



Tổng hợp $MgFe_2O_4$ có kích thước nano để loại bỏ Pb^{2+} ra khỏi dung dịch nước

Synthesized $MgFe_2O_4$ nanoparticles to remove Pb^{2+} from aqueous solution

Nguyễn Nho Dũng¹, Phan Thị Kim Thu², Nguyễn Thanh Bình³, Nguyễn Giang Nam⁴, Nguyễn Mậu Thành^{5*}

¹Trường Đại học Thể dục Thể thao Đà Nẵng

²Trường Đại học Tây Nguyên

³Viện Nghiên cứu Hạt nhân

⁴Sở Giáo dục và Đào tạo Quảng Bình

⁵Trường Đại học Quảng Bình

*Email: thanhnm@quangbinhuni.edu.vn

ARTICLE INFO

Received: 10/02/2023

Accepted: 22/4/2023

Published: 30/12/2023

Keywords:

Nanosized $MgFe_2O_4$, adsorption, Pb^{2+} , Langmuir and Freundlich models

ABSTRACT

In the present paper, nanosized magnesium ferrite ($MgFe_2O_4$) material is synthesized by the hydrothermal method. The size and microstructure of magnesium ferrite were analyzed based on X-ray diffraction (XRD), scanning electron microscopy (SEM). The nitrogen adsorption-desorption was used for determination of surface area (Brunauer – Emmett – Teller (BET)) and porosity of the fabricated material. The adsorption behavior of Pb^{2+} using a new magnetic adsorbent is investigated. The adsorption characteristic and Pb^{2+} removal efficiency of the adsorbent have been determined by investigating the influence of operating variables such as dosage of manganese ferrite. The maximum Pb^{2+} sorption capacity was found to be 16,08 (mg/g) and obtained using 0,1 g/L $MgFe_2O_4$ when pH equals 5, a temperature of 25 °C, and contact time as 24 h. The Langmuir and Freundlich models were used to fit the experimental data and these showed good correlations.

Giới thiệu chung

Các ferit spinel gần đây đã nổi lên như một loại chất hấp phụ mới được ưu tiên sử dụng để xử lý nước [1]. Các vật liệu này có diện tích bề mặt cao và các vị trí hoạt động lớn để tương tác với các chất gây ô nhiễm, do đó mang lại khả năng hấp phụ cao. Các ferit spinel sở hữu các đặc tính siêu thuận từ đặc biệt, cho phép chúng dễ dàng được thu hồi từ hỗn hợp phản ứng bằng cách sử dụng từ trường bên ngoài [2]. Các ferit spinel đã được nghiên cứu để loại bỏ các chất gây ô nhiễm khác nhau trong nước như các hợp chất hữu cơ,

phosphate và kim loại độc hại [3]. Chì (Pb) là kim loại có độc tính cao; uống nước bị nhiễm ion chì có thể gây ra một số hệ lụy cho sức khỏe như thiếu máu, đau bụng, tổn thương não, các bệnh về gan, thận và ung thư [4]. Nước thải từ ngành công nghiệp sản xuất axit quy chì-axit là một trong những nguồn chính gây ô nhiễm chì. Có rất nhiều phương pháp khả thi để loại bỏ chì ra khỏi nước, chẳng hạn như trao đổi ion, quy trình màng [5], kết tủa hóa học, lọc [6] và hấp phụ [7], ... Trong số các phương pháp này, hấp phụ là một trong những công nghệ loại bỏ phổ biến nhất và đã thu hút được sự chú ý rộng rãi do có nhiều ưu điểm

như: chi phí thấp, quy trình đơn giản và hiệu quả loại bỏ cao [8]. Các nghiên cứu gần đây cho thấy rằng các ferit của spinel và vật liệu tổng hợp của chúng có khả năng hấp phụ Pb^{2+} một cách có hiệu quả [9]. Spinel magnesium ferrite ($MgFe_2O_4$) được hình thành từ các nguyên tố phong phú (Mg, Fe, O) trong vỏ trái đất, không gây độc hại cho môi trường [10]. Nó sở hữu các tính chất xúc tác quang thú vị vì màu đỏ sẫm của nó, oxit hấp thụ trong vùng khả kiến và hấp dẫn để chuyển đổi năng lượng mặt trời. $MgFe_2O_4$ kết tinh trong hệ lập phương và có nhiều ứng dụng công nghệ khác nhau như vật liệu cực dương cho pin lithium-ion [11], hoạt tính xúc tác hay quá trình tẩy trắng methyl xanh bằng ánh sáng [12], đặc biệt nó cũng đã được ứng dụng để làm chất hấp phụ cho ion kim loại trong dung dịch nước như: Co^{2+} [13], In^{3+} [14], hay Mn^{2+} , Co^{2+} , Ni^{2+} và Cu^{2+} [15], Bên cạnh đó, các hạt nano $MgFe_2O_4$ đã được sử dụng để hấp phụ thuốc kháng sinh tetracycline trong dung dịch nước. Kết quả cho thấy, tetracycline có thể dễ dàng được hấp phụ trên các hạt nano magie ferit. Do đó, nó đóng vai trò là chất hấp phụ đầy hứa hẹn để loại bỏ kháng sinh khỏi nước thải [16]. Hơn nữa, các tính chất từ như độ từ hóa bão hòa và độ nhạy từ và tốc độ sinh nhiệt của các hạt nano từ tính có thể dễ dàng được cải thiện bằng cách điều chỉnh chính xác thành phần, phân bố cation, kích thước hạt và phân bố kích thước thông qua phương pháp tổng hợp [17]. Thông thường, các phương pháp tổng hợp hạt nano ferit bao gồm phương pháp gốm, đồng kết tủa, sol-gel, phun sấy, nhiệt phân và phương pháp thủy nhiệt [18]. Trong đó, phương pháp thủy nhiệt có thể tạo ra các hạt nhỏ hơn nhiều, chẳng hạn như cụm, phân tử, ion và nguyên tử [19]. Vì vậy, trong bài báo này chúng tôi đề cập đến các kết quả nghiên cứu sự hấp phụ ion Pb^{2+} trong dung dịch nước trên vật liệu $MgFe_2O_4$ có kích thước nano được tổng hợp bằng phương pháp thủy nhiệt.

Thực nghiệm và phương pháp nghiên cứu

Hóa chất và thiết bị

Các hóa chất sử dụng trong nghiên cứu là các hóa chất tinh khiết được mua từ Hãng Merck, Đức gồm: $FeCl_3 \cdot 6H_2O$, $MgCl_2 \cdot 6H_2O$, NaOH, $Pb(NO_3)_2$, HNO_3 , CH_3COOH . Ethanol (C_2H_5OH) được mua từ Hãng Guangzhou, Trung Quốc. Nước cất hai lần (cất trên thiết bị cất nước Fistream Cyclon, England) được sử dụng để pha chế hóa chất và tráng, rửa các dụng cụ

thủy tinh. Cốc thủy tinh chịu nhiệt 100 mL, 200 mL, 500 mL, micropipet các loại, cân phân tích, máy khuấy từ gia nhiệt, cối chày mã não, lò nung, tủ sấy, bình thủy nhiệt (bộ Autoclave).

Vật liệu tổng hợp được nghiên cứu bằng các phương pháp vật lý hiện đại như: Cấu trúc và độ tinh thể của vật liệu nhận dạng bởi sự nhiễu xạ tia X (XRD) đo trên máy D8-Advance, Bruker với tia phát xạ CuK_α có bước sóng $\lambda = 1,5406 \text{ \AA}$, công suất 40 KV, góc quét 20° đến 80° , ở nhiệt độ phòng. Hình thái của sản phẩm quan sát bằng quét kính hiển vi điện tử (SEM) trên máy JMS-5300LV (Mỹ) ở 10 kV. Diện tích bề mặt riêng được xác định bằng đường đẳng nhiệt hấp phụ-giải hấp nitơ sử dụng Micromeritics Tristar 3000, nơi các mẫu trước đó đã được khử khí ở $120^\circ C$ trong 12 giờ, tiến hành gia nhiệt từ 120 đến $180^\circ C$ với thời gian thay đổi trong khoảng 6-12 giờ.

Tổng hợp $MgFe_2O_4$

Cho 1,017 g $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ và 2,716 g $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ vào một cốc thủy tinh 250 mL, thêm 180 mL nước cất, dùng máy khuấy từ khuấy đều thu được dung dịch A. Hòa tan 1,650 g NaOH vào 20 mL nước cất, sau đó nhỏ từng giọt dung dịch NaOH vào bình chứa dung dịch A tiếp tục khuấy đều bằng máy khuấy từ, giữ dung dịch ở nhiệt độ phòng trong thời gian 15 phút, xuất hiện kết tủa màu nâu đen (B). Cho hỗn hợp B vào bình teflon 250 mL đầy nắp rồi đưa vào bộ Autoclave, vặn chặt. Thủy phân hỗn hợp trên bằng cách cho bộ Autoclave có chứa dung dịch B vào lò nung. Tiến hành gia nhiệt ở nhiệt độ là $180^\circ C$ với thời gian 12 giờ [9, 20], sau đó để nguội bình thủy nhiệt đến nhiệt độ phòng, thu được dung dịch chứa kết tủa và các chất hoà tan. Gạn lấy kết tủa rồi rửa bằng ethanol và nước cất nhiều lần đến $pH \approx 7$. Cuối cùng sản phẩm được sấy khô ở $60^\circ C$ trong vòng 12 giờ, nghiền mịn ta được magnesium ferrite ($MgFe_2O_4$).

Nghiên cứu khả năng hấp phụ Pb^{2+} trên vật liệu $MgFe_2O_4$

Để khảo sát khả năng hấp phụ Pb^{2+} của vật liệu magnesium ferrite ($MgFe_2O_4$), chúng tôi sử dụng phương pháp hấp phụ tĩnh. Cho 100 mL dung dịch chứa Pb^{2+} với nồng độ ban đầu khác nhau từ 20, 40, 60, 80, 100 và 150 mg/L vào cốc bình tam giác đã có chứa 0,1 gam vật liệu $MgFe_2O_4$. Quá trình hấp phụ được tiến hành trong các điều kiện: $pH = 5$, tốc độ khuấy là 240 rpm, thời gian khuấy 24 giờ và ở nhiệt độ phòng khoảng $25^\circ C$. Sau khoảng thời gian 24

giờ, các mẫu được lọc để thu lấy dịch lọc. Nồng độ bằng máy quang phổ hấp thụ nguyên tử (AA-7000-Shimadzu). Tất cả các thí nghiệm được lặp lại 3 lần và lấy kết quả trung bình cộng.

Hàm lượng Pb^{2+} bị hấp phụ (milligram) trong mỗi gram vật liệu được xác định bằng cách sử dụng phương trình cân bằng khối lượng sau đây [21]:

$$q = \frac{(C_0 - C_e) \times V}{m} \quad (1) \text{ và hiệu suất hấp phụ được tính}$$

bằng công thức: $H\% = \frac{(C_0 - C_e)}{C_0} \times 100$ (2). Trong

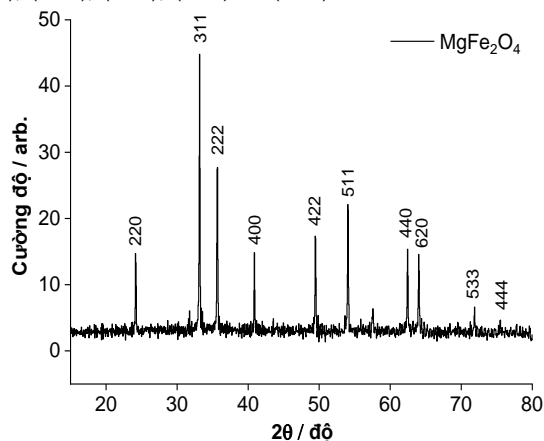
đó, q là hàm lượng ion kim loại bị hấp phụ (mg/g) ở trạng thái cân bằng, C_0 và C_e là nồng độ ban đầu và nồng độ cân bằng (mg/L) tương ứng. V là thể tích dung dịch (L) và m là khối lượng (g) của vật liệu hấp phụ được sử dụng.

Kết quả và thảo luận

Đặc trưng vật liệu bằng XRD

Phương pháp nhiễu xạ tia X là một trong những phương pháp thường được sử dụng để nhận dạng cấu trúc và độ tinh thể của vật liệu. Nó còn cho phép tính toán kích thước hạt và phân tích bán định lượng hàm lượng các chất có trong vật liệu. Kết quả phân tích bằng nhiễu xạ tia X được thể hiện trên hình 1. Từ hình 1 cho thấy, sự hình thành pha của vật liệu ferit đã được chuẩn bị là tinh thể nano magnesium ferrite. Dữ liệu được thu thập ở phạm vi 2θ từ 20 đến 80 độ. Các đỉnh nhiễu xạ phù hợp với thẻ dữ liệu nhiễu xạ tiêu chuẩn quốc tế (thẻ JCPDS số 17-0464) [22]. Thật vậy,

của ion kim loại trong dung dịch lọc được xác định mẫu XRD chứa các đường sắc nét trùng với dữ liệu chuẩn của pha spinel $MgFe_2O_4$ có cấu trúc khối lập phương. Các đỉnh nhiễu xạ ở 2θ thu được lần lượt ở 24,1; 33,2; 35,6; 40,9; 49,2; 54,0; 62,4; 63,9; 71,8 và 75,5 tương ứng cho mặt phẳng tinh thể của spinen magnesium ferrite là (220), (311), (222), (400), (422), (511), (440), (620), (533) và (444).

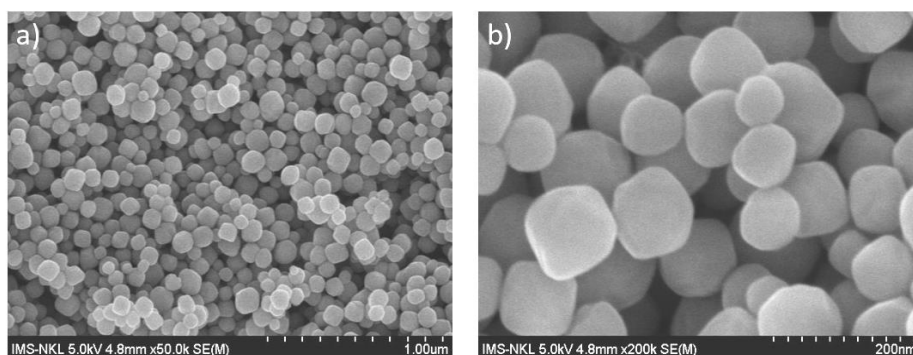


Hình 1: Giải đồ XRD của vật liệu $MgFe_2O_4$

Đặc trưng các vật liệu bằng ảnh SEM

Để quan sát được hình thái học bề mặt của vật liệu, chúng tôi tiến hành khảo sát vật liệu $MgFe_2O_4$ qua ảnh hiển vi điện tử quét SEM với độ phóng 1 μ m và 200 nm, kết quả hiện trên hình 2.

Từ hình 2 cho thấy sự hình thành của chất rắn xốp kết tụ nhiều hạt với các tinh thể nhỏ rời rạc có hình dạng tương tự như các hạt cầu, có cấu trúc rõ ràng, tương đối đồng đều, với đường kính trong khoảng 20 nm < d < 50 nm.

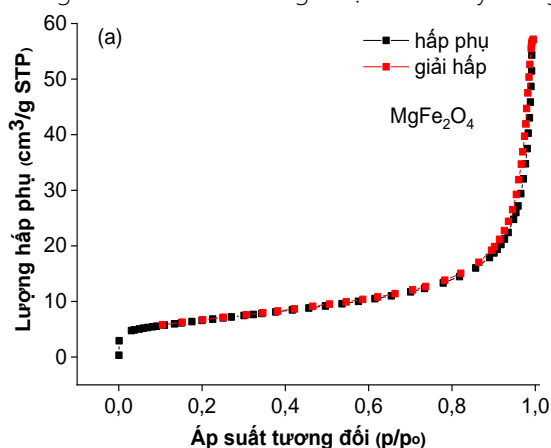


Hình 2: Ảnh SEM của vật liệu $MgFe_2O_4$ ở độ phóng khác nhau: a) 1 μ m và b) 200 nm

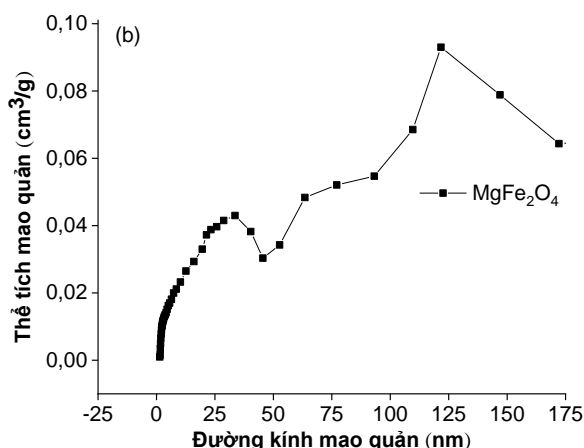
Đặc trưng bằng phương pháp đẳng nhiệt hấp phụ - giải hấp phụ BET

Khả năng hấp phụ bề mặt của các hạt nano magnesium ferrite được xác định bằng kỹ thuật diện tích bề mặt Brunauer – Emmett – Teller (BET) sử dụng <https://doi.org/10.62239/jca.2023.077>

các nghiên cứu hấp phụ / giải hấp N₂ và phân bố mao quản trung bình theo BJH cũng được trình bày trong



lần lượt trong hình 3a và 3b.



Hình 3: Giảm đồ hấp phụ - giải hấp N₂ (a) và phân bố mao quản (b) của MgFe₂O₄

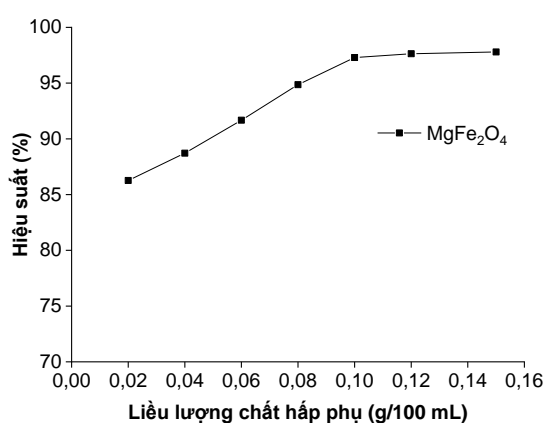
Từ đường đẳng nhiệt hấp phụ/giải hấp nitơ của mangan ferit ở hình 3a, có thể thấy đây là đường cong đẳng nhiệt thuộc loại III theo phân loại IUPAC. Kết quả cho thấy, diện tích bề mặt riêng tính theo mô hình BET là 22,25 m²·g⁻¹. Bên cạnh đó, từ hình 3b cho thấy vật liệu có cấu trúc đa mao quản, phân bố rộng, pic tập trung trong khoảng 1,5 đến 50 nm phù hợp với nhận định khi quan sát ảnh SEM và xuất hiện các vùng mao

quản lớn có đỉnh pic ở 121 nm. Mặt khác, đường kính đa mao quản nên thể tích lỗ trống khác nhau phù hợp cho quá trình hấp phụ các phân tử có kích thước khác nhau. Điều này chứng tỏ vật liệu MgFe₂O₄ tổng hợp được có khả năng hấp phụ tốt những phân tử nhỏ cũng như những phân tử cồng kềnh như phẩm nhuộm và ngay cả kim loại nặng [23].

Khả năng hấp phụ ion chì trong nước của các hạt nano MgFe₂O₄

Ảnh hưởng của liều lượng chất hấp phụ

Một trong những thông số quan trọng nhất để loại bỏ kim loại nhanh chóng và hiệu quả là kích thước và lượng chất hấp phụ phải được tối ưu hóa.



Hình 4: Ảnh hưởng của liều lượng tới hiệu suất hấp phụ

Liều lượng chất hấp phụ là một thông số quan trọng trong nghiên cứu hấp phụ vì nó quyết định khả năng của chất hấp phụ đối với một nồng độ ban đầu nhất định của dung dịch chì. Do đó, chúng tôi khảo sát ảnh hưởng của khối lượng hạt nano MgFe₂O₄ đến phần

trăm Pb²⁺ bị hấp phụ từ môi trường nước trong khoảng khối lượng chất hấp phụ là 0,02– 0,15 g/100

mL, ở nồng độ Pb²⁺ là 10 mg/L, giá trị pH = 5 và nhiệt độ 25 ° C, kết quả thể hiện ở hình 4.

Từ hình 4 cho thấy, trong khoảng 0,02 - 0,1 g hiệu suất hấp phụ Pb²⁺ tăng tương đối nhanh và dần ổn định trong khoảng khối lượng 0,1 – 0,15 g. Khả năng hấp phụ giảm là do các vị trí còn lại đã bão hòa trong quá trình hấp phụ. Mặt khác, sự gia tăng tỷ lệ phần trăm hấp phụ của các ion Pb²⁺ này có thể là do sự gia tăng các vị trí hấp phụ về phía các ion kim loại và diện tích bề mặt của chất hấp phụ [24]. Tuy nhiên đến một giá trị nhất định hiệu quả hấp phụ là cực đại thì việc tăng liều lượng chất hấp phụ không còn ý nghĩa, do vậy chúng tôi chọn liều lượng chất hấp phụ là 0,1 g để sử dụng cho nghiên cứu tiếp theo.

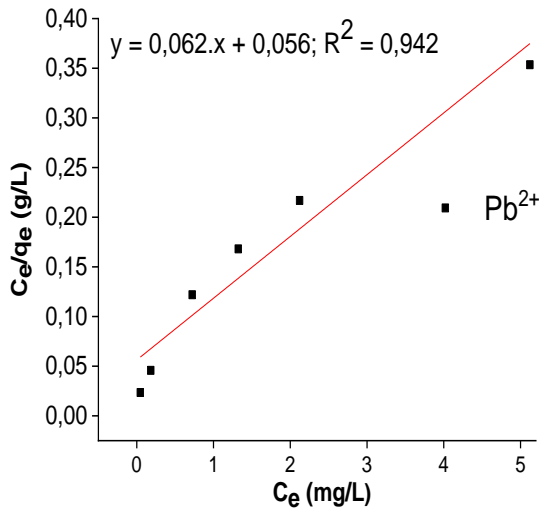
Mô hình đẳng nhiệt Langmuir

Mô hình đường đẳng nhiệt Langmuir được dùng để đánh giá khả năng hấp phụ tối đa trên bề mặt đơn lớp của vật liệu magnesium ferrite, theo phương trình:

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_{\max} \cdot K_L} + \frac{1}{q_{\max}} \cdot C_e \quad (3).$$

Trong đó, q_e (mg/g) là lượng chất tan bị hấp phụ tại thời điểm cân bằng của mỗi thí nghiệm, q_{max} (mg/g) là lượng chất tan bị hấp

phụ cực đại ứng với trường hợp tất cả các tâm trên bề mặt chất hấp phụ đã bị chiếm, K_L là hằng số hấp phụ Langmuir (L/mg), C_e là nồng độ chất bị hấp phụ trong pha lỏng tại thời điểm cân bằng (mg/L). Như vậy, bề mặt chất hấp phụ sẽ đạt đến điểm bão hòa tại đó mức hấp phụ cực đại đạt được. Khi áp dụng phương trình tuyến tính của mô hình đẳng nhiệt Langmuir được đưa ra bởi công thức (3), thì đồ thị tuyến tính đã thu được thể hiện ở hình 5.



Hình 5: Đồ thị đường đẳng nhiệt Langmuir

Sự tương thích của mô hình Langmuir thường được đánh giá thông qua hằng số phân tách không thứ nguyên R_L , [25] như phương trình: $R_L = \frac{1}{1 + C_0 \cdot K_L}$ (4).

Nếu: $R_L < 1$ thì mô hình tương thích; $R_L = 0$ thì mô hình tuyến tính; $R_L > 1$ thì không tương thích. Và dựa vào mô hình đẳng nhiệt Langmuir có thể xác định được khả năng hấp phụ tối đa (q_{max}) trên bề mặt đơn lớp của vật liệu. Từ hình 5 cho thấy, mô hình hấp phụ đẳng nhiệt Langmuir mô tả tương đối chính xác sự hấp phụ Pb^{2+} trên vật liệu $MgFe_2O_4$ thông qua hệ số xác định của quá trình hồi quy là $R^2 = 0,942$. Từ phân tích hồi quy trên ta tính được dung lượng hấp phụ cực đại và hằng số hấp phụ K_L của Pb^{2+} . Sau khi xác định được hằng số hấp phụ K_L , để xác định quá trình hấp phụ ion kim loại trên vật liệu $MgFe_2O_4$ có phù hợp với dạng hấp phụ đơn lớp theo mô tả của mô hình Langmuir hay không, tham số cân bằng R_L được tính toán và

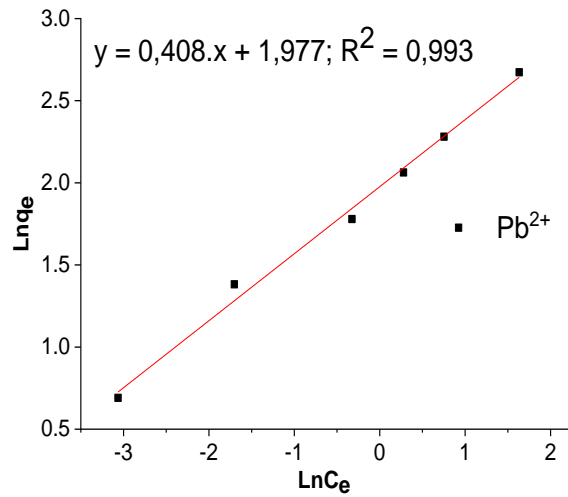
phân tích. Tham số R_L được tính dựa trên công thức (4) thu được kết quả thể hiện như trong bảng 1.

Mô hình đẳng nhiệt Freundlich

Đẳng nhiệt Freundlich: mô hình hấp phụ đẳng nhiệt Freundlich dựa trên liên quan thực nghiệm hấp phụ của chất bị hấp phụ trên bề mặt dị thể. Phương trình Freundlich dạng tuyến tính được diễn tả qua phương

trình 5 [26]. $\ln q_e = \frac{1}{n} \cdot \ln C_e + \ln K_F$ (5). Trong đó, C_e

(mg/L) là nồng độ tại thời điểm cân bằng và q_e (mg/g) là lượng ion kim loại bị hấp phụ trên một đơn vị khối lượng vật liệu hấp phụ. Hằng số n là số mũ trong phương trình Freundlich, đặc trưng cho tính không đồng nhất về năng lượng của bề mặt hấp phụ. Hệ số $1/n$ là hệ số không đồng nhất và n là số đo độ lệch so với tuyến tính của sự hấp phụ, giá trị của nó cho biết mức độ không tuyến tính giữa nồng độ dung dịch và chất hấp phụ như sau: nếu giá trị của $n = 1$ thì sự hấp phụ là tuyến tính; nếu $n < 1$ thì quá trình hấp phụ là quá trình vật lý và thuận lợi. K_F là hằng số Freundlich để chỉ khả năng hấp phụ tương đối của các vật liệu hấp phụ. Đồ thị của phương trình đẳng nhiệt Freundlich được biểu thị trên hình 6 và các thông số của đường đẳng nhiệt được đưa ra trong bảng 1.



Hình 6: Đồ thị đường đẳng nhiệt Freundlich

Bảng 1: Các giá trị thực nghiệm và thông số mô hình Langmuir và Freundlich đối với quá trình hấp phụ Pb^{2+} trên $MgFe_2O_4$

Langmuir	16,08	1,11	-	-	0,942	$0,006 < R_L < 0,04$
Freundlich	-	-	2,45	5,51	0,993	-

Hình	Các thông số của hai mô hình Langmuir và Freundlich				
	q_{max} (mg/g)	K_L	n	K_F	R^2

kết quả ở bảng 1 cho thấy, dữ liệu hấp phụ phù hợp với mô hình Langmuir, dung lượng hấp phụ cực đại tính theo mô hình này là 16,08 mg/g và giá trị R_L nằm trong khoảng $0 < R_L < 1$ nên quá trình hấp phụ là thuận lợi

[21]. Bên cạnh đó, giá trị thu được $n > 1$ (tức $1/n < 1$) cho ta thấy mô hình đẳng nhiệt Freundlich là phù hợp với quá trình hấp phụ của Pb^{2+} trên vật liệu $MgFe_2O_4$ và hấp phụ trong điều kiện bề mặt hạt không đồng nhất. Bên cạnh đó, ở mô hình Freundlich có $R^2 = 0,993$ cao hơn so với mô hình Langmuir ($R^2 = 0,942$) nên mô hình

Freundlich hợp lý hơn và chứng tỏ vật liệu không đồng đều về mặt năng lượng. Từ kết quả dung lượng hấp phụ (q_{max}) ở trên, chúng tôi đem so sánh với một số công trình đã được công bố trước đây khi sử dụng các chất hấp phụ khác nhau để hấp phụ ion Pb^{2+} , kết quả được thể hiện ở bảng 2.

Bảng 2: So sánh khả năng hấp phụ Pb^{2+} với một số nghiên cứu trước đây

TT	Chất hấp phụ	$[Pb^{2+}]$ ban đầu (mg/L)	Dung lượng hấp phụ (mg/g)	pH	Tài liệu tham khảo
1	Manganese Ferrite Nanoparticles	20	7,14	8,0	[27]
2	Montmorillonite	6	10,40	6,0	[28]
3	Goethite	6	11,04	6,0	[28]
4	Oxidized MWCNTs	10	2,06–11,70	7–10	[29]
5	Manganese oxide-coated sand	80	1,34	4,3	[30]
6	Carbon nanotubes	30	12,41	5,0	[31]
7	Copper ferrite	10	17,83	4,5	[32]
8	Kaolinite	50	11,20	5,7	[33]
9	Vật liệu nano $MgFe_2O_4$	10	16,08	5,0	Nghiên cứu này

Qua bảng 2 cho thấy, khả năng hấp phụ Pb^{2+} trong dung dịch nước của các hạt nano $MgFe_2O_4$ mà chúng tôi tổng hợp được là đáng chú ý so với các chất hấp phụ hiện đã được công bố trước đây. Do đó, các hạt nano $MgFe_2O_4$ có thể là một vật liệu đầy hứa hẹn được

sử dụng trong hấp phụ. Bởi các hạt nano $MgFe_2O_4$ khi đã nạp các ion Pb^{2+} có thể được tái sinh bằng dung dịch NaOH 0,01 M. Sau lần tái sinh thứ tư, nó có thể được làm khô và sử dụng trong xây dựng, xử lý an toàn và tiết kiệm [34].

Kết luận

Các hạt nano magnesium ferrite ($MgFe_2O_4$) đã được tổng hợp bằng phương pháp thủy nhiệt với kỹ thuật đồng kết tủa được sử dụng. Kết quả phân tích XRD đã chứng minh sự phát triển theo cấu trúc spinel của các hạt nano. Bên cạnh đó, phân tích SEM và BET cho thấy các hạt ferit tương tự như các hạt cầu, được phân bố khá đồng nhất, kích thước hạt của mẫu trong khoảng từ 20 nm đến 50 nm và có diện tích bề mặt $S_{BET} = 22,25$ m²/g. Hạt nano $MgFe_2O_4$ này đã được nghiên cứu để hấp phụ chì trong nước. Kết quả cho

thấy, quá trình hấp phụ của ion Pb^{2+} trên vật liệu nano $MgFe_2O_4$ tổng hợp được đều tuân theo cả hai mô hình hấp phụ đẳng nhiệt Freundlich và Langmuir, ion Pb^{2+} hấp phụ đơn lớp trên các hạt nano và hấp phụ trong điều kiện bề mặt hạt không đồng nhất, quá trình hấp phụ là quá trình vật lý

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi đề tài cơ sở trọng điểm Trường Đại học Tây Nguyên, mã số T2023-01CBTĐ.

Tài liệu tham khảo

- Kefeni KK, Mamba BB, Msagati TA. Separation Purification Technology 188 (2017) 399-422. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2017.07.015>.
- Baig RN, Nadagouda MN, Varma RS. Coordination Chemistry Reviews 287 (2015) 137-156. <https://doi.org/10.1016/j.ccr.2014.12.017>.
- Jia Z, Qin Q, Liu J, Shi H, Zhang X, Hu R, et al. T Superlattices Microstructures 82 (2015) 174-187. <https://doi.org/10.1016/j.spmi.2015.01.028>.
- Wang L, Lei T, Ren Z, Jiang X, Yang X, et al. Journal of Electroanalytical Chemistry 864 (2020) 114-125. <https://doi.org/10.1016/j.jelechem.2020.114065>.
- Huang L, Wu B, Wu Y, Yang Z, Yuan T, Alhassan SI, et al. Journal of colloid interface science 565 (2020) 465-473. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2020.01.035>.
- Zhang S, Shi Q, Christodoulatos C, Korfiatis G, Meng X. Chemical Engineering Journal. 370 (2019) 1262-1271. <https://doi.org/10.62239/jca.2023.077>

1273. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.03.294>.
7. Kuganathan N, Anurakavan S, Abiman P, Iyngaran P, Gkana Chronos A. *Physica B: Condensed Matter* 600 (2021) 412-439 <https://doi.org/10.1016/j.physb.2020.412639>.
8. Park J-H, Ok YS, Kim S-H, Cho J-S, Heo J-S, Delaune RD, e22. *Chemosphere* 142 (2016) 77-83. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.05.093>.
9. He X, Che R, Wang Y, Li Y, Wan L, Xiang X. *Journal of Environmental Chemical Engineering* 3(3) (2015) 1720-1 <https://doi.org/10.1016/j.jece.2015.06.013>
10. Hammache Z, Soukeur A, Omeiri S, Bellal B, Trari MJJoMS. *Journal of Alloys and Compounds*, 2011, Vol. 509(25): 7038-7041. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2011.03.123>
11. Sivakumar N, Gnanakan S, Karthikeyan K, Amaresh S, Yoor Park G, et al, 509(25) 2011 7038-7041. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2011.03.123>
12. Arimi A, Megatif L, Granone LI, Dillert R, Bahnemann DWJ Chemistry PA. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry* 366 (2018) 118-126. <https://doi.org/10.1016/j.jphotochem.2018.03.014>.
13. Srivastava V, Sharma Y, Sillanpää M, *Applied Surface Science* (2015) 42-54. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2015.02.072>.
14. Ciocărlie L, Negrea A, Ciopec M, Duteanu N, Negrea P, Ianași I29. *Materials Chemistry* 15(20) 2022 1 -17.
15. Ivanets A, Srivastava V, Roshchina MY, Sillanpää M, Prozorovic Pankov V, *Ceramics International* 44(8) 2018 9097-9104. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2018.02.117>.
16. Becker A, Kirchberg K, Marschall RJZfPC. *Chem* 234(4) 2020 643-654. <https://doi.org/10.1515/zpch-2019-1430>
17. Gonzales-Weimuller M, Zeisberger M, Krishnan KM, *Journal of magnetism magnetic materials* 321(13) (2009) 1947-132. <https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2008.12.017>.
18. Zhang D, Zhang X, Ni X, Song J, Zheng H, *Chemical Physics Letters*. 426(1-3) 2006 120-130. <https://doi.org/10.1016/j.cplett.2006.05.100>.
19. Rozman M, Drofenik M, *Journal of the American Ceramic Society* 78(9) 1995 2449-2455. <https://doi.org/10.1111/j.1151-2916.1995.tb08684.x>.
20. Guo P, Cui L, Wang Y, Lv M, Wang B, Zhao X, *Langmuir*, 2013, vol. 29(28): 8997-9003. <https://doi.org/10.1021/la401627x>
21. Tsai W-C, Ibarra-Buscato S, Kan C-C, Futalan CM, Dalida MLP, Wan M-W, *Desalination Water Treatment* 57(21) (2016) 9799-9812, <https://doi.org/10.1080/19443994.2015.1035676>
22. Guo Y, Zhu Y, Yuan C, Wang C. *Materials Letters* 199 (2017) 101-114. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2017.04.069>.
23. Rahman Mha. *Physical and Chemical Properties, Sains Malaysiana* 49(9) (2020) 2261-2275. <http://dx.doi.org/10.17576/jsm-2020-4909-23>.
24. Hassan MR, Fikry RM, Yakout SM. *Journal of Materials* 146(4):1-13 (2020) <https://doi.org/10.1016/j.jm.2020.04.011>
25. Meng M, Yang L, Wei B, Li H, Yu JJJoE. *Journal of Ecology and Rural Environment*. 34(11) (2018) 1019-1026.
26. Freudlich HJZPC, *Über die adsorption in losungen*. 57 (1906) 385-470.
27. Sidhaarth KA, Jeyanthi J. *Asian Journal of Chemistry*. 25(17) (2013) 9920-9936.
28. Wu Z, Gu Z, Wang X, Evans L, Guo H. *Environmental Pollution* 121(3) (2003) 469-475. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(02\)00272-5](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(02)00272-5).
29. Xu D, Tan X, Chen C, Wang X. *Journal of hazardous materials* 154(1-3) (2008) 407-416. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.10.059>
30. Han R, Zou W, Zhang Z, Shi J, Yang J. *Journal of Hazardous Materials* 137(1) (2006) 384-395. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.02.021>.
31. Li Y-H, Di Z, Ding J, Wu D, Luan Z, Zhu Y. 39(4) (2005) 605-619. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2004.11.004>.
32. Tu Y-J, You C-F, Chen M-H, Duan Y-P, *Journal of The T Taiwan Institute of Chemical Engineers* 71: (2017) 197-205. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2016.12.006>.
33. Gupta SS, Bhattacharyya KG. *Applied Clay Science* 30(3-4) (2005) 199-208. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2005.03.008>.
34. Hassan MR, Aly MI, AQUA—Water Infrastructure, Ecosystems Society 70(6) (2021) 901-1120. <https://doi.org/10.2166/aqua.2021.132>.