

STUDY ON TREATMENT OF DIRECT BLACK 22 USING ZEOLITE

Nguyen The Duyen^{1*}, Van Huu Tap², Hoang Trung Kien², Nguyen Van Quang¹, Do Thuy Tien¹,
Tran Quang Thien¹, Le Tien Ha², Nguyen Dinh Vinh², Dinh Manh Duc³

¹Hanoi Pedagogical University 2, ²TNU - University of Sciences,

³TNU - University of Agricultural and Forestry

ARTICLE INFO	ABSTRACT
Received: 31/10/2021	This study evaluated the ability of zeolite to adsorb direct black 22 (DB22) in aqueous solution. The results indicate that the adsorption depends on pH, adsorption time and initial concentration of direct black 22. The optimal conditions for the direct black 22 adsorption are pH level of 4, contact time of 120 and initial direct black 22 concentration of 12,5 g/L (TOC). Under optimal conditions, the maximum adsorption efficiency of 69,48% was achieved. Experimental data were evaluated based on Langmuir and Freundlich adsorption isotherm models. The kinetics of the adsorption process were evaluated according to the pseudo-first order, pseudo-second order and Elovich kinetic models. The results show that the adsorption process follows the Freundlich isotherm adsorption model ($K_F = 1.486 \text{ mg.g}^{-1}$). The adsorption kinetics follows the pseudo-first order with the rate constant of $0,0222 \text{ min}^{-1}$ ($k_1 = 0.0222 \text{ min}^{-1}$).
Revised: 10/01/2022	
Published: 11/02/2022	
KEYWORDS	
Direct black 22	
Zeolite	
Adsorption	
Kinetics	
Isotherms	

NGHIÊN CỨU XỬ LÝ CHẤT NHUỘM MÀU DIRECT BLACK 22 BẰNG VẬT LIỆU ZEOLITE

Nguyễn Thế Duyệt^{1*}, Văn Hữu Tập², Hoàng Trung Kiên², Nguyễn Văn Quang¹, Đỗ Thủy Tiên¹,
Trần Quang Thiện¹, Lê Tiến Hà², Nguyễn Đình Vinh², Đinh Mạnh Đức³

¹Trường Đại học Sư phạm Hà Nội 2, ²Trường Đại học Khoa học - ĐH Thái Nguyên,

³Trường Đại học Nông lâm - ĐH Thái Nguyên

THÔNG TIN BÀI BÁO	TÓM TẮT
Ngày nhận bài: 31/10/2021	Nghiên cứu này nhằm mục đích đánh giá khả năng hấp phụ chất nhuộm màu DB22 trong dung dịch nước của zeolite. Kết quả nghiên cứu cho thấy, quá trình hấp phụ chất nhuộm màu của zeolite phụ thuộc vào pH dung dịch, thời gian hấp phụ và nồng độ ban đầu của DB22. Hiệu suất hấp phụ cao nhất đạt được là 69,48% khi pH dung dịch bằng 4, thời gian hấp phụ 120 phút và nồng độ ban đầu của chất nhuộm màu là 12,5 g/L (TOC). Số liệu thực nghiệm được đánh giá dựa trên mô hình đẳng nhiệt hấp phụ Langmuir và Freundlich. Động học của quá trình hấp phụ được đánh giá theo mô hình động học bậc nhất, bậc hai và Elovich. Kết quả cho thấy quá trình hấp phụ tuân theo mô hình hấp phụ đẳng nhiệt Freundlich ($K_F = 1,486 \text{ mg.g}^{-1}$). Động học hấp phụ tuân theo quy luật động học hấp phụ bậc nhất với hằng số tốc độ hấp phụ bằng $0,0222 \text{ phút}^{-1}$ ($k_1 = 0,0222 \text{ phút}^{-1}$).
Ngày hoàn thiện: 10/01/2022	
Ngày đăng: 11/02/2022	
TỪ KHÓA	
Direct Black 22	
Zeolite	
Hấp phụ	
Động học	
Đẳng nhiệt	

DOI: <https://doi.org/10.34238/tnu-jst.5218>

* Corresponding author. Email: nguyentheduyen@hpu2.edu.vn

1. Giới thiệu

Hiện nay, ô nhiễm nguồn nước đang là một vấn đề đáng báo động đối với hầu hết các quốc gia trên thế giới. Ô nhiễm nguồn nước gây ra rất nhiều vấn đề, đặc biệt là gây hại cho sức khỏe con người, trong đó có bệnh ung thư. Vì vậy, việc làm sạch nguồn nước để tái sử dụng là vấn đề có tính cấp thiết và nhận được sự quan tâm rất lớn của các nhà khoa học.

Có rất nhiều tác nhân gây ô nhiễm nguồn nước, trong đó có ngành công nghiệp thuộc da và dệt nhuộm. Ngành thuộc da và dệt nhuộm là ngành sử dụng lượng chất nhuộm màu cao nhất và thải ra môi trường một lượng lớn chất thải ô nhiễm mang màu [1], [2]. Ngoài gây hại cho sức khỏe con người, nước thải dệt nhuộm có độ màu rất cao chỉ với hàm lượng rất nhỏ chất nhuộm màu, làm cản trở ánh sáng và gây hại cho sinh vật thủy sinh, đồng thời gây mất cảm quan cho con người.

Chất nhuộm màu direct black 22 (DB22) thuộc loại chất nhuộm màu azo được sử dụng phổ biến; vì vậy thường có nồng độ cao trong nước thải dệt nhuộm. Trong phân tử DB22 chứa những nhóm azo ($-N=N-$), phenyl và naphthyl, các nhóm này làm cho phân tử DB22 rất bền và độc hại nếu thâm nhập vào con người thông qua nguồn nước [3].

Có rất nhiều phương pháp khác nhau được sử dụng để khử màu và phân hủy thuốc nhuộm, như phương pháp hấp phụ [4], [5]; phương pháp phân hủy sinh học [6]; phương pháp điện hóa [7]; phương pháp quang xúc tác [8]; phương pháp oxi hóa Fenton [9], [10];... Trong đó, phương pháp hấp phụ là phương pháp đơn giản, kinh tế, thường được sử dụng trước khi áp dụng các phương pháp xử lý nâng cao, phù hợp để xử lý chất nhuộm màu.

Zeolite là khoáng chất aluminosilicate ngậm nước tự nhiên hoặc tổng hợp, có cấu trúc đa diện dựa trên các phức hợp $[SiO]^{4-}$ và $[AlO]^{5-}$. Các hợp chất này có cấu trúc đặc biệt và độc đáo cho phép hấp phụ hiệu quả các loại chất gây ô nhiễm môi trường khác nhau [11]. Zeolite chứa các lỗ xốp rộng và sâu, đồng thời có diện tích bề mặt lớn ($20\div 50\text{ m}^2/\text{g}$) cho phép chúng có khả năng hấp phụ rất tốt các chất ô nhiễm khác nhau.

Trong bài báo này, ảnh hưởng của các yếu tố như độ pH dung dịch, thời gian hấp phụ và nồng độ DB22 đến hiệu suất hấp phụ được nghiên cứu. Đồng thời, mô hình động học hấp phụ và mô hình đẳng nhiệt DB22 bằng zeolite cũng được nghiên cứu.

2. Thực nghiệm và phương pháp nghiên cứu

2.1. Thực nghiệm

Zeolite tự nhiên sử dụng cho nghiên cứu có kích thước hạt nhỏ hơn 1 mm được mua từ Công ty Nito Funka Kogyo K. K., Nhật Bản. Đặc điểm của vật liệu zeolite là: Diện tích bề mặt: $26,1541\text{ m}^2/\text{g}$; thể tích lỗ rỗng: $0,252342\text{ cm}^3/\text{g}$; kích thước hạt: $38,3594\text{ nm}$; điểm đẳng điện (pHpzc): 4,75.

Để nghiên cứu ảnh hưởng của pH đến quá trình hấp phụ, nồng độ ban đầu của DB22 (TOC = $41,5\text{ mg/L}$); hàm lượng zeolite 2 gam/L dung dịch; thời gian hấp phụ 120 phút được giữ không đổi. Còn pH được điều chỉnh thay đổi từ $3\div 11$.

Để nghiên cứu ảnh hưởng của thời gian đến quá trình hấp phụ, các yếu tố được giữ cố định bao gồm: nồng độ ban đầu của DB22 (TOC = $41,5\text{ mg/L}$); hàm lượng zeolite 2 gam/L dung dịch; pH = 4. Còn thời gian hấp phụ được thay đổi từ $10\div 360$ phút.

Để nghiên cứu ảnh hưởng nồng độ đầu của DB22 đến quá trình hấp phụ, hàm lượng zeolite 2 gam/L dung dịch; pH = 4; thời gian 120 phút. Còn nồng độ DB22 đầu vào được thay đổi ứng với TOC từ $6,25\div 100\text{ mg/L}$.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

2.2.1. Phương pháp phân tích trong phòng thí nghiệm

Giá trị nồng độ chất hữu cơ của chất nhuộm màu DB22 được xác định thông qua phân tích giá trị nồng độ tổng cacbon hữu cơ trong dung dịch (TOC). Sử dụng phương pháp oxi hoá trực tiếp trên thiết bị Multi T/N cho giá trị nồng độ TOC.

Hình thái cấu trúc bề mặt được phân tích thông qua ảnh SEM. Thành phần các nguyên tố được xác định thông qua phổ EDX. Các nhóm cấu trúc trên bề mặt vật liệu trước và sau hấp phụ được phân tích thông qua phổ IR.

2.2.2. Phương pháp xử lý số liệu

Hiệu suất xử lý được tính toán theo phương trình (1) và dung lượng hấp phụ được tính toán thông qua phương trình (2):

$$H = \frac{C_o - C_e}{C_o} \cdot 100\% \quad (1)$$

$$q = \frac{(C_o - C_e) \cdot V}{m} \quad (2)$$

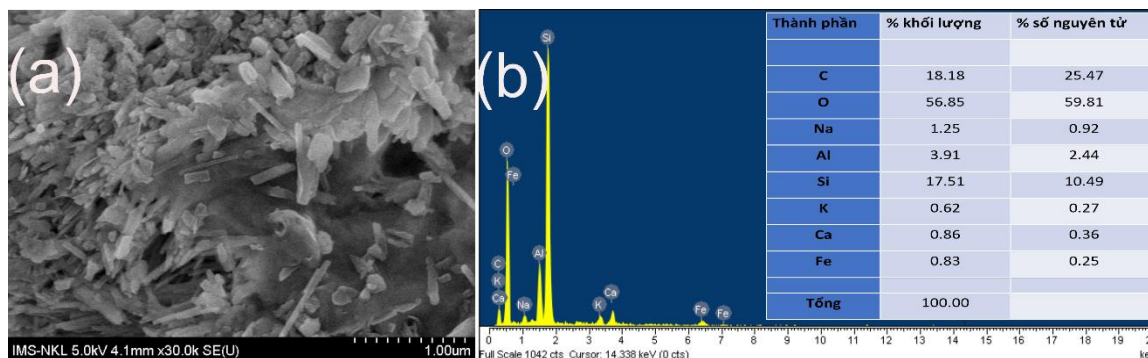
Trong đó: H (%) là hiệu suất xử lý; q (mg/g) là dung lượng hấp phụ; C_o (mg/L) là nồng độ DB22 ban đầu; C_e (mg/L) là nồng độ DB22 sau khi hấp phụ; m (g) là khối lượng zeolite.

Số liệu được phân tích, xử lý. Sau đó, sử dụng phần mềm SPSS để tính trung bình và độ lệch chuẩn. Vẽ đồ thị và chạy các mô hình động học, mô hình hấp phụ bằng phần mềm origin 19.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Đặc điểm của vật liệu

Hình thái bề mặt của zeolite được biểu diễn trên Hình 1a. Phân trăm khối lượng và số lượng của các nguyên tố được biểu diễn trên Hình 1b. Phổ hồng ngoại (IR) của zeolite được biểu diễn trên Hình 2.



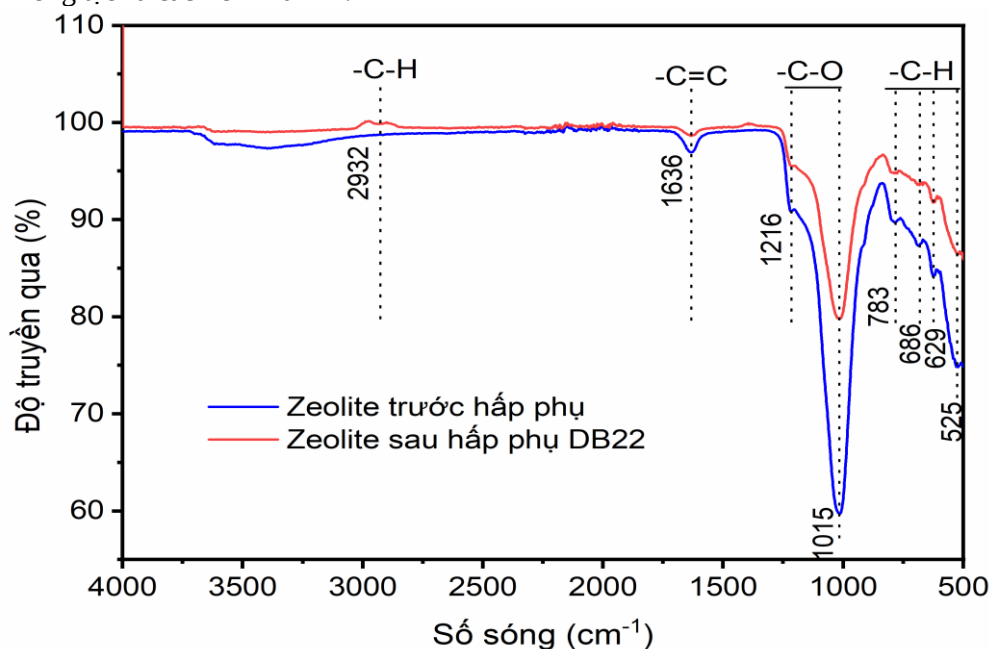
Hình 1. Ảnh SEM (a) và phổ EDX (b) của zeolite

Kết quả ảnh SEM trên Hình 1a cho thấy, bề mặt của zeolite có cấu trúc không đồng nhất, trên đó có nhiều những lỗ nhỏ và những hốc lớn; điều này giúp cho zeolite có khả năng hấp phụ đa dạng các chất cả vô cơ và hữu cơ.

Để đánh giá độ tinh khiết của vật liệu, phổ EDX được sử dụng. Kết quả phổ EDX trên Hình 1b cho thấy thành phần của zeolit bao gồm các nguyên tố C, O, Na, Al, Si, K, Ca, Fe tương ứng với thành phần % khối lượng là 18,18%, 56,85%, 1,25%, 3,91%, 17,51%, 0,62%, 0,86%, 0,83% và tương ứng với thành phần % số nguyên tử là 25,47%, 59,81%, 0,92%, 2,44%, 10,49%, 0,27%, 0,36%, 0,25%. Ngoài những nguyên tố chủ yếu của zeolite như O, Na, Al, Si, K cũng có mặt những nguyên tố khác như C, Ca, Fe.

Kết quả phổ hồng ngoại IR trên Hình 2 cho thấy, zeolite trước hấp phụ và sau hấp phụ DB22 đều xuất hiện dao động của liên kết C=C tại vị trí 1636 cm^{-1} , dao động của liên kết C-O tại vị trí 1216 cm^{-1} và 1015 cm^{-1} , dao động của liên kết C-H tại các vị trí 783 cm^{-1} , 686 cm^{-1} , 629 cm^{-1} . Kết quả trên cũng cho thấy, giữa zeolite sau khi hấp phụ DB22 ngoài các dao động đặc trưng của

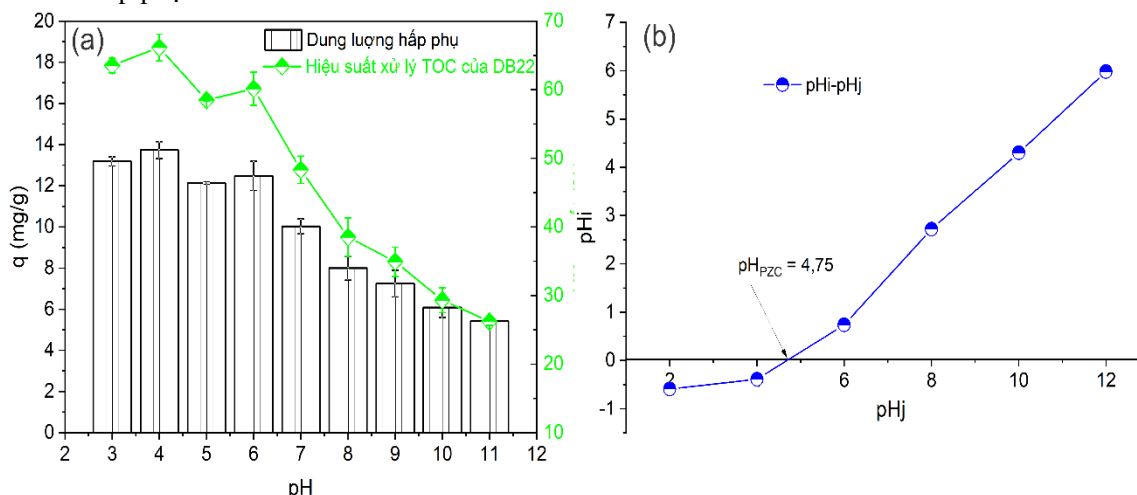
zeolite không thấy xuất hiện thêm dao động của các liên kết khác. Chứng tỏ quá trình hấp phụ DB22 không tạo ra các liên kết mới.



Hình 2. Phổ hồng ngoại (IR) của zeolite

3.2. Ảnh hưởng của pH dung dịch đến khả năng hấp phụ của zeolite

Để nghiên cứu ảnh hưởng của pH đến khả năng hấp phụ DB22 của zeolite, dung dịch nghiên cứu được điều chỉnh về các giá trị pH= 3÷11; bổ sung chất hấp phụ; tiến hành hấp phụ trong thời gian 120 phút, sau đó lọc mẫu và phân tích nồng độ DB22 thông qua giá trị nồng độ TOC trước và sau hấp phụ.



Hình 3. (a) Ảnh hưởng của pH đến hiệu quả xử lý DB22 bằng zeolite (TOC = 41,5 mg/L; hàm lượng zeolite 2 g/L; T = 30°C; t = 120 phút), (b) giá trị điểm đẳng điện của Zeolite

Độ pH của dung dịch ảnh hưởng đến điện tích bề mặt của chất hấp phụ, ảnh hưởng đến sự phân ly các nhóm chức tại tâm hấp phụ và ảnh hưởng đến chất nhuộm màu DB22 trong dung dịch. Do đó, độ pH có ảnh hưởng rất lớn đến toàn bộ quá trình hấp phụ [12].

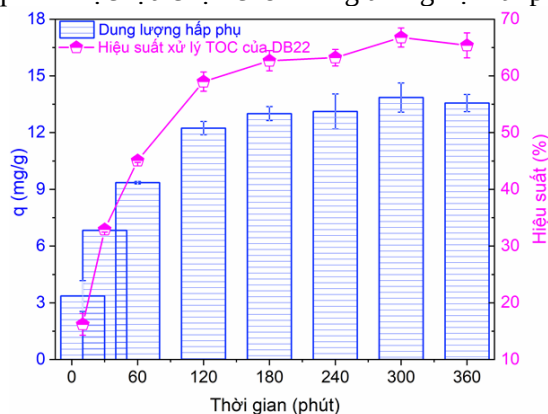
Điểm đẳng điện (pH_{pzc}) là một giá trị đóng vai trò quan trọng trong quá trình hấp phụ các loại ion từ dung dịch lên bề mặt chất rắn. Kết quả xác định pH_{pzc} của vật liệu zeolite cho thấy bề mặt vật liệu có tính axit yếu ($pH_{pzc} = 4,75$).

Kết quả nghiên cứu trên Hình 3a cho thấy, ở $pH < 7$, dung lượng và hiệu suất hấp phụ của vật liệu cao hơn so với $pH > 7$. Trong đó, giá trị pH tối ưu được xác định là 4. Điều này có thể được giải thích, trong môi trường axit với $pH < pH_{pzc}$ ($pH_{pzc} = 4,75$ (Hình 3b)) thì bề mặt chất hấp phụ tích điện dương và làm tăng cường khả năng hấp phụ chất nhuộm màu DB22. Giá trị pH tối ưu này được sử dụng cho các nghiên cứu tiếp theo.

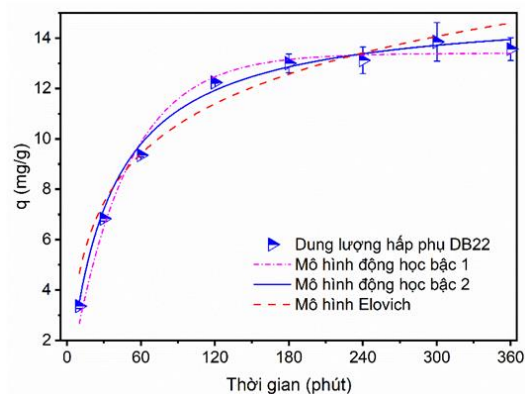
3.3. Ảnh hưởng của thời gian hấp phụ và nghiên cứu động học hấp phụ

Để nghiên cứu ảnh hưởng của thời gian đến khả năng hấp phụ DB22 của zeolite, nồng độ DB22 đầu vào được cố định và $pH = 4$. Thay đổi thời gian hấp phụ và thực hiện thí nghiệm ở các mốc $t = 10, 30, 60, 120, 180, 240, 300$ và 360 phút. Kết quả thí nghiệm được biểu diễn trên Hình 4.

Kết quả nghiên cứu cho thấy, khi thời gian hấp phụ tăng thì dung lượng hấp phụ và hiệu suất hấp phụ tăng lên. Khi thời gian hấp phụ là 120 phút thì hiệu suất hấp phụ đạt 58,98%. Sau thời gian đó, dung lượng hấp phụ và hiệu suất hấp phụ thay đổi không đáng kể. Do đó, thời gian 120 phút được lựa chọn cho những thí nghiệm tiếp theo.



Hình 4. Ảnh hưởng của thời gian hấp phụ đến hiệu quả xử lý DB22 bằng zeolite (TOC = 41,5 mg/L; hàm lượng zeolite 2 g/L; $T = 30^\circ C$; $pH = 4$)



Hình 5. Mô hình động học hấp phụ DB22 bằng zeolite

Các số liệu động học hấp phụ được xử lý thông qua các mô hình: động học bậc nhất [13], động học bậc 2 [14] và phương trình động học hấp phụ Elovich [15], được biểu diễn trong các phương trình (3), (4) và (5) tương ứng. Các kết quả nghiên cứu động học hấp phụ được biểu diễn trên Hình 5 và Bảng 1.

$$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 t \quad (3)$$

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{t}{q_e} \quad (4)$$

$$q_t = \frac{\ln(\alpha\beta)}{\beta} + \frac{\ln t}{\beta} \quad (5)$$

Trong đó: q_e (mg/g) là dung lượng hấp phụ khi đạt cân bằng hấp phụ; q_t (mg/g) là dung lượng hấp phụ tại thời điểm t ; k_1 , k_2 là hằng số tốc độ; α là hằng số hấp phụ tại thời điểm ban đầu ($\text{mg.g}^{-1}.\text{ph}^{-1}$) và β hằng số hấp phụ ($\text{mg.g}^{-1}.\text{ph}^{-1}$).

Kết quả nghiên cứu được biểu diễn trên Hình 5 và Bảng 1 cho thấy, động học hấp phụ tuân theo tốt hơn mô hình động học bậc nhất ($R^2 = 0,9862$) so với mô hình động học bậc 2 ($R^2 =$

0,9698) và mô hình Elovich ($R^2 = 0,9741$). Hằng số tốc độ của quá trình hấp phụ theo mô hình động học bậc nhất là $k_1 = 0,0222 \text{ phút}^{-1}$. Kết quả này lớn hơn so với kết quả nghiên cứu của tác giả Eman A. Alabbad [16] về zeolite hấp phụ chất nhuộm màu DY50 ($k_1 = 0,0092 \text{ phút}^{-1}$).

Bảng 1. Các thông số của các mô hình động học hấp phụ DB22

Mô hình động học bậc 1			Mô hình động học bậc 2			Mô hình Elovich			$q_{e,exp}$ (mg/g)
$q_{m,cal}$ (mg/g)	k_1	R^2	$q_{m,cal}$ (mg/g)	k_2	R^2	α	β	R^2	
13,39	0,0222	0,9862	14,23	0,0019	0,9698	1,134	0,337	0,9741	13,85

3.4. Ảnh hưởng của nồng độ DB22 và nghiên cứu đẳng nhiệt hấp phụ

Để nghiên cứu ảnh hưởng của nồng độ đầu vào DB22 đến khả năng hấp phụ của zeolite, hàm lượng zeolite, pH, thời gian hấp phụ tối ưu được cố định. Thay đổi nồng độ DB22 đầu vào và thực hiện thí nghiệm ở các nồng độ TOC: 6,25; 12,5; 25; 37,5; 50; 62,5; 75; 87,5, 100 mg/L. Kết quả thí nghiệm được biểu diễn trên Hình 6.

Kết quả nghiên cứu cho thấy, nồng độ của DB22 có liên hệ với dung lượng hấp phụ chất nhuộm màu trên bề mặt của zeolite. Có thể thấy rằng, khi nồng độ ban đầu của DB22 tăng lên thì dung lượng hấp phụ tăng dần lên đến giá trị cực đại. Khi nồng độ đầu của DB22 là 12,5 mg/L thì hiệu suất hấp phụ đạt giá trị cao nhất là 69,48%.

Nhiệt động học của quá trình hấp phụ được nghiên cứu dựa trên mô hình hấp phụ đẳng nhiệt Langmuir và Freundlich.

Mô hình hấp phụ đẳng nhiệt Langmuir được mô tả bởi phương trình sau:

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_m K_L} + \frac{C_e}{q_m} \quad (6)$$

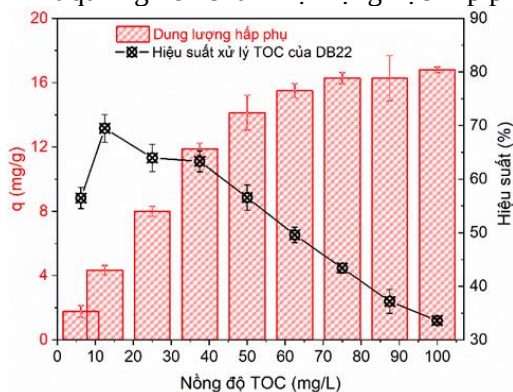
Trong đó, C_e là nồng độ của chất màu khi đạt cân bằng hấp phụ, q_e là dung lượng hấp phụ cân bằng. Các hằng số trong phương trình hấp phụ đẳng nhiệt Langmuir là q_m và K_L có liên quan đến dung lượng hấp phụ và năng lượng của quá trình hấp phụ.

Mô hình hấp phụ Freundlich được biểu diễn bởi phương trình:

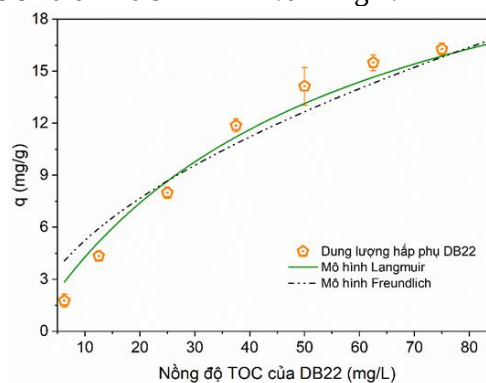
$$q_e = K_F C_e^{1/n} \quad (7)$$

Các hằng số trong mô hình hấp phụ Freundlich là K_F và n có liên quan đến dung lượng hấp phụ và cường độ hấp phụ.

Kết quả nghiên cứu nhiệt động học hấp phụ được biểu diễn trên Hình 7 và Bảng 2.



Hình 6. Ảnh hưởng của nồng độ DB22 đến hiệu quả xử lý bằng zeolite (khối lượng zeolite 0,05 g; $T = 30^\circ\text{C}$; $\text{pH} = 4$; $t = 120 \text{ phút}$)



Hình 7. Mô hình đẳng nhiệt hấp phụ DB22 bằng zeolite

Giá trị R^2 theo mô hình hấp phụ đẳng nhiệt Langmuir và Freundlich tương ứng là 0,9741 và 0,9875. Cũng tính được dung lượng hấp phụ cực đại là q_m là 17,21 mg.g^{-1} , hằng số hấp phụ K_L là 0,0186. Hằng số K_F trong phương trình hấp phụ Freundlich phản ánh dung lượng hấp phụ là 1,486 mg.g^{-1} . Kết quả nghiên cứu này cho thấy, mô hình hấp phụ đẳng nhiệt Freundlich phù hợp hơn để mô tả cân bằng hấp phụ đẳng nhiệt. Kết quả nghiên cứu này phù hợp với kết quả nghiên cứu của một số tác giả trên thế giới [16], [17].

Bảng 2. Các thông số của mô hình đẳng nhiệt hấp phụ DB22

Mô hình Langmuir			Mô hình Freundlich			$q_{e,exp}$ (mg/g)
q_m (mg/g)	K_L	R^2	K_F	$1/n$	R^2	
17,21	0,0186	0,9741	1,486	0,547	0,9875	17,28

4. Kết luận

Kết quả nghiên cứu hấp phụ chất nhuộm màu DB22 bằng chất hấp phụ zeolite cho thấy quá trình hấp phụ bị ảnh hưởng chủ yếu bởi độ pH, thời gian và nồng độ đầu của chất nhuộm màu. Hiệu suất hấp phụ đạt giá trị cao nhất là 69,48% khi nồng độ đầu của DB22 là 12,5 mg/L, pH của dung dịch là 4 và thời gian hấp phụ là 120 phút. Động học hấp phụ tuân theo mô hình động học hấp phụ bậc nhất ($R^2 = 0,9862$), động học hấp phụ xảy ra khá nhanh thể hiện ở hằng số tốc độ hấp phụ $k_1 = 0,0222 \text{ phút}^{-1}$. Kết quả cũng cho thấy quá trình hấp phụ tuân theo mô hình hấp phụ đẳng nhiệt Freundlich với hằng số K_F là 1,486 mg.g^{-1} .

Lời cảm ơn

Công trình nghiên cứu này được tài trợ nguồn kinh phí bởi Bộ Giáo dục và Đào tạo qua đề tài mã số: B.2020-SP2-01.

TÀI LIỆU THAM KHẢO/REFERENCES

- [1] E. Al-Abbad and F. Alakhras, "Removal of Dye Acid Red 1 from Aqueous Solutions Using Chitosan-iso-Vanillin Sorbent Material," *Indo. J. Sci. Tech.*, pp. 5352-5365, 2020, doi: 10.2174/1874842202007010016
- [2] E. A. Alabbad, "Estimation the Sorption Capacity of Chemically Modified Chitosan Toward Cadmium Ion in Wastewater Effluents," *Orient. J. Chem.*, vol. 35, no. 2, pp. 757-765, 2019.
- [3] F. Gökçen and T. A. Özbelge, "Enhancement of biodegradability by continuous ozonation in acid red-151 solutions and kinetic modeling," *Chem. Eng. J.*, vol. 114, pp. 99-104, 2005, doi: 10.1016/j.cej.2005.09.006.
- [4] H. T. Van, T. M. P. Nguyen, V. T. Thao, X. H. Vu, T. V. Nguyen, and L. H. Nguyen, "Applying activated carbon derived from coconut shell loaded by silver nanoparticles to remove methylene blue in aqueous solution," *Water. Air. Soil Pollut.*, vol. 229, 2018, doi: 10.1007/s11270-018-4043-3.
- [5] M. Kaykhani, M. Sasani, and S. Marghzari, "Removal of dyes from the environment by adsorption process," *Chem. Mater. Eng.*, vol. 6, pp. 31-35, 2018, doi: 10.13189/cme.2018.060201.
- [6] M. T. Yagub, T. K. Sen, S. Afroze, and H. M. Ang, "Dye and its removal from aqueous solution by adsorption: a review," *Adv. Colloid Interface Sci.*, vol. 209, pp. 172-184, 2014, doi: 10.1016/j.cis.2014.04.002.
- [7] R. Salazar, M. S. Ureta-Zañartu, C. González-Vargas, C. do Nascimento Brito, and C. A. Martinez-Huitle, "Electrochemical degradation of industrial textile dye disperse yellow 3: role of electrocatalytic material and experimental conditions on the catalytic production of oxidants and oxidation pathway," *Chemosphere.*, vol. 198, pp. 21-29, 2018, doi: 10.1016/j.chemosphere.2017.12.092.
- [8] S. Li, Q. Lin, X. Liu, L. Yang, J. Ding, F. Dong, Y. Li, M. Irfan, and P. Zhang, "Fast photocatalytic degradation of dyes using low-power laser-fabricated Cu_2O -Cu nanocomposites," *RSC Adv.*, vol. 8, 20277-20286, 2018, doi: 10.1039/c8ra03117g.
- [9] P. V. Nidheesh, R. Gandhimathi, and S. T. Ramesh, "Degradation of dyes from aqueous solution by Fenton processes: a review," *Environ. Sci. Pollut. Res.*, vol. 20, pp. 2099-2132, 2013, doi: 10.1007/s11356-012-1385-z.

-
- [10] A. Tabaï, O. Bechiri, and M. Abbessi, "Degradation of organic dye using a new homogeneous Fenton-like system based on hydrogen peroxide and a recyclable Dawsontype heteropolyanion," *Int. J. Ind. Chem.*, vol. 8, pp. 83-89, 2017, doi: 10.1007/s40090-016-0104-x.
- [11] F. Alakhras, E. Alhajri, R. Haounati, H. Ouachtak, A. A. Addi, and T. A. Saleh, "A comparative study of photocatalytic degradation of Rhodamine B using natural-based zeolite composites," *Surfaces and Interfaces*, vol. 20, 100611, 2020, doi: 10.1016/j.surfin.2020.100611.
- [12] M. A. M. Khraisheh, M. A. Al- Ghouti, S. J. Allen, and M. N. M. Ahmad, "The effect of pH, temperature, and molecular size on the removal of dyes from textile effluent using manganese oxidesmodified diatomite," *Water Environ. Res.*, vol. 76, no. 7, pp. 2655-2663, 2004.
- [13] T. M. Kazeem, S. A. Lateef, S. A. Ganiyu, M. Qamaruddin, A. Tmini, K. O. Sulaiman, S. M. S. Jilani, and K. Ahooshani, "Aluminum-Modified Activated Carbon as Efficient Adsorbent for Cleaning Cationic Dye in Wastewater," *Journal of Cleaner Production.*, vol. 205, pp. 303-312, 2018, doi: 10.1016/j.jclepro.2018.09.114.
- [14] Y. Ho, "Review of Second-Order Models for Adsorption Systems," *Journal of Hazardous Materials.*, vol. 136, pp. 681-689, 2006, doi: 10.1016/j.jhazmat.2005.12.043.
- [15] Z. Hussein, R. Kumar, and D. Meghavatu, "Kinetics and Thermodynamics of Adsorption Process Using a Spent-FCC Catalyst," *International Journal of Engineering & Technology.*, vol. 7, pp. 84-287, 2018, doi: 10.14419/ijet.v7i4.5.20090.
- [16] E. A. Alabbad, "Efficacy assesment of natural zeolite containing waste water on adsorption behaviour of Direct Yellow 50 from; equilibrium, kinetics an thermodynamic studies," *Arabian Journal of Chemistry*, vol. 14, 2021, doi: 10.1016/j.arabjc.2021.103041.
- [17] N. Ayawei, A. N. Ebelegi, and D. Wankasi, "Modelling and interpretation of adsorption isotherms," *J. Chem.*, 2017, Art. no. 3039817, doi: 10.1155/2017/3039817.