

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ**

**Βιομηχανικής Διοίκησης και Τεχνολογίας**

**Ειδίκευση: Διαχείριση Ενέργειας και Περιβάλλοντος**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΣΥΜΒΟΛΗ ΣΤΗΝ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΑΠΟΡΡΙΠΤΟΜΕΝΩΝ  
ΛΙΓΝΟΚΥΤΤΑΡΙΝΟΥΧΩΝ ΥΛΙΚΩΝ**

**ΔΕΣΠΟΙΝΑ ΚΑΡΑΖΙΑΚΟΥ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ:**

**ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ κ. Δ. ΣΙΔΗΡΑΣ**

**ΙΟΥΛΙΟΣ 2015**

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Πρόλογος .....	σελ 3
Εισαγωγή .....	σελ 4
1. Κεφάλαιο 1 <sup>ο</sup> - Μακροοικονομία της Βιομάζας .....	σελ 5
1.1 Μακροοικονομία της Βιομάζας σε Ελληνικό και Ευρωπαϊκό Επίπεδο .....	σελ 5
1.2 Αξιολόγηση των μακροοικονομικών επιπτώσεων της βιομάζας .....	σελ 9
1.2.1 Σύγκριση συμβατικού- βιο-βασιζόμενου κόστους παραγωγής .....	σελ 9
1.2.2 Συνολική αξία της παραγωγής και της συνολικής επίδρασης του ΑΕΠ .....	σελ 10
1.2.3 Τιμές .....	σελ 11
1.2.4 Εργασία .....	σελ 12
1.2.5 Παραγωγή .....	σελ 14
1.2.6 Κατανάλωση .....	σελ 15
1.2.7 Εμπόριο .....	σελ 16
2. Κεφάλαιο 2 <sup>ο</sup> - Λήψη αποφάσεων αξιοποίησης βιομάζας.....	σελ 18
3. Κεφάλαιο 3 <sup>ο</sup> - Μετατροπή βιομάζας για μη ενεργειακές χρήσεις .....	σελ 27
3.1 Παραγωγή εδαφοβελτιωτικών.....	σελ 28
3.2 Παραγωγή κατασκευαστικών υλικών.....	σελ 31
3.2.1 Τρέχουσα τεχνολογία .....	σελ 35
3.3 Παραγωγή υλικών συσκευασίας .....	σελ 39
3.3.1 Πολυμερή από φυσικά υλικά .....	σελ 41
3.3.2 Πολυμερή από ανανεώσιμα βιο-προερχόμενα πολυμερή .....	σελ 46
3.3.3 Πολυμερή από μικροοργανισμούς ή γενετικά μετασχηματισμένα βακτήρια .....	σελ 46
3.4 Παραγωγή προσροφητικών μέσων .....	σελ 47
4. Κεφάλαιο 4 <sup>ο</sup> – Κινητικές εξισώσεις προσρόφησης .....	σελ 53
5. Κεφάλαιο 5 <sup>ο</sup> – Πειραματική διαδικασία.....	σελ 55
5.1 Υλικό- Τροποποίηση.....	σελ 55
5.2 Κινητική προσρόφηση .....	σελ 58
6. Κεφάλαιο 6 <sup>ο</sup> - Πειραματικά αποτελέσματα – Συζήτηση .....	σελ 60
Συμπεράσματα .....	σελ 102
Βιβλιογραφία .....	σελ 103

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία, αποτελεί συμβολή στην έρευνα για την αξιοποίηση της απορριπτόμενης λιγνοκυτταρινούχας βιομάζας στα πλαίσια των μεταπτυχιακών μου σπουδών στον τομέα της Διαχείρισης Ενέργειας και Περιβάλλοντος του τμήματος Βιομηχανικής Διοίκησης και Τεχνολογίας.

Αντικείμενο της εργασίας αποτελεί η εξέταση της βιομάζας για μη ενεργειακή χρήση καθώς επίσης η επίδρασή της στην οικονομία όπως αυτή έχει διαμορφωθεί τα τελευταία χρόνια. Η πειραματική διαδικασία πραγματοποιήθηκε στο εργαστήριο προσομοίωσης Βιομηχανικών Διεργασιών του Πανεπιστημίου Πειραιά και αφορά την χρήση βιομάζας για την απομάκρυνση χρωστικής ουσίας με τη μέθοδο της κινητικής προσρόφησης.

Σε αυτό το σημείο θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Δημήτρη Σιδηρά για την επίβλεψη, την άριστη συνεργασία και την πολύτιμη βοήθεια του κατά τη διάρκεια εκπόνηση της εργασίας. Ιδιαίτερες ευχαριστίες θα ήθελα να απευθύνω στον Ομότιμο Καθηγητή κ. Φραγκίσκο Μπατζιά για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε καθώς και την καθοδήγηση του σε σημαντικά σημεία της εργασίας. Επίσης, θα ήταν παράληψη μου να μην ευχαριστήσω τα μέλη του εργαστηρίου, τα οποία μου προσέφεραν βοήθεια σε αρκετές περιπτώσεις.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τους γονείς μου, οι οποίοι ήταν δίπλα μου και με στήριζαν καθ' όλη τη διάρκεια της φοίτησης μου στο μεταπτυχιακό.

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα περιβαλλοντικά προβλήματα που έχουν δημιουργηθεί από την χρήση των συμβατικών μορφών ενέργειας, έχουν κάνει επιτακτική τη χρήση των ΑΠΕ. Μία τέτοια ανανεώσιμη πηγή είναι η βιομάζα, της οποίας η χρήση αυξάνεται ολοένα και περισσότερο τα τελευταία χρόνια σε παγκόσμιο επίπεδο και μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε για ενεργειακές, είτε για μη ενεργειακές χρήσεις.

Στην παρούσα διπλωματική εξετάζεται και αξιολογείται η χρήση των απορριπτόμενων λιγνοκυτταρινούχων υλικών. Με τον όρο απορριπτόμενα λιγνοκυτταρινούχα υλικά αναφερόμαστε σε όλες τις υπολειμματικές μορφές βιομάζας όπως είναι τα υπολείμματα γεωργικών καλλιεργειών, τα υπολείμματα επεξεργασίας γεωργικών προϊόντων, καθώς επίσης και τη βιομάζα δασικής προέλευσης. Η απορριπτόμενη λιγνοκυτταρινούχα βιομάζα για μη ενεργειακή χρήση, πέρα από την παραγωγή της για διάφορα υλικά (όπως εδαφοβελτιωτικά, κατασκευαστικά υλικά, υλικά συσκευασίας κ.α.) χρησιμοποιείται στη βιομηχανία και ως ένα αξιόλογο προσροφητικό μέσο. Το άχυρο σιταριού ως ένα προσροφητικό μέσο, θα χρησιμοποιηθεί επεξεργασμένο και μη στη μέθοδο κινητικής προσρόφησης για την απομάκρυνση της χρωστικής ουσία Methylene Blue (MB).

Στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η μακροοικονομία της βιομάζας σε Ελληνικό και Ευρωπαϊκό επίπεδο από το παρελθόν έως σήμερα, καθώς επίσης και η αξιολόγηση των μακροοικονομικών επιπτώσεων της βιομάζας στην ΕΕ, με χρονικό ορίζοντα το έτος 2030. Στο δεύτερο κεφάλαιο μετά από μια τεχνοοικονομική ανάλυση παρουσιάζονται οι οικονομίες κλίμακας για τέσσερις εναλλακτικές τεχνολογίες μετατροπής της βιομάζας, με σκοπό την λήψη αποφάσεων για την αξιοποίηση της. Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται περιγραφή της παραγωγής υλικών από βιομάζα για μη ενεργειακή χρήση. Στο τέταρτο και πέμπτο κεφάλαιο παρατίθενται οι κινητικές εξισώσεις προσρόφησης και η πειραματική διαδικασία αντίστοιχα, η οποία συμπεριλαμβάνει το υλικό που χρησιμοποιείται και την τροποποίηση του καθώς επίσης και την κινητική προσρόφησης. Ακολουθεί το έκτο κεφάλαιο όπου παρουσιάζονται τα πειραματικά αποτελέσματα και πραγματοποιείται μια συζήτηση επί αυτών. Τέλος η διπλωματική ολοκληρώνεται με τα συμπεράσματα και τα αντικείμενα προς συζήτηση.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup> – ΜΑΚΡΟΟΙΚΟΝΟΜΙΑ ΤΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ

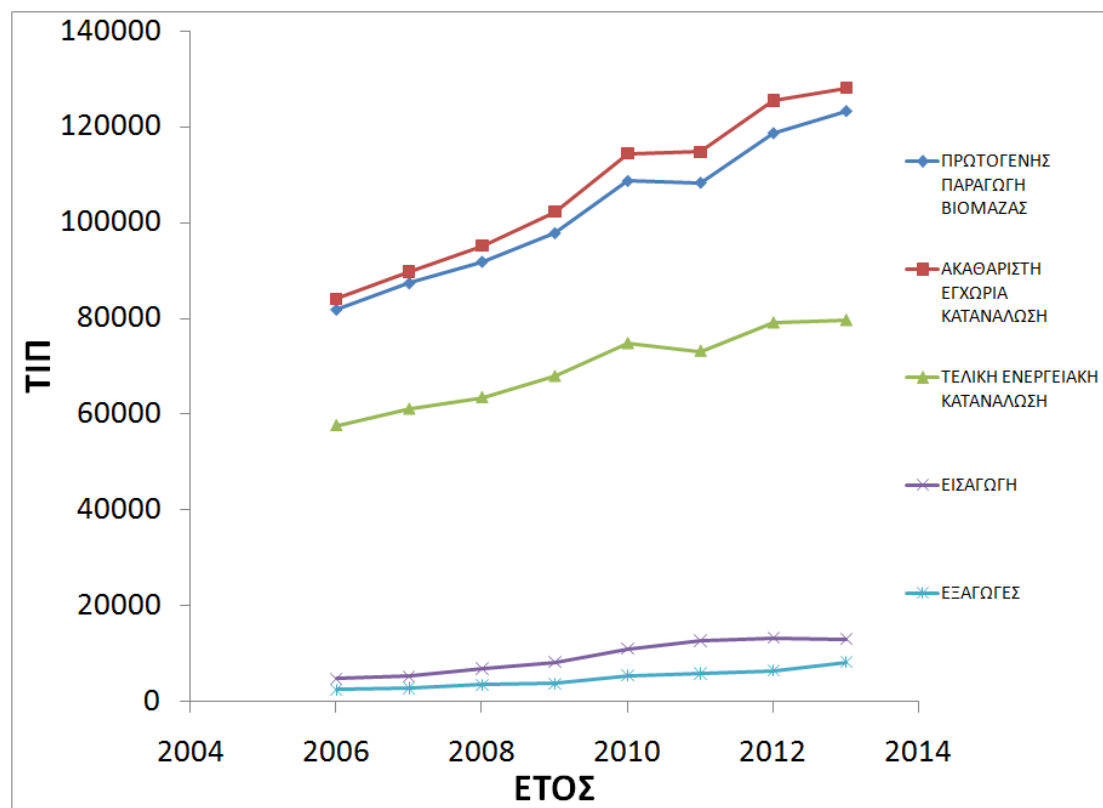
Οι προσπάθειες μετριασμού της κλιματικής αλλαγής, το κόστος των ορυκτών καυσίμων και οι ανησυχίες για την ενεργειακή ασφάλεια έχουν φέρει τις πηγές βιοενέργειας στο επίκεντρο της παγκόσμιας ενεργειακής συζήτησης. Ως εκ τούτου, πολλές χώρες έχουν θέσει στόχους για αύξηση του μεριδίου των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Οι χώρες της ΕΕ οφείλουν να παράγουν το 20% της ενέργειάς τους έως το 2020 από ανανεώσιμες πηγές και αναμένεται ότι ένα μεγάλο μέρος θα προέλθει από τη δασική βιομάζα. Η οδηγία για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (RED) προωθεί τη χρήση της δασικής βιομάζας για ενεργειακούς σκοπούς, αλλά και την επίτευξη των στόχων της ΕΕ που τους αναλογούν για το 2020 καθώς επίσης ζητάει να ληφθούν περισσότερα μέτρα και στρατηγικές που ενισχύουν την αποτελεσματικότητα και την αποδοτικότητα του ανεφοδιασμού πρώτης ύλης από βιομάζα. (Meyer, 2011)

### 1.1 Μακροοικονομία της Βιομάζας σε Ελληνικό και Ευρωπαϊκό Επίπεδο

Όλη αυτή η νέα πολιτική εισχώρησης των ΑΠΕ στο ενεργειακό μίγμα, άλλαξε τα μακροοικονομικά δεδομένα που αφορούν τη βιομάζα. Ακολουθούν οι πίνακες 1.1 και 1.2 που αφορούν την πρωτογενή παραγωγή, την ακαθάριστη εγχώρια κατανάλωση, την τελική ενεργειακή κατανάλωση, τις εισαγωγές και εξαγωγές βιομάζας σε ΤΠΠ (Τόνοι Ισοδύναμου Πετρελαίου) σε Ευρωπαϊκό και Ελληνικό επίπεδο αντίστοιχα.

Πίνακας 1.1: Δεδομένα βιομάζας για την Ευρωπαϊκή Ένωση (ΤΠΠ) (eurostat:  
<http://ec.europa.eu/eurostat>)

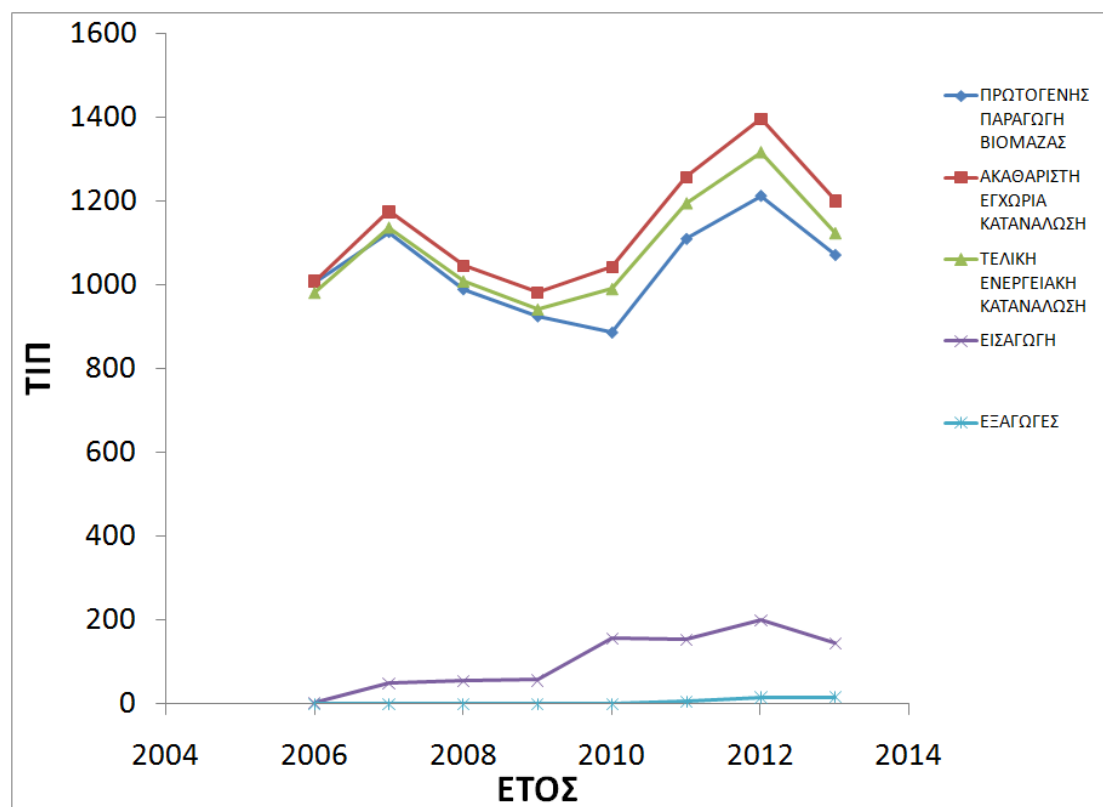
		ΕΥΡΩΠΑΙΚΗ ΕΝΩΣΗ						
ΕΤΟΣ	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
<b>ΠΡΩΤΟΓΕΝΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΙΟΜΑΖΑΣ</b>	81.883,5	87.405,1	91.886,7	97.854,6	108.749,3	108.376,5	118.719	123.316,5
<b>ΑΚΑΘΑΡΙΣΤΗ ΕΓΧΩΡΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ</b>	84.110,5	89.746,6	95.162,1	102.252,8	114.411,8	114.811,7	125.477,5	128.116,6
<b>ΤΕΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ</b>	57.618,4	61.065,6	63.538,3	67.948,7	74.874,7	73.252,7	79.208,5	79.737,5
<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b>	4.810	5.266,3	6.838,3	8.193,6	10.979	12.654,2	13.185,2	13.026,8
<b>ΕΞΑΓΩΓΕΣ</b>	2.495,5	2.789,9	3.418,5	3.686,8	5.382,8	5.822,4	6.430,3	8.107,2



Σχήμα 1.1: Γραφική απεικόνιση του Πίνακα 1.1

Πίνακας 1.2: Δεδομένα βιομάζας για την Ελλάδα (ΤΠ) (eurostat:  
<http://ec.europa.eu/eurostat>)

			ΕΛΛΑΔΑ					
ΕΤΟΣ	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
ΠΡΩΤΟΓΕΝΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΙΟΜΑΖΑΣ	1.006,2	1.127	990	925,5	886,7	1.110,5	1.213	1.072
ΑΚΑΘΑΡΙΣΤΗ ΕΓΧΩΡΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ	1.009,6	1.175,3	1.045,8	982,4	1.043,6	1.258,7	1.396,9	1.201,7
ΤΕΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ	982,1	1.137,5	1.009,3	942,3	991,2	1.195,5	1.317,2	1.124,3
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	3	48,3	55,9	56,9	157	153,5	199,8	144,4
ΕΞΑΓΩΓΕΣ	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	5,2	15,2	15,9



Σχήμα 1.2: Γραφική απεικόνιση του Πίνακα 1.2

Αρχικά παρατηρώντας την πρωτογενή παραγωγή από το 2006 έως το 2013, μπορούμε να διαπιστώσουμε, ότι η παραγωγή της βιομάζας για την Ευρωπαϊκή Ένωση ακολούθησε μια ανοδική πορεία με το πέρασμα των χρόνων. Αντίθετα όσον αφορά την Ελλάδα, αυτό που μπορούμε να διαπιστώσουμε είναι πως η πρωτογενής παραγωγή ενώ τα δυο πρώτα χρόνια αυξάνεται, για τα επόμενα τρία ακολουθεί μια καθοδική πορεία με το έτος 2010 να σημειώνει τη μικρότερη παραγωγή της τάξεως των 886,7 ΤΠΠ. Στην πορεία η κατάσταση αλλάζει και αρχίζει ξανά η ανοδική τάση της πρωτογενούς παραγωγής της βιομάζας.

Στην πορεία όσον αφορά την ακαθάριστη εγχώρια κατανάλωση, όπως και στην προηγούμενη περίπτωση παρατηρούμε την αυξητική τάση της κατανάλωσης της βιομάζας με την πάροδο των χρόνων, σε Ευρωπαϊκό επίπεδο. Αντίθετα για την Ελλάδα παρατηρούμε μια τάση αυξομείωσης της κατανάλωσης, με μικρότερη αυτή για το έτος 2009 (982,4 ΤΠΠ) και μεγαλύτερη για το έτος 2012 (1,369.9 ΤΠΠ).

Στην συνέχεια, όπως μπορούμε να παρατηρήσουμε η τελική ενεργειακή κατανάλωση ακολουθεί για Ευρώπη και Ελλάδα ακριβώς την ίδια τάση με αυτή της Ακαθάριστης Εγχώριας Κατανάλωσης. Για την Ευρώπη η πορεία της ενεργειακής κατανάλωσης είναι ανοδική, ενώ για την Ελλάδα κλιμακωτή με την μικρότερη να πραγματοποιείται το 2009 και μεγαλύτερη το 2012.

Η επόμενη σύγκριση αφορά τις εισαγωγές βιομάζας που έχουν πραγματοποιηθεί από το 2006 έως το 2013. Αυτό που μπορούμε να παρατηρήσουμε είναι πως και σε Ευρωπαϊκό και σε Ελληνικό επίπεδο η πορεία των εισαγωγών είναι ανοδική, ενώ αυτό που είναι αξιοσημείωτο είναι πως για την Ελλάδα το ποσοστό αύξησης των εισαγωγών κοντεύει το 500%. Έτσι από τα 3.3 ΤΠΠ το 2006, η ποσότητα φτάνει τα 144,4 ΤΟΕ το έτος 2013.

Τέλος οι εξαγωγές βιομάζας που πραγματοποιήθηκαν για Ελλάδα και Ευρώπη και όπως είναι αναμενόμενο και στις δύο περιπτώσεις υπάρχει αυξητική τάση με την πάροδο των χρόνων. Βέβαια στη συγκεκριμένη περίπτωση αυτό που θα μπορούσε να μας κάνει εντύπωση είναι πως η Ελλάδα για τα τέσσερα πρώτα χρόνια, δεν πραγματοποίησε καμία απολύτως εξαγωγή βιομάζας, ξεκινώντας από το 2010 με μια μικρή ποσότητα και φτάνοντας το 2013 να εξάγει 15.9 ΤΠΠ.



## 1.2 Αξιολόγηση των μακροοικονομικών επιπτώσεων της βιομάζας

Μία από τις κρίσιμες πτυχές σε κάθε ανάλυση, τόσο σε μικροοικονομικό όσο και σε μακροοικονομικό επίπεδο, είναι ένα κατάλληλο σενάριο αναφοράς. Έτσι συγκρίνοντας ένα συμβατικό με ένα βιο-βασισμένο σενάριο αναφοράς, μπορούν να εκτιμηθούν όλες οι επιπτώσεις προσαρμογής βιομάζας στην Ευρώπη για το 2030. Αυτές οι συγκρίσεις μπορούν να πραγματοποιηθούν σε παράγοντες, που αφορούν το κόστος παραγωγής, την αξία της παραγωγής και την επίδραση της στο ΑΕΠ, στις τιμές, στην εργασία, στην παραγωγή, την κατανάλωση και το εμπόριο. (Smeets et al., 2014)

### 1.2.1 Σύγκριση συμβατικού και βιο-βασισμένου κόστους παραγωγής

Ένας βασικός προσδιοριστικός παράγοντας των μακροοικονομικών επιπτώσεων των βιο-βασισμένων συστημάτων στην ΕΕ είναι η διαφορά του κόστους παραγωγής. Το κόστος παραγωγής για το 2030 φαίνεται στον Πίνακα 1.3, θεωρώντας ως τιμή βιομάζας τα 8,8\$/GJ (συμπεριλαμβανομένης της μεταφοράς και της προεπεξεργασίας). (IEA 2011)

Πίνακας 1.3: Κόστος παραγωγής συμβατικών και βιο-βασισμένων καυσίμων, χημικών, ηλεκτρικού ρεύματος και φυσικού αερίου (\$/GJ) (Smeets et al., 2014)

	Conventional	Bio-based
Fuel	27.2	21.3
Fuel 25% higher oil price	33.9	21.3
Fuel 25% lower oil price	21.6	21.3
Chemicals	43.9	23.1
Electricity	16.5	21.8
Gas	11.3	19.3

Μελετώντας τον Πίνακα 1.3, μπορεί κανείς να συμπεράνει ότι η παραγωγή των βιοκαυσίμων και των βιοχημικών προϊόντων δεύτερης γενιάς είναι ανταγωνιστικά σε σύγκριση με την παραγωγή καυσίμων και χημικών προϊόντων από πετρέλαιο. Ένας άλλος σημαντικός παράγοντας είναι ότι το κόστος της βιομάζας είναι σχετικά σταθερό ως το 2030. Ωστόσο, τα αποτελέσματα δείχνουν ότι ακόμη και με ένα 25% χαμηλότερο της τιμής του πετρελαίου το 2030, το κόστος παραγωγής των βιοκαυσίμων δεύτερης γενιάς είναι χαμηλότερο από το κόστος της συμβατικής παραγωγής καυσίμων (*ceteris paribus*).

### **1.2.2 Συνολική αξία της παραγωγής και της συνολικής επίδρασης του ΑΕΠ**

Όσον αφορά τη συνολική αξία της παραγωγής και τη συνολική επίδραση του ΑΕΠ, πραγματοποιείται μια σύγκριση με δύο διαφορετικούς τρόπους, έτσι ώστε να τονιστεί η σημασία των έμμεσων οικονομικών επιπτώσεων. Πρώτον, η αναμενόμενη μεταβολή στην αξία παραγωγής υπολογίζεται με βάση την αποτελεσματικότητα και το κόστος των βιο-βασισμένων και συμβατικών εφαρμογών μετατροπής. Αυτό γίνεται υποθέτοντας ότι μετατρέπεται λιγνοκυτταρινούχα βιομάζα καθώς επίσης το τελικό προϊόν που παράγεται αντικαθιστά ένα ίσο ποσό συμβατικής παραγωγής στον τομέα της ενεργειακής βάσης. Ο Πίνακας 1.4 δείχνει την αύξηση της αξίας παραγωγής των βιο-βασισμένων προϊόντων ανά τομέα και τη μείωση της αξίας της παραγωγής των συμβατικών καυσίμων. Δεύτερον, η συνολική καθαρή μεταβολή της αξίας της παραγωγής αξιολογείται χρησιμοποιώντας τα αποτελέσματα του καθαρού ΑΕΠ (τέταρτη στήλη, Πίνακας 1.4), τα οποία δείχνουν πως η αξία παραγωγής του κάθε τομέα έχει αλλάξει ως αποτέλεσμα της κρίσης. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι οι μακροοικονομικές επιπτώσεις δεν εξαρτώνται μόνο από τη διαφορά των βιο-βασισμένων εφαρμογών, αλλά και από τις έμμεσες επιπτώσεις. (Smeets et al., 2014)

Πίνακας 1.4: Η επίδραση της βιομάζας για την αξία της παραγωγής και του ΑΕΠ στην ΕΕ  
(billion US\$)(Smeets et al., 2014)

	Cost calculations (spreadsheet)			CGE model calculations (MAGNET)	
	Change of value of bio-based production	Change of value of conventional production	Net change of value of production	Net GDP effect MAGNET	Multiplier Effect
1 Fuel	10.7	-13.7	3.0	5.1	1.7
2 Chemicals	11.8	-22.4	10.6	6.0	0.6
3 Electricity	10.2	-7.7	-2.5	-3.0	1.2
4 Gas	10.7	-6.2	-4.5	-5.1	1.1
5 Fuel 25% higher oil price	10.7	-16.6	5.9	11.0	1.9
6 Fuel 25% lower oil price	10.7	-10.9	0.2	0.6	2.9

### 1.2.3 Τιμές

Μία από τις πρώτες επιπτώσεις από την εισαγωγή των βιο-βασισόμενων εφαρμογών είναι η αλλαγή του κόστους παραγωγής το οποίο είχε σαν αποτέλεσμα την αλλαγή και των τιμών του παραγωγού (Πίνακας 1.5).

Πίνακας 1.5: Η επίδραση της βιομάζας στις τιμές (%)(Smeets et al., 2014)

	Scenario <sup>17</sup>					
	Fuel	Fuel -25%	Fuel +25%	Chemicals	Electricity	Gas
Agrifood	-0.01	-0.01	-0.01	-0.03	-0.01	0.00
Industry	-0.06	-0.03	-0.09	-0.15	-0.01	0.01
Crude oil	-0.01	-0.01	-0.01	-0.03	-0.01	0.00
Petro	<b>-0.83</b>	<b>-0.39</b>	<b>-1.23</b>	-0.35	-0.04	0.02
Gas	0.21	0.36	0.15	0.04	-0.47	<b>0.56</b>
Coal	0.03	0.00	0.05	-0.12	-2.43	0.01
Electricity	-0.02	0.00	-0.05	-0.01	<b>0.19</b>	0.03
Chemicals	-0.08	-0.03	-0.14	<b>-0.93</b>	-0.01	0.01
Other Industry	0.02	0.00	0.03	-0.01	0.00	0.00
Services	0.00	0.00	0.00	0.02	-0.01	0.00

Στο πρώτο σενάριο, στο οποίο εισάγονται μόνο τα βιοκαύσιμα δεύτερης γενιάς, το μεγαλύτερο αντίκτυπο όπως είναι αναμενόμενο παρατηρείται επί της τιμής των πετροχημικών. Στο δεύτερο σενάριο, όπου μόνο τα βιοχημικά παράγονται με τη χρήση βιομάζας, η τιμή τους βρέθηκε να είναι ανταγωνιστική σε σύγκριση με τη συμβατική παραγωγή, με αποτέλεσμα η τιμή των χημικών ουσιών, να μειώνεται κατά 0,03%. Επίσης παρατηρούμε πως η τιμή του αερίου αυξάνεται κατά 0,56% και η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας κατά 0,19%. Οι μεταβολές των τιμών επηρεάζουν επίσης άλλους τομείς. Η χρήση της βιομάζας στον τομέα των καυσίμων επηρεάζει επίσης τις τιμές του επισιτιστικού τομέα (-0,01%) ή τις χημικές ουσίες (-0,08%), πιθανώς επειδή ο τομέας των πετροχημικών είναι σημαντικός ως ενδιάμεση εισροή για τις χημικές ουσίες ή ακόμα και την αύξηση της τιμής του τομέα του φυσικού αερίου (από 0,21%). (Smeets et al., 2014)

#### **1.2.4 Εργασία**

Η εισαγωγή της βιομάζας έχει αλλάξει τη χρήση της εργασίας και του κεφαλαίου στην οικονομία. Αυτό εξηγείται εν μέρει από το πολλαπλασιαστικό αποτέλεσμα που φαίνεται στην αξία της παραγωγής καθώς η μετάβαση από τη συμβατική στη βιο-βασισμένη παραγωγή αυξάνει τη χρήση της εργασίας. Η αυξημένη ζήτηση για εργασία σε τομείς που χρησιμοποιούν βιο-βασισμένες εφαρμογές, έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του κόστους της εργασίας (π.χ. μισθοί), έτσι το υπόλοιπο των τομέων της οικονομίας μειώνουν την απασχόληση της εργασίας τους, με την προϋπόθεση ότι η προσφορά εργασίας είναι σταθερή και υπάρχει πλήρης απασχόληση (Πίνακας 1.6).

Πίνακας 1.6: Η επίδραση της βιομάζας στους μισθούς (%)(Smeets et al., 2014)

	Fuel	Fuel -25%	Fuel +25%	Chemicals	Electricity	Gas
<b>Skilled</b>						
<b>Agrifood</b>	0.09	0.04	0.18	0.17	0.00	-0.03
<b>Industry</b>	0.10	0.04	0.18	0.17	0.00	-0.03
<b>Services</b>	0.10	0.04	0.19	0.18	0.00	-0.03
<b>Unskilled</b>						
<b>Agrifood</b>	0.10	0.04	0.19	0.16	0.02	0.00
<b>Industry</b>	0.11	0.05	0.19	0.19	0.03	-0.01
<b>Services</b>	0.12	0.06	0.20	0.19	0.02	0.01

Στην περίπτωση της παραγωγής βιοηλεκτρισμού οι επιπτώσεις στους μισθούς είναι σχεδόν μηδενικές, διότι η στροφή προς τεχνολογίες με έντονη εργασία αντισταθμίζεται από τη μείωση της παραγωγής. Αυτή η επίδραση είναι επίσης ορατή στην περίπτωση της παραγωγής του φυσικού αερίου, στην οποία οι μισθοί κινούνται σε αντίθετη κατεύθυνση. Στην περίπτωση των καυσίμων και των χημικών προϊόντων οι συνθήκες είναι διαφορετικές, καθώς οι τομείς αυτοί είναι ανταγωνιστικοί σε σύγκριση με τα συμβατικά αντίστοιχά τους. Στην περίπτωση των καυσίμων, η αύξηση της παραγωγής των βιοκαυσίμων αυξάνει τη ζήτηση της εργασίας και δεδομένου της έντασης της, απαιτεί περισσότερη εργασία και πιέζει για υψηλότερους μισθούς. Ένα 25% χαμηλότερης τιμής πετρελαίου (δεύτερη στήλη, Πίνακας 1.6), θα οδηγήσει σε μικρότερη αύξηση των μισθών καθώς οι τιμές των προϊόντων του τομέα των καυσίμων θα μειωθούν λιγότερο. Ως εκ τούτου, αυξάνεται η παραγωγή λιγότερο σε σύγκριση με το πρώτο σενάριο, και με αυτό τον τρόπο η αξία της απασχόλησης και των μισθών αυξάνεται λιγότερο. Το αντίθετο αποτέλεσμα παρατηρείται στην περίπτωση υψηλότερης τιμής του πετρελαίου (τρίτη στήλη, Πίνακας 1.6).

### 1.2.5 Παραγωγή

Η εισαγωγή 1 EJ βιομάζας για χρήση οδηγεί σε μεταβολές των τιμών και του όγκου παραγωγής στους τομείς που ενεργοποιούνται από τη συμβατική παραγωγή για τη βιο-βασισόμενη. Όπως ήταν αναμενόμενο, η μεγαλύτερη επίπτωση στην παραγωγή παρατηρείται για τους τομείς που εφαρμόζουν βιο-βασισόμενες εφαρμογές (Πίνακας 1.7).

Πίνακας 1.7: Η επίδραση της βιομάζας στον όγκο της παραγωγής (%) (Smeets et al., 2014)

	Fuel	Fuel -25%	Fuel +25%	Chemicals	Electricity	Gas
Agrifood	-0.06	-0.03	-0.09	-0.08	-0.02	0.00
Industry	-0.06	-0.05	-0.08	0.02	-0.05	-0.01
Crude oil	<b>0.42</b>	<b>0.11</b>	<b>0.73</b>	-0.56	0.02	0.02
Petro	-0.47	-0.29	-0.66	-0.34	0.00	0.02
Gas	0.24	0.32	0.13	-0.02	-0.67	<b>-0.91</b>
Coal	-0.01	-0.01	-0.01	-0.12	-2.20	0.01
Electricity	0.02	0.01	0.03	0.03	<b>-0.08</b>	0.02
Chemicals	-0.04	-0.07	0.03	<b>1.78</b>	-0.08	0.00
Other Industry	-0.10	-0.06	-0.15	-0.16	-0.05	-0.01
Services	0.00	-0.01	0.01	-0.02	-0.01	-0.02

Η εισαγωγή των βιοκαυσίμων προκαλεί την αύξηση της παραγωγής του τομέα των πετροχημικών (λόγω του χαμηλότερου κόστους παραγωγής) και των τιμών των καυσίμων και αυτό με τη σειρά του μειώνει την παραγωγή του τομέα του αργού πετρελαίου. Ως εκ τούτου, σε μεγάλο βαθμό οι επιπτώσεις αυτές οφείλονται στην τιμή του πετρελαίου. Η υψηλότερη τιμή του πετρελαίου οδηγεί σε μια σχετικά χαμηλότερη επίπτωση στην τιμή της παραγωγής βιοκαυσίμων και έτσι ένα υψηλότερο αποτέλεσμα παραγωγής. Στην κορυφή αυτής, η παραγωγή βιοκαυσίμων πρώτης γενιάς αυξάνεται επίσης, η οποία, σε συνδυασμό με την αύξηση του ΑΕΠ, εξηγεί εν μέρει τις επιπτώσεις στον τομέα των γεωργικών προϊόντων διατροφής. Στην περίπτωση των χημικών η παραγωγή αυξάνεται ουσιαστικά. Η αύξηση αυτή είναι αποτέλεσμα της σχετικά μεγάλης διαφορά του κόστους παραγωγής μεταξύ βιο-

χημικών και χημικών που φτιάχνονται από πετρέλαιο. Το κόστος παραγωγής των βιοχημικών είναι περίπου το ήμισυ του κόστους των συμβατικών χημικών ουσιών, γεγονός το οποίο οδηγεί σε κίνητρο για να επεκταθεί. Η υποκατάσταση της συμβατικής ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από φυσικό αέριο και του άνθρακα που παράγεται από βιοηλεκτρισμό αυξάνει την τιμή του τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας. Ως αποτέλεσμα, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην ΕΕ μειώνεται. Η χρήση του φυσικού αερίου και του άνθρακα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μειώνεται ακόμη περισσότερο. Η χρήση της βιομάζας για την παραγωγή βιοαερίου μειώνει τον όγκο της παραγωγής του τομέα του φυσικού αερίου από το βιοαέριο επειδή είναι λιγότερο ανταγωνιστικό σε σχέση με το συμβατικό αντίστοιχό του. (Smeets et al., 2014)

### 1.2.6 Κατανάλωση

Η εισαγωγή των βιο-βασισμένων εφαρμογών επηρεάζει επίσης την κατανάλωση στην ΕΕ, όπως φαίνεται στον Πίνακα 1.11.

Πίνακας 1.8: Η επίδραση της βιομάζας στον όγκο κατανάλωσης (%)(Smeets et al., 2014)

	Fuel	Fuel -25%	Fuel +25%	Chemicals	Electricity	Gas
<b>Agrifood</b>	-0.03	-0.01	-0.05	-0.03	0.00	0.00
<b>Industry</b>	0.04	0.02	0.07	0.11	-0.01	-0.02
<b>Crude oil</b>	0.39	0.33	0.43	0.28	0.01	-0.03
<b>Petro</b>	<b>0.56</b>	<b>0.27</b>	<b>0.83</b>	0.24	0.02	-0.03
<b>Gas</b>	-0.10	-0.21	-0.03	0.01	0.29	<b>-0.31</b>
<b>Coal</b>	0.02	0.01	0.05	0.10	1.15	-0.01
<b>Electricity</b>	0.03	0.00	0.06	0.01	<b>-0.14</b>	-0.04
<b>Chemicals</b>	0.08	0.03	0.13	<b>0.57</b>	0.00	-0.03
<b>Other Industry</b>	0.01	0.00	0.03	0.04	0.00	-0.02
<b>Services</b>	0.04	0.01	0.07	0.04	-0.01	-0.02

Η μεγαλύτερη επίδραση στην κατανάλωση παρατηρείται για τους εν μέρει βιο-βασισμένους τομείς (επισημαίνονται με μαύρο). Η κατανάλωση των πετροχημικών

και χημικών τομέων αυξάνονται στις περιπτώσεις των καύσιμων και των χημικών, ενώ η κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος και φυσικού αερίου μειώνεται στα αντίστοιχα σενάρια. Η μετατόπιση της παραγωγής προκαλεί μια επίδραση των τιμών που οδηγεί την αλλαγή στην κατανάλωση. Ξεκινώντας με την μεταβολή στην κατανάλωση καυσίμων, παρατηρείται αύξηση για τα άλλα δύο σενάρια τιμών του πετρελαίου. Η αύξηση της κατανάλωσης καυσίμων και των επιπτώσεων στους άλλους τομείς, όπως το αργό πετρέλαιο όπου πραγματοποιούνται αυξήσεις των τιμών, ακόμη και αν η παραγωγή μειώθηκε και αυτό μπορεί να εξηγηθεί από τις συνέπειες στις συναλλαγές. Η κατανάλωση των χημικών ουσιών βρίσκεται στο ίδιο επίπεδο με τα καύσιμα και αυξάνεται κατά 0,57%. Από την άλλη πλευρά και όπως ήταν αναμενόμενο, η κατανάλωση των τομέων της ηλεκτρικής ενέργειας και του φυσικού αερίου μειώνονται (παραγωγή αισθητή καθώς οι τιμές αυξήθηκαν, επειδή είναι τώρα λιγότερο ανταγωνιστική σε σχέση με τα συμβατικά αντίστοιχά τους).

Επίσης είναι ενδιαφέρον να σημειωθεί ότι οι μεταβολές στην κατανάλωση καυσίμων είναι υψηλότερες από τις αλλαγές στην παραγωγή. (Smeets et al., 2014)

### **1.2.7 Εμπόριο**

Η χρήση της βιομάζας αλλάζει το εμπορικό ισοζύγιο της ΕΕ, όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα. Η παραγωγή βιοκαυσίμων οδηγεί σε αύξηση του εμπορικού ισοζυγίου (η αύξηση των εξαγωγών είναι μεγαλύτερη από την αύξηση των εισαγωγών). Αυτό είναι αποτέλεσμα της μείωσης του κόστους παραγωγής, οι οποίες καθιστούν τον τομέα των πετροχημικών στην ΕΕ πιο ανταγωνιστική σε σχέση με άλλες περιοχές. Επίσης, η εξαγωγή του πετρελαίου αυξάνεται, λόγω της μειωμένης κατανάλωσης από αντικατάσταση του πετρελαίου με βιομάζας για την παραγωγή καυσίμων. Η επίδραση του εμπορίου είναι μικρότερη στην περίπτωση της χαμηλότερης τιμής του πετρελαίου λόγω της χαμηλότερης τιμής επίδραση της παραγωγής βιοκαυσίμων. Ωστόσο, η ευνοϊκή επίδραση του εμπορίου αντισταθμίζεται από τη μείωση των εξαγωγών σε άλλους τομείς. Η μεγαλύτερη επίδραση στο εμπορικό ισοζύγιο εμφανίζεται στον τομέα των χημικών ουσιών και από την άλλη πλευρά, το συνολικό καθαρό αποτέλεσμα αν και μεγαλύτερο είναι αρνητικό. Αυτό συμβαίνει λόγω των αρνητικών εμπορικών ισοζυγίων των υπηρεσιών (στην οποία οι εξαγωγές μειώνονται) και σε άλλους τομείς της βιομηχανίας (όπου αυξάνονται οι



εισαγωγές). Οι αλλαγές αυτές είναι με τη σειρά τους το αποτέλεσμα της αύξησης της τιμής της εργασίας λόγω της άμεσης και έμμεσης αύξησης στη χρήση της εργασίας για την παραγωγή των χημικών ουσιών. Με άλλα λόγια, οι υπηρεσίες και οι άλλοι βιομηχανικοί τομείς έχουν καταστεί λιγότερο ανταγωνιστικοί, ως αποτέλεσμα του διαγωνισμού για την εργασία με τη χημική βιομηχανία. Το μέγεθος του αρνητικού συνολικού καθαρού εμπορικού ισοζυγίου στον κλάδο των χημικών με τη σειρά του εξηγεί εν μέρει το χαμηλό πολλαπλασιαστικό αποτέλεσμα σε σχέση με τις άλλες εφαρμογές που βασίζονται στη βιοτεχνολογία.

Το καθαρό αποτέλεσμα του εμπορικού ισοζυγίου στον τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας προκαλείται κυρίως από τους τομείς του φυσικού αερίου και του άνθρακα των οποίων οι τιμές πέφτουν και ως εκ τούτου έχουν αυξήσει τις εξαγωγές τους.

Εμπορικό Ισοζύγιο ορίζεται ως η διαφορά των εισαγωγών και των εξαγωγών. Κάθε στήλη δείχνει την αλλαγή του εμπορικού ισοζυγίου για κάθε τομέα της οικονομίας όταν η βιομάζα χρησιμοποιείται μόνο ως το σενάριο που καθορίζεται. (Smeets et al., 2014)

*Πίνακας 1.9: Η επίδραση της βιομάζας για Εμπορικό ισοζύγιο (αξία σε δισεκατομμύρια US)  
(Smeets et al., 2014)*

	Fuel	Fuel -25%	Fuel +25%	Chemicals	Electricity	Gas
<b>Agrifood</b>	-472	-263	-838	-735	-151	56
<b>Industry</b>	2328	1760	3397	3728	977	-1244
<b>Crude oil</b>	9593	7202	11829	4389	-109	-174
<b>Petro</b>	<b>3045</b>	<b>361</b>	<b>6693</b>	1213	-34	-88
<b>Gas</b>	-1450	-1141	-1855	-1500	2780	<b>-2245</b>
<b>Coal</b>	-51	-9	-116	16	1861	-8
<b>Electricity</b>	-47	-29	-56	-92	<b>-180</b>	6
<b>Chemicals</b>	-375	-580	143	<b>15959</b>	-609	219
<b>Other Industry</b>	-8380	-4042	-13227	-16264	-2731	1046
<b>Services</b>	-3237	-1738	-4790	-7852	-932	619
<b>TOTAL</b>	-1381	-241	-2231	-4859	-106	-569

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup> - Λήψη αποφάσεων αξιοποίησης βιομάζας

Για περισσότερο από μισό αιώνα, οι οικονομολόγοι έχουν δοκιμαστεί εμπειρικά για την παρουσία των οικονομιών κλίμακας σε διάφορους κλάδους. Οι οικονομίες κλίμακας αποτελούν τα πλεονεκτήματα του κόστους που οι επιχειρήσεις αποκτούν λόγω του μεγέθους, της παραγωγής, ή της κλίμακας λειτουργίας, με το ανά μονάδα κόστος γενικά, να ελαττώνεται με την αύξηση της κλίμακας. Οι οικονομίες κλίμακας ισχύουν σε μια ποικιλία από οργανωτικές και επιχειρησιακές συνθήκες και σε διάφορα επίπεδα, όπως μια επιχείρηση ή μονάδα παραγωγής, ένα εργοστάσιο ή μια ολόκληρη επιχείρηση. Μερικές οικονομίες κλίμακας, όπως το κόστος κεφαλαίου των εγκαταστάσεων παραγωγής και η απώλεια τριβής των μεταφορών και του βιομηχανικού εξοπλισμού, έχουν μια φυσική ή μηχανική βάση. Η οικονομική έννοια χρονολογείται από τον Adam Smith και η ιδέα της απόκτησης μεγαλύτερης παραγωγής επιστρέφει μέσω της χρήσης του καταμερισμού της εργασίας. (Sullivan, and Sheffrin, 2003)

Οικονομίες κλίμακας υπάρχουν, όταν η επί τοις εκατό αύξηση της παραγωγής είναι μεγαλύτερη από αύξηση επί τοις εκατό του κόστους που απαιτείται για να επιτευχθεί η αύξηση της παραγωγής. Μαθηματικά αυτό περιγράφεται:

$$E_{cq} = \frac{\frac{\Delta C}{C}}{\frac{\Delta q}{q}} < 1$$

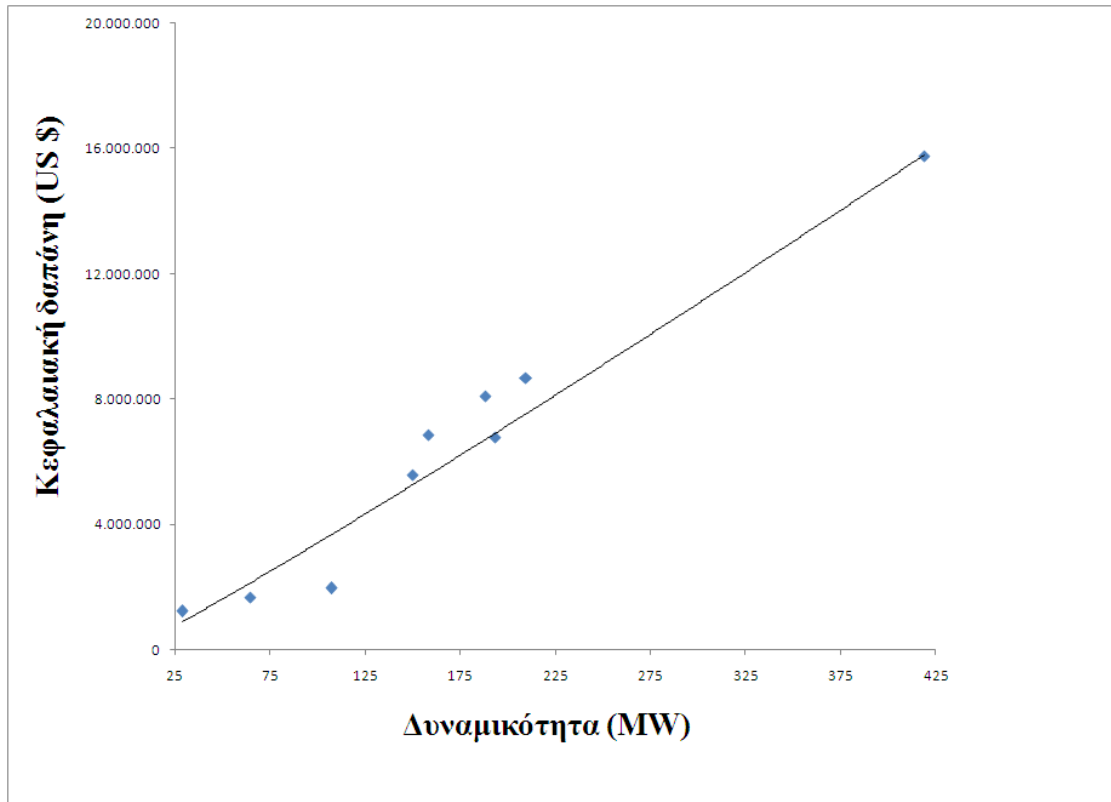
όπου  $E_{cq}$  είναι η ελαστικότητα του κόστους παραγωγής,  $C$  είναι το κεφαλαιακό κόστος που συνδέεται με την αρχική επένδυση και το  $q$  είναι ποσότητα.

Αν  $E_{cq} = 1$  τότε ο διπλασιασμός της εισόδου  $C$ , θα οδηγήσει σε διπλασιασμό της παραγωγής,  $q$ . Εάν υπάρχουν οικονομίες κλίμακας, όμως, τότε η ελαστικότητα του κόστους παραγωγής θα είναι μικρότερη της μονάδας και ως εκ τούτου, ο διπλασιασμός του κόστους θα υπερδιπλασιάσει την παραγωγή. (Dismukes and Upton Jr., 2015).

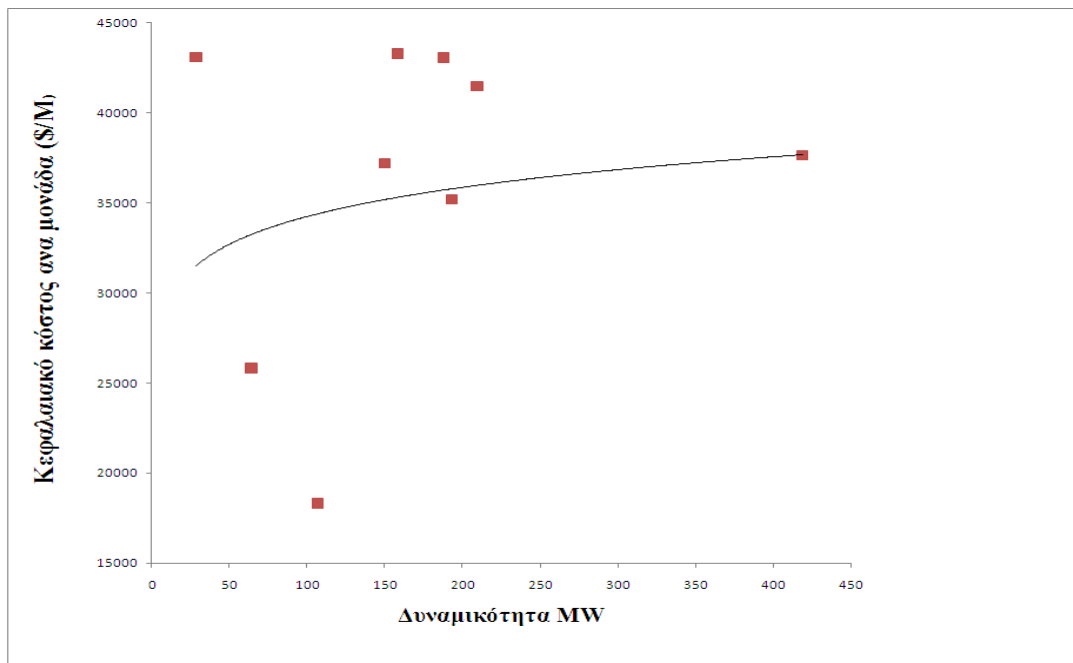
Πίνακας 2.1: Δεδομένα μονάδων Αεριοποίησης για Οικονομίες Κλίμακας

ΑΕΡΙΟΠΟΙΗΣΗ					
ΜΟΝΑΔΑ	ΔΥΝΑΜΙΚΟΤΗΤΑ	ΚΕΦΑΛΑΙΑΚΗ ΔΑΠΑΝΗ	$E_{cq}$	ΚΕΦΑΛΑΙΑΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΑΝΑ ΜΟΝΑΔΑ	
	MW	US \$		\$/MW	
1	28,56	1230727	0,278396752	43092,7	(Piyapong et al., 2014)
2	64,26	1659015	0,272664804	25817,2	(Piyapong et al., 2014)
3	107,1	1960585	4,606349047	18306,1	(Piyapong et al., 2014)
4	150	5578100	4,118839964	37187,3	(Swanson et al., 2014)
5	158,3	6849400	0,968809657	43268,5	(Larson et al., 2009)
6	187,9	8090200	-5,931188594	43055,9	(Larson et al., 2009)
7	193	6787800	3,271043325	35169,9	(Swanson et al., 2014)
8	209,5	8686000	0,815466604	41460,6	(Kok and Jhuma, 2011)
9	418,7	15759000		37637,9	(Kok and Jhuma, 2011)
			<b>1,050047695</b>		

❖  $E_{cq} = 1,050047695 > 1$  Αρνητικές Οικονομίες Κλίμακας



Σχήμα 2.1: Διάγραμμα Δυναμικότητας- Κεφαλαιακού Κόστους

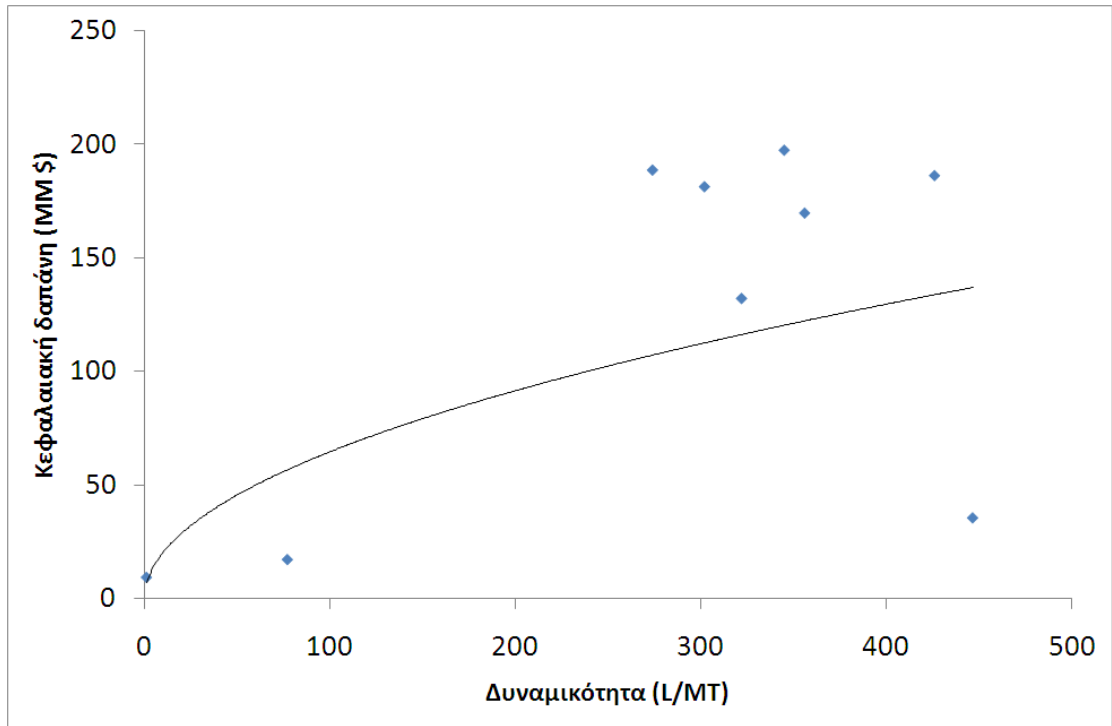


Σχήμα 2.2: Διάγραμμα Δυναμικότητας- Κεφαλαιακού Κόστους ανά μονάδα προϊόντος

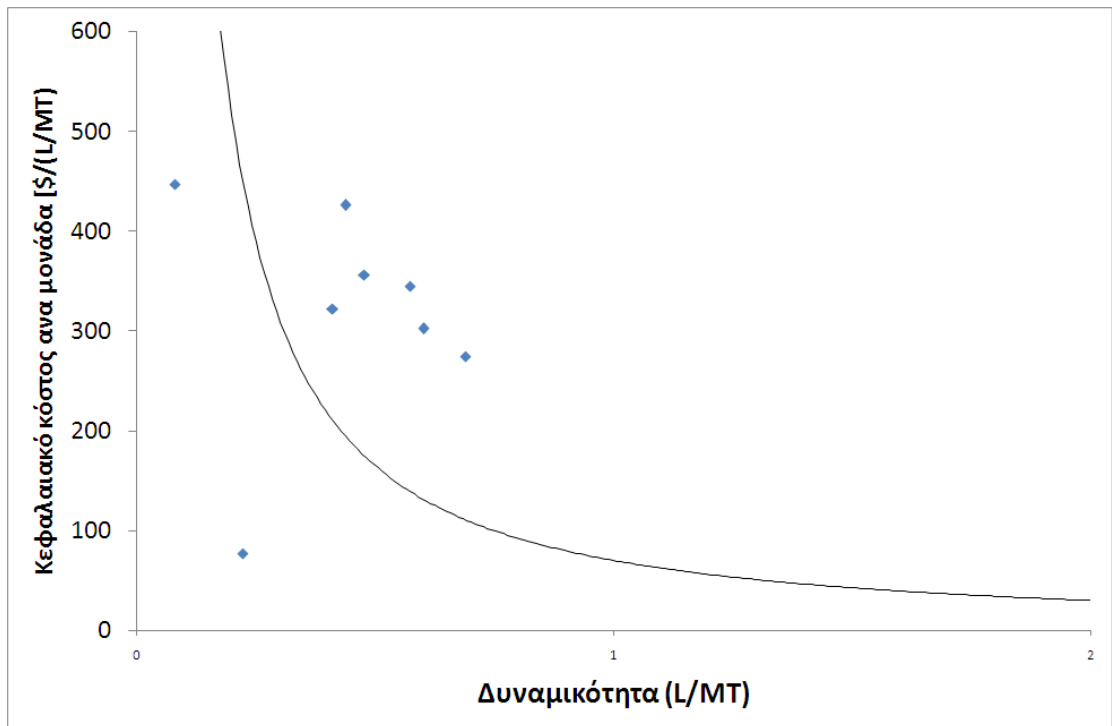
Πίνακας 2.2 Δεδομένα μονάδων Αλκοολικής Ζύμωσης για Οικονομίες Κλίμακας

ΑΛΚΟΟΛΙΚΗ ΖΥΜΩΣΗ					
ΜΟΝΑΔΑ	ΔΥΝΑΜΙΚΟΤΗΤΑ	ΚΕΦΑΛΑΙΑΚΗ ΔΑΠΑΝΗ	$E_{qc}$	ΚΕΦΑΛΑΙΑΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΑΝΑ ΜΟΝΑΔΑ	
	L/MT	\$ MM		\$(L/MT)	
1	1,27	9,22	0,014260644	7,26	(Inn and Keat, 2014)
2	77,19	17,08	3,938590067	0,22	(Quintero et al., 2008)
3	274	188,6	-0,379287229	0,69	(Barta et al., 2010)
4	302	181,29	-4,099630426	0,60	(Sassner et al., 2008)
5	322	132,07	6,921026728	0,41	(Wingren et al., 2003)
6	345	197,36	-4,397202159	0,57	(Sassner et al., 2008)
7	356	169,69	0,494814915	0,48	(Barta et al., 2010)
8	426	186,2	-16,81818777	0,44	(Sassner et al., 2008)
9	446,51	35,43		0,08	(Quintero et al., 2008)
			<b>-1,790701904</b>		

❖  $E_{cq} = -1,790701904 < 1$  Οικονομίες Κλίμακας



Σχήμα 2.3: Διάγραμμα Δυναμικότητας- Κεφαλαιακού Κόστους

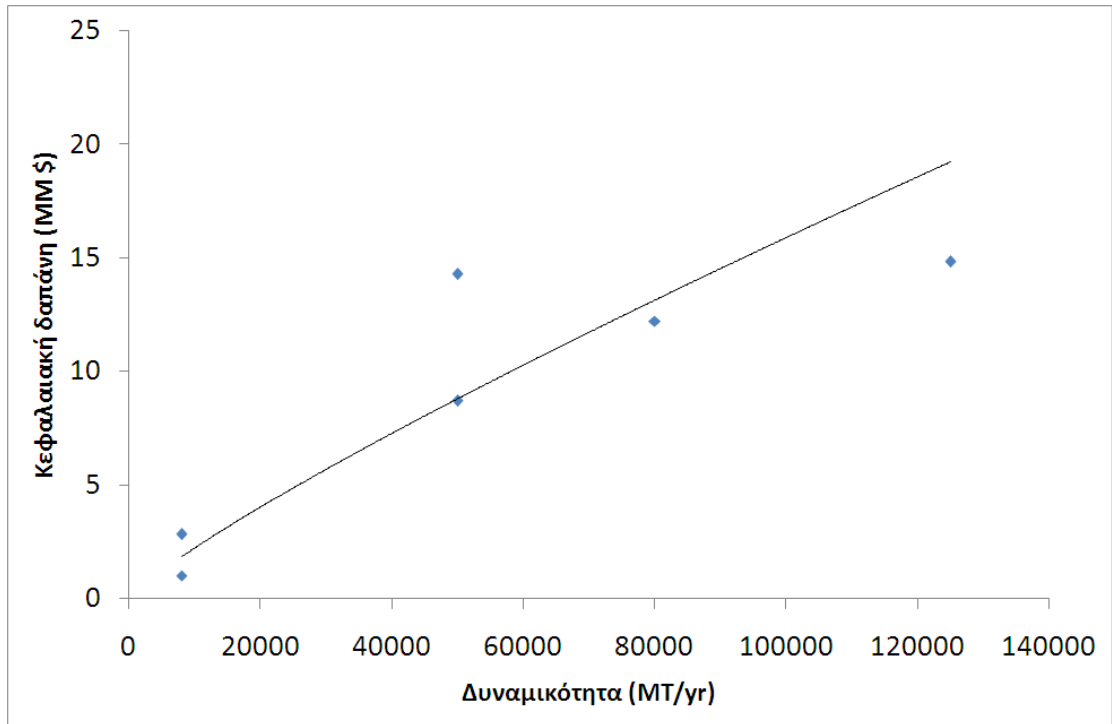


Σχήμα 2.4: Διάγραμμα Δυναμικότητας- Κεφαλαιακού Κόστους ανά μονάδα προϊόντος

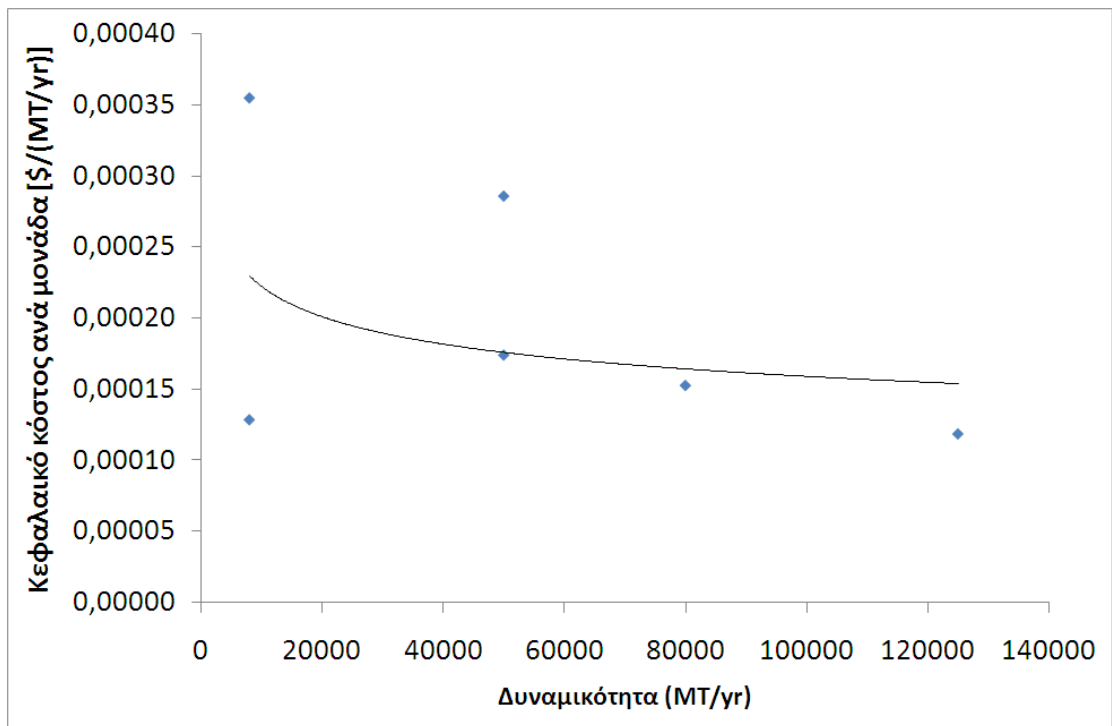
Πίνακας 2.3: Δεδομένα μονάδων Μετεστεροποίησης για Οικονομίες Κλίμακας

ΜΕΤΕΣΤΕΡΟΠΟΙΗΣΗ					
ΜΟΝΑΔΑ	ΔΥΝΑΜΙΚΟΤΗΤΑ	ΚΕΦΑΛΑΙΑΚΗ ΔΑΠΑΝΗ	$E_{cq}$	ΚΕΦΑΛΑΙΑΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΑΝΑ ΜΟΝΑΔΑ	
	MT/yr	\$ MM		\$/ (MT/yr)	
1	31,55	9,02	-2,292349789	0,28590	(Haas et al., 2006)
2	36,036	6,08		0,16872	(Marchetti et al.,2008)
3	36,036	6,16	-0,003768287	0,17094	(Marchetti et al.,2008)
4	8000	1,03		0,00013	(Zhang et al., 2003)
5	8000	2,84	0,393695506	0,000355	(Kasteren and Nisworo, 2007)
6	50000	8,71		0,0001742	(Apostolakou et al.,2009)
7	50000	14,3	-0,241258741	0,000286	(Labib et al.,2013)
8	80000	12,23	0,380848551	0,000152875	(Kasteren and Nisworo, 2007)
9	125000	14,85		0,0001188	(Kasteren and Nisworo, 2007)
			<b>-0,352566552</b>		

❖  $E_{cq} = -0,352566552 < 1$  Οικονομίες Κλίμακας



Σχήμα 2.5: Διάγραμμα Δυναμικότητας- Κεφαλαιακού Κόστους



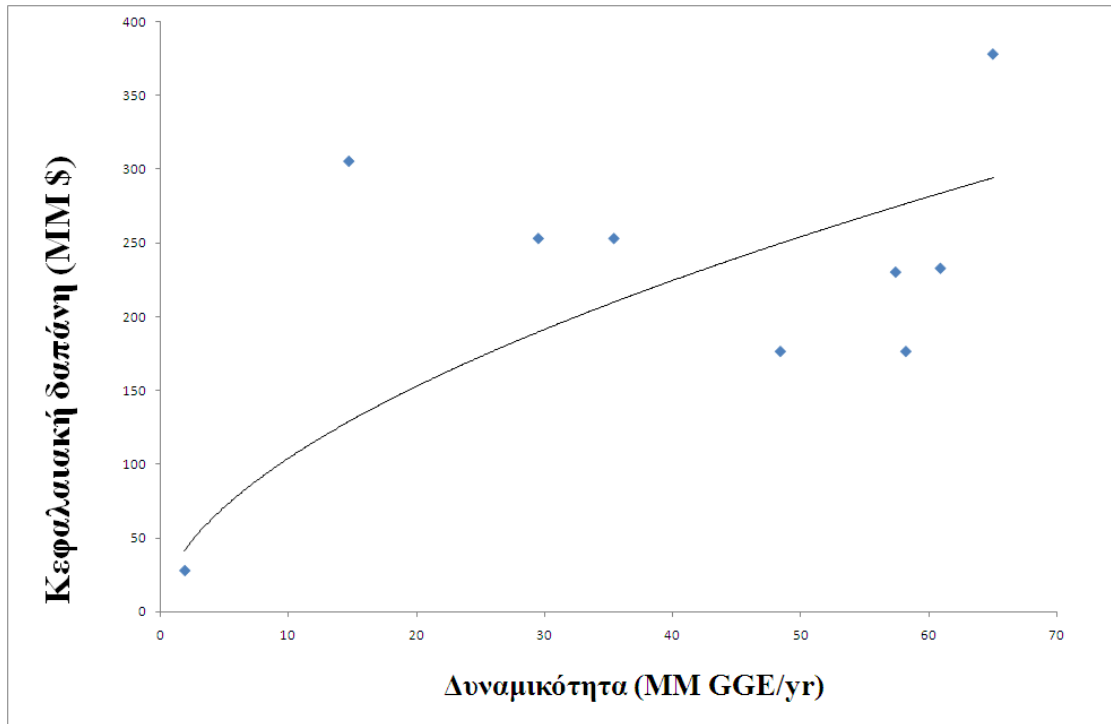
Σχήμα 2.6: Διάγραμμα Δυναμικότητας- Κεφαλαιακού Κόστους ανά μονάδα προϊόντος



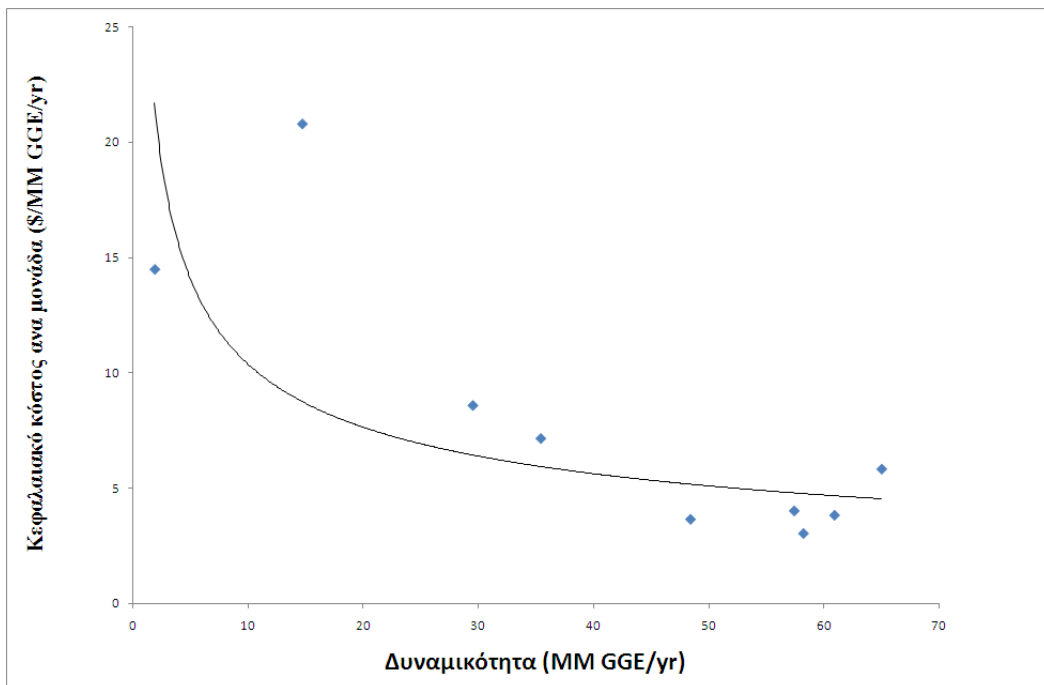
Πίνακας 2.4: Δεδομένα μονάδων Πυρόλυσης για Οικονομίες Κλίμακας

ΠΥΡΟΛΥΣΗ					
ΜΟΝΑΔΑ	ΔΥΝΑΜΙΚΟΤΗΤΑ	ΚΕΦΑΛΑΙΑΚΗ ΔΑΠΑΝΗ	$E_{cq}$	ΚΕΦΑΛΑΙΑΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΑΝΑ ΜΟΝΑΔΑ	
	MM GGE/yr	\$MM		\$/ (MM GGE/yr)	
1	1,9	27,5	1,500082386	14,47	(Shemfe et al.,2015)
2	14,7	305,41	-0,170478409	20,78	(Zhang et al.,2013)
3	29,5	252,99		8,58	(Wright et al.,2010)
4	35,4	252,99	-0,825458592	7,15	(Wright et al.,2010)
5	48,4	176,3	1,641701645	3,64	(Wright et al.,2010)
6	57,4	230,12	-16,78074483	4,01	(Brown et al.,2013)
7	58,2	176,3	6,89704418	3,03	(Wright et al.,2010)
8	60,9	232,71	9,283935517	3,82	(Tan et al.,2013)
9	65	378,16		5,82	(Jones et al.,2009)
			<b>0,220868843</b>		

❖  $E_{cq} = 0,220868843 < 1$  Οικονομίες Κλίμακας



Σχήμα 2.7: Διάγραμμα Δυναμικότητας- Κεφαλαιακού Κόστους



Σχήμα 2.8: Διάγραμμα Δυναμικότητας- Κεφαλαιακού Κόστους ανά μονάδα προϊόντος

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup> – ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΒΙΟΜΑΖΑΣ ΓΙΑ ΜΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΧΡΗΣΕΙΣ

Με τον όρο ζήτηση βιομάζας για ‘μη ενεργειακή χρήση’ αναφερόμαστε στη ζήτηση βιομάζας που χρησιμοποιείται ως πρώτη ύλη, δεν μετατρέπεται και καταναλώνεται ως πηγή ενέργειας. (IEA, 2005)

Η συνολική ποσότητα χαρτιού, ξύλου, τροφίμων και απορριμμάτων κήπου που παράγονται στην ΕΕ είναι σημαντική και της τάξεως των 900 εκατομμυρίων τόνων ετησίως. Ορισμένα απόβλητα και κατάλοιπα δεν έχουν βιομηχανικές χρήσεις, αλλά εξακολουθούν να παρέχουν πολύτιμες περιβαλλοντικές υπηρεσίες, όπως τα κλαδιά και τα φύλλα που έχουν απομείνει από την υλοτομία και συμβάλουν στην επαναφορά θρεπτικών στοιχείων στο έδαφος για την υποστήριξη της μελλοντικής ανάπτυξης των δασών. Η εκτροπή των υλικών αυτών από τις τρέχουσες χρήσεις τους θα μπορούσε να έχει αρνητικές αλυσιδωτές συνέπειες για τη βιομηχανία και το περιβάλλον. (Searle and Malins, 2013)

Ο Πίνακας 3.1 δείχνει τις κύριες τεχνολογίες για την μετατροπή των αποβλήτων βιομάζας με τα υλικά και τα προϊόντα τους, καθώς επίσης και τις μεγάλες δυνατότητες των αποβλήτων για τη μετατροπή τους σε μια ποικιλία υλικών. (UNEP et al, 2009)

Πίνακας 3.1: Μετατροπή Κυτταρινούχας απορριπτόμενης βιομάζας σε υλικά  
(UNEP, 2009)

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΒΙΟΜΑΖΑΣ	ΠΡΟΙΟΝ
Βιο-μείωση	φύλλα ανανά υπολείμματα ζαχαροκάλαμου άχυρο σίτου εκκοκκισμένο βαμβάκι	Ζωοτροφές, βιομηχανικά απορροφητικά υλικά και πρόσθετα για ποτά άχυρο σιταριού πολυπροπυλένιο σε κόκκους ως πρώτη ύλη, λίπασμα
Σύστημα Βιο-διυλιστήριου	φλοιός ρυζιού	Φινίρισμα Μετάλλων, Υδατοδιαλυτά έλαια & Συνθετικά λιπαντικά
	ζαχαροκάλαμο βαγάσσης άχυρο σίτου	Υλικά ξυλείας πινακες
Αποκελύφωση	Φύλλα άβακα φλοιός καρύδας φύλλα Πίνα	Βιοτεχνικές ίνες, σχοινιά και υφάσματα, χαρτοπολτος και ειδικά χαρτιά, Σχοινί και σπάγκος από ίνες καρύδας , σκούπες και βούρτσες, πατάκια, κουβέρτες, στρώματα και ταπετσαρία, συχνά σε καουτσούκ μαξιλάρια από κοκοφοίνικα πανί από Πίνα
Διαδικασία τήξης	Ινες κενάφ , ζαχαροκάλαμο βαγάσσης	Χαρτί και υλικά συσκευασίας
Υδρο-διαχωρισμός	τέφρα ζάχαρης από βαγάσσης	υλικά φιλτραρίσματος και απορροφητικά προϊόντα
Καλούπωμα	έλαια από υπολείμματα φρούτων ζαχαροκάλαμο βαγάσσης	Βιοδιασπώμενα υλικά συσκευασίας Χαρτί και χαρτοσκευάσματα
Πολτοποίηση	Ινες κενάφ	Συστήματα ηχομόνωσης,-θερμομόνωσης
	φύλλα άβακα	Κολεός Άβακα
Ομοιοποίηση	καρύδα κοκοφοίνικα	Νήματα κοκοφοίνικα

### 3.1 Παραγωγή εδαφοβελτιωτικών

Η φυσική κατάσταση του εδάφους είναι ένας παράγοντας που μπορεί να περιορίσει τη φυτική παραγωγή, από την πρόσληψη νερού από το έδαφος, την ανάπτυξη της ρίζας του φυτού, έως και τον αερισμό του εδάφους. Αυτοί οι στόχοι μπορούν να επιτευχθούν εν μέρει μέσω της χρήσης καλών διαχειρίσιμων τεχνικών, όπως υλικών που υποστηρίζουν τη βελτίωση της φυσικής κατάστασης του εδάφους. Αυτά τα

υλικά ονομάζονται βελτιωτικά εδάφους. Τα βελτιωτικά του εδάφους δεν είναι κάτι νέο, ωστόσο, η πρόσφατη έμφαση στη μέγιστη οικονομική απόδοση έχει ανανεώσει το ενδιαφέρον για αυτά. Τα βελτιωτικά εδάφους ποικίλλουν σε μεγάλο βαθμό στη σύνθεσή τους, το ποσοστό εφαρμογής τους και στον τρόπο δράσης τους. Αξιώσεις για διάφορα προϊόντα περιλαμβάνουν, αλλά δεν περιορίζονται σε:

- βελτιωμένη δομή εδάφους και αερισμό
- αυξημένη ικανότητα συγκράτησης νερού
- αυξημένη διαθεσιμότητα νερού για τα φυτά
- μειωμένη συμπίεση
- βελτίωση της αποτελεσματικότητας αποστράγγισης
- αποκατάσταση αλκαλίων του εδάφους
- κυκλοφορία των "κλειδωμένων" θρεπτικών συστατικών
- καλύτερη χημική σύσταση
- καλύτερη ανάπτυξη της ρίζας
- υψηλότερες αποδόσεις και ποιότητα.

Τα εδαφοβελτιωτικά ποικίλουν τόσο στην προέλευση όσο και στη σύνθεσή τους. Μπορεί να είναι συνθετικά ή φυσικά, οργανικά ή ανόργανα.

**Οργανικά Εδαφοβελτιωτικά.** Όσον αφορά τα οργανικά βελτιωτικά εδάφους, τα ευεργετικά αποτελέσματά τους στην βελτίωση ή τη διατήρηση των φυσικών ιδιοτήτων του εδάφους είναι γνωστά. Η οργανική ύλη στο έδαφος χρησιμεύει ως δεξαμενή για τα θρεπτικά συστατικά, βελτιώνει τη δομή του εδάφους, βοηθάει στην αποστράγγιση, τον εξαερισμό, εντείνει την ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων, τη ρυθμιστική ικανότητα, την ικανότητα συγκράτησης του νερού και παρέχει μια πηγή τροφής για τους μικροοργανισμούς. Γενικά, τα εδάφη που είναι πλούσια σε οργανική ύλη έχουν βελτιωμένες φυσικές συνθήκες, σε σύγκριση με παρόμοια εδάφη φτωχότερα σε αυτή. Για τους λόγους αυτούς, πολλοί στην αγορά βελτιωτικών εδάφους προσπαθούν να τη μιμηθούν για τη βελτίωση των φυσικών ιδιοτήτων του εδάφους. Η αποτελεσματικότητα των οργανικών εδαφοβελτιωτικών μπορεί να αξιολογηθεί εν μέρει από την εξέταση πολλών ιδιοτήτων της οργανικής ύλης. Το οργανικό έδαφος ορίζεται ως το οργανικό κλάσμα του εδάφους και περιλαμβάνει φυτικά και ζωικά κατάλοιπα σε διάφορα στάδια της αποσύνθεσης, τα κύτταρα και

τους ιστούς οργανισμών, και ενώσεις που συντίθενται από τον πληθυσμό του οργανισμού του εδάφους. (Hickman and Whitney, 2013)

**Χούμους.** Τα εμπορικά περιγράφονται ως προϊόντα που προέρχονται από οξειδωμένους λιγνίτες, μια ουσία τύπου άνθρακα που συνδέεται με την εμφάνιση λιγνίτη. Τα χουμικά του εμπόριο που πραγματοποιούνται για γεωργικούς σκοπούς μπορεί να είναι είτε διαλυτά είτε αδιάλυτα και ίσως εμπλουτισμένα με εμπορικά λιπάσματα. Περιέχουν 30-60% χουμικά οξέα, τα οποία είναι πολύ περίπλοκα και εύκολα παρεμποδίζεται η λειτουργία τους από τα ορυκτά του εδάφους. Επίσης περιέχουν πολύ μικρή ποσότητα από φουλβικά οξέα και βιολογικά σημαντικά υλικά όπως πρωτεΐνες και πολυσακχαρίτες. Υπό την έννοια αυτή, δεν μοιάζουν οργανικές ύλες του εδάφους και ως εκ τούτου, δεν αναμένεται να εκτελούν την ίδια λειτουργία. Επιπλέον, το χαμηλό ποσοστό εφαρμογής τους, το οποίο συνίσταται συνήθως είναι ασήμαντο σε σύγκριση με την οργανική ύλη που υπάρχει ήδη στα περισσότερα εδάφη. (Stevenson, 1979)

**Κοπριά ζώων.** Οι κοπριές των ζώων μπορεί να είναι οι πιο σημαντικοί συνεισφέροντες οργανικής ύλης στο έδαφος, καθώς και διαφόρων θρεπτικών ουσιών. Η κοπριά σε μεγάλο βαθμό αποτελείται από την μερική αποσύνθεση φυτικών υλικών συν μια ευρεία ποικιλία οργανισμών. Πολλές από τις οργανικές ενώσεις της είναι παρόμοιες με εκείνες που βρέθηκαν στην οργανική ύλη του εδάφους. Η κοπριά, ωστόσο, περιέχει διαλυτά άλατα τα οποία μπορεί να είναι επιβλαβή για τις φυσικές ιδιότητες του εδάφους και την ανάπτυξη των καλλιεργειών, όταν προστίθεται σε μεγάλες ποσότητες, ειδικά σε άνυδρα εδάφη. (Hickman and Whitney, 2013)

**Άλλα οργανικά βελτιωτικά.** Στα υλικά που μπορούν να χρησιμεύσουν ως βελτιωτικά εδάφους μπορούν επίσης να συμπεριληφθούν τα υπολείμματα καλλιεργειών, το λίπασμα, η ιλύς καθαρισμού λυμάτων, οι καλλιέργειες χλωρής λίπανσης, και το πριονίδι. Η αποτελεσματικότητα του υλικού ποικίλλει ανάλογα με την ποσότητα του υλικού που προστίθεται και την αναλογία άνθρακα-αζώτου. Η Ιλύς των υπονόμων μπορεί να περιέχει δυνητικά επιβλαβή επίπεδα βαρέων μετάλλων και άλλων τοξικών υλικών και θα πρέπει να αναλυθεί προς αυτά τα υλικά πριν από τη χρήση. (Hickman and Whitney, 2013)

Τέλος υπάρχουν και αρκετές άλλες κατηγορίες βελτιωτικών εδάφους που έχουν υποστηριχτεί για τη βελτίωση του εδάφους με φυσικές ιδιότητες. Μεταξύ αυτών είναι τα επιφανιοδραστικά, οι μικροοργανισμοί και οι ενεργοποιητές. (Vitosh, 1982)

### 3.2 Παραγωγή κατασκευαστικών υλικών

Οι Ευρωπαϊκές στρατηγικές προσανατολίζονται προς μία οικολογικά αποτελεσματική καινοτομία στον τομέα της οικοδόμησης, και της ενεργειακής απόδοσης. Η πειραματική χρήση των νέων οικοδομικών υλικών, είναι η χρήση ορισμένων ροών ενέργειας από βιομάζα, όπως τα καυσόξυλα, τα γεωργικά κατάλοιπα και τα δασικά απόβλητα καθώς και από τη βιομηχανία τροφίμων, μια νέα περιοχή που ερευνάται. Μεγάλες ποσότητες απορριπτόμενης βιομάζας, δεν εκτιμώνται πάντοτε σωστά. Το πρόβλημα διαχείρισης των υποπροϊόντων και η μείωση των επιπτώσεών τους στο περιβάλλον έχουν αποτελέσει αντικείμενο πολλών επιστημονικών μελετών που αποσκοπούν στον εντοπισμό πιθανών λύσεων ανακύκλωσης και έχουν ολοκληρωθεί με την υλοποίηση των οικοδομικών υλικών. Επιστημονικές και πειραματικές μελέτες, επικεντρώνονται στην καινοτομία και στη σύνθεση της ύλης από σκυρόδεμα, σοβά, μονωτικά υλικά, κλπ. Συγκεκριμένα, εκτός από την ανακύκλωση των αποβλήτων, σημαντική ποσότητα της τέφρας που προκύπτει από την ενέργεια της βιομάζα των φυτών, υποστηρίζεται από την κείμενη νομοθεσία για την ανάκτηση της τέφρας στο τσιμέντο και στη βιομηχανία τούβλων. (Francesca Giglio, 2013)

Τα παραδοσιακά υλικά, όπως πηλός, άμμος, πέτρες, χαλίκια, τσιμέντο, τούβλα, μπλοκ, πλακάκια και χάλυβας χρησιμοποιούνται ως κύρια δομικά στοιχεία στον τομέα των κατασκευών και έχουν εγγενή διακριτικό χαρακτήρα για την καταστροφή του περιβάλλοντος που οφείλεται στην συνεχή εκμετάλλευσή τους. Επιπλέον, κατά τη διαδικασία κατασκευής των διαφόρων οικοδομικών υλικών, ειδικότερα του ανθρακικού ασβεστίου, του ασβέστη και του τσιμέντου, υψηλές συγκεντρώσεις διοξειδίου του άνθρακα, του θείου, του αζώτου και αιωρούμενα σωματίδια πάντοτε εκπέμπονται προς στην ατμόσφαιρα. Τα γεωργικά απόβλητα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την απόκτηση, τούβλων για παράδειγμα, γιατί παράγονται από φυσικές πρώτες ύλες με πολύ ευρεία χημική και ορυκτολογική σύνθεση. Για το λόγο αυτό, αυτά τα υλικά μπορούν να ανεχθούν την παρουσία των διαφόρων τύπων

αποβλήτων, ακόμα και σε σημαντικά ποσοστά, όπως επιβεβαιώνεται από πολλές έρευνες. (Andreola et al., 2005).

Άλλα ενδιαφέροντα δομικά υλικά από την αξιοποίηση των αποβλήτων είναι το σκυρόδεμα και το τσιμέντο. Ειδικοί νόμοι επιτρέπουν τη χρήση των ανακυκλωμένων αδρανών υλικών που προέρχονται από το σκυρόδεμα και από την κατεδάφιση κτιρίων (μεταξύ 15-35% ανάλογα με το αναμενόμενο τελικό σκυρόδεμα) και απόβλητα (αέριες στάχτες, σκωρία υψικαμίνου, πυριτική παιπάλη, αντιστοίχως, από θερμοηλεκτρικές, σιδήρου και ηλεκτρονικών ειδών) ως συστατικό του τσιμέντου. Από περιβαλλοντική άποψη, η επαναχρησιμοποίηση των αποβλήτων θα είναι πολύ κερδοφόρα, όπως η μερική αντικατάσταση τσιμέντου (*Portland*) με τα απόβλητα αυτά να μπορούν να συμβάλουν προς την επίλυση του προβλήματος της διάθεσης των χώρων υγειονομικής ταφής των αποβλήτων, τη μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> που εμπλέκονται στη βιομηχανική παραγωγή του τσιμέντου από παραδοσιακές πρώτες ύλες (ασβεστόλιθος και άργιλος) και στη διατήρηση των φυσικών πόρων. (EPA, 2006).

Σχετικά με τη σκυροδέτηση, οι ερευνητές έχουν πειραματιστεί με την προσθήκη άλλων υλικών με βελτιωμένες ιδιότητες, όπως μεγαλύτερη αντοχή, ηλεκτρική αγωγιμότητα κ.α. Το σημαντικό βήμα για τα πράσινα οικοδομικά υλικά από βιομάζα είναι η ανάπτυξη ενός σκυροδέματος που είναι ικανό για οργανική αυτοεπιδιόρθωση, μειώνοντας έτσι την ανάγκη για δαπανηρές επισκευές. Το Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο του Delft στην Ολλανδία εργάζεται για την ενσωμάτωση βακτηρίων σε σκυρόδεμα για να αποκτήσει το υλικό την ικανότητα να επιδιορθώσει το πρόβλημα όταν υποστεί μικρή βλάβη ή φθορά. Τα βακτήρια παράγουν ανθρακικό ασβέστιο - παρόμοια με μεταλλικό ασβεστόλιθο - ως προϊόν των αποβλήτων, το οποίο μπορεί να γεμίσει τις ρωγμές ή τρύπες. (Renu and Anisha, 2015).

Πλέον η προσοχή στρέφεται προς αρκετά νέα οικοδομικά υλικά με βάση τις γεωργικές φυσικές ίνες που ήδη κάνουν την εμφάνισή τους στην οικοδομική βιομηχανία. Στον τομέα των δομικών υλικών, υπάρχει ένα αυξανόμενο ενδιαφέρον για τη χρήση των φυσικών/βιο-ινών σαν ενισχυτικό συστατικό σε συνδυασμό με πετρέλαιο και βιολογικής προέλευσης θερμοπλαστικά και θερμοσκληρυντές. Τα πλεονεκτήματα των φυσικών ινών έναντι των παραδοσιακών ενισχυτικών ινών, όπως το γυαλί και ο άνθρακας είναι, το χαμηλό κόστος τους, η χαμηλή πυκνότητα, οι

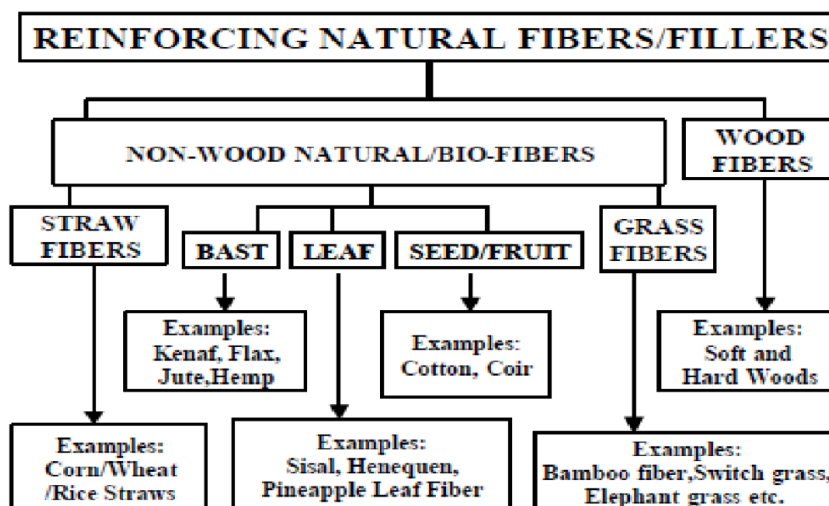


αποδεκτές συγκεκριμένες ιδιότητες που έχουν, η ευκολία διαχωρισμού τους, η ενισχυμένη ανάκτηση ενέργειας, η δέσμευση του CO<sub>2</sub> και η βιοαποικοδομησιμότητα τους. Τα θερμοπλαστικά έχουν το πρόσθετο πλεονέκτημα της ανακύκλωσης, αλλά οι θερμοσκυρηντές διαθέτουν τις απαραίτητες μηχανικές ιδιότητες για χρήση ως δομικά βιο-σύνθετα υλικά, αν και αυτά που προέρχονται από φυσικές ίνες με βάση το πετρέλαιο, δεν είναι πλήρως φιλικά προς το περιβάλλον, διότι οι ρητίνες της μήτρας είναι μη βιοαποικοδομήσιμες.

Η χρήση των φυσικών ινών σε FRP (πλαστικό ενισχυμένο με ίνες) για την αντικατάσταση των ινών του γυαλού έχει αρχίσει ήδη να εφαρμόζεται. Υπάρχει, ωστόσο, ένα μείζον μειονέκτημα, όπου λόγω της παρουσίας του υδροξυλίου και άλλων πολικών ομάδων στην επιφάνεια και σε όλη την βιο-ίνα, η απορρόφηση της υγρασίας μπορεί να είναι υψηλή, πράγμα που οδηγεί σε κακή υγρανσημότητα. Η μηχανική συμπεριφορά της ίνας, η μορφή της, η φύση της μήτρας και η προσκόλληση των ινών-μήτρας παίζουν ζωτικό ρόλο στον έλεγχο των ιδιοτήτων των σύνθετων υλικών.

Τα πλαστικά, είτε πετρελαίου είτε από βιολογικές πρώτες ύλες, από μόνα τους, δεν είναι κατάλληλα για εφαρμογή λόγω της έλλειψης αντοχής, της ακαμψίας τους και της σταθερότητας των διαστάσεων τους. Ωστόσο, οι ίνες διαθέτουν υψηλή αντοχή και επαρκή ακαμψία, αλλά δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για εφαρμογές που φέρουν φορτίο, λόγω της ινώδους δομής τους. Στα ενισχυμένα σύνθετα υλικά με ίνες, οι ίνες χρησιμεύουν ως οπλισμός μιας και συγκρατούνται από την πλαστική μήτρα σε ένα υλικό με κατάλληλη αντοχή και ακαμψία για δομικές εφαρμογές.

Οι βιο-ίνες μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο μεγάλες κατηγορίες, τις μη ξυλώδεις ίνες και τις ξυλώδεις (Σχήμα 3.1).



Σχήμα 3.1: Φυσικές /Βιο-ίνες για βιο-σύνθετα υλικά για την βιομηχανία σπιτιού (Drzal et al. 2004)

Το ενδιαφέρον για τη χρήση των μη-ξύλωδη ινών από κυτταρίνη σε πλαστικά σύνθετα υλικά έχει αυξηθεί μάλλον δραματικά τα τελευταία χρόνια. Τα πιο γνωστά παραδείγματα είναι: οι ίνες από το εσωτερικό των δέντρων( λινάρι, ραμί, κενάφ, κάνναβη και γιούτα), οι φυλλώδεις ίνες (σιζάλ, φύλλα ανανά και χένεκεν), οι ίνες από σπόρους (βαμβάκι) και τέλος οι ίνες από φρούτα (ίνες καρύδας, δηλαδή κοκοφοίνικα) (Σχήμα 3.2).



Σχήμα 3.2: Διάφορα είδη και πηγές βιο-ινών (Drzal et al 2004.)

Όλες οι φυσικές ίνες είναι κυτταρινούχες με βασικά συστατικά την κυτταρίνη και τη λιγνίνη. Οι μη ξυλώδεις ίνες του φλοιού είναι έτοιμες να χρησιμοποιηθούν σε μεγαλύτερο βαθμό στις δομές στέγασης. (Drzal et al. 2004)

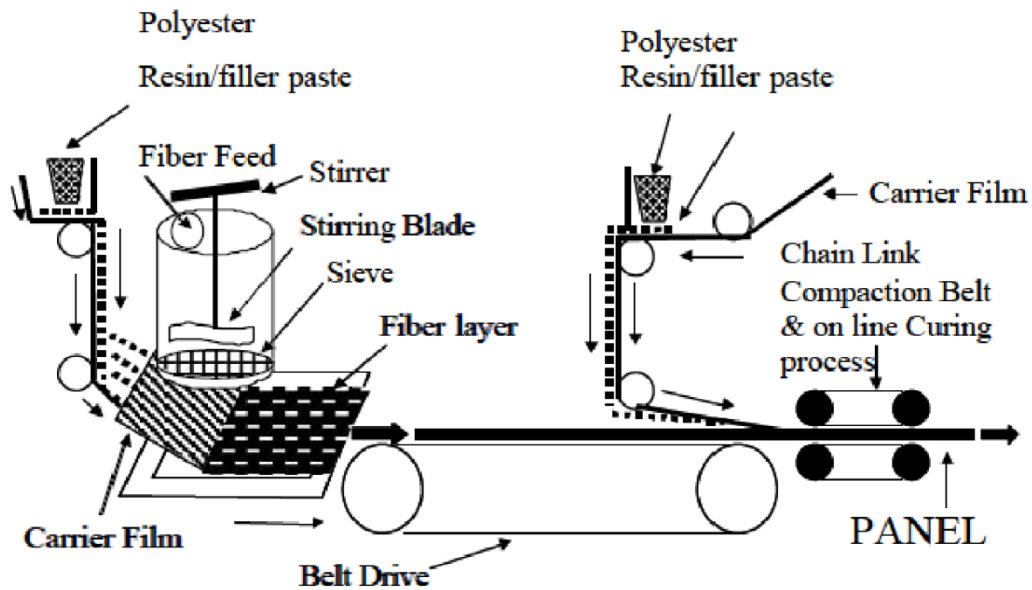
### 3.2.1 Τρέχουσα Τεχνολογία

Οι φυσικές ίνες σε συνδυασμό με συνθετικές ίνες (π.χ. γυαλί) σε μία εντελώς βιο-βασισόμενη μήτρα πολυμερούς ή σε ένα βιο-βασισόμενο ή μη (με βάση το πετρέλαιο) υβριδικό μείγμα έχουν τη δυνατότητα να αλλάξουν ριζικά τη φύση των δομικών υλικών. Μπορούν να προσφέρουν την ίδια απόδοση με μικρότερο βάρος και μπορούν επίσης να είναι 25-30% ισχυρότερα για το ίδιο βάρος. (Mehta, 2003)

**Κατεργασία και Σχεδιασμός.** Οι Βιο-ίνες ορίζονται ως ένα μείγμα επεξεργασμένης επιφάνειας φλοιού (π.χ. κενάφ, κάνναβη) και ίνες φύλλων (π.χ. ανανάς φύλλο ινών, PALF). Το Κενάφ ή η κάνναβης εμφανίζουν εξαιρετική αντοχή και ιδιότητες κάμψης, ενώ οι φυτικές ίνες φύλλων (PALF) δίνουν τις καλύτερες ιδιότητες των επιπτώσεων. Φυσικές ίνες θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για να επιτευχθεί καλή πρόσφυση της μήτρας. Η κατεργασία αλκαλίων (AT) από φυσικές ίνες φαίνεται να είναι πολλά υποσχόμενη, έχοντας το σωστό συνδυασμό των επιφανειακών χημικών και διαρθρωτικά οφελών, μαζί με χαμηλό κόστος. Η αλκαλική κατεργασία ενισχύει την επιφάνεια ταχύτητας των βιο-ινών, προκαλεί μαρμαρυγή επιφάνεια και έτσι δραστικά βελτιώνει την πρόσφυση των ινών της μήτρας.. Βεβαίως, οι βιο-ίνες παρά τα αρκετά θετικά τους, επιδέχονται ακόμα κάποιες βελτιώσεις. Έτσι θα ήταν ιδιαίτερα επιθυμητό η δύναμη και η ακαμψία τους να βελτιωθεί. Εργαστηριακές μετρήσεις δείχνουν ότι ιδιότητές ίσες ή ακόμα και καλύτερες από τις ίνες γυαλιού είναι εφικτές. Επίσης λόγω του ότι οι επιφάνειες τους είναι υδρόφιλες, γεγονός που τις καθιστά ευαίσθητες στην υγρασία, απαιτούνται νέες αποδοτικές επιφανειακές επεξεργασίες για να κάνουν τις επιφάνειες τους περισσότερο υδρόφοβες.

**Τροποποίηση της μήτρας.** Η ακόρεστη πολυεστερική ρητίνη είναι κατά την τρέχουσα χρονική στιγμή, η ρητίνη της μήτρας που χρησιμοποιείται στη μεγαλύτερη ποσότητα. Η βάση της είναι το πετρέλαιο και δεν είναι φιλική προς το περιβάλλον. Μια νέα βιο-ρητίνη, συμβατή με την ακόρεστη πολυεστερική ρητίνη αναπτύχθηκε από σογιέλαιο φωσφορικού εστέρα πολυόλης. Η σύνθεση της μήτρας έχει μεταβληθεί με την προσθήκη της νέας βιο-ρητίνης, σε διάφορες ποσότητες, μειώνοντας έτσι την περιεκτικότητα των προϊόντων πετρελαίου στο σύστημα. Η συμπεριφορά ξήρανσης της μπορεί να τροποποιηθεί για να παρέχει πλήρη σκλήρυνση σε χαμηλή θερμοκρασία. Η σκληρότητα της ρητίνης της μήτρας μπορεί να αυξηθεί με την προσθήκη βιο-ρητίνης. Τα σύνθετα υβριδικά που αποτελούνται από ίνες γυαλιού και βιο-βασισμένο μίγμα πολυεστερικής ρητίνης έγιναν, με σχεδόν τις ίδιες μηχανικές και θερμικές ιδιότητες, όπως όλα τα σύνθετα γυαλιά πολυεστέρα. (Drzal et al.2004)

**Βιο-Σύνθετη Επεξεργασία.** Τα βιο-σύνθετα υλικά μπορούν να ανταγωνιστούν τα σύνθετα υλικά (γυαλί, πολυεστέρα), τόσο στο κόστος όσο και στην απόδοση. Τα περισσότερα από τα υπάρχοντα αποτελέσματα για τα βιο-σύνθετα βασίζονται σε τεχνικές κατασκευής εργαστηριακής κλίμακας. Μια νέα διαδικασία για την κατασκευή βιο-συνθέτων δημιουργήθηκε, όπου βιο-ίνες κατάλληλες για ενίσχυση είναι ασυνεχείς σε μήκος και ψιλοκομμένες σε μικρά μήκη για να ενσωματωθούν σε πολυμερής μήτρες. Θα πρέπει όμως να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή, καθώς συμβατικές διεργασίες εξώθησης μπορούν να βλάψουν τις ίνες και να μειώσουν τις ιδιότητες τους. Ως εκ τούτου, οι νέες διαδικασίες πρέπει να αναπτυχθούν, ή οι παλαιότερες να τροποποιηθούν, προκειμένου να παραχθούν δομικά βιο-σύνθετα υλικά με καλοδιατηρημένες ιδιότητες. Μια τέτοια διαδικασία είναι η διαδικασία μορφοποίησης φύλλου (SMC) όπου οι κομμένες ίνες σε συνδυασμό με μια θερμοσκληρυνόμενη ρητίνη και ένα πληρωτικό (ανθρακικό ασβέστιο) παράγουν ένα υλικό συμπίεσης αποτυπώματος κατάλληλο για χαμηλού κόστους πάνελ στέγασης. Μια σχηματική αναπαράσταση φαίνεται στην Σχήμα 3.3.

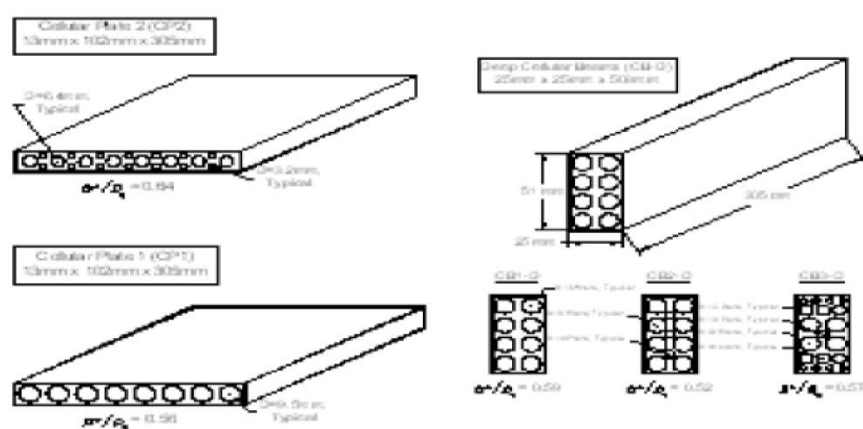


Σχήμα 3.3: Σχηματική απεικόνιση συνεχιζόμενων βιο-σύνθετων πάνελ (Drzal et al. 2004)

Οι μικροί χρόνοι του κύκλου παραγωγής και η εξαιρετική εμφάνιση της επιφάνειας μπορούν να κάνουν το SMC ελκυστικό ως υλικό πίνακα. Οι ιδιότητες του μπορούν να προσαρμοστούν μεταβάλλοντας το περιεχόμενο της ίνας. Βέβαια όσον αφορά μελλοντικές έρευνες, απαιτούνται προσεγγίσεις για να δημιουργηθούν θερμοσκληρυντικά και θερμοπλαστικά βιολογικής προέλευσης και ταυτόχρονα να είναι σε θέση να ενεργοποιηθεί η βιοδιασπασιμότητάς τους με έναν ελεγχόμενο τρόπο. (Drzal et al. 2004)

**Υβριδικές βιο-σύνθετες δομικές μορφές.** Η έννοια των υβριδικών συστημάτων για βελτιωμένα υλικά είναι μια γνωστή έννοια στο σχεδιασμό της μηχανικής. Μεταξύ των πιο κοινών και αποτελεσματικών δομών της φύσης είναι οι κυτταρικές δομές, που αποτελούνται από ένα πολύπλοκο δίκτυο διαφορετικού μεγέθους κύτταρα διατεταγμένα κατά μήκος του τμήματος που οδηγούν σε πυκνές περιοχές και συνδέονται με τις περιοχές χαμηλότερης πυκνότητας, ή του πυρήνα. Η ακαμψία των βιοσύνθετων υλικών μπορεί να ξεπεραστεί με τις διαρθρωτικές ρυθμίσεις που θέτουν στο υλικό συγκεκριμένες θέσεις για την υψηλότερη δομική απόδοση. Τα

κυτταρινούχα υλικά έχουν στη γενική μορφή τους είτε δύο διαστάσεις (κηρήθρες) ή τρεις (αφροί) με μοναδικές ιδιότητες που εξαρτώνται από τη σύνθεση του στερεού υλικού, του κλάσματος όγκου του στερεού, τη διάταξη και τη γεωμετρία των κυττάρων. Οι κυτταρικοί πυρήνες βιο-σύνθετων υλικών κατασκευασμένοι από βιομηχανική κάνναβη ή ίνες από λινάρι με ακόρεστο πολυεστέρα και που υβριδοποιήθηκαν με υφαντά γιούτα, ψιλοκομμένο γυαλί και υφάσματα άνθρακα έδειξαν βελτιωμένη ακαμψία, αντοχή και σταθερότητα της απορρόφησης και της υγρασίας, ενώ οι κοπτικές δοκιμές σε δοκούς και πλάκες εργαστηριακής κλίμακας (Σχήμα 3.4) κατέδειξαν αυξημένη δομική συμπεριφορά.



Σχήμα 3.4: Γεωμετρική διατομή κυψελοειδών πλακών και δοκαριών (Drzal et al. 2004)

Οι μηχανικές ιδιότητες ενισχύονται από την αποτελεσματική διεύθετηση του υλικού, ενώ η μείωση της απορρόφησης υγρασίας οφείλεται στο φράγμα που παρέχεται από τις πιο αδιαπέραστες συνθετικές ίνες. Τα αποτελέσματα από μελέτη έδειξαν ότι η κυτταρικοί βιο-σύνθετοι δοκοί και οι πλάκες δεν έχουν μόνο τη δυνατότητα να χρησιμεύσει ως πρωταρχικά φέροντα στοιχεία, αλλά ότι με την πρόσθετη έρευνα μπορούν να ανταγωνιστούν τα συμβατικά δομικά υλικά. Τέλος όσον αφορά τις μηχανικές ιδιότητες που είναι πρωταρχικής σημασίας για δομικές εφαρμογές, καλό θα ήταν να περιλαμβάνουν ακαμψία, αντοχή στην κρούση και αντοχή σε ερπυσμό. (Drzal et al.2004)

### 3.3 Παραγωγή υλικών συσκευασίας

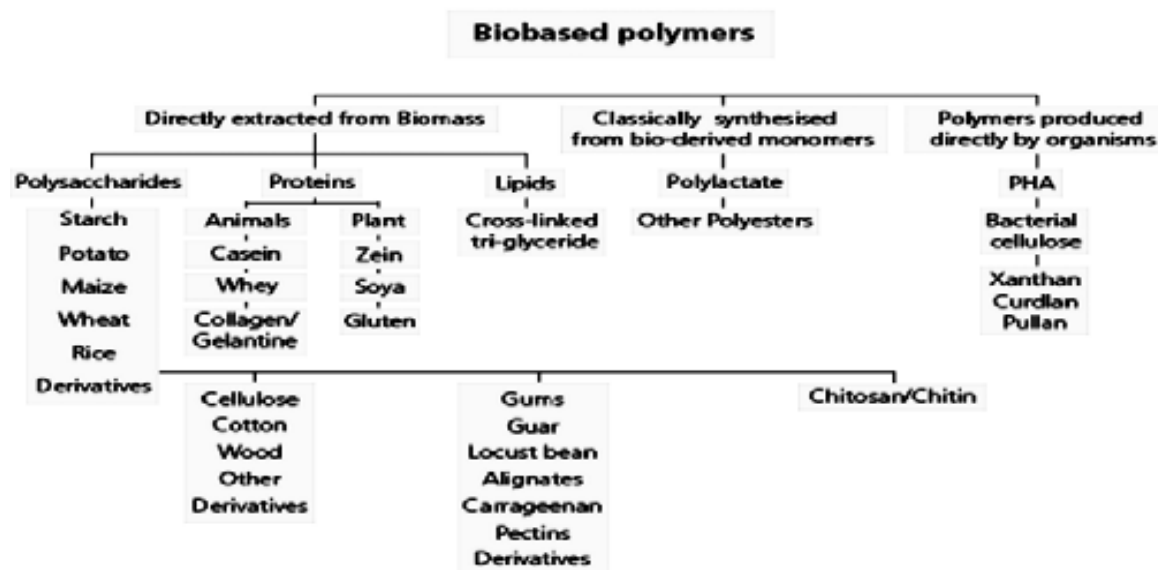
Από τα τέλη του περασμένου αιώνα τα περισσότερα μη-καύσιμα βιομηχανικά προϊόντα, όπως οι βαφές, τα μελάνια, τα χρώματα, τα φάρμακα, τα χημικά προϊόντα, είδη ένδυσης, συνθετικές ίνες και πλαστικά προέρχονταν από πηγές βιολογικής προέλευσης. Κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών, οι κορυφαίες παγκοσμίως ερευνητικές ομάδες έχουν εργαστεί για την ανάπτυξη νέων βιοαποικοδομήσιμων συσκευασιών, οι οποίες βασίζονται σε ανανεώσιμες βιολογικές πηγές. Οι πρόσφατες εξελίξεις αυξάνουν τις προοπτικές που δείχνουν ότι τα υλικά, τα οποία προέρχονται από φυσικούς πόρους θα είναι ο κύριος συντελεστής για την παραγωγή βιομηχανικών προϊόντων.

Τα πολυμερή που προέρχονται από ανανεώσιμες πηγές (βιο-πολυμερή) σε γενικές γραμμές κατατάσσονται σύμφωνα με τη μέθοδο παραγωγής τους. Αυτό δίνει τις ακόλουθες τρεις κύριες κατηγορίες:

- ❖ Πολυμερή, τα οποία εξάγονται απευθείας από φυσικά υλικά (κυρίως φυτά).
- ❖ Πολυμερή τα οποία παράγονται από την «κλασική» χημική σύνθεση των ανανεώσιμων βιο-προέρχόμενων μονομερών.
- ❖ Πολυμερή που παράγονται από μικροοργανισμούς ή γενετικά μετασχηματισμένα βακτηρίων.

Σε γενικές γραμμές, σε σύγκριση με τα συμβατικά πλαστικά που προέρχονται από ορυκτό έλαιο, τα πολυμερή βιολογικής προέλευσης έχουν περισσότερο ποικιλόμορφη χημεία και αρχιτεκτονική πλευρικών αλυσίδων δίνοντας στα υλικά μοναδικές δυνατότητες, που προσαρμόζονται με τις ιδιότητες της τελικής συσκευασίας. (Petersen *et al.* 1999)





Σχήμα 3.5: Σχηματική παρουσίαση των βιο-βασιζόμενων πολυμερών με βάση την προέλευση τους και τον τρόπο παραγωγής τους (Petersen et al. 1999)

Τα υλικά από τις τρεις κατηγορίες χρησιμοποιούνται για τη συσκευασία ή έχουν σημαντικές δυνατότητες σε αυτόν τον τομέα. Ωστόσο, το πεδίο της συσκευασίας εξακολουθεί να κυριαρχείται από ορυκτά έλαια πολυμερή όπως πολυαιθυλένιο (PE) και πολυστυρένιο (PS), παρά τις παγκόσμιες ανησυχίες για το περιβάλλον, υποδεικνύοντας ότι τα προβλήματα που παραμένουν σχετίζονται με τη χρήση αυτών των ανανεώσιμων πρώτων υλών. Μια αξιοσημείωτη εξαίρεση είναι η κυτταρίνη, η οποία με τη μορφή χαρτιού και χαρτονιού/χαρτοκιβώτιο έχει ευρεία χρήση ως εξωτερικό στρώμα της συσκευασίας. (Robson and Lawther, 1994). Η μη τροποποιημένη κυτταρίνη σε αυτή τη μορφή είναι πολύ βιοαποικοδομήσιμο υλικό. Ωστόσο, το χαρτί είναι ινώδες και αδιαφανές με κακό φράγμα και αντοχή στην υγρασία. Ως εκ τούτου, ο ρόλος της θα παραμείνει περιορισμένος στην εξωτερική συσκευασία, εκτός από πολύ συγκεκριμένες περιπτώσεις (π.χ. ξηρά προϊόντα).

Τα προβλήματα που σχετίζονται με τις ανανεώσιμες πηγές των βιοπολυμερών είναι τρεις: η απόδοση, η επεξεργασία, και το κόστος. Παρά το γεγονός ότι αυτοί οι παράγοντες είναι κάπως αλληλένδετοι, τα προβλήματα που οφείλονται στην απόδοση και την επεξεργασία είναι πιο έντονα, με τα πολυμερή να εξάγονται απ'ευθείας από τη βιομάζα (π.χ. κυτταρίνη, άμυλο, πρωτεΐνες). Αντίθετα, τα πολυμερή που ανήκουν



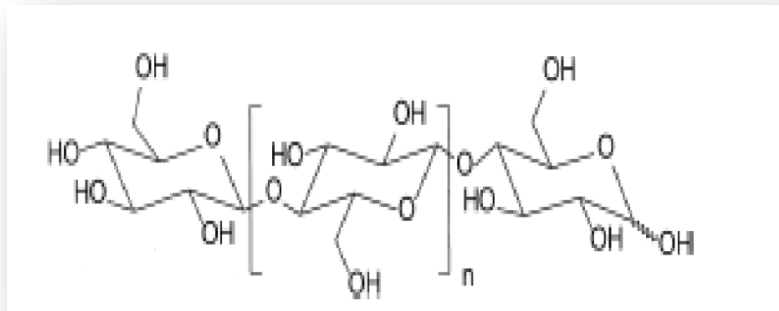
στις άλλες δύο κατηγορίες, γενικά αποδίδουν και επεξεργάζονται καλύτερα χρησιμοποιώντας πρότυπες τεχνικές πλαστικού, αλλά τείνουν να είναι πιο ακριβά σε σύγκριση με τα συνθετικά υλικά. Παραδείγματα των πιο απλών βιο-πολυμερών αποτελούν η κυτταρίνη, το άμυλο, οι πηκτίνες, και οι πρωτεΐνες. Όλα είναι από τη φύση τους υδρόφιλα και κάπως κρυσταλλικά, με αυτούς τους παράγοντες να προκαλούν προβλήματα επεξεργασίας και απόδοσης, ιδιαίτερα σε σχέση με τη συσκευασία υγρών προϊόντων. Από την άλλη πλευρά, αυτά τα πολυμερή δημιουργούν υλικά με εξαιρετικούς φραγμούς αέριων (Petersen et al.,1999).

### 3.3.1 Πολυμερή, από φυσικά υλικά

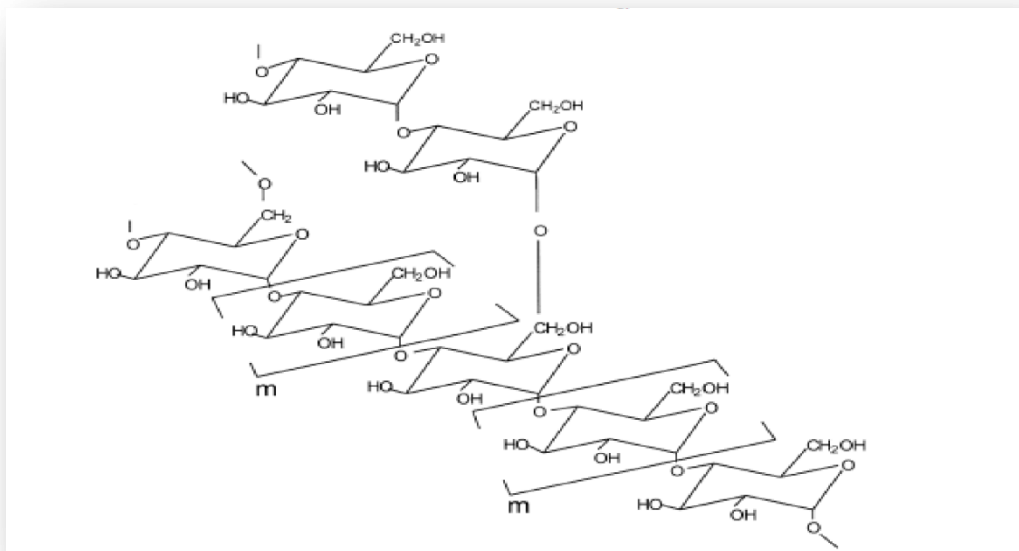
**Κυτταρίνη.** Είναι το πιο άφθονο φυσικό πολυμερές στη γη, πολύ φθινό ως πρώτη ύλη και είναι ένα ουσιαστικά γραμμικό πολυμερές ανυδρογλυκόζης. Ως συνέπεια της χημικής της δομής, είναι ιδιαίτερα κρυσταλλική, ινώδης, και αδιάλυτη.( SjöÈ stroÈ, 1981). Ως εκ τούτου, για την παραγωγή μεμβρανών, η κυτταρίνη διαλύεται σε ένα επιθετικό, τοξικό μίγμα υδροξειδίου του νατρίου και διθειάνθρακα και στη συνέχεια, αναπλάθεται σε θειικό οξύ. Αυτό παράγει μια ταινία σελοφάν με καλές μηχανικές ιδιότητες. Είναι υδρόφιλο και, κατά συνέπεια, ευαίσθητο στην υγρασία, ενώ δεν είναι θερμοπλαστικό και ως εκ τούτου, δεν είναι θερμόσφραγισμο. Συχνά επικαλύπτεται με κερί νιτροκυτταρίνης (NC-W) ή χλωριούχο πολυβινυλιδένιο (PVDC), λόγω της σχετικά φτωχής ιδιότητας στους φραγμούς υγρασίας της. Σε χαμηλά επίπεδα σχετικής υγρασίας το σελοφάν είναι ένα καλό φράγμα αερίου. Ωστόσο, οι ιδιότητες του φραγμού μειώνονται στις ενδιάμεσες και στις υψηλές σχετικές υγρασίες. Η επιστροφή μειώνει την επίδραση της σχετικής υγρασίας για τις ιδιότητες φραγμού, αλλά αυξάνει αναπόφευκτα το κόστος παραγωγής.( Krochta, and Mulder-Johnston, 1997)

Η τροποποίηση της κυτταρίνης είναι δαπανηρή και δύσκολη. Για ρεαλιστικά θερμοπλαστική επεξεργασία, η οξική κυτταρίνη χρειάζεται μία προσθήκη έως και 25% πλαστικοποιητή. Μπορεί να υπάρχουν σημαντικές δυνατότητες για τη χρήση του βιολογικής προέλευσης πλαστικοποιητή, ωστόσο, επί του παρόντος, δεν χρησιμοποιείται κανένας εμπορικά. Οι ιδιότητες του φραγμού αέρος και υγρασίας από την οξική κυτταρίνη δεν είναι οι βέλτιστες.

**Άμυλο.** Είναι ένας άλλος ευρέως άφθονος πολυσακχαρίτης που λαμβάνεται σε κοκκώδη μορφή από το καλαμπόκι, από κόκκους δημητριακών, από ρύζι και πατάτες. Το άμυλο είναι ουσιαστικά ένα μίγμα από αμυλόζη, ένα σχεδόν γραμμικό πολυμερές ανυδρογλυκόζης και αμυλοπηκτίνης, ένα εξαιρετικά διακλαδισμένο πολυμερές ανυδρογλυκόζης (Σχήμα 3.6 και 3.7).



Σχήμα 3.6: Χημική δομή της αμυλόζης.



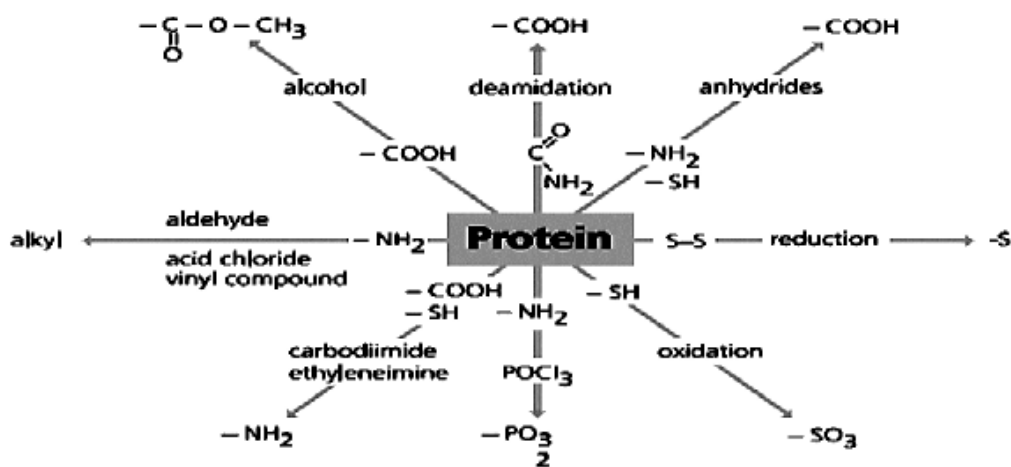
Σχήμα 3.7: Χημική δομή της αμυλοπηκτίνης.

Στον τομέα της συσκευασίας, το άμυλο πρόσφατα έχει λάβει μεγάλη προσοχή (Fritz et al, 1995). Είναι βιοαποικοδομήσιμο σε πολύ μεγάλο βαθμό και έχει εγγενώς χαμηλό κόστος, αλλά είναι επίσης πολύ υδρόφιλο (κακή φράγμα υγρασίας). Τέλος, είναι εν μέρει κρυσταλλικό, με αποτέλεσμα αυτού, οι μέτριες ιδιότητες φραγμού του φυσικού αερίου. Επίσης οι μηχανικές ιδιότητες του είναι γενικά κατώτερες από τις συνθετικές πολυμερές μεμβράνες. Όταν σε έναν πλαστικοποιητή, όπως το νερό προστίθεται άμυλο, τότε επιδεικνύεται μία θερμοπλαστική συμπεριφορά. Λόγω αυτών των παραγόντων, το άμυλο απαιτεί ουσιαστική μεταποίηση πριν από την παραγωγή μιας σταθερής μεμβράνης . Αυτό επιτυγχάνεται γενικά μέσω της αποδόμησης και της πλαστικοποίησης σε ένα εξωθητή, ή μέσω της τροποποίησης. Είναι επίσης κοινή πρακτική να προστίθενται άφθονες ποσότητες συνθετικού πολυμερούς με το άμυλο. Αυτό είναι κανονικά πολυβινυλική αλκοόλη (PVA) ή πολυκαπρολακτόνη. Οι μεμβράνες που παράγονται έχουν αρκετή διαφάνεια. Το συστατικό του αμύλου της μεμβράνης είναι βιοαποικοδομήσιμο, ενώ τα άλλα συστατικά αποικοδομούνται κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης. (Petersen et al.,1999).

Μια εναλλακτική στρατηγική είναι η άμεση χημική τροποποίηση του αμύλου. Στη βιομηχανία παράγεται τροποποιημένο άμυλο για έναν αριθμό τελικών χρήσεων, αλλά αυτό συνήθως αντιπροσωπεύει μόνο την επιφανειακή τροποποίηση των κόκκων αμύλου (π.χ. κατιονικά άμυλα για την επεξεργασία του χαρτιού) (Koch et al, 1992). Μικρή είναι η ποσότητα πλήρως τροποποιημένου άμυλου στην αγορά σήμερα. Η διαδικασία τροποποίησης είναι πιθανό να είναι δαπανηρή, αν και το άμυλο είναι λιγότερο κρυσταλλικό και πιο προσιτό από τη χημική κυτταρίνη. Επιπλέον, το άμυλο είναι πιο ευάλωτο στην αποικοδόμηση κατά τη διάρκεια της τροποποίησης από ότι η κυτταρίνη, και οι συνθήκες που χρησιμοποιούνται πρέπει να είναι ήπιες, για να αποφευχθεί ο εκτεταμένος αποπολυμερισμός και η απώλεια των ιδιοτήτων. Παρ'όλους τους παραπάνω παράγοντες, το άμυλο παραμένει ο πιο πολλά υποσχόμενος από τους διαθέσιμους πολυσακχαριτες, καθώς επεξεργάζεται ευκολότερα από την κυτταρίνη, είναι χαμηλού κόστους, και πολύ βιοαποικοδομήσιμος. Η πρόκληση είναι να αναπτυχθούν στρατηγικές για τη βελτίωση της σταθερότητας, της υγρασίας των μεμβρανών από άμυλο χωρίς την εξάλειψη αυτών των ευνοϊκών παραγόντων. (Petersen et al.,1999).

**Πρωτεΐνες.** Έχουν τραβήξει εκ νέου την προσοχή ως διασπώμενες, ανανεώσιμες μεμβράνες πολυμερών. Παραδοσιακά, οι πρωτεΐνες χρησιμοποιούνται σε κόλλες και ως βρώσιμες μεμβράνες. Ωστόσο, έχουν σημαντικές δυνατότητες. Οι εφαρμογές εξώθησης τους είναι δυνατές σε σχέση με τις πρωτεΐνες των φυτών, όπως το σιτάρι και η γλουτένη και οι πρωτεΐνες σπόρων. Ωστόσο, οι πρωτεΐνες που προέρχονται από το ζωικά απόβλητα ιστών όπως το κολλαγόνο είναι απίθανο να είναι ελκυστικές από την άποψη των καταναλωτών, λόγω της αρνητικής δημοσιότητας τους. Οι μεμβράνες πρωτεΐνης έχουν δείξει καλές ιδιότητες φραγμού αέρος και πολλές από αυτές είναι ανθεκτικές στο νερό, αν και δεν είναι εντελώς υδρόφοβες.

Ένας από τους τρόπους για να τροποποιηθούν οι ιδιότητες της πρωτεΐνης είναι η χημική τροποποίηση τους όπως φαίνεται στο σχήμα, μιας και οι πρωτεΐνες περιέχουν μια ευρεία ποικιλία από χημικές ομάδες, οι οποίες μπορούν να βοηθήσουν προσαρμόζοντας τις ιδιότητες της πρωτεΐνης προς συγκεκριμένες εφαρμογές (Graaf και Kolster, 1998).



Σχήμα 3.8: Οι πολυάριθμες και ποικίλες πλευρικές αλυσίδες των πρωτεϊνών

**Καζεΐνη.** Είναι μια πρωτεΐνη που προέρχεται από το γάλα. Είναι εύκολα επεξεργάσιμη και αυτό οφείλεται στην τυχαία δομή της σπείρας της. Κατά την επεξεργασία της με κατάλληλους πλαστικοποιητές σε θερμοκρασίες από 80-100 ° C, τα υλικά μπορούν να μετατραπούν με μηχανική απόδοση που κυμαίνεται από το

άκαμπτο και το εύθραυστο για ευέλικτη και σκληρή απόδοση. Σε γενικές γραμμές, οι μεμβράνες καζεΐνης έχουν μια αδιαφανή εμφάνιση. Το κύριο μειονέκτημα της όμως είναι η σχετικά υψηλή τιμή της. Η καζεΐνη χρησιμοποιήθηκε ως ένα θερμοσκληρυντικό πλαστικό για τα κουμπιά στη δεκαετία του '40 και του '50, ενώ ακόμα χρησιμοποιείται έως και σήμερα για την τοποθέτηση ετικετών σε φιάλες λόγω της εξαιρετικής συγκολλητικής της ιδιότητας (Otles και Otles, 2004).

**Γλουτένη.** Είναι η κύρια πρωτεΐνη αποθήκευσης του σιταριού και του καλαμποκιού. Η μηχανική κατεργασία της γλουτένης οδηγεί στο σχηματισμό δισουλφιδικής γέφυρας που σχηματίζεται από το κυστεΐνο αμινοξύ το οποίο είναι σχετική αφθονία στη γλουτένη. Οι θερμοκρασίες επεξεργασίας, ανάλογα με τα περιεχόμενα του πλαστικοποιητή, κυμαίνονται από τους 70- έως τους 100 ° C. Οι μηχανικές ιδιότητες μπορεί να διαφέρουν στο ίδιο εύρος με εκείνες της καζεΐνης. Τα Πλαστικά από γλουτένη παρουσιάζουν υψηλή γυαλάδα (παρόμοια με του πολυπροπυλένιο) και παρουσιάζουν καλή αντίσταση στο νερό κάτω από ορισμένες συνθήκες. Επίσης δεν διαλύεται στο νερό, αλλά απορροφά νερό κατά τη διάρκεια της βύθισης της. Λόγω της αφθονίας και της χαμηλής τιμής της, η έρευνα σχετικά με τη χρήση της γλουτένης στις μεμβράνες, στις κόλλες, ή σε θερμοπλαστικές εφαρμογές διενεργείται επί του παρόντος (Otles και Otles, 2004).

**Πρωτεΐνες σόγιας.** Είναι διαθέσιμες στο εμπόριο ως άλευρο σόγιας, συμπύκνωμα σόγιας και απομονωμένης σόγιας και όλα διαφέρουν σε περιεκτικότητα πρωτεϊνών. Η πρωτεΐνη σόγιας είναι παρόμοια με τη γλουτένη και διαθέτει και παρόμοιες μηχανικές ιδιότητες. Οι πιο επιτυχημένες εφαρμογές των πρωτεϊνών σόγιας ήταν η χρήση σε κόλλες, μελάνια και σε επιστρώσεις χαρτιού (Fossen, και Mulder 1998).

**Κερατίνη.** Είναι η κατά πολύ φθηνότερη πρωτεΐνη. Μπορεί να εξαχθεί από απόβλητα, όπως μαλλιά, νύχια και φτερά. Λόγω της δομής της και της υψηλής περιεκτικότητας της σε ομάδες κυστεΐνης, η κερατίνη είναι επίσης η πιο δύσκολη επεξεργάσιμη πρωτεΐνη. Μετά την επεξεργασία της, λαμβάνεται ένα πλήρως βιοδιασπώμενο, αδιάλυτο στο νερό πλαστικό. Ωστόσο, οι μηχανικές ιδιότητες της είναι ακόμα χαμηλές σε σύγκριση με τις πρωτεΐνες που αναφέρονται παραπάνω (Shukla, 1992).

### **3.3.2 Πολυμερή από ανανεώσιμα βιο-προερχόμενα μονομερή**

Παράγεται από την κλασσική χημική σύνθεση βιο-βασισμένων μονομερών και δίνει ένα ευρύ φάσμα πιθανών βιο-πολυεστέρων. Μέχρι σήμερα, το πολυγαλακτικό οξύ είναι πολυμερές με το υψηλότερο δυναμικό για μια μεγάλης κλίμακας, εμπορική παραγωγή υλικών συσκευασίας από ανανεώσιμες πηγές. Τα υλικά PLA έχουν ένα καλό φράγμα υδρατμών και επίσης έχουν σχετικά χαμηλή διαπερατότητα αέρος. Η πρώτη ύλη που μπορεί να χρησιμοποιηθεί είναι γεωργικοί πόροι (π.χ. το καλαμπόκι ή το σιτάρι,) ή εναλλακτικά, γεωργικά προϊόντα των αποβλήτων, (π.χ. ορός γάλακτος ή πράσινος χυμός). Ωστόσο, μπορεί να γίνει ένα ευρύ φάσμα άλλων βιο-πολυεστέρων. Θεωρητικά, όλα τα συμβατικά υλικά συσκευασίας που προέρχονται από ορυκτέλαιο σήμερα, μπορεί στο μέλλον να παράγονται από ανανεώσιμα μονομερή που έχουν αποκτηθεί από π.χ. ζύμωση. Σήμερα, αυτή η προσέγγιση δεν είναι οικονομικά εφικτή λόγω του κόστους της παραγωγής των μονομερών. (Shalini and Singh, 2009)

Το γαλακτικό οξύ, το μονομερές του πολυγαλακτικού οξέος (PLA), μπορεί εύκολα να παραχθεί με ζύμωση υδατάνθρακα πρώτης ύλης. Η τροφοδοσία σε υδατάνθρακες μπορεί να είναι από γεωργικά προϊόντα, όπως το καλαμπόκι, το σιτάρι ή εναλλακτικά μπορεί να αποτελείται από αποβλήτων από τη γεωργία ή τη βιομηχανία τροφίμων (μελάσα, ορός γάλακτος, πράσινος χυμός, κλπ). Πρόσφατα αποτελέσματα δείχνουν ότι μια οικονομικά αποδοτική παραγωγή του PLA μπορεί να βασίζεται στη χρήση των πράσινων χυμών, ένα προϊόν αποβλήτων από την παραγωγή ζωοτροφών. Ο PLA είναι ένας πολυεστέρας με υψηλό δυναμικό για εφαρμογές συσκευασίας. (Sinclair, 1996)

### **3.3.3 Πολυμερή από μικροοργανισμούς ή γενετικά μετασχηματισμένα βακτήρια**

Σε αυτή την κατηγορία το πολυμερές "παράγεται απευθείας από φυσικούς ή γενετικά τροποποιημένους οργανισμούς. Λόγω της βιοδιασπασιμότητας και της βιοσυμβατότητας τους αυτοί οι βιοπολυεστέρες μπορούν εύκολα να βρουν βιομηχανικές εφαρμογές. Μεγάλο ενδιαφέρον παρουσιάζει που πρόσφατη έρευνα που έχει αποκαλύψει, ότι μια μεγάλη ποικιλία από PHAs μπορεί να συντίθενται με μικροβιακή ζύμωση. Η σύνθεση του μονομερούς του PHA εξαρτάται από τη φύση

της πηγής του άνθρακα και του μικροοργανισμού που χρησιμοποιείται. Μια πολύ ενδιαφέρουσα ιδιότητα των PHA σε σχέση με εφαρμογές συσκευασίας τροφίμων είναι η χαμηλής διαπερατότητα υδρατμών.

Η χημική και η φυσική δομή τους είναι ταυτόσημη με της κυτταρίνης που σχηματίζεται στα φυτά. Η κυτταρίνη των φυτών, όμως, πρέπει να υποβληθεί σε σκληρή χημική επεξεργασία και αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη σημαντική μείωση των χαρακτηριστικών των υλικών κυτταρίνης των φυτών. Η βακτηριακή κυτταρίνη είναι υψηλά κρυσταλλική και μόνο το 70% είναι υπό μορφή κυτταρίνης, ενώ το υπόλοιπο είναι άμορφο. Αυτή η σύνθεση έχει ως αποτέλεσμα εξαιρετικές ιδιότητες των υλικών. Το κόστος παραγωγής της βακτηριακής κυτταρίνης είναι υψηλό λόγω της χαμηλής απόδοσης της βακτηριακής. (Shalini and Singh, 2009)

### **3.4 Παραγωγή προσροφητικών μέσων**

Προσρόφηση είναι η συσσώρευση ατόμων ή μορίων επί της επιφάνειας ενός υλικού. Αυτή η διαδικασία δημιουργεί μία μεμβράνη επί της επιφάνειας του προσροφητικού μέσου και είναι μια διαδικασία που βασίζεται μονάχα στην επιφάνεια ενώ η απορρόφηση περιλαμβάνει το σύνολο του όγκου του υλικού. Η προσρόφηση είναι μια αναγνωρισμένη μέθοδος για την απομάκρυνση των βαρέων μετάλλων από το νερό των αποβλήτων. Τα προσροφητικά υλικά, τα οποία χρησιμοποιούνται συνήθως, θα πρέπει να έχουν υψηλή αντοχή στην τριβή, υψηλή θερμική σταθερότητα και μικρή διάμετρο πόρου, η οποία οδηγεί σε υψηλότερη εκτεθειμένη επιφάνεια και ως εκ τούτου υψηλή ικανότητα επιφάνειας για προσρόφηση. Τα προσροφητικά υλικά πρέπει επίσης να έχουν μια ξεχωριστή δομή πόρων έτσι ώστε να επιτρέπουν τη γρήγορη μεταφορά των στοχευόμενων μορίων. Πολλά προσροφητικά υλικά χαμηλού κόστους έχουν αναπτυχθεί και δοκιμαστεί για την απομάκρυνση ιόντων βαρέων μετάλλων μέχρι τώρα, τα οποία αντανακλούν ποικίλες αποδόσεις προσρόφησης ανάλογα με τον τύπο του προσροφητικών, που χρησιμοποιήθηκαν. (Bilal et al, 2013)

Όσον αφορά τα βιοπροσροφητικά μέσα, η έρευνα είναι ακόμα σε εξέλιξη, έτσι ώστε να εξερευνηθούν φθηνότερες και οικονομικότερες βιώσιμες τεχνολογίες επεξεργασίας, μιας και άλλες μέθοδοι αν και έχουν καλές αποδόσεις, έχουν ταυτόχρονα υψηλό λειτουργικό κόστος, πολυπλοκότητα διαδικασίας, παραγωγής

μεγαλύτερων ποσοτήτων τοξικών ιλύων κ.α. Η βιο-προσρόφηση είναι μία από τις διαθέσιμες αποτελεσματικές διεργασίες για την απομάκρυνση βαρέων μετάλλων σε χαμηλές συγκεντρώσεις με φθινό υλικό, γρήγορη ανάκτηση μετάλλων και αναγέννηση βιο-προσροφητικών. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται σε αυτή τη διαδικασία ονομάζονται βιο-προσροφητικά. Πολλοί παράγοντες επηρεάζουν τις ικανότητες προσρόφησης της βιομάζας συμπεριλαμβανομένης της αρχικής συγκέντρωσης του μετάλλου, της δόση προσροφητικού υλικού, της θερμοκρασίας, του pH, του χρόνου επαφής. Επίσης η διαθεσιμότητα, το χαμηλό τους κόστος και η αποτελεσματικότητα τους είναι μερικοί παράγοντες επιλογής της βιομάζας ως προσροφητικό μέσο. Κατά την τελευταία δεκαετία, το δυναμικό των βιο-προσροφητικών από μύκητες, φύκια, βακτήρια, ζυμομύκητες, δασικά και γεωργικά απόβλητα πηγών έχουν ελεγχθεί. (Demirbas, 2008)

**Βιομάζα Μυκήτων.** Η βιομάζα των μυκήτων έχει διερευνηθεί για το δυναμικό της ως προσροφητικό μέσο για την απομάκρυνση μετάλλων από τα λύματα. Ο *Aspergillus niger* είναι ένα από τα πιο σημαντικά είδη των μυκήτων που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία ζύμωσης και έχει χρησιμοποιηθεί ως προσροφητικό μέσο. Μια μικτή ποικιλία λευκών μυκήτων σήψης έχουν δείξει την μέγιστη προσρόφηση υπό βελτιστοποιημένες συνθήκες pH, χρόνου επαφής και της αρχική συγκέντρωση του μετάλλου. Ο μύκητας *Agaricus bisporus* έχει επίσης δείξει τις καλές του προσροφητικές του δυνατότητες. Ακολουθεί μια σειρά μυκήτων, οι οποίοι στις κατάλληλες συνθήκες, θα μπορούσαν να αποδώσουν πολύ καλά αποτελέσματα. Αυτοί είναι ο *Tremella fuciformis*, ο *Auricularia Polytricha*, ο *Trametes Versicolor* κ.α

**Βιομάζα από φύκια.** Τα τοιχώματα των κυττάρων ενός μεγάλου αριθμού διαφορετικών λειτουργικών ομάδων στην βιομάζα φυκιών τα καθιστά ιδιαίτερα κατάλληλους υποψήφιους για να χρησιμοποιηθούν ως μια φθινή πηγή προσροφητικών μέσων. Τα φύκια αποτελούν τους πιο συχνούς φωτοσυνθετικούς ευκαρυωτικούς οργανισμούς, με δυνατότητα επιβίωσης σε τόσο γλυκό και το θαλασσίνο υφάλμυρο νερά. Τα μικροφύκη *Species Spirogyra*, *Driedgreen* και *Caulerpa lentillifera* έχουν επίσης προταθεί ως βιοπροσροφητικά μέσα, όπως και τα πράσινα φύκια *Ulothrix zonata* και τα καφέ φύκια *Turbinariaornate*. Οι ικανότητες



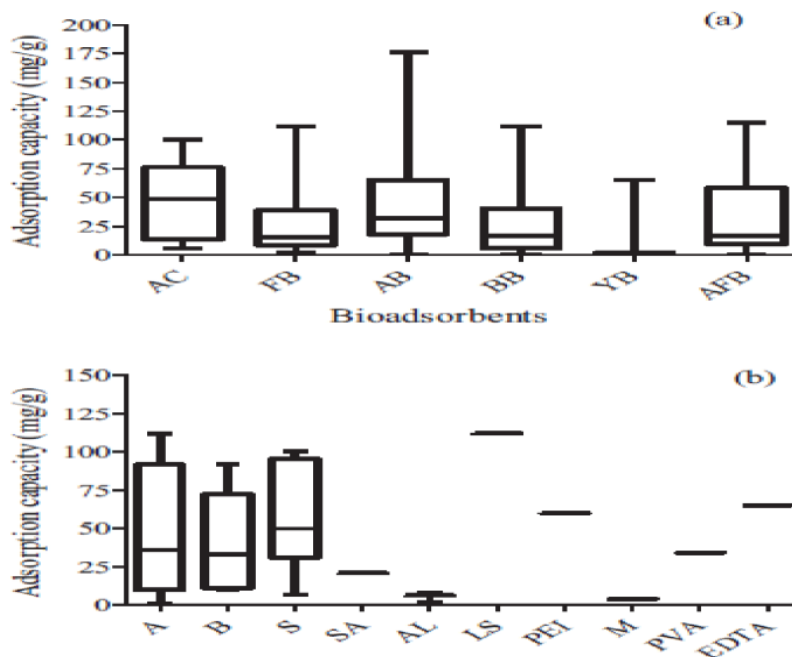
προσρόφησης της βιομάζας παραμένουν ανθεκτικές μετά από επτά κύκλους ρόφησης-εκρόφησης. Επίσης τα απόβλητα των φύκιων έχουν χρησιμοποιηθεί και βιομηχανικά. Οι μικρές πλάκες των φυκιών *Spirulina*, σε ενυδατωμένες και αφυδατωμένες συνθήκες, έχουν δείξει ιδιαίτερα μεγάλες δυνατότητες προσρόφησης μετάλλων, οι οποίες μπορούν να φτάσουν έως και 90% (περίπτωση χαλκού). Επίσης η αποξηραμένη βιομάζα *Spirogyra neglecta*, αποτελεί ένα αρκετά καλό προσροφητικό μέσο. Ωστόσο και στην περίπτωση των φυκιών ο χρόνος επαφής, η αρχική συγκέντρωση μετάλλου, το pH και η δόση προσροφητικού έχουν καταγραφεί ως κύριοι παράγοντες στην επιρροή της συχνότητας πρόσληψης μετάλλου. (Bilal et al, 2013)

**Μικροβιακά προσροφητικά μέσα.** Μια τρίτη κατηγορία βιομάζας, η οποία έχει μελετηθεί για την χρήση της ως προσροφητικό μέσο είναι αυτή των μικροβίων. Τέτοιου είδους μικρόβια, θα μπορούσαν να είναι τα ακτινοβακτήρια, τα ακινητοποιημένα βακτήρια και τα νεκρά κύτταρα του *Bacillus sp.*, του *Micrococcus sp.* και του *Pseudomonas sp.* Παρά το γεγονός ότι η χρησιμοποίηση αυτών των οργανισμών φαίνεται να είναι πολλά υποσχόμενη, το συγκρότημα με τις βιοχημικές αντιδράσεις και τα στενά εύρη των διαφόρων παραμέτρων, όπως το pH, η θερμοκρασία προκαλούν ακόμα μεγαλύτερα εμπόδια στη χρησιμοποίηση αυτής της τεχνικής. Επιπλέον, οι μεγάλες ποσότητες των υγρών αποβλήτων είναι βαριά φορτωμένες με πολλαπλά δυσθερή μεταλλικά ιόντα και δεν μπορούν να αντιμετωπιστούν αποτελεσματικά από τους οργανισμούς αυτούς, λόγω των περιορισμένων δυνατοτήτων στην στήριξη μετάλλων.

**Ζύμες ως προσροφητικά μέσα.** Οι ζύμες είναι καλά παραδείγματα μυκήτων που έχουν μέγεθος σώματος μεγαλύτερο από τα βακτήρια. Όπως και άλλοι οργανισμοί, οι ζύμες έχουν πυρήνα και συνδέονται με κυτταροπλασματικά οργανίδια. Το κυτταρόπλασμα σε ζωντανά κύτταρα είναι υπεύθυνο για τις αλληλεπιδράσεις με τα ιόντα μετάλλων. Η μελέτη αποκάλυψε επίσης ότι η συγκεκριμένη μύρα είχε περισσότερη συγγένεια προς τα ιόντα μολύβδου σε σύγκριση με ιόντα χαλκού. Η ικανότητα ρόφησης της μαγιάς μύρας και αυτή με τη σειρά της, βρέθηκε να επηρεάζεται από την αρχική συγκέντρωση ιόντων μετάλλου, τη δόση

προσροφητικού, το pH, τον χρόνο επαφής και την ποσότητα αλάτων που προστίθενται.

**Γεωργικά και δασικά απόβλητα.** Τα λύματα έχουν υποστεί επεξεργασία με τη χρήση γεωργικών αποβλήτων βιομάζας, η οποία περιλαμβάνει απόβλητα βιομάζας από σιτάρι, κέλυφος φουντουκιού, κέλυφος κάσιους, φοινικέλαιο από κέλυφος καρπών, φλοιό καρύδας, φλοιό ρυζιού, φύλλα από μούσμουλο, φλούδα πορτοκαλιού, απόβλητα από λεύκες δάσους, βρύα, σκόνη καπνού, φυτικές ίνες φοίνικα, ίνες κενάφ, σφαιρίδια φιστικιού, άχυρο κριθαριού, γρασίδι κ.α. Το μεγαλύτερο ποσοστό της λιγνίνης, της κυτταρίνης καθώς και η παρουσία διαφορετικών λειτουργικών ομάδων κάνουν τα γεωργικά προϊόντα το κατάλληλο υλικό για προσροφητές μετάλλων από τα λύματα. Το περίβλημα του φουντουκιού αντανακλά τη μέγιστη πρόσληψη ιόντων μετάλλων και αυτό συμβαίνει λόγω της παρουσίας πολικών λειτουργικών ομάδων, όπως αλδεΐδες, κετόνες, οξέα αλλά και γενικότερα της αύξησης της θερμοκρασίας του διαλύματος και τα μικρού μεγέθους σωματίδια. Τα απόβλητα του σταφυλιού ως προϊόν της βιομηχανίας παραγωγής κρασιού, καθώς και τα φύλλα του ηλίανθου ελέγχθηκαν για διάφορους χρόνους επαφής, αρχικής συγκέντρωσης μεταλλικών ιόντων, pH του διαλύματος και παρουσίασαν μέγιστη πρόσληψη μετάλλων. Μικρές ποσότητες βιο-προσροφητικών μέσων όπως ξύλο σημύδας, η θαλάσσια καφέ άλγη και τα χερσαία βρύα αντανακλούν το 90% της πιθανής απομάκρυνσής μετάλλου (κατά κύριο λόγο χαλκό) από συνθετικά λύματα. Επιπλέον, παρατηρήθηκε πως δεν υπάρχει σαφής βλάβη στα βιο-προσροφητικά μετά από 5 επανειλημμένους κύκλους πρακτικής ρόφησης-εκρόφησης. Η τροποποίηση της βιομάζας από διάφορους παράγοντες ενισχύει τις ικανότητες των προσροφητικών μέσω της ενεργοποίησης των υπεύθυνων θέσεων για τη σύνδεση μετάλλου. Η ενεργοποίηση ορισμένων βιομαζών με διαφορετικές χημικές ουσίες ενισχύει την ικανότητα πρόσληψης μετάλλου της βιομάζας μέχρι ένα μεγαλύτερο βαθμό (Σχήμα 3.9). (Bilal et al, 2013)



Σχήμα 3.9: (α) Σύγκριση των ικανοτήτων προσρόφησης διαφόρων βιο-προσροφητικών(β) Σύγκριση τροποποιημένων βιο-προσροφητικών μέσων (Bilal et al, 2013)

Το στάχυ καλαμποκιού που είχαν μετατραπεί σε αέριο σύνθεσης μέσω της αεριοποίησης ερευνήθηκε ως προς τις δυνατότητες δέσμευσης του για την προσρόφηση χαλκού με πορτοκαλί μεθυλενίου (χρωστική ουσία) στα λύματα. Η προεπεξεργασία του βιο-κάρβουνου με νιτρικό οξύ και υδροξείδιο βρέθηκε χρήσιμο για την αύξηση της ικανότητας πρόσληψης μετάλλου των βιο-προσροφητικών μέσων. Τέσσερις διαφορετικές μορφές κοκκώδους ενεργοποιημένου άνθρακα προκατεργάστηκαν με βραστό νιτρικό οξύ και εξετάστηκαν για την απομάκρυνση μετάλλου από τα λύματα. Ο ενεργός άνθρακας σε κατεργασία με το νιτρικό οξύ και εμποτισμένος με καρβοξυ βενζοτρίαζόλη έδειξε υψηλότερη απορρόφηση επάνω από όξινα λύματα. Η μελέτη έδειξε βελτίωση της ευελιξίας και της οικονομικής βιωσιμότητας, σε σύγκριση με τις συμβατικές μεθόδους καθίζηση και ανταλλαγής ιόντων. Η βιομάζα εμφάνισε σημαντικές μορφολογικές αλλαγές μετά την επαφή της με τα διάφορα μέταλλα, γεγονός το οποίο αντικατοπτρίζεται ξεκάθαρα την παρουσία διαφορετικών θέσεων δέσμευσης στην επιφάνεια του προσροφητικού μέσου. Η ανταλλαγή των ιόντων βρέθηκε η κυρίαρχη διαδικασία για απομόνωσης του μετάλλου από το υδατικό μέσο και οι κύκλοι εκρόφησης ως αποτέλεσμα είχαν το

90% ανάκτησης του μετάλλου. Τεράστιες ποσότητες χρησιμοποιημένου καφέ απορρίπτονται κάθε χρόνο ως απόβλητα. Χημικώς μετασχηματισμένοι κόκκοι καφέ χρησιμοποιήθηκαν για να απομονώσουν τοξικό χαλκό και μόλυβδο από τα λύματα με το κιτρικό οξύ να χρησιμοποιείται ως παράγοντας τροποποίησης τους. Το οξύ των τροποποιημένων κόκκων κιτρικού καφέ αποκάλυψε 8,1 φορές υψηλότερη απομάκρυνση χαλκού από τους μη τροποποιημένους. Ο φλοιός ρυζιού είναι ένα από τα άφθονα γεωργικά απόβλητα, χαμηλού κόστους, αποτελεσματικό προσροφητικό βαρέων μετάλλων. Μια τροποποίηση της επιφάνειας της βιομάζας με φωσφορικό άλας αποδείχθηκε ως ένα αποτελεσματικό μέσο σε συνεχή απομάκρυνση μετάλλου. Ο διευρυμένος φλοιός ρυζιού, που χρησιμοποιείται σε στήλη σταθερής κλίνης και χρησιμοποιήθηκε για την αφαίρεση χαλκού αντανακλά υψηλότερη πρόσληψη μετάλλων και μεγαλύτερο χρόνο σε σύγκριση με τον πρώτο φλοιό ρυζιού υπό τις ίδιες συνθήκες. (Bilal et al, 2013)

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup> - ΚΙΝΗΤΙΚΕΣ ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗΣ

Οι κινητικές προσρόφησης MB για το άχυρο σιταριού, έχουν μελετηθεί εκτενώς χρησιμοποιώντας τέσσερις κινητικές εξισώσεις. Η εξίσωση που χρησιμοποιείται ευρέως, είναι η Lagergren (1989) και παρουσιάζεται παρακάτω:

$$q - q_t = q \cdot e^{-k \cdot t} \quad (1)$$

όπου το  $q$  και το  $q_t$  είναι οι ποσότητες του MB που προσροφώνται ανά μονάδα μάζας του προσροφητικού μέσου (σε  $\text{mg g}^{-1}$ ) σε χρόνο ισορροπίας ( $t \rightarrow \infty$ ) και σε χρόνο προσρόφησης  $t$  αντίστοιχα, ενώ το  $k$  είναι η ψευδο-πρώτης τάξεως σταθερά ταχύτητας για την διαδικασία προσρόφησης (σε  $\text{min}^{-1}$ ). Επιπλέον

$$q = (C_0 - C_e)V / m \text{ και } q_t = (C_0 - C)V / m \quad (2)$$

όπου  $C$ ,  $C_0$ ,  $C_e$  είναι οι συγκεντρώσεις του MB σε χρόνο  $t$ , 0, και  $\infty$ , αντίστοιχα, ενώ το  $m$  είναι το βάρος του προσροφητικού μέσου που χρησιμοποιείται (σε  $\text{g}$ ), και το  $V$  είναι ο όγκος του διαλύματος (σε  $\text{ml}$ ). Η περαιτέρω τροποποίηση του eq. (2) σε λογαριθμική μορφή δίνει:

$$\ln(q - q_t) = \ln q - k \cdot t \quad (3)$$

Το πιο κοινό μοντέλο κινητικής δευτέρας τάξης που χρησιμοποιείται είναι:

$$q_t = q - \left[ \frac{1}{q} + k_2 t \right]^{-1} \quad (4)$$

ή

$$q_t = q - \frac{1}{\frac{1}{q} + k_2 t} \quad (5)$$

Η δυνατότητα διάχυσης *intra-particle* διερευνήθηκε με τη χρήση του ακόλουθου μοντέλου:

$$q_t = c + k_p \cdot \sqrt{t} \quad (6)$$

όπου  $q_t$  είναι η ποσότητα του MB που προσροφάται στο χρόνο  $t$ ,  $c$  είναι μια σταθερά ( $\text{mg g}^{-1}$ ) και  $k_p$  είναι η *intra-particle* σταθερά του ρυθμό διάχυσης σε  $\text{mg g}^{-1} \text{min}^{-0.5}$

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup> – ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

### 5.1 Υλικό- Τροποποίηση

Το άχυρο σιταριού που χρησιμοποιήθηκε στην πειραματική διαδικασία, προέρχεται από το Καπαρέλι, ένα χωριό της Θήβας (συγκομιδή έτος 2012), ως μια κατάλληλη πηγή για μεγάλης κλίμακας βιομηχανικές εφαρμογές. Η περιεκτικότητα του υλικού αυτού σε υγρασία κατά την παραλαβή του ήταν 9,0% w / w και μετά την διαλογή, απομονώθηκαν τα σωματίδια μεγέθους μεταξύ 10 και 20 mm. Η σύνθεση παρουσιάζεται στον Πίνακα 5.1. (Salara and Sidiras, 2015)

Πίνακας 5.1: Συστατικά του Άχυρου Σιταριού (Salara and Sidiras, 2015)

Συστατικά	ΆχυροΣιταριού % w/w
Κυτταρίνη	32,7
Ημικυτταρίνες	24,5
Ξυλόζη	19,3
Αραβινόζη	2,7
Ακετυλομάδες	2,5
Κατηγορία Λιγνίνης (αδιάλυτη σε οξέα)	16,8
Τέφρα	4,7
Εκχυλίσματα	6,2
Άλλα Συστατικά	15,1

### Τροποποίηση άχυρου με υδρόλυση καταλυόμενη από Μηλεϊνικό οξύ

Το άχυρο σιταριού προκατεργάστηκε με υδρόλυση που καταλύεται με μηλεϊνικό οξύ ( $C_4H_4O_4$ ). Η διαδικασία της όξινης υδρόλυση διεξήχθη σε έναν PARR 4843 γυάλινο αντιδραστήρα 3,75 λίτρων (Εικόνα 5.1). Ο χρόνος που διήρκεσε η υδρόλυση ήταν 0-50 λεπτά (μη συμπεριλαμβανομένου του χρόνου προθέρμανσης). Η αντίδραση

καταλύεται από 0.01M-0.09M μηλεϊνικό οξύ σε αναλογία 20:1 υγρού προς στερεό. Ο όγκος της υγρού ήταν 2000ml, ενώ ο όγκος του στερεού ήταν 100g (άχυρο σιταριού). Η θερμοκρασία της αντίδρασης ήταν 140-180°C και επιτεύχθηκε μετά από 30-50 λεπτά προθέρμανσης. (Sidiras et al. 2015)



Σχήμα 5.1: Γυάλινος Αντιδραστήρας PARR 4843

### **Τροποποίηση άχυρου με υδρόλυσης καταλύομενη από Θειικό οξύ**

Η διαδικασία όξινη υδρόλυση διεξήχθη σε έναν CHEMGLASS γυάλινο αντιδραστήρα 20λιτρων (Εικόνα 5.2). Ο χρόνος που διήρκεσε υδρόλυση ήταν 4ώρες (μη συμπεριλαμβανομένου του χρόνου προθέρμανσης). Η αντίδραση καταλύεται από 0.45M μηλεϊνικό οξύ σε αναλογία 20:1 υγρού προς στερεό. Η θερμοκρασία της αντίδρασης ήταν 100°C και επιτεύχθηκε μετά από ορισμένο χρόνο προθέρμανσης. (Salara and Sidiras, 2015)





*Σχήμα 5.2: Γυάλινος Αντιδραστήρας CHEMGLASS*



*Σχήμα 5.3 : Απροκατέργαστο (αριστερά) και Προκατεργασμένο (δεξιά) Άχυρο Σιταριού  
(0,45M θειικό οξύ στους 100°C για 4h)*

## 5.2 Κινητική Προσρόφηση

Η χρωστική ουσία που χρησιμοποιείται στην πειραματική διαδικασία είναι το Μπλε του Μεθυλενίου (Methylene Blue). Το MB έχει χημικό τύπο  $C_{16}H_{18}ClN_3S \cdot xH_2O$  με μοριακό βάρος  $373,9 \cdot 10^{-3} \text{kg mol}^{-1}$ . Το διάλυμα παρασκευάστηκε με διάλυση 5g (stock solution) MB σε 25 L αποσταγμένο νερό και τα ενεργά διαλύματα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν 1,6 έως  $15,6 \text{ mg L}^{-1}$ .

Ο εξοπλισμός που απαιτείται για την διαδικασία της κινητικής προσρόφησης είναι ο ακόλουθος:

- Χρωστική ουσία Methylene Blue
- Ποτήρι ζέσεως 2000ml
- 1g άχυρο σιταριού
- Αναδευτήρας
- 20 δοκιμαστικοί σωλήνες
- Φίλτρο
- Ογκομετρική φιάλη
- Κυβέτες
- Φασματοφωτόμετρο HACH DR4000U UV-VIS

### Διαδικασία

- Τοποθετούνται 1000ml διαλύματος:
  - ❖ Για σταθερή ταχύτητα περιστροφής (300rpm) διαλύματα διαφορετικών συγκεντρώσεων  $C = 3, 7, 14, 32, 77, 143 \text{ mg/l}$
  - ❖ Για διάλυμα συγκέντρωσης 90:910 σε διαφορετικές ταχύτητες περιστροφής των 50, 100, 150, 200, 250, 300rpm
- Τοποθετείται το ποτήρι ζέσεως στον αναδευτήρα και για χρόνο  $t=0$  με το σιφόνι λαμβάνεται αρχικό δείγμα από το διάλυμα.
- Προστίθεται το άχυρο σιταριού (1g) στο διάλυμα, μετρίεται χρόνος 10min, για να ληφθεί το επόμενο δείγμα.
- Το δείγμα φιλτράρεται και αποθηκεύεται σε έναν ογκομετρικό σωλήνα
- Όλη αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται κάθε 10min για 20 φορές.

- vi. Για τα πυκνά διαλύματα ακολουθεί διαδικασία αραιώσης, όπου για κάθε δείγμα φιλτραρισμένο, λαμβάνονται 5ml και τοποθετούνται σε μια ογκομετρική φιάλη των 100ml και στη συνέχεια τη γεμίζουμε με νερό. Ανακινούμε με το χέρι. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται και για τα 20 δείγματα
- vii. Για καθένα από τα 20 δείγματα λαμβάνεται διάλυμα σε 2 κυβέτες (αραιά διαλύματα) ή 3 κυβέτες (πυκνά διαλύματα)
- viii. Οι κυβέτες τοποθετούνται στο φασματοφωτόμετρο των 7 θέσεων, (στην πρώτη θέση τοποθετείται κύβητα με καθαρό νερό) και μετράται η απορρόφηση για μήκος κύματος  $\lambda=664$
- ix. Ακολουθεί μέτρηση των τιμών

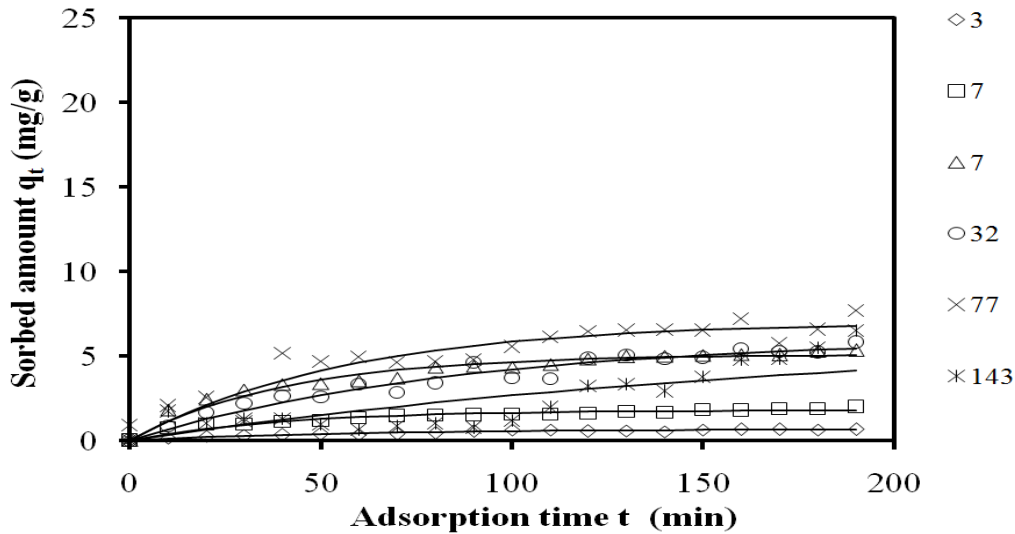
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6<sup>ο</sup> – ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣ

Η εφαρμογή των κινητικών μοντέλων διερευνήθηκε στις παρακάτω κατηγορίες άχυρο σιταριού, όπου μελετήθηκε η επίδραση συγκέντρωσης και ταχύτητας περιστροφής.

- Απροκατέργαστο
- Προκατεργασμένο με 0,45M θειικό οξύ στους 100°C για 4h
- Προκατεργασμένο με 0,1M Maleic Acid στους 140°C για 0min
- Προκατεργασμένο με 0,1M Maleic Acid στους 160°C για 30min
- Προκατεργασμένο με 0,1M Maleic Acid στους 220°C για 50min

Πίνακας 6.1: Προσρόφηση σε άχυρο σιταριού απροκατέργαστο. Το  $q_{theor1}$  προέκυψε από την εφαρμογή της κινητικής πρώτης τάξης

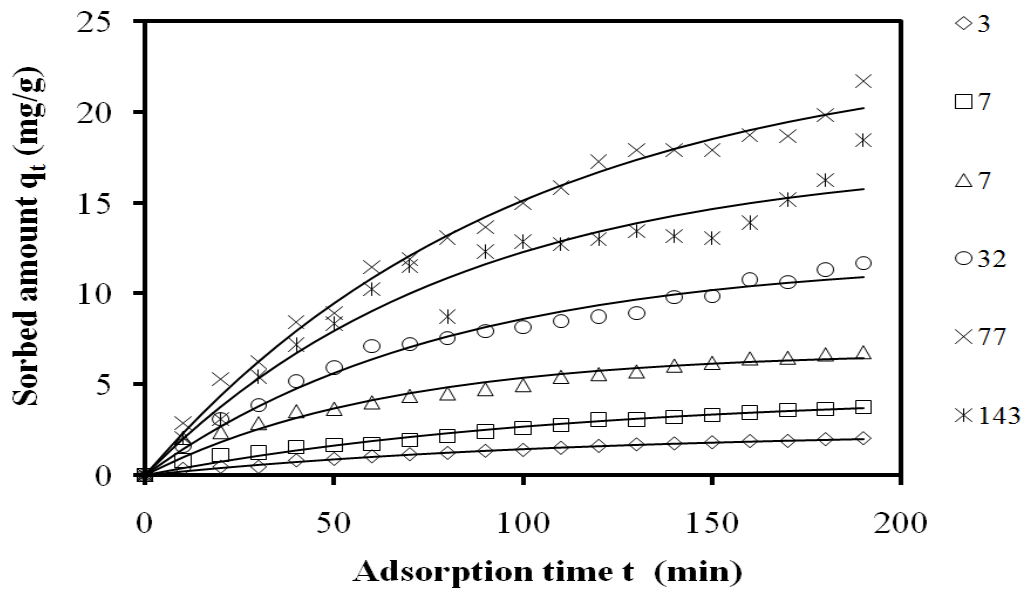
C <sub>0</sub> (mg/L)	Untreated											
	3		7		14		32		77		143	
t (min)	q	q <sub>theor1</sub>	q	q <sub>theor1</sub>	q	q <sub>theor1</sub>	q	q <sub>theor1</sub>	q	q <sub>theor1</sub>	q	q <sub>theor1</sub>
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0,15	0,10	0,72	0,39	1,80	1,11	0,86	0,67	2,05	1,14	1,72	0,33
20	0,25	0,19	0,94	0,70	2,44	1,97	1,63	1,27	2,54	2,09	1,00	0,65
30	0,31	0,26	0,94	0,94	3,01	2,65	2,20	1,80	1,11	2,89	1,29	0,95
40	0,32	0,32	1,11	1,12	3,32	3,18	2,62	2,27	5,13	3,56	1,29	1,24
50	0,39	0,38	1,18	1,27	3,36	3,60	2,56	2,70	4,65	4,13	0,96	1,51
60	0,35	0,42	1,34	1,38	3,53	3,92	3,31	3,07	4,92	4,60	0,63	1,76
70	0,38	0,46	1,47	1,47	3,70	4,17	2,85	3,41	4,62	4,99	0,85	2,01
80	0,44	0,49	1,47	1,54	4,33	4,37	3,39	3,70	4,67	5,32	1,00	2,24
90	0,55	0,52	1,51	1,60	4,39	4,53	4,59	3,97	4,78	5,60	0,75	2,46
100	0,64	0,55	1,56	1,64	4,34	4,65	3,70	4,21	5,54	5,83	1,16	2,67
110	0,62	0,57	1,54	1,67	4,48	4,74	3,64	4,42	6,11	6,03	1,94	2,86
120	0,55	0,58	1,58	1,70	4,83	4,82	4,85	4,60	6,43	6,19	3,21	3,05
130	0,56	0,60	1,69	1,72	4,95	4,88	5,05	4,77	6,51	6,33	3,31	3,23
140	0,53	0,61	1,64	1,73	4,99	4,92	4,82	4,92	6,54	6,44	2,90	3,40
150	0,64	0,62	1,80	1,75	5,05	4,96	4,90	5,05	6,51	6,54	3,74	3,56
160	0,66	0,63	1,79	1,76	5,07	4,98	5,41	5,17	7,19	6,62	4,75	3,71
170	0,66	0,64	1,85	1,76	5,07	5,01	5,26	5,27	5,73	6,69	4,82	3,85
180	0,64	0,64	1,88	1,77	5,27	5,02	5,23	5,37	6,57	6,75	5,46	3,99
190	0,66	0,65	2,01	1,77	5,33	5,04	5,82	5,45	7,67	6,79	6,50	4,12



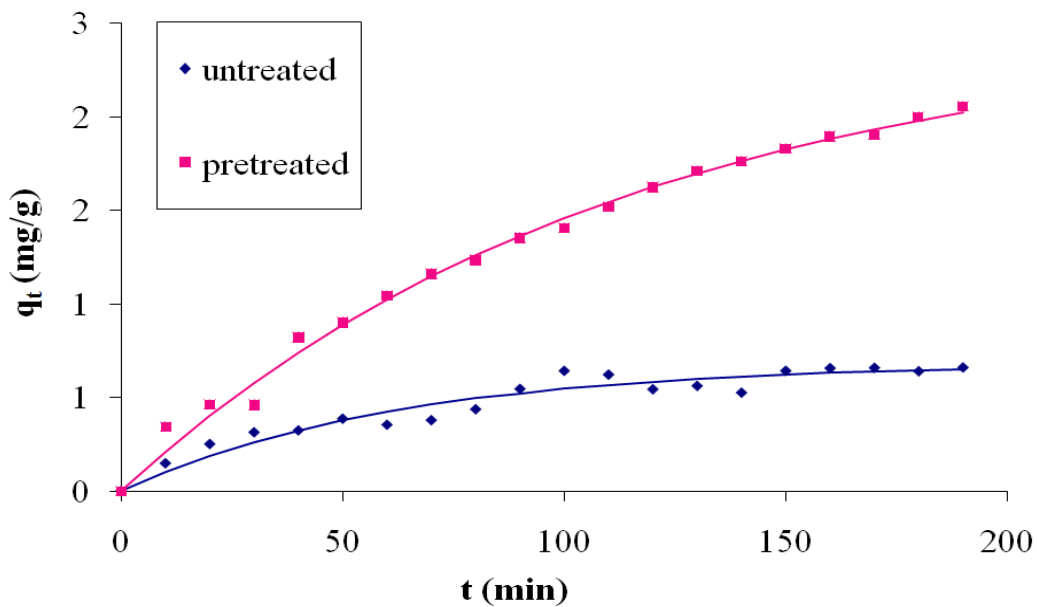
Σχήμα 6.1: Προσρόφηση σε άχυρο σιταριού απροκατέργαστο. Το  $q_{theor}$  προέκυψε από την εφαρμογή της κινητικής πρώτης τάξης

Πίνακας 6.2: Προσρόφηση σε άχυρο σιταριού προκατεργασμένο (0,45M θειικό οξύ, 100°C, 4h). Το  $q_{theor}$  προέκυψε από την εφαρμογή της κινητικής πρώτης τάξης

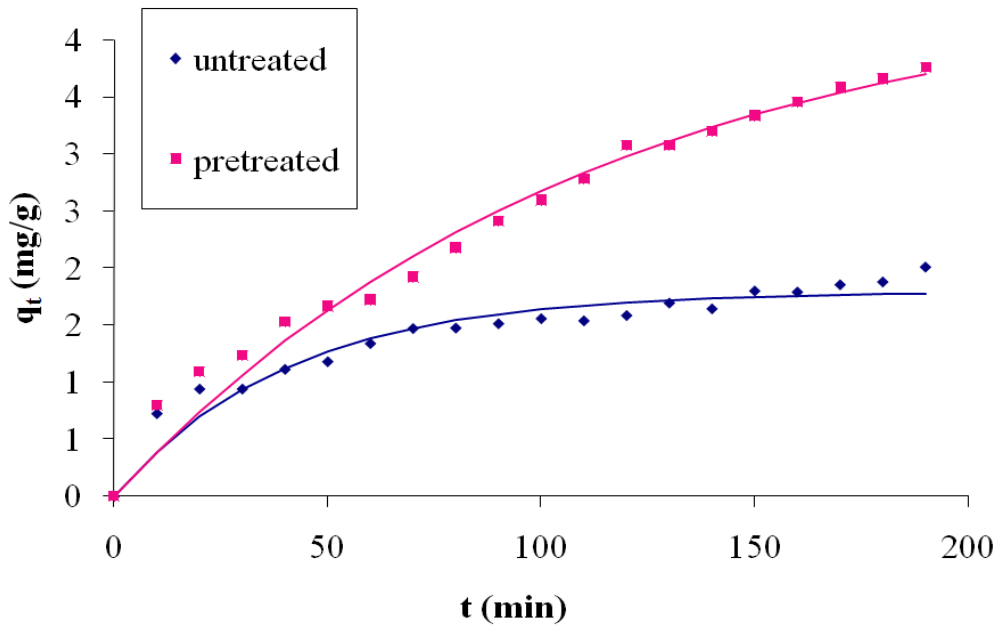
C <sub>0</sub> (mg/L)	pretreated											
	3		7		14		32		77		143	
t (min)	q	q <sub>theor1</sub>	q	q <sub>theor1</sub>	q	q <sub>theor1</sub>	q	q <sub>theor1</sub>	q	q <sub>theor1</sub>	q	q <sub>theor1</sub>
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0,34	0,2	0,8	0,39	2,05	0,99	1,62	1,42	2,84	2,30	2,02	2,00
20	0,46	0,4	1,1	0,74	2,38	1,83	3,06	2,68	5,27	4,38	3,06	3,77
30	0,46	0,6	1,2	1,06	2,87	2,55	3,86	3,79	6,21	6,26	5,41	5,33
40	0,82	0,7	1,5	1,36	3,54	3,17	5,16	4,76	8,40	7,95	7,18	6,72
50	0,90	0,9	1,7	1,63	3,67	3,70	5,91	5,62	8,92	9,48	8,33	7,95
60	1,04	1,0	1,7	1,88	4,03	4,15	7,09	6,38	11,43	10,85	10,22	9,04
70	1,16	1,1	1,9	2,10	4,38	4,53	7,19	7,04	11,89	12,10	11,51	10,01
80	1,23	1,3	2,2	2,31	4,52	4,87	7,55	7,63	13,06	13,22	8,72	10,87
90	1,35	1,4	2,4	2,50	4,76	5,15	7,93	8,15	13,65	14,23	12,30	11,62
100	1,40	1,5	2,6	2,67	4,98	5,39	8,14	8,60	14,95	15,14	12,85	12,30
110	1,52	1,5	2,8	2,83	5,44	5,60	8,47	9,00	15,82	15,97	12,70	12,89
120	1,62	1,6	3,1	2,98	5,59	5,78	8,72	9,36	17,26	16,71	12,96	13,42
130	1,71	1,7	3,1	3,11	5,73	5,93	8,93	9,67	17,88	17,38	13,43	13,89
140	1,76	1,8	3,2	3,23	6,06	6,06	9,79	9,94	17,88	17,99	13,14	14,30
150	1,83	1,8	3,3	3,34	6,22	6,17	9,87	10,18	17,88	18,53	13,05	14,67
160	1,89	1,9	3,5	3,44	6,45	6,26	10,75	10,40	18,69	19,03	13,89	14,99
170	1,90	1,9	3,6	3,53	6,50	6,35	10,62	10,59	18,64	19,47	15,16	15,28
180	2,00	2,0	3,7	3,62	6,69	6,42	11,30	10,75	19,80	19,87	16,22	15,54
190	2,05	2,0	3,8	3,69	6,80	6,48	11,66	10,90	21,67	20,23	18,42	15,76



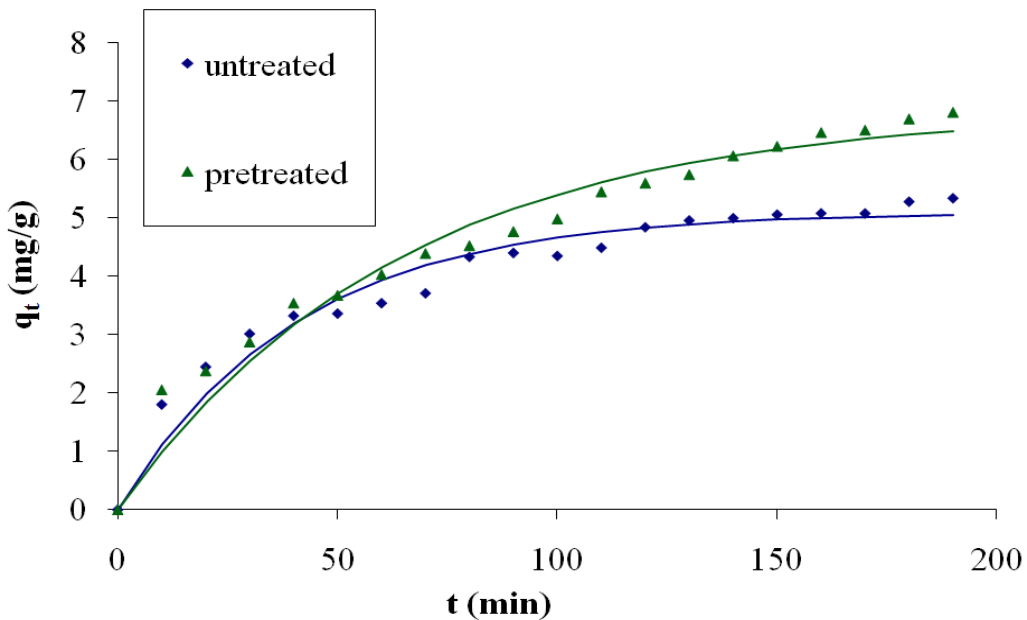
Σχήμα 6.2: Προσρόφηση σε άχυρο σιταριού προκατεργασμένο (0,45M θειικό οξύ, 100°C, 4h). Το  $q_{theor}$  προέκυψε από την εφαρμογή της κινητικής πρώτης τάξης



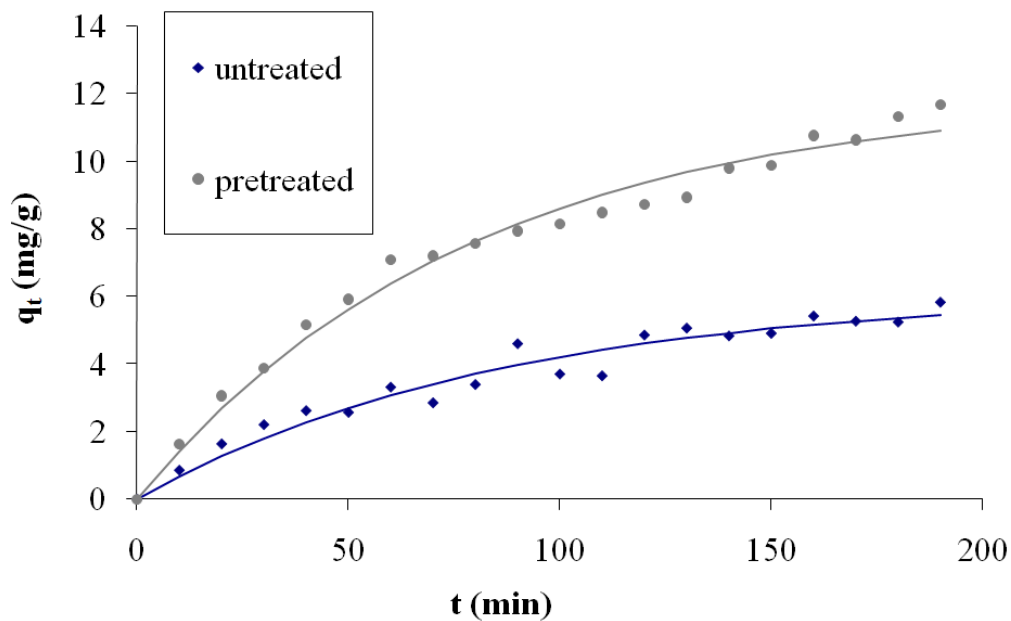
Σχήμα 6.3: Προσρόφηση σε άχυρο σιταριού απροκατέργαστο και προκατέργασμένο (0,45M θειικό οξύ, 100°C, 4h) για συγκέντρωση  $C=3mg/g$ . Το  $q_{theor}$  προέκυψε από την εφαρμογή της κινητικής πρώτης τάξης



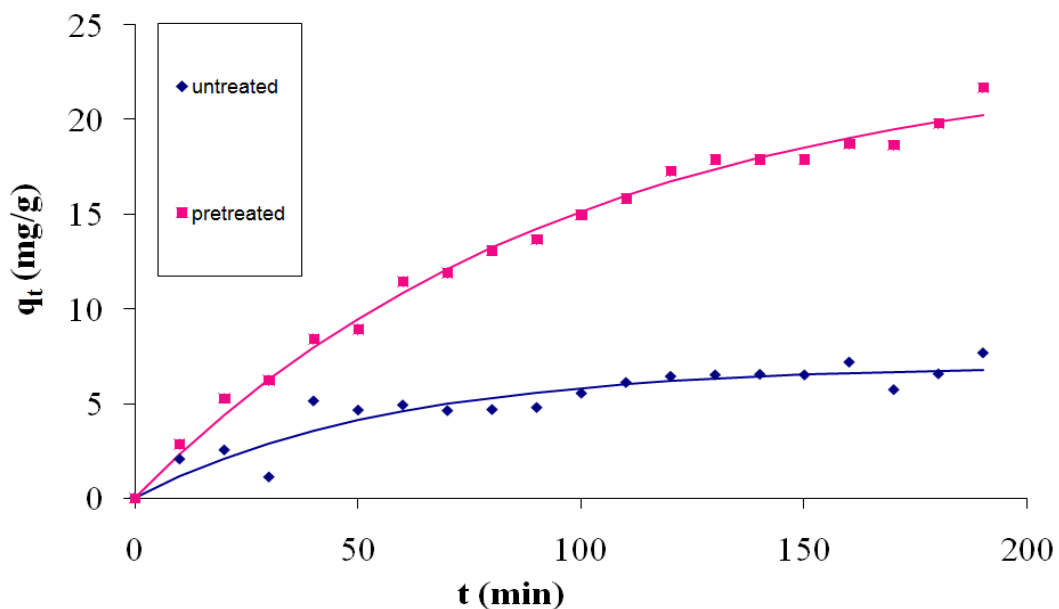
Σχήμα 6.4: Προσρόφηση σε άχυρο σιταριού απροκατέργαστο και προκατέργασμένο (0,45M θειικό οξύ, 100°C, 4h) για συγκέντρωση  $C=7\text{mg/g}$ . Το  $q_{theor}$  προέκυψε από την εφαρμογή της κινητικής πρώτης τάξης



Σχήμα 6.5: Προσρόφηση σε άχυρο σιταριού απροκατέργαστο και προκατέργασμένο (0,45M θειικό οξύ, 100°C, 4h) για συγκέντρωση  $C=14\text{mg/g}$ . Το  $q_{theor}$  προέκυψε από την εφαρμογή της κινητικής πρώτης τάξης

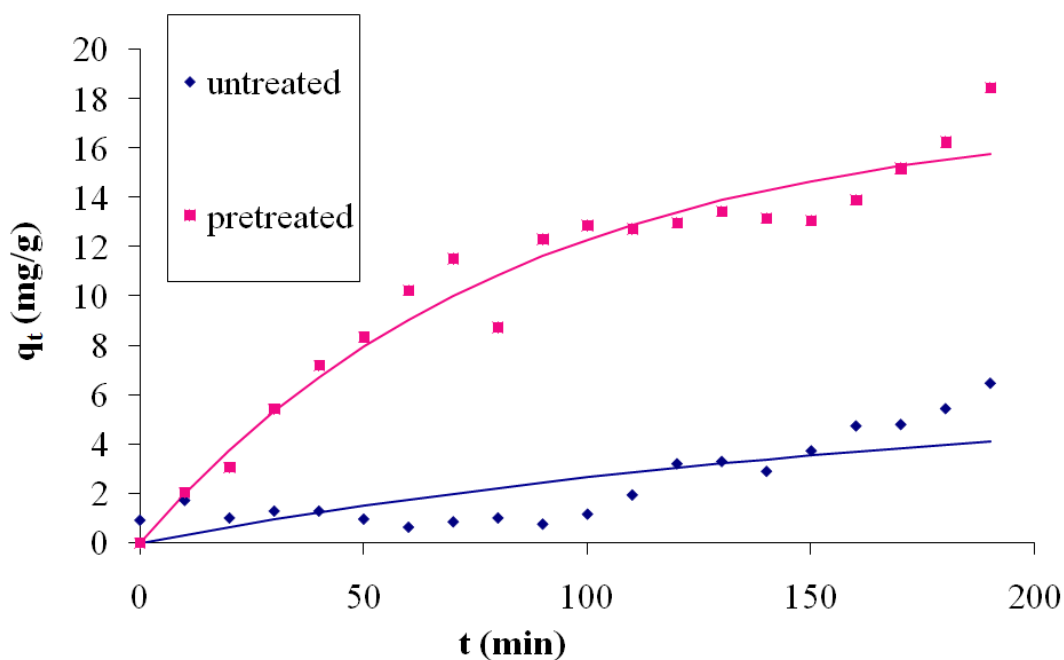


Σχήμα 6.6: Προσρόφηση σε άχυρο σιταριού απροκατέργαστο και προκατέργασμένο (0,45M θειικό οξύ, 100°C, 4h) για συγκέντρωση C=32mg/g. Το  $q_{theor}$  προέκυψε από την εφαρμογή της κινητικής πρώτης τάξης



Σχήμα 6.7: Προσρόφηση σε άχυρο σιταριού απροκατέργαστο και προκατέργασμένο (0,45M θειικό οξύ, 100°C, 4h) για συγκέντρωση C=77mg/g. Το  $q_{theor}$  προέκυψε από την εφαρμογή της κινητικής πρώτης τάξης

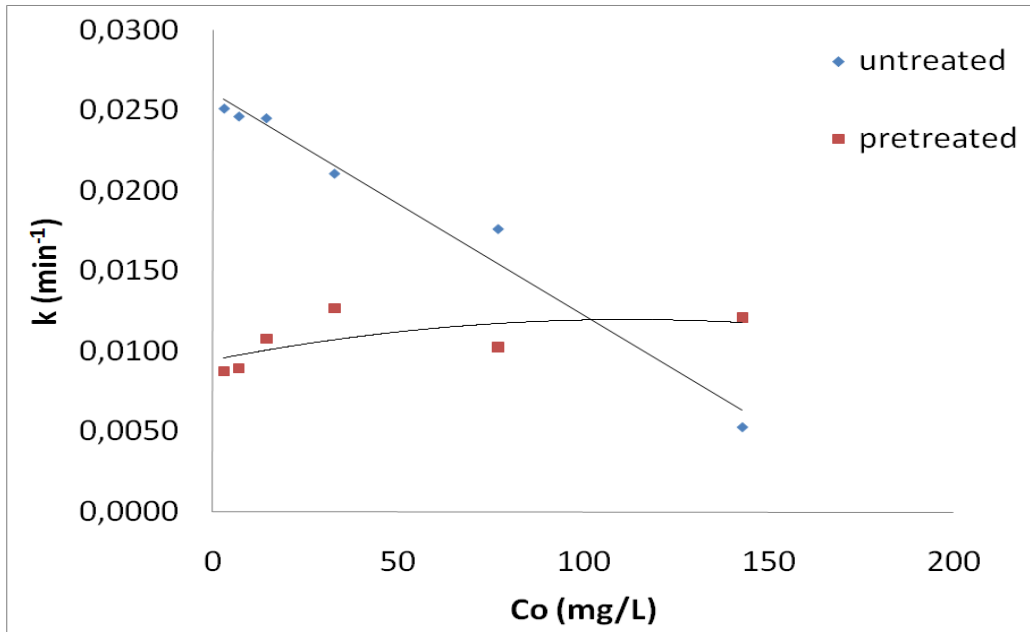




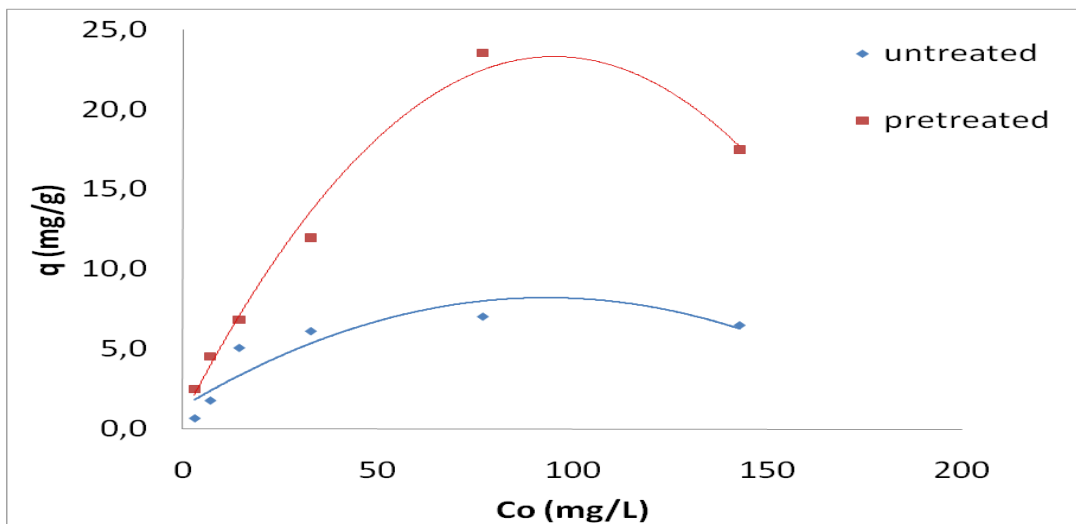
Σχήμα 6.8: Προσρόφηση σε άχυρο σιταριού απροκατέργαστο και προκατέργασμένο (0,45M θειικό οξύ, 100°C, 4h) για συγκέντρωση  $C=143\text{mg/g}$ . Το  $q_{\text{theor}}$  προέκυψε από την εφαρμογή της κινητικής πρώτης τάξης

Πινάκας 6.3: Παράμετροι μοντέλου της κινητικής πρώτης τάξεως (Lagergren) της προσρόφησης MB για απροκατέργαστο και προκατεργασμένο (0,45M θειικό οξύ, 100°C, 4h) άχυρο σιταριού για διαφορετικές συγκεντρώσεις

Co	untreated			pretreated		
	k (min <sup>-1</sup> )	q (mg/g)	SEE	k (min <sup>-1</sup> )	q (mg/g)	SEE
3	0,0252	0,68	0,052	0,0088	2,49	0,0527
7	0,0247	1,79	0,133	0,0090	4,51	0,1593
14	0,0246	5,08	0,302	0,0108	6,83	0,3727
33	0,0211	6,13	0,377	0,0127	11,97	0,4471
77	0,0176	7,04	0,765	0,0103	23,57	0,5886
143	0,0053	6,50	1,146	0,0121	17,52	1,1317



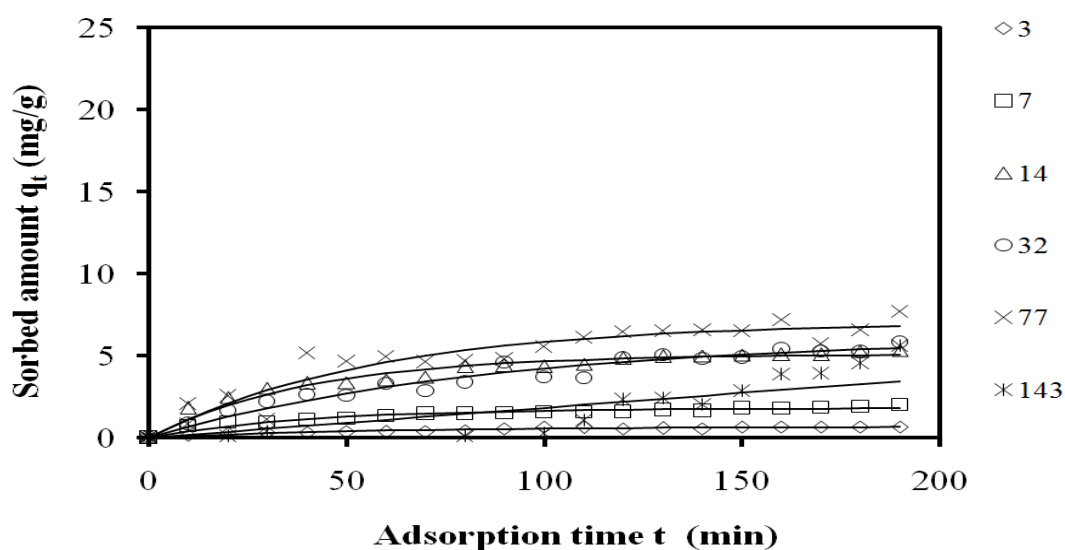
Σχήμα 6.9: Μοντέλο Κινητικής πρώτης τάξης (Lagergren) για προσρόφηση MB για απροκατέργαστο και προκατεργασμένο (0,45M θειικό οξύ, 100°C, 4h) άχυρο σιταριού για διαφορετικές συγκεντρώσεις



Σχήμα 6.10: Μοντέλο Κινητικής πρώτης τάξης (Lagergren) για προσρόφηση MB για απροκατέργαστο και προκατεργασμένο (0,45M θειικό οξύ, 100°C, 4h) άχυρο σιταριού για διαφορετικές συγκεντρώσεις

Πίνακας 6.4: Προσρόφηση σε άχυρο σιταριού απροκατέργαστο. Το  $q_{theor}$  προέκυψε από την εφαρμογή της κινητικής δευτέρας τάξης

C <sub>0</sub> (mg/L)	untreated											
	3		7		14		32		77		143	
t (min)	q	q <sub>theor1</sub>	q	q <sub>theor1</sub>	q	q <sub>theor1</sub>	q	q <sub>theor1</sub>	q	q <sub>theor1</sub>	q	q <sub>theor1</sub>
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0,15	0,10	0,72	0,39	1,80	1,11	0,86	0,67	2,05	1,14	0,81	0,18
20	0,25	0,19	0,94	0,70	2,44	1,97	1,63	1,27	2,54	2,09	0,09	0,36
30	0,31	0,26	0,94	0,94	3,01	2,65	2,20	1,80	1,11	2,89	0,38	0,55
40	0,32	0,32	1,11	1,12	3,32	3,18	2,62	2,27	5,13	3,56	-0,91	0,73
50	0,39	0,38	1,18	1,27	3,36	3,60	2,56	2,70	4,65	4,13	-0,63	0,91
60	0,35	0,42	1,34	1,38	3,53	3,92	3,31	3,07	4,92	4,60	-0,28	1,09
70	0,38	0,46	1,47	1,47	3,70	4,17	2,85	3,41	4,62	4,99	-0,06	1,27
80	0,44	0,49	1,47	1,54	4,33	4,37	3,39	3,70	4,67	5,32	0,09	1,46
90	0,55	0,52	1,51	1,60	4,39	4,53	4,59	3,97	4,78	5,60	-0,16	1,64
100	0,64	0,55	1,56	1,64	4,34	4,65	3,70	4,21	5,54	5,83	0,25	1,82
110	0,62	0,57	1,54	1,67	4,48	4,74	3,64	4,42	6,11	6,03	1,03	2,00
120	0,55	0,58	1,58	1,70	4,83	4,82	4,85	4,60	6,43	6,19	2,30	2,18
130	0,56	0,60	1,69	1,72	4,95	4,88	5,05	4,77	6,51	6,33	2,40	2,36
140	0,53	0,61	1,64	1,73	4,99	4,92	4,82	4,92	6,54	6,44	1,99	2,54
150	0,64	0,62	1,80	1,75	5,05	4,96	4,90	5,05	6,51	6,54	2,83	2,72
160	0,66	0,63	1,79	1,76	5,07	4,98	5,41	5,17	7,19	6,62	3,84	2,91
170	0,66	0,64	1,85	1,76	5,07	5,01	5,26	5,27	5,73	6,69	3,91	3,09
180	0,64	0,64	1,88	1,77	5,27	5,02	5,23	5,37	6,57	6,75	4,55	3,27
190	0,66	0,65	2,01	1,77	5,33	5,04	5,82	5,45	7,67	6,79	5,59	3,45

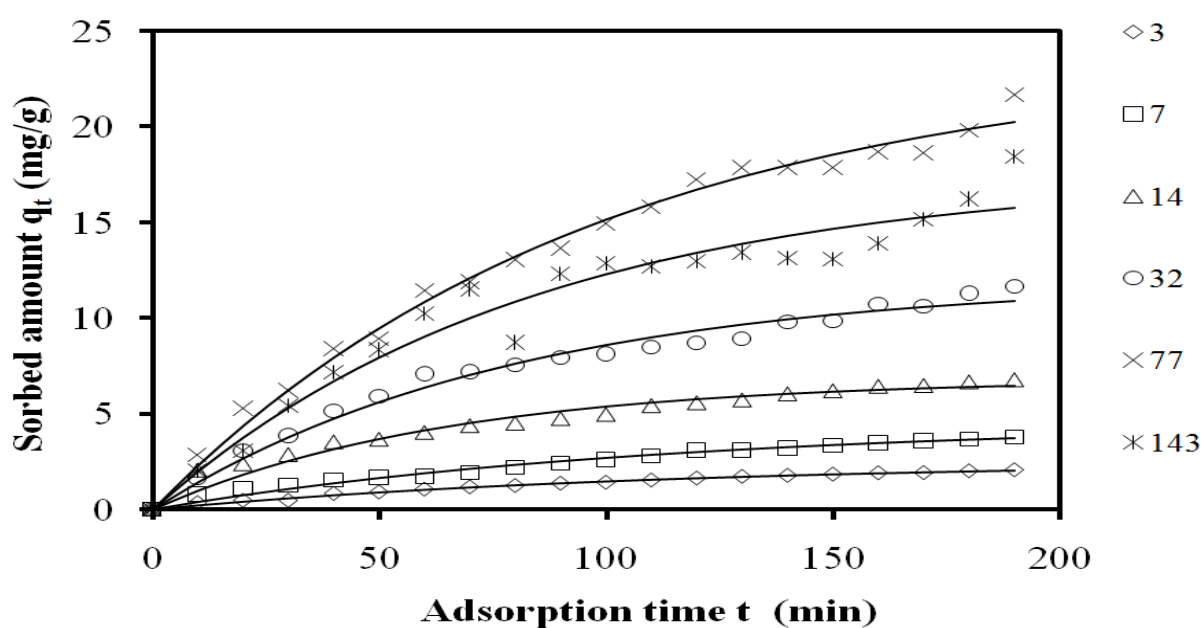


Σχήμα 6.11: Προσρόφηση σε άχυρο σιταριού απροκατέργαστο. Το  $q_{theor}$  προέκυψε από την εφαρμογή της κινητικής δευτέρας τάξης

Πίνακας 6.5: Προσρόφηση σε άχυρο σιταριού προκατεργασμένο (0,45M θειικό οξύ, 100°C,

4h). Το  $q_{theor1}$  προέκυψε από την εφαρμογή της κινητικής δευτέρας τάξης

C <sub>0</sub> (mg/L)	pretreated											
	3		7		14		32		77		143	
t (min)	q	q <sub>theor1</sub>	q	q <sub>theor1</sub>	q	q <sub>theor1</sub>	q	q <sub>theor1</sub>	q	q <sub>theor1</sub>	q	q <sub>theor1</sub>
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0,34	0,21	0,79	0,39	2,05	0,99	1,62	1,42	2,84	2,30	2,02	2,00
20	0,46	0,40	1,09	0,74	2,38	1,83	3,06	2,68	5,27	4,38	3,06	3,77
30	0,46	0,58	1,23	1,06	2,87	2,55	3,86	3,79	6,21	6,26	5,41	5,33
40	0,82	0,74	1,53	1,36	3,54	3,17	5,16	4,76	8,40	7,95	7,18	6,72
50	0,90	0,89	1,66	1,63	3,67	3,70	5,91	5,62	8,92	9,48	8,33	7,95
60	1,04	1,02	1,72	1,88	4,03	4,15	7,09	6,38	11,43	10,85	10,22	9,04
70	1,16	1,15	1,92	2,10	4,38	4,53	7,19	7,04	11,89	12,10	11,51	10,01
80	1,23	1,26	2,18	2,31	4,52	4,87	7,55	7,63	13,06	13,22	8,72	10,87
90	1,35	1,36	2,41	2,50	4,76	5,15	7,93	8,15	13,65	14,23	12,30	11,62
100	1,40	1,46	2,60	2,67	4,98	5,39	8,14	8,60	14,95	15,14	12,85	12,30
110	1,52	1,55	2,78	2,83	5,44	5,60	8,47	9,00	15,82	15,97	12,70	12,89
120	1,62	1,62	3,08	2,98	5,59	5,78	8,72	9,36	17,26	16,71	12,96	13,42
130	1,71	1,70	3,07	3,11	5,73	5,93	8,93	9,67	17,88	17,38	13,43	13,89
140	1,76	1,76	3,20	3,23	6,06	6,06	9,79	9,94	17,88	17,99	13,14	14,30
150	1,83	1,83	3,34	3,34	6,22	6,17	9,87	10,18	17,88	18,53	13,05	14,67
160	1,89	1,88	3,46	3,44	6,45	6,26	10,75	10,40	18,69	19,03	13,89	14,99
170	1,90	1,93	3,58	3,53	6,50	6,35	10,62	10,59	18,64	19,47	15,16	15,28
180	2,00	1,98	3,66	3,62	6,69	6,42	11,30	10,75	19,80	19,87	16,22	15,54
190	2,05	2,02	3,76	3,69	6,80	6,48	11,66	10,90	21,67	20,23	18,42	15,76

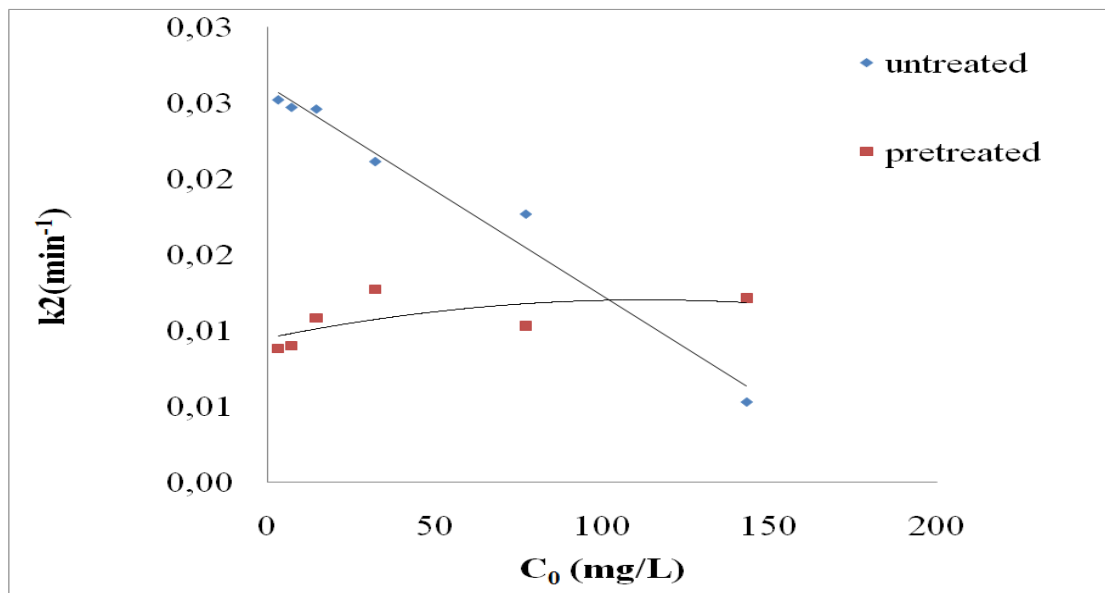


Σχήμα 6.12: Προσρόφηση σε άχυρο σιταριού προκατεργασμένο (0,45M θειικό οξύ, 100°C,

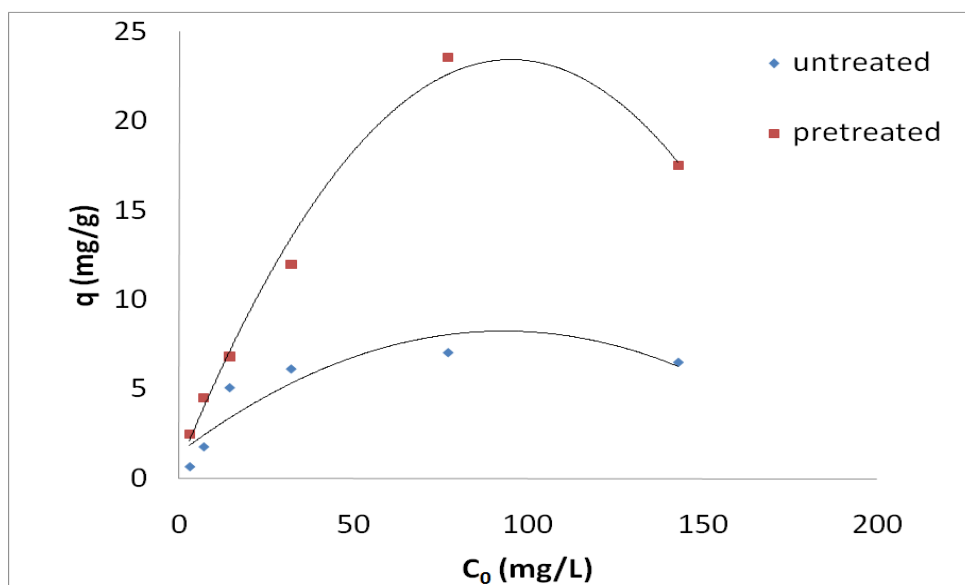
4h). Το  $q_{theor1}$  προέκυψε από την εφαρμογή της κινητικής δευτέρας τάξης

Πινάκας 6.6: Παράμετροι μοντέλων της κινητικής δευτέρας τάξεως της προσρόφησης MB σε απροκατέργαστο και προκατεργασμένο (0,45M θειικό οξύ, 100°C, 4h) άχυρο σιταριού για διαφορετικές συγκεντρώσεις

C <sub>0</sub>	untreated			pretreated		
	k <sub>2</sub> (min <sup>-1</sup> )	q (mg/g)	SEE	k <sub>2</sub> (min <sup>-1</sup> )	q (mg/g)	SEE
3	0,0521	0,68	0,0521	0,0088	2,49	0,0527
7	0,1325	1,79	0,1325	0,0090	4,51	0,1593
14	0,3015	5,08	0,3015	0,0108	6,83	0,3727
32	0,3772	6,13	0,3772	0,0127	11,97	0,4471
77	0,7652	7,04	0,7652	0,0103	23,57	0,5886
143	1,1967	6,50	1,1967	0,0121	17,52	1,1317



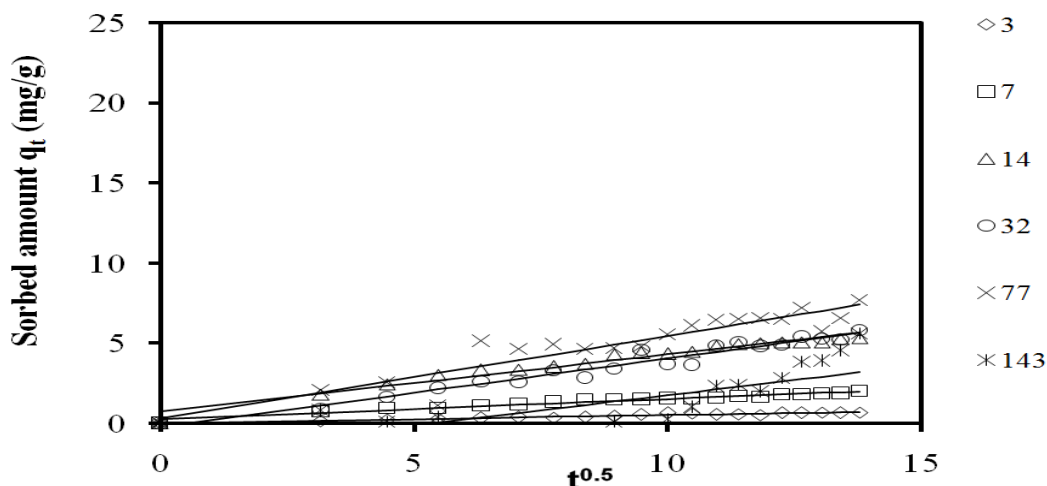
Σχήμα 6.13: Μοντέλο Κινητικής δευτέρας τάξης για προσρόφηση MB σε απροκατέργαστο και προκατεργασμένο (0,45M θειικό οξύ, 100°C, 4h) άχυρο σιταριού σε διαφορετικές συγκεντρώσεις



Σχήμα 6.14: Μοντέλο Κινητικής δευτέρας τάξης για προσρόφηση MB σε απροκατέργαστο και προκατεργασμένο (0,45M θειικό οξύ, 100°C, 4h) άχυρο σιταριού σε διαφορετικές συγκεντρώσεις

Πίνακας 6.7: Προσρόφηση σε άχυρο σιταριού απροκατέργαστο. Το  $q_{theor}$  προέκυψε από την εφαρμογή της κινητικής Intraparticle Diffusion Model

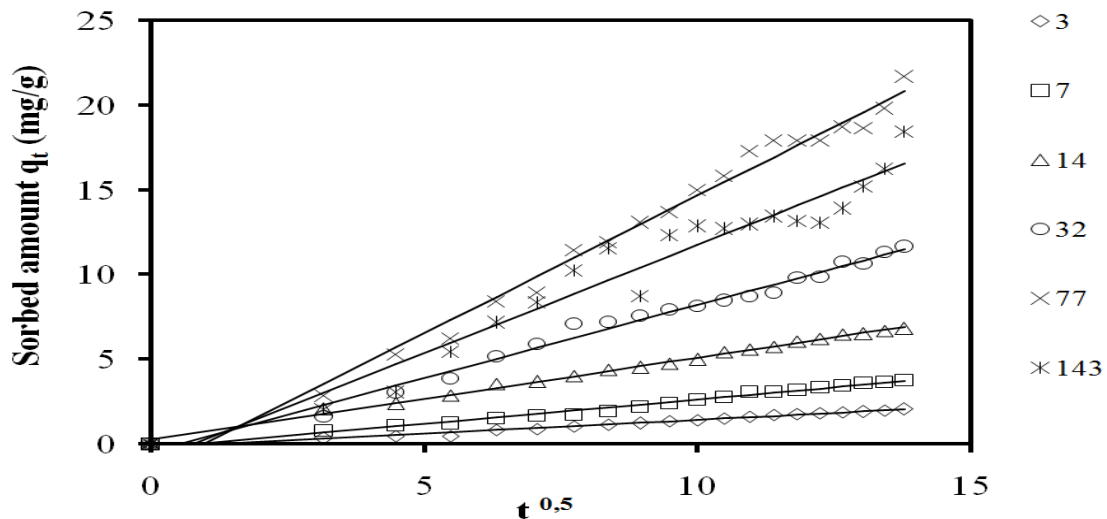
C <sub>0</sub> (mg/L)	Untreated											
	3		7		14		32		77		143	
t <sup>2</sup>	q	q <sub>theor</sub>	q	q <sub>theor</sub>	q	q <sub>theor</sub>	q	q <sub>theor</sub>	q	q <sub>theor</sub>	q	q <sub>theor</sub>
0	0	0,02	0	0,27	0	0,72	0	-0,23	0	0,30	0	-2,00
3,2	0,15	0,18	0,72	0,66	1,80	1,86	0,86	1,12	2,05	1,93	0,81	-0,82
4,5	0,25	0,24	0,94	0,83	2,44	2,33	1,63	1,68	2,54	2,61	0,09	-0,32
5,5	0,31	0,29	0,94	0,95	3,01	2,69	2,20	2,11	1,11	3,13	0,38	0,06
6,3	0,32	0,33	1,11	1,06	3,32	2,99	2,62	2,47	5,13	3,56	-0,91	0,38
7,1	0,39	0,37	1,18	1,15	3,36	3,26	2,56	2,79	4,65	3,95	-0,63	0,66
7,7	0,35	0,40	1,34	1,24	3,53	3,50	3,31	3,08	4,92	4,30	-0,28	0,91
8,4	0,38	0,43	1,47	1,32	3,70	3,72	2,85	3,35	4,62	4,61	-0,06	1,15
8,9	0,44	0,46	1,47	1,39	4,33	3,93	3,39	3,59	4,67	4,91	0,09	1,36
9,5	0,55	0,49	1,51	1,46	4,39	4,12	4,59	3,82	4,78	5,19	-0,16	1,57
10	0,64	0,51	1,56	1,52	4,34	4,31	3,70	4,04	5,54	5,46	0,25	1,76
10,5	0,62	0,54	1,54	1,58	4,48	4,48	3,64	4,25	6,11	5,71	1,03	1,95
11,0	0,55	0,56	1,58	1,64	4,83	4,65	4,85	4,45	6,43	5,95	2,30	2,12
11,4	0,56	0,58	1,69	1,70	4,95	4,81	5,05	4,64	6,51	6,18	2,40	2,29
11,8	0,53	0,60	1,64	1,75	4,99	4,96	4,82	4,83	6,54	6,40	1,99	2,45
12,2	0,64	0,62	1,80	1,80	5,05	5,11	4,90	5,00	6,51	6,61	2,83	2,61
12,6	0,66	0,64	1,79	1,85	5,07	5,26	5,41	5,18	7,19	6,82	3,84	2,76
13,0	0,66	0,66	1,85	1,90	5,07	5,40	5,26	5,34	5,73	7,02	3,91	2,91
13,4	0,64	0,68	1,88	1,95	5,27	5,53	5,23	5,50	6,57	7,22	4,55	3,05
13,8	0,66	0,70	2,01	2,00	5,33	5,66	5,82	5,66	7,67	7,41	5,59	3,19



Σχήμα 6.15: Προσρόφηση σε άχυρο σιταριού απροκατέργαστο. Το  $q_{theor}$  προέκυψε από την εφαρμογή της κινητικής Intraparticle Diffusion Model

Πίνακας 6.8: Προσρόφηση σε άχυρο σιταριού προκατεργασμένο (0,45M θειικό οξύ, 100°C, 4h). Το  $q_{theor}$  προέκυψε από την εφαρμογή της κινητικής Intraparticle Diffusion Model

C <sub>0</sub> (mg/L)	pretreated											
	3		7		14		32		77		143	
t <sup>2</sup>	Q	q <sub>theor</sub>	q	q <sub>theor</sub>	q	q <sub>theor</sub>	q	q <sub>theor</sub>	q	q <sub>theor</sub>	q	q <sub>theor</sub>
0	0	-0,19	0	-0,24	0	0,26	0	-0,43	0	-1,57	0	-0,99
3,16	0,34	0,32	0,79	0,67	2,05	1,79	1,62	2,30	2,84	3,56	2,02	3,04
4,47	0,46	0,53	1,09	1,04	2,38	2,42	3,06	3,43	5,27	5,69	3,06	4,71
5,48	0,46	0,69	1,23	1,33	2,87	2,91	3,86	4,30	6,21	7,32	5,41	5,99
6,32	0,82	0,83	1,53	1,57	3,54	3,32	5,16	5,03	8,40	8,69	7,18	7,07
7,07	0,90	0,95	1,66	1,79	3,67	3,68	5,91	5,68	8,92	9,91	8,33	8,02
7,75	1,04	1,06	1,72	1,98	4,03	4,01	7,09	6,26	11,43	11,00	10,22	8,88
8,37	1,16	1,16	1,92	2,16	4,38	4,31	7,19	6,80	11,89	12,01	11,51	9,67
8,94	1,23	1,26	2,18	2,32	4,52	4,58	7,55	7,30	13,06	12,95	8,72	10,40
9,49	1,35	1,35	2,41	2,48	4,76	4,85	7,93	7,76	13,65	13,83	12,30	11,10
10	1,40	1,43	2,60	2,63	4,98	5,09	8,14	8,21	14,95	14,66	12,85	11,75
10,49	1,52	1,51	2,78	2,77	5,44	5,33	8,47	8,63	15,82	15,45	12,70	12,37
10,95	1,62	1,58	3,08	2,90	5,59	5,56	8,72	9,03	17,26	16,21	12,96	12,97
11,40	1,71	1,66	3,07	3,03	5,73	5,77	8,93	9,42	17,88	16,94	13,43	13,54
11,83	1,76	1,73	3,20	3,15	6,06	5,98	9,79	9,79	17,88	17,63	13,14	14,08
12,25	1,83	1,79	3,34	3,27	6,22	6,18	9,87	10,15	17,88	18,31	13,05	14,61
12,65	1,89	1,86	3,46	3,38	6,45	6,38	10,75	10,49	18,69	18,96	13,89	15,12
13,04	1,90	1,92	3,58	3,50	6,50	6,56	10,62	10,83	18,64	19,59	15,16	15,62
13,42	2,00	1,98	3,66	3,60	6,69	6,75	11,30	11,16	19,80	20,21	16,22	16,10
13,78	2,05	2,04	3,76	3,71	6,80	6,92	11,66	11,47	21,67	20,80	18,42	16,57

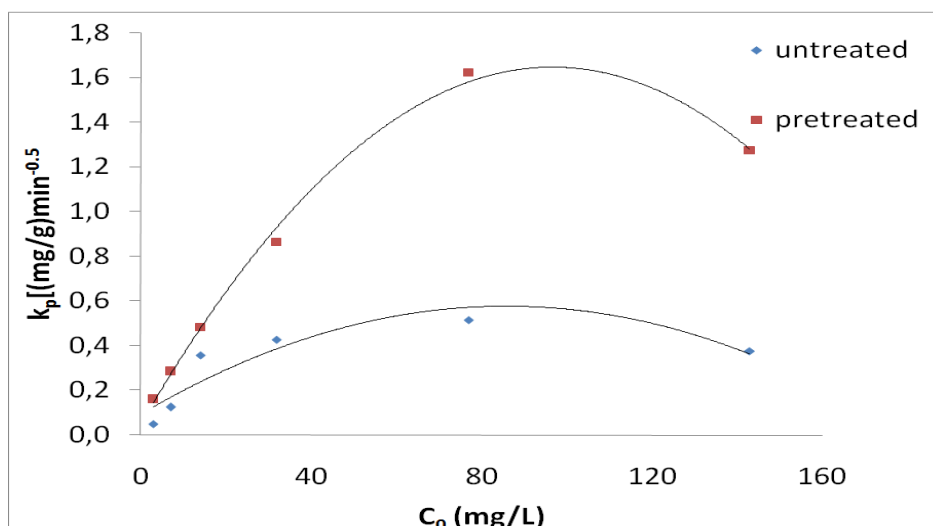


Σχήμα 6.16: Προσρόφηση σε άχυρο σιταριού προκατεργασμένο (0,45M θειικό οξύ, 100°C, 4h). Το  $q_{theor}$  προέκυψε από την εφαρμογή της κινητικής Intraparticle Diffusion Model

Πινάκας 6.9: Παράμετροι μοντέλου της κινητικής Intraparticle Diffusion της προσρόφησης MB σε απροκατέργαστο και προκατεργασμένο (0,45M θειικό οξύ, 100°C, 4h) άχυρο σιταριού για διαφορετικές συγκεντρώσεις

Co	untreated			pretreated		
	c	k	SEE	c	k	SEE
3	0,02	0,0494	0,0506	-0,19	0,1623	0,0790
7	0,27	0,1255	0,0957	-0,24	0,2861	0,1310
14	0,72	0,3585	0,2763	0,26	0,4834	0,1230
32	-0,23	0,4275	0,3437	-0,43	0,8634	0,3790
77	0,31	0,5151	0,7673	-1,57	1,6231	0,7471
143	-2,01	0,3772	1,3192	-0,99	1,2743	1,1662

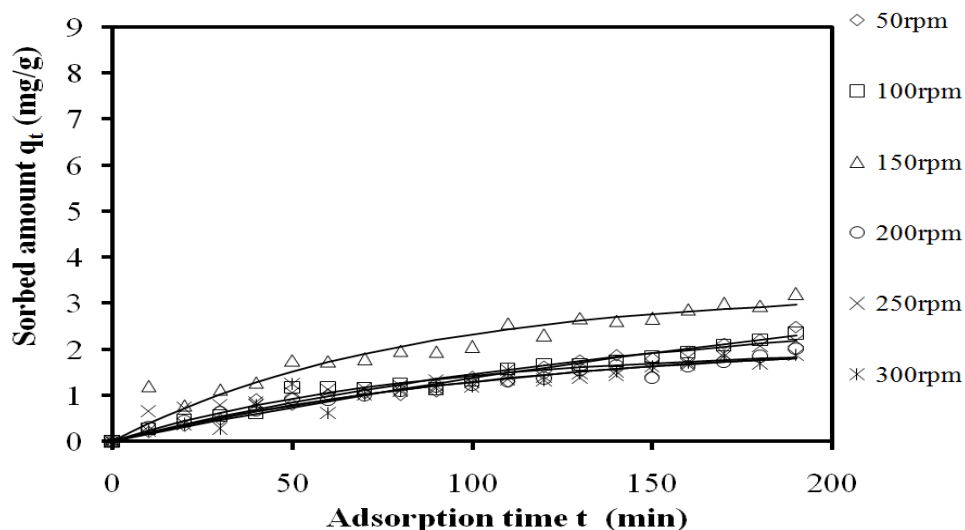




Σχήμα 6.17: Μοντέλο Κινητικής Intraparticle Diffusion για προσρόφηση MB σε απροκατέργαστο και προκατεργασμένο (0,45M θειικό οξύ, 100°C, 4h) άχυρο σιταριού για διαφορετικές συγκεντρώσεις

Πίνακας 6.10: Προσρόφηση σε άχυρο σιταριού απροκατέργαστο σε διαφορετικές ταχύτητες περιστροφής. Το  $q_{theor1}$  προέκυψε από την εφαρμογή της κινητικής πρωτης τάξης

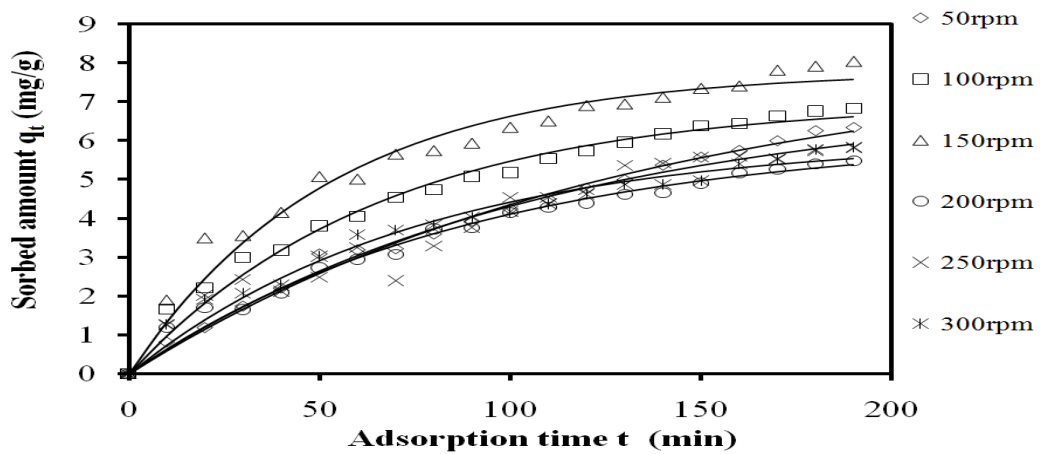
rpm	untreated											
	50		100		150		200		250		300	
t (min)	q	$q_{theor1}$	q	$q_{theor1}$	q	$q_{theor1}$	q	$q_{theor1}$	q	$q_{theor1}$	q	$q_{theor1}$
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0,21	0,16	0,27	0,19	1,21	0,38	0,30	0,19	0,65	0,23	0,23	0,18
20	0,34	0,31	0,45	0,37	0,78	0,72	0,44	0,36	0,72	0,44	0,37	0,35
30	0,47	0,46	0,56	0,54	1,12	1,02	0,63	0,51	0,78	0,62	0,28	0,51
40	0,91	0,60	0,62	0,70	1,28	1,28	0,68	0,66	0,85	0,78	0,78	0,65
50	0,80	0,74	1,17	0,85	1,76	1,51	0,91	0,79	1,05	0,93	1,24	0,78
60	1,00	0,88	1,17	0,99	1,75	1,72	0,90	0,91	1,12	1,05	0,61	0,90
70	1,06	1,01	1,15	1,12	1,79	1,90	1,00	1,02	1,15	1,16	1,02	1,01
80	1,01	1,13	1,25	1,24	1,98	2,06	1,09	1,12	1,21	1,26	1,10	1,11
90	1,09	1,26	1,14	1,36	1,96	2,20	1,20	1,21	1,31	1,35	1,15	1,21
100	1,39	1,38	1,32	1,46	2,06	2,33	1,23	1,30	1,28	1,43	1,19	1,29
110	1,30	1,49	1,56	1,57	2,57	2,44	1,31	1,38	1,35	1,50	1,55	1,37
120	1,62	1,60	1,66	1,66	2,30	2,53	1,37	1,45	1,39	1,56	1,33	1,45
130	1,76	1,71	1,66	1,75	2,68	2,62	1,55	1,51	1,38	1,61	1,47	1,51
140	1,87	1,82	1,74	1,83	2,63	2,70	1,65	1,57	1,43	1,66	1,52	1,57
150	1,79	1,92	1,84	1,91	2,67	2,76	1,37	1,63	1,54	1,70	1,63	1,63
160	1,95	2,02	1,93	1,99	2,87	2,82	1,62	1,68	1,66	1,73	1,70	1,68
170	2,13	2,12	2,09	2,06	3,00	2,88	1,72	1,73	1,91	1,77	1,84	1,73
180	2,19	2,21	2,20	2,12	2,94	2,92	1,85	1,77	2,07	1,80	1,69	1,77
190	2,48	2,30	2,34	2,18	3,20	2,96	2,01	1,81	2,19	1,82	1,88	1,81



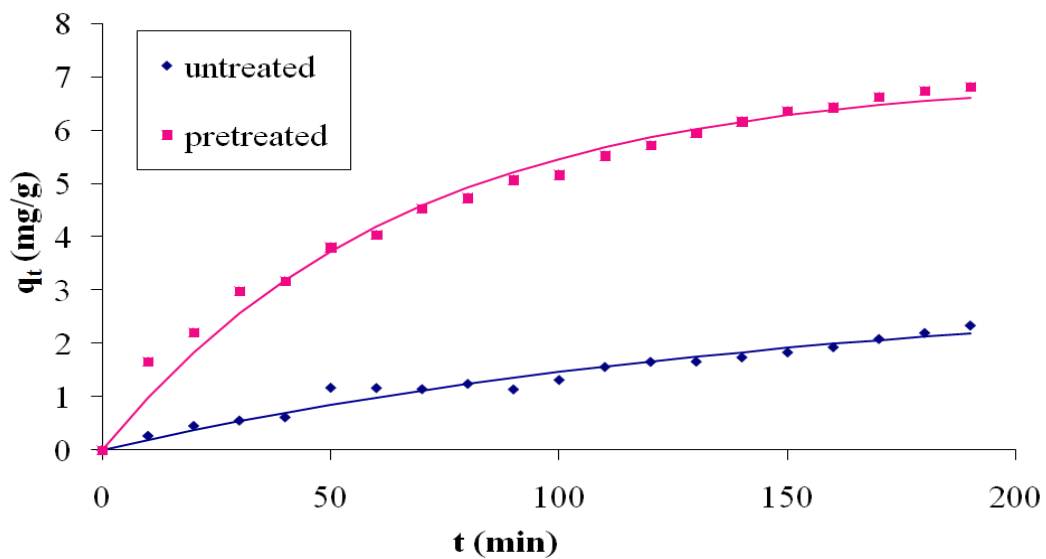
Σχήμα 6.18: Προσρόφηση σε άχυρο σιταριού απροκατέργαστο σε διαφορετικές ταχύτητες περιστροφής. Το  $q_{theor}$  προέκυψε από την εφαρμογή της κινητικής πρωτης τάξης

Πίνακας 6.11: Προσρόφηση σε άχυρο σιταριού απροκατέργαστο (0,45M θειικό οξύ, 100°C, 4h) σε διαφορετικές ταχύτητες περιστροφής. Το  $q_{theor}$  προέκυψε από την εφαρμογή της κινητικής πρωτης τάξης

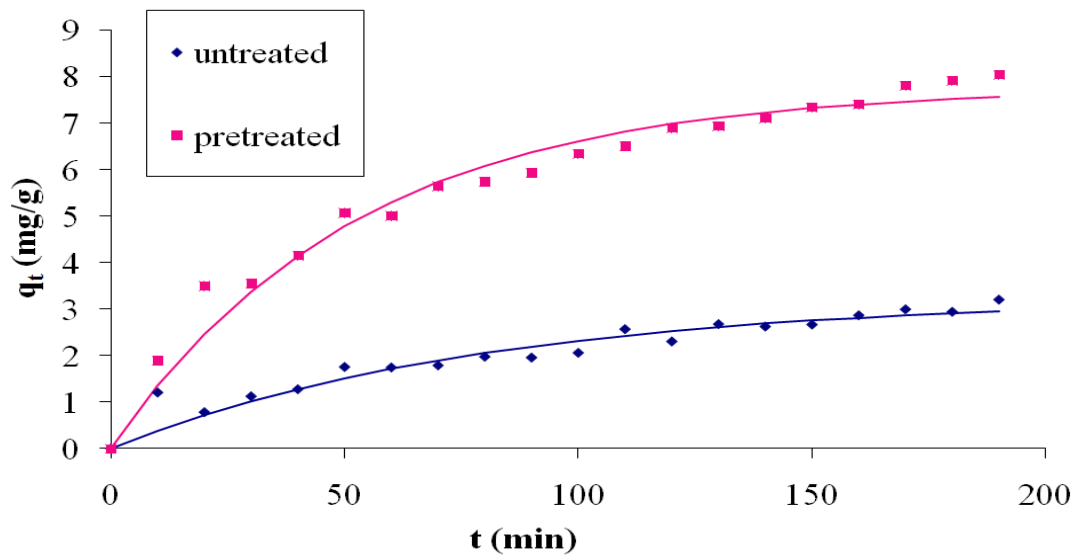
rpm	pretreated											
	50		100		150		200		250		300	
t (min)	q	$q_{theor1}$	q	$q_{theor1}$	q	$q_{theor1}$	q	$q_{theor1}$	q	$q_{theor1}$	q	$q_{theor1}$
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0,81	0,60	1,65	0,99	1,89	1,35	1,19	0,64	1,25	0,63	1,27	0,74
20	1,18	1,15	2,21	1,84	3,49	2,47	1,70	1,22	2,02	1,21	1,91	1,40
30	1,74	1,67	2,99	2,56	3,55	3,39	1,65	1,74	2,43	1,73	2,07	1,97
40	2,20	2,14	3,17	3,19	4,15	4,15	2,08	2,20	2,12	2,21	2,27	2,47
50	3,08	2,59	3,80	3,73	5,07	4,78	2,73	2,61	2,48	2,65	3,02	2,91
60	3,18	2,99	4,04	4,19	5,01	5,30	2,94	2,98	3,24	3,04	3,58	3,29
70	3,21	3,37	4,53	4,59	5,65	5,73	3,07	3,31	2,40	3,41	3,69	3,63
80	3,59	3,72	4,73	4,93	5,74	6,09	3,73	3,61	3,28	3,74	3,82	3,93
90	3,92	4,05	5,07	5,22	5,93	6,38	3,76	3,87	3,77	4,04	4,02	4,19
100	4,23	4,35	5,17	5,47	6,34	6,62	4,15	4,11	4,54	4,31	4,17	4,41
110	4,48	4,63	5,52	5,69	6,50	6,83	4,29	4,32	4,54	4,56	4,37	4,61
120	4,76	4,89	5,72	5,88	6,90	6,99	4,39	4,51	4,73	4,79	4,61	4,79
130	4,98	5,13	5,95	6,04	6,94	7,13	4,62	4,68	5,36	5,00	4,86	4,94
140	5,36	5,35	6,17	6,17	7,11	7,24	4,65	4,83	5,42	5,19	4,87	5,07
150	5,56	5,56	6,37	6,29	7,34	7,33	4,90	4,96	5,57	5,36	4,96	5,19
160	5,74	5,75	6,43	6,39	7,40	7,41	5,16	5,08	5,59	5,52	5,40	5,29
170	5,98	5,92	6,63	6,48	7,81	7,48	5,27	5,19	5,54	5,66	5,51	5,38
180	6,24	6,09	6,75	6,56	7,91	7,53	5,40	5,29	5,74	5,79	5,77	5,46
190	6,32	6,24	6,81	6,62	8,04	7,57	5,48	5,38	5,81	5,91	5,82	5,53



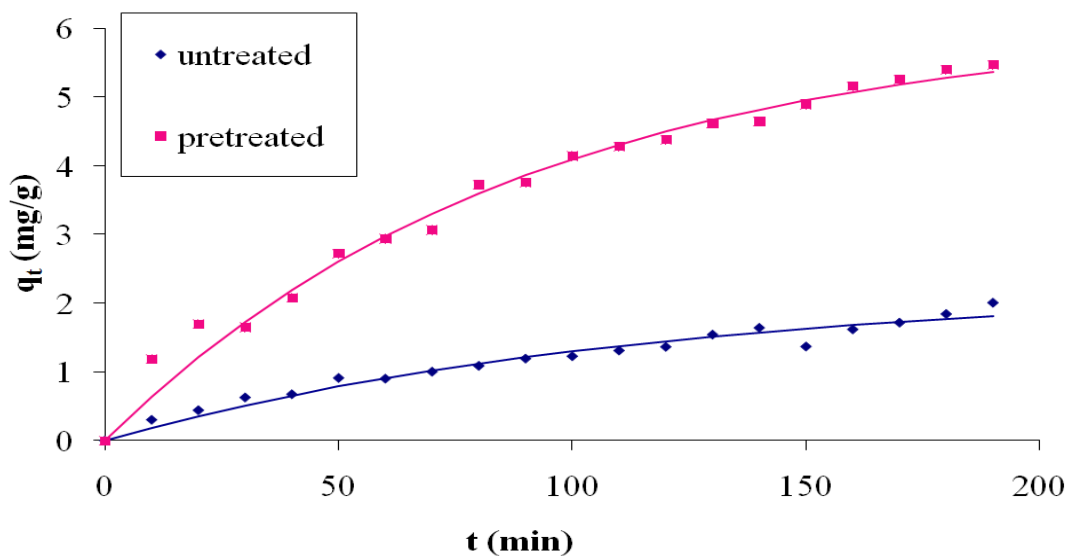
Σχήμα 6.19: Προσρόφηση σε άχυρο σιταριού προκατεργασμένο (0,45M θειικό οξύ, 100°C, 4h) σε διαφορετικές ταχύτητες περιστροφής. Το  $q_{theor}$  προέκυψε από την εφαρμογή της κινητικής πρωτης τάξης



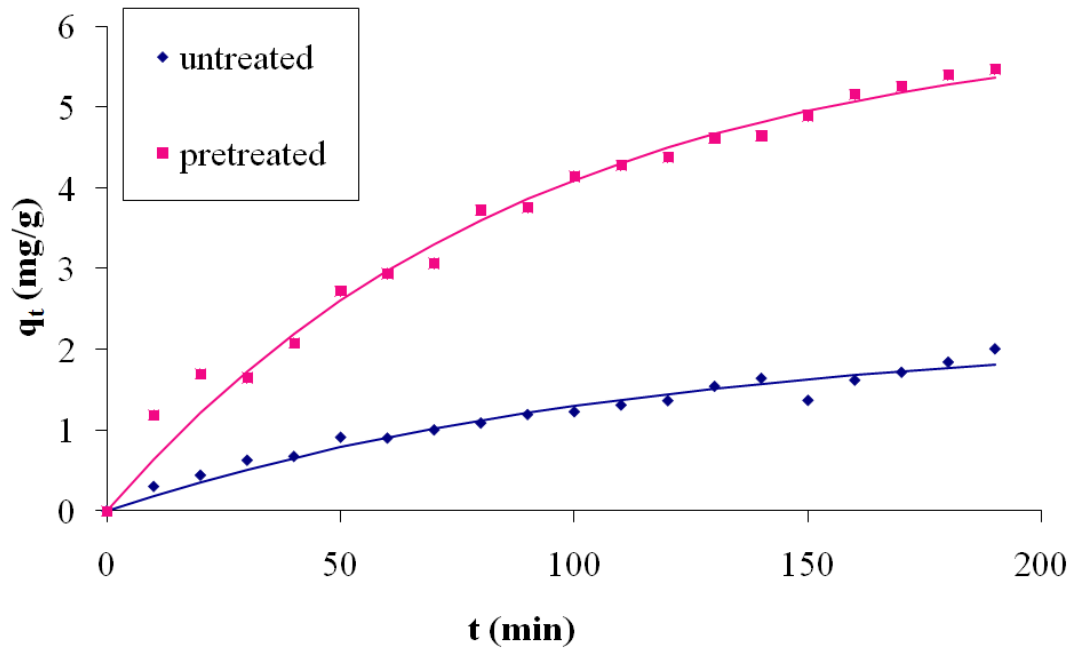
Σχήμα 6.20: Προσρόφηση σε άχυρο σιταριού απροκατέργαστο και προκατεργασμένο (0,45M θειικό οξύ, 100°C, 4h) για ταχύτητα περιστροφής 50rpm. Το  $q_{theor}$  προέκυψε από την εφαρμογή της κινητικής πρωτης τάξης



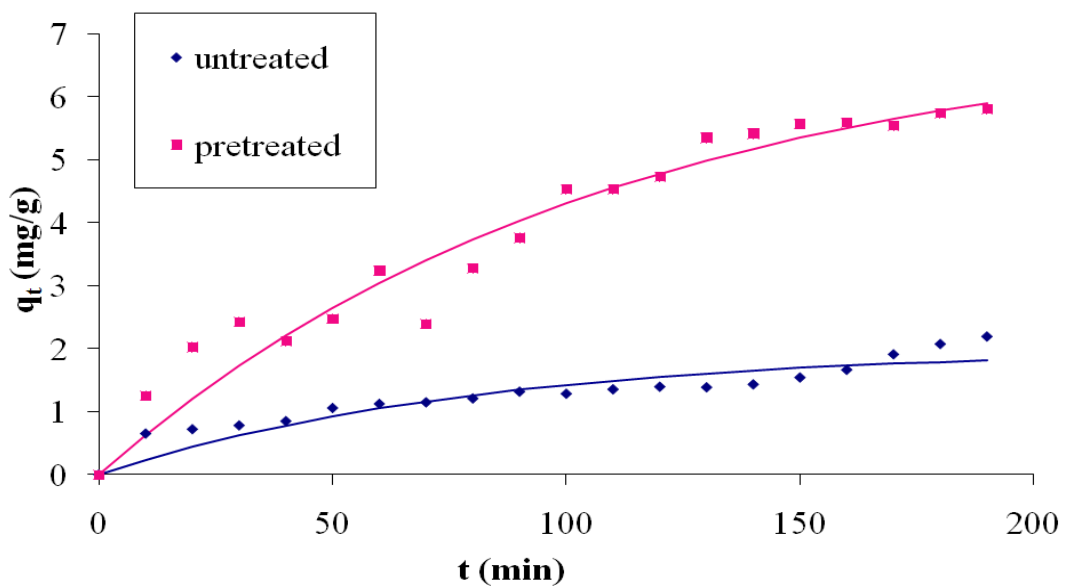
Σχήμα 6.21: Προσρόφηση σε άχυρο σιταριού απροκατέργαστο και προκατεργασμένο (0,45M θειικό οξύ, 100°C, 4h) για ταχύτητα περιστροφής 100rpm. Το  $q_{theor}$  προέκυψε από την εφαρμογή της κινητικής πρώτης τάξης



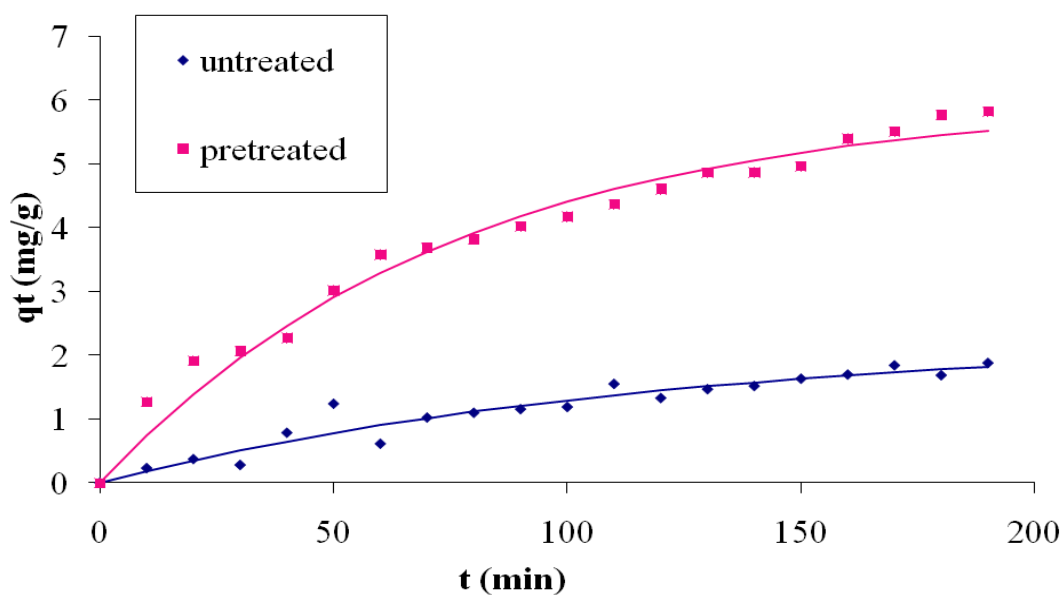
Σχήμα 6.22: Προσρόφηση σε άχυρο σιταριού απροκατέργαστο και προκατεργασμένο (0,45M θειικό οξύ, 100°C, 4h) για ταχύτητα περιστροφής 150rpm. Το  $q_{theor}$  προέκυψε από την εφαρμογή της κινητικής πρώτης τάξης



Σχήμα 6.23: Προσρόφηση σε άχυρο σιταριού απροκατέργαστο και προκατεργασμένο (0,45M θειικό οξύ, 100°C, 4h) για ταχύτητα περιστροφής 200rpm. Το  $q_{theor}$  προέκυψε από την εφαρμογή της κινητικής πρώτης τάξης



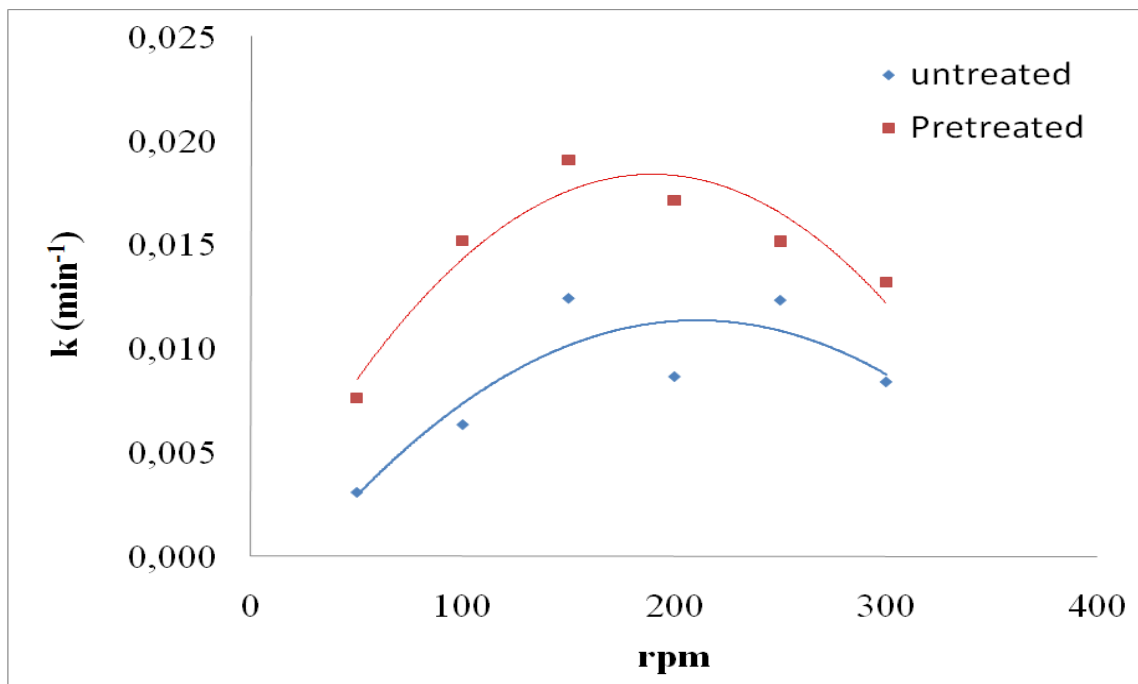
Σχήμα 6.24: Προσρόφηση σε άχυρο σιταριού απροκατέργαστο και προκατεργασμένο (0,45M θειικό οξύ, 100°C, 4h) για ταχύτητα περιστροφής 250rpm. Το  $q_{theor}$  προέκυψε από την εφαρμογή της κινητικής πρώτης τάξης



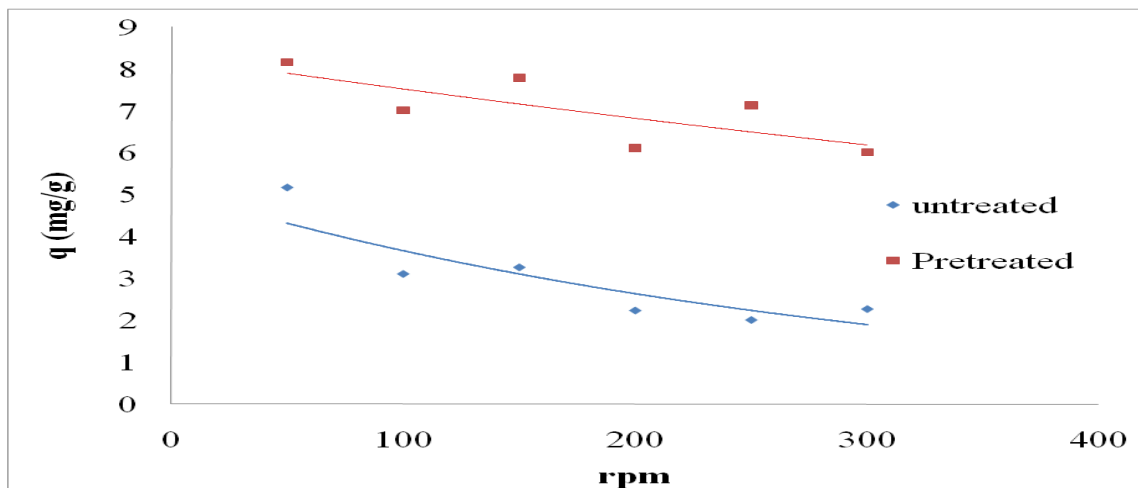
Σχήμα 6.25: Προσρόφηση σε άχυρο σιταριού απροκατέργαστο και προκατεργασμένο (0,45M θειικό οξύ, 100°C, 4h) για ταχύτητα περιστροφής 300rpm. Το  $q_{theor}$  προέκυψε από την εφαρμογή της κινητικής πρώτης τάξης

Πινάκας 6.12: Παράμετροι μοντέλου της κινητικής πρώτης τάξεως (Lagergren) της προσρόφησης MB σε απροκατέργαστο και προκατεργασμένο (0,45M θειικό οξύ, 100°C, 4h) άχυρο σιταριού για διαφορετικές ταχύτητες περιστροφής

rpm	untreated			pretreated		
	k (min <sup>-1</sup> )	q (mg/g)	SEE	k (min <sup>-1</sup> )	q (mg/g)	SEE
50	0,0031	5,18	0,121602	0,0076	8,15	0,1674127
100	0,0063	3,11	0,125481	0,0152	7,01	0,2490423
150	0,0124	3,27	0,243481	0,0191	7,78	0,3800083
200	0,0087	2,24	0,102762	0,0171	6,11	0,2014173
250	0,0123	2,01	0,202248	0,0152	7,13	0,4239541
300	0,0084	2,28	0,159052	0,0132	6,02	0,2559827



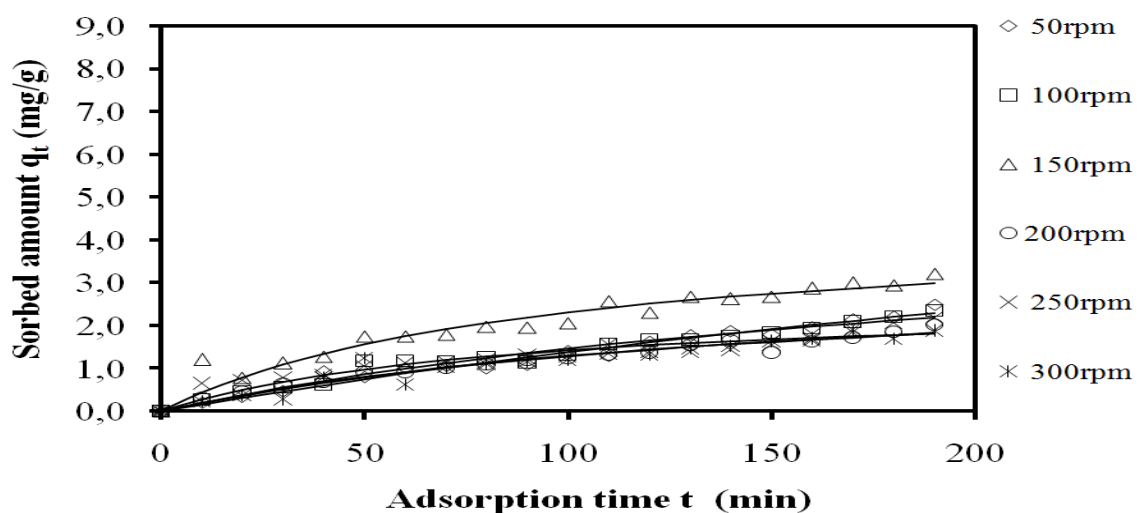
Σχήμα 6.26: Μοντέλο Κινητικής πρώτης τάξης (Lagergren) για προσρόφηση MB σε απροκατέργαστο και προκατεργασμένο (0,45M θειικό οξύ, 100°C, 4h) άχυρο σιταριού για διαφορετικές ταχύτητες περιστροφής



Σχήμα 6.27: Μοντέλο Κινητικής πρώτης τάξης (Lagergren) για προσρόφηση MB σε απροκατέργαστο και προκατεργασμένο άχυρο σιταριού (0,45M θειικό οξύ, 100°C, 4h) για διαφορετικές ταχύτητες περιστροφής

Πίνακας 6.13: Προσρόφηση σε άχυρο σιταριού απροκατέργαστο σε διαφορετικές ταχύτητες περιστροφής. Το  $q_{theor}$  προέκυψε από την εφαρμογή της κινητικής δευτέρας τάξης

rpm	untreated											
	50		100		150		200		250		300	
t (min)	q	$q_{theor}$	q	$q_{theor}$	q	$q_{theor}$	q	$q_{theor}$	q	$q_{theor}$	q	$q_{theor}$
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0,21	0,16	0,27	0,20	1,21	0,43	0,30	0,20	0,65	0,28	0,23	0,19
20	0,34	0,32	0,45	0,39	0,78	0,79	0,44	0,38	0,72	0,50	0,37	0,37
30	0,47	0,46	0,56	0,56	1,12	1,09	0,63	0,54	0,78	0,69	0,28	0,52
40	0,91	0,61	0,62	0,71	1,28	1,34	0,68	0,68	0,85	0,84	0,78	0,66
50	0,80	0,75	1,17	0,86	1,76	1,56	0,91	0,80	1,05	0,98	1,24	0,79
60	1,00	0,88	1,17	1,00	1,75	1,75	0,90	0,92	1,12	1,09	0,61	0,91
70	1,06	1,01	1,15	1,13	1,79	1,92	1,00	1,03	1,15	1,19	1,02	1,01
80	1,01	1,14	1,25	1,25	1,98	2,06	1,09	1,12	1,21	1,28	1,10	1,11
90	1,09	1,26	1,14	1,36	1,96	2,19	1,20	1,21	1,31	1,35	1,15	1,20
100	1,39	1,38	1,32	1,46	2,06	2,31	1,23	1,29	1,28	1,42	1,19	1,29
110	1,30	1,49	1,56	1,56	2,57	2,41	1,31	1,37	1,35	1,49	1,55	1,36
120	1,62	1,60	1,66	1,66	2,30	2,51	1,37	1,44	1,39	1,54	1,33	1,44
130	1,76	1,71	1,66	1,74	2,68	2,59	1,55	1,50	1,38	1,59	1,47	1,50
140	1,87	1,82	1,74	1,83	2,63	2,67	1,65	1,56	1,43	1,64	1,52	1,57
150	1,79	1,92	1,84	1,91	2,67	2,75	1,37	1,62	1,54	1,68	1,63	1,63
160	1,95	2,02	1,93	1,98	2,87	2,81	1,62	1,67	1,66	1,72	1,70	1,68
170	2,13	2,11	2,09	2,05	3,00	2,87	1,72	1,72	1,91	1,75	1,84	1,73
180	2,19	2,20	2,20	2,12	2,94	2,93	1,85	1,77	2,07	1,79	1,69	1,78
190	2,48	2,30	2,34	2,18	3,20	2,98	2,01	1,82	2,19	1,82	1,88	1,83

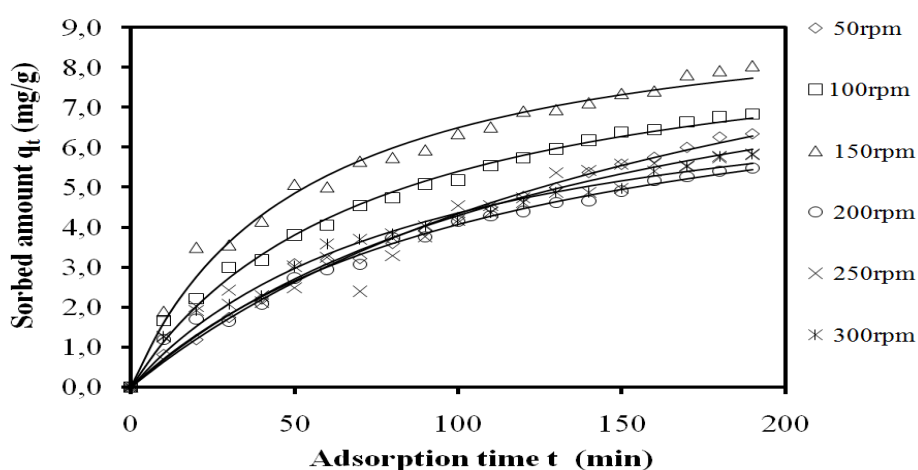


Σχήμα 4.28: Προσρόφηση σε άχυρο σιταριού προκατεργασμένο σε διαφορετικές ταχύτητες περιστροφής. Το  $q_{theor}$  προέκυψε από την εφαρμογή της κινητικής δευτέρας τάξης



Πίνακας 6.14: Προσρόφηση σε άχυρο σιταριού προκατεργασμένο (0,45M θειικό οξύ, 100°C, 4h) σε διαφορετικές ταχύτητες περιστροφής. Το  $q_{theor}$  προέκυψε από την εφαρμογή της κινητικής δευτέρας τάξης

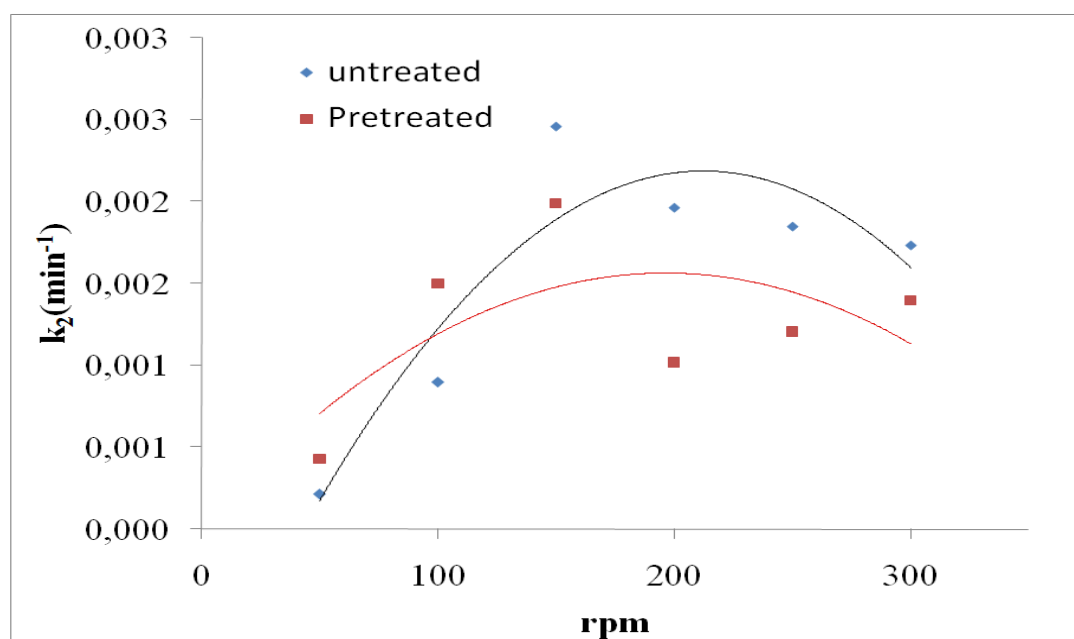
	pretreated											
rpm	50		100		150		200		250		300	
t (min)	q	$q_{theor}$	q	$q_{theor}$	q	$q_{theor}$	q	$q_{theor}$	q	$q_{theor}$	q	$q_{theor}$
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0,81	0,63	1,65	1,13	1,89	1,60	1,19	0,70	1,25	0,68	1,27	0,84
20	1,18	1,20	2,21	2,02	3,49	2,76	1,70	1,30	2,02	1,28	1,91	1,52
30	1,74	1,72	2,99	2,73	3,55	3,63	1,65	1,82	2,43	1,81	2,07	2,09
40	2,20	2,19	3,17	3,31	4,15	4,31	2,08	2,26	2,12	2,28	2,27	2,56
50	3,08	2,62	3,80	3,80	5,07	4,85	2,73	2,66	2,48	2,70	3,02	2,97
60	3,18	3,02	4,04	4,22	5,01	5,30	2,94	3,00	3,24	3,08	3,58	3,33
70	3,21	3,39	4,53	4,57	5,65	5,67	3,07	3,31	2,40	3,43	3,69	3,63
80	3,59	3,73	4,73	4,88	5,74	5,99	3,73	3,59	3,28	3,74	3,82	3,91
90	3,92	4,04	5,07	5,15	5,93	6,26	3,76	3,84	3,77	4,03	4,02	4,15
100	4,23	4,33	5,17	5,39	6,34	6,50	4,15	4,07	4,54	4,29	4,17	4,36
110	4,48	4,61	5,52	5,61	6,50	6,70	4,29	4,27	4,54	4,53	4,37	4,56
120	4,76	4,86	5,72	5,80	6,90	6,88	4,39	4,46	4,73	4,76	4,61	4,73
130	4,98	5,10	5,95	5,97	6,94	7,05	4,62	4,64	5,36	4,96	4,86	4,89
140	5,36	5,33	6,17	6,13	7,11	7,19	4,65	4,80	5,42	5,15	4,87	5,03
150	5,56	5,54	6,37	6,27	7,34	7,32	4,90	4,94	5,57	5,33	4,96	5,17
160	5,74	5,74	6,43	6,40	7,40	7,44	5,16	5,08	5,59	5,50	5,40	5,29
170	5,98	5,93	6,63	6,52	7,81	7,55	5,27	5,21	5,54	5,66	5,51	5,40
180	6,24	6,10	6,75	6,63	7,91	7,65	5,40	5,33	5,74	5,81	5,77	5,50
190	6,32	6,27	6,81	6,73	8,04	7,74	5,48	5,44	5,81	5,94	5,82	5,60



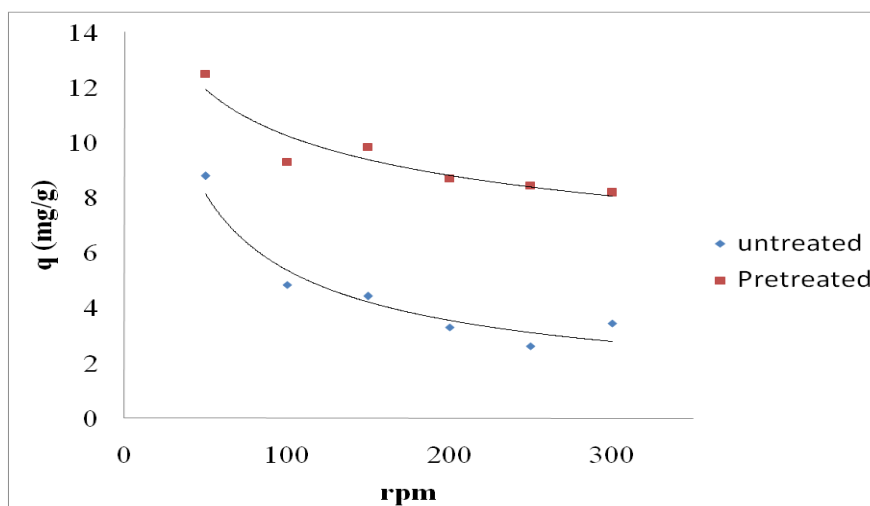
Σχήμα 6.29: Προσρόφηση σε άχυρο σιταριού απροκατέργαστο (0,45M θειικό οξύ, 100°C, 4h) σε διαφορετικές ταχύτητες περιστροφής. Το  $q_{theor}$  προέκυψε από την εφαρμογή της κινητικής δευτέρας τάξης

Πινάκας 6.15: Παράμετροι μοντέλου της κινητικής δευτέρας τάξεως της προσρόφησης MB σε απροκατέργαστο και προκατεργασμένο άχυρο σιταριού για διαφορετικές ταχύτητες περιστροφής

rpm	untreated			pretreated		
	$k_2(\text{min}^{-1})$	q (mg/g)	SEE	$k_2(\text{min}^{-1})$	q (mg/g)	SEE
50	0,0002	8,78	0,1206	0,0004	12,48	0,1511
100	0,0009	4,84	0,1214	0,0015	9,28	0,1784
150	0,0025	4,43	0,2267	0,0020	9,82	0,2657
200	0,0020	3,29	0,0962	0,0010	8,68	0,1822
250	0,0018	2,62	0,1855	0,0012	8,43	0,1511
300	0,0017	3,44	0,1580	0,0014	8,19	0,2129



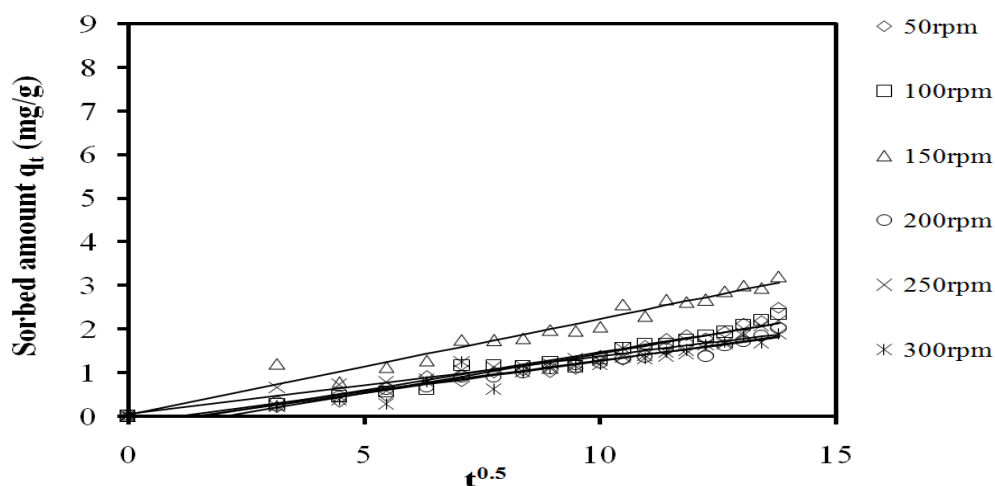
Σχήμα 6.30: Μοντέλο Κινητικής δευτέρας τάξης για προσρόφηση MB σε απροκατέργαστο και προκατεργασμένο άχυρο σιταριού για διαφορετικές ταχύτητες περιστροφής



Σχήμα 6.31: Μοντέλο Κινητικής δευτέρας τάξης για προσρόφηση MB σε απροκατέργαστο και προκατεργασμένο άχυρο σιταριού για διαφορετικές ταχύτητες περιστροφής

Πίνακας 6.16: Προσρόφηση σε άχυρο σιταριού απροκατέργαστο σε διαφορετικές ταχύτητες περιστροφής. Το  $q_{theor}$  προέκυψε από την εφαρμογή του intraparticle Diffusion Model

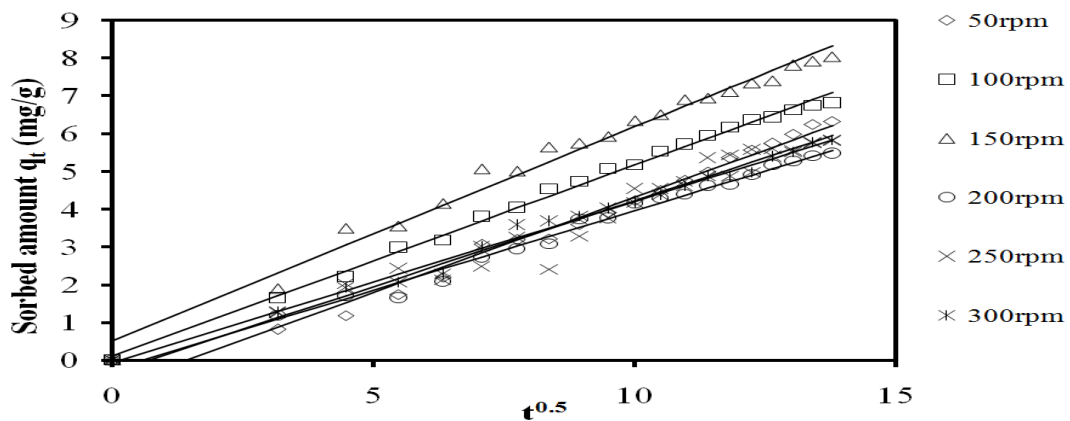
rpm	untreated											
	50		100		150		200		250		300	
$t^2$	q	$q_{theor}$	q	$q_{theor}$	q	$q_{theor}$	q	$q_{theor}$	q	$q_{theor}$	q	$q_{theor}$
0	0	-0,38	0	-0,26	0	0,03	0	-0,14	0	0,05	0	-0,20
3,16	0,21	0,20	0,27	0,28	1,21	0,73	0,30	0,31	0,65	0,47	0,23	0,26
4,47	0,34	0,44	0,45	0,51	0,78	1,02	0,44	0,49	0,72	0,65	0,37	0,46
5,48	0,47	0,62	0,56	0,69	1,12	1,24	0,63	0,64	0,78	0,78	0,28	0,60
6,32	0,91	0,77	0,62	0,83	1,28	1,43	0,68	0,76	0,85	0,89	0,78	0,73
7,07	0,80	0,91	1,17	0,96	1,76	1,59	0,91	0,86	1,05	0,99	1,24	0,84
7,75	1,00	1,03	1,17	1,08	1,75	1,74	0,90	0,96	1,12	1,08	0,61	0,94
8,37	1,06	1,15	1,15	1,19	1,79	1,88	1,00	1,05	1,15	1,16	1,02	1,03
8,94	1,01	1,25	1,25	1,29	1,98	2,00	1,09	1,13	1,21	1,24	1,10	1,12
9,49	1,09	1,35	1,14	1,38	1,96	2,12	1,20	1,20	1,31	1,31	1,15	1,19
10	1,39	1,44	1,32	1,47	2,06	2,24	1,23	1,28	1,28	1,38	1,19	1,27
10,49	1,30	1,53	1,56	1,56	2,57	2,34	1,31	1,35	1,35	1,44	1,55	1,34
10,95	1,62	1,62	1,66	1,64	2,30	2,45	1,37	1,41	1,39	1,50	1,33	1,41
11,40	1,76	1,70	1,66	1,72	2,68	2,55	1,55	1,48	1,38	1,56	1,47	1,48
11,83	1,87	1,78	1,74	1,79	2,63	2,64	1,65	1,54	1,43	1,62	1,52	1,54
12,25	1,79	1,85	1,84	1,86	2,67	2,73	1,37	1,60	1,54	1,68	1,63	1,60
12,65	1,95	1,92	1,93	1,93	2,87	2,82	1,62	1,65	1,66	1,73	1,70	1,66
13,04	2,13	2,00	2,09	2,00	3,00	2,91	1,72	1,71	1,91	1,78	1,84	1,72
13,42	2,19	2,06	2,20	2,06	2,94	2,99	1,85	1,76	2,07	1,83	1,69	1,77
13,78	2,48	2,13	2,34	2,13	3,20	3,07	2,01	1,81	2,19	1,88	1,88	1,83



Σχήμα 6.32: Κινητική Lagergren intraparticle για προσρόφηση MB σε απροκατέργαστο άχυρο σιταριού για διαφορετικές ταχύτητες περιστροφής

Πίνακας 6.17: Προσρόφηση σε άχυρο σιταριού προκατεργασμένο (0,45M θειικό οξύ, 100°C, 4h) σε διαφορετικές ταχύτητες περιστροφής. Το  $q_{theor}$  προέκυψε από την εφαρμογή του intraparticle Diffusion Model

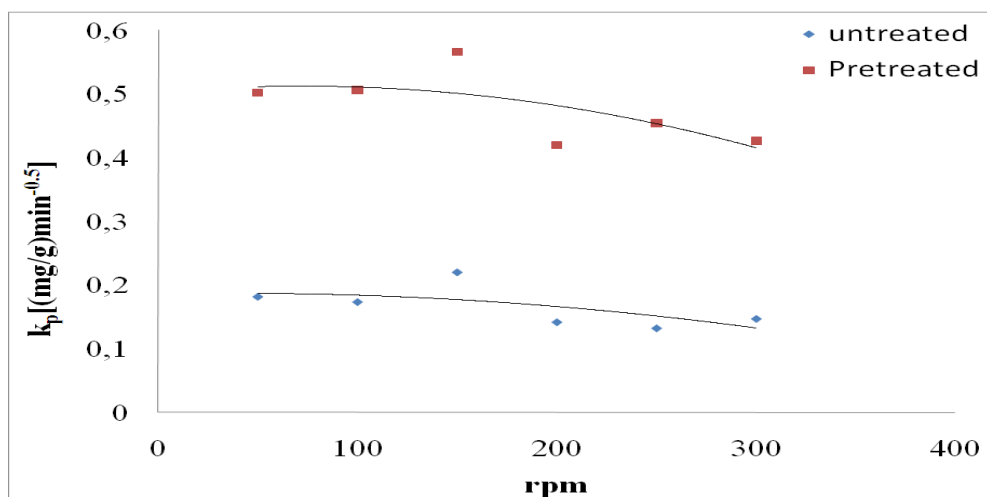
rpm	Pretreated											
	50		100		150		200		250		300	
$t^2$	q	$q_{theor}$	q	$q_{theor}$	q	$q_{theor}$	q	$q_{theor}$	q	$q_{theor}$	q	$q_{theor}$
0	0	-0,71	0	0,11	0	0,52	0	-0,24	0	-0,32	0	-0,06
3,16	0,81	0,88	1,65	1,71	1,89	2,31	1,19	1,09	1,25	1,12	1,27	1,29
4,47	1,18	1,54	2,21	2,37	3,49	3,05	1,70	1,64	2,02	1,72	1,91	1,85
5,48	1,74	2,04	2,99	2,88	3,55	3,62	1,65	2,06	2,43	2,17	2,07	2,28
6,32	2,20	2,46	3,17	3,31	4,15	4,10	2,08	2,42	2,12	2,56	2,27	2,64
7,07	3,08	2,84	3,80	3,69	5,07	4,52	2,73	2,73	2,48	2,90	3,02	2,96
7,75	3,18	3,18	4,04	4,03	5,01	4,90	2,94	3,01	3,24	3,20	3,58	3,25
8,37	3,21	3,49	4,53	4,34	5,65	5,26	3,07	3,27	2,40	3,48	3,69	3,51
8,94	3,59	3,78	4,73	4,64	5,74	5,58	3,73	3,52	3,28	3,75	3,82	3,76
9,49	3,92	4,05	5,07	4,91	5,93	5,89	3,76	3,74	3,77	3,99	4,02	3,99
10	4,23	4,31	5,17	5,17	6,34	6,18	4,15	3,96	4,54	4,23	4,17	4,21
10,49	4,48	4,55	5,52	5,42	6,50	6,46	4,29	4,17	4,54	4,45	4,37	4,42
10,95	4,76	4,79	5,72	5,65	6,90	6,72	4,39	4,36	4,73	4,66	4,61	4,61
11,40	4,98	5,01	5,95	5,88	6,94	6,97	4,62	4,55	5,36	4,86	4,86	4,81
11,83	5,36	5,23	6,17	6,10	7,11	7,22	4,65	4,73	5,42	5,06	4,87	4,99
12,25	5,56	5,44	6,37	6,31	7,34	7,45	4,90	4,90	5,57	5,25	4,96	5,17
12,65	5,74	5,64	6,43	6,51	7,40	7,68	5,16	5,07	5,59	5,43	5,40	5,34
13,04	5,98	5,83	6,63	6,71	7,81	7,90	5,27	5,24	5,54	5,61	5,51	5,50
13,42	6,24	6,02	6,75	6,90	7,91	8,11	5,40	5,40	5,74	5,78	5,77	5,67
13,78	6,32	6,21	6,81	7,09	8,04	8,32	5,48	5,55	5,81	5,95	5,82	5,82



Σχήμα 6.33: Προσρόφηση σε άχυρο σιταριού προκατεργασμένο (0,45M θειικό οξύ, 100°C, 4h) σε διαφορετικές ταχύτητες περιστροφής. Το  $q_{theor}$  προέκυψε από την εφαρμογή του *intraparticle Diffusion Model*

Πινάκας 6.18: Παράμετροι μοντέλου της κινητικής *intraparticle Diffusion* της προσρόφησης MB σε απροκατέργαστο και προκατεργασμένο άχυρο σιταριού για διαφορετικές ταχύτητες περιστροφής

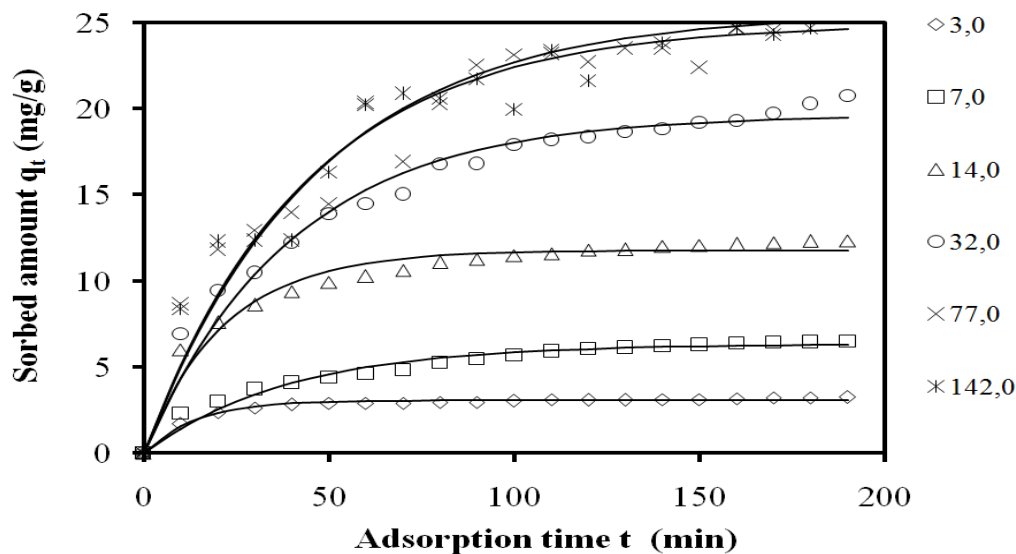
rpm	untreated			pretreated		
	c	k	SEE	c	k	SEE
50	-0,376	0,1818	0,1777	-0,709	0,5018	0,2497
100	-0,264	0,1736	0,1402	0,107	0,5063	0,1274
150	0,035	0,2202	0,1726	0,521	0,5659	0,2817
200	-0,142	0,1419	0,0933	-0,243	0,4203	0,1703
250	0,055	0,1324	0,1375	-0,316	0,4543	0,3905
300	-0,201	0,1471	0,1686	-0,062	0,4269	0,1515



Σχήμα 6.34: Μοντέλο Κινητικής intraparticle Diffusion για προσρόφηση MB σε απροκατέργαστο και προκατεργασμένο άχυρο σιταριού για διαφορετικές ταχύτητες περιστροφής

Πινάκας 6.19: Προσρόφηση σε άχυρο σιταριού προκατεργασμένο (0,1M Maleic Acid 140°C 0min). Το  $q_{theor1}$  προέκυψε από την εφαρμογή της κινητικής πρώτης τάξης

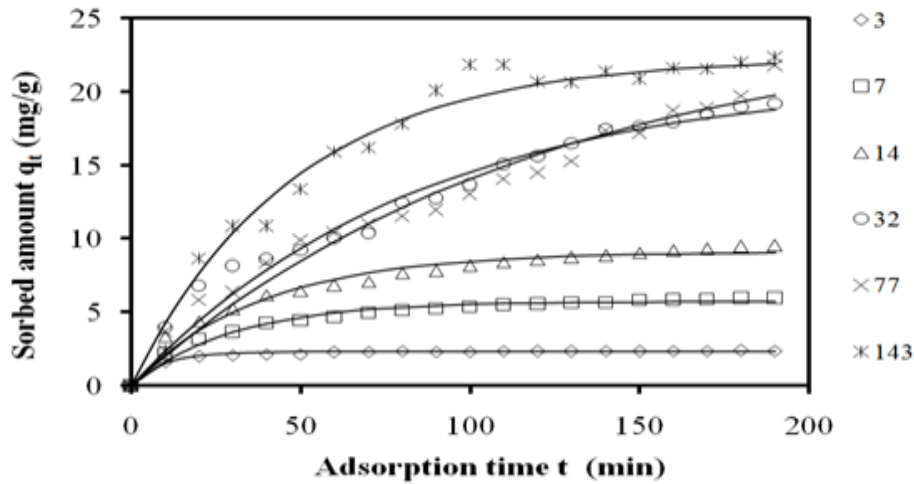
0,1M Maleic Acid 140°C 0min												
C <sub>0</sub> (mg/L)	3,0		7,0		14,0		32,0		77,0		143,0	
t (min)	q	q <sub>theor1</sub>	q	q <sub>theor1</sub>	q	q <sub>theor1</sub>	q	q <sub>theor1</sub>	q	q <sub>theor1</sub>	q	q <sub>theor1</sub>
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	1,69	1,56	2,29	1,44	6,01	4,35	6,90	4,35	8,65	5,10	8,37	5,00
20	2,36	2,33	3,02	2,55	7,59	7,09	9,44	7,74	11,82	9,16	12,30	9,03
30	2,63	2,70	3,72	3,41	8,60	8,82	10,47	10,38	12,91	12,39	12,36	12,27
40	2,81	2,89	4,10	4,07	9,38	9,91	12,23	12,43	13,96	14,95	12,36	14,87
50	2,90	2,98	4,39	4,59	9,92	10,59	13,87	14,03	14,45	16,99	16,28	16,97
60	2,88	3,02	4,62	4,98	10,27	11,03	14,47	15,27	20,35	18,62	20,21	18,65
70	2,88	3,05	4,81	5,29	10,61	11,30	15,04	16,24	16,91	19,91	20,88	20,01
80	2,94	3,06	5,26	5,53	11,06	11,47	16,79	16,99	20,27	20,94	20,60	21,10
90	2,93	3,06	5,49	5,71	11,25	11,58	16,81	17,58	22,51	21,75	21,70	21,98
100	3,04	3,06	5,69	5,85	11,46	11,65	17,90	18,04	23,11	22,40	19,95	22,69
110	3,10	3,07	5,92	5,96	11,58	11,69	18,20	18,39	23,19	22,92	23,38	23,26
120	3,09	3,07	6,05	6,05	11,78	11,72	18,37	18,67	22,70	23,33	21,61	23,72
130	3,09	3,07	6,14	6,11	11,82	11,73	18,66	18,88	23,51	23,66	25,10	24,08
140	3,11	3,07	6,23	6,16	12,01	11,74	18,80	19,05	23,51	23,92	23,79	24,38
150	3,10	3,07	6,30	6,20	12,05	11,75	19,19	19,18	22,38	24,13	25,13	24,62
160	3,15	3,07	6,38	6,23	12,15	11,76	19,28	19,28	24,65	24,29	24,71	24,81
170	3,21	3,07	6,43	6,26	12,24	11,76	19,72	19,36	24,56	24,42	24,30	24,96
180	3,22	3,07	6,45	6,27	12,30	11,76	20,28	19,42	25,75	24,52	24,66	25,09
190	3,24	3,07	6,47	6,29	12,32	11,76	20,76	19,47	26,24	24,61	25,60	25,19



Σχήμα 6.35: Προσρόφηση σε άχυρο σιταριού προκατεργασμένο (0,1M Maleic Acid 140°C 0min). Το  $q_{theor}$  προέκυψε από την εφαρμογή της κινητικής πρώτης τάξης

Πινάκας 6.20: Προσρόφηση σε άχυρο σιταριού προκατεργασμένο (0,1M Maleic Acid 160°C 30min). Το  $q_{theor}$  προέκυψε από την εφαρμογή της κινητικής πρώτης τάξης

		0,1M Maleic Acid 160°C 30min											
$C_0$ (mg/g)		3		7		14		32		77		143	
t (min)		q	$q_{theor1}$	q	$q_{theor1}$	q	$q_{theor1}$	q	$q_{theor1}$	q	$q_{theor1}$	q	$q_{theor1}$
0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10		1,62	1,50	2,17	1,63	3,34	2,12	3,94	2,33	3,68	2,00	2,38	4,20
20		1,99	2,02	3,18	2,80	4,39	3,74	6,80	4,41	5,82	3,83	8,63	7,60
30		2,06	2,21	3,66	3,63	5,21	4,99	8,14	6,25	6,36	5,52	10,85	10,37
40		2,13	2,27	4,24	4,23	6,15	5,94	8,60	7,89	8,37	7,07	10,85	12,61
50		2,13	2,30	4,42	4,65	6,45	6,67	9,20	9,35	9,91	8,50	13,36	14,44
60		2,28	2,31	4,68	4,96	6,83	7,24	10,05	10,65	10,40	9,81	15,87	15,92
70		2,31	2,31	4,96	5,17	7,10	7,67	10,35	11,80	10,96	11,01	16,18	17,12
80		2,35	2,31	5,13	5,33	7,66	8,00	12,43	12,83	11,51	12,12	17,78	18,10
90		2,32	2,31	5,23	5,44	7,79	8,25	12,76	13,74	11,94	13,14	20,07	18,89
100		2,30	2,31	5,36	5,52	8,15	8,45	13,66	14,55	12,99	14,08	21,82	19,54
110		2,37	2,31	5,49	5,58	8,39	8,60	15,05	15,27	14,05	14,94	21,82	20,06
120		2,33	2,31	5,56	5,62	8,57	8,71	15,61	15,91	14,48	15,73	20,68	20,49
130		2,33	2,31	5,63	5,65	8,73	8,80	16,47	16,48	15,27	16,46	20,60	20,83
140		2,36	2,31	5,65	5,67	8,84	8,87	17,45	16,99	17,32	17,13	21,35	21,11
150		2,32	2,31	5,82	5,68	9,03	8,92	17,62	17,44	17,19	17,74	20,85	21,34
160		2,36	2,31	5,85	5,69	9,19	8,96	17,93	17,84	18,72	18,31	21,59	21,52
170		2,36	2,31	5,86	5,70	9,29	8,99	18,47	18,19	18,89	18,83	21,51	21,67
180		2,39	2,31	5,96	5,71	9,47	9,01	18,95	18,51	19,70	19,31	21,96	21,79
190		2,36	2,31	5,97	5,71	9,52	9,03	19,16	18,79	21,74	19,75	22,32	21,89

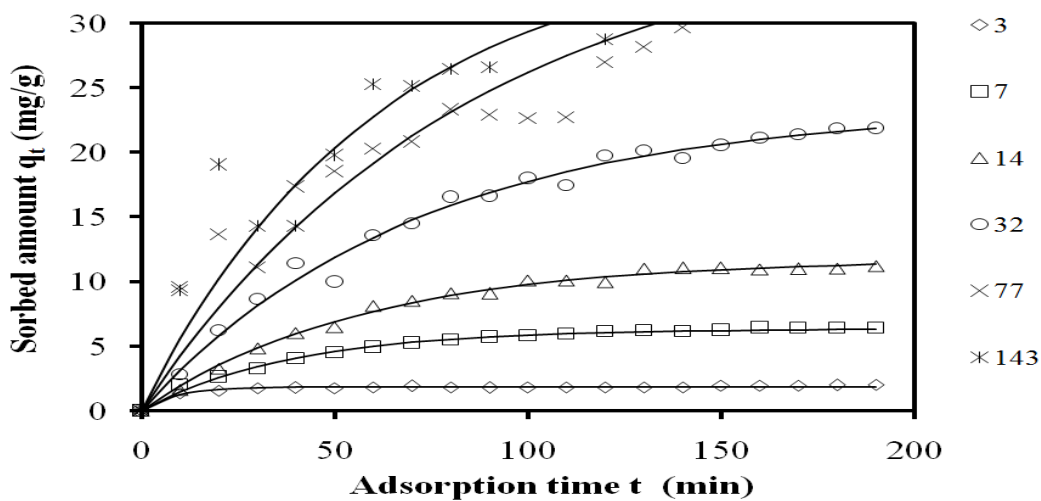


Σχήμα 6.36: Προσρόφηση σε άχυρο σιταριού προκατεργασμένο (0,1M Maleic Acid 160°C 30min). Το  $q_{theor}$  προέκυψε από την εφαρμογή της κινητικής πρώτης τάξης

Πινάκας 6.21: Προσρόφηση σε άχυρο σιταριού προκατεργασμένο (0,1M Maleic Acid 220°C 50min). Το  $q_{theor}$  προέκυψε από την εφαρμογή της κινητικής πρώτης τάξης

		0,1M Maleic Acid 220°C 50min											
$C_0$ (mg/g)	3		7		14		32		77		143		
t (min)	q	$q_{theor1}$	q	$q_{theor1}$	q	$q_{theor1}$	q	$q_{theor1}$	q	$q_{theor1}$	q	$q_{theor1}$	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
10	1,36	1,25	2,03	1,44	1,60	1,92	2,80	3,10	9,54	4,21	9,30	5,50	
20	1,56	1,66	2,63	2,55	3,28	3,52	6,23	5,79	13,63	7,95	19,05	10,18	
30	1,74	1,80	3,28	3,41	4,81	4,86	8,65	8,12	11,06	11,27	14,29	14,15	
40	1,78	1,84	4,05	4,07	6,01	5,98	11,40	10,14	17,34	14,23	14,29	17,51	
50	1,77	1,85	4,51	4,59	6,50	6,92	9,98	11,90	18,53	16,85	19,76	20,37	
60	1,84	1,86	4,94	4,98	8,10	7,71	13,58	13,42	20,26	19,19	25,24	22,80	
70	1,92	1,86	5,25	5,29	8,53	8,36	14,51	14,74	20,83	21,26	25,12	24,86	
80	1,80	1,86	5,49	5,53	9,09	8,91	16,55	15,89	23,32	23,10	26,43	26,61	
90	1,79	1,86	5,73	5,71	9,07	9,37	16,62	16,88	22,89	24,74	26,57	28,09	
100	1,82	1,86	5,83	5,85	10,09	9,76	18,00	17,75	22,62	26,19	30,04	29,36	
110	1,80	1,86	5,95	5,96	10,10	10,08	17,43	18,50	22,67	27,48	30,40	30,43	
120	1,82	1,86	6,13	6,05	9,95	10,35	19,73	19,15	26,94	28,63	28,75	31,33	
130	1,83	1,86	6,21	6,11	11,00	10,57	20,13	19,71	28,13	29,65	30,24	32,11	
140	1,82	1,86	6,13	6,16	11,04	10,76	19,52	20,20	29,67	30,56	30,18	32,76	
150	1,95	1,86	6,24	6,20	11,05	10,92	20,57	20,62	30,69	31,36	32,24	33,32	
160	1,96	1,86	6,45	6,23	10,95	11,05	21,10	20,99	30,88	32,08	32,16	33,79	
170	1,95	1,86	6,42	6,26	10,98	11,16	21,39	21,31	35,52	32,72	34,59	34,19	
180	1,98	1,86	6,42	6,27	11,00	11,25	21,83	21,59	36,08	33,28	34,86	34,53	
190	2,01	1,86	6,41	6,29	11,22	11,33	21,87	21,83	37,13	33,78	36,44	34,82	

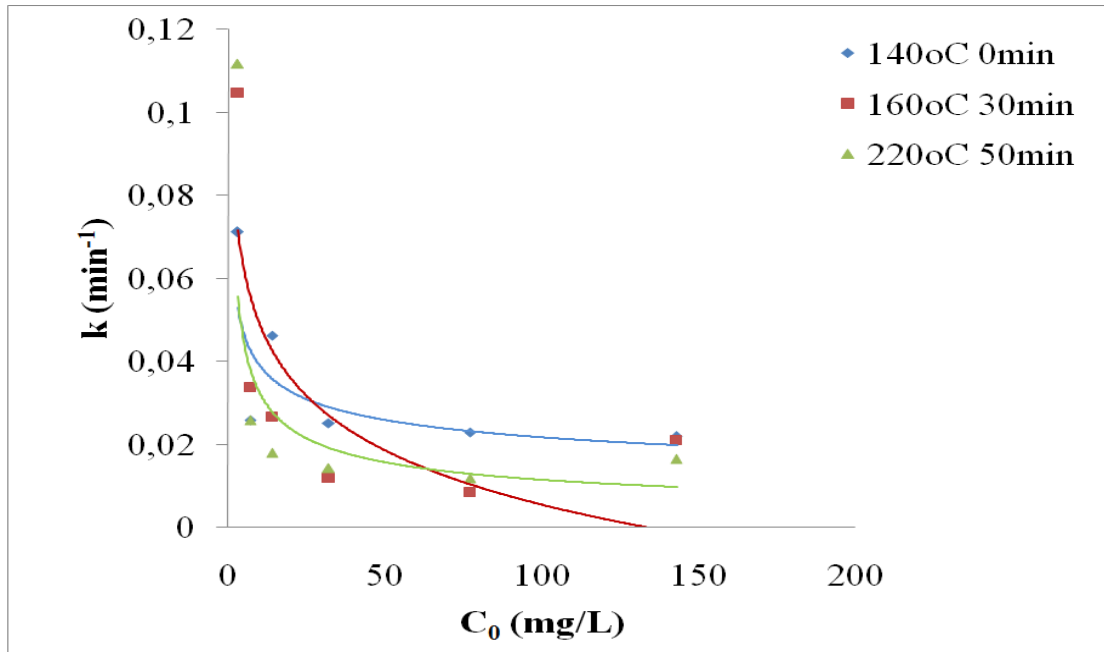




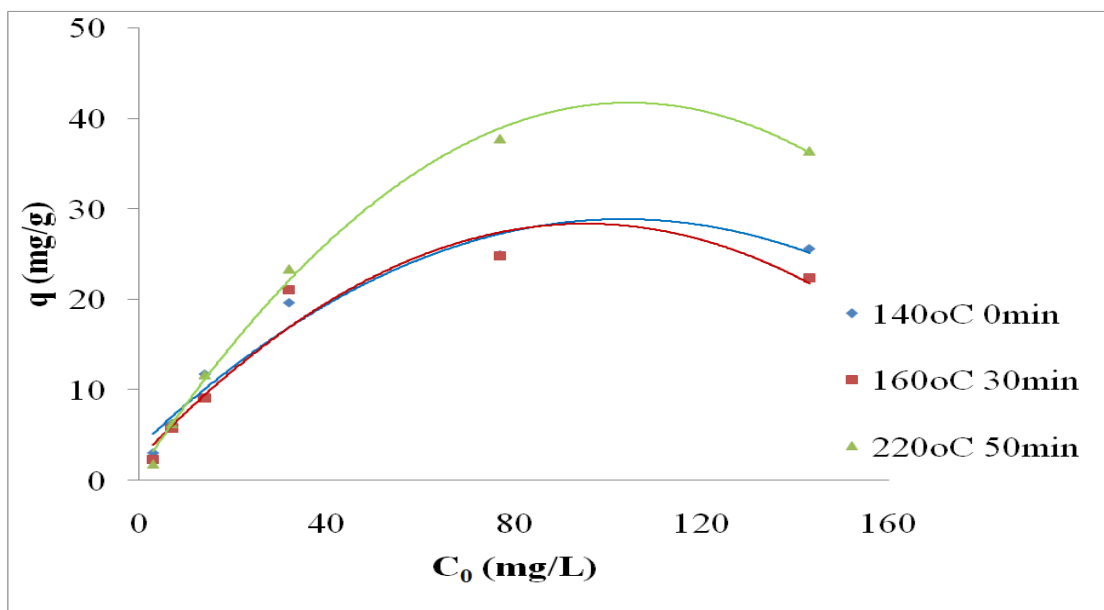
Σχήμα 6.37: Προσρόφηση σε άχυρο σιταριού προκατεργασμένο (0,1M Maleic Acid 220°C 50min). Το  $q_{theor}$  προέκυψε από την εφαρμογή της κινητικής πρώτης τάξης

Πινάκας 6.22: Παράμετροι μοντέλου της κινητικής Lagergren πρώτης τάξεως της προσρόφησης MB για προκατεργασμένο άχυρο σιταριού

C <sub>0</sub>	140°C 0min			160°C 30min			220°C 50min		
	k (min <sup>-1</sup> )	q (mg/g)	SEE	k (min <sup>-1</sup> )	q (mg/g)	SEE	k (min <sup>-1</sup> )	q (mg/g)	SEE
3,0	0,0710	3,07	0,1055	0,1046	2,31	0,0790	0,1117	1,86	0,0819
7,0	0,0257	6,34	0,3104	0,0336	5,72	0,2272	0,0257	6,34	0,1688
14,0	0,0462	11,76	0,5910	0,0265	9,09	0,4490	0,0179	11,72	0,2696
32,0	0,0251	19,64	0,9114	0,0118	21,04	0,9871	0,0142	23,41	0,6936
77,0	0,0229	24,93	1,6493	0,0084	24,76	1,1290	0,0118	37,79	2,8742
143,0	0,0217	25,60	1,6108	0,0208	22,32	1,0584	0,0164	36,44	2,7512



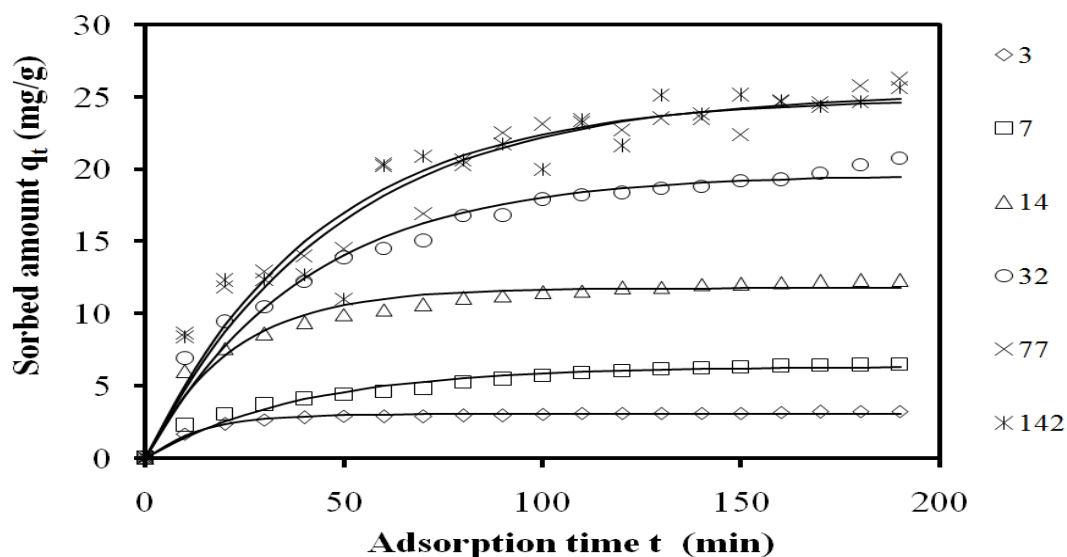
Σχήμα 6.38: Μοντέλο Κινητικής Lagergren πρώτης τάξης για προσρόφηση MB σε προκατεργασμένο άχυρο σιταριού



Σχήμα 6.39: Μοντέλο Κινητικής Lagergren πρώτης τάξης για προσρόφηση MB σε προκατεργασμένο άχυρο σιταριού

Πινάκας 6.23: Προσρόφηση σε άχυρο σιταριού προκατεργασμένο (0,1M Maleic Acid 140°C 0min). Το  $q_{theor}$  προέκυψε από την εφαρμογή της κινητικής δευτέρας τάξης

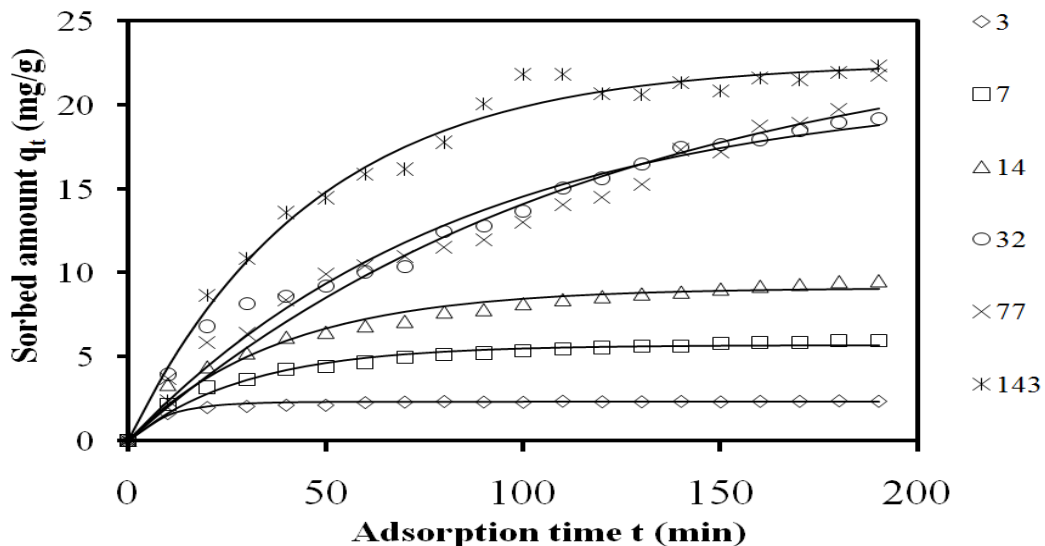
0,1M Maleic Acid 140°C 0min												
C <sub>0</sub> (mg/L)	3		7		14		32		77		142	
t (min)	q	q <sub>theor1</sub>	q	q <sub>theor1</sub>	q	q <sub>theor1</sub>	q	q <sub>theor1</sub>	q	q <sub>theor1</sub>	q	q <sub>theor1</sub>
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	1,69	1,56	2,29	1,44	6,01	4,35	6,90	4,35	8,65	5,10	8,37	4,80
20	2,36	2,33	3,02	2,55	7,59	7,09	9,44	7,74	11,82	9,16	12,30	8,70
30	2,63	2,70	3,72	3,41	8,60	8,82	10,47	10,38	12,91	12,39	12,36	11,85
40	2,81	2,89	4,10	4,07	9,38	9,91	12,23	12,43	13,96	14,95	12,68	14,40
50	2,90	2,98	4,39	4,59	9,92	10,59	13,87	14,03	14,45	16,99	10,97	16,47
60	2,88	3,02	4,62	4,98	10,27	11,03	14,47	15,27	20,35	18,62	20,21	18,15
70	2,88	3,05	4,81	5,29	10,61	11,30	15,04	16,24	16,91	19,91	20,88	19,51
80	2,94	3,06	5,26	5,53	11,06	11,47	16,79	16,99	20,27	20,94	20,60	20,61
90	2,93	3,06	5,49	5,71	11,25	11,58	16,81	17,58	22,51	21,75	21,70	21,50
100	3,04	3,06	5,69	5,85	11,46	11,65	17,90	18,04	23,11	22,40	19,95	22,22
110	3,10	3,07	5,92	5,96	11,58	11,69	18,20	18,39	23,19	22,92	23,38	22,80
120	3,09	3,07	6,05	6,05	11,78	11,72	18,37	18,67	22,70	23,33	21,61	23,28
130	3,09	3,07	6,14	6,11	11,82	11,73	18,66	18,88	23,51	23,66	25,10	23,66
140	3,11	3,07	6,23	6,16	12,01	11,74	18,80	19,05	23,51	23,92	23,79	23,97
150	3,10	3,07	6,30	6,20	12,05	11,75	19,19	19,18	22,38	24,13	25,13	24,22
160	3,15	3,07	6,38	6,23	12,15	11,76	19,28	19,28	24,65	24,29	24,71	24,43
170	3,21	3,07	6,43	6,26	12,24	11,76	19,72	19,36	24,56	24,42	24,30	24,59
180	3,22	3,07	6,45	6,27	12,30	11,76	20,28	19,42	25,75	24,52	24,66	24,73
190	3,24	3,07	6,47	6,29	12,32	11,76	20,76	19,47	26,24	24,61	25,60	24,84



Σχήμα 6.40: Προσρόφηση σε άχυρο σιταριού προκατεργασμένο (0,1M Maleic Acid 140°C 0min). Το  $q_{theor}$  προέκυψε από την εφαρμογή της κινητικής δευτέρας τάξης

Πινάκας 6.24: Προσρόφηση σε άχυρο σιταριού προκατεργασμένο (0,1M Maleic Acid 160°C 30min). Το  $q_{theor1}$  προέκυψε από την εφαρμογή της κινητικής δευτέρας τάξης

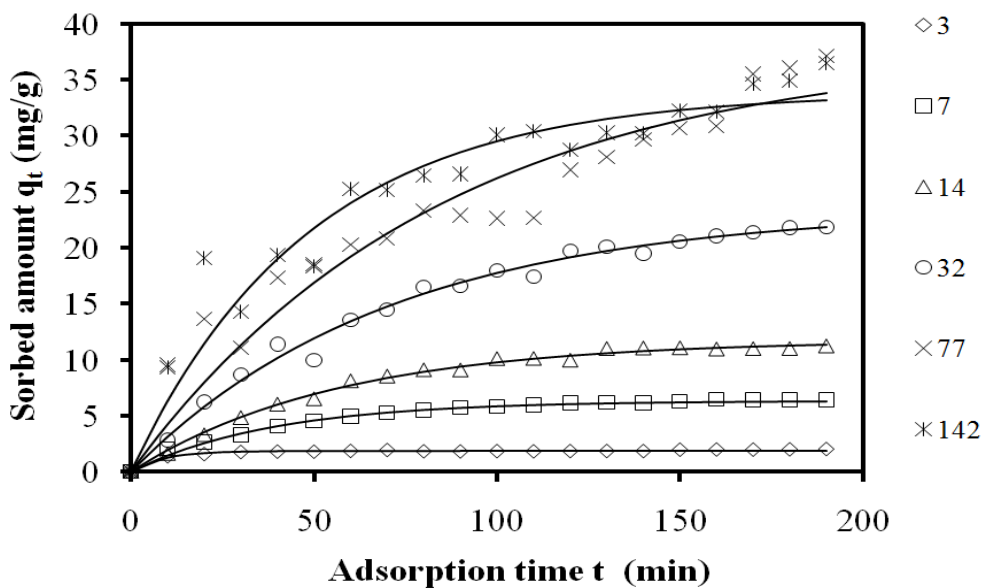
		0,1M Maleic Acid 160°C 30min											
$C_0$ (mg/L)	3		7		14		32		77		143		
t (min)	q	$q_{theor1}$	q	$q_{theor1}$	q	$q_{theor1}$	q	$q_{theor1}$	q	$q_{theor1}$	q	$q_{theor1}$	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
10	1,62	1,50	2,17	1,63	3,34	2,12	3,94	2,33	3,68	2,00	2,38	4,34	
20	1,99	2,02	3,18	2,80	4,39	3,74	6,80	4,41	5,82	3,83	8,63	7,84	
30	2,06	2,21	3,66	3,63	5,21	4,99	8,14	6,25	6,36	5,52	10,85	10,67	
40	2,13	2,27	4,24	4,23	6,15	5,94	8,60	7,89	8,37	7,07	13,58	12,95	
50	2,13	2,30	4,42	4,65	6,45	6,67	9,20	9,35	9,91	8,50	14,46	14,80	
60	2,28	2,31	4,68	4,96	6,83	7,24	10,05	10,65	10,40	9,81	15,87	16,29	
70	2,31	2,31	4,96	5,17	7,10	7,67	10,35	11,80	10,96	11,01	16,18	17,49	
80	2,35	2,31	5,13	5,33	7,66	8,00	12,43	12,83	11,51	12,12	17,78	18,46	
90	2,32	2,31	5,23	5,44	7,79	8,25	12,76	13,74	11,94	13,14	20,07	19,24	
100	2,30	2,31	5,36	5,52	8,15	8,45	13,66	14,55	12,99	14,08	21,82	19,88	
110	2,37	2,31	5,49	5,58	8,39	8,60	15,05	15,27	14,05	14,94	21,82	20,39	
120	2,33	2,31	5,56	5,62	8,57	8,71	15,61	15,91	14,48	15,73	20,68	20,80	
130	2,33	2,31	5,63	5,65	8,73	8,80	16,47	16,48	15,27	16,46	20,60	21,13	
140	2,36	2,31	5,65	5,67	8,84	8,87	17,45	16,99	17,32	17,13	21,35	21,40	
150	2,32	2,31	5,82	5,68	9,03	8,92	17,62	17,44	17,19	17,74	20,85	21,62	
160	2,36	2,31	5,85	5,69	9,19	8,96	17,93	17,84	18,72	18,31	21,59	21,79	
170	2,36	2,31	5,86	5,70	9,29	8,99	18,47	18,19	18,89	18,83	21,51	21,94	
180	2,39	2,31	5,96	5,71	9,47	9,01	18,95	18,51	19,70	19,31	21,96	22,05	
190	2,36	2,31	5,97	5,71	9,52	9,03	19,16	18,79	21,74	19,75	22,32	22,14	



Σχήμα 6.41: Προσρόφηση σε άχυρο σιταριού προκατεργασμένο (0,1M Maleic Acid 160°C 30min). Το  $q_{theor}$  προέκυψε από την εφαρμογή της κινητικής δευτέρας τάξης

Πινάκας 6.25: Προσρόφηση σε άχυρο σιταριού προκατεργασμένο (0,1M Maleic Acid 220°C 50min). Το  $q_{theor}$  προέκυψε από την εφαρμογή της κινητικής δευτέρας τάξης

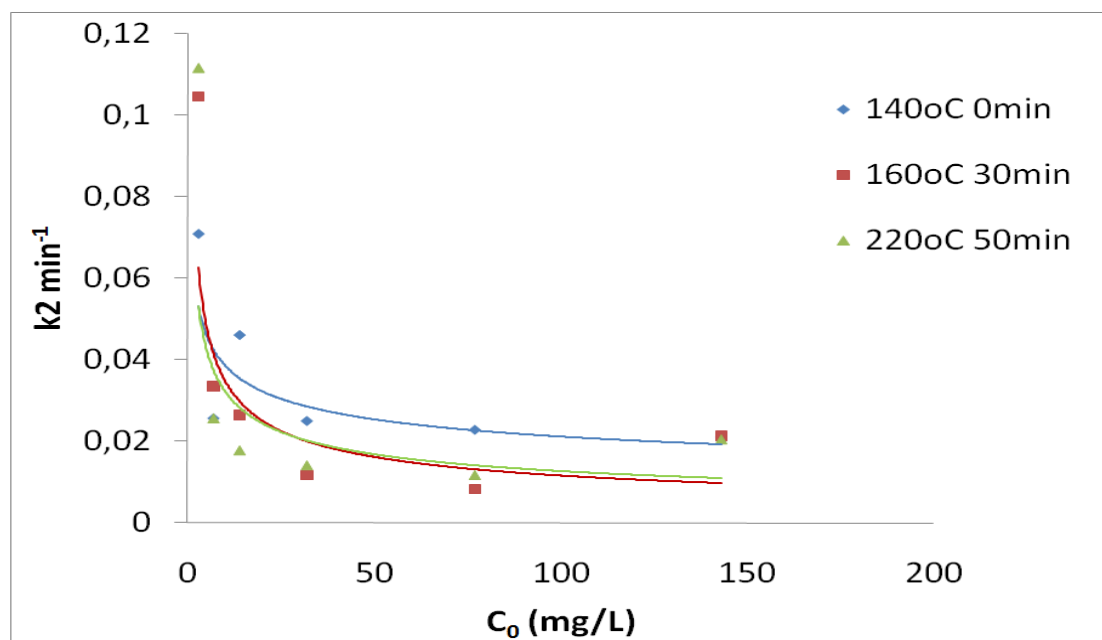
		0,1M Maleic Acid 220°C 50min											
$C_0$ (mg/L)		3		7		14		32		77		142	
t (min)		q	$q_{theor1}$	q	$q_{theor1}$	q	$q_{theor1}$	q	$q_{theor1}$	q	$q_{theor1}$	q	$q_{theor1}$
0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10		1,36	1,25	2,03	1,44	1,60	1,92	2,80	3,10	9,54	4,21	9,30	6,30
20		1,56	1,66	2,63	2,55	3,28	3,52	6,23	5,79	13,63	7,95	19,05	11,42
30		1,74	1,80	3,28	3,41	4,81	4,86	8,65	8,12	11,06	11,27	14,29	15,60
40		1,78	1,84	4,05	4,07	6,01	5,98	11,40	10,14	17,34	14,23	19,33	19,00
50		1,77	1,85	4,51	4,59	6,50	6,92	9,98	11,90	18,53	16,85	18,34	21,76
60		1,84	1,86	4,94	4,98	8,10	7,71	13,58	13,42	20,26	19,19	25,24	24,01
70		1,92	1,86	5,25	5,29	8,53	8,36	14,51	14,74	20,83	21,26	25,12	25,85
80		1,80	1,86	5,49	5,53	9,09	8,91	16,55	15,89	23,32	23,10	26,43	27,34
90		1,79	1,86	5,73	5,71	9,07	9,37	16,62	16,88	22,89	24,74	26,57	28,56
100		1,82	1,86	5,83	5,85	10,09	9,76	18,00	17,75	22,62	26,19	30,04	29,55
110		1,80	1,86	5,95	5,96	10,10	10,08	17,43	18,50	22,67	27,48	30,40	30,35
120		1,82	1,86	6,13	6,05	9,95	10,35	19,73	19,15	26,94	28,63	28,75	31,01
130		1,83	1,86	6,21	6,11	11,00	10,57	20,13	19,71	28,13	29,65	30,24	31,54
140		1,82	1,86	6,13	6,16	11,04	10,76	19,52	20,20	29,67	30,56	30,18	31,98
150		1,95	1,86	6,24	6,20	11,05	10,92	20,57	20,62	30,69	31,36	32,24	32,33
160		1,96	1,86	6,45	6,23	10,95	11,05	21,10	20,99	30,88	32,08	32,16	32,62
170		1,95	1,86	6,42	6,26	10,98	11,16	21,39	21,31	35,52	32,72	34,59	32,86
180		1,98	1,86	6,42	6,27	11,00	11,25	21,83	21,59	36,08	33,28	34,86	33,05
190		2,01	1,86	6,41	6,29	11,22	11,33	21,87	21,83	37,13	33,78	36,44	33,20



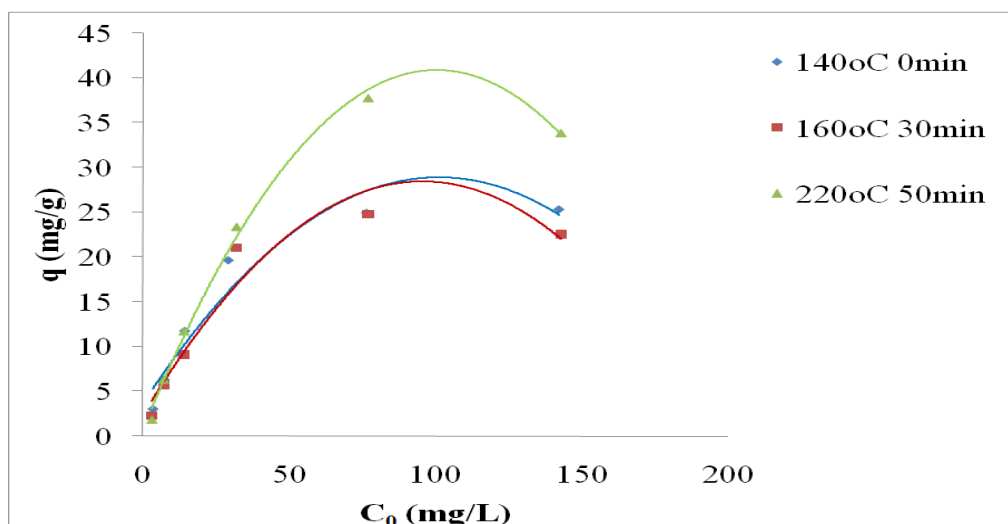
Σχήμα 6.42: Προσρόφηση σε άχυρο σιταριού προκατεργασμένο (0,1M Maleic Acid 220°C 50min). Το  $q_{theor}$  προέκυψε από την εφαρμογή της κινητικής δευτέρας τάξης

Σχήμα 6.26: Παράμετροι μοντέλου της κινητικής δευτέρας τάξεως για προσρόφηση MB για προκατεργασμένο άχυρο σιταριού

$C_0$ (mg/L)	140°C 0min			160°C 30min			220°C 50min		
	$k_2$ (min <sup>-1</sup> )	q (mg/g)	SEE	$k_2$ (min <sup>-1</sup> )	q (mg/g)	SEE	$k_2$ (min <sup>-1</sup> )	q (mg/g)	SEE
3	0,0710	3,07	0,1055	0,1046	2,31	0,0790	0,1117	1,86	0,0819
7	0,0257	6,34	0,3104	0,0336	5,72	0,2272	0,0257	6,34	0,1688
14	0,0462	11,76	0,5910	0,0265	9,09	0,4490	0,0179	11,72	0,2696
32	0,0251	19,64	0,9114	0,0118	21,04	0,9871	0,0142	23,41	0,6936
77	0,0229	24,93	1,6493	0,0084	24,76	1,1290	0,0118	37,79	2,8742
143	0,0211	25,30	2,0725	0,0214	22,53	0,9130	0,0206	33,88	2,5258



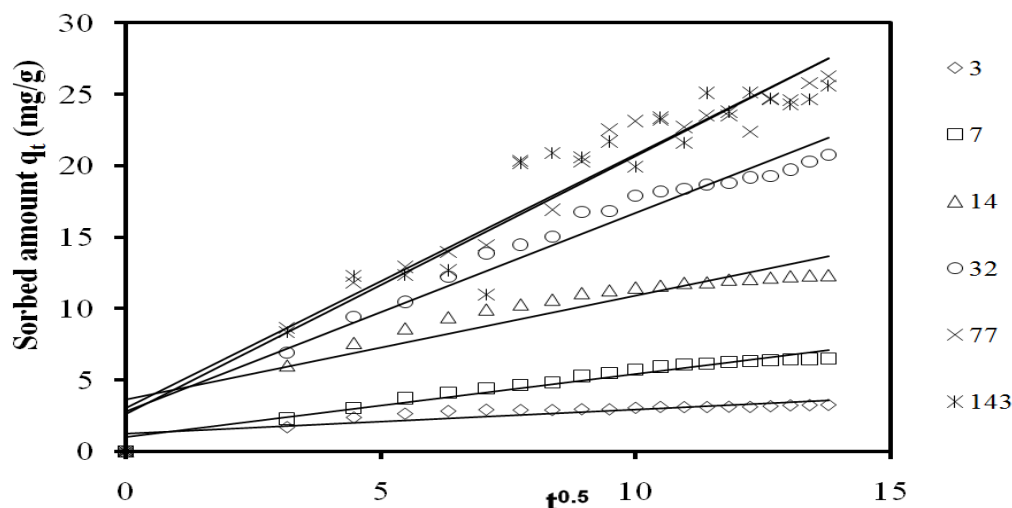
Σχήμα 6.43: Μοντέλο Κινητικής δευτέρας τάξης για προσρόφηση MB σε προκατεργασμένο άχυρο σιταριού



Σχήμα 6.44: Μοντέλο Κινητικής δευτέρας τάξης για προσρόφιση MB σε προκατεργασμένο άχυρο σιταριού

Πινάκας 6.27: Προσρόφιση σε άχυρο σιταριού προκατεργασμένο (0,1M Maleic Acid 140°C 0min). Το  $q_{theor}$  προέκυψε από την εφαρμογή της κινητικής Intraparticle Diffusion Model

	0,1M Maleic Acid 140°C 0min											
	3		7		14		32		77		143	
$t^2$	q	$q_{theor}$	q	$q_{theor}$	q	$q_{theor}$	q	$q_{theor}$	q	$q_{theor}$	q	$q_{theor}$
0	0	1,24	0	0,97	0	3,63	0	2,81	0	3,05	0	2,59
3,16	1,69	1,78	2,29	2,37	6,01	5,93	6,90	7,20	8,65	8,65	8,37	8,30
4,47	2,36	2,00	3,02	2,96	7,59	6,89	9,44	9,01	11,82	10,97	12,30	10,66
5,48	2,63	2,17	3,72	3,40	8,60	7,62	10,47	10,41	12,91	12,75	12,36	12,48
6,32	2,81	2,31	4,10	3,78	9,38	8,24	12,23	11,59	13,96	14,25	12,68	14,01
7,07	2,90	2,44	4,39	4,11	9,92	8,78	13,87	12,62	14,45	15,58	10,97	15,36
7,75	2,88	2,55	4,62	4,41	10,27	9,27	14,47	13,56	20,35	16,77	20,21	16,57
8,37	2,88	2,65	4,81	4,69	10,61	9,73	15,04	14,42	16,91	17,87	20,88	17,69
8,94	2,94	2,75	5,26	4,94	11,06	10,15	16,79	15,22	20,27	18,90	20,60	18,74
9,49	2,93	2,84	5,49	5,19	11,25	10,54	16,81	15,98	22,51	19,86	21,70	19,72
10	3,04	2,93	5,69	5,41	11,46	10,92	17,90	16,69	23,11	20,77	19,95	20,64
10,49	3,10	3,01	5,92	5,63	11,58	11,27	18,20	17,37	23,19	21,63	23,38	21,52
10,95	3,09	3,09	6,05	5,84	11,78	11,61	18,37	18,01	22,70	22,46	21,61	22,37
11,40	3,09	3,17	6,14	6,04	11,82	11,94	18,66	18,63	23,51	23,25	25,10	23,17
11,83	3,11	3,24	6,23	6,23	12,01	12,25	18,80	19,23	23,51	24,01	23,79	23,95
12,25	3,10	3,31	6,30	6,41	12,05	12,56	19,19	19,81	22,38	24,75	25,13	24,70
12,65	3,15	3,38	6,38	6,59	12,15	12,85	19,28	20,37	24,65	25,46	24,71	25,42
13,04	3,21	3,44	6,43	6,77	12,24	13,13	19,72	20,91	24,56	26,15	24,30	26,13
13,42	3,22	3,51	6,45	6,93	12,30	13,41	20,28	21,43	25,75	26,82	24,66	26,81
13,78	3,24	3,57	6,47	7,10	12,32	13,68	20,76	21,94	26,24	27,47	25,60	27,47

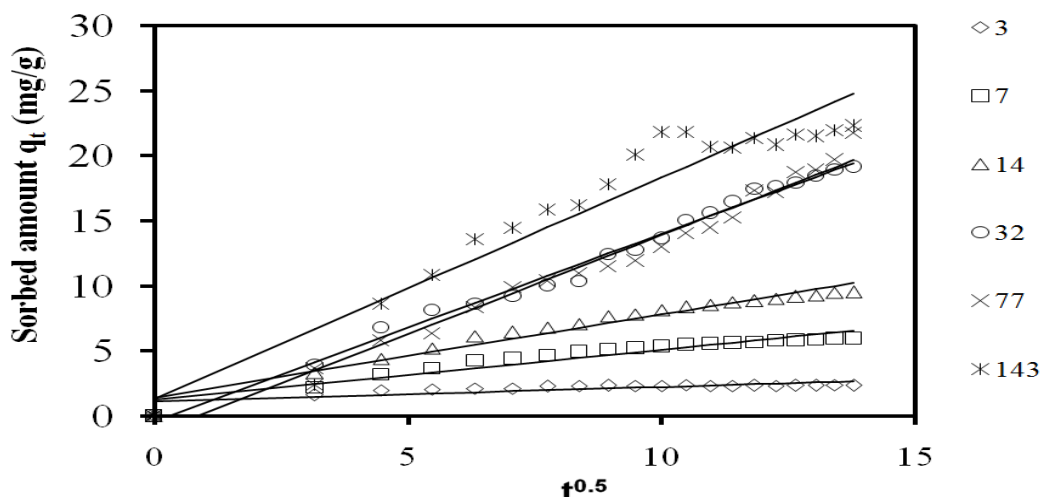


Σχήμα 6.45: Προσρόφηση σε άχυρο σιταριού προκατεργασμένο (0,1M Maleic Acid 140°C 0min). Το  $q_{theor}$  προέκυψε από την εφαρμογή της κινητικής Intraparticle Diffusion Model

Πινάκας 6.28: Προσρόφηση σε άχυρο σιταριού προκατεργασμένο (0,1M Maleic Acid 160°C 30min). Το  $q_{theor}$  προέκυψε από την εφαρμογή της κινητικής Intraparticle Diffusion Model

		0,1M Maleic Acid 220°C 50min												
		3		7		14		32		77		143		
$t^2$	q	$q_{theor}$	q	$q_{theor}$	q	$q_{theor}$	q	$q_{theor}$	q	$q_{theor}$	q	$q_{theor}$	q	$q_{theor}$
0	0	0,91	0	0,85	0	0,14	0	-0,65	0	0,10	0	3,16	0	3,16
3,16	1,36	1,19	2,03	2,30	1,60	2,97	2,80	4,85	9,54	8,07	9,30	10,86	9,30	10,86
4,47	1,56	1,31	2,63	2,90	3,28	4,14	6,23	7,13	13,63	11,37	19,05	14,05	19,05	14,05
5,48	1,74	1,40	3,28	3,37	4,81	5,03	8,65	8,88	11,06	13,90	14,29	16,50	14,29	16,50
6,32	1,78	1,48	4,05	3,76	6,01	5,79	11,40	10,36	17,34	16,04	19,33	18,56	19,33	18,56
7,07	1,77	1,55	4,51	4,10	6,50	6,46	9,98	11,66	18,53	17,92	18,34	20,38	18,34	20,38
7,75	1,84	1,61	4,94	4,41	8,10	7,06	13,58	12,84	20,26	19,62	25,24	22,02	25,24	22,02
8,37	1,92	1,66	5,25	4,69	8,53	7,61	14,51	13,92	20,83	21,18	25,12	23,53	25,12	23,53
8,94	1,80	1,72	5,49	4,96	9,09	8,13	16,55	14,92	23,32	22,64	26,43	24,94	26,43	24,94
9,49	1,79	1,76	5,73	5,21	9,07	8,62	16,62	15,87	22,89	24,00	26,57	26,26	26,57	26,26
10	1,82	1,81	5,83	5,44	10,09	9,07	18,00	16,76	22,62	25,30	30,04	27,51	30,04	27,51
10,49	1,80	1,85	5,95	5,67	10,10	9,51	17,43	17,61	22,67	26,53	30,40	28,70	30,40	28,70
10,95	1,82	1,90	6,13	5,88	9,95	9,93	19,73	18,42	26,94	27,70	28,75	29,83	28,75	29,83
11,40	1,83	1,94	6,21	6,09	11,00	10,33	20,13	19,20	28,13	28,83	30,24	30,92	30,24	30,92
11,83	1,82	1,98	6,13	6,29	11,04	10,71	19,52	19,95	29,67	29,91	30,18	31,97	30,18	31,97
12,25	1,95	2,01	6,24	6,48	11,05	11,08	20,57	20,67	30,69	30,96	32,24	32,98	32,24	32,98
12,65	1,96	2,05	6,45	6,66	10,95	11,44	21,10	21,37	30,88	31,97	32,16	33,96	32,16	33,96
13,04	1,95	2,09	6,42	6,84	10,98	11,79	21,39	22,05	35,52	32,95	34,59	34,91	34,59	34,91
13,42	1,98	2,12	6,42	7,01	11,00	12,12	21,83	22,71	36,08	33,91	34,86	35,83	34,86	35,83
13,78	2,01	2,15	6,41	7,18	11,22	12,45	21,87	23,35	37,13	34,83	36,44	36,72	36,44	36,72

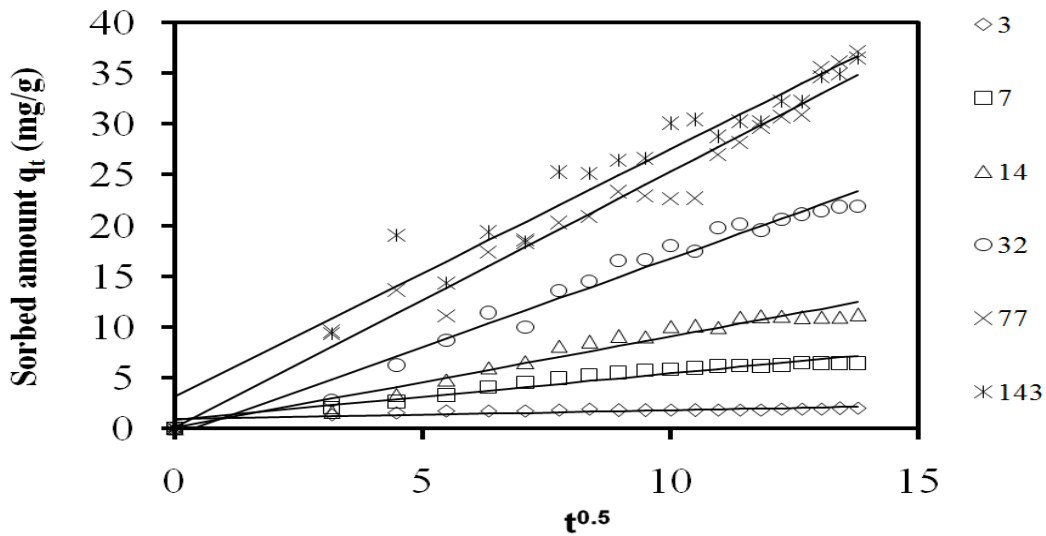




Σχήμα 6.46: Προσρόφηση σε άχυρο σιταριού προκατεργασμένο (0,1M Maleic Acid 160°C 30min). Το  $q_{theor}$  προέκυψε από την εφαρμογή της κινητικής Intraparticle Diffusion Model

Πινάκας 6.29: Προσρόφηση σε άχυρο σιταριού προκατεργασμένο (0,1M Maleic Acid 220°C 50min). Το  $q_{theor}$  προέκυψε από την εφαρμογή της κινητικής Intraparticle Diffusion Model

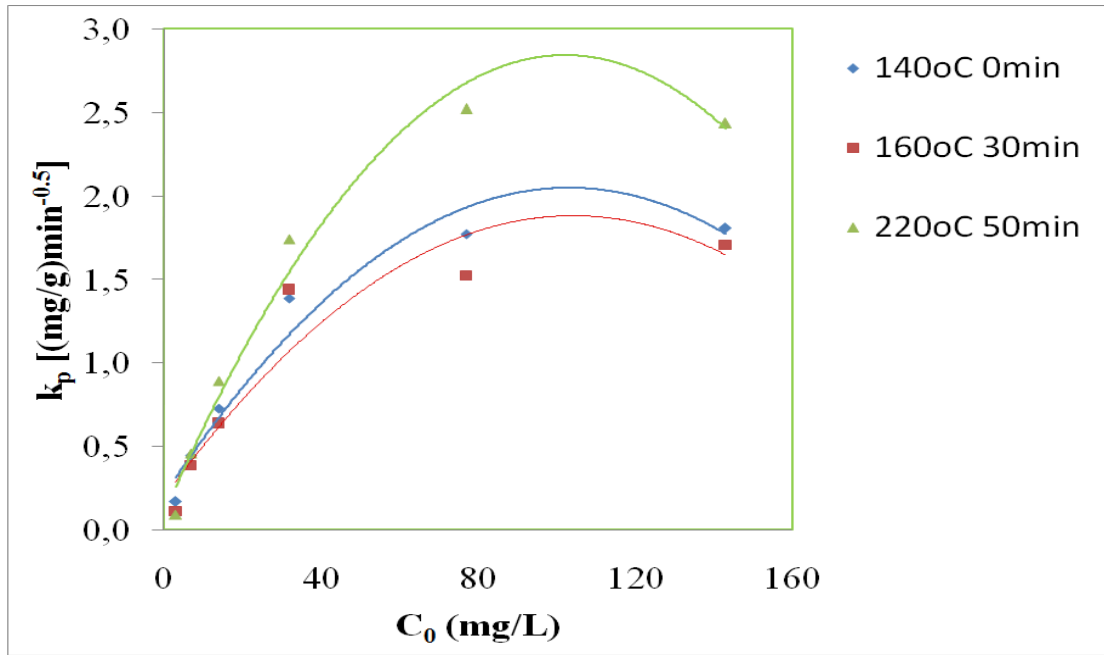
	0,1M Maleic Acid 220°C 50min											
	3		7		14		32		77		143	
$t^2$	q	$q_{theor}$	q	$q_{theor}$	q	$q_{theor}$	q	$q_{theor}$	q	$q_{theor}$	q	$q_{theor}$
0	0	0,91	0	0,85	0	0,14	0	-0,65	0	0,10	0	3,16
3,16	1,36	1,19	2,03	2,30	1,60	2,97	2,80	4,85	9,54	8,07	9,30	10,86
4,47	1,56	1,31	2,63	2,90	3,28	4,14	6,23	7,13	13,63	11,37	19,05	14,05
5,48	1,74	1,40	3,28	3,37	4,81	5,03	8,65	8,88	11,06	13,90	14,29	16,50
6,32	1,78	1,48	4,05	3,76	6,01	5,79	11,40	10,36	17,34	16,04	19,33	18,56
7,07	1,77	1,55	4,51	4,10	6,50	6,46	9,98	11,66	18,53	17,92	18,34	20,38
7,75	1,84	1,61	4,94	4,41	8,10	7,06	13,58	12,84	20,26	19,62	25,24	22,02
8,37	1,92	1,66	5,25	4,69	8,53	7,61	14,51	13,92	20,83	21,18	25,12	23,53
8,94	1,80	1,72	5,49	4,96	9,09	8,13	16,55	14,92	23,32	22,64	26,43	24,94
9,49	1,79	1,76	5,73	5,21	9,07	8,62	16,62	15,87	22,89	24,00	26,57	26,26
10	1,82	1,81	5,83	5,44	10,09	9,07	18,00	16,76	22,62	25,30	30,04	27,51
10,49	1,80	1,85	5,95	5,67	10,10	9,51	17,43	17,61	22,67	26,53	30,40	28,70
10,95	1,82	1,90	6,13	5,88	9,95	9,93	19,73	18,42	26,94	27,70	28,75	29,83
11,40	1,83	1,94	6,21	6,09	11,00	10,33	20,13	19,20	28,13	28,83	30,24	30,92
11,83	1,82	1,98	6,13	6,29	11,04	10,71	19,52	19,95	29,67	29,91	30,18	31,97
12,25	1,95	2,01	6,24	6,48	11,05	11,08	20,57	20,67	30,69	30,96	32,24	32,98
12,65	1,96	2,05	6,45	6,66	10,95	11,44	21,10	21,37	30,88	31,97	32,16	33,96
13,04	1,95	2,09	6,42	6,84	10,98	11,79	21,39	22,05	35,52	32,95	34,59	34,91
13,42	1,98	2,12	6,42	7,01	11,00	12,12	21,83	22,71	36,08	33,91	34,86	35,83
13,78	2,01	2,15	6,41	7,18	11,22	12,45	21,87	23,35	37,13	34,83	36,44	36,72



Σχήμα 6.47: Προσρόφηση σε άχυρο σιταριού προκατεργασμένο (0,1M Maleic Acid 220°C 50min). Το  $q_{theor}$  προέκυψε από την εφαρμογή της κινητικής Intraparticle Diffusion Model

Πινάκας 6.30: Παράμετροι μοντέλου της κινητικής Intraparticle Diffusion της προσρόφησης MB για προκατεργασμένο άχυρο σιταριού

$C_0$	140°C 0min			160°C 30min			220°C 50min		
	c	k	SEE	c	k	SEE	c	k	SEE
3	1,24	0,1689	0,4050	1,12	0,1116	0,3457	0,91	0,0903	0,2788
7	0,97	0,4446	0,3712	1,25	0,3860	0,4709	0,85	0,4595	0,4617
14	3,63	0,7291	1,1885	1,44	0,6376	0,5227	0,14	0,8931	0,7954
32	2,81	1,3882	1,1214	-0,38	1,4386	0,5486	-0,65	1,7416	1,0896
77	3,05	1,7717	1,7286	-1,28	1,5203	0,8544	0,10	2,5198	1,8372
143	2,59	1,8050	2,1290	1,31	1,7036	2,0054	3,16	2,4348	2,1247



Σχήμα 6.48: Μοντέλο κινητικής *Intraparticle Diffusion* της προσρόφησης MB για προκατεργασμένο άχυρο σιταριού

Στα πειράματα που διεξήχθησαν παρατηρήθηκε πως σε όλες τις περιπτώσεις το επεξεργασμένο άχυρο και κατά κύριο λόγο αυτό με τη μεγαλύτερη επεξεργασία λειτουργεί ως καλύτερο προσροφητικό μέσο συγκριτικά με τα άλλα. Ταυτόχρονα παρατηρήθηκε πως για όλα τα είδη άχυρου, όσο μεγαλύτερη συγκέντρωση διαλύματος υπάρχει τόσο μεγαλύτερες ποσότητες MB προσροφώνται ανά μονάδα μάζας του προσροφητικού μέσου, στο πέρασμα του χρόνου προσρόφησης  $t$ .

Σχετικά με το απροκατέργαστο και το προκατεργασμένο άχυρο κριθαριού για τις κινητικές πρώτης και δευτέρας τάξης σε διαφορετικές συγκεντρώσεις με σταθερή ταχύτητα περιστροφής παρατηρούμε πως όσον αφορά το απροκατέργαστο υπάρχει συσχέτιση μεταξύ αρχικής συγκέντρωσης διαλύματος  $C_0$  και σταθερά ταχύτητας  $k$ , όπου η σταθερά ταχύτητας  $k$  μειώνεται όσο αυξάνεται η αρχική συγκέντρωση, ενώ όσον αφορά το προκατεργασμένο, δεν υπάρχει καμία συσχέτιση. Ταυτόχρονα παρατηρούμε πως υπάρχει μεγάλη συσχέτιση μεταξύ αρχικής συγκέντρωσης διαλύματος  $C_0$  και της ποσότητας MB που προσροφάται και για τα δύο είδη με την ποσότητα  $q$  να αυξάνεται μέχρι ένα σημείο και μετά να ακολουθεί πτωτική πορεία, όσο αυξάνεται και η αρχική συγκέντρωση. Στην περίπτωση της κινητικής intraparticle, παρουσιάζεται συσχέτιση μεταξύ αρχικής συγκέντρωσης διαλύματος  $C_0$  και σταθερά ταχύτητας  $k$ .

Όσον αφορά το απροκατέργαστο και το προκατεργασμένο άχυρο κριθαριού για τις κινητικές πρώτης και δευτέρας τάξης σε διαφορετικές ταχύτητες περιστροφής σε σταθερή συγκέντρωση διαλύματος παρατηρούμε πως όσον αφορά το απροκατέργαστο υπάρχει συσχέτιση μεταξύ αρχικής συγκέντρωσης διαλύματος  $C_0$  και σταθερά ταχύτητας  $k$ . Αντίθετα στην περίπτωση του προκατεργασμένου για την κινητική πρώτης τάξης η σταθερά ταχύτητας  $k$  αυξάνεται μέχρι ένα μέγιστο σημείο και έπειτα αρχίζει να μειώνεται καθώς υπάρχει αύξηση στην ταχύτητα περιστροφής, ενώ για την κινητική δευτέρας τάξης δεν υπάρχει συσχέτιση της αρχικής συγκέντρωσης διαλύματος  $C_0$  και σταθερά ταχύτητας  $k$  (γεγονός που μπορεί να οφείλεται σε κάποιο πειραματικό σφάλμα). Στην περίπτωση της προσροφόμενης ποσότητας MB παρατηρούμε πως και για προκατεργασμένο και για απροκατέργαστο υπάρχει μια μείωση όσο αυξάνεται η ταχύτητα περιστροφής. Στην κινητική intraparticle, δεν παρουσιάζεται συσχέτιση μεταξύ αρχικής συγκέντρωσης διαλύματος  $C_0$  και σταθερά ταχύτητας  $k$ .

Σχετικά με το άχυρο σιταριού Maleic acid (στις τρεις διαφορετικές συνθήκες επεξεργασίας) στην κινητική πρώτης και δεύτερης τάξης, όσο αυξάνεται η συγκέντρωση του διαλύματος η σταθερά ταχύτητας  $k$  μειώνεται ενώ η ποσότητα MB που προσροφάται αυξάνεται μέχρι ένα μέγιστο σημείο και αρχίζει ξανά να μειώνεται. Στην κινητική intraparticle παρατηρούμε συσχέτιση αρχικής συγκέντρωσης διαλύματος  $C_0$  και σταθερά ταχύτητας  $k$ .

Στην περίπτωση του τυπικού σφάλματος εκτιμήσεων παρατηρούμε πως για τις διαφορετικές συγκεντρώσεις του απροκατέργαστου και του προκατεργασμένου άχυρου σιταριού το μικρότερο SEE παρουσιάζεται στο μοντέλο κινητικής πρώτης τάξης (Lagergren) και είναι 2,0364. Όσον αφορά τη διαφορετική ταχύτητα περιστροφής το μικρότερο SEE εμφανίζεται στο μοντέλο κινητικής δευτέρας τάξης και ισούται με 0,613125 υποδεικνύοντας τη δυνατότητα εφαρμογής αυτής της κινητικής εξίσωσης προσρόφησης MB σε άχυρο σιταριού. Σχετικά με το άχυρο σιταριού Maleic acid το μικρότερο σφάλμα εκτιμήσεων (5,1147) παρουσιάζεται στο μοντέλο Intraparticle Diffusion.

Τέλος για το απροκατέργαστο και προκατεργασμένο άχυρο σιταριού ο λόγος για τη σταθερά ταχύτητας  $k$  εμφανίζεται μεγαλύτερος στο μοντέλο Intraparticle Diffusion και ισούται με 2,9 για την κινητική προσρόφηση με τις διαφορετικές συγκεντρώσεις και 2,5 με διαφορετική ταχύτητα περιστροφής.

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με την ανάλυση που έγινε στα προηγούμενα κεφάλαια, επιχειρήθηκε να δοθεί μία εικόνα σχετικά με τη χρήση των απορριπτόμενων λιγνοκυτταρινούχων υλικών τα οποία επεξεργάζονται κατά κύριο λόγο για μη ενεργειακή χρήση. Η παραγωγή και η χρήση της βιομάζας τα τελευταία χρόνια αυξάνεται ολοένα και περισσότερο και όπως προβλέπεται από αναλύσεις αυτή η ανοδική πορεία θα συνεχιστεί έως το μέλλον, αντικαθιστώντας τις συμβατικές μορφές ενεργείας. Η ανοδική της πορεία και η ευρεία χρήση της έχει οδηγήσει τις βιομηχανίες βιομάζας σε έρευνες για οικονομίες κλίμακας, με σκοπό τη λήψη αποφάσεων για την αξιοποίηση της.

Η πειραματική διαδικασία που διεξήχθη, αφορά τη μέθοδο της κινητικής προσρόφησης χρωστικής ουσίας Methylene Blue με τη χρήση απορριπτόμενης λιγνοκυτταρινούχας βιομάζας. Πιο συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκε άχυρο σιταριού προκατεργασμένο με τέσσερις διαφορετικούς τρόπους καθώς και απροκατέργαστο. Το βασικό συμπέρασμα το οποίο προέκυψε από τα πειράματα αυτά είναι πως καλύτερο προσροφητικό μέσο είναι αυτό το οποίο έχει δεχθεί τη μεγαλύτερη επεξεργασία. Επίσης το τροποποιημένο άχυρο σιταριού μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ένα πολύ καλό υποκατάστατο του ενεργοποιημένου άνθρακα το οποίο συγκριτικά είναι πολύ χαμηλότερου κόστους.

Στο σημείο αυτό θα μπορούσαν να παραταθούν κάποιες προτάσεις για μελλοντική έρευνα. Αρχικά θα μπορούσε να πραγματοποιηθούν πειράματα κινητικής προσρόφησης με ένα διαφορετικό προσροφητικό μέσο όπως για παράδειγμα το άχυρο κριθαριού, το άχυρο καλαμποκιού κ.α. Στη συνέχεια μια διαφορετική πρόταση θα ήταν να μελετηθεί η μέθοδος της κινητικής προσρόφησης MB σε ένα διαφορετικό διάλυμα το οποίο θα μπορούσε να προέρχεται από νερό θαλάσσης, ή κάποιου ποταμού. Ταυτόχρονα η ίδια διαδικασία της προσρόφησης θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί με κάποια άλλη ουσία η οποία προκαλεί μόλυνση υδάτων. Τέλος πρόταση για μελλοντική έρευνα θα μπορούσε να αποτελεί η μεταβολή μιας άλλης παραμέτρου όπως είναι το pH, διατηρώντας αυτή τη φορά σταθερές την συγκέντρωση και την ταχύτητα περιστροφής.

## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Apostolakou A.A., Kookos .I.K., Marazioti, C. Angelopoulos K.C., (2009) Techno-economic analysis of a biodiesel production process from vegetable oils, *Fuel Processing Technology* 90 1023–1031.
- Andreola F., Barbieri L., Lancellotti I. and Pozzi P., (2005) Industrial wastes recycling in bricks manufacture, 1st part, *Materiales de Construcción* 55(280) 5-16.
- Barta Zsolt, Kati Reczey Kati, Guido Zacchi, (2010), Techno-economic evaluation of stillage treatment with anaerobic digestion in a softwood-to-ethanol process, *Biotechnology for Biofuels* 3:21
- Belcher, L., Drzal, L. T., Misra, M. and Mohanty, A. K. (2001) Natural Fiber Reinforced Thermoset Composites: Studies on Fiber-Matrix Adhesion of Aligned Henequen Fiber–Epoxy Composites Polymer Preprint – Polymer Chemistry Division, ACS, 42(2), 73.
- Bilal Muhammad, Shah Jehanzeb Ali, TayyabAshfaq, Syed Mubashar Hussain Gardazi, Adnan Ahmad Tahir, Arshid Pervez, Hajira Haroon, Qaisar Mahmood, (2013), Waste biomass adsorbents for copper removal from industrial waste water, *Journal of Hazardous Materials*.
- Brown Tristan R., Rajeeva Thilakaratne, Robert C. Brown, Guiping Hu, (2013) Techno-economic analysis of biomass to transportation fuels and electricity via fast pyrolysis and hydroprocessing, *Fuel* 106 463–469
- Demirbas A., (2008) Heavy metal adsorption onto agro-based waste materials: areview, *J. Hazard. Mater.* 157 220–229.
- Dismukes E. David, Upton Jr. B. Gregory, (2015), Economies of scale, learning effects and offshore wind development costs, *Renewable Energy* 83 61-66.
- Drzal, L. T., Mohanty, A. K., Misra, M., (2001), Biocomposites From Engineered Natural Fibers For Housing Panel Applications National Science Foundation Partnership for Advancing Technologies in Housing (NSF-PATH).
- Drzal L.T., MohantyA. K., Burgueño R. and Misra M., (2004), Biobased Structural Composite Materials for Housing and Infrastructure Applications: Opportunities and Challenges.

- EPA430-R-08-005. Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990-2013 (2006). U.S. Environmental Protection Agency homepage: <http://www.epa.gov>
- Haas Michael J., McAloon Andrew J., Yee Winnie C., Foglia Thomas A., (2006) A process model to estimate biodiesel production costs, *Bioresource Technology* 97 671–678
- Hickman John S. and Whitney David A., (2013), *Soil Conditioners*, Department of Agronomy Kansas State University.
- IEA et al (International Energy Agency, Organization for Economic Co-operation and Development and Eurostat), (2005), *Energy Statistics Manual*.
- IEA, (2011) *World Energy Outlook 2011*. Paris, France, International Energy Outlook: 660.
- Inn Shi Tan, Keat Teong Lee, (2014), Enzymatic hydrolysis and fermentation of seaweed solid wastes for bioethanol production: An optimization study, *Energy* 78 53-62.
- Fossen, M. and Mulder.W., (1998), Die Anwendung von Pflanzenproteinenim Non-Food Bereich, *LVT*, nr. 43, p. 108.
- Fritz, H.G., Aicholzer, W., Seidenstucker, T. and Wiedmann, B., (1995), *Starch/Stärke*, 47, 475-491.
- Giglio Francesca, (2013), The Use of Materials from Biomass as Construction Materials, *Open Journal of Civil Engineering*, 3, 82-84.
- Graaf, de L. A. and Kolster, P., (1998), Industrial Proteins as Green Alternative for “petro”polymers: Potentials and Limitations. *Macro-Molecular Symposia* 127, p. 51.
- Jones SB, Holladay JE, Valkenburg C, Stevens DJ, Walton CW, Kinchin C, Elliott DC, Czernik S, (2009) Production of Gasoline and Diesel from Biomass via Fast Pyrolysis, Hydrotreating and Hydrocracking: A Design Case, PNNL-18284
- Kasteren J.M.N., Nisworo A.P., (2007) A process model to estimate the cost of industrial scale biodiesel production from waste cooking oil by supercritical transesterification, *Resources, Conservation and Recycling* 50 442–458
- Koch, H., RoÈ per, H. and Hopke, R., (1992), in *Proceedings of the Int. Symp. on Plant Polymeric Carbohydrates*, Berlin, D.



- Kok Siew Ng, Jhuma Sadhukhan, (2011), Techno-economic performance analysis of bio-oil based Fischer-Tropsch and CHP synthesis platform, biomass and bioenergy 35 3218-3234
- Labib Tarik M., Hawash S.I., El-Khatib K.M., Sharaky Abbas M, El Diwani G.I., Abdel Kader E., (2013) Kinetic study and techno-economic indicators for base catalyzed transesterification of Jatropha oil, Egyptian Journal of Petroleum 22, 9–16
- Lagergren S., (1989), Zur theorie der sogenannten adsorption gelöster stoffe. KungligaSvenskaVetenskapsakademiens, Handlingar 24, 1-39.
- Larson Eric D., Haiming Jin, Fuat E. Celik, (2009), Large-scale gasification-based coproduction of fuels and electricity from switchgrass, Biofuels, Biorprod. Bioref. 3:174–194.
- Marchetti J.M., Miguel V.U., Errazu A.F., (2008) Techno-economic study of different alternatives for biodiesel production, Fuel Processing Technology 89 740 – 748
- Mehta, G., Mohanty, A. K., Misra, M., and Drzal, L. T. (2003) Biobased Resins as a Toughening Agent for Biocomposites, Green Chemistry, Submitted.
- Meyer Bernd, (2011), Macroeconomic modelling of sustainable development and the links between the economy and the environment, ENV.F.1/ETU/2010/0033.
- Shemfe Mobolaji B., Gu Sai, Ranganathan Panneerselvam, (2015) Techno-economic performance analysis of biofuel production and miniature electric power generation from biomass fast pyrolysis and bio-oil upgrading, Fuel 143 361–372
- Otles, S. and Otles, S., (2004), Manufacturing of Biobased Packaging Materials for the Food Industry. Acta Sci.Pol. TechnologiaAlimentaria, 3(2):13-17
- Peterson, K., Nielsen, P.V., Bertelsen, G., Lawther, M., Olsen, M.B., Nilsson, N.H. and Mortensen, G. (1999). Potential of Biobased Materials for Food Packaging. Trends in Food Science and Technology.10, 52-68.
- Piyapong Hunpinyo, Peam Cheali, Phavane Narataruksa, Sabaithip Tungkamani, Nuwong Chollacoop, (2014), Alternative route of process modification for biofuel production by embedding the Fischer–Tropsch plant in existing stand-alone power plant (10 MW) based on biomass gasification – Part I: A conceptual modeling and simulation approach (a case study in Thailand), Energy Conversion and Management 88 1179–1192

- Quintero J.A., Montoya M.I., O.J. Sa´ nchez, O.H. Giraldo, C.A. Cardona, (2008), Fuel ethanol production from sugarcane and corn: Comparative analysis for a Colombian case, *Energy* 33 385–399
- Renu S Mohan., Anisha S. A., (2015), Study on Biomass as Construction Material, National Level Conference on Innovative Engineering.
- Robson, D. and Lawther, J.M., (1994), in *Towards a UK Strategy For Alternative Crops*, Document for UK-MAFF, Fibre Section, pp. 22-39.
- Salapa I.S., Sidiras D.K. (2015), Methylene blue adsorption on maleic acid pretreated wheat straw. 23rd European Biomass Conference and Exhibition, Vienna, Austria.
- Sassner Per, Galbe Mats, Guido Zacchi, (2008), Techno-economic evaluation of bioethanol production from three different lignocellulosic materials, *Biomass and Bioenergy* 32 422 – 430
- Searle Stephanie and Malins Chris (2013), Availability of Cellulosic Residues and the Waste in the EU, International Council on Clean Transportation.
- Sidiras, D.K., Batzias, F.A., Siontorou, C.G., Konstantinou, I.G., Katsamas, G.N., Salapa, I.S., Zervopoulou, S.P. (2015), Techno-Economic Optimization of the Modification Process of Lignocellulosic Biomass to Adsorbent Material at Laboratory Scale, 23rd European Biomass Conference and Exhibition
- Shemfe Mobolaji B., Sai Gu, Panneerselvam Ranganathan, (2015) Techno-economic performance analysis of biofuel production and miniature electric power generation from biomass fast pyrolysis and bio-oil upgrading, *Fuel* 143 361–372
- Shalini Rachana and Singh Anupama, (2009), Biobased Packaging Materials for the Food Industry, *J. Food Sci. & Technol. Nepal*, 5: 16-20.
- Sinclair, R. G., (1996), The Case for Polylactic Acid as a Commodity Packaging Plastic. *Polymeric Materials: Science and Engineering*, 72: 133–135.
- Sjöström, E., (1981), *Wood Chemistry, Fundamentals and Applications*, Chapter 3, Academic Press Inc., Orlando, FL, USA.
- Smeets Edward, Vinyes Cristina, Tabeau Andrzej, Van Meijl Hans, Brink Corjan, Prins Anne Gerdien, (2014), Evaluating the macroeconomic impacts of bio-based applications in the EU, JRC Science and Policy Reports.

- Stevenson, F. J. (1979). Humates: Facts and fantasies on their value as commercial soil amendments. *Crops Soils* 31(7):14-16.
- Shukla, P. T., (1992), Trends in Zein Research and Utilization. *Cereal Foods World*, 37: 225.
- Sullivan, Arthur; Steven M. Sheffrin (2003). *Economics: Principles in Action*. Upper Saddle River, NJ: Pearson Prentice Hall. p. 157.
- Swanson Ryan M., Alexandru Platon, Justinus A. Satrio, Robert C. Brown, (2010) Techno-economic analysis of biomass-to-liquids production based on gasification, *Fuel* 89 S11–S19
- Tan Eric C.D., Marker Terry L., Roberts Michael J., (2013) Direct Production of Gasoline and Diesel Fuels from Biomass via Integrated Hydrolysis and Hydroconversion Process—A Techno-economic Analysis, *Wiley Online Library* DOI 10.1002/ep.11791
- UNEP et al (United Nations Environmental Programme Division of Technology, Industry and Economics International Environmental Technology Centre), (2009), *Converting Waste Agricultural Biomass into a Resource*.
- Vitosh, M. L. (1982). *Biological inoculants and activators: Their value to agriculture*. North Central Regional Extension Publication 168.
- Wingren Anders, Mats Galbe Mats, and Guido Zacchi, (2003), *Techno-Economic Evaluation of Producing Ethanol from Softwood: Comparison of SSF and SHF and Identification of Bottlenecks*, *Biotechnol. Prog.* 19, 1109-1117
- Wright Mark M., Daugaard Daren E., Satrio Justinus A., Brown Robert C., (2010) Techno-economic analysis of biomass fast pyrolysis to transportation fuels, *Fuel* 89 S2–S10
- Zhang Y., Dub M.A., McLean D.D., Kates M., (2003) Biodiesel production from waste cooking oil: 2. Economic assessment and sensitivity analysis, *Bioresource Technology* 90 229–240
- Zhang Yanan, Brown Tristan R., Hu Guiping, Brown Robert C., (2013) Techno-economic analysis of monosaccharide production via fast pyrolysis of lignocellulose, *Bioresource Technology* 127 358–365