

محیط شناسی، سال سی و هفتم، شماره ۶۰، زمستان ۹۰، صفحه ۱۴۹-۱۵۶

بررسی تأثیر جرم پوسته پسته بر زمان تعادل و بازده جذب نیکل

مژده سالاری بردسیری^۱، شایان شامحمدی^۲

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی مهندسی آبیاری دانشگاه زابل mojdehsr@gmail.com

۲- دانشیار مهندسی آب دانشگاه شهرکرد

تاریخ دریافت: ۸۹/۱۰/۱۴ تاریخ پذیرش: ۹۰/۲/۱۰

چکیده

در حال حاضر در اکثر شهرهای جنوبی ایران استفاده از آب تصفیه‌کن‌های خانگی به یک فرهنگ عمومی تبدیل شده است. ماده تصفیه‌کننده اصلی در این‌گونه آب تصفیه‌کن‌ها، کربن فعال است. استفاده وسیع از کربن فعال موجب افزایش هزینه‌های تصفیه می‌شود. در این تحقیق افزون بر این که پوسته پسته رفسنجان به عنوان جاذبی بومی و ارزاقیمت در حذف فلز نیکل از محلول آبی معرفی می‌شود، تأثیر تغییر جرم جاذب بر زمان تعادل و بازده جذب نیز بررسی می‌شود. برای این کار، پوسته پسته از باغهای پسته رفسنجان تهیه و اندازه ذرات آن بین ۸۰۰-۶۰۰ میکرون انتخاب شد. برای انجام آزمایش‌ها از محلول استوک یون نیکل (۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) که به وسیله اختلاط نمک سولفات نیکل ($6H_2O.NiSO_4$) ساخت کارخانه مرک آلمان با آب مقطر تهیه شده بود، استفاده شد. نتایج نشان داد که حداکثر بازده جذب در $pH=8$ و برابر $73/3\%$ است. همچنین نشان داده شد که با افزایش جرم جاذب از ۱ تا ۵ گرم بر لیتر، زمان تعادل جذب کاهش یافته و از ۱۲۰ به ۱۵ دقیقه رسید. برازش مدل‌های سینتیک لاگ‌گرن، هو و همکاران، آورامی، الوویچ و پخش درون ذره‌ای بر داده‌های جذب نشان داد که اگرچه مدل لاگ‌گرن برآورد بهتری از مقدار Q_e به دست می‌دهد، ولی براساس معیارهای ارزیابی، مدل هو و همکاران داده‌های جذب را بهتر از سایر مدل‌ها توصیف می‌کند. همچنین مقایسه سرعت جذب نیکل نشان داد که پوسته پسته رفسنجان می‌تواند به عنوان جاذبی مناسب با سایر جاذب‌ها رقابت کند.

کلید واژه

جذب، نیکل، پوسته پسته، زمان تعادل، مدل‌های سینتیک، جرم جاذب

سر آغاز

کمپلکس با یون‌های فلزی در محلول، به فلزات سنگین متصل می‌شوند (Ofomaja, Ho., 2007).

آمار و اطلاعات سازمان کشاورزی ایالت متحده تولید سالانه پسته جهان را حدود ۰/۲۱ میلیون تن برآورد کرده است (Yang & Chong Lua, 2003). گروه‌های اکسیژن‌دار اصلی موجود در پوسته پسته شامل گروه‌های کربونیل، اترها، استرها، الکل‌ها، و گروه‌های فنول هستند. طیف‌نمایی FTIR حاکی از وجود گروه‌های اکسیژن متفاوت و ساختارهای کربنی آروماتیک و الفینیک در پوسته پسته هستند (Yang & Chong Lua, 2003) که می‌تواند عاملی برای جذب فلزات سنگین مانند نیکل از محلول‌های آبی باشد.

همچنین مطالعات نشان می‌دهد که جاذب‌هایی نظیر پوسته فندق (Demirbas, et al., 2002)، کربن فعال (Erdog'an, et al., 2005)، سبوس برنج (Prasanth, et al., 2008)، زئولیت (Zafar, et al., 2007)، رس

امروزه بروز بیماری‌های ناشی از آلودگی آب یکی از دلایل اصلی مرگ و میر است. هم‌اکنون در اکثر شهرهای جنوبی ایران استفاده از آب تصفیه‌کن‌های خانگی به فرهنگ عمومی تبدیل شده است. ماده تصفیه‌کننده اصلی در این‌گونه آب تصفیه‌کن‌ها، کربن فعال است. استفاده وسیع از کربن فعال باعث افزایش هزینه‌های تصفیه می‌شود (Shamohamadi Heidari, et al., 2008). در سالهای اخیر، مطالعات زیادی بر روی زواید کشاورزی برای حذف فلزات سنگین از محیط آبی صورت گرفته است (Jamali armandi, et al., 2008). محصولات زائد کشاورزی بیشتر از لیگنین و سلولز و سایر مواد مرکب شامل گروه‌های عاملی مثل الکل‌ها، آلدهیدها، کتون‌ها، کربوکسیلات‌ها، فنول‌ها و اترها تشکیل شده‌اند. این گروه‌ها از طریق جایگزین کردن یون‌های هیدروژن با یون‌های فلزی در محلول، و یا دادن یک جفت الکترون و تشکیل

متیلن بلو (Hequet, et al., 1998) ۰/۱۷ مترمربع بر گرم به دست آمد.

ب- آزمایش‌های ناپیوسته

آزمایش‌های ناپیوسته برای تعیین pH، و زمان تعادل و بازده جذب نیکل در جرم‌های مختلف انجام گرفت. همچنین تعیین مشخصه‌های مدل‌های سینتیک جذب نیکل در این مطالعه مورد بررسی قرار گرفت.

تعیین pH بهینه جذب

تعداد ۸ ارلن ۲۵۰ میلی لیتری را برداشته، مقدار ۱ گرم از جاذب پسته پسته توزین، و داخل هر یک از ارلن‌ها ریخته شد. سپس محلول فلزی با غلظت ۵ میلی گرم بر لیتر به هر یک از ارلن‌ها اضافه شد.

pH های مختلف (۲ تا ۹) مورد تحقیق قرار گرفت (Deng and Ting, 2005; Harris and Ramelow, 1990; Zhou, et al., 1991). محلول‌ها روی شیکر گذاشته شدند و بعد از سپری شدن مدت زمان ۳۰۰ دقیقه، نمونه‌ها به ترتیب از روی شیکر برداشته شدند.

تعیین زمان تعادل جذب

تعداد ۱۳ ارلن را انتخاب و در هر یک از آنها محلول فلز نیکل با غلظت ۵ میلی گرم بر لیتر ریخته شد. همچنین، مقدار ۱ گرم از جاذب پسته پسته در هر یک از ارلن‌ها ریخته و در pH بهینه بر روی شیکر گذاشته شد. بعد از سپری شدن زمان‌های مختلف (از صفر تا ۱۸۰ دقیقه) محلول از روی شیکر برداشته شده و از صافی واتمن گذرانده شد و غلظت نیکل باقیمانده در محلول اندازه‌گیری شد. این کار برای جرم‌های ۱/۵ تا ۵ گرم بر لیتر نیز تکرار شد.

مدل‌های سینتیک جذب

مدل‌های سینتیک جذب شامل معادلاتی است که قبل از ایجاد تعادل به کار می‌روند و در آنها مشخصه زمان نقش عمده‌ای را ایفا می‌کند. در این حالت تغییرات غلظت ماده جذب شده (q_t) با زمان نشان داده می‌شود. در این مطالعه، مدل‌های جذب سینتیک شامل مدل لاگرگرن (۱۸۹۸)، مدل هو و همکاران (۱۹۹۶)، آوامی، الوویچ و پخش درون ذره‌ای بر داده‌های حاصل از آزمایش برآزش داده شد. برای برآزش مدل‌های غیرتعادلی جذب بر داده‌های حاصل از آزمایش از شکل غیرخطی معادلات و از نرم‌افزار Matlab.7.8.0.347(R2009a) استفاده شد. مدل‌های سینتیک به همراه مشخصه‌های آنها در جداول شماره (۱ و ۲) معرفی شده‌اند.

Rafatullah, et al., (Pratik and , et al., 2007) و خاک اره (2009) می‌توانند نیکل را از محلول آبی حذف کنند. در مطالعات انجام شده (Erdog˘an, Boujelben, 2009; Hasar, 2003; Rajeshwarisivaraj, et al., Ajmal, et al., 2001; 2005; Senthilkumaar, et al., Hendawy, et al., 2001; 2001; Al-An, et al., 2001; Vaughan, et al., 2001; 2000; Ashheh, et al., 2000)، برای ارائه مدل‌های ایزوترم جذب، از تغییر جرم به ازای یک زمان تعادل ثابت استفاده شده است.

در این تحقیق علاوه بر این که پوسته پسته رفسنجان به عنوان جاذبی بومی و ارزاقیمت در حذف نیکل از محلول آبی معرفی می‌شود، تأثیر تغییر جرم جاذب بر زمان تعادل و بازده جذب نیز بررسی می‌شود. همچنین در این مطالعه مشخصه‌های مدل‌های سینتیک جذب نیکل تعیین و معرفی می‌شود.

مواد و روشها

محلول استوک یون نیکل (۱۰۰۰ میلی گرم بر لیتر) مورد استفاده در این مطالعه با اختلاط نمک سولفات نیکل ($6H_2O.NiSO_4$) ساخت کارخانه مرک آلمان با آب مقطر تهیه شد در کلیه آزمایش‌ها، حجم محلول مورد استفاده در ارلن مایرهای ۲۵۰ میلی لیتری، ۵۰ میلی لیتر در نظر گرفته شد. در هر مرحله ظروف با اسید و سپس با آب بدون یون بخوبی شسته شدند.

در تمامی آزمایش‌ها، ترکیب محلول و جاذب روی یک شیکر رفت و برگشتی با سرعت ۱۵۰ دور در دقیقه تکان داده شدند. کلیه محلول‌ها از صافی واتمن شماره ۴۰ گذرانده شد و غلظت نیکل باقی مانده در محلول با استفاده از دستگاه اسپکتروکوانت^۱ (مدل ۱۴۷۶۷ ساخت کارخانه مرک آلمان) اندازه‌گیری شد.

در کلیه مراحل آزمایش، دمای اتاق در محدوده ۲۲ تا ۲۴ درجه سانتیگراد کنترل شد. لازم به ذکر است که در تمامی آزمایش‌ها pH محلول با استفاده از اسید نیتریک و هیدروکسید سدیم تنظیم شد و pH محلول در هر مرحله با دستگاه pH متر (مدل PTR 79، ساخت کارخانه مرک آلمان) اندازه‌گیری شد.

الف-تهیه جاذب

پوسته پسته از باغهای پسته رفسنجان تهیه و اندازه ذرات آن بین ۶۰۰ تا ۸۰۰ میکرون انتخاب شد. سپس با 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

جدول شماره (۱): مدل‌های سینتیک

معادله	مدل
$q_t = q_e [1 - \exp(-k_1 t)]$	لاگرگرن
$h_0 = k_2 \cdot q_e^2$ $q_t = \frac{k_2 q_e^2 \cdot t}{1 + q_e k_2 t}$	هو و همکاران
$q_t = q_e \cdot \{1 - \exp[-(k_{AV} \cdot t)]^{\eta_{AV}}\}$	آورامی
$q_t = \frac{1}{\beta} \ln(\alpha \cdot \beta) + \frac{1}{\beta} \ln(t)$	الووویج
$q_t = k_{id} \cdot \sqrt{t} + c$	پخش درون ذره‌ای

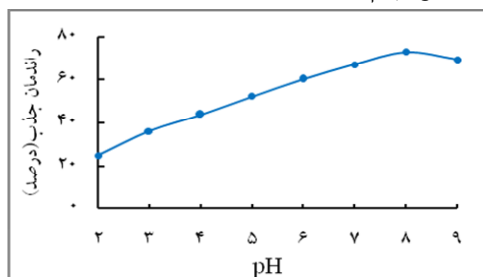
جدول شماره (۲): فهرست علائم و اختصارات

k_1 : ثابت جذب (1/min)	q_e : مقدار یون نیکل جذب شده در حالت تعادلی (mg/g)
q_t : مقدار یون ماده جذب شده در زمان t (mg/g)	C: ثابت مربوط به ضخامت لایه مرزی ($mg g^{-1}$)
k_2 : ثابت جذب (g/mg.min)	K_{AV} : ثابت سینتیک آورامی (h^{-1})
α : سرعت اولیه جذب معادله الوویج ($mg g^{-1} h^{-1}$)	K_{id} : ثابت سرعت پخش درون ذره ای
β : ثابت الوویج وابسته به مقدار پوشش سطحی و همچنین انرژی فعال سازی موجود در جذب شیمیایی ($g mg^{-1}$)	η_{AV} : مرتبه کسری واکنش (آورامی) مربوط به سازوکار واکنش
	h_0 : سرعت اولیه جذب در معادله هو و همکاران ($mg g^{-1} h^{-1}$)

نتایج

تعیین pH بهینه جذب

شکل شماره (۱) تأثیر pH بر بازده جذب نیکل را نشان می‌دهد. حداقل بازده جذب در pH = ۲ و برابر ۲۴/۸٪ به دست آمد. با افزایش pH، بازده جذب نیکل نیز بتدریج و با شیب تقریباً یکنواخت افزایش یافت. به طوری که در pH معادل با ۸ بازده جذب به بالاترین مقدار خود (Esmaeili and Ghasemi, 2009) یعنی ۷۳/۳٪ رسید. بنابراین کلیه آزمایش‌های بعدی در pH بهینه یعنی در pH=۷-۸ انجام شد.



شکل شماره (۱): تأثیر pH بر بازده جذب نیکل با پوسته پسته رفسنجان (جرم جاذب، ۱ گرم بر لیتر و غلظت اولیه محلول، ۵ میلی‌گرم بر لیتر)

ج-ارزیابی مدل‌های سینتیک جذب

ارزیابی مدل‌های استفاده شده در این تحقیق با استفاده از معیارهای ارزیابی مجذور میانگین مربعات خطا و میانگین انحراف خطا و میانگین قدر مطلق خطا و R^2 انجام می‌شود.

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n (Z^*(x_i) - Z(x_i))}{n} \quad (1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \{Z^*(x_i) - Z(x_i)\}^2} \quad (2)$$

$$R^2 = 1 - \frac{ESS}{TSS} \quad (3)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |Z^*(x_i) - Z(x_i)|}{n} \quad (4)$$

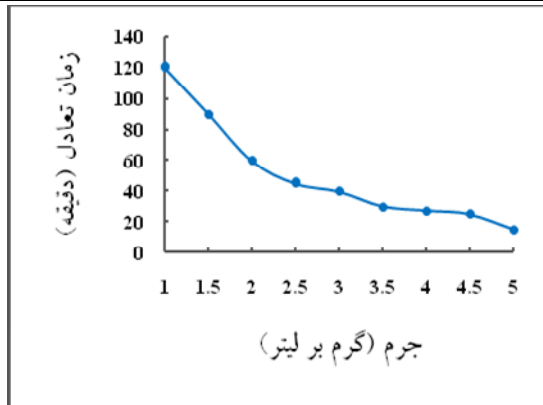
که در آن:

$Z^*(x_i)$: مقدار تخمینی متغیر مورد نظر در نقطه (x_i) ،

$Z(x_i)$: مقدار واقعی متغیر مورد نظر در نقطه (x_i) ، ESS و TSS

به ترتیب مجموع مربع خطاهای تبیین نشده و کل خطاهای خط

رگرسیون برازش داده شده است.

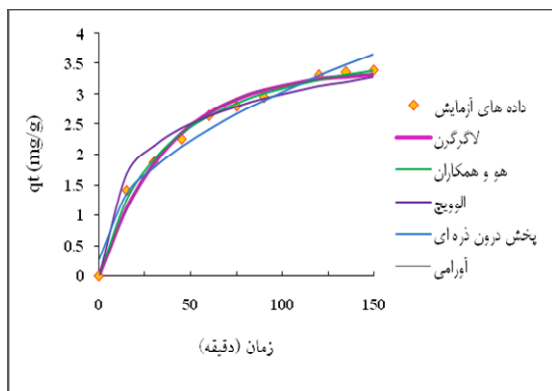


شکل شماره (۳): تأثیر جرم جاذب پوسته پسته بر زمان تعادل جذب نیکل (غلظت اولیه، ۵ میلی گرم بر لیتر، $\text{pH}=7-8$)

معادلات جذب سینتیک

در شکل شماره (۴) مدل‌های غیرتعادلی لاگرگرن، هو و همکاران (۱۹۹۶)، آورامی، الوویچ و پخش درون ذره‌ای با داده‌های حاصل از جذب سینتیک در جرم ۱ گرم بر لیتر برآزش داده شد. برای تعیین ضرایب مدل‌ها از نرم‌افزار Matlab.7.8.0.347(R2009a) استفاده شد.

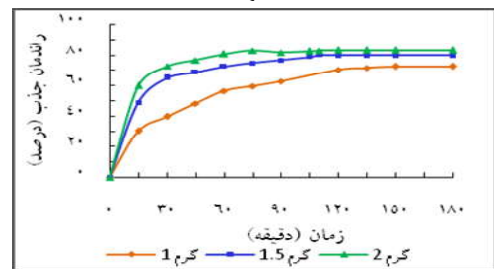
براساس مجموع معیارهای ارزیابی متقابل، مدل هو و همکاران مناسب‌ترین مدل برآزش داده شده بر داده‌های آزمایش در بین مدل‌های سینتیکی است. پس از مدل هو و همکاران مدل آورامی با توان ۲ و مدل‌های لاگرگرن و پخش درون ذره‌ای به ترتیب با توان‌های ۳ و ۴ در رده‌های بعدی قرار می‌گیرند (جدول شماره ۳)



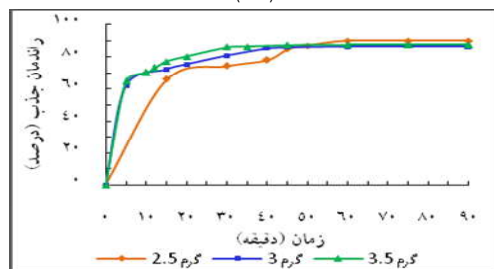
شکل شماره (۴): مدل‌های سینتیک جذب یون نیکل با استفاده از پوسته پسته (جرم جاذب، ۱ گرم بر لیتر، غلظت اولیه، ۵ میلی گرم بر لیتر، $\text{pH}=7-8$)

تأثیر تغییرات جرم جاذب بر زمان تعادل

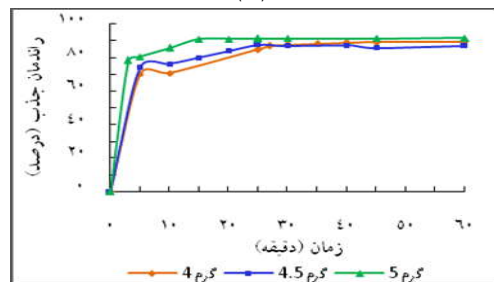
شکل شماره (۲) تغییرات مقدار جذب نیکل با زمان را در غلظت ۵ میلی گرم بر لیتر و $\text{pH}=7-8$ برای جاذب پوسته پسته نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود (شکل‌های شماره ۲-الف، ۲-ب و ۲-ج)، برای یک جرم ثابت با افزایش زمان تماس، بازده جذب نیکل نیز افزایش می‌یابد، به طوری که بعد از مدتی، مقدار بازده جذب به حداکثر خود رسیده و تقریباً ثابت می‌ماند که به آن زمان تعادل گفته می‌شود. بنابراین، با افزایش جرم جاذب از ۱ تا ۵ گرم بر لیتر، به ترتیب حداکثر بازده جذب از ۶۵٪ تا ۹۱٪ افزایش می‌یابد. همچنین شکل (۳) نشان می‌دهد که با افزایش جرم جاذب، زمان تعادل جذب کاهش می‌یابد، به طوری که به ازای جرم‌های ۱، ۱/۵، ۲، ۲/۵، ۳، ۳/۵، ۴، ۴/۵ و ۵ گرم بر لیتر زمان تعادل به ترتیب معادل ۱۲۰، ۹۰، ۶۰، ۴۵، ۳۵، ۳۰، ۲۵، ۲۰ و ۱۵ دقیقه به دست آمده است.



(الف)



(ب)



(ج)

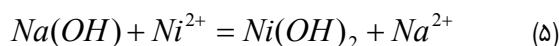
شکل شماره (۲): تعیین زمان تعادل جذب یون نیکل در جرم‌های مختلف پوسته پسته (غلظت اولیه، ۵ میلی گرم بر لیتر، $\text{pH}=7-8$)

جدول شماره (۳): مقایسه مدل‌های سینتیک بر اساس معیارهای مختلف

پخش درون ذره‌ای	الووچ	آورامی	لاگرگرن	هو و همکاران	معیارهای ارزیابی	جرم جذب
-۰/۰۰۰۰۰۶	۰/۰۲۳۳۵۷	-۰/۰۱۴۴	-۰/۰۱۵۱	-۰/۰۰۴۶	MBE	۱ گرم
۰/۱۶۱۴۶	۰/۱۵۸۷۶۸	۰/۱۲۰۵۱	۰/۱۲۰۴۸	۰/۰۷۰۵۶	RMSE	
۰/۱۳۵۰۷	۰/۱۲۱۷۳۷	۰/۰۸۷۸۲	۰/۰۸۸۵۴	۰/۰۵۴۲۲	MAE	
۰/۹۷۴۷	۰/۹۷	۰/۹۸۵۹	۰/۹۸۵۹	۰/۹۹۵۲	R ²	
۴	۵	۲	۳	۱	رتبه بر اساس مجموع معیارها	

جای یون‌های فلزی جذب پوسته پسته می‌شود (Deng and Ting, 2005). در نتیجه مقدار جذب نیکل کاهش پیدا می‌کند. در pHهای بالاتر به علت کاهش مقدار H⁺، مقدار جذب یون‌های فلزی افزایش یافته و باعث افزایش مقدار جذب می‌شود (Zhou, and et al., 1991; Harris and Ramelow, 1990).

کاهش مقدار جذب در pHهای بالاتر از ۸ می‌تواند به دلیل استفاده از سود سوزآور (NaOH) برای تنظیم pH باشد. بنابراین، بر اساس واکنش (۵) نیکل با OH⁻ ترکیب شده و بشدت رسوب می‌کند که باعث کاهش میزان جذب نیکل با پوسته پسته می‌شود. نتایج این مطالعه با نتایج مطالعات (Belgin Bayat, 2002; Pratik, et al., 2007) و (Panda, et al., 2007) مطابقت دارد.



همان‌گونه که در شکل شماره (۳) نشان داده شده است، برای یک مقدار غلظت ثابت (۵ میلی‌گرم بر لیتر)، با افزایش جرم جذب، زمان تعادل جذب کاهش می‌یابد. می‌توان دو دلیل برای آن ذکر کرد:

(۱) با افزایش جرم جذب، شانس برخورد عناصر محلول با ذرات جذب افزایش می‌یابد، در نتیجه سرعت جذب افزایش (زمان تعادل کاهش) می‌یابد.

(۲) با افزایش جرم جذب، و یا کاهش غلظت محلول، مرحله دوم فرایند جذب سینتیک، یعنی تشکیل لایه مرزی اطراف جذب که بیشتر عامل محدودکننده جذب است، رفته رفته بی اثر شده و سرعت جذب افزایش (زمان تعادل کاهش) می‌یابد (Shamohamadi Heidari, et al., 2008).

در جدول شماره (۴) اگر چه مدل لاگرگرن مقدار Q_e حاصل از آزمایش (۳/۳۰۳) را بهتر از سایر مدل‌ها برآورد می‌کند، ولی اختلاف Q_e محاسباتی مدل‌های هو و همکاران و آورامی با لاگرگرن نیز بسیار کم بوده و می‌توان هر سه مدل را برای برآورد مقدار Q_e

بنابراین به بررسی ضریب مربوط به مدل هو و همکاران (k₂) در مطالعه حاضر پرداخته و سپس نتایج به دست آمده با مطالعات انجام شده مقایسه می‌شود. همچنین، جدول شماره (۴) مقادیر Q_e حاصل از آزمایش‌ها (Q_e exp)، Q_e محاسبه شده با مدل‌های سینتیک و ضرایب مدل‌ها را برای جرم ۱ گرم بر لیتر ارائه می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، مقدار Q_e محاسبه شده (Q_e cal) با مدل‌های لاگرگرن، آورامی و هو و همکاران به ترتیب برابر ۳/۳۸۶، ۳/۳۹۲ و ۴/۱۰۶ است.

جدول شماره (۴): ضرایب مدل‌های جذب سینتیک نیکل توسط

جذب پوسته پسته رفسنجان

مدل	ضرایب مدل	مقادیر ضرایب
لاگرگرن	(mg/g) Q _e cal (h ⁻¹) K ₁	۳/۳۸۶ ۰/۰۲۶۳۵
هو و همکاران	(mg/g) Q _e cal (g min ⁻¹ mg ⁻¹) k ₂ (mgg ⁻¹ min ⁻¹) h ₀	۴/۱۰۶ ۰/۰۰۶۶۹۸ ۰/۱۱۷۹
آورامی	(mg/g) Q _e cal (k _{AV}) h ⁻¹ η _{AV}	۳/۳۹۲ ۰/۱۶۰۹ ۰/۱۶۳۹
الووچ	(mgg ⁻¹ h ⁻¹) α β (gmg ⁻¹)	۰/۵ ۱/۴۲۴۵
پخش درون ذره‌ای	k _{id} C	۰/۲۷۷۴ ۰/۲۶۸۹

بحث

در pHهای کم (شرایط اسیدیته محلول)، افزایش یون هیدروژن موجب رقابت بیشتر H⁺ با کاتیون‌های محلول شده و H⁺

با توجه به نتایج حاصل از برازش مدل‌های سینتیک جذب، مدل هو و همکاران به عنوان مدل برتر انتخاب و مقدار k_2 که نشان دهنده سرعت جذب است، برای ۱ گرم بر لیتر جرم جاذب مورد بررسی قرار می‌گیرد. همان‌گونه که در جدول شماره (۵) مشاهده می‌شود، مقدار k_2 برای جذب نیکل با پوسته پسته رفسنجان برابر 0.06698 است که در مقایسه با نشاسته (Pratik and, et al., 2007) و سبوس برنج (Zafar, et al., 2007) کمتر و از زغال چوب، زغال فعال شده و خاک رس (Pratik and, et al., 2007) بیشتر است.

مناسب دانست. همچنین، دلیل انطباق دو مدل آورامی و لاگرگرن در شکل شماره (۴) را می‌توان، توان (η_{AV}) دانست، به‌طوری‌که اگر $\eta_{AV} = 1$ باشد معادله آورامی به معادله لاگرگرن تبدیل می‌شود (جدول شماره ۱). در مطالعه حاضر توان معادله آورامی (η_{AV}) برابر با 0.1629 ، K_{AV} برابر با 0.1609 ، Q_e cal برابر با $3/392$ و در معادله لاگرگرن ضریب k_1 که معادل با K_{AV} در معادله آورامی است، 0.2635 و Q_e cal نیز $3/386$ به‌دست آمده است. بنابراین ضرایب K_{AV} و η_{AV} در مدل آورامی و k_1 در مدل لاگرگرن به‌گونه‌ای به‌دست آمده است که دو مدل برهم منطبق شده است.

جدول شماره (۵) : مقایسه ثابت جذب مدل هو و همکاران (k_2) در جذب یون نیکل با پوسته پسته رفسنجان با

سایر جاذب‌ها

منبع	pH	$(g \min^{-1} mg^{-1}) k_2$	غلظت (mg/L)	جرم جاذب (gr/L)	جاذب
Pratik, et al., 2007	۷/۵	0.1253	۱۰۰	۱	نشاسته
	۷/۵	0.04466	۱۰۰	۱	زغال چوب
	۷/۵	0.0403	۱۰۰	۱	زغال فعال شده
	۷/۵	0.0097	۱۰۰	۱	خاک رس
Zafar, et al., 2007	-	0.0088	۱۰۰	-	سبوس برنج
مطالعه حاضر	۷-۸	0.06698	۵	۱	پوسته پسته

می‌توان گفت با توجه به این که پوسته پسته بسیار ارزانه قیمت بوده و به‌وفور در کشور یافت می‌شود، می‌تواند به عنوان یک جاذب مناسب برای جذب فلز نیکل در محیط آبی استفاده شود.

زغال فعال شده و خاک رس نشان دهنده پایین بودن سرعت واکنش در مقایسه با نشاسته و سبوس برنج و بیشتر بودن سرعت واکنش در مطالعه حاضر نسبت به زغال چوب، است. بنابراین

منابع مورد استفاده

- Ajmal, M., et al. 2001. Removal and recovery of heavy metals from electroplating wastewater by using Kyanite as an adsorbent. J. of Hazardous Materials, 87(1-3), 127-137.
- Al-Asheh, S., et al. 2000. Predictions of binary sorption isotherms for the sorption of heavy metals by pine bark using single isotherm data. Chemosphere, 41 (5), 659-665.
- Boujelben, N., J., Bouzid, Z., Elouear. 2009. Adsorption of nickel and copper onto natural iron oxide-coated sand from aqueous solutions: Study in single and binary systems. Journal of Hazardous Materials, 163: 376-382.
- Demirbas, E., et al. 2002. Removal of Ni(II) from aqueous solution by adsorption onto hazelnut shell activated carbon: equilibrium studies. Biores Technol, 84:291-3.

- Deng, S.B., Y.P., Ting .2005. Characterization of PEI-modified biomass and biosorption of Cu(II), Pb(II) and Ni(II), *Water Res.* 39: 2167–2177.
- Hendawy, A.N.A., S.E., Samra, and B.S., Gigis .2001. Adsorption characteristics of activated carbons obtained from corncobs. *Colloids and Surfaces*, 180:209-221.
- Erdog˘an, S., et al .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.
- Esmaeili, A. , S., Ghasemi .2009. Evaluation of the Activated Carbon Prepared of Algae Marine *Gracilaria* for the Biosorption of Ni (II) from Aqueous Solutions. *World Applied Sciences Journal*, 6 (4): 515-518.
- Harris, P.O., G.J., Ramelow .1990. Binding of metal ions by particulate biomass derived from *Chlorella Vulgaris* and *Scenedesmus Quadricauda*, *Environ. Sci. Technol.* 24: 220-228.
- Hasar, H. 2003. Adsorption of nickel from aqueous solution onto activated carbon prepared from almond husk; *Journal of Hazardous Materials; B*, 97: 49-57.
- Hequet, E., N., Abidi, and J.P., Gourlot. 1998. Application of Methylene Blue Adsorption to Cotton Fiber Specific Surface Area Measurement, Part 1 Methodology, *Journal of Cotton Science*, 2:164-173.
- Jamali armandi, H. , Z., Shamohamadi heidari. 2008. Removal of lead from Aqueous Solutions by Rice Husk and Activated Carbon at low concentration. Msc Thesis, Zabol University, Iran.
- Ofomaja, A.E., Y., Ho. 2007. Effect of Ph on cadmium biosorption by coconut copra meal, *J. Hazard. Mater. B*, 139:356-362.
- Panda, G.C, et al .2007. Adsorption of nickel on husk of *Lathyrus sativus*: Behavior and binding mechanism. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*. 57:135–142.
- Prasanth, K.P., et al .2008. Adsorption of hydrogen in nickel and rhodium exchanged zeolite X. *International Journal of Hydrogen Energy*. 33: 735 – 745.
- Pratik, M., V., Choksia, Y., Joshib. 2007. Adsorption kinetic study for the removal of nickel (II) and aluminum (III) from an aqueous solution by natural adsorbents. *Desalination*, 208:216–231.
- Rafatullah, M., et al .2009. Adsorption of copper (II), chromium (III), nickel (II) and lead (II) ions from aqueous solutions by meranti sawdust, *Journal of Hazardous Materials*, 170:969–977.
- Rajeshwarisivaraj, k., et al .2001. Carbon from cassava peel, an agricultural waste, as an adsorbent in the removal of dyes and metal ions from aqueous solution. *Bioresource Technology*, 80(3), 233-235.
- Senthilkumar, S., et al .2000. Bio sorption of toxic heavy metals from aqueous solutions. *Bioresource Technology*, 75 (2), 163-165.
- Shamohamadi Heidari, Z., et al .2008. Study of the cadmium removal process from aqueous solutions at low concentration by modified rice husk. *Journal of sciences*, 20:158.
- Vaughan, T., C.W., Seo, and W.E., Marshal .2001. Removal of selected metal ions from aqueous solution using modified corncobs. *Bioresource Technology*, 78(2), 133-139.

Yang, T., A., Chong Lua. 2003. Characteristics of activated carbons prepared from pistachio-nut shells by potassium hydroxide activation. *Microporous and Mesoporous Materials*, 63: 113–124.

Zafar, N.M., R., Nadeem, M.A., Hanif. 2007. Biosorption of nickel from protonated rice bran, *Journal of Hazardous Materials*, 143 : 478–485.

Zhou, J.L., R.J., Kiff. 1991. The uptake of copper from aqueous solution by immobilized fungal biomass, *Chem. Tech. Biotechnol*, 52 : 317–330.