

بررسی ایزوترم و سنتیک جذب فسفر از محلول‌های آبی با استفاده از نانولوله‌های کربنه تک دیواره

افشین بهمنی، سیده پروین موسوی و کمال صالحی



دوره ۲، شماره ۱، بهار ۱۳۹۵، صفحات: ۱-۱۲

www.jewe.ir

نحوه ارجاع به این مقاله: بهمنی ا.، موسوی س. پ. و صالحی ک. (۱۳۹۵). بررسی ایزوترم و سنتیک جذب فسفر از محلول‌های آبی با استفاده از نانولوله‌های کربنه تک دیواره، محیط‌زیست و مهندسی آب، جلد ۲، شماره ۱، صفحات: ۱-۱۲

How to cite this paper; Bahmani A., Moussavi S. P. and Salehi K. (2016). Isotherm and kinetic study of phosphor adsorption from aqueous solution using single wall carbon nanotubes, J. Environ. Water Eng. 2(1), 1-12.

بررسی ایزوترم و سنتیک جذب فسفر از محلول‌های آبی با استفاده از نانولوله‌های کربنه تک دیواره

افشین بهمنی^۱، سیده پروین موسوی^۲ و کمال صالحی^{۳*}

- ۱- گروه آموزش بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی شهید صدوقی، یزد، ایران
۲- گروه مهندسی بهداشت محیط، پردیس بین‌المللی دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی شهید صدوقی، یزد، ایران
۳- گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی کردستان، سنندج، ایران

*نویسنده مسئول: kamalsalehi1366@gmail.com

تاریخ پذیرش: [۱۳۹۴/۱۲/۸]

تاریخ دریافت: [۱۳۹۴/۰۹/۱۵]

چکیده

وجود مقادیر خیلی کم فسفر در فاضلاب‌های شهری و صنعتی تصفیه‌شده باعث ایجاد شکوفایی جلبکی می‌گردد، از این رو حذف آن برای جلوگیری از بروز پدیده شکوفایی جلبکی در منابع آبی ضروری است. لذا هدف از این مطالعه، بررسی مقدار جذب فسفر از محیط‌های آبی با استفاده از نانولوله‌های کربنه تک دیواره به‌عنوان جاذب است. این مطالعه به‌صورت تجربی در مقیاس آزمایشگاهی در یک سیستم بسته انجام پذیرفت. تعیین ویژگی جاذب سنتز شده با استفاده از میکروسکوپ الکترونی رویشی انجام شد. تأثیر متغیرهای مؤثر بر جذب فسفر مثل مقدار جاذب، غلظت اولیه فسفر و pH بررسی شد. هم‌چنین برای ارزیابی داده‌ها از مدل‌های ایزوترمی و سنتیکی استفاده شد. نتایج نشان داد که با افزایش دوز جاذب کارایی حذف افزایش می‌یابد. به صورتی که با افزایش دوز جاذب از ۰/۱ به ۰/۴ کارایی حذف از ۰/۸۳ به ۰/۹۲۵ افزایش یافت هم‌چنین برای بررسی سینتیک جذب سطحی داده‌ها، از دو مدل سینتیکی شبه مرتبه اول، شبه مرتبه دوم و مدل نفوذ درون‌ذره‌ای استفاده شد. نتایج تجربی به‌دست‌آمده با مدل سینتیکی شبه مرتبه دوم تطابق خوبی نشان دادند. ایزوترم حالت تعادل با مدل‌های ایزوترم جذب لانگمویر، فرنڈلیش و تمکین مطابقت داده شد. نتایج نشان داد که داده‌های به‌دست‌آمده با مدل ایزوترم جذب در حال تعادل لانگمویر مطابقت خوبی دارد. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده نتیجه‌گیری می‌شود که نانولوله‌های کربنی تک دیواره شده کارایی بالایی در جذب فسفر دارند و می‌توانند به‌عنوان یک جاذب مؤثر جهت جذب فسفر مورد استفاده قرار گیرد.

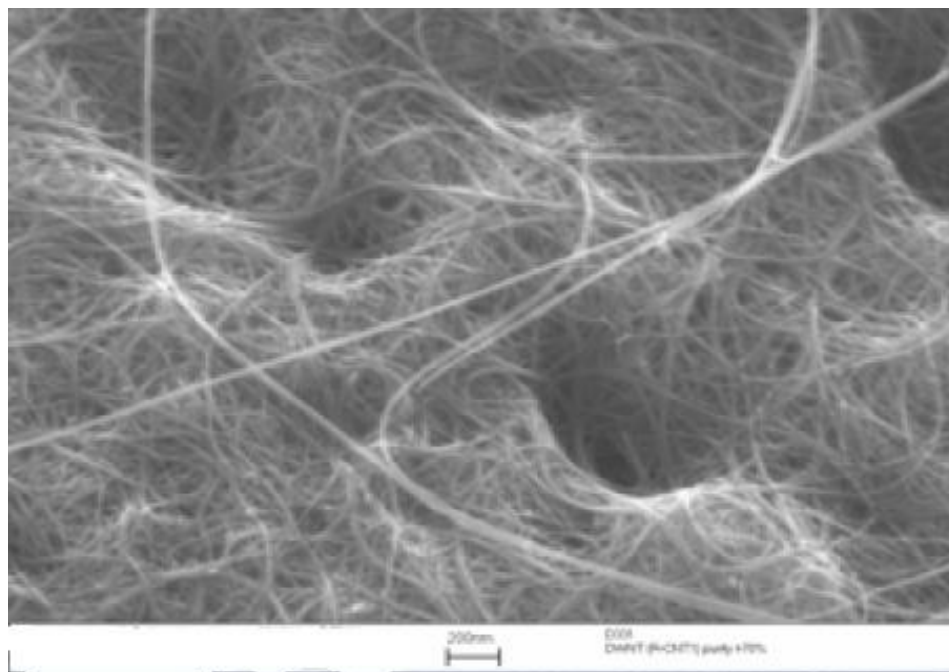
واژه‌های کلیدی: نانولوله‌های کربنی تک دیواره، فسفر، سینتیک، جاذب

۱- مقدمه

در سال‌های اخیر به دلیل کمبود منابع آب ایده استفاده مجدد از آب اهمیت زیادی پیدا کرده است؛ اما وجود بعضی کاتیون و آنیون‌ها از جمله کرومات، نیترات و فسفر ممکن است در آب تصفیه شده ایجاد مشکل کند (Lin و Jung, 2002). فسفر یکی از مواد اصلی تشکیل دهنده فاضلاب‌های شهری و بخشی از فاضلاب‌های صنعتی است که به شکل‌های مختلف، از جمله ارتوفسفات، پلی فسفات و فسفر آلی در فاضلاب یافت می‌شود و غلظت آن در فاضلاب‌های شهری معمولاً ۴ تا ۱۶ میلی‌گرم در لیتر برحسب فسفر و در خروجی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری غلظت آن به حدود ۲ تا ۵ میلی‌گرم در لیتر می‌رسد (Lixia et al. 2015; Almeelbi et al. 2010). غلظت‌های بالای فسفر در آب باعث تسریع در پدیده اوتریفیکاسون می‌شود که موجب ایجاد طعم و بو در آب شده و همچنین باعث ایجاد پدیده لایه‌بندی آب‌های سطحی یا رودخانه می‌گردد که این خود می‌تواند موجب مرگ آبزیان شده و آب‌های سطحی را به سمت بی‌هوازی پیش ببرد (Almeelbi et al. 2010; De Sousa et al. 2012). برای ایجاد پدیده اوتریفیکاسیون فقط غلظت ۰/۰۵ تا ۰/۰۵ mg/l برحسب فسفر نیاز است (De Sousa et al. 2012; Zhou et al. 2012). حذف و کاهش فسفر موجود در پساب‌های خانگی و صنعتی یکی از دغدغه‌های صنعت آب و فاضلاب است. روش‌های مختلفی برای حذف فسفر از فاضلاب‌ها و پساب مورد استفاده قرار گرفته‌اند از جمله این روش‌ها می‌توان ته‌نشینی شیمیایی، تصفیه بیولوژیکی و استفاده از جاذب را نام برد (Oliveira et al. 2012; Albertsen et al. 2012). از معایب روش‌های بیولوژیکی می‌توان به مشکلات بهره‌برداری زمان طولانی، کارایی نسبتاً پایین اشاره نمود. همچنین از معایب روش‌های شیمیایی می‌توان تولید لجن زیاد، کارایی نسبتاً پایین و همچنین گران بودن را نام برد (Oliveira et al. 2012). تاکنون جاذب‌های مختلفی همچون هیدروکسید آلومینیوم، اکسیدهای آهن و کلسیم، دی‌اکسید روی و کربن فعال برای حذف فسفر از پساب‌ها مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Genz et al. 2004; Zheng et al. 2011). نانولوله‌های کربنه به واسطه دارا بودن خصوصیات حرارتی، الکتریکی و مکانیکی منحصربه‌فردشان بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند. سطح مقطع وسیع، خلل و فرج بالا، اندازه کوچک و ساختار لوله‌ای این نانولوله‌های کربنه آن را به جاذبی مؤثر و کارآ جهت پیش تغلیظ و تصفیه آلاینده‌های محیطی شامل انواع ترکیبات آلی و غیر آلی و همچنین مواد رادیو نوکلئوتید در حجم‌های بالایی از فاضلاب تبدیل نموده است (Gong et al. 2009; Gupta et al. 2013). لذا هدف از این مطالعه بررسی کارایی نانو تیوب کربنه تک جداره در جذب فسفر از محلول‌های آبی است. در این مطالعه عوامل مؤثر بر فرآیند حذف از جمله pH، غلظت جاذب، غلظت فسفر، زمان تماس بررسی شده و همچنین به بررسی سنتیک و ایزوترم جذب پرداخته شده است.

۲- مواد و روش‌ها

این مطالعه از نوع تجربی- آزمایشگاهی بود که در سیستم ناپیوسته انجام گردید. ماده مولیبدات آمونیوم، کلرور قلع (کلرور استانوز، پتاسیم دی هیدروژن فسفات با درجه خلوص آزمایشگاهی از شرکت مرک آلمان خریداری شدند. نانولوله‌های کربنی تک دیواره، از پژوهشگاه صنعت نفت ایران تهیه گردید. سایر مواد شیمیایی مورد استفاده، از شرکت مرک آلمان تهیه شد و مورد استفاده قرار گرفتند. قطر خارجی نانو تیوب‌های کربنی تک دیواره، ۳۰-۱۰ نانومتر و قطر داخلی آن ۳/۸ نانومتر بود. همچنین طول آن ۱۰ میکرومتر و سطح مخصوص آن ۲۷۰ مترمربع بر گرم و خلوص نانو تیوب‌های مصرفی ۹۵٪ بوده است. تصویر میکروسکوپ الکترونیکی (SEM) نانو تیوب‌های کربنی تک دیواره، در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل ۱- SEM نانولوله‌های کربنی تک دیواره

۲-۱- روش انجام آزمایش

ابتدا محلول استوک فسفر با اضافه کردن مقدار مشخصی از پتاسیم دی هیدروژن فسفات به آب بدون یون تهیه گردید. سپس از محلول مادر ساخته شده با توجه به استانداردهای آب آشامیدنی و استانداردهای تخلیه پساب به آب‌های سطحی غلظت‌های ۱، ۵، ۱۰ و ۲۰ ساخته شد. آزمایش‌های در طی زمان‌های مختلف جذب و pH متفاوت انجام شد. بر این اساس پس از اندازه‌گیری میزان اولیه فسفات در محلول‌های آبی، در طی زمان‌های مختلف (۱۵، ۳۰، ۶۰ و ۱۲۰ دقیقه) و برای غلظت‌های اولیه فسفر (۱ و ۵ و ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر) و pH های (۴، ۷ و ۱۰) و جرم‌های جاذب (۰/۰۱ و ۰/۰۲ و ۰/۰۴ گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر نمونه) نانولوله‌های کربنی تک جداره در تماس با نمونه‌ها قرار داده شد و پس از پایان مدت زمان تماس جاذب با نمونه، نمونه‌برداری آب از رآکتور انجام شد و پس از جداسازی مقادیر جاذب، غلظت فسفر به روش استاندارد مولیبدات آمونیوم در طول موج ۴۲۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتری مورد اندازه‌گیری و سنجش قرار گرفت و کارایی روش مذکور با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد (Samarghandi et al. 2013)

$$RE\% = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100 \quad (1)$$

در این روابط، C_0 و C_t به ترتیب غلظت اولیه و نهایی فسفر در محلول (mg/L) و RE راندمان حذف است (Tang et al. 2006). نتایج تجربی به دست آمده با استفاده از مدل‌های سینتیکی شبه مرتبه اول، شبه مرتبه دوم مورد ارزیابی قرار گرفت. شرایط تعادل جذبی با در نظر گرفتن عواملی مثل pH، غلظت جاذب، غلظت جذب‌شونده، زمان و دما تعیین شد و سپس ایزوترم جذب تعادلی با استفاده از مدل‌های لانگمویر، فرنلیچ و تمکین بررسی شد.

۳- یافته‌ها و بحث

۳-۱- بررسی ایزوترم جذب

برای توصیف چگونگی واکنش آلاینده‌ها با مواد جاذب از ایزوترم‌های جذب استفاده می‌شود. ایزوترم‌ها معمولاً نشان‌دهنده ارتباط بین جرم رنگ‌زای جذب‌شده در دمای ثابت به ازای جرم جاذب در حالت تعادل است (Madrakian et al. 2012). از معادلات ایزوترمی که برای تحلیل داده‌های تجربی و توصیف تعادل در جذب استفاده می‌شود می‌توان لانگمویر، فرن‌دلیخ و تمپکین را نام برد (Vučurović et al. 2012). این مدل‌ها معمولاً برای ارائه دیدگاهی راجع به مکانیسم، خواص سطحی و تمایل جذب به کار می‌روند (Alver و Metin, 2012). لذا در این مطالعه نیز از این سه مدل برای بررسی ایزوترم جذب فسفر بر روی نانولوله‌های کربنه تک دیواره استفاده شد. در تئوری لانگمویر جذب در یک سری مکان‌های خاص در داخل جاذب اتفاق می‌افتد. فرم خطی این معادله را می‌توان به صورت معادله (۲) نوشت:

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{K_L Q_0} + \frac{C_e}{Q_0} \quad (2)$$

به طوری که q_e مقدار ماده فسفر جذب‌شده بر روی نانولوله‌های کربنی تک دیواره در حالت تعادل، C_e غلظت تعادلی محلول ماده فسفر، K_L ثابت تعادل و Q_0 حداکثر ظرفیت جذب است. مشخصه اساسی ایزوترم لانگمویر که شکل منحنی ایزوترم را نشان می‌دهد، یک ثابت بدون بعد بنام پارامتر تعادلی (R_L) است که از معادله (۳) به دست می‌آید:

$$R_L = 1 / (1 + K_L C_0) \quad (3)$$

به طوری که K_L ثابت لانگمویر و C_0 غلظت اولیه ماده فسفر است. R_L بیانگر نوع ایزوترم است و $R_L = 0$ برگشت‌ناپذیر، $0 < R_L < 1$ مطلوب و اگر $R_L > 1$ نامطلوب است (Rahchamani et al. 2011). مدل ایزوترم فرن‌دلیخ، سطح ناهمگن با توزیع نایکنواختی از گرمای جذب در روی سطح، فرآیند جذب را انجام می‌دهد. فرم خطی این مدل به صورت معادله (۴) است:

$$\log q_e = \log K_F + \frac{1}{n} \log C_e \quad (4)$$

به طوری که K_F ظرفیت جذب در غلظت واحد و $1/n$ شدت جذب سطحی است. $1/n$ نشان‌دهنده نوع ایزوترم است. اگر $1/n$ برابر صفر باشد، برگشت‌پذیر؛ اگر $1/n$ بین صفر و یک باشد، مطلوب و اگر $1/n$ بزرگ‌تر از صفر باشد، نامطلوب است (Rahchamani et al. 2011; Konicki et al. 2014). در مدل ایزوترم تمکین فرض بر این است گرمای جذب کلیه مولکول‌ها در لایه به صورت خطی به دلیل برهمکنش جاذب و جذب‌شونده کاهش می‌یابد. همچنین این مدل برهمکنش بین نمونه‌های جاذب و جذب‌شونده را در نظر می‌گیرد. معادله آن به صورت (۵) بیان می‌گردد.

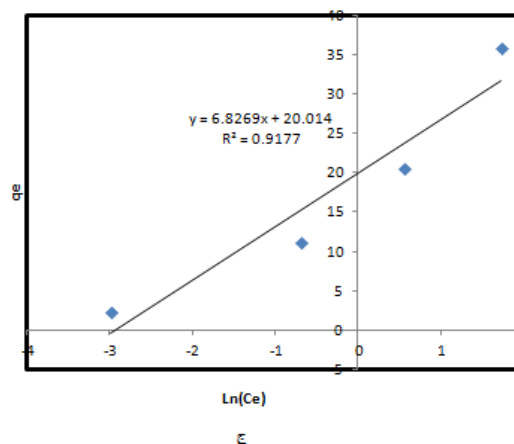
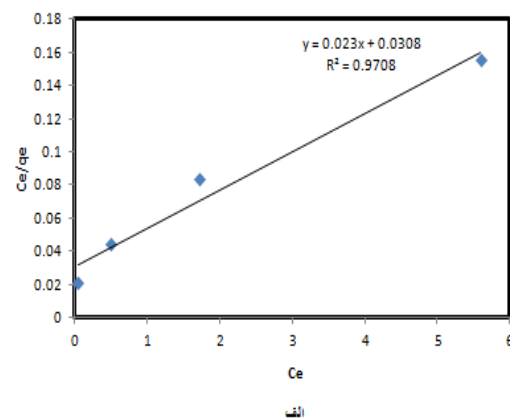
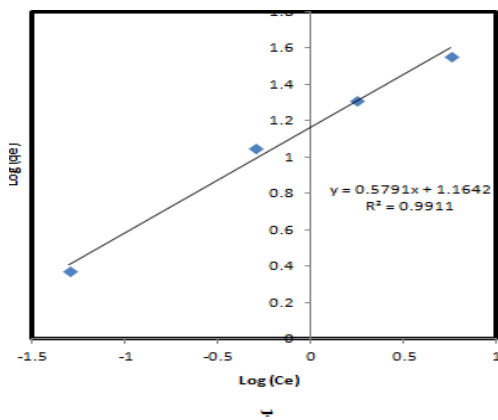
$$q_e = B_1 \ln K_T + B_1 \ln C_e \quad (5)$$

به طوری که $B_1 = \frac{RT}{b}$ و K_T ظرفیت جذب در غلظت واحد، C_e غلظت فسفر در حال تعادل است (Samarghandi et al. 2013). ثابت‌های ایزوترم و ضرایب همبستگی جذب فسفر توسط نانولوله‌های کربنه تک دیواره در جدول (۱) و شکل (۲) نشان داده شده است. نتایج نشان دادند که جذب فسفر بر روی نانولوله‌های کربنه تک دیواره از مدل ایزوترم فرن‌دلیخ پیروی می‌کند.

جدول ۱- ثابت‌های ایزوترم برای جذب فسفر بر روی نانولوله‌های کربنی تک دیواره (pH=7، زمان ۱۲۰ دقیقه، $T=25\text{ }^{\circ}\text{C}$ و مقدار جاذب g/L)

(۰/۴)

Langmuir isotherm				Freundlich isotherm			Temkin isotherm		
Q_0	K_L	R_L	R_1^2	K_F	N	R_2^2	K_T	B_1	R_3^2
۳۳/۱۱	۱/۰۰۲	۰/۰۰۷۲۹	۰/۹۷۰۸	۱۴/۵۸	۱/۷۲۶۸	۰/۹۹۱۱	۱۸/۶۷	۶/۸۲۹	۰/۹۱۷۷



شکل ۲- مدل ایزوترمی الف) لانگمیر، ب) فروندلیخ، ج) تمکین برای جذب فسفر توسط نانولوله‌های کربنی تک دیواره

۲-۳- بررسی سینتیک جذب

به منظور تهیه اطلاعاتی در مورد عوامل مؤثر بر سرعت واکنش، همچنین تعیین مکانیسم‌های کنترل کننده فرآیند جذب سطحی، مانند جذب در سطح، واکنش شیمیایی و مکانیسم‌های نفوذ ارزیابی سینتیک ضروری است (Ngah et al. 2011). مدل‌های سینتیکی شبه مرتبه اول و شبه مرتبه دوم به طور گسترده در منابع برای فرآیند جذب به کار می‌روند. مدل سینتیکی شبه مرتبه اول نشان می‌دهد که نفوذ از داخل یک لایه اتفاق می‌افتد و بر مبنای ظرفیت جامد است در صورتی که مدل سینتیکی شبه مرتبه دوم نشان می‌دهد

که جذب شیمیایی مرحله کند کننده سرعت است و فرآیندهای جذب سطحی را کنترل کند و بر مبنای جذب فاز جامد است (Tang et al. 2015 ; Ghasemi et al. 2014). شکل خطی مدل سینتیکی شبه مرتبه اول به صورت معادله (۶) است:

$$\log(q_e - q_t) = \log(q_e) - \left(\frac{k_1}{2.303}\right)t \quad (6)$$

به طوری که q_e مقدار ماده فسفر جذب شده بر روی نانولوله‌های کربنی تک دیواره در حالت تعادل (mg.g^{-1})، q_t مقدار ماده فسفر جذب شده در زمان t (mg.g^{-1})، k_1 ثابت تعادلی سرعت سینتیکی مرتبه اول (min^{-1}) است (Mittal et al. 2013). شکل خطی مدل سینتیکی شبه مرتبه دوم به صورت معادله (۷) است:

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \left(\frac{1}{q_e}\right)t \quad (7)$$

که q_e مقدار فسفر جذب شده در حالت تعادل (mg.g^{-1})، q_t مقدار ماده رنگ‌زای جذب شده در زمان t (mg.g^{-1})، k_2 ثابت تعادلی سرعت سینتیکی مرتبه اول ($\text{g.mg}^{-1}.\text{min}^{-1}$) است (Mittal et al. 2013 ; Tang et al. 2015). مقادیر q_e ، K_1 ، K_2 و R^2 (ضریب همبستگی) در مقادیر مختلف غلظت فسفر ($100-25 \text{ mg/L}$) در جدول (۲) آورده شده است. با مقایسه ضرایب همبستگی معادلات بالا مشخص می‌شود که میزان تبعیت تعادل جذب از سنتیک شبه مرتبه دوم بیش‌تر است.

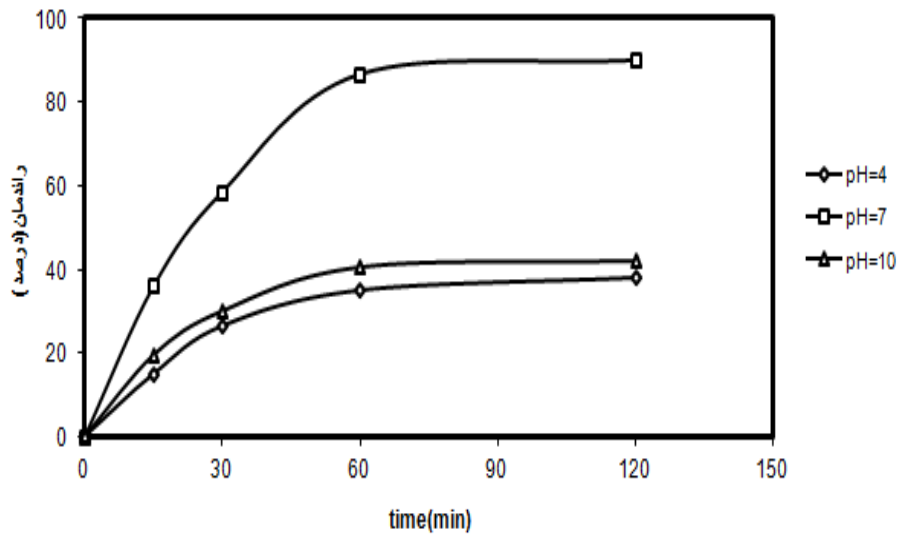
جدول ۲- ثابت‌های مدل سینتیکی شبه مرتبه اول و شبه مرتبه دوم برای جذب فسفر معدنی بر روی نانولوله‌های کربنی تک دیواره ($\text{pH}=7$ ، $T=25$ و مقدار جاذب 0.4 g/l).

C_{solution} (mg/L)	$(q_e)_{\text{Exp.}}$	Pseudo-first order			Pseudo-second order		
		$(q_e)_{\text{Cal.}}$	K_1	R_1^2	$(q_e)_{\text{Cal.}}$	K_2	R_2^2
۱	۲/۳۷۵	۲/۶۲	۱/۰۱۰	۰/۹۷۳۶	۲/۷۲۶۲	۰/۰۰۲۷۳	۰/۹۹۹
۵	۱۱/۲۵	۱۳/۶۴	۱/۰۱۷	۰/۹۸۵۸	۱۳/۷۵	۰/۰۰۳۸	۰/۹۹۱۲
۱۰	۲۰/۷۵	۳۲/۳۵	۱/۰۱۹	۰/۹۶۹۹	۲۶/۷۳	۰/۰۰۱۷	۰/۹۸۹۷
۲۰	۳۶	۶۳/۰۹	۱/۰۱۸۹	۰/۹۸۲۲	۴۷/۱۶	۰/۰۰۱۰۳	۰/۹۸۸۳

۳-۳-۳- متغیرهای فرآیند جذب سطحی فسفر

۳-۳-۱- اثر PH بر راندمان حذف فسفر

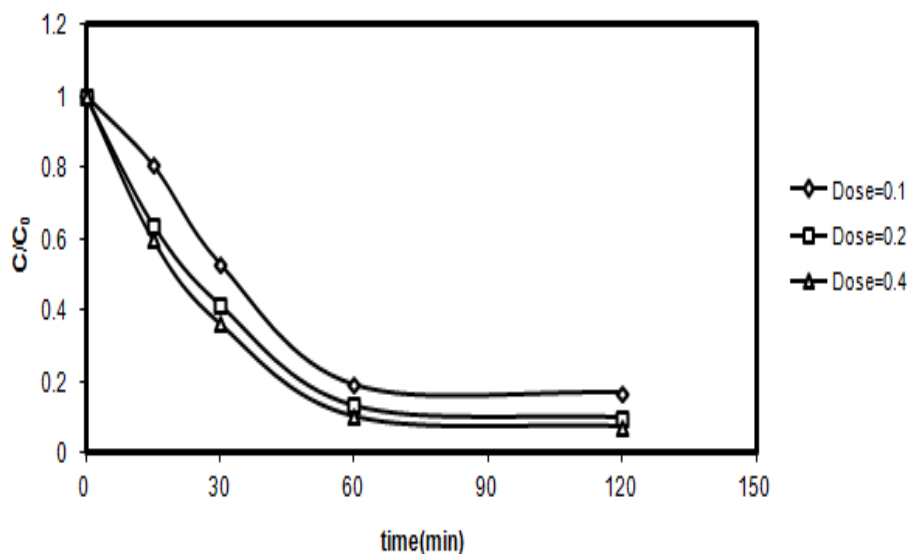
اغلب PH در فرآیند جذب آلاینده‌ها نقش مهمی ایفا می‌کند. از این رو مطالعه اثر PH در جذب فسفر در PH‌های مختلف (۴، ۷ و ۱۰) با غلظت فسفر ۵ میلی‌گرم در لیتر و دوز جاذب 0.4 گرم در لیتر انجام شد. همان طوری که در شکل (۳) مشاهده می‌گردد با افزایش PH محلول از ۴ به ۷ کارایی فرآیند افزایش یافته و با ادامه افزایش PH از ۷ به ۱۰ کارایی حذف فسفر کاهش می‌یابد.



شکل ۳ - اثر PH بر راندمان جذب فسفر توسط نانولوله‌های کربنی تک دیواره

۳-۴- تأثیر دوز جاذب بر راندمان حذف فسفر

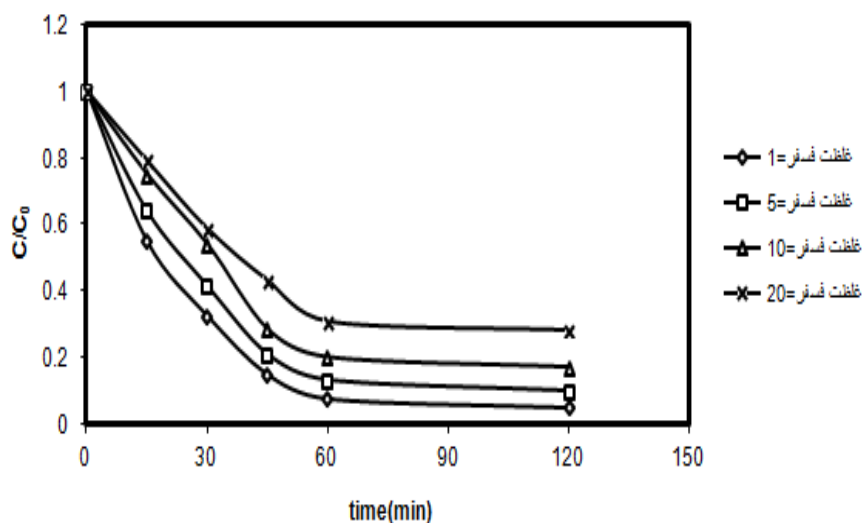
شکل (۴) نتایج تأثیر مقادیر مختلف جاذب (۰/۱، ۰/۲، ۰/۴ گرم در لیتر) بر جذب فسفر در شرایط PH معادل هفت با غلظت فسفر پنج میلی‌گرم در لیتر و زمان تماس بین ۱۵ تا ۱۲۰ دقیقه نشان می‌دهد. همان‌طوری که از شکل پیداست با افزایش مقدار جاذب کارایی حذف افزایش می‌یابد به طوری که با افزایش دوز جاذب از ۰/۱ به ۰/۴ کارایی حذف از ۰/۸۳ به ۰/۹۲۵ افزایش یافت.



شکل ۴ - اثر دوز نانولوله‌های کربنی تک دیواره در راندمان حذف فسفر

۳-۵- اثر غلظت اولیه فسفر معدنی بر راندمان حذف فسفر

شکل (۵) نتایج تأثیر غلظت اولیه فسفر بر کارایی حذف آن را در شرایط PH معادل هفت با دوز جاذب ۰/۴ گرم در لیتر در و زمان تماس بین ۲۰ تا ۱۲۰ دقیقه نشان می‌دهد. همان طوری که از شکل پیداست کارایی جذب با افزایش غلظت فسفر کاهش یافت، به نحوی که وقتی غلظت از یک به ۲۰ میلی‌گرم در لیتر افزایش یافت مقدار جذب از ۰/۹۵ به ۰/۷۸ درصد کاهش یافت.



شکل ۵ - اثر غلظت اولیه فسفر در راندمان حذف آن توسط نانولوله‌های کربنی تک دیواره

۴- نتیجه‌گیری

نتایج به‌دست‌آمده از این مطالعه نشان داد که بازده جذب فسفر در یک سیستم ناپیوسته به متغیرهای فرآیند مانند PH، مقدار جاذب، زمان تماس، غلظت اولیه فسفر بستگی دارد. PH به‌عنوان یک متغیر نقش مهمی را در میزان حذف فسفر بازی می‌کند با بررسی سه محدوده مختلف PH (چهار، هفت، ده) مشخص شد که با افزایش PH تا هفت کارایی حذف به‌شدت افزایش یافته و با ادامه افزایش PH از هفت به ده کارایی حذف فسفر کاهش می‌یابد. علت کاهش راندمان حذف در PHهای اسیدی را می‌توان این‌طور تفسیر کرد که در محیط‌های اسیدی H_3PO_4 و H_2PO_4 گونه‌های غالب فسفر در محیط خواهند و این دو گونه تقریباً خنثی و تمایلی برای رقابت با یون‌های H^+ برای جذب روی جاذب را ندارند. از طرفی دیگر در محیط‌های بازی یون‌های هیدروکسید در محیط غالب شده و با یون‌های فسفات برای جذب روی جاذب رقابت خواهند کرد (Samarghandi et al. 2013). به‌طوری‌که نتایج به‌دست‌آمده از این مطالعه با نتایج مطالعه Shanshool و Mohammed (2009) بر روی حذف فسفر با استفاده از دو منعقد کننده الوم و کلسیم مطابقت نشان داد. نتایج حاصل از تأثیر دوز جاذب مورد مطالعه نشان داد که با افزایش دوز جاذب راندمان حذف فسفر افزایش می‌یابد و بیش‌ترین میزان حذف فسفر در دوز جاذب برابر با ۰/۴ گرم در لیتر مشاهده شد این روند افزایشی در راندمان حذف فسفر با افزایش دوز جاذب را می‌توان به افزایش مکان‌های سطح تماس جاذب و افزایش بیش‌تر دسترسی به مکان‌های جذب توسط فسفر نسبت به‌طوری‌که نتایج به‌دست‌آمده از این مطالعه با نتایج مطالعه (2009) et al. Gong که بر روی جذب رنگ‌زای راکتیو با استفاده از نانو تیوب‌های کربنی انجام دادند مطابقت دارد. همچنین در مطالعه دیگری که توسط Tang et al. (2006) انجام شد نشان دادند با افزایش دوز از بنتونیت اصلاح شد مقدار حذف فسفر افزایش می‌یابد.

همچنین جهت بررسی تأثیر غلظت فسفر بر جذب، غلظت فسفر از یک تا ۲۰ میلی گرم در لیتر تغییر داده شد در این مرحله از آزمایش PH، دوز جاذب و زمان تماس ثابت نگه داشته شدند همانطور که در شکل (۵) دیده می شود با افزایش غلظت اولیه فسفر مقدار جذب کاهش یافته است که آن را می توان به ثابت بودن مکان های جذب در برابر افزایش تعداد مولکول های ماده جذب شونده نسبت داد (Liu et al. 2007). در مطالعه ای که توسط (Mohamed et al. (2015 انجام شد نشان دادند که با غلظت فسفات مقدار جذب فسفر بر روی زئولیت ترکیبی سدیم کاهش می یابد. ایزوترم های جذب به توصیف چگونگی واکنش آلاینده ها با مواد جاذب می پردازند و در بهینه سازی مصرف جاذب نقش اساسی دارند. در این مطالعه سه ایزوترم لانگمویر، فروندلیخ و تمکین در غلظت های مختلف فسفر بررسی شد نتایج حاصل نشان داد که حذف فسفر از مدل فروندلیخ پیروی می کند این امر می تواند به دلیل توزیع غیریکنواخت یا چندلایه ای بودن مکان های فعال روی جاذب باشد. همچنین نتایج حاصل از برازش داده های زمان-غلظت فسفر نشان داد که سنتیک حذف فسفر از مدل شبه مرتبه دوم پیروی می کند به این صورت که ضریب همبستگی در مدل شبه درجه دوم نسبت به مدل شبه درجه اول بالا بوده علاوه بر این مقدار Q_e محاسبه شده با سنتیک شبه مرتبه دوم با داده های آزمایشگاهی نزدیک تر است. در حالت کلی می توان گفت که سنتیک جذب هم به مقدار جاذب و هم به غلظت جذب شونده بستگی دارد.

۵- تقدیر و تشکر

مقاله حاضر برگرفته شده از طرح تحقیقاتی مصوب شورای پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی کردستان است بدین وسیله از معاونت پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی کردستان جهت حمایت مالی از طرح تقدیر و تشکر می شود.

References

- Almeelbi T. and Bezbaruah A. (2010). Aqueous phosphate removal using nanoscale zero-valent iron. *J. Nanoparticle Res.*, 14-1 (7), 14-2.
- Albertsen M., Hansen L.B. S., Saunders A M., Nielsen P.H. and Nielsen K.L. (2012). A metagenome of a full-scale microbial community carrying out enhanced biological phosphorus removal. *The ISME J.*, 6(6), 1094-106.
- Alver E. and Metin A.Ü. (2012) Anionic dye removal from aqueous solutions using modified zeolite: adsorption kinetics and isotherm studies. *Chem. Eng. J.*, 200(20), 59-67.
- De Sousa A. F., Braga T. P., Gomes E. C. C., Valentini A. and Longhinotti E. (2012). Adsorption of phosphate using mesoporous spheres containing iron and aluminum oxide. *Chem. Eng. J.*, 210(5), 143-9.
- Gupta V. K., Kumar R., Nayak A., Saleh T. A. and Barakat M. (2013). Adsorptive removal of dyes from aqueous solution onto carbon nanotubes: a review. *Adv. Colloid Interface Sci.*, 193(6), 24-34.

- Gong J. L., Wang B., Zeng G. M., Yang C. P., Niu C. G. and Niu Q. Y. (2009). Removal of cationic dyes from aqueous solution using magnetic multi-wall carbon nanotube nanocomposite as adsorbent. *J. Hazard. Mater.*, 164(2), 122-517.
- Ghasemi M., Naushad M., Ghasemi N. and Khosravi-Fard Y. (2014). Adsorption of Pb (II) from aqueous solution using new adsorbents prepared from agricultural waste: Adsorption isotherm and kinetic studies. *J. Indust. Eng. Chem.*, 20(4), 2193-2199.
- Genz A., Kornmüller A. and Jekel M. (2004). Advanced phosphorus removal from membrane filtrates by adsorption on activated aluminium oxide and granulated ferric hydroxide. *Wat. Res.*, 38(16), 3523-3530.
- Konicki W., Pelech I., Mijowska E. and Jasińska I. (2014). Adsorption Kinetics of Acid Dye Acid Red 88 onto Magnetic Multi-Walled Carbon Nanotubes-Fe₃C Nanocomposite. *Clean Soil, Air, Water*. 42(3), 284-294.
- Lin S. H. and Juang R. S. (2002). Heavy metal removal from water by sorption using surfactant-modified montmorillonite. *J. Hazard. Mater.*, 92(3), 315-326.
- Lixia W., Zhihui L., Juan W. and Shu Z. (2015). Removal phosphorus in pollution water by composite aluminum electrode. *AASRI International Conference on Industrial Electronics and Applications (IEA 2015)*..
- Liu C. J., Liy Z., Luan Z. K., Chen Z. Y., Zhang Z. G. and Jia Z. P. (2007). Adsorption removal of phosphate from aqueous solution by active red mud. *J. Environ. Sci.*, 19(10), 1166-1170.
- Mohamed E., Selim A., Seliem M. and Abukhadra M. R. (2015) Modeling and optimizations of phosphate removal from aqueous solutions using synthetic zeolite Na-A. *J. Mater. Sci. Chem. Eng.*, 3(09),15.
- Mohammed S. A., Shanshool H. A. (2009). Phosphorus removal from water and waste water by chemical precipitation using alum and calcium chloride. *Iraqi J. Chem. Petrol. Eng.*, 10(2), 35-42.
- Mittal A., Jhare D. and Mittal J. (2013). Adsorption of hazardous dye eosin yellow from aqueous solution onto waste material de-oiled soya: isotherm, kinetics and bulk removal. *J. Molecul. Liquids*, 179(2), 133-40.
- Madrakian T., Afkhami A. and Ahmadi M. (2012). Adsorption and kinetic studies of seven different organic dyes onto magnetite nanoparticles loaded tea waste and removal of them from wastewater samples. *Spectrochimica Acta Part A :Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 99(3), 9-102.
- Ngah W. W., Fatinathan S. and Yosop N. (2011). Isotherm and kinetic studies on the adsorption of humic acid onto chitosan-H₂SO₄ beads. *Desal.*, 272(1), 293-300.
- Oliveira M., Machado A. and Nogueira R.(2012). Phosphorus removal from eutrophic waters with an aluminium hybrid nanocomposite. *Water, Air, & Soil Pollut.*, 223(8), 4831-4840.
- Rahchamani J., Mousavi H. Z. and Behzad M. (2011). Adsorption of methyl violet from aqueous solution by polyacrylamide as an adsorbent: Isotherm and kinetic studies. *Desal. Wat. Treat.*, 267(2), 256-260.

-
- Samarghandi M. R., Rahmani A. R., Nourisepehr M., Zarrabi M. and Borji S. (2013). Determination of thermodynamic and kinetic parameters during sorption of phosphorous by weakly anion exchanger. *J. Wat. Wastewat.*, 24(3), 2-11 [In Persian].
- Tang H., Zhou W. and Zhang L. (2012). Adsorption isotherms and kinetics studies of malachite green on chitin hydrogels. *J. Hazard. Mater.*, 209(3), 218-225.
- Tang Y., Hu T., Zeng Y., Zhou Q. and Peng Y. (2015). Effective adsorption of cationic dyes by lignin sulfonate polymer based on simple emulsion polymerization: isotherm and kinetic studies. *RSC Adv.*, 5(5), 3757-66.
- Tang Y. K., Tong Z. F., Wei G. T., Li Z. M. and Liang D. W. (2006). Removal of phosphate from aqueous solution with modified bentonite. *Water, Air, & Soil Pollut.*, 6(2), 350-365.
- Vučurović V. M., Razmovski R. N. and Tekić M. N. (2012). Methylene blue (cationic dye) adsorption onto sugar beet pulp: equilibrium isotherm and kinetic studies. *J. Taiwan Instit. Chem. Eng.*, 43(1), 108-11.
- Zheng X., Wu R. and Chen Y. (2011). Effects of ZnO nanoparticles on wastewater biological nitrogen and phosphorus removal. *Environ. Sci. Technol.*, 45(7), 2826-2832.
- Zhou Q., Wang X., Liu J. and Zhang L. (2012). Phosphorus removal from wastewater using nanoparticles of hydrated ferric oxide doped activated carbon fiber prepared by Sol-Gel method. *Chem. Eng. J.*, 200(5), 619-626.

Isotherm and Kinetic Study of Phosphor Adsorption from Aqueous Solution using Single Wall Carbon Nanotubes

Afshin Bahmani¹, Seyedeh Parvin Moussavi² and Kamal Salehi^{3*}

¹Department of Health Education, Shahid Sadoughi University of Medical Sciences and Health Services, Yazd, Iran

²Department of Environmental Health Engineering, International Campus of Shahid Sadoughi University of Medical Sciences, Yazd, Iran

³Department of Environmental Health Engineering, Faculty of Health, Kurdistan University of Medical Sciences, Sanandaj, Iran

*Corresponding Author: kamalsalehi1366@gmail.com

Received: November 6, 2015

Accepted: February 27, 2016

Abstract:

The presence of trace amounts of phosphorus in treated wastewaters from municipalities and industries results in eutrophication. Therefore, its removal is crucial for controlling eutrophication in receiving water. Hence, the aim of this study was to evaluate the phosphor adsorption from aqueous solution using single wall carbon nanotubes (SWCNT) as a sorbent. The batch experiments were performed at laboratory scale. The SWCNT was characterized using scanning electron microscope (SEM). The effects of operational parameters such as adsorbent dosage, pH, and initial phosphor concentration on initial phosphor removal were evaluated. The isotherm and kinetics of phosphor adsorption were determined. The results showed that phosphor removal was directly proportional with increase in adsorbent dosage and it was reversely proportional with increase in initial phosphorous concentration. Therefore, with adsorbent dosage increased from 0.1 to 0.4 mg/l, the percentage of removal increased from 83.0 to 92.5%. Moreover, the pseudo-first order, pseudo-second order kinetic, and intraparticle diffusion models were used to describe the kinetic data. The experimental data fitted well with pseudo-second order kinetic model. Equilibrium isotherms were analyzed by Langmuir, Freundlich, and Tempkin adsorption models. It was found that the adsorption isotherm was correlated reasonably well with Freundlich isotherm. The high adsorption capacity of SWCNT indicates that this adsorbent might be a suitable alternative to remove pollutants from aqueous media. It is concluded that the SWCNTs have a high potential for phosphor adsorption and can be used as an effective adsorption for removal of phosphor form effluents.

Keywords: Single Wall Carbon Nanotubes, Phosphor, Kinetic, Isotherm, Adsorbent.