

XỬ LÝ MÀU TRONG NƯỚC THẢI DỆT NHUỘM BẰNG CÔNG NGHỆ FENTON ĐIỆN HÓA VỚI ĐIỆN CỰC GRAPHITE

Nguyễn Đức Đạt Đức⁽¹⁾, Đặng Hoàng Yên⁽¹⁾, Nguyễn Thị Kim Ngân⁽¹⁾,
Đào Minh Trung⁽²⁾

(1) Trường Đại Học Công nghiệp Thực phẩm TP.HCM, (2) Trường Đại học Thủ Dầu Một

TÓM TẮT

Trong nghiên cứu này, nước thải dệt nhuộm được xử lý bằng công nghệ fenton điện hóa với điện cực than chì. 3 thông số ảnh hưởng lớn đến quá trình này là pH, hàm lượng Fe^{2+} , hiệu điện thế được khảo sát. Nước thải được lấy trực tiếp từ Công ty Cổ phần Dệt may Đầu tư Thương mại Thành Công có độ màu trong khoảng 1500 – 2000 Pt-Co. Phương pháp quy hoạch thực nghiệm được sử dụng với phần mềm Modde 5.0. Kết quả thu được cho thấy ở giá trị pH = 3,11, nồng độ Fe^{2+} = 1,82 mMol, hiệu điện thế U = 19V, độ màu đầu ra giảm còn 46 Pt-Co trong thời gian 30 phút, đạt QCVN 13:2015/BTNMT. Kết quả nghiên cứu cho thấy chỉ trong một khoảng thời gian ngắn, độ màu có hiệu suất xử lý cao. Đây được xem là một công nghệ triển vọng để xử lý nước thải dệt nhuộm.

Từ khóa: công nghệ fenton điện hóa, nước thải dệt nhuộm, điện cực graphite

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Thuốc nhuộm là một thành phần khó xử lý của nước thải dệt nhuộm với đặc tính độc hại, có khả năng gây ung thư cao nếu chúng tồn tại trong môi trường nước. Đối với lĩnh vực kỹ thuật môi trường, đây được coi là một mối quan tâm nghiên cứu hàng đầu nhằm loại bỏ chúng ra khỏi môi trường nước mặt.

Với dây chuyền công nghệ phức tạp, bao gồm nhiều công đoạn khác nhau nên nước thải sau sản xuất chứa nhiều loại hợp chất độc hại khó phân hủy, thuốc nhuộm, chất hoạt động bề mặt, các hợp chất halogen hữu cơ, các chất màu trong thuốc nhuộm, chúng không bám dính hết vào sợi vải mà bao giờ cũng còn lại một lượng dư nhất định. Lượng dư này có thể lên đến 50% tổng lượng thuốc nhuộm được sử dụng ban đầu. Đây là nguyên nhân làm cho nước thải dệt nhuộm có độ màu cao và nồng độ chất ô nhiễm lớn. Việc tìm ra công nghệ mới với chi phí đầu tư thấp nhưng hiệu quả, đáp ứng yêu cầu ngày càng cao của môi trường đang được quan tâm. Các nhà khoa học công nghệ đã tiến hành nhiều công trình nghiên cứu khác nhau theo hướng mới, đáng chú ý là công nghệ phân hủy khoáng hóa chất ô nhiễm bằng quá trình oxy hóa nâng cao hỗ trợ các công nghệ truyền thống.

Công nghệ xử lý nước thải dệt nhuộm hiện nay thường là: keo tụ, fenton đồng thể và sinh học hiếu khí. Các công nghệ này nếu kết hợp với nhau đúng trình tự và vận hành tốt có thể xử lý độ màu trong nước thải dệt nhuộm nhưng chi phí vận hành, chi phí đầu tư và mức độ phức tạp trong vận hành rất cao.

Công nghệ fenton điện hóa được thử nghiệm cho thấy hiệu quả loại bỏ chất hữu cơ rất cao trong thời gian ngắn. 3 thông số quan trọng ảnh hưởng đến hiệu quả xử lý là pH, $[Fe^{2+}]$, mật độ dòng điện. Giá trị pH tối ưu cho quá trình thường dao động ở pH từ 2 đến 4. Mật độ dòng điện và hàm lượng Fe^{2+} thường dao động tùy thuộc vào đặc tính nguồn nước thải. Chih Ta Wang và cộng sự [8] nghiên cứu hiệu quả khử màu khỏi nước thải dệt nhuộm bằng công nghệ fenton điện hóa. Hiệu quả khử màu cao nhất là 70,6 % khi mật độ dòng điện là $80 A/m^2$, pH = 3, nồng độ Fe^{2+} 20 mMol trong khoảng thời gian 150 phút xử lý. Nezamaddin Daneshvar và cộng sự, 2008 [11] đã đánh giá khả năng loại bỏ độ màu bằng công nghệ fenton điện hóa trong điều kiện pH = 3, thời gian phản ứng 180 phút. Onofrio Scialdone và cộng sự [12], 2015 cũng khảo sát hiệu quả khử màu Acid Orange 7 bằng công nghệ fenton, ở điều kiện áp suất 1 bar, dòng điện 50 mA, pH = 3, $[Fe^{2+}] = 0,5mMol$ cho hiệu quả khử màu đạt trên 99%. Jennifer A. Bañuelos và cộng sự [10], 2014 đã khảo sát khả năng loại bỏ methyl Orange bằng công nghệ fenton điện hóa ở điều kiện I = (50-300mA); $[Fe^{2+}] = (0,2-0,8 mMol)$; pH = 3 cho thấy hiệu quả khử màu đạt 100%. Minh và cộng sự [2] đã sử dụng phương pháp fenton điện hóa để xử lý nước thải dệt nhuộm tại công ty Vạn Phúc, Dương Nội cho thấy độ màu giảm còn 85 Pt-Co và 95 Pt-Co ở pH = 3, nồng độ Fe^{2+} 1 mMol sau 10 giờ xử lý. Thanh và cộng sự [5] áp dụng công nghệ fenton điện hóa với điều kiện pH = 3, nồng độ Fe^{2+} 1 mMol, mật độ dòng điện $15mA/cm^2$ để xử lý nước thải giấy Phong Khê, kết quả cho thấy hiệu quả xử lý 85% sau 21000s. Nhung và cộng sự [4] khảo sát quá trình xử lý phenol ở nồng độ 1,15g/l bằng công nghệ fenton điện hóa, kết quả cho thấy hiệu quả loại bỏ phenol cao nhất ở pH = 3, mật độ dòng điện $5mA/cm^2$ và khoảng cách điện cực 1cm.

Công nghệ fenton điện hóa có thể tăng tốc độ và hiệu quả xử lý khi tăng lượng H_2O_2 sinh ra. Điều này có thể được thực hiện bằng cách tăng DO trong nước [7]. Hầu hết nghiên cứu đều cho thấy: các yếu tố ảnh hưởng quan trọng đến quá trình fenton điện hóa là pH, nồng độ Fe^{2+} , mật độ dòng điện [6]. pH hầu như dao động trong khoảng 2 – 4 còn nồng độ Fe^{2+} và mật độ dòng điện thì có sự thay đổi rộng giữa các nghiên cứu tùy thuộc vào từng loại nước thải khác nhau. Các nghiên cứu với điện cực khác nhau như titan, platin, graphite cũng được thực hiện, đứng trên khía cạnh kinh tế cho thấy điện cực graphite có giá thành rẻ hơn nhiều [6]. Từ những nhận định trên, công nghệ fenton điện hóa với điện cực graphite được định hướng cho nghiên cứu xử lý nước thải dệt nhuộm Công ty Cổ phần Dệt may Đầu tư Thương mại Thành Công.

2. MÔ HÌNH VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Đối tượng nghiên cứu

Nước thải tại Công ty Cổ phần Dệt may Đầu tư Thương mại Thành Công

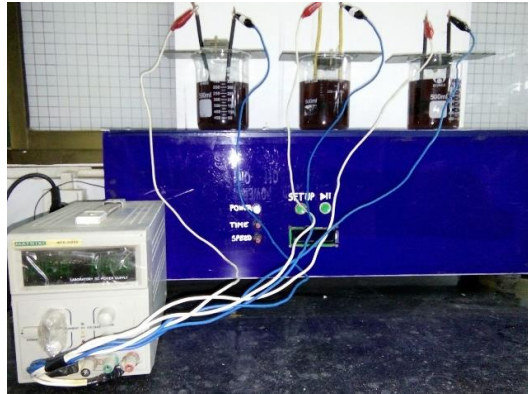
Bảng 1. Đặc tính nước thải dệt may Thành Công

STT	Thông số	Đơn vị	Giá trị
1	TSS	mg/l	300-400
2	SO_4^{2-}	mg/l	500-1000
3	COD	mgO_2/l	400-500
4	Độ màu	Pt-Co	800-1200

2.2. Mô hình nghiên cứu

Mô hình thí nghiệm bao gồm: cốc 500ml, máy biến thế, máy khuấy từ, điện cực graphite. Nghiên cứu được thực hiện trong điều kiện nhiệt độ phòng 30 – 35°C. Độ màu của nước thải ban đầu được cố định trong khoảng là 1500 – 2000 Pt-Co. Tốc độ khuấy trộn 50 vòng/phút. Tiến hành thí nghiệm trong thời gian 30 phút. Trước và sau thí nghiệm ngâm điện cực trong dung dịch axit loãng HNO_3 1N để loại bỏ tạp chất trên điện cực.

Hình 1. Mô hình fenton điện hóa



2.3. Nội dung nghiên cứu

Các yếu tố cần khảo sát bao gồm: pH tối ưu, hàm lượng Fe^{2+} và hiệu điện thế. Các yếu tố này được khảo sát sơ bộ để thu nhỏ miền quy hoạch. Nghiên cứu xác định điều kiện phản ứng tối ưu của 3 thông số trên theo phương pháp quy hoạch thực nghiệm với mô hình Modde 5.0.

Các bước thí nghiệm: Xác định các yếu tố ảnh hưởng đến quá trình xử lý (pH tối ưu, hàm lượng Fe^{2+} và hiệu điện thế) và phạm vi dao động của từng yếu tố. Dựa vào các yếu tố ảnh hưởng sử dụng phần mềm Modde 5.0 để thiết lập kế hoạch thực nghiệm.

Tiến hành thực nghiệm trên mô hình xử lý để xác định độ màu sau khi xử lý bằng công nghệ fenton điện hóa ứng với từng nghiệm thức. Dùng phần mềm Modde 5.0 thống kê, xử lý số liệu, xác định các hệ số của phương trình hồi quy, tính toán điều kiện phản ứng tối ưu cho quá trình fenton điện hóa. Từ kết quả tính toán trên mô hình, tiến hành kiểm chứng thực nghiệm.

2.4. Phương pháp phân tích

pH phân tích theo Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Hiệu điện thế được xác định trực tiếp trên máy biến thế. Độ màu được xác định trực tiếp trên máy Spectrophotometer ở bước sóng 455nm.

3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

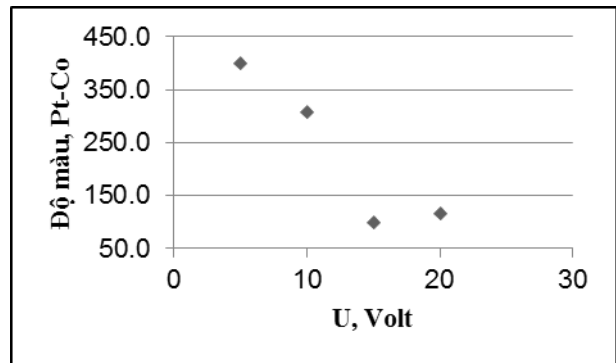
3.1. Kết quả khảo sát miền quy hoạch

3.1.1. Khảo sát ảnh hưởng hiệu điện thế

Độ màu sau xử lý cao ở hiệu điện thế thấp và giảm dần, tốt nhất ở hiệu điện thế 15V. Ở hiệu điện thế cao hơn hiệu quả xử lý có chiều hướng giảm. Khi hiệu điện thế đủ lớn sẽ thuận lợi cho quá trình khử oxy hòa tan tạo H_2O_2 làm tăng hiệu suất khử độ màu, khi hiệu điện thế tăng cao, trên anốt xảy ra sự oxi hóa H_2O_2 giải phóng O_2 , trên catot ion H^+ bị khử tạo H_2 bám vào bề mặt điện cực làm giảm diện tích tiếp xúc của bề mặt điện cực với nước

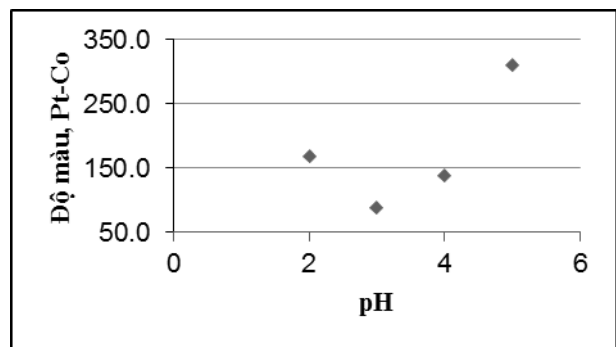
thải làm giảm hiệu quả xử lý [1, 3, 6]. Kết quả khảo sát cho thấy hiệu điện thế tối ưu có thể dao động trong khoảng từ 10V đến 20V.

Hình 2. Ảnh hưởng của hiệu điện thế đến độ màu đầu ra



3.1.2. Khảo sát ảnh hưởng của pH

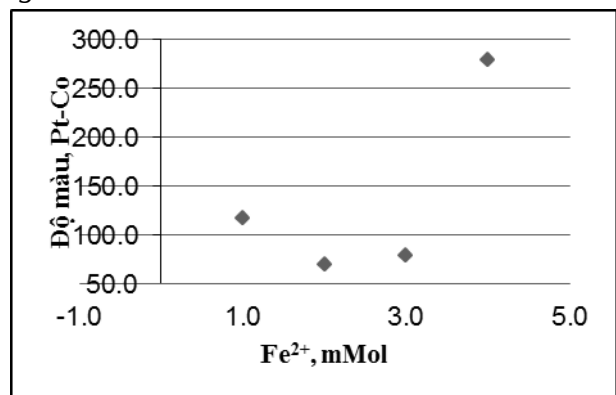
Hình 3. Ảnh hưởng của pH đến độ màu đầu ra



Độ màu đầu ra cao ở pH = 2 và giảm ở pH = 3. Ở pH cao hơn độ màu đầu ra tăng cao. Khi pH thấp ($\text{pH} < 3$), nồng độ H^+ lớn, hiệu suất của quá trình khử oxi tạo ra H_2O_2 nhỏ do có sự cạnh tranh mạnh của phản ứng khử H^+ để giải phóng H_2 . Tuy nhiên khi pH tăng cao nồng độ H^+ giảm không đủ để phản ứng khử tạo H_2O_2 , bên cạnh đó khi tăng pH tăng làm cho nồng độ Fe^{2+} trong dung dịch giảm do có sự chuyển hóa thành Fe^{3+} [3, 6]. Kết quả khảo sát cho thấy pH tối ưu có thể dao động trong khoảng từ 2 đến 4.

3.1.3. Khảo sát ảnh hưởng của hàm lượng Fe^{2+}

Hình 4. Ảnh hưởng của nồng độ Fe^{2+} đến độ màu đầu ra



Độ màu sau xử lý cao ở nồng độ $\text{Fe}^{2+} = 1 \text{ mMol}$ là giảm dần, tốt nhất ở nồng độ $\text{Fe}^{2+} = 2 \text{ mMol}$. Các trường hợp nồng độ Fe^{2+} cao hơn hiệu quả xử lý có chiều hướng giảm. Nguyên nhân là do khi nồng độ Fe^{2+} nhỏ lượng Fe^{2+} trong dung dịch không đủ để phản ứng hết với lượng H_2O_2 sinh ra trên catot, gốc OH^* tạo thành ít, khi lượng dư Fe^{2+} nhiều, quá trình oxy hóa ion Fe^{2+} trên anot tạo Fe^{3+} sẽ xảy ra, cặp oxy hóa khử $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ dư làm cho chu trình oxy

hóa khử liên tục xảy ra trên catot và anot làm giảm hiệu suất xử lý [1, 3, 6]. Kết quả khảo sát cho thấy nồng độ Fe^{2+} tối ưu có thể dao động trong khoảng từ 1 mMol đến 3 mMol.

3.2. Thí nghiệm khảo sát điều kiện xử lý tối ưu

Dùng phần mềm Modde 5.0 để lập kế hoạch thực nghiệm với 3 nhân tố: pH, U, Fe^{2+} và hàm mục tiêu là độ màu đầu ra.

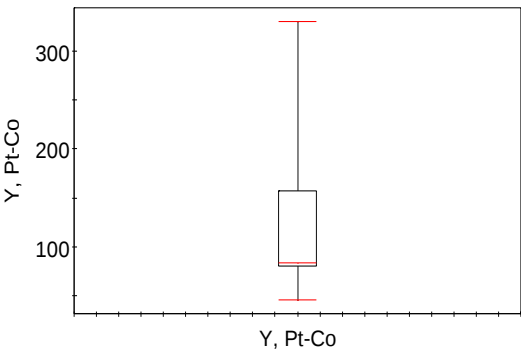
Bảng 2. Xác lập điều kiện phản ứng

STT	Tên	Ký hiệu	Đơn vị	Mức dưới	Mức trên	Mức cơ sở
1	Nồng độ Fe^{2+}	X_1	mMol	1	3	2
2	pH	X_2	-	2	4	3
3	U	X_3	Volt	10	20	15

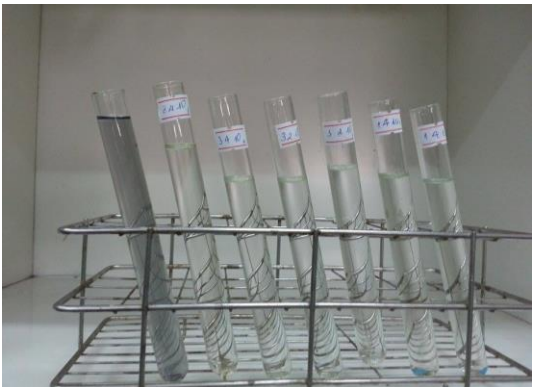
Mô tả quá trình xử lý bằng kế hoạch thực nghiệm bậc 2 CCF (đây là phương án thực nghiệm được phần mềm Modde 5.0 đánh giá phù hợp nhất trong điều kiện phản ứng này). Ma trận thực nghiệm và kết quả thực nghiệm như bảng 3. Tất cả các thí nghiệm này đều được lặp lại 3 lần để loại bỏ sai số thô.

Bảng 3. Kết quả thực nghiệm

STT	X_1	X_2	X_3	X_1 , mMol	X_2	X_3 , V	Y, Pt-Co
1	-1	-1	-1	1	2	10	330
2	1	-1	-1	3	2	10	220
3	-1	1	-1	1	4	10	180
4	1	1	-1	3	4	10	157
5	-1	-1	1	1	2	20	80
6	1	-1	1	3	2	20	80
7	-1	1	1	1	4	20	84
8	1	1	1	3	4	20	150
9	-1	0	0	1	3	15	100
10	1	0	0	3	3	15	70
11	0	-1	0	2	2	15	110
12	0	1	0	2	4	15	70
13	0	0	-1	2	3	10	167
14	0	0	1	2	3	20	46
15	0	0	0	2	3	15	70
16	0	0	0	2	3	15	80
17	0	0	0	2	3	15	84



Hình 5. Đồ thị thống kê mô tả kết quả thực nghiệm



Hình 6. Mẫu trước xử lý (trái) và các mẫu sau xử lý

Hình 6 cho thấy, theo kế hoạch thực nghiệm giá trị độ màu đầu ra thấp nhất là 46 Pt-Co, cao nhất là 330 Pt-Co, trung bình là 122,2 Pt-Co độ lệch chuẩn là 72.

Phân tích phương sai ANOVA:

Bảng 4. Phân tích phương sai ANOVA

Y	DF	SS	MS	F	p	SD
Total	17	336966	19821,5			
Constant	1	254005	254005			
Total Corrected	16	82961,1	5185,07			72,0074
Regression	9	82313,4	9145,94	98,8508	0	95,6344
Residual	7	647,659	92,5227			9,61887
Lack of Fit	5	543,659	108,732	2,09099	0,354	10,4275
Pure Error	2	104	52			7,2111
	$Q^2 = 0,955$		Cond. No. = 4,4382			
N = 17	$R^2 = 0,992$		Y-miss = 0			
DF = 7	$R^2 \text{ Adj.} = 0,982$		RSD = 9,6189			

Độ tin cậy của mô hình R^2 : 0,992, độ tương thích của mô hình Q^2 là 0,955 cho thấy mô hình tương thích với kết quả thực nghiệm và có độ tin cậy cao. Độ tin cậy hiệu chỉnh $R^2 \text{ Adj.} = 0,982$ tương đương với R^2 cho thấy các yếu tố khảo sát đã giải thích phần lớn kết quả thí nghiệm.

Kiểm tra sự hồi quy cho thấy hệ số p value = 0 (<0,05) và Tính toán Lack of Fit test cho thấy hệ số p value=0,354 (>0,05) vậy nên số liệu thực nghiệm rất có ý nghĩa về mặt thống kê ở mức ý nghĩa 95%.

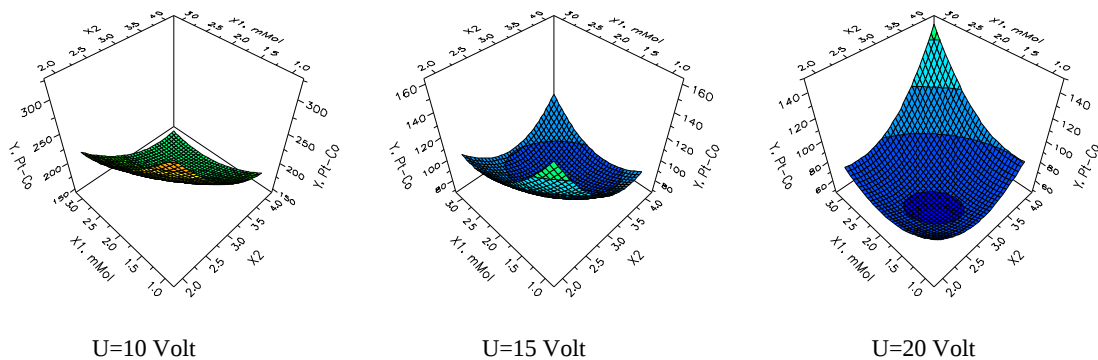
Phương trình hồi quy có dạng: $Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_{11}X_1X_1 + b_{22}X_2X_2 + b_{33}X_3X_3 + b_{12}X_1X_2 + b_{13}X_1X_3 + b_{23}X_2X_3$

Bảng 5. Hệ số hồi quy

Y		Coeff. SC	Std. Err.	P	Conf. int(±)
Constant		70,1972	4,11592	5,84E-07	9,73272
Fe	X_1	-9,70001	3,04175	0,015299	7,1927
pH	X_2	-17,9	3,04175	0,000609	7,1927
U	X_3	-61,4	3,04175	1,83E-07	7,1927
Fe*Fe	$X_1 * X_1$	20,6549	5,87649	0,009795	13,8959
pH*pH	$X_2 * X_2$	25,6549	5,87649	0,003291	13,8959
U*U	$X_3 * X_3$	42,1549	5,87649	0,000182	13,8959
Fe*pH	$X_1 * X_2$	19,125	3,40078	0,000796	8,04168
Fe*U	$X_1 * X_3$	24,875	3,40078	0,000161	8,04168
pH*U	$X_2 * X_3$	35,875	3,40078	1,50E-05	8,04168

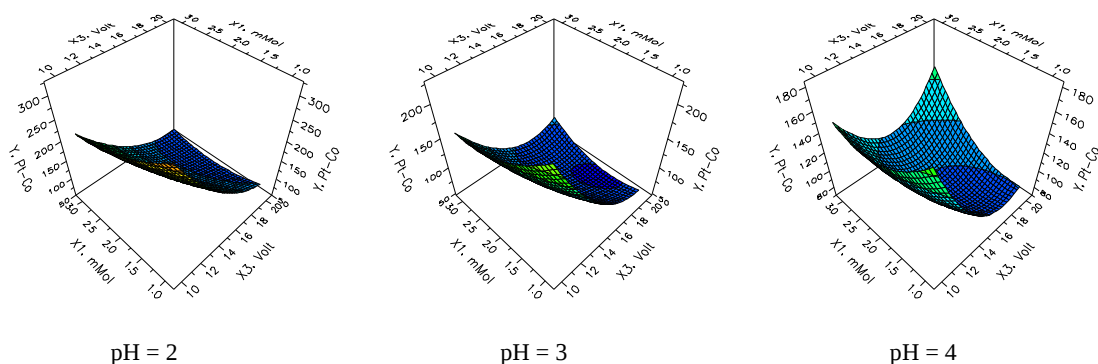
Các số hạng đều có ý nghĩa về mặt thống kê (chỉ số p value >0,05).

Phương trình hồi quy thu được là: $Y = 70,1972 - 9,70001X_1 - 17,9X_2 - 61,4 X_3 + 20,6549X_1X_1 + 25,6549X_2X_2 + 42,1549 X_3X_3 + 19,125X_1X_2 + 24,875X_1X_3 + 35,875 X_2X_3$



Hình 7. Đồ thị mặt đáp ứng theo hiệu điện thế

Bề mặt đáp ứng của mô hình ở các mức hiệu điện thế khác nhau đều có dạng hình chuông ngược, điều này cho thấy miền quy hoạch đã xác định được điều kiện phản ứng tối ưu của pH và nồng độ Fe^{2+} .



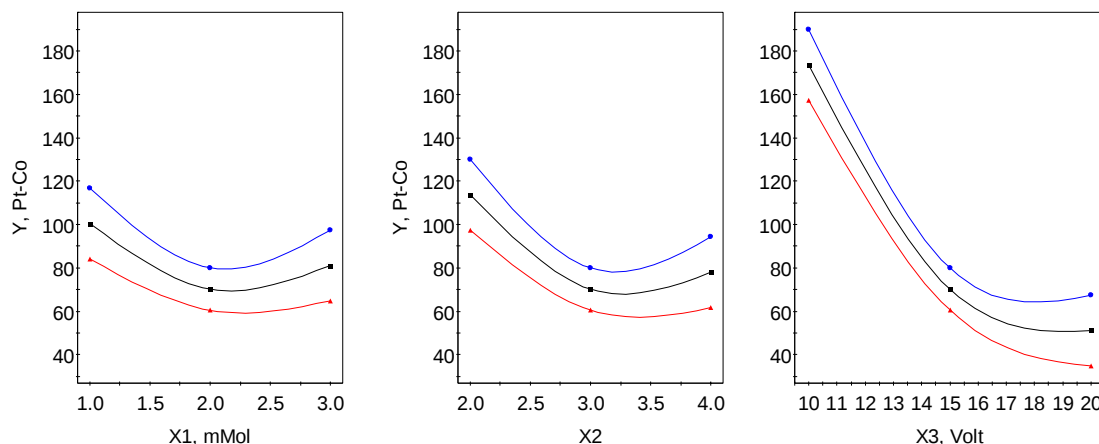
Hình 8. Đồ thị mặt đáp ứng theo pH

Bề mặt đáp ứng của mô hình ở các mức pH khác nhau đều có dạng hình chuông ngược, điều này cho thấy mô hình thực nghiệm đã xác định được điều kiện phản ứng tối ưu của hiệu điện thế.

Đồ thị ảnh hưởng từng nhân tố đến độ màu đầu ra cho thấy điều kiện phản ứng tối ưu như sau: nồng độ Fe^{2+} cận 2 mMol, pH cận 3, hiệu điện thế cận 15V. Để xác định chính xác điều kiện tối ưu, phần mềm Modde 5.0 tiếp tục được sử dụng để tính toán gần đúng phương trình hồi quy. Kết quả thu được độ màu đầu ra là **48,1 Pt - Co**.

Nồng độ Fe^{2+} là 1,82 mMol cao hơn kết quả nghiên cứu [1, 2] (1 mMol), (0,2 mMol) và thấp hơn kết quả thí nghiệm [9] (2 mMol). pH là 3,11 giá trị này tương tự hầu hết các nghiên cứu [2-12] là 3,00. Hiệu điện thế 19V, các nghiên cứu khác thường khảo sát mật độ dòng điện tuy nhiên trên thực tế cho thấy cường độ dòng điện thường xuyên thay đổi do điện trở trong nước thay đổi theo thời gian nên việc cố định mật độ dòng điện rất khó khăn. Khi cố định hiệu điện thế việc áp dụng kế hoạch thực nghiệm đơn giản hơn, chính xác hơn nhưng cần tính đến diện tích bề mặt điện cực để có đánh giá toàn diện hơn về thời gian phản ứng, hiệu quả xử lý.

Từ kết quả này, thí nghiệm kiểm chứng được thực hiện 3 lần ở điều kiện nồng độ Fe^{2+} là 1,82 mMol; pH 3,11; hiệu điện thế 19V. Kết quả đạt được như bảng 6.



Hình 9. Đồ thị ảnh hưởng từng nhân tố đến hiệu quả loại bỏ độ màu

Bảng 6. Độ màu đầu ra tại điều kiện tối ưu

	Độ màu, Pt-Co
Lần 1	50
Lần 2	48
Lần 3	48
Trung bình	48,67
Phương sai	1,33

Độ màu đầu ra là $48,67 \pm 1,33$ Pt-Co. Điều này cho thấy giá trị tính toán của mô hình phù hợp với giá trị thực nghiệm.

4. KẾT LUẬN

Công nghệ fenton điện hóa với điện cực graphite có khả năng loại bỏ độ màu rất tốt mà không cần bổ trợ thêm các công nghệ khác như keo tụ hay sinh học. Độ màu của nước sau xử lý đã đạt Quy chuẩn Việt Nam 13:2015/BTNMT cột A. Kế hoạch thực nghiệm đã xác định được phương trình hồi quy thu là: $Y = 70,1972 - 9,70001X_1 - 17,9X_2 - 61,4X_3 + 20,6549X_1X_1 + 25,6549X_2X_2 + 42,1549X_3X_3 + 19,125X_1X_2 + 24,875X_1X_3 + 35,875X_2X_3$. Ở điều kiện tối ưu: nồng độ Fe^{2+} là 1,82 mMol; pH 3,11; hiệu điện thế 19V độ màu đầu ra đạt $48,67 \pm 1,33$ Pt-Co. Khảo sát thêm quá trình tăng tốc phản ứng bằng cách tăng nồng độ DO. Thực hiện mô hình phản ứng liên tục để kiểm chứng lại kết quả thực nghiệm, nếu được có thể áp dụng ở quy mô lớn hơn.

COLOR REMOVAL FROM REAL DYEING WASTEWATER BY ELECTRO-FENTON TECHNOLOGY USING GRAPHITE ELECTRODES

Nguyen Duc Dat Duc, Dang Hoang Yen, Nguyen Thi Kim Ngan, Dao Minh Trung

ABSTRACT

In this study , textile wastewater is treated by electrofenton technology with graphite electrodes. 3 parameters greatly affect this process as pH , concentration of Fe^{2+} , Voltage

were investigated. Wastewater is taken directly from Thanh Cong textile dyeing garment investment trading joint stock company with color about 1500 – 2000 Pt-Co. Experimental planning method was applied with Modde 5.0 software. The results showed that at pH = 3,11, $[Fe^{2+}] = 1,82 \text{ mMol}$, $U = 19 \text{ volt}$, output color reduced to 46 Pt-Co for 30 minutes, reaching QCVN13:2015/BTNMT. This study shows that in just a short period of time, color efficient is high. This is seen as a promising technology for textile dyeing wastewater treatment.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Mai Xuân Hương và cs. (2009), "Xử lý nước thải khu công nghiệp giấy Phong Khê bằng phương pháp fenton điện hóa", Tạp chí Hóa Học, pp. 180-185.
- [2] Phạm Thị Minh (2013), *Nghiên cứu đặc điểm của quá trình khoáng hóa một số hợp chất hữu cơ họ azo trong nước thải dệt nhuộm bằng phương pháp fenton điện hóa*, Viện Kỹ thuật Nhiệt đới.
- [3] Phạm Thị Minh và cs. (2011), "Ảnh hưởng của một số yếu tố đến quá trình xử lý Congo đỏ bằng phương pháp fenton điện hóa", Tạp chí Hóa học. **4** (49), pp. 489-493.
- [4] Lê Hồng Nhung và cs. (2008), "Khảo sát các yếu tố ảnh hưởng đến quá trình xử lý phenol bằng phương pháp Fenton điện hóa", Tạp chí Hóa học.
- [5] Đinh Thị Mai Thanh và cs. (2009), "Xử lý nước thải khu công nghiệp Phong Khê bằng phương pháp fenton điện hóa", Tạp chí Hóa học (47), pp. 180-185.
- [6] Trần Mạnh Trí và cs. (2005), *Các quá trình oxy hóa nâng cao trong xử lý nước và nước thải*, NXB Khoa học Kỹ thuật.
- [7] Chia Chi Su và cs. (2012), "Degradation of acetaminophen by Fenton and electro-Fenton processes in aerator reactor", Separation and Purification Technology (99), pp. 8-13.
- [8] Chih-Ta Wang và cs. (2008), "Removal of color from real dyeing wastewater by Electro-Fenton technology using a three-dimensional graphite cathode", Journal of Hazardous Materials (152), pp. 601-606.
- [9] Chih-Ta Wang và cs. (2010), "COD removal from real dyeing wastewater by electro-Fenton technology using an activated carbon fiber cathode", Desalination (253), pp. 129-134.
- [10] Jennifer A. Bãñuelos và cs. (2014), "Study of an Air Diffusion Activated Carbon Packed Electrode for an Electro-Fenton Wastewater Treatment", Electrochimica Acta.
- [11] Nezamaddin Daneshvar và cs. (2008), "Electro-Fenton treatment of dye solution containing Orange II: Influence of operational parameters", Journal of Electroanalytical Chemistry (615), pp. 165-174.
- [12] Onofrio Scialdone và cs. (2015), "Effect of air pressure on the electro-generation of H₂O₂ and the abatement of organic pollutants in water by electro-Fenton process", Electrochimica Acta(182), pp. 775-780.

• Ngày nhận bài: 15/7/2016

• Chấp nhận đăng: 15/9/2016

Liên hệ: **Đào Minh Trung**

Trường Đại học Thủ Dầu Một

Email: minhtrung2007@yahoo.com