NGHIÊN CỨU KHẢ NĂNG HẤP PHỤ Fe(III) CỦA THAN CHẾ TẠO TỪ CÂY SEN HOẠT HÓA BẰNG AXIT SUNFURIC

Vũ Thị Hậu
Trường Đại học Sư phạm - ĐH Thái Nguyên

TÓM TẮT

Bài báo này trình bày các kết quả nghiên cứu về khả năng hấp phụ Fe(III) của than chế tạo từ cây sen (than sen) hoạt hóa bằng H_2SO_4. Các thí nghiệm hấp phụ tĩnh được tiến hành với các thông số sau: khối lượng than sen: 0,05g; thể tích dung dịch Fe(III): 50mL; pH ~2,5; tốc độ lắc 250 vòng/phút; thời gian đạt cân bằng hấp phụ là 120 phút ở nhiệt độ phòng (25±1^{o}C). Trong khoảng nhiệt độ khảo sát từ 303 ÷ 323K, xác định được các giá trị $\Delta G^o < 0$; ΔH^o = - 6,65 kJ/mol chứng tỏ quá trình là tự xảy ra và tỏa nhiệt. Mô tả quá trình hấp phụ theo mô hình đẳng nhiệt Langmuir và Freundlich cho thấy quá trình hấp phụ Fe(III) trên than sen phù hợp với mô hình Langmuir. Dung lượng hấp phụ cực đại ở 298K theo mô hình đẳng nhiệt hấp phụ Langmuir là 35,71mg/g. Dung lượng hấp phụ động tương ứng với tốc độ dòng 1,5; 2,0 và 2,5 mL/phút lần lượt là 20,61; 18,91 và 15,94 mg/g. Dùng dung dịch HNO_3 để giải hấp thu hồi Fe(III) cho hiệu suất tương đối cao.

Từ khóa: *hấp phụ, Fe(III), than, sen, đẳng nhiệt Langmuir.*

Ngày nhận bài: 27/02/2019; Ngày hoàn thiện: 25/3/2019; Ngày duyệt đăng: 07/5/2019

STUDY ON ADSORPTION CAPACITY OF Fe(III) ON CARBON DERIVED FROM LOTUS ACTIVE BY SULFURIC ACID

Vu Thi Hau
University of Education - TNU

ABSTRACT

This paper focus on the adsorption of Fe(III) in aqueous solution on carbon derived from lotus activated by sulfuric acid. The experiments were conducted using the following parameters: absorbent mass is 0.05g; the solution volume is 50 mL; pH = 2.5; shaking speed is 250 rounds/minute; equilibrium time is 120 minute at room teperature (25±1^{0}C); optimal volume of adsorbent was 0.5 g ($V_{Fe(III)}$= 50mL; $C_{o,\ Fe(III)}$ ~ 50 mg/L). In the temperature range of 303 - 323K, the values of $\Delta G^o < 0$; ΔH^o = -6.65 kJ/mol implicates that the process is self-inflicted and exothermic. Description of adsorption process according to Langmuir and Freundlich isotherm models shows that Fe (III) adsorption on carbon lotus is suitable for Langmuir model. Maximum adsorption capacity is calculated by the Langmuir adsorption isotherm model as 35.71 mg/g at 298K. Moving capacity corresponds to the flow rate of 1.5; 2.0 and 2.5 mL/min of 20.61; 18.91 and 15.94 mg/g, respectively. HNO_3 of solution was used to recover Fe(III) with high effective elution.

Key words: *adsorption, Fe(III), carbon, lotus, Langmuir isotherm*.

Received: 27/02/2019; Revised: 25/3/2019; Approved: 07/5/2019

* Corresponding author: *Email: vuthihaukhoahoa@gmail.com*

1. Mở đầu

Ngày nay cùng với sự phát triển các ngành công nghiệp, giao thông … đã làm gia tăng các chất gây ô nhiễm. Nguồn nước ô nhiễm là một trong những vấn đề quan trọng đối với mỗi quốc gia. Các chất gây ô nhiễm có thể là thuốc trừ sâu, kim loại nặng, thuốc nhuộm chứa các chất hữu cơ – là những chất gây nguy hiểm đối với sức khỏe con người. Sắt là nguyên tố vi lượng, cần cho cơ thể con người. Tuy nhiên, cơ thể người hấp thu lượng sắt vượt quá mức cần thiết thì lượng sắt thừa này lại trở nên độc. Những độc tính của sắt thường gặp là: chứng chán ăn, tiểu ít, tiêu chảy, hạ thân nhiệt, thêm vào đó có thể bị tắc nghẽn mạch máu của đường tiêu hóa, não, tim, gan, trên thận và tuyến ức [1-2]. Nhiều phương pháp xử lý nguồn nước hiệu quả mà chi phí thấp đã được tìm kiếm: hấp phụ [5-9], điện hóa [3], trao đổi [4] được sử dụng rộng rãi bởi cấu trúc lỗ và diện tích bề mặt riêng lớn của nó. Chất hấp phụ có thể có nguồn gốc từ các sản phẩm công nghiệp, thực vật hoặc phế thải nông nghiệp, chất thải rắn. Trong bài báo này, chúng tôi nghiên cứu khả năng hấp phụ Fe(III) theo phương pháp hấp phụ tĩnh và hấp phụ động, sử dụng chất hấp phụ là than chế tạo từ cây sen hoạt hóa bằng axit sunfuric.

2. Thực nghiệm

2.1 Hóa chất và thiết bị nghiên cứu

2.1.1 Hóa chất:

Dung dịch chuẩn $Fe(NO_3)_3$ 1000 ± 2 mg/L (Merck); HNO_3 65%; 1,10 – phenanthroline (Merck); Hydroquinone (Merck); CH_3COOH 99%; CH_3COONa. Tất cả hóa chất trên đều có độ tinh khiết PA.

2.1.2 Thiết bị nghiên cứu: Máy lắc, tủ sấy, máy đo pH, thiết bị rây, cân phân tích 4 số, máy quang phổ hấp thụ phân tử UV- 1240.

2.2 Chế tạo vật liệu hấp phụ

Chuẩn bị nguyên liệu và quy trình chế tạo vật liệu hấp phụ đã được trình bày trong nghiên cứu trước [7].

2.3 Quy trình thực nghiệm và các thí nghiệm nghiên cứu

2.3.1 Quy trình thực nghiệm

Trong mỗi thí nghiệm hấp phụ tĩnh:

- Thể tích dung dịch Fe(III): 50 mL với nồng độ xác định.

- Lượng chất hấp phụ: 0,05 g

-Thí nghiệm được tiến hành ở nhiệt độ phòng (25 ± 1^0C), sử dụng máy lắc với tốc độ 250 vòng/phút.

Trong mỗi thí nghiệm hấp phụ động:

- Lượng chất hấp phụ là 0,5 g;

- Nồng độ ban đầu của dung dịch Fe(III): 49,5 mg/L.

- Thể tích lấy mẫu cho mỗi lần phân tích là 50 mL.

Trong mỗi thí nghiệm giải hấp:

- Chất rửa giải là HNO_3 có nồng độ xác định.

- Thể tích lấy mẫu cho mỗi lần phân tích là 10 mL.

2.3.2 Các thí nghiệm nghiên cứu:

+ Các thí nghiệm khảo sát một số yếu tố ảnh hưởng đến quá trình hấp phụ Fe(III) của than sen theo phương pháp hấp phụ tĩnh được tóm tắt trong bảng 1.

Bảng 1. *Các thông số hấp phụ*

Thông số hấp phụ / Một số yếu tố ảnh hưởng	Nồng độ đầu Fe^{3+} (mg/L)	pH	Thời gian (phút)	Nhiệt độ (K)
pH	53,78	1÷ 2,5	120	298
Thời gian	54,28	tối ưu	10 ÷ 150	298
Nhiệt độ	51,32	tối ưu	tối ưu	303 ÷ 323
Nồng độ đầu và xác định q_{max}	22,68 ÷ 156,95	tối ưu	tối ưu	298

+ Thí nghiệm hấp phụ Fe(III) của than sen theo phương pháp hấp phụ động:

- Ảnh hưởng của tốc độ dòng chảy: Tốc độ dòng nghiên cứu: 1,5; 2,0; 2,5 mL/phút; pH của dung dịch Fe(III) được điều chỉnh đến pH tối ưu.

- Thí nghiệm giải hấp phụ: dùng dung dịch HNO_3 có nồng độ 0,5; 1,0 và 1,5M để thực hiện giải hấp Fe(III).

Hiệu suất hấp phụ của quá trình hấp phụ được tính theo công thức:

$$H = \frac{C_o - C_t}{C_o}.100\% \quad (1)$$

Trong đó:

- H: hiệu suất hấp phụ (%)

- C_o, C_t: nồng độ ban đầu và nồng độ tại thời điểm t của dung dịch Fe(III) (mg/L)

Mô hình hấp phụ đẳng nhiệt Langmuir:

$$\frac{C_{cb}}{q} = \frac{1}{q_{max}} C_{cb} + \frac{1}{q_{max}.K_L} \quad (2)$$

Mô hình hấp phụ đẳng nhiệt Freundlich:

$$\lg q = \lg K_F + \frac{1}{n}.\lg C_{cb} \quad (3)$$

Trong đó:

- q, q_{max}: dung lượng hấp phụ và dung lượng hấp phụ cực đại (mg/g).

- C_{cb}: nồng độ Fe(III) tại thời điểm cân bằng (mg/L).

- K_L: hằng số Langmuir

- K_F: hằng số Freundlich

- n: hằng số và n >1.

Sự biến thiên năng lượng tự do (ΔG^o), entanpi (ΔH^o) và entropi (ΔS^o) của quá trình hấp phụ được tính toán bằng cách sử dụng các phương trình sau [7]:

$$K_C = \frac{q_e}{C_{cb}} \quad (4);$$

$$\Delta G^o = -RT \ln K_C \quad (5);$$

$$\ln K_C = -\frac{\Delta G^o}{RT} = -\frac{\Delta H^o}{RT} + \frac{\Delta S^o}{R} \quad (6)$$

Trong đó: K_C: hằng số cân bằng; R: hằng số khí (R = 8,314 J/mol.K); T: nhiệt độ (K).

3. Kết quả và thảo luận

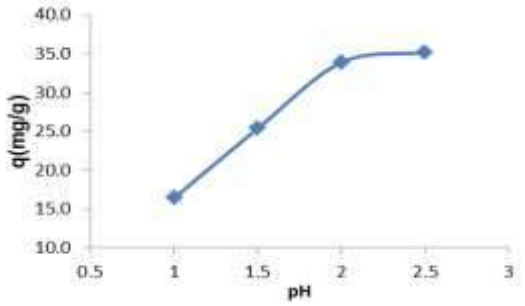
3.1 Một số đặc điểm bề mặt của than sen chế tạo được

Một số tính chất lý hóa của than sen chế tạo được bằng cách hoạt hóa với axit sunfuric như: diện tích bề mặt riêng (BET); ảnh hiển vi điện tử quét (SEM); phổ tán sắc năng lượng (EDX); chỉ số hấp phụ iot; điểm đẳng điện đã được trình bày trong nghiên cứu trước [7]. Ở đây chỉ tóm tắt một số thông số của than sen chế tạo được: diện tích bề mặt riêng là 10,35 m^2/g; chỉ số hấp phụ iot là 762 mg/g; điểm đẳng điện là pI = 6,31.

3.2 Khảo sát một số yếu tố ảnh hưởng đến quá trình hấp phụ Fe(III) của than sen theo phương pháp hấp phụ tĩnh

3.2.1 Ảnh hưởng của pH

Sự hấp phụ ion kim loại nặng phụ thuộc nhiều vào pH trong dung dịch. Kết quả nghiên cứu ảnh hưởng của pH đến dung lượng hấp phụ Fe(III) của than sen được trình bày ở hình 1.

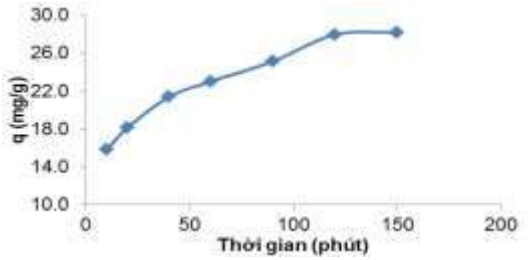


Hình 1. *Ảnh hưởng của pH đến dung lượng hấp phụ Fe(III) của than sen*

Kết quả hình 1 cho thấy trong khoảng pH khảo sát khi pH tăng thì dung lượng hấp phụ ion Fe^{3+} của than sen tăng. Điều này có thể được giải thích như sau: khi pH thấp (nồng độ ion H^+ cao) xảy ra sự hấp phụ cạnh tranh giữa ion H^+ và Fe^{3+} do đó làm giảm dung lượng hấp phụ. Khi pH tăng, nồng độ H^+ giảm còn nồng độ Fe^{3+} không đổi vì vậy dung lượng hấp phụ Fe^{3+} tăng. Khi pH ≥ 3, phản ứng thủy phân Fe^{3+} xảy ra đến cùng tạo kết tủa sắt (III) hidroxit [8] nên chúng tôi chỉ khảo sát trong miền pH < 3 và chọn giá trị pH = 2,5 làm giá trị tối ưu cho các nghiên cứu hấp phụ tiếp theo.

3.2.2 Ảnh hưởng của thời gian

Kết quả nghiên cứu ảnh hưởng của thời gian đến dung lượng hấp phụ Fe(III) của than sen được trình bày ở hình 2.



Hình 2. *Ảnh hưởng của thời gian đến dung lượng hấp phụ Fe(III) của than sen*

Kết quả hình 2 cho thấy: Trong khoảng thời gian khảo sát từ 10 ÷ 150 phút thấy rằng từ 10÷120 phút dung lượng hấp phụ tăng, từ 120÷150 phút dung lượng hấp phụ tăng chậm và dần ổn định (quá trình hấp phụ đã đạt cân bằng). Do đó chúng tôi chọn thời gian đạt cân bằng hấp phụ của của Fe(III) là 120 phút để tiến hành các thí nghiệm tiếp theo.

3.2.3 Ảnh hưởng của nhiệt độ

Kết quả nghiên cứu ảnh hưởng của nhiệt độ đến dung lượng và hiệu suất hấp phụ Fe(III) của than sen được trình bày ở bảng 2.

Bảng 2. *Sự phụ thuộc dung lượng và hiệu suất hấp phụ Fe(III) của than sen vào nhiệt độ*

T(K)	C_o (mg/L)	C_{cb} (mg/L)	q (mg/g)	H (%)
303		23,48	27,84	54,26
313	51,32	24,27	27,05	52,71
323		25,48	25,84	50,35

Kết quả bảng 2 cho thấy trong khoảng nhiệt độ khảo sát từ 303 ÷ 323K khi nhiệt độ tăng thì dung lượng và hiệu suất hấp phụ Fe(III) của than sen đều giảm. Từ các kết quả thu được dựa vào các phương trình của nhiệt động lực học (4), (5), (6) tính được các thông số nhiệt động. Kết quả được chỉ ra trong bảng 3.

Bảng 3. *Các thông số nhiệt động đối với quá trình hấp phụ Fe(III) của than sen*

C_o (mg/L)	$1/T(K^{-1})$	$\ln K_C$	ΔG^o (kJ/mol)	ΔH^o (kJ/mol)	ΔS^o (kJ/mol.K)
51,32	0,0033	0,17	- 0,43	- 6,65	- 0,02
	0,0032	0,10	- 0,29		
	0,0031	0,01	- 0,03		

Kết quả bảng 3 cho thấy: Giá trị năng lượng tự do (ΔG^o) thu được có giá trị âm chứng tỏ quá trình hấp phụ Fe(III) của than sen là quá trình tự xảy ra; giá trị biến thiên năng lượng entanpi (ΔH^o) có giá trị âm cho thấy quá trình hấp phụ là quá trình tỏa nhiệt.

3.2.4 Ảnh hưởng của nồng độ Fe(III) ban đầu và xác định dung lượng hấp phụ cực đại

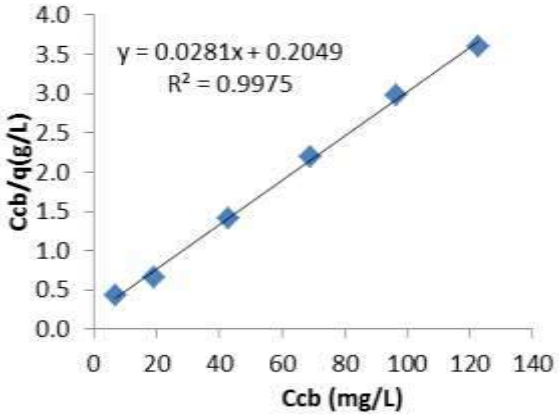
Kết quả được trình bày ở bảng 4.

Bảng 4. *Ảnh hưởng của nồng độ Fe(III) ban đầu đến khả năng hấp phụ của than sen*

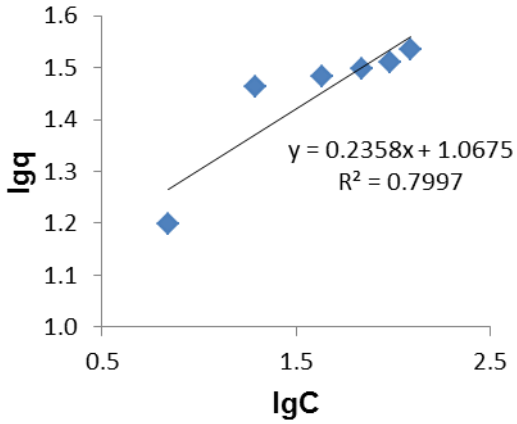
C_o (mg/L)	C_{cb} (mg/L)	q (mg/g)	H (%)	C_{cb}/q (g/L)	lgC	lgq
22,68	6,92	15,76	69,49	0,44	0,84	1,20
48,53	19,43	29,10	59,97	0,67	1,29	1,46
73,30	42,84	30,46	41,55	1,41	1,63	1,48
100,37	68,45	31,42	31,30	2,19	1,84	1,50
128,71	96,40	32,31	25,10	2,98	1,98	1,51
156,95	122,77	34,18	21,78	3,59	2,09	1,53

Các kết quả thực nghiệm ở bảng 4 đã chứng tỏ hiệu suất hấp phụ giảm, dung lượng hấp phụ của than sen tăng khi nồng độ đầu của Fe(III) tăng. Cũng từ kết quả thực nghiệm này, mô tả quá trình hấp phụ Fe(III) trên than sen theo hai mô hình đẳng nhiệt Langmuir và Freundlich (hình 3a và 3b). Từ hình 3a và 3b cho thấy sự hấp phụ Fe(III) trên than sen theo mô hình Langmuir phù hợp hơn so với mô hình Freundlich. Điều này được thể hiện thông qua hệ số tương quan theo phương

trình Langmuir (R^2= 0,997) cao hơn nhiều so với hệ số tương quan theo phương trình Freundlich (R^2 = 0,799). Mặt khác, giá trị cao của hệ số tương quan theo mô hình đẳng nhiệt hấp phụ Langmuir cho thấy sự thống nhất cao giữa các thông số với sự hấp phụ đơn lớp của Fe(III) lên bề mặt than sen. Dựa vào phương trình đẳng nhiệt hấp phụ Langmuir dạng tuyến tính (hình 3b) ta tính được dung lượng hấp phụ cực đại – khả năng hấp phụ tối đa để phủ hoàn toàn đơn lớp trên bề mặt than sen đối với Fe(III) là 35,71 mg/g - cao hơn so với than hoạt tính chế tạo được từ thân cây vừng Thổ Nhĩ Kỳ hoạt hóa bằng kẽm clorua (q_{max}=19,16 mg/g)[6] và than chế tạo từ bẹ chuối hoạt hóa bằng axit H_2SO_4 đặc (q_{max}=26,32 mg/g)[8].



Hình 3a. *Đường đẳng nhiệt hấp phụ Langmuir*



Hình 3b. *Đường đẳng nhiệt hấp phụ Freundlich*

3.3 Kết quả xử lý mẫu nước thải thực có chứa Fe(III) của than sen theo phương pháp hấp phụ tĩnh

Mẫu nước thải chứa ion sắt lấy tại một xã trên địa bàn thành phố Thái Nguyên, thời gian lấy mẫu là 10h30 ngày 12 tháng 8 năm 2018.

Nước thải được lấy và bảo quản theo đúng TCVN 6663-1:2011

Mẫu lấy xong được cố định bằng 5mL HNO_3 đặc và đậy kín.

Thực hiện sự hấp phụ ở nhiệt độ phòng (25 ± 1^0 C), thể tích mẫu nước thải: 25 mL; điều chỉnh đến pH tối ưu (2,5); khối lượng than sen: 0,05g; thời gian hấp phụ: 120 phút. Lấy dung dịch sau hấp phụ lần một tiến hành thí nghiệm hấp phụ lần hai với than sen mới. Kết quả được thể hiện trong bảng 5.

Bảng 5. *Kết quả xử lý nước thải chứa ion sắt theo phương pháp hấp phụ tĩnh*

C_0 (mg/L)	C_{cb1} (mg/L)	H_1 (%)	C_{cb2} (mg/L)	H_2 (%)
12,791	6,047	52,72	0,002	99,98

C_{cb1} – Nồng độ cân bằng của ion sắt sau khi hấp phụ lần 1.
C_{cb2} – Nồng độ cân bằng của ion sắt sau khi hấp phụ lần 2.
H_1 – Hiệu suất hấp phụ của quá trình hấp phụ lần 1.
H_2 – Hiệu suất hấp phụ của quá trình hấp phụ lần 2.

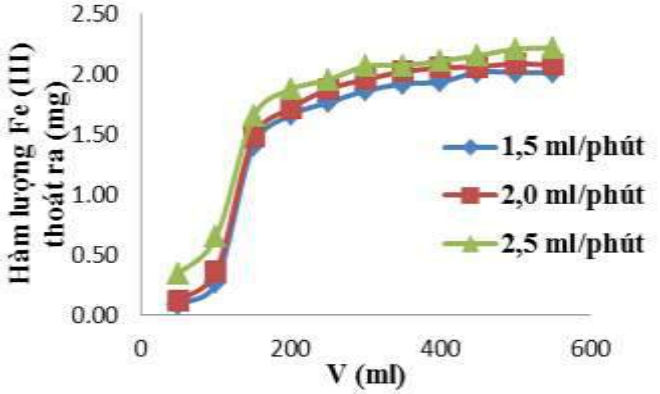
Nhận xét

Từ các kết quả thực nghiệm thu được ta thấy, sau khi hấp phụ lần 1, lần 2 bằng than sen mới thì nồng độ còn lại của ion sắt trong dung dịch đã giảm xuống đến giá trị cho phép đối với nước thải theo QCVN 40:2011/BTNMT.

3.4 Kết quả khảo sát khả năng tách loại và thu hồi Fe(III) bằng phương pháp hấp phụ động trên cột

3.4.1 Kết quả khảo sát ảnh hưởng của tốc độ dòng chảy

Kết quả được trình bày ở hình 4.



Hình 4. *Ảnh hưởng của tốc độ dòng chảy đến khả năng hấp phụ Fe(III) của than sen*

Trong khoảng tốc độ dòng chảy khảo sát 1,5; 2,0 và 2,5 (mL/phút) khi tốc độ dòng chảy càng chậm thì nồng độ Fe(III) xuất hiện ở lối ra cột hấp phụ càng thấp. Điều này có thể được giải thích như sau: khi tốc độ dòng chảy chậm thời gian tiếp xúc của Fe(III) và than sen lớn hơn so với tốc độ dòng chảy nhanh, do đó lượng Fe(III) bị giữ lại trên bề mặt than sen nhiều hơn. Dung lượng hấp phụ động của than sen đối với Fe(III) được chỉ ra ở bảng 6.

Bảng 6. *Sự phụ thuộc dung lượng hấp phụ động của than sen đối với Fe(III) vào tốc độ dòng chảy*

Tốc độ dòng (mL/phút)	1,50	2,00	2,50
Dung lượng q (mg/g)	20,61	18,91	15,94

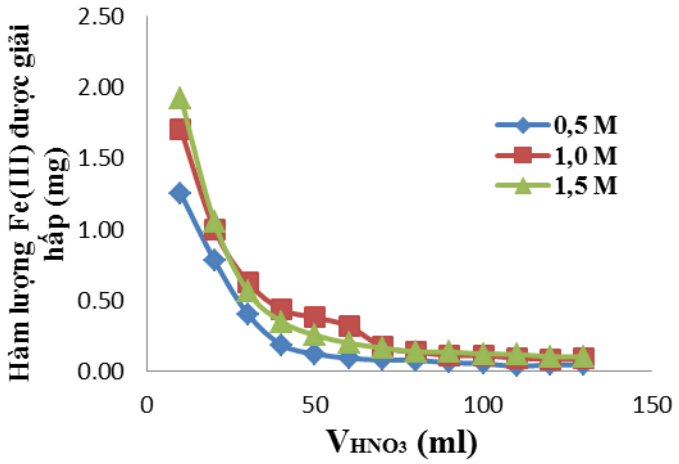
So sánh dung lượng hấp phụ động với dung lượng hấp phụ tĩnh ta thấy dung lượng hấp phụ động luôn nhỏ hơn so với dung lượng hấp phụ (cực đại) tĩnh.

3.4.2 Kết quả giải hấp thu hồi Fe(III)

Kết quả giải hấp Fe(III) bằng dung dịch HNO_3 có nồng độ khác nhau được trình bày ở bảng 7, hình 5.

Bảng 7. *Kết quả giải hấp Fe(III) bằng HNO_3 có nồng độ khác nhau*

Thứ tự cho dung dịch qua cột	**V(mL) dung dịch qua cột**	**Fe(III) C_o = 49,50 (mg/L)**		
		C_{HNO3} (M)		
		0,5	**1,0**	**1,5**
		Hàm lượng thoát ra sau mỗi phân đoạn thể tích (mg)		
1	10	1,25	1,62	1,94
2	20	0,78	0,97	1,08
3	30	0,40	0,58	0,70
4	40	0,18	0,40	0,45
5	50	0,12	0,32	0,38
6	60	0,09	0,18	0,24
7	70	0,08	0,16	0,22
8	80	0,08	0,13	0,14
9	90	0,06	0,12	0,13
10	100	0,05	0,11	0,12
11	110	0,03	0,09	0,12
12	120	0,04	0,08	0,10
13	130	0,04	0,09	0,10



Hình 5. *Ảnh hưởng của nồng độ dung dịch HNO_3 đến sự giải hấp Fe(III) trên than sen*

Các kết quả thực nghiệm cho thấy dùng dung dịch HNO_3 để giải hấp thu hồi Fe(III) cho hiệu quả tương đối cao. Hiệu suất giải hấp Fe(III) tương ứng với các nồng độ HNO_3 0,5; 1,0 và 1,5M lần lượt là 40,15; 51,32 và 55,48%. Phần lớn lượng Fe(III) bị hấp phụ được giải hấp ở 2, 3 thể tích đầu tiên. Trong khoảng nồng độ HNO_3 khảo sát: 0,5M; 1,0M và 1,5M khi nồng độ HNO_3 càng lớn thì lượng Fe(III) giải hấp được càng nhiều do khả năng giải hấp ion kim loại trên bề mặt than sen tỉ lệ thuận với nồng độ chất rửa giải (trong khoảng nồng độ HNO_3 đã khảo sát).

4. Kết luận

Sự hấp phụ Fe(III) của than sen đã được nghiên cứu dưới các điều kiện thí nghiệm khác nhau.

Kết quả thu được theo phương pháp hấp phụ tĩnh:

- pH tốt nhất cho sự hấp phụ của than sen đối với Fe(III) là pH = 2,5.

- Thời gian đạt cân bằng hấp phụ của than sen đối với Fe(III) là 120 phút.

- Khi tăng nhiệt độ từ 303÷323K thì hiệu suất và dung lượng hấp phụ giảm; các kết quả tính toán nhiệt động cho thấy quá trình hấp phụ Fe(III) trên than sen là quá trình tự xảy ra và tỏa nhiệt.

- Quá trình hấp phụ Fe(III) trên than sen phù hợp với mô hình hấp phụ Langmuir hơn so với mô hình hấp phụ Freundlich. Dung lượng hấp phụ cực đại của than sen đối với Fe(III) theo mô hình hấp phụ đẳng nhiệt Langmuir là 35,71 mg/g.

Đã xử lý mẫu nước thải chứa Fe(III) theo phương pháp hấp phụ tĩnh. Sau khi tiến hành hấp phụ hai lần bằng than sen mới nồng độ sắt đã đạt tiêu chuẩn cho phép theo QCVN 40: 2011/BTNMT.

Kết quả thu được theo phương pháp hấp phụ động:

- Khi tốc độ dòng chảy chậm, khả năng tách loại Fe(III) của than sen tốt hơn so với khi tốc độ dòng nhanh; xác định được dung lượng hấp phụ động ứng với 03 tốc độ dòng khác nhau.

- Khi tăng nồng độ HNO_3 thì lượng ion Fe(III) được giải hấp tăng. Hầu hết lượng ion bị hấp phụ được giải hấp ở 2,3 thể tích đầu.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Durali Mendil, Murat Karatas, Mustafa Tuzen, "Separation and preconcentration of Cu(II), Pb(II), Zn(II), Fe(III) and Cr(III) ions without carrier element and their determination in food and water sample", *Food Chemistry*, 177, pp. 320-324, 2015.

[2] F. Fu, L. Xie, B. Tang, "Application of a novel strategy – Advanced Fenton – chemical precipitation to the treatment of strong stability chelated heavy metal containing wastewater", *Chemical Engineering Journal*, 189 - 190, pp. 283 – 287, 2012.

[3]. Javad Shabani Shayeh, "Advanced studies of coupled conductive polymer/metal oxide nano wire composite as an efficient supercapacitor by

common and fast fourier electrochemical methods", *Journal of Molecular Liquids*, 220, pp.489-494, 2016.
[4]. Mu. Naushad, Z. A. ALOthman, "Separation of toxic Pb^{2+} metal from aqueous solution using strongly acidic cation – exchange resin: analytical applications for the removal of metal ions from pharmaceutical formulation", *Desalin Water Treat*, 53, pp.2158- 2166, 2015.
[5]. Mu. Naushad, Z. A. ALOthman, G. Sharma, "Kinetics, isotherm and thermodyamic investigations for the adsorption of Co(II) ion onto crystal violet modified amberlite IR -120 resin", *Ionics*, 21, pp.1453- 1459, 2015.
[6]. Cisem Kirbiyik, Ayse Eren Putun, Ersan Putun, "Equilibrium, kinetic, and thermodynamic studies of the adsorption of Fe(III) metal ion and 2,4 – dichlorophenoxyacetic acid onto biomass – based activated carbon by $ZnCl_2$ activation", *Surfaces and Enterfaces*, 8, pp. 182 – 192, 2017.
[7]. Vi Thị Linh, Vũ Thị Hậu, "Nghiên cứu khả năng hấp phụ Mn(II) của vật liệu chế tạo từ cây sen", *Tạp chí Khoa học & Công nghệ ĐHTN*, Tập 185, số 9, tr. 131-137, 2018.
[8]. Lê Hữu Thiềng, Trần Thị Huế, Hoàng Thị Nhạn, "Nghiên cứu khả năng hấp phụ Fe(III), Ni(II) của than chế tạo từ bẹ chuối", *Tạp chí phân tích Hóa, Lý và Sinh học*, 20(3), tr. 75-79, 2015.
[9]. Ngô Thị Mai Việt, "Đánh giá khả năng hấp phụ Fe(III), Cr(VI) của các vật liệu đá ong biến tính", *Tạp chí Phân tích Hóa, Lý và Sinh học*, 19(2), tr. 23-32, 2014.