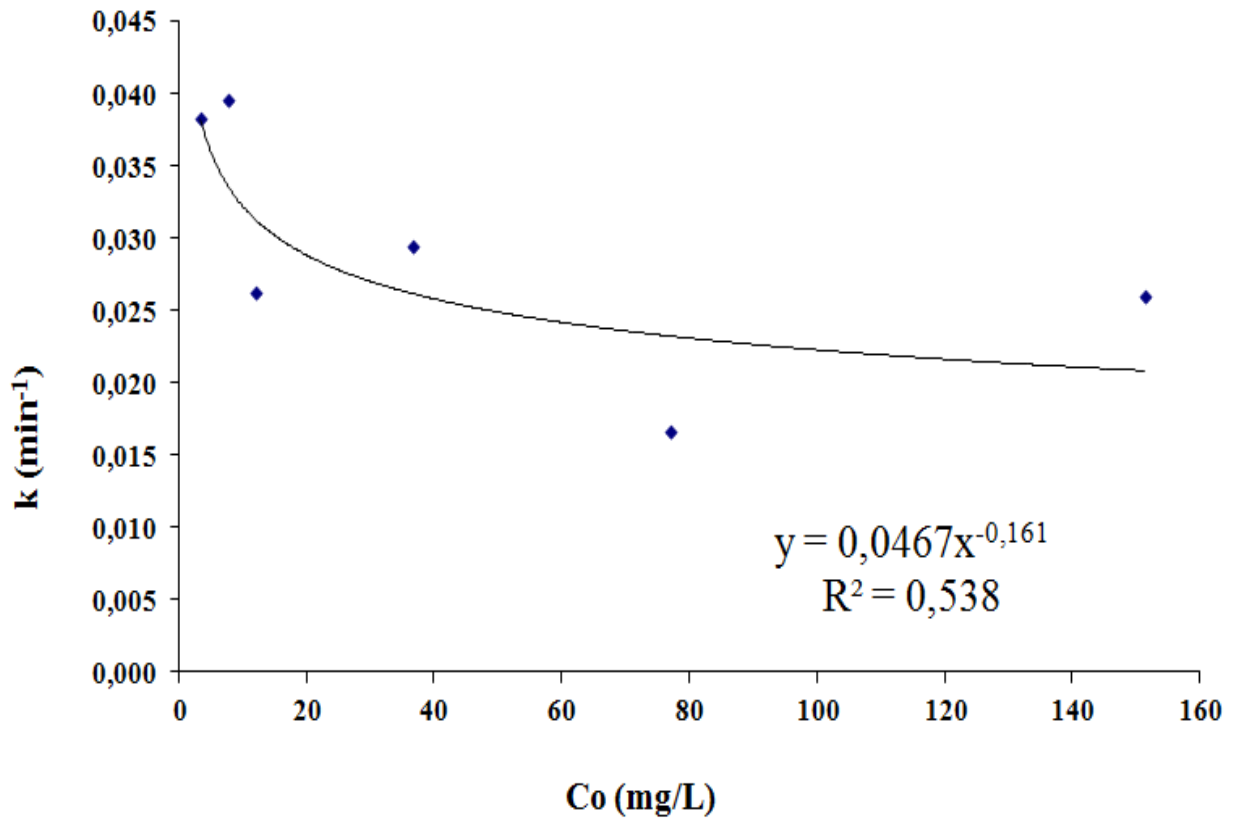
**Σχήμα 6.90:** Γραφική απεικόνιση της επίδρασης της αρχικής συγκέντρωσης Co στην προσρόφιση του methylene blue από άχυρο σιταριού προκατεργασμένο (αυτοϋδρόλυση) στους 180° C για 50 min όπως φαίνεται στις καμπύλες της εξίσωσης Lagergren (23° C, pH=8)



**Σχήμα 6.91:** Γραφική απεικόνιση της ποσότητας του methylene blue που έχει απομακρυνθεί από άχυρο σιταριού προκατεργασμένο (αυτοϋδρόλυση) στους 180° C για 50 min όπως επηρεάζεται από την μεταβολή της αρχικής συγκέντρωσης Co (mg/L) (23oC, pH=8)



**Σχήμα 6.92:** Γραφική απεικόνιση της σταθεράς ταχύτητας προσρόφησης του methylene blue από άχυρο σιταριού προκατεργασμένο (αυτοϋδρόλυση) στους 180° C για 50 min όπως επηρεάζεται από την μεταβολή της αρχικής συγκέντρωσης  $C_0$  (mg/L) (23oC, pH=8)



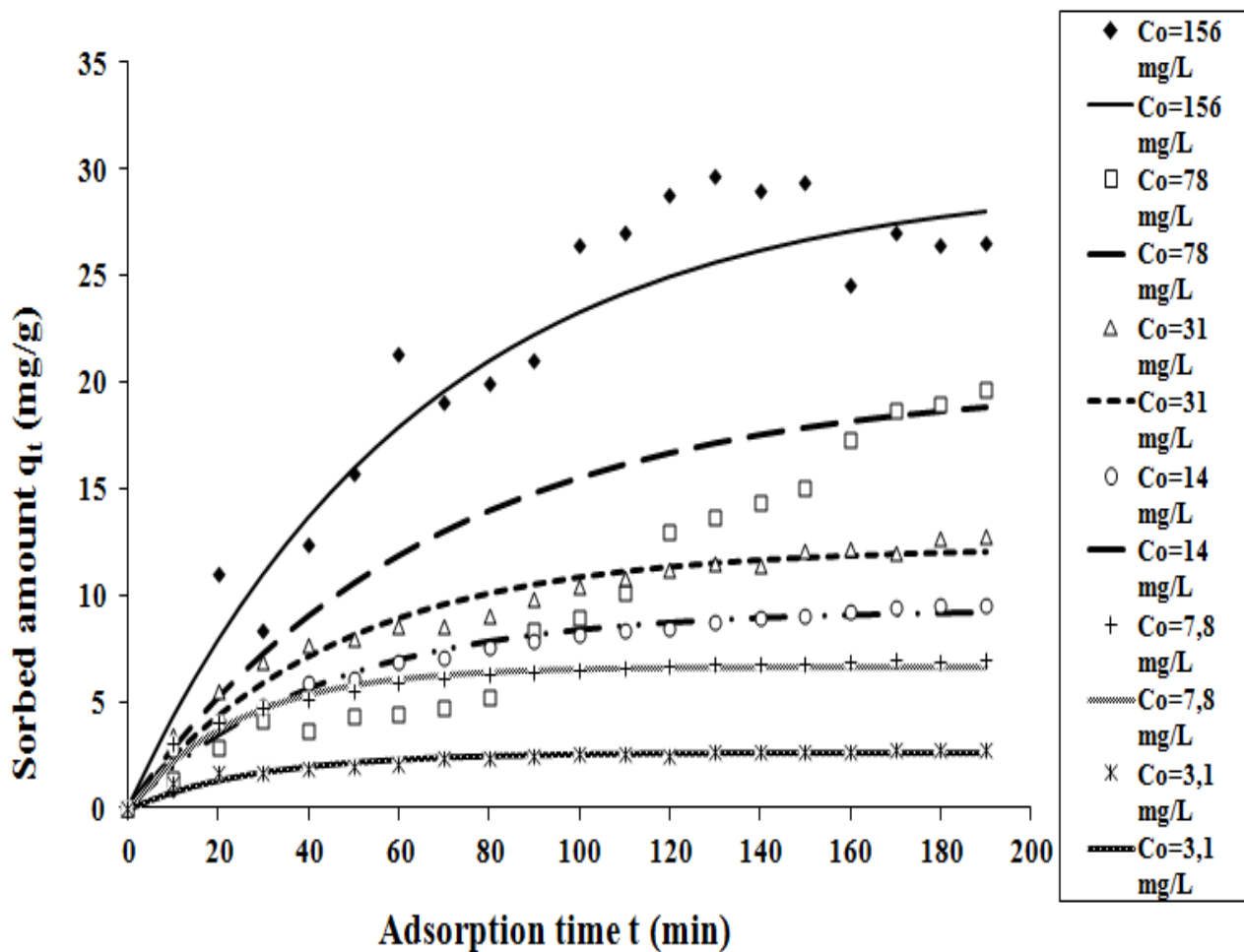
**Πινάκας 6.54:** Πειραματικά δεδομένα και υπολογισμός των παραμέτρων της Lagergren για προσρόφιση methylene blue από άχυρο σιταριού προκατεργασμένο - αυτοϋδρόλυση στους 200° C για 0 min για διάλυμα methylene blue σε όλες τις αρχικές συγκεντρώσεις  $C_0$ . (χρόνος προθέρμανσης 66 min)

t (min)	Πειραματικές τιμές q σε mg/g για τις αντίστοιχες αρχικές συγκεντρώσεις $C_0$ (mg/l)						Θεωρητικές τιμές $q_{theor}$ σε mg/ g για τις αντίστοιχες αρχικές συγκεντρώσεις $C_0$ (mg/l)					
	156	78	31	14	7,8	3,1	156	78	31	14	7,8	3,1
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
10	0,862	4,239	1,351	2,786	3,431	2,392	2,734	1,917	3,021	2,264	1,174	0,777
20	10,994	7,871	2,891	5,184	5,492	4,316	4,148	3,440	4,067	3,766	1,634	1,325
30	8,372	10,983	4,081	7,247	6,847	5,864	4,769	4,649	4,759	4,763	1,674	1,712
40	12,396	13,650	3,621	9,024	7,650	7,109	5,859	5,610	5,161	5,424	1,917	1,984
50	15,694	15,935	4,324	10,553	7,959	8,111	6,130	6,373	5,543	5,862	1,988	2,176
60	21,360	17,894	4,405	11,869	8,567	8,918	6,855	6,979	5,863	6,153	2,104	2,311
70	19,067	19,572	4,757	13,001	8,600	9,566	7,055	7,461	6,084	6,346	2,318	2,407
80	20,000	21,010	5,190	13,976	9,073	10,088	7,578	7,843	6,258	6,474	2,343	2,474
90	21,021	22,242	8,355	14,815	9,826	10,508	7,885	8,147	6,376	6,559	2,417	2,521
100	26,401	23,298	8,951	15,537	10,435	10,845	8,121	8,388	6,494	6,615	2,529	2,555
110	27,000	24,203	10,115	16,159	10,813	11,117	8,375	8,580	6,636	6,652	2,546	2,578
120	28,814	24,978	12,958	16,694	11,181	11,336	8,486	8,732	6,708	6,677	2,498	2,595
130	29,671	25,642	13,662	17,155	11,516	11,512	8,713	8,853	6,739	6,694	2,618	2,607
140	29,000	26,211	14,312	17,551	11,418	11,653	8,955	8,949	6,781	6,705	2,658	2,615
150	29,422	26,699	15,016	17,892	12,054	11,767	9,086	9,025	6,816	6,712	2,613	2,621
160	24,616	27,117	17,317	18,186	12,198	11,859	9,250	9,086	6,902	6,717	2,703	2,625
170	27,012	27,475	18,725	18,438	12,006	11,932	9,403	9,134	6,951	6,720	2,796	2,628
180	26,456	27,782	19,022	18,656	12,704	11,991	9,541	9,172	6,884	6,722	2,777	2,630
190	26,540	28,045	19,699	18,843	12,809	12,039	9,545	9,202	6,991	6,723	2,789	2,631

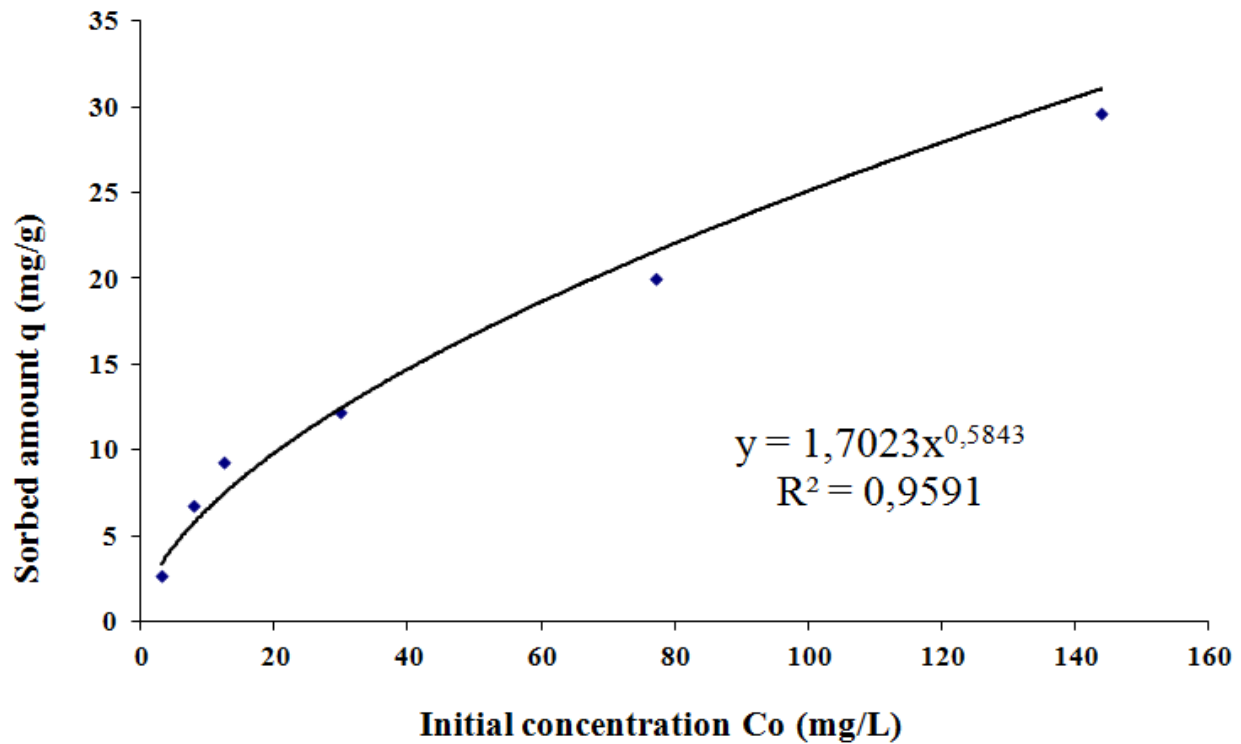


	156 mg/L	78mg/L	31,2mg/L	14mg/L	7,8mg/L	3,1mg/L
<b>Co</b>	143,98	77,27	29,91	12,45	7,97	3,25
<b>Sum</b>	118,47	454,47	7,94	2,17	1,29	0,47
<b>n</b>	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
<b>p</b>	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
<b>SEE</b>	2,5655	5,0248	0,6642	0,3474	0,2672	0,1610
<b>k</b>	0,0154	0,0150	0,0217	0,0230	0,0410	0,0350
<b>q</b>	29,62	20,00	12,24	9,32	6,73	2,63

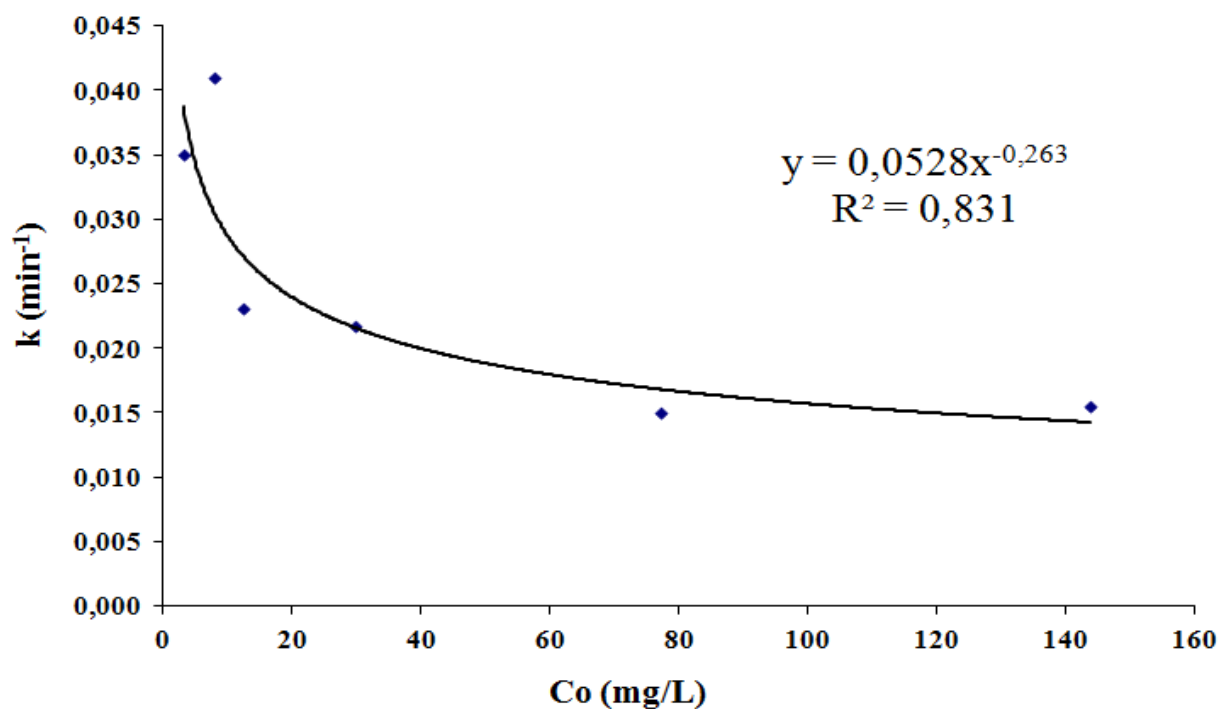
**Σχήμα 6.93:** Γραφική απεικόνιση της επίδρασης της αρχικής συγκέντρωσης Co στην προσρόφηση του methylene blue από άχυρο σιταριού προκατεργασμένο (αυτοϋδρόλυση) στους 200° C για 0 min όπως φαίνεται στις καμπύλες της εξίσωσης Lagergren (23° C, pH=8)



**Σχήμα 6.94:** Γραφική απεικόνιση της ποσότητας του methylene blue που έχει απομακρυνθεί από άχυρο σιταριού προκατεργασμένο (αυτούδρόλυση) στους 200° C για 0 min όπως επηρεάζεται από την μεταβολή της αρχικής συγκέντρωσης Co (mg/L) (23oC, pH=8)



**Σχήμα 6.95:** Γραφική απεικόνιση της σταθεράς ταχύτητας προσρόφησης του methylene blue από άχυρο σιταριού προκατεργασμένο (αυτούδρόλυση) στους 200° C για 0 min όπως επηρεάζεται από την μεταβολή της αρχικής συγκέντρωσης Co (mg/L) (23oC, pH=8)

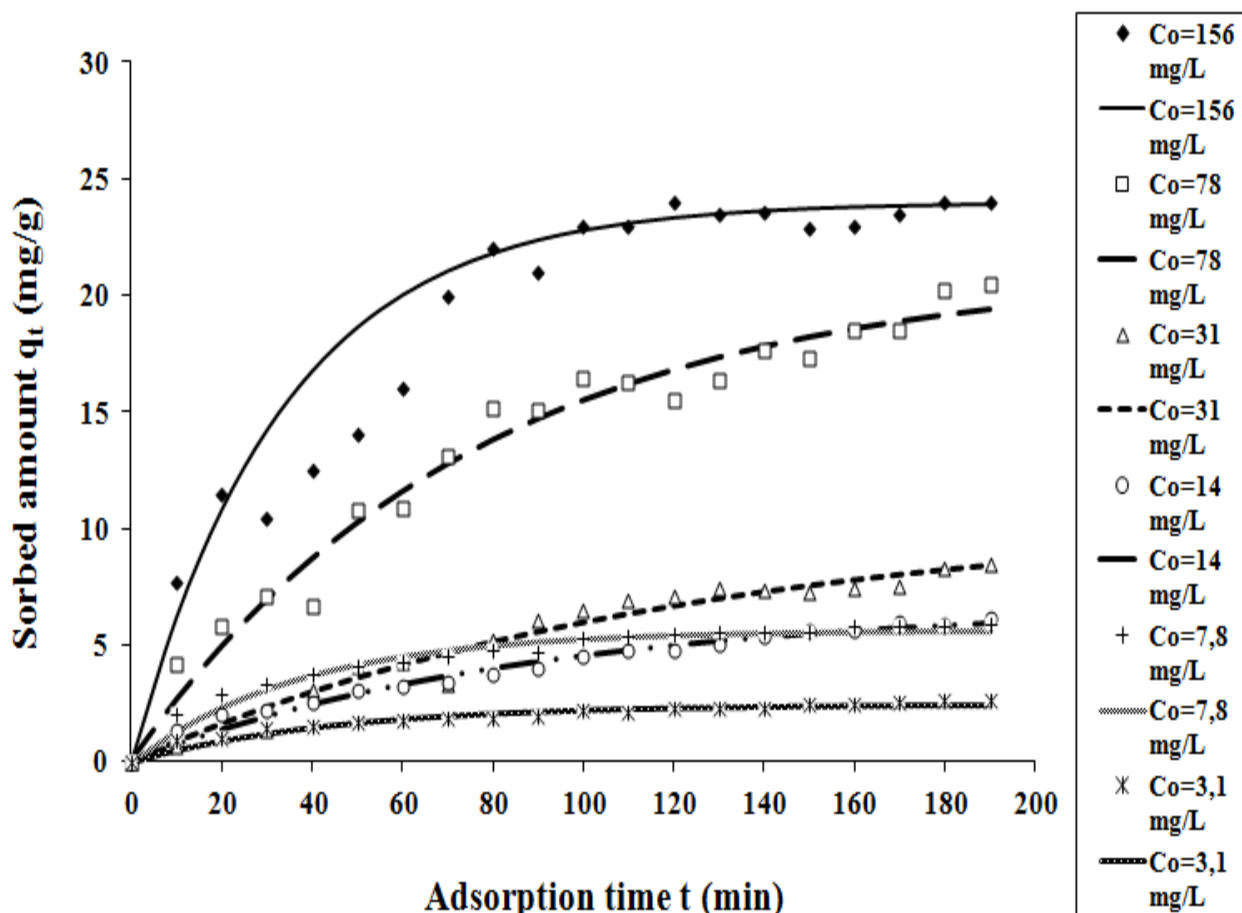


**Πινάκας 6.55:** Πειραματικά δεδομένα και υπολογισμός των παραμέτρων της Lagergren για προσρόφιση methylene blue από άχυρο σιταριού προκατεργασμένο - αυτοϋδρόλυση στους 200° C για 10 min για διάλυμα methylene blue σε όλες τις αρχικές συγκεντρώσεις C<sub>0</sub>. (χρόνος προθέρμανσης 66 min)

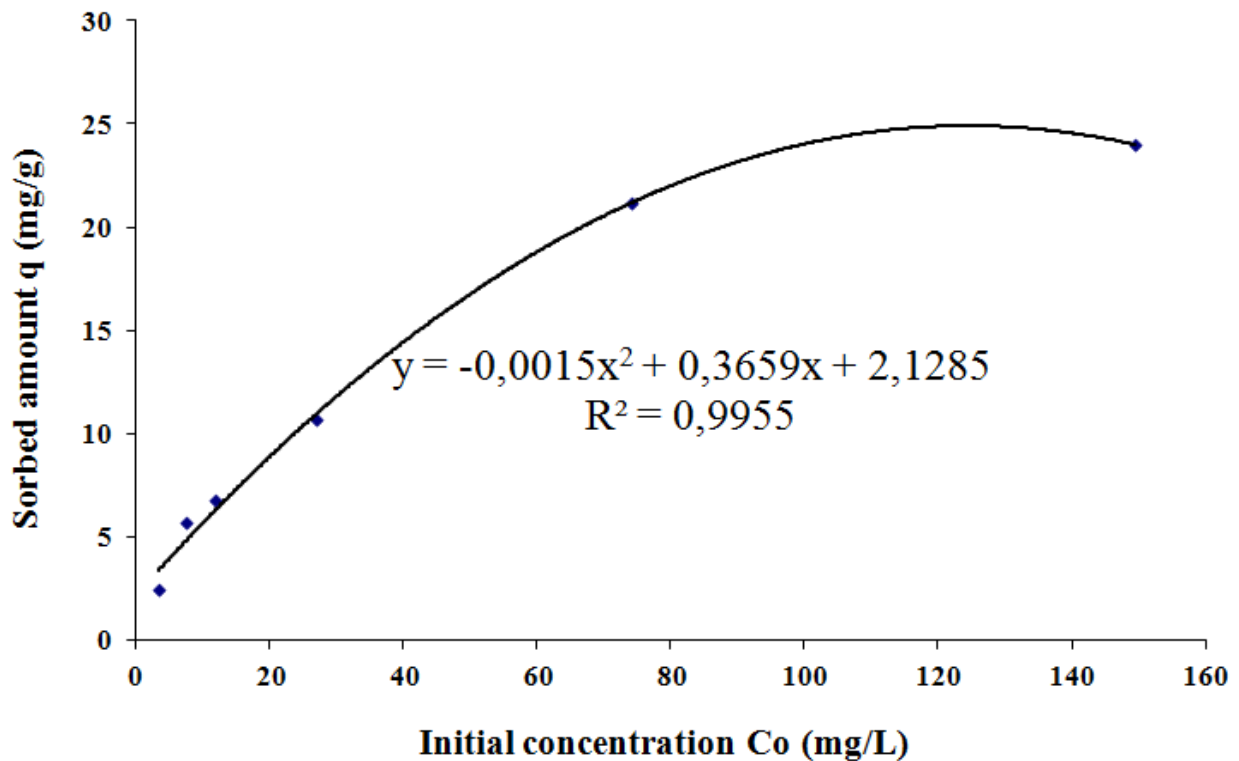
t (min)	Πειραματικές τιμές q σε mg/g για τις αντίστοιχες αρχικές συγκεντρώσεις C <sub>0</sub> (mg/l)						Θεωρητικές τιμές q <sub>theor</sub> σε mg/ g για τις αντίστοιχες αρχικές συγκεντρώσεις C <sub>0</sub> (mg/l)					
	156	78	31	14	7,8	3,1	156	78	31	14	7,8	3,1
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
10	7,696	6,220	4,165	2,626	0,665	0,840	1,363	0,719	2,029	1,345	0,901	0,496
20	11,445	10,829	5,843	4,925	1,176	1,614	2,033	1,362	2,864	2,371	1,030	0,892
30	10,394	14,242	7,115	6,940	1,329	2,327	2,217	1,936	3,342	3,153	1,382	1,208
40	12,462	16,771	6,682	8,704	3,055	2,984	2,524	2,449	3,725	3,751	1,505	1,460
50	14,000	18,645	10,771	10,249	4,115	3,590	3,056	2,908	4,068	4,206	1,676	1,661
60	16,000	20,033	10,906	11,602	4,265	4,149	3,228	3,317	4,294	4,554	1,768	1,821
70	20,000	21,061	13,099	12,787	3,308	4,663	3,431	3,683	4,489	4,820	1,864	1,949
80	22,000	21,823	15,130	13,825	5,218	5,137	3,741	4,010	4,811	5,022	1,813	2,051
90	21,000	22,387	15,049	14,734	6,017	5,574	4,016	4,302	4,723	5,177	1,912	2,133
100	23,000	22,805	16,456	15,530	6,514	5,977	4,487	4,562	5,245	5,294	2,166	2,198
110	23,000	23,115	16,239	16,228	6,936	6,348	4,762	4,796	5,354	5,384	2,098	2,250
120	24,000	23,344	15,536	16,838	7,084	6,690	4,795	5,004	5,446	5,453	2,279	2,291
130	23,500	23,514	16,348	17,373	7,430	7,005	5,054	5,190	5,521	5,505	2,242	2,324
140	23,600	23,640	17,646	17,842	7,307	7,296	5,377	5,356	5,535	5,545	2,269	2,350
150	22,900	23,733	17,268	18,252	7,282	7,563	5,652	5,504	5,583	5,576	2,453	2,371
160	23,000	23,802	18,512	18,612	7,455	7,810	5,635	5,637	5,759	5,599	2,442	2,388
170	23,500	23,854	18,485	18,926	7,480	8,038	6,006	5,755	5,833	5,617	2,508	2,402
180	24,000	23,892	20,242	19,202	8,292	8,247	5,855	5,861	5,811	5,630	2,588	2,412
190	24,000	23,920	20,512	19,444	8,489	8,440	6,111	5,956	5,899	5,641	2,593	2,421

	156 mg/L	78mg/L	31,2mg/L	14mg/L	7,8mg/L	3,1mg/L
<b>Co</b>	149,49	74,19	27,14	12,08	7,73	3,47
<b>Sum</b>	78,82	17,03	5,04	1,37	1,37	0,45
<b>n</b>	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
<b>p</b>	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
<b>SEE</b>	2,0926	0,9726	0,5292	0,2763	0,2759	0,1582
<b>k</b>	0,0300	0,0133	0,0082	0,0113	0,0270	0,0226
<b>q</b>	24,00	21,15	10,71	6,75	5,67	2,45

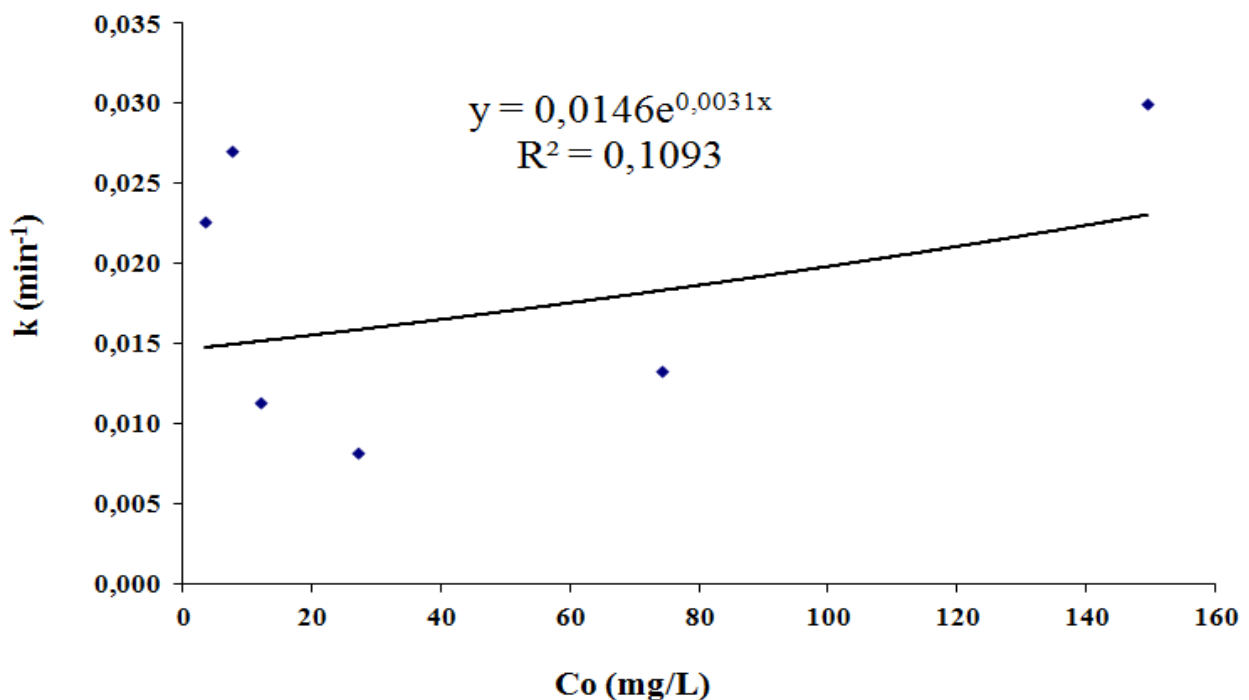
**Σχήμα 6.96:** Γραφική απεικόνιση της επίδρασης της αρχικής συγκέντρωσης Co στην προσρόφιση του methylene blue από άχυρο σιταριού προκατεργασμένο (αυτοϋδρόλυση) στους 200° C για 10 min όπως φαίνεται στις καμπύλες της εξίσωσης Lagergren (23° C, pH=8)



**Σχήμα 6.97:** Γραφική απεικόνιση της ποσότητας του methylene blue που έχει απομακρυνθεί από άχυρο σιταριού προκατεργασμένο (αυτοϋδρόλυση) στους 200° C για 10 min όπως επηρεάζεται από την μεταβολή της αρχικής συγκέντρωσης Co (mg/L) (23oC, pH=8)



**Σχήμα 6.98:** Γραφική απεικόνιση της σταθεράς ταχύτητας προσρόφησης του methylene blue από άχυρο σιταριού προκατεργασμένο (αυτοϋδρόλυση) στους 200° C για 10 min όπως επηρεάζεται από την μεταβολή της αρχικής συγκέντρωσης Co (mg/L) (23oC, pH=8)

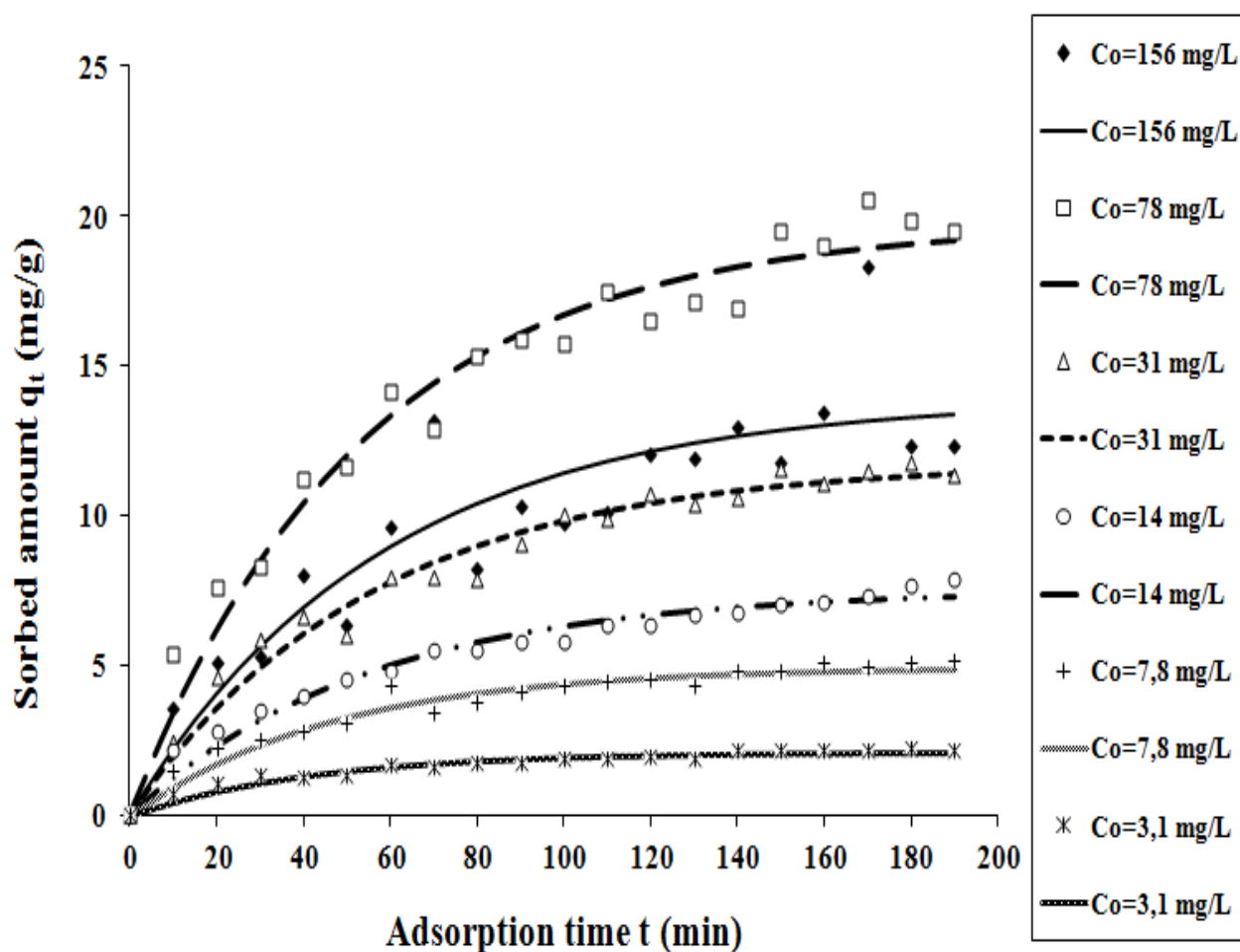


**Πινάκας 6.56:** Πειραματικά δεδομένα και υπολογισμός των παραμέτρων της Lagergren για προσρόφιση methylene blue από άχυρο σιταριού προκατεργασμένο - αυτοϋδρόλυση στους 200°C για 20 min για διάλυμα methylene blue σε όλες τις αρχικές συγκεντρώσεις  $C_0$ . (χρόνος προθέρμανσης 66 min)

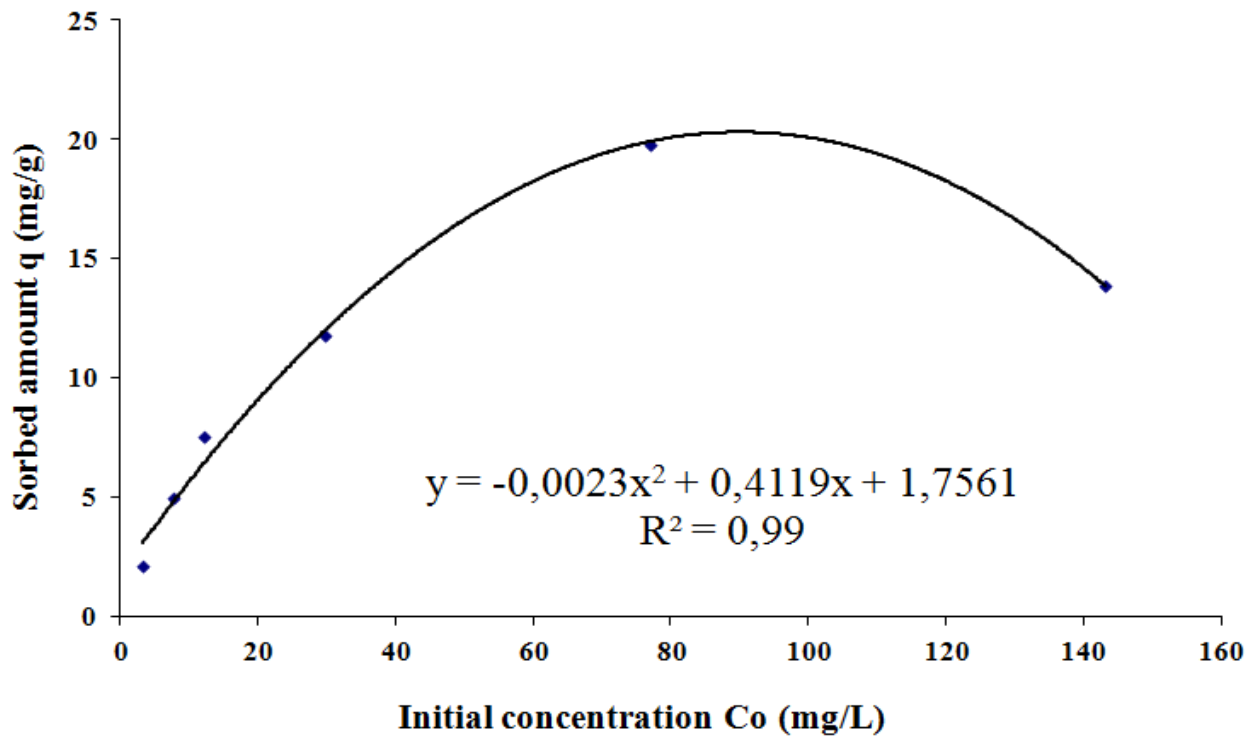
t (min)	Πειραματικές τιμές q σε mg/g για τις αντίστοιχες αρχικές συγκεντρώσεις $C_0$ (mg/l)						Θεωρητικές τιμές $q_{theor}$ σε mg/ g για τις αντίστοιχες αρχικές συγκεντρώσεις $C_0$ (mg/l)					
	156	78	31	14	7,8	3,1	156	78	31	14	7,8	3,1
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
10	3,564	2,197	5,352	3,369	2,449	1,943	2,189	1,254	1,442	0,981	0,734	0,464
20	5,098	4,047	7,571	6,165	4,620	3,566	2,782	2,298	2,217	1,769	1,057	0,828
30	5,338	5,605	8,302	8,483	5,862	4,922	3,501	3,168	2,525	2,403	1,309	1,113
40	7,986	6,916	11,198	10,407	6,619	6,054	3,955	3,893	2,803	2,912	1,289	1,336
50	6,353	8,020	11,631	12,003	5,989	7,000	4,513	4,497	3,109	3,321	1,325	1,510
60	9,636	8,950	14,123	13,327	7,974	7,791	4,831	5,000	4,314	3,650	1,668	1,647
70	13,191	9,732	12,877	14,425	7,974	8,451	5,514	5,419	3,442	3,914	1,634	1,754
80	8,222	10,391	15,314	15,337	7,874	9,002	5,524	5,768	3,754	4,126	1,768	1,838
90	10,281	10,946	15,883	16,092	9,096	9,462	5,804	6,059	4,128	4,297	1,760	1,903
100	9,753	11,413	15,774	16,719	10,063	9,847	5,798	6,301	4,308	4,434	1,921	1,955
110	10,134	11,806	17,453	17,240	9,890	10,168	6,338	6,503	4,486	4,544	1,875	1,995
120	12,060	12,137	16,533	17,671	10,753	10,437	6,341	6,671	4,503	4,633	1,944	2,026
130	11,886	12,415	17,128	18,029	10,384	10,661	6,669	6,811	4,345	4,704	1,908	2,051
140	12,931	12,650	16,939	18,326	10,605	10,848	6,755	6,928	4,797	4,761	2,137	2,070
150	11,770	12,848	19,483	18,573	11,539	11,005	7,017	7,025	4,811	4,807	2,170	2,085
160	13,423	13,014	19,023	18,777	11,090	11,136	7,092	7,106	5,121	4,844	2,201	2,097
170	18,294	13,154	20,565	18,947	11,514	11,245	7,316	7,173	4,976	4,874	2,206	2,107
180	12,351	13,272	19,835	19,087	11,808	11,336	7,676	7,230	5,126	4,897	2,221	2,114
190	12,322	13,371	19,483	19,204	11,392	11,412	7,846	7,276	5,144	4,917	2,206	2,120

	156 mg/L	78mg/L	31,2mg/L	14mg/L	7,8mg/L	3,1mg/L
<b>Co</b>	143,18	77,00	29,87	12,26	7,70	3,25
<b>sum</b>	60,16	18,90	6,20	2,37	1,67	0,33
<b>n</b>	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
<b>p</b>	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
<b>SEE</b>	1,8282	1,0247	0,5870	0,3628	0,3048	0,1363
<b>k</b>	0,0172	0,0187	0,0180	0,0183	0,0219	0,0245
<b>qe</b>	13,90	19,77	11,80	7,51	4,99	2,14

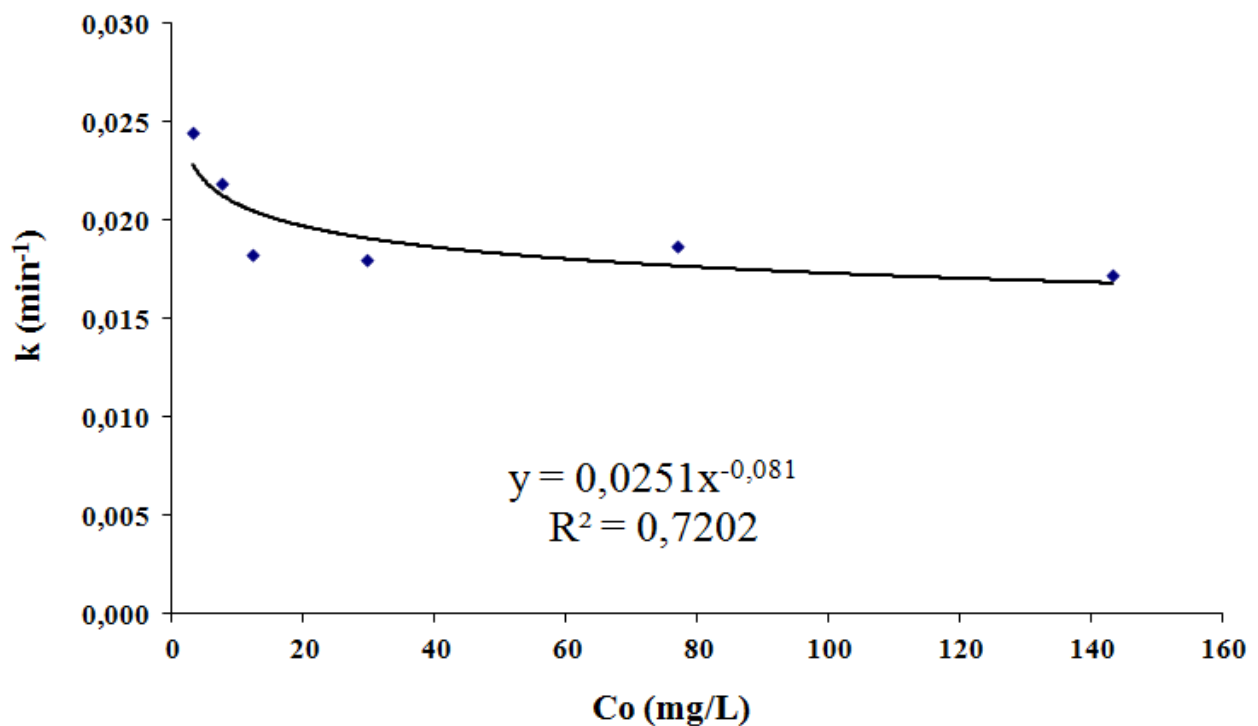
**Σχήμα 6.97:** Γραφική απεικόνιση της επίδρασης της αρχικής συγκέντρωσης Co στην προσρόφιση του methylene blue από άχυρο σιταριού προκατεργασμένο (αυτοϋδρόλυση) στους 200° C για 20 min όπως φαίνεται στις καμπύλες της εξίσωσης Lagergren (23° C, pH=8)



**Σχήμα 6.98:** Γραφική απεικόνιση της ποσότητας του methylene blue που έχει απομακρυνθεί από άχυρο σιταριού προκατεργασμένο (αυτοϋδρόλυση) στους 200° C για 20 min όπως επηρεάζεται από την μεταβολή της αρχικής συγκέντρωσης Co (mg/L) (23oC, pH=8)



**Σχήμα 6.99:** Γραφική απεικόνιση της σταθεράς ταχύτητας προσρόφησης του methylene blue από άχυρο σιταριού προκατεργασμένο (αυτοϋδρόλυση) στους 200° C για 20 min όπως επηρεάζεται από την μεταβολή της αρχικής συγκέντρωσης Co (mg/L) (23oC, pH=8)



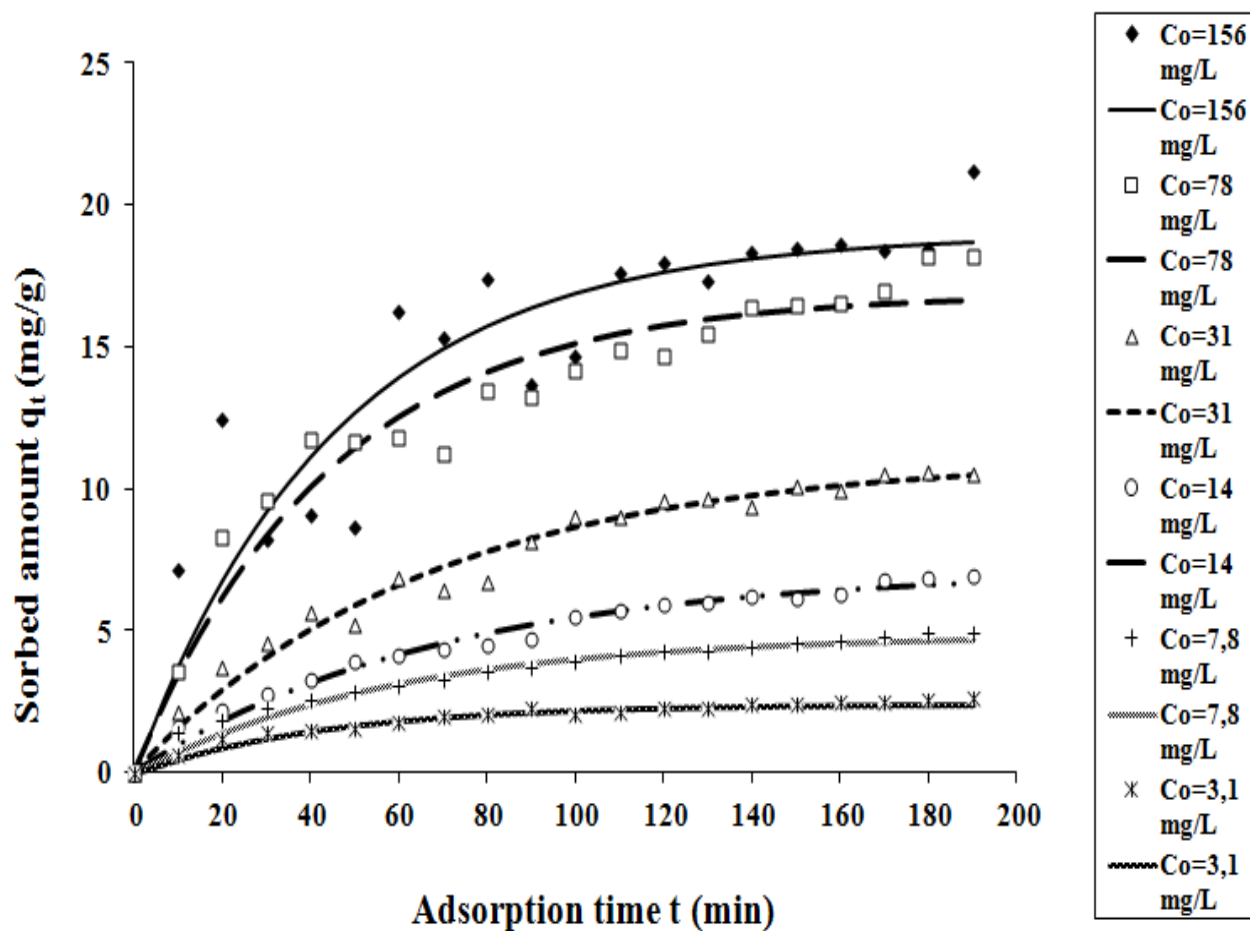


**Πινάκας 6.57:** Πειραματικά δεδομένα και υπολογισμός των παραμέτρων της Lagergren για προσρόφιση methylene blue από άχυρο σιταριού προκατεργασμένο - αυτοϋδρόλυση στους 200° C για 30 min για διάλυμα methylene blue σε όλες τις αρχικές συγκεντρώσεις C<sub>0</sub>. (χρόνος προθέρμανσης 66 min)

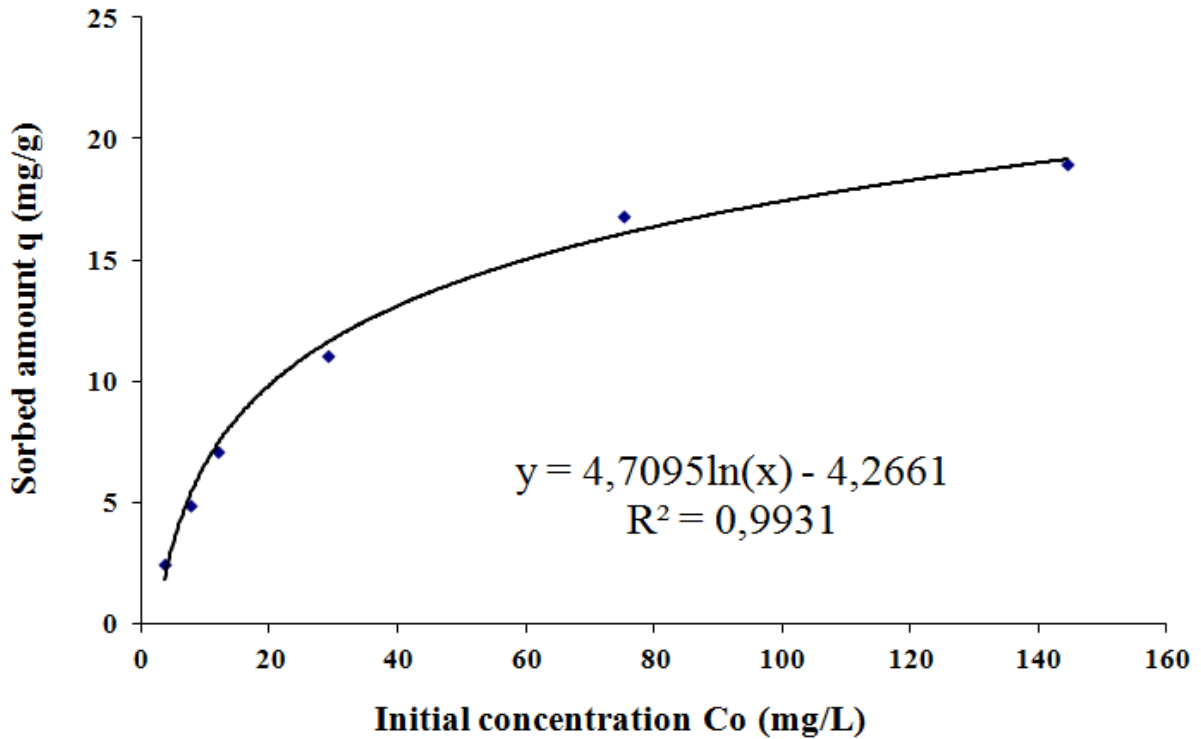
t (min)	Πειραματικές τιμές q σε mg/g για τις αντίστοιχες αρχικές συγκεντρώσεις C <sub>0</sub> (mg/l)						Θεωρητικές τιμές q <sub>theor</sub> σε mg/ g για τις αντίστοιχες αρχικές συγκεντρώσεις C <sub>0</sub> (mg/l)					
	156	78	31	14	7,8	3,1	156	78	31	14	7,8	3,1
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
10	7,169	3,769	3,542	3,408	2,109	1,550	1,615	0,967	1,370	0,787	0,589	0,519
20	12,450	6,789	8,305	6,126	3,691	2,884	2,217	1,802	1,841	1,448	1,159	0,929
30	8,212	9,211	9,605	8,295	4,579	4,031	2,792	2,524	2,234	2,003	1,419	1,252
40	9,042	11,151	11,744	10,024	5,641	5,018	3,239	3,149	2,578	2,468	1,500	1,508
50	8,657	12,707	11,635	11,404	5,187	5,867	3,897	3,688	2,838	2,859	1,570	1,709
60	16,271	13,954	11,771	12,505	6,822	6,597	4,154	4,154	3,073	3,187	1,796	1,869
70	15,321	14,953	11,229	13,383	6,395	7,225	4,323	4,557	3,266	3,462	1,999	1,994
80	17,418	15,754	13,423	14,083	6,721	7,765	4,510	4,905	3,542	3,693	2,067	2,094
90	13,701	16,397	13,233	14,642	8,169	8,230	4,726	5,206	3,666	3,887	2,232	2,172
100	14,657	16,911	14,181	15,087	9,013	8,629	5,460	5,466	3,877	4,050	2,054	2,234
110	17,589	17,324	14,858	15,443	8,988	8,973	5,680	5,690	4,096	4,186	2,093	2,283
120	17,990	17,655	14,641	15,726	9,581	9,269	5,954	5,885	4,286	4,301	2,296	2,321
130	17,360	17,920	15,480	15,952	9,630	9,524	5,983	6,052	4,260	4,397	2,227	2,352
140	18,303	18,132	16,374	16,133	9,334	9,742	6,187	6,197	4,397	4,478	2,426	2,376
150	18,446	18,302	16,482	16,277	10,049	9,931	6,138	6,323	4,537	4,546	2,406	2,395
160	18,617	18,439	16,563	16,392	9,950	10,093	6,245	6,431	4,643	4,603	2,448	2,410
170	18,418	18,548	16,942	16,483	10,491	10,232	6,767	6,525	4,803	4,651	2,449	2,422
180	18,475	18,636	18,187	16,556	10,564	10,352	6,864	6,606	4,892	4,691	2,562	2,431
190	21,228	18,706	18,187	16,614	10,515	10,455	6,920	6,675	4,951	4,724	2,604	2,438

	156 mg/L	78mg/L	31,2mg/L	14mg/L	7,8mg/L	3,1mg/L
<b>C<sub>0</sub></b>	144,41	75,16	29,04	11,99	7,63	3,66
<b>sum</b>	93,05	25,12	4,52	1,42	0,86	0,25
<b>n</b>	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
<b>p</b>	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
<b>SEE</b>	2,2737	1,1814	0,5010	0,2809	0,2192	0,1175
<b>k</b>	0,0221	0,0226	0,0151	0,0146	0,0175	0,0236
<b>q<sub>e</sub></b>	18,99	16,84	11,09	7,12	4,90	2,47

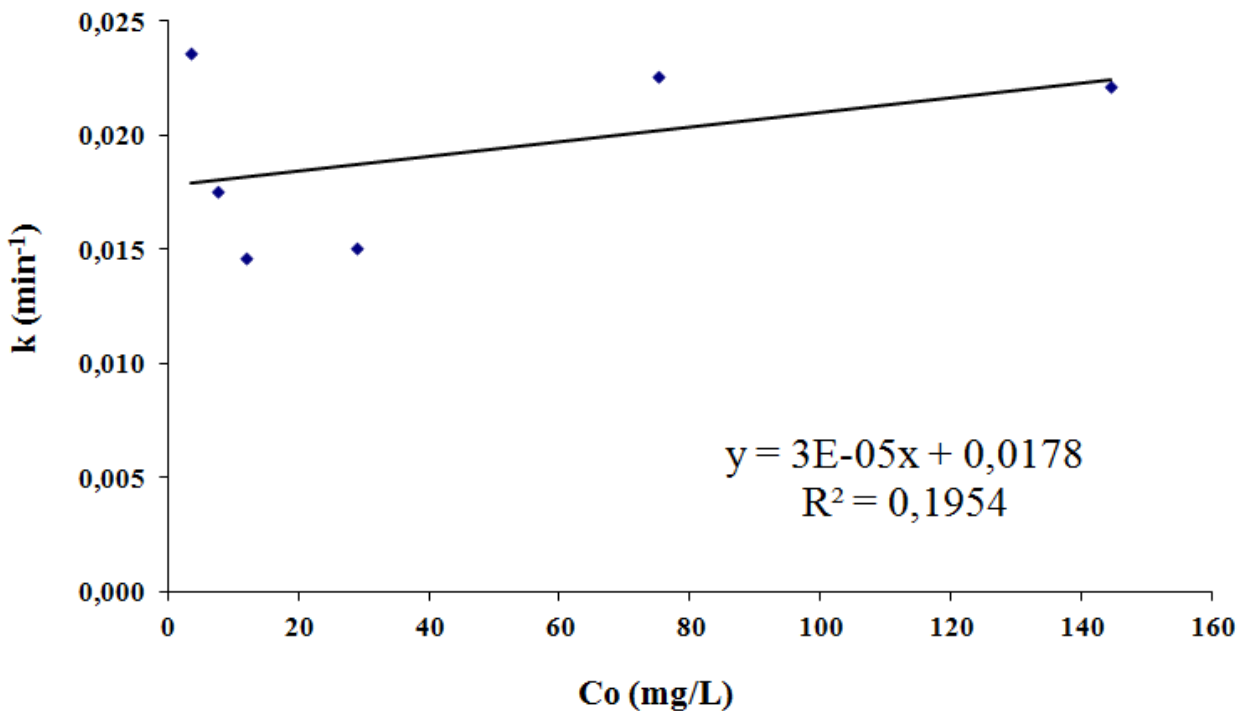
**Σχήμα 6.100:** Γραφική απεικόνιση της επίδρασης της αρχικής συγκέντρωσης C<sub>0</sub> στην προσρόφιση του methylene blue από άχυρο σιταριού προκατεργασμένο (αυτουδρόλυση) στους 200° C για 30 min όπως φαίνεται στις καμπύλες της εξίσωσης Lagergren (23° C, pH=8)



**Σχήμα 6.101:** Γραφική απεικόνιση της ποσότητας του methylene blue που έχει απομακρυνθεί από άχυρο σιταριού προκατεργασμένο (αυτοϋδρόλυση) στους 200° C για 30 min όπως επηρεάζεται από την μεταβολή της αρχικής συγκέντρωσης Co (mg/L) (23oC, pH=8)



**Σχήμα 6.102:** Γραφική απεικόνιση της σταθεράς ταχύτητας προσρόφησης του methylene blue από άχυρο σιταριού προκατεργασμένο (αυτοϋδρόλυση) στους 200° C για 30 min όπως επηρεάζεται από την μεταβολή της αρχικής συγκέντρωσης Co (mg/L) (23oC, pH=8)

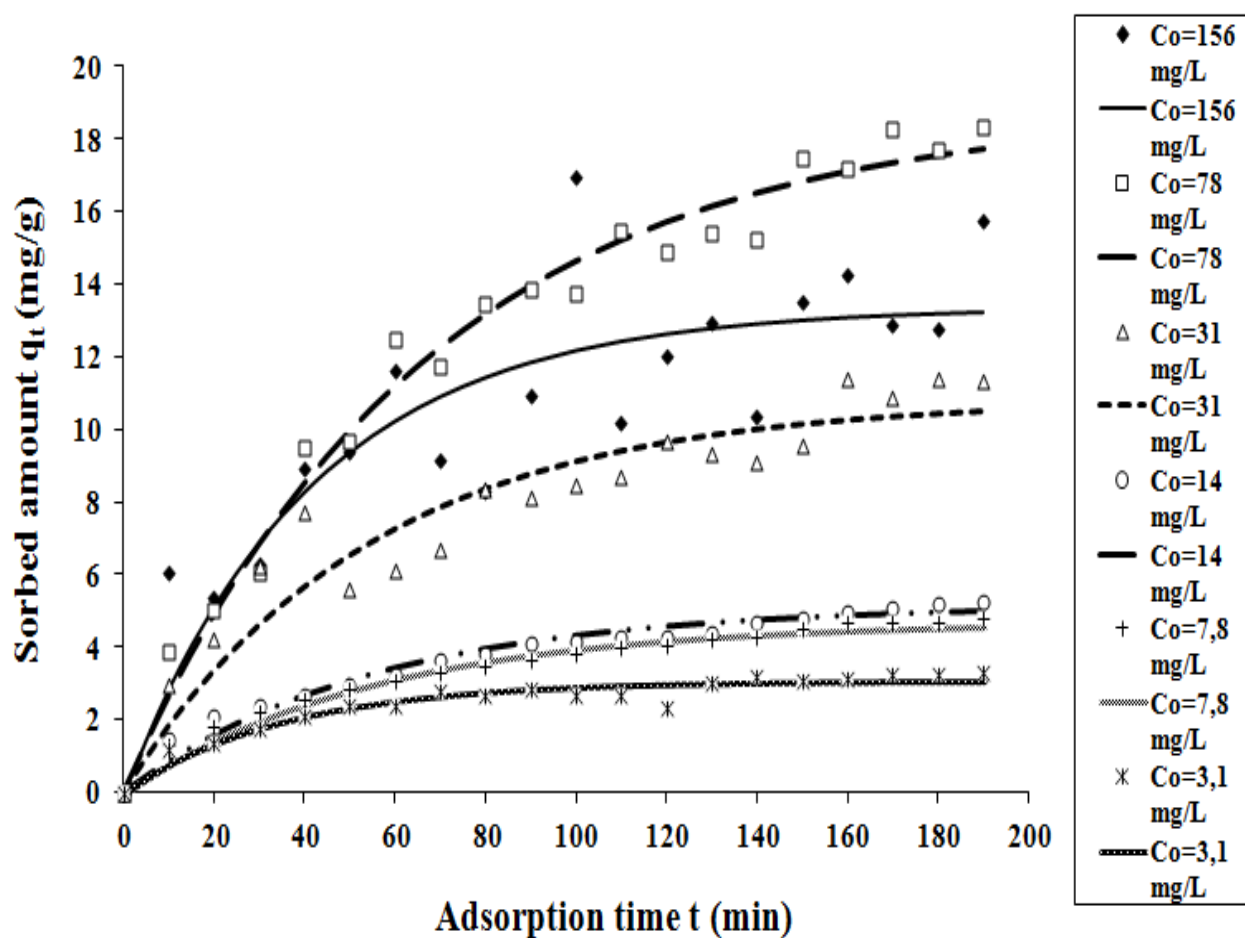


**Πινάκας 6.58:** Πειραματικά δεδομένα και υπολογισμός των παραμέτρων της Lagergren για προσρόφιση methylene blue από άχυρο σιταριού προκατεργασμένο - αυτοϋδρόλυση στους 200° C για 40 min για διάλυμα methylene blue σε όλες τις αρχικές συγκεντρώσεις C<sub>0</sub>. (χρόνος προθέρμανσης 66 min)

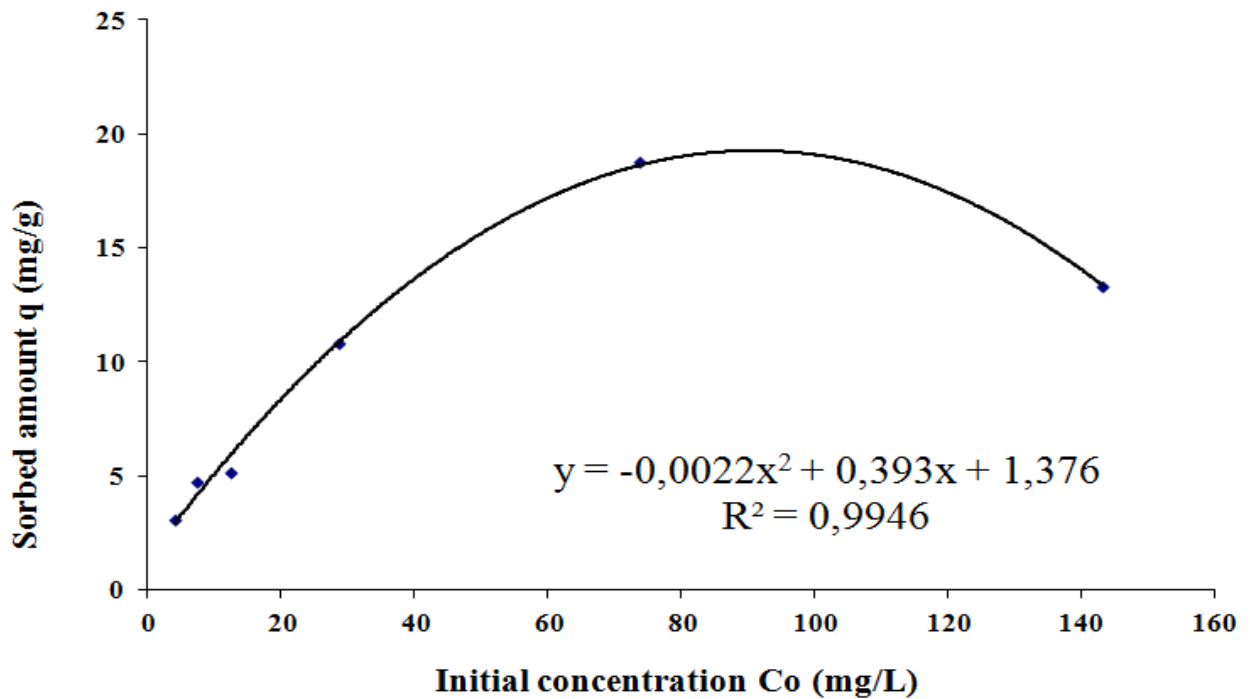
t (min)	Πειραματικές τιμές q σε mg/g για τις αντίστοιχες αρχικές συγκεντρώσεις C <sub>0</sub> (mg/l)						Θεωρητικές τιμές q <sub>theor</sub> σε mg/ g για τις αντίστοιχες αρχικές συγκεντρώσεις C <sub>0</sub> (mg/l)					
	156	78	31	14	7,8	3,1	156	78	31	14	7,8	3,1
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
10	6,055	2,871	3,895	2,631	2,961	1,825	1,450	0,856	1,269	0,791	1,152	0,756
20	5,368	5,124	5,031	4,894	4,219	3,341	2,084	1,570	1,815	1,450	1,338	1,325
30	6,264	6,892	6,046	6,840	6,224	4,601	2,397	2,164	2,219	2,000	1,751	1,754
40	8,901	8,280	9,498	8,513	7,723	5,648	2,661	2,659	2,561	2,457	2,084	2,077
50	9,401	9,369	9,661	9,953	5,621	6,518	2,970	3,072	2,829	2,838	2,362	2,321
60	11,595	10,224	12,463	11,191	6,111	7,242	3,245	3,416	3,047	3,155	2,399	2,504
70	9,166	10,895	11,732	12,255	6,675	7,843	3,617	3,702	3,294	3,419	2,808	2,642
80	8,281	11,422	13,438	13,171	8,356	8,342	3,810	3,941	3,457	3,640	2,665	2,746
90	10,924	11,835	13,844	13,959	8,096	8,757	4,125	4,140	3,623	3,823	2,849	2,825
100	16,956	12,160	13,722	14,636	8,468	9,102	4,184	4,306	3,803	3,976	2,675	2,884
110	10,164	12,415	15,468	15,218	8,691	9,389	4,293	4,444	4,001	4,103	2,661	2,928
120	12,031	12,614	14,900	15,719	9,690	9,627	4,291	4,559	4,062	4,209	2,306	2,962
130	12,931	12,771	15,428	16,150	9,320	9,825	4,383	4,655	4,216	4,297	3,041	2,987
140	10,339	12,894	15,265	16,521	9,098	9,990	4,661	4,734	4,278	4,371	3,181	3,006
150	13,510	12,991	17,457	16,839	9,542	10,127	4,787	4,801	4,479	4,432	3,072	3,021
160	14,260	13,067	17,214	17,113	11,378	10,240	4,980	4,856	4,656	4,483	3,118	3,031
170	12,902	13,126	18,269	17,349	10,866	10,335	5,057	4,903	4,668	4,526	3,220	3,040
180	12,786	13,173	17,701	17,552	11,378	10,413	5,206	4,941	4,699	4,561	3,225	3,046
190	15,754	13,210	18,309	17,726	11,341	10,479	5,253	4,973	4,775	4,591	3,275	3,050

	156 mg/L	78mg/L	31,2mg/L	14mg/L	7,8mg/L	3,1mg/L
<b>Co</b>	143,18	73,89	28,73	12,37	7,33	4,06
<b>sum</b>	69,87	10,54	18,42	1,11	0,70	0,91
<b>n</b>	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
<b>p</b>	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
<b>SEE</b>	1,9702	0,7653	1,0117	0,2485	0,1975	0,2247
<b>k</b>	0,0242	0,0151	0,0185	0,0182	0,0183	0,0283
<b>qe</b>	13,34	18,80	10,80	5,13	4,74	3,06

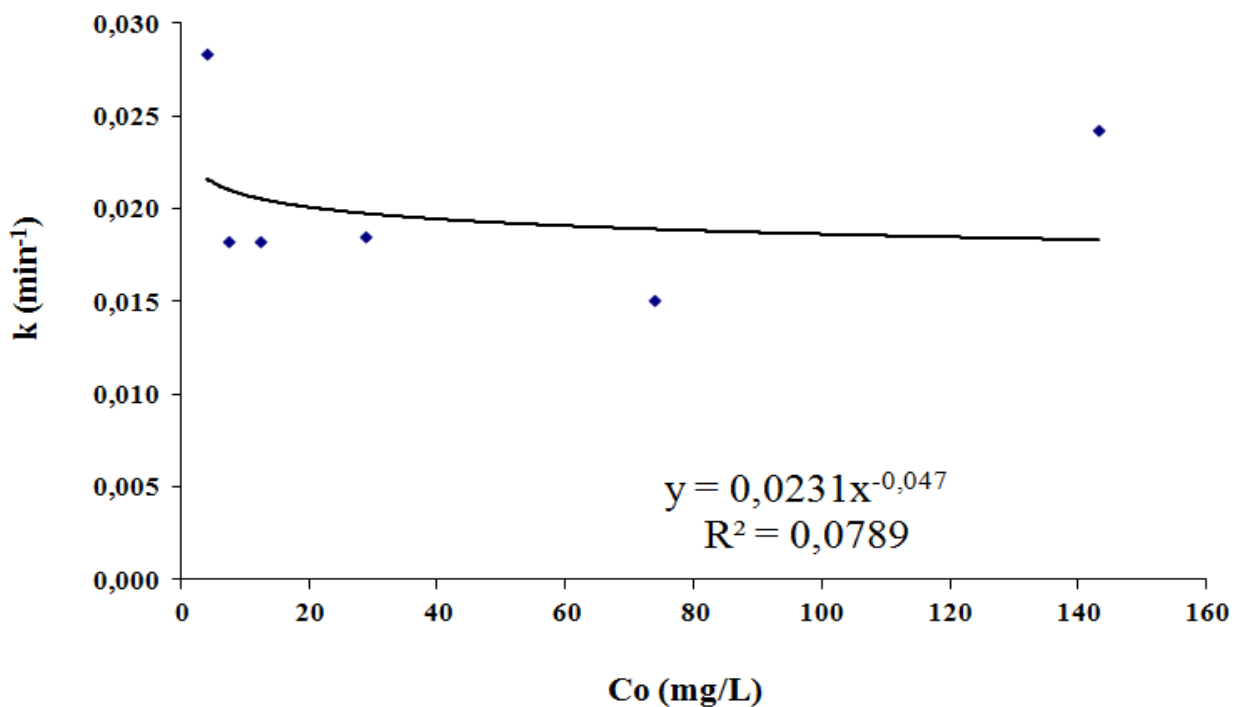
**Σχήμα 6.103:** Γραφική απεικόνιση της επίδρασης της αρχικής συγκέντρωσης  $C_0$  στην προσρόφηση του methylene blue από άχυρο σιταριού προκατεργασμένο (αυτουδρόλυση) στους  $200^\circ\text{C}$  για 40 min όπως φαίνεται στις καμπύλες της εξίσωσης Lagergren ( $23^\circ\text{C}$ ,  $\text{pH}=8$ )



**Σχήμα 6.104:** Γραφική απεικόνιση της ποσότητας του methylene blue που έχει απομακρυνθεί από άχυρο σιταριού προκατεργασμένο (αυτοϋδρόλυση) στους 200° C για 40 min όπως επηρεάζεται από την μεταβολή της αρχικής συγκέντρωσης Co (mg/L) (23oC, pH=8)



**Σχήμα 6.105:** Γραφική απεικόνιση της σταθεράς ταχύτητας προσρόφησης του methylene blue από άχυρο σιταριού προκατεργασμένο (αυτοϋδρόλυση) στους 200° C για 40 min όπως επηρεάζεται από την μεταβολή της αρχικής συγκέντρωσης Co (mg/L) (23oC, pH=8)

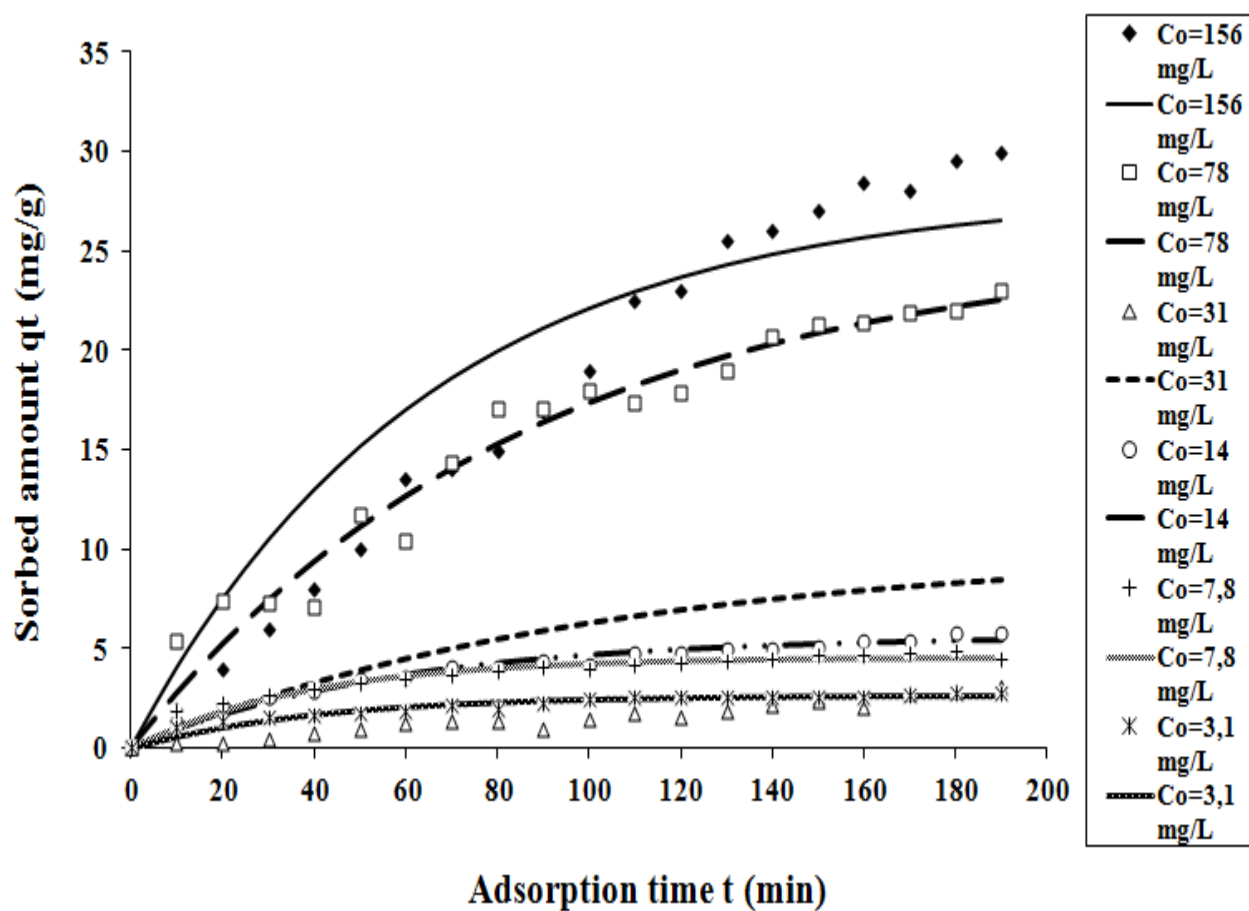


**Πινάκας 6.59:** Πειραματικά δεδομένα και υπολογισμός των παραμέτρων της Lagergren για προσρόφιση methylene blue από άχυρο σιταριού προκατεργασμένο - αυτοϋδρόλυση στους 200° C για 50 min για διάλυμα methylene blue σε όλες τις αρχικές συγκεντρώσεις C<sub>0</sub>. (χρόνος προθέρμανσης 66 min)

t (min)	Πειραματικές τιμές q σε mg/g για τις αντίστοιχες αρχικές συγκεντρώσεις C <sub>0</sub> (mg/l)						Θεωρητικές τιμές q <sub>theor</sub> σε mg/ g για τις αντίστοιχες αρχικές συγκεντρώσεις C <sub>0</sub> (mg/l)					
	156	78	31	14	7,8	3,1	156	78	31	14	7,8	3,1
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
10	2,000	4,044	5,354	2,764	0,278	0,952	1,397	0,922	1,835	1,073	1,051	0,596
20	4,000	7,505	7,383	5,227	0,253	1,813	2,136	1,693	2,246	1,894	1,319	1,058
30	6,000	10,465	7,302	7,423	0,455	2,592	2,572	2,337	2,639	2,522	1,585	1,417
40	8,000	12,998	7,139	9,380	0,732	3,297	2,873	2,876	2,925	3,004	1,651	1,695
50	10,000	15,165	11,688	11,124	0,984	3,935	3,490	3,326	3,241	3,372	1,801	1,911
60	13,500	17,019	10,469	12,679	1,248	4,512	3,561	3,702	3,490	3,654	1,848	2,079
70	14,000	18,605	14,368	14,064	1,361	5,034	4,028	4,017	3,696	3,870	2,182	2,209
80	15,000	19,962	17,049	15,299	1,386	5,507	4,099	4,280	3,825	4,036	1,967	2,310
90	17,000	21,123	17,049	16,400	0,958	5,934	4,404	4,500	4,075	4,162	2,303	2,388
100	19,000	22,116	18,023	17,381	1,461	6,321	4,205	4,684	3,940	4,259	2,436	2,449
110	22,500	22,966	17,374	18,255	1,762	6,671	4,773	4,838	4,177	4,334	2,533	2,496
120	23,000	23,693	17,861	19,035	1,511	6,988	4,785	4,966	4,239	4,390	2,573	2,533
130	25,500	24,315	18,997	19,729	1,887	7,275	4,934	5,074	4,422	4,434	2,566	2,561
140	26,000	24,847	20,701	20,348	2,163	7,534	5,009	5,163	4,443	4,467	2,545	2,583
150	27,000	25,303	21,350	20,900	2,412	7,769	5,110	5,239	4,650	4,493	2,601	2,600
160	28,500	25,692	21,431	21,392	2,012	7,981	5,412	5,301	4,697	4,512	2,601	2,613
170	28,000	26,026	21,918	21,830	2,762	8,173	5,420	5,354	4,786	4,527	2,686	2,624
180	29,600	26,311	21,999	22,221	2,886	8,347	5,788	5,398	4,910	4,539	2,781	2,632
190	30,000	26,555	23,052	22,569	3,061	8,504	5,804	5,434	4,515	4,547	2,800	2,638

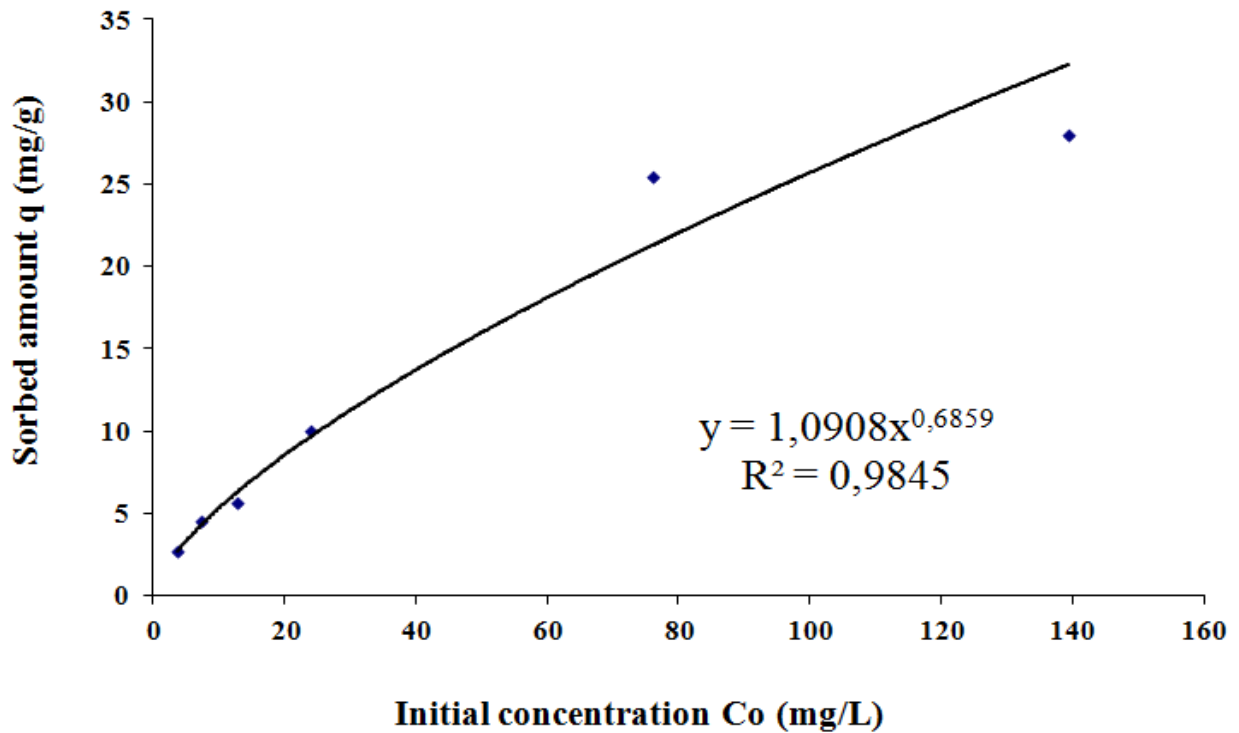
	156 mg/L	78mg/L	31,2mg/L	14mg/L	7,8mg/L	3,1mg/L
<b>Co</b>	139,52	76,08	24,06	12,76	7,30	3,85
<b>Sum</b>	213,74	28,88	377,27	1,20	1,27	0,55
<b>n</b>	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
<b>p</b>	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
<b>SEE</b>	3,4459	1,2668	4,5782	0,2580	0,2654	0,1753
<b>k</b>	0,0156	0,0115	0,0100	0,0179	0,0267	0,0254
<b>q</b>	28,00	25,42	10,00	5,62	4,58	2,66

**Σχήμα 6.106:** Γραφική απεικόνιση της επίδρασης της αρχικής συγκέντρωσης Co στην προσρόφιση του methylene blue από άχυρο σιταριού προκατεργασμένο (αυτουδρόλυση) στους 200° C για 50 min όπως φαίνεται στις καμπύλες της εξίσωσης Lagergren (23° C, pH=8)

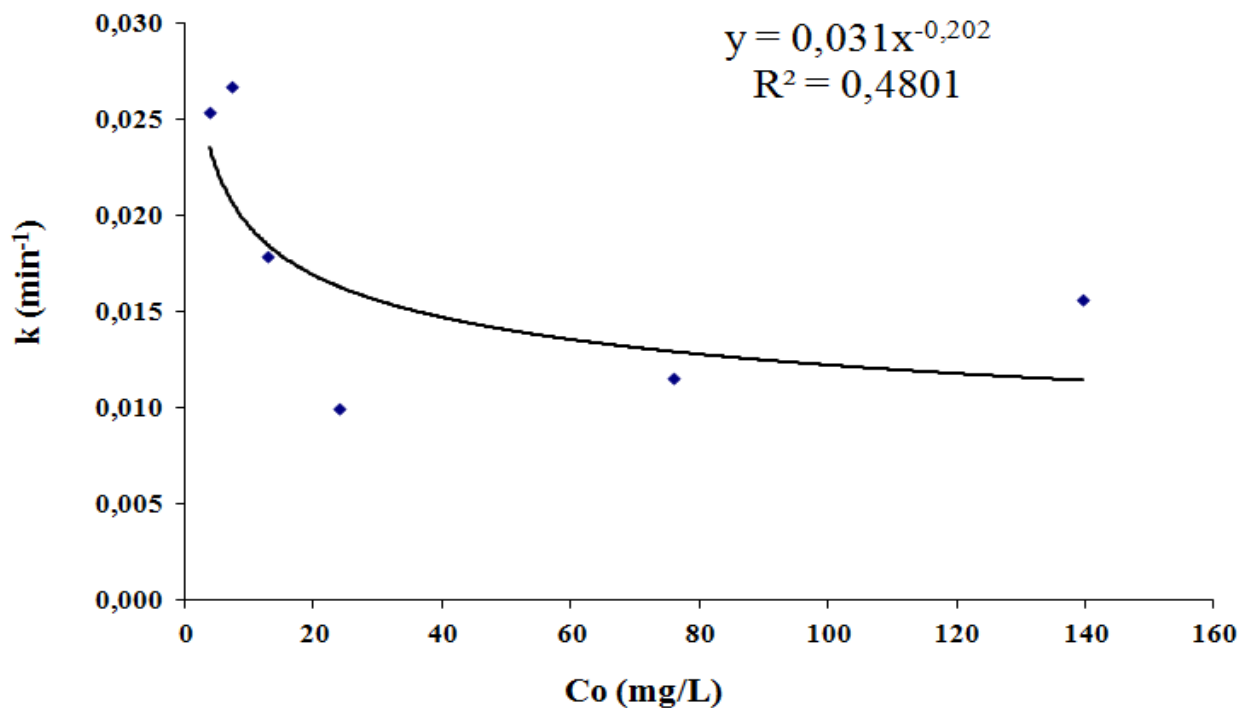




**Σχήμα 6.107:** Γραφική απεικόνιση της ποσότητας του methylene blue που έχει απομακρυνθεί από άχυρο σιταριού προκατεργασμένο (αυτούδρόλυση) στους 200° C για 50 min όπως επηρεάζεται από την μεταβολή της αρχικής συγκέντρωσης Co (mg/L) (23oC, pH=8)



**Σχήμα 6.108:** Γραφική απεικόνιση της σταθεράς ταχύτητας προσρόφησης του methylene blue από άχυρο σιταριού προκατεργασμένο (αυτούδρόλυση) στους 200° C για 50 min όπως επηρεάζεται από την μεταβολή της αρχικής συγκέντρωσης Co (mg/L) (23oC, pH=8)



#### 6.4. Προσομοίωση της κινητικής της προσρόφησης

Για την προσομοίωση της επίδρασης της αρχικής συγκέντρωσης του διαλύματος methylene blue στη σταθερά ταχύτητας προσρόφησης  $k$  ( $\text{min}^{-1}$ ) κατά την προσρόφηση methylene blue σε άχυρο σιταριού που έχει υποστεί αυτοϋδρόλυση σε διάφορες θερμοκρασίες για διάφορους χρόνους χρησιμοποιήθηκε η παρακάτω εξίσωση:

$$k = a_{k,0} + a_{k,1}C_0t + a_{k,2}C_0^2t + a_{k,3}C_0t^2 + a_{k,4}C_0^2t^2 + a_{k,5}C_0 \quad (1)$$

Η

$$k = a_{k,0} + a_{k,1}X_1 + a_{k,2}X_2 + a_{k,3}X_3 + a_{k,4}X_4 + a_{k,5}X_5 \quad (2)$$

Όπου,  $X_1 = C_0t$ ,  $X_2 = C_0^2t$ ,  $X_3 = C_0t^2$ ,  $X_4 = C_0^2t^2$ ,  $X_5 = C_0$ ,  $C_0$  η αρχική συγκέντρωση του διαλύματος methylene blue που χρησιμοποιήθηκε για την διεξαγωγή των πειραμάτων και  $t$  ο χρόνος προκατεργασίας του υλικού άχυρο σιταριού, αυτοϋδρόλυση σε διάφορους χρόνους (0 έως 50 min) και θερμοκρασίες (160° C, 180° C και 200° C) (συμπεριλαμβανόμενου του χρόνου προθέρμανσης = 44,47 και 66 min αντίστοιχα για κάθε θερμοκρασία).

Οι παράμετροι  $a_{k,0}$ ,  $a_{k,1}$ ,  $a_{k,2}$ ,  $a_{k,3}$ ,  $a_{k,4}$  και  $a_{k,5}$  προέκυψαν μέσω γραμμικής παλινδρόμησης στην εξίσωση (2).

Από την εξίσωση (1) προκύπτουν ο παρακάτω πίνακας και το αντίστοιχο σχήμα.

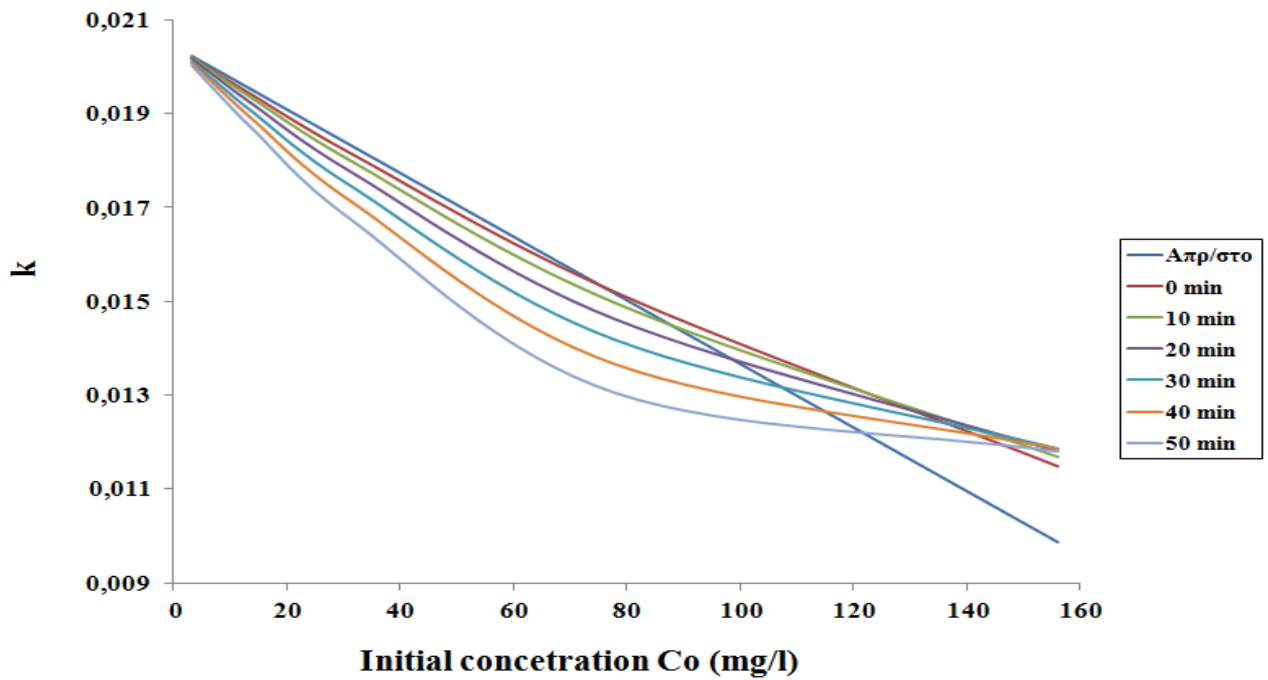
**Πίνακα 6.60:** Θεωρητικές τιμές της σταθεράς ταχύτητας προσρόφησης  $k$  ( $\text{min}^{-1}$ ) συναρτήσει της αρχικής συγκέντρωσης του διαλύματος methylene blue και του χρόνου προκατεργασίας του υλικού, αυτοϋδρόλυση σε  $160^\circ \text{C}$  για 0 έως 50 min . Οι τιμές αυτές προέκυψαν με την βοήθεια της εξίσωσης (1)

Co (mg/L)	t (min)	k
156	0	0,0099
78	0	0,0152
31	0	0,0183
14	0	0,0195
7,8	0	0,0199
3,1	0	0,0202
156	44	0,0115
78	44	0,0152
31	44	0,0182
14	44	0,0194
7,8	44	0,0199
3,1	44	0,0202
156	54	0,0117
78	54	0,0150
31	54	0,0180
14	54	0,0193
7,8	54	0,0198
3,1	54	0,0202
156	64	0,0118
78	64	0,0146
31	64	0,0178
14	64	0,0192
7,8	64	0,0197
3,1	64	0,0202

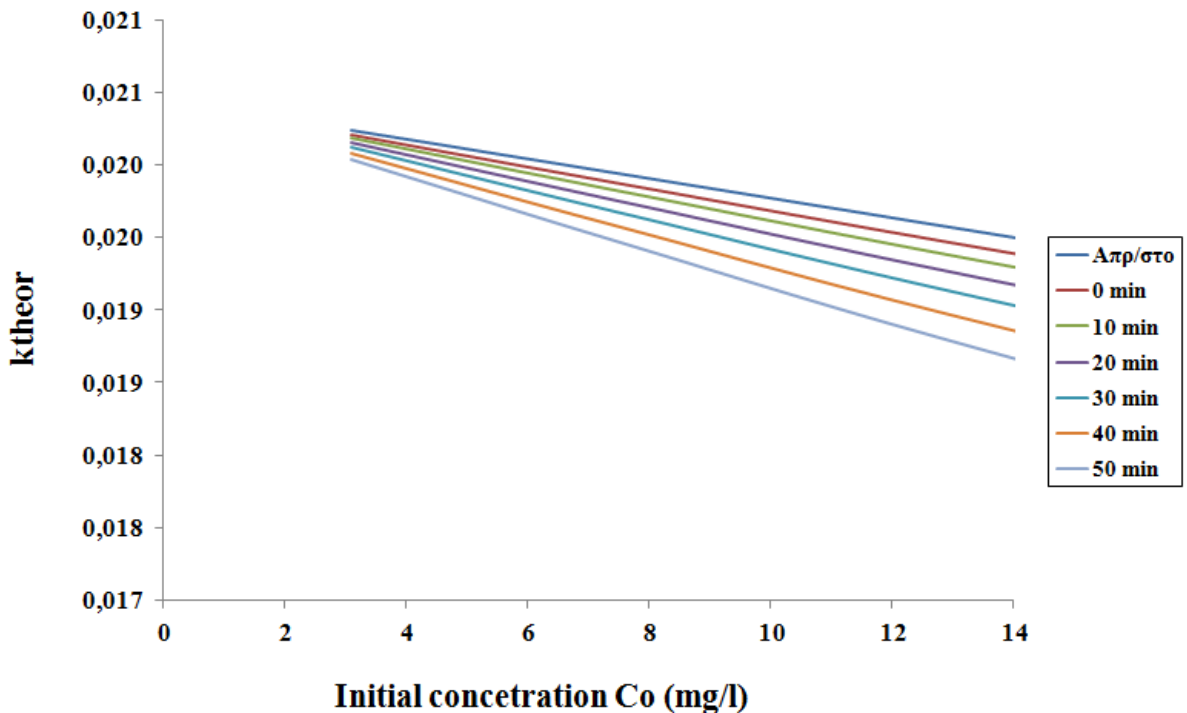
Co (mg/L)	t (min)	K
156	74	0,0119
78	74	0,0142
31	74	0,0175
14	74	0,0190
7,8	74	0,0196
3,1	74	0,0201
156	84	0,0119
78	84	0,0137
31	84	0,0172
14	84	0,0189
7,8	84	0,0195
3,1	84	0,0201
156	94	0,0118
78	94	0,0130
31	94	0,0168
14	94	0,0187
7,8	94	0,0194
3,1	94	0,0200

	$k$ ( $\text{min}^{-1}$ )
$a_{k,0}$	0,02045
$a_{k,1}$	2,2E-07
$a_{k,2}$	6,88E-10
$a_{k,3}$	-9,9E-09
$a_{k,4}$	5E-11
$a_{k,5}$	-6,8E-05

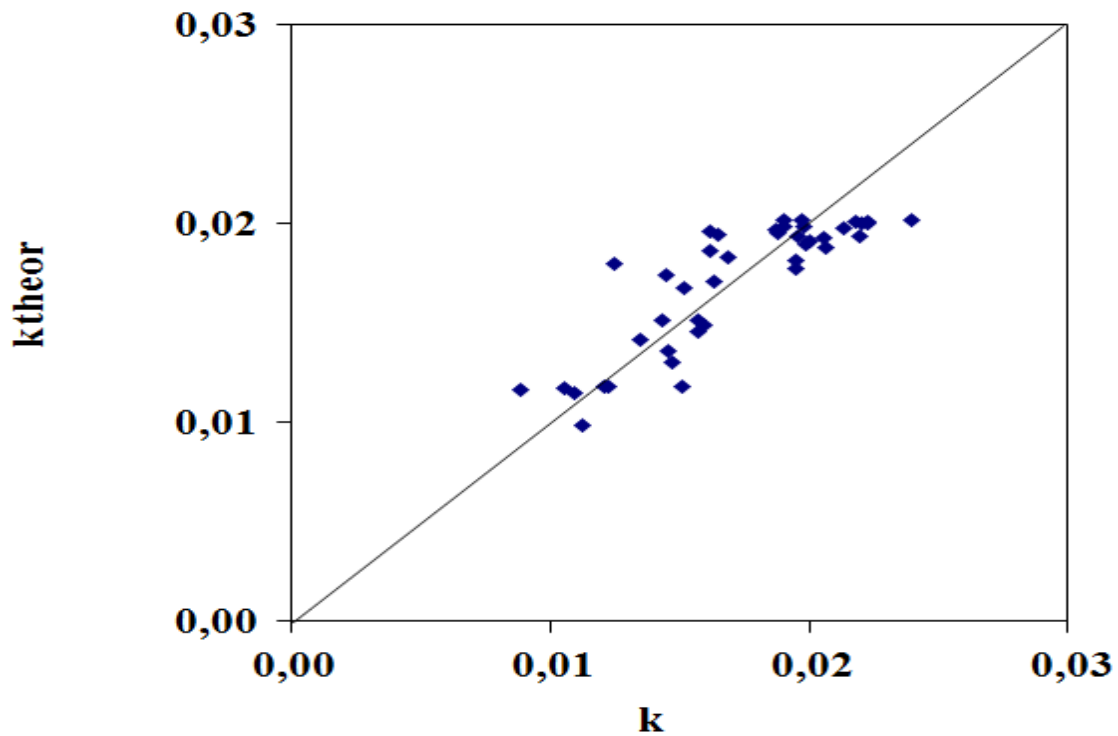
**Σχήμα 6.109:** Σταθερά ταχύτητας προσρόφησης  $k$  ( $min^{-1}$ ) σε άχυρο σιταριού αυτοϋδρόλυση στους  $160^{\circ} C$  για 0 έως 50 min συναρτήσει της αρχικής συγκέντρωσης του διαλύματος methylene blue. Οι θεωρητικές καμπύλες προέκυψαν με την βοήθεια της εξίσωσης (1)



**Σχήμα 6.110:** Σταθερά ταχύτητας προσρόφησης  $k$  ( $min^{-1}$ ) σε άχυρο σιταριού αυτοϋδρόλυση στους  $160^{\circ} C$  για 0 έως 50 min συναρτήσει της αρχικής συγκέντρωσης του διαλύματος methylene blue από 0 έως 14 mg/l. Οι θεωρητικές καμπύλες προέκυψαν με την βοήθεια της εξίσωσης (1)



**Σχήμα 6.111:** Οι θεωρητικές τιμές της σταθεράς ταχύτητας προσρόφησης  $k$  ( $\text{min}^{-1}$ ) σε άχυρο σιταριού αυτοϋδρόλυση στους  $160^\circ \text{C}$  για 0 έως 50 min, συναρτήσει των πειραματικών τιμών της ίδιας παραμέτρου. Οι θεωρητικές τιμές υπολογίζονται βάσει την εξίσωση (1).



Για την προσομοίωση της επίδρασης της αρχικής συγκέντρωσης του διαλύματος methylene blue στο ποσοστό που προσροφάται ανά μονάδα προσροφητικού υλικού  $q_e$  ( $\text{mg/g}$ ) σε άχυρο σιταριού που έχει υποστεί αυτοϋδρόλυση σε διάφορες θερμοκρασίες για διάφορους χρόνους χρησιμοποιήθηκε η παρακάτω εξίσωση:

$$q_e = a_{q,0} + a_{q,1}C_0t + a_{q,2}C_0^2t + a_{q,3}C_0t^2 + a_{q,4}C_0^2t^2 + a_{q,5}C_0 \quad (3)$$

Η

$$q_e = a_{q,0} + a_{q,1}X_1 + a_{q,2}X_2 + a_{q,3}X_3 + a_{q,4}X_4 + a_{q,5}X_5 \quad (4)$$

Όπου,  $X_1 = C_0t$ ,  $X_2 = C_0^2t$ ,  $X_3 = C_0t^2$ ,  $X_4 = C_0^2t^2$ ,  $X_5 = C_0$ ,  $C_0$  η αρχική συγκέντρωση του διαλύματος methylene blue που χρησιμοποιήθηκε για την διεξαγωγή των πειραμάτων και  $t$  ο χρόνος προκατεργασίας του υλικού άχυρο σιταριού, αυτοϋδρόλυση σε διάφορους χρόνους (0 έως

50 min) και θερμοκρασίες (160° C, 180° C και 200° C) (συμπεριλαμβανόμενου του χρόνου προθέρμανσης = 44,47 και 66 min αντίστοιχα για κάθε θερμοκρασία).

Οι παράμετροι  $\alpha_{q,0}$ ,  $\alpha_{q,1}$ ,  $\alpha_{q,2}$ ,  $\alpha_{q,3}$ ,  $\alpha_{q,4}$  και  $\alpha_{q,5}$  προέκυψαν μέσω γραμμικής παλινδρόμησης στην εξίσωση (4).

Από την εξίσωση (4) προκύπτουν ο παρακάτω πίνακας και το αντίστοιχο σχήμα.

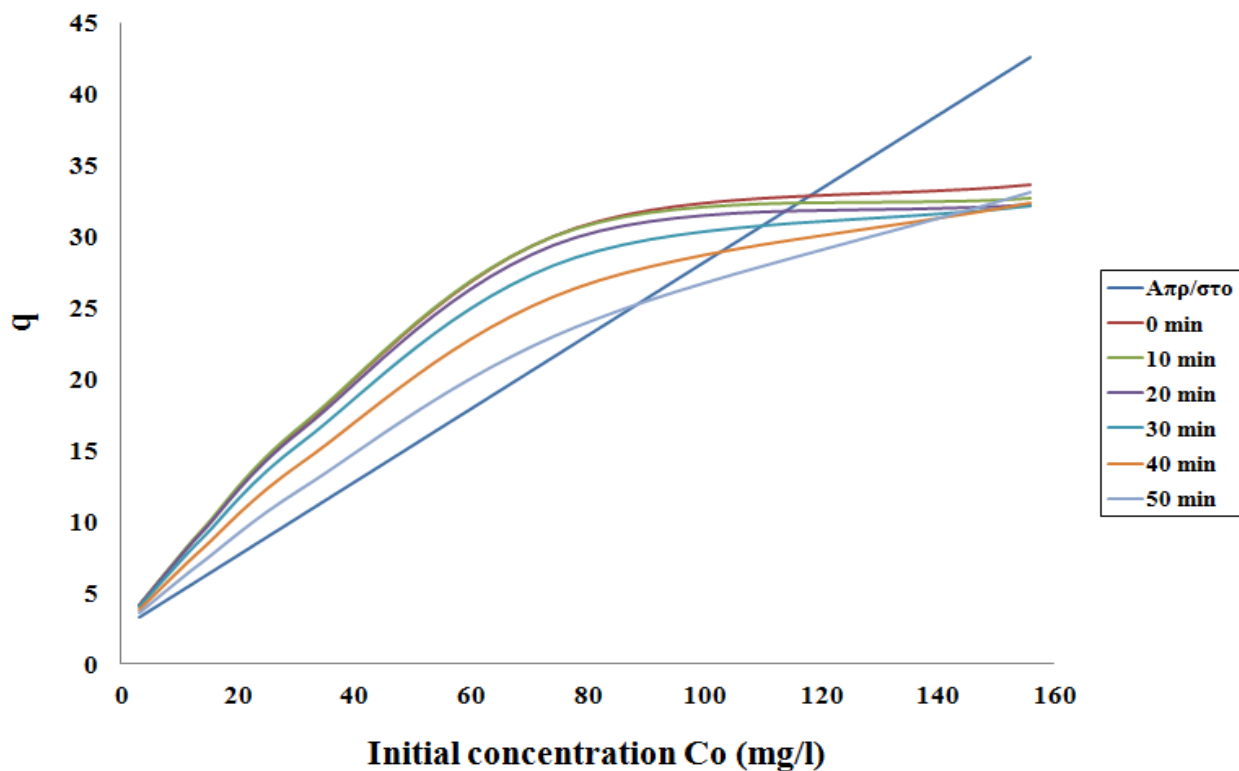
**Πίνακα 6.61:** Θεωρητικές τιμές του ποσοστού που προσροφάται ανά μονάδα προσροφητικού υλικού  $q_e$  (mg/g) συναρτήσει της αρχικής συγκέντρωσης του διαλύματος methylene blue και του χρόνου προκατεργασίας του υλικού, αυτοϋδρόλυση σε 160° C για 0 έως 50 min . Οι τιμές αυτές προέκυψαν με την βοήθεια της εξίσωσης (4)

Co (mg/L)	t (min)	$q_e$
156	0	42,5677
78	0	22,5503
31	0	10,4886
14	0	6,1258
7,8	0	4,5347
3,1	0	3,3285
156	44	33,6502
78	44	30,6154
31	44	16,6931
14	44	9,4178
7,8	44	6,4684
3,1	44	4,1270
156	54	32,7217
78	54	30,5929
31	54	16,7900
14	54	9,4788
7,8	54	6,5059
3,1	54	4,1430
156	64	32,2000
78	64	29,8832
31	64	16,4004
14	64	9,2853
7,8	64	6,3945
3,1	64	4,0977

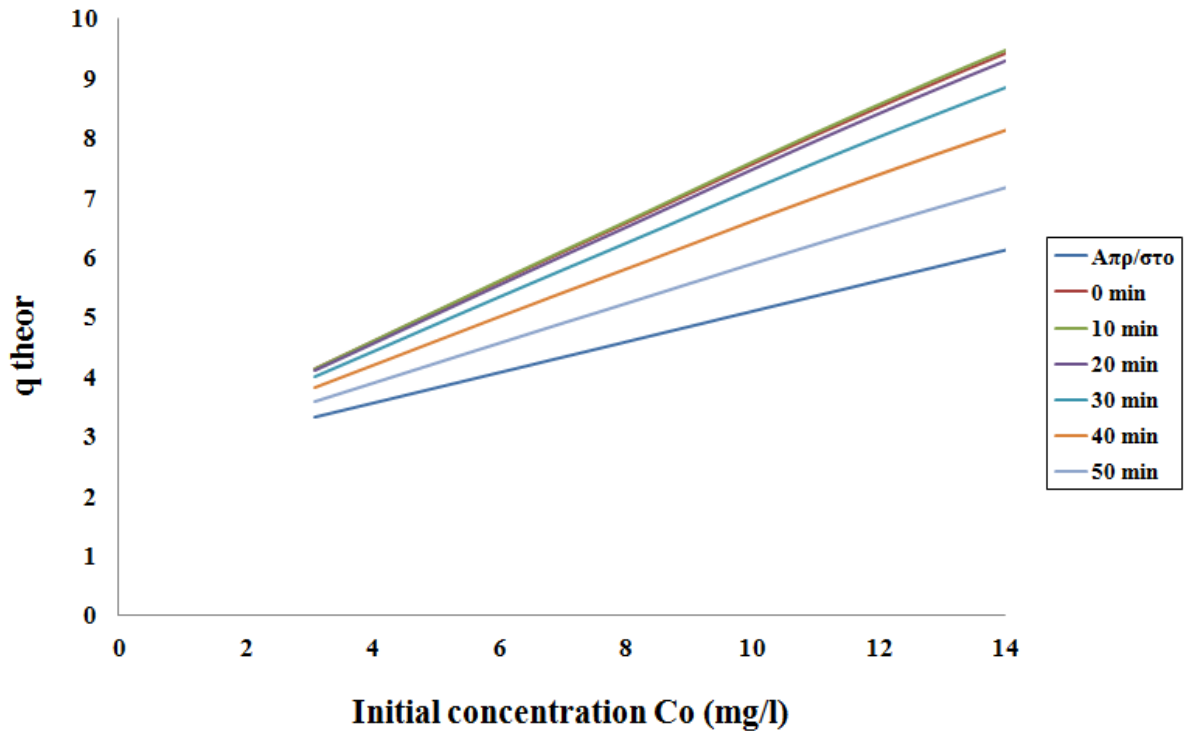
Co (mg/L)	t (min)	$q_e$
156	74	32,0851
78	74	28,4863
31	74	15,5245
14	74	8,8374
7,8	74	6,1343
3,1	74	3,9910
156	84	32,3769
78	84	26,4022
31	84	14,1621
14	84	8,1349
7,8	84	5,7251
3,1	84	3,8231
156	94	33,0755
78	94	23,6308
31	94	12,3134
14	94	7,1779
7,8	94	5,1672
3,1	94	3,5938

	$q_e$ (mg/g)
$a_{q,0}$	2,532974
$a_{q,1}$	0,010449
$a_{q,2}$	-7,9E-05
$a_{q,3}$	-0,0001
$a_{q,4}$	7,32E-07
$a_{q,5}$	0,256633

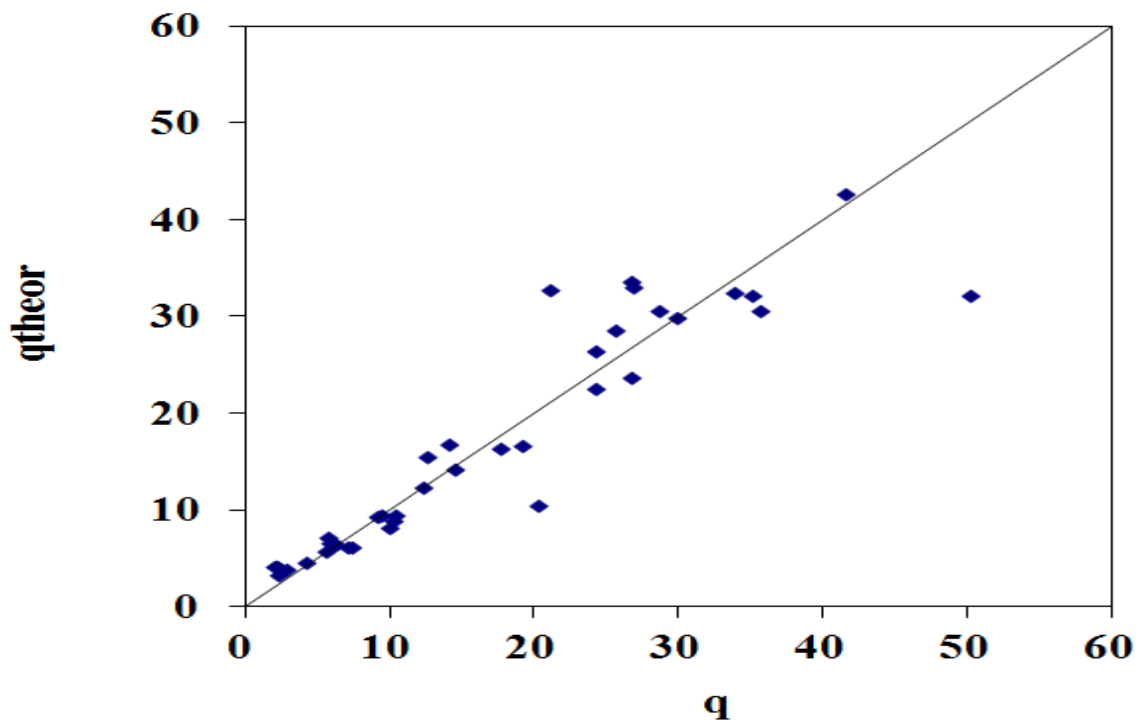
**Σχήμα 6.112:** Ποσότητα που προσροφάται ανά μονάδα προσροφητικού υλικού (άχυρο σιταριού αυτοϋδρόλυση στους 160° C για 0 έως 50 min)  $q_e$  (mg/g) συναρτήσεως της αρχικής συγκέντρωσης του διαλύματος methylene blue. Οι θεωρητικές καμπύλες προέκυψαν με την βοήθεια της εξίσωσης (4)



**Σχήμα 6.113:** Ποσότητα που προσροφάται ανά μονάδα προσροφητικού υλικού (άχυρο σιταριού αυτοϋδρόλυση στους 160° C για 0 έως 50 min)  $q_e$  (mg/g) συναρτήσει της αρχικής συγκέντρωσης του διαλύματος methylene blue από 0 έως 14 mg/l. Οι θεωρητικές καμπύλες προέκυψαν με την βοήθεια της εξίσωσης (4)



**Σχήμα 6.114:** Οι θεωρητικές τιμές του ποσοστού που προσροφάται ανά μονάδα προσροφητικού υλικού (άχυρο σιταριού αυτοϋδρόλυση στους 160° C για 0 έως 50 min)  $q_e$  (mg/g), συναρτήσει των πειραματικών τιμών της ίδιας παραμέτρου. Οι θεωρητικές τιμές υπολογίζονται βάση την εξίσωση (4)





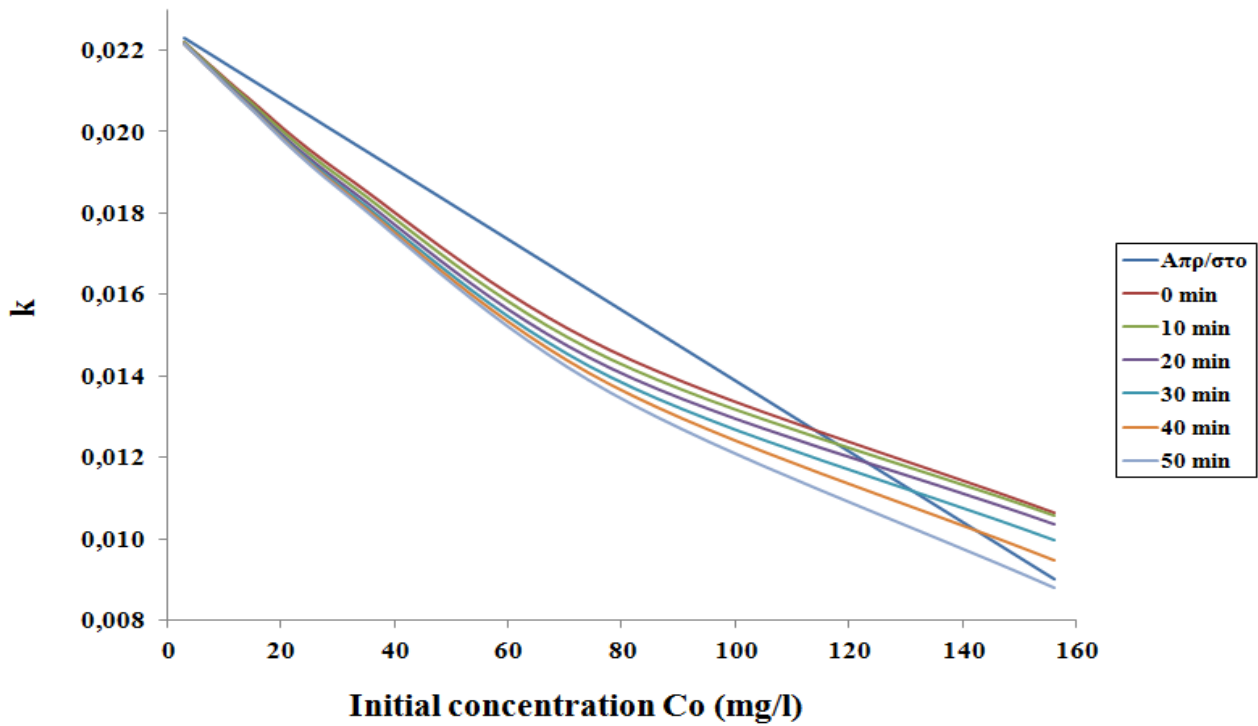
**Πίνακα 6.62:** Θεωρητικές τιμές της σταθεράς ταχύτητας προσρόφησης  $k$  ( $\text{min}^{-1}$ ) συναρτήσει της αρχικής συγκέντρωσης του διαλύματος methylene blue και του χρόνου προκατεργασίας του υλικού, αυτοϋδρόλυση σε  $180^\circ \text{C}$  για 0 έως 50 min . Οι τιμές αυτές προέκυψαν με την βοήθεια της εξίσωσης (1)

Co (mg/L)	t (min)	k
156	0	0,0090
78	0	0,0158
31	0	0,0199
14	0	0,0214
7,8	0	0,0219
3,1	0	0,0223
156	47	0,0106
78	47	0,0146
31	47	0,0190
14	47	0,0209
7,8	47	0,0216
3,1	47	0,0222
156	57	0,0106
78	57	0,0144
31	57	0,0188
14	57	0,0208
7,8	57	0,0216
3,1	57	0,0222
156	67	0,0103
78	67	0,0142
31	67	0,0187
14	67	0,0207
7,8	67	0,0215
3,1	67	0,0222

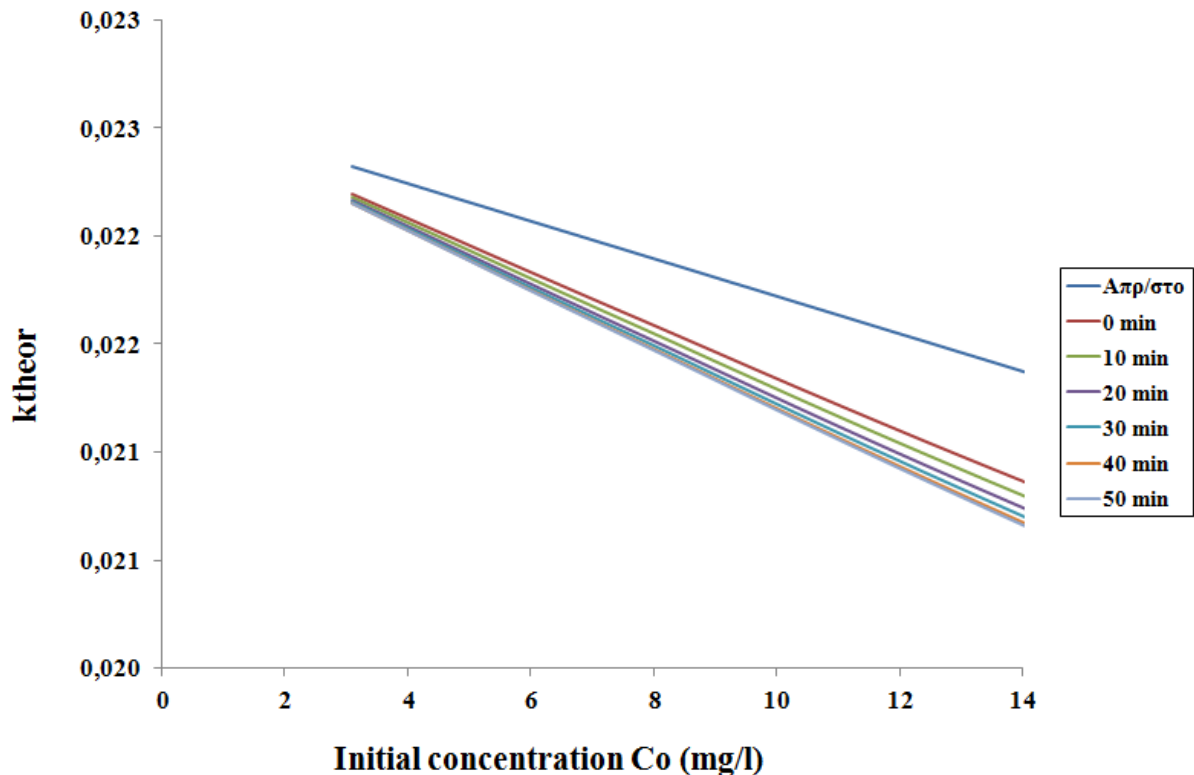
Co (mg/L)	t (min)	k
156	77	0,0100
78	77	0,0140
31	77	0,0186
14	77	0,0207
7,8	77	0,0215
3,1	77	0,0222
156	87	0,0095
78	87	0,0138
31	87	0,0185
14	87	0,0207
7,8	87	0,0215
3,1	87	0,0222
156	97	0,0088
78	97	0,0136
31	97	0,0185
14	97	0,0207
7,8	97	0,0215
3,1	97	0,0222

	$k$ ( $\text{min}^{-1}$ )
$a_{k,0}$	0,022589
$a_{k,1}$	-1,1E-06
$a_{k,2}$	1,01E-08
$a_{k,3}$	5,78E-09
$a_{k,4}$	-6,7E-11
$a_{k,5}$	-8,7E-05

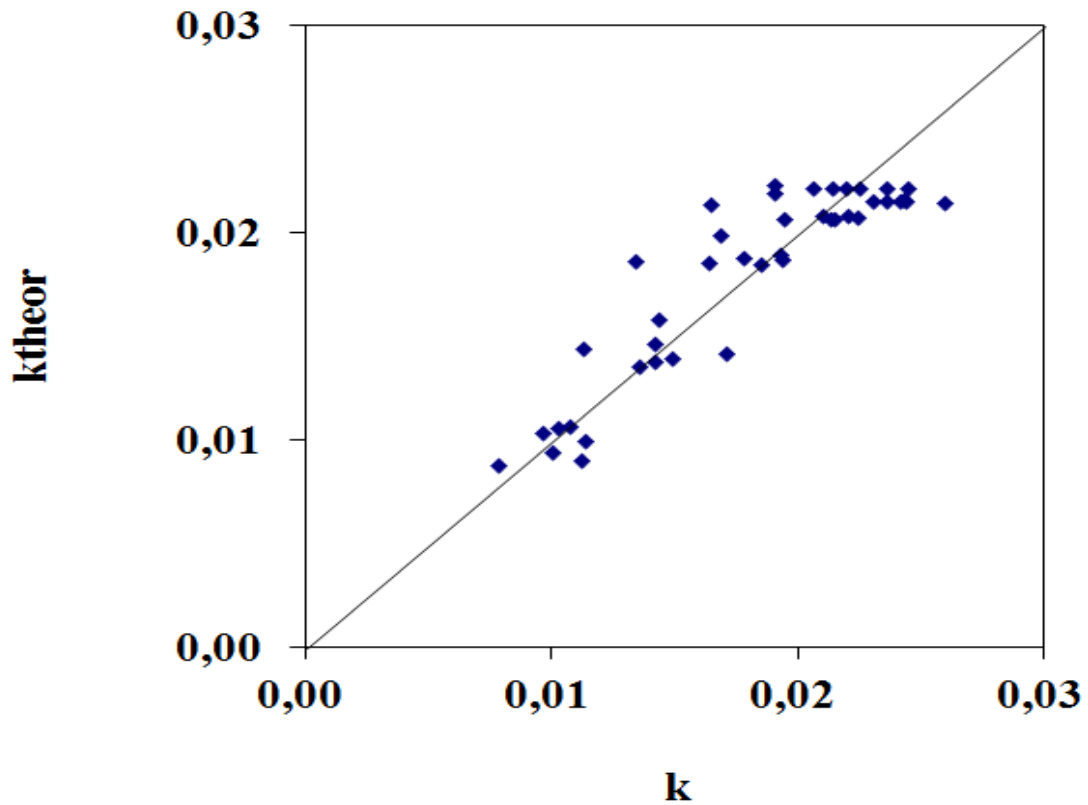
**Σχήμα 6.115:** Σταθερά ταχύτητας προσρόφησης  $k$  ( $min^{-1}$ ) σε άχυρο σιταριού αυτοϋδρόλυση στους  $180^{\circ} C$  για 0 έως 50 min συναρτήσει της αρχικής συγκέντρωσης του διαλύματος methylene blue. Οι θεωρητικές καμπύλες προέκυψαν με την βοήθεια της εξίσωσης (1)



**Σχήμα 6.116:** Σταθερά ταχύτητας προσρόφησης  $k$  ( $min^{-1}$ ) σε άχυρο σιταριού αυτοϋδρόλυση στους  $180^{\circ} C$  για 0 έως 50 min συναρτήσει της αρχικής συγκέντρωσης του διαλύματος methylene blue από έως 14 mg/l. Οι θεωρητικές καμπύλες προέκυψαν με την βοήθεια της εξίσωσης (1)



**Σχήμα 6.117:** Οι θεωρητικές τιμές της σταθεράς ταχύτητας προσρόφησης  $k$  ( $\text{min}^{-1}$ ) σε άχυρο σιταριού αυτοϋδρόλυση στους  $180^\circ \text{C}$  για 0 έως 50 min, συναρτήσει των πειραματικών τιμών της ίδιας παραμέτρου. Οι θεωρητικές τιμές υπολογίζονται βάση την εξίσωση (1).



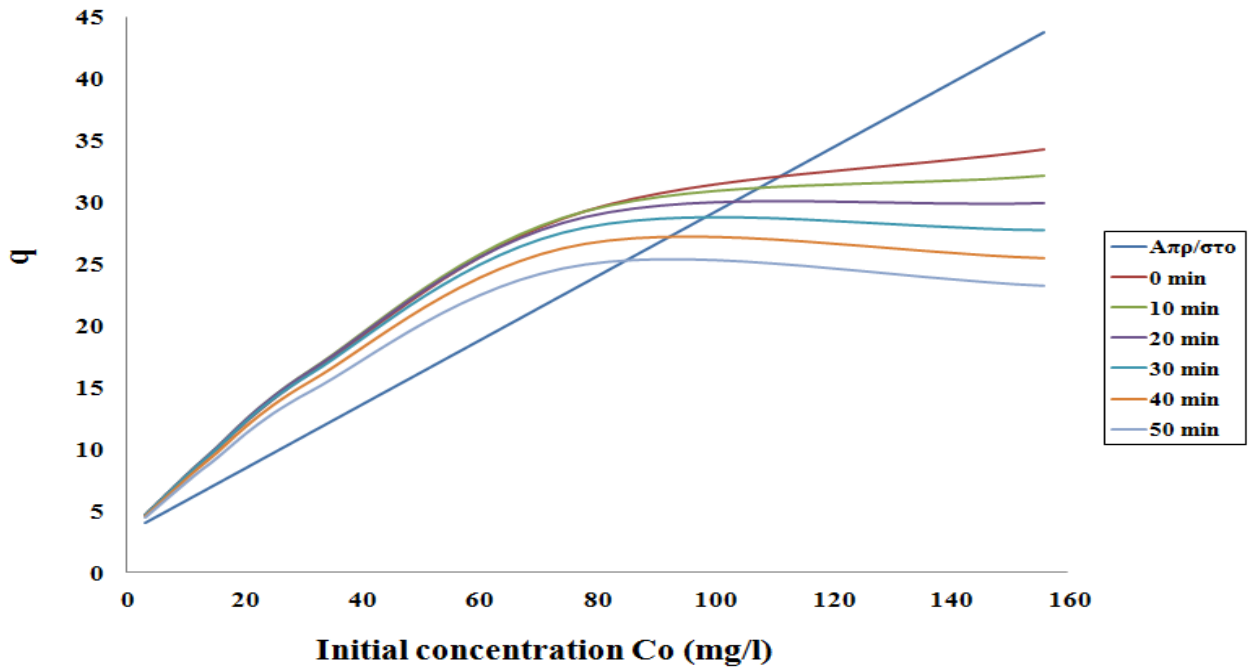
**Πίνακα 6.63:** Θεωρητικές τιμές του ποσοστού που προσροφάται ανά μονάδα προσροφητικού υλικού  $q_e$  ( $\text{mg/g}$ ) συναρτήσει της αρχικής συγκέντρωσης του διαλύματος methylene blue και του χρόνου προκατεργασίας του υλικού, αυτοϋδρόλυση σε  $180^\circ \text{C}$  για 0 έως 50 min . Οι τιμές αυτές προέκυψαν με την βοήθεια της εξίσωσης (4)

	$q_e$ ( $\text{mg/g}$ )
$a_{q,0}$	3,207761
$a_{q,1}$	0,006987
$a_{q,2}$	-5,3E-05
$a_{q,3}$	-5,4E-05
$a_{q,4}$	3,39E-07
$a_{q,5}$	0,259813

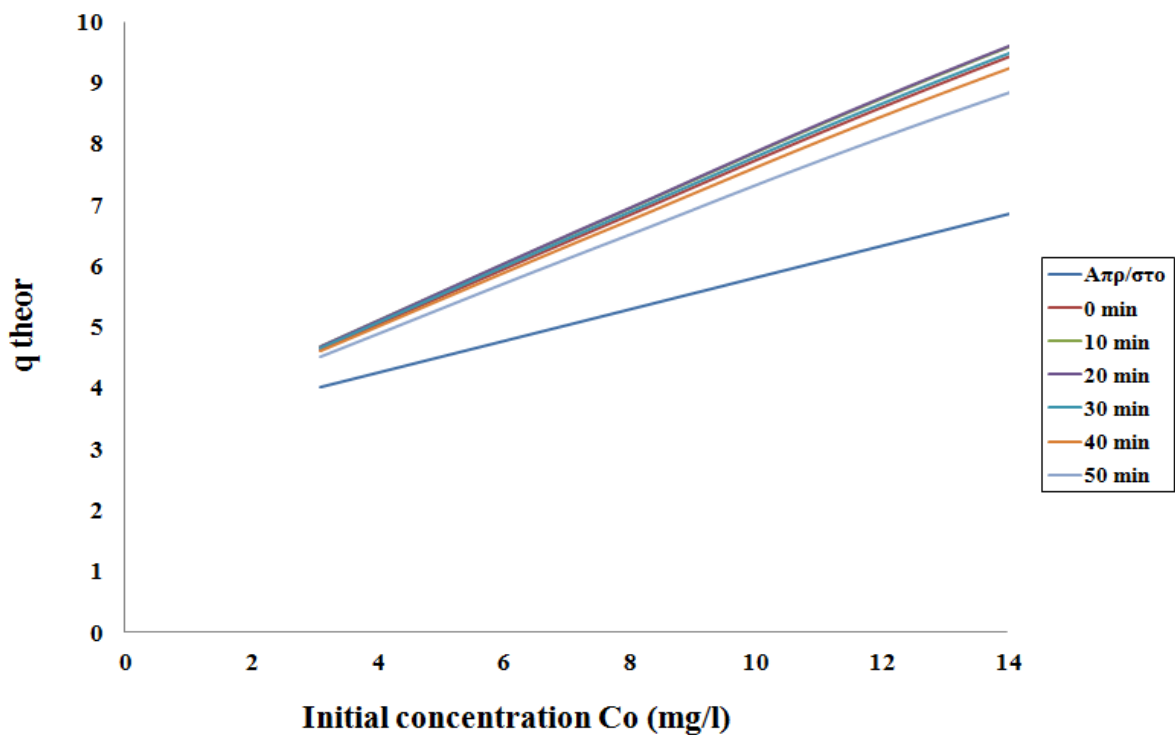
Co (mg/L)	t (min)	q <sub>e</sub>
156	0	43,7386
78	0	23,4732
31	0	11,2620
14	0	6,8451
7,8	0	5,2343
3,1	0	4,0132
156	47	34,2440
78	47	29,2532
31	47	16,0802
14	47	9,4329
7,8	47	6,7598
3,1	47	4,6447
156	57	32,1179
78	57	29,2559
31	57	16,3365
14	57	9,5904
7,8	57	6,8559
3,1	57	4,6854
156	67	29,9546
78	67	28,8280
31	67	16,3230
14	67	9,6099
7,8	67	6,8720
3,1	67	4,6934

Co (mg/L)	t (min)	q <sub>e</sub>
156	77	27,7542
78	77	27,9696
31	77	16,0398
14	77	9,4914
7,8	77	6,8079
3,1	77	4,6685
156	87	25,5167
78	87	26,6807
31	87	15,4868
14	87	9,2350
7,8	87	6,6637
3,1	87	4,6108
156	97	23,2419
78	97	24,9612
31	97	14,6640
14	97	8,8407
7,8	97	6,4394
3,1	97	4,5202

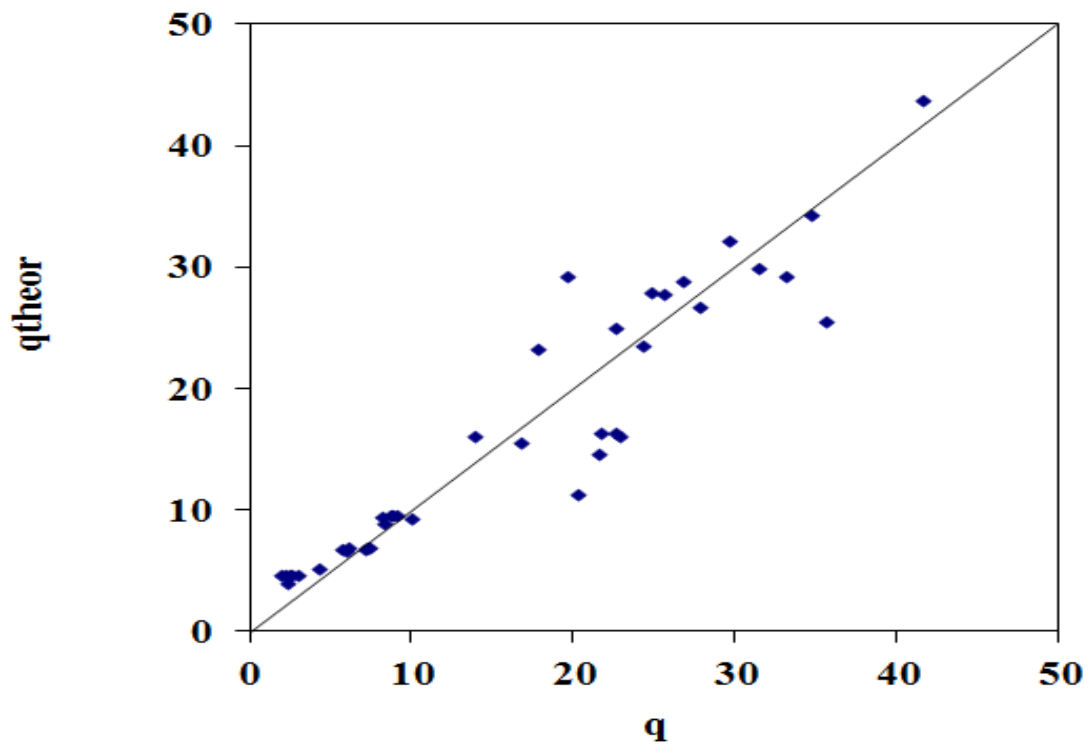
**Σχήμα 6.118:** Ποσότητα που προσροφάται ανά μονάδα προσροφητικού υλικού (άχυρο σιταριού αυτοϋδρόλυση στους 180° C για 0 έως 50 min)  $q_e$  (mg/g) συναρτήσεως της αρχικής συγκέντρωσης του διαλύματος methylene blue. Οι θεωρητικές καμπύλες προέκυψαν με την βοήθεια της εξίσωσης (4)



**Σχήμα 6.119:** Ποσότητα που προσροφάται ανά μονάδα προσροφητικού υλικού (άχυρο σιταριού αυτοϋδρόλυση στους 180° C για 0 έως 50 min)  $q_e$  (mg/g) συναρτήσεως της αρχικής συγκέντρωσης του διαλύματος methylene blue από 0 έως 14 mg/l. Οι θεωρητικές καμπύλες προέκυψαν με την βοήθεια της εξίσωσης (4)



**Σχήμα 6.120:** Οι θεωρητικές τιμές του ποσοστού που προσροφάται ανά μονάδα προσροφητικού υλικού (άχυρο σιταριού αυτοϋδρόλυση στους 180° C για 0 έως 50 min)  $q_e$  (mg/g), συναρτήσει των πειραματικών τιμών της ίδιας παραμέτρου. Οι θεωρητικές τιμές υπολογίζονται βάση την εξίσωση (4)



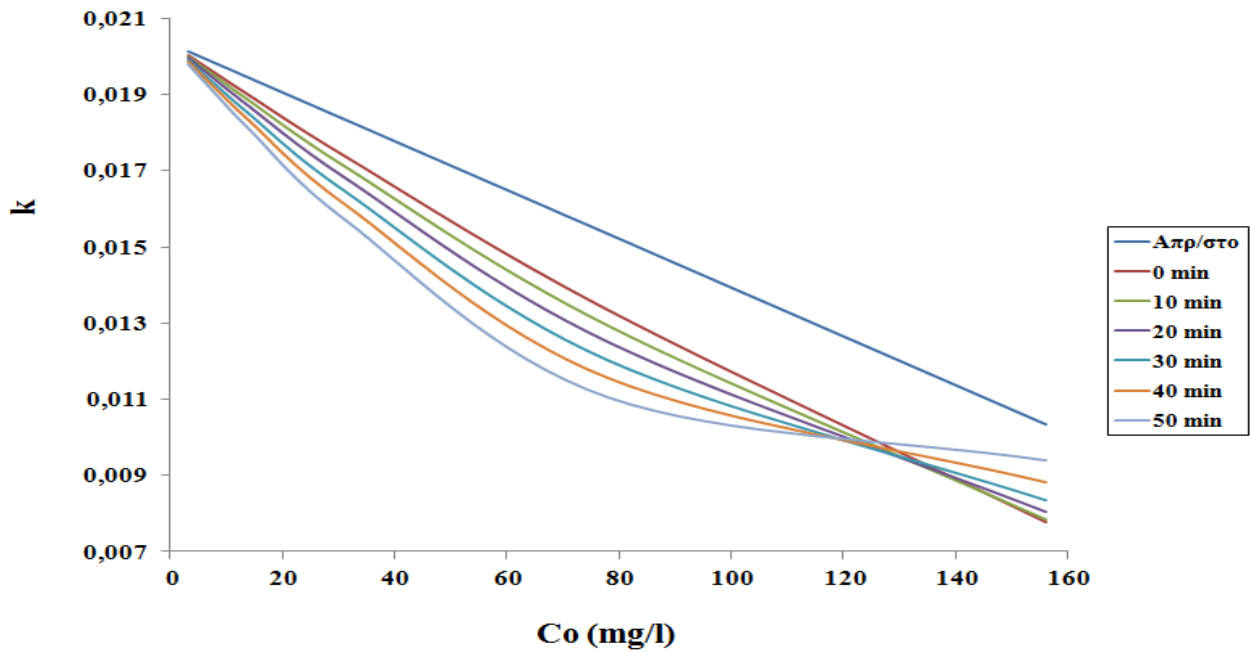
**Πίνακα 6.64:** Θεωρητικές τιμές της σταθεράς ταχύτητας προσρόφησης  $k$  ( $min^{-1}$ ) συναρτήσει της αρχικής συγκέντρωσης του διαλύματος methylene blue και του χρόνου προκατεργασίας του υλικού, αυτοϋδρόλυση σε 200° C για 0 έως 50 min . Οι τιμές αυτές προέκυψαν με την βοήθεια της εξίσωσης (1)

	$k$ ( $min^{-1}$ )
$a_{k,0}$	0,020324
$a_{k,1}$	-4,4E-08
$a_{k,2}$	-3E-09
$a_{k,3}$	-7,4E-09
$a_{k,4}$	7,24E-11
$a_{k,5}$	-6,4E-05

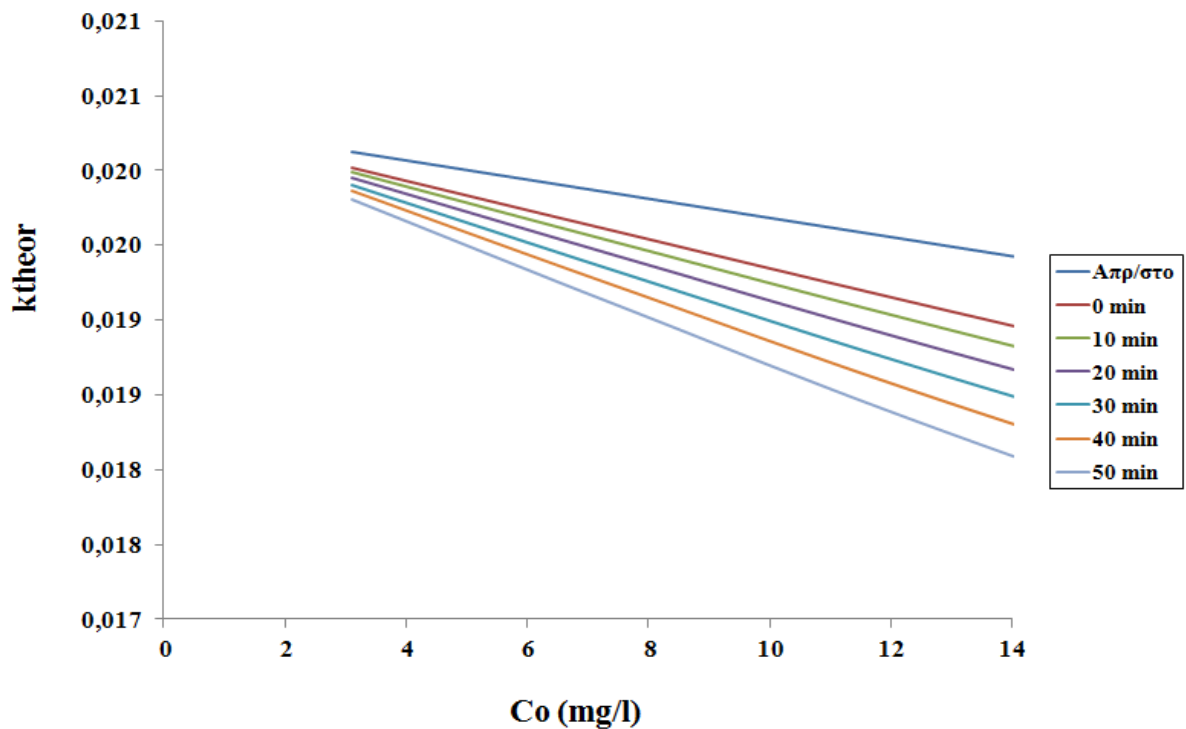
Co (mg/L)	t (min)	k
156	0	0,0103
78	0	0,0153
31	0	0,0183
14	0	0,0194
7,8	0	0,0198
3,1	0	0,0201
156	66	0,0078
78	66	0,0133
31	66	0,0174
14	66	0,0190
7,8	66	0,0196
3,1	66	0,0200
156	76	0,0078
78	76	0,0129
31	76	0,0171
14	76	0,0188
7,8	76	0,0195
3,1	76	0,0200
156	86	0,0080
78	86	0,0125
31	86	0,0168
14	86	0,0187
7,8	86	0,0194
3,1	86	0,0199

Co (mg/L)	t (min)	k
156	96	0,0084
78	96	0,0120
31	96	0,0165
14	96	0,0185
7,8	96	0,0193
3,1	96	0,0199
156	106	0,0088
78	106	0,0115
31	106	0,0161
14	106	0,0183
7,8	106	0,0192
3,1	106	0,0199
156	116	0,0094
78	116	0,0110
31	116	0,0157
14	116	0,0181
7,8	116	0,0191
3,1	116	0,0198

**Σχήμα 6.121:** Σταθερά ταχύτητας προσρόφησης  $k$  ( $\text{min}^{-1}$ ) σε άχυρο σιταριού αυτοϋδρόλυση στους  $200^\circ \text{C}$  για 0 έως 50 min συναρτήσει της αρχικής συγκέντρωσης του διαλύματος methylene blue. Οι θεωρητικές καμπύλες προέκυψαν με την βοήθεια της εξίσωσης (1)

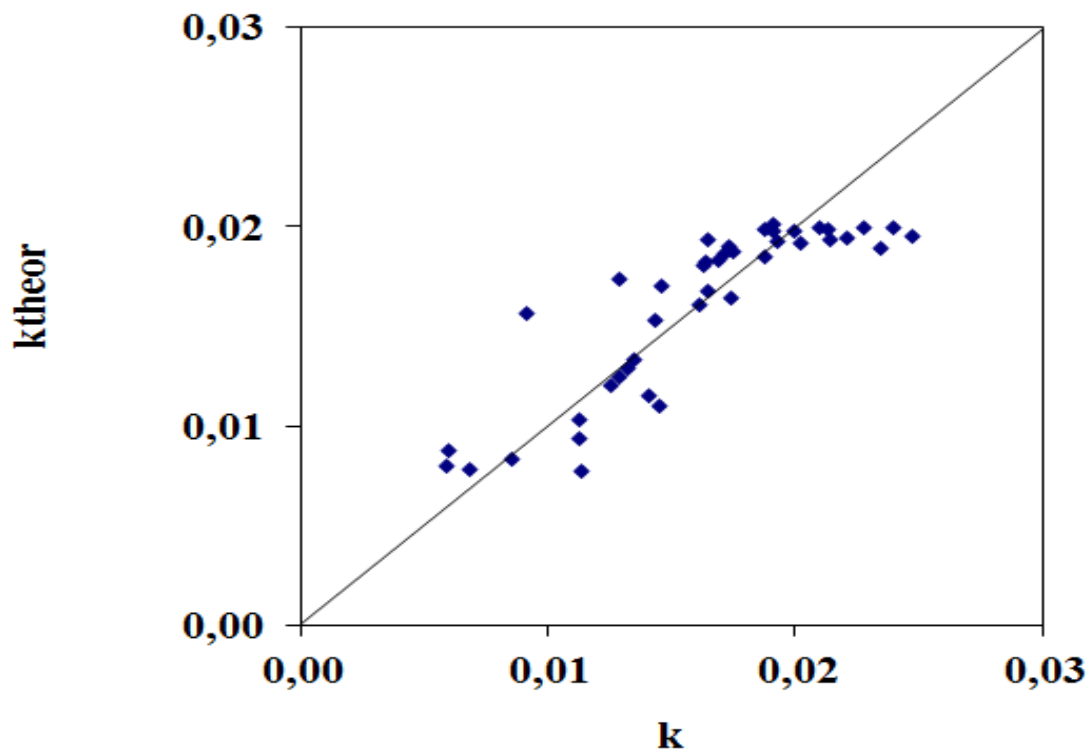


**Σχήμα 6.122:** Σταθερά ταχύτητας προσρόφησης  $k$  ( $\text{min}^{-1}$ ) σε άχυρο σιταριού αυτοϋδρόλυση στους  $200^\circ \text{C}$  για 0 έως 50 min συναρτήσει της αρχικής συγκέντρωσης του διαλύματος methylene blue από 0 έως 14 mg/l. Οι θεωρητικές καμπύλες προέκυψαν με την βοήθεια της εξίσωσης (1)





**Σχήμα 6.123:** Οι θεωρητικές τιμές της σταθεράς ταχύτητας προσρόφησης  $k$  ( $\text{min}^{-1}$ ) σε άχυρο σιταριού αυτοϋδρόλυση στους  $200^\circ \text{C}$  για 0 έως 50 min, συναρτήσει των πειραματικών τιμών της ίδιας παραμέτρου. Οι θεωρητικές τιμές υπολογίζονται βάση την εξίσωση (1).



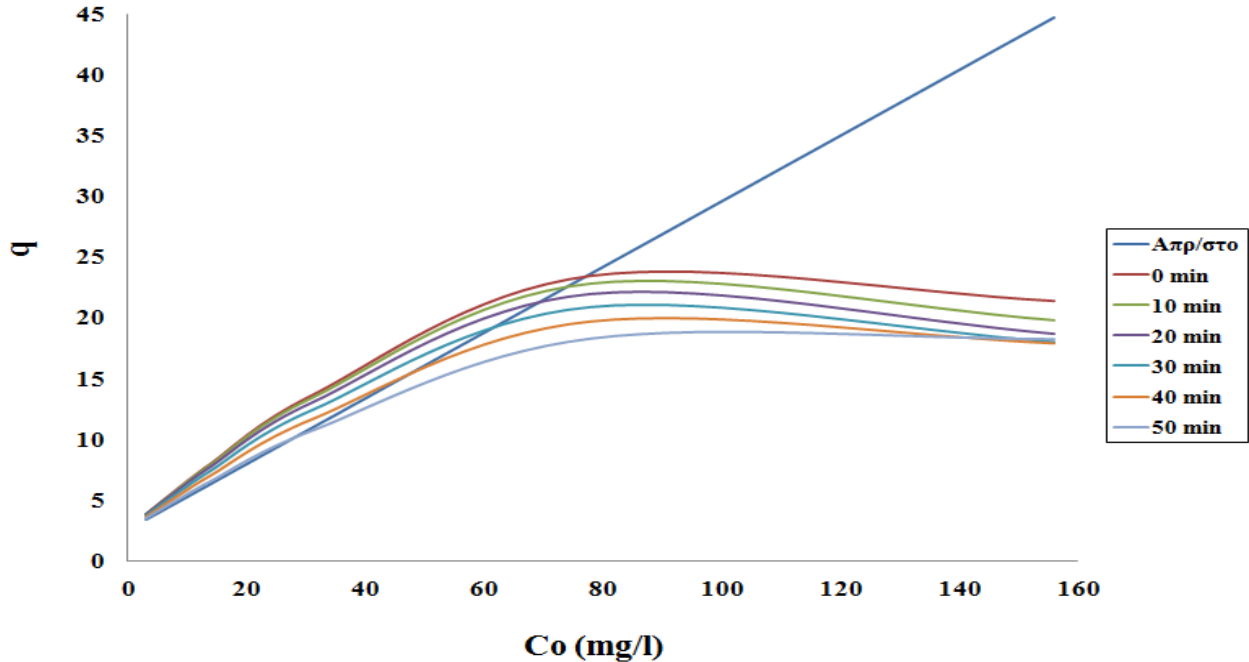
**Πίνακα 6.65:** Θεωρητικές τιμές του ποσοστού που προσροφάται ανά μονάδα προσροφητικού υλικού  $q_e$  ( $\text{mg/g}$ ) συναρτήσει της αρχικής συγκέντρωσης του διαλύματος methylene blue και του χρόνου προκατεργασίας του υλικού, αυτοϋδρόλυση σε  $200^\circ \text{C}$  για 0 έως 50 min . Οι τιμές αυτές προέκυψαν με την βοήθεια της εξίσωσης (4)

	$q_e$ ( $\text{mg/g}$ )
$a_{q,0}$	2,589504
$a_{q,1}$	0,004714
$a_{q,2}$	-5,2E-05
$a_{q,3}$	-3,8E-05
$a_{q,4}$	3,48E-07
$a_{q,5}$	0,269798

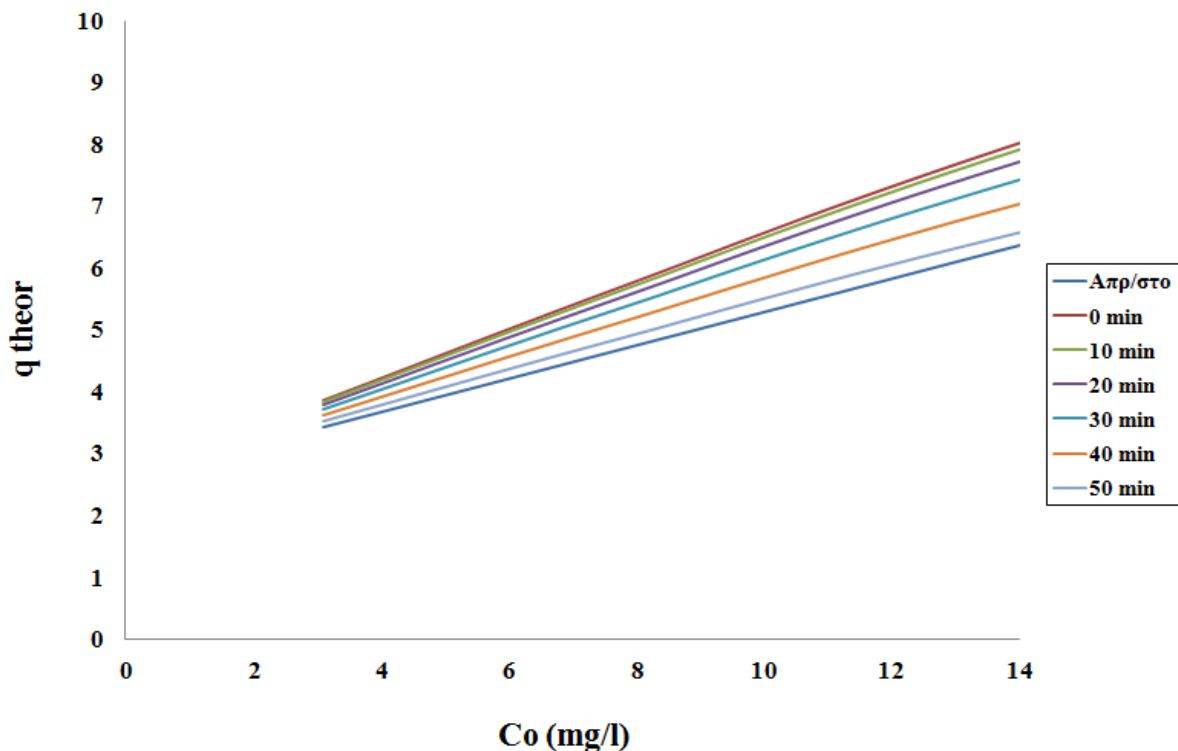
Co (mg/L)	t (min)	q <sub>e</sub>
156	0	44,6779
78	0	23,6337
31	0	10,9532
14	0	6,3667
7,8	0	4,6939
3,1	0	3,4259
156	66	21,3834
78	66	23,4524
31	66	13,6270
14	66	8,0227
7,8	66	5,7077
3,1	66	3,8563
156	76	19,7566
78	76	22,7680
31	76	13,3860
14	76	7,9189
7,8	76	5,6509
3,1	76	3,8340
156	86	18,6306
78	86	21,9108
31	86	12,9748
14	86	7,7217
7,8	86	5,5387
3,1	86	3,7887

Co (mg/L)	t (min)	q <sub>e</sub>
156	96	18,0052
78	96	20,8808
31	96	12,3936
14	96	7,4312
7,8	96	5,3711
3,1	96	3,7204
156	106	17,8806
78	106	19,6778
31	106	11,6424
14	106	7,0473
7,8	106	5,1482
3,1	106	3,6290
18,2566	18,2566	18,2566
18,3020	18,3020	18,3020
10,7211	10,7211	10,7211
6,5700	6,5700	6,5700
4,8699	4,8699	4,8699
3,5147	3,5147	3,5147

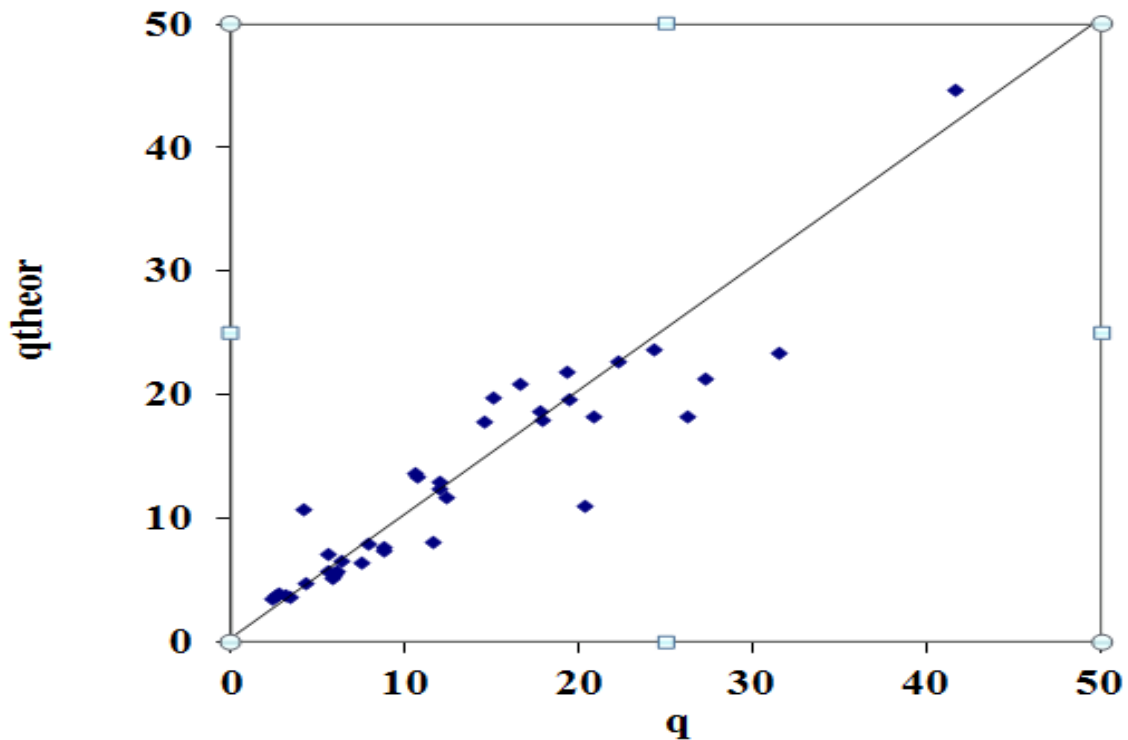
**Σχήμα 6.124:** Ποσότητα που προσροφάται ανά μονάδα προσροφητικού υλικού (άχυρο σιταριού αυτοϋδρόλυση στους 200° C για 0 έως 50 min)  $q_e$  (mg/g) συναρτήσει της αρχικής συγκέντρωσης του διαλύματος methylene blue. Οι θεωρητικές καμπύλες προέκυψαν με την βοήθεια της εξίσωσης (4)



**Σχήμα 6.125:** Ποσότητα που προσροφάται ανά μονάδα προσροφητικού υλικού (άχυρο σιταριού αυτοϋδρόλυση στους 200° C για 0 έως 50 min)  $q_e$  (mg/g) συναρτήσει της αρχικής συγκέντρωσης του διαλύματος methylene blue από 0 έως 14 mg/l. Οι θεωρητικές καμπύλες προέκυψαν με την βοήθεια της εξίσωσης (4)



**Σχήμα 6.126:** Οι θεωρητικές τιμές του ποσοστού που προσροφάται ανά μονάδα προσροφητικού υλικού (άχυρο σιταριού αυτοϋδρόλυση στους 200° C για 0 έως 50 min)  $q_e$  (mg/g), συναρτήσει των πειραματικών τιμών της ίδιας παραμέτρου. Οι θεωρητικές τιμές υπολογίζονται βάση την εξίσωση (4)



Από τα σχήματα συμπεραίνουμε ότι για την σταθερά ταχύτητας προσρόφησης  $k$  ( $\text{min}^{-1}$ ) κατά την προσρόφηση methylene blue σε άχυρο σιταριού, παρουσιάζονται τρία τοπικά βέλτιστα: **α)  $k=0,239 \text{ min}^{-1}$**  όταν έχουμε συγκέντρωση διαλύματος methylene blue 3,1 mg/L και το προσροφητικό μέσο ήτοι άχυρο σιταριού έχει υποστεί αυτοϋδρόλυση στους 160° C για χρονικό διάστημα ίσο με 0 min συν το χρόνο προθέρμανσης που ισούται με 44 min. **β)  $k=0,260 \text{ min}^{-1}$**  όταν έχουμε συγκέντρωση διαλύματος methylene blue 7,8 mg/L και το προσροφητικό μέσο ήτοι άχυρο σιταριού έχει υποστεί αυτοϋδρόλυση στους 180° C για χρονικό διάστημα ίσο με 50 min συν το χρόνο προθέρμανσης που ισούται με 47 min. **γ)  $k=0,247 \text{ min}^{-1}$**  όταν έχουμε συγκέντρωση διαλύματος methylene blue 7,8 mg/L και το προσροφητικό μέσο ήτοι άχυρο σιταριού έχει υποστεί αυτοϋδρόλυση στους 200° C για χρονικό διάστημα ίσο με 0 min συν το χρόνο προθέρμανσης που ισούται με 66 min.

Άρα όπως καθαρά προκύπτει έχουμε ολικό βέλτιστο  $k=0,260 \text{ min}^{-1}$  όταν έχουμε συγκέντρωση διαλύματος methylene blue 7,8 mg/L και το προσροφητικό μέσο ήτοι άχυρο σιταριού έχει υποστεί αυτοϋδρόλυση στους 180° C για χρονικό διάστημα ίσο με 50 min συν το χρόνο προθέρμανσης που ισούται με 47 min.

Αντιστοίχως για το  $q$  (mg/g), η ποσότητα που προσροφάται ανά μονάδα προσροφητικού υλικού, από τα σχήματα συμπεραίνουμε ότι κατά την προσρόφηση methylene blue σε άχυρο σιταριού, παρουσιάζονται τρία τοπικά βέλτιστα: **α)  $q = 50,13 \text{ mg/g}$**  όταν έχουμε συγκέντρωση διαλύματος methylene blue 156 mg/L και το προσροφητικό μέσο ήτοι άχυρο σιταριού έχει υποστεί αυτοϋδρόλυση στους 160° C για χρονικό διάστημα ίσο με 20 min συν το χρόνο προθέρμανσης που ισούται με 44 min. **β)  $q = 35,57 \text{ mg/g}$**  όταν έχουμε συγκέντρωση διαλύματος methylene blue 156 mg/L και το προσροφητικό μέσο ήτοι άχυρο σιταριού έχει υποστεί αυτοϋδρόλυση στους 180° C για χρονικό διάστημα ίσο με 40 min συν το χρόνο προθέρμανσης που ισούται με 47 min. **γ)  $q = 31,48 \text{ mg/g}$**  όταν έχουμε συγκέντρωση διαλύματος methylene blue 78 mg/L και το προσροφητικό μέσο ήτοι άχυρο σιταριού έχει υποστεί αυτοϋδρόλυση στους 200° C για χρονικό διάστημα ίσο με 0 min συν το χρόνο προθέρμανσης που ισούται με 66 min.

Άρα όπως καθαρά προκύπτει έχουμε ολικό βέλτιστο  **$q = 50,13 \text{ mg/g}$**  όταν έχουμε συγκέντρωση διαλύματος methylene blue 156 mg/L και το προσροφητικό μέσο ήτοι άχυρο σιταριού έχει υποστεί αυτοϋδρόλυση στους 160° C για χρονικό διάστημα ίσο με 20 min συν το χρόνο προθέρμανσης που ισούται με 44 min.

## 7. Συμπεράσματα και προτάσεις για μελλοντική έρευνα

### 7.1. Συμπεράσματα

Στην παρούσα εργασία καταρχάς μελετήθηκαν η μεταβολή της προσρόφησης του methylene blue **α)** ως προς την αρχική συγκέντρωση διαλύματος methylene blue C<sub>0</sub> 156, 78, 31, 14, 7,8 και 3,1 mg/L σε σταθερές συνθήκες (pH=8, T=23<sup>0</sup> C), **β)** ως προς την θερμοκρασία αυτοϋδρόλυσης και την χρονική διάρκεια προκατεργασίας του προσροφητικού μέσου ήτοι άχυρο σιταριού – αυτοϋδρόλυση στις θερμοκρασίες 160<sup>0</sup> C, 180<sup>0</sup> C και 200<sup>0</sup> C για χρονικά διαστήματα από 0 έως 50 min, με αντίστοιχους χρόνιους προθέρμανσης 44, 47 και 66 min). Το άχυρο σιταριού έχει σημαντική προσροφητική ικανότητα και είναι αποτελεσματικό για την απομάκρυνση χρωστικών ουσιών (του διαλύματος methylene blue) από υγρά βιομηχανικά - κλωστοϋφαντουργικά απόβλητα.

Η ποσότητα που προσροφάται ανά μονάδα προσροφητικού υλικού από απροκατέργαστο άχυρο σιταριού βρέθηκε να αυξάνεται αυξανόμενης της αρχικής συγκέντρωσης του διαλύματος methylene blue. Η σταθερά ταχύτητας  $k$  (min<sup>-1</sup>) βρέθηκε να μειώνεται αυξανόμενης της αρχικής συγκέντρωσης του διαλύματος methylene blue, αυτό μπορεί να αποδοθεί και στο φαινόμενο του bottleneck / μπουτιλιάρισμα, γνωρίζουμε όμως ότι η  $k$  δεν εξαρτάται από την αρχική συγκέντρωση του διαλύματος.

Μελετήθηκε η επίδραση των συνθηκών προκατεργασίας του άχυρου σιταριού με αυτοϋδρόλυση σε τρεις διαφορετικές θερμοκρασίες και σε έξι διαφορετικούς χρόνους, προκειμένου να βελτιωθεί η προσροφητική ικανότητά του. Πραγματοποιήθηκε σύγκριση των τιμών των παραμέτρων  $k$  και  $q$  της κινητικής εξίσωσης Langergen που προσδιορίστηκαν για προκατεργασμένο υλικό (σε συνθήκες που καλύπτουν ευρεία περιοχή τιμών των παραμέτρων ελέγχου της διεργασίας), με τις τιμές των παραμέτρων  $k$  και  $q$  του απροκατέργαστου υλικού.

Στην εκτίμηση των τιμών των παραμέτρων με γραμμική παλινδρόμηση παρατηρείται αύξηση της σταθεράς  $k$  της κινητικής εξίσωσης Langergen, ως προς την τιμή της σταθεράς  $k$  του απροκατέργαστου υλικού, αυξανόμενου (α) του χρόνου προκατεργασίας και (β) αυξανόμενης της θερμοκρασίας της αυτοϋδρόλυσης που χρησιμοποιείται για την προκατεργασία του άχυρου. Ομοίως, και το ποσοστό που προσροφάται, όχι όμως με μια αναλογική σχέση. Συνεπώς, η αυτοϋδρόλυση ως προκατεργασία του άχυρου σιταριού αυξάνει τις προσροφητικές ικανότητες του υλικού, όχι όμως ανάλογα της αύξησης του

χρόνου και της θερμοκρασίας επεξεργασίας αποδεικνύοντας ότι ισχύει ο Νόμος της φθίνουσας διαφορικής ή οριακής απόδοσης, ο οποίος έχει ευρύτερη αποδοχή στην Οικονομική θεωρία και πρακτική (Law of Diminishing Returns)

Στην εκτίμηση των τιμών των παραμέτρων με μη γραμμική παλινδρόμηση παρατηρείται μείωση της σταθεράς  $k$  της κινητικής εξίσωσης Langergen , ως προς την τιμή της σταθεράς  $k$  του αποκατέργαστου υλικού, αυξανόμενου (α) του χρόνου προκατεργασίας και (β) αυξανόμενης της θερμοκρασίας της αυτοϋδρόλυσης που χρησιμοποιείται για την προκατεργασία του άχυρου. Ομοίως, και η ποσότητα που προσροφάται, όχι όμως με μια αναλογική σχέση. Συνεπώς, η αυτοϋδρόλυση ως προκατεργασία του άχυρου σιταριού αυξάνει τις προσροφητικές ικανότητες του υλικού, όχι όμως ανάλογα της αύξησης του χρόνου και της θερμοκρασίας επεξεργασίας αποδεικνύοντας ότι ισχύει ο Νόμος της φθίνουσας διαφορικής ή οριακής απόδοσης, ο οποίος έχει ευρύτερη αποδοχή στην Οικονομική θεωρία και πρακτική (Law of Diminishing Returns).

## 7.2. Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Τα αποτελέσματα της παρούσας διπλωματικής εργασίας αναφορικά με την συμπεριφορά τροποποιημένης λιγνοκυτταρινούχου βιομάζας ως προσροφητικό υλικό, αποτελούν το έναυσμα για να συνεχιστεί η έρευνα, σχετικά με την απομάκρυνση των χρωστικών ουσιών από βιομηχανικά – κλωστοϋφαντουργικά υγρά απόβλητα.

Οι προτάσεις για μελλοντική έρευνα αφορούν την ολοκλήρωση της μελέτης της συμπεριφορά τροποποιημένης λιγνοκυτταρινούχας βιομάζας ως προσροφητικό υλικό

- (α) σε μεγαλύτερο εύρος θερμοκρασιών, ώστε να κατανοηθεί σε βάθος η συμπεριφορά της και
- (β) της ταυτόχρονης απομάκρυνσης των χρωστικών ουσιών με άλλους ρύπους που συναντώνται στο ίδιο βιομηχανικό απόβλητο (πχ. κυανιούχα απόβλητα) στα πλαίσια ενός πιο ολοκληρωμένου συστήματος επεξεργασίας των υγρών βιομηχανικών αποβλήτων.

Η ολοκλήρωση αυτών των μελετών θα έχει ως αποτέλεσμα να γνωρίζουμε σε βάθος την συμπεριφορά της τροποποιημένης λιγνοκυτταρινούχας βιομάζας ώστε να έχουμε την δυνατότητα απομάκρυνσης επικίνδυνων / τοξικών ρύπων, ικανών να επιτυγχάνουν την ασφαλή, αποτελεσματική και πιο οικονομική απομάκρυνση των βιομηχανικών ρύπων από το περιβάλλον.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

### (Ελληνόγλωσση Βιβλιογραφία )

1. Βαλκανάς Γ.Ν (1972), «Βιομηχανική ρύπανση», Επιστημονικές εκδόσεις Παπαζήση ΑΕΒΕ, Αθήνα
2. Βασιλικιώτης Γ., (1986) «Μέθοδοι ελέγχου ρυπάνσεως περιβάλλοντος» Θεσσαλονίκη
3. Δεληγιάννης Α.Θ., (2009), «Βιολογική επεξεργασία λυμάτων», University Studio Press, Θεσσαλονίκη
4. Δερμίσση - Λεπτίδου Ν., (1996), «Τεχνολογία επεξεργασίας και διάθεσης ιλύος» Συλλογή εντύπων κατά τις παραδόσεις Τεχνικής Περιβάλλοντος του ΣΤ΄ εξαμήνου, Χημικών Μηχανικών, Αθήνα
5. Εθνική Στατιστική Υπηρεσία Ελλάδος  
<http://www.statistics.gr/portal/page/portal/ESYE/PAGE-database>
6. Κουτινιάς Α.Α (1988), «Ρύπανση περιβάλλοντος ΙΙ» Πανεπιστήμιο Πατρών
7. Κουϊμτζή Θ., Κ. Φυτιάνου, Κ. Σαμαρά-Κωνσταντίνου, (1998), «Χημεία Περιβάλλοντος», University Studio Press, Θεσσαλονίκη
8. Μανουσάκη Γ. Ε., (1980), Γενική Χημεία Βιολογικών Επιστημών, Εκδοτικός Οίκος Κυριακίδη, Αθήνα
9. Μαρκαντωνάτος Γ., (1990) «Επεξεργασία και διάθεση υγρών αποβλήτων» Εκδόσεις Γαρταγάνης, Αθήνα
10. Μαρκαντωνάτος Γ., (1994), «Στοιχεία Υγιεινής Περιβάλλοντος και Υγειονομικής Μηχανικής», Ε΄ Ανατύπωση, Εκδόσεις Γαρταγάνης, Αθήνα
11. Μήτρακας Μ., (2001), «Ποιοτικά χαρακτηριστικά και επεξεργασία νερού», ISBN 960-8050-46-4, Εκδόσεις Τζιόλα, Αθήνα
12. Νταρακάς Ε (2010), «Διεργασίες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων»
13. Οδηγία 2000/60/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 23/10/2000 για τη θέσπιση πλαισίου κοινοτικής δράσης στον τομέα της πολιτικής των υδάτων (L 327 EL 22.12.2000)
14. Οδηγία 91/271/ΕΟΚ του Συμβουλίου της 21/5/91 για την επεξεργασία των αστικών λυμάτων
15. Οδηγία 86/278/ΕΟΚ του Συμβουλίου της 12/6/86 σχετικά με την προστασία του περιβάλλοντος και ιδίως του εδάφους κατά τη χρησιμοποίηση της ιλύος καθαρισμού λυμάτων στη γεωργία
16. Οδηγία 96/61/ΕΚ του Συμβουλίου της 24/9/96 για την ολοκληρωμένη πρόληψη και τον περιορισμό της ρύπανσης (Integrated Prevention Pollution Control), IPPC
17. Τσώνης Σ., (2004), «Επεξεργασία λυμάτων», ISBN 960-7530-51-9, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα
18. ΦΕΚ 53 τεύχος Β΄, 20/02/1986 «Ποιότητα του πόσιμου νερού σε συμμόρφωση προς την 80/778 οδηγία του Συμβουλίου των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων»
19. Χατζηαγγέλου Α, Η Χατζηαγγέλου, (1996), «Στοιχεία βιοχημείας –βιοτεχνολογίας περιβάλλοντος για μηχανικούς» Συλλογή εντύπων κατά τις παραδόσεις Τεχνικής Περιβάλλοντος του ΣΤ΄ εξαμήνου, ΑΠΘ , Θεσσαλονίκη
20. Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης <http://www.minagric.gr/index.php/el/for-farmer-2/crop-production/57-dimitriaka/946-statistikadimitriakon>



### (Ξερόγλωσση Βιβλιογραφία )

21. Aygün A, S Yenisoy-Karakaş, I Duman (2003), Production of granular activated carbon from fruit stones and nutshells and evaluation of their physical, chemical and adsorption properties, *Microporous and Mesoporous Materials*, **66** (2–3) 189-195
22. Ahmad F., Daud W.M.A.W, Ahmad M.A., *Chem. Eng. Res. Des.* (2013) in press.
23. APHA (American Public Health Association) – AWWA (American Water Works Association) – WEF (Water Environment Federation), *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 20th Edition, 1998
24. Annadurai G, R Juang, D Lee (2002), Use of cellulose-based wastes for adsorption of dyes from aqueous solutions, *Journal of Hazardous Materials*, **92** (3) 263-274
25. Aksu Z (2001), Biosorption of reactive dyes by dried activated sludge: equilibrium and kinetic modeling, *Biochemical Engineering Journal*, **7** (1) 79-84
26. Batzias F., Sidoras D., Schroeder E., Weber C., *Chem. Eng. J.* 148:459–472 (2009).
27. Batzias F.A., D.K. Sidoras (2006), Dye adsorption by prehydrolysed beech sawdust in batch and fixed-bed systems, *Bioresource Technology*, **98** (6) 1208-1217
28. Beluza Y.M., V.A. Zhorin, V.V. Ivanov, V.A. Bykov, Y.V. Epshtein, N.S. Yenikolopyan (1986), Effect of pressure on hydrolyzability of various cellulose samples, *Polymer Science U.S.S.R.*, **29** (1) 153-158
29. Calace N, E Nardi, B.M Petronio, M Pietroletti (2002), Adsorption of phenols by papermill sludges, *Environmental Pollution*, **118** (3) 315-31
30. Chen, L., Ramadan, A., Lv, L., Shao, W., Luo, F., Chen, J., *J. Chem. Eng. Data* 56:3392–3399 (2011).
31. Chern J.M, Ch.Y. Wu (2001), Desorption of dye from activated carbon beds: effects of temperature, pH, and alcohol, *Water Research*, **35** (17) 4159-4165
32. Deng, H., Lu, J., Li, G., Zhang, G., Wang, X., *Chem. Eng. J.* 172:326–334 (2011).
33. Dubinin M., Radushkevich L., *Chem. Zentr.* 1:875-890 (1947).
34. El-Sayed, G.O., *Desalination* 272:225–232 (2011).
35. Freundlich HMF Über die adsorption in lösungen, *Zeitschrift für Physikalische Chemie.* 57:385-471 (1906).
36. Ghaedi M., Heidarpour Sh., Kokhdan S.N, Sahrai R., Daneshfar A., Brazesh B., *Powder Technology* 228:8-25 (2012).
37. Hameed B.H, A.L Ahmad, K.N.A Latiff (2006), Adsorption of basic dye (methylene blue) onto activated carbon prepared from rattan sawdust, *Dyes and Pigments*, **75** (1) 143-149
38. Hägg G, A.O Kemi, (1973), ISBN 91- 20-03706-6, Almquist & Wiksell Informationsindustri AB
39. Hanner M.J (1991), «Water and Waste–Water Technology», John Wiley and Sons
40. Hamdaoui O (2005), Batch study of liquid-phase adsorption of methylene blue using cedar sawdust and crushed brick, *Journal of Hazardous Materials*, 135 (1–3) 264-273
41. Ho Y.S., McKay G., *Process Biochemical*, 34: 451–465 (1999).
42. Kannan N, MM Sundaram (2001), Kinetics and mechanism of removal of methylene blue by adsorption on various carbons - a comparative study. *Dyes and Pigments* 51 (1) 25-40
43. Lagergren S. Zur theorie der sogenannten adsorption gelöster stoffe. *Kungliga Svenska Vetenskapsakademiens Handlingar* 24:1-39 (1898).
44. Langmuir I. *J Am Chem Soc* 38:2221-2295 (1916).
45. Lee J.M, J Shi, R.A Venditti, H Jameel (2009), Autohydrolysis pretreatment of Coastal Bermuda grass for increased enzyme hydrolysis, *Bioresource Technology*, **100** (24) 6434-6441

46. Lehninger A.L, (1978), Biochemistry 2nd Edition, ISBN 0-87901-047-9, Worth Publishers, Inc.
47. Malekbala, M.R., Hosseini, S., Yazdi, S.K., Soltani, S.M., Malekbala, M. R., Chem. Eng. Res. Des. 90:704–712 (2012).
48. Merck E, «The testing of water», Darmstadt, Germany, (22/II, 23/2205/10/1276R)
49. Metcalf & Eddy, Inc., (2004), “Wastewater Engineering treatment and reuse”, 4<sup>th</sup> έκδοση, ISBN 007-124140-X, Εκδόσεις McGrawHill, Singapore
50. Moussavi G., Khosravi R., Chem. Eng. Res. Des. 89:2182-2189 (2011).
51. Nabarlantz D., Ebringerová A., Montané D., Carbohydr Polym. 69:20-28 (2007).
52. Namasivayam C, M.D Kumar, K Selvi, R.A Begum, T Vanathi, R.T Yamuna (2001), ‘Waste’ coir pith—a potential biomass for the treatment of dyeing wastewaters, Biomass and Bioenergy, **21** (6) 477-483
53. Pekuz H, I Uzun, F Guzel (2007), Kinetics and thermodynamics of the adsorption of some dyestuffs from aqueous solution by poplar sawdust, Bioresource Technology, **99** (6) 2009-2017
54. Politi D, D Sidiras I Safarik, (2013), Efficient removal of methylene blue from aqueous solutions using autohydrolyzed spruce sawdust as adsorbent, 9<sup>o</sup> ΠΕΣΧΜ: Η Συμβολή της Χημικής Μηχανικής στην Αειφόρο Ανάπτυξη
55. Quinones I, G Guiochon (1998), Extension of a Jovanovic–Freundlich isotherm model to multicomponent adsorption on heterogeneous surfaces, Journal of Chromatography A, **796** (1) 15-40
56. Rafatullah M., Sulaiman O., Hashim R., Ahmad A., Journal of Hazardous Materials 177:70-80 (2010).
57. Radke C.J., Prausnitz J.M., Ind. Eng. Chem. Fundam. 11:445-451 (1972).
58. Robinson T, B Chandran, P Nigam (2002), Effect of pretreatments of three waste residues, wheat straw, corncobs and barley husks on dye adsorption, Bioresource Technology, **85** (2) 119-124
59. Sidiras D (2010), Simulation and Optimisation of Wheat Straw Autohydrolysis to Fermentable Sugars for Bio-ethanol Production, Proc. 18<sup>th</sup> European Biomass Conference, Lyon, France, 1851-1854.
60. Sidiras D, E.G. Koukios (1989), Acid saccharification of ball-milled straw, Biomass, **19** (4) 289-306
61. Sidiras D, F Batzias, E. Schroeder, R. Ranjan, M. Tsapatsis (2011), Dye adsorption on autohydrolyzed pine sawdust in batch and fixed-bed systems, Chemical Engineering Journal, **171** (3) 883-896
62. Sips R. J. Chem. Phys. 16:490-495 (1948).
63. Temkin M.J., Pyzhev V. Acta Physicochim, URSS 12:217–222 (1940).
64. Tonghao L., Yanhui L., Qiuju D., Jiankum S., Yuqin J., Guangming Y., Zonghua W., Yanzhi X., Wei Z., Kunlin W., Hongwei Z., Dehai W., Colloids and Surfaces B: Biointerfaces 90:197-203 (2012).
65. Toth J., J. Colloid Interface Sci. 225:378-383 (2000).
66. Uzun I, F Guzel (2004), Kinetics and thermodynamics of the adsorption of some dyestuffs and *p*-nitrophenol by chitosan and MCM-chitosan from aqueous solution, Journal of Colloid and Interface Science, **274** (2) 398-412
67. Wang L., Huang Z., Zhang M., Chai B., Chem. Eng. J. 189-190:168-174 (2012).
68. www.epa.gov/ (U.S. Environmental Protection Agency)