

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: ۱۳۹۰/۰۹/۱۵

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۱۱/۲۶

چکیده

کربن فعال با حفره نانو از جنس لیمو به GA-88 نام گذاری شده است. استفاده از فن آوری نانو در راستای کاهش آلودگی های زیست محیطی و پساب کارخانه های 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 غلظت های 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 pH=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 مدل های لانگمویر و فروندلیچ استفاده شده است نتایج نشان می دهد که مدل لانگمویر برای هر دو غلظت ۲۰۰ و ۸۰۰ میلی گرم بر لیتر بهتر از مدل فروندلیچ بر ارزش شده است و مقدار R^2 مربوط به لانگمویر به ترتیب ۰/۹۹۹ و ۰ بدست آمده است.

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

*نگارنده پاسخگو: a.mazdi7@gmail.com

مقدمه

امروزه فناوری نانو به دلیل گستردگی حوزه های کاربرد و تأثیر گذاری مستقیمی که بر اغلب صنایع و علوم دارد، به عنوان فناوری پیشرو و راهبردی در تمام کشورها محسوب می شود. مقیاس نانو، آستانه ای است طبیعی که در آن همه سامانه های زیستی فعالیت می کنند. 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 می کنند. بازار جهانی فناوری نانو در رابطه با محیط زیست در سه بخش آب، هوا و خاک تا سال ۲۰۱۰ میلادی روند افزایشی را نشان می دهد. 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 حل های مبتکرانه و نوآورانه برای زدایش آلاینده ها، جهت تضمین توسعه پایدار امری ضروری است (حبیبی، ۱۳۸۵).

فناوری نانو درباره راه های جدید ساخت مواد صحبت می کند و هدف آن تولید دستگاه های 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 می باشد. 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 کش ها، 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، جلبک ها (مانند سموم سیانو باکتریایی) ترکیبات آروماتیک مورد استفاده قرار می گیرد. 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 کندی، ۱۳۸۵)

استفاده از نانو فیلتر، نانو کاتالیست، نانو کامپوزیت، نانو ذرات و نانو سنسورها نمونه ای از فناوری هایی هستند که در حال رشد می باشند (بهاری 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 مدل های مربوط به ایزوترم جذب لانگمویر و فروندلیچ که از الگوهای اصلی در کاربرد این روش ها محسوب می شود، مورد مطالعه قرار گرفته است.

مواد و روش کار

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 AZRA۱۲۵۰ در دمای ۶۰۰ درجه ی سانتی گراد به مدت ۳۰ دقیقه گذاشته شد تا حفره های 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 محلول های 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 محلول های نام برده، از دستگاه شیکر مدل ۳۰۰۵ شرکت Gallenkamp با سرعت ۲۵۰ دور در دقیقه استفاده شده است.

در پایان نمونه ها صاف شده و میزان فنول جذب شده با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر کارخانه Unico مدل 4802 اندازه گیری گردید. و سپس مقدار درصد و ظرفیت جذب از معادلات زیر محاسبه شد.

$$y = \frac{c_i - c_0}{c_i} \times 100 \quad (1)$$

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

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 می باشد.

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 می رود متداول ترین این مدل ها شبه درجه اول و دوم هستند در مدل شبه درجه اول که مدل Lagergren هم نامیده می شود. فرض می شود که سرعت اشغال سایت های جذب شده متناسب با تعداد سایت های 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 $\frac{mg}{g}$ می باشد. k_1 ثابت سرعت واکنش درجه اول بر حسب min^{-1} است با انتگرال گیری رابطه (۳) در محدوده $T = t, t = 0$ تا $q = q_e$ معادله (۴) بدست می آید.

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

از برازش خطی این معادله بر داده های آزمایشی می توان مقدار k_1, q_e را بدست آورد رابطه (۴) معرف سرعت افزایش گونه جذب شده در جاذب می باشد.

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

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

$$\ln c = \ln C_0 - k_1 \text{abs.} T \quad (6)$$

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

مدل شبه درجه دوم Second-order Model

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

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

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 می آید

$$\frac{1}{qe - qt} = \frac{1}{qe} + k_2 t \quad (8)$$

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

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

بارسم نقاط $\frac{t}{qt}$ 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

$$qe = \frac{q_{\max} bc_e}{1 + bc_e} \quad (10)$$

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 qe بیانگر تعداد سایت‌های پیوند واقعی است.

$$\frac{1}{qe} = \frac{1}{q_{\max} bc_e} + \frac{1}{q_m} \quad (11)$$

مدل لانگمویر برای تخمین میزان پیشنهاد 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

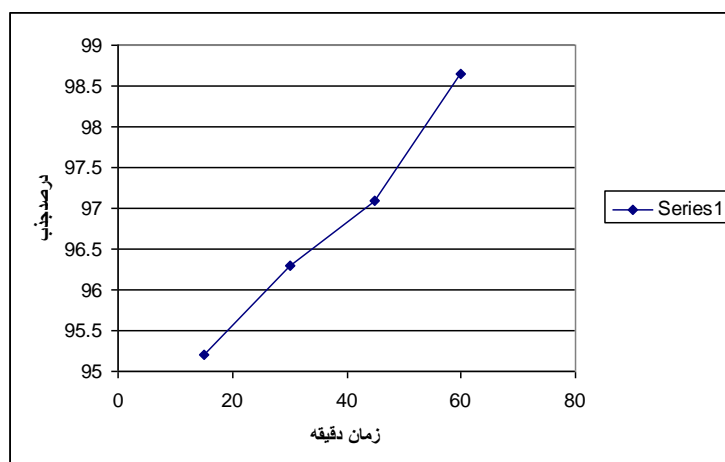
$$\log qe = \lg kf + \frac{1}{n_e} \log c_e \quad \text{که } kf \text{ ثابت آن و } nf \text{ معکوس توان فروندلیچ هستند و به ترتیب ظرفیت جذب و شدت جذب را نشان می‌دهند (Sheng } et al., 2004).$$

نتایج

نتایج حاصل از این مطالعه در باره اثر pH محیط آبی، در بازده حذف فنول و اثر زمان ماندگاری مورد بررسی قرار گرفت و نتایج حاصل آن در جدول‌های (۱ الی ۶) و شکل‌های (۱ الی ۴) 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

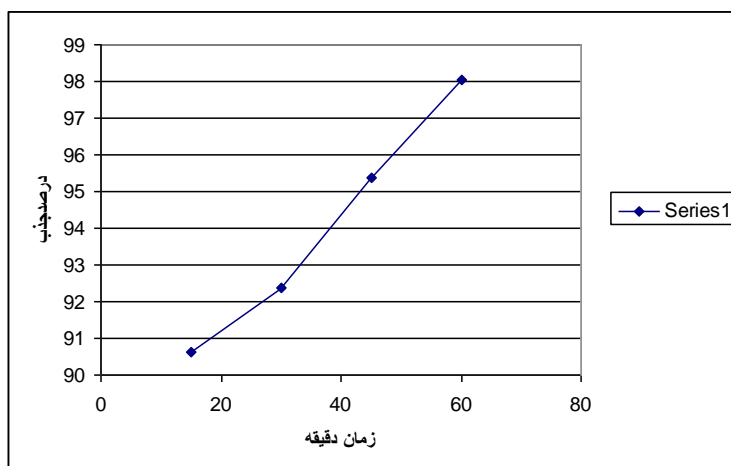
شماره محلول	زمان به دقیقه	C_i (mg/L)	C_e (mg/L)	درصد جذب	q_t فنول/gc
۱	۱۵	۲۰۰	۹/۶	۹۵/۲	۱۹/۰۴
۲	۳۰	۲۰۰	۷/۳	۹۶/۳	۱۹/۲۶
۳	۴۵	۲۰۰	۵/۸	۹۷/۱	۱۹/۴۲
۴	۶۰	۲۰۰	۳/۱	۹۸/۶	۱۹/۶۹
۵	۷۵	۲۰۰	۲/۳	۹۸/۸	۱۹/۷۷
				$\bar{x} = 97/83$	میانگین درصد جذب
				$\delta x = 1/205$	انحراف استاندارد
				$\mu = 97/83 \pm 1/05$	مقدار 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

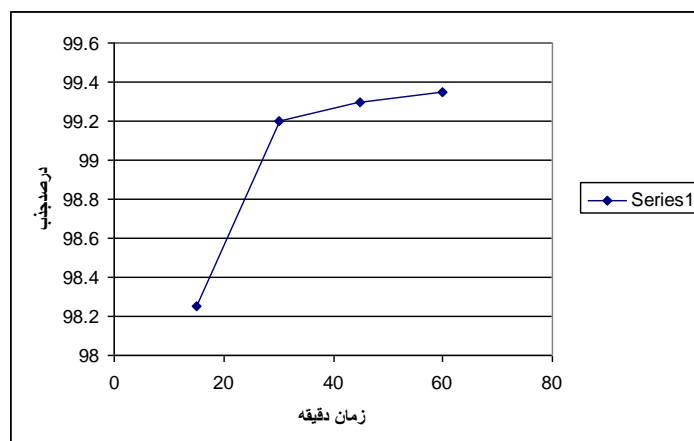
شماره محلول	زمان به دقیقه	C_i (mg/L)	C_e (mg/L)	درصد جذب	فنول q_t /gc
۱	۱۵	۸۰۰	۷۵	۹۰/۶۲	۷۲/۵
۲	۳۰	۸۰۰	۶۱	۹۲/۳۷	۷۳/۹
۳	۴۵	۸۰۰	۳۷	۹۵/۳۷	۷۶/۳
۴	۶۰	۸۰۰	۱۵/۶	۹۸/۰۵	۷۸/۴
۵	۷۵	۸۰۰	۱۱/۳	۹۸/۷۵	۷۸/۸
				$\bar{x} = 94/98$	میانگین درصد جذب
				$\delta x = 2/7$	انحراف استاندارد
				$\mu = 94/98 \pm 2/71$	مقدار حقیقی



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

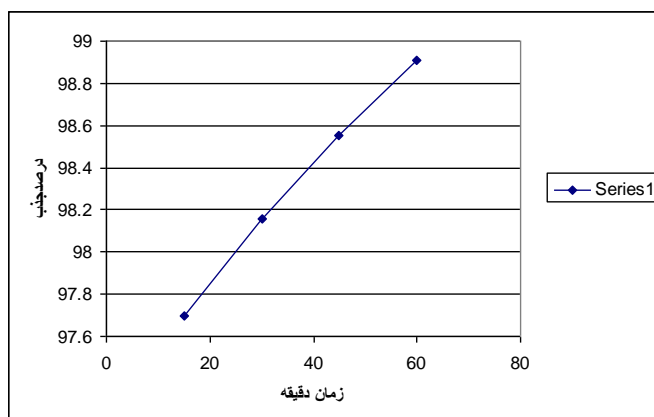
شماره محلول	زمان به دقیقه	$C_i(mg/L)$	$C_e(mg/L)$	درصد جذب %	q_t فنول /gc
۱	۱۵	۲۰۰	۳/۵	۹۸/۲	۱۹/۶۵
۲	۳۰	۲۰۰	۱/۶	۹۹/۲	۱۹/۸۰
۳	۴۵	۲۰۰	۱/۴	۹۹/۳	۱۹/۸۶
۴	۶۰	۲۰۰	۱/۳	۹۹/۳	۱۹/۸۷
۵	۷۵	۲۰۰	۱/۲	۹۹/۴	۱۹/۸۸
				$\bar{x} = 99/025$	میانگین درصد جذب
				$\delta x = 0/45$	انحراف استاندارد
				$\mu = 99/025 \pm 0/441$	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. پ- هاش ۶ و جرم جاذب ۰/۲۵ گرم

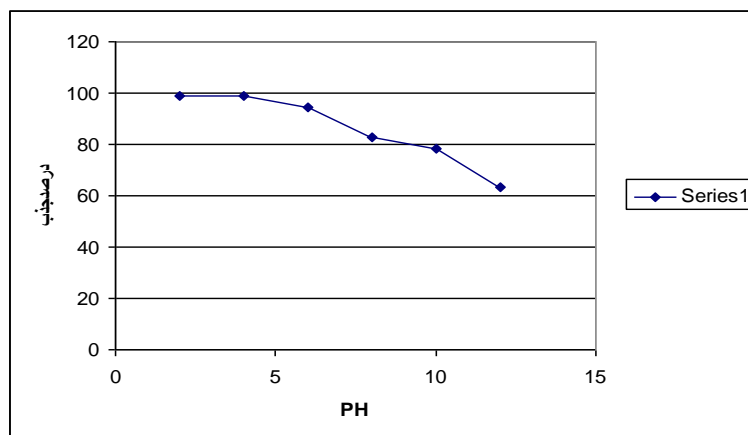
شماره محلول	زمان به دقیقه	$C_i (mg/L)$	$C_e (mg/L)$	درصد جذب %	q_t فنول / g_c
۱	۱۵	۸۰۰	۱۸/۴	۹۷/۷۰	۷۸/۱۶
۲	۳۰	۸۰۰	۱۴/۷	۹۸/۱۶	۷۸/۵۳
۳	۴۵	۸۰۰	۱۱/۶	۹۸/۵۵	۷۸/۸۴
۴	۶۰	۸۰۰	۸/۷	۹۸/۹۱	۷۹/۱۳
۵	۷۵	۸۰۰	۸/۱	۹۸/۹۸	۷۹/۱۹
				$\bar{x} = 98/46$	میانگین درصد جذب
				$\delta x = 0/479$	انحراف استاندارد
				$\mu = 98/33 \pm 0/46$	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

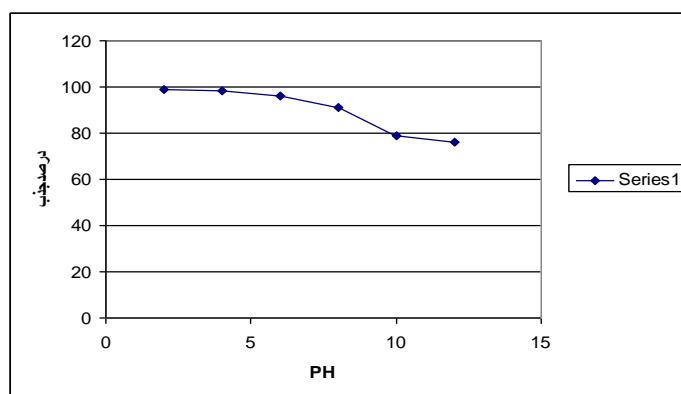
شماره محلول	pH	C_i (mg/L)	C_e (mg/L)	درصد جذب %	q_t فنول /gC
۱	۲	۲۰۰	۱/۷۵	۹۹/۱	۱۹/۸۲
۲	۴	۲۰۰	۲/۷	۹۸/۶	۱۹/۷۳
۳	۶	۲۰۰	۱۱/۲	۹۴/۴	۱۸/۸۸
۴	۸	۲۰۰	۳۵/۶	۸۲/۷	۱۶/۵۴
۵	۱۰	۲۰۰	۴۲/۸	۷۸/۶	۱۶/۱۲
۶	۱۲	۲۰۰	۷۳/۸	۶۳/۱	۱۲/۶۲
				$\bar{x} = 86 / 09$	میانگین درصد جذب
				$\delta x = 12 / 86$	انحراف استاندارد
				$\mu = 86 / 09 \pm 10 / 29$	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 فنول/gc
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
				$\bar{x} = 89/95$	میانگین درصد جذب
				$\delta\bar{x} = 9/5$	انحراف استاندارد
				$\mu = 89/95 \pm 7/603$	مقدار حقیقی



شکل ۶- نمودار حذف فنول در pH متغییر، 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

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

مدل شبه درجه اول						مدل شبه درجه دوم سینتیک		
شماره	غلظت نمونه	تجربی qe	محاسباتی qe	$K \times 10^{-3}$	R^2	محاسباتی	$k \times 10^{-3}$	R^2
۱	۲۰۰ mg/L	۱۹/۸۰	۲۱/۴۷	۰/۰۹۰	۰/۲۵۹	۲۱/۰۸	۰/۰۱	۰/۹۱۷
۲	۸۰۰ mg/L	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	$b(l.\text{mg}^{-1})$	q_{\max} (mg.g^{-1})	R^2	$\frac{1}{n}(l.\text{g}^{-1})$	$K_f \text{ mg/g}$
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

جدول 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 فرآیند 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 فرآیند جذب برای شبه درجه دوم در دو غلظت ۲۰۰ و ۸۰۰ میلی گرم بر لیتر به ترتیب $2/35 \times 10^{-3}$, $5/12 \times 10^{-3}$, $g.mg^{-1}, min^{-1}$ محاسبه شده است و مقدار جذب تعادلی بدست آمده از آزمایش‌ها و مقدار محاسبه شده توسط مدل سینتیک 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 بسته 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.
- بهراری، ع.، عبادی، ع.، موحد، ح. و امیرصادقی، م. ۱۳۸۸. دنیای شگفت انگیز نانو لوله های کربنی. ناشر متالون. تهران.
- بیرامی، پ. و اسماعیلی، الف. ۱۳۸۶. بررسی جذب بیولوژیکی یون های مس، نیکل و کبالت توسط جلبک قرمز دریایی «گراسیلاریا» با استفاده از ستون پر شده و بررسی مدل های جذب لانگمویر و فروندلیچ. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال.
- عبدالعلی، ع. ربانی، پ. 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. دانشکده فنی دانشگاه تهران، ۴۳(۱). صفحه ۴۱.
- حبیبی، س. شادپور، م. 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 (*Undria 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 wastewater by palm seed coat activated carbon. Waste Manag ., 22:543-548.