

**SỰ HẤP PHỤ  $Pb^{2+}$  TỪ DUNG DỊCH NƯỚC TRÊN VẬT LIỆU CHITOSAN  
CÓ GẮN CÁC PHÂN TỬ NANO  $MnO_2$ : NGHIÊN CỨU CÁC MÔ HÌNH  
CÂN BẰNG ĐẲNG NHIỆT**

*Đến tòa soạn 27 – 2 - 2015*

**Đinh Văn Phúc**

*Trường Đại học Đồng Nai, số 04 Lê Quý Đôn, phường Tân Hiệp, Biên Hòa, Đồng Nai*

**Lê Ngọc Chung**

*Trường Đại học Đà Lạt, số 01 Phù Đổng Thiên Vương, Đà Lạt, Lâm Đồng*

**Nguyễn Ngọc Tuấn**

*Viện Nghiên cứu Hạt nhân Đà Lạt, số 01 Nguyên Tử Lực, Đà Lạt, Lâm Đồng*

**SUMMARY**

**ADSORPTION OF  $Pb^{2+}$  IONS FROM AQUEOUS SOLUTION ONTO CHITOSAN  
LOADED  $MnO_2$  NANOPARTICLES: EQUILIBRIUM ISOTHERM STUDIES**

*Equilibrium sorption of the Chitosan loaded manganese dioxide ( $MnO_2$ ) nanoparticles was studied. The experimental data were analyzed by five adsorption isotherm models: Freundlich, Langmuir, Redlich-Peterson, Tempkin and Dubinin – Redushkevich (D – R). Evaluating the correlation coefficients showed that the Redlich-Peterson isotherm described the data more appropriate than others. The adsorption capacity ( $q_m$ ) from the Langmuir isotherm for  $Pb^{2+}$  is found as 129.8 mg/g. The heat of sorption process for  $Pb^{2+}$  was estimated from Temkin Isotherm model to be 0.1546 KJ/mol and the mean free energy for  $Pb^{2+}$  was estimated from D - R isotherm model to be 0.5189 KJ/mol which vividly proved that the adsorption experiment followed a physical process.*

**Keywords:** *Freundlich, Langmuir, Redlich-Peterson, Tempkin, Dubinin–Redushkevich (D–R).*

**1. MỞ ĐẦU**

Chì được thải vào vùng nước tự nhiên từ nhiều nguồn khác nhau như quá trình luyện chì, sản xuất chì tetraethyl, khai thác mỏ, xi mạ, súng đạn và các ngành công nghiệp thủy tinh gốm sứ. Theo Luật Chất lượng

Môi trường (Environmental Quality Act), giới hạn cho phép của chì trong nước uống của là 0.10mg/L. Sự hiện diện của chì dư thừa trong nước uống gây ra các bệnh như thiếu máu, bệnh não và viêm gan. Ion chì có ái lực với các phối tử có chứa nhóm thiol

và có chứa photphat, chúng ức chế sinh tổng hợp heme, gây thiệt hại cho cả thận và gan. Đặc biệt, chì có thể cố định trong nhiều năm và do đó rất khó để phát hiện các rối loạn chuyển hóa nó gây ra [1].

Trong số các quy trình hóa lý đã được áp dụng để loại bỏ các ion chì (II) từ các vùng nước bị ô nhiễm như kết tủa hóa học, hấp phụ và trao đổi ion, công nghệ màng [2-4], hấp phụ được coi là một trong những phương pháp hiệu quả nhất vì hiệu quả cao, không tốn kém. [1-6].

Quá trình hấp phụ phụ thuộc vào các thông số như tính chất hấp phụ, nồng độ ban đầu của chất bị hấp phụ, lượng chất hấp phụ, thời gian tiếp xúc và pH [6]. Nghiên cứu cân bằng hấp phụ sẽ cho chúng ta biết được hiệu suất của quá trình hấp phụ, thường là tỷ lệ giữa lượng bị hấp phụ và lượng còn lại trong dung dịch ở trạng thái cân bằng và ở nhiệt độ cố định. Bên cạnh đó, việc sử dụng các mô hình hấp phụ đẳng nhiệt sẽ giúp chúng ta ước lượng được năng lượng trong quá trình hấp phụ, từ đó dự đoán bản chất của quá trình hấp phụ.

Trong nghiên cứu này, chúng tôi đã nghiên cứu năm mô hình hấp phụ đẳng nhiệt: Langmuir, Freundlich, Redlich-Peterson, Tempkin và Dubinin - Redushkevich (D - R) cho quá trình hấp phụ ion  $Pb^{2+}$  từ dung dịch nước bằng vật liệu Chitosan có gắn các phân tử có cấu trúc nano  $MnO_2$  ( $MnO_2/CS$ ).

## 2. THIẾT BỊ, DỤNG CỤ, HÓA CHẤT VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

### 2.1. Thiết bị

- Máy quang phổ hấp thụ nguyên tử AA – 7000 của hãng Shimadzu, sản xuất tại Nhật Bản, trong đó, đèn Cathode rỗng ứng với nguyên tố Pb hấp thụ ở bước sóng  $\lambda = 283.3 \text{ nm}$ .
- Cân phân tích có độ chính xác  $10^{-6}$  gram, sản xuất tại Thụy Sĩ
- Tủ sấy SheLab của Vương Quốc Anh
- Máy khuấy từ gia nhiệt 5 điểm của Đức (Model IKA R5)
- Máy đo pH (Mi-150 Romania)

### 2.2. Dụng cụ

- Các dụng cụ thủy tinh: cốc, bình tam giác, bình định mức, pipet, micropipet các loại 1-25  $\mu\text{l}$ , 50  $\mu\text{l}$ , 100  $\mu\text{l}$ , 500  $\mu\text{l}$ , 1000  $\mu\text{l}$  của cộng hòa Liên bang Đức.
- Các ống nghiệm Polyetylen (P.E) đựng mẫu

### 2.3. Hóa chất

Các hóa chất sử dụng đều thuộc loại có độ sạch phân tích (PA)

- Axit nitric  $HNO_3$  ( $d=1,35\text{g/ml}$ ) nồng độ 65%, PA, Merck, Natri hidroxit NaOH, PA, Merck.
- Chì nitrat  $Pb(NO_3)_2$ , PA, Merck và mẫu chuẩn đơn và đa nguyên tố (multi – elements standard for AAS), của hãng Merck.

### 2.4. Phương pháp

Hấp phụ tĩnh: 50 ml dung dịch chứa ion kim loại  $Pb^{2+}$  với nồng độ ban đầu khác nhau từ 100 đến 500 mg/L được cho vào cốc thủy tinh 100 ml đã có chứa 0,1 gam vật liệu  $MnO_2/CS$ . Quá trình hấp phụ được tiến hành trong điều kiện tối ưu ( $pH = 4$ , tốc độ khuấy là 240 rpm, thời gian khuấy 120 phút) ở nhiệt độ phòng khoảng  $24^\circ\text{C}$ .

Sau khoảng thời gian 120 phút, các mẫu được lọc để thu lấy dịch lọc. Nồng độ của ion kim loại trong dung dịch trước và phản ứng được xác định 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 ion kim loại  $Pb^{2+}$  bị hấp phụ (milligram) trong mỗi gram vật liệu được xác định bằng cách sử dụng phương trình cân bằng khối lượng sau đây [7-11]:

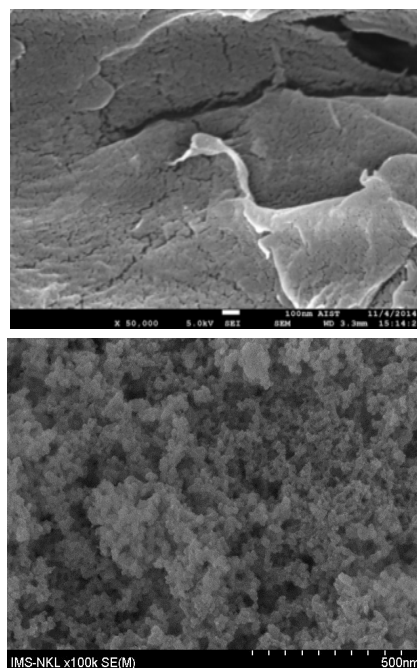
$$q = \frac{(C_o - C_e) \cdot V}{m} \quad (1)$$

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

### 3. KẾT QUẢ VÀ BIỆN LUẬN

#### 3.1. Đặc điểm hình thái và diện tích bề mặt của vật liệu

Vật liệu  $MnO_2/CS$  đã được tổng hợp thành công tại Viện Nghiên cứu Môi trường, Trường Đại học Đà Lạt. Kết quả phân tích ảnh SEM quan sát bề mặt của vật liệu CS và  $MnO_2/CS$  được mô tả trong hình 1. Như hình 1a, cho thấy CS có một bề mặt gãy, mịn và chặt chẽ. Trong khi đó, quan sát trong hình 1b cho thấy có sự phân bố đồng đều các phân tử  $MnO_2$  có kích thước nhỏ hơn 18 nm trên vật liệu CS, tạo ra một bề mặt xốp – điều này làm tăng số lượng tâm hấp phụ trên bề mặt vật liệu.



Hình 1. Ảnh SEM của Chitosan (a) và  $MnO_2/CS$  (b)

Diện tích bề mặt của CS và  $MnO_2/CS$  được đo bằng phương pháp BET – BJH. Kết quả cho thấy,  $MnO_2/CS$  có diện tích bề mặt là  $15.75 \text{ m}^2/\text{g}$  lớn hơn gấp khoảng 68 lần so với diện tích bề mặt của CS là  $0.23 \text{ m}^2/\text{g}$ . Kết quả phân tích lỗ xốp cho thấy, vật liệu có kích thước lỗ xốp mao quản trung bình ( $2 \text{ nm} < d < 50 \text{ nm}$ ).

#### 3.2. Nghiên cứu các mô hình đẳng nhiệt

Các mô hình hấp phụ đẳng nhiệt là các mô hình toán học để mô tả sự phân bố giữa chất bị hấp phụ (pha lỏng) và chất hấp phụ (pha rắn), dựa trên giả định rằng liên quan đến sự không đồng nhất và đồng nhất của bề mặt rắn và khả năng tương tác giữa các chất bị hấp phụ. Trong nghiên cứu này, dữ liệu được phân tích bằng các mô hình Freundlich, Langmuir, Redlich - Peterson, Tempkin và Dubinin - Redushkevich

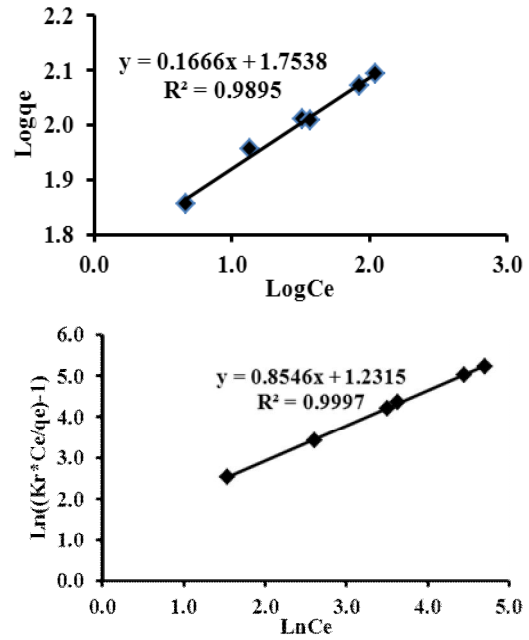
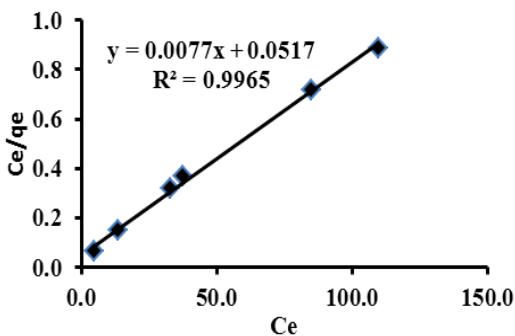
### 3.2.1. Mô hình đẳng nhiệt Langmuir

Mô hình đẳng nhiệt Langmuir (Langmuir, 1918) [7-15] giả định rằng sự hấp thụ các ion kim loại xảy ra trên một bề mặt đồng nhất của vật liệu và sự hấp phụ là đơn lớp, không có bất kỳ sự tương tác nào giữa các ion hấp thụ. Phương trình tuyến tính của mô hình đẳng nhiệt Langmuir được đưa ra bởi công thức sau:

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{C_e}{q_m} + \frac{1}{q_m \cdot K_L} \quad (2)$$

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  $\text{MnO}_2/\text{CS}$ . Đồ thị biểu thị mối liên hệ giữa  $(C_e/q_e)$  theo nồng độ cân bằng ( $C_e$ ) của Pb (II) được thể hiện trong hình 2a. Các thông số đường đẳng nhiệt tuyến tính,  $q_m$ ,  $K_L$  được thể hiện trong Bảng 1.

Các dữ liệu trong Bảng 1 chỉ ra rằng, giá trị cao của hệ số tương quan ( $R^2 = 0,9965$ ) cho thấy sự thống nhất cao giữa các thông số với sự hấp phụ đơn lớp của Pb (II) lên bề mặt cấu trúc vật liệu  $\text{MnO}_2/\text{CS}$ . Hơn nữa, khả năng hấp phụ,  $q_m$ , là thước đo khả năng hấp phụ tối đa tương ứng để phủ hoàn toàn đơn lớp trên bề mặt vật liệu được ước lượng đối với Pb(II) là 129,8 mg/g.



Hình 2. Đồ thị đường đẳng nhiệt Langmuir (a), Freundlich (b) và Redlich – Peterson (c)

### 3.2.2. Mô hình đẳng nhiệt Freundlich

Mô hình đẳng nhiệt Freundlich (Freundlich (1906)) [7-15] là một phương trình thực nghiệm dựa trên sự hấp phụ trên bề mặt không đồng nhất của vật liệu. Phương trình tuyến tính thường được biểu diễn là:

$$\log q_e = \log K_F + \left( \frac{1}{n} \right) \log C_e \quad (3)$$

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.  $K_F$  là hằng số Freundlich để chỉ khả năng hấp phụ tương đối của các vật liệu hấp phụ. Mô hình Freundlich được lựa chọn để đánh giá cường độ hấp phụ của chất bị hấp phụ trên bề mặt chất hấp thụ. Đồ thị của phương trình đẳng nhiệt Freundlich được biểu thị

trên hình 2b và các thông số của đường đẳng nhiệt được đưa ra trong bảng 1.

Kết quả ở bảng 1 cho thấy, giá trị thấp 1/n (0.1666) khẳng định tính không đồng nhất của bề mặt chất hấp phụ. Bên cạnh đó, nó cũng chỉ ra rằng liên kết giữa  $Pb^{2+}$  với bề mặt vật liệu hấp phụ thuộc loại liên kết yếu.

### 3.3.3. Mô hình đẳng nhiệt Redlich-Peterson

Mô hình đẳng nhiệt Redlich-Peterson [7-15] là một đường đẳng nhiệt kết hợp giữa mô hình Langmuir và Freundlich với ba tham số chưa biết là  $\alpha_{RP}$ ,  $K_{RP}$  và  $\beta$ . Dạng tuyến tính của phương trình Redlich-Peterson như sau:

$$\ln\left(K_{RP} \frac{C_e}{q_e} - 1\right) = \beta \ln C_e + \ln \alpha_{RP} \quad (4)$$

Trong đó  $K_{RP}$  (L/g),  $\alpha_{RP}$  (L/mg) và  $\beta$  là hằng số của đường đẳng nhiệt Redlich-Peterson. Giá trị của  $\beta$  là số mũ nằm giữa 0 và 1. Trong giới hạn, các đường đẳng nhiệt Redlich-Peterson tiếp cận mô hình đường đẳng nhiệt Freundlich ở nồng độ cao (khi các giá trị  $\beta$  có xu hướng bằng 0) và phù hợp với mô hình đẳng nhiệt Langmuir khi ở nồng độ thấp (khi giá trị  $\beta$  có xu hướng gần bằng 1).

Các hằng đẳng nhiệt Redlich-Peterson có thể được dự đoán từ đồ thị liên hệ giữa

$$\ln\left(K_{RP} \frac{C_e}{q_e} - 1\right) \text{ so với } \ln C_e. \text{ Tuy nhiên,}$$

điều này là không thể xác định được như các dạng tuyến tính  $y = ax + b$  vì phương trình đẳng nhiệt Redlich-Peterson có ba tham số chưa biết  $\alpha_{RP}$ ,  $K_{RP}$  và  $\beta$ . Vì vậy, phương pháp bình phương tối thiểu được áp dụng để tối đa hóa hệ số tương quan  $R^2$  và

được xác định bằng chức năng Solver – Add ins của phần mềm Excel.

Đồ thị đường đẳng nhiệt được trình bày trong hình 2c và các thông số đường đẳng nhiệt được đưa ra trong Bảng 1.

*Bảng 1. Các thông số đường đẳng nhiệt Langmuir, Freundlich, Redlich – Peterson, Tempkin và Dubinin - Radushkevich*

| Isotherm Models        | Parameters                   |        |
|------------------------|------------------------------|--------|
| Langmuir               | $K_L$                        | 0.1489 |
|                        | $q_m(\text{mg/g})$           | 129.8  |
|                        | $R^2$                        | 0.9965 |
| Freundlich             | $1/n$                        | 0.1666 |
|                        | $K_F$                        | 56.73  |
|                        | $R^2$                        | 0.9895 |
| Redlich - Peterson     | $K_R \text{ (L/g)}$          | 214.1  |
|                        | $\alpha_{RP} \text{ (L/mg)}$ | 3.427  |
|                        | $\beta$                      | 0.855  |
|                        | RMSE                         | 1.599  |
|                        | $R^2$                        | 0.9990 |
| Tempkin                | $K_T$                        | 19.24  |
|                        | $b_T \text{ (kJ.mol)}$       | 0.1546 |
|                        | $R^2$                        | 0.9905 |
| Dubinin - Redushkevich | $q_m \text{ (mg/g)}$         | 108.9  |
|                        | $\beta$                      | -1.852 |
|                        | $R^2$                        | 0.7616 |
|                        | $E \text{ (kJ/mol)}$         | 0.519  |

Các dữ liệu trong Bảng 1 chỉ ra rằng, giá trị  $R^2$  cao hơn cho thấy sự đồng thuận của dữ liệu các thực nghiệm với các phương trình đẳng nhiệt Redlich-Peterson.

### 3.3.4. Mô hình đẳng nhiệt Temkin

Mô hình đẳng nhiệt Tempkin giả định rằng: nhiệt hấp thụ của tất cả các phân tử trên bề mặt vật liệu giảm tuyến tính với mật độ bao phủ do tương tác giữa chất hấp phụ và chất bị hấp phụ và sự hấp phụ được đặc trưng

bởi sự phân bố đồng đều của các nguồn năng lượng liên kết, cho đến một số năng lượng liên kết tối đa (Temppkin , 1940) [7-15]. Đường đẳng nhiệt Temkin được biểu diễn bởi phương trình sau đây:

$$q_e = \frac{RT}{b_T} \ln(K_T C_e) \quad (5)$$

Phương trình (5) có thể được thể hiện dưới dạng tuyến tính như sau:

$$q_e = B \ln K_T + B \ln C_e \quad (6)$$

Trong đó  $B = RT/b_T$ ,  $T$  là nhiệt độ tuyệt đối (K),  $R$  là hằng số khí (có giá trị bằng  $8.314.10^{-3} \text{ kJ/mol.K}$ ),  $b_T$  là hằng số Temkin, có liên quan đến nhiệt hấp phụ (kJ/mol).

Mô hình hấp phụ đẳng nhiệt Temkin được lựa chọn để đánh giá khả năng hấp phụ của chất hấp phụ đối với các chất bị hấp phụ. Đồ thị đường đẳng nhiệt Temkin được trình bày trong hình 3a và các thông số đường đẳng nhiệt được cho trong bảng 1.

Hằng số Temkin,  $b_T$ , liên quan đến nhiệt hấp phụ cho ion kim loại Pb(II) là 0.1546 kJ/mol, Giá trị nhiệt hấp phụ nhỏ có thể chỉ ra rằng có một sự tương tác yếu giữa các chất bị hấp phụ và chất hấp thụ, hỗ trợ một quá trình hấp phụ vật lý cho nghiên cứu này [10,12].

### 3.3.5. Mô hình đẳng nhiệt Dubinin - Radushkevich

Mô hình đẳng nhiệt Dubinin - Radushkevich ( $D - R$ ) [7-15] là mô hình thực nghiệm được dùng để xác định bản chất của quá trình hấp phụ (vật lý hoặc hóa học). Dạng tuyến tính của mô hình D-R được trình bày như phương trình sau đây:

$$\ln q_e = \ln q_m - \beta . \varepsilon^2 \quad (7)$$

Trong đó,  $q_e$  (mg/g) là lượng ion kim loại bị hấp phụ trên một đơn vị khối lượng vật liệu

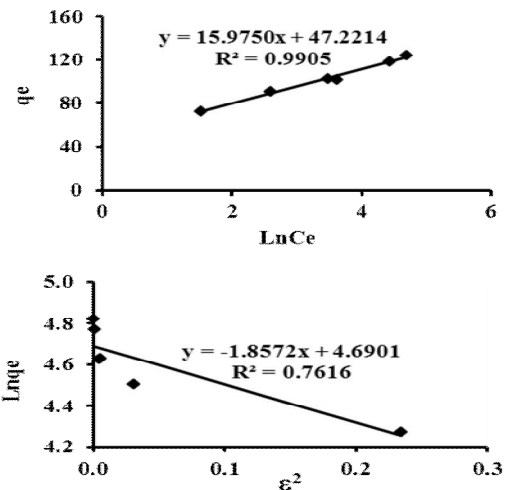
hấp phụ  $\text{MnO}_2/\text{CS}$ ,  $q_m$  (mg/g) là khả năng hấp phụ tối đa (mg/g),  $\beta$  là hằng số của năng lượng hấp phụ ( $\text{mol}^2/\text{J}^2$ ), có liên quan đến năng lượng trung bình của mỗi mol chất hấp phụ trên một mol chất bị hấp phụ. và  $\varepsilon$  là thế Polanyi, được mô tả như sau:

$$\varepsilon = RT \ln \left( 1 + \frac{1}{C_e} \right) \quad (8)$$

trong đó  $T$  là nhiệt độ dung dịch (K) và  $R$  là hằng số khí và bằng  $8.314.10^{-3} \text{ kJ/mol.K}$ . Giá trị của năng lượng hấp phụ trung bình,  $E$  (kJ / mol), có thể được tính toán từ  $D-R$  theo tham số  $\beta$  như sau:

$$E = \frac{1}{\sqrt{-2\beta}} \quad (9)$$

Giá trị của năng lượng hấp phụ trung bình cho biết bản chất của quá trình hấp phụ. Khi giá trị  $E$  nhỏ hơn 8 kJ / mol thì quá trình hấp phụ là hấp phụ vật lý và 8 - 16 kJ/mol là quá trình hấp phụ hóa học [13-15].



Hình 3. Đồ thị đường đẳng nhiệt Temkin (a) và Dubinin – Radushkevich (b)

Đồ thị đường đẳng nhiệt Dubinin - Radushkevich được trình bày trong hình 3b và các thông số đường đẳng nhiệt được cho trong bảng 1. Giá trị  $E$  tính được cho quá

trình hấp phụ  $Pb^{2+}$  trên vật liệu  $MnO_2/CS$  là  $0.5189 \text{ kJ/mol}$  (Bảng 1)  $< 8 \text{ kJ/mol}$ , chỉ ra rằng sự hấp phụ các ion  $Pb^{2+}$  trên vật liệu  $MnO_2/CS$  là hấp phụ vật lý.

#### 4. KẾT LUẬN

Trong nghiên cứu này, các dữ liệu thực nghiệm được phân tích bởi 5 mô hình đẳng nhiệt Freundlich, Langmuir, Redlich-Peterson, Tempkin and Dubunin – Redushkevich. Kết quả cho thấy, trong điều kiện tối ưu ( $pH = 4$ , tốc độ khuấy =  $240 \text{ vòng/phút}$ , thời gian khuấy =  $120 \text{ phút}$ , khối lượng vật liệu hấp phụ =  $0,1 \text{ gam}$ ):

- Phương trình hấp phụ đẳng nhiệt Redlich – Peterson là phù hợp nhất với hệ số tương quan cao ( $R^2 = 0.9990$ )
- Dung lượng hấp phụ cực đại tính toán được từ mô hình đẳng nhiệt Langmuir đối với ion  $Pb^{2+}$  là  $129.8 \text{ mg/g}$ .
- Giá trị nhiệt hấp phụ và năng lượng tự do tính được từ mô hình đẳng nhiệt Tempkin và Dubini – Radushkevich đều nhỏ  $8 \text{ KJ/mol}$  có thể khẳng định được bản chất của quá trình hấp phụ là hấp phụ vật lý.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Liping Deng, Yingying Su, Hua Su, Xinting Wang, Xiaobin Zhu, (2007) “Sorption and desorption of lead (II) from wastewater by green algae *Cladophorafascicularis*,” *Journal of Hazardous Materials*, 143, 220–225.

[2]. QU Jiuhui, (2008) “Research progress of novel adsorption processes in water purification,” *A review Journal of Environmental Sciences*, Vol. 20, 1–13.

[3]. R.W. Gaikwad, D.V. Gupta, (2010) “Review on removal of heavy metals from acid mine drainage”, *Applied ecology and*

*environmental research*, Vol. 6(3), 81-98 (2008).

[4]. ShashiPrabhaDubey, Krishna Gopal, J.L. Bersillon, (2009) “Utility of adsorbents in the purification of drinking water: A review of characterization, efficiency and safety evaluation of various adsorbents,” *Journal of Environmental Biology*, Vol.30(3), 327-332.

[5]. Jingfa Li, Baojuan Xi, Yongchun Zhu, Qianwen Li, Yan Yan, YitaiQian, (2011) “A precursor route to synthesize mesoporous  $\gamma$ - $MnO_2$  microcrystals and their applications in lithium battery and water treatment,” *Journal of Alloys and Compounds*, Vol. 509, 9542– 9548.

[6]. Andjelkovic I., Manojlovic D., Skrivanj S., Pavlovic B. M., Amaizah N. R., Roglic G, (2013) “As(III) and As(V) Sorption on  $MnO_2$  Synthesized by Mechano-chemical Reaction from Aqueous phase,” *International Journal of Environmental Resources*, Vol. 7(2), 395-402.

[7]. P. Senthil Kumar, R. Gayathri, (2009) “Adsorption of  $Pb^{2+}$  ions from aqueous solutions onto Bael tree leaf powder: isotherms, kinetics and thermodynamics study,” *Journal of Engineering Science and Technology*, Vol. 4, No. 4, 381-399.

[8]. K. Rout, M. Mohapatra, B. K. Mohapatra, S. Anand, (2009) “Pb(II), Cd(II) and Zn(II) adsorption on low grade manganese ore,” *International Journal of Engineering, Science and Technology*, Vol. 1, No.1, 106-122.

[9]. K.Y. Foo, B.H. Hameed, (2010) “Insights into the modeling of adsorption

isotherm systems,” Chemical Engineering Journal, Vol. 156, 2–10.

[10]. Sh. Shahmohammadi-Kalalagh, H. Babazadeh, A. H. Nazemi, M. Manshouri, (2011) “Isotherm and Kinetic Studies on Adsorption of Pb, Zn and Cu by Kaolinite,” Caspian Journal of Environmental Sciences, Vol. 9, No. 2, 243-255.

[11]. Dawodu F. A, Akpomie G. K, Abuh M.A, (2012) “Equilibrium isotherm studies on the batch sorption of copper (II) ions from aqueous solution onto "NSU clay”,” International Journal of Scientific & Engineering Research, Vol. 3 Issue 12, 1-7.

[12] Jamil Anwar, Umer Shafique, Waheed-uz-Zaman, Muhammad Salman, Amara Dar, Shafique Anwar. (2010) *Removal of Pb(II) and Cd(II) from water by adsorption on peels of banana*. Bioresource Technology 101, 1752–1755.

[13] S. Vasiliu , I. Bunia, S. Racovita, V. Neagu. (2011) *Adsorption of cefotaxime sodium salt on polymer coated ion exchange resin microparticles: Kinetics, equilibrium and thermodynamic studies*. Carbohydrate Polymers 85, 376–387.

[14] Hamedreza Javadian, Forough Ghorbani, Habib-allah Tayebi, SeyedMostafa Hosseini Asl. (2013) *Study of the adsorption of Cd (II) from aqueous solution using zeolite-based geopolymer, synthesized from coal fly ash; kinetic, isotherm and thermodynamic studies*. Arabian Journal of Chemistry.

[15] Riddhish R. Bhatt, Bhavna A. Shah. (2013) *Sorption studies of heavy metal ions by salicylic acid-formaldehyde – catechol terpolymeric resin: Isotherm, kinetic and thermodynamics*. Arabian Journal of Chemistry.

---

## ỨNG DỤNG PHÂN TÍCH SẮC KÝ LỎNG HIỆU NĂNG CAO .....(tiếp theo tr. 182)

2. Do Ngoc Khue, Nguyen Van Chat, Do Binh Minh, Tran Dai Lam, Pham Hong Lan, Vu Duc Loi, (2013) “*Degradation and mineralization of 2,4,6- trinitroresorcine in various photochemical systems*”, Materials Science and Engineering C33, pp.1975-1982.

3. Đỗ Bình Minh, Đỗ Ngọc Khuê, Trần Văn Chung, Nguyễn Văn Huống, Tô Văn Thiệp, (2013) “*Đặc điểm phản ứng oxi hóa phân hủy một số hợp chất nitrophenol độc hại nhiễm trong môi trường nước bằng tác nhân quang Fenton*”, Tạp chí KH&CNQS, số 27, 86-94.

4. Trần Mạnh Trí, Trần Mạnh Trung, (2005) “*Các quá trình oxi hóa nâng cao trong xử lý nước thải Cơ sở khoa học và ứng dụng*”, NXB KH-KT, tr. 41-142.

5. E. Neyens, J. Baeyens, (2003) “*A review of classic Fenton’s peroxidation as an advanced oxidation technique*”, Journal of Hazardous Materials B98, pp. 33-50.

6. Ming-Jer Liou, Ming-chun Lu, Jong-Nan Chen, (2003) “*Oxidation of explosives by Fenton and photo-Fenton processes*” Water Research 37, pp.3172-3179.