

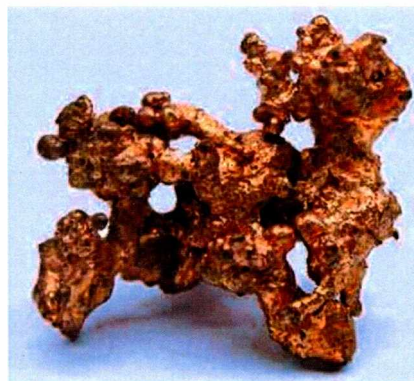
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ



ΤΜΗΜΑ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΔΑΦΟΛΟΓΙΑΣ

«ΧΡΗΣΗ ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΜΕΝΟΥ ΖΕΟΛΙΘΟΥ ΓΙΑ ΑΠΟΥΡΠΑΝΣΗ ΥΔΑΤΩΝ ΕΠΙΒΑΡΥΜΕΝΩΝ ΜΕ ΥΨΗΛΕΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ ΧΑΛΚΟΥ»



ΠΡΟΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

Όνομ/νυμο Φοιτητή: Παπαποστόλου Θεοδωρής

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια: Ανθούλα Δημήρκου

ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2015, Βόλος



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ & ΚΕΝΤΡΟ ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»**

Αριθ. Εισ.: 13880/1
Ημερ. Εισ.: 13/3/2015
Δωρεά: Συγγραφέα
Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ-ΦΠΑΠ
2015
ΠΑΠ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

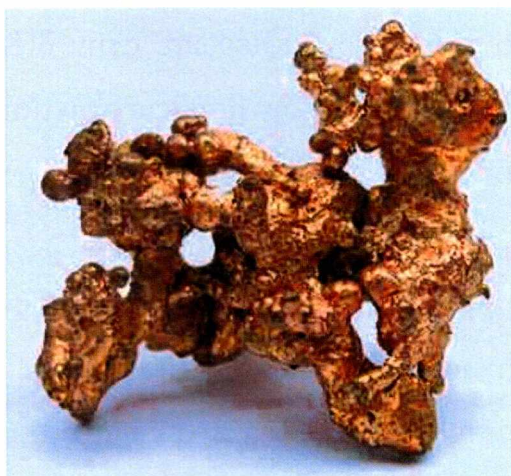


ΤΜΗΜΑ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΔΑΦΟΛΟΓΙΑΣ

«Μελέτη της συμπεριφοράς της θερμοκρασίας στην προσρόφηση του

Χαλκού από εδαφικά συστατικά»



ΠΡΟΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

Όνομ/νυμο Φοιτητή: Παπαποστόλου Θεωдорής

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια: Ανθούλα Δημήρκου

ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2015, Βόλος

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά:

- Την επιβλέπουσα Καθηγήτριά μου κ. Ανθούλα Δημήρκου, Καθηγήτρια του τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος και Διευθύντρια του Εργαστηρίου Εδαφολογίας που μου έδωσε τη δυνατότητα να εκπονήσω την πτυχιακή μου εργασία στον επιστημονικό τομέα που επιθυμούσα. Επίσης, θα ήθελα να την ευχαριστήσω για τη καθοδήγηση και τη βοήθεια της οποιαδήποτε στιγμή τη χρειαζόμουν καθώς και για την αμέριστη συμπαράσταση κατά τη διάρκεια των σπουδών μου.
- Τον κ. Βασίλειο Αντωνιάδη, Λέκτορα Εφαρμοσμένης Εδαφολογίας του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος για την συμμετοχή του στην εξεταστική επιτροπή, το χρόνο που αφιέρωσε στην διόρθωση της παρούσας πτυχιακής διατριβής και την βοήθεια που μου παρείχε όλα αυτά τα χρόνια των σπουδών μου.
- Τον κο Ζαχαρία Ιωάννου, Δρ. Χημικό Μηχανικό του Ε. Μ. Π., για την καθοδήγηση στο μέρος της διατριβής που αφορά την θερμοδυναμική, καθώς επίσης για την βοήθειά και συμπαράστασή του τόσο κατά την εκτέλεση του πειραματικού μέρους όσο και κατά την συγγραφή της διατριβής.
- Την Αικατερίνη Μόλλα, Υποψήφια Διδάκτορα του τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος,

για τη βοήθεια και τη συμπαράστασή της κατά την εκτέλεση του πειραματικού μέρους.

- Τον συμφοιτητή μου Κορώνη Χρήστο για την πολύτιμη βοήθεια και συμπαράσταση καθ' όλη την διαδικασία του πειραματικού μέρους της διατριβής.
 - Τους συμφοιτητές μου Γιώργο Μηλιώκα και Νάνο Δημήτρη για την πολύτιμη βοήθεια και συμπαράσταση κατά την συγγραφή της διατριβής.
 - Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω από καρδιάς την οικογένειά μου και ιδιαίτερα τους γονείς μου για την αγάπη τους και τη συνεχή ηθική και οικονομική συμπαράσταση κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της πτυχιακής μου εργασίας αλλά και καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.
-

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

1. ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

2. ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

3. ΠΕΡΙΛΗΨΗ

4. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

➤ Ζεόλιθος

➤ Γκαιτήτης

➤ Άνθρακας

➤ Αιματίτης

➤ Χαλκός

6. Αρχές φασματοσκοπίας ατομικής απορρόφησης

7. Ισόθερμες και μοντέλα προσρόφησης

• Συγκέντρωση προσροφημένου ιόντος

• pH του διαλύματος

• Ιοντική ισχύς του διαλύματος

• Φάση του προσροφημένου ιόντος

• Ισόθερμες προσρόφησης

• Εξίσωση Langmuir

• Εξίσωση Freundlich

• Εξίσωση Temkin

8. ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗ

9. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

➤ ΥΛΙΚΑ ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗΣ

• Άνθρακας

- Αιματίτης
- Αιματίτης - Ζεόλιθος
- Γκαιτίτης
- Σύστημα I (εν τω γενάσθαι)
- Σύστημα II
- Ζεόλιθος

10. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

11. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

12. ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗ ΧΑΛΚΟΥ ΑΠΟ ΤΑ ΕΠΤΑ ΕΔΑΦΟΒΕΛΤΙΩΤΙΚΑ

- Προσρόφηση χαλκού από τα επτά εδαφοβελτιωτικά: όταν η θερμοκρασία είναι 25°C
- Προσρόφηση χαλκού από τα επτά εδαφοβελτιωτικά: όταν η θερμοκρασία είναι 40°C
- Προσρόφηση χαλκού από τα επτά εδαφοβελτιωτικά: όταν η θερμοκρασία είναι 60°C

13. ΜΕΛΕΤΗ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗΣ ΤΩΝ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΜΑΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗΣ Cu ΣΤΙΣ ΙΣΟΘΕΡΜΕΣ FREUDLICH, LANGMUIR, ΚΑΙ TEMKIN

- Μελέτη προσαρμογής των πειραματικών μας δεδομένων προσρόφησης Cu από το Άνθρακα (C) στις ισόθερμες Freundlich, Langmuir και Temkin για τις τρεις θερμοκρασίες (25°C, 40°C, 60°C)
- Μελέτη προσαρμογής των πειραματικών μας δεδομένων προσρόφησης Cu από το Αιματίτη στις ισόθερμες Freundlich, Langmuir και Temkin για τις τρεις θερμοκρασίες (25°C, 40°C, 60°C)

- Μελέτη προσαρμογής των πειραματικών μας δεδομένων προσρόφησης Cu από τον Αιματίτη-Ζεόλιθο στις ισόθερμες Freudlich, Langmuir και Temkin για τις τρεις θερμοκρασίες (25°C, 40 °C, 60°C)
- Μελέτη προσαρμογής των πειραματικών μας δεδομένων προσρόφησης Cu από το Γκαιτίτη (G) στις ισόθερμες Freudlich, Langmuir και Temkin για τις τρεις θερμοκρασίες (25°C, 40 °C, 60°C)
- Μελέτη προσαρμογή των πειραματικών μας δεδομένων προσρόφησης Cu από το Σύστημα I(Z-G-Y) στις ισόθερμες Freudlich, Langmuir και Temkin για τις τρεις θερμοκρασίες (25°C, 40 °C, 60°C)
- Μελέτη προσαρμογής των πειραματικών μας δεδομένων προσρόφησης Cu από το Σύστημα II (Z-G-R) στις ισόθερμες Freudlich, Langmuir και Temkin για τις τρεις θερμοκρασίες (25°C, 40 °C, 60°C)
- Μελέτη προσαρμογής των πειραματικών μας δεδομένων προσρόφησης Cu από το Ζεόλιθο (Z) στις ισόθερμες Freudlich, Langmuir και Temkin για τις τρεις θερμοκρασίες(25°C, 40 °C, 60°C)

14. ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗ

- Μελέτη της συμπεριφοράς της θερμοκρασίας στην προσρόφηση Cu από τον Άνθρακα (C)
- Μελέτη της συμπεριφοράς της θερμοκρασίας στην προσρόφηση Cu από τον Αιματίτη (Fe₂O₃)
- Μελέτη της συμπεριφοράς της θερμοκρασίας στην προσρόφηση Cu από τον Αιματίτη-Ζεόλιθο
- Μελέτη της συμπεριφοράς της θερμοκρασίας στην προσρόφηση Cu από το Γκαιτίτη (G)

- Μελέτη της συμπεριφοράς της θερμοκρασίας στην προσρόφηση Cu από το Σύστημα I (Z-G -Y)
- Μελέτη της συμπεριφοράς της θερμοκρασίας στην προσρόφηση Cu από το Σύστημα II (Z-G-R)
- Μελέτη της συμπεριφοράς της θερμοκρασίας στην προσρόφηση Cu από το Ζεόλιθο (Z)

15. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

16. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας διατριβής ήταν η εύρεση μεθόδων φιλικών προς το περιβάλλον αποκατάστασης εδαφών και υδάτων επιβαρυσμένων με Χαλκό (Cu). Για τον σκοπό αυτό ως φυσικά υλικά χρησιμοποιήθηκαν ο Ζεόλιθος, ο Γκαιτίτης και δυο Συστήματα αυτών, ο άνθρακας, ο αιματίτης και το σύστημα αιματίτη-ζεόλιθου. Το Σύστημα **I(Z-G-R)**, δηλαδή μείγμα Ζεόλιθο και Γκαιτίτη κόκκινου χρώματος, και το Σύστημα **II(Z-G-Y)**, δηλαδή μείγμα Ζεόλιθο και Γκαιτίτη κίτρινου χρώματος καθώς και το σύστημα αιματίτη-ζεόλιθου παρασκευάστηκαν στο εργαστήριο από Γκαιτίτη και Ζεόλιθο και αιματίτη και ζεόλιθο αντίστοιχα σε διαφορετικές αναλογίες και κάτω από ορισμένες συνθήκες.

Ο προσδιορισμός των συγκεντρώσεων του Χαλκού (Cu) πραγματοποιήθηκε με την τεχνική της ατομικής απορρόφησης με φλόγα.

Τα αποτελέσματα του πειράματος αυτού έδωσαν τις γραμμικές συναρτήσεις της προσροφούμενης ποσότητας Cu (pg Cu /g ουσίας) από κάθε εδαφοβελτιωτικό σε συνάρτηση της αρχικής συγκέντρωσης Cu ($C_0 = \text{pg Cu /ml}$) και της συγκέντρωσης στην ισορροπία ($C = \text{pg Cu /ml}$). Επίσης έδωσαν τη μέγιστη τιμή προσρόφησης του Cu από κάθε γραμμάριο των ανωτέρων εδαφοβελτιωτικών.

Από τα αποτελέσματα του πειράματος και γνωρίζοντας στο μέλλον το μέγεθος της ρύπανσης εδαφών ή υδάτων και του ποσού που διατίθεται για την αντικατάστασή τους, μπορεί να προσδιοριστεί η ποσότητα και το καταλληλότερο από τα ανωτέρω εδαφοβελτιωτικά για την συγκεκριμένη αποκατάσταση.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα βαρέα μέταλλα αποτελούν έναν από τους πιο επικίνδυνους ρύπους του περιβάλλοντος γιατί τόσο σε μεταλλική κατάσταση όσο και οι ενώσεις αυτών, δεν αποικοδομούνται, αλλά παραμένουν αναλλοίωτα για μεγάλο χρονικό διάστημα. Ειδικότερα από τα 70 περίπου μέταλλα που χαρακτηρίζονται σαν βαρέα (στοιχεία με ατομική πυκνότητα μεγαλύτερη από 6 g cm^{-3}), αυξημένο ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα 20 από αυτά, τα οποία στην πλειοψηφία τους θεωρούνται απαραίτητα θρεπτικά στοιχεία σε μικροποσότητες (ιχνοστοιχεία) για τα φυτά και τα ζώα αλλά μπορούν να καταστούν πολύ επικίνδυνα όταν οι συγκεντρώσεις τους ξεπεράσουν μια ανώτατη τιμή.

Ο Γκαιοίτης, ο Ζεόλιθος, ο Αιματίτης και ο Άνθρακας είναι φυσικά υλικά τα οποία απαντώνται σε μεγάλη συχνότητα στην φύση τόσο ως ορυκτά όσο και σαν συστατικά των εδαφών. Ο Γκαιοίτης στα εδάφη προκύπτει σαν δευτερογενές υλικό της αποσάθρωσης. Μέσω των εδαφογενετικών διεργασιών ο Γκαιοίτης και ο Αιματίτης μπορούν να σχηματιστούν πάνω στο Ζεόλιθο που υπάρχει στο έδαφος με αποτέλεσμα το σχηματισμό συστημάτων. Δύο συστήματα Ζεόλιθου-Γκαιοίτη και ένα Ζεόλιθου-Αιματίτη που παρασκευάστηκαν στο εργαστήριο κάτω από διαφορετικές συνθήκες χρησιμοποιήθηκαν στην μελέτη.

Η προσρόφηση των βαρέων μετάλλων και γενικά των κατιόντων από ένα υλικό, εξαρτάται από τη συγκέντρωση του κατιόντος, το pH, την ιοντική ισχύ του διαλύματος καθώς και τη φάση του προσροφηθέντος ιόντος.

Σκοπός της παρούσας διατριβής είναι η μελέτη της προσρόφησης που παρουσιάζουν τα προαναφερθέντα φυσικά υλικά ο Γκαιοίτης, ο Ζεόλιθος, ο Αιματίτης, ο Άνθρακας, το Σύστημα I(Z-G-Y), το Σύστημα II(Z-G-R) και το σύστημα Ζεόλιθου-Αιματίτη σε διαφορετικές συγκεντρώσεις χαλκού και σε διαφορετικές θερμοκρασίες, με σκοπό την αξιολόγηση των υλικών αυτών ως βελτιωτικών σε εδάφη ή ύδατα ρυπασμένων με χαλκό.

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

Ζεόλιθος

Οι ζεόλιθοι είναι αργιλλοπυριτικά ορυκτά μιας ευρείας ομάδας ένυδρων αργιλλοπυριτικών ορυκτών με στενές ομοιότητες στη χημική σύνθεση και τη βασική κρυσταλλική δομή. Χαρακτηρίζονται από ένα τρισδιάστατο αργιλλοπυριτικό πλέγμα όπου υπάρχουν κατιόντα αλκαλίων και αλκαλικών γαιών κυρίως Na^+ και Ca^{2+} καθώς και μεγάλες ποσότητες H_2O που εισέρχονται στα κενά του πλέγματος. Πολλοί ζεόλιθοι τήκονται με ταυτόχρονη αύξηση του όγκου τους. Η ιδιότητα αυτή έγινε γνωστή από τον Σουηδό ορυκτολόγο Barol Axel Fredrick Gronstedt ο οποίος ανακάλυψε το 1756 καλά σχηματισμένους κρυστάλλους και τους ονόμασε ζεολίθους

.Ο από τις ελληνικές λέξεις «ζέω» και «λίθος» δηλαδή αναβράζουσες πέτρες.

Δομή

Το κύριο δομικό στοιχείο των ζεολίθων είναι ένα τετράεδρο από τέσσερα οξυγόνα που περιστοιχίζουν ένα μικρό άτομο πυριτίου ή αργιλίου. Το δομικό πλέγμα των ζεολίθων συνίσταται από τετράεδρα SiO_4 και AlO_4 έτσι ώστε κάθε οξυγόνο να βρίσκεται μεταξύ δύο τετραέδρων.

Η ατομική αναλογία του οξυγόνου προς τα άτομα του αργιλίου και του πυριτίου είναι ίση με δύο. Επειδή το Al έχει ένα λιγότερο αρνητικό φορτίο απ' ότι το Si το πλέγμα έχει ένα αρνητικό σθένος το οποίο εξισορροπείται από την ιονική ανταλλαγή. Κάθε ιόν K^+ και Na^+ μπορεί να εξισορροπήσει ένα Al αλλά κάθε ιόν Ca^{2+} με δύο θετικά σθένη μπορεί να εξισορροπήσει δύο Al. Άστριοι και αστριοειδή έχουν παρόμοια δομικά πλέγματα αλλά η δομή τους είναι πιο συμπαγής από αυτή των ζεολίθων (Gottardi, G. 1985).

Οι δομές των ζεολίθων ομαδοποιούνται ανάλογα με το είδος των συνδέσεων μεταξύ των τετραέδρων σε:

- Συνδέσεις που είναι σχεδόν συγκεντρωμένες σε μια κρυσταλλογραφική διεύθυνση.

- Συνδέσεις συγκεντρωμένες σε ένα επίπεδο
- Συνδέσεις ομοιόμορφα κατανεμημένες προς τις τρεις κρυσταλλογραφικές διευθύνσεις.

Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν ο νατρόλιθος, ο mesolite, ο σολεσίτης και ο τομσονίτης.

Στην δεύτερη κατηγορία ανήκουν ο ευλανδίτης, ο σωλβίτης, ο brewsterite.

Πρέπει επίσης να αναφερθεί ότι στο πλέγμα των ζεολίθων υπάρχουν κενοί χώροι, «κανάλια», μέσα στα οποία εισέρχονται τα μόρια νερού και κατιόντα που συγκρατούνται ασθενώς στο πλέγμα με αποτέλεσμα να μπορούν να αποσπασθούν και να αντικατασταθούν από άλλα ιόντα, χωρίς διάρρηξη των δεσμών του πλέγματος (Gottardi, G. 1985).

Φυσικές και χημικές ιδιότητες

Οι ζεολίθοι όταν είναι καθαροί είναι άχρωμοι ή λευκοί. Συχνά όμως λόγω της παρουσίας σε λεπτομερή διασπορά οξειδίων του σιδήρου και άλλων προσμίξεων παρουσιάζονται έγχρωμοι. Η πυκνότητα τους ποικίλει από 2 έως 2,3 gr cm⁻³ εκτός των πλούσιων σε Ba ζεολίθων στους οποίους η πυκνότητα κυμαίνεται μεταξύ 2,5 και 2,8 gr cm⁻³. Ο δείκτης διάθλασης των διαφόρων μελών της ομάδας κυμαίνεται μεταξύ 1,47 και 1,52 ([http²](#)).

Μεγάλο ενδιαφέρον προκάλεσε η παρουσία μεγάλων κενών χώρων και καναλιών στο πλέγμα των ζεολίθων. Όταν το νερό αποβληθεί, οι χώροι αυτοί είναι δυνατόν να πληρωθούν με διάφορες αεριώδεις ουσίες, όπως αμμωνία, ατμούς ιωδίου ή ακόμα και ατμούς υδραργύρου, π.χ. ο τομσονίτης απορροφά την αιθυλική αλκοόλη και την ισοπροπυλική αλκοόλη. Η διεργασία αυτή εξαρτάται από το εκάστοτε είδος ζεολίθου. Ειδικότερα μόρια που έχουν μεγαλύτερη διάμετρο από αυτή των καναλιών δεν μπορούν να μουν στα κοιλώματα της δομής των ζεολίθων και έτσι είναι αδύνατον να προσροφηθούν. Σε αυτή την απλή αρχή βασίζεται η γνωστή εφαρμογή πολλών ζεολίθων ως «μοριακά κόσκινα» που χρησιμοποιούνται κυρίως για τον διαχωρισμό αέριων μειγμάτων (Gottardi, G. 1985).

Το εύρος των καναλιών όμως δεν είναι η μόνη προϋπόθεση για την διαπερατότητα αφού η παρουσία πολλών κατιόντων μπορεί, να φράξει τα κανάλια ενώ η μοριακή και η ιοντική διάχυση επηρεάζονται από το προσροφημένο νερό. Γενικά η ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων ελατούται με την απώλεια νερού.

Με εξαίρεση τον ανάλκιμο και τον νατρόλιθο στους περισσότερους πυριτικούς ζεόλιθους το K^+ και το Na^+ τείνουν να είναι πιο εύκολα ανταλλάξιμα από το Ca^{+2} αφού είναι μονοσθενή κι έτσι συγκρατούνται με ασθενέστερο ηλεκτροστατικό φορτίο.

Στους περισσότερους ζεόλιθους σε κάθε μόριο νερού αντιστοιχεί ένας αριθμός από πιθανές θέσεις στο εσωτερικό του πλέγματος κι αυτό μπορεί να μετακινείται από τη μία στην άλλη. Γενικά οι ασβεστούχοι ζεόλιθοι απορροφούν περισσότερο νερό, και στον χαβαζίτη, τον ευλανδίτη και τον στιλβίτη, το νερό συγκρατείται ευκολότερα όταν αυτοί έχουν στο πλέγμα τους Ca^{+2} και όχι K^+ (Gottardi, G. 1985).

Χημισμός

Οι περισσότεροι ζεόλιθοι δείχνουν μια θεωρητική διαφοροποίηση στη χημική σύνθεση συμπεριλαμβανομένης και της διαφοροποίησης στην περιεκτικότητα σε νερό, την περιεκτικότητα των κατιόντων και τον λόγο Si/ Al. Τα περισσότερο συνηθισμένα κατιόντα στους φυσικούς ζεολίθους είναι το K^+ , το Na^+ και το Ca^{+2} . Βάριο, στρόντιο και μαγνήσιο βρίσκονται εντούτοις σε μερικούς ζεόλιθους. Το βάριο είναι υψηλής ενέργειας κατιόν στο Harmotone των ζεολίθων (Kuzvart, M. 1984).

Αν και το K περιέχεται σε πολλούς ζεολίθους γενικά δεν είναι υψηλής ενέργειας κατιόν ίσως λόγω του μεγάλου σχετικά μεγέθους του.

Ο κανονικός αριθμός των K^+ , Na^+ , Ca^{+2} ατόμων στον σχηματισμό των ζεολίθων πρέπει να σχετίζεται με το λόγο Si/ Al και προκύπτει από την σχέση $Na^+ K+2Ca = Al$.

Αντικαταστάσεις των Al^{+3} από Si^{+4} στο πλέγμα του ζεολίθου απαιτούν την παρουσία ενός κατιόντος το οποίο θα διατηρήσει την ισορροπία. Η μεγαλύτερη αντικατάσταση Al για Si γίνεται όταν ο λόγος Si/ Al τείνει στο ένα. Ο τομσονίτης, ο γινομονδίνης και ο γονναδίτης είναι οι μόνοι φυσικοί ζεόλιθοι που έχουν Si/ Al που

τείνει στη μονάδα. Ένας εμπορικής σημασίας ζεόλιθος που ονομάζεται Τύπου Α έχει συντεθεί με λόγο $Si/Al = 1$ (Kuzvart, M. 1984).

Η μικρότερη αντικατάσταση Al^{+3} από Si^{+4} είναι στον μορδενίτη ο οποίος έχει λόγο Si/Al περίπου 5. Όπως και οι άστριοι έτσι και οι ζεόλιθοι δίνουν αντικατάσταση του Ca^{+2} και Al^{+3} από K^+ , Na^+ και Si . Γίνεται αντικατάσταση επίσης Ca^{+2} από Na^+ και K^+ χωρίς να αλλάζει η δομή του πλέγματος. Αυτή η τελευταία αντικατάσταση μπορεί να υπάρξει στους ζεόλιθους κάθε στιγμή μετά την κρυστάλλωση τους.

Ο λόγος Si/Al ενός ζεολίθου είναι σχεδόν καθορισμένος από τη στιγμή της κρυστάλλωσης και δεν διαμορφώνεται περιστασιακά ανάλογα με τη δυσκολία της κίνησης του Si και Al στο πλέγμα.

Μερικοί ερευνητές έχουν βρει μια σχέση μεταξύ της περιεκτικότητας σε νερό των ζεολίθων και το είδος του εναλλασσόμενου κατιόντος στη δομή. Γενικά μπορεί να λεχθεί ότι η περιεκτικότητα σε νερό των ζεολίθων μεγαλώνει καθώς μειώνεται η ακτίνα του κατιόντος (Kuzvart, M. 1984).

Η περιεκτικότητα σε νερό είναι επίσης μεγαλύτερη για ένα δισθενές κατιόν από ότι για ένα μονοσθενές κατιόν με την ίδια ακτίνα.

Όσον αφορά τα περιβάλλοντα πετρώματα πιστεύεται ότι οι ζεόλιθοι, είναι μεταξύ των πλέον πυριτικών ορυκτών που απαντούν στα ιζηματογενή πετρώματα και ότι τα ζεολιθικά κοιτάσματα του τύπου αυτού είναι τα μεγαλύτερα και τα πλέον ενδιαφέροντα από την οικονομική άποψη. Σχηματίζονται σε διάφορα από άποψη ηλικίας, λιθολογίας και αποθέσεως, περιβάλλοντα κατά την διεργασία της διαγενετικής εξαλλοιώσεως των ιζηματογενών πετρωμάτων.

Ζεόλιθοι ανά τον κόσμο

Ιαπωνία: για πρώτη φορά το 1949 ανακαλύφθηκε κοιτάσμα ζεολίθων με μεγάλη περιεκτικότητα σε κλινοπτινόλιθο μέσα σε συμπαγείς πράσινους τόφους καθώς και κοιτάσματα μορντενίτη μέσα σε μειοκενικούς μπετονίτες. Τώρα στην Ιαπωνία υπάρχουν 14 εταιρίες που εκμεταλλεύονται τα κοιτάσματα ζεολίθων. Δύο από αυτές παράγουν ποσότητες μεγαλύτερες από 10.000 tn το χρόνο. Μαζί με τους ζεόλιθους εξορύσσεται και μοντμοριλονίτης (Kuzvart, M. 1984).

Η.Π.Α: η παραγωγή ζεολίθων είναι πολύ μικρή παρότι έγιναν σημαντικές επενδύσεις σε αυτόν τον τομέα. Υπάρχουν τρία κοιτάσματα στην Αριζόνα, στην Καλιφόρνια και στη Νεβάδα. Το μέταλλευμα αποτελείται από χαβαζίτη, κλινοπτινόλιθο, εριονίτη. Τώρα τελευταία έχει ξεκινήσει η χρήση των ζεολίθων σε εμπορικές εφαρμογές (Kuzvart, M. 1984).

Κούβα: έχουν βρεθεί μεγάλα αποθέματα ζεολίθων. Το μέταλλευμα αποτελείται από κλινοπτινόλιθο, ευλανδίτη, μορντενίτη, ανάκλιμο. Τα στρώματα μεταλλεύματος έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε Ca και χαμηλή σε Na. Χρησιμοποιείται στη γεωργία και τη κτηνοτροφία (Kuzvart, M. 1984).

Στον υπόλοιπο κόσμο αποθέματα ζεολίθων πλούσια σε κλινοπτινόλιθο, εργονίτη, μορντενίτη έχουν βρεθεί στην Α. Ευρώπη, στη Γερμανία, στην Τουρκία, και στην Ιταλία. Στην Τουρκία και την Ελλάδα δεν έχει αναπτυχθεί η εκμετάλλευση ζεολίθων, χρησιμοποιούνται κυρίως σαν συστατικό στα τσιμέντα.

Ζεόλιθοι στην Ελλάδα

Στην Ελλάδα η συστηματική κοιτασματολογική έρευνα για ανεύρεση κοιτασμάτων ζεολίθων άρχισε να εκτελείται από το ΙΓΜΕ περίπου πριν μια δεκαετία. Η έρευνα αυτή είναι αποτέλεσμα του ότι οι ζεόλιθοι βρίσκουν εφαρμογές σε πολυάριθμους τομείς που καθημερινά αυξάνουν, και έχουν καταστεί από τα πολυτιμότερα μη μεταλλικά ορυκτά (Κοσιάρης Γ. 1991).

Οι ζεόλιθοι στον ελλαδικό χώρο υποδιαιρούνται:

- Με βάση τα πετρώματα που συναντώνται
- Με βάση τον τρόπο γέννησής τους.

1. Ζεόλιθοι μέσα σε βαλσατικά πετρώματα. Μέσα σε αμυγδαλοειδή και διάκενα βαλσατικών και ανδρεσιτικών λαβών αναπτύσσονται καλοσχηματισμένοι κρύσταλλοι φυσικών ζεολίθων. Οι γνωστότερες περιοχές εύρεσης ζεολίθων σε ανδρεσιτικές λαβές είναι:

i. Το όρος Όρθρυς όπου απαντώνται τα ορυκτά λομοντίτης, στυλβίτης και νατρόλιθος.

ii. Η Δ. Θράκη(Βυρίνη) όπου βρέθηκαν κρύσταλλοι: στυλβίτη, λαβμονίτη

iii. Η Λήμνος: όπου απαντώνται κρύσταλλοι Νατρόλιθου Δομσονίτη

iv. Η Μυτιλήνη και

v. Η Σάμος όπου βρέθηκαν κρύσταλλοι νατρόλιθου αναλκίμου.

2. Ζεόλιθοι σε τοφικά υλικά. Μόλις στα μέσα της δεκαετίας του 1970 άρχισαν να μελετώνται οι ζεόλιθοι των τοφών με βάση διαφορετικά μοντέλα σχηματισμού. Για την Ελλάδα ισχύουν τέσσερα μοντέλα δημιουργίας:

- Ζεόλιθοι που οφείλουν την γένεσή σε περιβάλλον αβαθούς θάλασσας (ανοικτού υδρολογικού συστήματος). Σε αυτό το μοντέλο ανήκουν οι περιοχές: Δ. Θράκης, Μεταξάδες, Πεντάλοφο, Λευκίμη, Κίρκη και Φερρές όπου τα κύρια ζεολιθικά ορυκτά είναι ο κλινοπτινόλιθος και ο μορδενίτης τα περιέχουν σε μικρές ποσότητες καλιούχους αστρίους, χαλαζίες, βιοτίτες και σε ασήμαντη αναλογία αργιλικά ορυκτά (χλωρίτες, ιλλίτες, βερμικουλίτη).

- Ζεόλιθοι ανοικτού υδρολογικού συστήματος. Απαντώνται στα νησιά Μήλος, Κίμωλος, Σαντορίνη, Πολύαιγος. Σε αυτές τις περιοχές έχουμε όξινης σύστασης τοφίτες πράσινου χρώματος. Τα τοφικά υλικά εμφανίζονται πάρα πολύ λεπτομερή με αποτέλεσμα η μικροκρυσταλλική τους μάζα μερικές φορές στο μικροσκόπιο να φαίνεται άμορφη. Το μέγεθός της είναι μικρότερο από 0,02 mm. Τα κύρια ζεολιθικά ορυκτά είναι ο μορντενίτης, ο κλινοπτινόλιθος που συνοδευόταν από σμεκτίτη.

- Αποθέσεις αλκαλικών αλμυρών λιμνών. Το μοντέλο αυτό συναντάται στη δυτική λεκάνη της Σάμου στο Καρλόβασι όπου έχουμε τραχειτικής σύστασης πετρώματα με χρώματα γκρί- καφέ- πράσινα πολύ λεπτομερή, τα οποία κατατάσσονται στην ηφαιστειακή στάχτη. Τα πετρώματα αυτά έχει βρεθεί ότι περιέχουν κλινοπτινόλιθο ανάλκιμο καθώς και σε μικρότερες ποσότητες, μορντενίτη, οπάλιο C, χριστοβαλίτη, τριδυμίτη και μεγάλες ποσότητες αυθιγενούς K- άστριου και σμεκτίτη.

- Ζεόλιθοι που οφείλουν τη γένεσή τους σε υδροθερμική εξαλλοίωση. Τέτοιο μοντέλο συναντάμε στα ερείπια Βυρίνης και στα « άσπρα χρώματα» Φερρών. Τα

ζεολιθικά ορυκτά που συναντάμε είναι μορδενίτης, στυλβίτης και κλινοπτινόλιθος τα οποία περιέχουν σε μικρότερες ποσότητες χαλαζία, αστρίους και θραύσματα ασβεστίτη. Η υδροθερμική ζεολιθίωση στις περιοχές αυτές είναι νεώτερη του Πριαμπονίου γιατί τα φλεβίδια του στυλβίτη διαπερνούν τους ηφαιστειακούς σχηματισμούς Πριαμπονίου.

- Ζεόλιθοι σε ιζηματογενή πετρώματα. Μοντέλο σχηματισμού είναι σε λιμναίο ή θαλάσσιο περιβάλλον χωρίς απευθείας μαρτύριο για ύπαρξη αρχικού ηφαιστειακού υλικού. Οι περιοχές που ισχύει αυτό το μοντέλο είναι: η Λευκάδα, η Ζάκυνθος και η Κεφαλονιά. Το μοναδικό ζεολιθικό ορυκτό, το οποίο προσδιορίζεται μετά την απομάκρυνση των ανθρακικών ορυκτών των δειγμάτων είναι ο κλινοπτινόλιθος. Τα πετρώματα στα οποία φιλοξενείται είναι μάργες πορσελανίτες(πλούσια σε χαλκηδόνιο και οπάλιο CT). Ο κλινοπτινόλιθος προκύπτει από την υδρόλυση του βιογενούς πυριτίου. Με τον όρο βιογενές πυρίτιο εννοούμε το πυρίτιο που προέκυψε στη φύση από την αποσύνθεση ζωντανών οργανισμών όπως είναι τα ακτινόζωα, τα διάτομα οι βελόνες και οι σπόγγοι

Από άποψη αποθεμάτων η περίπτωση αυτή είναι μη επιθυμητή γιατί ο ζεόλιθος αποτελεί μικρό ποσοστό του πετρώματος.

Συμπερασματικά οι φυσικοί ζεόλιθοι παρουσιάζονται μέσα σε ηφαιστειακούς τοφφούς στο προσκήνιο σαν ένα δυναμικό κομμάτι του ορυκτού πλούτου της χώρας μας για αυτό χρειάζεται η δημιουργία όλων των προϋποθέσεων για την ολοκληρωμένη έρευνα τους.

Οι σχηματισμοί που φιλοξενούνται είναι ηφαιστειακοί τοφφοί. Η εξόρυξη και η κατεργασία τους είναι απλή και δεν απαιτεί μεγάλες δαπάνες ενώ από την άλλη πλευρά οι τομείς εφαρμογών έχουν ευρύ φάσμα με μεγάλες δυνατότητες αξιοποίησης τους προς όφελος της βιομηχανικής και οικονομικής ανάπτυξης της χώρας.

Χρήσεις ζεολίθων

Σκοπός κάθε επιστημονικής εργασίας στόχο έχει την άντληση χρήσιμων για τον άνθρωπο πληροφοριών. Χρήσιμο λοιπόν είναι να αναφερθούμε λεπτομερώς στην χρήση των ζεολίθων (Dyer A., 1984).

1. Ως προσθετικά χαρτομάζας. Οι ζεόλιθοι χρησιμεύουν σαν προσθετικά μάζας στην Ιαπωνία γιατί δεν υπάρχουν στη χώρα άλλα πληρωτικά όπως π.χ. ο

καολίνης. Στην αγορά της Ιαπωνίας χρησιμοποιείται η μεγαλύτερη ποσότητα φυσικών ζεόλιθων ήτοι 44.000 t το χρόνο. Η ποιότητα που χρησιμοποιείται είναι τόφοι με κλινοπτινόλιθο. Αυτό το υλικό επεξεργασμένο αυξάνει το πάχος του χαρτιού.

2. Ως εδαφοβελτιωτικό. Περίπου 5.000- 6.000 t ζεόλιθων χρησιμοποιούνται σαν βελτιωτικά εδαφών στην Ιαπωνία. Η χρήση αυτή των ζεόλιθων και κυρίως του κλινοπτινόλιθου είναι πολλαπλή. Συγκεκριμένα οι ζεόλιθοι με σωστό μέγεθος δεν χρησιμοποιούνται μόνο για τον αερισμό των εδαφών και για την εξουδετέρωση των όξινων εδαφών αλλά ελέγχουν επίσης αποτελεσματικά την ελευθέρωση του αμμωνίου, του αζώτου και του καλίου από τα λιπάσματα. Έτσι η λίπανση ελευθερώνεται βαθμιαία για ένα μεγάλο χρονικό διάστημα. Έτσι η λίπανση που συνήθως ξεπλένεται από τα επιφανειακά νερά ή από τον ήλιο, παραμένει για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα μέσα στο έδαφος με αποτέλεσμα να αυξάνεται η συγκομιδή. Ο ζεόλιθος είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί στο έδαφος είτε ακατέργαστος στα λιπάσματα είτε εμπλουτισμένος από ιόντα αμμωνίου και καλίου. Επίσης είναι δυνατόν με τη βοήθεια του ζεόλιθου να παραμείνουν και κάποια άλλα στοιχεία στο έδαφος όπως π.χ. ο σίδηρος, ο χαλκός, το Cu, και ο ψευδάργυρος. Η χρήση του ακατέργαστου ζεόλιθου προτιμάται λόγω χαμηλότερου κόστους.

3. Ως αποσκληρυντικό στα απορρυπαντικά. Η χρήση του ζεόλιθου στον τομέα των απορρυπαντικών έχει συζητηθεί πολύ τα τελευταία χρόνια ως αποσκληρυντικό του νερού αλλά και για την απορρόφηση βαφών χρωστικών ουσιών καθώς επίσης και σαν υπόστρωμα για την απόθεση των ελάχιστα διαλυτών αλάτων. Η κύρια τάση σε αυτήν την εφαρμογή αφορά την αντικατάσταση του νατρίουχου τριφωσφορικού άλατος το οποίο χρησιμοποιείται ως αποσκληρυντικό του νερού. Οι υπερβολικές ποσότητες όμως του φωσφορικού προκαλούν σημαντική ρύπανση με αποτέλεσμα την ανάγκη αντικατάστασής του από άλλο συστατικό. Ο ζεόλιθος παρουσιάζει το μειονέκτημα ότι δεν προσδίδει λευκό χρώμα σε απορρυπαντικά όπως το φωσφορικό άλας. Αν όμως μελλοντικά υπάρξει κάποια νομοθετική ρύθμιση τότε οι ζεόλιθοι θα είναι αυτοί που θα αντικαταστήσουν το φωσφορικό άλας. Βέβαια πρέπει να γίνει μελέτη για το μέγεθος και το μοριακό σχήμα που θα πρέπει να έχουν οι ζεόλιθοι ώστε να μην δημιουργούν πρόβλημα στην πλύση των ρούχων. Έτσι μπορεί να αποτελέσουν μια πολύ επικερδή αγορά.

4. Στην κτηνοτροφία Οι Ιάπωνες χρησιμοποίησαν φυσικούς φυσικούς ζεόλιθους (κλινοπτινόλιθο, μορντενίτη) σαν προσθετικό στην τροφή για τις κόττες, τα

χοιρινά και τα βοειδή. Παρατηρήθηκε ότι ο αριθμός ανάπτυξης των ζώων αυξήθηκε, η αξία των ζωοτροφών μειώθηκε, τα περιστατικά νόσων του πεπτικών οργάνων ελαττώθηκαν ενώ η ίδια η ζωοτροφή προστατεύεται από το μούχλιασμα. Σε γενικές γραμμές ο ζεόλιθος εμφανίζεται να λειτουργεί ως προστατευτική ασπίδα στο στομάχι των μυρηκαστικών, όπου εξαιτίας της εκλακτικότητας στο ιόν του αμμωνίου το άζωτο συγκεντρώνεται στο πεπτικό σύστημα του ζώου και απελευθερώνεται μόνο σταδιακά διαμέσου της ανταλλαγής ιόντων Na^+ και K^+ που προέρχονται από το σάλιο που εισέρχεται στο στομάχι. Έτσι το όφελος είναι μεγαλύτερο από λόγω της συγκράτησης των θρεπτικών συστατικών για μεγαλύτερο διάστημα στον οργανισμό του ζώου. Πρέπει βέβαια να μελετηθεί η αναλογία των ζεολιθών στην ζωοτροφή για τα καλύτερα δυνατά αποτελέσματα.

5. Στις ιχθυοκαλλιέργειες Κυρίως ο κλινοπτινόλιθος και λιγότερο ο μορδενίτης χρησιμοποιούνται στον χώρο της ιχθυοκαλλιέργειας. Στα ιχθυοτροφεία όπου ο χώρος είναι κλειστός και δεν υπάρχει παρατεταμένη ανανέωση των υδάτων η αποβολή αμμωνίας από το ίδιο το ψάρι μπορεί να φτάσει σε τοξικά επίπεδα. Η παρουσία του ζεόλιθου στο νερό μειώνει την περιεκτικότητα της αμμωνίας και έτσι μειώνεται η θνησιμότητα των ιχθύων. Η εφαρμογή αυτή παρουσιάζει ένα αδύνατο σημείο γιατί ο ζεόλιθος στο θαλάσσιο νερό έχει την προτίμηση να συγκρατεί τα ιόντα Na^+ αντί του αμμωνίου. Αυτή η δυσκολία μπορεί να ξεπεραστεί με την χρήση της μεμβράνης «φίλτρου» που θα επιτρέπει στα ιόντα του αμμωνίου μέσα από αυτή σε καθαρό νερό χαμηλότερου pH αφήνοντας πίσω τα ιόντα του Na^+ . Επίσης ο ζεόλιθος μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν ένα σημαντικό στοιχείο διατροφής που θα βοηθήσει την ανάπτυξη των ψαριών.

6. Στον έλεγχο της ρύπανσης. Πρόσφατες μελέτες έδειξαν ότι οι ζεόλιθοι σε πολλές εφαρμογές μπορούν να περιορίσουν την ρύπανση. Οι περισσότερες από αυτές βασίζονται στην ικανότητα συγκεκριμένων ζεολιθών να ανταλλάσσουν εκλεκτικά κατιόντα σε ένυδρα διαλύματα. Σημαντικά πεδία εφαρμογών αποτελούν τα ραδιενεργά κατάλοιπα, οι ακαθαρσίες των υπονόμων, απόβλητα από τις γεωργικές εργασίες. Η απομάκρυνση του SO_2 από συγκεντρώσεις αερίων, η παραγωγή οξυγόνου και τέλος οι εργασίες καθαρισμού διάλυσης των πετρελαιοκηλίδων. Ο κλινοπτινόλιθος είναι εκλεκτικός στην απομάκρυνση των ραδιενεργών καΐσιου, στροντίου από τα χαμηλού βαθμού απόβλητα των πυρηνικών εγκαταστάσεων. Μετά την απομάκρυνση, τα ιόντα μπορούν να αποθηκευτούν στο ζεόλιθο ή να απομακρυνθούν με χημικά μέσα. Πολλοί προβλέπουν ότι οι ζεόλιθοι θα παίξουν

σημαντικό ρόλο στην ασφαλή ανάπτυξη της χρήσης της ραδιενέργειας μιας και είναι φθηνότεροι από τις ρητίνες που χρησιμοποιούνται ως τώρα.

Επίσης η απομάκρυνση του SO₂ και άλλων αερίων θα αποτελέσει μια πολύ σημαντική εφαρμογή για τους φυτικούς ζεολίθους. Αν και το κόστος τους είναι υψηλό μερικοί μορδενίτες και κλινοπτινόλιθοι είναι ικανοί να απορροφήσουν πρισσότερα από 200 mg SO₂ / gr ζεολίθου διευκολύνοντας την απομάκρυνση του SO₂. Η χρήση των ζεολίθων σε αυτή την εφαρμογή είναι πολύ σημαντική γιατί επιτρέπει σε γαιάνθρακες με υψηλό περιεχόμενο σε S να χρησιμοποιηθούν στην παραγωγή ηλεκτρισμού.

7. Καθαρισμός υγρών. Φυσικοί ζεόλιθοι και κυρίως κλινοπτινόλιθος χρησιμοποιήθηκαν για τον καθαρισμό ρευστών και την επεξεργασία των λυμάτων από βιομηχανίες και ξενοδοχεία στην Ιαπωνία και τις Η.Π.Α με εντυπωσιακά αποτελέσματα.

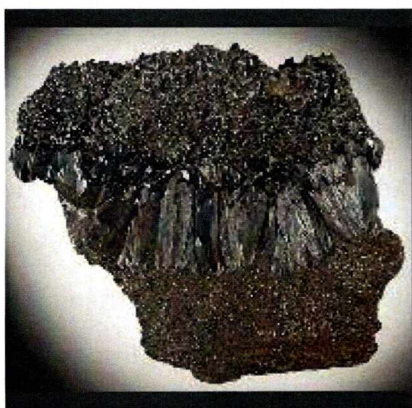
8. Στα οικοδομικά υλικά. Σαν συστατικό στο τσιμέντο και σαν συστατικό χαμηλής αντοχής στα μονωτικά υλικά. Επίσης οι φυσικοί ζεόλιθοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την απομάκρυνση του πλεονάζοντος διοξειδίου του άνθρακα από ορισμένα φυσικά αέρια για την παραγωγή μεγαλύτερης θερμότητας κατά την καύση τους. Ακόμη για τον διαχωρισμό αζώτου και οξυγόνου στον αέρα. Ο αέρας μετά από αυτό περιέχει 95% οξυγόνο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε νοσοκομεία, στην επεξεργασία του νερού, του καθαρισμού των μετάλλων ή στον αποχρωματισμό του χαρτοπολτού.

Οι φυσικοί ζεόλιθοι μπορούν να δεσμεύουν με ιοντοανταλλαγή ιόντα βαρέων μετάλλων όπως μόλυβδο και κάδμιο και να απομακρύνουν τους ρυπαντές αυτούς από βιομηχανικά και μεταλλευτικά απόβλητα. Μπορούν επίσης να δεσμεύουν πολύτιμα και ημιπολύτιμα μέταλλα όπως ο χρυσός και ο άργυρος.

Όπως διαπιστώνει κανείς οι εφαρμογές των φυσικών ζεολίθων είναι ενδιαφέρουσες. Οι επενδύσεις είναι απαραίτητες και η ευκαιρία εδραίωσης των ζεολίθων στο εμπόριο δεν πρέπει να χαθεί.

Γκαιίτης

Ο γκαιίτης είναι το ορυκτό που έχει χημικό τύπο $\alpha\text{-FeOOH}$ ανήκει στην κατηγορία των υδροξειδίων και κρυσταλλώνεται στο ρομβικό σύστημα. Πήρε το όνομα προς τιμήν του Γερμανού ποιητή, συγγραφέα και φιλόσοφο *Johann Wolfgang von Goethe* (1749-1832). Το ορυκτό ανακαλύφθηκε το 1806 σε περιοχές της Γερμανίας ([http¹](#)).



Ορυκτό του γκαιίτη

Έχει λάμψη αδαμαντώδη, μεταλλική, ημιμεταλλική, μεταξώδη ή θαμπή. Το χρώμα του διαφέρει και μπορεί να πάρει πολλές αποχρώσεις του καστανού μέχρι του μαύρου, του ωχροκίτρινου ή του καστανοκίτρινου. Η σκληρότητα του κυμαίνεται από 5 – 5,5 Mohs ενώ το ειδικό του βάρος από 3,3- 4,3 g/cm³. Μπορεί να είναι ημιδιαφανής ή αδιαφανής. Οι κρύσταλλοι του είναι σπάνιοι, πρισματικοί με κατακόρυφες γραμμώσεις. Είναι προϊόν αποσάθρωσης των σιδηρούχων ορυκτών ενώ αποτελεί μέταλλευμα σιδήρου. Συναφή ορυκτά με τον γκαιίτη βάση της κατάταξης του Strunz ([http²](#)) είναι τα παρακάτω:

4/F.06-10	Diaspore	AlO (OH)
4/F.06-20	Böhmite	AlO (OH)
4/F.06-25	Tsumgallite	GaO(OH)
4/F.06-40	Lepidocrocite	Fe ^{γ-3+} O(OH)
4/F.06-50	Akaganéite	Fe ^{β-3+} O(OH, Cl)
4/F.06-60	Feroxyhyte	Fe ³⁺ O(OH)
4/F.06-70	Manganite	Cu ³⁺ O(OH)
4/F.06-80	Groutite	Cu ³⁺ O(OH)
4/F.06-90	Feitknechtite	Cu ³⁺ O(OH)

Η ύπαρξη γκαιτίτη στο περιβάλλον είναι περιορισμένη όχι όμως στα εδάφη, όπου το ορυκτό αυτό είναι το πιο κοινό οξειδίο του σιδήρου, αλλά επίσης απαντάται σε αποθέσεις μεταλλευμάτων, σε θαλάσσια ιζήματα και σε βιολογικούς ιστούς. Από τα τέσσερα οξειδία του σιδήρου, ο αιματίτης και κυρίως ο λειμωνίτης ευρίσκονται σε μεγαλύτερες ποσότητες από τον γκαιτίτη και τον μαγνητίτη. Τα ορυκτά αυτά απελευθερώνουν σίδηρο και προσδίδουν στον έδαφος χαρακτηριστικές κοκκινοκίτρινες αποχρώσεις (κοκκινόχωμα) (Foreman and Daniel, 1986).

Ο φυσικός γκαιτίτης που υπάρχει στο περιβάλλον συνήθως δεν βρίσκεται σε καθαρή μορφή (α -FeOOH) ενώ περιέχει προσμίξεις από διάφορα ξένα στοιχεία όπως είναι το Cu και το H₂O. Για τις περισσότερες προσμίξεις δεν έχει γίνει συστηματική έρευνα και δεν είναι γνωστό για τα περισσότερα στοιχεία με ποιο ακριβώς τρόπο συκρατούνται στο κρυσταλλικό πλέγμα του γκαιτίτη. Το αργίλιο μπορεί να προσροφηθεί σε αρκετά μεγάλο ποσοστό (περισσότερο από 33%) με ισόμορφη αντικατάσταση του καλίου.

Δεν υπάρχουν συγκεκριμένα δεδομένα σε σχέση με την επικινδυνότητα για την υγεία ή πιθανή τοξικότητα του, παρόλα αυτά δείγματα του ορυκτού θα πρέπει πάντα να μεταχειρίζονται ως πιθανώς τοξικά ή επικίνδυνα και να παίρνονται τα κατάλληλα μέτρα.

Μετά από έρευνες έχει βρεθεί ότι στα εδάφη το πλήρως οξειδωμένο σελήνιο αντιδρά κατά προτίμηση με τα οξείδια και υδροξείδια του σιδήρου άρα και τον Γκαιίτη. Η προσρόφηση του σεληνίου από τον Γκαιίτη είναι ιδιαίτερα σημαντική καθώς, όταν τα επίπεδα του σεληνίου στο έδαφος είναι υψηλά, συχνά συσσωρεύεται στα φυτά με αποτέλεσμα να δρα τοξικά στα ζώα που θα τα καταναλώσουν (Derek and Sparks, 2002).

Στον ελλαδικό χώρο γκαιίτης έχει βρεθεί σε ασβεστόλιθους στην Κρήτη. Τα πετρώματα της περιοχής αυτής περιέχουν ασβεστίτη σε ποσοστό που κυμαίνεται από 80% έως 84% ενώ σε μικρότερες αναλογίες περιέχονται ιλλίτης, χαλαζίας, αλβίτης και γκαιίτης (Μαρκόπουλος et al, 2004) .

Ο γκαιίτης αποτελεί ένα παραπροϊόν της υδρομεταλλουργικής διαδικασίας για την παρασκευή μεταλλικού ψευδαργύρου. Εξαιτίας της παρουσίας προσμίξεων(Zn, Pb, Ni, Cd, Cu κ. τ. λ) και της μεγάλης ποσότητας που παράγεται ετησίως, η διάθεση του Γκαιίτη αποτελεί ένα σοβαρό περιβαλλοντικό πρόβλημα που ανεγείρει κοινωνικές και οικονομικές δυσκολίες για τις βιομηχανίες παρασκευής ψευδαργύρου. Μελέτες έχουν πραγματοποιηθεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση για την ανακύκλωση του Γκαιίτη σε συνδυασμό με άλλα βιομηχανικά κατάλοιπα και την παρασκευή υλικών υαλουργίας (Pelino et al, 1995).

Άνθρακας

Ο άνθρακας εξορύσσεται από τη Γη, ο ορυκτός άνθρακας, σε αντιδιαστολή των άλλων ανθράκων όπως του ξυλάνθρακα, οπτάνθρακα (κωκ) αιθάλης κ.ά. που λαμβάνονται κατόπιν ειδικής κατεργασίας των ξύλων, πετρελαίων, γαιανθράκων ή άλλων ανθρακούχων υλών.

Γενικά, τους ορυκτούς άνθρακες τους διακρίνουμε σε εκείνους που δεν χρησιμοποιούνται ως καύσιμη ύλη (π.χ. γραφίτης, διαμάντι) και σε εκείνους που χρησιμοποιούνται ως καύσιμη ύλη και στην παραγωγή χημικών ενώσεων. Στους τελευταίους ανήκουν ο ανθρακίτης και γενικά οι λιθάνθρακες, οι φαιάνθρακες (επιμέρους κατηγορία των οποίων είναι ο λιγνίτης) και η τύρφη. Οι μεταξύ τους διαφορές οφείλονται όχι μόνο στην περιεκτικότητα του άνθρακα, του υδρογόνου και του οξυγόνου, αλλά και στην εξωτερική μορφή υπό την οποία απαντώνται. Ειδικότερα η τύρφη χρησιμοποιείται και για τον εμπλουτισμό καλλιεργήσιμων εδαφών.

Όλοι οι γαιάνθρακες περιέχουν τέφρα, (ανόργανα συστατικά) σε ποικίλλουσα ποσότητα, καθώς και ίχνη νερού (υγρασία). Ακόμα περιέχουν φωσφορικό οξύ σε μηδαμινές ποσότητες, θείο ενωμένο με σίδηρο και, εν μέρει, οργανικό, το οποίο και είναι το περισσότερο ανεπιθύμητο συστατικό τους. Η περιεκτικότητα θείου στους γαιάνθρακες υποβιβάζει τη ποιότητά τους. Σ' αυτό οφείλεται και κατά μέγα μέρος η μειονεκτικότητα των φαιανθράκων (που περιέχουν σημαντικές ποσότητες θείου), έναντι των λιθανθράκων.

Τέλος, οι γαιάνθρακες αποτελούνται από μίγματα πολυσυμπυκνωμένων ενώσεων άνθρακα, υδρογόνου, οξυγόνου και αζώτου. Ο γραφίτης και το διαμάντι είναι σχεδόν τελείως καθαροί άνθρακες (άνω του 99%). Οι ως καύσιμη ύλη χρησιμοποιούμενοι γαιάνθρακες διαιρούνται ανάλογα εκ της περιεκτικότητας σε άνθρακα σε: ανθρακίτη, λιθάνθρακες, φαιάνθρακες (λιγνίτες) και τύρφη.

Από πετρολογικής άποψης, το διαμάντι είναι ορυκτό που ανευρίσκεται σε Πυριγενή πετρώματα, ο γραφίτης είναι ορυκτό μεταμορφωσιγενούς προέλευσης, ενώ οι υπόλοιποι ορυκτοί άνθρακες είναι ιζηματογενή πετρώματα.

Αιματίτης

Ο **αιματίτης** είναι ορυκτό του σιδήρου με ευρεία διάδοση στο στερεό φλοιό της Γης.

Ονομάζεται αιματίτης από το ελληνικό "αίμα" λόγω του χρώματος της γραμμής κόνεως του, η οποία είναι χαρακτηριστικά αιματέρυθρη, σε σημείο που να ταυτοποιείται το ορυκτό από αυτή και μόνο.

- **Χρώμα:** Συνήθως μεταλλικό γκρι, σε βοτρυοειδείς κρυστάλλους. Σπανιότερα απαντά ως κίτρινέρυθρο συσσωμάτωμα υπό μορφή αιματέρυθρων κρυστάλλων. Ορισμένοι αιματίτες εμφανίζουν ιριδισμό σε παράλληλες λωρίδες.
- **Λάμψη:** Μεταλλική. Ενίοτε γαιώδης (σε κίτρινέρυθρα συσσωματώματα).
- **Διαφάνεια:** Ολοσχερώς αδιαφανής
- **Χημική σύσταση:** Οξείδιο του τρισθενούς σιδήρου Fe_2O_3 . Υπό μορφή προσμίξεων απαντούν συνήθως τιτάνιο, Cu, αργίλιο
- **Σύστημα κρυσταλλώσεως:** Τριγωνικό
- **Σχισμός:** Δεν παρατηρείται
- **Γραμμή κόνεως:** Αιματέρυθρη
- **Θραύση:** Κογχοειδής ή ανώμαλη

- **Σκληρότητα:** 5 - 6 (κλίμακα Mohs)
- **Πυκνότητα:** 5,25 gr/cm³

Ο αιματίτης έχει ιζηματογενή προέλευση, οπότε εμφανίζει συγκρυσταλλωμένα μόρια νερού. Είναι χημικό ίζημα. Αιματίτες με κιτρινωπές αποχρώσεις αποδίδονται σε δευτερογενείς συσσωματώσεις (μηχανικό ίζημα). Σε αιματίτες που δεν περιλαμβάνουν συγκρυσταλλωμένα μόρια νερού, η γένεση αποδίδεται σε ηφαιστειακή δραστηριότητα. Ο αιματίτης αποτελεί συστατικό πάρα πολλών πετρωμάτων, κυριότερο των οποίων είναι το γνωστό κοκκινόχωμα, που οφείλει το χρώμα του ακριβώς στην ύπαρξη κόνεως αιματίτη

Αποτελεί ένα από τα κυριότερα μεταλλεύματα του σιδήρου και χρησιμοποιείται ως πρώτη ύλη στις υψικαμίνους. τέλος Από τα τέσσερα οξειδία του σιδήρου, ο αιματίτης και κυρίως ο λιμονίτης ευρίσκονται σε μεγαλύτερες ποσότητες από τον γκαιτίτη και τον μαγνητίτη Τα ορυκτά αυτά απελευθερώνουν σίδηρο και προσδίδουν στον έδαφος χαρακτηριστικές κοκκινοκίτρινες αποχρώσεις (κοκκινόχωμα).

Χαλκός

Εισαγωγή

Το χημικό στοιχείο Χαλκός (Cu) είναι μέταλλο με ατομικό αριθμό 29 και ατομικό βάρος 63,546. Έχει θερμοκρασία τήξης 1084,6 °C και θερμοκρασία βρασμού 2567 °C. Το σύμβολό του είναι Cu. Σε μεταλλική κατάσταση, ο χαλκός έχει χαρακτηριστική μεταλλική λάμψη και χρώμα κοκκινωπό. Είναι επίσης μαλακός (σκληρότητα 2,5 - 3 στην κλίμακα Mohs, δύστηκτος (σ. τήξεως 1084,6 °C, σημείο βρασμού 2562°C), ιδιαίτερα ελατός και όλκιμος και πολύ καλός αγωγός της θερμότητας και του ηλεκτρισμού. Δεν εμφανίζει σχιστότητα ενώ έχει ανώμαλη θραύση. Είναι τελείως αδιαφανής ακόμη και σε λεπτά ελάσματα. Δεν εμφανίζει μαγνητικές ιδιότητες (Μήτσιος, 2004).

Ο χαλκός εμφανίζει δύο αριθμούς οξειδωσης (+1 και +2). Δεν είναι ιδιαίτερα δραστικό μέταλλο γι' αυτό και δεν αντιδρά εύκολα με άλλα στοιχεία και δεν χρησιμοποιείται ευρέως ως αναγωγικό. Αντιδρά με οξυγόνο, θείο και αλογόνα προς τις αντίστοιχες ενώσεις. Ο χαλκός είναι ένα από τα πιο σημαντικά και απαραίτητα στοιχεία, τόσο για τα φυτά όσο και για τα ζώα. κόκκινο.

Σύμφωνα με τους αρχαιολόγους ο χαλκός είναι το πρώτο από τα μέταλλα που χρησιμοποίησε ο άνθρωπος για την κατασκευή σκευών, εργαλείων και όπλων. Εκτιμάται ότι ο χαλκός έγινε γνωστός περίπου το 5000 π.Χ., πιθανόν επειδή απαντά ως αυτοφυής και δεν απαιτεί μεταλλουργική διαδικασία για την παρασκευή του σε καθαρή μορφή.

Το όνομά του προκύπτει από το λατινικό *Cuprum*, λέξη η οποία με τη σειρά της προέρχεται από το νησί της Κύπρου, όπου και εξορυσσόταν κατά τη ρωμαϊκή εποχή. Κυριότερα ορυκτά του χαλκού είναι ο χαλκοπυρίτης (Cu_2S), ο χαλκοσίνης, ο βορνίτης, ο κυπρίτης, ο μαλαχίτης και ο αζουρίτης (τα δύο τελευταία είναι ημιπολύτιμοι λίθοι).

Ανευρίσκεται αυτοφυής στη φύση ωστόσο σήμερα τα κοιτάσματα αυτοφυούς χαλκού είναι είτε περιορισμένα είτε μη οικονομικά εκμεταλλεύσιμα, όπως το αποκαλούμενο «*Disseminated Copper Ore*» στην Μοντάνα και άλλες Πολιτείες των ΗΠΑ (http://el.wikipedia.org/wiki/Disseminated_Copper_Ore).

Στη φύση ο χαλκός σχηματίζει κυρίως σουλφίδια, από τα οποία ελευθερώνεται σε όξινο περιβάλλον, θειϊκές ενώσεις και ανθρακικά άλατα. Σε αναγωγικές συνθήκες βρίσκεται κυρίως με τη μεταλλική του μορφή (Μήτσιος,2004).

Πηγές του χαλκού στο έδαφος

Οι πηγές του χαλκού στο έδαφος είναι:

- Το μητρικό υλικό (π.χ. άργιλος, βασάλτης, γρανίτης, πυρόξενοι).

Η περιεκτικότητα σε χαλκό των βασαλτικών πετρωμάτων είναι μεγαλύτερη σε σχέση με τα γρανιτικά πετρώματα ενώ στα ανθρακικά πετρώματα η περιεκτικότητα σε χαλκό είναι ακόμη χαμηλότερη. Τα βασαλτικά πετρώματα έχουν τη μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε χαλκό ενώ οι γρανίτες τη χαμηλότερη.

- Τα λιπάσματα.

Τα χημικά λιπάσματα που χρησιμοποιούνται στη γεωργία σπάνια έχουν περιεκτικότητα μεγαλύτερη από $100 \text{ mg Cu kg}^{-1}$ λιπάσματος και γι' αυτό η συνεισφορά τους στη ρύπανση του εδάφους από χαλκό θεωρείται σχετικά μικρή.

- Τα χαλκούχα μυκητοκτόνα.

Αντίθετα η χρήση των μυκητοκτόνων συμβάλλει σημαντικά στη ρύπανση του εδάφους με χαλκό καθώς υπολογίζεται ότι περίπου $7 \times 10^7 \text{ kg Cu}$ προστίθενται κάθε χρόνο στο έδαφος με τη μορφή του μίγματος Bordeaux ή βορδιγάλιος πολτός, το οποίο χρησιμοποιείται ευρύτατα σε πλήθος καλλιεργειών και ειδικότερα στη Βιολογική Γεωργία.

- Ατμοσφαιρική απόθεση (βροχή, ξηρή απόθεση).

Ο χαλκός συχνά συσσωρεύεται σε επιφανειακούς ορίζοντες. Το φαινόμενο αυτό είναι αποτέλεσμα πολλών παραγόντων που οφείλεται κυρίως στη βιοσυσσώρευση του και στην έντονη ανθρώπινη δραστηριότητα. Οι ατμοσφαιρικές εισροές του χαλκού τόσο με τη βροχή όσο και με την ξηρή απόθεση ποικίλουν σημαντικά από περιοχή σε περιοχή και εξαρτώνται από την περιεκτικότητα σε χαλκό που έχουν οι εκπομπές καυσαερίων των διαφόρων εργοστασίων καθώς και από την ποσότητα του μετάλλου που υπάρχει στη σκόνη που παρασύρεται από τον αέρα και αποτίθεται στα επιφανειακά στρώματα του εδάφους.

Στην Αγγλία έχει υπολογισθεί ότι η ετήσια ποσότητα του χαλκού που αποτίθεται με τη σκόνη κυμαίνεται από 100 μέχρι 480 g Cu ha^{-1} .

- Η ιλύς του βιολογικού καθαρισμού.

Για τα δεδομένα της χώρας μας η ανώτατη παραδεκτή συγκέντρωση όπως αναφέρεται στο Φ.Ε.Κ. 641/7.8.91 για το χαλκό είναι $1000 - 1750 \text{ mg kg}^{-1}$ ξηρής ιλύος (Μήτσιος,2004).

Χημική συμπεριφορά του χαλκού στο έδαφος

Ο χαλκός βρίσκεται στο έδαφος με τις παρακάτω μορφές:

- Υδατοδιαλυτά ιόντα του μετάλλου, καθώς και ανόργανα και οργανικά σύμπλοκά του στο εδαφικό διάλυμα.
- Ανταλλάξιμος χαλκός.
- Σταθερά οργανικά σύμπλοκα με την οργανική ουσία.
- Προσροφημένος χαλκός στα οξειδία και υδροξειδία του σιδήρου, χαλκού και αργιλίου.
- Προσροφημένος χαλκός στα κολλοειδή σωματίδια της αργίλου ή των χουμικών οξέων.
- Χαλκός που είναι δεσμευμένος στο κρυσταλλικό πλέγμα των ορυκτών του εδάφους.

Ο διαχωρισμός της ποσότητας του χαλκού που συγκρατείται από την οργανική ουσία, από τα οξειδία και υδροξειδία του σιδήρου και χαλκού, καθώς και από τα πυριτικά ορυκτά αποδείχθηκε ότι δεν είναι εύκολο να γίνει (Μήτσιος 2004). Ωστόσο μετρήσεις σε εδάφη και ιζήματα έδειξαν ότι η μορφή του χαλκού που επικρατεί είναι αυτή που είναι δεσμευμένη με την οργανική ουσία, ακολουθεί η ποσότητα του χαλκού που είναι δεσμευμένη από τα οξειδία και υδροξειδία του σιδήρου και του χαλκού και τέλος η ποσότητα του χαλκού που είναι συγκρατημένη στα ορυκτά της αργίλου.

Τα ορυκτά του εδάφους έχουν τη δυνατότητα να προσροφούν ιόντα χαλκού από τα υδατικά διαλύματα, ανάλογα με το ηλεκτρικό φορτίο που διαθέτουν. Το ηλεκτρικό φορτίο που παρουσιάζουν οι επιφάνειες των εδαφών, ελέγχεται από την τιμή του pH (Μήτσιος, 2004). Επομένως, η προσρόφηση του χαλκού από τη στερεή φάση του εδάφους καθώς και οι μορφές του χαλκού που παρουσιάζονται στα εδάφη καθορίζονται από την τιμή του pH του εδάφους.

Να σημειωθεί ότι μετρήσεις έδειξαν ότι η διαλυτότητα τόσο των κατιονικών όσο και των ανιονικών μορφών του χαλκού ελαττώνεται σε τιμές pH από 7 μέχρι 8.

Τέλος, ο σχηματισμός συμπλόκων μεταξύ του χαλκού και της οργανικής ουσίας του εδάφους είναι η σπουδαιότερη διεργασία που συμβαίνει στο έδαφος. Μεγάλος αριθμός οργανικών ενώσεων έχει την ικανότητα να δημιουργούν τόσο ευδιάλυτα όσο και αδιάλυτα σύμπλοκα κυρίως με τα ιόντα του δισθενούς χαλκού. Επομένως, η διαλυτότητα του χαλκού στο έδαφος καθορίζεται σημαντικά από την περιεκτικότητα σε οργανική ουσία του εδάφους (Μήτσιος, 2004).

Ο χαλκός στη θρέψη των φυτών

Ο χαλκός αποτελεί συστατικό πολλών πρωτεϊνών και ενζύμων τα οποία συμμετέχουν σε σημαντικές βιοχημικές λειτουργίες. Οι κυριότερες βιοχημικές λειτουργίες του χαλκού μέσα στο φυτό παρουσιάζονται παρακάτω:

- Στους ιστούς της ρίζας παρουσιάζεται κυρίως με τη μορφή συμπλόκου με οργανικές ενώσεις χαμηλού μοριακού βάρους καθώς και με πρωτεΐνες.
- Ο χαλκός περιέχεται σε ενώσεις που δεν έχουν γνωστό βιοχημικό ρόλο αλλά και σε ένζυμα τα οποία παίζουν καθοριστικό ρόλο στο μεταβολισμό των φυτών.
- Ο χαλκός συμμετέχει σε μεγάλο αριθμό φυσιολογικών λειτουργιών που πραγματοποιούνται στο φυτό όπως στη διαδικασία της φωτοσύνθεσης, της αναπνοής, της αναγωγής του αζώτου, της σύνθεσης των υδρογονανθράκων, του σχηματισμού αλλά και της αποικοδόμησης του τοιχώματος των κυττάρων καθώς και στο μεταβολισμό των πρωτεϊνών.
- Ο χαλκός επηρεάζει τη μετακίνηση του ύδατος στα ξυλώδη αγγεία και επομένως καθορίζει τη διαθεσιμότητα του ύδατος στο φυτό.
- Ο χαλκός καθορίζει την παραγωγή των νουκλεονικών οξέων (DNA και RNA). Συγκεκριμένα, η έλλειψη του χαλκού αναστέλλει την αναπαραγωγή των φυτών καθώς ελαττώνεται σημαντικά η σποροπαραγωγή.
- Εμπλέκεται στους μηχανισμούς άμυνας των φυτών στις ασθένειες. Φυτά τα οποία έχουν πλεονάζοντα αποθέματα χαλκού παρουσιάζουν ευαισθησία σε μεγάλο αριθμό ασθενειών ενώ η έλλειψή του σε αρκετές περιπτώσεις έδειξε ενίσχυση της αντίστασης των φυτών στις ασθένειες (Μήτσιος, 2004).
- Ο χαλκός συμμετέχει στην παραγωγή χρωστικών.

Συγκεντρώσεις του χαλκού στο έδαφος

Για τα δεδομένα της χώρας μας η ανώτατη παραδεκτή συγκέντρωση όπως αναφέρεται στο Φ.Ε.Κ. 641/7.8.91 για το χαλκό στο έδαφος είναι 50 - 140 mg kg⁻¹ ξηρού εδάφους.

Η μεγαλύτερη ποσότητα του εδαφικού χαλκού βρίσκεται στα επιφανειακά στρώματα του εδάφους λόγω της ισχυρής προσρόφησης του από εδάφη διάφορων τύπων αλλά και ιδιοτήτων (Merry et al., 1983; Deluisa et al., 1996).

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την περιεκτικότητα του εδάφους σε αφομοιώσιμες για τα φυτά μορφές χαλκού είναι:

- το pH του εδάφους,
- η οργανική ουσία του εδάφους,
- η υφή και η δομή του εδάφους,
- οι συνθήκες αερισμού του εδάφους,
- το είδος των ορυκτών της αργίλου,
- η θερμοκρασία του εδάφους και
- το φυτικό είδος (Χατζηστάθης, 2004).

Ακόμα, ο αριθμός οξειδωσης με τον οποίο εμφανίζεται ο χαλκός, η ικανότητα ή μη σχηματισμού συμπλόκων με οργανικές ενώσεις, η κινητικότητα του καθώς και η ικανότητα ιονισμού ή όχι εξαρτώνται από τους παρακάτω παράγοντες:

- τη φύση του ιόντος,
- το δυναμικό οξειδοαναγωγής,
- την τιμή του pH του εδάφους,
- την ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων του εδάφους,
- την περιεκτικότητα του εδάφους σε οργανική ουσία,
- το ποσοστό και το είδος των ορυκτών της αργίλου,
- την περιεκτικότητα του εδάφους σε ανθρακικά άλατα και
- την περιεκτικότητα και το είδος των οξειδίων και υδροξειδίων του σιδήρου, του χαλκού και του αργιλίου του εδάφους.

Στα επιφανειακά στρώματα του εδάφους η ολική συγκέντρωση του χαλκού στο εδαφικό διάλυμα συνήθως κυμαίνεται από 0,01 μέχρι 0,6 μΜ. Η μικρή αυτή τιμή της συγκέντρωσης του χαλκού οφείλεται στη μεγάλη τάση που παρουσιάζει να προσροφάται από τα οργανικά και ανόργανα κολλοειδή. Όταν τα επίπεδα συγκέντρωσης του χαλκού στο εδαφικό διάλυμα κυμαίνονται από 1,5 μέχρι 4,5 mg Cu L⁻¹ τότε παρατηρούνται τοξικά συμπτώματα στις ρίζες των φυτών με αποτέλεσμα την καταστροφή αυτών. Ο χαλκός βρίσκεται σε αρκετά μεγάλες ποσότητες στο εδαφικό διάλυμα σε κάθε τύπο εδάφους αν και είναι ένα από τα λιγότερα ευκίνητα βαρέα μέταλλα. Οι συγκεντρώσεις του χαλκού στο εδαφικό διάλυμα κυμαίνονται από 3 μέχρι 135 μg Cu L⁻¹ εδαφικού διαλύματος (Μήτσιος, 2004).

Να σημειωθεί ότι οι συγκεντρώσεις του χαλκού σε βιομηχανικά αναπτυγμένες περιοχές κυμαίνονται σε αρκετά μεγαλύτερα επίπεδα. Τέλος, σε πολλές χώρες έχει αναφερθεί και επιβάρυνση του εδάφους μέσω της άρδευσης λόγω της μεγάλης περιεκτικότητας του νερού της άρδευσης σε χαλκό και άλλα βαρέα μέταλλα.

6. Αρχές φασματοσκοπίας Ατομικής απορρόφησης

Η μέθοδος της Ατομικής Απορρόφησης είναι μια τεχνική προσδιορισμού διαφόρων στοιχείων βασιζόμενη στα ατομικά φάσματα των στοιχείων αυτών. Παρατηρείται απορρόφηση κατάλληλης εξωτερικής ακτινοβολίας από τα άτομα που βρίσκονται σε θεμελιώδη κατάσταση και μετάβαση αυτών σε διεγερμένη.

Για ένα προκαθορισμένο μήκος κύματος, που εξαρτάται από το προσδιοριζόμενο στοιχείο και από τις πειραματικές συνθήκες, η απορρόφηση της ακτινοβολίας είναι ανάλογη της συγκέντρωσης του στοιχείου στο δείγμα που ατομοποιείται.

Τα όργανα της ατομικής απορρόφησης γενικά περιλαμβάνουν τα εξής μέρη :

- ❖ Το σύστημα εκπομπής ακτινοβολίας (λυχνίες).
- ❖ Το σύστημα ατομοποίησης (ψεκαστήρας- λύχνος-φλόγα).
- ❖ Το οπτικό σύστημα (φίλτρα- μονοχρωμάτορες)
- ❖ Το φωτομετρικό σύστημα (φωτοανιχνευτές- ενισχυτές-ποτενσιόμετρο)

Το σπουδαιότερο τμήμα στα όργανα της ατομικής απορρόφησης είναι το τμήμα στο οποίο το δείγμα , αφού έχει διαλυτοποιηθεί, πρέπει να μετατραπεί σε νέφος ατόμων. Η διαδικασία αυτή είναι γνωστή ως ατομοποίηση και είναι υπεύθυνη για την ευαισθησία και την επαναληψιμότητα της μεθόδου.

Όταν το διάλυμα του δείγματος με μορφή μικρών σταγονιδίων βρεθεί σε υψηλή θερμοκρασία, αρχικά παρατηρείται εξάτμιση του διαλύτη αφήνοντας σωματίδια άλατος και στην συνέχεια ένα μέρος από αυτά διασπώνται σε ελεύθερα άτομα. Επομένως, απαιτείται υψηλή θερμική ενέργεια, η οποία μπορεί να επιτευχθεί είτε από την καύση μίγματος αερίων (ατομική απορρόφηση φλόγας), είτε από τη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας (ατομική απορρόφηση θερμαινόμενου γραφίτη).

Επειδή η μέθοδος της Ατομικής Απορρόφησης στηρίζεται στο πλήθος των ατόμων που σχηματίζονται στο χώρο της φλόγας, ο ρυθμός αναρρόφησης και ψεκασμού του διαλύματος στο θάλαμο προανάμιξης θα πρέπει να παραμένει σταθερός. Το μέγεθος των σταγόνων που σχηματίζονται κατά τον ψεκασμό είναι καθοριστικό για την τιμή της απορρόφησης που λαμβάνεται από τα άτομα του στοιχείου που περιέχονται μέσα σε αυτές.

7.Ισόθερμες και μοντέλα προσρόφησης

Η προσρόφηση ιόντων σε ανόργανα κolloειδή (φυσικά ή όχι) επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες. Από τους πιο σημαντικούς είναι η συγκέντρωση του προσροφημένου ιόντος, το pH του διαλύματος, η ιοντική ισχύς του διαλύματος, η θερμοκρασία, η φύση του προσροφημένου ιόντος και του ηλεκτρολύτη.

Συγκέντρωση προσροφημένου ιόντος

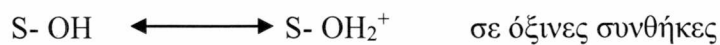
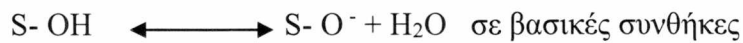
Γενικά αύξηση της συγκέντρωσης του ιόντος, την προσρόφηση του οποίου μελετάμε, στο διάλυμα έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της προσρόφησης του. Η αύξηση όμως αυτή, δεν ακολουθεί τον ίδιο ρυθμό σε όλο το εύρος των συγκεντρώσεων που χρησιμοποιούνται.

pH του διαλύματος

Το pH του διαλύματος είναι ένας από τους πλέον σημαντικούς παράγοντες που επηρεάζουν και ρυθμίζουν την προσρόφηση. Τα στερεά που χρησιμοποιούνται στις μελέτες προσρόφησης φέρουν στις επιφάνειες τους εκτός από το μόνιμο αρνητικό

φορτίο λόγω δομής, και φορτία το είδος των οποίων εξαρτάται από το pH του διαλύματος.

Έτσι αν μια επιφάνεια μπορούσε να παρασταθεί ως S- OH τότε αυτή θα έφερε φορτίο ανάλογα με το pH (pH- depended charge).



Με βάση λοιπόν τις δύο παραπάνω αντιδράσεις είναι προφανές το συμπέρασμα ότι το κατά πόσο ένα κατιόν ή ανιόν είναι δυνατόν να προσροφηθεί από μια επιφάνεια εξαρτάται και από το pH του διαλύματος. Βέβαια για τις επιφάνειες αυτές η έννοια βασικές ή όξινες συνθήκες δε σχετίζεται άμεσα με τη διάκριση $\text{pH} > 7$ ή $\text{pH} < 7$, αντίστοιχα. Η διάκριση σε αυτή την περίπτωση γίνεται με βάση το σημείο μηδενικού φορτίου, την τιμή δηλαδή του pH του διαλύματος στην οποία το συνολικό φορτίο της επιφάνειας είναι μηδενικό. Έτσι για pH μεγαλύτερο από το σημείο μηδενικού φορτίου οι συνθήκες θεωρούνται βασικές, ενώ για μικρότερο pH θεωρούνται όξινες.

Γενικά η προσρόφηση ενός κατιόντος αυξάνεται όσο αυξάνει η τιμή του pH του διαλύματος, ενώ ενός ανιόντος όσο το pH ελαττώνεται.

Ιοντική ισχύς του διαλύματος

Η συγκέντρωση και η φύση του ηλεκτρολύτη που χρησιμοποιείται στη μελέτη της προσρόφησης επηρεάζουν το φαινόμενο κυρίως όσον αφορά τη συγκέντρωση του ιόντος που προσροφάται.

Ο ηλεκτρολύτης χρησιμοποιείται στα πειράματα προσρόφησης με σκοπό να εξασφαλισθεί ότι σε όλη τη σειρά των δειγμάτων θα έχουμε την ίδια ιοντική ισχύ. Πολλές φορές ο ηλεκτρολύτης συμμετέχει ανταγωνιστικά στη διαδικασία της προσρόφησης. Για παράδειγμα σε πειράματα προσρόφησης Cu από ζεόλιθο παρουσία KCl ως ηλεκτρολύτη, διαπιστώθηκε ότι συγχρόνως με τη δέσμευση του Cu, λαμβάνει χώρα και δέσμευση K και μάλιστα σε ποσοστό 12,4% όταν ο ηλεκτρολύτης έχει συγκέντρωση 0.1N.

Όμως η αύξηση της συγκέντρωσης του ηλεκτρολύτη, στα πραγματικά συστήματα, γενικά προκαλεί ελάττωση στην προσρόφηση του ιόντος που μελετάμε. Αυτό συμβαίνει γιατί η αύξηση της ιοντικής ισχύος έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση του αριθμού των ιόντων που βρίσκονται στο διάλυμα και μάλιστα ιόντων του ηλεκτρολύτη. Στο μεγαλύτερο ποσοστό των περιπτώσεων προσρόφησης που έχουν μελετηθεί, δεν μπορούμε να αποκλείσουμε την ύπαρξη ανταγωνιστικής προσρόφησης των ιόντων του ηλεκτρολύτη πάνω στην επιφάνεια. Καθώς λοιπόν η παρουσία των ιόντων του ηλεκτρολύτη γίνεται εντονότερη (με την αύξηση της ιοντικής ισχύος) αυτά ανταγωνίζονται και επικρατούν έναντι των ιόντων που μελετάμε τα οποία συνήθως βρίσκονται σε πολύ μικρή συγκέντρωση στο διάλυμα.

Εκτός από τη συγκέντρωση του ηλεκτρολύτη καθοριστικό ρόλο στην εξέλιξη του φαινομένου της προσρόφησης κατέχει και το είδος του κατιόντος ή ανιόντος που φέρει ο ηλεκτρολύτης, καθώς και η ικανότητα αυτών να προσροφώνται στην εξεταζόμενη επιφάνεια.

Φάση του προσροφημένου ιόντος

Η έκταση της δέσμευσης ενός ιόντος από μία επιφάνεια εξαρτάται από τη σταθερά σύνδεσης του ιόντος με την επιφάνεια. Όλα τα ιόντα δεν προσροφώνται και δεν συγκρατούνται από μια επιφάνεια με τον ίδιο τρόπο. Έτσι τα PO_4^{3-} προσροφώνται σε πολύ μεγάλη συγκέντρωση και πιο ισχυρά από τα SO_4^{2-} αλλά και από τα αλογόνα. Από τα αλογόνα, το ιώδιο λόγω του μεγάλου μεγέθους του προσροφάται πιο δύσκολα από τα άλλα.

Για τα μέταλλα η έκταση δέσμευσης τους σε κάποιο προσροφητή εξαρτάται τόσο από τις ιδιότητες των μετάλλων όσο και από τα χαρακτηριστικά του ίδιου του προσροφητή.

Ισόθερμες προσρόφησης

Μετά την αρχική επαφή του στερεού προσροφητικού και της προ προσρόφηση ουσίας και με την πάροδο του χρόνου επέρχεται ισορροπία μεταξύ της προσροφημένης ποσότητας και της ουσίας που δεν έχει προσροφηθεί από το στερεό. Η κατάσταση αυτή χαρακτηρίζεται με τον όρο προσροφητική ισορροπία, όρος που δηλώνει την δυναμική ισορροπία μεταξύ προσροφημένης και μη προσροφημένης ουσίας που υφίσταται μεταξύ των δύο φάσεων.

Η ισορροπία αυτή γενικά παριστάνεται με το σχήμα

Προσροφημένη ουσία K_d / K_a C_u προσροφημένη ουσία, όπου K_a και K_d οι σταθερές προσρόφησης και εκρόφησης αντίστοιχα.

Στη συνέχεια εξετάζονται οι εξισώσεις που περιγράφουν το φαινόμενο της προσρόφησης. Οι πιο γνωστές από αυτές είναι οι εξισώσεις Langmuir, Freundlich και Temkin.

Εξίσωση Langmuir

Αν ένα αέριο A προσροφάται πάνω σε μια επιφάνεια S σύμφωνα με τη σχέση:

$$A + S \xrightleftharpoons{K_d} A \dots S$$

τότε ισχύει $R_a = k_a P(1 - \theta)$ και $R_d = k_d \theta$

όπου P είναι η πίεση του αερίου, $1 - \theta$ το ακάλυπτο κλάσμα της επιφάνειας, θ το κλάσμα της επιφάνειας που έχει καλυφθεί με το προσροφούμενο υλικό σε μονομοριακό στρώμα, R_a η ταχύτητα προσρόφησης του υλικού A πάνω στην επιφάνεια S και R_d η ταχύτητα εκρόφησης του:

Από την εξίσωση Arrhenius έχουμε: $k_a = A_a e^{-E_a/RT}$

$$k_d = A_d e^{-E_d/RT}$$

Στην κατάσταση ισορροπίας όπου οι ταχύτητες των δύο αντίθετων φαινομένων, της προσρόφησης και της εκρόφησης είναι ίσες ισχύει:

$$R_a = R_d \Rightarrow k_a P(1 - \theta) = k_d \theta \Rightarrow A_a e^{-E_a/RT} (1 - \theta) = A_d e^{-E_d/RT} \theta \Rightarrow$$
$$\frac{\theta}{1 - \theta} = \frac{A_a e^{-E_a/RT}}{A_d e^{-E_d/RT}} \Leftrightarrow \frac{\theta}{1 - \theta} = \frac{A_a}{A_d} e^{(E_d - E_a)/RT} \Rightarrow \frac{\theta}{1 - \theta} = \frac{A_a}{A_d} e^{-\Delta H_a/RT}$$

Όπου ΔH_a είναι η θερμότητα προσρόφησης.

Η θεωρία Langmuir στη συνέχεια κάνοντας την παραδοχή ότι $\Delta H_a =$ σταθερά καταλήγει στην σχέση μ όπου K σταθερά.

$$\text{Προκύπτει λοιπόν ότι } \frac{\theta}{1 - \theta} = KP$$

Έστω ότι V ο όγκος του αερίου που έχει προσροφηθεί σε πίεση P στην ισορροπία ανά μονάδα μάζας στερεού και V_m ο όγκος του αερίου που πρέπει να προσροφηθεί ανά μονάδα μάζας στερεού στην ίδια πίεση P , ώστε να καλυφθεί πλήρως το μονομοριακό στρώμα (η μέγιστη προσρόφηση), τότε:

$$\frac{\theta}{1-\theta} = \frac{V/V_m}{1-V/V_m} = KP \Rightarrow V = \frac{V_m KP}{1+KP} \Rightarrow \frac{P}{V} = \frac{P}{V_m} + \frac{1}{KV_m}$$

Ο αριστερός όρος της παραπάνω εξίσωσης εκφράζει το ποσοστό επιφανείας που μπορεί να καλυφθεί από προσροφημένο υλικό. Η γραφική παράσταση του όρου P/V σε συνάρτηση με την P θα πρέπει να δώσει ευθεία γραμμή με κλίση $1/V_m$ και τομή με τον άξονα P/V ίση με $1/KV_m$.

Σε χαμηλές πιέσεις όπου το P τείνει στο μηδέν η Langmuir παίρνει τη μορφή $V = V_m KP$. Αυτή η εξίσωση είναι γνωστή ως ισόθερμος Henry.

Σε υψηλές πιέσεις, η επιφάνεια του στερεού τείνει να καλυφθεί πλήρως από το μονομοριακό στρώμα και τότε $V = V_m$.

Η μορφή της ισόθερμης σε ενδιάμεσες από τις οριακές τιμές πίεσης, εξαρτάται από την τιμή της σταθεράς K και συνεπώς από την θερμοκρασία. Όπως αναφέρθηκε η θεωρία Langmuir προϋποθέτει σταθερή θερμότητα προσρόφησης. Η προϋπόθεση αυτή σήμερα θεωρείται λανθασμένη. Πάντως για αρκετά συστήματα αερίου- στερεού αλλά και υγρού- στερεού, η Langmuir δίνει πολύ καλά αποτελέσματα.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η εξίσωση Langmuir (Metcalf & Eddy, 1991):

☐ Ισχύει με την προϋπόθεση ότι σχηματίζεται μονομοριακό στρώμα προσρόφησης πάνω στην επιφάνεια.

☐ Ισχύει με την προϋπόθεση ότι η θερμότητα προσρόφησης ΔH_a διατηρείται σταθερή σε όλη τη διάρκεια του φαινομένου και είναι ανεξάρτητη από το ποσοστό κάλυψης της επιφάνειας από προσροφημένη ουσία.

☐ Δεν λαμβάνει υπόψη τυχόν μετατροπές της προσροφημένης ουσίας, συνέπεια αντιδράσεων, πάνω στην επιφάνεια.

☐ Η προσρόφηση περιορίζεται σε συγκεκριμένες περιοχές της επιφάνειας (εντοπισμένη προσρόφηση).

Μορφές ισόθερμης Langmuir που περιγράφει την προσρόφηση υγρού από στερεό υπόστρωμα

Η εξίσωση Langmuir προκειμένου να χρησιμοποιηθεί για την περιγραφή της προσρόφησης υγρού από στερεό παίρνει τη μορφή:

$$\frac{x}{m} = \frac{(x/m)_{\max} KC}{1 + KC} \Leftrightarrow X = \frac{X_{\max} KC}{1 + KC}$$

όπου x/m η ποσότητα της προσροφημένης ουσίας ανά μονάδα μάζας στερεού δείγματος η οποία στη συνέχεια παριστάνεται ως X , C η συγκέντρωση της ουσίας στο διάλυμα στην κατάσταση ισορροπίας (Sawyer, McCarty & Parkin, 1994). Η εξίσωση Langmuir με αυτή την μορφή έχει χρησιμοποιηθεί από πολλούς ερευνητές για την περιγραφή του φαινομένου της προσρόφησης. Έχει επίσης γίνει αντικείμενο κριτικής για την ορθότητα χρησιμοποίησή της στα συστήματα υγρού- στερεού όσον αφορά τουλάχιστον την περίπτωση που το στερεό είναι εδαφικό δείγμα ή ένα ορυκτό. Κάνοντας μετατροπές στην παραπάνω εξίσωση, προκύπτει:

$$X = \frac{X_{\max} KC}{1 + KC} \Leftrightarrow X + XK C = X_{\max} KC \Leftrightarrow \frac{C}{X} = \frac{1 + KC}{X_{\max} K} \Leftrightarrow \frac{C}{X} = \frac{1}{X_{\max} K} + \frac{C}{X_{\max}}$$

Η παραπάνω εξίσωση στις περισσότερες περιπτώσεις δεν δίνει ευθεία όπως αναμένεται και αυτό οφείλεται κυρίως στο ότι η θεωρία αναπτύχθηκε για να περιγράψει την προσρόφηση αερίων από στερεά. Στην προσρόφηση αερίου από στερεό, τα μόρια του αερίου προσροφούνται σε ενεργές θέσεις του στερεού (πόρους). Αντίθετα στην προσρόφηση υγρού από στερεό, η προσρόφηση σωματιδίων(μορίων ή ατόμων) συνεπάγεται την αντικατάσταση ενός άλλου σωματιδίου που βρίσκεται στην επιφάνεια του στερεού και το οποίο περνά στο διάλυμα. Πρόβλημα στην χρησιμοποίηση της Langmuir παρατηρείται στον υπολογισμό της μέγιστης ποσότητας που μπορεί να προσροφηθεί από το υπόστρωμα. Η μέγιστη αυτή ποσότητα που υπολογίζεται από την κλίση της γραφικής παράστασης C/X σε συνάρτηση με το C , δεν συμπίπτει (σε πολλές περιπτώσεις) με την πειραματικά προσδιοριζόμενη. Για το λόγο αυτό η X_{\max} υπολογίζεται συνήθως από την γραφική παράσταση $X = f(C)$ – ισόθερμη συστήματος (Metcalf & Eddy, 1991).

Εξίσωση Freundlich

Η εξίσωση Freundlich ορίστηκε αρχικά ως εμπειρική σχέση, κατόπιν όμως ερμηνεύτηκε θεωρητικά, με τη χρήση ενός μοντέλου προσρόφησης στο οποίο η θερμότητα προσρόφησης μεταβάλλεται εκθετικά με το ποσοστό κάλυψης της επιφάνειας- υποστρώματος. Η εξίσωση Freundlich σε αντίθεση με την Langmuir, δεν θεωρεί ύπαρξη ανώτατου ορίου προσρόφησης (X_{\max}).

Σύμφωνα με τη θεωρία αυτή:

$\theta = AP^\beta$ ή $V = AP^\beta$ όπου A σταθερά και το β δίνεται από τη σχέση:

$$\beta = \frac{RT}{\Delta H_\alpha^0}$$

Η εξίσωση Freundlich δέχεται ότι η ΔH_α μεταβάλλεται και μάλιστα ελαττώνεται με την προσρόφηση, δηλαδή με την κάλυψη της επιφάνειας λόγω προσρόφησης, άρα εξαρτάται από το θ σύμφωνα με τη σχέση : $-\Delta H_\alpha = \Delta H_\alpha^0 \ln\theta$ όπου ΔH_α^0 η αρχική θερμότητα προσρόφησης όταν το θ τείνει στο μηδέν.

Έτσι: $\beta = \frac{RT}{\Delta H_\alpha^0 / \ln\theta}$ όπου $\ln\theta < 0$, διότι $\theta < 1$.

Η εξίσωση Freundlich προκειμένου να χρησιμοποιηθεί για την περιγραφή της προσρόφησης υγρού από στερεό υπόστρωμα τροποποιείται ως εξής:

$$\frac{x}{m} = AC^\beta \Leftrightarrow X = AC^\beta \Leftrightarrow \log X = \log A + \beta \log C \quad \text{με } 0 < \beta < 1.$$

Η εφαρμογή των πειραματικών δεδομένων στην λογαριθμοποιημένη μορφή της παραπάνω εξίσωση δίνει ευθείες με κλίση β και τομή με τον άξονα $\log X$ ίση με $\log A$. Η εξίσωση Freundlich έχει χρησιμοποιηθεί από πολλούς ερευνητές για την περιγραφή διαφόρων συστημάτων, με επιτυχία.

Εξίσωση Temkin

Η ισόθερμος αυτή είναι είναι μια παραλλαγή της ισόθερμης Langmuir και δέχεται ότι $\Delta H_\alpha = f(\theta)$, και έχει για την προσρόφηση υγρού από στερεό, τη μορφή:

$$X = \alpha + b \ln C$$

όπου $\alpha = RTX_{\max} \ln(A/B)$, $b = RTX_{\max} / B$, όπου R η παγκόσμια σταθερά των αερίων, T η απόλυτη θερμοκρασία, $A = e^{a/b}$ και B σταθερές. Οι σταθερές A και B ενέχουν όρους που καθορίζουν το σύστημα, δηλαδή την ΔH_a καθώς και τις σταθερές Arrhenius A_d και A_a (Ιωάννου Α. 2001).

8. ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗ

Επίδραση της θερμοκρασίας

Η εξάρτηση της απορρόφησης από την θερμοκρασία σχετίζεται με ποικίλες θερμοδυναμικές παραμέτρους. Για την μελέτη της θερμοδυναμικής της απορρόφησης, διεξήχθησαν μελέτες απορρόφησης σε διάφορες θερμοκρασίες. Αν η ικανότητα απορρόφησης μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας σε μια συγκεκριμένη αρχική συγκέντρωση σημαίνει ότι η απορρόφηση είναι μια εξώθερμη διαδικασία. Η μεταβολή της ελεύθερης ενέργειας υπολογίζεται από τον τύπο :

$$\Delta G^0 = -R * T * \ln K_C$$

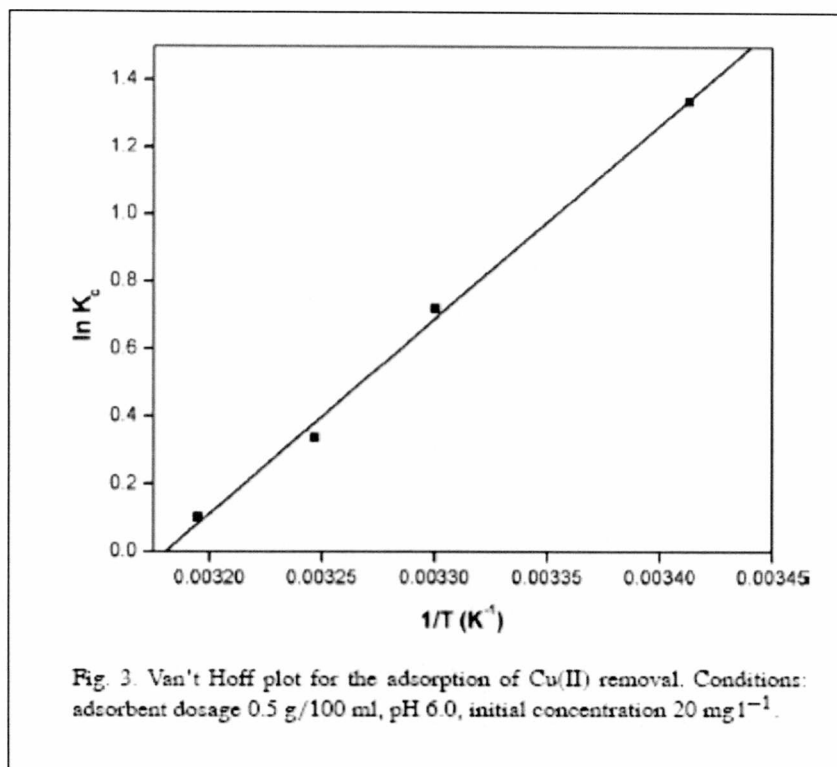
Η σταθερά ισορροπίας K_C για κάθε θερμοκρασία δίδεται από τον τύπο :

$$K_C = \frac{C_{Be}}{C_{Ae}}$$

Τα ΔH^0 και ΔS^0 υπολογίζονται από την εξίσωση του Van't Hoff:

$$\ln K_C = \frac{\Delta S^0}{R} - \frac{\Delta H^0}{RT}$$

Τα ΔH° και ΔS° υπολογίζονται από την κλίση της γραφικής παράστασης του $\ln K_c$ σε συνάρτηση με το $1/T$ όπως φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα:



Όταν οι μεταβολές της ελεύθερης ενέργειας (ΔG°) είναι αρνητικές η απορρόφηση είναι αυθόρμητη και θερμοδυναμικά ευνοϊκή. Οι αρνητικές τιμές του ΔG° σημαίνουν μεγαλύτερη κινητήρια δύναμη όσον αφορά την διαδικασία απορρόφησης. Όταν η θερμοκρασία αυξάνεται και η τιμή του ΔG° μειώνεται σημαίνει μικρότερη κινητήρια δύναμη και επομένως μικρότερη ικανότητα απορρόφησης σε υψηλότερες θερμοκρασίες.

Όταν οι τιμές του ΔH° είναι αρνητικές σημαίνει ότι η διαδικασία απορρόφησης είναι εξώθερμη στην φύση. Οι αρνητικές τιμές του ΔS° σημαίνουν υψηλότερης τάξης αντίδραση κατά την διάρκεια της απορρόφησης ενός στοιχείου από την επιφάνεια προσρόφησης.

9. ΥΛΙΚΑ και ΜΕΘΟΔΟΙ

Υλικά προσρόφησης

Γκαιτίτης

Παρασκευή γκαιτίτη από συστήματα Fe^{3+}

Για την παρασκευή του γκαιτίτη χρησιμοποιήθηκε η παρακάτω μέθοδος. Αρχικά παρασκευάστηκαν τα παρακάτω διαλύματα:

- A) 1M νιτρικού σιδήρου το οποίο παρασκευάζεται διαλύοντας ένυδρο νιτρικό σίδηρο σε δισαπεσταγμένο νερό.
- B) 5M KOH

Από το διάλυμα A λαμβάνονται 50ml και τοποθετούνται σε φιάλη από πολυαιθυλένιο χωρητικότητας ενός λίτρου και εν συνεχεία προστίθενται γρήγορα 90ml από το διάλυμα B. Αμέσως εμφανίζεται κεραμέρυθρο ίζημα. Η φιάλη συμπληρώνεται με δισαπεσταγμένο νερό μέχρι την συμπλήρωση του ενός λίτρου και αφήνεται στους 70°C για εξήντα ώρες. Κατά την διάρκεια αυτής της περιόδου το καστανέρυθρο ίζημα του σιδηρο-υδρίτη μετατρέπεται σε ένα συμπαγές ωχροκίτρινο ίζημα οξειδίου του σιδήρου.

Στη συνέχεια το ίζημα αυτό διηθείται και στη συνέχεια ξεπλένεται με δισαπεσταγμένο νερό μέχρις ότου το νερό που διηθείται να είναι εντελώς καθαρό. Το στερεό που προκύπτει από τη διήθηση αφήνεται να στεγνώσει και στη συνέχεια ομογενοποιείται με την χρήση γουδιού. Το τελικό προϊόν είναι ένα ωχροκίτρινο λεπτόκοκκο υλικό.

Ζεόλιθος

Ο ζεόλιθος που χρησιμοποιήθηκε στο πείραμα αγοράστηκε έτοιμος και προήλθε από το ορυκτό κλινοπτινόλιθο. Είχε χρώμα γκρι-γαλάζιο και ήταν σε μορφή πούδρας.

Σύστημα I.(Z-G-Y)

Για την παρασκευή του συστήματος I αρχικά προστίθεται σε φιάλη ενός λίτρου 50ml $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ και 90ml KOH και συμπληρώνουμε με δισαπεσταγμένο νερό μέχρι συμπλήρωσης ενός λίτρου. Το μείγμα αφήνεται στους 70°C για 92 ώρες. Στη συνέχεια αφαιρούνται 100ml από την φιάλη και προστίθενται 20gr ζεολίθου. Το μείγμα αφήνεται για άλλες 100 ώρες στην ίδια θερμοκρασία και στη συνέχεια διηθείται. Το διήθημα ξεπλένεται καλά για δύο μέρες και στη συνέχεια αφήνεται στο πυριαντήριο για άλλες δύο μέρες στους 40°C. Το διήθημα που προκύπτει είναι χρώματος κίτρινου.

Σύστημα II.(Z-G-R)

Για την παρασκευή του συστήματος II αρχικά ζυγίστηκαν 20gr ζεόλιθου τα οποία τοποθετήθηκαν σε φιάλη 1 λίτρου μαζί με 50ml $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ 1M και 80ml KOH 5M. Η φιάλη συμπληρώνεται με δισαπεσταγμένο νερό μέχρι την συμπλήρωση όγκου ενός λίτρου. Το σύστημα αφήνεται στους 70°C για 310 ώρες. Μετά το πέρας του καθορισμένου χρονικού διαστήματος το διάλυμα διηθείται και καθαρίζεται με δισαπεσταγμένο νερό μέχρι τελικής διαύγειας του διηθούμενου νερού. Τέλος το διήθημα αφήνεται να στεγνώσει για τρεις ημέρες στους 40°C και στη συνέχεια παραλαμβάνεται το στερεό σύστημα. Το σύστημα I έχει χρώμα καστανέρυθρο

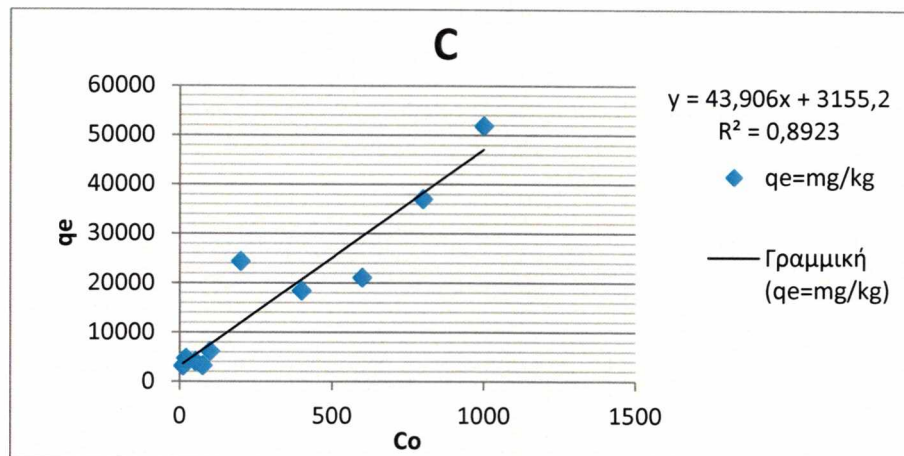
10. Διαδικασία Πειράματος

Αρχικά ζυγίστηκαν 0,07 gr. ζεόλιθου και τοποθετήθηκαν σε κάθε ένα από τα 10 πλαστικά φιαλίδια των 30 ml. Το ίδιο πραγματοποιήθηκε και για τον Γκαιτίτη και τα Συστήματα I, II και λοιπα. Σε κάθε δεκάδα ουσίας (Ζεολίθου- Αιματίτη- Ανθρακα- Αιματιτη/Ζεολιθου- Γκαιτίτη- Σύστημα I- Σύστημα II), προστέθηκαν ανά φιαλίδιο 0 ml, 1 ml, 2 ml, 7 ml, 10 ml, 14 ml, 15ml, 17ml ,20ml και 30ml από το πρότυπο διάλυμα

11. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

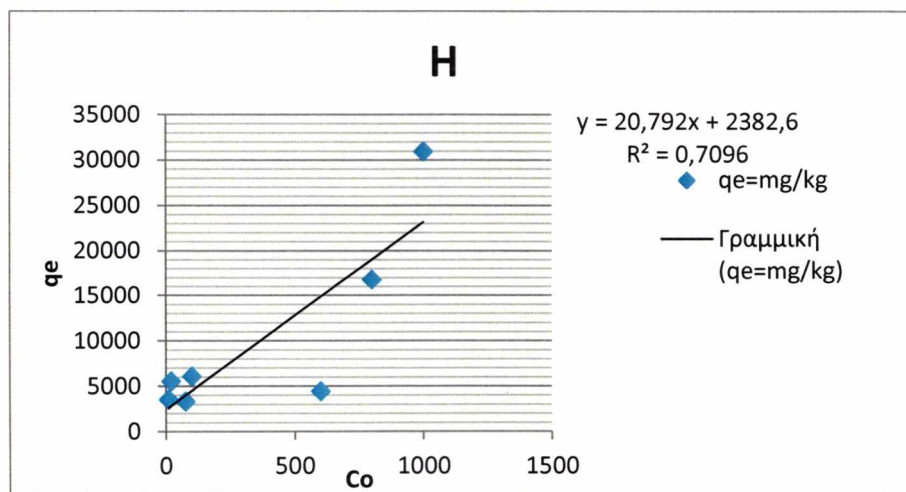
Προσρόφηση χαλκού από τα επτά εδαφοβελτιωτικά

Προσρόφηση χαλκού από τα 7 εδαφοβελτιωτικά: όταν η θερμοκρασία είναι 25°C



Διαγραμμα. Η προσρόφηση του Cu από το C (σε mg/kg) σε συνάρτηση με την αρχική συγκέντρωση Cu (mg/l) στο διάλυμα στους 25 °C.

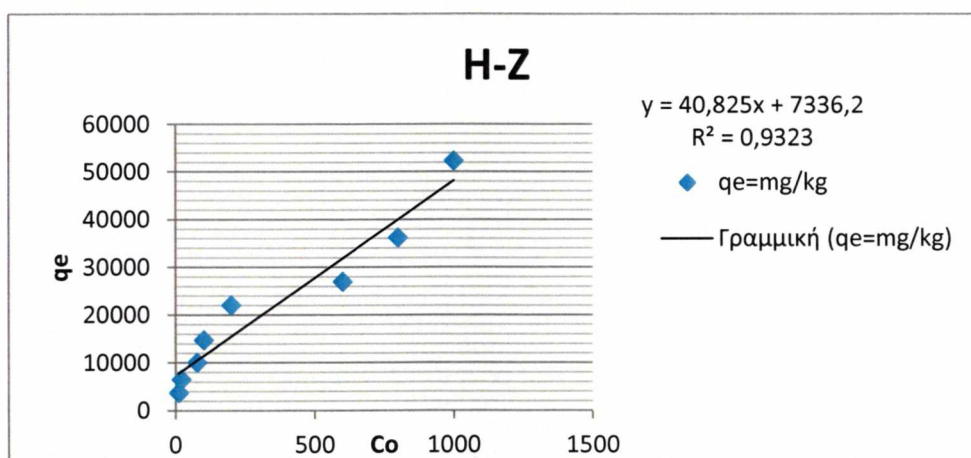
Από το διάγραμμα προκύπτει ότι η προσρόφησης του Cu(mg/kg) από το C αυξάνεται καθώς αυξάνεται η αρχική συγκέντρωση του Cu(mg/l) στο διάλυμα στην εξίσωση που περιγράφει την προσρόφηση σε σχέση με την αρχική συγκέντρωση.



Διαγραμμα. Η προσρό

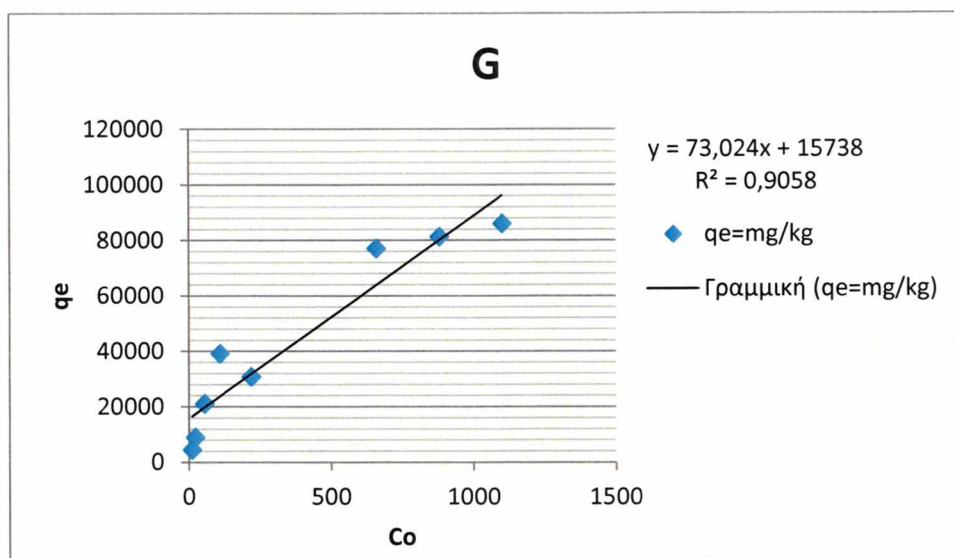
φηση του Cu από το H(σε mg/kg) σε συνάρτηση με την αρχική συγκέντρωση Cu (mg/l) στο διάλυμα στους 25 °C.

Από το διάγραμμα προκύπτει ότι η προσρόφησης του Cu(mg/kg) από το H αυξάνει γραμμικά καθώς αυξάνει η αρχική συγκέντρωση του Cu(mg/l) στο διάλυμα . επίσης βλέπουμε την εξίσωση που περιγράφει την προσρόφηση σε σχέση με την αρχική συγκέντρωση.



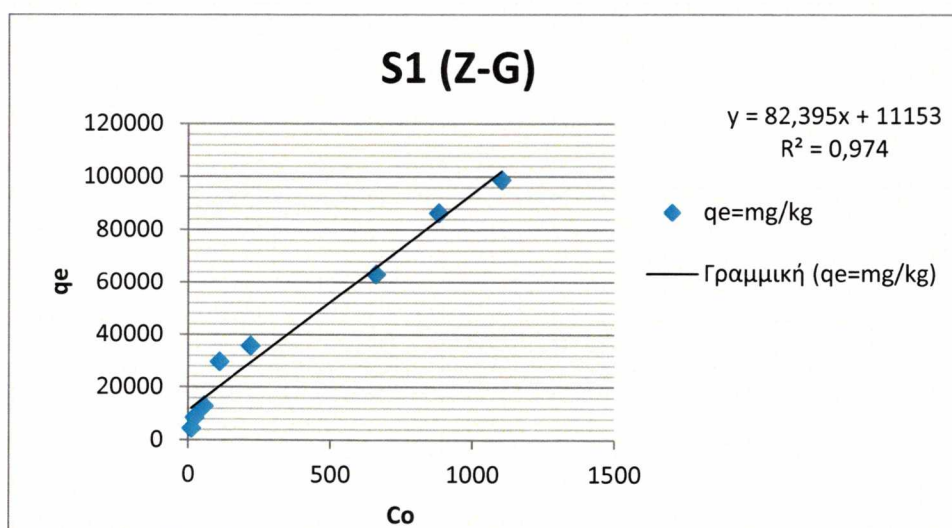
Διαγραμμα. Η προσρόφηση του Cu από το H-Z(σε mg/kg) σε συνάρτηση με την αρχική συγκέντρωση Cu (mg/l) στο διάλυμα στους 25 °C.

Από το διάγραμμα προκύπτει ότι η προσρόφησης του Cu(mg/kg) από το H-Z αυξάνει γραμμικά καθώς αυξάνει η αρχική συγκέντρωση του Cu(mg/l) στο διάλυμα . επίσης βλέπουμε την εξίσωση που περιγράφει την προσρόφηση σε σχέση με την αρχική συγκέντρωση.



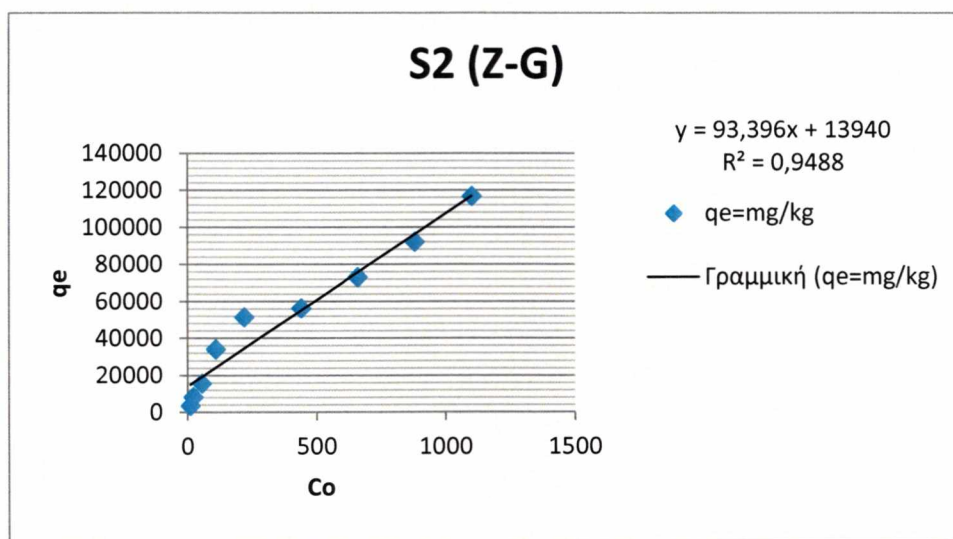
Διαγραμμα. Η προσρόφηση του Cu από το G (σε mg/kg) σε συνάρτηση με την αρχική συγκέντρωση Cu (mg/l) στο διάλυμα στους 25 °C.

Από το διάγραμμα προκύπτει ότι η προσρόφησης του Cu(mg/kg) από το G αυξάνει γραμμικά καθώς αυξάνει η αρχική συγκέντρωση του Cu(mg/l) στο διάλυμα . επίσης βλέπουμε την εξίσωση που περιγράφει την προσρόφηση σε σχέση με την αρχική συγκέντρωση.



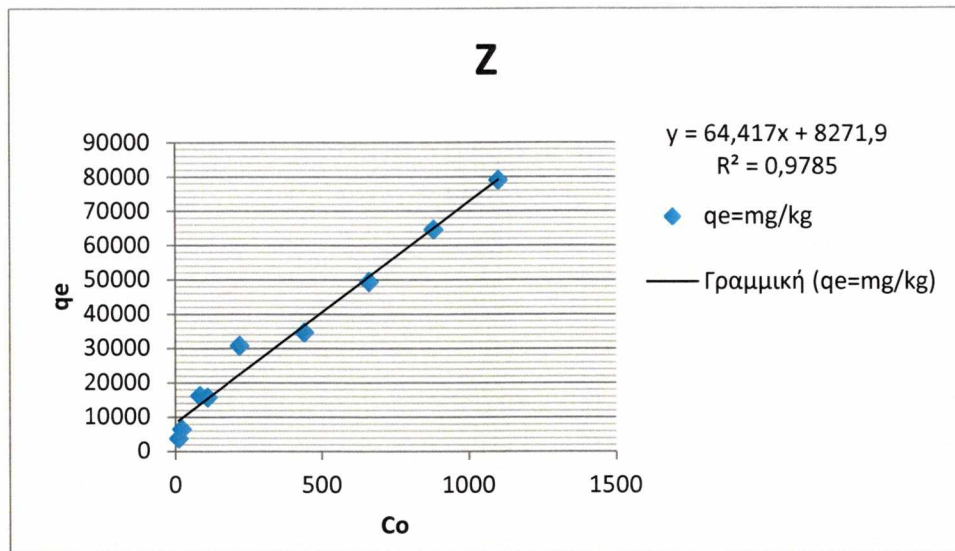
Διάγραμμα. Η προσρόφηση του Cu από το S1(σε mg/kg) σε συνάρτηση με την αρχική συγκέντρωση Cu (mg/l) στο διάλυμα στους 25 °C.

Από το διάγραμμα προκύπτει ότι η προσρόφησης του Cu(mg/kg) από το S1 αυξάνει γραμμικά καθώς αυξάνει η αρχική συγκέντρωση του Cu(mg/l) στο διάλυμα . επίσης βλέπουμε την εξίσωση που περιγράφει την προσρόφηση σε σχέση με την αρχική συγκέντρωση.



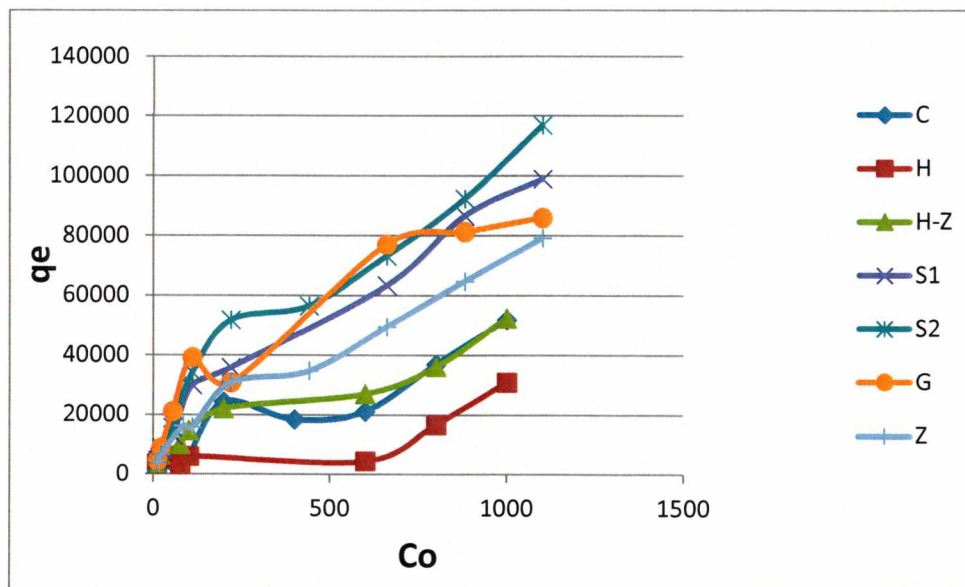
Διάγραμμα. Η προσρόφηση του χαλκου από το σύστημα II(σε mg/kg Z-G-R) σε συνάρτηση με την αρχική συγκέντρωση χαλκου (mg/l) στο διάλυμα στους 25 °C.

Από το διάγραμμα προκύπτει ότι η προσρόφησης του χαλκου(mg/kg) από το Σύστημα II Z-G-R αυξάνει γραμμικά καθώς αυξάνει η αρχική συγκέντρωση του χαλκου(mg/l) στο διάλυμα από.



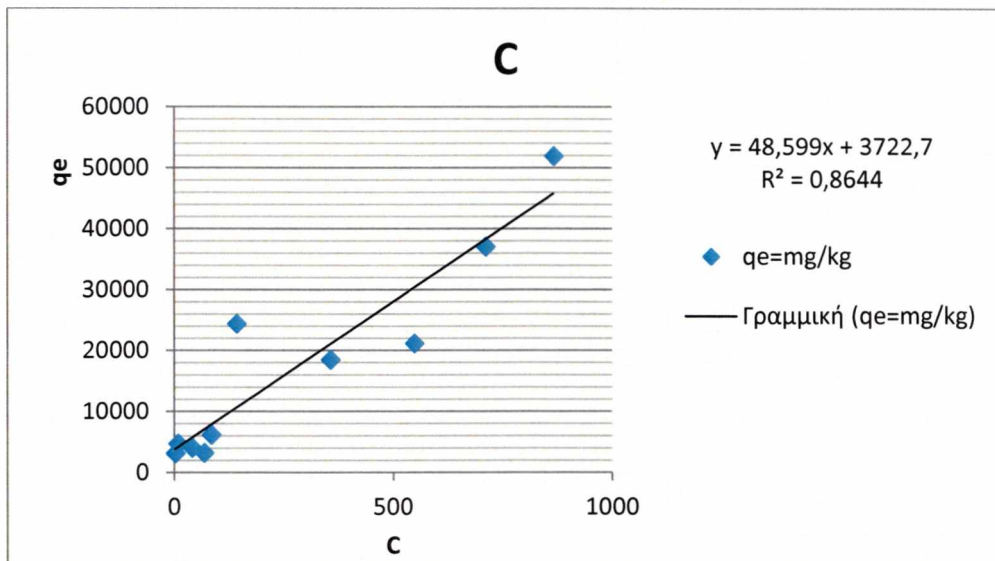
Διάγραμμα. Η προσρόφηση του χαλκού από το Z (σε mg/kg Z-G-R) σε συνάρτηση με την αρχική συγκέντρωση χαλκού (mg/l) στο διάλυμα στους 25 °C.

Από το διάγραμμα προκύπτει ότι η προσρόφησης του χαλκού (mg/kg) από το Z αυξάνει γραμμικά καθώς αυξάνει η αρχική συγκέντρωση του χαλκού (mg/l) στο διάλυμα από.



Διάγραμμα. Η προσρόφηση του Cu από το σύστημα I, II, ζεόλιθο και γκαιτίτη, αιματίτη, αιματίτη-ζεόλιθο και άνθρακα (σε mg/kg) σε συνάρτηση με την αρχική συγκέντρωση Cu (mg/l) στο διάλυμα στους 25 °C.

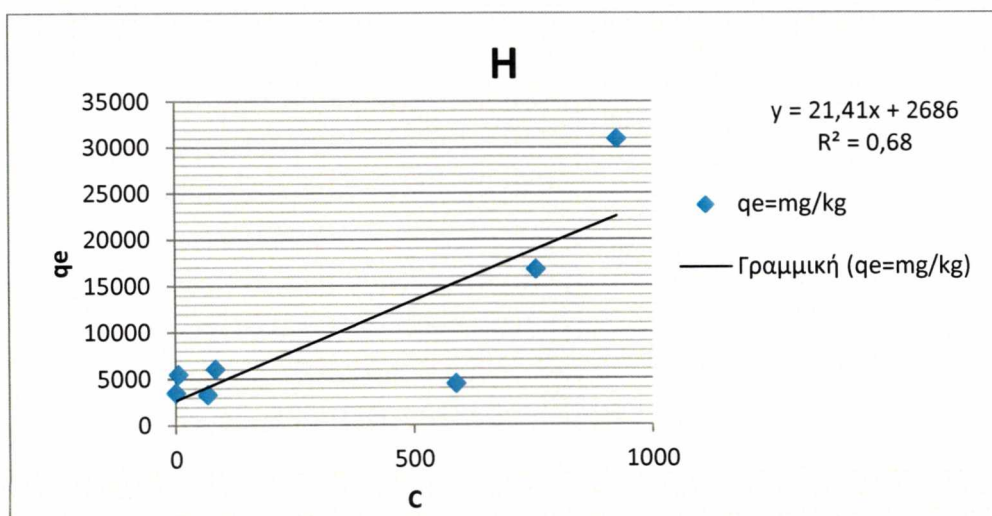
Από το διάγραμμα προκύπτει ότι ο G και το συστημα II παρουσιάζουν την μεγαλύτερη προσρόφηση Cu για αρχική συγκέντρωση Cu. Στην τεική ευθεία τερματίζουν πρώτοι σε προσρόφηση όμως το σύστημα I και II και ακολουθεί ο Γκαιτίτης G και ο Ζεόλιθος Z αντίστοιχα.



Διάγραμμα

Η προσρόφηση του Cu από το C (σε mg/kg) σε συνάρτηση με την συγκέντρωση Cu (mg/l) στην ισορροπία.

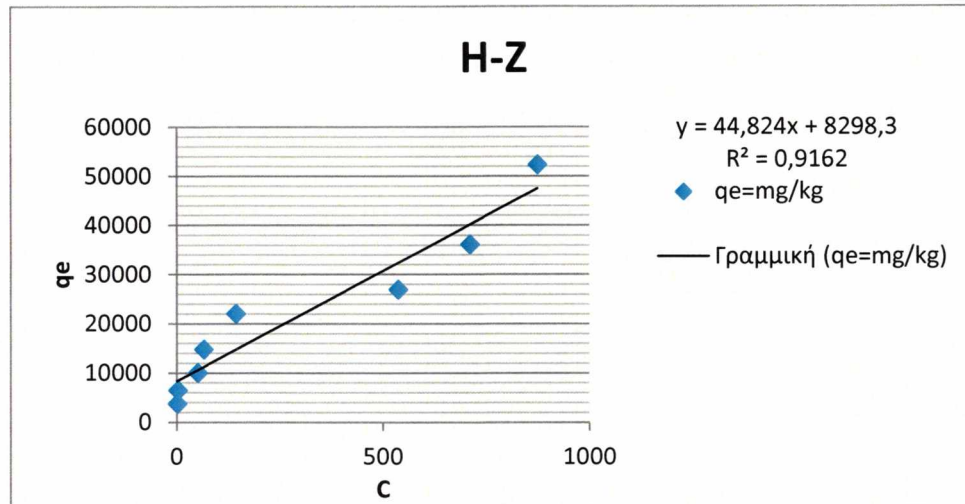
Στο διάγραμμα παρατηρούμε ότι η προσρόφησης του Cu (mg/kg) από το C αυξάνεται γραμμικά καθώς αυξάνεται η συγκέντρωση του Cu (mg/l) στην ισορροπία από 2,411994 mg/l σε 865,6128 mg/l.



Διάγραμμα

Η προσρόφηση του Cu από το H(σε mg/kg) σε συνάρτηση με την συγκέντρωση Cu (mg/l) στην ισορροπία.

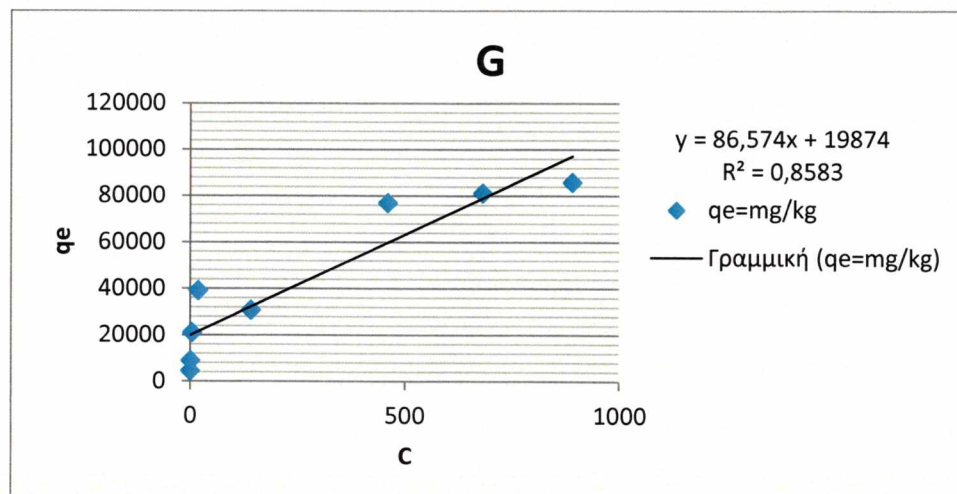
Στο διάγραμμα παρατηρούμε ότι η προσρόφησης του Cu(mg/kg) από το H αυξάνεται γραμμικά καθώς αυξάνεται η συγκέντρωση του Cu(mg/l) στην ισορροπία από 1,082016 mg/l σε 926,4762 mg/l .



Διάγραμμα

Η προσρόφηση του Cu από το H-Z(σε mg/kg) σε συνάρτηση με την συγκέντρωση Cu (mg/l) στην ισορροπία.

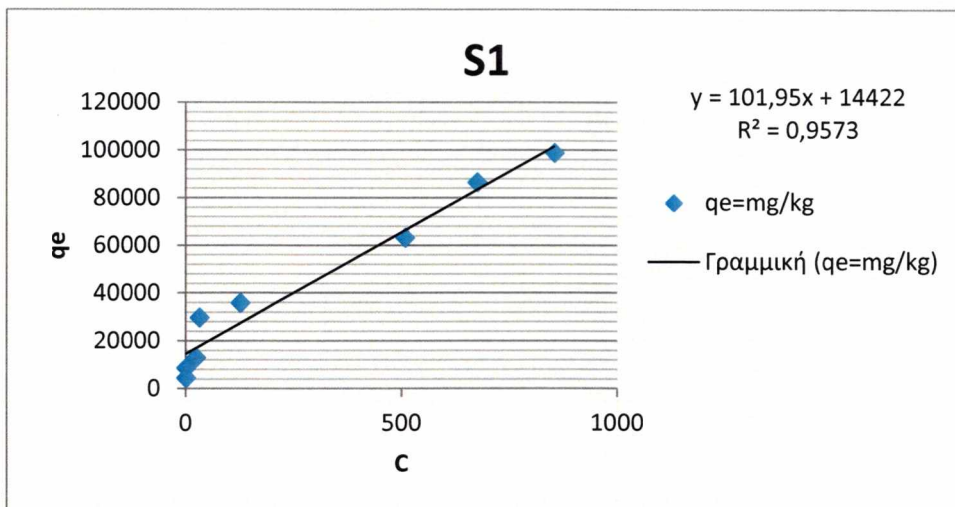
Στο διάγραμμα παρατηρούμε ότι η προσρόφησης του Cu(mg/kg) από το H-Z αυξάνεται γραμμικά καθώς αυξάνεται η συγκέντρωση του Cu(mg/l) στην ισορροπία .



Διάγραμμα

Η προσρόφιση του Cu από το G(σε mg/kg) σε συνάρτηση με την συγκέντρωση Cu (mg/l) στην ισορροπία.

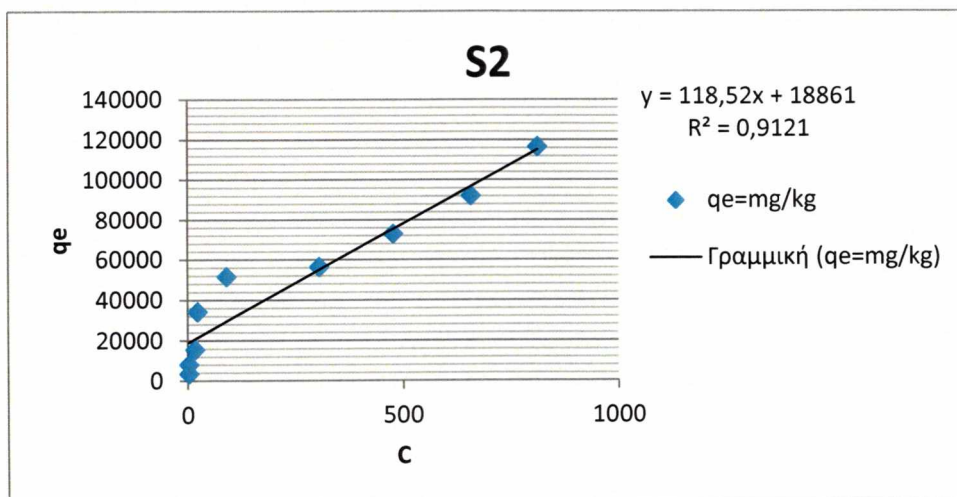
Στο διάγραμμα παρατηρούμε ότι η προσρόφισης του Cu(mg/kg) από το G αυξάνεται γραμμικά καθώς αυξάνεται η συγκέντρωση του Cu(mg/l) στην ισορροπία



Διάγραμμα

Η προσρόφιση του Cu από το S1(σε mg/kg) σε συνάρτηση με την συγκέντρωση Cu (mg/l) στην ισορροπία.

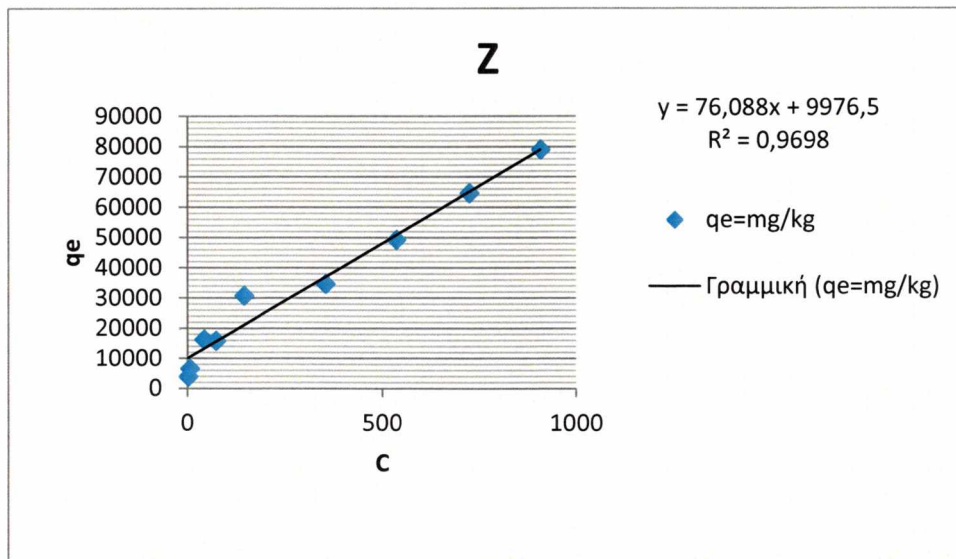
Στο διάγραμμα παρατηρούμε ότι η προσρόφισης του Cu(mg/kg) από το S1 αυξάνεται γραμμικά καθώς αυξάνεται η συγκέντρωση του Cu(mg/l) στην ισορροπία



Διάγραμμα

Η προσρόφηση του Cu από το S2(σε mg/kg) σε συνάρτηση με την συγκέντρωση Cu (mg/l) στην ισορροπία.

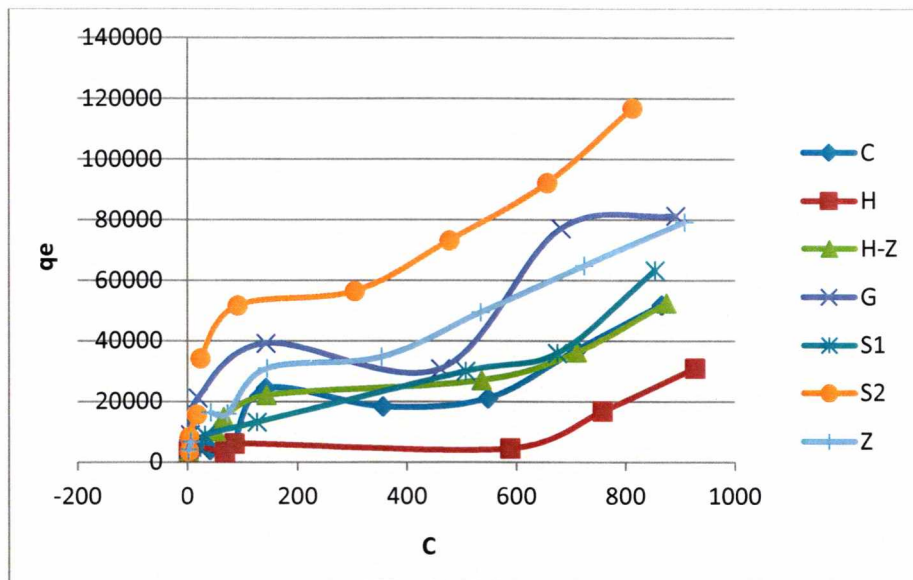
Στο διάγραμμα παρατηρούμε ότι η προσρόφησης του Cu(mg/kg) από το S2 αυξάνεται γραμμικά καθώς αυξάνεται η συγκέντρωση του Cu(mg/l) στην ισορροπία



Διάγραμμα

Η προσρόφηση του Cu από το Z(σε mg/kg) σε συνάρτηση με την συγκέντρωση Cu (mg/l) στην ισορροπία.

Στο διάγραμμα παρατηρούμε ότι η προσρόφησης του Cu(mg/kg) από το Z αυξάνεται γραμμικά καθώς αυξάνεται η συγκέντρωση του Cu(mg/l) στην ισορροπία

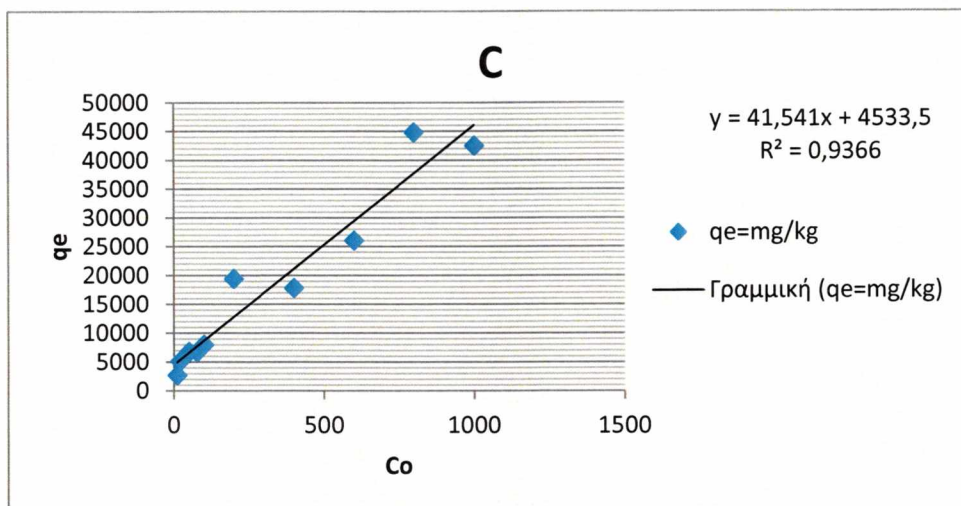


Διάγραμμα

Η προσρόφηση Cu (σε mg/kg) σε συνάρτηση με την συγκέντρωση Cu (mg/l) στην ισορροπία στους 25 °C.

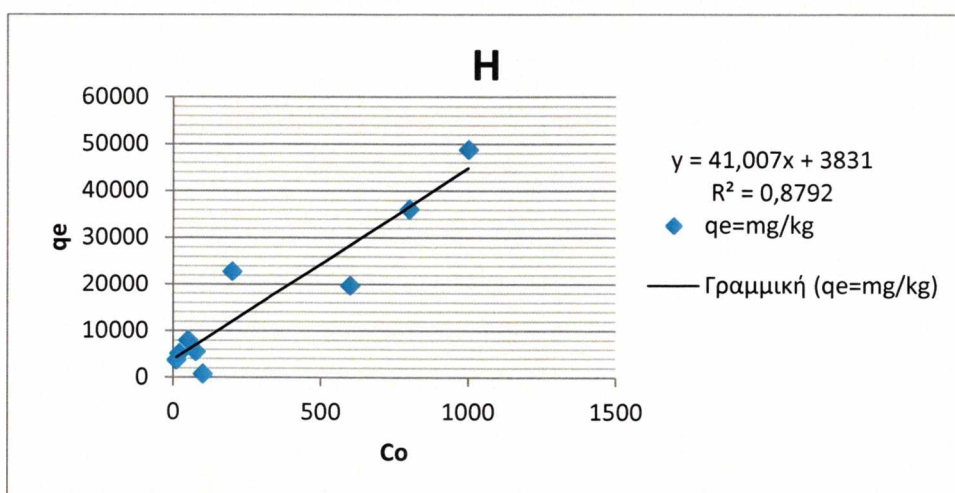
Στο διάγραμμα παρατηρούμε ότι το Σύστημα II (Z-G-R) παρουσιάζει την καλύτερη προσρόφηση Cu στην ισορροπία. Στην συνέχεια ακολουθεί ο Ζεόλιθος Z και ο Γκαιοίτης G αντίστοιχα. Στην περίπτωση βελτίωσης ενός μολυσμένου από χαλκό υδατικό διάλυμα, επιλέγεται η χρήση του Ζεόλιθου καθώς είναι το φθηνότερο υλικό από τα μελετηθέντα. Αν η συγκέντρωση του χαλκού είναι πολύ υψηλή και επιβάλλεται άμεση παρέμβαση τότε επιλέγεται η χρήση του συστήματος II καθώς παρουσιάζει την μεγαλύτερη και ταχύτερη προσρόφηση έναντι των άλλων δύο αν και είναι φθηνότερο του γκαιοίτη αλλά ακριβότερο του ζεόλιθου.

Προσρόφηση Cu από τα 7 εδαφοβελτιωτικά: όταν η θερμοκρασία είναι 40°C



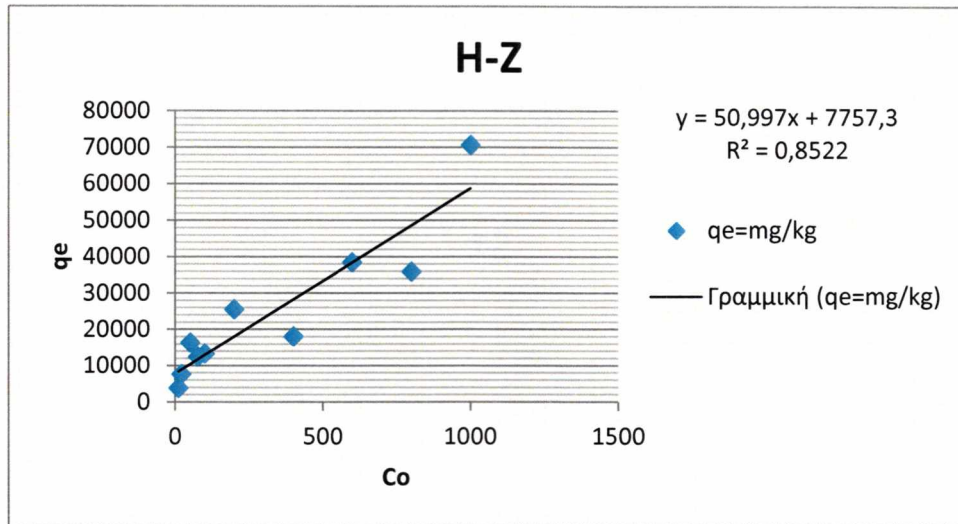
Διαγραμμα. Η προσρόφηση του Cu από το C (σε mg/kg) σε συνάρτηση με την αρχική συγκέντρωση Cu (mg/l) στο διάλυμα στους 40 °C.

Από το διάγραμμα προκύπτει ότι η προσρόφησης του Cu(mg/kg) από το C αυξάνεται καθώς αυξάνεται η αρχική συγκέντρωση του Cu(mg/l) στο διάλυμα συν την εξίσωση που περιγράφει την προσρόφηση σε σχέση με την αρχική συγκέντρωση.



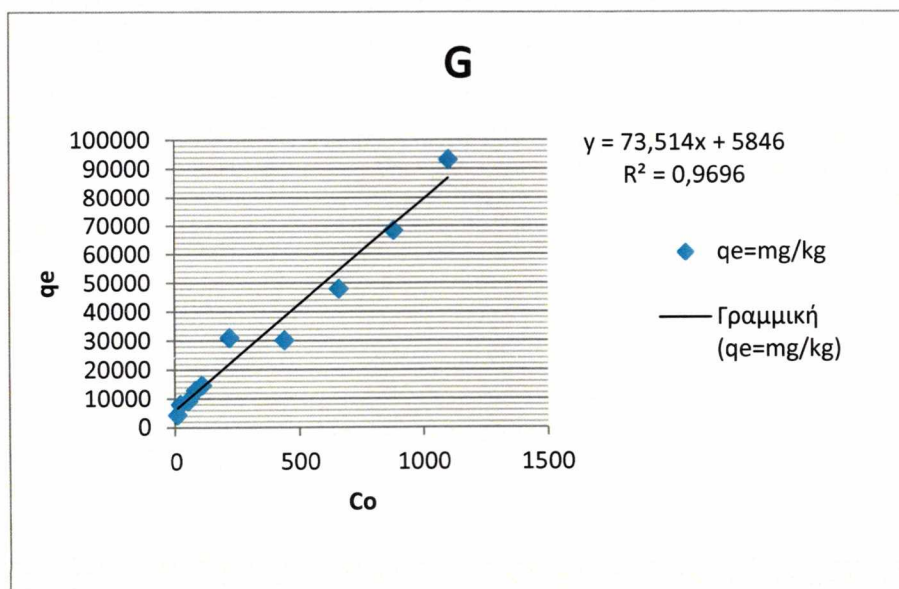
Διαγραμμα. Η προσρόφηση του Cu από το H (σε mg/kg) σε συνάρτηση με την αρχική συγκέντρωση Cu (mg/l) στο διάλυμα.

Από το διάγραμμα προκύπτει ότι η προσρόφησης του Cu(mg/kg) από το Η αυξάνεται καθώς αυξάνεται η αρχική συγκέντρωση του Cu(mg/l) στο διάλυμα συν την εξίσωση που περιγράφει την προσρόφηση σε σχέση με την αρχική συγκέντρωση.



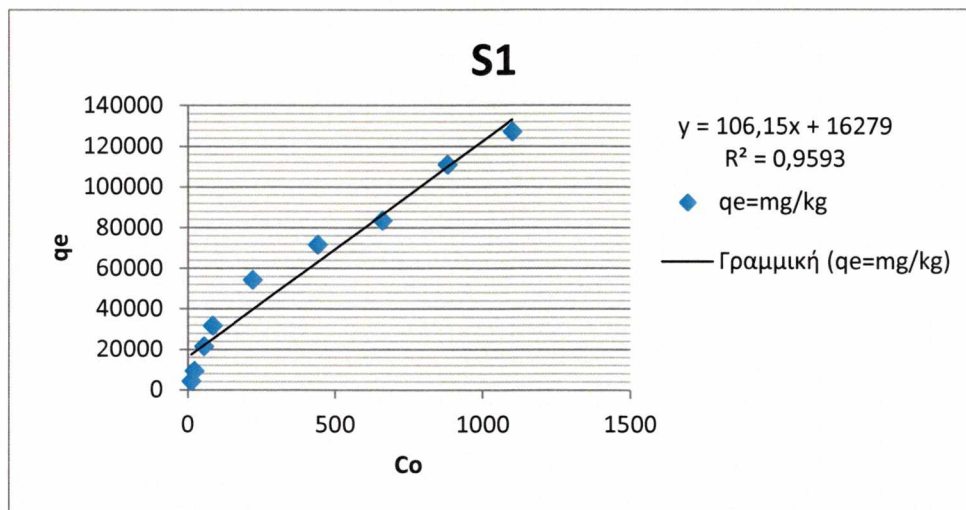
Διαγραμμα. Η προσρόφηση του Cu από το Η-Z (σε mg/kg) σε συνάρτηση με την αρχική συγκέντρωση Cu (mg/l) στο διάλυμα.

Από το διάγραμμα προκύπτει ότι η προσρόφησης του Cu(mg/kg) από το Η-Z αυξάνεται καθώς αυξάνεται η αρχική συγκέντρωση του Cu(mg/l) στο διάλυμα συν την εξίσωση που περιγράφει την προσρόφηση σε σχέση με την αρχική συγκέντρωση.



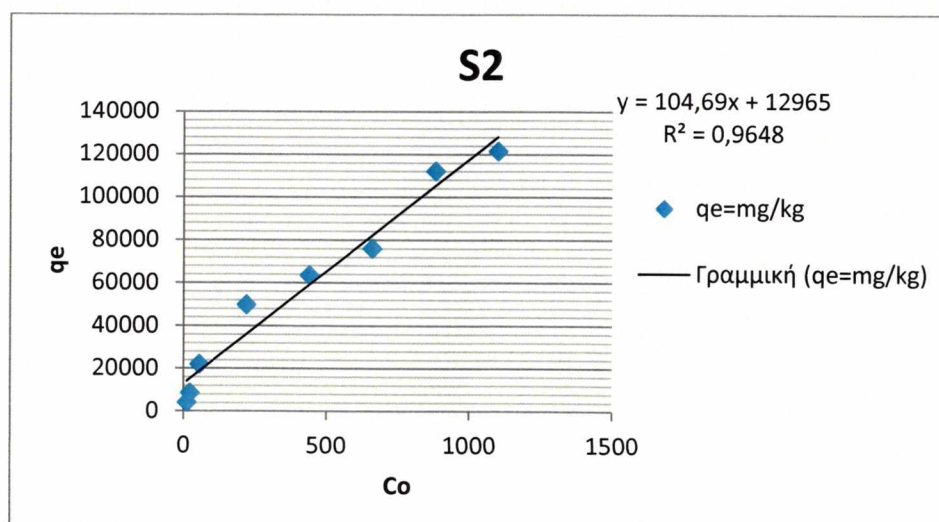
Διαγραμμα. Η προσρόφηση του Cu από το G (σε mg/kg) σε συνάρτηση με την αρχική συγκέντρωση Cu (mg/l) στο διάλυμα.

Από το διάγραμμα προκύπτει ότι η προσρόφησης του Cu(mg/kg) από το G αυξάνεται καθώς αυξάνεται η αρχική συγκέντρωση του Cu(mg/l) στο διάλυμα συν την εξίσωση που περιγράφει την προσρόφηση σε σχέση με την αρχική συγκέντρωση.



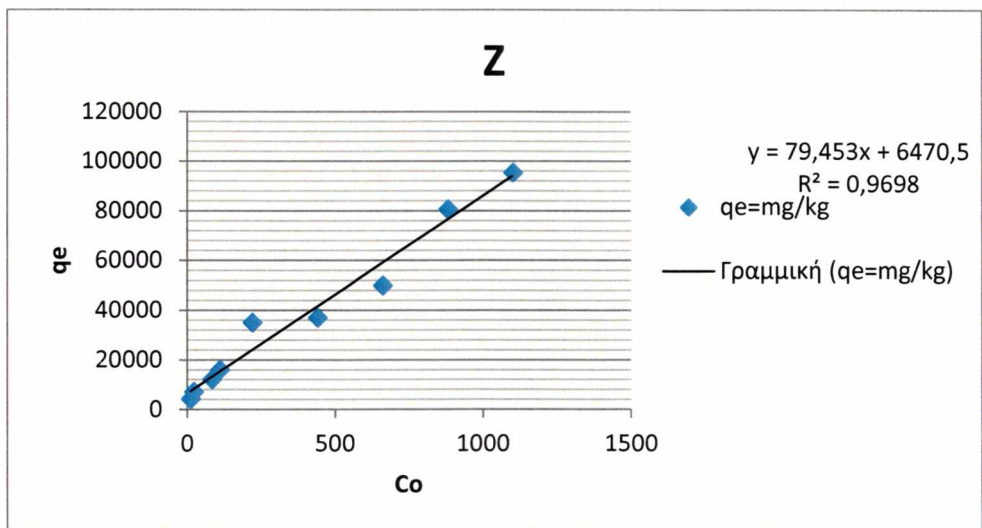
Διαγραμμα. Η προσρόφηση του Cu από το S1 (σε mg/kg) σε συνάρτηση με την αρχική συγκέντρωση Cu (mg/l) στο διάλυμα.

Από το διάγραμμα προκύπτει ότι η προσρόφησης του Cu(mg/kg) από το S1 αυξάνεται καθώς αυξάνεται η αρχική συγκέντρωση του Cu(mg/l) στο διάλυμα συν την εξίσωση που περιγράφει την προσρόφηση σε σχέση με την αρχική συγκέντρωση.



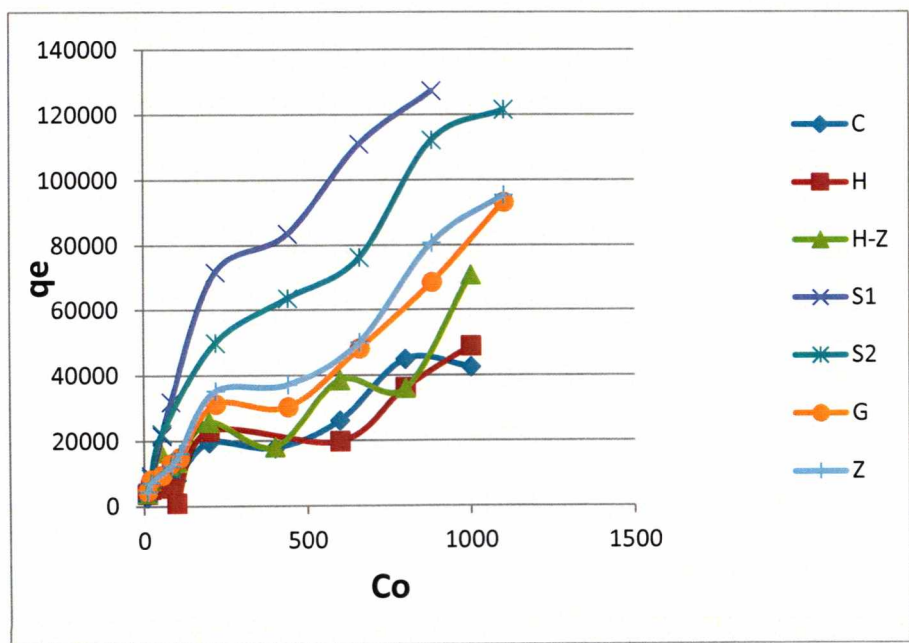
Διαγραμμα. Η προσρόφηση του Cu από το S2 (σε mg/kg) σε συνάρτηση με την αρχική συγκέντρωση Cu (mg/l) στο διάλυμα στους 40 °C.

Από το διάγραμμα προκύπτει ότι η προσρόφησης του Cu(mg/kg) από το S2 αυξάνεται καθώς αυξάνεται η αρχική συγκέντρωση του Cu(mg/l) στο διάλυμα συν την εξίσωση που περιγράφει την προσρόφηση σε σχέση με την αρχική συγκέντρωση.



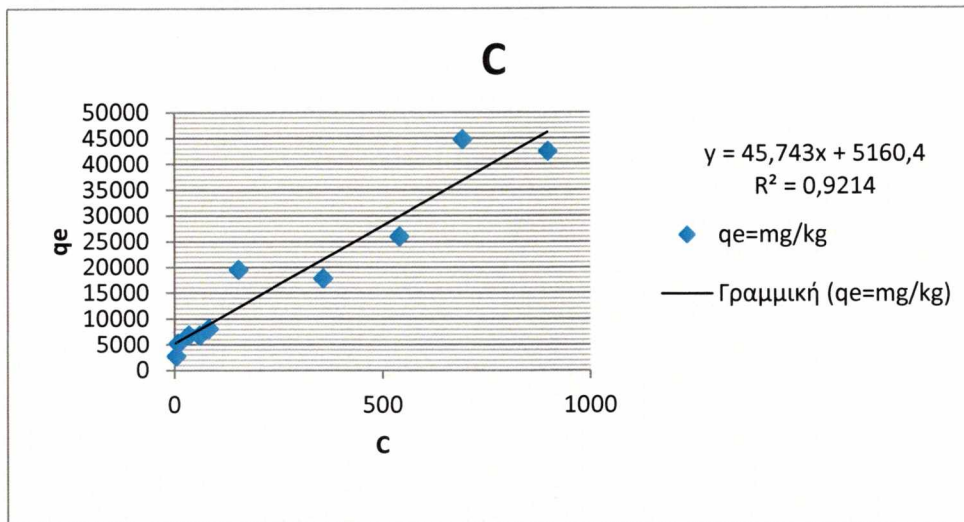
Διαγραμμα. Η προσρόφηση του Cu από το Z (σε mg/kg) σε συνάρτηση με την αρχική συγκέντρωση Cu (mg/l) στο διάλυμα στους 40 °C.

Από το διάγραμμα προκύπτει ότι η προσρόφησης του Cu(mg/kg) από το Z αυξάνεται καθώς αυξάνεται η αρχική συγκέντρωση του Cu(mg/l) στο διάλυμα συν την εξίσωση που περιγράφει την προσρόφηση σε σχέση με την αρχική συγκέντρωση.



Διάγραμμα. Η προσρόφηση του Cu από το σύστημα I , II, ζεόλιθο και γκαιτίτη, αιματίτη, αιματίτη-ζεόλιθο και άνθρακα (σε mg/kg) σε συνάρτηση με την αρχική συγκέντρωση Cu (mg/l) στο διάλυμα στους 40 °C.

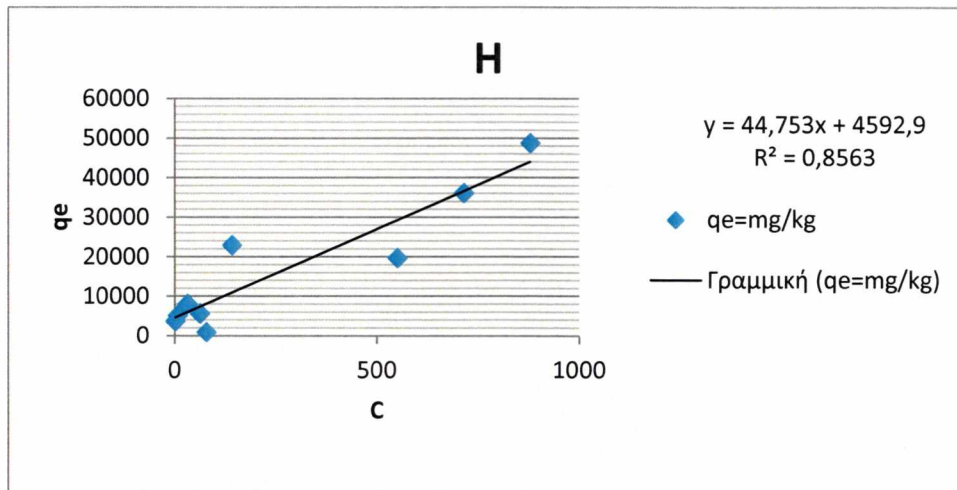
Από το διάγραμμα προκύπτει ότι S1 και συστημα II παρουσιάζουν την μεγαλύτερη προσρόφηση Cu για αρχική συγκέντρωση Cu.



Διάγραμμα

Η προσρόφηση του Cu από το C(σε mg/kg) σε συνάρτηση με την συγκέντρωση Cu (mg/l) στην ισορροπία.

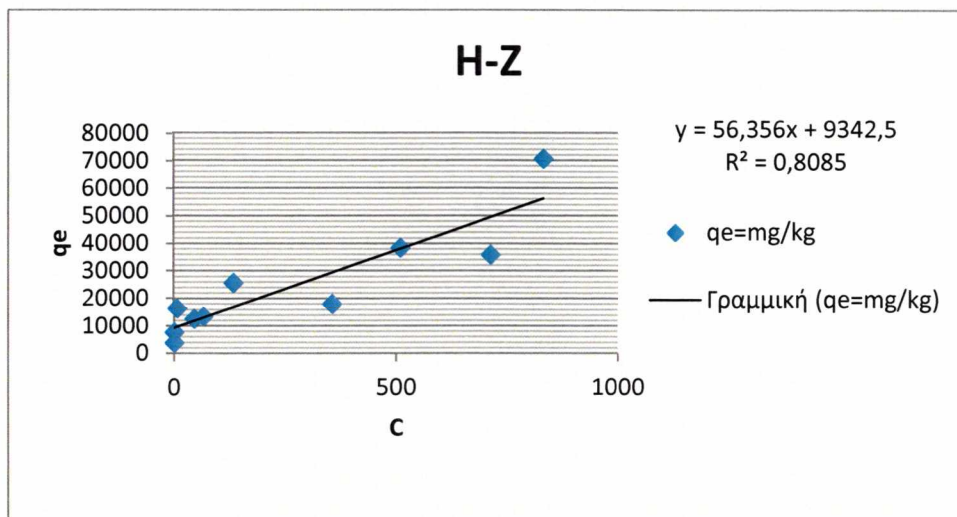
Στο διάγραμμα παρατηρούμε ότι η προσρόφησης του Cu(mg/kg) από το C αυξάνεται γραμμικά καθώς αυξάνεται η συγκέντρωση του Cu(mg/l) στην ισορροπία.



Διάγραμμα

Η προσρόφιση του Cu από το Η(σε mg/kg) σε συνάρτηση με την συγκέντρωση Cu (mg/l) στην ισορροπία.

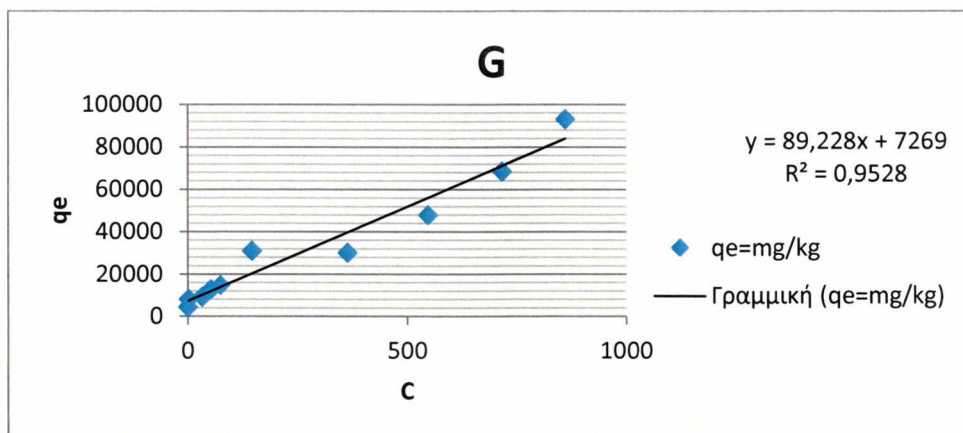
Στο διάγραμμα παρατηρούμε ότι η προσρόφισης του Cu(mg/kg) από το Η αυξάνεται γραμμικά καθώς αυξάνεται η συγκέντρωση του Cu(mg/l) στην ισορροπία.



Διάγραμμα

Η προσρόφιση του Cu από το Η-Z(σε mg/kg) σε συνάρτηση με την συγκέντρωση Cu (mg/l) στην ισορροπία.

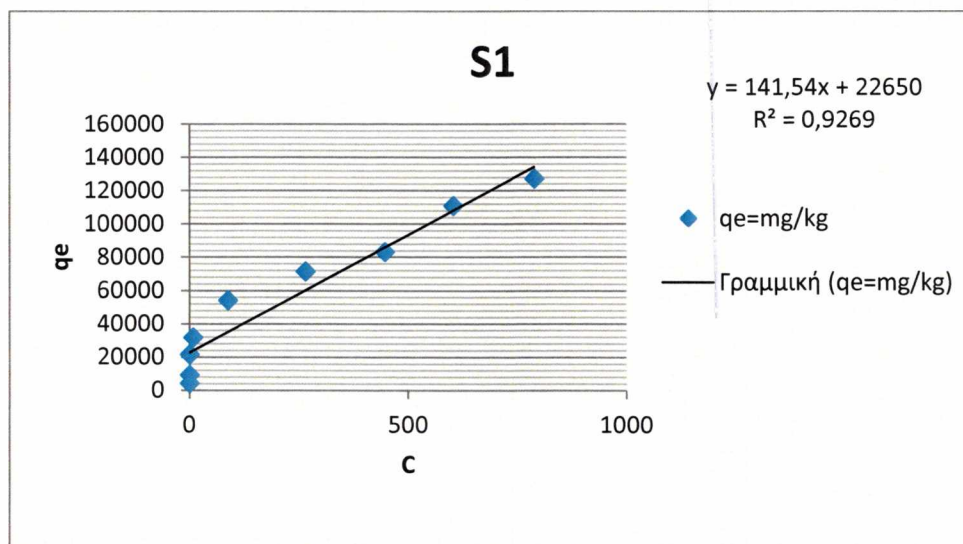
Στο διάγραμμα παρατηρούμε ότι η προσρόφισης του Cu(mg/kg) από το Η-Z αυξάνεται γραμμικά καθώς αυξάνεται η συγκέντρωση του Cu(mg/l) στην ισορροπία.



Διάγραμμα

Η προσρόφιση του Cu από το G(σε mg/kg) σε συνάρτηση με την συγκέντρωση Cu (mg/l) στην ισορροπία.

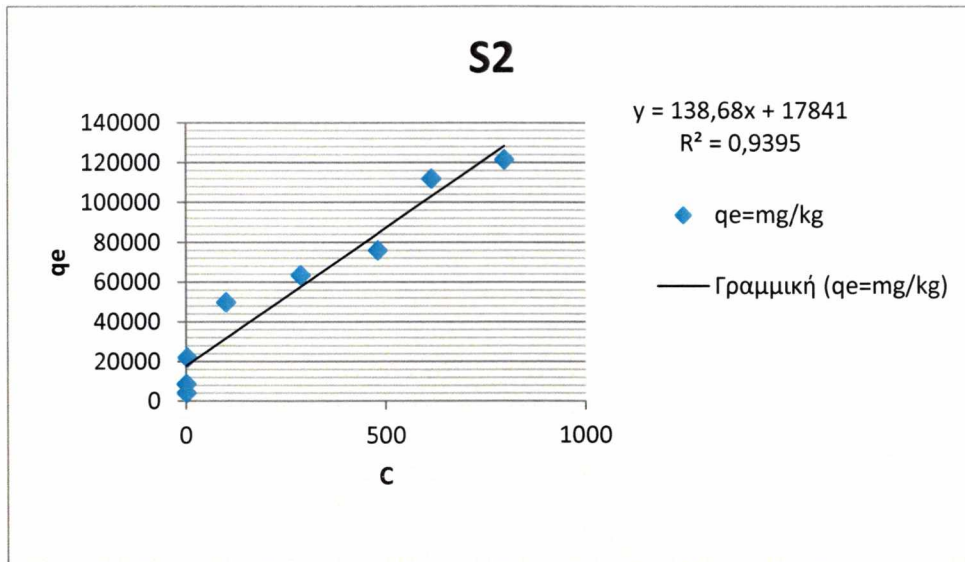
Στο διάγραμμα παρατηρούμε ότι η προσρόφισης του Cu(mg/kg) από το G αυξάνεται γραμμικά καθώς αυξάνεται η συγκέντρωση του Cu(mg/l) στην ισορροπία.



Διάγραμμα

Η προσρόφιση του Cu από το S1(σε mg/kg) σε συνάρτηση με την συγκέντρωση Cu (mg/l) στην ισορροπία.

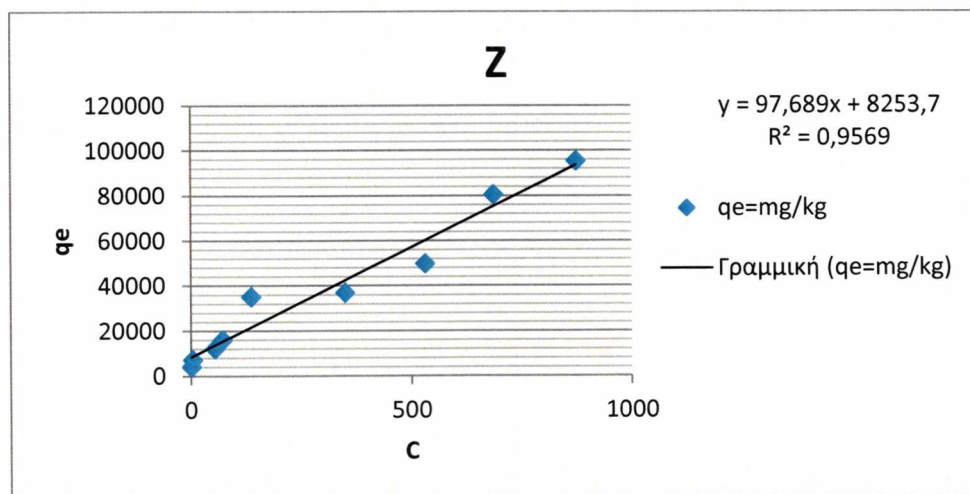
Στο διάγραμμα παρατηρούμε ότι η προσρόφισης του Cu(mg/kg) από το S1 αυξάνεται γραμμικά καθώς αυξάνεται η συγκέντρωση του Cu(mg/l) στην ισορροπία.



Διάγραμμα

Η προσρόφιση του Cu από το S2(σε mg/kg) σε συνάρτηση με την συγκέντρωση Cu (mg/l) στην ισορροπία.

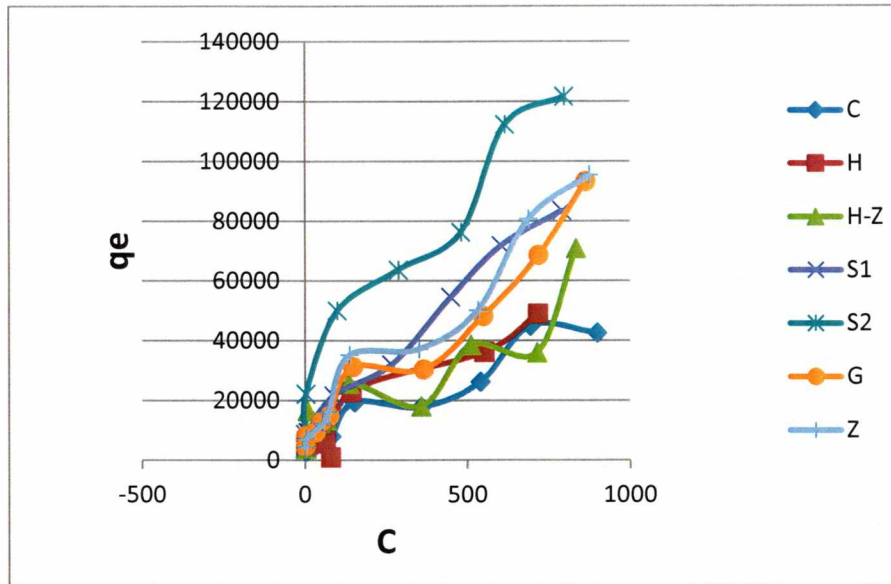
Στο διάγραμμα παρατηρούμε ότι η προσρόφισης του Cu(mg/kg) από το S2 αυξάνεται γραμμικά καθώς αυξάνεται η συγκέντρωση του Cu(mg/l) στην ισορροπία.



Διάγραμμα

Η προσρόφιση του Cu από το Z(σε mg/kg) σε συνάρτηση με την συγκέντρωση Cu (mg/l) στην ισορροπία.

Στο διάγραμμα παρατηρούμε ότι η προσρόφισης του Cu(mg/kg) από το Z αυξάνεται γραμμικά καθώς αυξάνεται η συγκέντρωση του Cu(mg/l) στην ισορροπία.

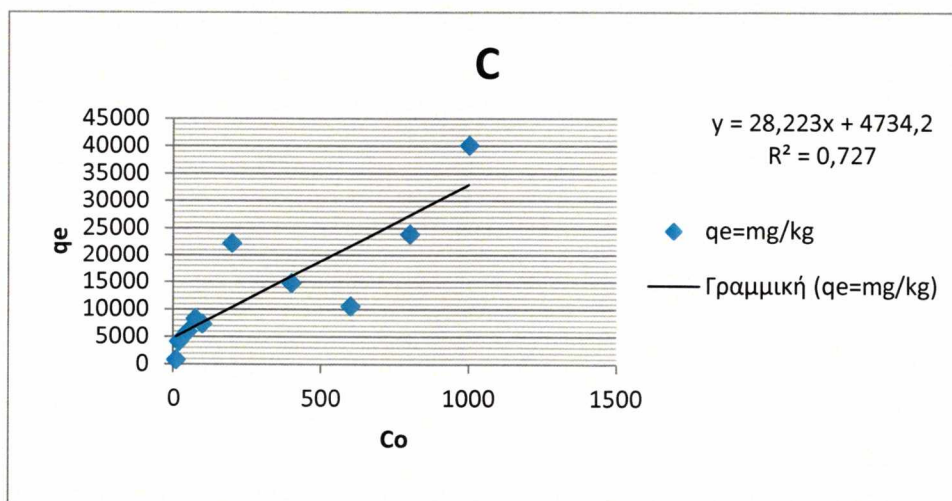


Διάγραμμα

Η προσρόφηση Cu (σε mg/kg) σε συνάρτηση με την συγκέντρωση Cu (mg/l) στην ισορροπία στους 40 °C.

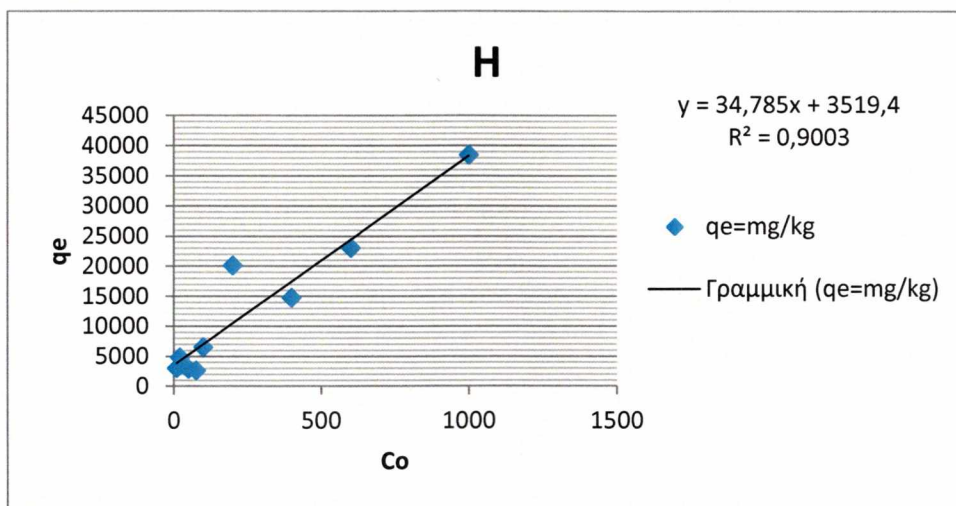
Στο διάγραμμα παρατηρούμε ότι το Σύστημα II παρουσιάζει την καλύτερη προσρόφηση Cu στην ισορροπία. Στην συνέχεια ακολουθεί συστημα I και ζεόλιθος .

Προσρόφηση Cu από τα 7 εδαφοβελτιωτικά: όταν η θερμοκρασία είναι 60°C



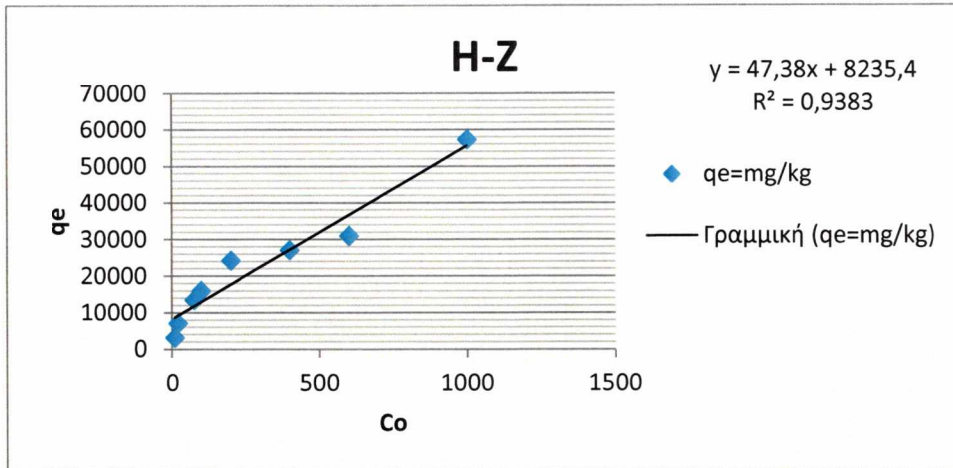
Διαγραμμα. Η προσρόφιση του Cu από το C(σε mg/kg) σε συνάρτηση με την αρχική συγκέντρωση Cu (mg/l) στο διάλυμα στους 60 °C.

Από το διάγραμμα προκύπτει ότι η προσρόφισης του Cu(mg/kg) από το C αυξάνει γραμμικά καθώς αυξάνεται η αρχική συγκέντρωση του Cu(mg/l) στο διάλυμα . Επίσης βλέπουμε την εξίσωση που περιγράφει την προσρόφιση σε σχέση με την αρχική συγκέντρωση.



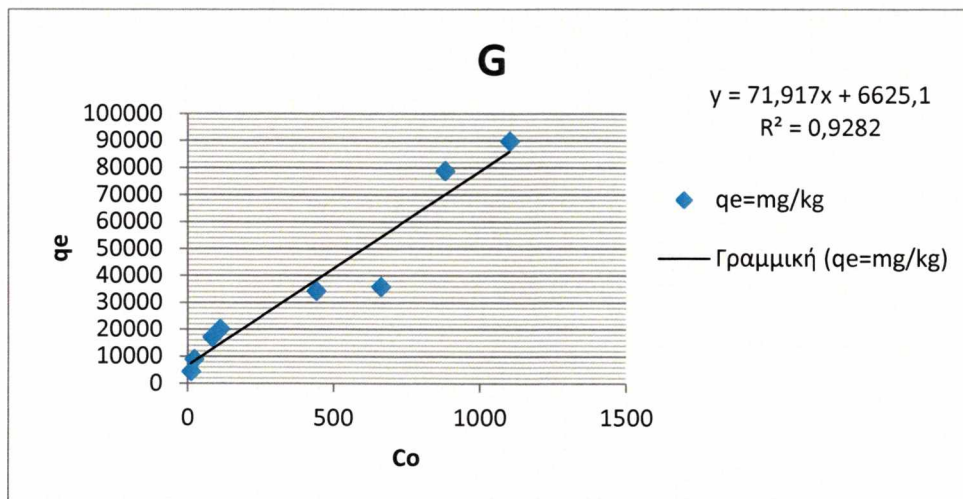
Διαγραμμα. Η προσρόφιση του Cu από το H(σε mg/kg) σε συνάρτηση με την αρχική συγκέντρωση Cu (mg/l) στο διάλυμα στους 60 °C.

Από το διάγραμμα προκύπτει ότι η προσρόφισης του Cu(mg/kg) από το H αυξάνεται γραμμικά καθώς αυξάνεται η αρχική συγκέντρωση του Cu(mg/l) στο διάλυμα . Επίσης βλέπουμε την εξίσωση που περιγράφει την προσρόφιση σε σχέση με την αρχική συγκέντρωση



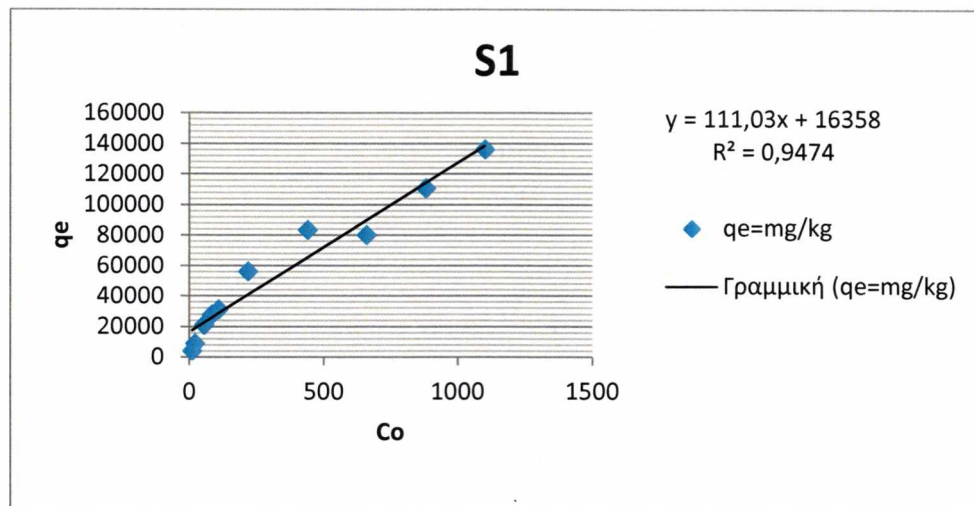
Διαγραμμα. Η προσρόφηση του Cu από το H-Z(σε mg/kg) σε συνάρτηση με την αρχική συγκέντρωση Cu (mg/l) στο διάλυμα στους 60 °C.

Από το διάγραμμα προκύπτει ότι η προσρόφησης του Cu(mg/kg) από το H-Z αυξάνεται γραμμικά καθώς αυξάνεται η αρχική συγκέντρωση του Cu(mg/l) στο διάλυμα . Επίσης βλέπουμε την εξίσωση που περιγράφει την προσρόφηση σε σχέση με την αρχική συγκέντρωση



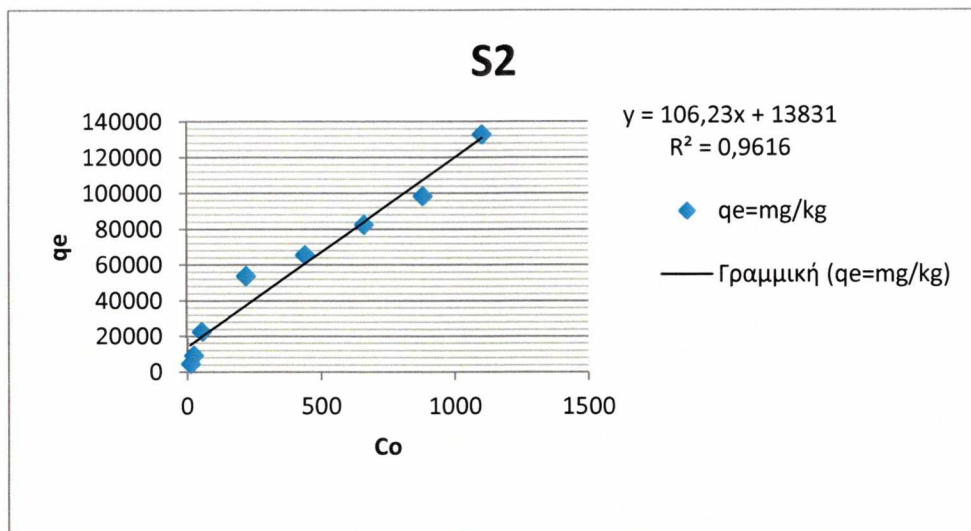
Διαγραμμα. Η προσρόφηση του Cu από το G(σε mg/kg) σε συνάρτηση με την αρχική συγκέντρωση Cu (mg/l) στο διάλυμα στους 60 °C.

Από το διάγραμμα προκύπτει ότι η προσρόφησης του Cu(mg/kg) από το S1 αυξάνεται γραμμικά καθώς αυξάνεται η αρχική συγκέντρωση του Cu(mg/l) στο διάλυμα . Επίσης βλέπουμε την εξίσωση που περιγράφει την προσρόφηση σε σχέση με την αρχική συγκέντρωση



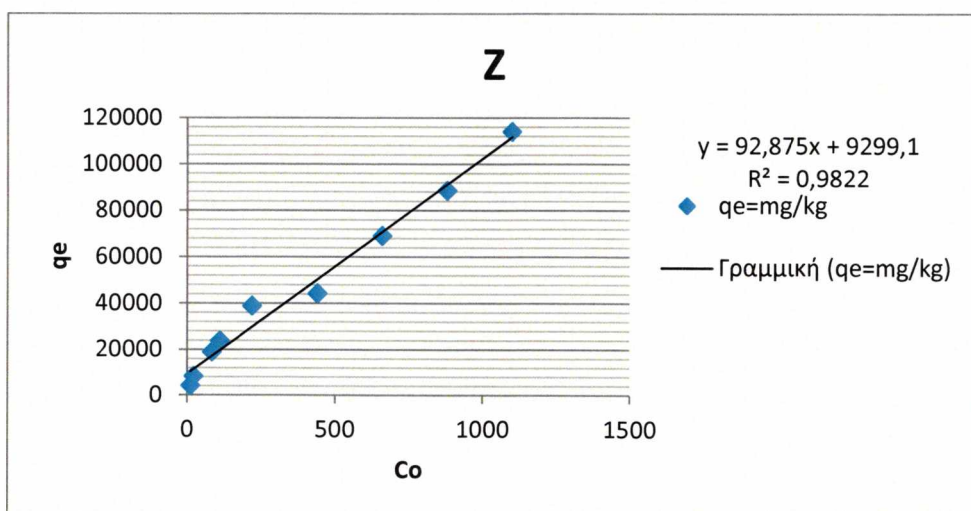
Διαγραμμα. Η προσρόφηση του Cu από το S1(σε mg/kg) σε συνάρτηση με την αρχική συγκέντρωση Cu (mg/l) στο διάλυμα στους 60 °C.

Από το διάγραμμα προκύπτει ότι η προσρόφησης του Cu(mg/kg) από το S1 αυξάνεται γραμμικά καθώς αυξάνεται η αρχική συγκέντρωση του Cu(mg/l) στο διάλυμα . Επίσης βλέπουμε την εξίσωση που περιγράφει την προσρόφηση σε σχέση με την αρχική συγκέντρωση



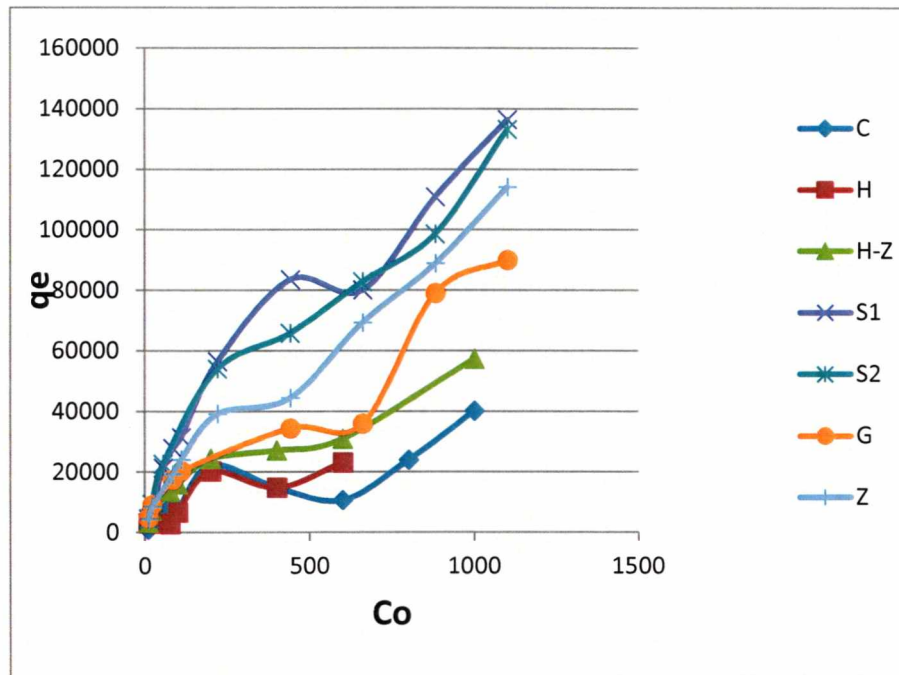
Διαγραμμα. Η προσρόφιση του Cu από το S2(σε mg/kg) σε συνάρτηση με την αρχική συγκέντρωση Cu (mg/l) στο διάλυμα στους 60 °C.

Από το διάγραμμα προκύπτει ότι η προσρόφισης του Cu(mg/kg) από το S2 αυξάνεται γραμμικά καθώς αυξάνεται η αρχική συγκέντρωση του Cu(mg/l) στο διάλυμα . Επίσης βλέπουμε την εξίσωση που περιγράφει την προσρόφιση σε σχέση με την αρχική συγκέντρωση



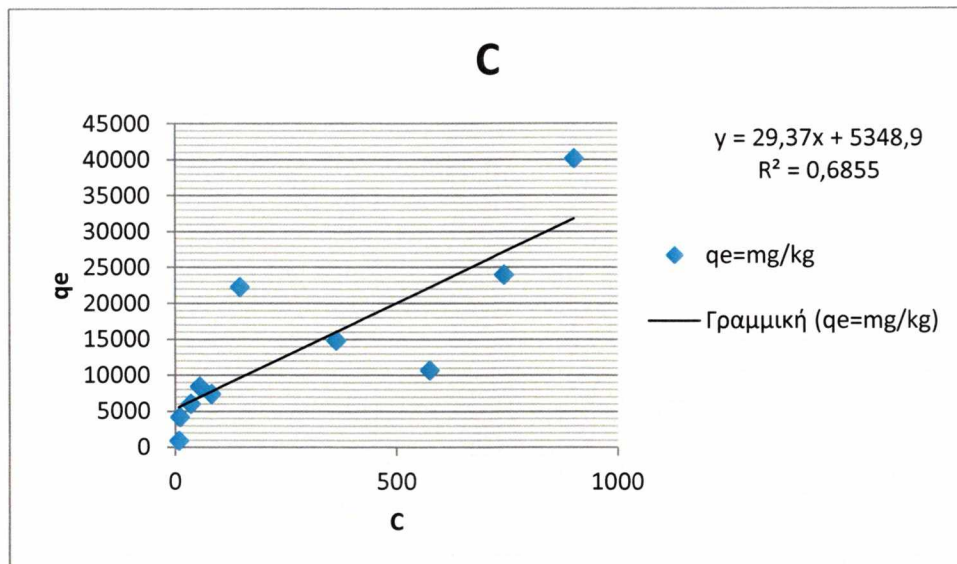
Διαγραμμα. Η προσρόφιση του Cu από το Z(σε mg/kg) σε συνάρτηση με την αρχική συγκέντρωση Cu (mg/l) στο διάλυμα στους 60 °C.

Από το διάγραμμα προκύπτει ότι η προσρόφησης του Cu(mg/kg) από το Z αυξάνεται γραμμικά καθώς αυξάνεται η αρχική συγκέντρωση του Cu(mg/l) στο διάλυμα . Επίσης βλέπουμε την εξίσωση που περιγράφει την προσρόφηση σε σχέση με την αρχική συγκέντρωση



Διάγραμμα. Η προσρόφηση του Cu από το σύστημα I , II, ζεόλιθο και γκαιτίτη, αιματίτη, αιματίτη-ζεόλιθο και άνθρακα (σε mg/kg) σε συνάρτηση με την αρχική συγκέντρωση Cu (mg/l) στο διάλυμα στους 60 °C.

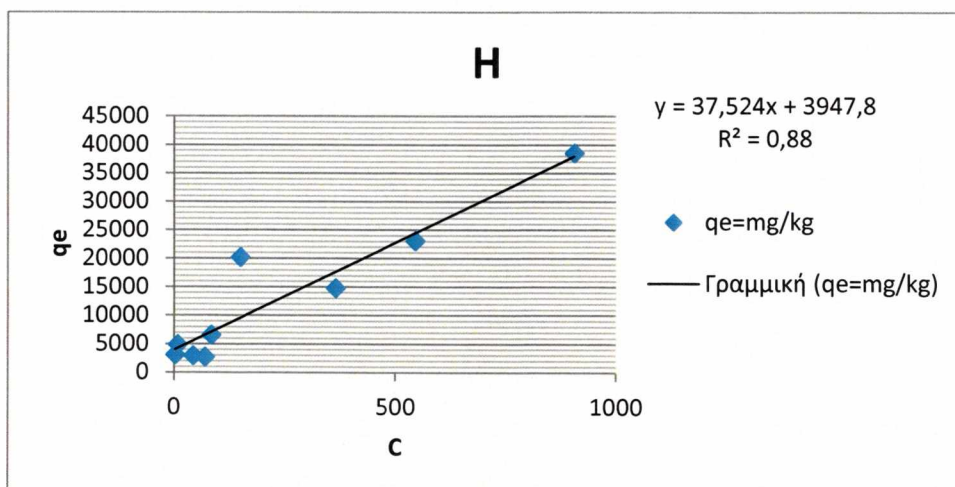
Από το διάγραμμα προκύπτει ότι το Σύστημα I και το σύστημα II παρουσιάζουν την μεγαλύτερη προσρόφηση Cu για αρχική συγκέντρωση Cu. Στην τελική ευθεία τερματίζουν πρώτοι σε προσρόφηση όμως το σύστημα I ο ζεόλιθος και ακολουθεί ο Γκαιτίτης G τριτος.



Διάγραμμα

Η προσρόφηση του Cu από το C (σε mg/kg) σε συνάρτηση με την συγκέντρωση Cu (mg/l) στην ισορροπία.

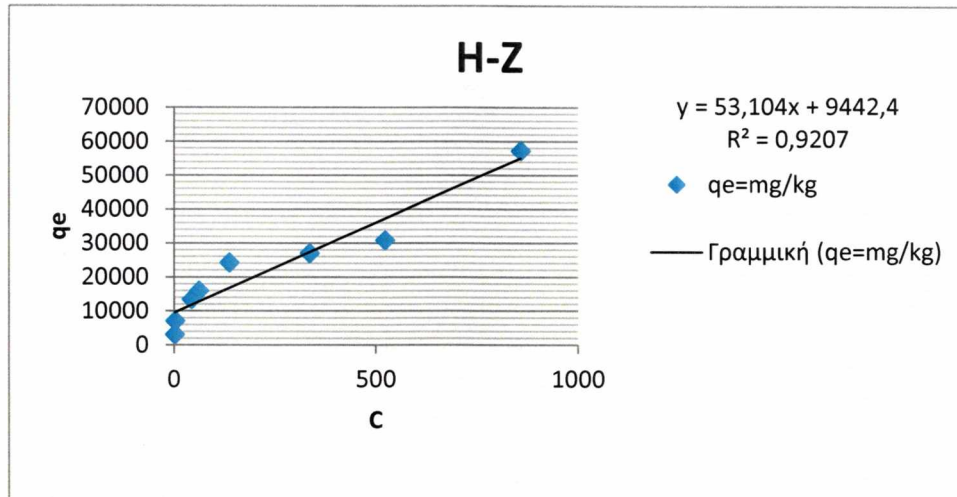
Στο διάγραμμα παρατηρούμε ότι η προσρόφησης του Cu(mg/kg) από το C αυξάνεται γραμμικά καθώς αυξάνεται η συγκέντρωση του Cu(mg/l) στην ισορροπία .



Διάγραμμα

Η προσρόφηση του Cu από το H(σε mg/kg) σε συνάρτηση με την συγκέντρωση Cu (mg/l) στην ισορροπία.

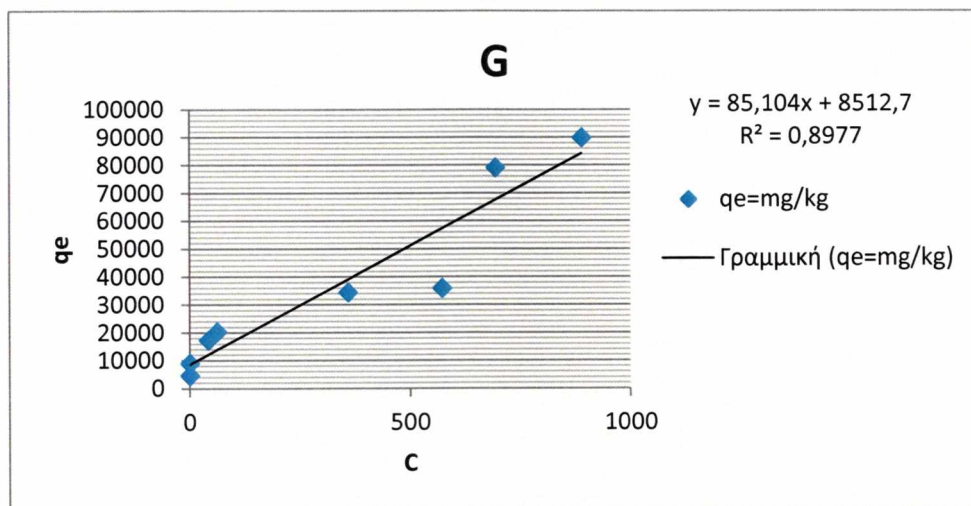
Στο διάγραμμα παρατηρούμε ότι η προσρόφησης του Cu(mg/kg) από το H αυξάνεται γραμμικά καθώς αυξάνεται η συγκέντρωση του Cu(mg/l) στην ισορροπία .



Διάγραμμα

Η προσρόφιση του Cu από το H-Z (σε mg/kg) σε συνάρτηση με την συγκέντρωση Cu (mg/l) στην ισορροπία.

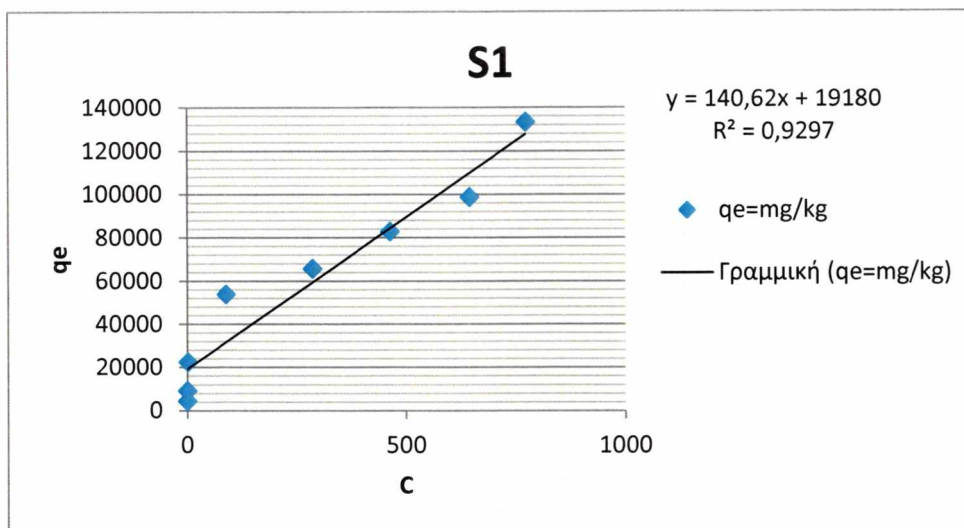
Στο διάγραμμα παρατηρούμε ότι η προσρόφισης του Cu (mg/kg) από το H-Z αυξάνεται γραμμικά καθώς αυξάνεται η συγκέντρωση του Cu (mg/l) στην ισορροπία .



Διάγραμμα

Η προσρόφιση του Cu από το G (σε mg/kg) σε συνάρτηση με την συγκέντρωση Cu (mg/l) στην ισορροπία.

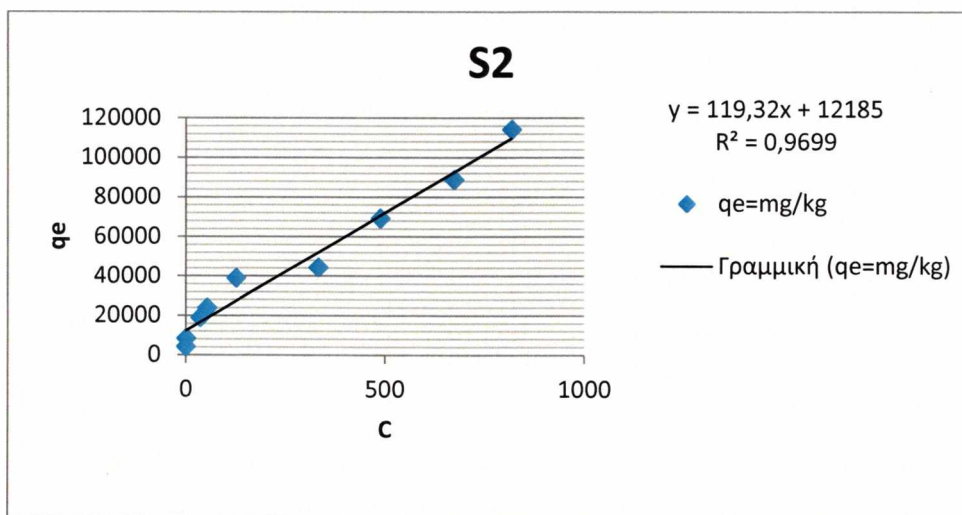
Στο διάγραμμα παρατηρούμε ότι η προσρόφισης του Cu (mg/kg) από το G αυξάνεται γραμμικά καθώς αυξάνεται η συγκέντρωση του Cu (mg/l) στην ισορροπία .



Διάγραμμα

Η προσρόφιση του Cu από το S1(σε mg/kg) σε συνάρτηση με την συγκέντρωση Cu (mg/l) στην ισορροπία.

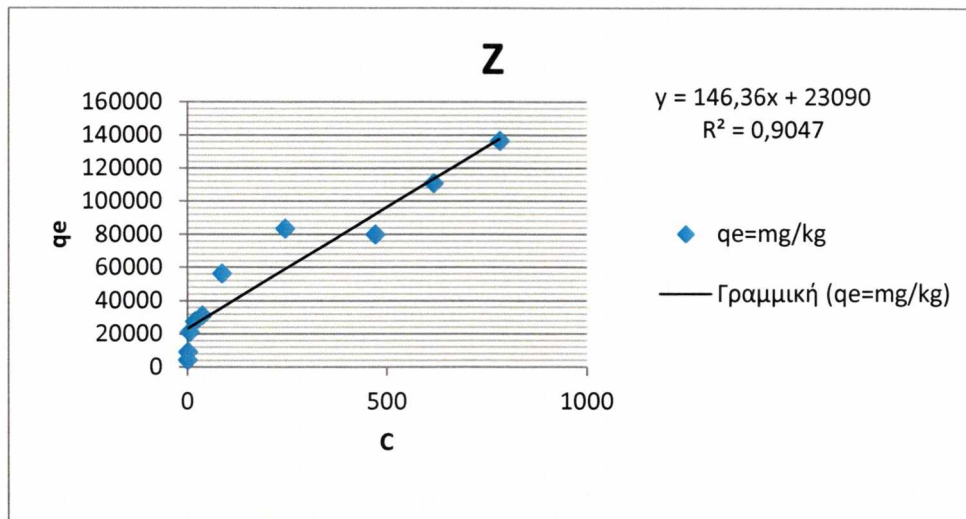
Στο διάγραμμα παρατηρούμε ότι η προσρόφισης του Cu(mg/kg) από το S1 αυξάνεται γραμμικά καθώς αυξάνεται η συγκέντρωση του Cu(mg/l) στην ισορροπία .



Διάγραμμα

Η προσρόφιση του Cu από το S2(σε mg/kg) σε συνάρτηση με την συγκέντρωση Cu (mg/l) στην ισορροπία.

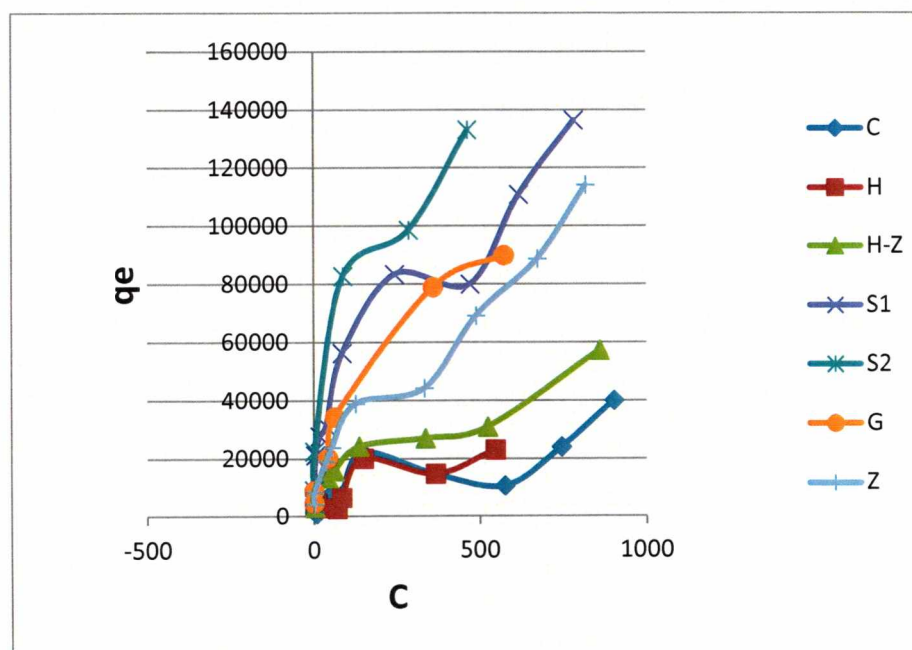
Στο διάγραμμα παρατηρούμε ότι η προσρόφησης του Cu(mg/kg) από το S2 αυξάνεται γραμμικά καθώς αυξάνεται η συγκέντρωση του Cu(mg/l) στην ισορροπία .



Διάγραμμα

Η προσρόφηση του Cu από το Z(σε mg/kg) σε συνάρτηση με την συγκέντρωση Cu (mg/l) στην ισορροπία.

Στο διάγραμμα παρατηρούμε ότι η προσρόφησης του Cu(mg/kg) από το Z αυξάνεται γραμμικά καθώς αυξάνεται η συγκέντρωση του Cu(mg/l) στην ισορροπία .



Διάγραμμα

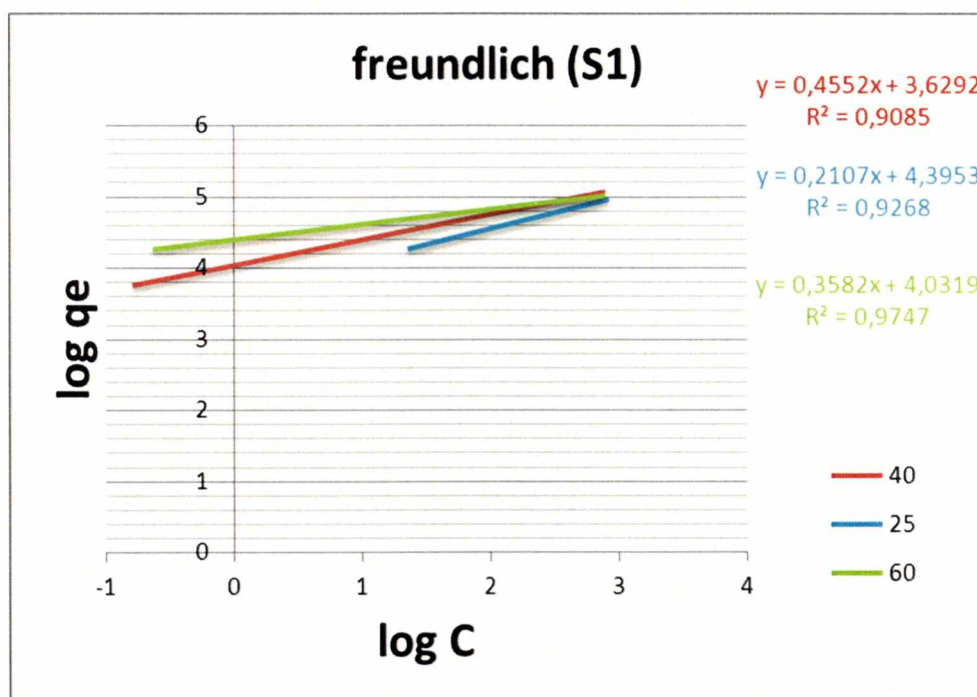
Η προσρόφηση Cu (σε mg/kg) σε συνάρτηση με την συγκέντρωση Cu (mg/l) στην ισορροπία στους 60 °C.

Στο διάγραμμα παρατηρούμε ότι το Σύστημα II (Z-G-R) παρουσιάζει την καλύτερη προσρόφηση Cu στην ισορροπία και ακολουθεί μετά το Σύστημα I (Z-G-Y). Στην συνέχεια ακολουθεί ο Γκαιτίτης G και Ζεόλιθος Z αντίστοιχα. Ο γκαιτίτης με το Σύστημα I παρουσιάζουν την ίδια προσρόφηση σε δύο σημεία της συγκέντρωσης στην ισορροπία.

Στην περίπτωση βελτίωσης ενός μολυσμένου από χαλκό υδατικό διάλυμα, επιλέγετε η χρήση του Ζεόλιθου καθώς είναι το φθηνότερο υλικό από τα μελετηθέντα. Αν η συγκέντρωση του χαλκού είναι πολύ υψηλή και επιβάλλεται άμεση παρέμβαση τότε επιλέγεται η χρήση των συστημάτων καθώς παρουσιάζουν την μεγαλύτερη και ταχύτερη προσρόφηση έναντι των άλλων δύο αν και είναι φθηνότερα του γκαιτίτη αλλά ακριβότερα του ζεόλιθου.

Μελέτη προσαρμογής των πειραματικών μας δεδομένων προσρόφησης Cu στις ισόθερμες Freundlich, Langmuir και Temkin.

Μελέτη προσαρμογής των πειραματικών μας δεδομένων προσρόφησης Cu από το Σύστημα I (Z-G-Y) στις ισόθερμες Freundlich, Langmuir και Temkin για τις τρεις θερμοκρασίες (25°C, 40 °C, 60 °C).



Διάγραμμα: Ο log της συγκέντρωσης ισορροπίας σε συνάρτηση με τον log της προσροφούμενης ποσότητας Cu από το Σύστημα I (Z-G-Y)

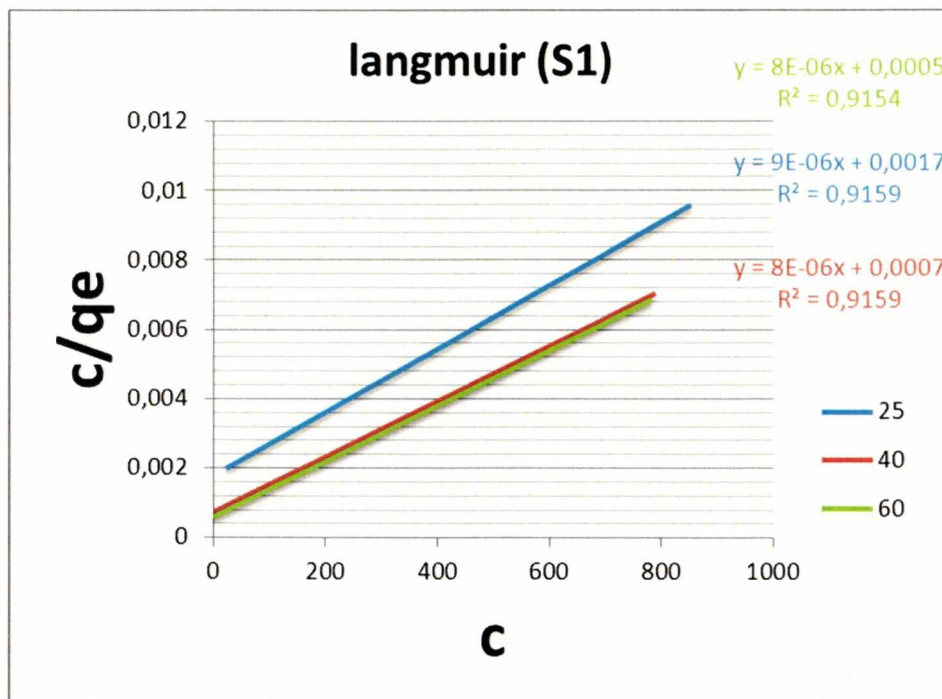
Το διάγραμμα παριστά την προσαρμογή των πειραματικών δεδομένων προσρόφησης του Cu από το Σύστημα I (Z-G-Y) στις ισόθερμο Freundlich στις θερμοκρασίες 25°C, 40 °C, και 60 °C .

Πίνακας: Οι συντελεστές γραμμικής συσχέτισης και οι σταθερές προσρόφησης Cu όπως προσδιορίστηκαν από την ισοθερμη του freundlich για το Σύστημα I στις τρεις θερμοκρασίες.

Freundlich-S1(Z-G)			
Θερμοκρασία	A	B	R ²
25	1,2191	0,2349	0,8251
40	0,019	0,4262	0,7574
60	10,933	2,7209	0,9747

Ο πίνακα παριστά τις τιμές των α, β και R^2 . Το α είναι η τιμή του σημείου τομής της ευθείας με τον άξονα $y(\log q_e)$ το β η κλίση της ευθείας και το R^2 ο συντελεστής γραμμικής συσχέτισης των πειραματικών δεδομένων με την ισόθερμη Freundlich

Από τον πίνακα 3.1 προκύπτει ότι ο ρυθμός προσρόφησης του Cu (β) από το Σύστημα I αυξάνει καθώς η θερμοκρασία μειώνεται, ενώ η προσρόφηση αυξάνει(α) καθώς αυξάνει η θερμοκρασία. Από τις τιμές του R^2 προκύπτει ότι την καλύτερη προσαρμογή στην εξίσωση Freundlich είχαμε στην θερμοκρασία των 60°C και την χειρότερη στους 40°C .



Διάγραμμα: Η συγκέντρωση του Cu στην ισοροπία C (mg/l) σε συνάρτηση του λόγου της συγκέντρωσης του Cu στην Ισοροπία C(mg/l) προς το ποσό του προσροφούμενου Cu q_e (mg/kg) από το Σύστημα I (Z-G-Y) στις θερμοκρασίες 25°C , 40°C , και 60°C

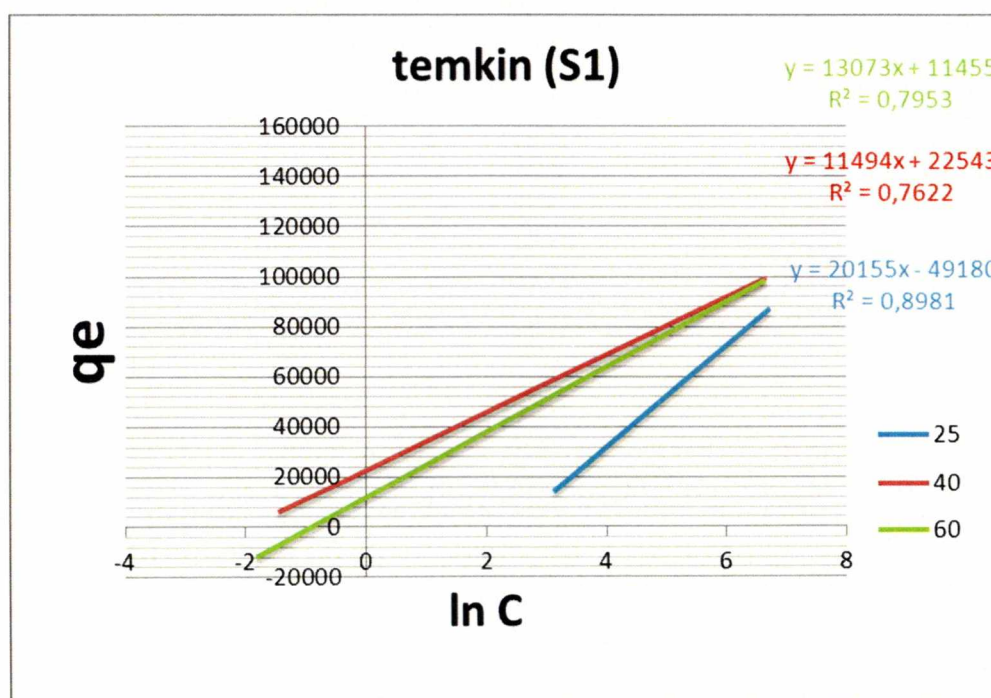
Το διάγραμμα παριστά την συγκέντρωση του Cu στην ισοροπία (mg/l) σε συνάρτηση του λόγου της συγκέντρωσης του Cu στην Ισοροπία (mg/l) προς το ποσό του προσροφούμενου Cu (mg/kg) από το Σύστημα I (Z-G-Y) στις θερμοκρασίες των 25°C , 40°C και 60°C . Από το σημείο τομής της ευθείας με τον άξονα y προκύπτει η τιμή του α , από την κλίση της ευθείας προκύπτει η τιμή του β , ενώ η τιμή του R^2

εκφράζει τον συντελεστή γραμμικής συσχέτισης μεταξύ των πειραματικών δεδομένων και της ισόθερμης Langmuir.

Πίνακας: Οι συντελεστές γραμμικότητας της συσχέτισης και οι σταθερές προσρόφησης Cu όπως προσδιορίστηκαν με την ισοθερμική του Langmuir για το Σύστημα Ι στις τρεις θερμοκρασίες.

Langmuir-S1(Z-G)					
θερμοκρασία	α	b	R^2	q_{\max}	K
25	0,0017	9,00E-06	0,9159	100000	0,00000001
40	0,0007	8,00E-06	0,9159	125000	0,011428571
60	0,0005	8,00E-06	0,9154	125000	0,016

Ο πίνακα παριστά τις τιμές του α , b και R^2 καθώς επίσης και την μέγιστη προσρόφηση του Cu από το σύστημα Ι στις θερμοκρασίες των 25°C, 40 °C, και 60 °C η οποία υπολογίστηκε από την εξίσωση της ισόθερμης Langmuir ($b=1/q_{\max}$) και την σταθερά K ($\alpha=1/K \cdot q_{\max}$). Από τον πίνακα προκύπτει ότι η μέγιστη προσρόφηση Cu είναι 125000 mg/kg. Η τιμή του α μειώνεται ενώ του K αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας. Η τιμή του b μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας. Οι τιμές του R^2 είναι ίδιες σε όλες τις θερμοκρασίες.



Διάγραμμα: Ο ln της συγκέντρωσης ισορροπίας σε συνάρτηση με την προσροφόμενη ποσότητα Cu από το Σύστημα I (Z-G-Y).

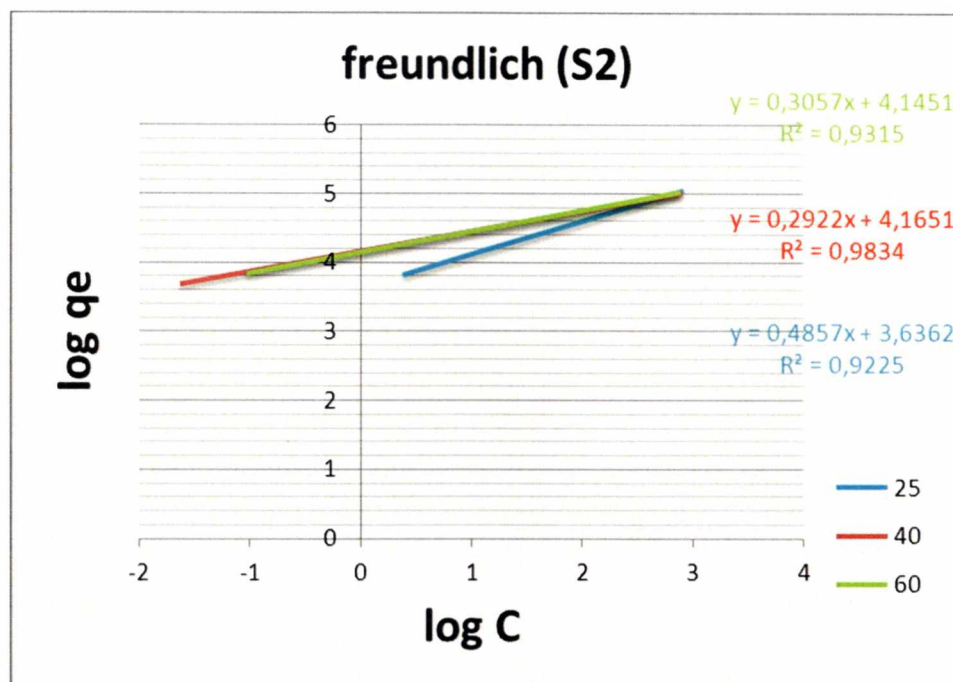
Το διάγραμμα παριστά το ln της συγκέντρωσης ισορροπίας σε συνάρτηση με την προσροφόμενη ποσότητα Cu από το Σύστημα I (Z-G-Y) στις θερμοκρασίες των 25°C, 40 °C, και 60.

Πίνακας: Οι συντελεστές γραμμικότητας της συσχέτισης και οι σταθερές προσρόφησης Cu όπως προσδιορίστηκαν με την ισοθερμη του Temkin για το Σύστημα I στις τρεις θερμοκρασίες

Temkin -S1(Z-G)			
Θερμοκρασία	α	b	R^2
25	20155	-79180	0,8981
40	11494	22543	0,7622
60	13073	11455	0,7953

Ο πίνακας παριστά τους συντελεστές γραμμικής συσχέτισης και τις σταθερές προσρόφησης Cu όπως προσδιορίστηκαν με την ισοθερμη του Temkin για το Σύστημα I στις τρεις θερμοκρασίες. Από τον πίνακα προκύπτει ότι αυξανόμενης της θερμοκρασίας οι τιμές του α μειώνονται ενώ του b αυξομειώνονται. Οι τιμές του R^2 αποδεικνύουν καλύτερη προσαρμογή των πειραματικών δεδομένων στην ισόθερμο Temkin στους 25°C από ότι στους 40 °C και 60°C αντίστοιχα.

3.2.2 Μελέτη προσαρμογής των πειραματικών δεδομένων προσρόφησης Cu από το Σύστημα II (Z-G-R) στις ισόθερμες Freundlich, Langmuir και Temkin για τις τρεις θερμοκρασίες (25°C, 40 °C, 60 °C).



Διάγραμμα: Ο log της συγκέντρωσης ισορροπίας (C) σε συναρτηση με τον log της προσροφούμενης ποσότητας (qe) Cu από το Σύστημα II (Z-G-R)

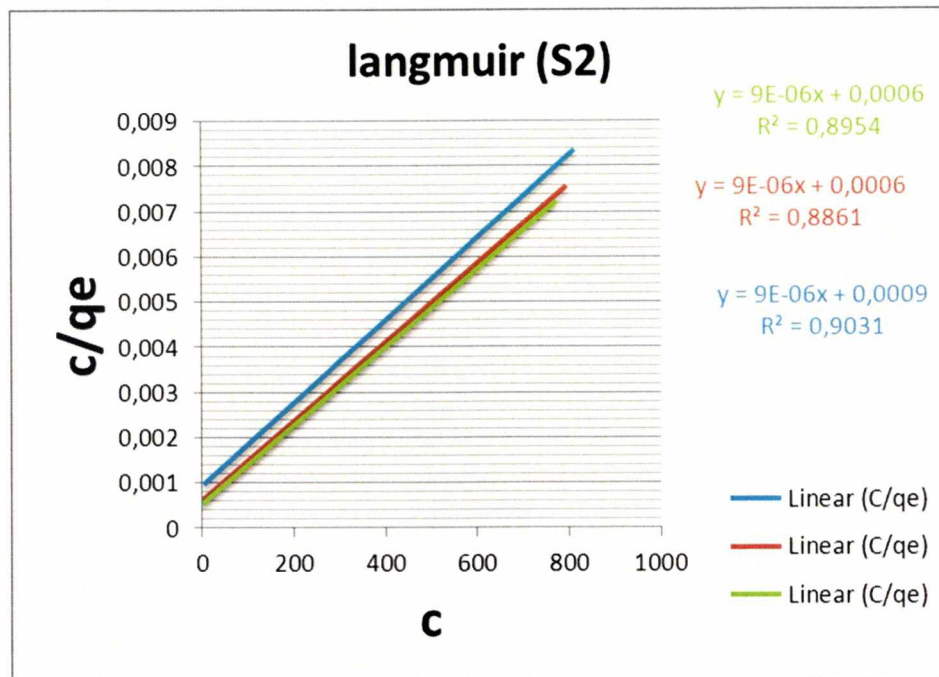
Το διάγραμμα παριστά την προσαρμογή των πειραματικών δεδομένων προσρόφησης του Cu από το Σύστημα II (Z-G-R) στις ισόθερμο Freundlich στις θερμοκρασίες 25°C, 40 °C, και 60 °C .

Πίνακας: Οι συντελεστές γραμμικής συσχέτισης και οι σταθερές προσρόφησης Cu όπως προσδιορίστηκαν με την ισοθερμη του freundlich για το Σύστημα II στις τρεις θερμοκρασίες.

Freundlich-S2(Z-G)			
Θερμοκρασία	logA	B	R ²
25	0,1772	0,2984	0,8983
40	1,1949	0,4845	0,8162
60	0,9871	0,4505	0,8488

Ο πίνακα παριστά τις τιμές των α, β και R² .Το α είναι η τιμή του σημείου τομής της ευθείας με τον άξονα y(logqe) το β η κλίση της ευθείας και το R² ο συντελεστής γραμμικής συσχέτισης των πειραματικών δεδομένων με την ισόθερμη Freundlich

Από τον πίνακα προκύπτει ότι ο ρυθμός προσρόφησης του Cu(β) από το Σύστημα II αυξάνει καθώς η θερμοκρασία αυξάνει, ενώ η προσρόφηση (α) έχει μια μικρή πτώση στους 60°C καθώς αυξάνει η θερμοκρασία. Από τις τιμές του R² προκύπτει ότι την καλύτερη προσαρμογή στην εξίσωση Freundlich είχαμε στην θερμοκρασία των 25°C και την χειρότερη στους 40°C.



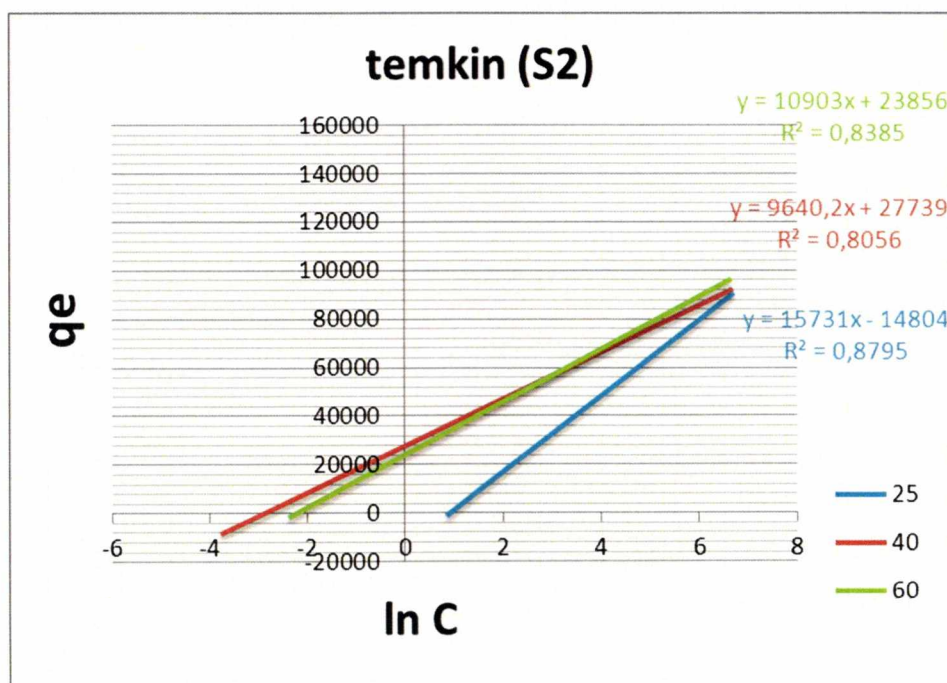
Διάγραμμα Η συγκέντρωση του Cu στην ισοροπία(C) (mg/l) σε συνάρτηση του λόγου της συγκέντρωσης του Cu στην Ισοροπία (C) (mg/l) προς το ποσό του προσροφούμενου Cu (qe) (mg/kg) από το Σύστημα II (Z-G-R) στις θερμοκρασίες 25°C, 40 °C, και 60 °C.

Το διάγραμμα παριστά την συγκέντρωση του Cu στην ισοροπία (mg/l) σε συνάρτηση του λόγου της συγκέντρωσης του Cu στην Ισοροπία (mg/l) προς το ποσό του προσροφούμενου Cu (mg/kg) από το Σύστημα II (Z-G-R) στις θερμοκρασία των 25°C, 40 °C και 60 °C. Από το σημείο τομής της ευθείας με τον άξονα y προκύπτει η τιμή του α από την κλίση της ευθείας προκύπτει η τιμή του β ,ενώ η τιμή του R² εκφράζει τον συντελεστή γραμμικής συσχέτισης μεταξύ των πειραματικών δεδομένων και της ισόθερμης Langmuir.

Πίνακας Οι συντελεστές γραμμικότητας της συσχέτισης και οι σταθερές προσρόφησης Cu όπως προσδιορίστηκαν με την ισοθερμική του Langmuir για το Σύστημα II στις τρεις θερμοκρασίες.

Langmuir-S2(Z-G)					
θερμοκρασία	α	b	R^2	q_{\max}	K
25	0,0009	9,00E-06	0,9031	111111,1	0,01
40	0,0006	9,00E-06	0,8861	111111,1	0,015
60	0,0006	9,00E-06	0,8954	111111,1	0,015

Ο πίνακας παριστά τις τιμές του α , b και R^2 καθώς επίσης και την μέγιστη προσρόφηση του Cu από το σύστημα II στις θερμοκρασίες των 25°C, 40 °C, και 60 °C η οποία υπολογίστηκε από την εξίσωση της ισόθερμης Langmuir ($b=1/q_{\max}$) και την σταθερά K ($\alpha=1/K \cdot q_{\max}$). Από τον πίνακα προκύπτει ότι η μέγιστη προσρόφηση Cu είναι 111111,1 mg/kg, σε όλες τις θερμοκρασίες. Η τιμή του α μειώνεται ενώ του K αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας. Η τιμή του b σταθερή καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία. Οι τιμές του R^2 αποδεικνύουν λίγο καλύτερη προσαρμογή των πειραματικών δεδομένων στην ισόθερμο Langmuir στους 25 °C από ότι στους 40 °C και 60°C αντίστοιχα.



Διάγραμμα Ο ln της συγκέντρωσης ισορροπίας σε συνάρτηση με την προσροφόμενη ποσότητα Cu από το Σύστημα II (Z-G-R).

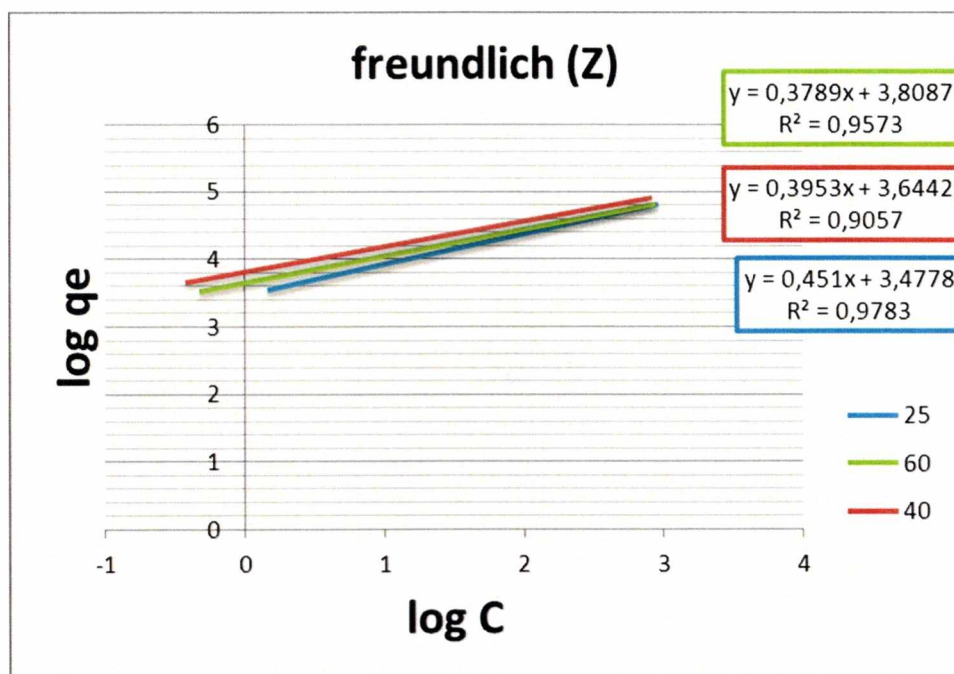
Το διάγραμμα παριστά το \ln της συγκέντρωσης ισορροπίας σε συνάρτηση με την προσροφώμενη ποσότητα Cu από το Σύστημα II (Z-G-R) στις θερμοκρασίες των $25^{\circ}C$, $40^{\circ}C$, και 60 . Το σημείο τομής κάθε ευθείας με τον άξονα του $y(q_e)$ δίνει την τιμή του b ενώ η κλίση κάθε ευθείας δίνει την τιμή του a .

Πίνακας: Οι συντελεστές γραμμικότητας της συσχέτισης και οι σταθερές προσρόφησης Cu όπως προσδιορίστηκαν με την ισοθερμη του Temkin για το Σύστημα II στις τρεις θερμοκρασίες.

Temkin -S2(Z-G)			
Θερμοκρασία	a	b	R^2
25	15731	-14804	0,8795
40	9640,2	27739	0,8056
60	10903	223856	0,8385

Ο πίνακας παριστά τους συντελεστές γραμμικής συσχέτισης και οι σταθερές προσρόφησης Cu όπως προσδιορίστηκαν με την ισοθερμη του Temkin για το Σύστημα II στις τρεις θερμοκρασίες. Παρατηρείτε ότι αυξανόμενης της θερμοκρασίας οι τιμές του a αυξάνονται στους $25^{\circ}C$, στους $40^{\circ}C$ μειώνονται και στην συνέχεια αυξάνονται καθώς αυξανετε η θερμοκρασία από τους $40^{\circ}C$ στους $60^{\circ}C$. Οι τιμές του β αυξάνονται αναλογα με τη θερμοκρασία .Οι τιμές του R^2 αποδεικνύουν καλύτερη προσαρμογή των πειραματικων δεδομένων στην ισόθερμο Temkin στους $25^{\circ}C$ από ότι στους $40^{\circ}C$ και $60^{\circ}C$ αντίστοιχα.

Μελέτη προσαρμογής των πειραματικών μας δεδομένων προσρόφησης Cu από το Ζεόλιθο (Z) στις ισόθερμες Freundlich, Langmuir και Temkin για τις τρεις θερμοκρασίες (25°C, 40 °C, 60 °C).



Διάγραμμα: Ο log της συγκέντρωσης ισορροπίας σε συνάρτηση με τον log της προσροφούμενης ποσότητας Cu από το Ζεόλιθο (Z)

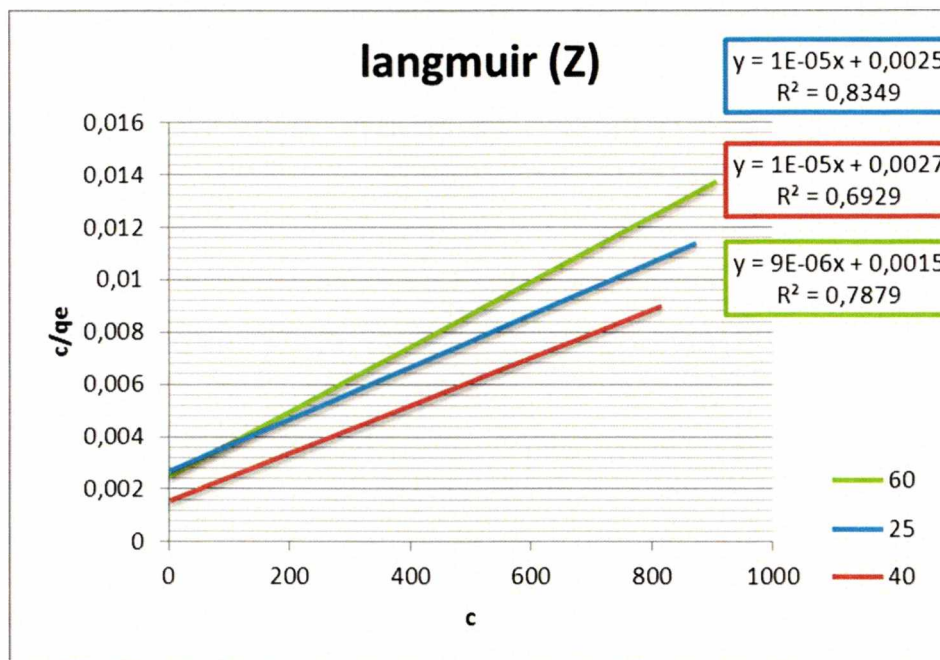
Το διάγραμμα παριστά την προσαρμογή των πειραματικών δεδομένων προσρόφησης του Cu από το Ζεόλιθο (Z) στις ισόθερμο Freundlich στις θερμοκρασίες 25°C, 40 °C, και 60 °C .

Πίνακας: Οι συντελεστές γραμμικότητας της συσχέτισης και οι σταθερές προσρόφησης Cu όπως προσδιορίστηκαν με την ισοθερμη του freundlich για το Ζεολιθο στις τρεις θερμοκρασίες.

Freundlich-Ζεολιθο (Z)			
Θερμοκρασία	logA	B	R ²
25	0,489	0,2736	0,8086
40	0,2299	0,3075	0,772
60	0,0698	0,3402	0,7864

Ο πίνακα παριστά τις τιμές των α , β και R^2 . Το α είναι η τιμή του σημείου τομής της ευθείας με τον άξονα y ($\log q_e$) το β η κλίση της ευθείας και το R^2 ο συντελεστής γραμμικής συσχέτισης των πειραματικών δεδομένων με την ισόθερμη Freundlich

Από τον πίνακα προκύπτει ότι ο ρυθμός προσρόφησης του $\text{Cu}(\beta)$ από το Ζεόλιθο (Z) αυξάνεται καθώς η θερμοκρασία αυξάνει, ενώ η προσρόφηση(α) μειώνεται καθώς αυξάνει η θερμοκρασία. Από τις τιμές του R^2 προκύπτει ότι την καλύτερη προσαρμογή στην εξίσωση Freundlich είχαμε στην θερμοκρασία των 25°C και την χειρότερη στους 40°C .



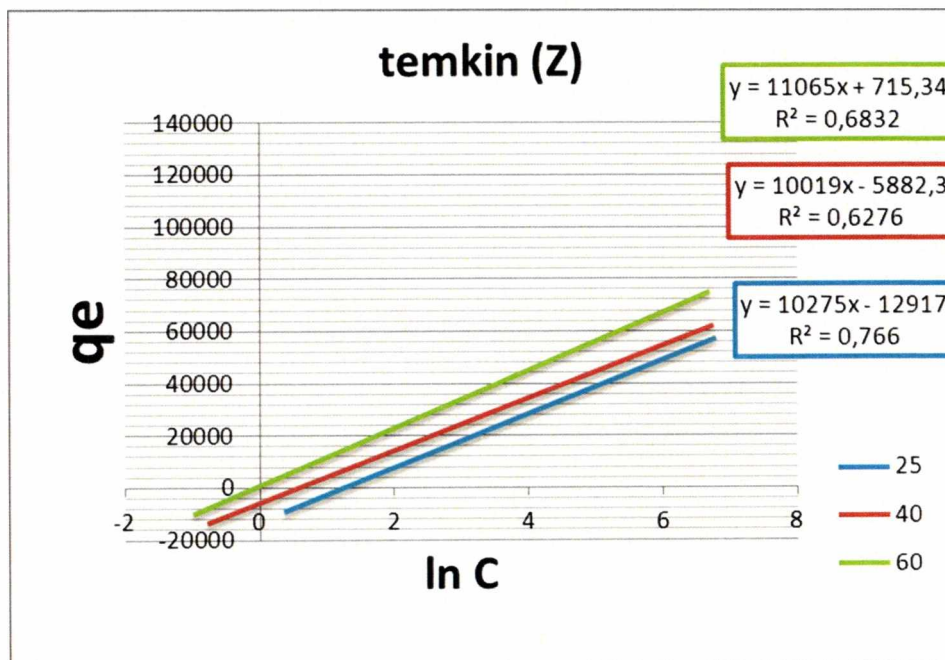
Διάγραμμα: Η συγκαίντρωση του Cu στην ισοροπία (mg/l) σε συνάρτηση του λόγου της συγκέντρωσης του Cu στην Ισοροπία (mg/l) προς το ποσό του προσροφούμενου Cu (mg/kg) από το ζεόλιθο (Z) στις θερμοκρασίες 25°C , 40°C , και 60°C .

Το διάγραμμα παριστά την συγκέντρωση του Cu στην ισοροπία C (mg/l) σε συνάρτηση του λόγου της συγκέντρωσης του Cu στην Ισοροπία C (mg/l) προς το ποσό του προσροφούμενου Cu q_e (mg/kg) από το ζεόλιθο (Z) στις θερμοκρασία των 25°C , 40°C και 60°C . Από το σημείο τομής της ευθείας με τον άξονα y προκύπτει η τιμή του α από την κλίση της ευθείας προκύπτει η τιμή του β , ενώ η τιμή του R^2 εκφράζει τον συντελεστή γραμμικής συσχέτισης μεταξύ των πειραματικών δεδομένων και της ισόθερμης Langmuir.

Πίνακας: Οι συντελεστές γραμμικότητας της συσχέτισης και οι σταθερές προσρόφησης Cu όπως προσδιορίστηκαν με την ισοθερμική του Langmuir για το Ζεολίθο στις τρεις θερμοκρασίες.

Langmuir-Ζεολίθο (Z)					
θερμοκρασία	α	b	R ²	q _{max}	K
25	0,0025	0,00001	0,8349	100000	0,004
40	0,0027	0,00001	0,6929	100000	0,003703704
60	0,0015	0,000009	0,7879	111111,1	0,006

Ο πίνακας παριστά τις τιμές του α , b και R² καθώς επίσης και την μέγιστη προσρόφηση του Cu από το Ζεόλιθο στις θερμοκρασίες των 25°C, 40°C, και 60°C η οποία υπολογίστηκε από την εξίσωση της ισόθερμης Langmuir ($b=1/q_{max}$) και την σταθερά K ($\alpha=1/K \cdot q_{max}$). Η τιμή του α αυξάνεται λίγο καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία από τους 25°C στους 40°C και στην συνέχεια μειώνεται καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία από τους 40°C στους 60°. Η τιμή του b παραμένει σταθερή με την αύξηση της θερμοκρασίας. Οι τιμές του R² αποδεικνύουν καλύτερη προσαρμογή των πειραματικών δεδομένων στην ισόθερμο Langmuir στους 25°C από ότι στους 60°C και 40°C αντίστοιχα.



Διάγραμμα Ο ln της συγκέντρωσης ισορροπίας σε συνάρτηση με την προσροφόμενη ποσότητα Cu από το ζεόλιθο (Z).

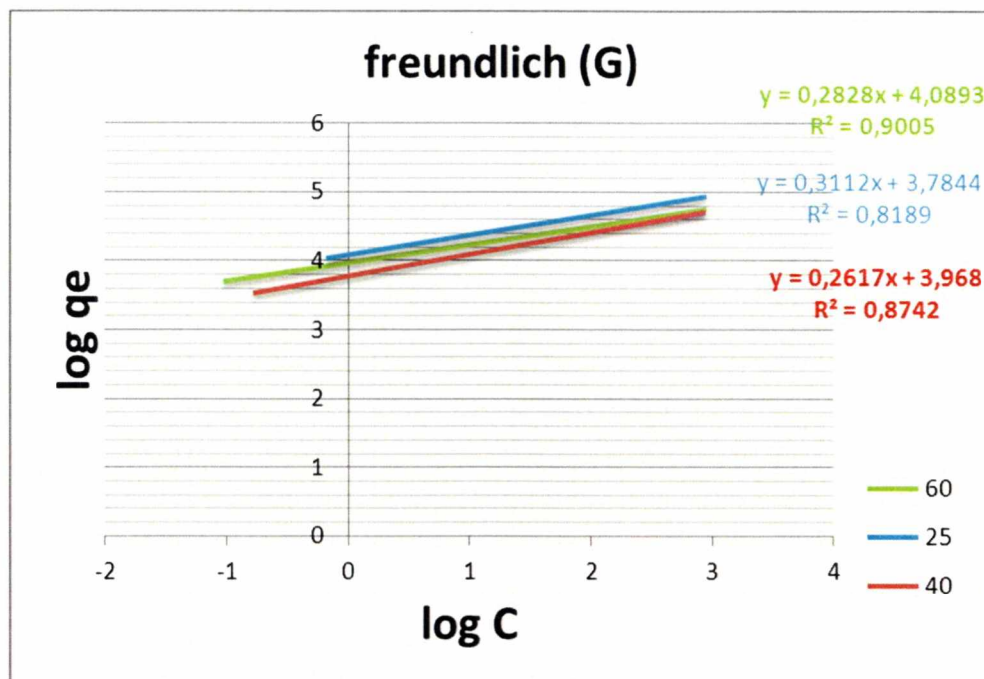
Το διάγραμμα παριστά το \ln της συγκέντρωσης ισορροπίας σε συνάρτηση με την προσροφόμενη ποσότητα C_u από το ζεόλιθο (Z) στις θερμοκρασίες των 25°C, 40 °C, και 60. Το σημείο τομής κάθε ευθείας με τον άξονα του $y(q_e)$ δίνει την τιμή του b ενώ η κλίση κάθε ευθείας δίνει την τιμή του a .

Πίνακας Οι συντελεστές γραμμικότητας της συσχέτισης και οι σταθερές προσρόφησης C_u όπως προσδιορίστηκαν με την ισοθερμη του Temkin για το Ζεόλιθο στις τρεις θερμοκρασίες.

Temkin -Ζεόλιθο (Z)			
Θερμοκρασία	a	b	R^2
25	10275	-12917	0,766
40	10019	5882,3	0,6276
60	11065	715,34	0,6832

Ο πίνακα παριστά τους συντελεστές γραμμικής συσχέτισης και οι σταθερές προσρόφησης C_u όπως προσδιορίστηκαν με την ισοθερμη του Temkin για το Ζεόλιθο (Z) στις τρεις θερμοκρασίες, παρατηρείται ότι αυξανόμενης της θερμοκρασίας οι τιμές του a αυξάνονται ενώ οι τιμές του b αυξάνονται πιο πολύ στους 40. Οι τιμές του R^2 αποδεικνύουν καλύτερη προσαρμογή των πειραματικών δεδομένων στην ισοθερμη temkin στους 25oC από ότι στους 60 oC και 40oC αντίστοιχα.

Μελέτη προσαρμογής των πειραματικών μας δεδομένων προσρόφησης C_u από το Γκαϊτίτη (G) στις ισόθερμες Freundlich, Langmuir και Temkin για τις τρεις θερμοκρασίες (25°C, 40 °C, 60 °C).



Διάγραμμα Ο \log της συγκέντρωσης ισορροπίας σε συνάρτηση με τον \log της προσροφούμενης ποσότητας C_u από το Γκαιίτη(G).

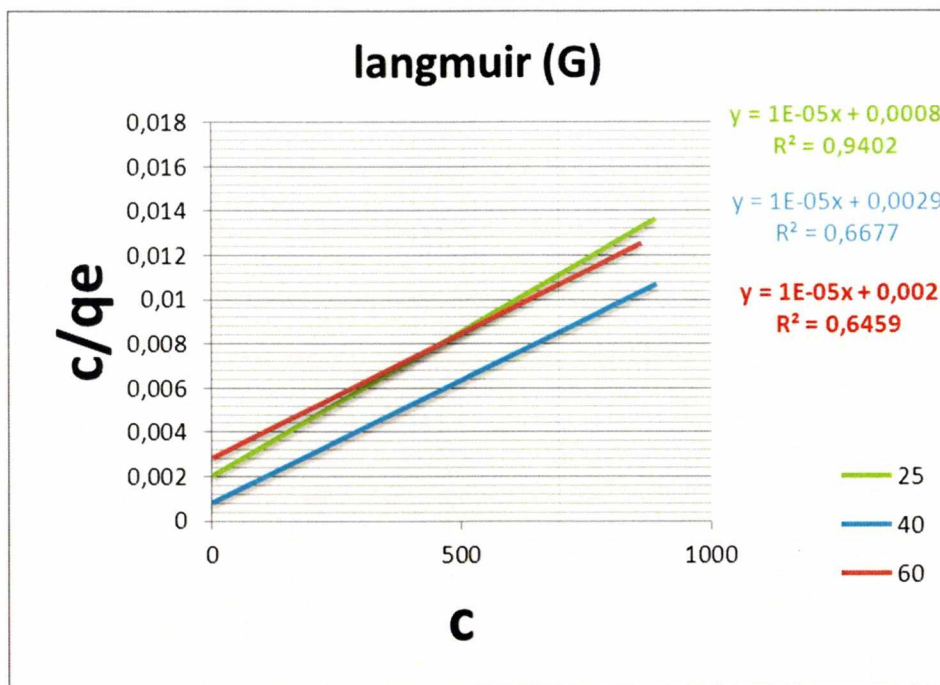
Το διάγραμμα παριστά την προσαρμογή των πειρατικών δεδομένων προσρόφησης του C_u από το Γκαιίτη (G) στις ισόθερμο Freudlich στις θερμοκρασίες 25°C, 40 °C, και 60 °C .

Πίνακας: Οι συντελεστές γραμμικότητας της συσχέτισης και οι σταθερές προσρόφησης C_u όπως προσδιορίστηκαν με την ισοθερμη του freundlich για το Γκαιίτη στις τρεις θερμοκρασίες.

Freundlich-Γκαιίτης (G)			
Θερμοκρασία	$\log A$	B	R^2
25	0,1172	0,3564	0,7904
40	9,6402	2,6314	0,8189
60	0,4957	0,4015	0,7483

Ο πίνακα παριστά τις τιμές των α , β και R^2 . Το α είναι η τιμή του σημείου τομής της ευθείας με τον άξονα $y(\log q_e)$ το β η κλίση της ευθείας και το R^2 ο συντελεστής γραμμικής συσχέτισης των πειραματικών δεδομένων με την ισόθερμη Freudlich

Από τον πίνακα προκύπτει ότι ο ρυθμός προσρόφησης του $C_u(\beta)$ και η προσρόφηση(α) είναι μέγιστη στους 40. Από τις τιμές του R^2 προκύπτει ότι την καλύτερη προσαρμογή στην εξίσωση Freudlich είχαμε στην θερμοκρασία των 40°C.



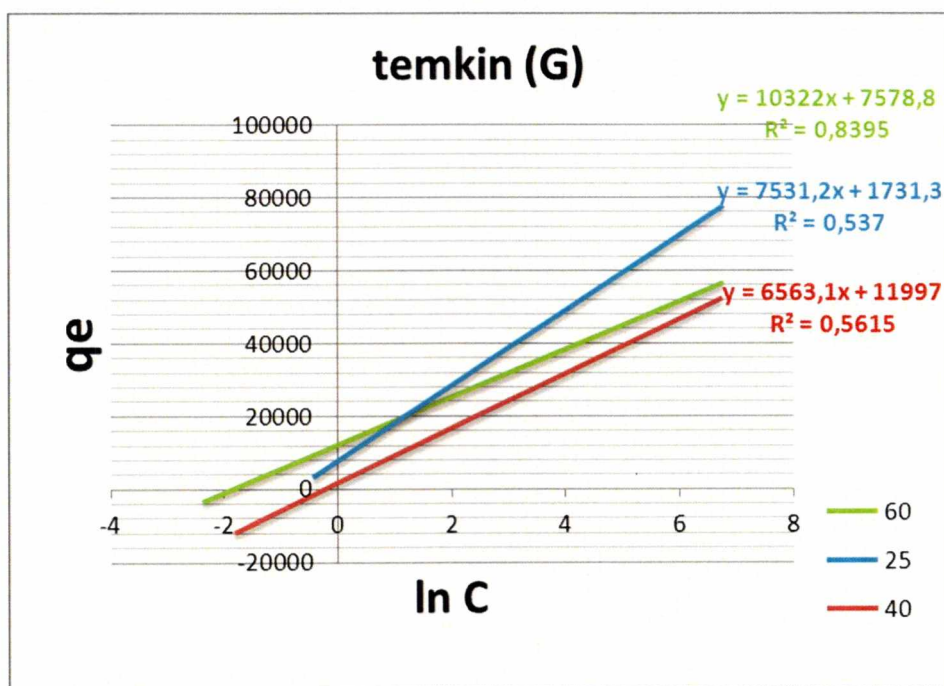
Διάγραμμα Η συγκαίντρωση του Cu στην ισοροπία (mg/l) σε συνάρτηση του λόγου της συγκέντρωσης του Cu στην Ισοροπία (mg/l) προς το ποσό του προσροφούμενου Cu (mg/kg) από το γκαιτίτη (G) στις θερμοκρασίες 25°C, 40 °C, και 60 °C.

Το διάγραμμα παριστά την συγκέντρωση του Cu στην ισοροπία (mg/l) σε συνάρτηση του λόγου της συγκέντρωσης του Cu στην Ισοροπία (mg/l) προς το ποσό του προσροφούμενου Cu (mg/kg) από το γκαιτίτη (G) στις θερμοκρασία των 25°C, 40 °C και 60 °C. Από το σημείο τομής της ευθείας με τον άξονα y προκύπτει η τιμή του α από την κλίση της ευθείας προκύπτει η τιμή του β ,ενώ η τιμή του R² εκφράζει τον συντελεστή γραμμικής συσχέτισης μεταξύ των πειραματικών δεδομένων και της ισόθερμης Langmuir.

Πίνακας: Οι συντελεστές γραμμικότητας της συσχέτισης και οι σταθερές προσρόφησης Cu όπως προσδιορίστηκαν με την ισοθερμη του Langmuir για το Γκαιτίτη στις τρεις θερμοκρασίες.

Langmuir-Γκαιιτήης (G)					
θερμοκρασία	α	b	R2	q _e max	K
25	0,0008	1,00E-05	0,9402	100000	0,016666667
40	0,0029	1,00E-05	0,6677	100000	0,003448276
60	0,002	1,00E-05	0,6459	100000	0,005

Ο πίνακα παριστά τις τιμές του α , b και R^2 καθώς επίσης και την μέγιστη προσρόφηση του Cu από το γκαιιτή στις θερμοκρασίες των 25°C, 40 °C, και 60 °C η οποία υπολογίστηκε από την εξίσωση της ισόθερμης Langmuir ($b=1/q_{\max}$) και την σταθερά K ($\alpha=1/K \cdot q_{\max}$). Από τον πίνακα προκύπτει ότι η μέγιστη προσρόφηση χαλκού παρατηρείται σε όλες τις θερμοκρασίες και είναι 100000 mg/kg. Η τιμή του α αυξάνεται μέγιστα στους 40°C, ενώ το K είναι πολύ αυξημένο στην θερμοκρασία των 25°C στην συνέχεια μειώνεται καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία στους 40°C και αυξάνεται προς τους 60°C. Η τιμή του b μειώνεται. Οι τιμές του R^2 αποδεικνύουν καλύτερη προσαρμογή των πειραματικών δεδομένων στην ισόθερμο Langmuir στους 25°C από ότι στους 60°C και 40°C αντίστοιχα.



Διάγραμμα: Ο \ln της συγκέντρωσης ισορροπίας σε συνάρτηση με την προσροφόμενη ποσότητα χαλκού από το γκαιιτή (G).

Το διάγραμμα παριστά το \ln της συγκέντρωσης ισορροπίας σε συνάρτηση με την προσροφόμενη ποσότητα Cu από το γκαιιτή (G) στις θερμοκρασίες των 25°C, 40

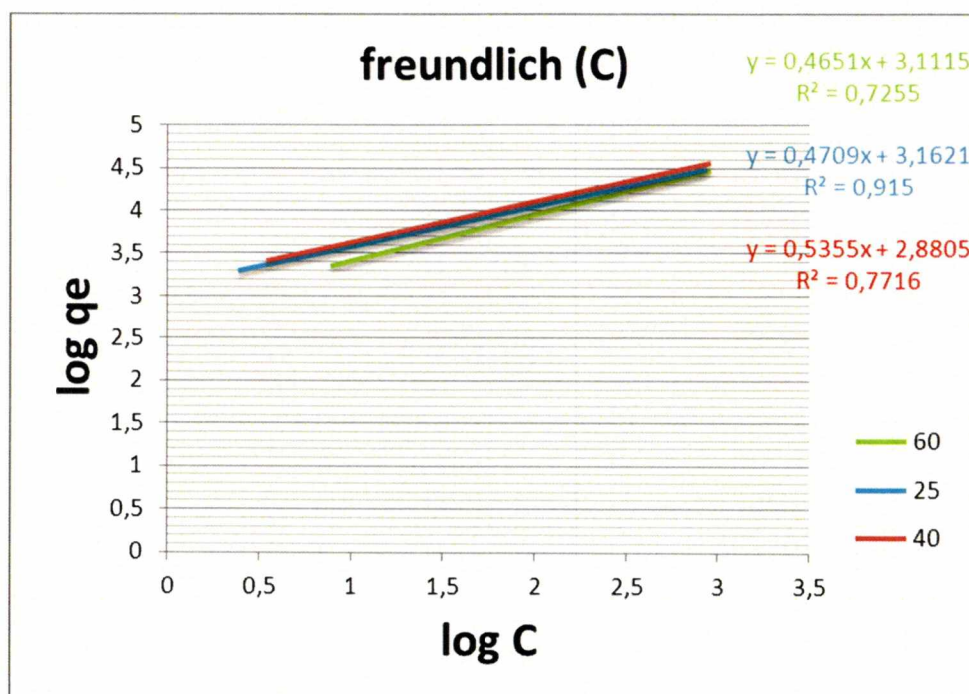
°C, και 60. Το σημείο τομής κάθε ευθείας με τον άξονα του $y(q_e)$ δίνει την τιμή του b ενώ η κλίση κάθε ευθείας δίνει την τιμή του a .

Πίνακας: Οι συντελεστές γραμμικότητας της συσχέτισης και οι σταθερές προσρόφησης C_u όπως προσδιορίστηκαν με την ισοθερμη του Temkin για το Γκαϊτίτη στις τρεις θερμοκρασίες.

Temkin -Γκαϊτίτης (G)			
Θερμοκρασία	a	b	R^2
25	10322	7578,8	0,8395
40	7531,2	1731,3	0,537
60	6563,1	11997	0,5615

Ο πίνακα παριστά τους συντελεστές γραμμικής συσχέτισης και οι σταθερές προσρόφησης C_u όπως προσδιορίστηκαν με την ισοθερμη του Temkin για το γκαϊτίτη (G) στις τρεις θερμοκρασίες, παρατηρούμε ότι αυξανόμενης της θερμοκρασίας οι τιμές του a μειώνονται ενώ οι τιμές του b αυξάνονται. Οι τιμές του R^2 αποδεικνύουν καλύτερη προσαρμογή των πειραματικών δεδομένων στην ισοθερμη Temkin στους 25°C από ότι στους 60 °C και 40°C αντίστοιχα.

Μελέτη προσαρμογής των πειραματικών μας δεδομένων προσρόφησης C_u από τον Ανθρακα στις ισοθερμες Freundlich, Langmuir και Temkin για τις τρεις θερμοκρασίες (25°C, 40 °C, 60 °C).



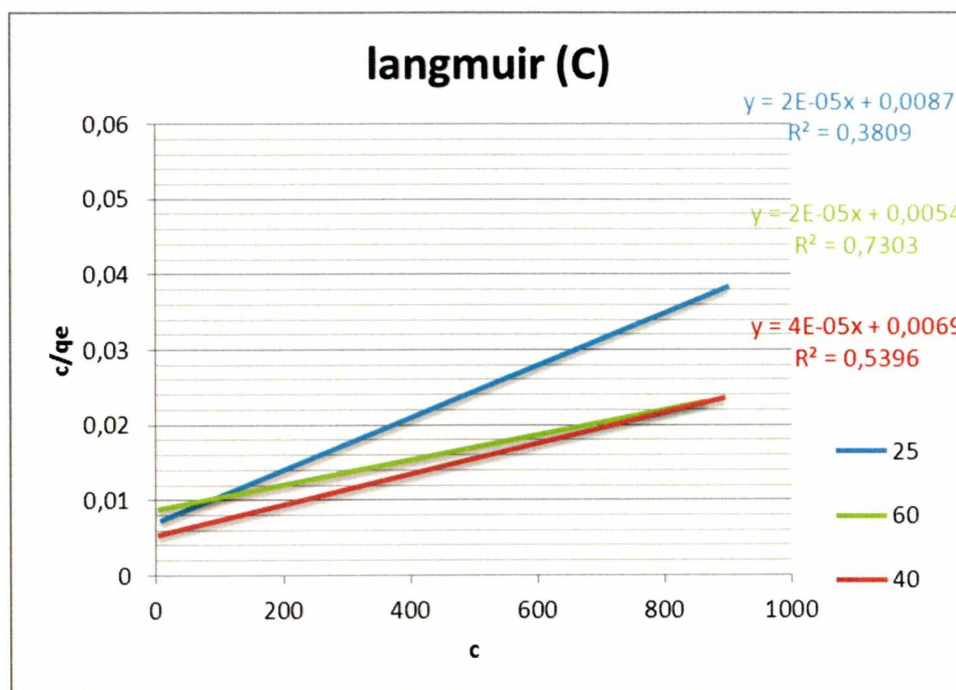
Διάγραμμα Ο log της συγκέντρωσης ισορροπίας σε συνάρτηση με τον log της προσροφούμενης ποσότητας Cu από τον Ανθρακα.

Το διάγραμμα παριστά την προσαρμογή των πειρατικών δεδομένων προσρόφησης του Cu από το C στις ισόθερμο Freudlich στις θερμοκρασίες 25°C, 40 °C, και 60 °C .

Πίνακας: Οι συντελεστές γραμμικότητας της συσχέτισης και οι σταθερές προσρόφησης Cu όπως προσδιορίστηκαν με την ισοθερμη του freundlich για το C στις τρεις θερμοκρασίες.

Freundlich-Άνθρακας (C)			
Θερμοκρασία	logA	B	R ²
25	4,3073	1,5598	0,7255
40	5,9752	1,943	0,915
60	3,6848	1,4409	0,7716

Ο πίνακα παριστά τις τιμές των α, β και R². Το α είναι η τιμή του σημείου τομής της ευθείας με τον άξονα y(logqe) το β η κλίση της ευθείας και το R² ο συντελεστής γραμμικής συσχέτισης των πειραματικών δεδομένων με την ισόθερμη Freundlich



Διάγραμμα: Η συγκαίντρωση του Cu στην ισοροπία (mg/l) σε συνάρτηση του λόγου της συγκέντρωσης του Cu στην Ισοροπία (mg/l) προς το ποσό του προσροφούμενου Cu(mg/kg) από το C στις θερμοκρασίες 25°C, 40 °C, και 60 °C.

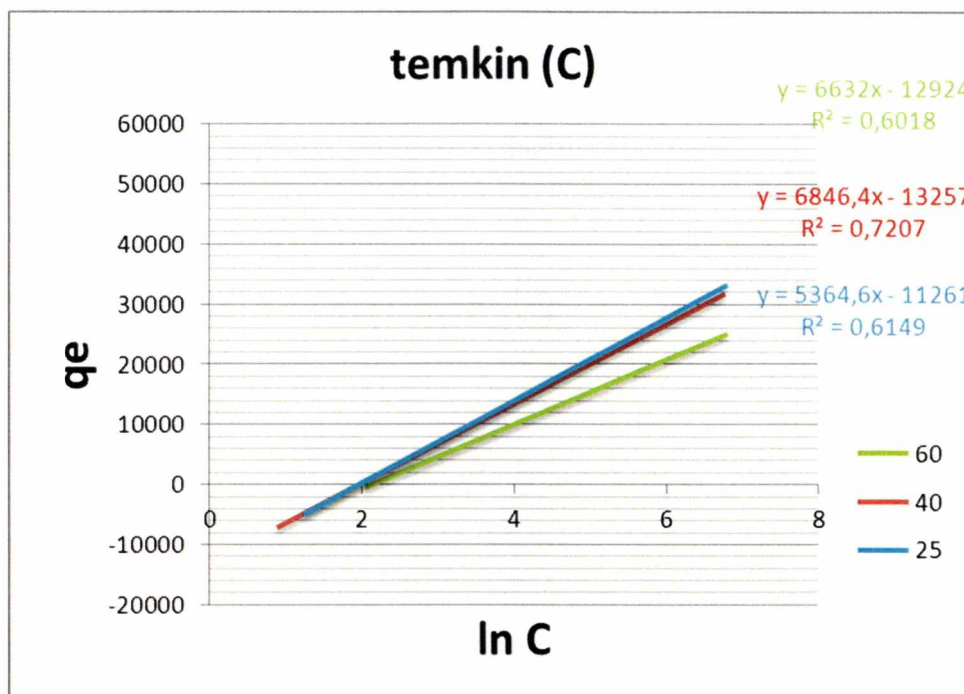
Το διάγραμμα παριστά την συγκέντρωση του Cu στην ισοροπία (mg/l) σε συνάρτηση του λόγου της συγκέντρωσης του Cu στην Ισοροπία (mg/l) προς το ποσό

του προσροφούμενου Cu (mg/kg) από το C στις θερμοκρασίες των 25°C, 40°C και 60°C. Από το σημείο τομής της ευθείας με τον άξονα y προκύπτει η τιμή του α από την κλίση της ευθείας προκύπτει η τιμή του β, ενώ η τιμή του R² εκφράζει τον συντελεστή γραμμικής συσχέτισης μεταξύ των πειραματικών δεδομένων και της ισόθερμης Langmuir.

Πίνακας: Οι συντελεστές γραμμικότητας της συσχέτισης και οι σταθερές προσρόφησης Cu όπως προσδιορίστηκαν με την ισόθερμη του Langmuir για τον άνθρακα στις τρεις θερμοκρασίες.

Langmuir-Άνθρακας ©					
θερμοκρασία	α	b	R2	qmax	K
25	0,0087	2,00E-05	0,3809	50000	0,002298851
40	0,0054	2,00E-05	0,7303	50000	0,003703704
60	0,0069	4,00E-05	0,5396	25000	0,005797101

Ο πίνακα παριστά τις τιμές του α, b και R² καθώς επίσης και την μέγιστη προσρόφηση του Cu από το C στις θερμοκρασίες των 25°C, 40°C, και 60°C η οποία υπολογίστηκε από την εξίσωση της ισόθερμης Langmuir ($b=1/q_{max}$) και την σταθερά K ($\alpha=1/K \cdot q_{max}$). Από τον πίνακα προκύπτει ότι η μέγιστη προσρόφηση χαλκού παρατηρείται στους 25 και 40°C και είναι 50000 mg/kg. Η τιμή του α αυξάνεται μέγιστα στους 25°C, ενώ το K είναι αυξημένο στην θερμοκρασία των 60°C. Η τιμή του b μεγιστοποιείται στους 60. Οι τιμές του R² αποδεικνύουν καλύτερη προσαρμογή των πειραματικών δεδομένων στην ισόθερμη Langmuir στους 40°C από ότι στους 25°C και 40°C αντίστοιχα.



Διάγραμμα: Ο ln της συγκέντρωσης ισορροπίας σε συνάρτηση με την προσροφόμενη ποσότητα χαλκού από το C.

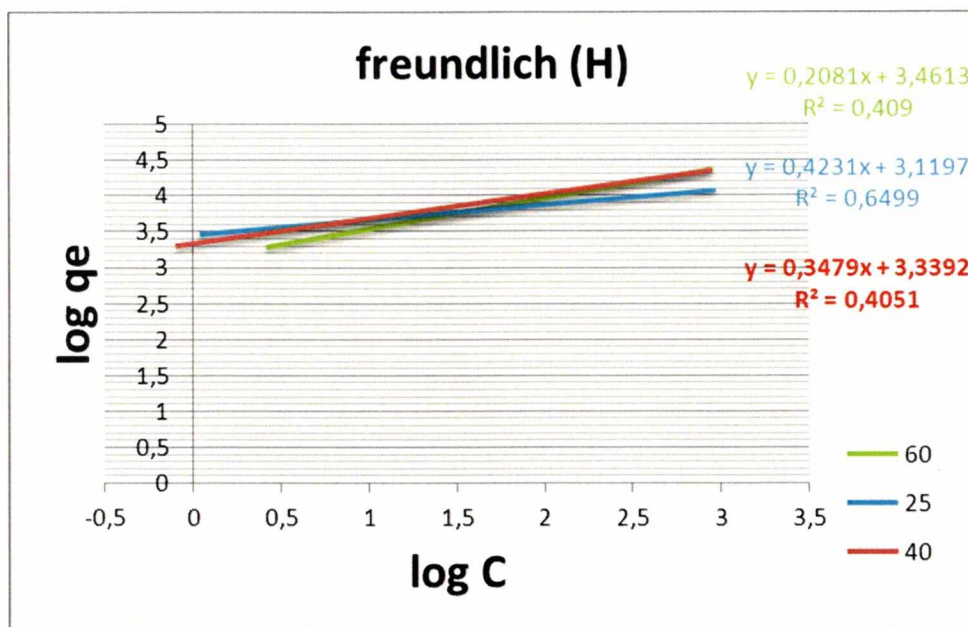
Το διάγραμμα παριστά το ln της συγκέντρωσης ισορροπίας σε συνάρτηση με την προσροφόμενη ποσότητα Cu από το C στις θερμοκρασίες των 25°C, 40°C, και 60. Το σημείο τομής κάθε ευθείας με τον άξονα του y(qe) δίνει την τιμή του b ενώ η κλίση κάθε ευθείας δίνει την τιμή του α.

Πίνακας: Οι συντελεστές γραμμικότητας της συσχέτισης και οι σταθερές προσρόφησης Cu όπως προσδιορίστηκαν με την ισοθερμη του Temkin για το C στις τρεις θερμοκρασίες.

Temkin -Άνθρακας ©			
Θερμοκρασία	α	b	R ²
25	6632	-12924	0,6018
40	6846,4	-13257	0,7207
60	5364,6	-11261	0,6149

Ο πίνακα παριστά τους συντελεστές γραμμικής συσχέτισης και οι σταθερές προσρόφησης χαλκού όπως προσδιορίστηκαν με την ισοθερμη του Temkin για τον άνθρακα στις τρεις θερμοκρασίες, παρατηρούμε ότι αυξανόμενης της θερμοκρασίας οι τιμές του α μειώνονται. Οι τιμές του R² αποδεικνύουν καλύτερη προσαρμογή των πειραματικών δεδομένων στην ισοθερμη Temkin στους 40°C από ότι στους 60°C και 25°C αντίστοιχα.

Μελέτη προσαρμογής των πειραματικών μας δεδομένων προσρόφησης Cu από τον Αιματίτη στις ισόθερμες Freundlich, Langmuir και Temkin για τις τρεις θερμοκρασίες (25°C, 40 °C, 60 °C).



Διάγραμμα: Ο log της συγκέντρωσης ισορροποίας σε συνάρτηση με τον log της προσροφούμενης ποσότητας Cu από το Η.

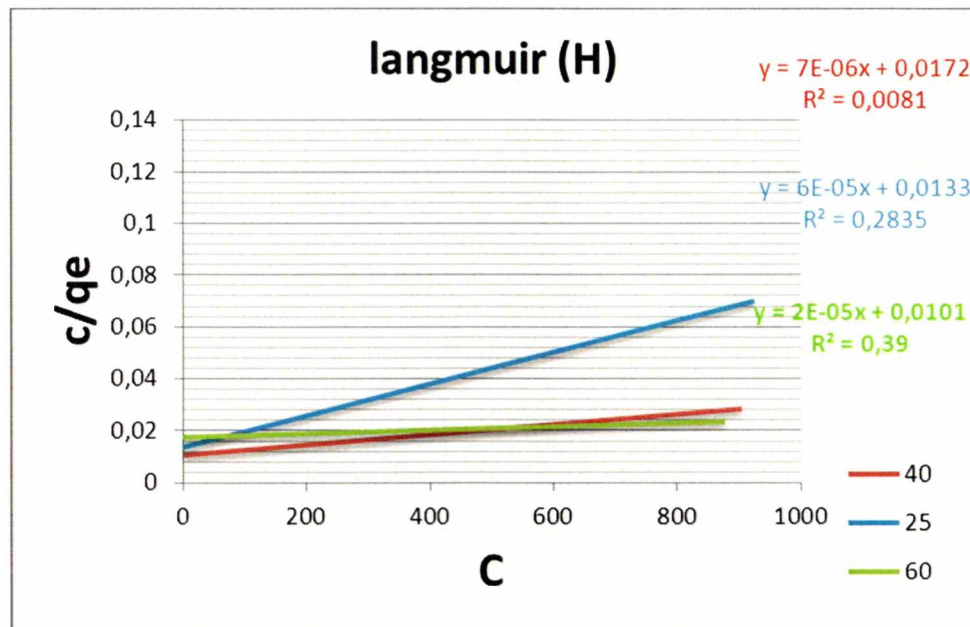
Το διάγραμμα παριστά την προσαρμογή των πειρατικών δεδομένων προσρόφησης του Cu από το Η στις ισόθερμο Freundlich στις θερμοκρασίες 25°C, 40 °C, και 60 °C .

Πίνακας: Οι συντελεστές γραμμικότητας της συσχέτισης και οι σταθερές προσρόφησης Cu όπως προσδιορίστηκαν με την ισοθερμη του freundlich για το Η στις τρεις θερμοκρασίες.

Freundlich-Αιματίτης (H)			
Θερμοκρασία	logA	B	R ²
25	0,3038	0,3005	0,9058
40	2,5935	1,1103	0,4231
60	10,992	2,9799	0,8072

Ο πίνακα παριστά τις τιμές των α, β και R² .Το α είναι η τιμή του σημείου τομής της ευθείας με τον άξονα y(logqe) το β η κλίση της ευθείας και το R² ο συντελεστής γραμμικής συσχέτισης των πειραματικών δεδομένων με την ισόθερμη Freundlich

Από τον πίνακα προκύπτει ότι ο ρυθμός προσρόφησης του Cu(β) και η προσρόφηση(α) είναι μέγιστη στους 60. Από τις τιμές του R^2 προκύπτει ότι την καλύτερη προσαρμογή στην εξίσωση Freundlich είχαμε στην θερμοκρασία των 25°C.



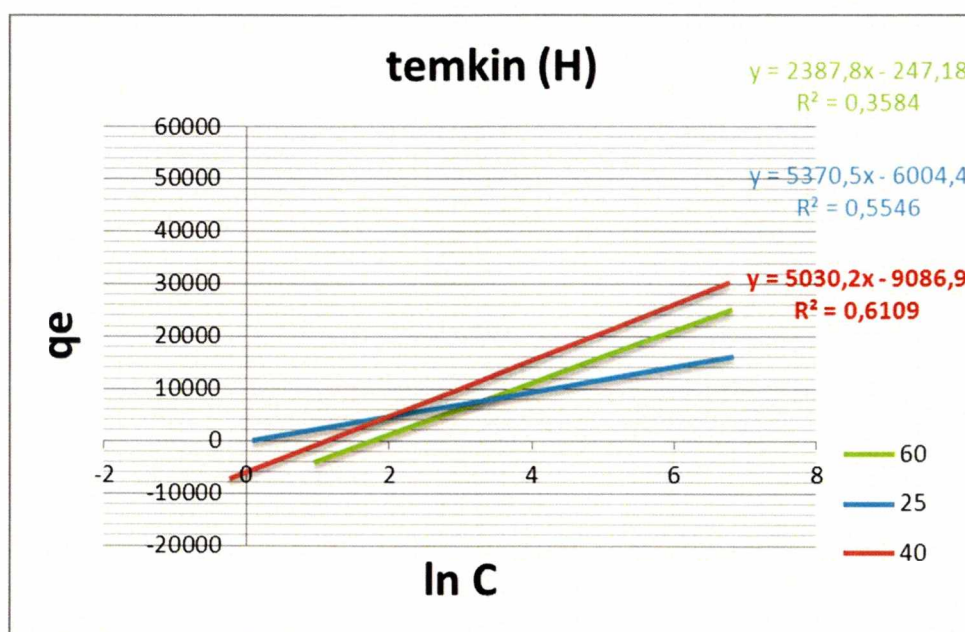
Διάγραμμα: Η συγκαίντρωση του Cu στην ισοροπία (mg/l) σε συνάρτηση του λόγου της συγκέντρωσης του Cu στην Ισοροπία (mg/l) προς το ποσό του προσροφούμενου Cu (mg/kg) από το H στις θερμοκρασίες 25°C, 40 °C, και 60 °C.

Το διάγραμμα παριστά την συγκέντρωση του Cu στην ισοροπία (mg/l) σε συνάρτηση του λόγου της συγκέντρωσης του Cu στην Ισοροπία (mg/l) προς το ποσό του προσροφούμενου Cu (mg/kg) από το H στις θερμοκρασία των 25°C, 40 °C και 60 °C. Από το σημείο τομής της ευθείας με τον άξονα y προκύπτει η τιμή του α από την κλίση της ευθείας προκύπτει η τιμή του β , ενώ η τιμή του R^2 εκφράζει τον συντελεστή γραμμικής συσχέτισης μεταξύ των πειραματικών δεδομένων και της ισόθερμης Langmuir.

Πίνακας: Οι συντελεστές γραμμικότητας της συσχέτισης και οι σταθερές προσρόφησης Cu όπως προσδιορίστηκαν με την ισοθερμη του Langmuir για το H στις τρεις θερμοκρασίες.

Langmuir-Αιματήτης (H)					
Θερμοκρασία	α	b	R ²	q _{max}	K
25	0,0133	6,00E-05	0,2835	16666,67	0,004511278
40	0,0172	7,00E-06	0,0081	142857,1	0,000406977
60	0,0101	2,00E-05	0,39	50000	0,001980198

Ο πίνακα παριστά τις τιμές του α , b και R^2 καθώς επίσης και την μέγιστη προσρόφηση του Cu από το H στις θερμοκρασίες των 25°C, 40 °C, και 60 °C η οποία υπολογίστηκε από την εξίσωση της ισόθερμης Langmuir ($b=1/q_{max}$) και την σταθερά K ($\alpha=1/K \cdot q_{max}$). Από τον πίνακα προκύπτει ότι η μέγιστη προσρόφηση χαλκού παρατηρείται στους 60 και είναι 50000 mg/kg. Το K είναι πολύ αυξημένο στην θερμοκρασία των 25°C στην συνέχεια μειώνεται καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία στους 40°C και αυξάνεται προς στους 60°C. Η τιμή του b μειώνεται. Οι τιμές του R^2 αποδεικνύουν καλύτερη προσαρμογή των πειραματικών δεδομένων στην ισόθερμο Langmuir στους 60°C από ότι στους 25°C και 40°C αντίστοιχα.



Διάγραμμα: Ο ln της συγκέντρωσης ισορροπίας σε συνάρτηση με την προσροφόμενη ποσότητα χαλκού από το H.

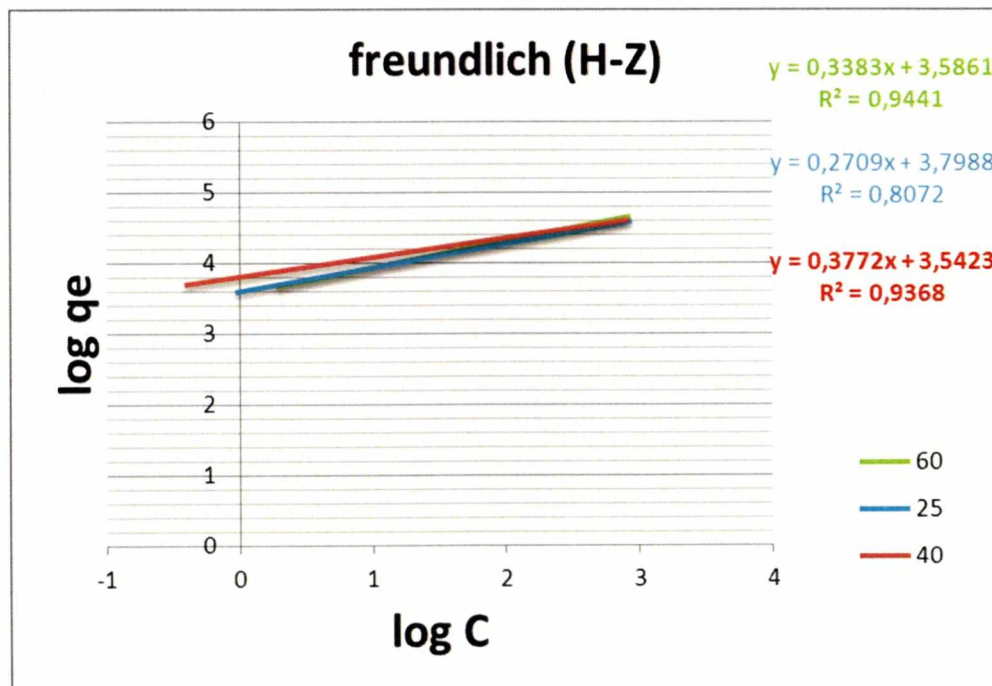
Το διάγραμμα παριστά το ln της συγκέντρωσης ισορροπίας σε συνάρτηση με την προσροφόμενη ποσότητα Cu από το H στις θερμοκρασίες των 25°C, 40 °C, και 60. Το σημείο τομής κάθε ευθείας με τον άξονα του y(q_e) δίνει την τιμή του b ενώ η κλίση κάθε ευθείας δίνει την τιμή του α .

Πίνακας: Οι συντελεστές γραμμικότητας της συσχέτισης και οι σταθερές προσρόφησης Cu όπως προσδιορίστηκαν με την ισοθερμη του Temkin για το H στις τρεις θερμοκρασίες.

Temkin -Αιματήτης (H)			
Θερμοκρασία	α	b	R^2
25	2387,8	-274,8	0,3584
40	5370,5	-6004,4	0,5546
60	5030,2	-9086,9	0,6109

Ο πίνακα παριστά τους συντελεστές γραμμικής συσχέτισης και οι σταθερές προσρόφησης χαλκού όπως προσδιορίστηκαν με την ισοθερμη του Temkin για το H στις τρεις θερμοκρασίες, παρατηρούμε ότι αυξανόμενης της θερμοκρασίας οι τιμές του α αυξομειώνονται. Οι τιμές του R^2 αποδεικνιουν καλύτερη προσαρμογή των πειραματικών δεδομένων στην ισοθερμη temkin στους 60oC από ότι στους 25 oC και 40oC αντίστοιχα.

Μελέτη προσαρμογής των πειραματικών μας δεδομένων προσρόφησης Cu από το σύστημα H-Z στις ισόθερμες Freundlich, Langmuir και Temkin για τις τρεις θερμοκρασίες (25°C, 40 °C, 60 °C).



Διάγραμμα: Ο log της συγκέντρωσης ισορροποίας σε συναρτηση με τον log της προσροφούμενης ποσότητας Cu από το H-Z.

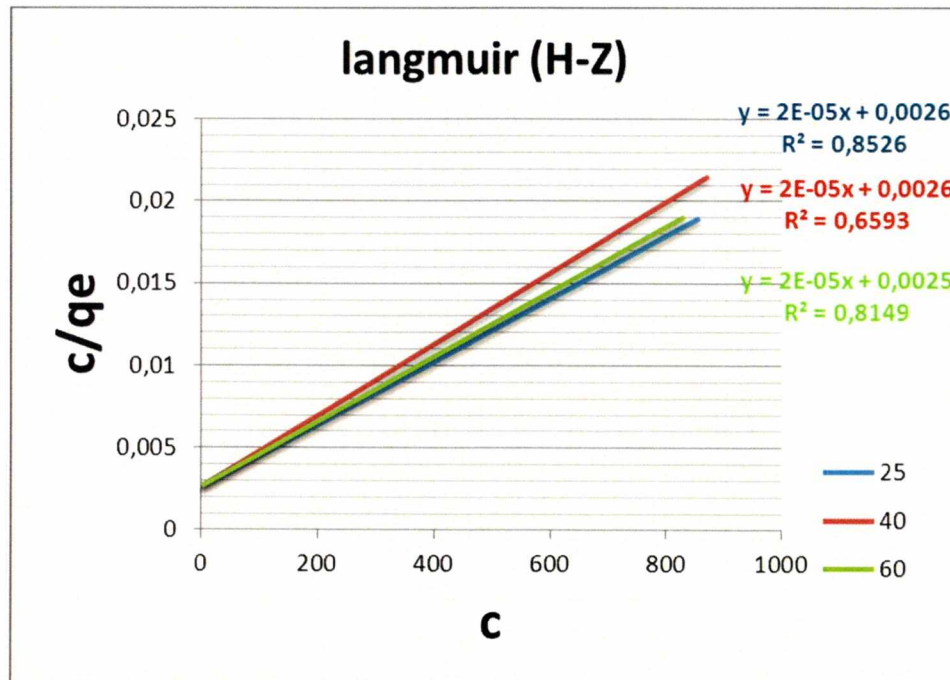
Το διάγραμμα παριστά την προσαρμογή των πειρατικών δεδομένων προσρόφησης του Cu από το H-Z στις ισόθερμο Freundlich στις θερμοκρασίες 25°C, 40 °C, και 60 °C.

Πίνακας: Οι συντελεστές γραμμικότητας της συσχέτισης και οι σταθερές προσρόφησης Cu όπως προσδιορίστηκαν με την ισοθερμη του freundlich για το H-Z στις τρεις θερμοκρασίες.

Freundlich-Αιματίτης/Ζεόλιθος (H-Z)			
Θερμοκρασία	logA	B	R ²
25	0,2944	0,2987	0,8029
40	10,992	2,9799	0,8072
60	0,3982	0,282	0,8048

Ο πίνακα παριστά τις τιμές των α, β και R². Το α είναι η τιμή του σημείου τομής της ευθείας με τον άξονα y(logqe) το β η κλίση της ευθείας και το R² ο συντελεστής γραμμικής συσχέτισης των πειραματικών δεδομένων με την ισόθερμη Freundlich

Από τον πίνακα προκύπτει ότι ο ρυθμός προσρόφησης του Cu(β) και η προσρόφηση(α) είναι μέγιστη στους 40. Οι τιμές του R² είναι σταθερές.



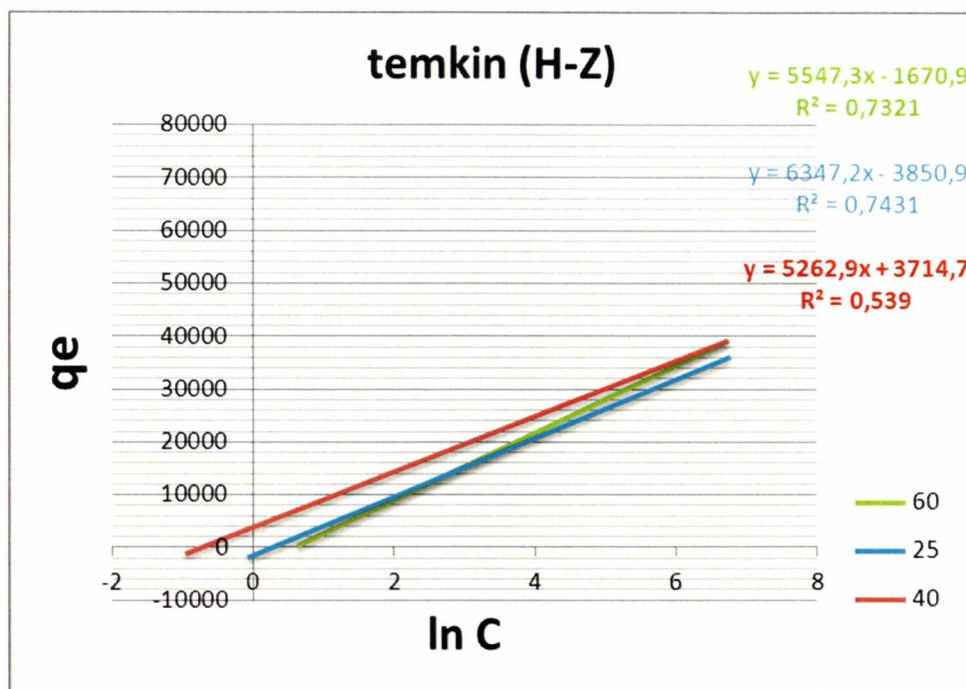
Διάγραμμα: Η συγκαίντρωση του Cu στην ισοροπία (mg/l) σε συνάρτηση του λόγου της συγκέντρωσης του Cu στην Ισοροπία (mg/l) προς το ποσό του προσροφούμενου Cu (mg/kg) από το H-Z στις θερμοκρασίες 25°C, 40 °C, και 60 °C.

Το διάγραμμα παριστά την συγκέντρωση του Cu στην ισοροπία (mg/l) σε συνάρτηση του λόγου της συγκέντρωσης του Cu στην Ισοροπία (mg/l) προς το ποσό του προσροφούμενου Cu (mg/kg) από το Η στις θερμοκρασίες των 25°C, 40 °C και 60 °C. Από το σημείο τομής της ευθείας με τον άξονα y προκύπτει η τιμή του α από την κλίση της ευθείας προκύπτει η τιμή του β ,ενώ η τιμή του R² εκφράζει τον συντελεστή γραμμικής συσχέτισης μεταξύ των πειραματικών δεδομένων και της ισόθερμης Langmuir.

Πίνακας: Οι συντελεστές γραμμικότητας της συσχέτισης και οι σταθερές προσρόφησης Cu όπως προσδιορίστηκαν με την ισοθερμική του Langmuir για το Η-Z στις τρεις θερμοκρασίες.

Langmuir-Αιματήτης/Ζεόλιθος (H-Z)					
θερμοκρασία	α	b	R2	q _{max}	K
25	0,0026	2,00E-05	0,8526	50000	0,007692308
40	0,0026	2,00E-05	0,6593	50000	0,007692308
60	0,0025	2,00E-05	0,8149	50000	0,008

Ο πίνακα παριστά τις τιμές του α, b και R² καθώς επίσης και την μέγιστη προσρόφηση του Cu από το Η-Z στις θερμοκρασίες των 25°C, 40 °C, και 60 °C η οποία υπολογίστηκε από την εξίσωση της ισόθερμης Langmuir (b=1/q_{max}) και την σταθερά K (α=1/K*q_{max}). Από τον πίνακα προκύπτει ότι η μέγιστη προσρόφηση χαλκού είναι 50000 mg/kg. Το K είναι επίσης σταθερό . Η τιμή του b το ίδιο. Οι τιμές του R² αποδεικνύουν λίγο καλύτερη προσαρμογή των πειραματικών δεδομένων στην ισόθερμο Langmuir στους 25°C από ότι στους 60°C και 40°C αντίστοιχα.



Διάγραμμα: Ο \ln της συγκέντρωσης ισορροπίας σε συνάρτηση με την προσροφόμενη ποσότητα χαλκού από το Η-Ζ.

Το διάγραμμα παριστά το \ln της συγκέντρωσης ισορροπίας σε συνάρτηση με την προσροφόμενη ποσότητα C_u από το Η-Ζ στις θερμοκρασίες των 25°C, 40 °C, και 60. Το σημείο τομής κάθε ευθείας με τον άξονα του $y(q_e)$ δίνει την τιμή του b ενώ η κλίση κάθε ευθείας δίνει την τιμή του a .

Πίνακας: Οι συντελεστές γραμμικότητας της συσχέτισης και οι σταθερές προσρόφησης C_u όπως προσδιορίστηκαν με την ισοθερμη του Temkin για το Η-Ζ στις τρεις θερμοκρασίες.

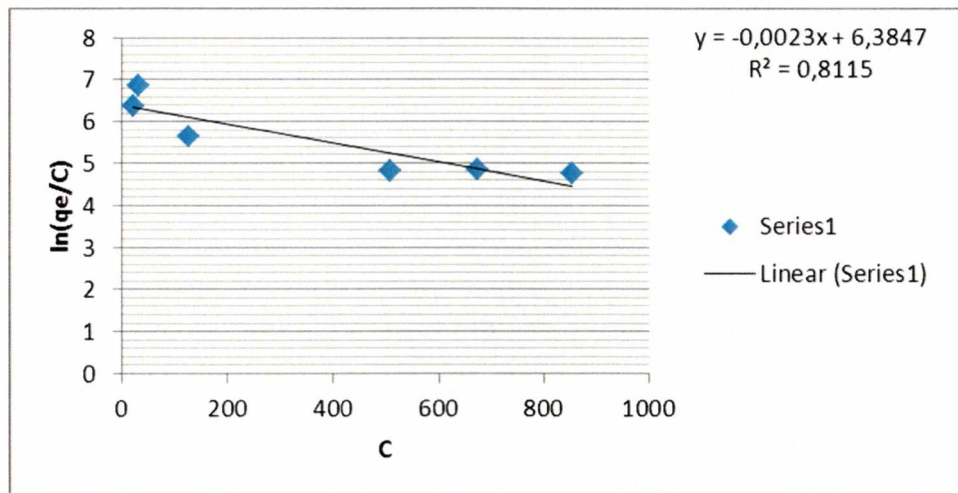
Temkin -Αιματήτης/Ζεόλιθος (Η-Ζ)			
Θερμοκρασία	a	b	R^2
25	5547,3	-1670,9	0,7321
40	5262,9	3714,7	0,539
60	6347,2	-3850,9	0,7431

Ο πίνακα παριστά τους συντελεστές γραμμικής συσχέτισης και οι σταθερές προσρόφησης χαλκού όπως προσδιορίστηκαν με την ισοθερμη του Temkin για το Η-Ζ στις τρεις θερμοκρασίες, παρατηρούμε ότι αυξανόμενης της θερμοκρασίας οι τιμές του a αυξομειώνονται. Οι τιμές του R^2 αποδεικνύουν καλύτερη προσαρμογή των πειραματικών δεδομένων στην ισόθερμη Temkin στους 60°C και 25 από ότι στους 40°C

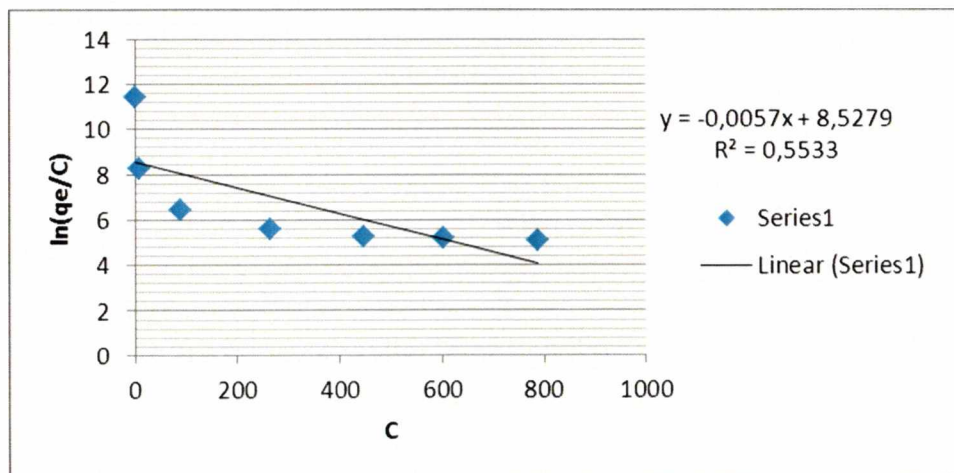
Θερμοδυναμική

Μελέτη της συμπεριφοράς της θερμοκρασίας στην προσρόφηση χαλκού από το Σύστημα I (Z-G-Y)

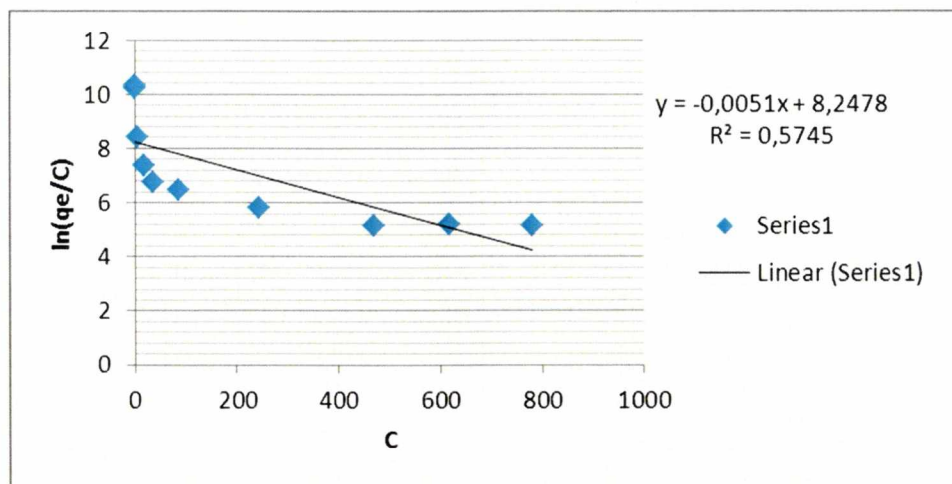
Για τον υπολογισμό του $\Delta G, \Delta H, \Delta S$ αρχικά υπολογίστηκε το $\ln(q_e/C)$. Από τις γραφικές παραστάσεις του $\ln(q_e/C)$ συνάρτηση του C υπολογίστηκαν το $\ln K$ για κάθε θερμοκρασία.



Διάγραμμα. Ο $\ln(q_e/c)$ σε συνάρτηση με την συγκέντρωση C_u στην ισοροπία για την θερμοκρασία των 25°C

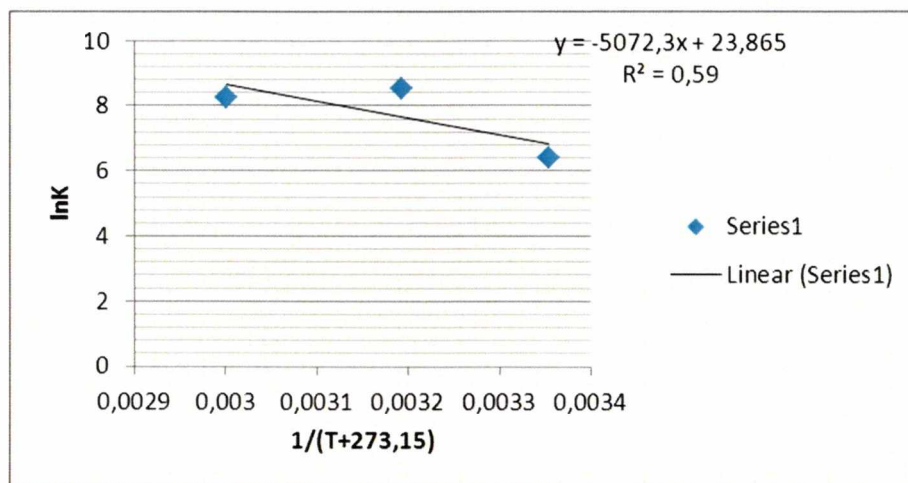


Διάγραμμα. Ο $\ln(q_e/c)$ σε συνάρτηση με την συγκέντρωση C_u στην ισοροπία για την θερμοκρασία των 40°C



Διάγραμμα. Ο $\ln(q_e/c)$ σε συνάρτηση με την συγκέντρωση C_u στην ισοροπία για την θερμοκρασία των 60°C

Τέλος κατασκευάστηκε η γραφική παράσταση του $\ln K$ συνάρτηση του $1/T+273,15$ από την οποία υπολογίστηκαν τα $\Delta G, \Delta H, \Delta S$.



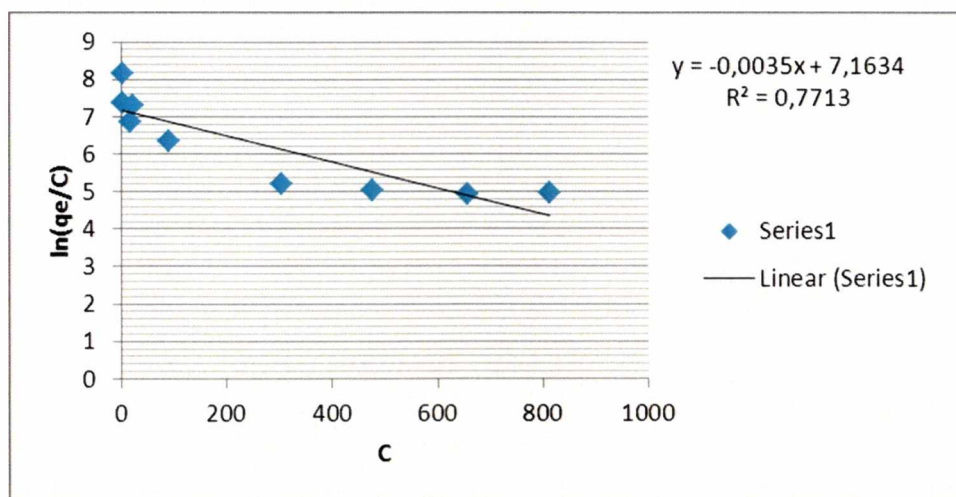
Διάγραμμα. Ο $\ln K$ σε συνάρτηση με την T^{-1} (K) για το Σύστημα I (Z-G-Y)

Πίνακας. Το $\ln K$, το ΔH , ΔS και το ΔG για το Σύστημα I (Z-G-Y)

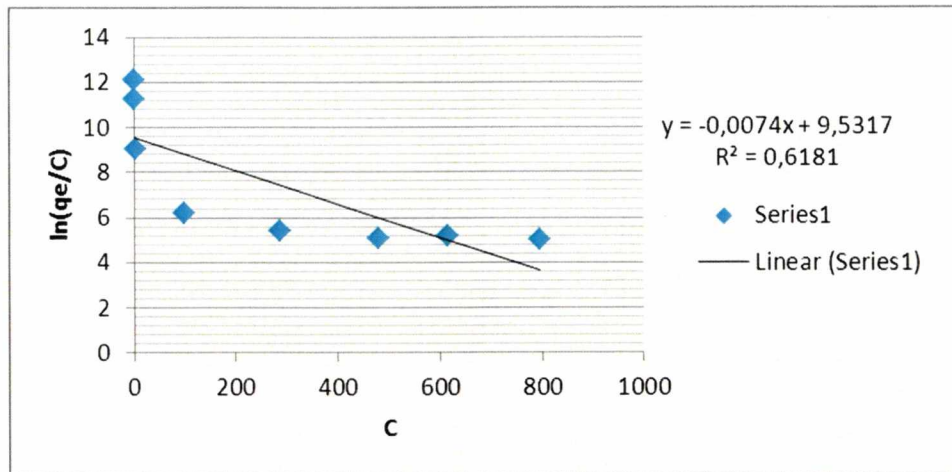
Σύστημα 1(S1) (Z-G) ΚΙΤΡΙΝΟ ΧΡΩΜΑ								
$1/(T+273,15)$	t	k	$\ln K$	$\Delta S/R$	$\Delta H/R$	$\Delta S(\text{J/mol})$	ΔH	$\Delta G(\text{J/mol})$
0,003354016	25	0,29815	6,3847	23,865265	-5072,29	198,41581	-42171	-15826,52
0,003193358	40	0,219205	8,5279					-22202,64
0,003001651	60	0,166575	8,2478					-22844,83

Μελέτη της συμπεριφοράς της θερμοκρασίας στην προσρόφηση Cu από το Σύστημα II (Z-G-R)

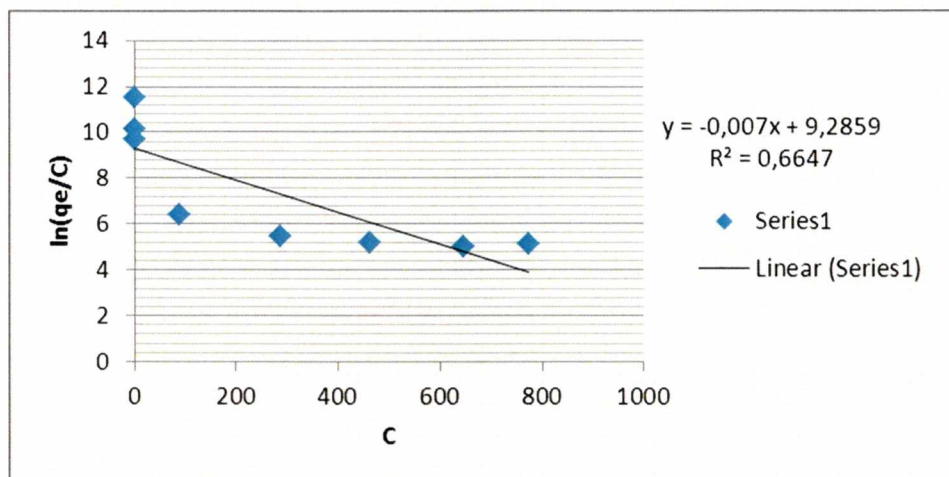
Για τον υπολογισμό του ΔG , ΔH , ΔS αρχικά υπολογίστηκε το $\ln(q_e/c)$. Από τις γραφικές παραστάσεις του $\ln(q_e/c)$ συνάρτηση του C υπολογίστηκαν το $\ln K$ για κάθε θερμοκρασίας.



Διάγραμμα .Ο $\ln(q_e/c)$ σε συνάρτηση με την συγκέντρωση Cu στην ισοροπία για την θερμοκρασία των 25°C

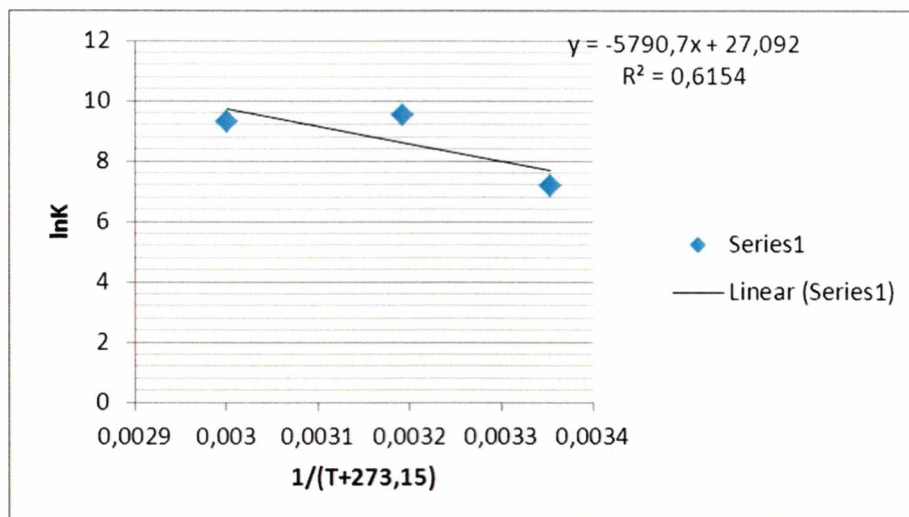


Διάγραμμα. Ο $\ln(q_e/c)$ σε συνάρτηση με την συγκέντρωση C_u στην ισοροπία για την θερμοκρασία των 40°C



Διάγραμμα . Ο $\ln(q_e/c)$ σε συνάρτηση με την συγκέντρωση C_u στην ισοροπία για την θερμοκρασία των 60°C

Τέλος κατασκευάστηκε η γραφική παράσταση του $\ln K$ συνάρτηση του $1/T+273,15$ από την οποία υπολογίστηκαν τα $\Delta G, \Delta H, \Delta S$.



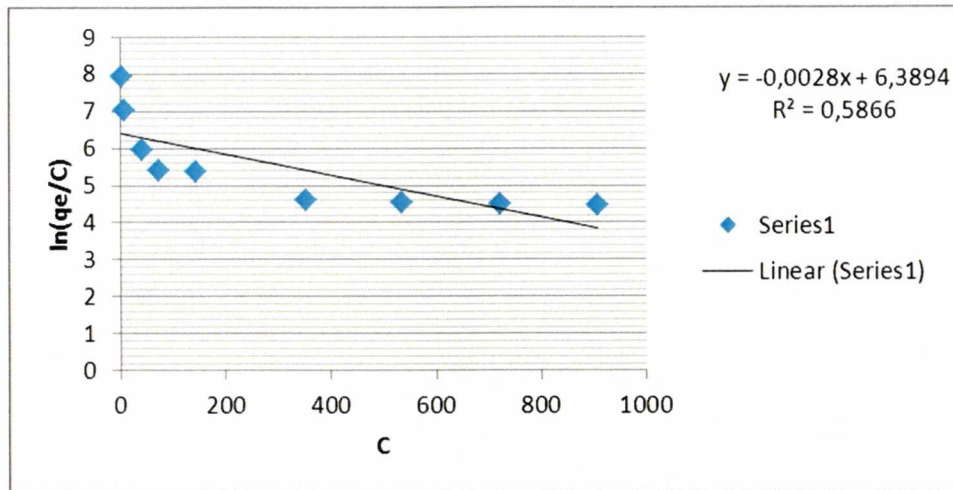
Διάγραμμα. Ο $\ln K$ σε συνάρτηση με την T^{-1} (K) για το Σύστημα II (Z-G-R)

Πίνακας. Το $\ln K$, το ΔH , ΔS και το ΔG για το Σύστημα II (Z-G-R)

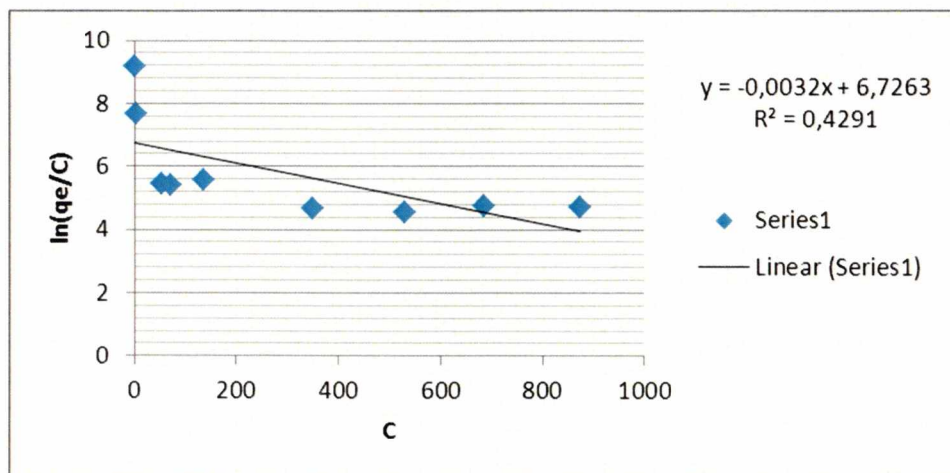
Σύστημα 2(S2) (Z-G) ΚΟΚΙΝΟ ΧΡΩΜΑ								
$1/(T+273,15)$	t	k	$\ln K$	$\Delta S/R$	$\Delta H/R$	$\Delta S(J/mol)$	ΔH	$\Delta G(J/mol)$
0,003354016	25	0,268335	7,1634	27,092151	-5790,69	225,24414	-48143,8	-17756,77
0,003193358	40	0,18789	9,5317					-24816,06
0,003001651	60	0,19989	9,2859					-25720,17

Μελέτη της συμπεριφοράς της θερμοκρασίας στην προσρόφιση Cu από το Ζεόλιθο (Z)

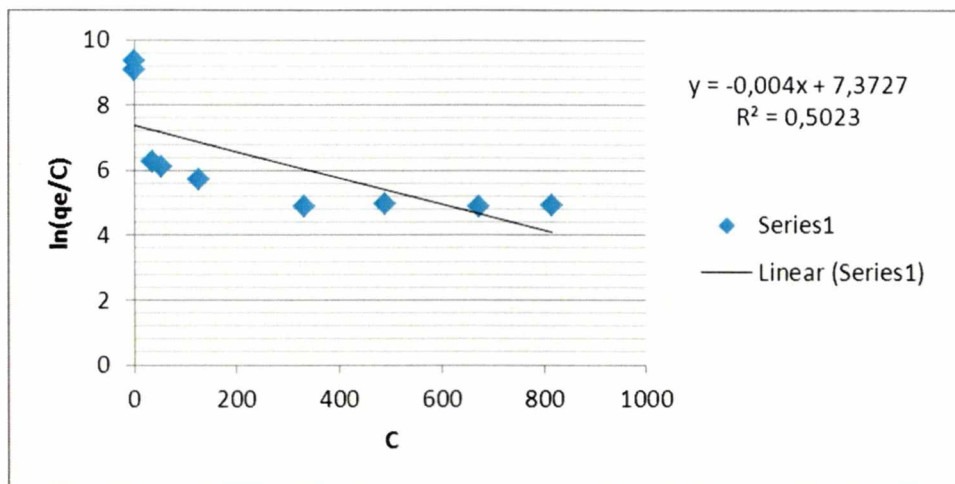
Για τον υπολογισμό του ΔG , ΔH , ΔS αρχικά υπολογίστηκε το $\ln(qe/c)$. Από τις γραφικές παραστάσεις του $\ln(qe/c)$ συνάρτηση του C υπολογίστηκαν το $\ln K$ για κάθε θερμοκρασίας.



Διάγραμμα. Ο $\ln(q_e/c)$ σε συνάρτηση με την συγκέντρωση C_u στην ισοροπία για την θερμοκρασία των 25°C

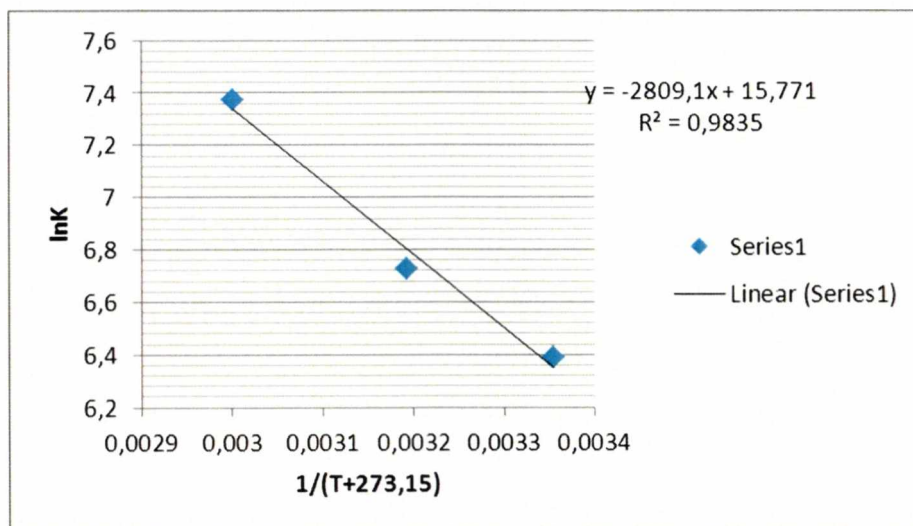


Διάγραμμα. Ο $\ln(q_e/c)$ σε συνάρτηση με την συγκέντρωση C_u στην ισοροπία για την θερμοκρασία των 40°C



Διάγραμμα. Ο $\ln(qe/c)$ σε συνάρτηση με την συγκέντρωση C_u στην ισοροπία για την θερμοκρασία των 60°C

Τέλος κατασκευάστηκε η γραφική παράσταση του $\ln K$ συνάρτηση του $1/T+273,15$ από την οποία υπολογίστηκαν τα $\Delta G, \Delta H, \Delta S$.



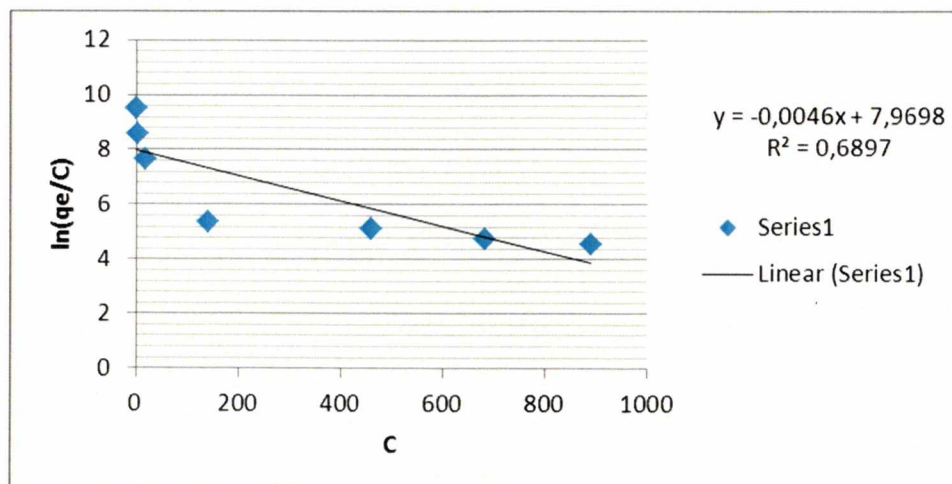
Διάγραμμα. Ο $\ln K$ σε συνάρτηση με την T^{-1} (K) για το Ζεόλιθο (Z)

Πίνακας . Το $\ln K$, το ΔH , ΔS και το ΔG για το Ζεόλιθο (Z)

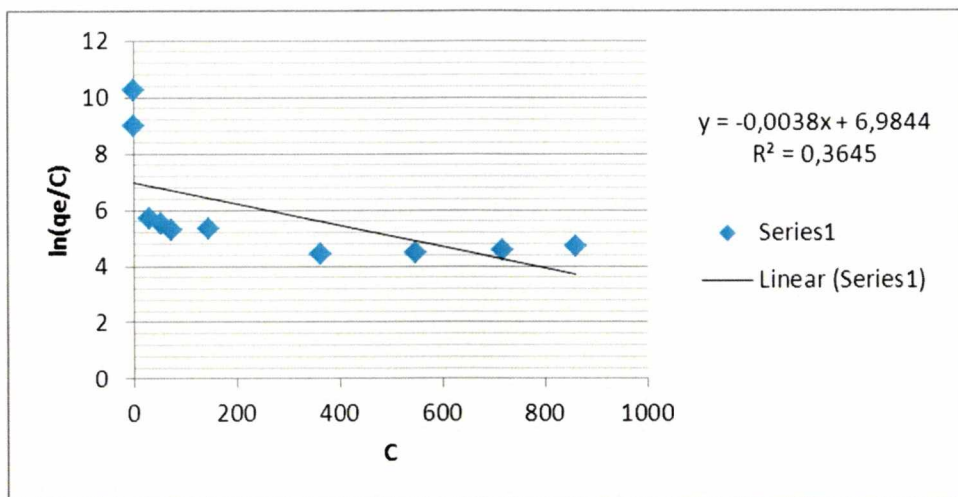
Ζεόλιθος(Z)								
$1/(T+273,15)$	t	k	$\ln K$	$\Delta S/R$	$\Delta H/R$	$\Delta S(J/mol)$	ΔH	$\Delta G(J/mol)$
0,003354016	25	0,745375	6,3894	15,770844	-2809,1	131,1188	-23354,8	-15838,17
0,003193358	40	0,845505	6,7263					-17512,12
0,003001651	60	0,499725	7,3727					-20420,97

Μελέτη της συμπεριφοράς της θερμοκρασίας στην προσρόφηση Cu από το Γκαιίτη (G)

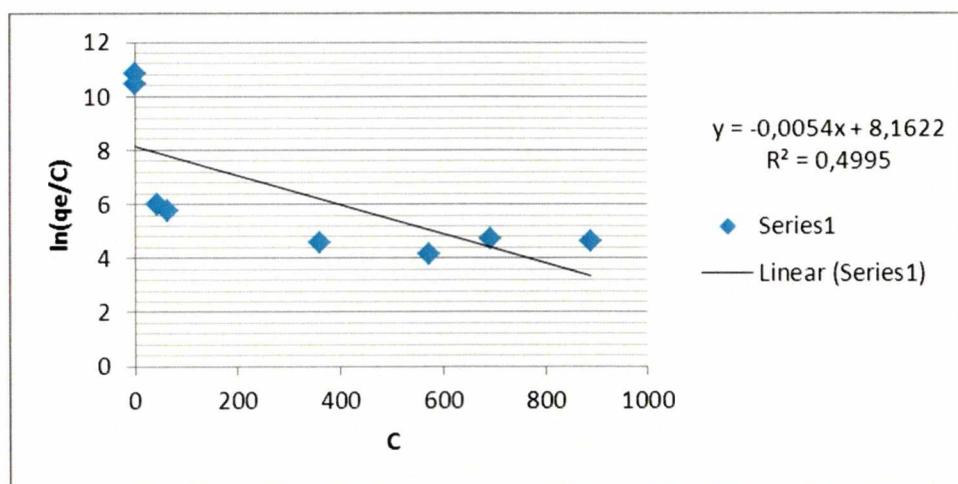
Για τον υπολογισμό του ΔG , ΔH , ΔS αρχικά υπολογίστηκε το $\ln(qe/c)$. Από τις γραφικές παραστάσεις του $\ln(qe/c)$ συνάρτηση του C υπολογίστηκαν το $\ln K$ για κάθε θερμοκρασίας.



Διάγραμμα. Ο $\ln(qe/c)$ σε συνάρτηση με την συγκέντρωση Cu στην ισοροπία για την θερμοκρασία των 25°C

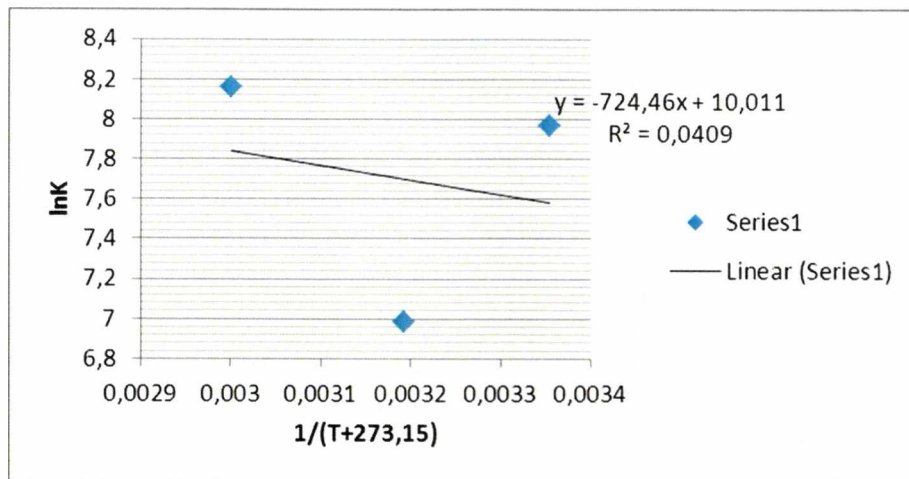


Διάγραμμα. Ο $\ln(q_e/c)$ σε συνάρτηση με την συγκέντρωση C_u στην ισοροπία για την θερμοκρασία των 40°C



Διάγραμμα . Ο $\ln(q_e/c)$ σε συνάρτηση με την συγκέντρωση C_u στην ισοροπία για την θερμοκρασία των 60°C

Τέλος κατασκευάστηκε η γραφική παράσταση του $\ln K$ συνάρτηση του $1/T+273,15$ από την οποία υπολογίστηκαν τα $\Delta G, \Delta H, \Delta S$.



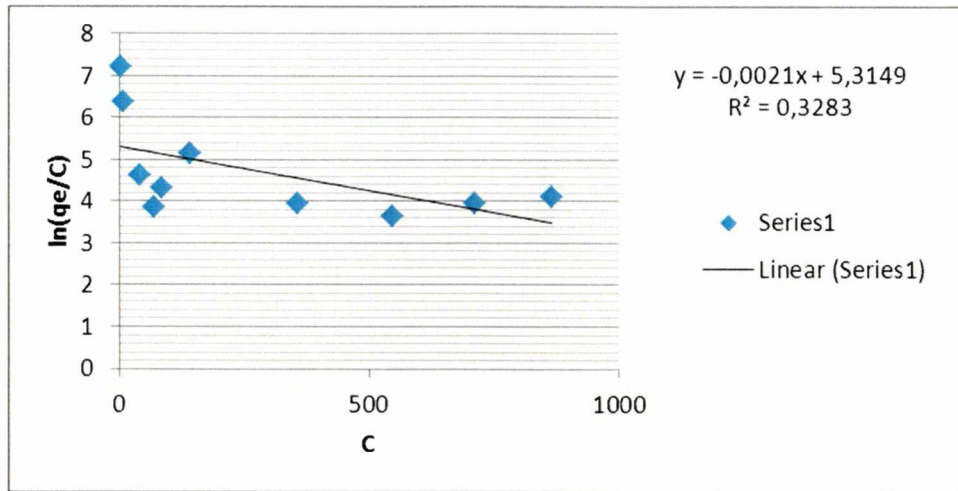
Διάγραμμα. Ο $\ln K$ σε συνάρτηση με την T^{-1} (K) για το Γκαϊτίτη (G)

Πίνακας. Το $\ln K$, το ΔH , ΔS και το ΔG για το Γκαϊτίτη (G)

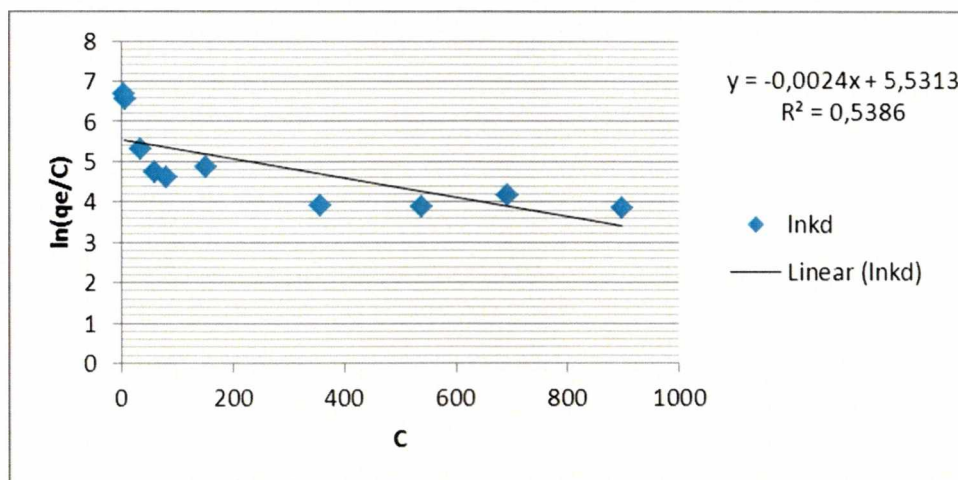
Γκαϊτίτης(G)								
$1/(T+273,15)$	t	k	$\ln K$	$\Delta S/R$	$\Delta H/R$	$\Delta S(J/mol)$	ΔH	$\Delta G(J/mol)$
0,003354016	25	0,17889	7,9698	10,011434	-724,462	83,235064	-6023,17	-19755,69
0,003193358	40	0,908135	6,9844					-18184,09
0,003001651	60	0,6663	8,1622					-22607,74

Μελέτη της συμπεριφοράς της θερμοκρασίας στην προσρόφηση Cu από τον άνθρακα (C).

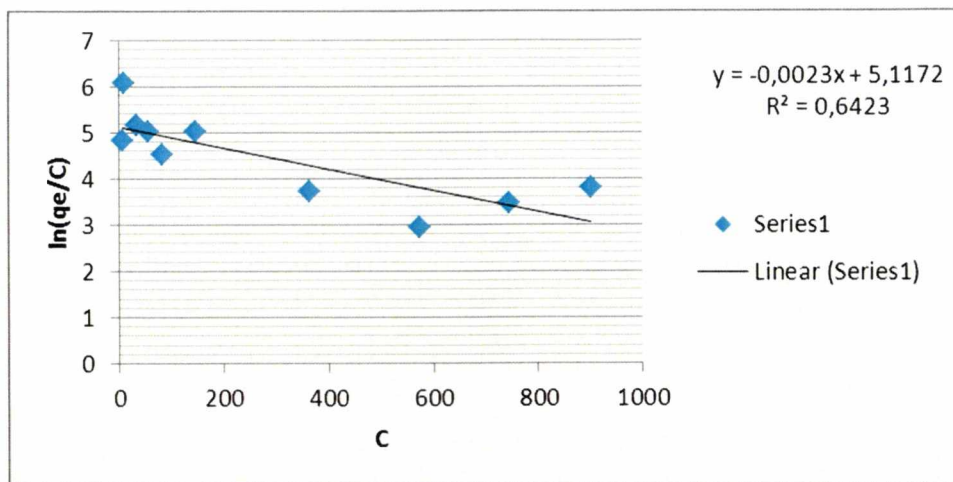
Για τον υπολογισμό του ΔG , ΔH , ΔS αρχικά υπολογίστηκε το $\ln(qe/c)$. Από τις γραφικές παραστάσεις του $\ln(qe/c)$ συνάρτηση του C υπολογίστηκαν το $\ln K$ για κάθε θερμοκρασίας.



Διάγραμμα. Ο $\ln(q_e/c)$ σε συνάρτηση με την συγκέντρωση C_u στην ισοροπία για την θερμοκρασία των 25°C

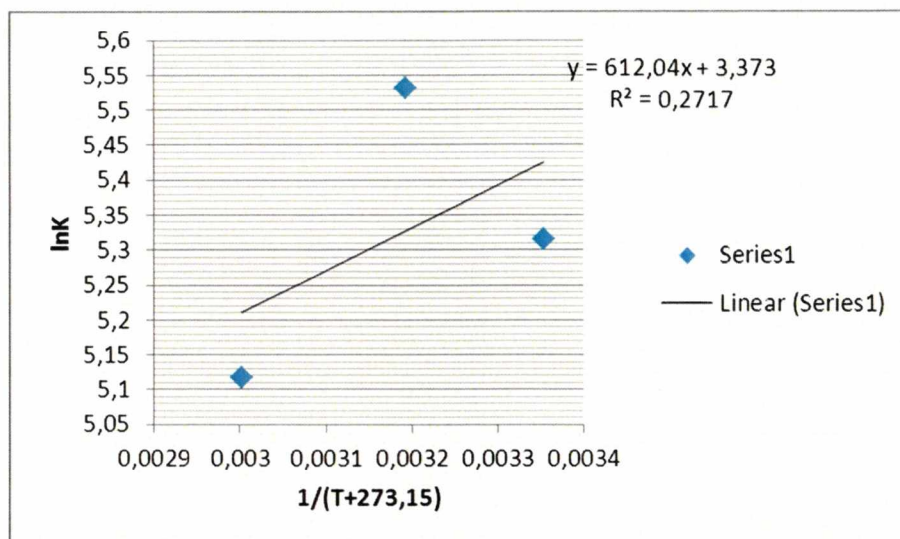


Διάγραμμα. Ο $\ln(q_e/c)$ σε συνάρτηση με την συγκέντρωση C_u στην ισοροπία για την θερμοκρασία των 40°C



Διάγραμμα . Ο $\ln(q_e/c)$ σε συνάρτηση με την συγκέντρωση C_u στην ισοροπία για την θερμοκρασία των 60°C

Τέλος κατασκευάστηκε η γραφική παράσταση του $\ln K$ συνάρτηση του $1/T+273,15$ από την οποία υπολογίστηκαν τα $\Delta G, \Delta H, \Delta S$.



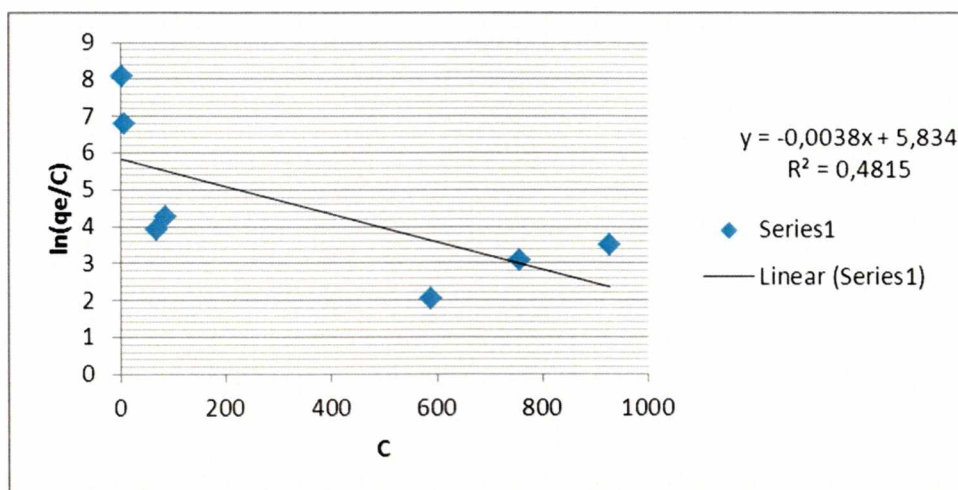
Διάγραμμα. Ο $\ln K$ σε συνάρτηση με την T^{-1} (K) για τον άνθρακα

Πίνακας. Το $\ln K$, το $\Delta H, \Delta S$ και το ΔG για τον άνθρακα

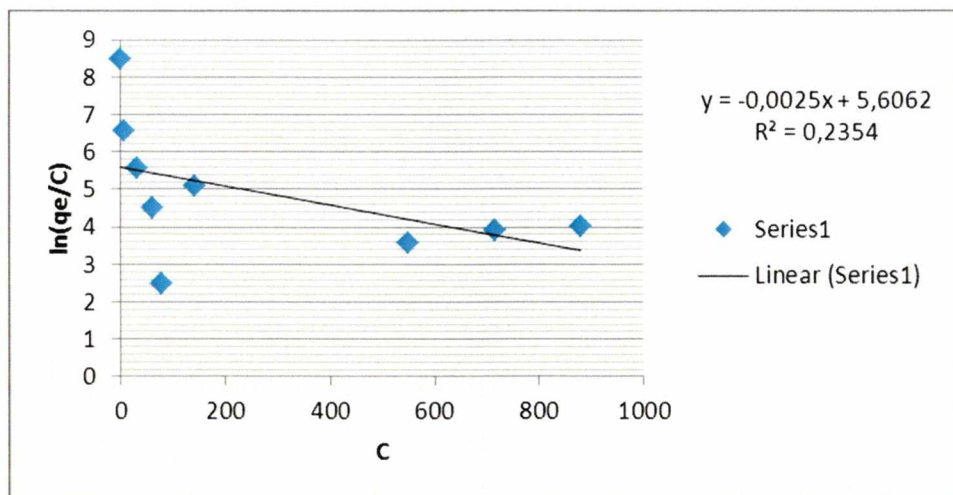
Άνθρακας (C)								
1/(T+273,15)	t	k	lnK	ΔS/R	ΔH/R	ΔS(J/mol)	ΔH	ΔG(J/mol)
0,003354016	25	0,001637	5,3149	3,3730169	612,0362	28,043263	5088,469	-13174,68
0,003193358	40	0,000976	5,5313					-14400,9
0,003001651	60	28,32165	5,1172					-14173,67

Μελέτη της συμπεριφοράς της θερμοκρασίας στην προσρόφιση Cu από τον αιματίτη (H)

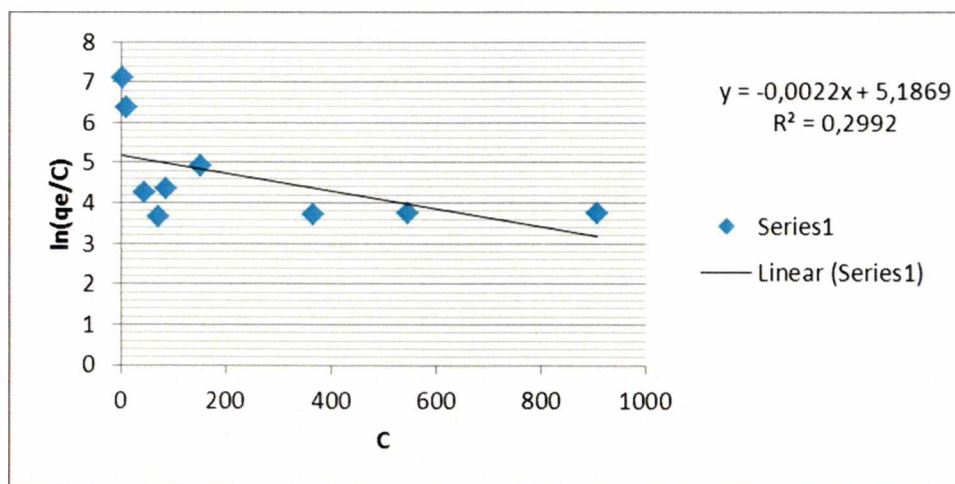
Για τον υπολογισμό του $\Delta G, \Delta H, \Delta S$ αρχικά υπολογίστηκε το $\ln(q_e/c)$. Από τις γραφικές παραστάσεις του $\ln(q_e/c)$ συνάρτηση του C υπολογίστηκαν το $\ln K$ για κάθε θερμοκρασίας.



Διάγραμμα. Ο $\ln(q_e/c)$ σε συνάρτηση με την συγκέντρωση Cu στην ισοροπία για την θερμοκρασία των 25°C

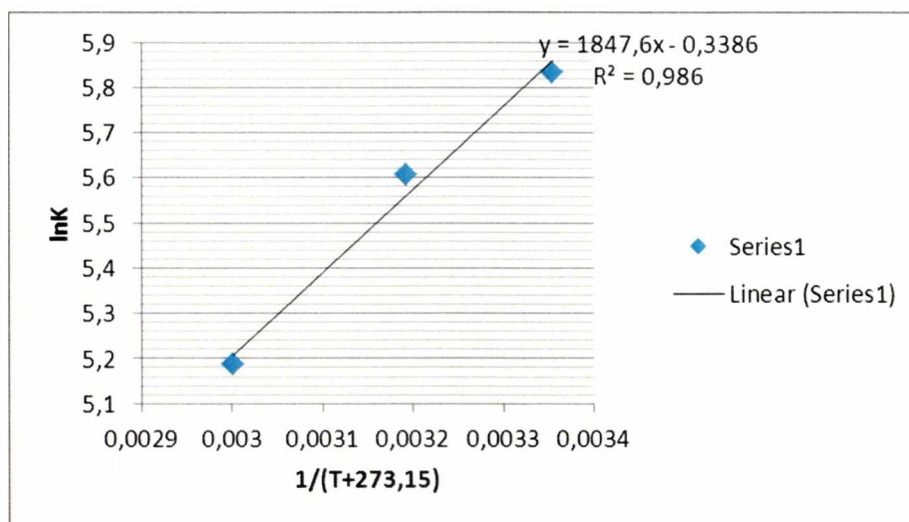


Διάγραμμα. Ο $\ln(q_e/c)$ σε συνάρτηση με την συγκέντρωση C_u στην ισοροπία για την θερμοκρασία των 40°C



Διάγραμμα . Ο $\ln(q_e/c)$ σε συνάρτηση με την συγκέντρωση C_u στην ισοροπία για την θερμοκρασία των 60°C

Τέλος κατασκευάστηκε η γραφική παράσταση του $\ln K$ συνάρτηση του $1/T+273,15$ από την οποία υπολογίστηκαν τα $\Delta G, \Delta H, \Delta S$.



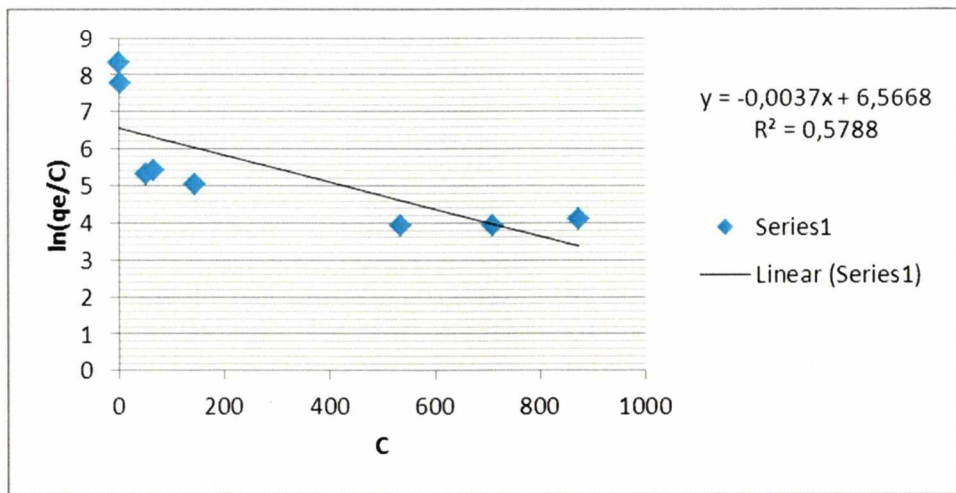
Διάγραμμα. Ο lnK σε συνάρτηση με την T^{-1} (K) για τον αιματίτη

Πίνακας. Το lnK, το ΔH , ΔS και το ΔG για τον αιματίτη

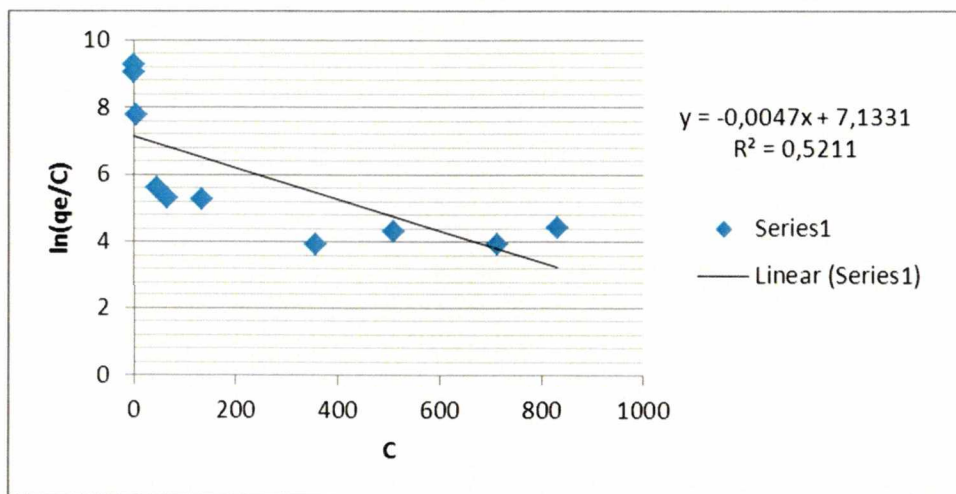
Αιματίτης (H)								
$1/(T+273,15)$	t	k	lnK	$\Delta S/R$	$\Delta H/R$	$\Delta S(J/mol)$	ΔH	$\Delta G(J/mol)$
0,003354016	25	3,965395	5,834	-0,3386423	1847,626	-2,815472	15361,16	-14461,43
0,003193358	40	5,38618	5,6062					-14595,9
0,003001651	60	32985,15	5,1869					-14366,72

Μελέτη της συμπεριφοράς της θερμοκρασίας στην προσρόφηση Cu από τον αιματίτη-ζεόλιθο (H-Z)

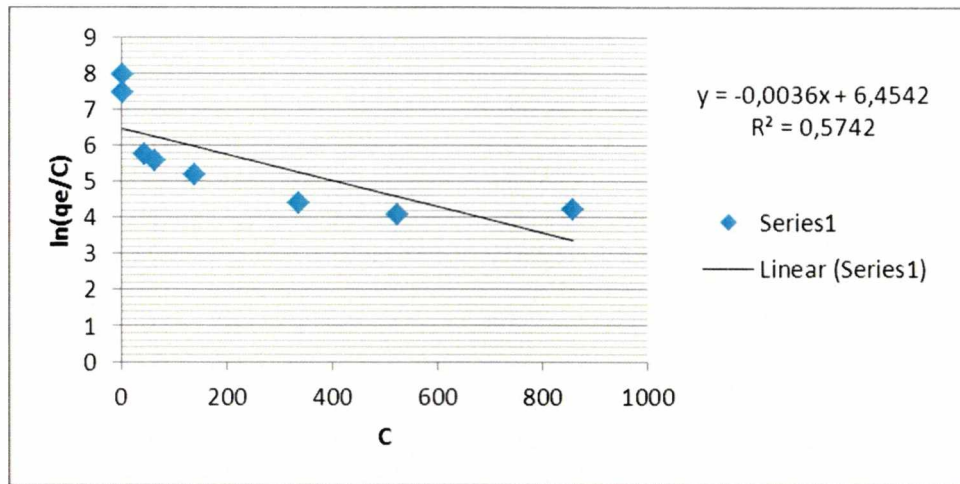
Για τον υπολογισμό του ΔG , ΔH , ΔS αρχικά υπολογίστηκε το $\ln(qe/c)$. Από τις γραφικές παραστάσεις του $\ln(qe/c)$ συνάρτηση του C υπολογίστηκαν το lnK για κάθε θερμοκρασίας.



Διάγραμμα. Ο $\ln(q_e/c)$ σε συνάρτηση με την συγκέντρωση C_u στην ισοροπία για την θερμοκρασία των 25°C

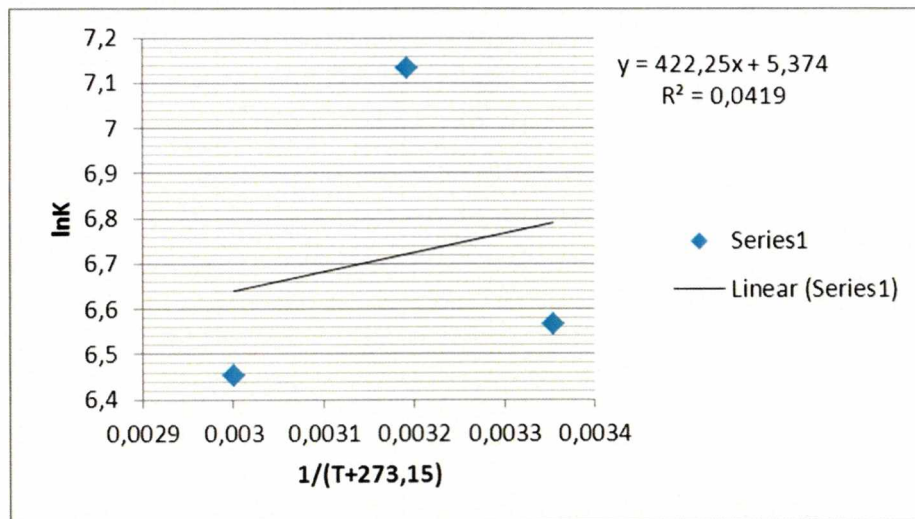


Διάγραμμα. Ο $\ln(q_e/c)$ σε συνάρτηση με την συγκέντρωση C_u στην ισοροπία για την θερμοκρασία των 40°C



Διάγραμμα . Ο $\ln(q_e/c)$ σε συνάρτηση με την συγκέντρωση C_u στην ισοροπία για την θερμοκρασία των 60°C

Τέλος κατασκευάστηκε η γραφική παράσταση του $\ln K$ συνάρτηση του $1/T+273,15$ από την οποία υπολογίστηκαν τα $\Delta G, \Delta H, \Delta S$.



Διάγραμμα. Ο $\ln K$ σε συνάρτηση με την T^{-1} (K) για τον αιματίτη-ζεόλιθο

Πίνακας. Το $\ln K$, το ΔH , ΔS και το ΔG για τον αιματίτη-ζεόλιθο

Αιματίτης-Ζεόλιθος (H-Z)									
$1/(T+273,15)$	t	k	$\ln K$	$\Delta S/R$	$\Delta H/R$	$\Delta S(J/mol)$	ΔH	$\Delta G(J/mol)$	
0,003354016	25	0,77519	6,5668	5,3739925	422,2549	44,679374	3510,627	-16277,91	
0,003193358	40	0,81419	7,1331					-18571,23	
0,003001651	60	0,832875	6,4542					-17876,9	

.Οι υπολογισθείσες τιμές των θερμοδυναμικών παραμέτρων φαίνονται στο πίνακα. Η εκτίμηση των θερμοδυναμικών παραμέτρων δίνει πληροφορίες σχετικά με την αλληλεπίδραση μεταξύ της επιφάνειας του προσροφητικού υλικού και των ιόντων χαλκού. Η αρνητική τιμή της ελεύθερης κατά Gibbs ενέργειας (ΔG°) υποδηλώνει ότι η προσρόφηση είναι μία θερμοδυναμικώς αυθόρμητη αντίδραση. Οι θετικές τιμές της ΔH° υποδηλώνουν ότι η προσρόφηση είναι μία ενδόθερμη διεργασία στις περιπτώσεις των υλικών άνθρακα, αιματίτη και αιματίτη-ζεόλιθου ενώ οι αρνητικές τιμές του ΔH° στην περίπτωση του συστήματος I, II, γκαιτίτη και ζεόλιθο υποδηλώνουν μία εξώθερμη αντίδραση. Οι θετικές τιμές της ΔS° κατά τη διεργασία προσρόφησης των ιόντων χαλκού από τα επτά υλικά υποδηλώνει μια αύξηση της αταξίας (αυξάνεται η τυχαία κίνηση των ιόντων χαλκού) μεταξύ της διεπιφάνειας της προσροφητικής ουσίας - διαλύματος κατά τη διάρκεια της προσρόφησης.

Υλικά	$\Delta S(J/mol \cdot K)$	$\Delta H(KJ/mol)$	$\Delta G(KJ/mol)$
ΣΥΣΤΗΜΑ I (S1)	198,41581	-42,17	-15,82
			-22,20
			-22,84
ΣΥΣΤΗΜΑ II (S2)	225,2441415	-48,14	-17,75
			-24,81
			-25,72
ΖΕΟΛΙΘΟΣ (Z)	131,1187966	-23,35	-15,83
			-17,51
			-20,42
ΓΚΑΙΤΙΤΗΣ (G)	83,235064	-60,23	-19,75
			-18,18
			-22,60
Αιματίτης H	-2,815472109	15,36	-14,46
			-14,59
			-14,36
Άνθρακας C	28,04326266	5,08	-13,17

			-14,40
			-14,17
Αιματίτης-Ζεόλιθος H-Z	44,67937377	3,51	-16,27
			-18,57
			-17,87

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα συστήματα I και II παρουσιάζουν την μεγαλύτερη προσρόφηση σε όλες τις θερμοκρασίες εκτός στους 25 στην ισορροπία.

Ο Ζεόλιθος (Z) παρουσιάζει την μεγαλύτερη προσρόφηση στους 60°C, και την μικτότερη στους 25°C.

Ο γκαιτίτης παρουσιάζει την μεγαλύτερη προσρόφηση στους 25°C στην ισορροπία, και την μικτότερη στους 60°C.

Ο αιματίτης παρουσιάζει την μεγαλύτερη προσρόφηση στους 40°C στην ισορροπία, και την μικτότερη στους 60°C.

Ο άνθρακας παρουσιάζει την μεγαλύτερη προσρόφηση στους 40°C όταν το $C_0=800$ mg/kg, και την μικτότερη στους 60°C.

Ο αιματίτης-ζεόλιθος παρουσιάζει την μεγαλύτερη προσρόφηση στους 40°C στην ισορροπία, και την μικτότερη στους 25°C.

Τα πειραματικά δεδομένα προσρόφησης του Cu από το σύστημα II είχαν την καλύτερη προσαρμογή στο μοντέλο Langmuir και μέγιστη προσρόφηση 111111 mg Cu/kg συστήματος II και στις τρεις θερμοκρασίες. Ακολουθούν Z, G και Σύστημα I.

Η προσρόφηση του Cu από τον αιματίτη, άνθρακα και σύστημα αιματίτη-ζεόλιθου είναι μία ενδόθερμη αντίδραση, θερμοδυναμικά αυθόρμητη και η οποία παρουσιάζει αύξηση στην άτακτη κίνηση των ιόντων χαλκού στην επιφάνεια μεταξύ της προσροφητικής ουσίας και του διαλύματος.

Η προσρόφηση του Cu από το σύστημα I, II, ζεόλιθου και γκαιτίτη είναι εξώθερμη αντίδραση θερμοδυναμικά αυθόρμητη, η οποία παρουσιάζει αύξηση στην άτακτη κίνηση των ιόντων χαλκού στην επιφάνεια μεταξύ της προσροφητικής ουσίας και του διαλύματος.

Τέλος από την παρούσα μελέτη προκύπτει ότι η βελτίωση ύδατος επιβαρυμένο με υψηλή συγκέντρωση Cu μπορεί να επιτευχθεί με την χρήση ενός κιλού ζεολίθου για κάθε 100000 mg Cu. Επιλέγεται ο Ζεόλιθος καθώς είναι το φθηνότερο υλικό από τα μελετηθέντα. Αν η συγκέντρωση του Cu είναι πολύ υψηλή και επιβάλλεται

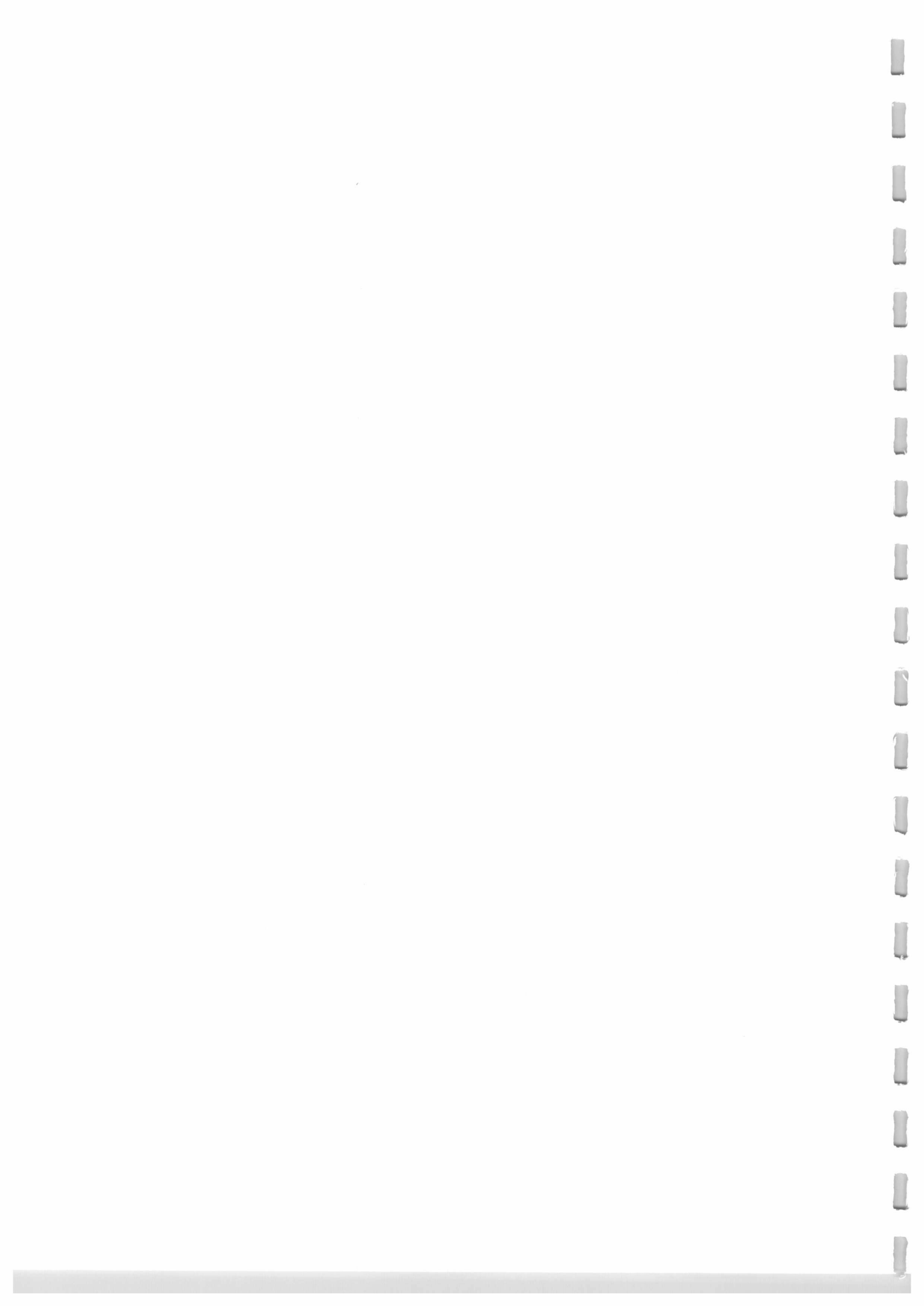
άμεση παρέμβαση τότε θα επιλέξουμε τη χρήση των συστημάτων ή γκαιίτη καθώς παρουσιάζουν την μεγαλύτερη και ταχύτερη προσρόφηση (σύστημα II 111111 mg) Cu/kg συστήματος I, II έναντι των άλλων δύο και είναι φθηνότερα υλικά του γκαιίτη αλλά ακριβότερα του ζεόλιθου.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Alkan, M., Demirbaş, Ö., Çelikçapa, S., & Doğan, M. (2004). Sorption of Acid Red 57 from aqueous solution onto sepiolite. *Journal of Hazardous Materials*, *B116*, 135–145.
2. Arias, M., Pérez-Novo, C., López, E., & Soto, B. (2006). Competitive adsorption and desorption of copper and zinc in acid soils. *Geoderma*, *133*, 151–159.
3. Boddu, V. M., Abburi, K., Talbott, J. L., & Smith, E. D. (2003). Removal of hexavalent chromium from wastewater using a new composite chitosan biosorbent. *Environmental Science and Technology*, *37*, 4449–4456.
4. Boujelben, N., Bouzid, J., & Elouear, Z. (2009). Adsorption of nickel and copper onto natural iron oxide-coated sand from aqueous solutions: study in single and binary systems. *Journal of Hazardous Materials*, *163*, 376–382.
5. Chen, H., Zhao, Y., & Wang, A. (2007). Removal of Cu(II) from aqueous solution by adsorption onto acid-activated palygorskite. *Journal of Hazardous Materials*, *149*, 508–514.
6. Cornell, R. M., & Schwertmann, U. (1996). *The iron oxides: Structure, properties, reactions, occurrence and uses*. VCH Publications, New York, pp. 14, 38, 59, 95, 118, 291, 401, 489.
7. Crini, G., & Badot, P. M. (2008). Application of chitosan, a natural aminopolysaccharide, for dye removal from aqueous solutions by adsorption processes using batch studies: a review of recent literature. *Progress in Polymer Science*, *33*, 399–447.
8. Demirbas, E., Kobya, M., & Konukman, A. E. S., (2008). Error analysis of equilibrium studies for the almond shell activated carbon adsorption of Cr(VI) from aqueous solutions. *Journal of Hazardous Materials*, *154*, 787–794.
9. Dimirkou, A., & Ioannou, A. (1998). Kinetics of phosphate sorption by goethite and bentonite–goethite (b–g) system. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, *29*(11–14), 2119–2134.
10. Dimirkou, A., Ioannou, Z., Golia, E., Danalatos, N., & Mitsios, I. (2009). Sorption of cadmium and arsenic by goethite and clinoptilolite. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, *40*(1–6), 259–272.

11. Ding, Z., & Frost, R. L. (2004). Study of copper adsorption on montmorillonites using thermal analysis methods. *Journal of Colloid and Interface Science*, 269, 296–302.
12. Doula, M., & Ioannou, A. (2003). The effect of electrolyte anion on Cu adsorption–desorption by clinoptilolite. *Microporous and Mesoporous Materials*, 58, 115–130.
13. Doulia, D., Leodopoulos, C., Gimouhopoulos, K., & Rigas, F. (2009). Adsorption of humic acid on acid-activated Greek bentonite. *Journal of Colloid and Interface Science*, 340, 131–141.
14. Eloussaief, M., Jarraya, I., & Benzina, M. (2009). Adsorption of copper ions on two clays from Tunisia: pH and temperature effects. *Applied Clay Science*, 46, 409–413.
15. Gadepalle, V. P., Ouki, S. K., Herwijnen, R. V., & Hutchings, T. (2007). Immobilization of heavy metals in soil using natural and waste materials for vegetation establishment on contaminated sites. *Soil and Sediment Contamination*, 16, 233–251.
16. Ioannou, Z., Dimirkou, A., Golia, E., & Ioannou, A. (2009). Sorption of zinc by clinoptilolite–Fe(NO₃)₃ systems. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 40(1–6), 240–258.
17. Ioannou, Z., & Simitzis, J. (2009). Adsorption kinetics of phenol and 3-nitrophenol from aqueous solutions on conventional and novel carbons. *Journal of Hazardous Materials*, 171, 954–964.
18. Jha, V. K., Matsuda, M., & Miyake, M. (2008). Sorption properties of the activated carbon–zeolite composite prepared from coal fly ash for Ni²⁺, Cu²⁺, Cd²⁺ and Pb²⁺. *Journal of Hazardous Materials*, 160, 148–153.
19. Jones, J. B., Jr., & Case, V. W. (1990). Soil testing and plant analysis. In R. L. Westerman (Ed.), *SSSA book series 3*. Madison: Soil Science Society of America.
20. Lai, C. H., Lo, S. L., & Chiang, H. L. (2000). Adsorption/desorption properties of copper ions on the surface of iron-coated sand using BET and EDAX analyses. *Chemosphere*, 41, 1249–1255.
21. Lindsay, W. L., & Norwell, W. A. (1978). Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. *Soil Science Society of America Journal*, 42, 421–428.
22. Malandrino, M., Abollino, O., Buoso, S., Giacomino, A., La Gioia, C., & Mentasti, E. (2011). Accumulation of heavy metals from contaminated soil to plants and evaluation of soil remediation by vermiculite. *Chemosphere*, 82, 169–178.
23. Perić, J., Trgo, M., & Vukojević Medvidović, N. (2004). Removal of zinc, copper and lead by natural zeolite—a comparison of adsorption isotherms. *Water Research*, 38, 1893–1899.
24. Qin, F., Wen, B., Shan, X. Q., Xie, Y. N., Liu, T., Zhang, S. Z., et al. (2006). Mechanisms of competitive adsorption of Pb, Cu, and Cd on peat. *Environmental Pollution*, 144, 669–680.
25. Riofrio, M., (2000). *Lettuce*. Ohio State University Extension. <http://www.uri.edu/ce/factsheets/sheets/lettuce.html>. Accessed 15 Sept 2012.
26. Rodriguez-Reinoso, F. (2001). Activated carbon and adsorption. In K. H. J. Buschow, R. W. Cahn, M. C. Flemings, B. Ilschner, E. J. Kramer, & S. Mahajan (Eds.), *Encyclopedia of materials: Science and technology* (pp. 1–12). Spain: University of Alicante.

27. Smical, A. I., Hotea, V., Oros, V., Juhasz, J., & Pop, E. (2008). Studies on transfer and bioaccumulation of heavy metals from soil into lettuce. *Environmental Engineering and Management Journal*, 7(5), 609–615.
28. Stumm, W. (1991). *Chemistry of the solid–water interface*. New York: Wiley.
29. Tan, K. H. (1993). *Principles of soil chemistry* (2nd ed., pp. 269–276). New York: Marcel Dekker.
30. Tarradellas, J., Bitton, G., & Russel, D. (1996). *Soil ecotoxicology*. New York: CRC.
31. Wan, M. W., Kan, C. C., Rogel, B. D., & Dalida, M. L. P. (2010). Adsorption of copper (II) and lead (II) ions from aqueous solution on chitosan-coated sand. *Carbohydrate Polymers*, 80, 891–899.
32. Wan Ngah, W. S., & Fatinathan, S. (2010). Adsorption characterization of Pb(II) and Cu(II) ions onto chitosan-tripolyphosphate beads: kinetic, equilibrium and thermodynamic studies. *Journal of Environmental Management*, 91, 958–969.
33. Yang, X., Yang, S. B., Yang, S. T., Hu, J., Tan, X. L., & Wang, X. K. (2011). Effect of pH, ionic strength and temperature on sorption of Pb(II) on NKF-6 zeolite studied by batch technique. *Chemical Engineering Journal*, 168, 86–93.
34. Zhao, G., Li, J., & Wang, X. (2011). Kinetic and thermodynamic study of 1-naphthol adsorption from aqueous solution to sulfonated graphene nanosheets. *Chemical Engineering Journal*, 173, 185–190.
35. Zou, W., Han, R., Chen, Z., Jinghua, Z., & Shi, J. (2006). Kinetic study of adsorption of Cu(II) and Pb(II) from aqueous solutions using manganese oxide coated zeolite in batch mode. *Colloid Surfaces A*, 279(1–3), 238–246.



Case No.	Case Name	Case Type	Case Status	Case Description	Case Details	Case Notes
1	Case 1	Case Type 1	Case Status 1	Case Description 1	Case Details 1	Case Notes 1
2	Case 2	Case Type 2	Case Status 2	Case Description 2	Case Details 2	Case Notes 2
3	Case 3	Case Type 3	Case Status 3	Case Description 3	Case Details 3	Case Notes 3
4	Case 4	Case Type 4	Case Status 4	Case Description 4	Case Details 4	Case Notes 4
5	Case 5	Case Type 5	Case Status 5	Case Description 5	Case Details 5	Case Notes 5
6	Case 6	Case Type 6	Case Status 6	Case Description 6	Case Details 6	Case Notes 6
7	Case 7	Case Type 7	Case Status 7	Case Description 7	Case Details 7	Case Notes 7
8	Case 8	Case Type 8	Case Status 8	Case Description 8	Case Details 8	Case Notes 8
9	Case 9	Case Type 9	Case Status 9	Case Description 9	Case Details 9	Case Notes 9
10	Case 10	Case Type 10	Case Status 10	Case Description 10	Case Details 10	Case Notes 10
11	Case 11	Case Type 11	Case Status 11	Case Description 11	Case Details 11	Case Notes 11
12	Case 12	Case Type 12	Case Status 12	Case Description 12	Case Details 12	Case Notes 12
13	Case 13	Case Type 13	Case Status 13	Case Description 13	Case Details 13	Case Notes 13
14	Case 14	Case Type 14	Case Status 14	Case Description 14	Case Details 14	Case Notes 14
15	Case 15	Case Type 15	Case Status 15	Case Description 15	Case Details 15	Case Notes 15
16	Case 16	Case Type 16	Case Status 16	Case Description 16	Case Details 16	Case Notes 16
17	Case 17	Case Type 17	Case Status 17	Case Description 17	Case Details 17	Case Notes 17
18	Case 18	Case Type 18	Case Status 18	Case Description 18	Case Details 18	Case Notes 18
19	Case 19	Case Type 19	Case Status 19	Case Description 19	Case Details 19	Case Notes 19
20	Case 20	Case Type 20	Case Status 20	Case Description 20	Case Details 20	Case Notes 20
21	Case 21	Case Type 21	Case Status 21	Case Description 21	Case Details 21	Case Notes 21
22	Case 22	Case Type 22	Case Status 22	Case Description 22	Case Details 22	Case Notes 22
23	Case 23	Case Type 23	Case Status 23	Case Description 23	Case Details 23	Case Notes 23
24	Case 24	Case Type 24	Case Status 24	Case Description 24	Case Details 24	Case Notes 24
25	Case 25	Case Type 25	Case Status 25	Case Description 25	Case Details 25	Case Notes 25
26	Case 26	Case Type 26	Case Status 26	Case Description 26	Case Details 26	Case Notes 26
27	Case 27	Case Type 27	Case Status 27	Case Description 27	Case Details 27	Case Notes 27
28	Case 28	Case Type 28	Case Status 28	Case Description 28	Case Details 28	Case Notes 28
29	Case 29	Case Type 29	Case Status 29	Case Description 29	Case Details 29	Case Notes 29
30	Case 30	Case Type 30	Case Status 30	Case Description 30	Case Details 30	Case Notes 30
31	Case 31	Case Type 31	Case Status 31	Case Description 31	Case Details 31	Case Notes 31
32	Case 32	Case Type 32	Case Status 32	Case Description 32	Case Details 32	Case Notes 32
33	Case 33	Case Type 33	Case Status 33	Case Description 33	Case Details 33	Case Notes 33
34	Case 34	Case Type 34	Case Status 34	Case Description 34	Case Details 34	Case Notes 34
35	Case 35	Case Type 35	Case Status 35	Case Description 35	Case Details 35	Case Notes 35
36	Case 36	Case Type 36	Case Status 36	Case Description 36	Case Details 36	Case Notes 36
37	Case 37	Case Type 37	Case Status 37	Case Description 37	Case Details 37	Case Notes 37
38	Case 38	Case Type 38	Case Status 38	Case Description 38	Case Details 38	Case Notes 38
39	Case 39	Case Type 39	Case Status 39	Case Description 39	Case Details 39	Case Notes 39
40	Case 40	Case Type 40	Case Status 40	Case Description 40	Case Details 40	Case Notes 40
41	Case 41	Case Type 41	Case Status 41	Case Description 41	Case Details 41	Case Notes 41
42	Case 42	Case Type 42	Case Status 42	Case Description 42	Case Details 42	Case Notes 42
43	Case 43	Case Type 43	Case Status 43	Case Description 43	Case Details 43	Case Notes 43
44	Case 44	Case Type 44	Case Status 44	Case Description 44	Case Details 44	Case Notes 44
45	Case 45	Case Type 45	Case Status 45	Case Description 45	Case Details 45	Case Notes 45
46	Case 46	Case Type 46	Case Status 46	Case Description 46	Case Details 46	Case Notes 46
47	Case 47	Case Type 47	Case Status 47	Case Description 47	Case Details 47	Case Notes 47
48	Case 48	Case Type 48	Case Status 48	Case Description 48	Case Details 48	Case Notes 48
49	Case 49	Case Type 49	Case Status 49	Case Description 49	Case Details 49	Case Notes 49
50	Case 50	Case Type 50	Case Status 50	Case Description 50	Case Details 50	Case Notes 50
51	Case 51	Case Type 51	Case Status 51	Case Description 51	Case Details 51	Case Notes 51
52	Case 52	Case Type 52	Case Status 52	Case Description 52	Case Details 52	Case Notes 52
53	Case 53	Case Type 53	Case Status 53	Case Description 53	Case Details 53	Case Notes 53
54	Case 54	Case Type 54	Case Status 54	Case Description 54	Case Details 54	Case Notes 54
55	Case 55	Case Type 55	Case Status 55	Case Description 55	Case Details 55	Case Notes 55
56	Case 56	Case Type 56	Case Status 56	Case Description 56	Case Details 56	Case Notes 56
57	Case 57	Case Type 57	Case Status 57	Case Description 57	Case Details 57	Case Notes 57
58	Case 58	Case Type 58	Case Status 58	Case Description 58	Case Details 58	Case Notes 58
59	Case 59	Case Type 59	Case Status 59	Case Description 59	Case Details 59	Case Notes 59
60	Case 60	Case Type 60	Case Status 60	Case Description 60	Case Details 60	Case Notes 60
61	Case 61	Case Type 61	Case Status 61	Case Description 61	Case Details 61	Case Notes 61
62	Case 62	Case Type 62	Case Status 62	Case Description 62	Case Details 62	Case Notes 62
63	Case 63	Case Type 63	Case Status 63	Case Description 63	Case Details 63	Case Notes 63
64	Case 64	Case Type 64	Case Status 64	Case Description 64	Case Details 64	Case Notes 64
65	Case 65	Case Type 65	Case Status 65	Case Description 65	Case Details 65	Case Notes 65
66	Case 66	Case Type 66	Case Status 66	Case Description 66	Case Details 66	Case Notes 66
67	Case 67	Case Type 67	Case Status 67	Case Description 67	Case Details 67	Case Notes 67
68	Case 68	Case Type 68	Case Status 68	Case Description 68	Case Details 68	Case Notes 68
69	Case 69	Case Type 69	Case Status 69	Case Description 69	Case Details 69	Case Notes 69
70	Case 70	Case Type 70	Case Status 70	Case Description 70	Case Details 70	Case Notes 70
71	Case 71	Case Type 71	Case Status 71	Case Description 71	Case Details 71	Case Notes 71
72	Case 72	Case Type 72	Case Status 72	Case Description 72	Case Details 72	Case Notes 72
73	Case 73	Case Type 73	Case Status 73	Case Description 73	Case Details 73	Case Notes 73
74	Case 74	Case Type 74	Case Status 74	Case Description 74	Case Details 74	Case Notes 74
75	Case 75	Case Type 75	Case Status 75	Case Description 75	Case Details 75	Case Notes 75
76	Case 76	Case Type 76	Case Status 76	Case Description 76	Case Details 76	Case Notes 76
77	Case 77	Case Type 77	Case Status 77	Case Description 77	Case Details 77	Case Notes 77
78	Case 78	Case Type 78	Case Status 78	Case Description 78	Case Details 78	Case Notes 78
79	Case 79	Case Type 79	Case Status 79	Case Description 79	Case Details 79	Case Notes 79
80	Case 80	Case Type 80	Case Status 80	Case Description 80	Case Details 80	Case Notes 80
81	Case 81	Case Type 81	Case Status 81	Case Description 81	Case Details 81	Case Notes 81
82	Case 82	Case Type 82	Case Status 82	Case Description 82	Case Details 82	Case Notes 82
83	Case 83	Case Type 83	Case Status 83	Case Description 83	Case Details 83	Case Notes 83
84	Case 84	Case Type 84	Case Status 84	Case Description 84	Case Details 84	Case Notes 84
85	Case 85	Case Type 85	Case Status 85	Case Description 85	Case Details 85	Case Notes 85
86	Case 86	Case Type 86	Case Status 86	Case Description 86	Case Details 86	Case Notes 86
87	Case 87	Case Type 87	Case Status 87	Case Description 87	Case Details 87	Case Notes 87
88	Case 88	Case Type 88	Case Status 88	Case Description 88	Case Details 88	Case Notes 88
89	Case 89	Case Type 89	Case Status 89	Case Description 89	Case Details 89	Case Notes 89
90	Case 90	Case Type 90	Case Status 90	Case Description 90	Case Details 90	Case Notes 90
91	Case 91	Case Type 91	Case Status 91	Case Description 91	Case Details 91	Case Notes 91
92	Case 92	Case Type 92	Case Status 92	Case Description 92	Case Details 92	Case Notes 92
93	Case 93	Case Type 93	Case Status 93	Case Description 93	Case Details 93	Case Notes 93
94	Case 94	Case Type 94	Case Status 94	Case Description 94	Case Details 94	Case Notes 94
95	Case 95	Case Type 95	Case Status 95	Case Description 95	Case Details 95	Case Notes 95
96	Case 96	Case Type 96	Case Status 96	Case Description 96	Case Details 96	Case Notes 96
97	Case 97	Case Type 97	Case Status 97	Case Description 97	Case Details 97	Case Notes 97
98	Case 98	Case Type 98	Case Status 98	Case Description 98	Case Details 98	Case Notes 98
99	Case 99	Case Type 99	Case Status 99	Case Description 99	Case Details 99	Case Notes 99
100	Case 100	Case Type 100	Case Status 100	Case Description 100	Case Details 100	Case Notes 100

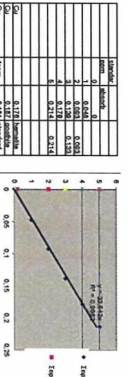


Table with 10 columns: Ανθρακας, βάρος, ml που η H2O, Ενδειξη Ατομικής (μg/ml), αραϊώστ. ccm/g, Co/cm³, lnc, qcm³/kg, logC, logqe, C/qe, κ, qemax, kd, lnkd. Rows C1 to C10.

Table with 10 columns: Αιματίτης, βάρος, ml που η H2O, Ενδειξη Ατομικής (μg/ml), αραϊώστ. ccm/g, Co/cm³, lnc, qcm³/kg, logC, logqe, C/qe, κ, qemax, kd, lnkd. Rows H1 to H10.

Table with 10 columns: Αιματίτης - Ζεολίθος, βάρος, ml που η H2O, Ενδειξη Ατομικής (μg/ml), αραϊώστ. ccm/g, Co/cm³, lnc, qcm³/kg, logC, logqe, C/qe, κ, qemax, kd, lnkd. Rows S1 to S10.

Table with 10 columns: ΓΚΑΙΤΙΤΗΣ, βάρος, ml που η H2O, Ενδειξη Ατομικής (μg/ml), αραϊώστ. ccm/g, Co/cm³, lnc, qcm³/kg, logC, logqe, C/qe, κ, qemax, kd, lnkd. Rows G1 to G10.

Table with 10 columns: Σύστημα 1(S1) (Z-G) ΚΙΤΡΙΝΟ ΧΡΩΜΑ, βάρος, ml που η H2O, Ενδειξη Ατομικής (μg/ml), αραϊώστ. ccm/g, Co/cm³, lnc, qcm³/kg, logC, logqe, C/qe, κ, qemax, kd, lnkd. Rows S1 to S10.

Table with 10 columns: Σύστημα 2(S2) (Z-G) ΚΟΚΚΙΝΟ ΧΡΩΜΑ, βάρος, ml που η H2O, Ενδειξη Ατομικής (μg/ml), αραϊώστ. ccm/g, Co/cm³, lnc, qcm³/kg, logC, logqe, C/qe, κ, qemax, kd, lnkd. Rows S1 to S10.

Table with 10 columns: Ζεολίθος, βάρος, ml που η H2O, Ενδειξη Ατομικής (μg/ml), αραϊώστ. ccm/g, Co/cm³, lnc, qcm³/kg, logC, logqe, C/qe, κ, qemax, kd, lnkd. Rows Z1 to Z10.

Table with 10 columns: βάρος, ml που η H2O, Ενδειξη Ατομικής (μg/ml), αραϊώστ. ccm/g, Co/cm³, lnc, qcm³/kg, logC, logqe, C/qe, κ, qemax, kd, lnkd. Rows 1 to 10.

Table with 10 columns: βάρος, ml που η H2O, Ενδειξη Ατομικής (μg/ml), αραϊώστ. ccm/g, Co/cm³, lnc, qcm³/kg, logC, logqe, C/qe, κ, qemax, kd, lnkd. Rows 1 to 10.

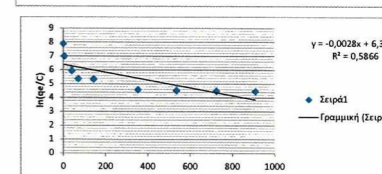
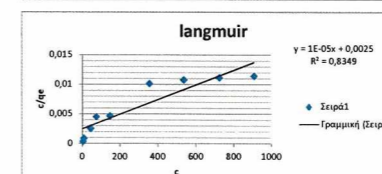
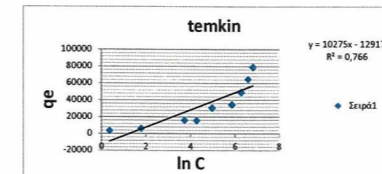
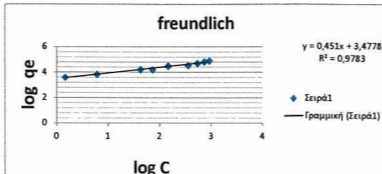
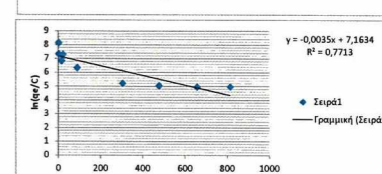
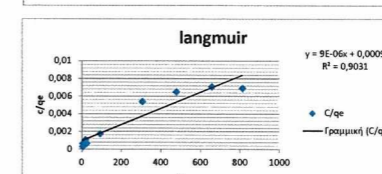
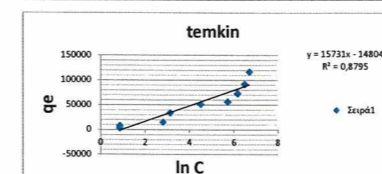
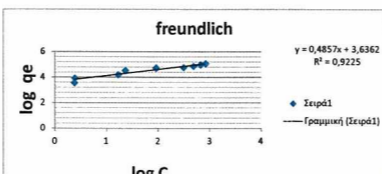
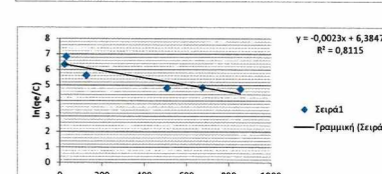
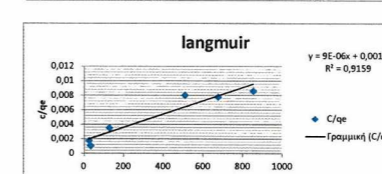
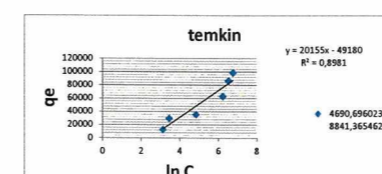
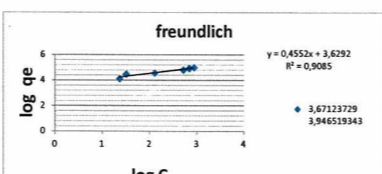
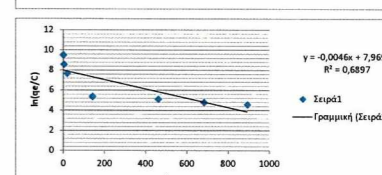
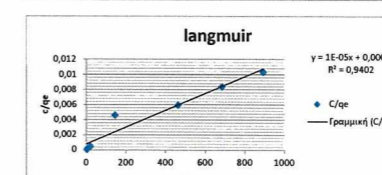
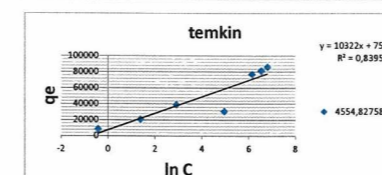
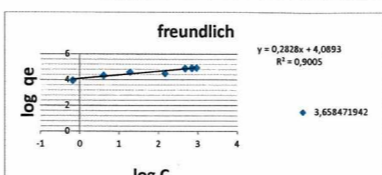
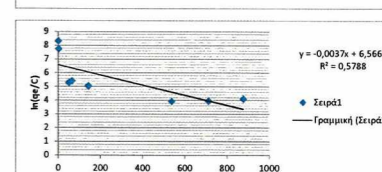
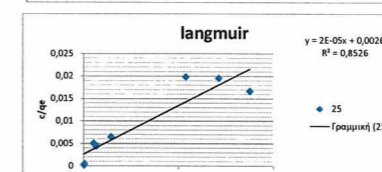
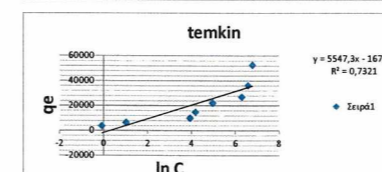
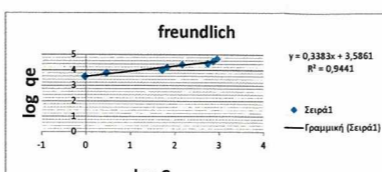
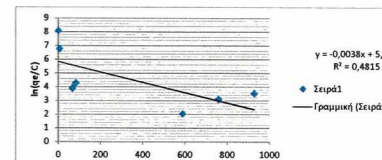
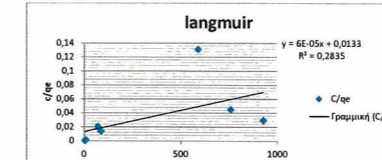
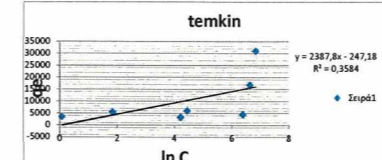
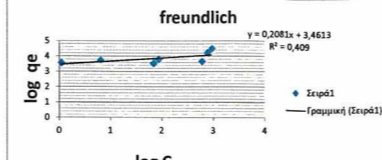
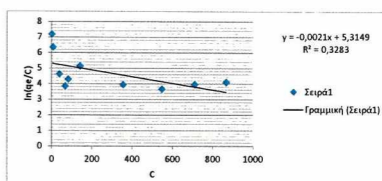
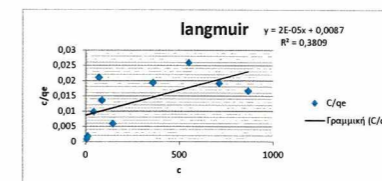
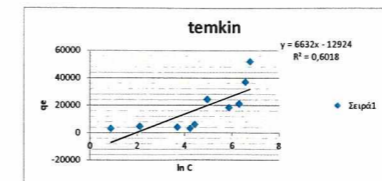
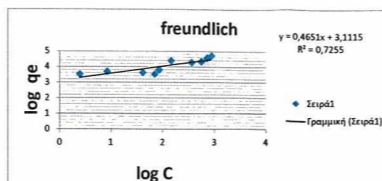
Table with 10 columns: βάρος, ml που η H2O, Ενδειξη Ατομικής (μg/ml), αραϊώστ. ccm/g, Co/cm³, lnc, qcm³/kg, logC, logqe, C/qe, κ, qemax, kd, lnkd. Rows 1 to 10.

Table with 10 columns: βάρος, ml που η H2O, Ενδειξη Ατομικής (μg/ml), αραϊώστ. ccm/g, Co/cm³, lnc, qcm³/kg, logC, logqe, C/qe, κ, qemax, kd, lnkd. Rows 1 to 10.

Table with 10 columns: βάρος, ml που η H2O, Ενδειξη Ατομικής (μg/ml), αραϊώστ. ccm/g, Co/cm³, lnc, qcm³/kg, logC, logqe, C/qe, κ, qemax, kd, lnkd. Rows 1 to 10.

Table with 10 columns: βάρος, ml που η H2O, Ενδειξη Ατομικής (μg/ml), αραϊώστ. ccm/g, Co/cm³, lnc, qcm³/kg, logC, logqe, C/qe, κ, qemax, kd, lnkd. Rows 1 to 10.

Table with 10 columns: βάρος, ml που η H2O, Ενδειξη Ατομικής (μg/ml), αραϊώστ. ccm/g, Co/cm³, lnc, qcm³/kg, logC, logqe, C/qe, κ, qemax, kd, lnkd. Rows 1 to 10.



Ανθρακας	βάρος		ml που η H2O		Ενδειξη Απομείωσης (μg/ml)		αραιώσεις	cm³/ml	C=cm³/ml	InC	qcm³/kg	logC	logqe	C/qe	κ	qemax	kd	lnkd
	βάρος	ml που η H2O	βάρος	ml που η H2O	αραιώσεις	cm³/ml												
C1	0.0713	0.075	29.925	0.162	3.428384	1	10			1.231605478	2765.89734	0.634836	3.441836	0.001230	0.0037037	50000	807.2351	6.693615
C2	0.0716	0.15	29.85	0.331	7.461402	1	20			2.009743332	5253.09251	0.87282	3.770457	0.00142		704.1039	6.556926	
C3	0.0728	0.375	29.625	0.148	33.36216	10	50			3.507423234	8986.28275	1.523254	3.839087	0.004896		205.5099	5.324494	
C4	0.076	0.57	29.43	0.261	48.80462	10	76			4.074730457	8776.80789	1.789233	3.859911	0.008463		115.167	4.740383	
C5	0.0718	0.75	29.26	0.358	110.70036	10	100			4.380743036	8063.91643	1.90875	3.908546	0.010008		69.9247	4.604412	
C6	0.0739	1.5	28.5	0.674	151.9331	10	200			5.023440161	19512.9581	2.181652	4.290323	0.007786		128.4313	4.655304	
C7	0.0725	3	27	0.158	356.1636	100	400			5.875390176	17892.4082	2.55165	4.252899	0.019906		50.2349	3.918742	
C8	0.0705	4.5	26.5	0.239	638.7538	100	500			6.289234929	20992.2108	2.73139	4.160111	0.026772		45.379	3.779953	
C9	0.0722	6	24	0.308	692.0364	100	800			6.63964289	44858.9751	2.840131	4.651849	0.016427		64.82142	4.171636	
C10	0.0725	7.5	22.5	0.398	897.1716	100	1000			6.799247148	42549.8828	2.952876	4.628596	0.021085		47.42647	3.869181	

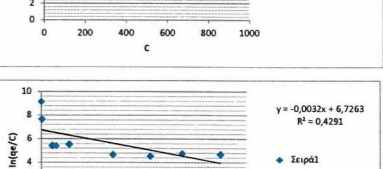
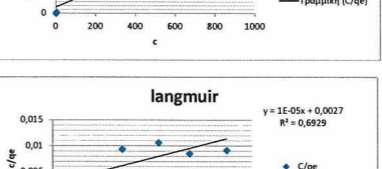
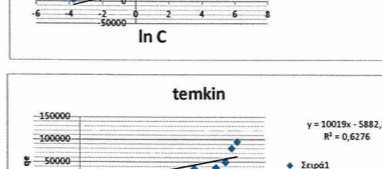
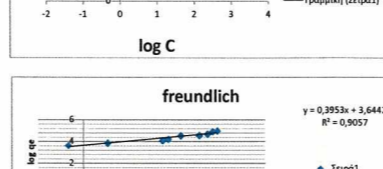
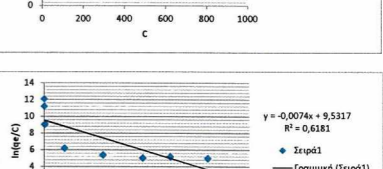
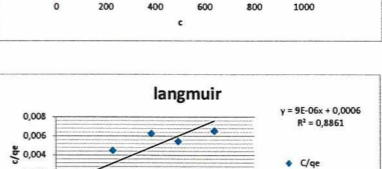
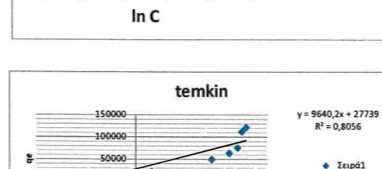
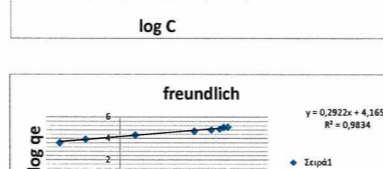
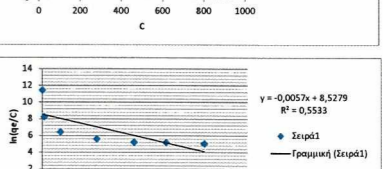
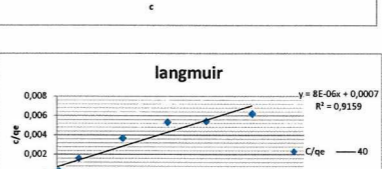
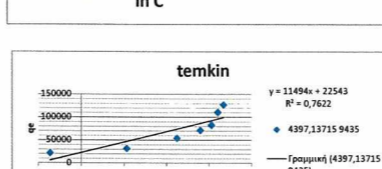
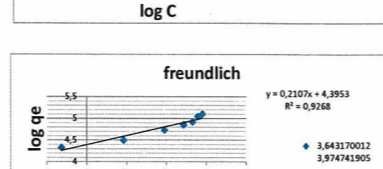
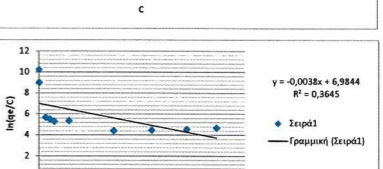
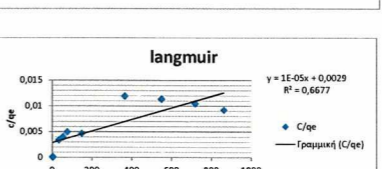
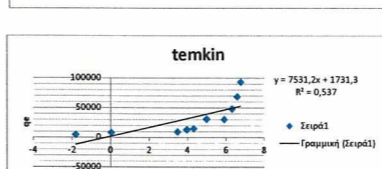
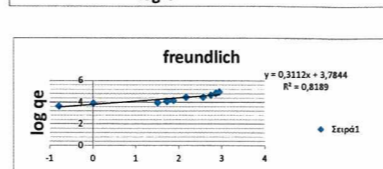
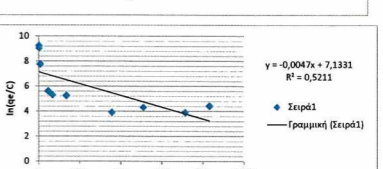
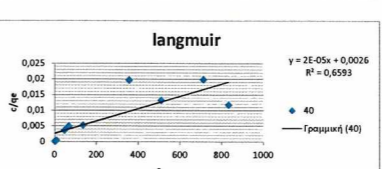
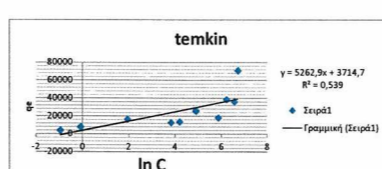
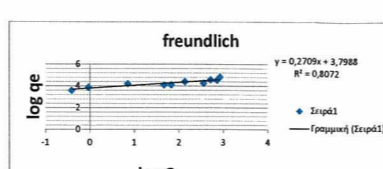
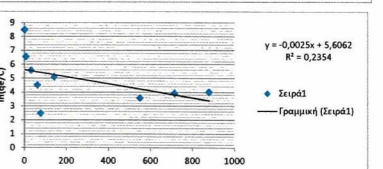
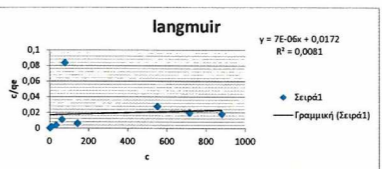
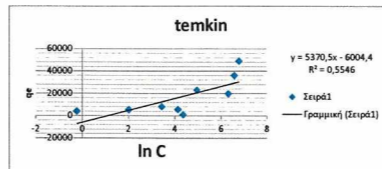
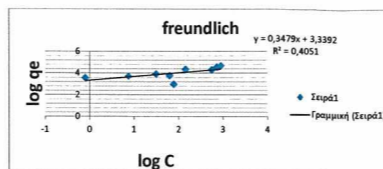
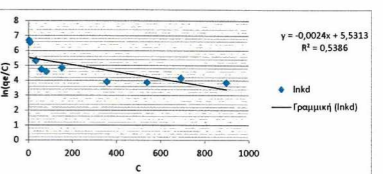
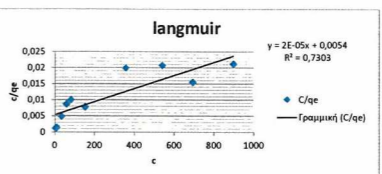
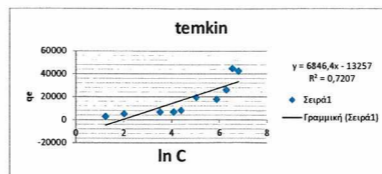
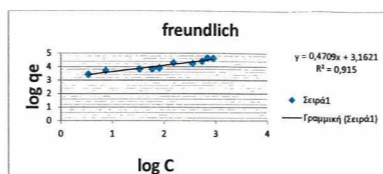


Table with columns: Ανθρακός, βάρος, ml που η H2O, ενδειξη Αραιωσης, αραιώσεις cm³/gf, Κοσμήσι, lbc, qcm³/gf, logc, logce, C/qe, κ, qcmax, ld, lmbd. Rows include C1 through C10.

Table with columns: Αιματίτης, βάρος, ml που η H2O, ενδειξη Αραιωσης, αραιώσεις cm³/gf, Κοσμήσι, lbc, qcm³/gf, logc, logce, C/qe, κ, qcmax, ld, lmbd. Rows include H1 through H10.

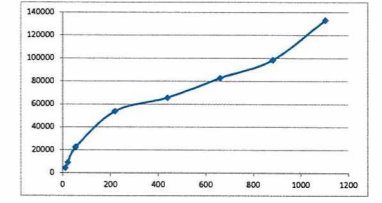
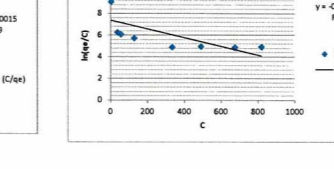
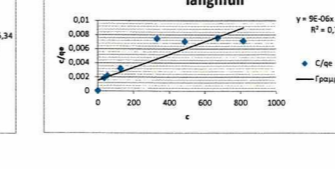
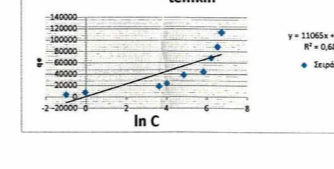
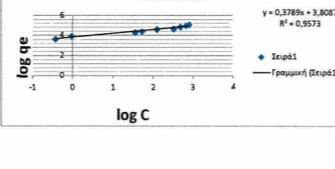
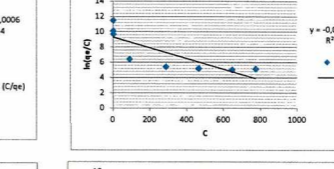
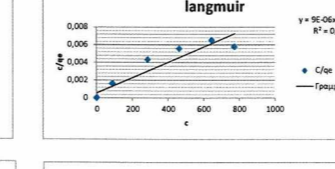
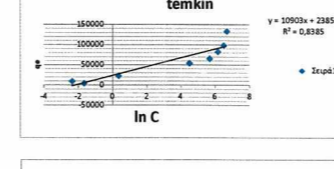
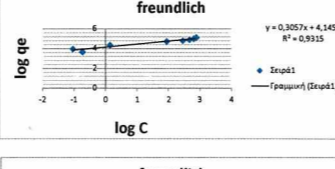
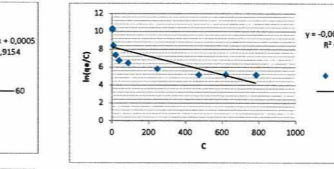
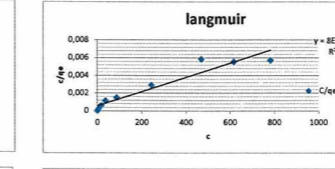
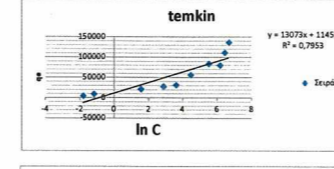
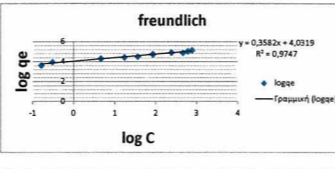
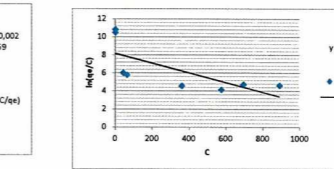
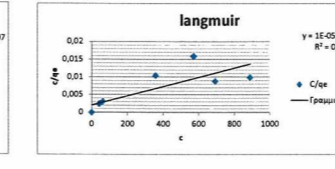
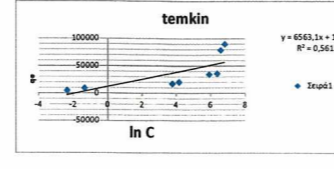
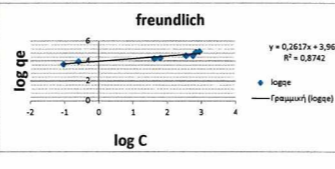
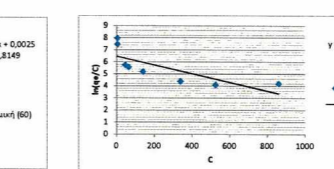
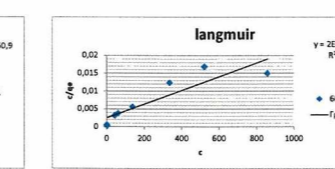
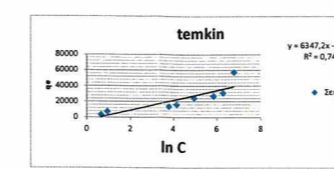
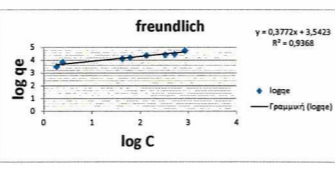
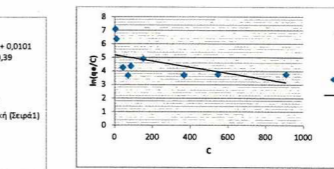
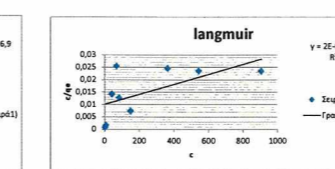
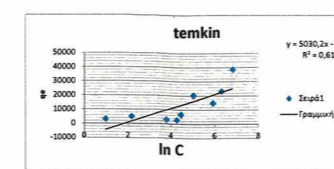
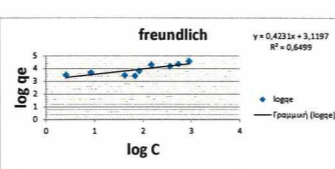
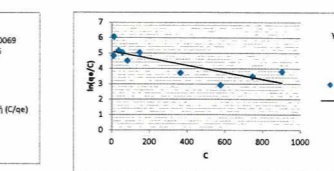
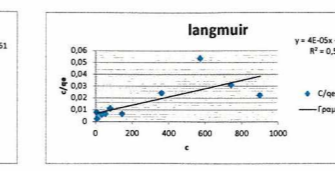
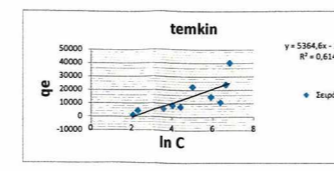
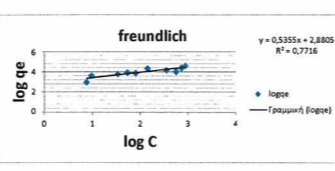
Table with columns: Αιματίτης - Ζεολίθος, βάρος, ml που η H2O, ενδειξη Αραιωσης, αραιώσεις cm³/gf, Κοσμήσι, lbc, qcm³/gf, logc, logce, C/qe, κ, qcmax, ld, lmbd. Rows include S1 through S10.

Table with columns: Γκαλιτίζης, βάρος, ml που η H2O, ενδειξη Αραιωσης, αραιώσεις cm³/gf, Κοσμήσι, lbc, qcm³/gf, logc, logce, C/qe, κ, qcmax, ld, lmbd. Rows include G1 through G10.

Table with columns: Σύστημα 1(S1) (Ζ-Γ) ΚΙΤΡΙΝΟ ΧΡΩΜΑ, βάρος, ml που η H2O, ενδειξη Αραιωσης, αραιώσεις cm³/gf, Κοσμήσι, lbc, qcm³/gf, logc, logce, C/qe, κ, qcmax, ld, lmbd. Rows include S1 through S10.

Table with columns: Σύστημα 2(S2) (Ζ-Γ) ΚΟΚΚΙΝΟ ΧΡΩΜΑ, βάρος, ml που η H2O, ενδειξη Αραιωσης, αραιώσεις cm³/gf, Κοσμήσι, lbc, qcm³/gf, logc, logce, C/qe, κ, qcmax, ld, lmbd. Rows include S1 through S10.

Table with columns: Ζεολίθος, βάρος, ml που η H2O, ενδειξη Αραιωσης, αραιώσεις cm³/gf, Κοσμήσι, lbc, qcm³/gf, logc, logce, C/qe, κ, qcmax, ld, lmbd. Rows include Z1 through Z10.



Freundlich-S1(Z-G)			
Θερμοκρασία	logA	B	R ²
25	1,2191	0,2349	0,8251
40	0,019	0,4262	0,7574
60	10,933	2,7209	0,9747

Temkin -S1(Z-G)			
Θερμοκρασία	α	b	R ²
25	20155	-79180	0,8981
40	11494	22543	0,7622
60	13073	11455	0,7953

Langmuir-S1(Z-G)					
Θερμοκρασία	α	b	R2	qemax	K
25	0,0017	9,00E-06	0,9159	100000	0,00000001
40	0,0007	8,00E-06	0,9159	125000	0,011428571
60	0,0005	8,00E-06	0,9154	125000	0,016

Freundlich-S2(Z-G)			
Θερμοκρασία	logA	B	R ²
25	0,1772	0,2984	0,8983
40	1,1949	0,4845	0,8162
60	0,9871	0,4505	0,8488

Temkin -S2(Z-G)			
Θερμοκρασία	α	b	R ²
25	15731	-14804	0,8795
40	9640,2	27739	0,8056
60	10903	223856	0,8385

Langmuir-S2(Z-G)					
Θερμοκρασία	α	b	R2	qemax	K
25	0,0009	9,00E-06	0,9031	111111,1	0,01
40	0,0006	9,00E-06	0,8861	111111,1	0,015
60	0,0006	9,00E-06	0,8954	111111,1	0,015

Freundlich-Ζεολιθο (Z)			
Θερμοκρασία	logA	B	R ²
25	0,489	0,2736	0,8086
40	0,2299	0,3075	0,772
60	0,0698	0,3402	0,7864

Temkin -Ζεολιθο (Z)			
Θερμοκρασία	α	b	R ²
25	10275	-12917	0,766
40	10019	5882,3	0,6276
60	11065	715,34	0,6832

Langmuir-Ζεολιθο (Z)					
Θερμοκρασία	α	b	R2	qemax	K
25	0,0025	0,00001	0,8349	100000	0,004
40	0,0027	0,00001	0,6929	100000	0,003703704
60	0,0015	0,000009	0,7879	111111,1	0,006

Freundlich-Γκαϊτήτης (G)			
Θερμοκρασία	logA	B	R ²
25	0,1172	0,3564	0,7904
40	9,6402	2,6314	0,8189
60	0,4957	0,4015	0,7483

Temkin -Γκαϊτήτης (G)			
Θερμοκρασία	α	b	R ²
25	10322	7578,8	0,8395
40	7531,2	1731,3	0,537
60	6563,1	11997	0,5615

Langmuir-Γκαϊτήτης (G)					
Θερμοκρασία	α	b	R2	qemax	K
25	0,0008	1,00E-05	0,9402	100000	0,016666667
40	0,0029	1,00E-05	0,6677	100000	0,003448276
60	0,002	1,00E-05	0,6459	100000	0,005

Freundlich-Αιματίτης (H)			
Θερμοκρασία	logA	B	R ²
25	0,3038	0,3005	0,9058
40	2,5935	1,1103	0,4231
60	10,992	2,9799	0,8072

Temkin -Αιματίτης (H)			
Θερμοκρασία	α	b	R ²
25	2387,8	-274,8	0,3584
40	5370,5	-6004,4	0,5546
60	5030,2	-9086,9	0,6109

Langmuir-Αιματίτης (H)					
Θερμοκρασία	α	b	R2	qemax	K
25	0,0133	6,00E-05	0,2835	16666,67	0,004511278
40	0,0172	7,00E-06	0,0081	142857,1	0,000406977
60	0,0101	2,00E-05	0,39	50000	0,001980198

Freundlich-Αιματίτης/Ζεόλιθος (H-Z)			
Θερμοκρασία	logA	B	R ²
25	0,2944	0,2987	0,8029
40	10,992	2,9799	0,8072
60	0,3982	0,282	0,8048

Temkin -Αιματίτης/Ζεόλιθος (H-Z)			
Θερμοκρασία	α	b	R ²
25	5547,3	-1670,9	0,7321
40	5262,9	3714,7	0,539
60	6347,2	-3850,9	0,7431

Langmuir-Αιματίτης/Ζεόλιθος (H-Z)					
Θερμοκρασία	α	b	R2	qemax	K
25	0,0026	2,00E-05	0,8526	50000	0,007692308
40	0,0026	2,00E-05	0,6593	50000	0,007692308
60	0,0025	2,00E-05	0,8149	50000	0,008

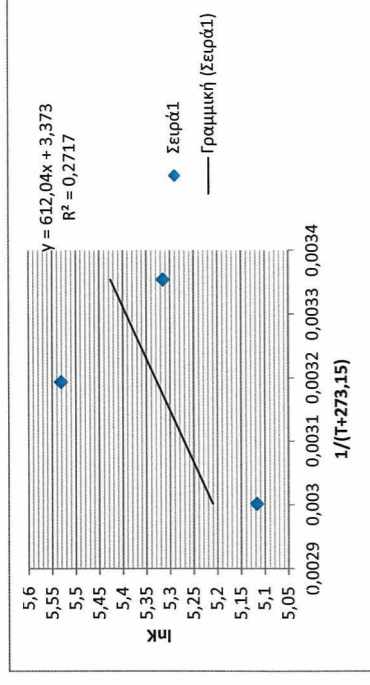
Freundlich-Άνθρακας (C)			
Θερμοκρασία	logA	B	R ²
25	4,3073	1,5598	0,7255
40	5,9752	1,943	0,915
60	3,6848	1,4409	0,7716

Temkin -Άνθρακας ©			
Θερμοκρασία	α	b	R ²
25	6632	-12924	0,6018
40	6846,4	-13257	0,7207
60	5364,6	-11261	0,6149

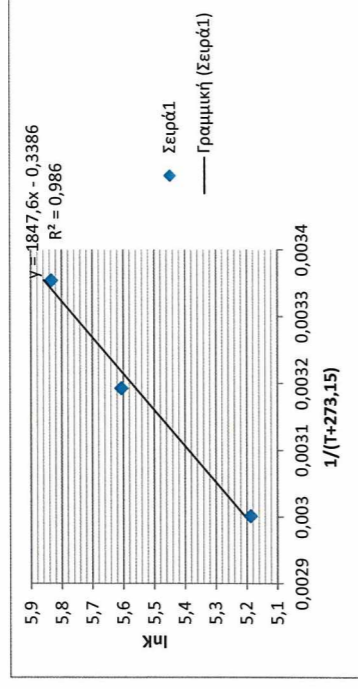
Langmuir-Άνθρακας ©					
Θερμοκρασία	α	b	R2	qemax	K
25	0,0087	2,00E-05	0,3809	50000	0,002298851
40	0,0054	2,00E-05	0,7303	50000	0,003703704
60	0,0069	4,00E-05	0,5396	25000	0,005797101

R=8,314(J/mol*K)

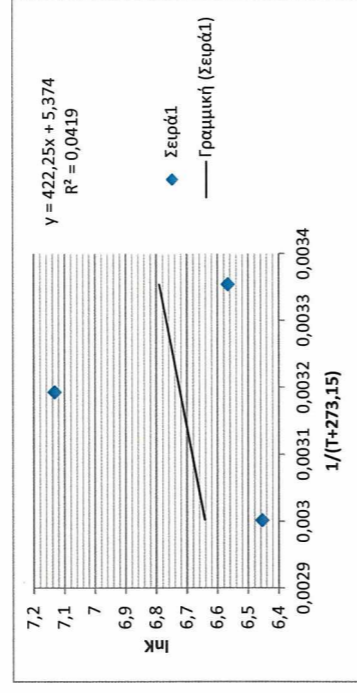
Άνθρακας (C)						
1/(T+273,15)	t	k	lnk	ΔS/R	ΔH/R	ΔS(J/mol) ΔH
0,003354016	25	0,001637	5,3149	3,3730169	612,0362	28,04326 5088,469
0,003193358	40	0,000976	5,5313			-14400,9
0,003001651	60	28,32165	5,1172			-14173,67



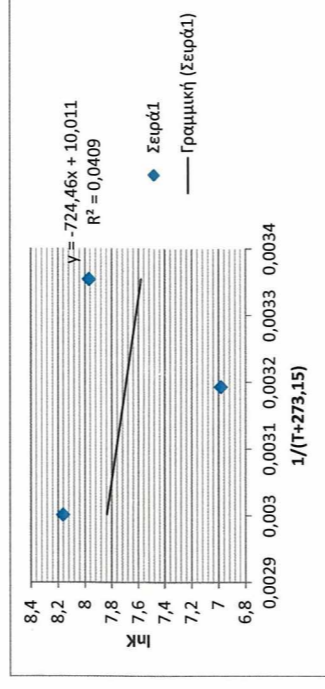
Αιματίνη (H)						
1/(T+273,15)	t	k	lnk	ΔS/R	ΔH/R	ΔS(J/mol) ΔH
0,003354016	25	3,965395	5,834	-0,3386423	1847,626	-2,815472 15361,16
0,003193358	40	5,38618	5,6062			-14595,9
0,003001651	60	32985,15	5,1869			-14366,72



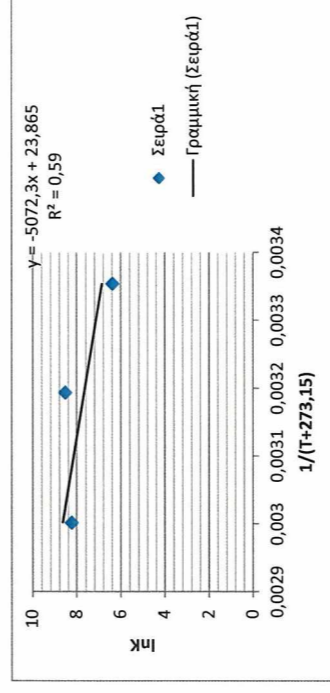
Αιματίνη-Ζεόληθος (H-Z)						
1/(T+273,15)	t	k	lnk	ΔS/R	ΔH/R	ΔS(J/mol) ΔH
0,003354016	25	0,77519	6,5668	5,3739925	422,2549	44,67937 3510,627
0,003193358	40	0,81419	7,1331			-18571,23
0,003001651	60	0,832875	6,4542			-17876,9



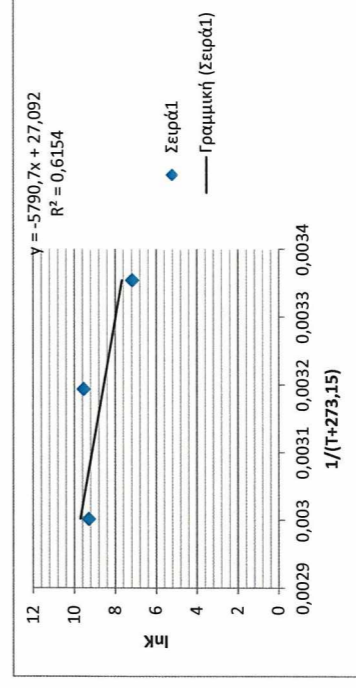
Γραμμική (G)						
1/(T+273,15)	t	k	lnk	ΔS/R	ΔH/R	ΔS(J/mol) ΔH
0,003354016	25	0,17889	7,9698	10,011434	-724,462	83,23506 -6023,17
0,003193358	40	0,908135	6,9844			-18184,09
0,003001651	60	0,6663	8,1622			-22607,74



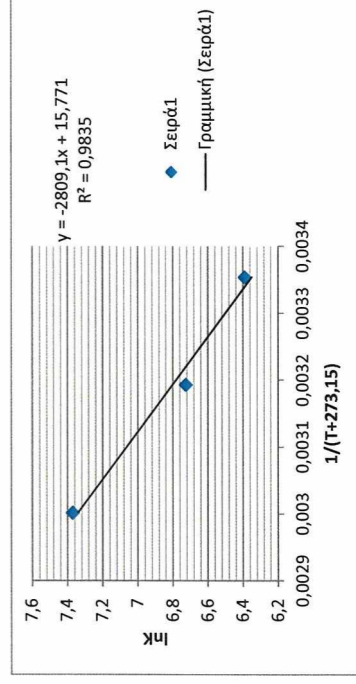
Συστήμα 1(S1) (Z-G) ΚΙΤΡΙΝΟ ΧΡΩΜΑ						
1/(T+273,15)	t	k	lnk	ΔS/R	ΔH/R	ΔS(J/mol) ΔH
0,003354016	25	0,29815	6,3847	23,865265	-5072,29	198,4158 -42171
0,003193358	40	0,219205	8,5279			-22202,64
0,003001651	60	0,166575	8,2478			-22844,83



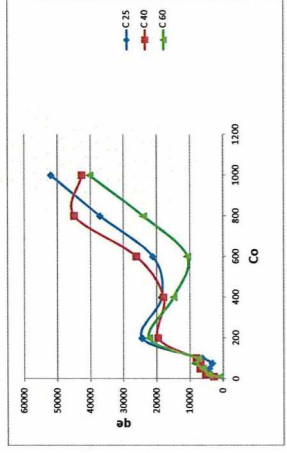
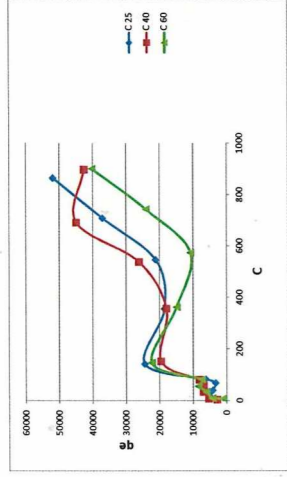
Συστήμα 2(S2) (Z-G) ΚΟΚΙΝΟ ΧΡΩΜΑ						
1/(T+273,15)	t	k	lnk	ΔS/R	ΔH/R	ΔS(J/mol) ΔH
0,003354016	25	0,268535	7,1634	27,092151	-5790,69	225,2441 -48143,8
0,003193358	40	0,18789	9,5317			-24816,06
0,003001651	60	0,19989	9,2859			-25720,17



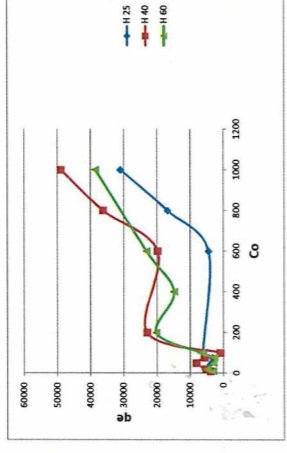
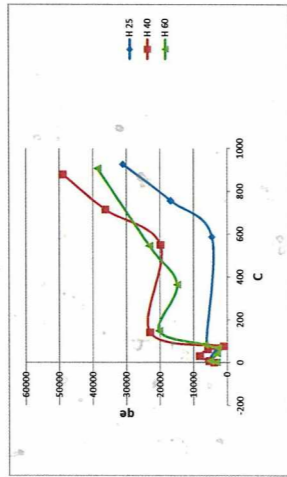
Ζεόληθος(Z)						
1/(T+273,15)	t	k	lnk	ΔS/R	ΔH/R	ΔS(J/mol) ΔH
0,003354016	25	0,745375	6,3894	15,770844	-2809,1	131,1188 -23354,8
0,003193358	40	0,845505	6,7263			-17512,12
0,003001651	60	0,499725	7,3727			-20420,97



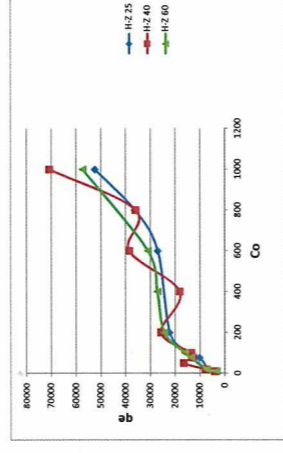
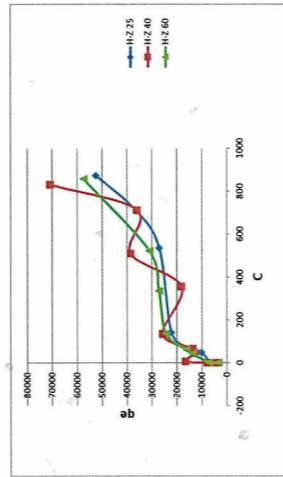
Άνθρακας (C)



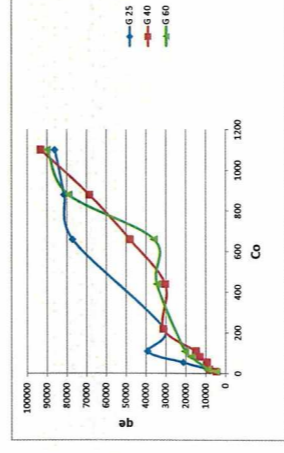
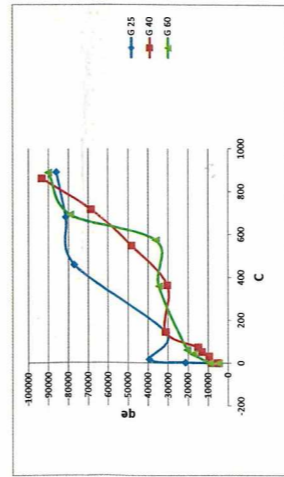
Αιματίνη (H)



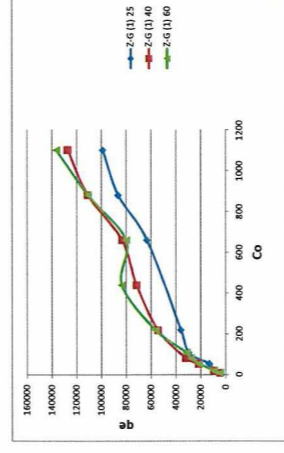
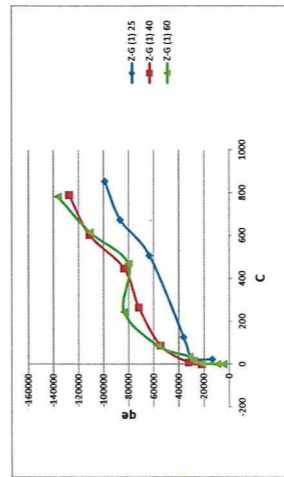
Αιματίνης-Ζεάληθος (H-Z)



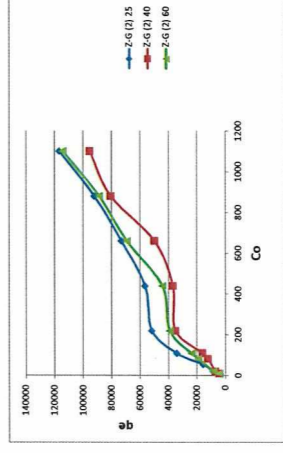
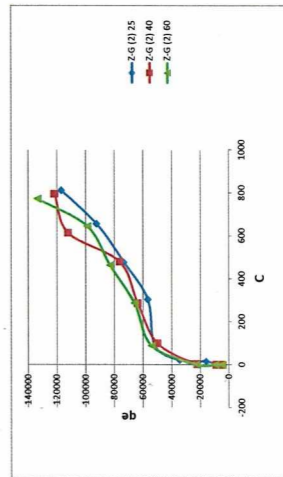
Γκατρίτης (G)



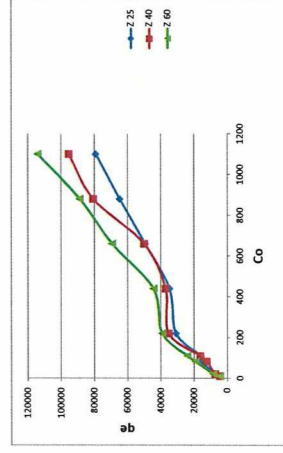
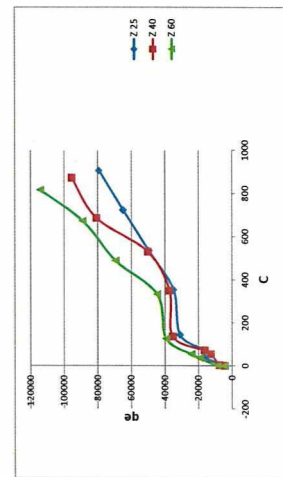
Συστημα 1(S1) [Z-G] ΚΙΤΡΙΝΟ ΧΡΩΜΑ



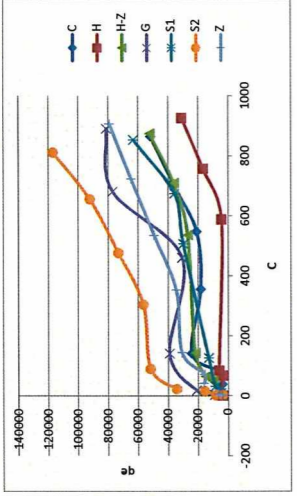
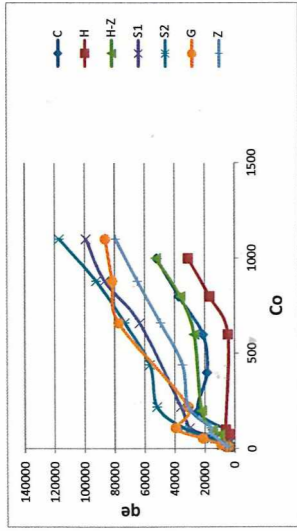
Συστημα 2(S2) [Z-G] ΚΟΚΙΝΟ ΧΡΩΜΑ



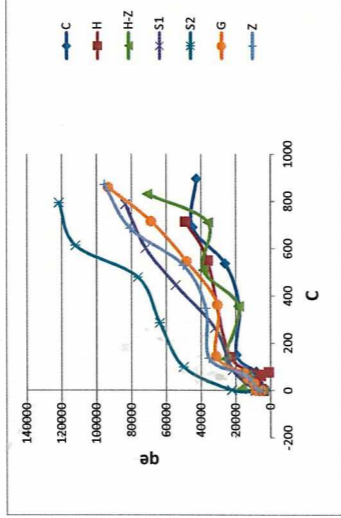
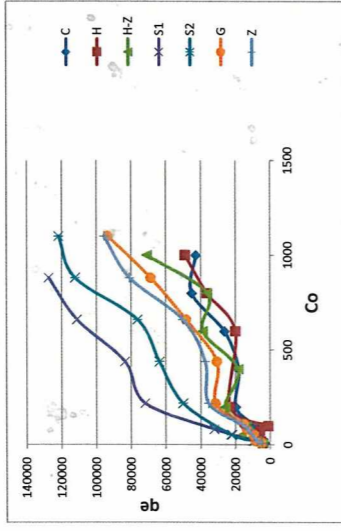
Ζεολιθοζ(Ζ)



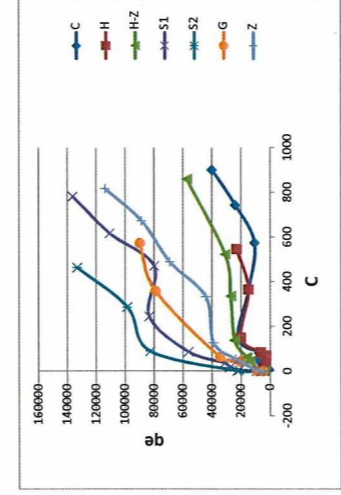
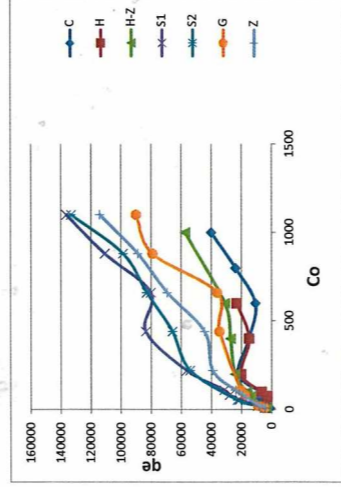
25 o C

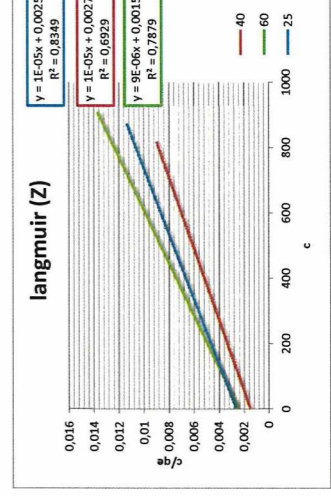
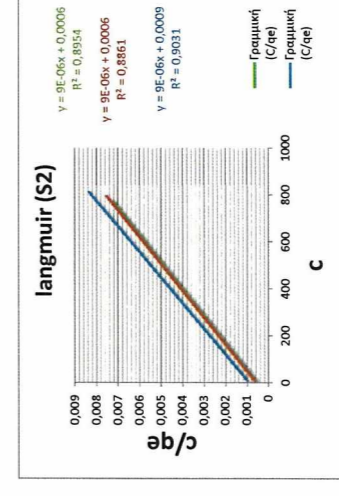
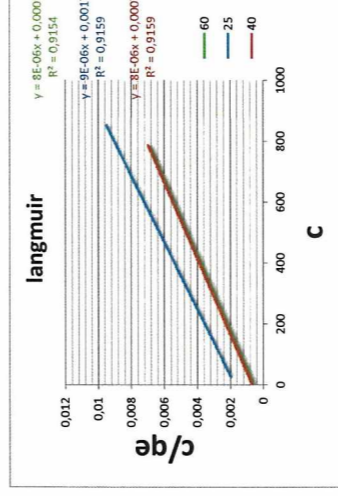
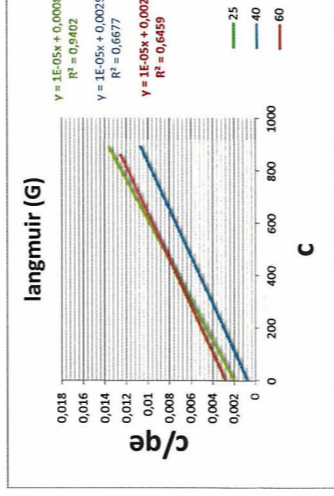
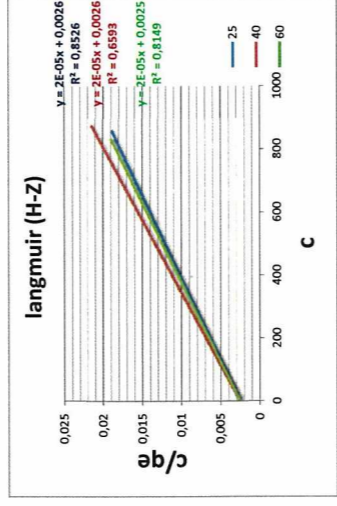
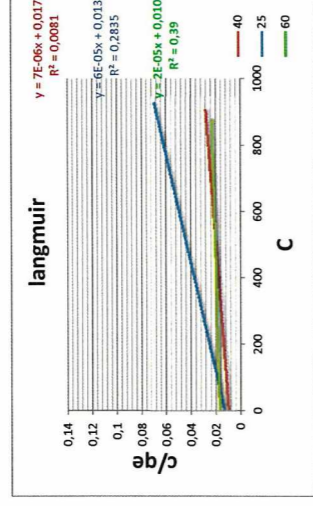
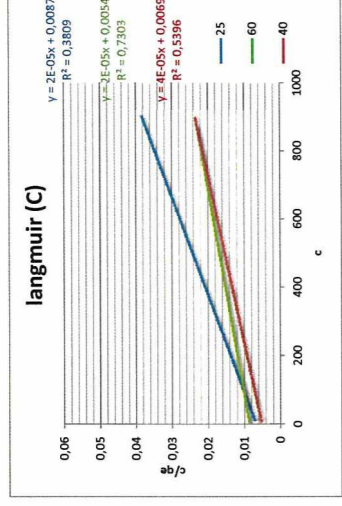
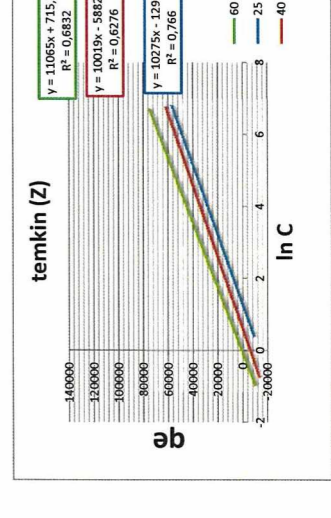
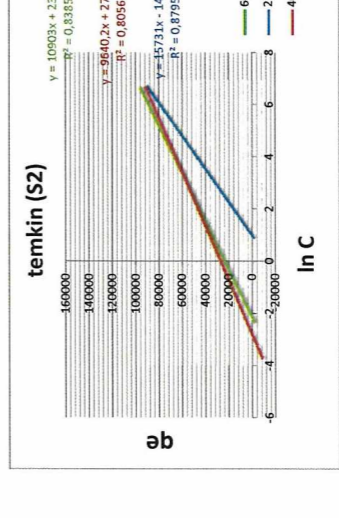
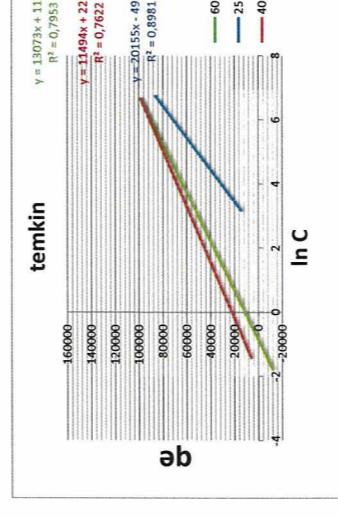
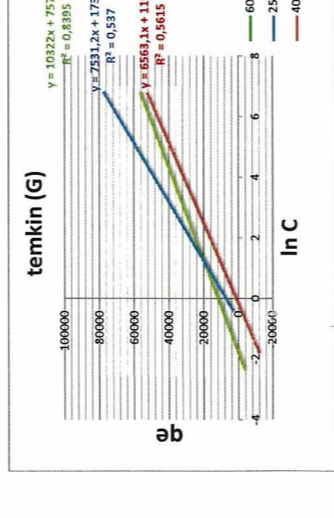
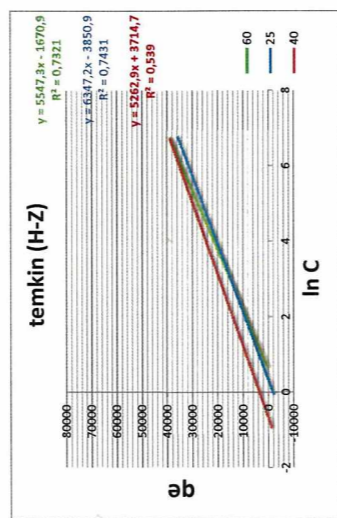
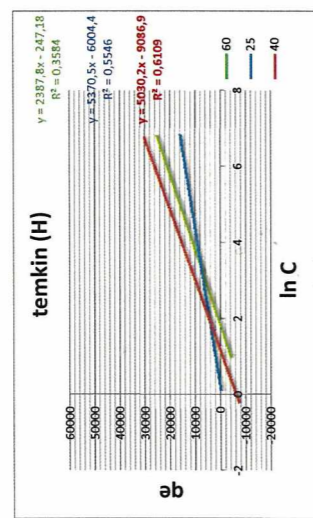
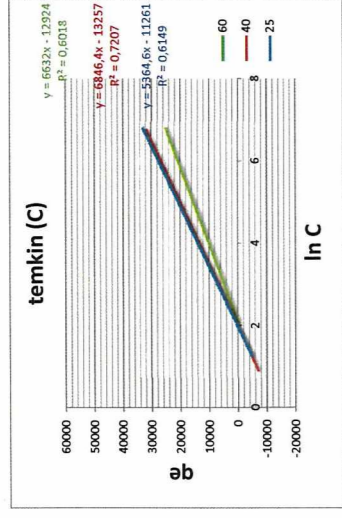
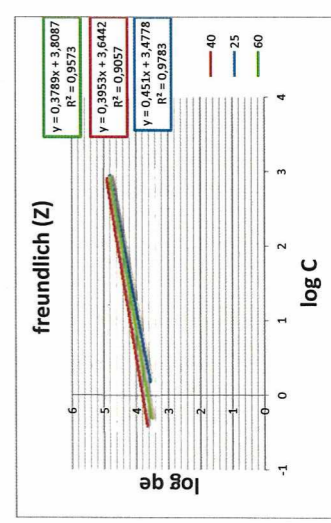
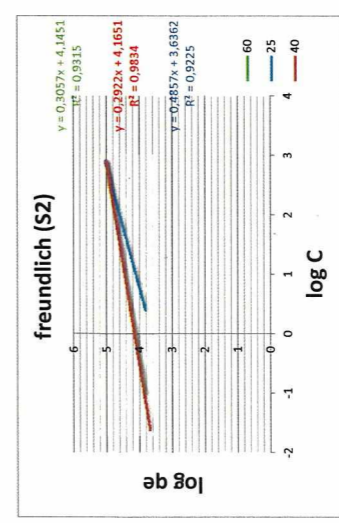
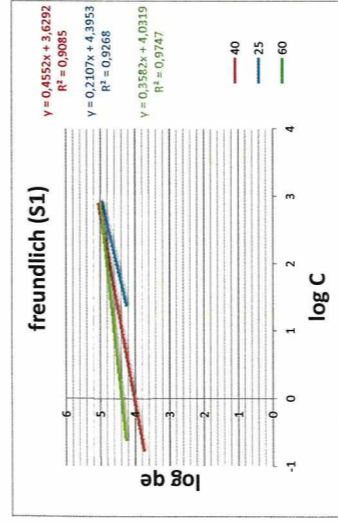
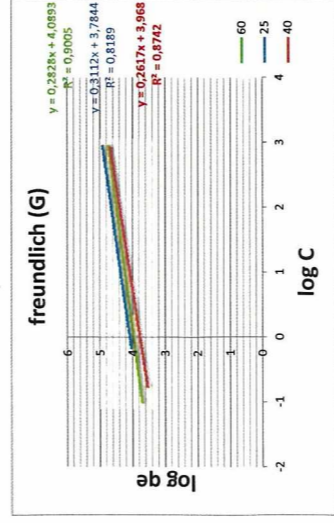
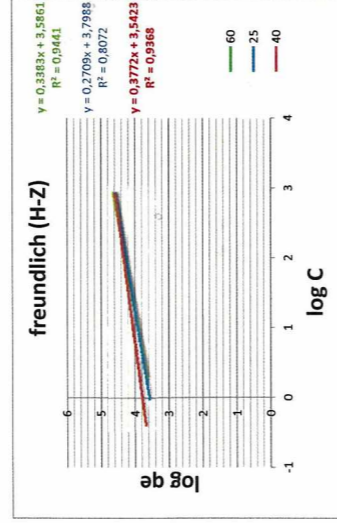
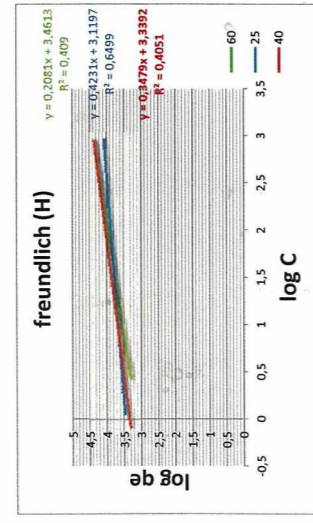
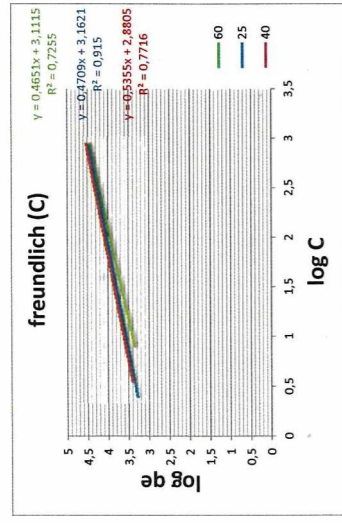


40 o C



60 o C







ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ



004000123184