

# حذف نیکل از محیط آبی با استفاده از پوسته پسته سخت

شایان شامحمدی<sup>۱</sup>

مژده سالاری بردسیری<sup>۲</sup>

(دریافت ۹۰/۱/۳۰)

آخرین اصلاحات دریافتی ۹۱/۱/۲۰

پذیرش ۹۱/۲/۱۰

## چکیده

نیکل یکی از فلزات سنگینی است که در فاضلابهای صنعتی به وفور یافت می‌شود. تحقیقات زیادی در زمینه استفاده از زائدات کشاورزی برای حذف نیکل از محلولهای آبی انجام شده است. هدف از این تحقیق، معرفی پوسته پسته سخت به‌عنوان یک جاذب محلی در حذف فلز نیکل از محیط آبی بود. همچنین در این تحقیق، مدل‌های ایزوترم جذب نیکل توسط پوسته پسته مورد بررسی قرار گرفت. برای این کار پوسته پسته تهیه شد و اندازه ذرات آن بین ۶۰۰ تا ۸۰۰ میکرون انتخاب گردید. همچنین محلول استوک یون نیکل به‌وسیله اختلاط نمک نیترات نیکل ( $6\text{H}_2\text{O}\cdot\text{NiSO}_4$ ) ساخت کارخانه مرک آلمان با آب مقطر تهیه گردید. نتایج نشان داد که حداکثر راندمان جذب (۷۳/۳ درصد) در pH برابر ۸ اتفاق می‌افتد. همچنین برای یک غلظت ثابت، با افزایش جرم جاذب، زمان تعادل جذب کاهش (سرعت جذب افزایش) می‌یابد. نتایج حاصل از برازش مدل‌های ایزوترم جذب نشان داد که مدل‌های فروندلیچ، بروئر-امیتر-تالر، راک-پرائونیتز، ردلیچ-پترسون و سیپس در سطح اعتماد ۹۷ درصد داده‌ها را به‌خوبی توصیف می‌کنند، ولی مدل‌های فروندلیچ و سیپس با کمترین فاکتور خطا به ترتیب ۰/۱۰۵۹۷ و ۰/۱۰۵۹۸ و بیشترین ضریب همبستگی (۰/۹۷۸۵) داده‌ها را بهتر توصیف می‌نمایند. مقایسه ظرفیت جاذبها در حذف نیکل از محیط آبی نشان داد که پوسته پسته سخت با سطح ویژه ۱/۷ متر مربع بر گرم و ظرفیت جذب ۰/۳۹۸۴ میلی‌گرم بر گرم از جاذب‌های کائولینیت، باگاس و خاکستر لجن برای حذف نیکل مناسب‌تر است.

**واژه‌های کلیدی:** جذب، پوسته پسته سخت، نیکل، تغییر جرم، مدل

## Removal of Nickel from Aqueous Solution by Hard-Shell Pistachios

Shayan Shamohammadi<sup>1</sup>

Mojdeh Salari Bardsiri<sup>2</sup>

(Received Apr. 19, 2011 Revised March 29, 2012 Accepted Apr. 29, 2011)

### Abstract

Nickel is one of the heavy metals which commonly can be found in industrial wastewater. Many studies have been done on agricultural waste for the removal of nickel from aqueous solutions. The purpose of this study is to identify hard-shell pistachios as a local attraction for removal of nickel from aqueous solution. Nickel adsorption isotherm models are studied using shell pistachios. Pistachio shell was chosen which its particle size is between 800-600 microns. The stock solution of nickel ions was prepared mixing nickel nitrate with distilled water. The results showed that the maximum absorption efficiency occurs (73.3%) at pH=8. Also, it was shown that with increasing adsorbent dose, equilibrium time decreased within constant concentration. Examination of uptake isotherm models showed that models of Freundlich, BET, Radke-Praunitz, Redlich-Peterson and Sips describe data in 97% level of confidence well, however Freundlich and Sips isotherm models has the lowest error factor 0.10597 and 0/10598 respectively and the highest correlation coefficient (0.9785). Comparison of adsorbent capacity within removal of nickel from aqueous solution shows that Pistachio shell with special adsorbent surface of 1.7 m<sup>2</sup>/g and uptake capacity of 0.3984 mg/g is proper than adsorbents of Kaolinite, Bagasse, sludge-ash.

**Keywords:** Adsorption, Hard-Shell Pistachios, Nickel, Dosage Variation, Model.

1. Assoc. Prof. of Water Eng., College of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord (Corresponding Author) (+98 381) 2226975 shayan1962@gmail.com

2. M.Sc. Student of Water Eng., College of Agriculture, Zabol University, Zabol

۱- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد (نویسنده مسئول) shayan1962@gmail.com (۰۳۸۱) ۲۲۲۶۹۷۵

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل

به‌عنوان یک جاذب محلی معرفی شد، تأثیر تغییر جرم جاذب بر زمان تعادل جذب و کارایی مدل‌های تعادلی جذب نیکل توسط جاذب پوسته پسته نیز مورد بررسی قرار گرفت.

## ۲- مواد و روشها

محلول استوک یون نیکل با غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفت. این محلول به‌وسیله اختلاط نمک نیترات نیکل ( $6H_2O.NiSO_4$ ) ساخت کارخانه مرک<sup>۱</sup> آلمان با آب مقطر تهیه گردید. در کلیه آزمایش‌ها، حجم محلول مورد استفاده در ارلن مایرهای ۲۵۰ میلی‌لیتری، ۵۰ میلی‌لیتر در نظر گرفته شد. در هر مرحله ظروف با اسید و سپس با آب بدون یون به‌خوبی شسته شد. در تمامی آزمایش‌ها، ترکیب محلول و جاذب روی یک شیکر رفت و برگشتی با سرعت ۱۵۰ دور در دقیقه تکان داده شد. کلیه محلولها از صافی واتمن<sup>۲</sup> شماره ۴۰ گذرانده شد و غلظت نیکل باقیمانده در محلول با استفاده از دستگاه اسپکتروکوانت ۱ ساخت کارخانه مرک آلمان اندازه‌گیری گردید. در کلیه مراحل آزمایش، دمای اتاق در محدوده ۲۲ تا ۲۴ درجه سلسیوس کنترل شد. همچنین در تمامی آزمایش‌ها، pH محلول با استفاده از اسید نیتریک و هیدروکسید سدیم تنظیم و در هر مرحله توسط دستگاه pH متر مدل PTR 79 اندازه‌گیری شد.

## ۲-۱- تهیه جاذب

پوسته پسته از باغات پسته سخت تهیه و اندازه ذرات آن بین ۶۰۰ تا ۸۰۰ میکرون انتخاب گردید. سپس توسط مواد شوینده کاملاً شسته و در آون، در درجه حرارت ۷۰ درجه سلسیوس به مدت ۶ ساعت خشک شد. سطح ویژه ذرات جاذب با استفاده از روش جذب متیلن بلو<sup>۳</sup> اندازه‌گیری شد و سطح ویژه جاذب ۱/۷ مترمربع بر گرم به دست آمد [۱۸].

## ۲-۲- آزمایش‌های ناپیوسته

آزمایش‌های ناپیوسته برای تعیین pH، زمان تعادل و راندمان جذب نیکل در جرم‌های مختلف انجام گرفت. همچنین تعیین پارامترهای مدل‌های سینتیک جذب نیکل توسط پوسته پسته در این مطالعه مورد بررسی قرار گرفت.

نیکل یکی از فلزات سنگینی است که در فاضلابهای صنعتی به‌وفور یافت می‌شود [۱]. فلز نیکل معمولاً به‌صورت یون دو ظرفیتی یافت می‌شود و غلظت زیاد آن باعث سرطان ریه، بینایی و استخوان می‌شود [۲]. بیش از ۴۰ درصد نیکل موجود در محیط زیست از طریق کارخانه‌های صنعتی تولید می‌شود که سهم بسزایی در آلودگی آبهای سطحی دارد [۳ و ۴]. غلظت نیکل در فاضلابهای صنعتی در محدوده ۲/۴ تا ۹۰۰ میلی‌گرم در لیتر بوده و حداکثر مجاز غلظت نیکل در آب آشامیدنی در جوامع اروپایی ۵۰ میکروگرم در لیتر پیشنهاد شده است [۵]. روشهای مختلفی برای حذف فلزات سنگین از پسابهای صنعتی وجود دارد که از آن جمله می‌توان به روشهای ترسیب شیمیایی، تعویض یون، جذب سطحی و اسمز معکوس اشاره کرد [۶].

یکی از روشهایی که برای حذف فلزات سنگین ساده و مؤثر است، روش جذب است [۷]. جاذب کربن فعال یکی از جاذبها است که استفاده از آن به‌ویژه در سطح وسیع هزینه‌های بالایی دارد [۸]. به‌همین دلیل در سالهای اخیر جاذبهای طبیعی و محلی مورد توجه قرار گرفته است [۹]. از جمله این جاذبها می‌توان به رزین‌های تبادل یونی و فراورده‌های جنبی محصولات کشاورزی اشاره نمود. از ویژگی‌های مثبت ضایعات کشاورزی، دوام بالا، اصلاح‌پذیری آسان، امکان حذف آلودگی و بازیابی مجدد و امکان تولید کمپوست از آنها و از همه مهم‌تر، ارزان بودن این گونه جاذبها است [۱۰].

تحقیقات زیادی در زمینه استفاده از زائدات کشاورزی برای حذف نیکل از محلولهای آبی انجام شده است [۱، ۷، ۸ و ۱۱-۱۶]. آمار و اطلاعات سازمان کشاورزی ایالت متحده تولید سالانه پسته جهان را حدود ۲۱/۰ میلیون تن برآورد نموده است [۱۱]. گروههای اکسیژن‌دار اصلی موجود در پوسته پسته شامل گروههای کربونیل، اترها، استرها، الکل‌ها و گروه‌های فنل هستند [۱۱]. این گروهها از طریق جایگزین کردن یون‌های هیدروژن با یون‌های فلزی در محلول و یا دادن یک جفت الکترون و تشکیل کمپلکس با یون‌های فلزی در محلول، به فلزات سنگین متصل می‌شوند [۱۷].

ارتباط بین میزان ماده جذب شده در واحد جرم جاذب در دمای ثابت با میزان غلظت محلول در حالت تعادل در تعیین ظرفیت جذب فلز نقش مهمی داشته و کمک می‌کند تا درک بهتری از فرایند جذب به‌عمل آید. از طرفی برای آزمایش‌های ایزوترم جذب، از تغییر جرم در غلظت و دمای ثابت یا از تغییر غلظت در مقدار جرم و دمای ثابت استفاده می‌شود. هر دوی این روشها مبتنی بر فرض ثابت ماندن "زمان تعادل جذب" در غلظتهای (یا جرمهای جاذب) مختلف است. در این تحقیق علاوه بر اینکه پوسته پسته سخت

<sup>1</sup> Merck

<sup>2</sup> Whatman

<sup>3</sup> Metilen blue

جدول ۱- مدل‌های ایزوترم جذب

مدل	معادله	مدل	معادله
لانگمیر	$Q_{eq} = \frac{Q_{max} * K_L * C_{eq}}{1 + K_L * C_{eq}}$	برونر-امیتر-تالر	$Q_{eq} = Q_{max} \frac{BC_e}{(C_e - C_s) \left[ 1 + (B-1) \left( \frac{C_e}{C_s} \right) \right]}$
فروندلیچ	$Q_{eq} = K_F * C_{eq}^{\frac{1}{n_F}}$	سیپس	$Q_{eq} = \frac{Q_{max} * K_S * C_e^{\frac{1}{n_S}}}{1 + K_S * C_e^{\frac{1}{n_S}}}$
ردلیچ-پترسون	$Q_{eq} = \frac{K_r * C_{eq}}{1 + a_r * C_{eq}^{br}}$	توٹ	$Q_{eq} = \frac{K_t * C_{eq}}{(A_t + C_{eq}^t)^t}$
راک-پرائونیتز	$\left( \frac{1}{Q_{eq}} - \frac{1}{A} * \frac{1}{C_{eq}} \right) = -\ln R_1 - P \ln C_{eq}$		

جدول ۲- فهرست علائم و اختصارات

$Q_{eq}$ : مقدار ماده جذب شده در واحد جرم جاذب در حالت تعادل (mg/g)	A: ثابت ایزوترم راک-پرائونیتز
$C_{eq}$ : غلظت محلول در حالت تعادل (mg/L)	$R_1$ و P: ثابت ایزوترم Radke-Prausnitz (mg/g)
$K_L$ : ثابت مربوط به نزدیکی مکان‌های جذب	B: ثابت جذب BET مربوط به انرژی واکنش با سطح (l/mg)
$Q_{max}$ : مقدار ماکسیمم ماده جذب شونده در واحد وزن جاذب (جذب ویژه) (mg/g)	$C_S$ : غلظت محلول اشباع مطابق با اشباع یک لایه (mg/L)
$K_F$ و $n_F$ : ضرائب مدل فروندلیچ که به ترتیب به ظرفیت جذب و شدت جذب جاذب نسبت داده می‌شود.	$Q_{max}^0$ : جذب ویژه مطابق با یک لایه اشباع (mg/g)
$K_R$ : ثابت ایزوترم R-D (l/g)	$K_S$ : ثابت Sips مربوط به ثابت کشش $\left( \frac{mg}{l} \right)^{-\frac{1}{n_S}}$
$a_r$ : ثابت ایزوترم ردلیچ-پترسون $\left( \frac{1}{mg} \right)^{br}$	$n_S$ : توان بی بعد معادله سیپس
$b_r$ : ثابت ایزوترم ردلیچ-پترسون	$K_t$ : ثابت ایزوترم توٹ (mg/g)
	$A_t$ : ثابت ایزوترم توٹ (l/mg)
	t: ثابت ایزوترم توٹ

## ۲-۵- معادلات ایزوترم‌های جذب

مدل‌های جذب ایزوترم شامل مدل فروندلیچ<sup>۱</sup>، لانگمیر<sup>۲</sup>، توٹ<sup>۳</sup>، سیپس<sup>۴</sup>، ردلیچ-پترسون<sup>۵</sup>، بث<sup>۶</sup>، راک-پرائونیتز<sup>۷</sup> بر داده‌های حاصل از آزمایش برازش داده شد. برای برازش مدل‌های تعادلی بر داده‌های حاصل از آزمایش از شکل غیرخطی معادلات و از نرم‌افزار Matlab.7.8.0.347(R2009a) استفاده شد. مدل‌های ایزوترم و پارامترهای آنها به ترتیب در جدول‌های ۱ و ۲ نشان داده شده است.

در این تحقیق، برای ارزیابی مدل‌ها علاوه بر ضریب همبستگی، از تابع خطا<sup>۸</sup> نیز استفاده شد. در این تابع، اختلاف بین مقادیر

## ۲-۳- تعیین pH بهینه جذب

۸ ارلن ۲۵۰ میلی‌لیتری برداشته شد و در هر یک، مقدار ۱ گرم از جاذب پوسته پسته ریخته شد. سپس محلول فلزی با غلظت ۵ میلی‌گرم در لیتر به هر یک از ارلن‌ها اضافه گردید. pHهای مختلف (۲-۹) مورد تحقیق قرار گرفت [۱۹-۲۱]. محلول‌ها روی شیکر گذاشته شدند و بعد از سپری شدن مدت زمان ۳۰۰ دقیقه، نمونه‌ها به ترتیب از روی شیکر برداشته شدند.

## ۲-۴- تعیین زمان تعادل جذب

تعداد ۱۳ ارلن انتخاب و در هر یک از آنها محلول فلز نیکل با غلظت ۵ میلی‌گرم در لیتر ریخته شد. همچنین مقدار ۱ گرم از جاذب پوسته پسته در هر یک از ارلن‌ها ریخته شد و در pH بهینه بر روی شیکر گذاشته شد. بعد از سپری شدن زمان‌های مختلف، محلول از روی شیکر برداشته و از صافی واتمن گذرانده شد و غلظت نیکل باقیمانده در محلول اندازه‌گیری شد. این کار برای جرم‌های ۱/۵ تا ۵ گرم در لیتر نیز تکرار گردید.

<sup>1</sup> Freundlich

<sup>2</sup> Langmuir

<sup>3</sup> Toth

<sup>4</sup> Sips

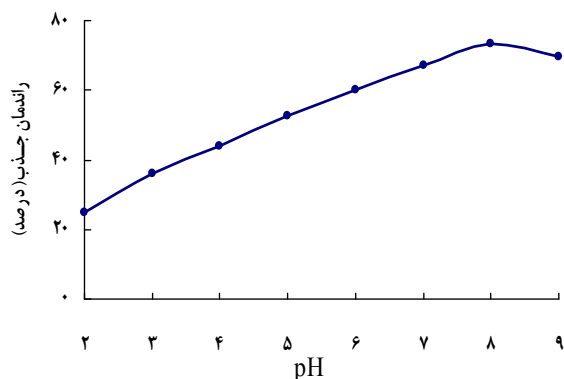
<sup>5</sup> Redlich-Peterson

<sup>6</sup> BET

<sup>7</sup> Radke-Prausnitz

<sup>8</sup> Ferror

مقدار جذب یون‌های فلزی افزایش یافته و باعث افزایش مقدار جذب می‌گردد [۲۰ و ۲۱].



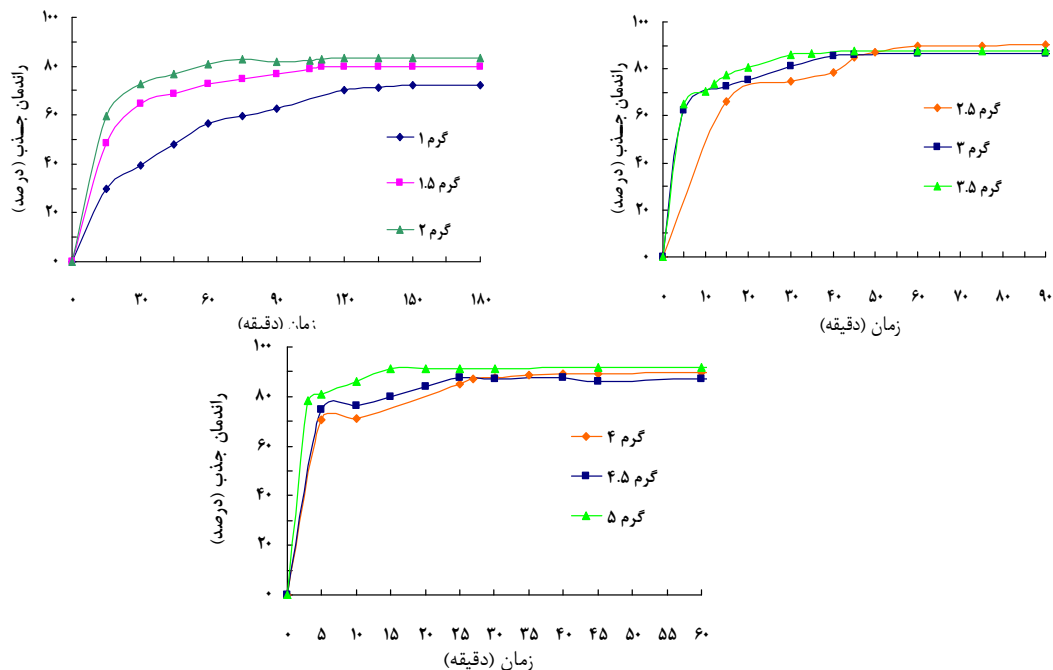
شکل ۱- تأثیر pH بر راندمان جذب نیکل توسط پوسته پسته سخت (جرم جاذب: ۱ گرم در لیتر و غلظت اولیه محلول: ۵ میلی گرم در لیتر)

کاهش مقدار جذب در pHهای بالاتر از ۸ می‌تواند به دلیل استفاده از سود سوزآور (NaOH) برای تنظیم pH باشد. بنابراین بر اساس واکنش ۲ نیکل با OH<sup>-</sup> ترکیب شده و به شدت رسوب می‌کند که باعث کاهش میزان جذب نیکل توسط پوسته پسته می‌گردد. نتایج این مطالعه با نتایج مطالعات دیگر مطابقت دارد [۱۶، ۲۴ و ۲۵].



### ۳-۲- تعیین زمان تعادل جذب در جرم‌های مختلف

شکل ۲ تغییرات مقدار جذب نیکل با زمان را در غلظت ۵ میلی‌گرم



شکل ۲- تعیین زمان تعادل جذب یون نیکل در جرم‌های مختلف پوسته پسته (غلظت اولیه: ۵ میلی‌گرم در لیتر، pH=۸)

اندازه‌گیری شده در آزمایش با مقادیر به دست آمده از مدل به عنوان معیار ارزیابی قرار می‌گیرد [۲۲].

$$F_{\text{error}} = \sqrt{\sum_{i=1}^p \left( \frac{Q_{i \text{ model}} - Q_{i \text{ experimental}}}{Q_{i \text{ experimental}}} \right)^2 \left( \frac{1}{p-1} \right)} \quad (1)$$

که در آن

$Q_{i \text{ model}}$  مقدار به دست آمده از برازش مدل،  $Q_{i \text{ experimental}}$  مقدار به دست آمده از آزمایش و  $p$  تعداد آزمایش‌ها است.

### ۳- نتایج و بحث

#### ۳-۱- تعیین pH بهینه جذب

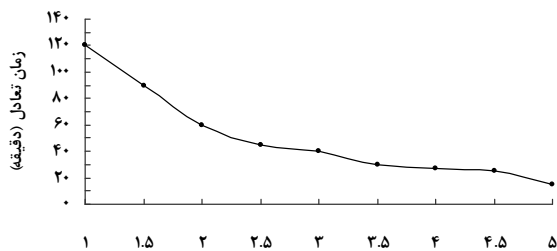
شکل ۱ تأثیر pH بر راندمان جذب نیکل توسط پوسته پسته را نشان می‌دهد. همانگونه که مشاهده می‌شود، حداقل راندمان جذب در pH برابر ۲ و برابر ۲۴/۸ درصد است. با افزایش pH، راندمان جذب نیکل نیز به تدریج و با شیب تقریباً یکنواخت افزایش یافته، به طوری که در pH برابر ۸، راندمان جذب به بالاترین مقدار خود یعنی ۷۳/۳ درصد رسید [۸]. با افزایش pH از ۸ به ۹، راندمان جذب کاهش یافت، بنابراین کلیه آزمایش‌های بعدی جذب نیکل توسط پوسته پسته در pH برابر ۸ انجام گردید. در pHهای کم (شرایط اسیدیته محلول)، افزایش یون هیدروژن باعث رقابت بیشتر H<sup>+</sup> با کاتیون‌های محلول گردیده و H<sup>+</sup> به جای یون‌های فلزی جذب پوسته پسته می‌گردد [۱۹ و ۲۳]. در نتیجه مقدار جذب نیکل کاهش پیدا می‌کند. در pHهای بالاتر به علت کاهش مقدار H<sup>+</sup>

در لیتر و pH برابر ۸ برای جاذب پوسته پسته نشانه می‌دهد. همانگونه که مشاهده می‌شود، برای یک جرم ثابت با افزایش زمان تماس، راندمان جذب نیکل نیز افزایش می‌یابد، به طوری که بعد از مدتی (زمان تعادل)، مقدار راندمان جذب به حداکثر خود رسیده و تقریباً ثابت می‌ماند. بنابراین با افزایش جرم جاذب از ۱ تا ۵ گرم در لیتر، به ترتیب حداکثر راندمان جذب از ۶۵ تا ۹۱ درصد افزایش می‌یابد. همچنین شکل ۳ نشان می‌دهد که با افزایش جرم جاذب، زمان تعادل جذب کاهش می‌یابد، به طوری که به ازای جرم‌های ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۹، ۱۰، ۱۲، ۱۵ و ۲۰ دقیقه به ترتیب معادل ۵، ۶، ۷، ۸، ۹، ۱۰، ۱۲، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵، ۴۰، ۴۵، ۶۰، ۹۰، ۱۲۰ به دست آمد. به عبارت دیگر، برای یک مقدار غلظت ثابت (۵ میلی‌گرم در لیتر)، با افزایش جرم جاذب، زمان تعادل جذب کاهش می‌یابد. این امر به دو دلیل اتفاق می‌افتد: ۱- با افزایش جرم جاذب، شانس برخورد عناصر محلول با ذرات جاذب افزایش می‌یابد، در نتیجه سرعت جذب افزایش زمان تعادل کاهش می‌یابد. ۲- با افزایش جرم جاذب (و یا کاهش غلظت محلول)، مرحله دوم فرایند جذب سینتیک (تشکیل لایه مرزی اطراف جاذب که عامل محدود کننده جذب است)، رفته رفته بی اثر گردیده و سرعت جذب افزایش و زمان تعادل کاهش می‌یابد [۲۶].

### ۳-۳- معادلات جذب تعادلی

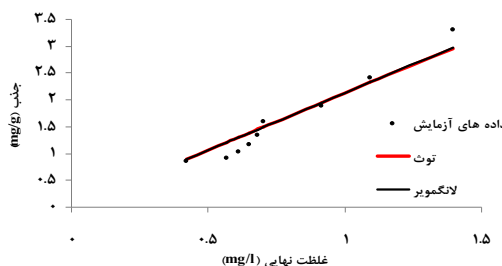
شکل ۴ برازش مدل‌های تعادلی فروندلیچ، لانگمیر، توث، سیپس، ردلیچ-پترسون، بث، راک-پراونیتز را بر داده‌های جذب نیکل توسط پوسته پسته در جرمهای مختلف نشان می‌دهد. همانگونه که در شکل ۴-الف مشاهده می‌شود، مدل‌های برونر-امیتر-تالر، فروندلیچ، سیپس، ردلیچ-پترسون و راک-پراونیتز برهم منطبق شده و برازش یکسانی بر داده‌های آزمایش دارند. همچنین شکل ۴-ب نشان می‌دهد که مدل‌های لانگمیر و توث نیز برهم منطبق شده و برازش یکسانی بر داده‌های آزمایش دارند.

جدول ۳ نتایج حاصل از برازش مدل‌های تعادلی جذب یون نیکل با استفاده از پوسته پسته را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده

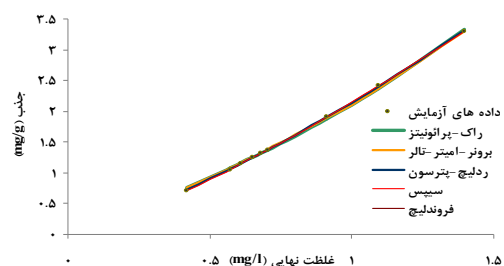


جرم (گرم بر لیتر)

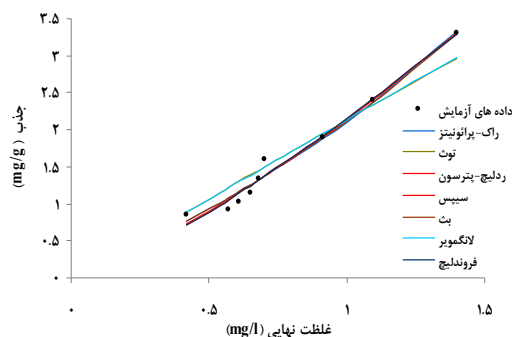
شکل ۳- تأثیر جرم جاذب پوسته پسته بر زمان تعادل جذب نیکل (غلظت اولیه: ۵ میلی‌گرم بر لیتر، pH=۸)



(ب)



(الف)



(ج)

شکل ۴- مدل‌های ایزوترم جذب یون نیکل با استفاده از پوسته پسته (غلظت اولیه: ۵ میلی‌گرم در لیتر، pH=۸)

جدول ۳- ضرایب مدل‌های جذب ایزوترم نیکل توسط جاذب پوسته پسته (غلظت اولیه: ۵ میلی‌گرم در لیتر، pH=۸)

مدل	ضرایب مدل	مقادیر ضرایب	مدل	ضرایب مدل	مقادیر ضرایب
لانگمیر	$Q_{max} (mg/g)$	۱۱۳/۲	برونر-امیتر-تالر	$Q_{max} (mg/g)$	۰/۳۹۸۴
	$B (l/mg)$	۰/۰۱۹۴۲		$K_L$	۰/۰۰۰۵۲
	$C_S (mg/L)$	۰/۷۷۴۱		$F_{error}$	۱/۰۹۱
	$F_{error}$	۰/۱۰۶۵		$R^2$	۰/۹۳۲۱
فروندلیچ	$R^2$	۰/۹۷۱۲		$K_F$	۲/۱۵۴
	$K_r (l/g)$	-۶۴/۶۴	ردلیچ-پترسون	$n_F$	۱/۷۸۵
	$a_r (l/mg)^{br}$	۰/۲۵۲۵		$F_{error}$	۰/۱۰۵۹۷
	$b_r$	۹/۳۴۷		$R^2$	۰/۹۷۸۵
توت	$F_{error}$	۰/۱۱۵		$Kt (mg/g)$	۳/۲۲۳
	$R^2$	۰/۹۷۴۸		$A_t (L/mg)$	۳۲۹۰۰
	$A$	۴/۲۲۴	راک-پرائونیتز	$t$	۲۵/۱۴
	$R_1 (mg/g)$	۰/۷۴۵۵		$F_{error}$	۱/۰۹۱۵
	$P (mg/g)$	۰/۱۱۹۲		$R^2$	۰/۹۳۰۳
	$F_{error}$	۰/۱۰۶		$Q_{max} (mg/g)$	۲/۱۵۴
	$R^2$	۰/۹۷۷		$K_S \left( \frac{mg}{l} \right)^{\frac{1}{n_S}}$	۵۱۹۷
				$n_S$	۱/۸۲۲
				$F_{error}$	۰/۱۰۵۹۸
				$R^2$	۰/۹۷۸۵

این تحقیق مقدار  $R_L$  برای پوسته پسته برابر ۰/۹۹۷۴ بود که نشان می‌دهد مدل لانگمیر از کارایی خوبی برخوردار است. همچنین بر اساس مدل لانگمیر حداکثر ظرفیت پوسته پسته برای جذب نیکل ۰/۳۹۸۴ میلی‌گرم بر گرم بود (جدول ۴). همچنین شاخص مطلوبیت جذب ( $n_F$  در مدل فروندلیچ) باید دارای مقادیری باشد که در محدوده ۱ تا ۱۰ قرار گیرد تا جذب مطلوب شناخته شود [۲۶]. مقدار  $n_F$  در مدل فروندلیچ، برای پوسته پسته برابر است با ۱/۷۸۵ که نشان دهنده مطلوبیت جذب است برای مقایسه ظرفیت جذب پوسته پسته در حذف نیکل از محیط آبی، نتایج تعدادی از مطالعات انجام شده در حذف نیکل از محلول آبی در جدول ۴ ارائه شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود، برای ۵ جاذب مورد مطالعه، جاذب کائولینیت و خاکستر لجن و باگاس از ظرفیت جذب کمتری نسبت به پوسته پسته سخت برخوردار است [۱، ۲۳ و ۳۰]. بقیه جاذبها از ظرفیت جذب بیشتری نسبت به پوسته پسته در جذب نیکل برخوردار هستند.

می‌شود، مدل‌های فروندلیچ، برونر-امیتر-تالر، راک-پرائونیتز، ردلیچ-پترسون و سیپس در سطح اعتماد ۹۷ درصد داده‌ها را به خوبی توصیف می‌کنند. مدل‌های فروندلیچ و سیپس دارای کمترین فاکتور خطا به ترتیب ۰/۱۰۵۹۷ و ۰/۱۰۵۹۸ و بیشترین ضریب همبستگی ۰/۹۷۸۵ است. بنابراین مدل‌های فروندلیچ و سیپس مدل‌های برتر در توصیف ایزوترم جذب نیکل توسط پوسته پسته به‌شمار می‌روند. شاخص ( $R_L$ ) که برای بررسی قابلیت استفاده از معادله لانگمیر به‌کار برده می‌شود به‌صورت رابطه زیر است

$$R_L = \frac{1}{(1 + K_L \times C_0)} \quad (3)$$

که در آن

مقدار  $C_0$  غلظت اولیه محلول و  $K_L$  ثابت لانگمیر است. اگر مقدار  $R_L > 1$  باشد استفاده از مدل نامناسب، اگر  $R_L = 1$  باشد استفاده از حالت خطی مدل مناسب، اگر  $0 < R_L < 1$  باشد، مدل مناسب و اگر  $R_L = 0$  باشد مدل ناکارآمد است [۲۷ و ۲۸]. در

جدول ۴- مقایسه ظرفیت جذب یون نیکل توسط پوسته پسته با سایر جاذبها

منابع	ظرفیت جاذب (mg/g)	pH بهینه	غلظت اولیه محلول (mg/L)	بیشترین مقدار جاذب در محلول (g/L)	نوع جاذب
[۱]	۰/۳۲	۸ <	۱/۵	۲۰	خاکستر لجن
[۲۹]	۱/۷	-	۱۰۱۰	۱۰	کائولینیت
[۲۳]	۰/۰۰۳	۶	۱۰۰	۲۰	کائولینیت
[۳۰]	۰/۰۰۱	۸	۹۰	۱۰	باگاس
[۸]	۲/۶۸۶	۵	۵۰-۷۰	۰/۶	کربن فعال به دست آمده از خزه دریایی <sup>۱</sup>
مطالعه حاضر	۰/۳۹۸۴	۸	۵	۵	پوسته پسته

<sup>۱</sup> Gracilaria

۹۷ درصد داده‌ها را به خوبی توصیف می‌کنند، ولی مدل‌های فروندلیچ و سپس با کمترین فاکتور خطا به ترتیب ۰/۱۰۵۹۷ و ۰/۱۰۵۹۸ و بیشترین ضریب همبستگی (۰/۹۷۸۵) داده‌ها را بهتر توصیف می‌نمایند. مقایسه ظرفیت جاذبها در حذف نیکل از محیط آبی نشان داد که پوسته پسته سخت با سطح ویژه ۱/۷ متر مربع بر گرم و ظرفیت جذب ۰/۳۹۸۴ میلی‌گرم بر گرم از جاذبهای کائولینیت، باگاس، خاکستر لجن برای حذف نیکل مناسب تر است.

#### ۴- نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که حداکثر راندمان جذب نیکل توسط پوسته پسته سخت ۷۳/۳ درصد است که در pH برابر ۸ اتفاق می‌افتد. همچنین برای یک غلظت ثابت، با افزایش جرم جاذب، زمان تعادل جذب کاهش و سرعت جذب افزایش می‌یابد. نتایج حاصل از برآزش مدل‌های ایزوترم جذب نشان داد که مدل‌های فروندلیچ، بروئر-امیتر-تالر، راک-پرائونیتز، ردلیچ-پترسون و سپس در سطح اعتماد

#### ۵- مراجع

- 1- Zafar, N.M., Nadeem, R., and Hanif, M.A. (2007). "Biosorption of nickel from protonated rice bran." *J. of Hazardous Materials*, 143, 478-485.
- 2- Moalem, F. (1998). "Familiarity with some heavy metals." *Environmental Journal*, 10, 11-18.
- 3- Shahmohammadi, Z. (2010). "Lead removal from aqueous solutions using low-cost adsorbents." *J. of Water and Wastewater*, 75, 47-48. (In Persian)
- 4- Dursun, A.Y. (2006). "A comparative study on determination of the equilibrium, kinetic and thermodynamic parameters of biosorption of copper(II) and lead(II) ions onto pretreated *Aspergillus niger*." *Biochemical Engineering Journal*, 28, 187-195.
- 5- Patterson, J.W. (1985). *Industrial wastewater treatment technology*, 2<sup>nd</sup> Ed., Butterworth, Boston.
- 6- Mohana, S., Acharya, B.K., and Madamwar, D. (2009). "Distillery spent wash: Treatment technologies and potential applications." *J. Hazard. Mater*, 163, 12-25.
- 7- Rafatullah, M., Sulaiman, O., Hashim, R., and Ahmad, A. (2009). "Adsorption of copper (II), chromium (III), nickel (II) and lead (II) ions from aqueous solutions by meranti sawdust." *J. of Hazardous Materials*, 170, 969-977.
- 8- Esmaeili, A., and Ghasemi, S. (2009). "Evaluation of the activated carbon prepared of algae marine gracilaria for the biosorption of Ni (II) from aqueous solutions." *World Applied Sciences J.*, 6 (4), 515-518.
- 9- Parvin Pour, A. (2001). "Treated samples absorbed by activated carbon and carbon molecular sieve, using different models attract." M.Sc., Thesis, Iran University of Science and Technology, Tehran. (In Persian)

- 10- Prism, M., and Vossoughi, M. (1998). "Remove heavy metals by artificial Nyzarhay." *Ater Magazine*, 31, 29-38.
- 11- Erdog˘an, S., O˘nal, Y., Akmil-Basar, C., Bilmez-Erdemog˘lu, S., Sarıcı-O˘zdemir, C., Ko˘seođlu, E., and İcduygu, G. (2005). "Optimization of nickel adsorption from aqueous solution by using activated carbon prepared from waste apricot by chemical activation." *Applied Surface Science*, 252, 1324-1331.
- 12- Demirbas, E., Kobya, M., Oncel, S., and Sencan, S. (2002). "Removal of Ni(II) from aqueous solution by adsorption onto hazelnut shell activated carbon: Equilibrium studies." *Biores Technol*, 84, 291-293.
- 13- Weng, C.H. (2002). "Removal of nickel (II) from dilute aqueous solution by sludge-ash." *J. Environ Eng.*, 128(8), 716-721.
- 14- Yang, T., and Chong Lua, A. (2003). "Characteristics of activated carbons prepared from pistachio-nut shells by potassium hydroxide activation." *Microporous and Mesoporous Materials*, 63, 113-124.
- 15- Prasantha, K.P., Renjith, S., Pillaia, H.C., Bajaja, R.V., Jasraa, H.D., CHongb, T.H., Kimb, S.D., and Song, S.D. (2008). "Adsorption of hydrogen in nickel and rhodium exchanged zeolite X." *International J. of Hydrogen Energy*, 33, 735- 745.
- 16- Pratik, M., Choksia, V., and Joshib, Y. (2007). "Adsorption kinetic study for the removal of nickel (II) and aluminum (III) from an aqueous solution by natural adsorbents." *Desalination*, 208, 216-231.
- 17- Ofomaja, A.E., and Ho, Y. (2007). "Effect of Ph on cadmium biosorption by coconut copra meal." *J. Hazard. Mater.*, 139, 356-362.
- 18- Hequet, E., Abidi, N., and Gourlot, J. P. (1998). "Application of methylene blue adsorption to cotton fiber specific surface area measurement." *J. of Cotton Science*, 2, 164-173.
- 19- Deng, S., and Ting, Y.P. (2005). "Characterization of PEI- modified biomass and biosorption of cu(II), Pb (II) and Ni (II)." *Water Res.*, 39, 2167-2177.
- 20- Harris, P.O., and Ramelow, G.J. (1990). "Binding of metal ions by particulate biomass from *chloriella vulgaris* and *Scenedesmus quadricaula*." *Environ. Sci. Technol.*, 24, 220-226.
- 21- Zhou, J.L., Kiff, R.J., and Chem, J. (1991). "The uptake of copper from aqueous solution by immobilized fungal." *J. of Chemical Technol and Biotechnol.*, 52 (3), 317-330.
- 22- Royer, B., Cardoso, N.F., Lima, E.C., Vagheti, J.C.P., Simon, N.M., Calvete, T., and Veses, R.C. (2009). "Applications of Brazilian pine-fruit shell in natural and carbonized forms as adsorbents to removal of methylene blue from aqueous solutions Kinetic and equilibrium study." *J. Hazard Mater*, 164, 1213-1222.
- 23- Chantawong, V., Harvey, N.W., Bashkin, V.N., and Asian, J. (2001). "Adsorption of lead nitrate on thaikaolin and ball clay." *Asian J. of Energy Environ.*, 1, 33-48.
- 24- Bayat, B. (2002). "Comparative study of adsorption properties of Turkish fly ashes: The case of nickel(II), copper(II) and zinc(II)." *J. of Hazardous Materials*, 95, 251-273.
- 25- Panda, G.C., Das, S.K., Bandopadhyay, T.S., and Guha, A.K. (2007). "Adsorption of nickel on husk of *Lathyrus sativus*: Behavior and binding mechanism." *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 57, 135-142.
- 26- Shamohammdi Heidari, Z. (2007). "Removal of cadmium from aqueous solution by pretreated by sodium." Ph.D. Thesis, Chamran University, Ahwaz. (In Persian)
- 27- Rajic, N., Stojakovic, D., Jevtic, S., Zabukovec Logar, N., Kovac, J., and Kaucic, V. (2009). "Removal of aqueous manganese using the natural zeolitic tuff from the Vranjska Banja deposit in Serbia." *J. of Hazardous Material*, 172 (2-3), 1450-1457.
- 28- Taffarel, S. R., and Rubio, J. (2009). "Removal of Mn<sup>2+</sup> ions by adsorption onto natural and activated Chilean zeolites." *Minerals Engineering*, 22, 336-343.
- 29- Yavuz, O., Altunkaynak, Y., and Guzel, F. (2003). "Removal of copper, nickel, cobalt, and manganese from aqueous solution by kaolinite." *Water Res.*; 37, 948-952.
- 30- Rao, M., Parawate A.V., and Bhole, A.G. (2002). "Removal of Cr<sup>6+</sup> and Ni<sup>2+</sup> from aqueous solution using bagasse and fly ash." *Waste Manage*, 22, 821-830.