

علوم و تکنولوژی محیط‌زیست، دوره بیست و هفت، شماره هشت، آبان‌ماه ۱۴۰۴ (۲۷-۳۶)

## کاربرد جاذب نانو کامپوزیت منیزیم اکسید / کیتوسان برای حذف یون نیکل (II) از محلول های آبی: مطالعه ترموسینتیکی

نبیه فرهامی<sup>۱\*</sup>

[nfarhami@iaui.ac.ir](mailto:nfarhami@iaui.ac.ir)

محمدعلی افصلی<sup>۲</sup>

بیژن قنواتی<sup>۳</sup>

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۳/۱۰

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۲/۱۲

### چکیده

زمینه و هدف: این تحقیق با هدف کارایی جاذب زیستی نانو کامپوزیت اکسید منیزیم/کیتوسان در حذف نیکل II انجام گرفته است. روش بررسی: پس از شناسایی کیفی جاذب با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) و دستگاه FT-IR اثر پارامترهای مختلفی از جمله pH، دما، زمان تماس، غلظت اولیه و وزن جاذب مورد بررسی قرار گرفت. با رسم ایزوترم‌های لانگمویر، فرندلیچ و همچنین بررسی سینتیک جذب و ضرایب آن‌ها محاسبه شد.

یافته‌ها: که مقدار pH بهینه در این آزمایش ۷ و زمان تماس بهینه ۳۰ دقیقه در دمای ۲۹۸ کلوین به دست آمد. نتایج آزمایشات نشان داد که جذب نیکل (II) از پساب بیشتر از ایزوترم فرندلیچ تبعیت می‌کند. از سوی دیگر نمودارهای سینتیکی دلالت بر این دارد که جذب نیکل از مدل سینتیک شبه درجه دوم است و مقادیر بدست آمده از پارامترهای ترمودینامیکی  $\Delta H^\circ$  و  $\Delta S^\circ$  و  $\Delta G^\circ$  دلالت بر خودبخودی و گرمازا بودن فرایند جذب را نشان می‌دهد.

بحث و نتیجه‌گیری: جاذب نانو کامپوزیت منیزیم اکسید/کیتوسان می‌تواند کارایی موثری در حذف آلاینده یون نیکل از محلول‌های آبی داشته باشد، بطوری که طبق این تحقیق با افزایش میزان جاذب، میزان حذف آلاینده افزایش یافت و با افزایش دما، میزان حذف آلاینده کاهش یافت که تاییدی بر گرمازا بودن فرایند طبق محاسبات  $\Delta H^\circ$  است و همچنین با افزایش غلظت آلاینده، حذف آن توسط جاذب کاهش یافت.

واژه‌های کلیدی: جذب سطحی، سینتیک جذب، فلز سنگین، جاذب زیستی، نانو کامپوزیت منیزیم اکسید/کیتوسان.

<sup>۱</sup> استادیار گروه شیمی، واحد ماهشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، ماهشهر، ایران\* (مسئول مکاتبات)

<sup>۲</sup> کارشناسی ارشد مهندسی شیمی، دانشگاه آزاد اسلامی، ماهشهر، ایران

<sup>۳</sup> استادیار گروه مهندسی شیمی، واحد ماهشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، ماهشهر، ایران

## **Application of magnesium oxide/chitosan nanocomposite adsorbent for removal of Nickel (II) ion from aqueous solutions: Thermokinetic study**

**Nabieh Farhami**<sup>1\*</sup>

[nfarhami@iau.ac.ir](mailto:nfarhami@iau.ac.ir)

**Mohamad Ali Afzali**<sup>2</sup>

**Bijan Ghanavati**<sup>3</sup>

Accepted Date: May 30, 2025

Date Received: March 2, 2025

### **Abstract**

**Background and objective:** This research was conducted with the aim of the effectiveness of magnesium oxide/ chitosan nanocomposite-based bio-adsorbent for nickel II ion removal.

**Material and Methodology:** After characterization of the adsorbent by SEM and FTIR techniques, the effect of parameters such as pH, temperature, contact time, initial amount and weight of the adsorbent was investigated. Langmuir and Freundlich isotherms, as well as the adsorption kinetics were studied and their coefficients were calculated from drawing their plots.

**Findings:** The optima values of pH, contact time and temperature were obtained 7, 30 minutes and 298 K, respectively. The results of the experiments showed that the absorption process of nickel (II) follows the Freundlich isotherm. According to the kinetic plots of nickel adsorption, it follows the pseudo-second order kinetic model and the obtained values of thermodynamic parameters including  $\Delta H^\circ$ ,  $\Delta S^\circ$  and  $\Delta G^\circ$  shows the spontaneity and exothermicity of the adsorption process.

**Discussion and Conclusion:** magnesium oxide/chitosan nano composite adsorbent can be effective in removing nickel ion from aqueous solutions. According to this research, the amount of pollutant removal increased with the increase in the amount of adsorbent, and the amount of pollutant removal decreased with the increase in temperature. Also, with the increase in pollutant concentration, its removal by the adsorbent decreased. Also, with increasing the temperature, the amount of pollutant removal decreased, which confirms that the process is exothermic according to  $\Delta H^\circ$  calculations.

**Keywords:** Surface adsorption, Nickel (II) ion, heavy metal, bio adsorbent, magnesium oxide/chitosan nanocomposite.

---

<sup>1</sup> Assistant Professor, Department of Chemistry, Mahs.C., Islamic Azad University, Mahshahr, Iran  
\* (*Corresponding Author*)

<sup>2</sup> Department of chemical engineering, Mahs.C., Islamic Azad University, Mahshahr, Iran

<sup>3</sup> Assistant professor, Department of Chemical Engineering, Mahs.C., Islamic Azad University, Mahshahr, Iran

### زمینه و هدف

انسان در زمینه های مختلف از نیکل استفاده می کند. یکی از بیشترین کاربردهای نیکل، در صنعت فولاد است. نیکل به عنوان جزء سازنده محصولات فلزی و فولاد استفاده می شود. به طور طبیعی مقداری نیکل در مواد غذایی وجود دارد. شکلات و چربی ها حاوی مقدار بسیار زیادی نیکل هستند. اگر شخصی از سبزیجات حاصل از مناطق آلوده به نیکل تغذیه کند، مقدار زیادی نیکل وارد بدنش می شود. نیکل در بافت گیاهان تجمع می یابد و باعث افزایش مقدار این یون فلزی در سبزیجات می شود. در افراد سیگاری مقدار زیادی نیکل در ششها وجود دارد. همچنین نیکل در شوینده ها نیز مورد استفاده قرار می گیرد. راههای ورود این یون فلزی به بدن انسان از طریق، هوا، غذا، آشامیدن آب و کشیدن سیگار است. همچنین بر اثر تماس پوست با آب یا خاک آلوده به نیکل، مقداری از این یون فلزی وارد بدن انسان می شود. مانند بسیاری فلزات، مقدار اندک نیکل برای انسان ضروری است اما اگر مقدار آن افزایش یابد، سلامت انسان را به خطر می اندازد. عوارض افزایش مقدار نیکل در بدن به شرح زیر است: شانس مبتلا شدن به انواع سرطان مانند ریه، بینی، حنجره و پروستات را افزایش می دهد. پس از اینکه فرد در معرض گاز نیکل قرار گرفت، دچار کسالت و سرگیجه می شود. مشکلات تنفسی، آب آوردن ریه ها، کاهش توانایی تولید مثل، آسم و برونشیت مزمن، حساسیت هایی از قبیل خارش پوست (آماس معروف به خارش نیکل) از عوارض آلودگی نیکل است و معمولاً در افراد با حساسیت پوستی بالا مشاهده می شود. [۱-۳] یکی از بیشترین کاربردهای نیکل، در صنعت فولاد است. عمده ترین خطر مواجهه با نیکل در کارگرانی می باشد که در مشاغل چون استخراج معادن، صنایع ذوب، آبکاری الکترونیک، باتری سازی و جوشکاری مشغول به کارند. به طور طبیعی مقداری نیکل در مواد غذایی وجود دارد. غذاهای غنی از نیکل شامل آجیل، غلات و حبوبات و شکلات می باشد. مقدار مجاز نیکل مصرفی در محصولاتی که با دست انسان تماس دارد مطابق اتحادیه اروپا ۰/۰۵۰ میلی گرم بر سانتی متر مکعب است. [۱-۳]. راه های مختلفی برای حذف فلزات سنگین وجود دارد که فرآیند جذب سطحی آلاینده ها از شناخته شده ترین و پرکاربردترین این فرآیندهاست. در فرآیند جذب سطحی که در دسته بندی روش های جداسازی فیزیکی قرار می گیرد، آلاینده از راه برهمکنش های فیزیکی یا شیمیایی با گروه های عاملی موجود در سطح جاذب، جذب می شوند. عواملی از جمله دما، زمان تماس فاز جاذب با آلاینده، اسیدیته محلول، غلظت و نوع آلاینده، نوع ماده جاذب، اندازه ذرات فاز جاذب بر فرآیند جذب سطحی آلاینده اثر دارد [۴]. به طور کلی جاذب

ایده آل برای حذف یون فلزات سنگین باید دارای ویژگی هایی نظیر سطح ویژه بزرگ، ظرفیت جذب بالا، حجم و اندازه ذرات بالا، ثبات مکانیکی، کم هزینه بودن، سازگاری محیط زیست و انتخاب پذیری بالا، دسترسی آسان، سهولت بازسازی باشد. کیتوسان یکی از جاذب های طبیعی و زیست سازگار با کارایی بالا و موثر برای جذب فلزات سنگین است. این ماده با داشتن گروه آمینو و هیدروکسیل و همچنین سمیت کم، هزینه فرآوری پایین، مناسب به عنوان جاذب است و با عاملدار شدن کیتوسان با نانوذرات اکسید فلزی، ویژگی های فیزیکی با تغییراتی مواجه می شود، از جمله افزایش نسبت سطح به حجم و ورود اندازه ذرات به قلمرو اثرات کوانتومی، باعث غلبه یافتن رفتار اتم های واقع در سطح ذره به رفتار اتم های درونی می شود. [۵]

محمد هلال و همکاران (۲۰۲۳) در یک تحقیق از جاذب نانو ذرات زئولیت محصور شده در آلژینات سدیم برای جذب نیکل از محلول آبی استفاده کردند. پارامترهای اسیدیته، دما، زمان تماس، مقدار جاذب و غلظت اولیه بررسی شد. ترمودینامیک و سینتیک جذب مطالعه شد. جذب خودبخود و گرماده، سینتیک شبه مرتبه دو بود [۶]. در تحقیق دیگری وفا حمد و همکارانش (۲۰۲۳) جذب یون های نیکل (II) را با استفاده از منیزیوم اکسید مطالعه کردند. مدل های تعادلی برای محاسبه ایزوترم های لانگمویر و فروندلیچ و سینتیک واکنش استفاده شدند، در حالی که مدل های ایزوترم، داده های تجربی را تأیید می کنند. جذب یون نیکل (II) بر روی اکسید منیزیوم به شدت وابسته به زمان تماس، مقدار اولیه نیکل (II)، دما، pH و دوز جاذب بود. پارامترهای ترمودینامیکی  $\Delta G^\circ$  با مقدار منفی و مقدار مثبت  $\Delta S^\circ$  نشان می دهد که جذب یون های نیکل (II) توسط اکسید منیزیوم به صورت خودبخودی اتفاق افتاده است. نتیجه مثبت نشان دهنده جذب گرماگیر برای  $\Delta H^\circ$  است. در نهایت، معادله شبه مرتبه دوم، برای سینتیک جذب ارائه شد [۷].

### روش بررسی

#### مواد و وسایل

۱. دستگاه اسپکتروفوتومتر مدل PGT 80 ساخت کشور انگلستان جهت تعیین غلظت یون های نیکل (II)
۲. دستگاه pH meter ohm مدل ۸۲۷ ساخت کشور سوئیس جهت اندازه گیری و تنظیم pH محلولها
۳. دستگاه التراسونیک bandelin مدل DK203 H ساخت کشور آلمان جهت دیسپرس کردن نانو ذرات منیزیوم در نمونه

۳۰ دقیقه به منظور ته نشین شدن به حال خود رها می‌شود. پس از آن مقادیر مشخصی از محلول را برداشته و پس از مرحله‌ای به منظور تعیین مقدار حذف یون نیکل، محلول در دستگاه جذب اتمی قرار می‌گیرد. مقدار نیکل جذب شده با استفاده از غلظت اولیه و نهایی قابل محاسبه است.

#### یافته‌ها

##### مدل ایزوترم جذب سطحی لانگمویر

معادله لانگمویر برای جذب سطحی به صورت تک لایه بر روی سطح جاذب به صورت ذیل بیان می‌شود: [8]

$$q_e = \frac{q_m b c_e}{1 + b c_e} \quad (1)$$

##### مدل ایزوترم جذب سطحی فروندلیچ

معادله فروندلیش، معادله دیگری برای جذب سطحی همدم است که به منظور تعیین کلی سیستم‌های جذب سطحی تعادلی و ناهمگن به کار می‌رود. شکل عمومی رابطه به صورت زیر است. [6] در اینجا  $q_e$  جذب تعادلی و  $C_e$  غلظت تعادلی است.  $n$  و  $k$  ضرایبی هستند که به صورت تجربی بدست می‌آیند.

$$q_e = k_f c_e^{\frac{1}{n}} \quad (2)$$

##### معادله رفتارهای سینتیکی

معادله سینتیک شبه درجه اول به صورت معادله (۳) است: [6] در اینجا  $q$  جذب در لحظه و  $k$  ثابت سرعت و  $t$  زمان است

$$\log(q_e - q_t) = \log q_e - \frac{k}{2/303} t \quad (3)$$

معادله سینتیک شبه درجه دوم به صورت معادله (۴) است: [6]

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

برای محاسبه میزان حذف یون فلزی از محلول آبی با جاذب و ظرفیت جذب از روابط (۵) استفاده می‌شود:  $C_0$ : غلظت اولیه محلول است.  $v$ : حجم محلول نمونه و  $m$  جرم جاذب است.

$$q = V * \frac{c_0 - c_e}{m} \quad (5)$$

##### ترمودینامیک جذب سطحی

پارامترهای ترمودینامیکی شامل تغییرات انرژی آزاد گیبس  $\Delta G^0$ ، تغییرات انتالپی استاندارد  $(\Delta H^0)$  و تغییرات آنتروپی استاندارد  $(\Delta S^0)$  را می‌توان با استفاده از روابط زیر محاسبه کرد:

$$\Delta G^0 = -RT \ln K = -RT \ln \frac{c_e}{c_0} \quad (6)$$

۴. ترازوی چهار رقم اعشار AND جهت توزین مواد شیمیایی
۵. دستگاه FT-IR PerkinElmer مدل Spectrum RX1 ساخت کشور آمریکا
۶. دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی SEM مدل VEGA-TESCAN-LMU واقع در مرکز پژوهش متالورژی رازی
۷. دستگاه پراش اشعه ایکس (XRD) ساخت شرکت analytical
۸. دستگاه جار تست ساخت شرکت زاگ شیمی

کیتوسان (CAS number: 9012-76-4) از شرکت سیگما آلدريج آمریکا، نانو اکسید منیزیم (CAS number: 1309-) (48-4)

از شرکت سیگما آلدريج آمریکا، محلول اسید استیک ۱٪، محلول سود 2 مولار و ۰.۱ مولار شرکت مرک.

##### تهیه نانو ذرات منیزیم اکسید بر پایه کیتوسان

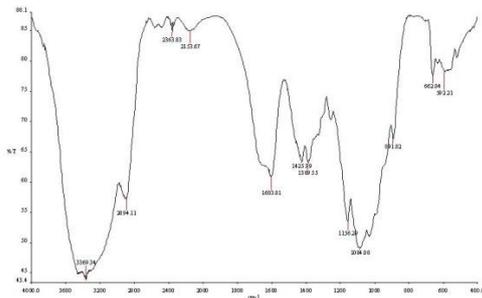
به ۱۰۰ میلی لیتر محلول استیک اسید ۱٪، مقدار ۰.۷۵ گرم منیزیم اکسید اضافه شد و بر روی همزن مغناطیسی قرار می‌گیرد و به آن چند قطره نیتریک اسید افزوده شد تا حل شود و سپس به آهستگی ۱ گرم کیتوسان به آن اضافه و محلول حاصل به مدت ۳۰ دقیقه در حمام اولتراسونیک با دمای ۳۰ درجه سلسیوس قرار داده شد و سپس، قطره قطره سود 2 مولار به محلول در حال اختلاط، افزوده شد تا PH محلول به ۱۰ برسد، سپس مخلوط را برای ۳ ساعت در بن ماری 60 سانتیگراد حرارت داده وبعد، آن را صاف کرده و در آن به مدت یک ساعت با دمای 50 سانتیگراد قرار داده تا خشک شود. آزمایش جذب در دمای  $25 \pm 1$  سانتی گراد انجام شد.

##### محلول سازی

جهت تهیه محلول حاوی نیکل (II) از نمک فلزی  $Ni(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$  استفاده و برای تنظیم PH محیط از کلریدریک اسید و سدیم هیدروکسید ۰.۰۵ مولار استفاده شد. ابتدا یک محلول (1000 ppm) از نمک نیکل نیترات (II) شش آبه بعنوان محلول استاندارد ساخته و با نیتریک اسید ۰.۰۵ درصد حجمی به حجم رسانده شد و سپس از این محلول و با استفاده از آب دی یونیزه و با استفاده از رابطه  $N1V1=N2V2$  محلول‌هایی با غلظت ۵ و ۱۰ و ۱۵ و ۲۰ و ۲۵ ppm تهیه شد. آزمایش‌ها در حالت ناپیوسته انجام شد و برای هر پارامتر پس از تهیه محلول در دستگاه جارتست با سرعت اختلاط ۴۰۰ دور در دقیقه قرار می‌گیرد. پس از طی شدن زمان مورد نظر، محلول

غیرقابل برگشت پذیر بودن آن را نشان می دهد و منفی بودن  $\Delta H$ ، گرمازا بودن فرایند و امکان فیزیکی بودن جذب سطحی را نشان می دهد که می تواند به راحتی با دادن مقدار گرمایی برابر با مقدار محاسبه شده به جذب سطحی معکوس منجر شود و انتقال فاز جذب شده به محیط از فاز جاذب انجام شود. [11-13]

**ریخت شناسی نانوجندسازه منیزیم اکسید/ کیتوسان**  
ریخت شناسی نانوکامپوزیت منیزیم اکسید/کیتوسان با FTIR میکروسکوپ الکترونی روبشی از نوع گسیل میدانی و XRD الگوی پراش پرتو X که با پراش سنج D5005 زیمنس بررسی شد. الگوی XRD کیتوسان و منیزیم اکسید در گستره  $2\theta = (10^\circ - 70^\circ)$  با سرعت اسکن  $(^\circ/S)$  0.02 با استفاده از تابش  $\text{CuK}\alpha$  طول موج 0.15406 نانومتر انجام شد. طیف FTIR به وسیله Nicolet iS10 با استفاده از قرص KBr در گستره  $(400-4000 \text{ cm}^{-1})$  انجام شد. شکل (۱-۳). در شکل ۵، ریخت شناسی نانوجندسازه و وجود منیزیم اکسید با تصاویر SEM بررسی شده است.



شکل (۲). طیف مادون قرمز ترکیب کیتوسان.  
Fig (2). IR spectrum of chitosan compound.

$$\Delta S^0 = \frac{\Delta H^0 - \Delta G^0}{T} \quad (7)$$

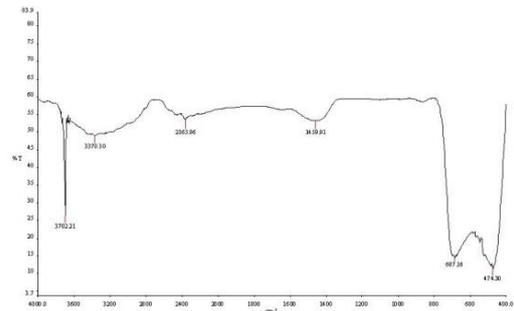
$$\log \frac{C_e}{C_0} = \frac{\Delta H^0}{RT} - \frac{\Delta S^0}{R} \quad (8)$$

که Ce و C0 به ترتیب غلظت تعادلی و غلظت اولیه فاز جذب شونده است. [7-10]

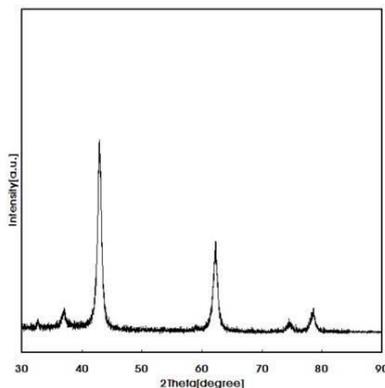
آنچه برای طراحی آزمایش های جذب سطحی (پیوسته یا ناپیوسته) باید به آن توجه شود، سرعت جذب و تغییرات ایجاد شده در طی فرایند جذب است. سرعت واکنش می تواند از داده های سینتیکی محاسبه شود. اما تغییرات در واکنش در طی فرایند جذب با کمیت های ترمودینامیکی (انرژی آزاد گیبس، آنتالپی، آنتروپی) پیش بینی می شوند. آنتالپی جذب سطحی وابسته به ثابت لانگمویر ( $K_L$ ) که با رابطه 9 تعریف می شود:

$$K_L = K_L^* e^{\frac{-\Delta H}{RT}} \quad (9)$$

که در آن  $K_L^*$  ثابت واکنش و  $\Delta H$  آنتالپی و خاصیت وابسته به جسم است، مثبت بودن مقدار  $\Delta H$  گرماگیر بودن فرایند و

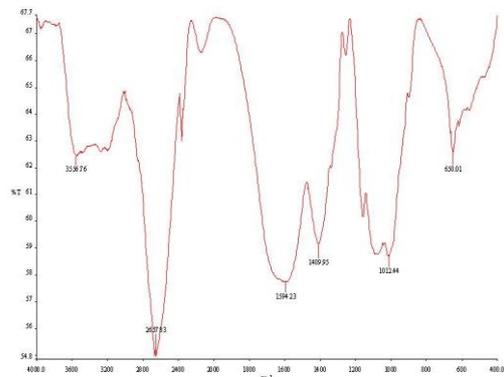


شکل (۱). طیف مادون قرمز ذرات اکسید منیزیم.  
Fig (1). IR spectrum of MgO nanoparticles.



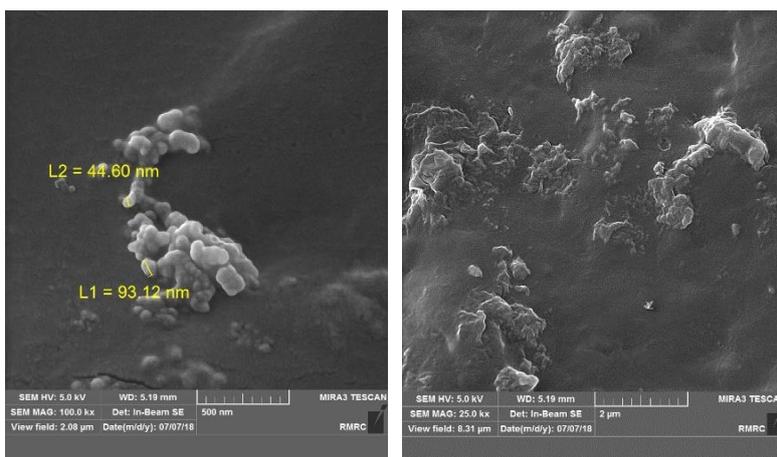
شکل (۴) الگوی XRD نشان دهنده تولید نانو کامپوزیت منیزیم اکسید/ کیتوسان است.

Fig (4) XRD pattern of the produced magnesium oxide/chitosan nanocomposite.



شکل (۳). طیف مادون قرمز نانو چندکامپوزیت اکسید منیزیم/کیتوسان.

Fig (3). IR spectrum of magnesium oxide/chitosan nanocomposite.

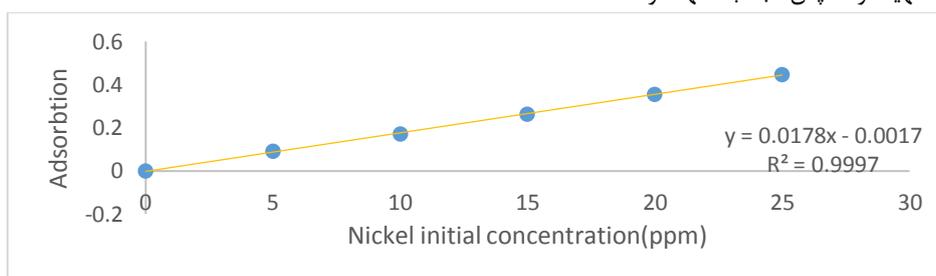


شکل (۵) تصویر SEM مربوط به نانو کامپوزیت منیزیم اکسید / کیتوسان  
Fig (5) SEM image of magnesium oxide/chitosan nanocomposite

اسپکتروفوتومتر در طول موج 327 nm خوانده و در انتها  
منحنی کالیبراسیون رسم شد. شکل (۶)

رسم منحنی کالیبراسیون

برای رسم منحنی کالیبراسیون غلظت‌های متفاوتی از محلول  
استاندارد نیکل (II) با غلظت‌های (ppm) 5, 10, 15, 20, 25  
در دمای محیط تهیه و سپس جذب آنها توسط دستگاه



شکل (۶) منحنی کالیبراسیون جذب بر حسب غلظت‌های اولیه مختلف از نیکل (II)  
Fig (6) absorption calibration curve according to different initial concentrations of nickel (II).

pHهای متفاوت به 0/05 گرم جاذب نانو کامپوزیت اکسید  
منیزیم/کیتوسان افزوده و در دمای محیط و به مدت زمان یک  
ساعت روی همزن مغناطیسی با دور ثابت ۴۰۰ دور بر دقیقه  
قرار داده و سپس محلولها را از کاغذ صافی گذرانده و نهایتاً  
جذب آنها توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر اندازه گیری شد.  
نتایج در جدول ۱ آمده است.

بحث و نتیجه گیری

بررسی و بهینه کردن پارامترهای موثر بر جذب سطحی  
یون نیکل (II) با استفاده نانو کامپوزیت اکسید  
منیزیم/کیتوسان

اثر PH

۵۰ میلی لیتر محلول نیکل (II) با غلظت (20 ppm) را در

جدول (۱) نتایج محاسبات مربوط به جذب یون نیکل (II) در pHهای متفاوت

Table (1) results of calculations related to absorption of nickel (II) ion at different pHs

pH	جذب محلول تعادلی	غلظت محلول تعادلی (ppm)	درصد حذف
3	0/236	13/35	33/2
4	0/227	12/8	36
5	0/206	11/6	42
6	0/186	10/54	47/3
7	0/157	8/91	55/4
8	0/240	13/57	32/1

در دماهای متفاوت به مدت 30 دقیقه بر روی همزن مغناطیسی با دور ثابت ۴۰۰ دور بر دقیقه قرار داده و سپس محلولها را از کاغذ صافی گذرانده و نهایتاً جذب آنها توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر اندازه گیری شد. نتایج در جدول ۴ آمده است.

جدول (۴) نتایج محاسبات مربوط به حذف یون نیکل (II) در دماهای مختلف

Table (4) results of calculations related to the removal of nickel (II) ions at different temperatures

دما (K)	جذب محلول تعادلی	غلظت محلول تعادلی (ppm)	درصد حذف
298	0/05	2/90	85/5
308	0/068	3/91	80/4
318	0/086	4/92	75/4
328	0/129	7/34	63/3
338	0/168	9/47	52/6

#### بررسی اثر غلظت اولیه نیکل (II) بر جذب

۵۰ میلی لیتر محلول نیکل(II) با غلظت های متفاوت و  $pH=7$  را به 0/2 گرم جاذب نانوکامپوزیت اکسید منیزیم/کیتوسان افزوده و در دمای ۲۹۸ کلوین و به مدت زمان 30 دقیقه بر روی همزن مغناطیسی با دور ثابت ۴۰۰ دور بر دقیقه قرار داده و سپس محلولها را از کاغذ صافی گذرانده و نهایتاً جذب آنها توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر اندازه گیری شد. نتایج در جدول ۵ نشان داده شده است.

جدول (۵) نتایج مقادیر جذب یون نیکل(II) در غلظت های مختلف از نیکل(II) نترات

Table (5) results of absorption values of nickel(II) ion in different concentrations of nickel(II) nitrate

غلظت اولیه (ppm)	جذب محلول تعادلی	غلظت محلول تعادلی (ppm)	درصد حذف
5	0/009	0/6	97
10	0/020	1/22	87/8
15	0/036	2/12	85/8
20	0/050	2/90	85/5
25	0/074	4/25	83

#### بررسی همدمای جذب و تجزیه و تحلیل داده های ایزوترمی

مقادیر نیکل(II) جذب شده بر روی 0/2 گرم جاذب در غلظت های اولیه مختلف از محلول نیکل (II) نترات مطابق جدول (۶) و در شرایط بهینه سایر متغیرها بررسی و نمودارهای ایزوترمی جذب از قبیل لانگمویر، فرندلیچ بر روی داده ها اعمال

#### بررسی اثر مقدار جاذب

۵۰ میلی لیتر محلول نیکل(II) با غلظت 20 ppm و  $pH=7$  را به مقدارهای متفاوت از جاذب نانو چندسازه اکسید منیزیم/کیتوسان بر حسب گرم افزوده و در دمای محیط و به مدت زمان یک ساعت روی همزن مغناطیسی با دور ثابت ۴۰۰ دور بر دقیقه قرار داده و سپس محلولها را از کاغذ صافی گذرانده و نهایتاً جذب آنها توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر اندازه گیری شد. نتایج در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول (۲) نتایج محاسبات مربوط به جذب نیکل (II) با مقدارهای متفاوت جاذب

Table (2) results of calculations related to absorption of nickel (II) with different amounts of adsorbent

مقدار جاذب (g)	جذب محلول تعادلی	غلظت محلول تعادلی (ppm)	درصد حذف
0/05	0/157	8/91	55/4
0/1	0/107	6/10	69/5
0/15	0/072	4/14	79/3
0/2	0/048	2/8	86
0/3	0/044	2/56	87/2

#### بررسی اثر زمان

۵۰ میلی لیتر محلول نیکل (II) با غلظت 20 ppm و  $pH=7$  را به 0/2 گرم جاذب نانوکامپوزیت اکسید منیزیم/کیتوسان افزوده و در دمای محیط و در زمان های متفاوت بر حسب دقیقه روی همزن مغناطیسی با دور ثابت ۴۰۰ دور بر دقیقه قرار داده و سپس محلولها را از کاغذ صافی گذرانده و نهایتاً جذب آنها توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر اندازه گیری شد. نتایج در جدول ۳ آمده است.

جدول (۳) نتایج مقادیر جذب یون نیکل (II) در زمانهای مختلف توسط جاذب

Table (3) results of adsorption values of nickel (II) ions by the adsorbent at different times

زمان (min)	جذب محلول تعادلی	غلظت محلول تعادلی (ppm)	درصد حذف
5	0/252	14/25	28/75
10	0/217	12/28	36/8
15	0/150	8/52	57/4
20	0/117	6/27	68/65
25	0/074	4/25	78/75

#### بررسی اثر دما

۵۰ میلی لیتر محلول نیکل (II) با غلظت 20 ppm و  $pH=7$  را به 0/2 گرم جاذب نانوکامپوزیت اکسید منیزیم/کیتوسان افزوده و

گردید و نتایج مربوط به این بررسی نشان داد که جذب یون نیکل (II) بر روی جاذب بیشتر از ایزوترم جذبی فرندلیچ تبعیت می‌کند.

جدول (۶) اثر غلظت‌های اولیه بر درصد جذب یون نیکل (II) توسط جاذب نانوکامپوزیت اکسید منیزیم/کیتوسان برای بررسی ایزوترم‌های جذب در شرایط بهینه

Table (6) The effect of initial concentrations on the adsorption percentage of nickel(II) ion by magnesium oxide/chitosan nanocomposite adsorbent for investigation of the adsorption isotherms in optimal conditions

$C_0$ (mg L <sup>-1</sup> )	Adsorption	$C_e$ (mg L <sup>-1</sup> )	% Removal	$q_e$ (mg g <sup>-1</sup> )	$C_e/q_e$	Ln $C_e$	Ln $q_e$
5	0/009	0/6	97	1/1	0/54	-0/52	0/095
10	0/020	1/22	87/8	2/19	0/56	0/198	0/784
15	0/036	2/12	85/8	3/22	0/67	0/751	1/170
20	0/050	2/90	85/5	4/27	0/68	1/06	1/425
25	0/074	4/25	83	5/19	0/82	1/45	1/647

جذب می‌باشد بیانگر این است که فرایند جذب بصورت فیزیکی و مطلوب رخ داده است.

جدول (۸) ثابت‌های ایزوترم جذبی فرندلیچ  
Table (8) Parameters of Freundlich adsorption isotherm

$n_f$	$K_f$ (mg g <sup>-1</sup> )	$R^2$
۱/۳۵	1/748	0/9902

بررسی سینتیک جذب نیکل (II) بر روی نانو کامپوزیت اکسید منیزیم/کیتوسان

برای بررسی سینتیک جذب نیکل (II) بر روی نانو کامپوزیت اکسید منیزیم/کیتوسان یکسری آزمایش در زمانهای مختلف در غلظت ۲۰ میلی گرم بر لیتر از محلول نیکل (II) نیترات و در شرایط بهینه سایر متغیرها انجام گردید. از مدلهای سینتیکی مختلف بر روی داده‌های تجربی در جهت بررسی سرعت فرایند جذب و پتانسیل مرحله ی تعیین کننده سرعت استفاده شد. در این راستا برای بررسی سرعت جذب و محاسبه ثابت‌های مربوطه از مدل‌های سینتیکی شبه مرتبه اول و شبه مرتبه دوم استفاده شد. نتایج در شکل ۷ آمده است.

بررسی همدمای جذب سطحی لانگمویر

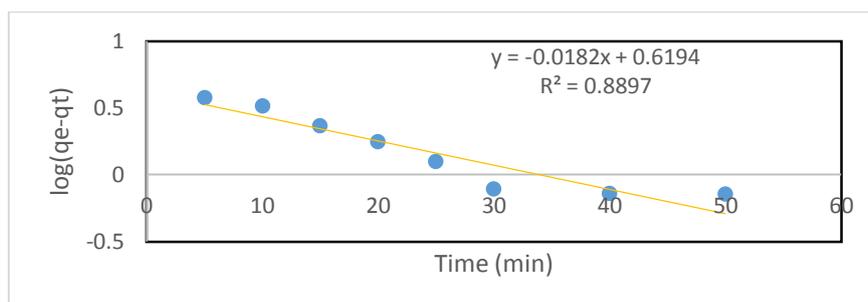
با استفاده از معادله ایزوترم لانگمویر و رسم منحنی  $C_e/q_e$  بر حسب  $C_e$  و بدست آمدن معادله خط، ثابت‌های ایزوترم لانگمویر محاسبه و نتایج این بررسی در جدول (۷) جمع آوری شد. مقدارهای بدست آمده از پارامتر بدون بعد فاکتور جداسازی ( $R_L$ ) در غلظت‌های اولیه متفاوت بیانگر مطلوب بودن جذب یون نیکل دو ظرفیتی بر روی جاذب نانوکامپوزیت اکسید منیزیم/کیتوسان است.

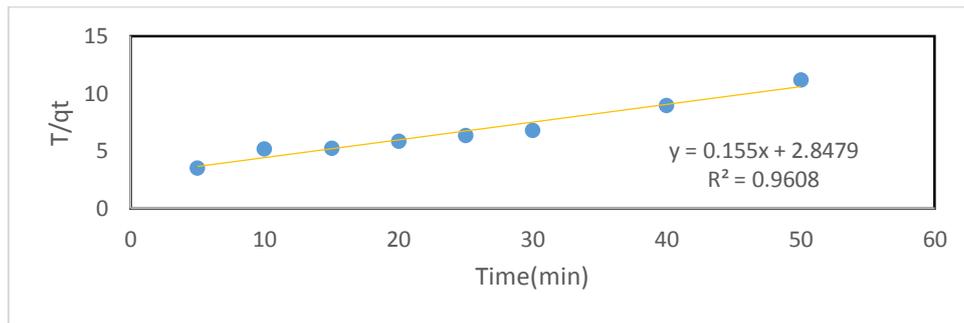
جدول (۷) ثابت‌های ایزوترم جذبی سطحی لانگمویر  
Table (7) parameters of Langmuir adsorption isotherm

$q_m$ (mg g <sup>-1</sup> )	$K_L$ (L mg <sup>-1</sup> )	$R^2$
13	0/159	0/9651

بررسی همدمای جذب سطحی فرندلیچ

با استفاده از معادله ایزوترم فرندلیچ و رسم منحنی  $\ln q_e$  بر حسب  $\ln C_e$  و بدست آوردن معادله خط، ثابت‌های ایزوترم فرندلیچ محاسبه و نتایج این بررسی در جدول (۸) جمع آوری شد. مقدارهای بدست آمده از پارامتر  $n_f$  که مربوط به شدت





ب

شکل (۷) الف- سینتیک شبه مرتبه اول و ب- شبه مرتبه دوم جذب سطحی نیکل(II) توسط جاذب نانوکامپوزیت اکسید منیزیم/کیتوسان.

Fig (8) Kinetic models of a- pseudo-first order and b- pseudo-second order for nickel (II) adsorption onto the magnesium oxide/chitosan nanocomposite adsorbent.

۶. با توجه به نتایج ایزوترم های جذب رسم شده، دیده شد که معادله ایزوترم جذب فرندلیچ نسبت به سایر معادله های ایزوترم جذب دارای ضریب همبستگی بالاتر و مناسب تری است.

۷. با افزایش زمان تماس تا زمان رسیدن به تعادل میزان جذب افزایش می یابد.

۸. با محاسبه مقادیر  $n_f$  مشاهده شد که جذب بصورت مطلوب و فیزیکی رخ داده است.

#### تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل پایان نامه کارشناسی ارشد با کد ۱۶۲۶۰۷۰۱۰ و با حمایت معاونت پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد ماهشهر اجرا شده است. نویسندگان بر خود لازم می دانند از دانشگاه آزاد اسلامی واحد ماهشهر، برای در اختیار قرار دادن امکانات آزمایشگاهی برای این پژوهش تشکر نمایند.

#### Reference

- [1] Jamali M, Bayat J, Talakesh S.M.R and Hashem S.H. investigation of heavy metals and petroleum hydrocarbons pollution source in agricultural lands in the south of Tehran. Environmental Sciences.2022; 20(3): 251-264.
- [2] Shah N, Baillie B, Bishop K, Ferraz S, Hogbom L and Nettles J. The effects of forest management on water quality. Forest Ecology and Management, 2022; 522: 120397-120419
- [3] Mobasherpour I, Salehi E, Pazouki M. Removal of Nickel (II) from aqueous solutions by using nanocrystalline calcium hydroxyapatite. J Saudi chem soc. 2011; 15(2): 105-112.
- [4] Haghghi H, Irannajad M. Investigation on adsorption of Ni, Cu and Cd by Nano Zedite. J Env Sci Tech. 2024; 25(10): 17-27.

#### محاسبه توابع ترمودینامیکی

با استفاده معادلات (۶-۸) توابع ترمودینامیکی محاسبه شد که در جدول (۹) آمده است.

جدول (۹) پارامترهای ترمودینامیکی جذب نیکل(II) توسط

جاذب نانو چندسازه اکسید منیزیم/کیتوسان

Table (9) Thermodynamic parameters of nickel (II) adsorption process onto the magnesium oxide/chitosan nanocomposite adsorbent

T(K)	$\Delta G^0$ (Kj mole <sup>-1</sup> )	$H^0$ (KJ Δmole <sup>-1</sup> )	$S^0$ (Kj Δmole <sup>-1</sup> )
298	-13/28	-۹۸/۹	0/012
308	-13/57		
318	-13/85		
328	-13/80		
۳۳۸	-13/71		

#### نتیجه گیری

۱. مطالعات سینتیکی نشان می دهد که جذب نیکل (II) بر روی جاذب نانو کامپوزیت اکسید منیزیم/کیتوسان از سینتیک شبه مرتبه دوم تبعیت می کند .
۲. با افزایش غلظت محلول حاوی یون نیکل دو ظرفیتی میزان جذب به ازای واحد جرم ماده جاذب کاهش می یابد .
۳. افزایش دما باعث کاهش فرایند جذب شده، از اینرو فرایند جذب را می توان یک فرایند گرمازا دانست .
۴. منفی بودن انرژی آزاد استاندارد گیبس نشان دهنده خودبخودی بودن فرایند جذب است.
۵. منفی بودن تغییرات آنتالپی استاندارد واکنش نشان دهنده گرمازا بودن فرایند در سیستم جذب و همچنین مثبت بودن تغییرات آنتروپی استاندارد سیستم نیز نشان دهنده افزایش بی نظمی در فصل مشترک جامد - محلول است.

- [5] Khoram Abadi V, Habibi D, Ariannezhad M. The effective removal of Ni<sup>2+</sup>, Cd<sup>2+</sup> and Pb<sup>2+</sup> from aqueous solution by adenine based nano adsorbent. RSC. 2023; 13: 5970-5982.
- [6] Hellal M, Rashad AM, Kadimpati KK, Attia SK, Fawzy ME. Adsorption characteristics of nickel (II) from aqueous solutions by Zeolite Scony Mobile-5 (ZSM-5) incorporated in sodium alginate beads. Sci Rep. 2023; 13: 1960-1970.
- [7] Darweesh MA, Basant Eweida B, Maher Wahba A, Ghoniem Sh, W. A. Hammad WA. Effective adsorptive Removal of Ni<sup>2+</sup> from Aqueous Solutions using MgO Adsorbent: A Study of Kinetics and Adsorption Model. Journal of Engineering Research. 2023; 7(1): 61-66.
- [8] Farhami N, Derakhshandeh M. Investigation of Vanadium adsorption from industrial wastewater using nano composite of Magnesium Oxide/Chitosan adsorbent. Nanomeghyas J. 2021; 8(3): 11-120
- [9] Azzam EMS, Elsofany WL, Abdulaziz F. Ecofriendly Elimination of Ni (II) Using Fabricated Nanocomposite Based on Chitosan/Silver Nanoparticles/Carbon Nanotubes. Polym J. 2023; 15(13); 2759.
- [10] Habeeb SA, Nadhim BA. Removal of nickel (II) ions, low-level pollutants, and total bacterial colony count from wastewater by composite nanofiber film. Sci Iran. 2023; 30(6): 2056-2069.
- [11] Kumar R, Rauwel P, Rauwel E. Nanoadsorbents for the Removal of Heavy Metals from Contaminated Water: Current Scenario and Future Directions. Processes Journal. 2021; 9(3); 1379-1408.
- [12] Vijayaraghavan J, Zunathur Rahman D and Thivya J. Removal of Ni (II) Ions from Wastewater by Raw and Modified Plant Wastes as Adsorbents: A Review. Iran. J. Chem Chem Eng. 2022; 41(1): 174-206.
- [13] Khadim NS, Saleh HM, AbdulKareem Abdulaali N. Adsorption Capacity of Some Metal Ions Using Polyurethane Modified Magnetic Nanoparticles as Adsorbent. J Nanostructures. 2022; 12(4): 1021-1033.