

Προς:

την υπεύθυνη του Εργαστηρίου Βιοχημικών Διεργασιών &
Περιβαλλοντικής Βιοτεχνολογίας
του τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πολυτεχνείου Κρήτης

κ. Σαρίκα Ροίκα

Σας παραδίδω την τεχνική έκθεση που αντιστοιχεί στην πρώτη εργαστηριακή άσκηση του μαθήματος 'Τεχνική Χημικών & Βιοχημικών Διεργασιών' με θέμα « Αποχρωματισμός διαλύματος Orange II με αντιδραστήριο Fenton » , η οποία διεξήχθη 29/10/2019 στο προπτυχιακό εργαστήριο του τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πολυτεχνείου Κρήτης (κτίριο Κ1 – ΜΗΠΕΡ).

Με εκτίμηση,

ο υπεύθυνος της εργαστηριακής άσκησης

και συγγραφέας της τεχνικής έκθεσης
Ευαγγέλου Παναγιώτης



Πολυτεχνείο Κρήτης

Τμήμα Μηχανικών

Περιβάλλοντος Έτος 2019

ΑΠΟΧΡΩΜΑΤΙΣΜΟΣ ΔΙΑΛΥΜΑΤΟΣ ORANGE II ΜΕ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΙΟ FENTON

Εργαστήριο Βιοχημικών Διεργασιών και Περιβαλλοντικής Βιοτεχνολογίας
Συντελεστής της τεχνικής έκθεσης: Ευαγγέλου Παναγιώτης
Ημερομηνία παράδοσης: 12/11/2019

Λοιπά Μέλη Εργαστηριακής Ομάδας :

- Ολύμπιος Πέτρος
- Χατζηαθανασίου Χρύσω
- Κανναβιάς Χρύσανθος

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργαστηριακή άσκηση αναφέρεται ο αποχρωματισμός του πρότυπου χρωστικού διαλύματος Orange II το οποίο αποτελεί την ομάδα αζωχρωμάτων με αντιδραστήριο Fenton ($\text{Fe(II)/H}_2\text{O}_2$) όπου είναι ένα διάλυμα που περιέχει ιόντα σιδήρου και υπεροξειδίου του υδρογόνου. Στο πείραμα αυτό αρχικά δημιουργήθηκαν 3 διαλύματα τα οποία περιείχαν 350mL από το αρχικό πρότυπο διάλυμα Orange II (30 ppm) και σε κάθε ένα από αυτά μεταβλήθηκε η συνθήκη λειτουργίας του για να παρατηρηθούν διαφορετικές περιπτώσεις. Οι συνθήκες που θα μεταβληθούν αναφέρονται παρακάτω:

1. η ποσότητα υπεροξειδίου του υδρογόνου
2. η ποσότητα του σιδήρου

Η διαδικασία αυτή γίνεται με σκοπό να μελετήσουμε την επίδραση συνθηκών λειτουργίας στο βαθμό αποχρωματισμού του πρότυπου διαλύματος της χρωστικής Orange II για το σύστημα $\text{Fe(II)/H}_2\text{O}_2$ με βάση τις μεταβολές συνθηκών που προαναφέρθηκαν, καθώς και για τον προσδιορισμό τάξης και σταθεράς ταχύτητας αντίδρασης. Η διαδικασία είχε ως εξής, αρχικά πάρθηκαν 2 μετρήσεις σε διαστήματα των 5 λεπτών ενώ στην συνέχεια για κάθε 10 λεπτά μια μικρή ποσότητα από τα διαλύματα και με την βοήθεια του φασματοφωτομέτρου καταγράφηκε η συγκέντρωση της χρωστικής την δεδομένη χρονική στιγμή. Έπειτα πιο κάτω θα παρουσιαστούν λεπτομερώς οι πίνακες και τα σχετικά διαγράμματα τα οποία εξάχθηκαν με βάση τις πειραματικές μας μετρήσεις και τους υπολογισμούς μας.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Εξώφυλλο.....	i
Περίληψη	ii
Περιεχόμενα	iii
Πίνακας Συμβόλων.....	iv

ΚΥΡΙΟ ΜΕΡΟΣ

Εισαγωγή.....	1
Θεωρητικό Υπόβαθρο	2
Μεθοδολογία	3
Πειραματικά αποτελέσματα και συζήτηση	4
Συμπεράσματα.....	9
Βιβλιογραφία	10

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

Παράρτημα 1: Πειραματικές μετρήσεις	11
Παράρτημα 2 : Ανάλυση δεδομένων.....	11
Παράρτημα 3 : Προγράμματα Η/Υ.....	13

Πίνακας Συμβόλων

Σύμβολο	Ορισμός
N	Moles της ουσίας
A_r	Ατομικό βάρος (gr/mol)
M_r	Μοριακό βάρος (gr/mol)
M	Μάζα (gr)
V	Όγκος (L)
C	Συγκέντρωση (gr/ L)
P	Πυκνότητα (gr/ L)
T	Χρόνος (min)
R	Ταχύτητα αντίδρασης (gr/ L*min)
K	Κινητική σταθερά της αντίδρασης

ΚΥΡΙΟ ΜΕΡΟΣ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σκοπός του συγκεκριμένου πειράματος είναι η μελέτη επίδρασης συνθηκών λειτουργίας στο βαθμό αποχρωματισμού πρότυπου διαλύματος της χρωστικής Orange II (συγκέντρωση καταλύτη , συγκέντρωση υπεροξειδίου) για το σύστημα $\text{Fe(II)/H}_2\text{O}_2$ και ο προσδιορισμός της τάξης και της σταθεράς ταχύτητας αντίδρασης.

State of the art

Στο σημείο αυτό παρουσιάζουμε μια σύντομη αναφορά σε άλλες μεθόδους επεξεργασίας και αποικοδόμησης τοξικών αποβλήτων από αυτή που μελετήσαμε στο εργαστήριο. Ορισμένα επικίνδυνα απόβλητα μπορούν να τύχουν επεξεργασίας ώστε το επικίνδυνο συστατικό που περιέχουν να αποβληθεί, καθιστώντας τα έτσι μη επικίνδυνα απόβλητα. Παραδείγματος χάρη, καλό είναι να αναφερθεί ότι ένα διαβρωτικό οξύ δύναται να ουδετεροποιηθεί με μία βασική ουσία έτσι ώστε να μην είναι πλέον διαβρωτικό. Επίσης, μια άλλη μέθοδος ουδετεροποίησης επικίνδυνων αποβλήτων είναι η ρύθμιση του pH. Το pH είναι ένας σημαντικός παράγοντας κατά τη δραστηριότητα διύλισης επικίνδυνων αποβλήτων. Έτσι ρυθμίζοντας το pH κάποιων τοξικών υλικών, μειώνεται η δυνατότητα διύλισης των αποβλήτων. Επιπλέον, μια άλλη μέθοδος για την διάσπαση αζωχρωμάτων είναι με την χρήση υδατικών αιωρημάτων TiO_2 που μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε με χρήση υπεριώδους ακτινοβολίας, για την ενεργοποίηση του φωτοκαταλύτη, είτε με ορατή ακτινοβολία, μέσω του μηχανισμού της φωτοευαισθητοποίησης με ενεργοποίηση των μορίων του αζωχρώματος.

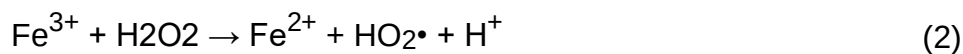
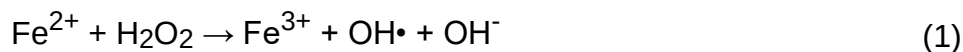
2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

Γενικότερα, πολύ συχνά στα βιομηχανικά υγρά απόβλητα συνυπάρχουν οργανικές ουσίες μη βιολογικής προέλευσης, οι οποίες ονομάζονται ξενοβιοτικά. Μεταξύ αυτών περιλαμβάνονται ενώσεις με χρωμοφόρες ομάδες οι οποίες χρησιμοποιούνται για βαφές υλικών στις βιομηχανίες υφαντουργίας, δέρματος, τροφίμων και χαρτιού. Οι ενώσεις αυτές όταν διατίθενται στο περιβάλλον προκαλούν ρύπανση και θεωρούνται τοξικές για τους βιολογικούς οργανισμούς, αν και υπάρχουν μικροβιακοί οργανισμοί ανεκτικοί στην παρουσία τους.

Για την επεξεργασία τέτοιων αποβλήτων με στόχο την μείωση του οργανικού φορτίου και τον αποχρωματισμό χρησιμοποιούνται διάφορες χημικές οξειδωτικές διεργασίες, μια εκ των οποίων είναι η οξείδωση με το αντιδραστήριο Fenton.

Αντιδραστήριο Fenton

Το αντιδραστήριο Fenton είναι ένα διάλυμα που περιέχει ιόντα δισθενούς σιδήρου και υπεροξείδιο του υδρογόνου. Ο σίδηρος παίζει το ρόλο του ομογενούς καταλύτη που διασπά το οξειδωτικό υπεροξείδιο του υδρογόνου σε ρίζες υδροξυλίου ($\text{OH}\cdot$) και υδροπεροξυλίου ($\text{HO}_2\cdot$). Οι ρίζες είναι πολύ δραστικές αλλά ασταθείς ομάδες που επιτίθενται στην οργανική ουσία και την οξειδώνουν. Οι βασικές αντιδράσεις είναι οι ακόλουθες:



Ο ρόλος του σιδήρου είναι διττός:

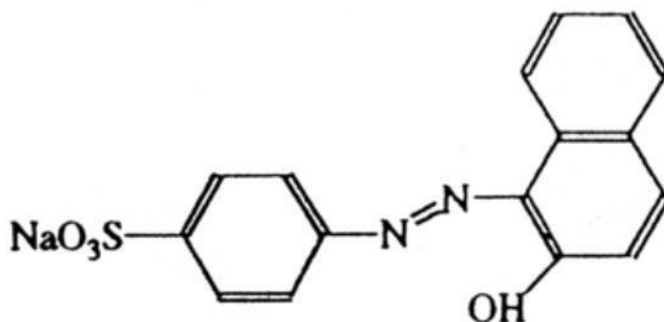
- διασπά το υπεροξείδιο του υδρογόνου μέσω των αντιδράσεων οξειδοαναγωγής (1) και (2),
- συμμετέχει ως καταλύτης στις αντιδράσεις τύπου (4).

Εκτός από το σίδηρο, άλλα στοιχεία μετάπτωσης όπως ο χαλκός έχουν επίσης χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με H_2O_2 για την οξείδωση οργανικών ρύπων. Αν και οι μηχανισμοί δράσης είναι διαφορετικοί από αυτούς του σιδήρου, ο χαλκός παρουσιάζει καλή ενεργότητα ως καταλύτης.

ΑΖΩΧΡΩΜΑΤΑ

Μία από τις πολλές οικογένειες χρωστικών ουσιών είναι και αυτή των αζωχρωμάτων, στα οποία η παρουσία του δεσμού $N=N$ είναι η χρωμοφόρος ομάδα. Χρωστικές, όπως το κόκκινο, το πορτοκαλί, το κίτρινο και το μπλε ανήκουν στην ομάδα αυτή. Στην άσκηση θα μελετηθεί η χρωστική Orange II με τα εξής χαρακτηριστικά:

- ο Μοριακός τύπος: $C_{16}H_{11}N_2NaO_4S$
- ο Μοριακό βάρος: 350 g/gmol
- ο Διαλυτότητα στο νερό: Μεγάλη



Orange II

3.ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Τα διαλύματα που χρησιμοποιήθηκαν για την εκτέλεση του πειράματος είναι τα εξής :

- Διάλυμα 350 ml Orange II συγκέντρωσης 30 ppm.
- Διάλυμα που να περιέχει 0.01 g $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ σε 50 ml νερό.

Πειραματική Διαδικασία:

Αρχικά ζυγίζουμε τις ποσότητες του θειικού σιδήρου ($FeSO_4$). Έπειτα κατασκευάζουμε διάλυμα (I) το οποίο περιέχει 350 ml από το αρχικό πρότυπο διάλυμα Orange II (30 ppm) 0.0536 g $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ σε 250 ml νερό και 0,1 ml H_2O_2 ενώ στην συνέχεια διαχωρίζουμε το διάλυμα που φτιάξαμε σε 5 διαλύματα των 50 ml το καθένα. Επαναλαμβάνουμε την διαδικασία όπως ακριβώς περιγράφεται πιο πάνω αλλά με τις εξής διαφορές: στο διάλυμα (II) προσθέσαμε μισή ποσότητα H_2O_2 δηλαδή 0,05 ml ενώ στο διάλυμα (III) προσθέσαμε μισή ποσότητα του σιδήρου.

Αμέσως θέτουμε σε λειτουργία το χρονόμετρο (χρόνος μηδέν) και για της πρώτες δυο παίρνουμε δέγμα ανά πέντε λεπτά ενώ στην συνέχεια ανά δέκα λεπτά έως ότου συμπληρωθούν τα 60 λεπτά. Με βάση τα δείγματα 2-3 ml το καθένα από το δοχείο αντίδρασης μετρούσαμε την συγκέντρωση της χρωστικής ουσίας με την βοήθεια του φασματοφωτόμετρου. Για χρόνο 0 η αρχική συγκέντρωση της χρωστικής υπολογίσθηκε από την απορρόφηση του αρχικού προτύπου διαλύματος Orange II (30 ppm) πολλαπλασιασμένη με τον συντελεστή 0,875.

4. Πειραματικά Αποτελέσματα και Συζήτηση

➤➤ Προσδιορισμός Βαθμού Μετατροπής

1. Υπολογίστε την συγκέντρωση ιόντων σιδήρου στο διάλυμα 400ml στο δοχείο αντίδρασης. Το μοριακό βάρος του $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ είναι 278g/mol και το ατομικό βάρος του σιδήρου είναι 56g/gmol.

Αν το ατομικό βάρος του σιδήρου είναι $M_r = 278\text{g/gmol}$ και το $A_r = 56\text{g/gmol}$ και η μάζα του σιδήρου στο δοχείο της αντίδρασης ήταν 0.01g, προκύπτει ότι:

$$n = \frac{m}{M_r} = \frac{0.01\text{g}}{278 \frac{\text{g}}{\text{gmol}}} = 3,59 \cdot 10^{-5} \text{gmol}$$

Άρα έχουμε ότι η συγκέντρωση είναι ίση με:

$$C = \frac{n}{V} = \frac{3,59 \cdot 10^{-5}}{0.4\text{L}} = 8,99 \cdot 10^{-5} \text{M}$$

2. Υπολογίστε τη συγκέντρωση H_2O_2 στο διάλυμα 400ml στο δοχείο αντίδρασης. Για τους υπολογισμούς θεωρήστε ότι η πυκνότητα του διαλύματος H_2O_2 (35% v/v) είναι 1.

Αν η πυκνότητα του διαλύματος είναι 1g/L

Και για 35% v/v δηλ.: σε 100ml Διαλύματος είναι διαλυμένα 35ml H_2O_2 .

Άρα για 100ml διαλύματος είναι διαλυμένα ένα 35ml H_2O_2 .

στα 400ml διαλύματος θα έχουμε διαλυμένα x

$$x = \frac{400 \cdot 35}{100} \rightarrow x = 140 \text{ ml } \text{H}_2\text{O}_2$$

Ο ατομικός αριθμός του H_2O_2 είναι $M_r = 34\text{g/mol}$

Γνωρίζουμε ότι η πυκνότητα του διαλύματος είναι 1g/L άρα:

$$\rho = \frac{m}{V} \rightarrow m = \rho \cdot V = 1 \frac{\text{g}}{\text{L}} \cdot 0.14 \text{L} = 0.14 \text{gH}_2\text{O}_2$$

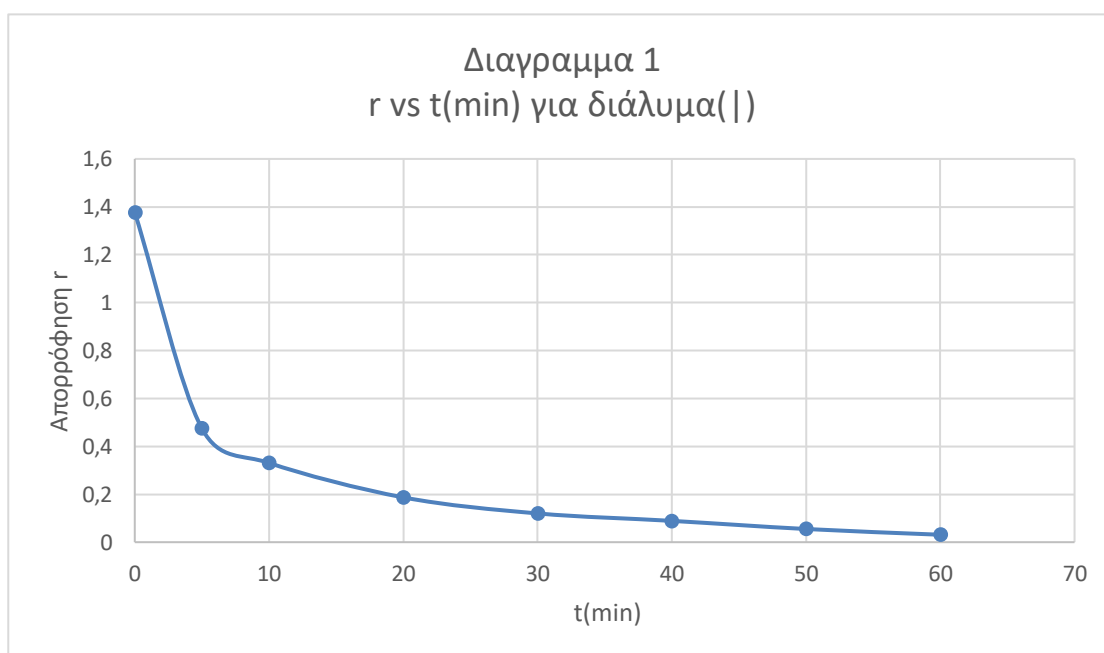
Άρα η συγκέντρωση του H_2O_2 στο διάλυμα θα είναι:

$$C = \frac{n}{V} = \frac{\frac{m}{M_r}}{V} = \frac{\frac{0.14\text{g}}{34 \frac{\text{g}}{\text{mol}}}}{0.4\text{L}} = 0.01 \text{MH}_2\text{O}_2$$

3. Εξηγείστε γιατί η αρχική συγκέντρωση της χρωστικής (χρόνος μηδέν) στο δοχείο αντίδρασης δεν μπορεί να μετρηθεί απευθείας αλλά πρέπει να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας το συντελεστή διόρθωσης.

Ο λόγος που χρησιμοποιούμε το συντελεστή διόρθωσης για την αρχική συγκέντρωση της χρωστικής στο χρόνο μηδέν έπειτα από τον υπολογισμό της απορρόφησης του αρχικού πρότυπου διαλύματος είναι γιατί η τιμή αυτή αντιστοιχεί στο διάλυμα Orange II συγκέντρωσης 30ppm ενώ τα υπόλοιπα αντιδραστήρια τα είχαμε αραιώσει με νερό οπότε μειώθηκε η συγκέντρωση του διαλύματος και έτσι πολλαπλασιάζουμε την αρχική τιμή με τον συντελεστή διόρθωσης.

4. Ακολουθεί το διάγραμμα μεταβολής της απορρόφησης της χρωστικής σε σχέση με το χρόνο του πειράματος για το διάλυμα (I).



5. Με βάση τα πειραματικά δεδομένα θα εκτιμήσουμε την τάξη της αντίδρασης ως προς την συγκέντρωση της χρωστικής.

Στο πείραμά μας, θεωρούμε ότι η συγκέντρωση της χρωστικής Orange II (30ppm) ταυτίζεται με την απορρόφηση. Από τη θεωρία όμως έχουμε ότι ισχύει:

$$r_{orange\ II} = -\frac{dC_{orange\ II}}{dt} = k \cdot C_{orange\ II}^n$$

$$\ln(r) = \ln(k) + n \cdot \ln(C_{orange\ II})$$

Εξίσωση τύπου $y=ax+b$

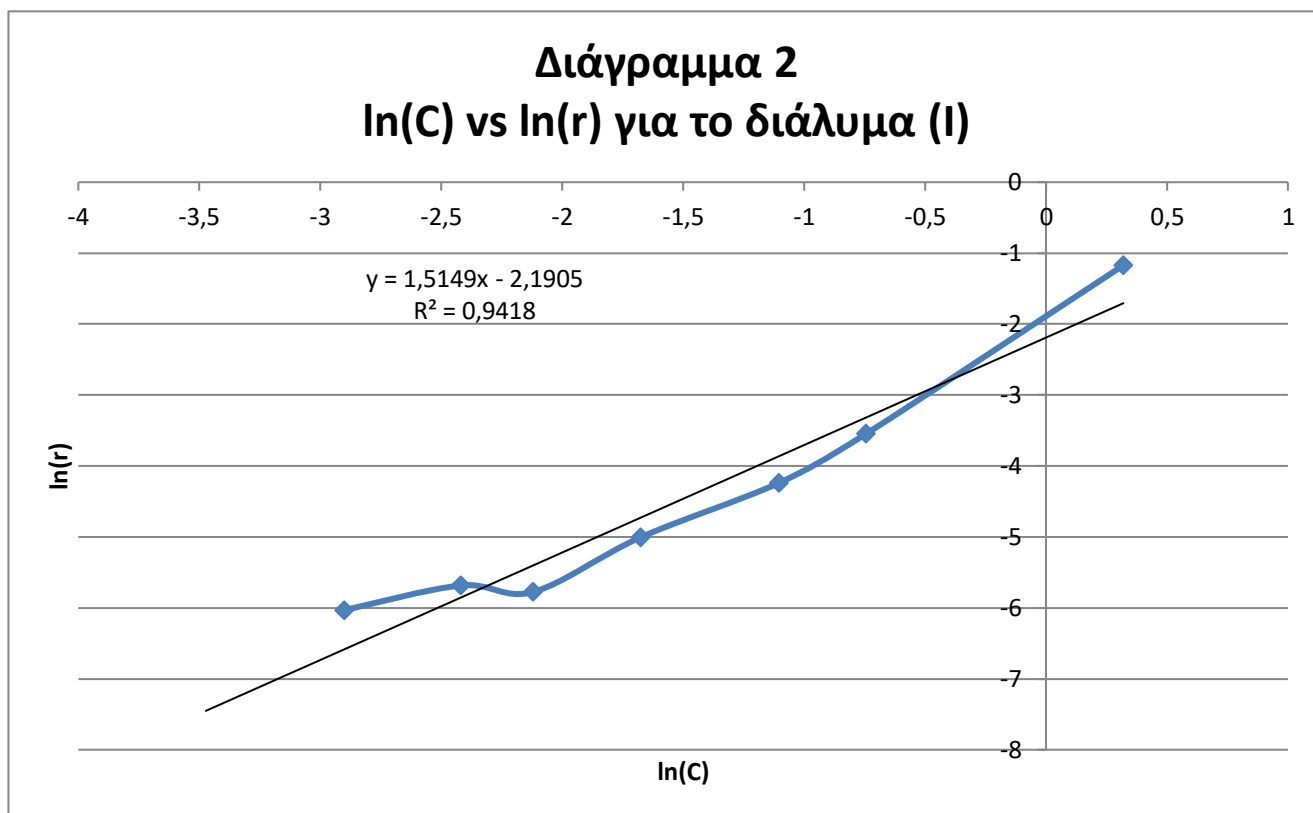
όπου:

- n : η τάξη της αντίδρασης
- y : $\ln(r)$
- $x = \ln(C_{Orange\ II})$

Ακολουθεί πίνακας με τα αποτελέσματα μετά την επεξεργασία των τιμών του διαλύματος (I):

t(min)	Διάλυμα I	dt	dC	r	Ln(C)	Ln(r)
0	1.377	5	-0.902	0.1804	0.320	-1.172
5	0.475	5	-0.144	0.0288	-0.744	-3.547
10	0.331	10	-0.144	0.0144	-1.105	-4.241
20	0.187	10	-0.067	0.0067	-1.676	-5.006
30	0.120	10	-0.031	0.0031	-2.120	-5.776
40	0.089	10	-0.034	0.0034	-2.419	-5.684
50	0.055	10	-0.024	0.0024	-2.900	-6.032
60	0.031	-	-	-	-3.473	-

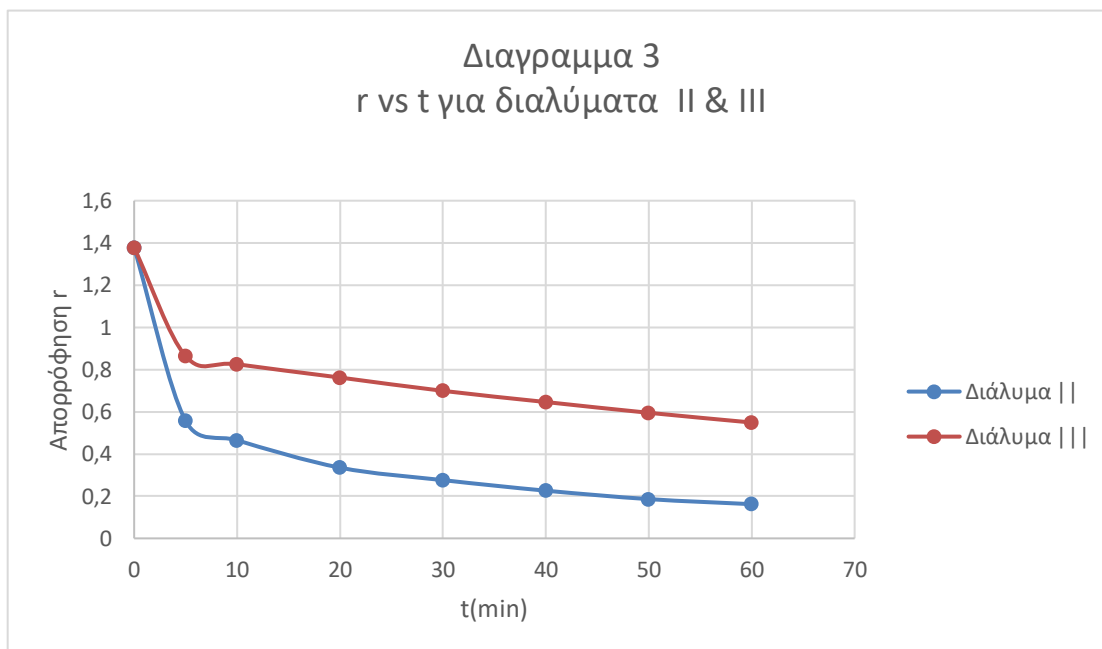
Ακολουθεί το διάγραμμα $\ln(C)$.vs. $\ln(r)$ από το οποίο θα εξάγουμε την τάξη της αντίδρασης:



Από το παραπάνω διάγραμμα όπως παρατηρούμε από το συντελεστή διόρθωσης είναι $n = 1.5149$ οπότε η τάξη της αντίδρασης ως προς τη συγκέντρωση της χρωστικής είναι πρώτης τάξης. Η απόκλιση που υπάρχει από τα αποτελέσματα που περιμέναμε οφείλεται πιθανών σε πειραματικά σφάλματα τα προέκυψαν από τη διαδικασία του πειράματος καθώς αυτά καθόρισαν τα πειραματικά αποτελέσματα.

- Επίδραση συγκέντρωση H_2O_2 & σιδήρου στο βαθμό αποχρωματισμού

Ακολουθεί το διάγραμμα μεταβολής της απορρόφησης της χρωστικής σε σχέση με το χρόνο του πειράματος όσον αφορά τα διαλύματα II & III:



Όπως παρατηρούμε από τα διαγράμματα 1 και 3 που έχουμε κατασκευάσει καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι ο αποχρωματισμός στο διάλυμα I είναι ο πιο αποτελεσματικός και γρήγορος σε σχέση με τα διαλύματα II και III. Αυτό συμβαίνει γιατί στο διάλυμα I προσθέσαμε ακριβή ποσότητα υπεροξειδίου του οξυγόνου (H_2O_2) και θειικού σιδήρου ενώ όσον αφορά το διάλυμα II βάλαμε μισή ποσότητα H_2O_2 και στο διάλυμα III βάλαμε πιο μικρή ποσότητα $FeSO_4$. Η συγκεκριμένη αλλαγή που υπέστησαν τα διαλύματα II και III επηρέασαν το βαθμό αποχρωματισμού σε σύγκριση με το πρώτο διάλυμα το οποίο περιείχε μεγαλύτερη ποσότητα H_2O_2 από τα άλλα δύο δοχεία και συνεπώς είχε περισσότερες ρίζες υδροξυλίου ($OH\cdot$) και υδροπεροξυλίου ($HO_2\cdot$), οι οποίες αντιδρούν με την οργανική ουσία και την οξειδώνουν. Επιπλέον το πρώτο διάλυμα περιείχε μεγαλύτερη ποσότητα σιδήρου, που είναι ο καταλύτης της αντίδρασης και έχει την ιδιότητα να διασπά το υπεροξείδιο του υδρογόνου H_2O_2 το οποίο θα αντιδράσει με την οργανική ουσία, από ότι στο τρίτο. Συνεπώς, για το διάλυμα III μπορούμε να καταλήξουμε στο ότι η μείωση του θειικού σιδήρου επηρεάζει σημαντικότερα τον βαθμό αποχρωματισμού του. Τέλος το διάλυμα II παρουσίασε σημαντική απόκλιση σε σχέση με το διάλυμα I η οποία είναι περισσότερο αντιληπτή καθώς περνούσε ο χρόνος και έτσι η μείωση η συγκέντρωσης H_2O_2 επηρεάζει εν μέρει το βαθμό αποχρωματισμού, αλλά σε καμία περίπτωση τόσο όσο αυτή του θειικού σιδήρου στο διάλυμα.

5.ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Μέσα από την παρούσα εργαστηριακή άσκηση διδαχτήκαμε πώς μπορεί να αποικοδομηθεί μια οργανική ένωση και συγκεκριμένα η Orange II καθώς και ποιοι παράγοντες κατά τη διαδικασία αυτή μπορούν να επηρεάσουν τον βαθμό αποχρωματισμού της. Φτιάχνοντας, λοιπόν, τα διαλύματά μας με κάποιες μεταβολές σε ορισμένες συνθήκες καταλήξαμε σε κάποια συμπεράσματα όσον αφορά την εξάρτηση της συγκέντρωσης του H_2O_2 και του θειικού σιδήρου ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) σε σχέση με το βαθμό αποχρωματισμού της χρωματική ένωσης. Αναλυτικότερα, δημιουργήσαμε ένα διάλυμα I με ακριβή ποσότητα υπεροξειδίου του υδρογόνου και θειικού σιδήρου ενώ για τα διαλύματα II και III μειώσαμε τη συγκέντρωση του υπεροξειδίου του υδρογόνου και του θειικού σιδήρου αντίστοιχα στα δύο δοχεία. Μέσα από αυτή την αλλαγή φτάνουμε στο συμπέρασμα ότι όσο μειώνεται το υπεροξείδιο του υδρογόνου το οποίο είναι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας στη διάσπαση μια οργανικής ένωσης, εξαιτίας των περισσότερων ριζών υδροξυλίου ($\text{OH}\cdot$) και υδροπεροξυλίου ($\text{HO}_2\cdot$), τα οποία αντιδρούν με την οργανική ουσία και την οξειδώνουν, θα μειώνεται και ο βαθμός αποχρωματισμού τους. Επίσης, ο αποχρωματισμός επηρεάζεται και από τον καταλύτη θειικού σιδήρου εφόσον όσο η συγκέντρωσή του θα μειώνεται, θα μειώνεται έτσι και η ταχύτητα της αντίδρασης. Οπότε συνεπάγεται και πιο αργός αποχρωματισμός της οργανικής μας ουσίας. Έτσι καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι το μεγαλύτερο και αποτελεσματικότερο αποχρωματισμό τον πετυχαίνουμε στο διάλυμα I το οποίο έχει πλήρη ποσότητα H_2O_2 και $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, έπειτα στο διάλυμα II με τη μισή ποσότητα H_2O_2 και τέλος στο διάλυμα III με τη μικρότερη ποσότητα $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$.

6.ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Εργαστηριακές σημειώσεις Μαθήματος (www.eclass.tuc.gr
→ Τεχνική Χημικών και Βιοχημικών Διεργασιών →
Έγγραφα → Εργαστήρια ΤΧΒΔ)
- Σημειώσεις Τεχνικής Χημικών και Βιοχημικών Διεργασιών
- [http://nemertes.lis.upatras.gr/jspui/bitstream/10889/1460/1/Nimertis_Stylidi\(cm\).pdf](http://nemertes.lis.upatras.gr/jspui/bitstream/10889/1460/1/Nimertis_Stylidi(cm).pdf)

6. Παραρτήματα

Παράρτημα 1ο : Πειραματικές Μετρήσεις

t(min)	Διάλυμα Fenton (I)	Διάλυμα Fenton (II)	Διάλυμα Fenton (III)
0	1.377	1.377	1.377
5	0.475	0.557	0.864
10	0.331	0.465	0.825
20	0.187	0.335	0.762
30	0.120	0.276	0.699
40	0.089	0.226	0.646
50	0.055	0.186	0.595
60	0.031	0.162	0.549

Παράρτημα 2ο : Ανάλυση Δεδομένων

Διάλυμα Fenton (I):

1 ^ο Ποτήρι	A) 350ml Orange II, 30ppm B) 0.01g FeSO ₄ ·7H ₂ O σε 50ml νερού Γ) 0.1ml H ₂ O ₂ (35% v/v) ✓ Ανάδευση σε 90rpm
-----------------------	---

Διάλυμα Fenton (II):

2 ^ο Ποτήρι	A) 350ml Orange II, 30ppm B) 0.01g FeSO ₄ ·7H ₂ O σε 50ml νερού Γ) 0.05ml H ₂ O ₂ (35% v/v) ✓ Ανάδευση στα 90rpm
-----------------------	---

Διάλυμα Fenton (III):

3 ^ο Ποτήρι	A) 350ml Orange II, 30ppm B) 0.05g FeSO ₄ ·7H ₂ O σε 50ml νερού Γ) 0,1ml H ₂ O ₂ (35% v/v) ✓ Ανάδευση σε 90rpm
-----------------------	---

t(min)	Διάλυμα I	dt	dC	r	Ln(C)	Ln(r)
0	1.377	5	-0.902	0.1804	0.320	-1.172
5	0.475	5	-0.144	0.0288	-0.744	-3.547
10	0.331	10	-0.144	0.0144	-1.105	-4.241
20	0.187	10	-0.067	0.0067	-1.676	-5.006
30	0.120	10	-0.031	0.0031	-2.120	-5.776
40	0.089	10	-0.034	0.0034	-2.419	-5.684
50	0.055	10	-0.024	0.0024	-2.900	-6.032
60	0.031	-	-	-	-3.473	-

Παράρτημα 3ο : Προγράμματα Η/Υ

Τα προγράμματα που χρησιμοποιήθηκαν για την διεκπεραίωση της συγκεκριμένης εργαστηριακής άσκησης είναι τα εξής :

- Microsoft Office Excel 2010
- Microsoft Office Word 2010