

# Nghiên cứu khả năng hấp phụ hợp chất màu congo red của vật liệu $\text{NiTiO}_3/\text{BiOI}$

Đặng Thị Thơm, Lương Hữu Bắc\*

## TÓM TẮT

Ô nhiễm nguồn nước do chất thải từ ngành công nghiệp dệt nhuộm đang ngày càng nghiêm trọng, ảnh hưởng trực tiếp đến sức khỏe con người và các loài thủy sinh. Hiện nay, có rất nhiều phương pháp đã được các nhà khoa học nghiên cứu và áp dụng, trong đó phương pháp hấp phụ đang là một phương pháp được nghiên cứu rộng rãi nhờ chi phí thấp, an toàn với môi trường, cho hiệu suất xử lý chất màu tương đối cao. Vật liệu tổ hợp NTO/BOI được chế tạo bằng phương pháp lắng đọng kết tủa ở nhiệt độ phòng và sử dụng để nghiên cứu hấp phụ chất màu dệt nhuộm Congo Red. Cấu trúc vật liệu chế tạo được phân tích bằng phương pháp nhiễu xạ tia X (XRD) và phương pháp hiển vi điện tử quét (SEM). Bài báo trình bày ảnh hưởng của hàm lượng NTO trong tổ hợp NTO/BOI, thời gian hấp phụ, nồng độ dung dịch chất màu ban đầu, khối lượng chất hấp phụ và độ pH dung dịch đến hiệu suất hấp phụ hợp chất màu Congo Red của vật liệu chế tạo đã được khảo sát. Kết quả cho thấy, vật liệu tổ hợp 70NTO/BOI có hiệu suất hấp phụ tốt nhất, đạt dung lượng hấp phụ là 94 mg/g với nồng độ Congo Red 30 mg/L. Quá trình hấp phụ chất màu Congo Red của vật liệu tổ hợp tuân theo mô hình hấp phụ đẳng nhiệt Freundlich, có động học hấp phụ giả định bậc 2 với hệ số hồi quy lớn  $R^2 > 0,99$ . Quá trình hấp phụ phụ thuộc khá mạnh vào độ pH của dung dịch chất màu.

**Từ khoá:** chất thải, khả năng hấp phụ, Congo Red, chất màu dệt nhuộm

## MỞ ĐẦU

Nước thải có nguồn gốc từ các ngành công nghiệp khác nhau, bao gồm dệt may, thực phẩm, giấy và mỹ phẩm. Trong số các chất gây ô nhiễm môi trường, chất thải do quá trình dệt nhuộm đã gây ra sự ô nhiễm đáng kể<sup>1</sup>. Nhiều phương pháp khác nhau như phân hủy quang xúc tác, oxy hóa hóa học, kết tủa hóa học, phân hủy sinh học, đông tụ và hấp phụ, đã được phát triển để loại bỏ các thuốc nhuộm này khỏi dung dịch nước<sup>1-3</sup>. Trong số các phương pháp này, sự hấp phụ có thể là phương pháp hiệu quả, đơn giản, tiết kiệm chi phí, để loại bỏ các chất ô nhiễm khác nhau khỏi nước<sup>4-6</sup>. Nhiều loại chất hấp phụ khác nhau đã được sử dụng để loại bỏ thuốc nhuộm khỏi nước thải như than hoạt tính, vật liệu tự nhiên và chất thải công nghiệp/nông nghiệp<sup>3,7,8</sup>. Các nhà nghiên cứu đã tập trung vào việc xác định các chất hấp phụ hiệu quả với các đặc tính mong muốn cho các ứng dụng thực tế. Trong những năm gần đây, vật liệu tổ hợp đã thu hút được sự chú ý đáng kể như là chất hấp phụ tiềm năng để giải quyết các mối lo ngại về ô nhiễm trong nước thải do chúng có các đặc tính tăng cường sự hấp phụ nhờ quá trình tương tác giữa các pha trong vật liệu tổ hợp<sup>9-11</sup>.

Bismuth oxyhalide ( $\text{BiOX}$ , trong đó  $X = \text{Cl}, \text{Br}$  và  $\text{I}$ ) là các hợp trong các hợp chất pha Sillén, gần đây được

xem như là chất hấp phụ mới cho các ion kim loại và các chất ô nhiễm hữu cơ<sup>12-14</sup>. Nicken titanate ( $\text{NiTiO}_3$ ), một chất bán dẫn quan trọng được nghiên cứu rộng rãi trong thập kỷ qua, được đánh giá cao vì tính ổn định, giá cả phải chăng và không độc hại, đặc biệt là trong các quá trình quang xúc tác<sup>15,16</sup>. Mặc dù có những đặc tính tích cực của  $\text{NiTiO}_3$  nhưng khả năng hấp phụ kém đối với thuốc nhuộm hữu cơ và sự hấp thụ yếu đối với ánh sáng khả kiến là những hạn chế chính cản trở các ứng dụng rộng rãi. Theo hiểu biết của chúng tôi, cho đến nay không có báo cáo nào về nghiên cứu hấp phụ của hỗn hợp  $\text{NiTiO}_3/\text{BiOI}$  đối với các chất màu dệt nhuộm Congo Red. Thuốc nhuộm azo đại diện cho một loại hợp chất màu hữu cơ tổng hợp quan trọng. Do cấu trúc phức tạp của chúng bao gồm nhiều vòng thơm phức tạp, thuốc nhuộm azo thường thể hiện khả năng chống phân hủy sinh học nên khó loại bỏ khỏi nước<sup>17</sup>. Trong số các thuốc nhuộm này, thuốc nhuộm Congo Red (CR), công thức phân tử  $\text{C}_{32}\text{H}_{22}\text{N}_6\text{Na}_2\text{O}_6\text{S}_2$  và công thức hóa học (Hình 1) là một loại thuốc nhuộm diazo thường được sử dụng trong các ngành công nghiệp nhựa, dệt may và cao su, thậm chí trong các thử nghiệm đo màu trong phòng thí nghiệm nghiên cứu<sup>18</sup>.

Bài báo trình bày kết quả chế tạo vật liệu tổ hợp  $\text{NiTiO}_3/\text{BiOI}$ , làm chất hấp phụ mới, sử dụng phương

Khoa Vật lý Kỹ thuật, Đại học Bách Khoa Hà Nội

## Liên hệ

Lương Hữu Bắc, Khoa Vật lý Kỹ thuật, Đại học Bách Khoa Hà Nội

Email: bac.luonghuu@hust.edu.vn

## Lịch sử

- Ngày nhận: 30-12-2023
- Ngày sửa đổi: 13-8-2024
- Ngày chấp nhận: 18-02-2025
- Ngày đăng: 31-12-2024

DOI: 10.32508/stdjns.v7iS1.1351

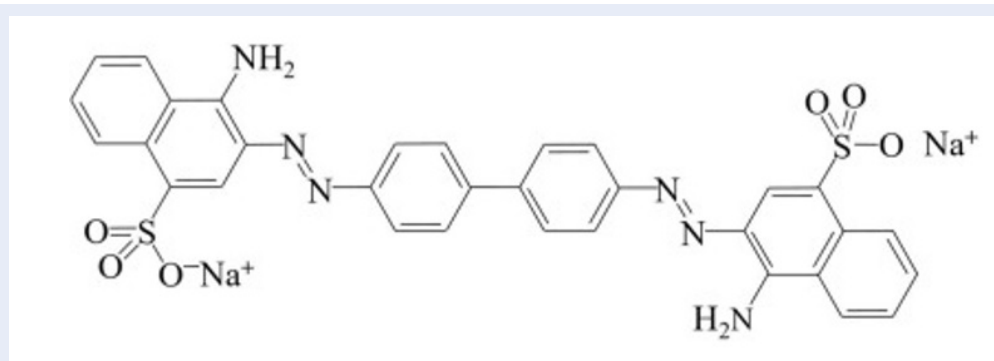


## Bản quyền

© ĐHQG Tp.HCM. Đây là bài báo công bố mở được phát hành theo các điều khoản của the Creative Commons Attribution 4.0 International license.



**Trích dẫn bài báo này:** Thơm D T, Bắc L H. Nghiên cứu khả năng hấp phụ hợp chất màu congo red của vật liệu  $\text{NiTiO}_3/\text{BiOI}$ . *Sci. Tech. Dev. J. - Nat. Sci.* 2024; 7(S1):34-42.



**Hình 1:** Công thức hóa học của hợp chất Congo Red

pháp kết tủa đơn giản. Các vật liệu tổng hợp được khảo sát cấu trúc bằng phương pháp nhiễu xạ tia X (XRD) và kính hiển vi điện tử quét (SEM). Khả năng của vật liệu tổ hợp trong việc loại bỏ CR khỏi dung dịch nước được trình bày.

## VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP

### Tổng hợp vật liệu $\text{NiTiO}_3$

$\text{NiTiO}_3$  được chế tạo bằng phương pháp kết tủa. Các hoá chất sử dụng gồm: nicken acetate  $\text{Ni}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ , ethylene glycol  $\text{CH}_2(\text{OH})_2$  (EG), ethanol  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ , titanium butoxide  $\text{C}_{16}\text{H}_{36}\text{O}_4\text{Ti}$  (TBOT). Đầu tiên, cho 40 mL EG và 60 mL ethanol vào cốc và khuấy đều để tạo dung dịch đồng nhất. Sau đó, cho thêm 3,4 mL TBOT vào dung dịch trên, khuấy liên tục trong 20 phút. Tiếp theo, 2,48 g nicken acetate  $[\text{Ni}(\text{CH}_3\text{COO})_2]$  cho vào cốc và khuấy liên tục 6 giờ. Phần kết tủa được tách bằng phương pháp quay ly tâm (6000 vòng/phút) và được lọc rửa 3 lần với nước cất và ethanol, sấy khô ở  $100^\circ\text{C}$  trong 24 giờ. Sau khi sấy khô, vật liệu  $\text{NiTiO}_3$  thu được sau khi nung tạo pha ở  $600^\circ\text{C}$  trong 2 giờ.

### Tổng hợp vật liệu tổ hợp $\text{NiTiO}_3/\text{BiOI}$

Vật liệu tổ hợp  $x\text{NiTiO}_3/(100-x)\text{BiOI}$  (với  $x$  là tỉ lệ khối lượng  $x = 0\%, 60\%, 70\%, 80\%$ , được viết tắt là 60NTO/BOI, 70NTO/BOI và 80NTO/BOI) được chế tạo bằng phương pháp lắng đọng kết tủa. Muối KBr được hòa tan trong nước cất, khuấy cho đến khi muối tan hết thu được dung dịch A trong suốt. Muối  $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  được hòa tan trong nước cất. Một lượng bột NTO thích hợp với tỷ lệ hàm lượng mong muốn được đưa vào dung dịch muối  $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3$  thu được cốc dung dịch B. Sau đó cốc B được rung siêu âm 30 phút để phân tán đều NTO trong dung dịch. Nhỏ từ từ dung dịch A vào dung dịch B, khuấy liên tục. Kết tủa thu được lọc rửa 3 lần với nước cất và cồn

rồi sấy khô ở  $70^\circ\text{C}$  trong 12 giờ để thu được bột vật liệu tổ hợp NTO/BOI.

Thành phần pha tinh thể và độ kết tinh của các mẫu tổ hợp NTO/BOI được xác định bằng phương pháp nhiễu xạ tia X (XRD) với bức xạ Cu  $K\alpha$  ( $\lambda = 0,154056\text{ nm}$ ) ở nhiệt độ phòng. Hình thái học của vật liệu hấp phụ được xác định thông qua kính hiển vi điện tử quét.

### Khảo sát hấp phụ chất màu

Để nghiên cứu khả năng hấp phụ chất màu của vật liệu tổ hợp chế tạo được, 50 mL dung dịch chất màu Congo Red với nồng độ ban đầu 30 mg/L, ở pH 5, được đựng trong cốc thủy tinh 50 mL, sau đó một lượng bột 0,02 g chất hấp phụ NTO/BOI được cho vào trong dung dịch chất màu. Phân tán chất hấp phụ trong CR bằng cách khuấy cơ học bằng máy khuấy từ, trong điều kiện tối, ở nhiệt độ phòng, trong 3 giờ. Sau những khoảng thời gian nhất định, 3 mL dung dịch được lấy ra, quay ly tâm với tốc độ 5000 vòng/phút để loại bỏ chất hấp phụ và đo độ hấp thụ của dung dịch chất màu bằng thiết bị đo phổ UV-Vis. Nồng độ của chất màu được xác định thông qua đỉnh hấp thụ ở 496 nm. Lặp lại quá trình cho đến khi độ hấp thụ không thay đổi theo thời gian. Tất cả các thí nghiệm được thực hiện ở nhiệt độ phòng. Dữ liệu thu được từ phổ hấp thụ UV-Vis được sử dụng để xác định dung lượng hấp phụ  $q_e$ .

Dung lượng hấp phụ ở trạng thái cân bằng  $q_e$  (mg/g) được tính bằng công thức:

$$q_e = (C_0 - C_t)V/m \quad (1)$$

Trong đó,  $C_0$  và  $C_t$  lần lượt là nồng độ ban đầu và nồng độ cân bằng của chất bị hấp phụ ở thời điểm tương ứng (mg/L),  $V$  là thể tích dung dịch (L),  $m$  là khối lượng chất hấp phụ (g).

Hiệu suất hấp phụ loại bỏ chất màu được tính theo công thức:

$$H = (C_0 - C_t) \times 100 / C_0 \quad (2)$$

Ảnh hưởng của pH dung dịch đến quá trình hấp phụ thuốc nhuộm CR được thực hiện bằng cách sử dụng dung dịch HCl (1 M) và NaOH (1 M) để điều chỉnh giá trị pH. Các yếu tố thời gian hấp phụ (thay đổi từ 0 đến 220 phút), nồng độ ban đầu của CR (thay đổi từ 20 mg/L đến 70 mg/L), khối lượng chất hấp phụ (thay đổi từ 0,005 g đến 0,02 g) và độ pH (thay đổi từ 1 đến 11) được khảo sát đánh giá khả năng hấp phụ của vật liệu tổ hợp NTO/BOI.

## KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Hình 2 là giản đồ nhiễu xạ của các mẫu NiTiO<sub>3</sub>, BiOI và các mẫu tổ hợp NTO/BOI. Đối với mẫu NiTiO<sub>3</sub> (NTO) quan sát được các cực đại nhiễu xạ thuộc cấu trúc pha của vật liệu có cấu trúc ilmenite NTO có tất cả các đỉnh đều phù hợp với thẻ chuẩn JCPDS số 33-0960 và không tìm thấy các đỉnh nhiễu xạ của các pha trung gian và các pha của hóa chất ban đầu chế tạo từ phổ nhiễu xạ đo được. Mẫu BiOI có các cực đại nhiễu xạ ở các góc  $2\theta = 29,56; 31,07; 37,12; 39,49; 45,79; 50,08; 51,60; 55,30; 60,16; 61,57; 65,34; \text{ và } 66,34$  tương ứng với các chỉ số (102), (110), (112), (004), (200), (005), (114), (212), (213), (006), (220) và (214), tất cả các đỉnh phù hợp với thẻ chuẩn JCPDS 10-0445.

Đối với các mẫu tổ hợp, tất cả các mẫu đều có các đỉnh nhiễu xạ đặc trưng của BiOI tinh khiết và NiTiO<sub>3</sub> nguyên chất. Không có sự xuất hiện của pha lạ. Điều này cho thấy vật liệu được tổ hợp thành công. Đặc biệt, thấy được cường độ các đỉnh nhiễu xạ đặc trưng của NTO tăng dần tương ứng với tỉ lệ khối lượng 60%, 70%, 80% của NTO trong tổ hợp (cụ thể tại các vị trí góc  $2\theta = 24,16; 33,13; 35,69; 54,04$ ).

Hình thái bề mặt và kích thước của mẫu NTO và mẫu tổ hợp NTO/BOI được khảo sát qua hình ảnh chụp bởi hiển vi điện tử quét (Hình 3). Mẫu NTO có dạng thanh, với đường kính thanh trung bình khoảng 2,3  $\mu\text{m}$  và chiều dài thanh khoảng 4,5  $\mu\text{m}$ . Khi tổ hợp với mẫu BiOI, vật liệu BiOI có dạng lá mỏng bám trên bề mặt các thanh vật liệu NTO.

### Đặc trưng hấp phụ

#### Ảnh hưởng của thời gian hấp phụ

Ảnh hưởng của thời gian tiếp xúc đến quá trình hấp phụ CR của các mẫu tổ hợp NTO/BOI được trình bày ở Hình 4. Kết quả cho thấy sự hấp phụ của thuốc nhuộm thay đổi theo thời gian. Hiệu suất của quá trình hấp phụ diễn ra nhanh, trong khoảng từ 0 đến 60 phút đầu tiên, sau đó chậm dần và hiệu suất không đổi, chứng tỏ quá trình hấp phụ đã đạt đến trạng thái cân bằng. Quá trình hấp phụ cho thấy, sự hấp phụ diễn ra khá nhanh và đạt bão hòa trong thời gian 60

phút. Dung lượng hấp phụ của các mẫu tổ hợp nhanh hơn so với mẫu NTO và BiOI. Mẫu NTO có dung lượng hấp phụ khá thấp và hiệu suất chỉ đạt 3% sau 60 phút hấp phụ. Mẫu BiOI hấp phụ tốt hơn so với mẫu NTO, với hiệu suất hấp phụ đạt 22% sau 60 phút. Quá trình hấp phụ được tăng cường mạnh khi hai vật liệu NiTiO<sub>3</sub> và BiOI được tổ hợp với nhau. Hiệu suất hấp phụ phụ thuộc vào hàm lượng giữa hai thành phần. Hiệu suất hấp phụ tăng dần từ 86% khi hàm lượng NTO là 60% đạt cực đại là 94% đối với mẫu tổ hợp 70NTO/BOI và sau đó lại giảm xuống 90% đối với mẫu 80NTO/BiOI. Như vậy mẫu tổ hợp với tỷ lệ hàm lượng 70NTO/BOI cho kết quả hấp phụ tốt nhất trong các mẫu khảo sát. Vì vậy, ở những khảo sát sau, mẫu 70NTO/BOI được sử dụng để khảo sát sự phụ thuộc của quá trình hấp phụ lên các thông số công nghệ khác.

#### Ảnh hưởng của nồng độ chất màu ban đầu

Nồng độ chất màu ban đầu là thông số quan trọng ảnh hưởng đến khả năng loại bỏ chất màu CR của vật liệu tổ hợp. Kết quả cho thấy nồng độ thuốc nhuộm ban đầu ảnh hưởng đến việc loại bỏ CR được thể hiện như trong Hình 5. Dung lượng hấp phụ ở trạng thái cân bằng tăng từ 62,2 mg/g lên 165,7 mg/g khi nồng độ thuốc nhuộm ban đầu tăng từ 20 mg/L lên 70 mg/L. Như vậy nồng độ ban đầu càng cao, càng thuận lợi cho quá trình hấp phụ, tuy nhiên khi nồng độ cao đã dẫn tới dư lượng sau hấp phụ vẫn còn cao đồng thời làm cho vật liệu hấp phụ bão hòa chậm hơn. Các thí nghiệm này cho thấy lượng chất hấp phụ ngoài phụ thuộc vào nồng độ đầu chất bị hấp phụ, còn phụ thuộc vào khối lượng chất hấp phụ.

#### Động học hấp phụ

Xác định động học của quá trình hấp phụ bằng các mô hình động học phản ứng giả định bậc 1 và bậc 2. Mô hình động lực học phản ứng giả bậc 1 cho hệ rắn/lỏng dựa trên công thức<sup>19</sup>:

$$\log(q_e - q_t) = \log(q_e) - (k_1/2,303)t \quad (3)$$

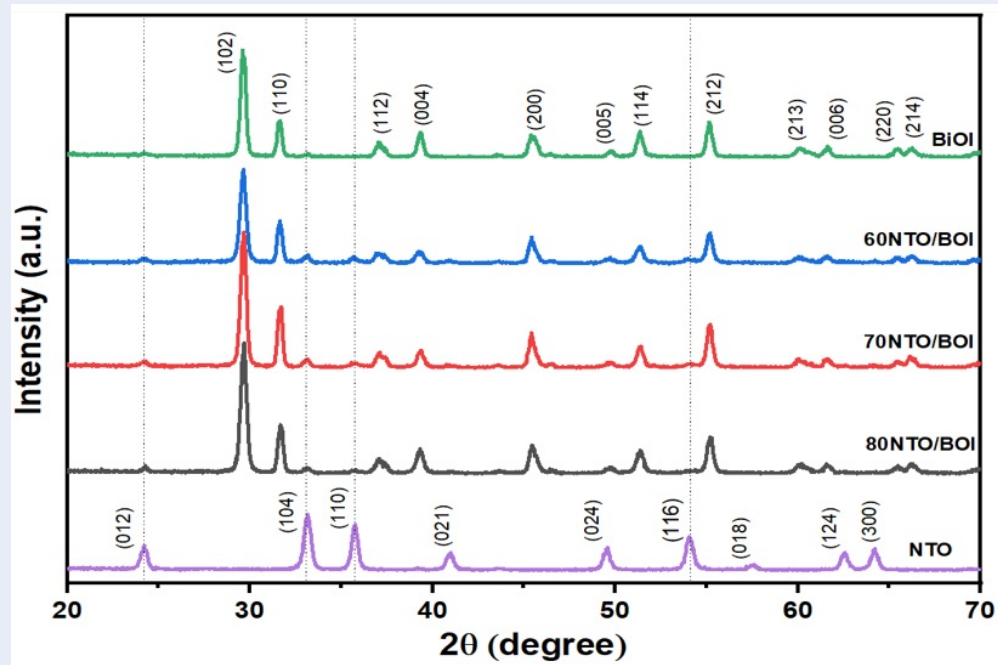
Trong đó,  $k_1$  là hằng số tốc độ phản ứng bậc 1 (1/phút);  $q_e$ ,  $q_t$  lần lượt là dung lượng hấp phụ tại thời điểm cân bằng và thời điểm  $t$  (mg/g).

Mô hình động lực học phản ứng giả bậc 2 được mô tả bằng hàm tuyến tính biểu diễn dưới dạng<sup>19</sup>:

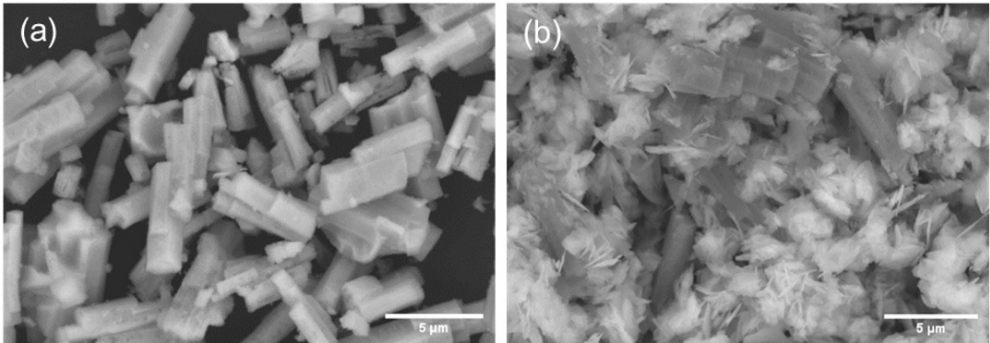
$$t/q_t = t/(k_2 q_e^2) + t/q_e \quad (4)$$

Trong đó,  $k_2$  là hằng số tốc độ phản ứng bậc 2 (g/mg.phút),  $q_e$ ,  $q_t$  lần lượt là dung lượng hấp phụ tại thời điểm cân bằng và thời điểm  $t$  (mg/g).

Các tham số động học phản ứng giả bậc 1 và bậc 2 được thể hiện như trong Bảng 1. Các kết quả cho thấy mô hình động học phản ứng giả bậc 1 là chưa phù



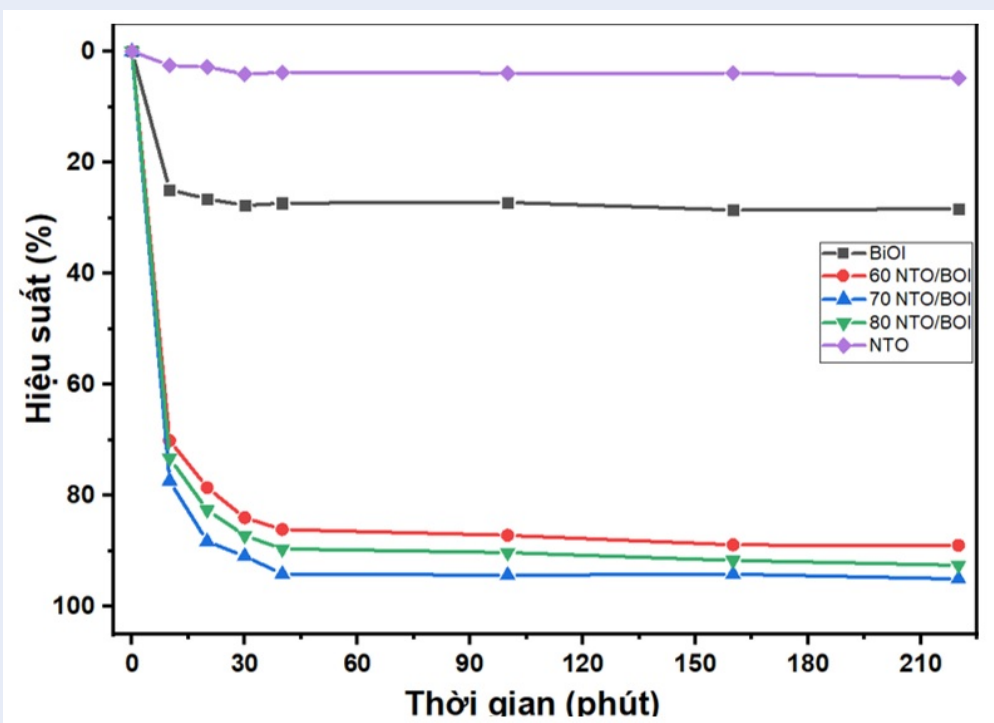
Hình 2: Giản đồ nhiễu xạ XRD của NTO, BiOI và các mẫu tổ hợp



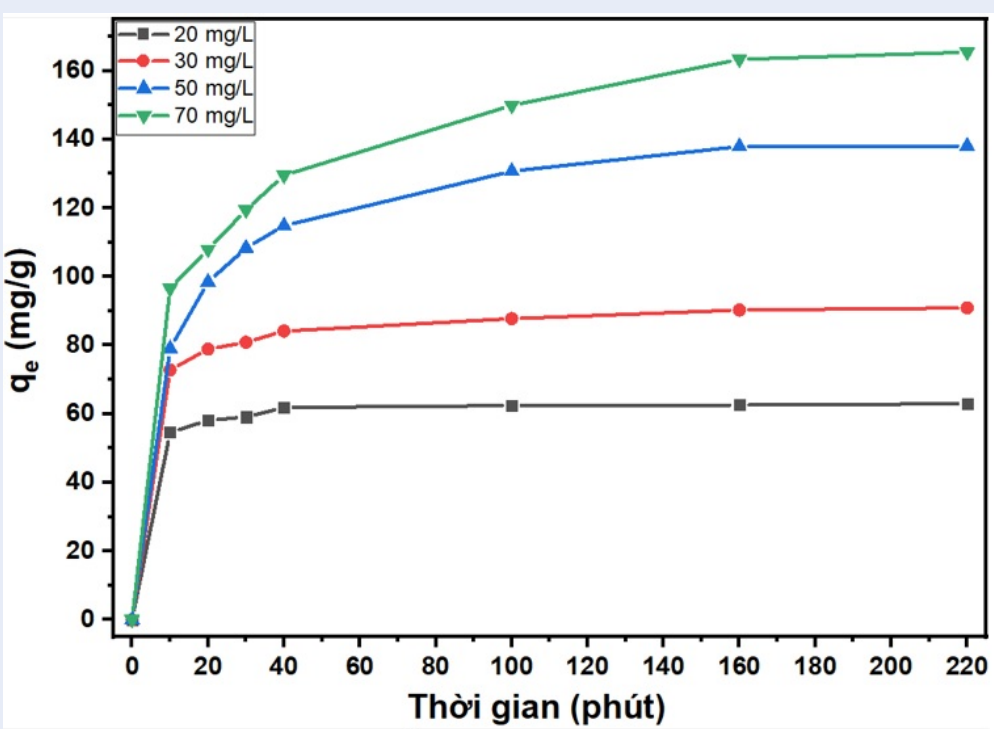
Hình 3: Ảnh SEM của (a) NTO và (b) 70NTO/BiOI

Bảng 1: Tham số động học bậc 1 và bậc 2

| Nồng độ | Mô hình động học bậc 1 |                          |                         | Mô hình động học bậc 2 |                          |                            |
|---------|------------------------|--------------------------|-------------------------|------------------------|--------------------------|----------------------------|
|         | R <sup>2</sup>         | q <sub>e</sub><br>(mg/g) | K <sub>1</sub> (1/phút) | R <sup>2</sup>         | q <sub>e</sub><br>(mg/g) | K <sub>2</sub> (g/mg.phút) |
| 20 mg/L | 0,525                  | 4,07                     | -0,001                  | 0,999                  | 63,69                    | 0,020                      |
| 30 mg/L | 0,349                  | 8,55                     | -8,231                  | 0,999                  | 92,59                    | 0,011                      |
| 50 mg/L | 0,376                  | 29,52                    | -0,001                  | 0,998                  | 144,93                   | 0,004                      |
| 70 mg/L | 0,100                  | 26,92                    | -0,001                  | 0,996                  | 172,41                   | 0,004                      |



Hình 4: Hiệu suất mất màu dung dịch CR của NTO/BOI theo thời gian



Hình 5: Dung lượng hấp phụ CR của mẫu 70NTO/BOI

hợp để đánh giá quá trình hấp phụ CR bằng vật liệu 70NTO/BiOI vì hệ số hồi quy thấp.

Dung lượng hấp phụ  $q_e$  tính toán cũng cho một xu hướng tương tự như kết quả thực nghiệm nhận được đó là dung lượng hấp phụ tăng lên khi nồng độ ban đầu của CR tăng lên. Đồng thời giá trị  $q_e$  tính toán theo mô hình động học phản ứng giả bậc 2 gần sát với các giá trị  $q_e$  đạt được bằng thực nghiệm. Tất cả các phương trình tuyến tính theo mô hình động học phản ứng giả định bậc 2 đều cho hệ số hồi rất lớn, đều có giá trị ( $R^2 \geq 0,99$ ). Như vậy mô hình động học giả định bậc hai là phù hợp hơn để mô tả quá trình hấp phụ CR bằng vật liệu tổ hợp NTO/BOI.

### **Ảnh hưởng của khối lượng**

Vật liệu hấp phụ chính là pha để chuyển các chất hấp phụ từ trong dung dịch lên đó. Do đó khối lượng vật liệu hấp phụ cũng có ảnh hưởng nhất định tới quá trình hấp phụ. Khi tăng khối lượng hấp phụ đồng nghĩa với việc tăng cường số lượng các tâm hấp phụ nghĩa là khối lượng chất hấp phụ sẽ nhiều hơn.

Ảnh hưởng của khối lượng chất hấp phụ tới tốc độ hấp phụ bằng cách khảo sát đối với khối lượng vật liệu hấp phụ, sử dụng bốn khối lượng khác nhau ( $m = 0,005; 0,01; 0,015; 0,02$  g), nồng độ ban đầu của dung dịch CR ( $C = 30$  mg/L) và thể tích dung dịch chất màu ( $V = 50$  mL) được giữ cố định trong các lần đo. Hình 6 cho thấy khi khối lượng chất hấp phụ tăng lên, dung lượng hấp phụ đã bị giảm đi. Điều này là vì khi khối lượng chất hấp phụ tăng, số lượng các tâm hấp phụ cũng tăng, mà nồng độ CR ban đầu không đổi, do đó số phân tử CR lắng đọng trên bề mặt vật liệu NTO/BOI đã ít hơn. Dung lượng hấp phụ cao nhất khoảng 170 mg/g và thấp nhất là 62 mg/g tương ứng với khối lượng vật liệu là 0,005 g và 0,02 g.

### **Ảnh hưởng của pH dung dịch**

pH của dung dịch là một thông số quan trọng có ảnh hưởng lớn đến quá trình hấp phụ. pH ảnh hưởng đến mức độ ion hóa của chất màu khi hòa tan trong nước, đồng thời cũng ảnh hưởng tới đặc tính bề mặt của vật liệu hấp phụ. Khảo sát ảnh hưởng của pH dung dịch tới hiệu suất hấp phụ CR của vật liệu NTO/BOI. Giá trị pH của dung dịch được điều chỉnh thay đổi là 1, 3, 5, 7, 9 và 11. Các thí nghiệm cố định khối lượng chất hấp phụ và nồng độ dung dịch chất màu. Kết quả ở Hình 7 cho thấy ở pH1, hiệu suất hấp phụ cao nhất khoảng 98%. Hiệu suất hấp phụ giảm dần khi độ pH tăng dần. Giá trị hiệu suất hấp phụ chỉ đạt 76% khi pH 11. Như vậy, quá trình hấp phụ phụ thuộc khá mạnh vào độ pH của dung dịch chất màu. Sự hấp phụ xảy ra mạnh hơn khi ở độ pH thấp.

### **Đẳng nhiệt hấp phụ CR**

Để đánh giá khả năng hấp phụ của vật liệu, mối quan hệ giữa dung lượng hấp phụ và nồng độ chất màu trong điều kiện cân bằng ở một nhiệt độ xác định là một thông số quan trọng. Với kết quả thu được từ quá trình hấp phụ, kết quả được đánh giá theo hai mô hình hấp phụ đẳng nhiệt Langmuir và Freundlich (Bảng 2). Giá trị  $K_L$  là một tham số quan trọng của đường đẳng nhiệt Langmuir, khi  $K_L$  nằm trong khoảng từ 0 đến 1, mô hình đẳng nhiệt Langmuir được áp dụng. Giá trị của  $K_L$  được tính bằng (0,09-0,52) khi nồng độ ban đầu của dung dịch CR tăng từ 20 mg/L lên 70 mg/L, do đó mô hình đẳng nhiệt Langmuir phù hợp cho quá trình hấp phụ.

Giá trị  $n$  có ý nghĩa quan trọng trong mô hình đẳng nhiệt Freundlich. Khi giá trị của  $n$  vượt quá 1, quá trình hấp phụ của vật liệu là tốt. Giá trị của  $n$  mô hình đẳng nhiệt Freundlich đối với vật liệu tổ hợp NTO/BOI là 2,96 cho thấy quá trình hấp phụ là tốt và phù hợp với mô tả mô hình đẳng nhiệt Freundlich. Các kết quả tính toán, dựa vào hệ số hồi quy, cho thấy quá trình hấp phụ CR của mẫu bột NTO/BOI đều phù hợp với cả hai mô hình hấp phụ đẳng nhiệt Langmuir và Freundlich. Tuy nhiên mô hình Freundlich phù hợp hơn do giá trị hằng số tương quan Freundlich lớn hơn so với hằng số tương quan theo mô hình Langmuir.

### **KẾT LUẬN**

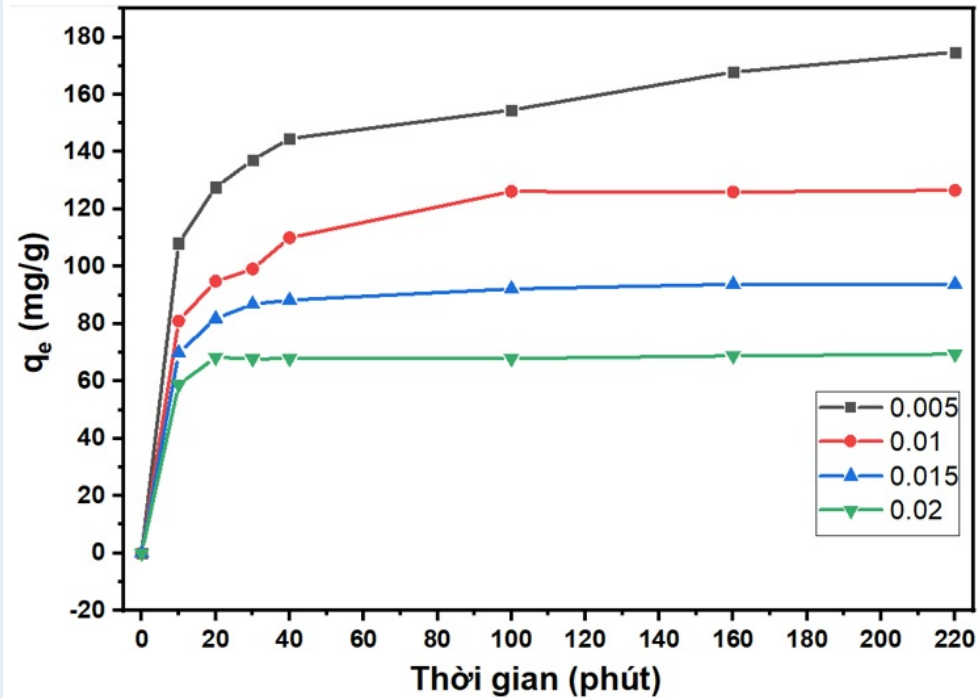
Vật liệu tổ hợp NTO/BiOI đã được tổng hợp thành công bằng phương pháp kết tủa đơn giản. Các mẫu tổ hợp đều cho thấy dung lượng hấp phụ cao hơn so với các mẫu NTO và BiOI nguyên chất. Các thông số ảnh hưởng đến dung lượng hấp phụ đã được khảo sát như thời gian tiếp xúc, nồng độ chất màu ban đầu, pH dung dịch và khối lượng chất hấp phụ. Kết quả cho thấy, hiệu suất hấp phụ chất màu CR nồng độ 30 mg/L được hấp phụ bởi 0,02 g vật liệu tổ hợp 70NTO/BOI đạt hiệu suất hấp phụ 94%. Độ pH ảnh hưởng đến quá trình hấp phụ CR, sự hấp phụ mạnh xảy ra khi môi trường pH thấp. Quá trình hấp phụ chất màu Congo Red của vật liệu tổ hợp tuân theo mô hình hấp phụ đẳng nhiệt Freundlich, có động học hấp phụ giả định bậc 2.

### **XUNG ĐỘT LỢI ÍCH**

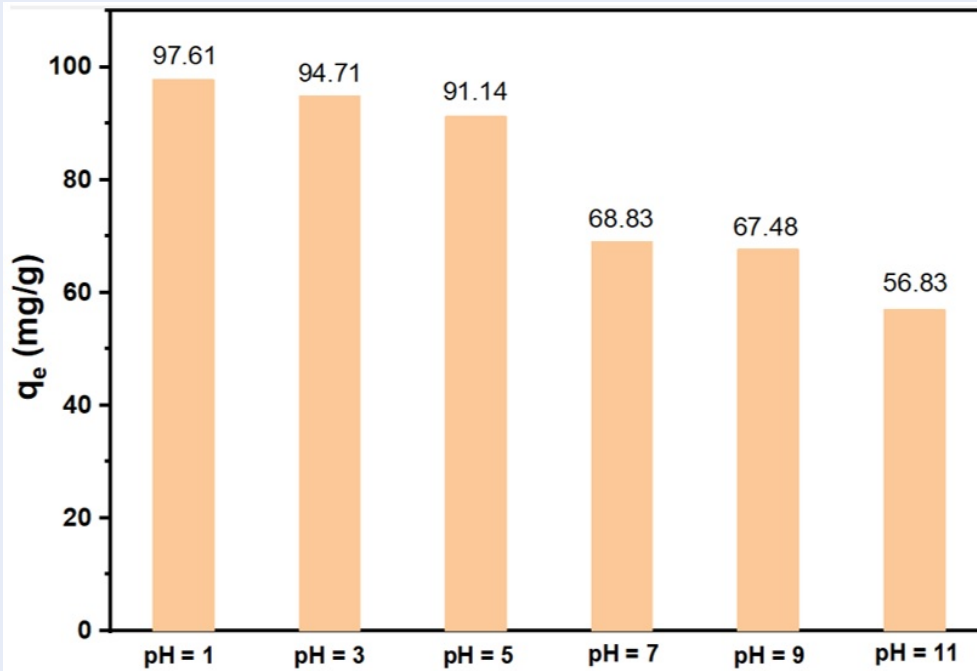
Các tác giả đồng ý không có bất kỳ xung đột lợi ích nào liên quan đến các kết quả đã công bố.

### **ĐÓNG GÓP CỦA TÁC GIẢ**

Đặng Thị Thơm thực hiện các thí nghiệm, thu thập, xử lý các dữ liệu và viết bản thảo.



Hình 6: Dung lượng hấp phụ CR khi thay đổi khối lượng chất hấp phụ



Hình 7: Dung lượng hấp phụ CR thay đổi theo pH

**Bảng 2:** Các tham số của hai mô hình đẳng nhiệt Langmuir và Freundlich theo sự thay đổi nồng độ

| Mô hình Langmuir |           |       | Mô hình Freundlich |      |       |
|------------------|-----------|-------|--------------------|------|-------|
| $K_L$            | $Q_{max}$ | $R^2$ | $K_F$              | n    | $R^2$ |
| 0,52             | 250,00    | 0,95  | 94,38              | 2,96 | 0,99  |

Lương Hữu Bắc đóng vai trò định hướng, lên kế hoạch nghiên cứu, góp phần thảo luận các kết quả nghiên cứu, hoàn chỉnh bản thảo.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Adane T, Adugna AT, Alemayehu E. Textile industry effluent treatment techniques. J Chem. 2021;2021:Article ID 5314404;Available from: <https://doi.org/10.1155/2021/5314404>.

2. Yap HC, Pang YL, Lim S, Abdullah AZ, Ong HC, Wu CH. A comprehensive review on state-of-the-art photo-, sono-, and sonophotocatalytic treatments to degrade emerging contaminants. Int J Environ Sci Technol. 2019;16:601–28;Available from: <https://doi.org/10.1007/s13762-018-1961-y>.

3. Jain R, Mathur M, Sikarwar S, Mittal A. Removal of the hazardous dye rhodamine B through photocatalytic and adsorption treatments. J Environ Manage. 2007;85:956–64;Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2006.11.002>.

4. Farahmand T, Hashemian S, Sheibani A. ZIF-based zinc titanate composite as sufficient sorbent for removal of Congo red from aqueous solutions. J Asian Ceram Soc. 2020;00:1–12;Available from: <https://doi.org/10.1080/21870764.2020.1780718>.

5. Hashemian S, Foroghmoqhadam A. Effect of copper doping on CoTiO3 ilmenite type nanoparticles for removal of Congo red from aqueous solution. Chem Eng J. 2014;235:299–306;Available from: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2013.08.089>.

6. Raval NP, Shah PU, Shah NK. Adsorptive amputation of hazardous azo dye Congo red from wastewater: a critical review. Environ Sci Pollut Res. 2016;14810–53;Available from: <https://doi.org/10.1007/s11356-016-6970-0>.

7. Zhou H, Smith DW. Advanced technologies in water and wastewater treatment. J Environ Eng Sci. 2002;1:247–64;.

8. Ma Z, Chang H, Liang Y, Meng Y, Ren L, Liang H. Research progress and trends on state-of-the-art membrane technologies in textile wastewater treatment. Sep Purif Technol. 2024;333:125853;Available from: <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2023.125853>.

9. Shi H, Zhang Y, Wei Y, Che C, Xia Z, Li G. In situ preparation of biochar/Bi4O5Br2 composite for ibuprofen removal under the synergistic effect of adsorption and photocatalysis and the underlying mechanism. J Water Process Eng. 2024;57:104628;Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2023.104628>.

10. Yang Y, Zhao D, Zhang Z, Cao Z, Shen T, Gu Z, et al. C3N4/GO@MF composites for synergistic adsorption-photocatalysis contributions to organic pollutant removal. J Photochem Photobiol A Chem. 2023;441:114729;Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jphotochem.2023.114729>.

11. Li T, Liu J, Shi F, Song X, Zhang H, Zhang H, et al. Construction of a novel highly porous BiOBr/CsxWO3@SiO2 composite aerogel: Adsorption/self-heating photocatalytic synergistic degradation of antibiotics and mechanism study. J Environ Chem Eng. 2022;10:107785;Available from: <https://doi.org/10.2139/ssrn.4018861>.

12. Ai L, Zeng Y, Jiang J. Hierarchical porous BiOI architectures: Facile microwave nonaqueous synthesis, characterization and application in the removal of Congo red from aqueous solution. Chem Eng J. 2014;235:331–9;Available from: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2013.09.046>.

13. Yangjeh MAAH. Microwave-assisted facile one-pot method for preparation of BiOI–ZnO nanocomposites as novel dye adsorbents by synergistic collaboration. J Iran Chem Soc. 2015;12(5):909–19;Available from: <https://doi.org/10.1007/s13738-014-0555-y>.

14. Hu Q, Dong J, Chen Y, Yi J, Xia J, Yin S, et al. In-situ construction of bifunctional MIL-125(Ti)/BiOI reactive adsorbent/photocatalyst with enhanced removal efficiency of organic contaminants. Appl Surf Sci. 2022;583:152423;Available from: <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2022.152423>.

15. Zeng Y, Wang Y, Chen J, Jiang Y, Kiani M, Li B, et al. Fabrication of high-activity hybrid NiTiO3/g-C3N4 heterostructured photocatalysts for water splitting to enhanced hydrogen production. Ceram Int. 2016;1–9;Available from: <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2016.04.177>.

16. Yuan P, Fan C, Ding G, Wang Y, Zhang X. Preparation and photocatalytic properties of ilmenite NiTiO3 powders for degradation of humic acid in water. Int J Miner Metall Mater. 2012;19:372–6;Available from: <https://doi.org/10.1007/s12613-012-0566-6>.

17. Kamenická B. Chemical degradation of azo dyes using different reducing agents: A review. J Water Process Eng. 2024;61;Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2024.105350>.

18. Olusakin P, Oyedolapo M, Daniel O, Taiwo M. Groundwater for sustainable development: Toxicity and decontamination strategies of Congo red dye. Groundw Sustain Dev. 2022;19:100844;Available from: <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2022.100844>.

19. Ho YS, McKay G. Sorption of dye from aqueous solution by peat. Chem Eng J. 1998;70:115–24;.

# Investigation of the adsorption of congo red dye on $\text{NiTiO}_3/\text{BiOI}$ material

Dang Thi Thom, Luong Huu Bac\*

## ABSTRACT

Water pollution caused by waste from the textile dyeing industry is becoming increasingly severe, directly affecting human health and aquatic species. Currently, numerous methods have been studied and applied by scientists, among which the adsorption method is widely researched due to its low cost, environmental safety, and relatively high efficiency in dye removal. The composite material NTO/BOI was fabricated using a precipitation deposition method at room temperature and utilized to study the adsorption of the textile dye Congo Red. The structure of the fabricated material was analyzed using X-ray diffraction (XRD) and scanning electron microscopy (SEM). This paper presents the effects of NTO content in the NTO/BOI composite, adsorption time, initial dye concentration, adsorbent mass, and solution pH on the adsorption efficiency of Congo Red dye by the fabricated material. The results indicate that the 70NTO/BOI composite material exhibits the best adsorption performance, achieving an adsorption capacity of 94 mg/g at a Congo Red concentration of 30 mg/L. The adsorption process of Congo Red dye by the composite material follows the Freundlich isotherm model and assumes second-order kinetics with a high regression coefficient of  $R^2 > 0.99$ . The adsorption process is strongly dependent on the pH of the dye solution.

**Key words:** waste, adsorption capacity, Congo Red, textile dyes

Department of Engineering Physics,  
Hanoi university of Science and  
Technology

## Correspondence

**Luong Huu Bac**, Department of  
Engineering Physics, Hanoi university of  
Science and Technology

Email: bac.luonghuu@hust.edu.vn

## History

- Received: 30-12-2023
- Revised: 13-8-2024
- Accepted: 18-02-2025
- Published Online: 31-12-2024

DOI : 10.32508/stdjns.v7iS1.1351



## Copyright

© VNUHCM Press. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International license.



**Cite this article :** Thom D T, Bac L H. Investigation of the adsorption of congo red dye on  $\text{NiTiO}_3/\text{BiOI}$  material. *Sci. Tech. Dev. J. - Nat. Sci.* 2024; 7(S1):34-42.