

بررسی کمیت و کیفیت آلاینده پساب صنعتی حاصل از تولید کاغذ و کاربرد نانو جاذب GA-88 جهت حذف فنول

حسین غفوریان و علی اسدی مزدی*

گروه شیمی دریا، دانشکده علوم فنون دریایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال

تاریخ پذیرش: ۹۰/۵/۱۵

تاریخ دریافت: ۸۹/۱۱/۲۶

چکیده

کربن فعال با حفره نانو از جنس لیمو به GA-88 نام گذاری شده است. استفاده از فن آوری نانو در راستای کاهش آلودگی‌های زیست محیطی و پساب کارخانه‌های صنعتی، نقش اساسی و کارایی بالایی دارد. در این تحقیق توانایی جاذب GA-88 با حفره نانو در حذف فنول مورد بررسی قرار گرفت. بهینه سازی شیمیایی نانو جاذب GA-88 توسط فسفر یک اسید با غلظت‌های ۱۰ و ۱۵ درصد انجام گرفته است. سپس عوامل مؤثر در جذب فنول، اثر تغییر pH، در محدوده ی ۲ تا ۱۲، زمان ماندگاری ۱۵ تا ۷۵ دقیقه مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت تغییر pH، در پایین تر از ۷ در قابلیت جذب بسیار مؤثر بوده است. بطوریکه در pH=۲ و ۱۲ به ترتیب، شدت جذب ۹۹/۱ و ۶۳/۱ درصد ظرفیت جذب ۱۹/۸۲ و ۱۲/۶۲ میلی گرم فنول بر گرم جاذب، مشاهده شده است زمان بهینه شده جهت حذف فنول با غلظت ۲۰۰ و ۸۰۰ میلی گرم بر لیتر در ۱۵ دقیقه اول بوده است. در این فرآیند معادله سرعت شبه درجه دوم در مقایسه با معادله ی شبه درجه اول، نانو جاذب GA-88 را با ثابت سرعت، به ترتیب $2/35 \text{ mg} \times 10^{-3}$ ، $5/12 \times 10^{-3} \text{ g, mg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ برای غلظت ۲۰۰ و ۸۰۰ میلی گرم بر لیتر به خوبی توصیف کرد. برای تشریح تعادل جذب از مدل‌های لانگمویر و فروندلیچ استفاده شده است نتایج نشان می‌دهد که مدل لانگمویر برای هر دو غلظت ۲۰۰ و ۸۰۰ میلی گرم بر لیتر بهتر از مدل فروندلیچ بر آزش شده است و مقدار R^2 مربوط به لانگمویر به ترتیب ۰/۹۹۹ و بدست آمده است.

واژگان کلیدی

نانو جاذب GA-88، کربن فعال، فنول، ایزوترم جذب، پساب

مقدمه

امروزه فناوری نانو به دلیل گستردگی حوزه‌های کاربرد و تأثیر گذاری مستقیمی که بر اغلب صنایع و علوم دارد، به عنوان فناوری پیشرو و راهبردی در تمام کشورها محسوب می‌شود. مقیاس نانو، آستانه ای است طبیعی که در آن همه سامانه‌های زیستی فعالیت می‌کنند. فناوری نانو به عنوان محرک علمی و اقتصادی قرن حاضر عمل خواهد کرد، به طوری که از آن به عنوان انقلاب صنعتی قرن بیست و یکم یاد می‌کنند. بازار جهانی فناوری نانو در رابطه با محیط زیست در سه بخش آب، هوا و خاک تا سال ۲۰۱۰ میلادی روند افزایشی را نشان می‌دهد. تخمین زده اند که تا سال ۲۰۱۴ میلادی کل تجارت جهانی بر مبنای کاربرد فناوری نانو به ۶/۱ میلیارد دلار خواهد رسید. این امر نشان دهنده توجه ویژه به این فناوری از دیدگاه اقتصادی است. چرا که توسعه راه حل‌های مبتکرانه و نوآورانه برای زدایش آلاینده‌ها، جهت تضمین توسعه پایدار امری ضروری است (حبیبی، ۱۳۸۵).

فناوری نانو درباره راه‌های جدید ساخت مواد صحبت می‌کند و هدف آن تولید دستگاه‌های کوچک تر، ارزان تر، سبک تر و سریع تر با کارایی بهتر است.

کمبود آب از نظر کمی و کیفی به عنوان یک تهدید و چالش جدی برای سلامت افراد در حال حاضر و آینده در سرتاسر جهان، مخصوصاً مردم کشورهای در حال توسعه می‌باشد. براساس پیش بینی سازمان ملل در سال ۲۰۲۵ حدود ۴۸ کشور (یعنی ۳۲ درصد جمعیت جهان) دچار کمبود آب آشامیدنی خواهند شد. از این رو استفاده از این فناوری به دلیل قابلیت بالای آن در تشخیص و کنترل محدوده وسیعی از منابع آلوده کننده امری اجتناب ناپذیر است. فناوری نانو برای تشخیص آفت کش‌ها، مواد شیمیایی و بیولوژیکی شامل فلزات سنگین مانند، کادمیوم، مس، سرب، جیوه، نیکل و روی و نیز مواد مغذی مانند، فسفات، آمونیاک، نیترات و نیتريت، مواد آلی سیانیدی، جلبک‌ها (مانند سموم سیانو باکتریایی) ترکیبات آروماتیک مورد استفاده قرار می‌گیرد. موضوعات کلان اولویت دار فناوری نانو کشور در زمینه ی آب و محیط زیست به سه زیر شاخه تقسیم شده است: ۱- تصفیه آب ۲- نمک زدایی ۳- تصفیه پساب (بدلیانس قلی کنده، ۱۳۸۵) استفاده از نانو فیلتر، نانو کاتالیست، نانو کامپوزیت، نانو ذرات و نانو سنسورها نمونه ای از فناوری‌هایی هستند که در حال رشد می‌باشند (بهراری و همکاران، ۱۳۸۸).

در این پژوهش از زغال فعال حاصل از چوب برای حذف فنول در پساب صنایع کاغذ سازی استفاده شده است. تأثیر عوامل مختلف pH، غلظت آلاینده و زمان بر روی ظرفیت جذب بررسی و در پایان مدل‌های مربوط به ایزوترم جذب لانگمویر و فروندلیچ که از الگوهای اصلی در کاربرد این روش‌ها محسوب می‌شود، مورد مطالعه قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

در تحقیق حاضر نمونه آب آلوده به فنول مورد بررسی قرار گرفته است. نمونه مورد استفاده بصورت سینتیک با غلظت ۲۰۰ و ۸۰۰ میلی گرم در لیتر از فنول جامد با درجه خلوص ۹۹ درصد در آب دیو نیزه شده تهیه شد.

در این آزمایش، ۷ گرم جاذب GA-88 الک شده با، الک 120 مدل 5657 HAAN به طور دقیق با ترازو یک کفه ای با حساسیت ۰/۰۰۱ گرم، وزن شد و به ۱۰۰ میلی لیتر محلول فسفریک اسید ۱۵ و ۱۰ درصد اضافه گردید. این جاذب به مدت ۲۴ ساعت در اسید فسفریک غوطه ور بود. پس از ۲۴ ساعت، محلول بدست آمده در کوره ی الکتریکی مدل AZRA ۱۲۵۰ در دمای ۶۰۰ درجه ی سانتی گراد به مدت ۳۰ دقیقه گذاشته شد تا حفره‌های نانو باز شوند. بعد از ۳۰ دقیقه داخل دستگاه دیسیکاتور قرار گرفت و سرد شد.

به منظور تعیین قابلیت جذب جاذب GA-88 با حفره نانو، ۰/۲۵ گرم جاذب آماده شده را به ۲۵ میلی لیتر محلول‌های استاندارد فنولی ۸۰۰ و ۲۰۰ میلی گرم بر لیتر تهیه شده، اضافه گردید. این آزمایش در مراحل مختلف، برای

تعیین اثر pH در محدوده ی ۱۲-۲ و زمان ماندگاری در محدوده ۷۵-۱۵ دقیقه انجام شد. جهت ایجاد اختلاط و سطح تماس بین جاذب و محلول‌های نام برده، از دستگاه شیکر مدل ۳۰۰۵ شرکت شرکت Gallenkamp با سرعت ۲۵۰ دور در دقیقه استفاده شده است.

در پایان نمونه‌ها صاف شده و میزان فنول جذب شده با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر کارخانه Unico مدل ۴۸۰۲ اندازه‌گیری گردید. و سپس مقدار درصد و ظرفیت جذب از معادلات زیر محاسبه شد.

$$y = \frac{c_i - c_0}{c_i} \quad (1)$$

$$q = \frac{c_i - c_0}{m} \times v \quad (2)$$

y درصد جذب

C_0, C_i به ترتیب غلظت اولیه و غلظت تعادلی فنول در محلول بر حسب میلی گرم بر لیتر

v حجم بر حسب لیتر

m جرم جاذب بر حسب گرم

q ظرفیت جذب بر حسب میلی گرم بر گرم جاذب می‌باشد.

پس از استخراج و جمع آوری نتایج، اطلاعات حاصله به روش آزمون آماری تجزیه و تحلیل شد و نمودارها با استفاده از نرم افزار Excel رسم گردید.

سینتیک جذب

سینتیک جذب برای بررسی مکانسیم کنترل کننده در فرآیند جذب مانند انتقال جرم و واکنش شیمیایی بکار می‌رود. متداول ترین این مدل‌ها شبه درجه اول و دوم هستند در مدل شبه درجه اول که مدل Lagergren هم نامیده می‌شود. فرض می‌شود که سرعت اشغال سایت‌های جذب شده متناسب با تعداد سایت‌های اشغال نشده است.

$$\frac{dq}{dt} = k_1(q_e - q_t) \quad (3)$$

در این معادله q_e, q_t به ترتیب میزان جذب نمونه در زمان تعادل و زمان t بر حسب mg/g می‌باشد. k_1 ثابت سرعت واکنش درجه اول بر حسب min^{-1} است با انتگرال گیری رابطه (۳) در محدوده $T = t, t = 0$ از $q = 0$ تا $q = q_e$ معادله (۴) بدست می‌آید.

$$Ln(q_e - q_t) = Lnq_e - K_1 T \quad (4)$$

از برازش خطی این معادله بر داده‌های آزمایشی می‌توان مقدار k_1, q_e را بدست آورد رابطه (۴) معرف سرعت افزایش گونه جذب شده در جاذب می‌باشد.

اگر رابطه سرعت درجه اول بر حسب مصرف نمونه جذب شده از محلول بیان گردد، معادله زیر مطرح خواهد شد.

$$V = -\frac{dc}{dt} = k_1, \quad ad = C \quad (5)$$

$$Lnc = LnCo - k_1 abs.T \quad (6)$$

در معادله C, C_0 به ترتیب غلظت یون نمونه در $T = t, t = 0$ و (mg/L) k_1 نیز ثابت سرعت درجه اول در معادله مورد نظر می‌باشد min^{-1} از شیب خط بدست می‌آید (بیرامی و اسماعیلی، ۱۳۸۶).

مدل شبه درجه دوم Second-order Model

در مدل شبه درجه دوم فرض می‌شود که سرعت اشغال سایت‌های جذب متناسب با مجذور تعداد سایت اشغال نشده است (عبدلعلی و همکاران، ۱۳۸۸).

$$\frac{dq_t}{dt} = k_2 (q_e - q_t)^2 \quad (7)$$

که در آن ثابت سرعت واکنش درجه دوم بر حسب گرم بر میلی گرم در دقیقه است. با انتگرال از معادله (۷) و اعمال شرط $q(0) = 0$ معادله (۸) بدست می‌آید.

$$\frac{1}{q_e - q_t} = \frac{1}{q_e} + k_2 t \quad (8)$$

و معادله (۸) معمولاً به شکل خطی زیر مورد استفاده قرار می‌گیرد.

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} \pm \frac{1}{q_e} t \quad (9)$$

با رسم نقاط $\frac{t}{q_t}$ بر حسب t که از داده‌های آزمایش بدست آمده اند مقدار k_2 را می‌توان از شیب و عرض از مبدأ خط حاصل، تعیین کرد (Chen et al., 2008).

مدل‌های ایزوترم جذب

مدل‌های ایزوترم، نتایج آزمایش را در قالب فرمول‌های کاربردی با پارامترهای مفید در می‌آورد به طوری که در طراحی‌ها به راحتی قابل استفاده باشند. مدل‌های ایزوترم جذب دو پارامتری، شامل ایزوترم‌های لانگمویر و فروندلیچ هستند.

معادله مدل لانگمویر

$$q_e = \frac{q_{max} b c_e}{1 + b c_e} \quad (10)$$

شکل کلی معادله لانگمویر به صورت زیر است در این مدل، q_{max} بیانگر تعداد کل سایت‌های جذب است که برای پیوند در دسترس هستند. پارامتر q_e بیانگر تعداد سایت‌های پیوند واقعی است.

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{q_{max} b c_e} + \frac{1}{q_m} \quad (11)$$

مدل لانگمویر برای تخمین میزان پیشنه جذب بکار می‌رود (Rengaraj et al., 2002).

مدل فروندلیچ: رابطه فروندلیچ - یک رابطه تجربی است. فرم خطی مدل فروندلیچ که یک معادله لگاریتمی است به صورت زیر می‌باشد

$$\log q_e = \lg kf + \frac{1}{n_e} \log c_e$$

که kf ثابت آن و n_f معکوس توان فروندلیچ هستند و به ترتیب ظرفیت جذب و شدت جذب را نشان می‌دهند (Sheng et al., 2004).

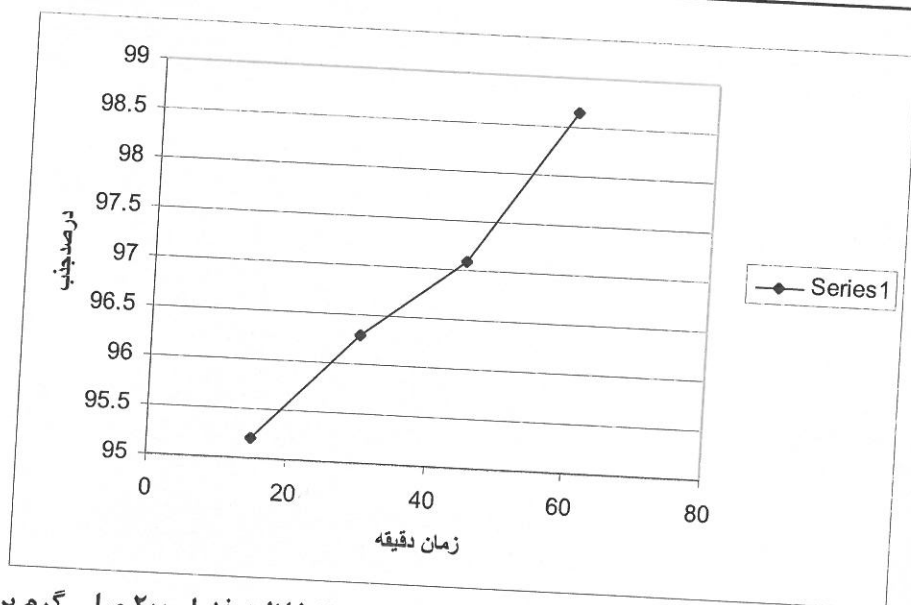
نتایج

نتایج حاصل از این مطالعه در باره اثر pH محیط آبی، در بازه حذف فنول و اثر زمان ماندگاری مورد بررسی قرار گرفت و نتایج حاصل آن در جدول‌های (۱۱ الی ۱۶) و شکل‌های (۴ الی ۶) نمایش داده شده است. همچنین پارامترهای

محاسباتی مربوط به سینتیک جذب شبه درجه اول و دوم و مدل‌های لانگمویر و فروندلیچ در جدول‌های (۷ الی ۱۰) ارائه شده است.

جدول ۱- بررسی اثر دوره زمانی در میزان حذف فنول با کربن (GA-88) بهینه شده توسط فسفریک اسید ۱۰ درصد در pH برابر ۶ و جرم جاذب ۰/۲۵ گرم

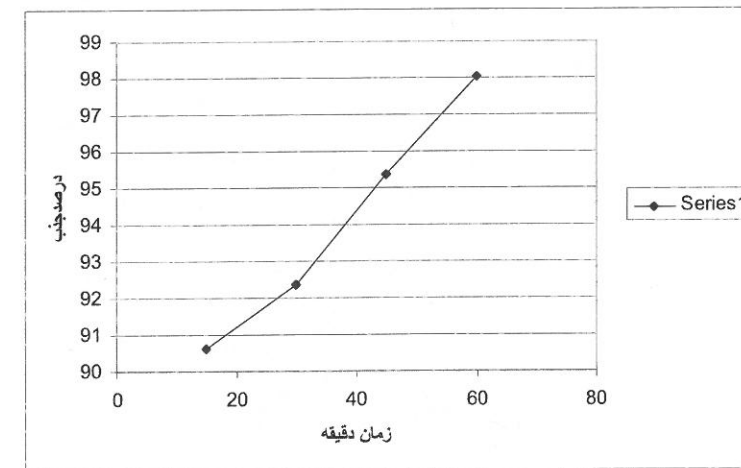
شماره محلول	زمان به دقیقه	C_i (mg/L)	C_e (mg/L)	درصد جذب	q_t (mg فنول / L)
۱	۱۵	۲۰۰	۹/۶	۹۵/۲	۱۹/۰۴
۲	۳۰	۲۰۰	۷/۳	۹۶/۳	۱۹/۲۶
۳	۴۵	۲۰۰	۵/۸	۹۷/۱	۱۹/۴۲
۴	۶۰	۲۰۰	۳/۱	۹۸/۶	۱۹/۶۹
۵	۷۵	۲۰۰	۲/۳	۹۸/۸	۱۹/۷۷
$\bar{x} = ۹۷/۸۳$					میانگین درصد جذب
$\delta x = ۱/۲۰۵$					انحراف استاندارد
$\mu = ۹۷/۸۳ \pm ۱/۰۵$					مقدار حقیقی



شکل ۱- نمودار اثر زمان تماس در حذف فنول توسط GA-88 غلظت فنول ۲۰۰ میلی گرم بر لیتر

جدول ۲- بررسی اثر دوره زمانی در میزان حذف فنول با کربن (GA-88) بهینه شده توسط فسفریک اسید ۱۰ درصد و pH برابر ۶ و جرم جاذب ۰/۲۵ گرم

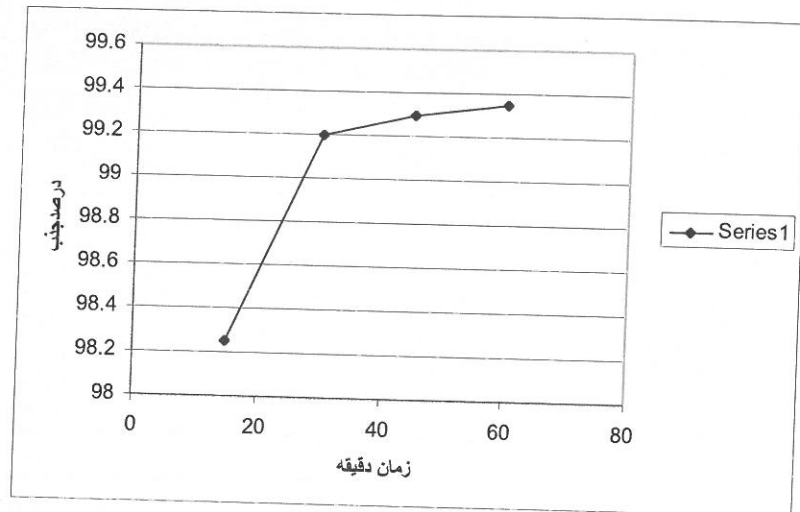
شماره محلول	زمان به دقیقه	C_i (mg/L)	C_e (mg/L)	درصد جذب	q_t (mg فنول / L)
۱	۱۵	۸۰۰	۷۵	۹۰/۶۲	۷۲/۵
۲	۳۰	۸۰۰	۶۱	۹۲/۳۷	۷۳/۹
۳	۴۵	۸۰۰	۳۷	۹۵/۳۷	۷۶/۳
۴	۶۰	۸۰۰	۱۵/۶	۹۸/۰۵	۷۸/۴
۵	۷۵	۸۰۰	۱۱/۳	۹۸/۷۵	۷۸/۸
$\bar{X} = ۹۴/۹۸$					میانگین درصد جذب
$\delta x = ۲/۷$					انحراف استاندارد
$\mu = ۹۴/۹۸ \pm ۲/۷۱$					مقدار حقیقی



شکل ۲- نمودار اثر زمان تماس در حذف فنول توسط GA-88 غلظت فنول ۸۰۰ میلی گرم بر لیتر

جدول ۳- بررسی اثر دوره زمانی در میزان حذف فنول با کربن (GA-88) بهینه شده توسط فسفریک اسید ۱۵ درصد، pH برابر ۶ و جرم جاذب ۰/۲۵ گرم

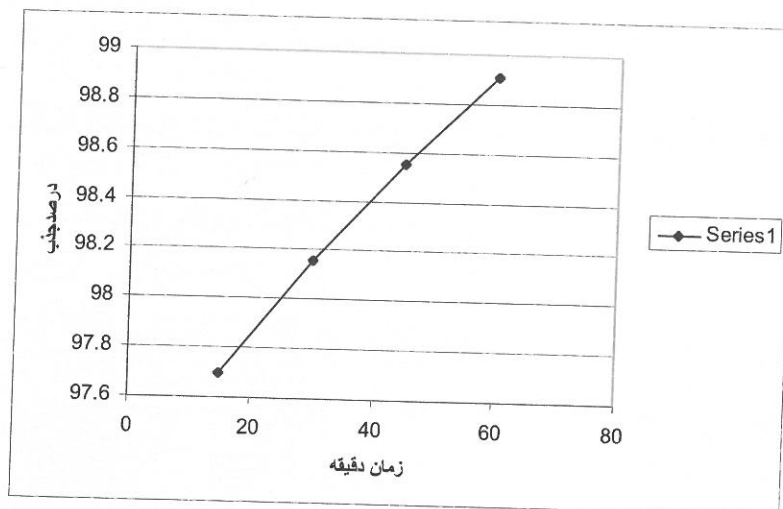
شماره محلول	زمان به دقیقه	C_i (mg/L)	C_e (mg/L)	درصد جذب	q_t (mg فنول / L)
۱	۱۵	۲۰۰	۳/۵	۹۸/۲	۱۹/۶۵
۲	۳۰	۲۰۰	۱/۶	۹۹/۲	۱۹/۸۰
۳	۴۵	۲۰۰	۱/۴	۹۹/۳	۱۹/۸۶
۴	۶۰	۲۰۰	۱/۳	۹۹/۳	۱۹/۸۷
۵	۷۵	۲۰۰	۱/۲	۹۹/۴	۱۹/۸۸
$\bar{X} = ۹۹/۰۲۵$					میانگین درصد جذب
$\delta x = ۰/۴۵$					انحراف استاندارد
$\mu = ۹۹/۰۲۵ \pm ۰/۴۴۱$					مقدار حقیقی



شکل ۳- نمودار اثر زمان در حذف فنول توسط GA-88 با غلظت ۲۰۰ میلی گرم بر لیتر

جدول ۴- بررسی اثر تغییر زمان در میزان حذف فنول با کربن (GA-88) بهینه شده توسط فسفریک اسید ۱۵ درصد، pH برابر ۶ و جرم جاذب ۰/۲۵ گرم

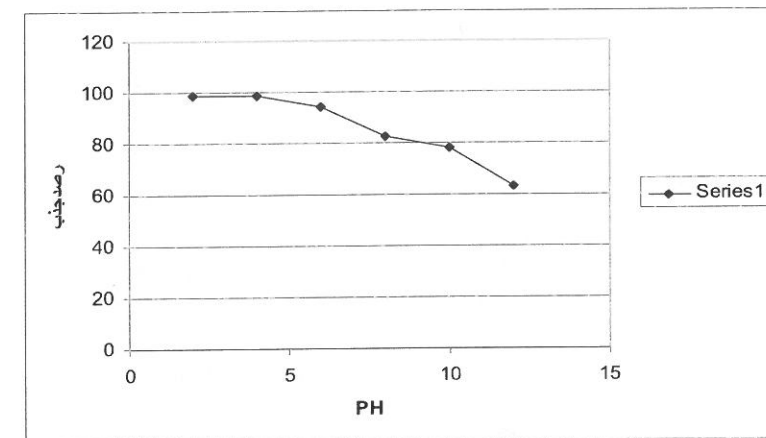
شماره محلول	زمان به دقیقه	C_i (mg/L)	C_e (mg/L)	درصد جذب	q_t (mg فنول / L)
۱	۱۵	۸۰۰	۱۸/۴	۹۷/۷۰	۷۸/۱۶
۲	۳۰	۸۰۰	۱۴/۷	۹۸/۱۶	۷۸/۵۳
۳	۴۵	۸۰۰	۱۱/۶	۹۸/۵۵	۷۸/۸۴
۴	۶۰	۸۰۰	۸/۷	۹۸/۹۱	۷۹/۱۳
۵	۷۵	۸۰۰	۸/۱	۹۸/۹۸	۷۹/۱۹
$\bar{X} = ۹۸/۴۶$					میانگین درصد جذب
$\delta x = ۰/۴۷۹$					انحراف استاندارد
$\mu = ۹۸/۳۳ \pm ۰/۴۶$					مقدار حقیقی



شکل ۴- نمودار اثر زمان در حذف فنول توسط GA-88 با غلظت ۸۰۰ میلی گرم بر لیتر

جدول ۵- بررسی میزان حذف فنول در pH متغیر در مجاورت نانو جاذب GA-88 زمان ۲۰ دقیقه و جرم جاذب ۰/۲۵ گرم

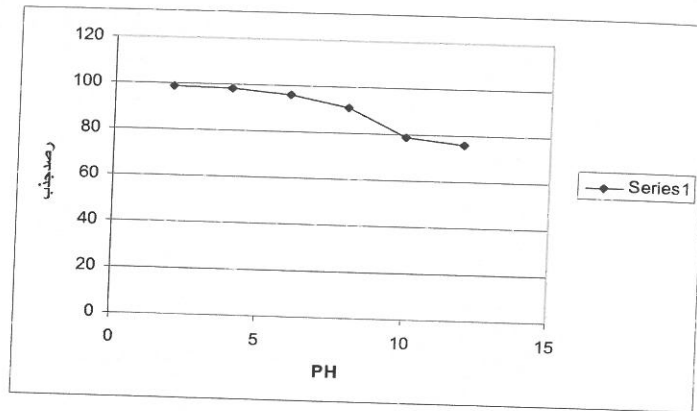
شماره محلول	pH	C_i (mg/L)	C_e (mg/L)	درصد جذب	q_t (mg فنول / L)
۱	۲	۲۰۰	۱/۷۵	۹۹/۱	۱۹/۸۲
۲	۴	۲۰۰	۲/۷	۹۸/۶	۱۹/۷۳
۳	۶	۲۰۰	۱۱/۲	۹۴/۴	۱۸/۸۸
۴	۸	۲۰۰	۳۵/۶	۸۲/۷	۱۶/۵۴
۵	۱۰	۲۰۰	۴۲/۸	۷۸/۶	۱۶/۱۲
۶	۱۲	۲۰۰	۷۳/۸	۶۳/۱	۱۲/۶۲
				$\bar{x} = ۸۶/۰۹$	میانگین درصد جذب
				$\delta x = ۱۲/۸۶$	انحراف استاندارد
				$\mu = ۸۶/۰۹ \pm ۱۰/۲۹$	مقدار حقیقی



شکل ۵- نمودار حذف فنول با pH متغیر در غلظت ۲۰۰ میلی گرم بر لیتر در مجاورت نانو جاذب GA-88

جدول ۶- بررسی میزان حذف فنول در pH متغیر در مجاورت نانو جاذب GA-88 در زمان ۲۰ دقیقه و جرم جاذب ۰/۲۵ گرم

شماره محلول	pH	C_i (mg/L)	C_e (mg/L)	درصد جذب	q_t (mg فنول / L)
۱	۲	۸۰۰	۸/۵	۹۸/۹۳	۷۹/۱
۲	۴	۸۰۰	۱۳	۹۸/۳۷	۷۸/۷
۳	۶	۸۰۰	۳۱/۴	۹۶/۰۷	۷۶/۸
۴	۸	۸۰۰	۶۹	۹۱/۳۰	۷۳/۱
۵	۱۰	۸۰۰	۱۵۶	۷۸/۸۰	۶۴/۴
۶	۱۲	۸۰۰	۱۹۰	۷۶/۲۵	۶۱/۰
				$\bar{x} = ۸۹/۹۵$	میانگین درصد جذب
				$\delta x = ۹/۵$	انحراف استاندارد
				$\mu = ۸۹/۹۵ \pm ۷/۶۰۳$	مقدار حقیقی



شکل ۶- نمودار حذف فنول در pH متغیر، غلظت ۸۰۰ میلی گرم بر لیتر در مجاورت نانو جاذب GA-88

جدول شماره ۷- مقایسه بین پارامترهای سرعت جذب سینتیکی شبه درجه اول،

شبه درجه دوم GA-88 بهینه شده توسط فسفریک اسید ۱۰ درصد

شماره	غلظت نمونه	مدل شبه درجه اول				مدل شبه درجه دوم سینتیک			
		q_e (mg/g) تجربی	q_e (mg/g) محاسباتی	$K \times 10^{-3}$	R^2	q_e محاسباتی	$K \times 10^{-3}$	R^2	R^2
۱	mg/L ۲۰۰	۱۹/۴۴	۲۲/۲۱	۰/۰۸۸	۰/۹۷۸	۲۳/۳۸۸	۵/۱۲	۰/۹۸۶	
۲	mg/L ۸۰۰	۷۷/۱۲	۷۵/۹۹	۰/۱۳۰۸	۰/۹۶	۹۴/۸	۰/۸۲۸	۰/۸۹۱	

جدول ۸- مقایسه بین پارامترهای سرعت جذب سینتیکی شبه درجه اول و دوم GA-88

بهینه شده توسط فسفریک اسید ۱۵ درصد

شماره	غلظت نمونه	مدل شبه درجه اول				مدل شبه درجه دوم سینتیک			
		q_e تجربی	q_e محاسباتی	$K \times 10^{-3}$	R^2	$k \times 10^{-3}$ محاسباتی	R^2	R^2	R^2
۱	mg/L ۲۰۰	۱۹/۸۰	۲۱/۴۷	۰/۰۹۰	۰/۲۵۹	۲۱/۰۸	۰/۰۱	۰/۹۱۷	
۲	mg/L ۸۰۰	۷۸/۷۷	۸۲/۹۳	۰/۱۳۲	۰/۶۰۲	۹۱/۸۶	۲/۳۵	۰/۹۹۸	

جدول شماره ۹- پارامترهای مدل ایزوترم جذب فروندلیچ و لانگمویر GA-88 بهینه شده توسط فسفریک اسید ۱۰ درصد

مدل لانگمویر

مدل فروندلیچ

نمونه	R^2	b (L.mg ⁻¹)	q_{max} (mg.g ⁻¹)	R^2	$\frac{1}{n}$ (L.g ⁻¹)	K_f mg/g
۲۰۰ mg/L	۱	۱۸/۸۶	۰/۰۱۲	۰/۹۹۶	۰/۰۱۰۵	۰/۰۱۲
۸۰۰ mg/L	۰/۸۶۲	۷۰/۸۳	۰/۱۱۲	۰/۹۹۹	۰/۰۱۱۲	۰/۱۱۴

شماره ۱۰- پارامترهای مدل ایزوترم جذب فروندلیچ و لانگمویر GA-88 بهینه شده توسط فسفریک اسید ۱۵ درصد

مدل لانگمویر

مدل فروندلیچ

نمونه	R^2	b (L.mg ⁻¹)	q_{max} (mg.g ⁻¹)	R^2	$\frac{1}{n}$ (L.mg ⁻¹)	K_f mg/g
۲۰۰ mg/L	۰/۹۹۹	۱۹/۶۵	۰/۰۰۳	۰/۹۹۸	۰/۰۱۰۱	۰/۰۰۳
۸۰۰ mg/L	۰/۹۹۹	۷۷/۹۷	۰/۰۱۷	۰/۹۲۷	۰/۰۱۰۲	۰/۰۱۸

بحث و نتیجه گیری

به منظور سنجش اثر زمان تماس در راندمان فرآیند حذف فنول، نمونه‌هایی با غلظت ۲۰۰ تا ۸۰۰ میلی گرم بر لیتر به کمک GA-88 بهینه شده توسط فسفریک اسید با غلظت‌های متفاوت، مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که جذب تقریباً کامل در ۱۵ دقیقه اول با نانو جاذب GA-88 بهینه شده با فسفریک اسید ۱۰ و ۱۵ درصد اتفاق افتاد. این نتیجه نشان می‌دهد که فرآیند جذب یک فرآیند سریع است و حدود ۹۹ درصد از فنول در همین زمان جذب شده است. با بررسی pH، مشخص شد که ظرفیت جذب به شدت به pH محیط بستگی دارد و pH برابر ۲ بهینه برای حذف فنول بدست آمد بطوریکه در pH=۲ میزان حذف فنول در غلظت ۲۰۰ و ۸۰۰ میلی گرم بر لیتر برابر ۹۹/۱۲ و ۹۸/۹۳ درصد و در pH=۱۲ در همین شرایط ۶۳/۱ و ۷۵/۲ درصد بود. این پدیده مربوط به اثر pH در یونیزاسیون فنول می‌باشد. فنول یک اسید ضعیف است که فرایند یونش با افزایش pH رابطه مستقیم دارد لذا وقتی pH افزایش می‌یابد غلظت یون فنلات زیاد می‌شود. ایجاد نیروی دافعه غالب بین یون‌ها، و همچنین رقابت گروه‌های هیدروکسید بر روی جاذب، از جذب یون‌های فنلات جلوگیری به عمل می‌آورد، در نتیجه با تغییر pH قابلیت جذب تغییر خواهد کرد (Esteves et al., 2000).

بیشترین میزان ظرفیت جذب در pH برابر ۲ در غلظت ۲۰۰ میلی گرم بر لیتر، برابر ۱۹/۸۲ میلی گرم فنول بر گرم جاذب به دست آمد. بررسی سینتیک جذب فنول توسط جاذب GA-88 نشان می‌دهد که داده‌های تجربی با مدل شبه درجه دوم بهتر از مدل‌های سینتیک شبه درجه اول است.

مقدار ثابت فرایند جذب برای شبه درجه دوم در دو غلظت ۲۰۰ و ۸۰۰ میلی گرم بر لیتر به ترتیب 2.5×10^{-3} و 2.35×10^{-3} $\text{gm}^{-1}\text{min}^{-1}$ محاسبه شده است و مقدار جذب تعادلی بدست آمده از آزمایش‌ها و مقدار محاسبه شده توسط مدل سینتیکی به هم نزدیک بود.

در این مطالعه دو مدل ایزوترم لانگمویر و فروندلیچ برای بیان ارتباط بین مقادیر فنول جذب شده و غلظت تعادلی آن در محلول بکار رفته است. ثابت‌های جذب فنول در بستر GA-88 در جدول شماره (۵) و (۶) ارائه شده است.

در کل با توجه به مقدار ضریب رگرسیون R^2 و مقدار b و k نشان داده شده در جدول شماره (۵) و (۶) هر دو مدل برای تشریح جذب فنول این قابلیت را دارند ولی مدل لانگمویر با مقادیر برابر ۱ و ۰/۹۹۹ و ثابت مقدار b نسبت به مدل ایزوترم فروندلیچ قابلیت جذب بهتری دارد.

منابع

- بدلیانس قلی کندی، گ. ۱۳۸۵. شیمی آب. نوپردازان. تهران. ایران.
- بهارى، ع.، عبادى، ع.، موحد، ح. و امیرصادقی، م. ۱۳۸۸. دنیای شگفت انگیز نانو لوله‌های کربنی. ناشر متالون. تهران.
- بیرامی، پ. و اسماعیلی، ا. ۱۳۸۶. بررسی جذب بیولوژیکی یون‌های مس، نیکل و کبالت توسط جلبک قرمز دریایی «گراسیلاریا» با استفاده از ستون پر شده و بررسی مدل‌های جذب لانگمویر و فروندلیچ. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال.
- عبدالعلی، ع.، ربانی، پ. و منتظر رحمتی، م. ۱۳۸۸. جذب زیستی فلزهای کادمیم و نیکل توسط جلبک *Cystoseira indica* به صورت خام و فراوری شده. نشریه مهندسی شیمی و نفت. ۴۳(۱): ۴۸-۴۱.
- حبیبی، س.، شادپور، م. و توکلی، م. ۱۳۸۵. نانو تکنولوژی و پیدایش کاربردهای جدید. موسسه فرهنگی الماس دانش. تهران.

Esteves, A. J. P., Valdman, E. & Leite, S.G.F. 2000. Repeated removal of cadmium and zinc from an industrial effluent by waste biomass *Sargassum sp.* Biotechnol. Lett., 22: 499-502.

Sheng, P.X., Ting, Y.P., Chen, J.P. & Hong, L. 2004. Sorption of lead, copper, cadmium, zinc, and nickel by marine algal biomass: characterization of biosorptive capacity and investigation of mechanisms. J. Colloid. Interf. Sci., 275 : 131-141.

Chen, Z., Ma, W. & Han, M. 2008. Biosorption of nickel and copper onto treated alga (*Undaria Pinnatifida*): Application of isotherm and kinetics study. J. Hazard. Mater, 155:327-333.

Rengaraj, S., Seuny-Hyeon, M., Sivabalan, R., Arabindoo, B. & Murugesan, V. 2002. Agricultural solid waste for the removal of organics: adsorption of phenol from water and waste water by palm seed coat activated carbon. Waste Manag., 22:543-548.